

黄河古贤水利枢纽工程

环境影响报告书

建设单位：水利部黄河水利委员会

编制单位：黄河水资源保护科学研究院

二〇二二年十二月

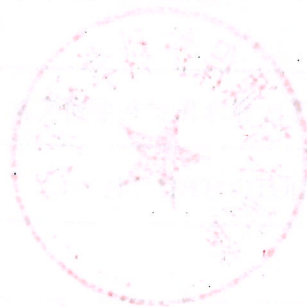
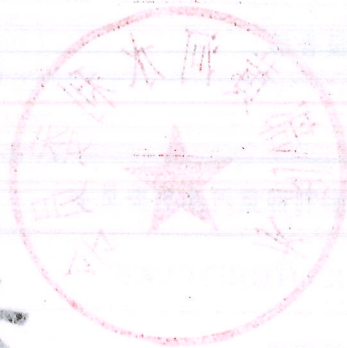


编制单位和编制人员情况表

项目编号	rmyaa3		
建设项目名称	古贤水利枢纽工程		
建设项目类别	51--124水库		
环境影响评价文件类型	报告书		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	水利部黄河水利委员会		
统一社会信用代码	12100000415804342T		
法定代表人 (签章)	祖雷鸣		
主要负责人 (签字)	王煜		
直接负责的主管人员 (签字)	贾新平		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	黄河水资源保护科学研究院		
统一社会信用代码	12410000F698411144		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
何智娟	07354143507410464	BH028779	何智娟
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
马红亮	小北干流湿地影响与保护措施、环境管理与监测计划	BH033663	马红亮
姜广艳	回顾性评价、水生生态影响与保护措施	BH033661	姜广艳
葛雷	战略影响、黄河下游及河口湿地影响与保护措施	BH033662	葛雷
韩艳利	陆生生态影响与保护措施、施工期影响与保护措施	BH017755	韩艳利

徐帅	流域与区域概况、水环境影响与保护措施	BH034187	徐帅
刘海涛	水文情势与河道冲淤分析、环境风险评价	BH034186	刘海涛
张迪	工程分析、地质公园影响与保护措施、移民安置影响与保护措施	BH042127	张迪
何智娟	概述、总则、工程概况、景观影响与保护措施、环保投资、评价结论	BH028779	何智娟

环境



概 述

一、项目背景及工程特点

黄河古贤水利枢纽工程位于黄河中游北干流吴堡至禹门口河段，上距万家寨水利枢纽 550km，下距小浪底水利枢纽 445km，左岸为山西省吉县，右岸为陕西省宜川县。

黄河古贤水利枢纽工程是国务院批复的《黄河近期重点治理开发规划》《黄河流域防洪规划》《黄河流域综合规划（2012-2030 年）》等重要规划中确定的黄河干流七大控制性骨干工程之一，2014 年被国务院列为重点推进的 172 项重大水利工程之一，2020 年被国务院列为今年及后续加快推进的 150 项重大水利工程项目之一。2019 年 9 月，黄河流域生态保护和高质量发展上升为国家战略，2021 年 10 月，中共中央、国务院印发了《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》，古贤工程是《规划纲要》中强调的黄河水沙关系调节这个“牛鼻子”的核心和战略工程之一，是实现黄河流域生态保护和高质量发展的重要举措。在 2022 年 3 月 29 日召开的国务院常务会议中，将古贤工程列入 2022 年加快推进前期工作的 55 项重大水利项目清单；4 月 26 日习近平总书记主持召开中央财经委员会第十一次会议，要求加快推进古贤等项目前期工作，争取尽快开工建设。2022 年 10 月全国人大常委会通过的《中华人民共和国黄河保护法》提出，国家在黄河流域组织建设水沙调控和防洪减灾工程体系……完善以骨干水库等重大水工程为主的水沙调控体系。

根据水利部安排，黄河水利委员会自 2000 年以来全面组织开展了古贤水利枢纽项目建议书阶段的勘测规划设计工作。2015 年 12 月，《黄河古贤水利枢纽项目建议书》修编后的成果通过水利部审查。2017 年 1 月，国家发改委以发改办农经〔2017〕105 号文《国家发展改革委办公厅关于进一步做好黄河古贤水利枢纽前期工作的函》，明确古贤前期工作转入可行性研究阶段。2018 年 11 月，《黄河古贤水利枢纽工程可行性研究报告》通过了水利部水规总院的技术审查，2019 年 12 月，水规总院出具了《水规总院关于黄河古贤水利枢纽工程可行性研究报告审查意见的报告》（水总设〔2019〕875 号）。2020 年 6 月，水利部将可研报告审查意见上报至国家发改委。

黄河古贤水利枢纽工程是推动黄河流域生态保护和高质量发展的重要战略性工程。工程的建设和运行，一是可以改善进入黄河中下游的水沙关系，减缓黄河中下游河道淤积、维持中水河槽过流能力，对确保黄河下游堤防不决口、河床不抬高、保障黄河下游长治久安、降低潼关高程等具有十分重要的作用；二是与小浪底水库联合调度，显著增强流域水资源调控能力，确保黄河不断流，提高黄河中下游及河口生态水量满足程度，促进黄河三角洲生态系统保护，并进一步改善中游潼关至三门峡河段枯水期水环境质量；三是保障黄淮海地区生态安全，同时水库蓄水形成一条 200 公里长的绿水青山带，形成局部小气候，改善沿黄两岸生态环境；四是可实现晋陕两省供水区坝上自流取水，大幅降低取水成本、改善沿岸地区因缺水带来的经济发展落后问题，有效推进黄河流域高质量发展；五是可为黄河“几”字弯大型清洁能源基地提供调峰电源，助力“碳达峰”“碳中和”目标实现。

古贤水利枢纽工程控制黄河流域总面积的 65%，控制黄河 80%的水量和 60%的沙量，开发任务为：以防洪减淤、调水调沙为主，兼顾供水灌溉和发电等综合利用。水库正常蓄水位 627m，总库容 130.59 亿 m^3 。其中防洪库容 12 亿 m^3 ，调水调沙库容 20 亿 m^3 ，拦沙库容 93.42 亿 m^3 。电站总装机容量 2100MW，多年平均年发电量 57.84 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。枢纽为碾压混凝土重力坝，最大坝高 215m，正常运用期水库库区回水长度 202.1km，淹没影响晋陕两省 5 市 13 个县（市），工程建设征地影响土地总面积 34.24 万亩，征地影响总人口 1.51 万人。古贤水利枢纽工程建设期为 11 年（其中施工总工期 9.5 年，筹建期 1.5 年），工程静态总投资为 5776457.64 万元。

古贤水利枢纽运用分为三个时期，即拦沙初期（7年）、拦沙后期（30年）和正常运用期（长期）。拦沙初期水库蓄水拦沙和调水运用，拦沙后期水库逐步抬高水位拦沙和调水调沙运用，正常运用期利用20亿 m^3 槽库容进行调水调沙运用。

二、环境影响评价过程

为全面深入论证古贤工程对环境的影响问题，黄河水资源保护科学研究院自 2008 年以来开展了持续多年的环境影响论证工作。项目建议书阶段，编制了《黄河古贤水利枢纽项目建议书环境影响分析》专题报告，重点针对工程对黄河壶口瀑布风景名胜区、黄河蛇曲国家地质公园影响等重点环境问题开展了初步的研究工作，识别了工程对水环

境、生态环境、黄河壶口瀑布国家地质公园的影响性质和程度。2013 年~2014 年，针对工程对壶口瀑布、蛇曲地质公园的影响问题，编制完成《古贤水利枢纽对壶口瀑布、蛇曲地质公园影响分析》报告，水利部牵头晋陕两省，联合中国科学院、中国工程院院士等 18 名专家共同组织召开了专题咨询会。咨询意见认为：工程建设具有显著社会、环境和经济效益，对壶口瀑布及蛇曲地质公园将产生一定的影响，经采取有针对性的对策措施后，其影响程度可以得到有效减缓，不构成制约工程建设的重大影响。

2017 年古贤水利枢纽工程环境影响评价工作转入可研阶段。针对古贤环评工作的复杂性，我院联合中国地质环境监测院、水利部中国科学院水工程生态研究所、中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院地质与地球物理研究所、中国建筑西北设计研究院有限公司、四川大学、河南大学等专业科研或设计单位，针对项目建设区域、水库淹没区域和下游等不同层面、不同范围和不同类型的环境影响，开展了大量深入的调查和研究工作。按照技术导则和规范要求，开展了 30 余次的环境现状监测和调查工作，对区域的水环境、声环境、大气环境、陆生生态、水生生态进行了现状调查和监测；2015 年 6 月~2016 年 9 月开展了壶口瀑布现状景观的专业观测工作，累积观测照片 15000 余张，视频 100 多段，建立了瀑布形态、颜色与流量、含沙量等水文要素的响应关系；通过无人机遥感技术、实地调查等完成地质遗迹调查面积约 300km²，地质遗迹调查线路约 860km，构建了 1: 2000 的数字高程模型、正射影像图以及数字线划图等高精度数据成果，创建地质公园三维立体虚拟场景和数据库。在现状调查、监测、观测的基础上，就工程对黄河壶口瀑布、黄河蛇曲地质公园、水环境、水生生态、陆生生态等重点环境问题，开展了深入研究论证。

2022 年 5 月 7 日，生态环境部环评司邀请 8 位专家对壶口瀑布、蛇曲地质公园、小北干流河段湿地 3 个专题进行了调度，要求加快古贤工程环境影响评价工作进程。5 月 31 日~6 月 1 日，在生态环境部环评司和环境工程评估中心大力支持下，黄委组织 11 位专家对水文情势、地表水环境、水温等环评专题进行了专家咨询；6 月 24 日，组织 7 位专家对小北干流河段湿地影响专题进行了咨询。会后，项目组根据历次会议专家意见抓紧修改报告，并将修改成果及时与环评司、评估中心和各专家进行沟通。

在工作过程中，评价单位与自然资源部、住建部、国家林草局、陕西省人民政府和

相关厅局、山西省人民政府和相关厅局、国家地质公园相关行业协会等相关方进行了多次的汇报和意见征询。根据晋陕两省地质公园、风景名胜区主管部门要求，编制完成了《黄河古贤水利枢纽工程涉及壶口瀑布有关问题技术论证报告》和古贤水利枢纽工程对山西永和黄河蛇曲国家地质公园、陕西延川黄河蛇曲国家地质公园、黄河壶口瀑布地质公园、陕西清涧无定河曲流省级地质公园、山西乾坤湾风景名胜区的影响研究报告等共 6 项专题成果。2022 年 10 月 27 日，国家林草局组织专家论证，出具了《关于黄河古贤枢纽工程建设对有关自然保护地及湿地影响意见的函》（便函保〔2022〕516 号），同意古贤工程建设，要求采取有效措施，减少工程对壶口瀑布、地质公园和湿地的影响。2022 年 12 月 7 日，山西省林草局出具《关于黄河古贤水利枢纽工程涉及自然保护地有关意见的复函》（晋林保字〔2022〕594 号），明确表示支持古贤水利枢纽工程建设，建议采取必要措施，最大限度减少对自然保护地的影响。2022 年 12 月 16 日，陕西省林业局出具《关于古贤水利枢纽工程黄河壶口国家风景名胜区（陕西）等自然保护地意见的函》（陕林函〔2022〕904 号），明确表示全力支持古贤水利枢纽工程建设。

在环境影响评价过程中，建设单位按照《环境影响评价公众参与办法》（2019 年 1 月 1 日起施行）的要求，以网络、报纸、布告等多种形式开展公众参与工作，在此期间公众反馈意见较少。为进一步深入了解公众对古贤工程和环评工作的意见，2022 年 12 月建设单位主动组织召开了公众座谈会。

在以上工作的基础上，评价单位编制完成了《黄河古贤水利枢纽工程环境影响报告书》。

三、分析判定相关情况

1、工程的建设符合《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》《黄河流域综合规划（2012-2030 年）》《黄河流域防洪规划》等相关规划及规划环评要求。工程与《全国主体功能区规划》《全国生态功能区划》（修编）《黄河流域生态环境保护规划》《黄河流域生态保护和高质量发展水安全保障规划》、晋陕两省主体功能区规划、生态功能区划、国民经济发展规划、水利发展规划相协调。

2、本工程淹没区涉及陕西省生态保护红线 3953.829hm²，山西省生态保护红线

2396.2056hm²。工程是黄河历次重要规划确定的干流七大骨干枢纽之一，在黄河水沙调控体系中具有承上启下的战略地位，是保障黄河长治久安不可替代的战略工程，与 2019 年 10 月中共中央办公厅、国务院办公厅《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》要求相符，属于生态保护红线内允许建设的项目类型。2022 年 11 月，晋陕两省自然资源厅分别以晋自然资呈〔2022〕252 号文、陕自然资规函〔2022〕20 号文出具文件同意古贤工程占用生态保护红线。

3、按照黄河“87 分水方案”和“三条红线”控制指标，晋陕两省供水区的黄河水指标已基本分配完毕。目前古贤工程供水区主要采用扬黄泵站取用黄河水，古贤工程建成后，在坝上两岸预留引水口，在地方供水干渠等配套工程建成后，将替代原有的扬黄泵站取水，实现坝上自流取水，改善供水条件，提高供水保障率，但不新增两省用水量。因此，古贤工程建成后，晋陕两省供水区用水量符合“87 分水方案”的要求，用水总量和用水效率不超出“三条红线”有关控制指标要求。

4、根据晋陕两省新修编的《黄河壶口瀑布风景名胜区(山西)总体规划(2018-2035)》和《黄河壶口瀑布风景名胜区(陕西)总体规划(2017-2035)》，古贤水利枢纽主体工程不在黄河壶口瀑布风景名胜区布置，部分附属工程布置在该风景名胜区内。其中，进场道路、皮带机线路分别穿越山西侧景区 10.957km、11.042km，主要以隧洞形式穿越景区二、三级保护区；陕西侧景区内布设 1 座跨两省的黄河大桥，以及 2#、6#进场道路部分段落，共计 3.536km，位于三级保护区。以上工程经晋陕两省风景名胜区主管部门论证，现已纳入两省新修编规划，符合《风景名胜区条例》的有关要求。

四、关注的主要环境问题及环境影响

针对古贤的工程特点、区域环境特点，项目重点关注：（1）壶口瀑布景观影响及措施；（2）地质公园影响及措施；（3）地表水环境影响及措施；（4）水生生物影响及措施；（5）小北干流河段湿地影响及措施；（6）黄河下游河漫滩湿地及河口湿地影响及措施；（7）陆生生态影响及措施。

1、壶口瀑布景观

黄河壶口瀑布位于古贤水利枢纽坝址下游 10.1km 处，其核心景观为壶口瀑布景观。古贤水利枢纽主体工程不在风景名胜区内，观看壶口瀑布视野范围内看不到大坝及附属

建筑物。古贤工程对壶口瀑布的影响主要为蓄水拦沙和水沙调控对壶口瀑布形态规模和颜色产生的影响。建设期 11 年，工程主要通过导流洞下泄水沙，瀑布景观与建库前相比基本不发生改变。工程运行后，瀑布景观形态、规模多样性可以得到保留，通过优化水库调度方案，在白天观景时段可以泄放有利于形成较佳瀑布形态的流量

($600\text{m}^3/\text{s}\sim 1150\text{m}^3/\text{s}$)。为减缓水库拦沙初期对壶口瀑布颜色的影响，工程采用库区泵吸取沙措施（水下泥泵+隧洞过坝方案）向坝下河道补沙，以增加出库水流的含沙量。该设施投运后，拦沙初期壶口瀑布的清水天数最多为 241 天，比现状年多 12%，淡黄色、黄色瀑布出现天数与现状基本一致，黄褐色瀑布出现天数比现状年减少 26 天/年；进入水库的拦沙后期、正常运用期，瀑布各种颜色出现天数基本与现状持平。工程采取优化水库调度、库区泵吸取沙措施、壶口瀑布监测措施等，减缓工程对壶口瀑布景观的影响。

2、地质公园

（1）黄河蛇曲国家地质公园

黄河蛇曲国家地质公园位于古贤坝址上游 50km~100km 以上库区内，古贤工程建设期 11 年，对该地质公园没有影响；运行期水库水位抬升对地质公园内大型蛇曲群地质景观产生一定淹没影响。水库自起始运用水位 560m 至正常蓄水位 627m，淹没陕西延川黄河蛇曲国家地质公园总面积的 11.33%~22.4%，淹没一级区（核心区）面积的 68.12%~87.18%；淹没山西永和黄河蛇曲国家地质公园总面积的 16.89%~29.2%，一级保护区的 100%。随着水库水位抬升，各典型蛇曲水位抬升，河床水面变宽，公园将形成新的水体地貌景观，“黄河干流蛇曲群”景观类型变为黄土高原高峡湖泊景观，具有新的特征及观赏价值。

工程采取了一系列替代、补偿及抢救性措施，主要包括：黄河北干流河段同类蛇曲地貌景观的保护措施、库区及园区内地质遗迹调查、资料数字化、科学研究与科普教育、博物馆改建、规划修编等，以补偿工程对地质公园的影响。

（2）陕西省清涧无定河曲流群地质公园

陕西省清涧无定河曲流群地质公园位于古贤坝址上游 120km 处，古贤工程建设期 11 年，对该地质公园没有影响。水库自起始运用水位 560m 至正常蓄水位 627m，淹没该地质公园总面积的 0~17.6%，淹没一级区（核心区）面积的 0~48%。无定河曲流

群的河底平均高程为 610m，水库蓄水后对其整体形态影响不大，曲流地貌景观基本保留，且随着水体的充盈，景观更具有观赏性。

采取的主要措施为开展地质公园地质遗迹详查工作、公园外围地质遗迹调查与研究、地质公园规划修编、科学研究与科普教育工作。

3、地表水环境

(1) 水温

拦沙初期、拦沙后期、正常运用期古贤水库的水温分层结构依次为稳定分层型、稳定分层型、混合型。水库拦沙初期和拦沙后期均表现为明显的春夏季下泄低温水和冬季下泄高温水效应。拦沙初期影响最大，与坝址天然水温相比，拦沙初期下泄水温最大降幅为 9.2℃（4 月，平水年来水条件），最大升幅为 8.1℃（12 月，丰水年来水条件）。河道水温最远可在坝址下游 208km 潼关水文站处恢复至天然水平。采用叠梁门分层取水措施，对低温水下泄有较为明显的改善作用。

(2) 水质

古贤水利枢纽工程运行后，在现状排污与区域相关治污规划实施后排污两种情景预测条件下，库区 COD、氨氮均能满足 II~III 类水质目标。库区总体为中营养状况，库尾与支流入库处为中~富营养状况，总体水质不易发生富营养化。工程运行对坝址下游河段（坝址-三门峡河段）水质具有一定改善作用，尤其是潼关断面现状枯水期个别月份氨氮超标的情况得到改善。采取蓄水前库底清理、划定饮用水水源保护区、库区集水区控制点源和面源污染、加强管理等措施要求，保护区域地表水环境。

4、小北干流河段湿地

小北干流河段位于古贤水利枢纽工程坝下 72km 至 205km 处，河势游荡多变，主流经常摆动，造成冲滩塌岸、滩区耕地时常易主，引发晋陕两省群众激烈矛盾。20 世纪 80 年代中期以来，为稳定河势、促进当地团结祥和，该河段先后实施了多期河道整治工程，目前两岸建成的控导工程和护岸工程已大体实现了河势稳定，河势游荡基本控制在河防工程内，有效缓解了两岸群众矛盾。该河段淤积和游荡摆动的特点，也在河槽及两侧形成了特殊的沿河洪漫湿地，为黑鹳、灰鹤、大鸨等国家重点保护鸟类提供了栖息场所，其中天然湿地主要集中在两岸河道整治工程范围之内。

古贤水库运行后，小北干流河段河势游荡摆动的特性不会发生根本改变，仍然控制在两岸河防工程内，湿地总体格局不会受到影响；而且，河段生态流量满足程度由近 20 年的 86.8% 提高到 100%，为湿地的维持提供了水资源条件。拦沙初期，小北干流河段平均刷深在 0.78m~1.47m 之间，工程通过优化调度运行方式，在 4 月~7 月塑造 3000m³/s~4000m³/s 的洪水脉冲过程，河槽嫩滩湿地漫滩天数和漫滩范围较现状均有一定程度的增加，有利于湿地的维持和改善。拦沙后期，随着小北干流河段的继续刷深，漫滩洪水发生的几率逐渐减小，部分河流水面和裸滩湿地可能向河漫滩湿地转化。为最大程度减少工程对小北干流湿地的影响，拦沙后期采取在河道两侧实施湿地补水工程，每年补给不低于湿地最小需水量 0.66 亿 m³ 的水量，同时因地制宜开展鸟类栖息生境营造工程。落实以上措施后，工程对小北干流湿地面积、结构和功能不产生显著影响，对黑鹳、灰鹤、大鸨等国家重点保护鸟类及其栖息生境影响不大。

5、水生生物

古贤库区及上游的北干流河段鱼类资源贫乏，分布有国家二级保护鱼类大鼻吻鲛，历史记载曾分布有国家一级保护鱼类北方铜鱼，近 20 年未捕获。工程运行将使库区河段流水性鱼类栖息生境受到一定压缩，种群、数量受到一定影响；同时，也为适应缓流或静水鱼类提供了良好的栖息、繁殖条件，其种类数量将逐渐增加。为保护流水性鱼类生境，建议将支流无定河大桥至河口段划定为鱼类栖息地重点保护水域。

壶口瀑布已经在坝址下游 10.1km 处形成了天然阻隔，本次古贤工程建设不进一步增加阻隔影响。

坝址下游小北干流河段是鱼类重要的栖息和繁殖水域，鱼类多为常见种，无长距离洄游性鱼类。通过水库调度运行，可保障 4 月~6 月鱼类敏感期的用水需求，避免了枯水期流量过小对鱼类产卵的不利影响，但坝下低温水下泄、水文情势改变将引起小北干流河段鱼类繁殖期推迟、生长期缩短，造成鱼类种群数量下降。通过采取分层取水措施、增殖放流措施，减缓工程运行对库区及下游鱼类数量、资源的影响，同时本次评价提出将黄河干流禹门口至潼关河段划定为鱼类栖息地重点保护水域。

6、黄河下游河漫滩湿地及黄河河口湿地

(1) 黄河下游河漫滩湿地

黄河下游河漫滩湿地主要分布在河南段的西霞院到高村之间长约 297km 河段，集中分布于下游河道整治工程和生产堤之间，湿地空间分布格局基本稳定，目前通过小浪底水库的调控，该河段湿地需水及过程基本能够得到保障。

黄河下游的水文过程主要取决于小浪底水库的调控。古贤工程建成运行后，主要维持小浪底拦沙库容，不改变小浪底水库的运行原则，主要是在小浪底水库调水调沙时提供后续水流动力，保证下游河道过流能力和平滩流量；同时在极端情况下（特枯水年特枯水期）为黄河下游提供一定水量，其余时段古贤运行不改变下游河道的水文条件和河势。通过古贤与小浪底水库开展联合调度，可以塑造更长时间的大洪水过程，丰、平、枯和特枯水年大流量天数实现不同程度的增加，特枯水年生态流量保障程度进一步提高，进一步改善黄河下游湿地水资源条件，下游湿地空间分布格局和湿地生境质量不会发生明显变化。

（2）黄河河口湿地

黄河独特的水沙情况和河口较弱的海洋动力，使河口长期处于淤积、延伸、摆动、改道的频繁变化状态，从而形成了独特的湿地生态系统。其中具有重要生态功能的淡水湿地主要分布在清水沟现行流路两侧，也是受黄河水沙变化影响的主要区域。目前该湿地主要是依靠小浪底调水调沙期间的人工补水进行维持和修复。

古贤工程建成运行后，河口河段的水文泥沙条件等与现状相比不发生较大改变；工程与小浪底联合调度，一是可以将利津断面的非汛期（11 月~3 月）、敏感期（4 月~6 月）的生态流量满足程度从 2000 年以来的 93.9%、60%均提升为 100%，改善了河口河段枯水年、枯水期生态流量得不到保障的情况；二是提高了利津断面在丰、平、枯水年大流量（日均流量 $>2500\text{m}^3/\text{s}$ ）出现的天数，可以为清水沟现行流路两侧湿地的维持和改善提供有利的水资源条件，维持河口湿地现有规模和淡水需求，促进河口生态的保护和修复。

7、陆生生态

工程区域位于黄土高原丘陵沟壑区，植被覆盖度低，水土流失严重，生物多样性较低，主要的生态功能是土壤保持。评价区植被为常见种，动物资源比较贫乏。工程施工期及运行期会对建设区、库区动植物产生一定影响，其影响在可接受范围内，不会改变

区域陆生生态系统的结构、功能和生物多样性。通过采取避让、减缓、修复等措施，同时加强施工期管理，减缓工程对区域陆生生态的影响。

五、环评的主要结论

古贤水利枢纽工程是国务院批复的《黄河流域综合规划》和《黄河流域防洪规划》等重大规划中确定的黄河干流控制性骨干工程之一，是《黄河流域生态保护与高质量发展规划纲要》中强调的黄河水沙关系调节这个“牛鼻子”的核心和战略工程，是实现黄河流域生态保护与高质量发展的重要举措，对保障黄河长治久安、改善区域生态环境、推动流域高质量发展具有重大战略作用。工程建成后，可以改善进入黄河中下游的水沙关系，维持下游中水河槽过流能力，对确保黄河下游堤防不决口、河床不抬高、保障黄河下游长治久安、降低潼关高程等具有重要作用，促进下游沿黄及黄淮海平原等重点区域经济社会发展和生态稳定；提升水资源调控能力，确保黄河不断流，提高黄河中下游及河口生态水量满足程度，促进黄河河口湿地生态保护；改善区域供水和灌溉条件，解决沿岸地区因缺水带来的经济发展落后问题，有效推进黄河流域高质量发展。

由于工程建设规模大、淹没范围广，运行条件复杂多样，且影响区域环境十分敏感和复杂，工程的建设和实施将不可避免的对库区及坝下河段的黄河蛇曲地质遗迹、壶口瀑布景观、小北干流湿地、水环境、水生生态、陆生生态等带来一定的不利影响。结合黄河保护治理战略和项目保护责任，评价提出了一系列的地质遗迹保护对策、壶口瀑布景观保护措施、库区泵吸取沙工程措施、分层取水措施、鱼类栖息地保护措施、增殖放流措施、生态流量保障措施、湿地补水与修复措施、施工期污染防治措施等。国家林草局、晋陕两省林草（业）局针对工程涉及的风景区、地质公园、自然保护区等自然保护地均出具了支持工程建设的意见。工程在落实报告书提出的各项环保措施前提下，不利影响可得到有效的预防和减缓，从环境保护角度分析，古贤水利枢纽工程建设可行。

六、致谢

在环评工作过程中，得到生态环境部、水利部、自然资源部、文化和旅游部、国家林业和草原局、黄河流域生态环境监督管理局、生态环境部环境工程评估中心、晋陕两省政府及有关部门等的大力支持与帮助，在此表示衷心感谢！

目 录

第一章 总则	1
1.1 编制目的	1
1.2 编制依据	2
1.2.1 法律法规	2
1.2.2 相关规划、区划及地方政策	3
1.2.3 技术规范	5
1.2.4 相关技术资料及文件	5
1.3 评价原则	6
1.4 环境功能区划	7
1.4.1 地表水功能区划	7
1.4.2 生态功能区划	8
1.4.3 环境空气质量功能区划	8
1.4.4 声环境功能区划	9
1.5 环境影响识别及评价因子	9
1.5.1 环境影响识别结果	9
1.5.2 评价因子	10
1.6 评价标准	11
1.6.1 环境质量标准	11
1.6.2 污染物排放标准	13
1.7 评价等级	15
1.7.1 地表水环境	16
1.7.2 地下水环境	16
1.7.3 生态环境	16
1.7.4 声环境	17
1.7.5 大气环境	17
1.7.6 土壤环境	18

1.8 评价时段与范围.....	18
1.8.1 评价时段.....	18
1.8.2 评价范围.....	18
1.9 环境保护目标.....	27
1.9.1 环境功能保护目标.....	27
1.9.2 环境敏感保护目标.....	29
1.10 重点评价内容.....	34
1.11 评价方法.....	37
1.12 评价程序.....	37
第二章 流域与区域概况.....	39
2.1 流域概况.....	39
2.1.1 河段概况.....	39
2.1.2 流域自然地理条件.....	40
2.1.3 流域社会经济特点.....	43
2.1.4 流域生态环境概况.....	44
2.1.5 历次规划及治黄方略.....	47
2.1.6 黄河水沙调控体系概况.....	49
2.2 工程所在区域概况.....	52
2.2.1 河段概况.....	52
2.2.2 区域自然特点.....	53
2.2.3 区域社会经济背景.....	63
2.2.4 区域环境概况.....	64
2.2.5 区域存在的主要环境问题.....	67
2.3 工程涉及的环境敏感区概况.....	68
2.3.1 直接影响的环境敏感区.....	68
2.3.2 间接影响的环境敏感区.....	71
2.3.3 基本无影响的环境敏感区.....	72

第三章 工程对实现黄河长治久安的战略意义	74
3.1 黄河长治久安的目标和任务	74
3.1.1 流域概况	74
3.1.2 流域自然环境特点	74
3.1.3 黄河长治久安的要求	75
3.1.4 黄河保护与治理总体布局	77
3.2 工程建设的必要性	78
3.2.1 是保障黄河长治久安，确保堤防不决口、河床不抬高的战略工程	78
3.2.2 是推进水资源节约集约利用，确保河道不断流的战略工程	81
3.2.3 是推动生态环境保护治理，维护黄河健康生命的战略工程	83
3.2.4 是推动黄河中下游地区经济社会高质量发展的战略工程	85
3.3 工程建设的迫切性	87
3.3.1 解决小浪底水库调水调沙后续动力不足，迫切要求早日建设古贤水利枢纽工程	87
3.3.2 加快构建黄河流域抵御自然灾害防线，迫切要求早日建设古贤水利枢纽工程	87
3.3.3 工程是推动黄河中下游地区经济社会高质量发展的需要	90
3.3.4 落实黄河流域生态保护和高质量发展重大战略迫切需要建设古贤水利枢纽工程	90
3.4 工程建设的战略意义	90
3.4.1 保障黄河长治久安，社会经济效益巨大	90
3.4.2 改善供水条件，促进区域经济社会发展	92
3.4.3 保障黄淮海地区生态安全，改善中下游水环境和水生态	93
3.4.4 提供清洁能源，有利于我国双碳目标实现	95
第四章 工程概况	97
4.1 工程规划依据	97
4.2 工程及下游河段已有工程概况	99
4.2.1 河口镇-禹门口河段	99
4.2.2 禹门口-潼关河段	99
4.2.3 小浪底以下河段	100

4.3 古贤工程前期工作及咨询、审查情况.....	100
4.4 工程地理位置.....	102
4.5 工程任务、规模及特性.....	102
4.5.1 工程任务.....	102
4.5.2 工程规模.....	104
4.5.3 工程组成.....	104
4.5.4 工程特性.....	105
4.6 工程布置及主要建筑物.....	110
4.6.1 工程等别和建筑物级别.....	110
4.6.2 工程总布置方案.....	110
4.7 施工组织设计.....	111
4.7.1 施工导截流.....	111
4.7.2 料场.....	116
4.7.3 主体工程施工.....	119
4.7.4 施工总布置.....	121
4.7.5 渣场.....	128
4.7.6 施工占地.....	131
4.7.7 施工总进度.....	132
4.8 水库运行方式.....	133
4.8.1 水库运用阶段划分.....	133
4.8.2 水库调度运行方式.....	133
4.8.3 古贤、小浪底水库联合运用方式.....	136
4.8.4 水库初期蓄水计划.....	137
4.9 供水区及水资源配置方案.....	138
4.9.1 供水区基本情况.....	138
4.9.2 水资源配置方案.....	139
4.10 建设征地及移民安置.....	140
4.10.1 实物调查成果.....	140

4.10.2 移民安置规划.....	143
4.11 工程管理.....	146
4.12 投资估算.....	146
第五章 工程分析.....	147
5.1 工程与相关政策及规划的符合性分析.....	147
5.1.1 工程与黄河流域生态保护和高质量发展国家战略的符合性分析.....	147
5.1.2 工程与国家相关政策和法规的符合性分析.....	148
5.1.3 工程与流域规划及规划环评的符合性分析.....	152
5.1.4 工程与其他上层规划的符合性分析.....	155
5.1.5 工程与区域规划的协调性分析.....	158
5.1.6 工程与“三线一单”的符合性分析.....	160
5.2 工程环境影响论证对设计文件的优化内容.....	166
5.2.1 规划阶段与项目建议书阶段对设计文件的优化.....	166
5.2.2 可研阶段对设计文件的优化.....	167
5.3 工程建设方案环境合理性分析.....	172
5.3.1 古贤坝址选择的环境合理性分析.....	172
5.3.2 工程正常蓄水位方案环境合理性分析.....	176
5.3.3 电站装机规模的环境合理性分析.....	178
5.3.4 工程供水规模设置的环境合理性分析.....	179
5.3.5 工程运行调度方式的环境合理性.....	182
5.3.6 施工布置环境合理性分析.....	185
5.3.7 移民安置方案环境合理性分析.....	195
5.4 工程施工影响源项分析.....	196
5.4.1 水文泥沙情势.....	197
5.4.2 水环境.....	197
5.4.3 大气环境.....	202
5.4.4 声环境.....	205

5.4.5 固体废物.....	207
5.4.6 陆生生态.....	209
5.4.7 水生生态.....	209
5.4.8 重要敏感区.....	210
5.4.9 其他影响.....	211
5.4.10 施工期污染类影响源强汇总分析.....	212
5.5 工程运行影响源项分析.....	213
5.5.1 水文泥沙情势.....	213
5.5.2 水环境.....	216
5.5.3 陆生生态.....	217
5.5.4 水生生态.....	218
5.5.5 小北干流河段湿地.....	219
5.5.6 黄河下游及黄河河口湿地.....	219
5.5.7 重要敏感区.....	220
5.5.8 局地气候.....	221
5.5.9 管理人员.....	221
5.6 移民安置影响源项分析.....	222
5.6.1 生态环境.....	222
5.6.2 水环境.....	223
5.6.3 声环境.....	223
5.6.4 大气环境.....	223
5.6.5 固体废物.....	223
5.7 工程环境影响识别和重点环境要素的筛选.....	225
5.7.1 工程环境影响因素识别.....	225
5.7.2 重点环境要素的筛选.....	227

第六章 黄河水沙调控环境影响回顾评价	228
6.1 评价思路及评价内容.....	228
6.1.1 评价目的.....	228
6.1.2 典型工程与评价河段选取.....	228
6.2 黄河水沙调控体系概况及实践.....	232
6.2.1 水沙调控体系概况.....	232
6.2.2 黄河水量统一调度、调水调沙及生态调度实践.....	234
6.3 水文泥沙及河道冲淤变化.....	235
6.3.1 水文情势变化.....	235
6.3.2 泥沙及河道冲淤变化.....	238
6.4 生态流量满足程度.....	241
6.4.1 遏制黄河下游断流趋势.....	241
6.4.2 对生态流量的影响.....	242
6.5 水质变化.....	243
6.6 湿地影响分析.....	244
6.6.1 下游河流湿地影响分析.....	244
6.6.2 黄河河口湿地及近海生态变化.....	245
6.7 水生生态影响分析.....	248
6.7.1 水生生物影响.....	248
6.7.2 鱼类种类及群落变化.....	248
6.7.3 低温水下泄对鱼类的影响.....	251
6.7.4 调水调沙对鱼类的影响.....	253
6.8 生态保护措施的有效性存在主要问题.....	254
6.8.1 生态环境保护措施有效性.....	254
6.8.2 存在的主要问题.....	255
6.9 小结.....	256

第七章 水文泥沙情势及河道冲淤变化	258
7.1 评价思路及评价内容	258
7.2 水文情势及河道冲淤现状	260
7.2.1 古贤库区~三门峡河段水文泥沙情势现状	260
7.2.2 小浪底以下河段水文泥沙情势	264
7.3 生态流量确定	270
7.3.1 工程下泄生态流量	270
7.3.2 黄河下游	284
7.4 施工期及初期蓄水水文情势变化分析	286
7.4.1 施工期水文情势变化分析	286
7.4.2 初期蓄水水文情势变化分析	289
7.5 水库调度运行原则	290
7.6 运行期水文情势变化分析	307
7.6.1 库区水文情势变化	307
7.6.2 坝址~三门峡河段水文情势变化分析	314
7.6.3 小浪底以下河段水文情势分析	335
7.7 泥沙及河道冲淤变化分析	337
7.7.1 库区泥沙情势分析	337
7.7.2 坝址~三门峡河段泥沙情势分析	340
7.7.3 小浪底以下河段泥沙情势分析	345
7.8 生态流量保障措施及可行性分析	354
7.8.1 施工期生态流量保障措施及可行性分析	354
7.8.2 初期蓄水生态流量保障措施及可行性分析	354
7.8.3 运行期生态流量保障措施及可行性分析	355
7.9 小结	355

第八章 地表水环境影响与保护措施	359
8.1 水温影响预测与保护措施	359
8.1.1 水温现状调查分析	359
8.1.2 水库水温结构判别	363
8.1.3 水温预测数学模型及其验证	364
8.1.4 库区和坝前水温影响预测	373
8.1.5 单层取水下泄水温影响预测	386
8.1.6 水温恢复措施方案比选	391
8.1.7 分层取水下游河道水温沿程恢复情况分析	398
8.2 地表水环境影响与保护措施	402
8.2.1 水功能区划	402
8.2.2 水环境功能区划	405
8.2.3 地表水环境敏感点调查	407
8.2.4 污染源调查	411
8.2.5 地表水质现状调查与评价	425
8.2.6 蓄水初期地表水环境影响分析	451
8.2.7 运行期库区地表水环境影响预测评价	453
8.2.8 坝址~三门峡河段水质预测与分析	496
8.2.9 工程运行对饮用水水源保护区影响预测分析	512
8.2.10 工程运行对鱼类产卵场所在断面水质影响预测分析	513
8.2.11 工程运行对湿地敏感点断面水质影响预测分析	513
8.2.12 坝下溶解气体过饱和影响预测分析	513
8.2.13 地表水环境保护措施	516
8.3 小结	524
8.3.1 水温影响小结	524
8.3.2 地表水环境影响小结	525

第九章 地下水环境影响与保护措施.....	528
9.1 地下水环境现状调查与评价.....	528
9.1.1 水文地质调查与评价.....	528
9.1.2 评价区地下水开发利用现状调查.....	532
9.1.3 地下水环境敏感保护目标调查与评价.....	534
9.1.4 坝址下游区水文地质勘察.....	538
9.1.5 地下水环境质量现状调查与评价.....	541
9.2 地下水环境影响预测与评价.....	548
9.2.1 库区地下水环境影响预测与评价.....	548
9.2.2 坝址区地下水环境影响预测与评价.....	550
9.2.3 坝址下游区地下水环境影响预测与评价.....	555
9.3 地下水环境保护措施.....	568
9.4 小结.....	568
第十章 水生生态影响与保护措施.....	570
10.1 水生生态现状调查.....	570
10.1.1 调查范围、调查内容及断面设置.....	570
10.1.2 水生生物组成及分布特点.....	576
10.1.3 鱼类种类、区系组成及分布特点.....	580
10.1.4 渔获物调查.....	588
10.1.5 鱼类早期资源调查.....	589
10.2 主要鱼类及重要生境现状.....	591
10.2.1 主要鱼类及生态习性.....	591
10.2.2 保护鱼类.....	594
10.2.3 鱼类重要生境.....	598
10.3 水生生态影响预测与评价.....	601
10.3.1 水生生物影响分析.....	601
10.3.2 鱼类影响分析.....	604

10.3.3 保护鱼类及重要生境影响分析	615
10.4 水产种质资源保护区影响分析	620
10.4.1 工程与水产种质资源保护区的位置关系	620
10.4.2 施工期对保护区的影响	621
10.4.3 初期蓄水期对保护区的影响	621
10.4.4 运行期对保护区的影响	621
10.4.5 调水调沙对保护区的影响	624
10.5 水生生态保护措施论证	626
10.5.1 保护对象	626
10.5.2 水生生态保护措施布局	626
10.5.3 栖息水域保护	627
10.5.4 过鱼措施	631
10.5.5 增殖放流	633
10.5.6 分层取水措施	637
10.5.7 其他措施	638
10.6 小结	639
第十一章 小北干流河段湿地影响与保护措施	641
11.1 黄河小北干流河段湿地形成与演变	641
11.1.1 小北干流河段概况	641
11.1.2 河段治理与保护关系	641
11.1.3 河段湿地形成与演变	642
11.1.4 湿地自然保护区	644
11.2 小北干流湿地现状调查与评价	646
11.2.1 河段水文特征	646
11.2.2 漫滩洪水及频次	648
11.2.3 近 30 年湿地景观变化	651
11.2.4 湿地植物	653

11.2.5 湿地鸟类	669
11.2.6 其他湿地动物	694
11.2.7 湿地与黄河水力作用分析	696
11.3 工程对小北干流湿地影响分析	698
11.3.1 影响途径分析	699
11.3.2 河段水文过程变化	699
11.3.3 河势（河型）变化	703
11.3.4 河道形态影响	703
11.3.5 漫（嫩）滩洪水影响	707
11.3.6 地下水影响	709
11.3.7 工程对湿地影响分析	711
11.3.8 工程对湿地植物影响分析	712
11.3.9 工程对湿地鸟类影响分析	713
11.3.10 工程对支流交汇口湿地影响	716
11.3.11 工程对自然保护区及结构功能的影响分析	718
11.4 湿地保护措施	720
11.4.1 优化水库调度	720
11.4.2 湿地补水工程	720
11.4.3 鸟类栖息地保护工程	741
11.4.4 非工程措施	745
11.5 小结	746
第十二章 黄河下游河漫滩湿地及河口湿地影响与保护措施	750
12.1 黄河下游河漫滩湿地现状及影响	750
12.1.1 黄河下游河漫滩湿地现状调查与评价	750
12.1.2 河漫滩湿地与黄河水力联系	755
12.1.3 工程对黄河下游河漫滩湿地影响	757
12.2 黄河河口湿地现状及影响	760

12.2.1 黄河河口湿地基本情况.....	760
12.2.2 河口淡水湿地分布与黄河水力联系.....	764
12.2.3 黄河河口湿地面积变化.....	769
12.2.4 存在的主要问题.....	770
12.2.5 工程对河口淡水湿地影响分析.....	770
12.3 黄河下游河漫滩湿地及河口湿地保护措施.....	773
12.3.1 优化下游生态调度方案.....	773
12.3.2 实施生态流量适应化管理.....	773
12.3.3 加强下游湿地生态监测和科学研究.....	774
12.4 小结.....	774
第十三章 陆生生态影响与保护措施.....	776
13.1 陆生生态现状调查与评价.....	776
13.1.1 调查概况.....	776
13.1.2 土地利用现状调查与评价.....	777
13.1.3 陆生植物现状调查与评价.....	779
13.1.4 陆生动物现状调查与评价.....	795
13.1.5 景观格局现状评价.....	812
13.1.6 生物多样性现状评价.....	813
13.1.7 生态系统现状评价.....	816
13.1.8 评价区主要生态问题.....	819
13.2 陆生生态影响预测与评价.....	820
13.2.1 工程区域生态环境总体影响分析.....	820
13.2.2 土地利用影响分析.....	820
13.2.3 陆生植物的影响分析.....	822
13.2.4 陆生动物的影响分析.....	829
13.2.5 水库消落带的影响分析.....	840
13.2.6 地质灾害的影响分析.....	843

13.2.7 局地气候的影响分析	846
13.2.8 景观格局的影响分析	848
13.2.9 生态系统的影响分析	848
13.2.10 生物多样性的影响	851
13.3 陆生生态敏感区影响预测与评价	853
13.3.1 工程与自然保护区位置关系	853
13.3.2 山西管头山省级自然保护区的影响	853
13.3.3 山西人祖山省级自然保护区的影响	854
13.4 生态保护红线影响分析	854
13.4.1 工程涉及生态保护红线基本情况	854
13.4.2 生态保护红线的要求	854
13.4.3 生态保护红线影响分析	855
13.5 陆生生态保护措施	856
13.5.1 避让措施	856
13.5.2 减缓措施	857
13.5.3 修复措施	859
13.5.4 生态敏感区保护措施	866
13.5.5 古树名木保护措施	867
13.5.6 公益林补偿措施	868
13.5.7 地质灾害影响保护措施	869
13.5.8 开展区域生态环境影响研究	870
13.5.9 陆生生态保护措施汇总	870
13.6 小结	871
第十四章 地质公园影响与保护措施	874
14.1 工作内容及评价技术方法	874
14.1.1 工作内容	874
14.1.2 技术方法	875

14.2 古贤水利枢纽与地质公园的位置关系.....	876
14.3 黄河蛇曲国家地质公园.....	880
14.3.1 黄河蛇曲地质遗迹概况.....	880
14.3.2 黄河蛇曲国家地质公园现状调查与评价.....	883
14.3.3 工程运行方式及不同水位变化.....	891
14.3.4 陕西延川黄河蛇曲国家地质公园淹没影响情况.....	893
14.3.5 山西永和黄河蛇曲国家地质公园淹没影响情况.....	898
14.3.6 典型地质遗迹淹没影响分析和评价.....	904
14.3.7 黄河蛇曲地质公园保护补偿措施.....	927
14.4 陕西省清涧无定河曲流群地质公园.....	944
14.4.1 无定河曲流群地质公园现状调查与评价.....	944
14.4.2 无定河曲流群地质公园淹没影响分析.....	947
14.4.3 无定河曲流群地质公园综合评价.....	950
14.4.4 清涧无定河曲流群地质公园保护补偿措施.....	959
14.5 黄河壶口瀑布国家地质公园.....	960
14.5.1 黄河壶口瀑布国家地质公园现状调查与评价.....	960
14.5.2 黄河壶口瀑布国家地质公园影响.....	962
14.6 黄河乾坤湾风景名胜区影响分析.....	967
14.6.1 黄河乾坤湾风景名胜区基本情况.....	967
14.6.2 工程建设对黄河乾坤湾风景名胜区影响分析.....	970
14.7 小结.....	977
14.7.1 黄河蛇曲国家地质公园影响.....	977
14.7.2 陕西省清涧无定河曲流群地质公园影响.....	978
14.7.3 黄河壶口瀑布国家地质公园影响.....	979
14.7.4 黄河乾坤湾风景名胜区.....	979
14.7.5 措施建议.....	980

第十五章 壶口瀑布景观影响与保护措施.....	981
15.1 评价思路及技术方法.....	981
15.1.1 工作思路.....	981
15.1.2 主要研究内容.....	981
15.2 壶口瀑布景观特征.....	982
15.2.1 壶口瀑布的形成机理与历史变迁.....	982
15.2.2 壶口瀑布景观特点.....	983
15.3 壶口瀑布景观特征与水文泥沙要素响应关系.....	983
15.3.1 壶口瀑布现状观测.....	984
15.3.2 瀑布形态规模与流量响应关系.....	988
15.3.3 瀑布颜色与含沙量响应关系.....	997
15.3.4 壶口冰瀑特征及形成机理.....	1002
15.4 壶口瀑布景观特征历史演变及趋势分析.....	1005
15.4.1 壶口瀑布景观历史演变情况.....	1005
15.4.2 壶口瀑布保护目标.....	1014
15.5 工程运行对壶口瀑布景观特征的影响分析.....	1021
15.5.1 壶口瀑布形态、规模影响分析.....	1021
15.5.2 壶口瀑布颜色影响分析.....	1033
15.5.3 壶口瀑布气势和声音的影响.....	1042
15.5.4 壶口瀑布造瀑面等地质条件影响分析.....	1045
15.5.5 冰瀑布影响分析.....	1047
15.5.6 工程泄洪、调水调沙运用和发电调峰调度对壶口瀑布及风景名胜区影响.....	1054
15.6 施工导流及初期蓄水对壶口瀑布景观特征的影响分析.....	1056
15.6.1 施工导流及初期蓄水对壶口瀑布形态规模影响分析.....	1056
15.6.2 施工期和初期蓄水期壶口瀑布颜色的变化分析.....	1057
15.7 壶口瀑布景观影响减缓对策.....	1057
15.7.1 水库优化调度措施.....	1057

15.7.2 壶口瀑布补沙工程措施.....	1059
15.7.3 壶口瀑布监测措施.....	1069
15.7.4 其他措施.....	1070
15.7.5 科学研究.....	1071
15.8 小结.....	1072
第十六章 施工期及其它环境影响与保护措施.....	1074
16.1 地表水环境影响分析与保护措施.....	1074
16.1.1 地表水环境现状.....	1074
16.1.2 废污水影响源项及影响分析.....	1074
16.1.3 废污水影响预测与评价.....	1075
16.1.4 废污水处理措施论证.....	1079
16.2 环境空气影响分析与保护措施.....	1098
16.2.1 环境空气现状调查与评价.....	1098
16.2.2 环境空气影响源项及预测情景分析.....	1101
16.2.3 环境空气影响分析.....	1102
16.2.4 环境空气保护措施.....	1111
16.3 声环境影响分析与保护措施.....	1116
16.3.1 声环境现状调查与评价.....	1116
16.3.2 声环境影响源项及预测情景分析.....	1117
16.3.3 声环境影响预测与评价.....	1119
16.3.4 声环境保护措施.....	1127
16.4 固体废弃物影响分析与保护措施.....	1135
16.4.1 固体废弃物影响源项及预测情景分析.....	1135
16.4.2 固体废弃物影响分析.....	1136
16.4.3 固体废弃物处理措施.....	1138
16.5 土壤环境影响分析与保护措施.....	1143
16.5.1 现状监测与评价.....	1143

16.5.2 土壤环境影响分析.....	1151
16.5.3 土壤环境保护措施.....	1153
16.6 黄河壶口瀑布风景名胜区影响分析与保护措施.....	1154
16.6.1 壶口风景名胜区影响源项及预测情景分析.....	1154
16.6.2 黄河壶口瀑布风景名胜区基本情况.....	1155
16.6.3 进场道路和皮带机线路平行段对山西侧风景名胜区的影响.....	1156
16.6.4 工程施工对陕西侧风景名胜区影响分析.....	1160
16.6.5 壶口风景名胜区保护措施.....	1161
16.7 小结.....	1162
第十七章 移民安置环境影响与保护措施.....	1164
17.1 移民安置区环境现状.....	1164
17.1.1 移民安置区涉及范围.....	1164
17.1.2 移民安置区环境质量现状调查.....	1170
17.1.3 典型移民安置区环境现状.....	1182
17.2 移民安置环境影响分析.....	1184
17.2.1 移民安置环境适宜性分析.....	1185
17.2.2 生态环境影响.....	1193
17.2.3 移民安置区水环境影响.....	1195
17.2.4 移民安置区固体废物影响.....	1196
17.2.5 移民安置区其它环境影响.....	1198
17.2.6 移民安置社会环境影响.....	1198
17.2.7 专项复建过程环境影响分析.....	1200
17.3 移民安置及专项复建环境保护措施.....	1206
17.3.1 移民安置区施工期环境保护.....	1207
17.3.2 移民安置区运行期环境保护.....	1209
17.3.3 专业项目复建环境保护.....	1216
17.3.4 移民安置环保措施汇总.....	1216

17.4 小结.....	1218
17.4.1 结论.....	1218
17.4.2 建议.....	1219
第十八章 环保措施汇总.....	1220
18.1 环保措施汇总.....	1220
18.1.1 施工期环保措施汇总.....	1220
18.1.2 运行期环保措施汇总.....	1220
18.2 科学研究与试验.....	1232
第十九章 环境风险评价.....	1235
19.1 评价目的.....	1235
19.2 评价等级确定.....	1235
19.3 风险识别.....	1236
19.4 环境风险分析.....	1237
19.4.1 施工期环境风险分析.....	1237
19.4.2 运行期环境风险分析.....	1239
19.5 环境风险管理.....	1240
19.5.1 编制目的.....	1240
19.5.2 编制依据.....	1240
19.5.3 环境风险管理机构.....	1241
19.5.4 环境风险防范措施.....	1242
19.5.5 环境风险应急预案.....	1248
第二十章 环境管理与监测计划.....	1251
20.1 环境管理.....	1251
20.1.1 环境管理目的.....	1251
20.1.2 环境管理原则.....	1251
20.1.3 环境管理目标.....	1252

20.1.4 环境管理体系.....	1252
20.1.5 环境管理机构设置及其职责.....	1253
20.2 环境监理计划.....	1253
20.2.1 环境监理目的.....	1253
20.2.2 环境监理机构设置与工作方式.....	1253
20.2.3 环境监理工作范围.....	1254
20.2.4 环境监理的职能和工作内容.....	1254
20.3 环境监测计划.....	1255
20.3.1 施工期环境监测计划.....	1255
20.3.2 运行期环境监测计划.....	1261
20.3.3 移民安置区环境监测计划.....	1269
20.4 环境保护工程验收.....	1270
20.4.1 环境保护工程专项验收.....	1270
20.4.2 “三通一平”工程环境保护验收.....	1271
20.4.3 蓄水阶段环境保护验收.....	1272
20.4.4 竣工环境保护验收.....	1273
第二十一章 环境经济损益分析及环境保护投资估算	1275
21.1 环境经济损益分析.....	1275
21.1.1 工程效益分析.....	1275
21.1.2 环境效益分析.....	1275
21.1.3 经济损益分析.....	1275
21.2 环境保护费用估算.....	1275
21.2.1 主要经济技术指标.....	1275
21.2.2 编制原则和依据.....	1276
21.2.3 投资估算.....	1276

第二十二章 评价结论	1298
22.1 工程概况	1298
22.2 工程分析结论	1299
22.2.1 工程与国家有关政策及相关规划符合性	1299
22.2.2 工程方案环境合理性	1299
22.2.3 工程施工布置环境合理性	1300
22.3 环境影响预测与保护措施	1301
22.3.1 水文泥沙情势	1301
22.3.2 生态流量及满足程度	1303
22.3.3 地表水环境	1304
22.3.4 地下水环境	1308
22.3.5 陆生生态	1309
22.3.6 水生生态	1312
22.3.7 小北干流河段湿地	1315
22.3.8 黄河下游河漫滩湿地及河口湿地	1317
22.3.9 黄河蛇曲国家地质公园	1319
22.3.10 黄河壶口瀑布风景名胜区	1321
22.3.11 陕西省清涧无定河曲流群地质公园	1325
22.3.12 移民安置	1326
22.3.13 其他	1327
22.4 公众参与	1329
22.5 环境保护投资	1330
22.6 综合评价结论	1330
22.7 建议	1331

第一章 总则

1.1 编制目的

根据古贤水利枢纽工程特性，结合工程所在河段、流域和区域的环境特点，依据国家有关法律法规要求，本报告编制的主要目的为：

（1）调查工程影响区域的地表水及地下水环境、大气环境、声环境、生态环境现状，明确工程建设、运行涉及的环境敏感保护目标以及是否存在重大环境制约因素。识别流域、区域存在的主要环境问题，评价环境质量现状及其变化发展趋势，明确环境保护目标及保护要求。

（2）开展黄河已有水沙调控体系的环境影响回顾评价，重点分析已建水沙调控体系产生的主要影响和存在的不足，为工程的环境影响预测评价提供类比依据；分析工程对实现黄河长治久安的作用及意义。

（3）依据相关环境保护法律法规、技术规程规范要求，预测工程施工、运行、移民安置等活动对评价区水环境、陆生生态、水生生态、湿地及黄河壶口瀑布、蛇曲地质公园等敏感区的影响。

（4）落实国家有关生态、环境保护的政策和要求，对工程建设规模、工程布置、运行调度方案及施工选址选线等进行全面的优化和调整，针对工程施工、运行和移民安置对环境带来的不利影响，制定可行的环保对策和减免措施，充分发挥工程的经济效益、社会效益和环境效益，促进工程影响区生态环境的良性发展。

（5）拟定工程施工及运行期的环境管理、监理和监测计划，明确各方的任务和职责，保证环境保护措施的落实和实施效果。

（6）从环境保护角度论证本工程建设的可行性，为工程的方案论证、环境管理和项目决策提供科学依据。

1.2 编制依据

1.2.1 法律法规

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》(2015 年 1 月起施行);
- (2) 《中华人民共和国水法》(2016 年 7 月修正);
- (3) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 年 12 月修正);
- (4) 《中华人民共和国大气污染防治法》(2018 年 10 月修正);
- (5) 《中华人民共和国水污染防治法》(2017 年 6 月修正);
- (6) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2020 年 9 月起施行);
- (7) 《中华人民共和国噪声污染防治法》(2022 年 6 月起施行);
- (8) 《中华人民共和国水土保持法》(2011 年 3 月起施行);
- (9) 《中华人民共和国土地管理法》(2019 年 8 月修正);
- (10) 《中华人民共和国野生动物保护法》(2018 年 10 月修正);
- (11) 《中华人民共和国森林法》(2020 年 7 月起施行);
- (12) 《中华人民共和国文物保护法》(2017 年 11 月修正);
- (13) 《中华人民共和国城乡规划法》(2019 年 4 月修正);
- (14) 《中华人民共和国矿产资源法》(2009 年 8 月修正);
- (15) 《中华人民共和国湿地保护法》(2022 年 6 月起施行);
- (16) 《中华人民共和国黄河保护法》(2022 年 10 月通过);
- (17) 《风景名胜区条例》(2016 年 2 月修订);
- (18) 《中华人民共和国自然保护区条例》(2017 年 10 月修正);
- (19) 《地质遗迹保护管理规定》(1995 年 5 月 4 日施行);
- (20) 《中华人民共和国陆生野生动物保护实施条例》(2016 年 2 月修订);
- (21) 《中华人民共和国野生植物保护条例》(2017 年 10 月修订);
- (22) 《基本农田保护条例》，国务院令 第 257 号 (2011 年 1 月修订);
- (23) 《土地复垦条例》，国务院令 第 592 号 (2011 年 3 月施行);
- (24) 《地下水管理条例》，国务院令 第 748 号 (2021 年 12 月施行);
- (25) 《古生物化石保护条例》国务院令 第 580 号 (2019 年 3 月修订);

- (26)《古生物化石保护条例实施办法》，国土资源部令第 57 号(2019 年 7 月修正)；
- (27)《中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》(2021 年 11 月 2 日)；
- (28)《山西省风景名胜区条例》，2022 年 5 月 27 日山西省第十三届人民代表大会常务委员会第三十五次会议修订；
- (29)《山西省大气污染防治条例》，2018 年 11 月 30 日山西省第十三届人民代表大会常务委员会第七次会议修订；
- (30)《山西省固体废物污染环境防治条例》，2021 年 3 月 31 日山西省第十三届人民代表大会常务委员会第二十五次会议通过；
- (31)《山西省水污染防治条例》，2019 年 7 月 31 日山西省第十三届人民代表大会常务委员会第十二次会议通过；
- (32)《山西省汾河流域水污染防治条例》，2004 年 11 月 27 日山西省第十届人民代表大会常务委员会第十四次会议修订；
- (33)《陕西省风景名胜区管理条例》，2008 年 5 月 29 日陕西省第十一届人民代表大会常务委员会第二次会议修订；
- (34)《陕西省大气污染防治条例》，2019 年 7 月 31 日陕西省第十三届人民代表大会常务委员会第十二次次会议修正；
- (35)《陕西省固体废物污染环境防治条例》，2019 年 7 月 31 日陕西省第十三届人民代表大会常务委员会第十二次会议修正；
- (36)《陕西省地下水条例》，2015 年 11 月 19 日陕西省第十二届人民代表大会常务委员会第二十三次会议通过；
- (37)《陕西省渭河流域管理条例》，2018 年 5 月 31 日陕西省第十三届人民代表大会常务委员会第三次会议修正。

1.2.2 相关规划、区划及地方政策

- (1)《全国主体功能区规划》(国发〔2010〕46 号)；
- (2)《全国生态功能区划(修编版)》(环境保护部 中国科学院公告 2015 年第 61 号)；
- (3)《全国重要江河湖泊水功能区划(2011-2030 年)》(国函〔2011〕167 号)；
- (4)《全国生态脆弱区保护规划纲要》(环发〔2008〕92 号)；

- (5)《全国水资源保护规划》(2015 年);
- (6)《全国生态保护“十三五”规划纲要》(环生态〔2016〕151 号);
- (7)《国家重点生态功能保护区规划纲要》(环发〔2007〕165 号);
- (8)《全国生物物种资源保护与利用规划纲要》(环发〔2007〕163 号);
- (9)《中国生物多样性保护战略与行动计划(2011-2030 年)》(环发〔2010〕106 号);
- (10)《水污染防治行动计划》(国发〔2015〕17 号);
- (11)《大气污染防治行动计划》(国发〔2013〕37 号);
- (12)《土壤污染防治行动计划》(国发〔2016〕31 号);
- (13)《打赢蓝天保卫战三年行动计划》(国发〔2018〕22 号);
- (14)《农业农村污染治理攻坚战行动计划》(环土壤〔2018〕143 号);
- (15)《黄河流域综合规划(2012-2030 年)》(国函〔2013〕34 号);
- (16)《黄河近期重点治理开发规划》(国函〔2002〕61 号);
- (17)《黄河流域防洪规划》(国函〔2008〕63 号);
- (18)《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》(中共中央、国务院 2021 年 10 月 8 日印发);
- (19)《黄河流域生态环境保护规划》(生态环境部、国家发展改革委、自然资源部、水利部 2022 年 6 月 11 日印发);
- (20)《黄河流域水资源综合规划》(2010 年);
- (21)《黄河流域水资源保护规划》(2015 年);
- (22)《黄河生态保护治理攻坚战行动方案》(环综合〔2022〕51 号);
- (23)《山西省主体功能区规划》(晋政发〔2014〕9 号);
- (24)《山西省生态功能区划》(晋政发〔2008〕26 号);
- (25)《山西省地表水水环境功能区划》(DB14/67-2019);
- (26)《山西省“十四五”生态环境保护规划》(晋环发〔2022〕3 号);
- (27)《陕西省主体功能区规划》(陕政发〔2013〕15 号);
- (28)《陕西省生态功能区划》(陕政办发〔2004〕115 号);
- (29)《陕西省水功能区划》(陕政办发〔2004〕100 号);

- (30)《陕西省“十四五”生态环境保护规划》(陕政办发〔2021〕25号);
- (31)《陕西省水污染防治工作方案》(陕西省人民政府,2015年12月30日)。

1.2.3 技术规范

- (1)《环境影响评价技术导则-总纲》(HJ2.1-2016);
- (2)《环境影响评价技术导则-水利水电工程》(HJ/T88-2003);
- (3)《环境影响评价技术导则-生态影响》(HJ19-2022);
- (4)《环境影响评价技术导则-地表水环境》(HJ 2.3-2018);
- (5)《环境影响评价技术导则-地下水环境》(HJ610-2016);
- (6)《环境影响评价技术导则-大气环境》(HJ 2.2-2018);
- (7)《环境影响评价技术导则-声环境》(HJ2.4-2021);
- (8)《环境影响评价技术导则-土壤环境》(HJ964-2018);
- (9)《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018);
- (10)《环境影响评价公众参与办法》(生态环境部令第4号,2019年);
- (11)《生物多样性观测技术导则 陆生维管植物》(HJ 710.1-2014);
- (12)《生物多样性观测技术导则 内陆水域鱼类》(HJ 710.7-2014);
- (13)《生物多样性观测技术导则 淡水底栖大型无脊椎动物》(HJ 710.8-2014);
- (14)《全国淡水生物物种资源调查技术规定(试行)》(环境保护部公告2010年第27号);
- (15)《生态环境状况评价技术规范》(HJ 192-2015);
- (16)《地表水环境质量监测技术规范》(HJ 91.2-2022);
- (17)《关于进一步加强水电建设环境保护工作的通知》(环办〔2012〕4号);
- (18)《水利水电工程可行性研究报告编制规程》(SL/T618-2021);
- (19)《水电站分层取水进水口设计规范》(NB/T35053-2015);
- (20)《水电工程鱼类增殖放流站设计规范》(NB/T35037-2014);
- (21)《水利水电工程水库库底清理设计规范》(SL 644-2014)。

1.2.4 相关技术资料及文件

- (1)《黄河古贤水利枢纽工程可行性研究报告》(黄河勘测规划设计研究院有限公

司，2022年5月）；

(2)《黄河古贤水利枢纽对壶口瀑布、蛇曲地质公园影响分析》(中国科学院、中国工程院高层专家咨询稿)；

(3)《国家发展改革委办公厅关于进一步做好黄河古贤水利枢纽前期工作的函》(发改办农经〔2017〕105号文)；

(4)《水规总院关于黄河古贤水利枢纽工程可行性研究报告审查意见的报告》(水总设〔2019〕875号)。

1.3 评价原则

(1) 依法评价原则

以国家和地方颁布的相关环境保护法律、法规、标准、规定和环境影响评价有关导则为基础，全面、深入、细致的开展评价工作。

(2) 多目标协调原则

古贤水利枢纽工程可以减轻下游河道淤积，保障黄河下游防洪安全，产生巨大的社会、经济效益。但工程涉及壶口瀑布景观、黄河蛇曲地质公园等环境敏感区，工程淹没和水沙调控将会对敏感区产生一定影响。在环境影响评价工作中，应本着多目标协调原则，在保证工程防洪减淤、调水调沙任务实现的提前下，生态、景观保护优先，协调工程的社会效益、经济效益与生态效益之间的关系，实现区域社会经济和环境的可持续发展。

(3) 早期介入原则

古贤环评工作在工程规划、项目建议书等阶段已介入，对工程坝址选择、工程规模、工程施工进场道路选址选线、工程调度运行方案、施工布置、坝体建筑物布设、施工工艺等方面，从环境保护角度提出优化调整的意见和建议，尽最大可能从源头避免和减缓工程带来的生态环境影响。

(4) 科学、客观、公正评价原则

开展大量的现场调查和监测，开展壶口瀑布景观现状观测，开展地质公园地质遗迹调查等，广泛收集有关资料，采用遥感解译、三维模拟、仿真模型实验、数值模拟等多种手段，科学、客观、公正地开展评价工作。

(5) 完整性、重点突出相结合的原则

古贤水利枢纽工程规模大，施工周期长，运行方式复杂。工程的环境影响范围广、影响因素多，影响时段较长。根据建设项目的工程内容及其特征，对工程内容、影响时段、影响因子和作用因子进行全面的识别分析、评价，对壶口瀑布景观、蛇曲地质公园、小北干流湿地、水生生态等影响进行重点评价。

(6) 广泛参与原则

古贤水利枢纽环境影响复杂且敏感，环评工作在按照《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令 第4号）的要求开展的基础上，广泛听取了国家、两省及涉及地市的水利、生态环境、国土、住建、林业等有关部门的意见和建议，听取景观、地质、水利、生态、环保等知名专家学者、公众对工程建设和运行的意见。

1.4 环境功能区划

1.4.1 地表水功能区划

根据《全国重要江河湖泊水功能区划》《山西省水功能区划》《陕西省水功能区划》，黄河中游头道拐至三门峡河段一级水功能区分为黄河晋陕开发利用区和三门峡水库开发利用区，其中古贤水利枢纽工程位于黄河晋陕开发利用区，该功能区起止断面为万家寨大坝～龙门水文站，水质目标为Ⅲ类。工程下游的三门峡水库开发利用区，起止断面为龙门水文站～三门峡大坝，水质目标为Ⅲ类。主要支流三川河、无定河、清涧河、昕水河、延水河、渭河、汾河、涑水河等水功能区水质目标为Ⅲ类~Ⅴ类。

工程评价范围黄河干流、主要支流涉及到的水功能区见表 1.4.1-1、表 1.4.1-2。

表 1.4.1-1 万家寨大坝至三门峡大坝黄河干流河段水功能区划表

水系	河流	所在一级水功能区名称	二级水功能区名称	范围		长度	水质目标
				起始断面	终止断面		
黄河	黄河	黄河晋陕开发利用区	黄河吴堡排污控制区	回水湾	吴堡水文站	15.8	/
黄河	黄河		黄河吴堡过渡区	吴堡水文站	河底	21.4	Ⅲ
黄河	黄河		黄河古贤农业用水区	河底	古贤	186.6	Ⅲ
黄河	黄河		黄河壶口景观娱乐用水区	古贤	仕望河入口	15.1	Ⅲ
黄河	黄河		黄河龙门农业用水区	仕望河入口	龙门水文站	53.8	Ⅲ
黄河	黄河	三门峡水库开发利用区	黄河渭南、运城渔业、农业用水区	龙门水文站	潼关水文站	129.7	Ⅲ
黄河	黄河		黄河三门峡、运城渔业、农业用水区	潼关水文站	何家滩(黄淤20断面)	77.1	Ⅲ
黄河	黄河		黄河三门峡饮用、工业用水区	何家滩(黄淤20断面)	三门峡大坝	33.6	Ⅲ

表 1.4.1-2 万家寨大坝至三门峡大坝黄河一级支流河段水功能区划表

水系	河流、湖泊	一级水功能区名称	范围		长度	水质目标
			起始断面	终止断面		
黄河	三川河	三川河柳林缓冲区	薛村	入黄口	33.3	IV
黄河	昕水河	昕水河大宁缓冲区	曲峨镇	入黄口	25.5	IV
黄河	鄂河	鄂河乡宁缓冲区	张马	入黄口	33.5	IV
黄河	汾河	汾河河津缓冲区	新店	入黄口	38.3	IV
黄河	涑水河	涑水河永济缓冲区	张华	入黄口	11.5	V
黄河	无定河	无定河绥德缓冲区	淮宁河入口	入黄口	115.2	III
黄河	清涧河	清涧河延川缓冲区	郭家河	入黄口	20	III
黄河	延河	延河延长缓冲区	呼家川	入黄口	64	III
黄河	云岩河	云岩河宜川缓冲区	新市河	入黄口	23.4	III
黄河	仕望川	仕望川宜川缓冲区	咎家山	入黄口	5	III
黄河	徐水河	徐水河合阳缓冲区	百良镇	入黄口	5	IV
黄河	金水沟	金水沟合阳缓冲区	范家镇	入黄口	7	IV
黄河	双桥河	双桥河豫陕缓冲区	源头（太峪）	入黄口	24	V
黄河	渭河	渭河华阴缓冲区	罗夫河	入黄口	29.7	IV

1.4.2 生态功能区划

根据《全国生态功能区划（修编版）》，古贤水利枢纽坝址及库区位于黄土高原土壤保持重要区，分属吕梁山山地土壤保持功能区（I-03-17）、陕北黄土丘陵沟壑土壤保持功能区（I-03-18）。该区域水土流失严重，区域主要的生态功能为土壤保持。区划要求的生态保护主要措施为：加大退化生态系统恢复与重建的力度；有效实施坡耕地退耕还林还草措施；加强自然资源开发监管，严格控制和合理规划开山采石，控制矿产资源开发对生态的影响和破坏；发展生态林果业、旅游业及相关特色产业。

根据《陕西省生态功能区划》，古贤水利枢纽坝址及库区所在区域位于黄土高原农牧生态区（一级区）-黄土丘陵水土流失控制生态区（二级区）-黄河沿岸土壤侵蚀敏感区（三级区），土壤侵蚀极敏感，保持功能极重要，提出的主要保护对策为封山封沟，恢复植被，营造护林地带。

根据《山西省生态功能区划》，古贤水利枢纽坝址及库区所在区域位于晋西南部黄土塬农林牧业与水土保持生态功能区，其主要的生态功能为水土保持。区划提出主要的生态保护措施为：加快区域水土流失综合防治与生态建设工作，逐步改善区域生态环境。制止各种破坏水土资源、地貌和植被的行为，保护生态环境。特别要重视引黄工程的生态环境保护。

1.4.3 环境空气质量功能区划

工程坝址及淹没区大部分位于农村地区，根据大气环境功能区划的划分方法和《环

境空气质量标准（GB3095-2012）》，本工程评价区内涉及风景名胜区的区域大气环境功能区为一类环境空气质量功能区，其它区域大气环境功能区为二类区。

1.4.4 声环境功能区划

根据《声环境质量标准（GB3096-2008）》，本工程评价区内涉及风景名胜区的区域执行 0 类环境功能区要求，农村区域原则上执行 1 类环境功能区要求。

1.5 环境影响识别及评价因子

1.5.1 环境影响识别结果

根据工程特性和区域环境特点，本工程产生的主要环境影响见表 1.5.1-1 所示，受工程影响的主要环境要素为：水文情势、地表水环境、地下水环境、陆生生态、水生生态、湿地、大气环境、声环境等，此外，该工程还涉及 4 个地质公园和 2 个风景名胜区。具体识别情况见第五章工程分析。

表 1.5.1-1 古贤水利枢纽工程环境影响识别表

阶段		影响源	产生的主要环境影响
施工期	筹建期	进场道路和皮带机线路施工	施工扰动、工程弃渣对线路周边区域陆生动植物、水土流失等的影响； 施工“三废”对区域水环境、大气环境、声环境的影响； 隧洞开挖对线路区地下水位的影响； 线路穿越壶口瀑布风景名胜区山西、陕西侧分别约为 11km、3.5km，施工活动对壶口瀑布风景名胜区的影响。
	准备期	施工导截流	施工导截流对坝址下游水文情势、地表水质的影响； 施工“三废”对区域水环境、大气环境、声环境的影响； 导截流引起的水文情势的改变对壶口瀑布景观的影响。
	主体工程 施工期	料场开挖	施工扰动、工程弃渣对料场区陆生生态、水土流失的影响； 施工“三废”对区域水环境、大气环境、声环境的影响。
		主体工程施工	施工“三废”对坝址区水环境、大气环境、声环境的影响； 基础开挖对坝址区地下水的的影响； 施工扰动、工程弃渣对坝址周边陆生生态、水土流失的影响。
	初期蓄水	水库初期蓄水	水库初期蓄水小流量下泄对坝下水文情势的影响； 生态流量满足程度的变化； 初期蓄水引起的水文情势的改变对壶口瀑布景观的短时影响； 初期蓄水将引起库区水质的短时变化。
运行期		水库蓄水	水库回水 202.1km，库区水域面积扩大、水位抬升、水深增加、流速减缓； 水动力学条件的变化，引起库区地表水质的变化； 河道转变为库区，形成水温分层； 水库蓄水对黄河蛇曲地质公园、清涧无定河曲流群地质公园、乾坤湾风景名胜区的淹没影响； 自然河道转变为库区河段，对鱼类种类、数量和生境的影响； 水库淹没对库区土地利用、陆生植被、陆生动物、局地气候等的影响。
		大坝阻隔	坝址下游 10.1km 的壶口瀑布形成了天然阻隔，大坝阻隔对于坝下 10km 河段鱼类的影响。

阶段	影响源	产生的主要环境影响
	工程调度运行	水库调度运行对坝址-三门峡河段水文情势的影响及生态需水满足程度的变化； 水库调度运行对坝址-三门峡河段泥沙情势、河道冲淤的影响； 河道边界条件的改变对坝址-三门峡河段地表水质的影响； 库区下泄水温的变化，引起下游河段水温的沿程变化； 水文情势的变化对壶口瀑布景观规模、气势、颜色的影响； 低温水下泄、水文情势的变化对下游鱼类生境、种类、数量的影响； 小北干流河道冲淤变化对区域地下水水流场及水位的影响； 水文情势、河道冲淤的变化对小北干流湿地规模、结构、功能的影响等。
		与小浪底水库联合调度对黄河下游水文情势、河道冲淤、平滩流量的影响； 对黄河下游重要断面生态需水保障程度的影响； 对黄河下游河漫滩湿地规模、结构、功能的影响等； 对黄河河口湿地的影响等。
移民安置	施工期	迁建活动对移民安置区的陆生生态、水土流失的影响； 施工“三废”对区域水环境、大气环境、声环境的影响。
	运行期	29 个集中移民安置点的生活污水对区域水环境的影响； 29 个集中移民安置点生活垃圾对区域环境的影响； 对移民人群健康、移民生活质量、安置区人口、产业结构、经济发展等影响。

1.5.2 评价因子

1. 水文泥沙情势

库区水文情势评价因子为：水位、水深、流速、水域面积、库区淤积状态、典型断面淤积形态。

坝址下游水文情势评价因子为：径流量，丰、平、枯典型年年内流量过程，禹潼河段及黄河下游典型断面淤积形态、平滩流量。

2. 地表水环境

地表水环境现状调查因子为：水温、pH、溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量（COD_{Cr}）、五日生化需氧量、氨氮、总磷、铜、锌、氟化物、硒、砷、汞、镉、铬（六价）、铅、氰化物、挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂、硫化物，共 22 项。

影响预测评价因子为：水温、化学需氧量（COD）、氨氮、总磷、总氮。

3. 地下水环境

地下水环境现状调查因子为：水位、pH、总硬度、氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氟化物、氯化物。

影响预测评价因子为：水位。

4. 大气环境和声环境

声环境质量评价因子为等效连续 A 声级，大气环境质量评价因子为 TSP、SO₂、NO₂、PM₁₀。

5. 陆生生态

主要分析对评价土地利用状况、主要植被分布特征、陆生动植物、区域景观格局、重要生境、生物多样性、生态系统稳定性及完整性的影响。

6. 水生生态

水生生态评价要素包括水生生物种类组成、种群结构、资源分布状况；保护鱼类种类分布、生态习性、重要栖息生境。

7. 湿地

主要分析对小北干流湿地规模、结构、功能，以及鸟类种类、分布及其栖息地的影响。

1.6 评价标准

1.6.1 环境质量标准

根据相关功能区划，结合工程区域环境特征，经陕西省生态环境厅《关于黄河古贤水利枢纽工程环境影响评价执行标准的函》（陕环环评函〔2018〕246号）、山西省原环境保护厅《关于黄河古贤水利枢纽工程环境影响评价执行标准的复函》确认，本工程环境影响评价执行以下标准：

1. 地表水

本项目涉及主要地表水体有黄河干流及其沿线的主要支流三川河、无定河、清涧河、昕水河、延水河、渭河、汾河、涑水河等。依据《全国重要江河湖泊水功能区划（2011-2030）》《山西省地表水环境功能区划》，黄河干流及其主要支流执行的水质标准见表 1.6.1-1，具体标准值见表 1.6.1-2。

表 1.6.1-1 工程涉及河流执行的水质标准

序号	河流	执行的水质标准
1	黄河干流	Ⅲ
2	三川河	V
3	昕水河	Ⅲ
4	鄂河	V
5	汾河	V
6	涑水河	V
7	无定河	Ⅲ
8	清涧河	Ⅲ
9	延河	Ⅲ
10	云岩河	Ⅲ
11	仕望川	Ⅲ

序号	河流	执行的水质标准
12	徐水河	IV
13	金水沟	IV
14	双桥河	V
15	渭河	IV

表 1.6.1-2 评价执行的地表水环境质量标准 单位: mg/L

序号	项目	标准值		
		III类	IV类	V类
1	水温 (°C)	人为造成的环境水温变化应限制在: 周平均最大温升≤1 周平均最大温降≤2		
2	pH 值 (无量纲)	6~9		
3	溶解氧≥	5	3	2
4	高锰酸盐指数	6	10	15
5	化学需氧量 (COD)	20	30	40
6	五日生化需氧量 (BOD ₅)	4	6	10
7	氨氮 (NH ₃ -N)	1.0	1.5	2.0
8	总磷 (以 P 计)	0.2 (湖、库 0.05)	0.3 (湖、库 0.1)	0.4 (湖、库 0.2)
9	总氮 (湖、库, 以 N 计)	1.0	1.5	2.0
10	氟化物 (以 F ⁻ 计)	1.0	1.5	1.5
11	铬 (六价)	0.05	0.05	0.1
12	氰化物	0.2	0.2	0.2
13	挥发酚	0.005	0.01	0.1
14	石油类	0.05	0.5	1.0
15	硫化物	0.2	0.5	1.0

2. 地下水

环境质量执行《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)中的III类标准。具体标准值见表 1.6.1-3。

表 1.6.1-3 评价执行的地下水质量标准

序号	项目	III类
1	pH	6.5~8.5
2	总硬度 (以 CaCO ₃ 计) (mg/L)	450
3	氯化物 (mg/L)	250
4	氟化物	1.0
5	硝酸盐 (以 N 计) (mg/L)	20
6	亚硝酸盐 (以 N 计) (mg/L)	1.0
7	氨氮 (NH ₄) (mg/L)	0.5

3. 环境空气

黄河壶口瀑布风景名胜区、山西管头山省级自然保护区, 执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 一级标准。其余区域执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级标准。具体标准值见表 1.6.1-4。

表 1.6.1-4 评价执行的环境空气质量标准 单位: mg/m³

污染物名称		TSP	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀
一级标准浓度限值	24 小时平均	0.12	0.08	0.05	0.05
	1 小时平均	-	0.2	0.15	—
二级标准浓度限值	24 小时平均	0.30	0.08	0.15	0.15
	1 小时平均	—	0.20	0.50	—

4. 声环境

黄河壶口瀑布风景名胜区执行《声环境质量标准》(GB3096-2008)中的0类标准,即昼间50dB(A),夜间40dB(A);道路两侧距离50m±5m范围内执行《声环境质量标准》4a类标准,即昼间70dB(A),夜间55dB(A);其他区域均执行1类标准,即昼间55dB(A),夜间45dB(A)。

5. 土壤

工程建设区土壤环境质量执行《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)第一类用地相应标准要求,其他区域执行《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618-2018)相应标准要求。具体标准值见表1.6.1-5、1.6.1-6。

表 1.6.1-5 农用地土壤污染风险筛选值和管制值 单位: mg/kg, pH 除外

项目	镉	汞	砷	铅	铬	铜	镍	锌
pH	>7.5							
风险筛选值	0.6	3.4	25	170	250	100	190	300
风险管制值	4.0	6.0	100	1000	1300			

表 1.6.1-6 建设用地土壤污染风险筛选值和管制值 单位: mg/kg, pH 除外

项目	砷	镉	铬(六价)	铜	铅	汞	镍	备注
pH	>7.5							
风险筛选值	20	20	3.0	2000	400	8	150	第一类用地
风险管制值	120	47	30	8000	800	33	600	

1.6.2 污染物排放标准

1. 污水排放标准

本工程生活污水和生产废水处理全部回用,不外排,处理后根据回用用途,执行不同标准。处理后回用于洒水降尘、绿化浇灌、车辆冲洗的,执行《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920-2020)相应标准;处理后回用于混凝土生产的执行《水工混凝土施工规范》(SL667-2014)中的水质标准;处理后回用于砂石料加工生产的执行《水电工程砂石加工系统设计规范》(NB/T 10488-2021)中的砂石加工用水水质标准;坝址区基坑废水经沉淀后排放至黄河,排放标准执行《污水综合排放标准》(GB8978-1996)表4中的一级标准。上述标准具体限值见表1.6.2-1~表1.6.2-3。

表 1.6.2-1 本次评价执行的废水排放标准

污染类型	标准名称及级别		污染因子	标准值	
				单位	数值
废水	《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）	冲厕、车辆 冲洗	pH	mg/L	6.0~9.0
			色度		15
			嗅		无不快感
			浊度/NTU		5
			五日生化需氧量（BOD ₅ ）		10
			氨氮		5
			阴离子表面活性剂		0.5
			铁		0.3
			锰		0.1
			溶解性总固体		1000
			溶解氧		2.0
			总氯		1.0（出厂），0.2（管网末端）
			大肠埃希氏菌（MPN/100ml 或 CFU/100ml）		无
		城市绿化、 道路清扫、 消防、建筑 施工	pH	mg/L	6.0~9.0
			色度		30
			嗅		无不快感
			浊度/NTU		10
			五日生化需氧量（BOD ₅ ）		10
			氨氮		8
			阴离子表面活性剂		0.5
			铁		-
			锰		-
			溶解性总固体		1000
			溶解氧		2.0
			总氯		1.0（出厂），0.2（管网末端，用于城市绿化时不应超过 2.5）
			大肠埃希氏菌（MPN/100ml 或 CFU/100ml）		无
	《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）表 4 一级标准	pH	mg/L	6~9	
		色度（稀释倍数）		50	
		悬浮物（SS）		70	
		五日生化需氧量（BOD ₅ ）		20	
		化学需氧量（COD）		100	
		石油类		5	
		动植物油		10	
		氨氮		15	
		磷酸盐（以 P 计）		0.5	
		阴离子表面活性剂（LAS）		5.0	

表 1.6.2-2 回用于混凝土拌合的废污水排放控制标准（摘录）

项目	单位	钢筋混凝土	素混凝土
pH	/	>4.5	>4.5
不溶物	mg/L	<2000	<5000

注：摘自《水工混凝土施工规范》（SL667-2014）“表5.6.2 混凝土拌和用水要求”。

表 1.6.2-3 回用于砂石料加工生产的废污水排放控制标准（摘录）

项目	单位	水质标准
pH	/	4≤pH≤9
悬浮物	mg/L	<100

注：摘自《水电工程砂石加工系统设计规范》（NB/T 10488-2021）“附录F 砂石加工用水水质标准”。

2. 大气污染物排放标准

根据工程所在环境空气功能区以及工程建设大气污染物排放方式，本次执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表 2 中无组织排放监控浓度限值及《施工厂界扬尘排放限值》（GB61/1078-2017）中施工厂界扬尘浓度限值。

3. 施工噪声控制标准

建筑施工场界噪声限值执行《建筑施工场界噪声排放标准》（GB12523-2011）规定的噪声限值；厂界噪声分别执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）0 类和 1 类标准。

4. 固体废物控制标准

固体废弃物执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）；危险废物贮存执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）。

本次评价执行的污染物排放标准见表 1.6.2-4。

表 1.6.2-4 本次评价执行的废气、噪声排放标准

污染类型	标准名称及级别	污染因子	标准值		
			单位	数值	
废气	《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）	TSP	无组织排放	1.0	
		二氧化硫	监控浓度限值（监控点与参照点浓度差值）mg/m ³	0.4	
		氮氧化物		0.12	
噪声	《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）	等效声级[dB（A）]	昼间	70	
			夜间	55	
	《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）		0 类	昼间	50
				夜间	40
			1 类	昼间	55
				夜间	45

1.7 评价等级

根据环境影响评价相关技术导则有关规定，结合工程规模、排污特性以及工程所在地区的环境特征，考虑工程排污源强、影响范围、程度大小等，确定古贤水利枢纽工程地表水环境影响评价等级为一级，地下水环境影响评价为二级，生态环境影响评价为一

级，声环境影响评价为一级，大气环境影响评价工作等级为二级，土壤环境影响评价工作等级为二级。具体判定如下。

1.7.1 地表水环境

根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ 2.3-2018）评价等级确定原则，本项目为水文要素影响型建设项目，等级划分根据水温、径流与受影响地表水域等三类水温要素的影响程度进行判定，判定情况如表 1.7.1-1 所示。

表 1.7.1-1 黄河古贤水利枢纽工程地表水环境评价等级判定表

水温	径流	
年径流量与库容之比 α	兴利库容占年径流量百分比 $\beta/\%$	取水量占多年平均径流量百分比 $\gamma/\%$
$\alpha=209.5/130.59=1.60, \alpha \leq 10$; 拦沙初期、拦沙后期为稳定分层型，正常运用期为混合型	$\beta \%=15/209.5=7.2\%,$ $20 > \beta > 2$; 不完全年调节	$\gamma \%=23.46/209.5=11.2\%,$ $30 > \gamma > 10$
一级	二级	二级

经判定，水温评价等级为一级，径流评价等级为二级，根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》，存在多个水文要素影响的建设项目，取其中最高等级作为水文要素影响型建设项目评价等级，因此，综合确定本项目地表水评价等级为一级。

1.7.2 地下水环境

按照《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ610-2016），确定古贤水利枢纽工程为III类项目。工程库区及建设区影响范围内涉及西碛集中供水水源保护区（乡镇级），地下水敏感程度为敏感，根据导则要求，地下水环境评价等级为二级。

1.7.3 生态环境

项目不涉及国家公园、自然保护区、世界自然遗产和重要生境；涉及风景名胜区、地质公园等自然公园以及生态保护红线及公益林；工程总用地面积 228.2km²，大于 20km²；属于水文要素影响型且地表水评价等级为一级。根据《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022），生态环境评价等级应不低于二级。

但《环境影响评价技术导则生态影响》（HJ19-2022）同时提出：拦河闸坝建设可能明显改变水文情势等情况下，评价等级应上调一级。因此本工程生态环境评价工作等级为一级。具体见表 1.7.3-1。

表 1.7.3-1 黄河古贤水利枢纽工程生态影响评价等级判定表

序号	评价等级判定原则	本工程情况	等级判定
a	涉及国家公园、自然保护区、世界自然遗产、重要生境时，评价等级为一级	未涉及	/
b	涉及自然公园时，评价等级为二级	涉及黄河壶口瀑布国家地质公园、陕西省清涧无定河曲流群地质公园、山西永和黄河蛇曲国家地质公园和陕西延川黄河蛇曲国家地质公园等自然公园	二级
c	涉及生态保护红线时，评价等级不低于二级	工程涉及陕西生态保护红线3953.83hm ² ，涉及山西生态保护红线2396.21hm ²	不低于二级
d	属于水文要素影响型且地表水评价等级不低于二级的建设项目，生态影响评价等级不低于二级	属于水文要素影响型且地表水评价等级为一级	不低于二级
e	地下水水位或土壤影响范围内分布有天然林、公益林、湿地等生态保护目标的建设项目，生态影响评价等级不低于二级	水库淹没范围内分布有公益林，其中山西省占用1771.41hm ² ，陕西省占用900.87hm ²	不低于二级
f	工程占地规模大于20km ² 时（包括永久和临时占用陆域和水域），评价等级不低于二级	工程涉及水库淹没影响及工程建设区总用地面积228.2km ² ，建设影响范围大于20km ²	不低于二级
g	当评价等级判定同时符合上述多种情况时，应采用其中最高的评价等级	同时符合上述多种情况，最高的评价等级为二级	二级
h	拦河闸坝建设可能明显改变水文情势等情况下，评价等级应上调一级	古贤水利枢纽工程大坝建设明显改变工程上下游水文情势，评价等级上调一级	一级
综合判定评价等级		一级	

1.7.4 声环境

古贤水利枢纽工程对声环境影响主要为施工期，噪声源主要来自爆破开挖噪声、施工机械噪声和交通运输噪声等，其噪声影响是临时性、短暂性的，会随着施工结束而消失；工程所在区域包含有 0 类声环境功能区；根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ 2.4-2021）评价等级分级原则，本工程施工期声环境影响评价等级确定为一级。

1.7.5 大气环境

古贤水利枢纽工程对大气环境的影响主要集中在坝址区、料场区、进场道路和皮带机线路等施工区域，施工区域大多位于黄河两岸滩地及黄土塬上，影响时段主要在施工期，污染物主要为机械燃油、施工爆破和开挖以及车辆运输等产生的 CO、NO₂ 等废气和 PM₁₀、TSP 等粉尘颗粒。根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）的评价分级原则，采用导则推荐的 SCREEN3 估算模式，选取粉尘（TSP）作为预测因子，预测时段选取施工高峰时段，在最不利气象条件下，经采用密闭运输、布设集气罩，先后采用旋风除尘器和袋式除尘器二级除尘后，正常工况下，坝址区混凝土拌和系统粉尘（TSP）最大一次落地浓度为 0.0156mg/m³，占标率为 1.73%，坝址区和料场区砂石

料加工系统排放的粉尘最大地面空气质量浓度占标率 P_{\max} 分别为 0.69% 和 1.08%，因此，本次评价因子最大地面浓度 $1\% \leq P_{\max} < 10\%$ ，评价工作等级为二级。

1.7.6 土壤环境

古贤水利枢纽工程库容 130.59 亿 m^3 ，属于 I 类项目，项目区土壤平均干燥度指数为 2.21，含盐量小于 1g/L，地下水埋深大于 1.5m，属于不敏感区域，根据《环境影响评价技术导则 土壤环境（试行）》（HJ964-2018），本次土壤环境评价工作等级为二级。

1.8 评价时段与范围

1.8.1 评价时段

分工程施工期和运行期两个时期。

施工期：分为工程筹备期（1.5 年）、工程准备期（28 个月），主体工程施工期（65 个月），工程完建期（21 个月）。

运行期：工程运行并发挥效益后，分为拦沙初期（约 7 年）、拦沙后期（约 30 年）、正常运用期（长期）。

1.8.2 评价范围

1.8.2.1 地表水环境评价范围

1. 水文情势评价范围

施工期：导流工程上游 500m 至坝址下游约 11km 的黄河干流河段，河段长约 11km，包含壶口瀑布所在河段；

运行期：黄河干流吴堡至河口河段，河段长约 1547km，包括库区、坝址至龙门河段（即坝址至禹门口河段）、禹门口至潼关河段（即小北干流）、小浪底以下河段以及无定河、三川河、延河、昕水河、云岩河等库区的主要入黄支流。重点评价河段为库区、坝址-潼关河段。



图 1.8.2-1 水文情势评价范围示意图

2. 水温评价范围

水温影响主要在运行期,评价范围主要为吴堡至潼关河段,河段长度 408km,其中:库区河段长 202.1km,古贤坝址到潼关之间的坝下黄河干流河道长度约 206km。

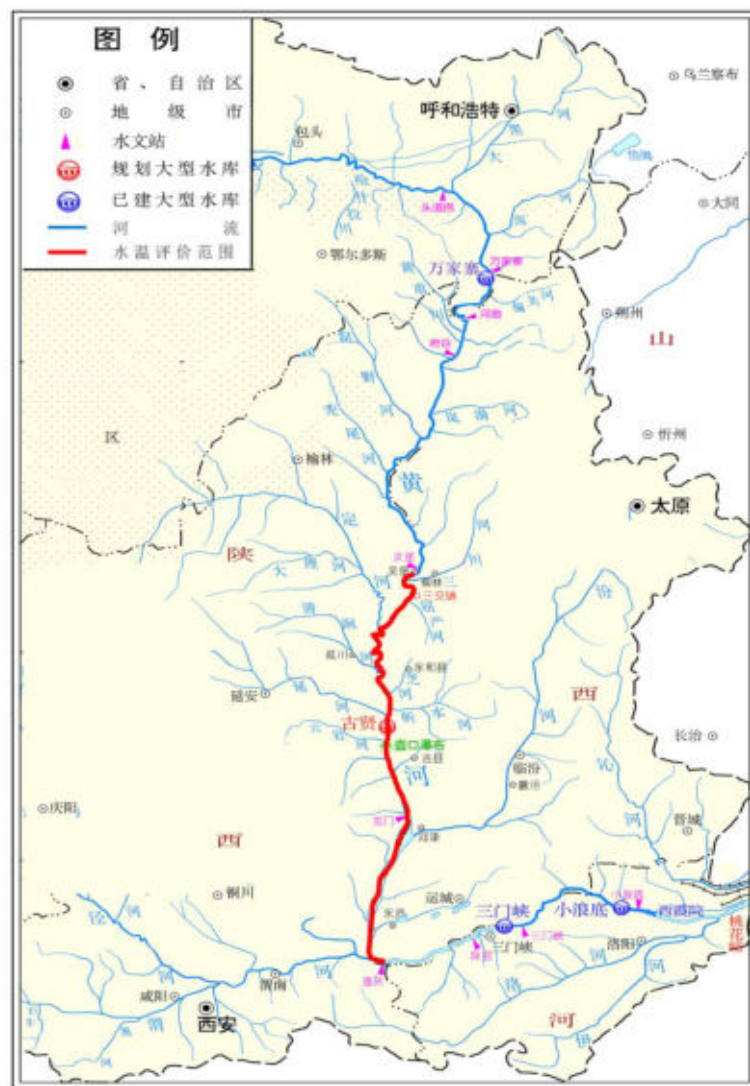


图 1.8.2-2 水温评价范围示意图

3. 地表水环境评价范围

施工期：导流工程上游 500m 至坝下 3km 之间黄河干流河段，考虑坝址下游 10km 处为壶口瀑布、74km 处有山西禹门口黄河提水工程，故将施工期地表水环境影响评价范围延至下游禹门口铁路大桥处。

运行期：

- (1) 黄河干流吴堡至三门峡河段及其主要支流，河段长约 519km。
- (2) 供水区：山西省运城、临汾共 18 个县（市、区），陕西省延安市、渭南市共 9 个县（市、区）及涉及的汾河、涑水河、渭河等主要支流。

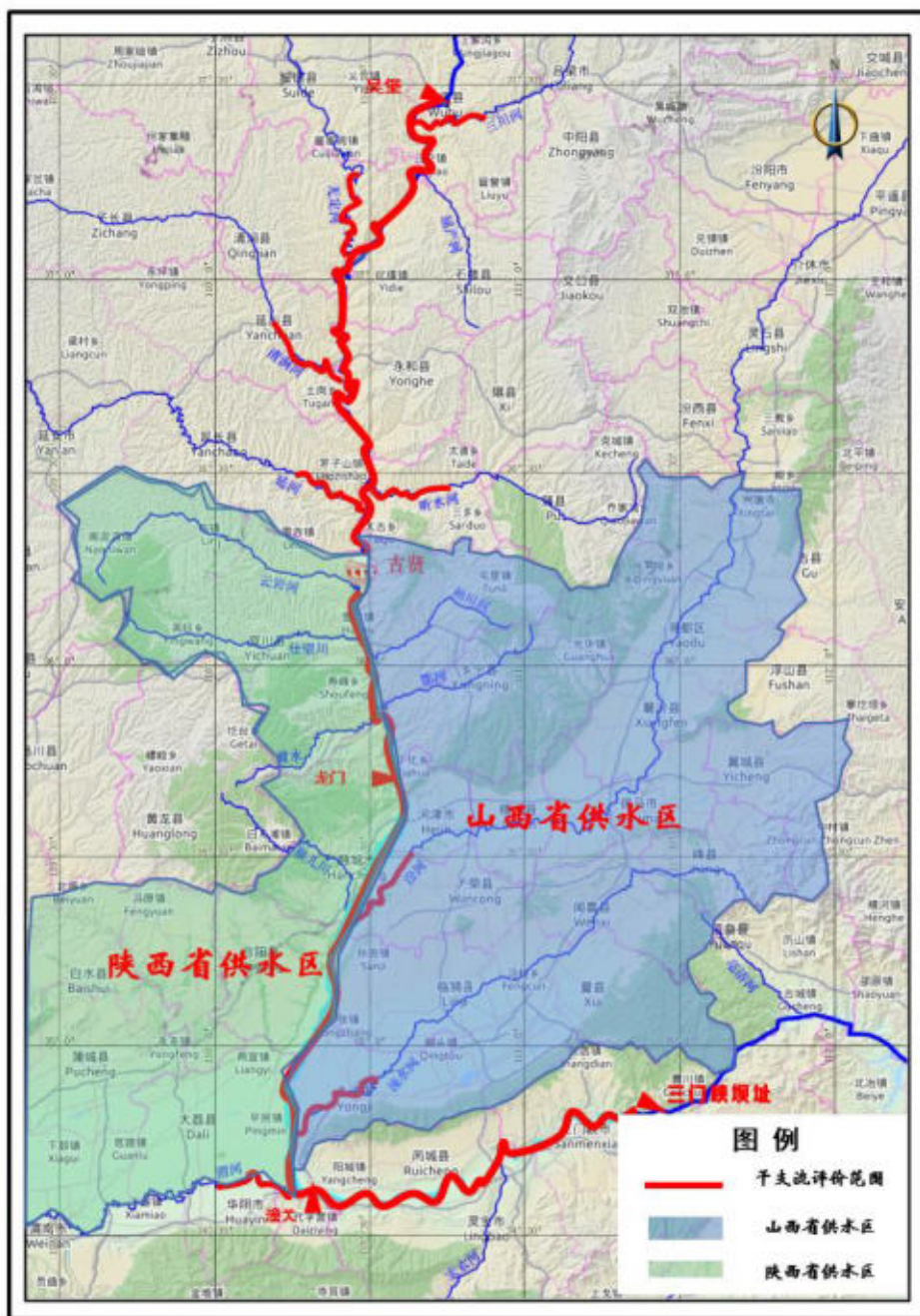


图 1.8.2-3 地表水环境评价范围示意图

1.8.2.2 地下水环境评价范围

根据项目区域水文地质单元以及地下水环境敏感保护目标分布等情况，本次地下水评价范围为：

- (1) 库区：坝址至库尾，工程正常蓄水淹没范围外扩 3km，总面积约为 1546km²；
- (2) 坝址区：大坝建设区域、施工道路与皮带机线路进场隧洞区域等，南部边界以河流沟谷为界、东部边界与北部以地表水分水岭为界、西部边界以黄河为界，总面积

约为 307km²;

(3) 坝址下游区: ①料场区, 以其所在完整流域范围为界, 面积约为 15km²; ②下游黄河禹潼河段河道外扩 3km, 涵盖了沿岸湿地自然保护区、地下水集中式水源地等敏感保护目标, 总面积约为 2000km²。

地下水环境评价范围为:

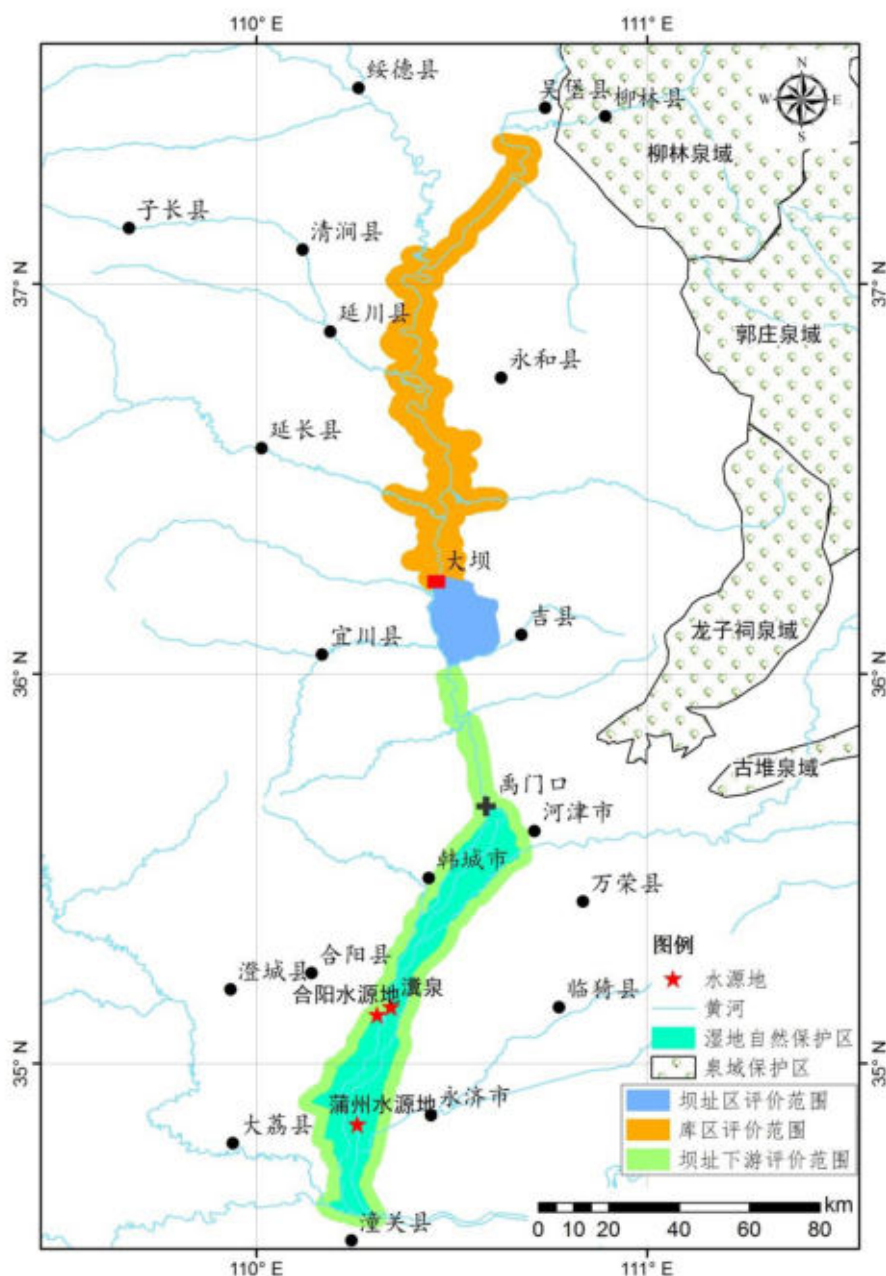


图 1.8.2-4 地下水环境评价范围示意图

1.8.2.3 生态环境评价范围

1. 陆生生态

(1) 施工期

坝址区：大坝及附近施工占地区外扩 500m，总面积 32.56km²。

料场区：西磴口骨料厂施工活动影响区及其周边 1km 范围。

皮带机线路区：进场道路、皮带机骨料输送线路沿线及其周边 1km 范围内。

(2) 运行期

库区及周边区域：水库正常蓄水位时库尾至坝址之间长约 202.1km 黄河两岸一级分水岭为界的集水区域，总面积 960.40km²。

工程建设区：主体工程区、永久办公生活区、交通道路区及移民安置区等永久占地区，总面积 7.96km²。

坝址下游区：坝址下游 20km 河段黄河两岸一级分水岭为界的集水区域。

其中，运行期重点分析区域为库区。

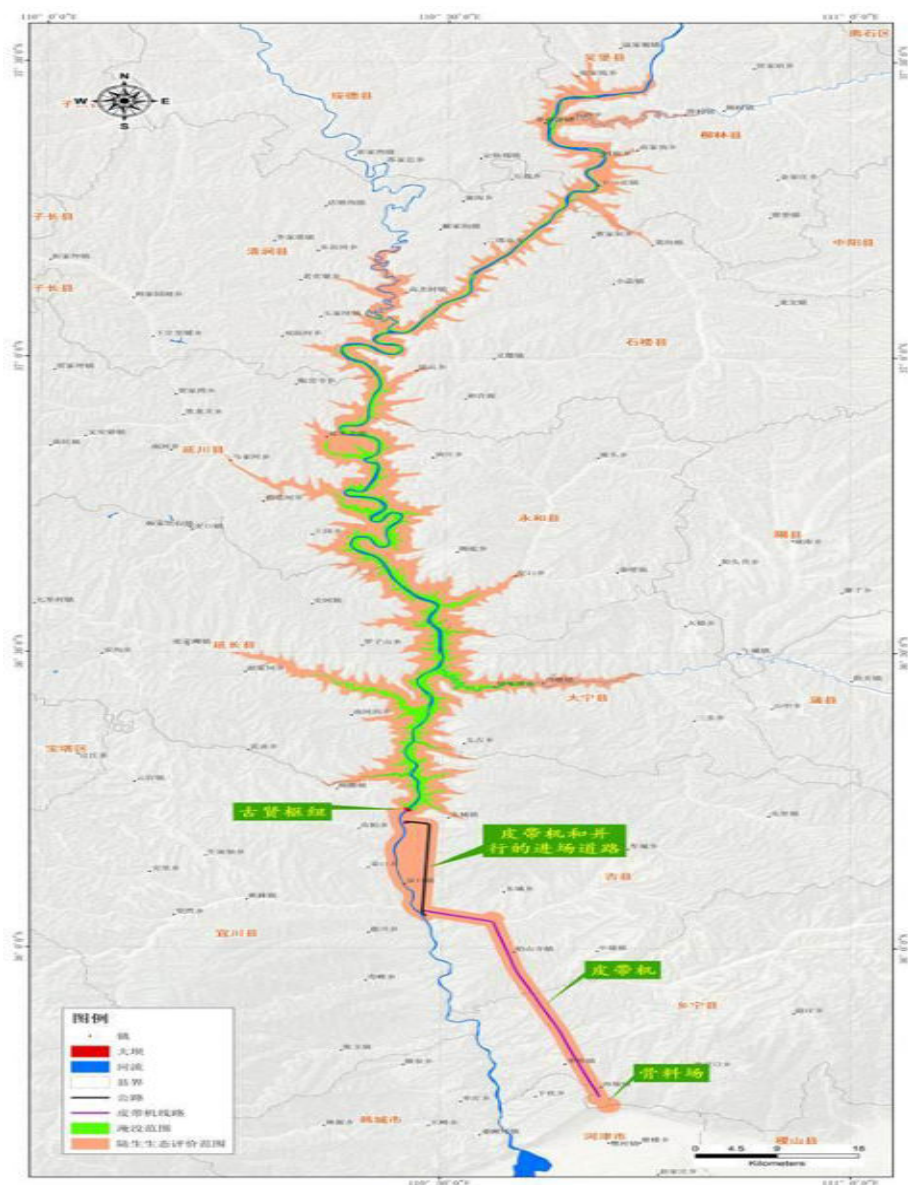


图 1.8.2-5 陆生生态评价范围示意图

2. 水生生态

水生生态评价范围为黄河头道拐至三门峡河段，河段长度约 963.5km，重点为吴堡至潼关河段。考虑到壶口瀑布为鱼类天然阻隔节点，可具体划分为头道拐至壶口河段、壶口至三门峡河段。其中：壶口以上河段包括万家寨水库段、天桥梯级段、碛口段、古贤段及支流无定河；壶口以下河段有禹门口至潼关河段、潼关至三门峡库尾、三门峡库区河段以及支流渭河、汾河等。



图 1.8.2-6 水生生态评价范围示意图

3. 湿地

评价范围：坝址下游至河口河段的河漫滩湿地和河口三角洲湿地。重点为：小北干流湿地、黄河下游河漫滩湿地和三角洲自然保护区内湿地。

(1) 小北干流（禹门口至潼关河段）湿地：位于古贤坝址下游 72km 处，为河漫滩湿地，河段长度 132.5km，重点评价范围为该河段控导工程范围内的天然湿地。

(2) 黄河下游河漫滩湿地：位于古贤坝址下游 574km，主要为西霞院到高村河段黄河干流两侧的河漫滩湿地，涉及的黄河干流河段长度 297km。

(3) 黄河三角洲湿地自然保护区：位于黄河河口三角洲，重点评价范围为黄河现行流路两侧的天然湿地。



图 1.8.2-7 湿地评价范围示意图

1.8.2.4 环境空气

结合工程施工特点，古贤水利枢纽工程环境空气评价范围为施工封闭区中心周边 500m，施工道路中心线外两侧 200m；料场、渣场施工区环境空气评价范围为料场、弃渣场以及大坝砂石加工系统周边 500m，皮带机骨料输送线路中心线外两侧 200m。

1.8.2.5 声环境

声环境评价范围为：大坝主体工程施工区、渣场和土石料场施工区、进场道路隧洞进出口、皮带机骨料输送线路周边 200m 范围内；鉴于爆破噪声和振动影响较大，且坝址区和料场区 2km 范围内均有村庄分布，故将爆破噪声和振动影响评价范围扩大到爆

破区域周边 2km 范围内。

1.8.2.6 移民安置评价范围

古贤水利枢纽工程移民安置区涉及陕西省的宜川、延长、延川、清涧、绥德、吴堡和山西省的柳林、石楼、永和、大宁、吉县等 11 县 31 个乡镇。本次工程移民安置环境影响评价范围为淹没影响区和移民安置区，主要包括移民生产安置、生活安置、专业项目复建等区域，重点评价范围为移民安置区的 29 个集中安置点。

1.9 环境保护目标

1.9.1 环境功能保护目标

根据工程所在区域的环境现状、环境功能要求和环境敏感点分布，以及工程施工、运行的影响特点，确定工程建设的主要环境功能保护目标：

1. 协调水沙关系，减轻黄河下游河道淤积抬升，维持黄河长治久安

黄河下游两岸人口密集，城市众多，社会经济发达，生态环境稳定。黄河洪水决溢将会对黄淮海平原经济社会和区域生态环境造成毁灭性的破坏，且长期难以恢复。古贤水利枢纽工程是黄河水沙调控体系的重要组成部分，主要功能为协调水沙关系，减轻黄河下游河道淤积，改善河道的行洪输沙功能，保障黄河中下游的防洪安全。工程的建设应紧紧围绕此目标，为保障黄河下游防洪安全、黄河长治久安发挥重要作用。

2. 维护区域陆生生态系统完整性、稳定性，促进区域生态功能的正常发挥

古贤水利枢纽库区及坝址下游区域是黄土高原水土保持重要区的组成部分，该区域植被覆盖率低、水土流失严重。根据全国主体功能区划、生态功能区划，该区域主要生态功能为水土保持，主要的保护方向为：加大退化生态系统恢复与重建的力度；有效实施坡耕地退耕还林还草措施；控制新的人为水土流失等。古贤水利枢纽工程建设和运行应有利于增加区域植被覆盖度、改善当地生态环境，维护区域陆生生态系统完整性、稳定性，促进区域水土保持生态功能的正常发挥。

3. 保障河段生态环境需水，维持河道生态廊道功能和水生生态系统的稳定，小北干流湿地规模、结构和功能不发生较大改变

古贤水利枢纽工程所在的黄河北干流河段为黄河最长的激流峡谷河段，下游的小北干流为游荡性宽浅河段，壶口瀑布在该河段形成了天然阻隔。该河段鱼类主要为常见种，

分布多处鱼类栖息地；小北干流分布有河漫滩湿地，是中游生态系统的重要组成部分。古贤水利枢纽的建设和运行应保障该河段鱼类重要栖息地不遭到严重破坏，河段生态需水、水环境需水、湿地需水、景观需水等得到满足，维持河道生态廊道功能和水生生态系统的稳定，小北干流湿地规模、结构和功能不发生较大改变。

4. 优化水资源调度，有利于黄河下游湿地、河口湿地的生态修复

与小浪底水库进行联合运用，优化水资源调度过程，塑造有利于黄河下游及河口地区生态系统修复的流量过程，维持黄河下游河道的生态廊道功能，为黄河下游、河口三角洲生物多样性的提高和生态系统的良性维持提供水资源支撑。

5. 保护壶口瀑布景观及地质遗迹等敏感目标，实现景观功能的最大保护

黄河壶口瀑布位于古贤水利枢纽下游 10.1km 处，壶口瀑布的形态、颜色与该河段流量、含沙量密切相关。在水库拟定功能目标实现的同时，通过优化古贤水利枢纽水量调度方案、有效的水库排沙措施、工程施工方案的优化设计等，最大程度减轻或规避对壶口瀑布景观及地质遗迹的影响。

6. 在满足水库功能目标的前提下，最大程度减缓对地质公园淹没影响

黄河蛇曲国家地质公园位于古贤坝址上游 50km 处，陕西省清涧无定河曲流群地质公园位于古贤坝址上游 120km 处，主要核心景观均为河流蛇曲地貌，在水库拟定功能目标实现的前提下，水库蓄水对地质公园的淹没影响不可避免，水库蓄水后也将形成新的景观。水库蓄水前，加强黄河蛇曲的深度科学研究及规划工作，从科学研究价值角度将淹没损失降到最低。

7. 保护库区和坝下河段水质，促进各河段水功能区水质目标的实现

维护河段地表水环境功能。施工期产生的废污水处理后全部回用不外排，工程所在河段水质不因工程建设而下降。工程运行期，采取一定措施保障库区和坝下河段水质安全，促进库区及坝下水功能区水质目标的实现。

维持该区域地下水水位及水质不因本工程建设发生较大改变。

8. 保护施工期环境并满足相关功能区划的要求

工程施工期间，施工区大气、声环境满足功能区划的要求。

1.9.2 环境敏感保护目标

1. 生态敏感区

经调查，古贤水利枢纽工程评价区内涉及生态敏感保护目标有 8 个，其中直接影响的敏感保护目标有 5 个，间接影响的敏感保护目标 3 个。

(1) 直接影响的敏感区

① 风景名胜区 2 个：黄河壶口瀑布风景名胜区（国家级）、黄河乾坤湾风景名胜区（省级）；

② 地质公园 3 个：山西永和黄河蛇曲国家地质公园（国家级）、陕西延川黄河蛇曲国家地质公园（国家级）、陕西省清涧无定河曲流群地质公园（省级）。

(2) 间接影响的敏感区

① 地质公园 1 个：黄河壶口瀑布国家地质公园；

② 自然保护区 2 个：山西省运城湿地自然保护区、陕西省黄河湿地自然保护区，均为省级自然保护区。

各环境敏感保护目标基本情况见表 1.9.2-1，工程与主要环境敏感点相对位置关系参见图 1.9.2-1。

2. 鱼类重要生境

根据调查，评价河段分布的鱼类产卵场如表 1.9.2-2 所示。

表 1.9.2-1 古贤水利枢纽主要环境敏感保护目标

序号	敏感保护目标	地理位置	级别	类别	保护对象	区位关系	影响性质
一	风景名胜区						
1	黄河壶口瀑布风景名胜	山西省吉县、 陕西省宜川县	国家级	瀑布型	以壶口瀑布为核心的人文、地理、历史景观及自然地质景观	1、山西侧景区：大坝距离景区北部边界3km，施工进场道路和皮带机骨料输送线路穿越景区二、三级保护区，穿越长度10.957km、11.042km； 2、陕西侧景区：工程拟建的黄河大桥、2#、6#进场道路穿越三级保护区，穿越长度为3.536km。	直接影响
2	黄河乾坤湾风景名胜	山西省永和县	省级	地质景观	蛇曲群地质遗迹、红军东征历史遗址遗迹、永和关村等传统村落及古民居、望海寺古墓建筑等自然人文资源。	坝址上游约50km，景区内无工程和施工布置，主要为淹没影响	淹没影响
二	地质公园						
3	黄河壶口瀑布国家地质公园	山西省吉县、 陕西省宜川县	国家级	地质遗迹	壶口瀑布、十里龙槽、孟门岛、黄河河谷侵蚀地段、河流多级阶地地质遗迹、黄土地貌	公园内无工程和施工布置	间接影响
4	山西永和黄河蛇曲国家地质公园	山西永和县	国家级	地质遗迹	黄河蛇曲地质遗迹景观和地貌景观为主	坝址上游约50km，公园内无工程和施工布置，主要为淹没影响	淹没影响
5	陕西延川黄河蛇曲国家地质公园	陕西延川县	国家级	地质遗迹	黄河蛇曲地质遗迹景观和地貌景观为主	坝址上游约50km，公园内无工程和施工布置，主要为淹没影响	淹没影响
6	陕西省清涧无定河曲流群地质公园	陕西省清涧县	省级	地质遗迹	以无定河曲流群地貌景观为主的河流地貌	坝址上游约120km，公园内无工程和施工布置，主要为淹没影响	淹没影响
三	自然保护区						
7	山西省运城湿地自然保护区	山西省运城	省级	河流湿地	河流湿地生态系统，鸟类栖息地	坝址下游约72km，无工程占压	间接影响
8	陕西省黄河湿地自然保护区	陕西省渭南市	省级	河流湿地	河流湿地生态系统，鸟类栖息地	坝址下游约72km，无工程占压	间接影响

图 1.9.2-1 古贤水利枢纽工程敏感区分布示意图



表 1.9.2-2 古贤水利枢纽工程鱼类产卵场分布情况

所在河段		产卵场位置	产卵类型	生境基本情况	与工程位置关系
大北干流河段	万家寨	万家寨库尾约 10km 河段	产沉粘性卵	流水生境逐渐进入库区静水环境，泥沙淤积，形成较大面积漫滩、河湾，底质以泥沙为主，适宜鱼类繁殖以及仔幼鱼索饵	距坝址约 622km
		万家寨坝下	产沉粘性卵	受万家寨水库调节运行影响，水位变动频繁，且河道受到较大冲刷，河床底质以砾石、泥沙为主，两岸漫滩生境变动频繁	距坝址约 550km
		龙口坝下	产沉粘性卵	多砾石浅滩或河心洲，河床底质以砾石为主，水流变动主要受到万家寨、龙口电站泄水影响，两岸漫滩生境相对较多，植被丰茂，水体较为清澈	距坝址上游约 520km
	库尾（吴堡）以上河段	天桥坝下	产沉粘性卵	少量砾石浅滩或河心洲，河床底质以砾石为主，水流变动主要受上游万家寨水库影响，两岸漫滩生境相对较多	距坝址约 460km
		万镇河段 2km	产漂流性卵	河道水流相对较急，沿岸漫滩较少，水深相对较大，河床底质以泥沙为主，伴有少量砾石，水体较为浑浊	距坝址约 330km
		八堡乡河段 8km	产漂流性卵		距坝址约 280km
		佳县-木头峪镇河段 6km	产漂流性卵		距坝址约 270km
		虢镇河段 7km	产漂流性卵		距坝址约 240km
		罗峪镇河段 4km	产漂流性卵	水流散乱，形成众多河网、漫滩、回水湾，河心洲密布。靠近山西侧水流相对较缓，水深较浅，近岸区域形成漫滩湿生生境，并有一定量的湿生植被分布，河床底质为泥沙	距坝址以上约 250km
	库区（坝址以上）	无定河入黄河口	产沉粘性卵	水流变缓，漫滩较多，形成多个回水湾，河床底质为砾石、泥沙	距坝址约 130km
		延川清涧河入黄河口河段	产漂流性卵	水浅，河道水流相对较急，沿岸漫滩较少，河床底质为泥沙，位于古贤库区	距坝址约 70km
坝下河段	坝址至潼关河段	禹门口上下游河段 7km	产漂流性卵	两岸山体陡峭，河道水流相对较急，沿岸漫滩较少，河床底质为泥沙，水体浑浊，水体含沙量很大，回水湾较多	距坝址约 70km
		韩城市芝川河段 8km	产漂流性卵	水流相对较缓，泥沙底质，多缓流生境，散流、沙滩、湿地基本分布在黄河左侧，湿地面积较大，湿地湿生植被以芦苇、蒲草等为主	距坝址约 100km
		峪口控导至榆林控导约 30km 河段	产沉粘性卵	淤积游荡型河道，河道宽浅，水流散乱，主流游荡不定，分布有不连续漫滩，水生、湿生植物丰茂	距坝址约 96km
		榆林控导河段 2km	产漂流性卵	水流相对较缓，泥沙底质，多缓流生境，散流、沙滩、湿地基本分布在黄河左侧，湿地面积较大，湿地湿生植被以芦苇、蒲草等为主	距坝址约 117km
		申都控导至华原控导约 30km 河段	产沉粘性卵	生境条件与峪口控导至榆林控导较为一致，大面积的漫滩、散乱流，河滩分布大量湿生植被，形成大面积的芦苇、蒲草群落结构	距坝址约 158km
		潼关黄河大拐弯约 15km 河段	产沉粘性卵	大面积散流漫滩及河心洲，湿生植被繁茂，形成鱼类良好的栖息繁殖生境	距坝址约 208km
	潼三河段	潼关至三门峡河段（风陵渡黄河公路大桥至礼教控导约 30km 河段	产沉粘性卵	河道明显收窄，水流受到阻隔形成众多河湾及漫滩湿地生境，滩地范围内湿生植被较为繁茂，其规模明显较小北干流河段小	距坝址约 220km
		圣天湖至三门峡库尾约 20km 河段	产沉粘性卵	较大面积浅水湖泊生境，处于流水入静水生境的交汇河段，受三门峡库区水位变动影响，该河段处于动态变化过程，浅缓水生境形成了鱼类产卵繁殖的重要生境	距坝址约 278km

3. 水环境敏感点

(1) 三门峡水库地表水饮用水源地保护区

坝址下游有三门峡水库地表水饮用水源地保护区，一级保护区上游边界在古贤坝址下游 286km，二级保护区上游边界在古贤坝址下游 284km。

(2) 山西运城市蒲州地下水水源地

坝址下游 170km 处分布有 1 处地下水水源地，为山西运城市蒲州地下水水源地，位于永济市西部蒲州老城至韩阳一带的黄河一级阶地上，西临黄河，东靠栲栳垣与中条山山前洪积扇，呈北东～南西条带状分布，水源地长 7.6km，平均宽大约 6.3km，面积 47.88km²。工程不占压该水源地，该水源地浅层水受到黄河地表水的入渗补给，形成了地下水的贮水地带，地下水丰富，水源地现状开采层为浅层地下水。

(3) 河津市西磴乡镇集中供水水源保护区

西磴口料场距离古贤坝址直线距离约 60km，料场所处区域设有河津市西磴乡镇集中供水水源保护区，供水水源保护区共有 5 口取水井，划有一级保护区、二级保护区、准保护区。本次料场开采涉及二级保护区。

(4) 库区及下游河段取水口分布情况

根据现状调查，古贤库区及坝址～三门峡坝址区间有取水口 21 处，主要分布在坝址～三门峡河段，其中农业取水口 17 处，工业取水口 4 处，生活取水口 4 处，年取水总量约 10.86 亿 m³。评价区域内黄河干流引水口情况见表 1.9.2-3。

表 1.9.2-3 评价区内引水口分布情况 单位：万 m³

序号	取水工程名称	取水口位置	批准年取水量	取水用途
1	禹门口黄河提水工程	禹门口铁路桥上游 20 米黄河左岸	18500	工业、农业
2	北赵扬水站	山西省临猗县孙吉镇北赵村扬水站	2600	农业
3	元上扬水站	山西临猗县角杯乡西张吴村元上扬水站	2400	农业
4	杨范扬水站	山西省临猗县角杯乡杨范村扬水站	2200	农业
5	夹马口一级泵站	山西省临猗县东张吴乡吴王村	18000	农业
6	临猗县防氟供水工程	临猗县角杯乡吴王村西黄河（吴王、姚卓）滩	246	生活
7	尊村引黄一级站	山西省永济市张营镇尊村引黄一级站	18923	农业、工业、生活
8	风陵渡扬水站	山西省芮城县风陵渡镇凤凰咀	1000	农业
9	古贤扬水工程	芮城县风陵渡镇	360	农业
10	新兴扬水工程	山西省芮城县永乐镇新兴扬水工程	300	农业
11	大禹渡扬水工程	山西省芮城县大禹渡扬水工程	3000	农业
12	马崖扬水工程	山西省芮城县陌南镇马崖扬水工程	600	农业
13	常乐坦扬水工程	山西省平陆县常乐镇常乐坦扬水工程	360	农业
14	平陆部官扬水工程	山西省平陆县盘南村平陆部官扬水工程	600	农业
15	禹门口抽黄提灌站	禹门口黄河大桥上游 300m	200	农业

序号	取水工程名称	取水口位置	批准年取水量	取水用途
16	韩城二电厂取水工程	陕西省韩城市黄河右岸下峪口滩区	1800	工业、生活
17	东雷抽黄工程	陕西省合阳县东雷塬下东雷抽黄工程	13000	农业
18	东雷抽黄续建工程	陕西省合阳县太里湾黄淤 56-57#之间	20000	农业
19	港口抽黄灌溉工程	陕西省潼关县港口镇铁路桥东 200 米	1800	农业
20	第三水厂一级站	河南三门峡平陆黄河桥下游右岸 100 米	2400	生活
21	惠能热电取水井群	河南陕县官庄至城村黄河滩惠能取水井群	312	工业

4. 大气、声环境敏感点

根据现场查勘情况及施工总布置，大气、声环境敏感点共 8 个，主要为：皮带机线路 2#渣场附近的东庄小学，进场道路沿线隧洞出入口附近的侯家原村、中市村和南原村，坝址区附近的古贤村，料场区附近的西磴口村、赵家圪垛、张家岭村。评价区内大气、声环境敏感点与工程相对位置关系见表 1.9.2-4。

表 1.9.2-4 评价区内大气、声环境敏感点

敏感点	基本情况	涉及工程	与工程的关系
东庄小学	/	皮带机线路	皮带机线路 12#渣场北侧 80m
侯家原村、中市村和南原村	10 余户，房屋以 2 层为主，南北朝向。	进场道路及皮带机线路并线段	侯家原村位于 10#隧洞入口东北侧约 800m、中市村位于 9#隧洞入口西北侧约 800m、南原村位于 7#隧洞入口西北侧 1km 处
古贤村	200 余户居民，房屋以 2 层为主，南北朝向。	坝址区	坝址区东侧 2000m
西磴口村、赵家圪垛、张家岭村	500 余户居民，房屋以 2 层为主，南北朝向。	料场区	西磴口料场周边 2000m

1.10 重点评价内容

1. 水文泥沙情势

重点分析工程建设和运行引起的库区和坝下-河口河段主要控制断面水文过程、泥沙情势的变化，主要包括：（1）施工期、蓄水初期和运行期（拦沙初期、拦沙后期、正常运用期）库区河段水位、流速、水面面积、泥沙淤积等要素水文泥沙情势变化；（2）蓄水初期和不同运行期坝址至三门峡河段龙门、潼关断面径流量、流量、水位、流速、河道冲淤变化及平滩流量变化情况；（3）不同运行期黄河下游花园口、高村、利津重要断面河道冲淤、平滩流量等的变化；（4）生态流量的确定，现状及工程施工期、蓄水初期和运行期满足程度分析。

2. 水环境

（1）水温

对不同运行期各典型年库区、坝下沿程水温变化进行预测分析，重点包括：①库区

水温结构判断，古贤库区模型的建立和验证；②运行期丰、平、枯水典型年库区、坝前水温结构预测；③各典型年坝下重要断面下泄水温沿程逐月变化预测分析；④分层取水措施论证等。

（2）地表水环境

分析评价工程建设运行对库区、坝址区地表水环境产生的影响，提出地表水环境保护减缓措施。重点包括：①评价河段地表水质现状调查与评价，污染源现状调查；②地表水环境影响预测情景模式设计，库区水质预测模型构建、参数率定和验证；③不同运行期典型年库区水质、富营养化影响预测；④坝址~三门峡河段水质预测模型构建、参数率定和验证，不同典型年坝址~三门峡河段水质预测；⑤提出库区及坝址下游河段水环境保护措施。

（3）地下水环境

评价工程建设运行对库区、坝址区、坝下区域地下水环境产生的影响，提出地下水保护减缓措施。重点包括：①库区及枢纽区地下水环境现状调查与评价；②施工期、不同运行期地下水影响预测，重点是施工期导流洞、大坝、进场道路、皮带机骨料输送线路隧道开挖对区域地下水水位影响及分析；③小北干流及下游河道下切后两侧区域地下水水位变化等；④提出相应的保护措施。

3. 陆生生态

分析工程建设和运行对库区及坝下区域陆生生态环境、自然保护区的影响，优化工程布置方案，论证提出陆生生态环境保护对策与措施。重点包括：（1）库区、坝址及下游区域的生态环境现状调查与评价；（2）工程建设和运行对库区、坝址及下游区域等区域的土地利用、景观格局、陆生动植物、生物多样性、生态系统完整性等的预测评价；（3）工程建设对生态敏感区的影响；（4）根据工程施工运行特点，论证提出分区、分时段的陆生生态环境保护措施。

4. 水生生态

明确评价区河段水生生态环境要素现状、水生生物及鱼类组成、重要鱼类生态习性及其生境，研究工程建设和运行对水生生物、鱼类及其重要生境等的影响，提出减缓不利影响的对策措施。重点包括：（1）开展水生生物及鱼类基础调查，明确评价区河段水生生物、鱼类、重要生境现状，分析评价区河段水生生态存在的主要问题；（2）根据库区、坝址-三门峡河段河道边界条件的改变，分析预测工程施工期、运行期对水生生物

及鱼类、产卵场、水产种质资源保护区等的影响；(3)综合论证提出水生生态保护措施。

5. 小北干流湿地

预测、评估工程运用对小北干流湿地规模、结构和功能等影响，论证提出工程优化运行方式、减缓湿地不利影响的主要措施。重点包括：(1)调查小北干流河段湿地结构格局、面积变化及原因，分析小北干流河段湿地生态系统的形成、特征、结构和功能、与黄河的水力联系；(2)分析工程对河段水文过程、河道形态的影响，预测分析工程运用及调控对小北干流湿地规模、结构、功能的影响；(3)调查小北干流河段分布的重点保护鸟类种类、栖息生境现状，结合湿地影响相关结果，对工程运行后鸟类栖息生境的变化开展鸟类影响分析；(4)提出小北干流湿地保护要求、补水工程措施和其他非工程措施。

6. 地质公园

从地质遗迹保护与公园发展的角度出发，科学、客观地评价古贤工程对地质公园内地质遗迹可能产生的影响，提出保护及补偿对策方案。重点包括：(1)开展地质公园重要地质遗迹调查工作；(2)分析工程不同运行期对地质公园的淹没影响范围和程度；(3)从重要地质遗迹的科学研究价值、景观生态价值、旅游价值等方面开展水库淹没前后地质遗迹影响评估；(4)针对重要地质遗迹、人文景观的景观价值及资源特点，提出相应的保护措施。

7. 壶口瀑布景观

深入论证古贤水利工程建设和运行对壶口瀑布核心景观的影响，提出壶口景观保护目标和相应的对策措施。重点包括：(1)对壶口景观特点及自然、人文价值进行调查评价，分析壶口瀑布景观目前存在的主要问题；(2)建立壶口瀑布景观形态、颜色与流量、含沙量的响应关系，分析冰瀑形成机理和形成条件；(3)分析古贤水利枢纽工程不同典型年拦沙初期、拦沙后期、正常运用期壶口流量、含沙量、水温的变化，研究不同运行方案对壶口瀑布形态多样性、颜色多样性、声音气势、造瀑面及冰瀑独特景观的影响；(4)提出相应的水库优化调度、水库排沙、分层取水、管理、监测、科学研究等措施。

8. 施工期影响

评价工程施工对区域地表水环境、大气环境、声环境等影响及固废处置的影响等，提出相应的对策措施，减缓工程施工对区域的环境影响。重点包括：调查工程涉及区域各环境要素现状情况，结合工程特点、施工布置、施工方式、工艺及方法等，客观科学

地预测和评价工程施工对区域地表水环境、大气环境、声环境及壶口瀑布风景名胜区可能产生的环境影响，提出减缓不利影响的对策和措施。

9. 移民安置影响

对工程移民安置方案环境合理性进行分析，对工程移民生产安置、生活安置、集镇迁建、专业项目复建过程中产生的环境影响进行预测分析，并提出相应的环境保护措施。重点包括：移民安置方案的环境可行性和合理性；移民生产安置和生活安置的环境影响分析；移民安置施工期和运行期的环保措施；移民生活环境的保障措施等。

1.11 评价方法

(1) 采用资料收集、现场调查与监测、遥感解译、GIS 空间分析、GPS 野外精确定位及植物样方调查、鱼类实地捕捞等方法。

(2) 壶口瀑布采用历史资料收集和景观现状观测方法，收集 1934 年~2020 年共 87 年的水文泥沙资料，2015 年 6 月~2016 年 9 月共观测 15 个月 448 天，每天两次。景观影响预测采用仿壶口冰瀑模型实验、定量分析等方法。

(3) 地质公园影响评价主要采取 GIS 与 3D 可视化技术、VR 技术(虚拟现实技术)、无人机遥感技术等技术手段。

(4) 环境要素影响预测主要采用类比分析、数值模拟、经验公式计算等方法，其中：水温、地表水环境预测采用立面二维模型（库区）、一维（坝址下游河段）模型进行，地下水环境预测采用数值模型法进行，湿地影响主要采用类比分析、机理分析法、经验分析法等。

(6) 对管理部门座谈走访、专家咨询法。

1.12 评价程序

本工程环境影响评价程序见图 1.12-1。

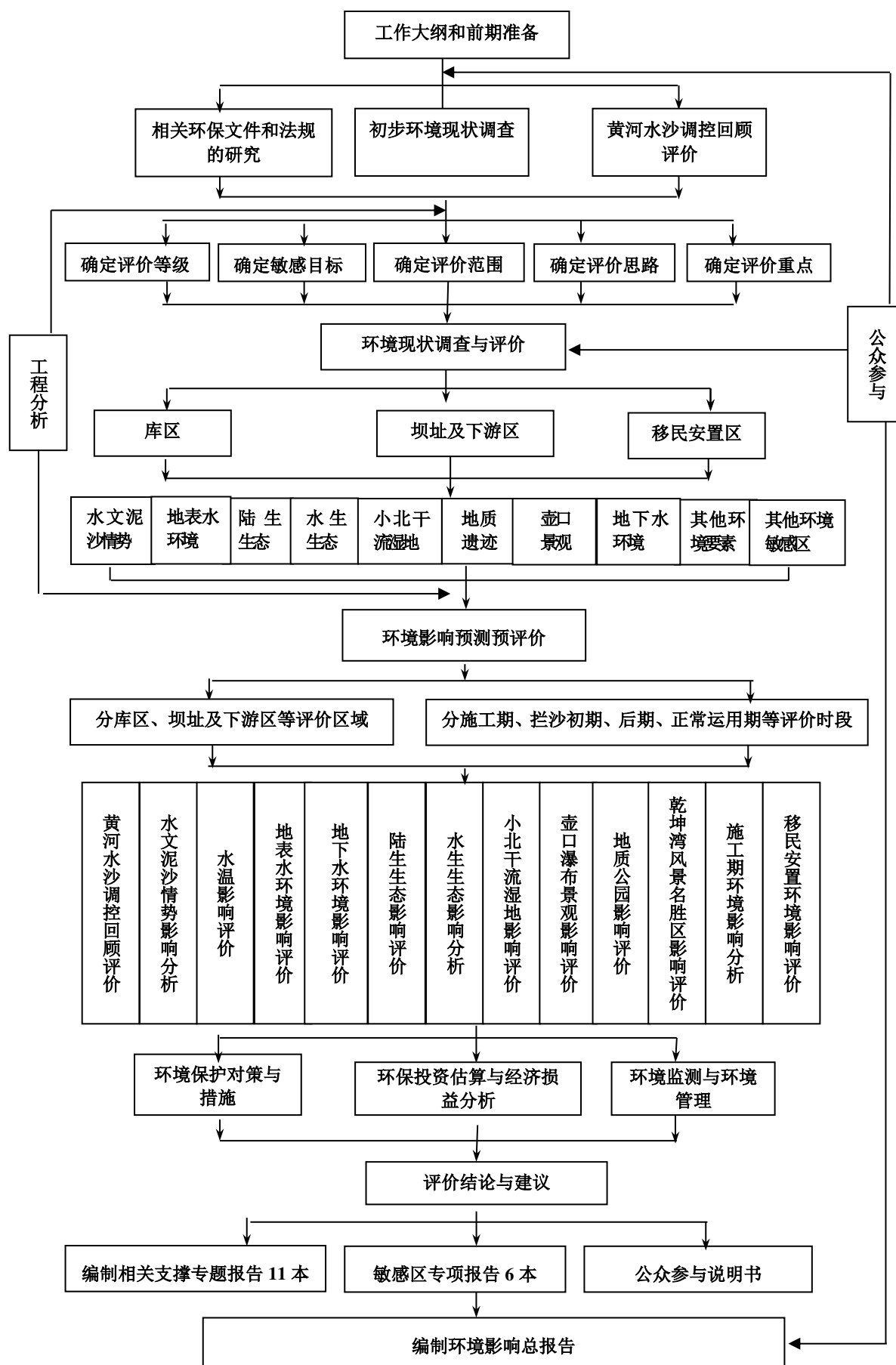


图 1.12-1 环评工作程序

第二章 流域与区域概况

2.1 流域概况

2.1.1 河段概况

黄河发源于青藏高原巴颜喀拉山北麓约古宗列盆地，流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东等九省（区），在山东省垦利县注入渤海，干流河道全长 5464km，流域面积 79.5 万 km²（包括内流区 4.2 万 km²）。

黄河流域概图见图 2.1.1-1。

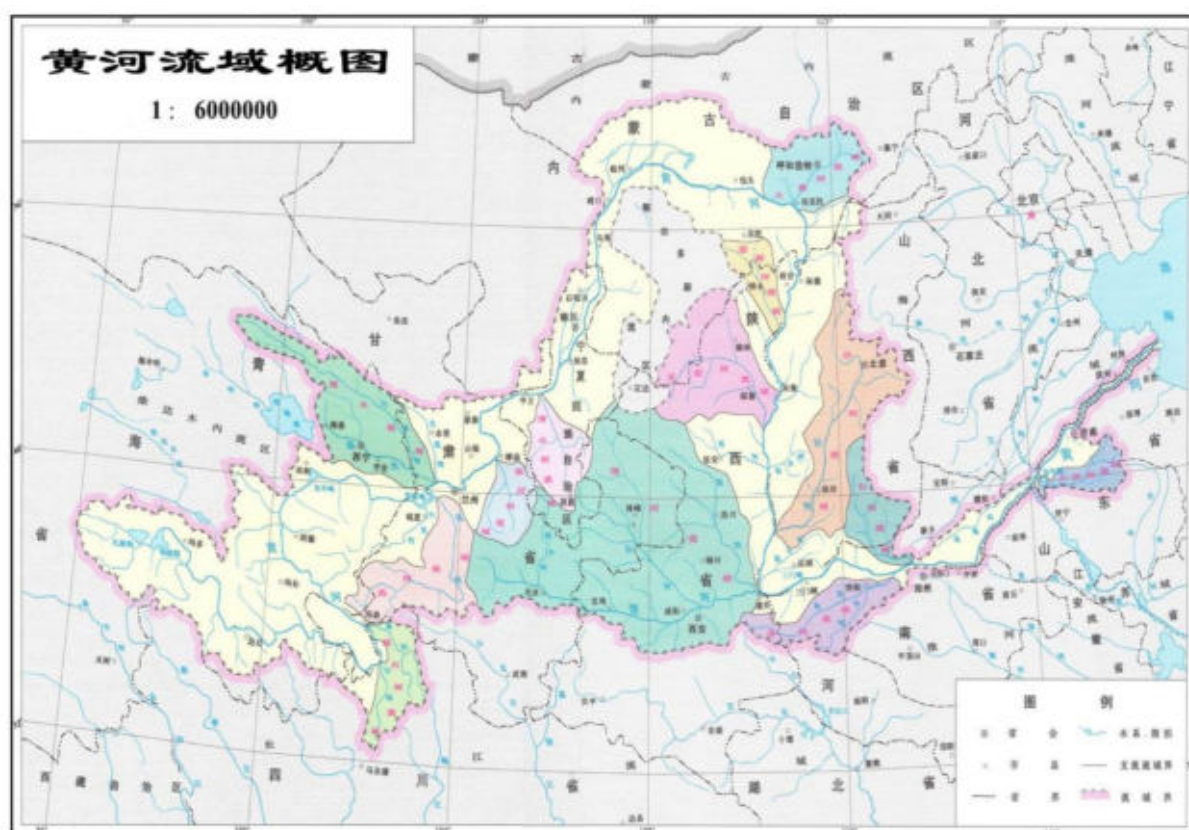


图 2.1.1-1 黄河流域概图

内蒙古自治区托克托县河口镇以上为黄河上游，干流河道长 3472km，流域面积 42.82 万 km²。龙羊峡以上河段是黄河的主要水源涵养区，也是我国三江源自然保护区的重要组成部分。兰州以上河段是黄河径流的主要来源区。

河口镇至桃花峪为黄河中游，干流河道长 1206km，流域面积 34.38 万 km²。河段

内绝大部分支流流经黄土高原，暴雨集中，水土流失十分严重，是黄河洪水和泥沙的主要来源区。其中河口镇至禹门口段（也称北干流）是黄河干流上最长的一段连续峡谷，水力资源丰富，峡谷下段有著名的壶口瀑布，深槽宽仅 30m~50m，枯水水面落差约 18m，气势宏伟壮观。禹门口至潼关河段（也称小北干流），黄河流经汾渭地堑，河谷展宽，河长约 130km，河道宽浅散乱，冲淤变化剧烈，河段内有汾河、渭河两大支流相继汇入。潼关至小浪底河段，河长约 245km，是黄河干流的最后一段峡谷；小浪底以下河谷逐渐展宽，是黄河由山区进入平原的过渡河段。

桃花峪以下为黄河下游，干流河道长 786km，流域面积 2.27 万 km²。河道高悬于两岸，逐渐发展为举世闻名的“地上悬河”，河床高出大堤背河地面 4m~6m，比两岸平原高出更多。该区分布有郑州、济南、开封、新乡、濮阳、聊城、菏泽、东营、滨州等众多重要城市，是我国经济发展重要区域。下游一旦决口，将造成巨大经济损失和人民群众大量伤亡，同时大量的铁路、公路及生产生活设施，以及治淮、治海工程、引黄灌排渠系等遭受毁灭性破坏，泥沙淤积造成河渠淤塞、良田沙化，对经济社会和生态环境造成的灾难影响长期难以恢复。黄河下游的悬河之势严重威胁着黄淮海平原的安全，是黄河治理和防洪安全最重要的河段。

2.1.2 流域自然地理条件

2.1.2.1 地形地貌

黄河流域位于东经 95°53'~119°05'，北纬 32°10'~41°50'之间，西起巴颜喀拉山，东临渤海，北抵阴山，南达秦岭，横跨青藏高原、内蒙古高原、黄土高原和华北平原等四个地貌单元，地势西部高，东部低，由西向东逐级下降，地形上大致可分为三级阶梯。

第一级阶梯是流域西部的青藏高原，海拔 3000m 以上，其南部的巴颜喀拉山脉构成与长江的分水岭。祁连山横亘北缘，形成青藏高原与内蒙古高原的分界。东部边缘北起祁连山东端，向南经临夏、临潭沿洮河，经岷县直达岷山。主峰高达 6282m 的阿尼玛卿山，耸立中部，是黄河流域最高点，山顶终年积雪。呈西北—东南方向分布的积石山与岷山相抵，使黄河绕流而行，形成 S 形大弯道。

第二级阶梯大致以太行山为东界，海拔 1000~2000m，包含河套平原、鄂尔多斯高原、黄土高原和汾渭盆地等较大的地貌单元。许多复杂的气象、水文、泥沙现象多出现

在这一地带。

第三级阶梯从太行山脉以东至渤海，由黄河下游冲积平原和鲁中南山地丘陵组成。冲积扇的顶部位于沁河口一带，海拔 100m 左右。鲁中南山地丘陵由泰山、鲁山和蒙山组成，一般海拔 200~500m 之间，丘陵浑圆，河谷宽广，少数山地海拔 1000m 以上。

2.1.2.2 气候特征

黄河流域东临渤海，西居内陆，位于我国北中部，属大陆性气候，各地气候条件差异明显，东南部基本属半湿润气候，中部属半干旱气候，西北部为干旱气候。流域年平均气温 6.4℃，由南向北、由东向西递减。根据 1956~2016 年系列统计，流域多年年平均降水量 449mm。降水量总的趋势是由东南向西北递减，降水最多的是流域东南部湿润、半湿润地区，如秦岭、伏牛山及泰山一带年降水量超过 800mm；降水量最少的是流域北部的干旱地区，如宁蒙河套平原年降水量只有 200mm 左右。流域降水量的年内分配极不均匀，连续最大 4 个月降水量占年降水量的 68.3%。

黄河流域水面蒸发量随气温、地形、地理位置等变化较大。兰州以上气温较低，平均水面蒸发量 790mm；兰州至河口镇区间，气候干燥、降雨量少，多沙漠干旱草原，平均水面蒸发量 1360mm；河口镇至花园口区间平均水面蒸发量约 1070mm；花园口以下平均水面蒸发量 990mm。

2.1.2.3 河川径流

根据《黄河流域水文设计成果修订报告》推荐的近期 I 下垫面年径流系列，利津断面（黄河干流把口站）多年平均天然径流量 482.4 亿 m³，龙门断面多年平均天然径流量 352.5 亿 m³。

黄河流域河川径流的主要特点如下：

1. 水资源贫乏

黄河流域面积占全国国土面积的 8.3%，而年径流量只占全国的 2%。流域内人均水量 473m³，为全国人均水量的 23%；耕地亩均水量 220m³，仅为全国耕地亩均水量的 15%。实际上考虑向流域外供水后，人均、亩均占有水资源量更少。

2. 径流年际、年内变化大

历史上干流及主要支流汛期 7~10 月径流量占全年的 60%以上，龙羊峡、刘家峡

等大型水库投入运用后，干流径流量年内分配比例发生变化，汛期比重减少。支流的汛期径流主要以洪水形式形成，非汛期 11 月至次年 6 月来水不足 40%。干流断面最大年径流量一般为最小值的 3.1~3.5 倍，支流一般达 5~12 倍。自有实测资料以来，出现了 1922~1932 年、1969~1974 年、1991~2002 年连续枯水段，三个连续枯水段年平均河川天然径流量分别相当于多年均值的 74%、84%和 83%。

3. 地区分布不均

黄河河川径流大部分来自兰州以上，年径流量占全河的 67%，而流域面积仅占全河的 28%；龙门至三门峡区间的流域面积占全河的 24%，年径流量占全河的 19.7%。兰州至河口镇区间产流很少，河道蒸发渗漏强烈，流域面积占全河的 20.6%，年径流量仅占全河的 0.3%。

2.1.2.4 泥沙特点

根据 1919~2019 年实测水沙资料，黄河泥沙的主要特点如下：

1. 输沙量大，水流含沙量高

龙门水文站多年平均天然含沙量 27.2kg/m^3 ，其中汛期平均径流量为 154.5 亿 m^3 ，占全年的 55.2%；汛期平均输沙量为 6.67 亿 t，占全年的 87.5%；汛期平均含沙量 43.1kg/m^3 。

2. 地区分布不均，水沙异源

龙门以上有两大水沙来源区。河口镇以上来水多来沙少，多年平均水量 224.9 亿 m^3 ，沙量 1.11 亿 t，年水量占龙门站的 80.4%，而年沙量仅占 14.4%；河口镇至龙门区间，来水少来沙多，水流含沙量高，多年平均径流量为 54.1 亿 m^3 ，多年平均输沙量为 6.51 亿 t，含沙量为 120.4kg/m^3 。汛期平均径流量为 28.8 亿 m^3 ，占全年的 53.3%；汛期平均输沙量为 5.80 亿 t，占全年的 89.1%；汛期平均含沙量 201.2kg/m^3 。

3. 年内分配集中，年际变化大

水量和沙量主要集中于汛期，沙量集中程度甚于径流量。龙门水文站汛期水沙量占全年水沙量的比例为 55.4%和 87.5%，库区各支流汛期水量占全年水量的比例为 44.3%~72.9%，汛期沙量占全年沙量的比例达到 88.9%~94.2%。

龙门水文站最大年水量为 552.1 亿 m^3 ，是最小年水量 129.5 亿 m^3 的 4.3 倍；最大

年输沙量为 24.24 亿 t，最小年输沙量为 0.37 亿 t。支流无定河白家川水文站最大年水量为 19.8 亿 m³，是最小年水量 5.61 亿 m³ 的 3.5 倍；最大年输沙量为 4.23 亿 t，最小年输沙量为 0.03 亿 t。

2.1.2.5 洪水灾害

黄河下游的水患历来为世人所瞩目。从周定王五年（公元前 602 年）到 1938 年花园口扒口的 2540 年中，有记载的决口泛滥年份有 543 年，决堤次数达 1590 余次，经历了 5 次大改道和迁徙，洪灾波及范围北达天津，南抵江淮，包括冀、鲁、豫、皖、苏五省的黄淮海平原，纵横 25 万 km²，给两岸人民群众带来了巨大的灾难。在近代有实测洪水资料的 1919 年至 1938 年的 20 年间，就有 14 年发生决口灾害，1933 年陕县站洪峰流量 22000m³/s，下游两岸发生 50 多处决口，受灾地区有河南、山东、河北和江苏等 4 省 30 个县，受灾面积 6592km²，灾民 273 万人。新中国成立以来，逐步建成了以中游干流水库、下游两岸堤防和蓄滞洪区等组成的“上拦下排，两岸分滞”的下游防洪工程体系，洪水灾害大为减轻。

由于特殊的黄河河情，下游洪水泥沙威胁依然存在。在目前地形地物条件下，黄河下游的悬河一旦发生洪水决溢，其洪灾影响范围将涉及冀、鲁、豫、皖、苏五省的 24 个地区（市）所属的 110 个县（市）。2020 年，下游防洪保护区面积 10.61 万 km²，人口 6415 万，耕地 9012 万亩。

2.1.3 流域社会经济特点

黄河流域大部分位于我国中西部地区，由于历史、自然条件等原因，经济社会发展相对滞后，现状年黄河流域 GDP 仅占全国的 8%，人均 GDP 约为全国人均的 90%，与东部地区相比存在着明显的差距，特别是上中游地区和下游滩区，是我国经济发展落后集中的区域。但流域土地资源、矿产资源特别是能源资源十分丰富，在全国占有极其重要的地位，被誉为我国的“能源流域”，未来发展潜力巨大。近年来，随着西部大开发、中部崛起等战略的实施，国家经济政策向中西部倾斜，黄河流域经济社会得到快速发展。流域 9 省区国内生产总值由 1980 年的 916 亿元增加至现状年的 25.39 万亿元（按 2020 年不变价计，下同），年均增长率达到 15.1%；人均 GDP 由 1980 的 1121 元增加到现状年的 58368 元，增长了 50 多倍。

黄河流域是多民族聚居地区，主要有汉、回、藏、蒙古、东乡、土、撒拉、保安等民族，其中少数民族占 10%左右。解决好流域人民群众特别是少数民族群众关心的防洪安全，饮水安全，生态安全等问题。对维护社会稳定、促进民族团结具有重要意义。

2.1.4 流域生态环境概况

2.1.4.1 流域生态环境总体状况

黄河流域横跨三大地形阶梯，跨越干旱、半干旱、半湿润等多个气候带和温带、暖温带等多个温度带，地貌类型多样，土壤类型较多，形成了极为丰富的流域生境类型和河流沿线各具特色的生物群落。加之流域农业生产历史悠久，社会背景复杂，人类活动频繁，流域生态环境深受人类活动影响。在流域气候条件、水资源条件制约下，加之流域人类活动的频繁干扰，流域生态体系极度脆弱，对水土资源开发响应强烈。

黄河上中下游流域生态环境状况详见表 2.1.4-1。

表 2.1.4-1 黄河流域生态环境特征

区域	生态类型	生态环境特征
上游	河源生态	区域地势高，气候寒冷干燥，降雨偏少，日照时数高，人类活动少；区域以高寒草原植被为主，生物量较大，生产力较低；生境特殊，形成了独特的生物区系，栖息有许多青藏高原特有种；湿地资源丰富，具有重要生态意义。
	高原河谷生态	区域气候寒冷、干燥，山势陡峭，河道狭窄，人类活动少；区域以高寒沼泽化草甸和草本沼泽为主，植被覆盖度较高；生境特殊，形了独特的生物区系，栖息有许多青藏高原特有种；湿地资源丰富，具有重要生态意义。
	河套平原生态	区域干燥度和蒸发量大，降水量少，河道宽广，人类活动干扰严重，是重要的灌溉农业区，农业生态系统特征明显；植被类型丰富，以半干旱草原、干旱荒漠草原、农田植被为主。
	鄂尔多斯高原生态	区域位于生态地理过渡带，气候干旱，风沙地貌，风蚀严重，高原内盐碱湖泊众多，具有复杂多样的环境条件和生态特点，生境独特；内陆盐沼湿地资源丰富，盐碱湖内的部分生物种类为黄河流域特有种。
中游	黄土高原生态	区域气候干旱，蒸发量大，土质疏松，植被覆盖度较低，生产力不高，生物多样性较低，生态环境脆弱，水土流失严重。
	汾渭平原生态	区域水资源丰富，气候适宜，土质肥沃，是重要的农业区，农田生态系统特征明显，人为干扰显著；农业生产对流域水资源耗用量较大。
	山地生态	区域海拔高，地形复杂，位置重要，是重要自然地理分界线；生境类型复杂，植被类型多样，生物多样性较高。
下游	下游冲积平原生态	区域气候温和，水资源紧张，地势平坦，河道宽阔，是重要的农业区，农田生态系统、人工生态系统特征明显；泥沙淤积和旱涝灾害严重；湿地呈带状分布，物种丰富。
	鲁中丘陵生态	区域气候温和、湿润，人为活动频繁；生境复杂，植被覆盖度较高，生物多样性较高。
	河口三角洲生态	区域成陆时间短，地势平坦，气候温和，咸淡水生境交替，淡水资源贫乏，为典型的生态交错区，生物多样性较高，湿地自然资源丰富。

2.1.4.2 流域生态环境特征

黄河流域独特的地理位置、特殊的水沙条件、以及复杂的经济社会背景、强烈人类活动干扰使黄河流域生态环境具有生态环境脆弱、生态类型丰富、生态地位重要等特征。

(1) 生态环境脆弱

黄河流域大部分地区位于干旱、半干旱地区，水资源贫乏，供需矛盾突出，水沙关系不协调和水污染严重加剧了流域水资源短缺，制约了流域生态系统发育。

(2) 生态类型丰富

黄河流域从河源区到河口区随高度梯度、水分梯度、人类活动强弱等形成了丰富多样的生态类型，其中黄河中下游地区农田生态系统、人工生态系统特征明显，由于河流泥沙含量大，黄河中下游平原河段河道宽浅，摆动频繁，形成大面积河漫滩湿地和河口三角洲湿地。

(3) 生态地位重要

黄河贯穿了我国青藏高原、黄土高原、华北平原、环渤海地区，是连接我国西北、华北、渤海之间的重要生态廊道，黄河流域在我国“两屏三带”为主体的生态安全战略格局占据重要位置，是“青藏高原生态屏障”、“黄土高原—川滇生态屏障”和“北方防沙带”的重要组成，是我国西北地区重要的生态屏障，对于维持我国华北、西北地区水资源安全和生态安全具有重要意义。

2.1.4.3 河流生态系统特征

黄河河流生态系统有三个突出特点：

(1) 上中下游生境差异很大。黄河贯穿了流域内不同的地理和气候带，融合了不同自然地带的生态特点，形成了丰富多变、上中下游异质的河流生境，进而深刻影响着河流生物群落的组成和结构。

(2) 沿黄河漫滩湿地发育广泛。由于黄河泥沙含量高，河势游荡多变，主流摆动频繁，黄河上中下游平原河段，形成广阔的河漫滩湿地，大面积的河漫滩不仅在黄河洪水泥沙滞蓄、生物多样性保护、水质净化及区域生态平衡与等方面发挥着重要作用，长期以来，还是人类聚居与农业开发的重要场所。

(3) 水生生物贫乏，但特有物种具有重要保护意义。受水沙条件、水体物理化学

性质及流域气候、地理条件等因素影响，黄河水生生物种类和数量相对贫乏，生物量较低，鱼类种类相对较少，但许多特有土著鱼类具有重要保护价值，是国家水生生物保护和鱼类物种资源保护的重要组成部分。

2.1.5 历次规划及治黄方略

新中国成立以来，进行了多次比较系统的流域规划，对于指导黄河治理开发与保护起到了十分重要的作用。

1954 年黄河规划委员会提出的《黄河综合利用规划技术经济报告》，遵循“除害兴利、综合利用”的指导方针，以“制止水土流失、消除水旱灾害，并充分利用黄河水资源进行灌溉、发电和航运”为基本任务，提出了“从高原到山沟，从支流到干流，节节蓄水，分段拦沙，控制黄河洪水和泥沙、根治黄河水害、开发黄河水利”的总体布局。

1955 年 7 月全国人大一届二次会议讨论并通过了《关于根治黄河水害和开发黄河水利的综合规划的决议》。按照规划相继建设了三门峡、刘家峡等水利枢纽工程，加高加固了黄河下游堤防，开展了黄土高原地区水土流失治理，建设了一大批灌区，促进了黄河流域经济社会的发展。

1997 年完成《黄河治理开发规划纲要》，贯彻“兴利除害，综合利用”的治黄方针，主要任务是“提高下游的防洪能力、治理开发水土流失地区，研究利用和处理泥沙的有效途径，开发水电，开发干流航运，统筹安排水资源的合理利用，保护水源和环境”。在防洪减淤方面，提出了“上拦下排，两岸分滞”处理洪水、“拦、排、放、调、挖”综合处理泥沙的基本思路，促进了小浪底水利枢纽的建设；在水资源利用方面，提出黄河可供水量分配方案；在水土保持方面，提出以多沙粗沙区为重点、以小流域为单元的黄土高原水土流失综合治理思路；在干流梯级工程布局方面，龙羊峡以下河段由 1954 年规划的 46 座梯级调整为 36 座梯级，其中龙羊峡、刘家峡、黑山峡、碛口、古贤、三门峡和小浪底等 7 大控制性骨干工程为综合利用枢纽工程，构成黄河水沙调控体系的主体。

2002 年 7 月国务院批复了《黄河近期重点治理开发规划》，进一步明确了“上拦下排、两岸分滞”控制洪水，“拦、排、放、调、挖”处理和利用泥沙的基本思路，提出了“开源节流保护并举，节流为主，保护为本，强化管理”开发利用和保护水资源，“防治结合，保护优先，强化治理”进行水土保持生态建设的基本思路。

2008年7月，国务院批复了《黄河流域防洪规划》，结合新的形势及黄河流域的实际情况，对防洪工程体系和防洪标准进行了全面复核，提出了防洪减淤规划布局，以及防洪减淤工程和防洪非工程措施。

2013年，《黄河流域综合规划（2012-2030年）》获得国务院批复，明确了黄河治理开发与保护的长远目标是：维持黄河健康生命，谋求黄河长治久安，支撑流域经济社会可持续发展。经过坚持不懈的努力，黄土高原适宜治理的水土流失区基本得到治理，生态环境良性发展；有效控制洪水泥沙，使下游河道不显著淤积抬高，保障防洪防凌安全；节水型社会建设大见成效，形成资源节约型和环境友好型社会，实现南水北调西线等工程向黄河流域调水，有效缓解水资源供需矛盾；地表水水质和水生态恢复良好状态，保证饮水安全和生态安全。

2021年10月，中共中央、国务院印发《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》，明确提出了黄河流域生态保护和高质量发展规划目标：“到2030年，黄河流域人水关系进一步改善，流域治理水平明显提高，……现代化防洪减灾体系基本建成，水资源保障能力进一步提升，生态环境质量明显改善，国家粮食和能源基地地位持续巩固，……到2035年，黄河流域生态保护和高质量发展取得重大战略成果，黄河流域生态环境全面改善，生态系统健康稳定，水资源节约集约利用水平全国领先，现代化经济体系基本建成，黄河文化大发展大繁荣，人民生活水平显著提升。到本世纪中叶，黄河流域物质文明、政治文明、精神文明、社会文明、生态文明大幅提升，在我国建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国中发挥重要作用”。纲要提出：应紧紧抓住水沙关系调节这个“牛鼻子”，围绕以疏为主、疏堵结合、增水减沙、调水调沙，健全水沙调控体系，完善以骨干水库等重大水利工程为主的水沙调控体系，优化水库运用方式和拦沙能力。

2022年5月，水利部、国家发展和改革委员会印发了《黄河流域生态保护和高质量发展水安全保障规划》，该规划是黄河流域生态保护和高质量发展重大国家战略“1+N+X”规划政策体系中，首个国家层面印发实施的专项规划，规划主要目标为：到2030年，黄河流域水安全保障能力显著提升，人水关系进一步改善，流域保护治理水平明显提高，现代化防洪减灾体系基本建成，水资源保障能力进一步提升，水生态环境质量明显改善，黄河水文化影响力显著加强，水利公共服务水平明显提升，人民群众获

得感、幸福感、安全感显著增强。规划提出：紧紧抓住水沙关系调节“牛鼻子”，增水减沙，调水调沙，加快完善水沙调控体系，推进河道和滩区综合治理提升，健全流域防洪减灾格局，强化洪灾应对能力建设，构建河道畅通、安全稳固、保障有力的综合性防洪减灾体系，保障黄河长治久安。

从历次规划的编制和实施情况来看，水沙调控及其相关规划都是黄河保护治理的重要内容。

2.1.6 黄河水沙调控体系概况

2.1.6.1 水沙调控体系概况

黄河水沙调控体系是指黄河干流以已建龙羊峡、刘家峡、三门峡、小浪底和拟建古贤、黑山峡（大柳树）、碛口等骨干水利枢纽为主体构建的大型控制性水库群。按照流域水沙特点，黄河上游龙羊峡水库、刘家峡水库和黑山峡（大柳树）水库共同构成黄河水量调控子体系；黄河中游碛口、古贤水利枢纽，与三门峡和小浪底水库共同构成中游洪水泥沙调控子体系。

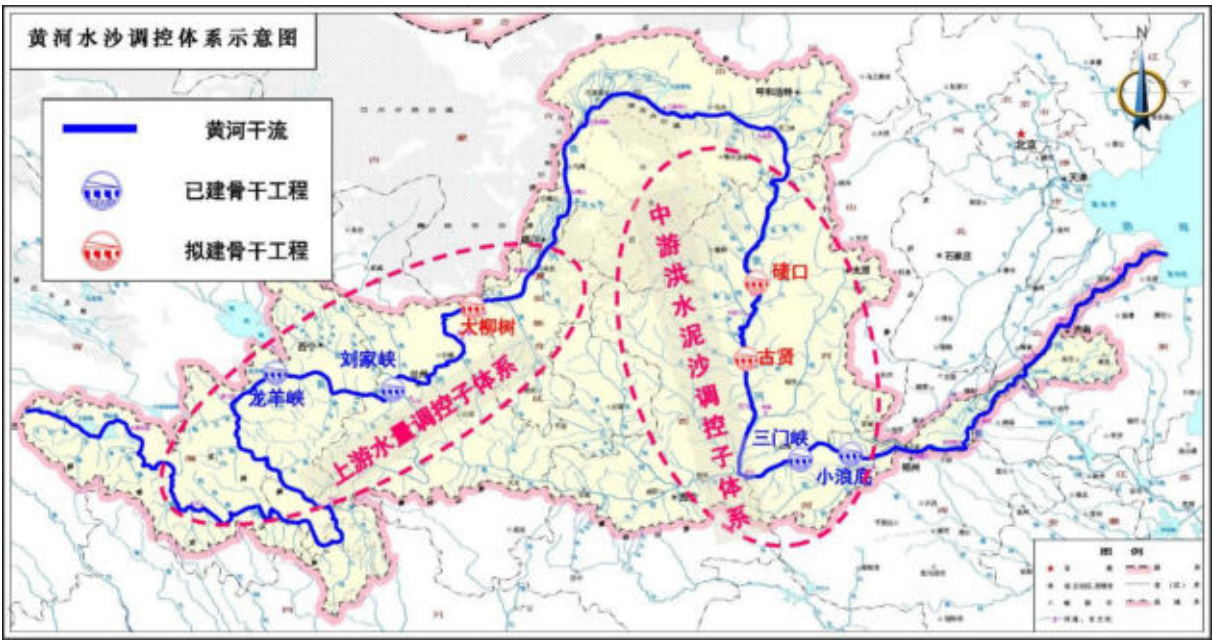


图 2.1.6-1 黄河水沙调控体系示意图

1. 水沙调控工程体系布局

根据黄河水沙特性和面临的新形势新问题，确定新时期水沙调控体系的主要任务是：对黄河洪水、泥沙、径流和南水北调西线工程调入水量进行有效调控，满足黄河防洪安

全、黄河健康维护和社会经济发展的要求。一是科学控制、利用和塑造洪水，协调水沙关系，为防洪、防凌安全提供重要保障。要有效控制大洪水，削减洪峰流量，减轻黄河洪水威胁；合理利用中常洪水，联合调水调沙，减轻河道淤积，塑造和维持中水河槽；联合调控塑造人工洪水过程，防止河道主槽萎缩，维持水库长期有效库容和中水河槽；有效调节凌汛期流量，减少河道槽蓄水增量，减轻防凌压力。二是利用骨干水库的拦沙库容，适时适量拦截泥沙，特别是对下游河道淤积危害最大的粗泥沙，并力争维持河口三角洲岸线淤蚀平衡。三是通过蓄丰补枯、合理配置和优化调度黄河河川径流和南水北调西线工程调入水量，确保黄河不断流，保障全河供水安全和生态安全。多沙期，水沙调控体系以调节水沙关系、防洪和洪水资源化利用为主；少沙期，水沙调控体系以防洪和洪水资源化利用为主。

根据黄河治理开发与保护的总体规划，黄河水沙调控工程体系由上游水量调控子体系和中游洪水泥沙调控子体系构成，两个子体系任务各有侧重。

上游调控子体系以水量调节为主，主要任务是对黄河水资源和南水北调西线入黄水量进行合理配置，为保障流域的供水安全创造条件，协调进入宁蒙河段的水沙关系、长期维持宁蒙河段中水河槽，保障宁蒙河段的防凌、防洪安全及上游其他沿河城镇防洪安全，为上游城市工业、能源基地和农业发展供水，提高上游梯级发电效益，并配合中游骨干水库调控水沙。

中游调控子体系以调控洪水泥沙为主，承接和调蓄上游来水，主要任务是科学管理洪水，适时适量拦沙和联合调控水沙，塑造并维持下游河道 $4300\text{m}^3/\text{s}$ 以上中水河槽，显著降低潼关高程，提高黄河下游防御特大洪水的能力，优化调度水资源、确保黄河不断流，为黄河下游防洪（防凌）安全创造条件，保障中下游城市、工业、农业发展和河道水生态供水，合理利用水力资源。

2.1.6.2 已建骨干工程概况及其作用

1. 已建骨干工程概况

已建骨干工程基本情况见表 2.1.6-1。

表 2.1.6-1 水沙调控体系已建骨干工程基本情况一览表

骨干工程 基本情况	龙羊峡	刘家峡	三门峡	小浪底
所在河段	上游	上游	中游	中游
所在省区	青海省	甘肃省	河南省	河南省
控制流域面积 (万 km ²)	13.14	18.18	68.84	69.42
正常蓄水位 (m)	2600	1735	335	275
总库容 (亿 m ³)	247	57	96.4	126.5
有效库容 (亿 m ³)	193.5	35	-	51
工程的任务和作用	龙羊峡控制了黄河三分之一以上径流，坝址以下是黄河上游水电基地、能源基地和宁蒙灌区农业基地。龙羊峡具有多年调节性能，是黄河上游河段的“龙头”水库，在黄河水资源合理配置方面具有关键性的战略地位和极为重要的作用。	在黑山峡水库建成之前，主要承担防洪、防凌、供水、灌溉、发电等综合利用任务；在黑山峡河段工程建成后，主要配合龙羊峡水库进一步调节径流，提高上游梯级发电效益，提高宁蒙地区供水保证率，控制大洪水，保障兰州市防洪安全，配合黑山峡河段工程运用保障宁蒙河段防凌安全。	不承担灌溉和供水任务，主要配合小浪底水库进行防洪、防凌和调水调沙运用，并兼顾发电。汛期一般控制水位 305m 运用，流量大于 1500m ³ /s 时敞泄运用。	控制了全河 91.2% 的水量、几乎全部泥沙，是控制黄河下游洪水、协调水沙关系的最关键工程。开发任务以防洪（包括防凌）、减淤为主，兼顾供水、灌溉和发电，除害兴利，综合利用。水库使下游抗御大洪水能力增强，解除凌汛威胁，可拦蓄泥沙 100 亿 t，减少下游河道淤积 78 亿 t；通过水库拦沙和联合调水调沙，可使黄河下游河道平滩流量恢复到 4300m ³ /s 左右。水库调节径流，可为确保黄河下游河道不断流创造条件，保证下游沿黄城市生活、工业供水，提高灌区引水保证率。

2. 已建水沙调控体系的主要作用

黄河干流骨干工程与支流水库、下游堤防、河道整治工程、分滞洪区等构筑“上拦下排、两岸分滞”防洪工程体系的主体，在防洪（防凌）减淤、调水调沙和水量调度等方面发挥了巨大作用，有力地支持了沿黄地区经济社会的持续发展：

（1）大幅削减汛期洪峰流量、增加下游防洪调度的灵活性和可靠性，大大减轻下游防洪压力；

（2）协调黄河下游水沙关系，减少河道淤积，恢复中水河槽，使下游河道最小平滩流量显著增加；

（3）为实现黄河水量统一调度与管理提供工程条件，确保 1999 年以来黄河下游不断流，优化黄河水资源配置，提高黄河下游用水保障率；

（4）为实施生态调度提供工程条件，满足河口三角洲湿地生态系统用水，湿地面积增加，水生生物种群及规模得到一定程度的恢复，生态环境得以进一步改善。

2.1.6.3 目前存在的主要问题

小浪底水库通过水库拦沙和调水调沙运用，在协调下游水沙关系、减少河道淤积、恢复中水河槽等方面发挥了重要作用，但目前小浪底水库处于拦沙后期，按采用设计的水沙条件预估，水库将在 2035 年左右完成拦沙，只能靠 10 亿 m^3 的槽库容调水调沙，调水调沙后续动力不足，不能充分发挥水流的输沙功能，影响水库拦沙库容的使用寿命；小浪底水库拦沙库容淤满后，汛期进入黄河下游的高含沙小洪水出现的机遇将大幅度增加，水库拦沙期塑造的中水河槽将难以长期维持，下游河道复将淤积抬高，河防工程的防洪能力将随之降低。

2.2 工程所在区域概况

2.2.1 河段概况

黄河中游河口镇～禹门口（龙门水文站）河段（亦称大北干流河段）为 725km 的连续峡谷，河段落差 607m，平均比降为 8.4‰。区间流域面积约 11 万 km^2 ，其中多沙粗沙区面积 5.99 万 km^2 ，流域面积大于 1000 km^2 的支流有 22 条，且绝大部分来自水土流失严重的黄土丘陵沟壑区，区间来沙占全河泥沙的 56%，是黄河泥沙特别是粗泥沙的主要来源区，龙门站实测(1919 年~2016 年)多年平均沙量 7.73 亿 t，控制了全河粗沙量($d>0.05\text{mm}$)的 80%。

碛口至禹门口河段，位于大北干流河段的下段，河道长度 310km，落差 288m，平均比降 9.3‰。两岸多为悬崖陡壁，河谷深切，崖壁高出水面数十米至一、二百米，河谷底宽一般为 400m~600m。壶口瀑布位于峡谷出口以上约 65km 处。本河段区间流域面积 6.7 万 km^2 ，其中多沙粗沙区面积约 3.7 万 km^2 ，主要地貌类型为黄土丘陵沟壑区，水土流失极为严重，是黄河洪水泥沙的主要来源区之一。按照黄河治理开发的总体布局，在该河段布置有碛口和古贤两座控制性骨干水利枢纽工程。

古贤水利枢纽工程坝址上距河口镇断面 580.3km，下距壶口瀑布和禹门口（龙门水文站）分别为 10.1km 和 72.5km。坝址右岸为陕西省宜川县，左岸为山西省吉县，控制流域面积 489948 km^2 ，占三门峡水库控制流域面积的 71%。库区河谷宽度上窄下宽，河谷底宽 400m~600m，坝址河底高程 463m，河谷底宽 455m，天然河道平均比降 8.55‰。库区两岸支流众多，流域面积大于 1000 km^2 的入黄支流有 6 条，其中左岸有三川河、屈

产河和昕水河；右岸有无定河、清涧河、延河。这些支流沟深坡陡，河道比降达25‰~54‰，横断面窄深，含沙量大，泥沙粒径较粗，无定河、清涧河、延河泥沙中值粒径分别达到0.035mm、0.029mm、0.031mm，是黄河粗泥沙的主要来源区。

按照黄河治理开发的总体布局，古贤作为控制性骨干水利枢纽工程，地理位置示意图见图2.2.2-1。

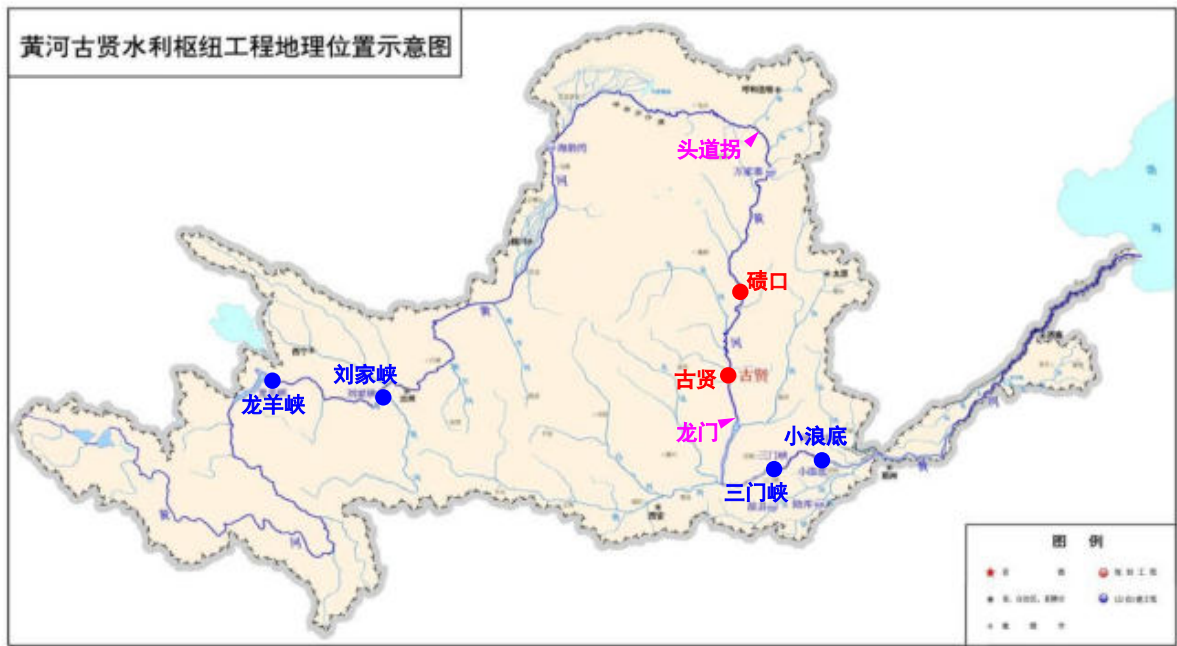


图 2.2.2-1 古贤水利枢纽在黄河流域中的地理位置示意图

2.2.2 区域自然特点

2.2.2.1 地形地貌

1. 坝址区地形地貌

古贤坝址区河谷为“U”型谷，两岸谷坡稍不对称。坝址区地形陡峻，冲沟发育，切割深度一般在几十至上百米，延伸长度0.5km~2.5km。较大支沟受坝址区最发育的一组节理控制，呈近东西向，与黄河近于正交。坝址区较大的冲沟有：左岸坝轴线上游550m为关里沟，下游1000m为井沟；右岸上游350m为下窑子北沟，下游950m为老爷庙沟。

坝址区发育有五级阶地，Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ级阶地较明显，缺失Ⅱ级阶地，Ⅴ级阶地发育于高程约700m以上，黄土覆盖，阶面不清晰。其中Ⅰ级阶地为堆积阶地；Ⅲ、Ⅳ级阶地在两岸均发育，为基座阶地。

坝址区河谷底宽 460m，河道常水位 465m 左右。左岸高程 625m~640m 以上和右岸高程 640m~665m 以上为黄土覆盖，以下基岩裸露。右岸高程 625m 以下平均坡度为 33°，在高程 470m~475m 处残存 I 级阶地；左岸谷坡为陡缓相间的台阶状地形，高程 625m 以下平均坡度为 28°，其中高程 520m~550m 之间残存有 III 级阶地，该级阶地以下基岩坡度为 32°。

2. 库区地形地貌

库区位于黄土高原区晋陕峡谷段，黄河两侧在高程 1000m~1200m 以上基岩裸露，形成侵蚀-剥蚀中低山地貌；高程 1000m~1200m 以下为风积黄土，受长期外营力作用，黄土遭受严重侵蚀，在黄河两侧与基岩山地之间形成黄土塬，在黄河及其支流两侧形成黄土梁、黄土峁。黄土塬主要分布在黄河两岸，塬面较平，边缘发育有深切的沟谷，黄土梁、峁主要发育在黄河两岸的丘陵地带。受构造抬升和黄河下切作用，形成侵蚀-堆积河流地貌，沿黄河两岸断续不对称分布河流阶地，阶地堆积物主要为第四系冲洪积砂卵砾石和黄土类土。

自新生代以来，本区处于大面积的整体抬升过程中，黄河以下切为主，黄河自北向南流，为本区最低侵蚀基准面。黄河两岸支流、支沟发育，切割较深，多呈树枝状展布，以季节性流水和常年流水汇入黄河。较大的支流自上而下，右岸有无定河、清涧河和延河，左岸有三川河、昕水河等。

水库区库岸全长 202.6km，河水面落差 167.5m，平均比降约 0.8‰左右，河谷底宽一般 200m~500m，三交以上河段，河谷较宽，达 400m~800m。区内无区域性大断裂通过，基岩地层主要为二叠系、三叠系的砂岩、泥岩，岩层总体走向 10°~30°，倾向 NW，倾角 3°~5°，局部倾角为 6°~12°，河谷多呈“U”型河谷。根据区内黄河河谷形态、河流阶地发育特征，可分为吴堡~三交弯曲峡谷段、三交~无定河口顺直峡谷段、无定河口~咀上蛇曲峡谷段、咀上~刘家畔顺直峡谷段、刘家畔~马家河蛇曲峡谷段、马家河~昕水河口平直峡谷段、昕水河口~古贤顺直峡谷段。

第四纪以来，由于本区域大面积间歇性抬升，在黄河及其主要支流的河谷发育河漫滩及 I 级~V 级阶地，除 I 级阶地为堆积级阶地外，其它均为基座阶地，阶地基座之上多数有砂卵砾石和广泛分布第四系黄土类土。

2.2.2.2 气候特征

黄河古贤坝址以上流域属大陆性季风气候。

古贤坝址无常规气象观测资料，根据距坝址最近的吉县气象站（坝址东南方向约 20km）1981 年～2020 年资料统计，多年平均气温 10.4℃，极端最高气温为 39.7℃（2005 年 6 月 22 日），极端最低气温为-21.3℃（2002 年 12 月 26 日）。多年平均降水量 496.2mm，其中 7 月～9 月降水量占全年的 59%，多年平均蒸发量 1702mm，最大风速 23.2m/s，最大风速风向 14 度。

古贤坝址附近区域气象要素详见表 2.2.2-1。

表 2.2.2-1 吉县气象站气象要素统计表（1981 年～2020 年）

项目		单位	月份												全年
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
气温	平均气温	℃	-4.8	-0.8	5.1	12.5	17.9	21.8	23.7	22.0	17.0	10.6	3.3	-3.0	10.4
	极端最高	℃	18.2	23.0	29.0	36.6	36.8	39.7	39.7	37.7	36.8	29.3	25.6	18.3	39.7
	出现日期(年.日)		2002.11	1996.13	2009.18	2006.30	2000.31	2005.22	2002.15	2002.4	1997.5	1987.5	2009.6	2010.1	2N
	极端最低	℃	-21.2	-17.2	-14.7	-5.3	-0.7	6.6	11.4	9.3	1.3	-7.4	-16.4	-21.3	-21.3
	出现日期(年.日)		1998.19	2008.6	1988.7	2010.13	1991.2	1987.7	1986.5	2008.31		1986.29	1993.21	2002.26	2002.12.26
平均相对湿度		%	53	52	51	48	53	60	70	74	73	68	60	54	60
平均气压		hPa	921.2	918.7	915.8	912.7	910.4	907.0	905.9	909.2	914.7	919.1	921.0	922.1	914.8
降水量	平均降水量	mm	4.9	6.6	15.1	25.7	44.6	59.9	106.5	104.4	70.7	40.4	13.1	4.3	496.2
	最大月降水量	mm	18.4	22.7	36.9	92.7	170.5	140.9	281.0	227.2	154.7	99.0	33.9	19.5	281.0
	出现日期(年)		2001	1990	2007	1994	1983	1996	1988	2003	2005	2000	1996	1984	1988
蒸发量		mm	48.3	69.2	124.8	208.6	254.3	253.9	206.4	180.4	135.9	109.3	73.5	49.0	1713.7
风速风向	平均风速	m/s	1.5	1.6	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.4	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	最大风速	m/s	13.8	15.9	16.6	21.1	23.2	18.3	16.2	16.6	12.6	15.9	18.1	15.3	23.2
	最大风速风向	度	15	15	15	12	14	11	9	13	15	15	14	1	14
	出现日期(年.日)		2009.22	2006.6	2006.27	2010.26	2009.16	2009.14	2006.24	2009.14	2006.8	2009.16	2010.11	2009.4	2009.16

2.2.2.3 土地及植被

项目区位于半湿润气候区，降水量少且黄河水利用难度大，区内植被以草本植物、农作物为主，自然植被状况相对较差，主要土地利用类型有：耕地、草地、林地、建筑用地、未利用地等。

项目区域内生态系统受人为活动影响较大，黄河沿岸地区耕地以旱坡地为主，河流沿岸分布有少量的水浇地，因当地缺水，农作物产量低而不稳。该地区主要粮食作物有玉米、谷子和豆类等，经济作物有棉花、花生和油菜等。人工林主要有杨树、刺槐和枣、苹果、梨、桃等。

自然植被主要以天然草丛、灌丛植被为主。草丛植被以温性中生和中旱生禾草组成的草丛植被类型为主，白羊草草丛和蒿类草丛分布广泛，在南部黄背草草丛也较多，为主要草丛植被类型。灌丛植被主要以荆条、酸枣、虎榛子为主，西部以柠条灌丛为主要类型。

2.2.2.4 地表水系

1. 主要支流概况

本工程所在的吴堡至龙门河段，位于大北干流河段的下段。两岸支流众多，流域面积大于 1000km² 的入黄支流有 8 条，其中左岸有三川河、屈产河和昕水河，右岸有无定河、清涧河、延河、云岩河和仕望川。

龙门至三门峡河段流域面积大于 1000km² 的入黄支流为汾河、涑水河与渭河。

河段水系分布见图 2.2.1-1。

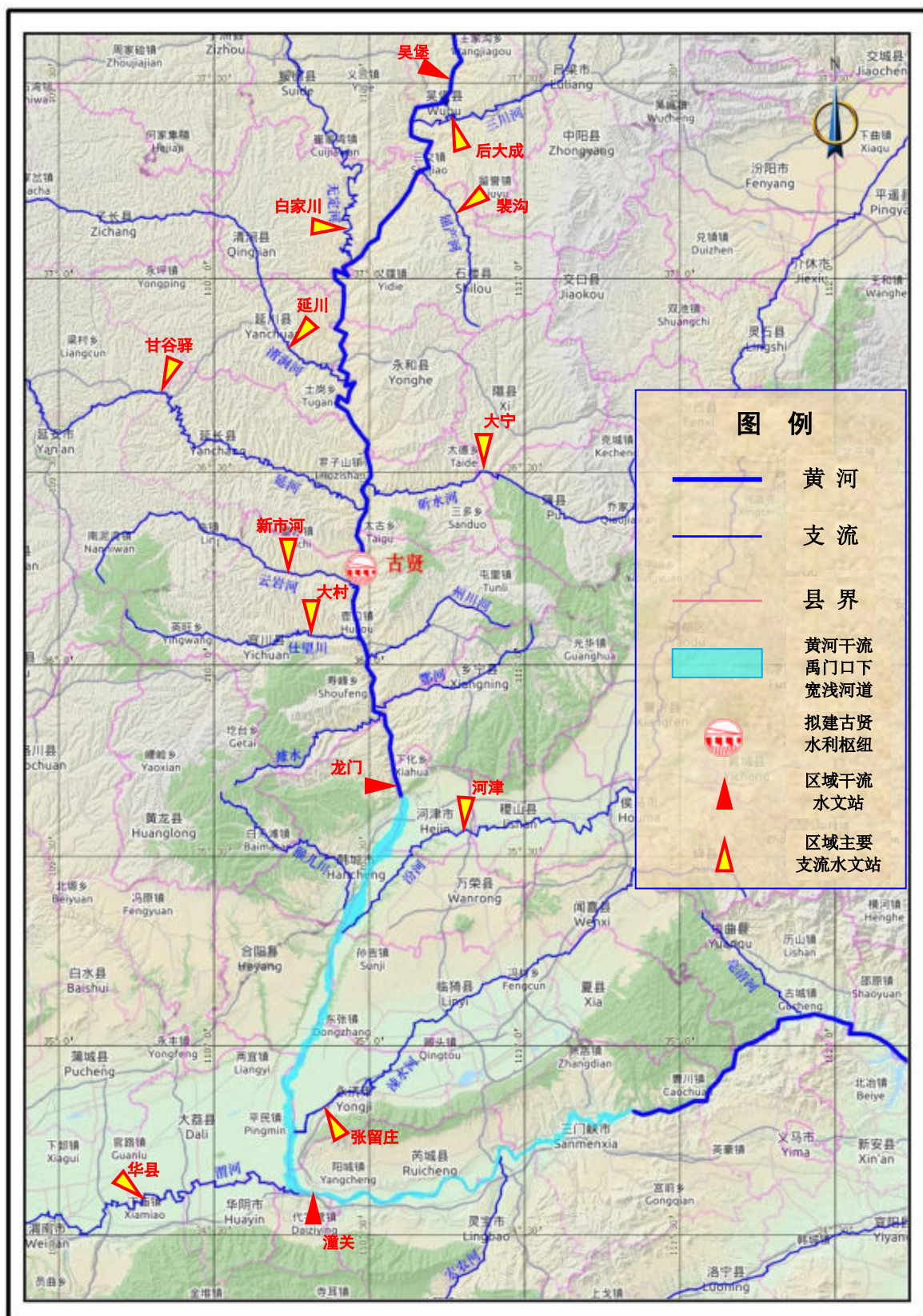


图 2.2.2-1 区域水系示意图

吴堡至龙门区间主要支流特征值见表 2.2.2-2。

表 2.2.2-2 黄河北干流吴堡至龙门区间河段主要支流特征表

岸别	支流名称	流域面积 (km ²)	河流长度 (km)	年均降雨量 (mm)	水文站名	年径流量 (10 ⁸ m ³)	年输沙量 (10 ⁸ t)
左岸	三川河	4161	176.4	498.3	后大成	2.16	0.143
	屈产河	1220	78.3	492.5	裴沟	0.30	0.066
	昕水河	4326	138	528.8	大宁	1.21	0.124
右岸	无定河	30261	491.2	388.3	白家川	10.93	0.971
	清涧河	4080	167.8	479.6	延川	1.32	0.294
	延水河	7687	284.3	498.2	甘谷驿	1.98	0.371
	汾川河	1785	119.8	536.6	新市河	0.35	0.025
	仕望川	2356	112.8	552.8	大村	0.70	0.017
合计		55876				18.94	2.011
注：年径流量、年输沙量统计时段为建站以来至 2019 年。							

(1) 三川河

三川河由北川、东川、南川汇流而成，故名三川河。河道全长 176km，入黄口高程 624m。干流在山西省离石区以上称北川，发源于吕梁山北段西麓方山县的赤坚岭，流经方山县城，在离石区接支流东川后，再经离石到的交口镇王家塔与南川河，称三川河，三川河流经柳林县城，于石西乡西河口村注入黄河左岸。

三川河是晋西汇入黄河北干流左岸诸多支流中第二大支流，流域面积 4161km²。按地形地貌特征，可分为三个类型区：土石山区、河谷川地区、黄土丘陵沟壑区。土石山区，分布于三条川的河源地区的吕梁山区，面积为 1854km²，占流域面积的 44.6%。此区地势较高，海拔高程多在 1800m 以上，植被良好，水土流失轻微。河谷川地区，即干支流沿岸川地，面积 521km²，占流域面积的 12.5%。此区由于水利条件较好，大多已发展成灌区，是当地农业的高产区。黄土丘陵沟壑区，即介于上述两个区域之间的地带，面积为 1786km²，占流域面积的 42.9%。此区丘陵起伏，黄土覆盖层厚 50m 左右，沟壑纵横，植被稀少，水土流失严重，是本流域洪水泥沙的主要来源区。区内旱灾频繁，农业生产水平低下。

(2) 屈产河

屈产河发源于石楼县东石楼山西侧。流经城关、西卫由曹家垣入柳林县，至石西乡下塌上村汇入黄河。全长 78.3km，流域面 1220km²，河床比降 0.93%，年平均径流量 0.484 亿 m³，该河水量不稳定，流量季节变化较大，平水期流量为 0.342m³/s，洪水期流量为 130~240m³/s，冰期为上年 11 月开始至下年 1 月。

(3) 昕水河

昕水河发源于山西省境内的蒲县摩天岭，在隰县午城附近有东川河和城川河汇入。

昕水河河流全长 138km，在大宁县西注入黄河，流域面积为 4326km²。昕水河流经黄土残塬区，水量不大，含沙量高，大宁站多年平均天然径流量 1.84 亿 m³，年平均含沙量 55kg/m³，年输沙量 2830 吨。

（4）无定河

无定河是陕西榆林地区最大的河流，发源于定边县白于山北麓，全长 491km，流域面积 30261km²，流经定边、靖边、米脂、绥德和清涧县，由西北向东南注入黄河。

无定河多年平均流量 15.3 亿 m³，占黄河流域多年平均流量 628 亿 m³ 的 2.4%，流域面积占黄河流域面积的 4.2%。无定河从上游到下游，风沙区占 6%，黄土区占 94%，由沙漠流经黄土区，水土流失由轻到重，河流含沙量由小到大，是陕西输出粗沙最多的河流。

（5）清涧河

清涧河发源于陕西省子长县，经子长、清涧、延川三个县，至土岗乡雷家岔村入黄河，全长 167.8km，流域面积 4080km²，平均流量 4.35m³/s，下游较上游、中游河谷狭窄，纵坡比降大。

清涧河年平均流量 5.21m³/s，年径流量 16438 万 m³，多年平均输沙量 5643 万吨，输沙率 1789kg/s，洪水期间含沙量一般在 50%~75%之间。

（6）延河

延河又称延水河，是陕北第二条大河，发源于靖边县天赐湾乡周山，由西北向东南，流经志丹、安塞、延安，于延长县南河沟凉水岸附近汇入黄河，全长 284.3km，流域面积 7687km²。

延河多年平均径流量为 2.93 亿 m³，地区分布差异较大，主要来源于上游，从上游到下游，径流量逐渐减小；径流主要集中于夏季，夏季径流占年径流的 51%~60%；冬季径流最少，只占年径流的 6%~7%，秋季径流略多于春季。

延河流域水土流失严重，河流含沙量很大，多年平均输沙量为 7160 万吨，占黄河多年平均输沙量的 5.0%。

（7）云岩河

云岩河又称汾川河，发源于劳山东麓九龙泉，向东流经宜川县，在西沟村东南注入

黄河，全长 119.8km，流域面积 1785km²，干流年平均流量 1.46m³/s，年径流量 4618 万 m³。

(8) 仕望川

仕望川又称县川河，发源于黄龙山北麓，自河源至宜川为南北流向，到秋林折向东流入黄河，全长 112.8km，流域面积 2356km²，干流年平均流量 3.18m³/s，平均径流量 10030 万 m³，年平均输沙量 543 万吨，输沙率 172kg/s。

(9) 汾河

汾河发源于神池县太平庄乡西岭村，流经忻州市、太原市、吕梁市、晋中市、临汾市和运城市共 6 市 29 县，全长 713km，流域面积 39721km²，在万荣县荣河镇庙前村汇入黄河，是山西省境内最大的河流，全流域年径流总量为 22.86 亿 m³，多年平均水资源总量为 33.59 亿 m³。

(10) 涑水河

涑水河发源于山西省绛县横岭关陈村峪，向西南流经山西省的闻喜县、夏县、运城市区、临猗县至永济市伍姓湖，在弘道园村附近汇入黄河，全长 196km，流域面积 5548km²。涑水河属北方间歇性季节河流，非汛期河道成为排污河道，平均含沙量为 7.66kg/m³，年输沙量为 21 万 m³，水资源总量为 5.82 亿 m³。

(11) 渭河

渭河，古称渭水，是黄河的最大支流。发源于甘肃省定西市渭源县鸟鼠山，主要流经今甘肃天水、陕西省关中平原的宝鸡、咸阳、西安、渭南等地，至渭南市潼关县汇入黄河，全长 818km，流域总面积 134766km²，多年平均径流量 75.7 亿 m³，平均每年向黄河输送 49200 万 t 泥沙（华县站），泥沙主要来自北岸的黄土区。

渭河每年还有大量泥沙沉积在中下游河槽内，主要原因在于三门峡水库提高了河流侵蚀基点。

2. 区域干支流主要水文站情况

古贤坝址位于龙门水文站上游 72.5km，坝址处无实测水文资料，其设计洪水分析主要涉及黄河干流的河口镇、吴堡、龙门、三门峡及支流的临镇、新市河、大村、吉县、乡宁等站。水沙分析主要涉及河口镇、吴堡、龙门以及库区支流的后大成、裴沟、白家

川、延川、大宁、甘谷驿等站。

区域干支流主要水文站情况见表 2.2.2-3。

表 2.2.2-3 区域干支流主要水文站一览表

河 名	站 名	控制流域 面积 (km ²)	建站时间	实测流量资料年份 (年)	年数 (年)
黄 河	龙门	497552	1934 年 6 月	1934~1937、1944、1945、1950~2020	77
黄 河	河口镇	385966	1952 年 1 月	1952~2020	69
黄 河	吴堡	433514	1935 年 6 月	1935~1937、1951~2020	73
黄 河	三门峡(陕县)	688401	1919 年 4 月	1919~1943、1946、1949~2020	98
三川河	后大成	4102	1953 年 7 月	1954~2020	67
屈产河	裴沟	1023	1962 年 6 月	1962~2020	59
无定河	白家川	29662	1955 年 12 月	1956~2020	65
清涧河	延川	3468	1953 年 7 月	1954~2020	67
昕水河	大宁	3992	1954 年 10 月	1955~2020	66
延 河	甘谷驿	5891	1952 年 1 月	1952~2020	69
汾川河	临 镇	1121	1958 年 10 月	1959~2020	62
汾川河	新市河	1662	1966 年 5 月	1966~2020	55
仕望川	大村	2141	1958 年 10 月	1959~2020	62
州川河	吉县	436	1958 年 10 月	1959~2020	62

2.2.2.5 水资源概况

陕西省人均占有水量 1300m³，从地域分布看，陕南水资源相对丰富，而关中盆地和陕北地区水资源贫乏，缺水严重。

山西省是我国水资源短缺最为严重的省份之一，人均占有量只有 466m³，仅相当于全国人均水平的 17%，世界人均水平的 4%。

2.2.2.6 自然资源概况

山西省、陕西省煤炭资源遍布两省的广大地区，煤质优，储量丰富，铁、铝等金属矿藏开采潜力也很大。

河段右岸的陕西省已发现有矿产 130 种，其中煤炭预测储量达 10000 亿 t，保有储量 1619.6 亿 t，居全国第 3 位，主要集中于陕北、渭北，以低灰、低硫磷、高发热量为特色，正在开发的神府煤田探明储量 1400 亿 t，为世界七大煤田之一。锇、铼、钆、泥灰岩等 9 种矿藏探明储量居全国第 1 位。石油、天然气储量也十分丰富，榆林地区的气田面积达 2000km²，已探明储量 1700 亿 m³，远景储量 3.69 万亿 m³ 以上。陕北地区石油探明储量 2.7 亿 t，年开采、加工能力 100 万 t。

河段左岸的山西省目前已发现 120 多个矿种，探明储量的矿产资源 53 种，其中煤炭预测储量 9000 多亿 t，探明储量 2608 亿 t，占中国煤炭探明储量的三分之一，具有低灰、低硫、低磷和高发热量的特点，煤田地质构造简单，煤层稳定，埋藏较浅，便于

开采。预测煤层气资源量储量约为 4 万亿 m³~5 万亿 m³，约占全国总量的 1/7~1/5。

2.2.3 区域社会经济背景

拟建工程涉及区域范围较大，左岸为山西省，共涉及 2 个地级市，右岸为陕西省，共涉及 2 个地级市。两岸区域地处黄土高原，多数县区经济发展水平落后，增长缓慢。

2.2.3.1 陕西省

陕西省土地总面积 20.56 万 km²，占全国总面积的 2.15%。2021 年末全省总人口 3954 万人。2021 年全省 GDP 达到 29800.98 亿元，其中第一产业 2409.39 亿元，第二产业 13802.52 亿元，第三产业 13589.07 亿元。

在国家西部大开发战略的推动下，陕西省将大力发展以西安为中心的关中地区高新技术产业开发带，加快陕北能源重化工基地建设，将陕西建成全国重要的装备工业、国防军工、能源工业基地。

库区右岸共涉及 6 个县，基本情况见表 2.2.3-1。

表 2.2.3-1 库区陕西侧涉及县区社会经济情况一览表

序号	市	县	社会经济基本概况
1	延安市	宜川县	宜川县位于陕西省北部、延安市东南部，东隔黄河与山西吉县相望，总面积 2931km ² ，常住人口 11.21 万。2020 年，全县生产总值 42.4 亿元，人均生产总值 67823 元。
2		延长县	延长县位于陕西省东北部、延安地区东部，东隔黄河与山西省大宁、永和县相望，总面积 2368.7km ² 。常住人口 11.80 万人。2021 年，全县生产总值 68.49 亿元，人均生产总值 58042 元。
3		延川县	延川县位于陕西省北部，延安市东北部，东隔黄河与山西省永和县相望，总面积 1985km ² ，常住总人口 13.70 万人。2021 年，全县生产总值 118.97 亿元，人均地区生产总值 86839 元。
4	榆林市	清涧县	清涧县位于榆林东南部，东隔黄河与山西省石楼县相望，总面积 1881km ² ，常驻人口 21.00 万。2021 年，全县生产总值 69.65 亿元，人均生产总值 33167 元。
5		绥德县	绥德县位于榆林南部，东南隔黄河与山西省柳林县相望，总面积 1878km ² ，常驻人口 25.53 万。2020 年，全县生产总值 100.15 亿元，人均生产总值 39228 元。
6		吴堡县	吴堡县位于陕西省东北，榆林市东南部，东隔黄河与山西省临县、柳林相望总面积 428km ² ，常住人口 53.94 万。2020 年全县生产总值 28.61 亿元，人均生产总值 5304 元。

2.2.3.2 山西省

山西省总土地面积 15.62 万 km²，占全国总面积的 1.6%。根据第七次全国人口普查结果，截至 2020 年 11 月 1 日零时，山西省的常住人口为 3491.6 万人，其中城镇人口 2207.5 人，占总人口的比重为 63%。2020 年全省 GDP 达到 19652 亿元，其中第一产业 947 亿元，第二产业 7675 亿元，第三产业 9030 亿元。根据 2020 年统计数据，耕地面积 3541.5 千公顷，粮食总产量 1424.3 万 t。

山西省将抓住国家积极推进对老工业基地改造的机遇，在煤炭、冶金、化工、机械、建材等行业，有重点、分层次地改造一批骨干企业，提高工艺水平和装备水平；积极发展投资少、周期短、见效快的轻工业；大力振兴以重矿机械、机电一体化为主的装备制造；利用煤炭资源优势，大力发展坑口火电，建成“西电东送”的火电基地。

库区左岸共涉及 5 个县，基本情况见表 2.2.3-2。

表 2.2.3-2 库区山西侧涉及县区社会经济情况一览表

序号	市	县	社会经济基本概况
1	临汾市	吉 县	吉县位于山西西南边隅，西隔黄河与陕西宜川县相望，总面积 1777.26km ² ，总人口 8.74 万。2020 年，全县生产总值 24.05 亿元，人均生产总值 16331 元。
2		大宁县	大宁县位于山西省吕梁山南端，西与陕西延长县隔黄河相望，总面积 967km ² ，常住人口 5.22 万。2021 年，全县生产总值 14.66 亿元，人均生产总值 28.84 元。
3		永和县	永和县地处吕梁山脉南端，西隔黄河与山西省延川县相望，总面积 1219km ² ，常住总人口 4.77 万人。2021 年，全县生产总值 21.07 亿元，人均地区生产总值 44172 元。
4	吕梁市	石楼县	石楼县位于吕梁山西麓，西隔黄河与陕西省清涧县相望，总面积 1808km ² ，常驻人口 12.10 万。2021 年，全县生产总值 21.01 亿元，人均生产总值 17364 元。
5		柳林县	柳林县位于山西省西部，西隔黄河与山西省吴堡、绥德相望，总面积 1287.29km ² ，常驻人口 28.80 万。2020 年，全县生产总值 220.5 亿元，人均生产总值 76563 元。

2.2.4 区域环境概况

2.2.4.1 地表水环境

1. 库区河段

库区河段吴堡-坝址河段两岸社会经济比较落后，河段整体开发强度较小，主要以农业生产为主，库区范围内分布有两处点源，分别为吴堡县污水处理厂与吴堡县民康食品公司排污口。

库区河段干流水质主要受万家寨下泄水质影响，水质较好，一般可以满足《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类水体要求。支流中除昕水河水质较好外，三川河、无定河、清涧河、延河入黄断面水质存在不同程度超标情况，为III~劣V类，难以满足该河段水功能区水质要求。

2. 坝址至三门峡河段

根据调查，黄河干流龙门至三门峡段现有较大的入河排污口 17 处，主要分布在坝下的陕西韩城、山西河津市、运城市、河南陕县段，其中城镇生活排污口有 7 个，其余为工业排污口，以金属制造、钢铁、煤炭等化工排污为主。

坝址下游~三门峡河段是三省交界河段，近几年来，黄河干流龙门、潼关、三门峡

库区断面不同水期内各项指标均符合 III 类水质目标要求。支流渭河近年来不同水期内各项指标均符合 IV 类水质目标要求；支流汾河、涑水河等由于径流量较小且沿途接纳了大量的城镇生活、工业、养殖废污水等导致水质较差，大部分时段不能满足相应的水功能区水质目标要求。

2.2.4.2 陆生生态

工程区域位于黄土高原丘陵沟壑区，水土流失严重，人为干扰强烈，植被覆盖度低，生物多样性一般，生态环境十分脆弱。经过多年生态治理措施实施，黄土高原生态环境发生了较大变化，植被覆盖度大幅增加，土壤侵蚀强度降低，但黄土高原土壤侵蚀敏感性高的特点没有得到根本性的改变，生态环境脆弱，极易受到人为干扰影响。

1. 土地利用

工程影响范围内生态系统受人为活动影响较大，主要土地利用类型有：草地、耕地、林地、水域湿地、建设用地、未利用土地等，其中草地和耕地为主要土地利用类型，林地次之，水域湿地、建设用地及未利用土地面积最小。

2. 陆生植物

项目区位于半湿润气候区，由于降水量少，区内自然植被状况较差，农业植被类型分布广泛，主要有小麦、玉米、谷子、黄豆、胡麻和蔬菜等，人工林主要有杨树、刺槐和枣、苹果、梨、桃等。

自然植被以草丛、灌丛植被为主。草丛植被以温性中生和中旱生禾草组成的草丛植被类型为主。白羊草草丛和蒿类草丛分布广泛，黄背草草丛也较多，为主要草丛植被类型。灌丛植被主要为荆条、酸枣、虎榛子。

3. 陆生动物

评价区陆生栖脊椎动物地理区划为东洋界、古北界和广布种。鸟类以鸣禽种类为主，还有部分猛禽、游禽、涉禽、陆禽和攀禽等，集中分布于评价区黄河及其支流两岸、滩涂、灌丛或林地生境，生境较为广泛。兽类和爬行类的生境以林地和灌丛为主，两栖类生境以河流和沟谷灌丛为主。

4. 生态完整性

评价区大部分区域为草地，其他斑块只是镶嵌分布在草地上，阻止外界干扰的功能

较弱。从草地斑块内部看，由于植被覆盖度低，生物多样性差，草地斑块的自维持能力也不强，评价区的阻抗稳定性不强。评价区平均净第一性生产力处于较低水平，恢复稳定性不强，因此评价区生态完整性维护状况一般。

2.2.4.3 水生生态

根据评价对黄河工程及其影响河段北干流的磴口至潼关河段的水生生态进行的重点调查，评价区干流浮游生物、底栖动物种类、密度及生物量都高于支流。

壶口以上黄河干流可以明显的区分为库区湖泊型生境以及河道流水生境，鱼类群落结构组成也存在一定差异，万家寨库区以及支流汇入口处鱼类种类和数量较多，多为喜静水或缓流水鱼类；黄河壶口以上的流水河段则以喜流水性鱼类瓦氏雅罗鱼为常见种，资源量相对较大；黄河出禹门口之后至潼关的小北干流河段存在大量的散流漫滩、心滩，湿生植被丰茂，可以较大程度上满足产粘沉性卵鱼类繁殖，该河段的鱼类优势种群为喜静、缓流水生境鱼类。

根据相关资料以及调查显示，评价区鱼类以产沉粘卵鱼类为主，产卵场多靠近岸边的浅水区域，并有一定的水生维管束植物分布；调查范围内无大型洄游性鱼类，存在部分产漂流性鱼类，需短距离的生殖洄游。

2.2.4.4 小北干流湿地

黄河小北干流河段，即黄河中游禹门口至潼关河段，位于古贤水利枢纽工程坝下 72km 处，地理位置介于北纬 $34^{\circ} 13'$ 至 $35^{\circ} 52'$ 和东经 $108^{\circ} 58'$ 至 $110^{\circ} 38'$ 之间，全长 132.5km，呈近南北流向。

黄河小北干流河段属典型的堆积游荡型河道，河段河势具有宽、浅、散、乱等特征。由于河宽流缓，主流经常摆动，使得泥沙大量沉积，形成了特殊的沿河洪漫湿地，呈带状分布在沿河两岸河道整治工程之间的区域。

该河段一直是流域历次规划的黄河干流重点治理河段和滞洪沉沙的重要场所之一，也是滩区群众赖以生存的家园，两岸分布有人口约 11 万人，耕地约 60 万亩。

2.2.4.5 土壤环境

古贤坝址两侧区域地形主要为黄土梁、峁，沟壑发育，具典型的黄土地貌特征，附近主要为荒坡和退耕还林坡地，黄土层以中粉质壤土和重粉质壤土为主，夹轻粉质壤土、

粉质粘土薄层，局部为粉质砂壤土，含少量钙质结核，其表部多为耕植层。

2.2.5 区域存在的主要环境问题

2.2.5.1 库区

1. 支流水环境问题突出，水污染形势严峻

库区所在河段黄河干流水质较好，常年为Ⅱ~Ⅲ类；库区河段主要入黄支流共5条，这些支流流经陕西、山西主要县城、城镇，社会经济发展相对落后，水污染处理措施不到位，致使水质较差，常年处于Ⅲ类~劣Ⅴ类，部分支流大部分时段不能满足水功能区水质目标要求，支流水污染形势较为严峻。

2. 水土流失严重，生态环境脆弱

库区属黄土高原沟壑区和黄土丘陵沟壑区，植被稀疏，水土流失严重，生态环境脆弱。经过多年的治理，局部区域生态环境得到了改善，但水土流失仍然严重。

由于该区水土流失严重，该区为黄河粗泥沙来源区的一部分，大量的入黄泥沙是造成黄河下游河道淤积、河床高悬的根源。

3. 流域水资源供需矛盾突出，部分时段生态流量得不到满足

近几十年来随着黄河上中游地区社会经济的发展，用水量逐年增加，黄河北干流河段河道内水量减少，部分时段河道基本生态用水得不到保障，据统计，黄河龙门断面2000-2020年全年不满足生态流量（11-3月 $180\text{ m}^3/\text{s}$ ，4-6月 $240\text{ m}^3/\text{s}$ ，7-10月 $336\text{ m}^3/\text{s}$ ）的天数平均每年为48天，尤其在枯水年份不满足生态流量的天数更多，部分年份超过了100天，河流生态廊道功能下降。

2.2.5.2 坝址下游区域

坝址下游黄河干流及相关区域面临的主要环境问题有如下四点：

1. 水资源供需矛盾尖锐，生态环境问题依然突出

黄河中下游水资源供需矛盾突出，经济社会发展用水严重挤占河道生态环境用水。黄河水量特别是枯水年的水量远不能满足生活、生产、生态用水需求，生态用水保障不足，导致湿地萎缩、栖息地破坏、河流生态功能退化等生态环境问题。自黄委开展黄河水量统一调度、调水调沙及生态调度等系列实践活动以来，在一定程度上缓解了下游因水资源失衡所产生的生态恶化趋势，实现了河流湿地、鱼类栖息地、沿岸地下水的基本

保护。但目前黄河水资源供需矛盾尖锐的形势仍然存在,生态环境面临的问题依旧突出。

2. 支流水污染严重,部分时段不满足水功能区水质要求

古贤坝址下游潼关~三门峡河段是三省交界河段,渭河、汾河、涑水河等支流在此汇入黄河。由于汾河、涑水河主要流经山西的重要城市、乡镇,水质较差,虽经多年治理,水污染仍比较突出,常年为 IV 类~劣 V 类。

3. 水沙关系不协调,下游防洪压力大

黄河问题的症结在于“水少、沙多、水沙不协调”,这是下游河道淤积抬高、洪灾频繁的主要原因。目前,黄河下游河道不仅是“地上悬河”,而且是槽高、滩低、堤根洼的“二级悬河”。主河槽高出两岸地面 4~10m。一旦发生较大洪水,增加了主流顶冲堤防、产生顺堤行洪,甚至发生滚河的可能性,严重威胁黄河下游防洪安全。小浪底水库运用后,使进入下游的稀遇洪水得到有效控制,同时通过水库拦沙和调水调沙遏制了河道淤积,河道最小平滩流量由 $1800\text{m}^3/\text{s}$ 提高到目前的 $4600\text{m}^3/\text{s}$,但小浪底水库拦沙库容淤满后,若无后续控制性骨干工程,已形成的中水河槽将难以维持,下游河道复将严重淤积抬高,河防工程的防洪能力将随之降低,黄河下游洪水威胁形势加大。

2.3 工程涉及的环境敏感区概况

经调查,工程所在河段环境敏感区较多,分布有风景名胜区、地质公园以及自然保护区,共计 10 个。各敏感区具体情况见第 9 章~第 15 章相关内容。本节仅对概况做简单介绍。

2.3.1 直接影响的环境敏感区

工程建设和运行直接影响的环境敏感区有 5 处,其中:库区内 4 个,分别为山西永和黄河蛇曲国家地质公园、陕西延川黄河蛇曲国家地质公园、陕西省清涧无定河曲流群地质公园和黄河乾坤湾风景名胜区;坝址下游 1 个,即黄河壶口瀑布风景名胜区。

2.3.1.1. 山西永和黄河蛇曲国家地质公园

1. 概况

山西永和黄河蛇曲国家地质公园是 2011 年 12 月第六批被国土资源部批准的国家地质公园,根据《山西永和黄河蛇曲国家地质公园规划(2012-2025 年)》(2012 年 9 月),

公园北起前北头，南至铁罗关，西到黄河河道中线，东至上退干村。地质公园全长约 50km，东西宽约 1km~10km，总面积为 105.61km²。

2. 保护对象

主要保护对象为园区内黄河曲流及对应的河心岛、河流阶地等水体地貌。

山西永和黄河蛇曲国家地质公园包括英雄湾景区、永和关湾景区、郭家湾景区、河洄湾景区和仙人湾景区共 5 个景区。

3. 与本工程的关系

山西永和黄河蛇曲国家地质公园位于古贤工程坝址上游，其下边界距离古贤工程坝址约 50km，本工程在该地质公园内无施工布置和工程布置。古贤工程建设期 11 年，对该地质公园无影响；古贤工程建成后，将对山西永和黄河蛇曲国家地质公园产生一定的淹没影响。

2.3.1.2. 陕西延川黄河蛇曲国家地质公园

1. 概况

陕西延川黄河蛇曲国家地质公园是 2005 年 9 月第四批被国土资源部批准的国家地质公园，位于延川县域东部，黄河沿线。根据《陕西延川黄河蛇曲国家地质公园规划（2011-2030 年）》（2011 年 12 月），公园北起伏寺湾，南至会峰寨，西从武家山村东达黄河主流线，南北长约 12.5km，东西宽约 4.5km~10.2km，总面积 86.0km²。

2. 保护对象

主要保护对象为三大蛇曲（伏寺湾蛇曲、乾坤湾蛇曲、清水湾蛇曲），三大蛇曲外围的黄河沿岸地质遗迹、小程村和碾畔民俗民情文化，黄土高原地貌宏观特征以及其他呈点状分布的重要地质遗迹。

3. 与本工程的关系

陕西延川黄河蛇曲国家地质公园位于古贤工程坝址上游，其下边界距离古贤工程坝址约 50km，本工程在该地质公园内无施工布置和工程布置。古贤工程建设期 11 年，对该地质公园无影响；古贤工程建成后，将对陕西延川黄河蛇曲国家地质公园产生一定的淹没影响。

2.3.1.3. 陕西省清涧无定河曲流群地质公园

1. 概况

陕西省清涧无定河曲流群地质公园是2015年12月陕西省国土厅批复的省级地质公园，位于陕西省榆林市清涧县高杰村镇、玉家河镇和老舍翼乡境内。地处华北地台的鄂尔多斯台向斜之陕北台凹东部，属于黄土残塬梁峁丘陵沟壑区和黄河沿岸蚀余黄土丘陵沟壑区。公园北起邢家塌村，南至惠家河入黄口，西从川口东达高家峁村，南北长11.9km，东西最宽6km，总面积为47km²。

2. 保护对象

园区内主要地质遗迹为太极湾、鱼儿砦、无定河曲流群、峡谷及河流阶地以及古生物化石地质遗迹。

3. 与本工程的关系

陕西省清涧无定河曲流群地质公园位于古贤水利枢纽工程坝址上游120km处。本工程在该地质公园内无施工布置和工程布置，工程建设期11年，对该地质公园无影响；古贤工程建成后，将对陕西省清涧无定河曲流群地质公园产生一定的淹没影响。

2.3.1.4. 黄河乾坤湾风景名胜区

1. 概况

黄河乾坤湾省级风景名胜区位于永和县西部的黄河沿线的晋陕两省交界处，根据2017年6月山西人民政府批复的《黄河乾坤湾风景名胜区总体规划（2016-2030年）》，乾坤湾风景名胜区总面积105.61km²，总体呈南北向展布，南北长约32km，东西宽1-5km，地理坐标东经110°24′34″-110°27′19″，北纬36°40′32″-36°52′43.3″。

该景区的范围和面积与山西永和黄河蛇曲国家地质公园一致。

2. 保护对象

黄河乾坤湾风景名胜区是以黄河多湾相连的蛇曲群地质遗迹、黄河峡谷地貌景观、黄土高原民俗村和古民居、红色革命遗迹四大特色景观为核心资源，融多元历史文化——乾坤湾文化与蛇曲群、峡谷、黄土高原等自然景观为一体，以科学考察、历史文化探源、游览观光度假和生态科研保育为主要功能的河流类省级风景名胜区。

黄河乾坤湾风景名胜区划分为五个景区：英雄湾景区、永和湾景区、郭家山湾景区、

河汾里湾-白家山湾景区、仙人湾-于家咀湾景区。其中河汾里湾-白家山湾景区、仙人湾-于家咀湾景区是核心主要景区。

3. 与本工程的关系

黄河乾坤湾风景名胜区位于古贤水利枢纽工程坝址上游 50km 处。本工程在该风景名胜区内无施工布置和工程布置，工程建设期 11 年，对该风景名胜区无影响；古贤工程建成后，将对黄河乾坤湾风景名胜区产生一定的淹没影响。

2.3.1.5. 黄河壶口瀑布风景名胜区

1. 概况

黄河壶口瀑布风景名胜区以壶口瀑布以及十里龙槽等地质遗迹为核心景观，左、右岸景区分属山西省吉县和陕西省宜川县，东距吉县县城 45km，西距宜川县城 49km。山西侧风景区总面积 116km²，陕西侧风景区总面积为 147.94km²。

黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）的管理部门为临汾市黄河壶口瀑布风景名胜区管委会，黄河壶口瀑布风景名胜区（陕西）的管理部门为陕西省宜川县黄河壶口风景名胜区管理局（陕西省宜川县黄河壶口瀑布地质公园管理处）。

2. 与本工程的关系

壶口瀑布位于古贤水利枢纽坝址下游 10.1km 处。本工程在该风景名胜区内布置有进场道路和皮带机并线线路、黄河大桥、场内道路等，无施工生活区、取弃土场等布置。

（1）山西侧景区：古贤大坝距离景区北部边界 3km，施工进场道路和皮带机穿越景区二、三级保护区，穿越长度约 11km，主要穿越方式为隧道桥梁形式，隧道占 90% 以上。

（2）陕西侧景区：拟建的黄河大桥、2#、6#进场道路位于景区三级保护区，穿越长度约 3.5km。

2.3.2 间接影响的环境敏感区

工程建设和运行间接影响的环境敏感区有 3 处，全部位于坝址下游区域，1 个地质公园为黄河壶口瀑布国家地质公园，2 个自然保护区为山西运城湿地省级自然保护区和陕西黄河湿地省级自然保护区。

2.3.2.1 黄河壶口瀑布国家地质公园

黄河壶口瀑布国家地质公园是 2001 年国土部批准的国家地质公园，位于黄河中游晋陕峡谷，南至县川口，北至龙王辿，以黄河为轴心向东西各延伸 1.5km，其中西岸为黄河壶口瀑布国家地质公园（陕西），隶属陕西省宜川县，总面积为 29km²；东岸为黄河壶口瀑布国家地质公园（山西），隶属山西省临汾市吉县管辖，面积为 26.89km²。

黄河壶口瀑布国家地质公园为综合性国家地质公园，以水体、峡谷、黄土地貌以及侵蚀地貌等地质遗迹景观为主，其中壶口瀑布以及十里龙槽为核心地质遗迹景观。

本工程在该地质公园内无工程及施工布置。

2.3.2.2 山西运城湿地省级自然保护区

山西运城湿地省级自然保护区于 2001 年 5 月由山西省人民政府批准建立，位于龙门断面以下河段，范围为东经 110° 15′ -112° 05′，北纬 34° 36′ -35° 39′，其上边界距离古贤坝址 72.5km，本工程在该自然保护区内无工程及施工布置。

山西运城省级湿地自然保护区保护对象为湿地自然环境及自然资源。

2.3.2.3 陕西黄河湿地省级自然保护区

陕西黄河湿地省级自然保护区于 2000 年 12 月底成立，由原“陕西三河湿地自然保护区”与原“合阳黄河湿地自然保护区”合并并扩建后建立。保护区位于龙门断面以下河段，北起禹门口，南至黄河、渭河和洛河交汇地带的风陵渡铁路桥，东以黄河“治导控制线”中心线为界与山西相连，西界北段沿黄河老崖，其北边界距离古贤坝址约 70km，本工程在该自然保护区内无工程及施工布置。

陕西黄河湿地省级自然保护区保护对象为河流湿地生态系统及生物多样性。

2.3.3 基本无影响的环境敏感区

工程建设和运行基本无影响的环境敏感区有 2 处，分别为山西管头山省级自然保护区和山西人祖山省级自然保护区。

2.3.3.1 山西管头山省级自然保护区

山西管头山省级自然保护区位于吉县西部，地处吕梁山南端，地理坐标为东经 110° 30′ 01″ ~110° 40′ 45″ 和北纬 36° 06′ 32″ ~36° 13′ 05″，东西长 15.0km，南北宽 12.9km，主要保护对象为金钱豹、褐马鸡等国家重点保护野生动物及森林生态系统。

本工程建设影响区及水库淹没区均不涉及山西管头山省级自然保护区。山西管头山省级自然保护区位于本工程进场道路工程东侧，其实验区边界距工程最近距离为 2km。

2.3.3.2 山西人祖山省级自然保护区

山西人祖山省级自然保护区位于吉县西北部，地处晋西吕梁山南麓，地理坐标为东经 $110^{\circ} 33' 20'' \sim 110^{\circ} 43' 01''$ 和北纬 $36^{\circ} 10' 02'' \sim 36^{\circ} 19' 30''$ ，东西长 15.0km，南北宽 18.0km，主要保护对象为金钱豹、褐马鸡等国家重点保护野生动物及森林生态系统。

工程建设影响区及水库淹没区均不涉及山西人祖山省级自然保护区。山西人祖山省级自然保护区位于坝址及库区东侧，其西侧边界距库区最近距离为 9km，距坝址最近距离为 18km。

第三章 工程对实现黄河长治久安的战略意义

3.1 黄河长治久安的目标和任务

3.1.1 流域概况

黄河流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东等九省(区)，干流河道全长 5464km，流域面积 79.5 万 km² (包括内流区 4.2 万 km²)。

流域西部地区属青藏高原，平均海拔在 3000m 以上；中部地区绝大部分属黄土高原，海拔在 1000m~2000m 之间；东部属黄淮海平原，河道高悬于两岸地面之上。

内蒙古托克托县河口镇以上为黄河上游，干流河道长 3472km，流域面积 42.82 万 km²。其中兰州以上河段是黄河径流主要来源区。

河口镇至桃花峪为黄河中游，干流河道长 1206km，流域面积 34.38 万 km²。河段内绝大部分支流流经黄土高原，水土流失十分严重，是黄河洪水和泥沙的主要来源区。古贤坝址即位于该河段，控制了黄河 80%的水量、60%的沙量和 80%的粗沙量。

桃花峪以下为黄河下游，干流河道长 786km，流域面积 2.27 万 km²。河道高悬于两岸，逐渐发展为举世闻名的“地上悬河”，河床高出大堤背河地面 4m~6m，比两岸平原高出更多。黄河下游的悬河之势严重威胁着黄淮海平原的安全，是黄河治理和防洪安全最重要的河段。

3.1.2 流域自然环境特点

水资源。黄河流域水资源贫乏，且时空分布不均。人均水资源量 473m³，为全国平均的 23%，亩均水资源量 220m³，不足全国平均的 15%。时空分布不均主要表现为：一是径流年内、年际变化大，干流及主要支流汛期 7 月~10 月径流量占全年的 60%以上，干流年径流量最大值一般为最小值的 3.1 倍~3.5 倍；二是空间分布不均，河川径流大部分来自兰州以上，年径流量占全河的 62%。

泥沙。黄河输沙量大，水流含沙量高，为大江大河之最。泥沙地区分布不均，水沙异源，泥沙主要来自中游的河口镇至三门峡区间，来沙量占全河的 89.1%。同时泥沙年内分配极不均匀、年际变化极大，汛期 7 月~10 月来沙量约占全年来沙量的 90%，实

测最大年输沙量为最小年输沙量的 30 倍。

水土流失。黄土高原地区总面积 64.06 万 km²，水土流失面积达 45.17 万 km²，占流域水土流失总面积的 97.1%，其中侵蚀模数大于 15000t/km²·a 的剧烈水蚀面积 3.67 万 km²，占全国同类面积的 89%。严重的水土流失是导致黄河下游河道持续淤积、河床高悬的根源。

水生生态。黄河源区湖泊和沼泽众多，具有较强的水源涵养能力；上游河道外湖泊湿地多属人工湿地，主要依靠农灌退水或引黄河水补给水量；中游小北干流河段和下游河道由于淤积摆动变化大，形成了沿河呈带状分布的河漫滩湿地；黄河河口湿地自然资源丰富，位于海陆交错地带，生物多样性较高。

洪灾和旱灾。黄河下游的水患历来为世人所瞩目。历史上黄河下游“三年两决口，百年一改道”，给中华民族带来了沉重的灾难。据记载，从 1761 年到 1958 年不到 2000 年的时间内，黄河下游超过 22000m³/s 的特大洪水 5 次，其中超过 30000m³/s 洪水达 2 次。下游滩区居住着 189.5 万人，经常遭受洪水威胁，经济发展落后。除干流外，支流历史上也洪灾频繁，渭河 1401 年~2005 年发生洪灾的年数为 233 年，平均 2.6 年一次。洪灾频繁的同时，黄河流域也是旱灾最严重的地区之一，特别是黄土高原地区，降雨量仅 100mm~300mm，蒸发量则高达 1000mm~1400mm，历史上十年九旱。

社会经济。流域内分布有黄淮海平原、汾渭平原、河套灌区等农产品主产区，粮食和肉类产量占全国三分之一左右。煤炭、石油、天然气和有色金属资源储量丰富，是我国重要的能源、化工、原材料和基础工业基地。经济社会发展潜力巨大。

3.1.3 黄河长治久安的要求

2013 年国务院批复的《黄河流域综合规划（2012-2030）》指出，谋求黄河长治久安，必须立足于黄河下游现行河道的长期行河，使进入下游的洪水能够安全排泄入海，维持良好的水质和生态系统的良性循环，维持黄河健康生命，以水资源的可持续利用支撑流域及相关地区经济社会的持续发展。未来黄河长治久安的战略重点和主要难点是努力减少进入下游河道的泥沙，改善水沙关系，使下游河道不显著淤积抬高。

2019 年 9 月 18 日习近平总书记在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会的讲话提出，保障黄河长治久安是黄河流域生态保护和高质量发展的主要目标任务之一，黄河水

少沙多、水沙关系不协调，是黄河复杂难治的症结所在。要紧紧抓住水沙关系调节这个“牛鼻子”，完善水沙调控机制……减缓黄河下游淤积，确保黄河沿岸安全。《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》指出，科学调控水沙关系，完善以骨干水库等重大水利工程为主的水沙调控体系，优化水库运用方式和拦沙能力。优化水沙调控调度机制，创新调水调沙方式，加强干支流水库群联合统一调度，持续提升水沙调控体系整体合力。加强龙羊峡、刘家峡等上游水库调度运用，充分发挥小浪底等工程联合调水调沙作用，增强径流调节和洪水泥沙控制能力，维持下游中水河槽稳定，确保河床不抬高。

人民治黄以来，在党中央、国务院的高度重视下，黄河保护治理取得了巨大成就。但受黄河特殊河情影响，目前黄河治理保护与黄河长治久安的主要目标任务相比还存在一定差距，主要表现在：

一是“地上悬河”防洪风险依旧，下游河槽存在回淤可能，工程体系仍存在短板。黄河输沙量大、含沙量高，水沙关系不协调，下游游荡性河势尚未得到完全控制，“地上悬河”“二级悬河”“滩区百万群众防洪保安”等老问题尚未彻底解决，气候变化和极端天气引发超标准洪水的风险依然存在。

小浪底水库投入运用以来，通过水库拦沙和调水调沙，下游河道平滩流量已经由最小的 $1800\text{m}^3/\text{s}$ 恢复至 $4600\text{m}^3/\text{s}$ 以上，对逐步遏制“二级悬河”的发展等发挥了重要的作用，防洪形势有所好转。然而下游“二级悬河”的不利形态未发生根本性的变化（堤沟河形势依旧），当小浪底水库拦沙完成后，由于缺乏骨干工程配合，调水调沙后续动力不足，对进入黄河下游水沙的调控能力也越来越弱，下游河道又将淤积抬升，黄河下游依然面临洪水风险威胁。

二是流域水资源配置格局尚未完善，节约集约利用水平较低。由于黄河水资源时空分布不均的特点，要确保黄河中下游不断流和基本稳定的生活、生产、生态用水过程，就必须有足够的大型调蓄工程，但目前黄河中游尚无大型调蓄工程，导致黄河中下游河段工程性缺水问题依然突出，缺乏径流调节能力，表现为丰水年份水资源无法得到有效利用，而枯水年份生产、生活用水挤占生态用水，河道内生态水量不足，甚至存在断流风险，如 2001 年 7 月 22 日潼关水文站流量仅有 $0.95\text{m}^3/\text{s}$ 。

三是水土流失依然突出，防治任务依然艰巨。2019 年流域仍有接近一半的水土流

失面积尚未得到有效治理，其中 7.86 万 km² 多沙粗沙区自然条件十分恶劣，尤其是 1.88 万 km² 的粗泥沙集中来源区治理难度更大，防治任务依然艰巨。

四是水生态保护压力持续增大。汾渭平原等地区地下水超采，流域浅层地下水年均超采达 9.4 亿 m³。生产用水严重挤占河道内生态环境用水，黄河中游龙门至潼关河段时常出现小流量过程甚至几近断流，严重时潼关断面流量不足 1m³/s，给黄河河道内生态环境带来不利影响。

3.1.4 黄河保护与治理总体布局

黄河的根本问题是“水少、沙多、水沙不协调”，这是黄河复杂难治的症结所在。国务院批复的《黄河流域综合规划（2012-2030 年）》对黄河保护与治理的总体布局为：通过建设骨干水利枢纽，利用拦沙库容拦减泥沙，减少进入下游河道泥沙；通过强化节水和实施跨流域调水，有效增加黄河水资源量，基本保障经济社会发展和生态环境用水需求，实现河流生态系统良性循环；黄河下游形成完善的河防工程体系，保持中水河槽排洪输沙功能，使洪水泥沙安全排泄入海；利用完善的黄河水沙调控体系联合运用，科学管理洪水，优化配置水资源，协调水沙关系，控制河道淤积，维持黄河健康生命，谋求黄河长治久安。

其中，黄河水沙调控体系既是确保黄河长治久安的关键手段，也为全河水资源配置提供工程基础，同时也为河湖水生态保护提供了保障条件，是黄河保护与治理总体布局的关键。

水沙调控体系主要工程布局为建设龙羊峡、刘家峡、黑山峡、碛口、古贤、三门峡、小浪底等骨干水利枢纽。其中龙羊峡、刘家峡、黑山峡等水利枢纽构成上游调控子体系，以水量调节为主；碛口、古贤、三门峡、小浪底水利枢纽等构成中游调控子体系，以调控洪水泥沙为主。

古贤水利枢纽工程位于黄河中游，控制了黄河 80% 的水量、60% 的泥沙和 80% 的粗泥沙，是控制黄河北干流洪水、泥沙的关键性工程，与小浪底水库联合调水调沙具有天然的地理优势，可以为小浪底提供后续水流动力，是保障黄河长治久安的骨干工程之一。



图 3.1.4-1 黄河水沙调控体系总体布局示意图

3.2 工程建设的必要性

古贤水利枢纽工程位于黄河中游北干流碛口至禹门口河段，上距万家寨水库 550km，下距小浪底水利枢纽 445km。水库总库容 130.59 亿 m^3 ，其中拦沙库容 93.42 亿 m^3 ，防洪库容 12 亿 m^3 ，调水调沙库容 20 亿 m^3 。开发任务为：以防洪减淤、调水调沙为主，兼顾供水灌溉和发电等综合利用。

3.2.1 是保障黄河长治久安，确保堤防不决口、河床不抬高的战略工程

习近平总书记指出，黄河安澜是中华儿女千年期盼，保障黄河长治久安，必须紧紧抓住水沙关系调节这个“牛鼻子”。古贤水利枢纽建设可进一步完善黄河防洪减灾体系和水沙调控体系，更稳更牢抓住水沙关系调节的“牛鼻子”，更好发挥骨干水库群联合调度蓄水拦沙、调水调沙的效能，确保黄河下游大堤不决口、河床不抬高。

(1) 维持下游中水河槽过流能力，确保黄河下游堤防不决口

黄河下游河道是槽高于滩、滩高于堤外地面的“二级悬河”，由于主槽过流能力不足，中常洪水发生“横河”“斜河”的几率增加，一般洪水造成堤防重大险情的机会增加，加之两岸堤防均为土堤，抗冲能力差，难以抵挡“横河”“斜河”情况下水头的冲击，稍有不慎就可能“冲决”和“溃决”堤防，造成毁灭性灾难。古贤水库和小浪底水库联合调水调沙，可对小洪水过程进行重新塑造，较长时期协调进入下游的水沙关系。

在黄河遇不利水沙条件、下游主槽严重淤积萎缩时，与小浪底水库联合泄放适合塑槽的流量过程，恢复下游河道的中水河槽行洪输沙能力。分析计算表明，对设计 1962-8 系列（四站年均来沙量 8 亿 t），古贤、小浪底水库联合运用，可使黄河下游中水河槽过流能力在 2080 年以前基本维持在 $4300\text{m}^3/\text{s}$ 水平，对设计 1962-6 系列（四站年均来沙量 6 亿 t），古贤、小浪底水库联合运用，计算时段内（2030 年～2090 年）黄河下游 $4300\text{m}^3/\text{s}$ 以上中水河槽均能维持。古贤、小浪底联合调度，能够有效调节进入黄河下游的水沙过程，进入下游河道流量大于 $4300\text{m}^3/\text{s}$ 的年均天数为 25.6 天，其中有利于中水河槽维持和河势稳定的连续 4 天以上大于 $4300\text{m}^3/\text{s}$ 流量年均出现次数为 2.8 次，天数为 23.7 天比无古贤水库方案增加了 14 天。由此可见，古贤水库对维持黄河下游中水河槽过流能力具有显著作用。中水河槽的长期维持，能够保证黄河下游洪水泥沙输送入海通道的畅通，维持黄河下游“下排”工程能力，打开“上拦”工程的防洪调度空间，减少中常洪水的上滩几率，降低洪水漫滩引起的“横河”“斜河”对堤防顶冲的危害，保障黄河下游堤防不决口。

（2）减少下游河道淤积，确保黄河下游河床不抬高

近年来黄河实测水沙虽然发生了明显变化，但是黄河作为多沙河流的特性没有变，水沙关系不协调的特性没有变，水沙异源的特性没有变，长远看河道持续淤积萎缩的趋势也不会变，黄河的安危仍是中华民族的心腹之患。因此，继小浪底水库之后，不失时机地建设古贤水利枢纽工程，是确保黄河下游河床不抬高、确保黄淮海平原生态安全屏障的重大战略措施。

古贤水利枢纽工程基本控制了河口镇至龙门区间的洪水和泥沙。水库可拦沙 93.42 亿 m^3 （合 121.45 亿 t），有效减少进入下游河道的泥沙。按规划时间 2035 年投入运用，对于设计的 1962-8 系列和 1962-6 系列，古贤、小浪底水库联合运用 60 年可减少黄河下游河道淤积量达 94.75 亿 t、87.09 亿 t，扣除小浪底水库调水调沙的减淤作用后，古贤水库可减少黄河下游河道淤积量达 71.82 亿 t、64.04 亿 t，分别相当于现状工程条件下河道 34 年、47 年的淤积量。古贤水库拦沙完成后，仍然可以利用其最小 20 亿 m^3 调水调沙库容和小浪水库进行联合调水调沙，平均每年可减少下游河道泥沙淤积约 1 亿 t。古贤、小浪底水库联合运用发挥巨大的减淤作用，能够较长时期内实现黄河下游河道不

淤积或处于较低淤积水平，保障黄河下游河道河床不抬高，保证黄河下游现有防洪工程体系防御大洪水的标准不降低。即使按照 2000 年以来的水沙条件（黄河四站来沙 3 亿 t 左右），小浪底拦沙库容淤满后，黄河下游仍将进入淤积状态，仍需要建设古贤水库拦沙确保黄河下游河床不抬高。

（3）减少三门峡库区滩库容损失，维持三门峡水库防洪能力

三门峡水库是黄河下游防洪工程体系的重要组成部分，对于控制“上大”型特大洪水作用尤为明显。但黄河洪水含沙量大，特别是对于“上大”型洪水，洪水量级越大，沙量越多，防洪工程拦蓄洪水的同时，大量泥沙会淤积在库内，使水库库容减少，从而有可能降低水库防洪运用标准。目前三门峡水库坝前滩面高程为 317.5m，当中游发生 10 年一遇以上洪水时，洪水就会上滩淤积，造成水库滩库容的淤损，滩库容淤积后无法恢复，从而影响水库防洪效果。

建设古贤水库可以大幅度减少三门峡水库滩库容的损失，有利于三门峡水库长期发挥削减下游特大洪水作用。古贤水利枢纽基本上控制了河口镇至龙门区间的洪水，水库对入库大洪水分级控制，可将坝址 1000 年一遇洪峰流量由 $38500\text{m}^3/\text{s}$ 削减到 $19800\text{m}^3/\text{s}$ ；100 年一遇洪峰流量由 $27400\text{m}^3/\text{s}$ 削减到 $9620\text{m}^3/\text{s}$ ；50 年一遇洪水流量由 $24100\text{m}^3/\text{s}$ 削减到 $9150\text{m}^3/\text{s}$ ；20 年一遇洪水流量由 $19600\text{m}^3/\text{s}$ 削减到 $8990\text{m}^3/\text{s}$ 。

古贤水库控泄洪水可以大幅度减少三门峡水库滩库容的损失。对于 1933 年型 1000 年一遇洪水，三门峡库区滩库容淤积由无古贤水库的 14.23 亿 m^3 减少为 6.11 亿 m^3 ；100 年一遇洪水滩库容淤积由 7.88 亿 m^3 减少为 1.66 亿 m^3 ，50 年一遇洪水滩库容淤积由 4.42 亿 m^3 减少为 0.73 亿 m^3 ；各频率洪水分别减少库容淤损 8.11 亿 m^3 、6.22 亿 m^3 和 3.69 亿 m^3 ，各频率洪水滩库容损失比无古贤水库条件下减小约 57%~83%。由此可见，古贤水库对减少三门峡水库滩库容淤损，长期发挥三门峡水库防洪作用具有重要意义。

（4）冲刷降低潼关高程，提升渭河下游防洪能力

黄河与支流渭河在潼关河段相汇，潼关高程（潼关（六）断面流量 $1000\text{m}^3/\text{s}$ 相应的水位表示，下同）对渭河下游和黄河小北干流河段起着局部侵蚀基准面的作用。三门峡水库建成初期，由于对黄河泥沙问题估计不足，蓄水运用后，库区泥沙大量淤积，潼

关高程急剧淤积抬高，由建库前 323.4m 升高到 1962 年 3 月的 328.07m，溯源淤积造成渭河下游河床不断淤积抬高，防洪形势日趋严重，同时也造成关中地区地下水位上升，土地大面积盐碱化，大有威胁关中平原和西安市安全之势。

多年的研究结果表明，潼关高程变化与黄、渭（包括北洛河）来水来沙条件、三门峡水库运用、前期河道淤积及河势条件等因素有关，相关因素交织，规律复杂。在其他条件相近的条件下，水沙条件是影响潼关高程升降的主要因素。因此改善潼关河段的水沙条件是降低潼关高程的重要途径。长期治黄实践表明，通过调控北干流河段洪水泥沙塑造大流量过程是冲刷降低潼关高程的有效措施。根据四站设计水沙条件，未来黄河来沙 8 亿 t、6 亿 t 情景方案，四站大流量过程远远不能满足冲刷降低潼关高程的要求。未来冲刷降低潼关高程需要在潼关以上建设骨干水库，拦沙并塑造一定历时、一定量级的大流量过程。

古贤水库建成后，通过水库拦沙和调水调沙运用将从根本上改变小北干流和潼关河段不利的水沙关系，可使小北干流河段显著冲刷，潼关高程显著下降。对于 1962-8 系列、1962-6 系列，古贤水库投入运用后，小北干流河段最大冲刷量达 13.13 亿 t、17.39 亿 t，潼关高程与水库运用之初相比最大下降值达 2.15m、2.76m。由于潼关高程降低，溯源冲刷至支流渭河入黄口以上距离达 200km，使支流渭河华县断面平均河底高程下降 1.5m 左右，从而有效减轻渭河的防洪压力并显著提升渭河下游的防洪标准。

当前，黄河下游防洪形势依然严峻，古贤水库作为保障黄河长治久安的战略工程，可进一步完善黄河防洪减灾体系和水沙调控体系，确保黄河下游堤防不决口、河床不抬高，维持三门峡水库防洪能力，冲刷降低潼关高程，为实现幸福河建设奠定重要基础。

3.2.2 是推进水资源节约集约利用，确保河道不断流的战略工程

习近平总书记在推进南水北调后续工程高质量发展座谈会上强调，“十四五时期以全面提升水安全保障能力为目标，以优化水资源配置体系、完善流域防洪减淤体系为重点，统筹存量和增量，加强互联互通，加快构建国家水网主骨架和大动脉，为全面建设社会主义现代化国家提供有力的水安全保障”。习近平总书记指出，水是黄河的命脉。要从保证黄河安澜的高度，充分认识黄河水之利，坚持节水优先，还水于河，推进水资源节约集约利用。全方位贯彻“四水四定”原则，精打细算用好水资源，从严从细管好

水资源。要统筹考虑全流域水资源科学配置，细化完善干支流水资源分配。

为缓解黄河流域水资源供需矛盾，迫切需要深入贯彻新发展理念，构建“一线多库、节点控制、南北相济、东西平衡”的水资源配置格局，实现生态流量节点控制和黄河流域水资源“东西均衡”，大幅提升流域水安全保障水平。目前黄河流域“一线多库”的水资源配置格局尚未形成，特别是从上游刘家峡水库到中游三门峡水库区间约 2400km 尚无大型调节水库，水资源调蓄能力不足带来河段供水保证率不高、干流河道生态流量不足等问题。

古贤水库位于黄河中游北干流晋陕峡谷段，是黄河“一线多库”水资源配置格局的重要组成部分，在丰水年份实现洪水资源化利用，枯水年减小黄河水资源开发利用率，对保障黄河中下游地区水安全具有极其重要的作用。一方面，古贤水库在不突破黄河“87 分水方案”和“三条红线”总量控制指标前提下，向供水区供水 23.46 亿 m^3 ，减少供水区对地下水的超采，也促进解决供水区空有黄河水指标、守着黄河仍长期缺水的问题，改善晋陕两省 685.3 万亩灌区的灌溉条件，并为供水区城乡生活和工业供水安全提供保障，打牢黄河国家水网之“结”，使供水区供水网络体系更加健全；另一方面，古贤水库在拦沙期和正常运用期均可实现径流年内、年际调节，在丰水年汛期完成调水调沙的同时最大可以实现跨年调节水量 7.7 亿 m^3 ，与小浪底水库联合调度，可以解决调水调沙后期小浪底水库水量调节能力不足的问题，提高黄河下游河南、山东两省的供水保证率，保障汾渭平原和黄淮海平原农产品主产区用水安全，推动构建“系统完备、安全可靠，集约高效、绿色智能，循环通畅、调控有序”的黄河大水网和“总量控制、集约高效、格局合理、多源互补、丰枯调剂”的流域水资源安全保障体系。

古贤水库供水区属于汾渭平原粮食主产区，目前两岸已建的扬黄工程为晋陕两省供水区供水灌溉提供了一定的水源条件，但存在靠流条件不稳定、供水保证率低以及抽水电费高、运行困难、取水含沙量大等问题。一是由于黄河小北干流河势游荡多变、摆动频繁，致使抽黄泵站经常脱流。以山西省为例，泵站取水口经常脱流 1km~6.5km，脱流率达 30%~60%，引水量不能满足实际需求；二是由于泵站上游附近缺乏水库调节工程，枯水期河道流量不能满足引水要求。根据 2000 年~2020 年龙门水文站实测日流量资料统计，在黄河上游灌溉高峰期的 5 月~7 月份，龙门断面日均流量小于 200 m^3/s

的天数约占 31.8%，最小接近于断流，造成抽黄工程引水十分困难，灌溉水量保证率低；三是由于引黄工程扬程高、抽水成本高，灌溉用水难以承受，造成工程运行困难；四是扬水工程取水含沙量大，不仅水泵磨损严重、维修维护成本高，而且难以大面积发展高效节水灌溉，限制了节水灌溉规模化、集约化、现代化发展。古贤水库的建设将变现状分散扬水为集中统一自流供水，从根本上改善两岸供水灌溉条件。一方面，古贤水库建设后，山西大部分供水区和陕西泾东渭北供水区成为自流供水，陕西延安供水区可减少抽黄扬程 110m 以上，减少供水区扬黄提水的运行成本，为实现灌区规模化、集约化用水提供了必要条件；另一方面，从古贤库区取水含沙量小，有利于供水区实施喷灌、滴灌等高效节水灌溉方式，推动用水方式由粗放向节约集约转变。

《规划纲要》要求“加强黄河干流水量统一调度，保障河道基本生态流量和入海水量，确保河道不断流”。经过持续不断的努力，黄河干流河道实现连续 22 年不断流，但中游小北干流河段扬黄工程较为分散，不利于水资源统一管理，灌溉用水和生态用水矛盾突出，中游河段断流风险依然存在，防断流压力依然较大。古贤水库建成后，通过与供水区内水库联合运用，可跨年度调节径流，在黄河水量丰枯变化较大时通过“蓄丰补枯”，能够维持水库稳定的下泄流量，长系列枯水年可增加河道内生态水量 1.0 亿 $\text{m}^3 \sim 7.7$ 亿 m^3 ，在来沙少的年份如果古贤水库不进行调水调沙则蓄丰补枯能力更强，可有效解决黄河中游北干流河段枯水年生态流量不足的问题，确保黄河干流龙门至潼关段河道不断流。

古贤水库作为黄河“一线多库”水资源配置格局的重要骨干工程和国家水网构建的重要结点工程，建成后通过与供水区内水库联合运用并与下游小浪底水库联合调度，可提升黄河中下游径流调控能力，实现跨年度调节径流，通过蓄丰补枯，减小枯水年黄河水资源开发利用率，缓解黄河流域水资源短缺问题，提高流域水资源安全保障能力，保障汾渭平原和黄淮海平原国家农产品主产区用水安全，并为供水区实施高效节水灌溉创造条件，保障黄河小北干流河段河道内生态用水，是推进流域水资源节约集约利用、确保河道不断流的战略工程。

3.2.3 是推动生态环境保护治理，维护黄河健康生命的战略工程

习近平总书记指出，治理黄河，重在保护，要在治理。要坚持山水林田湖草沙综合

治理、系统治理、源头治理。把大保护作为关键任务，通过打好环境问题整改、深度节水控水、生态保护修复攻坚战，明显改善流域生态面貌。要做好保护工作，促进河流生态系统健康，提高生物多样性。《黄河流域生态保护和高质量发展水安全保障规划》要求紧紧围绕“让黄河成为造福人民的幸福河”的目标，到 2030 年，骨干生态廊道保护力度明显加大，重要断面基本生态流量保证率超过 90%，水生态环境质量显著改善。到 2035 年，河湖水生态健康稳定，“防洪保安全、优质水资源、健康水生态、宜居水环境、先进水文化”的幸福河目标基本实现。

古贤水库供水区属于黄土高原腹地，长期干旱缺水，因区域资源性缺水，被迫采取挤占农业用水、超采地下水、牺牲生态用水的方式来维持发展。供水区内现状地下水超采，经过近期超采区治理，地下水超采情况有所改善，但目前陕西、山西两省依然有地下水超采区 4 处。部分支流河道在枯水期甚至全年断流，丧失了河流的基本形态和水流连续性，如较大支流汾河、北洛河等依然存在断流现象。河道内生态流量不足、地下水超采等直接导致河道辐射区内生态环境的恶化，面临着加快发展与保护修复生态系统的双重压力。

古贤水库是复苏黄河河道内及辐射区生态环境、实现“幸福河”优质水环境、健康水生态的基本要求。古贤水库建成后，可置换汾河、北洛河以及供水区内其他支流灌区用水，在促进两岸人民生活水平提高的同时，可以减小国民经济用水挤占生态用水，使当地河流有一定生态水量下泄，遏制汾河、北洛河等支流断流生态恶化的局面，促进恢复水清岸绿的水生态体系，保障河道内生态环境的良性维持，达到生态修复的目的；通过加快推进地下水压采，逐步实现地下水采补平衡，使地下水超采失衡状况显著改观。工程建成供水后，将从源头上扭转生态环境恶化趋势，是推进黄河生态保护修复、维持区域水生态稳定的骨干工程，也是促进地区人水和谐、推动生态文明建设的重要实践。

黄河下游长久安澜是保障黄淮海平原大生态安全的前提和基础。黄河下游河道高悬于黄淮海平原之上、束缚于两岸大堤之间，大堤一旦决口，向北将打乱海河水系，向南将打乱淮河水系，洪水泥沙所到之处淤塞河（湖）渠、良田沙化，将造成巨大的生态灾难。1938 年黄河决口后，黄泛区生存环境恶劣，耕植条件恶化，持续给当地人民造成灾难，解放后经过长期治理才有所好转。古贤水库建成后，通过与小浪底水库联合运用，

确保黄河下游河床不抬高、堤防不决口，保障黄淮海地区生态安全。

黄河下游河道是水沙入海的通道和华北平原上的重要生态廊道，为沿黄地区经济社会发展提供重要的过境水资源。当前部分下游河段敏感生态流量满足程度仍然不高，利津断面 2000 年~2020 年敏感期（4 月~6 月）适宜生态流量满足程度不足 70%，枯水年份甚至低于最小生态流量，如 2003 年 4 月~6 月平均实测流量仅为 $42\text{m}^3/\text{s}$ ，尤其遇到特枯水年份时，保障下游主要控制断面适宜生态流量仍面临较大困难，与上世纪 80 年代相比，河口三角洲天然湿地萎缩 50%。古贤水库通过与三门峡、小浪底水库联合调度，优化小浪底水库以下水资源调度过程，为黄河中下游提供安全可靠的生态水量，实现水库及下游河道减淤和花园口、利津等节点控制断面生态流量过程达标，塑造有利于黄河下游湿地保护区及河口地区生态系统修复的流量过程，为黄河下游、河口三角洲地区生物多样性的提高和生态系统的良性维持提供水资源支撑。

黄河生态系统是一个有机整体，为了黄河生态保护修复的需要，考虑上中下游的差异，需要构建以河源区、黄土高原区、河口区为重点，黄河干支流为主线的“三区一廊道”水生态保护格局，实现干支统筹、人水和谐、河湖健康。古贤水库位于黄土高原水土流失核心区，是黄河“三区一廊道”的重要节点，水库蓄水后将形成一条 200km 长的绿水青山带及 220km^2 的宏阔水面，生态辐射圈广达 10000km^2 ，可以为“三区一廊道”的流域水生态总体布局提供水源支撑和保障，极大改善吕梁山区和黄土高原区的生态环境，打造黄土高原的重要生态支点，构筑中游生态屏障，促进改善沿黄两岸生态环境的改善。

古贤水库的建设在促进两岸人民生活水平提高的同时，可以减小国民经济用水挤占地下水和生态用水，保障黄淮海平原大生态安全和下游河道内生态环境的良性维持，为“三区一廊道”的流域水生态总体布局提供水源支撑，促进恢复水清岸绿的水生态体系，是促进中下游地区人水和谐、推动生态文明建设的重要实践，也是复苏河道及辐射区水生态稳定，推动黄河流域生态环境保护治理，维护黄河健康生命的战略需要。

3.2.4 是推动黄河中下游地区经济社会高质量发展的战略工程

习近平总书记指出，黄河流域是我国重要的经济地带，解决好流域人民群众特别是少数民族群众关心的防洪安全、饮水安全、生态安全等问题，对维护社会稳定、促

进民族团结具有重要意义。总书记强调，“沿黄河各地区要从实际出发，宜水则水，宜山则山，宜粮则粮、益农则农，宜工则工，宜商则商，积极探索富有地域特色的高质量发展新路子”“要坚持以水定地、以水定产，倒逼产业结构调整，建设现代产业体系。”《规划纲要》明确提出，通过加强生态建设和环境保护，夯实流域高质量发展基础；通过巩固粮食和能源安全，突出流域高质量发展特色。古贤水利枢纽具有减淤、防洪、生态、供水、发电等多种功能，经济、社会、生态效益巨大，是推动流域经济社会高质量发展的战略工程。

古贤水库供水区地处黄土高原，干旱少雨、山高水低，缺水状况严重，由于缺少骨干调蓄工程进行调控，晋陕两省分配的黄河水指标不能被完全利用，造成了两岸人民守着黄河无水用的不利局面。同时，古贤水库供水区是脱贫摘帽区，供水区范围内原有 7 个国家级贫困县、6 个省级贫困县，原有贫困人口约 54 万人。随着国家脱贫攻坚的深入实施，该区域整体贫困、绝对贫困问题得以历史性解决，但是当地经济发展依然存在不均衡、不充分问题，古贤供水区 2019 年人均 GDP3.2 万元，仅占黄河流域的 55%、全国的 46%，与东部先进地区的差距更大。目前当地基础设施不牢靠的问题依然存在，生态脆弱问题、供水安全问题、农民增收问题是影响地区实现乡村振兴和共同富裕的短板，其中水源短缺依然是制约当地经济发展的主要问题，面临着“空有水指标不能用、守着黄河无水用”的局面。古贤水库的建设可以推进黄河流域水资源集中统一管理，有利于实施灌区节水改造和整合，减少供水成本，通过建成集中连片高标准农田，有助于建设国家粮食安全产业带，促进供水区农业和农村经济发展、缩小区域差距，助力实现乡村振兴和共同富裕的目标。

《纲要》提出“推进能源革命，建设清洁低碳、安全高效的能源体系，提高能源供给保障能力，大力提升风电、光伏发电规模，建设一批多能互补的清洁能源基地”，明确指出建设包含黄河上游和“几”字弯在内的清洁能源基地。古贤水利枢纽地处黄河“几”字弯，两岸的晋陕两省煤炭资源丰富，水电资源不足，都属于典型的以燃煤火电为主的电网。同时，由于两省电网水电比重很小，电网调峰困难。未来随着风电、光伏等新能源装机和用电负荷的增加，电网调峰问题将更加突出。古贤水电站年均发电量为 57.84 亿 kW·h，相当于年节约 185 万 t 标准煤、减排 508.1 万 t 二氧化碳，工

程的建设将为建成黄河“几”字弯大型清洁能源基地提供调峰电源，为当地优化能源结构、建设清洁能源基地提供有力支撑，也将为我国实现 2030 年“碳达峰”、2060 年“碳中和”目标做出积极贡献。

3.3 工程建设的迫切性

3.3.1 解决小浪底水库调水调沙后续动力不足，迫切要求早日建设古贤水利枢纽工程

小浪底工程对黄河下游防洪保安、优化水资源配置、遏制黄河断流、改善水环境的正面效应有目共睹。如果说小浪底是黄河下游的“保命”工程，则古贤工程就是小浪底的“续命”工程，通过古贤、小浪底水库联合精准调度、调水调沙，可使小浪底保持一定的长期有效库容，延长小浪底拦沙库容的使用寿命。当前小浪底水库拦沙库容已淤积 33.4 亿 m^3 ，按照 2000 年以来黄河的实测沙量估算，2035 年左右淤积量可达到 60.0 亿 m^3 左右，剩余拦沙库容为 15 亿 m^3 左右，如此时投入运用，设计水沙条件下，可使小浪底水库拦沙库容运用年限延长 34 年，如果黄河干流的水沙调控体系能及时得到建设完善，并通过科学调度，将使小浪底水库长期维持一定的拦沙库容，实现 $1+N \gg 1+N$ 的效果；如果在小浪底水库淤满后再运用古贤水库，既不能延长小浪底拦沙库容的使用年限，也无法实现“ $1+1 > 2$ ”的效果。黄河水沙调控体系是由干流七大骨干枢纽为主的水库共同组成的一个有机体系，如果将下游水库拦沙库容淤满后再建另一个水库，就如同三门峡之对小浪底——起不到提供后续动力和保障水资源安全的作用，那么该体系就只能是效果相加的作用，即 $1+6=7$ ；但如果在上一个水库拦沙库容淤满之前就建成下一个水库，并能及时建成整个体系，那么就可以发挥倍增效应，实现 $1+6 \gg 7$ ，甚至是 $1+6 \approx \infty$ ，使每一个水库都能长期保持一定的拦沙库容并通过科学的联合防洪调度和调水调沙运行，实现黄河下游河床不抬高和堤防不决口，进而实现黄河下游的长治久安。

3.3.2 加快构建黄河流域抵御自然灾害防线，迫切要求早日建设古贤水利枢纽工程

习近平总书记在深入推动黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上指出“水安全

是黄河流域最大的灰犀牛”，要“加快构建抵御自然灾害防线。要立足防大汛、抗大灾，针对防汛救灾暴露出的薄弱环节，迅速查漏补缺，补好灾害预警监测短板，补好防灾基础设施短板。”2021年黄河流域发生严重的暴雨洪水，场次之多、历时之长、防守压力之大历史罕见，再次警示我们要加快构建黄河中下游抵御自然灾害的防线，既要高度警惕突发性洪水带来的“黑天鹅”事件，利用水库合理拦蓄洪水减轻下游洪灾损失，更要坚持底线思维，防范泥沙大量淤积诱发的“灰犀牛”事件。古贤水利枢纽工程是黄河水沙调控体系七大骨干工程之一，工程建设生效后可进一步筑牢黄河中下游抵御自然灾害的能力。

维持防洪体系“上拦”能力，迫切需要早日建设古贤水利枢纽工程。小浪底水库是目前黄河中下游唯一能进行水沙综合调节运用的水利枢纽，在黄河中下游防洪格局中的“上拦”功能无可替代，但目前仍存在以下挑战：一是长久保持防洪库容的问题。当水库拦沙期结束进入正常运用期后，由于水库淤积具有“死滩活槽”的特性，小浪底水库防洪运用后，滩库容淤损后无法恢复，防御大洪水能力就会明显减弱。二是黄河下游滩区防洪保安的问题。黄河下游滩区居住190万群众，耕地340万亩，长期饱受漫滩洪水威胁，防洪运用和经济发展矛盾长期存在。河南、山东居民迁建规划实施后，仍有近百万人生活在洪水威胁中。当前黄河流域生态保护和高质量发展上升为国家重大战略，“让黄河成为造福人民的幸福河”的号召和以人民为中心的发展理念，人民群众对黄河安澜提出了更高的要求。小浪底水库是已建工程中唯一能够为下游滩区防洪提供库容的骨干水库，对黄河下游滩区防洪安全具有重要的作用。目前水库设计汛限水位254m以下有46.71亿 m^3 库容，大部分是拦沙库容，利用小浪底水库的拦沙库容进行中小洪水防洪运用，减免滩区洪灾损失，是下游滩区防洪保安的迫切需求。目前，小浪底水库仍处于拦沙运用期，古贤水利枢纽早日建设能够使小浪底水库尽可能长期保持较大的拦沙库容，延长小浪底水库拦沙库容使用年限，对于确保黄河下游河床不抬高、维持中水河槽，保障黄河长治久安具有不可替代的作用。当小浪底水库进入正常运用期后，排沙机会减少，泥沙淤积侵占有效库容，防洪库容不能得到长期保持，影响其综合作用发挥。古贤水库作为小浪底水库的续命工程，能够与小浪底水库联合运用，在较长时期内协调进入黄河下游的水沙关系，长期维持下游中水河槽规模、改善和维持下游河势稳定。因

此,要保障小浪底水库长久发挥对洪水的“上拦”功能,迫切需要早日建设古贤水利枢纽工程,延长小浪底水库拦沙库容使用年限,长久保持小浪底水库防洪库容和保滩库容,牢牢掌握保障人民生命财产安全的主动权。同时,古贤水库的早日建成运用还可降低三门峡水库的滞洪运用风险,长期保持中游水库群控制黄河下游大洪水的能力,对黄河下游防洪十分有利。

维持黄河下游“下排”通道畅通,迫切需要早日建设古贤水利枢纽工程。小浪底拦沙库容淤满后,黄河下游将重新回淤。上世纪 80 年代中后期至 90 年代中期,由于泥沙淤积,仅 10 年时间,黄河下游最小平滩流量迅速由 $6300\text{m}^3/\text{s}$ 降至 $3000\text{m}^3/\text{s}$,导致“96.8”洪水花园口 $7860\text{m}^3/\text{s}$ 洪水位高于 1958 年 $22300\text{m}^3/\text{s}$ 洪水位 0.91m ,形成建国以来黄河流域最大的洪灾损失,107 万人受灾,直接经济损失近 40 亿元。古贤建成生效后,与小浪底水库联合运用,在较长时期内维持下游 $4000\text{m}^3/\text{s}$ 以上的中水河槽规模,可保障黄河下游的“下排”能力,打开中游水库群联合防洪调度的空间,增强黄河流域抵御自然灾害能力。小浪底水库拦沙库容淤满后,单库调水调沙将受到更大限制,下游中水河槽将迅速萎缩,20 世纪 80 年代中后期下游河道出现畸形河势仅用了不到 10 年时间,而古贤水利枢纽工程建设周期长达 11 年(含 1.5 年筹建期)。考虑到小浪底水库拦沙库容使用年限和古贤水利枢纽工程建设周期,迫切需要早日建成古贤水利枢纽工程,与小浪底水库联合调水调沙运用,长期维持下游河势稳定。

缓解渭河下游防洪压力,迫切需要早日建设古贤水利枢纽工程。渭河下游水沙关系不协调和潼关高程居高不下是渭河下游防洪问题突出的重要因素。多年的研究表明,潼关高程变化与黄、渭(包括北洛河)来水来沙条件、三门峡水库运用、前期河道淤积及河势条件等因素有关。黄河干流的水沙条件是影响潼关高程升降的主要因素,古贤水库修建后,通过拦沙和调水调沙运用将从根本上改变小北干流和潼关河段不利的水沙关系,使小北干流河段发生持续冲刷,降低潼关高程。古贤水库及早投入运用,可使潼关高程快速冲刷降低,水库投入运用越早,潼关高程保持较低水平的年限越长。数学模型计算结果表明,不同水沙系列古贤水库早 10 年投入运用,潼关高程维持在 327.5m 以下(“潼关高程控制与三门峡水库运用方式研究”项目提出潼关高程近期治理目标为 327.5m)的年份增加 13 年左右。潼关高程的早日降低,有利于缓

解渭河下游的防洪压力。

3.3.3 工程是推动黄河中下游地区经济社会高质量发展的需要

古贤水库供水区干旱少雨、山高水低，缺水状况严重，由于缺少骨干调蓄工程，供水保证率不高，制约当地经济发展。古贤水库的建设可以推进黄河流域水资源集中统一管理，有利于实施灌区节水改造和整合，减少供水成本，通过建成集中连片高标准农田，有助于建设国家粮食安全产业带，促进供水区农业和农村经济发展、缩小区域差距，助力实现乡村振兴和共同富裕的目标。

3.3.4 落实黄河流域生态保护和高质量发展重大战略迫切需要建设古贤水利枢纽工程

当前黄河流域还面临洪水威胁、生态环境脆弱、水资源保障形势严峻、发展质量有待提高等挑战，与《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》中提出的 2030 年、2035 年建设目标还存在较大差距。古贤工程是实现《规划纲要》目标不可或缺的战略工程，在黄河水沙调控体系中具有承上启下的战略地位，在保障黄河长治久安方面作用不可替代。工程建设期为 11 年（含 1.5 年筹建期），古贤工程早日建成投运，有助于实现《规划纲要》提出的 2035 年发展目标。

3.4 工程建设的战略意义

3.4.1 保障黄河长治久安，社会经济效益巨大

黄淮海平原地处我国腹地，是我国人口最多的三大平原之一，历来为国家政治社会经济主要活动地带。黄淮海平原人口和经济活动密集，北部为京津冀地区，南部接长江三角洲地区，中有中原经济区和冀中南地区，是我国城市化开发重点地区，地均地区生产总值较高，为全国经济发展的重要引擎动力；国土空间开发强度最大，是我国南北、东西交通关键地区，域内京沪、京福、京港澳、连霍等多条铁路、公路网密布；黄淮海平原也是我国粮食生产三大核心区之一，是我国小麦、玉米和稻谷优势产区，粮食总产量约占全国 28.9%。黄淮海平原也是我国水资源开发利用率较高地区，人均水资源量极低，黄河是该地区重要的水源。

黄河下游横贯黄淮海平原，河床高出背河地面 4m~6m，最大达 10m。历史上看，黄河下游堤防一旦决口，其袭决范围北至天津、南至江淮，涉及河南、河北、山东、安徽及江苏五省的 24 个地区（市）所属的 110 个县（市），面积约 10.61 万 km²，人口约 0.64 亿，耕地约 0.90 亿亩。类比 1938 年黄河花园口决口后夺淮入运淹没豫皖苏 3 省 44 县市调查资料，洪水所到之处，泥沙俱下，地面覆盖约 0.5m~1m 粉砂土层，土壤沙化严重；泥沙淤塞沟渠，区域排水不畅，流域水系完全紊乱，水患频繁，土壤次生盐渍化加重；地表植被荡然无存，地形地貌被重塑，原有的生态系统被完全破坏。洪水也将严重影响粮食生产能力，危及国家粮食安全自给能力；同时大量的铁路、公路及生产生活设施等遭受毁灭性破坏，严重影响国家交通物流体系正常运作；人口大量死亡，旱蝗侵袭，瘟疫流行，对经济社会和生态环境造成的灾难影响长期难以恢复。历史事实证明，黄河下游防洪安全就是最大的生态安全，治黄体系是国家对社会、经济、政治治理能力的重要保障。现阶段黄河下游防洪安全主要依赖于人民治黄后相关河防工程体系的建设和运行。

黄河下游防洪工程体系主要由小浪底水利枢纽和两岸标准化堤防和河道整治工程、蓄滞洪区工程等河防工程体系组成，先后战胜了花园口站 1958 年 22300m³/s、1982 年 15300m³/s 等 12 次超过 10000m³/s 的大洪水，彻底扭转了历史上黄河下游频繁决口改道的险恶局面，取得了连续 70 多年伏秋大汛堤防不决口的辉煌成就，保障了黄淮海平原 12 万 km² 防洪保护区的安全和稳定发展。小浪底水库建成后，通过拦沙和调水调沙，重塑并维持下游 4000m³/s~5000m³/s 的中水河槽，遏制了“二级悬河”的持续发展，全力发挥了“拦、排、调”功能，显著提高了生态流量保障程度，维持了黄河下游河道湿地面积。

目前小浪底水库拦沙库容已经淤积泥沙 33.4 亿 m³，以 2000 年以来实测沙量估算，2035 年左右小浪底水库淤积量可达到 60.0 亿 m³ 左右，拦沙库容仅余 15 亿 m³，小浪底水库调水调沙后续动力不足，水沙关系协调能力下降，下游河道又将淤积抬升，中水河槽逐步向小水河势演变，下游防洪面临恶化形势。

古贤水库建成后与小浪底水库联合调水调沙运用，可尽可能长期保持小浪底水库较大的拦沙库容，延长小浪底水库拦沙运用年限，协调进入黄河下游的水沙关系，在

设计水沙条件下,将使黄河下游 $4300\text{m}^3/\text{s}$ 以上的主槽过流能力长期维持,确保下游河床不抬高,堤防不决口,长期保持中游水库群控制黄河下游大洪水的能力,有利于保障黄河长治久安,为两岸国民经济发展和人民安居乐业提供基本前提。

古贤工程通过拦沙和调水调沙运用,将显著改变小北干流和潼关河段不利的水沙关系,可减少小北干流河道淤积量,改善河道形态,使潼关高程最大下降 2.15m ,拦沙结束后通过调水调沙改善水沙关系,抑制潼关高程抬升。潼关高程的下降可溯源冲刷渭河距离达 200km 以上,显著提高渭河下游防洪标准,为关中平原防洪保安创造条件,有利于保障关中平原的防洪安全、粮食安全和社会经济发展。

3.4.2 改善供水条件,促进区域经济社会发展

古贤水库供水范围涉及陕西省延安、渭南和山西省的临汾、运城等 4 市 27 县区,总人口 1128.2 万人,灌溉面积 685.3 万亩,供水对象为生活、工业和引黄灌区。水资源严重短缺,地表水资源开发利用率高,社会经济发展落后是该地区基本特征。供水区内人均用水量和灌溉亩均用水量均远低于全国标准,严重制约当地社会经济发展,曾有 7 个国家级贫困县、6 个省级贫困县,是我国原脱贫攻坚地区之一。

两省供水区内灌区灌溉主要通过东雷、尊村、夹马口等 8 处扬黄工程引黄河水实现。而目前,由于黄河小北干流河段宽散、主流摆动频繁,致使提水泵站经常脱流,脱流率达 $30\%\sim 60\%$;此外,由于枯水期流量较低,常不能满足引水要求,抽黄工程引水保证率低;第三,由于黄河地势低,各扬黄工程累计扬程均在 $200\text{m}\sim 300\text{m}$ 之间,水泵磨损严重,抽水成本高。第四,灌区灌溉保证率低。供水区设计引黄灌溉面积 758 万亩,实际灌溉面积仅占 50% 。供水区引黄灌区为我国汾渭平原粮食主产区之一,关系山陕两省粮食自给自足水平,而水资源短缺是制约该地区粮食生产的首要因素。而同时,根据黄河“87”分水方案,陕西、山西两省正常年份分配黄河地表水耗水量分别为 38.0 亿 m^3 和 40.71 亿 m^3 ,引黄灌区供水保证率低、加压扬程高、效益不高等制约了供水区社会经济、农业经济的发展。

古贤水利枢纽考虑了山陕两省黄河水量份额和用水需求,定下了“以供定需”的原则确定两省供水量,充分利用古贤水库调蓄能力,在坝上两岸预留引水口,在地方规划建设供水干渠等配套工程后,将实现坝上自流取水,大幅改善两省灌溉条件,从

根本上解决两岸供水保证率低的问题；同时，可有效提高灌区有效灌溉面积和粮食产量，提高水资源节约集约利用水平，提高山陕两省粮食产量，保证粮食安全。总之，古贤水利枢纽可以为汾渭粮食主产区、城乡生活工业提供水资源保障，对区域水资源配置及促进地区经济社会的可持续发展发挥重要作用。

3.4.3 保障黄淮海地区生态安全，改善中下游水环境和水生态

1、保障黄淮海生态安全，保障绿色生态廊道安全

黄河下游长久安澜是保障黄淮海平原大生态安全的前提和基础，黄河下游全长 786km，也是横贯黄淮海平原的最完整的生态走廊，对维持黄淮海平原生态安全，提高黄淮海平原生物多样性具有积极的庇护作用。古贤水库建成后，通过与小浪底水库联合运用，延长小浪底水库拦沙运用年限，提高下游防洪标准，辅以黄河下游河防工程体系，保障黄河下游防洪安全和黄淮海地区生态安全。同时，黄河下游是黄淮海平原地区集防洪护岸、水源涵养、生物栖息等功能为一体的绿色生态走廊，古贤水利枢纽联合小浪底水利枢纽运用，维持黄河下游滩区-湿地-河流生态系统的平衡和稳定，进一步提高下游河道生态流量满足程度，保障绿色生态廊道安全。

2、修复供水区河流生态系统

古贤水库供水区地处黄土高原腹地，长期干旱缺水，河流季节性特征明显，属极度缺水地区。现状条件下，供水区多年平均水资源总量仅为 26.62 亿 m^3 ，年用水量高达 31.84 亿 m^3 ，汾河下游及涑水河水资源开发利用率高达 80%，渭南、运城、临汾等 13 个县市均出现地下水超采现象，导致区域地下水位大幅下降，形成关中盆地、临汾盆地、运城盆地、峨嵋台地等 4 个地下水超采区，个别中小泉源基本断流。部分支流如石川河、白水河、汾河、北洛河河道在枯水期甚至全年断流，造成了区域生态环境的恶化。2020 年 12 月，水利部以水资管〔2020〕280 号文发布《水利部关于黄河流域水资源超载地区暂停新增取水许可的通知》，将古贤水库供水区内的渭南、临汾、运城列为地表水和地下水超采区，要求推动超采治理。

在南水北调西线工程生效前，按照黄河“87 分水方案”作为控制，古贤水库建成后，可向供水区供水 23.46 亿 m^3 ，包括替代现状灌溉、工业、生活用水 22.51 亿 m^3 ，指标内新增工业、生活用水 0.95 亿 m^3 。其中向陕西省供水区最大供水量 10.32 亿 m^3

（替代现状供水 9.96 亿 m^3 ，指标内新增供水 0.36 亿 m^3 ），向山西省供水区最大供水量 13.14 亿 m^3 （替代现状供水 12.55 亿 m^3 ，指标内新增供水 0.59 亿 m^3 ）。其中替代现状灌溉、工业、生活用水中，替代现有扬黄灌区 11.75 亿 m^3 ，当地水灌区 6.64 亿 m^3 ，扬黄工业生活供水 3.39 亿 m^3 ，当地工业生活地下水 0.73 亿 m^3 。

供水区内古贤水库供水可置换汾河、北洛河以及供水区内其他支流灌区用水，通过当地地表水和地下水置换，可以减少当地地表水用水量，将当地地表水河流水资源开发利用显著降低，减少生产用水挤占生态用水，遏制汾河、北洛河等支流断流生态恶化的局面，促进河道内生态环境的修复和良性维持。并停止地下水开采，逐步实现区域地下水修复，使地下水超采失衡状况显著改观。

3、改善中游和支流水环境，保障中下游供水安全

黄河中游干支流曾是流域水环境污染敏感河段。古贤坝址下游干流河段的潼关断面、三门峡断面在 2019 年之前枯水期经常超标。支流水质较差，三川河、无定河、清涧河、昕河、涑水河、汾河等大部分支流水质为Ⅳ类~劣Ⅴ类，主要超标因子为 COD、BOD、氨氮、TP 等，不能满足水功能区水质要求。

类比小浪底水库调度运用，古贤水库蓄水后，在库区形成巨量蓄积水体，显著增加库区地表水环境容量，叠加库区泥沙吸附作用，库区水体质量得以改善，不同时期 COD、氨氮均能满足Ⅱ类~Ⅲ类水质目标。同时，受古贤水库清水下泄影响，工程下游水质将整体有所提升，根据水质预测结果，黄河干流水质整体提升至Ⅱ类~Ⅲ类水平，此外，通过古贤水库应急调度，可以有效应对下游水质污染事件发生，对改善黄河整体水质、保障中下游供水安全起到积极作用。

4、保障坝址以下河段生态流量满足程度，改善河流生态系统

生态流量是维系水生态系统结构和功能的河流水量其过程。保障河流生态流量，事关黄河湖泊健康，事关生态文明建设，事关高质量发展。受上游耗水量剧增和中游植被覆盖增加等多种因素影响，近几十年来，黄河中游来水锐减，河流生态流量满足程度较低。以国务院批复《黄河流域综合规划》确定的生态流量统计，2000 年~2020 年龙门断面 11 月~3 月及 7 月~10 月生态流量满足程度分别为 93.82%和 83.97%，4 月~6 月满足程度为 78.75%，甚至在 2016 年 4 月~6 月间，生态流量满足程度仅为

33%。在黄河中游北干流河段建设大型调蓄工程是解决工程性缺水、增强工程性调控能力、提高生态流量保证率、提高流域水资源利用水平的根本途径。

古贤工程同时也是调控流域水资源的重要骨干枢纽，工程投入运行后，通过拦截“上大洪水”和汛末洪水，调蓄至非汛期，通过 12 亿 m^3 防洪库容和 20 亿 m^3 调水调沙库容，充分实施水库水资源优化调度，在拦沙初期、拦沙后期、正常运用期，无论丰水年、平水年和枯水年，龙门断面生态流量均可得到满足，提高下游生态流量保障程度，为坝址下游小北干流湿地、水生生态的保护和改善提供一定的水资源支撑条件。

小浪底水库建成后，黄河下游生态流量满足程度较好，但在枯水年、枯水期也存在一定的不满足情况。古贤水库建成后，一是可以与小浪底联合调度，保障花园口、利津等重要断面生态流量；二是可塑造有利于黄河下游湿地生态系统修复的大流量过程，为下游湿地生态系统的维持提供水资源支撑。

5、保障三角洲湿地生态供水，促进河口地区生物多样性保护

黄河河口湿地是我国主要江河河口中最具重大保护价值的生态区域之一，湿地生态类型多样。黄河是河口三角洲及其湿地形成、发育的控制性要素，黄河淡水资源是河口生物多样性丰富的重要保障。

古贤水利枢纽工程建成运行后，通过与小浪底联合调度，将利津断面的非汛期（11 月~3 月）、敏感期（4 月~6 月）的生态流量满足程度从 2000 年以来的 93.9%、60% 均提升为 100%，改善了河口河段枯水年、枯水期生态流量得不到保障的情况；利津断面在丰、平、枯水年大流量（日均流量 $>2500\text{m}^3/\text{s}$ ）天数分别为 29、27、26 天，基本高于现状条件下利津断面大流量天数，可以为黄河三角洲湿地的维持和改善提供有利的水资源条件，促进河口生态的保护和修复，有助于河口地区生物多样性的保护。

3.4.4 提供清洁能源，有利于我国双碳目标实现

能源是社会经济发展的基础，关系到国计民生和国家安全。晋、陕两省是我国重要的煤炭能源基地，煤炭资源丰富，水电资源不足，两省电网均属于比较典型的以燃煤火电为主的电网，2020 年发电量 4082.9 亿 $\text{KW} \cdot \text{h}$ ，折算排放二氧化碳 3.56 亿 t。按照我国“碳达峰、碳中和”目标，能源行业急需实现清洁能源转型，规划至 2030 年，非化石能源电力占总电量 50%。

水力发电是我国能源重要组成，占全国发电总量的 16.0%，仅次于火力发电。黄河中游晋陕峡谷是我国规划的十三大水力发电基地，规划装机总容量 5968MW，年发电量 192.9 亿 KW·h，约占全国水电规划装机容量的 2%。古贤水电站装机容量 2100MW，年均发电量为 57.84 亿 kW·h。古贤水电站的装机运行，相当于年节约 185 万 t 标准煤、减排 508.1 万 t 二氧化碳，提高两省清洁能源占比约 1 个百分点，工程的建设将为建成黄河“几”字弯大型清洁能源基地提供支撑，为当地优化能源结构、建设清洁能源基地提供有力支撑，也将为我国实现 2030 年“碳达峰”、2060 年“碳中和”目标做出积极贡献。

第四章 工程概况

4.1 工程规划依据

20 世纪 80 年代初期，考虑国民经济发展和黄河治理开发的总体要求，开始修编黄河治理开发规划，1997 年完成《黄河治理开发规划纲要》，并通过了原国家计委、水利部联合组织的审查。《黄河治理开发规划纲要》贯彻“兴利除害，综合利用”的治黄方针，主要任务是“提高下游的防洪能力、治理开发水土流失地区，研究利用和处理泥沙的有效途径，开发水电，开发干流航运，统筹安排水资源的合理利用，保护水源和环境”。在防洪减淤方面，提出了“上拦下排，两岸分滞”处理洪水、“拦、排、放、调、挖”综合处理泥沙的基本思路，促进了小浪底水利枢纽的建设；在水资源利用方面，提出了黄河可供水量分配方案；在干流梯级工程布局方面，该规划在龙羊峡以下河段由 1954 年规划的 46 座梯级工程调整为 36 座梯级工程，明确提出干流的龙羊峡、刘家峡、黑山峡、碛口、古贤、三门峡和小浪底等 7 座控制性骨干工程构成黄河水沙调控体系的主体，中游干流碛口、古贤、三门峡、小浪底 4 座骨干工程构成黄河洪水和泥沙调控工程体系的主体，上游龙羊峡、刘家峡、黑山峡 3 座骨干工程构成黄河水量调节工程体系的主体。

随着经济社会发展和流域水沙条件变化，黄河治理开发 20 世纪末面临着三大突出问题，一是洪水泥沙对黄淮平原经济社会发展威胁严重；二是水资源供需矛盾十分突出；三是水土流失及水环境恶化尚未得到遏制。为解决这些突出问题，水利部安排黄委会组织编制了“黄河重大问题和对策”研究，之后根据国务院要求，编制了《黄河近期重点治理开发规划》，2002 年 7 月国务院以国函〔2002〕61 号文批复。该规划进一步明确了“上拦下排、两岸分滞”控制洪水，“拦、排、放、调、挖”处理和利用泥沙的基本思路，提出了“开源节流保护并举，节流为主，保护为本，强化管理”开发利用和保护水资源，“防治结合，保护优先，强化治理”进行水土保持生态建设的措施安排。该规划进一步明确了龙羊峡、刘家峡、黑山峡、碛口、古贤、三门峡和小浪底等 7 座控制性骨干工程构成黄河水沙调控体系的主体，明确了古贤水利枢纽在黄河下游防洪减淤工程体系中的重要地位，并提出早日开工建设。

1998 年，水利部布置开展了全国防洪规划的编制工作。结合黄河流域防洪形势的变化和防洪要求，在黄河近期重点治理开发规划的基础上，2007 年黄委编制完成了《黄河流域防洪规划》，2008 年 7 月，国务院以国函〔2008〕63 号文批复。该规划提出了防洪减淤规划布局，以及防洪减淤工程和防洪非工程措施。该规划在工程总体布局、水沙调控体系规划、小北干流放淤规划中进一步明确了古贤水利枢纽的功能定位和任务。指出：“力争到 2015 年，初步建成黄河防洪减淤体系，基本控制洪水，确保黄河下游防御花园口洪峰流量 $22000\text{m}^3/\text{s}$ 堤防不决口，逐步恢复主槽行洪能力，初步控制游荡性河段河势”，“抓紧做好古贤、东庄水库的前期工作和黑山峡河段开发方案的论证工作，有计划地建设黄河干流和主要支流的控制性防洪减淤水库，逐步完善黄河流域水沙调控体系，拦蓄洪水泥沙，调水调沙”。规划明确古贤水利枢纽的开发任务以防洪减淤为主，综合利用。水库总库容 153 亿 m^3 ，有效库容 48.5 亿 m^3 。水库拦沙库容 104.5 亿 m^3 ，水库拦沙 138 亿 t，可减少下游河道淤积 77 亿 t，相当于下游河道 21 年的淤积量；可以减少禹门口至潼关河道淤积量 54 亿 t，相当于该河段 52 年的淤积量，可使潼关高程降低，对禹潼河段和渭河下游治理具有巨大作用。

2009 年黄委会组织编制完成了《黄河流域综合规划（2012-2030 年）》，2013 年 3 月 2 日国务院以国函〔2013〕34 号文批复。该规划认为在干流龙羊峡至桃花峪河段共布置 36 座梯级工程，梯级工程采用高坝大库与径流电站或灌溉壅水枢纽相间布置，形成较为完整的综合利用工程体系，龙羊峡、刘家峡、黑山峡、碛口、古贤、三门峡和小浪底等七大控制性骨干工程构成黄河水沙调控体系的主体。其中古贤水库是控制黄河北干流洪水、泥沙的关键性工程，与小浪底水库联合调水调沙具有一定地理优势，在黄河水沙调控体系中具有承上启下的战略地位，开发任务以防洪减淤为主，兼顾发电、供水和灌溉等综合利用，水库正常蓄水位 640m，总库容 152.2 亿 m^3 ，拦沙库容 118 亿 m^3 。规划提出建设古贤水利枢纽是十分必要和迫切的，要深化古贤水利枢纽的前期工作，争取在“十二五”期间立项建设，2020 年前后建成生效，初步形成黄河中游洪水泥沙调控子体系。

2021 年，国务院印发《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》，纲要指出：黄河流域最大的威胁是洪水。水沙关系不协调，下游泥沙淤积、河道摆动、“地上悬河”

等老问题尚未彻底解决。纲要提出：应紧紧抓住水沙关系调节这个“牛鼻子”，围绕以疏为主、疏堵结合、增水减沙、调水调沙，健全水沙调控体系，完善以骨干水库等重大水利工程为主的水沙调控体系，优化水库运用方式和拦沙能力。

4.2 工程及下游河段已有工程概况

人民治理黄河 70 多年来，在党中央、国务院的高度重视下，以历次流域规划为指导，黄河治理与保护取得了巨大成就。古贤工程位于黄河中游的河口镇-禹门口河段（也称大北干流河段），该河段及其下游的禹门口-潼关河段（也称小北干流河段）、小浪底以下河段已有工程实施情况如下：

4.2.1 河口镇-禹门口河段

该河段是黄河干流上最长的一段连续峡谷，河段长约 725.1km，主要地貌类型为黄土丘陵沟壑区，水土流失极为严重，是黄河粗泥沙的主要来源区，该河段的定位为加强多沙粗沙区的水土流失综合治理，在干流建设骨干水库拦减黄河泥沙特别是粗泥沙，有效减轻中下游河道淤积。

目前已建的大型水利工程较少，仅建有万家寨水利枢纽。该水利枢纽位于古贤坝址上游 550km 处，左岸隶属山西省偏关县，右岸隶属内蒙古自治区准格尔旗，1998 年下闸蓄水，坝址控制流域面积 39.5 万 km²，水库总库容 8.96 亿 m³，调节库容 4.45 亿 m³，具有供水、发电、防洪、防凌等综合效益。

4.2.2 禹门口-潼关河段

小北干流河段位于古贤坝址下游 72km 处，河道长 132.5km，河势游荡多变，主流经常摆动，造成冲滩塌岸、滩区耕地时常易主，引发晋陕两省群众激烈矛盾。1990 年国务院发布了“关于黄河禹门口至潼关河段河道治导控制线意见的批复”，授权黄委统一规划和管理河段治理工程，以稳定河段河势及中水流路。依据治导控制线，国家先后于 1998 年、2005 年批准实施了两期河道整治工程建设，两岸已建河道治理工程 34 处，长 165.072km，坝垛 1224 道，主要治理工程为控导和护岸工程。目前正在开展第三期河道整治工程建设，建设完成后，小北干流河道治理工程将达到 37 处，长 198.934km。届时小北干流河段将形成相对完善的河道整治工程。

4.2.3 小浪底以下河段

黄河下游河道长 786km，河道高悬于两岸平原之上，是举世闻名的“地上悬河”，防洪问题突出，是黄河治理和防洪安全最重要的河段。目前基本形成了“上拦下排、两岸分滞”的下游防洪工程格局。在中游修建了三门峡、小浪底、陆浑、故县和河口村等“上拦”水利枢纽工程，增强了拦蓄洪水、拦截泥沙和调水调沙能力；建设了下游标准化堤防工程 1371km、河道整治工程 502km 等河防工程，巩固“下排”能力；开辟了东平湖、北金堤滞洪区，加强东平湖蓄滞洪区防洪工程建设，提升“两岸分滞”能力。

4.3 古贤工程前期工作及咨询、审查情况

2000 年水利部以水总〔2000〕653 号文批复了《黄河古贤水利枢纽工程项目建议书阶段勘测设计任务书》。古贤前期工作进入项目建议书阶段。黄河勘测规划设计研究院有限公司联合黄河水资源保护科学研究院全面开展了古贤水利枢纽项目建议书阶段的勘测规划设计、环境论证工作。

在项目推进过程中，针对古贤水利枢纽工程对壶口瀑布的影响问题，黄委组织有关单位编制完成了《黄河古贤水利枢纽工程对壶口瀑布、蛇曲地质公园的影响分析》专题。2014 年 12 月，水利部、陕西省、山西省人民政府联合中国工程院、中国科学院，特邀 18 位院士和环境、水利、城市规划、社会科学等知名专家组成咨询专家委员会，召开了环境专题高层专家咨询评估会议，出具了咨询意见，会议认为：古贤水利枢纽是黄河干流控制性骨干工程，在黄河水沙调控体系中具有承上启下的战略地位，是事关黄河长治久安不可或缺的工程，具有重大的社会、经济、环境和生态效益，工程建设十分必要。工程在具有显著经济、社会和环境效益的同时，对壶口瀑布及蛇曲地质公园将产生一定的影响，经采取有针对性的对策措施后，其影响程度可以得到有效减缓，不构成制约工程建设的重大影响。古贤水利枢纽工程已经列入国务院重点推进的 172 项重大水利工程，建成后与小浪底水利枢纽等已建工程联合调度可发挥更大的防洪减淤效益，应尽快上报古贤水利枢纽项目建议书，积极推进前期工作。

2015 年 12 月，项目建议书成果通过了水利部审查。2016 年 11 月，项目建议书成果通过中国国际工程咨询公司评估。2017 年 1 月 23 日发改委下发了《国家发展改革委办公厅关于进一步做好黄河古贤水利枢纽前期工作的函》（发改办农经〔2017〕105 号），

要求进一步深化项目前期工作，明确前期工作正式由项目建议书阶段转入可行性研究阶段。

2017年2月13日，水规总院对《黄河古贤水利枢纽可行性研究阶段勘测设计任务书》进行了审查。2017年9月，黄河勘测规划设计研究院有限公司、黄河水资源保护科学研究院相继完成《黄河古贤水利枢纽工程可行性研究报告》《黄河古贤水利枢纽环境影响报告书》初稿的编制工作。2018年11月，修编后的《黄河古贤水利枢纽可行性研究报告》通过水规总院的技术审查。2019年12月水规总院出具了《水规总院关于黄河古贤水利枢纽工程可行性研究报告审查意见的报告》（水总设〔2019〕875号）。2020年6月水利部将可研报告审查意见上报至国家发改委。

2022年5月7日，环评司邀请8位专家对壶口瀑布、蛇曲地质公园、小北干流湿地3个专题进行了调度，提出了修改意见。5月31日~6月1日，在生态环境部环评司和环境工程评估中心大力支持下，黄委组织11位专家对水文情势、地表水环境、水温等环评专题进行了专家咨询；6月24日，组织7位专家对小北干流河段湿地影响专题进行了咨询。

针对古贤水利枢纽工程对壶口瀑布、地质公园的影响，黄河水资源保护科学研究院2018年先后编制完成《古贤水利枢纽工程对山西永和黄河蛇曲国家地质公园影响研究报告》《古贤水利枢纽工程对陕西延川黄河蛇曲国家地质公园影响研究报告》《古贤水利枢纽工程对陕西清涧无定河曲流群地质公园影响研究报告》《古贤水利枢纽工程对黄河壶口瀑布地质公园影响研究报告》《古贤水利枢纽工程涉及黄河壶口瀑布景观有关问题技术论证报告》《古贤水利枢纽工程对山西乾坤湾风景名胜区影响研究报告》。

2018年9月，黄委在西安组织召开古贤水利枢纽对地质公园影响专家咨询会，邀请院士、国土部、两省国土厅等有关人员和专家参加，形成了会议纪要。

2018年11月，陕西省自然资源厅组织、陕西省林业局参加了黄河古贤水利枢纽工程涉及地质公园评价报告专家论证会，形成了专家论证意见。

2022年10月27日国家林草局组织专家论证，出具了《关于黄河古贤枢纽工程建设对有关自然保护地及湿地影响意见的函》（便函保〔2022〕516号），同意古贤工程建设，要求采取有效措施，减少工程对壶口瀑布、地质公园和湿地的影响。2022年12月7日，山西省林草局出具《关于黄河古贤水利枢纽工程涉及自然保护地有关意见的复函》（晋林保函〔2022〕594号），明确表示支持古贤水利枢纽工程建设，建议进一步采取

必要措施，最大限度减少对保护地的影响。2022 年 12 月 16 日，陕西省林业局出具《关于黄河古贤水利枢纽工程涉及自然保护地有关意见的复函》（陕林函〔2022〕904 号），明确表示全力支持古贤水利枢纽工程建设。

在此基础上完成总报告的修编工作。

4.4 工程地理位置

古贤水利枢纽工程位于黄河中游北干流的吴堡至禹门口河段，壶口瀑布上游约 10.1km 处，上距万家寨水库 550km，下距小浪底水库 445km、入海口 1340km，是黄河干流七大控制性骨干工程之一。枢纽左岸为山西省吉县，右岸为陕西省宜川县，工程在黄河流域的位置参见图 4.4-1。库区涉及陕西省的宜川、延长、延川、清涧、绥德、吴堡和山西省的吉县、大宁、永和、石楼、柳林等 11 县。

古贤水利枢纽是黄河水沙调控体系的重要组成部分，它控制了黄河 80%的水量、60%的泥沙和 80%的粗泥沙，而且库容大、距离小浪底水库较近，在拦沙并与小浪底水库联合调水调沙、协调黄河水沙关系方面有着独特的地理优势，在黄河水沙调控体系中具有承上启下的战略地位。



图 4.4-1 工程在黄河流域的位置示意图

4.5 工程任务、规模及特性

4.5.1 工程任务

古贤水利枢纽是黄河水沙调控体系的骨干枢纽工程，在国家批复的历次黄河重大规

划中都明确了古贤水利枢纽的战略地位和作用，确定工程的开发任务为：以防洪减淤、调水调沙为主，兼顾供水灌溉和发电等综合利用。

1. 防洪减淤、调水调沙

古贤水库控制了黄河龙门以上的洪水和泥沙，水库拦沙库容 93.42 亿 m^3 ，可拦沙 121.45 多亿 t，水库通过拦沙、小浪底水库联合调水调沙运用，可改善进入下游的水沙关系，提高水流输沙能力，减缓下游河道泥沙淤积，维持主槽过流能力。在设计水沙条件下，水库运行 60 年可减少下游河道淤积 71.76 亿 t~63.98 亿 t，黄河下游维持 $4300\text{m}^3/\text{s}$ 以上主槽过流能力在 50 年以上。

通过调控黄河北干流洪水，削减三门峡水库入库洪水，降低三门峡水库滞洪水位 3.18m~6.17m，减少三门峡库区大洪水滩库容损失 57%~83%以上，对 50 年一遇以下洪水，三门峡库区洪水基本不上滩，有利于长期维持三门峡水库削减下游洪水能力。同时减轻洪水对三门峡库区返库移民的威胁，减轻黄河洪水倒灌渭河下游，基本解决小北干流河段的凌汛灾害问题。

通过拦沙和调水调沙运用，使小北干流河段发生持续冲刷，潼关高程最大下降 2.15~2.76m，拦沙结束后通过调水调沙改善水沙关系，可以抑制潼关高程抬升，在一定程度上改变潼关高程居高不下的局面，也有利于渭河下游的防洪。

2. 供水和灌溉

古贤水利枢纽在坝上两岸预留引水口，待晋陕两省供水干渠等配套工程建设完成后，将实现坝上自流取水，对现状的扬黄工程、提灌工程进行替代，解决目前扬黄工程供水水源不稳定、水量保证率低、抽水成本高等问题，改善两岸供水灌溉条件，对区域水资源配置及促进地区经济社会的可持续发展发挥重要作用。

南水北调西线工程生效前，按黄河“87”分水方案和用水总量控制指标控制，古贤水库可向两岸供水区供水量 23.46 亿 m^3 ，其中：替代现状供水 22.51 亿 m^3 ，最大可新增供水 0.95 亿 m^3 ，新增供水需在晋陕两省供水干渠等配套工程前期手续办理及建设完成后，根据区域实际用水需求和用水指标剩余情况进行配水；南水北调西线工程生效后，古贤水库可供水量 36.62 亿 m^3 。

3. 发电

古贤水电站位于陕西省、山西省的负荷中心附近，具有较大的库容，调节性能好，装机容量 2100MW，正常运用期多年平均发电量 57.84 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，可提供优质的电力、

电量和调峰容量，对缓解两省电网调峰矛盾非常重要，对减少环境污染也有重要意义。同时，古贤水电站位于西北电网和华北电网的交界处，将是西北和华北电网联网的重要电源节点，对实施“西电东送”具有重要作用。

4.5.2 工程规模

1. 水库规模

古贤水利枢纽正常蓄水位 627m，汛期限制水位 617m，死水位 588m，设计洪水位 627.52m，校核洪水位 629.27m。水库总库容（校核洪水位以下库容）为 130.59 亿 m^3 ，其中防洪库容（防洪高水位至汛期限制水位）12 亿 m^3 ，调节库容（正常蓄水位至死水位）34.61 亿 m^3 ，死库容（死水位以下）60.50 亿 m^3 ，调水调沙库容 20 亿 m^3 ，拦沙库容 93.42 亿 m^3 。古贤水利枢纽正常运用期水库回水末端位置距古贤坝址约为 202.1km，正常蓄水位时水库面积 219.16 km^2 。

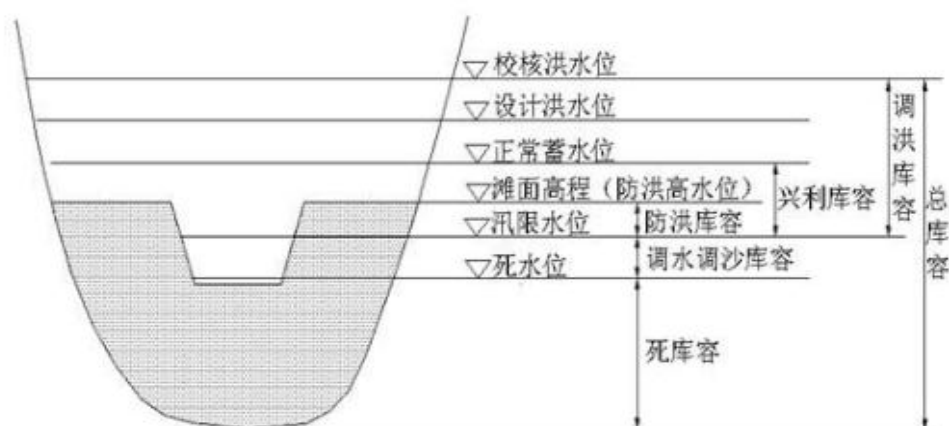


图 4.5.2-1 古贤水库库容分布示意图

2. 供水工程规模

根据古贤水库两省供水区工程规划初步成果，陕西和山西两省相应取水口引水规模为 150 m^3/s 和 160 m^3/s 。

3. 发电工程规模

古贤工程装机容量 2100MW，多年平均发电量为 57.84 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

4.5.3 工程组成

古贤水利枢纽由枢纽建筑物、施工辅助工程、办公及生活设施和建设征地及移民安

置、环境保护工程等四部分组成，见表 4.5.3-1。本工程不包含灌区及其配套工程，主要在坝前两岸预留取水口，两省分别设计灌区及配套工程，分别立项审批。

表 4.5.3-1 古贤水利枢纽项目组成

工程项目		工程组成
枢纽建筑物	挡水建筑物	碾压混凝土重力坝
	引水系统	2 个灌溉供水取水口，6 条引水发电洞，1 条电站右侧、安装间下布置的冲沙孔及其下游底流消力池消能防冲系统
	发电厂房	6 台机组坝后地面式厂房及发电引水系统
	泄洪、排沙建筑物	8 个排沙底孔、4 个泄洪中孔、3 个溢流表孔及配套设置的坝下 3 组消能防冲水垫塘
施工辅助工程	导流工程	2 条隧洞导流，断面尺寸 13m×16m
	交通设施	对外交通道路 20.52km，骨料运输线路 62.47km
	料场	西碛口人工骨料场、原头坡砂砾石料场
	弃渣场	17 个渣场，其中坝址区 3 个，料场区 1 个，皮带机沿线 11 个，进场道路沿线 2 处。
	施工企业	砂石料加工系统 2 处（料场区和坝址区）、主体工程混凝土拌和系统 4 处、临时工程混凝土拌和系统 1 处
	加工厂	综合加工系统 2 座（坝址区和导流区），每座包括钢筋加工厂、木材加工厂、钢管加工厂、混凝土预制件厂等
	机械修配系统	主体工程集中设置 1 座机械修配厂、1 座汽车修理及保养厂，导流工程集中设置 1 座机械修配厂、1 座汽车修理及保养厂，料场区集中设置 1 座机械修配厂、1 座汽车修理及保养厂
	仓储工程	综合仓库 1 处，包括：油库、炸药库、综合仓库及水泥仓库
办公及生活设施	业主营地	1 处
	施工营地	19 个施工生活区
建设征地及移民安置	库底清理	建筑物拆除与清理
	移民安置	移民生产安置、建房安置、迁建、基础设施修建等
	文物保护	文物考察、搬迁、复建、就地保护
	专项设施	工业企业和交通、水利专项设施复建
环境保护工程	施工期污染防治措施	污水处理站、一体化污水处理设施、环保厕所、沉砂池、絮凝沉淀池、中和沉淀池、蓄水池、平流沉淀池、石粉回收装置、预沉调节池、辐流沉淀池、清水池、回用水池、油水分离器、高压喷雾装置、标志牌、隔声围挡、垃圾中转站等
	运行期水环境保护措施	库底清理，划定饮用水水源保护区，加强库区及其上游污染控制和治理、库区水质自动监测站
	生态流量保障措施	发电机组泄放生态流量，生态流量自动监测设施
	鱼类保护措施	水库优化调度、叠梁门分层取水措施，1 座鱼类增殖放流站，人工鱼巢，划定栖息地保护河段等措施
	湿地保护措施	水库优化调度、湿地补水措施，包含新建补水工程 10 处、引水泵站 4 座、补水渠道 186km；湿地恢复工程
	陆生生态保护措施	2 棵古树名木异地移栽、动物巡检保护、施工占地迹地恢复
	地质公园保护措施	地质遗迹详查、博物馆改建、类似景观资源保护、采集样品和资料保护、科学研究及成果展示等
	壶口景观保护措施	水库优化调度、库区泵吸取沙措施（水下泥泵+隧洞过坝方案）、加强观测、开展科学研究

4.5.4 工程特性

工程主要特性指标见表 4.5.4-1。

表 4.5.4-1 古贤水利枢纽工程特性表

序号及名称	单位	数量	备注
一、水文			
1、流域面积			不包括鄂尔多斯内流区
全流域	km ²	752443	
工程坝址以上	km ²	489948	
2、利用的水文系列年限	年	101	实测系列 1919 年 7 月~2020 年 6 月
3、多年平均年径流量	亿 m ³	209.5	设计入库年均径流量（1956 年 7 月~2010 年 6 月系列）
4、代表性流量			
多年平均流量	m ³ /s	664	设计入库年均流量（1956 年 7 月~2010 年 6 月系列）
实测最大流量	m ³ /s	21000	龙门站 1967 年 8 月 11 日
实测最小流量	m ³ /s	接近断流	
调查历史最大流量	m ³ /s	31000	龙门站（道光年）
设计洪水标准，相应流量	‰， m ³ /s	0.1， 38500	
校核洪水标准 P， 相应流量	‰， m ³ /s	0.012， 49400	
施工导流标准，相应流量	‰， m ³ /s	2， 24100	
5、洪量			
实测最大洪量（12 天）	亿 m ³	55.3	龙门站 1981 年 9 月 23~10 月 4 日
设计洪水洪量（12 天）	亿 m ³	89.3	
校核洪水洪量（12 天）	亿 m ³	108	
6、泥沙			
多年平均悬移质年输沙量	亿 t	7.55	龙门站实测 （1919 年 7 月~2017 年 6 月系列）
多年平均含沙量	kg/m ³	26.92	龙门站实测 （1919 年 7 月~2017 年 6 月系列）
实测最大含沙量	kg/m ³	1040	龙门站 2002 年 7 月 5 日实测
坝址设计年均悬移质输沙量	亿 t	4.86	设计入库 （1956 年 7 月~2010 年 6 月系列）
多年平均推移质年输沙量	万 t	20.18	库区干支流推移质总量
二、工程规模			
1、水库			
校核洪水位（P=0.01%）	m	629.27	
设计洪水位（P= 0.1%）	m	627.52	
正常蓄水位	m	627	
防洪高水位（P= 2%）	m	625.5	
汛期限制水位	m	617	
死水位	m	588	初期运用最低水位 560m
总库容（校核洪水位以下库容）	亿 m ³	130.59	原始库容
防洪库容（防洪高水位至汛期限制水位）	亿 m ³	12	
调节库容（正常蓄水位至死水位）	亿 m ³	34.61	水库冲淤平衡后长期有效库容
死库容（死水位以下）	亿 m ³	60.50	原始库容
调水调沙库容	亿 m ³	20.00	有效库容
拦沙库容	亿 m ³	93.42	
设计洪水位时最大泄量相应下游水位	m ³ /s， m	19800， 472.75	坝址下游 250m
校核洪水位时最大泄量相应下游水位	m ³ /s， m	20100， 473.04	坝址下游 250m
最小下泄流量相应下游水位	m ³ /s， m	180， 465.03	最小生态基流时厂房处水位
正常蓄水位时水库面积	km ²	219.16	
回水长度	km	202.10	30 年一遇洪水标准
库容系数	%	16.50	

序号及名称	单位	数量	备注
调节特性		不完全年调节	
2、水力发电工程			
装机容量	MW	2100	
保证出力	MW	474	正常运用期
多年平均发电量	亿 kW·h	57.84	正常运用期
年利用小时数	h	2754	正常运用期
水库调节性能		不完全年调节	
3、供水工程			
设计年引水量	亿 m ³	23.46/36.62	西线生效前/生效后
设计引水量：陕西省	亿 m ³	10.32/18.59	西线生效前/生效后
山西省	亿 m ³	13.14/18.03	西线生效前/生效后
供水保证率 P	%	50/95	灌溉/工业、生活
三、建设征地与移民安置			
1、永久征地面积	亩	336624.92	
其中：耕园地（P=20%）	亩	52193.9	
2、临时用地面积	亩	5757.51	
其中：耕园地（P=20%）	亩	50.04	
3、搬迁安置人口	人	15530	
4、拆迁房屋面积	m ²	920096.23	
5、征地影响重要专项设施			
等级公路	km	134.03	
电力线路	km	71.23	
提水工程	处	21	
四、主要建筑物及设备			
1、大坝			
坝型		碾压混凝土重力坝	
地基特性		岩石地基	三叠系砂岩、粉砂岩为主
地震动参数设计值	g	0.097/0.158	非壅水建筑物基准期 50 年内超越概率 P ₅₀ =0.05 时/壅水建筑物基准期 100 年内超越概率 P ₁₀₀ =0.02 时
地震基本烈度	度	6	
抗震设计烈度	度	7	
坝顶高程	m	630	
最大坝高	m	215	
坝顶长度	m	990	
2、排沙底孔			
型式		坝式、短压力进口	
孔数	孔	8	
进口高程	m	490	
闸孔尺寸（宽×高）	m	4.5×6.0	工作门
设计泄洪流量	m ³ /s	9752	
校核泄洪流量	m ³ /s	9828	
3、泄洪中孔			
型式		坝式、短压力进口	
孔数	孔	4	
进口高程	m	545	
闸孔尺寸（宽×高）	m	5.0×7.0	工作门
设计水位泄量	m ³ /s	4840	
校核水位泄量	m ³ /s	4904	
4、溢洪表孔			
型式		溢流坝式	
孔数	孔	3	
堰顶高程	m	612	
表孔净宽	m	14	
设计泄洪流量	m ³ /s	5208	
校核泄洪流量	m ³ /s	6268	
5、冲沙孔			

序号及名称	单位	数量	备注
型式			坝式、压力进水口
孔数	孔	1	
进口高程	m	515	
进口闸孔尺寸（直径）	m	4×4	
孔深尺寸	m	4	
出口高程	m	463	
出口闸孔尺寸（宽×高）	m	3×3	工作门
泄流能力	m³/s	359	对应正常高水位 627m
6、供水取水口建筑物			
型式		坝式、分层取水口	左、右岸各 1 孔
进口高程	m	573	
设计流量	m³/s	160/150	左/右岸
断面尺寸（直径）	m	6/10	钢管/隧洞
7、发电引水（钢管）建筑物			
型式			坝式、压力进水口
条数	条	6	
进口高程	m	545	叠梁门取水口
孔口尺寸（宽×高）	m	7.5×7.5	
设计引水流量	m³/s	288.4	1 机 1 管
钢管直径	m	7.5	坝后背管
8、厂房			
型式		坝后式	
主厂房尺寸（长×宽×高）	m	166×31.5×65.7	包括主厂房、安装间
水轮机安装高程	m	456.70	
9、出线场			
型式		地面开敞式	左右岸各 1 座
面积（长×宽）	m	110×50/100×50	左岸（500kV）/右岸（330kV）
10、主要机电设备			
水轮机台数	台	6	
型号		HL（150）-LJ-670	
额定出力	MW	357.10	
发电机台数	台	6	
型号		SF350-52/1486	
单机容量	MW	350	
主变压器台数	台	3+3	
电压等级	kV	330,500	
容量	MVA	400	
11、输变线			
电压		330； 500	山西； 陕西
回路数		2； 2	山西； 陕西
输电距离	km	双 40， 单 80； 双 38	山西； 陕西
五、施工			
1、主体工程数量			
明挖土方、砂砾石	10⁴m³	87.59	
明挖石方	10⁴m³	1203.41	
洞挖石方	10⁴m³	17.54	
混凝土和钢筋混凝土	104m³	1765.11	
金属结构安装	万 t	3.52	
帷幕灌浆	10⁴m	21.9	
固结灌浆	10⁴m	37.03	
2、主要建筑材料			
木材	10⁴m³	0.78	
水泥	10⁴t	280.91	
钢筋、钢材	10⁴t	29.52	
3、所需劳动力			
总工日	万工日	2193.30	

序号及名称	单位	数量	备注
高峰施工人数	人	13700	
4、施工高峰供电负荷	kW	129435	
5、对外交通			
距离	km	20.52	进场道路长度
外来物资运输量	万 t	886.92	
6、施工导流			
导流方式			隧洞导流
导流洞条数	条	2	1#长 1374m、2#长 1462m
进口高程	m	465/462	
断面尺寸	m	13×16	
7、施工工期			
准备工期		2 年 4 个月	
投产工期		7 年 9 个月	
总工期		9.5 年	
六、经济指标			
1、工程部分投资			
建筑工程	万元	1806390.15	
机电设备及安装	万元	337581.33	
金属结构设备及安装	万元	99972.65	
施工临时工程	万元	449599.24	
独立费用	万元	450151.15	
工程部分静态总投资	万元	3520937.86	
其中：基本预备费	万元	377243.34	
2、建设征地移民补偿投资	万元		
静态总投资	万元	1953573.48	
其中：基本预备费	万元	218688.19	
3、环境保护工程	万元		
静态总投资	万元	193205.00	
其中：基本预备费	万元	9917	
4、水土保持工程	万元		
静态总投资	万元	113793.30	
其中：基本预备费	万元	10298.56	
5、投资合计	万元		
静态总投资	万元	5776457.64	
建设期融资利息	万元	288517.46	
总投资	万元	6064975.10	
6、综合利用经济指标			
水库单位库容投资	元/m ³	4.46	按固定资产静态总投资计算
水电站单位千瓦投资	元/kW	8234	按电站分摊静态投资计算
单位发电成本	元/kW·h	2.99	按电站分摊静态投资计算
经济内部收益率	%	12.8	
全部投资财务内部收益率	%	0.22	全部资本金
全部资本金财务内部收益率	%	-0.36	全部资本金
企业资本金财务内部收益率	%	6.00	
供水水价	元/m ³	0.3	
灌溉水价	元/m ³	0.016	
上网电价	元/kW·h	0.38	含税电价
贷款偿还年限	年	25	含建设期 10 年
投资回收期	年	56.9	

4.6 工程布置及主要建筑物

4.6.1 工程等别和建筑物级别

古贤水利枢纽工程为 I 等工程，工程规模为大（1）型。工程合理使用年限为 150 年。

4.6.2 工程总布置方案

古贤水利枢纽工程采用碾压混凝土重力坝方案，电站厂房集中右岸布置，枢纽主要建筑物包括：1 座碾压混凝土重力坝；结合坝身布置的 8 个排沙底孔、4 个泄洪中孔和 3 个溢流表孔及其配套设置的坝下 3 组消能防冲水垫塘，1 座安装 6 台水轮发电机组、总装机规模 2100MW 的坝后地面厂房及其发电引水系统，1 条电站右侧、安装间下布置的冲沙孔及其下游底流消力池消能防冲系统，2 个左、右岸坝段布置的灌溉供水取水口。

碾压混凝土重力坝工程建筑物布置（从左岸到右岸依次）为：左岸挡水坝段（D0+000～D0+310）、泄洪中孔和排沙底孔坝段（D0+310～D0+410）、溢流表孔和排沙底孔坝段（D0+410～D0+510）、泄洪中孔和底孔坝段（D0+510～D0+610）、发电引水坝段（D0+610～D0+772）、冲沙孔坝段（D0+772～D0+797）、右岸挡水坝段（D0+797～D0+990）。

大坝采用碾压混凝土重力坝，坝顶宽 15m，坝顶高程 630m，大坝建基面除右岸发电引水坝段建基面高程为 415m 外，其余坝段建基面均为 417m，最大坝高 215m，坝顶总长 990m，共分 43 个坝段。各坝段布置如表 4.6.2-1。

表 4.6.2-1 古贤工程主要坝段总体布置方案

坝段	总体布置
挡水坝段	上游坝面设单折坡，上游坝面坡度 1:0.3，起坡点高程 525m；坝下游坡度 1:0.8。坝体上游采用富胶凝二级配碾压混凝土+变态混凝土防渗。
排沙底孔坝段	共 8 个，分别与溢流表孔坝段和泄洪中孔坝段间隔布置，8 个排沙底孔坝段长度均为 20m，排沙底孔采用短压力进口明流洞型式，进口底坎高程 490m，孔口尺寸为 4.5m×6m，下游采用挑流消能型式。
溢流表孔坝段	布置在河床中部，和排沙底孔坝段间隔布置，3 个溢流表孔坝段长度均为 20m，溢流表孔采用开敞式布置型式，单孔净宽 14m，堰顶高程 612m，堰型为 WES 曲线实用堰，下游采用挑流消能型式。
泄洪中孔和底孔坝段	共 4 个，分别布置在河床两侧，和排沙底孔坝段间隔布置，坝段长度均为 20m，泄洪中孔采用短压力进口明流洞型式，进口底坎高程 545m，孔口尺寸为 5m×7m，下游采用挑流消能。
发电引水坝段	位于河床右侧，共 6 个坝段，发电引水进口高程 545m，采用叠梁门进口型式，发电引水钢管采用坝后背管一机一管布置型式，钢管直径 7.5m。

坝段	总体布置
电站厂房	采用坝后式布置型式，厂房内安装 6 台混流式水轮发电机组，采用一机一缝布置。安装间布置在主厂房右侧，主变压器及户内开关 GIS 室布置在主厂房上游侧，副厂房位于安装间上游侧，出线场布置在厂房右侧山坡的开挖平台上。
冲沙孔	布置在发电引水坝段右侧，进口高程为 515m，洞身直径 4m，下穿厂房安装间，出口位于电站尾水渠右侧，出口孔口尺寸 3m×3m，下游采用消力池底流消能。
左、右岸灌溉取水口	分别位于左岸 7#坝段和右岸 39#坝段，取水口进口高程 573m，采用分层取水口布置、压力洞布置型式，坝后背管直径 6m，后部预留 100m 长隧洞过渡段。

4.7 施工组织设计

4.7.1 施工导截流

4.7.1.1 导流方式

本工程采用河床一次拦断、隧洞导流、全年施工方式。

工程采用土石围堰，左岸山体内部布置 2 条导流洞，导流洞断面采用城门洞型，断面尺寸为 13m×16m（宽×高）。根据导流建筑物级别和类型，导流建筑物设计洪水标准为 50 年～20 年一遇。导流洞布置方案见图 4.7.1-1。

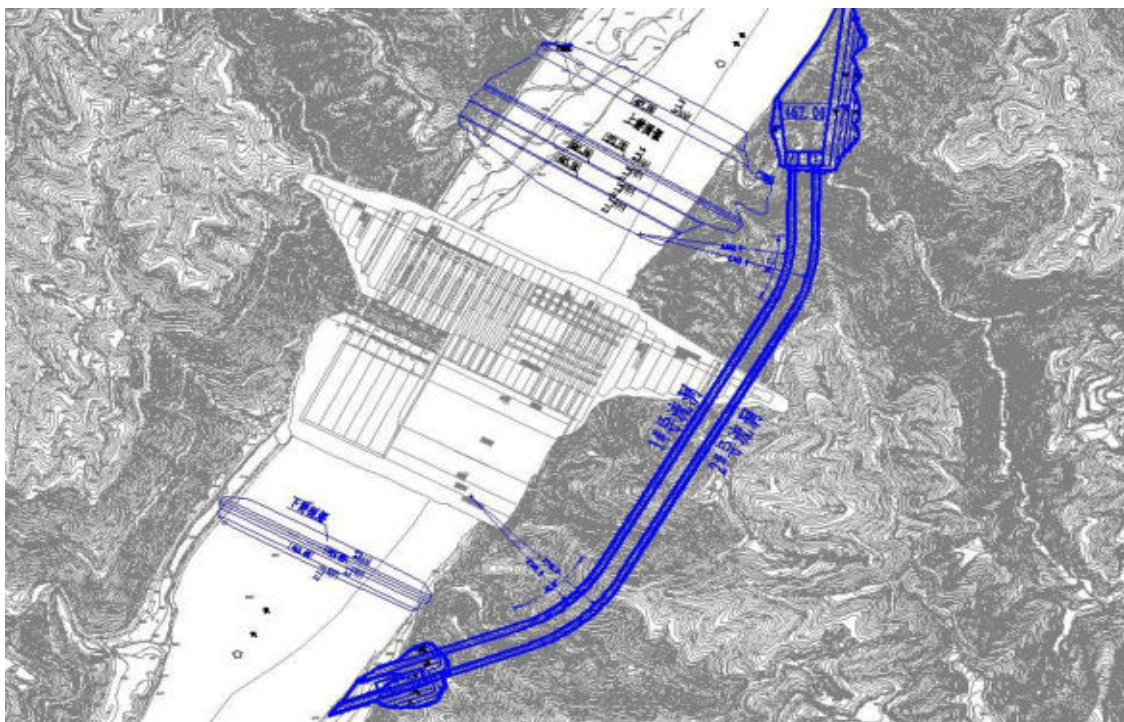


图 4.7.1-1 导流洞布置方案

4.7.1.2 导流程序

导流程序如下：

根据施工总进度及大坝浇筑强度要求，导流程序安排如下：

（1）初期导流

初期导流由全年围堰挡水，1#、2#导流洞过流。

工程开工后第1年10月开始导流洞施工支洞及导流洞施工，原河床过流。

第3年11月上旬，河床截流。

第3年11月～第8年6月由围堰挡水，1#、2#导流洞过流，进行基坑开挖、基础处理、碾压混凝土坝体填筑施工。其中第7年10月1#导流洞首次下闸，进行1#导流洞内向下供水钢管埋设施工，汛前完工并提起1#导流洞闸门。

（2）中期导流

第8年7月至9月导流洞下闸封堵前为中期导流阶段。

第8年6月底坝体填筑至550m高程，第8年7月～9月汛期由坝体临时挡水度汛，2#导流洞和8孔排沙底孔泄流。

（3）后期导流

第8年汛后10月至第9年12月为后期导流阶段；

第8年汛后10月中旬，2#导流洞下闸，进行2#导流洞封堵施工，水库开始蓄水；10月下旬1#导流洞内的供水钢管阀门关闭，进行1#导流洞封堵施工；

第8年11月至第9年6月由坝体挡水，进行导流底孔封堵施工，同时进行坝体填筑施工；

第9年7月至第9年12月由坝体挡水度汛，由8孔排沙底孔和4孔泄洪中孔泄流，进行排沙底孔、泄洪中孔和溢流表孔等金属结构安装；

第9年12月后，永久建筑物正常运行，导流任务完成。

施工导流程序见表4.7.1-1所示。

表 4.7.1-1 施工导流程序表

时间	设计洪水标准 (P=%)	设计流量 (m ³ /s)	下泄流量 (m ³ /s)	泄水建筑物	水位 (m)	坝(堰)顶高程(m)	备注
第1年10月～第3年11月	20% (全年)	12600	12600	原河床过流			修建导流洞施工支洞及导流洞
第3年11月上旬	10% (旬平均)	1270	1270	1#、2#导流洞	481.0	482.0 (戽堤)	河床截流
第3年11月～第8年6月	2% (全年)	24100	7054.4	1#、2#导流洞	524.0	527.0 (堰)	围堰挡水、坝体浇筑施工，第7年10月1#导流洞下闸，洞内埋设向下供水钢管，汛前1#导流洞闸门提起

时间	设计洪水标准 (P=%)	设计流量 (m ³ /s)	下泄流量 (m ³ /s)	泄水建筑物	水位 (m)	坝(堰)顶高程(m)	备注
第8年7月~第8年9月底	1% (全年)	27400	8678.6	2#导流洞+8孔排沙底孔	526.4	550(坝)	坝体临时挡水度汛,进行碾压混凝土坝体的浇筑施工
第8年10月中旬	10% (旬平均)	1740	201.1	1#导流洞内的供水钢管		568(坝)	2#导流洞下闸,导流洞封堵,由改建后的1#导流洞内的钢管过流
第8年10月下旬	10% (旬平均)	1680	201.1	排沙底孔		576(坝)	1#导流洞内下游供水钢管阀门关闭,封堵,1#导流洞,由排沙底孔向下游供水
第8年11月上旬~第9年6月	1% (非汛期)	6060		8孔排沙底孔		579(坝)	1#、2#导流洞封堵,碾压混凝土坝体浇筑施工,机组安装调试运行
第9年7月~第9年12月底	0.5% (全年)	30800	8381.6	8孔排沙底孔+4孔泄洪中孔	556.0	630(坝)	坝体度汛,进行排沙底孔、泄洪中孔和溢流表孔等金属结构安装
第9年12月以后	0.1% (全年)	38500		8孔排沙底孔+4孔泄洪中孔+3孔表孔等		630(坝)	永久建筑物正常运行,导流任务完成

4.7.1.3 截流

本工程采用单戗堤双向进占、立堵截流方式。截流时段选择在枯水期前段,为10月中下旬。

4.7.1.4 导流洞下闸、封堵

1. 下闸

结合施工总进度和施工导流程序,同时考虑第1台机组尽早发电等因素,拟定第7年10月中旬1#导流洞提前下闸,下闸水位为478m,下闸后在洞内埋设下游供水钢管,第8年汛前提起闸门。第8年10月下旬下游供水管的阀门关闭,封堵1#导流洞。

2#导流洞于第8年汛后下闸,考虑到尽量早发电因素,2#导流洞拟定第8年10月中旬下闸,下闸水位489m,下闸后封堵2#导流洞。

2. 封堵

导流洞堵头施工时段为第8年11月~第9年6月。封堵标准为封堵时段内100年一遇洪水,对应流量为6060m³/s。

4.7.1.5 施工期向下游供水

在导流洞下闸封堵、水库初期蓄水期间,为满足期间坝址下游工农业生产用水、保证壶口瀑布景观,要求主河道或泄洪建筑物应保证上游来水正常下泄,施工期间不能断流,初期蓄水期间下游供水量见4.8.3节。

工程向下游供水程序为第 8 年 10 月中旬 2#导流洞下闸，由 1#导流洞内的供水钢管向下游供水，待水库水位蓄水至排沙底孔高程 490m，关闭供水钢管阀门，由排沙底孔向下游供水。1#导流洞内的供水钢管于第 8 年 10 月下旬关闭，水库继续蓄水至第 9 年 3 月底，达到最低发电水位 560m，第 1 台机组发电，蓄水历时 165 天。

4.7.1.6 导流建筑物施工

1. 上游围堰

(1) 围堰型式

上游围堰采用土石围堰，导流标准为 50 年一遇，对应设计流量为 $24100\text{m}^3/\text{s}$ ，对应的堰顶高程为 527m（2 条导流洞，净断面为 $13\text{m}\times 16\text{m}$ ），最大堰高为 64m。

土石围堰采用土工膜斜墙围堰形式，即围堰上部采用土工膜斜墙防渗，围堰下部采用塑性混凝土防渗墙防渗，堰基帷幕灌浆防渗；堰顶高程 527m，最大堰高 64m，堰前最高挡水位 524m。

土石围堰在一个枯水期内完成填筑施工。

(2) 施工方式

围堰砂砾料从上游左岸原头坡砂砾石料场开采，采用 6m^3 挖掘机开挖，45t 自卸汽车运输，后退法卸料，235kW 推土机铺料，18t 自行式振动碾碾压。混凝土防渗墙采用冲击反循环钻和抓斗配套的“两钻一抓法”施工，槽孔接头采用接头管法连接，混凝土浇筑采用“水下直升导管法”浇筑。土工膜人工铺设焊接，帷幕灌浆采用混凝土防渗墙体内成孔采用预埋管法，上游面防护混凝土板采用现浇施工，由 10t 卷扬机牵引自制滑模进行施工。

2. 下游围堰

(1) 围堰型式

下游围堰采用土石围堰，下游围堰最高挡水位 470 m，堰顶高程为 473m，围堰最大堰高为 12m，考虑交通及度汛抢险加高等要求，取堰顶宽 15m，堰顶轴线长 472m，上、下游边坡为 1: 2，堰体和堰基均采用土工膜防渗。

(2) 施工方式

下游围堰分戗堤填筑和堆石体填筑，主要采用 20t 自卸汽车后退法卸料，132kW 推土机铺料，18t 自行式振动碾碾压。土工膜施工方法与上游围堰相同。

3. 导流洞

(1) 导流洞布设

1#、2#导流洞均采用复合衬砌，一次支护为系统锚杆加喷混凝土，二次支护为钢筋混凝土衬砌。洞身段以Ⅲ类围岩为主，导流洞封堵堵头前洞段衬砌厚度为 1.3m，堵头后洞段衬砌厚度为 1.0m。

(2) 施工方式

进出口土方开挖采用 3m³ 挖掘机开挖，20t 自卸汽车运输至渣场。

导流洞采用钻爆法施工，共分 2 层开挖，导流洞洞身混凝土衬砌先浇筑边、顶拱，再浇筑底板。边、顶拱混凝土施工采用穿行式钢模台车一次浇筑成型，同时配置钢筋台车进行钢筋绑扎。混凝土采用 6m³ 混凝土搅拌车运输，HB60 混凝土泵泵送入仓，附着式振捣器振捣。底板采用拉模施工，混凝土采用 6m³ 混凝土搅拌车运输，HB60 混凝土泵或混凝土布料机入仓，人工插入式振捣器振捣。

4.7.1.7 导流工程施工机械设备

导流工程施工机械设备见表 4.7.1-2。

表 4.7.1-2 导流工程施工主要机械设备表

序号	名称	型号或规格	单位	数量
1	推土机	132kW	台	5
2	推土机	235kW	台	15
3	手风钻	YT26~YT28	台	86
4	潜孔钻	YQ100 或 YQ150	台	16
5	液压履带钻	ROC812	台	3
6	冲击反循环钻机	CZF1200	台	55
7	地质钻机	150 型	台	13
8	三臂钻	BOLTEC-535	台	14
9	挖掘机	1m ³	辆	4
10	挖掘机	2m ³	辆	1
11	挖掘机	3m ³	辆	13
12	挖掘机	6m ³	辆	17
13	装载机	2m ³	辆	1
14	装载机	3m ³	辆	24
15	自卸汽车	10t	辆	12
16	自卸汽车	15t	辆	5
17	自卸汽车	20t	辆	90
18	自卸汽车	45t	辆	53
19	混凝土搅拌车	6m ³	辆	32
20	汽车吊	25t	辆	1
21	汽车吊	50t	辆	2
22	塔机	QTS2240	台	2
23	风水枪		台	20
24	振动器	1.1~1.5kW	台	76
25	混凝土泵	HB60	台	15
26	混凝土喷射三联机	BOBOT75	台	15

序号	名称	型号或规格	单位	数量
27	轴流风机	55kW	台	52
28	泥浆泵	BW-250/50	台	52
29	灰浆搅拌机	400L	台	52
30	蛙夯机	2.8kW	台	9
31	光面振动碾	10t	台	5
32	振动碾	18~25t	台	5
33	液压抓斗	0.3m ³	台	13
34	土工膜自动爬行热合机		台	27

4.7.2 料场

根据可研，工程布设料场两处，分别为西磴口人工骨料场和原头坡料场。其中：西磴口人工骨料场为工程的混凝土骨料场；原头坡料场作为天然砂砾石料场，仅作为前期工程围堰填筑料场。

4.7.2.1 西磴口料场

1. 位置

西磴口料场位于乡宁县西坡镇西磴口村附近的 G209 国道西侧，距离古贤坝址直线距离约 60km，北部属乡宁县西坡镇，南部属河津市樊村镇。料场地理位置示意图见 4.7.2-1。根据地形条件、地质构造、地层产状、岩层结构等可分为 4 个料区，该料场是混凝土大坝骨料的主要来源。



图 4.7.2-1 西磴口料场地理位置示意图



图 4.7.2-2 西碛口料场实拍图

2. 开采方式和料场布置

为满足工程混凝土骨料需求和料场内爆破石料道路运输要求，石料开采自上而下分层进行，台阶高度 15m，首先开采较高部位的Ⅰ采区，然后开采较低部位的Ⅱ采区、Ⅲ采区。在 3 个采区达到同一高程时，3 个采区同步开采，开采示意图见 4.7.2-3。采用 ROC812 型液压履带式钻机钻孔，毫秒微差爆破，边坡预裂爆破，3m³ 液压挖掘机配 20t 自卸汽车运输至砂石料加工厂进行破碎、筛分、加工为成品砂石骨料。

料场布置情况图 4.7.2-4。

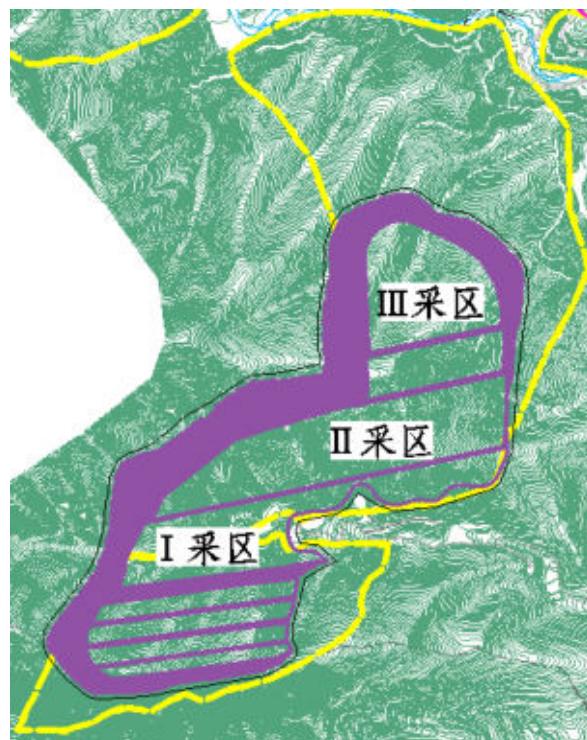


图 4.7.2-3 开采分区示意图

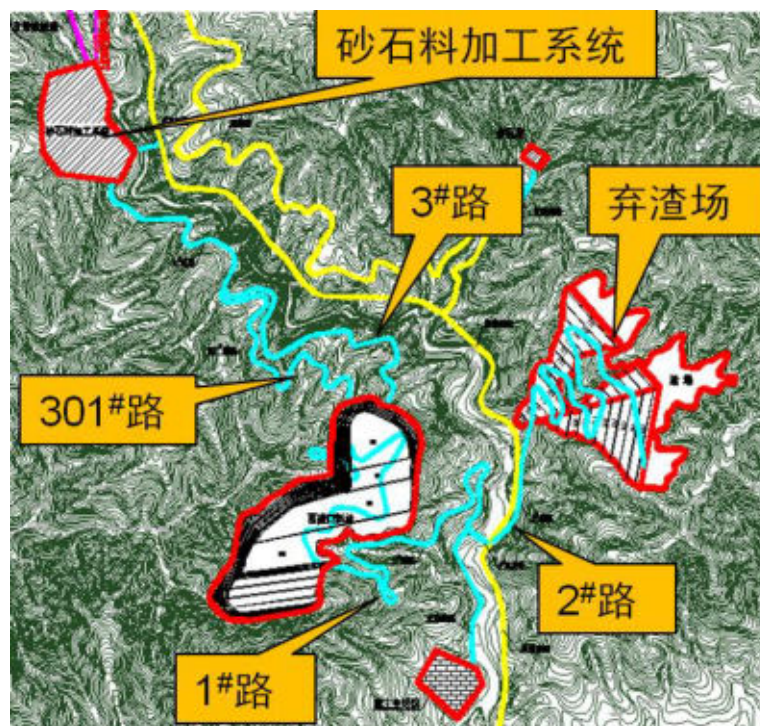


图 4.7.2-4 料场布置示意图

3. 加工和运输方式

砂石料半成品加工系统布置在西碛口料场西北侧 1.5km 的山坡处,将开采的毛料加工成半成品骨料,采用皮带机骨料输送线路将骨料运输至古贤坝址坝后半成品料堆场。皮带机骨料输送线路总长 63.75km,主要为隧洞,其中与进场公路共建段长 20.618km,独立段长 43.13km,其中隧道长 41455m,桥梁长 1950m,带宽为 1600mm,带速 4.0m/s。皮带机线路见图 4.7.2-1。

皮带机骨料输送线路基本为隧道形式,隧道断面为圆形断面,一侧布置皮带机输送机,一侧布置检修通道,成洞断面内径为 5.8m。采用开敞式 TBM 开挖, TBM 进出口段采用钻爆法施工, V 类围岩采用钢筋混凝土衬砌,衬砌厚 30cm。

4.7.2.2 原头坡料场

原头坡料场位于古贤坝址上游 7km 处的黄河左岸漫滩,滩面宽约 200m,长约 1000m,料层厚约 5m,储量约 150 万 m^3 ,远不能满足工程需要,砂砾石料含泥量为 6.2%,偏高。但考虑到运距较近,仅做为前期围堰填筑使用的砂砾石料场。

4.7.3 主体工程施工

4.7.3.1 大坝基础开挖及处理

大坝开挖以高程 470m 为界分为岸坡、河床（包括盖重及消力池、厂房）开挖。

两岸坝肩拟自上而下分层开挖。土方开挖采用 132kW 推土机集料，4m³ 挖掘机挖装，32t 自卸汽车运输。石方开挖采用手风钻配合 ROC812 型液压履带式钻机钻孔、爆破，132kW 推土机集料，采用 4m³ 挖掘机挖装，32t 自卸汽车运输至弃渣场；基坑开挖石方采用 235kW 推土机集料，采用 6m³ 挖掘机挖装，45t 自卸汽车运输至弃渣场。

坝体基础处理包括固结灌浆、帷幕灌浆、岸坡接触灌浆、抗剪洞施工、灌浆洞施工，其中坝体固结灌浆 34.55 万 m³，帷幕灌浆 18.41 万 m³，岸坡接触灌浆 6.54 万 m³。

4.7.3.2 坝体混凝土施工

1. 碾压混凝土施工

工程规模庞大，混凝土浇筑强度高，490m 高程以下碾压混凝土采用自卸汽车直接入仓方式；490m~630m 高程区间碾压混凝土采用以高速皮带机接塔带机为主，满管溜槽及缆机为辅的入仓方式。

本工程碾压混凝土总量约为 1449.56 万 m³。碾压混凝土施工方法采取 RCC 工艺，平铺法结合斜层铺筑施工，即大仓面薄层铺料、碾压、连续上升的施工方法。坝面采用 120kW 湿地推土机按碾压条带平仓，BW202 振动碾碾压，边角部位采用 BW-75S 小型振动碾碾压。坝块之间永久缝采用 EX100 型振动切缝机切割。

2. 常态混凝土施工

基础常态混凝土采用分仓浇筑，插入式振捣棒振捣。溢流面及导墙常态混凝土浇筑考虑在碾压混凝土浇筑完成后在层间歇期进行，采用缆机或门机浇筑，溢流面采用滑模施工，插入式振捣棒振捣。泄洪底孔和中孔常态混凝土采用钢木模板施工，对于孔口部位混凝土，应在常态混凝土浇筑完成后再进行两侧的碾压混凝土施工，采用缆机或门机浇筑，插入式振捣棒振捣。厂房混凝土采用门机进行浇筑，插入式振捣棒振捣。

4.7.3.3 电站厂房施工

电站厂房为坝后式，集中布置在河床右侧。建筑物主要包括主厂房、安装间、副厂房、主变及 GIS 楼、尾水渠、出线场等。厂房内安装 6 台单机装机容量为 350MW 的混流式水轮发电机组，电站总装机容量为 2100MW，机组安装高程为 456.70m。

厂房覆盖层开挖采用 235kW 推土机集料，6.0m³ 挖掘机挖装，45t 自卸汽车运至渣场；石方开挖采用手风钻配合 ROC812 全液压履带钻钻孔，预裂爆破，235kW 推土机集料，石渣采用 6.0m³ 挖掘机挖装，45t 自卸汽车运至渣场。

厂房混凝土方量约 41.87 万 m³，混凝土分为两期进行浇筑，即一期混凝土浇筑时预留出“机坑”，等锥管、蜗壳及坐环、机组里衬等安装时，再逐层回填二期混凝土。

4.7.3.4 金属结构及机电安装

本工程金属结构主要布置在电站引水口、电站冲沙孔、排沙底孔、泄洪中孔、溢流表孔、左右岸灌溉引水口和导流洞七个部位。

电站进口设分层取水叠梁门、主副拦污栅、检修闸门和快速事故闸门，尾水设检修闸门。电站排沙孔进口设检修闸门和事故闸门，出口设工作闸门和检修闸门。排沙底孔及泄洪中孔的进口均设有事故检修闸门和工作闸门。溢流表孔设有检修闸门和工作闸门。左右岸灌溉取水口设有拦污栅、上下层取水闸门和进口事故闸门。导流洞设有封堵闸门。所有的闸门和拦污栅均设有相应的启闭机械。

4.7.3.5 主要施工机械设备表

主体工程施工主要机械设备表见表 4.7.3-1。

表 4.7.3-1 主体工程施工主要机械设备表

序号	机械名称	型号	单位	数量
1	手风钻	台		44
2	液压履带钻	台	ROC812	8
3	油式钻机	台	SGZ- I	4
4	潜孔钻	台	150 型	42
5	推土机	台	132kW	5
6	推土机	台	235kW	12
7	挖掘机	台	4m³	4
8	挖掘机	台	6m³	16
9	耙斗装载机	台	P-90B 型	2
10	自卸汽车	辆	32t	140
11	自卸汽车	辆	45t	84
12	混凝土搅拌运输车	辆	6m³	14
13	振捣器	台	1.5kW	77
14	平仓振捣机	台		8
15	湿地推土机	台	120kW	15
16	振动压实机	台	BW202AD	15
17	振动切缝机	台		6
18	混凝土泵	台	HB60	12
19	灌浆泵	台	BW100/15	133
20	灌浆泵	台	BW200/60	30
21	汽车吊	辆	QUY50	11
22	缆机	台	30t	2
23	塔带机	台	TC2400	4
24	门机	台	MQ1000	6

4.7.4 施工总布置

4.7.4.1 施工分区

古贤工程施工区划分为坝址施工区（含导流施工区）、料场施工区及皮带机线路区（含进场道路区）3个施工区。3个区的相对位置示意图见 4.7.4-1。



图 4.7.4-1 施工分区图

4.7.4.2 施工交通

1. 对外交通

根据古贤坝址区周边路网分布，规划对外交通道路为自青兰高速壶口收费站匝道出口新建 20.52km 进场道路至坝后黄河大桥左岸桥头。其中大部分路段为桥梁隧道等结构物，隧道 10 座，总长 18555m，其中最长的为 10 号隧道长 5351m；桥梁 8 座，总长 995m，最长的桥梁为 1 号桥，桥长 280m；路基段长 970m。桥梁隧道占总路线长度的 95%。

皮带机骨料输送线路在穿过黄河壶口瀑布风景名胜区部分与进场道路走向基本一致，综合考虑技术、经济、环保、施工等因素，进场道路 K1+200 至终点路段，与皮带机线路并线。

进场道路设计标准为公路二级，设计速度 60km/h，进场道路与皮带机线路并线后，路基标准横断面宽 11.9m，横断面布置为 0.5m 土路肩+0.25m 硬路肩+2×3.5m 行车道+0.25m 硬路肩+0.5m 土路肩（设置隔离护栏）+3.4m 宽皮带机。路面结构采用水泥混凝土路面。

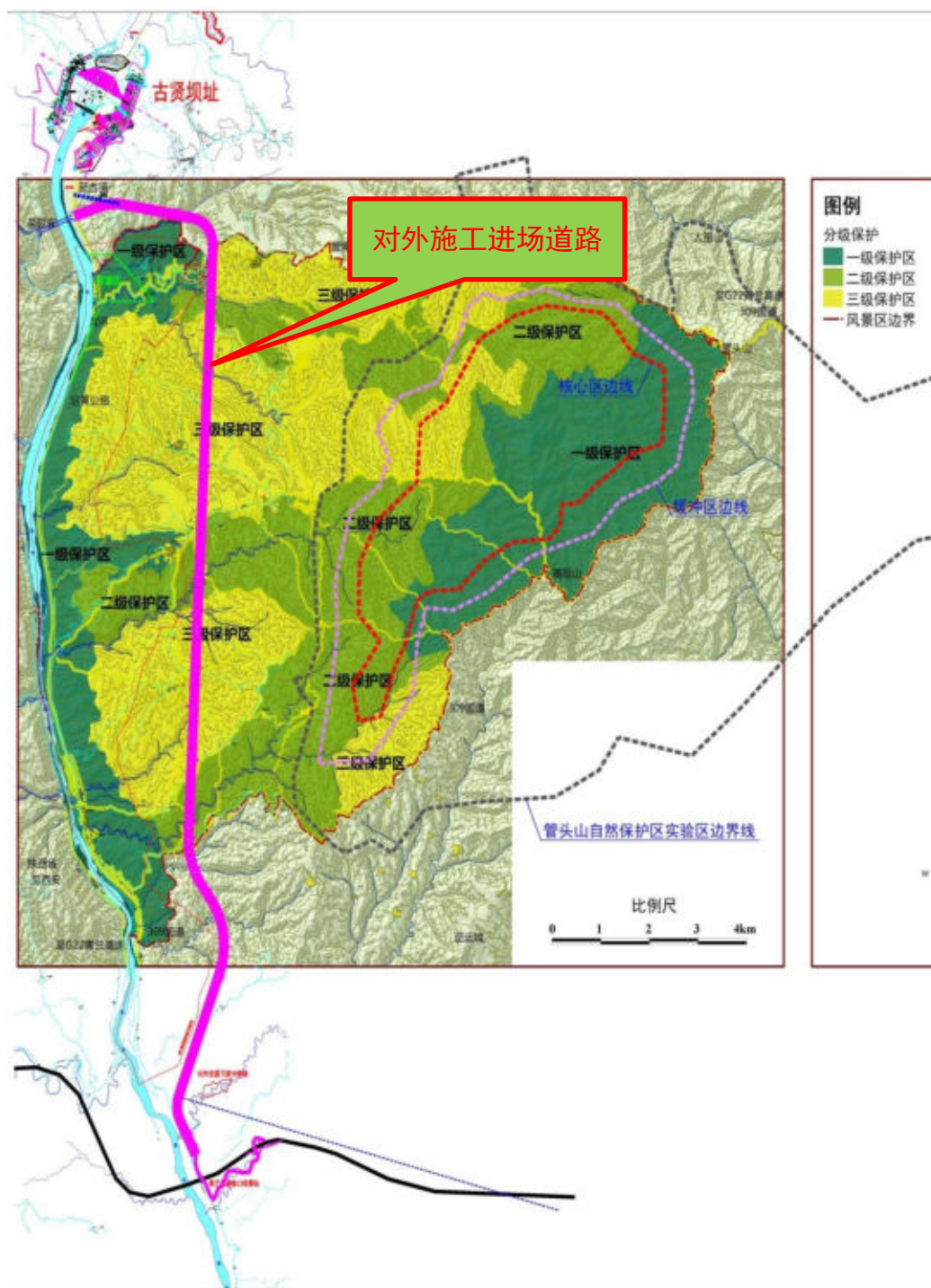


图 4.7.4-2 壶口瀑布风景名胜区与进场道路位置关系示意图

2. 场内交通

坝址区：左、右岸共布置场内干线交通道路 9 条，干线道路总长 22.58km；布置次干线道路 8 条，次干线道路总长 9.25km；布置坝肩开挖等施工支线道路 9 条，施工支线道路总长 2.23km，场内干支线道路总长约 34.06km；场内交通桥 4 座，其中永久桥 2 座，桥长分别为 522m、191m，临时桥 2 座，桥长均为 220m。

西礅口料场区：共布置 3 条干线道路、1 条次干线道路和 1 条施工支线道路，总长度 10.73km。其中干线道路总长 8.51km，次干线道路布置 1 条，施工支线道路总长 1.5km。

皮带机线路区：共布置 13 条道路，总长 20.6km。

4.7.4.3 施工生活区

1. 坝址区

根据施工总进度安排，古贤工程坝址区施工期高峰年平均人数约 11800 人，导流等前期工程高峰年平均人数约 3000 人。

根据施工区地形地质条件及施工总体规划，主体工程集中布置 4 处施工生活区，导流等前期工程集中布置 1 处施工生活区。

2. 料场区

料场区施工生活区布置于料场下游 0.7km，石匣沟右岸坡地，场地分布高程 555m～590m，生活区承担高峰施工人数 2000 人，建筑面积 20000m²。

3. 皮带机线路区

皮带机骨料输送线路总长约 62.47km，共设 13 个施工生活区，分别靠近施工区。高峰施工人数 2000 人，总建筑面积 21400m²。

工程施工生活区布置见表 4.7.4-1 所示。

表 4.7.4-1 工程施工生活区基本情况一览表

区域	施工生活区	位置	高峰期 施工人 数(人)	建筑面 积 (m ²)	高峰施 工 时段
坝址区	1#施工生活区	坝址左岸上游 0.65km 关里沟右岸坡地	1000	10000	主体工程施 工期
	2#施工生活区	坝址左岸下游 1.3km 坡地	2500	25000	
	3#施工生活区	坝址左岸下游 2.8km 黄河大桥左桥头右 上方坡地	3000	30000	
	4#施工生活区	坝址左岸下游 1.5km 坡地	5300	53000	
	导流等前期工程 施工生活区	坝址左岸上游 3km 滩地	3000	30000	工程准备期
料场区	施工生活区	料场下游 0.7km，石匣沟右岸坡地	2000	20000	主体工程施 工期

区域	施工生活区	位置	高峰期 施工人 数(人)	建筑面积 (m ²)	高峰施工 时段
皮带机 线路区	1#施工生活区	皮带机沿线, 线路起点隧洞进口附近	2000	21400	工程筹建期
	2#施工生活区	皮带机沿线, 在竖井 1 附近			
	3#施工生活区	皮带机沿线, 线路桩号 9+380 附近			
	4#施工生活区	皮带机沿线, 线路桩号 10+850 附近			
	5#施工生活区	皮带机沿线, 线路桩号 12+400 附近			
	6#施工生活区	皮带机沿线, 线路桩号 13+600 附近			
	7#施工生活区	皮带机沿线, 竖井 2 附近			
	8#施工生活区	皮带机沿线, 漫水滩村附近			
	9#施工生活区	皮带机沿线, 线路桩号 21+500 附近			
	10#施工生活区	皮带机沿线, 线路桩号 22+000 附近			
	11#施工生活区	皮带机沿线, 线路桩号 31+000 附近			
	12#施工生活区	皮带机沿线, 线路桩号 34+960 附近			
	13#施工生活区	皮带机沿线, 线路桩号 43+110 附近			

4.7.4.4 砂石料加工系统

古贤工程混凝土总量约 1835.50 万 m³, 其中主体工程混凝土总量 1765.11 万 m³, 临时工程混凝土总量 70.39 万 m³, 需轧制混凝土骨料总量为 4230.75 万 t。其中粗骨料 3034.11 万 t, 细骨料 1196.14 万 t, 毛料处理量 5004.06 万 t。

本工程设置 2 处砂石料加工系统, 分别位于坝址区和料场区, 料场区仅设置粗碎车间, 其它车间均布置在坝址区。

1. 料场区

布置于西磴口料场西北侧约 1.5km 山坡处, 主要用于半成品骨料的加工, 地面高程 680.0m~795.0m, 建筑面积 1000m², 占地面积约 65000 m²。

2. 坝址区

布设于坝后河滩地, 主要用于细骨料加工等, 设置中细碎、制砂、冲洗车间、成品料堆等, 建筑面积 2500m², 占地面积 100000m²。

砂石料加工系统布置见表 4.7.4-2 所示。

表 4.7.4-2 砂石料加工系统基本情况一览表

区域	位置	生产规模	建筑面积(m ²)	占地面积(m ²)
坝址区砂石料加工系统	坝后河滩地		2500	100000
料场砂石料加工系统	西磴口料场西北侧约 1.5km 山坡处	4600t/h	1000	65000

4.7.4.5 混凝土拌和系统

古贤水利枢纽工程混凝土总量约 1835.50 万 m³, 其中主体工程混凝土总量 1765.11 万 m³, 临时工程混凝土总量 70.39 万 m³。碾压混凝土总量 1386.79 万 m³, 常态混凝土总量 378.32 万 m³。

工程共布设 5 处混凝土拌和系统，均为于坝址区，布设情况见表 4.7.4-3。混凝土拌和系统由混凝土拌和楼、骨料贮运系统、水泥粉煤灰贮运系统、外加剂车间、制冷车间、供风、供水系统和辅助设施组成。成品砂石骨料由西磴口砂石加工系统轧制，皮带机输送至混凝土系统卸料平台，进入混凝土系统的成品料堆，送入混凝土拌和楼内。

表 4.7.4-3 工程混凝土拌和系统基本情况一览表

混凝土拌和系统	位置	生产规模 (m ³ /h)	建筑面积 (m ²)	占地面积 (m ²)
左岸低线混凝土拌和系统	导流洞出口下游约 150m 处的河滩地及缓坡地上	950	2500	60000
左岸高线混凝土拌和系统	坝轴线下游约 750m 处的坡地上	950	2000	60000
右岸低线混凝土拌和系统	临近下游围堰的河滩地	950	2500	55000
右岸高线混凝土拌和系统	坝轴线下游约 550m 处的坡地上	950	2000	45000
临时工程混凝土拌和系统	导流洞进口上游约 2km 的河滩地上	115	500	13000

4.7.4.6 机械修配系统

坝址区：主体工程集中设置 1 座机械修配厂、1 座汽车修理及保养厂，占地面积 40000m²；

导流工程集中设置 1 座机械修配厂、1 座汽车修理及保养厂，占地面积 6000m²；

料场区：集中设置 1 座机械修配厂、1 座汽车修理及保养厂，占地面积 10000m²。

4.7.4.7 综合加工系统

主体工程在坝址左岸下游滩地集中设置 1 套综合加工系统，综合加工系统包括钢筋加工厂、木材加工厂、混凝土预制件厂、金属结构加工厂、钢管加工厂，占地面积共 105000m²。

导流工程在坝址左岸上游 3.3km 滩地集中设置 1 套综合加工系统，综合加工系统包括钢筋加工厂、木材加工厂、混凝土预制件厂，占地面积 15000m²。

4.7.4.8 仓储系统

(1) 坝址区

设置油库 1 处，布置于黄河大桥下游 0.6km 左岸滩地，该处与各工作面较近，既方便施工，又安全可靠，建筑面积为 1000m²，占地面积为 5000m²。

炸药库 1 处，布置于坝址左岸上游 3.1km 的沟道内，该位置周边 0.5km 范围内无任何生产生活设施，安全可靠，建筑面积为 600m²，占地面积为 3000m²。

综合仓库 2 处，水泥仓库等。

(2) 料场区

油库 1 处，与砂石料加工系统毗邻布置，通过 2#临时桥与国道 G209 相连，该处与各工作面较近，既方便施工，又安全可靠，建筑面积为 1000m^2 ，占地面积为 5000m^2 。

炸药库 1 处，布置于料场西北侧 0.76km ，建筑面积为 1000m^2 ，占地面积为 5000m^2 。

综合仓库 1 处。

(3) 皮带机线路区

皮带机骨料输送线路：共设 13 个综合仓库，分别靠近施工区。总建筑面积 7500m^2 。

4.7.4.9 施工风、水、电及通信

1. 供风

坝址区施工供风系统采取分散与集中相结合的布置方式。坝址区高峰期总用风量约 $900\text{m}^3/\text{min}$ ，共设置 9 座固定压气站，合计设计供风规模约 $1940\text{m}^3/\text{min}$ 。

料场区施工供风系统采取分散与集中相结合的布置方式，高峰期总用风量约 $500\text{m}^3/\text{min}$ ，在料场附近集中设置 1 座固定压气站，合计设计供风规模约 $520\text{m}^3/\text{min}$ 。

2. 供水

坝址区：用水取用黄河水，通过一级泵站将黄河水提至右岸 660m 高程净水厂，水厂内通过预沉、混凝沉淀及净化处理后经配水管网，将净化水通过加压或自流方式直接输送至用户高位水池。坝址区施工用水对象主要包括主体工程施工用水、施工机械用水、施工辅助企业生产用水、生活用水、消防用水等。坝址区施工期生产用水总量约 5077.86万 m^3 ，生活用水总量约 810.02万 m^3 ，施工用水高峰时段为第 7 年 7 月~8 月。

料场区：与坝址区共用供水系统，在皮带机供料系统隧洞内铺设管线至料场区水池。

3. 供电

古贤工程设 3 个 110kV 施工变电站，即山西侧坝址区 110kV 施工变电站、陕西侧坝址区 110kV 施工变电站、料场 110kV 施工变电站，满足工程用电要求。

4. 通信

建设铁塔，移动、联通、电信三家运营商建设基站，以满足施工区域的无线信号覆盖，提供语音和数据业务。

古贤工程坝址区主体工程施工生产生活设施建筑与占地面积见表 4.7.4-4, 导流等前期工程施工生产生活设施建筑与占地面积见表 4.7.4-5; 料场区施工生产生活设施建筑与占地面积见表 4.7.4-6; 皮带机线路施工生产生活设施建筑与占地面积见表 4.7.4-7。

表 4.7.4-4 坝址区主体工程施工生产生活设施规模表

序号	项 目	生产规模	建筑面积 (m ²)	占地面积 (m ²)
1	坝址区砂石料加工系统		2500	100000
2	左岸低线混凝土拌和系统	950m ³ /h	2500	55000
3	左岸高线混凝土拌和系统	950m ³ /h	2000	40000
4	右岸低线混凝土拌和系统	950m ³ /h	2500	55000
5	右岸高线混凝土拌和系统	950m ³ /h	2000	45000
6	混凝土预制厂	30m ³ /班	1000	25000
7	木材加工厂	30m ³ /班	1000	15000
8	钢筋加工厂	185t/班	6000	30000
9	机电及金属结构加工厂		1000	25000
10	钢管加工厂		1000	10000
11	机械修配厂		2000	15000
12	汽车修理保养厂		2000	25000
13	施工供水	69100m ³ /d	1300	50000
14	施工供电	60290kW	1500	23700
15	施工供风	900m ³ /min	500	2500
16	综合仓库		18000	50000
17	成品骨料堆场		300	60000
18	炸药库		600	3000
19	加油站		1000	5000
20	业主营地		8400	25300
21	1#施工生活区	1000 人	10000	20000
22	2#施工生活区	2500 人	25000	50000
23	3#施工生活区	3000 人	30000	60000
24	4#施工生活区	5300 人	53000	106000
合 计			175100	895500

表 4.7.4-5 坝址区导流工程施工生产生活设施规模表

序号	项 目	生产规模	建筑面积 (m ²)	占地面积 (m ²)
1	混凝土拌和系统	115m ³ /h	500	13000
2	混凝土预制厂	8m ³ /班	200	3000
3	木材加工厂	7m ³ /班	200	2000
4	钢筋加工厂	20t/班	1000	10000
5	机械修配厂		400	2500
6	汽车修理保养厂		400	3500
7	综合仓库		2500	5000
8	施工生活区	3000 人	30000	60000
合 计			35200	99000

表 4.7.4-6 料场区施工生产生活设施规模表

序号	项 目	生产规模	建筑面积 (m ²)	占地面积 (m ²)
1	砂石料加工系统	4600t/h	1000	65000
2	综合仓库		4000	8000
3	炸药库		1000	5000
4	加油站		1000	5000
5	施工供风	500m ³ /min	800	3000
6	施工供水	2500m ³ /d	800	8000
7	施工供电	26570kW	800	9100

序号	项 目	生产规模	建筑面积 (m ²)	占地面积 (m ²)
8	机械修配厂		800	5000
9	汽车维修保养厂		800	5000
10	施工生活区	2000 人	20000	40000
	合计		31000	153100

表 4.7.4-7 皮带机线路施工生产生活设施规模表

序号	项 目	综合仓库	生活区	工厂区	占地面积
		建筑面积 (m ²)	建筑面积 (m ²)	建筑面积(m ²)	(m ²)
1	1#施工生产生活区	500	1400	800	4000
2	2#施工生产生活区	500	1400	800	4000
3	3#施工生产生活区	500	1400	800	4000
4	4#施工生产生活区	500	1400	800	4000
5	5#施工生产生活区	500	1400	800	4000
6	6#施工生产生活区	500	1400	800	4000
7	7#施工生产生活区	500	1400	800	4000
8	8#施工生产生活区	500	1400	800	4000
9	9#施工生产生活区	500	1400	800	4000
10	10#施工生产生活区	500	1400	800	4000
11	11#施工生产生活区	500	1400	800	4000
12	12#施工生产生活区	1000	3000	2000	15000
13	13#施工生产生活区	1000	3000	2000	15000
	合计	7500	21400	12800	74000

4.7.5 渣场

4.7.5.1 坝址区

坝址区开挖料折合松方合计约 3592.50 万 m³，总弃渣折合松方合计约 2480.79 万 m³。

坝址区共设渣场 3 个，分布于坝址上游左岸，属于淹没区范围，满足工程主体及临时堆弃渣要求。各渣场情况见图 4.7.5-1。

(1) 1#渣场位于坝址左岸上游 2km 文城河沟道内，堆渣高程 470m~592m，渣场容量 2990 万 m³，实际堆渣量为 2683.64 万 m³（松方）。主要堆存左岸岸坡、河床覆盖层、部分坝基、部分厂房基坑、抗剪洞、左岸灌溉洞、导流工程及部分场内施工道路开挖渣料。

(2) 2#渣场位于坝址左岸上游 1.2km 沟道内，堆渣高程 500m~640m，渣场容量 318 万 m³，实际堆渣量为 317.59 万 m³（松方）。主要堆存部分左岸岸坡、左岸坝肩灌浆洞、左岸缆机平台及部分场内施工道路开挖渣料。

(3) 3#渣场位于坝址左岸上游 1.1km 关里沟内，堆渣高程 560m~640m，渣场容量 84 万 m³，实际堆渣量为 83.17 万 m³（松方）。主要堆存左岸基坑、左岸缆机平台及部分场内施工道路开挖渣料。

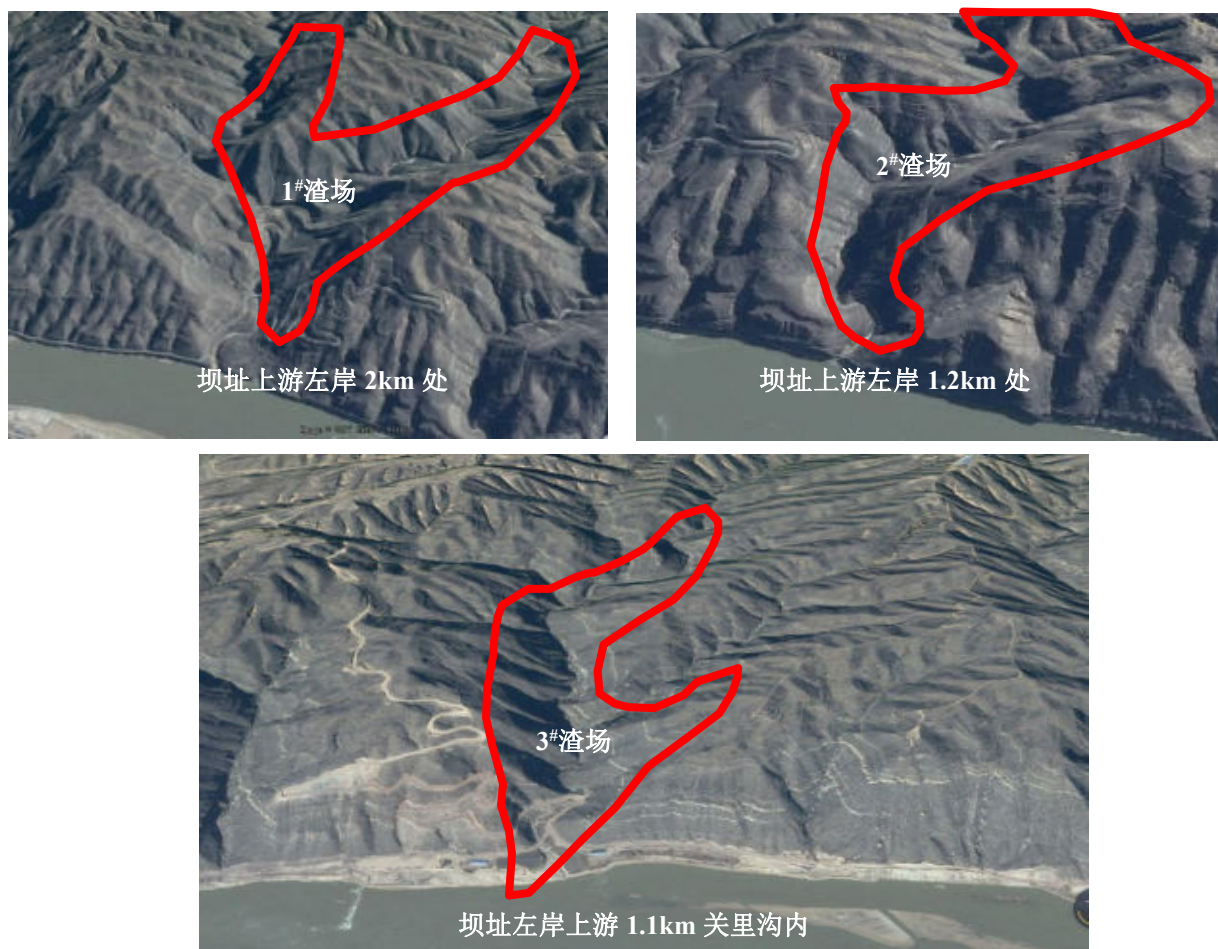


图 4.7.5-1 坝址区各渣场位置现状图



图 4.7.5-2 渣场区现场照片

坝址区土石方平衡表见表 4.7.5-1。

表 4.7.5-1 坝址区土石方平衡表 单位: 万 m³

建筑物	项目名称	工程量		直接利用	间接利用	弃渣量 (松方)	1#渣场	2#渣场	3#渣场
		自然方	松方						
大坝	右岸岸坡石方开挖	74.29	113.67	26.62	43.61	43.44	87.05		
	左岸岸坡石方开挖	198.43	303.60	58.71		244.90		244.90	
	右岸坝段基坑石方开挖	44.02	67.35			67.35	67.35		
	左岸坝段基坑石方开挖	40.56	62.06			62.06		29.87	32.2
	河床坝段覆盖层开挖	42.45	50.52			50.52	50.52		
	河床坝段石方开挖	679.82	1040.12	230.37	130.08	679.67	809.75		
	灌浆洞石方洞挖	2.83	4.32			4.32	2.16	2.16	
	抗剪洞石方洞挖	5.55	8.49		8.07	0.42	8.49		
灌溉洞	土方开挖	1.29	1.71			1.71	1.71		
	石方开挖	5.15	7.88			7.88	7.88		
	石方洞挖	2.86	4.38			4.38	4.38		
厂房	土方开挖	17.00	22.61			22.61	22.61		
	石方开挖	109.00	166.77		21.11	145.66	140.58	26.19	
出线场	土方开挖	12.53	16.66			16.66	16.66		
	石方开挖	5.37	8.22			8.22	8.22		
高压电缆洞	石方洞挖	6.30	9.64			9.64	9.64		
高位消防水池	土方开挖	0.19	0.26			0.26	0.26		
	石方开挖	0.62	0.95			0.95	0.95		
导流工程	进口石方开挖	157.30	240.67	43.21	187.58	9.87	197.46		
	出口石方开挖	43.28	66.22		62.91	3.31	66.22		
	石方洞挖	89.76	137.34		130.47	6.87	137.34		
	上游围堰石方开挖	0.86	1.31		1.24	0.07	1.31		
	下游围堰拆除	23.99	28.02			28.02	28.02		
下窑子北沟导流工程	覆盖层开挖	0.24	0.32			0.32	0.32		
	石方开挖	2.11	3.23		3.06	0.16	3.23		
	石方洞挖	1.88	2.88		2.74	0.14	2.88		
导流洞支洞	土方开挖	0.04	0.06			0.06	0.06		
	石方开挖	0.80	1.23		1.17	0.06	1.23		
	石方洞挖	4.13	6.32		6.01	0.32	6.32		
抗剪洞施工支洞	土方开挖	0.05	0.07			0.07	0.07		
	石方开挖	0.48	0.74		0.70	0.04	0.74		
	石方洞挖	3.35	5.13		4.87	0.26	5.13		
缆机平台	左岸平台土方开挖	19.53	25.98			25.98			25.98
	左岸平台石方开挖	3.61	5.53	5.53		0.00			
	右岸平台石方开挖	21.41	32.75	0.01		32.74	32.74		
475m~490m入仓道路石渣拆除	石方开挖	18.08	21.11			21.11	21.11		
坝址区工作面皮带机线路	石方洞挖	34.82	53.27			53.27	53.27		
砂石加工系统	加工弃料	420.60	441.63			441.63	441.63		
场内道路	土石方开挖	425.36	629.48	143.64		485.84	446.37	14.47	25.0
合计		2519.97	3592.50	508.09	603.62	2480.79	2683.64	317.59	83.17

4.7.5.2 西磴口料场区

西磴口料场强风化开挖量 328.93 万 m³ (松方), 料场工作面皮带机线路开挖石方 12.14 万 m³ (松方), 施工道路土石方开挖 182.21 万 m³ (松方), 经平衡计算, 施工

道路填筑直接利用自身开挖料 17.03 万 m³，料场区总弃渣 506.26 万 m³。

渣场布置于料场东侧 800m 冲沟，渣场容量 650.0 万 m³。料场区土石方平衡见表 4.7.5-2。

表 4.7.5-2 料场区土石方平衡表 单位：万 m³

部位	项目名称	工程量		直接利用量（松方）	弃渣量（松方）	渣场
		自然方	松方			
西礅口料场	强风化石方开挖	214.99	328.93		328.93	328.93
皮带机线路	石方洞挖	8.99	12.14		12.14	12.14
施工道路	土石方开挖	123.03	182.21	17.03	165.18	165.18
合计		347.01	523.28	17.03	506.26	506.26

4.7.5.3 皮带机线路区

（1）皮带机线路：石方开挖 116.72 万 m³，折合松方 157.57 万 m³（松方），全部弃渣，各工区弃渣特性见表 4.7.5-3。

表 4.7.5-3 弃渣特性表 单位：万 m³

项目	隧洞开挖		竖井开挖	洞口开挖	总计（自然方）	总计（松方）	备注
1#渣场（西礅口料场上马台渣场）	8.92			0.07	8.99	12.14	弃至料场渣场
2#渣场	5.81		1.27		7.08	9.56	
3#渣场	10.65			0.14	10.79	14.57	
4#渣场	3.94			0.14	4.08	5.51	
5#渣场	3.82			0.14	3.96	5.35	
6#渣场	4.13			0.14	4.27	5.77	
7#渣场	5.73		1.24		6.97	9.41	
8#渣场	5.71	1.19		6.90	9.31		
9#渣场	6.35		0.14	6.49	8.76		
10#渣场	24.81		1.11	25.92	34.99		
11#渣场	4.98		0.14	5.12	6.91		
12#渣场	4.33		0.14	4.47	6.04		
13#渣场（进场道路 1#渣场）		20.76		0.90	21.66	29.24	与进场道路 1#渣场合并
合计		109.96	3.70	3.06	116.72	157.57	

（2）施工进场道路：共设置 2 个渣场，其中临近坝址区的 7#隧洞下半段弃渣 53.27 万 m³（松方）运至坝址区 1#渣场，剩余弃渣 520.22 万 m³（松方）分别运至对外交通道路下游侧 1#和 2#弃渣场堆存。两个渣场均不涉及壶口瀑布风景名胜区，景区内不弃渣。

4.7.6 施工占地

坝址区：总占地面积共约 517.35 万 m²，其中永久占地 182.23 万 m²，库区提前征用占地 221.27 万 m²，临时占地 113.85 万 m²。

料场区：总占地面积共约 103.89 万 m²，均为施工临时占地。

皮带机线路区：皮带机线路总占地面积共约 97.39 万 m²，均为施工临时占地。

进场道路：总占地面积 78.86 万 m²，其中永久占地 10.15 万 m²；临时占地 68.71 万 m²。

4.7.7 施工总进度

本工程施工总工期为 114 个月（9.5 年），其中：施工准备期为 28 个月，主体工程施工期为 65 个月，完建期为 21 个月，首台机组发电工期为 93 个月。另外安排工程筹建期 1.5 年。

本工程施工分期为：导流洞施工支洞开工以前为工程筹建期；导流洞施工支洞开工到河道截流为工程准备期；河道截流到第 1 台机组投产为主体工程施工期；第 1 台机组投产到最后 1 台机组投产为工程完建期。

工程施工总进度见表 4.7.7-1。

表 4.7.7-1 古贤水利枢纽工程施工总进度

工期	时间	工期内安排的主要工程
筹建期	1.5 年，导流洞主洞开工以前	(1) 征地及移民安置 (2) 进场道路 (3) 坝后黄河大桥 (4) 导流洞的施工道路 (5) 左右岸坝肩开挖的施工道路 (6) 坝址区施工供水系统 (7) 坝址区施工供电系统 (8) 导流洞施工支洞 (9) 临时工程混凝土系统 (10) 前期仓库及临时营地 (11) 临时渣场防护 (12) 料场区进场道路，施工供风、供水、供电系统，施工营地及砂石料系统 (13) 骨料运输系统
工程准备期	28 个月，导流洞主洞开工到河道截流	(1) 大型临建工程 1) 左岸高、低位混凝土及制冷系统；2) 右岸高、低位混凝土及制冷系统； 3) 缆机土建及安装；4) 部分场内道路；5) 施工营地； (2) 导流洞工程 1) 1#、2#导流洞工程；2) 河道截流；3) 部分上游围堰； (3) 准备期开工的主体工程 左右岸坝肩（高程 470.0m 以上）开挖与支护
主体工程施工期	65 个月，河道截流到第 1 台机组投产	(1) 围堰工程 1) 上游围堰；2) 下游围堰；3) 基坑抽水； (2) 大坝工程 1) 坝基（高程 470.0m 以下）开挖与支护；2) 坝基处理（包括基础固结灌浆、帷幕灌浆等）；3) 坝体混凝土浇筑；4) 坝体金属结构及闸门安装； (3) 厂房工程 1) 基坑（高程 470.00m 以下）开挖与支护；2) 基础处理与混凝土浇筑； 3) 主副厂房土建及金属结构安装；4) 厂房电气设备及水轮发电机组安装； (4) 导流洞封堵 1) 1#导流洞封堵；2) 2#导流洞封堵。
工程完建期	21 个月，第 1 台机组投产到最后 1 台机组投产	坝体混凝土浇筑尾工、防浪墙施工、闸门启闭机安装以及剩余机组安装。

4.8 水库运行方式

4.8.1 水库运用阶段划分

考虑古贤水库来水来沙特点，提高水库拦沙和调水调沙对黄河下游和小北干流减淤效益，水库采用逐步抬高主汛期水位拦沙和调水调沙运用方式。根据水库泥沙淤积情况，将水库运用分为三个时期，即拦沙初期、拦沙后期和正常运用期。

(1) 拦沙初期（第 1 年~7 年）

水库投入运行至起始运用水位 560m 以下拦沙库容淤满前，即水库拦沙量在 32 亿 m^3 以下。该时期水库主汛期（7 月~9 月，下同）蓄水拦沙和调水运用，调节期（10 月~6 月，下同）综合运用，水库运行水位主要在 560m~588m 之间。

主汛期水库在起始运用水位 560m 以上调水运用，并滞蓄洪水；调节期蓄水拦沙，调节径流，满足河道生态、壶口瀑布景观、工农业供水和发电等要求。

(2) 拦沙后期（第 8 年~38 年）

水库拦沙初期结束后，水库泥沙淤积到拦沙库容淤满之前，即为拦沙后期，水库拦沙量在 32 亿 m^3 ~93.42 亿 m^3 。该时期主汛期水库蓄水拦沙、调水调沙运用，调节期综合运用，水库运行水位主要在 560m~621m。

主汛期水库逐步抬高水位拦沙（拦粗排细）和调水调沙运用，水库排沙方式为异重流排沙和壅水明流排沙，排沙比较拦沙初期明显增大；调节期蓄水拦沙，调节径流，满足河道生态、壶口瀑布景观、工农业供水和发电等要求。

(3) 正常运用期（长期）

水库拦沙后期结束后进入正常运用期，汛期水库主要利用汛限水位以下的 20 亿 m^3 槽库容进行调水调沙运用，长期发挥水库对中下游河道的减淤作用，调节期综合利用，该时期水库运行水位为 588m~627m。其中 627m 是正常蓄水位。

主汛期水库调水调沙运用，并滞蓄洪水；调节期兴利运用，满足河道生态、壶口瀑布景观、工农业供水和发电等要求。

4.8.2 水库调度运行方式

(1) 拦沙初期

该时期水库运用主要为蓄水拦沙和调水运用，上游来沙主要淤积在水库中，水库基本不具备排沙功能（除异重流排沙外），主汛期古贤水库为小浪底水库调水调沙提供水流动力并进行防洪运用；调节期主要为拦沙和兴利运用，兼顾供水、生态、壶口瀑布景观、发电等。根据工程可研，在主汛期和节假日壶口瀑布观赏游人较多时，古贤水库利用设计的库区泵吸补沙措施塑造有利于观景的水沙过程。水库运行水位主要集中在560m~588m。

①主汛期（7月~9月）

主汛期古贤、小浪底水库联合调水调沙运用，在黄河发生洪水时进行防洪运用。在两水库蓄水和预报河道来水满足一次调水调沙的水量要求时，水库联合调控下泄有利于下游河道输沙的水沙过程（上限调控流量为 $4000\text{m}^3/\text{s}$ 左右），冲刷恢复下游河道主槽过流能力或冲刷恢复小浪底水库有效库容。

主汛期其他时段水库考虑供水区坝上用水后，日均下泄流量为 $450\text{m}^3/\text{s}\sim 750\text{m}^3/\text{s}$ ，根据水库来水、蓄水并结合节假日游人情况等，在白天观景时段水电机组按壶口瀑布景观流量要求泄放 $450\text{m}^3/\text{s}\sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ ，晚上非观景时段水电机组泄放流量不小于生态基流（ $336\text{m}^3/\text{s}$ ）。在电网负荷晚高峰的18点~22点根据剩余水量进行水电站相机调峰运用。发生洪水时，进行防洪运用。

②调节期（10月~次年3月，次年4月~6月）

10月~3月：水库拦沙和兴利运用，兼顾供水、生态、壶口瀑布景观、发电等要求。径流调节主要是考虑供水区坝上用水后，根据水库来水、蓄水并结合节假日游人情况等，在白天观景时段水电机组按壶口瀑布景观流量要求泄放 $400\text{m}^3/\text{s}\sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ ，晚上非观景时段水电机组泄放流量不小于生态基流 $180\text{m}^3/\text{s}$ 。在电网负荷晚高峰的18点~22点进行水电站相机调峰运用，当预测水库入库水量、当前蓄水量难以满足后续生态基流、壶口景观用水、供水区用水需求时，水电站不再进行调峰运用。

4月~6月：水库拦沙和兴利运用，兼顾供水、生态、壶口瀑布景观、发电等要求。径流调节主要考虑供水区坝上用水后，优先考虑鱼类产卵所需流量和要求，泄放流量不小于生态基流 $240\text{m}^3/\text{s}$ ，根据水库来水、蓄水并结合节假日游人情况等，在白天观景时段水电机组按壶口瀑布景观流量要求尽可能泄放 $400\text{m}^3/\text{s}\sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ 的流量，但避免水流

白天晚上的骤涨骤落，全天内水流变幅控制在 $200\text{m}^3/\text{s}$ ，在18点~22点相继进行水电站相机调峰运用，当预测水库入库水量、当前蓄水量难以满足后续生态基流、壶口景观用水、供水区用水需求时，水电站不再进行调峰运用。

6月，根据水库蓄水及来水情况，控制出库流量使6月底水库预留6亿 m^3 左右的蓄水量，以满足7月上旬黄河下游供水灌溉及抗旱要求（“卡脖子旱”用水）。6月中下旬，若古贤、小浪底水库多余水量满足一次调水调沙水量要求（花园口 $4000\text{m}^3/\text{s}$ 流量5天以上），则两库联合进行汛前调水调沙。

（2）拦沙后期

拦沙后期水库排沙能力增加，水库运用主要为蓄水拦沙和调水调沙运用。主汛期调水调沙和防洪运用，调节期拦沙和兴利运用，兼顾供水、生态、景观、发电等。在主汛期和节假日壶口瀑布观赏游人较多时，古贤水库可利用设计的补沙措施塑造有利于观景的水沙过程。水库运行水位主要集中在560m~621m。

①主汛期（7月~9月）

主汛期古贤、小浪底水库联合调水调沙运用，水库调度原则同拦沙初期，仅在小浪底水库和黄河下游河道不需要冲刷减淤时，古贤水库原则上不再大量蓄水、维持低水位壅水排沙。

②调节期（10月~次年3月，次年4月~6月）

水库拦沙和兴利运用，兼顾供水、生态、壶口瀑布景观、发电等要求，控制水库蓄水位不超过正常蓄水位 627m，调度原则同拦沙初期。

（3）正常运行期

此时水库基本冲淤平衡，汛期主要调水调沙和防洪运用，非汛期兴利运用，兼顾供水、生态、景观、发电等。正常运用期古贤水库出库沙量与入库沙量相差不大，对壶口瀑布的影响较小，在主汛期和节假日壶口瀑布观赏游人较多时，也可利用设计的补沙措施塑造有利于观景的水沙过程。

①主汛期（7月~9月）

在古贤水库正常运用期，水库拦沙库容已淤满，主要依靠槽库容对入库水沙进行一定的调节，并为调水调沙积蓄水流动力。当古贤水库槽库容淤积小于5亿 m^3 时，表明古

贤水库还具有一定的泥沙调节能力，该时期调水调沙调度运行方式同拦沙后期。当古贤水库槽库容淤积大于 5亿m^3 时，表明古贤水库调水调沙库容已淤积较为严重，当入库流量大于 $2000\text{m}^3/\text{s}$ ，水库敞泄排沙。

主汛期其他时段古贤水库调度运行方式同拦沙后期。

②调节期（10月~次年3月，次年4月~6月）

调节期水库原则上蓄水拦沙、调节径流，满足供水、生态、壶口瀑布景观及发电要求，控制水库蓄水位不超过正常蓄水位 627m 。调节期水库调度运行方式同拦沙后期。

4.8.3 古贤、小浪底水库联合运用方式

古贤、小浪底水库均是黄河水沙调控体系干流七大骨干控制工程的重要组成部分。小浪底水库开发任务是以防洪（防凌）、减淤为主，兼顾供水、灌溉、发电。小浪底水库调度的主要目标为长期保持有效库容，充分发挥枢纽以防洪减淤为主的综合利用效益，汛期采取防洪、拦沙和调水调沙的运用方式，非汛期按照防断流、灌溉、供水、发电要求进行调节。

古贤、小浪底水库联合调度主要体现在联合调水调沙、发挥减淤作用方面，联合的时段主要是在汛期进行调水调沙，每年的调水调沙时间约为 7 天~20 天。汛期利用古贤水库较大的调水调沙库容，为小浪底水库调水调沙补充强劲的后继动力。也就是说，古贤水库将小浪底水库和黄河下游河道的淤积状态作为自身调水调沙调度的一种反馈条件，当小浪底水库淤积严重需要恢复库容时或者下游河道淤积严重需要恢复平滩流量时，古贤水库利用自身蓄水和河道来水，冲刷小浪底库区以恢复小浪底水库有效库容，并与小浪底水库联合调水调沙，有效补充小浪底调水调沙后续水流动力条件，冲刷恢复并长期维持黄河下游河道 $4300\text{m}^3/\text{s}$ 的主槽过流能力。

除调水调沙期外，汛期其他时段小浪底水库防洪运用与现状防洪运用方式基本相同，古贤水库不改变小浪底水库的防洪调度规则，其作用主要体现在当洪水发生在古贤坝址以上时，能够削减进入小浪底的洪水量。

非汛期两者按照各自承担的供水、发电、灌溉等任务进行调节，小浪底水库调节方式与现状方式基本相同。

综上，古贤水库建成后，主要是在汛期部分时段补充了小浪底水库调水调沙的后继

动力，延长小浪底水库拦沙年限，长期维持下游河道适宜的河槽规模。古贤水库并没有改变小浪底水库现状防洪、减淤、供水、发电、灌溉等调度规则。

4.8.4 水库初期蓄水计划

古贤水库起始运行水位560m，水库蓄水位达到起始运行水位560m时初期蓄水完成。在进行初期蓄水时，主要考虑坝下生态基流、鱼类4月~6月份敏感期用水需求、壶口瀑布景观用水和晋陕两省供水区坝下引水要求。

(1) 初期蓄水期间下游用水要求

根据施工期安排并考虑初期蓄水时间尽可能避开下游河道鱼类产卵期，古贤水库下闸蓄水时间为水库建设第8年的10月中旬，此后晋陕两省天气转冷，壶口瀑布景区的观景人数逐渐较少，考虑两岸供水区用供水及生态基流后，如果下泄流量不能满足壶口瀑布最小观景流量200 m³/s的要求，则按照壶口瀑布最小景观流量200 m³/s下泄。

古贤水库初期蓄水时，水位较低，考虑两省供水区配套工程建设也具有滞后性，古贤水库供水区需水主要考虑晋陕两省已建的扬黄灌区，两省供水区扬黄灌区维持现状的分散扬水方式。古贤水库初期蓄水时，按照坝下生态基流和两省供水区已建扬黄灌区用水过程泄放水量，如果泄放流量小于200m³/s则按照200m³/s下泄，多余水量蓄在水库内，初期蓄水期间坝址下游用水要求见表4.8.4-1。

表 4.8.4-1 古贤水库初期蓄水期间下游用水要求 单位：m³/s

月份	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
供水区用水	11	47	75	14	12	112
生态流量	336	180	180	180	180	180
小计	347	227	255	194	192	292
壶口景观	200	200	200	200	200	200
下泄流量	347	227	255	200	200	292

(2) 初期蓄水运用方案

古贤水库在左岸布设两条导流洞，分别为1#导流洞和2#导流洞，两条导流洞进口高程均为465m，封堵时间不同。另外，古贤水库设置了8孔排沙底孔，排沙底孔高程490m，古贤水库初期蓄水期间，主要依靠1#导流洞内预埋的钢管与排沙底孔泄放下游所需的流量。

在初期蓄水开始前，1#导流洞提前下闸改建，进行预埋钢管，以用于水库下闸进行初期蓄水时泄放下游要求的流量。

第8年10月下旬古贤水库开始下闸蓄水，初期蓄水开始时古贤水库水位为导流洞底板高程465m。在初期蓄水开始时先封堵2#导流洞，由1导流洞内埋设的供水钢管向下游泄放国民经济用水和生态流量。古贤水库排沙底孔底板高程490m，为了满足下游用水和河道生态基流要求，当水库水位达到492m后开始封堵1#导流洞，采用排沙底孔泄放下游用水和生态要求的流量，直到水库的蓄水位达到起始运行水位560m时初期完成。之后电站机组发电运用，通过发电机组泄放下游用水和生态要求的流量。

(3) 初期蓄水时间

古贤水库初期蓄水开始时水位为导流洞底板高程465m，对应原始库容0.01亿m³，初期蓄水结束时起始运行水位560m，对应原始库容31.8亿m³。因此，水库在初期蓄水期间的总蓄水量是31.8亿m³。

根据古贤水库1956年~2010年水文年系列入库径流过程，按照前述水库运用方式和坝下用水过程，同时扣除水库水量损失5m³/s。古贤水库下闸蓄水时间在10月中旬，根据系列年调节计算成果，古贤水库大多数年份在3月份即可完成初期蓄水（保证率为73%），即初期蓄水所需时间约为6个月。

4.9 供水区及水资源配置方案

4.9.1 供水区基本情况

古贤水利枢纽工程供水区位于坝址下游小北干流河段，灌溉、供水范围为陕西省延安、渭南市和山西省临汾、运城市。南水北调西线工程生效前，按照“四水四定”的原则，古贤水库供水区水资源配置严格按照黄河“87 分水方案”和用水总量红线双控制，考虑替代现状扬黄灌区、替代当地水灌区等，古贤水库灌区面积 685.3 万亩，其中陕西省 276.5 万亩，山西省 408.8 万亩，详见表 4.9.1-1。

表 4.9.1-1 南水北调西线工程生效前古贤替代灌区及面积 单位：亿 m³

省份	灌区名称	灌区面积（万亩）
陕西省	交口（当地支流）	68.0
	洛惠渠（当地支流）	75.8
	东雷 1（扬黄）	55.7
	东雷 2（扬黄）	72.7
	禹门口（扬黄）	1.8
	宜川灌区（当地支流）	2.5
	小计	274
山西省	禹门口引黄灌区（扬黄，含置换当地水灌溉）	187.2（含置换当地水灌区：66.8）
	夹马口灌区（扬黄）	85.2

省份	灌区名称	灌区面积（万亩）
	尊村灌区（扬黄）	84.2
	元上灌区（扬黄）	9.6
	杨范灌区（扬黄）	6.3
	井灌区（当地）	36.4
	小计	408.8
合计		685.3

4.9.2 水资源配置方案

南水北调西线工程生效前，古贤水库最大供水量 23.46 亿 m^3 （陕西省 10.32 亿 m^3 ，山西省 13.14 亿 m^3 ），目前供水区现状灌溉、工业、生活已经用水 22.51 亿 m^3 ，剩余能够新增的指标 0.95 亿 m^3 。其中向陕西省供水区最大供水量 10.32 亿 m^3 （替代现状供水 9.96 亿 m^3 ，指标内新增供水 0.36 亿 m^3 ），向山西省供水区最大供水量 13.14 亿 m^3 （替代现状供水 12.55 亿 m^3 ，指标内新增供水 0.59 亿 m^3 ）。水资源配置方案具体见表 4.9.1-1 和表 4.9.2-2 所示。

表 4.9.2-1 南水北调西线工程生效前古贤供水量 单位：亿 m^3

省区	农业灌溉			工业、生活				合计
	替代扬黄灌区	替代当地灌区	小计	替代扬黄工程	替代地下水	指标内新增	小计	
陕西	4.01	3.97	7.98	1.37	0.61	0.36	2.34	10.32
山西	7.74	2.67	10.41	2.02	0.12	0.59	2.73	13.14
合计	11.75	6.64	18.39	3.39	0.73	0.95	5.07	23.46

表 4.9.2-2 南水北调西线工程生效前古贤供水量 单位：亿 m^3

供水对象			农业灌溉			生活、工业				合计
			替代扬黄灌区	替代当地灌区	小计	替代扬黄	替代地下水	指标内新增	小计	
陕西省	灌区	东雷 1（扬黄）	1.72		1.72					1.72
		东雷 2（扬黄）	2.27		2.27					2.27
		禹门口（扬黄）	0.02		0.02					0.02
		交口（当地支流）		2.21	2.21					2.21
		洛惠渠（当地支流）		1.71	1.71					1.71
		宜川灌区（当地支流）		0.05	0.05					0.05
		小计	4.01	3.97	7.98					7.98
	地市	延安					0.01	0.04	0.05	0.05
		渭南				1.37	0.60	0.32	2.29	2.29
		小计				1.37	0.61	0.36	2.34	2.34
	陕西省合计			4.01	3.97	7.98	1.37	0.61	0.36	2.34
山西省	灌区	禹门口引黄灌区（扬黄）	4.42	1.78	6.21					6.21
		夹马口灌区（扬黄）	1.80		1.80					1.80
		尊村灌区（扬黄）	1.06		1.06					1.06
		元上灌区（扬黄）	0.24		0.24					0.24
		杨范灌区（扬黄）	0.22		0.22					0.22
		当地水灌区		0.88	0.88					0.88
		小计	7.74	2.67	10.41					10.41
	地市	运城				0.41	0.02	0.17	0.6	0.6
		临汾				1.60	0.10	0.42	2.12	2.12
		小计				2.02	0.12	0.59	2.73	2.73
	山西省合计			7.74	2.67	10.41	2.02	0.12	0.59	2.73
合计			11.75	6.64	18.39	3.39	0.73	0.95	5.07	23.46

从用水类型来看，灌溉供水 18.39 亿 m³，包括替代现状扬黄灌区 11.75 亿 m³，替代当地水灌区 6.64 亿 m³，灌溉未新增水量；向城乡生活和工业供水量 5.07 亿 m³，包括替代现状扬黄供水工程 3.39 亿 m³，替代当地地下水 0.73 亿 m³，考虑到当地经济社会发展，在配置黄河水量指标内新增供水 0.95 亿 m³（不突破“87 分水方案”），新增供水配置方案见表 4.9.2-3。

表 4.9.2-3 2035 年古贤供水工程供水区新增供水配置 单位：万 m³

省份	市	生活	工业
陕西省	延安市	400	0
	渭南市	3200	0
山西省	临汾市	1700	0
	运城市	3700	500

古贤建成后，将视两省配套工程建设情况及“87 分水方案”分水指标的剩余情况，结合延安、渭南、临汾、运城四市供水区的具体需求，确定给各用水户的供水量。2019 年水利部黄河水利委员会关于《黄河古贤水利枢纽工程水资源论证报告书》审查意见提出：工程设置了取水建筑物，具备向两省分别供水的能力，具体取用水项目建设时，要单独开展取水许可审批相关手续，用水指标占用两省用水总量和黄河分水指标。

4.10 建设征地及移民安置

4.10.1 实物调查成果

古贤工程建设征地影响陕西省的宜川、延长、延川、清涧、绥德、吴堡和山西省的河津、乡宁、吉县、大宁、永和、石楼、柳林等 13 个县 40 个乡镇 195 个行政村。

1. 人口

淹没影响晋、陕两省 13 个县总人口 15063 人，其中山西省淹没影响人口 7374 人，占淹没影响总人口的 49.0%。陕西省淹没影响人口 7689 人，占淹没影响总人口的 51.0%。淹没影响人口中，农村居民 14388 人，集镇单位 304 人，企（事）业单位 371 人。

2. 土地

古贤水利枢纽工程涉及水库淹没影响及工程建设区总用地面积 34.24 万亩，其中征收土地 33.67 万亩，征用土地 0.58 万亩。按地类分，耕地 1.81 万亩，园地 3.41 万亩，林地 3.93 万亩，草地 14.19 万亩，商服与工矿仓储用地 0.04 万亩，住宅用地 0.18 万亩，公共管理和公共服务用地 0.04 万亩，交通运输用地 0.34 万亩，水域及水利设施用地 9.87 万亩，其它用地 0.43 万亩。按征地区域划分，水库淹没区 33.04 万亩（均为永久用地），工程建设区 1.19 万亩。

表 4.10.1-1 古贤水利枢纽工程建设区用地表 单位：亩

类 别	项目名称	合计	永久用地			临时用地		
			小计	库区内	库区外	小计	库区内	库区外
坝址区	坝体管理占地	1857.45	1857.45	62.64	1794.81			
	前方业主营地	38.00	38		38.00			
	鱼类增殖站	30.00	30.00		30.00			
	后方业主营地	45.00	45.00		45.00			
	永久道路	529.35	529.35		529.35			
	1#渣场	1131.15	1131.15	1131.15				
	2#渣场	195.15	195.15	156.73	38.42			
	3#渣场	68.40	68.40	47.4	21.00			
	围堰、导流进口	1422.90	1422.90	1422.90				
	导流工程工厂设施	180.00	180.00	180.00				
	炸药库	5.25	5.25	5.25				
	原头坡料场	375.00	375.00	375.00				
	道路占地	204.75	204.75	204.75				
	左岸高线混凝土拌和系统	59.25				59.25		59.25
	右岸低线混凝土拌和系统	43.92				43.92		43.92
	右岸高线混凝土拌和系统	58.65				58.65		58.65
	工厂设施 1	637.05				637.05		637.05
	工厂设施 2	78.30				78.30		78.30
	导流洞出口占地	90.90				90.90		90.90
	1#施工生活区	34.50				34.50		34.50
	2#施工生活区	88.50				88.50		88.50
	3#施工生活区	100.50				100.50		100.50
	4#施工生活区	165.00				165.00		165.00
	施工供水	75.00				75.00		75.00
	左岸施工供电线路	15.45				15.45		15.45
	右岸施工变电站	3.75				3.75		3.75
	右岸施工供电线路	12.60				12.60		12.60
	临时道路	244.35				244.35		244.35
	小计	7790.12	6082.4	3585.82	2496.58	1707.72	26.1	1681.62
西礅口料场	料场占地	584.40				584.40		584.40
	砂石料加工厂	195.00				195.00		195.00
	施工生活区	60.00				60.00		60.00
	施工变电站	2.25				2.25		2.25
	施工供电线路	11.40				11.40		11.40
	炸药库	7.50				7.50		7.50
	施工供水	12.00				12.00		12.00
	渣场	296.40				296.40		296.40
	道路占地	389.40				389.40		389.40
	小计	1558.35				1558.35		1558.35
	道路	772.50				772.50		772.50
皮带机线路	隧道进出口	217.50				217.50		217.50
	竖井井口	11.25				11.25		11.25
	施工生产生活区	11.00				11.00		11.00
	渣场	348.55				348.55		348.55
	小计	1460.80				1460.80		1460.80
	永久用地	152.25	152.25		152.25			
进场道路	施工便道	450.00				450.00		450.00
	预制场、拌和站	189.00				189.00		189.00
	渣场	391.65				391.65		391.65
	小计	1182.90	152.25		152.25	1030.65		1030.65
	库区淹没区	330400	330400	330400				
合计		342392	6234.65	3338.9	2648.83	5757.52	26.10	5731.42

3. 房屋

古贤水利枢纽工程涉及房屋总面积 92.01 万 m²，其中农村房屋（含农副业、个体工商户）82.02 万 m²，集镇单位房屋 2.22 万 m²，企（事）业单位房屋 6.87 万 m²，专项设施房屋 0.89 万 m²。按征地区域划分，水库淹没影响 91.80 万 m²，工程建设区影响 0.21 万 m²。

4. 农副业及工商企业

古贤水利枢纽工程涉及农副业 654 处，其中水库淹没区 652 处，工程建设区 2 处；涉及个体工商户 165 处，均为库区淹没影响。

5. 集镇

工程建设征地影响山西省、陕西省 4 个集镇，分别为山西省大宁县徐家垛乡、柳林县三交镇、石楼县前山乡和陕西省延川县延水关镇，均处于水库淹没影响区。其中大宁县徐家垛乡政府驻地全部受淹没影响，柳林县三交镇政府驻地大部分单位受淹没影响，石楼县前山乡、延川县延水关镇部分单位受淹没影响。

6. 企（事）业单位

淹没影响企（事）业单位 49 个。其中企业 28 个、事业单位 21 个。

7. 专项设施

（1）交通运输工程：工程建设征地影响道路总长 503.17km，其中等级公路 134.03km，乡村道路 369.14km。等级公路中，二级公路 11.16km，三级公路 67.04km，四级公路 55.83km。乡村道路中，等外道路 36.09km，机耕路 333.05km。淹没影响桥梁 4957.52m，渡口码头 29 处。

（2）水利工程：古贤工程水库淹没影响水利工程 21 处，其中山西省 9 处，陕西省 12 处。规模较大的 4 处，即永和县阁西垣沿黄提水灌溉工程、永和县辛角垣扬水工程、石楼县曹家垣提黄灌溉工程和延川县延安黄河引水工程，属于中型Ⅲ等工程。其余 17 处为小型水利工程。

（3）输变电工程设施：建设征地影响电力线 71.23km，其中 35kV 线路 0.41km、10kV 线路 59.37km、6kV 线路 11.45km；按征地区域划分，水库淹没影响区 69.30km、工程建设区 1.93km。

(4) 通信与广播有线电视：工程建设征地影响通信线路长 493.02km，其中移动公司 210.77km，电信公司 112.21km，联通公司 170.04km，均为水库淹没影响区；影响通信机房 4 处，影响铁塔公司通信基站 7 处。工程建设征地影响广播电视线路 47.96km，均为水库淹没影响，其中山西省 15.46km，陕西省 32.50km。

(5) 文物古迹：工程建设征地影响文物古迹 108 处，以古建筑和古遗址为主，均为水库淹没。按照文物保护单位的级别划分，国家级文物保护单位 2 处，省级文物保护单位 5 处，市级文物保护单位 2 处，县级文物保护单位 33 处，未核定公布保护级别 66 处。

(6) 矿产资源：工程建设征地影响山西省以往煤炭勘查区 2 处、天然气采矿权 1 处和油气（天然气、煤层气）探矿权 6 处；陕西省煤田探矿权 1 处。

(7) 测量工程控制点：古贤水利枢纽工程涉及 135 处，均为水库淹没。

4.10.2 移民安置规划

4.10.2.1 基准年及规划设计水平年

基准年为实物调查年份 2017 年，库区移民安置规划设计水平年为水库下闸蓄水年份 2028 年，工程建设区为 2020 年。

4.10.2.2 移民安置任务

移民安置规划人口包括生产安置人口和搬迁安置人口。

1. 生产安置人口

规划设计水平年生产安置人口 13014 人，其中山西省 7083 人，陕西省 5931 人。

2. 搬迁安置人口

规划设计水平年（2028 年）需搬迁安置人口 4679 户，人口 15530 人，其中山西省 2187 户 7589 人，陕西省 2492 户 7941 人。

4.10.2.3 移民安置方式、去向

1. 生产安置方式、去向

初步规划农村移民生产安置以农业安置为主，一次性补偿和自谋职业安置为辅。农业生产安置用地以开发本村组剩余土地为主，本村组剩余土地不足以安置移民的，在邻近行政村或者组有偿调整土地。

2. 搬迁安置方式去向

古贤水库工程规划设计水平年（2028年）山西、陕西两省搬迁安置移民共计 4679 户 15530 人。其中本村后靠安置 9925 人，占搬迁安置人口的 63.91%；随集镇迁建安置 2176 人，占 14.01%；进城（集）镇自主安置 3429 人，占 22.08%。

（1）山西省

规划设计水平年搬迁安置移民 7589 人，其中本村后靠安置 2333 人，随集镇迁建安置 2176 人，城（集）镇自主安置 3080 人。

（2）陕西省

规划设计水平年搬迁安置移民 7941 人，其中本村后靠安置 7592 人，城（集）镇自主安置 349 人。

3. 搬迁安置方式

搬迁安置分集中安置和分散安置两种方式。

（1）集中安置

对淹没影响人口较多且土地相对集中、耕作半径较小的村组，采用集中安置方式。规划建设 28 个集中居民点和 1 个随集镇迁建集中居民点，安置移民 3374 户 11254 人，占农村搬迁人口的 72.45%。其中：山西省规划集中居民点 10 个（包括 1 个随集镇迁建集中居民点），安置移民 4174 人，其中本村后靠集中安置 1998 人。陕西省规划集中居民点 19 个，安置移民共计 7080 人，均为本村后靠集中安置。

（2）分散安置

分散安置移民 1305 户 4276 人，占农村搬迁安置人口的 27.53%；其中本村组后靠分散安置 267 户 847 人，城（集）镇自主分散安置 1038 户 3429 人。

4.10.2.4 搬迁安置规划

古贤水利枢纽工程集中居民点 28 个，搬迁距离均在 4km 之内。其中搬迁距离 3km 以内的集中居民点 26 个 8251 人；搬迁距离 3km 以上的集中居民点有 2 个 827 人。

4.10.2.5 集镇迁建规划

工程淹没影响陕西、山西两省的 4 个县（区）、4 个乡（镇）政府所在地，分别为山西省临汾市大宁县徐家垛乡，吕梁市柳林县三交镇，山西省石楼县前山乡，陕西省延

川县延水关镇共 4 个乡（镇）政府所在地。

根据地方政府意见，三交镇采取后靠建设迁建方式；徐家垛乡政府采取易地建设至原割麦乡政府所在地（乡政府 94 人，不涉及农村移民随迁）；前山乡、延水关镇采取一次性经济补偿方案。

三交镇安置点人口为 2176 人。迁建选址概况见表 4.10.2-1。

表 4.10.2-1 淹没集（镇）迁建选址概况表

项目	柳林县三交镇
新址位置	坪上村
新址高程	690m~716m
规划用地面积（亩）	393
新址拆迁主要实物	大棚、坟
地形及地质问题	无明显的地质灾害
外部交通条件	沿黄旅游公路
水源条件	三交镇提灌站距新址 0.65km，基本满足居民用水
外部供电条件	利用原有供电设施

4.10.2.6 专项设施复建方案

专项设施复建方案主要包括交通运输工程设施、水利工程设施、电力工程设施、通信工程设施等的复建。

（1）交通工程

古贤工程规划复建道路 20 条共 182.58km。其中等级公路共 14 条 156.76km，包括二级公路 1 条 6.2km，三级公路 9 条 68.98km，四级公路 4 条 81.58km。乡村道路 6 条 25.82km，包括等外路 4 条 7.65km，机耕路 2 条 18.17km。码头共 29 处，规划复建码头 9 处，一次性补偿码头 20 处。

（2）水利工程设施

古贤工程水库淹没影响水利工程 21 处，其中规模较大的 4 处，即永和县阁西垣沿黄提水灌溉工程、永和县辛角垣扬水工程、石楼县曹家垣提水灌溉工程和延川县延安黄河引水工程，属于中型Ⅲ等工程；其余 17 处为小型水利工程，主要为提灌站、人饮工程和景区水利工程等。根据受淹没影响情况，结合水利主管部门意见，规划对 4 处中型泵站和 11 处小型水利工程进行复建，对 1 处采取防护工程处理，对 5 处采取一次性补偿处理。

（3）电力工程设施

古贤工程规划电力线路复建长度 75 条 116.89km，其中 35kV 电力线 2 条 0.55km，

10kV 电力线 59 条 100.86km，6kV 电力线 14 条 15.48km。

(4) 通信工程

古贤工程规划通信线路 947.01km，杆路 262.96km；机房搬迁 4 处，基站设备处理 13 套；规划重建铁塔公司通信基站 7 处。

(5) 广播电视工程

古贤工程规划广播电视线路 63.61km，杆路 13.72km；搬迁机房 1 处，基站设备处理 1 套。

4.11 工程管理

1. 管理体制及机构

古贤水利枢纽是黄河中下游水沙调控体系的重要环节，是以防洪减淤、调水调沙为主要目标的社会公益性为主的项目。水利投资方联合晋陕两省成立“古贤水利枢纽开发有限责任公司”，作为项目法人。

工程建设期共设 11 个部门，管理人员编制共 140 人；运行期共设 7 个部门及发电厂，人员编制共 345 人。

2. 工程运行管理

黄河古贤水利枢纽是一座以防洪减淤、调水调沙为主，兼顾供水灌溉和发电的综合利用的特大型骨干工程，是黄河水沙调控体系的重要组成部分。水库运用首先要满足防洪减淤和调水调沙运用要求，其次兼顾发电和供水灌溉效益，水库由水利部黄河水利委员会统一管理和调度。

4.12 投资估算

工程静态总投资为 5776457.64 万元，其中：工程投资 3520937.86 万元，建设征地移民补偿投资 1953573.48 万元，环境保护投资 193205 万元，水土保持 113793.30 万元。

环境保护投资占工程总投资的 3.4%。

第五章 工程分析

5.1 工程与相关政策及规划的符合性分析

5.1.1 工程与黄河流域生态保护和高质量发展国家战略的符合性分析

2019年9月18日，习近平总书记在河南郑州黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上提出，黄河流域生态保护和高质量发展是重大国家战略，保护黄河是事关中华民族伟大复兴的千秋大计，要共同抓好大保护，协同推进大治理，着力加强生态保护治理、保障黄河长治久安、促进全流域高质量发展、改善人民群众生活、保护传承弘扬黄河文化，让黄河成为造福人民的幸福河。会上提出了黄河流域生态保护和高质量发展的主要目标任务：第一，加强生态环境保护……中游要突出抓好水土保持和污染治理，逐步改善局部小气候……对汾河等污染严重的支流，要下大气力推进治理。下游的黄河三角洲是我国暖温带最完整的湿地生态系统，要做好保护工作，促进河流生态系统健康，提高生物多样性。第二，保障黄河长治久安……必须要紧紧抓住水沙关系调节这个“牛鼻子”，完善水沙调控机制。第四，推动黄河流域高质量发展……河套灌区、汾渭平原等粮食主产区要发展现代农业，把农产品质量提上去，为保障国家粮食安全作出贡献……贫困地区要提高基础设施和公共服务水平，全力保障和改善民生。

2021年10月22日，习近平总书记在山东济南主持召开深入推动黄河流域生态保护和高质量发展座谈会时强调，“十四五”是推动黄河流域生态保护和高质量发展的关键时期，要抓好重大任务贯彻落实。要立足防大汛、抗大灾，针对防汛救灾暴露出的薄弱环节，迅速查漏补缺，……补好防灾基础设施短板。要抓好上中游水土流失治理和荒漠化防治，推进流域综合治理。要加强下游河道和滩区环境综合治理，提高河口三角洲生物多样性。

古贤水利枢纽工程位于小浪底水库上游约445km处，是黄河水沙调控体系的核心工程。工程的实施是紧紧抓住水沙关系调节这个“牛鼻子”、完善水沙调控机制的重要举措。古贤工程与小浪底水库联合调水调沙运用，可使小浪底水库拦沙库容运用年限延长34年，增加小浪底水库调水调沙后续动力，补齐水沙调控体系工程短板，进一步完

善水利基础设施网络，增强水安全保障能力。对减缓黄河下游淤积，保障黄河长治久安意义重大。

古贤水库蓄水后可形成 220km² 宏阔水面，200km 长的绿水青山带，可形成局部小气候，改善沿黄两岸生态环境，减少水土流失。同时，古贤水库与小浪底水库联合调度，有助于提高黄河中下游及河口生态水量满足程度，促进黄河三角洲生态保护。古贤工程的实施有利于维持黄河生态系统健康，是加强黄河中、下游生态环境保护的有力举措。

古贤工程在坝上两岸预留引水口，可向山西、陕西两省供水，有利于汾渭平原粮食主产区发展现代农业，为保障国家粮食安全做贡献；通过置换供水区地下水、地表水水源，可改善地下水超采现象并改善当地河道生态环境。同时，工程的实施，每年可为山西、陕西两省输送 57.84 亿 kW·h 清洁电能，推动当地经济发展。

综上，古贤水利枢纽是黄河流域生态保护和高质量发展规划的重要工程，水沙关系调节“牛鼻子”的主要环节，是完善黄河水沙调控体系和机制的重要内容，是优化水沙调控调度机制、保障黄河长治久安的重要组成；是国家水网格局中“结”的重要组成，对调配国家水资源、调节黄河流域水资源具有重要作用；是防大汛、抗大灾，抵御自然灾害防线，补好防灾基础设施短板的重要环节；是加强上中游水土流失治理，维持黄河下游河道治理和黄河三角洲多样性保护的重要手段。工程的部署和建设是“十四五”时期抓好重大任务贯彻落实的重要工作，对推动黄河流域生态保护和高质量发展等国家重大战略具有重要支撑作用。

5.1.2 工程与国家相关政策和法规的符合性分析

5.1.2.1 工程与国家产业政策符合性分析

根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，古贤水利枢纽工程属鼓励类“二、水利”中的“11、综合利用水利枢纽工程”。建设古贤水利枢纽工程符合国家产业政策要求。

5.1.2.2 工程与新时期治水战略符合性分析

党的十八大以来，党中央、国务院对水利改革发展做出一系列重要战略部署。习近平总书记关于保障国家水安全的重要讲话，明确提出了“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的新时期治水思路和“确有需要、生态安全、可以持续”的重大工程论

证原则，为进一步做好水利工作提供了强大的思想武器和科学的行动指南。

古贤水利枢纽工程系统考虑流域防洪保安、水资源优化配置和国家生态环境安全需求，对保障黄淮海平原防洪安全、改善下游生态环境具有积极意义，同时可促进陕西、山西两省经济社会与生态环境协调发展，工程建设与新时期治水战略相符合。

5.1.2.3 工程与国家重大水利工程建设部署符合性分析

2013 年，国家发展和改革委员会、水利部联合发文（发改农经〔2013〕1528 号）批准《全国大型水库建设总体安排意见（2013～2015 年）》。《意见》指出：目前我国的水库径流调节能力和水利工程体系防灾减灾能力仍显不足，……需要在科学规划论证的基础上继续建设一批大型水库，进一步提高江河调蓄洪水能力和重点城镇防洪标准。共有 63 座大型水库纳入该《意见》，古贤水利枢纽工程位列其中。

2014 年，国务院总理李克强主持召开国务院常务会议，部署加快推进节水供水重大水利工程建设，古贤水利枢纽工程列入了 172 项节水供水重大水利工程规划；2020 年，古贤水利枢纽工程被国务院列入当年及后续加快推进的 150 项重大水利工程；2022 年，古贤水利枢纽工程被国务院列入 55 项计划新开工的一批条件成熟的重大水利项目。

古贤水库拦沙库容 93.42 亿 m^3 ，防洪库容 12 亿 m^3 ，可拦沙 121.45 多亿 t，有效减缓黄河下游泥沙淤积、三门峡水库库容淤损，保障华北平原经济社会稳定发展和生态安全；降低和控制潼关高程，减少渭河下游防洪压力；同时可通过向黄河北干流两岸置换水量，将北干流两岸水源不稳定、供水保证率低、运行费高的约 1000 万亩的高扬程灌区改为自流灌区，为晋陕两省城乡生活、工农业生产提供水源保障。工程符合《全国大型水库建设总体安排意见（2013～2015 年）》和 172 项、150 项、55 项重大水利规划的任务要求。

5.1.2.4 工程与“水十条”符合性分析

《国务院关于印发水污染防治行动计划的通知》（国发〔2015〕17 号）中提出“……合理确定发展布局、结构和规模。充分考虑水资源、水环境承载能力，以水定城、以水定地、以水定人、以水定产。”

本次工程充分考虑流域水资源特点，根据黄河中游北干流社会经济用水需水量，提高用水效率，落实黄河“八七分水方案”和“三条红线”总量控制指标，按照“以供定

需”原则，进行水资源配置；并统筹考虑黄河坝下生态基流、壶口瀑布、小北干流湿地生态需求，最大程度地维护流域中下游生态系统的结构和功能，符合“水十条”的要求。

5.1.2.5 工程与《中华人民共和国湿地保护法》符合性分析

2022年6月1日开始实施的《中华人民共和国湿地保护法》第二十八条规定，禁止下列破坏湿地及其生态功能的行为：开（围）垦、排干自然湿地，永久性截断自然湿地水源；擅自填埋自然湿地，擅自采砂、采矿、取土；排放不符合水污染物排放标准的工业废水、生活污水及其他污染湿地的废水、污水，倾倒、堆放、丢弃、遗撒固体废物；过度放牧或者滥采野生植物，过度捕捞或者灭绝式捕捞，过度施肥、投药、投放饵料等污染湿地的种植养殖行为；其他破坏湿地及其生态功能的行为。

古贤坝址下游72km处分布有小北干流河段沿河自然湿地，古贤工程在小北干流湿地范围内无工程布置，无破坏湿地及生态功能的行为，工程建设符合相关法律法规要求。国家林业和草原局于2022年11月3日出具《关于黄河古贤水利枢纽工程建设对有关自然保护地及湿地影响意见的函》（便函保〔2022〕516号文），同意古贤工程建设。2022年12月7日、16日，晋陕两省林草部门分别以晋林保函〔2022〕594号文、陕林函〔2022〕904号文，出具涉及各自行政区域内自然保护地及湿地影响意见的函，支持古贤工程建设。

5.1.2.6 工程与《中华人民共和国黄河保护法》符合性分析

2022年10月30日公布的《中华人民共和国黄河保护法》第六十条规定，“国家依据黄河流域综合规划、防洪规划，在黄河流域组织建设水沙调控和防洪减灾工程体系，完善水沙调控和防洪防凌调度机制”，第六十一条规定，“国家完善以骨干水库等重大水利工程为主的水沙调控体系，采取联合调水调沙、泥沙综合处理利用等措施，提高拦沙输沙能力。纳入水沙调控体系的工程名录由国务院水行政主管部门制定”。

古贤水利枢纽是国务院批复的《黄河流域综合规划（2012-2030年）》提出的黄河干流七大骨干水利枢纽之一，是黄河水沙调控体系的核心工程，是完善黄河水沙调控体系和机制的重要内容，是保障黄河长治久安的重要组成。通过古贤水库与小浪底水库联合调水调沙运用，可增加小浪底水库调水调沙后续动力，补齐水沙调控体系工程短板，对减缓黄河下游淤积，保障黄河长治久安意义重大。工程建设符合《中华人民共和国黄河

保护法》相关要求。

5.1.2.7 工程与《风景名胜区条例》符合性分析

2016年2月修订的《风景名胜区条例》相关规定如下：第二十八条，在国家级风景名胜区内修建缆车、索道等重大建设工程，项目的选址方案应当报省、自治区人民政府建设主管部门和直辖市人民政府风景名胜区主管部门核准。第二十九条，在风景名胜区内进行影响生态和景观的活动，应当经风景名胜区管理机构审核后，依照有关法律、法规的规定报有关主管部门批准。

《山西省风景名胜区条例》第二十九条第一款规定：国家级风景名胜区内建设工程，其项目的选址方案，由风景名胜区管理机构审核并经省人民政府林业和草原主管部门核准后，报省人民政府自然资源主管部门批准。《陕西省风景名胜区管理条例》第二十一条规定：在风景名胜区内进行下列活动，应当经风景名胜区管理机构审核后，依照法律、法规的规定报有关主管部门批准：……（七）其他可能影响生态和景观的活动。

1988年8月，国务院以国发〔1988〕51号文确定黄河壶口瀑布风景名胜区为国家重点风景名胜区。根据晋、陕两省分别修编的《黄河壶口瀑布风景名胜区总体规划》（正在报批阶段），古贤水利枢纽工程主体工程不在景区内；古贤工程施工进场道路和皮带机运输线路（主要为隧洞）涉及黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）的长度分别为10.957km、11.042km，主要涉及二、三级保护区。3.536km施工道路涉及黄河壶口瀑布风景名胜区（陕西）三级保护区；两侧景区内均未设置施工生活区、渣场等。

古贤工程不涉及风景名胜区一级保护区，涉及二、三级保护区的建设内容已纳入两省分别修编的《黄河壶口瀑布风景名胜区总体规划》。本次工程布置不违反《风景名胜区条例》要求，与风景名胜区规划内容不矛盾。国家林业和草原局出具《关于黄河古贤水利枢纽工程建设对有关自然保护地及湿地影响意见的函》（便函保〔2022〕516号文），同意古贤工程建设。2022年12月7日、16日，晋陕两省林草部门分别以晋林保函〔2022〕594号文、陕林函〔2022〕904号文，出具涉及各自行政区域内自然保护地及湿地影响意见的函，支持古贤工程建设。

综上，工程建设与《风景名胜区条例》基本协调。

5.1.3 工程与流域规划及规划环评的符合性分析

5.1.3.1 工程与《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》及相关规划的符合性分析

1. 工程与《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》的符合性分析

2021年10月8日,为深入贯彻习近平总书记重要讲话和指示批示精神,中共中央、国务院印发了《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》,作为指导当前和今后一个时期黄河流域生态保护和高质量发展的纲领性文件,以及制定实施相关规划方案、政策措施和建设相关工程项目的重要依据。纲要中指出,要突出抓好黄土高原水土保持……加大水土流失综合治理力度,改善中游地区生态面貌。要建设黄河下游绿色生态走廊,加大黄河三角洲湿地生态系统保护修复力度,促进黄河下游河道生态功能提升和入海口生态环境改善。要紧紧抓住水沙关系调节这个“牛鼻子”……完善以骨干水库等重大水利工程为主的水沙调控体系,优化水库运用方式和拦沙能力……充分发挥小浪底等工程联合调水调沙作用,增强径流调节和洪水泥沙控制能力。巩固黄河流域对保障国家粮食安全的重要作用……在黄淮海平原、汾渭平原、河套灌区等粮食主产区,积极推广优质粮食品种种植。要以上中游欠发达地区为重点……提高公共服务供给能力和水平,进一步保障和改善民生。

古贤水利枢纽是黄河流域生态保护和高质量发展规划的重要工程,是黄河水沙调控体系的核心工程,是保障黄河长治久安的重要组成;古贤水库与小浪底水库联合调度,有助于提高黄河中下游及河口生态水量满足程度,促进黄河三角洲生态保护。古贤工程在坝上两岸预留引水口,可向山西、陕西两省供水。有利于汾渭平原粮食主产区发展现代农业,为保障国家粮食安全作出贡献。古贤工程的建设对推动黄河流域生态保护和高质量发展具有重要支撑作用。

2. 工程与《黄河流域生态保护和高质量发展水安全保障规划》的符合性分析

2022年5月水利部、国家发展和改革委员会印发《黄河流域生态保护和高质量发展水安全保障规划》,规划总体格局提出:构建“一线七库”水资源配置格局,……以黄河干流已建的龙羊峡、刘家峡、三门峡、小浪底和规划建设的古贤、黑山峡、碛口等七座水利枢纽为骨架,增强上中下游水量联合调控能力,建设流域水网,提高流域水资源配置水平和供水安全保障能力。在“保障黄河长治久安”中提出:要构建动力强劲的

水沙调控工程体系。加快推进古贤水利枢纽前期工作及尽早开工建设，与中游已建水库群联合拦沙和调水调沙，提升黄河中游洪水泥沙子体系调控能力，减轻中下游河道淤积。

古贤水利枢纽是黄河水沙调控体系的核心工程，是保障黄河长治久安的重要组成，工程与《黄河流域生态保护和高质量发展水安全保障规划》相符合。

3. 工程与《黄河流域生态环境保护规划》的符合性分析

2022年6月，生态环境部、国家发展和改革委员会、自然资源部、水利部四部委联合印发了《黄河流域生态环境保护规划》，是落实《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》“1+N+X”要求的专项规划。该规划提出到2030年黄河流域生态环境质量明显改善；到2035年生态环境全面改善；本世纪中叶黄河流域生态安全格局全面形成的主要目标，加快产业绿色发展、治理修复水生态环境、实现减污降碳协同增效、防治土壤地下水污染、实施系统保护修复、有效防范重大环境风险、构建治理体系等7大方面的主要任务。《规划》在“推进三水统筹，治理修复水生态环境”部分中提出：“落实水资源用水总量和强度双控”“维护干支流重要水体水生态系统”，在“坚持生态优先，实施系统保护修复”部分中提出：“坚持山水林田湖草沙系统保护和修复，构建黄河流域生态保护格局，修复重要生态系统，治理生态脆弱区域，强化生态保护监管，提升生态系统质量和稳定性……加强黄河三角洲湿地保护修复。严格保障黄河利津断面50立方米/秒生态基流目标”，“通过河流连通性恢复、水生生境修复、水生生物增殖放流等措施，恢复流域水生生物多样性……落实黄河流域禁渔制度，加强黄河上游特有鱼类、珍稀鱼类保护……推动开展黄河中游鱼类产卵场修复重建示范工程和黄河口退化水生生态系统修复示范工程”。

古贤工程水资源配置过程中，按照“四水四定”原则，用水总量严格按照黄河“87分水方案”和用水总量红线双控制，用水效率指标符合国家、黄河流域相关规划中要求，符合水资源严格管理的刚性约束。针对水生生态环境保护，本次评价提出采取栖息地保护、增殖放流、水库生态调度、监测与保护效果评价、渔政管理、鱼类保护技术研究等水生生态保护措施；另外，本次评价提出了一系列的景观保护措施、生态流量保障措施、湿地补水与修复措施、施工期污染防治措施等，有助于维护黄河干流水生态系统。同时古贤水利枢纽及两省配套工程建设后通过置换供水区地表水水源，可增加当地河道生态

水量，改善当地生态环境；古贤水库与小浪底水库联合调度，有助于提高黄河中下游及河口生态水量满足程度，促进黄河三角洲生态保护。

工程与《黄河流域生态环境保护规划》目标任务相符合。

5.1.3.2 工程与《黄河流域综合规划（2012 -2030 年）》及规划环评的符合性分析

1. 工程与《黄河流域综合规划（2012-2030）》的符合性分析

2013 年 3 月 2 日国务院批复的《黄河流域综合规划（2012 -2030 年）》（国函〔2013〕34 号文），是黄河治理开发保护与管理的纲领性文件，该规划提出：“以干流的龙羊峡、刘家峡、黑山峡、碛口、古贤、三门峡、小浪底等骨干水利枢纽为主体，以干流的海勃湾、万家寨水库及支流的陆浑、故县、河口村、东庄等控制性水库为补充，共同构成完善的黄河水沙调控工程体系”；“针对当前黄河下游防洪存在的主要问题，结合黄河水沙调控体系建设规划，建设古贤水利枢纽……”；“在黄河干流要尽快建设古贤、黑山峡等必要的枢纽工程，增加水量调控能力，优化水资源配置和提高供水保证程度。”

《国务院关于黄河流域综合规划（2012-2030 年）的批复》（国函〔2013〕34 号文）指出：“四、完善流域水沙调控和防洪减淤措施。加快古贤、东庄水利枢纽前期工作，深入论证黑山峡河段开发方案，构建以干流骨干水利枢纽为主体的水沙调控体系。”

古贤水利枢纽的建设，是《黄河流域综合规划（2012 -2030 年）》的具体落实。

2. 工程与流域规划环评符合性分析

《黄河流域综合规划（2012-2030 年）》环境影响评价篇章中对黄河流域综合规划实施过程提出了环保对策建议及要求，本次工程与其相符性见表 5.1.3-1。

表 5.1.3-1 古贤水利枢纽工程对黄河流域综合规划环评及审查意见的落实情况

序号	规划环评及审查意见 对古贤水利枢纽工程的相关要求		落实情况
1	严格执行环境影响评价审批制度	黄河流域综合规划的具体建设项目，在可行性研究阶段必须严格按照环境影响评价法和建设项目环境保护管理的规定，进行各单项建设项目的环境影响评价，提出项目实施具有可操作性的环境保护措施，将项目实施产生的不利影响减小到最低。	已按照相关法律法规要求，开展古贤水利枢纽工程环境影响评价工作，并将环境保护的要求贯穿于整个评价过程。在分析河道生态基流基础上，综合壶口瀑布观景、禹潼河段湿地保护、禹潼河段鱼类保护需求，对下泄生态流量进行了详细的分析论证；开展了水文情势及水环境、陆生生态、水生生态、湿地、移民安置区、环境敏感区专题评价工作，深入分析预测了工程对区域生态环境的影响，提出了针对性的环保措施；对施工过程中产生的废污水、扬尘、弃渣等设计了相应的处理设施或措施；以将项目实施产生的不利影响减小到最低。

序号	规划环评及审查意见 对古贤水利枢纽工程的相关要求		落实情况
2	实施珍稀鱼类保护和渔业资源恢复措施	加强黄河土著鱼类和珍稀濒危鱼类及栖息地保护，保护重点河段鱼类洄游通道，……开展增殖放流，改善黄河水环境质量，优化水库生态调度。……河口保持一定入海水量，保护河口鱼类洄游通道。	古贤工程环评报告中提出拟采取栖息地保护、增殖放流、水库生态调度、监测与保护效果评价、渔政管理、鱼类保护技术研究等水生生态保护措施，以减轻项目实施对水生生态不利影响。 古贤水库与小浪底水库联合调度，有助于提高黄河中下游及河口生态水量满足程度，促进黄河三角洲生态保护。
3	针对重大工程的敏感环境问题开展专题研究	<p>针对古贤水利枢纽对黄河壶口瀑布造成的不利影响，下阶段应重点研究工程措施和水库运行方式，最大限度减缓水库运行对壶口瀑布景观多样性造成的不利影响。对于古贤水库蓄水淹没的部分人文景观和蛇曲地质公园等自然景观，在项目环评阶段应深入研究，并提出明确的保护措施。</p> <p>古贤水利枢纽是黄河水沙调控体系、防洪减淤体系、水资源合理配置和高效利用体系的重要组成部分，……下阶段应针对风景名胜、地质公园、水生生物生境的环境影响，开展专项研究工作，并提出有效的措施，对不利环境影响予以减免、减缓或补偿。</p> <p>古贤水利枢纽运行后对风景名胜区和地质公园产生影响……工程设计阶段应进行重点研究，在确保工程运用功能的前提下，将不利影响减少到最低程度。</p>	<p>针对工程对壶口瀑布、蛇曲地质公园等重要敏感区影响，开展了工程对壶口瀑布景观影响专题研究工作，以及工程对黄河蛇曲地质公园、陕西无定河曲流群地质公园、黄河壶口瀑布地质公园、山西永和黄河乾坤湾风景名胜区等敏感区影响的专题研究工作。根据以上研究成果，对水库调度运行方式提出了具体建议，并提出针对壶口景观、各地质公园明确的保护及减缓措施，尽量减小对环境敏感区的影响。国家林业和草原局 2022 年 11 月 3 日出具了《国家林业和草原局办公室关于黄河古贤水利枢纽工程建设对有关自然保护地及湿地影响意见的函》（便函保（2022）516 号），同意古贤工程建设。已开展库区、坝址下游水生生态影响专项研究工作，并提出栖息地保护、增殖放流等多项水生生态保护措施，以减轻对水生生态不利影响。</p>
4	湿地保护工作	水利工程建设中需要重视湿地保护工作，明确保护目标，采取多种措施，努力降低工程建设对湿地等生态系统的不利影响。	古贤环评工作开展过程中，高度重视湿地保护工作，在大量前期工作基础上，预测了工程可能对小北干流湿地规模、结构和功能的影响，提出通过采取生态优化调度、生态补水等措施，尽量降低工程建设对湿地生态系统的不利影响。
5	重视做好移民安置工作	工程建设要严格贯彻执行有关法规，保护不可再生的土地资源，尤其是基本农田；对于水库移民，在充分论证分析土地承载力的基础上，做好移民安置规划，妥善安置，改善和提高受影响居民的生产、生活水平，避免移民引发一系列社会、生态问题。	本次根据工程可研拟定的移民安置方案，开展移民安置区域的生态、环境空气、地表和地下水、土壤等环境指标调查，对工程移民安置方案环境合理性进行分析，对工程移民生产安置、生活安置、集镇迁建、专业项目复建过程中产生的环境影响进行预测分析，并提出相应的环境保护措施，将移民安置过程中对环境的影响降至最低，为工程建设及环境保护管理提供依据。

古贤水利枢纽是黄河水沙调控体系、防洪减淤体系、水资源合理配置和高效利用体系的重要组成部分，是列入近期实施的重点工程，在黄河治理开发中具有重要的战略地位。工程严格按照相关法律法规要求，落实流域综合规划环评要求，开展古贤水利枢纽工程环境影响报告编制工作。工程建设符合流域规划环评要求。

5.1.4 工程与其他上层规划的符合性分析

5.1.4.1 工程与全国主体功能区规划符合性分析

《全国主体功能区规划》（国发〔2010〕46 号）将区域国土空间分为优化开发区域、

重点开发区域、限制开发区域（农产品主产区）、限制开发区域（重点生态功能区）和禁止开发区域。对照《全国主体功能区规划》，本次评价范围涉及的主体功能区具体见表 5.1.4-1 和图 5.1.4-1。

表 5.1.4-1 工程涉及主体功能区类型及保护发展方向

范围	主体功能区类型		保护和发展方向
	类型	区域	
陕西省清涧、绥德、吴堡，山西省的吉县、大宁、永和、石楼、柳林、乡宁	限制开发区域（重点生态功能区）	水土保持型 黄土高原丘陵沟壑水土保持生态功能区	控制开发强度，以小流域为单元综合治理水土流失，建设淤地坝。
山西永和黄河蛇曲国家地质公园、陕西延川黄河蛇曲国家地质公园、黄河壶口瀑布国家地质公园	禁止开发区域	国家地质公园 山西永和黄河蛇曲国家地质公园、陕西延川黄河蛇曲国家地质公园、黄河壶口瀑布国家地质公园	除必要的保护设施和附属设施外，禁止其他生产建设活动。在地质公园及可能对地质公园造成影响的周边地区，禁止进行采石、取土、开矿、放牧、砍伐以及其他对保护对象有损害的活动。未经管理机构批准，不得在地质公园范围内采集标本和化石。
黄河壶口瀑布风景名胜		国家级风景名胜区 黄河壶口瀑布风景名胜区	严格保护风景名胜区内一切景物和自然环境，不得破坏或随意改变；严格控制人工景观建设；禁止在风景名胜区内从事与风景名胜资源无关的生产建设活动；建设旅游设施及其他基础设施等必须符合风景名胜区规划，逐步拆除违反规划建设



图 5.1.4-1 工程与国家重点生态功能区位置关系示意图

对照上述规划，可知工程涉及限制开发区域（重点生态功能区）——黄土高原丘陵

沟壑水土保持生态功能区，为水土保持型的重点生态功能区。古贤水利枢纽所在的黄河北干流河段是黄河泥沙特别是粗泥沙的主要来源区，古贤工程的主要作用之一是拦沙，与该区域的主要功能一致。

工程淹没涉及山西永和黄河蛇曲国家地质公园、陕西延川黄河蛇曲国家地质公园 2 处禁止开发区域，古贤工程施工进场道路与皮带机骨料输送线路涉及黄河壶口瀑布风景名胜区的二、三级区。但本工程是以防洪减淤为主要任务的基础水利设施建设项目，不违背主体功能区划提出的“禁止在重点生态功能区进行工业化、城镇化开发活动”的要求。2022 年 11 月 3 日，国家林业和草原局出具关于古贤工程建设对有关自然保护地及湿地影响意见（便函保（2022）516 号文），同意古贤工程建设。2022 年 12 月 7 日、16 日，晋陕两省林草部门分别以晋林保函〔2022〕594 号文、陕林函〔2022〕904 号文，出具涉及各自行政区域内自然保护地及湿地影响意见的函，支持古贤工程建设。

5.1.4.2 工程与全国生态功能区划符合性分析

根据《全国生态功能区划（修编版）》，按生态功能分区单元划分，古贤水利枢纽坝址及库区所在区域位于黄土高原水土保持重要区，属于生态调节一级功能区、水土保持二级功能区、吕梁山山地水土保持功能区（I-03-17）和陕北黄土丘陵沟壑水土保持功能区（I-03-18）三级功能区，其生态服务功能、主要生态问题、生态保护方向及措施见表 5.1.4-2。

表 5.1.4-2 工程区全国生态功能区划类型

生态服务功能	水土保持
主要生态环境问题	生态脆弱以及过度开垦和油、气、煤资源开发导致生态系统质量低、水土保持功能低等生态问题，表现为坡面水土流失和沟蚀严重，河道与水库淤积严重，影响黄河中下游生态安全。
生态保护主要措施	在黄土高原丘陵沟壑区继续实施退耕还灌还草还林；实施小流域综合治理；推行节水灌溉新技术，发展林果业；对退化严重草场实施禁牧轮牧，提高饲料种植比例和单位产量，实行舍饲养殖；加大资源开发的监管，控制地下水过度利用，防止地下水污染；在油、气、煤资源开发的收益中确定一定比例，用于促进城镇化和生态保护。

古贤工程的主要作用之一是拦截泥沙，与该区域的土壤保持的主要功能是一致的。

5.1.4.3 工程与《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划》符合性分析

2020 年 6 月，国家发展改革委、自然资源部联合印发了《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划（2021-2035）》。研究提出了到 2035 年推进森林、草原、荒漠、河流、湖泊、湿地、海洋等自然生态系统保护和修复工作的主要目标，以及统筹山水林田湖草一体化保护和修复的总体布局、重点任务、重大工程和政策举措。《规划》在“黄

河重点生态区（含黄土高原生态屏障）生态保护和修复重大工程”部分中提出：“完善黄河流域水沙调控、水土流失综合防治、防沙治沙、水资源合理配置和高效利用等措施，……开展重点河湖、黄河三角洲等湿地保护与恢复，保证生态流量”。

古贤水利枢纽工程是黄河水沙调控体系的核心工程，可直接增加小浪底水库调水调沙后续动力，补齐水沙调控体系工程短板，对减缓黄河下游淤积，保障黄河长治久安意义重大。同时，古贤水库与小浪底水库联合调度，有助于提高黄河中下游及河口生态水量满足程度，促进黄河三角洲生态保护。

工程与《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划》相符合。

5.1.4.4 工程与“十四五”水利改革发展重点任务符合性分析

2021 年 1 月，水利部召开全国水利工作会议，提出将重点加强改革发展顶层设计，包括编制“十四五”水安全保障规划、国家水网工程规划纲要等，将谋划推进一批大江大河大湖的基础性、战略性重大水利工程，抓好南水北调东线二期、引江补汉、中线在线调蓄以及西线一期工程前期工作，加快黄河古贤等 150 项重大水利工程建设。

工程建设与“十四五”水利改革发展重点任务相符合。

5.1.4.5 工程与国民经济发展规划协调性分析

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》提出：“实施防洪提升工程，解决防汛薄弱环节，加快防洪控制性枢纽工程建设和中小河流治理、病险水库除险加固，全面推进堤防和蓄滞洪区建设。……加强黄河古贤水利枢纽、福建上白石水库等工程前期论证”。

工程建设与国民经济发展规划相符合。

5.1.5 工程与区域规划的协调性分析

5.1.5.1 工程与《山西省主体功能区规划》和《陕西省主体功能区规划》协调性分析

根据《山西省主体功能区规划》（晋政发〔2014〕9 号）和《陕西省主体功能区规划（2009-2020 年）》（陕政发〔2013〕15 号），工程涉及省级层面主体功能区类型及保护发展方向见表 5.1.5-1。

表 5.1.5-1 工程涉及省级层面主体功能区类型及保护发展方向

省份	范围	主体功能区类型		保护和发展方向
		类型	区域	
陕西	陕西省宜川、延长、延川	限制开发区域（重点生态功能区）	水土保持型	沿黄黄土长梁沟壑水土保持生态片区
	陕西省清涧无定河曲流群地质公园（2015 年划定）	禁止开发区域	省级地质公园	陕西省清涧无定河曲流群地质公园
山西	黄河乾坤湾风景名胜區（与山西永和黄河蛇曲国家地质公园范围相同）	禁止开发区域	省级风景名胜區	黄河乾坤湾风景名胜區
	河津	省级重点开发区域	晋南城镇群	国家资源型经济转型与区域协调发展综合试验区，晋陕豫黄河金三角承接产业转移示范区，山西重要的现代农业、新型制造业基地与文化旅游产业基地，以根祖文化、关公文化为特色的旅游经济区，晋南地区人口和经济密集区。

工程淹没涉及陕西省 1 处省级层面禁止开发区域——清涧无定河曲流群地质公园；山西省 1 处省级层面禁止开发区域——黄河乾坤湾风景名胜區（与山西永和黄河蛇曲国家地质公园范围相同）。但本工程是以防洪减淤为主要任务的基础水利设施建设项目，不违背主体功能区划提出的“禁止在重点生态功能区进行工业化、城镇化开发活动”的要求。2022 年 12 月 7 日、16 日，晋陕两省林草部门分别以晋林保函〔2022〕594 号文、陕林函〔2022〕904 号文，出具涉及各自行政区域内自然保护地及湿地影响意见的函，支持古贤工程建设。

5.1.5.2 工程与《山西省生态功能区划》和《陕西省生态功能区划》协调性分析

根据《陕西省生态功能区划》，古贤水利枢纽坝址及库区所在区域位于黄土高原农牧生态区（一级区）-黄土丘陵水土流失控制生态区（二级区）-黄河沿岸土壤侵蚀敏感区（三级区）。该区域土壤侵蚀极敏感，保持功能极重要，需封山封沟，恢复植被，营造护林地帶。

根据《山西省生态功能区划》，古贤水利枢纽坝址及库区所在区域位于晋西南部黄土塬农林牧业与水土保持生态功能区，其主要的生态功能为水土保持。

工程建设可拦截泥沙，与《陕西省生态功能区划》、《山西省生态功能区划》中该区域的土壤保持的主要功能是一致的。

5.1.5.3 工程与山西省和陕西省国民经济发展规划协调性分析

《山西省国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》中提出：扎实推进水利工程建设。完善水网架构规划，推动大水网及骨干配套工程建设，……推进黄河古贤水利枢纽及山西供水区供水工程前期工作。

《陕西省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》提出：开展黄河古贤水库、引嘉入汉、泾河东庄水库供水、白龙江引水（延安段）、汉中焦岩水库等前期工作。

工程建设符合上述规划。

5.1.5.4 工程与山西、陕西两省环境保护规划协调性分析

《山西省“十四五”生态环境保护规划》（晋环发〔2022〕3 号）和《陕西省“十四五”生态环境保护规划》（陕政办发〔2021〕25 号）中均指出要坚持三水统筹，稳步提升流域水生态环境。

《山西省全面推行河长制实施方案》（晋办发〔2017〕20 号）与《陕西省全面推行河长制实施方案》（陕办字〔2017〕8 号）提出开展水生生物增殖放流，提高水生生物多样性和水体净化调节功能，加强河湖湿地修复与保护，维护湿地生态系统完整；制定水库、水电站调度方案，保证基本生态流量。

黄河古贤水利枢纽实施对改善北干流水沙条件，减少坝址下游河道泥沙淤积，保障供水区域水资源安全和规划战略目标实现具有重要意义。同时，工程提出保障坝址下游生态基流、生产废水不外排等措施，可促使坝址下游水质满足功能区划水质目标。工程建设与上述规划基本协调。

5.1.6 工程与“三线一单”的符合性分析

5.1.6.1 生态保护红线

根据与陕西省自然资源厅关于古贤用地压占生态保护红线范围比对分析，古贤工程施工布置范围不涉及生态保护红线，淹没共涉及生态保护红线 3953.829 公顷。主要为黄土丘陵沟壑水土流失防控生态保护红线、陕西延川黄河蛇曲国家级地质公园和陕西清涧无定河曲流群省级地质公园。陕西省自然资源厅出具了《关于对黄河古贤水利枢纽工程用地压占生态保护红线情况的复函》。

根据与山西省自然资源厅关于古贤用地压占生态保护红线范围比对分析，古贤工程共涉及山西省生态保护红线 2396.2056 公顷，均为淹没范围涉及。主要为永和黄河蛇曲国家地质自然公园自然保护地和一般生态保护红线（黄土丘陵沟壑水土流失）。山西省自然资源厅出具《关于对黄河古贤水利枢纽工程用地范围压占生态保护红线情况的复函》（晋自然资函〔2022〕575 号）。

根据中共中央办公厅国务院办公厅 2019 年 10 月印发的《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》，生态保护红线内，自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动，其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规前提下，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动，主要包括：……必须且无法避让、符合县级以上国土空间规划的线性基础设施建设、防洪和供水设施建设与运行维护……。

根据 2022 年 8 月印发的《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，“生态保护红线管控范围内有限人为活动，涉及新增建设用地、用海用岛审批的，在报批农用地转用、土地征收、海域使用权、无居民海岛开发利用时，附省级人民政府出具符合生态保护红线内允许有限人为活动的认定意见；不涉及新增建设用地、用海用岛审批的，按有关规定进行管理，无明确规定的由省级人民政府制定具体监管办法。上述活动涉及自然保护地的，应征求林业和草原主管部门或自然保护地管理机构意见。”“上述允许的有限人为活动之外，确需占用生态保护红线的国家重大项目……按规定由自然资源部进行用地用海预审后，报国务院批准。”“占用生态保护红线的国家重大项目，应严格落实生态环境分区管控要求，依法开展环境影响评价。”

根据陕西省自然资源厅《关于古贤水利枢纽工程占用生态保护红线的意见》（陕自然资规函〔2022〕20 号文）：“古贤水利枢纽工程符合允许占用生态保护红线的国家重大项目，在确实难以避让的情况下，可以占用生态红线，但是要严格按照相关规定办理用地审批手续。”根据山西省自然资源厅《关于古贤水利枢纽工程占用生态保护红线的意见》（晋自然资呈〔2022〕252 号文）：“该项目属于党中央、国务院发布文件或批准规划中明确具体名称的项目，符合允许占用生态保护红线的国家重大项目类型，在确实

难以避让的情况下,可以占用生态保护红线,并严格按照相关规定办理用地审批手续。”国家林业和草原局也于 2022 年 11 月 3 日出具《关于黄河古贤水利枢纽工程建设对有关自然保护地及湿地影响意见的函》(便函保〔2022〕516 号文),同意古贤工程建设。

综上,工程建设符合生态保护红线管理要求。

5.1.6.2 环境质量底线

根据现状调查与监测,古贤库区干流水质较好,各断面基本满足水功能区水质要求。水库建成后将实施库区水质保护措施、库区点源及面源污染控制措施,并划定饮用水源保护区,可以进一步保护库区水体水质。古贤水利枢纽工程不属于污染型项目,工程施工期各项废水经处理后全部回用,对周边地表水环境影响较小。根据预测,工程拦沙初期、拦沙后期、正常运用期库区水质能够满足水功能区水质目标要求,不同典型年坝址~三门峡河段沿程水质均满足水功能区水质目标要求,符合流域水环境质量底线的控制要求。

古贤水利枢纽工程区环境空气、声环境质量良好,工程运行期基本不产生污染物,对声环境、环境空气的影响主要在施工期,在加强施工环境管理、严格落实报告书提出的降噪降尘等措施的情况下,满足区域环境空气、声环境质量要求。

5.1.6.3 资源利用上线

古贤水利枢纽工程功能包括供水、灌溉等综合利用。水库在设计过程中,考虑了未来南水北调西线工程生效后,古贤水库可供水量增加,且晋陕两省供水区经济社会发展用水需求进一步增加,进行最大供水规模设置。南水北调西线生效前,用水总量严格按照黄河“87 分水方案”和用水总量红线双控制,来确定最大供水量和配置方案。南水北调西线工程生效前,水库最大供水量 23.46 亿 m^3 ,其中替代现状灌溉、工业、生活用水 22.51 亿 m^3 ,指标内新增工业、生活用水 0.95 亿 m^3 。此次在坝上两岸分别预留引水口,但不建设取水口以后的供水干线及供水区配套工程。古贤建成后,将视两省配套工程建设情况及“87 分水方案”分水指标的剩余情况,确定供水量。具体取用水项目建设时,要单独开展取水许可审批相关手续,用水指标占用两省用水总量和黄河分水指标。

工程按照“四水四定”原则进行水资源配置,对用水总量和用水效率进行双控管理。

用水总量同时符合黄河“87分水方案”，以及《陕西省人民政府办公厅关于印发实行最严格水资源管理制度考核办法的通知》《山西省人民政府办公厅关于印发山西省实行最严格水资源管理制度工作方案和考核办法的通知》中红线管理要求，规划年用水效率指标符合《黄河流域综合规划（2012-2030年）》《黄河流域生态保护和高质量发展水安全保障规划》《全国水资源综合规划》等规划的控制指标。因此古贤工程与黄河流域、陕西省、山西省的水资源利用上线管理要求是相符的。具体见章节 5.3.4。

5.1.6.4 生态环境准入清单

根据与陕西省和山西省“三线一单”各生态管控单元比对分析（见表 5.1.6-1），古贤水利枢纽工程不属于陕西省和山西省管控单元禁止开发项目。工程通过优化施工布置、采取水土保持措施减少植被破坏、防治水土流失，施工废污水经处理后全部回用不外排，采取多种环境空气和声环境保护措施，施工人员生活垃圾和弃渣得到妥善处置，施工结束后及时进行生态修复；同时运行期管理人员生活污水经处理后回用不外排，生活垃圾得到妥善处置等措施，工程建设总体符合陕西省和山西省“三线一单”生态环境准入清单管控要求。

表 5.1.6-1 工程与涉及陕西省、山西省生态环境管控单元管控要求符合性分析

省份	工程涉及管控单元情况					工程涉及的管控单元 管控要求	符合性
	管控单元 分类	管控单元名称			涉及工程范围		
陕西省	优先管控单元（11 个）	水土流失		延长县优先保护单元 1、延川县优先保护单元 3、宜川县优先保护单元 4、绥德县优先保护单元 2、绥德县优先保护单元 4、吴堡县优先保护单元 1、吴堡县优先保护单元 2、清涧县优先保护单元 1、清涧县优先保护单元 2	库区	优先保护单元以生态优先为原则，突出空间布局约束，依法禁止或限制大规模、高强度工业开发和城镇建设活动，开展生态功能受损区域生态保护修复活动，确保重要生态环境功能不降低。	符合。 工程不属于大规模、高强度工业开发和城镇建设活动，属于允许占用生态保护红线的国家重大项目，陕西省自然资源厅出具陕自然资规函（2022）20 号文，同意古贤工程占用生态红线； 工程提出工程防护措施和植被修复措施，防治水土流失； 工程未占用国家一级公益林，库区及施工布置将占用部分二级公益林，项目建设前，将办理林地征占用相关手续。
		二级公益林		延川县优先保护单元 2、宜川县优先保护单元 2	2 个单元均涉及库区，其中宜川县优先保护单元 2 同时涉及施工布置		
	重点管控单元（6 个）	水环境城镇生活污染重点管控区		延长县重点管控单元 1、延川县重点管控单元 1、清涧县重点管控单元 2、清涧县重点管控单元 3	库区	重点管控单元以提升资源利用效率、加强污染物减排治理和环境风险防控为重点，解决突出生态环境问题。	符合。工程不属于污染类项目，同时施工期通过切实落实水环境保护措施，施工废水经处理后均回用不外排；通过配备袋式除尘器、湿法作业、洒水降尘等措施，有效减缓施工期燃油尾气和粉尘、扬尘对环境空气影响。
		大气环境受体敏感重点管控区		吴堡县重点管控单元 1	库区		
		大气环境高排放重点管控区		清涧县重点管控单元 1	库区		
		一般管控单元（5 个）	延长县一般管控单元 1、宜川县一般管控单元 1、绥德县一般管控单元 1、吴堡县一般管控单元 1、清涧县一般管控单元 1			5 个单元均涉及库区，宜川县一般管控单元 1 同时涉及施工布置	一般管控单元主要落实生态环境保护基本要求。
山西省	优先管控单元（12 个）	一般生态空间优先保护单元	水土流失	吉县黄河沿岸水土流失防控单元、大宁县黄河沿岸水土流失防控单元、永和县黄河沿岸水土流失防控单元、石楼县黄河沿岸水土流失防控单元、柳林县黄河沿岸水土流失防控单元	5 个单元均涉及库区，其中吉县黄河沿岸水土流失防控单元同时涉及施工布置	优先保护单元依法禁止或限制大规模、高强度的工业和城镇开发建设，在功能受损的优先保护单元优先开展生态保护修复活动，恢复生态系统服务功能。	符合。工程不属于大规模、高强度工业开发和城镇建设活动，属于允许占用生态保护红线的国家重大项目，山西省自然资源厅出具晋自然资呈（2022）252 号文，同意古贤工程占用生态保护红线； 工程提出工程防护措施和植被修复措施，防治水土流失，古贤工程的主要作
			其他	黄河乾坤湾省级风景名胜区分区			

省份	工程涉及管控单元情况				工程涉及的管控单元 管控要求	符合性
	管控单元 分类	管控单元名称		涉及工程范围		
	生态保护红线 优先保护单元	水土保持	大宁县吕梁山中南部水土保持单元、永和县吕梁山中南部水土保持单元、石楼县吕梁山中南部水土保持单元、柳林县吕梁山中南部水土保持单元、吉县吕梁山中南部水土保持单元	5个单元均涉及库区，吉县吕梁山中南部水土保持单元同时涉及施工布置		
		自然公园	山西永和黄河蛇曲国家级地质公园	库区		用之一是拦截泥沙，与该区域的水土保持的主要功能是一致的； 水库库区涉及山西永和黄河蛇曲国家地质公园（与黄河乾坤湾省级风景名胜区范围一致），2022年11月3日，国家林业和草原局出具关于古贤工程建设对有关自然保护地及湿地影响意见（便函保（2022）516号文），同意古贤工程建设。2022年12月7日，山西省林草局以晋林保函（2022）594号文出具涉及山西省自然保护地及湿地影响意见的函，支持古贤工程建设。
	重点管控单元（2个）	水环境	河津市下化乡入黄控制单元水环境城镇生活污染重点管控单元	施工布置	重点管控单元进一步优化空间布局，加强污染物排放控制和环境风险防控，不断提升资源能源利用效率，解决生态环境质量不达标、生态环境风险高等问题，实现减污降碳协同效应。	符合。工程不属于污染类项目，同时施工期通过切实落实水环境保护措施，施工废水经处理后均回用不外排；通过配备袋式除尘器、湿法作业、洒水降尘等措施，有效减缓施工期燃油尾气和粉尘、扬尘对环境空气影响。
		大气环境	大宁县大气环境布局敏感重点管控单元	库区		
	一般管控单元（6个）	吉县一般管控单元、大宁县一般管控单元、永和县一般管控单元、石楼县一般管控单元、柳林县一般管控单元、乡宁县一般管控单元		6个单元均涉及库区，吉县、乡宁县一般管控单元同时涉及施工布置	一般管控单元主要落实生态环境保护基本要求。	符合。工程不属于污染类项目，且将严格落实各项生态环境保护措施，减缓工程带来的不利影响。

通过以上分析可以看出，本工程的建设对推动黄河流域生态保护和高质量发展等国家重大战略具有重要支撑作用，工程的建设符合国家产业政策、《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》《黄河流域综合规划（2012~2030 年）》《黄河流域防洪规划》《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》《黄河流域生态保护和高质量发展水安全保障规划》《黄河流域生态环境保护规划》等相关政策规划，与《全国主体功能区规划》《全国生态功能区划》《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划》以及晋陕两省主体功能区规划、生态功能区划、国民经济发展规划规划相一致，与环境保护规划基本协调，与陕西、山西两省生态保护红线管控要求相符合，落实了《风景名胜区条例》相关要求，被列入《全国大型水库建设总体安排意见》和 172 项、150 项、55 项等国家重大水利工程建设部署。工程建设与国家相关政策和法规总体符合。

5.2 工程环境影响论证对设计文件的优化内容

在规划阶段、项目建议书阶段和可研阶段，环境影响论证单位与黄委、设计单位进行了充分的沟通互动，在工程坝址和水库规模的选择、工程运行调度方式、施工布置、工程环保措施等方面，提出了优化意见。

5.2.1 规划阶段与项目建议书阶段对设计文件的优化

工程坝址方案优化。规划阶段，各方对工程坝址的选择共同进行了研究，为避免淹没壶口瀑布，将原规划位于壶口瀑布下游 35km 的龙门坝址移至壶口瀑布上游 3.9km 的壶口坝址；经过进一步工作，为避免对壶口景观整体风貌和主要景点的影响，又将《黄河治理开发规划纲要》中提出的位于壶口瀑布上游 3.9km 的壶口坝址方案，移至壶口瀑布上游 10.1km 处的古贤坝址。上述规划调整，水库拦沙量由约 200 亿 t 减少到约 154 亿 t。

工程规模优化。项目建议书阶段，环境影响论证单位参与设计方案的优化，在保证工程开发任务的前提下，正常蓄水位由最初的 645m 降至 633m，后又降至 627m，此时相应回水长度为 202.1km，回水末端为吴堡县城下游的猴桥断面，避免了对吴堡县城的淹没，减小了对蛇曲地质公园的淹没影响，减少了生态环境损失，但拦沙量又由约 160

亿 t 减少至约 121.45 亿 t。

表 5.2.2-1 不同工程规模优化过程

工程规模基本情况		蛇曲地质公园淹没情况	占地、移民情况
正常蓄水位 645m	总库容 165.6 亿 m ³ , 拦沙库容 118.18 亿 m ³	陕西侧淹没比例为 26.4%; 山西侧淹没比例为 33.43%	淹没土地 43.69 万亩, 淹没及影响人口 6.34 万人, 对吴堡县城有淹没影响
正常蓄水位 633m	总库容 146.6 亿 m ³ , 拦沙库容 107.9 亿 m ³	陕西侧淹没比例为 23.7%; 山西侧淹没比例为 30.56%	淹没土地 39.09 万亩, 淹没影响总人口 3.9 万人, 对吴堡县城需采用原址垫高防护
正常蓄水位 627m	总库容 130.59 亿 m ³ , 拦沙库容 93.42 亿 m ³	陕西侧淹没比例为 22.4%; 山西侧淹没比例为 29.2%	淹没影响总土地面积 34.24 万亩, 淹没影响总人口 1.51 万人, 对吴堡县城无淹没影响

5.2.2 可研阶段对设计文件的优化

工程可研阶段，为最大程度降低古贤水利枢纽工程建设和运行对坝址上下游河段生态保护目标产生的不利影响，环评单位与设计单位进行了充分的沟通互动，不断优化古贤水利枢纽调度运行方式，提出针对性的保护措施，并对涉及环境敏感区的施工布置进行优化调整，并提出了优化的环保措施。

5.2.2.1 工程运行调度方式优化

工程可研阶段，为最大程度降低古贤对坝址下游河段生态保护目标的不利影响，环评单位与设计单位充分沟通互动，不断优化工程调度运行方式。

1. 生态流量下泄

可研原设计文件中对古贤水库下泄生态流量设计较为简单，仅要求按照黄流规提出的龙门断面最小生态流量 180m³/s 下泄，流量过程缺乏针对性。

环评单位根据坝址下游河段水文节律特点、生态保护要求，提出综合生态流量，反馈给设计单位后，将其纳入水量调度运行管理中。其中古贤水库 4 月~6 月最小下泄流量为 240m³/s; 7 月~10 月最小下泄流量为 336m³/s; 11 月~3 月，白天不小于 200 m³/s，晚上不小于 180m³/s。

2. 生态保护目标需水

针对壶口瀑布、小北干流湿地及鱼类保护目标的需水要求，提出了运行方式优化的建议，均已经被设计单位采纳。

(1) 壶口瀑布景观保护

古贤水库建成后蓄水拦沙及水沙调控会引起壶口瀑布水量、沙量的变化，进而可能

对壶口瀑布景观造成一定影响。本次环评单位全面深入考虑壶口瀑布景观需求，将壶口瀑布影响预测结果反馈至设计单位，设计单位结合壶口瀑布保护需求，对水库调度方案进行优化，调整后水库各月下泄流量范围基本保持在现状年各月的流量范围内，保持了壶口瀑布景观规模的多样性和层次性；全年白天较佳观瀑流量 $600\text{m}^3/\text{s} \sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ 出现的天数不低于 113 天/年；12 月 15 日~1 月底，基本保持了稳定的下泄流量，避免水势过大破坏两岸冰挂。

（2）禹潼河段湿地保护

工程运行对禹潼河段水文情势的改变，进入拦沙后期会对湿地补水过程和鸟类栖息地产生一定影响。针对禹潼河段湿地保护需求，环评单位全面开展了工程对小北干流河段湿地环境影响研究，明确湿地演变的主要驱动力及其与黄河的水力联系，预测、评估古贤工程运用及调控对小北干流湿地规模、分布、结构和功能等影响和效应，界定了湿地保护目标和湿地用水需求。在此基础上，结合古贤水库冲刷潼关高程及联合小浪底水库调水调沙运用等，对古贤水库运行方式进一步优化，提出在每年的 4 月~7 月塑造 $3000\text{m}^3/\text{s} \sim 4000\text{m}^3/\text{s}$ 的漫滩洪水过程，持续时间 5 天~7 天。

（3）鱼类保护

可研原文件中，初期蓄水时间为 11 月-次年 4 月，考虑到 4 月为鱼类产卵繁殖期，初期蓄水下泄流量较小，经与设计单位沟通，对初期蓄水方案进行了优化，初期蓄水时间调整至 10 月中下旬至来年的 3 月，避开了鱼类产卵期；

可研原文件中古贤水库运用后日内下泄过程主要考虑发电需求，日内流量过程变动剧烈，对水生生态保护不利。为此，环评单位与设计单位进行了多次沟通，对水库下泄日内过程进行了优化，要求 4 月~6 月鱼类繁殖期水库下泄时尽量保持稳定的日内流量过程，避免水流骤涨骤落对鱼类产卵、孵化产生影响。

（4）其他

另外，经与设计单位沟通，对原设计文件中“工程拦沙初期的汛期运行调度原则要求避免下泄 600 至 2000 立方米/秒的水沙过程”进行了优化。目前调度原则改为“拦沙初期主汛期古贤、小浪底水库联合调水调沙运用，在黄河发生洪水时进行防洪运用。除调水调沙期外，主汛期其他时段水库考虑供水区坝上用水后，日均下泄流量为 $450\text{m}^3/\text{s} \sim$

750m³/s，根据水库来水、蓄水并结合节假日游人情况等，在白天观景时段水电机组按壶口瀑布景观流量要求泄放 450m³/s~1150m³/s，晚上非观景时段水电机组泄放流量不小于生态基流（336m³/s）。在电网负荷晚高峰的 18 点~22 点根据剩余水量进行水电站相机调峰运用。发生洪水时，进行防洪运用。”优化后的汛期运行调度原则与壶口瀑布景观流量用水要求不矛盾。

原设计文件中提出“古贤水电站在电网中向晋陕两省各分配 50%的电力装机，并承担调峰任务”。根据优化后的工程调度运行方式，主汛期 7 月~9 月的调水调沙期间，不再进行壶口瀑布景观调度；在非汛期以及主汛期 7 月~9 月的非调水调沙期间，白天观景时段按壶口瀑布景观流量要求泄放，晚上非观景时段机组泄放流量不小于该时段生态基流及水生生态需求，在电网负荷晚高峰的 18 点~22 点根据剩余水量进行水电站相机调峰运用，从而避免发电调峰运用对壶口瀑布景观产生较大影响。

设计单位已将上述调度原则纳入可研报告中。

5.2.2.2 优化施工布置

可研阶段，环评单位与设计单位充分沟通，尽最大可能减小对敏感区的影响，对施工布局进行了多次优化调整。

(1) 早期设计文件

山西侧：早期设计文件中，施工进场道路和皮带机骨料输送线路，以及沿线的渣场和施工生活区涉及风景名胜区和自然保护区，具有一定环境制约性。施工进场道路和皮带机线路具体布设情况见表 5.2.2-2。

表 5.2.2-2 早期设计文件中施工进场道路和皮带机骨料输送线路涉及环境敏感区情况

工程	穿越敏感区情况	
进场道路	总长 41km，穿越三个环境敏感区	其中穿越黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）总长 11.5km 一、二、三级穿越长度分别为 3.5km、3.4km 和 4.6km
		穿越管头山自然保区实验区 16.1km
		穿越人祖山自然保区实验区 11.4km
皮带机骨料输送线路	全长 58.78km，穿越两个环境敏感区	穿越黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）总长 10.51km 二、三级保护区穿越长度分别为 4.95km、5.56km
		穿越管头山自然保护区长度 5.87km 核心区、缓冲区和实验区穿越长度分别为 0.89km、2.17km 和 2.81km

陕西侧：早期设计文件中涉及陕西侧黄河壶口瀑布风景名胜区的工程包括黄河大桥和 2#、6#、8#、601#道路，4#施工生活区，3#、4#渣场，炸药库以及右岸砼系统。

(2) 优化调整后

为尽量减小对环境敏感区的影响，环评单位配合设计单位对涉及风景名胜区和自然保护区工程布置进行了不断优化。

山西侧：由于施工进场道路和皮带机线路选线不可避免穿越黄河壶口瀑布风景名胜区（山西），最后确定采用两线路并线方案，即施工进场道路和皮带机线路完全绕避管头山省级自然保护区和人祖山省级自然保护区，在穿越黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）境内平行，主要采用隧洞的形式穿越景区。同时，也将位于线路沿线的渣场和施工生活区调出黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）。具体可见表 5.2.2-3。

表 5.2.2-3 优化调整后施工进场道路和皮带机线路涉及环境敏感区情况

工程	穿越敏感区情况	
进场道路和皮带机骨料输送线路在景区内并线布设	穿越 1 个环境敏感区	并线方案中进场道路穿越景区总长度为 10.957km，穿越二、三级保护区长度分别为 3.08km、7.877km；皮带机骨料输送线路穿越景区总长度为 11.042km，穿越二、三级保护区长度分别为 3.104km、7.938km；线路避开了一级保护区；线路绕避管头山省级自然保护区和人祖山省级自然保护区。同时将沿线渣场及施工生活区完全调出景区。

陕西侧：通过优化调整，原布设于陕西侧壶口景区的 8#、601#道路，4#施工生活区，3#、4#渣场，炸药库以及右岸砗系统均调出景区，目前仅保留工程施工必需的黄河大桥和 2#、6#道路，对风景名胜区的影响减小。

目前，优化后的施工布置方案已纳入晋陕两省新修编的《黄河壶口瀑布风景名胜区总体规划》。国家林业和草原局于 2022 年 11 月 3 日出具《关于黄河古贤水利枢纽工程建设对有关自然保护地及湿地影响意见的函》（便函保〔2022〕516 号文），同意古贤工程建设。2022 年 12 月 7 日、16 日，晋陕两省林草部门分别以晋林保函〔2022〕594 号文、陕林函〔2022〕904 号文，出具涉及各自行政区域内自然保护地及湿地影响意见的函，支持古贤工程建设。

5.2.2.3 工程重要环保措施优化

环评单位提出针对性的保护措施，尽最大可能减少工程对生态保护目标的不利影响。

（1）壶口瀑布景观保护

为最大程度减少工程对壶口瀑布颜色的影响，环评单位根据壶口瀑布景观保护目标需求，建议设计单位增设壶口瀑布补沙工程措施，尽量减缓对瀑布颜色影响。通过对多种工程措施方案进行比选，最终推荐采用“水下泥泵+隧洞过坝”排沙方案。工程总投资 5.9 亿元，已列入环保投资预算。

(2) 小北干流河段湿地保护

为避免河槽下切可能对湿地、鸟类栖息地的影响，环评单位提出适时建设湿地补水工程，新建 4 座抽水泵站和 186km 补水渠道，工程共投资 3926 万元，已列入环保投资预算。

(3) 鱼类保护

早期设计文件中未提出切实可行的低温水减缓措施，不能满足坝址下游鱼类繁殖需要。为满足水生生态要求，特别是 4 月~6 月鱼类集中繁殖期需求，环评单位和相关研究机构共同开展了研究工作，提出将发电引水进口设计为叠梁门进口型式，并进行叠梁门运行后的低温水减缓效果评估，结合下游研究河段鱼类产卵场的特征水温，提出工程分层取水需求和具体的调度运行方式。同时提出建设鱼类增殖站，减缓工程建设和运行对鱼类栖息地、产卵场等的影响。其中鱼类增殖站投资 6031.96 万元。

5.2.2.4 小结

可研阶段环评报告书对工程设计文件的优化情况总体可见表 5.2.2-4。

表 5.2.2-4 环评报告书对工程设计文件的主要优化内容

项目		优化前	环评优化内容
工程运行调度方式优化	生态流量下泄	原设计文件提出按照黄流规提出的龙门断面最小生态流量 180m ³ /s 下泄，缺乏针对性。	环评单位根据坝址下游河段水文节律特点、生态功能定位和保护要求，提出综合生态基流，反馈给设计单位后，将其纳入水量调度运行管理中。提出古贤水库 4 月~6 月最小下泄流量为 240m ³ /s；7 月~10 月最小下泄流量为 336m ³ /s，11 月~3 月，白天不小于 200m ³ /s，晚上不小于 180m ³ /s。
	生态保护目标需求		
	壶口瀑布景观保护	原设计文件仅按水库基本功能运用，壶口流量集中在 400m ³ /s~600m ³ /s 范围。壶口瀑布形态规模受到影响。	环评单位结合壶口瀑布景观保护目标，制定针对性的水库优化调度方案，下泄流量基本保持在现状年范围，全年白天较佳观瀑流量（600m ³ /s~1150m ³ /s）不低于 113 天/年。
	禹潼河段湿地保护	原设计文件未对该河段河道下切、漫滩过程、河势变化进行有效预测，未针对性考虑禹潼河段湿地保护。	根据古贤工程运用及调控对小北干流湿地影响的预测结果，针对性提出在每年的 4 月~7 月塑造 3000m ³ /s~4000m ³ /s 的漫滩洪水过程，持续时间 5 天~7 天。
施工布置优化	鱼类保护	日内下泄流量过程变动剧烈，对水生生态保护不利。	4 月~6 月鱼类繁殖期水库下泄时尽量保持稳定的日内流量过程，避免水流骤涨骤落对鱼类产卵、孵化产生影响。
	山西侧	施工布置涉及壶口瀑布风景名胜区一、二、三级区，和管头山省级自然保护区、人祖山省级自然保护区，同时壶口景区内渣场、施工生活区布置。	施工进场道路和皮带机骨料输送线路完全绕避管头山省级自然保护区和人祖山省级自然保护区，以及黄河壶口瀑布风景名胜区一级保护区，且两线路在景区内并线，减少了对景区的施工扰动，影响程度降低；将布设于山西侧景区内的施工生活区、渣场全部调出。
	陕西侧	陕西侧壶口景区的工程包括黄河大桥和 2#、6#、8#、601#道路，4#施工生活区，3#、4#渣场，炸药库以及右岸砼系统。	将布设于陕西侧壶口景区内的 8#、601#道路，3#、4#渣场，4#施工生活区，炸药库，右岸低线、高线混凝土拌和系统全部调出。目前仅保留工程施工必需的黄河大桥和 2#、6#道路部分路段。

项目		优化前	环评优化内容
工程重要环保措施优化	壶口瀑布景观保护	古贤工程拦沙、水沙调控，将对壶口瀑布颜色产生一定影响。清水瀑布出现天数增加明显。	环评单位根据壶口瀑布景观保护目标需求，建议设计单位增设壶口瀑布补沙工程措施，尽量减缓对瀑布颜色影响，经比选提出“水下泥泵+隧洞过坝”补沙措施，投资 5.9 亿元。
	禹潼河段湿地保护	拦沙后期、正常运用期随着河槽刷深，对小北干流河段湿地产生不利影响。	提出建设小北干流湿地补水工程，新建 4 座抽水泵站和 186km 补水渠道，工程投资 3926 万元。
	鱼类影响减缓措施	未提出切实可行的低温水减缓措施。	针对水生生态对分层取水的需求，提出具体的叠梁门分层取水调度方案，并设置鱼类增殖站，减缓工程建设和运行对鱼类栖息地、产卵场等的影响。其中鱼类增殖站投资 6031.96 万元。

5.3 工程建设方案环境合理性分析

5.3.1 古贤坝址选择的环境合理性分析

5.3.1.1 工程坝址布置河段选择

习近平总书记在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上强调“要保障黄河长久安澜，必须紧紧抓住水沙关系调节这个‘牛鼻子’。要完善水沙调控机制……”。2021 年，国务院印发的《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》中提出：紧紧抓住水沙关系调节这个“牛鼻子”，……完善以骨干水库等重大水利工程为主的水沙调控体系，优化水库运用方式和拦沙能力。

《黄河流域综合规划（2012 -2030 年）》中明确提出黄河水沙调控体系由上游调控子体系和中游调控子体系构成，两个子体系任务各有侧重。上游调控子体系包括龙羊峡、刘家峡和黑山峡 3 座骨干工程，以水量调节为主；中游调控子体系包括碛口、古贤、三门峡和小浪底水利枢纽 4 座骨干工程，以调控洪水泥沙为主。黄河水沙调控体系总体布局示意图见图 5.3.1-1。



图 5.3.1-1 黄河水沙调控体系总体布局示意图

长期治黄实践证明，调水调沙是减少黄河下游河道淤积抬高的一项重要战略举措。调水调沙就是人工塑造洪水过程，并使水沙关系相协调后集中将泥沙输送入海。但如果自然洪水量不够就会加重河道淤积。另外小浪底水库放空后，7 月份如遇到卡脖子旱，就会造成下游缺水甚至断流的风险。若小浪底水库上游有一个大型水库为其提供充足的水流动力条件，则可避免上述风险，且此水库距离小浪底越近，调水调沙效果越好。

目前黄河干流规划的 7 座控制性骨干工程中，作为黄河干流粗泥沙主要来源区的北干流安排有古贤、碛口 2 座水利枢纽，均未开工建设。从刘家峡到三门峡 2400 多公里的黄河干流缺少控制性工程，三门峡水库几乎已没有调节库容，小浪底水库调水调沙后续动力不足，无法充分发挥水沙调控体系的整体合力；小浪底水库拦沙库容淤满后，对进入黄河下游水沙的调控能力也越来越弱，下游河道又将淤积抬升。为补充小浪底水库调水调沙后续动力，亟需完善水沙调控体系，从根本上克服小浪底单库运用的局限，使有限的库容发挥更大的减淤作用。对古贤、碛口开发次序论证的系列成果表明：古贤水利枢纽距小浪底最近，其控制黄河北干流洪水、泥沙的程度均明显高于碛口水利枢纽，先开发古贤水利枢纽综合效果相对较好。《黄河流域综合规划（2012-2030 年）》中指出，2020 年前后古贤水利枢纽建成生效，初步形成黄河中游洪水泥沙调控子体系，规划安排在古贤水利枢纽之后开发建设碛口水利枢纽。

5.3.1.2 坝址选择

综合考虑水库拦沙效益、地形条件等因素，北干流下段满足水库坝址选择基本条件的位置有限。1954 年的《黄河综合利用规划技术经济报告》规划在禹门口上游约 30km 处修建龙门水库，由于壶口瀑布位于规划的龙门水库淹没范围，故放弃此坝址选择。《黄河治理开发规划纲要》提出了壶口瀑布上游 3.9km 的壶口坝址方案，为避免对壶口景观整体风貌和主要景点产生影响，同样放弃此坝址选择。

可研阶段，在古贤坝址河段经过大量的坝址、坝线和坝型的比选之后，主要提出了古贤坝址与同乐坡坝址（古贤坝址上游 9.2km）方案。两坝址的工程概况、淹没损失、工程占地、水土流失、施工条件及环境影响对比见表 5.3.1-1。

表 5.3.1-1 同乐坡坝址、古贤坝址环境比选

项目	同乐坡坝址	古贤坝址（主体设计推荐方案）
方案布置	正常蓄水位 629m，死水位 590m。电站装机容量 1980 MW，年发电量 55.32 亿 kW·h。 主要建筑物：1 座碾压混凝土重力坝，坝顶全长 1260m，最大坝高 219m，结合坝身布置的 5 个排沙底孔、2 个泄洪中孔和 3 个溢流表孔、1 座坝后地面厂房及其发电引水系统，1 条电站右侧布置的冲沙孔，2 个灌溉供水取水口。	正常蓄水位 627m，死水位 588m。电站装机容量 2100 MW，年发电量 57.84 亿 kW·h。 主要建筑物：1 座碾压混凝土重力坝，坝顶全长 990m，最大坝高 215m，结合坝身布置的 8 个排沙底孔、4 个泄洪中孔和 3 个溢流表孔、1 座坝后地面厂房及其发电引水系统，1 条电站右侧布置的冲沙孔，2 个灌溉供水取水口。
拦沙效益	拦沙量 83.3 亿 m ³ 。60 年减淤量：小北干流河段 28.92 亿 t，黄河下游河道 64.36 亿 t。	拦沙量 93.42 亿 m ³ 。60 年减淤量：小北干流河段 31.71 亿 t，黄河下游河道 71.82 亿 t。
工程占地及淹没、移民	淹没影响总土地面积 32.18 万亩，工程占地 1.31 万亩，淹没及影响人口 1.75 万人。	淹没总土地面积 33.04 万亩，建设占地 1.19 万亩，淹没及影响人口 1.51 万人。
水土保持	扰动地表面积 875hm ² ，弃渣量 3811 万 m ³ ，新增水土流失量 78 万 t。	扰动地表面积 799hm ² ，弃渣量 3653 万 m ³ ，新增水土流失量 72 万 t。
工程量、工期及投资	（1）土石方开挖 2023 万 m ³ ，混凝土量 1861 万 m ³ 。（2）工程施工期 9.5 年。 （3）工程静态总投资 595.44 亿元。	（1）土石方开挖 1550 万 m ³ ，混凝土量 1836 万 m ³ 。（2）工程施工期 9.5 年。 （3）工程静态总投资 577.6 亿元。
壶口瀑布影响	坝址位于壶口瀑布以上 19.3km，由于河道弯曲和峡谷阻隔，在壶口瀑布处看不到大坝，水库蓄水拦沙及水沙调控对壶口瀑布形态、颜色产生影响。	坝址位于壶口瀑布以上 10.1km，由于河道弯曲和峡谷阻隔，在壶口瀑布处看不到古贤水利枢纽，水库蓄水拦沙及水沙调控对壶口瀑布形态、颜色产生影响。
蛇曲地质公园影响	坝址位于蛇曲地质公园下游 41km，正常蓄水位 629m 地质公园淹没比例为 26.35%。	址位于蛇曲地质公园下游 50km，正常蓄水位 627m 地质公园淹没比例为 26.15%。
其他环境影响	工程不占压自然保护区；工程占地和淹没产生一定的生物量损失；水库建成后水文泥沙情势的变化对下游小北干流湿地和鱼类产生一定影响。	工程不占压自然保护区；工程占地和淹没产生一定的生物量损失；水库建成后水文泥沙情势的变化对下游小北干流湿地和鱼类产生一定影响。

根据两坝址环境比选可知，较同乐坡坝址，古贤坝址淹没影响人口少 0.24 万人，淹没土地及工程占地多 0.74 万亩；古贤坝址土石方开挖量少 473 万 m³，弃渣量少 158 万 m³；古贤坝址扰动地表少 76 hm²，新增水土流失量少 6 万 m³，古贤坝址淹没影响人口、工程扰动、水土流失影响总体较小。同乐坡坝址、古贤坝址分别位于壶口瀑布以上 19.3km、10.1km，由于河道弯曲和峡谷阻隔，在壶口瀑布处均看不到大坝；两坝址方案均以防洪减淤运用为主，运行调度方案一致，工程运行对壶口瀑布颜色、形态等景观特征影响基本一致。同乐坡坝址、古贤坝址分别位于蛇曲地质公园下游 41km、50km，正常蓄水位地质公园淹没比例分别为 26.35%、26.15%，同乐坡坝址方案正常蓄水位（629m）较古贤坝址高 2m，对蛇曲地质公园淹没影响稍大。两坝址均不占压自然保护区，水库建成后水文泥沙情势的变化对下游小北干流湿地和鱼类产生的影响相当。

总体来讲，古贤坝址淹没影响人口、工程扰动、水土流失影响及对蛇曲地质公园影响程度均较小，两坝址方案对壶口瀑布影响程度相近，从环境影响角度对比，两坝址方案没有明显差别。同时，古贤坝址综合效益更大，工程投资较省。本次评价认为主体设计推荐的古贤坝址方案环境基本合理。

5.3.2 工程正常蓄水位方案环境合理性分析

在工程规模论证过程中，主要提出正常蓄水位 645m、633m、627m、611.5m 四种规模方案，具体见表 5.3.2-1。可研推荐方案为正常蓄水位 627m。

表 5.3.2-1 不同正常蓄水位（645m、633m、627m、611.5m）方案基本情况

方案	基本情况
方案一	正常蓄水位为 645m，总库容为 165.6 亿 m ³ ，拦沙库容为 118.18 亿 m ³ 。
方案二	正常蓄水位为 633m，总库容为 146.6 亿 m ³ ，拦沙库容为 107.9 亿 m ³ 。
方案三（可研推荐规模）	正常蓄水位为 627m，总库容为 130.59 亿 m ³ ，拦沙库容为 93.42 亿 m ³ 。
方案四	正常蓄水位为 611.5m，总库容为 99.4 亿 m ³ ，拦沙库容为 61.16 亿 m ³ 。

根据可研单位提供水库运行调度资料，以上四方案运行调度方式基本相同，工程运行对坝下水文泥沙情势、水环境、水生生态、湿地影响差别不大，对壶口瀑布景观的影响也无显著差异，四方案环境影响变化较大的方面主要为水库淹没变化所引起的地质公园淹没情况和移民安置、工程占地的变化。此处结合防洪减淤效益分析，从环境角度重点分析以上四方案对地质公园和移民占地影响。

1. 对地质公园影响

陕西延川黄河蛇曲地质公园、山西永和黄河蛇曲国家地质公园、陕西省清涧无定河曲流群地质公园主要核心景观均为河流蛇曲地貌和地质构造遗迹，集中在园内一级保护区，沿黄河及无定河干流两岸分布，位于洪水位以下。如在此河段建库，无论水库规模大小，水库蓄水造成的水位抬升均可导致核心地质遗迹被淹没。

根据研究，正常蓄水位 645m、633m、627m、611.5m 四种规模方案淹没影响地质公园一级保护区（核心地质景观）及公园总体的比例见表 5.3.2-2，淹没影响地质公园典型地质遗迹情况见表 5.3.2-3。

表 5.3.2-2 不同正常蓄水位淹没影响地质公园比例

地质公园	分区情况	所占面积及比例	方案一	方案二	方案三	方案四
			正常蓄水位 645m	正常蓄水位 633m	正常蓄水位 627m	正常蓄水位 611.5m
陕西延川黄河蛇曲地质公园	一级保护区（核心地质景观）	一级保护区总面积	3.67km ²			
		淹没一级保护区面积	3.35km ²	3.25km ²	3.20km ²	3.07km ²
		淹没比例	91.28%	88.56%	87.18%	83.65%
	地质公园	公园总面积	86.00 km ²			
		淹没总面积	22.7km ²	20.38km ²	19.26km ²	16.51km ²
		淹没比例	26.4%	23.7%	22.40%	19.20%
山西永和黄河蛇曲国家地质公园	一级保护区（核心地质景观）	一级保护区总面积	8.22 km ²			
		淹没一级保护区面积	8.22km ²	8.22km ²	8.22km ²	8.22km ²
		淹没比例	100%	100%	100%	100%
	地质公园	公园总面积	105.61 km ²			

地质公园	分区情况	所占面积及比例	方案一	方案二	方案三	方案四
			正常蓄水位 645m	正常蓄水位 633m	正常蓄水位 627m	正常蓄水位 611.5m
陕西省清涧无定河曲流群地质公园	总体	淹没总面积	35.31km ²	32.27km ²	30.84km ²	27.51km ²
		淹没比例	33.43%	30.56%	29.20%	26.05%
	一级保护区(核心地质景观)	一级保护区总面积	14.5 km ²			
		淹没一级保护区面积	9.45km ²	7.81km ²	6.95km ²	5.02km ²
		淹没比例	65.17%	53.86%	47.95%	34.62%
	地质公园	公园总面积	47km ²			
		淹没总面积	15.09km ²	12.84km ²	8.24km ²	5.88km ²
		淹没比例	32.11%	27.32%	17.53%	12.51%

表 5.3.2-3 不同正常蓄水位淹没影响地质公园典型地质遗迹情况

地质公园	典型地质遗迹名称	现状河底高程	水位抬升			
			方案一	方案二	方案三	方案四
			正常蓄水位 645m	正常蓄水位 633m	正常蓄水位 627m	正常蓄水位 611.5m
陕西延川黄河蛇曲地质公园	伏寺湾	533m~535m 左右	110m	98m	92m	78m
	乾坤湾	524m~525m 左右	120m	108m	102m	87m
	清水湾	514m~515m 左右	130m	118m	112m	97m
	会峰寨	513m~514m 左右	131m	119m	113m	98m
山西永和黄河蛇曲国家地质公园	英雄湾	546m~547m 左右	98m	86m	80m	65m
	永和关湾	538m~539m 左右	108m	96m	90m	73m
	郭家湾	533m~535m 左右	113m	101m	95m	78m
	河洽里湾	河底高程 523m~528m, 鞋岛高程 525m~531m, 河流阶地高程 524m~536m	118m	106m	100m	88m
	仙人湾	河底高程 515m~516m, 河流阶地高程 516m~517m	128m	116m	110m	96m
陕西省清涧无定河曲流群地质公园	太极湾	563m~570m 左右	78m	66m	60m	48m
	鱼儿卵	592m~595m 左右	58m	46m	40m	20m

由表 5.3.2-2 和表 5.3.2-3 可知, 对于陕西延川黄河蛇曲地质公园、山西永和黄河蛇曲国家地质公园、陕西省清涧无定河曲流群地质公园三个地质公园, 随着正常蓄水位规模由 645m、633m 到 627m、611.5m 变化, 总体淹没面积和淹没比例有所降低, 但对一级保护区和公园总体淹没影响均差距不大; 四方案对位于一级保护区内的典型地质遗迹“蛇曲群”均有淹没影响, 部分“蛇曲”形态变为高峡湖泊, 正常蓄水位 627m、611.5m 方案淹没程度较小, 但总体淹没影响差异不显著。

2. 对占地、移民影响

正常蓄水位 645m、633m、627m、611.5m 占地移民情况见表 5.3.2-4。正常蓄水位 645m、633m、627m、611.5m 淹没土地分别为 43.69 万亩、39.09 万亩、34.24 万亩、27.13 万亩, 淹没及影响人口分别为 6.34 万人、3.9 万人、1.51 万人、8402 人。其中正常蓄水位 645m 对吴堡县城有淹没影响, 正常蓄水位 633m 对吴堡县城需采用原址垫高防护, 正常蓄水位 627m、611.5m 对吴堡县城无淹没影响。

表 5.3.2-4 不同正常蓄水位对占地、移民影响情况

方案	占地、移民基本情况
方案一 正常蓄水位 645m	淹没土地 43.69 万亩，淹没及影响人口 6.34 万人。对吴堡县城有淹没影响。
方案二 正常蓄水位 633m	淹没土地 39.09 万亩，淹没影响总人口 3.9 万人。对吴堡县城需采用原址垫高防护。
方案三 正常蓄水位 627m	淹没影响总土地面积 34.24 万亩，淹没影响总人口 1.51 万人。对吴堡县城无淹没影响。
方案四 正常蓄水位 611.5m	淹没影响总土地面积 27.13 万亩，淹没影响总人口 8402 人。对吴堡县城无淹没影响。

随着正常蓄水位规模由 645m、633m 降至 627m、611.5m，工程占地面积逐步减少，对土地类型、植被的淹没影响也逐步减少；不同工程规模淹没及影响人口显著下降，移民安置产生的扰动以及移民安置过程中废水、废气、固废的影响也会显著减少。

3. 防洪减淤效益

古贤水库任务是以防洪减淤、调水调沙为主，主要体现在拦沙和调水调沙，如果拦沙库容减少较大，对防洪减淤任务的要求伤害较大。工程正常蓄水位规模 645m、633m、627m、611.5m 对应的总库容分别为 165.6 亿 m³、146.6 亿 m³、130.59 亿 m³、99.4 亿 m³，对应的拦沙库容分别为 118.18 亿 m³、107.9 亿 m³、93.42 亿 m³、61.16 亿 m³。如果选取 611.5m 正常蓄水位，拦沙量只有 79.5 亿 t，只有早期规划 200 亿 t 的 39.8%，只有《黄河流域综合规划（2012 -2030 年）》中规划 153.6 亿 t 的一半，防洪减淤效益明显较差。611.5m 正常蓄水位不利于完善水沙调控机制、减缓黄河下游淤积、保障黄河长治久安，不利于黄河长治久安主要目标任务的实现。

4. 小结

设计权衡枢纽主要任务目标实现情况和淹没影响，经反复论证，将正常蓄水位由最初规划的 645m 降至 627m，拦沙量由约 160 亿 t 减少至约 121.45 亿 t，为国务院批复的《黄河流域综合规划（2012 -2030 年）》中规划拦沙量 153.6 亿 t 的 79.1%，但避免了对吴堡县城的淹没，减小了生态环境损失。环评认为，不同规模造成的环境影响，特别是对地质公园的影响差异不十分显著，设计推荐方案基本合理。

5.3.3 电站装机规模的环境合理性分析

1. 装机容量

根据可研报告中古贤水电站电量累积曲线和最大工作容量分析成果，古贤水电站的

最大工作容量在 2400MW 左右，古贤水库调节能力较强，统筹考虑基荷运行时的工况要求，可研拟定装机容量分别为 1800MW（6×300MW）、2100MW（6×350MW）和 2400MW（6×400MW）三个方案进行装机容量比较。比较结果显示，在非汛期 10 月～6 月装机容量 1800MW 方案和 2100MW 方案基本上可以被电网作为工作容量利用，容量空闲相对较少；而 2400MW 方案古贤水电站非汛期各月均产生容量空闲，最大容量空闲 432MW，平均 262MW。且装机容量 2400MW 方案的年利用小时数不足 2500h，2400MW 方案的装机容量明显偏大。采用差额投资经济内部收益率法进行 1800MW 与 2100MW 方案间经济比较，结果表明 2100MW 为最优装机方案。

综合以上分析，2100MW 方案可以基本被电网充分吸纳发挥相机调峰作用，年装机利用小时数适中，采用差额投资经济内部收益率法比较后为最优方案，因此本阶段选择装机容量 2100MW 方案作为推荐方案。

2. 装机方案

古贤水电站向晋陕两省各分配 50% 的电力装机。根据优化后的工程调度运行方式，水电站在电网负荷晚高峰 18 点~22 点进行相机调峰运用，当预测水库入库水量、当前蓄水量难以满足后续生态基流、壶口景观用水、供水区用水需求时，水电站不再进行调峰运用。此调度原则已纳入可研报告中。

可研推荐装机方案(6×350MW)设置 6 台发电机组，单台机组额定流量为 288.4m³/s，单台机组最小运行流量为 150m³/s，6 台机组满发流量为 1730.4m³/s。工程运行过程中，相机调整运行机组数量，通过单台机组运行，或者几台机组满负荷、非满负荷组合运行，满足生态基流泄放（11 月～3 月不小于 180m³/s，4 月～6 月不小于 240m³/s，7 月～10 月不小于 336m³/s）和壶口瀑布观景需求（观景时段 8:00~18:00 流量不小于 200m³/s、600m³/s~1150m³/s 出现的天数不低于 113 天/年）。因此不再考虑设置生态小机组。此次在坝址下游设置生态流量监控系统，在运行期开展生态流量监测，对古贤水利枢纽下泄流量进行实时监控。

总体来说，古贤水利枢纽工程装机方案合理，可以满足下游生态用水需求。

5.3.4 工程供水规模设置的环境合理性分析

1. 供水区范围及工程供水规模设置

古贤水库不是终端用水户，本身无用水消耗，仅在水库库容规模设置时考虑供水能

力，在坝上两岸分别预留引水口，本次工程可研未进行灌区及供水区的设计工作，不建设取水口以后的供水干线及供水区配套工程。

古贤水利枢纽工程灌溉、供水范围位于坝址以下 72km 的黄河禹门口至潼关河段两岸，涉及陕西省延安、渭南市和山西省临汾、运城市。供水对象为供水区内的灌区、生活和工业。其中古贤水库灌区面积 685.3 万亩，其中陕西省 276.5 万亩，山西省 408.8 万亩。南水北调西线工程生效前，严格按照“87 分水方案”和用水总量红线双控制，水库最大供水量 23.46 亿 m^3 （陕西省 10.32 亿 m^3 ，山西省 13.14 亿 m^3 ）。目前供水区现状灌溉、工业、生活已经用水 22.51 亿 m^3 ，剩余能够新增的指标 0.95 亿 m^3 。本次水库水资源配置时，灌区未新增用水；考虑到当地经济社会发展，城乡生活和工业用水在配置黄河水量时，指标内新增供水 0.95 亿 m^3 （不突破“87 分水方案”）。其中向陕西省供水区最大供水量 10.32 亿 m^3 （替代现状供水 9.96 亿 m^3 ，指标内新增供水 0.36 亿 m^3 ），向山西省供水区最大供水量 13.14 亿 m^3 （替代现状供水 12.55 亿 m^3 ，指标内新增供水 0.59 亿 m^3 ）。

古贤建成后，将视两省配套工程建设情况及“87 分水方案”分水指标的剩余情况，确定供水量及具体配置方案。2019 年水利部黄河水利委员会关于《黄河古贤水利枢纽工程水资源论证报告书》审查意见提出：工程设置了取水建筑物，具备向两省分别供水的能力，具体取用水项目建设时，要单独开展取水许可审批相关手续，用水指标占用两省用水总量和黄河分水指标。

2. 工程用水总量指标环境合理性

古贤水库供水区涉及陕西省延安市（宜川县）、渭南市和山西省临汾、运城市。2035 年供水区用水总量控制指标按 2030 年控制。此次按照南水北调西线工程生效前的最大供水量 23.46 亿 m^3 来论证用水总量的环境合理性。

（1）“87 分水方案”控制指标

根据黄河“87 分水方案”，陕西和山西两省将其黄河取水许可总量控制指标细化到省内各地级行政区。

延安市黄河干流配置水指标 1.4 亿 m^3 ，已批复引黄工程取水许可 0.86 亿 m^3 ，剩余指标 0.54 亿 m^3 。

渭南市分配的黄河干流指标 5.18 亿 m^3 （考虑耗水系数，实际可取水量为 6.48 亿 m^3 ），扣除港口抽黄灌溉工程取水 0.18 亿 m^3 ，实际可取水量为 6.3 亿 m^3 ；黄河支流指标 4.62 亿 m^3 ，本次分别替代渭河、北洛河取水 2.21 亿 m^3 、1.71 亿 m^3 ，合计替代 3.92 亿 m^3 ；渭南市干支流合计可供水量 10.22 亿 m^3 。

临汾市和运城市分配黄河干流耗水指标 13.22 亿 m^3 （考虑耗水系数，实际可取水量为 13.22 亿 m^3 ），扣除已批复引黄工程取水许可量 3.91 亿 m^3 ，剩余黄河干流可取水量 9.31 亿 m^3 ；分配支流耗水指标 5.67 亿 m^3 （考虑耗水系数，支流可取水量为 7.09 亿 m^3 ），扣除其他支流分配水量和已批复的黄河支流取水许可量 3.26 亿 m^3 ，剩余古贤可置换黄河支流取水量 3.83 亿 m^3 。临汾和运城市干支流可供水量为 13.14 亿 m^3 。

（2）用水总量红线控制指标

根据“陕西省人民政府办公厅关于印发实行最严格水资源管理制度考核办法的通知”（陕政办发〔2013〕77 号），延安市宜川县供水区 2035 年用水总量控制指标为 0.21 亿 m^3 ，当地地表水配置 0.12 亿 m^3 ，古贤水库配置水量 0.09 亿 m^3 （考虑输水损失后，配置水量 0.1 亿 m^3 ）。渭南市供水区用水总量 16.67 亿 m^3 ，当地地表水、地下水、外调水配置水量 5.51 亿 m^3 后，古贤水库配置水量 11.16 亿 m^3 （考虑输水损失后，配置水量 11.82 亿 m^3 ）。

根据“山西省人民政府办公厅关于印发山西省实行最严格水资源管理制度工作方案和考核办法的通知”（晋政办发〔2014〕29 号），临汾和运城市供水区用水总量控制目标 26.10 亿 m^3 ，考虑其他水源配置水量和输水损失后，古贤水库可配置水量 13.14 亿 m^3 。

（3）古贤水库配置水量

按照“87 分水方案”控制，延安市、渭南市可由古贤配置水量 0.54 亿 m^3 、10.22 亿 m^3 ；按照用水总量红线控制，延安市、渭南市可由古贤配置水量 0.1 亿 m^3 、11.16 亿 m^3 。最终确定延安市、渭南市由古贤水库配置水量 0.1 亿 m^3 、10.22 亿 m^3 。

按照“87 分水方案”控制，临汾和运城市供水区可由古贤水库供水 13.14 亿 m^3 ；按照用水总量红线控制，未超出供水区用水总量控制目标 26.10 亿 m^3 。最终确定临汾市和运城市由古贤配置水量 13.14 亿 m^3 。

古贤水库向陕西省供水 10.32 亿 m³，向山西省供水 13.14 亿 m³，综合考虑了“87 分水方案”和用水总量红线控制指标，工程用水总量指标环境合理。

3. 工程用水效率环境合理性分析

可研在水资源配置过程中，严格落实了“以水定城、以水定地、以水定人、以水定产”原则，根据相关规划、规范要求，在对供水区现状用水情况调查基础上，确定供水区 2035 年各行业节水目标。2035 年供水区用水效率控制指标按 2030 年控制。

表 5.3.4-3 供水区用水效率

类别		灌溉水有效利用系数	城镇供水管网漏损率（%）	工业万元增加值用水量（m ³ /万元）	工业用水重复利用率（%）
现状年 （2020 年）	山西	0.61	9	19	82.4
	陕西	0.57	13	21.7	78
设计水平年 （2035 年）	山西	0.65	8	12.9	90
	陕西	0.63	8.5	15.7	
黄河流域综合规划 （2030 年目标）		>0.61	<11	<30	>88
黄河流域生态保护和高质量发展水安全保障规划 （2030 年目标）		>0.6	<10	—	—
全国水资源综合规划 （2030 年目标）		>0.6	<11	<38	>86

根据表 5.3.4-3 可知，古贤水库灌溉供水，充分考虑了灌区节水，晋陕两省供水区的灌溉水利用系数由现状年的 0.61、0.57 提高到设计水平年的 0.65、0.63，工业用水定额由现状年的 19m³/万元、21.7m³/万元下降为设计水平年的 12.9m³/万元、15.7m³/万元，城镇供水管网漏失率由现状年的 9%、13%下降为设计水平年的 8%、8.5%，工业用水重复利用率由现状年的 82.4%、78%提高为设计水平年的 90%。2035 年供水区用水效率指标符合黄河流域综合规划、黄河流域生态保护和高质量发展水安全保障规划、全国水资源综合规划等规划的控制指标。

古贤水库供水区水资源配置过程中，强化水资源管理的刚性约束，用水总量严格按照黄河“87 分水方案”和用水总量红线双控制，用水效率指标符合国家、黄河流域相关规划中要求，评价认为供水规模设置基本合理。

5.3.5 工程运行调度方式的环境合理性

古贤工程开发任务是以防洪减淤和调水调沙为主，兼顾供水灌溉和发电。研究初期，

可研单位对水库调度设计综合考虑了工程防洪减淤、下游河道基流（ $180\text{m}^3/\text{s}$ ）、引黄工程引水、调峰发电流量要求等因素。环评单位认为除上述因素外，工程调度运行还应全面考虑古贤坝址下游敏感保护目标的生态需水量，如壶口瀑布所需的景观流量、小北干流湿地和鱼类所需的生态水量。经多次与设计单位的沟通反馈，工程逐步将壶口瀑布景观、鱼类、小北干流湿地流量需求纳入水量调度运行管理中，以满足坝址下游不同需水目标在不同时期的生态需水量。

1. 工程防洪减淤和调水调沙运行调度环境合理性

古贤工程主要开发任务为防洪减淤和调水调沙。一方面工程基本控制了河口镇至龙门区间的洪水和泥沙，水库可拦沙 93.42 亿 m^3 （合 121.45 亿 t），有效减少进入下游河道的泥沙。另一方面，古贤工程可增加小浪底水库调水调沙后续动力，补齐水沙调控体系工程短板，对减缓黄河下游淤积，保障黄河长治久安意义重大。通过古贤水库与小浪底水库联合调水调沙运用，可以有效减少黄河下游河道淤积量达 71.76 亿 t，相当于现状工程条件下河道 34 年的淤积量。古贤水库拦沙完成后，仍然可以利用其最小 20 亿 m^3 调水调沙库容和小浪底水库进行联合调水调沙，平均每年可减少下游河道泥沙淤积约 1 亿 t。

调水调沙期间的高含沙水流可能导致泥沙含量急剧增加、水质下降、溶解氧减少，对底栖、鱼类等水生生物带来不利影响。但是类比小浪底水库调水调沙产生的影响可知，该影响多限于调水调沙期间，随着调水调沙结束，对水质、水生生物带来的不利影响也很快消失。同时，评价提出结合古贤水库冲刷潼关高程及联合小浪底水库调水调沙运用等，对古贤水库运行方式进一步优化，在每年的 4 月~7 月塑造 $3000\text{m}^3/\text{s}$ ~ $4000\text{m}^3/\text{s}$ 的漫滩洪水过程，持续时间 5 天~7 天，从而满足禹潼河段湿地需水。

古贤水利枢纽是国务院批复的《黄河流域综合规划（2012-2030 年）》提出的黄河干流七大骨干水利枢纽之一，是黄河水沙调控体系的核心工程，是完善黄河水沙调控体系和机制的重要内容。综合考虑古贤水利枢纽对保障黄河长治久安、推动黄河流域生态保护和高质量发展的重要作用，对小北干流湿地补水的有利影响和调水调沙期间对水生生态的不利影响，评价认为工程防洪减淤和调水调沙运行调度基本合理。

2、运行期日常调度运行方式环境合理性分析

古贤水利枢纽开发任务以防洪减淤、调水调沙为主，兼顾供水灌溉和发电等综合利

用，发电在古贤水库开发任务中为从属地位，以水定电。考虑到三门峡、小浪底为黄河骨干工程，其坝下河段水文情势主要受其调控，因此本次日常调度中重点考虑古贤坝址-三门峡河段敏感保护对象的生态保护需求，主要包括壶口瀑布、鱼类、小北干流湿地。环评单位与设计单位对发电调峰调度（相机调峰）进行了不断优化，设计单位提出更有利于壶口瀑布、鱼类、小北干流湿地保护的调度运行方式。

在非汛期以及主汛期 7 月～9 月的非调水调沙期间，白天观景时段按壶口瀑布景观流量要求泄放，同时满足鱼类需求，晚上非观景时段机组泄放流量不小于该时段生态基流及水生生态需求，在电网负荷晚高峰的 18 点～22 点根据剩余水量进行水电站相机调峰运用。当预测水库入库水量、当前蓄水量难以满足后续生态基流、壶口景观用水、鱼类需水时，水电站不再进行调峰运用。设计单位已将上述调度原则纳入可研报告中。

调度中下泄生态流量方案如表 5.3.5-1 所示。

表 5.3.5-1 工程下泄的生态流量

月份	综合生态流量		
11 月～3 月	不小于 180m³/s～200 m³/s	600m³/s～1150m³/s 出现的天数不低于 113 天/年	4 月～7 月一定量级（3000m³/s～4000m³/s）漫滩洪水持续 5 天～7 天；4 月～6 月湿地相机补水 0.66 亿 m³
4 月～6 月	不小于 240m³/s		
7 月～10 月	不小于 336m³/s		

根据调度方案，工程建成后，丰水年、平水年、枯水年能够达到 180m³/s 流量以上，4 月～6 月鱼类繁殖期的流量不低于 240m³/s，有助于改善河流水生态系统。工程调度消除白天小于 200m³/s 的流量，并使全年较佳观瀑流量（600m³/s～1150m³/s）在丰水年、平水年、枯水年来水条件下出现的天数不小于现状年的 113 天/年，有利于维持壶口瀑布较佳观景条件。工程运行初期通过水库调节，4 月～7 月塑造一定量级洪水过程，随着工程运行适时建设湿地补水工程，于每年 4 月～6 月相机向小北干流湿地补水，补水量不少于 0.66 亿 m³，可以维持目前的湿地面积不缩小，功能不退化。

综上，古贤水库运行后，各时期下泄流量可满足下游壶口瀑布景观、鱼类、小北干流湿地等保护目标的用水需求。运行期日常调度运行方式环境合理。

3. 施工期导流方案环境合理性分析

根据工程可研，施工期第 1 年 10 月～第 3 年 10 月采用原河床过流，坝址上游来水全部下泄。第 3 年 11 月上旬～第 8 年 10 月底，采用 1#、2#导流洞导流、排沙底孔导流，各月份多年平均流量为 435.6m³/s～1470.5m³/s，最大下泄能力为 7054.4m³/s～

8678.6m³/s。

工程的施工导流对坝址下游河段水文情势的影响主要是洪峰流量减少，洪水过程得到坦化，其余时间，本工程的施工导流对坝址下游河段水文情势影响较小。总体可以满足壶口瀑布景观、水生生态（鱼类）、小北干流湿地的滩地植被等生态保护需求。

4. 初期蓄水方案环境合理性分析

根据工程可研，古贤水库下闸蓄水时间为水库建设第8年的10月下旬，不同系列年调算结果显示，古贤水库绝大多数年份初期蓄水所需时间为6个月，且考虑避开主汛期蓄水，可在10月~3月份完成初期蓄水。

10月~3月份初期蓄水期下泄流量200m³/s~347m³/s。壶口瀑布形态规模在此时段会受到影响，有一定程度的萎缩，但影响时段较短。且此时段处于晋陕两省冬季，与同期天然状态相比，瀑布形态规模变化不大。4月~6月份处于鱼类繁殖期，初期蓄水期避开了该时段，尽最大可能减少对鱼类繁殖的影响。

总体而言，古贤水利枢纽日常调度、施工期导流、初期蓄水的运行方式，可以满足坝址以下区域黄河干流的壶口瀑布景观、水生生态（鱼类）、小北干流湿地等生态保护目标的需水要求，从环境角度分析是合理的。

5.3.6 施工布置环境合理性分析

5.3.6.1 施工总体布置原则环境合理性分析

根据工程可研，施工总布置及场地规划考虑以下原则：

（1）施工总布置采取分散与集中布置相结合的方式，遵循因地制宜、有利生产、方便生活、环境友好、节省资源、经济合理的原则。

（2）施工总布置方案力求协调紧凑并经济合理，节约用地，尽量利用荒地、滩地、坡地；不占或少占耕地和经济林地；应满足环保、水保要求。

（3）合理规划布置渣场，做好土石方挖填方平衡，充分利用开挖渣料进行围堰及施工场地填筑，尽量避免物料二次倒运。

（4）施工场地布置应与交通运输线路布置相结合，尽量避免物料倒运，并考虑上、下游施工期洪水情况与临建设施泄洪及防洪要求。

（5）危险品炸药、雷管等特种仓库宜远离施工现场及生活办公区，并满足有关安

全规程规范要求。

(6) 贯彻节约土地的指导思想，在时间和空间上充分利用施工场地。

由工程施工布置原则可以看出，工程施工布置已经充分考虑环境保护要求，包括施工中尽量少占耕地，并最大限度压缩生产生活设施等，减少工程占地对当地环境影响；明确提出保护环境的施工布置原则；在土石方弃渣方面提出充分利用、尽量减少弃渣，降低水土流失产生不利环境影响；充分考虑渣场及施工生产设施不影响河道行洪的问题。综合来看，施工布置原则考虑问题较全面，充分照顾了环境保护的需求，从环境保护角度来看是合理的。

5.3.6.2 施工总体布置环境合理性分析

古贤水利枢纽建筑物规模大，工程建设配套的施工辅助设施门类齐全。施工区划分为坝址施工区、料场施工区及皮带机线路施工区 3 个区域。工程整个施工布置较为紧凑，坝址区施工布置场地主要集中在坝址上下游左右两岸 4km 范围内；西磴口料场区施工布置主要集中在料场上游 2km，下游 1km 范围内；皮带机线路区施工布置分布在线路沿线，从而最大程度的减少了永久征地和占用耕地，保护当地的土地资源。此外，结合施工时序，尽量做到挖填平衡，最大限度不弃渣，减少弃渣占地，减少工程占地对自然植被及地貌影响。

区域施工场地有限，采取集中与分散相结合的方式布置，砂石料加工系统、混凝土拌和系统、钢筋加工厂等布置利用区域地形，与主体工程比较接近，降低工程对区域土地资源占用和生态破坏。另外，工程生活区、施工仓库等布置结合主体工程施工需要，将施工工厂设施集中布置，远离村庄，便于进行砂石料加工、车辆冲洗等生产废水、生活污水和生活垃圾的收集、处理，污水处理的再生利用，减小对村庄影响；集中布置在一定程度上也减少工程布置对区域生态环境影响。

工程料场和渣场均没有位于滑坡、泥石流等不良地质条件地段，不涉及自然保护区、风景名胜区、文物和珍稀动植物集中分布区等环境敏感目标。通过优化工程布局，施工进场道路和皮带机骨料输送线路完全绕避壶口瀑布风景名胜区一级区和管头山自然保护区，弃渣场、生活区全部调出风景名胜区。

在此前提下，局部环境影响可通过采取相应措施予以减缓。施工总体布置环境基本合理。

5.3.6.3 施工布置涉及环境敏感区的优化过程及环境合理性分析

古贤坝址及附属工程所在区域分布的环境敏感区主要为黄河壶口瀑布风景名胜区（山西、陕西），以及山西省管头山自然保护区和山西省人祖山自然保护区。工程在坝址和施工区选择、施工布局设计时，把尽最大可能减小对环境敏感区的影响作为环境保护的重要原则，对工程布置进行了多次优化调整。

（一）工程施工布置针对黄河壶口瀑布风景名胜区的调整过程及环境合理性分析

1. 黄河壶口瀑布风景名胜区总体规划情况

黄河壶口瀑布风景名胜区是以壶口瀑布为核心的国家级风景名胜区。1997年5月，原建设部以建城〔1997〕101号文对两省编制的《黄河壶口瀑布风景名胜区总体规划》予以批复，规划远期至2010年。目前已超过规划期，两省正在分别进行修编工作。

新修编两规划均已将古贤工程考虑在内。根据多次沟通情况，山西、陕西两省景区主管部门均要求做好工程与新修编规划的对接工作。可研单位结合新修编规划对景区内工程进行了多次优化调整，此处依据新修编规划进行环境合理性分析。

2. 主体工程布置环境合理性分析

古贤工程坝址位于壶口瀑布上游10.1km，主体工程不在黄河壶口瀑布风景名胜区内，由于该河道弯曲和两岸山体地形的遮蔽，在观看壶口瀑布视野范围内看不到大坝及附属建筑物，从而规避了工程对壶口瀑布景观的视觉影响。

3. 工程施工布置针对黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）调整过程及环境合理性分析

根据施工组织设计，在山西侧景区内布设的工程有：对外交通道路、皮带机骨料输送线路及沿线渣场。受坝址区地理位置、区域交通条件所限，施工进场道路与皮带机骨料输送线路均不可避免穿越黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）。为尽最大可能减小对景区影响，施工组织设计对景区内施工布置进行了不断优化调整。

（1）施工进场道路和皮带机骨料输送线路优化调整过程

① 施工进场道路优化调整过程

可研阶段施工进场道路共有三个方案，具体见表5.3.6-1和图5.3.6-1。

表 5.3.6-1 可研阶段施工进场道路比选方案

项目	单位	方案一（桥隧方案）	方案二（改建现有道路方案）	方案三（桥隧方案）
道路等级	/	二级公路	二级公路	二级公路
设计速度	km/h	60	60（局部 40）	60
路线长度	km	20.5	41	18.434
改建长度	km	/	30	/
新建长度	km	20.5	10.959	18.434
新建桥梁	m/座	995/8	375/4	1590/8
新建隧道	m/座	18555/10	4180/1	14685/7
估算投资	亿元	10.0	5.5	8.5
穿越风景名胜 区长度 (km)	一级区	不穿越	3.5	2.06
	二级区	3.08	3.4	2.18
	三级区	7.877	4.6	7.13
	穿越总长	10.957	11.5	11.37
穿越自然保 护区长度 (km)	核心区	不穿越	/	不穿越
	缓冲区	不穿越	/	不穿越
	实验区	不穿越	管头山：16.1；人祖山：11.4	不穿越
	穿越总长	/	管头山：16.1；人祖山：11.4	/

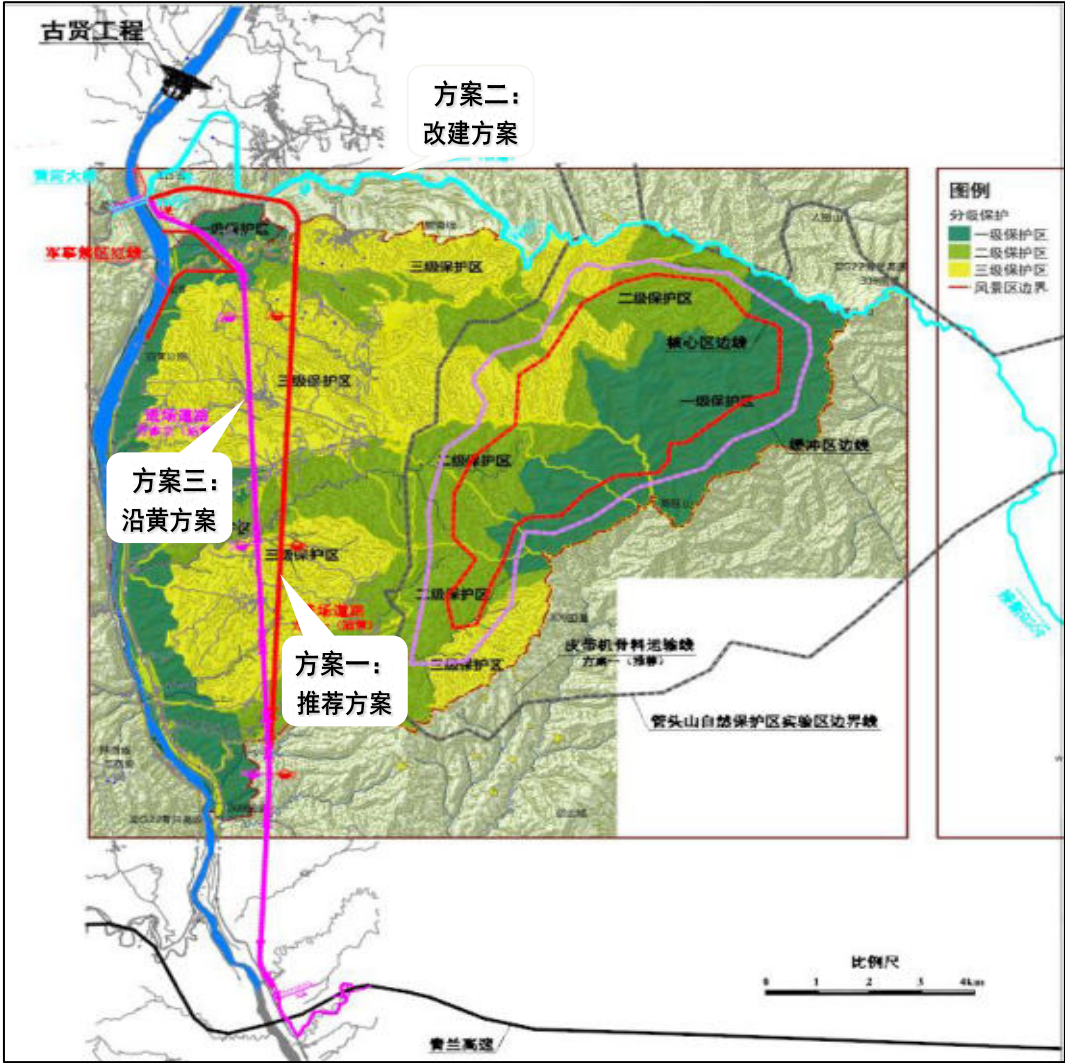


图 5.3.6-1 可研阶段施工进场道路方案比选

其中方案一绕避了景区一级保护区，以隧洞形式（90%以上为隧洞）穿越风景名胜区二、三级保护区，完全绕避自然保护区，环境影响相对方案二和方案三要小。从优先保护风景名胜区和自然保护区角度，进场道路推荐方案一。

② 皮带机运输线路优化调整过程

皮带机运输线路共有两个方案，具体见表 5.3.6-2 和图 5.3.6-2。方案二完全绕避了自然保护区，环境影响相对方案一要小。从优先保护环境角度考虑，此阶段皮带机骨料运输线路推荐方案二绕行方案。

表 5.3.6-2 可研阶段皮带机运输线路比选方案

项目	单位	方案一（直行方案）	方案二（绕行方案）
总长度	km	58.78	59.56
穿越风景名胜区长 度（km）	一级区	不穿越	不穿越
	二级区	4.95	6.784
	三级区	5.56	3.739
	穿越总长	10.51	10.523
穿越管头山自然保 护区长度（km）	核心区	0.89	不穿越
	缓冲区	2.17	
	实验区	2.81	
	穿越总长	5.87	

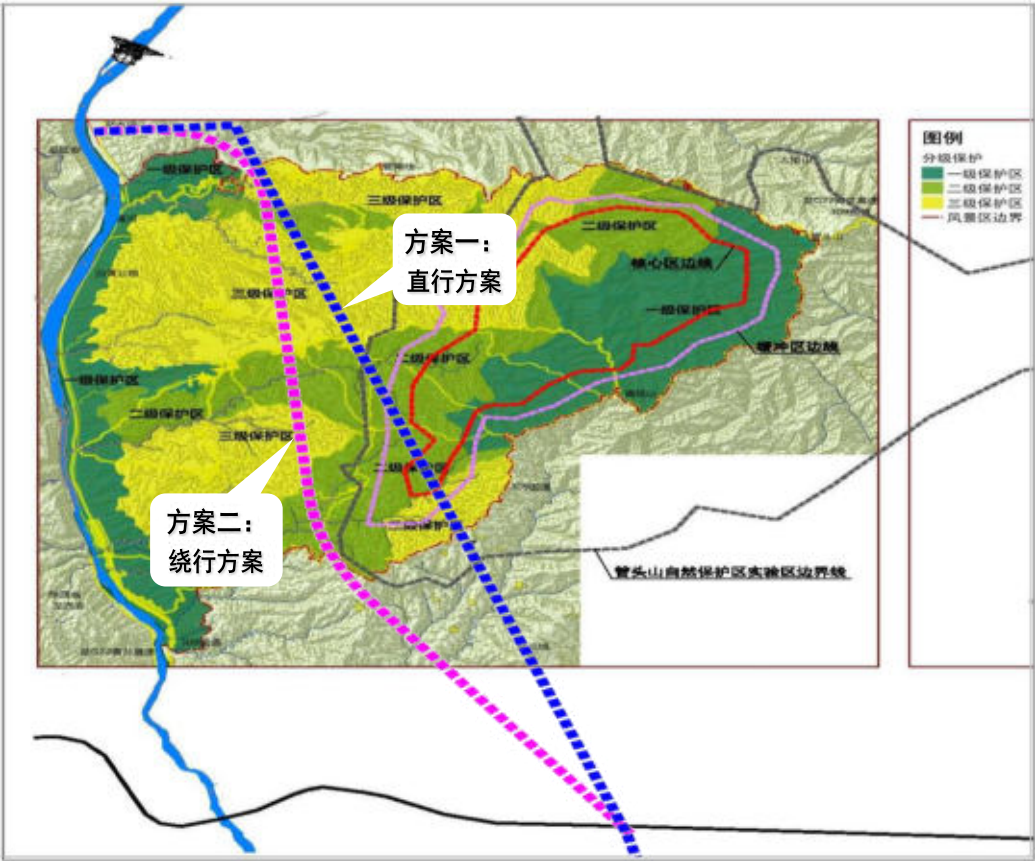


图 5.3.6-2 可研阶段皮带机骨料运输线路方案比选

③ 施工进场道路和皮带机运输线路两线合并优化过程

为进一步减小对风景名胜区影响，施工组织设计推荐施工进场道路和皮带机骨料输送线路在穿越黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）境内并线，主要采用隧洞的形式穿越风景名胜区。并线方案中进场道路穿越景区总长度为 10.957km，穿越二、三级保护区长度分别为 3.08km、7.877km；皮带机骨料输送线路穿越景区总长度为 11.042km，穿越二、三级保护区长度分别为 3.104km、7.938km；并线线路避开了一级保护区。并线线路距山西管头山自然保护区边界最近距离约 2km，完全绕避自然保护区。具体见图

5.3.6-3。

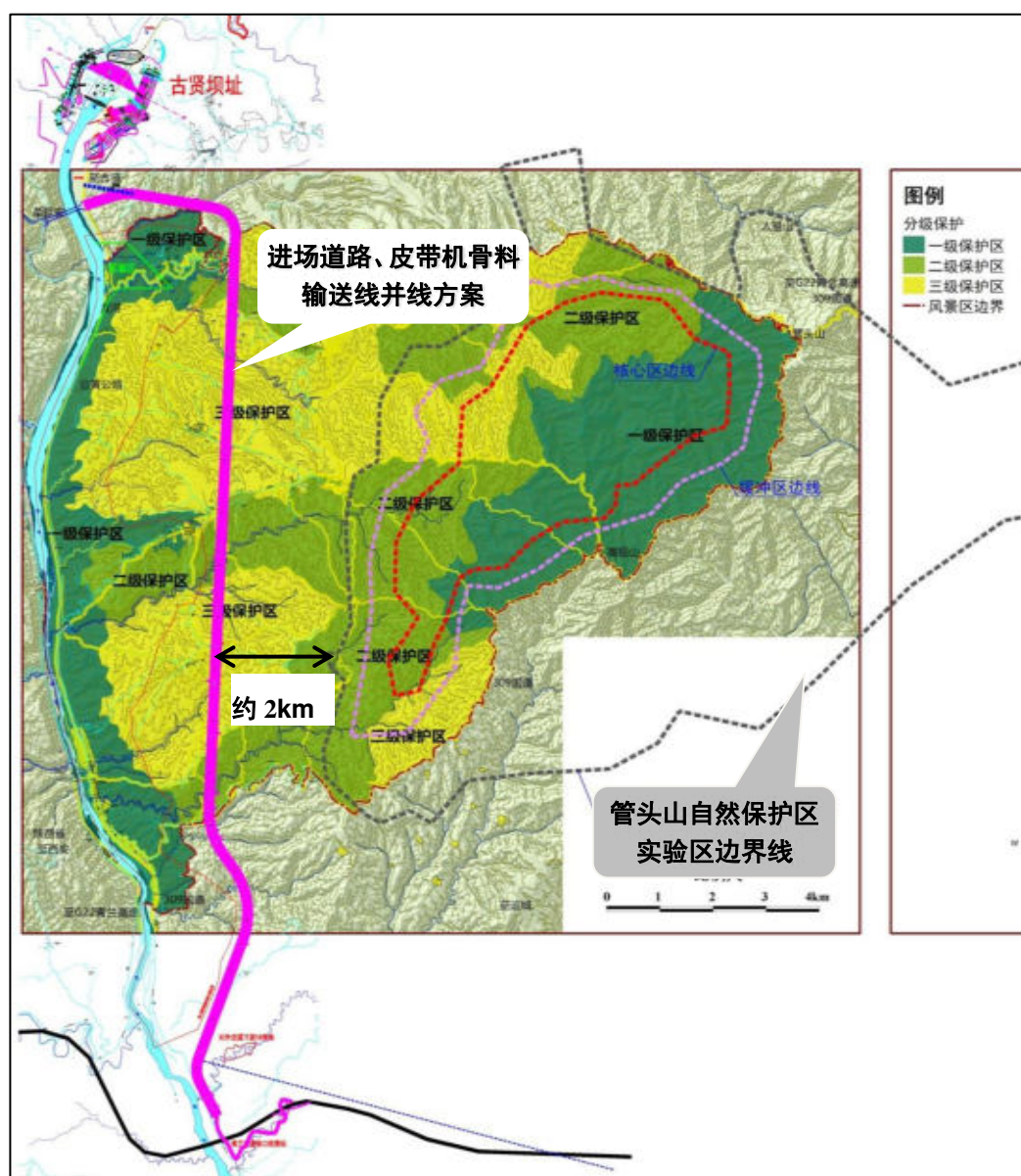


图 5.3.6-3 施工进场道路、皮带机骨料输送线路并线方案

（2）渣场调出黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）

根据原施工布置方案，并线线路沿线在景区内共布设有 15 处渣场，优化调整后，弃渣全部外运至坝址区 1#渣场和青兰高速附近施工进场道路 1#、2#弃渣场。景区内不再布设渣场。

（3）涉及黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）的施工布置环境合理性分析

通过优化调整施工布局，施工进场道路和皮带机骨料运输线路完全绕避自然保护区；不再涉及风景名胜区一级保护区，避免了对景区核心景观的影响；并线方案中皮带机骨料输送线路布置在道路一侧，可大幅减少风景名胜区内占地和施工扰动影响；采用隧洞形式穿越景区，在景区观景范围及游览道路上，看不到并线线路，在视觉景观上对景区产生的影响较小。在景区内不再布设渣场及施工生活区，减小了对风景名胜区影响。

2018 年 1 月 3 日，古贤工程对外交通道路和皮带机骨料输送线路纳入《黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）总体规划》相关规划协调内容通过山西省住建厅在吉县组织的专家论证。目前，《黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）总体规划（2018-2035）》已考虑进场道路和皮带机骨料输送线并线线路在景区内布置。

4. 工程施工布置针对黄河壶口瀑布风景名胜区（陕西）调整过程及环境合理性分析

可研方案优化前，根据《黄河壶口瀑布风景名胜区（陕西）总体规划（2017-2035）》，景区内的附属工程包括 1 座跨两省的黄河大桥，2#、6#、8#、601#道路，4#施工生活区，3#、4#渣场，炸药库，以及右岸低线、高线混凝土拌和系统等设施，均位于景区内。

为尽最大可能减小对黄河壶口瀑布风景名胜区的占压，经优化调整，施工组织设计将 8#、601#道路，4#施工生活区，3#、4#渣场，炸药库，以及右岸低线、高线混凝土拌和系统调出景区。调整后，景区内仅设置工程建设及运行管理必须的部分 2#、6#道路及黄河大桥，均位于景区北部区域的三级保护区，景区内长度分别为 1.768km、1.623km、0.145km，共计 3.536km，不涉及核心景区和二级区，对三级区的影响也大幅度减小。

优化调整前后景区内工程布置见表 5.3.6-3。

表 5.3.6-3 优化调整前后黄河壶口瀑布风景名胜区（陕西）工程布置

原方案	优化调整后
黄河大桥、2#道路、6#道路、8#道路、601#道路、3#渣场、4#渣场、4#施工生活区、炸药库、右岸低线、高线混凝土拌和系统	黄河大桥、2#道路、6#道路

综上所述，工程在风景名胜区内施工布置基本合理。国家林业和草原局于 2022 年 11 月 3 日出具《关于黄河古贤水利枢纽工程建设对有关自然保护地及湿地影响意见的函》（便函保〔2022〕516 号文），同意古贤工程建设。2022 年 12 月 7 日、16 日，晋陕两省林草部门分别以晋林保函〔2022〕594 号文、陕林函〔2022〕904 号文，出具涉及各自行政区域内自然保护地及湿地影响意见的函，支持古贤工程建设。

（二）工程施工布置针对自然保护区的调整过程

古贤水利枢纽在施工布局设计时，考虑尽量避让自然保护区。

在施工进场道路比选过程中（见表 5.3.6-1），方案二（改建道路方案）除穿越风景名胜区外，穿越管头山自然保护区实验区 16.1km，穿越人祖山自然保护区实验区 11.4km。皮带机骨料输送线路比选过程中（见表 5.3.6-2），方案一（直行方案）除穿越风景名胜区外，穿越管头山自然保护区长度 5.87km，其中核心区、缓冲区、实验区穿越长度分别为 0.89km、2.17km 和 2.81km。经比选，排除施工进场道路方案二（改建道路方案）和皮带机骨料运输线路方案一（直行方案），以避让自然保护区，尽量减小对自然保护区影响。结合工程涉及壶口瀑布风景名胜区优化调整过程，推荐进场道路、皮带机骨料输送线并线方案。

5.3.6.4 料场布置环境合理性分析

根据施工组织设计，本工程布置了 1 个天然砂砾石料场和 1 个人工骨料场。

1. 天然砂砾石料场布置合理性分析

本工程布置 1 处天然砂砾石料场，为原头坡料场。该料场位于古贤坝址上游 7km 处的黄河左岸漫滩，沿河岸呈条带状展布，主要用作前期工程的围堰填筑料场。现状植被主要以区域常见种为主，料场范围内没有珍稀濒危和重点保护野生植物分布，也没有重点保护野生动物的栖息地；料场位置不属于崩塌和滑坡危险区、泥石流易发区，不涉及自然保护区、风景名胜区等环境敏感区。料场选址位于水库淹没区范围内，施工结束后料场采取场地平整措施。

综上所述，从环境保护的角度分析，原头坡料场选址较为合理。

2. 人工骨料场布置合理性分析

本工程布置了 1 处混凝土骨料场，即西磴口料场。西磴口料场位于 G209 国道遮马

峪河两岸蝎虎崖隧洞至张家岭之间，距离古贤坝址直线距离约 60km，北部属临汾市乡宁县西坡镇，南部属河津市樊村镇。料场区沟壑发育、地形起伏较大。西磴口料场没有位于滑坡、泥石流等不良地质条件地段，不涉及自然保护区、风景名胜区、文物和珍稀动植物集中分布区等环境敏感目标。料场开采涉及河津市西磴乡镇集中供水水源保护区二级保护区，应按有关规定办理相关手续。另外，应采取环保开采方式，降低粉尘产生量，减少对环境空气的影响。施工结束后结合水土保持方案中的工程措施和植物措施，对开采区域进行场地平整和植被恢复，恢复区域景观并抑制水土流失。

5.3.6.5 渣场布置环境合理性分析

工程共布设 17 处弃渣场，均为沟道型弃渣场。其中坝址区布设 3 个渣场（1#、2#、3#弃渣场），西磴口人工骨料场布置 1 个弃渣场（西磴口弃渣场），皮带机线路工程（并线前）利用 13 个弃渣场（P1~P13 弃渣场，其中 P1 为西磴口渣场、P13 与进场道路 1#渣场合并），施工进场道路设置 2 个渣场（1#、2#弃渣场）。均未布设在风景名胜区、自然保护区等环境敏感区内。

1. 坝址区 1#、2#、3#弃渣场

1#、2#、3#渣场位于库区，占地类型主要为河沟和两边裸地，现状植被主要以区域常见种为主，渣场范围内没有珍稀濒危和重点保护野生植物分布，也没有重点保护野生动物的栖息地。工程施工期间的弃渣，主要为废弃的石方，不含有毒有害成分；施工结束后，对弃渣场进行土地平整，并对弃渣进行块石压盖，因此，1#、2#、3#弃渣场的布设，不会对库区水质产生明显影响。另外，本工程 1#、2#、3#弃渣场选址均位于水库淹没区范围内，最大程度地减少了库区外占地。

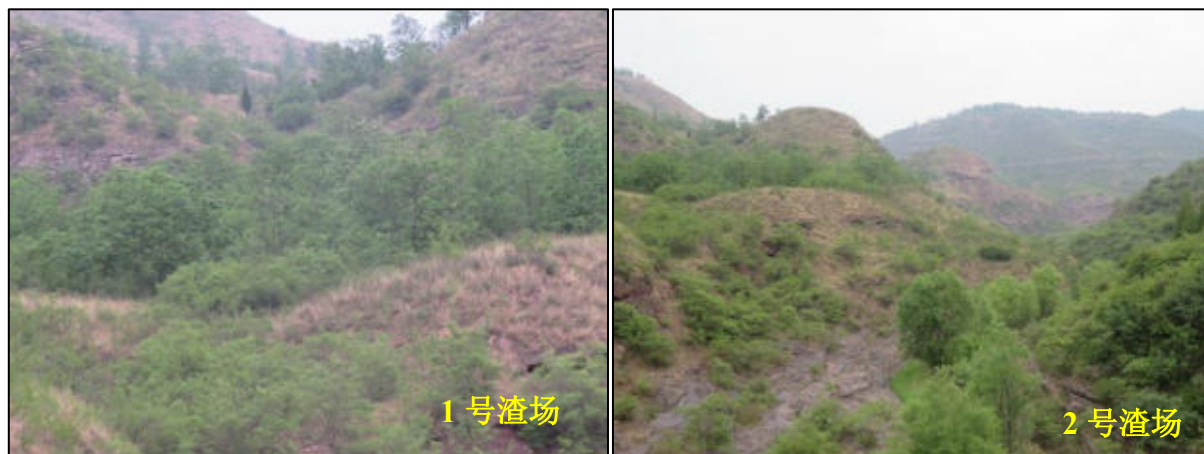


图 5.3.6-1 渣场区现场照片

2. 西磴口弃渣场、皮带机线路 P2~P12 弃渣场、进场道路 1#、2#弃渣场

西磴口弃渣场位于遮马峪河左岸（西磴口料场对岸）支沟内，呈 3 个支沟夹 2 个山梁的地貌。皮带机线路工程弃渣场 P2~P12 均布置在线路沿线附近的冲沟内，进场道路 1#、2#渣场分别位于青兰高速壶口收费站的北侧和南侧，渣场两岸及沟底大部分为黄土覆盖，占地类型为林、草地。

西磴口弃渣场、P2~P12 弃渣场、进场道路 1#、2#弃渣场均为沟道型弃渣场，除皮带机线路 2#渣场距离东庄小学较近外，其余弃渣场均不涉及村庄等环境敏感目标，不影响居民点的安全和行洪安全；不在滑坡、泥石流等不良地质条件地段；未位于风蚀区，同时不影响工矿企业、居民区、交通干线或其他重要基础设施的安全，不存在制约因素。现状地表植被较为常见，无珍稀保护物种。主体设计对以上弃渣场采取了拦挡、排水、表土剥离、临时堆土覆盖及复垦等措施，符合水土保持技术规范的要求。建议下阶段进一步优化渣场布置，尽量减少占用土地。

5.3.6.6 油库和炸药库布置环境合理性分析

工程坝址区和料场区共布设有 2 处加油站和 2 处炸药库。

1. 油库、加油站

根据可研，工程设置 2 处加油站，均为五级油库。坝址区油库布置于黄河大桥下游 0.6km 左岸滩地；料场区油库与砂石料加工系统毗邻布置。2 处油库布置均与各工作面较近，既方便施工，又远离施工生活区和村庄，安全可靠。

根据《石油库设计规范》（GB50074-2002）要求，五级油库与居住区及公共建筑物的距离不得小于 50m，与公路距离不得小于 15m。本工程 2 处加油站（油库）200m 范围内无居民点，符合《石油库设计规范》要求。

根据现场查勘，2 处加油站不涉及自然保护区、风景名胜区、小河口军事禁区 and 珍稀动植物集中分布区等环境敏感目标，远离施工生活区和村庄。因此，从环境保护的角度分析，加油站的选址方案不存在重大环境制约因素，环境合理。

2. 炸药库

工程设置 2 处炸药库，其中坝址区炸药库布置于坝址左岸上游 3.1km 的沟道内；料场区炸药库布置于料场西北侧 0.76km。上述 2 个炸药库周边 1km 范围内均无村庄分布。

根据《民用爆破器材工程设计安全规范》(GB50089-2007)要求,在无高山屏障时,同类危险等级爆破材料库(单库存药量不大于 100t)与零散住户的距离须大于 570m,山高 30m~50m,坡度 25°~30°,距离可减少 20%~25%。本工程 2 处炸药库周边均无村庄分布,可以满足《民用爆破器材工程设计安全规范》(GB50089-2007)要求,从环境保护角度来看,本工程 2 处炸药库设置合理。

5.3.7 移民安置方案环境合理性分析

5.3.7.1 移民安置方式合理性分析

1. 生产安置方式合理性分析

本工程规划水平年移民生产安置人口 13014 人,其中农业安置 10431 人,一次性补偿安置 1858 人,自谋职业安置 725 人。采取农业安置方式为主,另包含少部分一次性补偿和自谋职业安置等。移民生产安置主要通过土地调整、划拨土地方式,通过实施坡改梯、旱地平整、土壤改良及农田水利设施提高农作物产量,并结合林果业规划、养殖业规划、工副业规划等生产措施规划,增加移民收入,提高移民生活水平,不会对安置区生态环境造成明显的不利影响。

2. 生活安置方案合理性分析

工程规划水平年移民搬迁安置人口 4679 户 15530 人,均在库区,其中山西省为 7589 人,陕西省为 7941 人。本村后靠安置 3039 户 9925 人,随乡镇迁建安置 602 户 2176 人,进城(镇)自主安置 1038 户 3429 人。其中农村集中安置点共 28 个,全部为本村后靠安置,城镇集中安置 1 个点。

集中安置点通过调剂土地和土地整理进行安置,移民生活安置会对移民本身和安置地原有居民的生产、生活等环境产生影响。安置区的房屋以及相关基础设施的建设过程中,土石方的开挖、填筑及移民建房过程中将产生扬尘、固废等污染物,并不可避免地扰动地表,破坏部分区域地表植被,存在水土流失的隐患。

移民安置基本均在本村内安置,避免了行政区划的跨越,安置点均解决了水、电、路等问题,水源符合卫生和水量要求。根据现场考察,移民安置点现状土地利用多为农田、果园,安置点主要植物种类包括苹果、枣林、黄蒿、白茅草、车前草、野菊花、狗尾草等。安置点选址过程中,进行了地质稳定性评价,避开了自然保护区、天然林和基

本农田等环境敏感目标。同时，居民点基础设施建设规划包括交通、供水、排水、绿化、教育、卫生等基础设施和公共设施的配置，以及防灾减灾等。

综上，规划的移民安置方案不存在环境制约因素，方案基本合理。

5.3.7.2 专业项目迁建规划合理性分析

1. 工业企业处理规划合理性分析

古贤水库淹没影响小型水电站 2 座，通过实施经济补偿，以及采取必要的库区清理措施，尤其是水电站的厕所、垃圾填埋池、油料储存区域等，上述工业企业处理规划基本合理，水库蓄水阶段应该严格按照《水利水电工程水库库底清理设计规范》

（SL644-2014）、《水电工程水库库底清理设计规范》（DL/T5381-2007）等相关要求，做好淹没水电站区域的清库环境保护措施，并且通过相关主管部门验收。

2. 复建规划合理性分析

复建工程中工程量比较大的为道路工程，古贤水利枢纽工程库周交通复建规划道路 14 条共 137.8km。复建规划选线中，以满足“功能恢复”为主要目的，同时考虑对库周环境影响。尽可能利用荒沟、荒滩，同时方便施工，不造成新的水土流失为原则合理堆渣；工程设计时考虑了挖填边坡和弃渣场的工程防护和植物防护措施，能够有效地减少水土流失。针对专项设施复建工程规划中的 2 座黄河大桥，拆除过程中将产生大量建筑垃圾，规划拆除的建筑垃圾运至居民迁移线以上，后期请专门垃圾清运机构运送至相应垃圾填埋场处理。

5.3.7.3 移民安置点选址环境合理性分析

古贤水利枢纽工程农村集中安置点共 28 个，全部为本村后靠安置，城镇集中安置点 1 个。29 个集中安置点的土地类型主要为园地、其次是耕地、草地，不涉及自然保护区、风景名胜区、森林公园、地质公园、饮用水源保护区等环境敏感区，无重大环境制约因素。安置点地形条件、水源条件、供电条件、交通条件等较好；区域地形地貌、气候条件、植被、水土流失均适宜安置点建设及移民生产生活活动；安置点以本村、本乡安置为主，民族及社会融入性较好。因此，安置点选址环境可行。

5.4 工程施工影响源项分析

古贤水利枢纽工程建设期 11 年，其中施工准备期为 28 个月，主体工程施工期为

65 个月，完建期为 21 个月，另有 1.5 年工程筹建期。工程主要布置有坝址区、料场区和皮带机线路区三个施工区。

工程施工期可能产生的环境影响主要发生在筹建期、施工准备期、主体工程施工期。具体产生影响的施工行为主要有筹建期进场道路和皮带机线路的施工及弃渣，施工准备期时的施工导流，主体工程施工期时的大坝主体工程施工、料场开采和弃渣等，以及施工人员活动；施工将产生施工废水、废气、噪声和固体废物，对施工区及附近区域水环境、环境空气、声环境、水土流失和生态环境等产生影响，施工布局可能对壶口瀑布风景名胜产生影。产生的影响发生在上述 3 个施工时段，施工结束后影响基本消失。

5.4.1 水文泥沙情势

施工期对水文泥沙情势的影响，主要为导流工程对水文泥沙情势的影响。

整个施工导流过程中，河段无断流现象。第 1 年 10 月～第 3 年 10 月期间利用原河床过流，对水文情势无影响。第 3 年 11 月上旬进行河床截流，截流期间来水由龙口和导流洞全部下泄。第 3 年 11 月中旬～第 8 年 10 月底，非汛期来水采用 1#、2#导流洞或 8 孔排沙底孔全部下泄，对流量过程基本无影响；汛期偶发大流量洪水时，通过围堰存水，但随后几天即可全部下泄，对整个河段水文情势无较大调节作用。

第 8 年 11 月，进入初期蓄水阶段。蓄水所需时间为 6 个月，至次年 3 月份基本蓄至 560m 后开始发电运行。期间水库水位由 465m 升至 560m。在水库下闸蓄水至蓄水位 560m 期间，采用供水钢管（1#导流洞内）或排沙底孔泄放水量，此阶段下泄沙量较少，多为清水，下泄水量 $200\text{m}^3/\text{s} \sim 347\text{m}^3/\text{s}$ 。由于初期蓄水时段较短，仅 6 个月左右，且该时期主要为非汛期，因此，初期蓄水对水文情势影响较小。

5.4.2 水环境

5.4.2.1 施工废污水

工程施工过程中水污染源主要包括基坑排水、砂石料加工系统冲洗废水、混凝土拌和系统冲洗废水、机械冲洗及保养废水以及施工人员生活污水等。影响时段为筹建期、施工准备期、主体工程施工期及完建期。

废水主要产污环节及时段见表 5.4.2-1。

表 5.4.2-1 施工期废污水产污环节分析

工程分区	主要产污时段	废污水类型		具体点位
皮带机线路区	筹建期 (18 个月)	生产废水	混凝土拌和系统废水	皮带机线路强制式搅拌机、进场道路强制式搅拌机
		生活污水	施工人员污水	施工人员生活营地
坝址区	施工准备期 (28 个月)	生产废水	混凝土拌和系统废水	导流等前期临时工程混凝土生产系统
			机械车辆冲洗废水	机械车辆检修场
	主体工程施工期 (65 个月)	生活污水	施工人员污水	导流等前期工程施工生活区
		生产废水	混凝土拌和系统废水	坝址区左、右岸的高、低线混凝土生产系统
			砂石料冲洗废水	砂石料加工系统（细碎、洗砂、冲洗）
			机械车辆冲洗废水	机械车辆检修场
		生活污水	施工人员污水	业主营地和 1#、2#、3#、4#施工生活区
料场区	主体工程施工期 (65 个月)		基坑排水	导流围堰、基坑开挖排水
		生产废水	砂石料冲洗废水	砂石料加工系统（粗碎）
			机械车辆冲洗废水	机械车辆检修场
		生活污水	施工人员污水	西礅口料场生活区

1. 生产废水

工程施工过程中生产废水主要是砂石料加工产生的废水、混凝土养护废水、机械冲洗及保养废水，污水主要污染物为 BOD_5 、SS 及石油类等，主要集中于砂石料加工厂、混凝土拌和现场及综合加工厂附近，局部废污水量较小。工程导流围堰和基坑排水可能对河流水环境造成影响。

(1) 基坑废水

基坑废水来自坝址施工区，包括初期排水和经常性排水。根据可研，基坑初期排水包括围堰闭气后基坑积水、基础和堰体渗水等，约 10 天排干，水质和下游水环境质量基本一致，初期排水对下游水质影响较小。

基坑经常性排水主要包括降水、渗水，最大排水强度约为 $9290m^3/h$ ，主要污染物为悬浮物，其 SS 浓度一般在 $2000mg/L$ 左右，pH 在 11~12 之间。基坑废水中 SS 含量高，如直接排放至黄河，会造成水体中局部河段 SS 浓度增加，对下游水环境产生一定影响。建议本次向基坑内投加絮凝剂，排水静置一定时间后抽出排放。经处理后的出水 SS 排放浓度为 $70mg/L$ 以下，满足《污水综合排放标准》（GB8978—1996）表 4 一级标准，可达标排放至黄河。

(2) 混凝土系统废水

混凝土拌和系统废水来源于混凝土料罐、搅拌机和地面冲洗，排放方式为间歇式。混凝土拌和系统冲洗废水中含有较高的悬浮物且含粉率较高，废水呈碱性，pH 值为 11~12。根据类似水利水电工程相关资料，拌和系统废水悬浮物浓度约 $5000mg/L$ 。拌和系统均为两班制生产，每班冲洗一次，每个强制式搅拌机一次冲洗量约 $2.0m^3$ ，拌和楼一

次冲洗量约 8.0m^3 。

各时段混凝土拌和系统冲洗废水产生情况见表 5.4.2-2。

表 5.4.2-2 混凝土拌和系统冲洗废水产生情况一览表

工程分区	排放时段	产污点位	搅拌机/拌和站		冲洗方式		废水产生量		悬浮物产生强度	排放情况
			台数(台)	设计生产能力(m³/h)	每日冲洗次数(次)	一次冲洗量(m³)	m³/h	m³/d	kg/d	
皮带机线路区	筹建期(18个月)	皮带机线路强制式搅拌机	32	30	2	2.0	64	128	640	处理后全部回用,不外排
坝址区	准备期(28个月)	导流等前期临时工程混凝土生产系统	1	115	2	8.0	8	16	80	
	主体工程施工期(65个月)	坝址区左岸高线混凝土生产系统	3	950	2	8.0	24	48	240	
		坝址区左岸低线混凝土生产系统	3	950	2	8.0	24	48	240	
		坝址区右岸高线混凝土生产系统	3	950	2	8.0	24	48	240	
		坝址区右岸低线混凝土生产系统	3	950	2	8.0	24	48	240	
小计							96	192	960	

由表 5.4.2-2 可知:筹建期、施工准备期、主体工程施工期废水产生量分别为 $128\text{m}^3/\text{d}$, $16\text{m}^3/\text{d}$, $192\text{m}^3/\text{d}$, 废水中悬浮物产生强度分别为 $640\text{kg}/\text{d}$, $80\text{kg}/\text{d}$, $960\text{kg}/\text{d}$ 。推荐采用中和沉淀法或成套设备法对混凝土系统废水进行处理后达到《水工混凝土施工规范》(SL667-2014)中的水质标准后回用于混凝土生产,不外排。

(3) 砂石料加工系统

砂石料加工系统采用半干法加工工艺,骨料在筛分冲洗时,产生大量冲洗废水,废水中 SS 浓度较高。根据工程砂石料料源特征,类比同类工程,砂石料加工系统废水污染源强 SS 浓度为 $20000\text{mg}/\text{L} \sim 90000\text{mg}/\text{L}$ 。工程在料场区、坝址区分别设置 1 个砂石料加工系统,均为二班制生产,料场区加工系统主要对毛料进行粗碎,坝址区加工系统主要进行细碎、洗砂、冲洗等工艺,两加工系统废水污染源强 SS 浓度取 $50000\text{mg}/\text{L}$ 。

料场区和坝址区砂石料加工系统废水排放量见表 5.4.2-3。根据表 5.4.2-3 可知,料场区和坝址区砂石料加工系统单位时间废水产生量分别为 $16\text{m}^3/\text{h}$ 和 $920\text{m}^3/\text{h}$,废水产生总量分别为 18.12 万 m^3 和 1050.24 万 m^3 。推荐采用絮凝自然沉淀法(如平流式沉淀池)、混凝沉淀法(如辐流式混凝沉淀池)或成套设备处理法(如 DH 高效污水净化器)

对砂石料加工废水进行处理，满足《水电工程砂石加工系统设计规范》(NB/T 10488-2021) 砂石加工用水水质标准后回用于砂石料加工生产，不外排。

表 5.4.2-3 工程砂石料加工系统用水一览表

排放时段	工程分区	污染源位置	砂石料处理量(万 t)	设计处理能力(t/h)	设计用水量(m³/h)	蒸发渗漏损耗率(%)	单位时间废水产生量(m³/h)	单位产品废水产生量(m³/t)	废水产生总量(万 m³)	排放情况
主体工程 施工期 65 个月	料场区	砂石料加工系统	5176.64	4600	20	20	16	0.0035	18.12	处理后全部回用，不外排
	坝址区	砂石料加工系统	4376	3900	1150	20	920	0.24	1050.24	
	合计								1068.36	

(4) 机械冲洗及保养

含油废水主要来源是机械修配厂和汽车停放保养厂。机械修配厂、汽车停放保养厂产生的污染物均主要为石油类、COD 及悬浮物。根据山西省用水定额中城镇生活用水中汽车冲洗用水定额，按照冲洗一辆汽车用水 200L，废水产生量按用水量的 80%计，按照每天每台冲洗一次，计算工程含油废水产生情况，详见表 5.4.2-4。

表 5.4.2-4 机械修配系统废水产生情况一览表

工程分区	排放时段	布置位置	可停放汽车数量(台)	用水量(m³/d)	废水量(m³/d)	排放情况
坝址区	施工准备期(28 个月)	导流工程施工区 机械车辆检修场	180	36	28.8	处理后全部回用于生产，不外排
	主体工程施工期(65 个月)	大坝主体工程 机械车辆检修场	620	124	99.2	
料场区	主体工程施工期(65 个月)	机械车辆检修场	450	90	72	

机械修配系统废水污染物以石油类和悬浮物为主，根据类似工程实测结果，其浓度分别约为 30mg/L 和 2000mg/L。推荐采用油水分离器对机械冲洗废水进行隔油处理，处理后的出水满足《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920-2020) 后全部回用于车辆冲洗、洒水降尘和周边绿化，不外排。

2. 生活污水

施工期生活污水主要是施工人员日常生活产生的废污水。依据山西省用水定额中城镇生活用水定额，本次施工人员生活用水量取 100L/人·d (0.1m³/人·d)，生活污水产生量为用水量的 80%，未经处理的生活污水成分中 COD、BOD₅、氨氮和 SS 的浓度值约为 300mg/L、200mg/L、50mg/L 和 250mg/L。具体见表 5.4.2-5。皮带机线路施工区和料场区推荐采用化粪池或一体化污水处理设备对生活污水进行处理，处理后废水可用来

绿化、洒水抑尘等；坝址区由于生活污水产生量较大，建议经污水处理站处理后一部分用于洒水降尘绿化浇灌，其他部分可回用于混凝土拌和系统等作为生产用水，不外排。其中处理后回用于洒水降尘、绿化浇灌、车辆冲洗的，执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）相应标准；处理后回用于混凝土生产的执行《水工混凝土施工规范》（SL667-2014）中的水质标准。

表 5.4.2-5 施工期生活污水产生量一览表

排放时段	污染源位置		高峰期人数(人)	日用水量(m³/d)	污水量(m³/d)	COD、BOD ₅ 、氨氮和 SS 等主要污染物产生量 (kg/d)	排放情况
皮带机线路施工区	筹建期	皮带机线路施工生活区	2000	200	160	48kg/d、32kg/d、8kg/d、40kg/d	全部回用，不外排
坝址区	主体工程施工期及完建期	施工准备期	3000	300	240	72kg/d、48kg/d、12kg/d、60kg/d	全部回用，不外排
		业主营地	140	14	11.2	3.36kg/d、2.24kg/d、0.56kg/d、2.8kg/d	
		1#施工生活区	1000	100	80	24kg/d、16kg/d、4kg/d、20kg/d	
		2#施工生活区	2500	250	200	60kg/d、40kg/d、10kg/d、50kg/d	
		3#施工生活区	3000	300	240	72kg/d、48kg/d、12kg/d、60kg/d	
		4#施工生活区	5300	530	424	127.2kg/d、84.8kg/d、21.2kg/d、106kg/d	
		合计	11940	1194	955.2	286.56kg/d、191.04kg/d、47.76kg/d、238.8kg/d	
料场区	主体工程施工期及完建期	西磴口料场生活区	2000	200	160	48kg/d、32kg/d、8kg/d、40kg/d	全部回用，不外排

5.4.2.2 初期蓄水

古贤水库蓄水初期，淹没区残留的腐烂物质（如杂草、树木和枝叶等）、土壤会分解释放有机质，有机质分解增加水体中 BOD₅、COD、氮和磷等浓度，溶解氧降低。除此之外，一些建筑物和构筑物、生活垃圾及其他污染物若未按照规范要求清库，将使得库底浸出物可能较多，影响初期蓄水水质。围堰拆除过程中，水体含沙量也会有一定程度升高。

5.4.2.3 地下水环境

根据可研，工程施工期间坝址区地下工程施工和皮带机线路区隧洞施工会对地下水位产生一定影响。

工程建设导流洞、施工洞、水电站厂房等地下工程，在开挖过程中可能会遇到少量基岩裂隙水排水，但不会造成大范围的地下水位下降，施工不会产生严重的环境水文地质问题。

进场道路和皮带机骨料输送线路隧洞修建过程中，隧道开挖将会造成其附近一定范围内地下水水位下降，但该区域地下水总体贫乏，不存在稳定地下水位，与表部浅层孔隙-裂隙水连通性差，隧道开挖不会引起地下水环境的改变，也不会对地表植被造成显著影响。

5.4.3 大气环境

工程施工期环境空气污染主要来自机动车辆和施工机械排放的燃油尾气、道路开挖、爆破、砂石料加工系统粉尘、混凝土拌和系统粉尘、作业面扬尘以及交通运输的扬尘等。废气主要产污环节及时段见表 5.4.3-1。

表 5.4.3-1 施工期废气主要产污环节分析

工程分区	主要产污时段	废气类型
皮带机线路区	筹建期（18 个月）	机械燃油废气
		爆破粉尘
		施工作业面扬尘
		交通扬尘
坝址区	施工准备期（28 个月）	施工作业面扬尘
		混凝土拌和系统粉尘
		交通扬尘
	主体工程施工期（65 个月）	机械燃油废气
		爆破粉尘
		施工作业面扬尘
		砂石骨料加工系统粉尘
		混凝土拌和系统粉尘
料场区	主体工程施工期（65 个月） 及完建期（21 个月）	机械燃油废气
		爆破粉尘
		施工作业面扬尘
		砂石骨料加工系统粉尘
		交通扬尘

5.4.3.1 机械燃油废气

工程施工过程中需使用大量的大型燃油机械设备及运输车辆，因此在使用过程中会产生机械燃油废气。机械燃油废气属于连续、无组织排放源，污染物呈面源分布。根据《水电水利工程施工环境保护技术规程》（DL/T5260-2010）等相关资料，机械油料燃烧时 NO₂、CO、SO₂、碳氢化合物平均排放强度分别为 48.261kg/t、29.35kg/t、3.522kg/t、4.826kg/t，工程施工期机械燃油废气产生情况见表 5.4.3-2。施工期应采用高质量燃油、

燃料，加强机械车辆维修保养，以有效减少机械燃油废气产生。

表 5.4.3-2 工程机械燃油用量及废气产生情况一览表

工程分区	主要产污时段	油料总用量 (万 t)	废气总排放量 (t)			
			NO ₂	CO	SO ₂	碳氢化合物
皮带机线路区	筹建期 (18 个月)	1.34	646.7	393.29	47.19	64.67
坝址区	主体工程施工期 (65 个月)	9.02	4353.14	2647.37	317.68	435.31
料场区		3.87	1867.7	1135.85	136.3	186.77

5.4.3.2 爆破粉尘

炸药爆破时会产生粉尘和 CO、NO_x 等其他有害气体。爆破属于瞬间源，其粉尘、废气的影响范围主要集中在爆破源附近。参考其他水利水电工程，单位炸药粉尘排放量约为 50kg 粉尘/t 炸药；根据《水电水利工程施工环境保护技术规程》(DL/T5260-2010) 等资料，在未采取防护措施的前提下，NO_x、CO、其他有害气体排放量分别为 15.27kg /t 炸药、41.75kg /t 炸药、62.5kg /t 炸药。上述污染物会对桥梁和隧洞口周边、大坝施工区导流洞、施工洞环境和施工区域产生一定影响，各工程区的粉尘及废气排放量详见表 5.4.3-3。各施工时段均应对开挖爆破作业面及附近区域采用喷水或洒水措施，以减少爆破粉尘的产生。

表 5.4.3-3 工程爆破粉尘及废气排放量一览表

工程分区	主要产污时段	炸药总用量(t)	TSP 排放量(t)	NO _x (t)	CO(t)	其他有害气体(m ³)
皮带机线路区	筹建期 (18 个月)	1450	72.5	22.14	60.54	90625
大坝区	主体工程施工期 (65 个月)	7800	390	119.11	325.65	487500
料场区	主体工程施工期 (65 个月)	12000	600	183.24	501.00	750000

5.4.3.3 施工作业面扬尘

施工作业面扬尘主要产生于裸露地面如渣场、隧洞口开挖面等，在干燥情况下，特别在大风时容易产生扬尘。参照建筑工地施工，工程施工作业面粉尘排放速率为 $19.44 \times 10^{-5} \text{g/s.m}^2$ 。各施工作业面扬尘排放情况见表 5.4.3-4。应对施工作业面及附近区域采用喷水或洒水措施，以减少扬尘的产生。

表 5.4.3-4 施工作业面扬尘排放情况一览表

工区	时段	工程	高峰时段
皮带机线路区	筹建期 (18 个月)	进场道路和皮带机线路施工	筹建期第二年、第三年 5 月~7 月
坝址区	主体工程施工期 (65 个月)	坝址区和坝基开挖、渣场	最高集中在第 4 年, 最高月集中在第 4 年 5 月~第 5 年 5 月; 土石方填集中在第 3 年, 最高月填筑为第 4 年 1 月
料场区	主体工程施工期 (65 个月)	料场开采、渣场	

5.4.3.4 砂石骨料加工系统粉尘

砂石加工系统排放的污染物主要是粉尘, 在粗碎、中碎、细碎、筛分的运输过程中均会产生粉尘污染。根据《三废处理工程技术手册(废气卷)》, 砂石料加工系统湿法生产系统粉尘排放强度为 0.05kg/t 产品。本工程在料场区和坝址区共设置 2 套砂石料加工系统, 处理能力分别为 4600t/h、为 3900t/h, 在未考虑除尘设备的情况下, 粉尘高峰排放强度分别为 230kg/h、195kg/h。通过查阅同类工程现场监测数据可知, 在生产过程中通过采取先进、湿法低尘破碎工艺, 并配备石粉回收装置, 粉尘的排放量将减少 94% 以上, 后续采用砂石料生产线专用脉冲式布袋除尘器, 除尘效率可达到 99%, 则料场区、坝址区砂石加工系统粉尘排放强度分别为 0.14kg/h、0.12kg/h。

料场区和坝址区砂石料加工系统粉尘排放速率详见表 5.4.3-5。

表 5.4.3-5 砂石料加工系统粉尘排放速率一览表

砂石料加工系统	生产能力 (t/h)	面源基本特征 (m)			粉尘产生量 (kg/h)	粉尘排放量 (kg/h)	粉尘排放速率 (g/s)	
		排放高度	面源长度	面源宽度			正常工况	非正常工况
料场区	4600	10	300	220	230	0.14	0.04	63.89
坝址区	3900	10	400	250	195	0.12	0.03	54.17

5.4.3.5 混凝土拌和系统粉尘

工程筹建期进场道路和皮带机线路沿线工作面分散, 混凝土拌和强度不大, 粉尘主要产生在水泥的运输、装卸及进料过程中, 产生量很小且分散, 基本不会对区域环境空气产生影响。

根据污染源分析, 坝址区的临时工程混凝土拌和系统内配置一座 HZ150-1Q3000 型拌和楼, 额定生产能力为 150m³/h, 设计生产能力为 120m³/h, 大坝主体工程区设置 4 座混凝土拌和系统, 各系统内均配置 3 台 HL360-4F4500 自落式拌和楼, 系统综合生产能力 950m³/h。混凝土密度为 2400kg/m³。根据《环境影响评价指南》, 混凝土拌和系统的粉尘排放在无相关措施的情况下为 0.91kg/t 产品。则坝址区临时工程混凝土拌和系统粉尘排放速率为 262.08kg/h, 大坝主体工程混凝土拌和系统粉尘排放速率为

2074.8kg/h（1座）。

混凝土拌和系统中骨料通过胶带密闭运输，搅拌罐等粉尘产生节点上方设有集气罩，粉尘经集气罩收集后经用旋风除尘器一级除尘，先分离粗颗粒，除尘效率高达90%；再用袋式除尘器进行二级除尘，除尘效率可达99.9%，最终临时工程混凝土拌和系统、大坝主体工程混凝土拌和系统（1座）粉尘排放速率分别为0.026kg/h、0.21kg/h。

5.4.3.6 交通扬尘

交通扬尘主要来源于施工车辆行驶，在筹建期、施工准备期、主体工程施工期均有产生。根据相关资料，交通运输扬尘影响程度与路面种类、天气状况及汽车运行速度、载重量等因素有关。运行过程中采取洒水车定时洒水降尘、清扫等措施后，颗粒物去除量可达94%，飘散粉尘量较少。根据施工布置，进场道路和皮带机线路并线段附近分布有东庄小学、侯家原村、中市村和南原村，因此在村庄附近施工时，需采取洒水降尘、降低车速等保护措施，最大程度减少对敏感点环境空气质量的影响；工程交通道路其他区域附近无敏感点，主要可能会对施工人员造成一定的影响。

5.4.4 声环境

施工期工程噪声可分为点源和线源两大类。点源主要是施工爆破噪声源、大坝施工区噪声源、砂石加工系统噪声源、混凝土拌和系统噪声源、进场道路隧洞进出口、施工机械及施工作业噪声源；线源主要是交通运输车辆噪声源。总体可分为施工作业噪声（含砂石料加工系统噪声、混凝土生产系统噪声、施工工厂生产噪声等）、交通运输噪声、施工爆破噪声三类。

上述点声源主要集中在施工区，线声源主要集中在交通运输通道，工程施工时可能会对附近及沿线村庄产生一定不利影响。噪声主要产污环节及时段见表5.4.4-1。

表 5.4.4-1 施工期噪声产污环节分析

工程分区	主要产污时段	噪声类型
皮带机线路区	筹建期（18个月）	施工作业噪声
		交通运输噪声
		施工爆破噪声
坝址区	施工准备期（28个月）	施工作业噪声
		混凝土生产系统噪声
		施工工厂生产噪声
		施工爆破噪声
	主体工程施工期（65个月） 及完建期（21个月）	施工作业噪声
		砂石料加工系统噪声

工程分区	主要产污时段	噪声类型
		混凝土生产系统噪声
		施工工厂生产噪声
		交通运输噪声
		施工爆破噪声
料场区	主体工程施工期（65 个月） 及完建期（21 个月）	施工作业噪声
		砂石料加工系统噪声
		交通运输噪声
		施工爆破噪声

5.4.4.1 施工机械及辅助企业噪声

1. 施工作业噪声

施工作业噪声源主要来自于 TBM 隧道掘进机、挖掘机、空压机、砼搅拌机、振捣机和自卸汽车等机械施工活动。主要开挖机械设备噪声见表 5.4.4-2，各施工期施工作业噪声见表 5.4.4-3。

表 5.4.4-2 主要开挖施工机械设备车辆噪声实测值 单位：dB(A)

噪声源	测试点位置	噪声级
100 型钻机	钻机工操作点	94
YO11A 潜孔钻	驾驶室	98.75
200 型钻机	钻机工操作点	85.7
推土机	1m, 1min	84~99
挖掘机	3m, 10s	83~96
装载机	3m~5m, 10s	83~96
装载机	5m~10m, 10s	82~89
装载机	10m, 10s, 装碎石	82~97
装载机	10m, 10s, 装沙子	81~86

表 5.4.4-3 施工作业噪声产生情况一览表

时段	主要施工活动	噪声产生范围	噪声范围
筹建期	TBM 隧道掘进机、挖掘机、空压机、砼搅拌机、振捣机和自卸汽车等机械施工活动	进场道路和皮带机隧洞进出口施工作业区	70dB(A)~90dB(A)
施工准备期	挖掘机、装卸汽车等机械施工活动	导流洞进出口、弃渣场等施工作业区	70dB(A)~90dB(A)
主体工程 施工期	挖掘机、开挖、出渣、倒渣、土石料回采等机械施工活动	大坝施工区	80dB(A)~110dB(A)
		弃渣场、西碛口料场等施工作业区	70dB(A)~90dB(A)

为减小作业面噪声影响，应合理控制施工时段；必要时在敏感点附近设置隔声屏障。

2. 砂石料加工系统噪声

砂石料加工系统为连续点声源，参照类似工程实测资料，所有设备同时运行声源叠加后作为砂石加工厂的源强，1m 处声强级约为 90dB(A)~110dB(A)。砂石料加工系统附近无敏感点。

3. 混凝土生产系统噪声

混凝土生产系统噪声主要产生于施工准备期和主体工程施工期，为连续点声源，参照类似工程混凝土生产设备噪声实测资料，所有设备同时运行声源叠加后作为混凝土生产系统噪声的源强，1m 处声强级约为 90dB(A)~110dB(A)。

4. 施工工厂生产噪声

施工工厂生产噪声主要产生于施工准备期和主体工程施工期，根据类似水电站工程实际监测数据，机械及汽车修理厂噪声源强一般在 70dB(A)以下。在主体工程施工期，噪声影响较大的钢筋加工厂和木材加工厂，噪声为间歇性点声源，噪声源强在 90dB(A)~110dB(A)之间。施工工厂附近无敏感点。

5.4.4.2 交通运输噪声

交通噪声主要来源于车辆运输。交通噪声属于流动声源，其源强大小与车流量、车速以及路况等因素有关。施工区主要来往车辆为载重量 10t~45t 级自卸汽车，交通运输噪声 85dB(A)~94dB (A)。筹备期进场道路和皮带机修建期间交通运输噪声可能对沿线东庄小学、侯家原村、中市村和南原村产生影响，主体工程施工期进场道路和皮带机线路运输外来物质和砂石料过程中可能会对道路沿线的敏感点声环境产生影响。

5.4.4.3 施工爆破噪声

爆破噪声为瞬间点声源，噪声值一般在 90dB(A)~140dB(A)之间，根据以往工程露天爆破实测资料，爆破噪声的声级较高，瞬时源强高达 130dB(A)左右。

筹备期施工爆破噪声主要来自进场道路和皮带机线路隧洞口开挖及施工爆破，但沿线隧洞口较为分散，爆破炸药用量较小，施工爆破噪声源强相对较小、影响范围较小，经采取合理控制措施后，基本不会对附近居民点产生影响。

施工准备期爆破噪声主要来自坝址及导流洞开挖及爆破噪声，附近无敏感点。

主体工程施工期爆破噪声主要来自坝址区土石方开挖及隧洞施工爆破噪声和料场爆破噪声等。根据施工规划，坝址区、料场区附近 2km 处分别有古贤村和西磴口村、赵家圪垛、张家岭村等居民点，爆破噪声可能会对附近居民点产生一定的影响。

5.4.5 固体废物

固体废弃物包括生活垃圾、建筑垃圾和工程弃渣。

(1) 生活垃圾

根据对黄河流域类似水利工程施工区生活垃圾产生量调查结果,确定施工人员生活垃圾产生量按 0.8kg/人·d 计,业主营地办公人员按 1.0kg/人·d 计。各区各施工时段施工高峰期生活垃圾产生情况见表 5.4.5-1。

表 5.4.5-1 施工期生活垃圾产生情况一览表

工程分区	排放时段	污染源位置	高峰期人数 (人)	生活垃圾产生量 (t/d)	排放情况
皮带机线路施工区	筹建期 (18 个月)	皮带机线路生产生活区	2000	1.6	运送至吉 县垃圾填 埋场
坝址区	施工准备期 (28 个月)	导流等前期工程施工生活区	3000	2.4	
	主体工程施工 期 (65 个月)	业主营地	140	0.14	
		1#施工生活区	1000	0.8	
		2#施工生活区	2500	2	
		3#施工生活区	3000	2.4	
		4#施工生活区	5300	4.24	
		合计	11940	9.58	
料场区	主体工程施工 期 (65 个月)	西磴口料场生活区	2000	1.6	

生活垃圾收集后定期运送至吉县垃圾填埋场。

(2) 建筑垃圾

建筑垃圾主要是临时工程拆除和地面清理产生的砖瓦、混凝土块,以及施工辅助企业生产过程中产生一定数量的报废机械、废旧钢材等。建筑垃圾收集后回收利用或出售至废品收购站资源化回收,不随意丢弃。

(3) 工程弃渣

工程总弃渣量 3718.11 万 m³,其中皮带机线路区 731.06 万 m³,坝址区 2480.79 万 m³,料场区 506.26 万 m³,具体见表 5.4.5-2。如不对弃渣进行防护,弃渣受洪水和水库蓄水影响,可能产生滑塌、泥石流等水土流失危害,流失的弃渣进入黄河,造成淤积。也会造成严重的水土流失及危害,加之当地生态环境脆弱,遭受损坏的植被短期恢复难度较大,势必对当地生态环境造成不利影响。工程弃渣均收集后运送至附近弃渣场。

表 5.4.5-2 工程土石方开挖及弃渣量 单位: 万 m³

分区	时段	工程	开挖量 (松方)	利用量 (松方)	弃渣量 (松方)	入渣 场量	渣场名称
皮带 机线 路区	筹建期	进场道路	573.49	0	573.49	573.49	坝址区 1#渣场、交通沿线 1#、 2#渣场
		皮带机 线路	157.57	0	157.57	157.57	皮带机线路区 2#~12#渣场、进 场道路 1#渣场、西磴口料场渣 场
		合计	731.06	0	731.06	731.06	

分区	时段	工程	开挖量 (松方)	利用量 (松方)	弃渣量 (松方)	入渣 场量	渣场名称
坝址区	施工准备 期、主体工 程施工期	导流工 程、大坝 主体工程	3592.50	1111.71	2480.79	2480.79	坝址区 1#、2#、3#渣场
料场区	主体工程 施工期	西磴口料 场区	523.28	17.03	506.26	506.26	西磴口料场渣场
合计			4846.84	1128.74	3718.11	3718.11	

5.4.6 陆生生态

工程施工对陆生生态环境的影响表现在工程占地对土地资源的影响，施工活动对陆生植被、野生动植物的影响。影响区域包括坝址区、料场区和皮带机线路区。

工程施工总占地面积 797.49hm²，其中永久征地 413.65hm²，临时用地 383.84hm²。工程对陆生生态环境的影响作用因素主要为施工活动，主要包括主体工程、渣场料场工程、存储交通工程以及施工生产生活设施工程等。主要影响包括植被损毁、地形地貌改变使自然资源受到影响；工程开挖及施工噪声可能对附近野生陆生动物栖息与觅食产生一定的干扰，对其生境造成一定影响；施工产生的扬尘对植物生长及动物栖息地造成影响；施工废水、废气及固体废弃物排放使周围环境质量变化而影响动植物生境质量等。

5.4.7 水生生态

施工对水文情势及水环境的改变，如工程施工扰动造成悬浮物浓度升高、基坑排水对河流水质的改变、施工生活废污水排放对河流水质的影响、导流对水文情势影响等会对局部水生生态环境造成影响。

施工期的挡水围堰、导流、截留等工程施工，会造成悬浮物浓度升高，从而影响局部区域河流水生环境；施工增加的悬浮物经过下游河道一定距离后将大量沉降，悬浮物浓度恢复至自然状态。基坑排水亦对河流水质产生污染影响，局部区域水质变化将影响浮游生物的数量和种类组成。但基坑排水主要污染物为悬浮物，本次对其进行处理，悬浮物对水生生态影响有限。

整个施工导流过程中，利用原河床或者导流隧洞下泄来水，坝址河段无断流现象，下泄水量基本无较大变化，对水生生态环境影响有限。

5.4.8 重要敏感区

5.4.8.1 壶口瀑布景观及风景名胜区

(1) 施工导流对壶口瀑布景观影响

建设期 11 年，工程通过原河床、导流洞、排沙底孔等下泄水沙，壶口河段无断流现象。工程施工期不对该河段的水量、沙量进行调控，河段的流量、含沙量与施工前相比基本不发生变化，对壶口瀑布景观不产生影响。初期蓄水的 6 个月为枯水期，下泄流量为 $200\text{m}^3/\text{s}$ ~ $347\text{m}^3/\text{s}$ ，多为清水下泄，瀑布景观与现状年同时期相比不会发生较大改变。

(2) 施工占压及施工活动对黄河壶口瀑布风景名胜区影响

古贤水利枢纽主体工程在壶口瀑布风景名胜区范围以外，由于河道弯曲和两岸山体地形的遮蔽，在壶口瀑布景区视觉范围内看不到大坝及附属建筑物，工程构筑物不会对壶口瀑布景观产生视觉影响。

工程施工进场道路与皮带机运输线路并线方案穿越黄河壶口瀑布风景名胜区（山西），其中进场道路穿越景区总长度为 10.957km，皮带机骨料输送线路穿越景区总长度为 11.042km，穿越涉及景区二、三级保护区，避开了一级保护区。工程主要以隧洞形式通过风景名胜区，对风景名胜区内产生占地和施工扰动，但施工结束后影响基本可以消失。

陕西侧景区内未进行渣场、施工生活区、砼系统等施工布置，仅保留 1 座跨两省的黄河大桥，以及部分 2#、6#进场道路。景区内长度分别为 1.768km、1.623km、0.145km，共计 3.536km，位于三级保护区。景区内生产活动基本不产生生活污水和工程弃渣。主要为施工扬尘、废气对环境空气产生的影响和施工机械噪声对景区产生的影响。

5.4.8.2 自然保护区

根据工程可研，本次所有工程内容均避开了自然保护区。工程施工进场道路与皮带机输送线路并线方案距离管头山省级自然保护区边界最近距离为 2km，工程坝址、库区距人祖山省级自然保护区最近距离分别为 18km、9km。工程与自然保护区相对位置关系见图 5.4.8-1。

本次施工进场道路与皮带机输送线路距离管头山省级自然保护区较近，本次工程占

地区及周边区域的植被以灌丛和草地、大面积农田及果园为主，并非保护动物的适宜生境，工程对其影响有限。

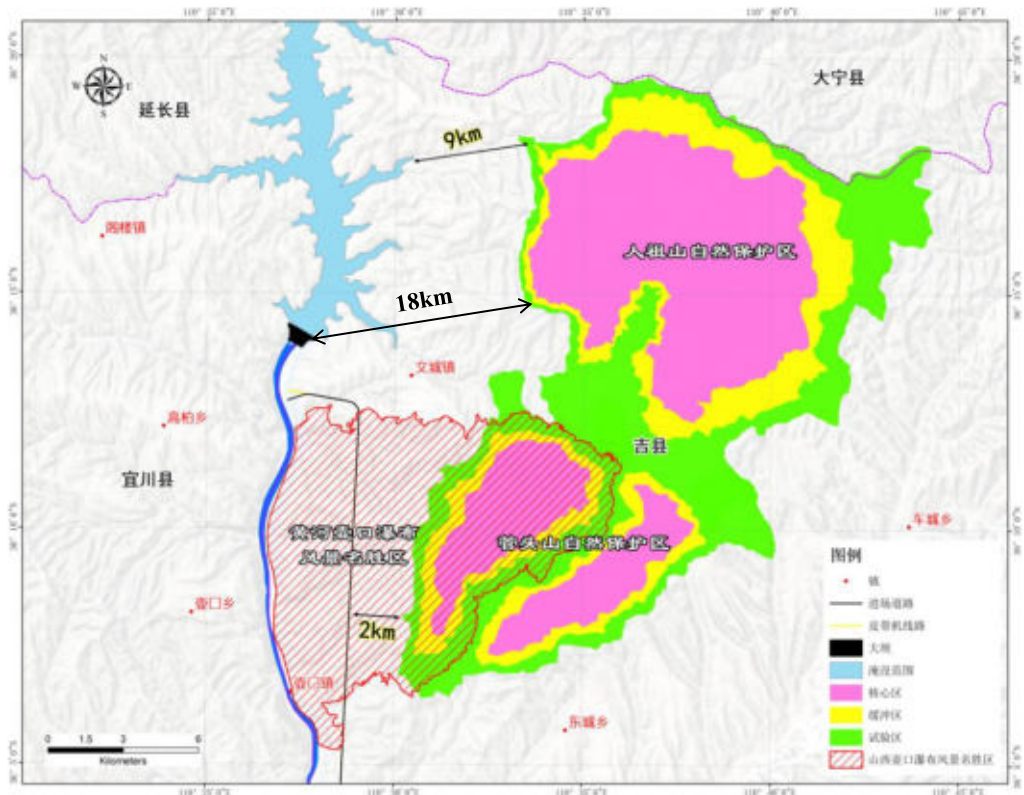


图 5.4.8-1 工程与环境敏感区相对位置关系

5.4.9 其他影响

1. 人群健康影响

本工程施工高峰期人数较多，居住较为集中，人口流动性较强，施工人员劳动强度大，且施工区易形成积水坑和卫生死角，利于蚊蝇滋生，加之临时生活区条件较差，容易引发各类疾病，对施工人员和当地居民健康产生一定影响。

2. 社会环境影响

本工程建设需要投入大量建筑物资与劳动力，其中部分来自当地。大量的材料需求，将成为当地经济强有力的推动力，刺激当地经济发展；同时也创造了大量的就业机会，有利于解决就业、增加群众收入、提高生活水平。

枢纽建设期大量施工人员的生活需求将主要由当地农产品及服务满足，将极大促进地方农业、餐饮业和其它服务业的发展，有利于地方农业产业结构调整 and 第三产业的快速发展。工程施工对外交通道路将改善当地的交通状况，同时可改善通信等设施。

5.4.10 施工期污染类影响源强汇总分析

根据上述不同施工阶段的环境影响因素源强分析, 汇总古贤水利枢纽工程施工工期污染类影响源强如下, 详见表5.4.10-1。

表 5.4.10-1 古贤水利枢纽工程施工工期环境影响源强汇总表

施工区域	施工时段	主要工程	影响要素	影响源	源强产生量	源强排放情况
皮带机线路施工区	工程筹建期	进场道路和皮带机线路施工	地表水环境	施工生活污水	160m ³ /d	不外排
				混凝土养护废水	128m ³ /d	不外排
			环境空气	机械燃油废气	NO ₂ 、CO、SO ₂ 、碳氢化合物分别为 646.7t、393.29t、47.19t、64.67t	采用高质量燃油、燃料, 加强维修保养, 减少排放
				爆破粉尘及废气	TSP、NO _x 、CO、其它有害气体排放量分别为 72.5t、22.14t、60.54t、9.06 万 m ³	采用先进工艺, 洒水, 减少排放
				交通扬尘	21.32kg/km.h	洒水, 减少排放
				施工作业面扬尘	19.44×10 ⁻⁵ g/s.m ²	洒水, 减少排放
			声环境	施工机械噪声	70~90dB(A)	/
				交通运输噪声	85~90dB(A)	/
				施工爆破噪声	90~100dB(A)	/
			固体废弃物	生活垃圾	1.6t/d	入吉县垃圾填埋场
				工程弃渣	731.06 万 m ³	入渣场
坝址施工区	施工准备期	左右岸坝肩(高程 470m 以上)开挖与支护、施工导截流	地表水环境	施工生活污水	240m ³ /d	不外排
				混凝土养护废水	16m ³ /d	不外排
				机械冲洗及保养废水	28.8m ³ /d	不外排
			环境空气	混凝土拌和系统粉尘	262.08kg/h	0.026kg/h
				交通扬尘	58.22 kg/km.h	洒水, 减少排放
			声环境	施工机械及辅助企业生产噪声	70~110dB(A)	/
				交通运输噪声	85~90dB(A)	/
				施工爆破噪声	90~140dB(A)	/
			固体废弃物	生活垃圾	2.4t/d	入吉县垃圾填埋场
	主体工程施工期及完建期	围堰工程、大坝工程、厂房工程及导流洞封堵、土石方施工、混凝土施工、砂石料加工、料场开采	地表水环境	施工生活污水	955.2m ³ /d	不外排
				砂石料加工系统废水	920m ³ /h	不外排
				混凝土养护废水	192m ³ /d	不外排
				机械冲洗及保养废水	99.2m ³ /d	不外排
				基坑废水	经常性排水最大强度约为 9290m ³ /h	沉淀静置后抽排至黄河
			环境空气	机械燃油废气	NO ₂ 、CO、SO ₂ 、碳氢化合物分别为 4353.14t、2647.37t、317.68t、435.31t	采用高质量燃油、燃料, 加强维修保养, 减少排放
				爆破粉尘及废气	TSP、NO _x 、CO、其它有害气体排放量分别为 390t、119.11t、325.65t、48.75 万 m ³	采用先进工艺, 洒水, 减少排放
				砂石骨料加工系统粉尘	195kg/h	0.12kg/h
				混凝土拌和系统粉尘	2074.8kg/h	0.21kg/h

施工区域	施工时段	主要工程	影响要素	影响源	源强产生量	源强排放情况
				交通扬尘	91.02kg/km.h	洒水, 减少排放
				施工作业面扬尘	19.44×10 ⁻⁵ g/s.m ²	洒水, 减少排放
			声环境	施工机械及辅助企业生产噪声	70~110dB(A)	/
				交通运输噪声	85~90dB(A)	/
				施工爆破噪声	90~140dB(A)	/
			固体废弃物	生活垃圾	9.58t/d	入吉县垃圾填埋场
				工程弃渣	2480.79 万 m ³	入渣场
料场施工区	主体工程 施工期	料场开采、砂石料加工、弃渣	地表水环境	施工生活污水	160m ³ /d	不外排
				砂石料加工系统废水	16m ³ /h	不外排
				机械冲洗及保养废水	72m ³ /d	不外排
			环境空气	机械燃油废气	NO ₂ 、CO、SO ₂ 、碳氢化合物分别为 1867.7t、1135.85t、136.3t、186.77t	采用高质量燃油、燃料, 加强维修保养, 减少排放
				爆破粉尘及废气	TSP、NO _x 、CO、其它有害气体排放量分别为 600t、183.24t、501t、75 万 m ³	采用先进工艺, 洒水, 减少排放
				砂石料加工系统粉尘	230kg/h	0.14kg/h
				交通扬尘	17.22kg/km.h	洒水, 减少排放
				施工作业面扬尘	19.44×10 ⁻⁵ g/s.m ²	洒水, 减少排放
			声环境	施工机械及辅助企业生产噪声	70~110dB(A)	/
				交通运输噪声	85~90dB(A)	/
				施工爆破噪声	90~140dB(A)	/
			固体废弃物	生活垃圾	1.6t/d	入吉县垃圾填埋场
				工程弃渣	506.26 万 m ³	入渣场

5.5 工程运行影响源项分析

古贤水利枢纽运行对环境的主要作用因素为库区淹没、大坝阻隔和枢纽调度运行, 影响的范围为库区、坝址-三门峡河段及黄河下游河段, 影响的环境要素为: 地表水环境、地下水环境、湿地、陆生生态、水生生态、重要环境敏感区等。

5.5.1 水文泥沙情势

5.5.1.1 水文情势

1. 库区

工程运行蓄水后, 在较大程度上改变了原天然河道的水域形态, 库区河段(吴堡-坝址)水位、水深、水面宽度、水面面积、流速发生变化。

水位: 建库后水库水位不断抬升。拦沙初期(第1年~7年), 水库水位在 560m~588m 之间变化; 拦沙后期(第8年~20年), 水库水位在 560m~607.4m 之间变化; 拦沙后期

（第 21 年~38 年）水库水位在 588m~620.9m 之间变化；正常运用期（第 39 年后），水库水位在 588m~627m 之间变化，其中 627m 高水位在此期间出现的平均时间为 2 天/年，仅占全年的 0.5%。

水深：原河道水深 2m~3m，随着运行期水位抬升，库区水深随之增大，其中坝前水深增加最大，坝前向库尾方向沿程水深增加幅度不断变小，至库尾水深恢复至天然水平。

水面宽度：库区位于北干流河段，原河道为峡谷河段，水面宽约 130m~500m。水库蓄水后水面宽度增大，自库尾至坝前总体呈现上窄下宽的特点。

水面面积：随着水面宽度的增大，库区水面面积较天然河道状态有所增加，当正常蓄水位 627m 时，水面面积 219.16km²，较天然情况下水面增大 2 倍~3 倍。

流速：随着蓄水后库区水面宽度及水深、水面面积的增大，库区将由河流的急流形态转变为水库的缓流形态，水体流速较原天然河道状态有明显降低，且年内流速变化幅度显著减小，距离坝址越近，减小程度越大。

以上水位、水深、水面面积、流速的变化，使库区水文情势变化明显。

2. 坝址~三门峡河段

古贤水库为不完全年调节，工程的调度运行直接对坝址-三门峡河段流量年内分配产生影响，其中坝址-潼关河段河段影响最大。

非汛期（11 月~6 月）基本为等流量下泄，月均流量主要集中在 400m³/s~600m³/s；6 月底，视水库蓄水情况，相机进行人工造峰，调水调沙，下泄流量为 3000m³/s~4000m³/s 左右。汛期（7 月~10 月）下泄流量为 400m³/s~600m³/s 或 3000m³/s~4000m³/s，呈两极分化状态。当来水小于 600m³/s 时，凑泄流量，以 400m³/s~600m³/s 下泄；当来水大于 600m³/s 但不满足一次调水调沙水量时，蓄水运用，仍以 400m³/s~600m³/s 下泄；当水库蓄水较多、满足一次调水调沙水量时，进行造峰调水调沙运用，下泄流量为 3000m³/s~4000m³/s 左右。总体来讲，汛期平均流量比建库前均有所减少，非汛期平均流量比建库前有所增加。

3. 小浪底以下河段

古贤工程对小浪底以下河段水文过程的影响为间接影响，该河段的水文情势变化直

接受控于小浪底水库。

当前小浪底水库拦沙库容已淤积 33.4 亿 m^3 ，水库运用已处于拦沙后期，按照设计条件 2035 年左右拦沙库容将淤满。古贤水库运用后，可在小浪底水库需要冲刷恢复调水调沙库容时，为其提供水流动力条件，从而延长小浪底水库拦沙运用年限、长期保持一定的调节库容。

古贤水库运行后，小浪底水库的运行方式不会发生大的改变，下游河段水文情势整体上与现状相比基本不发生较大变化。

5.5.1.2 泥沙情势及河道冲淤

1. 库区

根据工程可研，水库蓄水后，库区干流水面变宽、流速减缓，泥沙不断沉降淤积，主要呈三角洲淤积形态。拦沙初期泥沙淤积主要集中在水库中部，库尾段及坝前段淤积较少；拦沙后期，泥沙主要淤积在坝前 50m 范围内；进入正常运用期后，水库达到淤积平衡状态，将形成较为稳定的淤积形态，具有高滩深槽的特征。

2. 坝址~三门峡河段

受水库拦沙、调水调沙的影响，坝址-三门峡河段泥沙情势、河道冲淤将发生较大的变化。其中禹门口-潼关河段受影响明显。

泥沙：拦沙初期，由于水库拦沙，主汛期出库沙量及含沙量较入库大大减少。拦沙后期，主汛期出库沙量及含沙量较拦沙初期增加。正常运用期，水库基本冲淤平衡，主汛期要将非汛期淤积的泥沙排出库外，因而，汛期出库沙量、含沙量较入库为大。

河道冲淤：小北干流河段为游荡型河段，古贤工程的作用之一为通过水库拦沙、调水调沙运用，降低潼关高程（最大冲刷下降 2.15m），从而改善小北干流河段防凌防洪形势，减轻渭河下游的防洪负担。此目标实现的同时，可能造成小北干流河段冲刷加深，河床下切，平滩流量增加，漫滩几率减少。

3. 小浪底以下河段

古贤水利枢纽工程的建设，是处理黄河泥沙、减轻黄河下游河道淤积、确保黄河长治久安的重大战略措施。根据可研，古贤水库与小浪底水库联合调度，可协调黄河下游河道水沙关系，在 60 年内，下游河道减淤 74.14 亿 t，下游整体平滩流量有 51 年达到

或超过 $4300\text{m}^3/\text{s}$ ，较无古贤水库增加 40 年。进而有效地协调黄河水沙关系，减少黄河下游河道淤积，较长时期维持中水河槽行洪输沙功能，有利于黄河下游防洪安全。

5.5.2 水环境

5.5.2.1 水温

随着水库蓄水和工程运行，库区河段水位抬升，由河道型转为深水湖库型，水文过程及河道边界条件发生变化，产生水温分层，从而引起库区、坝下水温的变化。不同运行期河道边界条件不同，影响可能不同。水温影响范围主要为吴堡～坝址库区河段和坝址～潼关的黄河干流河段。

1. 库区

采用 $\alpha-\beta$ 法来初步判别水库水温结构。经判别，初步判断拦沙初期、拦沙后期、正常运用期水库的水温分层结构依次为稳定分层型、稳定分层型、混合型。库区水体水温可能会发生显著的变化，表现为明显的春夏季下泄低温水和秋冬季下泄高温水效应。

2. 坝下河段

由于库区水温发生显著变化，坝址下游河段水温将相应产生一定变化，可能影响河段为坝址～三门峡的黄河干流河段。

下游河段水温变化与库区的变化趋势基本相似，即表现为明显的春夏季下泄低温水和秋冬季下泄高温水效应，随着距离坝址长度的增加，沿程水温逐渐恢复至天然水平。其中坝址到龙门水文站区间河段（72km）为峡谷河段，比降大，水温恢复缓慢；龙门到潼关水文站区间河段（132km）河宽大，水深浅，水温沿程恢复较快。

坝下河段水温变化可能对鱼类的产卵繁殖、下游壶口冰瀑景观产生一定影响。

5.5.2.2 水质

工程运行后库区、坝下河段水文过程、河道边界条件的变化，将对库区、坝址～三门峡河段水质产生一定影响。

1. 库区

水库建设使河道变为水库，壅水使回水区域内水位抬高、过水断面增大、水深增加，水体容积相应增大，同时库区河段泥沙淤积、流速减缓。一方面，水体容积增大和流速减缓使水力停留时间增长，泥沙的吸附沉降和水体对污染物降解能力变大，对库区水体

产生一定的有利影响；另一方面，库区河段的水流由流动状态变为近似静止状态，不利于水体充氧和有机物扩散迁移，部分支流入口局部水域污染物浓度将有所升高，水质可能变差，富营养化发生几率可能增加。

2. 坝址下游河段

库区水质的变化，可能导致坝址下游河段水质改变；同时，坝址下游流量、含沙量、河道边界条件的变化，改变了下游河段的水动力学条件，也会对该河段水质等产生影响。

5.5.2.3 地下水

1. 库区

古贤水利枢纽工程正常蓄水位为 627m，库区水位的抬升在一定程度上造成周边地下水水位上升。库区两侧地下水分水岭远高于水库正常蓄水位，水库蓄水前后，可能对库区周边地下水补给、径流与排泄条件、地下水水位产生一定影响。

2. 坝址下游河段

古贤水库调度运行改变坝址下游河道来水过程，引起小北干流河段河床下切，从而会引起河道两侧一定范围内地下水位发生变化，可能对小北干流河段两侧湿地、山西运城蒲州地下水水源地地下水水位造成一定影响。

5.5.3 陆生生态

工程运行期对陆生生态的影响区域主要分布于库区及周边区域、工程永久占地区（包括主体工程区、永久办公生活区、交通道路区及移民安置区等）、坝址下游河道影响区。重点影响区域为库区和坝址区。主要是工程淹没及永久占地对土地利用、陆生植物及陆生动物的影响。

1. 土地利用影响

古贤水库淹没将引起库区土地利用类型面积的变化。河道外水库淹没区域现状土地利用类型以耕地、草地、林地为主，水库淹没后，各土地利用类型全部变为水域，使淹没区土地利用结构发生根本性改变，影响不可避免。其中占用耕地将使占地区的农作物及经济作物的产量减少，对相关乡镇的农业生产造成一定影响；占用草地将破坏地表植被，降低草地生物量和生产力，并迫使生活在占地区域的动物迁移。

2. 陆生生物影响

(1) 陆生植物

工程运营期对植被的影响主要发生在工程永久占地区、库区、水库周边区域。其中对永久占地区的影响主要为工程永久占压对植被的影响；对库区的影响主要为水库蓄水对库区植被的淹没影响；对库区周边植被的影响主要为水库蓄水对库区周边水资源及气象等条件改变引起的植被生产的变化影响。

其中，最主要是对库区的影响。水库蓄水后，将淹没库区内山坡、河滩地上部分植物资源，带来一定植物生产力损失。

(2) 陆生动物

建库后，岸边、河谷地带现有的野生动物生境将被淹没，将使得陆生动物的栖息地相对缩小；工程蓄水后由于原分布区生境被部分破坏，导致河谷区域动物向上迁移，而以其为食的动物会受到食物分布变化的间接影响；大面积水域的出现，有利于湿地的形成及水生植物和挺水植物的生长，在一定程度上可扩大湿地鸟类及水鸟的生境和食物来源，有利于其生存与繁育；另外，永久道路对陆生动物可能产生一定的阻隔，交通运输噪声可能对沿线陆生动物产生一定的惊扰。

5.5.4 水生生态

水文情势变化和大坝阻隔将对库区及坝址下游河段鱼类产生影响，影响范围主要集中在吴堡~潼关河段。

1. 水库调度运行

库区：工程运行后，吴堡-坝址河段由原来的自然河道变为库区河段，库区水流变缓、水深增加、流水生境压缩，水文情势将发生较大变化。库区河段原适应于底栖、流水的鱼类将逐渐迁移至库尾以上干流及库区支流，而适应于缓流或静水环境生活的鱼类种类、数量在库区将上升，鱼类种类组成将由“河流型”逐步向“湖泊型”演变。

坝址~潼关：水库建成运行后，水文情势的改变和低温水下泄对坝址下游鱼类生境会产生一定影响。水库运行后低温水下泄可能造成产卵期推迟，水文情势及水位变化可能会对鱼类产卵及鱼类早期发育产生影响。

2. 大坝阻隔

古贤工程的建设，将原有河段分割成不连续的环境单元，将对鱼类的洄游、基因交

流等产生影响。本次工程坝址位于壶口瀑布上游 10.1km 处，因壶口瀑布已经在该河段形成了黄河鱼类上溯的天然阻隔，工程带来的阻隔影响仅限于坝下 10.1km 河段的鱼类。

5.5.5 小北干流河段湿地

古贤水利枢纽坝址下游 72km 处为小北干流河段，该河段属典型的堆积游荡型河道，河势游荡摆动，使得泥沙大量沉积，形成了特殊的沿河洪漫湿地。该湿地是以黄河为依托的沿河洪漫湿地，黄河是该湿地生态系统形成、发育和维持的重要因子。

古贤水库运行后，通过改变小北干流河段河势、水文过程和漫滩洪水等湿地水源补给条件，从而对河段湿地及鸟类栖息生境等产生一定影响。工程运行后，小北干流河段小流量过程基本消失，维持了湿地与黄河良好的水力联系。同时，河床下切使得平滩流量增加、漫滩几率减少，对湿地水源补给较为不利，可能会对湿地及鸟类产生一定影响。

5.5.6 黄河下游及黄河河口湿地

1. 黄河下游湿地

黄河下游湿地的形成与黄河下游河道形态、河势关系密切。其中黄河花园口至高村河段的游荡型河段内由于黄河摆动范围广，湿地面积广阔，是黄河下游湿地的主要发育区。上世纪 90 年代，受黄河断流影响，黄河下游河流湿地萎缩严重；近年来，随着小浪底水库建设运行及全河水量统一调度，黄河下游生态环境得到恢复，湿地面积逐渐趋于稳定。

古贤水库建成后，一方面，可以基本维持小浪底现有调度运行方式，使黄河下游的水文情势、泥沙淤积等基本不发生大的改变，对下游湿地生态系统不会产生较大影响；另一方面，古贤水库可以与小浪底水库开展联合调度，提高黄河下游枯水年、（特）枯水期和敏感期生态流量满足程度。

2. 黄河河口湿地

黄河河口处于海陆生态交错区，其中具有重要生态功能的淡水湿地主要分布在清水沟现行流路两侧，也是受黄河水沙变化影响的主要区域。古贤水利枢纽建成运行后，可以延长小浪底水利枢纽工程的运用期限，维持小浪底现有调度运行方式，下游的水文情势基本不发生大的改变，利津断面的基本生态流量满足程度在枯水年枯水期有所提高；

另一方面，增强了黄河流域的水资源调控能力，联合小浪底水利枢纽工程，在保障生态基本流量的基础上，进一步优化调度方案，为保障生态关键期生态水量提供工程调度条件。

5.5.7 重要敏感区

5.5.7.1 壶口瀑布景观

壶口瀑布观瀑效果与所在河段的流量、含沙量、水温、流速等水沙条件以及气温、光线、气象条件等外环境条件密切相关。

古贤水利枢纽建成运行后，瀑布河段流量、含沙量、水温、流速等要素将发生一定变化，进而对壶口瀑布的形态规模、颜色、声音气势、冰瀑布和地质条件产生一定影响。

古贤水利枢纽运行期对壶口瀑布景观影响因素具体见表 5.5.7-1。

表 5.5.7-1 古贤水利枢纽运行期对壶口瀑布景观影响因素分析一览表

影响因素	影响对象	影响途径	影响程度
流量 (流速)	瀑布形态和规模	工程调控在一定程度上改变壶口河段不同时期的流量过程，不同流量级别下壶口瀑布规模不同	工程方案不优化条件下，流量变化对壶口瀑布形态、规模的影响显著，单一化严重。 采取工程优化调度方案后，可保证现状年瀑布形态、规模的多样性得到保留，但各类型瀑布规模出现的几率发生变化。
	瀑布声音气势	工程调控在一定程度上改变壶口河段不同时期的流量过程，不同流量级别下壶口声音气势不同	采取工程优化调度方案后，流量范围与现状年差别不大，壶口瀑布声音、气势不会发生显著变化。
	瀑布地质条件	工程建设对该河段水体流速、含沙量的改变会对壶口瀑布造瀑面等地质形成条件产生一定影响	工程建设了消能水垫塘，消除了水体从高空落下的势能，水流出水垫塘后，流速基本变为自然的缓流状态，影响程度总体不大。由于下泄水流含沙量总体有所减少，将减少水流对造瀑面的磨蚀。
含沙量	瀑布颜色	工程在一定程度上改变壶口河段不同时期的含沙量，不同含沙量级别下壶口瀑布颜色不同	受水库拦沙、水沙调控作用影响，对瀑布颜色影响显著，表现在清水瀑布出现天数明显增加，有色瀑布出现天数有所减少。可在壶口河段采取补沙等措施，尽量减小对壶口有色瀑布影响。
	瀑布地质条件	水体含沙量减少，水库清水下泄的天数增加，可能对基岩河床的磨蚀度有一定影响	在一定程度上减少对基岩河床的磨蚀，影响程度总体不大。
水温	冰瀑景观	库区水温分层，水库下泄水温与建库前相比有较大差别，冬季下泄水温有所上升，水温的升高对冰瀑景观的形成有一定影响	冬季水温升高，水温变化对冰瀑景观有一定影响。河水不再结冰，不再发生冰灾，两岸已经形成的冰挂不会被覆盖，可以增加冰挂持续时间。

5.5.7.2 地质公园

1. 黄河蛇曲国家地质公园（含黄河乾坤湾省级风景名胜区）

黄河蛇曲国家地质公园位于古贤坝址上游约 50km，两省分别成立了山西永和黄河蛇曲国家地质公园和陕西延川黄河蛇曲国家地质公园，主要核心景观为河流蛇曲地貌和

地质构造遗迹。黄河乾坤湾省级风景名胜区与山西永和黄河蛇曲国家地质公园范围相同。古贤库区回水长度 202.1km，将对黄河蛇曲国家地质公园、黄河乾坤湾省级风景名胜区内蛇曲地貌等地质遗迹和人文景观产生一定淹没影响。

2. 陕西省无定河曲流群地质公园

陕西省无定河曲流群地质公园位于古贤坝址上游约 120km 处，古贤水库蓄水将对该地质公园内曲流群等地质遗迹和人文景观产生一定淹没影响。

3. 壶口瀑布国家地质公园

黄河壶口瀑布国家地质公园主要地质遗迹景观为壶口瀑布和十里龙槽。工程主体工程 and 附属工程均不涉及壶口瀑布国家地质公园，工程对壶口瀑布国家地质公园的影响主要为水文情势变化对壶口瀑布、十里龙槽地质遗迹的影响。对壶口瀑布的影响基本同 5.5.7.1 节，对十里龙槽的影响主要为流量、含沙量的改变对壶口地质遗迹溯源侵蚀的影响。

5.5.8 局地气候

水库蓄水后，库区河段水面面积增大，河道外下垫面由原来的陆面变为水面。由于陆面和水面在净辐射、热容量、湿度等物理性质方面的差异，将对库区及周边地区的局地气候产生一定的影响。

5.5.9 管理人员

1. 生活污水

运行期生活污水主要来自古贤水利枢纽现场管理机构工作人员。工程管理人员 345 人，生活供水每人 100L/人·d 计算，污水排放系数取 0.8，生活污水日排放量 27.6m³/d。产生的生活污水通过管道，连接至施工期营地设置的污水处理站，处理达标后用于绿化、降尘用水，不会对区域水环境造成不利影响。

2. 固体废物

电站运行期产生的固体废物主要为电站生活、办公区的生活垃圾，工程管理人员接纳量为 345 人，生活垃圾以 1.0kg/人·d 计，则电站生活办公区日产生固体废物量为 0.345t/d。

5.6 移民安置影响源项分析

工程规划水平年搬迁安置人口 15530 人，均在水库淹没影响区，其中山西省 7589 人，陕西省 7941 人。采用集中安置、分散安置两种方式。本工程共规划建设 28 个集中居民点，1 个随集镇迁建集中居民点，共 29 个集中安置点，安置移民 11254 人。分散安置移民 4276 人，选择在淹没范围外本村或本组其他居住区内分散插迁建房安置，或者选择在城（集）镇自主分散安置。移民安置区房屋以及相关基础设施建设过程中，土石方的开挖、填筑以及移民房建过程中，将产生扬尘、固废等污染物，并存在水土流失的隐患。农村移民日常生活将产生部分生活污水和生活垃圾。

本工程规划水平年农村生产安置人口为 13014 人，生产安置规划采用土地调整、农田基本建设规划（坡改梯、土地平整和土壤改良、农田水利措施）、种植业规划、林果业规划、生产技术培训等措施，其中土地开发整理将对整理区产生一定扰动，并对区域生态环境产生一定影响。

专业项目（交通工程、电力工程、通信工程、水利水电工程、企事业单位等）复建过程中，将产生污废水、扬尘、固废等污染物，不可避免地扰动地表，对周边生态环境产生一定影响。

5.6.1 生态环境

移民安置期生态环境影响源主要是生产开发、居民点建设、专项设施复建过程中的占地、开挖、场地平整等。

1. 生产开发

生产安置人口采取调整土地的生产安置方式，不会对生态环境造成不利影响。

2. 居民点建设

工程 29 个集中安置点的开挖、回填、占地等将损毁植被，造成陆生植物减少，并对陆生动物栖息地产生一定影响。居民点建设过程中如不采取水土保持措施，将会造成新的水土流失。

3. 专项设施处理

库周交通复建规划道路 20 条共 182.58km，复建公路占用地类多为灌木林地、旱地等，将会减少区域植被数量和降低植被覆盖率；道路开挖边坡坡度较大，如不对边坡采

取措施，以及弃渣乱堆乱放，将会新增水土流失，对区域环境产生一定影响。

5.6.2 水环境

移民安置对水环境产生影响主要来自生活污水。评价取项目区移民用水量按 120L/人计算，污水排放量取用水量的 0.8。

29 个规划移民集中安置点排放生活污水范围为 $9.31\text{m}^3/\text{d} \sim 297.5\text{m}^3/\text{d}$ ，总排放量 $1168.98\text{m}^3/\text{d}$ ；生活污水主要污染物为 COD、BOD₅、氨氮和 SS，排放浓度分别为 300mg/L、150mg/L、35mg/L、200mg/L，主要污染物排放量中 COD $350.70\text{kg}/\text{d}$ 、BOD₅ $175.35\text{kg}/\text{d}$ ，氨氮 $40.91\text{kg}/\text{d}$ 、SS $233.80\text{kg}/\text{d}$ 。

分散后靠安置的移民生活污水量较小且分散，对水环境影响很小。集中安置区生活污水量相对较大且集中，如不经处理直接排放，将影响周边水体水质。

安置点水污染源负荷见表 5.6.5-1。

5.6.3 声环境

移民安置、专项设施复建对声环境影响主要来自于建设期机械设备和运输车辆运行等噪声，机械设备主要有挖掘机、小型混凝土搅拌机、起重机、振捣器、夯土机等。上述设备作业时噪声排放方式为间歇性排放，声源较大的机械设备声级约 84dB（A）～90dB（A）。影响主要发生在集中安置点、公路复建区、农田防护工程区等。

5.6.4 大气环境

大气环境影响主要来自移民安置和复建公路建设期，主要发生在集中安置点迁建、公路复建等施工强度较高区域。集中安置点建设、公路复建过程中的机械设备施工活动会产生一定量的废气和粉尘，可能会对施工人员和安置点居民带来一定影响。

5.6.5 固体废物

移民安置区固体废物对环境影响主要来自于移民安置后生活垃圾的影响。安置区生活垃圾产生量按 $0.8\text{kg}/\text{d} \cdot \text{人}$ 计算，生活垃圾产生量 $9.74\text{t}/\text{d}$ 。安置点生活垃圾负荷见表 5.6.5-1。

表 5.6.5-1 规划移民集中安置点水污染源、固体废物负荷

序号	行政区域				集中安置点名称	安置规模		污水量 (m³/d)	垃圾量	
	省	县	乡镇	行政村		户数	人口		日产垃圾量 (kg)	年产垃圾量 (t)
1	山西省	大宁县	太古乡	六儿岭村	平渡关	32	113	10.85	90.4	33.00
2		永和县	阁底乡	高家塬村	佛堂	26	99	9.50	79.2	28.91
3				阴德河村	阴德河	137	465	44.64	372	135.78
4			打石腰乡	于家圪村	河汾里	100	362	34.75	289.6	105.70
5				李家垣村	直地里	28	97	9.31	77.6	28.32
6			南庄乡	刘家圪崂村	永和关	66	228	21.89	182.4	66.58
7		柳林县	三交镇	/	三交镇坪上村	/	3099	297.5	2479.2	904.91
8			高家沟乡	宋家寨村	宋家寨	55	219	21.02	175.2	63.95
9			石西乡	上庄村	上庄	74	265	25.44	212	77.38
10				石西村	石西	40	150	14.40	120	43.80
11	陕西省	延长县	雷赤镇	凉水岸村	凉水岸	45	130	12.48	104	37.96
12		延川县	乾坤湾镇	碾畔村	伏羲河	154	465	44.64	372	135.78
13			延水关镇	伏寺村	伏寺 1	89	298	28.61	238.4	87.02
14					伏寺 2	63	215	20.64	172	62.78
15				石佛村	苏亚	193	621	59.62	496.8	181.33
16				新胜古	高家畔	109	332	31.87	265.6	96.94
17				延水关村	王家渠	86	244	23.42	195.2	71.25
18					延水关	231	693	66.53	554.4	202.36
19				冯家崖村	冯家崖	106	321	30.82	256.8	93.73
20				贺家河村	贺家河	198	580	55.68	464	169.36
21			清涧县	双庙河服务中心	贺家畔村	贺家畔	78	269	25.82	215.2
22		郭家河			84	269	25.82	215.2	78.55	
23		玉家河镇		王家河村	王家河	150	548	52.61	438.4	160.02
24		高杰村镇		河口村	河口	229	834	80.06	667.2	243.53
25		石盘服务中心		上坪村	上坪	53	139	13.34	111.2	40.59
26		绥德县	定仙碛镇	界首村	子房沟、西沟	62	211	20.26	168.8	61.61
27					渠里、后店	193	615	59.04	492	179.58
28			枣林坪镇	沟口村	沟口	34	115	11.04	92	33.58
29				河底村	河底	57	181	17.38	144.8	52.85
合计							12177	1168.98	9741.6	3555.7

由于农村垃圾组成十分复杂，所含化学元素很多，主要以碳、氢、氧、氮为主，此外还有少量的有毒有害物质。如垃圾无固定堆放场所，若不进行必要的处理，如遇大雨，垃圾将会被冲入水体，不仅会对水体水质产生一定影响，还会对安置区的生活条件和环境卫生产生不良影响，从而为蚊蝇的孳生提供了条件，有可能引起传染性疾病的流行。

5.7 工程环境影响识别和重点环境要素的筛选

5.7.1 工程环境影响因素识别

总体上看，工程产生了较大的社会、环境、生态效益，同时也带来了一定的环境不利影响。工程的影响范围主要集中在黄河中下游河段，影响是长期的。主要影响的环境要素是水文情势、水环境、水生生态、陆生生态、湿地，以及对环境敏感区影响。水库建设与运行期的环境影响识别见表 5.7.1-1。

表 5.7.1-1 工程环境影响识别矩阵

影响因素			自然环境											社会环境			环境敏感区				
			水文	水温	水质	地下水	陆生植物	陆生动物	水生动物	环境空气	声环境	土地占用	水土流失	灌溉	自然景观	人群健康	经济发展	黄河壶口瀑布风景名胜区、黄河壶口瀑布国家地质公园	黄河蛇曲国家地质公园、陕西省清涧无定河曲流群地质公园、黄河乾坤湾风景名胜区	小北干流河段湿地	黄河下游和黄河河口湿地
工程作用因素	筹建期及施工准备期	场地平整				▽	▽		▽	▽	▼	▼									
		施工交通				▽	▽	▽		▽	▽	▽	▽					▽			
	主体施工期及完建期	料场开采				▽	▽	▽		▽	▽	▼	▼								
		主体施工	▽		▽		▽	▽	▽	▽	▽	▼	▼		▽						
		施工场地					▽	▽		▽	▽	▽									
		施工人员			▽		▽	▽								▽					
		附属工厂									▽										
		弃渣场					▽					▽	▽		▽						
	淹没与占地						▼	▽				▼	▽		▲				▼		
	运行期	运行调度	▼	▼	▽	▽	▽		▽					▲			▲	▽		▽	—
		大坝阻隔							▽												
		工程管理			▽							▽		▲							
	移民安置	移民安置			▽		▽	▽				▽	▽								
公用设施						▽						▽	▲			▲					
专项迁建						▽	▽		▽	▽	▽	▽	▽	▽							
影响区域		库区	√	√	√	√	√	√			√			√			√		√		
		工程建设区				√	√	√		√	√	√	√		√	√		√			
		坝址下游区	√	√	√	√			√					√			√	√		√	√

备注：▼显著不利影响 ▽较小不利影响 ▲显著有利影响 △较小有利影响 — 无明显影响 √影响区域

5.7.2 重点环境要素的筛选

通过环境影响识别，筛选出以下内容作为本次环境影响评价工作的重点内容：

- (1) 水文泥沙情势影响分析；
- (2) 生态流量及保障程度分析；
- (3) 水环境影响分析；
- (4) 山西永和黄河蛇曲国家地质公园（黄河乾坤湾风景名胜区）、陕西延川黄河蛇曲国家地质公园影响分析；
- (5) 壶口瀑布景观影响分析；
- (6) 小北干流湿地影响分析；
- (7) 黄河下游和黄河河口湿地影响分析；
- (8) 水生生态影响分析；
- (9) 施工期环境影响分析。

第六章 黄河水沙调控环境影响回顾评价

黄河水少沙多、水沙异源，水沙关系不协调是黄河复杂难治的根本症结。要保障黄河长久安澜，必须要紧紧抓住水沙关系调节这个“牛鼻子”。古贤水利枢纽工程是黄河水沙调控体系的重要组成部分，目前黄河已建的龙羊峡、刘家峡、三门峡、小浪底等大型水利枢纽工程构成的尚未完善的水沙调控体系在防洪防凌、径流调节和协调水沙关系等方面发挥了重要作用。黄河下游河段是水沙关系不协调、防洪形势严峻、供水需求较高、已有保护治理叠加影响明显的河段。本次以黄河下游河段为重点研究河段，以小浪底水利枢纽工程运行为重要时间节点，以水量统一调度、水沙调控、生态调度等实践活动为研究对象，回顾下游河段生态环境变化，分析总结存在的主要环境问题及小浪底水利枢纽工程生态保护与减缓措施的有效性，为古贤水利枢纽工程环境影响、保护措施等提供参考、借鉴。

6.1 评价思路及评价内容

6.1.1 评价目的

河道水文、水沙过程的变化是河流生态环境要素变化的根本驱动力。黄河干流水沙过程受到人工调控显著影响。本章回顾小浪底水利枢纽工程水沙调控实践对下游水文情势、河道冲淤、河流形态等影响，分析因水文、水沙过程改变对下游重点河段河流生态系统、河道功能、河流湿地、水生生物栖息地等影响及修复作用，阐述黄河水沙调控对河流生态系统环境要素的影响方式、规律等，为古贤水利枢纽工程建设运行的环境影响提供类比依据。

6.1.2 典型工程与评价河段选取

6.1.2.1 小浪底和古贤水利枢纽工程相似性分析

1. 工程任务的相似性

小浪底水利枢纽工程处于控制黄河下游洪水、泥沙的关键部位，坝址位于河南省洛阳市西北 30 km 的孟津县马屯乡小浪底村，是由丘陵峡谷进入黄淮海平原的入口，上距黄河三门峡大坝 128km，是三门峡水库以下唯一能够取得较大库容的控制性骨干工程，

在黄河水沙调控体系中具有十分重要的战略地位。

古贤水利枢纽工程处于黄河北干流下段，可使得黄河北干流洪水、泥沙得到一定的控制。古贤工程控制了黄河全部泥沙的 60%，粗泥沙的 80%，在一定时期内可基本承担黄河中游水沙调控体系的功能，既可对黄河上游水沙进行有效调控，又为下游的三门峡、小浪底水库提供水流动力条件，起到承上启下的作用，使黄河水沙调控体系的作用得到充分的发挥。

表 6.1.2-1 小浪底及古贤水利枢纽工程概况及开发任务

名称	开发任务	主要参数	黄河下游减淤任务
小浪底	以防洪、防凌和减淤为主，兼顾供水、灌溉、发电，蓄清排浑、兴利除害和综合利用	水库总库容 126.5 亿 m ³ ，控制坝址以上流域面积 69.4 万 km ² ，占黄河总流域面积的 92.3%，控制黄河总输沙量的近 100%，水库正常蓄水位 275m，正常死水位 230m。	小浪底水库总库容 126.5 亿 m ³ ，要求保持长期有效库容 51 亿 m ³ ，其中 40.5 亿 m ³ 库容供防洪、防凌和供水、灌溉和发电等调蓄运用，另有 10.5 亿 m ³ 库容供汛期调水调沙和多年调沙运用。小浪底水库初期拦沙和调水调沙运用 100 亿 t 左右，下游河道减淤 78.7 亿 t。
古贤	以防洪减淤、调水调沙为主，兼顾供水灌溉和发电等综合利用	水库总库容 130.59 亿 m ³ ，控制坝址以上流域面积 48.9 万 km ² ，占黄河总流域面积的 65%，控制黄河总输沙量的 60%，水库正常蓄水位 627m，正常死水位 588m	古贤水库控制了黄河龙门以上的洪水和泥沙，水库拦沙库容 93.42 亿 m ³ ，可拦沙 121.45 多亿 t，水库通过拦沙、小浪底水库联合调水调沙运用，可改善进入下游的水沙关系，提高水流输沙能力，减缓下游河道泥沙淤积，维持中水河槽过流能力。在设计水沙条件下，水库运行 60 年可减少下游河道淤积 71.82~64.04 亿 t，黄河下游 4300m ³ /s 以上中水河槽可维持 50 年以上

2. 运行方式的相似性

小浪底工程全年调度运用可分为伏汛、蓄水、凌汛、供水四个时期，各时期根据泄水目的具有不同运用方式，见表 6. 1. 2-2。

表 6.1.2-2 小浪底工程运用分期及运用方式

名称	时间	运用方式	泄水目的
伏汛期	7 月 1 日-10 月 23 日	防洪	出现洪水时，按防洪预案控制下泄流量
		调水调沙	按增泄花园口流量 2600 m ³ /s 持续时间 6 天下泄
		供水灌溉	按下游供水、灌溉和生态需要下泄
蓄水期	10 月 23 日-10 月 31 日	供水灌溉	按下游供水、灌溉和生态需求下泄
凌汛期	11 月 1 日-次年 2 月底	防凌	按满足下游防凌需要下泄
		供水灌溉	按下游供水、灌溉和生态需水下泄
供水期	次年 3 月 1 日-6 月 30 日	供水灌溉	按下游供水、灌溉和生态需水下泄

黄河水少沙多，水沙异源，来水来沙的自然组合与黄河下游的河道输沙能力极不协调，是黄河下游河道淤积的根本原因。小浪底水库主汛期（7 月 11 日~9 月 30 日）采用以调水为主的调水调沙运用方式，运用目标为发挥大水大沙的淤滩刷槽作用、控制河道塌滩及上冲下淤。水库主汛期调节方式见表 6.1.2-3。

表 6.1.2-3 小浪底工程主汛期调度方式

入库流量 $Q_{入}$ (m^3/s)	出库流量 $Q_{出}$ (m^3/s)	调节目的
< 400	400	保证最小发电流量；维持下游河道基流，改善水质及水环境。
400~800	400~800	满足下游用水要求；下游淤积量较小。
800~2000	800	消除 800-2000 m^3/s 之间流量，避免下游河道上冲下淤； 控制蓄水量不大于 3 亿 m^3 ，若大于 3 亿 m^3 ，按 5000 m^3/s 或 8000 m^3/s 造峰至蓄水量 1 亿 m^3 。
2000~8000	2000~8000	较大流量敞泄，使全下游河道冲刷。
> 8000	8000	大洪水滞洪或蓄洪运用。

6.1.2.2 下游河段与小北干流河段的相似性

1.下游河段

小浪底工程运用后，对下游河段影响显著。黄河下游河道蜿蜒前行，河势游荡多变，为典型的平原游荡性河道。地貌类型有平原、丘陵、山地 3 种，以平原为主。河床高于两岸地面，汇入支流很少。西霞院至高村河段，河道长 299km，堤距宽 5~10km，最宽处有 20km，河槽一般宽 3~5km，是冲淤变化剧烈，水流宽、浅、散、乱的游荡性河段；高村至陶城铺河段，河道长 165km，堤距 1.5~8.0km，河槽宽 0.5~1.6km，属于由游荡向弯曲转化的过渡性河段；陶城铺至渔洼河段，河道长 356km，堤距 1~3km，河槽宽 0.4~1.2km，属河势比较规顺、稳定的弯曲性河段。黄河下游游荡性河段是河漫滩湿地集中分布区域，沿河两岸分布有河南黄河湿地国家级自然保护区、河南新乡黄河湿地鸟类国家级自然保护区、郑州黄河湿地省级自然保护区、河南开封柳园口省级湿地自然保护区及濮阳黄河湿地省级自然保护区，是鸟类南北迁徙的重要中转驿站。

2.小北干流河段

古贤水利枢纽工程建成以后，受影响较大的是禹门口至潼关河段，俗称小北干流河段，该河段地处黄河中游，是内蒙古托克托至潼关河段的下部，全长 132.5km。黄河出禹门口后，由宽 100m 左右的峡谷河槽，骤然展宽为 4km 以上的河漫滩，呈南偏西 20° 方向流向潼关，至潼关折向东流，河宽收缩为 850m。河床宽浅，水流散乱，心洲、浅滩密布，主流摆动不定，属堆积游荡性河段。河谷分布有不连续的漫滩。小北干流河段是河漫滩湿地集中分布区域，沿河两岸分布有山西运城湿地省级自然保护区和陕西黄河湿地省级自然保护区。

表 6.1.2-4 工程下游河段生态环境的相似性

河段名称	河道形态	生态环境	河段治理主要目标
黄河下游河段	河床宽浅 河道游荡	河漫滩集中发育河段 鸟类南北迁徙的重要途径 鱼类资源丰富	下游河道高悬于黄淮海平原地面之上，防洪安全保障要求较高，该河段应以防洪、处理泥沙、供水为主。
小北干流河段	河床宽浅 水流散乱 分布有不连续漫滩	河漫滩集中发育 鸟类重要的越冬场 鱼类资源丰富	河道冲淤变化剧烈，两岸地区是陕、晋两省重要的经济区。该河段应利用滩区放淤处理黄河泥沙，加强河道治理，为城市、工业和灌区供水。

综合以上分析，小浪底水利枢纽工程与古贤水利枢纽工程均是黄河水沙调控体系七大骨干控制工程，均是以防洪、水资源配置、水沙调控为主要任务的水利枢纽。在工程任务、工程运行等方面具有相似性；同时，小浪底工程坝址下游河段与古贤工程坝址下游小北干流河段在河道形态、河流特定方面也具有一定的相似性。因此，本次以小浪底水利枢纽为典型工程，以黄河下游河段为回顾性评价河段，以水库运行前后、水量统一调度、水沙调控、生态调度等实践活动为主要时间节点，回顾分析下游河段生态环境变化。

6.1.2.3 评价内容

回顾分析因黄河水沙调控带来的水文、水沙、河流地貌等条件改变对黄河下游河流及河口湿地、水生生物栖息生境、河流生态系统等影响及修复效应。

（1）水文泥沙及河段冲淤变化

选择黄河下游代表典型断面，分析各水文断面不同时期水文情势、泥沙及河道冲淤变化，分析变化原因。

（2）生态流量满足程度

在水沙情势分析基础上，根据拟定生态流量，分析黄河下游代表典型断面水沙调控前后各时期各组生态流量满足程度，评估水沙调控对生态流量满足程度影响。

（3）水质变化

选取典型水质常规监测断面，分析不同时期水质变化。

（4）湿地变化

在水沙情势、断面形态变化分析基础上，结合已有系列遥感调查成果，分析水沙调控前后各时期河流湿地时空变化规律。

（5）水生生物变化

根据黄河代表物种生态习性，分析黄河下游水文过程生态学意义，结合黄河下游水

沙情势变化回顾结果,分析黄河下游不同时期与水生生物密切相关的各水文过程变化状况,及对水生生物及鱼类栖息生境影响。

(6) 小浪底水库生态保护措施有效性分析

分析小浪底水利枢纽建设运行所采取生态保护修复措施的有效性,从生态保护角度为古贤水库建设及运用提供建议。

6.2 黄河水沙调控体系概况及实践

6.2.1 水沙调控体系概况

黄河水沙关系不协调的基本特性,导致了下游河道严重淤积,给沿岸人民带来深重灾难。新中国成立后,党和国家把黄河治理开发列入重要议事日程,特别是党的十八大以来,以习近平总书记为核心的党中央高瞻远瞩,推进黄河保护治理取得辉煌成就。水沙治理取得显著成效,防洪减灾体系基本建成,保障了伏秋大汛岁岁安澜,确保了人民生命财产安全。龙羊峡、小浪底等大型水利工程充分发挥作用,黄河下游河道萎缩态势初步遏制,黄河含沙量近 20 年累计下降超过 8 成,实施水资源消耗量和强度双控,流域用水增长过快局面得到有效控制,入渤海水量年均增加约 10%,通过引调水工程为华北地区提供了水源,有力支撑了经济社会可持续发展。刘家峡、龙羊峡、三门峡、小浪底等大型水利工程构成的尚未完善的水沙调控体系在防洪防凌、径流调节和协调水沙关系等方面发挥了重要作用。一是科学控制、利用和塑造洪水,协调水沙关系,为防洪、防凌安全提供重要保障。即有效控制大洪水,削减洪峰流量,减轻黄河洪水威胁;合理利用中常洪水,联合调水调沙,减轻下游河道淤积,塑造和维持中水河槽;联合调控塑造人工洪水过程,防止河道主槽萎缩,维持下游水库长期有效库容和中水河槽;有效调节凌汛期流量,减少河道槽蓄水增量,减轻防凌压力。二是充分利用骨干水库的拦沙库容拦蓄泥沙,特别是拦蓄对下游河道淤积危害最大的粗泥沙。三是合理配置和优化调度水资源,确保河道 23 年不断流,保障输沙用水和生态用水,保障生活、生产供水安全。

(1) 水沙调控布局

根据黄河治理开发与保护的总体规划,黄河水沙调控工程体系由上游水量调控子体系和中游洪水和泥沙调控子体系构成,两个子体系任务各有侧重。

上游水量调控子体系以水量调节为主，主要任务是对黄河水资源和南水北调西线入黄水量进行合理配置，为保障流域的供水安全创造条件，协调进入宁蒙河段的水沙关系，长期维持宁蒙河段中水河槽，保障宁蒙河段的防凌、防洪安全及上游其他沿河城镇防洪安全，为上游城市工业、能源基地和农业发展供水，提高上游梯级发电效益，并配合中游骨干水库调控水沙。

中游洪水和泥沙调控子体系以调控洪水泥沙为主，主要任务是科学管理洪水，拦沙和联合调控水沙，减少黄河下游泥沙淤积，长期维持中水河槽行洪输沙功能，为保障黄河下游防洪（防凌）安全创造条件，调节径流为中游能源基地和中下游城市、工业、农业发展供水，合理利用水力资源。

（2）骨干工程及实施情况

根据水沙调控体系布局，形成以干流的龙羊峡、刘家峡、黑山峡、碛口、古贤、三门峡、小浪底等骨干水利枢纽为主体，以干流的海勃湾、万家寨水库及支流的陆浑、故县、河口村、东庄等控制性水库为补充，共同构成完善的黄河水沙调控工程体系。

目前，黄河干流已建骨干水利枢纽工程为龙羊峡、刘家峡、三门峡、小浪底水库，支流已建水利枢纽工程为陆浑、故县、河口村等水库。黄河上游已建的龙羊峡、刘家峡水库，拦蓄丰水年水量补充枯水年水量，并将汛期多余来水调节到非汛期，对于保障黄河供水安全发挥了极为重要的作用，同时调节凌汛期下泄流量，对减轻内蒙古河段凌汛灾害发挥了积极作用。但由于水库调丰补枯的作用，也使得汛期输沙水量减少，造床流量减小，导致了内蒙古河道淤积、中水河槽淤积萎缩，内蒙古河段防凌防洪形势依然十分严峻。

黄河中游已建的三门峡水库和小浪底水库，通过拦沙和调水调沙遏制了下游淤积抬高的趋势，恢复了中水河槽行洪输沙功能，通过科学管理黄河洪水为保障下游防洪安全创造了条件，通过调节径流保障下游的供水安全。但相对于黄河大量的来沙，小浪底水库拦沙和调水调沙能力有限和后续能力不足问题突出，为满足黄河下游的长远防洪减淤要求，还必须在干流继续修建大型骨干水库拦沙和联合调水调沙运用。根据黄河干流来水来沙条件和地形地质条件，在来沙较多特别是粗泥沙产沙量较为集中的北干流河段，规划建设古贤、碛口水利枢纽，与三门峡和小浪底水库共同构成中游洪水泥沙调控子

体系的主体。

6.2.2 黄河水量统一调度、调水调沙及生态调度实践

1999 年小浪底水库建成并投入使用，为实施黄河水量统一调度、调水调沙、生态调度等提供了重要工程手段。自 1999 年以来，先后实施了黄河水量统一调度、调水调沙及生态调度等一系列实践活动。

（1）水量统一调度、调水调沙等实践

1999 年 10 月小浪底水库下闸蓄水运用以来，通过水库拦沙和调水调沙运用，改善了进入下游的水沙关系，进入黄河下游年均沙量仅 0.78 亿 t，水量为 268.5 亿 m^3 ，含沙量 $2.9\text{kg}/\text{m}^3$ ，下游河道全线冲刷，累计冲刷泥沙 30 亿 t，最小平滩流量由 $1800\text{m}^3/\text{s}$ 增加至 2021 年的 $4600\text{m}^3/\text{s}$ 。

（2）黄河三角洲生态补水实践

黄河是黄河三角洲生态环境及典型生态界面的塑造者，黄河水沙资源是黄河三角洲生态系统形成和演替的根本动力，黄河水资源是黄河河口地区社会经济发展的基础，黄河变迁及水沙变化对黄河三角洲自然状况及社会经济深远影响。

但自上世纪 90 年代以来，进入黄河三角洲地区水沙资源量急剧减少，黄河三角洲出现了淡水湿地萎缩、生物多样性减少等生态环境问题，直接影响到三角洲地区乃至整个流域的生态系统稳定和经济社会的可持续发展。为改善黄河三角洲生态环境，围绕黄河三角洲生态治理，特别是针对“黄河三角洲生态系统的良性维持”开展了一系列的理论与应用实践。

1999 年，实施黄河流域实施水资源统一管理和水量统一调度，至今实现了黄河 23 年不断流，为三角洲生态环境改善提供了有力支撑。2008 年，提出“把水资源管理与调度的重点转向实现黄河功能性不断流”，首次实施了黄河生态调度。根据三角洲淡水湿地生态系统需水规律，通过黄河下游生态调度，结合调水调沙有计划地向三角洲湿地进行生态补水。据统计，2008 至 2020 年，累计向黄河三角洲淡水湿地恢复区补水 6.58 亿 m^3 ，如表 6.2.2-1 所示，初步实现了人工干预下有限保护目标的修复，为遏制三角洲生态环境恶化趋势和促进黄河流域生态环境修复提供了积极的淡水资源保障。

表 6.2.2-1 2008 年-2020 年黄河三角洲淡水湿地补水情况统计 单位: 万 m³

年份	引水天数	清水沟引水	刁口河引水	合计引水
2008	11	1356		1356
2009	10	1507		1507
2010	12.6	2041	3628	5669
2011	15	2248	3619	5867
2012	19	3036	3285	6321
2013	19	2129	2613	4742
2014	10	803	1325	2128
2015	16	1678	1744	3422
2016				0
2017			2400	2400
2018		1100	3621	4721
2019	32	3982	2091	6073
2020		12568	9033	21601
合计				65807

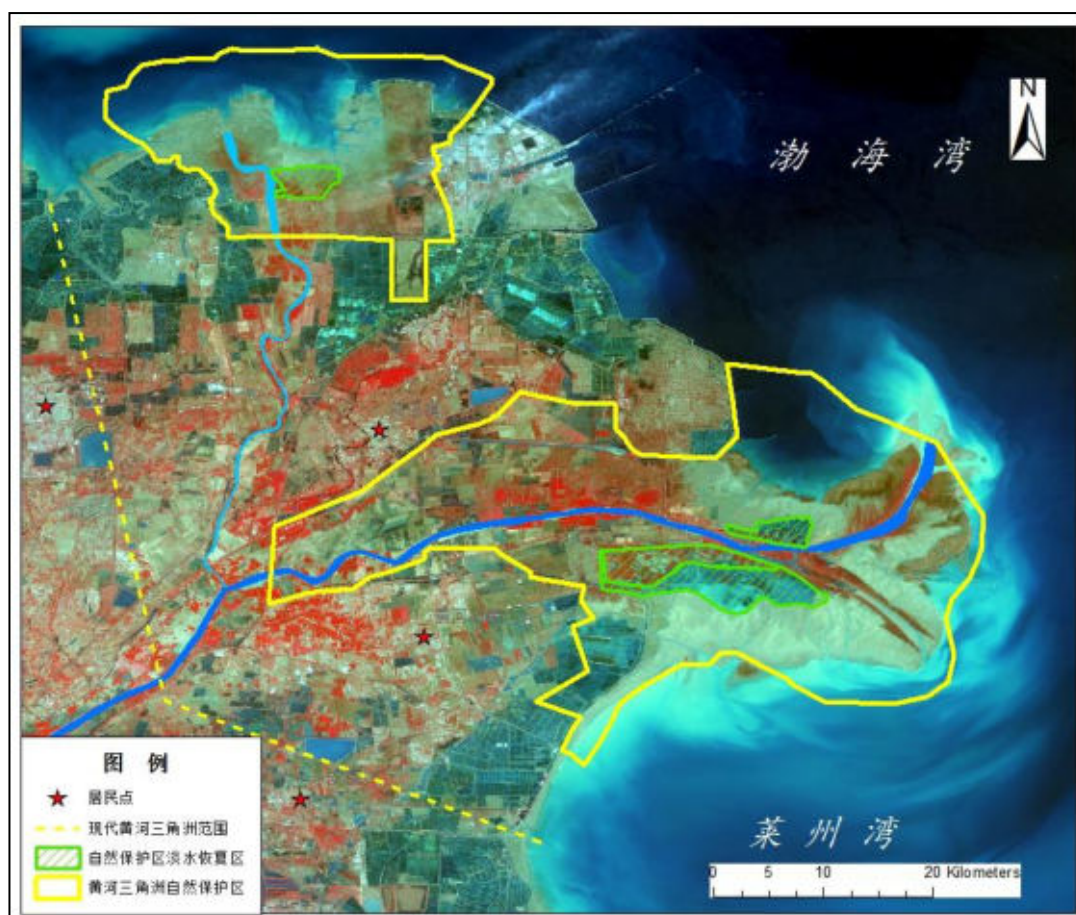


图 6.2.2-1 黄河三角洲淡水湿地生态修复布局示意图

6.3 水文泥沙及河道冲淤变化

6.3.1 水文情势变化

选取黄河下游的花园口（中下游分界断面）、利津（入海口断面）等，通过径流量、

月平均流量等水文情势变化指标，分析不同时期的黄河下游重要断面的径流过程等水文情势变化。

6.3.1.1 径流量变化

由于气候变化和人类活动对下垫面的影响，黄河来水量明显减少。黄河下游重要断面花园口、利津 1919~1959 年实测平均年水量为 479.98 亿 m³、463.57 亿 m³，1999~2020 年实测平均年水量为 283.82 亿 m³、183.15 亿 m³，比 1919~1959 年实测平均值分别减少 40.87%、60.49%。

表 6.3.1-1 黄河下游重要水文站实测径流量不同时段对比 单位：亿 m³

时段	花园口断面	利津断面
1919~1959 年	479.96	463.57
1960~1986 年	445.79	387.59
1987~1999 年	274.91	148.24
2000~2020 年	283.82	183.15

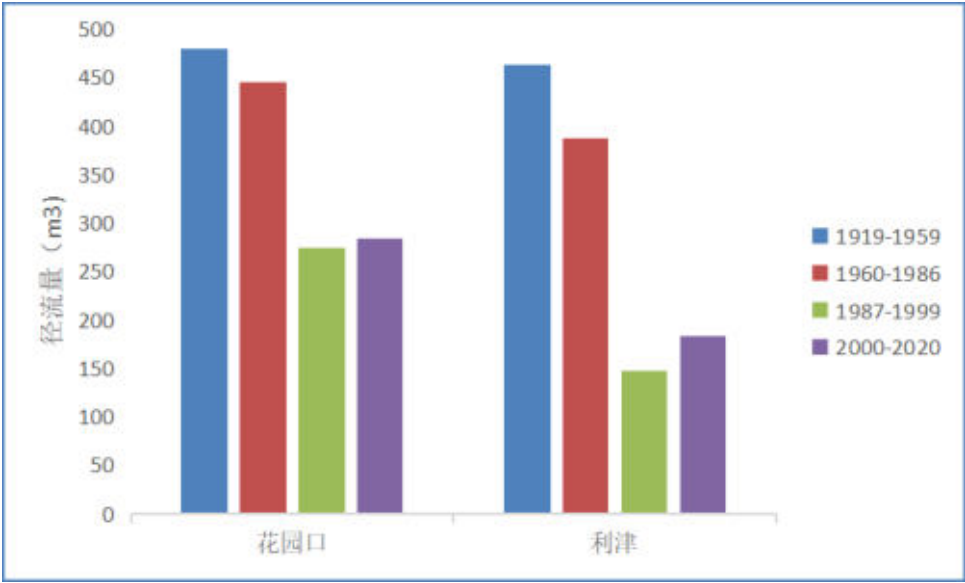


图 6.3.1-1 黄河下游花园口断面径流量变化图

6.3.1.2 汛期及非汛期径流量变化

受三门峡、龙刘水库及小浪底水库的建设运行影响，黄河年内径流量分配发生了变化，汛期水量减少，非汛期水量增加。1950~1967 年系列，黄河花园口、利津断面的实测汛 come 来水比例分别为 61.5%、62.4%；1986~1999 年系列，黄河花园口、利津断面的实测汛 come 来水比例分别为 47.3%、62.0%；2000~2020 年系列，花园口、利津断面的实测汛 come 来水比例下降为 40.6%、55.1%。年内汛期和非汛期的比例发生的变化，整体

上汛期来水量减少了，非汛期水量增加。但在汛期水量整体减少的情况下，塑造了 10～20 天 4000m³/s 以上的改善下游河段淤积的洪峰流量。

表 6.3.1-2 黄河下游重要水文站实测年内径流量不同时段对比 单位：亿 m³

水文站	时段	年均径流量	汛期年均径流量	非汛期年均径流量
花园口	1950-1967	458.08	281.7	176.38
	1968-1986	401.64	231.17	170.47
	1987-1999	275.24	130.28	144.96
	2000-2020	277.97	112.95	164.99
利津	1950-1968	445.03	277.75	167.28
	1969-1986	317.36	197.15	120.21
	1987-1999	150.1	93.09	57.01
	2000-2020	177.66	97.9	79.74

6.3.1.3 洪水流量变化

根据黄河下游花园口断面不同时期年最大日均流量对比，黄河流域最大洪峰流量逐阶段下降。花园口断面天然时期（三门峡水库运用之前）的 1949～1959 年均值为 8698m³/s，龙羊峡、刘家峡和三门峡水库共同运用的 1987～1999 年均值为 4398m³/s，削减了 49%；小浪底水库运用后的 2000-2020 年均值为 3465m³/s，最大洪峰日流量削减了 60%。

最大洪峰流量逐阶段下降，一方面和黄河流域水资源逐渐减少有关系，但更重要的原因是水沙调控的作用，保障流域防洪安全，使大洪水 and 特大洪水得到了有效控制。

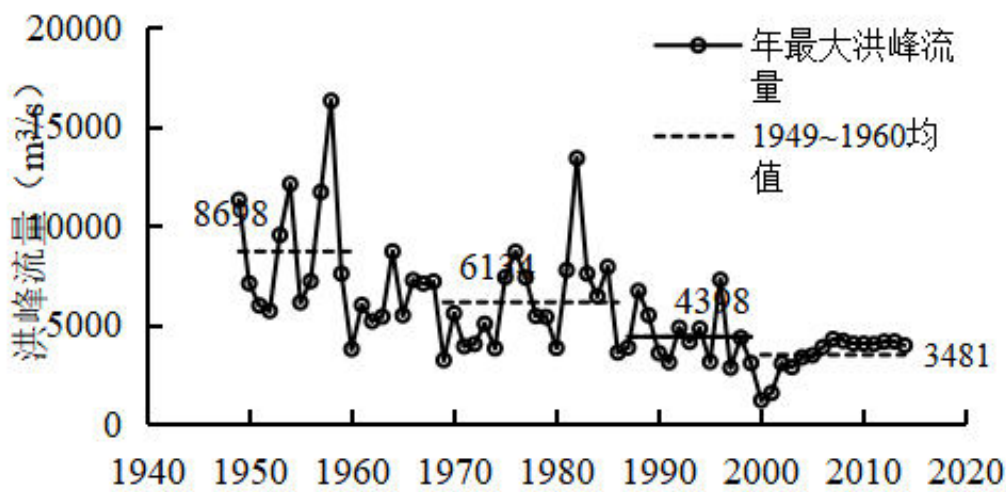


图 6.3.1-2 花园口断面最大洪峰流量过程线

6.3.2 泥沙及河道冲淤变化

6.3.2.1 重要断面泥沙变化

受水土保持、水库拦沙、调水调沙等人类活动和降雨影响，近期黄河实测水沙量显著减少。1919~1959 年下游花园口、利津断面多年平均输沙量 15.16 亿 t、13.15 亿 t，1999~2020 年多年平均输沙量为 1.2 亿 t、1.42 亿 t，比 1919~1959 年实测平均值分别减少 92.08%、89.1

表 6.3.2-1 黄河下游重要水文站实测沙量不同时段对比 单位：亿 t

时段	花园口断面	利津断面
1919~1959 年	15.16	13.15
1960~1986 年	10.68	9.17
1987~1999 年	7.11	4.15
2000~2020 年	1.2	1.42

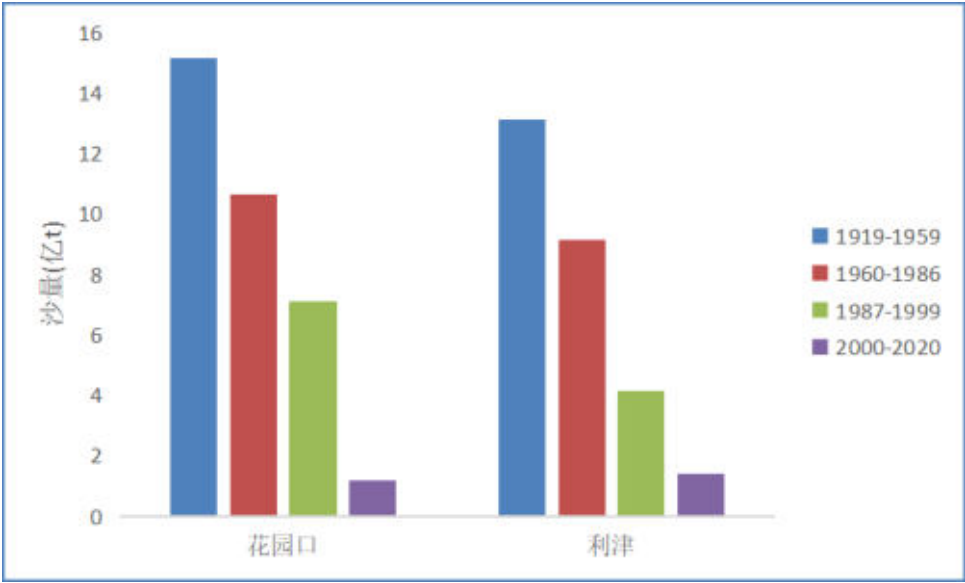


图 6.3.2-1 黄河下游重要断面泥沙变化图

6.3.2.2 河道冲淤变化

根据实测资料分析，下游河道冲淤分为以下几个时期。

(1) 天然时期

1950 年~1960 年为三门峡水库修建前的天然时段，年均淤积泥沙 3.61 亿 t。从下游冲淤沿程分布分析，冲淤量沿程分布不均，主要淤积在艾山以上河段，占全下游淤积量的 88%，尤其花园口至高村河段淤积量最多，年均 2.79 亿 t，占全断面淤积量的 77%。

从淤积的横向分布分析，主要是淤积在滩地，占全断面淤积量的 77%，主槽仅占 23%。

（2）龙刘水库联合运用时期

1987~1999 年为龙刘水库联合运用时期。下游河道年均淤积泥沙 2.23 亿 t。从纵向淤积沿程的分布分析，主要集中在高村以上，占全下游的 71%。从淤积的横向分布分析，该时期河道防洪形势严峻，主槽淤积严重，淤积量占全断面的 73%。

（3）小浪底水库蓄水运用

1999 年小浪底水库蓄水运用以来，黄河下游年平均冲刷量 1.49 亿 t，沿程全线冲刷，高村以上河段冲刷 1.24 亿 t，占冲刷总量的 83%。截至 2021 年汛前累计冲刷泥沙 32.16 亿 t，2021 年汛后最小平滩流量增加至 4600m³/s。

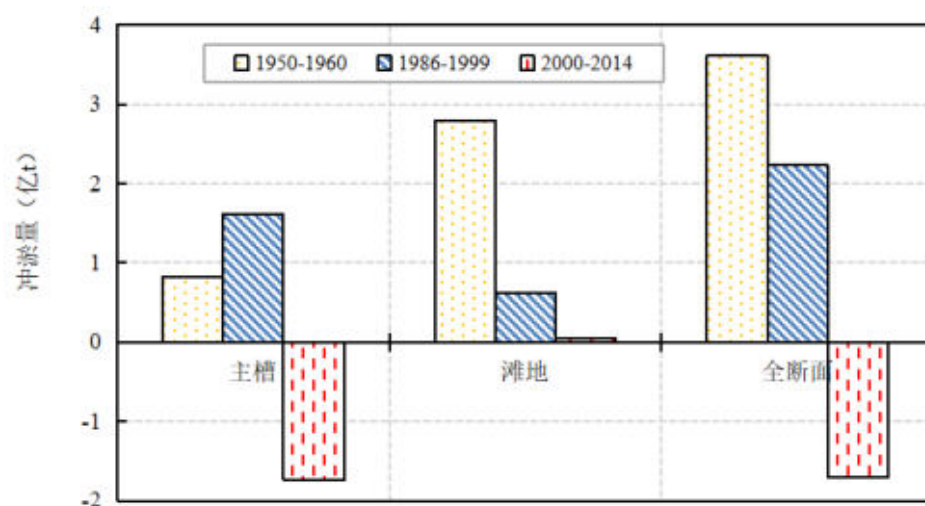


图 6.3.2-2 不同时期全下游滩槽冲淤分布

6.3.2.3 河床形态变化

分析黄河下游花园口不同时期断面形态变化。在 2000~2004 年期间，由于河道冲刷，主槽展宽到 1737m，滩槽高差增加到 1.66m；在 2004~2009 年期间，河道冲刷继续，主槽展宽到 2116m，滩槽高差达到 2.12m；2010~2014 年汛后，主槽展宽到 2640m，滩槽高差为 2.04m。主槽宽度和滩槽高差都已经超过 1960 年（见图 6.3.2-3）。

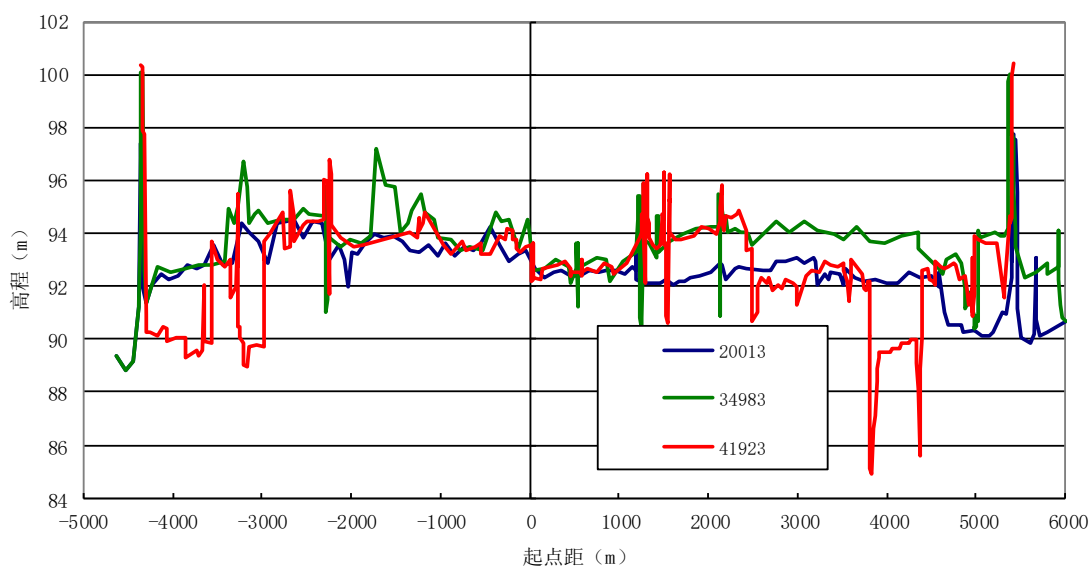


图 6.3.2-3 不同时期花园口断面套绘

利津断面 1960 年前天然情况下主槽平均宽度 561m，滩槽高差 4.36m；龙刘水库运用后小浪底水库运用前，主槽萎缩，主槽宽度仅 437m，滩槽高差 3.27m；2000~2004 年汛后小浪底水库运用前 5 年，主槽宽度 374m，滩槽高差 3.27m；2004~2009 年汛后小浪底水库运用第 6~10 年，主槽宽度 364m，滩槽高差 4.20m；2010~2016 年汛后小浪底水库运用第 11~15 年，主槽展宽变化不大，滩槽高差为 4.17m。

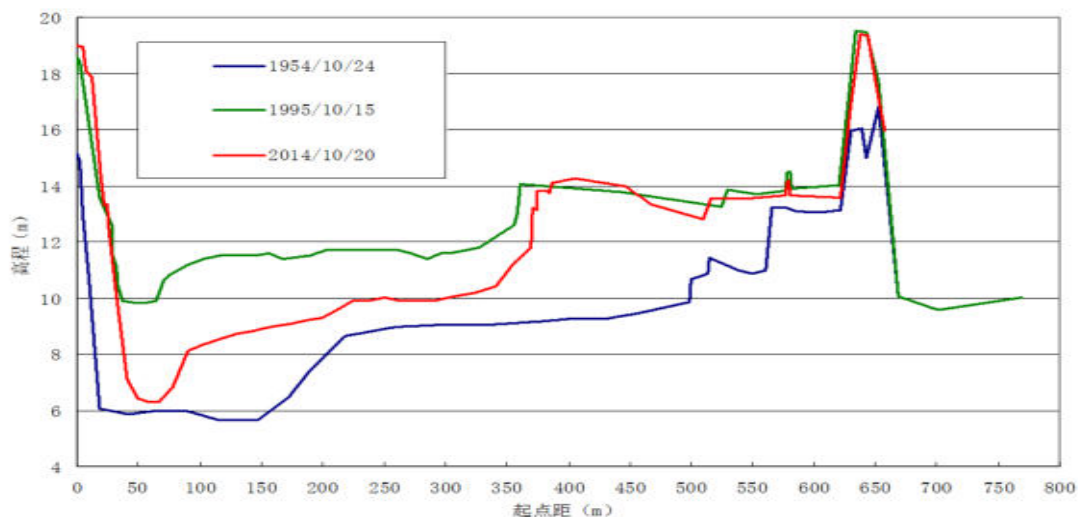


图 6.3.2-4 不同时期利津断面套绘

6.3.2.4 平滩流量变化

天然状态下，下游平滩流量平均在 $6000\text{m}^3/\text{s}$ 左右，随着水沙条件变化而变化。大水时期淤滩刷槽，滩槽高差加大，平滩流量也加大。

1999 年随着小浪底水库蓄水，全年大部分时间是小流量下泄，下游河道淤积加重，到 2002 年汛前高村断面平滩流量萎缩到 1850m³/s；经过 2002 年、2003 年和 2004 年调水调沙，下游河道持续冲刷，平滩流量又逐渐恢复，到 2005 年调水调沙后，下游最小平滩流量恢复到 3080m³/s；到 2016 年调水调沙后，下游最小平滩流量恢复到 4200m³/s。到 2021 年，下游平滩流量达到 4600m³/s。

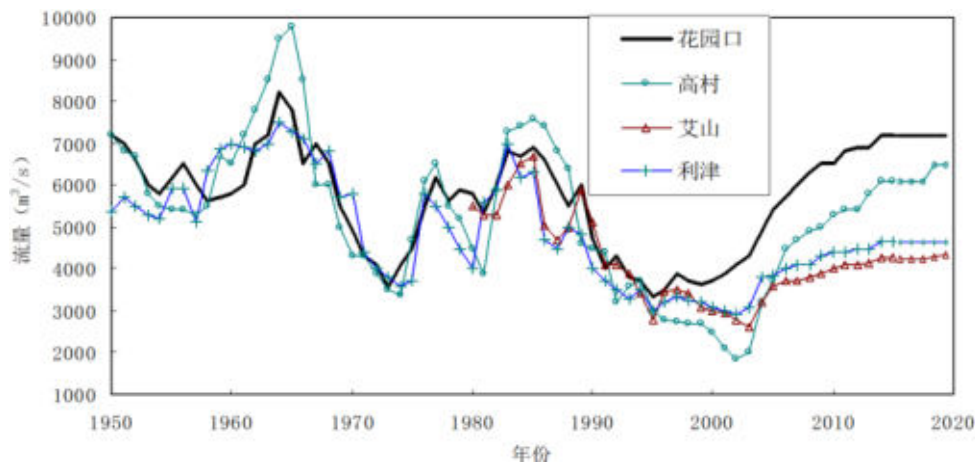


图 6.3.2-5 黄河下游不同时期典型断面平滩流量变化

6.4 生态流量满足程度

6.4.1 遏制黄河下游断流趋势

通过黄河干流水量统一管理和调度，结束了 20 世纪 70—90 年代黄河下游频繁断流的局面，实现了黄河干流连续 23 年不断流，下游花园口、利津等重要断面基本生态流量得到保障，促进了黄河生态系统功能修复和生物资源恢复。

上世纪 70 年代至 1999 年，黄河下游经常性断流。据统计，从 1972 年到 1998 年的 27 年中，黄河下游利津站有 21 年发生断流，累计断流 1050 天，断流年份年均断流 50 天，断流延伸到河南境内有 5 年。1997 年断流最为严重，利津站断流 226 天，逐年断流情况统计见表 6.4.1-1。

表 6.4.1-1 黄河下游利津站历年断流情况统计表

年份	断流最早日期 (月、日)	7~9 月 断流天数	断流 次数	全年断流天数 (天)			断流长度 (公里)
				全日	间歇性	总计	
1972	4.23	0	3	15	4	19	310
1974	5.14	11	2	18	2	20	316
1975	5.31	0	2	11	2	13	278
1976	5.18	0	1	6	2	8	166
1978	6.3	0	4		5	5	104

年份	断流最早日期 (月、日)	7~9 月 断流天数	断流 次数	全年断流天数(天)			断流长度 (公里)
				全日	间歇性	总计	
1979	5.27	9	2	19	2	21	278
1980	5.14	1	3	4	4	8	104
1981	5.17	0	5	26	10	36	662
1982	6.8	0	1	8	2	10	278
1983	6.26	0	1	3	2	5	104
1987	10.1	0	2	14	3	17	216
1988	6.27	1	2	3	2	5	150
1989	4.4	14	3	19	5	24	277
1991	5.15	0	2	13	3	16	131
1992	3.16	27	5	73	10	83	303
1993	2.13	0	5	49	11	60	278
1994	4.3	1	4	66	8	74	380
1995	3.4	23	3	117	5	122	683
1996	2.14	15	6	122	14	136	579
1997	2.7	76	13	202	24	226	704
1998	1.1	19	16	114	28	142	449
1999	2.27	1	3			42	

6.4.2 对生态流量的影响

根据已批复的《黄河流域综合规划》(国函〔2013〕34号),花园口断面4月~6月关键期最小生态流量为 $200\text{m}^3/\text{s}$,适宜生态流量为 $320\text{m}^3/\text{s}$;利津断面关键期最小生态流量4月为 $75\text{m}^3/\text{s}$ 、5月~6月为 $150\text{m}^3/\text{s}$;适宜生态流量4月为 $120\text{m}^3/\text{s}$ 、5月~6月为 $250\text{m}^3/\text{s}$ 。

采用1980年~2020年花园口、利津断面实测日均流量数据,分析两断面生态流量及关键期生态流量保障程度。结果表明,小浪底水库建成且实施水量统一调度后,对比2000~2020年和1980~1999年,花园口最小生态流量、适宜生态流量满足程度分别提高了8.3%、10.8%;利津断面最小生态流量、适宜生态流量满足程度分别提高了30%、27%,自2004年以来,花园口、利津断面最小生态流量基本可以得到保障。

表 6.4.2-1 1980~2020 年重要断面 4~6 月生态流量满足程度(日均)

年份	花园口		利津	
	最小生态流量 ($200\text{m}^3/\text{s}$)	适宜生态流量 ($320\text{m}^3/\text{s}$)	最小生态流量 (4月 $75\text{m}^3/\text{s}$, 5~6月 $150\text{m}^3/\text{s}$)	适宜生态流量 (4月 $120\text{m}^3/\text{s}$, 5~6月 $250\text{m}^3/\text{s}$)
1980~ 1999 年	91.6	88.1	45	36.8
2000~ 2020 年	99.9	98.9	75	63.8

综合以上分析，自小浪底水库建成并投入使用以后，黄河水利委员在水量调度方面做出了大量的实践，黄河水量调度工作经历了“防止断流，实施黄河不断流调度”、“协调生态环境用水，实施功能性不断流调度”、“维持黄河健康生命，实施生态调度”三个阶段。黄河水量调度技术更加成熟、高效，在黄河来水量减少的情况下，保障了黄河下游 23 年不断流，保障了非汛期尤其是关键期 4~6 月的生态流量，在促进黄河下游生态系统健康、提高生物多样性方面发挥了重要作用。

6.5 水质变化

根据黄河下游花园口、利津断面 1989~2020 年水质类别变化情况，1989~1996 年，花园口断面水质在Ⅲ~Ⅳ类之间，利津断面水质在Ⅱ~Ⅳ类之间；1998-2003 年水质最差，花园口断面水质在Ⅴ~劣Ⅴ类之间，利津断面水质在Ⅲ~Ⅳ类之间；2006-2020 年，黄河下游各断面年均水质均为Ⅲ类，满足水功能区水质达标要求。

1998 年到 2003 年间，流域经济突飞猛进发展，治理水平低下，污染物入河量迅速增加，黄河干流水质持续恶化；2003 年以后随着流域污水处理厂、中水回用等污染源治理力度的不断加大，黄河干流水质持续好转。2006 年以后下游水质状况整体好转，均能满足水功能区水质达标要求。

表 6.5-1 黄河下游河段重要断面水质类别表

年份	花园口 水质类别	利津 水质类别
1989	Ⅲ	Ⅱ
1990	Ⅲ	Ⅳ
1991	Ⅳ	Ⅲ
1992	Ⅲ	
1993	Ⅳ	Ⅲ
1994	Ⅲ	Ⅱ
1995	Ⅲ	
1996	Ⅳ	
1997	Ⅳ	
1998	Ⅲ	
1999	Ⅴ	Ⅲ
2000	劣Ⅴ	Ⅳ
2001	劣Ⅴ	Ⅲ
2002	劣Ⅴ	Ⅳ
2003	Ⅴ	Ⅳ
2004	Ⅳ	Ⅲ
2005	Ⅳ	Ⅲ
2006	Ⅲ	Ⅲ
2007	Ⅲ	Ⅲ
2008	Ⅲ	Ⅲ
2009	Ⅲ	Ⅲ
2010	Ⅲ	Ⅲ
2011	Ⅲ	Ⅲ

年份	花园口	利津
	水质类别	水质类别
2012	III	III
2013	II	III
2014	II	III
2015	II	III
2016	II	III
2017	II	III
2018	II	III
2019	II	III
2020	II	III

6.6 湿地影响分析

6.6.1 下游河流湿地影响分析

黄河下游受多沙及河道淤积摆动影响，形成了以流动水体为主的沿河呈带状分布的湿地生态系统，是黄河流域河漫滩湿地三大集中分布河段之一。黄河下游河流生态系统的布局与黄河水文情势变化密切相关，河流湿地主要分布在控导工程约束区域以内，主要分为主槽河流水面和嫩滩两部分，随着来水不同呈现动态变化特点。

小浪底工程运行以后，水量统一调度、调水调沙等治水治沙实践，使得下游河道下切，但黄河下游游荡性河道的本质并没有改变，沿黄湿地依然分布在以控导工程约束区域，以主槽河流水面和嫩滩地为主要组成的湿地结构、功能没有发生变化。根据 1999～2020 年遥感调查，上世纪 90 年代末，由于上游来水量显著减少，河道湿地萎缩严重。相较于上世纪 80 年代，河流湿地面积显著降低了 36.9%。其中，河流水面下降了 31.4%，漫滩面积下降了 46.6%。1999 年，小浪底水库建设运行后，实现了黄河下游 23 年不断流，并使得黄河下游关键期生态流量满足程度得到提高。同时，调水调沙使得下游河床下切，对湿地产生了一定的不利影响。因此下游河流湿地经历了萎缩、逐渐恢复的过程。2020 年相比于 1999 年，河流水面和河漫滩面积分别增加了 18.7% 和 8%。

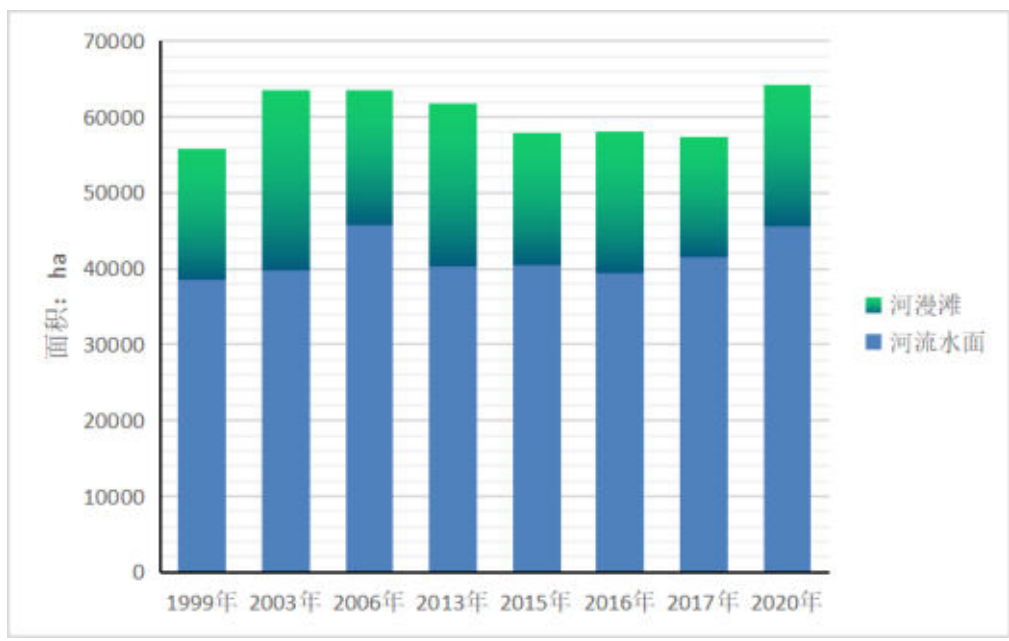


图 6.5.1-1 黄河下游河段不同湿地类型变化

通过对黄河湿地的遥感监测，及黄河下游水文断面监测，黄河下游河漫滩湿地的保护与修复，主要与黄河丰、平、枯不同水文年来水条件关系密切。上世纪 90 年代，黄河进入连续枯水时期，黄河下游断流严重，导致河漫滩湿地急剧萎缩。近年来，黄河来水相对较丰，为湿地的修复提供了较好的水源补给。其次，小浪底水库建成并运行以后，尤其是 2006 年实施水量统一调度、2008 年实施生态调度以来，在行洪期间，保障了一定时段的漫滩流量，为河漫滩湿地的发育提供了水力条件，有利于湿地生态系统的良性维持。黄河下游湿地面积逐渐恢复并渐趋稳定，为鸟类提供较好的栖息生境，同时相关部门对鸟类保护的强化等多种因素的共同作用，黄河下游鸟类种类和数量逐渐增加，根据河南省黄河湿地国家级自然保护区孟津段调查监测，2019 年与 2009 年相比，保护区孟津段记录到的鸟类从 245 种增至 310 种，其中国家一级保护动物有黑鹳、大鸨、中华秋沙鸭等 14 种，国家二级保护动物有灰鹤、白琵鹭、大天鹅等 54 种，鸟类数量达 15 万余只。

6.6.2 黄河河口湿地及近海生态变化

1. 黄河河口湿地生态系统特点

黄河河口处于海陆生态交错区，包括以河流特性为主、受海洋特性影响的河口段，以河流特性和海洋特性相互影响的近海段。黄河河口湿地自然资源丰富，生物多样性较

高。黄河河口生态系统包括河口湿地生态系统和近海水域生态系统。

黄河河口湿地自然资源丰富，生物多样性较高，是我国暖温带最广阔、最完整的原生湿地生态系统，也是亚洲东北内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要“中转站”及越冬、栖息和繁殖地。受河口水沙冲淤变化、入海流路摆动等影响，黄河河口湿地具有动态演变特点，其淡水湿地对维持河口地区水盐平衡、提供鸟类栖息地、维护生态平衡等具有重要生态功能。

近海水域地处渤海湾与莱州湾之间，是黄河与渤海海陆交互作用形成的复杂自然综合体，具有陆海物质交汇、咸淡水混合、水盐过程复杂和生态环境脆弱等显著特征，其独特的水沙两相河流、水盐两相运移、海陆两相作用、河海两相交汇等二元结构特性，使黄河水沙-水盐-生态过程响应关系复杂，生物多样性丰富，形成了特色鲜明的区域特点。黄河口近海水域是我国海洋的重要生态功能区，由于特殊的地理位置和大量的黄河淡水输入，黄河口近海水域不仅拥有众多的珍稀物种和丰富的渔业资源，也是许多海洋生物的重要栖息地，是鱼、虾、蟹等主要海洋经济物种产卵、育幼和索饵场所。该水域对于维护整个黄海海洋生态系统渔业资源具有重要地位。

2.河口湿地变化

黄河水量统一管理和调度以来，黄委利用调水调沙，先后在黄河河口实施了生态调度、生态补水、湿地修复等系列实践活动，有效促进了河口态环境的改善，改善了淡水湿地水源维持条件，使部分严重受损区域生态逆向演替趋势实现了根本性的扭转。目前湿地补水方式已经由原来的自然漫滩补水变为人工引水补水。

自 2008 年首次实施黄河河口生态调度及 2010 年实施刁口河故道生态补水以来，截至 2020 年，已累计向清水沟现行流路湿地、刁口故道及尾闾湿地生态补水约 6.58 亿 m^3 ，湿地补水规模约 18 万亩。随着河口湿地生态补水实施，河口淡水湿地规模开始恢复。根据遥感调查结果，2008 年至 2015 年，河口芦苇沼泽湿地面积开始逐年回升，2020 年芦苇沼泽湿地面积达到 1.73 万 hm^2 ，基本接近上世纪 80 年代水平，湿地补水区及影响区地下水位抬升明显，最大抬升幅度在 45-100cm 范围。湿地土壤含盐量下降，其中 10 厘米层土壤含盐量平均下降 55%，30cm 层土壤含盐量平均下降 41%。

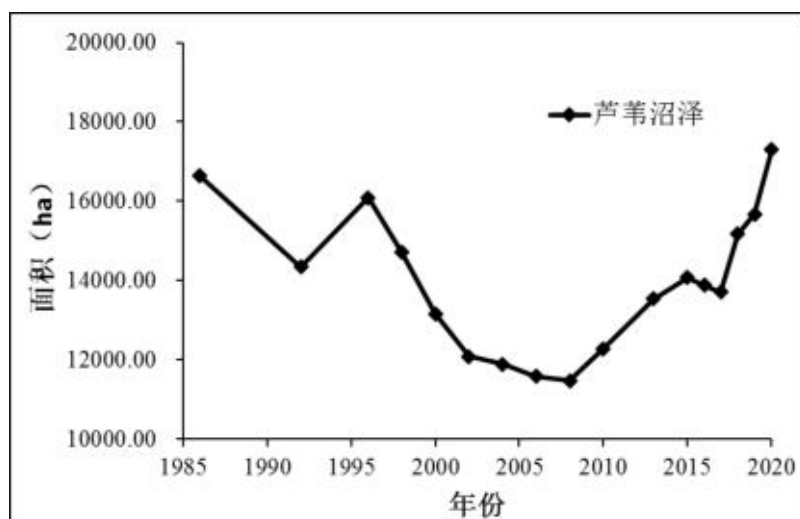


图 6.5.2-1 黄河三角洲芦苇沼泽面积变化

随着淡水湿地水量补给、地下水位抬升、土壤盐度下降、土壤含水量增加，鸟类栖息地生境质量不断提高。黄河三角洲自然保护区鸟类种类由之前的 187 种增加到目前的 381 种，东方白鹳、黑嘴鸥、大天鹅等国家保护鸟类种群规模不断扩大，栖息地面积得到恢复和增加。

2022 年，经黄河水利委员会审批，山东黄河三角洲自然保护区建设了湿地修复工程引黄闸（船）工程，可有效提高三角洲保护区内的生态补水保障率，进一步保障河口湿地生态流量（水量），促进河口自然湿地修复与生物多样性提高。

3. 近海生态变化

黄河水沙调控、水量统一调度使黄河入海水量得到了显著提高，其中 1987-1999 年平均入海水量为 148.24 亿 m^3 ，2000-2020 年平均入海水量为 183.15 亿 m^3 ，2000-2020 年平均入海水量比 1987-1999 年增加了 23.55%。

根据黄河三角洲生态补水前后对比观测，近海低盐度区面积扩大明显。黄河水量调度及调水调沙改变了营养盐入海通量的年内分布，增加了非汛期的营养盐入海通量，给海洋水生生物带来极为有利的影响；同时，水量调度尤其是调水调沙期间入海径流量的增加，使得河口近海区域表层盐度降低，近海区域大部分地区表层盐度降到水生生物生长的适宜盐度范围。营养盐增加、盐度降低、水环境改善对促进黄河河口地区海洋生态环境改善起到了积极作用。据相关部门调查，黄河口生态系统由 2006 年之前的连续不健康转变为 2006 年以后连续亚健康。

6.7 水生生态影响分析

6.7.1 水生生物影响

根据 80 年代历史资料，下游河段浮游植物平均生物量为 0.563mg/L，浮游动物平均生物量为 0.467mg/L；2013 年小浪底下游河段浮游植物生物量在 0.0041~0.43482 mg/L，浮游动物生物量 0.00325~0.228 mg/L；2018-2020 年，小浪底下游河段浮游植物生物量在 0.1748~0.5815 mg/L，浮游动物平均生物量在 1.694mg/L。对比分析表明，黄河下游浮游植物及浮游动物生物量呈现降低又恢复的过程。

2020 年黄河下游河段共检出浮游植物 6 门 80 种（属），从各门浮游植物种类组成及比例看，硅藻门 48 种（属），占 60%，为调查区域水体浮游植物的优势种群，所占比例最高；其次是绿藻门 20 种（属），占 25%；其他门类比例相对较小，裸藻门 8 种（属），占 10%；蓝藻门 2 种（属），占 2.5%；黄藻门、甲藻门各 1 种（属），占 1.25%。根据 1981~1982 黄河水系渔业资源调查，硅藻门占绝对优势。2020 年与 80 年代相比，浮游植物的种类组成变化不大。

2020 年黄河下游浮游动物共检出 3 门 29 种（属），其中，原生动物 8 种，占 27.59%；轮虫类 16 种，占 55.17%；枝角类 5 种，占 17.24%。浮游动物中轮虫类占优势，在各处均检出，其次是原生动物和枝角类。根据 1981~1982 黄河水系渔业资源调查，采集到浮游动物有原生动物、轮虫、枝角类及挠足类等门类，其中轮虫类及挠足类生物量最大。2020 年与 80 年代相比，浮游动物的种类组成变化不大。

6.7.2 鱼类种类及群落变化

（1）鱼类种类变化

上世纪 90 年代黄河下游频繁断流，加之水污染问题突出，导致黄河下游鱼类资源损失严重。2002~2007 年黄河下游捕获鱼类共 16 种。2010 年 5~9 月共调查鱼类 47 种。2018~2020 年，共调查到鱼类 52 种。黄河下游鱼类种类增加。且连续三年在巩义河段捕获大鼻吻鲈，2020 年又于利津段发现了花鲈和刀鲚。黄河下游鱼类物种正处于逐步恢复过程中。

表 6.7.2-1 2018-2020 年黄河下游调查河段鱼类组成

序号	目	科	属	种	学名	河南巩义段			山东利津段		
						2018	2019	2020	2018	2019	2020
1	鲃形目	鲃科	鲃属	鲃	<i>Clupanodon punctatus</i>				+		
2		鲃科	鲃属	刀鲃	<i>Coilia nasus</i>						+
3	鲤形目	鲤科	马口鱼属	马口鱼	<i>Opsariichthys bidens</i>	+	+	+			
4			草鱼属	草鱼	<i>Ctenopharyngodon idella</i>			+			
5			鲃属	山西拉式鲃	<i>Phoxinus lagowskii chorensis</i>	+	+				
6			赤眼鲃属	赤眼鲃	<i>Squaliobarbus curriculus</i>	+	+	+	+	+	+
7			鲃属	翘嘴鲃	<i>Culter alburnus</i>	+	+	+	+	+	+
8			原鲃属	红鳍原鲃	<i>Cultrichthys erythropterus</i>	+	+		+	+	
9			鲃属	贝氏鲃	<i>Hemiculter bleekeri</i>	+	+	+	+	+	
10				鲃	<i>Hemiculter leucisculus</i>	+	+	+	+	+	+
11			鲃属	团头鲃	<i>Megalobrama amblycephala</i>			+			
12			鲃属	鲃	<i>Parabramis pekinensis</i>	+	+	+	+	+	+
13			半鲃属	寡鳞鲃	<i>Hemiculterella kaifensis</i>						+
14			似鲃属	似鲃	<i>Pseudobrama simoni</i>	+	+		+		
15			鲃属	鲃	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	+	+	+	+	+	
16			刺鲃属	兴凯刺鲃	<i>Acantorhodeus chankaensis</i>	+	+				
17			鲃属	方氏鲃	<i>Rhodeus fangi</i>			+			
18				中华鲃	<i>Rhodeus sinensis</i>	+	+				
19			棒花鱼属	棒花鱼	<i>Abbottina rivularis</i>	+	+	+			
20			鲃属	黄河鲃	<i>Gobio huanghensis</i>					+	
21			鲃属	棒花鲃	<i>Gobio rivuloides</i>	+	+				
22			鲃属	花鲃	<i>Hemibarbus maculatus</i>	+	+	+	+	+	
23			麦穗鱼属	长麦穗鱼	<i>Pseudorasbora fowleri</i>	※					
24				麦穗鱼	<i>Pseudorasbora parva</i>	+	+	+	+	+	
25			吻鲃属	大鼻吻鲃	<i>Rhinogobio nasutus</i>	+	+	+			
26				吻鲃	<i>Rhinogobio typus</i>		+				
27			蛇鲃属	蛇鲃	<i>Saurogobio dabryi</i>				+	+	
28			银鲃属	银鲃	<i>Squalidus argentatus</i>				+		
29			石鲃属	彩石鲃	<i>Pseudoperilampus lighti</i>	+	+				
30			鲃属	鲃	<i>Carassius auratus</i>	+	+	+	+	+	+
31				银鲃	<i>Carassius auratus gibelio</i>	+	+	+	+	+	
32			鲤属	鲤	<i>Cyprinus carpio</i>	+	+	+	+	+	+
33			腺属	黑鳍腺	<i>Sarcoheilichthys nigripinnis</i>	+					
34		鲃科	北鲃属	北鲃	<i>Lefua costata</i>	+	+		+		
35			沙鲃属	花斑副沙鲃	<i>Parabotia fasciata</i>	+		+			
36			泥鲃属	泥鲃	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	+	+		+	+	
37			副泥鲃属	大鳞副泥鲃	<i>Paramisgurnus dabryanus</i>	+	+		+	+	
38	鲃形目	鲃科	黄颡鱼属	黄颡鱼	<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	+	+	+			+
39				光泽黄颡鱼	<i>Pelteobagrus nitidus</i>	+	+	+	+	+	+
40				瓦氏黄颡鱼	<i>Pelteobagrus vachelli</i>	+	+	+			
41			拟鲃属	乌苏拟鲃	<i>Pseudobagrus ussuriensis</i>	+	+	+	+		
42		鲃科	鲃属	鲃	<i>Silurus asotus</i>	+	+	+	+	+	+
43	鲃形目	银鱼科	大银鱼属	大银鱼	<i>Protosalanx hyalocranius</i>		+	+			+
44	合鳃鱼目	合鳃鱼科	黄鲢属	黄鲢	<i>Monopterus albus</i>	+	+				
45		刺鲃科	中华刺鲃属	中华刺鲃	<i>Pararhynchobdella sinensis</i>	+	+				
46	鲃形目	青鲃科	青鲃	青鲃	<i>Oryzias latipes</i>		+	+		+	+
47	鲃形目	鲃科	鲃属	鲃	<i>Mugil cephalus</i>				+	+	
48		真鲃科	花鲃属	花鲃	<i>Lateolabrax japonicus</i>			+			

序号	目	科	属	种	学名	河南巩义段			山东利津段		
						2018	2019	2020	2018	2019	2020
49		𩚑虎鱼科	吻𩚑虎鱼属	子陵吻𩚑虎鱼	<i>Rhinogobius giurinus</i>	+	+	+	+	+	
50				波氏吻𩚑虎鱼	<i>Rhinogobius cliffordpopei</i>	+	+				
51		鱧科	鱧属	乌鱧	<i>Channa argus</i>		+	+			+
52		金梭鱼科	鲈属	梭鱼	<i>Sphyraenus</i>				+	+	

(2) 鱼类丰度/生物量

ABC 曲线可反应鱼类群落中种类组成的变化及受干扰程度。采用数量生物量比较曲线 abundance biomass comparison curve, 简称 ABC 曲线)分析研究区域鱼类群落在不同季节时 受干扰状况,, ABC 曲线分析是在同一坐标系中比较生物量优势度曲线和数量优势度曲线, 通过两条曲线的分布布情况来分析群落不同干扰状况下的特征, 当群落处于未受干扰的状况时, 生物量曲线位于数量曲线之上; 当群落处于中等干扰状况时, 两条曲线将相交; 当群落处于严重干扰情况 时, 数量曲线位于生物量曲线之上。

$$W = \sum_{i=1}^S \frac{B_i - A_i}{50(S-1)}$$

式中 S 为总物种数, Bi 和 Ai 分别为 ABC 曲线中种类序号对应的生物量和数量的累计百分比, 当生物量优势度曲线在数量优势度曲线之上时, W 为 正, 反之为负。

根据黄河下游鱼类丰度/生物量曲线分析结果, 2018 年, 巩义段 W 值为 0.265, 生物量曲线位于丰度曲线之上; 利津段 W 值为 0.0014, 生物量曲线与丰度曲线极为接近。2019 年, 巩义段 W 值为 0.151; 利津段 W 值为 0.005, 接近于 0, 生物量曲线与丰度曲线有交叉; 2020 年, 巩义段 W 值为 0.136; 利津段 W 值为 0.133, 生物量曲线位于丰度曲线之上。总体而言, 2018 年-2020 年黄河下游鱼类群落 W 值均大于 0, 但利津段部分年份 W 值接近于 0。

2010 年调查结果显示, 黄河下游鱼类 ABC 曲线显示河段 W 值仅为-0.002, 河段鱼类群落处于严重干扰状态; 捕获鱼类样品均以 1 龄鱼占绝对优势, 比例为 81.75%; 体重明显偏小, 平均尾重仅 27.44g, 鲤平均体重 126.25g; 所有鱼类种群个体呈小型化、低龄化等特点。本次调查黄河下游 W 值均大于 0, 表明河段鱼类群落处于稳定状态。其中黄河巩义段优势种基本为鲤、鲫、鲂等广适型鱼种, 年际整体变化不大, 而利津段鱼类群落优势种和主要种变化相对较大。进一步分析显示, 巩义段内 W 值呈逐年下降

趋势，表明河段群落干扰因素逐渐加大；利津段呈逐渐增加趋势，鱼类群落从中度干扰状态逐渐转化为较稳定状态。2020 年捕获鲤鱼种群统计，巩义段中 3 龄以上鲤鱼占总捕获数的 94%，平均体重 675.9g，以 5 龄鱼最多；而利津段黄河鲤均为 3 龄以上，平均体重 1035.4g，相较 2010 年有显著增长，黄河下游鱼类已开始摆脱个体小型化、低龄化的不利状况。

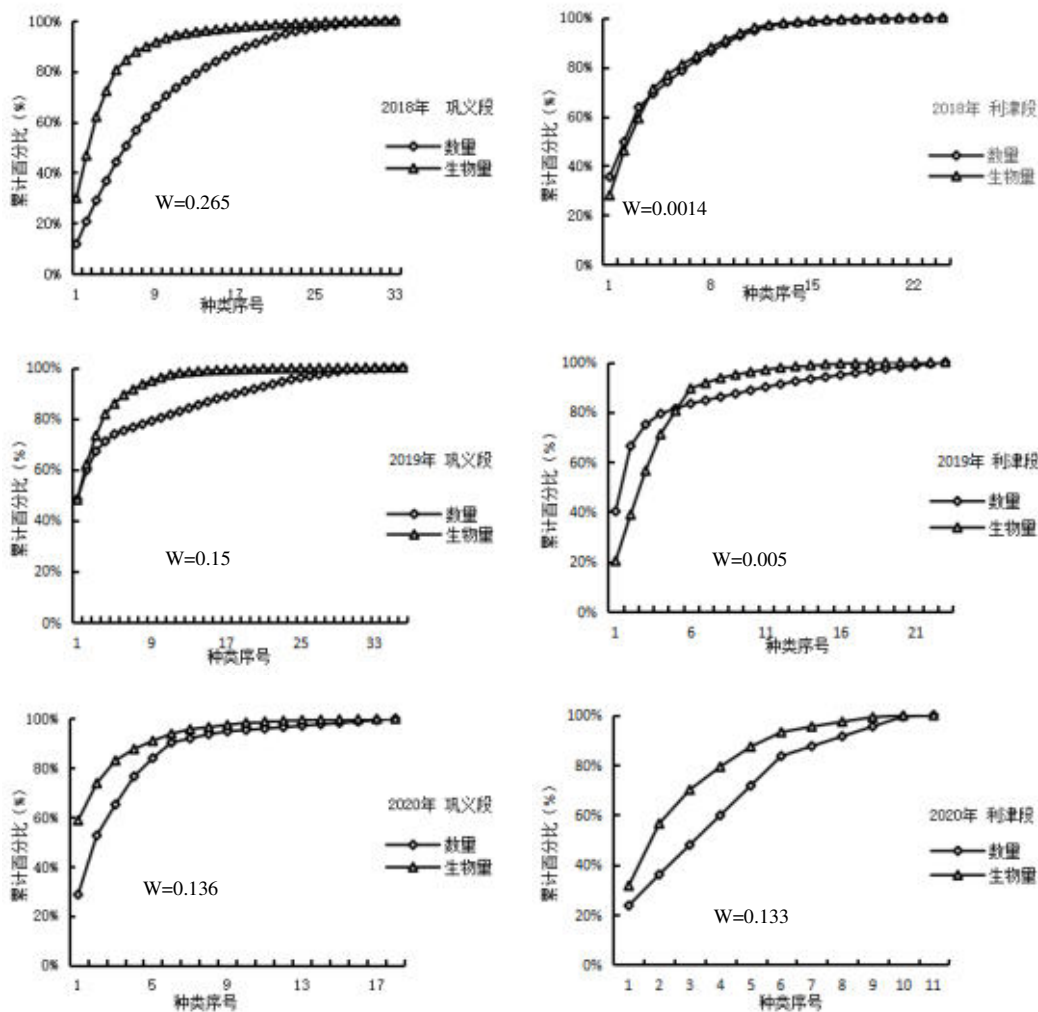


图 6.7.2-1 黄河下游巩义段和利津段鱼类群落 ABC 曲线

6.7.3 低温水下泄对鱼类的影响

水温是影响鱼类的重要环境因素。鱼类属于变温动物，水温直接影响鱼类的代谢强度，从而影响鱼类的摄食和生长。水温还影响鱼类的性腺发育和决定产卵开始的时间。大型水利工程建设，会改变坝下河道原有的天然水温过程，进而对鱼类产生影响。

(1) 水温月变化及影响范围

本次选取 1989-2020 年实际监测水温数据，将评价时段的划分为小浪底建库前（1989-1999 年），建库后（2000-2015 年）两个时期，选取花园口、高村等断面对小浪底建库前后水温变化进行分析。

花园口断面水温变化：小浪底水库运用前，花园口水温最高出现在 7 月份。最低水温出现在 1 月份。小浪底水库运行后，花园口水温最高出现在 8 月份，相位落后一个月。水库运行后，4-6 月份水温较建库前降低 2.1~3.5℃，11-2 月份水温较建库前升高。

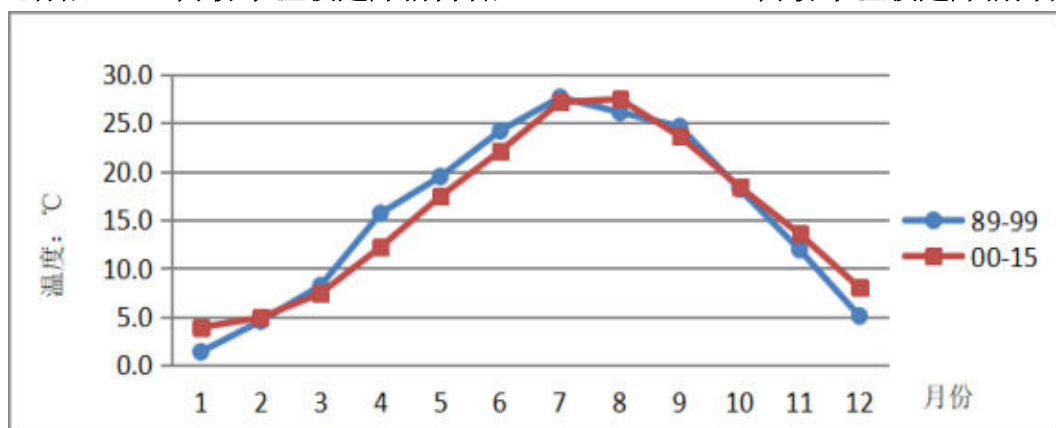


图 6.7.3-1 花园口水文站水温变化

高村断面水文变化：小浪底水库运用前后，高村水文站的水温整体呈现下降的趋势，其中变化较大的月份主要在 5 月和 6 月。高村断面以下，水温基本不受小浪底影响，下游河段水文影响距离大约有 300km。

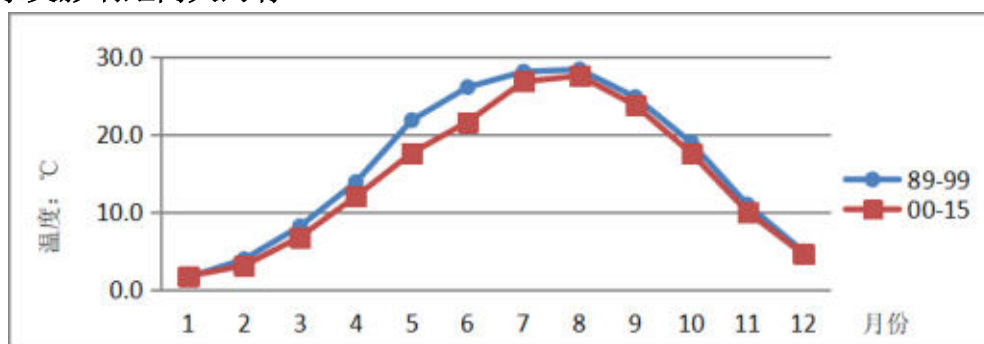


图 6.7.3-2 高村水文站水温变化

(2) 重要产卵场关键期水温日变化影响

巩义河段产卵场位于伊洛河入黄口下游约 5km 处，是黄河下游重要的鱼类产卵场。由于伊洛河汇入黄河，使得该河段的河势结构和生物组成相对复杂和多样化，形成了以伊洛河入黄口为中心相对较大的天然产卵场所。代表性鱼类有黄河鲤、兰州鲇。

为了解小浪底运行对巩义河段产卵场水温的影响，我院联合陕西水产所分别在巩义

河段产卵场（受小浪底水库运行影响）及伊洛河接近入黄口处（未受小浪底水库运行影响）处设置监测点，对水温进行监测。



图 6.7.3-3 巩义河段鱼类产卵场示意图

根据 2018 年 5 月 5-10 日监测情况来看，伊洛河水温比黄河高 11°C 左右，在该时段，小浪底水库运行使得巩义河段产卵场的温度降低了 6°C 左右，而在 5 月 20 日至 5 月 29 日，伊洛河水温比黄河高 $3-7.1^{\circ}\text{C}$ 。整体上小浪底水库运行使得产卵期的温度下降了 $3-7.1^{\circ}\text{C}$ 。

同时，对巩义河段产卵场的鱼卵及育苗进行监测，监测期间，5 月 9 号在伊洛河口发现已经孵化的鱼苗，测定伊洛河口水温 18.5°C （上午 9:00 测定），同期测定伊洛河口黄河干流处水温为 11.8°C （上午 9:00 测定）。可以看出，4 月下旬到 5 月上旬，伊洛河口处黄河干流水温一直徘徊在 10°C 左右，未发现鱼苗，而同期未受小浪底水库影响的伊洛河水温高出黄河干流 $4-6.7^{\circ}\text{C}$ 并发现鱼苗，说明小浪底下泄的低温水已导致下游河段的鱼类产卵期推迟，产卵期延迟 30 天左右。

6.7.4 调水调沙对鱼类的影响

调水调沙主要在每年 6~7 月进行，这和成鱼的繁殖期、幼鱼发育期相重合，调水调沙期间局部时段的水沙变化，确实对水生生态生境、鱼类产卵及鱼类资源产生了明显不利影响。调水调沙短时间内改变了黄河水沙的时空分布，在 20 天内水量集中下泄，可

能导致泥沙含量急剧增加、水质下降、溶解氧减少，对鱼类产生较大的负面影响。

鱼类因缺氧而产生浮头、晕厥的现象，俗称“流鱼”现象。“流鱼”原本是黄河中的自然现象，由于黄河本身是多泥沙河流，小浪底水库建设前大洪水期间也存在“流鱼”现象。调水调沙以后，“流鱼”分布时间由之前的相对分散变得相对集中，一般调水调沙结束后，水质在 20 天左右能恢复平常水平，随着水质的逐渐恢复，对鱼类的影响也会逐渐得到一定的恢复。

调水调沙结束后 30 天，鱼类资源逐渐得到一定的恢复。近年来，“流鱼”现象依然存在，但对鱼类的影响有所降低。原因有三个，一是针对“流鱼”现象，调水调沙的时间也作了一定的优化，2002 年调水调沙启动阶段，调水调沙期在 5 月，随着调水调沙的运行，“流鱼”问题的凸显，黄委对调水调沙期也进行了优化，时段调整为 6 月底 7 月初，排沙时间优化为 7 月初，尽量避开了鱼类产卵期。二是鱼类具有规避行为，根据在调水调沙对伊洛河口下游及伊洛河入黄口干流河段鱼类种类调查，在调水调沙期间，干流鱼类可转移到环境相对适宜的支流伊洛河水域，使得支流种类比调水调沙期间增加。调水调沙结束后，随着干流水质、泥沙的恢复，干流的鱼类资源逐渐得到一定恢复。三是随着生态环保意识的加强，强化管理，黄河流域从 2018 年实施禁渔期，避免了部分受影响鱼类被捕捞。调水调沙结束后，大部分的鱼类可以逐渐得到恢复。因此，借鉴黄河下游调水调沙的经验，本次古贤工程环评特提出了增殖放流、加强古贤上下游干支流栖息地保护、及实施鱼类庇佑所等措施，在发挥调水调沙正效益的同时，最大程度的减缓对鱼类的不利影响。

6.8 生态保护措施的有效性存在主要问题

6.8.1 生态环境保护措施有效性

根据 1986 年 3 月水电部黄委会勘测规划设计院编制的《黄河小浪底水利枢纽工程环境影响报告书》和 2002 年 8 月北京师范大学环境学院编制的《竣工验收环境影响调查报告》，小浪底水利枢纽工程运行期主要环境保护措施如下：

(1) 水库泥沙。采用足够的泄流规模，为泄洪排沙创造基本条件，运用方式宜实行“蓄清排浑”。

(2) 水质。小浪底水库调蓄作用后，黄河下游不再断流，并对库周工业废水及人口密集的乡镇排放污水进行了严格管控。

(3) 生态环境恢复措施。加强绿化，兴建拦渣墙，进行浆砌石、网格护坡，硬化管理区的道路及部分地表，对陡坡山包进行削级开挖，对所有的绿化地带进行整治、覆土及种草、种树绿化等。

根据文献资料和现场调研，蓄水运行后小浪底工程调度全年分伏汛、蓄水、凌汛、供水四个时期，各时期根据泄水目的分不同运用方式。与设计阶段相比，水库运用方式的主要区别在于供水运用原则增加了保证黄河基本生态用水和人民生活用水，避免黄河断流的调度目标。在制定水量调度计划及实施调度中，遵循量入为出、丰增枯减原则。拦沙运用初期控制小浪底水库水位不低于 210m，采取水位逐年抬高的运用方式，运行初期为低水位拦沙，主要为清水下泄，兼顾水库综合效益。

表 6.7.1-1 小浪底水利枢纽工程主要措施

类别	措施名称	是否采取
生态保护措施	生态流量落实措施	有
	低温水减缓工程措施	无
	过鱼及增殖放流措施	无
	水土流失防治措施	有
	土壤质量保护和占地恢复措施	有
	生态敏感区保护措施	有
水文情势减缓措施	生态流量用水泄水建筑物及运行方案	有
	调水工程改变水资源格局所采取的减缓措施和补偿措施等	有

6.8.2 存在的主要问题

根据前面分析，小浪底运行后，黄河干流断流得到了有效遏制，河道淤积得到了一定改善，生态流量保障程度得到一定提高，水环境质量得到一定提升，河流湿地及近海生态得到一定修复，小浪底水利枢纽工程发挥了巨大的作用。

同时，由于缺乏低温水减缓工程措施、过鱼及增殖放流措施，存在以下主要问题：

(1) 黄河水沙调控体系不完善，小浪底水库调水调沙后续动力不足，水沙调控整体合力难以充分发挥。当小浪底水库拦沙完成后，由于缺乏骨干工程配合，调水调沙后续动力不足，对进入黄河下游水沙的调控能力也越来越弱，下游河道又将淤积抬升。小浪底水利枢纽工程带来的正面效益难以持续。

(2) 小浪底水库建设后，不断总结三门峡、龙羊峡、刘家峡等工程建设的优缺点，

在运行的过程中，不断优化运行方式，在水量统一调度、生态调度、调水调沙等实践中发挥了重要作用。下游河流湿地经历了萎缩又逐渐恢复渐趋稳定的过程，鱼类种类及种群结构得到逐渐恢复，河口芦苇沼泽湿地逐年回升。但由于当时环保意识还不够先进，小浪底水库建设时，缺乏低温水减缓措施、过鱼措施、湿地补水等措施。工程运行后，由于低温水下泄、河道下切在一定时期对下游河流鱼类、湿地产生了一定的不利影响。具体表现在：

①低温水下泄使得巩义河段产卵场在产卵期水温降低了 $4\sim 6.7^{\circ}\text{C}$ ，小浪底下泄的低温水导致巩义河段鱼类产卵期推迟约 30 天。

②小浪底工程缺乏过鱼措施，大坝对上下游鱼类形成了一定阻隔。

③调水调沙期对鱼类产生短时间内的负面影响，应加强研究、监测，深入研究调水调水期对鱼类的影响。

建议古贤水利枢纽工程借鉴小浪底水利枢纽工程的经验，加强生态优化调度研究，以满足下游生态需水、防洪、灌溉、供水、沿黄及河口湿地自然保护区需求。加强低温水减缓工程措施、过鱼及增殖放流措施，减少工程建设对鱼类的影响。

6.9 小结

(1) 小浪底水利枢纽工程是黄河水沙调控体系的重要组成，目前黄河已建的龙羊峡、刘家峡、三门峡、小浪底等大型水利工程构成的尚未完善的水沙调控体系在防洪防凌、径流调节和协调水沙关系等方面发挥了重要作用。黄河干流断流得到了有效遏制，河道淤积得到了一定改善，生态流量保障程度得到一定提高，水环境质量得到一定提升，河流湿地及近海生态得到一定修复。对保障黄河中下游长治久安、下游生态安全作用重大。

(2) 由于当时环保意识还不够先进，小浪底水库建设时，缺乏低温水减缓措施、过鱼措施、湿地补水等措施，工程也存在“先天不足”的问题。小浪底低温水下泄，使巩义河段产卵场水温下降了 $4\sim 6.7^{\circ}\text{C}$ ，导致下游河段的鱼类产卵期推迟 30 天左右；工程缺乏过鱼措施，大坝对上下游鱼类形成了一定阻隔等。建议古贤水利枢纽工程借鉴小浪底水利枢纽工程的经验，加强低温水减缓工程措施、过鱼、增殖放流及生态调度措施，减少工程建设对鱼类的影响。

（3）调水调沙期，短时间泥沙含量急剧增加，对鱼类产生了明显的负面影响，“流鱼”现象受到关注。通过优化调水调沙时段，实施禁渔期，采取鱼类庇佑所保护等措施，可使得“流鱼”现象得到一定改善。建议加强调水调沙期对鱼类的影响研究，落实增殖放流、古贤上下游干支流鱼类栖息地保护、鱼类庇佑所等措施，在发挥调水调沙正效益的同时，最大程度的减缓对鱼类的不利影响。

第七章 水文泥沙情势及河道冲淤变化

7.1 评价思路及评价内容

古贤水利枢纽工程库容大，调节能力强，工程运行将对库区、坝址下游乃至黄河下游河段的水文泥沙情势、河道冲淤变化产生影响。本次水文泥沙情势及河道冲淤变化分析范围为古贤库尾吴堡断面至入海口河段。根据工程特性和影响程度，本次评价主要分为吴堡～坝址河段、坝址～三门峡河段、小浪底以下河段三个河段进行，评价思路及内容如下：

(1) 库区河段（吴堡～坝址河段）

库区河段是本次评价的重点河段之一。受水库蓄水影响，该河段由原来的峡谷型河段转化为库区河段，水位、水深、流速、泥沙淤积形态等水文泥沙情势将发生较大变化。

评价内容：

1) 现状：自 1986 年龙羊峡水库运行后，黄河中下游水沙情势发生了一定变化。以龙羊峡水库建设运行时间及全河水量统一调度为时间节点，主要分析了库区河段 1956 年～2020 年径流量、月均流量、含沙量等水文泥沙要素的变化。

2) 预测：结合设计单位水文调算成果，分析拦沙初期、拦沙后期及正常运用期各典型年库区及主要支流回水、河宽、水位、水深、流速变化、泥沙淤积形态及典型代表断面淤积情况，为地表水环境、水生生态、地质公园等影响分析提供支撑。

(2) 坝址～三门峡河段

坝址～三门峡河段是本次评价的重点河段之一。该河段中，坝址～龙门河段为峡谷型河段，龙门～潼关河段（俗称小北干流）河道宽浅游荡，为典型的游荡型河段。工程的调度运行将对坝址～三门峡河段流量、含沙量、流速、水位及小北干流河道冲淤变化产生直接的影响。

评价内容：

1) 现状：以刘家峡、龙羊峡水库建设运行时间及全河水量统一调度为时间节点，主要分析了龙门断面（坝址代表断面），潼关断面（位于坝址下游 205km）1956 年～

2020 年径流量、月均流量、含沙量等水文泥沙要素的变化。

2) 预测：结合设计单位水文调算成果，分析工程施工期、初期蓄水对该河段水文情势影响；分析拦沙初期、拦沙后期及正常运用期各典型年主要断面月均流量、含沙量变化；分析小北干流河段冲淤变化，为地表水环境、水生生态、壶口瀑布等影响分析提供支撑。

3) 生态流量确定及满足程度分析：确定该河段代表断面（龙门断面）生态流量及过程，分析生态流量现状满足程度，在水文情势预测分析的基础上，分析施工期、初期蓄水、各运行期生态流量满足程度。

（3）小浪底以下河段

小浪底以下河段为游荡型河段，现状河床高出背河地面 4~6m，比两岸平原高出更多，是举世闻名的“地上悬河”。目前该河段水文泥沙情势主要受小浪底水库调控，已成为高度人工调控河段。由于该河段的水文情势主要受控于小浪底水库和水量统一调度要求，本次评价对古贤建成后该河段的水文泥沙情势进行简要分析。

评价内容：

1) 现状：以刘家峡、龙羊峡水库建设运行时间及小浪底水库建设运行、全河水量统一调度为时间节点，分析花园口、高村、利津断面现状月均流量、断面冲淤及平滩流量变化情况；分析近年来黄河下游河段冲淤量、平滩流量变化；分析近年来入海水量变化情况。

2) 预测：预测无古贤情景下黄河下游河道冲淤变化及平滩流量变化趋势；预测分析运行期花园口、利津断面水文情势变化情况；预测分析运行期黄河下游河道冲淤变化及花园口、高村、利津断面冲淤变化及平滩流量变化。

3) 生态流量及满足程度分析

根据黄河流域综合规划等对利津断面生态流量要求，分析利津断面现状及运行期生态流量满足程度。

工程涉及主要河流及断面位置见示意图 7.1-1。本次评价选取的吴堡、龙门、潼关、小浪底、花园口、高村、利津站均为国家基本水文测站，拥有长系列水文观测资料，且上述几处水文断面可以代表工程直接或间接影响河段的水文状况。



图 7.1-1 工程与涉及主要河流及断面位置关系示意图

7.2 水文情势及河道冲淤现状

7.2.1 古贤库区～三门峡河段水文泥沙情势现状

吴堡断面（位于坝址上游 205km）为古贤水库入库代表断面，龙门断面（位于坝址下游 72.5km）为坝址代表断面，潼关断面（位于坝址下游 205km）为渭河汇入黄河后的控制性断面。本节通过整理分析吴堡、龙门、潼关断面水文泥沙现状数据，为预测分析水文泥沙情势变化提供基础数据。

7.2.1.1 主要断面水文情势现状

根据黄河干流龙羊峡、刘家峡及小浪底水库运用时间节点，结合 1956 年~2020 年长系列水文过程数据资料，将研究时段划分为四个阶段：

- (1) 1956 年~1986 年，龙羊峡水库运行前刘家峡水库单独运用阶段；
- (2) 1987 年~1999 年，刘家峡、龙羊峡水库联合调度阶段；
- (3) 2000 年~2020 年，小浪底水库运用和全河水量统一调度阶段。

分析统计 1956 年~1986 年龙羊峡水库运行之前，1987 年~1999 年刘家峡、龙羊峡联合调度期间，2000 年~2020 年黄河水量实施统一调度期间的水文泥沙情势变化，主要研究指标为：不同时期年径流量、不同时期月均流量。

1) 不同时期径流量变化

各时期吴堡(入库断面)、龙门(出库断面)、潼关断面径流量变化情况见图 7.2.1-1。

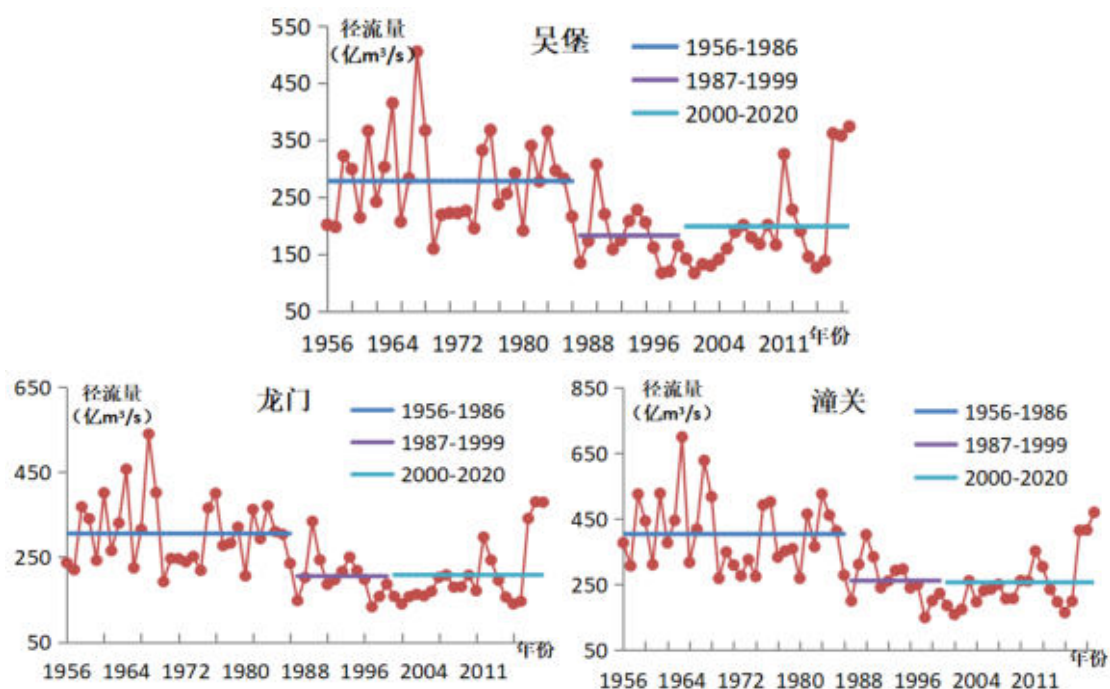


图 7.2.1-1 黄河干流吴堡、龙门、潼关断面历年径流量图

由图 7.2.1-1 可知：1956 年~2020 年，黄河干流吴堡、龙门、潼关断面年径流量总体呈现减少趋势。具体为：1956 年~1986 年，吴堡、龙门、潼关断面多年平均年径流量分别为 277.7 亿 m^3 、305.0 亿 m^3 、403.6 亿 m^3 ；1987 年~1999 年，吴堡、龙门、潼关断面多年平均年径流量较 1956 年~1986 年明显减少，分别减少了 95.6 亿 m^3 、100.1 亿 m^3 、142.0 亿 m^3 ；2000 年~2020 年，吴堡、龙门断面多年平均年径流量较 1987 年~

1999 年有所增加，分别增加了 16.2 亿 m^3 、2.9 亿 m^3 ，潼关断面多年平均年径流比 1987 年~1999 年减少了 5.1 亿 m^3 。1987 年~1999 年各断面多年平均年径流量比 1956 年~1986 年明显减少的原因主要为天然来水量减少，社会经济用水量增加，以及降水偏枯。

2) 不同时期月均流量变化

吴堡、龙门、潼关断面各时期月均流量变化见图 7.2.1-2。

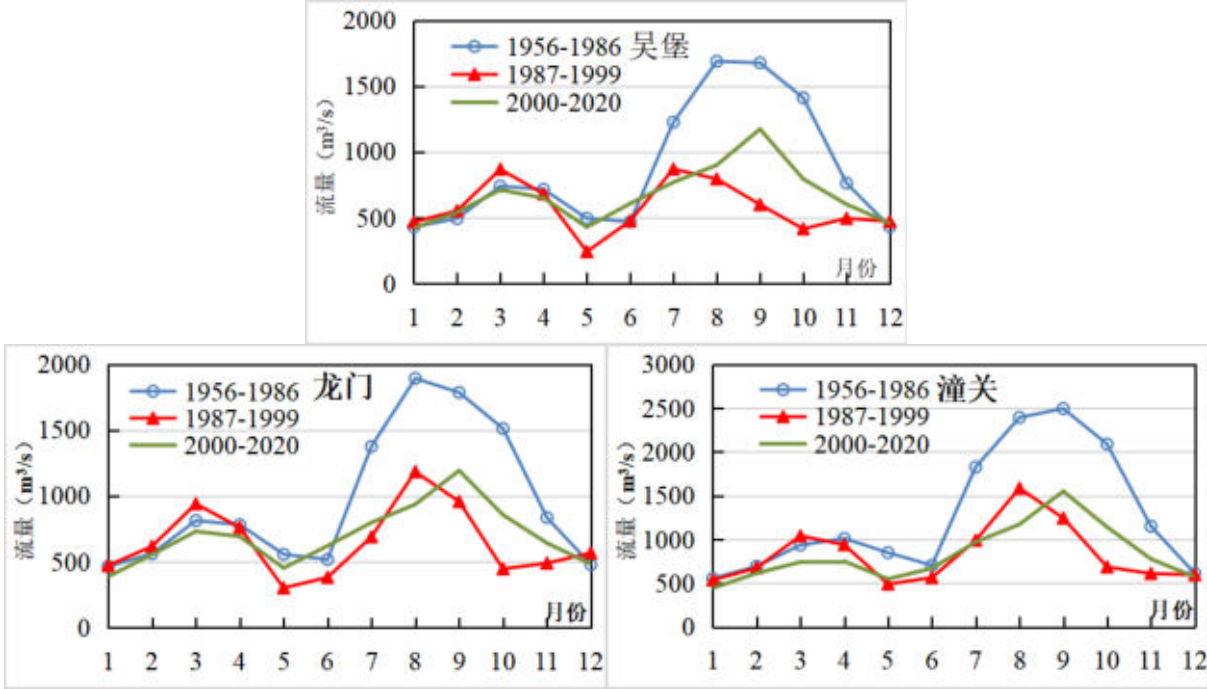


图 7.2.1-2 吴堡、龙门、潼关断面各时期逐月流量

由图 7.2.1-2 可知，从径流年内分布来看，不同时期汛期、非汛期径流量占比发生了一定变化。吴堡、龙门、潼关断面 1956 年~1986 年汛期径流占比分别为 57%、57%、58%，龙羊峡水库运行后 1987 年~1999 年降为 39%、42%、46%，全河水量统一调度后 2000 年~2020 年有所回升，变为 45%、46%、49%。

从各时期月均流量来看，1956 年~1986 年吴堡、龙门、潼关断面最大月均流量分别为 1688 m^3/s 、1899 m^3/s 、2495 m^3/s ，龙羊峡水库运行后 1987 年~1999 年分别降为 869 m^3/s 、1183 m^3/s 、1584 m^3/s ，全河水量统一调度后 2000 年~2020 年变为 1173 m^3/s 、1192 m^3/s 、1550 m^3/s ，其中吴堡、龙门断面有所增加，潼关断面有所减少；1956 年~1986 年吴堡、龙门、潼关断面最小月均流量分别为 429 m^3/s 、464 m^3/s 、553 m^3/s ，龙羊峡水库运行后 1987 年~1999 年分别降为 241 m^3/s 、300 m^3/s 、488 m^3/s ，全河水量统一调度后 2000 年~2020 年变为 420 m^3/s 、386 m^3/s 、442 m^3/s ，其中吴堡、龙门断面有所增加，潼

关断面有所减少。

7.2.1.2 主要断面泥沙现状

1956 年～2020 年不同时期吴堡、龙门及潼关断面输沙量及含沙量变化情况见表 7.2.1-1 及图 7.2.1-3～图 7.2.1-4。

表 7.2.1-1 吴堡、龙门、潼关站不同时期实测输沙量特征值统计表

断面	年份	输沙量 (亿 t)			含沙量 (kg/m³)		
		汛期	非汛期	全年	汛期	非汛期	全年
吴堡	1956～1986	4.5	0.8	5.2	28.3	6.4	18.8
	1987～1999	1.9	0.7	2.5	28.3	6.4	15.1
	2000～2020	0.7	0.2	0.9	8.5	1.5	4.6
龙门	1956～1986	7.8	1.0	8.8	44.8	7.5	28.6
	1987～1999	4.1	0.9	5.1	51.4	8.3	26.1
	2000～2020	1.3	0.3	1.5	14.0	2.2	7.4
潼关	1956～1986	11.1	2.0	13.1	47.0	11.8	32.2
	1987～1999	6.1	2.0	8.1	51.3	13.8	31.0
	2000～2020	1.9	0.6	2.4	17.5	4.7	10.6

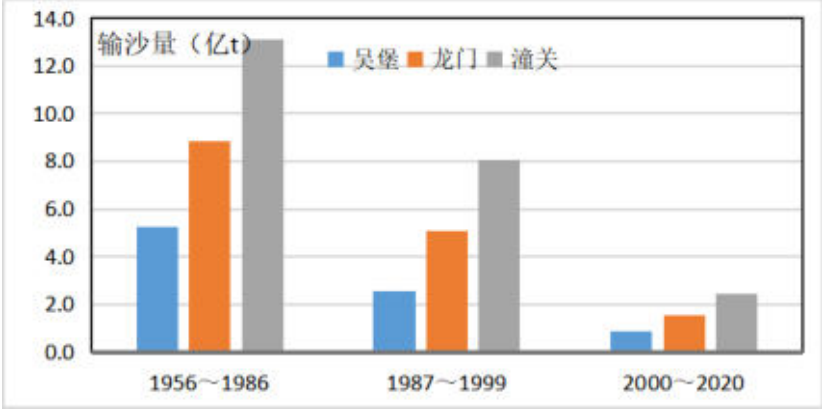


图 7.2.1-3 吴堡、龙门、潼关断面实测输沙量

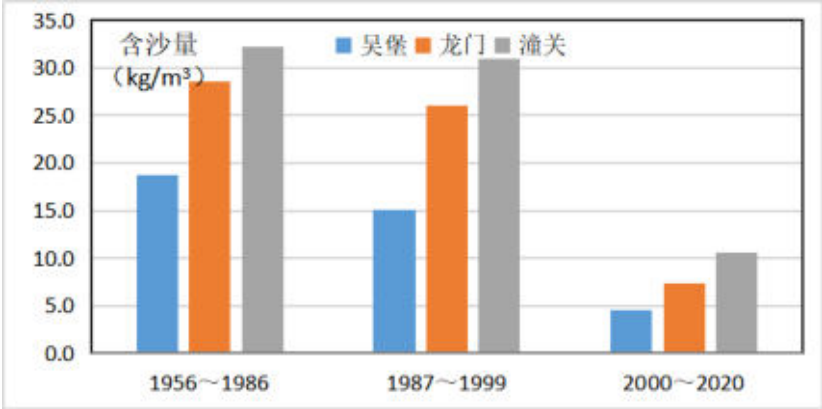


图 7.2.1-4 吴堡、龙门、潼关断面实测含沙量（年均）

从输沙量数据来看，各断面输沙量主要集中在汛期，约占全年沙量的 75%～89%。
从各时期实测输沙量来看，吴堡、龙门、潼关断面实测年输沙量呈现明显减小趋势，1956 年～1986 年各断面年输沙量为 5.2 亿 t、8.8 亿 t、13.1 亿 t，1987 年～1999 年各断面年

输沙量比 1956 年~1986 年分别减少 52%、42%、38%，2000 年~2020 年各断面年输沙量比 1987 年~1999 年分别减少 65%、70%、70%。沙量减少主要原因为黄河中游水利水保措施快速发展，还与中游地区暴雨及暴雨量级减小等有关。

从含沙量数据来看，汛期含沙量明显高于非汛期含沙量，汛期含沙量约为非汛期含沙量的 4~6 倍。从各时期含沙量数据来看，各时期年均含沙量呈减小趋势，1956 年~1986 年各断面年均含沙量分别为 18.8kg/m³，28.6kg/m³，32.2kg/m³，1987 年~1999 年各断面年均含沙量比 1956 年~1986 年分别减少 20%、9%、4%，2000 年~2020 年各断面年输沙量比 1987 年~1999 年分别减少 70%、72%、66%。

7.2.2 小浪底以下河段水文泥沙情势

本节选取黄河下游代表断面小浪底（小浪底出库站）、花园口（中下游分界断面）、高村（省界断面）、利津（入海口断面）共 4 个水文站，分时段对黄河下游干流河段水文泥沙情势变化、下游河段冲淤变化、平滩流量变化等进行分析。

7.2.2.1 年径流量变化

小浪底、花园口、高村、利津断面实测年径流量情况见下图。

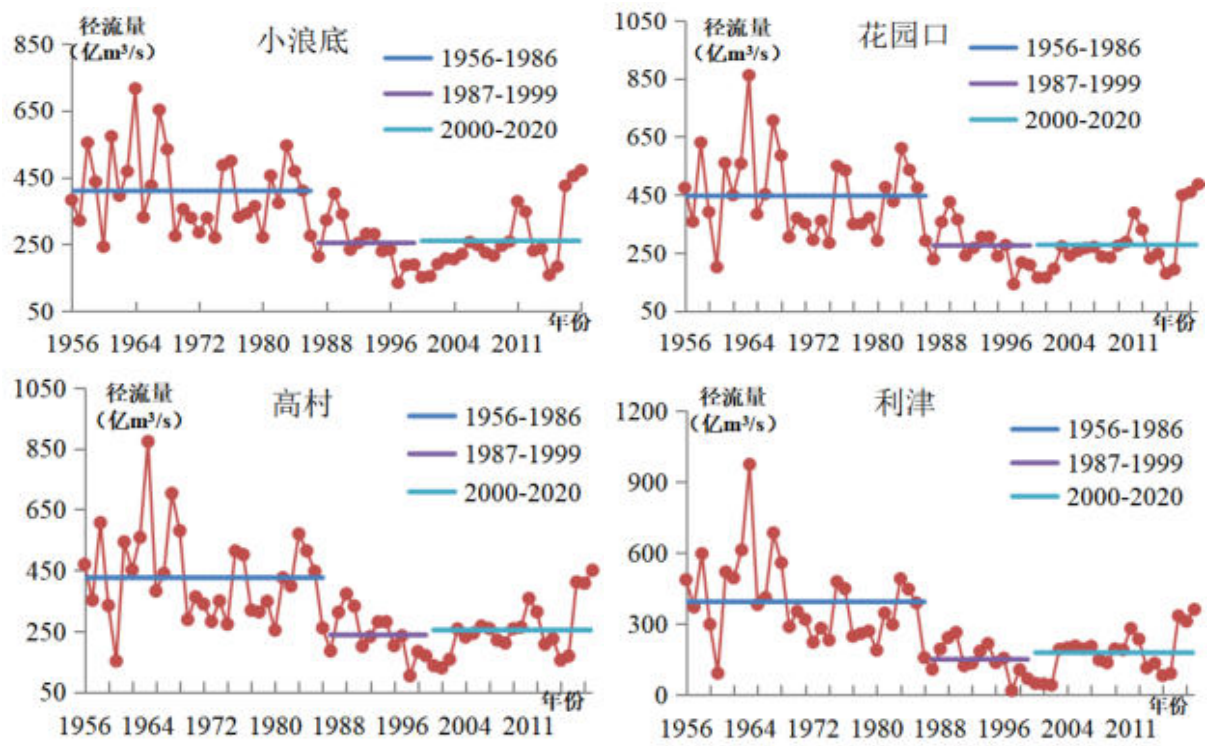


图 7.2.2-1 小浪底、花园口、高村、利津断面实测年径流量

由图 7.2.2-1 可知，1956 年~1986 年，小浪底、花园口、高村、利津断面多年平均

年径流量分别为 410.1 亿 m^3 、446.3 亿 m^3 、426.1 亿 m^3 、393.2 亿 m^3 ；1987 年~1999 年，小浪底、花园口、高村、利津断面多年平均年径流量比 1956 年~1986 年明显减少，分别减少了 155.6 亿 m^3 、171.0 亿 m^3 、188.3 亿 m^3 、243.1 亿 m^3 ，减少的原因主要为天然来水量减少，社会经济用水量增加；2000 年~2020 年，小浪底、花园口、高村、利津断面多年平均年径流量比 1987 年~1999 年有所增加，分别增加了 6.2 亿 m^3 、2.4 亿 m^3 、16.1 亿 m^3 、28.2 亿 m^3 。

7.2.2.2 月均流量变化

黄河干流小浪底、花园口、高村、利津 4 个断面不同时期月平均流量变化见图 7.2.2-2。

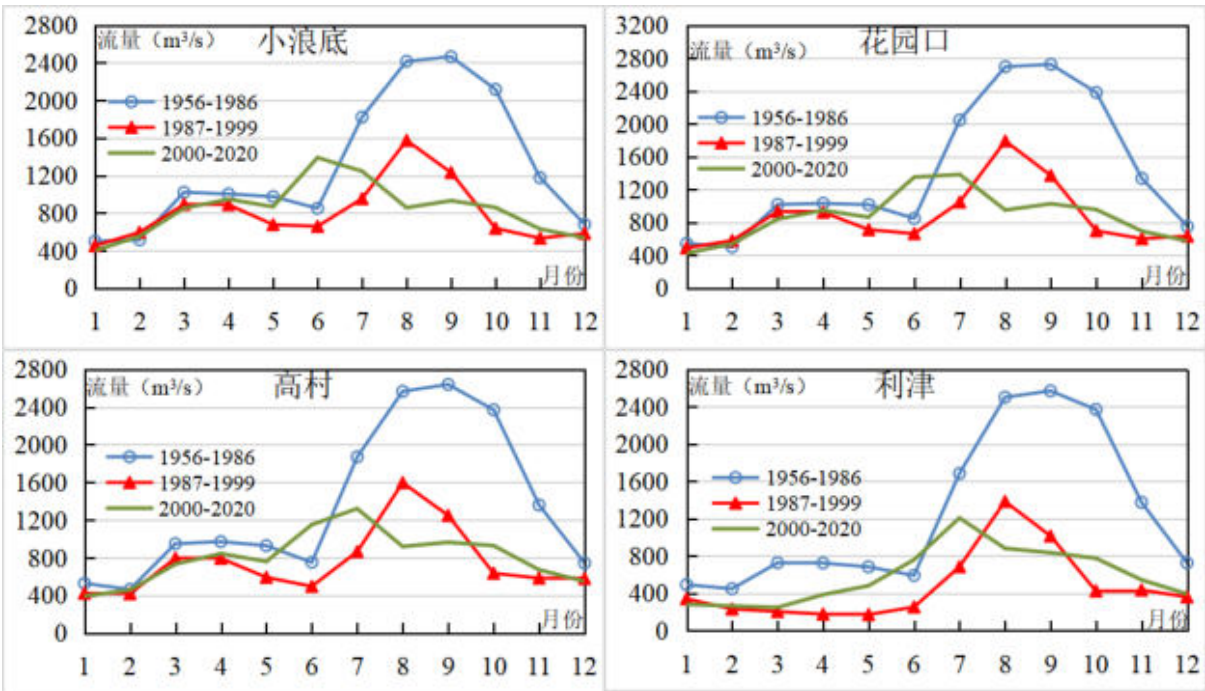


图 7.2.2-2 小浪底、花园口、高村、利津断面不同时期月平均流量

从径流年内分布来看，不同时期汛期、非汛期径流量占比发生了一定变化。小浪底、花园口、高村、利津断面 1956 年~1986 年汛期径流占比分别为 57%、59%、59%、62%；龙羊峡水库运行后 1987 年~1999 年小浪底、花园口、高村断面降为 46%、47%、48%，利津断面维持 62%；小浪底水库投入运用、全河水量统一调度后 2000 年~2020 年小浪底、花园口、高村、利津断面汛期径流占比降为 38%、41%、42%、55%。

从各时期月均流量来看，1956 年~1986 年小浪底、花园口、高村、利津断面最大月均流量分别为 $2465\text{m}^3/\text{s}$ 、 $2724\text{m}^3/\text{s}$ 、 $2638\text{m}^3/\text{s}$ 、 $2568\text{m}^3/\text{s}$ ，龙羊峡水库运行后 1987 年~1999 年分别降为 $1572\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1790\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1596\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1384\text{m}^3/\text{s}$ ，小浪底水库投入运用、全

河水量统一调度后 2000～2020 年降为 1389m³/s、1383m³/s、1321m³/s、1208m³/s。

7.2.2.3 河道冲淤变化

黄河下游河床是典型的复式冲积性河床，1956 年～2020 年各时期黄河下游河段冲淤情况见下表。

表 7.2.2-1 黄河下游河段冲淤量 单位：亿 t

项目	时段（年）	花园口~高村	高村~利津	花园口~利津
年均淤积量	1956-1986	0.75	0.89	1.63
	1987-1999	1.85	1.1	2.95
	2000-2020	-0.34	-0.02	-0.36
	1956-2020	0.62	0.64	1.26
累计淤积量	1956-1986	28.63	33.2	61.86
	1987-1999	24.1	14.26	38.36
	2000-2020	-7.04	-0.47	-7.51
	1956-2020	45.69	46.99	92.71

由上表可知，2000 年以前，黄河下游总体呈现淤积状态，1956 年～1999 年花园口至利津河段共淤积 100.22 亿 t。2000 年以来，黄河水量实施统一调度、小浪底水库开展调水调沙，花园口至利津河段呈现冲刷状态，年均冲刷 0.36 亿 t，共冲刷了 7.51 亿 t。

由此可以看出，小浪底建成后，通过水库拦沙及调水调沙，遏制了黄河下游河道淤积抬升，减缓了地上悬河的发展趋势。但从 1956 年～2020 年总体淤积情况来看，花园口至利津河段共淤积 92.71 亿 t，仍呈现淤积状态。

7.2.2.4 典型断面冲淤变化

本节选取黄河下游花园口、高村、利津断面不同时期实测大断面进行分析。

(1) 花园口断面

花园口不同时期断面形态见图 7.2.2-3。

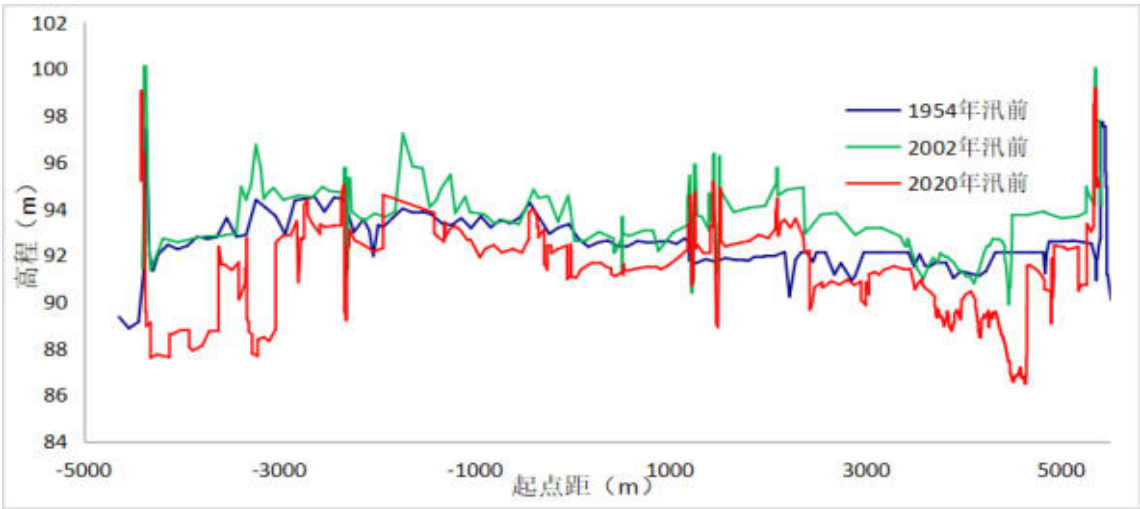


图 7.2.2-3 不同时期花园口断面形态

由图 7.2.2-3 可知，1954 年为河道处于天然状态，花园口断面主槽宽度 2354m，滩槽高差 1.47m；2002 年处于龙刘水库联合运用后小浪底水库调水调沙运用前阶段，河槽萎缩，主槽宽度大约 1375m，滩槽高差 1.20m；2020 年为小浪底水库运用第 21 年，主槽展宽到 2523m，滩槽高差为 4.63m，主槽宽度和滩槽高差都已经超过 1954 年。

（2）高村断面

高村断面不同时期断面形态见图 7.2.2-4。

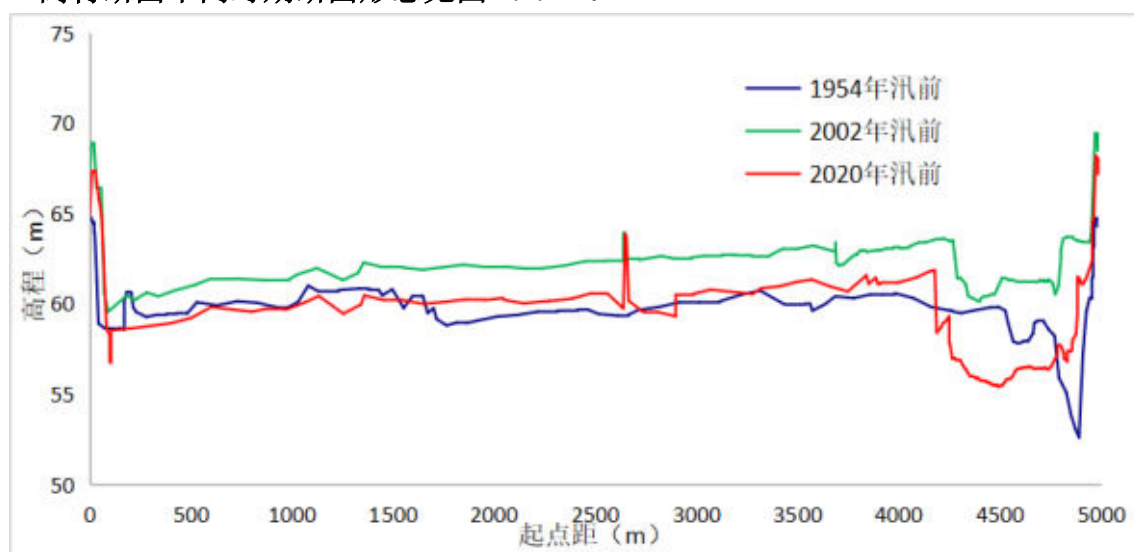


图 7.2.2-4 不同时期高村断面形态

由图 7.2.2-4 可知，1954 年高村断面主槽宽度 3462m，滩槽高差 3.75m；2002 年河槽萎缩，主槽宽度仅 593m，滩槽高差 3.12m；2020 年宽度约 1827m，滩槽高差为 5.97m，滩槽高差超过 1954 年，主槽过水面积明显增大。

（3）利津断面

利津断面不同时期断面形态见图 7.2.2-5。

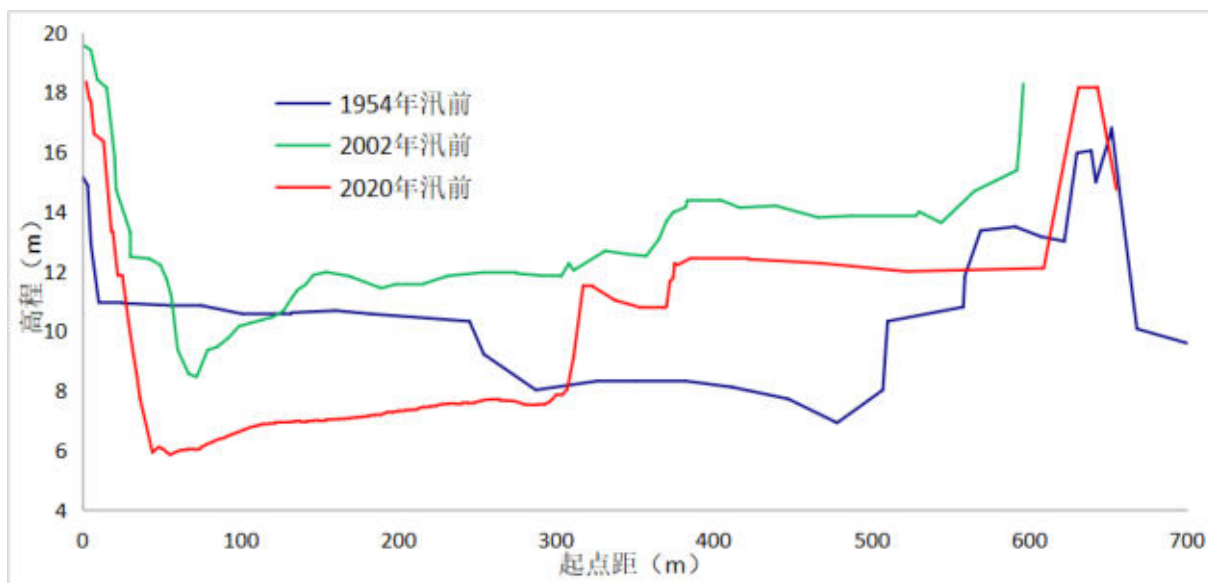


图 7.2.2-5 不同时期利津断面形态

由图 7.2.2-5 可知，1954 年利津断面主槽宽度 569m，滩槽高差 6.44m；2002 年河槽萎缩，主槽宽度仅 327m，滩槽高差 5.91m；2020 年主槽展宽变化不大，主槽宽 352m，滩槽高差为 6.58m，大于 1954 年。

由此可以看出，小浪底水库的拦沙及调水调沙是花园口、高村、利津断面发生调整变化的主动力，是下游断面冲淤变化的重要转折点。小浪底水库运用后，从 2002 年开始到 2014 年底，先后进行了 18 次调水调沙，下游河道逐渐冲刷，主槽变宽，滩槽高差增大。从各断面淤积形态变化情况看，距离小浪底水库较近的花园口断面冲刷最为明显。

7.2.2.5 平滩流量变化

黄河下游主要水文站的历年汛前平滩流量过程见图 7.2.2-6。

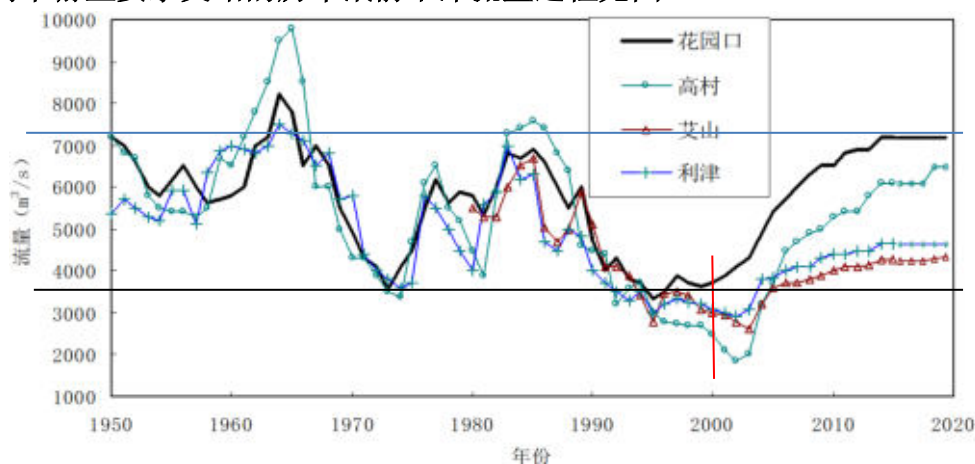


图 7.2.2-6 黄河下游主要断面平滩流量变化

由图 7.2.2-6 可以看出，三门峡水库 1960 年 9 月至 1964 年 10 月水库拦沙期，河道

强烈冲刷，平滩流量加大，1965 年汛前高村站平滩流量在 $9800\text{m}^3/\text{s}$ 。1965 年～1973 年三门峡水库改为滞洪排沙运用，大量排沙造成河道淤积，过洪能力急剧降低，平滩流量降低至历史较低值，1974 年汛前花园口的平滩流量仅有 $4120\text{m}^3/\text{s}$ ，高村仅 $3370\text{m}^3/\text{s}$ 。1974 年～1985 年三门峡水库蓄清排浑控制运用期，其中 1974 年～1980 年淤积较少，1980 年下游河道的平滩流量增大到 $4000\sim 5800\text{m}^3/\text{s}$ ；1981 年～1985 年平水少沙，中大流量历时很长，洪水场次多、洪峰流量较大，下游全程冲刷，河道排洪能力增大，到 1986 年汛前下游平滩流量一般约 $4700\sim 7400\text{m}^3/\text{s}$ ，较前期明显扩大。

1986 年以后水沙条件不利，尤其是漫滩洪水减少，下游河槽淤积量增加，平滩流量明显降低，特别是频繁的高含沙洪水如 1988 年、1992 年和 1994 年导致嫩滩淤积严重，到 1996 年汛前平滩流量约 $2800\sim 3500\text{m}^3/\text{s}$ ，经过 1996 年大漫滩洪水的淤积，到 2000 年汛前平滩流量仅 $2500\sim 3700\text{m}^3/\text{s}$ 。

1999 年随着小浪底水库大量蓄水，全年大部分时间是小流量下泄，下游河道淤积加重，到 2002 年汛前平滩流量高村断面萎缩到 $1850\text{m}^3/\text{s}$ ；经过 2002 年、2003 年和 2004 年调水调沙，下游河道持续冲刷，平滩流量又逐渐恢复，到 2005 年恢复到 $3700\text{m}^3/\text{s}$ ；2004 年以后下游河道继续冲刷，到 2009 年即小浪底水库运用 10 年后，2010 年汛前黄河下游平滩流量恢复到 $4000\sim 6500\text{m}^3/\text{s}$ ；小浪底水库运用 21 年后的 2020 年汛后，平滩流量恢复到 $4600\sim 7300\text{m}^3/\text{s}$ 。

由此可以看出，小浪底水库拦沙及调水调沙是黄河下游平滩流量变化的主动力，随着调水调沙的应用，黄河下游河道持续冲刷，平滩流量逐渐恢复。

7.2.2.6 现状入海水量

利津水文站是黄河径流入海前的最后一个水文观测站，本节利用 1956 年～2020 年利津断面实测径流量对黄河入海水量进行分析，详见图 7.2.2-7。

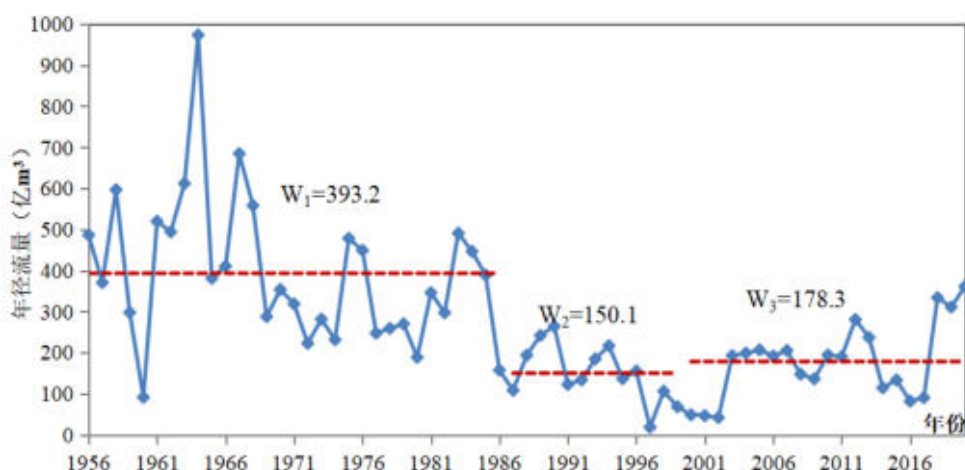


图 7.2.2-7 1956 年~2020 年利津断面实测径流量

由图 7.2.2-7 可知, 1956 年以来, 利津断面实测径流量呈现出明显的年际变化特征, 最大的年径流量为 1964 年的 973.07 亿 m^3 , 最小的年径流量为 1997 年的 18.61 亿 m^3 。1956 年~1986 年平均径流量为 393.2 亿 m^3 , 1987 年~1999 年平均径流量为 150.1 亿 m^3 , 2000 年~2020 年平均径流量为 178.3 亿 m^3 。由此可以看出, 1987 年~1999 年平均径流量比 1956 年~1986 年明显减少, 减少了 62%; 2000 年~2020 年平均径流量比 1987 年~1999 年有所增加, 增加了 19%。

从 1972 年到 1998 年, 黄河下游经常性断流。1997 年断流最为严重, 利津站断流 226 天。1999 年, 小浪底水库建成, 黄河实施水量统一调度, 黄河下游断流态势得到了有效遏制, 例如, 在 2002、2003、2007 年个别月份面临断流危机的紧要关头, 黄河水利委员会启动应急机制, 通过水库应急调度, 确保了黄河不断流。黄河水量统一调度以来 21 年间, 黄河入海水量超过 3000 亿 m^3 。源源不断黄河水的注入, 保证了下游河道生态系统功能的发挥, 也为近海生态环境持续改善提供了水资源保障。

7.3 生态流量确定

7.3.1 工程下泄生态流量

根据“关于印发《水电水利建设项目水环境与水生生态保护技术政策研讨会议纪要》的函”（环办函〔2006〕11 号文）和“关于印发《水电水利建设项目生态用水、低温水和过鱼设施环境影响评价技术指南（试行）》的函”（环评函〔2006〕4 号文），为维持坝址下游河流的基本生态需水, 古贤水库需下泄一定的生态流量。

根据《河湖生态环境需水计算规范》（SL/Z 712-2021）、《水电工程生态流量计算规范》（NB/T 35091-2016）、《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ 2.3-2018），结合坝下河流的水文特点，统筹考虑下游河道内外的综合用水需求，综合确定古贤水库下泄生态流量及过程。

（1）工农业生产及生活需水量

经调查，目前古贤库区河段无取水口，古贤坝址～三门峡坝址区间有取水口 21 处，年取水总量 10.86 亿 m³，取水用途包括农业取水口 17 处，工业取水口 4 处，生活取水口 4 处，其中禹门口黄河提水工程等取水口为工业、农业等综合取水口，坝址~三门峡河段取水口现状见表 7.3.1-1。古贤工程建成后，坝下取水口均被库区取水口替代，改善区域供水条件，由目前的抽黄、扬黄工程，变为从库区自流取水。因此本工程运行期不需考虑坝址下游河段的生产、生活用水要求。

表 7.3.1-1 黄河干流引水口现状

序号	取水口	年许可取水量（万 m³）	取水用途	距离坝址
1	禹门口黄河提水工程	18500	工业、农业	74.22km
2	北赵扬水站	2600	农业	125.2km
3	元上扬水站	2400	农业	135.7km
4	杨范扬水站	2200	农业	137.8km
5	夹马口一级泵站	18000	农业	147.4km
6	临猗县防氟供水工程	246	生活	140.1km
7	尊村引黄一级站	18923	农业、工业、生活	155.2km
8	风陵渡扬水站	1000	农业	204.73km
9	古贤扬水工程	360	农业	212.14km
10	新兴扬水工程	300	农业	222.85km
11	大禹渡扬水工程	3000	农业	249.7km
12	马崖扬水工程	600	农业	273.39km
13	常乐坦扬水工程	360	农业	289.3km
14	平陆邵官扬水工程	600	农业	305.61km
15	禹门口抽黄提灌站	200	农业	73.94 km
16	韩城二电厂取水工程	1800	工业、生活	78.33km
17	东雷抽黄工程	13000	农业	134.28km
18	东雷抽黄续建工程	20000	农业	134.7km
19	港口抽黄灌溉工程	1800	农业	204.1km
20	第三水厂一级站	2400	生活	307.38km
21	惠能热电取水井群	312	工业	275.52km

（2）维持水生生态系统稳定所需水量

根据水生生态现状调查，坝下分布有产沉粘性卵及产漂流性卵产卵场，评价河段主要鱼类有黄河鲤、鲫、麦穗鱼、蛇鮈、赤眼鳟等，以产沉粘卵鱼类为主。本次评价根据

主要鱼类的生态习性、繁殖特点及对生态水文需求，提出敏感期生态流量。

（3）维持河道水质的最小稀释净化水量

由于本工程坝下河段有污染源汇入，需要考虑下游的水环境容量和维持下游河段水环境功能要求，因此需要计算河道内环境需水量。

（4）河道输沙需水量

坝址以下小北干流河段（禹门口至潼关河段）为典型的堆积游荡型河道，主流摆动不定，河床宽浅，水流散乱，潼关断面高程变化揭示渭河下游河道淤积状况。古贤水库在联合调水调沙运用中的作用之一即为降低潼关高程，因此，需考虑降低潼关高程所需流量，该流量过程主要在调水调沙期进行考虑，本次生态流量确定不再计算河道输沙需水量。

（5）水面蒸散量

由于坝下河段水面蒸发消耗的水量对于河道流量而言很少，因此，水面蒸散引起的水量损耗可以忽略。

（6）维持地下水位动态平衡所需要的补给水量

根据地下水环境预测结果，古贤水库调度运行不会对小北干流河段两侧湿地地下水位造成较大影响。因此，不再单独考虑地下水补给水量。

（7）航运景观和水上娱乐环境需水量

黄河壶口瀑布位于古贤水利枢纽下游 10.1km 处，壶口瀑布的形态与流量密切相关，因此，需考虑壶口瀑布景观需水。

（8）河道外生态需水量

坝下小北干流河段（禹门口至潼关河段）主河道游荡摆动，河床比降较小，使得泥沙大量沉积，水流在河床中留下许多裸滩、河心洲，形成了特殊的沿河洪漫湿地，呈带状分布在沿河两岸。小北干流湿地与黄河水力联系密切，游荡摆动的河势塑造了小北干流湿地的总体格局，维持河道适宜的生态流量是维持湿地生态系统的关键要素，因此，需考虑小北干流湿地需水量。

（9）用水需求综合分析

综上所述，本次生态流量计算需考虑鱼类需水量、河道内环境需水量、壶口瀑布景

观需水量及小北干流湿地需水量。

7.3.1.1 敏感保护对象及生态流（水）量需求

古贤水利枢纽工程对水文情势控制河段主要为坝址～三门峡河段，该河段是本次生态流量重点研究的河段。该河段的敏感保护对象主要有小北干流湿地、小北干流河段鱼类、壶口瀑布景观，在进行敏感需水计算时主要考虑这三个敏感保护对象的需水。

1. 小北干流湿地

古贤水利枢纽工程坝址下游约 72km 处的黄河禹门口至潼关河段（又称禹潼河段、小北干流河段），全长 132.5km，为典型的堆积游荡型河道，主流摆动不定，河床宽浅，水流散乱，使得泥沙大量沉积，水流在河床中留下许多裸滩、河心洲，形成了特殊的沿河洪漫湿地，呈带状分布在沿河两岸。小北干流湿地随河道的变迁而处于动态变化中，其形成、发展和演变与河流水沙条件、河道边界条件等息息相关。

根据小北干流湿地需（补）水量计算结果（计算过程详见 11.4.2.5 节生态补水量及过程分析），综合考虑河段湿地用水需求和黄河水资源特点，古贤工程运行后，通过在每年 4～7 月塑造 3000-4000m³/s 的漫滩洪水过程，持续时间 5～7 天，或在每年 4～6 月实施生态补水，补水量不少于 0.66 亿 m³，可基本满足湿地生态用水需求。

2. 小北干流河段鱼类

根据水生生态现状调查，小北干流河段调查到鱼类有 35 种，其中鲤形目鲤科 20 种，占绝对优势。主要鱼类有黄河鲤、鲫、麦穗鱼、蛇鮈、赤眼鳟等。本次评价根据主要鱼类的生态习性、繁殖特点及对生态水文需求，提出敏感期生态流量。

（1）主要鱼类生态水文需求

调查河段鱼类繁殖时间为 3 月至 9 月，集中繁殖期为 4 月至 6 月。调查范围内无长距离洄游性鱼类，部分产漂流性卵鱼类存在一定距离的生殖洄游。多数鱼类产卵繁殖水温在 18℃ 以上，产卵较早的鱼类水温达到 12℃ 以上开始产卵。鱼类产卵类型包括产沉粘性卵和漂流性卵，评价河段鱼类以产沉粘卵鱼类为主。主要鱼类繁殖特点及生态水文需求见表 7.3.1-2。

表 7.3.1-2 评价河段主要鱼类繁殖特点及生态水文需求

种类	产卵类型	产卵期	水温	水深、水面宽	流速	生境
黄河鲤、 鲫、麦穗 鱼等	沉粘性 卵	4-6 月	水温 16℃ 以 上, 适宜产卵 水温 18℃ ~ 24℃	水深: 0.5m~ 3.25m 水面宽: 一般大于 50m	0.1m/s~1.5m/s 适宜流速: 0.3m/s~0.7m/s	在河流靠近岸边的 有水草的浅水区产 卵
蛇鮈、赤 眼鳟	漂流性 卵	蛇鮈: 4-6 月 赤眼鳟: 6-8 月	水温 12℃ 以 上	水深: 0.4~2m	>0.2m/s 适宜流速: 0.5~ 1.0m/s	微流水、底质为卵 石或砂质的浅水河 滩

(2) 鱼类生态需水计算

采用生境模拟法对小北干流部分河段(鱼类产卵场所在河段)鱼类繁殖期所需生态流量进行计算,时段为评价河段鱼类集中产卵期 4~6 月。

1) 产卵场分布及计算河段

小北干流部分河段 5 处产卵场信息详见表 7.3.1-3,产卵场位置及计算代表断面位置示意如图 7.3.1-1 所示,计算代表断面大断面图如图 7.3.1-2 所示。

表 7.3.1-3 小北干流河段产卵场基本情况

序号	产卵场位置	产卵类型	生境基本情况	与工程位置关系
1	峪口控导—— 榆林控导约 30km 河段	产沉粘 性卵	淤积游荡型河道,河道宽浅,水流散乱,主流游荡不定, 分布有不连续漫滩,水生、湿生植物丰茂	距坝址约 96km
2	韩城市芝川河 段 8km	产漂流 性卵	水流相对较缓,泥沙底质,多缓流生境,散流、沙滩、湿 地基本分布在黄河左侧,湿地面积较大,湿地湿生植被以 芦苇、蒲草等为主	距坝址约 100km
3	榆林控导河段 2km	产漂流 性卵	水流相对较缓,泥沙底质,多缓流生境,散流、沙滩、湿 地基本分布在黄河左侧,湿地面积较大,湿地湿生植被以 芦苇、蒲草等为主	距坝址约 117km
4	申都控导—华 原控导约 30km 河段	产沉粘 性卵	生境条件与峪口控导—榆林控导较为一致,大面积的漫 滩、散乱流,河滩分布大量湿生植被,形成大面积的芦苇、 蒲草群落结构	距坝址约 158km
5	潼关黄河大拐 弯约 15km 河 段	产沉粘 性卵	大面积散流漫滩及河心洲,湿生植被繁茂,形成鱼类良好 的栖息繁殖生境	距坝址约 208km



图 7.3.1-1 小北干流产卵场及计算代表断面位置示意图

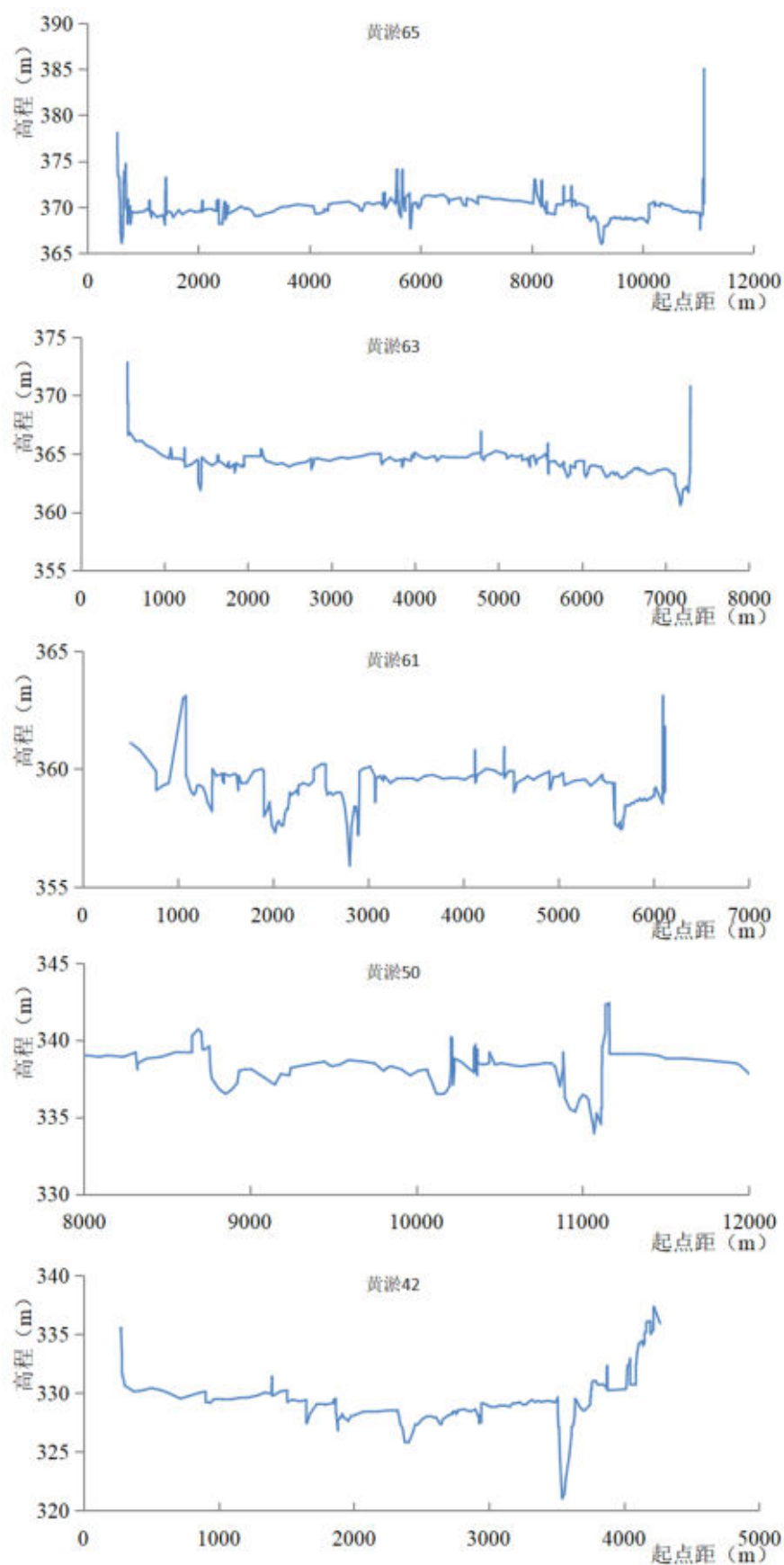


图 7.3.1-2 计算代表断面大断面图

2) 产卵期生境适宜度曲线

栖息地适宜度指数 HSI (Habitat Suitability Indices) 是定量衡量一个物种特定行为特性与其周围栖息地环境特性关系的标准, 可通过指示物种出现频率和分布情况来确定, 是栖息地模拟法的生物学基础。黄河鲤、蛇鮈繁殖期栖息地适宜度指数曲线见下图。

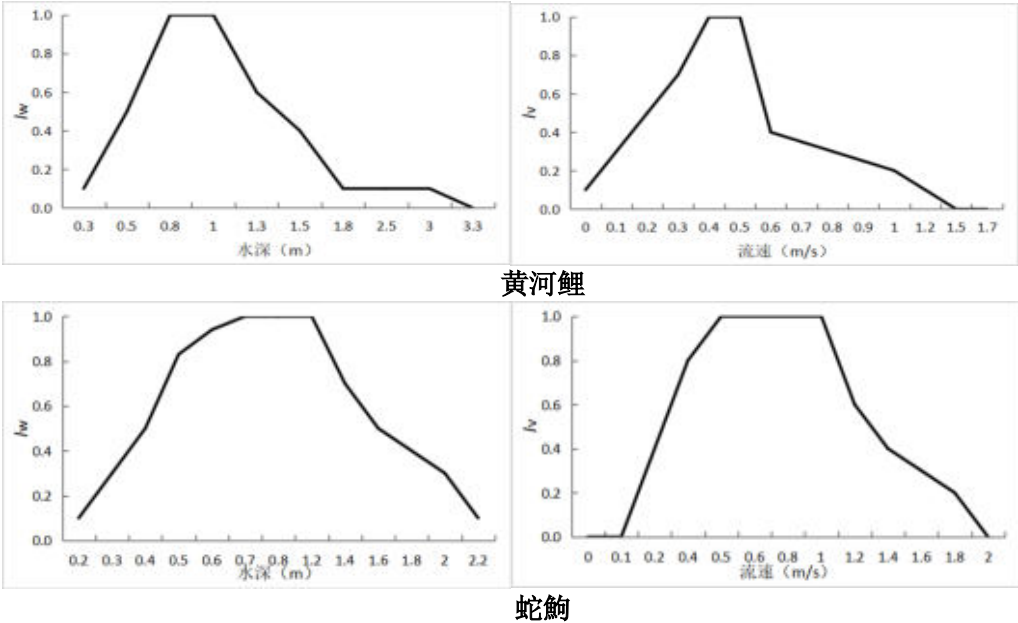


图 7.3.1-3 黄河鲤、蛇鮈水深、流速适宜度曲线

3) 不同流量栖息地面积计算

分别计算了工程下泄多年平均流量不同比例情况下, 5 处产卵场所在河段水深、流速加权可利用面积 WUA。

表 7.3.1-4 5 处产卵场所在河段不同流量下 WUA 统计

流量 (m³/s)	占多年平均流量百分比	WUA(km²)				
		1 号	2 号	3 号	4 号	5 号
56	5.0%	0.37	0.26	0.58	1.49	0.09
84	7.5%	0.46	0.53	0.83	1.82	0.22
112	10.0%	0.57	0.86	1.42	2.02	0.35
140	12.5%	1.22	1.17	1.61	2.94	0.53
168	15.0%	1.43	1.75	1.93	3.26	0.83
196	17.5%	2.95	2.43	3.38	4.16	0.91
224	20.0%	3.32	2.75	3.66	4.37	0.90
252	22.5%	3.31	2.78	3.64	4.53	0.91
280	25.0%	3.30	2.72	3.55	4.43	0.89
307	27.5%	3.28	2.70	3.49	4.40	0.86
336	30.0%	3.25	2.63	3.42	4.29	0.84
363	32.5%	3.21	2.55	3.38	4.16	0.83
391	35.0%	3.16	2.51	3.30	4.09	0.80
419	37.5%	3.13	2.47	3.21	4.03	0.79
447	40.0%	3.05	2.40	3.10	3.91	0.75
475	42.5%	2.98	2.33	2.94	3.80	0.74
503	45.0%	2.91	2.29	2.88	3.73	0.72
531	47.5%	2.73	2.19	2.73	3.57	0.70

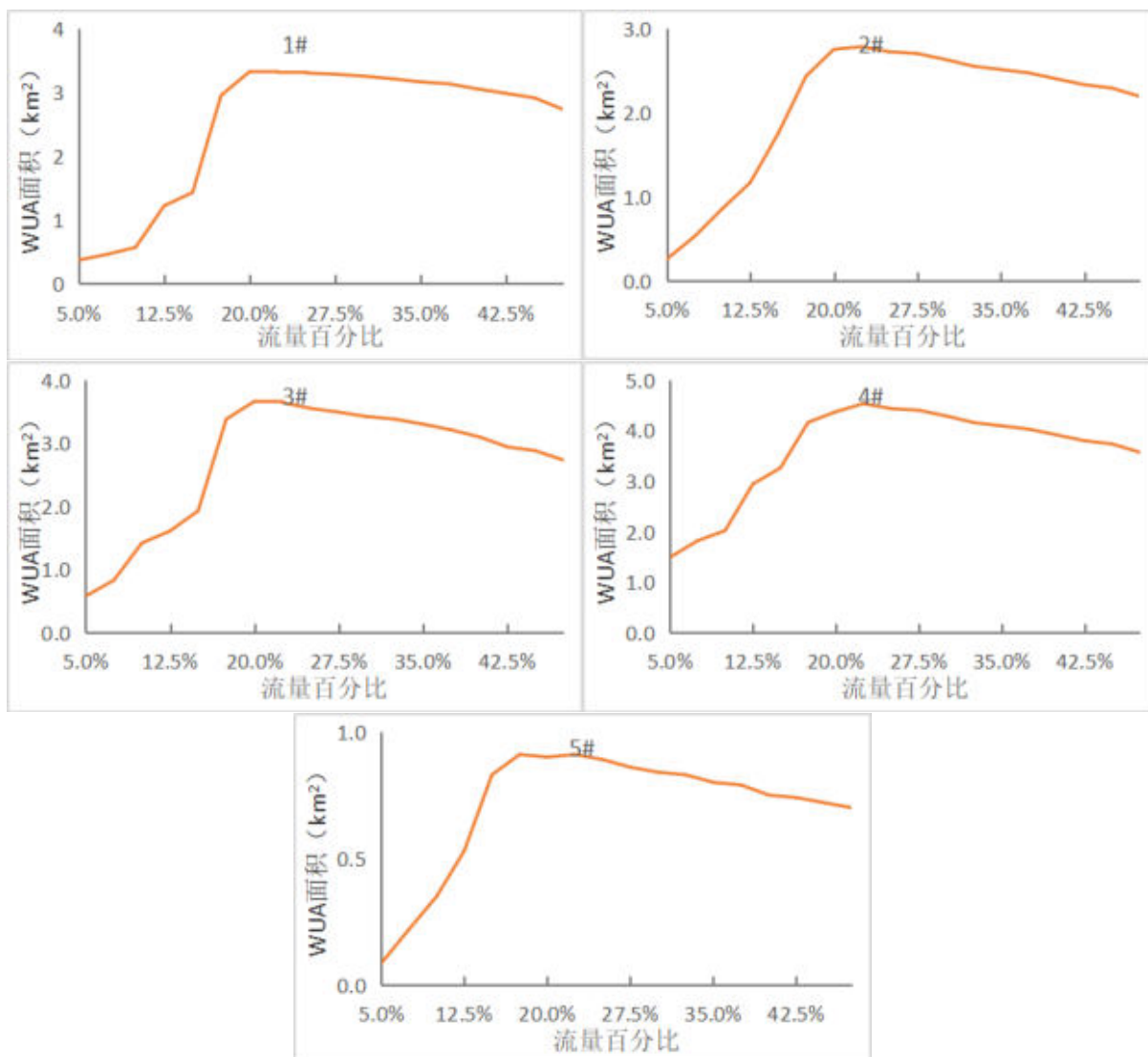


图 7.3.1-4 5 处产卵场所在河段流量与 WUA 关系

根据计算结果可以看出，不同河段 WUA 达到最大值时对应的流量略有差异，5 处产卵场所在河段推荐流量限值分别为 $220\text{m}^3/\text{s} \sim 252\text{m}^3/\text{s}$ 、 $220\text{m}^3/\text{s} \sim 260\text{m}^3/\text{s}$ 、 $210\text{m}^3/\text{s} \sim 252\text{m}^3/\text{s}$ 、 $230\text{m}^3/\text{s} \sim 252\text{m}^3/\text{s}$ 、 $196\text{m}^3/\text{s} \sim 250\text{m}^3/\text{s}$ 。因此，小北干流河段鱼类繁殖期的生态流量为 $196\text{m}^3/\text{s} \sim 260\text{m}^3/\text{s}$ ，经对比黄流规中关于 4 月~6 月适宜流量为 $240\text{m}^3/\text{s}$ ，综合确定鱼类繁殖期 4 月~6 月生态流量为 $240\text{m}^3/\text{s}$ 。

3. 壶口瀑布景观需水

1) 不同流量下壶口瀑布景观情况

黄河壶口瀑布位于古贤水利枢纽下游 10.1km 处，壶口瀑布的形态与流量密切相关，因不同流量级水量而形成了主瀑、侧瀑景观和多样的瀑布形态，瀑布的气势、声音也随着流量条件的改变而变化。结合 2015 年 6 月~2016 年 9 月龙门水文站日均流量、日内实时流量数据，对现场观测照片、视频进行统计分析，在此基础上，确定了壶口瀑布不

同形态、规模与流量的响应关系，具体分析过程可见 15.3.2 节。

不同规模壶口瀑布对应的流量分级情况见表 7.3.1-5。

表 7.3.1-5 不同规模壶口瀑布对应的流量分级情况统计表

瀑布形态	瀑布规模	流量分级 (m^3/s)	备注
仅有主瀑	主瀑偏小	≤ 200	
	主瀑正常	$200 \sim 400$	
有侧瀑	小型侧瀑	$400 \sim 600$	较佳的观瀑效果
	中型侧瀑	$600 \sim 850$	
	大型侧瀑	$850 \sim 1250$	
主侧相连	巨大瀑布	$1250 \sim 2000$	
漫滩		>2000	

2) 壶口瀑布景观流量需求

① 壶口景观保护要求

黄河自 1999 年实行全河水量统一调度和管理，壶口上游 600km 处的万家寨水利枢纽 1999 年开始正式运行，黄河自 1999 年以来形成了较为稳定的水沙调控模式，成为高度人工调控的河流，因此，古贤运行后壶口瀑布景观的维护和改善，以 1999 年~2020 年的景观特征为基准。经统计，1999 年~2020 年壶口河段最佳观瀑流量 $600\text{m}^3/\text{s} \sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ 出现的天数为 113 天/年。

② 壶口景观流量需求

根据 1999 年~2020 年壶口瀑布景观规模的实际情况，考虑景观观赏实际需要，结合工程调度实际，提出以下壶口瀑布景观流量需求：

i. 为保证壶口瀑布景观观赏条件，应当保证全年白天观景时段（8:00-18:00）下泄流量不小于 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ ；

ii. 全年白天观景时段（8:00-18:00）内最佳观瀑流量 $600\text{m}^3/\text{s} \sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ 出现的天数不低于 113 天/年。

7.3.1.2 生态流量计算

生态流量计算方法主要有水文学法、水力学法、生境模拟法和整体法等多种生态基流分析计算方法，其中水文学法和水力学法运用较为普遍。本次评价生态流量计算选择水文学法中的 Tennant 法、 Q_p 法及水力学法中的湿周法。

(1) 水文学法

水文学法以历史流量为基础，根据简单的水文指标确定河道内生态需水。常用的水文学法有 Tennant 法、 Q_p 法等。Tennant 法适用于流量较大的河流，一般作为河流最初

目标管理、战略性管理方法使用，具有简单、快捷、便于宏观管理的特点。 Q_p 法适用于水资源量少，且开发利用程度已经较高的河流，用于维持河流不断流以及满足必要的纳污水量条件。考虑到禹门口~潼关河段有排污口分布，需考虑维持河流纳污能力的水量，因此选用 Tennant 法和 Q_p 法共同计算生态流量。

1) Tennant 法

Tennant 法根据水文资料和现场调查结果，以年平均径流量百分数来描述河道内流量状态。Tennant 法推荐的流量标准见表 7.3.1-6，其保护目标为鱼、水鸟、长毛皮的动物、爬虫动物、两栖动物、软体动物、水生无脊椎动物和与人类争水的生命形式。

表 7.3.1-6 Tennant 法推荐流量表

流量状况描述	一般用水期（10 月至次年 3 月）推荐的基流（%年平均流量）	鱼类产卵育幼期（4~9 月）推荐的基流（%年平均流量）
泛滥或最大		200
最佳范围	60-100	60-100
很好	40	60
好	30	50
良好	20	40
一般或较差	10	30
差或最小	10	10
极差	<10	<10

近年来，随着气候变化和人类活动的共同影响，流域经济社会用水增加、水利水电工程建设加快、人类活动加剧、水文循环复杂，黄河实测径流、洪水等水文特征发生了较大变化。因此，对 1956 年~2010 年径流进行还原计算，还原后的 1956 年~2010 年多年平均天然径流量为 352.5 亿 m^3 ，多年平均流量约为 $1118m^3/s$ 。根据 Tennant 法推荐流量表，并结合黄河汛期、非汛期划分时间，本次评价选取多年平均流量的 10% ($112m^3/s$)、30% ($336m^3/s$) 作为龙门断面非汛期（11 月~次年 6 月）、汛期（7 月~10 月）生态流量。

2) Q_p 法

“ Q_p 法”称为不同频率最枯月平均值法，以节点长系列天然月平均流量或径流量为基础，用每年的最枯月排频，选择不同频率下的最枯月平均流量或径流量作为基本生态环境需水量的最小值。频率 P 根据河湖水资源开发利用程度、规模、来水等实际情况确定，一般取 90%。对龙门水文站 1956 年~2010 年最枯月均流量进行排频，计算 90% 保证率下的最枯月流量为 $172m^3/s$ 。为保证水体对污染物质一定量稀释净化能力，取

172m³/s 作为河道内环境需水量。

(2) 生态水力学法

生态水力学法主要有基于水力学参数提出的湿周法和 R2-Cross 法，其特点是通过研究河宽、水深、断面面积、流速、湿周等与栖息地质量的关系来估算河道内流量的最小值，确定能够提供特定对象生境保护要求的生态流量，并评价低于某一流量时可能发生的生境面积和功能损失。在计算特定区域生态需水，且生境保护与水域条件有明显相关关系时，推荐采用生态水力学法进行计算分析。湿周受河道形状的影响比较大，比较适用于宽浅矩形渠道和抛物线形河道等河床形状稳定的河流。R2-Cross 法标准设定范围较小，仅对河宽小于 30m 的中小型河流进行了标准设定，大中型河流的标准没有明显设定。因此，采用湿周法计算生态流量。

湿周法利用河流的湿周作为水生生物栖息地质量指标来估算河流的生态基流。该法遵循的原理是以保护临界区域水生生物栖息地的湿周来维持临界区域以下水生生物栖息地的稳定。湿周法一般根据河流湿周~流量关系图上的拐点来确定生态基流。当拐点不明显时，以某个湿周率对应的流量作为生态流量。

根据一维水动力学计算结果，绘制龙门断面的湿周-流量关系线，采用拟合曲线中斜率为 1 的位置作为拐点判定依据，见图 7.3.1-5。

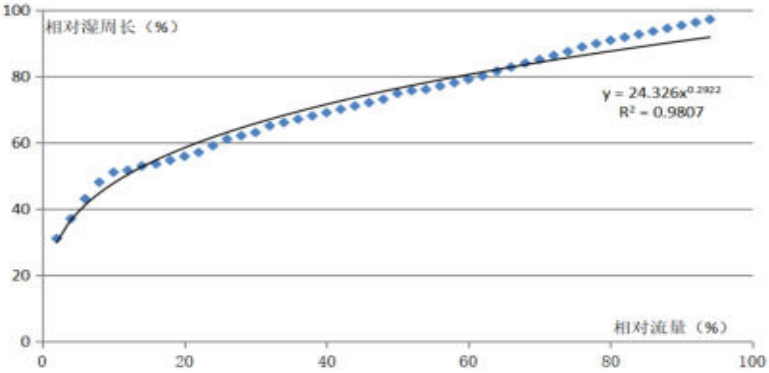


图 7.3.1-5 龙门断面湿周-流量关系曲线

结果表明，龙门断面拐点流量为 180m³/s，故取 180m³/s 作为湿周法建议的生态需水流量。该流量下各代表断面的水力参数见表 7.3.1-7。从水深、流速、湿周率等水力参数来看，该流量下河道能具有适宜的水力生境条件。

表 7.3.1-7 湿周法推荐生态基流时典型断面水力参数计算结果

断面	水面宽(m)	平均水深(m)	最大水深(m)	平均流速(m/s)	相对湿周(%)
坝址	287	1.16	3.26	0.54	53.5

7.3.1.3 相关规划要求

2013 年国务院批复的《黄河流域综合规划》，根据重点河段保护鱼类繁殖期、生长期对径流条件的要求及沿黄洪漫湿地水分需求，考虑黄河水资源条件和水资源配置实现的可能性，确定了龙门断面关键期生态需水量，见表 7.3.1-8。

表 7.3.1-8 龙门断面关键期生态需水 单位：亿 m³

断面	需水等级划分	4 月	5 月	6 月	7~10 月	水质要求
龙门	适宜	240*			一定量级洪水	Ⅲ类
	最小	180				

注：表中*表示淹及岸边水草小洪水或小脉冲洪水，为鱼类产卵期所需要。

7.3.1.4 工程下泄生态流量确定

工程下泄生态流量主要考虑壶口瀑布观景流量需求、小北干流湿地需水、鱼类保护需求，并通过水文学法和水力学法计算生态流量，最后采用外包关系耦合确定工程下泄生态流量。其中壶口瀑布观景流量需求为 600m³/s~1150m³/s 出现的天数不低于 113 天/年，并且白天观景时段（8:00-18:00）下泄流量不小于 200 m³/s；小北干流湿地需水要求为 4~7 月需塑造 3000-4000m³/s 的漫滩洪水过程，持续时间 5~7 天，或在每年 4~6 月开展人工补水，总补水量 0.66 亿 m³；鱼类繁殖期 4 月~6 月生态流量为 240 m³/s；采用水文学法和水力学法计算的生态流量结果为汛期（7 月~10 月）336m³/s，非汛期（11 月~次年 6 月）180m³/s。

综合以上流量要求，采用外包关系耦合确定工程下泄生态流量，见表 7.3.1-9。

表 7.3.1-9 工程下泄的生态流量

月份	综合生态流量		
11 月~3 月	不小于 180m ³ /s~ 200 m ³ /s	600m ³ /s~1150m ³ /s 出现 的天数不低于 113 天/年	4~7 月塑造 3000-4000m ³ /s 的漫滩洪水过程， 持续时间 5~7 天；或通过建设湿地补水工程， 每年补水量不少于 0.66 亿 m ³
4 月~6 月	不小于 240 m ³ /s		
7 月~10 月	不小于 336m ³ /s		

7.3.1.5 环评工作对古贤水库下泄生态流量的优化调整过程

为最大程度降低古贤水库建设和运行对坝址下游河段生态保护目标产生的不利影响，环评单位与设计单位进行了充分的沟通互动，不断优化古贤水库下泄生态流量指标，主要体现为：

（1）可研原设计文件中对古贤水库下泄生态流量设计较为简单，仅要求按照黄流规提出的龙门断面最小生态流量 180m³/s 下泄，流量过程缺乏针对性，未充分考虑坝址

下游壶口瀑布景观、小北干流湿地和水生生态等敏感保护目标的生态需水。环评单位从各敏感保护目标需水特性出发，根据坝址下游河段生态功能定位和保护要求，统筹流域水资源支撑条件，对工程下泄生态流量进行了全面复核和细化，并将耦合后生态流量指标反馈给设计单位，作为古贤水库最小下泄流量要求，古贤水库 4~6 月最小下泄流量为 240m³/s；7~10 月最小下泄流量为 336m³/s，其余月份下泄流量不低于 180m³/s。

(2) 优化调度前，古贤水库拦沙初期、拦沙后期、正常运用期不同来水年份壶口河段流量主要集中在 400m³/s~600m³/s 范围内，其他流量级别出现几率很小甚至不出现，景观单一化严重，景观多样性受到影响。环评单位根据壶口瀑布观景需求，要求设计单位对水库下泄过程进行了优化调整，调整后水库各月下泄流量范围基本保持在现状年各月的流量范围内，保持了壶口瀑布景观规模的多样性和层次性；全年白天流量 600m³/s~1150m³/s 出现的天数不低于 113 天/年；12 月 15 日~1 月底，基本保持了稳定的下泄流量，避免水势过大破坏两岸冰挂。

(3) 根据小北干流湿地用水需求，结合古贤水库冲刷潼关高程及联合小浪底水库调水调沙运用等，对古贤水库运行方式进一步优化，在每年的 4~7 月塑造 3000~4000m³/s 的漫滩洪水过程，持续时间 5~7 天；建设单位同意适时建设湿地补水工程，新建 4 座抽水泵站和 186km 补水渠道，工程共投资 3926 万元，已列入环保投资预算。

7.3.1.6 龙门断面生态流量现状满足程度

根据 2000 年~2020 年龙门断面实测日均流量，分析得出近年生态流量满足程度，见表 7.3.1-10。

表 7.3.1-10 2000 年~2020 年龙门断面生态流量满足程度

年份	4 月~6 月(240m³/s)		7 月~10 月(336m³/s)		11 月~3 月(200m³/s)	
	不满足天数	满足程度 (%)	不满足天数	满足程度 (%)	不满足天数	满足程度 (%)
2000	42	53.85	32	73.98	17	88.74
2001	45	50.55	43	65.04	11	92.72
2002	8	91.21	37	69.92	12	92.05
2003	38	58.24	42	65.85	28	81.46
2004	17	81.32	25	79.67	9	94.04
2005	28	69.23	25	79.67	39	74.17
2006	0	100.00	13	89.43	12	92.05
2007	11	87.91	8	93.50	6	96.03
2008	13	85.71	32	73.98	21	86.09
2009	15	83.52	37	69.92	0	100.00
2010	10	89.01	12	90.24	4	97.35
2011	9	90.11	25	79.67	12	92.05
2012	20	78.02	0	100.00	9	94.04
2013	13	85.71	2	98.37	0	100.00
2014	11	87.91	3	97.56	9	94.04

年份	4月~6月(240m³/s)		7月~10月(336m³/s)		11月~3月(200m³/s)	
	不满足天数	满足程度(%)	不满足天数	满足程度(%)	不满足天数	满足程度(%)
2015	21	76.92	37	69.92	4	97.35
2016	61	32.97	18	85.37	3	98.01
2017	42	53.85	23	81.30	0	100.00
2018	2	97.80	0	100.00	0	100.00
2019	0	100.00	0	100.00	0	100.00
2020	0	100.00	0	100.00	0	100.00
2000-2020	40	78.75	414	83.97	196	93.82

由表 7.3.1-10 可知,2000 年~2020 年中,各年份 4 月~6 月实测日均流量小于 240m³/s 的天数为 0~61 天,2001 年满足程度最低,为 50.55%;7~10 月实测日均流量小于 336m³/s 的天数为 0~43 天,2001 年满足程度最低,为 65.04%;11 月~3 月实测流量小于 200m³/s 的天数为 0~39 天,2005 年满足程度最低,为 74.17%。2018 年~2020 年,各水期满足程度较高,除 2018 年 4 月~6 月有两天日均流量小于 240m³/s,其余各时期均能满足。

综上,2000 年~2020 年龙门断面 11~3 月及 7~10 月生态流量满足程度较高,近 21 年满足程度分别为 93.82%、83.97%,4 月~6 月次之,满足程度为 78.75%。各年份满足程度受上游来水条件影响较大,近 3 年满足程度较高。

7.3.2 黄河下游

7.3.2.1 黄河下游重要断面生态流量

(1) 黄河下游重要断面生态流量要求

已批复的《黄河流域综合规划》(国函〔2013〕34 号)、《水利部关于印发第一批重点河湖生态流量保障目标的函》(水资管函〔2020〕43 号)及《黄河流域生态环境保护规划》(2022 年 6 月)对黄河下游重要断面生态流量要求如下:

1) 《黄河流域综合规划》(国函〔2013〕34 号)

根据重点河段保护鱼类繁殖期、生长期对径流条件要求及沿黄洪漫湿地水分需求,考虑黄河水资源条件和水资源配置实现的可能性,确定了重要断面关键期生态需水量。详见表 7.3.2-1。

表 7.3.2-1 黄河主要断面关键期生态需水 单位: m³/s

断面	需水等级划分	4 月	5 月	6 月	7 月~10 月	水质要求
花园口	适宜	320*			一定量级洪水	Ⅲ类
	最小	200				
利津	适宜	120	250*		输沙用水	Ⅲ类
	最小	75	150			

注:表中“*”表示淹及岸边水草小洪水或小脉冲洪水,为鱼类产卵期所需要。

2) 《水利部关于印发第一批重点河湖生态流量保障目标的函》(水资管函〔2020〕43号)

根据《水利部关于印发第一批重点河湖生态流量保障目标的函》(水资管函〔2020〕43号),第一批重点河湖生态流量保障目标(试行)中黄河干流主要控制断面的生态基流见表 7.3.2-2。

表 7.3.2-2 试点河段生态水量及流量指标拟合 单位: m^3/s

河湖	主要控制断面	生态基流 (m^3/s)
黄河干流	花园口	200
黄河干流	利津	50

3) 《黄河流域生态环境保护规划》(2022年6月)

《黄河流域生态环境保护规划》(2022年6月)提出:“加强黄河三角洲湿地保护修复。严格保障黄河利津断面 50 立方米/秒生态基流目标……”。

(2) 本次评价采用的生态流量指标

为落实黄河流域生态保护和高质量发展座谈会精神,本次评价基于已批复的《黄河流域综合规划》(国函〔2013〕34号)的关键期生态需水指标,4月~6月采用适宜生态流量指标,11月~次年3月采用《水利部关于印发第一批重点河湖生态流量保障目标的函》(水资管函〔2020〕43号)及《黄河流域生态环境保护规划》(2022年6月)的生态基流指标。具体如下:

表 7.3.2-3 黄河下游花园口、利津断面生态流量指标 单位: m^3/s

月份 断面	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
花园口	200	200	200	320	320	320	一定量级洪水				200	200
利津	50	50	50	120	250	250	输沙用水				50	50

7.3.2.2 黄河下游重要断面生态流量现状满足程度

选取系列年 2000 年~2020 年花园口、利津断面实测日均流量,分析生态流量现状保障程度,详见表 7.3.2-4、7.3.2-5。

表 7.3.2-4 2000 年~2020 年花园口断面生态流量满足程度

年份	满足情况	7-翌年 3 月 ($200\text{m}^3/\text{s}$)		4-6 月 ($320\text{m}^3/\text{s}$)	
		不满足天数	满足程度 (%)	不满足天数	满足程度 (%)
2000		3	98.9	10	89.0
2001		28	89.8	0	100.0
2002		27	90.1	0	100.0
2003		57	79.2	11	87.9
2004		0	100.0	0	100.0
2005		0	100.0	0	100.0
2006		0	100.0	0	100.0
2007		0	100.0	0	100.0
2008		2	99.3	0	100.0

年份	7-翌年 3 月 (200m ³ /s)		4-6 月 (320m ³ /s)	
	不满足天数	满足程度 (%)	不满足天数	满足程度 (%)
2009	0	100.0	0	100.0
2010	0	100.0	0	100.0
2011	0	100.0	0	100.0
2012	0	100.0	0	100.0
2013	0	100.0	0	100.0
2014	0	100.0	0	100.0
2015	0	100.0	0	100.0
2016	0	100.0	0	100.0
2017	12	95.6	0	100.0
2018	0	100.0	0	100.0
2019	0	100.0	0	100.0
2020	0	100.0	0	100.0

表 7.3.2-5 2000~2020 年利津断面生态流量满足程度

年份	7-翌年 3 月 (50m ³ /s)		4 月 120 m ³ /s, 5、6 月 250 m ³ /s	
	不满足天数	满足程度 (%)	不满足天数	满足程度 (%)
2000	33	88.0	87	4.4
2001	36	86.9	79	13.2
2002	88	67.9	86	5.5
2003	84	69.3	90	1.1
2004	0	100.0	1	98.9
2005	0	100.0	62	31.9
2006	0	100.0	0	100.0
2007	0	100.0	39	57.1
2008	0	100.0	0	100.0
2009	0	100.0	47	48.4
2010	0	100.0	41	54.9
2011	5	98.2	66	27.5
2012	0	100.0	2	97.8
2013	0	100.0	10	89.0
2014	0	100.0	6	93.4
2015	0	100.0	3	96.7
2016	0	100.0	52	42.9
2017	0	100.0	6	93.4
2018	0	100.0	0	100.0
2019	0	100.0	0	100.0
2020	0	100.0	0	100.0

由表 7.3.2-4、7.3.2-5 可知，2000 年~2020 年花园口断面现状生态流量满足程度较高，其中 7 月~翌年 3 月生态流量平均满足程度达到 97.8%，敏感期 4 月~6 月适宜生态流量平均满足程度为达到 98.9%；利津断面 7 月~翌年 3 月现状生态流量满足程度达到 95.7%，敏感期 4 月~6 月现状适宜生态流量平均满足程度为 63.8%，其中 2003 年 4 月~6 月满足程度最低，仅为 1.1%。

7.4 施工期及初期蓄水水文情势变化分析

7.4.1 施工期水文情势变化分析

7.4.1.1 施工导流程序

根据施工总进度及大坝施工进度，导流程序见表 7.4.1-1。

表 7.4.1-1 施工导流程序表

时间	设计洪水标准 (P=%)	设计流量 (m ³ /s)	下泄流量 (m ³ /s)	泄水建筑物	水位 (m)	坝(堰)顶高程(m)	备注
第 1 年 10 月~第 3 年 10 月	20% (全年)	12600	12600	原河床过流			修建导流洞施工支洞及导流洞
第 3 年 11 月上旬	10% (旬平均)	1270	1270	1#、2#导流洞	481.0	482.0 (戽堤)	河床截流
第 3 年 11 月~第 8 年 6 月	2% (全年)	24100	7054.4	1#、2#导流洞	524.0	527.0 (堰)	围堰挡水、坝体浇筑施工, 第七年 10 月 1#导流洞下闸, 洞内埋设向下游供水钢管, 汛前 1#导流洞闸门提起
第 8 年 7 月~第 8 年 9 月底	1% (全年)	27400	8678.6	2#导流洞+ 8 孔排沙底孔	526.4	550 (坝)	坝体临时挡水度汛, 进行碾压混凝土坝体的浇筑施工
第 8 年 10 月中旬	10% (旬平均)	1740	201.1	1#导流洞内的供水钢管		568 (坝)	2#导流洞下闸, 导流洞封堵, 由改建后的 1#导流洞内的钢管过流, 进入初期蓄水期

7.4.1.2 施工期对水文情势的影响

根据表 7.4.1-1 中各施工时段设计来水及坝址下泄能力, 分时段分析古贤施工期对水文情势的影响, 施工期各时段对水文情势的影响如下:

(1) 第 1 年 10 月~第 3 年 10 月

此时段进行导流洞及其施工支洞修建, 采用原河床过流, 坝址上游来水全部下泄, 因此该时期对坝址下游水文情势无影响。

(2) 第 3 年 11 月上旬

此时段为河床截流, 采用 1#、2#导流洞导流。

由于黄河 7~9 月为主汛期, 10 月份为黄河的后汛期, 11 月份流量明显减少, 故拟定截流时间为 11 月上旬, 截流标准为 11 月上旬 10 年一遇旬平均标准, 对应流量为 1270m³/s。参考国内外大型工程截流经验, 本工程采用单戽堤双向进占、立堵截流方式。

截流期间来水由龙口和导流洞 (1#、2#导流洞进口高程 465m) 全部下泄, 当上游水位低于导流洞进口高程 465m 时, 全由龙口泄流, 上游水位超过 465m 后, 1#、2#导流洞开始分流。1#、2#导流洞下泄能力为 7054.4m³/s, 大于 11 月上旬设计来水条件 1270m³/s (10 年一遇 (P=10%) 旬流量), 同时, 导流洞下泄能力远大于 11 月上旬坝址处多年平均流量 729.3 m³/s, 因此坝址上游来水可全部下泄, 该时期对坝址上下游水

文情势影响很小。

(3) 第 3 年 11 月中旬～第 8 年 6 月

采用上游围堰挡水，1#、2#导流洞导流，导流洞最大下泄能力为 $7054.4\text{m}^3/\text{s}$ 。坝址处各月份多年平均流量见表 7.4.1-2。

表 7.4.1-2 坝址处各月份多年平均流量

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
平均流量 (m^3/s)	435.6	563.7	844.4	762.8	447.4	470.9
月份	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
平均流量 (m^3/s)	1021.7	1470.5	1408.4	1075.2	689.3	483.0

由表 7.4.1-2 可知，坝址处各月份多年平均流量均小于 $7054.4\text{m}^3/\text{s}$ ，因此一般情况下，上游来水均可全部下泄，对坝址上下游水文情势影响很小。当坝址上游来水大于 $7054.4\text{m}^3/\text{s}$ 时，部分水量不能及时下泄，围堰前产生短暂壅水。当遭遇设计洪水 $27400\text{m}^3/\text{s}$ （50 年一遇（ $P=2\%$ ））时，围堰前最大壅高水位为 524m 。

因此，仅当第 3 年 11 月中旬～第 8 年 6 月期间发生较大洪水（坝址上游来水流量大于 $7054.4\text{m}^3/\text{s}$ ）时，本工程的施工导流对坝址上下游河段水文情势有所影响，期间上游围堰前水位壅高，最大壅高水位 524m ，小于上游围堰坝顶高程 527m ，坝址下游洪峰流量减少，洪水过程得到坦化，其余时间，本工程的施工导流对坝址上下游河段水文情势影响较小。

(4) 第 8 年 7 月～第 8 年 9 月底

古贤坝体临时挡水度汛，此时坝顶高程为 550m ，采用 2#导流洞+8 孔排沙底孔导流，最大下泄流量为 $8678.6\text{m}^3/\text{s}$ 。

由表 7.4.1-2 可知，7、8、9 月份坝址处多年平均流量分别为 $1021.7\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1470.5\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1408.4\text{m}^3/\text{s}$ ，均小于 $8678.6\text{m}^3/\text{s}$ ，因此，一般情况下，上游来水均可全部下泄，对坝址上下游水文情势影响很小。当坝址上游来水大于 $8678.6\text{m}^3/\text{s}$ 时，部分水量不能及时下泄，上游围堰前产生短暂壅水，当遭遇设计洪水 $24100\text{m}^3/\text{s}$ （100 年一遇（ $P=1\%$ ））时，围堰前最大壅高水位为 526.4m 。

因此，仅当第 8 年 7 月～第 8 年 9 月底发生较大洪水（坝址上游来水流量大于 $8678.6\text{m}^3/\text{s}$ ）时，本工程的施工导流对坝址下游河段水文情势有所影响，期间上游围堰

前水位壅高，最大壅高水位 526.4m，小于古贤大坝坝顶高程 550m，坝址下游洪峰流量减少，洪水过程得到坦化，其余时间，本工程的施工导流对坝址上下游河段水文情势影响较小。

(5) 第 8 年 10 月，进入初期蓄水阶段。

7.4.2 初期蓄水水文情势变化分析

7.4.2.1 初期蓄水运用方案

根据施工进度安排并考虑初期蓄水时间尽可能避开坝址下游河道鱼类产卵期，古贤水库初期蓄水期为第 8 年 10 月中旬至次年 3 月底，约 5 个半月，期间水库水位由 465m 升至 560m。

古贤水库在左岸布置两条导流洞，分别为 1#导流洞和 2#导流洞，两条导流洞进口高程均为 465m，另外，古贤水库设置了 8 孔排沙底孔，排沙底孔底板高程 490m，古贤水库初期蓄水期间，主要依靠 1#导流洞内预埋的钢管与排沙底孔泄放下游所需的流量。

第 8 年 10 月中旬古贤水库开始下闸蓄水，初期蓄水开始时古贤水库水位为导流洞底板高程 465m。在初期蓄水开始时先封堵 2#导流洞，由 1#导流洞内埋设的供水钢管向下游泄放生态流量和国民经济用水，共埋设 4 根钢管，最大可下泄流量为 404m³/s。古贤水库排沙底孔底板高程 490m，为满足下游用水和河道生态基流要求，当水库水位达到 492m 后开始封堵 1#导流洞，采用排沙底孔泄放下游用水和生态要求的流量，直到水库的蓄水位达到起始运行水位 560m 时初期蓄水完成。

7.4.2.2 初期蓄水期间下游用水要求

古贤水库初期蓄水时，按照坝下生态基流和两省供水区已建扬黄灌区用水过程泄放水量，如果泄放流量小于 200m³/s，则考虑壶口瀑布最小观景流量，按照 200m³/s 下泄，多余水量蓄在水库内，初期蓄水期间古贤水库下泄流量要求见表 7.4.2-1。

表 7.4.2-1 古贤水库初期蓄水期间下游用水要求 单位：m³/s

月份	10	11	12	1	2	3
供水区用水	11	35.9	64.0	2.7	1.3	100.7
生态流量	336	180	180	180	180	180
小计	347	216	244	183	181	281
壶口景观	200	200	200	200	200	200
下泄流量	347	216	244	200	200	281

7.4.2.3 初期蓄水期水文情势影响

古贤水库初期蓄水期间坝址下泄流量及该时期生态基流、供水、灌溉用水需求过程见表 7.4.2-2。

表 7.4.2-2 古贤水库初期蓄水下泄流量过程表

月份	多年平均月流量 (m³/s)	需下泄流量 (m³/s)				出库流量 (m³/s)
		生态基流	灌溉需水	壶口景观	合计	
10 月	1084.9	336	11.0	200	347	347
11 月	689.3	180	35.9	200	216	216
12 月	483.0	180	64.0	200	244	244
1 月	435.6	180	2.7	200	200	200
2 月	563.7	180	1.3	200	200	200
3 月	844.4	180	100.7	200	281	281

初期蓄水期间，水文情势主要变化为库区水位升高，由 465m 蓄至 560m，水深增加，坝前最大水深由 2.1m 增大至 97.1m，坝前流速变缓。初期蓄水第一个月（10 月），利用 1#导流洞内预埋的钢管泄流，下泄流量约为 347m³/s，比该时期多年平均流量减少 737.9m³/s (68.0%)；初期蓄水约 1 个月后，水库水位达到 492m 后开始封堵 1#导流洞，采用排沙底孔泄流，该时期下泄流量较均匀，约为 200~347 m³/s，各月下泄流量比各月份多年平均流量减少约 239.0 m³/s~563.4m³/s，其中 3 月份减少量最大。

初期蓄水历时 5 个半月，期间坝址下泄流量考虑了生态基流、灌溉需水及壶口景观需水，由表 7.4.2-2 可知，初期蓄水下泄流量可满足生态基流要求。

7.5 水库调度运行原则

1. 典型年调度运行过程

工程运行后，受水库运行调度及库区取水影响，不同水平年古贤水库下泄水量均较现状有所变化。水库运行后，不同来水年份水库入库流量、出库流量过程见表 7.5-1、图 7.5-1。

表 7.5-1 各典型年调度运行过程 单位：m³/s

月	旬	丰水年		平水年		枯水年		特枯水年	
		入库	出库	入库	出库	入库	出库	入库	出库
1 月	上旬	474	486	496	441	200	435	324	467
1 月	中旬	485	486	395	441	305	435	282	467
1 月	下旬	443	486	298	441	336	435	369	467
2 月	上旬	393	486	274	441	318	435	451	467
2 月	中旬	392	486	309	441	333	435	439	467
2 月	下旬	357	486	465	441	373	435	341	467
3 月	上旬	487	410	516	441	482	406	407	467

月	旬	丰水年		平水年		枯水年		特枯水年	
		入库	出库	入库	出库	入库	出库	入库	出库
3月	中旬	565	410	569	441	490	406	591	467
3月	下旬	677	410	910	441	670	406	972	467
4月	上旬	1136	511	712	439	1062	443	514	466
4月	中旬	683	511	628	439	701	443	543	466
4月	下旬	667	511	701	439	683	443	544	466
5月	上旬	915	511	719	439	940	443	1016	466
5月	中旬	1009	511	656	439	745	443	492	466
5月	下旬	666	511	818	439	493	443	192	466
6月	上旬	790	505	467	434	182	439	163	462
6月	中旬	889	505	428	434	220	439	263	462
6月	下旬	521	2739	359	1934	383	1795	348	481
7月	上旬	580	634	212	542	250	450	202	336
7月	中旬	472	502	394	450	654	450	221	336
7月	下旬	1248	629	506	450	498	450	487	336
8月	上旬	1445	1149	1102	611	196	450	215	336
8月	中旬	1463	929	967	670	390	450	301	336
8月	下旬	1276	1421	486	496	943	554	341	336
9月	上旬	1333	680	1273	680	1099	675	401	336
9月	中旬	806	1491	1039	680	1249	1568	270	370
9月	下旬	1431	1188	1112	1594	913	680	436	450
10月	上旬	1692	1308	1054	542	606	450	2058	465
10月	中旬	1066	469	919	450	472	450	1180	465
10月	下旬	1138	469	1020	450	880	450	1012	465
11月	上旬	371	448	664	442	920	420	485	467
11月	中旬	428	448	609	442	631	420	260	467
11月	下旬	334	448	609	442	557	420	747	467
12月	上旬	167	410	380	442	383	400	437	467
12月	中旬	183	410	394	442	217	400	317	467
12月	下旬	232	410	494	442	181	400	308	467



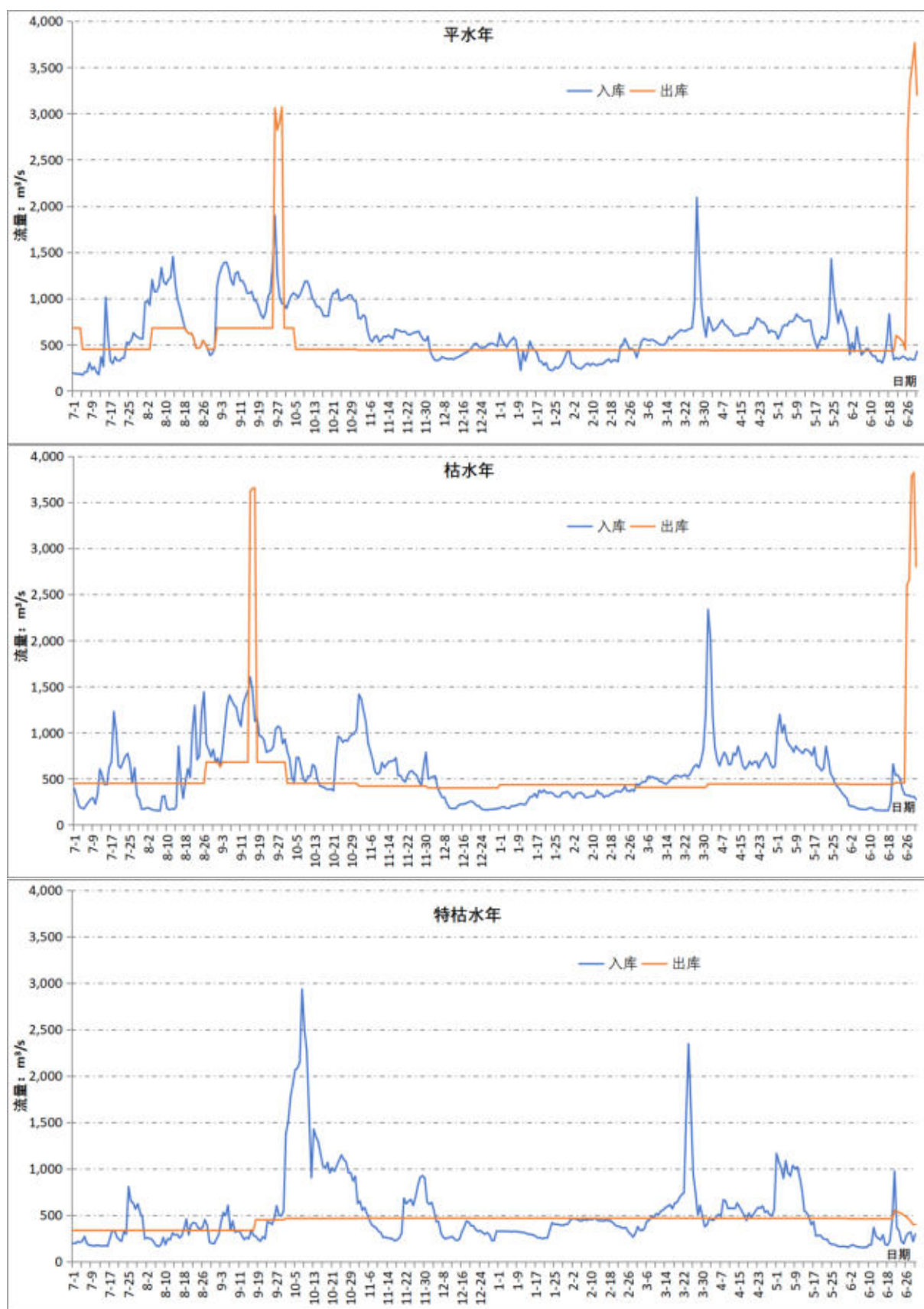


图 7.5-1 各典型年调度运行过程

2. 发电调度运行方式

(1) 典型年

由于本工程共设置 6 台发电机组，单台机组额定流量为 $288.4\text{m}^3/\text{s}$ ，单台机组最小发电流量为 $150\text{m}^3/\text{s}$ ，因此，通过发电机组可下泄流量范围为 $150\text{m}^3/\text{s}\sim 1730.4\text{m}^3/\text{s}$ 。各典型年发电运行调度方式如下。

表 7.5-2 各典型年发电调度运行过程 单位: m³/s

月	旬	丰水年				平水年				枯水年				特枯水年			
		入库	出库			入库	出库			入库	出库			入库	出库		
			出库总量	其中发电流量	其中排沙泄流		出库总量	其中发电流量	其中排沙泄流		出库总量	其中发电流量	其中排沙泄流		出库总量	其中发电流量	其中排沙泄流
1 月	上旬	474	486	486	0	496	441	441	0	200	435	435	0	324	467	467	0
1 月	中旬	485	486	486	0	395	441	441	0	305	435	435	0	282	467	467	0
1 月	下旬	443	486	486	0	298	441	441	0	336	435	435	0	369	467	467	0
2 月	上旬	393	486	486	0	274	441	441	0	318	435	435	0	451	467	467	0
2 月	中旬	392	486	486	0	309	441	441	0	333	435	435	0	439	467	467	0
2 月	下旬	357	486	486	0	465	441	441	0	373	435	435	0	341	467	467	0
3 月	上旬	487	410	410	0	516	441	441	0	482	406	406	0	407	467	467	0
3 月	中旬	565	410	410	0	569	441	441	0	490	406	406	0	591	467	467	0
3 月	下旬	677	410	410	0	910	441	441	0	670	406	406	0	972	467	467	0
4 月	上旬	1136	511	511	0	712	439	439	0	1062	443	443	0	514	466	466	0
4 月	中旬	683	511	511	0	628	439	439	0	701	443	443	0	543	466	466	0
4 月	下旬	667	511	511	0	701	439	439	0	683	443	443	0	544	466	466	0
5 月	上旬	915	511	511	0	719	439	439	0	940	443	443	0	1016	466	466	0
5 月	中旬	1009	511	511	0	656	439	439	0	745	443	443	0	492	466	466	0
5 月	下旬	666	511	511	0	818	439	439	0	493	443	443	0	192	466	466	0
6 月	上旬	790	505	505	0	467	434	434	0	182	439	439	0	163	462	462	0
6 月	中旬	889	505	505	0	428	434	434	0	220	439	439	0	263	462	462	0
6 月	下旬	521	2739	1369	1370	359	1934	1136	798	383	1795	1094	701	348	481	481	0
7 月	上旬	580	634	634	0	212	542	542	0	250	450	450	0	202	336	336	0
7 月	中旬	472	502	502	0	394	450	450	0	654	450	450	0	221	336	336	0
7 月	下旬	1248	629	629	0	506	450	450	0	498	450	450	0	487	336	336	0
8 月	上旬	1445	1149	903	246	1102	611	611	0	196	450	450	0	215	336	336	0
8 月	中旬	1463	929	762	167	967	670	670	0	390	450	450	0	301	336	336	0
8 月	下旬	1276	1421	946	475	486	496	496	0	943	554	554	0	341	336	336	0
9 月	上旬	1333	680	680	0	1273	680	680	0	1099	675	675	0	401	336	336	0

月	旬	丰水年				平水年				枯水年				特枯水年			
		入库	出库			入库	出库			入库	出库			入库	出库		
			出库总量	其中发电流量	其中排沙泄流		出库总量	其中发电流量	其中排沙泄流		出库总量	其中发电流量	其中排沙泄流		出库总量	其中发电流量	其中排沙泄流
9月	中旬	806	1491	960	532	1039	680	680	0	1249	1568	995	573	270	370	370	0
9月	下旬	1431	1188	890	156	1112	1594	1100	494	913	680	680	0	436	450	450	0
10月	上旬	1692	1308	909	400	1054	542	542	0	606	450	450	0	2058	465	465	0
10月	中旬	1066	469	469	0	919	450	450	0	472	450	450	0	1180	465	465	0
10月	下旬	1138	469	469	0	1020	450	450	0	880	450	450	0	1012	465	465	0
11月	上旬	371	448	448	0	664	442	442	0	920	420	420	0	485	467	467	0
11月	中旬	428	448	448	0	609	442	442	0	631	420	420	0	260	467	467	0
11月	下旬	334	448	448	0	609	442	442	0	557	420	420	0	747	467	467	0
12月	上旬	167	410	410	0	380	442	442	0	383	400	400	0	437	467	467	0
12月	中旬	183	410	410	0	394	442	442	0	217	400	400	0	317	467	467	0
12月	下旬	232	410	410	0	494	442	442	0	181	400	400	0	308	467	467	0

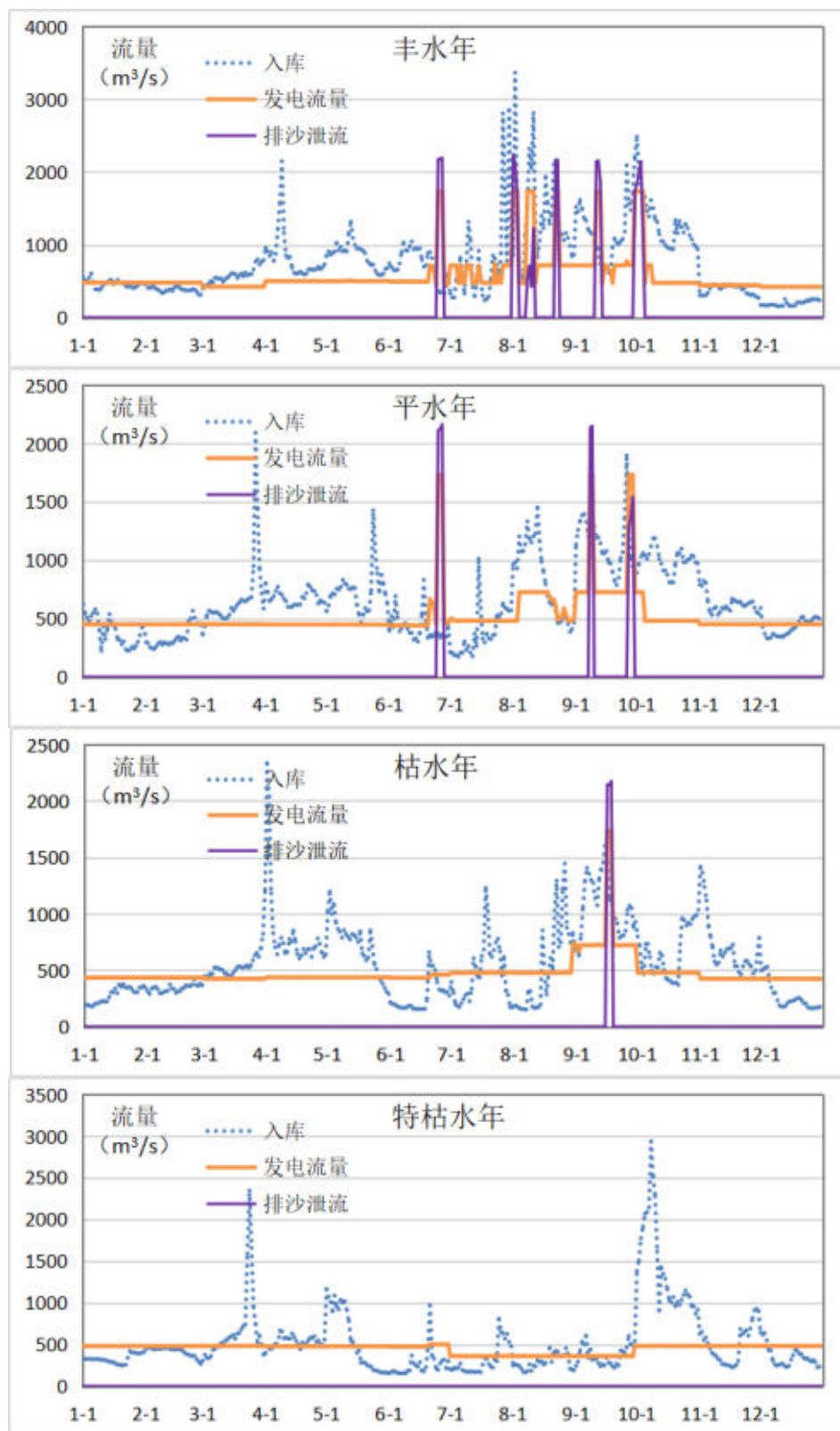


图 7.5-2 各典型年发电调度运行过程

(2) 典型月

表 7.5-3 各典型月调度运行过程 单位: m^3/s

典型年	月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
丰水年	入库	467	381	576	829	863	733	767	1395	1190	1299	378	194
	出库总量	486	486	410	511	511	1250	588	1166	1120	749	448	410
	其中发电流量	486	486	410	511	511	793	588	870	843	616	448	410
	其中排沙泄流	0	0	0	0	0	457	0	296	229	133	0	0
平水年	入库	396	349	665	680	731	418	370	852	1142	998	627	423
	出库总量	441	441	441	439	439	934	481	592	985	481	442	442
	其中发电流量	441	441	441	439	439	668	481	592	820	481	442	442
	其中排沙泄流	0	0	0	0	0	266	0	0	165	0	0	0
枯水年	入库	280	341	547	815	726	262	467	510	1087	652	703	261
	出库总量	435	435	406	443	443	891	450	485	974	450	420	400
	其中发电流量	435	435	406	443	443	657	450	485	783	450	420	400
	其中排沙泄流	0	0	0	0	0	234	0	0	191	0	0	0
特枯水年	入库	325	410	657	534	566	258	303	286	369	1417	497	354
	出库总量	467	467	467	466	466	468	336	336	385	465	467	467
	其中发电流量	467	467	467	466	466	468	336	336	385	465	467	467
	其中排沙泄流	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(3) 典型日

考虑各环境敏感保护目标需求,对年内不同时段(4月~6月、7月~10月、12月~1月及其他月份)24h下泄流量过程提出优化调度建议,优化调度后,坝址断面丰水年、平水年、枯水年及特枯水年典型月2月、4月、6月、8月、10月、12月典型日24h入库流量过程线见表7.5-4~表7.5-7及图7.5-3~图7.5-6。

优化后的下泄流量满足生态流量过程要求(4月~6月不小于 $240\text{m}^3/\text{s}$ 、7月~10月不小于 $336\text{m}^3/\text{s}$ 、其他月份不小于 $180\text{m}^3/\text{s}$)；同时,为提高白天(8:00-18:00)壶口瀑布观景流量,白天流量较夜间有了一定幅度提高；在满足生态流量并尽量满足白天壶口瀑布观景流量的基础上,结合电网需求、水库蓄水、水库入库水量等情况,水电站在电网负荷晚高峰19点~22点进行相机调峰运用,但为减小4月~6月鱼类产卵期及1、12月冰瀑观景时期流量变幅过大产生的不利影响,对日内24h下泄流量进行了优化调整,日内流量变幅均小于 $200\text{m}^3/\text{s}$,其中12月15日~1月31日日内等流量下泄。

表 7.5-4 丰水年典型月典型日入、出库流量变化表

月份	2月				4月				6月				8月				10月				12月			
时间	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%
1	336	380	44	13.1	609	425	-194	-31.9	637	560	-77	-12.1	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
2	336	380	44	13.1	609	425	-194	-31.9	637	560	-77	-12.1	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
3	336	380	44	13.1	609	425	-194	-31.9	637	560	-77	-12.1	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
4	336	380	44	13.1	609	425	-194	-31.9	637	560	-77	-12.1	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
5	336	380	44	13.1	609	425	-194	-31.9	637	560	-77	-12.1	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
6	336	380	44	13.1	609	425	-194	-31.9	637	560	-77	-12.1	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
7	336	380	44	13.1	609	425	-194	-31.9	637	560	-77	-12.1	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
8	336	600	264	78.6	609	425	-194	-31.9	637	700	63	9.9	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
9	336	600	264	78.6	609	615	6	1.0	637	700	63	9.9	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
10	336	600	264	78.6	609	615	6	1.0	637	700	63	9.9	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
11	336	600	264	78.6	609	615	6	1.0	637	700	63	9.9	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
12	336	600	264	78.6	609	615	6	1.0	637	700	63	9.9	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
13	336	600	264	78.6	609	615	6	1.0	637	700	63	9.9	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
14	336	600	264	78.6	609	615	6	1.0	637	700	63	9.9	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
15	336	600	264	78.6	609	615	6	1.0	637	700	63	9.9	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
16	336	600	264	78.6	609	615	6	1.0	637	700	63	9.9	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
17	336	600	264	78.6	609	615	6	1.0	637	700	63	9.9	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
18	336	600	264	78.6	609	615	6	1.0	637	750	113	17.7	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
19	336	380	44	13.1	609	425	-194	-31.9	637	750	113	17.7	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
20	336	380	44	13.1	609	425	-194	-31.9	637	750	113	17.7	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
21	336	380	44	13.1	609	425	-194	-31.9	637	750	113	17.7	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
22	336	380	44	13.1	609	425	-194	-31.9	637	750	113	17.7	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
23	336	380	44	13.1	609	425	-194	-31.9	637	560	-77	-12.1	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5
24	336	380	44	13.1	609	425	-194	-31.9	637	560	-77	-12.1	3364	3843	479	14.2	2482	3562	1080	43.5	206	411	205	99.5

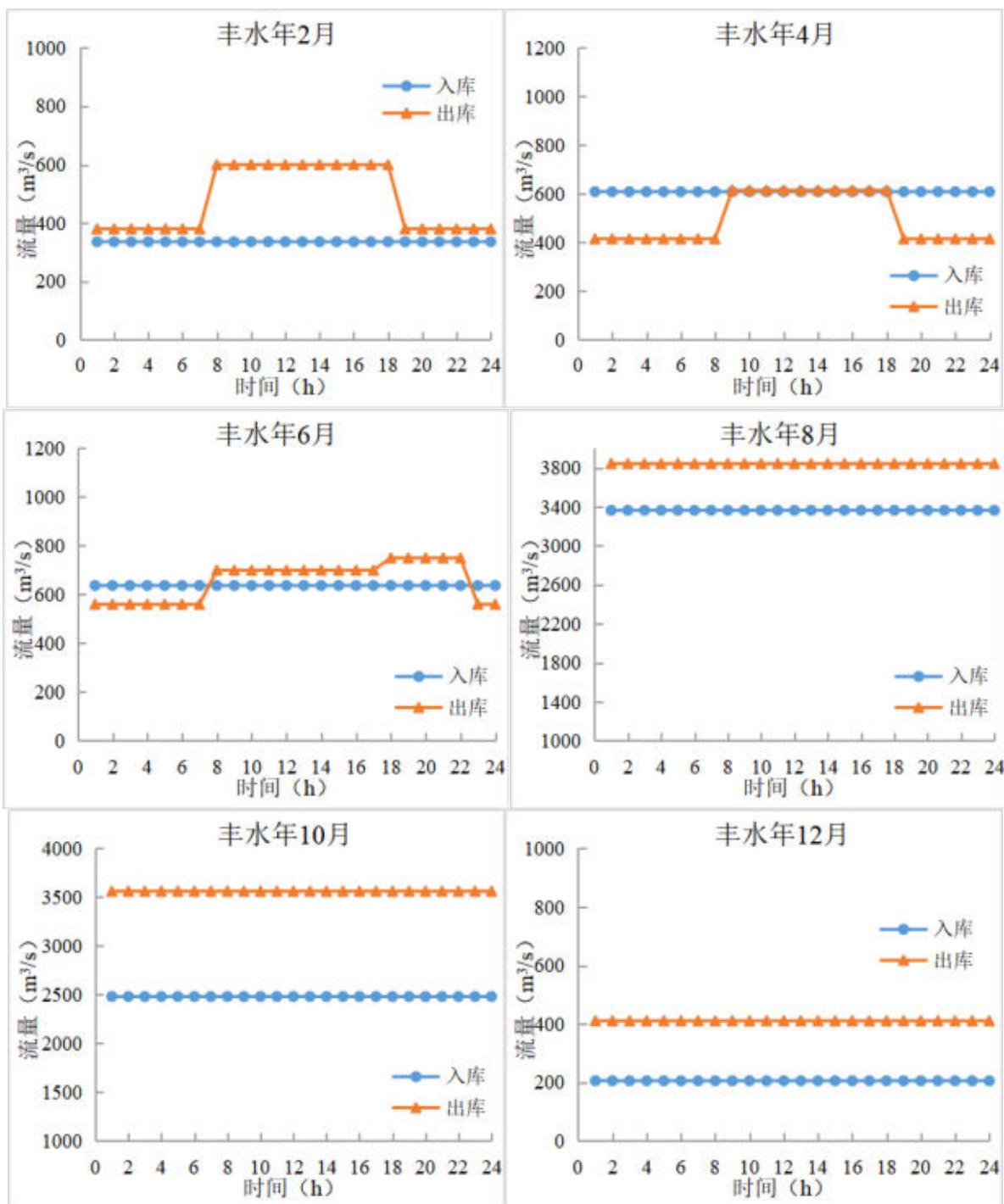


图 7.5-3 丰水年典型月典型日过程流量变化图

表 7.5-5 平水年典型月典型日入、出库流量变化表

月份	2月				4月				6月				8月				10月				12月			
时间	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%
1	298	240	-58	-19.5	667	360	-307	-46.0	360	598	238	66.1	1162	366	-796	-68.5	970	366	-604	-62.3	422	451	29	6.9
2	298	240	-58	-19.5	667	360	-307	-46.0	360	598	238	66.1	1162	366	-796	-68.5	970	366	-604	-62.3	422	451	29	6.9
3	298	240	-58	-19.5	667	360	-307	-46.0	360	598	238	66.1	1162	366	-796	-68.5	970	366	-604	-62.3	422	451	29	6.9
4	298	240	-58	-19.5	667	360	-307	-46.0	360	598	238	66.1	1162	366	-796	-68.5	970	366	-604	-62.3	422	451	29	6.9
5	298	240	-58	-19.5	667	360	-307	-46.0	360	598	238	66.1	1162	366	-796	-68.5	970	366	-604	-62.3	422	451	29	6.9
6	298	240	-58	-19.5	667	360	-307	-46.0	360	598	238	66.1	1162	366	-796	-68.5	970	366	-604	-62.3	422	451	29	6.9
7	298	240	-58	-19.5	667	360	-307	-46.0	360	598	238	66.1	1162	366	-796	-68.5	970	366	-604	-62.3	422	451	29	6.9
8	298	610	312	104.7	667	550	-117	-17.5	360	598	238	66.1	1162	850	-312	-26.9	970	850	-120	-12.4	422	451	29	6.9
9	298	610	312	104.7	667	550	-117	-17.5	360	760	400	111.1	1162	850	-312	-26.9	970	850	-120	-12.4	422	451	29	6.9
10	298	610	312	104.7	667	550	-117	-17.5	360	760	400	111.1	1162	850	-312	-26.9	970	850	-120	-12.4	422	451	29	6.9
11	298	610	312	104.7	667	550	-117	-17.5	360	760	400	111.1	1162	850	-312	-26.9	970	850	-120	-12.4	422	451	29	6.9
12	298	610	312	104.7	667	550	-117	-17.5	360	760	400	111.1	1162	850	-312	-26.9	970	850	-120	-12.4	422	451	29	6.9
13	298	610	312	104.7	667	550	-117	-17.5	360	760	400	111.1	1162	850	-312	-26.9	970	850	-120	-12.4	422	451	29	6.9
14	298	610	312	104.7	667	550	-117	-17.5	360	760	400	111.1	1162	850	-312	-26.9	970	850	-120	-12.4	422	451	29	6.9
15	298	610	312	104.7	667	550	-117	-17.5	360	760	400	111.1	1162	850	-312	-26.9	970	850	-120	-12.4	422	451	29	6.9
16	298	610	312	104.7	667	550	-117	-17.5	360	760	400	111.1	1162	850	-312	-26.9	970	850	-120	-12.4	422	451	29	6.9
17	298	610	312	104.7	667	550	-117	-17.5	360	760	400	111.1	1162	850	-312	-26.9	970	850	-120	-12.4	422	451	29	6.9
18	298	610	312	104.7	667	550	-117	-17.5	360	760	400	111.1	1162	1120	-42	-3.6	970	1120	150	15.5	422	451	29	6.9
19	298	500	202	67.8	667	360	-307	-46.0	360	598	238	66.1	1162	1120	-42	-3.6	970	1120	150	15.5	422	451	29	6.9
20	298	500	202	67.8	667	360	-307	-46.0	360	598	238	66.1	1162	1120	-42	-3.6	970	1120	150	15.5	422	451	29	6.9
21	298	500	202	67.8	667	360	-307	-46.0	360	598	238	66.1	1162	1120	-42	-3.6	970	1120	150	15.5	422	451	29	6.9
22	298	500	202	67.8	667	360	-307	-46.0	360	598	238	66.1	1162	1120	-42	-3.6	970	1120	150	15.5	422	451	29	6.9
23	298	240	-58	-19.5	667	360	-307	-46.0	360	598	238	66.1	1162	366	-796	-68.5	970	366	-604	-62.3	422	451	29	6.9
24	298	240	-58	-19.5	667	360	-307	-46.0	360	598	238	66.1	1162	366	-796	-68.5	970	366	-604	-62.3	422	451	29	6.9

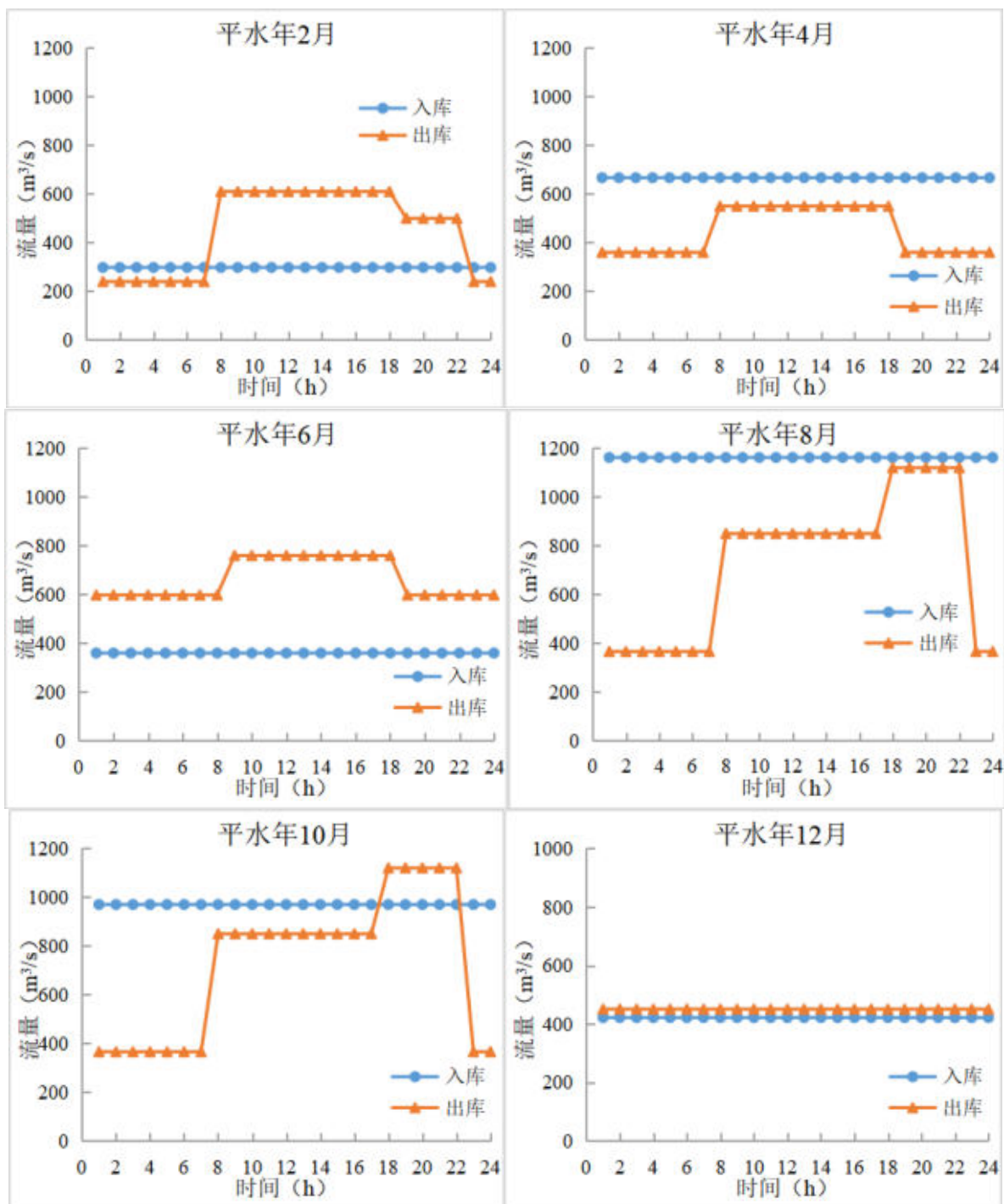


图 7.5-4 平水年典型月典型日过程流量变化图

表 7.5-6 枯水年典型月典型日入、出库流量变化表

月份	2 月				4 月				6 月				8 月				10 月				12 月			
时间	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%
1	340	210	-130	-38.2	816	425	-391	-47.9	262	362	100	38.2	525	336	-189	-36.0	654	336	-318	-48.6	254	400	146	57.5
2	340	210	-130	-38.2	816	425	-391	-47.9	262	362	100	38.2	525	336	-189	-36.0	654	336	-318	-48.6	254	400	146	57.5
3	340	210	-130	-38.2	816	425	-391	-47.9	262	362	100	38.2	525	336	-189	-36.0	654	336	-318	-48.6	254	400	146	57.5
4	340	210	-130	-38.2	816	425	-391	-47.9	262	362	100	38.2	525	336	-189	-36.0	654	336	-318	-48.6	254	400	146	57.5
5	340	210	-130	-38.2	816	425	-391	-47.9	262	362	100	38.2	525	336	-189	-36.0	654	336	-318	-48.6	254	400	146	57.5
6	340	210	-130	-38.2	816	425	-391	-47.9	262	362	100	38.2	525	336	-189	-36.0	654	336	-318	-48.6	254	400	146	57.5
7	340	210	-130	-38.2	816	425	-391	-47.9	262	362	100	38.2	525	336	-189	-36.0	654	336	-318	-48.6	254	400	146	57.5
8	340	700	360	105.9	816	380	-436	-53.4	262	557	295	112.6	525	855	330	62.9	654	336	-318	-48.6	254	400	146	57.5
9	340	700	360	105.9	816	380	-436	-53.4	262	557	295	112.6	525	855	330	62.9	654	600	-54	-8.3	254	400	146	57.5
10	340	700	360	105.9	816	380	-436	-53.4	262	557	295	112.6	525	855	330	62.9	654	600	-54	-8.3	254	400	146	57.5
11	340	700	360	105.9	816	380	-436	-53.4	262	557	295	112.6	525	855	330	62.9	654	600	-54	-8.3	254	400	146	57.5
12	340	700	360	105.9	816	380	-436	-53.4	262	557	295	112.6	525	855	330	62.9	654	600	-54	-8.3	254	400	146	57.5
13	340	700	360	105.9	816	380	-436	-53.4	262	557	295	112.6	525	855	330	62.9	654	600	-54	-8.3	254	400	146	57.5
14	340	700	360	105.9	816	380	-436	-53.4	262	557	295	112.6	525	855	330	62.9	654	600	-54	-8.3	254	400	146	57.5
15	340	700	360	105.9	816	380	-436	-53.4	262	557	295	112.6	525	855	330	62.9	654	600	-54	-8.3	254	400	146	57.5
16	340	700	360	105.9	816	380	-436	-53.4	262	557	295	112.6	525	855	330	62.9	654	600	-54	-8.3	254	400	146	57.5
17	340	700	360	105.9	816	380	-436	-53.4	262	557	295	112.6	525	855	330	62.9	654	600	-54	-8.3	254	400	146	57.5
18	340	700	360	105.9	816	575	-241	-29.5	262	557	295	112.6	525	1000	475	90.5	654	600	-54	-8.3	254	400	146	57.5
19	340	210	-130	-38.2	816	575	-241	-29.5	262	362	100	38.2	525	1000	475	90.5	654	600	-54	-8.3	254	400	146	57.5
20	340	210	-130	-38.2	816	575	-241	-29.5	262	362	100	38.2	525	1000	475	90.5	654	600	-54	-8.3	254	400	146	57.5
21	340	210	-130	-38.2	816	575	-241	-29.5	262	362	100	38.2	525	1000	475	90.5	654	600	-54	-8.3	254	400	146	57.5
22	340	210	-130	-38.2	816	575	-241	-29.5	262	362	100	38.2	525	1000	475	90.5	654	600	-54	-8.3	254	400	146	57.5
23	340	210	-130	-38.2	816	425	-391	-47.9	262	362	100	38.2	525	336	-189	-36.0	654	336	-318	-48.6	254	400	146	57.5
24	340	210	-130	-38.2	816	425	-391	-47.9	262	362	100	38.2	525	336	-189	-36.0	654	336	-318	-48.6	254	400	146	57.5

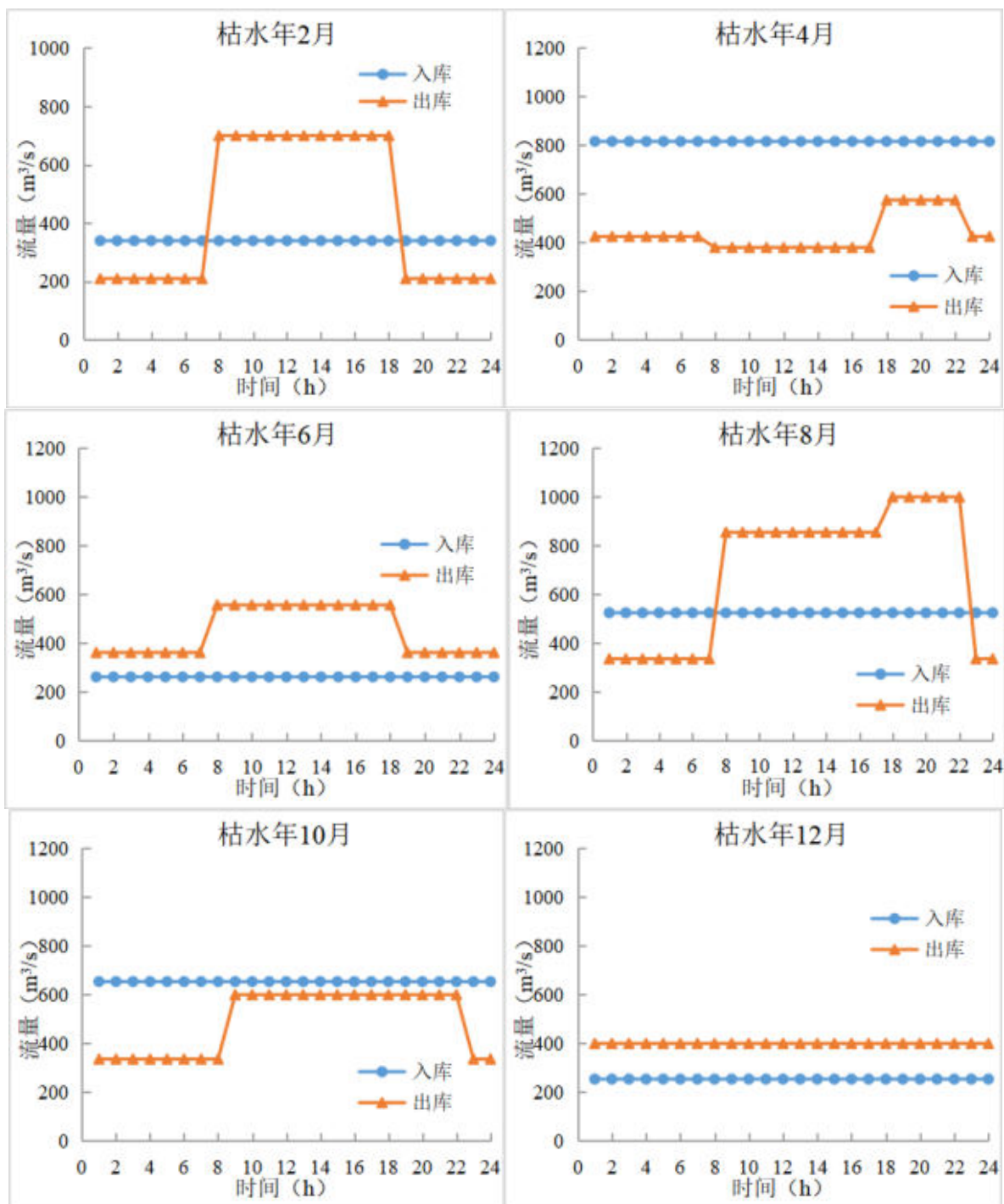


图 7.5-5 枯水年典型月典型日过程流量变化图

表 7.5-7 特枯水年典型月典型日入、出库流量变化表

月份	2 月				4 月				6 月				8 月				10 月				12 月			
时间	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%	入库	出库	增量	变幅%
1	400	300	-100	-25.0	532	357	-175	-32.9	275	415	126	45.8	290	336	46	15.9	957	336	-621	-64.9	353	482	129	36.5
2	400	300	-100	-25.0	532	357	-175	-32.9	275	415	126	45.8	290	336	46	15.9	957	336	-621	-64.9	353	482	129	36.5
3	400	300	-100	-25.0	532	357	-175	-32.9	275	415	126	45.8	290	336	46	15.9	957	336	-621	-64.9	353	482	129	36.5
4	400	300	-100	-25.0	532	357	-175	-32.9	275	415	126	45.8	290	336	46	15.9	957	336	-621	-64.9	353	482	129	36.5
5	400	300	-100	-25.0	532	357	-175	-32.9	275	415	126	45.8	290	336	46	15.9	957	336	-621	-64.9	353	482	129	36.5
6	400	300	-100	-25.0	532	357	-175	-32.9	275	415	126	45.8	290	336	46	15.9	957	336	-621	-64.9	353	482	129	36.5
7	400	300	-100	-25.0	532	357	-175	-32.9	275	415	126	45.8	290	336	46	15.9	957	336	-621	-64.9	353	482	129	36.5
8	400	700	300	75.0	532	554	22	4.1	275	600	345	125.4	290	336	46	15.9	957	660	-297	-31.0	353	482	129	36.5
9	400	700	300	75.0	532	554	22	4.1	275	600	345	125.5	290	377	87	30.0	957	660	-297	-31.0	353	482	129	36.5
10	400	700	300	75.0	532	554	22	4.1	275	600	345	125.5	290	377	87	30.0	957	660	-297	-31.0	353	482	129	36.5
11	400	700	300	75.0	532	554	22	4.1	275	600	345	125.5	290	377	87	30.0	957	660	-297	-31.0	353	482	129	36.5
12	400	700	300	75.0	532	554	22	4.1	275	600	345	125.5	290	377	87	30.0	957	660	-297	-31.0	353	482	129	36.5
13	400	700	300	75.0	532	554	22	4.1	275	600	345	125.5	290	377	87	30.0	957	660	-297	-31.0	353	482	129	36.5
14	400	700	300	75.0	532	554	22	4.1	275	600	345	125.5	290	377	87	30.0	957	660	-297	-31.0	353	482	129	36.5
15	400	700	300	75.0	532	554	22	4.1	275	600	345	125.5	290	377	87	30.0	957	660	-297	-31.0	353	482	129	36.5
16	400	700	300	75.0	532	554	22	4.1	275	600	345	125.5	290	377	87	30.0	957	660	-297	-31.0	353	482	129	36.5
17	400	700	300	75.0	532	554	22	4.1	275	600	345	125.5	290	377	87	30.0	957	660	-297	-31.0	353	482	129	36.5
18	400	700	300	75.0	532	554	22	4.1	275	600	345	125.5	290	377	87	30.0	957	660	-297	-31.0	353	482	129	36.5
19	400	300	-100	-25.0	532	554	22	4.1	275	415	126	45.8	290	377	87	30.0	957	336	-621	-64.9	353	482	129	36.5
20	400	300	-100	-25.0	532	554	22	4.1	275	415	126	45.8	290	377	87	30.0	957	336	-621	-64.9	353	482	129	36.5
21	400	300	-100	-25.0	532	554	22	4.1	275	415	126	45.8	290	377	87	30.0	957	336	-621	-64.9	353	482	129	36.5
22	400	300	-100	-25.0	532	554	22	4.1	275	415	126	45.8	290	377	87	30.0	957	336	-621	-64.9	353	482	129	36.5
23	400	300	-100	-25.0	532	357	-175	-32.9	275	415	126	45.8	290	336	46	15.9	957	336	-621	-64.9	353	482	129	36.5
24	400	300	-100	-25.0	532	357	-175	-32.9	275	415	126	45.8	290	336	46	15.9	957	336	-621	-64.9	353	482	129	36.5

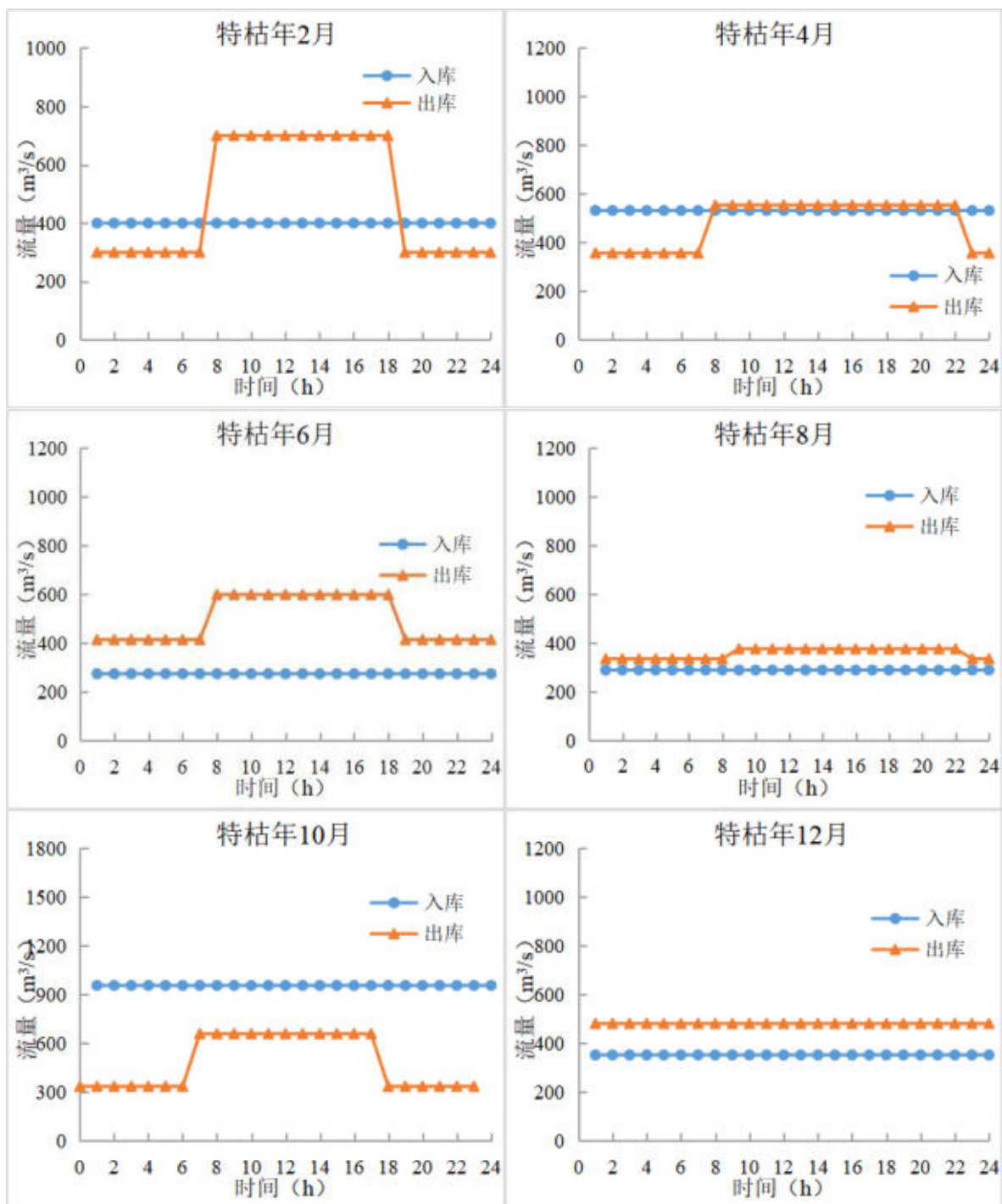


图 7.5-6 特枯水年典型月典型日过程流量变化图

3. 古贤、小浪底联合运行的调水调沙运用方式

古贤、小浪底联合调水调沙期，潼关断面凑泄 $4000\text{m}^3/\text{s}$ 流量，龙门断面流量为潼关断面 $4000\text{m}^3/\text{s}$ 减去区间来水流量（主要为汾河、渭河来水流量）。经分析，调水调沙期龙门断面下泄流量较多年平均实测流量增加 $2767\text{m}^3/\text{s}\sim 3479\text{m}^3/\text{s}$ ，潼关断面流量较多年平均实测流量增加 $2981\text{m}^3/\text{s}\sim 3403\text{m}^3/\text{s}$ 。同时，调水调沙期黄河下游水文情势也将发生一定变化，若不建古贤水库，未来小浪底水库淤满后仅依靠 10亿 m^3 调水调沙库容，调水调沙时间将明显缩短（仅 3 天左右）；若建设古贤水库，古贤、小浪底联合调度可维持现状调水调沙时长（约 7~15 天），调水调沙期间小浪底水库下泄流量仍然为 $4000\text{m}^3/\text{s}$ 左右。

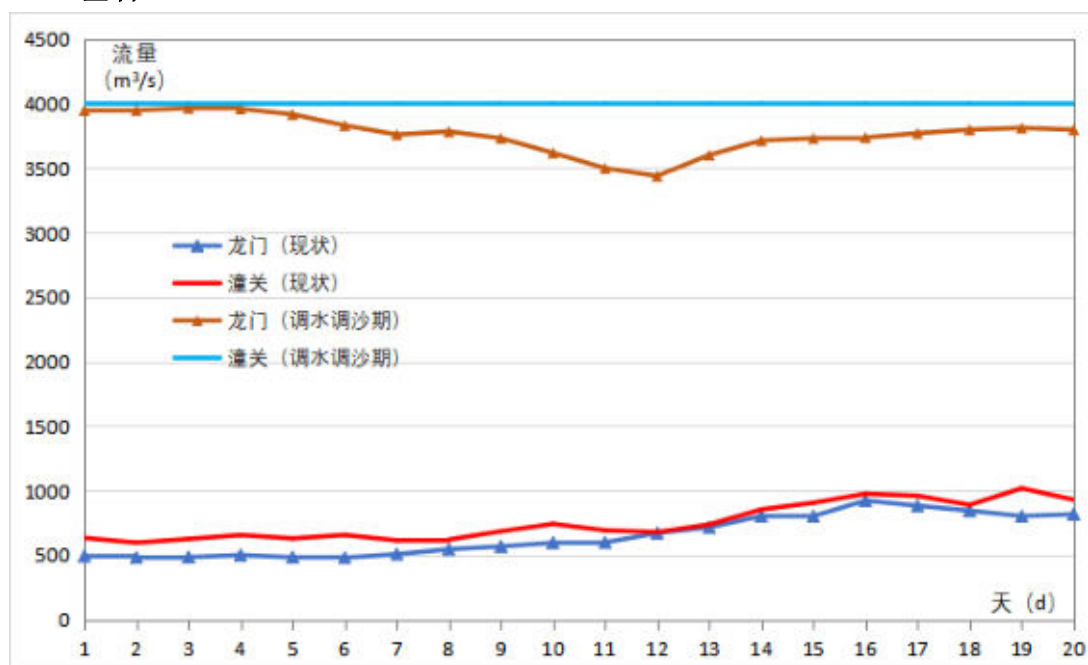


图 7.5-7 调水调沙期龙门、潼关断面流量变化

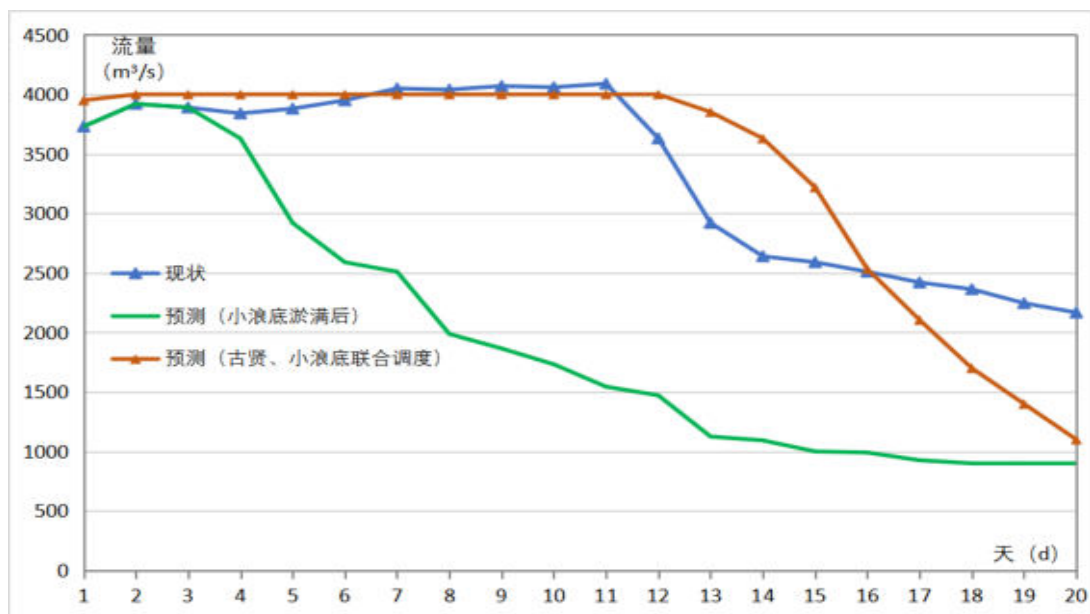


图 7.5-8 调水调沙期花园口断面流量变化

7.6 运行期水文情势变化分析

7.6.1 库区水文情势变化

(1) 库区干流回水长度

根据可研，拦沙初期水库最大回水长度约为 152km，拦沙后期水库最大回水长度约为 190km，正常运用期水库最大回水长度约为 202.1km，正常蓄水位 627m 时水库回水范围见图 7.6.1-1。

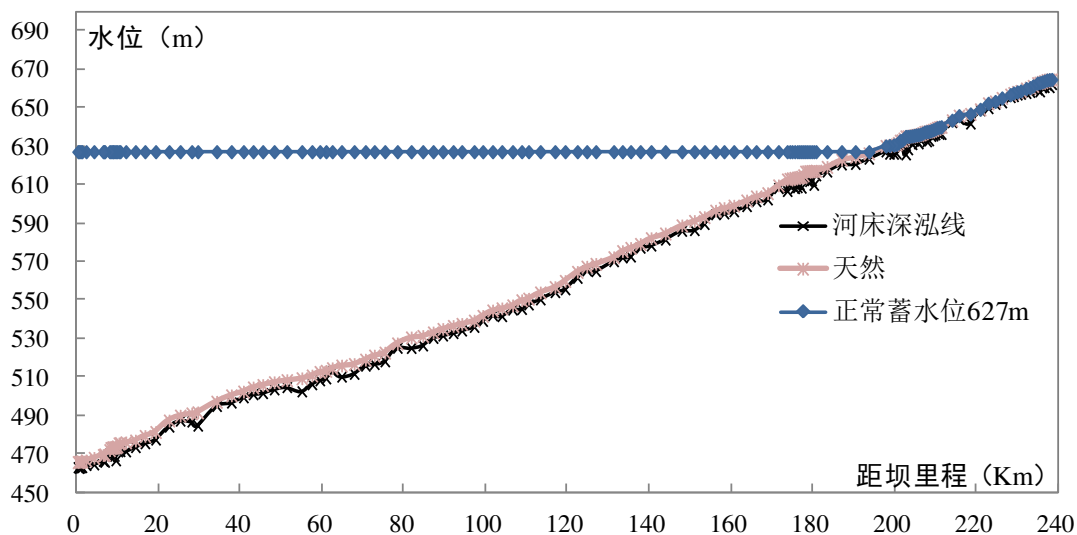


图 7.6.1-1 水库回水范围图

(2) 库区水面面积变化分析

建库前，库区河段水面面积约为 50~70km²。水库建成后，当正常蓄水位 627m 时，坝前水位壅高约 161.5m，水库回水至距古贤坝址约 202.1km 处，水面面积 219.16km²，较天然情况下水面增大 2 倍~3 倍。

(3) 库区河宽变化

古贤水库建成后库区河宽沿程变化见图 7.6.1-2。

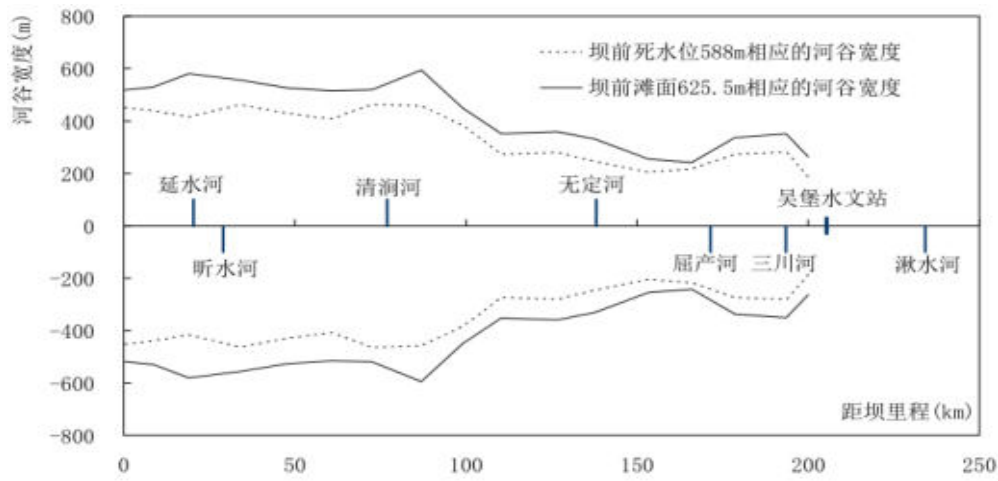


图 7.6.1-2 古贤库区沿程河宽变化图

古贤水库坝址位于北干流河段下段，距上游吴堡水文站断面 205.45km。吴堡至坝址河段多为峡谷河段，水面宽约 130m~500m。由图 7.3-2 可知，水库淤积平衡后，库区呈现上窄下宽的特点，距坝址约 120km 范围内的河段河槽宽度为 700m~1200m，距坝址 120km~200km 范围河段河槽宽度为 500m~700m。

(4) 库区水位变化分析

1) 不同运用阶段水位统计

根据可研计算，拦沙初期、拦沙后期、正常运行期不同水位出现天数统计如表 7.6.1-1。

表 7.6.1-1 工程不同运行期不同水位出现天数统计

运用期		不同水位统计											
		560~588m			588~617m			617~627m			627m		
		出现 天数 (d)	平均 水位 (m)	最高 水位 (m)	出现 天数 (d)	平均 水位 (m)	最高 水位 (m)	出现 天数 (d)	平均 水位 (m)	最高 水位 (m)	出现 天数 (d)	平均 水位 (m)	最高 水位 (m)
拦沙初期 (1-7 年)		365	572.1	588.0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
拦沙 后期	第 8-20 年	58	586.0	587.9	307	596.3	607.4						
	第 21-38 年	/	/	/	326	603.8	616.9	39	619.1	620.9			
正常运用期 (39 年后)		/	/	/	231	608.3	617.0	132	622.4	627	2	627	627

拦沙初期（1-7 年），水库水位在 560~588m 之间变化；拦沙后期（8-20 年），水

库水位在 560m~607.4m 之间变化；拦沙后期（21-38 年），水库水位在 588m~620.9m 之间变化；正常运用期（第 39 年后），水库水位在 588m~627m 之间变化，其中 627m 高水位在此期间出现的平均时间为 2 天/年，仅占全年的 0.5%。

2) 典型年库区水位变化

选取平水年作为典型年，根据设计计算成果，不同运行时期的平水年年内水位变化情况见图 7.6.1-3。

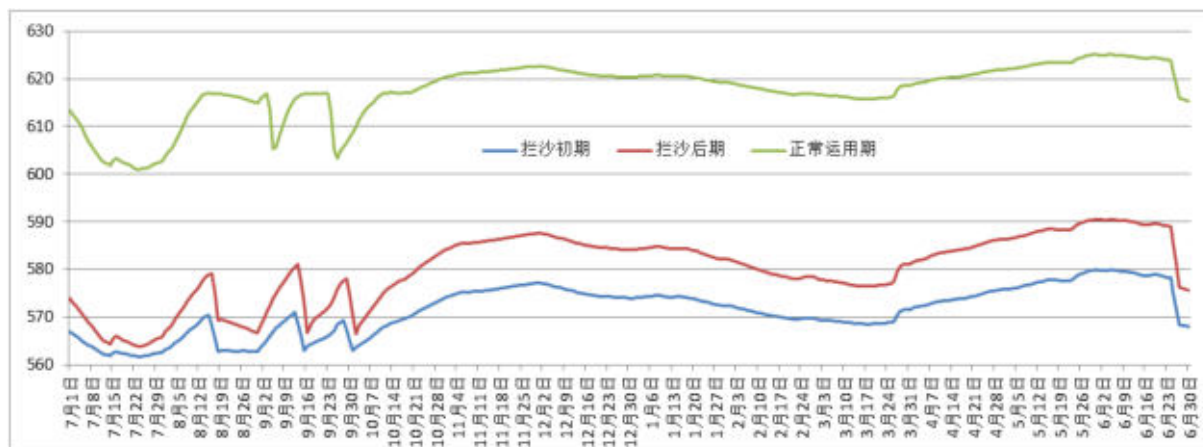


图 7.6.1-3 不同运行期平水年年内水位变化曲线

拦沙初期，平水年全年水位在 561.7m~579.9m 之间变化，水位变幅为 18m；拦沙后期，全年水位在 563.8m~590.5m 之间变化，水位变幅为 27m；正常运用期，全年水位在 600.9m~625.1m 之间变化，水位变幅为 24m。

不同运行时期年内水位变化规律基本一致，每年的 5 月中下旬至 6 月下旬，水位达到最高，自 6 月底起水位开始下降，变动较为频繁，至 10 月初水位开始抬升，之后水位变动较为平缓。

(5) 库区水深变化分析

水库各特征水位下库区沿程水深变化情况见图 7.6.1-4，水库各运用时期坝址处水深变化见图 7.6.1-5。

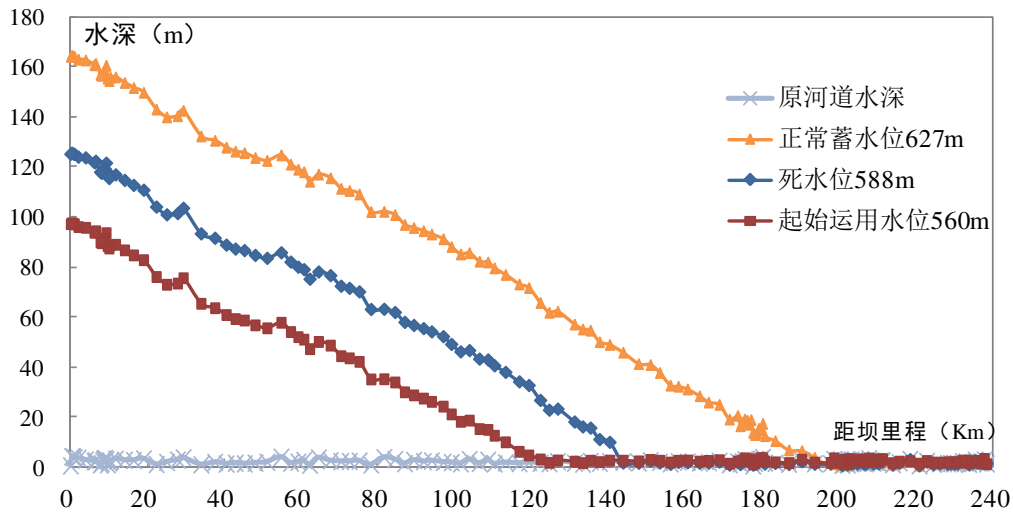


图 7.6.1-4 特征水位库区沿程水深变化

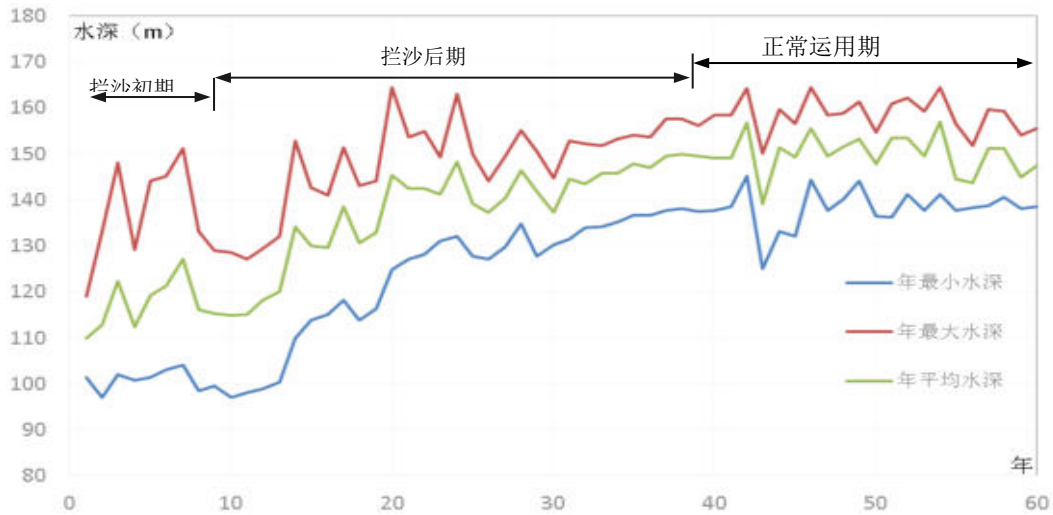


图 7.6.1-5 各运用时期坝址处水深变化图

从图 7.6.1-4~图 7.6.1-5 可以看出，古贤水利枢纽蓄水运用后，在拦沙初期，水库坝前水深在 94.5m 和 122.5m 之间变化；拦沙后期，水库坝前水深在 122.5m 和 155.4m 之间变化；进入正常运用期，河底高程进一步升高，水库坝前水深在 122.5m 和 161.5m 之间变化。

(6) 库区流速变化情况

由于水库水深增加，水面面积增大，库区内流速将减缓，库区河段水域环境从激流河道型向静水湖库型转变。古贤水库拦沙初期、拦沙后期、正常运用期库区河段流速沿程变化情况见图 7.6.1-6~图 7.6.1-8，古贤水库正常运用期各典型年库区河段流速及流态分布见表 7.6.1-2。

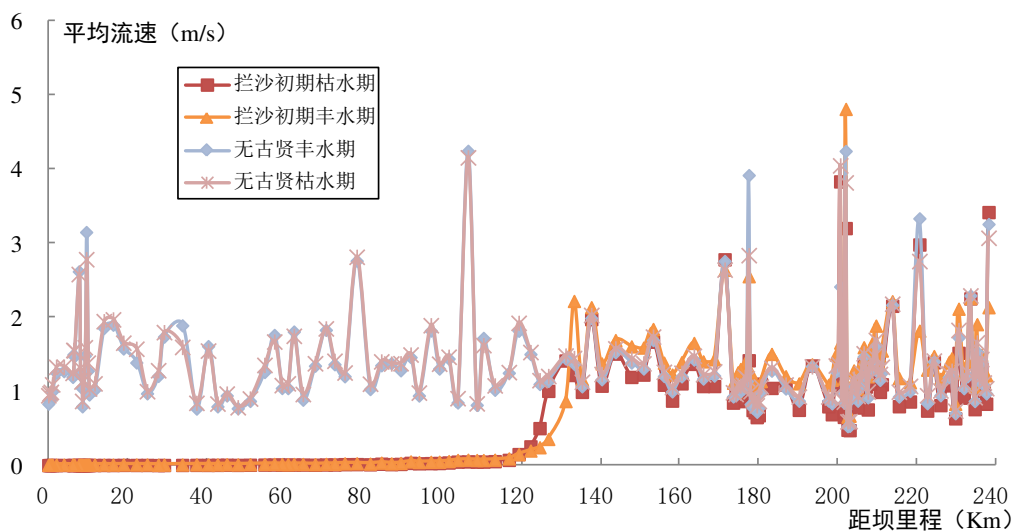


图 7.6.1-6 拦沙初期库区沿程流速变化情况

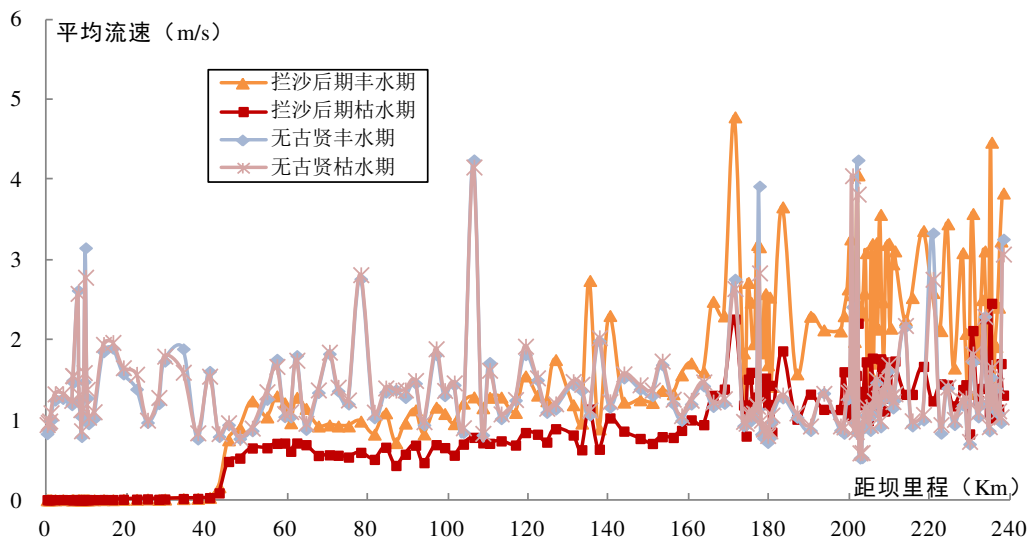


图 7.6.1-7 拦沙后期库区沿程流速变化情况

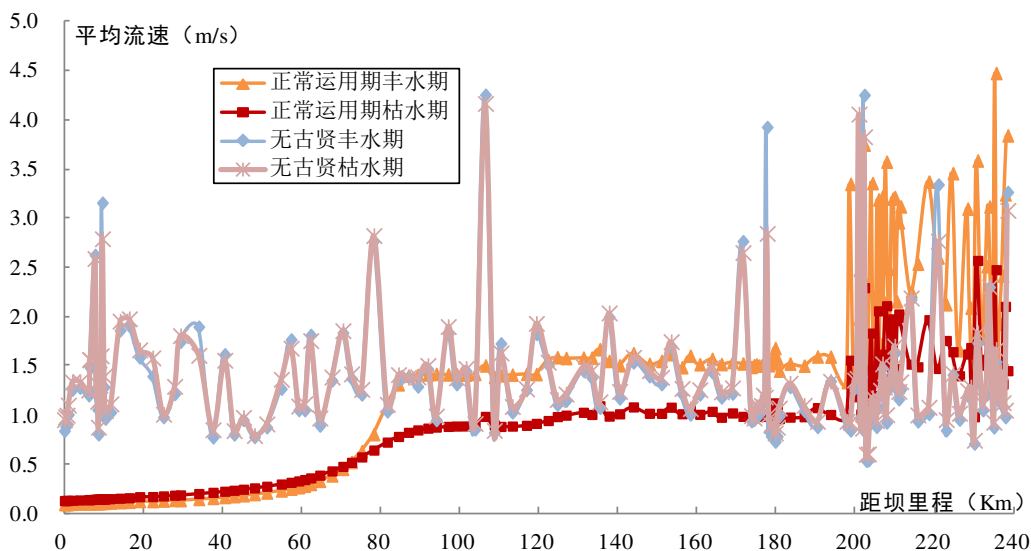


图 7.6.1-8 正常运用期库区沿程流速变化情况

表 7.6.1-2 古贤水库正常运用期典型年库区干流河段流速及流态沿程分布情况

典型年	河段范围（距离坝址，km）	流速范围（m/s）	流态	备注
丰水年	0~50	0.01~0.65	缓流、较缓流	全年
	50~100	0.04~1.42	缓流、较缓流、较急流	随库区水位和入库流量变化
	100~150	0.10~1.67	缓流、较缓流、较急流	
	150~201	0.45~3.35	缓流、较缓流、较急流、急流	
平水年	0~50	0.03~0.30	缓流	全年
	50~100	0.04~0.87	缓流、较缓流	随库区水位和入库流量变化
	100~150	0.09~1.07	缓流、较缓流、较急流	
	150~201	0.54~1.56	缓流、较缓流、较急流	
枯水年	0~50	0.02~0.28	缓流	全年
	50~100	0.03~0.75	缓流、较缓流	随库区水位和入库流量变化
	100~150	0.09~0.98	缓流、较缓流、较急流	
	150~201	0.55~1.45	较缓流、较急流	

由图 7.6.1-6~图 7.6.1-8 和表 7.6.1-2 可知：

拦沙初期，距坝 0~120km 河段平均流速比建库前明显减小，接近于零，距坝 120km~201km 河段平均流速与建库前差别不大；

拦沙后期，距坝 0~40km 河段平均流速接近于零，库中河段受库区泥沙淤积影响，逐渐淤高，距坝 40km~160km 河段水深变小，平均流速逐渐增加，但低于建库前水平，距坝 160km 以上的河段流速接近建库前水平；

正常运用期，自坝址处至库尾，平均流速呈逐渐增大趋势，距坝 0~80km 河段平均流速比建库前明显减小，距坝 80km 以上河段，流速逐渐接近建库前水平。

（7）入库支流水文情势分析

1）支流回水情况

坝址到库尾约 202km，汇入库区流域面积大于 1000km² 的入黄支流有 6 条，其中左岸有三川河、屈产河和昕水河，右岸有无定河、清涧河、延河。本次评价选取入库支流最大的无定河、距离坝址较近的左右岸入库支流昕水河、延河进行典型分析，无定河、延河及昕水河各时期回水长度见表 7.6.1-3。

表 7.6.1-3 主要支流回水情况

河流	入黄口距坝里程 (km)	时期	回水长度 (km)	占河流长度比例
无定河	130.6	拦沙初期	6.2	1.3%
		拦沙后期	10.8	2.2%
		正常运用期	17.1	3.5%
延河	14.1	拦沙初期	20.9	7.4%
		拦沙后期	23.0	8.1%
		正常运用期	25.7	9.0%
昕水河	22.8	拦沙初期	19.7	14.3%
		拦沙后期	21.2	15.4%
		正常运用期	24.1	17.6%

由表 7.6.1-3 可知，随着古贤水库水位的不断抬升，各支流回水长度逐渐增加，正常运用期回水长度大于拦沙初期，正常运用期无定河、昕水河、延河最大回水长度占自身河流长度比例分别为 3.5%、17.6%和 9.0%，距离坝址越近的入库支流回水长度越大。

2) 入库支流典型断面水位、流速变化

本次评价选取无定河白家川断面对入库支流典型断面的水位、流速变化进行分析，无定河白家川断面距离入黄口 59km，工程建成后白家川断面水位、流速变化情况详见表 7.6.1-4、表 7.6.1-5。

表 7.6.1-4 无定河白家川断面各时期平水年逐月平均水位 单位：m

月份 时期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
无古贤	627.6	627.6	627.7	627.6	627.6	627.6	627.8	627.9	627.8	627.8	627.4	627.6
拦沙初期	628.3	628.4	628.6	628.4	628.3	628.3	629.0	628.9	628.7	628.6	628.4	628.3
拦沙后期	628.5	628.6	628.7	628.5	628.4	628.3	628.6	628.6	628.8	628.5	628.5	628.5
正常运用期	628.5	628.6	628.7	628.5	628.4	628.3	628.6	628.6	628.8	628.5	628.5	628.5

表 7.6.1-5 无定河白家川断面各时期平水年逐月平均流速 单位：m/s

月份 时期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
无古贤	1.7	2.9	2.8	3.2	1.7	1.8	3.2	2.4	2.6	2.8	3.5	1.7
拦沙初期	1.7	2.8	2.8	3.2	1.7	1.8	3.2	2.4	2.6	2.8	3.5	1.7
拦沙后期	1.7	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.4	1.4	1.9	1.9	1.9	1.8
正常运用期	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.3	2.3	1.4	2.4	1.5	1.0

由表 7.6.1-4、7.6.1-5 可以看出，工程运行后白家川断面平水年逐月水位相比建库前升高 0.7~1.2m；拦沙初期白家川断面平水年逐月平均流速较建库前无变化，拦沙后期、正常运用期白家川断面平水年逐月平均流速比建库前整体降低了 0.2~2.0m³/s。

7.6.2 坝址~三门峡河段水文情势变化分析

7.6.2.1 龙门断面水文情势分析

龙门断面位于坝址下游约 70km，为坝址下游最近的国家基本水文测站，古贤水库运行后，将对龙门断面水文情势产生一定影响。

1. 年径流量

根据水库调度运行方式，工程运行前后丰水年（ $P=25\%$ ，1969 年）、平水年（ $P=50\%$ ，1962 年）、枯水年（ $P=75\%$ ，1973 年）、特枯水年（ $P=90\%$ ，1974 年）龙门断面年径流量变化见表 7.6.2-1。

表 7.6.2-1 建库前后龙门断面各典型年径流量变化 单位：亿 m^3/s

典型年	建库前	建库后	变化量	变化比例
丰水年	257.3	233.8	-23.5	-9.2
平水年	221.7	200.1	-21.6	-7
枯水年	175.5	156.2	-19.3	-11.0
特枯水年	157.8	142.4	-15.4	-9.8

由表 7.6.2-1 可知，由于坝下河段（禹门口~潼关河段）取水口上移至古贤库区，故古贤水库建设后龙门断面径流相比建库前有所减少，各典型年中，丰水年径流减少量最多，减少了约 23.5 亿 m^3 （约占建库前的 9.2%），特枯年减少量最少（-15.4 亿 m^3 ）。

2. 流量变化

（1）逐旬流量变化

根据水库调度运行方式，工程运行后丰水年、平水年、枯水年、特枯水年龙门断面逐旬流量变化见表 7.6.2-2 及图 7.6.2-1。

表 7.6.2-2 龙门断面各典型年逐旬流量变化 单位: m³/s

月	旬	丰水年				平水年				枯水年				特枯水年			
		建库前	建库后	变化量	变化比例 (%)	建库前	建库后	变化量	变化比例 (%)	建库前	建库后	变化量	变化比例 (%)	建库前	建库后	变化量	变化比例 (%)
1 月	上旬	474	480	6	1.3	497	450	-47	-9.4	200	434	234	117.2	324	481	157	48.4
1 月	中旬	485	480	-5	-1.0	395	450	55	13.9	305	434	129	42.1	283	481	198	70.0
1 月	下旬	443	481	37	8.5	298	450	152	50.9	337	434	97	28.9	370	481	111	30.1
2 月	上旬	394	481	87	22.0	274	450	175	63.9	319	434	116	36.3	451	481	30	6.5
2 月	中旬	393	481	88	22.4	310	450	140	45.3	334	434	100	30.0	440	481	41	9.4
2 月	下旬	358	481	122	34.2	465	451	-15	-3.2	373	434	61	16.3	342	481	139	40.8
3 月	上旬	488	421	-67	-13.7	517	451	-66	-12.8	483	425	-58	-12.0	408	482	74	18.2
3 月	中旬	566	421	-145	-25.6	570	451	-118	-20.8	491	425	-65	-13.3	593	482	-110	-18.6
3 月	下旬	678	421	-256	-37.8	910	451	-460	-50.5	671	426	-245	-36.5	973	482	-491	-50.5
4 月	上旬	1137	500	-637	-56.0	713	448	-265	-37.1	1063	438	-625	-58.8	515	480	-35	-6.8
4 月	中旬	684	500	-184	-26.9	628	448	-180	-28.7	702	437	-264	-37.7	544	480	-64	-11.7
4 月	下旬	668	500	-168	-25.1	702	448	-254	-36.2	683	437	-246	-36.0	545	480	-65	-12.0
5 月	上旬	916	500	-416	-45.4	720	448	-272	-37.8	940	437	-503	-53.5	1016	479	-537	-52.8
5 月	中旬	1011	501	-510	-50.4	656	448	-208	-31.8	745	437	-308	-41.3	492	479	-13	-2.6
5 月	下旬	667	500	-167	-25.0	818	448	-370	-45.3	493	438	-56	-11.3	192	479	287	149.6
6 月	上旬	791	494	-298	-37.6	467	441	-27	-5.7	183	432	249	136.7	164	476	312	190.2
6 月	中旬	890	493	-397	-44.6	428	441	13	3.0	220	432	212	96.5	266	477	211	79.5
6 月	下旬	522	1567	1045	200.1	362	1535	1173	323.5	383	461	78	20.3	349	500	150	43.0
7 月	上旬	581	643	62	10.6	217	484	267	123.1	251	478	228	90.8	204	361	158	77.3
7 月	中旬	473	528	56	11.7	394	480	86	21.7	656	479	-176	-26.9	222	360	138	62.4
7 月	下旬	1256	617	-639	-50.9	506	479	-27	-5.3	500	479	-21	-4.1	488	361	-128	-26.1
8 月	上旬	1447	2001	554	38.3	1103	652	-451	-40.9	197	478	281	142.7	217	361	144	66.4
8 月	中旬	1465	915	-550	-37.5	968	714	-254	-26.2	391	478	87	22.3	302	361	59	19.5
8 月	下旬	1277	1292	15	1.2	488	530	42	8.6	946	525	-421	-44.5	344	362	19	5.4
9 月	上旬	1334	715	-618	-46.4	1274	1354	80	6.2	1100	718	-383	-34.8	403	361	-42	-10.4
9 月	中旬	807	1574	767	95.1	1040	725	-315	-30.3	1250	1672	422	33.8	271	361	89	33.0

月	旬	丰水年				平水年				枯水年				特枯水年			
		建库前	建库后	变化量	变化比例(%)	建库前	建库后	变化量	变化比例(%)	建库前	建库后	变化量	变化比例(%)	建库前	建库后	变化量	变化比例(%)
9月	下旬	1439	998	-441	-30.6	1113	1445	332	29.8	914	722	-191	-20.9	437	372	-64	-14.7
10月	上旬	1694	1759	65	3.9	1055	578	-477	-45.2	608	480	-128	-21.1	2059	482	-1577	-76.6
10月	中旬	1067	474	-593	-55.5	920	480	-440	-47.9	473	479	6	1.2	1181	482	-698	-59.2
10月	下旬	1139	474	-665	-58.4	1020	480	-540	-53.0	881	479	-402	-45.7	1012	482	-530	-52.4
11月	上旬	372	443	71	19.0	664	451	-213	-32.1	921	425	-496	-53.8	486	482	-4	-0.8
11月	中旬	429	443	14	3.2	610	451	-159	-26.0	631	425	-206	-32.6	260	482	222	85.1
11月	下旬	334	443	108	32.4	609	451	-158	-26.0	557	425	-132	-23.8	748	482	-266	-35.5
12月	上旬	168	421	253	150.5	381	451	70	18.5	384	425	41	10.7	438	482	44	10.1
12月	中旬	183	421	238	129.9	394	451	57	14.4	218	425	207	94.9	318	482	164	51.6
12月	下旬	233	421	188	80.7	494	451	-43	-8.7	181	425	243	134.2	308	482	174	56.4

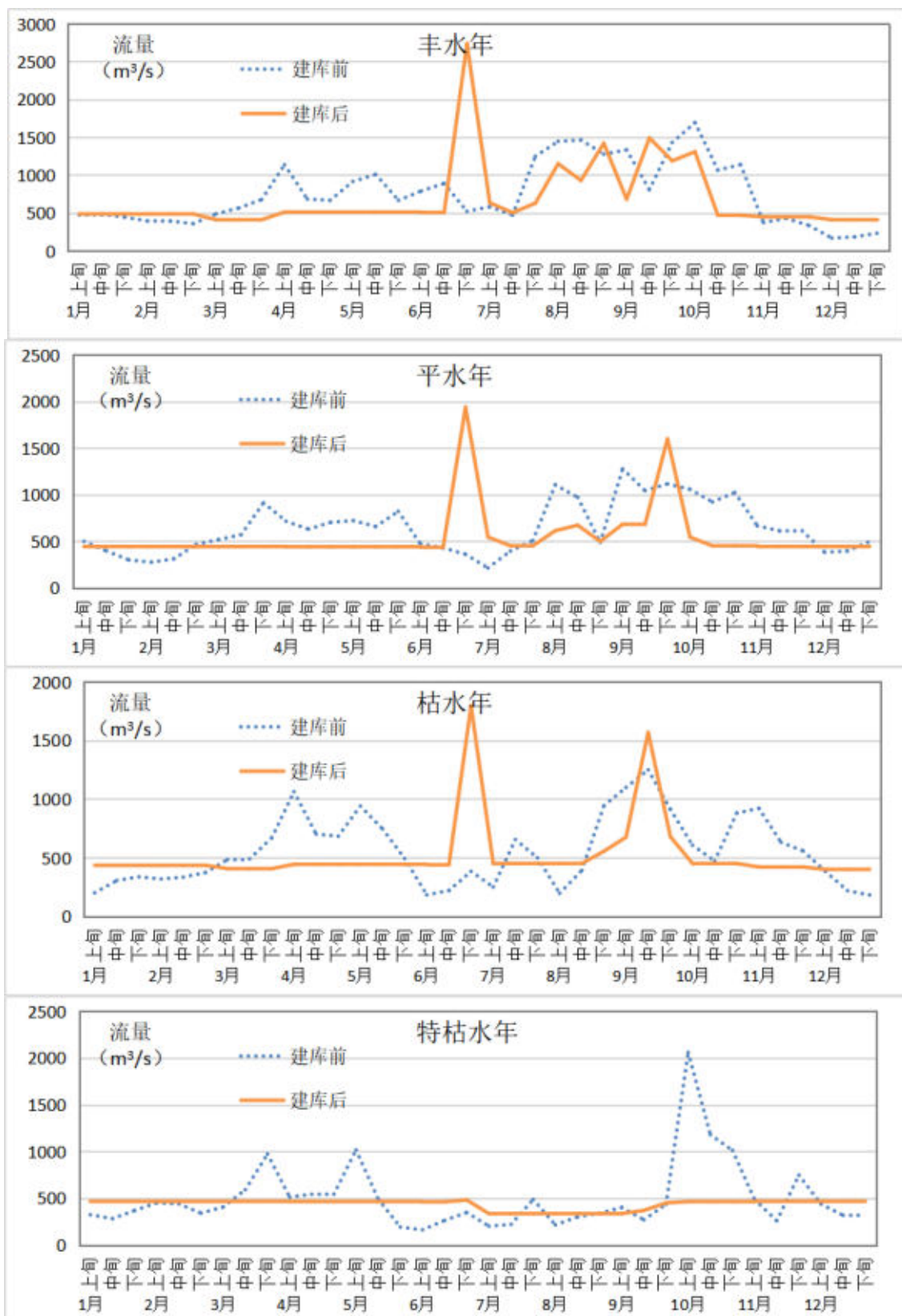


图 7.6.2-1 古贤水库运行前后各典型年龙门断面逐旬流量变化

由表 7.6.2-2 及图 7.6.2-1 可知，古贤水库运行前后各典型年龙门断面逐旬流量变化如下：

总体来看,建库后,11月~次年6月基本为等流量(月均 $400\text{m}^3/\text{s}$ ~ $600\text{m}^3/\text{s}$)下泄,汛期7月~10月仍保留原有丰枯特征,与建库前相比,3月~5月流量减小并均化,枯水期12月~2月流量有所增加。

①丰水年:建库后,3月上旬~6月中旬、7月下旬至8月中旬、9月上旬、9月下旬至10月下旬流量减小,减小范围为 $77\text{m}^3/\text{s}$ ~ $669\text{m}^3/\text{s}$,其他旬流量增加,增加范围为 $1\text{m}^3/\text{s}$ ~ $2218\text{m}^3/\text{s}$ 。10月下旬减少58.8%,减幅最大,6月下旬增加425.4%,增幅最大。

②平水年:1月中旬~2月中旬、6月中旬~7月中旬、8月下旬、9月下旬、12月上中旬流量有所增加,增加范围为 $6\text{m}^3/\text{s}$ ~ $1576\text{m}^3/\text{s}$,其他旬流量减少,减小范围为 $23\text{m}^3/\text{s}$ ~ $570\text{m}^3/\text{s}$ 。10月下旬减少55.9%,减幅最大,6月下旬增加439.0%,增幅最大。

③枯水年:3月~5月、7月中下旬、8月下旬~9月上旬、9月下旬~11月下旬流量有所减少,减少范围为 $22\text{m}^3/\text{s}$ ~ $619\text{m}^3/\text{s}$,其他旬流量增加,增加范围为 $17\text{m}^3/\text{s}$ ~ $1412\text{m}^3/\text{s}$ 。4月上旬减少58.3%,减幅最大,8月上旬增加368.6%,增幅最大。

④特枯水年:3月中旬~5月中旬、7月下旬、8月下旬~9月上旬、10月上旬~11月上旬、11月下旬流量有所减少,减少范围为 $5\text{m}^3/\text{s}$ ~ $1594\text{m}^3/\text{s}$,其他旬流量增加,增加范围为 $14\text{m}^3/\text{s}$ ~ $299\text{m}^3/\text{s}$ 。10月上旬减少77.4%,减幅最大,6月上旬增加184.0%,增幅最大。

(2) 逐日流量变化

龙门断面丰水年最大增幅为1102.6% ($3577.9\text{m}^3/\text{s}$),发生在6月28日,最大降幅为79.8% ($-2682.5\text{m}^3/\text{s}$),发生在8月2日;平水年最大增幅为1000.9% ($3421.2\text{m}^3/\text{s}$),发生在6月29日,最大降幅为78.9% ($-1648.7\text{m}^3/\text{s}$),发生在3月27日;枯水年最大增幅为1144.6% ($3476.3\text{m}^3/\text{s}$),发生在6月28日,最大降幅为81.0% ($-1891.1\text{m}^3/\text{s}$),发生在4月1日;特枯水年最大增幅为204.7% ($310.2\text{m}^3/\text{s}$),发生在6月7日,最大降幅为84.2% ($-2469.2\text{m}^3/\text{s}$),发生在10月8日。

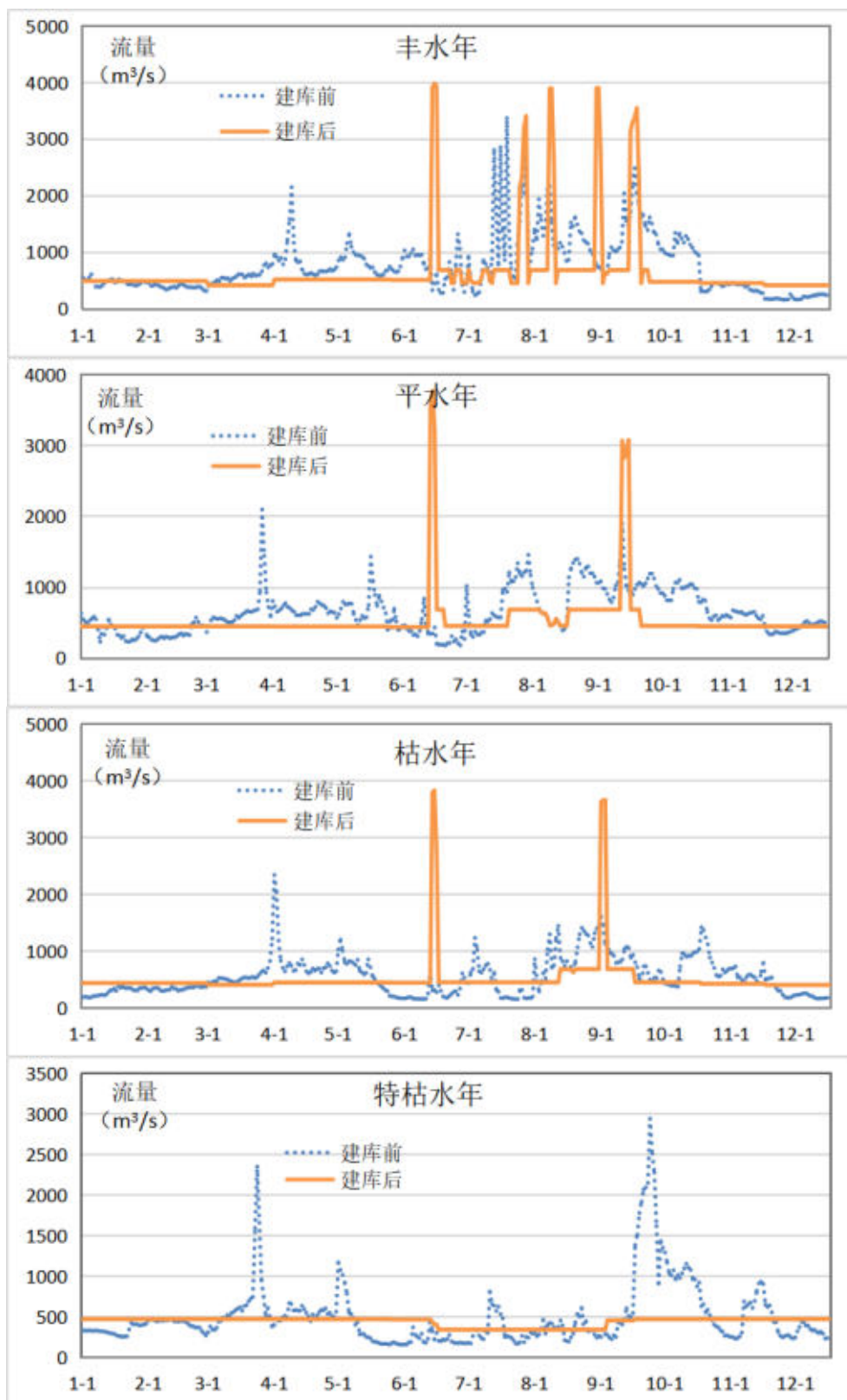


图 7.6.2-2 古贤水库运行前后各典型年龙门断面逐日流量变化

3. 运行期生态流量满足程度

根据古贤水库调度运行方案，选取工程运行后丰水年、平水年、枯水年、特枯水年

逐月调度数据进行分析。建库后各时期各典型年坝址下泄流量与生态流量对比见表 7.6.2-3。从表 7.6.2-3 可以看出，古贤水库运行后，各典型年流量均能满足相应时段的生态流量的要求。

表 7.6.2-3 生态流量满足程度分析表 单位：m³/s

月份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
生态流量		不低于 180~200m³/s			不低于 240 m³/s			不低于 336 m³/s			不低于 180~200m³/s		
运行期	丰水年	486	486	410	511	511	1250	590	1175	1120	740	448	410
	平水年	441	441	441	439	439	934	480	589	985	480	442	442
	枯水年	435	435	406	443	443	891	450	487	974	450	420	400
	特枯年	467	467	467	466	466	468	336	336	385	465	467	467
满足程度		满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

4. 对洪水的影响

(1) 对大洪水的影响

由于古贤水库具有防洪作用，在遭遇洪水时，水库对洪水有一定拦蓄作用。当遭遇万年一遇洪水及千年一遇洪水时入出库流量过程见图 7.6.2-3、7.6.2-4。

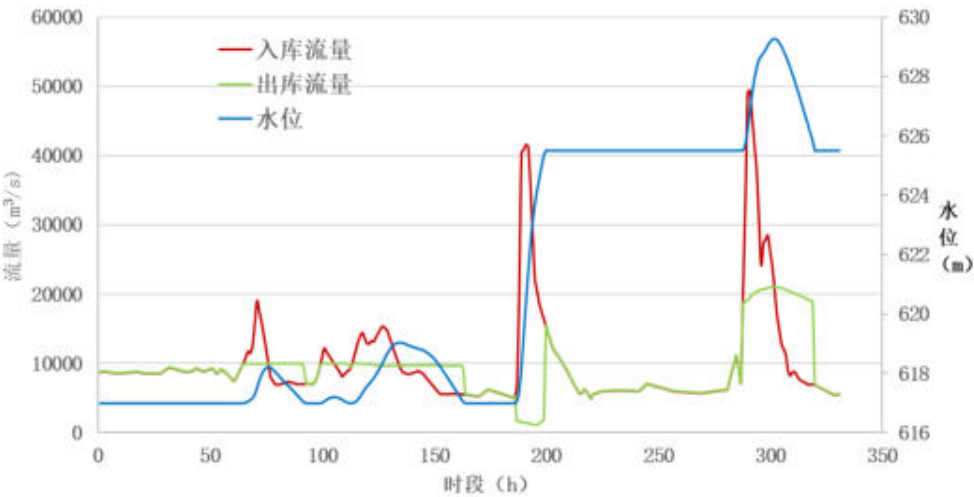


图 7.6.2-3 万年一遇洪水时古贤水库入、出库流量过程

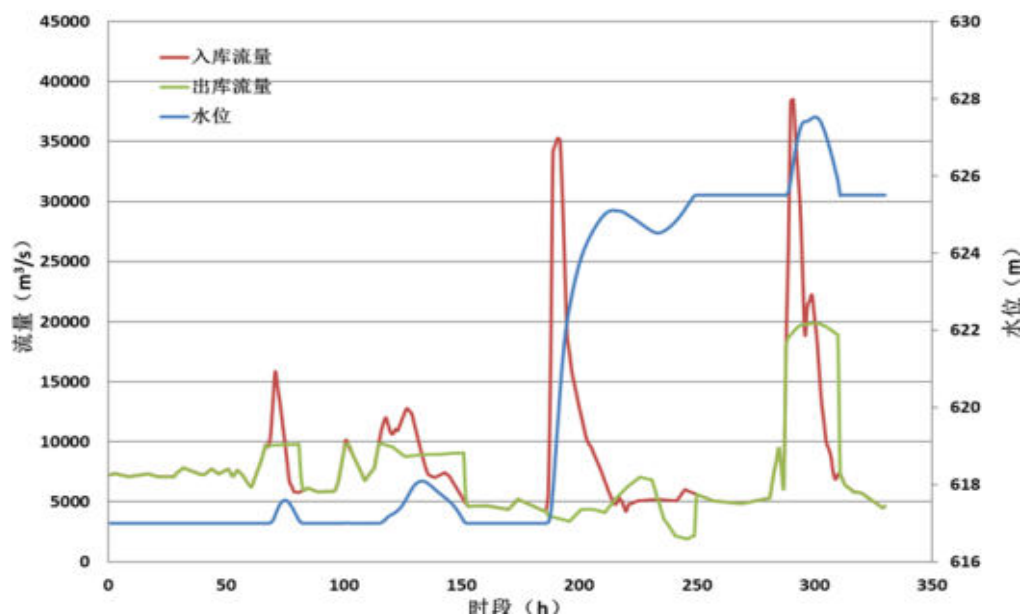


图 7.6.2-4 千年一遇洪水时古贤水库入、出库流量过程

由图 7.6.2-3、7.6.2-4 可知，由于古贤水库具有防洪作用，在遭遇洪水时，水库对洪水有一定拦蓄作用。遭遇万年一遇洪水时，最大入库流量为 $49400\text{m}^3/\text{s}$ ，最大出库流量降至 $21000\text{m}^3/\text{s}$ ，且最大洪峰流量出现时间推后约 13h，遭遇千年一遇洪水时，最大入库流量为 $38500\text{m}^3/\text{s}$ ，最大出库流量降至 $19430\text{m}^3/\text{s}$ ，且最大洪峰流量出现时间推后约 12h。

(2) 对中小洪水的影响

工程运行前后中小洪水出现频率见下表。

表 7.6.2-4 古贤水库运行前后流量级分布情况

流量 m^3/s		1000~1500	1500~2000	2000~2500	2500~3000	3000~3500	3500~4000
不同时期							
丰水 年	无古贤	15.3%	4.1%	2.5%	0.8%	0.3%	0.0%
	拦沙初期	0.3%	0.0%	0.8%	0.5%	1.6%	3.0%
	拦沙后期	0.5%	0.0%	0.0%	0.5%	1.4%	2.7%
	正常运用期	0.3%	0.0%	0.0%	0.5%	1.6%	3.0%
平水 年	无古贤	14.2%	0.3%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
	拦沙初期	0.3%	0.0%	0.0%	0.3%	0.5%	1.1%
	拦沙后期	0.3%	0.0%	0.0%	0.3%	0.5%	1.1%
	正常运用期	0.5%	0.5%	0.0%	0.8%	0.8%	0.8%
枯水 年	无古贤	9.0%	0.3%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%
	拦沙初期	0.0%	0.3%	0.5%	0.0%	0.5%	0.8%
	拦沙后期	0.0%	0.3%	0.5%	0.0%	0.5%	0.8%
	正常运用期	0.0%	0.3%	0.0%	0.3%	0.8%	0.8%
特枯 水年	无古贤	5.5%	1.6%	1.4%	0.5%	0.0%	0.0%
	拦沙初期	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%
	拦沙后期	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%
	正常运用期	0.3%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%

由表可知，工程运行后，龙门断面日均流量为 $1000\text{m}^3/\text{s}\sim 2500\text{m}^3/\text{s}$ 出现几率降低；

丰水年日均流量为 $2500\text{m}^3/\text{s}\sim 3000\text{m}^3/\text{s}$ 出现几率降低,平、枯及特枯水年出现几率有所增加; $3500\text{m}^3/\text{s}\sim 4000\text{m}^3/\text{s}$ 出现几率较建库前有所增加。

7.6.2.2 小北干流河段水文情势分析

工程运行后,小北干流河段水文情势将发生变化。选取黄淤 65 断面(产漂流性卵产卵场代表断面)、50 断面(产沉粘性卵产卵场代表断面、汾河汇入口以下)进行典型分析。

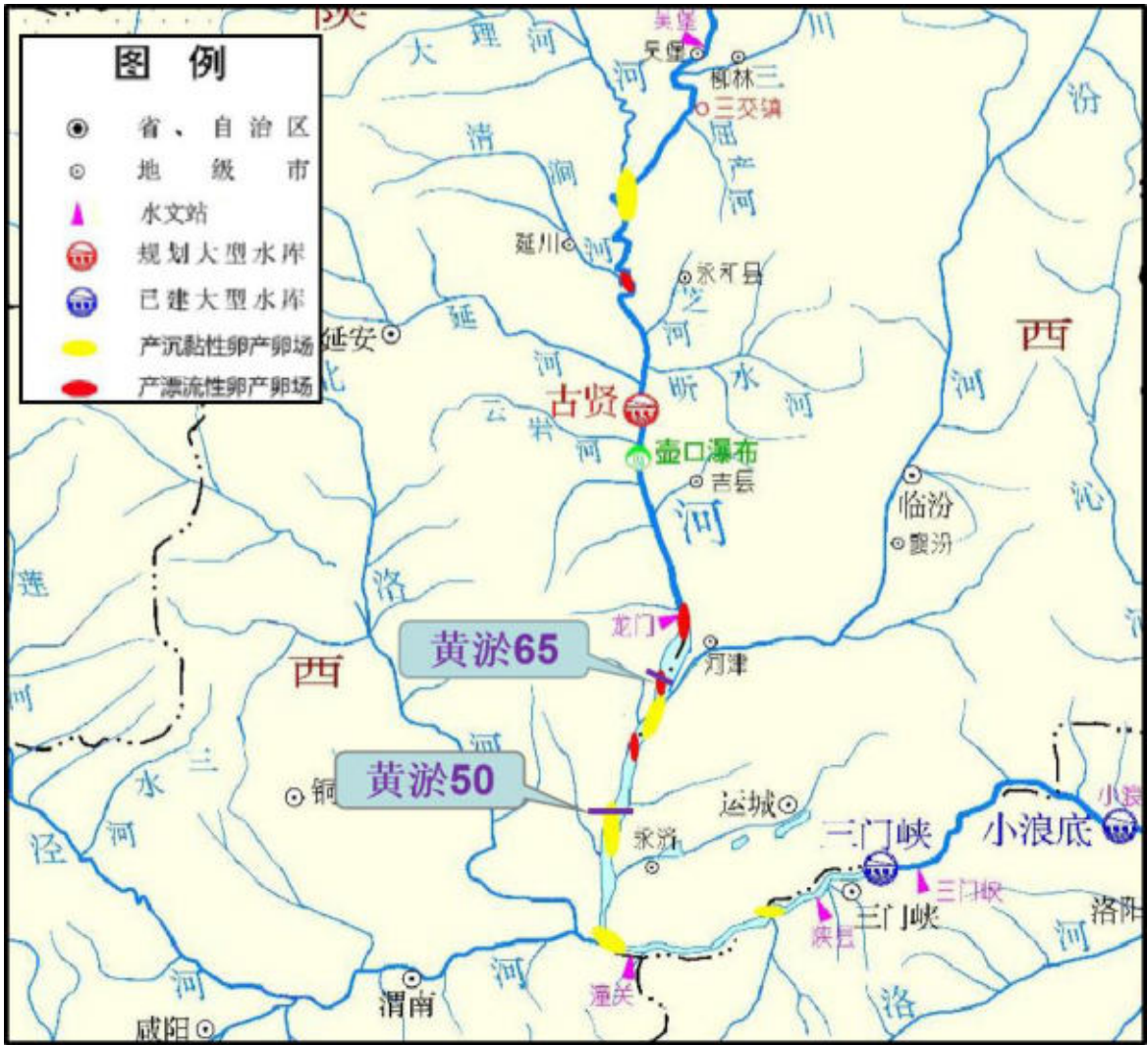


图 7.6.2-5 典型分析断面位置示意图

(1) 黄淤 65 断面

流量变化: 由于龙门到黄淤 65 断面中间没有较大支流汇入, 故断面流量变化趋势与龙门断面基本一致。

水位变化: 黄淤 65 断面建库前水位范围为 $369.47\text{m}\sim 370.64\text{m}$; 拦沙初期第一年水

位范围为 369.83m~370.63m，较建库前水位最大抬升 0.67m，最大降低 0.67m；由于河床刷深，拦沙后期第一年水位范围为 368.82m~369.62m，较建库前水位均有所降低，最大降低 1.68m；至正常运用期第一年水位范围为 367.93m~368.73m，较建库前水位均有所降低，最大降低 2.57m；至正常运用期第 22 年水位范围为 368.99m~369.79m，较建库前水位均有所降低，最大降低 1.51m。

(2) 黄淤 50 断面

流量变化：建库后断面流量变化趋势与龙门断面一致，但由于龙门~黄淤 50 断面中间有汾河汇入，流量变化幅度有所不同，具体为：丰水年 10 月下旬减少 53.7%

($675\text{m}^3/\text{s}$)，减幅最大，6 月下旬增加 414.7% ($2238\text{m}^3/\text{s}$)，增幅最大；平水年 10 月下旬减少 53.2% ($575\text{m}^3/\text{s}$)，减幅最大，6 月下旬增加 420.9% ($1590\text{m}^3/\text{s}$)，增幅最大；枯水年 4 月上旬减少 58.2% ($625\text{m}^3/\text{s}$)，减幅最大，6 月下旬增加 367.2% ($1424\text{m}^3/\text{s}$)，增幅最大；特枯水年 10 月上旬减少 76.2% ($1608\text{m}^3/\text{s}$)，减幅最大，6 月上旬增加 183.8% ($302\text{m}^3/\text{s}$)，增幅最大。

水位变化：黄淤 50 断面建库前水位范围为 340.17m~341.35m；拦沙初期第一年水位范围为 340.54m~341.36m，较建库前水位最大抬升 0.66m，最大降低 0.65m；由于河床刷深，拦沙后期第一年水位范围为 339.39m~340.21m，较建库前水位均有所降低，最大降低 1.80m；至正常运用期第一年水位范围为 338.45m~339.27m，较建库前水位均有所降低，最大降低 2.74m；至正常运用期第 22 年水位范围为 339.58m~340.40m，较建库前水位均有所降低，最大降低 1.61m。

表 7.6.2-5 建库前后黄淤 65 断面流量变化 单位: m³/s

月	旬	丰水年				平水年				枯水年				特枯水年			
		建库前	建库后	变化量	变化比例(%)	建库前	建库后	变化量	变化比例(%)	建库前	建库后	变化量	变化比例(%)	建库前	建库后	变化量	变化比例(%)
1月	上旬	475	487	12	2.5	497	442	-55	-11.1	200	436	236	117.9	324	468	143	44.2
	中旬	486	487	1	0.2	395	442	47	11.8	306	436	130	42.5	283	468	185	65.3
	下旬	444	487	43	9.8	298	442	144	48.2	337	436	98	29.2	370	468	98	26.4
2月	上旬	394	487	93	23.5	275	442	167	60.9	319	435	117	36.6	452	468	16	3.5
	中旬	392	487	94	24.0	310	442	132	42.7	334	435	101	30.4	440	468	28	6.3
	下旬	358	487	129	35.9	465	442	-24	-5.0	373	435	62	16.6	342	468	126	36.8
3月	上旬	488	411	-77	-15.8	517	442	-75	-14.5	483	407	-77	-15.9	408	468	60	14.8
	中旬	566	411	-155	-27.4	570	442	-127	-22.4	491	407	-84	-17.1	592	468	-125	-21.0
	下旬	678	411	-267	-39.4	911	442	-469	-51.5	671	407	-264	-39.4	974	468	-506	-52.0
4月	上旬	1138	512	-626	-55.0	714	440	-273	-38.3	1064	444	-620	-58.3	515	466	-49	-9.4
	中旬	684	512	-172	-25.2	629	440	-189	-30.0	703	444	-259	-36.8	544	466	-78	-14.3
	下旬	668	512	-156	-23.4	703	440	-263	-37.4	684	444	-240	-35.1	545	466	-79	-14.5
5月	上旬	917	512	-405	-44.2	721	440	-280	-38.9	942	444	-498	-52.8	1018	466	-552	-54.2
	中旬	1011	512	-499	-49.4	657	440	-217	-33.0	747	444	-302	-40.5	493	466	-26	-5.3
	下旬	668	512	-156	-23.3	819	440	-379	-46.3	494	444	-50	-10.0	192	466	274	142.8
6月	上旬	792	506	-285	-36.0	468	435	-33	-7.1	183	440	257	140.9	163	463	300	184.0
	中旬	891	506	-385	-43.2	428	435	6	1.5	220	440	220	100.0	264	463	199	75.4
	下旬	522	2745	2222	425.4	360	1938	1579	439.0	384	1798	1414	368.6	349	482	134	38.4
7月	上旬	581	635	54	9.3	212	543	331	155.6	250	451	200	80.0	202	337	134	66.4
	中旬	473	503	30	6.4	394	451	57	14.3	655	451	-204	-31.2	221	337	115	52.0
	下旬	1251	630	-621	-49.6	507	451	-56	-11.0	499	451	-48	-9.7	488	337	-151	-31.0
8月	上旬	1448	1152	-297	-20.5	1104	612	-492	-44.6	197	451	254	129.1	216	337	121	56.0
	中旬	1466	931	-535	-36.5	969	671	-298	-30.7	391	451	60	15.3	301	337	35	11.8
	下旬	1279	1423	144	11.3	487	497	10	2.0	945	555	-389	-41.2	342	337	-5	-1.5
9月	上旬	1335	681	-654	-49.0	1276	681	-595	-46.6	1101	676	-425	-38.6	402	337	-65	-16.3
	中旬	808	1494	686	84.9	1041	681	-360	-34.6	1251	1571	320	25.6	271	371	100	37.1
	下旬	1434	1190	-243	-17.0	1115	1597	483	43.3	914	681	-233	-25.5	437	451	14	3.2
10月	上旬	1696	1311	-384	-22.7	1056	543	-513	-48.6	607	451	-156	-25.7	2062	466	-1597	-77.4
	中旬	1068	470	-598	-56.0	921	451	-470	-51.1	473	451	-22	-4.6	1182	466	-716	-60.6
	下旬	1140	470	-670	-58.8	1022	451	-571	-55.9	882	451	-431	-48.8	1014	466	-548	-54.1
11月	上旬	372	449	77	20.6	665	443	-222	-33.4	922	421	-502	-54.4	486	468	-18	-3.6
	中旬	429	449	20	4.6	611	443	-168	-27.5	632	421	-211	-33.4	260	468	208	80.0
	下旬	334	449	114	34.2	610	443	-167	-27.4	558	421	-137	-24.6	748	468	-280	-37.4
12月	上旬	168	411	243	145.2	381	443	62	16.2	384	401	17	4.4	438	468	30	6.9
	中旬	183	411	228	124.7	395	443	48	12.2	218	401	183	83.9	318	468	150	47.3
	下旬	233	411	178	76.5	495	443	-52	-10.5	181	401	219	120.9	308	468	160	51.9

表 7.6.2-6 建库前后黄淤 65 断面水位变化（拦沙初期第一年） 单位：m

月	旬	丰水年			平水年			枯水年			特枯水年		
		建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量
1 月	上旬	369.96	369.97	0.01	369.98	369.94	-0.05	369.56	369.92	0.36	369.79	369.97	0.18
	中旬	369.97	369.97	-0.00	369.88	369.94	0.06	369.76	369.92	0.16	369.72	369.97	0.25
	下旬	369.93	369.97	0.04	369.75	369.94	0.19	369.80	369.92	0.12	369.85	369.97	0.12
2 月	上旬	369.88	369.97	0.09	369.71	369.94	0.23	369.78	369.92	0.14	369.94	369.97	0.03
	中旬	369.87	369.97	0.09	369.76	369.94	0.17	369.80	369.92	0.12	369.93	369.97	0.04
	下旬	369.83	369.97	0.14	369.95	369.94	-0.02	369.85	369.92	0.07	369.81	369.97	0.16
3 月	上旬	369.98	369.91	-0.07	370.00	369.94	-0.06	369.97	369.91	-0.06	369.89	369.97	0.08
	中旬	370.04	369.91	-0.14	370.05	369.94	-0.11	369.98	369.91	-0.07	370.07	369.97	-0.10
	下旬	370.13	369.91	-0.22	370.26	369.94	-0.33	370.12	369.91	-0.21	370.30	369.97	-0.33
4 月	上旬	370.37	369.99	-0.38	370.15	369.94	-0.22	370.34	369.92	-0.41	370.00	369.97	-0.03
	中旬	370.13	369.99	-0.15	370.09	369.94	-0.16	370.14	369.92	-0.22	370.03	369.97	-0.06
	下旬	370.12	369.99	-0.13	370.14	369.94	-0.21	370.13	369.92	-0.21	370.03	369.97	-0.06
5 月	上旬	370.27	369.99	-0.28	370.16	369.94	-0.22	370.28	369.92	-0.36	370.32	369.97	-0.35
	中旬	370.31	369.99	-0.33	370.11	369.93	-0.18	370.17	369.92	-0.25	369.98	369.97	-0.01
	下旬	370.12	369.99	-0.13	370.21	369.93	-0.28	369.98	369.92	-0.06	369.54	369.97	0.42
6 月	上旬	370.20	369.98	-0.22	369.96	369.93	-0.03	369.52	369.92	0.40	369.47	369.96	0.49
	中旬	370.25	369.98	-0.27	369.91	369.93	0.01	369.60	369.92	0.31	369.69	369.96	0.27
	下旬	370.01	370.52	0.51	369.84	370.51	0.67	369.86	369.95	0.09	369.82	369.99	0.17
7 月	上旬	370.06	370.10	0.05	369.60	369.97	0.37	369.67	369.97	0.30	369.57	369.84	0.27
	中旬	369.96	370.01	0.05	369.88	369.97	0.09	370.11	369.97	-0.15	369.61	369.83	0.23
	下旬	370.41	370.08	-0.33	369.99	369.97	-0.03	369.99	369.97	-0.02	369.98	369.83	-0.14
8 月	上旬	370.48	370.63	0.15	370.35	370.11	-0.24	369.55	369.97	0.41	369.60	369.84	0.24
	中旬	370.49	370.27	-0.22	370.29	370.15	-0.14	369.87	369.97	0.09	369.75	369.83	0.08
	下旬	370.42	370.43	0.01	369.98	370.01	0.04	370.28	370.01	-0.27	369.81	369.84	0.02
9 月	上旬	370.44	370.15	-0.29	370.42	370.45	0.03	370.35	370.15	-0.20	369.89	369.83	-0.05
	中旬	370.21	370.52	0.31	370.33	370.16	-0.17	370.41	370.55	0.14	369.70	369.83	0.13
	下旬	370.48	370.31	-0.17	370.36	370.48	0.12	370.27	370.16	-0.11	369.92	369.85	-0.07
10 月	上旬	370.55	370.57	0.02	370.33	370.05	-0.28	370.08	369.97	-0.11	370.64	369.97	-0.67
	中旬	370.34	369.96	-0.38	370.27	369.97	-0.30	369.96	369.97	0.01	370.39	369.97	-0.42
	下旬	370.37	369.96	-0.41	370.32	369.97	-0.35	370.25	369.97	-0.28	370.31	369.97	-0.34
11 月	上旬	369.85	369.93	0.08	370.12	369.94	-0.18	370.27	369.91	-0.36	369.97	369.97	-0.00
	中旬	369.92	369.93	0.01	370.08	369.94	-0.14	370.09	369.91	-0.18	369.68	369.97	0.29
	下旬	369.80	369.93	0.13	370.08	369.94	-0.14	370.04	369.91	-0.13	370.17	369.97	-0.20
12 月	上旬	369.48	369.91	0.43	369.86	369.94	0.08	369.86	369.91	0.05	369.92	369.97	0.04
	中旬	369.52	369.91	0.39	369.88	369.94	0.06	369.60	369.91	0.31	369.78	369.97	0.19
	下旬	369.63	369.91	0.27	369.98	369.94	-0.04	369.52	369.91	0.40	369.76	369.97	0.21

表 7.6.2-7 建库前后黄淤 65 断面水位变化（拦沙后期第一年） 单位：m

月	旬	丰水年			平水年			枯水年			特枯水年		
		建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量
1 月	上旬	369.96	368.96	-1.00	369.98	368.93	-1.06	369.56	368.91	-0.65	369.79	368.96	-0.83
	中旬	369.97	368.96	-1.01	369.88	368.93	-0.95	369.76	368.91	-0.85	369.72	368.96	-0.76
	下旬	369.93	368.96	-0.97	369.75	368.93	-0.82	369.80	368.91	-0.89	369.85	368.96	-0.89
2 月	上旬	369.88	368.96	-0.92	369.71	368.93	-0.78	369.78	368.91	-0.87	369.94	368.96	-0.98
	中旬	369.87	368.96	-0.92	369.76	368.93	-0.84	369.80	368.91	-0.89	369.93	368.96	-0.97
	下旬	369.83	368.96	-0.87	369.95	368.93	-1.03	369.85	368.91	-0.94	369.81	368.96	-0.85
3 月	上旬	369.98	368.90	-1.08	370.00	368.93	-1.07	369.97	368.90	-1.07	369.89	368.96	-0.93
	中旬	370.04	368.90	-1.15	370.05	368.93	-1.12	369.98	368.90	-1.08	370.07	368.96	-1.11
	下旬	370.13	368.90	-1.23	370.26	368.93	-1.34	370.12	368.90	-1.22	370.30	368.96	-1.34
4 月	上旬	370.37	368.98	-1.39	370.15	368.93	-1.23	370.34	368.91	-1.42	370.00	368.96	-1.04
	中旬	370.13	368.98	-1.16	370.09	368.93	-1.17	370.14	368.91	-1.23	370.03	368.96	-1.07
	下旬	370.12	368.98	-1.14	370.14	368.93	-1.22	370.13	368.91	-1.22	370.03	368.96	-1.07
5 月	上旬	370.27	368.98	-1.29	370.16	368.93	-1.23	370.28	368.91	-1.37	370.32	368.96	-1.36
	中旬	370.31	368.98	-1.34	370.11	368.92	-1.19	370.17	368.91	-1.26	369.98	368.96	-1.02
	下旬	370.12	368.98	-1.14	370.21	368.92	-1.29	369.98	368.91	-1.07	369.54	368.96	-0.59
6 月	上旬	370.20	368.97	-1.23	369.96	368.92	-1.04	369.52	368.91	-0.61	369.47	368.95	-0.52
	中旬	370.25	368.97	-1.28	369.91	368.92	-1.00	369.60	368.91	-0.70	369.69	368.95	-0.74
	下旬	370.01	369.51	-0.50	369.84	369.50	-0.34	369.86	368.94	-0.92	369.82	368.98	-0.84
7 月	上旬	370.06	369.09	-0.96	369.60	368.96	-0.64	369.67	368.96	-0.71	369.57	368.83	-0.74
	中旬	369.96	369.00	-0.96	369.88	368.96	-0.92	370.11	368.96	-1.16	369.61	368.82	-0.78
	下旬	370.41	369.07	-1.34	369.99	368.96	-1.04	369.99	368.96	-1.03	369.98	368.82	-1.15
8 月	上旬	370.48	369.62	-0.86	370.35	369.10	-1.25	369.55	368.96	-0.60	369.60	368.83	-0.77
	中旬	370.49	369.26	-1.23	370.29	369.14	-1.15	369.87	368.96	-0.92	369.75	368.82	-0.93
	下旬	370.42	369.42	-1.00	369.98	369.00	-0.97	370.28	369.00	-1.28	369.81	368.83	-0.99
9 月	上旬	370.44	369.14	-1.30	370.42	369.44	-0.98	370.35	369.14	-1.21	369.89	368.82	-1.06
	中旬	370.21	369.51	-0.70	370.33	369.15	-1.18	370.41	369.54	-0.87	369.70	368.82	-0.88
	下旬	370.48	369.30	-1.18	370.36	369.47	-0.89	370.27	369.15	-1.12	369.92	368.84	-1.08
10 月	上旬	370.55	369.56	-0.99	370.33	369.04	-1.29	370.08	368.96	-1.12	370.64	368.96	-1.68
	中旬	370.34	368.95	-1.39	370.27	368.96	-1.31	369.96	368.96	-1.00	370.39	368.96	-1.43
	下旬	370.37	368.95	-1.42	370.32	368.96	-1.36	370.25	368.96	-1.29	370.31	368.96	-1.35
11 月	上旬	369.85	368.92	-0.93	370.12	368.93	-1.19	370.27	368.90	-1.37	369.97	368.96	-1.01
	中旬	369.92	368.92	-1.00	370.08	368.93	-1.15	370.09	368.90	-1.19	369.68	368.96	-0.72
	下旬	369.80	368.92	-0.88	370.08	368.93	-1.15	370.04	368.90	-1.14	370.17	368.96	-1.21
12 月	上旬	369.48	368.90	-0.58	369.86	368.93	-0.93	369.86	368.90	-0.96	369.92	368.96	-0.97
	中旬	369.52	368.90	-0.62	369.88	368.93	-0.95	369.60	368.90	-0.70	369.78	368.96	-0.82
	下旬	369.63	368.90	-0.74	369.98	368.93	-1.05	369.52	368.90	-0.61	369.76	368.96	-0.80

表 7.6.2-8 建库前后黄淤 65 断面水位变化（正常运用期第一年） 单位：m

月	旬	丰水年			平水年			枯水年			特枯水年		
		建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量
1 月	上旬	369.96	368.07	-1.89	369.98	368.04	-1.95	369.56	368.02	-1.54	369.79	368.07	-1.72
	中旬	369.97	368.07	-1.90	369.88	368.04	-1.84	369.76	368.02	-1.74	369.72	368.07	-1.65
	下旬	369.93	368.07	-1.86	369.75	368.04	-1.71	369.80	368.02	-1.78	369.85	368.07	-1.78
2 月	上旬	369.88	368.07	-1.81	369.71	368.04	-1.67	369.78	368.02	-1.76	369.94	368.07	-1.87
	中旬	369.87	368.07	-1.81	369.76	368.04	-1.73	369.80	368.02	-1.78	369.93	368.07	-1.86
	下旬	369.83	368.07	-1.76	369.95	368.04	-1.92	369.85	368.02	-1.83	369.81	368.07	-1.74
3 月	上旬	369.98	368.01	-1.97	370.00	368.04	-1.96	369.97	368.01	-1.96	369.89	368.07	-1.82
	中旬	370.04	368.01	-2.04	370.05	368.04	-2.01	369.98	368.01	-1.97	370.07	368.07	-2.00
	下旬	370.13	368.01	-2.12	370.26	368.04	-2.23	370.12	368.01	-2.11	370.30	368.07	-2.23
4 月	上旬	370.37	368.09	-2.28	370.15	368.04	-2.12	370.34	368.02	-2.31	370.00	368.07	-1.93
	中旬	370.13	368.09	-2.05	370.09	368.04	-2.06	370.14	368.02	-2.12	370.03	368.07	-1.96
	下旬	370.12	368.09	-2.03	370.14	368.04	-2.11	370.13	368.02	-2.11	370.03	368.07	-1.96
5 月	上旬	370.27	368.09	-2.18	370.16	368.04	-2.12	370.28	368.02	-2.26	370.32	368.07	-2.25
	中旬	370.31	368.09	-2.23	370.11	368.03	-2.08	370.17	368.02	-2.15	369.98	368.07	-1.91
	下旬	370.12	368.09	-2.03	370.21	368.03	-2.18	369.98	368.02	-1.96	369.54	368.07	-1.48
6 月	上旬	370.20	368.08	-2.12	369.96	368.03	-1.93	369.52	368.02	-1.50	369.47	368.06	-1.41
	中旬	370.25	368.08	-2.17	369.91	368.03	-1.89	369.60	368.02	-1.59	369.69	368.06	-1.63
	下旬	370.01	368.62	-1.39	369.84	368.61	-1.23	369.86	368.05	-1.81	369.82	368.09	-1.73
7 月	上旬	370.06	368.20	-1.85	369.60	368.07	-1.53	369.67	368.07	-1.60	369.57	367.94	-1.63
	中旬	369.96	368.11	-1.85	369.88	368.07	-1.81	370.11	368.07	-2.05	369.61	367.93	-1.67
	下旬	370.41	368.18	-2.23	369.99	368.07	-1.93	369.99	368.07	-1.92	369.98	367.93	-2.04
8 月	上旬	370.48	368.73	-1.75	370.35	368.21	-2.14	369.55	368.07	-1.49	369.60	367.94	-1.66
	中旬	370.49	368.37	-2.12	370.29	368.25	-2.04	369.87	368.07	-1.81	369.75	367.93	-1.82
	下旬	370.42	368.53	-1.89	369.98	368.11	-1.86	370.28	368.11	-2.17	369.81	367.94	-1.88
9 月	上旬	370.44	368.25	-2.19	370.42	368.55	-1.87	370.35	368.25	-2.10	369.89	367.93	-1.95
	中旬	370.21	368.62	-1.59	370.33	368.26	-2.07	370.41	368.65	-1.76	369.70	367.93	-1.77
	下旬	370.48	368.41	-2.07	370.36	368.58	-1.78	370.27	368.26	-2.01	369.92	367.95	-1.97
10 月	上旬	370.55	368.67	-1.88	370.33	368.15	-2.18	370.08	368.07	-2.01	370.64	368.07	-2.57
	中旬	370.34	368.06	-2.28	370.27	368.07	-2.20	369.96	368.07	-1.89	370.39	368.07	-2.32
	下旬	370.37	368.06	-2.31	370.32	368.07	-2.25	370.25	368.07	-2.18	370.31	368.07	-2.24
11 月	上旬	369.85	368.03	-1.82	370.12	368.04	-2.08	370.27	368.01	-2.26	369.97	368.07	-1.90
	中旬	369.92	368.03	-1.89	370.08	368.04	-2.04	370.09	368.01	-2.08	369.68	368.07	-1.61
	下旬	369.80	368.03	-1.77	370.08	368.04	-2.04	370.04	368.01	-2.03	370.17	368.07	-2.10
12 月	上旬	369.48	368.01	-1.47	369.86	368.04	-1.82	369.86	368.01	-1.85	369.92	368.07	-1.86
	中旬	369.52	368.01	-1.51	369.88	368.04	-1.84	369.60	368.01	-1.59	369.78	368.07	-1.71
	下旬	369.63	368.01	-1.63	369.98	368.04	-1.94	369.52	368.01	-1.50	369.76	368.07	-1.69

表 7.6.2-9 建库前后黄淤 65 断面水位变化（正常运用期第 22 年） 单位：m

月	旬	丰水年			平水年			枯水年			特枯水年		
		建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量
1 月	上旬	369.96	369.13	-0.83	369.98	369.10	-0.89	369.56	369.08	-0.48	369.79	369.13	-0.66
	中旬	369.97	369.13	-0.84	369.88	369.10	-0.78	369.76	369.08	-0.68	369.72	369.13	-0.59
	下旬	369.93	369.13	-0.80	369.75	369.10	-0.65	369.80	369.08	-0.72	369.85	369.13	-0.72
2 月	上旬	369.88	369.13	-0.75	369.71	369.10	-0.61	369.78	369.08	-0.70	369.94	369.13	-0.81
	中旬	369.87	369.13	-0.75	369.76	369.10	-0.67	369.80	369.08	-0.72	369.93	369.13	-0.80
	下旬	369.83	369.13	-0.70	369.95	369.10	-0.86	369.85	369.08	-0.77	369.81	369.13	-0.68
3 月	上旬	369.98	369.07	-0.91	370.00	369.10	-0.90	369.97	369.07	-0.90	369.89	369.13	-0.76
	中旬	370.04	369.07	-0.98	370.05	369.10	-0.95	369.98	369.07	-0.91	370.07	369.13	-0.94
	下旬	370.13	369.07	-1.06	370.26	369.10	-1.17	370.12	369.07	-1.05	370.30	369.13	-1.17
4 月	上旬	370.37	369.15	-1.22	370.15	369.10	-1.06	370.34	369.08	-1.25	370.00	369.13	-0.87
	中旬	370.13	369.15	-0.99	370.09	369.10	-1.00	370.14	369.08	-1.06	370.03	369.13	-0.90
	下旬	370.12	369.15	-0.97	370.14	369.10	-1.05	370.13	369.08	-1.05	370.03	369.13	-0.90
5 月	上旬	370.27	369.15	-1.12	370.16	369.10	-1.06	370.28	369.08	-1.20	370.32	369.13	-1.19
	中旬	370.31	369.15	-1.17	370.11	369.09	-1.02	370.17	369.08	-1.09	369.98	369.13	-0.85
	下旬	370.12	369.15	-0.97	370.21	369.09	-1.12	369.98	369.08	-0.90	369.54	369.13	-0.42
6 月	上旬	370.20	369.14	-1.06	369.96	369.09	-0.87	369.52	369.08	-0.44	369.47	369.12	-0.35
	中旬	370.25	369.14	-1.11	369.91	369.09	-0.83	369.60	369.08	-0.53	369.69	369.12	-0.57
	下旬	370.01	369.68	-0.33	369.84	369.67	-0.17	369.86	369.11	-0.75	369.82	369.15	-0.67
7 月	上旬	370.06	369.26	-0.79	369.60	369.13	-0.47	369.67	369.13	-0.54	369.57	369.00	-0.57
	中旬	369.96	369.17	-0.79	369.88	369.13	-0.75	370.11	369.13	-0.99	369.61	368.99	-0.61
	下旬	370.41	369.24	-1.17	369.99	369.13	-0.87	369.99	369.13	-0.86	369.98	368.99	-0.98
8 月	上旬	370.48	369.79	-0.69	370.35	369.27	-1.08	369.55	369.13	-0.43	369.60	369.00	-0.60
	中旬	370.49	369.43	-1.06	370.29	369.31	-0.98	369.87	369.13	-0.75	369.75	368.99	-0.76
	下旬	370.42	369.59	-0.83	369.98	369.17	-0.80	370.28	369.17	-1.11	369.81	369.00	-0.82
9 月	上旬	370.44	369.31	-1.13	370.42	369.61	-0.81	370.35	369.31	-1.04	369.89	368.99	-0.89
	中旬	370.21	369.68	-0.53	370.33	369.32	-1.01	370.41	369.71	-0.70	369.70	368.99	-0.71
	下旬	370.48	369.47	-1.01	370.36	369.64	-0.72	370.27	369.32	-0.95	369.92	369.01	-0.91
10 月	上旬	370.55	369.73	-0.82	370.33	369.21	-1.12	370.08	369.13	-0.95	370.64	369.13	-1.51
	中旬	370.34	369.12	-1.22	370.27	369.13	-1.14	369.96	369.13	-0.83	370.39	369.13	-1.26
	下旬	370.37	369.12	-1.25	370.32	369.13	-1.19	370.25	369.13	-1.12	370.31	369.13	-1.18
11 月	上旬	369.85	369.09	-0.76	370.12	369.10	-1.02	370.27	369.07	-1.20	369.97	369.13	-0.84
	中旬	369.92	369.09	-0.83	370.08	369.10	-0.98	370.09	369.07	-1.02	369.68	369.13	-0.55
	下旬	369.80	369.09	-0.71	370.08	369.10	-0.98	370.04	369.07	-0.97	370.17	369.13	-1.04
12 月	上旬	369.48	369.07	-0.41	369.86	369.10	-0.76	369.86	369.07	-0.79	369.92	369.13	-0.80
	中旬	369.52	369.07	-0.45	369.88	369.10	-0.78	369.60	369.07	-0.53	369.78	369.13	-0.65
	下旬	369.63	369.07	-0.57	369.98	369.10	-0.88	369.52	369.07	-0.44	369.76	369.13	-0.63

表 7.6.2-10 建库前后黄淤 50 断面流量变化 单位: m³/s

月	旬	丰水年				平水年				枯水年				特枯水年			
		建库前	建库后	变化量	变化比例(%)	建库前	建库后	变化量	变化比例(%)	建库前	建库后	变化量	变化比例(%)	建库前	建库后	变化量	变化比例(%)
1月	上旬	507	520	12	2.4	529	474	-56	-10.5	215	452	237	110.6	351	496	144	41.1
	中旬	525	526	1	0.2	436	483	47	10.8	328	458	131	39.9	306	492	186	60.8
	下旬	488	531	44	9.0	331	476	145	43.7	359	458	99	27.7	395	493	98	24.9
2月	上旬	436	529	93	21.4	313	482	168	53.8	339	457	118	34.7	478	494	16	3.3
	中旬	434	529	95	21.8	344	477	133	38.7	350	452	102	29.2	468	496	28	5.9
	下旬	400	530	129	32.3	515	491	-24	-4.6	386	449	63	16.2	367	493	127	34.6
3月	上旬	539	462	-78	-14.4	553	477	-75	-13.7	496	419	-77	-15.6	430	491	61	14.1
	中旬	619	462	-156	-25.3	595	467	-128	-21.6	502	417	-84	-16.8	610	485	-125	-20.5
	下旬	710	441	-269	-37.9	937	465	-472	-50.4	679	413	-266	-39.2	1004	494	-510	-50.8
4月	上旬	1210	579	-631	-52.1	731	456	-275	-37.6	1073	448	-625	-58.2	536	487	-49	-9.1
	中旬	746	573	-173	-23.2	646	456	-190	-29.4	708	447	-260	-36.8	555	477	-78	-14.1
	下旬	787	630	-158	-20.0	735	470	-264	-36.0	689	447	-242	-35.1	553	473	-80	-14.4
5月	上旬	977	569	-408	-41.8	754	472	-282	-37.4	955	453	-501	-52.5	1026	470	-555	-54.1
	中旬	1059	557	-502	-47.4	676	457	-218	-32.3	754	449	-305	-40.4	496	470	-26	-5.3
	下旬	698	542	-157	-22.4	834	453	-382	-45.8	497	448	-50	-10.0	203	480	276	135.8
6月	上旬	817	530	-287	-35.2	500	467	-33	-6.7	188	447	259	138.2	164	466	302	183.8
	中旬	915	528	-387	-42.3	442	448	6	1.4	230	451	222	96.4	266	466	200	75.4
	下旬	540	2777	2238	414.7	378	1967	1590	420.9	388	1812	1424	367.2	351	486	135	38.4
7月	上旬	605	660	54	9.0	233	565	333	143.2	308	510	202	65.4	211	347	135	64.0
	中旬	571	601	30	5.3	504	561	57	11.3	688	482	-206	-29.9	228	343	116	51.0
	下旬	1520	894	-625	-41.1	652	596	-56	-8.6	521	472	-49	-9.3	496	344	-152	-30.7
8月	上旬	1576	1277	-299	-19.0	1297	802	-495	-38.2	203	459	256	126.1	260	382	122	46.7
	中旬	1540	1001	-539	-35.0	1127	827	-300	-26.6	395	455	60	15.3	331	367	36	10.8
	下旬	1349	1494	146	10.8	567	577	10	1.7	1055	663	-392	-37.1	345	340	-5	-1.5
9月	上旬	1373	714	-659	-48.0	1320	721	-599	-45.4	1357	929	-428	-31.5	406	340	-66	-16.2
	中旬	838	1529	691	82.4	1067	705	-362	-34.0	1398	1720	323	23.1	282	383	101	35.9
	下旬	1581	1336	-245	-15.5	1305	1791	486	37.3	991	756	-235	-23.7	447	462	14	3.2
10月	上旬	1873	1486	-387	-20.7	1165	648	-517	-44.3	792	634	-157	-19.9	2111	503	-1608	-76.2
	中旬	1147	545	-602	-52.5	1008	534	-474	-47.0	599	577	-22	-3.7	1216	494	-721	-59.3
	下旬	1256	582	-675	-53.7	1080	505	-575	-53.2	971	538	-434	-44.6	1052	500	-552	-52.4
11月	上旬	471	548	77	16.4	718	495	-224	-31.2	989	484	-505	-51.1	515	497	-18	-3.5
	中旬	493	513	20	4.0	661	492	-169	-25.6	679	466	-213	-31.3	287	497	210	73.0
	下旬	378	493	115	30.5	678	510	-169	-24.8	591	453	-138	-23.4	774	492	-282	-36.5
12月	上旬	202	447	245	121.4	428	490	62	14.5	411	428	17	4.1	465	495	30	6.5
	中旬	216	446	230	106.2	445	493	49	10.9	246	430	184	74.9	337	488	151	44.9
	下旬	275	455	179	65.2	535	482	-52	-9.8	198	419	221	111.7	328	489	161	49.1

表 7.6.2-11 建库前后黄淤 50 断面水位变化（拦沙初期第一年） 单位：m

月	旬	丰水年			平水年			枯水年			特枯水年		
		建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量
1 月	上旬	340.69	340.70	0.01	340.71	340.67	-0.04	340.29	340.64	0.34	340.52	340.69	0.17
	中旬	340.71	340.70	-0.00	340.62	340.68	0.06	340.49	340.64	0.15	340.46	340.69	0.23
	下旬	340.67	340.71	0.03	340.49	340.67	0.18	340.53	340.64	0.11	340.58	340.69	0.12
2 月	上旬	340.62	340.71	0.08	340.47	340.68	0.21	340.51	340.64	0.14	340.67	340.69	0.03
	中旬	340.62	340.71	0.09	340.51	340.67	0.16	340.52	340.64	0.12	340.66	340.69	0.04
	下旬	340.58	340.71	0.12	340.70	340.69	-0.01	340.57	340.63	0.07	340.54	340.69	0.15
3 月	上旬	340.72	340.66	-0.06	340.73	340.67	-0.06	340.68	340.62	-0.06	340.62	340.69	0.07
	中旬	340.78	340.66	-0.12	340.77	340.66	-0.10	340.69	340.62	-0.07	340.78	340.69	-0.09
	下旬	340.85	340.64	-0.21	340.98	340.66	-0.32	340.83	340.62	-0.21	341.01	340.69	-0.32
4 月	上旬	341.10	340.74	-0.35	340.86	340.65	-0.21	341.04	340.63	-0.41	340.72	340.69	-0.03
	中旬	340.87	340.74	-0.13	340.80	340.65	-0.15	340.85	340.63	-0.22	340.73	340.68	-0.06
	下旬	340.90	340.78	-0.11	340.86	340.67	-0.20	340.83	340.63	-0.21	340.73	340.67	-0.06
5 月	上旬	341.00	340.74	-0.26	340.88	340.67	-0.21	340.99	340.63	-0.35	341.02	340.67	-0.35
	中旬	341.03	340.73	-0.31	340.83	340.65	-0.17	340.88	340.63	-0.25	340.68	340.67	-0.01
	下旬	340.84	340.71	-0.13	340.92	340.65	-0.28	340.68	340.63	-0.06	340.27	340.68	0.41
6 月	上旬	340.91	340.70	-0.21	340.69	340.66	-0.03	340.23	340.63	0.39	340.17	340.67	0.49
	中旬	340.97	340.70	-0.27	340.63	340.64	0.01	340.32	340.63	0.31	340.40	340.67	0.27
	下旬	340.72	341.22	0.50	340.56	341.22	0.66	340.57	340.65	0.09	340.52	340.69	0.17
7 月	上旬	340.77	340.82	0.05	340.34	340.69	0.35	340.46	340.72	0.26	340.29	340.55	0.26
	中旬	340.75	340.79	0.04	340.69	340.76	0.07	340.84	340.70	-0.14	340.32	340.54	0.22
	下旬	341.20	340.95	-0.25	340.81	340.79	-0.02	340.71	340.69	-0.02	340.68	340.54	-0.14
8 月	上旬	341.22	341.36	0.14	341.13	340.93	-0.20	340.27	340.67	0.41	340.39	340.59	0.20
	中旬	341.21	341.00	-0.21	341.06	340.94	-0.12	340.58	340.67	0.09	340.50	340.57	0.08
	下旬	341.15	341.15	0.01	340.75	340.78	0.03	341.03	340.80	-0.24	340.52	340.54	0.02
9 月	上旬	341.15	340.87	-0.28	341.14	341.16	0.03	341.15	340.99	-0.16	340.59	340.54	-0.05
	中旬	340.93	341.23	0.30	341.04	340.87	-0.16	341.16	341.29	0.12	340.42	340.55	0.13
	下旬	341.22	341.07	-0.15	341.13	341.24	0.11	341.00	340.90	-0.10	340.63	340.56	-0.07
10 月	上旬	341.30	341.32	0.02	341.08	340.83	-0.25	340.90	340.82	-0.08	341.35	340.70	-0.65
	中旬	341.07	340.73	-0.34	341.01	340.74	-0.27	340.77	340.77	0.00	341.10	340.70	-0.40
	下旬	341.11	340.76	-0.35	341.04	340.72	-0.33	340.99	340.74	-0.25	341.03	340.70	-0.33
11 月	上旬	340.66	340.72	0.07	340.85	340.69	-0.17	341.00	340.68	-0.33	340.70	340.70	-0.00
	中旬	340.68	340.69	0.01	340.82	340.69	-0.13	340.83	340.66	-0.17	340.43	340.70	0.27
	下旬	340.56	340.67	0.12	340.83	340.70	-0.12	340.76	340.64	-0.12	340.89	340.69	-0.20
12 月	上旬	340.27	340.64	0.38	340.61	340.68	0.07	340.60	340.64	0.04	340.65	340.69	0.04
	中旬	340.30	340.64	0.35	340.63	340.69	0.06	340.36	340.64	0.29	340.50	340.69	0.19
	下旬	340.41	340.65	0.24	340.72	340.68	-0.04	340.26	340.63	0.37	340.49	340.69	0.20

表 7.6.2-12 建库前后黄淤 50 断面水位变化（拦沙后期第一年） 单位：m

月	旬	丰水年			平水年			枯水年			特枯水年		
		建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量
1 月	上旬	340.69	339.55	-1.14	340.71	339.52	-1.19	340.29	339.49	-0.81	340.52	339.54	-0.98
	中旬	340.71	339.55	-1.15	340.62	339.53	-1.09	340.49	339.49	-1.00	340.46	339.54	-0.92
	下旬	340.67	339.56	-1.12	340.49	339.52	-0.97	340.53	339.49	-1.04	340.58	339.54	-1.03
2 月	上旬	340.62	339.56	-1.07	340.47	339.53	-0.94	340.51	339.49	-1.01	340.67	339.54	-1.12
	中旬	340.62	339.56	-1.06	340.51	339.52	-0.99	340.52	339.49	-1.03	340.66	339.54	-1.11
	下旬	340.58	339.56	-1.03	340.70	339.54	-1.16	340.57	339.48	-1.08	340.54	339.54	-1.00
3 月	上旬	340.72	339.51	-1.21	340.73	339.52	-1.21	340.68	339.47	-1.21	340.62	339.54	-1.08
	中旬	340.78	339.51	-1.27	340.77	339.51	-1.25	340.69	339.47	-1.22	340.78	339.54	-1.24
	下旬	340.85	339.49	-1.36	340.98	339.51	-1.47	340.83	339.47	-1.36	341.01	339.54	-1.47
4 月	上旬	341.10	339.59	-1.50	340.86	339.50	-1.36	341.04	339.48	-1.56	340.72	339.54	-1.18
	中旬	340.87	339.59	-1.28	340.80	339.50	-1.30	340.85	339.48	-1.37	340.73	339.53	-1.21
	下旬	340.90	339.63	-1.26	340.86	339.52	-1.35	340.83	339.48	-1.36	340.73	339.52	-1.21
5 月	上旬	341.00	339.59	-1.41	340.88	339.52	-1.36	340.99	339.48	-1.50	341.02	339.52	-1.50
	中旬	341.03	339.58	-1.46	340.83	339.50	-1.32	340.88	339.48	-1.40	340.68	339.52	-1.16
	下旬	340.84	339.56	-1.28	340.92	339.50	-1.43	340.68	339.48	-1.21	340.27	339.53	-0.74
6 月	上旬	340.91	339.55	-1.36	340.69	339.51	-1.18	340.23	339.48	-0.76	340.17	339.52	-0.66
	中旬	340.97	339.55	-1.42	340.63	339.49	-1.14	340.32	339.48	-0.84	340.40	339.52	-0.88
	下旬	340.72	340.07	-0.65	340.56	340.07	-0.49	340.57	339.50	-1.06	340.52	339.54	-0.98
7 月	上旬	340.77	339.67	-1.10	340.34	339.54	-0.80	340.46	339.57	-0.89	340.29	339.40	-0.89
	中旬	340.75	339.64	-1.11	340.69	339.61	-1.08	340.84	339.55	-1.29	340.32	339.39	-0.93
	下旬	341.20	339.80	-1.40	340.81	339.64	-1.17	340.71	339.54	-1.17	340.68	339.39	-1.29
8 月	上旬	341.22	340.21	-1.01	341.13	339.78	-1.35	340.27	339.52	-0.74	340.39	339.44	-0.95
	中旬	341.21	339.85	-1.36	341.06	339.79	-1.27	340.58	339.52	-1.06	340.50	339.42	-1.07
	下旬	341.15	340.00	-1.14	340.75	339.63	-1.12	341.03	339.65	-1.39	340.52	339.39	-1.13
9 月	上旬	341.15	339.72	-1.43	341.14	340.01	-1.12	341.15	339.84	-1.31	340.59	339.39	-1.20
	中旬	340.93	340.08	-0.85	341.04	339.72	-1.31	341.16	340.14	-1.03	340.42	339.40	-1.02
	下旬	341.22	339.92	-1.30	341.13	340.09	-1.04	341.00	339.75	-1.25	340.63	339.41	-1.22
10 月	上旬	341.30	340.17	-1.13	341.08	339.68	-1.40	340.90	339.67	-1.23	341.35	339.55	-1.80
	中旬	341.07	339.58	-1.49	341.01	339.59	-1.42	340.77	339.62	-1.15	341.10	339.55	-1.55
	下旬	341.11	339.61	-1.50	341.04	339.57	-1.48	340.99	339.59	-1.40	341.03	339.55	-1.48
11 月	上旬	340.66	339.57	-1.08	340.85	339.54	-1.32	341.00	339.53	-1.48	340.70	339.55	-1.15
	中旬	340.68	339.54	-1.14	340.82	339.54	-1.28	340.83	339.51	-1.32	340.43	339.55	-0.88
	下旬	340.56	339.52	-1.03	340.83	339.55	-1.27	340.76	339.49	-1.27	340.89	339.54	-1.35
12 月	上旬	340.27	339.49	-0.77	340.61	339.53	-1.08	340.60	339.49	-1.11	340.65	339.54	-1.11
	中旬	340.30	339.49	-0.80	340.63	339.54	-1.09	340.36	339.49	-0.86	340.50	339.54	-0.96
	下旬	340.41	339.50	-0.91	340.72	339.53	-1.19	340.26	339.48	-0.78	340.49	339.54	-0.95

表 7.6.2-13 建库前后黄淤 50 断面水位变化（正常运用期第一年） 单位：m

月	旬	丰水年			平水年			枯水年			特枯水年		
		建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量
1 月	上旬	340.69	338.61	-2.08	340.71	338.58	-2.13	340.29	338.55	-1.75	340.52	338.60	-1.92
	中旬	340.71	338.61	-2.09	340.62	338.59	-2.03	340.49	338.55	-1.94	340.46	338.60	-1.86
	下旬	340.67	338.62	-2.06	340.49	338.58	-1.91	340.53	338.55	-1.98	340.58	338.60	-1.97
2 月	上旬	340.62	338.62	-2.01	340.47	338.59	-1.88	340.51	338.55	-1.95	340.67	338.60	-2.06
	中旬	340.62	338.62	-2.00	340.51	338.58	-1.93	340.52	338.55	-1.97	340.66	338.60	-2.05
	下旬	340.58	338.62	-1.97	340.70	338.60	-2.10	340.57	338.54	-2.02	340.54	338.60	-1.94
3 月	上旬	340.72	338.57	-2.15	340.73	338.58	-2.15	340.68	338.53	-2.15	340.62	338.60	-2.02
	中旬	340.78	338.57	-2.21	340.77	338.57	-2.19	340.69	338.53	-2.16	340.78	338.60	-2.18
	下旬	340.85	338.55	-2.30	340.98	338.57	-2.41	340.83	338.53	-2.30	341.01	338.60	-2.41
4 月	上旬	341.10	338.65	-2.44	340.86	338.56	-2.30	341.04	338.54	-2.50	340.72	338.60	-2.12
	中旬	340.87	338.65	-2.22	340.80	338.56	-2.24	340.85	338.54	-2.31	340.73	338.59	-2.15
	下旬	340.90	338.69	-2.20	340.86	338.58	-2.29	340.83	338.54	-2.30	340.73	338.58	-2.15
5 月	上旬	341.00	338.65	-2.35	340.88	338.58	-2.30	340.99	338.54	-2.44	341.02	338.58	-2.44
	中旬	341.03	338.64	-2.40	340.83	338.56	-2.26	340.88	338.54	-2.34	340.68	338.58	-2.10
	下旬	340.84	338.62	-2.22	340.92	338.56	-2.37	340.68	338.54	-2.15	340.27	338.59	-1.68
6 月	上旬	340.91	338.61	-2.30	340.69	338.57	-2.12	340.23	338.54	-1.70	340.17	338.58	-1.60
	中旬	340.97	338.61	-2.36	340.63	338.55	-2.08	340.32	338.54	-1.78	340.40	338.58	-1.82
	下旬	340.72	339.13	-1.59	340.56	339.13	-1.43	340.57	338.56	-2.00	340.52	338.60	-1.92
7 月	上旬	340.77	338.73	-2.04	340.34	338.60	-1.74	340.46	338.63	-1.83	340.29	338.46	-1.83
	中旬	340.75	338.70	-2.05	340.69	338.67	-2.02	340.84	338.61	-2.23	340.32	338.45	-1.87
	下旬	341.20	338.86	-2.34	340.81	338.70	-2.11	340.71	338.60	-2.11	340.68	338.45	-2.23
8 月	上旬	341.22	339.27	-1.95	341.13	338.84	-2.29	340.27	338.58	-1.68	340.39	338.50	-1.89
	中旬	341.21	338.91	-2.30	341.06	338.85	-2.21	340.58	338.58	-2.00	340.50	338.48	-2.01
	下旬	341.15	339.06	-2.08	340.75	338.69	-2.06	341.03	338.71	-2.33	340.52	338.45	-2.07
9 月	上旬	341.15	338.78	-2.37	341.14	339.07	-2.06	341.15	338.90	-2.25	340.59	338.45	-2.14
	中旬	340.93	339.14	-1.79	341.04	338.78	-2.25	341.16	339.20	-1.97	340.42	338.46	-1.96
	下旬	341.22	338.98	-2.24	341.13	339.15	-1.98	341.00	338.81	-2.19	340.63	338.47	-2.16
10 月	上旬	341.30	339.23	-2.07	341.08	338.74	-2.34	340.90	338.73	-2.17	341.35	338.61	-2.74
	中旬	341.07	338.64	-2.43	341.01	338.65	-2.36	340.77	338.68	-2.09	341.10	338.61	-2.49
	下旬	341.11	338.67	-2.44	341.04	338.63	-2.42	340.99	338.65	-2.34	341.03	338.61	-2.42
11 月	上旬	340.66	338.63	-2.02	340.85	338.60	-2.26	341.00	338.59	-2.42	340.70	338.61	-2.09
	中旬	340.68	338.60	-2.08	340.82	338.60	-2.22	340.83	338.57	-2.26	340.43	338.61	-1.82
	下旬	340.56	338.58	-1.97	340.83	338.61	-2.21	340.76	338.55	-2.21	340.89	338.60	-2.29
12 月	上旬	340.27	338.55	-1.71	340.61	338.59	-2.02	340.60	338.55	-2.05	340.65	338.60	-2.05
	中旬	340.30	338.55	-1.74	340.63	338.60	-2.03	340.36	338.55	-1.80	340.50	338.60	-1.90
	下旬	340.41	338.56	-1.85	340.72	338.59	-2.13	340.26	338.54	-1.72	340.49	338.60	-1.89

表 7.6.2-14 建库前后黄淤 50 断面水位变化（正常运用期第 22 年） 单位：m

月	旬	丰水年			平水年			枯水年			特枯水年		
		建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量	建库前	建库后	变化量
1 月	上旬	340.69	339.74	-0.95	340.71	339.71	-1.00	340.29	339.68	-0.62	340.52	339.73	-0.79
	中旬	340.71	339.74	-0.96	340.62	339.72	-0.90	340.49	339.68	-0.81	340.46	339.73	-0.73
	下旬	340.67	339.75	-0.93	340.49	339.71	-0.78	340.53	339.68	-0.85	340.58	339.73	-0.84
2 月	上旬	340.62	339.75	-0.88	340.47	339.72	-0.75	340.51	339.68	-0.82	340.67	339.73	-0.93
	中旬	340.62	339.75	-0.87	340.51	339.71	-0.80	340.52	339.68	-0.84	340.66	339.73	-0.92
	下旬	340.58	339.75	-0.84	340.70	339.73	-0.97	340.57	339.67	-0.89	340.54	339.73	-0.81
3 月	上旬	340.72	339.70	-1.02	340.73	339.71	-1.02	340.68	339.66	-1.02	340.62	339.73	-0.89
	中旬	340.78	339.70	-1.08	340.77	339.70	-1.06	340.69	339.66	-1.03	340.78	339.73	-1.05
	下旬	340.85	339.68	-1.17	340.98	339.70	-1.28	340.83	339.66	-1.17	341.01	339.73	-1.28
4 月	上旬	341.10	339.78	-1.31	340.86	339.69	-1.17	341.04	339.67	-1.37	340.72	339.73	-0.99
	中旬	340.87	339.78	-1.09	340.80	339.69	-1.11	340.85	339.67	-1.18	340.73	339.72	-1.02
	下旬	340.90	339.82	-1.07	340.86	339.71	-1.16	340.83	339.67	-1.17	340.73	339.71	-1.02
5 月	上旬	341.00	339.78	-1.22	340.88	339.71	-1.17	340.99	339.67	-1.31	341.02	339.71	-1.31
	中旬	341.03	339.77	-1.27	340.83	339.69	-1.13	340.88	339.67	-1.21	340.68	339.71	-0.97
	下旬	340.84	339.75	-1.09	340.92	339.69	-1.24	340.68	339.67	-1.02	340.27	339.72	-0.55
6 月	上旬	340.91	339.74	-1.17	340.69	339.70	-0.99	340.23	339.67	-0.57	340.17	339.71	-0.47
	中旬	340.97	339.74	-1.23	340.63	339.68	-0.95	340.32	339.67	-0.65	340.40	339.71	-0.69
	下旬	340.72	340.26	-0.46	340.56	340.26	-0.30	340.57	339.69	-0.87	340.52	339.73	-0.79
7 月	上旬	340.77	339.86	-0.91	340.34	339.73	-0.61	340.46	339.76	-0.70	340.29	339.59	-0.70
	中旬	340.75	339.83	-0.92	340.69	339.80	-0.89	340.84	339.74	-1.10	340.32	339.58	-0.74
	下旬	341.20	339.99	-1.21	340.81	339.83	-0.98	340.71	339.73	-0.98	340.68	339.58	-1.10
8 月	上旬	341.22	340.40	-0.82	341.13	339.97	-1.16	340.27	339.71	-0.55	340.39	339.63	-0.76
	中旬	341.21	340.04	-1.17	341.06	339.98	-1.08	340.58	339.71	-0.87	340.50	339.61	-0.88
	下旬	341.15	340.19	-0.95	340.75	339.82	-0.93	341.03	339.84	-1.20	340.52	339.58	-0.94
9 月	上旬	341.15	339.91	-1.24	341.14	340.20	-0.93	341.15	340.03	-1.12	340.59	339.58	-1.01
	中旬	340.93	340.27	-0.66	341.04	339.91	-1.12	341.16	340.33	-0.84	340.42	339.59	-0.83
	下旬	341.22	340.11	-1.11	341.13	340.28	-0.85	341.00	339.94	-1.06	340.63	339.60	-1.03
10 月	上旬	341.30	340.36	-0.94	341.08	339.87	-1.21	340.90	339.86	-1.04	341.35	339.74	-1.61
	中旬	341.07	339.77	-1.30	341.01	339.78	-1.23	340.77	339.81	-0.96	341.10	339.74	-1.36
	下旬	341.11	339.80	-1.31	341.04	339.76	-1.29	340.99	339.78	-1.21	341.03	339.74	-1.29
11 月	上旬	340.66	339.76	-0.89	340.85	339.73	-1.13	341.00	339.72	-1.29	340.70	339.74	-0.96
	中旬	340.68	339.73	-0.95	340.82	339.73	-1.09	340.83	339.70	-1.13	340.43	339.74	-0.69
	下旬	340.56	339.71	-0.84	340.83	339.74	-1.08	340.76	339.68	-1.08	340.89	339.73	-1.16
12 月	上旬	340.27	339.68	-0.58	340.61	339.72	-0.89	340.60	339.68	-0.92	340.65	339.73	-0.92
	中旬	340.30	339.68	-0.61	340.63	339.73	-0.90	340.36	339.68	-0.67	340.50	339.73	-0.77
	下旬	340.41	339.69	-0.72	340.72	339.72	-1.00	340.26	339.67	-0.59	340.49	339.73	-0.76

7.6.2.3 潼关断面水文情势分析

古贤水库运行后丰水年、平水年、枯水年、特枯水年潼关断面流量变化见表 7.6.2-15 及图 7.6.2-6。

表 7.6.2-15 潼关断面各典型年逐月流量 单位：m³/s

典型年	流量	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
丰水年	建库前	513	450	519	886	1035	892	895	1458	1360	1543	476	218
	建库后	513	514	510	700	852	817	865	1426	1334	1531	608	522
	流量变化	0	64	-9	-187	-184	-74	-30	-32	-26	-12	132	304
	变化比例 (%)	-0.1	14.1	-1.6	-21.1	-17.7	-8.3	-3.3	-2.2	-1.9	-0.8	27.8	139.6
平水年	建库前	486	407	644	782	1113	625	736	1059	1390	1179	808	605
	建库后	579	553	553	629	944	716	830	1063	1425	1033	777	705
	流量变化	93	146	-91	-153	-169	91	94	4	35	-146	-31	100
	变化比例 (%)	19.2	35.8	-14.1	-19.5	-15.2	14.5	12.7	0.4	2.5	-12.4	-3.9	16.5
枯水年	建库前	323	400	477	827	848	266	575	859	1428	1140	810	274
	建库后	474	446	447	529	605	458	624	981	1466	1124	539	504
	流量变化	151	46	-30	-298	-243	192	49	121	38	-16	-271	230
	变化比例 (%)	46.7	11.5	-6.4	-36.0	-28.6	72.2	8.6	14.1	2.7	-1.4	-33.5	83.7
特枯年	建库前	398	480	719	559	710	329	485	551	740	1166	637	440
	建库后	537	522	507	499	617	497	563	513	703	1052	624	571
	流量变化	139	42	-212	-60	-93	168	79	-37	-37	-114	-13	131
	变化比例 (%)	35.0	8.7	-29.5	-10.7	-13.1	51.1	16.2	-6.8	-5.0	-9.8	-2.0	29.8

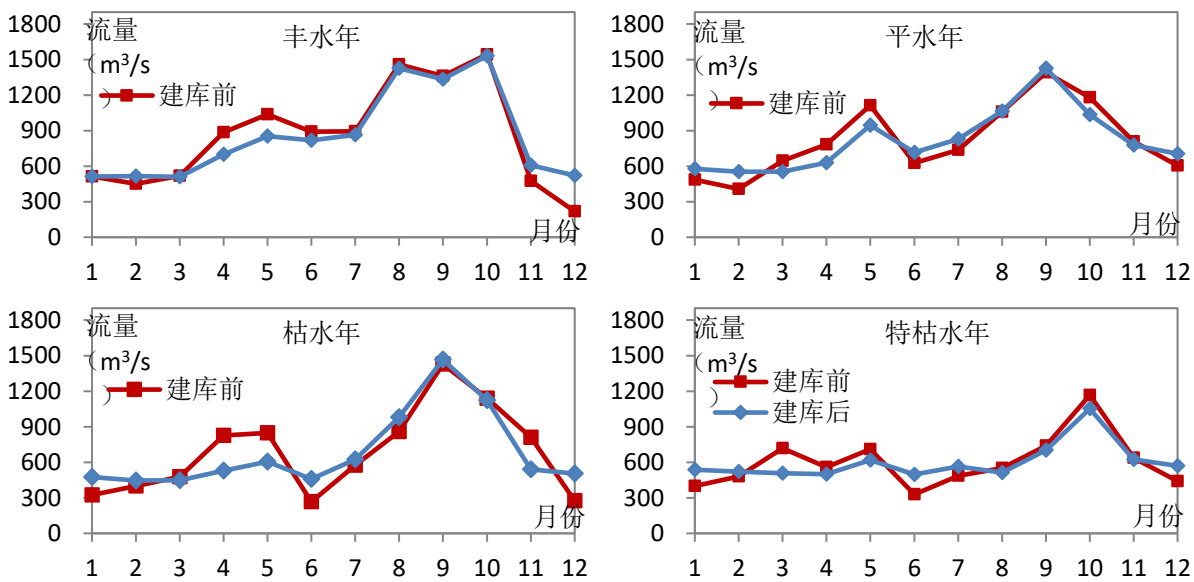


图 7.6.2-6 古贤水库运行前后潼关断面各典型年逐月流量变化

由图 7.6.2-6 可知，古贤水库运行前后各典型年潼关断面逐月流量变化如下：

总体来看，由于古贤替代的现状取水口基本位于潼关断面以上，同时，随着汾河、渭河等支流沿程汇入，古贤水库运行前后潼关断面流量变化不大，主要变化为 12 月～

次年 2 月流量增加，3~5 月流量减小，其他月份变化较小。

① 丰水年：建库后，4 月~5 月流量减小，2 月、11 月~12 月流量增加，其他月份变化不大，其中 12 月变幅最大，比建库前增加了 304m³/s（139.6%）；

② 平水年：建库后，3 月~5 月及 11 月流量减小，2 月、6 月~7 月流量增加，其他月份变化不大，其中 5 月变幅最大，比建库前增加了 146m³/s（35.8%）；

③ 枯水年：建库后，3 月~5 月及 11 月流量减小，6 月、12 月~次年 2 月流量增加，其他月份变化不大，其中 12 月变幅最大，比建库前增加了 230m³/s（83.7%）；

④ 特枯水年：建库后，3 月~5 月及 10 月流量减小，1 月、6 月、12 月流量增加，其他月份变化不大，其中 6 月变幅最大，比建库前增加了 168m³/s（51.1%）。

7.6.3 小浪底以下河段水文情势分析

黄河下游是黄河水量调度关键河段，其流量过程主要受小浪底水库调度控制，古贤作为黄河水沙调控体系的核心工程，建成后，主要为小浪底调水调沙提供后续水流动力，与小浪底联合调度，调节下游水沙关系，减轻河道淤积，维持主槽过流能力不低于 4300m³/s。本次评价根据古贤、小浪底联合调度原则对工程运行后黄河下游花园口、利津断面水文情势进行预估。

(1) 花园口断面

工程运行后丰水年、平水年、枯水年、特枯水年花园口断面逐月流量变化见表 7.6.3-1。

表 7.6.3-1 花园口断面典型年逐月流量 单位：m³/s

典型年	流量	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
丰水年	建库前	491	756	805	1170	638	1990	3180	4260	2130	1240	815	468
	建库后	491	756	805	1170	638	2165	3029	3926	1995	1365	815	468
	变化	0	0	0	0	0	175	-151	-334	-135	125	0	0
	比例（%）	0	0	0	0	0	9	-5	-8	-6	10	0	0
平水年	建库前	417	416	675	812	905	2256	1052	1218	1265	1725	558	528
	建库后	417	416	675	812	905	2182	1150	1105	1173	1880	558	528
	变化	0	0	0	0	0	-74	98	-113	-92	155	0	0
	比例（%）	0	0	0	0	0	-3	9	-9	-7	9	0	0
枯水年	建库前	533	523	407	726	1034	971	933	1022	1148	1440	975	576
	建库后	533	523	407	726	1034	977	926	1084	1157	1396	975	576
	变化	0	0	0	0	0	6	-7	62	9	-44	0	0
	比例（%）	0	0	0	0	0	1	-1	6	1	-3	0	0
特枯年	建库前	225	354	976	675	602	642	1540	686	542	657	316	196
	建库后	225	354	976	675	602	724	1425	743	589	604	316	235
	变化	0	0	0	0	0	82	-115	57	47	-53	0	39
	比例（%）	0	0	0	0	0	13	-7	8	9	-8	0	20

从表 7.6.3-1 可看出，建库后，花园口断面逐月流量过程变化趋势与建库前基本一

致，11 月～次年 5 月流量与建库前相当，6 月及汛期 7～10 月流量有所变化，由于古贤和小浪底联合运用，洪峰流量有所减少，但变化比例有限，变幅基本在 10% 以内。另外，建库前特枯年 12 月流量不足生态流量 200m³/s，建库后通过水库对径流进行年内调节，12 月流量可以满足生态流量要求。

(2) 利津断面

工程运行后丰水年、平水年、枯水年、特枯水年利津断面逐月流量变化见表 7.6.3-2。

表 7.6.3-2 利津断面典型年逐月流量 单位：m³/s

典型年	流量	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
丰水年	建库前	412	901	836	1290	676	1590	3690	4338	2260	1210	851	362
	建库后	412	901	836	1290	676	1526	3542	3951	2116	1153	851	362
	变化	0	0	0	0	0	-64	-148	-387	-144	-57	0	0
	比例（%）	0	0	0	0	0	-4	-4	-9	-6	-5	0	0
平水年	建库前	494	365	591	970	939	442	1440	1010	1030	2020	2330	451
	建库后	494	365	591	970	939	492	1489	1092	1095	1937	2330	451
	变化	0	0	0	0	0	50	49	82	65	-83	0	0
	比例（%）	0	0	0	0	0	11	3	8	6	-4	0	0
枯水年	建库前	533	523	407	726	1034	971	933	1022	1148	1440	975	576
	建库后	533	523	407	726	1034	1012	902	945	1210	1325	975	576
	变化	0	0	0	0	0	41	-31	-77	62	-115	0	0
	比例（%）	0	0	0	0	0	4	-3	-8	5	-8	0	0
特枯年	建库前	89	47	44	59	65	73	936	64	54	49	54	44
	建库后	89	58	52	121	256	264	851	112	62	57	54	53
	变化	0	11	8	63	191	191	-85	48	8	8	0	10
	比例（%）	0	23	19	107	294	264	-9	74	14	17	0	22

从表 7.6.3-2 可以看出，建库前后利津断面月均流量趋势基本一致，11 月～次年 5 月流量与建库前相当，6 月及汛期 7 月～10 月流量有所变化，由于古贤和小浪底联合运用，洪峰流量有所减少，但变化比例有限，变幅基本在 10% 以内。另外，建库前特枯年 2 月、3 月及 12 月流量不足生态基流 50m³/s，4 月～6 月不满足敏感期适宜流量要求，建库后通过古贤、小浪底水库对径流进行年内调节，各月流量可以满足生态流量要求。

(3) 古贤水库建成后黄河下游重要断面生态流量满程度分析

由于古贤预留有生态库容，可保证黄河下游重要断面生态基流，重点提高 4 月～6 月适宜生态流量满足程度。

工程建成后花园口、利津断面生态流量满足程度见表 7.6.3-3。

表 7.6.3-3 古贤建成后花园口、利津断面生态流量满足程度

断面满足程度 典型年	花园口		利津	
	7月~3月 200m³/s 满足程度	4月~6月 320m³/s 满足程度	7月~3月 50m³/s 满 足程度	4月 120 m³/s, 5、6月 250 m³/s 满足程度
丰水年	100%	100%	100%	100%
平水年	100%	100%	100%	100%
枯水年	100%	100%	100%	100%
特枯年	100%	100%	100%	100%

通过在全流域引导“生态优先、绿色发展”理念，按照《黄河流域综合规划》和《水利部关于印发第一批重点河湖生态流量保障目标的函》等有关生态流量的要求，落实习近平总书记在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的重要讲话精神。经计算，古贤水库运行期，通过全河水量统一调度，花园口、利津断面生态流量满足程度均得到提高，花园口、利津断面敏感期 4 月~6 月适宜生态流量及其他月份生态流量满足程度均达到 100%。

7.7 泥沙及河道冲淤变化分析

7.7.1 库区泥沙情势分析

根据可研提供的库区淤积计算成果，选择吴堡断面作为入库代表断面、延水关断面作为库中代表断面和坝址断面，对拦沙初期、拦沙后期和正常运用期库区淤积形态和入库支流淤积形态进行分析。

7.7.1.1 库区泥沙淤积形态分析

古贤水库淤积形态与水库运用方式、库区边界条件、入库水沙条件以及支流汇入情况等因素有关。水库蓄水后，库区水面变宽、流速减缓，泥沙不断沉降淤积，根据可研推算，拦沙初期第一年、拦沙后期第一年、正常运用期第一年库区淤积形态见图 7.7.1-1。

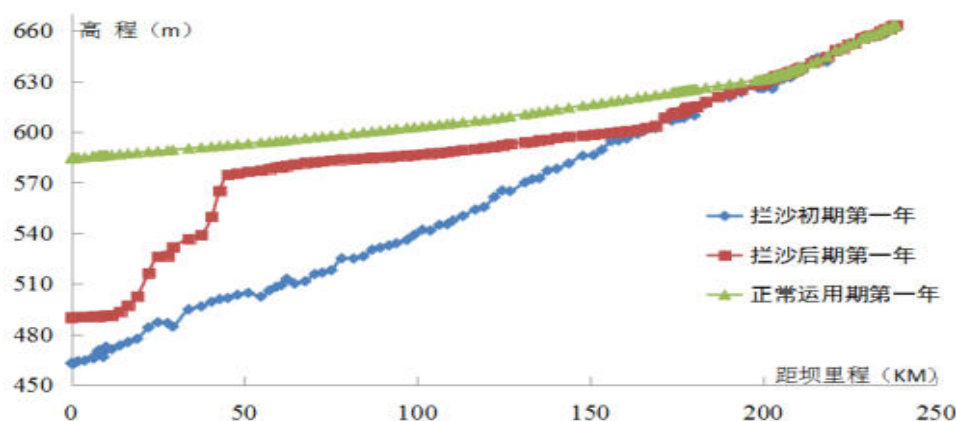


图 7.7.1-1 不同时期库区沿程淤积形态图

由图 7.7.1-1 可知，古贤水库干流库区主要呈三角洲淤积形态，泥沙淤积从库尾开始。拦沙初期，泥沙淤积主要集中在水库中部 25km~150km 范围，库尾段及坝前段淤积较少，主要原因为中部河段河床跌宕起伏，河流走向复杂，弯道较多，呈迂回型河流形态，弯道凸岸流速小，凹岸流速大，断面存在横向环流，挟沙水流经过弯道处和突扩突缩断面时易淤积；拦沙后期，泥沙主要淤积在坝前 0~50km，至拦沙期结束，水库达到淤积平衡状态，进入正常运用期；正常运用期，主汛期调水调沙，调节期蓄水兴利，库区内泥沙淤积形态变化不大。

7.7.1.2 库区代表断面淤积形态分析

(1) 吴堡断面

根据可研调算成果，不同时期入库断面（吴堡断面）淤积形态见图 7.7.1-2。

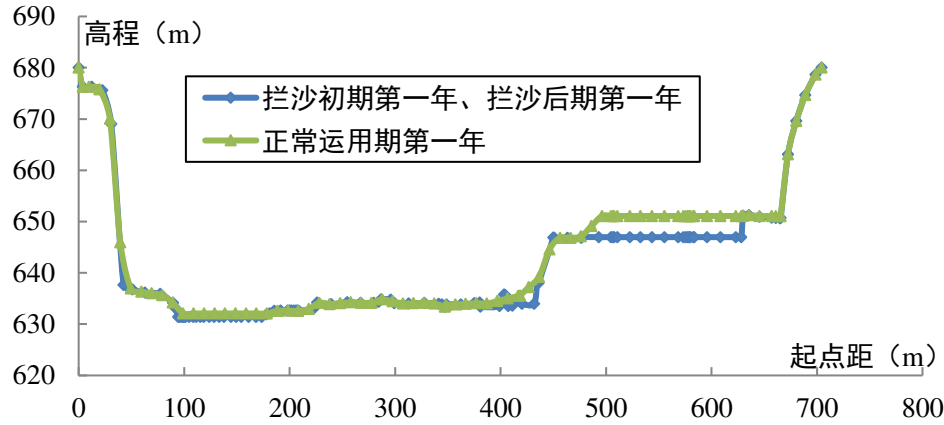


图 7.7.1-2 不同时期吴堡断面形态

由图 7.7.1-2 可知，拦沙初期第一年、拦沙后期第一年吴堡断面形态基本一致，说明拦沙初期吴堡断面基本无泥沙淤积；拦沙后期，随着库区水位的升高和库区泥沙的不断淤积，导致库尾河段流速减小，惯性和离心力的作用使得泥沙在凸岸（即右岸）堆积下来，至正常运用期第一年，河道右岸滩地（起点距 400m~630m 间）出现不同程度的淤高，最大淤高 4.1m，主河槽无变化。

(2) 延水关断面

对不同时期延水关断面泥沙淤积进行计算，见图 7.7.1-3。

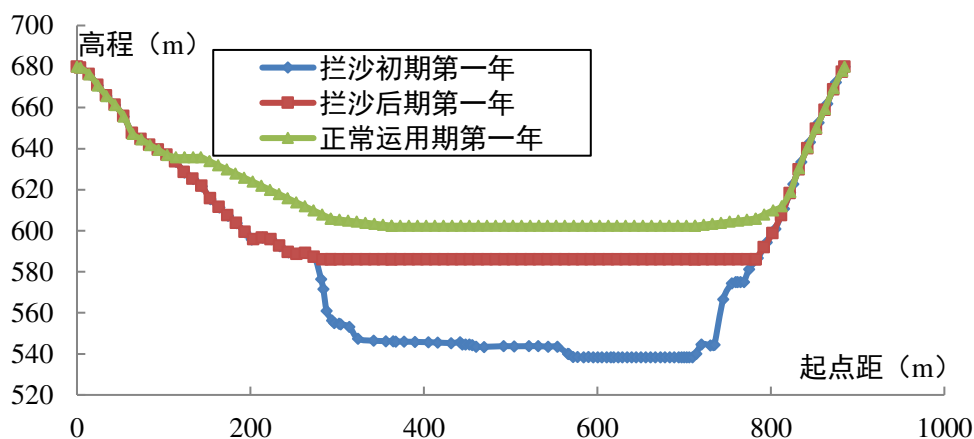


图 7.7.1-3 延水关断面不同时期断面淤积形态

由图 7.7.1-3 可知，与建库前河床最低高程为 538.45m；至拦沙初期结束，主河槽淤高，最低高程为 586.11m，比建库前淤高 47.66m；至拦沙后期结束，主河槽最低高程为 602.46m，比建库前淤高 64.01m，比建库前原河床淤高 16.35m。

(3) 坝址断面

对不同时期坝址断面泥沙淤积进行计算，见图 7.7.1-4。

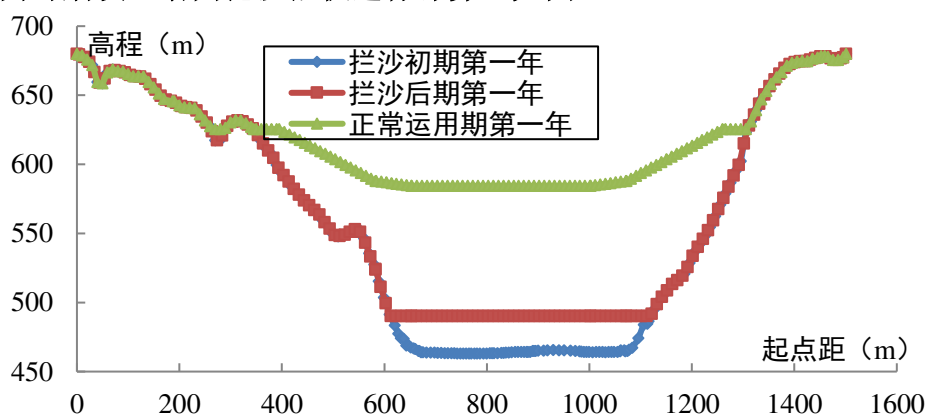


图 7.7.1-4 坝址断面不同时期断面淤积形态

由图 7.7.1-4 可知，建库前河床最低高程为 463.03m；至拦沙初期结束，主河槽淤高，最低高程为 490.13m，比建库前最大淤高 27.1m；至拦沙后期结束，主河槽最低高程为 584.5m，比建库前最大淤高 121.47m，比拦沙初期结束时最大淤高 94.37m。

7.7.1.3 主要入河支流淤积形态分析

拦沙初期、拦沙后期及正常运用期无定河、延河及昕水河泥沙淤积情况见图 7.7.1-5~7.7.1-7。

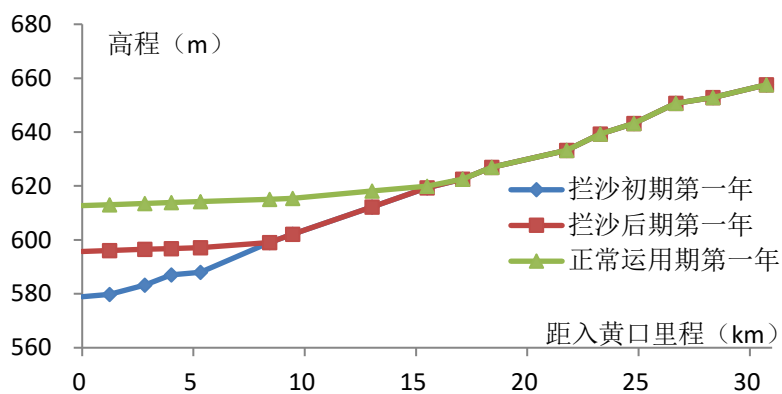


图 7.7.1-5 不同时期无定河淤积形态图

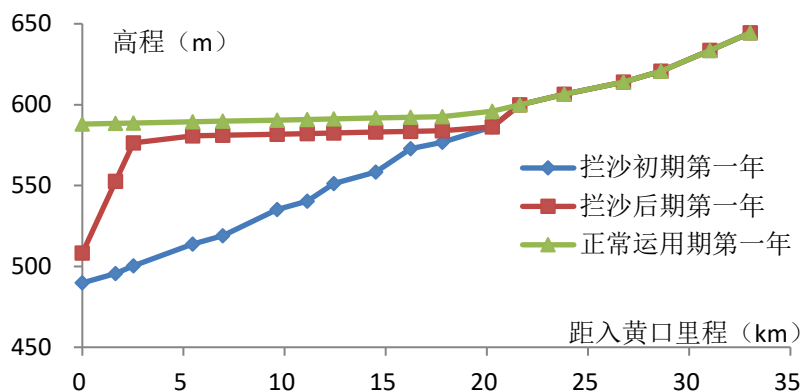


图 7.7.1-6 不同时期延河淤积形态图

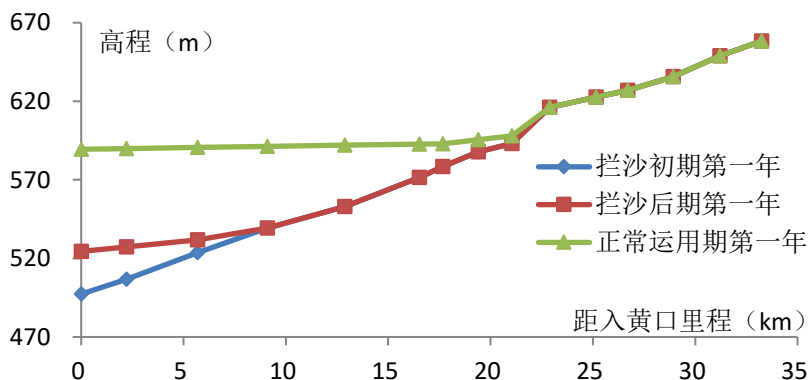


图 7.7.1-7 不同时期昕水河淤积形态图

由图 7.7.1-5~图 7.7.1-7 可知，正常运用期无定河入黄口淤高 33.78m，延河入黄口淤高 100.18m，昕水河入黄口淤高 92.13m；正常运用期无定河受淤积影响长度为 17.7km，昕水河受淤积影响长度为 22.91km，延河受淤积影响长度最长，为 24.15km。

7.7.2 坝址~三门峡河段泥沙情势分析

7.7.2.1 龙门断面泥沙情势分析

(1) 输沙量变化

输沙量主要集中在主汛期，古贤水库运行后，龙门断面主汛期入出库沙量变化见表 7.7.2-1。

表 7.7.2-1 龙门断面主汛期入出库沙量 单位：m³/s

输沙量	入库沙量	出库沙量	变化
拦沙初期	6.25	1.06	-5.19
拦沙后期	3.72	1.97	-1.75
正常运用期	3.41	3.98	0.57

拦沙初期，主汛期年均入库水量为 97.39 亿 m³，沙量为 6.25 亿 t，平均含沙量 67.98kg/m³，水库拦沙运用后，出库年均水量为 91.38 亿 m³，沙量为 1.06 亿 t，平均含沙量仅为 11.57kg/m³，水库排沙比仅为 17.0%，由于库区引水，出库水量明显小于入库水量，同时由于水库拦沙，出库沙量及含沙量较入库大大减少。

拦沙后期，主汛期年均入库水量为 75.80 亿 m³，沙量为 3.72 亿 t，平均含沙量 40.42kg/m³，水库拦沙运用后，出库年均水量为 70.40 亿 m³，沙量为 1.97 亿 t，平均含沙量为 21.46kg/m³，水库排沙比为 53.0%。

正常运用期，主汛期年均入库水量为 63.52 亿 m³，沙量为 3.41 亿 t，平均含沙量 37.02kg/m³，水库调节运用后，出库年均水量为 61.98 亿 m³，沙量为 3.98 亿 t，平均含沙量为 43.29kg/m³，该期间水库基本冲淤平衡，主汛期要将非汛期淤积的泥沙排出库外。

(2) 含沙量分析

古贤水库运行后丰水年、平水年、枯水年及特枯水年龙门断面含沙量变化见表 7.7.2-2~7.7.2-4。

表 7.7.2-2 古贤水库拦沙初期龙门断面各典型年含沙量变化 单位：kg/m³

月份		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
典型年													
丰水年	建库前含沙量	3.9	8.3	10.2	7.9	7.0	7.5	112.0	56.7	11.6	6.5	5.4	5.6
	建库后含沙量	清水下泄						11.0	13.8	1.7	1.1	清水下泄	
	变化	-	-	-	-	-	-	-101.1	-42.9	-9.8	-5.3	-	-
	比例 (%)	-	-	-	-	-	-	-90.2	-75.7	-85.0	-82.4	-	-
平水年	建库前含沙量	0.6	1.4	4.7	4.3	10.7	48.4	107.4	29.3	9.1	6.6	5.1	2.2
	建库后含沙量	清水下泄						0.2	1.7	2.6	0.6	0.2	清水下泄
	变化	-	-	-	-	-	-48.2	-105.7	-26.7	-8.5	-6.4	-	-
	比例 (%)	-	-	-	-	-	-99.6	-98.4	-91.1	-93.3	-96.5	-	-
枯水年	建库前含沙量	3.0	5.8	5.3	5.6	4.3	2.5	66.6	94.9	26.5	13.0	6.8	4.4
	建库后含沙量	清水下泄						3.3	8.2	3.4	0.1	清水下泄	
	变化	-	-	-	-	-	-	-63.3	-86.7	-23.2	-12.9	-	-
	比例 (%)	-	-	-	-	-	-	-95.1	-91.3	-87.3	-99.2	-	-
特枯年	建库前含沙量	1.5	4.7	6.3	4.5	2.1	20.4	39.2	67.7	19.6	8.2	4.7	2.9
	建库后含沙量	清水下泄						0.6	0.3	0.3	0.1	1.1	清水下泄
	变化	-	-	-	-	-	-19.8	-38.9	-67.4	-19.5	-7.1	-	-
	比例 (%)	-	-	-	-	-	-97.0	-99.2	-99.6	-99.4	-86.2	-	-

表 7.7.2-3 古贤水库拦沙后期龙门断面各典型年含沙量变化 单位: kg/m³

典型年	月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
丰水年	建库前含沙量	3.9	8.3	10.2	7.9	7.0	7.5	112.0	56.7	11.6	6.5	5.4	5.6
	建库后含沙量	清水下泄						35.0	38.5	2.7	2.3	清水下泄	
	变化	-	-	-	-	-	-	-77.0	-18.2	-8.9	-4.1	-	-
	比例 (%)	-	-	-	-	-	-	-68.7	-32.1	-76.4	-63.8	-	-
平水年	建库前含沙量	0.6	1.4	4.7	4.3	10.7	48.4	107.4	29.3	9.1	6.6	5.1	2.2
	建库后含沙量	清水下泄						0.2	4.9	5.2	2.2	0.5	清水下泄
	变化	-	-	-	-	-	-48.2	-102.5	-24.1	-6.9	-6.1	-	-
	比例 (%)	-	-	-	-	-	-99.6	-95.4	-82.2	-75.5	-92.5	-	-
枯水年	建库前含沙量	3.0	5.8	5.3	5.6	4.3	2.5	66.6	94.9	26.5	13.0	6.8	4.4
	建库后含沙量	清水下泄						6.8	17.6	7.7	0.2	清水下泄	
	变化	-	-	-	-	-	-	-59.8	-77.4	-18.9	-12.8	-	-
	比例 (%)	-	-	-	-	-	-	-89.8	-81.5	-71.1	-98.8	-	-
特枯年	建库前含沙量	1.5	4.7	6.3	4.5	2.1	20.4	39.2	67.7	19.6	8.2	4.7	2.9
	建库后含沙量	清水下泄						0.6	1.7	6.2	2.0	2.1	清水下泄
	变化	-	-	-	-	-	-19.8	-37.6	-61.5	-17.6	-6.1	-	-
	比例 (%)	-	-	-	-	-	-97.2	-95.7	-90.9	-89.9	-73.9	-	-

表 7.7.2-4 古贤水库正常运用期龙门断面各典型年含沙量变化 单位: kg/m³

典型年	月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
丰水年	建库前含沙量	3.9	8.3	10.2	7.9	7.0	7.5	112.0	56.7	11.6	6.5	5.4	5.6
	建库后含沙量	清水下泄						116.8	73.4	12.1	6.8	清水下泄	
	变化	-	-	-	-	-	-	4.8	16.7	0.5	0.3	-	-
	比例 (%)	-	-	-	-	-	-	4.2	29.5	4.4	5.4	-	-
平水年	建库前含沙量	0.6	1.4	4.7	4.3	10.7	48.4	107.4	29.3	9.1	6.6	5.1	2.2
	建库后含沙量	清水下泄						109.8	32.6	9.6	7.9	清水下泄	
	变化	-	-	-	-	-	-	2.4	3.3	0.5	1.3	-	-
	比例 (%)	-	-	-	-	-	-	2.2	11.2	5.1	19.9	-	-
枯水年	建库前含沙量	3.0	5.8	5.3	5.6	4.3	2.5	66.6	53.4	26.5	13.0	6.8	4.4
	建库后含沙量	清水下泄						72.6	59.2	27.5	14.2	清水下泄	
	变化	-	-	-	-	-	-	6.0	5.8	1.0	1.2	-	-
	比例 (%)	-	-	-	-	-	-	9.1	10.9	3.6	9.5	-	-
特枯年	建库前含沙量	1.5	4.7	6.3	4.5	2.1	20.4	39.2	67.7	19.6	8.2	4.7	2.9
	建库后含沙量	清水下泄						40.5	74.9	20.3	9.7	清水下泄	
	变化	-	-	-	-	-	-	1.3	7.2	0.7	1.5	-	-
	比例 (%)	-	-	-	-	-	-	3.2	10.7	3.6	17.9	-	-

受水库拦沙影响, 古贤水库的建设运行对龙门断面含沙量变化影响较大, 如下:

① 拦沙初期含沙量变化分析

拦沙初期, 受水库拦沙运用影响, 水库下泄沙量较建库前均大幅减少, 11月至6月水库基本为清水下泄, 7月至10月下泄含沙量有所减少, 减少比例范围为7.1%~99.2%, 各典型年月均含沙量变化量最大的为平水年7月份, 较建库前减少105.7kg/m³(98.4%)。

② 拦沙后期含沙量变化分析

拦沙后期, 各月份月均含沙量较建库前均有所减少, 11月至6月水库基本为清水

下泄，7月至10月下泄含沙量有所减少，减少比例范围为32.1%~98.8%，各典型年月均含沙量变化量最大的为平水年7月份，较建库前减少102.5kg/m³（95.4%）。

③ 正常运用期含沙量变化分析

正常运用期，水库拦沙结束，11月至6月基本为清水下泄，7月至10月下泄含沙量有所增加，增加比例范围为2.2%~29.5%，各典型年月均含沙量变化量最大的为丰水年8月份，较建库前增加16.7kg/m³（29.5%）。

总体来看，建库后非汛期（11月~6月）基本为清水下泄，含沙量较建库前减少；拦沙初期及拦沙后期汛期（7月~10月）含沙量较建库前减幅较大，正常运用期汛期含沙量较建库前有所增加。

7.7.2.2 小北干流河段冲淤变化分析

（1）河势变化预测分析

在充分咨询业内专家的基础上，综合考虑小北干流河段河势历史变化特点，预测古贤水库建成后，小北干流河段游荡摆动的河势特性不会发生根本性改变，随着小北干流河段两岸控导（护岸）工程的不断完善，小北干流河势摆动幅度将控制在两岸控导（护岸）工程之间的范围内。

（2）河道冲淤变化分析

本节对小北干流河段冲淤量变化进行简单分析，具体断面冲淤变化分析详见第十一章小北干流湿地影响与保护措施。

古贤水利枢纽建成后库区淤积泥沙，拦沙期进入坝址以下河段的泥沙显著减少，小北干流河段减淤效果详见表7.7.2-5。

表 7.7.2-5 古贤不同运用方式小北河段减淤作用计算成果表

运用方案	计算时段（年）	古贤水库淤积量（亿 m ³ ）	小北干流河段冲淤计算成果（计算期 60 年）			小北干流河段最大冲刷量（亿 t）	潼关高程冲刷下降值（最大/60 年末，m）
			冲淤量(亿 t)	减淤量(亿 t)	不淤年数		
现状	2017-2030		7.46				
	2030-2090		26.43				
	2017-2090		33.89				
古贤运行后	2017-2030		7.46				
	2030-2090	101.57	-5.28	31.71	72	13.13	2.15/1.16
	2017-2090		2.18				

设计水沙条件及现状工程条件下，小北干流河段持续淤积，计算期 60 年内累计淤积量为 26.43 亿 t，年平均淤积 0.44 亿 t。潼关断面也呈缓慢抬升趋势，至 60 年末，潼

关高程升高 0.59m，年平均抬升 0.01m，见图 7.7.2-1 和图 7.7.2-2。

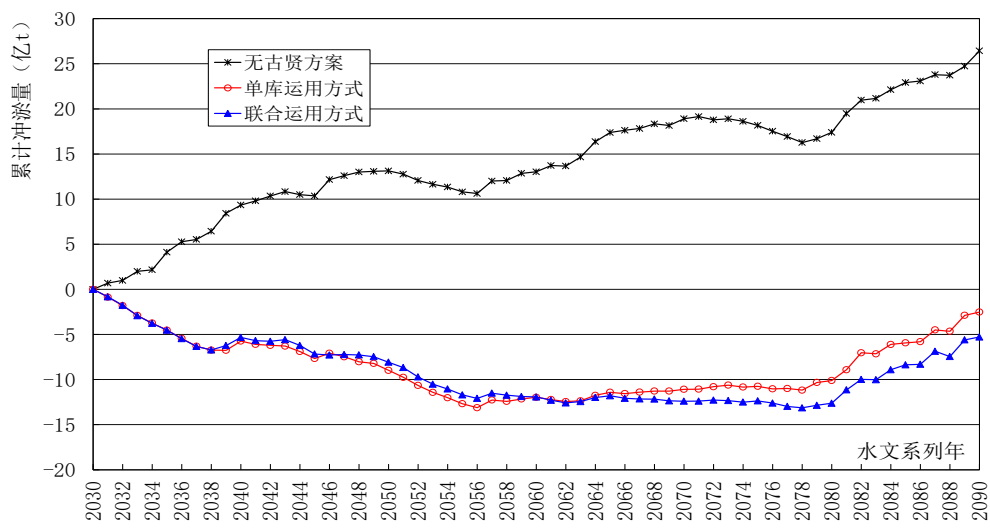


图 7.7.2-1 不同运用方式方案小北干流河段河道累计冲淤过程

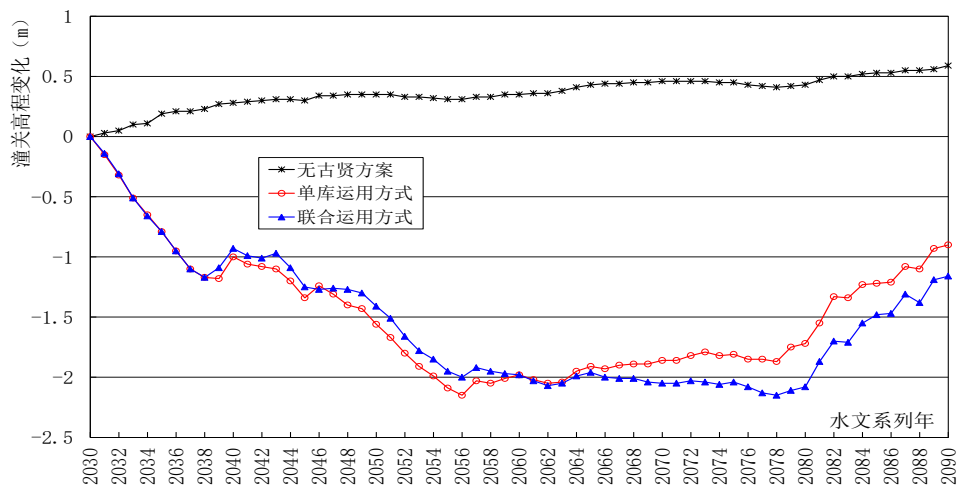


图 7.7.2-2 不同运用方式方案潼关高程变化过程

古贤水库投入运用后，可改变小北干流河段淤积的态势，使其由淤积转为冲刷，随着水库拦沙期的结束，小北干流河段又逐步回淤。古贤、小浪底联合运用方案下，古贤水库运用 60 年内小北干流河段减淤量为 31.71 亿 t，分别相当于现状 72 年不淤积。古贤建成后可充分进行水沙联合调控，使集中下泄较大流量过程的几率增加，因而，对小北干流河段及潼关断面的持续冲刷作用强，小北干流河段累计最大冲刷量为 13.13 亿 t，潼关高程最大冲刷下降值为 2.15m。

古贤水利枢纽工程建成后，将改善小北干流河段防凌防洪形势、减轻渭河下游的防洪负担，具有积极有利的作用。

7.7.3 小浪底以下河段泥沙情势分析

7.7.3.1 无古贤黄河下游河段泥沙情势变化趋势分析

黄河具有“水少、沙多，水沙关系不协调”的特性，是下游河道淤积抬高，形态恶化，主槽萎缩的根本原因。结合小浪底运行现状和库区淤积情况，分析无古贤工程情况下，黄河下游河段冲淤变化及平滩流量变化趋势。

(1) 小浪底运行方式变化

小浪底水库设计可拦沙 100 亿 t，减少下游河道淤积 76 亿 t，相当于下游河道约 20 年的淤积量。当前小浪底水库拦沙库容已淤积 33.4 亿 m^3 ，按照《小浪底水利枢纽拦沙后期（第一阶段）运用调度规程》，当前小浪底水库处于拦沙后期第一阶段，按目前的来水来沙趋势预估，水库应在 2035 年左右拦沙库容淤满，2035 年以后仅靠 10 亿 m^3 调水调沙库容继续发挥协调水沙作用。

(2) 无古贤情况下游河道冲淤变化趋势分析

当小浪底水库拦沙完成后，只靠 10 亿 m^3 的槽库容调水调沙，下游河道将由冲刷转为淤积，拦沙期恢复的主槽过流能力也将开始逐步萎缩。2035 年左右小浪底水库进入正常运用期，下游河道快速淤积，在设计来水来沙条件下，年均来水量约 270 亿 m^3 ，来沙量 8 亿 t，至 2095 年下游河道累计淤积泥沙 125.82 亿 t。黄河下游河道淤积抬升，泄洪排沙能力又开始萎缩，“地上悬河”的形势还将逐年发展，直接威胁黄河下游生态屏障的安全，无古贤水库条件下黄河下游累计淤积过程见图 7.7.3-1。

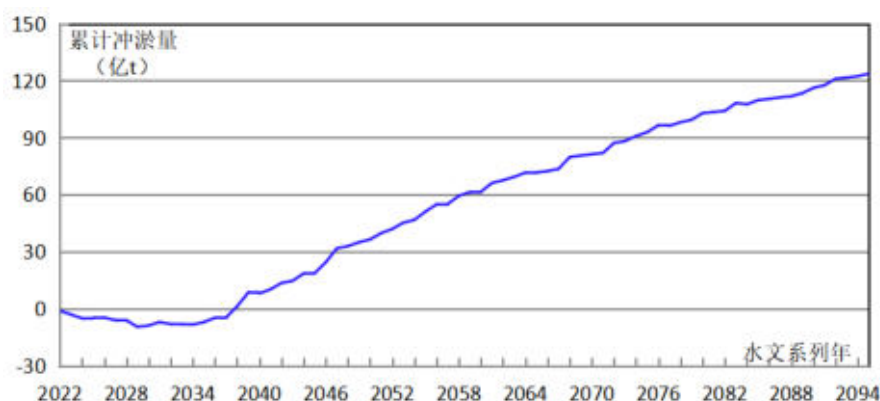


图 7.7.3-1 无古贤水库条件下黄河下游河道累计冲淤过程

由图 7.7.3-1 可以看出，若不建设古贤水库，小浪底水库拦沙完成后，只靠 10 亿 m^3 的槽库容调水调沙，下游河道将由冲刷转为淤积，2050 年后黄河下游河道总体将又

回淤至小浪底水库建库前的水平。

(3) 无古贤下游河道平滩流量变化趋势分析

无古贤水库条件下黄河下游整体平滩流量的分析预测见图 7.7.3-2。

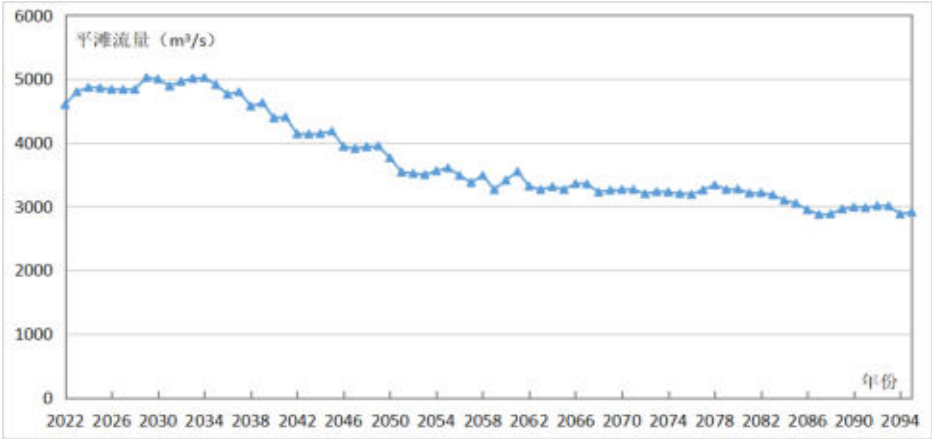


图 7.7.3-2 无古贤水库条件下黄河下游整体平滩流量变化

由图 7.7.3-2 可以看出，2035 年小浪底水库淤满后，黄河下游平滩流量开始减小，2046 年左右黄河下游河道总体平滩流量将降低到 4000m³/s 左右。此后，随着下游河道主河槽淤积，小浪底水库拦沙期塑造的主槽过流能力难以维持，至 2095 年左右黄河下游河道平滩流量又下降至 2900m³/s 左右，约相当于小浪底水库建设前的 1995 年水平。

7.7.3.2 古贤建成后黄河下游冲淤变化分析

(1) 河段冲淤变化分析

古贤水利枢纽和小浪底联合调度运行，其对黄河下游河段减淤效果详见表 7.7.3-1。

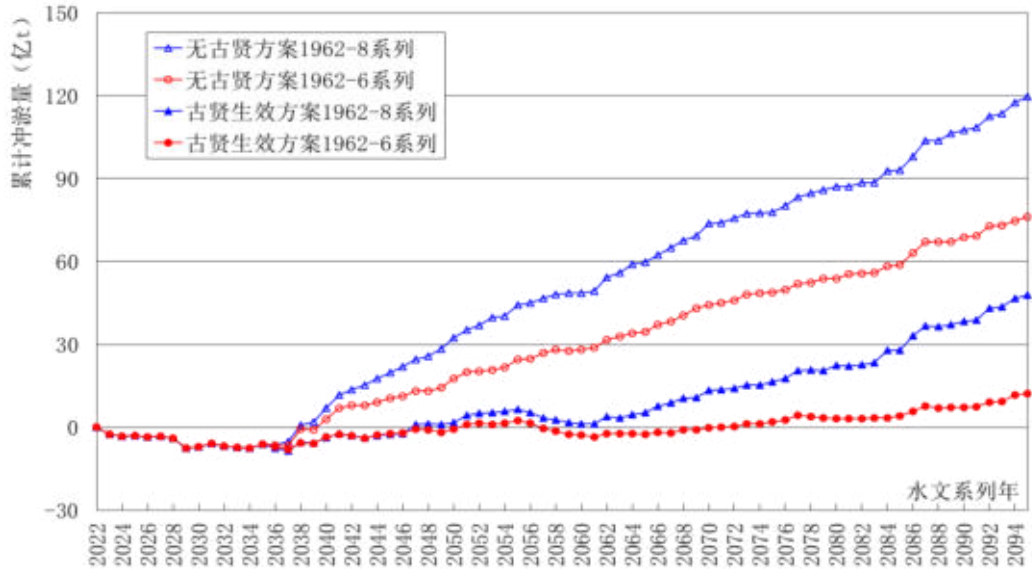
表 7.7.3-1 古贤、小浪底水库不同运用方式减淤作用计算成果表

运用方案	计算时段 (年)	水库淤积量		黄河下游冲淤计算成果（分析期 73 年）				
		古 贤 (亿 m³)	小浪底 (亿 m³)	联合减淤成果			其中古贤	
				冲淤量 (亿 t)	减淤量 (亿 t)	不 淤 年 数	减淤量 (亿 t)	不 淤 年 数
无古无小	2022-2035			30.56				
	2035-2095			148.75				
	2022-2095			179.31				
无古有小	2022-2035		43.40	-4.99	35.55			
	2035-2095		2.20	125.82	22.93			
	2022-2095		45.60	120.83	58.48			
古贤、小浪底 联合运用	2022-2035		43.40	-4.99	35.55			
	2035-2095	100.44	2.40	54.06	94.69	45.2	71.76	34.2
	2022-2095		45.80	49.07	130.24		71.76	

无古贤时，由于小浪底水库的持续拦沙作用，黄河下游河道在 2035 年以前淤积较为缓慢，2022 年~2035 年下游累计冲刷 4.99 亿 t，2035 年以后，由于小浪底水库拦沙

库容淤满,不再有拦沙作用,下游河道快速淤积,至 2095 年下游河道累计淤积泥沙 120.83 亿 t。

黄河下游河道淤积过程详见图 7.7.3-3。



注：1962-8 指设计来沙量 8 亿 t 情景，1962-6 指设计来沙量 6 亿 t 情景

图 7.7.3-3 不同运用方式方案黄河下游河道累计冲淤过程

古贤水库控制了黄河 60% 的泥沙，水库 2035 年投入运用后，拦沙期内进入下游的泥沙量明显减少，下游河道保持缓慢淤积的态势；拦沙期结束后，下游淤积量稍有增加。

古贤、小浪底水库联合运用 60 年，下游河道累计淤积量为 54.06 亿 t，年均淤积量 0.90 亿 t；同期无古贤水库方案下游河道累计淤积量为 125.82 亿 t（年均淤积 2.1 亿 t），古贤水库对下游河道减淤量为 71.76 亿 t，相当于下游河道 34.2 年不淤积。

（2）典型断面冲淤变化

1）花园口断面

根据可研，花园口断面现状形态及 2040 年（拦沙初期结束）、2060 年（拦沙后期结束）、2090 年（水库运行 60 年）断面形态见图 7.7.3-4。

由图 7.7.3-4 可知，无古贤水库情况下，随着小浪底水库拦沙库容淤满（约 2035 年），花园口断面呈现逐渐淤积状态，主河槽淤积量大，河槽萎缩，2040 年主河槽槽底高程为 86.53m，2060 年淤至 87.76m，2090 年淤至 89.08m；古贤水库建设后，随着古贤、小浪底联合调度运行，花园口断面淤积态势减缓，2040 年主河槽高程比无古贤水库情况下平均降低 0.35m，2060 年主河槽高程比无古贤水库情况下平均降低 0.74m，2090

年主河槽高程比无古贤水库情况下平均降低 0.34m。

2) 高村断面

根据可研，高村断面现状形态及 2040 年（拦沙初期结束）、2060 年（拦沙后期结束）、2090 年（水库运行 60 年）断面形态见图 7.7.3-5。

由图 7.7.3-5 可知，无古贤水库情况下，随着小浪底水库拦沙库容淤满（约 2035 年），高村断面呈现逐渐淤积状态，主河槽淤积量大，河槽萎缩，2040 年主河槽槽底高程为 54.76m，2060 年淤至 55.98m，2090 年淤至 57.32m；古贤水库建设后，随着古贤、小浪底联合调度运行，高村断面淤积态势减缓，2040 年主河槽高程比无古贤水库情况下平均降低 0.34m，2060 年主河槽高程比无古贤水库情况下平均降低 0.82m，2090 年主河槽高程比无古贤水库情况下平均降低 0.72m。

3) 利津断面

根据可研，利津断面现状形态及 2040 年（拦沙初期结束）、2060 年（拦沙后期结束）、2090 年（水库运行 60 年）断面形态见图 7.7.3-6。

由图 7.7.3-6 可知，无古贤水库情况下，随着小浪底水库拦沙库容淤满（约 2035 年），高村断面呈现逐渐淤积状态，主河槽淤积量大，河槽萎缩，2040 年主河槽槽底高程为 7.63m，2060 年淤至 8.28m，2090 年淤至 9.00m；古贤水库建设后，随着古贤、小浪底联合调度运行，高村断面淤积态势减缓，2040 年主河槽高程比无古贤水库情况下平均降低 0.20m，2060 年主河槽高程比无古贤水库情况下平均降低 0.43m，2090 年主河槽高程比无古贤水库情况下平均降低 0.29m。

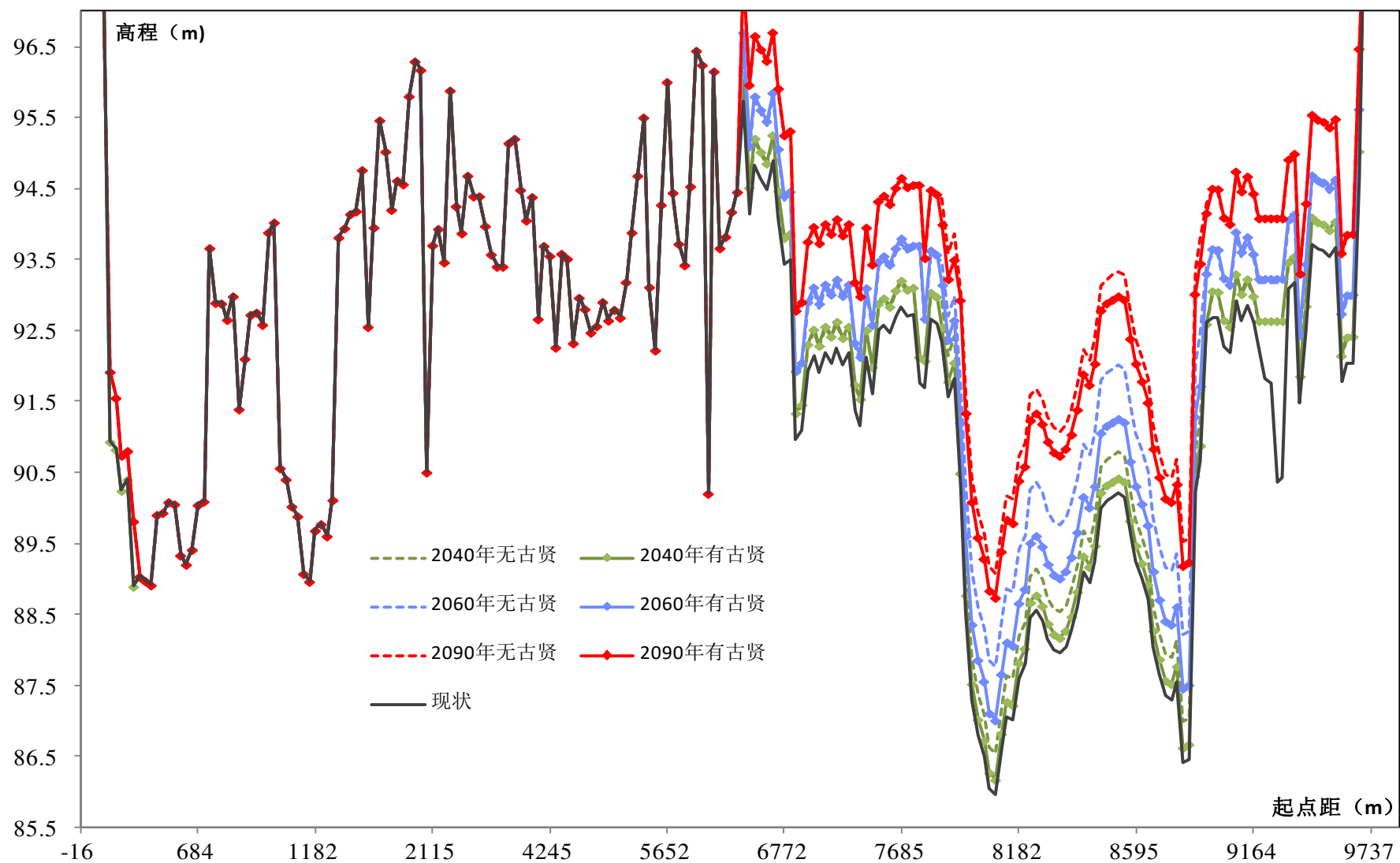


图 7.7.3-4 花园口断面冲淤变化

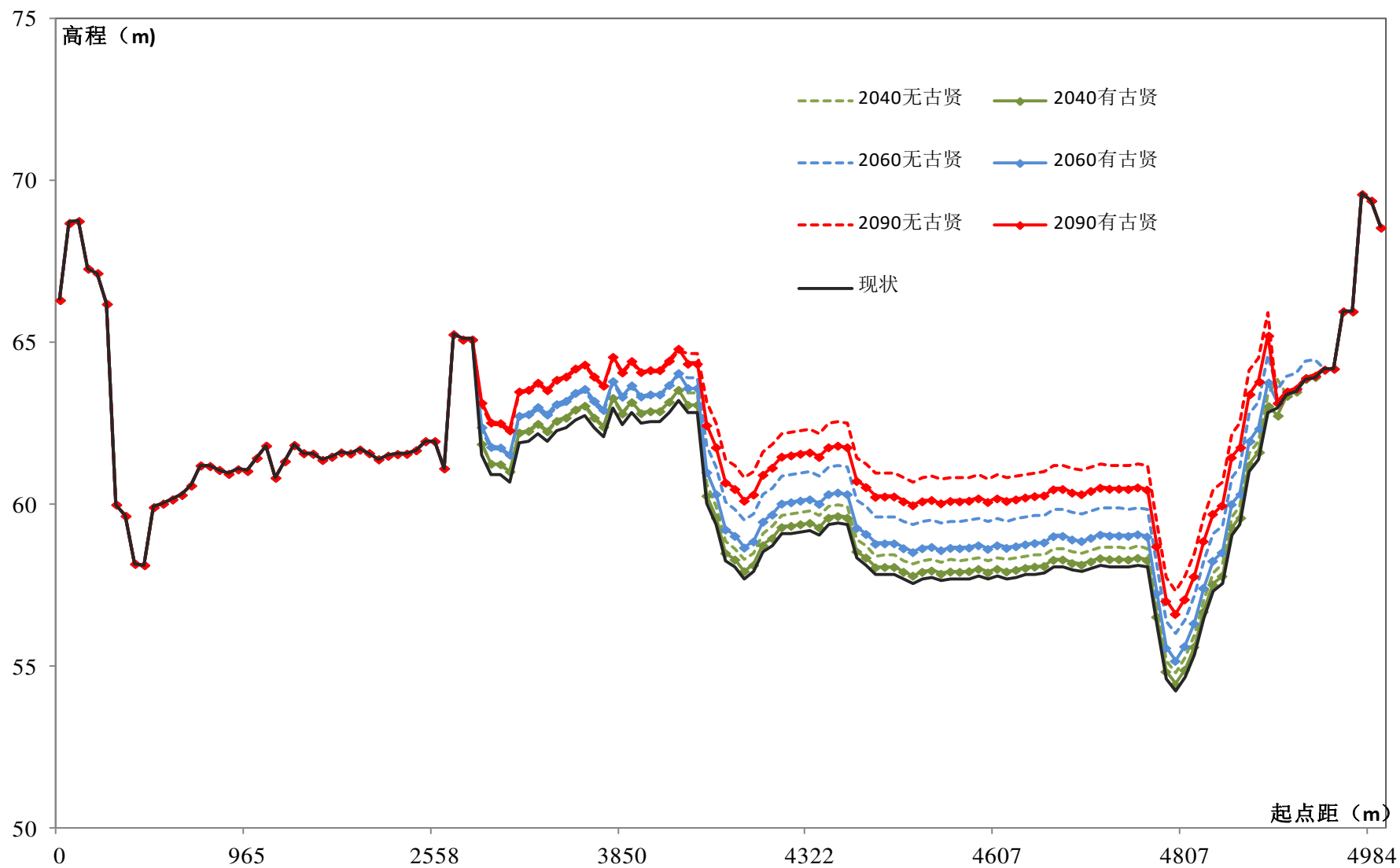


图 7.7.3-5 高村断面冲淤变化

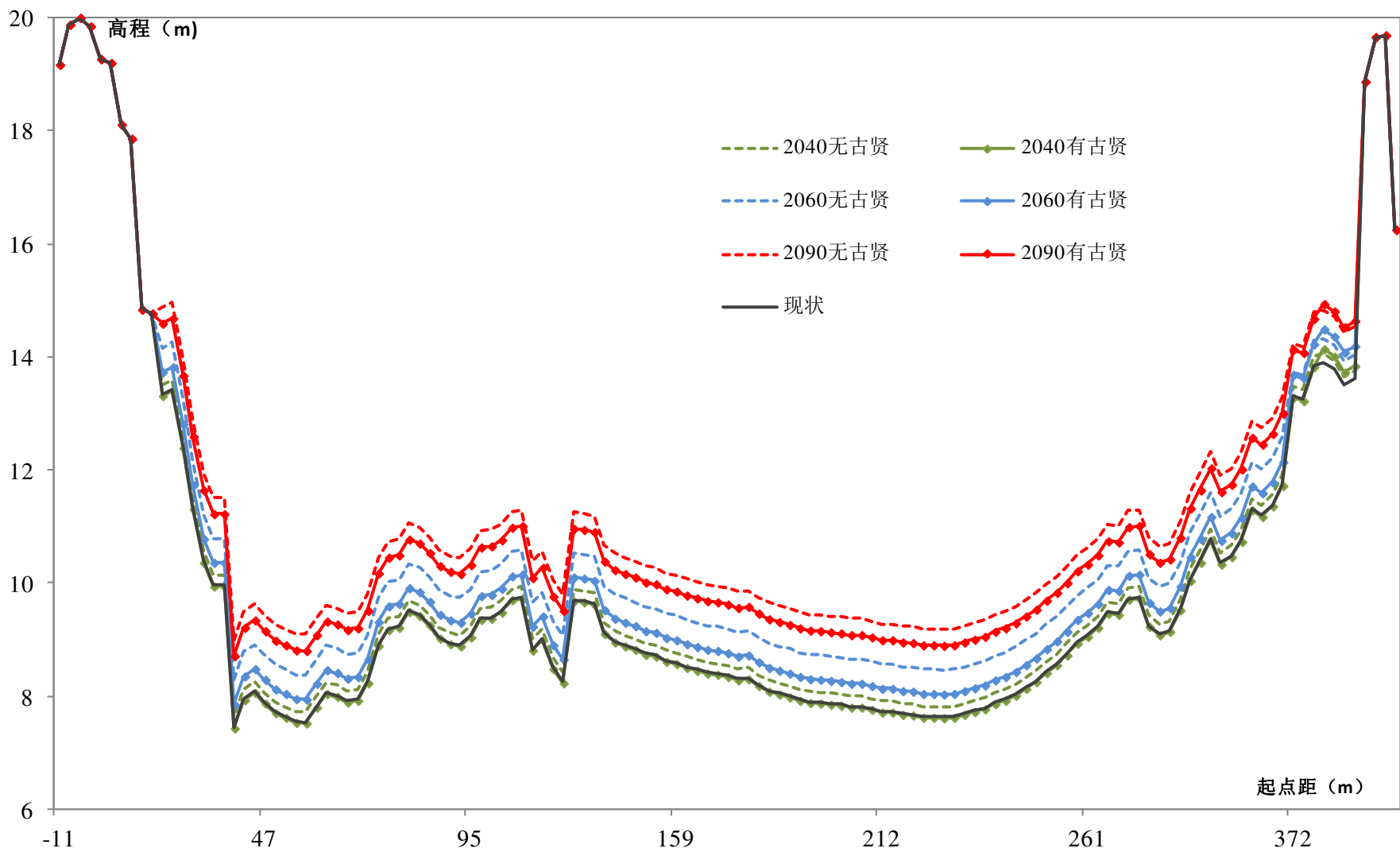


图 7.7.3-6 利津断面冲淤变化

7.7.3.3 平滩流量变化分析

(1) 黄河下游河段平滩流量变化

2021 年 10 月，中共中央、国务院印发《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》（以下简称《规划纲要》），提出“充分发挥小浪底等工程联合调水调沙作用，增强径流调节和洪水泥沙控制能力，维持下游中水河槽稳定，确保河床不抬高。”《黄河流域“十四五”水安全保障规划报告》也提出了黄河下游平滩流量目标。因此，维持黄河下游 $4300\text{m}^3/\text{s}$ 以上主槽过流能力是实现黄河流域生态保护和高质量发展规划目标的重要指标之一。

黄河调水调沙运用的实践表明，水库拦沙和调水调沙运用是恢复和维持河道行洪输沙功能的有效措施，小浪底水库拦沙和调水调沙运用已使黄河下游河道最小平滩流量由 2002 年汛前的 $1800\text{m}^3/\text{s}$ 增加至 2020 年的 $4600\text{m}^3/\text{s}$ 。现状工程条件下，通过小浪底水库的继续拦沙和调水调沙，下游河道的主槽过流能力基本维持，并稍有增加。小浪底水库拦沙库容淤满后，水库已不具备拦沙能力，出库沙量明显增加，下游主槽的过流能力整体上明显下降，至 2046 年下游河道平滩流量降低至 $4300\text{m}^3/\text{s}$ 以下，此后，随着下游河道主河槽的淤积，小浪底水库拦沙期塑造的主槽过流能力难以维持，按照设计水沙条件，至 2095 年左右黄河下游河道的平滩流量又下降至 $2900\text{m}^3/\text{s}$ 左右。

古贤水库建成后，通过水库拦沙和调水调沙运用，可有效地协调黄河水沙关系，减少下游河道淤积，对较长时期维持行洪输沙功能具有重要作用。古贤建成前后黄河下游平滩流量变化分析成果见表 7.7.3-2 和图 7.7.3-7。

表 7.7.3-2 古贤建成前后黄河下游平滩流量特征值统计表

情景	项目	黄河下游平滩流量
小浪底单库运行	最大流量 (m^3/s)	4754
	最小流量 (m^3/s)	2825
	平均流量 (m^3/s)	3482
	小于 $4300\text{m}^3/\text{s}$ 年数	54
古贤、小浪底联合运用	最大流量 (m^3/s)	4977
	最小流量 (m^3/s)	3803
	平均流量 (m^3/s)	4503
	小于 $4300\text{m}^3/\text{s}$ 年数	16

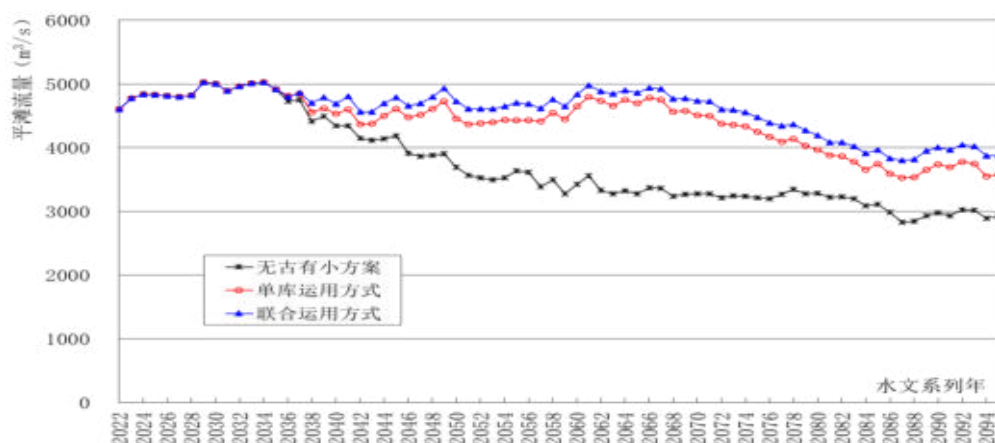


图 7.7.3-7 不同运用方式黄河下游整体平滩流量过程

由表 7.7.3-2 和图 7.7.3-7 可知，古贤、小浪底联合运用 60 年，黄河下游整体平滩流量均值为 $4503\text{m}^3/\text{s}$ ，较同期无古贤水库时下游平滩流量均值 $3482\text{m}^3/\text{s}$ 提升 $1021\text{m}^3/\text{s}$ ，60 年内下游整体平滩流量有 44 年达到或超过 $4300\text{m}^3/\text{s}$ ，较小浪底水库单库运行增加 38 年。因此，古贤水库建成后，通过水库拦沙和调水调沙运用，可有效地协调黄河水沙关系，减少下游河道淤积，对较长时期维持 $4300\text{m}^3/\text{s}$ 主槽过流能力具有重要作用。

（2）黄河下游典型断面平滩流量变化

有无古贤条件下，黄河下游平滩流量典型代表断面花园口、高村、艾山、利津断面的平滩流量变化见图 7.7.3-8。

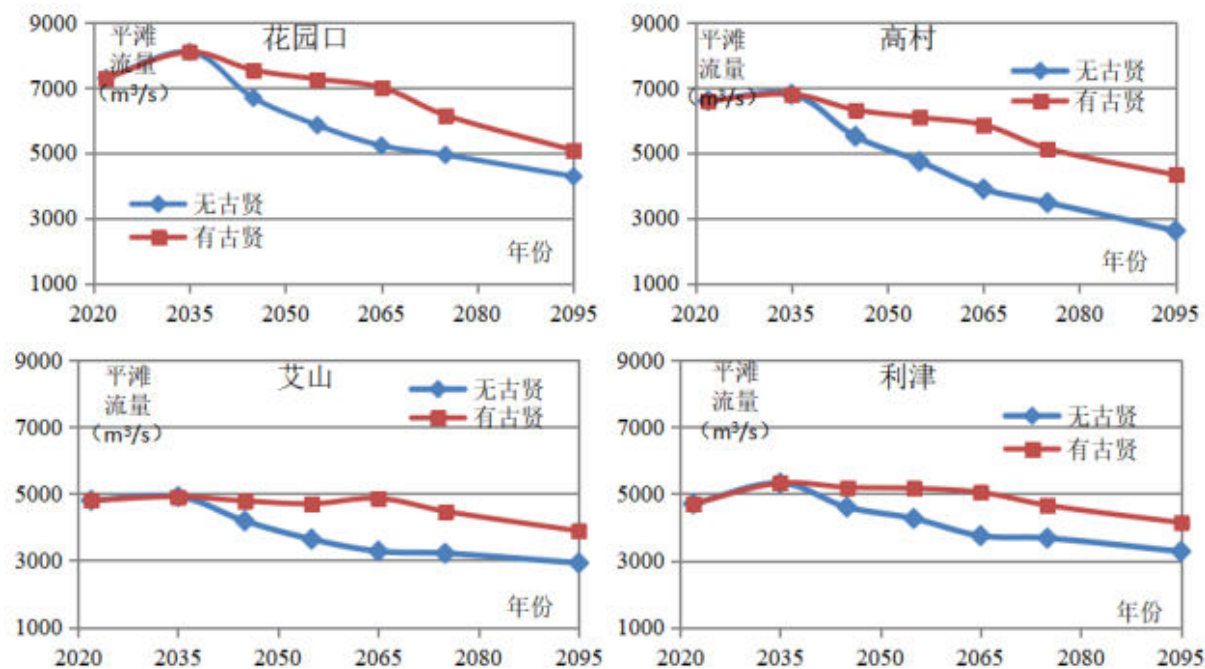


图 7.7.3-8 黄河下游典型代表断面平滩流量变化

由图 7.7.3-8 可知，若不建古贤水库，花园口、高村、艾山、利津断面平滩流量自

2035 年小浪底水库淤满以后将逐渐减小，古贤水库建设之后，与小浪底联合调水调沙，可减缓下游淤积态势，2045 年、2065 年、2095 年各断面平滩流量比无古贤状态增加 12.7%~14.8%、34.1%~50.4%、18.7%~65.2%。

7.8 生态流量保证措施及可行性分析

7.8.1 施工期生态流量保障措施及可行性分析

(1) 施工期生态流量保障措施

施工期生态流量泄放措施见表 7.8.1-1。

表 7.8.1-1 施工导流程序表

时间	泄水建筑物
第 1 年 10 月~第 3 年 10 月	原河床过流
第 3 年 11 月上旬	1#、2#导流洞
第 3 年 11 月中旬~第 8 年 6 月	1#、2#导流洞
第 8 年 7 月~第 8 年 10 月底	2#导流洞+8 孔排沙底孔

(2) 施工期生态流量保障措施可行性分析

第 1 年 10 月~第 3 年 10 月，为修建导流洞施工支洞及导流时期，在此期间，采用原河床过流，流量过程不受影响。

第 3 年 11 月上旬，河床截流，采用 1#、2#导流洞导流，下泄能力达到设计流量 1270m³/s（旬流量，P=10%），因此坝址上游来水基本可全部下泄；

第 3 年 11 月中旬~第 8 年 6 月，采用 1#、2#导流洞导流，最大下泄流量为 7054.4m³/s，下泄流量可满足生态流量要求。

第 8 年 7 月~第 8 年 10 月中旬，采用 2#导流洞+8 孔排沙底孔导流，最大下泄流量为 8678.6m³/s，下泄流量可满足生态流量要求。

综上，施工期各阶段生态流量保障措施可行。

7.8.2 初期蓄水生态流量保障措施及可行性分析

(1) 初期蓄水生态流量保障措施

古贤水库初期蓄水时间为第 8 年 10 月中旬~第 9 年 3 月，历时 5 个半月。

其中第 8 年 10 月中旬采用 1#导流洞内预埋的管道向下游泄流，11 月采用 1#导流洞内钢管及排沙底孔泄流，第 8 年 12 月~第 9 年 3 月采用排沙底孔泄流。

(2) 初期蓄水生态流量保障措施可行性分析

根据可研，初期蓄水期间下泄方式及对应下泄能力见表 7.8.2-1。

表 7.8.2-1 古贤水库初期蓄水下泄方式

月份		生态流量 (m ³ /s)	考虑各目标需求后需 下泄流量 (m ³ /s)	下泄方式	最大下泄能力 (m ³ /s)
10 月	中旬	336	347	1#导流洞内钢管	404
	下旬			1#导流洞内钢管+排沙底孔	9082.6
11 月		200	216	排沙底孔	8678.6
12 月		200	244		
1 月		200	200		
2 月		200	200		
3 月		200	281		

由表 7.8.2-1 可知，1#导流洞内预埋的管道泄流能力为 404m³/s，排沙底孔泄流能力为 8678.6m³/s。初期蓄水期间，采用 1#导流洞内钢管、排沙底孔下泄流量，可满足生态流量要求。

7.8.3 运行期生态流量保障措施及可行性分析

(1) 运行期生态流量保障措施

1) 相机调整发电机组数量，下泄各月份需要的生态流量。

2) 在坝下设置生态流量监控系统，在运行期开展生态流量监测，对古贤水库下泄流量进行实时监控。

(2) 运行期生态流量保障措施可行性

根据可研设计，古贤水利枢纽主要泄水建筑物包括：8 孔排沙底孔、4 孔泄洪中孔、3 孔溢流表孔、1 孔冲沙孔和 6 个发电引水洞。共设置 6 台发电机组，单台机组额定流量为 288.4m³/s。单台机组最小运行流量为 150 m³/s，因此不再考虑设置生态小机组。机组下泄流量同时考虑生态流量和下游供水和灌溉需求，根据总需水量大小，相机调整运行机组数量，可下泄 180m³/s~336m³/s 的生态流量。因此，运行期生态流量保障措施可行。

7.9 小结

(1) 水文情势

1) 建库后，拦沙初期（1~7 年），水库水位在 560m~588m 之间变化；拦沙后期（8-20 年），水库水位在 560m~607.4m 之间变化；拦沙后期（21~38 年）水库水位在 588m~620.9m 之间变化；正常运用期（第 39 年后），水库水位在 588m~627m 之间

变化，其中 627m 高水位在此期间出现的平均时间为 2 天/年，仅占全年的 0.5%。水库蓄水及回水末端位置距古贤坝址约为 202.1km，水库面积 219.16 km²，较建库前水面增大 2~3 倍。水库运行后各河段流速呈现不同程度的减少，距离坝址越近，流速越慢。

2) 由于坝下河段（禹门口~潼关河段）黄河干支流取水口上移至古贤库区，故古贤水库建设后龙门断面径流相比建库前有所减少，丰水年径流减少量最多，减少了约 23.5 亿 m³（占该建库前的 9.2%），特枯年减少量最少。建库后，11 月~次年 6 月基本为等流量（月均 400m³/s~600m³/s）下泄，汛期 7 月~10 月仍保留原有丰枯特征，与建库前相比，3 月~5 月流量减小并均化，枯水期 12 月~2 月流量有所增加。由于古贤替代的现状取水口基本位于潼关断面以上，同时，随着汾河、渭河等支流沿程汇入，古贤水库运行前后潼关断面流量变化不大。

3) 黄河下游是黄河水量调度关键河段，其流量过程主要受小浪底水库调度控制，古贤作为黄河水沙调控体系的核心工程，建成后，主要为小浪底调水调沙提供水流动力，与小浪底联合调度，调节下游水沙关系，减轻河道淤积，维持主槽过流能力不低于 4300m³/s。根据古贤、小浪底联合调度原则对工程运行后黄河下游花园口、利津断面水文情势进行预估，建库后，花园口、利津断面逐月流量过程变化趋势与建库前基本一致，11 月~次年 5 月流量与建库前相当，6 月及汛期 7~10 月流量有所变化，变幅基本在 10%以内。另外，建库前存在特枯年不满足生态流量的情况，建库后通过古贤、小浪底水库对径流进行年内调节，枯水月流量有所提高，各月流量可以满足生态流量要求。

（2）泥沙情势

1) 古贤水利枢纽建成运行后，古贤水库坝前淤积断面河底高程为 584.5m，较原始河底高程淤积 121.47m，水库总淤积长度为 200km。库区内支流基本上与干流淤积同步发展，进入正常运用期，库区基本上达到冲淤平衡。

2) 拦沙初期，主汛期年均入库沙量为 6.25 亿 t，平均含沙量 67.98kg/m³，水库拦沙运用后，出库沙量为 1.06 亿 t，平均含沙量仅为 11.57kg/m³，水库排沙比仅为 17.0%，由于水库拦沙，出库沙量及含沙量较入库大大减少。拦沙后期，主汛期年均入库沙量为 3.72 亿 t，平均含沙量 40.42kg/m³，水库拦沙运用后，出库沙量为 1.97 亿 t，平均含沙量为 21.46kg/m³，水库排沙比为 53.0%，较拦沙初期增加。正常运用期，主汛期年均入

库沙量为 3.41 亿 t，平均含沙量 37.02kg/m^3 ，水库调节运用后，出库年均沙量为 3.98 亿 t，平均含沙量为 43.29kg/m^3 ，该期间水库基本冲淤平衡，主汛期要将非汛期淤积的泥沙排出库外，因而，出库沙量、含沙量较入库为大。

3) 古贤水库投入运用后，可改变小北干流河段淤积的态势，使其由淤积转为冲刷，随着水库拦沙期的结束，小北干流河段又逐步回淤。古贤、小浪底联合运行 60 年，小北干流河段减淤量为 31.71 亿 t，相当于现状 72 年不淤积，对小北干流河段及潼关断面的持续冲刷作用强，小北干流河段累计最大冲刷量为 13.13 亿 t，潼关高程最大冲刷下降值为 2.15m。

4) 古贤、小浪底水库联合运用 60 年，黄河下游河道累计淤积量为 54.06 亿 t，年均淤积量 0.90 亿 t；同期无古贤水库方案下游河道累计淤积量为 125.82 亿 t，古贤水库对下游河道减淤量为 71.76 亿 t，相当于现状工程条件时下游河道 34.2 年不淤积。古贤、小浪底联合运用 60 年，黄河下游整体平滩流量均值为 $4503\text{m}^3/\text{s}$ ，较同期无古贤水库时下游平滩流量均值 $3482\text{m}^3/\text{s}$ 提升了 $1021\text{m}^3/\text{s}$ ，60 年内下游整体平滩流量有 44 年达到或超过 $4300\text{m}^3/\text{s}$ ，较小浪底水库单库运行增加 38 年。因此，古贤水库建成后，通过水库拦沙和调水调沙运用，可有效地协调黄河水沙关系，减少下游河道淤积。

(3) 生态流量

根据已批复的《黄河流域综合规划》并结合河段敏感保护目标特性，壶口瀑布观景流量需求、小北干流湿地需水、鱼类保护需求，综合确定了工程下泄生态流量：11 月～3 月不小于 $180\text{m}^3/\text{s}$ （夜间）、 $200\text{m}^3/\text{s}$ （昼间），4 月～6 月不小于 $240\text{m}^3/\text{s}$ ，7 月～10 月不小于 $336\text{m}^3/\text{s}$ ；全年白天流量 $600\text{m}^3/\text{s}\sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ 出现的天数不低于 113 天/年；4 月～7 月塑造 $3000\text{m}^3/\text{s}\sim 4000\text{m}^3/\text{s}$ 的漫滩洪水过程，持续时间 5 天～7 天；或通过建设湿地补水工程，每年补水量不少于 0.66 亿 m^3 。

龙门断面（代表坝址断面）现状满足程度中，除个别年份敏感期生态流量满足程度较低，其他各时期生态流量满足程度较高。经分析，施工期、初期蓄水及运行期生态流量保障措施可行，古贤水库施工期、初期蓄水及运行期龙门断面生态流量均可得到满足。

为落实黄河流域生态保护和高质量发展座谈会精神，本次评价基于已批复的《黄河流域综合规划》的关键期生态需水指标，4 月～6 月花园口、利津断面采用适宜生态流

量指标，非汛期采用《水利部关于印发第一批重点河湖生态流量保障目标的函》（水资管函〔2020〕43号）及《黄河流域生态环境保护规划》（2022年6月）要求的指标要求。2000年以来花园口断面生态流量满足程度较高，利津断面7月～翌年3月生态流量满足程度较高，但敏感期4月～6月适宜生态流量平均满足程度较低。经计算，古贤水库运行期，通过全河水量统一调度，花园口、利津断面生态流量满足程度得到了提高，花园口、利津断面敏感期4月～6月适宜生态流量及其他月份生态流量满足程度均达到100%。

第八章 地表水环境影响与保护措施

古贤水利枢纽工程建成运行后库区及坝下水动力条件的变化,将对库区和坝下河段水温、地表水环境等产生影响。本章内容主要包括:

(1) 对工程不同运用期的水温结构进行判断,结合不同运用期水库分层情况采用水温模型对拦沙初期、拦沙后期、正常运用期库区水温及下泄水温进行预测,对坝下河段的水温恢复情况进行预测,提出工程建成后水温恢复措施;

(2) 分析和评价区域地表水环境的现状及特点,分河段预测了水库不同运用期库区、坝址~三门峡河段(包括供水区受纳水体)的水质变化情况,分析库区富营养化发生趋势及风险,提出水库运行期地表水环境保护措施。

8.1 水温影响预测与保护措施

古贤水利枢纽工程建成运行后,库区水位升高、流速减缓,坝址下游受大坝泄流及电站运行的影响,秋、冬季节水温较天然情况有所升高,春、夏季节水温较天然情况有所降低,黄河干流高含沙量也会改变水流的运动特征,使得原本单一的温差异重流转变为复杂的浑水和温差异重流并存的状态,库区水温结构将会显著改变。同时,受泥沙淤积影响,古贤水库运用分为3个典型时期(拦沙初期、拦沙后期、正常运用期),各运用时期库区地形与库容存在较大、明显的变化差异,将导致不同时期库区水温结构、下泄水温过程较天然过程呈现不同的时空影响程度。

8.1.1 水温现状调查分析

8.1.1.1 干流水温现状

本报告收集到研究河段吴堡水文站 2013 年~2017 年(缺 2015 年)、以及龙门水文站 2014 年~2017 年月均水温过程,其中,吴堡水文站位于古贤库尾,距离坝址约 205km,龙门水文站位于坝址下游 72.5km,水文站相对位置见图 8.1.1-1。

吴堡水文站 2014 年、2016 年、2017 年各年平均水温分别为 12.4℃、13.3℃、12.8℃。12 月中旬~翌年 2 月上旬河道水温接近 0.0℃,为一年之中水温最低的时段,3 月~8 月为升温期,水温在 8 月升至最高,8 月平均水温 25.6℃。9 月开始气象条件处于降温

期，河道水温下降较快，10月至11月的水体冷却率达到 $0.3^{\circ}\text{C}/\text{d}$ ，12月后气温转负，水温降至 0°C ，河道开始流凌。龙门水文站水温过程与吴堡水文站较为接近，2014年~2017年平均水温分别为 13.3°C 。龙门站与吴堡站水温升降规律基本相似，3月~8月为升温期，由于下游流量大，升温较吴堡略慢，3月~4月平均升温率为 $0.3^{\circ}\text{C}/\text{d}$ ，7月水温最高为 26.9°C ，9月~12月为降温期，10月~11月的降温率为 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 。吴堡、龙门水文站的月均水温过程如图8.1.1-2所示。



图 8.1.1-1 水文站相对位置图

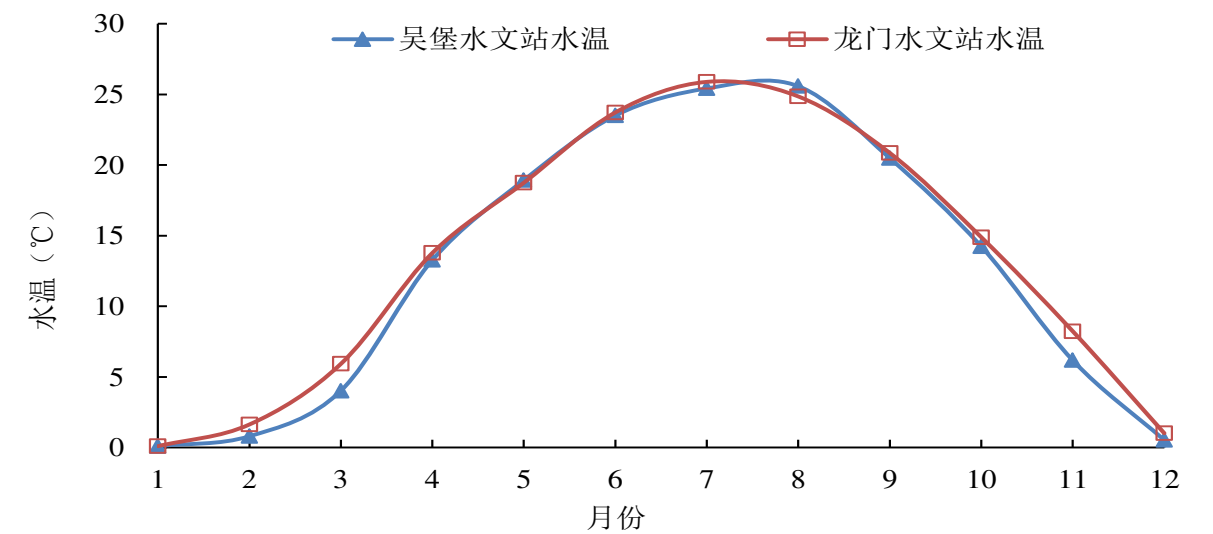


图 8.1.1-2 吴堡、龙门水文站月均水温过程

8.1.1.2 重要断面及支流水温现状

1. 壶口瀑布断面

壶口瀑布断面 2014 年、2016 年、2017 年平均水温分别为 13.1℃、13.3℃、13.3℃。12 月~翌年 1 月水温接近 0.0℃，为一年之中水温最低的时段，2 月~7 月为升温期，3 月~4 月升温最明显，水温在 7 月升至最高，3 年统计数据表明 7 月平均水温 26.0℃。8 月开始，气象条件处于降温期，河道水温下降较快，10 月至 11 月的水体冷却率达到 0.2℃/天，12 月后，气温转负，3 年平均水温降至 0.7℃，河道开始流凌。壶口瀑布断面月均水温过程如图 8.1.1-3 所示。

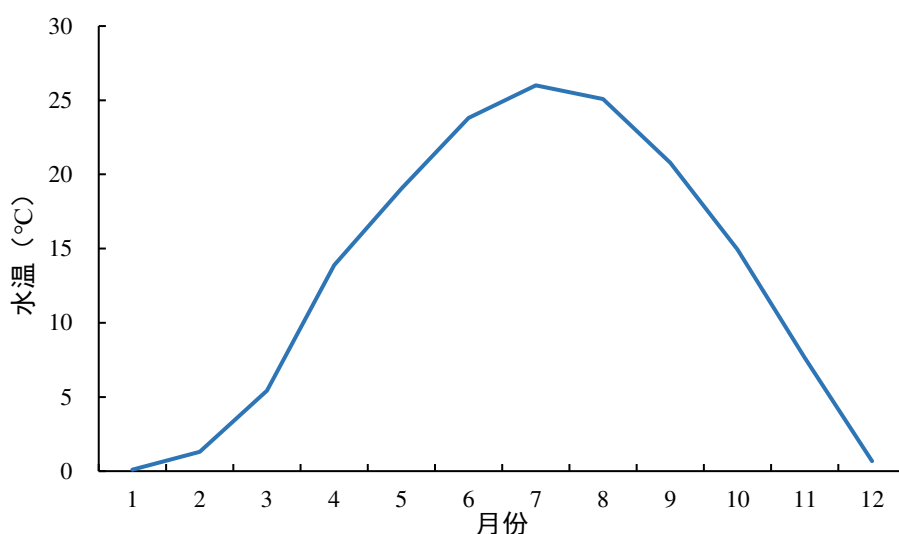


图 8.1.1-3 壶口瀑布月均水温过程

2. 坝址下游鱼类产卵场

本报告收集到坝址下游 1#产卵场 2017 年 6 月 23 日~8 月 13 日共 52 日每日两次水温数据。由于受监测位置及监测时段影响，下午水温监测数据总体高于上午，日内温差范围在 0.3℃~4.4℃之间。图 8.1.1-4 为 1#产卵场水温的日水温变化过程，监测时段内，最高水温为 31.4℃（7 月 24 日），最低水温 22.6℃（7 月 29 日）。

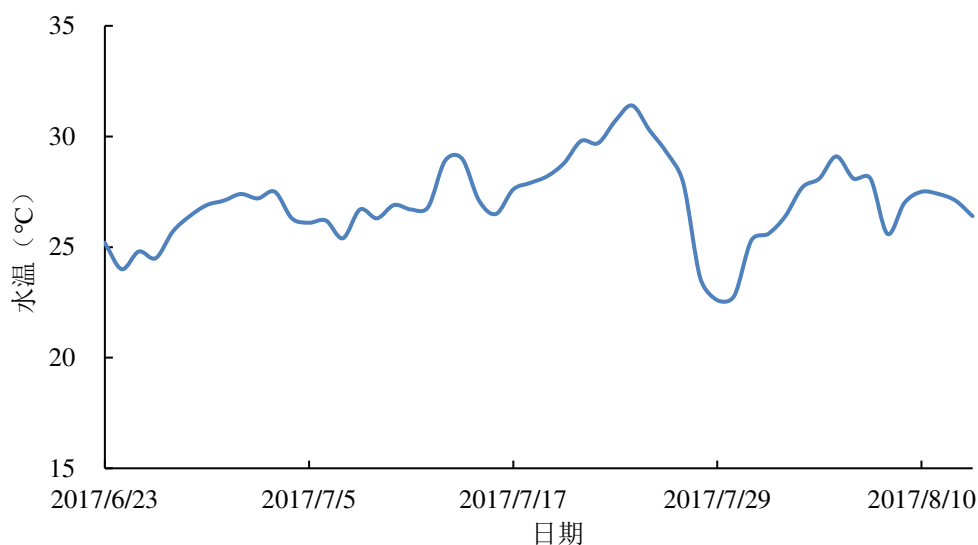


图 8.1.1-4 1#产卵场 2017 年 6 月 23 日~8 月 13 日水温过程

3. 支流及沿程水温变化规律

本报告收集到龙门~潼关段汾河、渭河两条主要支流 2013 年~2017 年各月 15 日的流量与水温数据，相对位置如图 8.1.1-5 所示。由于缺少潼关断面的监测数据，在充分考虑水气热交换、气象、地形、流量等因素的影响下，由龙门水文站实测资料作为边界条件，对潼关的天然水温过程进行模拟。采用 2016 年实测数据对研究河段支流与干流的水温进行流量加权计算（干流取龙门断面与潼关断面数据的加权平均值），得出支流对沿程水温的影响，如表 8.1.1-1 所示。

支流汾河与渭河年水温变化过程相似，2 月~8 月升温，9 月~翌年 2 月降温，与干流变化规律一致。采用流量加权方式确定支流进入干流的混合水温，进一步得到加权前后的水温变化，支流由于流量较小，对干流（龙门~潼关）水温影响程度较小，1 月~9 月影响幅度在 0.3℃以内，其中除 4 月、8 月外其余月份均为增温影响，10 月~12 月由于渭河流量占比相对较大且水温较高，对干流水温影响幅度提升至最高 1.4℃。

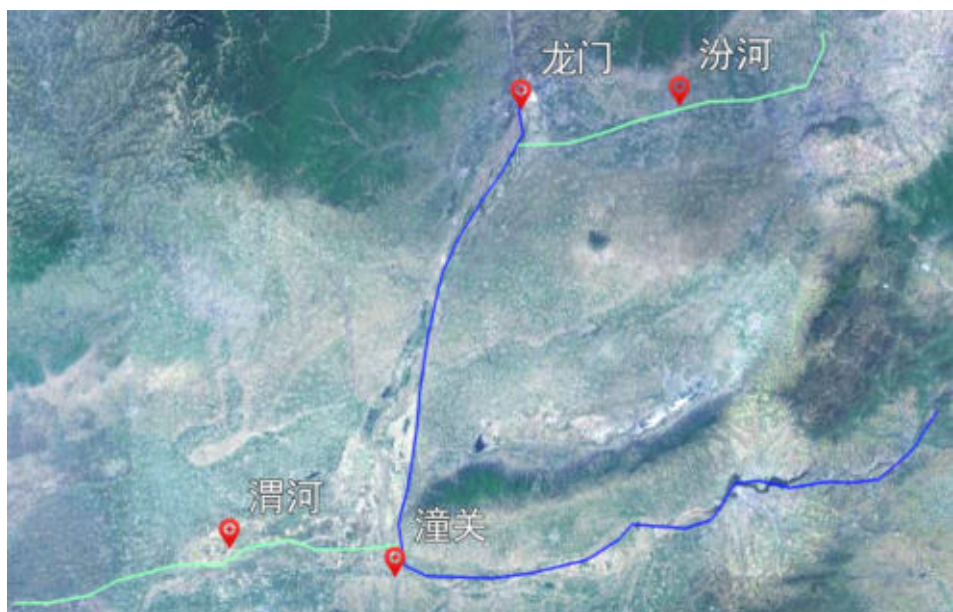


图 8.1.1-5 龙门~潼关段支流汇入相对位置

表 8.1.1-1 龙门~潼关河段支流水温对干流水温的影响

项目	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
干流平均流量(m³/s)	638.2	323.6	496.9	174.6	205.0	193.6	583.7	429.2	801.1	476.8	213.2	501.5
干流平均水温(°C)	0.9	0.2	6.2	16.4	16.4	24.5	25.4	29.8	22.2	15.4	8.9	2.3
汾河流量(m³/s)	7.30	22.5	8.3	13.9	3.8	13.5	20.0	86.2	25.0	33.2	41.0	6.8
汾河水温(°C)	2.2	0.4	7.1	9.8	17.2	25.0	27.0	29.0	23.8	17.6	10.5	7.0
渭河流量(m³/s)	48.6	75.8	23.9	90.5	53.3	166	46.0	59.5	58.8	95.0	161	72.4
渭河水温(°C)	3.8	2.0	10.8	16.6	17.2	24.6	25.2	29.0	25.8	18.0	12.0	9.0
加权后的混合水温(°C)	1.1	0.5	6.5	16.1	16.6	24.6	25.4	29.6	22.5	15.9	10.3	3.2
支流影响(°C)	0.2	0.3	0.2	-0.3	0.2	0.1	0.0	-0.2	0.3	0.5	1.4	0.9

8.1.2 水库水温结构判别

古贤库区回水长度 202.10km，最大坝高 215m，坝址多年平均径流量为 209.5 亿 m³，古贤水库拦沙初期正常蓄水位库容 125.5 亿 m³，拦沙后期正常蓄水位库容 96.6 亿 m³，正常运用期正常蓄水位库容 34.6 亿 m³，在不考虑泥沙的影响情况下，按《水利水电工程水温计算规范》（NB/T 35094-2017），其对应的水库水温结构均为稳定分层型，见表 8.1.2-1。

值得指出的是，由于泥沙淤积对库容的影响及水库不同运行期的运行要求，不同运行期内古贤实际运行水位均明显低于正常蓄水位，直接采用《水利水电工程水温计算规范》（NB/T 35094-2017）正常蓄水位的库容计算，得到的库水替换次数偏小，进而水温结构稳定性增强。由此，本项目采用各典型年中平均水位所对应的库容来判断水库水

温结构， $\alpha - \beta$ 判断结果见表 8.1.2-2。根据上述判断，若不考虑泥沙的影响，古贤水库在拦沙初期、拦沙后期的水温分层结构均为稳定分层型，而在正常运用期由于较大的泥沙淤积，水库库容急剧减少，其水温分层结构转变为混合型。与采用正常蓄水位库容的判断相比，采用年平均蓄水位库容的库水年交换次数有所增大，对水温分层的初步判断相对合理。

表 8.1.2-1 采用正常蓄水位库容的水温结构初步判断

运行时期	库容（亿 m ³ ，正常蓄水位）	库水年替换次数（次）	分层结构
拦沙初期	125.5	1.7	稳定分层型
拦沙后期	96.6	2.2	稳定分层型
正常运用期	34.6	6.2	稳定分层型

表 8.1.2-2 古贤库区水温结构判断一览表

运行时期	库容（亿 m ³ ，平均库水位）	库水年替换次数	分层结构
拦沙初期	42.5	5.0	稳定分层型
拦沙后期	23.2	9.2	稳定分层型
正常运用期	9.8	21.8	混合型

8.1.3 水温预测数学模型及其验证

古贤水库拦沙初期和拦沙后期库区水温结构为稳定分层型，但水库回水距离长、水深与库容大，呈现典型的河道型水库特征。同时，库区所在河段冬季天然情况下发生流冰现象，古贤建库后水库水温冬季将可能存在逆温分布，并产生不稳定的冰情过程，与原天然河道的热力冰情具有明显的差异。因此，本报告采用四川大学立面二维水温冰情模型来开展古贤水库拦沙初期和拦沙后期的水温影响研究。为了准确地预测古贤水库的水温影响程度，拟采用同一流域的黄河万家寨水库、小浪底水库的水温、冰情数据来率定相关模型参数。同时，为了进一步检验模型对在寒区水库水温、冰情的模拟能力，还采用寒冷地区吉林丰满水库的实测水温、冰情数据进行了模型验证。

古贤水库正常运用期的库水替换次数高达 21.8 次，其水温结构为混合型，在库底泥沙淤积影响下水库水深浅，库区水温无分层特征，且由于水库水位变幅较大，回水范围也不断变化，库区水温呈现河道水温特征，拟采用纵向一维河道水温冰情模型（RICEN）来模拟古贤水库正常运用期的库区沿程水温冰情变化情况。纵向一维河道水温冰情模型由美国克拉克森大学 HT Shen 教授开发，能够较精确地模拟河流水温与冰情过程，在美国圣劳伦斯河、我国黄河中下游等大型河流中得到了较好应用效果。根

据收集到的资料情况，采用研究范围内 2016 年吴堡至龙门河段的水温数据对模型进行了验证。

8.1.3.1 水库立面二维水温冰情模型（WWL-ICE）

宽度平均的立面二维水温冰情数学模型主要由水动力模块、水温模块、冰模块和泥沙模块组成。水动力模块采用 $k-\varepsilon$ 紊流数学模型，并计入风剪切应力对表层流速的影响；水温模块考虑了水气、冰水界面热交换以及冰水相互转化过程对水温的影响，水温的过冷却子程序单独运行，用以模拟水体的过冷却和由此产生的水内冰热力生消；冰模块由水内冰输移、初始冰盖生成判别以及冰盖热力生消三部分组成，水内冰输移方程模拟了水内冰的输移和上浮，初始冰盖生成采用 Matousek 经验判别，考虑了初始冰盖生成时的热力学和动力学条件；冰盖热力生消方程以冰盖的一维热传导方程为基础，考虑了冰气、冰水界面热交换以及雪层对冰气热交换的影响。泥沙模块采用的泥沙沉降速度常用的 Stokes 公式。

8.1.3.2 水库立面二维水温冰情模型验证

1. 万家寨水库验证

采用宽度平均的立面二维水温冰情数学模型对与古贤水库处于同一流域、同一气候区的黄河中游万家寨水库 2014 年 11 月 5 日~2015 年 3 月 31 日的水温冰情过程进行验证，获取适用于古贤水库所在气候区的模型冰情参数，增强古贤水库水温冰情预测成果的精度。

（1）水库水温

图 8.1.3-1 为 2015 年 1 月 17 日万家寨库区沿程各断面垂向模拟值与实测值的对比。2014 年 11 月 5 日至 2015 年 1 月 17 日（持续 75 日）的平均入库流量为 $480\text{m}^3/\text{s}$ ，库区平均运行水位为 973.82m，相应库容 2.94 亿 m^3 ，此期间水库的替换次数高达 10.56 次。由于较大的水库替换次数和流量，水库的流动性较强，前期水库积蓄的热量很快被来流影响和替换，库区垂向水温表现为同温状态，模型较好地模拟了库区水温由降温期纵向水温分布逐渐过渡到封冻期全库同温的这一变化过程，冰封期 1 月 17 日各垂线水温的模拟值与实测值也基本一致。

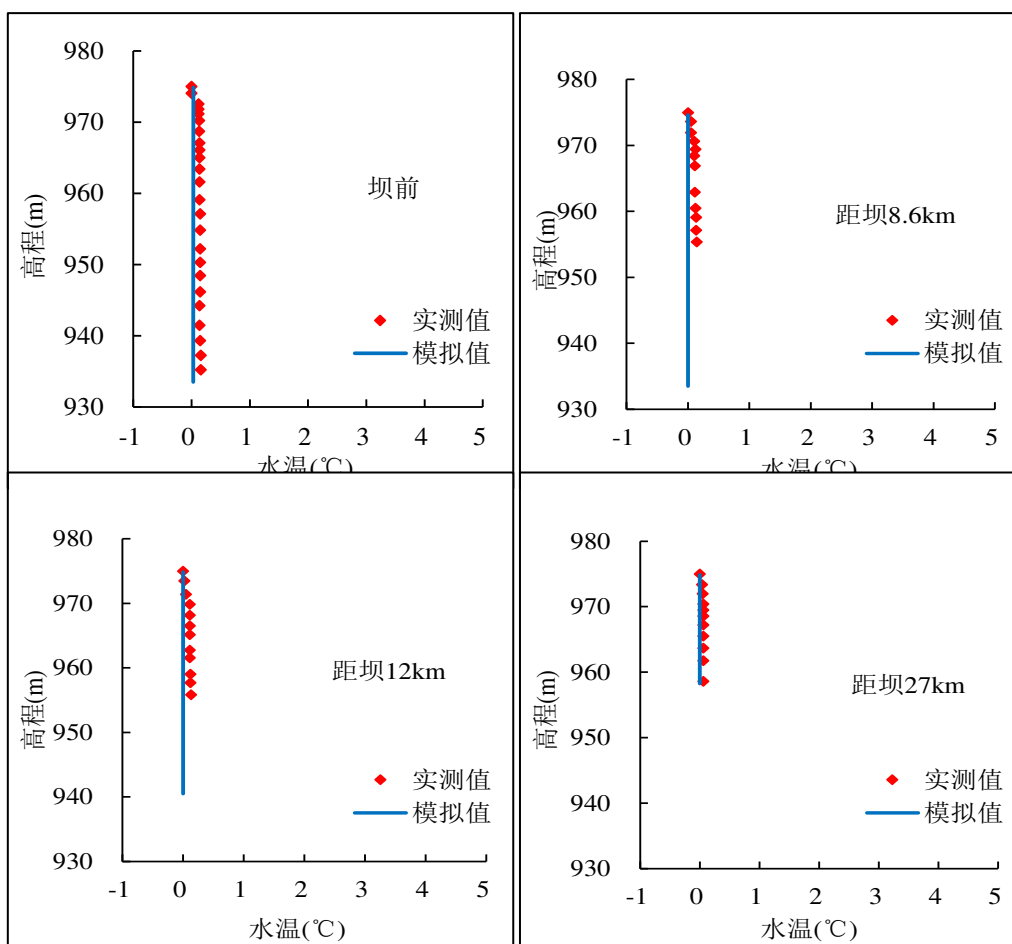


图 8.1.3-1 2015 年 1 月 17 日库区各断面垂线水温模拟与实测值对比

图 8.1.3-2 为电站下泄水温的模拟值与实测值对比。电站下泄水温在冰期前后表现出“降温期下泄水温快速下降，冰期下泄水温基本保持平稳，开河后升温期下泄水温迅速升高”的规律，模型较好地反演了这一过程和趋势，但也存在一定的差异。

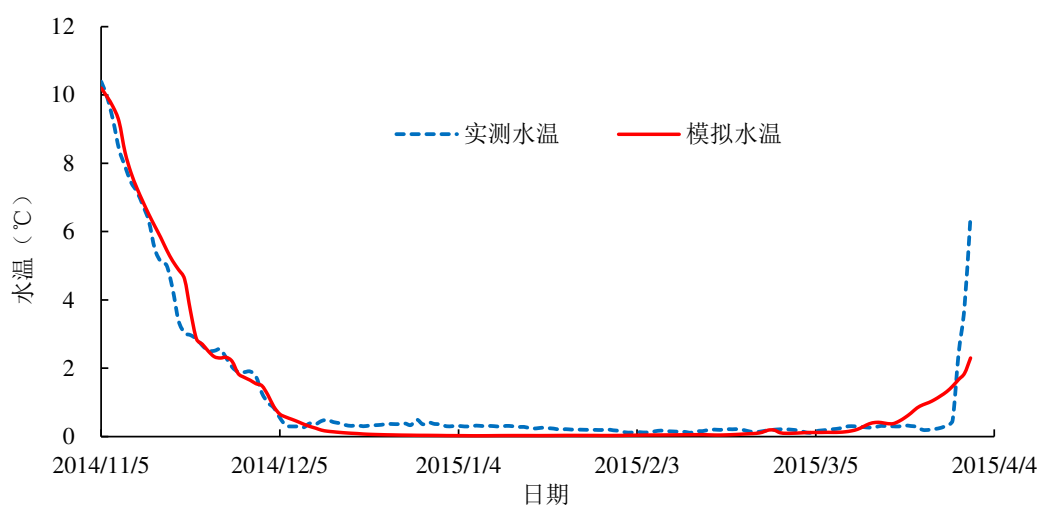


图 8.1.3-2 模拟与实测下泄水温对比

(2) 水库冰情

图 8.1.3-3 为万家寨坝前冰厚过程的模拟值与实测值的对比，表 8.1.3-1 给出了冰厚对比的相对误差情况。冰厚模拟与实测在 12 个时刻点中的最大相对误差为 13.7%，最大冰厚的相对误差为 5.5%。

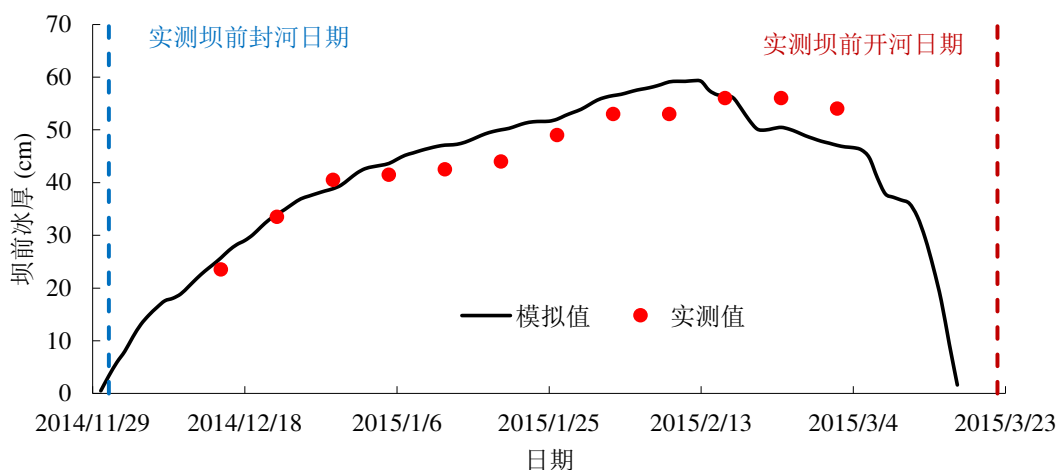


图 8.1.3-3 模拟与实测坝前冰厚过程对比

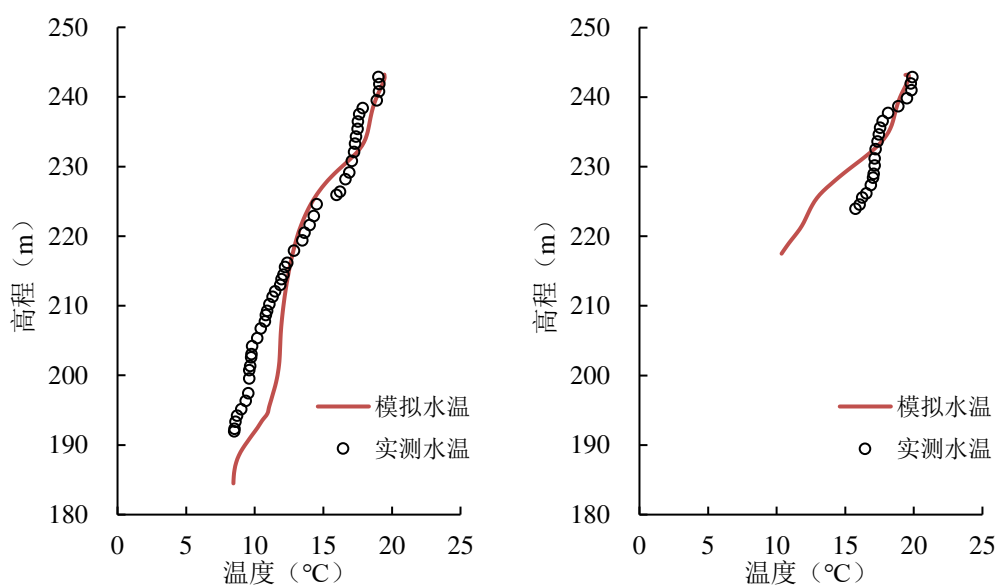
表 8.1.3-1 模拟与实测坝前冰厚数据对比

年	2014			2015								
月/日	12/15	12/22	12/29	1/5	1/12	1/19	1/26	2/2	2/9	2/16	2/23	3/2
实测值 (cm)	23.5	33.5	40.5	41.5	42.5	44	49	53	53	56	56	54
模拟值 (cm)	25.7	34	38.8	43.6	47.1	50	52	56.5	59.1	56.5	50.5	47.1
相对误差 (%)	9.4	1.4	4.1	5.1	10.9	13.7	6.2	6.6	11.5	0.9	9.9	12.8

2. 小浪底水库验证

采用同流域小浪底水库 2016 年 3 月 2 日~2016 年 6 月 30 日的实测水温和期间水库调度、气象资料，对立面二维水温冰情模型在同流域大型水库中水温的模拟能力进行检验。

图 8.1.3-4 为 2016 年 5 月 18 日小浪底库区沿程各断面垂向模拟值与实测值的对比。2016 年 3 月~6 月的平均入库流量为 $357\text{m}^3/\text{s}$ ，库区平均运行水位为 246.47m ，相应库容 32.31亿 m^3 ，此期间水库的替换次数 1.15 次。5 月中旬，旬均气温上升至 19.6°C ，水体替换速率较慢，库区水温开始出现分层状态，由库尾至坝前分层强度逐渐增加。模型能够很好地模拟该时期库区的水温变化规律，与实测各断面的垂线水温分布拟合较好。



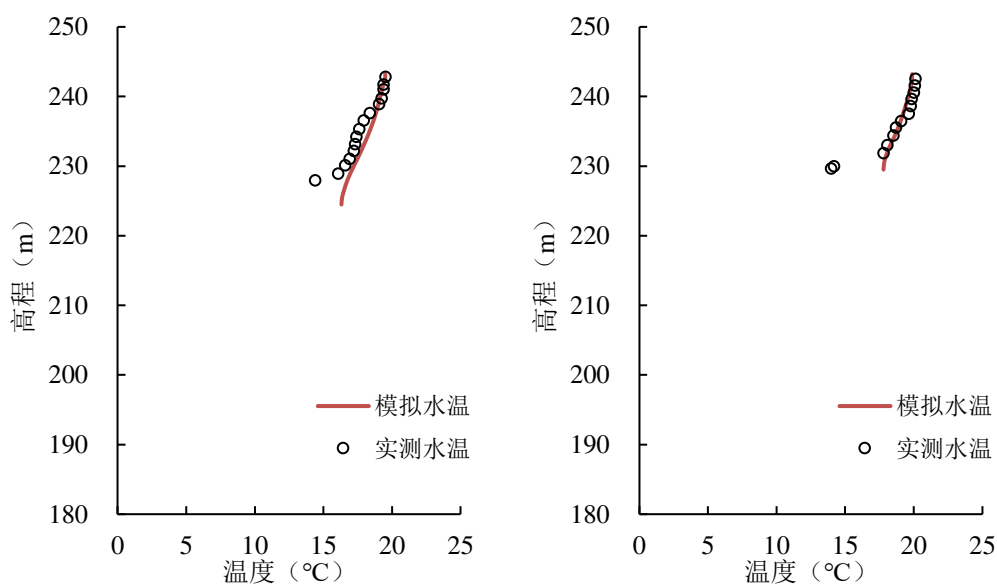


图 8.1.3-4 2016 年 5 月 18 日库区各断面垂线水温模拟与实测值对比

图 8.1.3-5 为电站下泄水温的模拟值与实测值对比。电站下泄水温在 2016 年 3 月 2 日~6 月 30 日总体呈上升趋势，模型较好地反演了这一过程。具体来看，小浪底水文站实测水温 $3.4^{\circ}\text{C}\sim 21.5^{\circ}\text{C}$ ，模拟时段内得到的下泄水温为 $3.8^{\circ}\text{C}\sim 22.4^{\circ}\text{C}$ ，实测平均水温为 10.2°C ，模拟平均下泄水温为 9.9°C 。

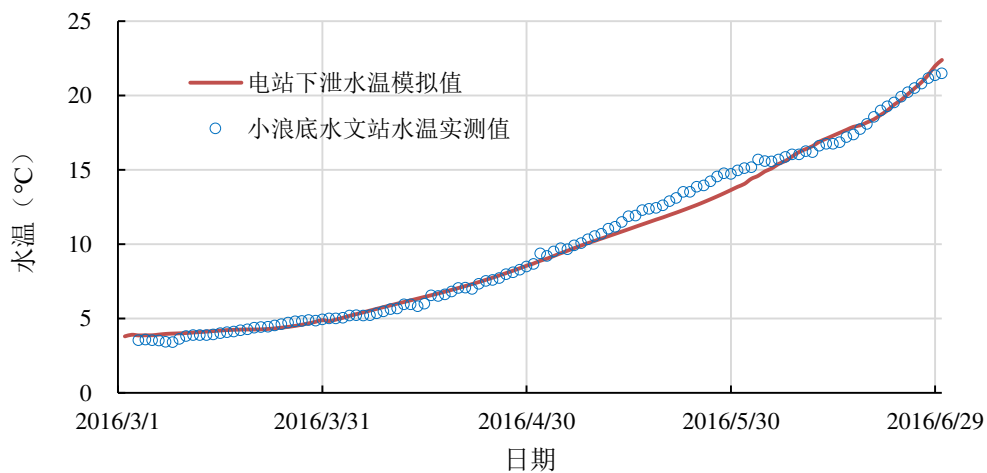


图 8.1.3-5 模拟与实测下泄水温对比

3. 丰满水库验证

采用丰满水库 2010 年 9 月（降温期）~2011 年 5 月（升温期）实测水温资料对立面二维水温冰情模型进行深入、系统的验证，并为模型参数取值的合理性论证提供依据。

(1) 水库水温

图 8.1.3-6 为 2011 年 1 月 12 日和 3 月 8 日模拟与实测坝前冰下垂线水温对比。自 2010 年 12 月起，库区垂线水温呈现逆温分布结构，模型较好地模拟了这一现象及其演变。1 月 12 日的模拟冰下水温在库表和库底与实测水温相近，而垂线中段均偏高。主要原因为实测过程中受发电机组频繁调度的影响，坝前冰下水温掺混剧烈，而由于模型中未考虑这方面的影响，因此模拟的冰下水温与实测水温相比表现出垂线掺混不充分且偏高的现象。

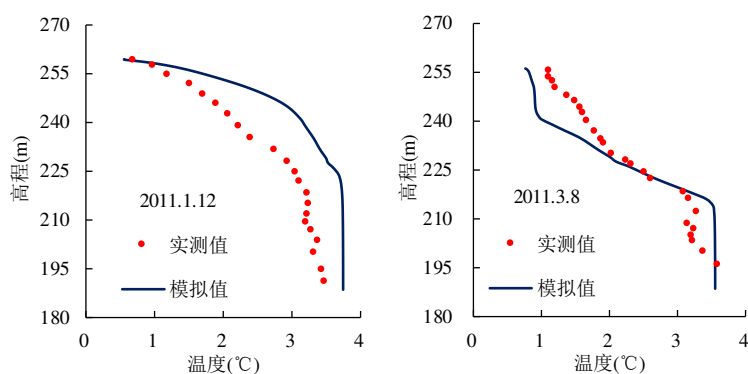


图 8.1.3-6 模拟与实测坝前冰下垂线水温对比

图 8.1.3-7 为 5 月 11 日各断面垂线水温模拟与实测值对比。2011 年 4 月 17 日丰满水库全部开河，随着气温和入库水温的升高，库区呈现自坝前至库尾沿程水温升高的趋势。模型很好地模拟出开河后升温期的水温变化规律，与实测各断面的垂线水温分布拟合较好。

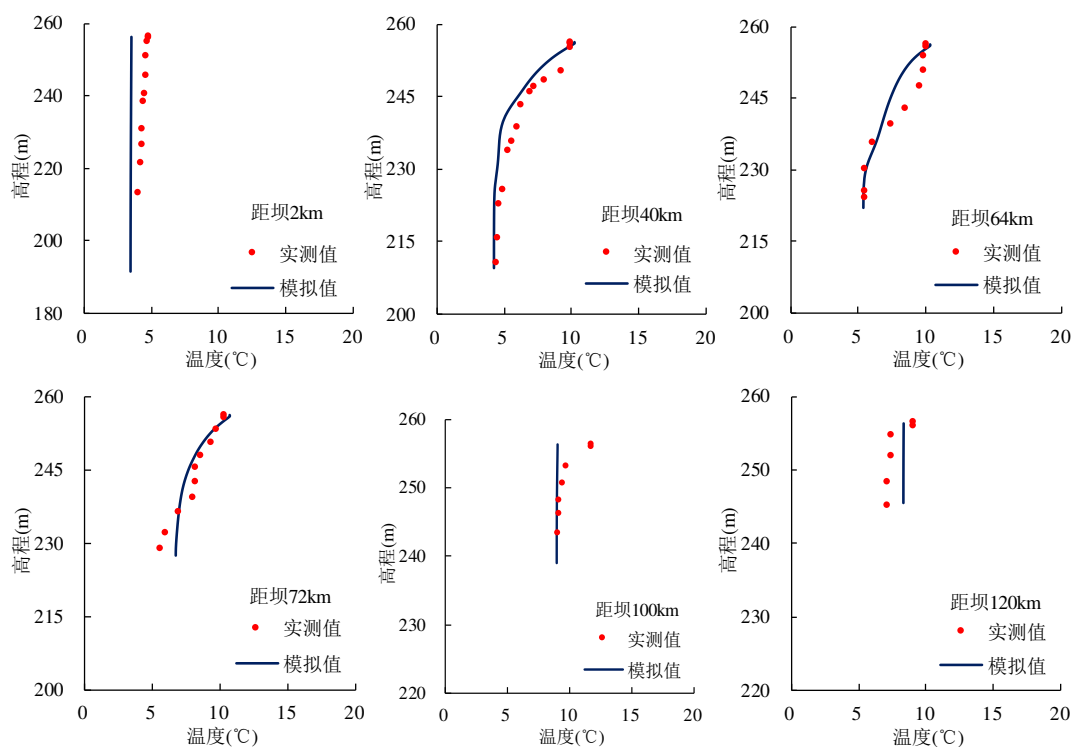


图 8.1.3-7 2011 年 5 月 11 日库区各断面垂线水温模拟与实测值对比

图 8.1.3-8 为模拟与实测下泄水温对比。整体来看，模型较好地模拟出冰期及前后下泄水温的变化趋势，即降温期下泄水温逐渐下降，冰期下泄水温基本保持平稳，开河后升温期下泄水温逐渐升高。

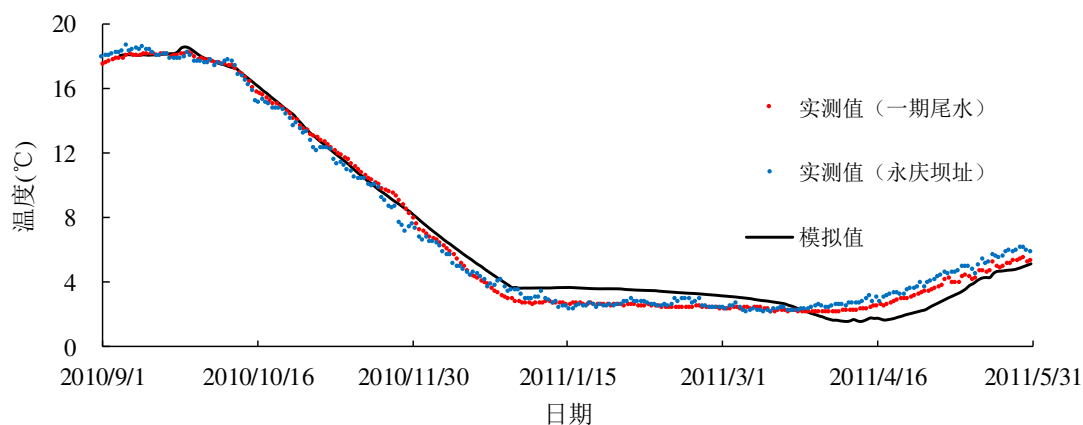


图 8.1.3-8 模拟与实测下泄水温对比

(2) 水库冰情

表 8.1.3-2 为 2010~2011 年丰满主库冰盖范围实测位置与模拟位置对比，可以看出模型较好地模拟了各时段的冰盖位置及范围。

表 8.1.3-2 2010~2011 年丰满主库冰盖范围实测位置与模拟位置对比 单位: km

日期	冰盖位置	实际位置 (距库尾)	实际冰盖长度	模拟位置 (距库尾)	模拟冰盖长度
2010 年 12 月 20 日 (封河期)	上游端	118.1	101.3	126.7	115.1
	下游端	16.8		11.6	
2011 年 2 月 22 日 (稳封期)	上游端	158.3	128.2	158.3	129.9
	下游段	30.1		28.4	
2011 年 4 月 3 日 (开河期)	上游端	158.3	95.2	158.3	91.6
	下游段	63.1		66.7	

图 8.1.3-9 为模拟与实测坝前冰厚过程对比。2010~2011 年冰期，模拟坝前封河日期为 2010 年 12 月 31 日，较实际日期提早 2 天；模拟坝前开河日期为 2011 年 4 月 17 日，与实际日期一致。模型很好地模拟了坝前冰厚演变过程，与 20 个实测值相比，模拟冰厚的均方根误差为 4.58cm，最大相对误差为 10.9%（2011 年 2 月 7 日），主要原因是模型忽略了冰盖上雪层的融化过程，雪层厚度作为边界条件而提供，采用旬均固定值。

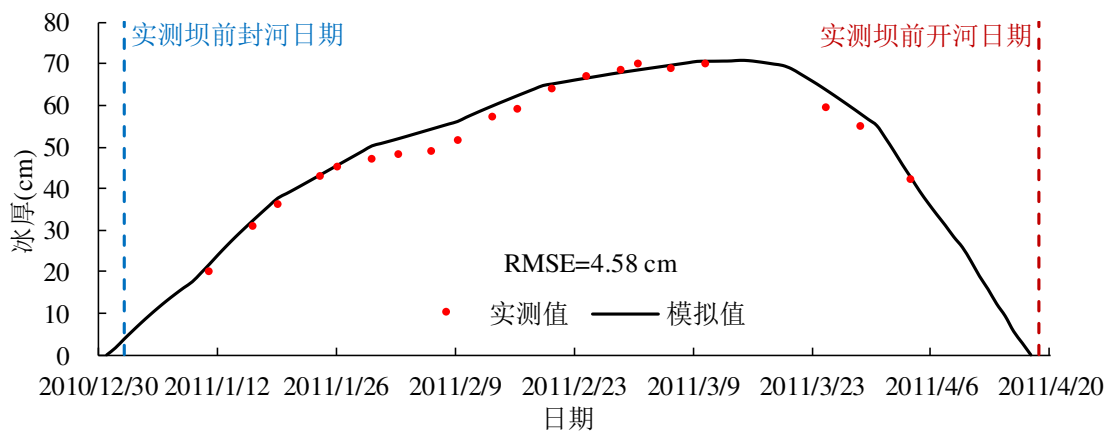


图 8.1.3-9 模拟与实测坝前冰厚过程对比

8.1.3.3 纵向一维河道水温冰情数学模型（RICEN）

纵向一维河道水温冰情模型（RICEN）主要考虑非恒定连续性方程和动量方程等水动力学条件、一维扩散方程的水温和输冰方式、冰盖内一维温度分布等。

8.1.3.4 纵向一维河道水温冰情数学模型验证

本次纵向一维河道水温模型验证选用 2016 年龙门水文站处实测月均水温数据。表 8.1.3-3 为龙门断面处计算水温与实测水温月均统计表。图 8.1.2-10 为龙门断面计算水温与实测水温月均过程对比。龙门断面处的模拟月均水温与实测水温相比，绝对误差在 0.1℃~0.5℃之间变化，绝对误差平均值为 0.2℃，模拟值与实测值总体拟合较好，水温

变化趋势基本一致，表明纵向一维水温模型对研究区域河道水温模拟具有良好的适用性。

表 8.1.3-3 龙门断面处计算水温与实测水温月均统计表

月份	龙门断面		
	实测水温 (℃)	模拟水温 (℃)	绝对误差 (℃)
	A	b	c=abs(a-b)
1 月	0.1	0.2	0.1
2 月	1.1	1.2	0.1
3 月	5.6	5.4	0.2
4 月	14.2	14.6	0.4
5 月	18.4	18.3	0.1
6 月	23.9	24.2	0.3
7 月	25.7	26.1	0.4
8 月	26.3	26.5	0.2
9 月	21.1	21.2	0.1
10 月	15.4	14.9	0.5
11 月	7.1	6.7	0.4
12 月	1.2	1.1	0.1
平均值	13.3	13.4	0.2

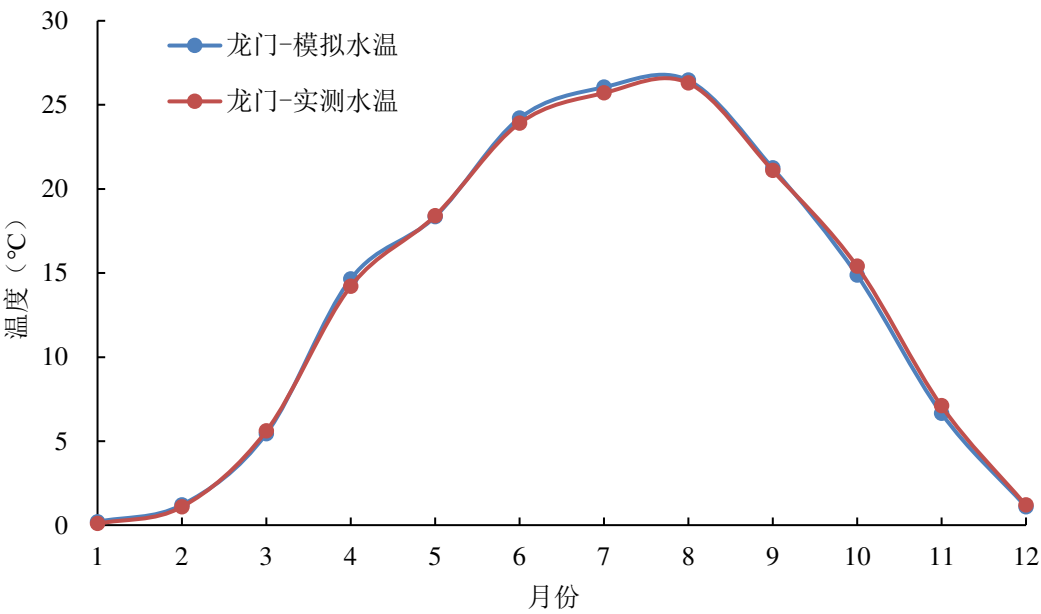


图 8.1.3-10 龙门断面模拟水温与实测水温月均过程对比

8.1.4 库区和坝前水温影响预测

8.1.4.1 拦沙初期

1. 平水年

图 8.1.4-1 为对应的坝前垂向水温分布，表 8.1.4-1 给出了对应的坝前月均表层、库底水温及垂向温差。

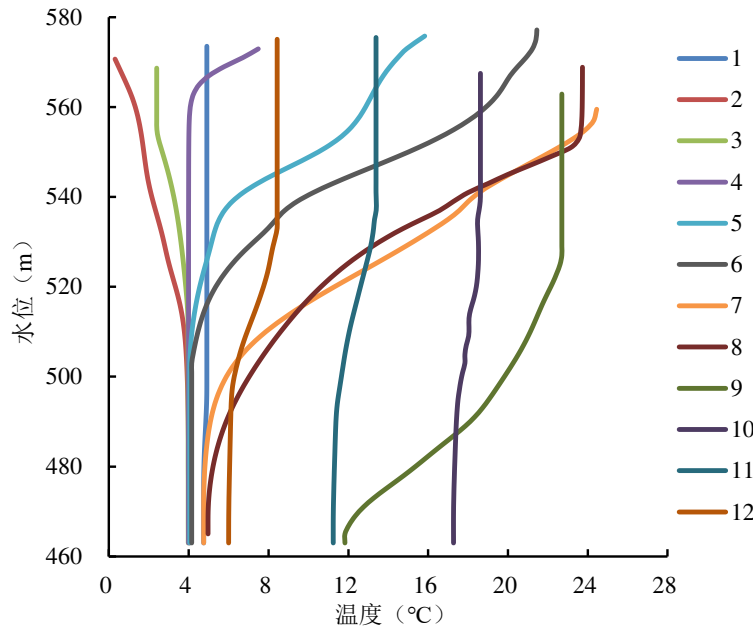


图 8.1.4-1 拦沙初期平水年坝前水温分布

表 8.1.4-1 拦沙初期平水年坝前月均表层、库底水温及温差 单位: °C

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
库表水温	4.9	0.3	2.4	7.5	15.8	21.5	24.5	23.7	22.7	18.6	13.4	8.4
库底水温	4.8	4.0	4.0	4.0	4.0	4.2	4.7	5.0	11.8	17.3	11.2	6.0
表底温差	0.1	-3.7	-1.6	3.5	11.8	17.3	19.8	18.7	10.9	1.3	2.2	2.4
垂向平均	4.9	3.0	3.5	4.2	6.8	9.1	11.1	12.3	19.7	18.0	12.4	7.4

拦沙初期平水年，古贤水库库区 4~9 月存在较强的水温分层现象，其余各月分层较弱，垂向温差较小，总体表现为季节分层型水温结构。

1 月库区气温较低，月均气温约-5℃，来流水温接近 0℃，平均悬移质含沙量 0.2kg/m³，低含沙情况下水流密度变化不大，来流低温水进入库区，仍然以表层浮力流的方式逐渐向坝前推进，逆温分布形成后，表层水体进一步失热发生结冰现象。坝前区域由于水深大、蓄热量也大，降温较为缓慢，垂向密度对流使得水体掺混均匀，垂向基本同温，温差仅 0.1℃。库区沿程出现“库尾逆温、坝前同温且高温”的分布规律，逆温分布的范围不断向坝前推进，冰情范围也逐渐增大。2 月入流水温、气温较 1 月份略有升高，但气温仍低于 0℃，低温水持续进入水库并推至坝前，库区整体呈逆温分布，坝前表层水温为 0.3℃，库底水温则维持在 4.0℃左右。

3 月随着来流水温、气温继续升高，库区冰盖逐渐消失，库表水体从大气获得热量，水温也随之升高，逆温分布结构逐渐向同温状态转换，月中库表水温约为 2.4℃，库底

约 4.0°C 。本月月均入流含沙量 1.3 kg/m^3 ，库尾段存在微弱的泥沙异重流现象，但随着泥沙的沿程沉降，来流高温水进入库区后又形成热水浮力流动，并逐渐推移至坝前，加快水库水温分层的形成。至 4 月中旬，坝前表层水温升温至 7.5°C ，水温垂向温差达到 3.5°C ，坝前水温开始分层。由于泥沙的影响，入流高温水体不断下潜，泥沙沉降后又在温差的影响下上浮，直接导致入流高温水向坝前推进的速度变慢，因此库尾段水温升高明显，最高约 12.5°C ，而坝前受纵向来流影响较小，升温缓慢。

5 月来流水温和气温进一步大幅提升，月均气温、入流水温分别为 19.2°C 、 18.9°C ，库区水温分层进一步加强，坝前表层水温由 4 月的 7.5°C 上升至 15.8°C ，垂向温差扩大至 11.8°C ，受取水口取水高程的影响，垂向主要温差集中在高程 540m 以上，最大水温梯度约 0.45°C/m 。5 月入流含沙量为 3.0 kg/m^3 ，库尾由于含沙水流影响，水体垂向掺混均匀，而库中段及近坝区由于来流水体与库底水体的温差较大，温差驱动的异重流仍然占主导作用。

6 月库区水温整体进一步升高，分层强度进一步加大，坝前表层水温升至 21.5°C ，由于较高的取水口高程，库底仍保持较大厚度的低温层，表底温差达到 17.3°C 。坝前垂向水温结构与 5 月类似，最大垂向温度梯度 0.55°C/m 。

7 月的入库流量 $374.8\text{ m}^3/\text{s}$ ，为全年最小，库水位也降至全年最低，但入流水温和气温升至全年最高，流速减缓使得库区蓄热能力增强，表层水温达到 24.5°C ，表底层垂向温差达 19.7°C ，坝前分层现象最为明显。水位下降和出流对库底水略有扰动，其低温区范围有所减小，厚度 40m 左右。

8 月气温虽有所降低，但太阳辐射仍然较高，且受 7 月、8 月高温的持续作用影响，库区水体蓄积热量较多，同时 7 月入库水体含沙量高达 29.2 kg/m^3 ，入库高温水体以浑水异重流方式前进，使得库区水体升温明显，坝前垂向温差降至 18.8°C ，由于取水口位置较高，使得库底仍然蓄有一部分的低温水体。

9 月的气温、太阳辐射、入流水温较 8 月均略有下降，月均入库流量达到全年最高，为 $1141.6\text{ m}^3/\text{s}$ ，入库含沙量 3.0 kg/m^3 。来流水温略低于库区水温，加之泥沙的影响，来流水迅速潜入库底，且推进速度较快，坝前库底水温由 8 月的 5.0°C 升至 11.8°C ，垂向温差进一步减小至 10.9°C 。10 月由于持续的水体下潜，虽然来流水温有所降低，但库

底水温上升至全年最高 17.3℃。

11 月~12 月气温、入流水温和太阳辐射的显著减低，坝前水位有所增加，入流低温水在库尾不断下潜，水体向大气散失热量，库区水温整体下降明显，分层强度逐渐变弱，11 月、12 月坝前垂向平均水温分别为 12.4℃、7.4℃。表层水温下降驱动了垂向掺混，垂向温差分别降至 2.2℃和 2.4℃。进入 12 月后，入流水温逐渐降至 4℃以下，入流低温水进入库尾高水温区域，库尾逐渐形成逆温分布。

2. 丰水年

图 8.1.4-2 为对应的坝前垂向水温分布，表 8.1.4-2 给出了对应的坝前月均表层、库底水温及温差。

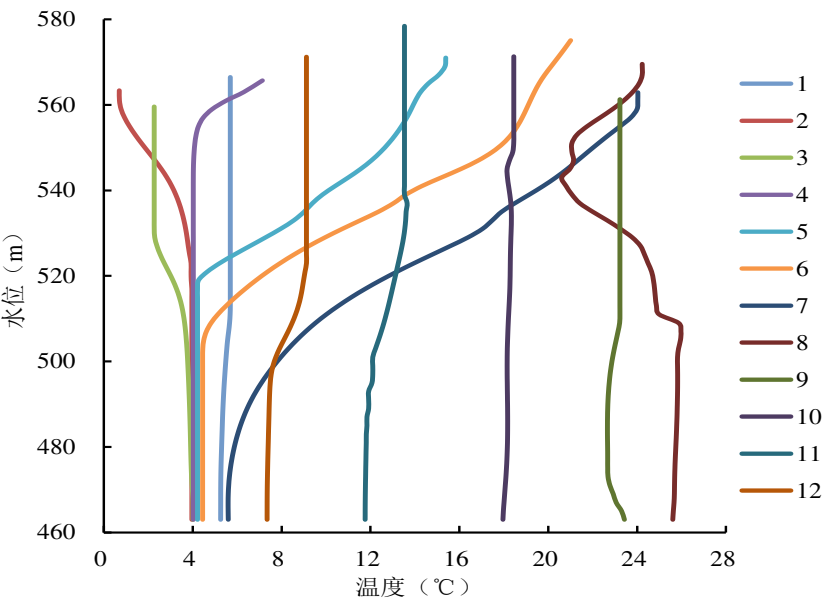


图 8.1.4-2 拦沙初期丰水年坝前水温分布

表 8.1.4-2 拦沙初期丰水年坝前月均表层、库底水温及温差 单位：℃

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
库表水温	5.7	0.7	2.3	7.1	15.4	21.0	24.0	24.2	23.2	18.4	13.5	9.1
库底水温	5.3	4.0	4.0	4.0	4.2	4.4	5.6	25.6	23.4	18.0	11.8	7.3
表底温差	0.4	-3.3	-1.7	3.1	11.2	16.6	18.4	-1.4	-0.2	0.4	1.7	1.8
垂向平均	5.5	3.4	3.2	4.2	7.4	10.1	12.7	24.2	23.0	18.2	12.8	8.4

丰水年的水温结构及年内演变规律与平水年相似。1 月库区水温受低气温、低入流的影响，库区水温逐渐下降，库尾低温水密度较小，以浮力流的方式向坝前推进。2 月低温水持续推进至坝前，库区垂向水温结构演变为逆温分布。3 月气温、太阳辐射开始回升，上层水体逐渐升温，水库开始过渡为同温状态。随着气温、入流水温不断攀升，

入库流量也保持较高水平，库区水温不断升高，库区垂向开始形成分层。随后在外界气温等逐渐增强的环境下，库区水温分层强度不断增加，垂向温差在 7 月扩大至 18.4℃，7 月由于入库含沙量增加，库底水温小幅上升，2~7 月库底水温稳定在 4.0~5.6℃，水温变化较小。8 月受高含沙水流的影响，库区存在显著的浑水异重流现象，库底水温升高至 25.6℃为全年最高，且 8 月坝前水温结构被破坏，9 月随着入流含沙量的降低，水温结构在温差的作用下重新趋于同温，垂向温差为-0.2℃。10~12 月开始，气温、入流水温急转直下，库表水温受气象影响而降低，库底水温则受入流影响而降低。

与平水年相比，拦沙初期丰水年年均流量增加了 18.7%，平均水位也下降约 3.0m，除 8 月份以外，库区水温分层结构和年内库区水温演替规律与平水年几乎相同。由于流量、水位及入流含沙量的改变，丰水年库区水温呈现出一定的差异，主要体现在：（1）平水年垂向平均水温最大为 19.7℃（9 月），丰水年垂向最大平均水温有所增加为 24.2℃（8 月），年均垂向平均水温较平水年（9.4℃）也有所升高，为 11.1℃，库区热量总体增加。（2）由于丰水年汛期 7、8 月份入出库流量及含沙量均有所增加，使得库区浑水异重流现象明显，局部时段垂向水温出现倒温分布。

3. 枯水年

图 8.1.4-3 为对应的坝前垂向水温分布，表 8.1.4-3 给出了对应的坝前月均表层、库底水温及温差。

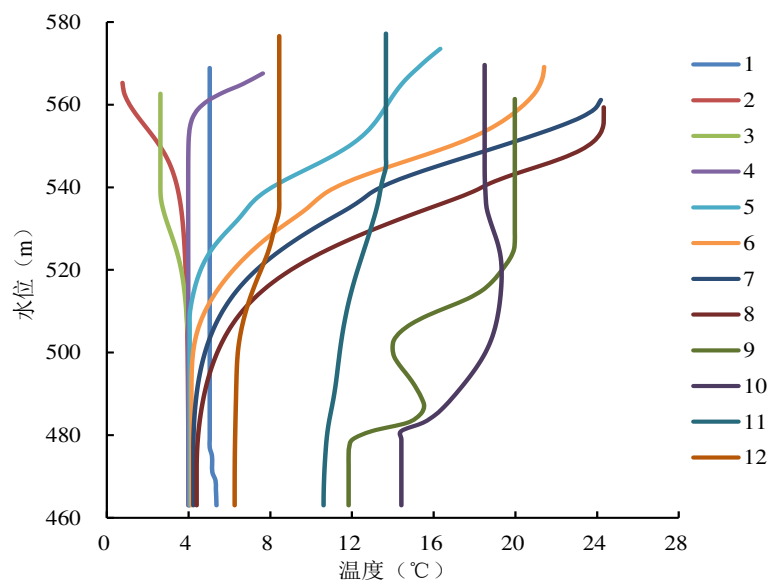


图 8.1.4-3 拦沙初期枯水年坝前水温分布

表 8.1.4-3 拦沙初期枯水年坝前月均表层、库底水温及温差 单位: °C

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
库表水温	5.0	0.8	2.6	7.6	16.3	21.4	24.2	24.3	20.0	18.5	13.7	8.4
库底水温	5.4	4.0	4.0	4.0	4.1	4.1	4.2	4.4	11.8	14.4	10.6	6.3
表底温差	-0.4	-3.2	-1.4	3.6	12.2	17.3	20.0	19.9	8.2	4.1	3.1	2.1
垂向平均	5.1	3.4	3.5	4.2	7.1	8.9	9.2	10.5	16.7	17.7	12.3	7.4

较平水年而言，拦沙初期枯水年年均流量减小了 12%，平均水位下降约 1.5m，但两典型年库区水温分层结构相似，年内库区水温演替规律也类似。

1 月库区水温受低气温、低入流的影响，库区水温逐渐下降，库尾低温水密度较小，以浮力流的方式向坝前推进。由于泥沙异重流和温差异重流的双重影响，低温水向坝前推进速度较慢，2 月坝前呈逆温分布状态，直到 3 月，坝前表层水温开始升高，逐渐向同温过渡。随后 4 月开始，气温、入流水温不断攀升，入库流量也保持较高水平，库区水温不断升高，垂向上开始分层，且 4~8 月分层强度不断增加，期间库表最高水温 24.3℃（8 月），最大垂向温差 20.0℃，库底水温稳定在 4.0~4.4℃。9 月受 8 月持续高含沙水流入流以及大流量底孔泄洪的影响，库区稳定的水温分层结构被破坏，库底水温上升至 11.8℃，垂向温差也降至 8.2℃。10 月垂向温差减小至 4.1℃，随后 11 月和 12 月在气温和入流水温的影响下，垂向温差进一步减小，分别为 3.1℃和 2.2℃。

8.1.4.2 拦沙后期

1. 平水年

图 8.1.4-4 为对应的坝前水温分布，表 8.1.4-4 给出了对应的坝前库表、库底水温及其温差。

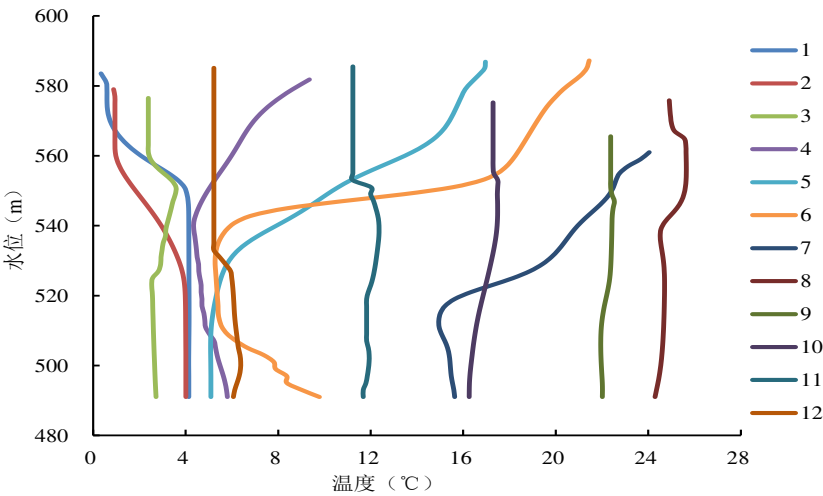


图 8.1.4-4 拦沙后期平水年坝前垂向水温分布

表 8.1.4-4 拦沙后期平水年坝前月均表层、库底水温及温差 单位: °C

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
库表水温	0.3	0.9	2.4	9.4	17.0	21.4	24.0	24.9	22.4	17.3	11.2	5.2
库底水温	4.1	4.0	2.7	5.8	5.1	9.8	15.6	24.3	22.0	16.3	11.7	6.1
表底温差	-3.8	-3.1	-0.3	3.6	11.9	11.6	8.4	0.6	0.4	1.0	-0.5	-0.9
垂向平均	3.2	2.8	2.8	5.5	9.4	11.6	18.6	24.9	22.2	17.0	11.7	5.6

拦沙后期水温分层强度较拦沙初期进一步弱化,接近于混合型水温结构,但仍属于季节分层型水温结构。

1 月古贤水库在低气温、低入流水温的作用下,库区水温呈逆温分布,水库被冰盖覆盖,坝前表层水温为 0.3℃,库底水温约 4.1℃。2 月库区由于库尾低温水的持续进入,库内表层低温区进一步扩大,表层水温约为 0.9℃,库区水温结构仍呈逆温分布,库底水温为 4.0℃,但由于垂向热传导作用,低温水占比不断减小,垂向平均水温 2.8℃,库区水温降至年内最低。

3 月库区水温受到来流和大气的加热作用逐渐升高,水温结构从逆温分布过渡到同温状态,并进一步转向弱分层状态。4 月入流水体沿着库表以浮力流的方式流动,库区水温开始分层,坝前表层水温上升至 9.4℃,垂向温差达到 3.6℃,同时水温受到泥沙异重流影响,库中部较高温度的水体沿库底向坝前推进。

5 月来流水温和气温大幅提升,水温分层现象有所加强,坝前表层水温由 4 月的 9.4℃上升至 17.0℃,垂向温差达到 11.9℃,垂向温差主要出现在取水口至库表范围内,而取水口底板高程以下的水体基本不受扰动,升温比较缓慢,仍保持较低的温度。6 月月均气温升至 23.2℃,月均入流水温 23.5℃,坝前表层水温升高至 21.4℃,库底水温约 9.8℃,表底温差达到 11.6℃,库区水温分层强度进一步加大,受含沙异重流影响,最大温度梯度出现在库中取水口上方 10m 范围内,为 1.1℃/m。

7 月的入库、出库流量较前几个月有所降低,坝前水位也降至年内最低,入流水温和气温升至全年最高,但入流水体含沙量月均达到 29.2kg/m³,浑水异重流的下潜使得库底水温升高明显,坝前库底水温较 6 月升高了 5.8℃,库区水温分层变弱。受含沙水流和较大入流高温水的持续作用,8 月库区进一步升高,坝前垂向平均水温达全年最高,为 24.9℃,携沙异重流位置上升,库区中上部水体水温较高,约为 25.6℃,全库区基本为同温状态。

9月气温、太阳辐射较8月均略有下降，表层水体开始失热而使得表层水温有所下降，但库区水温仍旧趋近于同温，由于入流水温有所降低且携带泥沙，入流水体进入库区后发生明显下潜现象。10~12月库区水温持续显著下降，库表水温由10月的17.3℃降为12月5.2℃，垂向温差也逐渐降至全年最低，库区水温演变为同温状态。库尾低温水，进入库区后又向库底下潜、爬行逐渐转变为冷水浮力流，随着库尾水体逆温分布的出现，库表过冷却进而发生冰情现象。

2. 丰水年

图 8.1.4-5 为对应的坝前水温分布，表 8.1.4-5 给出了对应的坝前库表、库底水温及其温差。

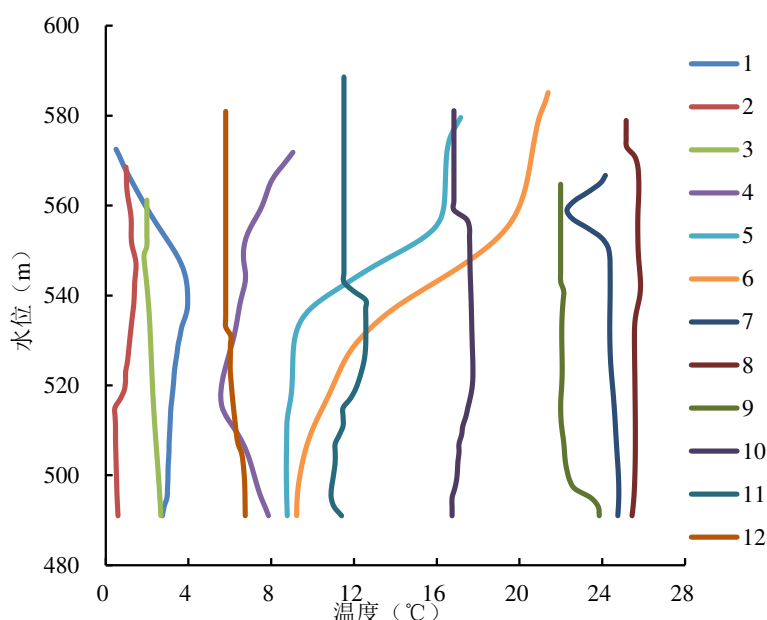


图 8.1.4-5 拦沙后期丰水年坝前垂向水温分布

表 8.1.4-5 拦沙后期丰水年坝前月均表层、库底水温及温差 单位：℃

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
库表水温	0.5	1.0	2.0	9.0	17.2	21.4	24.2	25.2	22.0	16.8	11.5	5.8
库底水温	2.7	0.6	2.7	7.9	8.8	9.2	24.8	25.4	23.9	16.7	11.4	6.7
表底温差	-2.2	0.4	-0.7	1.1	8.4	12.2	-0.6	-0.2	-1.9	0.1	0.1	-0.9
垂向平均	2.9	1.0	2.2	6.8	11.8	15.0	24.3	25.6	22.2	17.3	11.6	6.0

总体来看，拦沙后期丰水年与平水年水温结构相似。受气温条件影响，库区坝前水温在2月最低，坝前断面垂向平均水温为1.0℃，库区水温在0.4℃~1.5℃之间，且库底水温低于库表，主要是1月低温水下潜所致。进入3月，气温和太阳辐射升幅加大，

库区水温升高明显，坝前垂向平均水温约 2.2℃，来流水本身密度较大加之泥沙影响，在库尾下潜至库底。随着气温和入库水温的升高，库区水温上升明显，于 8 月表层和坝前平均水温升至最高，分别为 25.2℃和 25.6℃，中上部水体受泥沙异重流影响，水温较表层高 0.7℃。9~12 月库区水温持续下降，库表水温由 9 月份的 22.0℃降至 12 月的 5.8℃。

3. 枯水年

图 8.1.4-6 为对应的坝前水温分布，表 8.1.4-6 给出了对应的坝前库表、库底水温及其温差。

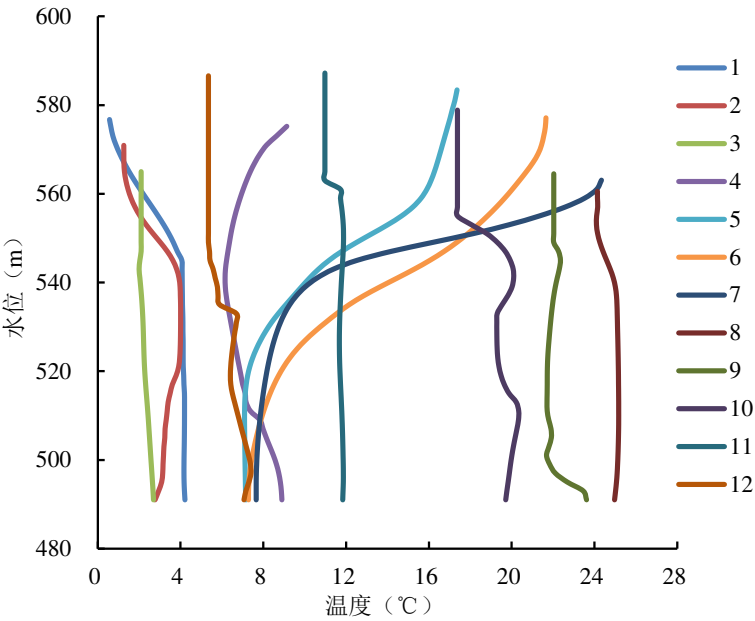


图 8.1.4-6 拦沙后期枯水年坝前垂向水温分布

表 8.1.4-6 拦沙后期枯水年坝前月均表层、库底水温及温差 单位：℃

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
库表水温	0.6	1.3	2.1	9.1	17.4	21.7	24.3	24.1	22.0	17.4	11.0	5.3
库底水温	4.2	2.8	2.7	8.9	7.2	7.3	7.7	25.0	23.6	19.7	11.8	7.1
表底温差	-3.6	-1.5	-0.6	0.2	10.2	14.4	16.6	-0.9	-1.6	-2.3	-0.8	-1.8
垂向平均	3.4	3.0	2.3	7.3	11.1	13.4	11.5	24.9	22.0	19.0	11.6	6.1

拦沙后期枯水年较平水年而言，平均水位下降约 3.8m，但库区水温分层结构十分相似，年内库区水温演替规律总体相同。

8.1.4.3 正常运用期

表 8.1.4-7~9，图 8.1.4-7~15 为古贤水库正常运用期各典型年库区河段沿程水温过程。

表 8.1.4-7 正常运用期平水年库区河段沿程水温 单位: °C

距吴堡 (km)	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
0.0	0.1	0.8	4.0	13.3	18.9	23.5	25.4	25.6	20.5	14.2	6.2	0.6
12.7	0.1	0.8	4.1	13.3	18.9	23.6	25.6	25.6	20.5	14.2	6.1	0.5
24.3	0.0	0.8	4.1	13.4	19.0	23.6	25.8	25.6	20.5	14.1	6.1	0.5
52.6	0.0	0.6	4.3	13.4	19.1	23.7	26.1	25.6	20.5	14.0	5.9	0.4
80.0	0.0	0.2	4.5	13.4	19.2	23.7	26.4	25.6	20.5	14.0	5.9	0.4
103.3	0.0	0.0	4.6	13.3	19.1	23.6	26.7	25.7	20.5	14.0	6.2	0.5
129.7	0.0	0.0	4.3	12.7	18.9	23.2	26.8	25.8	20.6	14.1	6.9	0.8
156.3	0.0	0.0	3.7	11.9	18.5	22.8	26.9	25.9	20.8	14.4	7.8	1.3
180.3	0.0	0.0	3.1	10.8	18.0	22.4	27.0	26.1	21.2	14.8	8.7	2.0
184.1	0.0	0.0	2.9	10.7	17.8	22.3	27.0	26.1	21.2	14.8	8.9	2.2
202.5	0.0	0.0	2.6	10.2	17.5	22.0	26.9	26.3	21.5	15.1	9.3	2.6
沿程温差	-0.1	-0.8	-1.4	-3.1	-1.4	-1.5	1.5	0.7	1.0	0.9	3.1	2.0

表 8.1.4-8 正常运用期丰水年库区河段沿程水温 单位: °C

距吴堡 (km)	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
0.0	0.1	0.8	4.0	13.3	18.9	23.5	25.4	25.6	20.5	14.2	6.2	0.6
12.7	0.1	0.8	4.1	13.3	19.0	23.5	25.5	25.6	20.5	14.2	6.1	0.5
24.3	0.1	0.8	4.1	13.4	19.0	23.6	25.6	25.6	20.5	14.2	6.0	0.4
52.6	0.0	0.8	4.3	13.4	19.1	23.7	25.8	25.6	20.5	14.1	5.8	0.2
80.0	0.0	0.4	4.5	13.5	19.3	23.7	26.0	25.7	20.5	14.1	6.0	0.2
103.3	0.0	0.1	4.6	13.6	19.3	23.7	26.2	25.7	20.5	14.2	6.6	0.4
129.7	0.0	0.0	4.7	13.6	19.3	23.6	26.4	25.7	20.7	14.4	7.6	0.8
156.3	0.0	0.0	4.6	13.3	19.1	23.3	26.5	25.9	20.9	14.7	8.7	1.5
180.3	0.0	0.0	4.5	12.9	18.8	23.0	26.6	26.0	21.2	15.1	9.6	2.4
184.1	0.0	0.0	4.4	12.8	18.8	22.9	26.6	26.0	21.2	15.2	9.8	2.5
202.5	0.0	0.0	4.1	12.5	18.6	22.6	26.5	26.1	21.5	15.4	10.1	3.0
沿程温差	-0.1	-0.8	0.1	-0.8	-0.3	-0.9	1.1	0.5	1.0	1.2	3.9	2.4

表 8.1.4-9 正常运用期枯水年库区河段沿程水温 单位: °C

距吴堡 (km)	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
0.0	0.1	0.8	4.0	13.3	18.9	23.5	25.4	25.6	20.5	14.2	6.2	0.6
12.7	0.1	0.7	4.1	13.3	18.9	23.4	25.4	25.5	20.5	14.1	6.1	0.5
24.3	0.0	0.6	4.1	13.3	18.9	23.4	25.5	25.4	20.4	14.0	6.1	0.5
52.6	0.0	0.5	4.3	13.3	19.0	23.9	25.8	25.7	20.4	13.9	5.9	0.4
80.0	0.0	0.2	4.6	13.5	19.3	24.1	26.3	25.8	20.3	13.9	6.0	0.4
103.3	0.0	0.1	4.7	13.5	19.3	24.1	26.4	26.0	20.5	13.9	6.3	0.5
129.7	0.0	0.0	4.8	13.3	19.1	23.8	26.6	26.0	20.6	14.2	7.0	0.9
156.3	0.0	0.0	4.7	13.0	18.8	23.4	26.8	26.1	20.8	14.8	7.8	1.6
180.3	0.0	0.0	4.3	12.4	18.4	22.8	26.8	26.2	21.2	15.4	8.7	2.4
184.1	0.0	0.0	4.3	12.3	18.4	22.7	26.8	26.3	21.3	15.6	8.8	2.6
202.5	0.0	0.0	3.9	11.9	18.1	22.5	26.7	26.4	21.5	15.9	9.2	3.0
沿程温差	-0.1	-0.8	-0.1	-1.4	-0.8	-1.0	1.3	0.8	1.0	1.7	3.0	2.4

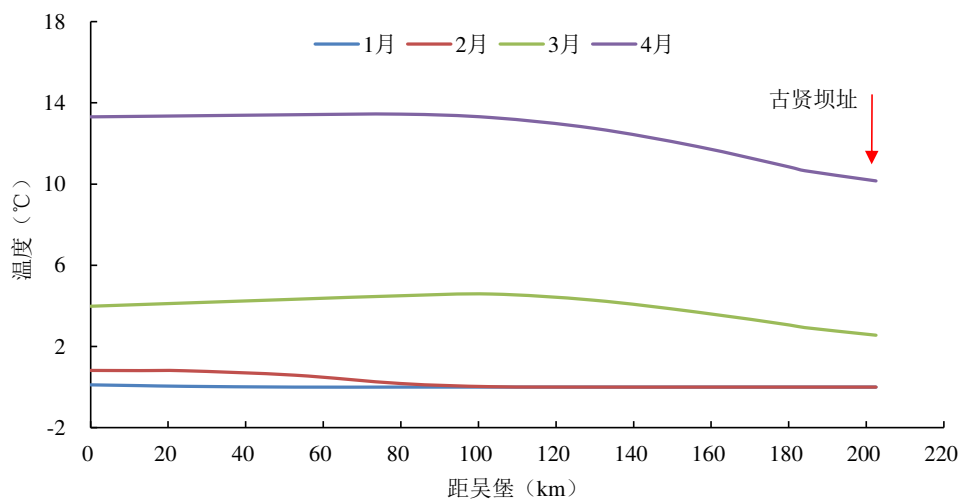


图 8.1.4-7 正常运用期平水年库区河段沿程水温（1~4 月）

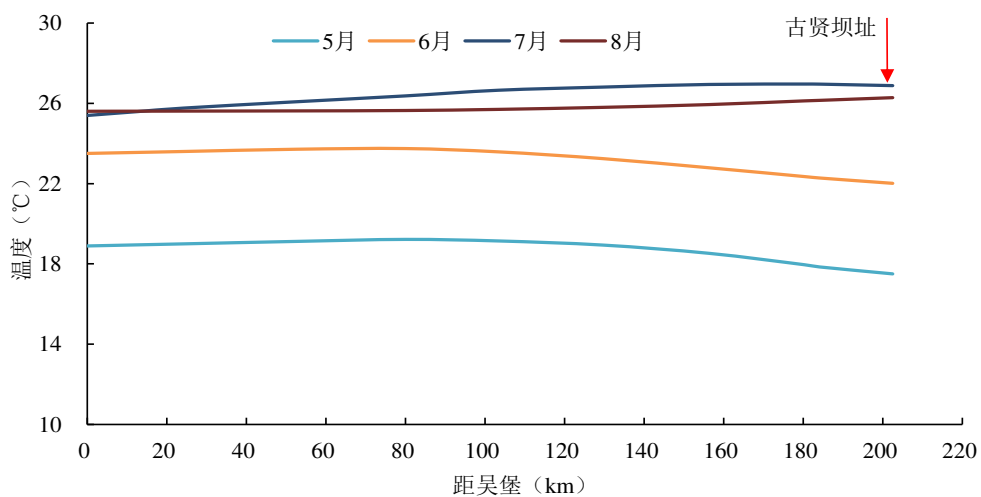


图 8.1.4-8 正常运用期平水年库区河段沿程水温（5~8 月）

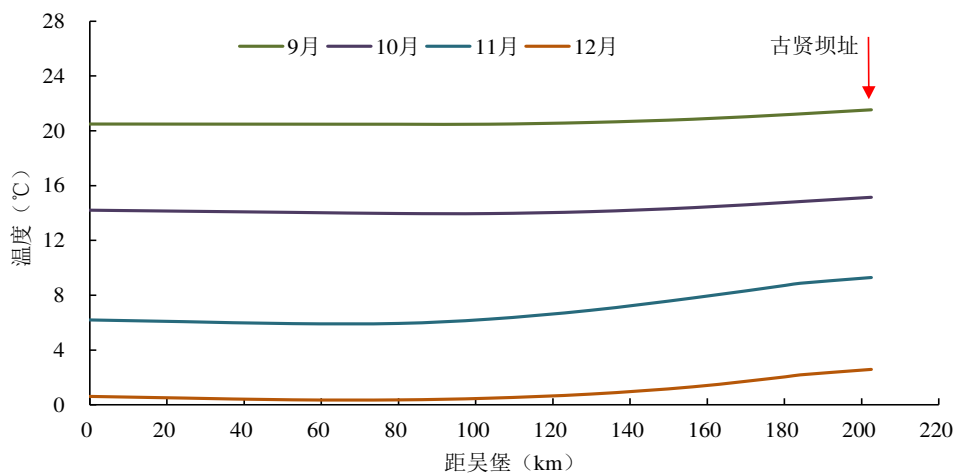


图 8.1.4-9 正常运用期平水年库区河段沿程水温（9~12 月）

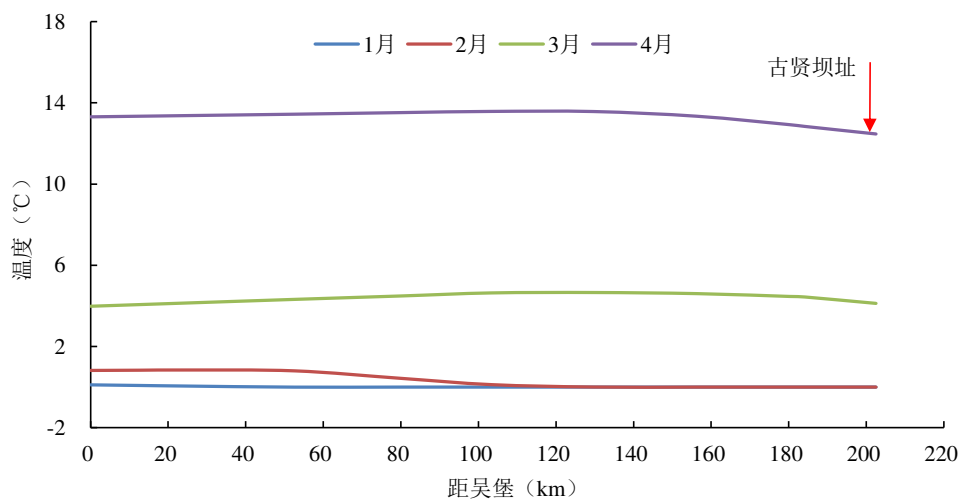


图 8.1.4-10 正常运用期丰水年库区河段沿程水温（1~4 月）

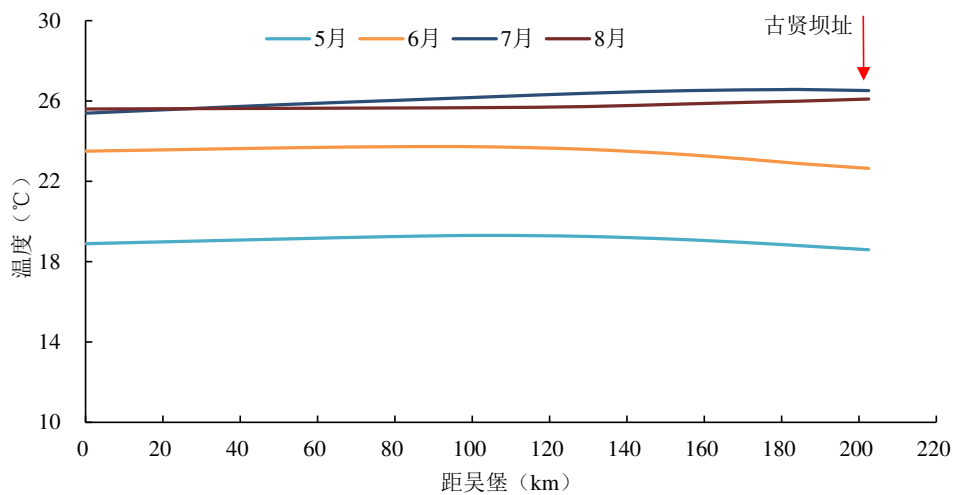


图 8.1.4-11 正常运用期丰水年库区河段沿程水温（5~8 月）

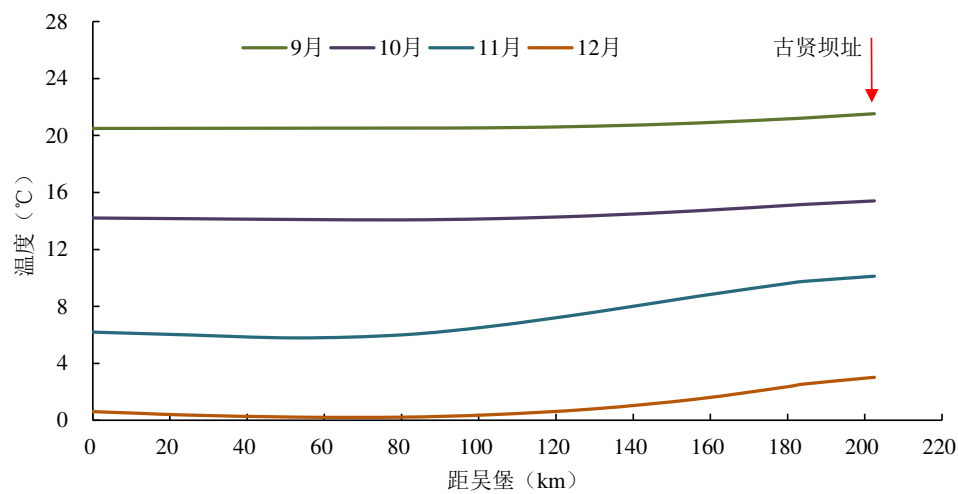


图 8.1.4-12 正常运用期丰水年库区河段沿程水温（9~12 月）

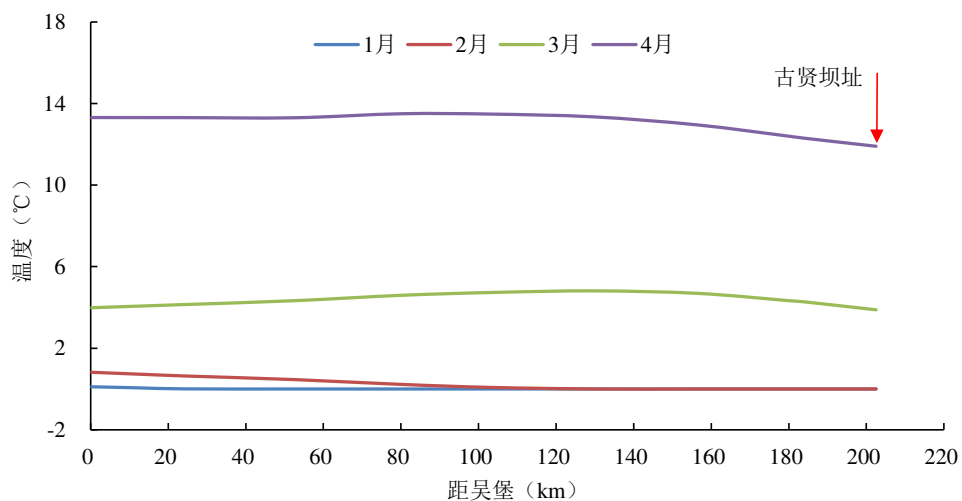


图 8.1.4-13 正常运用期枯水年库区河段沿程水温 (1~4 月)

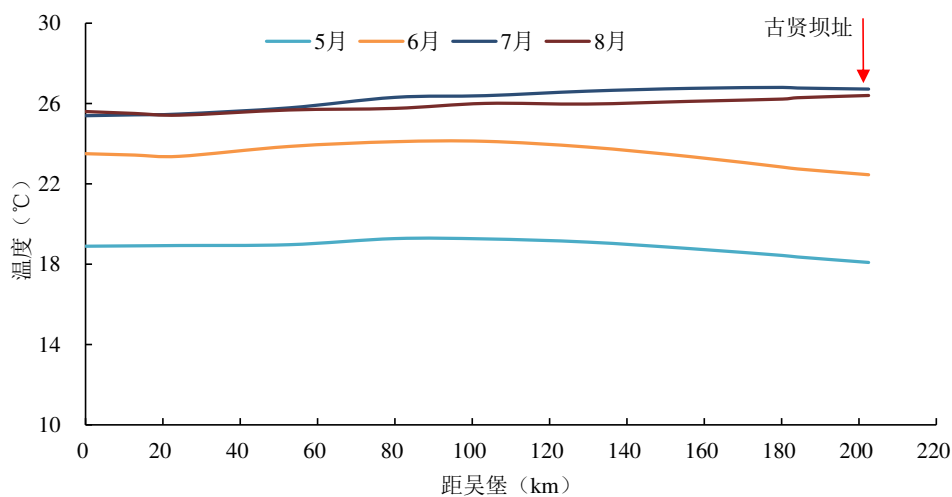


图 8.1.4-14 正常运用期枯水年库区河段沿程水温 (5~8 月)

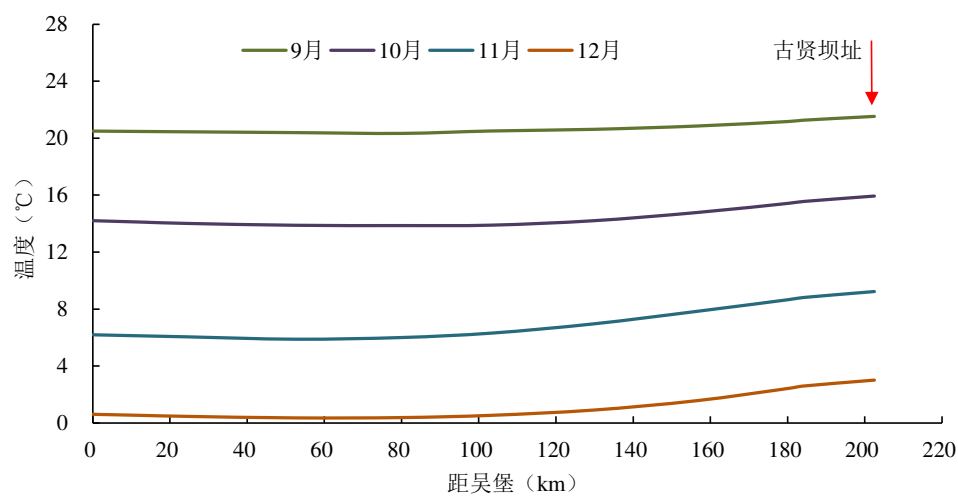


图 8.1.4-15 正常运用期枯水年库区河段沿程水温 (9~12 月)

正常运用期古贤水库库容与水深减小、流速加大，库区水流和温度均具有显著的河流特征，但筑坝对水体的滞留影响造成的水温延迟仍不可避免。同时各月的影响幅度具体受到入流流量和水库调度的共同作用及差异而有所变化，但小于拦沙初期和拦沙后期。

8.1.5 单层取水下泄水温影响预测

8.1.5.1 下泄水温规律分析

1. 拦沙初期

表 8.1.5-1 及图 8.1.5-1 给出了古贤水库拦沙初期各典型年月均下泄水温过程及其与坝址天然水温的差值。

表 8.1.5-1 拦沙初期各典型年下泄水温 单位：℃

月份	坝址天然水温	平水年	丰水年	枯水年	B-A	C-A	D-A
	A	B	C	D			
1 月	0.1	4.9	5.6	5.0	4.8	5.5	4.9
2 月	1.4	2.1	1.8	2.2	0.7	0.4	0.8
3 月	5.4	2.9	2.7	3.0	-2.5	-2.7	-2.4
4 月	13.6	4.4	5.2	5.4	-9.2	-8.4	-8.2
5 月	18.8	11.4	13.4	12.7	-7.4	-5.4	-6.1
6 月	23.7	15.6	18.6	17.2	-8.1	-5.1	-6.5
7 月	25.8	21.6	21.8	19.2	-4.2	-4.0	-6.6
8 月	25	22.7	23.0	21.7	-2.3	-2.0	-3.3
9 月	20.8	22.4	23.2	19.3	1.6	2.4	-1.5
10 月	14.7	18.4	18.4	18.4	3.7	3.7	3.7
11 月	7.7	13.3	13.4	13.5	5.6	5.7	5.8
12 月	0.9	8.4	9.0	8.4	7.5	8.1	7.5
平均	13.2	12.4	13.0	12.2	-0.8	-0.2	-1.0

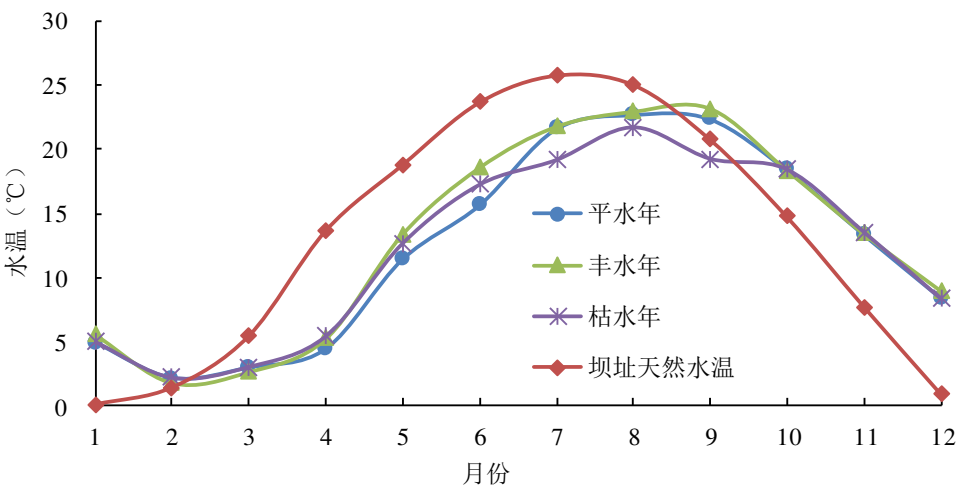


图 8.1.5-1 拦沙初期各典型年下泄水温过程

由于古贤水库拦沙初期库容较大，水库热量储蓄调节能力较强，水库建成后电站下泄水温较坝址天然水温过程的改变比较显著。对于拦沙初期各典型年，由于电站取水口取水深度大（底板高程 545m），加之水库蓄热能力较强，库区水温分层现象显著，下泄水温在升温期的低温水现象和降温期的高温水现象均较为突出。下泄低温水幅度较大的时段主要体现在 4~7 月，此时段入出库流量均较小，垂向水温分层显著，由于水库调节能力强，库水替换次数小，加之天然河道水温升温迅速，使得升温期库中停留的低温水体得不到有效置换。秋冬季由于水库处于高水位运行，水库入出库流量小，水库春夏季积蓄的热量保留在水库内，气温和来流影响有限，使得高温水现象也较为明显。另一方面，由于含沙入流的影响，入流水体多在库尾下潜而后由于泥沙的沉降而上浮，使得较高或较低的水体到达坝前的时间推迟，坝前水体的替换次数相对较低，因而使得高温水、低温水的影响幅度均较大。底孔泄洪将库底低温水下泄也在一定程度上加重了低温水幅度，如平水年和枯水年 6 月低温水幅度显著高于 5 月。

古贤水库拦沙初期在平水年的工况下，电站下泄水温年均为 12.4℃，最高水温为 22.7℃，出现在 8 月，最低水温为 2.1℃，出现在 2 月，年内变幅达 20.6℃。与坝址天然水温相比，电站存在明显的下泄低温水和高温水影响，4 月~7 月平均低 7.2℃，4 月月低温水最为显著，月均降低 9.2℃，11 月~翌年 1 月高温水幅度平均为 6.0℃，最大幅度 7.5℃（12 月）。

2. 拦沙后期

表 8.1.5-2 及图 8.1.5-2 给出了古贤水库拦沙后期各典型年月均下泄水温过程及其与坝址天然水温的差值。

表 8.1.5-2 拦沙后期各典型年下泄水温 单位：℃

月份	坝址天然水温	平水年	丰水年	枯水年	B-A	C-A	D-A
	A	B	C	D			
1 月	0.1	2.3	2.6	2.6	2.2	2.5	2.5
2 月	1.4	1.4	1.3	2.4	0.0	-0.1	1.0
3 月	5.4	2.9	2.2	2.5	-2.5	-3.2	-2.9
4 月	13.6	6.0	7.8	7.5	-7.6	-5.8	-6.1
5 月	18.8	11.7	15.2	14.0	-7.1	-3.6	-4.8
6 月	23.7	16.4	19.6	18.1	-7.3	-4.1	-5.6
7 月	25.8	22.6	23.4	18.6	-3.2	-2.4	-7.2
8 月	25	24.9	25.4	24.3	-0.1	0.4	-0.7
9 月	20.8	22.7	22.5	22.5	1.9	1.7	1.7
10 月	14.7	17.2	17.2	18.1	2.5	2.5	3.4

月份	坝址天然水温	平水年	丰水年	枯水年	B-A	C-A	D-A
	A	B	C	D			
11 月	7.7	11.4	11.5	11.4	3.7	3.8	3.7
12 月	0.9	5.3	5.9	5.5	4.4	5.0	4.6
平均	13.2	12.1	12.9	12.3	-1.1	-0.3	-0.9

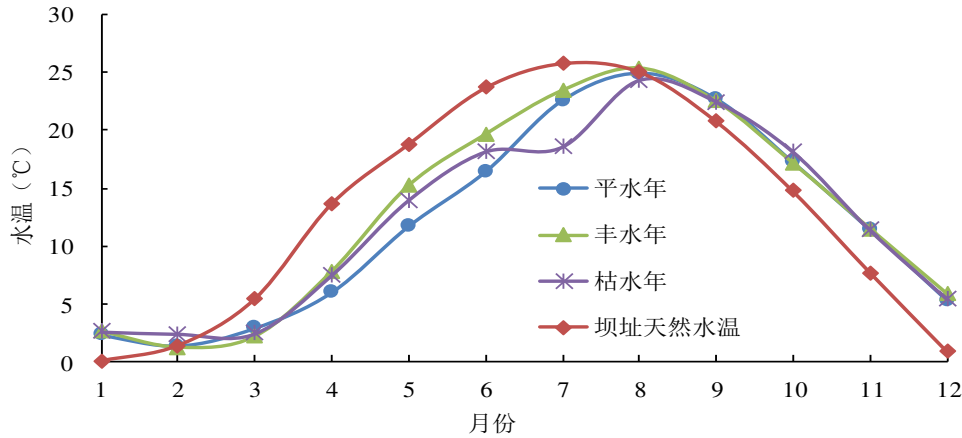


图 8.1.5-2 拦沙后期各典型年下泄水温过程

与拦沙初期相比，拦沙后期水库的库容有所减小，高、低温水影响程度均有所减弱，但水库的蓄热作用仍十分明显，下泄水温的延迟效应较显著。由于泥沙淤积的影响，坝前库底高程由拦沙初期的 460m 升高至 490m，取水口到库底的距离减小，库底低温水容易受到扰动，水库库容也相应大幅度减少，使得其水温影响幅度有所降低。平水年最大低温水幅度从拦沙初期的 9.2℃降低至拦沙后期的 7.6℃，丰水年从最大低温水幅度从拦沙初期的 8.4℃降低至拦沙后期的 5.8℃，枯水年最大低温水幅度从拦沙初期的 8.2℃降低至拦沙后期的 7.2℃。

平水年工况下，拦沙后期电站下泄水温年均为 12.1℃，最高水温为 24.9℃，出现在 8 月，最低水温为 1.4℃，出现在 2 月，年内变幅为 23.5℃。与坝址天然水温相比，电站下泄水温存在明显的低温水和高温水影响，4 月~7 月平均降低 6.3℃，4 月低温水最为显著为 7.6℃；11 月~翌年 1 月平均高温水幅度为 3.4℃，最大高温水幅度 4.4℃（12 月）。

3. 正常运用期

表 8.1.5-3 及图 8.1.5-3 给出了古贤水库正常运用期各典型年月均下泄水温过程及其与坝址天然水温的差值。

表 8.1.5-3 正常运用期各典型年下泄水温 单位：℃

月份	坝址天然水温	平水年	丰水年	枯水年	B-A	C-A	D-A
	A	B	C	D			
1 月	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1
2 月	1.4	0.0	0.0	0.0	-1.4	-1.4	-1.4
3 月	5.4	2.6	4.1	3.9	-2.8	-1.3	-1.5
4 月	13.6	10.2	12.5	11.9	-3.4	-1.1	-1.7
5 月	18.8	17.5	18.6	18.1	-1.3	-0.2	-0.7
6 月	23.7	22.0	22.6	22.5	-1.7	-1.1	-1.2
7 月	25.8	26.9	26.5	26.7	1.1	0.7	0.9
8 月	25.0	26.3	26.1	26.4	1.3	1.1	1.4
9 月	20.8	21.5	21.5	21.5	0.7	0.7	0.7
10 月	14.7	15.1	15.4	15.9	0.4	0.7	1.2
11 月	7.7	9.3	10.1	9.2	1.6	2.4	1.5
12 月	0.9	2.6	3.0	3.0	1.7	2.1	2.1
平均	13.2	12.8	13.4	13.3	-0.4	0.2	0.1

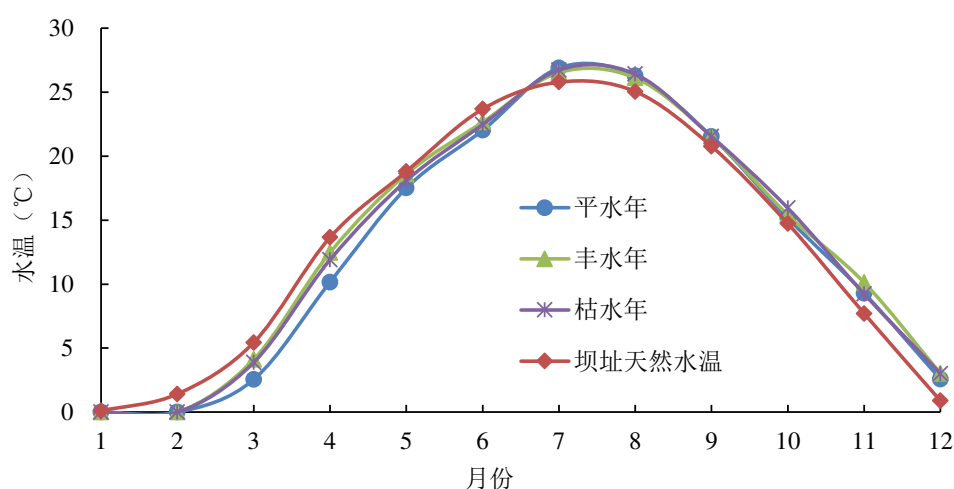


图 8.1.5-3 正常运用期各典型年下泄水温

正常运用期古贤水库受泥沙淤积的影响，库区水深、库容明显减小，但仍存在水库对水流的滞留作用，电站下泄水温具有一定幅度的春夏低温水、秋冬高温水效应，较拦沙初期和拦沙后期的影响幅度明显降低。

8.1.5.2 下泄水温对下游河道影响

古贤水库下游河道的水温预测范围为古贤坝址至潼关水文站处，河段总长约 208km。选取壶口瀑布（10.1km）、龙门水文站（72.5km）、潼关水文站三个断面，通过预测其水温变化过程，分析下泄水温对下游河道的影响。表 8.1.5-4～表 8.1.5-6 为各主要断面的月均水温过程。壶口瀑布断面处，该断面距离坝址仅 10.1km，且河道宽度较小，

水流流速大，水温恢复效果有限，使得不同运用时期各典型年该断面均存在较高幅度的高温水、低温水。龙门水文站断面处，电站下泄水温在沿程 72.5km 与大气作用下，得到了一定程度的恢复。龙门水文站~潼关水文站河段为宽浅游荡性河段，河床坡度较缓（0.4‰），河宽较上游峡谷段大幅度增加，平均河宽约 1.5km，河道流速也大幅度降低，上游水流在该河段内可以与大气进行充分的热交换，水温恢复过程加快，至潼关水文站各工况河道水温基本恢复至天然水平。由上述分析结果推测，至小浪底水库时，河道水温应已恢复至天然水平，因此古贤水库与小浪底水库联合运行时，古贤对黄河下游水温的叠加累积影响较小。

表 8.1.5-4 壶口瀑布断面月均水温过程（单位：℃）

月份	天然水温	拦沙初期			拦沙后期			正常运用期		
		平水年	丰水年	枯水年	平水年	丰水年	枯水年	平水年	丰水年	枯水年
1	0.1	4.6	5.3	4.7	2.1	2.4	2.4	0.0	0.0	0.0
2	1.4	2.1	1.8	2.2	1.4	1.3	2.4	0.1	0.1	0.1
3	5.5	3.1	2.9	3.2	3.1	2.4	2.7	2.8	4.3	4.1
4	13.7	4.9	5.7	5.9	6.4	8.1	7.9	10.4	12.6	12.1
5	18.9	11.9	13.7	13.0	12.1	15.5	14.3	17.7	18.7	18.3
6	23.8	16.1	18.9	17.7	16.5	19.5	18.5	22.2	22.8	22.6
7	25.9	22.0	22.1	19.6	22.9	23.6	19.1	26.9	26.6	26.8
8	25.0	22.9	23.1	22.0	25.0	25.4	24.4	26.3	26.1	26.4
9	20.8	22.3	23.1	19.3	22.5	22.4	22.4	21.5	21.5	21.5
10	14.7	18.2	18.1	18.2	17.0	16.9	17.9	15.0	15.3	15.8
11	7.6	13.0	13.1	13.2	11.2	11.2	11.1	9.1	9.9	9.0
12	0.9	8.0	8.6	8.0	5.1	5.6	5.2	2.4	2.9	2.8
平均	13.2	12.4	13.0	12.2	12.1	12.9	12.4	12.9	13.4	13.3

表 8.1.5-5 龙门水文站断面月均水温过程（单位：℃）

月份	天然水温	拦沙初期			拦沙后期			正常运用期		
		平水年	丰水年	枯水年	平水年	丰水年	枯水年	平水年	丰水年	枯水年
1	0.1	3.8	4.5	3.8	1.4	1.8	1.7	0.0	0.0	0.0
2	1.6	2.1	1.8	2.1	1.4	1.3	2.3	0.3	0.3	0.3
3	5.9	3.6	3.3	3.7	3.6	3.0	3.2	3.3	4.7	4.5
4	13.8	6.1	6.7	7.0	7.8	9.0	8.9	11.1	12.8	12.6
5	18.8	12.9	14.5	14.0	13.4	16.2	15.3	18.2	19.0	18.7
6	23.7	17.2	19.6	18.7	17.8	20.2	19.7	22.6	23.0	23.0
7	25.9	23.0	22.8	20.8	23.9	24.2	20.5	27.0	26.7	26.8
8	24.9	23.3	23.3	22.8	25.1	25.5	24.8	26.2	26.1	26.3
9	20.9	22.1	22.8	19.4	22.3	22.1	22.1	21.5	21.5	21.5
10	14.9	17.6	17.6	17.5	16.5	16.4	17.2	14.8	15.1	15.4
11	8.2	12.1	12.2	12.3	10.4	10.4	10.3	8.6	9.4	8.5
12	1.0	7.2	7.7	7.1	4.4	4.9	4.5	2.1	2.6	2.4
平均	13.3	12.6	13.1	12.4	12.3	12.9	12.5	13.0	13.4	13.3

表 8.1.5-6 潼关水文站月均水温过程（单位：℃）

月份	天然水温	拦沙初期			拦沙后期			正常运用期		
		平水年	丰水年	枯水年	平水年	丰水年	枯水年	平水年	丰水年	枯水年
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.8	1.6	1.7	1.7	1.6	1.6	1.7	1.5	1.5	1.5
3	7.7	7.3	7.6	7.3	7.3	7.2	7.3	7.4	7.6	7.6

月份	天然水温	拦沙初期			拦沙后期			正常运用期		
		平水年	丰水年	枯水年	平水年	丰水年	枯水年	平水年	丰水年	枯水年
4	15.4	14.6	14.8	14.7	14.8	14.7	14.8	15.1	15.1	15.2
5	21.0	20.5	20.6	20.6	20.5	20.6	20.6	20.9	20.9	20.9
6	24.9	23.8	24.6	24.6	24.2	24.3	24.6	24.8	24.7	24.8
7	27.3	27.1	27.2	27.1	27.2	27.1	27.0	27.3	27.3	27.3
8	25.8	25.4	26.0	25.9	25.9	25.9	25.9	26.0	26.0	26.0
9	20.4	20.9	20.9	19.9	20.7	20.8	20.8	20.8	20.7	20.7
10	13.3	13.7	13.5	13.5	13.6	13.6	13.5	13.3	13.3	13.3
11	4.8	5.6	5.6	5.6	5.4	5.4	5.4	5.1	5.3	5.0
12	0.0	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1
平均	13.5	13.4	13.6	13.4	13.5	13.5	13.5	13.5	13.6	13.5

8.1.6 水温恢复措施方案比选

8.1.6.1 分层取水措施的选取

1. 主要分层取水措施介绍

古贤水库建成后库区会出现垂向水温分层的现象，传统的底部取水方式取得的水体水温偏低，下泄低温水易影响鱼类繁殖，危害下游水生态环境。目前分层取水是调控下泄水温的有效措施，国内外主要采用的分层取水措施有叠梁门分层取水、固定式进水口分层取水、浮筒式（套筒）分层取水等。

（1）叠梁门分层取水

叠梁门分层取水措施中叠梁门节数和高度根据取水流量、淹没深度和垂直水温梯度等综合确定，叠梁门为平面钢闸门，主梁采用焊接工字钢结构，各节叠梁上下垂直叠放在门槽中，由坝顶启闭机配合抓梁进行启闭。当库区水位发生变化时可通过适时增减叠梁门数量来调整水流，以达到取表层水的目的。

该措施的优点是取水口结构布置简单、水流流态较好、适应水位变幅大、引水流量大等，缺点是启闭需要通过启闭机根据水位变幅增减叠梁门数量。

（2）固定式进水口分层取水

固定式进水口分层取水需在顺水流方向前后依次布置不同底板高程的取水闸门，分层高度及取水门孔口大小根据水位变幅及取水流量综合确定，取水闸门采用平面钢闸门，采用坝顶移动式启闭机配合抓梁起吊闸门，当水位发生变化时，相应的打开对应的取水门进行取水。

该方案适用于水位变幅小、设计水头较低、引水流量较小的水利工程，由于取水门

前后叠层布置，因此存在闸室段较长、工程投资较大、分层取水不够灵活、水位变幅适应性差、取水流量较小的缺点。

(3) 浮筒式（套筒）分层取水

浮筒式（套筒）分层取水需在取水口前布置一道浮筒式圆盘闸门，浮筒圆盘闸由可调浮箱、取水盘、下浮室、伸缩套筒式导水管等主要部件组成，上大下小方式布置，取水盘与可调浮箱构成取水口，由环形水平导水板与截锥形过渡段组成，其下与下浮室第一节套筒顶部连接，可调浮箱及下浮室是实现水力自控的关键装置，使导水管随库水位的变化而伸缩，带动取水口升降，达到完全的表层水取水目的。闸门检修采用上部移动式启闭机操作。

该方案的优点是利用浮力控制浮筒闸门的升降，不需启闭动力，运行成本较低，表层取水效果较好，取水效率较高。缺点是取水流量小、取水塔结构复杂、工程造价高、安装拆卸复杂等。

2. 古贤水利枢纽工程分层取水措施选取

古贤水利枢纽单机额定流量为 $288.4\text{m}^3/\text{s}$ ，水位变幅达 67m ，因此对分层取水适应性要求高。结合上述不同分层取水方案对比可以看出，固定式进水口分层取水和浮筒式（套筒）分层取水由于其取水流量小、适应水位变幅小、闸室结构复杂等缺点，不适用于古贤水利枢纽。而叠梁门分层取水具有取水流量大、水位变幅适应性强、结构布置简单的优点得以在水利工程中应用广泛，并在锦屏一级、糯扎渡、溪洛渡等大型水电工程已建成并投入运行。因此古贤水利枢纽推荐采用叠梁门分层取水方案，拟选用不同层高的叠梁门方案进行分层取水措施的设计比选。

8.1.6.2 可研给出的分层取水措施比选条件

为了满足坝址下游河道生态用水需求，古贤水库可研阶段进行了分层取水措施设计，分层取水采用叠梁门形式（图 8.1.6-1）。根据库水位变化，启闭顶节叠梁门，保证发电引水流量及上层库水的要求，同时为了保证运行可靠性，拦污栅布置成通高，设置在分层取水叠梁的上游，当主栅需要提出坝面大修时，副栅先放入分层取水叠梁的上部，满足发电引水过栅流速的要求。

根据锦屏、糯扎渡等大型水电工程的经验，本工程顶层最小取水高度为 15m ，即保

证叠梁门顶最小淹没水深为 15m，进水口底坎高程 545.0m，基于此，可研设计单位拟定了 3 种叠梁门层高方案进行比选。

方案一：叠梁门层高 4m；

方案二：叠梁门层高 6m；

方案三：叠梁门层高 8m。

在满足叠梁门门顶淹没水深要求的前提下，各方案不同层高叠梁门的调度运行原则如表 8.1.6-1~3。

表 8.1.6-1 方案一 4m 层高叠梁门调度原则

坝前水位 H(m)	叠梁门层数	淹没水深(m)	门顶高程(m)
$H < 564$	0	-	-
$564 \leq H < 568$	1	15~19	549
$568 \leq H < 572$	2	15~19	553
$572 \leq H < 576$	3	15~19	557
$576 \leq H < 580$	4	15~19	561
$580 \leq H < 584$	5	15~19	565
$584 \leq H < 588$	6	15~19	569
$588 \leq H < 592$	7	15~19	573
$H \geq 592$	依次类推		

表 8.1.6-2 方案二 6m 层高叠梁门调度原则

坝前水位(m)	叠梁门层数	淹没水深(m)	门顶高程(m)
$H < 566$	0	-	-
$566 \leq H < 572$	1	15~21	551
$572 \leq H < 578$	2	15~21	557
$578 \leq H < 584$	3	15~21	563
$584 \leq H < 590$	4	15~21	569
$590 \leq H < 596$	5	15~21	575
$H \geq 596$	依次类推		

表 8.1.6-3 方案三 8m 层高叠梁门调度原则

坝前水位(m)	叠梁门层数	淹没水深(m)	门顶高程(m)
$H < 568$	0	-	-
$568 \leq H < 576$	1	15~23	553
$576 \leq H < 584$	2	15~23	561
$584 \leq H < 592$	3	15~23	569
$592 \leq H < 600$	4	15~23	577
$H \geq 600$	依次类推		

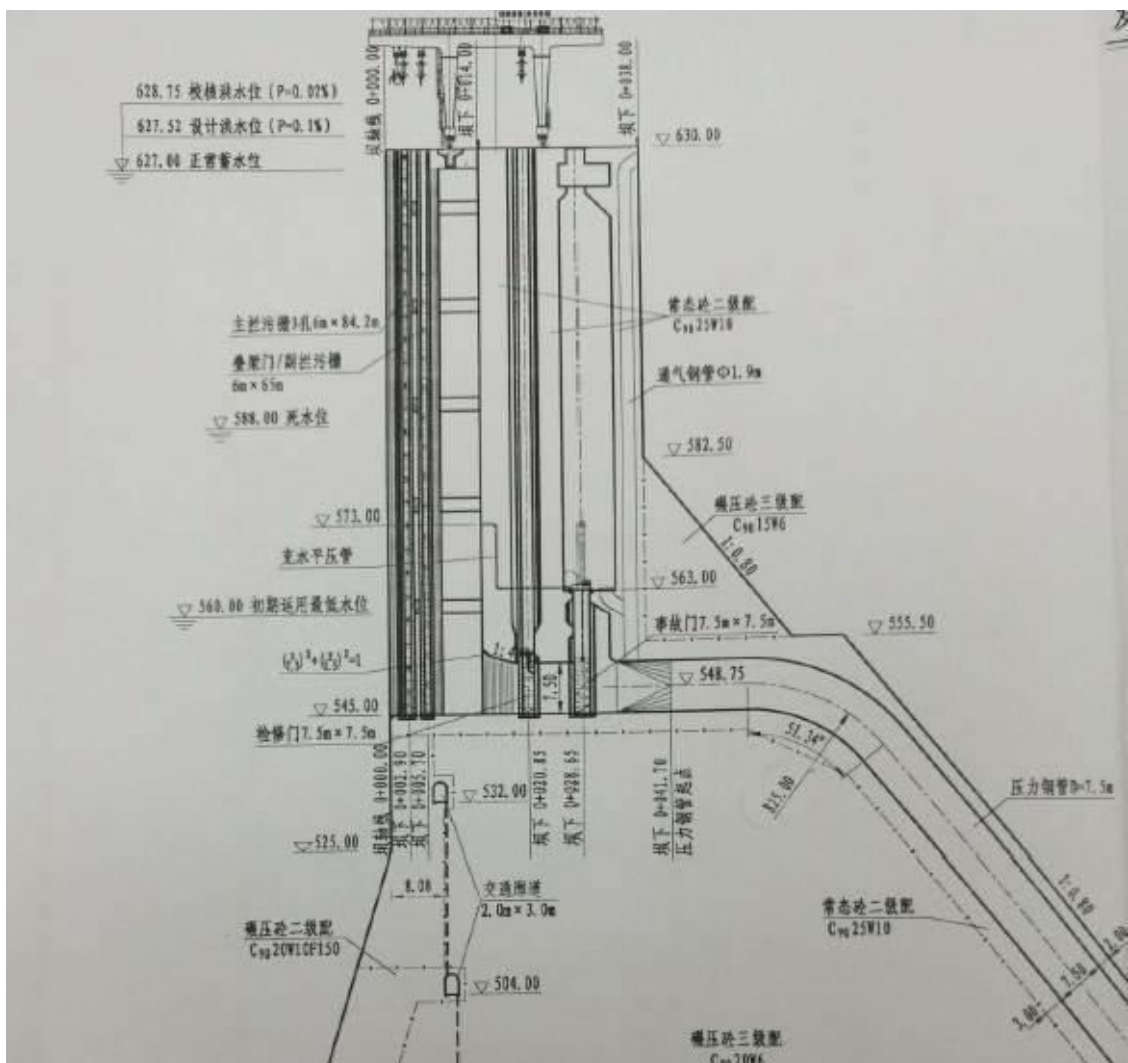


图 8.1.6-1 分层取水叠梁门设计图

根据古贤水库分层取水叠梁门调度运行原则，可推算出拦沙初期、拦沙后期平水年 4~6 月不同层高叠梁门方案下的具体调度过程，如图 8.1.6-2~图 8.1.6-3 所示。

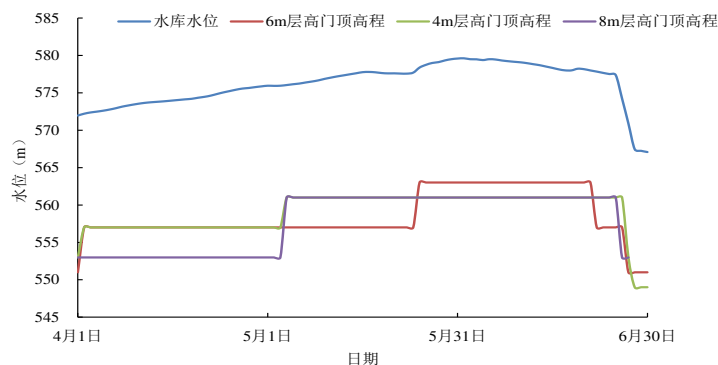


图 8.1.6-2 拦沙初期平水年不同层高叠梁门方案 4~6 月调度情况.

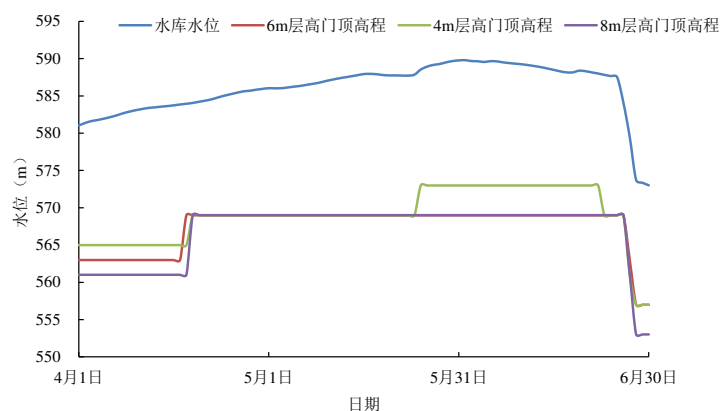


图 8.1.6-3 拦沙后期平水年不同层高叠梁门方案 4~6 月调度情况

8.1.6.3 拦沙初期分层取水措施效果

图 8.1.6-4 及表 8.1.6-4 比较了平水年不同方案分层取水和单层取水方式下 4~6 月古贤水库拦沙初期旬均下泄水温过程。

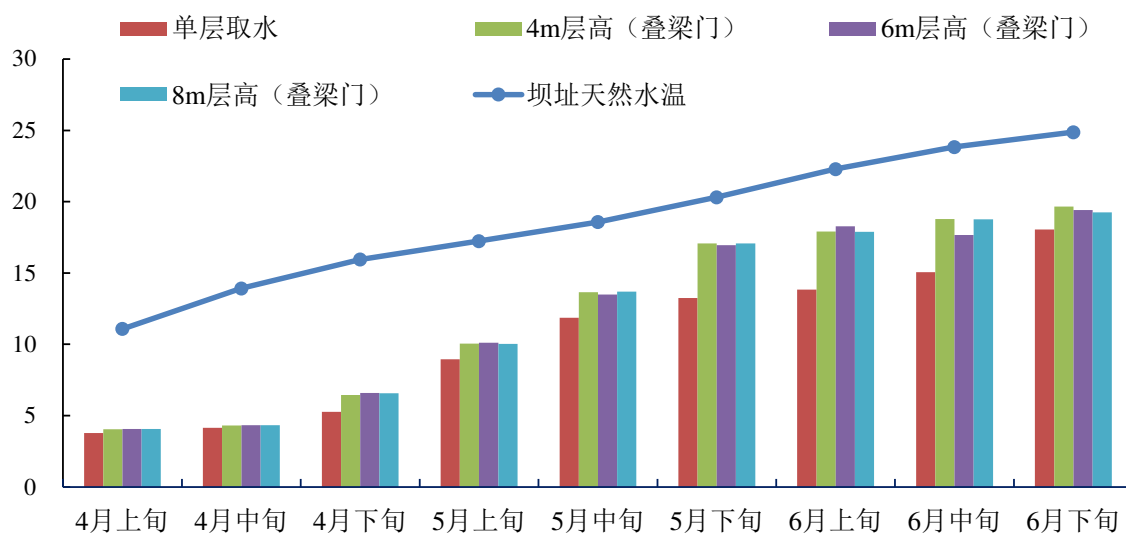


图 8.1.6-4 拦沙初期分层取水各方案 4~6 月下泄水温情况

表 8.1.6-4 拦沙初期平水年 4~6 月不同取水方式旬均下泄水温对比

月份	天然	单层	4m 层高	6m 层高	8m 层高	水温影响				水温改善效果 (较单层)		
	A	B	C	D	E	B-A	C-A	D-A	E-A	4m 层高	6m 层高	8m 层高
4 月上旬	11.1	3.8	4.0	4.1	4.1	-7.3	-7.1	-7.0	-7.0	0.2	0.3	0.3
4 月中旬	13.9	4.1	4.3	4.3	4.3	-9.8	-9.6	-9.6	-9.6	0.2	0.2	0.2

月份	天然	单层	4m 层高	6m 层高	8m 层高	水温影响				水温改善效果 (较单层)		
	A	B	C	D	E	B-A	C-A	D-A	E-A	4m 层高	6m 层高	8m 层高
4月下旬	15.9	5.3	6.4	6.6	6.6	-10.6	-9.5	-9.3	-9.3	1.1	1.3	1.3
5月上旬	17.2	9.0	10.0	10.1	10.0	-8.2	-7.2	-7.1	-7.2	1.0	1.1	1.0
5月中旬	18.6	11.9	13.6	13.5	13.7	-6.7	-5.0	-5.1	-4.9	1.7	1.6	1.8
5月下旬	20.3	13.2	17.1	17.0	17.1	-7.1	-3.2	-3.3	-3.2	3.9	3.8	3.9
6月上旬	22.3	13.8	17.9	18.3	17.9	-8.5	-4.4	-4.0	-4.4	4.1	4.5	4.1
6月中旬	23.8	15.1	18.8	17.7	18.8	-8.7	-5.0	-6.1	-5.0	3.8	2.6	3.7
6月下旬	24.9	18.0	19.7	19.4	19.2	-6.9	-5.2	-5.5	-5.7	1.7	1.4	1.2

总体来说,采用了叠梁门分层取水措施后,一定程度减缓了下泄低温水影响,但下泄低温水现象依然存在。不同层高方案叠梁门对下泄水温的影响规律基本一致,4月由于垂向水温分层较弱,各方案叠梁门分层取水对下泄水温基本无提高作用,5月开始,坝前垂向水温分层增强,下泄水温升高幅度逐渐加大,至5月下旬~6月上旬,下泄水温提高幅度达到最大,方案一、方案二、方案三旬均水温较单层取水最大升高 4.1℃、4.5℃、4.1℃。

就各方案分层取水的低温水改善效果来看,改善效果最大差异主要体现在6月中旬,其余时间不同方案最大差异在 0.5℃以内,月均差异在 0.3℃以内。旬均改善最佳工况为6m 层高叠梁门方案,6月上旬旬均最大改善达 4.5℃,且该方案在水库水位下降后,造成的下泄水温下降幅度相对较小。

8.1.6.4 拦沙后期分层取水措施效果

图 8.1.6-5 及表 8.1.6-5 比较了平水年不同方案分层取水和单层取水方式下4~6月古贤水库拦沙后期旬均下泄水温过程。

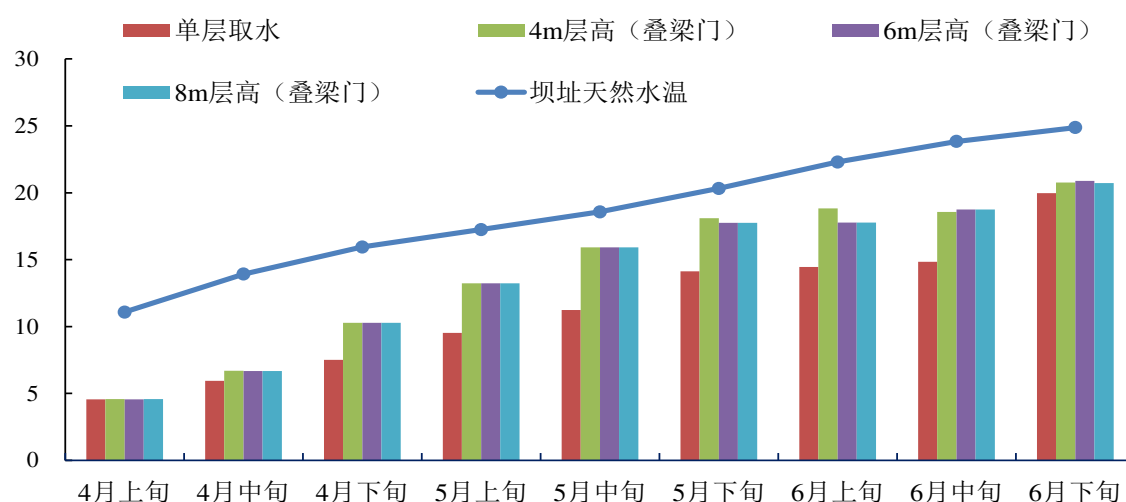


图 8.1.6-5 拦沙后期分层取水各方案 4~6 月下泄水温情况

表 8.1.6-5 拦沙后期 4~6 月不同取水方式旬均下泄水温

月份	天然	单层	4m 层高	6m 层高	8m 层高	水温影响				水温改善效果 (较单层)		
	A	B	C	D	E	B-A	C-A	D-A	E-A	4m 层高	6m 层高	8m 层高
4 月上旬	11.1	4.6	4.6	4.6	4.6	-6.5	-6.5	-6.5	-6.5	0.0	0.0	0.0
4 月中旬	13.9	5.9	6.7	6.7	6.7	-8.0	-7.2	-7.2	-7.2	0.8	0.8	0.8
4 月下旬	15.9	7.5	10.3	10.3	10.3	-8.4	-5.6	-5.6	-5.6	2.8	2.8	2.8
5 月上旬	17.2	9.5	13.2	13.2	13.2	-7.7	-4.0	-4.0	-4.0	3.7	3.7	3.7
5 月中旬	18.6	11.2	15.9	15.9	15.9	-7.4	-2.7	-2.7	-2.7	4.7	4.7	4.7
5 月下旬	20.3	14.1	18.1	17.7	17.8	-6.2	-2.2	-2.6	-2.5	4.0	3.6	3.7
6 月上旬	22.3	14.4	18.8	17.8	17.8	-7.9	-3.5	-4.5	-4.5	4.4	3.4	3.4
6 月中旬	23.8	14.8	18.6	18.7	18.7	-9.0	-5.2	-5.1	-5.1	3.8	3.9	3.9
6 月下旬	24.9	20.0	20.8	20.9	20.7	-4.9	-4.1	-4.0	-4.2	0.8	0.9	0.7

与拦沙初期相比,拦沙后期各叠梁门分层取水的下泄水温改善效果有所提高,其中 4 月下旬~6 月中旬旬均改善幅度均在 2.8℃以上,但由于叠梁门门顶淹没水深大,加之水库调节能力与蓄热作用强,下泄低温水的升温效果依然有限,下泄低温水现象仍然不可避免。从旬均水温改善幅度来看,3 个方案最大改善幅度均为 4.7℃,且均出现在 5 月中旬。3 个方案 4 月上旬~5 月中旬对下泄水温改善程度相似,5 月下旬以后,由于方案一 4m 层高叠梁门的调度能够更加灵活的取到最靠近表层的高温水,在 5 月下旬、6 月上旬对下泄水温的改善程度均优于其他方案,旬均提高 0.4℃~1.0℃。

8.1.6.5 叠梁门层高方案推荐

拦沙初期,三种方案对下泄水温的改善效果基本相似,旬均改善效果差异在 0.1℃~1.2℃,月均改善效果差异在 0.1℃~0.3℃,从叠梁门使用层数来看,方案一、方案二、方案三最大叠梁门启用层数分别为 5 层、3 层、2 层;从水温改善角度看,4m 层高方案在水温分层期平均改善效果更优,推荐方案一。

拦沙后期,从月均以及旬均改善效果来看,方案一由于能够使叠梁门的淹没水深保持最小,方案一要略优于方案二、方案三。但正因为方案一取水高度高,在水位急速下降时,水温下降幅度也较其他方案大。从叠梁门使用层数来看,拦沙后期方案一、方案二、方案三最大叠梁门启用层数分别为 7 层、5 层、3 层。因此从水温改善角度出发,推荐方案一。

从水库调度来看,古贤水库汛期为了防洪,水库水位进入快速下降时期,最大库水位日变动超过 3m,若采用 4m 层高叠梁门,则需要短时间内提起多节叠梁门,综合国内大型水电站的叠梁门调度运行来看,叠梁门提起需要耗费的时间以及物力均较多,

因此采用方案一时叠梁门操作可能存在较大的困难，本阶段暂不建议采用方案一。

对比方案二、方案三，两者对下泄水温的改善程度基本相同，拦沙初期旬均最大差异在 1.2℃ 以内，拦沙后期旬均最大差异最大仅为 0.2℃，从水温改善角度，方案二较好；从叠梁门运行角度来看，方案二单节叠梁门自重小，易于吊装，操作安全性更高，且相对而言，可以保证更小的淹没水深，更利于取用表层高温水，因此综合来看本阶段推荐方案二 6m 作为单节叠梁门层高。

后期应进行相关科学研究，加强叠梁门起落门的效率优化设计，提高效率，解决现有速度慢、效果低问题，提高响应速度。

8.1.7 分层取水下游河道水温沿程恢复情况分析

8.1.7.1 下游断面选取

选取壶口瀑布（10.1km）、龙门水文站（72.5km）、潼关水文站三个典型断面，以及龙门水文站到潼关水文站之间河段分布的 4 个典型的鱼类集中产卵场敏感断面（距离坝址 96km（1#）、117km（2#）、158km（3#）、208km（4#），其中 4#产卵场位于潼关水文站附近），分析采取分层取水措施后下游河道水温沿程恢复情况。

8.1.7.2 典型断面水温恢复情况

1. 拦沙初期

表 8.1.7-1 为拦沙初期平水年 4~6 月分层取水下游河道壶口瀑布、龙门水文站、潼关水文站各典型断面水温及其与天然水温的差值，图 8.1.7-1 给出了不同取水方式下河道沿程水温的对比。

表 8.1.7-1 拦沙初期 4~6 月各典型断面水温以及与天然水温差（单位：℃）

断面	断面水温			分层取水后与天然水温差		
	4 月	5 月	6 月	4 月	5 月	6 月
古贤坝址	5.0	13.6	18.5	-8.6	-5.2	-5.2
壶口瀑布	5.4	14.0	18.8	-8.2	-5.0	-5.0
龙门水文站	6.6	14.7	19.7	-7.4	-4.6	-4.4
潼关水文站	14.7	20.6	24.7	-0.7	-0.4	-0.3

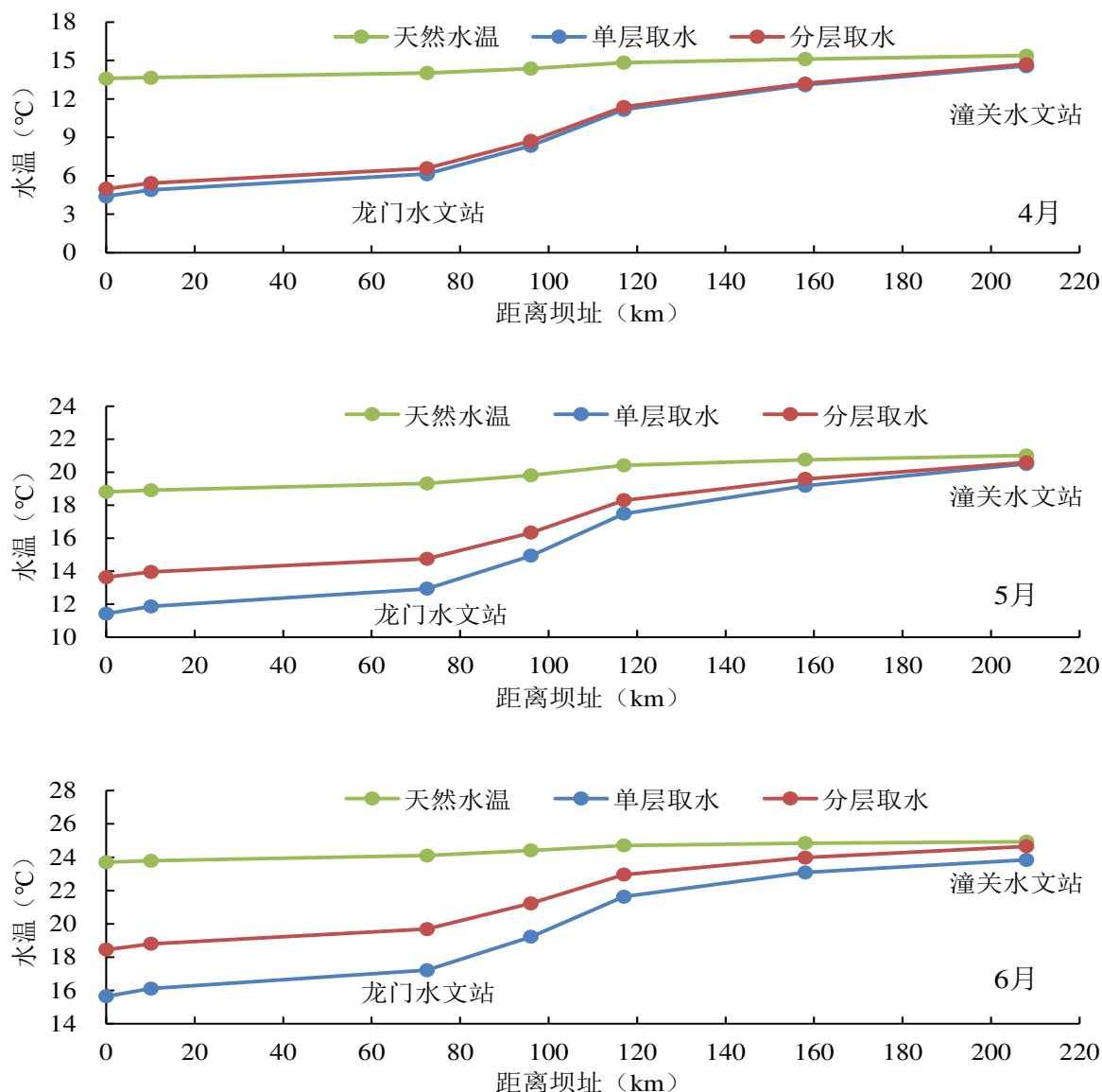


图 8.1.7-1 拦沙初期不同取水方式 4~6 月下游河道沿程月均水温对比

5 月、6 月分层取水对月均下泄水温分别约有 2.2℃、2.8℃的改善，但是下泄低温水幅度仍然很大，下泄低温水进入下游河道后，沿程受大气影响而沿程增温，水温变化趋势与单层取水基本一致，但各个断面的低温水幅度较单层取水有所变小。4 月下泄水温基本没有改善。

2. 拦沙后期

表 8.1.7-2 为拦沙后期平水年 4~6 月分层取水下游河道壶口瀑布、龙门水文站、潼关水文站各典型断面水温以及与天然水温差，图 8.1.7-2 为不同取水方式河道沿程水温

的对比。

表 8.1.7-2 拦沙后期 4~6 月各典型断面水温以及与天然水温差 单位：℃

断面	断面水温			分层取水后与天然水温差		
	4 月	5 月	6 月	4 月	5 月	6 月
古贤坝址	7.2	15.7	19.1	-6.4	-3.1	-4.6
壶口瀑布	7.5	15.9	19.4	-6.1	-3.0	-4.4
龙门水文站	8.5	16.6	20.2	-5.6	-2.8	-4.0
潼关水文站	14.9	20.7	24.4	-0.5	-0.3	-0.5

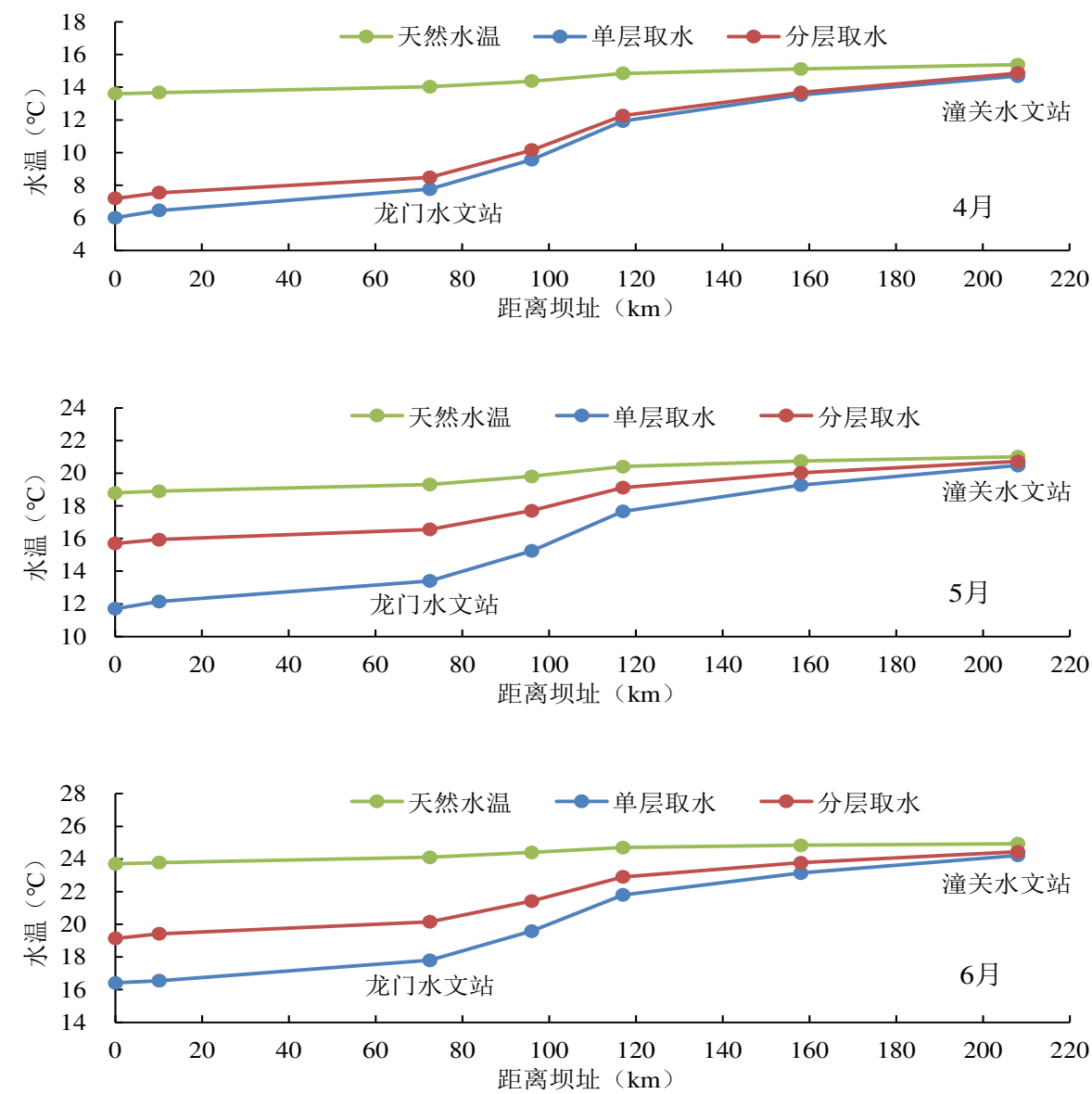


图 8.1.7-2 拦沙后期不同取水方式 4~6 月下游河道沿程月均水温对比

拦沙后期下游河道水温变化规律与拦沙初期基本一致。由于拦沙后期分层取水低温水较拦沙初期弱，在 4#产卵场断面（距离坝址 208km）基本低温水恢复至 0.5℃以内。

8.1.7.3 敏感断面水温恢复情况

1. 拦沙初期

拦沙初期不同取水方式下各产卵场的特征水温到达时间如表 8.1.7-3 所示。

表 8.1.7-3 拦沙初期不同取水方式产卵场特征水温到达时间（单位：℃）

时间	工况	1#产卵场	2#产卵场	3#产卵场	4#产卵场
水温到达 12℃时间	天然	4 月 6 日	4 月 6 日	4 月 5 日	4 月 4 日
	单层取水	5 月 3 日	4 月 21 日	4 月 10 日	4 月 4 日
	分层取水	4 月 30 日	4 月 20 日	4 月 10 日	4 月 4 日
水温到达 18℃时间	天然	5 月 6 日	5 月 3 日	5 月 1 日	4 月 30 日
	单层取水	6 月 6 日	5 月 18 日	5 月 9 日	5 月 1 日
	分层取水	5 月 20 日	5 月 16 日	5 月 8 日	5 月 1 日
水温到达 24℃时间	天然	6 月 13 日	6 月 12 日	6 月 11 日	6 月 11 日
	单层取水	7 月 7 日	6 月 29 日	6 月 20 日	6 月 11 日
	分层取水	7 月 12 日	6 月 26 日	6 月 17 日	6 月 9 日

从不同取水方式产卵场特征水温到达时间来看,5~6月分层取水提高了下泄水温,使得水温到达 18℃的时间较单层取水有较大幅度提前,1#产卵场分别提前了 17d,下游产卵场由于水温恢复情况较好,分层取水对水温到达时间提前幅度为 0d~2d。水温到达 24℃的时间来说,2、3、4#产卵场则得益于下游宽谷河段的快速增温以及分层取水对下泄水温的改善,到达时间没有延迟且较单层取水略微提前,提前天数最大为 3d;1#产卵场以上河段为峡谷河段增温较慢,加之叠梁门吊起后,下泄水温较单层取水略有下降,因此 1#产卵场到达 24℃的时间较单层取水有 5d 延迟。

2. 拦沙后期

拦沙后期不同取水方式下产卵场的特征水温到达时间如表 8.1.7-4 所示。

表 8.1.7-4 拦沙后期不同取水方式下产卵场特征水温到达时间（单位：℃）

时间	工况	1#产卵场	2#产卵场	3#产卵场	4#产卵场
水温到达 12℃时间	天然	4 月 6 日	4 月 6 日	4 月 5 日	4 月 4 日
	单层取水	4 月 30 日	4 月 17 日	4 月 9 日	4 月 4 日
	分层取水	4 月 23 日	4 月 16 日	4 月 9 日	4 月 4 日
水温到达 18℃时间	天然	5 月 6 日	5 月 3 日	5 月 1 日	4 月 30 日
	单层取水	5 月 30 日	5 月 19 日	5 月 8 日	5 月 1 日
	分层取水	5 月 16 日	5 月 10 日	5 月 5 日	4 月 30 日
水温到达 24℃时间	天然	6 月 13 日	6 月 12 日	6 月 11 日	6 月 11 日
	单层取水	6 月 29 日	6 月 29 日	6 月 20 日	6 月 11 日
	分层取水	6 月 29 日	6 月 24 日	6 月 15 日	6 月 9 日

拦沙后期分层取水水温到达 18℃的时间较单层取水均有提前,1#产卵场提前幅度最大,为 14d;下游产卵场由于水温恢复情况较好,分层取水对水温到达时间提前幅度为 2d~9d。水温到达 24℃的时间来说,1#产卵场到达时间没有延迟;2#、3#、4#产卵

场到达时间较单层取水略微提前，提前天数最大为 5d。总体来说，各产卵场到达特征水温时间较单层取水没有延迟或有所提前，最长提前了 14d。

8.2 地表水环境影响与保护措施

8.2.1 水功能区划

本次地表水调查范围为库区、坝址下游区的黄河干流吴堡至三门峡河段及其主要支流，供水区山西省运城市、临汾市 18 个县（市、区），陕西省延安市、渭南市 9 个县（市、区）范围内芝河、清水河、鄂河、汾河、洪安涧河、涝河、浍河、三交河、涑水河、姚暹渠、云岩河、仕望河、居水河、徐水河、金水沟、北洛河、渭河等受纳水体。依据《全国重要江河湖泊水功能区划（2011-2030 年）》，评价范围内涉及的水功能区详情见表 8.2.1-1，主要评价河段范围见图 8.2.1-1。

表 8.2.1-1 评价范围内涉及的黄河水功能区划表

评价分区	评价分区	水系	河流、湖泊	所在一级水功能区名称	二级水功能区名称	范围		长度 km	水质 目标
						起始断面	终止断面		
库区	库区干流	黄河	黄河	黄河晋陕开发利用区	黄河吴堡排污控制区	回水湾	吴堡水文站	15.8	/
		黄河	黄河		黄河吴堡过渡区	吴堡水文站	河底	21.4	III
		黄河	黄河		黄河古贤农业用水区	河底	古贤	186.6	III
	入库支流	黄河	三川河	三川河柳林缓冲区	/	薛村	入黄口	33.3	IV
		黄河	无定河	无定河绥德缓冲区	/	淮宁河入口	入黄口	115.2	III
		黄河	清涧河	清涧河延川缓冲区	/	郭家河	入黄口	20	III
		黄河	昕水河	昕水河大宁缓冲区	/	曲峨镇	入黄口	25.5	IV
		黄河	延河	延河延长缓冲区	/	呼家川	入黄口	64	III
坝址下游区	坝址下游区 干流	黄河	黄河	黄河晋陕开发利用区	黄河壶口景观娱乐用水区	古贤	仕望河入口	15.1	III
		黄河	黄河		黄河龙门农业用水区	仕望河入口	龙门水文站	53.8	III
		黄河	黄河	三门峡水库开发利用区	黄河渭南、运城渔业、农业用水区	龙门水文站	潼关水文站	129.7	III
		黄河	黄河		黄河三门峡、运城渔业、农业用水区	潼关水文站	何家滩（黄淤 20 断面）	77.1	III
		黄河	黄河		黄河三门峡饮用、工业用水区	何家滩（黄淤 20 断面）	三门峡大坝	33.6	III
	坝址下游区 支流	黄河	汾河	汾河河津缓冲区	/	新店	入黄口	38.3	IV
		黄河	涑水河	涑水河永济缓冲区	/	张华	入黄口	11.5	V
		黄河	渭河	渭河华阴缓冲区	/	罗夫河	入黄口	29.7	IV
陕西供水区	入黄支流	黄河	云岩河	云岩河宜川缓冲区	/	新市河	入黄口	23.4	III
	入黄支流	黄河	云岩河	黑河甘陕缓冲区	/	梁河	达溪河入口	30.0	III
	入黄支流	黄河	仕望川	仕望川宜川缓冲区	/	咎家山	入黄口	5.0	III
	入黄支流	黄河	徐水河	徐水河合阳缓冲区	/	百良镇	入黄口	5.0	IV
	入黄支流	黄河	金水沟	金水沟合阳缓冲区	/	范家镇	入黄口	7.0	IV
	入黄支流	黄河	北洛河	北洛河延安农业用水区	北洛河延安、渭南开发利用区	富县	交口河村	72.8	III
	入黄支流	黄河	北洛河	北洛河延安、渭南农业用水区	北洛河延安、渭南开发利用区	交口河村	状头	158.9	III
	入黄支流	黄河	北洛河	北洛河大荔农业用水区	北洛河延安、渭南开发利用区	状头	入渭口	130.0	III
	入黄支流	黄河	渭河	渭河宝鸡、渭南开发利用区	渭河咸阳工业、农业用水区	漆水河入口	咸阳公路桥	63.0	IV
	入黄支流	黄河	渭河		渭河咸阳景观娱乐用水区	咸阳公路桥	咸阳铁路桥	3.8	IV
	入黄支流	黄河	渭河		渭河咸阳排污控制区	咸阳铁路桥	泮河入口	5.4	/

评价分区	评价分区	水系	河流、湖泊	所在一级水功能区名称	二级水功能区名称	范围		长度 km	水质 目标
						起始断面	终止断面		
评价分区	入黄支流	黄河	渭河		渭河咸阳过渡区	泮河入口	草滩镇	19.0	IV
	入黄支流	黄河	渭河		渭河西安农业用水区	草滩镇	零河入口	56.4	IV
	入黄支流	黄河	渭河		渭河渭南农业用水区	零河入口	罗夫河入口	96.8	IV
	入黄支流	黄河	渭河						
	入黄支流	黄河	渭河	渭河华阴缓冲区	/	罗夫河入口	入黄口	29.7	IV
山西省供水区	入黄支流	黄河	鄂河	鄂河乡宁缓冲区	/	张马	入黄口	33.5	IV
	入黄支流	黄河	汾河	汾河太原、运城开发利用区	汾河汾西灌区农业用水区	市界	南王	58.7	V
	入黄支流	黄河	汾河		汾河洪洞农业用水区	南王	北郊(屯里)	30.0	V
	入黄支流	黄河	汾河		汾河临汾景观娱乐用水区	北郊	外环桥	6.0	V
	入黄支流	黄河	汾河		汾河临汾排污控制区	外环桥	尧庙	5.0	/
	入黄支流	黄河	汾河		汾河临汾过渡区	尧庙	金殿	5.0	V
	入黄支流	黄河	汾河		汾河临汾农业用水区	金殿	市界	54.9	V
	入黄支流	黄河	汾河		汾河汾南农业用水区	市界	稷山	62.7	V
	入黄支流	黄河	汾河		汾河稷山排污控制区	稷山	新店	8.0	/
	入黄支流	黄河	汾河	汾河河津缓冲区	/	新店	入黄口	38.3	IV
	入黄支流	黄河	涑水河	涑水河运城开发利用区	涑水河绛县、闻喜农业用水区	源头	横水铁路桥	42.5	IV
	入黄支流	黄河	涑水河		涑水河绛县、闻喜排污控制区	横水铁路桥	南宋	15.0	/
	入黄支流	黄河	涑水河		涑水河闻喜过渡区	南宋	上马水库	45.5	V
	入黄支流	黄河	涑水河		涑水河上马水库农业用水区	上马水库	景滑	30.0	V
	入黄支流	黄河	涑水河		涑水河临猗排污控制区	景滑	庙上	15.0	/
	入黄支流	黄河	涑水河		涑水河临猗过渡区	庙上	郭家庄	20.0	V
	入黄支流	黄河	涑水河		涑水河五姓湖农业、渔业用水区	郭家庄	四冯	14.2	IV
	入黄支流	黄河	涑水河		涑水河永济排污控制区	四冯	张华	6.1	/
	入黄支流	黄河	涑水河	涑水河永济缓冲区	/	张华	入黄口	11.5	V

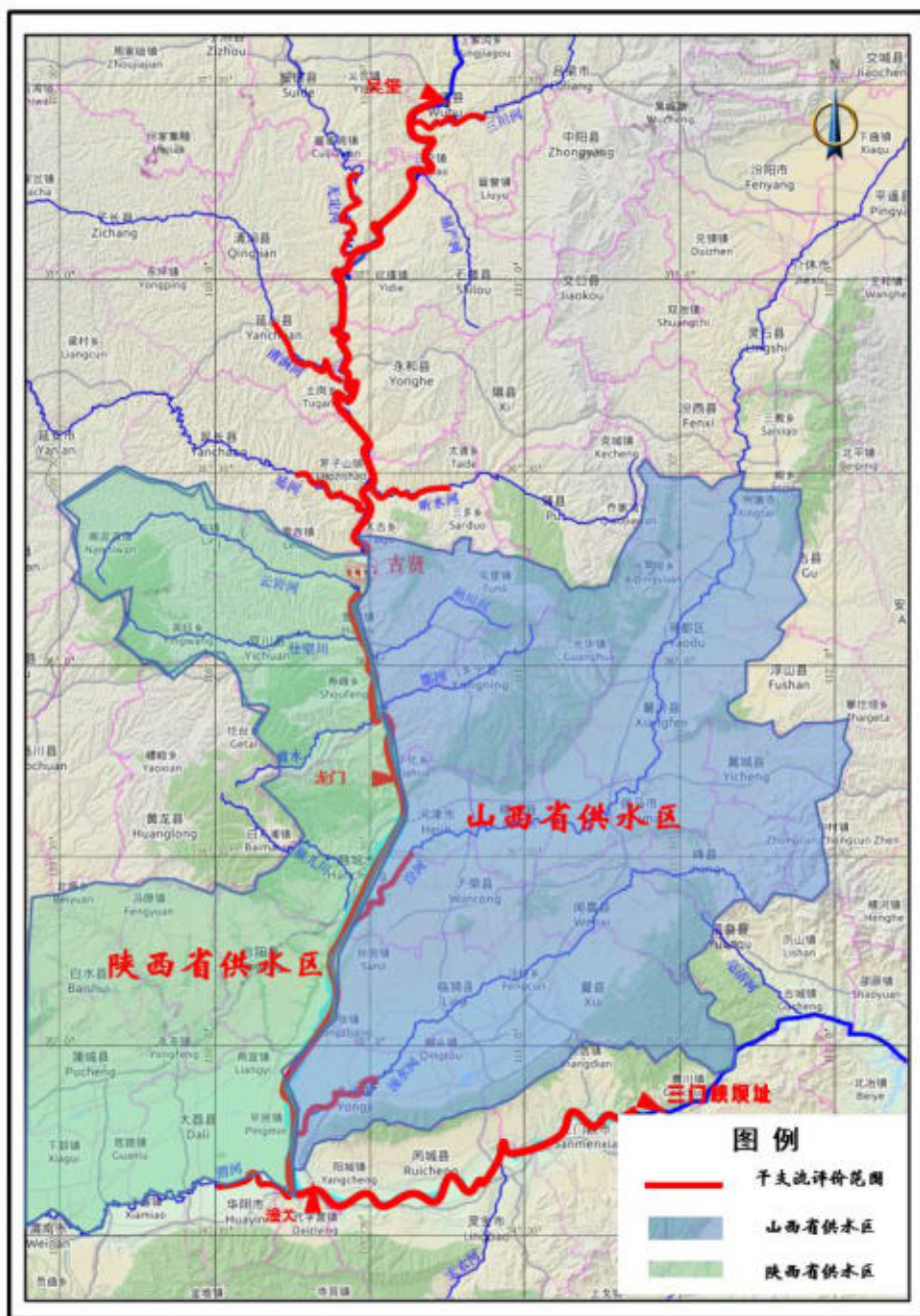


图 8.2.1-1 主要评价河段范围图

8.2.2 水环境功能区划

古贤水利枢纽工程地表水环境评价范围涉及山西、陕西两省，其中山西省于 2019 年发布了《山西省地表水环境功能区划》（DB14/67-2019），根据《山西省地表水环境功能区划》，本次地表水调查范围涉及入黄一级支流三川河、屈产河、芝河、昕水河、鄂河、州川河、汾河、涑水河、清水河，二级支流曲亭河、轰轰河、高池河、三交河、

一坪垣沟、仙洞沟、涝河、诂河、浍河、青龙河、白沙河、姚暹渠等，涉及的水环境功能区详见表 8.2.2-1。

表 8.2.2-1 评价范围内涉及的山西省水环境功能区划表

评价分区	评价分区	水系	河流	县市	范围(起)	范围(止)	水环境功能	水质要求	监控断面
库区	入黄支流	黄河	三川河	柳林	薛村	入黄河	农业用水保护	V	两河口桥
		黄河	屈产河	石楼	后王村	入黄河	农业用水保护	III	裴沟
		黄河	芝河	永和	榆林则	入黄河	农业用水保护	V	佛堂村
		黄河	昕水河	蒲县、大宁	下胡城	入黄河	保留区水源保护	III	黑城村
坝址下游区	入黄支流	黄河	州川河	吉县	川庄村	入黄河	农业用水保护	IV	狮子河
		黄河	鄂河	乡宁	官头村	入黄河	农业用水保护	V	下宽井河
		黄河	汾河	河津	西里	河津大桥	农业与一般景观用水保护	V	河津大桥
		黄河	涑水河	永济市	陈村水库	入黄河	农业用水保护	V	张留庄
供水区	入黄支流	黄河	州川河	吉县	源头	川庄村	一般源头水保护	III	川庄村东
		黄河	州川河	吉县	川庄村	入黄河	农业用水保护	IV	狮子河
		黄河	鄂河	乡宁	源头	官头村	一般源头水保护	III	官头村北
		黄河	鄂河	乡宁	官头村	入黄河	农业用水保护	V	石珂村西 下宽井河
		黄河	汾河	洪洞	王庄桥南	石滩	农业与一般景观用水保护	V	石滩
		汾河	汾河	尧都区	甘亭	临汾	农业与一般景观用水保护	V	临汾
		汾河	汾河	襄汾、侯马、新绛、稷山、河津	西里	河津大桥	农业与一般景观用水保护	V	上平望 下庄村桥 坑洞村桥 河津大桥
		涑水河	涑水河	绛县	源头	陈村水库	省级自然保护区与重要源头水保护	II	陈村水库出口
				绛县	陈村水库	入黄河	农业用水保护	V	刘家桥
				闻喜					沙柳村
				夏县					东张桥
				盐湖区					西庄桥
				临猗					城子埠村
				永济市					张留庄
		清水河	清水河	夏县、垣曲	源头	石台沟	一般源头水保护	II	石台沟
	入汾支流	汾河	洪安涧河	古县、洪洞	热流村	入汾河	农业用水保护	V	偏洞村
		汾河	曲亭河	洪洞	源头	曲亭水库	一般源头水保护	III	曲亭水库出口
		汾河	曲亭河	洪洞、尧都区	曲亭水库	入汾河	农业用水保护	V	入汾河干流口
		汾河	轰轰河	洪洞	沙里庄	入汾河	农业用水保护	V	入汾河干流口
		汾河	高池河	洪洞	源头	罗云村	一般源头水保护	III	罗云
		汾河	高池河	洪洞	罗云村	入汾河	农业用水保护	V	入汾河干流口
		汾河	三交河	洪洞	源头	核桃庄	一般源头水保护	III	核桃庄
		汾河	汾河	洪洞	石滩	甘亭	农业与一般景观用水保护	V	甘亭
		汾河	一坪垣沟	尧都区	源头	亢村	一般源头水保护	III	亢村
		汾河	一坪垣沟	尧都区	亢村	入汾河	农业与一般景观用水保护	V	入汾河干流口

评价 分区	评价 分区	水系	河流	县市	范围 (起)	范围 (止)	水环境功能	水质 要求	监控断面
		汾河	土门沟	尧都区	源头	土门村	一般源头水保护	III	土门
		汾河	土门沟	尧都区	土门村	入汾河	农业用水保护	V	入汾河干 流口
		汾河	汾河	尧都区	甘亭	临汾	农业与一般景观用 水保护	V	临汾
		汾河	仙洞沟	尧都区	源头	曹家岭	一般源头水保护	III	曹家岭
		汾河	仙洞沟	尧都区	曹家岭	入汾河	农业用水保护	V	入汾河干 流口
		汾河	涝河、诶 河	尧都区	源头	涝河、诶 河水库 出口	一般源头水保护	III	涝河水库 出口 诶河水库 出口
		汾河	涝河、诶 河	尧都区	涝河、诶 河水库 出口	入汾河	农业用水保护	V	入汾河干 流口
		汾河	浍河	翼城	源头	范河村	一般源头水保护	III	范河村
				翼城	源头	北晋峪			北晋峪
				浮山、翼城	源头	冶南村 南			冶南村南
		汾河	浍河	翼城	冶南村 南	入汾河	农业用水保护	V	大交 东韩村 小韩村 西曲村
	入涑 水河 支流	涑水 河	青龙河	夏县	源头	禹王公 路桥	一般源头水保护	III	禹王公路 桥
		涑水 河	青龙河	夏县	禹王公 路桥	苦池水 库	农业用水保护	V	/
		涑水 河	白沙河	夏县	源头	白沙河 水库出 口	地表水饮用水源补 给区与饮用水源一 级保护区水源保护	III、 II	白沙河水 库出口
		涑水 河	白沙河	夏县	白沙河 水库出 口	入姚暹 渠	农业用水保护	V	/
		涑水 河	姚暹渠	夏县、盐湖 区	源头	大辛庄 公路桥	一般源头水保护	III	大辛庄公 路桥
		涑水 河	姚暹渠	盐湖区、永 济市	大辛庄 公路桥	入涑水 河	农业用水保护	V	桥村南

8.2.3 地表水环境敏感点调查

8.2.3.1 饮用水水源保护区调查

根据调查，古贤水库库区范围内无饮用水水源保护区分布，在古贤坝址下游 284km 分布有 1 处饮用水水源保护区，为黄河三门峡水库地表水饮用水源保护区。

黄河三门峡水库地表水饮用水源保护区位于三门峡市开发区北部、三门峡水库右岸，取水水源为三门峡水库，是三门峡市城市供水的主要水源。黄河三门峡水源地设计城市供水量为 4562.5 万 m³/a，实际供水量为 1183 万 m³/a，供水人口 10.4 万，其中饮用水为 887 万 m³，工业用水为 296 万 m³。

黄河三门峡水库地表水饮用水源一级保护区的范围为：黄河三门峡库区取水口上游 3000m、下游 200m 的水域及河堤外 50m 的陆域；沉砂池全部水域。二级保护区范围为：黄河三门峡库区一级保护区上游 2000m、下游 200m 的水域及河堤外 1000m 的陆域；三水厂院墙以内区域。准保护区：黄河三门峡库区二级保护区至苍龙大坝左坝肩，下游 200m 的水域及河堤外 1000m 的陆域。

评价范围内饮用水水源保护区分布见图 8.2.3-1。



图 8.2.3-1 评价范围内饮用水水源保护区分布示意图

8.2.3.2 取水口调查

经调查,目前古贤库区河段无取水口,古贤坝址~三门峡坝址区间有取水口 21 处,年取水总量 10.86 亿 m^3 , 取水用途包括农业取水口 17 处,工业取水口 4 处,生活取水口 4 处,其中禹门口黄河提水工程等取水口为工业、农业等综合取水口,坝址~三门峡河段取水口现状见表 8.2.3-1、图 8.2.3-2。

表 8.2.3-1 黄河干流引水口现状 单位: 万 m^3

序号	取水工程名称	取水口位置	批准年取水量	取水用途	距离坝址	经度	纬度
1	禹门口黄河提水工程	山西省禹门口铁路桥上游 20m 黄河左岸	18500	工业、农业	74.22km	110°36'15.75"	35°39'36.20"
2	北赵扬水站	山西省临猗县孙吉镇北赵村扬水站	2600	农业	125.2km	110°23'05.78"	35°15'34.87"
3	元上扬水站	山西临猗县角杯乡西张吴村元上扬水站	2400	农业	135.7km	110°21'57.88"	35°10'14.99"
4	杨范扬水站	山西省临猗县角杯乡杨范村扬水站	2200	农业	137.8km	110°22'30.23"	35°09'10.74"
5	夹马口一级泵站	山西省临猗县东张吴乡吴王村	18000	农业	147.4km	110°21'35.94"	35°04'09.83"
6	临猗县防氟供水工程	临猗县角杯乡吴王村西黄河(吴王、姚卓)滩	246	生活	140.1km	110°22'33.53"	35°07'55.64"
7	尊村引黄一级站	山西省永济市张营镇尊村引黄一级站	18923	农业、工业、生活	155.2km	110°19'41.38"	35°00'23.18"
8	风陵渡扬水站	山西省芮城县风陵渡镇凤凰咀	1000	农业	204.73km	110°18'14.90"	34°36'44.19"
9	古贤扬水工程	芮城县风陵渡镇	360	农业	212.14km	110°23'04.62"	34°36'19.23"
10	新兴扬水工程	山西省芮城县永乐镇新兴扬水工程	300	农业	222.85km	110°29'38.81"	34°36'43.01"
11	大禹渡扬水工程	山西省芮城县大禹渡扬水工程	3000	农业	249.7km	110°45'35.22"	34°39'16.25"
12	马崖扬水工程	山西省芮城县陌南镇马崖扬水工程	600	农业	273.39km	110°54'10.23"	34°43'13.94"
13	常乐坦扬水工程	山西省平陆县常乐镇常乐坦扬水工程	360	农业	289.3km	111°02'10.01"	34°44'57.86"
14	平陆部官扬水工程	山西省平陆县盘南村平陆部官扬水工程	600	农业	305.61km	111°09'49.71"	34°49'03.26"
15	禹门口抽黄提灌站	禹门口黄河大桥上游 300m 处	200	农业	73.94	110° 36' 7.46"	35° 39' 13.62"
16	韩城二电厂取水工程	陕西省韩城市黄河右岸下峪口滩区	1800	工业、生活	78.33km	110°35'47.05"	35°37'25.36"
17	东雷抽黄工程	陕西省合阳县东雷塬下东雷抽黄工程	13000	农业	134.28km	110°21'25.94"	35°10'56.59"
18	东雷抽黄续建工程	陕西省合阳县太里湾黄淤 56-57#之间	20000	农业	134.7km	110°21'22.96"	35°10'42.76"
19	港口抽黄灌溉工程	陕西省潼关县港口镇铁路桥东 200m	1800	农业	204.1km	110°17'40.41"	34°36'29.66"
20	第三水厂一级站	河南三门峡平陆黄河桥下游右岸 100m	2400	生活	307.38km	111°10'39.35"	34°48'05.58"
21	惠能热电取水井群	河南陕县官庄至城村黄河滩惠能取水井群	312	工业	275.52km	111°01'46.68"	34°43'49.78"

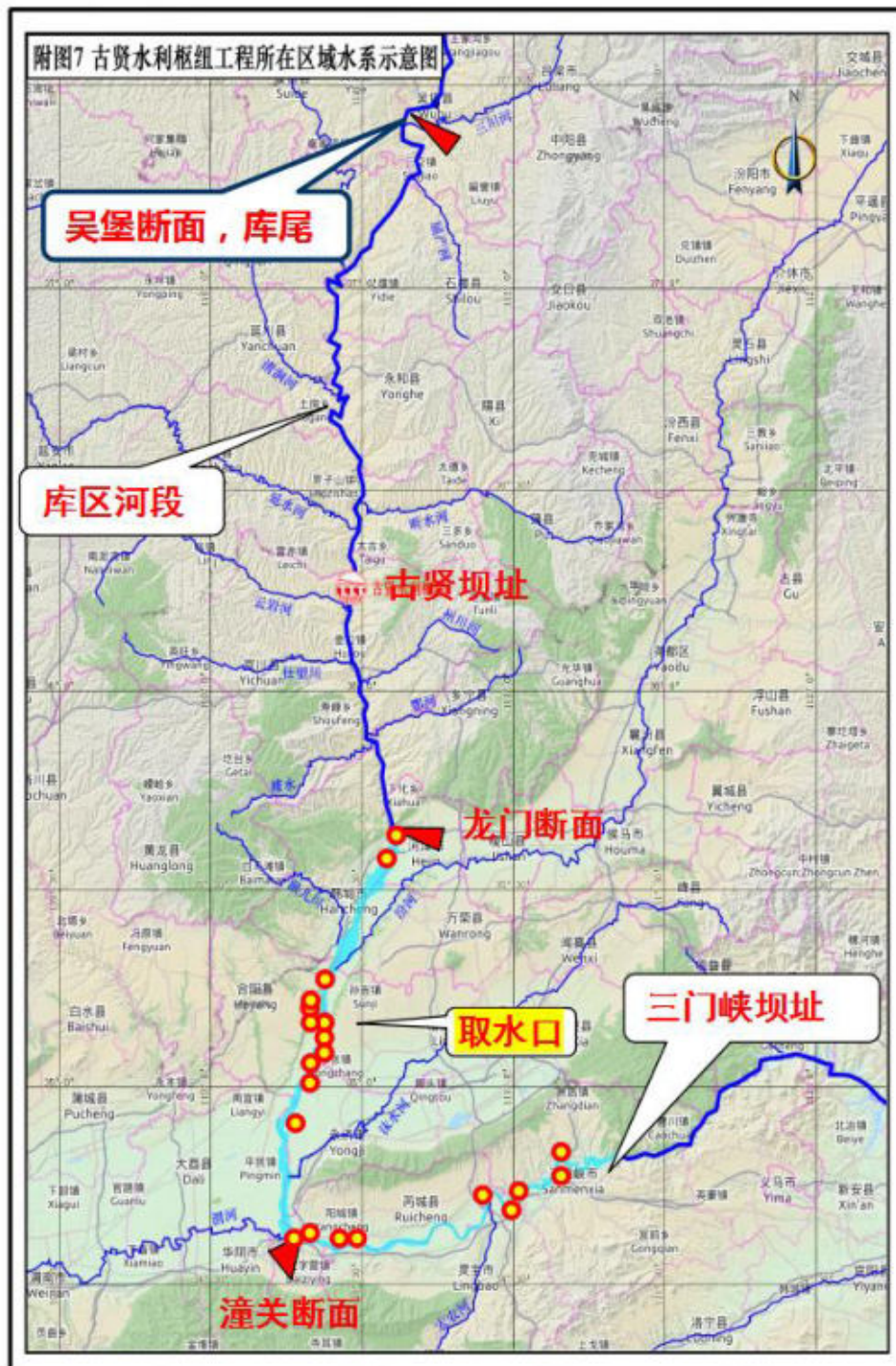


图 8.2.3-2 评价范围内取水口分布示意图

8.2.4 污染源调查

本次污染源调查范围分为 3 个部分：①古贤库区河段，②坝址下游区（坝址~三门峡坝址）河段，③供水区。各区域点源污染主要来源于城镇生活集中污染源、工业企业

污染源，面源污染主要来源于农村散排生活污染源、农田径流污染源，分区域各类污染源主要情况如下：

8.2.4.1 古贤库区河段污染源调查

古贤库区右岸涉及陕西省榆林市、延安市，左岸涉及山西省吕梁、临汾市，污染源主要包括点源和面源。古贤库区位于晋陕峡谷河段，根据污染源调查成果，黄河干流库区河段仅分布 2 处点污染源；黄河干流库区河段位于晋陕峡谷，两岸为黄土高原，农村生活、农田径流等面源污染难以直接进入黄河干流，因此库区河段两岸面源污染可忽略不计。

古贤库区河段有 5 条较大支流，从库尾至坝前依次有山西省三川河、陕西省无定河、陕西省清涧河、山西省昕水河、陕西省延河汇入至黄河干流库区河段，城镇及农村分布在入库支流两岸。库区河段入黄支流点污染源主要为库区支流两岸分布的煤炭化工、制药等工业企业；面源污染为入黄支流区域农村生活、农田径流。为准确反映支流点污染源、面污染源汇入黄河干流污染物通量，本次收集了入库支流入黄口断面 2019 年~2021 年污染物浓度，可代表支流污染物入库量。

1. 黄河干流

古贤库区位于晋陕峡谷河段，根据山西、陕西省生态环境厅调查的评价范围内污染源排放数据，结合第三次全国水资源调查评价污染源调查成果，库区周边及上游无较大入河排污口，仅有吴堡县污水处理厂与吴堡县民康食品公司排污口。库区污染源调查结果见表 8.2.4-1、图 8.2.4-1。

表 8.2.4-1 古贤库区~坝址污染源排放量

序号	排污口名称	排污口位置	排污去向	所属行政区划		废水年排放量 (万 t/a)	COD 入河量 (t/a)	氨氮入河量 (t/a)	总氮入河量 (t/a)	总磷入河量 (t/a)
				县区	乡镇					
1	吴堡县民康食品股份有限公司排污口	右岸	黄河干流	吴堡	宋家川村	0.029	0.236	0.020	0.064	0.012
2	吴堡县污水处理厂入河排污口	右岸	黄河干流	吴堡	王家川村	63	28	2.43	12.9	0.14



图 8.2.4-1 库区范围内干流污染源分布示意图

2. 入库支流

1) 年排放总量

支流污染源包括点污染源与面污染源，根据支流入黄口污染物逐月浓度，结合各支流流量，对各入库支流污染物总量进行统计，详见表 8.2.4-2。

表 8.2.4-2 入库支流污染源年排放总量 单位：t/a

行政区划	入库支流	COD 入库总量	氨氮入库总量	总氮入库总量	总磷入库总量
山西省	三川河	3673.75	184.13	1740.43	39.44
陕西省	无定河	23544.84	722.46	4325.90	144.02
陕西省	清润河	3272.68	87.51	847.86	17.29

行政区划	入库支流	COD 入库总量	氨氮入库总量	总氮入库总量	总磷入库总量
山西省	昕水河	2152.47	59.80	680.58	17.13
陕西省	延河	84136.83	1607.27	21959.90	470.65
合计		113106.82	2477.04	27814.24	649.09

根据统计，5 条较大支流污染源 COD、氨氮、总氮、总磷入库区总量分别为 113106.82t/a，2477.04t/a，27814.24t/a，649.09t/a。由上表可知，污染源主要集中在陕西省延河，其中 COD、氨氮、总氮、总磷年入库区量分别占总污染物入库量的 72.05%，60.40%，74.30%，68.36%。

2) 支流污染物月排放量统计

根据各入库支流逐月污染物浓度值，入库支流污染物月排放量统计详见表 8.2.4-3。

表 8.2.4-3 支流污染源逐月入河量 单位：t/月

月份		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
三川河	COD	170.50	186.00	220.17	136.93	205.48	310.25	382.97	884.26	518.44	309.87	225.52	186.17
	NH ₃ -N	19.49	9.44	11.42	2.40	4.96	6.21	16.47	15.92	34.11	29.44	14.13	23.39
	TN	86.03	69.44	103.34	70.18	81.35	89.61	316.72	331.60	233.03	162.30	125.09	105.07
	TP	1.80	1.84	2.66	1.30	2.77	2.11	7.77	5.88	6.49	3.82	1.61	2.13
无定河	COD	926.39	1253.60	1624.46	1476.31	1348.80	2042.37	5190.89	4052.03	2198.38	1241.39	1220.38	1389.11
	NH ₃ -N	81.66	89.73	96.05	24.44	28.10	22.84	53.24	95.84	58.26	45.07	37.50	99.43
	TN	260.76	337.81	560.79	292.51	202.88	152.61	476.50	576.83	316.57	465.40	342.81	411.62
	TP	8.92	12.32	15.54	5.35	6.74	8.91	19.96	15.97	12.09	12.74	11.61	16.08
清涧河	COD	51.58	122.36	172.75	114.23	184.73	294.61	868.62	802.15	450.72	117.22	107.36	50.09
	NH ₃ -N	14.24	15.95	20.54	4.85	1.44	4.24	3.87	8.82	4.51	6.51	0.81	2.47
	TN	49.29	65.43	61.32	51.69	31.40	45.11	154.92	189.61	69.26	62.35	44.56	37.14
	TP	0.69	1.26	1.43	0.69	0.75	1.84	4.23	2.94	2.25	0.79	0.58	0.12
昕水河	COD	33.03	59.71	60.24	74.88	115.66	148.91	525.57	643.32	291.69	142.68	76.57	25.83
	NH ₃ -N	8.87	6.53	3.83	2.34	0.52	9.17	6.98	11.13	5.15	2.41	1.33	2.24
	TN	35.26	30.25	28.20	28.66	18.51	27.82	135.56	173.87	87.51	54.33	38.42	35.56
	TP	0.75	0.44	0.33	0.45	0.52	1.02	3.64	6.61	2.23	1.10	0.27	0.17
延河	COD	1990.87	1768.23	3907.30	6024.76	8523.16	8693.32	15866.07	9926.78	15882.93	7016.49	3943.06	2057.49
	NH ₃ -N	144.45	101.93	181.20	304.10	46.81	155.90	74.54	73.14	245.46	149.52	92.94	53.30
	TN	1255.5	832.11	799.58	1288.70	1382.72	1190.48	2448.43	2272.71	4454.44	3051.37	2101.09	1224.39
	TP	8.69	11.44	18.70	32.40	36.01	34.01	68.81	67.92	93.85	77.53	25.35	4.21

8.2.4.2 古贤坝址下游区（坝址~三门峡坝址）河段污染源调查

古贤坝址下游区禹门口至潼关河段左岸有汾河、涑水河，右岸有渭河等支流汇入，河道摆动频繁，冲淤变化剧烈，为典型的堆积性游荡河道，两岸为塬。潼关以下为三门峡库区河段。根据污染源调查成果，黄河干流龙门至三门峡段分布 17 处点污染源；面污染源与库区河段汇入模式类似，主要通过支流汇入黄河干流。

坝址下游城镇及农村主要分布在入黄支流两岸，点污染源主要为坝址下游区支流两岸分布的工业企业排污口；面源污染为坝下支流两岸农村生活、农田径流。为准确反映坝下支流点污染源、面污染源汇入黄河干流污染物的量，本次收集了入黄支流汾河、涑水河、渭河入黄口断面 2019 年~2021 年污染物浓度，能够准确计算支流污染物入河量。

1. 坝址~三门峡河段黄河干流

根据调查，黄河干流龙门至三门峡河段现有较大的入河排污口 17 处（图 8.2.4-4）。其中，城镇生活排污口有 7 个，其余 10 处为工业排污口，以电力、有色、钢铁、煤化工等排污为主。坝下干流污染源调查结果见表 8.2.4-4。

表 8.2.4-4 坝址~三门峡河段干流污染物排放基本情况

序号	行政区划	排污口名称	排污 受纳 水体	废水年排 放量（万 t/a）	COD 入 河量 （t/a）	氨氮入 河量 （t/a）	总氮入 河量 （t/a）	总磷入 河量 （t/a）
1	山西河津市	河津市中铝股份山西分公司工业入河排污口	黄河干流	142.6	92.8	0.1	-	2.3
2	山西河津市	河津市阳光焦化(集团)有限公司工业入河排污口	黄河干流	57.0	30.2	0.7	-	0.4
3	山西河津市	河津市王家岭煤矿工业入河排污口	黄河干流	11.4	7.0	0.1	-	0.0
4	山西河津市	山西漳泽电力股份有限公司河津发电分公司工业入河排污口	黄河干流	85.5	79.7	1.9	-	0.5
5	山西芮城县	芮城县西王生活入河排污口	黄河干流	378.4	503.3	25.7		6.2
6	山西芮城县	芮城县礼教生活入河排污口	黄河干流	1261.4	1475.9	227.1	-	26.1
7	山西芮城县	平陆县城市生活入河排污口	黄河干流	1303.7	732.7	515.0	-	34.5
8	山西平陆县	山西阳煤丰喜集团有限公司平陆分公司工业入河排污口	黄河干流	11.4	5.6	2.0	-	0.1
9	陕西韩城市	韩城市生活入河排污口	黄河干流	904.1	436.5	36.52	-	17.1
10	陕西韩城市	桑德新城污水处理排污口	黄河干流	582.0	284.0	22.34	-	-
11	陕西韩	大唐第二发电排污口	黄河	18.96	16.056	1.2	2.9	-

坝址下游黄河干流龙门至三门峡段废污水入河量为 7276.08 万 t/a, 主要污染物 COD、氨氮、总氮、总磷入河量分别为 5160.96 t/a、1287.65 t/a、569.10t/a、101.62 t/a。

2. 坝址~三门峡河段入黄支流

1) 年排放总量

支流污染源包括点污染源与面污染源, 根据支流入黄口污染物逐月浓度, 结合各支流流量, 对各入黄支流污染物总量进行统计, 详见表 8.2.4-5。

表 8.2.4-5 坝址~三门峡河段入黄支流污染源排放量统计

行政区划	入黄支流	COD 入河总量 (t/a)	氨氮入河总量 (t/a)	总氮入河总量 (t/a)	总磷入河总量 (t/a)
山西省	汾河	29565.79	987.53	8126.10	183.60
山西省	涑水河	72952.59	1549.88	30116.85	537.66
陕西省	渭河	40229.06	1132.64	9960.31	307.46
合计		142747.43	3670.05	48203.26	1028.72

坝址~三门峡河段 3 条较大支流污染源 COD、氨氮、总氮、总磷年入黄河总量分别为 142747.43t/a、3670.05 t/a、48203.26t/a、1028.72 t/a。入黄支流污染源主要集中在山西省涑水河, 其中 COD、氨氮、总氮、总磷年入黄河量分别占总污染物入黄河量的 51.11%, 42.23%, 62.48%, 52.27%。

2) 支流污染物月排放量统计

根据各入黄支流逐月污染物浓度值, 入黄支流污染物月排放量统计详见表 8.2.4-6。

表 8.2.4-6 支流污染源逐月入河量 单位: t/月

月份		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
汾河	COD	2514.40	1213.10	1702.44	1276.90	1263.37	1453.89	3340.27	5795.98	4663.99	3067.19	2261.53	1546.41
	NH ₃ -N	340.56	173.94	30.01	4.36	26.81	2.36	33.40	253.92	46.64	37.64	8.59	41.51
	TN	750.50	491.80	461.10	225.99	361.03	434.93	840.08	1606.31	1001.65	1148.80	485.29	465.20
	TP	22.92	14.45	9.23	5.82	6.01	10.61	20.04	27.60	28.87	22.31	12.88	5.49
渭河	COD	2777.38	2945.20	3815.93	3190.47	5226.56	4509.25	6681.63	7662.12	12039.78	11150.18	7634.25	6523.58
	NH ₃ -N	208.86	77.99	28.53	64.54	53.05	77.21	59.21	149.68	150.50	300.57	189.54	217.45
	TN	1764.19	1357.28	1249.98	1413.44	2012.62	1507.20	2309.19	2879.53	4896.18	4750.95	3495.96	2961.70
	TP	22.22	16.59	23.18	23.66	40.56	40.15	63.76	57.02	90.30	67.87	57.92	43.49
涑水河	COD	2312.61	3427.03	2462.48	3588.71	1571.70	1512.82	6124.39	6761.98	4737.28	3531.45	2748.53	2004.28
	NH ₃ -N	54.74	66.68	25.39	34.92	63.79	79.56	141.96	226.32	177.68	119.90	87.61	72.04
	TN	700.85	923.03	345.10	504.36	485.38	434.34	1127.34	1907.15	1590.20	1098.61	554.86	419.42
	TP	18.46	12.23	15.00	20.85	9.25	17.68	45.09	71.76	44.42	26.49	17.18	14.65

8.2.4.3 供水区污染源调查

古贤水库供水任务以农业灌溉、工业和生活为主。古贤水库供水区涉及陕西渭河流

域、山西汾河流域以及涑水河流域。根据工程可研，古贤水库供水范围为陕西省延安、渭南等市的 9 个县（市、区）及山西省临汾、运城市的 18 个县（市、区），见表 8.2.4-7。

表 8.2.4-7 古贤水库供水范围表

省份	市	县（市、区）
陕西省	延安	宜川县
	渭南	韩城市、临渭区、合阳县、白水县、蒲城县、澄城县、富平县、大荔县
	小计	9 个县（市、区）
山西省	运城	盐湖区、闻喜县、绛县、夏县、万荣县、临猗县、永济市、河津市、稷山县、新绛县
	临汾	尧都区、吉县、洪洞县、襄汾县、乡宁县、侯马市、曲沃县、翼城县
	小计	18 个县（市、区）

1. 供水区点污染源

（1）工业污染源

根据山西、陕西两省生态环境厅提供的资料，并结合全国第三次水资源调查评价污染源调查结果，供水区范围内统计的工业企业，重点从事煤矿加工、发电、化工、化肥、造纸等行业，其中发电、造纸、化肥等行业排污量较大。据统计，供水区 4 市 27 个县（市、区）工业污染源废水排放量为 7676.43 万 t/a，主要污染物 COD、氨氮、总氮、总磷排放量分别为 11739.96t/a、516.08t/a、69.57t/a、109.43t/a，各县区污染源统计结果见表 8.2.4-8。

表 8.2.4-8 古贤供水区范围内工业污染源统计结果

省份	市	县（市、区）	废水入河量 （万 t/a）	COD （t/a）	氨氮 （t/a）	总氮 （t/a）	总磷 （t/a）
陕西省	延安市	宜川	2.20	7.61	0.86	/	/
	渭南市	韩城	226.77	346.87	15.45	6.20	0.98
		临渭	1.38	115.91	1.94	3.67	0.18
		合阳	60.51	272.48	4.62	/	/
		澄城	264.18	124.79	3.45	3.03	/
		大荔	1.00	2.00	0.40	/	/
		富平	43.49	118.20	3.56	3.40	0.31
		蒲城	675.59	5797.71	38.26	51.96	0.63
		白水	22.81	55.87	1.33	1.25	0.18
		小计	1295.73	6828.93	69.02	69.57	2.28
	陕西省合计		1297.93	6836.54	69.88	69.57	2.28
山西省	运城市	盐湖区	/	/	/	/	/
		万荣县	716.42	756.93	7.64	/	0.64
		临猗县	613.78	492.46	54.27	/	37.60
		闻喜县	1330.20	1249.39	61.91	/	38.24
		绛 县	/	/	/	/	/
		夏 县	/	/	/	/	/
		永济市	/	/	/	/	/
		稷山县	151.87	131.63	73.44	/	/
		新绛县	432.00	260.31	178.33	/	19.04
		河津市	325.02	231.66	5.14	/	8.28
		小计	3569.29	3122.38	380.72	/	98.90

省份	市	县（市、区）	废水入河量 （万 t/a）	COD （t/a）	氨氮 （t/a）	总氮 （t/a）	总磷 （t/a）
	临汾市	尧都区	345.92	640.66	20.83	/	5.43
		曲沃县	45.61	12.77	0.51	/	0.14
		翼城县	/	/	/	/	/
		襄汾县	/	/	/	/	/
		洪洞县	2372.07	1116.21	43.82	/	2.35
		侯马市	45.61	11.40	0.31	/	0.33
		吉 县	/	/	/	/	/
		乡宁县	/	/	/	/	/
		小计	2809.21	1781.04	65.48	/	8.25
	山西省合计		6378.50	4903.42	446.20	/	/
供水区合计		7676.43	11739.96	516.08	69.57	109.43	

备注：上表中“/”表示收集到的资料中无该污染物统计结果。

（2）城镇生活污染源调查

供水区 4 市 27 个县区域城镇生活废水排放量为 24570.35 万 t/a，主要污染物 COD、氨氮、总氮、总磷入河量分别为 16326.15t/a、1738.97t/a、150.67t/a、233.67t/a，各县（市、区）污染物排放统计结果见表 8.2.4-9。

表 8.2.4-9 古贤供水区范围内城镇生活污染源统计结果

省份	市	县（市、区）	废水入河量 （万 t/a）	COD（t/a）	氨氮（t/a）	总氮（t/a）	总磷（t/a）
陕西省	延安市	宜川	97.96	48.76	4.78	/	/
	渭南市	韩城	625.19	321.94	26.62	/	/
		临渭	4374.51	3757.22	119.47	113.87	/
		合阳	428	215.52	19.2	/	1.2
		澄城	421.3	188.42	10.61	15.62	/
		大荔	739.71	463	22	/	/
		富平	619.5	322.01	35.02	/	/
		蒲城	663.17	1469.07	289.27	10.59	0.38
		白水	191.28	111.29	9.45	10.59	0.38
		小计	8062.66	6848.46	531.64	150.67	1.96
陕西省合计		8160.62	6897.22	536.42	150.67	1.96	
山西省	运城市	盐湖区	1895.3	1710.7	81.68	/	14.5
		万荣县	365	208.05	1.9	/	9.2
		临猗县	819.94	385.36	34.72	/	33.83
		闻喜县	473.04	250.71	8.13	/	11.01
		绛 县	469.88	305.89	39.75	/	11.62
		夏 县	189.21	100.28	20.05	/	3.41
		永济市	1507.42	678.33	80.79	/	29.1
		稷山县	482.81	261.65	2.13	/	12.46
		新绛县	826	573.22	339.67	/	29.22
		河津市	753.71	165.81	4.08	/	2.56
		小计	7782.31	4640	612.9	/	156.92
	临汾市	尧都区	6137.74	3413.57	344.48	/	44.23
		曲沃县	54.43	169.28	22.59	/	1.55
		翼城县	/	/	/	/	/
		襄汾县	37.84	4.54	0.45	/	0.69
		洪洞县	1715.53	952.86	195.98	/	23.43
		侯马市	523.5	233.56	24.07	/	1.47

省份	市	县（市、区）	废水入河量 (万 t/a)	COD (t/a)	氨氮 (t/a)	总氮 (t/a)	总磷 (t/a)
		吉 县	110.38	5.52	1.4	/	3.14
		乡宁县	48	9.6	0.68	/	0.28
		小计	8627.42	4788.93	589.65	/	74.79
	山西省合计		16409.73	9428.93	1202.55	/	231.71
	供水区合计		24570.35	16326.15	1738.97	150.67	233.67

备注：上表中“/”表示收集到的资料中无该污染物统计结果。

2. 供水区面源污染估算

古贤供水区面源污染主要包括农村生活污水污染、农田径流污染。

（1）农村生活源

根据调查，古贤水库供水区涉及的延安、渭南、临汾、运城 4 市 27 县的乡镇中，大部分生活污水为无组织排放。故将各县农业人口产生的生活污染源按面源形式计入。根据可研，陕西省农村居民人均日用水量为 77L/人·d、山西省农村居民人均日用水量为 55L/人·d，参考《第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》等相关资料（8.2.4-10），确定农村人均生活污水污染排放量。

表 8.2.4-10 古贤供水区人均生活污水排放量系数取值表 单位：g/人·d

省份	市	COD	氨氮	总氮	总磷
陕西省	延安市	69	8.0	11.4	0.95
	渭南市	53	7.3	10.1	0.74
山西省	临汾市	63	7.7	10.6	0.74
	运城市	63	7.7	10.6	0.74

根据《华北地区农村生活污水处理技术指南（试行）》，农村生活污水污染物入河系数取 0.5，根据可研中供水区 2020 年各县区农村人口数量，确定现状年供水区农村生活污水污染源入河量见表 8.2.4-11。

表 8.2.4-11 古贤供水区现状年农村生活污染物入河量

省份	市	县（市、区）	废水排放量 (万 t/a)	COD (t/a)	氨氮 (t/a)	总氮 (t/a)	总磷 (t/a)
陕西省	延安市	宜川	82.77	296.68	34.40	49.02	4.08
		韩城	160.90	576.74	66.87	95.29	7.94
	渭南市	临渭	578.96	2075.24	240.61	342.87	28.57
		合阳	273.60	980.70	113.70	162.03	13.50
		澄城	232.57	833.62	96.65	137.73	11.48
		大荔	484.11	1735.25	201.19	286.69	23.89
		富平	515.31	1847.07	214.15	305.17	25.43
		蒲城	509.26	1825.41	211.64	301.59	25.13
		白水	163.57	586.31	67.98	96.87	8.07
		小计	2918.28	10460.34	1212.79	1728.23	144.02
	陕西省合计		3001.05	10757.02	1247.19	1777.25	148.10
山西省	运城市	盐湖区	237.49	1088.12	132.99	183.08	12.78
		万荣县	249.03	1141.01	139.46	191.98	13.40

省份	市	县（市、区）	废水排放量 (万 t/a)	COD (t/a)	氨氮 (t/a)	总氮 (t/a)	总磷 (t/a)
		临猗县	291.99	1337.85	163.51	225.10	15.71
		闻喜县	206.37	945.55	115.57	159.09	11.11
		绛 县	124.67	571.20	69.81	96.11	6.71
		夏 县	199.65	914.74	111.80	153.91	10.74
		永济市	213.30	977.29	119.45	164.43	11.48
		稷山县	191.92	879.33	107.47	147.95	10.33
		新绛县	167.73	768.49	93.93	129.30	9.03
		河津市	167.43	767.11	93.76	129.07	9.01
		小计	2049.56	9390.70	1147.75	1580.02	110.30
	临汾市	尧都区	263.99	1209.54	147.83	203.51	14.21
		曲沃县	118.94	544.98	66.61	91.70	6.40
		翼城县	151.77	695.37	84.99	117.00	8.17
		襄汾县	265.59	1216.90	148.73	204.75	14.29
		洪洞县	386.44	1770.62	216.41	297.91	20.80
		侯马市	82.91	379.88	46.43	63.92	4.46
		吉 县	50.39	230.87	28.22	38.84	2.71
		乡宁县	122.46	561.08	68.58	94.40	6.59
		小计	1442.49	6609.22	807.79	1112.03	77.63
	山西省合计		3492.05	15999.92	1955.55	2692.05	187.94
	供水区合计		6493.10	26756.94	3202.74	4469.30	336.04

根据估算，供水区 4 市 27 个县（市、区）农村生活废水排放量为 6493.10 万 t/a，主要污染物 COD、氨氮、总氮、总磷入河量分别为 26756.94t/a、3202.74 t/a、4469.30t/a、336.04t/a。

（2）农田径流污染

根据《第一次全国污染源普查 农业污染源肥料流失系数手册》，结合生态环境部环境规划院和中国环境科学研究院推荐的“标准农田法”估算种植业面源流失量，农田面源污染物入河系数取 0.065。估算农田化肥流失系数见表 8.2.4-12。

表 8.2.4-12 供水区农田化肥流失系数 单位：kg/亩

污染物	COD	氨氮	总氮	总磷
流失系数	10	0.085	0.3	0.04

根据供水区耕地面积，确定古贤供水区农田径流污染入河量见表 8.2.4-13。

表 8.2.4-13 古贤供水区现状年农田径流污染物排放量

省份	市	县（市、区）	COD (t/a)	氨氮 (t/a)	总氮 (t/a)	总磷 (t/a)
陕西省	延安市	宜川	134.4	1.14	4.03	0.53
	渭南市	韩城	219.6	1.86	6.58	0.87
		临渭	535.2	4.54	16.05	2.14
		合阳	527.4	4.48	15.82	2.10
		澄城	433.2	3.68	12.99	1.73
		大荔	666.6	5.66	19.99	2.66
		富平	599.4	5.09	17.98	2.39
		蒲城	800.4	6.80	24.01	3.20
		白水	235.2	1.99	7.05	0.94
		小计	4017	34.14	120.51	16.06

省份	市	县（市、区）	COD（t/a）	氨氮（t/a）	总氮（t/a）	总磷（t/a）
	陕西省合计		4151.4	35.28	124.54	16.60
山西省	运城市	盐湖区	591.5	5.02	17.74	2.36
		万荣县	647.2	5.50	19.41	2.58
		临猗县	902.0	7.66	27.05	3.60
		闻喜县	502.8	4.27	15.08	2.01
		绛 县	269.2	2.28	8.07	1.07
		夏 县	399.5	3.39	11.98	1.59
		永济市	530.0	4.50	15.89	2.11
		稷山县	316.6	2.69	9.49	1.26
		新绛县	347.0	2.949	10.40	1.38
		河津市	184.4	1.56	5.53	0.73
		小计	4690.0	39.86	140.70	18.76
	临汾市	尧都区	537.4	4.56	16.12	2.14
		曲沃县	234.7	1.99	7.04	0.93
		翼城县	355.0	3.01	10.64	1.41
		襄汾县	567.4	4.82	17.02	2.26
		洪洞县	636.3	5.40	19.08	2.54
		侯马市	93.4	0.79	2.80	0.37
		吉 县	214.9	1.82	6.44	0.85
		乡宁县	351.7	2.98	10.55	1.40
	小计	2990.8	25.42	89.72	11.96	
山西省合计		7680.8	65.28	230.42	30.72	
供水区合计		11832.2	100.57	354.96	47.32	

根据估算，供水区 4 市 27 个县（市、区）农田径流 COD、氨氮、总氮、总磷入河量分别为 11832.2t/a、100.57 t/a、354.96 t/a、47.32t/a。

4. 供水区污染源汇总

现状年供水区污染负荷汇总见表 8.2.4-14。古贤供水区 COD、NH₃-N、TN 和 TP 入河总量分别为 66655.23t/a，5558.36t/a，5044.50t/a，726.47t/a，其中污染负荷以面源为主，COD、NH₃-N、TN 和 TP 分别占总污染负荷的 57.89%、59.43%、95.63%、52.77%。

表 8.2.4-14 古贤供水区现状年污染源汇总表

行政区划			供水区点污染源入河量汇总					供水区面污染源入河量汇总					供水区污染源入河量汇总				
省份	市	县(市、区)	废水排放量 (万 t/a)	COD (t/a)	氨氮(t/a)	总氮(t/a)	总磷(t/a)	废水排放量 (万 t/a)	COD(t/a)	氨氮(t/a)	总氮(t/a)	总磷(t/a)	废水排放量 (万 t/a)	COD (t/a)	氨氮 (t/a)	总氮(t/a)	总磷 (t/a)
陕西省	延安市	宜川	100.16	56.37	5.64	0.00	0.00	33.11	431.08	35.54	53.05	4.62	182.93	487.45	41.18	53.05	4.62
	渭南市	韩城	851.96	668.81	42.07	6.20	0.98	64.36	796.34	68.73	101.87	8.82	1012.86	1465.15	110.80	108.07	9.80
		临渭	4375.89	3873.13	121.41	117.54	0.18	231.59	2610.44	245.16	358.92	30.71	4954.85	6483.57	366.57	476.46	30.89
		合阳	488.51	488.00	23.82	0.06	1.20	109.44	1508.10	118.19	177.85	15.61	762.11	1996.10	142.01	177.91	16.81
		澄城	685.48	313.21	14.06	18.65	0.00	93.03	1266.82	100.33	150.73	13.21	918.05	1580.03	114.39	169.38	13.21
		大荔	740.71	465.00	22.40	0.00	0.00	193.64	2401.85	206.85	306.69	26.56	1224.82	2866.85	229.25	306.69	26.56
		富平	662.99	440.21	38.58	3.40	0.31	206.12	2446.47	219.25	323.15	27.83	1178.30	2886.68	257.83	326.55	28.14
		蒲城	1338.76	7266.78	327.53	62.55	1.01	203.71	2625.81	218.45	325.60	28.33	1848.02	9892.59	545.98	388.15	29.34
		白水	214.09	167.16	10.78	11.84	0.56	65.43	821.51	69.98	103.92	9.01	377.66	988.67	80.76	115.76	9.57
		小计	9358.39	13677.39	600.66	220.24	4.24	1167.31	14477.34	1246.94	1848.74	160.09	12276.67	28154.73	1847.60	2068.98	164.33
	陕西省合计		9458.55	13733.76	606.30	220.24	4.24	1200.42	14908.42	1282.48	1901.79	164.71	12459.60	28642.18	1888.78	2122.03	168.95
山西省	运城市	盐湖区	1895.30	1710.70	81.68	0.00	14.50	94.99	1679.66	138.02	200.83	15.15	2132.79	3390.36	219.70	200.83	29.65
		万荣县	1081.42	964.98	9.54	0.00	9.84	99.61	1788.17	144.96	211.39	15.99	1330.45	2753.15	154.50	211.39	25.83
		临猗县	1433.72	877.82	88.99	0.00	71.43	116.80	2239.83	171.18	252.16	19.32	1725.71	3117.65	260.17	252.16	90.75
		闻喜县	1803.24	1500.10	70.04	0.00	49.25	82.55	1448.35	119.84	174.18	13.12	2009.61	2948.45	189.88	174.18	62.37
		绛 县	469.88	305.89	39.75	0.00	11.62	49.87	840.36	72.10	104.18	7.79	594.55	1146.25	111.85	104.18	19.41
		夏 县	189.21	100.28	20.05	0.00	3.41	79.86	1314.22	115.20	165.89	12.34	388.86	1414.50	135.25	165.89	15.75
		永济市	1507.42	678.33	80.79	0.00	29.10	85.32	1507.27	123.95	180.33	13.60	1720.72	2185.60	204.74	180.33	42.70
		稷山县	634.68	393.28	75.57	0.00	12.46	76.77	1195.89	110.16	157.45	11.59	826.60	1589.17	185.73	157.45	24.05
		新绛县	1258.00	833.53	518.00	0.00	48.26	67.09	1115.47	96.88	139.71	10.41	1425.73	1949.00	614.88	139.71	58.67

行政区划			供水区点污染源入河量汇总					供水区面污染源入河量汇总					供水区污染源入河量汇总				
省份	市	县（市、区）	废水排放量 （万 t/a）	COD （t/a）	氨氮（t/a）	总氮（t/a）	总磷（t/a）	废水排放量 （万 t/a）	COD（t/a）	氨氮（t/a）	总氮（t/a）	总磷（t/a）	废水排放量 （万 t/a）	COD （t/a）	氨氮 （t/a）	总氮（t/a）	总磷 （t/a）
		河津市	1078.73	397.47	9.22	0.00	10.84	66.97	951.49	95.33	134.60	9.75	1246.16	1348.96	104.55	134.60	20.59
		小计	11351.60	7762.38	993.62	0.00	255.82	819.82	14080.72	1187.62	1720.72	129.06	13401.16	21843.10	2181.24	1720.72	384.88
	临汾市	尧都区	6483.66	4054.23	365.31	0.00	49.66	105.59	1746.96	152.40	219.63	16.36	6747.65	5801.19	517.71	219.63	66.02
		曲沃县	100.04	182.05	23.10	0.00	1.69	47.58	779.70	68.60	98.74	7.34	218.98	961.75	91.70	98.74	9.03
		翼城县	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.71	1050.33	88.01	127.65	9.59	151.77	1050.33	88.01	127.65	9.59
		襄汾县	37.84	4.54	0.45	0.00	0.69	106.24	1784.26	153.55	221.77	16.56	303.43	1788.80	154.00	221.77	17.25
		洪洞县	4087.60	2069.07	239.80	0.00	25.78	154.58	2406.92	221.82	317.00	23.34	4474.04	4475.99	461.62	317.00	49.12
		侯马市	569.11	244.96	24.38	0.00	1.80	33.16	473.30	47.22	66.72	4.84	652.02	718.26	71.60	66.72	6.64
		吉 县	110.38	5.52	1.40	0.00	3.14	20.16	445.73	30.04	45.29	3.57	160.77	451.25	31.44	45.29	6.71
		乡宁县	48.00	9.60	0.68	0.00	0.28	48.98	912.80	71.57	104.96	8.00	170.46	922.40	72.25	104.96	8.28
		小计	11436.63	6569.97	655.13	0.00	83.04	577.00	9599.98	833.22	1201.75	89.60	12879.12	16169.95	1488.35	1201.75	172.64
		山西省合计	22788.23	14332.35	1648.75	0.00	338.86	1396.82	23680.70	2020.83	2922.47	218.66	26280.28	38013.05	3669.58	2922.47	557.52
	供水区合计			32246.78	28066.11	2255.05	220.24	343.10	2254.26	38589.12	3303.31	4824.26	383.37	38739.88	66655.23	5558.36	5044.50

供水区各市污染物统计见表 8.2.4-15，由表可知，供水区废污水量、COD、氨氮、总氮、总磷污染物主要集中在渭南市、运城市、临汾市。

表 8.2.4-15 古贤供水区现状年各市污染物入河量

省份	市	污水量 (万 m ³ /a)	化学需氧量 (t/a)	氨氮 (t/a)	总氮 (t/a)	总磷 (t/a)
陕西省	延安市	182.93	487.45	41.18	53.05	4.62
	渭南市	12276.67	28154.73	1847.60	2068.98	164.33
山西省	运城市	13401.16	21843.10	2181.24	1720.72	384.88
	临汾市	12879.12	16169.95	1488.35	1201.75	172.64
合计		38739.87	66655.22	5558.35	5044.50	726.46

8.2.5 地表水质现状调查与评价

8.2.5.1 库区及坝址下游区国控、省控断面水质监测评价

1. 断面设置

评价收集了山西、陕西两省生态环境厅 2019 年~2021 年 13 个黄河流域国控、省控断面水质数据。其中库区河段包括黄河干流柏树坪断面，入库支流三川河两河口桥、无定河王家河、昕水河黑城村、清涧河杨家畔村、延河寺滩 6 个断面。坝址~三门峡河段包括黄河干流壶口、龙门、风陵渡大桥、三门峡水库，入黄支流汾河庙前、涑水河张留庄、渭河吊桥 7 个断面，水质监测断面基本情况见表 8.2.5-1，图 8.2.5-1。

表 8.2.5-1 评价河段国控、省控断面选取基本情况

河流 水系	河段	断面	距坝址距离	监测河段	所属水功能区	水质目 标	备注
库区	黄河干流	柏树坪	坝址上游 204km	库尾河段	黄河晋陕开发利用区	III	代表古贤入库水质
	入库支流	三川河两河口桥	入黄口距离坝址上游 191.5km	三川河入黄口	三川河柳林缓冲区	V	代表入库支流三川河水质执行《山西省水环境功能区划》标准
		无定河王家河	入黄口距离坝址上游 138.5km	无定河入黄口	无定河绥德缓冲区	III	代表入库支流无定河水质
		清涧河杨家畔	入黄口距离坝址上游 76km	清涧河入黄口	清涧河延川缓冲区	III	代表入库支流清涧河水质
		昕水河黑城村	入黄口距离坝址上游 29.4km	昕水河入黄口	昕水河大宁缓冲区	III	代表入库支流昕水河水质执行《山西省水环境功能区划》标准
		延河寺滩白家河	入黄口距离坝址上游 20.6km	延河入黄口	延河延长缓冲区	III	代表入库支流延河水质
坝址~三门峡河段	干流	壶口	坝址下游 10.1km	吴堡—龙门	黄河晋陕开发利用区	III	代表古贤出库水质
		龙门	坝址下游 72.5 km	吴堡—龙门	黄河晋陕开发利用区	III	代表古贤坝下龙门断面水质

河流 水系	河段	断面	距坝址距离	监测河段	所属水功能区	水质目 标	备注
		风陵渡大桥	坝址下游 205km	龙门—潼关	三门峡水库开 发利用区	III	代表古贤坝下潼关断面水质
		三门峡库区	坝址下游 317km	三门峡公路 桥—三门峡		III	代表古贤坝下三门峡水库库 区水质
	坝址~ 三门峡 河段支流	汾河庙前	入黄口距离坝址 下游 112.48km	汾河入黄口	汾河河津缓冲 区	V	代表坝下入黄支流汾河水质 昕水河水质 执行《山西省水环境功能区 划》标准
		涑水河张 留庄	入黄口距离坝址 下游 193.08km	涑水河入黄 口	涑水河永济缓 冲区	V	代表坝下支流涑水河水质
		渭河吊桥	入黄口距离坝址 下游 200.32 km	渭河入黄口	渭河华阴缓冲 区	IV	代表坝下支流渭河水质

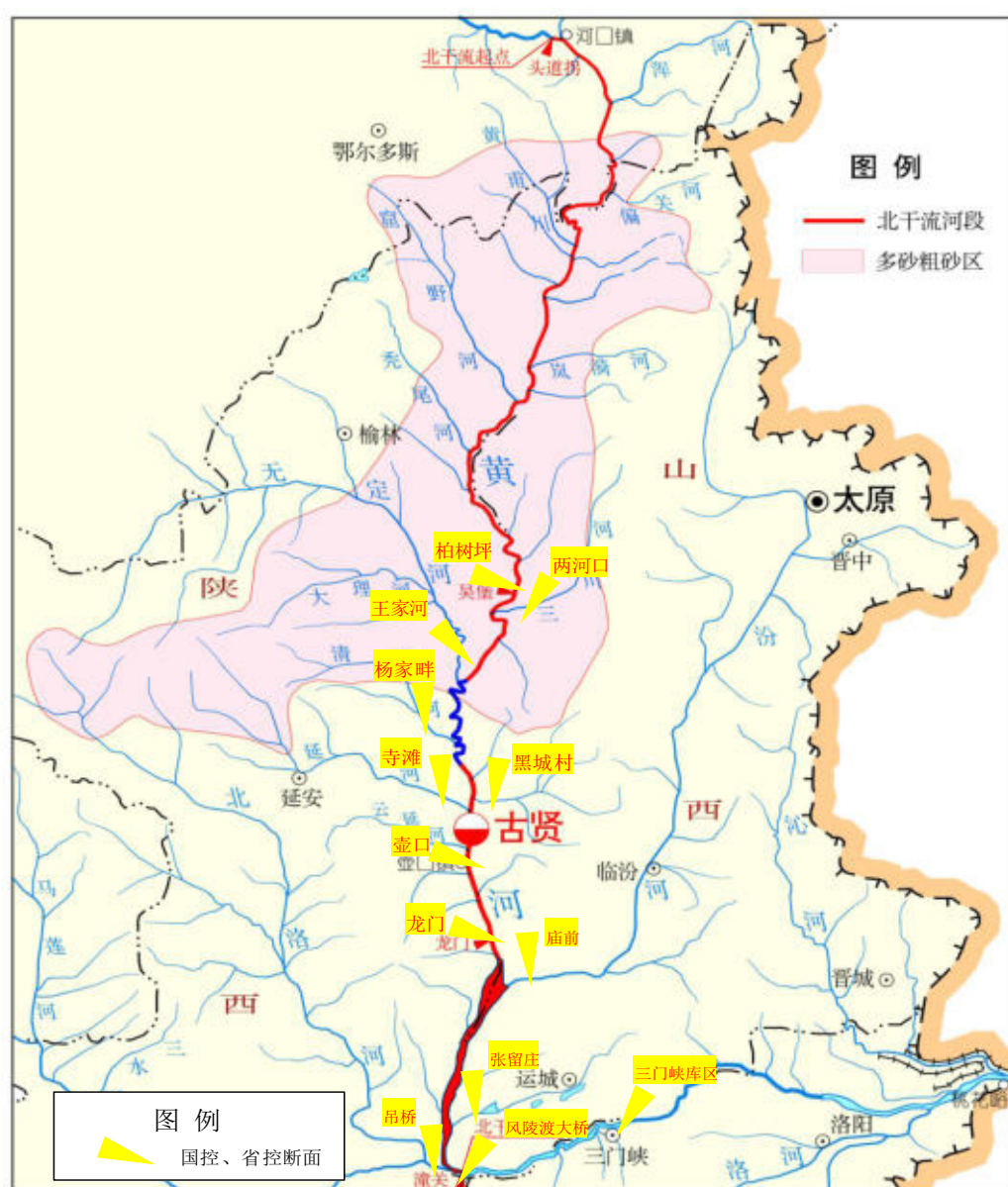


图 8.2.5-1 评价河段国控、省控断面分布示意图

2. 监测因子

pH值、溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、总磷、铜、锌、氟化物、硒、砷、汞、镉、铬（六价）、铅、氰化物、挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂、硫化物共21项。

3. 评价方法

水质评价采用单因子评价法。

本次评价执行《地表水环境质量标准》（GB3838—2002）III类~V类标准值。具体见表 8.2.5-2。

表 8.2.5-2 不同监测断面执行标准基本情况

河流水系	监测断面	执行标准	备注
黄河干流	柏树坪	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III类	库区河段
入库支流三川河	两河口桥	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类	
入库支流无定河	王家河	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III类	
入库支流清涧河	杨家畔村	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III类	
入库支流昕水河	黑城村	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III类	
入库支流延河	寺滩	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III类	
黄河干流	壶口	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III类	坝址~三门峡河段
黄河干流	龙门	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III类	
黄河干流	风陵渡大桥	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III类	
黄河干流	三门峡库区	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III类	
入黄支流汾河	庙前	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类	
入黄支流涑水河	张留庄	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类	
入黄支流渭河	吊桥	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）IV类	

4. 现状评价结果

（1）库区河段

根据国、省控断面监测数据，2019年~2021年库区河段年均及年内不同水期水质类别、超标因子、超标倍数与极值见表 8.2.5-3~表 8.2.5-5。

表 8.2.5-3 库区河段 2019 年国、省控监测断面评价结果一览表

水体	河段	监测断面		评价时段	2019 年水质类别	
		断面名称	水质目标		水质现状	超标因子、倍数、极值
库区	干流	柏树坪	III	全年	II	/
				丰水期	II	/
				平水期	II	/
				枯水期	II	/
	入库支	三川河两河口	V	全年	劣 V	氨氮（0.85）[11]
				丰水期	IV	/
				平水期	劣 V	氨氮（0.085）[4.8]

水体	河段 流	监测断面		评价时段	2019 年水质类别	
		断面名称	水质目标		水质现状	超标因子、倍数、极值
		桥			劣 V	氨氮 (2.64) [11], TP (0.06) [0.49]
	无定河王家河	III		全年	III	/
				丰水期	IV	COD (0.4) [38]
				平水期	III	/
				枯水期	IV	/
	清涧河杨家畔村	III		全年	IV	氨氮 (0.655) [4.97], COD (0.154) [36]
				丰水期	IV	COD (0.275) [47]
				平水期	IV	高锰酸盐指数 (0.17) [9.5], 氨氮 (0.56) [2.63], COD (0.337) [36]
				枯水期	V	氨氮 (1.545) [4.97]
	昕水河黑城村	III		全年	IV	氨氮 (0.47) [7.04]
				丰水期	IV	BOD ₅ (0.175) [6.4], COD (0.0125) [24]
				平水期	III	氨氮 (0.47) [3.19]
				枯水期	V	氨氮 (1.57) [7.04], TP (0.1) [0.63]
	延河寺滩	III		全年	IV	氨氮 (0.27) [3.23], COD (0.22) [49]
				丰水期	IV	COD (0.31) [42]
				平水期	V	高锰酸盐指数 (0.025) [9.8], BOD ₅ (0.13) [4.9], 氨氮 (0.93) [3.23], COD (0.52) [49]
				枯水期	IV	氨氮 (0.46) [2.64]

表 8.2.5-4 库区河段 2020 年国控、省控监测监测断面评价结果一览表

水体	河段	监测断面		评价时段	2020 年水质类别	
		断面名称	水质目标		水质现状	超标因子、倍数、极值
库区	干流	柏树坪	III	全年	II	/
				丰水期	II	/
				平水期	II	/
				枯水期	II	/
	入库支流	三川河两河口桥	V	全年	V	/
				丰水期	III	/
				平水期	IV	/
				枯水期	劣 V	氨氮 (0.67) [5.29]
		无定河王家河	III	全年	III	/
				丰水期	IV	COD (0.16) [39]
				平水期	IV	高锰酸盐指数 (0.004) [11.5], COD (0.025) [32]
				枯水期	IV	氨氮 (0.225) [2.65]
		清涧河杨家畔村	III	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	IV	COD (0.14) [30]
				枯水期	III	/
		昕水河黑城村	III	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	III	/
				枯水期	III	/
		延河寺滩	III	全年	IV	氨氮 (0.27) [3.23], COD (0.22) [49]
				丰水期	IV	COD (0.31) [42]
				平水期	IV	高锰酸盐指数 (0.025) [9.8], BOD ₅ (0.13) [4.9], 氨氮 (0.93) [3.23], COD (0.52) [49]
				枯水期	IV	氨氮 (0.46) [2.64]

表 8.2.5-5 库区河段 2021 年国控、省控监测断面评价结果一览表

水体	河段	监测断面		评价时段	2021 年水质类别	
		断面名称	水质目标		水质现状	超标因子、倍数、极值
库区	干流	柏树坪	III	全年	III	/
				丰水期	II	/
				平水期	IV	COD (0.16) [34]
				枯水期	II	/
	入库支流	三川河两河口桥	V	全年	III	/
				丰水期	IV	/
				平水期	III	/
				枯水期	IV	/
		无定河王家河	III	全年	IV	COD (0.20) [40]
				丰水期	IV	BOD ₅ (0.04) [6.6], COD (0.16) [40]
				平水期	IV	COD (0.40) [39]
				枯水期	III	/
		清涧河杨家畔村	III	全年	III	/
				丰水期	IV	COD (0.13) [32.5]
				平水期	IV	COD (0.35) [36.5]
				枯水期	III	/
		昕水河黑城村	III	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	III	/
				枯水期	III	/
		延河寺滩	III	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	IV	COD (0.04) [32.5]
				枯水期	III	/

根据国控、省控断面监测数据，评价范围内库区河段干、支流断面 2019 年~2021 年水质现状评价结果如下：

1) 干流

入库干流代表断面柏树坪 2019 年~2021 年断面水质良好，除 2021 年平水期 COD 超标外，其余各项指标不同水期均符合《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)的 II 类水质标准。

2) 支流

① 入库支流三川河两河口桥断面 2019 年~2020 年水环境质量现状较差，水质为 III~劣 V 类，2021 年水质有所好转，为 IV 类水体，能够满足水环境功能区水质目标要求。根据监测结果，各断面水质超标因子主要为化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、总磷，以氨氮超标最明显。根据污染源调查，两河口桥断面水质较差的原因主要是三川河流经方山县、柳林县，沿程接纳城镇生活污染，沿岸分布煤电化工企业，三川河接纳

废水年排放量为 743.95 万 t/a,其中污染物 COD、氨氮、总氮年入河量分别为 1107.41t/a, 21.82t/a, 743.93t/a。加之三川河年径流量较小,纳污能力较小,多重因素共同作用,造成三川河现状水质较差。

② 入库支流无定河王家河断面 2019 年~2021 年水质为 III~IV 类,超标因子主要为高锰酸盐指数、COD、五日生化需氧量、氨氮。根据污染源调查结果,无定河流经榆林市榆阳区,沿途分布较多的村庄生活排污口,途经横山区、米脂县、绥德县又接纳了大量的工业、养殖废水与城镇生活污水。据统计,无定河接纳废水量为 6220.94 万 t/a,其中污染物 COD、氨氮、总氮、总磷年入河量分别为 4785.36t/a, 528.03t/a, 1488.63 t/a, 92.09 t/a。

③ 入库支流清涧河杨家畔村断面 2019 年水环境质量现状较差,为 IV~V 类水质标准,超标因子主要为高锰酸盐指数、COD、氨氮,2020 年~2021 年水环境质量有所改善,为 III~IV 类水质标准,主要在水期 COD 超标,全年则能够满足水质目标。

④ 入库支流昕水河黑城村断面 2019 年水环境质量较差,为 IV 类水质标准,不能满足水环境功能区水质目标要求,2020 年~2021 年水环境质量好转,一般为 III 类水质标准,各项指标均能满足《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)的 III 类水质标准。根据污染源调查结果,清涧河无工业企业分布,沿程接纳大宁县和蒲县的城镇污水。据统计,昕水河流域污水处理厂废水排放量为 255.44 万 t/a,其中污染物 COD、氨氮、总磷年入河量分别为 218.51t/a、13.01t/a、6.95t/a。

⑤ 入库支流延河寺滩断面 2019 年~2020 年水环境质量较差,一般为 IV~V 类水质标准,不同年内各水期均不能满足水质目标。根据监测数据分析,各断面水质超标因子主要为高锰酸盐指数、COD、五日生化需氧量、氨氮。2021 年水环境质量有所改善,为 III~IV 类水质标准,主要在水期 COD 超标,全年能够满足水质目标。根据污染源调查,除延安市、延长县、安塞区市县污水处理厂排污外,还有部分生活排污口直接进入延河。据统计,延河接纳废水量为 2286.53 万 t/a,其中污染物 COD、氨氮入河量分别为 1590.15 t/a、162.09t/a。

(2) 坝址~三门峡河段

根据国控、省控断面监测数据,2019 年~2021 年坝址~三门峡河段年均及年内不同

水期水质类别、超标因子、超标倍数与极值见表 8.2.5-6~表 8.2.5-8。

表 8.2.5-6 坝址~三门峡河段 2019 年国控、省控监测断面评价结果一览表

水体	河段	监测断面		评价时段	2019 年水质类别	
		断面名称	水质目标		水质现状	超标因子、倍数、极值
坝址~三门峡河段	干流	龙门	III	全年	II	/
				丰水期	II	/
				平水期	II	/
				枯水期	II	/
		风陵渡大桥	III	全年	II	/
				丰水期	III	/
				平水期	III	/
				枯水期	III	/
		三门峡库区	III	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	II	/
				枯水期	II	/
	坝址~三门峡河段入黄支流	汾河庙前	V	全年	V	/
				丰水期	III	/
				平水期	III	/
				枯水期	劣 V	氨氮 (1.09) [0.18]
		涑水河张留庄	V	全年	V	/
				丰水期	IV	/
				平水期	劣 V	COD (0.25) [75]
				枯水期	V	/
		渭河吊桥	IV	全年	III	/
				丰水期	IV	/
				平水期	III	/
				枯水期	III	/

表 8.2.5-7 坝址~三门峡河段 2020 年国控、省控监测断面评价结果一览表

水体	河段	监测断面		评价时段	2020 年水质类别	
		断面名称	水质目标		水质现状	超标因子、倍数、极值
坝址~三门峡河段	干流	壶口	III	全年	II	/
				丰水期	II	/
				平水期	II	/
				枯水期	II	/
		龙门	III	全年	II	/
				丰水期	II	/
				平水期	II	/
				枯水期	II	/
		风陵渡大桥	III	全年	II	/
				丰水期	III	/
				平水期	III	/
				枯水期	II	/
		三门峡库区	III	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	III	/
				枯水期	III	/
	坝址~三门峡河段入黄	汾河庙前	V	全年	IV	/
				丰水期	III	/
				平水期	V	/
				枯水期	IV	/
		涑水河张	V	全年	IV	/

水体	河段 支流	监测断面		评价 时段	2020 年水质类别	
		断面名称	水质目标		水质现状	超标因子、倍数、极值
		留庄		丰水期	V	/
				平水期	V	/
				枯水期	IV	/
		渭河吊桥	IV	全年	II	/
				丰水期	III	/
				平水期	III	/
				枯水期	II	/

表 8.2.5-8 坝址~三门峡河段 2021 年国控、省控监测断面评价结果一览表

水体	河段	监测断面		评价 时段	2021 年水质类别	
		断面名称	水质目标		水质现状	超标因子、倍数、极值
坝址~三门峡河段	干流	壶口	III	全年	II	/
				丰水期	II	/
				平水期	II	/
				枯水期	II	/
		龙门	III	全年	II	/
				丰水期	II	/
				平水期	III	/
				枯水期	II	/
		风陵渡大桥	III	全年	II	/
				丰水期	II	/
				平水期	II	/
				枯水期	II	/
		三门峡库区	III	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	III	/
				枯水期	III	/
	坝址~三门峡河段入黄支流	汾河庙前	V	全年	IV	/
				丰水期	IV	/
				平水期	IV	/
				枯水期	V	/
		涑水河张留庄	V	全年	劣 V	COD (0.087) [122]
				丰水期	IV	/
				平水期	劣 V	COD (0.175) [116]
				枯水期	劣 V	BOD ₅ (0.132) [33.2], COD (0.52) [122]
		渭河吊桥	IV	全年	III	/
				丰水期	IV	/
				平水期	III	/
				枯水期	III	/

根据国控、省控断面监测数据,评价范围内坝址~三门峡河段干、支流断面 2019 年~2021 年水质现状评价结果如下:

1) 干流

出库代表断面壶口 2020 年~2021 年断面水质良好,各项指标不同水期均符合《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)的 II 类水质标准。

坝址下游龙门断面 2019 年~2021 年不同水期内各项指标均符合 II 类水质标准。风陵渡大桥断面 2019 年~2021 年不同水期内各项指标均符合《地表水环境质量标准》

(GB3838-2002)的 II~III 类水质标准。

三门峡库区断面 2019 年~2021 年不同水期内各项指标均符合 III 类水质标准。

2) 支流

入黄支流汾河庙前断面 2019 年~2021 年能够满足 V 类水环境功能区水质标准。根据污染源调查，汾河作为入黄一级支流，流经山西大部分城镇，沿程接纳了大量的城镇生活污水和工业废水。据统计，汾河流域排污口废水排放量为 31823.8 万 t/a，其中污染物 COD、氨氮、总磷年入河量分别为 25040.2t/a、4360.8t/a、373.2t/a。

坝址~三门峡河段入黄支流涑水河张留庄断面 2019 年~2020 年水环境质量能满足水质目标，一般为 IV~V 类水质标准。2021 年水环境质量相对较差，全年不能够满足水质目标。根据污染源调查，张留庄断面水质较差的原因主要是涑水河流经的绛县、闻喜县、临猗县，工业企业以钢铁、煤化工、印染、化肥厂为主，工业类型多，废水排放量大，但涑水河年径流量很小，综合因素造成涑水河水质差。据统计，涑水河废水年排放量为 4205.47 万 t/a，其中污染物 COD、氨氮、总磷年入河量分别为 2420.19t/a、218.00t/a、125.17t/a。

坝址~三门峡河段入黄支流渭河吊桥断面 2019 年~2021 年不同时期均能满足水功能区 IV 类水质目标，一般为 II~IV 类水质标准。渭河作为入黄的最大支流，途径甘肃、陕西两省，沿程接纳城镇生活、工业企业等废污水，近几年随着陕西省开展渭河流域综合治理以及水污染防治行动，流域污染程度大幅降低，渭河水质总体呈现好转趋势。

8.2.5.2 库区、坝址下游区河段补充监测评价

1. 库区河段水质补充监测

(1) 断面设置

由于库区河段仅有柏树坪一处国控监测断面，为充分了解评价河段水质现状，本次评价委托谱尼测试有限公司于 2022 年 5 月 17 日~19 日，2022 年 7 月 28 日~30 日开展了地表水质量现状监测工作。设置补充监测断面 7 个，主要集中在库区河段，补充监测断面详见表 8.2.5-9 和图 8.2.5-2。

表 8.2.5-9 库区河段补充监测断面基本情况

点位序号	河流	监测断面	监测目的	监测时间与频次
1	库区河段	库尾	监测入库断面水质	2022 年 5 月 17~19 日，2022 年 7 月
2		屈产河与黄河交汇口下游 500m	库中断面，监测屈产河与黄河汇合后水质	
3		无定河与黄河交汇口下游 1km	库中断面，监测无定河与黄河汇合后水质	
4		清涧河与黄河交汇口下游 500m	库中断面，监测清涧河与黄河汇合后水质	

点位序号	河流	监测断面	监测目的	监测时间与频次
5		延河与黄河交汇口下游 500m	库中断面，监测延河与黄河汇合后水质	28~30 日。 连续监测 3 天，每 天 1 次。
6		坝址	坝址水质	
7	入库支流	屈产河与黄河交汇口上游 500m	支流入库断面，监测屈产河入库前水质	



图 8.2.5-2 库区河段补充监测点位示意图

(2) 因子选取

2022 年监测因子：pH、DO、COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、总磷、高锰酸盐指数、悬浮物、氰化物、砷、挥发酚、六价铬、氟化物、汞、镉、铅、铜、锌、石油类、硒、阴离子表面活性剂共 21 项监测因子。

(3) 评价方法

水质评价采用单因子评价法。

(4) 现状评价结果

根据补充监测数据，库区河段干、支流各监测断面评价结果详见表 8.2.5-10。

表 8.2.5-10 库区河段补充监测评价结果

河流	监测断面	2022 年平水期		2022 年丰水期	
		水质类别	超标因子及超标倍数	水质类别	超标因子及超标倍数
库区河段	库尾	II	/	II	/
	屈产河与黄河交汇口下游 500m	II	/	II	/
	无定河与黄河交汇口下游 1km	II	/	II	/
	清涧河与黄河交汇口下游 500m	II	/	II	/
	延河与黄河交汇口下游 500m	II	/	II	/
	坝址	II	/	II	/
入库支流	屈产河与黄河交汇口上游 500m	IV	COD (0.03), BOD ₅ (0.125)	III	/

根据表 8.2.5-10 可知，库区范围内不同监测断面水质差别不大，2022 年 5 月与 2022 年 7 月各监测断面指标均满足 II 类水质标准，说明库区范围内各监测点位水质良好，均满足水功能区水质目标要求。

入库支流屈产河 2022 年 5 月为 IV 类水质标准。由于《全国重要江河湖泊水功能区划（2011-2030 年）》未对屈产河划定水功能区，根据《山西省地表水环境功能区划》（DB14/67-2019），屈产河入黄口上游 500m 涉及屈产河农业用水保护区，水质目标要求为 III 类，因此屈产河与黄河交汇口上游 500m 在 2022 年平水期不能满足水功能区水质目标要求，主要超标因子为 COD、BOD₅，2022 年丰水期屈产河与黄河交汇口上游 500m 水质评价结果满足水功能区水质目标要求。

2. 库区河段富营养化补充监测

（1）富营养化监测断面设置

根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ 2.3-2018）要求，分别于 2017 年 5 月、2022 年 5 月、2022 年 7 月在库区及坝下河段补充监测了叶绿素 a、总磷、总氮、高锰酸盐指数、透明度等与富营养有关因子的数据，补充监测断面详见表 8.2.5-11。

表 8.2.5-11 补充监测点位基本情况

监测时间	监测水体	监测点位	监测目的
2017 年 5 月	库区河段	吴堡	监测与富营养化有关的因子
	坝下河段	壶口	监测与富营养化有关的因子
2022 年 5 月、2022 年 7 月	库区河段	库尾	监测与富营养化有关的因子
	库区河段	屈产河入黄口	监测与富营养化有关的因子
	库区河段	无定河入黄口	监测与富营养化有关的因子
	库区河段	清涧河入黄口	监测与富营养化有关的因子

监测时间	监测水体	监测点位	监测目的
	库区河段	延河入黄口	监测与富营养化有关的因子
	库区河段	古贤坝址	监测与富营养化有关的因子

(2) 因子选取

与富营养化有关的因子选取 pH、水温、叶绿素 *a*、总磷、总氮、高锰酸盐指数、透明度共 7 项。

(3) 评价方法

根据《地表水环境质量评价办法（试行）》（环办〔2011〕22 号）对各监测断面进行营养状态评价。

(4) 富营养化评价

富营养化各补充监测点位结果详见表 8.2.5-12。

表 8.2.5-12 富营养化因子监测结果

采样点	采样时间	pH	水温 ℃	溶解氧 mg/L	叶绿素 <i>a</i> ug/L	透明度 m	总磷	总氮	高锰酸 盐指数
							mg/L	mg/L	mg/L
吴堡	2017.05.21	8.33	23.2	8.43	34.4	0.25	0.05	3.49	2.2
壶口	2017.05.22	8.26	22.08	8.21	46.7	0.20	0.05	3.35	2.3
库尾	2022.05.17 ~19	8.25	19.6	7.26	7	0.91	0.02	1.61	2.03
屈产河入 黄口	2022.05.17 ~19	8.45	20.3	7.93	12.6	1.55	0.02	1.72	2.5
无定河入 黄口	2022.05.17 ~19	8.36	20.2	7.03	44.3	0.56	0.053	2.12	3.26
清涧河入 黄口	2022.05.17 ~19	8.61	21.9	6.56	10	0.26	0.023	1.45	2.8
延河入黄 口	2022.05.17 ~19	8.61	22.6	7.13	19	0.33	0.036	2.55	2.66
古贤坝址	2022.05.17 ~19	8.58	19.6	7.5	9.3	0.55	0.03	1.82	2.1
库尾	2022.07.28 ~30	8.26	18.23	6.26	2	0.11	0.07	1.17	1.73
屈产河入 黄口	2022.07.28 ~30	8.4	20.9	6.3	2	0.11	0.05	1.50	1.73
无定河入 黄口	2022.07.28 ~30	8.7	21.1	6.3	2	0.14	0.05	1.13	2.0
清涧河入 黄口	2022.07.28 ~30	8.33	22.86	6.23	2	0.12	0.056	1.45	1.7
延河入黄 口	2022.07.28 ~30	8.4	25.8	6.26	2	0.09	0.08	2.55	1.95
古贤坝址	2022.07.28 ~30	8.3	23.1	6.23	2	0.1	0.06	1.45	2.16

注：2022 年 7 月由于黄河泥沙含量较大，经监测分析，库区各监测点位叶绿素浓度均低于检出限，因此富营养化现状评价采用叶绿素检出限浓度限值 2 μg/L。

经计算，2017 年吴堡、壶口断面水环境呈轻度富营养状态；2022 年 5 月库尾、屈产河入黄口、清涧河入黄口、古贤坝址为中营养状态，支流无定河入黄口、延河入黄口

呈轻度富营养状态，2022 年 7 月库尾、屈产河入黄口、无定河入黄口为中营养状态，延河入黄口、坝址呈轻度富营养状态，补充监测富营养化评价结果详见表 8.2.5-13。

表 8.2.5-13 古贤库区河段富营养化评价结果

时间	采样点	营养状态指数	营养状态
2017 年 5 月	吴堡	57.39	轻度富营养
	壶口	59.16	轻度富营养
2022 年 5 月	库尾	42.64	中营养
	屈产河入黄口	44.10	中营养
	无定河入黄口	53.24	轻度富营养
	清涧河入黄口	48.47	中营养
	延河入黄口	53.66	轻度富营养
	古贤坝址	47.19	中营养
2022 年 7 月	库尾	48.63	中营养
	屈产河入黄口	48.35	中营养
	无定河入黄口	47.35	中营养
	清涧河入黄口	48.20	中营养
	延河入黄口	52.69	轻度富营养
	古贤坝址	50.23	轻度富营养

3. 坝址~三门峡库区河段水质补充监测

(1) 断面设置

由于龙门~潼关黄河干流河段无国控、省控监测断面，为充分了解古贤坝址下游河段水质现状，同时为判断坝址下游左右岸入河排污口污染物在沿程横断面上是否为均匀混合，为坝址下游水质预测模型选择提供依据，本次评价委托谱尼测试有限公司于 2022 年 11 月 30 日~12 月 2 日开展了坝址下游区地表水环境质量现状补充监测工作。设置补充监测断面 5 个，主要集中在坝址下游黄河干流入河排污口集中的龙门-潼关河段，补充监测断面详见表 8.2.5-14 和图 8.2.5-3。

表 8.2.5-14 坝址下游补充监测断面设置基本情况

点位序号	河流	监测断面	监测目的	监测时间与频次
1	坝址下游河段	龙门-潼关河段陕西侧排污口下游 3km	监测龙门入河排污口下游右岸水质	2022 年 11 月 30 日~12 月 2 日。 连续监测 3 天，每天 1 次。
2		龙门-潼关河段山西侧排污口下游 3km	监测龙门入河排污口下游左岸水质	
3		汾河与黄河交汇口下游 500m	监测坝址下游支流汾河与黄河汇合后水质以及坝址下游第二产卵场水质	
4		坝址下游鱼类产卵场	监测坝址下游第四产卵场水质	
5		涑水河与黄河交汇口下游 500m	监测涑水河与黄河汇合后水质	



图 8.2.5-3 坝址下游河段补充监测点位示意图

(2) 因子选取

2022 年监测因子：pH、DO、COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、总磷、高锰酸盐指数、悬浮物、氰化物、砷、挥发酚、六价铬、氟化物、汞、镉、铅、铜、锌、石油类、硒、阴离子表面活性剂共 21 项监测因子。

(3) 评价方法

水质评价采用单因子评价法。

(4) 现状评价结果

根据补充监测数据，坝址下游河段各监测断面评价结果详见表 8.2.5-15。

表 8.2.5-15 坝址下游河段补充监测评价结果

点位序号	河流	监测断面	水质类别
1	坝址下游河段	龙门-潼关河段陕西侧排污口下游 3km	II
2		龙门-潼关河段山西侧排污口下游 3km	II
3		汾河与黄河交汇口下游 500m	II
4		坝址下游鱼类产卵场	II
5		涑水河与黄河交汇口下游 500m	II

根据表 8.2.5-15 分析可知，坝址下游河段左右岸污染物浓度基本相同，可以判断下游沿程横断面上为均匀混合，2022 年 11 月，各监测断面指标均满足 II 类水质标准，说明坝址下游河段各监测点位水质良好，均满足水功能区水质目标要求。

4. 水环境质量现状评价小结

从国控、省控和补充监测数据来看，总体干流水质较好，各断面均满足水功能区水质目标要求。支流水质较差，大部分支流不能满足水功能区水质目标要求，为 III~劣 V 类。

8.2.5.3 近七年水质变化趋势

本次评价收集了 2015 年 1 月~2021 年 12 月的水质监测数据，分析库区及坝址下游区干流水环境变化趋势。

1. 库区河段

对古贤水库入库吴堡断面进行水质变化趋势分析。COD、氨氮浓度变化趋势见图 8.2.5-4~图 8.2.5-5。

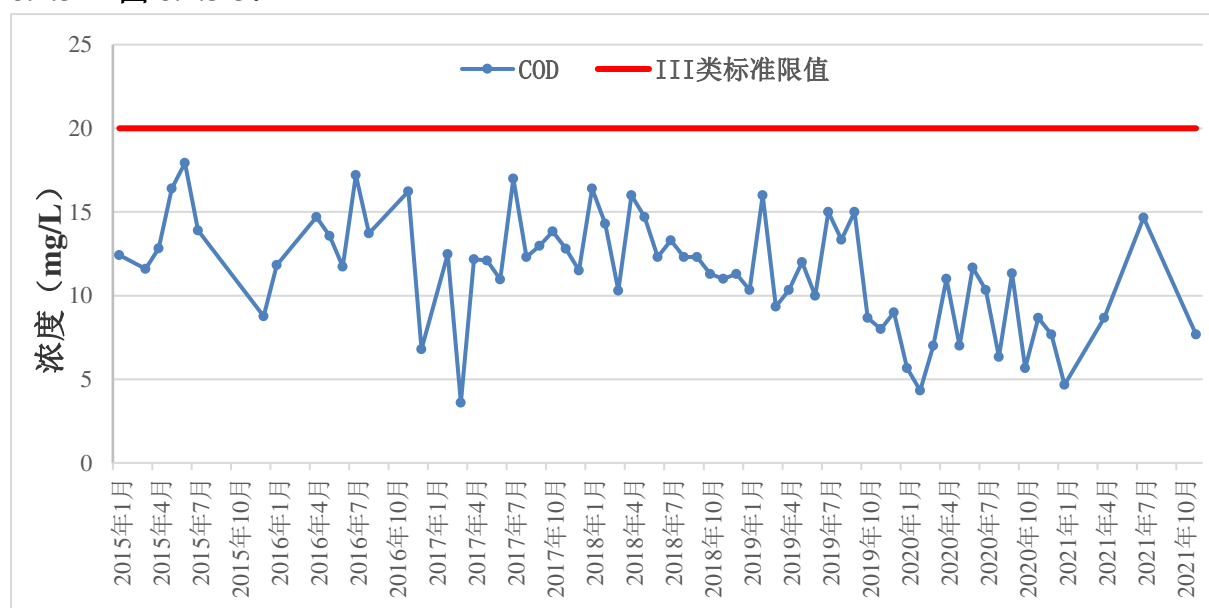


图 8.2.5-4 吴堡断面 COD 浓度随时间变化趋势图

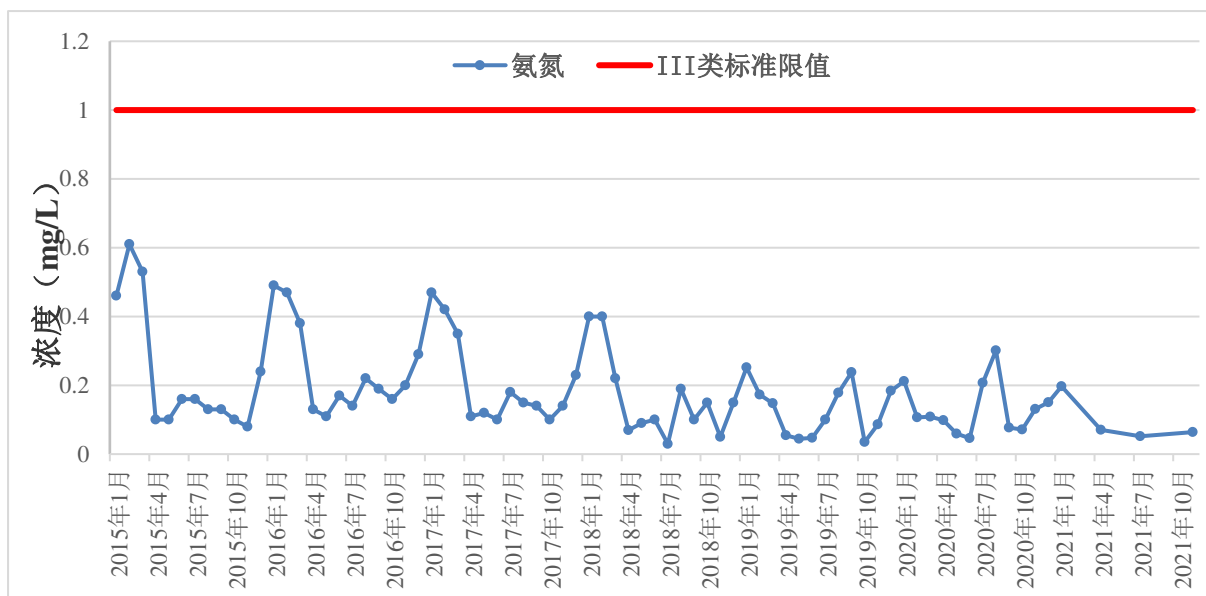


图 8.2.5-5 吴堡断面氨氮浓度随时间变化趋势图

由图可知,吴堡断面 COD、氨氮浓度均满足 III 类水质目标要求。从时间尺度来看,2015~2021 年, COD、氨氮浓度均有逐渐降低的趋势。

2. 坝址~三门峡河段

对古贤水库坝址下游河段重要断面龙门、潼关、三门峡公路桥、三门峡断面进行水质变化趋势分析。

(1) 龙门断面

COD、氨氮浓度变化趋势见图 8.2.5-6~图 8.2.5-7。

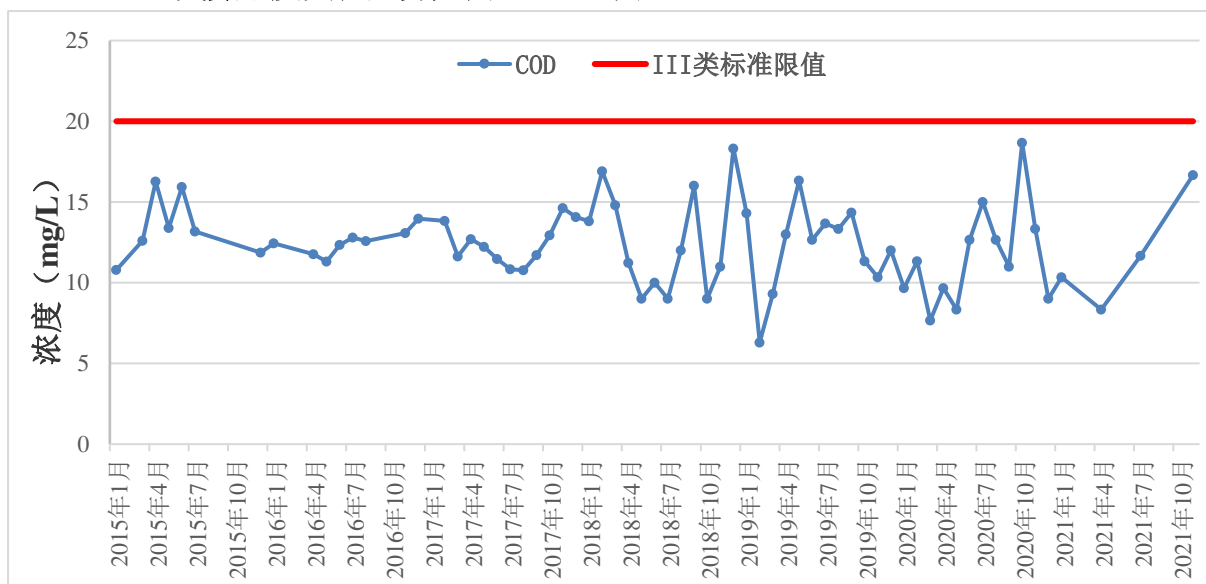


图 8.2.5-6 龙门断面 COD 浓度随时间变化趋势图

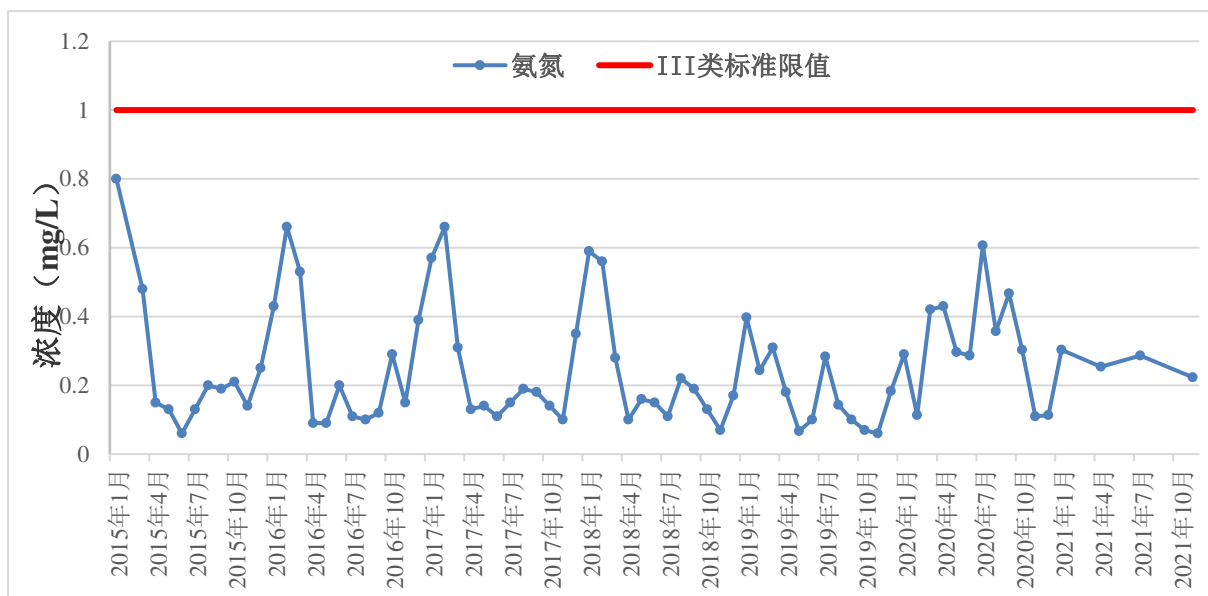


图 8.2.5-7 龙门断面氨氮浓度随时间变化趋势图

由图可知，2015~2021 年，COD 浓度略有升高，氨氮浓度呈现逐渐降低的趋势。

(2) 潼关断面

COD、氨氮浓度变化趋势见图 8.2.5-8~图 8.2.5-9。

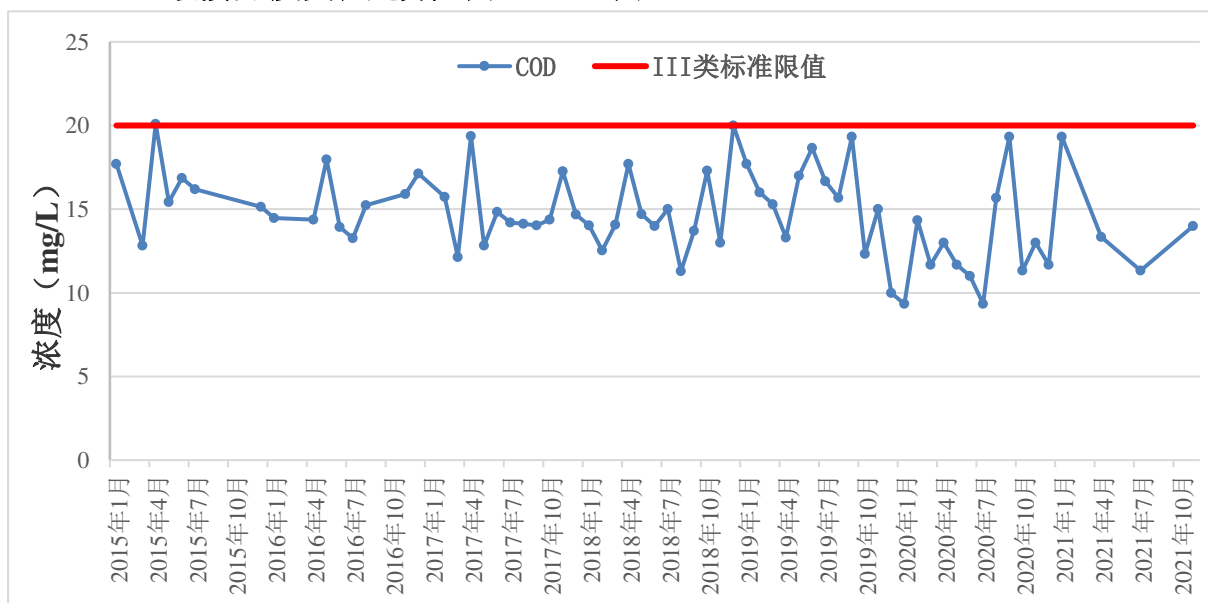


图 8.2.5-8 潼关断面 COD 浓度随时间变化趋势图

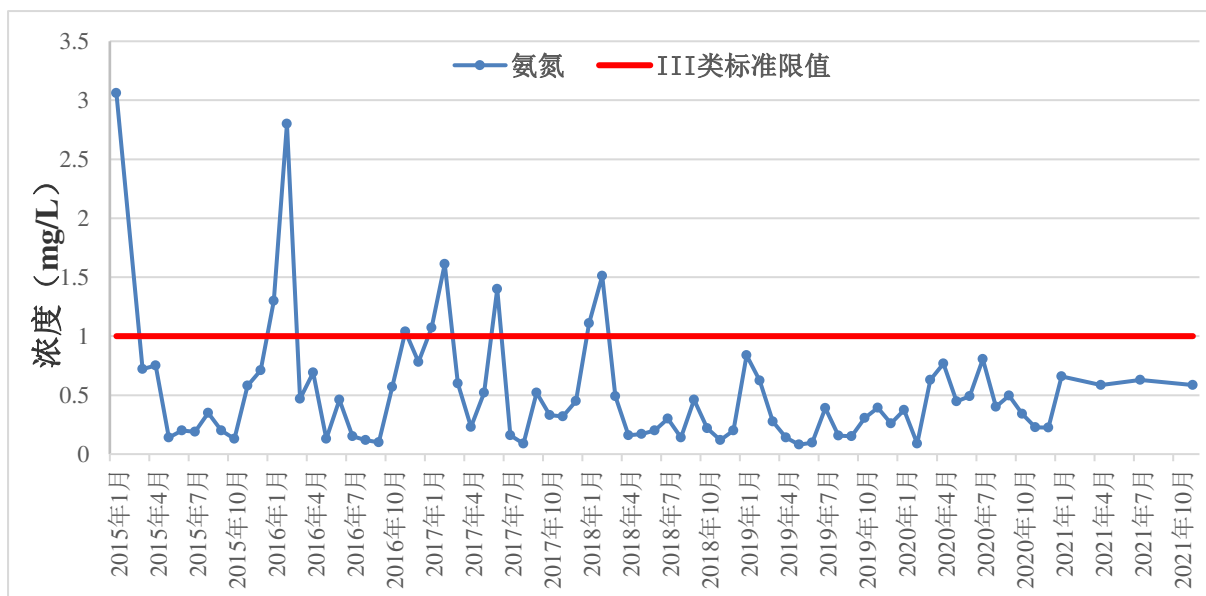


图 8.2.5-9 潼关断面氨氮浓度随时间变化趋势图

由图可知，2015~2021 年，COD 浓度维持在较为稳定水平，氨氮浓度呈现逐渐降低的趋势。

(3) 三门峡公路桥

COD、氨氮浓度变化趋势见图 8.2.5-10~图 8.2.5-11。



图 8.2.5-10 三门峡公路桥断面 COD 浓度随时间变化趋势图

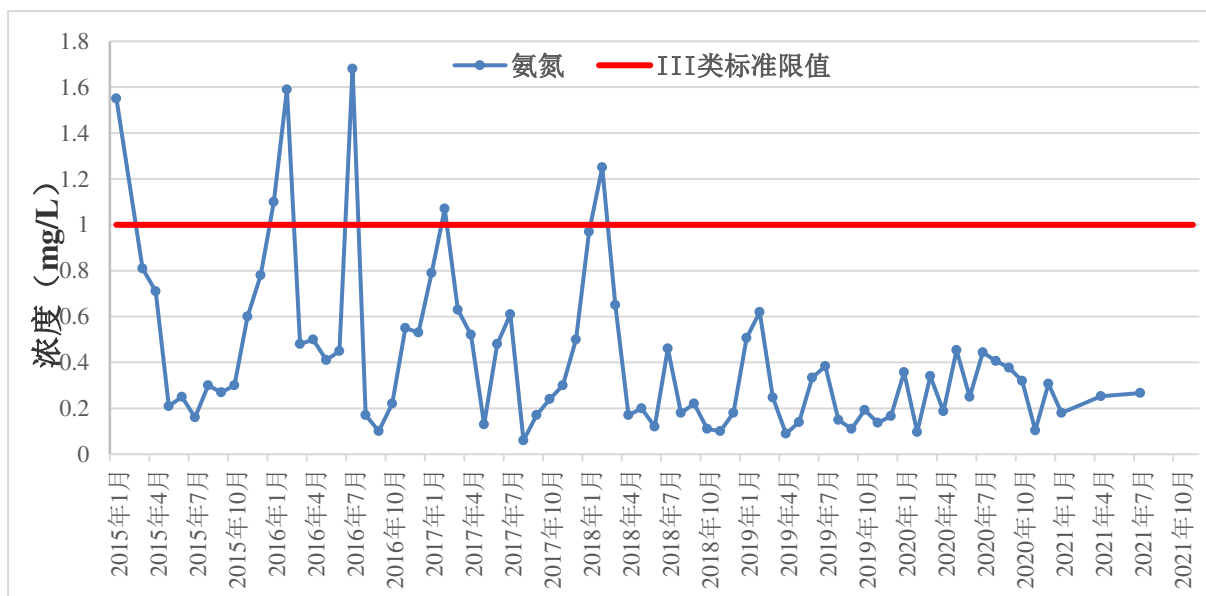


图 8.2.5-11 三门峡公路桥断面氨氮浓度随时间变化趋势图

由图可知，2015~2021 年，COD、氨氮浓度呈现逐渐降低的趋势。

(4) 三门峡

COD、氨氮浓度变化趋势见图 8.2.5-12~图 8.2.5-13。



图 8.2.5-12 三门峡断面 COD 浓度随时间变化趋势图

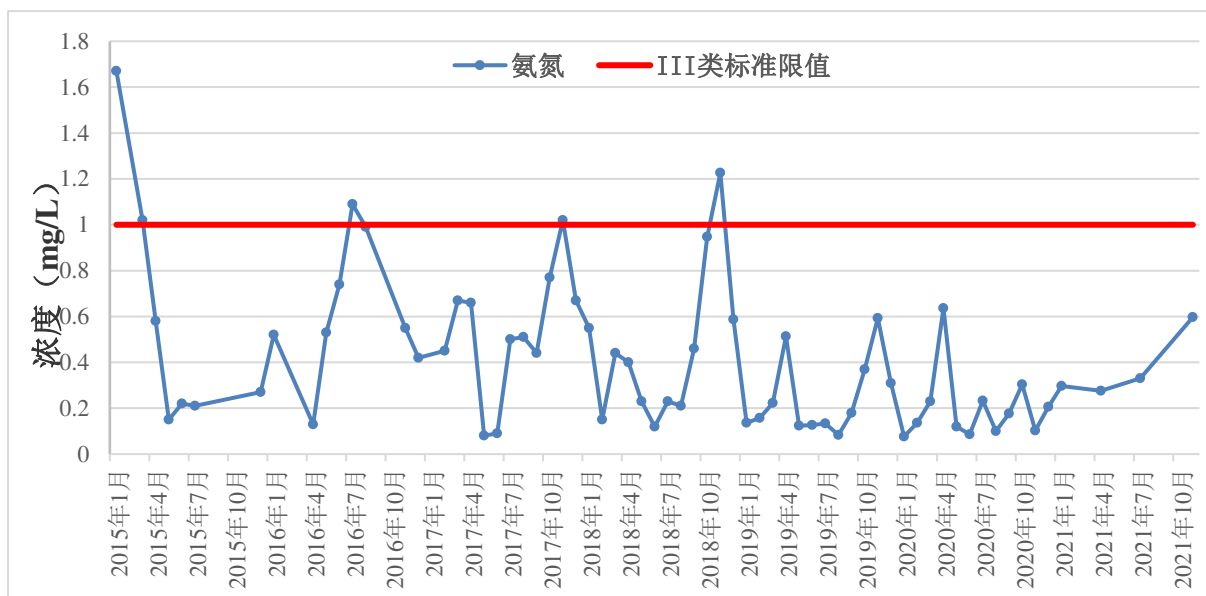


图 8.2.5-13 三门峡断面氨氮浓度随时间变化趋势图

由图可知，2015~2021 年，COD 浓度浓度维持在较为稳定水平，氨氮浓度呈现逐渐降低的趋势。

8.2.5.4 供水区水质调查与评价

1. 断面设置

评价收集了山西、陕西两省生态环境厅 2019 年~2021 年 26 个古贤供水区国控、省控断面水质监测数据。

其中陕西省供水区国控、省控断面包括云岩河秀西；仕望河咎家山；居水河芝川；徐水河小曹河；金水沟裕西；北洛河王谦村；渭河的沙王渡、吊桥；双桥河三河口桥断面。

山西省供水区国控、省控断面包括清水河高楼河村；鄂河西庄岭；汾河天井、下靳桥、柴庄、北庄、上平望、杨赵桥、柴村桥、西梁桥、庙前村；洪安涧河偏涧村；涝河高河店西；浍河小韩村、西曲村；三交河夏村、涑水河城子埝、姚暹渠曾家营断面。

供水区水质监测断面基本情况见 8.2.5-16。

表 8.2.5-16 供水区国控、省控断面选取基本情况

区域	河流	断面	所属水质控制单元	所属功能区	水质目标	备注
陕西省供水区	云岩河	秀西	宜川县云岩河	云岩河宜川缓冲区	III	代表受纳水体云岩河水质
	仕望河	咎家山	宜川县仕望川	仕望川宜川缓冲区	III	代表受纳水体仕望川水质
	居水河	芝川	宜川县居水河	未划分水功能区	IV	代表受纳水体居水河水质
	徐水河	小曹河	合阳县徐水河	徐水河合阳缓冲区	IV	代表受纳水体徐水河水质
	金水沟	裕西	合阳县金水沟	金水沟合阳缓冲区	IV	代表受纳水体金水沟水质
	北洛河	王谦村	大荔县北洛河	北洛河大荔农业用水区	III	代表受纳水体北洛河水质
	渭河	沙王渡	临渭区渭河	渭河宝鸡、渭南开发利用区	IV	代表受纳水体渭河水质
	双桥河	三河口桥	大荔县渭河	双桥河豫陕缓冲区	V	代表受纳水体双桥河水质
山西省供水区	清水河	高楼河村	吉县州川河	农业用水保护*	IV	代表受纳水体州川河水质
	鄂河	西庄岭	乡宁县鄂河	农业用水保护*	V	代表受纳水体鄂河水质
	汾河	天井	洪洞县汾河	农业与一般景观用水保护*	V	代表受纳水体汾河水质
		下靳桥	尧都区汾河	农业与一般景观用水保护*	V	代表受纳水体汾河水质
		柴庄	襄汾县汾河	农业与一般景观用水保护*	V	代表受纳水体汾河水质
		北庄	侯马市汾河	农业与一般景观用水保护*	V	代表受纳水体汾河水质
		上平望	侯马市汾河	农业与一般景观用水保护*	V	代表受纳水体汾河水质
		杨赵桥	稷山县汾河	农业与一般景观用水保护*	V	代表受纳水体汾河水质
		柴村桥	稷山县汾河	农业与一般景观用水保护*	V	代表受纳水体汾河水质
		西梁桥	河津市汾河	农业与一般景观用水保护*	V	代表受纳水体汾河水质
	洪安涧河	偏涧村	古县洪安涧河	农业用水保护*	V	代表受纳水体洪安涧河水质
	涝河	高河店西	尧都区涝河	农业用水保护*	V	代表受纳水体涝河水质
	浹河	小韩村	侯马市浹河	农业用水保护*	V	代表受纳水体浹河水质
		西曲村	新绛县浹河	农业用水保护*	V	代表受纳水体浹河水质
	三交河	夏村	洪洞县三交河	农业用水保护*	V	代表受纳水体三交河水质
	涑水河	城子埕	临猗县涑水河	农业用水保护*	V	代表受纳水体涑水河水质
	姚暹渠	曾家营	永济市姚暹渠	农业用水保护*	V	代表受纳水体姚暹渠水质

*为水环境功能区

2. 监测因子

pH 值、溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、总磷、铜、锌、氟化物、硒、砷、汞、镉、铬（六价）、铅、氰化物、挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂、硫化物共 21 项。

3. 评价方法

水质评价采用单项评价标准指数法。

本次评价执行《地表水环境质量标准》（GB3838—2002）III 类~V 类标准值。具体见表 8.2.5-17。

表 8.2.5-17 供水区国控、省控断面水质目标

区域	河流	断面	水质目标
陕西省供水区	云岩河	秀西	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III 类
	仕望河	咎家山	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III 类
	居水河	芝川	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）IV 类
	徐水河	小曹河	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）IV 类
	金水沟	裕西	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）IV 类

区域	河流	断面	水质目标
	北洛河	王谦村	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III类
	渭河	沙王渡	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）IV类
	双桥河	三河口桥	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类
山西省供水区	清水河	高楼河村	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）IV类
	鄂河	西庄岭	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类
	汾河	天井	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类
		下靳桥	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类
		柴庄	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类
		北庄	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类
		上平望	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类
		杨赵桥	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类
		柴村桥	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类
		西梁桥	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类
	洪安涧河	偏涧村	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类
	涝河	高河店西	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类
	浍河	小韩村	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类
		西曲村	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类
	三交河	夏村	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类
	涑水河	城子埚	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类
	姚暹渠	曾家营	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）V类

4. 现状调查与评价结果

根据国控、省控断面监测数据，2019年~2021年供水区接纳水体年均及年内不同水期水质类别、超标因子、超标倍数与极值见表 8.2.5-18~表 8.2.5-20。

表 8.2.5-18 古贤供水区 2019 年国控、省控断面评价结果一览表

供水区	河流	监测断面		评价时段	2019 年水质类别	
		断面名称	水质目标		水质现状	超标因子、倍数、极值
陕西省	云岩河	秀西	III	全年	II	/
				丰水期	II	/
				平水期	II	/
				枯水期	III	/
	仕望河	咎家山	III	全年	V	氨氮 (0.74) [8.22], TP (0.41) [0.64]
				丰水期	III	/
				平水期	V	氨氮 (0.55) [5.02], TP (0.53) [0.34]
				枯水期	劣 V	氨氮 (2.45) [8.22], TP (0.76) [0.64]
	居水河	芝川	IV	全年	III	/
				丰水期	IV	/
				平水期	IV	/
				枯水期	III	/
	徐水河	小曹河	IV	全年	IV	/
				丰水期	IV	/
				平水期	IV	/
				枯水期	V	氨氮 (0.036) [3.02], TP (0.02) [0.392]
	北洛河	王谦村	III	全年	V	氨氮 (0.74) [8.22], TP (0.41) [0.64]
				丰水期	III	/
				平水期	IV	COD (0.025) [28]
				枯水期	V	氨氮 (0.99) [2.48]
	渭河	沙王渡	IV	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	IV	/

供水区	河流	监测断面		评价时段	2019 年水质类别	
		断面名称	水质目标		水质现状	超标因子、倍数、极值
山西省	清水河	高楼河村	IV	枯水期	III	/
				全年	V	BOD ₅ (0.12) [29.8], 氨氮 (0.21) [6.31]
				丰水期	III	/
				平水期	劣 V	高锰酸盐指数 (0.14) [27.2], BOD ₅ (1.02) [29.8], 氨氮 (1.63) [6.31], COD (0.71) [96], TP (0.15) [0.83], 硒 (0.78) [0.142]
				枯水期	II	/
	鄂河	西庄岭	V	全年	V	/
				丰水期	IV	/
				平水期	IV	/
				枯水期	V	/
	汾河	上平望	V	全年	劣 V	氨氮 (0.38) [8.58]
				丰水期	V	/
				平水期	劣 V	氨氮 (0.09) [3.38]
				枯水期	劣 V	氨氮 (1.6) [8.58], TP (0.33) [0.74]
	浍河	小韩村	V	全年	劣 V	氨氮 (0.99) [12.2], TP (1.26) [2.31]
				丰水期	劣 V	氨氮 (1.06) [12.2], TP (0.35) [0.97]
				平水期	劣 V	氨氮 (2.34) [10.5], COD (0.012) [50], TP (3.55) [2.31]
				枯水期	V	/
		西曲村	V	全年	劣 V	TP (0.15) [1.32]
				丰水期	V	V
				平水期	劣 V	TP (1.11) [1.32]
				枯水期	V	/
	姚暹渠	曾家营	V	全年	V	/
				丰水期	V	/
				平水期	劣 V	氨氮 (0.93) [14.8], COD (0.09) [0.50]
				枯水期	劣 V	TP (0.075) [1.35]

表 8.2.5-19 古贤供水区 2020 年国控、省控断面评价结果一览表

供水区	河流	监测断面		评价时段	2020 年水质类别	
		断面名称	水质目标		水质现状	超标因子、倍数、极值
陕西省	云岩河	秀西	III	全年	II	/
				丰水期	III	/
				平水期	III	/
				枯水期	II	/
	仕望河	咎家山	III	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	III	/
				枯水期	II	/
	居水河	芝川	IV	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	IV	/
				枯水期	II	/
	金水沟	裕西	IV	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	II	/
				枯水期	III	/
	徐水河	小曹河	IV	全年	II	/
				丰水期	II	/
				平水期	II	/
				枯水期	II	/

供水区	河流	监测断面		评价时段	2020 年水质类别	
		断面名称	水质目标		水质现状	超标因子、倍数、极值
山西省	双桥河	三河口桥	V	全年	III	/
				丰水期	II	/
				平水期	IV	/
				枯水期	II	/
	北洛河	王谦村	III	全年	III	TP (0.59) [0.39]
				丰水期	V	/
				平水期	III	/
				枯水期	III	/
	渭河	沙王渡	IV	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	IV	/
				枯水期	III	/
	清水河	高楼河村	IV	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	IV	/
				枯水期	IV	/
	鄂河	西庄岭	V	全年	III	/
				丰水期	V	/
				平水期	劣 V	/
				枯水期	III	/
	汾河	柴村桥	V	全年	IV	/
				丰水期	IV	/
				平水期	V	/
				枯水期	劣 V	氨氮 (0.2) [5.7]
		下靳桥	V	全年	劣 V	氨氮 (0.01) [8.71], TP (0.068) [1.72]
				丰水期	III	
				平水期		
				枯水期	劣 V	氨氮 (0.84) [8.71], TP (0.94) [1.72]
		上平望	V	全年	IV	/
				丰水期	IV	/
				平水期	V	/
				枯水期	V	/
	潞河	高河店西	V	全年	劣 V	BOD ₅ (0.025) [18.4], 氨氮 (0.295) [5.25], COD (0.014) [66], 氟化物 (1.1) [10]
				丰水期	劣 V	氟化物 (0.14) [3.79]
				平水期	劣 V	BOD ₅ (0.097) [17.7], 氨氮 (0.193) [5.25], COD (0.193) [66], 氟化物 (0.235) [3.68]
				枯水期	劣 V	BOD ₅ (0.40) [18.4], 氨氮 (0.7) [5.15], COD (0.10) [51], 氟化物 (2.92) [10]
	浍河	小韩村	V	全年	V	/
				丰水期	IV	氨氮 (1.06) [12.2], TP (0.35) [0.97]
				平水期	劣 V	氨氮 (2.34) [10.5], COD (0.012) [50], TP (3.55) [2.31]
				枯水期	V	/
		西曲村	V	全年	V	/
				丰水期	V	/
				平水期	V	/
				枯水期	V	/
	姚暹渠	曾家营	V	全年	V	/
				丰水期	劣 V	氟化物 (0.02) [1.8]
				平水期	V	
				枯水期	劣 V	BOD ₅ (0.06) [21.2], COD (0.11) [86]

表 8.2.5-20 古贤供水区 2021 年国控、省控断面评价结果一览表

供水区	河流	监测断面		评价时段	2021 年水质类别	
		断面名称	水质目标		水质现状	超标因子、倍数、极值
陕西省	云岩河	秀西	III	全年	IV	石油类 (0.018) [0.28]
				丰水期	II	/
				平水期	IV	石油类 (0.725) [0.28]
				枯水期	II	/
	仕望河	咎家山	III	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	III	/
				枯水期	III	/
	居水河	芝川	IV	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	IV	/
				枯水期	III	/
	金水沟	裕西	IV	全年	II	/
				丰水期	II	/
				平水期	II	/
				枯水期	-	-
	徐水河	小曹河	IV	全年	II	/
				丰水期	II	/
				平水期	II	/
				枯水期	II	/
	双桥河	三河口桥	V	全年	II	/
				丰水期	II	/
				平水期	II	/
				枯水期	II	/
	北洛河	王谦村	III	全年	IV	BOD ₅ (0.02) [7.6]
				丰水期	IV	BOD ₅ (0.15) [7.1], TP (0.01) [0.312]
				平水期	IV	BOD ₅ (0.23) [7.6], COD (0.66) [54], TP (0.04) [0.319]
				枯水期	V	氨氮 (0.525) [4.11]
	渭河	沙王渡	IV	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	IV	/
				枯水期	III	/
山西省	清水河	高楼河村	IV	全年	IV	/
				丰水期	V	氨氮 (0.15) [3.9]
				平水期	III	/
				枯水期	IV	/
	鄂河	西庄岭	V	全年	III	/
				丰水期	III	/
				平水期	IV	/
				枯水期	III	/
	汾河	天井	V	全年	IV	/
				丰水期	IV	/
				平水期	IV	/
				枯水期	IV	/
		柴庄	V	全年	IV	/
				丰水期	IV	/
				平水期	V	/
				枯水期	IV	/
	北庄	V	V	全年	II	/
				丰水期	III	/

供水区	河流	监测断面		评价时段	2021 年水质类别	
		断面名称	水质目标		水质现状	超标因子、倍数、极值
			V	平水期	III	/
				枯水期	III	/
				全年	IV	/
				丰水期	IV	/
		柴村桥	V	平水期	V	/
				枯水期	IV	/
				全年	IV	/
				丰水期	IV	/
		下靳桥	V	平水期	V	/
				枯水期	V	/
				全年	IV	/
				丰水期	IV	/
		上平望	V	平水期	V	/
				枯水期	IV	/
				全年	IV	/
				丰水期	IV	/
		杨赵桥	V	平水期	V	/
				枯水期	V	/
				全年	V	/
				丰水期	V	/
		西梁桥	V	平水期	劣 V	COD (0.21) [52]
				枯水期	V	/
				全年	V	/
				丰水期	V	/
	洪安涧河	偏涧村	V	平水期	III	/
				枯水期	V	/
				全年	III	/
				丰水期	III	/
	涝河	高河店西	V	平水期	劣 V	氟化物 (0.26) [2.34]
				枯水期	IV	/
				全年	V	/
				丰水期	IV	/
	浍河	小韩村	V	平水期	IV	/
				枯水期	IV	/
				全年	V	/
				丰水期	V	/
		西曲村	V	平水期	V	/
				枯水期	IV	/
				全年	IV	/
				丰水期	IV	/
	三交河	夏村	V	平水期	V	/
				枯水期	IV	/
				全年	V	/
				丰水期	V	/
	涑水河	城子圩	V	平水期	V	/
				枯水期	V	/
				全年	V	/
				丰水期	V	/
	姚邈渠	曾家营	V	平水期	V	/
				枯水期	V	/
				全年	V	/
				丰水期	V	/

4. 现状评价结果

山西省供水区 2019 年整体水质相对较差。除入黄支流芝河、鄂河满足水环境功能区水质目标要求外，汾河、浍河、涑水河、姚暹渠水质较差，为 IV~劣 V 类水体，2020 年~2021 年山西省供水区水质好转，汾河部分断面与涝河年内平水期均为劣 V 类水质外，其余接纳水体均能满足水功能区水质目标。

陕西省供水区 2019 年入黄支流云岩河、居水河、渭河水水质较好，为 II~III 类水质，仕望河、金水沟、北洛河水水质相对较差，为 IV~V 类水质，不能满足水功能区水质目标要求。2020 年~2021 年陕西省供水区水质好转，除云岩河 2021 年为 IV 类水质外，其余接纳水体为 II~III 类水质，均能满足水功能区水质目标。

总体来看，两省供水区地表水环境质量现状近年来呈现逐渐变好的趋势，2020 年~2021 供水区大部分接纳水体均能满足水功能区水质目标。

8.2.6 蓄水初期地表水环境影响分析

古贤水库下闸蓄水时间在 10 月下旬，在 4 月份即可完成初期蓄水，初期蓄水所需时间约为 6 个月。古贤水库初期蓄水对水质影响预测主要采用类比小浪底水库、三峡水库判断古贤水库初期蓄水对水质影响预测。

小浪底水利枢纽于 1999 年下闸蓄水，根据小浪底工程蓄水初期监测情况，三门峡坝下水质较差，因此蓄水初期氨氮出现浓度短暂增加的现象， COD_{Mn} 与蓄水前相比持平，在水库回水区中段水质有所好转，至坝前沙沃断面水质继续好转，出库水质又有下降，总体上蓄水初期小浪底库区 COD 与氨氮浓度能够满足 III 类水质目标要求。初期完成后，COD 与氨氮浓度持续降低，水质好转。小浪底水库蓄水前后水质变化见图 8.2.6-1。

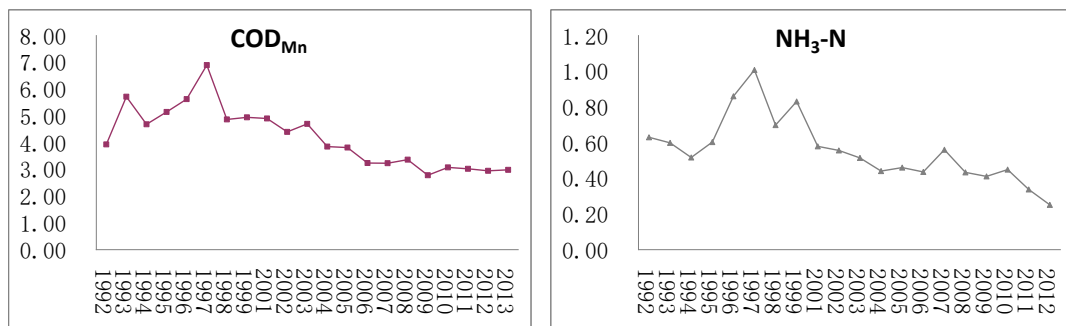


图 8.2.6-1 小浪底水库蓄水前后坝前水质参数变化曲线

三峡水库自 2003 年蓄水以来，库区重庆辖区干流及主要支流的 21 个断面水质均满足水功能区水质目标要求，湖北辖区干流 8 个断面及一级支流 4 个断面，总体为 I~II 类；重庆辖区 9 区县、湖北辖区 4 个区，县级城镇饮用水源地水质全部满足饮用水源的水环境功能要求，初期蓄水对水库水质类别及干支流营养盐水平没有明显影响，水库水质能够满足水体功能。

根据与小浪底库区、三峡库区初期蓄水水质类比分析，判断古贤水库蓄水后，由于上游来水水质为 II 类水体，库区水环境质量将进一步好转，蓄水初期，古贤库区水质总体能够满足水功能区水质目标。

根据设计单位关于水库库底清理实物量调查，水库淹没影响不涉及化工及矿产品加工等企业，也不涉及铅锌等重金属尾矿库，且无集中的生活垃圾填埋场，因此库区蓄水后不会浸出有毒有害污染物。水库淹没区涉及柳林县三交镇中心加油站、柳林县坪上加油站、延川耀华石油经销有限责任公司云海加油站，因此水库蓄水前，按照《危险废物处置工程技术导则》（HJ2042-2014）等相关要求，对水库淹没区范围的 3 个加油站遗留的建筑物、生产设施、固体废弃物及受影响场地等可能存在危险废物的区域进行核查，对发现的危险废物及受污染土壤等应委托有资质的单位进行处理，因此初期蓄水后，淹没范围内废弃加油站对水质影响较小。淹没范围内农村集镇调查结果见表 8.2.6-1。水库淹没区农村集镇废弃物主要包括：各种建筑物、垃圾、人畜粪便、坟墓、植被等。垃圾、粪便、植物等的腐败分解，病媒动物、昆虫的迁徙繁殖等不仅使水质恶化，而且可能导致传染病的流行或爆发。水库蓄水初期，由于淹没，少量有机营养物质进入水体，在短期内会造成库区水体中 N、P 等有机物含量有所增高。根据规范要求，水库蓄水前将会进行清库工作，库区清理主要目的是防止大量的有机物残留在水库中，最终转换成内源负荷而释放到水中，导致库区富营养化。库底清理后不存在大量有机物质在库中腐烂，导致库区水体水质劣变的可能，同时水库正常运行后，通过水体替换以及水体自净作用，水中有机物含量将逐渐降低并趋近来水水质，上述轻微不利影响将在短时间内逐渐消失。

表 8.2.6-1 农村集镇调查结果

序号	名称	单位	清理实物量
1	各类建筑物	m ²	837962
2	林地林木	亩	31589
3	果园林木	亩	33011
4	各类零星树木	万株	79.90
5	树桩、柴草、塑料等易漂浮物清理	万 m ³	78.51
6	一般污染源污染物（粪池）清掏	m ³	23945
7	坑穴消毒处理面积	m ²	39575
8	坟墓清理	穴	1920
9	医院、畜牧站等传染性污染源地面消毒	m ²	8066
10	灭鼠面积	万 m ²	4020

8.2.7 运行期库区地表水环境影响预测评价

8.2.7.1 模型选择

工程运行阶段分为拦沙初期（约 7 年）、拦沙后期（约 30 年）、正常运用期（长期）。根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》湖库数学模型适用条件：深水湖库，横向分布差异不明显，存在垂向分层应选取立面二维模型。结合古贤水库在拦沙初期，水库坝前水深在 94.5m 和 148.5m 之间变化；拦沙后期，水库坝前水深在 94.5m 和 161.5m 之间变化，可判断古贤水库蓄水后为深水库区。同时由于库区河段流速较大，污染源分布在古贤库尾上游，库中至坝前均无点污染源分布，因此在库区河道横向上水质分布差异不明显；垂向上水温分层结构均为稳定分层型，因此拦沙初期、拦沙后期宜采用立面二维水质模型进行预测。正常运用期由于泥沙淤积，库容减少，其水温分层结构转变为混合型的特点，污染物在断面上为均匀混合，因此正常运用期宜采用纵向一维模型进行预测。

8.2.7.2 情景设置

1. 排污情景设置及合理性分析

（1）排污情景设置

根据评价河段水质变化趋势，本次古贤库区水环境预测设置两种排污情景，现状排污情景（情景一）和规划实施后排污情景（情景二）。

①情景一：现状排污情景基于库区现状排污情况，库区上游来水、入库支流水质采用 2019 年~2021 年近三年每月的平均值，库区污染源采用现状污染源；

②情景二：考虑到古贤建成运行时段为 2035 年，根据国家、两省区有关水环境保

护、治污规划等，2035 年库区干流河段水质较好、入库支流水质达标。该情景基于支流所在区域各行政区主管部门制定了相关的水污染防治攻坚方案等相关规划，并根据目标，提出了整治任务及责任分工与保障措施，确保入黄支流在 2035 年达到水功能区水质目标的一系列水污染防治措施的实施，污染物进一步得到有效削减，古贤库区支流断面水质稳定达标的预测情形。

（2）合理性分析

根据调查，现状年库区干流水质现状较好，多年来稳定在Ⅱ~Ⅲ类；入库支流断面水环境质量现状较差，支流分布的县区仍存在部分生活、工业污水直排的现象，导致现状年入库支流断面水质超标。目前国家及两省不断加大水环境保护力度，近年来库区河段一直在改善，考虑到工程建成运用期为 2035 年左右，因此现状的排污情景（情景一）基本能够代表未来古贤工程运行后的不利排污情景。

规划年，根据晋、陕两省相关水污染防治规划目标要求，到 2030、2035 年黄河干支流水质将全部达到水功能区水质目标。考虑到工程建成年份为 2035 年，因此，采用规划实施后排污情景来作为古贤运行后的排污情景。

2. 各情景排污概化

（1）情景一排污概化

采用现状年常规监测数据、污染源调查基础，概化水质边界、污染源点源入河量。

1) 水质边界概化

入库水质采用国控断面柏树坪及支流国控、省控监测断面 2019~2021 年月均数据，具体见表 8.2.7-1。

表 8.2.7-1 情景一库尾及支流水质边界数据

月份		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
库尾干流柏树坪	COD	24.00	12.33	15.00	14.07	22.33	13.00	13.67	9.33	18.73	13.67	11.17	12.67
	NH ₃ -N	0.17	0.12	0.16	0.05	0.18	0.13	0.08	0.10	0.04	0.06	0.06	0.07
	TN	4.69	3.79	4.36	3.02	3.19	2.69	2.13	1.42	3.32	2.80	2.59	3.16
	TP	0.03	0.04	0.05	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.13	0.12	0.03	0.04
三川河	COD	17.5	19.5	16	12	17	21.5	10	20	19	16	15	16
	NH ₃ -N	2	0.99	0.83	0.21	0.41	0.43	0.43	0.36	1.25	1.52	0.94	2.01
	TN	8.83	7.28	7.51	6.15	6.73	6.21	8.27	7.5	8.54	8.38	8.32	9.03
	TP	0.185	0.193	0.193	0.114	0.229	0.146	0.203	0.133	0.238	0.197	0.107	0.183
无定河	COD	13.5	14.25	11.5	19.33	24	36.67	39	22.83	20	12.67	13.67	19
	NH ₃ -N	1.19	1.02	0.68	0.32	0.5	0.41	0.4	0.54	0.53	0.46	0.42	1.36
	TN	3.8	3.84	3.97	3.83	3.61	2.74	3.58	3.25	2.88	4.75	3.84	5.63

月份		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
	TP	0.13	0.14	0.11	0.07	0.12	0.16	0.15	0.09	0.11	0.13	0.13	0.22
清涧河	COD	18	22.33	18.17	20	32	32	24.67	21.83	30	13.33	18.67	13
	NH ₃ -N	4.97	2.91	2.16	0.85	0.25	0.46	0.11	0.24	0.3	0.74	0.14	0.64
	TN	17.2	11.94	6.45	9.05	5.44	4.9	4.4	5.16	4.61	7.09	7.75	9.64
	TP	0.24	0.23	0.15	0.12	0.13	0.2	0.12	0.08	0.15	0.09	0.1	0.03
昕水河	COD	10.5	15	11	16.67	20	19	17.33	18.5	17	13	11.5	6
	NH ₃ -N	2.82	1.64	0.7	0.52	0.09	1.17	0.23	0.32	0.3	0.22	0.2	0.52
	TN	11.21	7.6	5.15	6.38	3.2	3.55	4.47	5	5.1	4.95	5.77	8.26
	TP	0.24	0.11	0.06	0.1	0.09	0.13	0.12	0.19	0.13	0.1	0.04	0.04
延河	COD	18.33	17	27.17	24.17	23.67	30.67	27.67	19	22	12.67	14	14.67
	NH ₃ -N	1.33	0.98	1.26	1.22	0.13	0.55	0.13	0.14	0.34	0.27	0.33	0.38
	TN	11.56	8	5.56	5.17	3.84	4.2	4.27	4.35	6.17	5.51	7.46	8.73
	TP	0.08	0.11	0.13	0.13	0.1	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.09	0.03

2) 污染源汇入概化

根据现状调查, 库区河段干流现状年点源污染物入河浓度概化详见表 8.2.7-2。

表 8.2.7-2 现状年库尾~坝址点污染物入河量边界条件概化

序号	污染源	废水排放量 m ³ /s	COD 入河浓度 (mg/L)	氨氮入河浓度 (mg/L)	总氮入河浓度 (mg/L)	总磷入河浓度 (mg/L)
1	吴堡县民康食品公司排污口	9.19×10 ⁻⁶	814.3	69.00	220.82	41.40
2	吴堡县污水处理厂入河排污口	0.02	44.39	3.85	0.064	0.012

(2) 情景二污染源概化

采用规划年国控、省控监测断面达标的水质边界数据, 污染源为规划年库区污染源预测数据作为水质边界、污染源点源入河量。

1) 水质边界概化

情景二入库水质采用国控断面柏树坪及支流国控、省控监测断面 2019 年~2021 年月均数据, 超过水功能区水质目标的则采用水功能区目标水质限值, 详见表 8.2.7-3。

表 8.2.7-3 情景二库尾及支流水质边界数据

月份		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
库尾干流柏树坪	COD	20.00	12.33	15.00	14.07	20.00	13.00	13.67	9.33	18.73	13.67	11.17	12.67
	NH ₃ -N	0.17	0.12	0.16	0.05	0.18	0.13	0.08	0.10	0.04	0.06	0.06	0.07
	TN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	TP	0.03	0.04	0.05	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.03	0.04
三川河	COD	17.5	19.5	16	12	17	21.5	10	20	19	16	15	16
	NH ₃ -N	2	0.99	0.83	0.21	0.41	0.43	0.43	0.36	1.25	1.52	0.94	2
	TN	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	TP	0.185	0.193	0.193	0.114	0.229	0.146	0.203	0.133	0.238	0.197	0.107	0.183
无定河	COD	13.5	14.25	11.5	19.33	20	20.67	20	20	20	12.67	13.67	19
	NH ₃ -N	1	1	0.68	0.32	0.5	0.41	0.4	0.54	0.53	0.46	0.42	1
	TN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

月份		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
	TP	0.13	0.14	0.11	0.07	0.12	0.16	0.15	0.09	0.11	0.13	0.13	0.2
清涧河	COD	18	20	18.17	20	20	20	20	20	20	13.33	18.67	13
	NH ₃ -N	1	1	1	0.85	0.25	0.46	0.11	0.24	0.3	0.74	0.14	0.64
	TN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	TP	0.2	0.2	0.15	0.12	0.13	0.2	0.12	0.08	0.15	0.09	0.1	0.03
昕水河	COD	10.5	15	11	16.67	20	19	17.33	18.5	17	13	11.5	6
	NH ₃ -N	1	1	0.7	0.52	0.09	1	0.23	0.32	0.3	0.22	0.2	0.52
	TN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	TP	0.2	0.11	0.06	0.1	0.09	0.13	0.12	0.19	0.13	0.1	0.04	0.04
延河	COD	18.33	17	27.17	24.17	23.67	30.67	27.67	19	22	12.67	14	14.67
	NH ₃ -N	1	0.98	1	1	0.13	0.55	0.13	0.14	0.34	0.27	0.33	0.38
	TN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	TP	0.08	0.11	0.13	0.13	0.1	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.09	0.03

3) 污染源汇入概化

根据预测,规划年吴堡县污水管网收集率提高,库尾点污染源纳入污水管网,吴堡县污水处理厂排放标准由一级 B 标准提升到一级 A 标准,库区河段干流规划年点源污染物入河浓度概化详见表 8.2.7-4。

表 8.2.7-4 情景二库尾~坝址点污染物入河量边界条件概化

序号	污染源	废水排放量 m ³ /s	COD 入河浓度 (mg/L)	氨氮入河浓度 (mg/L)	总氮入河浓度 (mg/L)	总磷入河浓度 (mg/L)
1	吴堡县污水处理厂	0.024	30	1.5	15	0.3

8.2.7.3 预测工况选择

根据 2 种排污的预测情景,结合古贤水库拦沙初期、拦沙后期、正常运用期 3 个不同运行阶段,以及丰水年、平水年、枯水年 3 个水文设计条件,水质的预测工况组合可能的情况见表 8.2.7-5。

表 8.2.7-5 库区水质预测可能的工况组合表

序号	水库运用时期	典型年	情景模式	备注
1	拦沙初期	丰水年	情景一	拦沙初期共 7 年,按 2035 年工程建成运行,拦沙初期在 2035 年-2042 年。
2			情景二	
3		平水年	情景一	
4			情景二	
5		枯水年	情景一	
6			情景二	
7	拦沙后期	丰水年	情景一	拦沙后期共 30 年,按 2035 年建成运行,拦沙后期在 2043 年-2073 年。
8			情景二	
9		平水年	情景一	
10			情景二	
11		枯水年	情景一	
12			情景二	
13	正常运用期	丰水年	情景一	按 2035 年建成运行,正常运行在 2074 年以后。
14			情景二	
15		平水年	情景一	

序号	水库运用时期	典型年	情景模式	备注
16		枯水年	情景二	
17			情景一	
18			情景二	

经排列组合，库区水质预测可能的工况共 18 种，由于工况太多，无法一一对所有的运行工况进行预测，因此，按照对水质不利的水文状况、排污情景，对预测情景进行筛选。

考虑到丰水年水量大，整体上对水质的影响小于平水年和枯水年，因此，水文条件主要选取平水年、枯水年作为典型年，对各典型年的逐月的水质进行预测。拦沙初期库区水环境预测分为情景一与情景二两个情景模式；拦沙后期与正常运用期由于年份较远，在 2040 年以后，库周来水条件基本可实现水功能区水质目标，因此拦沙后期与正常运用期水质预测为情景二。经筛选后，库区水质预测采用的工况条件共 8 个，具体见表 8.2.7-6。

表 8.2.7-6 库区水质预测采用的工况组合表

序号	水库运用时期	典型年	情景模式	水质选择原则
1	拦沙初期	平水年	情景一	现状排污
2			情景二	相关规划实施后排污
3		枯水年	情景一	现状排污
4			情景二	相关规划实施后排污
5	拦沙后期	平水年	情景二	相关规划实施后排污
6		枯水年	情景二	相关规划实施后排污
7	正常运用期	平水年	情景二	相关规划实施后排污
8		枯水年	情景二	相关规划实施后排污

8.2.7.4 模型构建

1. 拦沙初期及拦沙后期

考虑到古贤库区温度场对水质的影响，建立与水温耦合求解的宽度平均的立面二维水质模型。在水动力学和水温计算基础上，增加水质的计算，水质方程形式如下：

$$\frac{\partial B\Phi}{\partial t} + \frac{\partial uB\Phi}{\partial x} + \frac{\partial wB\Phi}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(BD_x \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(BD_z \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) + q_\Phi B + BS_\Phi \quad (8.2.7-1)$$

式中：B 为水体宽度，m；u、w 分别为纵向和垂向流速，m/s；Φ 为水质要素浓度，mg/L；D_x、D_z 分别为纵向和垂向的扩散系数，m²/s；q_Φ 为单元控制体侧向水质出流的速率，mg/L·s；S_Φ 为源汇项，mg/L·s。

1) 拦沙初期

根据拦沙初期不同典型年的水量平衡，建立的库区立面二维模型回水长度约为

190km，与实际回水长度相比缩短了 12km。水质计算网格根据拦沙初期第一年淤积地形建立，网格划分示意图为 8.2.7-1。

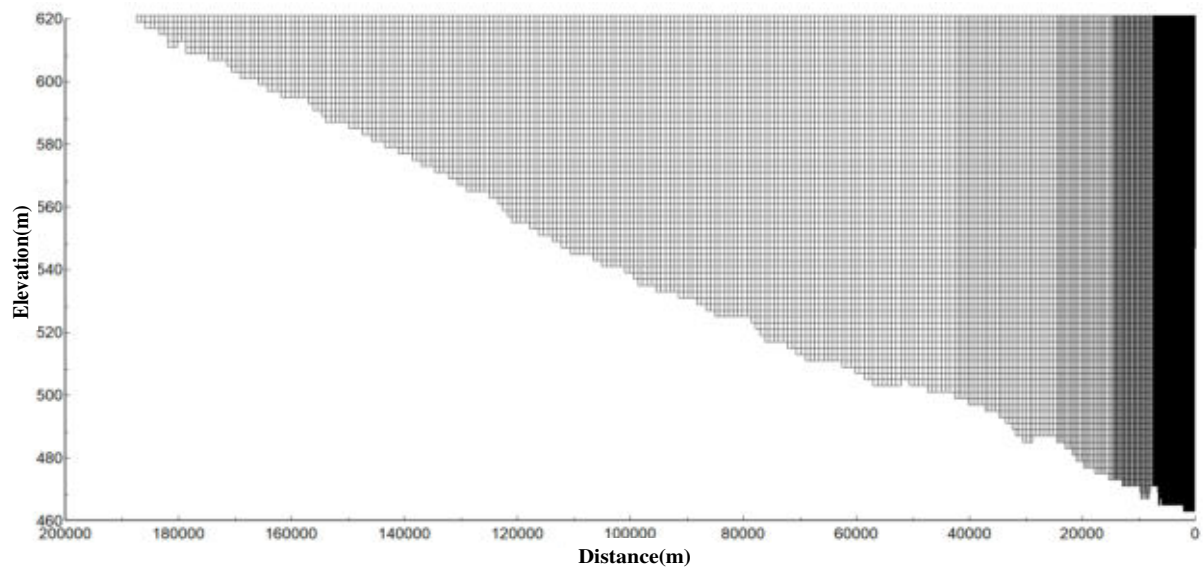


图 8.2.7-1 古贤水库拦沙初期库区网格划分示意图

2) 拦沙后期

根据拦沙后期不同典型年水量平衡，建立的库区立面二维模型回水长度约为 50.9km，吴堡、三川河、无定河、清涧河处于模型上边界的上游。水质计算网格根据拦沙后期第一年淤积地形建立，网格划分示意图为 8.2.7-2。

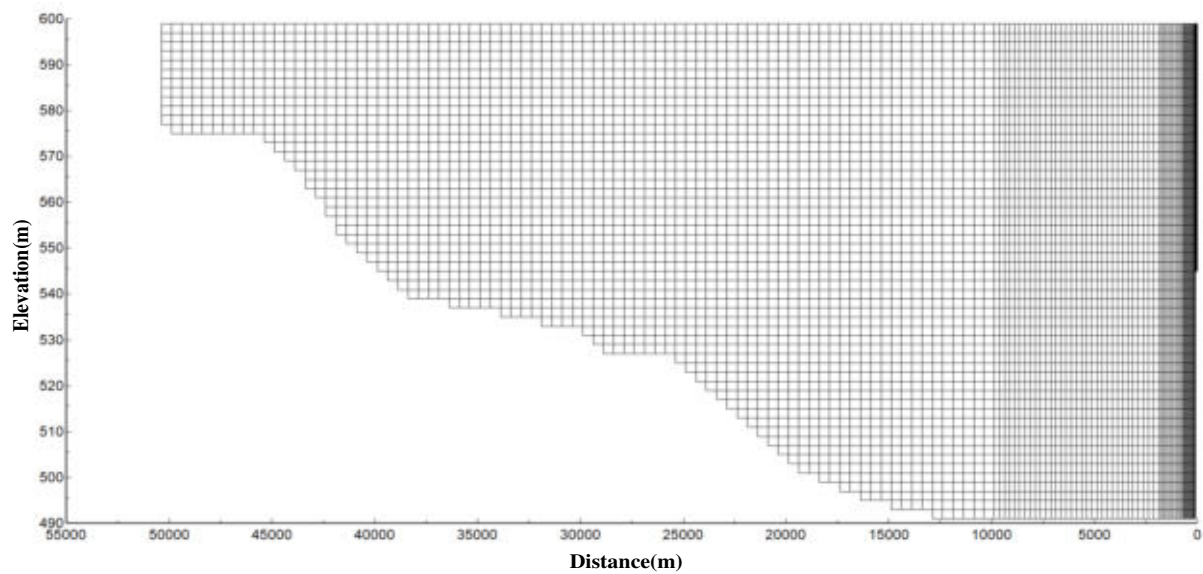


图 8.2.7-2 古贤水库拦沙后期库区网格划分示意图

2. 正常运用期

采用圣维南方程，建立古贤库区河段水流运动的一维非恒定流数学模型：

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \frac{Q^2}{A})}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \\ h(x)|_{\zeta} = h_1 \\ Q(x)|_{\zeta} = q_1 \\ h(t), Q(t)|_{t=0} = h_0, Q_0 \end{array} \right. \quad (8.2.7-2)$$

式中：Q—流量(m³/s)；A—断面面积(m²)；q—源汇项(m²/s)；α—流速垂向分布修正系数；h—水位(m)；C—谢才系数；R—水力半径(m)；g—重力加速度(m/s²)；h₁、q₁—边界水位(m)和流量(m³/s)；h₀、q₀—初始水位(m)和流量(m³/s)；ζ—边界。

纵向一维模拟范围为黄河干流 202km（古贤库尾至坝址），支库回水范围：三川河（7.3km）、无定河（30.73 km）、昕水河（3.32 km）、清涧河（24.05 km）、延河（33.0 km）的河段，纵向一维模型河网断面见图 8.2.7-3。

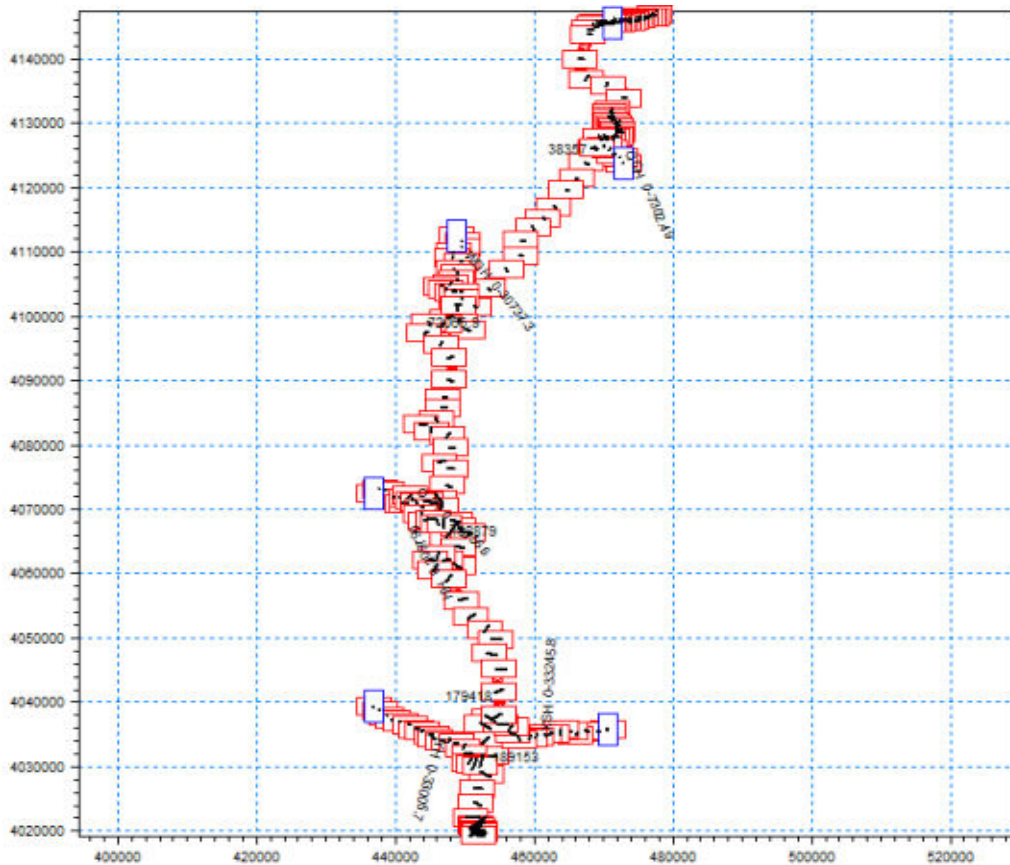


图 8.2.7-3 古贤水库一维水动力模型模拟河段范围

8.2.7.5 参数率定

本节水动力模型与前述水温水动力模型一致，相关参数已在 8.1 小节水温预测模型进行了率定和验证。

古贤水库蓄水后，同时库区水流变缓，水体自净能力减弱，但污染物滞留时间增长，自净降解作用时间增加，污染物降解系数与天然河道相比发生了较大变化。为准确率定古贤立面二维水质模型参数，考虑泥沙影响因素，根据 2014 年小浪底水库示踪试验率定结果（肖翔群，立面二维水质模型预测小浪底出库水质研究，人民黄河，2014），结合小浪底库区 2020 年南村和沙沃常规水质监测断面实测水质数据，综合率定水质模型的衰减系数，详见表 8.2.7-7。

表 8.2.7-7 古贤水库各水质因子降解系数

水质因子	COD	氨氮	TN	TP
降解系数 (1/d)	0.01	0.014	0.01	0.009

评价确定的衰减系数与生态环境部环境规划院“突发水环境事件典型污染物水质模拟工具开发”课题研究报告中确定的天然湖泊和水库类水体 COD、氨氮、总磷、总氮的综合衰减系数取值范围一致。

8.2.7.6 预测断面及因子

库区重点预测断面主要选取支流汇入库区附近断面，根据不同运用时期水量、地形建立的模型范围，预测断面有所不同。拦沙初期选择库区典 6 个典型断面：库尾、无定河入黄口下游 500m、清涧河入黄口下游 500m、昕水河入黄口下游 500m、延河入黄口下游 500m、坝址；拦沙后期选择库区典 4 个典型断面：库尾、昕水河入黄口下游 500m、延河入黄口下游 500m、坝址；正常运用期选择 7 个典型断面：库尾、无定河入黄口下游 500m、清涧河入黄口下游 500m、昕水河入黄口下游 500m、延河入黄口下游 500m、坝址分析预测 COD、NH₃-N、TN、TP 不同典型年内丰、平、枯水期浓度变化。

8.2.7.7 预测时段

根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》，地表水环境评价等级综合判定为一级，按照要求河流、湖库一级评价应包含丰水期、平水期、枯水期，预测考虑了不利条件下枯水年的水文过程，预测了枯水年年内丰水期、平水期、枯水期的水质变化情况。同时为充分反映库区水质变化情况，地表水环境影响预测扩大预测工况，预测内容增加

了平水年的丰水期、平水期、枯水期的水质变化结果。

8.2.7.8 拦沙初期库区水质预测结果分析

1. 拦沙初期情景一库区水质预测结果分析

(1) 平水年

① 水质浓度沿程分布

库区各断面 COD、NH₃-N 平均浓度纵向沿程分布预测结果见表 8.2.7-8~表 8.2.7-9。

表 8.2.7-8 平水年库区典型断面 COD 预测结果 单位：mg/L

时期	月份	库尾	无定河入 黄口下游 500m	清涧河入 黄口下游 500m	昕水河入 黄口下游 500m	延河入黄 口下游 500m	坝址
枯水期	11	16.27	11.00	8.91	9.73	9.68	9.81
	12	7.19	6.46	6.58	8.30	8.39	8.33
	1	12.09	11.91	6.12	6.05	6.09	6.06
	2	13.81	15.41	6.04	4.98	4.96	4.28
	平均	12.34	11.19	6.91	7.26	7.28	7.12
平水期	3	13.47	14.68	8.51	4.08	4.11	3.84
	4	14.83	14.54	9.90	5.74	4.70	3.25
	5	13.65	13.65	8.84	5.94	5.53	3.73
	6	11.75	11.39	9.20	5.65	5.39	4.28
	平均	13.42	13.57	9.11	5.35	4.93	3.77
丰水期	7	17.44	15.17	7.28	17.44	5.29	4.23
	8	13.77	14.04	12.91	13.77	4.88	3.69
	9	15.40	15.27	12.01	15.40	7.91	4.83
	10	14.97	14.84	9.01	14.97	10.82	8.05
	平均	15.39	14.83	10.30	15.39	7.22	5.20

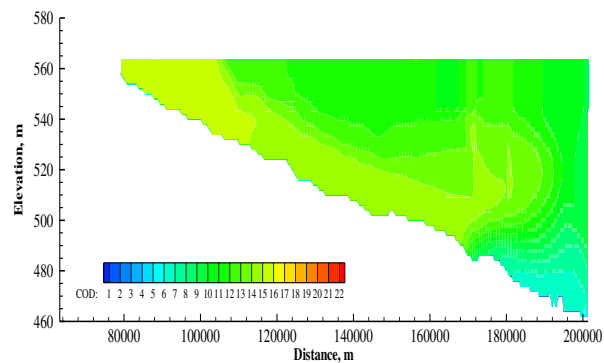
表 8.2.7-9 平水年库区典型断面 NH₃-N 预测结果 单位：mg/L

时期	月份	库尾	无定河入 黄口下游 500m	清涧河入 黄口下游 500m	昕水河入 黄口下游 500m	延河入黄 口下游 500m	坝址
枯水期	11	0.25	0.15	0.12	0.11	0.12	0.11
	12	0.35	0.17	0.12	0.11	0.12	0.11
	1	0.60	0.66	0.13	0.13	0.14	0.13
	2	0.78	1.22	0.23	0.13	0.21	0.10
	平均	0.49	0.55	0.15	0.12	0.15	0.11
平水期	3	0.47	0.57	0.40	0.11	0.16	0.13
	4	0.19	0.20	0.33	0.20	0.17	0.10
	5	0.16	0.23	0.19	0.16	0.15	0.12
	6	0.23	0.20	0.14	0.12	0.12	0.11
	平均	0.26	0.30	0.27	0.15	0.15	0.12
丰水期	7	0.31	0.31	0.16	0.09	0.09	0.08
	8	0.22	0.21	0.19	0.10	0.08	0.06
	9	0.21	0.20	0.16	0.12	0.10	0.07
	10	0.18	0.19	0.11	0.12	0.13	0.09
	平均	0.23	0.23	0.16	0.11	0.10	0.08

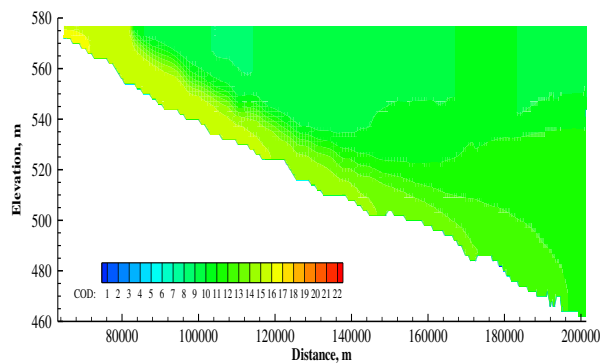
平水年库区各断面垂向平均浓度沿程分布规律相似，纵向上沿程呈降低趋势。其中丰水期沿程变化趋势较平水期和枯水期明显。丰水期由于来流流量增加，库区流速较大，水流紊动强烈，上下层水体得以在库区内充分降解，使各断面平均浓度沿程下降趋势较

明显。枯水期和平水期异重流下潜留于库底，各断面垂向平均浓度沿程变化趋势弱于丰水期。由于支流的汇入，在部分支流入黄口处水质短暂升高。

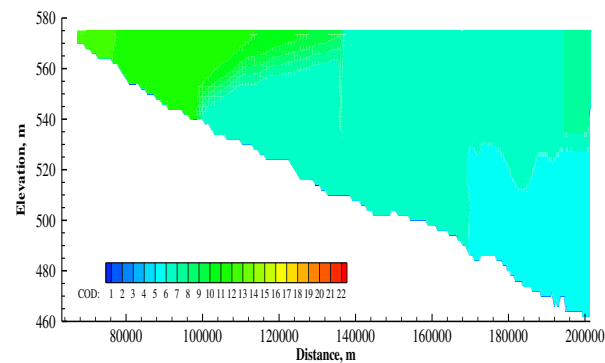
各水质因子中 COD、NH₃-N 入流水质较好，入库浓度均达到 III 类水质目标，各污染物浓度至 100km 处迅速降解，至坝前 COD、NH₃-N 不同时期水质均能达到 II 类水标准。不同时期 COD、NH₃-N 浓度分布见图 8.2.7-4~图 8.2.7-5。



丰水期

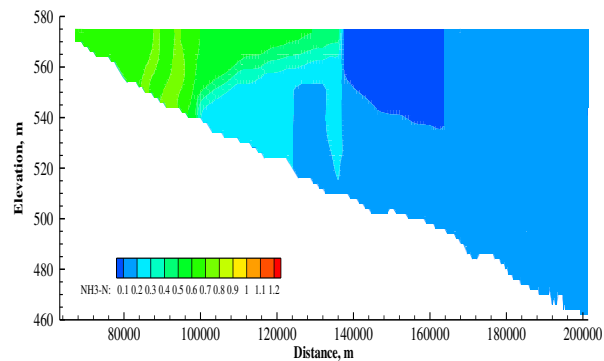


平水期

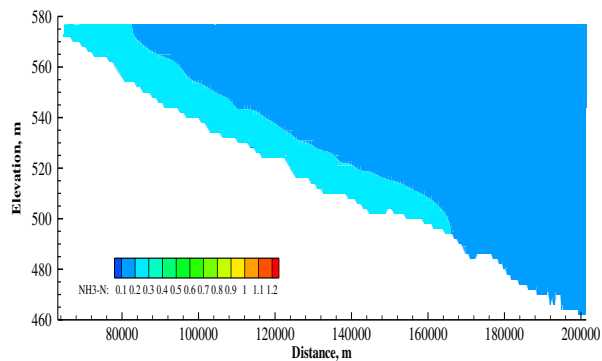


枯水期

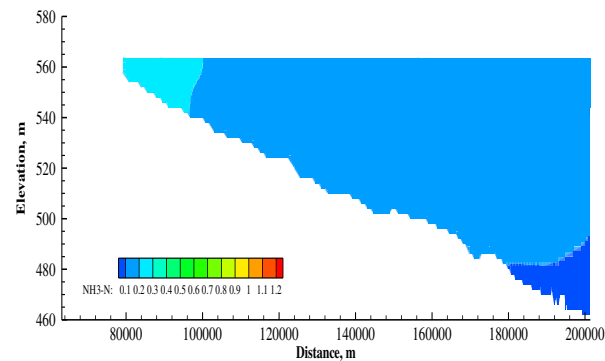
图 8.2.7-4 拦沙初期水平年库区 COD 分布（情景一）



丰水期



平水期



枯水期

图 8.2.7-5 拦沙初期平水年库区 NH₃-N 分布（情景一）

② 水质坝前垂向分布

平水年各水质因子浓度坝前垂向分布见图 8.2.7-6，从图中可以看出，库区分层的水温结构对库区水质浓度垂向分布影响较大，坝前库底 COD 浓度在枯水期 11 月达到最大为 11.12mg/L，NH₃-N 浓度在枯水期 1 月达到最大为 0.132mg/L。这是由于枯水期低温挟污入流沿库底运动至坝前，入流各水质因子浓度较高。至 3 月入流水温逐渐升高，入流层逐渐往水库表面移动。丰水期水流主要进入库区中~上层水体，导致该部分区域水体浓度较高，底层水体与挟污水流交换较少，降解时间长，浓度较低。表层水质浓度主要受水流条件、支流汇入影响较大，10 月 COD 浓度最高为 7.5mg/L；3 月 NH₃-N 浓度最高为 0.12mg/L。

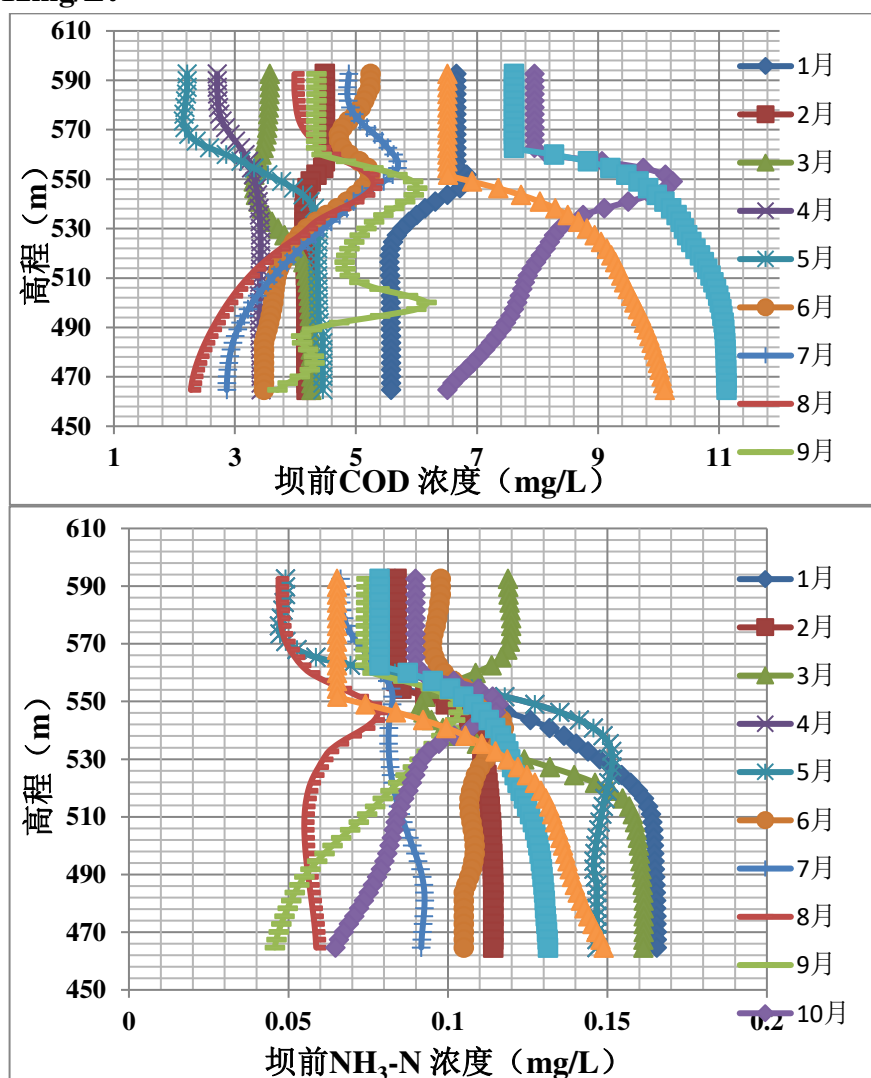


图 8.2.7-6 拦沙初期平水年情景一各水质因子坝前垂向分布预测图

(2) 枯水年

① 水质浓度沿程分布

库区各水质因子断面平均浓度纵向沿程分布预测结果见表 8.2.7-10~8.2.7-11。

表 8.2.7-10 枯水年库区典型断面 COD 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	清涧河入黄口下游 500m	昕水河入黄口下游 500m	延河入黄口下游 500m	坝址
枯水期	11	16.08	6.27	11.25	11.32	11.38
	12	8.88	6.43	9.81	9.89	10.17
	1	14.94	10.69	6.13	6.40	7.89
	2	12.18	7.61	6.13	6.46	7.89
	平均	13.02	7.75	8.33	8.52	9.33
平水期	3	14.24	12.34	4.81	4.96	4.49
	4	14.69	12.86	9.00	7.96	4.28
	5	13.64	10.80	8.08	7.61	6.21
	6	11.76	8.52	6.79	6.34	5.44
	平均	13.58	11.13	7.17	6.72	5.11
丰水期	7	17.59	14.64	6.32	6.16	5.31
	8	15.29	11.52	7.51	6.67	5.14
	9	15.25	13.06	12.81	11.38	8.05
	10	15.25	11.18	12.03	12.17	12.05
	平均	15.84	12.60	9.67	9.10	7.64

表 8.2.7-11 枯水年库区典型断面 NH₃-N 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	清涧河入黄口下游 500m	昕水河入黄口下游 500m	延河入黄口下游 500m	坝址
枯水期	11	0.26	0.15	0.14	0.15	0.14
	12	0.47	0.17	0.14	0.14	0.14
	1	0.22	0.14	0.12	0.11	0.11
	2	0.72	0.14	0.12	0.11	0.11
	平均	0.42	0.15	0.13	0.13	0.12
平水期	3	0.55	0.52	0.15	0.17	0.13
	4	0.18	0.19	0.33	0.28	0.14
	5	0.16	0.16	0.17	0.17	0.16
	6	0.29	0.13	0.12	0.11	0.10
	平均	0.29	0.25	0.19	0.18	0.13
丰水期	7	0.27	0.25	0.10	0.10	0.08
	8	0.21	0.17	0.10	0.09	0.08
	9	0.20	0.17	0.16	0.15	0.09
	10	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14
	平均	0.22	0.18	0.13	0.12	0.10

与平水年相似,枯水年库区各断面沿程呈降低趋势,但各断面较丰水年水质差。丰水期沿程变化趋势较平水期和枯水期明显。丰水期由于来流流量增加,库区流速较大,水流紊动强烈,上下层水体得以在库区内充分降解,使各断面平均浓度沿程下降趋势较明显。枯水期和平水期挟污水流下潜留于库底,各断面垂向平均浓度沿程变化趋势弱于丰水期。由于支流挟污水流的汇入,在部分支流汇入口处水质短暂升高。

各水质因子中 COD、NH₃-N 入流水质较好,入库浓度均达到 III 类水质目标,各污染物浓度至 100km 处迅速降解,至坝前 COD、NH₃-N 不同时期水质均能达到 II 类水目标。不同时期 COD、NH₃-N 分布见图 8.2.7-7~图 8.2.7-8。

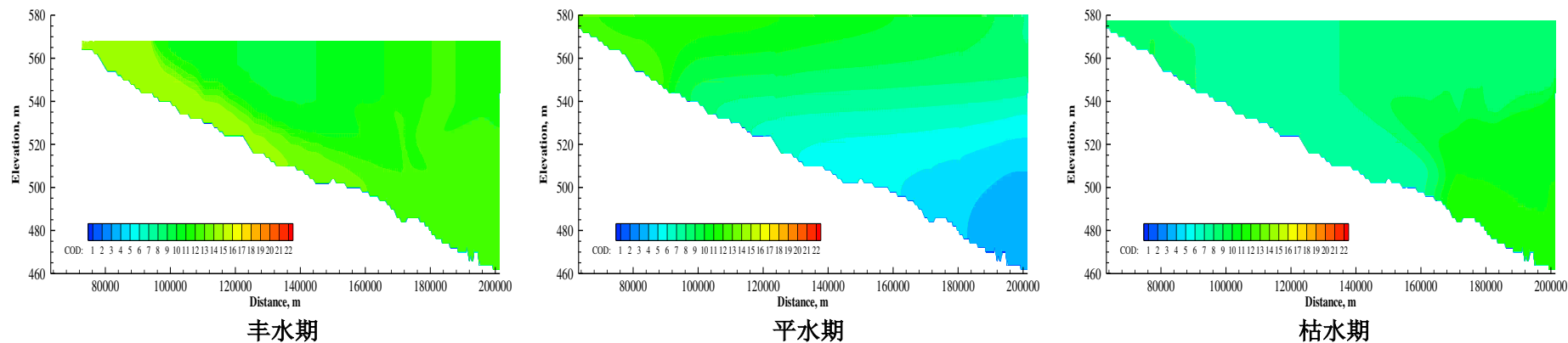


图 8.2.7-7 拦沙初期枯水年库区 COD 分布（情景一）

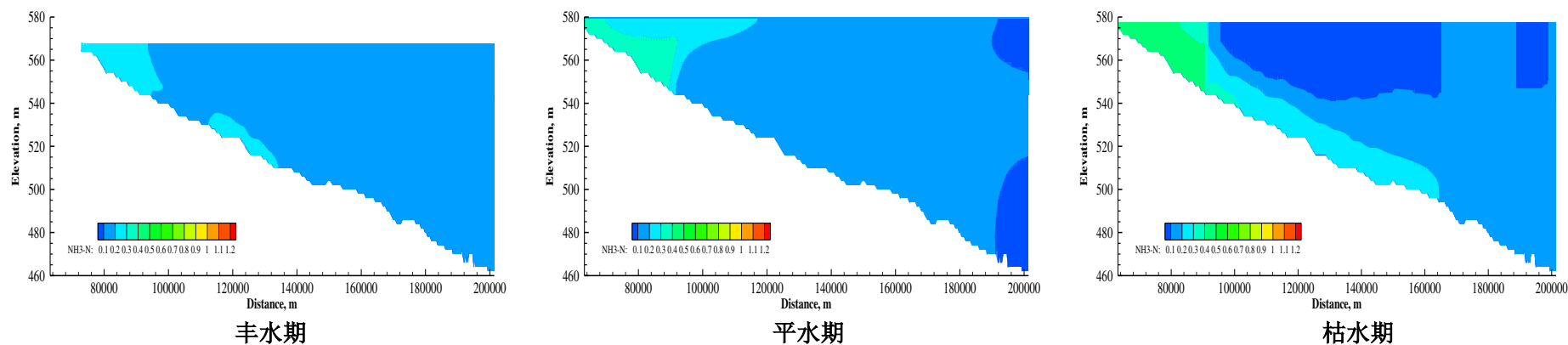


图 8.2.7-8 拦沙初期枯水年库区 $\text{NH}_3\text{-N}$ 分布（情景一）

② 水质坝前垂向分布

枯水年各水质因子坝前垂向分布见图 8.2.7-9，从图中可以看出，库区分层的水温结构对库区水质浓度垂向分布影响较大，坝前库底 COD 浓度在枯水期 11 月达到最大为 11.12mg/L，NH₃-N 浓度在枯水期 1 月达到最大为 0.16mg/L。这是由于枯水期低温挟污入流沿库底运动至坝前，入流各水质因子浓度较高。至 3 月入流水温逐渐升高，入流层逐渐往水库表面移动。丰水期水流主要进入库区中~上层水体，导致该部分区域水体浓度较高，底层水体与挟污水流交换较少，降解时间长，浓度较低。表层水质浓度主要受水流条件、支流汇入影响较大，10 月 COD 浓度最高为 7.94mg/L，3 月 NH₃-N 浓度最高为 0.11mg/L。

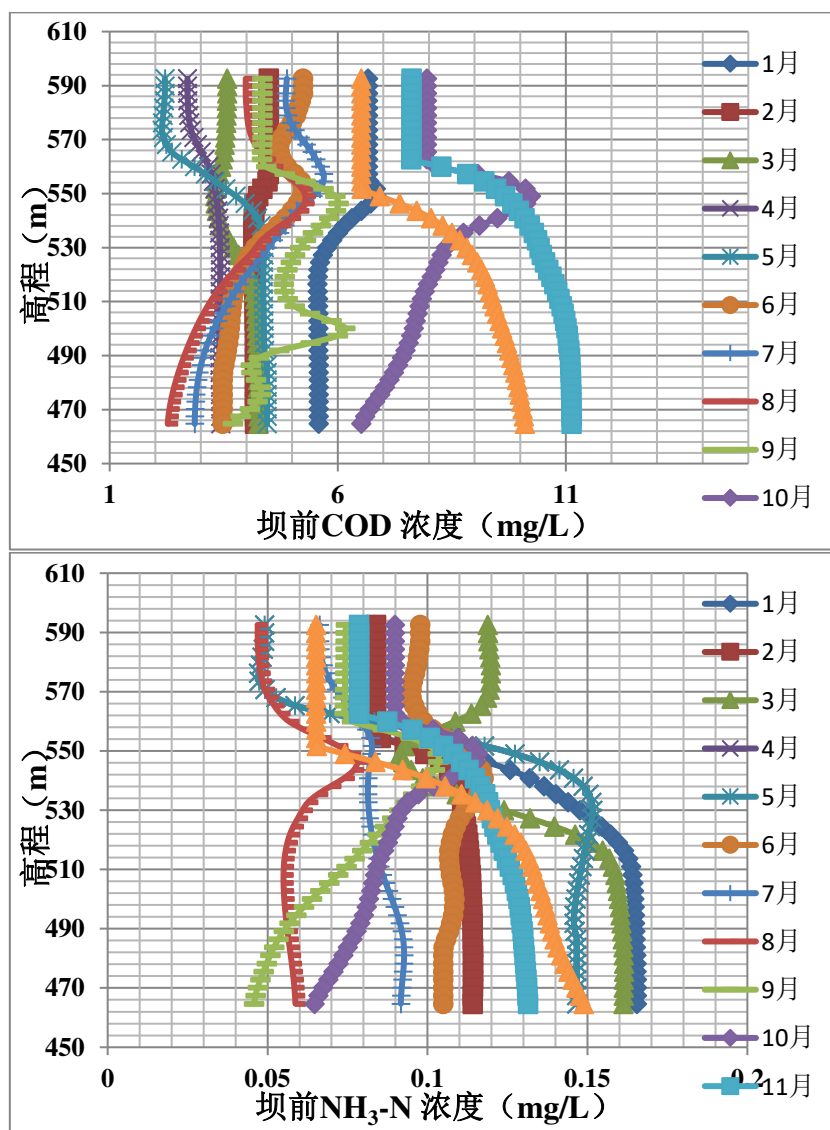


图 8.2.7-9 拦沙初期枯水年情景一各水质因子浓度坝前垂向逐月分布预测图

2. 拦沙初期情景二库区水质预测结果

(1) 平水年

① 水质浓度沿程分布

库区各水质因子断面平均浓度纵向沿程分布预测结果见表 8.2.7-12~表 8.2.7-13。

表 8.2.7-12 平水年古贤水库典型断面 COD 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	无定河入 黄口下游 500m	清涧河入 黄口下游 500m	昕水河入 黄口下游 500m	延河入黄 口下游 500m	坝址
枯水期	11	16.27	10.62	8.75	9.34	10.25	9.55
	12	6.96	6.55	6.40	8.05	9.44	8.47
	1	11.89	11.67	6.01	5.94	5.97	5.95
	2	13.37	14.95	5.80	5.44	4.96	4.19
	平均	12.12	10.95	6.74	7.19	7.65	7.04
平水期	3	13.34	13.93	7.98	4.01	4.80	3.73
	4	14.74	14.47	9.59	5.50	4.01	3.18
	5	13.61	13.62	8.67	5.75	4.81	3.66
	6	11.74	11.58	7.79	5.50	4.81	4.19
	平均	13.36	13.40	8.51	5.19	4.61	3.69
丰水期	7	17.44	12.53	7.13	5.44	5.18	4.19
	8	13.77	13.92	12.47	4.97	5.22	3.59
	9	15.01	14.90	11.68	6.85	4.60	4.36
	10	14.97	14.84	9.92	10.38	6.77	7.36
	平均	15.30	14.05	10.30	6.91	5.44	4.88

表 8.2.7-13 平水年古贤水库典型断面 NH₃-N 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	无定河入 黄口下游 500m	清涧河入 黄口下游 500m	昕水河入 黄口下游 500m	延河入黄 口下游 500m	坝址
枯水期	11	0.21	0.14	0.10	0.10	0.12	0.10
	12	0.30	0.15	0.10	0.10	0.11	0.10
	1	0.49	0.58	0.11	0.11	0.11	0.11
	2	0.48	0.64	0.16	0.14	0.21	0.09
	平均	0.37	0.38	0.12	0.11	0.14	0.10
平水期	3	0.39	0.45	0.25	0.08	0.10	0.08
	4	0.14	0.15	0.26	0.14	0.08	0.07
	5	0.12	0.14	0.15	0.11	0.12	0.08
	6	0.18	0.16	0.10	0.08	0.12	0.07
	平均	0.21	0.22	0.19	0.11	0.11	0.07
丰水期	7	0.25	0.20	0.09	0.06	0.08	0.05
	8	0.22	0.22	0.18	0.06	0.06	0.04
	9	0.20	0.19	0.15	0.08	0.05	0.05
	10	0.17	0.18	0.11	0.12	0.08	0.08
	平均	0.21	0.19	0.13	0.08	0.07	0.05

平水年库区各断面垂向平均浓度沿程分布规律相似,纵向上沿程呈降低趋势。其中丰水期沿程变化趋势较平水期和枯水期明显。丰水期由于来流流量增加,库区流速较大,水流紊动强烈,上下层水体污染物得以在库区内充分降解,使各断面平均浓度沿程下降趋势较明显。枯水期和平水期挟污水流下潜留于库底,各断面垂向平均浓度沿程变化趋势弱于丰水期。由于支流挟污水流的汇入,在部分支流汇入口处水质短暂升高。

各水质因子中 COD、NH₃-N 入流水质较好，入库浓度均达到 III 类水质目标，各污染物浓度至 100km 处迅速降解，至坝前 COD、NH₃-N 不同时期水质均能达到 II 类水标准目标。不同时期 COD、NH₃-N 分布见图 8.2.7-0~图 8.2.7-11。

② 水质坝前垂向分布

平水年各水质因子坝前垂向分布见图 8.2.7-12，从图中可以看出，库区分层的水温结构对库区水质浓度垂向分布影响较大，COD 浓度在枯水期 11 月达到最大为 11.08mg/L，NH₃-N 浓度在枯水期 1 月达到最大为 0.14mg/L。这是由于枯水期低温挟污入流沿库底运动至坝前，入流各水质因子浓度较高；至 3 月入流水温逐渐升高，入流层逐渐往水库表面移动。丰水期水流主要进入库区中~上层水体，导致该部分区域水体浓度较高，底层水体与挟污水流交换较少，降解时间长，浓度较低。表层水质浓度主要受水流条件、支流汇入影响较大，10 月 COD 浓度最高为 7.27mg/L；10 月 NH₃-N 浓度最高为 0.07mg/L。

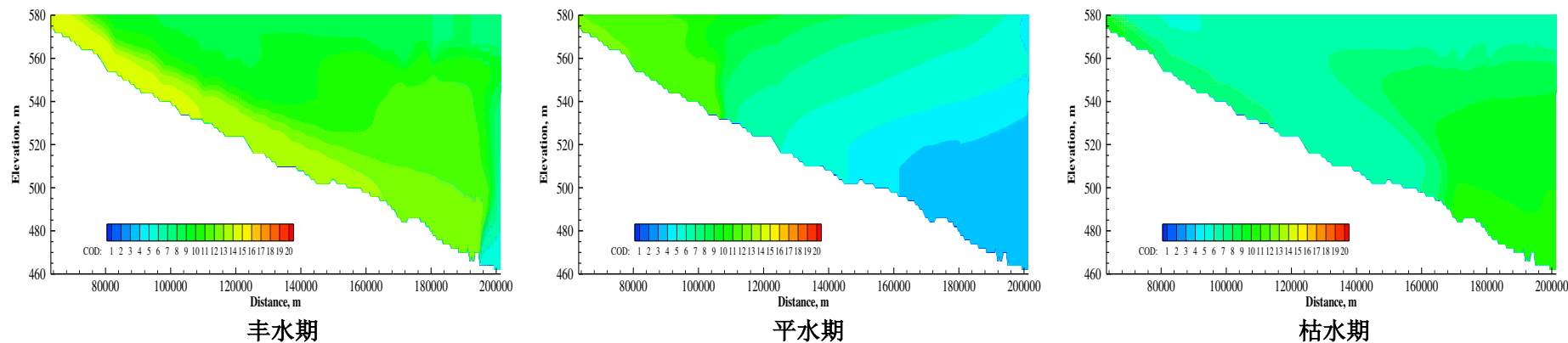


图 8.2.7-10 拦沙初期平水年库区 COD 分布（情景二）

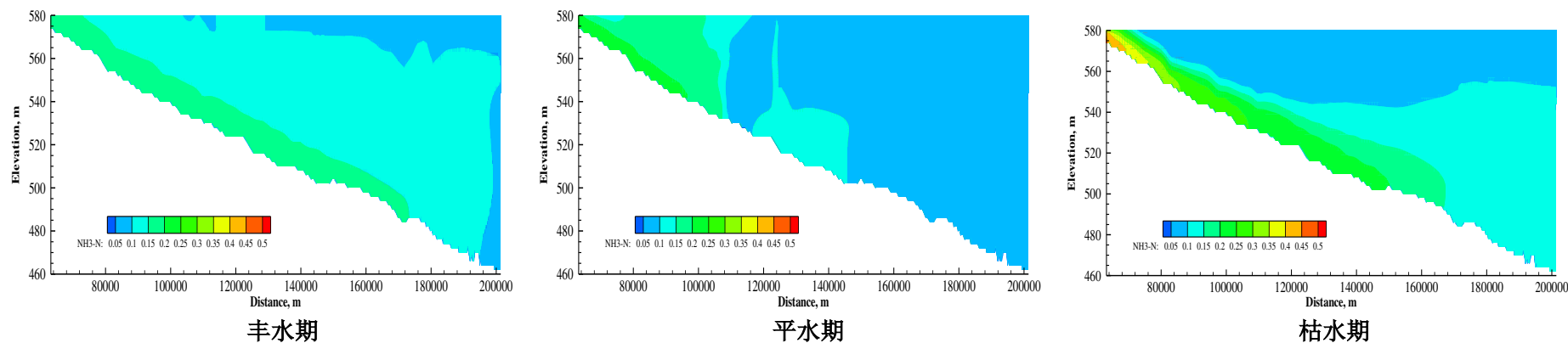


图 8.2.7-11 拦沙初期平水年库区 $\text{NH}_3\text{-N}$ 分布（情景二）

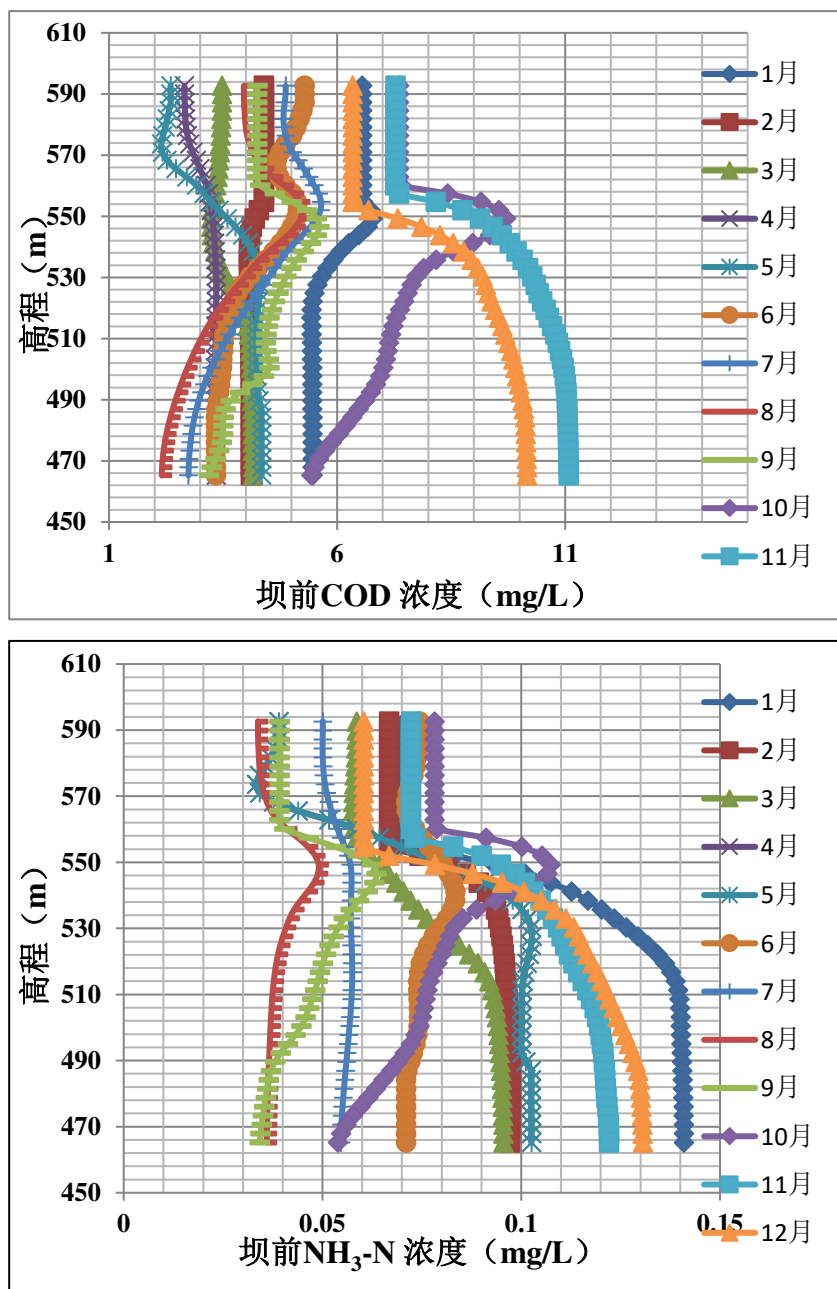


图 8.2.7-12 拦沙初期平水年情景二各水质因子浓度坝前垂向逐月分布预测图

(2) 枯水年

① 水质浓度沿程分布

库区各水质因子断面平均浓度纵向沿程分布预测结果见表 8.2.7-14~表 8.2.7-15。

表 8.2.7-14 枯水年古贤水库典型断面 COD 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	清涧河入黄口下游 500m	昕水河入黄口下游 500m	延河入黄口下游 500m	坝址
枯水期	11	16.08	6.27	11.25	11.32	11.38
	12	8.88	6.43	9.81	9.89	10.17
	1	14.94	10.69	6.13	6.40	7.89
	2	12.18	7.61	6.13	6.46	7.89
	平均	13.02	7.75	8.33	8.52	9.33
平水期	3	14.24	12.34	4.81	4.96	4.49
	4	14.69	12.86	9.00	7.96	4.28
	5	13.64	10.80	8.08	7.61	6.21
	6	11.76	8.52	6.79	6.34	5.44
	平均	13.58	11.13	7.17	6.72	5.11
丰水期	7	17.59	14.64	6.32	6.16	5.31
	8	15.29	11.52	7.51	6.67	5.14
	9	15.25	13.06	12.81	11.38	8.05
	10	15.25	11.18	12.03	12.17	12.05
	平均	15.84	12.60	9.67	9.10	7.64

表 8.2.7-15 枯水年古贤水库典型断面 NH₃-N 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	清涧河入黄口下游 500m	昕水河入黄口下游 500m	延河入黄口下游 500m	坝址
枯水期	11	0.26	0.15	0.14	0.15	0.14
	12	0.47	0.17	0.14	0.14	0.14
	1	0.22	0.14	0.12	0.11	0.11
	2	0.72	0.14	0.12	0.11	0.11
	平均	0.42	0.15	0.13	0.13	0.12
平水期	3	0.55	0.52	0.15	0.17	0.13
	4	0.18	0.19	0.33	0.28	0.14
	5	0.16	0.16	0.17	0.17	0.16
	6	0.29	0.13	0.12	0.11	0.10
	平均	0.29	0.25	0.19	0.18	0.13
丰水期	7	0.27	0.25	0.10	0.10	0.08
	8	0.21	0.17	0.10	0.09	0.08
	9	0.20	0.17	0.16	0.15	0.09
	10	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14
	平均	0.22	0.18	0.13	0.12	0.10

枯水年库区各断面垂向平均浓度沿程分布规律相似,纵向上沿程呈降低趋势。其中丰水期沿程变化趋势较平水期和枯水期明显。丰水期由于来流流量增加,库区流速较大,水流紊动强烈,上下层水体得以在库区内充分降解,使各断面平均浓度沿程下降趋势较明显。枯水期和平水期挟污水流下潜留于库底,各断面垂向平均浓度沿程变化趋势弱于丰水期。由于支流挟污水流的汇入,在部分支流汇入口处水质短暂升高。

各水质因子中 COD、NH₃-N 入流水质较好,入库浓度均达到 III 类水质目标,各污染物浓度至 100km 处迅速降解,至坝前 COD、NH₃-N 不同时期水质均能达到 II 类水标准目标。不同时期 COD、NH₃-N 分布见图 8.2.7-13~图 8.2.7-14。

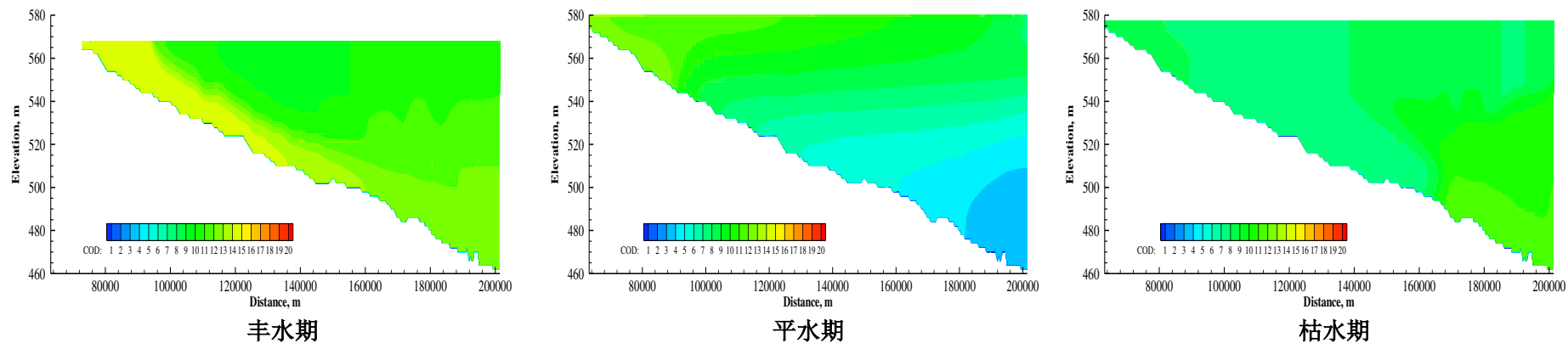


图 8.2.7-13 拦沙初期枯水年库区 COD 分布（情景二）

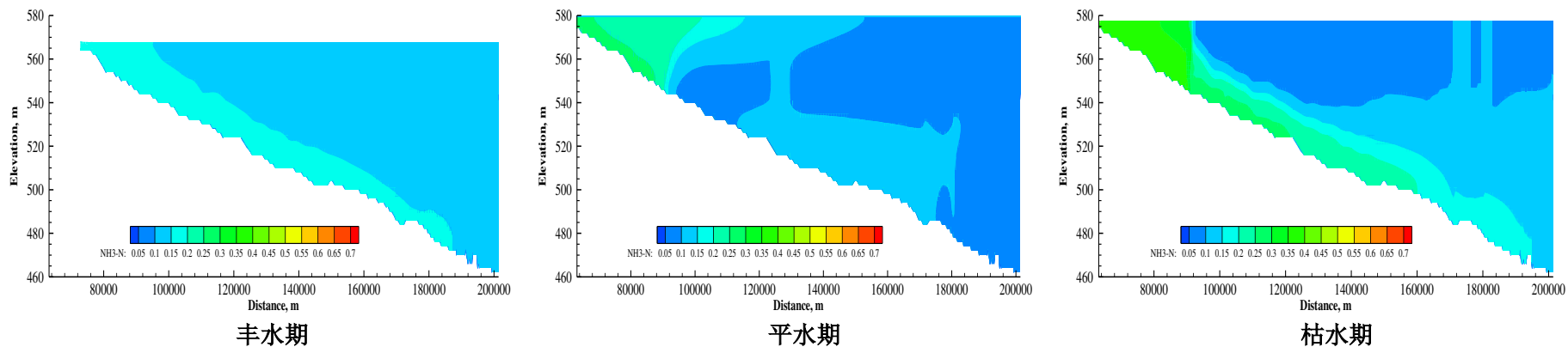


图 8.2.7-14 拦沙初期枯水年库区 $\text{NH}_3\text{-N}$ 分布（情景二）

② 水质坝前垂向分布

枯水年各水质因子坝前垂向分布见图 8.2.7-21, 从图中可以看出, 库区分层的水温结构对库区水质浓度垂向分布影响较大, COD 浓度在枯水期 11 月达到最大为 11.10mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度在枯水期 1 月达到最大为 0.15mg/L。这是由于枯水期低温挟污入流沿库底运动至坝前, 入流各水质因子浓度较高; 至 3 月入流水温逐渐升高, 入流层逐渐往水库表面移动。丰水期水流主要进入库区中~上层水体, 导致该部分区域水体浓度较高, 底层水体与挟污水流交换较少, 降解时间长, 浓度较低。表层水质浓度主要受水流条件、支流汇入影响较大, 10 月 COD 浓度最高为 7.87mg/L; 10 月 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度最高为 0.09mg/L。

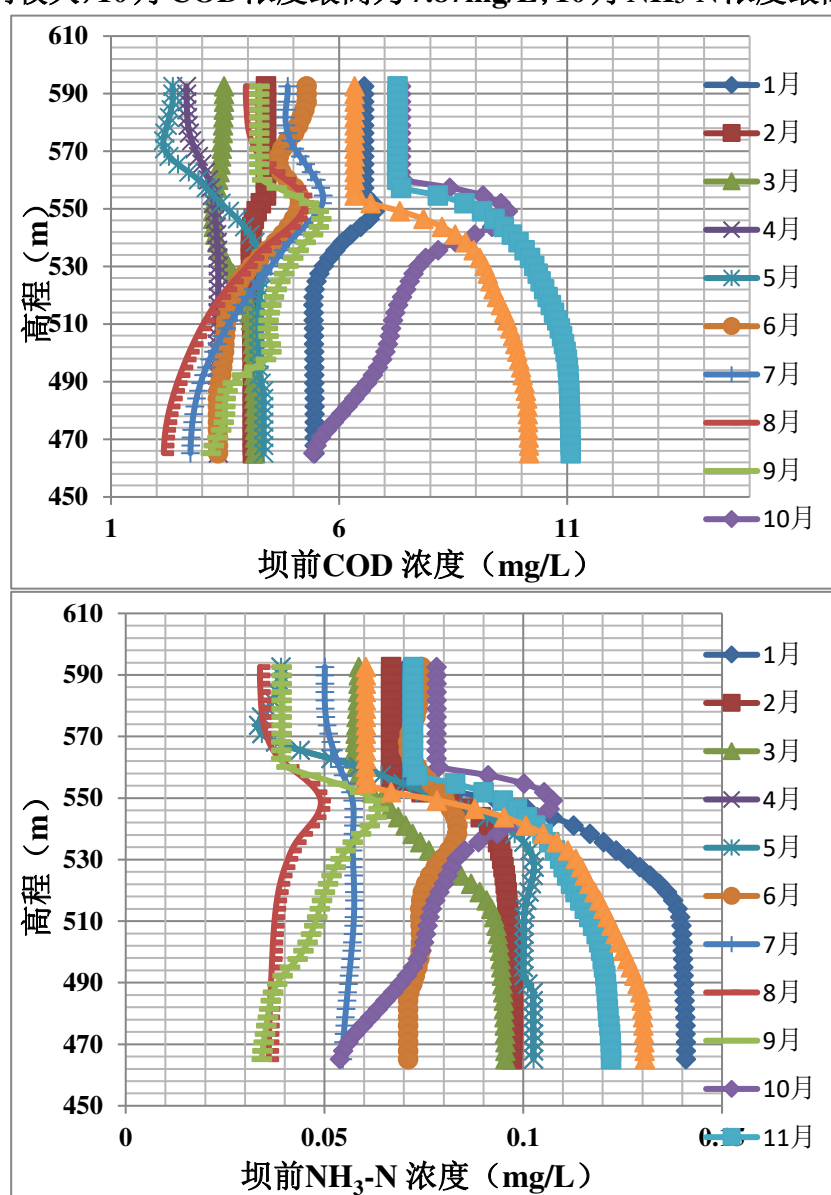


图 8.2.7-15 拦沙初期枯水年情景二各水质因子浓度坝前垂向逐月分布预测图

8.2.7.9 拦沙后期库区水质预测结果分析

拦沙后期库区各水质因子的浓度分布规律仍与拦沙初期大体相似。但由于拦沙后期库区淤积，回水长度缩短，二者略有差异。

(1) 平水年

① 水质浓度沿程分布

库区各水质因子断面平均浓度纵向沿程分布预测结果见表 8.2.7-16~表 8.2.7-17。

表 8.2.7-16 平水年古贤水库典型断面 COD 预测结果 单位：mg/L

时期	月份	库尾	昕水河入黄口下游 500m	延河入黄口下游 500m	坝址
枯水期	11	9.65	8.76	9.02	9.14
	12	9.50	7.04	7.05	8.05
	1	10.91	6.33	6.03	5.92
	2	13.11	5.16	5.13	4.60
	平均	10.79	6.82	6.81	6.93
平水期	3	10.02	7.57	8.16	7.92
	4	13.74	7.85	7.41	6.97
	5	13.25	7.66	6.84	5.43
	6	10.39	10.02	6.62	4.72
	平均	11.85	8.27	7.26	6.26
丰水期	7	8.91	8.98	8.67	7.19
	8	9.85	9.95	9.25	8.05
	9	9.65	9.42	9.85	9.55
	10	9.68	9.38	9.49	10.09
	平均	9.52	9.43	9.32	8.72

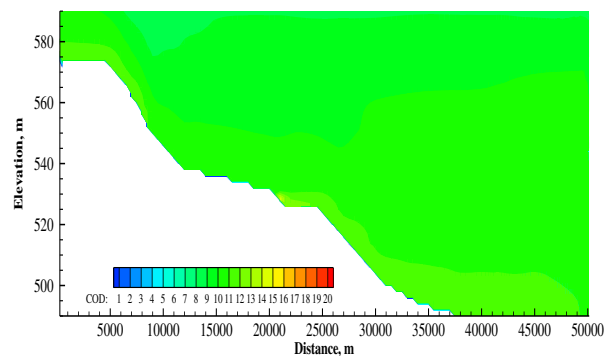
表 8.2.7-17 平水年古贤水库典型断面 NH₃-N 预测结果 单位：mg/L

时期	月份	库尾	昕水河入黄口下游 500m	延河入黄口下游 500m	坝址
枯水期	11	0.12	0.10	0.10	0.11
	12	0.11	0.09	0.10	0.10
	1	0.46	0.13	0.13	0.11
	2	0.51	0.12	0.12	0.08
	平均	0.30	0.11	0.11	0.10
平水期	3	0.32	0.24	0.26	0.24
	4	0.15	0.20	0.20	0.19
	5	0.13	0.12	0.12	0.13
	6	0.13	0.11	0.08	0.08
	平均	0.18	0.17	0.16	0.16
丰水期	7	0.11	0.11	0.11	0.09
	8	0.13	0.13	0.12	0.09
	9	0.12	0.11	0.12	0.11
	10	0.13	0.10	0.11	0.11
	平均	0.12	0.12	0.11	0.10

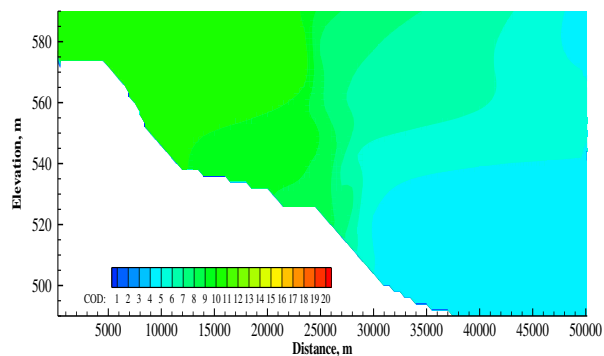
拦沙后期库区各断面平均浓度沿程分布与拦沙初期规律相似，纵向上沿程呈降低趋势。其中丰水期沿程变化趋势较平水期和枯水期明显。丰水期由于来流流量增加，库区流速较大，水流紊动强烈，上下层水体得以在库区内充分降解，使各断面平均浓度沿程下降趋势较明显。枯水期和平水期挟污水流下潜留于库底，各断面垂向平均浓度沿程变

化趋势弱于丰水期。由于支流挟污水流的汇入，在部分支流汇入口处水质略有上升。

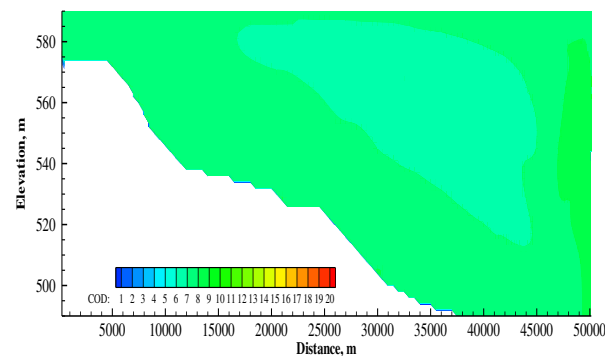
COD、NH₃-N 入流水质较好，入库浓度均达到 III 类水质标准，各污染物浓度变化较为平稳，至坝前 COD、NH₃-N 不同时期水质均能达到 II 类水质标准。不同时期 COD、NH₃-N 分布见图 8.2.7-16~图 8.2.7-17。



丰水期

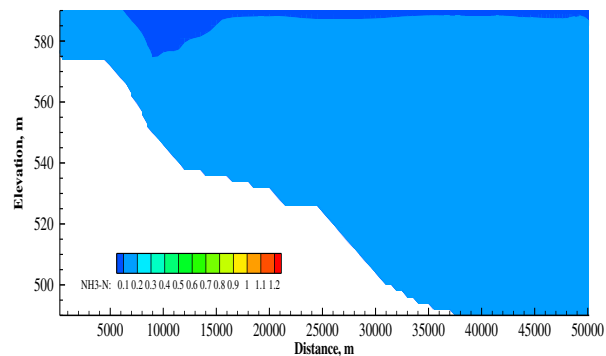


平水期

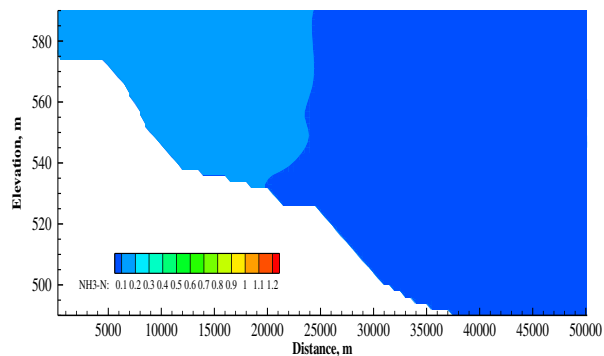


枯水期

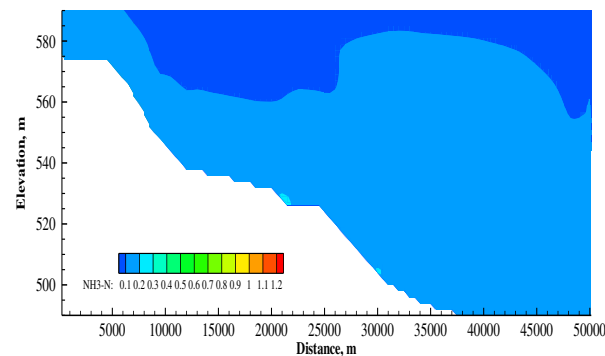
图 8.2.7-16 拦沙后期平水年库区 COD 分布（情景二）



丰水期



平水期



枯水期

图 8.2.7-17 拦沙后期平水年库区 NH₃-N 分布（情景二）

② 水质坝前垂向分布

平水年各水质因子坝前垂向分布见图 8.2.7-18，从图中可以看出，库区分层的水温结构对库区水质浓度垂向分布影响较大，坝前库底 COD 浓度在丰水期 10 月达到最大为 10.97mg/L，NH₃-N 浓度在平水期 3 月达到最大为 0.34mg/L，拦沙后期由于库容显著减少，丰水期与枯水期坝前垂向分层不明显。COD 和 NH₃-N 浓度在 3 月份垂向分层较为明显，这是由于枯水期低温挟污入流沿库底运动至坝前，入流各水质因子浓度较高；至 3 月入流水温逐渐升高，入流层逐渐往水库表面移动。

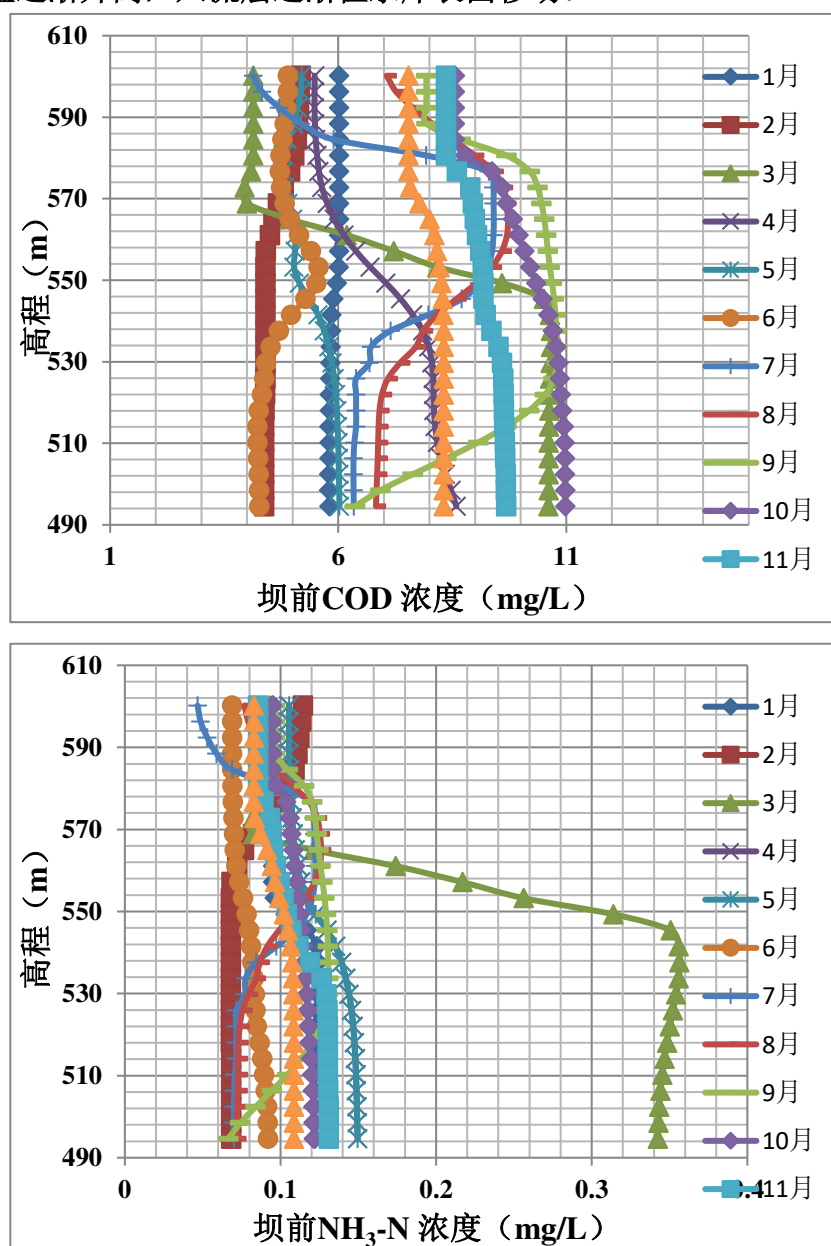


图 8.2.7-18 拦沙后期平水年各水质因子浓度坝前垂向逐月分布预测图

(2) 枯水年

① 水质浓度沿程分布

库区各水质因子断面平均浓度纵向沿程分布预测结果见表 8.2.7-18~表 8.2.7-19。

表 8.2.7-18 平水年古贤水库典型断面 COD 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
枯水期	11	9.65	8.76	9.02	9.14
	12	9.50	7.04	7.05	8.05
	1	10.91	6.33	6.03	5.92
	2	13.11	5.16	5.13	4.60
	平均	10.79	6.82	6.81	6.93
平水期	3	10.02	7.57	8.16	7.92
	4	13.74	7.85	7.41	6.97
	5	13.25	7.66	6.84	5.43
	6	10.39	10.02	6.62	4.72
	平均	11.85	8.27	7.26	6.26
丰水期	7	8.91	8.98	8.67	7.19
	8	9.85	9.95	9.25	8.05
	9	9.65	9.42	9.85	9.55
	10	9.68	9.38	9.49	10.09
	平均	9.52	9.43	9.32	8.72

表 8.2.7-19 平水年古贤水库典型断面 NH₃-N 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
枯水期	11	0.12	0.10	0.10	0.11
	12	0.11	0.09	0.10	0.10
	1	0.46	0.13	0.13	0.11
	2	0.51	0.12	0.12	0.08
	平均	0.30	0.11	0.11	0.10
平水期	3	0.32	0.24	0.26	0.24
	4	0.15	0.20	0.20	0.19
	5	0.13	0.12	0.12	0.13
	6	0.13	0.11	0.08	0.08
	平均	0.18	0.17	0.16	0.16
丰水期	7	0.11	0.11	0.11	0.09
	8	0.13	0.13	0.12	0.09
	9	0.12	0.11	0.12	0.11
	10	0.13	0.10	0.11	0.11
	平均	0.12	0.12	0.11	0.10

拦沙后期库区各断面平均浓度沿程分布与拦沙初期规律相似,纵向上沿程呈降低趋势,但变化较为平稳。与拦沙初期相比,丰、平、枯不同水期沿程变化趋势差距不大。由于拦沙后期库容减少,库区内不同污染物混合较为均匀,使各断面平均浓度沿程下降趋势不明显。

各水质因子中 COD、NH₃-N 入流水质较好,入库浓度均达到 III 类水质标准,坝前 COD、NH₃-N 不同时期水质均能达到 II 类水质标准,不同时期 COD、NH₃-N 分布见图 8.2.7-19~图 8.2.7-20。

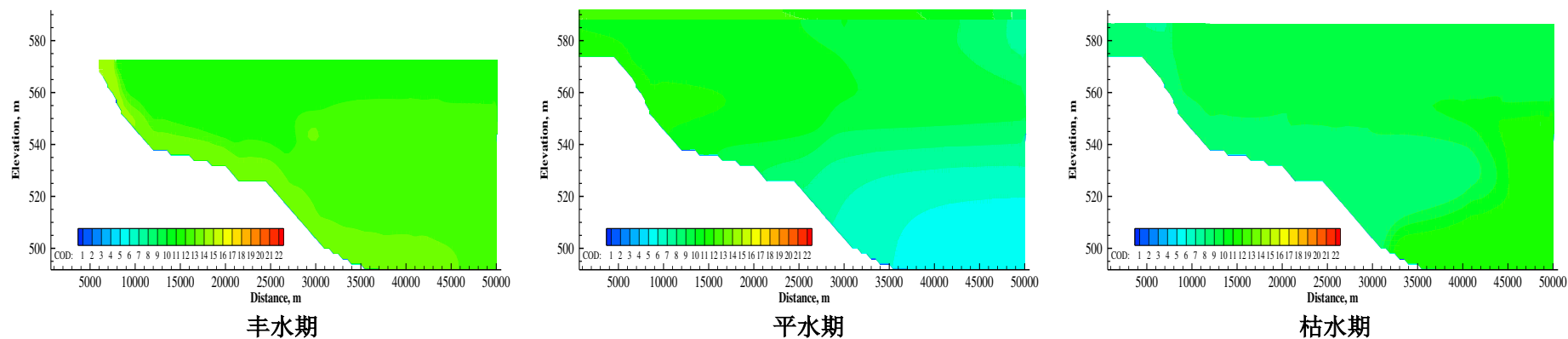


图 8.2.7-19 拦沙后期枯水年库区 COD 分布（情景二）

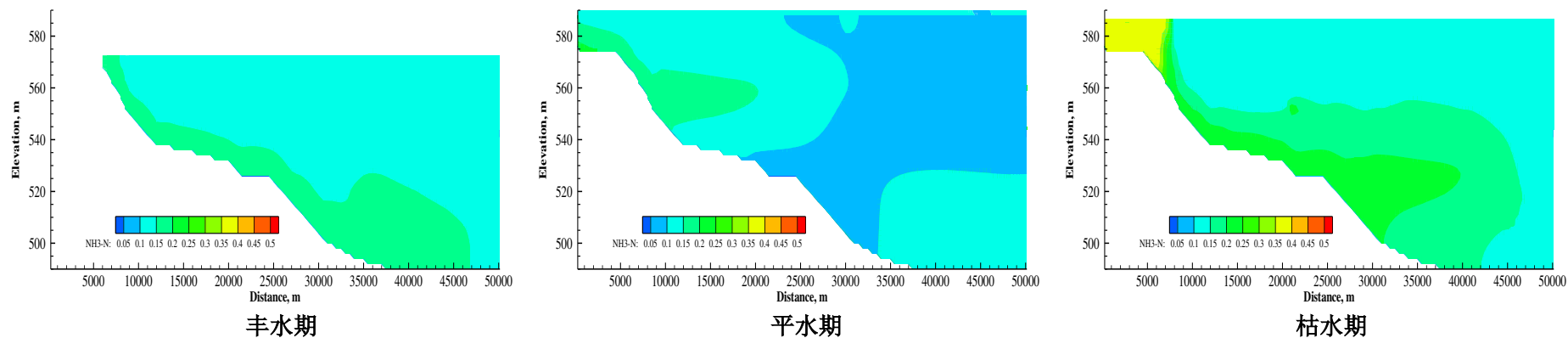


图 8.2.7-20 拦沙后期枯水年库区 $\text{NH}_3\text{-N}$ 分布（情景二）

② 水质坝前垂向分布

枯水年各水质因子坝前垂向分布见图 8.2.7-21，从图中可以看出，库区分层的水温结构对库区水质浓度垂向分布影响较大，COD 在 10 月达到最大为 10.98mg/L、氨氮在 3 月达到最大为 0.34 mg/L。拦沙后期由于库容显著减少，丰水期与枯水期坝前垂向分层不明显。COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度在 3 月份垂向分层较为明显，这是由于枯水期低温挟污入流沿库底运动至坝前，入流各水质因子浓度较高；至 3 月入流水温逐渐升高，入流层逐渐往水库表面移动。

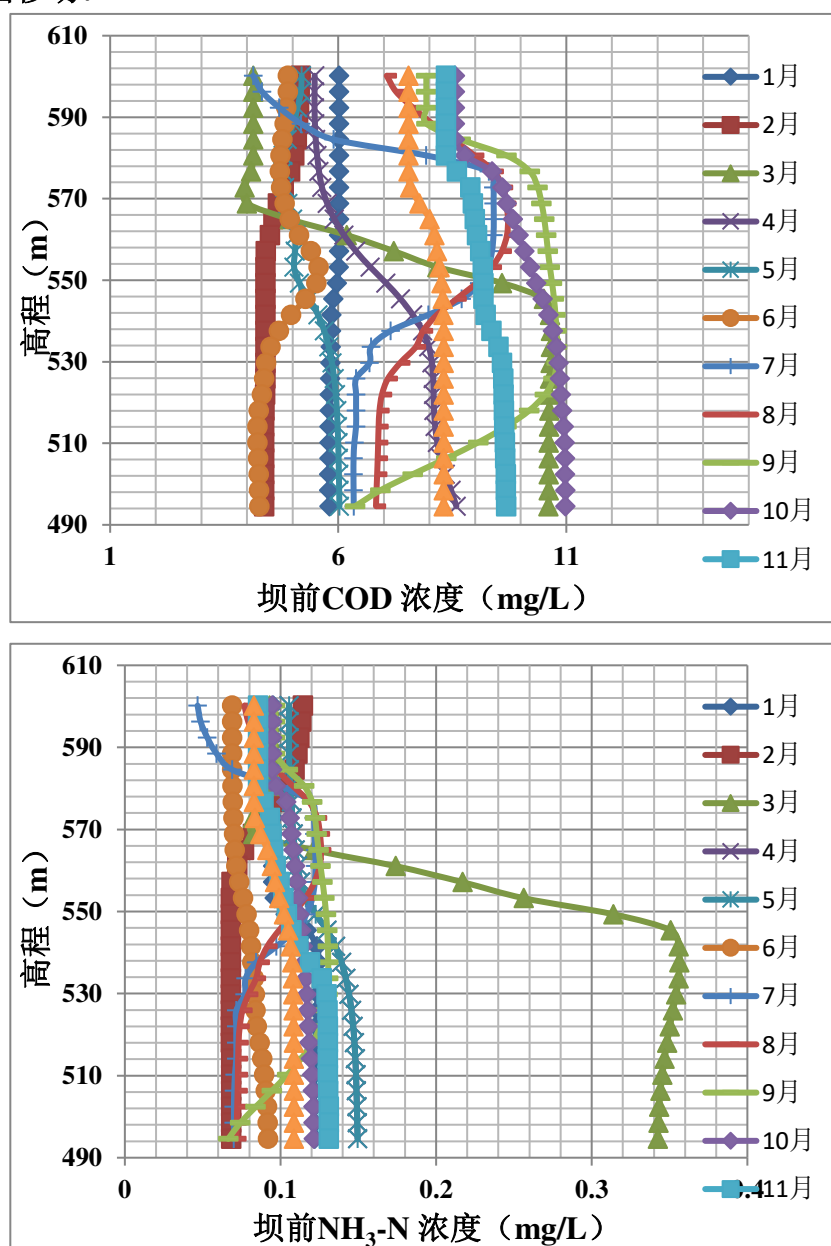


图 8.2.7-21 拦沙后期枯水年各水质因子浓度坝前垂向逐月分布预测图

8.2.7.10 正常运用期库区水质预测结果分析

1. 预测结果

古贤水库平水年及枯水年典型断面 COD、NH₃-N 预测结果见表 8.2.7-20~表 8.2.7-23，正常运用期水功能区全部达到水质目标的要求下，入库总磷和总氮浓度明显减小。古贤水库运行后，库区段水质有进一步好转的趋势，COD、NH₃-N 浓度都较现状有所减小。

表 8.2.7-20 平水年古贤水库典型断面 COD 预测结果（情景二） 单位：mg/L

时期	月份	库尾	三川河入 黄口下游 500m	无定河入 黄口下游 500m	清涧河入 黄口下游 500m	昕水河入 黄口下游 500m	延河入黄 口下游 500m	坝址
枯水期	11	12.80	12.81	13.19	13.15	13.11	13.07	13.06
	12	11.50	11.68	12.05	12.04	12.02	11.98	11.97
	1	12.50	12.74	13.05	13.03	12.97	12.70	12.68
	2	12.47	12.66	13.15	13.09	13.03	13.02	13.00
	平均	12.32	12.47	12.86	12.83	12.78	12.70	12.68
平水期	3	3.60	3.90	4.60	4.75	4.87	4.90	4.94
	4	12.17	12.16	12.30	12.12	11.98	11.93	11.88
	5	12.10	12.18	12.25	12.21	12.18	12.16	12.14
	6	10.97	11.27	11.50	11.52	11.50	11.46	11.44
	平均	9.71	9.88	10.16	10.15	10.13	10.11	10.10
丰水期	7	17.00	16.89	16.79	16.57	16.38	16.29	16.24
	8	12.30	12.63	12.68	12.69	12.93	12.92	12.92
	9	12.97	12.94	13.03	12.98	12.94	12.93	12.91
	10	13.83	13.92	13.97	13.90	13.85	13.78	13.76
	平均	14.02	14.10	14.12	14.03	14.03	13.98	13.96

表 8.2.7-21 平水年古贤水库典型断面 NH₃-N 预测结果（情景二） 单位：mg/L

时期	月份	库尾	三川河入 黄口下游 500m	无定河入 黄口下游 500m	清涧河入 黄口下游 500m	昕水河入 黄口下游 500m	延河入黄 口下游 500m	坝址
枯水期	11	0.14	0.15	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
	12	0.23	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
	1	0.47	0.48	0.46	0.46	0.46	0.45	0.45
	2	0.42	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
	平均	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.32
平水期	3	0.35	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
	4	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14
	5	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
	6	0.10	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13
	平均	0.17	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19
丰水期	7	0.18	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19
	8	0.15	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
	9	0.14	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
	10	0.10	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
	平均	0.14	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17

表 8.2.7-22 枯水年古贤水库典型断面 COD 预测结果（情景二） 单位：mg/L

时期	月份	库尾	三川河入黄口下游 500m	无定河入黄口下游 500m	清涧河入黄口下游 500m	昕水河入黄口下游 500m	延河入黄口下游 500m	坝址
枯水期	11	12.80	12.81	13.16	13.12	13.07	13.04	13.03
	12	11.50	11.83	12.42	12.40	12.36	12.31	12.28
	1	12.50	12.84	13.27	13.33	12.97	12.96	12.94
	2	12.47	12.65	13.13	13.06	13.00	12.98	12.96
	平均	12.32	12.53	12.99	12.98	12.85	12.82	12.80
平水期	3	3.60	3.94	4.74	4.89	5.02	5.06	5.10
	4	12.17	12.15	12.26	12.09	11.97	11.93	11.87
	5	12.10	12.19	12.26	12.22	12.19	12.17	12.15
	6	10.97	11.49	11.88	11.92	11.91	11.84	11.82
	平均	9.71	9.94	10.29	10.28	10.27	10.25	10.23
丰水期	7	17.00	16.89	16.79	16.57	16.40	16.32	16.26
	8	12.30	12.97	13.02	13.06	13.55	13.52	13.52
	9	12.97	12.94	13.04	12.98	12.94	12.92	12.90
	10	13.83	13.99	14.08	14.00	13.93	13.83	13.81
	平均	14.02	14.20	14.23	14.15	14.21	14.15	14.12

表 8.2.7-23 枯水年古贤水库典型断面 NH₃-N 预测结果（情景二） 单位：mg/L

时期	月份	库尾	三川河入黄口下游 500m	无定河入黄口下游 500m	清涧河入黄口下游 500m	昕水河入黄口下游 500m	延河入黄口下游 500m	坝址
枯水期	11	0.14	0.15	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
	12	0.23	0.27	0.25	0.25	0.26	0.26	0.26
	1	0.47	0.49	0.46	0.45	0.46	0.45	0.45
	2	0.42	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
	平均	0.31	0.34	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
平水期	3	0.35	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
	4	0.11	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
	5	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
	6	0.10	0.14	0.14	0.15	0.15	0.16	0.15
	平均	0.17	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
丰水期	7	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
	8	0.15	0.23	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23
	9	0.14	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
	10	0.10	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13
	平均	0.14	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18

2. 古贤水库库区段水质预测评价

（1）平水年

图 8.2.7-22 为平水年古贤水库正常运行期 COD、NH₃-N 变化过程。古贤水库运行后，库区河段的水文和水质过程发生了较大改变。古贤库区河段的 COD、NH₃-N 由于水位、水深发生变化，浓度与相比现状有所减小。由图可知古贤库区段 COD、NH₃-N 枯水年不同月份各项指标均满足Ⅲ类水质目标要求。不同水质因子中 COD 浓度 3 月最低为 4.94 mg/L，7 月浓度最高为 16.23 mg/L；NH₃-N 浓度 10 月最低为 0.11 mg/L，1 月浓度最高为 0.48mg/L。

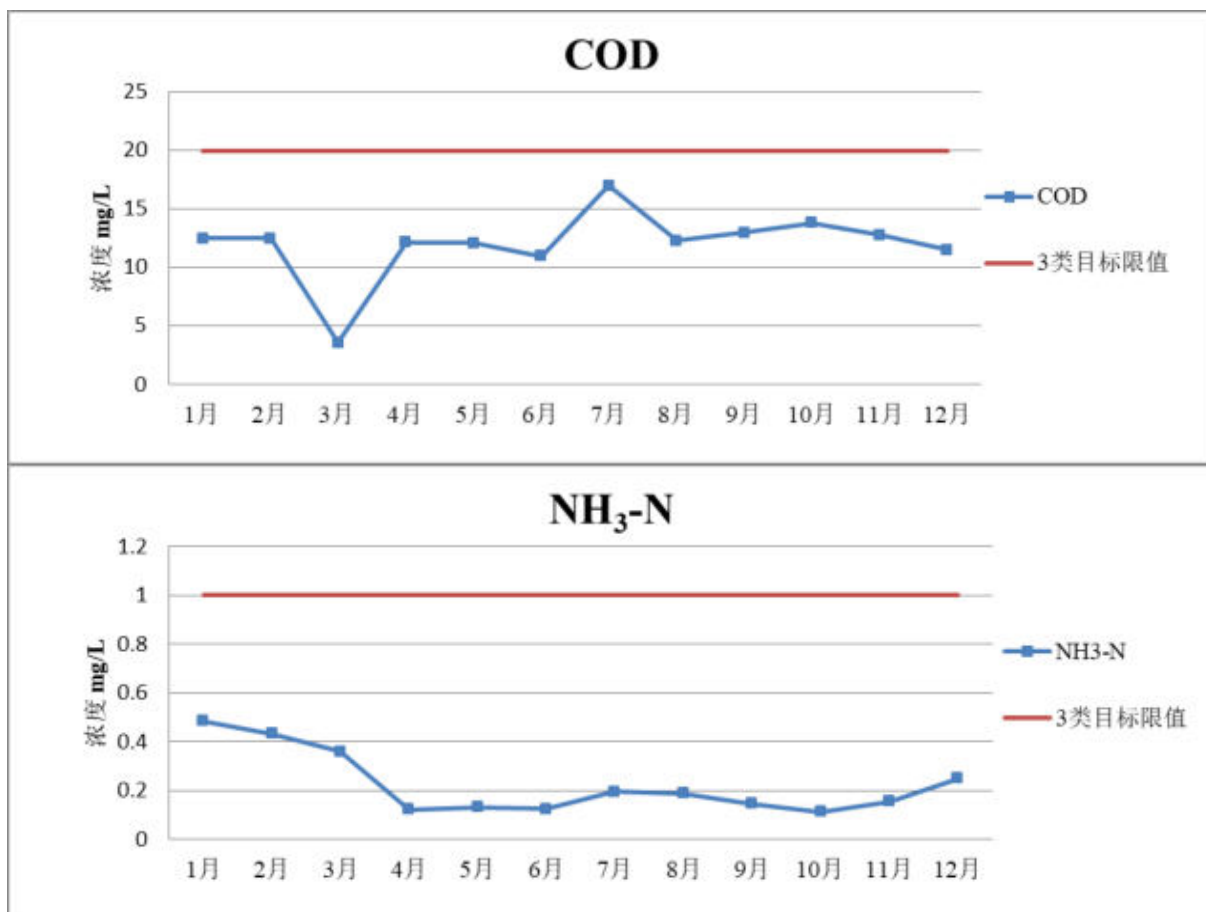
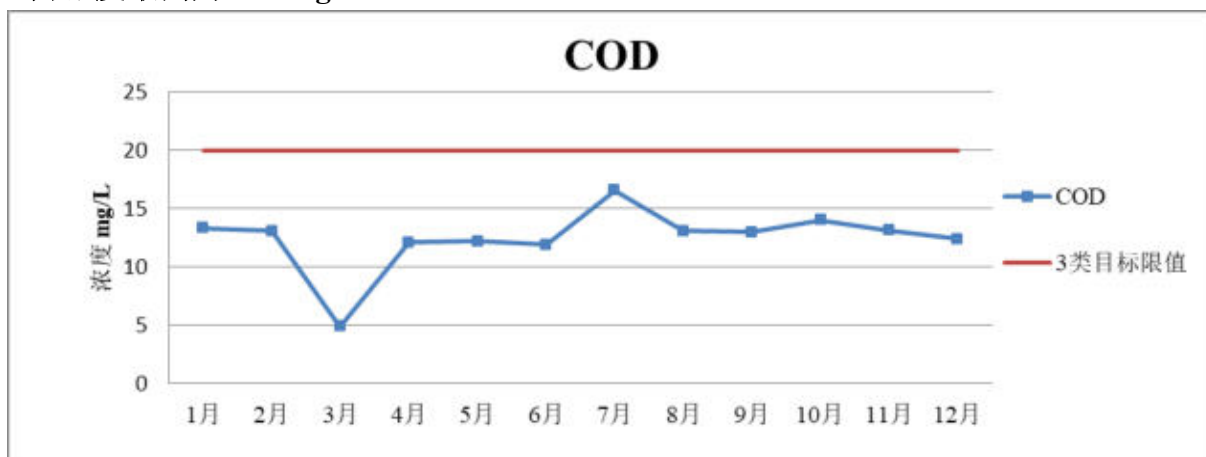


图 8.2.7-22 正常运用期古贤库区平水年 COD、NH₃-N 浓度变化过程

(2) 枯水年

图 8.2.7-23 为枯水年古贤水库正常运用期 COD、NH₃-N 变化过程。由图可知古贤库区段 COD、NH₃-N 枯水年不同月份各项指标均满足Ⅲ类水质目标。其中 COD 浓度 3 月最低为 5.09mg/L，7 月浓度最高为 16.26 mg/L；NH₃-N 浓度 10 月最低为 0.14 mg/L，1 月浓度最高为 0.49mg/L。



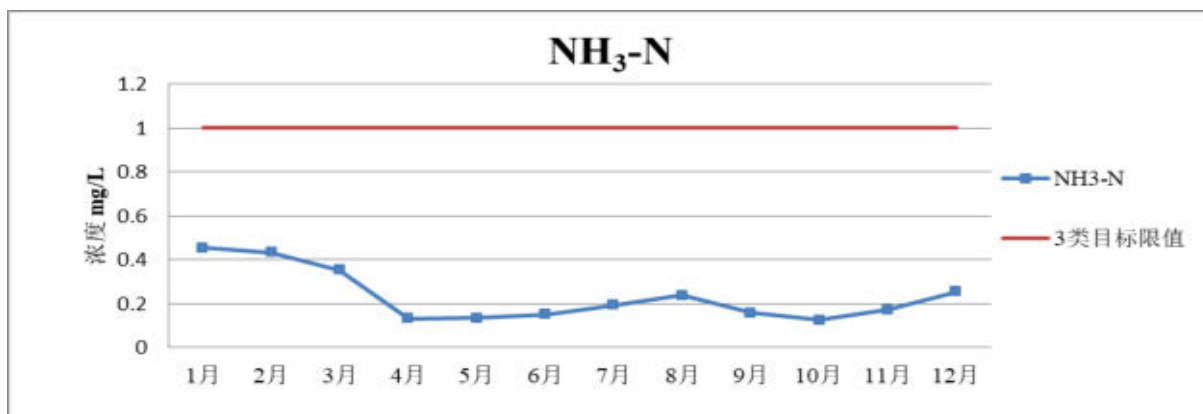


图 8.2.7-23 正常运用期古贤库区枯水年 COD、NH₃-N 浓度变化过程

根据纵向一维水质模型预测，正常运用期不同典型年古贤库尾至坝址河段 COD、NH₃-N 均能满足 III 类水质目标要求。

3. 库区河段沿程水质变化

分别统计古贤水库运行后平水年、枯水年库尾至坝址河段黄河干流 COD、NH₃-N 沿程变化，见图 8.2.7-24~图 8.2.7-25。平水年库尾至坝址水质指标浓度基本表现为 COD 沿程递减趋势，NH₃-N 由于支流汇入，在三川河和无定河入黄口处呈现污染物增高现象，之后随着沿程降解至坝前水质浓度降至最低。根据计算 COD、NH₃-N 总体满足水功能区 III 类水质目标。

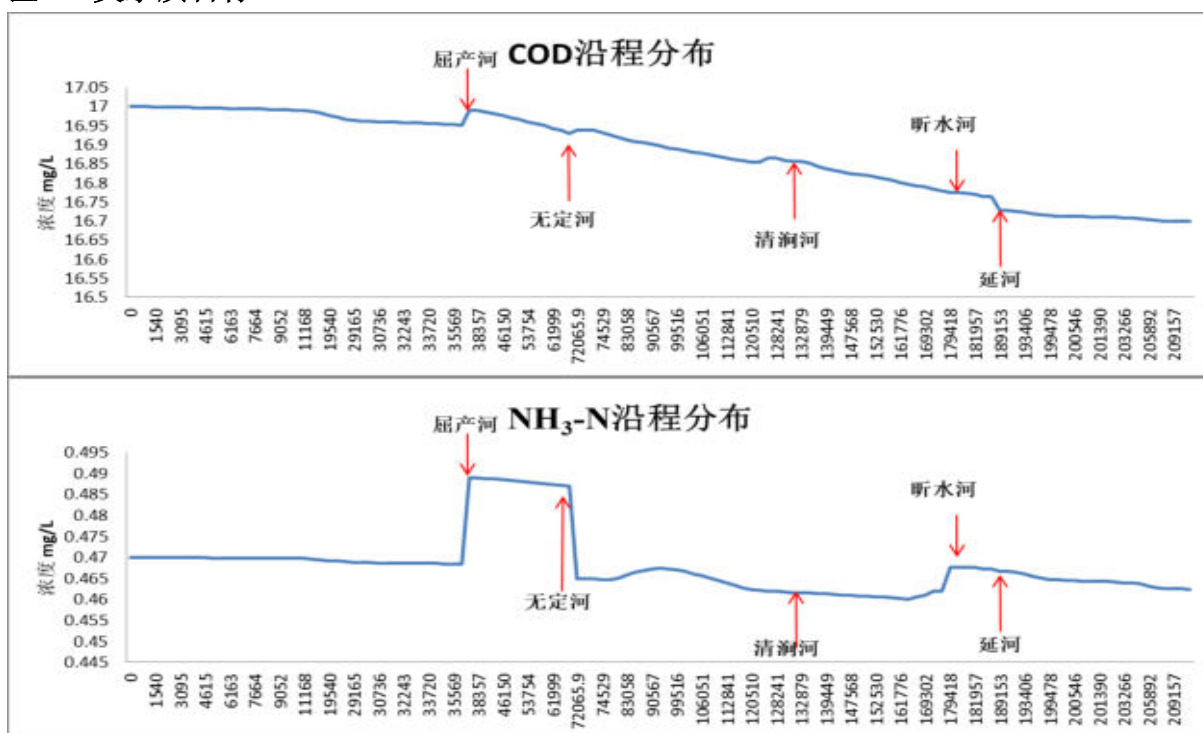


图 8.2.7-24 正常运用期库区平水年水质沿程变化

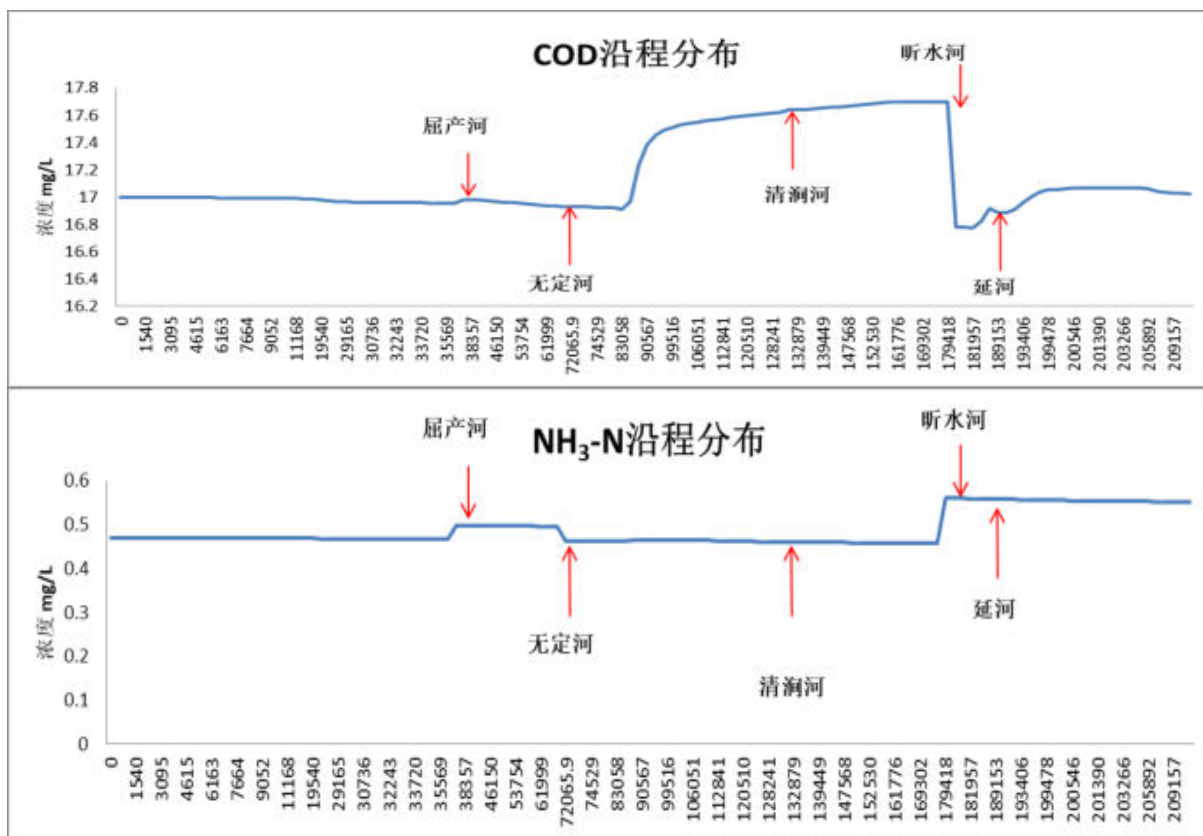


图 8.2.7-25 正常运用期枯水年库区水质沿程变化

8.2.7.11 库区 TN、TP 预测结果分析

1. 拦沙初期情景一库区 TN、TP 预测结果分析

(1) 平水年水质浓度沿程分布

平水年古贤水库主库区 TN、TP 平均浓度纵向沿程分布预测结果见表 8.2.7-24~8.2.7-25。

表 8.2.7-24 拦沙初期情景一平水年古贤水库典型断面 TN 预测结果 单位：mg/L

时期	月份	库尾	无定河入黄口	清涧河入黄口	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
丰水期	7	3.02	3.05	1.48	1.97	9.93	1.92
	8	4.07	4.00	1.21	3.60	13.67	2.69
	9	3.93	3.86	1.39	2.29	7.54	5.55
	10	4.61	4.49	1.59	2.83	13.70	3.86
	平均	3.91	3.85	1.42	2.67	11.21	3.50
平水期	3	5.45	5.31	3.15	1.54	1.46	1.48
	4	5.40	5.29	3.79	2.16	1.74	1.21
	5	4.75	4.70	3.28	2.22	2.04	1.39
	6	4.12	3.95	3.22	2.06	1.98	1.59
	平均	4.93	4.81	3.36	1.99	1.80	1.42
枯水期	11	4.81	3.12	2.46	6.65	10.72	4.55
	12	4.61	2.65	2.11	5.11	10.14	4.73
	1	5.57	5.41	2.11	2.23	2.21	2.22
	2	6.03	5.39	2.38	1.82	1.82	1.75
	平均	5.25	4.14	2.26	3.95	6.22	3.31

表 8.2.7-25 拦沙初期情景一平水年古贤水库典型断面 TP 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	无定河入黄口	清涧河入黄口	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
丰水期	7	0.19	0.42	0.13	0.03	0.03	0.03
	8	0.05	0.05	0.13	0.09	0.06	0.03
	9	0.14	0.14	0.11	0.11	0.13	0.08
	10	0.27	0.27	0.09	0.13	0.13	0.09
	平均	0.16	0.22	0.11	0.09	0.09	0.06
平水期	3	0.06	0.16	0.09	0.05	0.05	0.05
	4	0.05	0.05	0.08	0.06	0.05	0.04
	5	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04
	6	0.37	0.16	0.03	0.04	0.04	0.04
	平均	0.13	0.10	0.06	0.05	0.05	0.04
枯水期	11	0.20	0.13	0.11	0.14	0.15	0.16
	12	0.08	0.08	0.09	0.11	0.11	0.11
	1	0.09	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08
	2	0.06	0.09	0.07	0.06	0.07	0.06
	平均	0.11	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10

(2) 枯水年水质浓度沿程分布

枯水年古贤水库 TN、TP 平均浓度纵向沿程分布预测结果见表 8.2.7-26~8.2.7-27。

表 8.2.7-26 拦沙初期情景一枯水年古贤水库典型断面 TN 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	清涧河入黄口	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
丰水期	7	2.84	2.73	2.00	1.91	1.80
	8	3.33	2.05	1.63	1.57	1.51
	9	3.85	3.25	3.09	2.79	1.40
	10	3.86	2.97	2.87	2.86	2.91
	平均	3.47	2.75	2.40	2.28	1.90
平水期	3	4.96	4.44	1.69	1.70	1.53
	4	5.24	4.61	3.22	2.80	1.49
	5	4.75	3.76	2.85	2.67	2.20
	6	4.12	2.88	2.34	2.19	1.91
	平均	4.77	3.92	2.53	2.34	1.78
枯水期	11	4.63	2.04	3.02	3.10	3.26
	12	4.14	2.19	2.64	2.67	2.82
	1	4.34	2.85	1.89	1.92	2.20
	2	5.14	2.40	1.89	1.92	2.20
	平均	4.56	2.37	2.36	2.40	2.62

表 8.2.7-27 拦沙初期情景一枯水年古贤水库典型断面 TP 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	清涧河入黄口	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
丰水期	7	0.18	0.19	0.05	0.04	0.03
	8	0.09	0.13	0.08	0.07	0.06
	9	0.14	0.10	0.09	0.08	0.08
	10	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11
	平均	0.14	0.14	0.09	0.08	0.07
平水期	3	0.08	0.07	0.05	0.05	0.05
	4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04
	5	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
	6	0.37	0.03	0.03	0.03	0.03
	平均	0.13	0.05	0.04	0.04	0.04
枯水期	11	0.20	0.08	0.15	0.15	0.19
	12	0.10	0.08	0.12	0.13	0.13
	1	0.27	0.13	0.08	0.08	0.10
	2	0.11	0.09	0.08	0.08	0.10
	平均	0.17	0.09	0.11	0.11	0.13

(3) 拦沙初期情景一 TN、TP 预测结果评价

古贤库区现状年情景一平水年与枯水年 TN 入流水质较差，如枯水年 TN 在库尾浓度为 4.33mg/L，古贤水库建成后，虽沿程 TN 有所降解，但库区范围内各断面 TN 浓度均不能达到 III 类水质标准。TP 库尾入流浓度能够达到河流 III 类水质标准限，但由于库区河段变为水库后，总磷 III 类水质标准限值浓度变为 0.05mg/L，因此库尾范围内部分月份能够满足 III 类水质湖库标准。

2. 拦沙初期情景二库区 TN、TP 预测结果分析

(1) 平水年水质浓度沿程分布

平水年古贤水库主库区 TN、TP 平均浓度纵向沿程分布预测结果见表 8.2.7-28~8.2.7-29。

表 8.2.7-28 拦沙初期情景二平水年古贤水库典型断面 TN 预测结果 单位：mg/L

时期	月份	库尾	无定河入黄口	清涧河入黄口	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
丰水期	7	0.99	0.84	0.53	0.39	0.37	0.02
	8	0.99	0.99	0.84	0.37	0.37	0.02
	9	0.99	0.99	0.79	0.44	0.33	0.04
	10	0.99	0.99	0.67	0.69	0.44	0.07
	平均	0.99	0.96	0.71	0.47	0.38	0.04
平水期	3	0.99	0.99	0.58	0.31	0.38	0.04
	4	0.99	0.99	0.70	0.41	0.31	0.04
	5	0.99	0.99	0.61	0.41	0.36	0.03
	6	0.99	0.90	0.55	0.39	0.36	0.03
	平均	0.99	0.97	0.61	0.38	0.35	0.03
枯水期	11	0.99	0.68	0.57	0.61	0.68	0.12
	12	0.99	0.57	0.48	0.52	0.62	0.10
	1	0.99	0.99	0.45	0.49	0.49	0.07
	2	0.99	0.99	0.46	0.43	1.82	0.05
	平均	0.99	0.81	0.49	0.51	0.90	0.09

表 8.2.7-29 拦沙初期情景二平水年古贤水库典型断面 TP 预测结果 单位：mg/L

时期	月份	库尾	无定河入黄口	清涧河入黄口	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
丰水期	7	0.17	0.15	0.06	0.02	0.03	0.03
	8	0.05	0.06	0.07	0.04	0.02	0.03
	9	0.14	0.14	0.09	0.06	0.03	0.08
	10	0.20	0.20	0.10	0.10	0.06	0.09
	平均	0.14	0.14	0.08	0.06	0.04	0.06
平水期	3	0.05	0.07	0.06	0.04	0.06	0.05
	4	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04
	5	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04
	6	0.20	0.12	0.03	0.03	0.04	0.04
	平均	0.08	0.07	0.04	0.04	0.04	0.04
枯水期	11	0.20	0.12	0.09	0.11	0.10	0.16
	12	0.08	0.07	0.07	0.09	0.11	0.11
	1	0.09	0.11	0.07	0.07	0.07	0.08
	2	0.05	0.08	0.06	0.06	0.07	0.06
	平均	0.11	0.10	0.07	0.08	0.09	0.10

(2) 枯水年水质浓度沿程分布

枯水年古贤水库主库区 TN、TP 平均浓度纵向沿程分布预测结果见表

8.2.7-30~8.2.7-31。

表 8.2.7-30 拦沙初期情景二枯水年古贤水库典型断面 TN 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	清涧河入黄口	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
丰水期	7	0.99	0.87	0.54	0.42	0.39
	8	0.99	0.99	0.86	0.47	0.39
	9	0.99	0.99	0.82	0.46	0.35
	10	0.99	0.99	0.77	0.69	0.47
	平均	0.99	0.96	0.75	0.51	0.40
平水期	3	0.99	0.99	0.59	0.37	0.38
	4	0.99	0.99	0.79	0.49	0.34
	5	0.99	0.99	0.68	0.47	0.39
	6	0.99	0.90	0.59	0.44	0.36
	平均	0.99	0.97	0.66	0.44	0.37
枯水期	11	0.99	0.78	0.59	0.64	0.68
	12	0.99	0.59	0.49	0.57	0.67
	1	0.99	0.99	0.47	0.53	0.50
	2	0.99	0.99	0.48	0.47	0.82
	平均	0.99	0.84	0.51	0.55	0.67

表 8.2.7-31 拦沙初期情景二枯水年古贤水库典型断面 TP 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	清涧河入黄口	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
丰水期	7	0.18	0.19	0.05	0.04	0.03
	8	0.09	0.13	0.08	0.07	0.06
	9	0.14	0.10	0.09	0.08	0.08
	10	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11
	平均	0.14	0.14	0.09	0.08	0.07
平水期	3	0.08	0.07	0.05	0.05	0.05
	4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04
	5	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
	6	0.37	0.03	0.03	0.03	0.03
	平均	0.13	0.05	0.04	0.04	0.04
枯水期	11	0.20	0.08	0.15	0.15	0.19
	12	0.10	0.08	0.12	0.13	0.13
	1	0.27	0.13	0.08	0.08	0.10
	2	0.11	0.09	0.08	0.08	0.10
	平均	0.17	0.09	0.11	0.11	0.13

(3) 拦沙初期情景二 TN、TP 预测结果评价

古贤库尾平水年、枯水年 TN、TP 入流水质较好, 入库浓度均达到河流 III 类水质标准, 各污染物浓度至 100km 处迅速降解, 库区范围内 TN 浓度均达到 III 类水质标准。TP 坝前部分月份能够满足 III 类水质湖库标准。

3. 拦沙后期库区 TN、TP 预测结果分析

(1) 平水年

平水年古贤水库主库区 TN、TP 平均浓度纵向沿程分布预测结果见表 8.2.7-32~8.2.7-33。

表 8.2.7-32 拦沙后期情景二平水年古贤水库典型断面 TN 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
丰水期	7	0.62	0.62	0.61	0.51
	8	0.67	0.68	0.62	0.53
	9	0.65	0.63	0.66	0.64
	10	0.66	0.63	0.63	0.66
	平均	0.65	0.64	0.63	0.59
平水期	3	0.73	0.57	0.60	0.58
	4	0.94	0.58	0.55	0.51
	5	0.96	0.54	0.49	0.40
	6	0.78	0.75	0.47	0.34
	平均	0.85	0.61	0.53	0.46
枯水期	11	0.65	0.57	0.59	0.60
	12	0.63	0.49	0.51	0.52
	1	0.92	0.51	0.53	0.49
	2	0.94	0.43	0.43	0.37
	平均	0.79	0.50	0.52	0.49

表 8.2.7-33 拦沙后期情景二平水年古贤水库典型断面 TP 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
丰水期	7	0.08	0.08	0.07	0.06
	8	0.07	0.07	0.07	0.07
	9	0.08	0.07	0.08	0.08
	10	0.07	0.10	0.10	0.10
	平均	0.07	0.08	0.08	0.08
平水期	3	0.06	0.05	0.06	0.06
	4	0.05	0.04	0.04	0.04
	5	0.04	0.04	0.04	0.03
	6	0.07	0.06	0.03	0.03
	平均	0.06	0.05	0.04	0.04
枯水期	11	0.08	0.10	0.10	0.11
	12	0.10	0.08	0.08	0.10
	1	0.10	0.08	0.07	0.07
	2	0.07	0.06	0.06	0.06
	平均	0.08	0.08	0.08	0.08

(2) 枯水年

枯水年古贤水库主库区 TN、TP 平均浓度纵向沿程分布预测结果见表 8.2.7-34~8.2.7-35。

表 8.2.7-34 拦沙后期情景二枯水年古贤水库典型断面 TN 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
丰水期	7	0.62	0.62	0.61	0.51
	8	0.67	0.68	0.62	0.53
	9	0.65	0.63	0.66	0.64
	10	0.66	0.63	0.63	0.66
	平均	0.65	0.64	0.63	0.59
平水期	3	0.73	0.57	0.60	0.58
	4	0.94	0.58	0.55	0.51
	5	0.96	0.54	0.49	0.40
	6	0.78	0.75	0.47	0.34
	平均	0.85	0.61	0.53	0.46
枯水期	11	0.65	0.57	0.59	0.60
	12	0.63	0.49	0.51	0.52
	1	0.92	0.51	0.53	0.49
	2	0.94	0.43	0.43	0.37
	平均	0.79	0.50	0.52	0.49

表 8.2.7-35 拦沙后期情景二枯水年古贤水库典型断面 TP 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
丰水期	7	0.08	0.08	0.07	0.06
	8	0.07	0.07	0.07	0.07
	9	0.08	0.07	0.08	0.08
	10	0.07	0.10	0.10	0.10
	平均	0.07	0.08	0.08	0.08
平水期	3	0.06	0.05	0.06	0.06
	4	0.05	0.04	0.04	0.04
	5	0.04	0.04	0.04	0.03
	6	0.07	0.06	0.03	0.03
	平均	0.06	0.05	0.04	0.04
枯水期	11	0.08	0.10	0.10	0.11
	12	0.10	0.08	0.08	0.10
	1	0.10	0.08	0.07	0.07
	2	0.07	0.06	0.06	0.06
	平均	0.08	0.08	0.08	0.08

(3) 拦沙后期情景二 TN、TP 预测结果评价

拦沙后期 TN、TP 入流水质较好, 入库浓度均达到 III 类水质标准, 各污染物浓度至 100km 处迅速降解, 至坝前 TN 浓度达到 III 类水质标准。TP 库尾浓度能够达到河流 III 类水质标准, 沿程 TP 降解, 平水期 TP 昕水河至坝前能够满足 III 类水质湖库标准, 坝前部分月份能够满足 III 类水质湖库标准。

4. 正常运用期库区 TN、TP 预测结果分析

(1) 平水年

平水年古贤水库主库区 TN、TP 平均浓度纵向沿程分布预测结果见表 8.2.7-36~8.2.7-37。

表 8.2.7-36 正常运用期情景二平水年古贤水库典型断面 TN 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	三川河入黄口	无定河入黄口	清涧河入黄口	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
丰水期	7	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
	8	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98
	9	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99
	10	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98
	平均	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98
平水期	3	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
	4	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98
	5	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98
	6	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
	平均	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
枯水期	11	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98
	12	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
	1	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
	2	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
	平均	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98

表 8.2.7-37 正常运用期情景二平水年古贤水库典型断面 TP 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	三川河入黄口	无定河入黄口	清涧河入黄口	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
丰水期	7	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18
	8	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
	9	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
	10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11
	平均	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17
平水期	3	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	4	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06
	5	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	6	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	平均	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
枯水期	11	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
	12	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	1	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	2	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
	平均	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07

(2) 枯水年

枯水年古贤水库主库区 TN、TP 平均浓度纵向沿程分布预测结果见表 8.2.7-38~8.2.7-39。

表 8.2.7-38 正常运用期情景二枯水年古贤水库典型断面 TN 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	三川河入黄口	无定河入黄口	清涧河入黄口	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
丰水期	7	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
	8	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
	9	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98
	10	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
	平均	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
平水期	3	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
	4	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98
	5	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
	6	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.97	0.97
	平均	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
枯水期	11	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98
	12	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97
	1	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
	2	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
	平均	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98

表 8.2.7-39 正常运用期情景二枯水年古贤水库典型断面 TP 预测结果 单位: mg/L

时期	月份	库尾	三川河入黄口	无定河入黄口	清涧河入黄口	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
丰水期	7	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19
	8	0.20	0.20	0.21	0.20	0.21	0.21	0.20
	9	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
	10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
	平均	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17
平水期	3	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06
	5	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
	6	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
	平均	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
枯水期	11	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
	12	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	1	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07

时期	月份	库尾	三川河入黄口	无定河入黄口	清涧河入黄口	昕水河入黄口	延河入黄口	坝址
	2	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
	平均	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	平均	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07

(3) 正常运用期情景二 TN、TP 预测结果评价

古贤水库运行后，库区河段的水文和水质过程发生了较大改变。古贤库区河段的 TN、TP 由于水位、水深发生变化，浓度与相比现状有所减小。库区段 TN 枯水年不同月份各项指标均符合《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)的Ⅲ类水质标准，TP 在 5 月份能够满足《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)的Ⅲ类水质标准，其余月份均超标。TN 浓度 7 月最低为 0.993 mg/L，9 月浓度最高为 0.995mg/L；TP 浓度 5 月最低为 0.04 mg/L，8 月浓度最高为 0.20mg/L。除 TP 外，古贤水库正常运行期平水年 TN 能够满足水功能区划Ⅲ类水质目标。

8.2.7.12 库区水体富营养化影响分析

1. 根据 TN、TP 预测因子判断库区富营养化状态

根据《地表水环境质量评价方法（试行）》（环办 2011〔22〕号），进一步复核了对库区水体富营养化预测结果。本次预测选择总氮、总磷两项指标，两项参数营养状态指数计算公式分别为：

$$TLI(TP)=10(9.436+1.624 \ln TP)$$

$$TLI(TN)=10(5.453+1.694 \ln TN)$$

综合营养状态指数计算公式为：

$$TLI(\Sigma)=\Sigma W_j \cdot TLI(j)$$

古贤水库蓄水后，由于库区回水区流速极小，所以污染物质不易快速扩散，造成氮、磷等大量营养物质富集，可能会出现富营养化现象。结合库区规划情景下 TN、TP 预测结果，分别对拦沙初期、拦沙后期、正常运用期的平、枯水年内不同水期的营养状况进行评价，建库后库区的水体营养类型见表 8.2.7-40~8.2.7-45。

表 8.2.7-40 拦沙初期平水年库区富营养化状况

断面	水期	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	TLI (Σ)	富营养状况
支库无定河 交汇口	枯水期	0.81	0.10	54.03	轻度富营养
	平水期	0.97	0.07	52.55	轻度富营养
	丰水期	0.96	0.14	58.23	轻度富营养
支库清涧河 交汇口	枯水期	0.49	0.07	46.92	中营养
	平水期	0.61	0.04	44.08	中营养
	丰水期	0.67	0.08	50.61	轻度富营养

断面	水期	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	TLI (Σ)	富营养状况
支库昕水河 交汇口	枯水期	0.51	0.08	48.36	中营养
	平水期	0.38	0.04	40.17	中营养
	丰水期	0.47	0.06	45.30	中营养
支库延河汇 交口	枯水期	0.90	0.09	54.03	中营养
	平水期	0.35	0.04	39.50	中营养
	丰水期	0.38	0.06	43.55	中营养
坝前	枯水期	0.09	0.1	35.92	中营养
	平水期	0.03	0.04	19.24	贫营养
	丰水期	0.04	0.05	23.47	贫营养

表 8.2.7-41 拦沙初期枯水年库区富营养化状况

断面	水期	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	TLI (Σ)	富营养状况
支库清涧河交汇 口	枯水期	0.84	0.09	53.46	轻度富营养
	平水期	0.97	0.05	49.76	中营养
	丰水期	0.96	0.14	58.23	轻度富营养
支库昕水河交汇 口	枯水期	0.51	0.11	51.01	轻度富营养
	平水期	0.66	0.04	44.73	中营养
	丰水期	0.75	0.09	52.52	轻度富营养
支库延河汇交口	枯水期	0.55	0.11	51.63	轻度富营养
	平水期	0.44	0.15	52.37	轻度富营养
	丰水期	0.51	0.08	48.36	中营养
坝前	枯水期	0.67	0.13	54.65	轻度富营养
	平水期	0.37	0.04	39.95	中营养
	丰水期	0.40	0.07	45.25	中营养

表 8.2.7-42 拦沙后期平水年库区富营养化状况

断面	水期	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	TLI (Σ)	富营养状况
支库昕水河交汇 口	枯水期	0.50	0.08	48.20	中营养
	平水期	0.61	0.05	45.93	中营养
	丰水期	0.64	0.08	50.24	轻度富营养
支库延河汇交口	枯水期	0.52	0.08	48.52	中营养
	平水期	0.53	0.04	42.92	中营养
	丰水期	0.63	0.08	50.11	轻度富营养
坝前	枯水期	0.49	0.08	48.03	中营养
	平水期	0.46	0.04	41.75	中营养
	丰水期	0.59	0.08	49.57	中营养

表 8.2.7-43 拦沙后期枯水年库区富营养化状况

断面	水期	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	TLI (Σ)	富营养状况
支库昕水河交汇 口	枯水期	0.50	0.08	48.20	中营养
	平水期	0.61	0.05	45.93	中营养
	丰水期	0.64	0.08	50.24	轻度富营养
支库延河汇交口	枯水期	0.52	0.08	48.52	中营养
	平水期	0.59	0.04	43.80	中营养
	丰水期	0.63	0.08	50.11	轻度富营养
坝前	枯水期	0.49	0.08	48.03	中营养
	平水期	0.46	0.04	41.75	中营养
	丰水期	0.59	0.08	49.57	中营养

表 8.2.7-44 正常运用期平水年库区富营养化状况

断面	水期	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	TLI (Σ)	富营养状况
支库三川河交汇口	枯水期	1.00	0.07	52.81	轻度富营养
	平水期	1.00	0.06	51.52	轻度富营养
	丰水期	1.00	0.18	60.66	中度富营养
支库无定河交汇口	枯水期	0.99	0.07	52.72	中度富营养
	平水期	0.99	0.06	51.44	中度富营养
	丰水期	1.00	0.18	60.66	中度富营养
支库清涧河交汇口	枯水期	0.99	0.07	52.72	轻度富营养
	平水期	0.99	0.06	51.44	轻度富营养
	丰水期	0.99	0.17	60.10	中度富营养
支库昕水河交汇口	枯水期	0.98	0.07	52.64	轻度富营养
	平水期	0.99	0.06	51.44	轻度富营养
	丰水期	0.99	0.17	60.10	中度富营养
支库延河汇交口	枯水期	0.98	0.07	52.64	轻度富营养
	平水期	0.98	0.06	51.36	轻度富营养
	丰水期	0.98	0.17	60.02	中度富营养
坝前	枯水期	0.98	0.07	52.64	轻度富营养
	平水期	0.98	0.06	51.36	轻度富营养
	丰水期	0.98	0.17	60.02	中度富营养

表 8.2.7-45 正常运用期枯水年库区富营养化状况

断面	水期	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	TLI (Σ)	富营养状况
支库三川河交汇口	枯水期	1.00	0.07	52.81	轻度富营养
	平水期	1.00	0.06	51.52	轻度富营养
	丰水期	1.00	0.18	60.66	中度富营养
支库无定河交汇口	枯水期	1.00	0.07	52.81	轻度富营养
	平水期	1.00	0.06	51.52	轻度富营养
	丰水期	1.00	0.18	60.66	中度富营养
支库清涧河交汇口	枯水期	0.99	0.07	52.72	轻度富营养
	平水期	0.99	0.06	51.44	轻度富营养
	丰水期	0.99	0.17	60.10	中度富营养
支库昕水河交汇口	枯水期	0.99	0.07	52.72	轻度富营养
	平水期	0.99	0.06	51.44	轻度富营养
	丰水期	0.99	0.17	60.10	中度富营养
支库延河汇交口	枯水期	0.98	0.07	52.64	轻度富营养
	平水期	0.98	0.06	51.36	轻度富营养
	丰水期	0.98	0.17	60.02	中度富营养
坝前	枯水期	0.98	0.07	52.64	轻度富营养
	平水期	0.98	0.06	51.36	轻度富营养
	丰水期	0.98	0.17	60.02	中度富营养

工程运行后,拦沙初期平水年与枯水年不同水期内各支流入黄口营养状况为轻度富营养~中度富营养状态,坝前为贫营养至中营养状态,拦沙后期平水年与枯水年不同水期内各支流入黄口营养状况为中度富营养状态~轻度富营养状态,坝前平水期则呈中营养状态。正常运用期由于库区变为河道型水库,TP、TN 浓度沿程变化较小,平水年与枯水年不同水期各支流与库区交汇口营养状况为中度富营养状态~轻度富营养状态。

2. 古贤库区叶绿素浓度预测评价

叶绿素浓度可反映水体富营养化状况，为预测古贤水库蓄水后叶绿素浓度变化趋势，本报告通过类比小浪底水库蓄水后库区叶绿素浓度现状，判断古贤水库叶绿素浓度变化趋势。

小浪底水库蓄水后，根据 2009 年的水质监测结果，库区营养状况以中营养为主，库区水体出现轻度富营养化状况多集中在春夏季。近年来，小浪底库区上游来水水质为 II~III 类水体，自 2004 年监测以来，库区范围内均未发生水华现象。库区叶绿素呈现了不同季节显著变化的特征，根据现状监测，小浪底库区叶绿素浓度在夏季（2017 年 6 月、2018 年 5 月）相对较高，为 $1.83\sim 3.48\ \mu\text{g/L}$ ；在冬季（2017 年 12 月）浓度较低，仅为 $0.7\ \mu\text{g/L}$ 。根据小浪底沙沃（库中）、支库畛河入库断面藻密度监测结果，空间分布上库中断面藻类密度高于支库入库断面。时间尺度上，春夏季节 5~8 月份，库区藻密度较高，库中沙沃断面在 7 月达到 $8\times 10^4\text{cells/L}$ ，支库畛河断面在 4 月达到峰值为 $4\times 10^4\text{cells/L}$ ，其余月份藻密度处于较低水平。小浪底库区在春夏季藻类繁殖的高峰期，均未达到轻度水华发生的最低限值（ $1\times 10^6\text{cells/L}$ ）。由此判断古贤水库蓄水后，由于上游来水水质为 II 类水体，库区水环境质量将进一步好转，支库入库处由于水面变宽、支流营养盐的汇入，叶绿素浓度在春夏季节出现峰值，在秋冬季节叶绿素浓度较低，支库入库处富营养化状况为中营养~轻度富营养状态，但夏季不会出现水华的风险。

8.2.8 坝址~三门峡河段水质预测与分析

古贤坝址~三门峡河段长 317km，坝址下游有汾河、涑水河、渭河三条较大支流汇入。同时供水区位于坝址下游小北干流河段（图 8.2.8-1），古贤水库供水后，山西运城、临汾市，陕西延安、渭南市退水主要进入汾河、涑水河、渭河支流，最终通过三条支流汇入黄河干流。因此坝址~三门峡河段水质影响分析将根据古贤水库供水后，供水区汾河、涑水河、渭河入黄口水质变化进行预测。

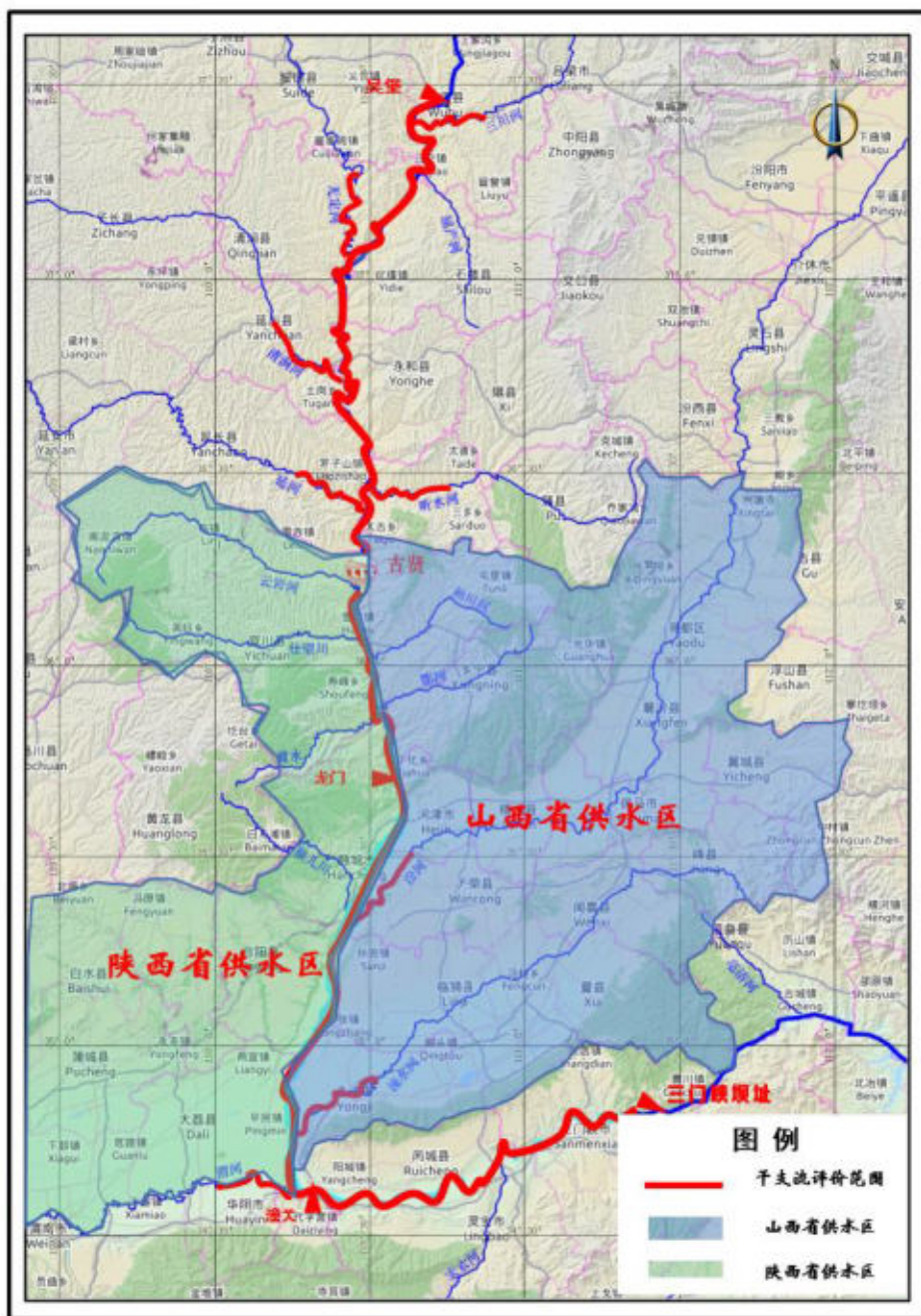


图 8.2.8-1 供水区范围图

8.2.8.1 供水区污染源预测分析

古贤水库运行期，向供水区供水后，供水区污染源将发生一定变化。山西省供水区临汾市退水将进入汾河，运城市退水将进入涑水河，陕西省渭南市退水将进入渭河，最终 3 条支流均进入黄河干流。

1. 供水区水资源配置

南水北调西线工程生效前，古贤水库最大供水量 23.46 亿 m^3 (陕西省 10.32 亿 m^3 ,

山西省 13.14 亿 m³），目前供水区现状灌溉、工业、生活已经用水 22.51 亿 m³，剩余能够新增的指标 0.95 亿 m³。其中向陕西省供水区最大供水量 10.32 亿 m³（替代现状供水 9.96 亿 m³，指标内新增供水 0.36 亿 m³），向山西省供水区最大供水量 13.14 亿 m³（替代现状供水 12.55 亿 m³，指标内新增供水 0.59 亿 m³）。水资源配置方案具体见表 8.2.8-1 和表 8.2.8-2 所示。

表 8.2.8-1 南水北调西线工程生效前古贤供水量 单位：亿 m³

省区	农业灌溉			工业、生活				合计
	替代扬黄灌区	替代当地灌区	小计	替代扬黄工程	替代地下水	指标内新增	小计	
陕西	4.01	3.97	7.98	1.37	0.61	0.36	2.34	10.32
山西	7.74	2.67	10.41	2.02	0.12	0.59	2.73	13.14
合计	11.75	6.64	18.39	3.39	0.73	0.95	5.07	23.46

表 8.2.8-2 南水北调西线工程生效前古贤供水量 单位：亿 m³

受水对象			农业灌溉			生活、工业				合计
			替代扬黄灌区	替代当地灌区	小计	替代扬黄	替代地下水	指标内新增	小计	
陕西省	灌区	东雷 1（扬黄）	1.72		1.72					1.72
		东雷 2（扬黄）	2.27		2.27					2.27
		禹门口（扬黄）	0.02		0.02					0.02
		交口（当地支流）		2.21	2.21					2.21
		洛惠渠（当地支流）		1.71	1.71					1.71
		宜川灌区（当地支流）		0.05	0.05					0.05
		小计	4.01	3.97	7.98					7.98
	地市	延安					0.01	0.04	0.05	0.05
		渭南				1.37	0.60	0.32	2.29	2.29
		小计				1.37	0.61	0.36	2.34	2.34
	陕西省合计			4.01	3.97	7.98	1.37	0.61	0.36	2.34
山西省	灌区	禹门口引黄灌区（扬黄）	4.42	1.78	6.21					6.21
		夹马口灌区（扬黄）	1.80		1.80					1.80
		尊村灌区（扬黄）	1.06		1.06					1.06
		元上灌区（扬黄）	0.24		0.24					0.24
		杨范灌区（扬黄）	0.22		0.22					0.22
		当地水灌区		0.88	0.88					0.88
		小计	7.74	2.67	10.41					10.41
	地市	运城				0.41	0.02	0.17	0.6	0.6
		临汾				1.60	0.10	0.42	2.12	2.12
		小计				2.02	0.12	0.59	2.73	2.73
	山西省合计			7.74	2.67	10.41	2.02	0.12	0.59	2.73
合计			11.75	6.64	18.39	3.39	0.73	0.95	5.07	23.46

从用水类型来看，灌溉供水 18.39 亿 m³，包括替代现状扬黄灌区 11.75 亿 m³，替代当地水灌区 6.64 亿 m³，灌溉未新增水量；向城乡生活和工业供水量 5.07 亿 m³，包括替代现状扬黄供水工程 3.39 亿 m³，替代当地地下水 0.73 亿 m³，考虑到当地经济社会发展，在配置黄河水量指标内新增供水 0.95 亿 m³（不突破“87 分水方案”），新增供水配置方案见表 8.2.8-3。

表 8.2.8-3 2035 年古贤供水工程供水区新增供水配置 单位：万 m³

省份	市	生活	工业
陕西省	延安市	400	0
	渭南市	3200	0
山西省	临汾市	1700	0
	运城市	3700	500

2. 供水区排放量预测

(1) 新增 0.95 亿 m³ 供水后排水量

1) 工业耗水率

根据可研，现状年陕西省供水区各县（市、区）规模以上工业用水重复利用率为 70%~90%，平均为 78%，其中火电工业用水重复利用率为 97%、一般工业用水重复利用率为 70%左右，山西省各县（市、区）工业重复利用率为 75.0%~86.2%，平均为 82.4%左右，低于全省平均水平 90%；供水区火电工业用水重复利用率为 95%左右。规划年两省工业用水平均重复利用率提高到 90%以上。

2) 居民生活耗水率

根据山西、陕西两省 2021 年水资源公报，延安、渭南、临汾、运城居民生活耗水率见表 8.2.8-4。

表 8.2.8-4 供水区 4 市居民生活、农田耗水率

地市	居民生活耗水率
延安	0.54
渭南	0.61
临汾	0.35
运城	0.35

根据古贤供水工程新增 0.95 亿 m³ 供水配置（表 8.2.8-5），确定古贤供水工程新增 0.95 亿 m³ 供水后，排水量为 3494 万 m³，具体见表 8.2.8-6。

表 8.2.8-5 2035 年古贤供水工程供水区新增 0.95 亿 m³ 供水配置 单位：万 m³

省份	市	生活	工业
陕西省	延安市	400	0
	渭南市	3200	0
山西省	临汾市	1700	0
	运城市	3700	500

表 8.2.8-6 2035 年古贤供水工程供水区新增 0.95 亿 m³ 供水排水量 单位：万 m³

省份	市	生活	工业	合计
陕西省	延安市	129	0	129
	渭南市	874	0	874
山西省	临汾市	774	0	774
	运城市	1684	35	1719
合计		3459	35	3494

(2) 供水区以新带老措施实施后, 23.46 亿 m^3 供水区域总排水量

1) 工业耗水率

规划年两省工业用水平均重复利用率提高到 90% 以上。

2) 居民生活、农田耗水率

根据山西、陕西两省 2021 年水资源公报, 延安、渭南、临汾、运城市居民生活、农田耗水率见表 8.2.8-7。

表 8.2.8-7 供水区 4 市居民生活、农田耗水率

地市	居民生活耗水率	农田耗水率
延安	0.54	1
渭南	0.61	0.85
临汾	0.35	0.81
运城	0.35	0.81

3) 以新带老措施实施后 23.46 亿 m^3 供水总排水量

根据以上参数, 计算 2035 年南水北调西线工程生效前, 供水区以新带老措施实施后, 23.46 亿 m^3 供水区域总排放量为 46559 万 m^3 , 具体见表 8.2.8-8。

表 8.2.8-8 以新带老措施实施后 23.46 亿 m^3 供水总排水量 单位: 万 m^3

省份	市	生活	工业	农业灌溉	合计
陕西省	延安市	123.28	23.2	0	146.48
	渭南市	4781.4	1064	12688	18533.4
山西省	临汾市	4370.6	1207.6	1760.73	7338.93
	运城市	1976	546	18018.27	20540.27
合计		11251.28	2840.8	32467	46559.08

3. 规划年供水区污染源预测

(1) 新增 0.95 亿 m^3 供水后污染源预测

2035 年古贤供水 23.46 亿 m^3 中, 有 22.51 亿 m^3 为替代当地其他水源, 古贤供水新增水源总量为 0.95 亿 m^3 , 古贤供水新增水源 0.95 亿 m^3 的污染物入河量计算过程如下:

根据《陕西省水污染防治工作方案》《陕西省“十四五”生态环境保护规划》, 2020 年底前, 经济技术开发区、高新技术产业开发区、出口加工区等工业集聚区铺设再生水利用管网, 再生水利用率不低于 30%。到 2020 年, 陕北、关中城市再生水利用率达到 20% 以上。根据《山西省“十四五”生态环境保护规划》, 到 2025 年, 各设区市再生水利用率达到 25% 以上。考虑到 2035 年社会发展水平及节水要求的提高, 2035 年本工程供水区延安、渭南、临汾、运城城市建成区再生水利用率应达到 30% 以上(表 8.2.8-9) 按照山西、陕西两省“十四五”生态环境保护规划, 2025 年城市生活污水集中收集率

达到 75%，因此规划年城市生活污水集中收集按 75%进行统计。

表 8.2.8-9 供水区 4 市再生水利用率

地市	再生水利用率
延安	30%
渭南	30%
临汾	30%
运城	30%

根据山西省水污染防治相关规划，规划年污水处理厂污染排放标准均应达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准，即 COD50mg/L，氨氮 5mg/L，总氮 15mg/L，总磷 0.5mg/L，确定新增 0.95 亿 m³ 供水后污染源预测。

由于古贤供水新增水源总量为 0.95 亿 m³ 主要向工业与生活供水，因此新增供水后，污染源为工业污染源与生活污染源。根据统计，2035 年古贤水库供水后，供水区新增排水量为 3494 万 m³，新增污水量为 889.75 万 t/a，其中 COD、NH₃-N、TN、TP 入河量为 444.88t/a、71.18t/a、133.47t/a、4.45t/a。详见表 8.2.8-10。

表 8.2.8-10 新增 0.95 亿 m³ 供水后污水量及污染物入河量

省份	市	污水入河量（万 t/a）	化学需氧量（t/a）	氨氮（t/a）	总氮（t/a）	总磷（t/a）
陕西省	延安市	32.25	16.13	2.58	4.84	0.16
	渭南市	218.5	109.25	17.48	32.78	1.09
山西省	临汾市	193.5	96.75	15.48	29.03	0.97
	运城市	445.5	222.75	35.64	66.825	2.2325
合计		889.75	444.88	71.18	133.47	4.45

（2）供水区以新带老措施实施后总体污染源预测

规划年，供水区将采取一系列水污染治理措施，因此对以新带老措施实施后，古贤供水工程 23.46 亿 m³ 污染物排放量进行预测。以新老措施实施后污染源按照点源污染和面源污染进行预测，其中点源污染包括工业源和县城生活污水、村镇生活污水；面源污染包括农田径流污染。

1) 点污染源

根据山西省水污染防治相关规划，规划年污水处理厂污染排放标准均应达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准，即 COD50mg/L，氨氮 5mg/L，总氮 15mg/L，总磷 0.5mg/L，根据中水回用率，确定以新老措施实施后工业污染源入河量，计算结果详见 8.2.8-11。

表 8.2.8-11 供水区以新带老措施实施后总体工业源入河量

省份	市	工业废水入河量 (万 t/a)	化学需氧量 (t/a)	氨氮 (t/a)	总氮 (t/a)	总磷 (t/a)
陕西省	延安市	16.24	8.12	0.81	2.44	0.08
	渭南市	744.8	372.40	37.24	111.72	3.72
山西省	临汾市	845.32	422.66	42.27	126.80	4.23
	运城市	382.2	191.10	19.11	57.33	1.91
合计		1988.56	994.28	99.43	298.28	9.94

按照山西、陕西两省“十四五”生态环境保护规划，2025 年城市生活污水集中收集率达到 75%，因此规划年 2035 年按照污水收集率 75% 计算，南水北调西线工程生效前 23.46m³ 亿供水后，生活污染源入河量计算结果详见 8.2.8-12。

表 8.2.8-12 供水区以新带老措施实施后总体生活源入河量

省份	市	生活污水入河量 (万 t/a)	化学需氧量 (t/a)	氨氮 (t/a)	总氮 (t/a)	总磷 (t/a)
陕西省	延安市	64.722	32.36	3.24	9.71	0.32
	渭南市	2510.235	1255.12	125.51	376.54	12.55
山西省	临汾市	2294.565	1147.28	114.73	344.18	11.47
	运城市	1037.4	518.70	51.87	155.61	5.19
合计		5906.922	2953.46	295.35	886.04	29.53

3) 面污染源

根据供水区规划年耕地面积，山西、陕西两省区域农田蒸发率取 0.2~0.3，下渗率取 0.9，确定古贤供水区农田径流污染入河量，见表 8.2.8-13。

表 8.2.8-13 供水区以新带老措施实施后总体农田径流入河量

省份	市	农田径流退水入河量 (万 t/a)	化学需氧量 (t/a)	氨氮 (t/a)	总氮 (t/a)	总磷 (t/a)
陕西省	延安市	0.00	162.50	1.38	0.05	0.01
	渭南市	7993.44	17810.00	151.39	5.34	0.71
山西省	临汾市	1267.73	16160.00	171.70	606.00	80.80
	运城市	11351.51	15185.00	816.29	911.10	121.48
合计		20612.68	44544.50	378.63	13.36	1.78

4) 供水区以新带老措施实施后总体污染源入河量汇总

①供水区以新带老措施实施后总体污染物入河总量见表 8.2.8-14。

表 8.2.8-14 供水区以新带老措施实施后总体污染物入河量

省份	市	废水入河量 (万 t/a)	化学需氧量 (t/a)	氨氮 (t/a)	总氮 (t/a)	总磷 (t/a)
陕西省	延安市	80.96	202.98	5.43	12.19	0.41
	渭南市	11248.48	19437.52	314.14	493.60	16.99
山西省	临汾市	4407.61	17729.94	328.69	1076.98	96.50
	运城市	12771.11	15894.80	887.27	1124.04	128.58
合计		28508.16	48492.24	773.40	1197.69	41.26

根据统计，供水区以新带老措施实施后总体废水入河量为 28508 万 t/a，COD、氨氮、总氮、总磷入河量分别为 48492.24t/a、773.40t/a、1197.69t/a、41.26t/a。

②新老措施实施后与现状污染源相比污染物削减量

规划年古贤水库供水后，根据增产不增污的原则，在晋陕两省一系列水污染防治措施实施后，供水区污染源入河量有所降低，污染物削减量见表 8.2.4-15，其中 COD、氨氮、总氮、总磷削减量分别为 18162.99t/a，4786.96t/a，3846.82t/a，685.21t/a。

表 8.2.8-15 供水区以新带老措施实施后总体污染物削减量

省份	市	污水量（万 m ³ /a）	化学需氧量（t/a）	氨氮（t/a）	总氮（t/a）	总磷（t/a）
陕西省	延安市	101.97	284.47	35.75	40.86	4.21
	渭南市	1028.20	8717.21	1533.46	1575.38	147.34
山西省	临汾市	8993.55	4113.16	1852.54	643.74	288.38
	运城市	108.01	275.15	601.08	77.71	44.06
合计		10231.72	18162.99	4784.96	3846.82	685.21

8.2.8.2 坝址下游水质预测

1. 模型选择

坝址下游为典型河流，河道摆动频繁，因此污染物在沿程横断面上为均匀混合，根据《环境影响评价技术导则 地表水》，河流模型适用条件，坝址下游采用纵向一维模型进行预测。

2. 情景设置

考虑到古贤水库运行后，向晋陕两省供水，新增供水污染源排放至坝址~三门峡入黄支流，因此坝址下游水质预测将设置 2 种情景模式，一是现状不利排污情景下，即下游现状排污+新增 0.95 亿 m³ 用水后的新增排污。古贤供水后污染物的增加对坝址下游支流及干流水质影响；二是规划年 23.46 亿 m³ 供水，通过以新带老措施替代供水区内现状用水，即坝址下游供水区各项水污染防治规划实施，以新带老措施实施后整个区域的排污。根据供水区各行政区主管部门制定的相关的水污染防治攻坚方案等规划，以及提出了整治任务及责任分工与保障措施，确保入黄支流在 2025 年以后达到水功能区水质目标的水污染防治措施的实施，供水区污染物入河量进一步得到有效削减，对坝址下游支流及干流水质的影响。

3. 供水区主要河流水质预测

（1）情景一排污

供水区新增 0.95 亿 m³ 用水后，新增污染物通过汾河、涑水河、渭河汇入干流，根据新增水量分配，预测支流入黄断面情况，预测结果见表 8.2.8-16。

表 8.2.8-16 情景一坝址~三门峡河段各支流入黄断面水质预测结果 单位: mg/L

月份		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
汾河	COD	16.46	20.42	15.47	24.29	20.44	31.30	25.29	32.31	30.19	30.06	21.17	29.37
	NH ₃ -N	2.01	1.11	0.60	0.23	0.49	0.73	0.18	0.34	0.27	0.40	0.57	0.30
	TN	8.99	7.80	6.86	6.81	2.51	5.56	4.95	8.20	6.56	6.90	5.91	9.09
	TP	0.20	0.08	0.04	0.07	0.16	0.10	0.11	0.10	0.12	0.05	0.04	0.05
涑水河	COD	24.74	23.35	22.29	26.76	25.09	23.82	22.06	20.61	21.46	33.00	37.22	23.64
	NH ₃ -N	5.84	5.79	5.23	4.63	5.51	5.47	4.21	3.59	4.69	6.12	7.44	4.71
	TN	10.85	5.96	6.24	8.27	5.91	3.34	2.22	3.41	3.38	13.59	10.29	5.51
	TP	0.16	0.19	0.27	0.25	0.34	0.39	0.25	0.25	0.38	0.39	0.29	0.35
渭河	COD	13.36	21.69	24.69	21.02	21.84	25.34	20.03	15.55	11.71	11.01	14.51	16.52
	NH ₃ -N	0.68	0.38	0.40	0.18	0.33	0.16	0.20	0.23	0.33	0.21	0.30	0.41
	TN	8.11	8.48	6.91	6.34	5.43	5.11	5.18	5.73	5.75	5.96	7.19	8.40
	TP	0.15	0.19	0.23	0.17	0.21	0.18	0.21	0.13	0.09	0.18	0.14	0.15

(2) 情景二排污

坝址下游供水区各项水污染防治规划实施,以新带老措施实施后整个区域污染物削减后,预测支流入黄断面情况,预测结果见表 8.2.8-17。

表 8.2.8-17 情景二坝址~三门峡河段各支流入黄断面水质预测结果 单位: mg/L

月份		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
汾河	COD	11.77	16.23	9.78	19.64	14.40	28.70	23.91	31.58	29.46	29.07	18.59	26.46
	NH ₃ -N	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
	TN	13.97	8.83	9.23	4.46	0.98	3.33	11.56	25.83	19.60	12.18	9.26	6.65
	TP	0.01	0.01	3.63	2.94	2.73	3.23	1.03	0.01	0.01	2.67	3.38	3.08
涑水河	COD	15.70	15.89	15.20	6.06	14.79	14.72	12.57	12.79	13.97	10.00	19.62	5.04
	NH ₃ -N	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	TN	8.29	3.54	4.00	2.15	2.54	0.19	0.03	0.81	0.86	0.03	4.43	0.03
	TP	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
渭河	COD	10.63	18.47	20.96	17.64	20.50	24.07	16.34	9.48	7.66	10.46	13.20	14.41
	NH ₃ -N	1.15	0.95	1.06	0.77	0.57	0.38	0.85	1.28	1.03	0.31	0.52	0.78
	TN	8.58	9.03	7.56	6.92	5.66	5.33	5.82	6.77	6.44	6.05	7.41	8.76
	TP	0.19	0.24	0.29	0.22	0.23	0.20	0.27	0.23	0.16	0.19	0.16	0.19

4. 参数率定

坝址~三门峡河段地表水水质预测采用《黄河中游水污染事故管理的应急响应预警预报系统(EWER)开发》的一维水质预测模型,该模型已通过验收并多次在黄河干流中运用,模型中确定 COD 综合衰减系数 $K=0.0083/h$ 、氨氮综合衰减系数 $K=0.0083/h$ 。

5. 评价断面及因子

选取龙门、汾河入黄口下游 500m、涑水河入黄口下游 500m、潼关、三门峡公路桥 5 个重要断面预测枯水年、平水年不同月份 COD、氨氮浓度分布情况。

8.2.8.3 预测工况

根据 2 种排污的预测情景，由于坝址下游不同运行时期水文设计条件相同，因此选取平水年、枯水年 2 个水文年设计条件，对预测工况进行排列组合，预测工况组合情况见表 8.2.8-18。

表 8.2.8-18 预测工况组合表

序号	典型年	情景模式	水质选择原则
1	平水年	情景一	现状年排污+新增 0.95 亿 m ³ 用水污染源排放
2		情景二	规划年以供水区以新带老替代用水后污染源排放
3	枯水年	情景一	现状年排污+新增 0.95 亿 m ³ 用水污染源排放
4		情景二	规划年以供水区以新带老替代用水后污染源排放

8.2.8.4 水质预测结果

坝址~三门峡河段预测详见表 8.2.8-19~8.2.8-20。

1. 情景一

(1) 平水年

表 8.2.8-19 平水年坝址下游主要断面 COD、氨氮浓度 单位：mg/L

月份	COD					氨氮				
	龙门	汾河入黄断面下游 500m	涑水河入黄断面下游 500m	潼关	三门峡公路桥	龙门	汾河入黄断面下游 500m	涑水河入黄断面下游 500m	潼关	三门峡公路桥
1 月	6.88	11.28	10.06	9.26	6.72	0.12	0.42	0.37	0.51	0.37
2 月	4.85	10.7	9.55	8.91	6.49	0.13	0.62	0.54	0.64	0.45
3 月	4.19	10.27	9.16	8.65	6.29	0.15	0.51	0.45	0.57	0.41
4 月	4.4	11.18	9.95	9.18	6.65	0.18	0.11	0.1	0.34	0.25
5 月	8.56	11.61	10.34	9.45	6.85	0.21	0.1	0.09	0.33	0.23
6 月	7.96	11.41	10.17	9.33	8.14	0.13	0.2	0.18	0.39	0.34
7 月	7.93	12.09	10.79	9.61	8.54	0.17	0.18	0.15	0.35	0.31
8 月	9.33	12.76	11.34	10.05	8.92	0.17	0.16	0.14	0.39	0.36
9 月	10.67	12.7	11.35	10.32	9.29	0.13	0.14	0.12	0.29	0.26
10 月	11.24	10.65	9.54	8.93	8.01	0.13	0.29	0.25	0.42	0.37
11 月	10.07	11.53	10.26	9.39	7.02	0.11	0.16	0.15	0.36	0.27
12 月	8.62	11.1	9.89	9.13	6.53	0.11	0.38	0.33	0.5	0.34

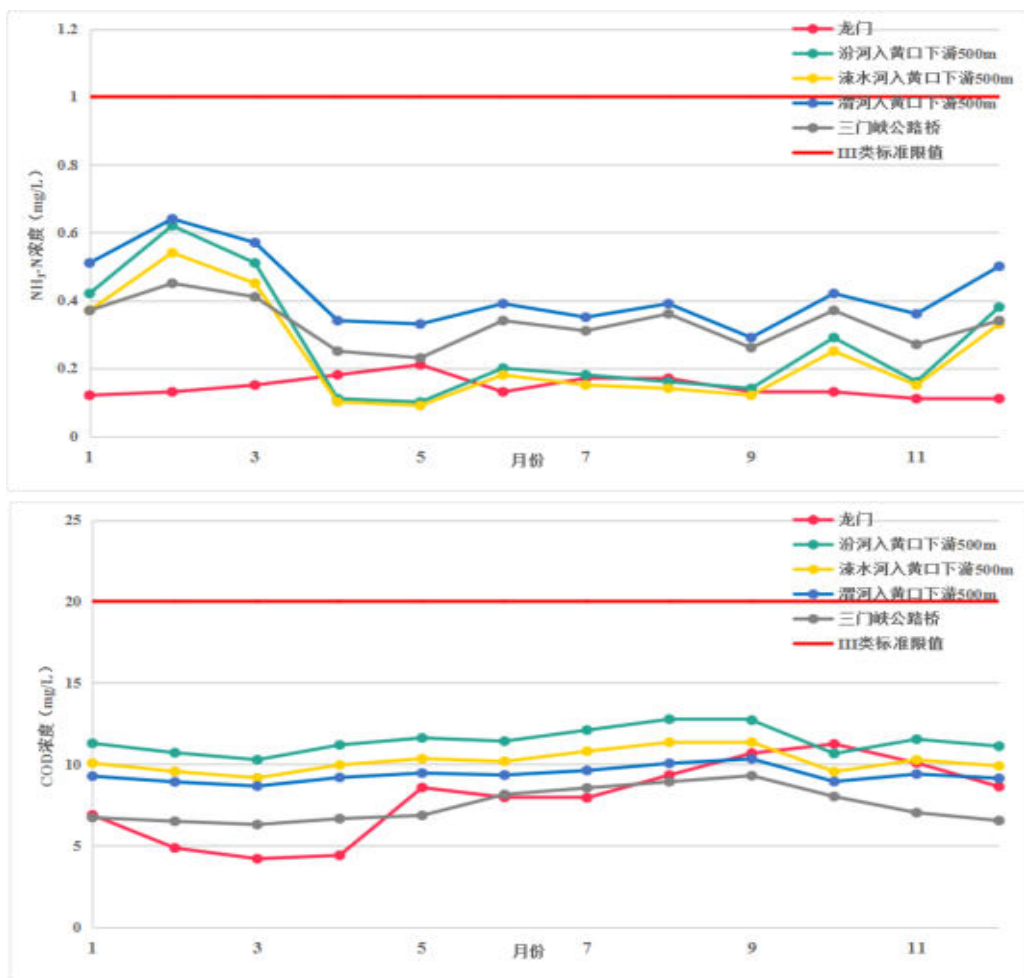


图 8.2.8-2 坝址~三门峡河段平水年 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度年内变化过程

(2) 枯水年

表 8.2.8-20 枯水年坝址下游主要断面 COD、氨氮浓度 单位: mg/L

月份	COD					氨氮				
	龙门	汾河入黄断面下游	涑水河入黄断面下游	潼关	三门峡公路桥	龙门	汾河入黄断面下游	涑水河入黄断面下游	潼关	三门峡公路桥
1 月	6.88	11.48	10.11	9.28	6.63	0.12	0.4	0.36	0.5	0.36
2 月	4.85	10.88	9.6	8.92	6.4	0.13	0.61	0.54	0.63	0.44
3 月	4.19	10.45	9.21	8.65	6.2	0.15	0.5	0.44	0.56	0.41
4 月	4.4	11.37	10	9.2	6.54	0.18	0.1	0.1	0.32	0.24
5 月	8.56	11.81	10.39	9.48	6.74	0.21	0.1	0.09	0.31	0.22
6 月	7.96	11.65	10.27	9.44	8.25	0.13	0.2	0.17	0.35	0.3
7 月	7.93	12.29	10.81	9.57	8.44	0.17	0.18	0.16	0.37	0.32
8 月	9.33	13.03	11.46	10.26	9.14	0.17	0.13	0.12	0.32	0.29
9 月	10.67	12.92	11.39	10.35	9.32	0.13	0.13	0.12	0.27	0.25
10 月	11.24	10.82	9.58	8.94	8	0.13	0.28	0.25	0.4	0.36
11 月	10.07	11.73	10.32	9.47	6.99	0.11	0.16	0.14	0.35	0.26
12 月	8.62	11.31	9.97	9.19	6.58	0.11	0.37	0.32	0.47	0.34

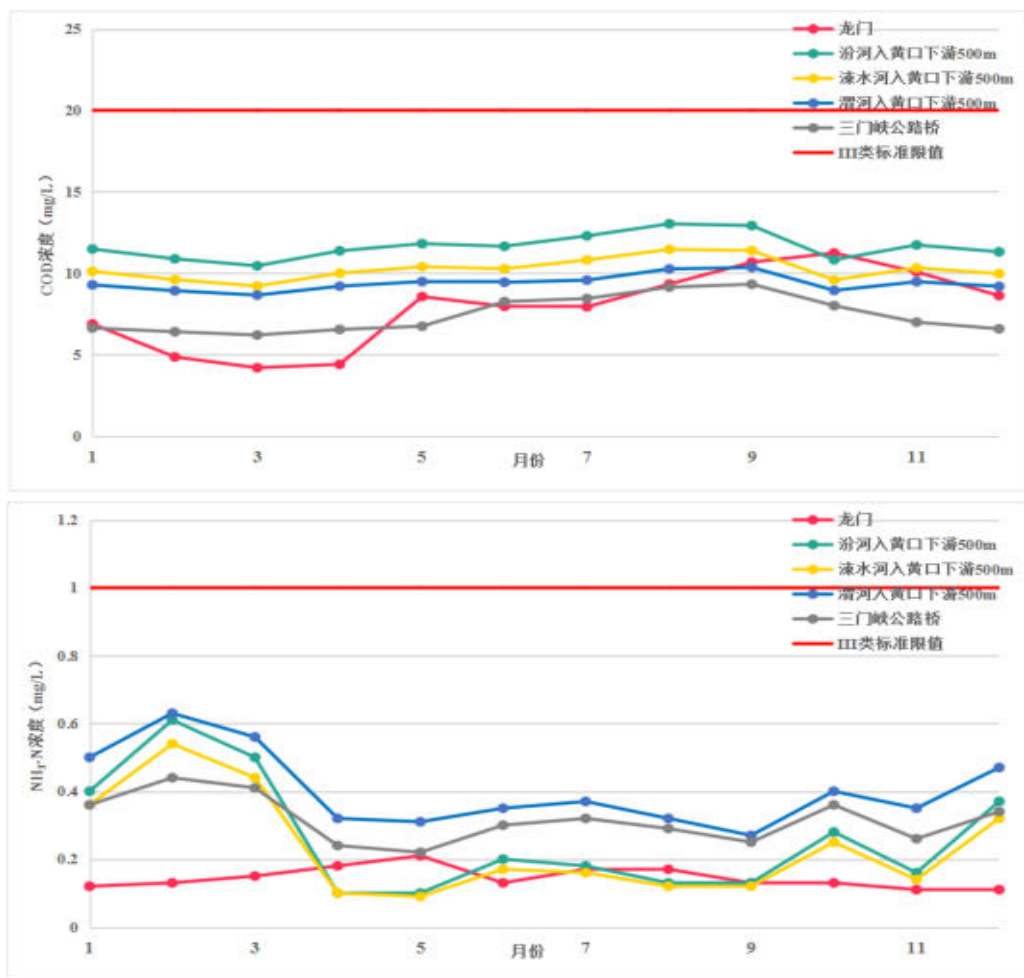


图 8.2.8-3 坝址~三门峡河段枯水年 COD、NH₃-N 浓度年内变化过程

2. 情景二

(1) 平水年

表 8.2.8-21 平水年坝址下游主要断面 COD、氨氮浓度 单位: mg/L

月份	COD					氨氮				
	龙门	汾河入黄断面下游 500m	涑水河入黄断面下游 500m	潼关	三门峡公路桥	龙门	汾河入黄断面下游 500m	涑水河入黄断面下游 500m	潼关	三门峡公路桥
1 月	6.88	9.22	8.06	9.36	6.72	0.12	0.34	0.18	0.17	0.14
2 月	4.85	8.12	6.52	8.91	6.49	0.13	0.36	0.19	0.32	0.27
3 月	4.19	7.95	6.16	8.65	6.29	0.15	0.39	0.30	0.28	0.25
4 月	4.4	7.13	6.95	9.18	6.65	0.18	0.28	0.08	0.23	0.19
5 月	8.56	11.21	10.34	12.45	6.85	0.21	0.41	0.25	0.19	0.17
6 月	7.96	10.43	9.17	10.33	8.14	0.13	0.21	0.14	0.12	0.12
7 月	7.93	10.12	9.79	11.61	8.54	0.17	0.19	0.12	0.13	0.15
8 月	9.33	12.16	11.34	13.05	8.92	0.17	0.19	0.12	0.12	0.11
9 月	10.67	13.32	11.35	13.32	9.29	0.13	0.21	0.17	0.19	0.18
10 月	11.24	14.15	13.54	14.93	8.01	0.13	0.21	0.17	0.16	0.16
11 月	10.07	13.23	10.26	14.39	7.02	0.11	0.19	0.10	0.14	0.12
12 月	8.62	11.1	9.89	12.13	6.53	0.11	0.14	0.25	0.12	0.10

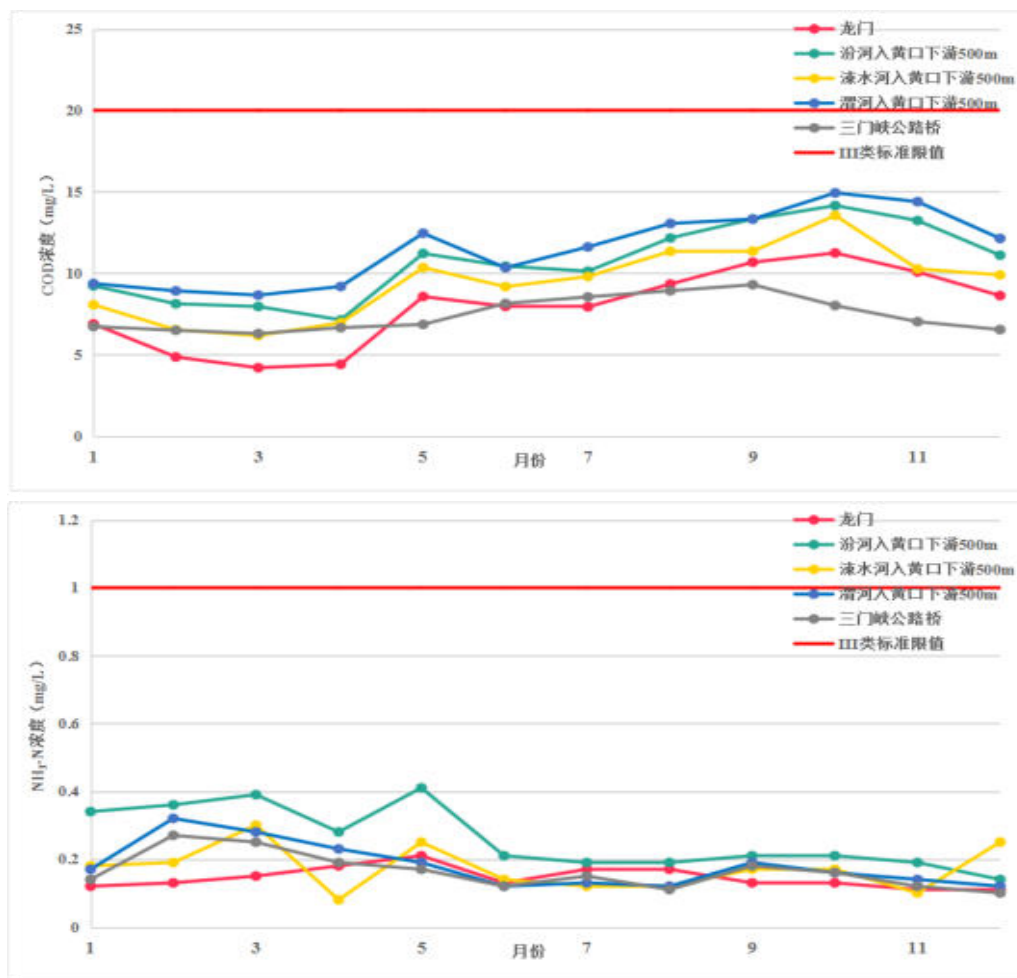


图 8.2.8-4 坝址~三门峡河段平水年 COD、NH₃-N 浓度年内变化过程

(2) 枯水年

表 8.2.8-22 枯水年坝址下游主要断面 COD、氨氮浓度 单位: mg/L

月份	COD					氨氮				
	龙门	汾河入黄断面下游	涑水河入黄断面下游	潼关	三门峡公路桥	龙门	汾河入黄断面下游	涑水河入黄断面下游	潼关	三门峡公路桥
1月	6.88	10.28	9.76	9.45	7.85	0.12	0.37	0.32	0.18	0.16
2月	4.85	8.3	7.21	9.21	7.64	0.13	0.39	0.21	0.34	0.30
3月	4.19	8.25	7.25	9.63	7.46	0.15	0.41	0.40	0.31	0.29
4月	4.4	8.29	7.32	9.76	7.97	0.18	0.29	0.09	0.23	0.21
5月	8.56	12.11	11.43	12.42	9.12	0.21	0.43	0.27	0.24	0.20
6月	7.96	11.42	10.37	11.16	8.94	0.13	0.26	0.19	0.17	0.14
7月	7.93	11.13	10.56	12.51	9.84	0.17	0.24	0.14	0.13	0.12
8月	9.33	13.67	11.73	14.03	10.32	0.17	0.24	0.14	0.13	0.12
9月	10.67	13.98	11.95	14.82	10.57	0.13	0.26	0.19	0.21	0.19
10月	11.24	14.29	13.82	15.33	9.87	0.13	0.26	0.19	0.17	0.16
11月	10.07	14.26	11.09	15.19	8.55	0.11	0.21	0.11	0.16	0.14
12月	8.62	12.17	10.18	13.37	6.79	0.11	0.23	0.29	0.13	0.10

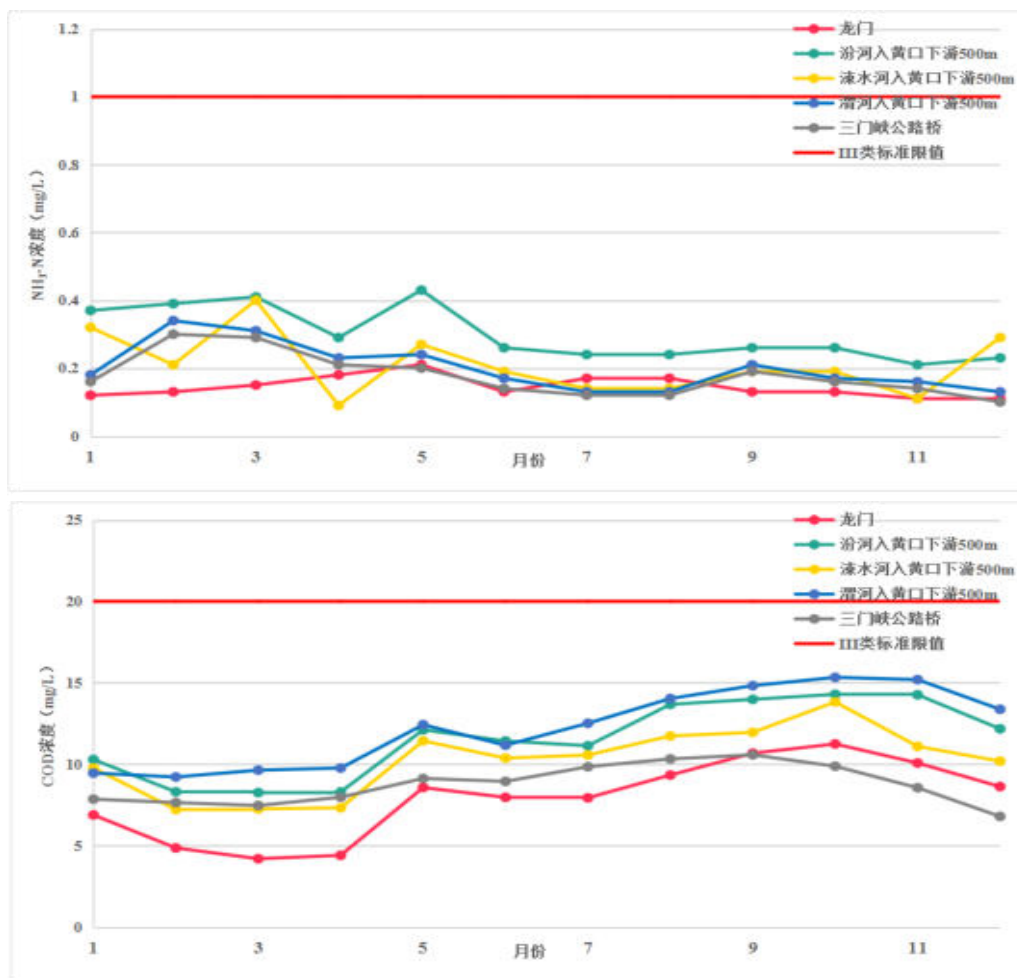


图 8.2.8-5 坝址~三门峡河段枯水年 COD、NH₃-N 浓度年内变化过程

3. 坝址下游水质预测结果分析

古贤水库建库后，出库水体的 COD、NH₃-N 浓度接近或优于 II 类水质浓度，两种情景模式下，汾河、涑水河等支流汇入对干流水质影响较小，总体上，古贤水利枢纽工程建成后，坝址下游河段水质较好，龙门~三门峡河段不同典型年 COD、NH₃-N 浓度沿程呈降低趋势，且均能满足 III 类水质目标要求。

8.2.8.5 特殊工况（调水调沙期）坝址下游区水质预测结果分析

为了解调水调沙期特殊工况时期，大流量洪水下泄对下游泥沙与污染物解吸附对下游水质影响。通过类比小浪底水库 2021 年秋汛洪水期间大流量下泄对黄河小浪底以下河段水质影响，判断古贤在特殊工况时期水质变化情况。

报告编制单位于黄河下游大洪水期间 2021 年 10 月 15 日-30 日每间隔 5 天开展 1 次现场采样监测。

1. 监测点位

包括黄河干流花园口、开封大桥、高村及伊洛河入黄口、沁河入黄口 5 个，监测点位详见图 8.2.8-1。



图 8.2.8-6 大洪水期间水质监测点位图

2. 监测因子

溶解氧、pH 值、COD、高锰酸盐指数、BOD₅、氨氮、总磷、铜、锌、氟化物、硒、砷、汞、镉、六价铬、铅、氰化物、挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂、硫化物 21 项。

3. 监测时间

秋汛洪水期间 2021 年 10 月 15 日、20 日、25 日、30 日共开展 4 期水质监测。

4. 监测结果

(1) 大洪水期间各时段水质变化分析

根据 2021 年 10 月 15 日-30 日 4 次监测结果，花园口断面在大洪水后期 COD、氨氮浓度略高于初期浓度；开封大桥断面在大洪水前期 COD、氨氮浓度略高于初期浓度；高村断面在大洪水前期 COD、氨氮浓度略高于初期浓度，总体上各断面 COD、氨氮浓度均满足 II 类水质浓度限值要求（图 8.2.8-7~图 8.2.8-8）。

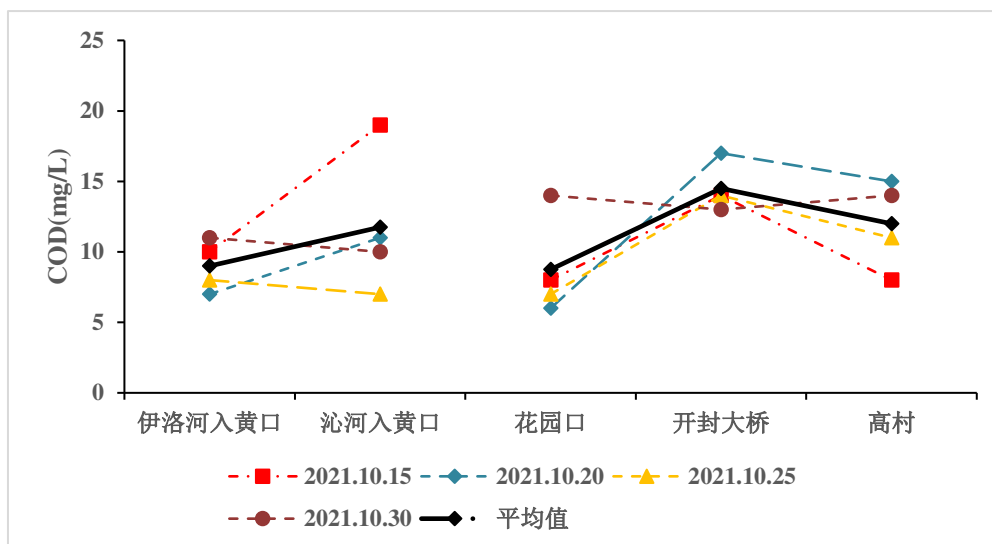


图 8.2.8-7 化学需氧量浓度各断面不同时间变化

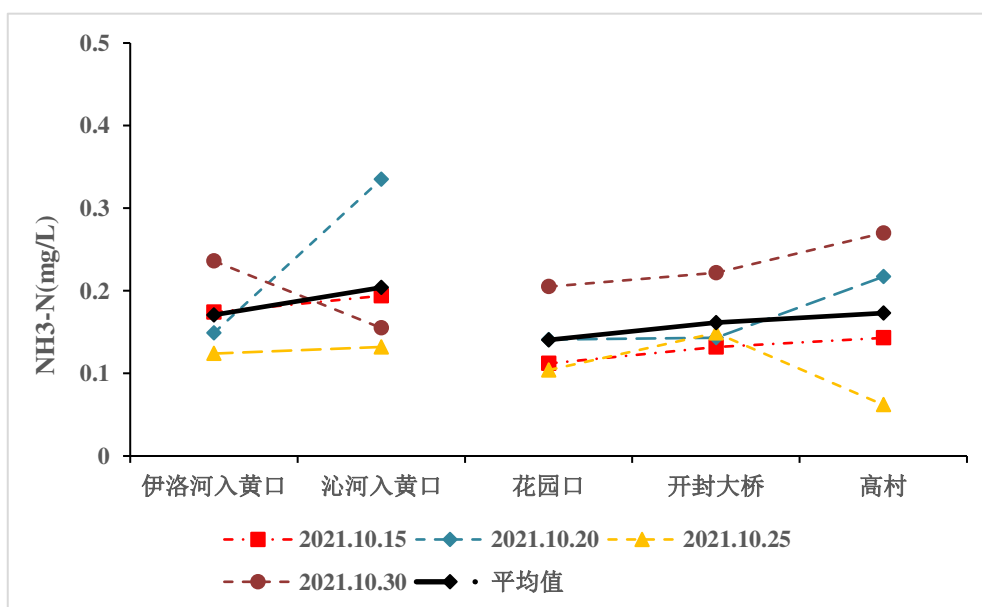


图 8.2.8-8 氨氮浓度浓度各断面不同时间变化

(2) 大洪水期间小浪底下游水质同期变化情况

2021 年 10 月秋汛洪水期间, 花园口 COD、氨氮浓度分别为 8.75mg/L、0.14 mg/L、2.45mg/L, 均低于历史同期平均水平, 其中 COD 较平均值降低 32.01%, 氨氮降低 16.67%。表明秋汛洪水期间, 由于水量较大, 以 COD、氨氮浓度小于历年同期均值, 均优于近 5 年水质实测值。花园口断面与历史同期水质对比详见图 8.2.8-9。

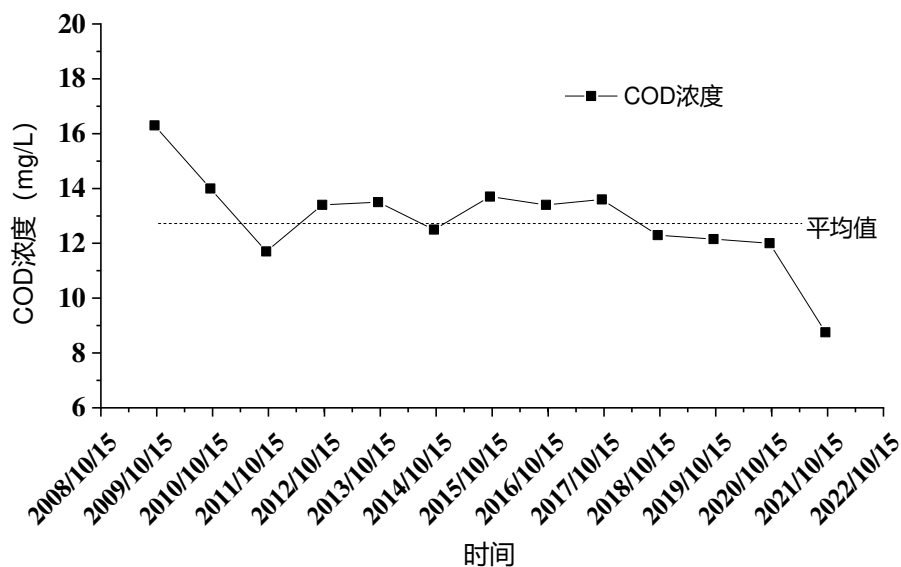


图 8.2.8-9 花园口断面同期化学需氧量浓度对比

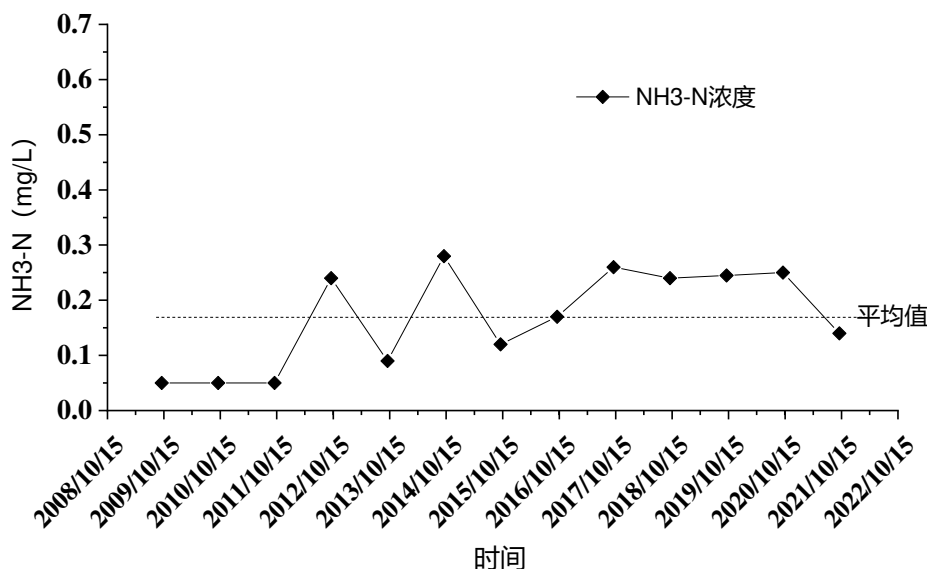


图 8.2.8-10 花园口断面同期氨氮浓度对比

根据小浪底库区大洪水下泄期间下游各水质变化趋势分析，古贤与小浪底在联合调度运行期间，古贤坝址下游各水质指标特殊工况期间会有污染物浓度短暂升高的现象，随着调水调沙结束，坝址下游水质将呈现好转现象，并恢复到调水调沙前 II 类水质状况。

8.2.9 工程运行对饮用水水源保护区影响预测分析

经预测，古贤水库运行后，黄河三门峡水库地表水饮用水源保护区 COD 和氨氮均能达到地表水 III 类水质标准，表明古贤水库建成后三门峡库区水质呈现好转，古贤水

库的建设对黄河三门峡水库地表水饮用水源保护区水环境改善是有利的。

8.2.10 工程运行对鱼类产卵场所在断面水质影响预测分析

根据评价河段产卵场分布,库区范围内有无定河入黄河口、延川清涧河入黄口产卵场,坝址~三门峡河段有禹门口上下游河段、韩城市芝川河段、峪口控导~榆林控导河段、榆林控导河段、申都控导~华原控导河段、潼关黄河大拐弯河段、风陵渡黄河公路大桥~礼教控导、圣天湖~三门峡库尾产卵场。

其中库区河段已预测了无定河入黄河口、延川清涧河入黄口水质状况,不同运行期无定河入黄河口、延川清涧河入黄口 COD、氨氮预测结果均能达到 II~III 类水质标准。坝址下游已预测了禹门口、潼关黄河大拐弯断面水质状况,根据预测禹门口、潼关黄河大拐弯断面 COD、氨氮预测结果均能达到 II 类水质标准。经预测,坝址~三门峡河段 5 个鱼类产卵场处 COD、氨氮能够满足 II~III 类水质标准。古贤水库建成后,坝址下游河段水质变化对水生生态敏感点影响较小。

8.2.11 工程运行对湿地敏感点断面水质影响预测分析

评价河段禹门口至潼关河段分布有湿地自然保护区,根据预测,湿地保护区内坝址下游河段龙门断面、汾河入黄口下游、涑水河入黄口下游、渭河入黄口下游、三门峡库区断面 COD、氨氮能够满足 II~III 类水质标准。

8.2.12 坝下溶解气体过饱和和影响预测分析

1. 过饱和 TDG 生成预测模型

根据古贤水库坝身泄洪孔泄流消能特点,建立坝身泄洪孔生成预测模型。另外,考虑泄洪期间发电尾水的影响,建立了发电尾水混合模型。

(1) 坝身泄洪孔泄流过饱和 TDG 生成预测模型

古贤水库泄洪孔下游采用冲坑消能方式,根据泄洪孔下游 TDG 生成过程的机理分析,高坝下游总溶解气体的生成主要经历冲坑内高压掺气水流中气体的过溶过程,由于压力和水深突然减小导致的过饱和 TDG 的快速释放过程。

消力池下游过饱和 TDG 的生成预测模型:

$$G_d = G_{eq} + \frac{1}{2} \frac{\Delta \bar{P}_d}{P_0} \phi_1 G_{eq} \exp \left[-k_d \left(\frac{h_d}{h_r} \right)^{3/2} \right]$$

式中： G_d 为消力池出口下游 TDG 饱和度(%)；
 G_{eq} 为对应当地大气压的 TDG 平衡饱和度，取为 100%；
 P_0 为当地大气压(kPa)； $\Delta \bar{P}$ 为消力池底板平均相对压强(kPa)；
 ϕ_1 为消力池内压力不均匀修正系数；
 k_d 为消力池出口 TDG 释放系数；
 h_d 为冲坑深；
 h_r 为冲坑出口水深（m）。

(2) 考虑尾水发电掺混的 TDG 生成预测模型

当高坝泄水与厂房发电同时运行时，需要考虑发电尾水汇入对 TDG 饱和度的影响。
泄洪主流与尾水混合的 TDG 饱和度计算采用加权混合公式，即：

$$G = \frac{G_X Q_X + \alpha G_{bq} Q_f}{Q_X + \alpha Q_f}$$

式中： G 为厂房尾水与坝体泄水混合后 TDG 饱和度（%）；
 G_X 为坝体泄洪产生的 TDG 饱和度（%）；
 G_{bq} 为坝前 TDG 饱和度（%）；
 α 为预测判断发电尾水与泄洪流量的掺混系数，全部与泄洪流量混合时取 1.0，完全不混合时 α 取 0； Q_X 、 Q_f 分别为坝体泄洪流量和厂房发电流量（m³/s）。

2. 模型适用性分析

四川大学在 2006 年～2008 年间结合高坝泄水，对国内已建的紫坪铺、二滩、三峡、漫湾和大潮山等多个高坝工程不同泄水方式下的坝下 TDG 过饱和情况进行了观测研究，各工程基本概况见表 8.2.12-1。

表 8.2.12-1 原型观测代表工程基本概况统计表

序号	工程	河流	坝型	最大坝高（m）	泄水建筑物
1	二滩	雅砻江	混凝土双曲拱坝	240	表面、中间和底部排放孔、泄水隧洞
2	紫坪铺	岷江	混凝土面板堆石坝	156	泄水隧洞、泄洪道
3	漫湾	澜沧江	混凝土重力坝	132	表面和中间排放孔，泄水隧洞
4	三峡	长江	混凝土重力坝	185	表面和底部排放孔

采用国内已建高坝 TDG 原型观测资料对建立的数学模型进行验证。其中各工程水垫塘底部压力分别参照各工程泄洪消能设计成果及水动力模型试验研究成果确定。对泄水期间存在发电流量的，采用混合模式考虑发电尾水混入影响。各模型泄洪孔泄流的过饱和 TDG 模型参数率定结果见表 8.2.12-2。

表 8.2.12-2 原型观测代表工程基本概况统计表

工况编号	工程	泄洪流量 (m ³ /s)	发电流量 (m ³ /s)	修正系数 Φ_3	释放系数 Kd	TDG 观测 值 (%)	TDG 计算 值 (%)	误差 (%)
1	二滩	3700	1809	0.50	0.2	140.0	138.1	-1.9
2	二滩	2220	1263	0.40	0.2	121.6	126.6	5
3	二滩	1850	1263	0.48	0.15	134.1	130.1	-4.0
4	漫湾	880	2304	0.55	0.1	120.0	115.6	-4.4
5	紫坪铺	340	0	0.48	0.15	114.9	115.7	0.8

由 TDG 的模型计算值与原型观测值比较可以看出, 模型计算与原型观测结果得到的 TDG 饱和度值之差小于 5%。在缺乏较为成熟的 TDG 生成预测模型以及在现有高坝泄流 TDG 过饱和研究水平情况下, 分析认为依托机理实验和多个高坝工程的原型观测成果建立的古贤过饱和预测模型误差在可以接受的范围内, 可以用于对古贤坝下 TDG 过饱和的预测。

3. 预测工况

古贤水库 TDG 预测工况的确定主要依据古贤水库采用的底孔、中孔、表孔泄洪方案, 用于预测表孔泄流对过饱和生成的影响。考虑最不利情况, 针对单泄洪孔泄水, 对古贤水利枢纽死水位、汛限水位、100 年一遇洪水、1000 年一遇 ($Q=4780 \text{ m}^3/\text{s}$)、5000 年一遇 ($Q=6000 \text{ m}^3/\text{s}$)、正常高水位情况下过饱和 TDG 生成进行了预测。详见表 8.2.12-3。

表 8.2.12-3 古贤水过饱和 TDG 生成预测工况表

编号	运用工况	上游水位 (m)	泄洪组合方案	孔口	下游水位 (m)
1	死水位	588.00	排沙运用	底孔	466.65
2	汛限水位	617.00	排沙运用	底孔	467.86
		617.00	排沙泄洪运用	底孔	468.76
		617.00		中孔	468.76
		617.00			
3	100 年一遇洪水	625.50	排沙泄洪运用	底孔	470.2
		625.50		中孔	470.2
		625.50		表孔	470.2
		625.50			
4	1000 年一遇洪水	627.52	排沙泄洪运用	底孔	472.75
		627.52		中孔	472.75
		627.52		表孔	472.75
		627.52			
5	5000 年一遇洪水	628.75	排沙泄洪运用	底孔	472.95
		628.75		中孔	472.95
		628.75		表孔	472.95
		628.75			
6	正常高水位	627.00	排沙运用	底孔	466.75

4. 坝址处过饱和 TDG 生成预测

根据古贤水利枢纽的泄洪运行方式及过饱和 TDG 生成预测数学模型, 对底孔、中孔、表孔泄洪方案单泄的泄流方式采用冲坑消能泄流过饱和 TDG 生成预测模型计算。古贤水利枢纽泄洪下游过饱和 TDG 生成预测结果见表 8.2.12-4。

表 8.2.12-4 下游过饱和 TDG 生成预测结果

编号	运用工况	上游水位	TDG
		(m)	
1	死水位	588.00	112%
2	汛限水位	617.00	114%
		617.00	115%
		617.00	114%
3	100 年一遇洪水	625.50	115%
		625.50	115%
		625.50	117%
4	1000 年一遇洪水	627.52	115%
		627.52	115%
		627.52	119%
5	5000 年一遇洪水	628.75	115%
		628.75	115%
		628.75	120%
6	正常高水位	627.00	115%

模型预测结果表明，古贤水利枢纽工程由于泄洪流量不大，但水头高，在排水泄洪运用方式下出现总溶解气体过饱和现象，说明该工程建成运行后泄洪时存在 TDG 过饱和和问题。

8.2.13 地表水环境保护措施

8.2.13.1 初期蓄水水质保护措施

古贤水利枢纽工程投入运行后，回水长度 202km，为保证回水区域的水质安全，根据《中华人民共和国环境保护法》《水利水电工程建设征地移民安置规划设计规范》

（SL290-2009）、《水利水电工程水库库底清理设计规范》（SL644-2014）等规定，细化库底环境清理方案，确保水库运行安全和水库水质不受影响，经环保验收后方可蓄水。

1. 清理目的

水库淹没区需清理的废弃物主要包括：各种建筑物、垃圾、人畜粪便、坟墓、植被等。垃圾、粪便、植物等的腐败分解，病媒动物、昆虫的迁徙繁殖等不仅使水质恶化，而且可能导致传染病的流行或爆发，因此合理、有效、科学地清理库区废弃物是保证库区水质的关键。库区清理的主要目的是防止大量的有机物残留在水库中。同时，也是保障库区及下游农业生产和居民饮用水的卫生安全，杜绝病原微生物的扩散，防止介水传染病的发生、流行或暴发。

2. 清理范围、方法、重点

清理范围：各类建筑物清理范围为居民迁移线以下区域，各种构筑物清理范围为居民迁移线至死水位以下 3m 范围内；林木清理范围为正常蓄水位以下区域；地面上各种易漂浮物清理范围为居民迁移线以下区域；卫生清理、固体废物清理范围为居民迁移线以下区域。

清理方法：参考《水电工程水库淹没处理规划设计规范》（DL/T 5064-1996）和工程可行性研究报告的移民安置报告中有关水库淹没处理的内容执行，但针对卫生清理，应在地方卫生防疫部门指导下，规划清理内容，设计清理登记表，采取边清理、边填写登记表、边审查、边验收的方法清理。

清理重点为移民后的建筑物、树木、粪池、垃圾、坑穴等。此外，水库淹没区涉及 3 个加油站，2 个养殖企业，库底清理后，应对其牲畜栏、油库等进行特别清理，确保蓄水初期不会对水质造成不利影响。

3. 清理的卫生要求

（1）旧居民区的清理

淹没区和浸水区所有建筑物（包括桥梁、电杆、民房等）都应撤除、迁出库外，不能利用的建筑物，外土墙经烈日曝晒后一律推倒铺平，使未见阳光的一面向上，再经日晒，以杀死病原菌。残留的墙根，不应高出地面 10cm。残留的沟、渠、水井、菜窑用净土或卵石填平夯实，防止塌陷和渗水。

（2）厕所（粪坑）、畜厩、垃圾堆（或肥料堆积场所）、污水沟（坑）的清理

清除厕所（粪坑）、畜厩、垃圾堆（或肥料堆积场所）、污水沟（坑）中的粪便、垃圾、秸秆、肥料、污泥等，高温堆沤后运出库区用作肥料。厕所、畜厩、堆肥场、污水沟就地撤除，开挖底层土至原始土层以下 30cm 深度，曝晒、消毒，再用净土填平夯实，防止病原体扩散。

（3）坟墓、牲畜掩埋场的清理

不满 10 年的坟墓一律迁出，埋葬 10 年以上或掩埋较深的坟墓，撤除墓碑后就地加固，可不外迁。尸体迁出后，土壤应反复摊晒，并用生石灰或漂白粉消毒；无主棺木、尸骨及换棺后的废弃棺木就地焚烧。开墓时，应使有害气体逸散，通风换气 15~30 分钟，再用工具捡拾尸骨。工作时应戴口罩、手套，工作后必须消毒。

对牲畜掩埋场的处理：畜尸就地焚烧，尸坑按坟墓办法处理。患传染病的畜尸就地

焚烧后，尸体上下四周 0.5m 的土壤用生石灰或漂白粉严格消毒，再用净土覆盖夯实。如为死于炭疽的畜尸体，应在兽医调查确实后严格处理，处理后工作人员应以 1%~2% 来苏溶液洗手消毒。

（4）植物的清理

整个淹没区的竹林、灌木、乔木均应齐地面砍伐并清理外运。对利用价值很少的树木及杂草就地焚烧，清除灰烬后夯实净土。此外，水库蓄水初期，大部分水体漂浮物将被截留在库区，为保证电站安全运行和水库水质，制定漂浮物控制、打捞及处理制度。

（5）危险废物

水库蓄水前，按照《危险废物处置工程技术导则》（HJ2042-2014）等相关要求，对水库淹没区范围的 3 个加油站有关单位等遗留的建筑物、生产设施、固体废弃物及受影响场地等可能存在危险废物的区域进行核查，并对周边是否受到污染进行调查评估，对发现的危险废物及受污染土壤等应委托有资质的单位进行处理。

8.2.13.2 运行期水质保护措施

1. 水源区水质保护措施

（1）划定饮用水源保护区

古贤水利枢纽工程建成后，其功能有对晋陕两省的供水任务，应按照《中华人民共和国水法》《中华人民共和国水污染防治法》《饮用水水源保护区划分技术规范》（HJ 338-2018）的相关要求，组织相关部门对库区进行饮用水水源保护区的划分，并报地方政府批复，严格按照《饮用水水源保护区污染防治管理规定》以及《水利部办公厅关于做好饮用水水源保护相关工作的通知（办资管〔2019〕251 号）》要求，加强饮用水水源保护区水质保护和管控，确保供水水质安全。

（2）饮用水水源保护区拟划定方案

根据《饮用水水源地保护区划分技术规范》（HJ 338-2018），饮用水水源保护区一般划分为一、二级保护区和准保护区。古贤水库饮用水水源保护区划分建议如下：一级保护区范围为晋、陕两省取水口半径 500m 范围内水域，及一级保护区水域边界沿岸外扩 1000m 的陆域；二级保护区范围为一级保护区外径向距离不小于 2000m 的水域，及二级保护区水域边界沿岸外扩 1000m 的陆域；准保护区范围为二级保护区外径向距离不小于 2000m 的水域，及准保护区水域边界沿岸外扩 1000m 的陆域。水源保护区范

围内水体应满足《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）II类水质标准。

饮用水水源保护区划分方案获得批准后，应当按照《集中式饮用水水源地规范化建设环境保护技术要求》（HJ 773-2015）、《饮用水水源保护区标志技术要求》（HJ/T 433-2008）的要求，设置饮用水水源保护区的界碑、警示牌、围网等措施，明确保护界线和保护要求并予以公告。按照《饮用水水源保护区污染防治管理规定》《陕西省城市饮用水水源保护区环境保护条例》《山西省水资源管理条例》等要求，切实加强监督与管理，保障饮用水安全，具体保护要求如下：

- ① 在饮用水水源保护区内，禁止设置排污口；
- ② 禁止在饮用水水源一级保护区内新建、改建、扩建与供水设施和保护水源无关的建设项目；
- ③ 禁止在饮用水水源一级保护区内从事网箱养殖、旅游、游泳、垂钓或者其他可能污染饮用水水体的活动。
- ④ 饮用水地表水源各级保护区及准保护区内，禁止一切破坏水环境生态平衡的活动以及破坏水源林、护岸林、与水源保护相关植被的活动；
- ⑤ 禁止向水域倾倒工业废渣、城市垃圾、粪便及其他废弃物；
- ⑥ 移民搬迁安置区域严格避让饮用水水源保护区；
- ⑦ 禁止使用剧毒和高残留农药，不得滥用化肥，不得使用炸药、毒品捕杀鱼类。

根据古贤水库水源地保护区的划定情况，明确功能区地理界线，并在功能区边界设立界桩、界碑、公示牌、警戒线等标志，在保护区内设置有明显标志的警示牌。标志牌上应包括古贤水库的地理位置，各级保护区边界的示意图；保护水库水质的意义，以及与广大公众的紧密利益；明确古贤水库水源地保护区各功能区的禁止行为，以及相关的惩罚规定。

本次规划针对供水口门所在的宜川县、吉县施隔离防护工程措施，其中实施物理隔离长度 20km。

（2）加强水源区水质动态监控与预警

在取水口处建立水质在线监测和预警系统，主要模块包括水质在线自动监测站设计、系统数据库与模型库设计、水质预警响应模块设计等方面。水质在线自动监测主要由监测站点、信息传输系统、监测中心三部分组成，监测指标为水温、pH、溶解氧、电导

率、浊度、高锰酸盐指数、总有机碳、氨氮、总磷、总氮、叶绿素 *a*、藻类等。针对可能存在的突发事故，制定水源区管理范围内的水环境风险防控机制及突发事件应急预案，明确应急预案实施主体与配合机构分工。一旦在取水口水域出现水质超标或发生突发性污染事故，及时预警响应，采取防止污染扩散和降低污染的应急措施，保障引水水质。

（3）库周点源污染控制措施

针对库区范围内 2 处污染源直接排入库区干流，古贤水库建成后，其中民康食品有限公司排污口实施库区排污企业污水收集管网工程，严格要求废污水进入污水处理厂。对吴堡县污水处理厂进行提标升级改造，出水由《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级 B 标准提高至一级 A 标准，提高中水回用率，污水处理厂禁止直接排入划定的黄河干流饮用水水源保护区范围内。

完善库周、坝下黄河两岸城镇生活污水管网配套建设，实现雨污分流，到 2035 年，各县区生活污水收集率达到 90% 以上。

（4）库区面源污染控制措施

1）水土流失治理

针对库区区域水土流失严重，应根据《陕西省水土保规划（2016-2030）》和《陕西省水土保持规划（2016-2030 年）》等要求，在库周水库上游地区及主要支流加强水土保持工作，落实水土保持规划，加大植树种草退耕还林、封山育林等水土流失防治措施，同时结合《关于开展防治面源污染水土保持试点工程建设的通知》（办水保〔2005〕99 号）、《陕西省生态保护与建设规划（2014~2020 年）》等，充分利用河边绿化带作为土地利用和水系间的缓冲地带和过滤带，以及实施封山禁牧、封育保护，加强现有林草植被的保护，防止人为破坏，改善生态环境，涵养水源，保护水资源。

2）农田面源控制

大力发展生态农业，全面推广测土配方施肥技术，引导和鼓励农户施用低毒、低残留生物农药和有机肥料，大幅度降低面源污染负荷。

3）农村畜禽养殖污染控制

依法关闭或搬迁禁养区内的畜禽养殖场（小区）。推广畜禽清洁养殖和畜禽粪污无害化、资源化处理技术，推行种养循环综合利用型生态治理模式，实施规模化畜禽养殖（小区）标准化建设和改造，对流域内规模化畜禽养殖小区和养殖场全部实施雨污分流、

配套建设粪便污水贮存、处理、利用设施，因地制宜建设畜禽粪污收集处理厂和沼气工程。到 2035 年，库周沿线各乡镇规模化畜禽养殖畜禽粪污综合利用达到 90%以上，规模化畜禽养殖场设施装备配套率达 95%以上。加强散养畜禽养殖污染排放监管力度，逐步推进散养畜禽养殖废水收集设施的建设。

8.2.13.3 运行期废污水处理措施

1. 业主营地生活污水处理措施

运行期生活污水主要产生于业主营地和左、右岸发电厂房。工程管理人员 345 人，生活用水每人 100L/人•天计算，污水排放系数取 0.8，生活污水日排放量 27.6m³/d。污水处理设施利用施工期污水处理站，污水经过处理并消毒后达到《城市污水再生利用—城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）的城市绿化水质标准后暂存于清水池，回用于营地绿化用水和抑尘洒水。

2. 发电机组检修废水处理措施

发电机组在检修过程中会产生少量的废水和含油废水，但废水产生量较小。发电厂房设置集水沟和废水收集井，用于收集含油废水。一旦产生这部分废水，委托具有含油废水处理资质的单位进行处置。

8.2.13.4 运行期供水区污染控制措施

根据古贤供水区水污染物排放特征，本次评价要求供水区水污染防治相关治理措施应至少包含如下内容：

1. 城镇集中生活污水处理措施

根据古贤供水区污染源调查，供水区范围共有 39 个城镇污水处理厂综合排污口，通过污水管网综合收集工业、生活废水经处理后达标排放，供水区城镇污水处理厂污染源入河量详见表 8.2.13-1。

表 8.2.13-1 古贤供水区范围内城镇生活污染源调查表

序号	省份	行政区划	受纳水体	排污口名称
1	陕西省	宜川县	仕望河	宜川县污水处理厂
2		韩城市	黄河	桑德新城污水处理厂
3			居水河	金城污水处理厂
4			黄河	韩城市龙门污水处理厂
5			凿开河	韩城市桑树坪镇污水厂
6			汶河	韩城市西庄镇污水处理厂
7			芝水河	芝阳镇污水处理厂
8			居水河	芝川镇污水处理厂
9			居水河	板桥镇污水处理厂

序号	省份	行政区划	受纳水体	排污口名称
10		临渭区	渭河	渭南市排水有限责任公司
11			渭河	渭南市高新区污水处理厂
12			渭河	渭南市渭北新区污水处理厂
13		合阳县	金水沟	合阳县水星污水处理厂
14		白水县	白水河	白水县污水处理厂
15		蒲城县	渭河	蒲城县城南污水处理厂
16			渭河	蒲城县污水处理厂入
17		澄城县	县西河	澄城县金兴污水处理厂
18		富平县	石川河	富平县污水处理厂
19			顺阳河	富平县庄里镇污水处理厂
20		大荔县	北洛河	大荔县城区污水处理厂
21			北洛河	大荔县经开区污水处理厂
22	山西省	尧都区	汾河	临汾市第一污水处理厂
23			汾河	临汾市第二污水处理厂
24			汾河	临汾市第二污水处理厂
25		吉县	清水河	吉县污水处理厂
26		洪洞县	汾河	洪洞县污水处理厂
27		襄汾县	汾河	襄汾县污水处理厂
28		乡宁县	鄂河	乡宁县污水处理厂
29		侯马市	浹河	侯马市污水处理厂
30		曲沃县	浹河	曲沃县污水处理厂
31		盐湖区	姚暹渠	盐湖区城东污水处理厂
32			姚暹渠	盐湖区城西污水处理厂
33		闻喜县	涑水河	闻喜县惠万家污水处理有限公司
34		夏县	姚暹渠	夏县污水处理中心
35		万荣县	三交河	万荣县荣碧污水处理厂
36		临猗县	涑水河	临猗县污水处理厂
37		永济市	涑水河	永济市污水处理有限责任公司
38		稷山县	汾河	稷山县污水处理厂
39		新绛县	汾河	新绛县污水处理厂

运行期根据供水区乡镇不同区位条件、村庄人口聚集度、污水产生量、经济发展水平等因素，对供水区各县区已建污水处理厂进行提标改造，其中陕西省供水区执行《黄河流域（陕西段）污水综合排放标准》出水标准，山西省供水区出水执行标准为至一级A。加大老旧管网改造力度。积极推行低影响开发建设模式，县相关政府部门牵头开展建设滞、渗、蓄、用、排相结合的雨水收集利用设施和中水回用设施。强化日常监管，做好已建县城生活污水处理设施运行管理工作。

加强污泥处理处置。污水处理设施产生的污泥应进行稳定化、无害化和资源化处置，严禁处置不达标的污泥进入农地。取缔非法设置的污泥堆放点。

供水区村落污水收集处理设施较少，以现有污水处理厂和拟建乡镇污水处理服务范围为基础，向周边村庄进行辐射，通过经济性、可行性进行分析，将配套排水管网向人口较为集中的村庄进行延伸，扩大污水收集范围，提高村落污水的收集处理率。对于污水无法集中收集处理的村庄，选择干流及支流的沿河村庄对供水区河流水质影响较大的，

单独建设污水收集管网和污水处理设施，出水标准达到相关要求。对于路面已经硬化的村庄，排水体制采用雨污分流制，未进行路面硬化的村庄采用截流式合流制排水体制。

加大基础设施的投入，加强管理力度，提高村庄垃圾收集转运能力，建立政府补贴、农户付费相结合的经费保障机制，确保农村环境基础设施的稳定运行。同时，科学布局生活垃圾收运和处理设施，积极推进生活垃圾就地源头分类减量，巩固完善户集、村收、乡镇转运、县（乡）处理的城乡一体化治理模式。自然村增设垃圾桶，行政村增设大型垃圾箱，乡镇增设转运站，区县扩大或增设垃圾卫生填埋场，配备足量的专业转运车辆和清洁运输人员。

实施排污口整治，进行全面的摸底调查，逐一摸清入河排水口排污现状，取缔受纳水体沿岸违法工业企业和养殖场（点）、违法排污口等，工业企业、医疗机构及城镇生活污水全面铺设管网，截至污水处理厂进行处理。

2. 工业点源废水污染物控制措施

严格执行国家及相关部委的要求和导向，淘汰高物耗、高能耗、高污染的企业，结合地区工业企业发展需求和产业发展布局，大力发展能源资源节约型、生态环境友好型的绿色制造业或绿色产业工业。通过政府干预和政策引导，加快城市零散工业、企业搬迁入园进度，促进用地集约，提升城市建设水平，促进工业与城市共同发展，提高工业污水收集处理率。考虑到古贤供水工程的实施，以及经济发展状况，工业污水产生量在短期内将大幅增加，配套污水处理厂规模无法满足最终需求。因此应对现有污水处理厂规模进行扩建，在原有厂区基础上，对工艺流程或相关设备进行改进，或增设深度处理设施，增强污水处理效率，提高出水水质。

为提高供水区的水资源利用率，在提标改造后的部分污水处理厂增设再生水回用设施，如泵站、管道等。督促钢铁、火电、化工、制浆造纸、印染等行业提高对再生水的利用率，积极发展工业园区及周边区域的市政绿化、道路清扫、车辆冲洗、景观用水等回用途径，提高再生水回用率。

3. 农业面源污染控制措施

（1）畜禽养殖污染治理

加强畜禽污染治理，加强畜牧业环境保护和经济循环发展，在改进畜禽厩舍结构和生产设施与推进干湿分离、雨污分流等工艺技术的基础上，支持各类规模养殖场（户）

采用畜禽粪便有机肥加工、“沼气能源生态型”、“生物发酵零排放”以及污水厌氧和好氧消化处理后施入农田（地）、牧草地、林果地等农林牧结合的综合利用方法，配套畜禽养殖废弃物综合利用、节能节水、无害化处理和环境保护等设施，实现畜禽养殖排泄物的资源化、无害化、减量化，提高畜禽养殖排泄物的资源化利用率，促进循环经济和畜牧业可持续发展，规模化畜禽养殖场粪便综合利用率达到 95%。

（2）农田径流污染治理

古贤供水工程实施后，计划将部分旱地变更为水浇地，因此导致农田退水量和农业面源产生量相应增加，退水期对供水区河流水质产生一定影响。供水区应加强节水改造，提高灌溉水利用系数，减少农田灌溉退水量，最终实现农业面源的削减。以工程技术措施为基础，结合行政管理和成本控制，加快区域节水灌溉的推广和完善。推广科学施肥用药和低碳农业技术，提高化肥、农药利用率，减少面源污染。大力发展农村生态能源和清洁能源，推行生态种养模式，改善和保护农业生态环境。搞好农村沟渠、河道农业有害生物综合防治，清淤除草，修复农田生态水利。建立秸秆禁烧和综合利用的长效机制，回收再利用农膜和农药包装物。加强农产品产地环境监管，强化农产品产地重金属污染普查和监测预警。

8.2.13.5 措施可落实性

运行期各保护措施责任主体、完成时限、投资保障和考核监督机制，将根据晋陕两省或各市人民政府批复的《古贤水利枢纽工程受水区水污染防治规划》中具体可操作、可落实、可考核措施纳入。

8.3 小结

8.3.1 水温影响小结

1. 采用 α - β 指数法对拟建古贤水库不同运行时期水温结构进行了判断，拦沙初期、拦沙后期、正常运用期水库的水温分层结构依次为稳定分层型、稳定分层型、混合型。
2. 古贤拦沙初期和拦沙后期各典型年均表现为明显的春、夏季下泄低温水和冬季下泄高温水效应。单层取水方式下，与坝址天然水温相比，拦沙初期下泄水温最大降幅为 9.2℃（4 月，平水年来水条件），最大升幅为 8.1℃（12 月，丰水年来水条件）；拦沙后期下泄水温最大降幅为 7.6℃（4 月，平水年来水条件），最大升幅为 5.0℃（12 月，

丰水年来水条件)；正常运用期最大水温降幅为平水年 3.4℃(4 月，平水年来水条件)，最大升幅为 2.4℃(11 月，丰水年来水条件)。河道水温最远在坝址下游 208km 潼关水文站处恢复至天然水平。

3. 根据锦屏、糯扎渡等大型水电工程的经验，可研设计单位拟定了 3 种叠梁门层高方案进行比选，分别为：叠梁门层高 4m、叠梁门层高 6m、叠梁门层高 8m。从操作复杂性来说，4m 叠梁门不适合本工程；从水温改善角度，推荐 6m 叠梁门；从叠梁门运行角度来看，6m 单节叠梁门自重小，易于吊装，操作安全性更高，且相对而言，可以保证更小的淹没水深，更利于取用表层高温水，因此综合来看本阶段推荐 6m 叠梁门方案进行。

4. 根据拟定的 6m 叠梁门运行方式，评价对拦沙初期、拦沙后期 4~6 月叠梁门分层取水的低温水减缓效果进行了预测，结果表明拦沙初期 5 月、6 月分层取水对月均下泄水温分别约有 2.2℃、2.8℃的改善，但是下泄低温水幅度仍然很大，下泄低温水进入下游河道后，沿程受大气影响而沿程增温，水温变化趋势与单层取水基本一致，但各个断面的低温水幅度较单层取水有所变小。4 月下泄水温基本没有改善。从不同取水方式产卵场特征水温到达时间来看，5~6 月分层取水提高了下泄水温，使得水温到达 18℃的时间较单层取水有较大幅度提前，1#产卵场提前了 17d，下游产卵场由于水温恢复情况较好，分层取水对水温到达时间提前幅度为 0d~2d。拦沙后期下游河道水温变化规律与拦沙初期基本一致，坝址下游各产卵场到达特征水温时间较单层取水均有提前，最长提前了 14d。

8.3.2 地表水环境影响小结

1. 根据晋、陕两省生态环境厅国控、省控断面水质监测结果，库区干流河段 2019 年~2021 年水质良好，年均水质均满足水功能区Ⅲ类水质目标要求。入库支流昕水河黑城村入黄断面水质良好，年均水质满足水功能区Ⅳ类水质目标要求，其余入库支流三川河两河口桥、无定河王家河、清涧河杨家河畔、延河寺滩入黄口断面水质相对较差，年均及年内不同水期水质综合评价为Ⅲ~劣Ⅴ类，大部分时段不能满足水功能区Ⅲ~Ⅴ类水质目标要求。古贤库区下游坝址~三门峡河段，干流壶口、龙门、风陵渡大桥、三门峡断面 2019 年~2021 年水质良好，年均及年内不同水期水质均满足水功能区Ⅲ类

水质目标要求。入黄支流汾河、涑水河等水质较差，常年为Ⅳ~劣Ⅴ类，大部分时段不能满足水功能区水质目标要求。支流渭河水质良好，近年来渭河流域经过持续水污染治理，2019年~2021年全年水质及年内不同水期均满足水功能区Ⅳ类水质目标要求。

山西省供水区2019年年整体水质相对较差，除入黄支流芝河、鄂河满足水环境功能区水质目标要求外，汾河、浍河、涑水河、姚暹渠水质较差，为Ⅳ~劣Ⅴ类水质，2020年~2021年山西省供水区水质好转，除汾河部分断面与涝河年内平水期为Ⅴ类水质外，其余受纳水体均能满足水功能区水质目标。陕西省供水区2019年入黄支流云岩河、居水河、渭河水质较好，为Ⅱ~Ⅲ类水质，仕望河、金水沟、北洛河水质相对较差，为Ⅳ~Ⅴ类水质，不能满足水功能区水质目标要求。2020年~2021年陕西省供水区水质好转，除云岩河2021年为Ⅳ类水质外，其余受纳水体为Ⅱ~Ⅲ类水质，均能满足水功能区水质目标。

根据晋、陕两省生态环境厅2020年污染源调查结果，古贤库区干流无较大入河排污口，库尾仅有2处污染源直接排入库区干流。污染源主要分布在坝址~三门峡河段，有17处工业、城镇排污口排入黄河干流，但由于黄河干流流量较大，水体自净能力强，因此干流水质现状良好。入黄支流流经较多城镇、村庄，沿程接纳工业、养殖废水与城镇生活污水，同时部分支流如三川河、涑水河年径流量较小，纳污能力较小，综合因素造成入库支流以及供水区的入黄支流水质现状较差。

2. 古贤水库拦沙初期、拦沙后期为深水湖库，且横向分布差异不明显，采用立面二维预测模型；进入正常运用期，由于泥沙淤积，库容减少，库区转变为河流型水库，选用纵向一维预测模型。根据现状排污、相关治污规划实施后排污两种情景对建库后库区水质进行预测。拦沙初期与拦沙后期不同典型年COD、NH₃-N浓度从库尾至坝前总体呈降低趋势，到坝前浓度降至最低。坝前COD、NH₃-N浓度分层明显，枯水期水流沿水库底层向坝前运动，导致坝前库底浓度高于表层。整体上库区大多数区域满足Ⅱ类水质标准，两种情景下不同时期COD、NH₃-N均能满足水功能区水质目标。正常运用期不同典型年COD浓度从库尾至坝前呈沿程递减趋势，NH₃-N浓度在枯水年从库尾至坝前沿程维持稳定趋势，整体上正常运用期，不同典型年COD、NH₃-N均满足Ⅲ类水质目标。

3. 工程运行后，拦沙初期平水年与枯水年不同水期内各支流入黄口营养状况为轻

度富营养~中度富营养状态，坝前为贫营养至中营养状态，拦沙后期平水年与枯水年不同水期内各支流入黄口营养状况为中度富营养状态~轻度富营养状态，坝前平水期则呈中营养状态。正常运用期由于库区变为河道型水库，TP、TN 浓度沿程变化较小，平水年与枯水年不同水期各支流与库区交汇口营养状况为中度富营养状态~轻度富营养状态。

4. 古贤水库坝址下游采用纵向一维模型对建库后坝址下游龙门~三门峡河段水质进行预测。古贤水库运行并向晋陕两省供水后，现状年排污+新增 0.95 亿 m^3 用水污染源排放、规划年以供水区以新带老替代用水后污染源排放两种情景模式下，汾河、涑水河、渭河等支流汇入对干流水质影响较小，总体上，古贤水利枢纽工程建成后，坝址下游河段水质较好，龙门~三门峡河段不同典型年 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度沿程呈降低趋势，规划年龙门~三门峡河段各断面均能满足 II 类水质标准。

5. 不同工况下，泄洪水流产生的 TDG 饱和度分别为 112%-120%。古贤水库在排水泄洪运用方式下出现总溶解气体过饱和现象，在输移释放过程中沿程逐渐降低。

第九章 地下水环境影响与保护措施

古贤水利枢纽工程的建设，以及建成运行后库区及坝下水动力条件的变化，将对库区、坝址、坝址下游河段地下水环境产生不同影响。本章主要通过现场调查及长期观测，并采取数值模拟、经验公式计算等方式，分析评价项目建设运行对库区、坝址区、坝址下游河段地下水环境产生的影响，提出地下水保护措施。

9.1 地下水环境现状调查与评价

9.1.1 水文地质调查与评价

本次地下水评价按照工程分布特点，将评价区分为库区、坝址区及坝址下游区三个区域。按照《鄂尔多斯盆地水文地质图》，评价区主要包含两大类地下水系统：寒武系-奥陶系碳酸盐岩岩溶含水系统和石炭系-侏罗碎屑岩裂隙与上覆松散层孔隙含水系统，其中前者主要分布在坝址下游区，后者主要分布在库区及坝址区。评价区域水文地质情况见图 9.1.1-1。

9.1.1.1 库区水文地质概况

库区属华北地层区的陕甘宁蒙盆地地层分区，基岩地层主要为二叠系、三叠系陆相碎屑岩，第四系黄土广泛分布于黄河两岸及部分沟谷内。库区沟谷深切，地形陡峻，地表径流条件良好，因而库区地下水具有水量贫乏、坡度大、埋藏深的基本特征。

根据地下水的赋存条件及运移特征，库区内地下水划分为基岩裂隙水和松散岩类孔隙水两种类型。基岩裂隙水分布范围广泛，为库区主要地下水类型。松散岩类孔隙水主要分布在黄河河漫滩、各级阶地的第四系堆积层中。库区水文地质情况如图 9.1.1-2。



图 9.1.1-1 评价区水文地质图

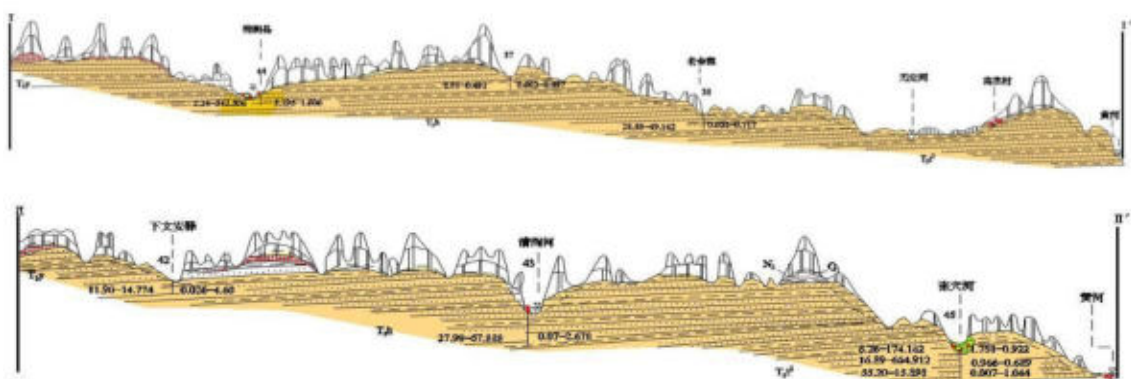


图 9.1.1-2 库区水文地质剖面图

9.1.1.2 坝址区水文地质概况

坝址区出露基岩为中生界三叠系中统二马营组上段和铜川组下段地层，为一套陆相碎屑岩系，分布于整个坝址区的河谷及岸坡上，岩相变化较大。根据含水介质的特征和地下水的赋存条件、水力性质，坝址区地下水赋存类型分为松散岩类孔隙水和基岩裂隙水，坝址区水文地质情况见图 9.1.1-3。

从区域角度看，坝址区的地下水补给，径流和排泄规律受到左、右岸地下水流动系统的控制。左、右岸地下水流动系统近似与区域地表水流域范围一致。降水经地表入渗补给地下水后，部分经过浅层、短距离的运移，形成局部地下水流动系统，以泉或基流的形式排泄，形成地表水体，坝址区地下水流动系统见图 9.1.1-4。

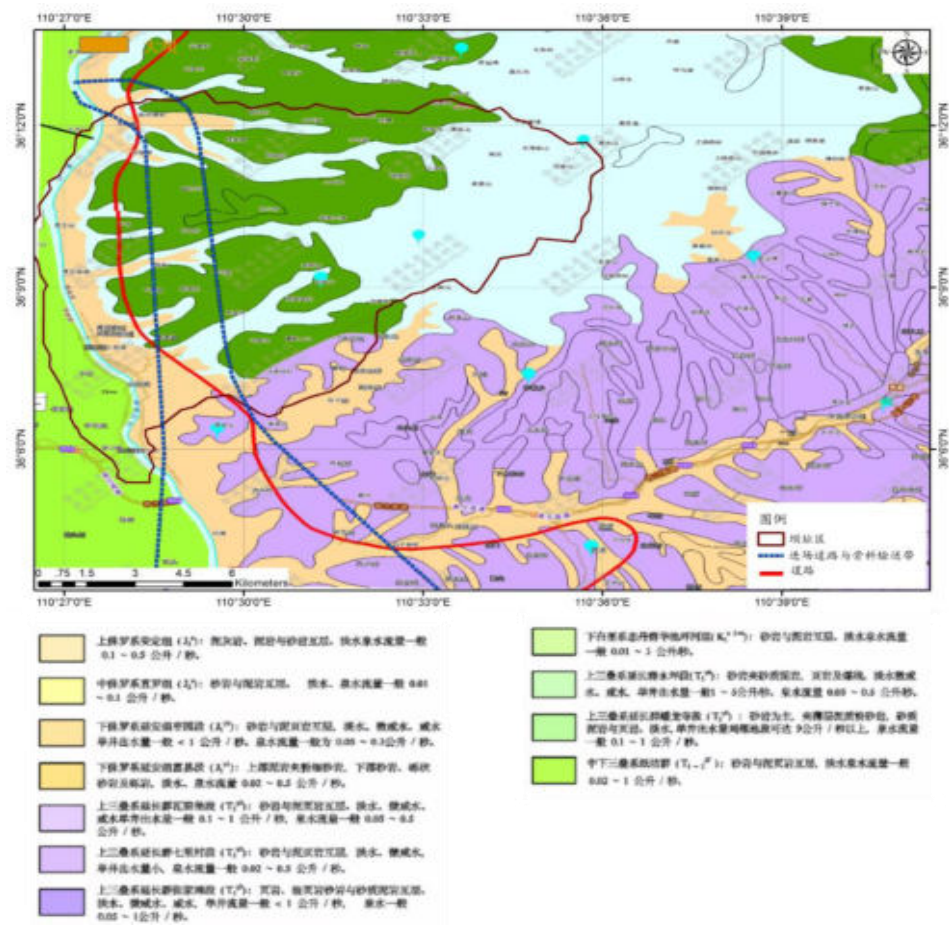


图 9.1.1-3 坝址区水文地质图



图 9.1.1-4 坝址区地下水流动系统图

根据《黄河古贤水力枢纽工程可行性研究——工程地质专题报告》，河床钻孔的实测终孔水位普遍在 465m 高程附近，基本与黄河河水位持平，且没有随着终孔高程的减小出现承压自流现象，表明区域尺度上，坝址区的地下水补给高程有限，补给强度一般；两岸钻孔终孔实测水位则普遍高于黄河河水位，且随着钻孔终孔高程的增加，钻孔终孔水位整体相应提高，具体情况如图 9.1.1-5。

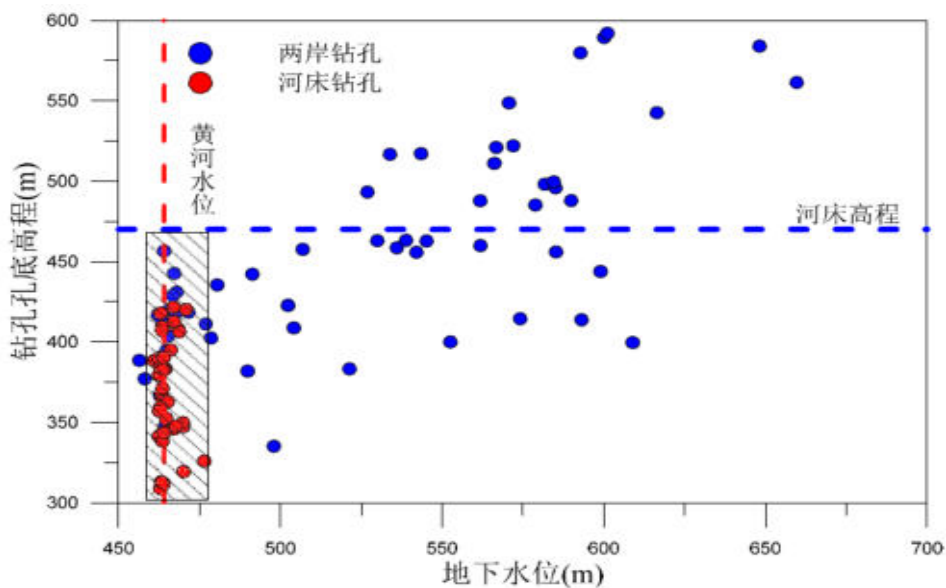


图 9.1.1-5 钻孔高程与实测地下水位散点图

综上，黄河为该区域地下水的最低排泄基准点，区域地下水向黄河补给。

9.1.1.3 坝址下游区水文地质概况

坝址下游区普遍被第四纪沉积堆积的疏松物质所覆盖，按不同成因，由老到新主要包括第四系下更新统冲积湖积层（Q1al+I）、中更新统洪积层（Q2pl）、上更新统冲积

层（Q3al）、全新统坡积层（Q4dl）、全新统冲积层（Q4al）。除此之外，在第四系地层下部主要分布为奥陶地层。奥陶系以化学沉积后的纯碳酸盐岩为主，厚层灰岩中夹杂有数量不等的泥灰岩和白云岩透镜体。坝址下游区地质剖面情况见图 9.1.1-6。



图 9.1.1-6 坝址下游区地质剖面图（韩城市-黄河-万泉乡）

按照赋存介质差异，坝址下游区地下水分为第四系松散岩类孔隙水与岩溶水两种。

松散岩类孔隙水主要沿黄河河床两岸分布，地下水主要接受大气降水补给，局部存在灌溉水补给情况。松散岩类孔隙水在区域地形控制下流动，大部分以下降泉的形式向沟谷排泄，此外，蒸发排泄也是其主要的排泄方式。岩溶水属于碳酸盐岩裂隙水，绝大部分属于覆盖型岩溶水，该类型岩溶水间接接受大气降水或上覆含水层下渗补给，在黄河沿岸一带向河道排泄。坝址下游区水文地质情况见图 9.1.1-7。

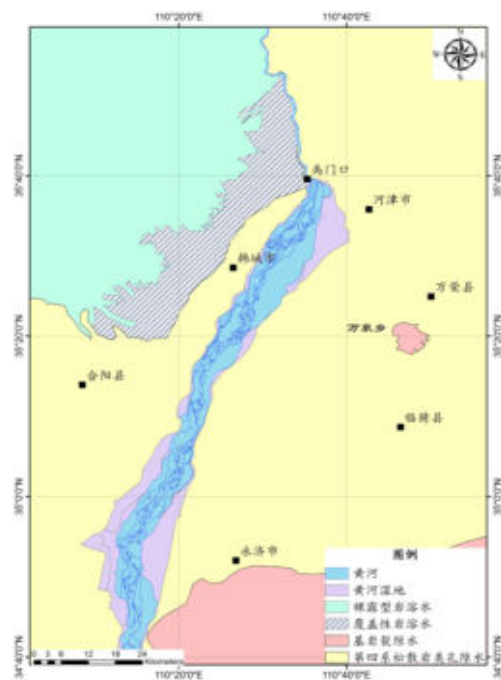


图 9.1.1-7 坝址下游区水文地质图

9.1.2 评价区地下水开发利用现状调查

9.1.2.1 库区地下水开发利用现状

本次评价于 2017 年 6 月在库区开展了地下水利用现状调查，库区地下水调查情况见图 9.1.2-1。

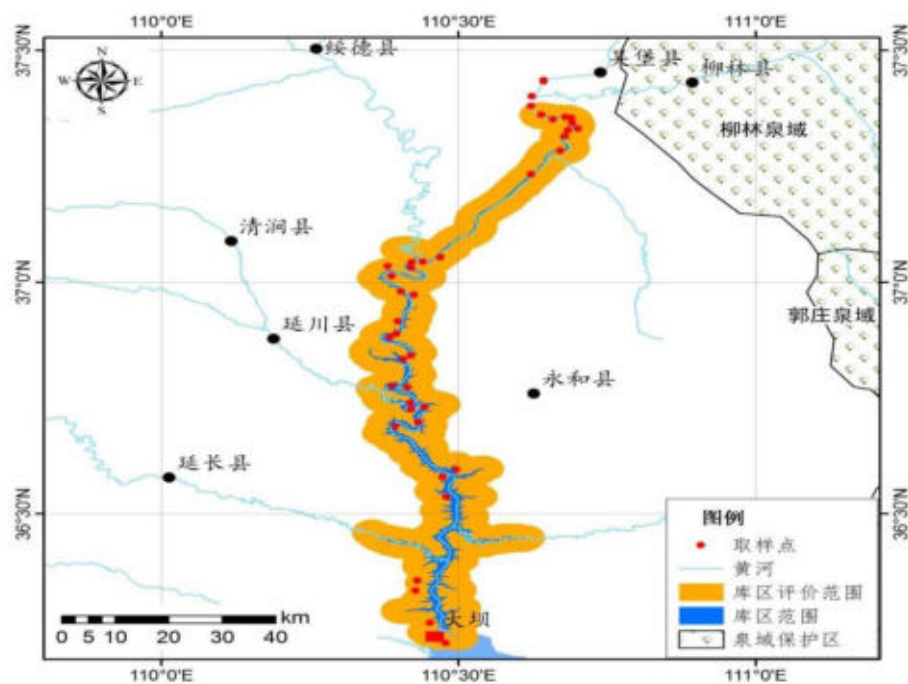


图 9.1.2-1 库区地下水调查点分布图

调查结果显示，库区内不存在集中式地下水饮用水水源地；库区分散式地下水取水形式主要为地下水井和山泉水，如图 9.1.2-2。

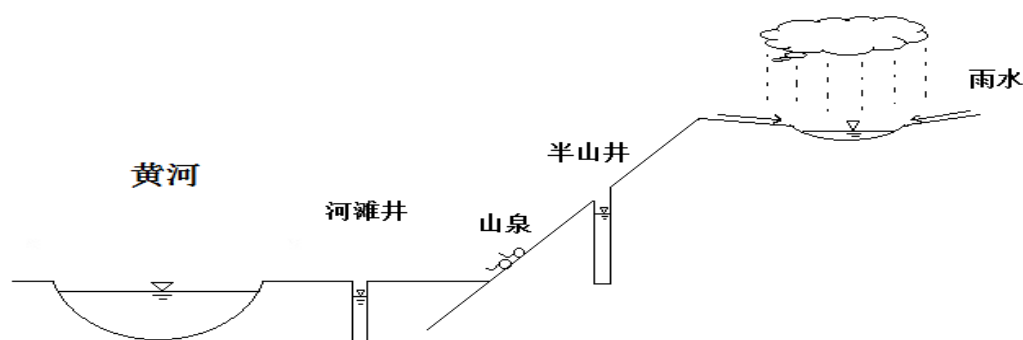


图 9.1.2-2 项目区地下水饮用水类型分类示意图

山泉大都出露于三叠纪砂岩裂隙中，主要的补给来源为距离黄河较远的丘陵区地下水和大气降水。以地下水井作为饮用水源均为分散取水，根据取水井所处位置，地下水井分为半山井与河滩井。半山井为取水高程高于黄河水位的地下水井，距离黄河较远，井中地下水向黄河排泄，其主要受侧向径流补给或大气降水补给，不受黄河水位变化影响；河滩井为位于黄河河滩的地下水井，距离黄河较近，与黄河之间存在密切水力联系。库区分散式地下水饮用水源情况见表 9.1.2-1。

表 9.1.2-1 库区分散式地下水饮用水源情况统计表

用水类型	村庄个数	总用水量 (m ³ /d)
雨水	8	>30
半山井	9	>50
河滩井	22	>75
泉水	14	>20

9.1.2.2 坝址区地下水开发利用现状

根据对坝址区、进场道路与皮带机线路隧洞工程沿线影响区域的水文地质情况调查，坝址区、进场道路与皮带机线路隧洞工程沿线主要涉及的居民饮用水取水形式以利用山泉泉点为主。利用的泉水均为侵蚀下降泉，主要包括南村坡、中市村、南垣村、老树岭、曹畔村等村庄附近的泉点。

9.1.2.3 坝址下游区地下水开发利用现状

坝址下游区主要在黄河小北干流河段两岸分布有河津电厂、韩城电厂等大型企业工业用水取水井、分散农业灌溉井及全国重要饮用水水源地——运城市蒲州水源地（地下水），该水源地位于坝址下游约 160km 处。

9.1.3 地下水环境敏感保护目标调查与评价

9.1.3.1 库区及坝址区分散式地下水饮用水源

库区内不存在集中式地下水饮用水水源地；以地下水井作为饮用水源均为分散取水，主要取水形式为半山井与河滩井。经调查，受水库蓄水影响的库区分散式地下水饮用水源主要为 22 处河滩井，分别位于库区沿线的后河底村、上庄村、后宋家寨、坪上村、三交镇、枣上坪村、渔家湾村、福乐坪村、河底村、后店村、沟口村、马花坪村、刘家畔村、伏羲村、苏亚村、伏寺村、咀头、砚瓦村、河会里村、永和关村、井子滩村、师家滩村等。

坝址区地下水饮用水源取水形式以利用泉点为主，主要为位于南村坡、中市村、南垣村、老树岭、曹畔村等 5 个村庄附近的泉点。

9.1.3.2 山西运城市蒲州地下水水源地

蒲州地下水水源地为全国重要饮用水水源地，位于永济市西部蒲州老城至韩阳一带的黄河一级阶地上，西临黄河，东靠栲栳垣与中条山前洪积扇，呈北东～南西条带状分布，水源地长 7.6km，平均宽大约 6.3km，面积 47.88km²。该区浅层水受到黄河地表水

的入渗补给，形成了地下水的贮水地带，地下水丰富，水源地现状开采层为浅层地下水。
蒲州地下水水源地水文地质情况见图 9.1.3-1。

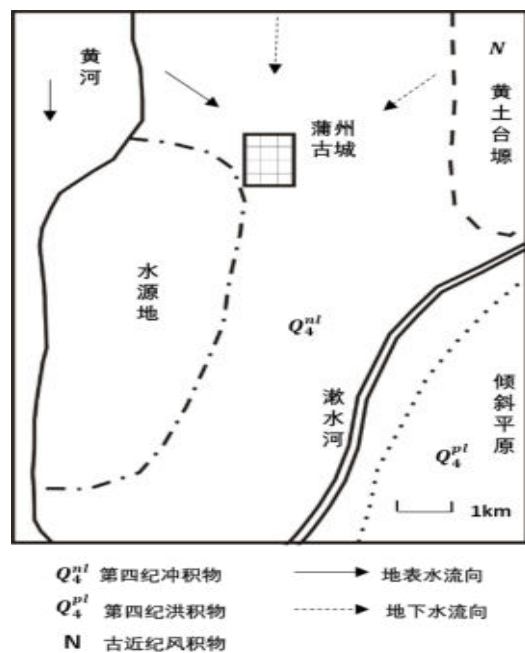


图 9.1.3-1 蒲州水源地水文地质图

黄河水位变动对浅层地下水水位影响较大，由于水源地上下含水层之间存在水力联系，因此黄河水位变化将会引起蒲州水源地地下水水位动态变化。

9.1.3.3 河津市西磴乡镇集中供水水源保护区

西磴口料场位于 G209 国道遮马峪河两岸蝎虎崖隧洞至张家岭之间，距离古贤坝址直线距离约 60km，北部属乡宁县西坡镇，南部属河津市樊村镇。根据《运城市人民政府关于乡镇集中式饮用水水源保护区划分结果的批复》（运政函[2020]21 号），河津市西磴乡镇集中供水水源保护区共有 5 口取水井，沿 G209 国道两侧分布，井水为第四系松散岩类孔隙水和碳酸盐岩类岩溶-裂隙水，其中 3#井位于 G209 西侧遮马峪河左岸高坎上（高程约为 560m），其余 1#、2#、4#、5#井位于 G209 东侧山体崖壁上（高程约为 730m），围绕 5 口取水井划有一级保护区、二级保护区、准保护区。根据调查，料场开采涉及河津市西磴乡镇集中供水水源保护区二级保护区。料场与水源保护区位置关系见图 9.1.3-2。

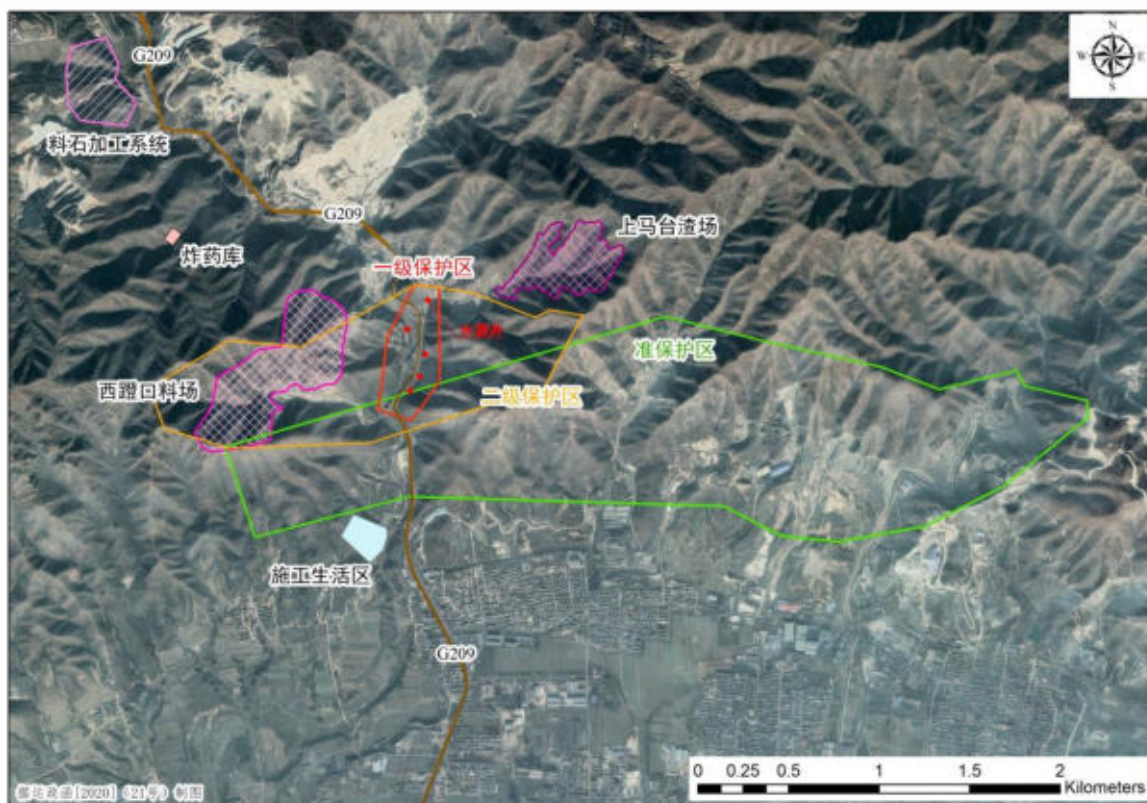


图 9.1.3-2 西磗口料场与西磗乡镇集中供水水源保护区位置关系图

9.1.3.4 坝址下游区小北干流河段湿地

1.小北干流河段山西侧湿地水文地质情况

山西侧湿地所处地质区域为华北古地台的一部分，除古生界的石炭下统、志留系、泥盆系外，中生界的三迭系、侏罗系缺失外，太古界、元古界、新生界的地层均有出露。区域地质构造以扭动构造型为主，位于秦岭纬向构造带的北缘，祁吕贺兰山字型构造体系前弧东翼与新华夏系三个巨型构造体系复合及联合的构造部位,构造形迹主要表现为断裂构造及简单向斜。湿地区域地势东北高西南低，由东北向西南倾斜，其主要由河流水面、河心滩、滩涂、泛洪平原及部分低阶地组成，是以黄河为依托的典型的河流型湿地，河流滩区内土壤多为黄河淤积而成的粉质砂壤土和中、细砂，渗透性较好。根据区域水文地质条件，山西侧湿地区域内含水层主要为第四纪含水层，补给来源包括降雨补给、黄河侧向和漫滩补给及区域下伏含水层（渭北岩溶水）等，该区域是地下水和河流之间的动态转化区域，区域下伏含水层是维持湿地地下水量的最主要补给源，黄河的渗流补给也是山西侧湿地区域地下水水文的主导控制因素之一。黄河低水位时，河水以侧

向入渗的方式对山西侧滩区湿地进行补给；黄河高水位时，河水主要通过漫滩的方式对山西侧沿岸滩区湿地地下水进行补给。工程运行后坝址下游的黄河水文情势变化，将会引起山西侧湿地区域地下水动态发生变化。

2.小北干流河段陕西侧湿地水文地质情况

陕西侧湿地位于渭河断陷盆地的东端，地质构造较为单一。区内全为河流现代冲积、淤积物，形成粉砂、砂质粘土、淤泥互层，层次结构明显。根据区域相关研究成果，渭北岩溶水系统在陕西西、中部山区得到大气降水入渗补给后，一部分径直向东运动，沿着断裂上升出露为区域的漠泉和处女泉群，成为河段中部的洽川湿地地下水最主要的补给来源；另一部分则向南向下绕过地堑继而向东运动，最终排泄到渭北地区最低的排泄点——黄河。陕西侧黄河湿地也是以黄河为依托的典型的河流型湿地，主要由河流水面、河心滩、滩涂、泛洪平原及部分低阶地组成，河流滩区内土壤也多为黄河淤积而成的粉质砂壤土和中、细砂，渗透性较好。根据区域水文地质条件，陕西侧湿地区域内含水层主要为第四纪含水层，补给来源包括区域下伏含水层（渭北岩溶水）、降雨补给及黄河漫滩补给等，该区域是地下水和河流之间的动态转化区域，区域下伏含水层（包括漠泉和处女泉群）是维持湿地地下水量的最主要补给源。与山西侧湿地区域相比，陕西侧湿地区域地下水受黄河补给的影响相对更小，只在黄河高水位时，河水通过漫滩的方式对陕西侧沿岸滩区湿地地下水进行补给，黄河在该侧更倾向于作为湿地区域地下水排泄点。工程运行后坝址下游的黄河水文情势变化，也会引起陕西侧湿地区域地下水动态发生变化。

9.1.3.5 地下水环境敏感保护目标小结

古贤水库库区、坝址区、坝址下游区地下水环境敏感保护目标分布见表 9.1.3-1。

表 9.1.3-1 地下水环境敏感保护目标一览表

分区	涉及范围	与工程关系	保护对象概况
库区	回水末端影响区	库区两侧地下水分水岭远高于水库正常蓄水位，水库蓄水前后，地下水均为补给地表水的状态，地下水流场形态前后变化不大。水库蓄水后将继续维持现状的补给、径流与排泄条件，不会对地下水化学场和流场产生影响。水库蓄水不会对库区雨水、泉水、半山井等分散式地下水开采水源造成影响，但会对淹没的 22 处河滩井造成影响，本工程已在移民安置规划中予以考虑解决替代水源	库区分布的 53 处分散式地下水开采水源，其中雨水点 8 处、半山井 9 处、河滩井 22 处、泉水点 14 处

分区	涉及范围	与工程关系	保护对象概况
坝址区	坝址工程建设区、进场道路与皮带机线路隧洞涉及范围	导流洞、隧道开挖过程中遇到的少量基岩裂隙水排水不会造成大范围的地下水位下降，施工不会产生严重的环境水文地质问题。进场道路与皮带骨料机隧洞施工不会影响分散式地下水（泉水）取水点	壶口镇分散式地下水取水点（主要为南村坡、中市村、南垣村、老树岭、曹畔村 5 个泉点）
	西磴口料场区所在封闭集水流域	水源保护区 5 口井均分布在料场开采范围之外，取水井水源主要为第四系松散岩类孔隙水和碳酸盐岩类岩溶-裂隙水。料场开采区不处于取水井地下水补给区天然流场上游，且料场与取水井所处位置有天然河谷及公路高坎分割，因此料场开采不会对取水井取水层造成影响。但料场开采涉及水源保护区二级保护区	河津市西磴乡镇集中供水水源保护区（1 [#] 井~5 [#] 井）一级、二级、准保护区
坝址下游区	小北干流河段沿线两侧 3km 范围	水库运行调度引起坝址下游黄河小北干流河段水文情势变化，河道两侧渗漏量减少，会引起地下水位动态变化，但降幅均未超出区域地下水水位季节内的正常波动幅度，地下水水位受到明显影响的范围在河道两侧 0.95km 之内，坝址下游区（小北干流河段）两侧湿地和蒲州集中水源地地下水位总体受影响较小	（1）第四系孔隙水（包括蒲州水源地、沿岸分散开采井）；（2）小北干流河段两侧湿地

9.1.4 坝址下游区水文地质勘察

因坝址下游区存在湿地、水源地等敏感点，该区域水文地质资料又较为缺乏，因此本次评价对坝址下游区开展了水文地质勘察和观测工作。评价在下游区共布设 12 个水文地质钻孔，重点勘探层位为第四系松散堆积物层，调查下游区水文地质特征，及地下水与黄河之间的水力联系。

9.1.4.1 监测孔位布设

根据坝址下游黄河小北干流上、中、下三段划分，及沿岸湿地和集中式地下水水源地的分布情况，本次评价在坝址下游的小北干流河段布设了 3 个剖面，每个剖面上设置 4 口监测井，其中左岸 2 口、右岸 2 口。地下水监测井布设情况见表 9.1.4-1 和图 9.1.4-1。

表 9.1.4-1 地下水监测井布设情况一览表

省份	剖面	井位号	经度 (°)	纬度 (°)	孔口标高 (m)	井深 (m)	地下水埋深 (m)
山西	A	河津 1	110.5999467	35.5605827	372.22	18	1.5
		河津 2	110.5977214	35.5612412	372.10	19	1.5
	B	临猗 1	110.3790702	35.1488311	348.15	16	1.4
		临猗 2	110.3755960	35.1519700	348.12	18	1.8
	C	永济 1	110.2724625	34.8497948	334.90	25	1.5
		永济 2	110.2558440	34.8591164	334.81	26	1.6
陕西	A	韩城 1	110.5580052	35.5677858	372.20	20	1.6
		韩城 2	110.5526963	35.5721141	372.21	18	1.7
	B	合阳 1	110.3476981	35.1609583	349.05	17	1.2
		合阳 2	110.3509985	35.1641152	349.80	15	1.3
	C	大荔 1	110.2066508	34.8422257	335.70	18	1.3
		大荔 2	110.2161397	34.8398357	334.70	17	1.5

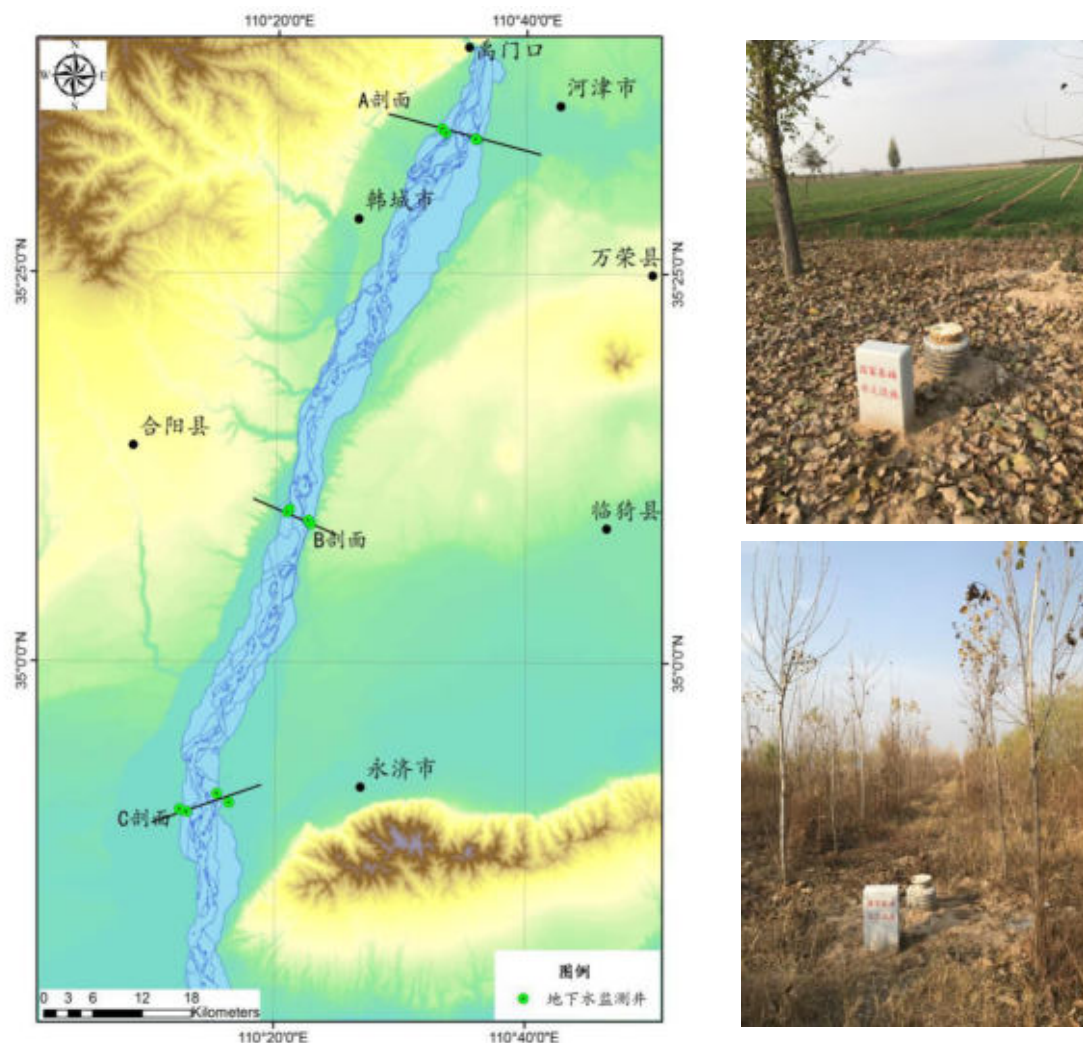


图 9.1.4-1 地下水监测井分布图

9.1.4.2 地下水观测成果

评价于 2018 年 7 月至 2019 年 8 月开展了一个水文年的地下水观测,观测结果表明:

A 剖面地下水水位波动范围为 0m~1.82m, 年内存在季节变化, 7-10 月水位上升, 随后下降, 且各监测井水位波动趋势一致;

B 剖面地下水水位波动范围为 0m~1m, 无明显抬升与下降;

C 剖面中大荔 1、大荔 2 和永济 1 的地下水水位波动范围较小, 为 0m~1.53m, 三口监测井水位波动趋势一致。另一口监测井永济 2 的水位波动幅度较大, 为 0m~3.7m, 主要表现为汛期上升, 非汛期下降。

三个剖面监测情况见图 9.1.4-2~9.1.4-4。

综合三个剖面观测调查结果, 各监测剖面大部分地下水水位波动幅度均在 0m~1.5m

之间，年内随季节更替小幅度变化。

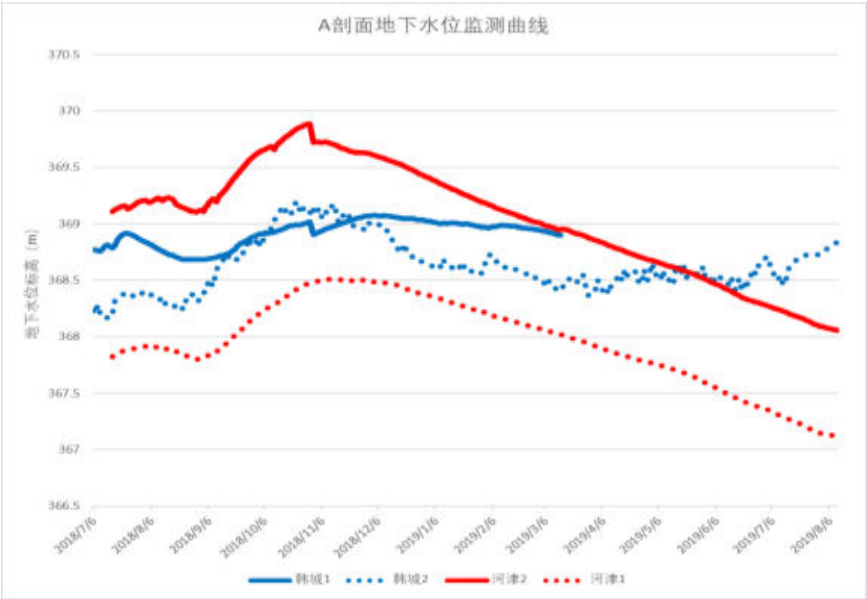


图 9.1.4-2 小北干流上段 A 剖面地下水水位动态

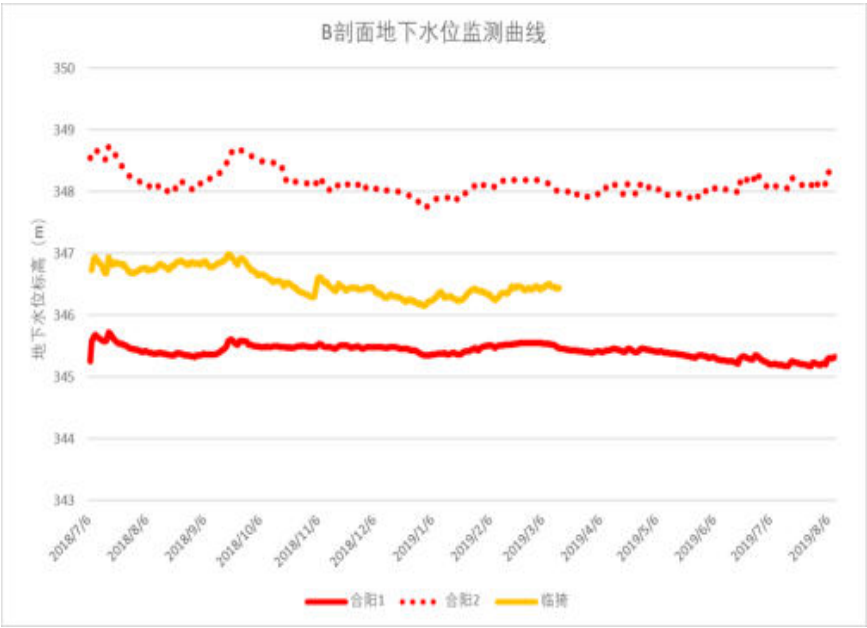


图 9.1.4-3 小北干流中段 B 剖面地下水水位动态

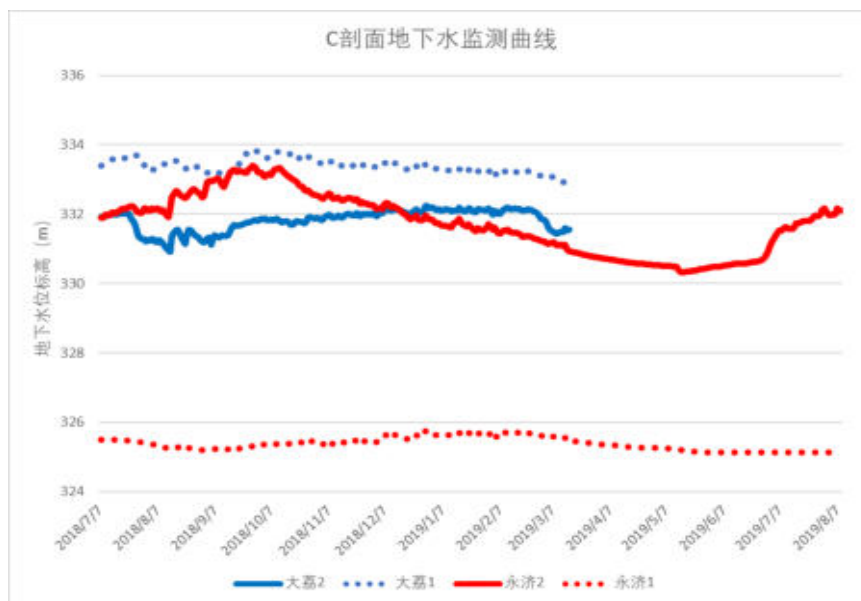


图 9.1.4-4 小北干流下段 C 剖面地下水水位动态

9.1.5 地下水环境质量现状调查与评价

本次评价按照导则要求，结合评价区地理位置及地下水流向、水位埋深等水文地质条件，采用控制性布点和功能性布点相结合的原则，分 2 个年度，开展了 3 期地下水环境现状监测工作，共设置水质监测点 15 个，水位监测点 30 个。

9.1.5.1 2017 年度地下水环境质量现状监测

1. 2017 年度水质、水位监测点位设置

本次评价于 2017 年度在库区设置 5 个监测点（三交镇、高杰村、北桑峨村、伏寺村、土岗村）、在坝址设置 1 个监测点（古贤村），进行地下水取样分析，同步开展水位调查。2017 年度地下水水质、水位监测点位布置情况见图 9.1.5-1。

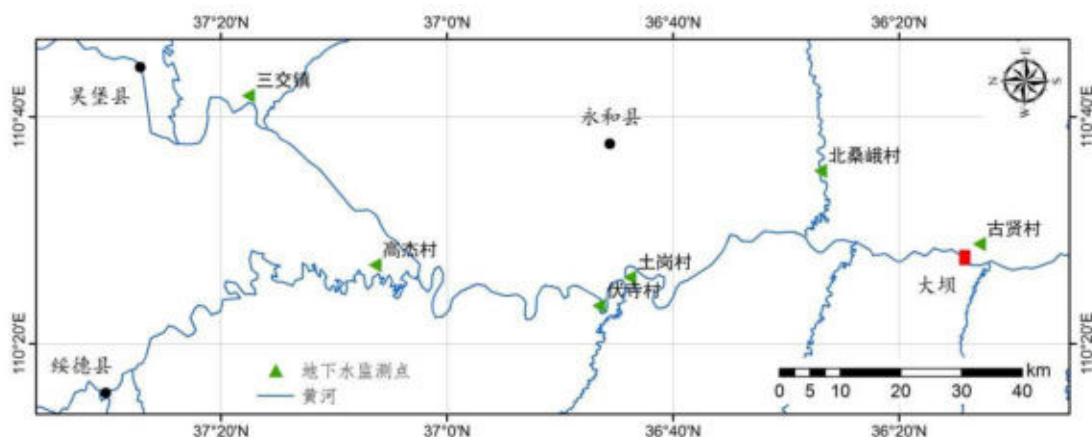


图 9.1.5-1 2017 年度地下水现状监测点布置示意图

2. 2017 年度水质、水位监测结果

本次评价在库区和坝址区分别开展了 2 期地下水环境质量现状监测工作，评价区地下水环境质量现状监测及评价结果见表 9.1.5-1、表 9.1.5-2，水位监测结果见表 9.1.5-3。

水质监测结果表明，库区监测点位中，5 处地下水环境质量现状监测点位中，三交镇和伏寺村监测点的总硬度和硝酸盐氮两项指标，北桑峨村、伏寺村、土岗村监测点的氟化物指标不能满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）Ⅲ类标准要求。评价分析，由于项目区属于典型的黄土高原地区，地质背景原因造成监测点位氟化物超标；监测点位附近的生活污水下渗造成地下水污染，导致硝酸盐氮指标超标。

表 9.1.5-1 2017 年度第 1 期地下水环境质量现状监测结果统计与评价表 单位: mg/L, 除 pH

监测点位	监测因子	pH	总硬度	氨氮	硝酸盐氮	亚硝酸盐氮	氟化物	氯化物
	标准	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$	≤ 450	≤ 0.5	≤ 20	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 250
三交镇	监测值	8.07	470	0.05	48.5	0.001	0.7	205
	标准指数	0.71	1.04	0.25	2.43	0.001	0.7	0.82
高杰村	监测值	8.12	418	0.03	5.17	0.001	0.9	143
	标准指数	0.75	0.93	0.15	0.26	0.001	0.9	0.57

表 9.1.5-2 2017 年度第 2 期地下水环境质量现状监测结果统计与评价表 单位: mg/L, 除 pH

监测点位	监测因子	pH	总硬度	氨氮	硝酸盐氮	亚硝酸盐氮	氟化物	氯化物
	标准	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$	≤ 450	≤ 0.5	≤ 20	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 250
北桑峨村	监测值	7.59	359	0.03	3	0.001	1.1	75
	标准指数	0.39	0.8	0.15	0.15	0.001	1.1	0.3
古贤村	监测值	7.8	237	0.03	6.75	0.001	0.6	33
	标准指数	0.53	0.53	0.15	0.34	0.001	0.6	0.13
伏寺村	监测值	7.95	728	0.04	107	0.001	1.8	240
	标准指数	0.63	1.62	0.2	5.35	0.001	1.8	0.96
土岗村	监测值	7.43	335	0.03	3.41	0.001	1.3	90
	标准指数	0.29	0.74	0.15	0.17	0.001	1.3	0.36

表 9.1.5-3 2017 年度地下水水位现状调查结果统计表

监测井位	井深 (m)	地下水埋深 (m)	备注
三交镇	15	8.5	
高杰村	10	4	
北桑峨村	10	3.5	
古贤村	0	0	山泉水
伏寺村	12	2	
土岗村	10	4	

9.1.5.2 2022 年度地下水环境质量现状监测

1. 2022 年度水质、水位监测点位设置

2022 年度，评价分库区、坝址区、坝址下游区共设置 9 个监测点，进行地下水取样分析。2022 年度地下水水质监测点位布置情况见表 9.1.5-4。

表 9.1.5-4 2022 年度地下水环境质量现状监测点位一览表

位置	村名或点位	经度 (°)	纬度 (°)	监测层位	监测因子
库区	陕西清涧河口村	110.44635	37.04572	山泉水	pH、总硬度、氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氟化物、氯化物
	陕西延川延水关村	110.41404	36.83571	半山井地下水	
	山西永和河会里村	110.42663	36.72898	河滩井地下水	
坝址区	山西吉县古贤村	110.48023	36.22132	半山井地下水	
	山西吉县中市村	110.47980	36.15620	半山井地下水	
	山西河津西碛口水源地	110.72090	35.73477	深层地下水	
坝址区下游区	山西河津汾河口河务段监测井	110.60874	35.55672	浅层地下水	
	陕西合阳太里河务段监测井	110.35346	35.16055	浅层地下水	
	山西永济蒲州水源地监测井	110.26150	34.85754	浅层地下水	

2022 年度，评价分库区、坝址区、坝址下游区共设置 24 个监测点，进行地下水水质调查分析。2022 年度地下水水位监测点位布置情况见表 9.1.5-5。

表 9.1.5-5 2022 年度地下水水位监测点布设情况一览表

位置	监测点名称	经度 (°)	纬度 (°)	备注
库区	陕西清涧河口村	110.44635	37.04572	山泉水
	陕西延川延水关村	110.41404	36.83571	
	山西永和河会里村	110.42663	36.72898	
坝址区	山西吉县古贤村	110.48023	36.22132	半山井
		110.48021	36.22116	山泉水
	山西吉县中市村	110.47980	36.15620	半山井
	山西河津西碛口水源地	110.72090	35.73477	深水井
		110.72089	35.73357	山泉水
	山西河津汾河口河务段水井	110.60874	35.55672	
坝址下游区	陕西合阳太里河务段水井	110.35346	35.16055	
	山西永济蒲州水源地水井	110.26150	34.85754	
	河津 1	110.5999467	35.5605827	黄河小北干流水位监测井
	河津 2	110.5977214	35.5612412	
	临猗 1	110.3790702	35.1488311	
	临猗 2	110.3755960	35.1519700	
	永济 1	110.2724625	34.8497948	
	永济 2	110.2558440	34.8591164	
	韩城 1	110.5580052	35.5677858	
	韩城 2	110.5526963	35.5721141	
	合阳 1	110.3476981	35.1609583	
	合阳 2	110.3509985	35.1641152	
	大荔 1	110.2066508	34.8422257	
	大荔 2	110.2161397	34.8398357	

2. 2022 年度水质、水位结果

本次评价在库区、坝址区、坝址下游区开展了地下水环境质量现状监测工作，评价区地下水环境质量现状监测及评价结果见表 9.1.5-6，水位监测结果见表 9.1.5-7。

水质监测结果表明，库区、坝址区、坝址下游区各处地下水环境质量现状监测点位监测因子均能满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）Ⅲ类标准要求。

表 9.1.5-6 2022 年度地下水环境质量现状监测结果统计与评价表 单位: mg/L, 除 pH

监测点位		监测因子	pH	总硬度	氯化物, mg/L	氨氮 (以 N 计), mg/L	硝酸盐 (以 N 计), mg/L	亚硝酸盐 (以 N 计), mg/L	氟化物, mg/L
		标准	6.5≤pH≤8.5	≤450	≤250	≤0.5	≤20	≤1.0	≤1.0
库区	河口村	监测值	7.4~7.5	437~441	140~142	0.09~0.12	0.100~0.119	未检出~0.002	0.953~0.988
		标准指数	0.267~0.333	0.971~0.980	0.560~0.568	0.180~0.240	0.005~0.006	未检出~0.002	0.953~0.988
	延水关村	监测值	7.2~7.3	316~340	94.3~95.3	0.09~0.1	3.03~3.23	0.001~0.002	0.846~0.918
		标准指数	0.133~0.200	0.702~0.756	0.377~0.381	0.180~0.200	0.152~0.162	0.001~0.002	0.846~0.918
	和会里村	监测值	7.5~7.6	304~325	95.5~96.8	0.05~0.09	2.81~2.88	未检出	0.671~0.768
		标准指数	0.333~0.400	0.676~0.722	0.382~0.387	0.100~0.180	0.141~0.144	未检出	0.671~0.768
坝址区	古贤村	监测值	7.7~7.8	269~313	20.7~21.2	0.05~0.09	0.828~1.01	未检出	0.861~0.947
		标准指数	0.467~0.533	0.598~0.696	0.083~0.085	0.100~0.180	0.041~0.051	未检出	0.861~0.947
	中市村	监测值	7.5~7.6	279~311	37.8~38.6	0.12~0.16	3.84~4.09	未检出	0.627~0.65
		标准指数	0.333~0.400	0.620~0.691	0.151~0.154	0.240~0.320	0.192~0.205	未检出	0.627~0.650
	西碛口	监测值	7.8~7.9	307~332	59.5~60.6	0.34~0.36	4.92~4.97	0.407~0.434	0.867~0.911
		标准指数	0.533~0.600	0.682~0.738	0.238~0.242	0.680~0.720	0.246~0.249	0.407~0.434	0.867~0.911
坝址下游区	汾河口	监测值	7.3~7.4	423~433	199~204	0.1~0.15	0.418~0.888	0.053~0.056	0.488~0.541
		标准指数	0.200~0.267	0.933~0.962	0.796~0.816	0.200~0.300	0.021~0.044	0.053~0.056	0.488~0.541
	太里	监测值	7.7~7.8	289~302	47.9~49.5	0.1~0.14	3.46~3.78	未检出	0.588~0.592
		标准指数	0.467~0.533	0.642~0.671	0.192~0.198	0.200~0.280	0.173~0.189	未检出	0.588~0.592
	蒲州	监测值	7.8~7.9	413~437	216~229	0.48~0.58	4.58~4.72	0.008~0.012	0.348~0.384
		标准指数	0.533~0.600	0.918~0.971	0.864~0.916	0.960~1.160	0.229~0.236	0.008~0.012	0.348~0.384

表 9.1.5-7 2022 年度地下水水位现状调查结果统计表

监测井位	井深 (m)	地下水埋深 (m)	备注
河口村	0	0	山泉水
延水关村	50	17	半山井
和会里村	30	17	
古贤村	45	19.5	半山井
	0	0	山泉水
中市村	45	22	半山井
西碛口	254.4	37.1	深水井
	0	0	山泉水
汾河口	30	2.5	
太里	30	3.8	
蒲州	20	8.5	
河津 1	18	1.5	监测井
河津 2	19	1.5	监测井
临猗 1	16	1.4	监测井
临猗 2	18	1.8	监测井
永济 1	25	1.5	监测井
永济 2	26	1.6	监测井
韩城 1	20	1.6	监测井
韩城 2	18	1.7	监测井
合阳 1	17	1.2	监测井
合阳 2	15	1.3	监测井
大荔 1	18	1.3	监测井
大荔 2	17	1.5	监测井

9.2 地下水环境影响预测与评价

9.2.1 库区地下水环境影响预测与评价

水库正常运行后，河水水位显著抬升，在一定程度上造成周边地下水水位上升。本次评价采用地下水水流解析法计算并预测地下水水位抬升幅度，水库蓄水后地下水位抬升影响范围示意如图 9.2.1-1。



图 9.2.1-1 解析法计算水库蓄水后地下水位抬升影响范围示意图

预测结果表明，在拦沙期，库区水位在 560m~621m 之间变化；正常运用期，库区水位在 588m~627m 之间变化。在拦沙期和正常运用期，库区水位较天然河道分别抬高 105m~167m 和 128m~167m。项目运行后死水位为 588m，影响范围内主要是两岸的三叠纪砂岩，影响对象主要为基岩裂隙水。

古贤水利枢纽蓄水不同时期，坝轴线以外各范围内地下水水位变动情况预测结果如图 9.2.1-2 所示。

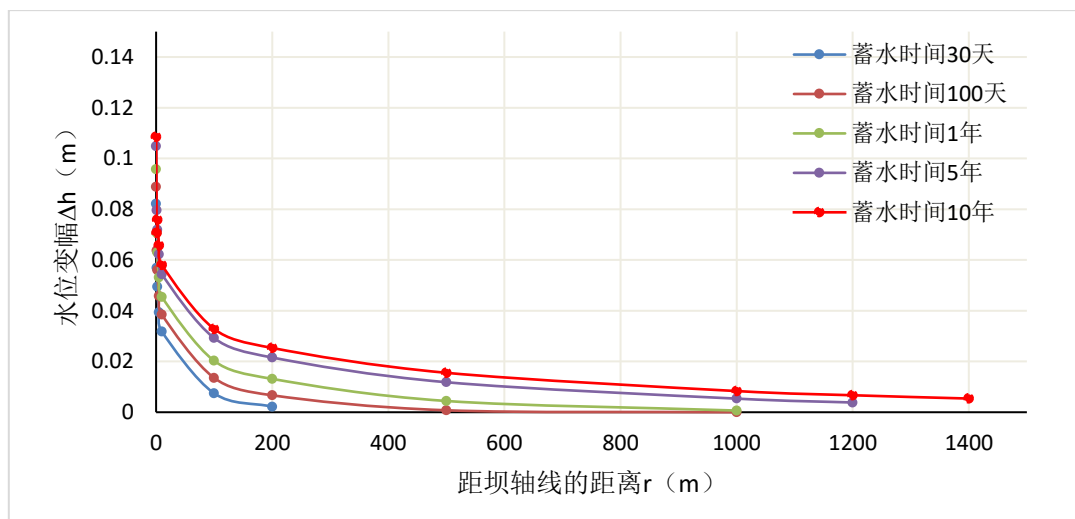


图 9.2.1-2 古贤水库运行期地下水水位变动幅度

由图 9.2.1-2 可知，古贤水利枢纽蓄水的时间和地下水位，以及地下水影响范围呈正比例关系：随蓄水时间增加，库区相邻区及周边地下水位逐步提升，相应的影响范围不断增加。如水库蓄水 30 天之后，水库地下水的水位最大上升幅度约为 0.11m，在距离库坝中心轴线 100m 的位置，地下水水位抬升小于 0.02m；水库蓄水 1 年后，地下水水位最高可以提升 0.1m，在距离库坝中心轴线 500m 的位置，地下水水位基本不会变化，比较稳定。正常情况下，古贤水利枢纽蓄水的渗漏对于库区地下水水位的影响较小，库区相邻区及周边地下水水位不会发生较大变幅，整体比较稳定。

总体来看，库区地层主要为砂、泥岩相间组成，岩层厚度大，层面平缓，其中泥岩为微透水或不透水地层，岩体透水条件差，不利于地表水与地下水的交换。根据库区地下水现状调查成果，库区两侧地下水分水岭远高于水库正常蓄水位，水库蓄水前后，地下水均为补给地表水的状态，地下水流场形态前后变化不大。因此，水库蓄水后将继续维持现状的补给、径流与排泄条件，不会对地下水化学场和流场产生影响。

库区内不存在集中式地下水饮用水水源地；库区以地下水井作为饮用水源，均为分散取水，根据取水井所处位置，地下水取水井分为半山井与河滩井。半山井为取水高程高于黄河水位的地下水井，距离黄河较远，井中地下水向黄河排泄，其主要受侧向径流补给或大气降水补给，不受黄河水位变化影响；河滩井为位于黄河河滩的地下水井，距离黄河较近，与黄河之间存在密切水力联系。本工程已在移民安置规划中对受蓄水淹没影响的 22 处河滩井予以考虑解决替代水源，主要解决方案包括新打机井、采用提水站供水及就近连接自来水管网等多种方式。

9.2.2 坝址区地下水环境影响预测与评价

9.2.2.1 坝基开挖过程对地下水环境的影响分析

古贤水利枢纽坝址处河谷呈“U”型谷，两岸谷坡稍不对称，坝址区地形陡峻，无天然台地，河道顺直，河床覆盖层较薄，两岸山体完整，岩石坚硬，风化深度较浅。坝址区地形陡峻，冲沟发育，切割深度一般在几十米至上百米不等，延伸长度 500m~2500m。较大支沟受坝址区最发育的一组近东西向节理控制，与黄河近于正交。坝址区河谷底宽 460m，河道常水位 465m 左右，左岸高程 625m~640m 以上和右岸高程 640m~665m 以上为黄土覆盖，以下基岩裸露。两岸出露基岩为中生界三叠系中统二马营组上段和铜川组下段，出露厚度 160m~200m。总体来看，开挖过程中遇到的少量基岩裂隙水排水不会造成大范围的地下水位下降，施工不会产生严重的环境水文地质问题。

9.2.2.2 进场道路与皮带机线路修建对地下水环境的影响

1.水文地质条件概化与计算参数选取

进场道路与皮带机线路隧洞线路位于壶口镇至古贤村一带的黄河左岸，穿越地层为三叠系与第四系地层，以三叠系地层为主，如图 9.2.2-1 所示。

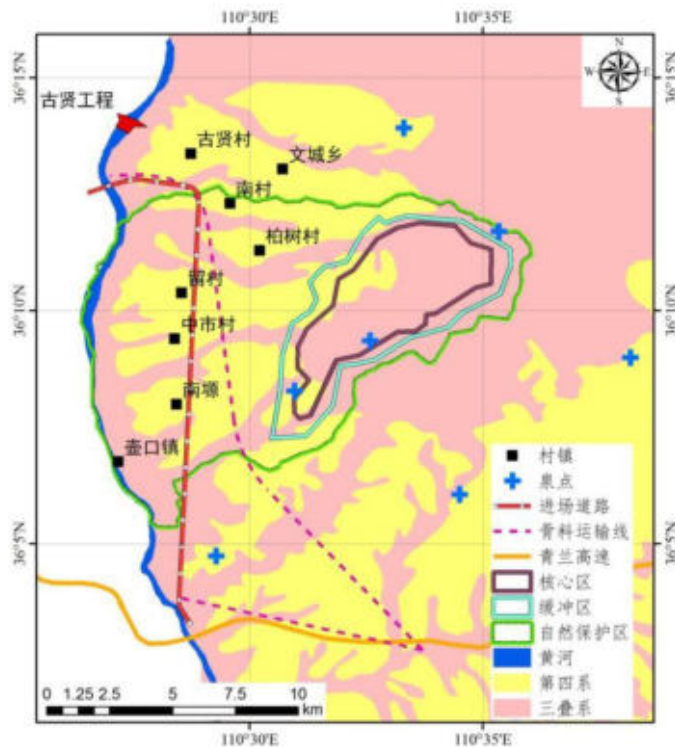


图 9.2.2-1 进场道路与皮带机线路附近地质图

根据区域地质资料，进场道路及皮带机线路隧洞穿越地层为三叠系中统铜川组第一

段（ T_{2t}^1 ）和第二段（ T_{2t}^2 ）地层。隧洞穿越的三叠系砂岩地层是项目建设可能影响的主要含水岩组。该地层地下水主要赋存在风化裂隙当中，穿越区地下水类型为基岩裂隙水。该含水岩组地下水主要接受大气降水补给，在重力作用下向地形较低处运动，至河谷低洼处以泉的形式出露或向河道排泄。由于地层中夹泥质砂岩、泥岩及页岩等岩层，导致孔隙度较小、渗透性较差，含水岩组富水性弱，出露泉点流量普遍小于 0.1L/s。根据地质资料分析，隧道穿越区位于微新岩体中，地下水贫乏，大部分干燥，少数有渗水滴水，和沟谷相交处，可能有线状流水，不存在稳定地下水位，表层的孔隙-裂隙水和深部的裂隙水连通性差。

2.隧道开挖对地下水水位影响及涌水量预测分析

本次评价通过地下水动力学计算隧道施工疏干排水的影响边界，结果如下：

表 9.2.2-1 隧道开挖对地下水水位影响范围计算表

岩层渗透系数 (m/d)	含水层厚度 (m)	降水补给强度 (m/d)	稳定时间 t (d)	无降水入渗补给时的影响半径 (m)	有降水入渗补给时的影响半径 (m)
0.01~0.5	100~500	0~0.0014	1~10	5.4~273.5	5.4~273.7

根据表 9.2.2-1 计算结果，按照经验数据推算的隧道开挖造成的地下水位波动范围分布在 5.4m~273.5m 之间。由于隧址区含水层渗透性较差，降水入渗对于影响半径的作用较小，最大影响范围预测情况见图 9.2.2-2。

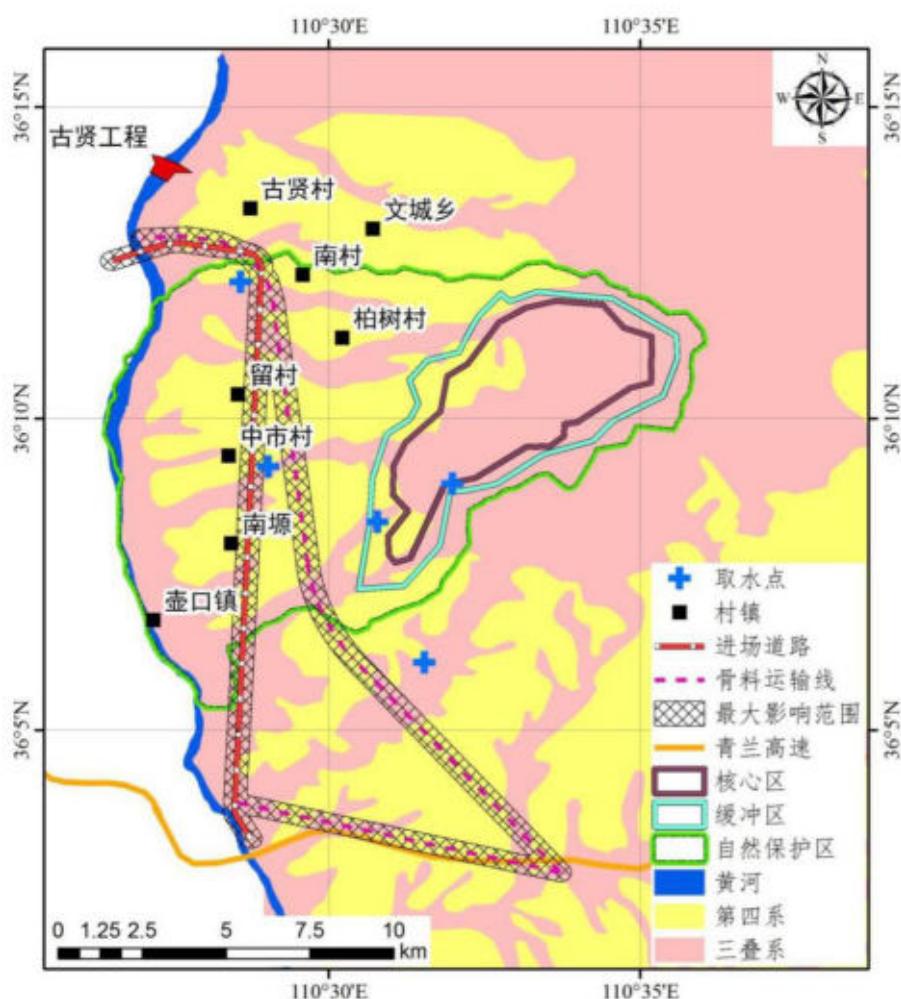


图 9.2.2-2 进场道路与皮带机线路隧道开挖影响范围示意图

本次评价利用线性基坑潜水完整井计算公式，对隧洞开挖涌水量进行了预测。本工程进场道路与皮带机线路新建隧道共 41455m，由于开挖过程中距离地表远近不同，本次评价按动水位至含水层地板的深度分布在 50m~100m 之间，影响半径按 5.4m~273.5m 进行预测。预测结果为单位长度隧洞涌水量在 $13\text{m}^3/\text{d}$ ~ $438\text{m}^3/\text{d}$ 之间。

从预测结果来看，进场道路与皮带机线路修建过程中的隧洞开挖将会造成其附近 300m 范围内地下水水位下降，单位隧道长度外排水量小于 $450\text{m}^3/\text{d}$ 。根据宜川幅水文地质资料与现场调查成果，隧址区沿线出露 5 个泉点，均为侵蚀下降泉，泉点主要接收大气降水补给，隧道开挖影响范围不会对泉点造成影响。综合分析，隧道穿越区地层产状近于水平，地下水赋存类型为基岩裂隙水，穿越区厚度较大的粉砂岩在不同高程形成了多层相对隔水层，基岩裂隙水在垂直方向地下水的水力联系较弱。隧道穿越区位于微新岩体中，地下水总体贫乏，大部分干燥，少数砂岩洞段有渗滴水，不存在稳定地下水

位，与表部浅层孔隙-裂隙水连通性差。综合分析，隧道开挖不会引起地下水位显著变化，也不会对地表植被造成明显影响。

9.2.2.3 料场区施工对地下水环境的影响

西磴口料场位于 G209 国道遮马峪河两岸蝎虎崖隧洞至张家岭之间，距离古贤坝址直线距离约 60km，北部属乡宁县西坡镇，南部属河津市樊村镇。根据《运城市人民政府关于乡镇集中式饮用水水源保护区划分结果的批复》（运政函[2020]21 号），河津市西磴乡镇集中供水水源保护区共有 5 口取水井，沿 G209 国道两侧分布，水源为第四系松散岩类孔隙水和碳酸盐岩类岩溶-裂隙水，其中 3#井位于 G209 西侧遮马峪河左岸高坎上（高程约为 560m），其余 1#、2#、4#、5#井位于 G209 东侧山体崖壁上（高程约为 730m），围绕 5 口取水井划有一级保护区、二级保护区、准保护区。根据调查，料场开采涉及河津市西磴乡镇集中供水水源保护区二级保护区。

本项目料场区沟壑发育、中等切割深度，地形起伏较大，山坡地面高程一般为 800m~700m。料场区地层从上至下分别为三山子岩组（ $\in O_s$ ），崮山组（ $\in_3 g$ ）、张夏组（ $\in_2 z$ ）、馒头组（ $\in_{1-2} m$ ）、霍山组（ \in_{1h} ），本次料场有用料分布高程 650m~865m，终采平台高程为 650m。水源井所处区域为遮马峪河峪内基岩山区，海拔高程在 600m~1320m 之间，水源地地下水补给主要依赖区域内裸露灰岩区的降雨入渗、砂页岩孔隙裂隙水的补给和滴淋泉等。料场不在 1#、2#、4#、5#取水井地下水补给天然流场上游，且有天然河谷及公路高坎分割。料场与 4 口取水井位置关系见图 9.2.2-3。



图 9.2.2-3 料场与取水井位置关系实景图

根据《河津市城乡集中供水巩固提升工程报告》，3#井以深层灰岩岩溶-裂隙地下水和深层砂岩构造裂隙水作为水源，井深 254.4m，稳定水位埋深 36.2m，标高 558.8m，单位涌水量 11.11L/m³·s，单井出水量 130t/h。地下水含水层主要位于寒武系馒头组（ $\in 1-2m$ ）灰岩、泥灰岩、页岩地层与霍山组（ $\in 1h$ ）石英砂岩地层，地下水位均位于遮马峪河底以下，地下水位埋深 36.2~51.35m，稳定地下水位 558.8m~560.65m，埋深较大。根据西磴口料场开采规划，料场开采底部高程为 650m，3#井地下水埋深位于料场开采底部高程以下约 90m。由于水源井区域岩溶-裂隙水分布面积较大，补给范围广，小范围的料场开采不会造成 3#井地下水补排关系变化，对水源井地下水来水量不会造成影响。同时，由于料场开采钻孔过程中不产生废水，因此对区域地下水水质不会造成明显不利影响。

根据《水利水电工程施工通用安全技术规程》（SL398-2007）露天岩石深孔爆破个别飞散物的最小安全距离不小于 200m，本次料场开采在设计阶段就考虑了料场开采与水源井的爆破安全距离设置，因此料场爆破对水源井影响在可控范围之内。

综上，水源保护区 5 口井均分布在料场开采范围之外，料场开采区不处于取水井地下水补给区天然流场上游，取水井补给范围广，并且料场与多数取水井所处位置有天然河谷及公路高坎分割，因此料场开采不会对取水井取水层造成影响。料场开采设置了爆破安全距离，料场爆破对水源井影响在可控范围之内。但由于料场开采涉及西磴乡镇集中供水水源保护区二级保护区，需按照《中华人民共和国水污染防治法》、《山西省水污染防治条例》等有关规定办理相关手续。

9.2.2.4 坝址区施工期废水对地下水环境的影响

坝址施工区砂石料加工产生的废水主要污染物为 BOD₅、SS 及石油类等，排放方式为连续排放，如不经处理随意排放，将可能对坝址区地下水环境造成污染。坝址施工区地层产状近于水平，地下水赋存类型为基岩裂隙水，坝址区厚度较大的粉砂岩在不同高程形成了多层相对隔水层，基岩裂隙水在垂直方向地下水的水力联系较弱。本工程对坝址区砂石料加工系统冲洗废水进行沉淀处理后，全部回用于坝址区砂石料系统冲洗，不外排，因此不会对坝址区地下水环境质量产生影响。

9.2.3 坝址下游区地下水环境影响预测与评价

工程运行会引起坝址下游黄河水文情势变化，由于地下水与地表水存在水力联系，坝址下游区域地下水动态将会发生变化。本次评价利用地表水-地下水耦合数值模型，开展工程运行对坝址下游区域集中式地下水饮用水源、小北干流河段湿地范围内地下水水位影响预测与评价。

评价基于坝址下游区黄河小北干流河段水文地质资料与河道资料，建立了地表水-地下水耦合数值模型，并利用实测地下水位监测数据校正模型；基于校正后的模型，综合运行期水文情势变化，同时考虑最不利情形下，预测分析工程运行后的地下水流场变化特征；预测建库后最不利情形下，坝址下游小北干流河段河道两侧及水源地、湿地等敏感点地下水水位的变化过程，从而评价工程建设运行对坝址下游区地下水环境的影响。

9.2.3.1 模型建立

1. 模拟范围

本次评价模拟范围为坝址下游的黄河小北干流河段，小北干流河段为黄河出黄土高原形成的冲洪积平原，周边的山体为天然的地质边界。模拟范围如图 9.2.3-1。

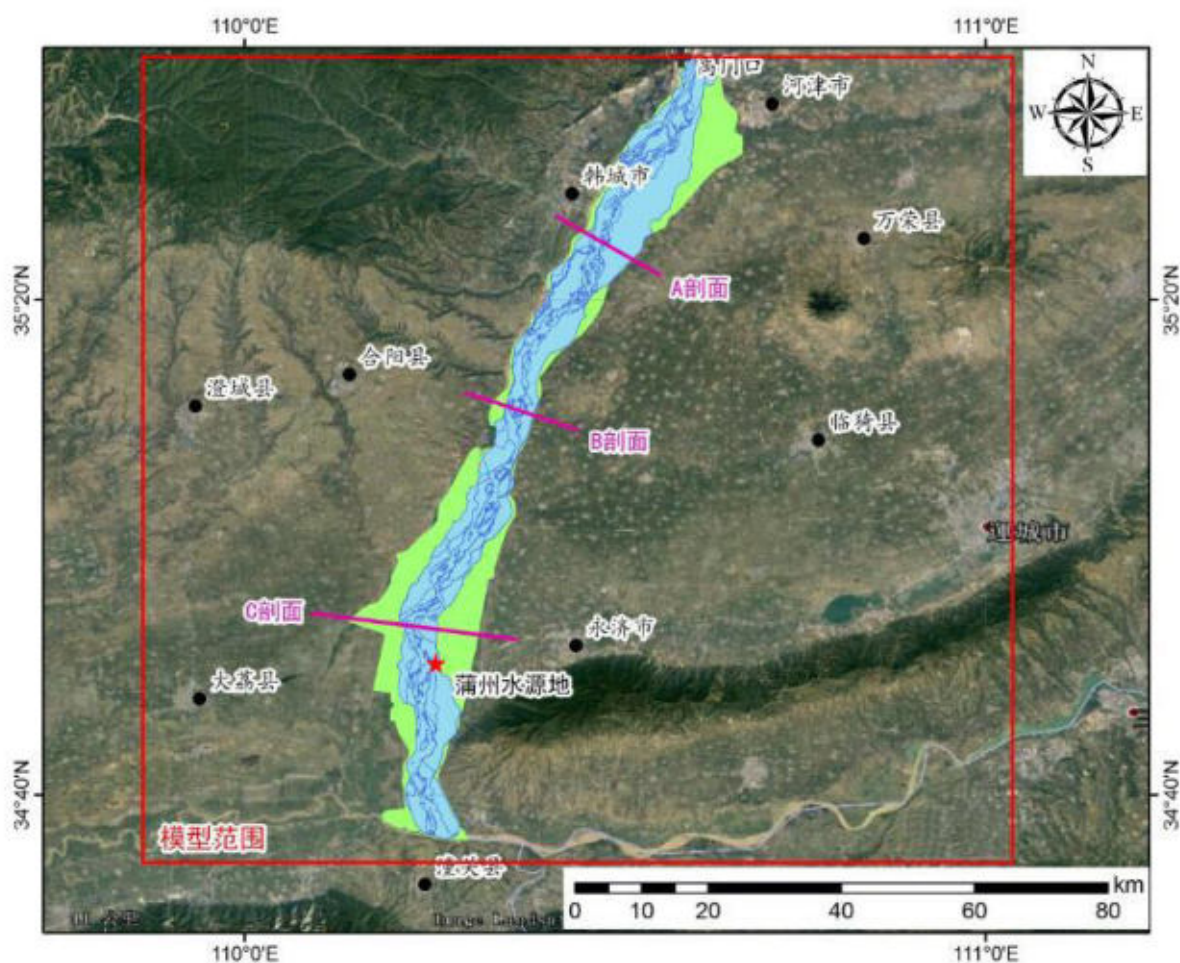


图 9.2.3-1 地表水-地下水耦合数值模型模拟范围

2. 含水层概化

模拟区域内主要含水层为第四系松散孔隙水潜水层及寒武-奥陶纪碳酸盐岩岩溶水层。其中第四系松散孔隙水潜水层厚度约为 30m~500m，分布在模拟范围内大部分区域，是与黄河发生主要水力联系的含水层。因此模型中将含水层概化为一层第四系松散孔隙水潜水层，将岩溶水层对潜水层的顶托补给概化为面状补给。

3. 边界条件

模型北部及南部边界为山区，是天然的地质边界，概化为零通量边界。东部边界及西部边界地区均高于模拟区域，模拟区地下水接受东西边界外含水层的侧向补给。

4. 模拟软件

本次模拟采用丹麦 DHI 开发的 MIKE 系列软件。其中地下水数值模型采用 MIKE SHE 软件进行模拟，地表水数值模型采用 MIKE 11 进行模拟，最后利用 MIKE SHE 的

耦合模块建立地表水-地下水耦合数值模型。

5. 网格剖分

本次模拟将模拟区沿 X 方向划分为 435 个网格，沿 Y 方向划分为 400 个网格，矩形网格大小为 362m×362m。

6.基本参数

模型地表高程数据采用美国 SRTM90m 分辨率的 DEM 数据，降雨量根据运城市月均降雨量取值。

模型采用非稳定流模拟，渗透系数 K 取值 12m/d， μ 值取为 0.2。

7.模型边界条件、排水条件

模拟区北部、南部边界均设置为零通量边界；东西部边界接受地下水的侧向入渗补给。由于模拟范围内分布有小北干流河段沿岸湿地，为分析地下水流场与湿地的关系，需为模型设置内部排水边界。经调查芦苇为小北干流湿地主要植被，芦苇的生态地下水位埋深为 0.5m，即若某点地下水水位埋深小于 0.5m，则该处地下水可被植被吸收，离开含水层进入植物内，进入地表的水循环。为了概化描述这一过程，将模型排水边界设定为 0.5m，即若某点地下水埋深小于 0.5m，该点地下水即向地表排泄。

9.2.3.2 地下水流场模拟

1.模拟结果

通过多次野外调研监测，获得模拟区多个地下水井水位。插值获得模拟区地下水初始流场，如图 9.2.3-2 所示。

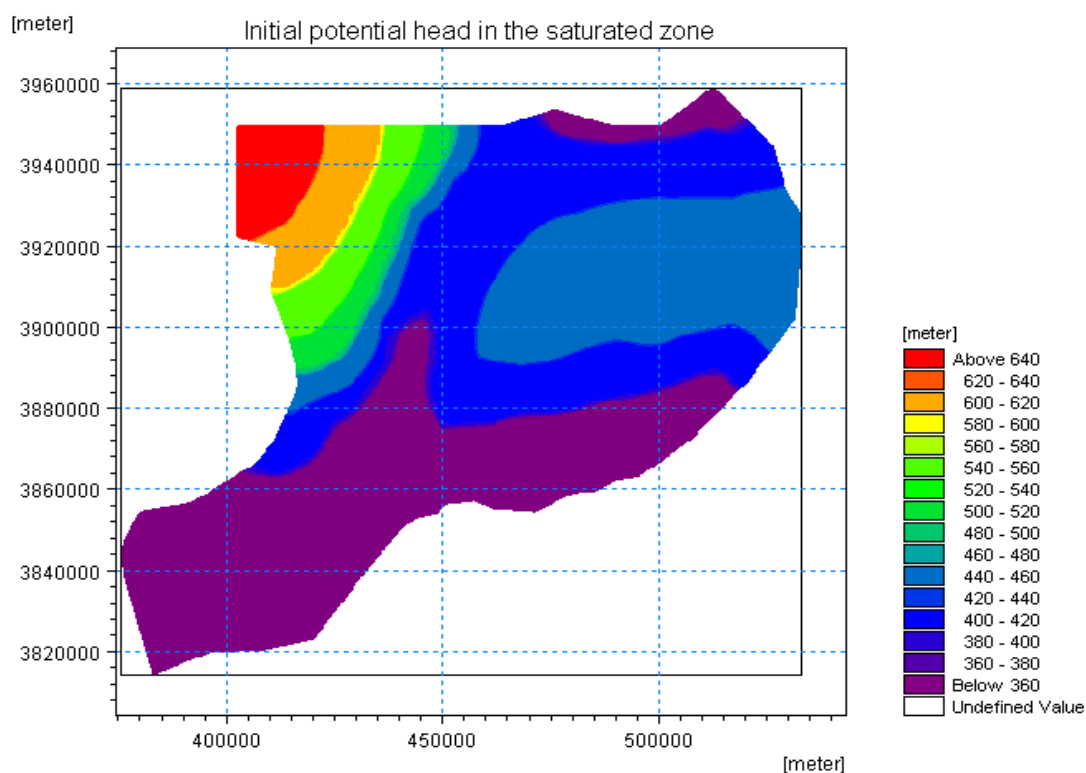


图 9.2.3-2 模拟区地下水初始流场

采用 MIKE 11 软件模拟小北干流河段地表水文过程，如图 9.2.3-3 所示。将龙门站选为河段的入流边界，并将该点设置为入流流量边界，入流流量数据来自黄河干流龙门站实测日均流量；潼关站选为河段的出流边界，并将该点设置为水位边界，水位数据来自于黄河干流潼关站实测日均水位。沿河段共设置 7 个水文断面控制河道形状。

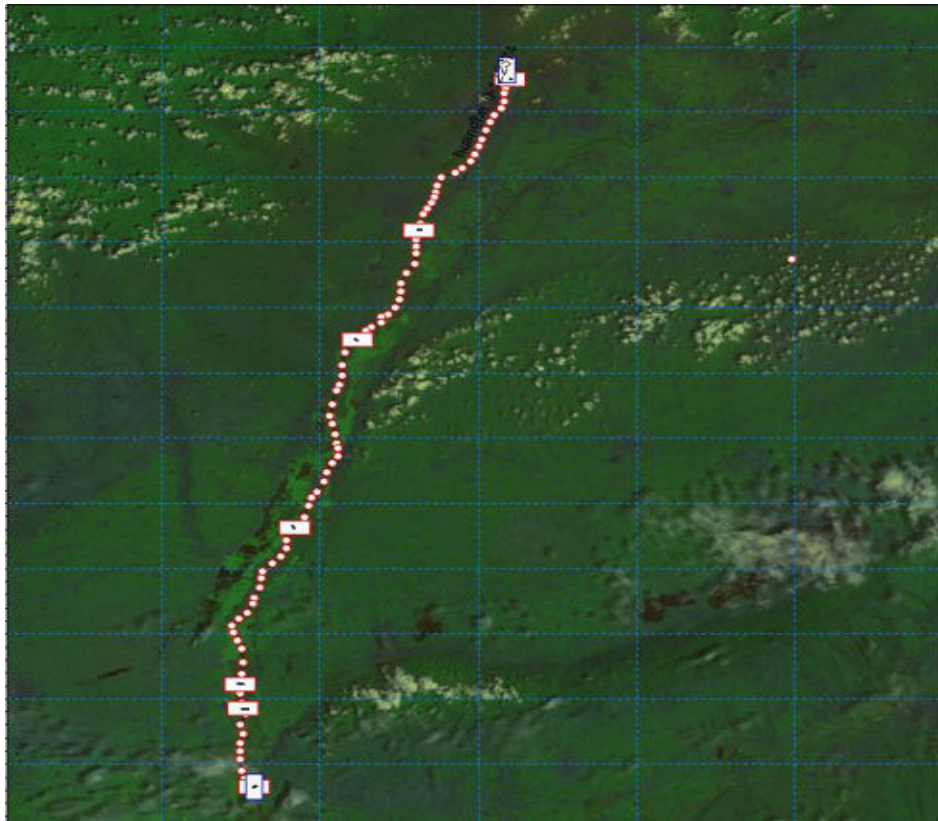


图 9.2.3-3 小北干流河段地表水模型数字河网图

考虑模拟区水文情势年际及年内变化,选择 2017 年 3 月及 2017 年 7 月作为模拟时期。3 月模拟期作为非汛期,7 月模拟期作为汛期,月均流量差别显著,以此对比分析流量变化对地下水水位的影响。

通过地表水-地下水耦合数值模拟,获得两个不同情景下的模拟天然地下水流场,如图 9.2.3-4 和 9.2.3-5。两个天然地下水流场下的地下水内部排水区域拟合良好,说明模拟流场与实际流场较为符合。

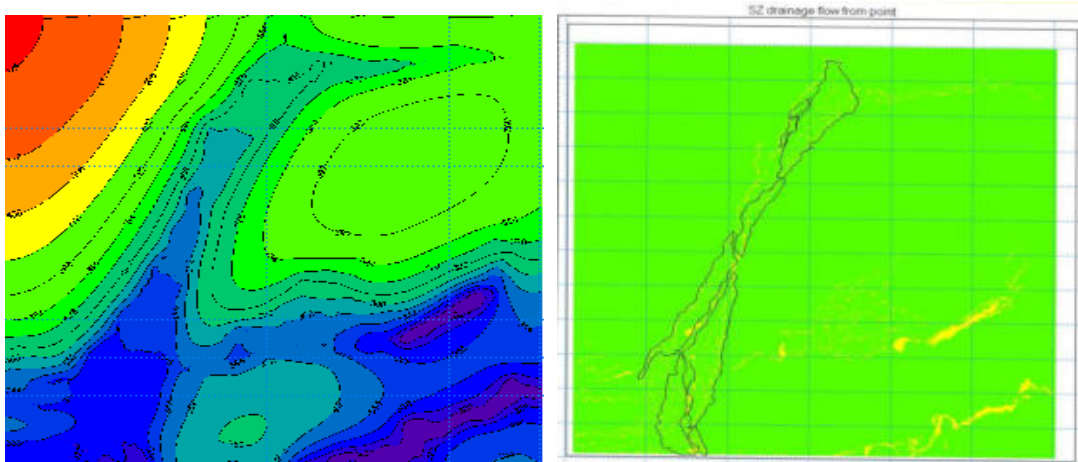


图 9.2.3-4 2017 年 3 月模拟区模拟地下水流场图

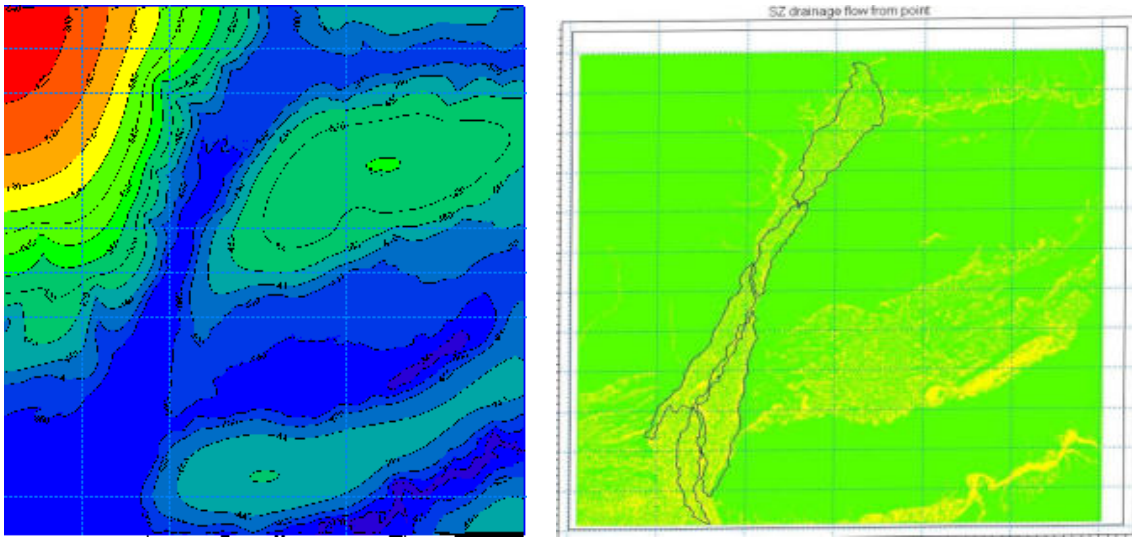


图 9.2.3-5 2017 年 7 月模拟区模拟地下水流场图

2. 模拟结果验证

为验证模型模拟结果准确性，评价利用坝址下游区所设置的三个典型监测剖面（A、B、C）的实测监测井水位数据进行验证。其中 A 剖面位于小北干流上段，B 剖面代表小北干流中段，C 剖面代表小北干流下段。各段监测井中水位监测数据与模型中监测井的水位监测数据趋势相同，拟合结果基本相符，模型运行结果符合实际情况，验证情况见图 9.2.3-6~9.2.3-8。

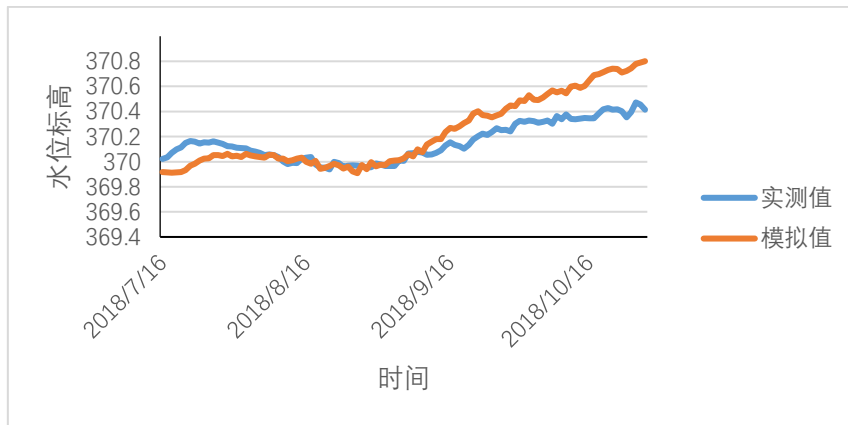


图 9.2.3-6 小北干流上段 A 剖面韩城 1 井模拟值与实测值对比图

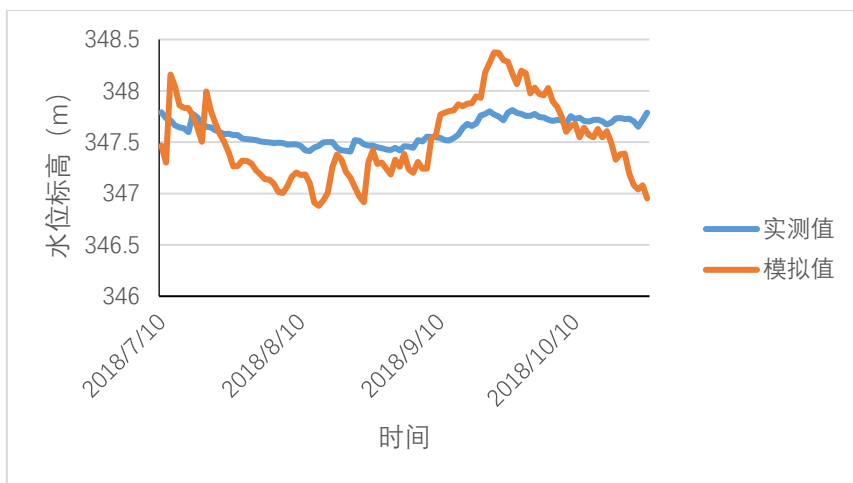


图 9.2.3-7 小北干流中段 B 剖面合阳 1 井模拟值与实测值对比图

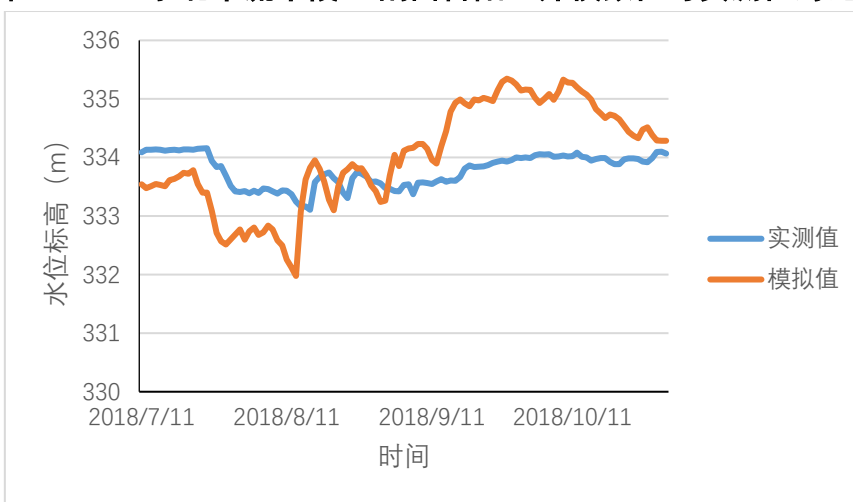


图 9.2.3-8 小北干流下段 C 剖面大荔 1 井模拟值与实测值对比图

9.2.3.3 数值模拟预测

1.河道断面选取及监测点设置

基于收集的小北干流河段河道断面实测数据，根据实际野外考察情况，选择黄淤 68、黄淤 63、黄淤 59、黄淤 54、黄淤 48 断面作为地表水模型中的五个河道形状控制断面，考虑到河道两岸湿地的分布情况，在小北干流河段上、中、下三段范围内布置 3 个典型地下水监测剖面（A/B/C），监测地下水位的动态变化（图 9.2.3-1）。

2.建库后最不利条件下的地表水~地下水耦合数值模型

将选取的五个实测河道断面作为建库前模型的河道控制断面。考虑到古贤水利枢纽整个拦沙期，小北干流河道因水文情势变化产生的河道变化分别为：上段河道最大下切深度 1.9m，中段河道最大下切深度 2.4m，下段河道最大下切深度 1.91m。考虑到各个河段的相应最大河道下切深度，将各个实测河道断面高程进行相应下切调整。同时将

2017 年 3 月地下水天然流场模拟结果作为初始流场，以水库运行后特枯年 3 月份为模拟时段，将该条件下的龙门站日均流量、潼关站河水水位等数据作为边界条件分别输入建库后最不利情形条件模型，并进行降雨入渗等源汇项的输入，进行地表水-地下水耦合数值模拟。水库运行后，考虑河道最大下切深度后的河道断面形状见图 9.2.3-9。

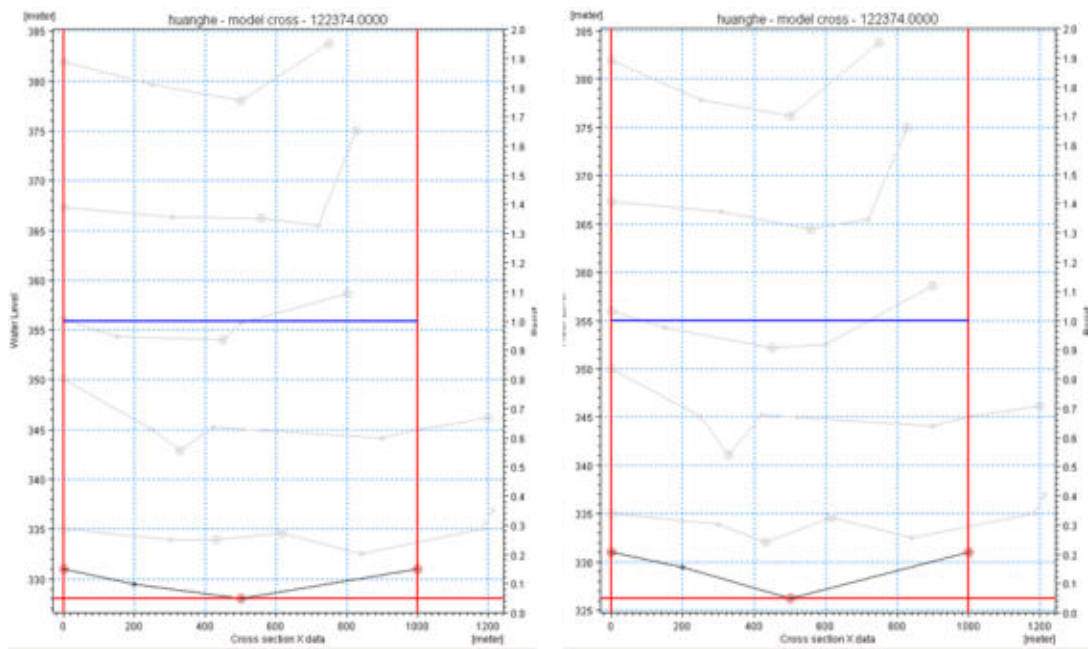


图 9.2.3-9 建库前后河道控制断面形状（左为建库前，右为建库后）

3.建库后最不利情形条件下地下水响应分析

将建库后典型剖面地下水位监测点的水位动态与初始水位进行对比，小北干流上段（A 剖面）地下水位降深幅度在 0.103m~0.514m 之间，中段（B 剖面）地下水位降深幅度在 0.095m~0.522m 之间，下段（C 剖面）地下水位降深幅度在 0.113m~0.524m 之间，降深幅度普遍较小，说明建库后典型剖面的地下水位受到的地表水水文情势变化影响依然较小，地下水位不会大幅降低。考虑到小北干流三个典型地下水监测剖面在建库后最不利情形下的最大地下水降深都在 0.5m 左右，因此将 0.5m 降深作为阈值，划分小北干流受到建库后地下水明显影响的范围，即将地下水降深 $\geq 0.5\text{m}$ 的监测点连接在图中绘制出地下水位降深等值线。等值线内区域地下水受影响较为明显（降深 $\geq 0.5\text{m}$ ），等值线外区域地下水受影响较小（降深 $\leq 0.5\text{m}$ ）。

经分析，建库后受到明显影响（降深 $\geq 0.5\text{m}$ ）的地下水位降深影响范围，均在河道两侧 0.95km 之内，如图 9.2.3-10。

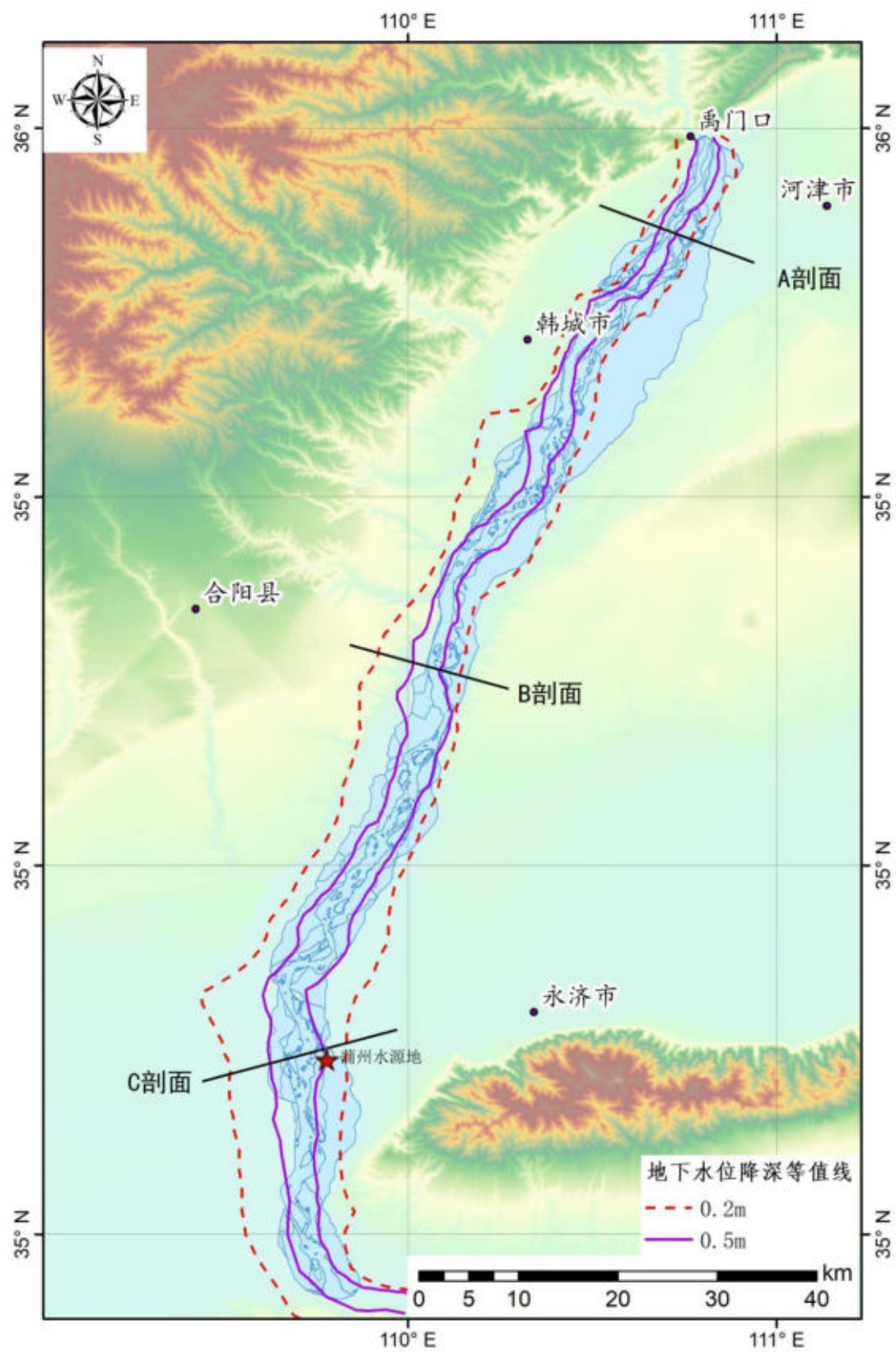


图 9.2.3-10 建库后地下水位降深等值线

9.2.3.4 对集中式地下水饮用水源地影响预测

基于已建立的地表水-地下水耦合数值模型，对比分析模拟时段内评价区蒲州地下水水源地在建库后最不利情形下的地下水位动态变化。根据模型模拟结果，水库运行期最不利情形下蒲州地下水水源地的地下水位，较初始地下水位均呈现下降趋势，但降幅均小于 0.48m。因此，水库运行期对蒲州地下水水源地地下水位的影响也较小，如图 9.2.3-11。

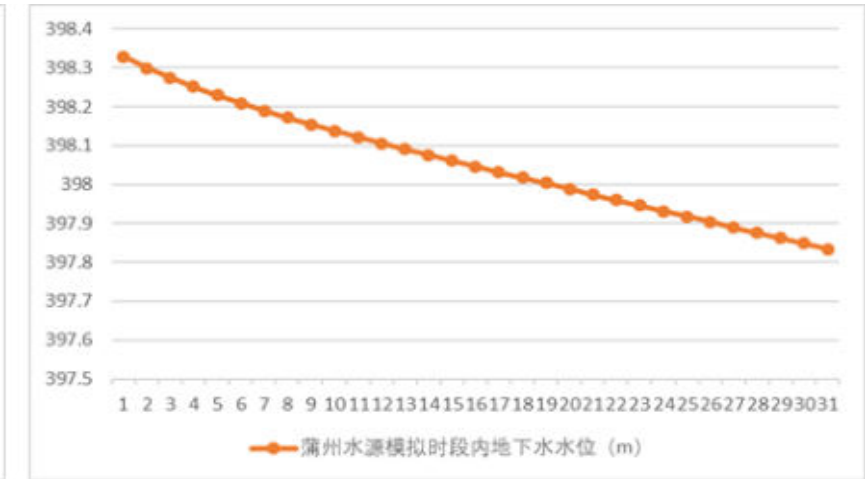


图 9.2.3-11 蒲州地下水水源地建库后地下水位动态变化

9.2.3.5 对小北干流河段湿地地下水水位影响预测

本次评价利用已建立的地表水~地下水耦合数值模型，基于皮尔逊相关系数（Pearson’s R），通过模拟三个典型剖面地下水监测点位的地下水位与相应剖面的河流水位的动态变化（A1&A2，B1&B2，C1&C2），对小北干流黄河与两侧湿地（即河道主槽与两侧嫩滩）地下水之间的动态关系进行了分析，见图 9.2.3-12。

分析结果表明，小北干流中段 B 剖面的地下水位与河流水位相关性最高，除上段剖面 A1 外，其余监测点的地下水位与相应剖面的河流水位都有一定程度相关，且一般山西侧相关系数高于陕西侧。综合分析，小北干流山西侧湿地地下水水位与黄河水位相关性联系更密切，且小北干流中段区域湿地地下水动态变化受地表水影响最明显。

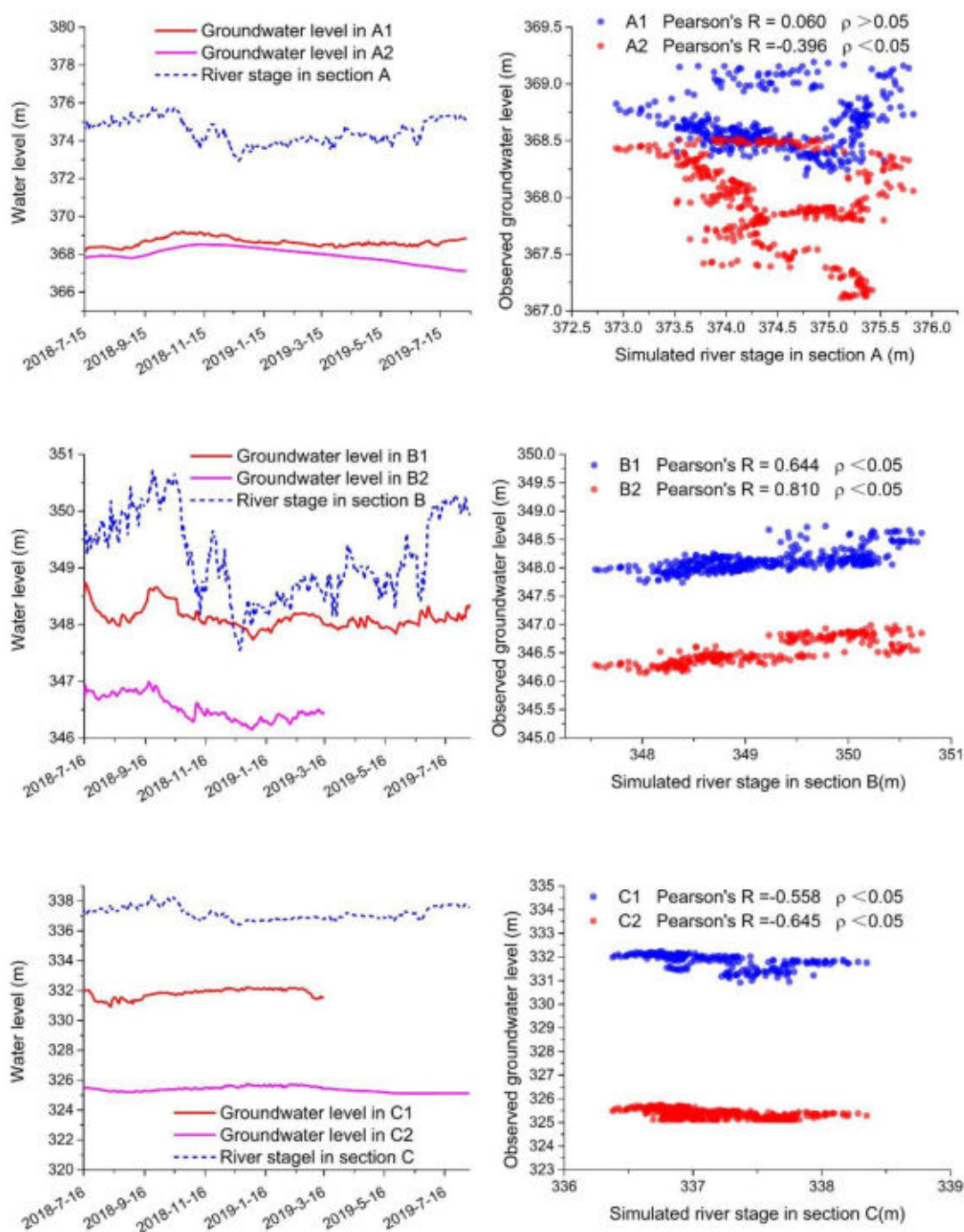


图 9.2.3-12 典型剖面地下水位及河流水位相关性分析

评价利用地表水~地下水数值模型中水均衡模拟，选取典型剖面两岸的典型点位（R1&L1, R2&L2, R3&L3），计算地表水与地下水之间的交换通量，以此分析黄河对小北干流两岸湿地区域内（含河道两侧嫩滩）第四纪含水层的贡献比例。模拟结果见图 9.2.3-13。

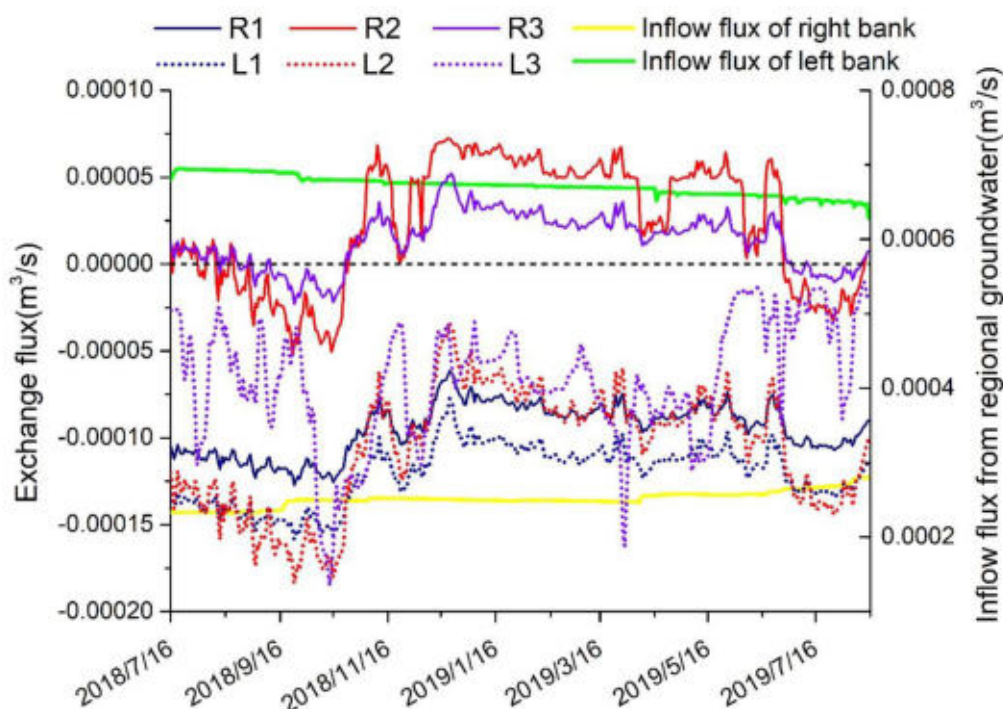


图 9.2.3-13 典型点处地表水-地下水的交换通量随时间的变化曲线

根据地表水~地下水数值模型水均衡结果，对于山西侧湿地，区域渭北岩溶水占总补给量的 49.9%，黄河渗流占总补给量的 26%，降水占总补给量的 24.1%，维系山西侧湿地地下水最重要的水源是下伏的区域含水层（渭北岩溶水）。对于陕西侧湿地，区域渭北岩溶水占总补给量的 67.7%，降水占总补给量的 21.8%，黄河渗流占总补给量的 10.4%，可见维系陕西侧湿地地下水最重要的水源依然是下伏的区域含水层（渭北岩溶水），且陕西侧湿地地下水受黄河补给影响更小。

本次评价基于已建立的地表水~地下水耦合数值模型，分析黄河两岸湿地范围地下水位在建库后最不利情形下的动态变化，将地下水降深 0.5m 区域作为建库后受到明显影响的地下水位降深影响范围阈值。预测结果表明，山西侧湿地在模拟时段内地下水位较初始水位的降幅基本在 0m~0.512m 之间，其中河滩区域湿地地下水水位降深约为 0.48m，其它区域地下水位降深约为 0.22m~0.512m，均未大于地下水水位季节内的正常波动幅度；陕西侧湿地在模拟时段内地下水位较初始水位的降幅一般为 0m~0.48m，基本小于 0.5m，部分小于 0.22m，其中河滩附近湿地地下水降深略大，为 0.48m 左右，也均未大于地下水水位季节内的正常波动幅度。根据模拟结果，小北干流河段两侧湿地中，少部分由河流水面、河心滩等组成的湿地地下水水位受黄河水文情势变化影响略大，

总体地下水受到明显影响（降深 0.5m）的范围均在河道外侧 0.95km 范围之内。小北干流两侧湿地地下水水位受影响预测情况见图 9.2.3-14。

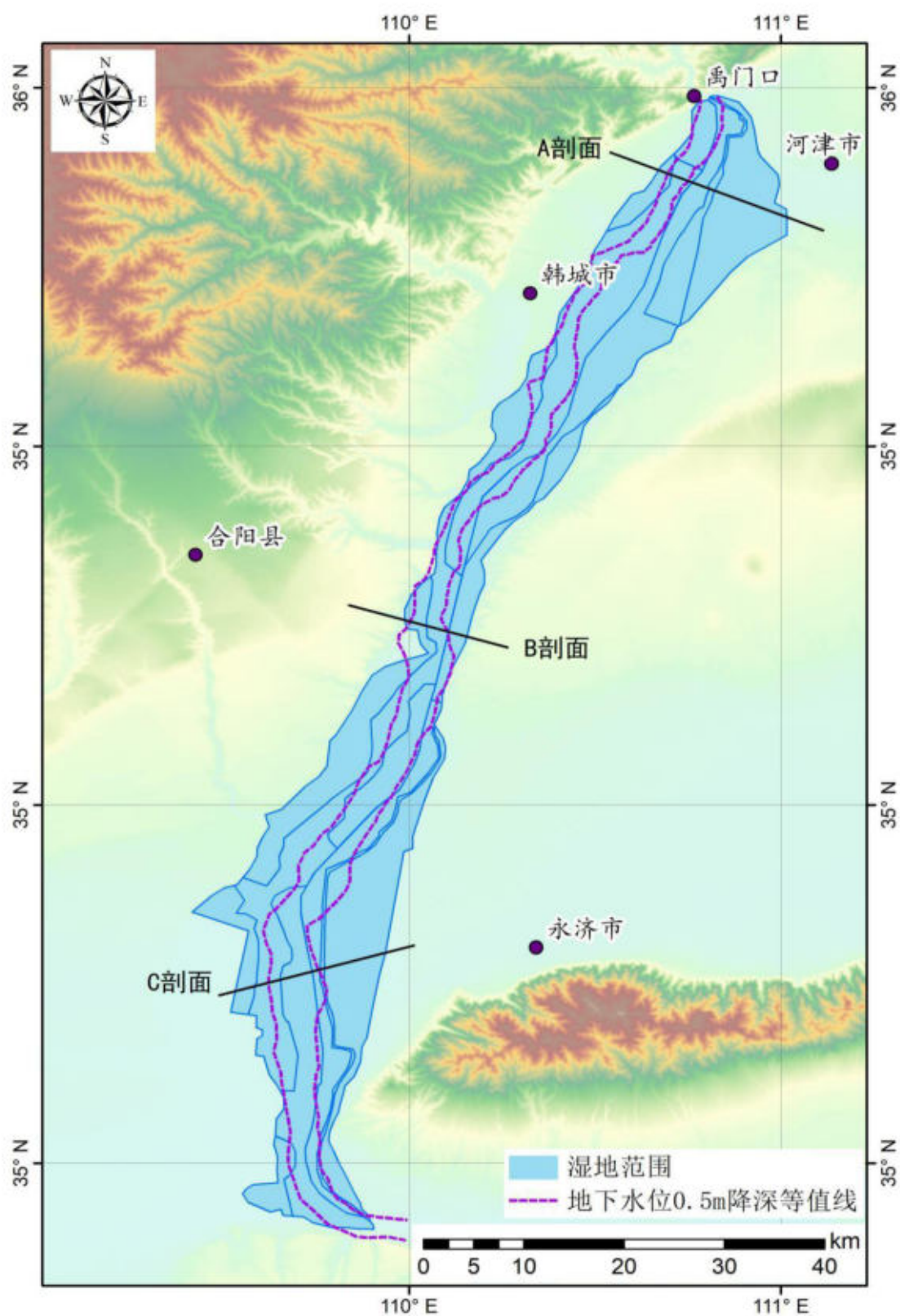


图 9.2.3-14 建库后小北干流河段湿地地下水水位受到影响范围图

综合分析，黄河小北干流河段两岸湿地地下水受黄河水位影响均较小，其中陕西侧湿地地下水下降幅度略小于山西侧湿地地下水降幅，受黄河水位变化影响更小。总体来说，建库后运行对黄河小北干流河段两岸湿地区域地下水水位的影响较小。

9.3 地下水环境保护措施

9.3.1 施工期地下水环境保护措施

1. 施工前应进行详细的地质和水文地质条件勘察，查清隧洞与周边井、泉的关系，施工期间，对隧洞附近的井泉进行监测，及时掌握隧洞建设对当地居民地下水用水的影响。在隧洞施工区设置 7 个地下水监测点，在施工期内按照每季度一次的频率开展地下水水位监测。具体点位分布见 9.3.1-1。

表 9.3.1-1 施工期地下水监测点分布表

序号	监测点	经度	纬度	监测项目
1	古贤村取水井	110.4770	36.2170	水位
2	南村泉点	110.4900	36.2041	
3	存心村附近泉点	110.4740	36.2019	
4	留村附近泉点	110.4740	36.1730	
5	中市村泉点	110.4740	36.1561	
6	南塬村泉点	110.4720	36.1338	
7	陈家岭村附近泉点	110.4830	36.1196	

2. 为避免导流洞施工等隧洞开挖引起局部地下水水位下降，评价建议设计阶段合理布置工期，尽量缩短施工工期，以免对地下水水位造成长期的影响；施工过程中，对于洞室顶部应及时进行帷幕喷浆，避免顶部地下水持续渗漏排泄。

9.3.2 运行期地下水环境保护措施

考虑到项目运行区水文地质条件，结合本项目运行特点，项目运行期地下水环境保护措施主要为加强区域地下水环境监测工作。

9.4 小结

1. 库区及坝址区主要为石炭系-侏罗碎屑岩裂隙与上覆松散层孔隙含水系统，黄河为库区及坝址区域地下水的最低排泄基准点，与地下水的关系为地下水补给黄河，坝址区及库区内不存在集中式地下水饮用水水源地，本工程已在移民安置规划中予以考虑解决 22 处受库区蓄水淹没影响的分散居民点地下水水井替代水源。工程建成运行后不会对库区地下水化学场和流场产生影响。坝址区位于微新岩体中，地下水总体贫乏，少数

砂岩洞段有渗滴水，不存在稳定地下水位，与表部浅层孔隙-裂隙水连通性差，因此坝址区施工及皮带机隧道开挖不会引起地下水位显著变化。料场开采涉及河津市西磴乡镇集中供水水源保护区二级保护区，河津市西磴乡镇集中供水水源为地下水水源，建有取水井 5 眼，以第四系松散岩类孔隙水和碳酸盐岩类岩溶-裂隙水为主要开采水源，水源区地下水补给主要依赖区域内裸露灰岩区的降雨入渗、砂页岩孔隙裂隙水的补给和滴淋泉等，开采标高为 680m。本工程料场开采区不处于取水井地下水补给区天然流场上游，取水井补给范围广，并且料场与多数取水井所处位置有天然河谷及公路高坎分割，因此料场开采不会对取水井取水层造成影响。料场开采设置了爆破安全距离，料场爆破对水源井影响在可控范围之内。料场开采涉及河津市西磴乡镇集中供水水源保护区二级保护区，应按有关规定办理相关手续。

2. 本工程坝址下游区主要为寒武系-奥陶系碳酸盐岩岩溶含水系统，该区地下水分为第四系松散岩类孔隙水与岩溶水两种。根据区域水文地质条件，下游区（小北干流河段）两侧湿地区域内含水层主要为第四纪含水层，黄河的渗流补给是湿地区域地下水补给源之一，黄河低水位时，河水以侧向入渗的方式对湿地地下水进行补给；黄河高水位时，河水主要通过漫滩的方式对湿地地下水进行补给。但区域维持湿地地下水量的最主要补给源是区域下伏含水层（渭北岩溶水）。

3. 本次评价在坝址下游区域建立了地下水长期观测系统，利用数值模拟开展了地下水影响预测与评价。结果表明，古贤水库调度运行改变坝址下游区（小北干流河段）来水过程，水库拦沙运用将引起黄河小北干流河段河床下切，评价区地下水位会发生小幅动态变化，降幅大部分均小于 0.5m，均未超出区域地下水水位季节内的正常波动幅度，地下水水位受到明显影响的范围在河道两侧 0.95km 之内，坝址下游区（小北干流河段）两侧湿地和蒲州地下水水源地地下水位总体受影响较小。

第十章 水生生态影响与保护措施

本章通过资料收集、走访访谈、调查监测等手段，对工程所在河段及其影响河段水生生态现状进行评价，分析水生生物种类组成、种群结构、资源分布状况，明确了保护鱼类种类、分布、生态习性及其重要栖息生境状况；预测古贤水利枢纽建设和运行对水生生态系统结构功能、鱼类及其重要生境等的影响，并提出减缓不利影响的保护措施，以协调工程建设与鱼类保护的关系。

10.1 水生生态现状调查

根据历史资料分析，古贤工程上下游河段鱼类群落结构存在一定的空间差异，其中大北干流河为峡谷河段，水流湍急，壶口瀑布对鱼类形成了天然阻隔。以壶口瀑布为分界线，壶口以上多喜流水生境鱼类，以瓦氏雅罗鱼、鲤、鲇、兰州鲇以及鮡亚科等小型鱼类为主，未见鳢科鱼类；壶口以下至小北干流河段鱼类种类明显增多，以缓静水鱼类为主，鳢科鱼类主要分布在壶口以下河段；潼关至三门峡河段为库区河段，水流较缓，多是喜静水生境鱼类。根据现状调查，总体上大北干流保护鱼类种类较少，鱼类资源相对贫乏，小北干流鱼类资源相对丰富。

10.1.1 调查范围、调查内容及断面设置

10.1.1.1 调查范围

在大北干流上段及潼关至三门峡河段，已建有万家寨水利枢纽工程、三门峡水利枢纽工程，可以为古贤水利枢纽工程建设对水生生态影响提供借鉴。因此，本次调查范围为万家寨至三门峡间河段，重点调查河段是碛口至潼关河段。按照河流特征、河道形态、水文情势特点，将调查河段分为万家寨水库段（类比河段）、天桥梯级段、碛口段、古贤段；壶口以下河段又分为壶口至潼关河段、潼三河段（类比河段）；同时，对支流无定河、渭河、汾河下游河段也开展了调查。

10.1.1.2 调查内容及断面设置

（1）水生生物及鱼类资源调查

评价分别于 2020 年 6 月、2020 年 9 月、2022 年 4 月开展了水生生物与鱼类资源调查，其中在干流设置 18 个水生生物调查断面，在支流无定河、渭河、汾河各设置 1 个断面，详见表 10.1.1-1；鱼类资源调查在干流 7 个河段以及 3 条支流渭河、汾河、无定河等区域进行，调查断面生境特点见表 10.1.1-2。

表 10.1.1-1 水生生物现状调查内容及断面设置情况表

所在河段		断面名称	调查内容
大北干流	干流河段	类比河段：万家寨库尾、万家寨库中、万家寨坝上、万家寨坝下	浮游植物、浮游动物、底栖动物
	干流河段	评价河段：府谷、罗峪口、碛口、郭家河、古贤、禹门口上	
	支流河段	白家川（无定河）	
小北干流	干流河段	禹门口、芝川、合阳、大荔、潼关	浮游植物、浮游动物、底栖动物
	支流河段	华山（渭河） 河津（汾河）	
潼三河段	干流河段	类比河段：风陵渡、北村、三门峡库区	浮游植物、浮游动物、底栖动物

表 10.1.1-2 鱼类资源现状调查内容及断面设置情况表

所在河段		调查区域	调查内容
北干流	干流河段	类比河段：万家寨库尾以上河段、万家寨库区、天桥至万家寨坝址河段	鱼类资源
		评价河段：天桥坝址至壶口、壶口至禹门口	
	支流河段	无定河	
小北干流	干流河段	禹门口至三门峡库尾	鱼类资源
	支流河段	渭河、汾河	
潼三河段	干流河段	类比河段：三门峡库区	鱼类资源

（2）鱼类早期资源调查

评价在碛口、壶口下和合阳设置了 3 个鱼类早期资源调查监测断面，对产漂流性卵鱼类早期资源进行监测。断面布置及监测时间详见表 10.1.1-3、图 10.1.1-1。调查断面生境特点见表 10.1.1-4。

表 10.1.1-3 鱼类早期资源调查重点及断面设置情况表

所在河段	断面名称	调查内容	调查重点
大北干流	碛口	鱼类早期资源调查	产漂流性卵鱼类早期资源
	壶口下		
小北干流	合阳		

表 10.1.1-4 各调查断面河段生境特点

所在河段			调查断面	河段生境特点
大北干流	干流河段	类比河段：万家寨库区河段	万家寨库尾	采样断面位于万家寨水库库尾，水流较缓，水面相对开阔，有不连续的漫滩，泥沙底质，两岸植被较为茂盛，主河槽位于右侧。
			万家寨库中	采样断面位于万家寨水库中游，水面开阔，静缓流，水体相对清澈。
			万家寨坝上	该河段两岸山体陡峭，呈现“V”型峡谷生境，水流受到两岸山体以及万家寨水库大坝束缚，形成静水湖泊型生境，两岸山体垂直陡峭，水深较大，水面相对开阔，水体清澈。

所在河段			调查断面	河段生境特点
		壶口以上自然河段	万家寨坝下	该河段水流受到两岸山体束缚，呈现“V”型峡谷生境，受到万家寨水库调节运行影响，水位变动频繁，且河道受到较大冲刷，河床底质以砾石、泥沙为主，两岸漫滩生境变动频繁。
			娘娘滩	该河段位于龙口水库坝下，呈现宽谷生境，河床宽阔，较多砾石浅滩或河心洲，河床底质以砾石为主，水流变动主要受到万家寨、龙口电站泄水影响，两岸漫滩生境相对较多，植被丰茂，水体较为清澈。
			府谷	该河段位于天桥水库坝下，呈“U”型宽谷生境，河床相对宽阔，少量砾石浅滩或河心洲，河床底质以砾石为主，水流变动主要受上游万家寨水库影响，两岸漫滩生境相对较多。
			罗峪口	该河段位于罗峪口镇的窟野河入黄河口河段，河床宽阔，呈现“U”型宽谷生境，水流散乱，形成众多的河网、漫滩、回水湾，河心洲密布。靠近山西侧水流相对较缓，水深较浅，近岸区域形成漫滩湿生生境，并有一定量的湿生植被分布，河床底质为泥沙。
			磻口	该河段河床较为狭窄，河道水流相对较急，沿岸漫滩较少，水深相对较大，河床底质以泥沙为主，伴有少量砾石，水体较为浑浊。
			郭家河	该河段位于清涧河入黄河口上游，黄河河床较为狭窄，呈现“U”型峡谷生境，水浅，河道水流相对较急，沿岸漫滩较少，河床底质为泥沙。
			古贤	该断面位于古贤水利枢纽坝址，该河段河床较为狭窄，呈现“V”型宽谷生境，两岸山体陡峭，河道水流相对较急，沿岸漫滩较少，河床底质为泥沙，水体浑浊，含沙量高。
		壶口以下自然河段	禹门口上	该断面位于壶口瀑布下游约 50km 处，该河段河床较为狭窄，呈现“V”型峡谷生境，两岸山体陡峭，河道水流相对较急，沿岸漫滩较少，河床底质为泥沙，水体浑浊，水体含沙量很大。沿河采砂较多，形成回水湾。
	支流河段	入黄河段	无定河	该断面位于无定河入黄口上游约 22km，河床较狭窄，呈现“V”型峡谷生境，主河槽紧靠左岸山体，河道水流相对较急，沿岸漫滩较多，并形成多个回水湾，河床底质为砾石、泥沙。
小北干流	干流河段	自然河段	合阳	该河段主流相对收窄，主河槽紧邻右岸，左侧形成大面积的沙滩，岸边水流相对较缓，泥沙底质，多缓流生境，散流、沙滩、湿地基本分布在黄河左侧，湿地面积较大，湿地湿生植被以芦苇、蒲草等为主；右岸 I 阶台地以池塘养殖和莲藕种植为主。
	支流河段	入黄河段	汾河	该断面位于山西省河津市南，汾河水面相对狭窄，水体具一定流速，河床底质为泥沙，水体浑浊，颜色较暗，水污染严重，两岸均为农田。
	支流河段	入黄河段	渭河	该断面距离渭河入黄口距离约为 5km，渭河干流水面相对狭窄，水流相对静缓，河床底质为泥沙，水体浑浊，属于高泥沙含量水体，两岸分布有一定面积的滩地，主河道干流较为集中，无散流、河心洲。
潼三河段	干流河段	类比河段：自然河段	风陵渡	该河段为黄河拐弯后东折后河段，河床显著收窄，呈现“U”型宽谷生境，主河槽靠近左岸，右岸形成一定面积的沙滩湿地生境，河道有散流分布，形成一定范围的河网湿地生境，泥沙底质，湿地湿生植被繁茂，以芦苇、蒲草等植被为主。
	干流河段	类比河段：库区河段	北村	该河段属于三门峡库区库尾段，为静缓流湖泊生境，水体相对浑浊，并有一定水生植物分布，泥沙底质。
	干流河段		三门峡库区	该断面位于三门峡库区，为静水湖泊型生境，水体清澈，水流静缓，岸边水深较浅，并有较多水草分布，库尾形成大型回水湾生境，底质生境为砾石，并伴有细沙。

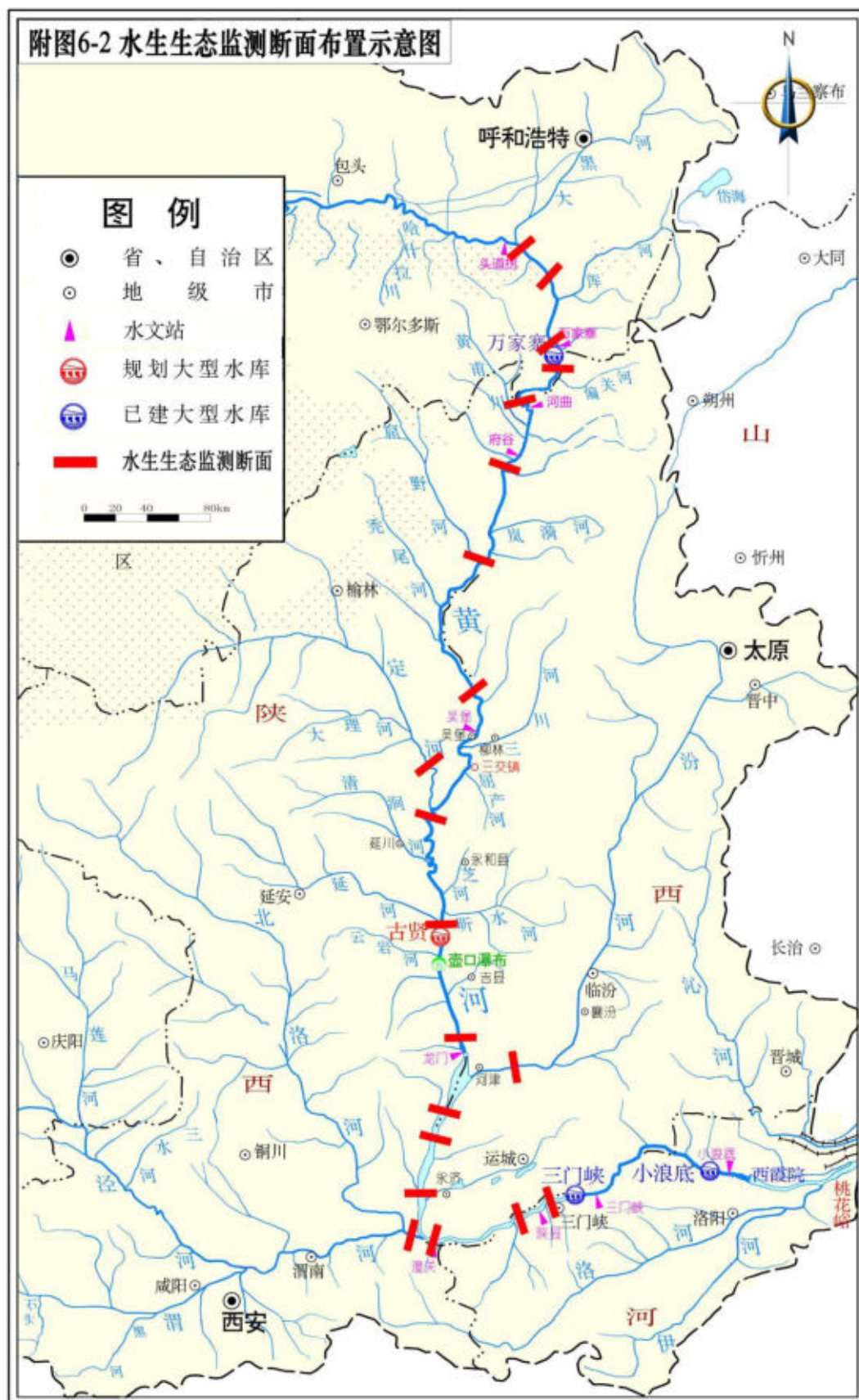


图 10.1.1-1 黄河古贤水利枢纽评价区水生态调查断面示意图



万家寨库尾



万家寨库中



万家寨坝上



万家寨坝下



娘娘滩



府谷

图 10.1.1-2 黄河古贤水利枢纽评价区水生态调查河段实景图



罗峪口



碛口



郭家河



古贤



禹门口上



风陵渡



合阳

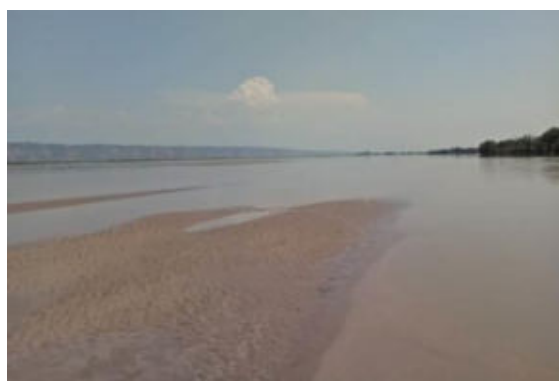


图 10.1.1-2 黄河古贤水利枢纽评价区水生态调查河段实景图



北村



三门峡库区



无定河



汾河



渭河

图 10.1.1-2 黄河古贤水利枢纽评价区水生态调查河段实景图

10.1.2 水生生物组成及分布特点

1. 浮游植物

据调查，评价区浮游植物共计 7 门 66 属 107 种，密度为 8095340Cells/L、生物量为 0.5134mg/L，其中硅藻门 25 属 47 种，绿藻门 20 属 32 种，两者占总种数的 73.84%。

评价区干流浮游植物密度平均 8095340Cells/L, 生物量平均 0.5134mg/L, 支流浮游植物密度、生物量远小于干流。

评价区浮游植物现存量总体水平较低, 表现出以硅藻为主, 蓝藻、绿藻占较高比例的流水生境浮游植物组成特点。调查发现各断面 6 月份汛期初始, 干流各断面浮游植物种类、数量差异较大; 9 月份为丰水期, 干流各断面浮游植物数量较低且差异较小。

万家寨水库和三门峡水库的库区和库尾浮游植物种类和数量较丰富, 主要是由于库区水流减缓, 营养盐滞留, 加上泥沙沉降, 水体透明度提高有利于浮游植物的生长繁殖。府谷、碛口浮游植物现存量较高, 主要是由于人类活动增加水体营养负荷。北干流河段及其下游由于水体泥沙含量高, 水体透明度较低, 外源性营养输入较少, 因此浮游植物种类和数量明显较低。

评价区支流由于生态环境差异较大, 其浮游植物种类和现存量差异明显。无定河水环境较好, 因此其浮游植物种类和数量均较汾河和渭河丰富。

2. 浮游动物

据调查, 评价区浮游动物共计 60 属 103 种, 其中原生动物 17 属 28 种、轮虫 27 属 53 种、枝角类 9 属 11 种、桡足类 7 属 11 种, 浮游动物密度 2574.89ind./L, 生物量 0.9327mg/L。调查水域大部分河段浮游动物种类组成以轮虫为主, 仅小北干流河段以原生动物为主。各断面不同调查时段浮游动物种类差异较大, 其中 6 月份各断面种类明显高于 9 月份, 主要是因为 6 月水温升, 河流透明度较高, 浮游动物种类、现存量相对较高; 9 月雨水充沛, 水体泥沙含量大, 透明度低, 流速急, 浮游动物种类、现存量和多样性指数较低。

干流浮游动物生物量出现两个增长高峰, 分别是万家寨库尾至坝上河段浮游动物生物量呈现递增、合阳至三门峡库区段逐渐递增, 万家寨坝下至古贤段浮游动物生物量较低。主要是因为万家寨、三门峡库区河段水流减缓, 透明度增加, 营养盐滞留时间延长, 有利于浮游动物生长繁殖, 其密度、生物量和多样性指数较高。府谷至禹门口为河流峡谷生境, 流速大, 泥沙含量高, 水体营养贫乏, 各项指标较低。

由于各支流生境差异较大, 浮游动物种类、现存量存在一定差异。渭河浮游动物现存量平均高于汾河、无定河。

3.底栖动物

据调查，评价区底栖动物共 26 种，其中环节动物 3 种、软体动物 3 种、节肢动物 20 种。底栖动物密度为 31.4Ind./m^2 ，生物量 1.5834g/m^2 。评价区底栖动物中节肢动物种类和生物量均占较大比重。干流万家寨、三门峡库区河段水流相对平缓，底栖动物种类分布相对较多；自然河段水流湍急，底栖动物种类分布少，主要种类为摇蚊、虾科生物。支流汾河水质污染较为严重，寡毛类、摇蚊科生物密度高。无定河、渭河评价河段底栖动物种类较少，支流底栖动物种类分布整体低于干流。

评价区底栖动物种类分布存在一定季节差异。总体看，自然河段 6 月与 9 月区别不大，差异主要体现在类比河段万家寨库区、三门峡库区河段。6 月库区大部分河段水流相对静止，水体透明度高，底栖动物以静水型种类为主，种类分布较多；9 月库区河段水体有一定流速，水体透明度低，底栖动物种类少，以流水型及广适型种类为主。

各河段断面对比情况见表 10.1.2-1。

表 10.1.2-1 各河段水生生物特点

所在河段		断面名称	浮游植物				浮游动物				底栖动物			
			种类组成		现存量		种类组成		现存量		种类组成		现存量	
			种类数	优势种类	密度 (cells./L)	生物量 (mg/L)	种类数	优势种类	密度 (Ind./L)	生物量 (mg/L)	种类数	优势种类	密度 (Ind./m ²)	生物量 (g/m ²)
大北干流	干流河段	万家寨库尾	32	硅藻门	14268525	0.6514	31	轮虫	1619.86	0.50028	7	节肢动物	45.5	3.2715
		万家寨库中	34	硅藻门	15124576	0.4039	34	轮虫	5911.525	1.3391	1	节肢动物	9	3.076
		万家寨坝上	30	硅藻门	7832290	0.221	32	轮虫	2760.8	1.3567	2	节肢动物	6	0.647
		万家寨坝下	33	硅藻门	933153	0.0757	33	轮虫	877.9	0.1242	5	节肢动物	14.5	0.5555
		娘娘滩	38	硅藻门	5694427	0.3314	27	轮虫	325.255	0.12585	3	节肢动物	20.5	6.417
		府谷	39	硅藻门	12040075	0.7514	31	轮虫	1.9	0.0135	2	节肢动物	32	4.613
		罗峪口	32	硅藻门	2684661	0.2087	28	轮虫	3.8	0.0356	6	节肢动物	103.5	3.8945
		磧口	28	硅藻门	20464703	1.1449	24	轮虫	100.39	0.02725	4	节肢动物	40	0.36
		郭家河	32	硅藻门	3948355	0.2397	27		0	0	1	节肢动物	7	0.014
		古贤	33	硅藻门	262580	0.0397	24	轮虫	0.12	0.0005	2	节肢动物	13	0.071
	禹门口上	37	硅藻门	654937	0.0592	26	轮虫	6666.5	0.3965	1	节肢动物	1	0.001	
	支流河段	无定河	49	硅藻门	2219608	0.4965	37	轮虫	5300.9	0.73305	2	节肢动物	59.5	0.0165
小北干流	干流河段	禹门口	63	硅藻门	1541300	1.1198	24	原生动物	140	2.0133	4	节肢动物	52	1.3838
		芝川	51	硅藻门	2685500	1.9654	26	原生动物	335	3.389	12	节肢动物	69	1.9725
		合阳	53	硅藻门	2070500	1.5392	22	原生动物	125	1.6175	3	节肢动物	48	1.1264
		大荔	49	硅藻门	2464500	2.1971	29	原生动物	260	2.6318	8	节肢动物	35	0.9225
		潼关	50	硅藻门	2998500	2.4575	25	原生动物	285	2.9755	7	节肢动物	60	1.5975
	支流河段	汾河	42	硅藻门	514639	0.0569	39	轮虫	18542.9	1.22505	6	环节动物、节肢动物	52.5	1.282
		渭河	34	硅藻门	170011	0.2207	41	轮虫	1619.86	0.50028	3	节肢动物	9	1.45
潼三河段	干流河段	风陵渡	34	硅藻门	471837	0.0418	28	轮虫	1121.275	0.28135	2	节肢动物	3	0.612
		北村	29	硅藻门	10151327	1.0253	28	轮虫	4950.8	0.59555	0	节肢动物	0	0
		三门峡库区	38	硅藻门	26491030	2.4767	49	轮虫	5698.82	0.6385	8	软体动物	11	1.559

10.1.3 鱼类种类、区系组成及分布特点

10.1.3.1 鱼类种类及分布

据调查,评价河段共捕获鱼类 57 种,隶属 6 目 13 科,其中鲤科鱼类占绝对优势,有 32 种;其次为鲿科 7 种,鳅科 6 种;虾虎鱼科和鲇科鱼类 2 种,鳢科、鲑科、塘鳢科、合鳃鱼科、怪颌鲂科、胡瓜鱼科、丽鱼科、银鱼科各 1 种。(见表 10.1.3-1)。

表 10.1.3-1 评价河段近年来调查鱼类名录

序号	种类
1	虹鳟 <i>Salmo gairdneri</i>
2	大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranius</i>
3	乌苏里拟鲿 <i>Pseudobagrus ussuriensis</i>
4	细体拟鲿 <i>Pseudobagrus pratti</i>
5	瓦氏黄颡鱼 <i>Pseudobagrus vachelli</i>
6	光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>
7	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>
8	鲇鱼 <i>Parasilurus asotus</i>
9	兰州鲇 <i>Silurus langhousis</i>
10	粗唇鲿 <i>Leiocassis crassilabris</i>
11	叉尾鲿 <i>Leiocassis tenuifurcatus</i>
12	池沼公鱼 <i>Hypomesus olidus</i>
13	马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>
14	贝氏鲶 <i>Hemicuter bleekeri bleekeri</i>
15	鲶 <i>Hemiculter leuciscus</i>
16	棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>
17	麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>
18	黄河鲇 <i>Gobio huanghensis</i>
19	南方鲇 <i>Gobio meridionalis</i>
20	似铜鲇 <i>Gobio coriparoides</i>
21	棒花鲇 <i>Gobio gobio rivuloides</i>
22	大鼻吻鲇 <i>Rhinogobio nasutus</i>
23	蛇鲇 <i>Saurogobio dabryi</i>
24	光唇蛇鲇 <i>Jaurogobio gymnocheilus</i>
25	唇鲇 <i>Hemibarbus labeo</i>
26	花鲇 <i>Hemibarbus maculatus</i>
27	鲫 <i>Carassius auratus auratus</i>
28	鲤 <i>Cyprinus carpio</i>
29	草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i> Gunther
30	鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>
31	鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>
32	高体鲮 <i>Rhodens ocellatus</i>
33	彩石鲮 <i>Pseudoperilampus light</i>
34	越南刺鲮 <i>Acanthorhodeus tonkinensis</i>
35	兴凯刺鲮 <i>Acanthorhodeus chankaensis</i>
36	银鲈 <i>Squalidus argentatus</i>
37	翘嘴鲈 <i>Erythroculter ilishaetormis</i>
38	蒙古鲈 <i>Mongolian culter</i>
39	红鳍鲈 <i>Culter erythropterus</i>
40	团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>
41	鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>
42	赤眼鲈 <i>Squaliobarus curriculus</i>
43	瓦氏雅罗鱼 <i>Leuciscus waleckii</i>

序号	种类
44	泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>
45	大鳞副泥鳅 <i>Misgurnus mizolepis</i>
46	北方花鳅 <i>Cobitis granoei</i>
47	北方泥鳅 <i>Misgurnus bipartitus</i>
48	中华花鳅 <i>Cobitis sinensis</i>
49	达里湖高原鳅 <i>Triplophysa dalaica</i>
50	小黄魮鱼 <i>Hypseleotris swinhonis</i>
51	波氏栉虾虎鱼 <i>Ctenogobius Cliffordpopei</i>
52	普栉虾虎鱼 <i>Ctenogobius giuribus</i>
53	乌鳢 <i>Channa argus</i>
54	黄鳊 <i>Monopterus albus</i>
55	青鳉 <i>Oryzias latipes</i>
56	罗非鱼 <i>Oreochromis spp</i>
57	镜鲤 <i>Cyprinus carpio var. specularis</i>

本次于 2020 年、2022 年调查到鱼类 40 种（见表 10.1.3-2），隶属于 4 目 9 科，其中鲤科鱼类 24 种，占比 60%；鲮科 5 种，占比 12.5%；鳅科鱼类 4 种，占比 10%；鲇科鱼类 2 种，占比 5%；虾虎鱼科、鳢科、塘鳢科、合鳃鱼科、丽鱼科鱼类各 1 种，分别占 2.5%。其中鲤科鱼类占优势，其次为鲮科鱼类。鲤科鱼类的鳊、草鱼以及合鳃鱼科的黄鳊为走访调查到，鳊、草鱼主要分布在万家寨水库，黄鳊主要分布在河滩湿地。罗非鱼为外来种，在黄河洽川段以及渭河河口的黄河大拐弯处均有捕获。

本次调查发现鳊数量所占比例最高，占捕获鱼类总数的 32.7%，为调查范围内主要优势种类；其次为鲫、麦穗鱼等。总体表现为，调查范围内渔获物以小型鱼类为主，大型鱼类在渔获物组成中的比例较低。

表 10.1.3-2 2020、2022 年评价区调查捕获鱼类名录

目	科	属	种
鲤形目 <i>Cypriniformes</i>	鲤科 <i>Cyprinidae</i>	鲫属 <i>Carassius</i>	鲫 <i>C. auratus</i>
		鲤属 <i>Cyprinus</i>	黄河鲤 <i>C. carpio</i>
			镜鲤 <i>C. carpio var. specularis</i>
		草鱼属 <i>Ctenopharyngodon</i>	草鱼 <i>C. idellus</i>
		鲢属 <i>Hypophthalmichthys</i>	鲢 <i>H. molitrix</i>
		鳊属 <i>Aristichys</i>	鳊 <i>A. nobilis</i>
		鳊属	鳊 <i>Hemiculter leucisculus</i>
			贝氏鳊 <i>H. bleekeri</i>
		麦穗鱼属 <i>Pseudorasbora</i>	麦穗鱼 <i>P. parva</i>
		棒花鱼属 <i>Abbottina</i>	棒花鱼 <i>A. rivularis</i>
		翘嘴鲌属 <i>Rhodeus</i>	高体翘嘴鲌 <i>R. ocellatus</i>
		鲃属 <i>Gobio</i>	似铜鲃 <i>G. coriparoides</i>
			南方鲃 <i>G. meriodionalis</i>
			棒花鲃 <i>G. gobio rivuloides</i>
		鲃属 <i>Culter</i>	红鳍鲃 <i>C. erythropterus</i>
		鲃属 <i>Erythroculter</i>	翘嘴鲃 <i>E. ilishaetormis</i>
		马口鱼属 <i>Opsriichthys</i>	马口鱼 <i>O. bidens</i>
		鲃属 <i>Hemibarbus</i>	花鲃 <i>H. maculaus</i>
		银鲃属 <i>Squalidus</i>	银鲃 <i>S. argentatus</i>

目	科	属	种
		蛇鮈属 <i>Saurogobio</i>	蛇鮈 <i>S. dabryi</i>
		雅罗鱼属 <i>Leuciscus</i>	瓦氏雅罗鱼 <i>L. waleckii</i>
		赤眼鲮属 <i>Squaliobarbus</i>	赤眼鲮 <i>S. curriculus</i>
		鲮属 <i>Parabramis</i>	鲮 <i>P. pekinensis</i>
		彩石鲮属 <i>Pseudoperilampus</i>	彩石鲮 <i>P. lighti</i>
	鲈科 <i>Cobitidae</i>	泥鳅属 <i>Misgurnus</i>	泥鳅 <i>M. anguillicaudatus</i>
			大鳞副泥鳅 <i>M. mizolepis</i>
		花鳅 <i>Cobitis</i>	中华花鳅 <i>C. sinensis</i>
		高原鳅 <i>Triplophysa</i>	达里湖高原鳅 <i>T. dalaica</i>
合鳃鱼目 <i>Synbranchiformes</i>	合鳃鱼科 <i>Synbranchidae</i>	黄鲢属 <i>Monopterus</i>	黄鲢 <i>M. albus</i>
鲈形目 <i>Perciformes</i>	塘鳢科 <i>Eleotridae</i>	小黄鲈属 <i>Hypseleotris</i>	小黄鲈 <i>H. swinhonis</i>
	虾虎鱼科 <i>Gobiidae</i>	栉虾虎鱼属 <i>Ctenogobius</i>	普虾鰕虎鱼 <i>C. giurinus</i>
	丽鱼科 <i>Cichlidae</i>	罗非鱼属 <i>Oreochromis</i>	尼罗罗非鱼 <i>O. niloticus</i>
	鳢科 <i>Channidae</i>	鳢属 <i>Channa</i>	乌鳢 <i>C. argus</i>
鲇形目 <i>Siluriformes</i>	鲿科 <i>Bagridae</i>	黄颡鱼属 <i>Pelteobagrus</i>	黄颡鱼 <i>P. fulvidraco</i>
			光泽黄颡鱼 <i>P. nitidus</i>
		鮠属 <i>Leiocassis</i>	粗唇鮠 <i>L. crassilabris</i>
			叉尾鮠 <i>L. tenuifurcatus</i>
	鲇科 <i>Siluridae</i>	拟鲿属 <i>Pseudobagrus</i>	乌苏里拟鲿 <i>P. ussuriensis</i>
		鲇属 <i>Silurus</i>	鲇 <i>S. asotus</i>
			兰州鲇 <i>S. langhousis</i>

其中小北干流河段共鉴定鱼类 885 尾，隶属于 4 目 10 科 28 属 35 种，其中鲤形目鲤科 20 种，占绝对优势；其次为鲿科 4 种，鲈科、鲇科、虾虎鱼科各 2 种。潼关段捕获鱼类 23 种，韩城段 18 种，禹门口段 17 种，大荔 15 段种，合阳浮桥段最少 10 种（表 10.1.3-3）。

表 10.1.3-3 鱼类组成及分布表

序号	目	科	属	中文名	学名	禹门口	韩城芝川	合阳浮桥	大荔	潼关
1	鲤形目	鲤科	雅罗鱼属	瓦氏雅罗鱼	<i>Leuciscus waleckii</i>	+				
2				草鱼	<i>Ctenopharyngodon idella</i>		+			+
3			马口鱼属	马口鱼	<i>Opsariichthys bidens</i>	+	+		+	
4			赤眼鲮属	赤眼鲮	<i>Squaliobarbus curriculus</i>	+				
5			鲮属	鲮	<i>Hemiculter leucisculus</i>	+	+		+	+
6			鲮属	鲮	<i>Parabramis pekinensis</i>	+	+			+
7			红鳍鲌属	红鳍鲌	<i>Cultrichthys erythropterus</i>	+				
8			鲌属	翘嘴鲌	<i>Culter alburnus</i>		+			+
9			鲂属	高体鲂	<i>Rhodeus ocellatus</i>		+		+	
11				中华鲂	<i>Rhodeus sinensis</i>					+
12			刺鲂属	兴凯刺鲂	<i>Achankaensis</i>					+
13			麦穗鱼属	麦穗鱼	<i>Pseudorasbora parva</i>	+	+		+	+
14			颌须鲈属	银色颌须鲈	<i>Gnathopogon argentatus</i>	+	+		+	+
15			蛇鲈属	蛇鲈	<i>Saurogobiodabryi</i>	+	+		+	+
16			棒花鱼属	棒花鱼	<i>Abbottinaria varialis</i>	+	+		+	
17			鲤属	鲤	<i>Cyprinus carpio</i>	+	+	+		+
18				镜鲤	<i>Cyprinus carpio var. specularis</i>					+

序号	目	科	属	中文名	学名	禹门口	韩城芝川	合阳浮桥	大荔	潼关
19	鲇形目	鲇科	鲫属	鲫	<i>Carassius auratus</i>	+	+	+	+	+
20			鲢属	鲢	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>			+		
21			泥鳅属	泥鳅	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>					+
22			副泥鳅属	大鳞副泥鳅	<i>Paramisgurnus dabryanus</i>			+	+	+
23		鲇科	鲇属	鲇	<i>Silurus asotus</i>		+			+
24				兰州鲇	<i>Silurus lanzhouensis</i>	+	+	+	+	+
25			拟鲇属	乌苏里拟鲇	<i>Pseudobagrus ussuriensis</i>	+			+	
26				叉尾鲇	<i>Leiocassis tenuifurcatus</i>	+		+		+
27			黄颡鱼属	黄颡鱼	<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>		+	+	+	+
28				光泽黄颡鱼	<i>Pelteobagrus nitidus</i>	+	+		+	+
29	合鳃目	合鳃科	黄鳝属	黄鳝	<i>Monopterus albus</i>			+		
30	鲈形目	沙塘鳢科	黄黝鱼属	黄黝鱼	<i>Micropercopsswinhonis</i>					+
31		虾虎鱼科	吻虾虎鱼属	子陵吻虾虎鱼	<i>Rhinogobius giurinus</i>		+		+	
32				波氏吻虾虎鱼	<i>Rhinogobius cliffordpopei</i>				+	
33		慈鲷科	罗非鱼属	尼罗罗非鱼	<i>Oreochromis niloticus</i>			+		+
34		鳢科	鳢属	乌鳢	<i>Channa argus</i>	+	+	+		+
35		斗鱼科	斗鱼属	圆尾斗鱼	<i>Macropodus chinensis</i>					+
4	10	28	35			17	18	10	15	23

10.1.3.2 区系特征

依据《中国淡水鱼类的分布区划》（李思忠 1981）、《陕西鱼类志》（陕西省水产研究所等 1982）等对调查鱼类组成分析，表明评价区鱼类区系组成包括第三纪早期复合体、中国江河平原复合体、北方平原复合体及南方平原复合体鱼类。详见表 10.1.3-4。

表 10.1.3-4 评价区鱼类区系组成

序号	区系分类	鱼类种类	生境需求
1	第三纪早期复合体鱼类	多为常见种类，且多为产粘性卵鱼类。主要有黄河鲤、鲫、赤眼鲮、鲇、兰州鲇、棒花鱼、泥鳅、高体鲮、彩石鲮、麦穗鱼、泥鳅等	对环境的适应能力强，喜栖息于静水及缓流水体中
2	中国江河平原复合体鱼类	主要有鲢、贝氏鲢、马口鱼、鲢、蛇鲇、鳊、红鳍鲌、翘嘴鲌、银鲌、花鲢等	喜栖息于水面宽阔且有一定流速的水域，受水体温度及流速刺激产卵繁殖，对水体温度及流速变化敏感
3	南方平原复合体鱼类	其部分种类体型较小且不善于游泳，主要有小黄鲮、乌鳢、粗唇鲇、叉尾鲇、栉鲈、黄颡鱼、光泽黄颡鱼等	对环境适应能力较强，一定程度适应高温、耐缺氧
4	北方平原复合体鱼类	瓦氏雅罗鱼、中华花鲢、棒花鱼	主要生活于平原河流静水或流水底层
5	中亚高山区系复合体鱼类	达里湖高原鳅	栖息于河流缓流和静水河段

10.1.3.3 鱼类分布特点

结合万家寨至三门峡河段生境特征，可将调查河段划分为四段。万家寨库尾～万家寨坝下河段（类比河段），该河段为河道型水库生态系统，属于库尾流水生境+库区湖泊生境特征；天桥坝下～壶口河段，该河段基本呈现峡谷河流生态系统，属于峡谷急流

+宽谷缓流生境特征；壶口～潼关河段，该河段除壶口～禹门口少部分峡谷河段外，大多为漫滩散流生态系统；潼关～三门峡河段（类比河段），基本呈现库尾流水河段+库区湖泊生境特征。各采样断面生境条件、鱼类优势种见表 10.1.3-4。各采样区域鱼类种类组成及分布见表 10.1.3-5。

（1）万家寨库尾～万家寨坝下河段

本河段共调查统计到渔获物种类 14 种，以贝氏鲮、鲫、鲮以及麦穗鱼为主要优势种群，并且分布有外来物种镜鲤，整体表现为以喜静缓水生境鱼类为主，大型鱼类较少，小型鱼类较多。该河段鱼类群落结构组成与生境较为一致，总体上该河段渔获物以适应静缓水生境鱼类为主。

（2）天桥坝下～壶口河段

本河段共调查统计到渔获物种类 17 种，以喜流水生境瓦氏雅罗鱼为主要优势种，一般分布在靠近流水生境的大型回水湾；其次是鲤、鲫等喜静水鱼类主要分布在宽阔水域的静水湾；再者是马口鱼及鮡亚科等喜流水生境鱼类；未调查到鲢科鱼类。该河段渔获物群落结构主要表现为以喜流水生境以及较大型鱼类为主。

（3）壶口～潼关河段

本河段共调查统计到渔获物种类 35 种，鱼类种类明显增多。以鲫、麦穗鱼、鲮、鲤等喜静缓水生境鱼类为优势类群，喜流水生境鱼类种类有南方鮡、马口鱼、瓦氏雅罗鱼、赤眼鲮、翘嘴鲌等。鱼类种类结构组成以及资源量在该河段明显增加。

（4）潼关～三门峡河段

该河段共调查统计鱼类种类 14 种，以鲮、贝氏鲮、鲫、蛇鮡等喜静缓水生境鱼类类群为主，并有一定数量的喜流水或缓流水生境鱼类翘嘴红鲌、鮡亚科鱼类等。该河段生境基本呈现流水生境+三门峡库区湖泊生境河段，鱼类类群组成包含喜静缓水生境鱼类和喜流水或缓流水生境鱼类，但以喜静缓水生境鱼类占优势。

表 10.1.3-5 各区段生境条件及主要鱼类

河段	采样区段	生境条件	优势种
北干流河段 (壶口以上河段)	万家寨库尾~万家寨坝下河段(类比河段)	呈现峡谷静水湖泊生境,两岸台塬较高,水位抬升较大,在库尾河段以及库中的支流交汇口河段存在一定范围的缓流水生境,并且存在一定规模的浅滩回水生境。	以贝氏鲮、鲫、鲮以及麦穗鱼为主要优势种群
	天桥坝下~壶口河段	黄河北干流的峡谷生境河段,受到两岸山体阻隔影响,河道相对狭窄,主河槽水流较急,宽浅生境较少,仅在窟野河入黄河河段存在较大范围的宽浅水生境,该河段适应流水生境鱼类明显较多。	喜流水生境瓦氏雅罗鱼为主要优势种
壶口至潼关	壶口~潼关河段	该河段属淤积游荡型河道,泥沙大量淤积,河道宽浅,水流散乱,主流游荡不定,形成鱼类等水生生物重要的栖息繁殖生境,鱼类种类结构组成及资源量在该河段明显增加	以鲫、麦穗鱼、鲮、鲤等喜静缓水生境鱼类为优势类群
潼三河段	潼关~三门峡河段(类比河段)	该河段生境基本呈现流水生境+三门峡库区湖泊生境河段,鱼类类群组成包含喜静缓水生境鱼类和喜流水或缓流水生境鱼类,但以喜静缓水生境鱼类占优势。	以鲮、贝氏鲮、鲫、蛇鮈等喜静缓水生境鱼类类群为主



图 10.1.3-1 万家寨库区及坝下河段



图 10.1.3-2 天桥坝下~壶口河段



图 10.1.3-3 壶口~潼关河段



图 10.1.3-4 潼关～三门峡河段
表 10.1.3-6 调查河段鱼类种类组成及分布

序号	种类	大北干流河段		小北干流河段	潼三河段
		万家寨库尾～万家寨坝下河段（类比河段）	天桥坝下～壶口河段	禹门口～潼关河段	潼关～三门峡河段（类比河段）
1	黄河鲤	+	+	+	+
2	镜鲤	+			
3	鲫	+	+	+	+
4	鲮				
5	马口鱼	+	+	+	
6	瓦氏雅罗鱼		+	+	
7	赤眼鲮			+	
8	麦穗鱼	+	+	+	+
9	鲮	+	+	+	+
10	贝式鲮				
11	蛇鲇		+	+	+
12	银鲇	+	+	+	+
13	南方鲇	+	+	+	
14	棒花鲇	+	+	+	+
15	似铜鲇		+		
16	棒花鱼			+	+
17	红鳍鲌			+	
18	高体鲌		+		
19	翘嘴鲌			+	+
20	鲢	+		+	

序号	种类	大北干流河段		小北干流河段	潼三河段
		万家寨库尾~万家寨坝下河段（类比河段）	天桥坝下~壶口河段	禹门口~潼关河段	潼关~三门峡河段（类比河段）
21	彩石鲃			+	
22	鳊			+	
23	花鲢			+	
24	黄颡鱼			+	
25	光泽黄颡鱼			+	
26	叉尾鮰			+	
27	粗唇鮰			+	
28	乌苏里拟鲿			+	
29	中华花鳅		+	+	+
30	泥鳅		+	+	+
31	大鳞副泥鳅	+		+	
32	达里湖高原鳅		+		
33	鲃	+	+	+	+
34	兰州鲇		+	+	+
35	小黄黝鱼	+		+	
36	普栉虾虎鱼	+		+	+
37	罗非鱼			+	
38	乌鳢			+	
39	黄鲢			+	
40	草鱼			+	

10.1.4 渔获物调查

评价河段渔获物 2864 尾，总重量为 54596.7g。其中鲃量所占比例最高，占捕获鱼类总数的 32.7%，为调查范围内的优势种类；其次为鲫、麦穗鱼、贝氏鲃，分别占总数的 12.5%、8.6%、7.6%。总体来看，渔获物组成以小型鱼类为主，大型鱼类比例相对较低。本次调查渔获物情况见表 10.1.4-1、图 10.1.4-1。

表 10.1.4-1 古贤水利枢纽评价区渔获物

种类	尾数	总重(g)	体长范围(cm)	体重范围(g)	均重(g)	质量百分比(%)	数量百分比(%)
鲤	159	12529.2	4.7-29.1	2.6-1055	78.8	22.9%	5.6%
镜鲤	1	269.5	19.4	269.5	269.5	0.5%	0.0%
鲫	357	5922.9	2.6-15.3	0.4-145.1	16.6	10.8%	12.5%
鲃	937	4928.6	4.2-12.0	1.3-25.6	5.26	9.0%	32.7%
贝氏鲃	218	4534.4	4.6-14.3	1.4-41.0	20.8	8.3%	7.6%
麦穗鱼	247	403.5	2.6-7.2	0.3-7.2	1.63	0.7%	8.6%
马口鱼	63	1027.1	4.8-10.5	1.9-17.3	16.3	1.9%	2.2%
瓦氏雅罗鱼	129	5121.3	2.8-17.5	0.3-94.8	39.7	9.4%	4.5%
红鳍鲌	1	82.5	20.5	82.5	82.5	0.2%	0.0%
翘嘴红鲌	4	335.2	13.5-22.9	27.6-141.8	83.8	0.6%	0.1%
赤眼鲮	8	683.0	6.9-29.8	5.7-311.3	85.4	1.3%	0.3%
鲢	1	513.0	36.6	1500	1500	0.9%	0.0%
鳊	1	187.4	20.7	187.4	187.4	0.3%	0.0%
蛇鲇	244	3733.2	3.7-13.7	0.8-26.5	15.3	6.8%	8.5%
似铜鲇	2	46.8	9.0-11.2	14.5-32.3	23.4	0.1%	0.1%
银鲇	43	141.3	3.2-7.0	0.6-4.8	3.3	0.3%	1.5%

采集共获得漂流性卵 112 粒，仔鱼 25 尾。对采集的卵进行培养观察，并鉴定种类，其中棒花鮡卵 95 粒（占 84.8%），蛇鮡卵 17 粒（占 15.2%）。鱼苗经鉴定也为以上两种，其中棒花鮡 21 尾（84.0%），蛇鮡 4 尾（16%）。

根据采集受精卵的发育期结合同期水温数据，推算产卵时间，同时参照河水的平均流速（根据现场测定，平均流速为 0.44m/s），估算受精卵的漂流距离，从而推断集中产卵河段的大致位置。经推算监测水域产漂流性卵鱼类集中产卵河段主要有 5 段。

（a）产卵场位于距离磴口采样点 8-10km 处，共 2km 河段，由发育期为桑椹期至囊胚早期的鱼卵推算而来。

（b）产卵场位于距离磴口采样点 19-27km 处，共 8km 河段，由发育期为原肠早期至原肠晚期鱼卵推算而来。

（c）产卵场位于距离磴口采样点 49-55km 处，共 6km 河段，由发育期为肌节出现期至眼基出现期鱼卵推算而来。

（d）产卵场位于距离磴口采样点 67-71km 处，共 4km 河段，由发育期为尾泡出现期至尾鳍出现期鱼卵推算而来。

（e）产卵场位于距离磴口采样点 82-89km 处，共 7km 河段，由发育期为心脏原基期至耳石出现期的鱼卵推算而来。

根据产卵径流公式计算分析，推算磴口监测水域产漂流性卵鱼类集中产卵河段主要分布在万镇、八堡乡、佳县-木头峪镇、丛罗峪镇和螭镇 5 个河段，总繁殖量 226.5 万粒，棒花鮡 183.5 万粒（占 80%），蛇鮡 43.0 万粒（占 20%）。其中，万镇河段产卵规模分别为，棒花鮡 25.5 万粒，蛇鮡 4.3 万粒；八堡乡河段产卵规模分别为，棒花鮡 36.4 万粒，蛇鮡 10.9 万粒；佳县-木头峪镇河段产卵规模分别为，棒花鮡 46.6 万粒，蛇鮡 7.6 万粒；丛罗峪镇河坝河段产卵规模分别为，棒花鮡 35.4 万粒，蛇鮡 6.8 万粒；螭镇河段产卵规模分别为，棒花鮡 19.7 万粒，蛇鮡 6.7 万粒。

（2）壶口以上断面

在黄河壶口以上 3km 处设置鱼类早期资源监测断面，共获得受精卵 13 粒，仔鱼 63 尾。对采集的卵进行培养观察，棒花鮡卵 7 粒（占 53.8%），蛇鮡卵 4 粒（占 30.8%），因未孵出不能鉴定种类 2 粒（占 15.4%）；对仔鱼进行鉴定，其中棒花鮡（51 尾）及

其他鮡亚科（12 尾）仔鱼共 63 尾（占 44.4%），其他仔鱼以鮡、麦穗鱼、棒花鱼、小黄黝鱼、泥鳅等产沉黏性卵鱼类为主。目前棒花鮡最小发育时间约为 5~7d，最大发育时间为 30d 左右，参照采样断面河水的平均流速 0.15m/s 计算，推断集中产卵在延川清涧河入黄河口河段。

（3）合阳断面

在小北干流合阳段开展鱼类早期资源监测。对采集的卵苗进行培养、鉴定，其中棒花鮡卵 2 粒，蛇鮡卵 6 粒。仔鱼经鉴定为鮡亚科仔鱼 17 尾（蛇鮡、棒花鮡、银鮡以及其他鮡亚科种类），小黄黝鱼 20 尾，麦穗鱼 10 尾，以及鮡、鲤、鲫、鲇、鲢科、鲮亚科等 46 尾。

根据采集受精卵的发育期结合同期水温数据，推算产卵时间，同时参照河水的平均流速（根据现场测定，平均流速为 0.51m/s），估算受精卵的漂流距离，从而推断集中产卵河段的位置。经推算监测水域产漂流性卵鱼类集中产卵河段主要有三段

（a）位于合阳采样点上游 9-11km 处，在合阳上游榆林控导约 2km 处，由发育期为桑椹期至囊胚早期的鱼卵推算而来；

（b）位于合阳采样点上游 22-31km 处，在韩城市芝川河段约 8km 处，由发育期为原肠早期至原肠晚期鱼卵推算而来；

（c）位于合阳采样点上游 57-64km 处，在禹门口上下游约 7km 处，由发育期肌节出现期至眼基出现期鱼卵推算而来。

从 3 个断面监测结果看，评价区产漂流性卵鱼类的产卵场有两个特点，一是产卵场较分散，规模较小，无规模较大的集中产卵区域；二是评价河段产漂流性卵鱼对繁殖生境要求不严苛，其产卵场既有峡谷生境，有清涧河入黄河的支流汇口生境，也有小北干流河段河道宽浅河流生境。

10.2 主要鱼类及重要生境现状

10.2.1 主要鱼类及生态习性

10.2.1.1 评价河段鱼类生态习性

1. 栖息习性

评价河段鱼类以缓流、静水鱼类为主，急流性种类较少。根据鱼类栖息水域特征，主要包括 2 个类群，见表 10.2.1-1。

(1) 流水类群：如黄河鮡、似铜鮡、南方鮡、瓦氏雅罗鱼、马口鱼、花鲢等。此类群鱼类体长形，略侧扁，游泳能力强，适应于在急流环境中生活，或以小型鱼类为食，或以水生昆虫为食。

(2) 静水和缓流类群：主要或完全生活在静水或缓流水中，渔获物中大多数鱼类属此类群。其中，有生活在中上层以浮游生物或小型鱼类为食，如鲢、鳙、翘嘴鲌、红鳍鲌、鲮、贝氏鲮等；也有生活河流底层，以小型鱼类或底栖动物为主要食物，如鲤、鲫、草鱼、鲇、兰州鲇、棒花鱼、小黄鲈鱼、麦穗鱼、黄颡鱼、泥鳅、蛇鮡、棒花鮡等。

表 10.2.1-1 评价河段鱼类栖息习性情况表

类群名称	生态习性		主要鱼类
流水类群	此类群鱼类体长形，略侧扁，游泳能力强，适应于在急流环境中生活，或以小型鱼类为食，或以水生昆虫为食。		主要有黄河鮡、似铜鮡、南方鮡、瓦氏雅罗鱼、马口鱼、花鲢等。
静水和缓流类群	主要或完全生活在静水或缓流水中。	生活在中上层以浮游生物或小型鱼类为食。	包括鲢、鳙、翘嘴鲌、红鳍鲌、鲮、贝氏鲮等。
		生活在河流底层，以小型鱼类或底栖动物为主要食物。	包括鲤、鲫、草鱼、鲇、兰州鲇、棒花鱼、小黄鲈鱼、麦穗鱼、黄颡鱼、泥鳅、蛇鮡、棒花鮡等。

2. 食性

从食性上看，评价河段鱼类可以划分为 5 类，详见表 10.2.1-2。

表 10.2.1-2 评价区鱼类食性情况表

类群名称	食性	主要鱼类
食浮游生物鱼类	主要以浮游植物、浮游动物为食	鲢、鳙等
食水草鱼类	主要以水草为食	鳊、草鱼等
食底栖无脊椎动物鱼类	多食急流的砾石河滩石缝间生长的毛翅目、襁翅目和蜉游目昆虫的幼虫或稚虫，少部分生长在深潭和缓流河段泥沙底质中的摇蚊科幼虫和寡毛类	大部分鳅科、鮡属
凶猛肉食性鱼类	此类群游泳能力强，口裂大，牙齿发达，以其它鱼类为食	主要有乌鳢、黄颡鱼、光泽黄颡鱼、马口鱼、翘嘴鲌、红鳍鲌、鲇、兰州鲇等
杂食性鱼类	食水生昆虫、虾类、软体动物等，也食藻类及植物的残渣、种子等，有时也捕食小型鱼类。其食性随环境和季节变化而有所差异，在春夏、季节常吞食其它鱼的鱼卵	该类群鱼类种类较多，包括鲮、贝氏鲮、赤眼鲮、瓦氏雅罗鱼、高体鳊、彩石鲃、鲤、鲫、小黄鲈鱼、麦穗鱼、蛇鮡、棒花鱼、泥鳅、大鳞副泥鳅、银鮡等

3. 繁殖习性

按产卵方式，评价河段鱼类可分为 4 个类型，其中以产沉粘性卵鱼类和产漂流性卵鱼类为主。

(1) 产沉粘性卵鱼类：主要包括黄河鲤、鲫、鲮、贝氏鲮、花鲢、泥鳅、兰州鲇、鲇、瓦氏雅罗鱼等。此类群鱼类产出的卵具有黏性，卵产出后附着在水草、砾石上进行孵化。

(2) 产漂流性卵鱼类：蛇鮡、鲢、赤眼鲮、翘嘴鲌、黄河鮡、似铜鮡、南方鮡等。

此类群鱼类的卵比重稍大于水，卵产出后即吸水膨胀，有较大的卵间隙，在水流作用下可漂浮于水面，需在流水中完成孵化过程。

表 10.2.1-3 评价河段鱼类繁殖习性情况表

类群名称	繁殖习性	主要鱼类
产沉黏性卵鱼类	此类群鱼类产出的卵具有黏性，卵产出后附着在水草、砾石上进行孵化	鲤、鲫、鳊、贝氏鳊、花鲢、泥鳅、兰州鲇、鲇、瓦氏雅罗鱼等
产漂流性卵鱼类	此类群鱼类的卵比重稍大于水，卵产出后即吸水膨胀，有较大的卵间隙，在水流作用下可漂浮于水面，需在流水中完成孵化过程	蛇鲇、鲢、赤眼鲈、翘嘴鲈、黄河鲇、似铜鲇、南方鲇等
产浮性卵鱼类	此类鱼的卵比重小于水，产出后浮在水面上。	乌鳢等

10.2.1.2 主要鱼类繁殖特点

根据《中国动物志》、《陕西鱼类志》、《黄河渔业资源调查》以及《长江鱼类早期资源》相关资料记载和实地调查显示，调查河段鱼类繁殖时间从 3 月至 9 月，集中繁殖期为 4 月至 6 月之间，不同鱼类的产卵繁殖条件各异。调查范围内无长距离洄游性鱼类，部分产漂流性卵鱼类存在一定距离的生殖洄游。多数鱼类产卵繁殖水温在 18℃ 以上，产卵较早的鱼类水温达到 12℃ 以上开始产卵。鱼类产卵类型包括浮性卵、沉性卵、粘性卵以及漂流性卵等，评价河段鱼类以产沉粘卵鱼类为主，主要喜栖息在静水或者静缓水河湾、河滩湿地区域，其产卵场多位于靠近岸边的河湾浅水区域和有水生维管束植物分布的河滩湿地。主要鱼类繁殖特点及所需生态水文条件见表 10.2.1-4。

表 10.2.1-4 评价河段主要鱼类繁殖特点及生态水文需求

种类	洄游习性	产卵类型	产卵期	生态水文需求
乌鳢	定居型	浮性卵	5-7 月	产卵场在靠近岸边的水草丛生和避风的浅水地区，底质为泥沙的静水区域，产卵通常在早晨进行，亲鱼具有用水草筑巢和护卵、护幼的行为。
鳊	定居性	沉性卵，具微粘性	4-8 月	在浅水的缓流地区或静水中产卵，有逆水跳滩的习性，产卵一般在夜间，底质为砾石、泥沙，水深一般为 0.5-2.0m，产卵水温 24-26℃。
鲫	定居性	沉性卵，具粘性	4-6 月	当水温达 16℃ 左右时开始产卵，在河流中靠近岸边有水草的浅水区产卵，卵粒附着在水生维管束植物或漂浮的树枝上。
蛇鲇	繁殖洄游	漂流性卵	4-6 月	微流水、底质为卵石或砂质的浅水河滩，集群产卵，产卵水温一般在 12℃ 以上。
麦穗鱼	定居性	沉性卵，具粘性	3-6 月	繁殖水温在 12.5-27℃ 之间，分批产卵，受精卵通常粘附于水生维管束植物及其他物体上。
黄河鲤	定居性	粘性卵	4-6 月	在河流靠近岸边的浅水区产卵，卵粒附着在水生维管束植物或漂浮的树枝上，产卵水温的下限为 18℃。
鲇	定居性	沉性卵，强粘性	3-7 月	产卵水温在 18-21℃，受精卵粘附于水生维管束植物上。
赤眼鲈	繁殖洄游	漂流性卵	6-8 月	产卵场多为支流沿岸有水草的区域，间或有在较浅的沙滩产卵，江河涨水时多上溯至小河中。
黄颡鱼	定居性	沉性卵，强粘性	6-9 月	常在水草丰茂或泥沙底质的静缓水生境浅水区进行产卵繁殖，产卵水温要求 18℃ 以上。
棒花鱼	定居性	沉性卵，微粘性	4-5 月	多位于缓流有挺水植物生长、水深 10-50cm 的泥底
泥鳅	定居型	沉性卵，具粘性	4-9 月	水温 16℃ 时开始产卵，分批产卵

10.2.2 保护鱼类

根据历史资料记载，在评价河段禹门口至潼关河段分布有国家一级保护动物 1 种，为北方铜鱼，该鱼类在大北干流和小北干流河段近 20 年未捕获到；国家二级保护动物 1 种，为大鼻吻鮡，该鱼类在该河段属于偶见种；在小北干流河段调查到陕西省省级保护动物 6 种，分别为赤眼鳟、唇鲮、鲤、兰州鲇、乌鳢、翘嘴鲌，其中鲤、兰州鲇在黄河北干流分布较广，赤眼鳟、乌鳢主要分布在小北干流河段，有一定的资源量，唇鲮、翘嘴鲌在小北干流河段调查到，资源量较少，保护鱼类具体情况如下：

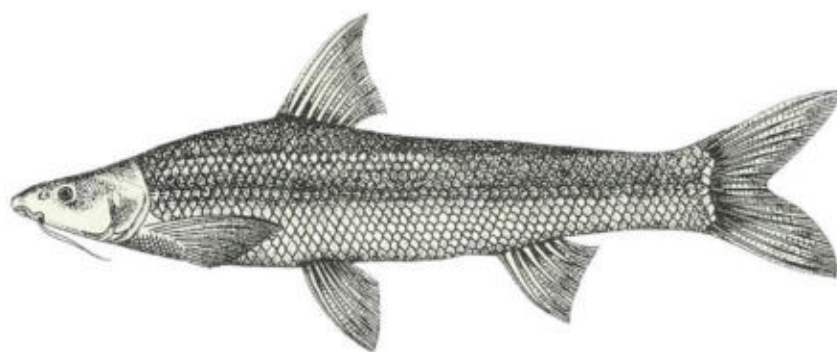
（1）北方铜鱼

分类地位：鲤形目、鲤科、铜鱼属

分布：中国的特有物种，仅分布于黄河水系。以兰州、宁夏的青铜峡一带的中上游河段为多。历史上主要分布在甘肃靖远至宁夏中卫一带约 200 公里的黄河河段。

生境及习性：北方铜鱼为中下层淡水鱼类，喜欢栖息于河湾及底质多砾石、水流较缓慢的水体中。冬季潜伏于深水处的岩石下或深沱中，开春溯游产卵。繁殖期为 5-7 月，受精卵在流水中可随水漂流孵化。9-10 月份退至下游。幼鱼食其它鱼类的卵和苗，成鱼主食底栖动物，亦食水生昆虫、小鱼虾、植物碎屑、谷物、小螺蚌等，多在混浊的深水区觅食。

在评价区资源量稀少，已近 20 年未见，主要原因可能是过度捕捞和水利建设等。



（2）大鼻吻鮡

分类地位：鲤形目、鲤科、吻鮡属

分布：评价区很少捕获到，资源量小，主要分布在甘肃宁夏境内。

生境及习性：生活于水体底层，喜流水，以底栖动物为食。在小北干流河段属于偶见种，偶有捕获。



(3) 鲤

分类地位：鲤形目、鲤科、鲤属

分布：评价区资源量较多，主要分布在黄河中下游。

生境及习性：黄河鲤为底栖性、杂食性鱼类，适应性强，繁殖季节 4~5 月，产卵水温在 18℃ 以上。



(4) 兰州鲇

分类地位：鲇形目、鲇科、鲇属

分布：评价区有一定资源量，主要分布在兰州以下的黄河中上游。

生境及习性：兰州鲇为底栖鱼类，多生活于较大的江河、溪流和水库中，喜在水生植物较多的水域内。白天潜伏于植物丛中或洞穴内，夜间常进入浅水区觅食。性凶猛，肉食性。



(5) 乌鳢

分类地位：鲇形目、鳢科、鳢属

分布：评价区资源量较少，主要分布在黄河小北干流。

生境及习性：乌鳢属底栖性鱼类，常栖息于水草茂盛、软泥底质的湖泊、水库、河流及池塘水域中，对缺氧、水温和不良水质有很强的适应能力，肉食凶猛性鱼类，多在水草茂盛、无水流的水域岸边产卵。



(6) 唇鲟

分类地位：鲤形目、鲤科、鲟属

分布：评价区偶尔捕获，为偶见种，主要分布在长江水系干支流。

生境及习性：常栖息于水体中下层，以底栖脊椎动物为食。2龄后性成熟，一般春季产卵。



(7) 赤眼鲮

分类地位：鲤形目、鲤科、赤眼鲮属

分布：评价区资源量相对较多，主要分布在黄河银川以下黄河干流。

生境及习性：赤眼鲮为中上层鱼类，在流水和静水中都能生活。杂食性，主食水草，也食水生昆虫和小鱼。繁殖季节一般为6月中旬~8月，产卵繁盛期为7月，分批产卵，具有生殖洄游习性，产漂流性卵，生殖季节有群聚现象。



(8) 翘嘴鲇

分类地位：鲤形目、鲤科、鲇亚科、鲇属

分布：广泛分布，主要在长江流域，小北干流河段有分布，资源量少。

生境及习性：广温性鱼类，苗期主要以浮游生物及水生昆虫为食，成鱼以小鱼为食，多生活在流水及大水体的中上层。6~8月份在水流缓慢的河湾或湖泊浅水区集群产卵，产卵水温20~32℃。产卵后大多进入湖泊摄食或在江湾缓流区肥育。幼鱼喜栖息于湖泊近岸水域和江河水流较缓的沿岸，以及支流、河道与港湾里。冬季在河床或湖槽中越冬。



10.2.3 鱼类重要生境

10.2.3.1 鱼类产卵场

1. 产卵场分布

结合调查河段生境条件现状以及主要鱼类产卵繁殖习性分析，总体可以将调查河段集中产卵繁殖生境分为 2 类：（1）以产沉粘性卵鱼类为主的产卵场；（2）以产漂流性卵鱼类为主的产卵场。其中产沉粘性卵鱼类为主的产卵场有 10 处，产漂流性卵鱼类为主的产卵场有 9 处。古贤评价河段天桥至潼关河段，产沉粘性卵鱼类为主的产卵场有 5 处，产漂流性卵为主的产卵场有 9 处。类比河段 5 处均为产沉粘性卵鱼类为主的产卵场。

鱼类产卵场分布详见表 10.2.3-1 及图 10.2.3-1。

表 10.2.3-1 评价河段鱼类主要产卵场分布情况

所在河段		产卵场位置	产卵类型	生境基本情况	与工程位置关系
大北干流河段	万家寨（类比河段）	万家寨库尾约 10km 河段	产沉粘性卵	流水生境逐渐进入库区静水环境，泥沙淤积，形成较大面积漫滩、河湾，底质以泥沙为主，适宜鱼类繁殖以及仔幼鱼索饵	距坝址约 622km
		万家寨坝下	产沉粘性卵	受万家寨水库调节运行影响，水位变动频繁，且河道受到较大冲刷，河床底质以砾石、泥沙为主，两岸漫滩生境变动频繁	距坝址约 550km
		龙口坝下	产沉粘性卵	多砾石浅滩或河心洲，河床底质以砾石为主，水流变动主要受到万家寨泄水影响，两岸漫滩生境相对较多，植被丰茂，水体较为清澈	距坝址上游约 520km
	库尾（吴堡）以上河段	天桥坝下	产沉粘性卵	少量砾石浅滩或河心洲，河床底质以砾石为主，水流变动主要受上游万家寨水库影响，两岸漫滩生境相对较多	距坝址约 460km
		万镇河段 2km	产漂流性卵	河道水流相对较急，沿岸漫滩较少，水深相对较大，河床底质以泥沙为主，伴有少量砾石，水体较为浑浊。	距坝址约 330km
		八堡乡河段 8km	产漂流性卵		距坝址约 280km
		佳县-木头峪镇河段 6km	产漂流性卵		距坝址约 270km
		螭镇河段 7km	产漂流性卵		距坝址约 240km
		罗峪镇河段 4km	产漂流性卵	水流散乱，形成众多河网、漫滩、回水湾，河心洲密布。靠近山西侧水流相对较缓，水深较浅，近岸区域形成漫滩湿生生境，并有一定量的湿生植被分布，河床底质为泥沙。	距坝址以上约 250km

所在河段		产卵场位置	产卵类型	生境基本情况	与工程位置关系
	库区 (坝址以上)	无定河入黄河口	产沉粘性卵	水流变缓, 漫滩较多, 形成多个回水湾, 河床底质为砾石、泥沙	距坝址约以上 130km
		延川清涧河入黄河口河段	产漂流性卵	水浅, 河道水流相对较急, 沿岸漫滩较少, 河床底质为泥沙, 位于古贤库区, 距坝址约 70km	距坝址约 70km
坝下河段	坝址至潼关河段	禹门口上下游河段 7km	产漂流性卵	两岸山体陡峭, 河道水流相对较急, 沿岸漫滩较少, 河床底质为泥沙, 水体浑浊, 水体含沙量很大, 回水湾较多	距坝址约 70km
		韩城市芝川河段 8km	产漂流性卵	水流相对较缓, 泥沙底质, 多缓流生境, 散流、沙滩、湿地基本分布在黄河左侧, 湿地面积较大, 湿地湿生植被以芦苇、蒲草等为主	距坝址约 100km
		峪口控导——榆林控导约 30km 河段	产沉粘性卵	淤积游荡型河道, 河道宽浅, 水流散乱, 主流游荡不定, 分布有不连续漫滩, 水生、湿生植物丰茂	距坝址约 96km
		榆林控导河段 2km	产漂流性卵	水流相对较缓, 泥沙底质, 多缓流生境, 散流、沙滩、湿地基本分布在黄河左侧, 湿地面积较大, 湿地湿生植被以芦苇、蒲草等为主	距坝址约 117km
		申都控导——华原控导约 30km 河段	产沉粘性卵	生境条件与峪口控导——榆林控导较为一致, 大面积的漫滩、散乱流, 河滩分布大量湿生植被, 形成大面积的芦苇、蒲草群落结构	距坝址约 158km
		潼关黄河大拐弯约 15km 河段	产沉粘性卵	大面积散流漫滩及河心洲, 湿生植被繁茂, 形成鱼类良好的栖息繁殖生境	距坝址约 208km
	潼三河段(类比河段)	潼关至三门峡河段(风陵渡黄河公路大桥——礼教控导约 30km 河段)	产沉粘性卵	河道明显收窄, 水流受到阻隔形成众多河湾及漫滩湿地生境, 滩地范围内湿生植被较为繁茂, 其规模明显较小北干流河段小	距坝址约 220km
		圣天湖——三门峡库尾约 20km 河段	产沉粘性卵	较大面积浅水湖泊生境, 处于流水入静水生境的交汇河段, 受三门峡库区水位变动影响, 该河段处于动态变化过程, 浅缓水生境形成了鱼类产卵繁殖的重要生境	距坝址约 278km

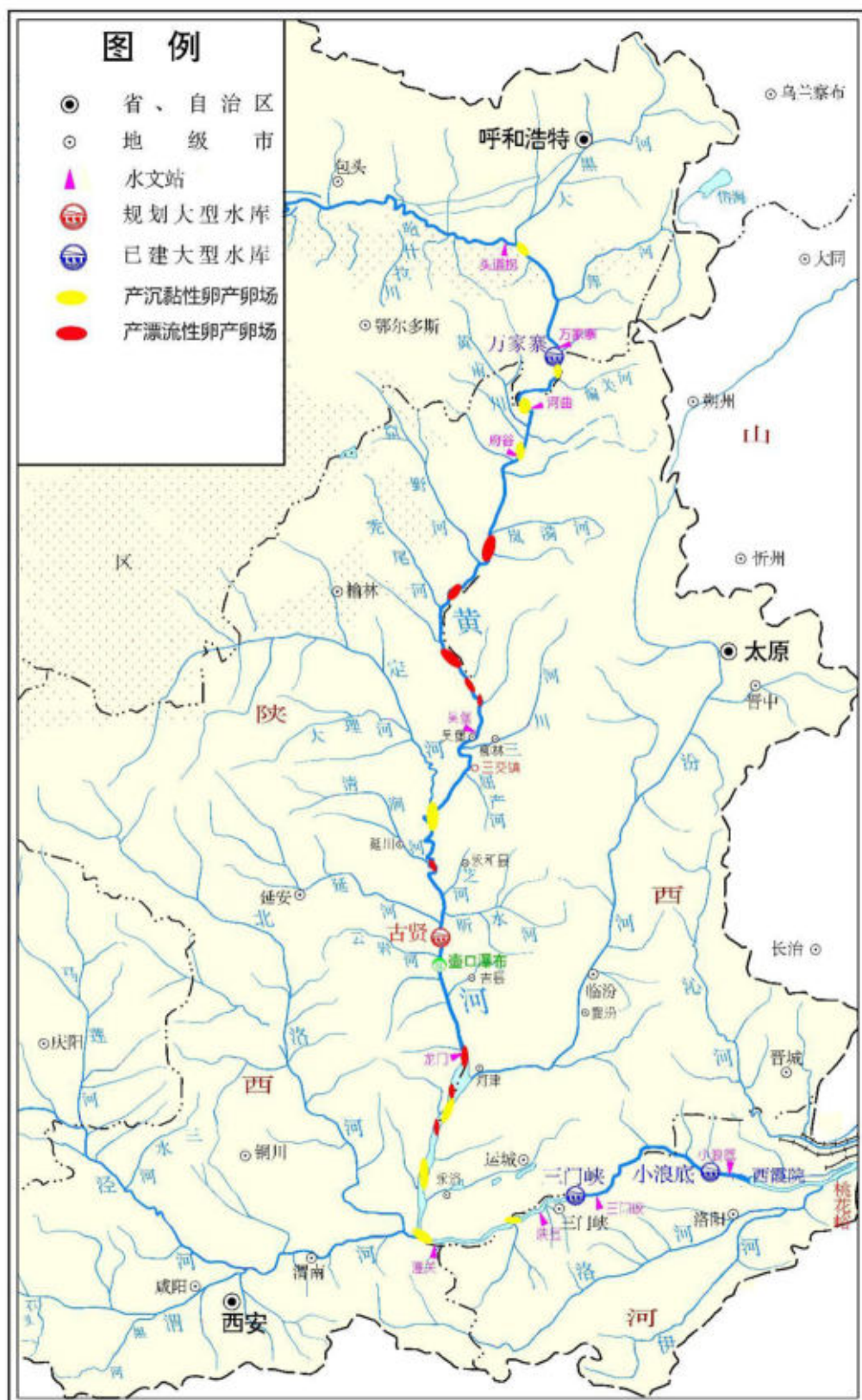


图 10.2.3-1 评价河段主要产卵场分布示意图

10.2.3.2 鱼类索饵和育幼场

评价河段黄河干流依据河流生态特征可划分为 2 个河段，即天桥至禹门口河段、禹门口至潼关的黄河小北干流河段。评价区规模较大的鱼类索饵育幼场为娘娘滩下游段、韩城汾河口段、合阳合川湿地段、潼关渭河口段等多处。详见表 10.2.3-2。

表 10.2.3-2 评价河段鱼类索饵场、育幼场分布

所在河段	河段整体情况	索饵场及育幼场分布	生境特点
天桥至禹门口河段	总体为黄土高原峡谷生境，除库区外的干流河段水流较急，沿岸水土流失明显，水体含沙量高，不利于水生生物的生长，鱼类饵料较匮乏	分布在支流汇入口和干流洄水湾及河滩沼泽湿地	河道变宽，水流较缓，聚集有较多的被水流挟带的有机碎屑等，为鱼类提供了较丰富的食物资源
黄河小北干流河段	黄河河床宽浅，水流散乱，河心洲、浅滩密布，主流摆动不定，属堆积游荡型河段；河谷分布有不连续的漫滩，两岸分布有大量滩地	河流浅水区域形成了鱼类重要的索饵场所	湿生植物丰茂，水体含沙量高，主河道水流较急，两岸台地发育，湿地两岸黄土台塬显著隆起，为典型的江河平原河谷生境

10.2.3.3 鱼类越冬场

鱼类越冬场一般处于河道主河槽的深水区，大型回水湾的深水区以及河道主河槽均可以在一定程度上满足鱼类越冬。受库区形成的影响，调查的类比河段的万家寨水库库区以及三门峡水库库区均是鱼类的良好越冬场所。

10.3 水生生态影响预测与评价

古贤水利枢纽工程施工期对水生生态的影响较小，对水生生态的不利影响主要是运行期，本节重点分析古贤水利枢纽工程实施后，由于大坝阻隔、水文情势、水环境、水温等环境要素变化对库区及坝址下游水生生态产生的影响。

10.3.1 水生生物影响分析

10.3.1.1 浮游生物影响

古贤水利枢纽工程评价河段工农业生产相对不发达，外源性营养输入基本维持现状。若无古贤水利枢纽工程建设，评价河段水文情势、水质、水温、透明度等水生态环境基本维持现状，浮游植物群落结构会保持现状。

(1) 库区河段

古贤水利枢纽工程的建成，使得库区河段变成不完全年调节的河道型水库，库区水位抬高，从库尾至坝前流速减缓，泥沙沉降，水体透明度增大，有利于浮游生物的生长和繁殖，但群落结构不会发生变化。

由于初期蓄水，水体中氮、磷的含量短时间内略有增加。初期蓄水浮游生物种类和现存量会略增加。类比万家寨和三门峡库区浮游植物现状，在三川河汇入后至清涧河口段，由于 TN 和 TP 浓度有所增加，预计库尾河段浮游植物种类和现存量会增加。

类比万家寨水库浮游植物群落结构变化，预计古贤水库库区浮游植物浮游植物种类和现存量增加。水库拦沙期和正常运行期，支流入库口呈中～富营养水平，浮游植物种类和现存量较原河流明显增加，群落结构不会变化，浮游动物种类和数量略增。

(2) 库区支流

古贤水利枢纽工程建成后库区支流的下游回水河段形成库湾，库区支流库湾水文情势的变化趋势和库区干流大致相同，库湾浮游植物的种类和现存量会和库区干流一样明显增加。

(3) 坝址下游

古贤水利枢纽工程下泄低温水，坝下水体浮游植物组成与库区相似，但浮游植物生长繁殖受低温水影响，现存量会下降。随着沿程水温的恢复，浮游植物、浮游动物种类和数量会有所增加。

古贤水利枢纽工程建设后，对各河段浮游植物的影响详见表 10.3.1-1。

表 10.3.1-1 古贤枢纽建设对浮游生物的影响

工 况	河段		浮游植物生境变化	对浮游植物的影响	对浮游动物的影响
无古贤枢纽工程	评价区河段		水文情势、水质、水温、透明度等水生态环境基本维持现状	无影响，群落结构保持现状	群落结构保持现状
有古贤枢纽工程	整体库区河段	初期蓄水	水体中氮、磷的含量短时间内略有增加	浮游植物种类和现存量与现状比不会减少	浮游动物种类和数量略增加
		拦沙期	库区支流入库口呈中～富营养水平	浮游植物种类和现存量较原河流明显增加；群落结构不会变化	
		正常运行期			
	三川河汇入至清涧河口段（库尾）		拦沙期水体 TN 和 TP 浓度沿程逐渐降低的，正常运用期总氮沿程降低，总磷在各支流汇入口略有增加	浮游植物种类和现存量略增加	浮游动物略增加
	清涧河口以下（库区中下游）		水体 TN 浓度较原河段下降	浮游植物种类和现存量会较库尾呈下降趋势	中上段浮游动物增加，库区下段增加幅度较小
	库区支流库湾（支流下游回水河段形成）		水文情势的变化趋势和库区干流大致相同	浮游植物的种类和现存量 and 库区干流一样明显增加	
坝址下游		古贤水利枢纽下泄低温水，下游河段水温下降	浮游植物组成与库区相似，浮游植物生长繁殖受低温水影响，现存量会下降。随着沿程水温的恢复，浮游植物种类和数量会有所恢复。	饵料资源增加，浮游动物种类和现存量会随之有所恢复	

10.3.1.2 底栖动物影响

受到黄河特有的多泥沙地理条件限制，现状条件下库区河段底栖动物少，主要种类有沼虾、扁螯蚌、水摇蚊等，底栖动物密度、生物量低。当无古贤枢纽工程建设时，评价河段底栖动物群落结构仍保持现状。

(1) 库区

古贤水利枢纽工程运行后，库区回水长度达 202.1km，结合古贤水利枢纽工程特性（水深增加、防洪减淤）并参照万家寨、三门峡库区河段底栖动物现状，预计古贤水利枢纽工程运行后，库区河段底栖动物分布变化明显。

随着古贤水库拦沙运用，水库库区主要呈三角洲淤积形态，拦沙初期主要淤积在水库中部，拦沙后期主要淤积在坝前区域。由于泥沙沉降，主库区底栖动物密度和生物量会显著下降，主要淤积区较库尾段及坝前段变化大，库尾河段由于水文情势及其他水生态环境因子与原河流变化不大，底栖动物基本维持原种群结构，密度和生物量会有所增加。

正常运行期库湾以及库尾河段适应于静缓水生境的底栖动物密度和生物量会相对增加，种类将以萝卜螺属软体动物、摇蚊及虾科生物为主，但受到库区水位消落、泥沙沉降等协同作用的影响。因丰、枯水期枢纽运行方式不同，库区河段丰、枯水期底栖动物种类分布及结构将呈现一定差异，丰水期主要种类为沼虾、扁螯蚌及广适型水生昆虫等，枯水期底栖动物以萝卜螺、摇蚊、沼虾等静水型种类为主。

(2) 库区支流

古贤水库库区支流较多，生境大体相同。以无定河评价河段为参考，预计库区支流现存底栖动物以摇蚊科生物为主，底栖动物种类、数量分布均较低。

古贤水利枢纽工程运行后，库区支流受水库蓄水影响，库区淹没后支流下游回水河段形成库湾，底质以泥沙底质为主，回水河段流速较前下降，预计支流回水河段底栖动物将仍以摇蚊科生物为主，数量较原来有所增加。

(3) 坝址下游

古贤坝址下游小北干流河段现存底栖动物明显多于大北干流，主要种类有沼虾、扁螯蚌、摇蚊等，底栖动物现存量一般。古贤水利枢纽工程运行后，清水下泄冲刷河床，，

导致底栖动物栖息生境受到影响，加上下泄低温水，对现有主要种类如沼虾、扁螯蚌等有一定影响。但对坝下底栖动物种群结构影响相对有限，对其现存量 and 资源量有一定影响。

表 10.3.1-2 古贤枢纽建设对底栖动物的影响

工况	河段		底栖动物生境变化	对底栖动物的影响
无古贤枢纽工程	评价区河段		水文情势、水质、水温、透明度等水生态环境基本维持现状	无影响，群落结构保持现状
有古贤枢纽工程	整体库区河段	拦沙期	拦沙初期主要淤积在水库中部，拦沙后期主要淤积在坝前区域； 库尾河段水文情势及其他水生态环境因子与原河流变化不大	主库区：泥沙沉降导致底栖动物密度和生物量会显著下降，主要淤积区较库尾段及坝前段变化大； 库尾段：底栖动物基本维持原种群结构，密度和生物量会有所增加。
		正常运行期	库区水位消落，泥沙沉降	库区河段丰、枯水期底栖动物种类分布及结构将呈现一定差异。 丰水期：主要种类为沼虾、扁螯蚌及广适型水生昆虫等； 枯水期：以萝卜螺、摇蚊、沼虾等静水型种类为主。
	库湾及库尾河段		库区水位消落、泥沙沉降	正常运行期适应于静缓水生境的底栖动物密度和生物量会增加，将以萝卜螺属软体动物、摇蚊及虾科生物为主。
	库区支流库湾（支流下游回水河段形成）		底质以泥沙底质为主，回水河段流速较前下降	支流回水河段底栖动物将仍以摇蚊科生物为主，数量较原来有所增加。
	坝下		清水下泄冲刷河床，河道并滩归槽，小北干流河滩湿地面积减少，底栖动物栖息生境受到影响。	对现有主要种类如沼虾、扁螯蚌等有一定影响。运行对坝下底栖动物种群结构影响相对有限，对其现存量 and 资源量影响有限。

10.3.2 鱼类影响分析

10.3.2.1 大坝阻隔的影响

古贤水利枢纽工程坝下约 10km 即为壶口瀑布，该河段壶口以上，水在宽槽中流行，到了瀑布深槽上端，400m 宽的水面全部倾注到 30~50m 宽的深槽中，形成瀑布，落差为 15m~40m。

根据水生生态现状调查，壶口瀑布形成了黄河鱼类上溯的天然阻隔。古贤水利枢纽工程的建设会进一步加大了壶口瀑布原有的地理阻隔影响，鱼类上溯通道阻断，下行阻隔增强。

基于壶口瀑布的天然阻隔影响，古贤大坝阻隔主要影响坝下 10km 河段的鱼类。壶口以上至古贤坝址 10km 河段为峡谷生境，河宽 300m 左右，河道较为顺直，无大型回水湾、散流漫滩生境分布，鱼类区系组成与北干流河段趋于一致，以流水生境鱼类为主，

且鱼类多有逆水上溯习性，鱼类上行受壶口瀑布的阻隔，古贤坝址至壶口段鱼类由下游上行补充受阻。

原适应于底栖、流水的鱼类如雅罗鱼、黄河鮰、似铜鮰、南方鮰等将逐渐移向库尾以上干流及库区支流的回水区以上流水河段，流水生境压缩，但库尾至天桥河段仍然保留了 238km 的流水生境，可以满足适应流水性鱼类或需要在流水生境繁殖鱼类栖息和繁殖完成生活史的需求。

古贤水利枢纽工程建成后，库区形成河道型水库，约 202km 的库区呈缓静流状态，不适宜流水生境鱼类栖息，加上大坝的下行阻隔和壶口瀑布所致的上行阻隔，古贤坝下约 10km 河段鱼类资源不能得到补充，该河段的鱼类资源会进一步减少，但影响范围主要为坝下 10km 河段，古贤水利枢纽工程对鱼类的阻隔影响的范围和程度有限。

10.3.2.2 水文情势变化的影响

1. 施工期和初期蓄水水文情势变化的影响

施工期水文情势的变化主要来自工程施工区域的导流、截流以及初期蓄水时期，截流期间来水由龙口和导流隧洞全部下泄，工程下游水文情势不发生改变，工程水文情势的改变主要集中在工程导流、截流区域(上游围堰、下游围堰及导流洞出水口区域范围)，影响河段距离约 5km，该河段范围内鱼类栖息生境消失，区域内鱼类资源量下降，且鱼类无法通过导流洞上溯至上游河段。

根据工程设计，当水库水位达到排沙底孔底板高程 490m 后，封堵 1#导流洞，采用排沙底孔泄放生态基流和供水区用水，直到水库的蓄水位达到起始运行水位 560m 时初期蓄水完成。初期蓄水时间约 5 个月(11 月~次年 3 月)下泄流量为 $200\text{m}^3/\text{s}\sim 284\text{m}^3/\text{s}$ ，与各月多年平均流量相比，减少了约 49.5%~68.7%左右。初期蓄水期间库区水文情势发生改变，库区水位抬升，流速减缓，静缓水生境增加，该时间段内鱼类越冬生境相应增加。坝下河段水资源量减少，河道主河槽的深水区的变化不大，对鱼类越冬影响不大。初期蓄水期避开了鱼类产卵期，对鱼类的影响较小。

2. 运行期水文情势变化对鱼类的影响

(1) 库区

古贤水利枢纽工程运行后，将原河流(坝址~吴堡河段)淹没变成河道型水库库区，

蓄水后库区水位逐步抬高，水面变宽，水流变缓甚至静水，河流流水生境萎缩，相应地库区鱼类种类组成将由“河流型”逐步向“湖泊型”演变。

根据水文情势预测结果，运行期库区流速变缓，越是靠近坝址，流速越是缓慢。拦沙初期，距坝 0~120km 河段平均流速比建库明显减小，接近于零，距坝 120km~201km 河段平均流速与建库前差别不大；拦沙后期，受库区泥沙淤积影响，库中河段逐渐淤高，距坝 40km~120km 河段水深变小，平均流速逐渐增加，接近建库前水平，距坝 0~40km 河段平均流速接近于零；正常运用期，自坝址处至库尾，平均流速呈逐渐增大趋势，距坝 0~60km 河段平均流速比建库前减小幅度较大。

水库形成后，库尾和坝下以及支流回水以上河段仍可维持流水生境，仍可为流水生境鱼类提供一定繁衍栖息的条件。靠近坝址河段，流速明显变缓，适应流水生境的鱼类在种群数量上可能有明显下降。由于库区河段流速的变化，原适应于底栖、流水的鱼类如雅罗鱼、黄河魮、似铜魮、南方魮等将逐渐移向库尾以上干流及库区支流的回水区以上流水河段，其在库区河段的种群数量将明显下降。随着水位的不断抬升，底栖性鱼类主要以鲇、兰州鲇为主逐步退至库尾及库周区域。而适应于缓流或静水环境生活的鱼类如鲤、鲫、鲂、麦穗鱼等，其种类、数量在库区将上升，并有可能成为库区的优势物种。但库尾至天桥河段仍然保留了 238km 的流水生境，可以满足适应流水性鱼类或需要在流水生境繁殖鱼类栖息和繁殖完成生活史的需求。

工程运行后库区下段因水深增大，流水鱼类产卵场将被淹没而功能基本消失，类比亚河中上游已建水库，由于泥沙淤积，水库中上游及库尾水生植物群落发育，挺水植物和沉水植物生长繁茂，为静缓水产粘性卵鱼类如鲤、鲫等提供了优越的产卵条件。



万家寨库尾



三门峡水库中上游

图 10.3.2-1 万家寨库尾、三门峡水库中上游实景图

在拦沙初期，水库水位在起始运用水位 560m 和 588m 之间变化，水库蓄水影响至距坝址 152km 处，坝前水位最大抬升 145m；拦沙后期，水库水位在 588m 和 620.9m 之间变化，水库蓄水影响至距坝址 190km 处，水位最大抬升 158m；正常运用期水库水位在死水位 588m 和 627m 之间变化，水库蓄水影响至距坝址约 201km 处。水库不同运用时期库区水文情势变化趋势相同，只是影响范围稍有差异。拦沙初期影响范围较小，正常运用期影响范围较大。

（2）坝址下游水文情势变化对生态敏感期生态流量的影响

古贤水利枢纽工程的运行改变了坝址下游河段自然水文情势。工程运行后，与建库前相比，年径流量没有变化，年内的分配有较大的变化。总体来看，建库后，11 月～次年 6 月基本为等流量（月均 $400\text{m}^3/\text{s} \sim 600\text{m}^3/\text{s}$ ）下泄，汛期 7 月～10 月仍保留原有丰枯特征，与建库前相比，3 月～5 月流量减小并均化，枯水期 12 月～2 月流量有所增加。

①丰水年：建库后，3 月上旬～6 月中旬、7 月下旬至 8 月中旬、9 月上旬、9 月下旬至 10 月下旬流量减小，减小范围为 $77\text{m}^3/\text{s} \sim 669\text{m}^3/\text{s}$ ，其他旬流量增加，增加范围为 $1\text{m}^3/\text{s} \sim 2218\text{m}^3/\text{s}$ 。10 月下旬减少 58.8%，减幅最大，6 月下旬增加 425.4%，增幅最大。

②平水年：1 月中旬～2 月中旬、6 月中旬～7 月中旬、8 月下旬、9 月下旬、12 月上中旬流量有所增加，增加范围为 $6\text{m}^3/\text{s} \sim 1576\text{m}^3/\text{s}$ ，其他旬流量减少，减小范围为 $23\text{m}^3/\text{s} \sim 570\text{m}^3/\text{s}$ 。10 月下旬减少 55.9%，减幅最大，6 月下旬增加 439.0%，增幅最大。

③枯水年：3 月～5 月、7 月中下旬、8 月下旬～9 月上旬、9 月下旬～11 月下旬流量有所减少，减少范围为 $22\text{m}^3/\text{s} \sim 619\text{m}^3/\text{s}$ ，其他旬流量增加，增加范围为 $17\text{m}^3/\text{s} \sim 1412\text{m}^3/\text{s}$ 。4 月上旬减少 58.3%，减幅最大，8 月上旬增加 368.6%，增幅最大。

④特枯水年：3 月中旬～5 月中旬、7 月下旬、8 月下旬～9 月上旬、10 月上旬～11 月上旬、11 月下旬流量有所减少，减少范围为 $5\text{m}^3/\text{s} \sim 1594\text{m}^3/\text{s}$ ，其他旬流量增加，增加范围为 $14\text{m}^3/\text{s} \sim 299\text{m}^3/\text{s}$ 。10 月上旬减少 77.4%，减幅最大，6 月上旬增加 184.0%，增幅最大。

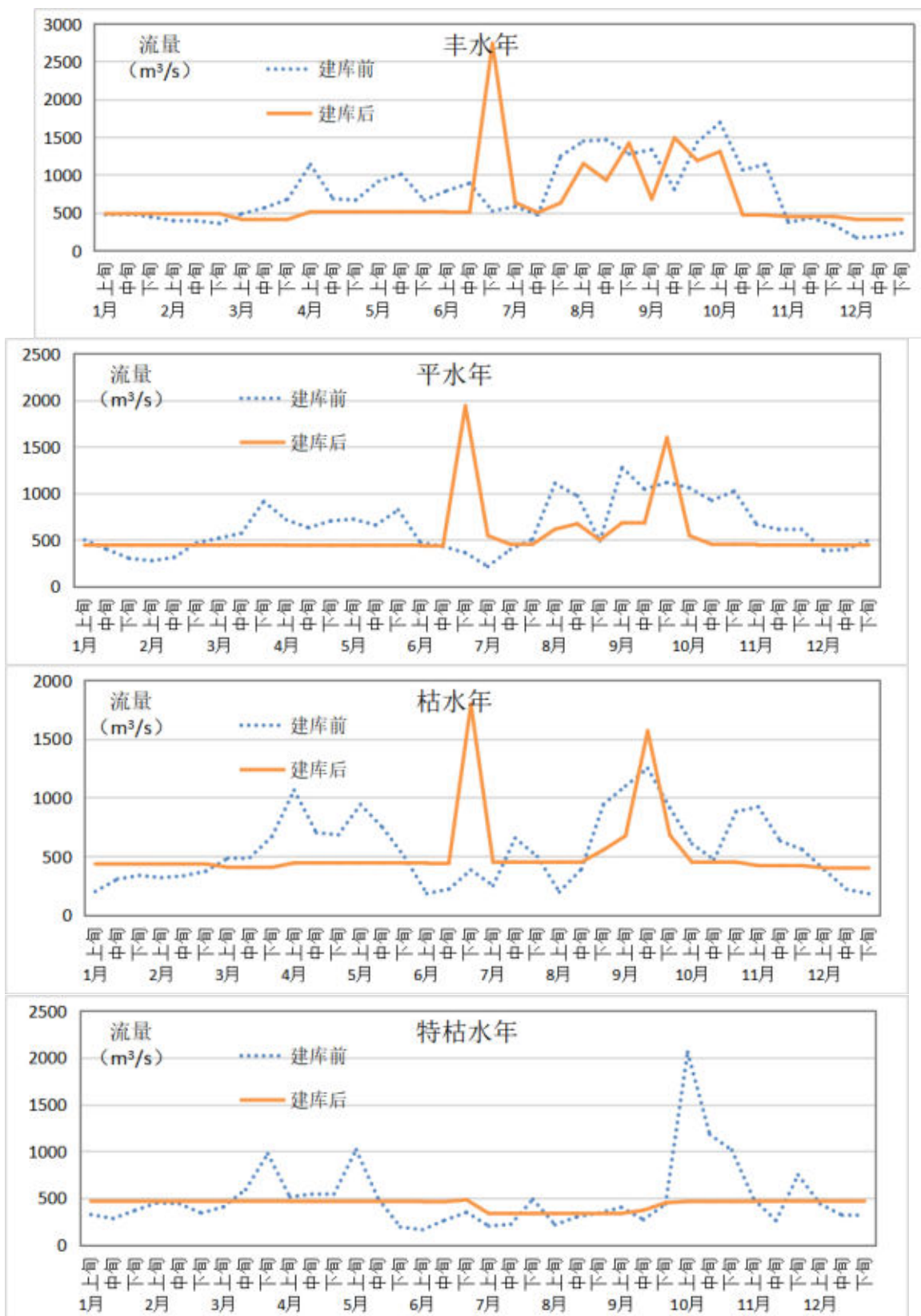


图 10.3.2-2 古贤水库运行前后各典型年龙门断面逐旬流量变化

根据水生生态现状调查，评价河段鱼类产卵期集中在 4 月~6 月，3 月~5 月流量较天然流量减少，但优化古贤水库调度运行方式后，4 月~6 月坝址下游河段流量在

430m³/s~600m³/s（调水调沙期除外）范围，均大于敏感期生态流量指标 240m³/s，满足鱼类繁殖期生态流量要求。见表 10.3.2-1。

表 10.3.2-1 生态流量满足程度分析表 单位：m³/s

月份		4 月	5 月	6 月
生态流量		不低于 240 m³/s		
运行期	丰水年	511	511	1250
	平水年	439	439	934
	枯水年	443	443	891
	特枯年	466	466	468
满足程度		满足	满足	满足

(3) 坝址下游水位变化对鱼类的影响

根据以往水库建设运行的经验，水库调度运行可能会使得坝下的水位频繁涨落，可能对鱼类产卵产生不利影响，影响鱼类繁殖和鱼类的早期发育，影响鱼类资源。为了最大程度的减缓水位频繁涨落对鱼类产卵的影响。从生态保护角度对水库的调度运行进行了优化，优化前，4 月~6 月，日内流量范围变动范围在 190m³/s~450m³/s 范围内；经优化后，4 月~6 月，各典型年日平均流量范围 430m³/s~600m³/s（调水调沙期除外）。当日均流量为 430m³/s 时，日内流量范围为 360m³/s~550m³/s；日平均流量 500m³/s 时，日内流量范围为 425m³/s~615m³/s；日平均流量 600 m³/s 时，日内流量范围为 525m³/s~715m³/s。日内变化幅度控制在 200m³/s 以内。

评价选取黄淤 65 断面（产漂流性卵产卵场代表断面）、50 断面（产沉粘性卵产卵场代表断面、汾河汇入口以下）作为典型断面，分析产卵期流量水位变化。

根据预测结果，日内变化幅度控制在 200m³/s 以内情况下，当流量从 400m³/s 增加到 600m³/s 时，黄淤 65 断面水位变化范围 364.24m~364.52m，变幅为 0.27m；水面宽度变化范围 655.74m~839.22m，变幅约 183m。黄淤 50 断面，水位变化范围 337.17m~337.31m，变幅为 0.23m；水面宽度 1870.36m~2031.48m（附近断面主槽过流能力较小，流量增大后漫滩），变幅约 340m。优化后，水位变幅在 0.23m~0.27m，水面宽度变幅在 180m~340m，考虑小北干流河段河道较宽，可以大大减缓流量下泄引起的水位频繁涨落。基本可以满足鱼类产卵要求。采取上述措施以后，水文情势变化会对坝下鱼类会产生一定的影响，但影响不大。

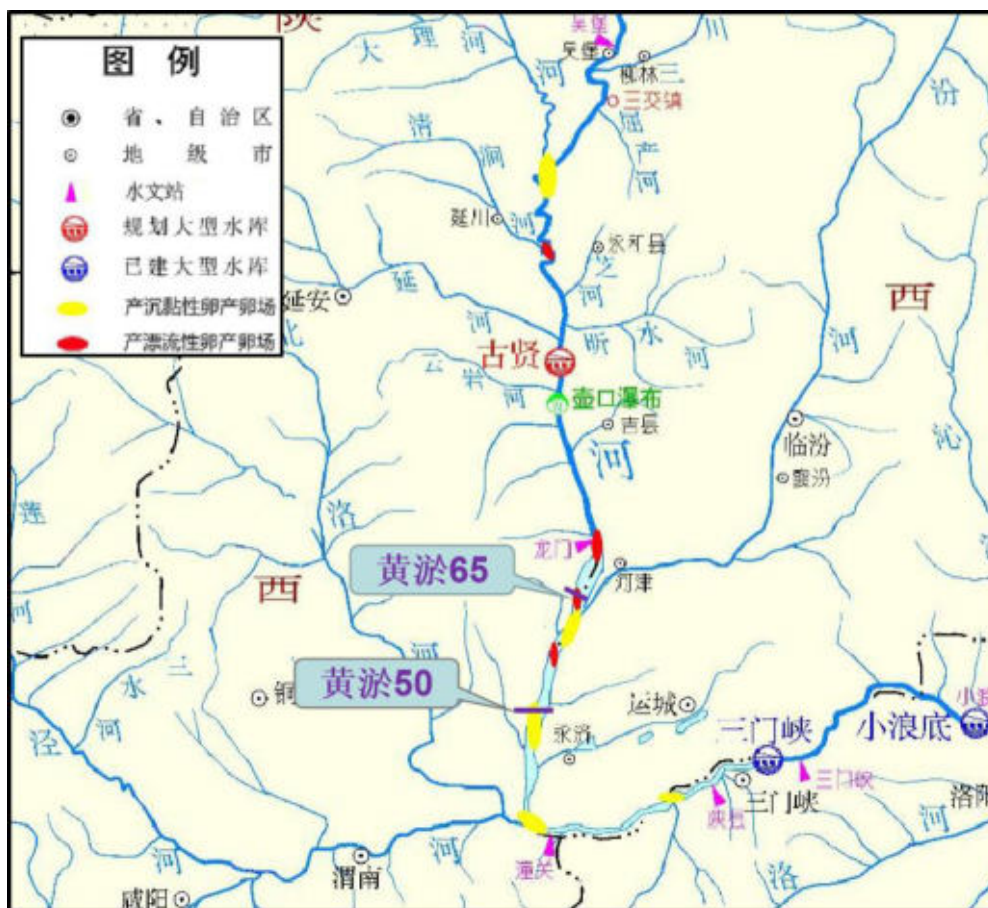


图 10.3.2-3 典型断面位置示意图

10.3.2.3 水温变化的影响

(1) 库区

由于水库的滞温效应，库区水温变化主要表现为升温期水温较天然河道升温缓慢，降温期库区水温较天然河道降温缓慢。总体上库区水温变化对鱼类的生长发育影响相对较小，主要影响为库区鱼类的繁殖期相应延迟。拦沙初期、拦沙后期和正常运用期库区鱼类生活水层的水温变化差异不大，不同时期库区水温变化对鱼类的影响无显著差异。

(2) 坝下河段

水温对鱼类的不利影响主要发生在运行期，主要是对坝址下游的鱼类产卵产生不利影响。为了预测对下游鱼类及产卵的影响，选取龙门水文站到潼关水文站之间河段的产卵场作为分析对象，其中（其中 1#产卵场靠近禹门口最近产沉粘性卵的产卵场，4#产卵场位于潼关水文站附近）。

根据预测成果，从不同时期分析来看，拦沙初期产卵场水温延迟影响最大，拦沙后期影响变小，正常运行期基本无影响。以平水年为例，拦沙初期，1#、2#、3#、4#产卵

场水温到达 18℃的时间与建库前相比，分别延迟 31d、16d、8d，4#产卵场无延迟。拦沙后期，1#、2#、3#、4#产卵场水温到达 18℃的时间与建库前相比分别延迟 24d、15d、7d，4#产卵场无延迟。正常运用期，1#、2#、3#、4#产卵场水温到达 18℃的时间与建库前相比，基本无延迟。

从沿程变化情况来看，古贤水库下泄低温水对产卵场水温延迟影响最远距离可到坝址下游 208km 潼关水文站处，即坝址至潼关水文站河段，主要体现在拦沙初期和拦沙后期的 4 月~6 月，水库下泄低温水经过 200 余 km 的水气热交换作用，最大低温水影响幅度已降至低于 1℃。从 1#、2#、3#、4#产卵场水温到达 18℃的延迟情况也可以看出，低温水下泄对 4#产卵场基本无影响。

总的来看，上游产卵场受古贤水库下泄水温的影响延迟幅度明显，下游河段由于水面较宽，水温恢复进一步增强，河道水温逐渐接近天然过程，水温延迟效应也逐渐消失。不同运用期的延迟幅度不相同，拦沙初期略大于拦沙后期，正常运用期最小。

在采用层高为 6m 的叠梁门分层取水措施以后，在拦沙初期 5 月、6 月分层取水对月均下泄水温分别约有 2.2℃、2.8℃的改善，但是下泄低温水幅度仍然很大，下泄低温水进入下游河道后，受大气影响而沿程增温，水温变化趋势与单层取水基本一致，但各个断面的低温水幅度较单层取水有所变小；4 月下泄水温基本没有改善。从不同取水方式产卵场特征水温到达时间来看，5 月~6 月分层取水提高了下泄水温，使得水温到达 18℃的时间较单层取水有较大幅度提前。以平水年为例，拦沙初期，1#、2#、3#产卵场水温到达 18℃的时间比建库前分别延迟了 14d、13d、8d；采取措施以后，1#、2#、3#产卵场分别提前了 17d、3d、2d。拦沙后期，1#、2#、3#产卵场水温到达 18℃的时间比建库前分别延迟了 11d、10d、5d；采取措施以后，1#、2#、3#产卵场分别提前了 13d、5d、3d。

总的来看，采用分层取水措施后下游河道水温有所提升，距离坝址最近，影响最大的 1#产卵场到达特征水温 18℃的时间最长提前了 17d，在采取分层取水措施以后，和建库前比，产卵场达到 18℃延迟了 14 天。

10.3.2.4 泥沙变化的影响

1. 对库区河段泥沙的影响

水库蓄水后，库区干流水面变宽、流速减缓，泥沙不断沉降淤积。按照设计来水来

沙条件，古贤水库运行约 30 年后达到淤积平衡进入正常运用期。古贤水库干流库区主要呈三角洲淤积形态，泥沙淤积从库尾开始，拦沙期内主要淤积范围为坝前 25km～150km，库尾段及坝前段淤积较少。

库区各支流泥沙淤积从回水区域上游末端开始，随着水库运行年限的增加，淤积范围不断扩大，各支流泥沙淤积在黄河干流库区没有形成明显的拦门沙坎。

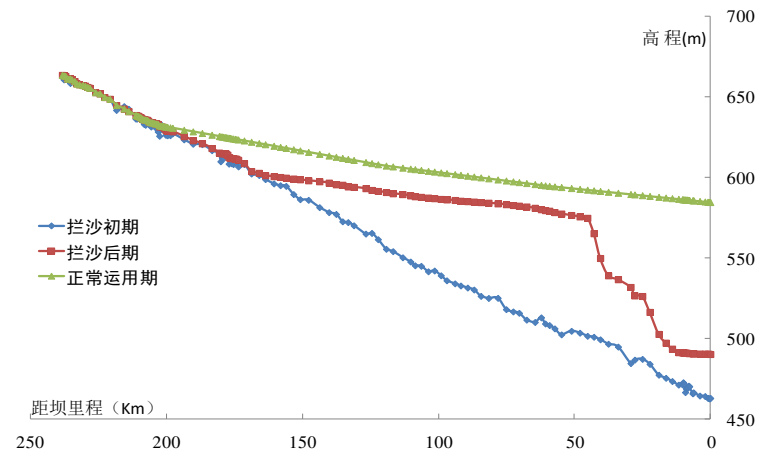


图 10.3.2-4 不同时期库区沿程淤积形态图

2. 对坝下河段泥沙的影响

古贤水利枢纽工程平水年龙门断面含沙量变化见图 9.3.2-7。总体来看，建库后各时期月均含沙量较建库前呈现总体减少趋势，拦沙初期减少比例最大，拦沙后期其次，正常运用期最小。工程运行各时期坝下水体含沙量均明显低于现状。

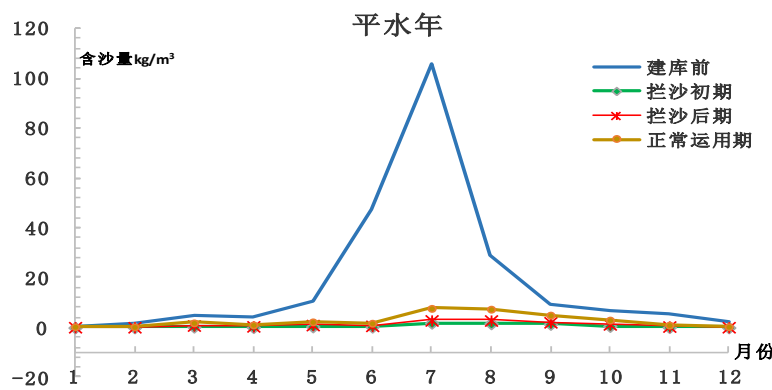


图 10.3.2-5 古贤水库运行前后龙门断面平水年含沙量变化

古贤水利枢纽工程建库后各时期月均含沙量较建库前呈现总体减少趋势，拦沙初期减少比例最大，拦沙后期其次，正常运用期最小。含沙量的减少，水体透明度增大，浮游植物光合作用增强，一定程度上提高了水体的初级生产力，坝下河段受泥沙含量变小

影响，对鱼类资源有利。

3.调水调沙的影响

从 2002 年开始，黄河已经实施了 20 年的调水调沙实践，可以为古贤水利枢纽工程调水调沙对鱼类的影响预测提供较好的类比。

根据近 20 年鱼类调查，黄河下游河道鱼类种类及种群得到了修复。一是鱼类的物种资源逐渐恢复。上世纪 90 年代黄河下游频繁断流，加之水污染问题突出，导致黄河下游鱼类资源损失严重。2002 年~2007 年黄河下游捕获鱼类共 16 种。2010 年 5~9 月共调查鱼类 47 种。2018 年~2020 年，共调查到鱼类 52 种，黄河下游鱼类种类增加。且连续三年在巩义河段捕获大鼻吻鲛，2020 年又于利津段发现了花鲈和刀鲚。黄河下游鱼类物种资源正处于逐步恢复过程中。二是黄河下游鱼类已逐渐摆脱个体小型化、低龄化的不利状况。2010 年调查结果显示，黄河下游鱼类群落处于严重干扰状态，捕获鱼类样品均以 1 龄鱼占绝对优势，比例为 81.75%；体重明显偏小，所有鱼类种群个体呈小型化、低龄化等特点。2020 年捕获种群统计，巩义段中 3 龄以上鲤鱼占总捕获数的 94%，以 5 龄鱼最多；利津段黄河鲤均为 3 龄以上，相较 2010 年捕获鱼龄有显著增长，黄河下游鱼类已逐渐摆脱个体小型化、低龄化的不利状况。分析好转的原因，主要为：一是通过黄河干流水量统一管理和调度，结束了 20 世纪 70—90 年代黄河下游频繁断流的局面，对水生生态的改善起到重要作用；二是生态环境治理力度加大、渔政管理加强，尤其是 2018 年期黄河干流实施禁渔制度，对鱼类资源的保护修复起到重要作用。

但调水调水在短时间内，仍会对鱼类产生较大的负面影响。调水调沙主要在每年 6~7 月进行，和成鱼的繁殖期、幼鱼发育期相重合。调水调沙短时间内改变了黄河水沙的时空分布，在 20 天内集中将大量泥沙冲刷而下，期间的高含沙水流可能导致泥沙含量急剧增加、水质下降、溶解氧减少，对鱼类产生较大的负面影响，其中较受关注的是“流鱼”现象。

鱼类因缺氧而产生浮头、晕厥的现象，俗称“流鱼”现象。“流鱼”原本是黄河中的自然现象，由于黄河本身是多泥沙河流，小浪底水库建设前就已经存在。调水调沙以后，“流鱼”显现更普遍，由之前的相对分散变得相对集中，一般调水调沙结束后，水质在 30 天左右能恢复平常水平，随着水质的恢复，对鱼类的影响也会逐渐得到一定的恢复。

根据黄河下游调查监测，近年来，“流鱼”现象依然突出，但对鱼类的影响有所降

低。原因有三个，一是针对“流鱼”现象，调水调沙时间进行了优化。2002 年调水调沙启动阶段，调水调沙期在 5 月，随着调水调沙的运行，“流鱼”问题的凸显，黄委把调水调沙时段调整为 6 月底 7 月初，排沙阶段主要在调水调沙后期 7 月初，尽量避开了鱼类产卵期。二是鱼类具有规避行为，根据对伊洛河口下游及伊洛河入黄口干流河段鱼类调查，在调水调沙期间，黄河干流鱼类可转移到环境相对适宜的支流伊洛河水域，使得支流种类比调水调沙期间增加。调水调沙结束后，随着干流水质、泥沙的恢复，干流的鱼类资源逐渐得到一定恢复。三是随着生态环保意识的加强，强化管理，黄河流域从 2018 年实施禁渔制度，避免了部分受影响鱼类被捕捞。调水调沙结束后，大部分的鱼类可以逐渐得到恢复。因此，借鉴黄河下游调水调沙的经验，本次提出了增殖放流、加强古贤上下游干支流鱼类栖息地保护、及实施鱼类庇佑所等措施，在发挥调水调沙正效益的同时，最大程度的减缓对鱼类的不利影响。

综上所述，水利枢纽工程建设及运行，会使库区及坝址下游的水生生境产生较大的变化，坝址～吴堡以上河段由原来的峡谷自然河段变为库区河段，原来适应急流性流水生境的鱼类生境受到压缩，但库尾向上至天桥，仍然保留约 238km 的流水生境，可以满足适应急流性流水生境的鱼类的繁殖、生长需求。同时，库区河段变化为缓流静水生境，鱼类饵料资源丰富，为适应缓静水生境的鱼类提供了良好的栖息繁殖生境。古贤水利枢纽工程的建设及运行，会对坝址下游河段的鱼类产生不利影响，在采取调度方式优化、分层取水等措施的情况下，可以最大程度的减缓工程运行对鱼类及其产卵的影响。

表 10.3.2-2 水生生境变化对鱼类的影响

生境变化因素		影响河段	对生境的影响	主要影响鱼类	对鱼类的影响
大坝阻隔		坝址上下游河段	影响河流生境连续性，阻隔洄游鱼类的通道	对洄游鱼类、半洄游性鱼类和非洄游性鱼类都有影响	对洄游鱼类、半洄游性鱼类和非洄游性鱼类有很强的阻隔效应；大坝上下游鱼类种群间基因不能交流，导致形成不同异质种群，群体间会出现遗传分化，种群数量较少的物种逐步丧失遗传多样性。
		古贤坝下至壶口河段（10km）	古贤水利枢纽工程的建设加大壶口瀑布原有的地理阻隔影响，鱼类上溯通道阻断，下行阻隔增强	坝下 10km 河段的鱼类	基于壶口瀑布的天然阻隔影响，古贤大坝阻隔影响限于坝下 10km 河段，该段鱼类资源受到影响
水文情势变化	施工期	水文情势变化主要集中在工程导流、截流区域（上游围堰、下游围堰及导流洞出水口区域范围），影响河段约 5km	影响河段范围内鱼类栖息生境消失	水文情势变化河段范围（约 5km）范围内的鱼类	区域内鱼类资源量下降，且鱼类无法通过导流洞上溯至上游河段，但影响范围相对有限。

生境变化因素		影响河段		对生境的影响	主要影响鱼类	对鱼类的影响
	初期蓄水时段	库区河段		库区水文情势开始改变，库区水位开始抬升，流速减缓，静缓水生境开始增加，鱼类越冬生境相应增加	库区适宜流水生境的鱼类	库区会变得更适宜静水生境鱼类栖息，对适宜流水生境鱼类产生一定不利影响，鱼类越冬生境增加对鱼类越冬有利
		坝下河段		初期蓄水时间约6个月，下泄流量比各月多年平均流量减少约49.5%~68.7%	-	初期蓄水期基本为鱼类越冬期（11月~次年4月），对鱼类影响较小
	运行期	库区河段		水面变宽，水位抬升水流变缓甚至静水，河流流水生境萎缩；淹没沉粘性鱼类产卵场；	“河流型”鱼类（流水生境鱼类）：包括雅罗鱼、黄河鲇、似铜鲇、南方鲇	库区鱼类种类组成将由“河流型”逐步向“湖泊型”演变，适应流水生境的鱼类在种群数量上可能有明显下降，鱼类分布和种群数量会有一定变化，但不会导致物种丧失，其中鲇、兰州鲇等底栖性鱼类退至库尾及库周区域，缓流或静水生境鱼类鲤、鲫等成为库区优势种。库尾至天桥河段仍然保留了238km的流水生境，可以满足适应流水性鱼类或需要在流水生境繁殖鱼类栖息和繁殖完成生活史的需求。
		坝下河段（至潼关）		下泄流量较天然流量减少，但在鱼类产卵关键期保障了生态流量，对鱼类影响不大。	坝下至潼关河段鱼类（影响范围不超过潼关）	等流量的下泄减少了洪峰对鱼类繁殖的刺激，可能使鱼类繁殖所需水文水动力学条件难以满足，影响鱼类正常繁殖，在采取优化措施的情况下，保障了关键期生态流量，避免了坝下的水位频繁涨落，减少了对鱼类的影响。
	水温变化	单层取水	库区河段	水库滞温效应导致库区水温升温、降温较缓慢	库区鱼类	库区鱼类的繁殖期相应延迟
			坝下河段	坝下河段水温降低	坝下河段鱼类	春夏季下泄低温水使坝下鱼类生长、性腺发育变慢，生长期缩短，繁殖期推迟（约24天），影响坝下鱼类资源。其中低温水影响拦沙初期最大，正常运用期影响相对较小
分层取水		库区河段	与单层取水库区河段影响情况一致			
		坝下河段	坝下河段相对单层取水低温水影响程度减轻	坝下河段鱼类	坝下河段主要鱼类繁殖期大约推迟7天，低温水影响拦沙初期对鱼类繁殖的影响明显大于拦沙后期和正常运用期	
泥沙变化	库区及坝下河段	拦沙初期	水体月均含沙量减少84.5%	-	含沙量的减少，水体透明度增大，浮游植物光合作用增强，一定程度提高水体的初级生产力，坝下河段泥沙含量变小，对鱼类资源有利。	
		拦沙后期	水体月均含沙量减少74%	-		
		正常运用期	水体月均含沙量减少43.9%	-		

10.3.3 保护鱼类及重要生境影响分析

10.3.3.1 对保护鱼类影响

评价河段历史记录有国家一级保护动物北方铜鱼类，已经近20年未调查到，评价河段不是北方铜鱼的主要分布河段。评价河段调查到国家二级保护动物大鼻吻鲇，陕西

省省级保护鱼类赤眼鳟、唇鲮、鲤、兰州鲇、乌鳢、翘嘴鲇 6 种。评价河段不是北方铜鱼、大鼻吻鲈、翘嘴鲇、唇鲮的主要分布河段，北方铜鱼历史记载集中分布在石嘴山以上的宁夏至甘肃河段；大鼻吻鲈主要分布在黄河干流甘肃河段，在小北干流河段偶有发现；翘嘴鲇、唇鲮主要分布在长江流域，在小北干流河段有发现，但资源量不大。赤眼鳟、黄河鲤、兰州鲇、乌鳢 4 种鱼类在评价河段均具有一定资源量，工程施工和运行会对其产生一定程度的影响。古贤枢纽运行对主要保护鱼类的影响详见表 10.3.3-1。

（1）北方铜鱼

①历史分布情况

北方铜鱼仅分布于黄河水系。根据历史调查资料，上世纪 50 年代北方铜鱼在黄河流域均有调查到，主要分布在黄河上游。曾在临洮、兰州、靖远、中卫、永宁、石嘴山、包头、郑州花园口等处都有捕获，以靖远一带最多（中国科学院动物研究所鱼类组与脊椎动物组，1959），历史上主要分布在甘肃靖远至宁夏中卫一带约 200km 的黄河干流河段。但受多种因素影响，其天然资源急剧下降，资源受到严重破坏，种群已处于濒危状况。据《黄河水系渔业资源》（1989）记载“中游青铜峡大坝建成后，截断了宁夏自治区段重要经济鱼类——北方铜鱼的产卵洄游通道，致使这种鱼类资源在这一河段中日趋减少”。桑园峡以上、石嘴山以下河段少见。

目前从近 20 年的调查资料及对沿黄各省（区）水产部门调研情况来看，北方铜鱼在黄河流域已经多年未见，在评价河段，也未有捕获。

②生态习性

北方铜鱼为中下层淡水鱼类，喜欢栖息于河湾及底质多砾石、水流较缓慢的水体中。冬季潜伏于深水处的岩石下或深沱中，开春遇激流刺激满足其生殖条件时繁殖，溯游产卵。繁殖期为 5-7 月，其中 6 月为盛期。受精卵在流水中可随水漂流孵化。水温 18℃时，约需 2-3 日破膜，7-8 日后幼鱼可游水。9-10 月份退至下游。幼鱼食其它鱼类的卵和苗，成鱼主食底栖动物，亦食水生昆虫、小鱼虾、植物碎屑、谷物、小螺蚌等，多在混浊的深水区觅食。

③影响分析

根据《黄河水系渔业资源》（1989）记载“青铜峡大坝建成后，截断了宁夏自治区

段重要经济鱼类——北方铜鱼的产卵洄游通道，致使这种鱼类资源在这一河段中日趋减少”。由此可见，水利工程建设对北方铜鱼产生不利影响主要是大坝阻隔阻断了北方铜鱼产卵洄游。

根据水生生态现状调查，壶口瀑布形成了黄河鱼类上溯的天然阻隔。古贤水利枢纽工程的建设会进一步加大了壶口瀑布原有的地理阻隔影响，鱼类上溯通道阻断，下行阻隔增强。基于壶口瀑布的天然阻隔影响，古贤大坝阻隔影响主要是坝下 10km 河段的鱼类。壶口以上至古贤坝址 10km 河段为峡谷生境，河宽 300m 左右，河道较为顺直，无大型回水湾、散流漫滩生境分布，鱼类区系组成与晋陕峡谷趋于一致，以流水生境鱼类为主，鱼类上行受壶口瀑布的阻隔，古贤坝址至壶口段鱼类由下游上行补充受阻，该河段鱼类资源较匮乏。

古贤水利枢纽工程建成后，库区河段流速发生明显变化，库尾流速较大，进入库区后，流速逐渐变缓。原适应于底栖、流水的鱼类如雅罗鱼、黄河魮、似铜魮、南方魮等将逐渐移向库尾以上干流及库区支流的回水区以上流水河段，流水生境压缩，但库尾至天桥河段仍然保留了 238km 的流水生境，可以满足适应流水性鱼类或需要在流水生境繁殖鱼类栖息和繁殖完成生活史的需求。

综合以上分析，评价河段不是北方铜鱼的主要分布河段，且壶口瀑布已对评价河段形成了天然阻隔，根据前面阻隔影响分析的结果，古贤的阻隔影响主要是对坝址至壶口 10km 河段的鱼类产生明显不利影响。同时，工程建设，202km 的自然河流变化为库区，流水生境压缩，但库尾至天桥河段仍然保留了 238km 的流水生境，可以满足适应流水性鱼类或需要在流水生境繁殖鱼类栖息和繁殖完成生活史的需求。因此，可以判断，古贤水利工程建设，对北方铜鱼可能产生一定的影响，但影响不大。

（2）大鼻吻魮

根据调查及相关记载，大鼻吻魮曾分布于兰州、靖远、中卫、中宁、青铜峡、吴忠、银川、平罗、陶乐、石嘴山等地。20 世纪 70 年代末期，在青铜峡水利枢纽坝下至石嘴山河段，仍能捕捞到大鼻吻魮幼鱼。大鼻吻魮的主要分布河段在兰州至石嘴山河段。评价河段小北干流河段也有分布，属于偶见种，在评价河段资源量较小。

大鼻吻鲇有溯河洄游生殖习性，繁殖期为每年 5-6 月，产卵时间早而集中，产卵所需的水温较低，繁殖期上溯至急流刺激且满足生殖条件时于砾石上产卵。

类比小浪底河段，根据我院与陕西黄河水产所 2018 至 2020 年水生生态调查，在小浪底水库坝下郑州段及鲁豫交界段均有少量捕获。因此，推测古贤工程建设后，可能像下游河段一样形成新的生境，为大鼻吻鲇提供一定的有利条件。古贤水利枢纽工程建设对大鼻吻鲇的影响不大。

表 10.3.3-1 古贤枢纽运行对主要保护鱼类的影响

种类	分布范围	评价区数量	生活习性 & 生境需求	影响
北方铜鱼	分布在黄河干流甘肃靖远河段至小浪底河段，集中分布在石嘴山以上的宁夏至甘肃河段	多年未捕获	喜流水生境，生殖洄游上溯习性，选择有一定流速的滩头，底质为砾石处作为产卵场，历史上评价河段不是北方铜鱼的产卵场	有一定影响，但影响不大
大鼻吻鲇	分布在黄河水系青铜峡以下黄河干流河段，近年分布范围较历史记录有所下移，小浪底水库坝下郑州段及鲁豫交界段均有少量捕获	小北干流芝川河段曾捕获到，偶有捕获，在评价区资源量较小	冷水鱼类，喜流水生境	不是大鼻吻鲇集中分布河段，影响不大。
翘嘴鲌	主要分布在长江流域，小北干流河段有捕获	资源量较小	生活于流水和大水体中上层，江河、湖泊均可生存，在湖泊沿岸浅水区以及缓流河湾沙质浅滩均可产卵繁殖	影响较小。
赤眼鲮	主要分布在黄河银川以下黄河干流，在小北干流有捕获	资源量较多	在流水和静水中都能生活。杂食性，主要摄食水草，也食水生昆虫和小鱼。具有生殖洄游习性，产漂流性卵，生殖季节有群聚现象。	有影响
唇鲮	评价区偶尔捕获，为偶见种主要分布在长江水系干支流。	小北干流河段偶有捕获	常栖息于水体中下层，以底栖脊椎动物为食，一般春季产卵。	影响较小
黄河鲤	主要分布在黄河中下游	资源量较多	生境及习性：黄河鲤为底栖性、杂食性鱼类，适应性强，繁殖季节 4~6 月，产卵水温在 18℃ 以上。	影响较小
乌鳢	评价区有资源量较少，主要分布在黄河小北干流。	资源量较少	底栖性鱼类，常栖息于水草茂盛、软泥底质的湖泊、水库、河流及池塘水域中，对缺氧、水温和不良水质有很强的适应能力，肉食凶猛性鱼类，多在水草茂盛、无水流的水域岸边产卵。	有一定影响
兰州鲇	评价区有一定资源量，主要分布在兰州以下的黄河中上游。	资源量较多	底栖鱼类，多生活于较大的江河、溪流和水库中，喜在水生植物较多的水域内。白天潜伏于植物丛中或洞穴内，夜间常进入浅水区觅食。性凶猛，肉食性。	库区形成后，导致评价河段兰州鲇向库尾及库周浅水区迁移，主库区资源量下降。

10.3.3.2 鱼类重要生境影响

评价区河段鱼类重要生境分为产卵场、索饵育幼场、越冬场，本次项目对鱼类重要生境影响的基本情况见下表 10.3.3-2。

(1) 产卵场

古贤水利枢纽工程建设及运行会对库区及坝址下游的产卵场产生影响，对库尾以上河段、潼关以下河段的产卵场没有影响。库区的无定河入黄口、延川清涧河入黄河口河段均是产沉粘性卵，库区会淹没这两处产卵场。类比万家寨水库，在古贤水库库湾和库尾会形成新的缓静水产粘性卵鱼类产卵场，因此对鱼类产卵影响不大。工程运行会对坝址下游小北干流河段的产卵场产生影响。古贤水库坝址以下河段分布有 6 处产卵场，由于水库运行，使得 5 处产卵场的产卵期推迟，对第 6 处产卵场基本无影响。根据前面预测，在采用分层取水措施的情况下，使得坝址下游 96km 处产卵场达到 18℃的时间比天然状况延迟了 7 日，比单层取水情况下提前了 17 日。

表 10.3.3-2 古贤水利枢纽对鱼类主要产卵场的影响

所在河段		产卵场位置	产卵类型	影响	与工程位置关系
坝址以上河段	库尾以上河段	天桥坝下	产沉粘性卵	无影响	坝址以上，距坝址约 460km
		万镇河段 2km	产漂流性卵	无影响	坝址以上距坝址约 330km
		八堡乡河段 8km	产漂流性卵	无影响	坝址以上，距坝址约 280km
		佳县-木头峪镇河段 6km	产漂流性卵	无影响	坝址以上。距坝址约 270km
		罗峪镇河段 4km	产漂流性卵	无影响	坝址以上，距坝址约 250km
		螭镇河段 7km	产漂流性卵	无影响（繁殖期古贤库尾以上流水河段满足孵化流程）	坝址以上，距坝址约 240km
	库区	无定河入黄河口	产沉粘性卵	淹没影响，类比万家寨水库，在古贤库湾和库尾会形成新的缓静水产粘性卵鱼类产卵场	位于古贤库区，距坝址约 130km
		延川清涧河入黄河口河段	产漂流性卵		位于古贤库区，距坝址约 70km
坝址以下河段	坝址以下至潼关	禹门口上下游河段 7km	产漂流性卵	产卵期推迟	位于古贤坝下，距坝址约 70km
	小北干流河段	韩城市芝川河段 8km	产漂流性卵	产卵期推迟	位于古贤坝下，距坝址约 100km
		峪口控导——榆林控导约 30km 河段	产沉粘性卵	产卵期推迟	位于古贤坝下，距坝址约 96km
		榆林控导河段 2km	产漂流性卵	产卵期推迟	位于古贤坝下，距坝址约 117km
		申都控导—华原控导约 30km 河段	产沉粘性卵	产卵期推迟	位于古贤坝下，距坝址约 158km
		潼关黄河大拐弯约 15km 河段	产沉粘性卵	基本不延迟	位于古贤坝下，距坝址约 208km

（2）鱼类索饵育幼场和越冬场影响分析

鱼类仔幼鱼食性多为浮游生物。古贤水利枢纽建成后库区浮游生物现存量增加，鱼类育幼环境在水库形成后得到了改善，为上游河段鱼类提供了良好的育幼场，有利于鱼类育幼。对于适应流水生境以底栖动物、浮游生物等为食的鱼类，由于库区形成后鱼类饵料生物基础的结构演变成以浮游生物为主，且流水生境大规模萎缩，其索饵场萎缩至支流、库尾及以上流水河段。

评价区鱼类多在河流深潭和深水河槽中越冬。古贤水利枢纽工程建成后，库区水深增加，水面扩大，鱼类越冬环境得到改善。坝下河段，由于清水下泄，河道并滩归槽，坝下鱼类越冬水域增加，加上冬季下泄水温较原河流升高，有利于坝下鱼类越冬。

10.4 水产种质资源保护区影响分析

10.4.1 工程与水产种质资源保护区的位置关系

评价区调查河段分布有国家级水产种质资源保护区 3 处，均位于古贤水利枢纽工程坝下河段。工程与保护区位置关系见表 10.4.1-1 及图 10.4.1-1。

表 10.4.1-1 评价区河段国家级水产种质资源保护区概况

名称	地理位置	分布河段	保护对象	位置关系
黄河陕西韩城龙门段黄河鲤兰州鲇国家级水产种质资源保护区	保护区位于黄河陕西省韩城龙门段老鸦坳至山陕峡谷口禹门口及韩城全境黄河干流河段及黄河支流，全长 335.3km，地理范围在 E110°07'18"~110°35'47"，N35°19'06"~35°51'22"之间。保护区总面积 4852hm ² ，其中核心区面积为 3260hm ² ，实验区面积为 1592hm ² 。特别保护期为每年 4 月 15 日至 6 月 20 日。	古贤以下河段	主要保护对象为黄河鲤、兰州鲇等物种。	坝址下游约 50km 处，工程在保护区外
黄河洽川段乌鳢国家级水产种质资源保护区	保护区地处陕西合阳县境内的黄河流域，东邻主河道山西省临猗县，西接黄土峰塬，南到大荔县华原界，北与韩城市芝川镇接壤。地理坐标分别为 E110°24'，N35°26'；E110°27'，N35°26'；E110°24'，N34°59'；E110°27'，N34°59'。保护区以黄河洽川段主河道、相关支流和沿河湿地滩涂面积划定，总面积为 25800hm ² ，核心区面积为 14300hm ² ，实验区面积为 11500hm ² 。核心区特别保护期为每年 3 月 10 日—8 月 30 日。	古贤以下河段	主要保护对象为黄河乌鳢、黄河鲇鱼、黄河鲤鱼、黄颡鱼、合阳高原鳅。	坝址下游 70km，工程在保护区外
黄河中游禹门口至三门峡段国家级水产种质资源保护区	保护区位于晋、陕、豫三省交汇地带，范围为黄河中游禹门口至三门峡水库大坝段，即 E110°35'—111°21'，N35°39'—34°48'之间，总长度 239.8km，总面积 8.43 万 hm ² ，其中核心区面积 3.18 万 hm ² ；实验区面积 5.25 万 hm ² ，特别保护期 4 月 1 日—6 月 30 日。核心区、实验区都分为 3 个区段。	古贤以下河段	主要保护对象为黄河鲤、兰州鲇、乌鳢、黄颡鱼、赤眼鲮等	坝址下游 115km，工程在保护区外

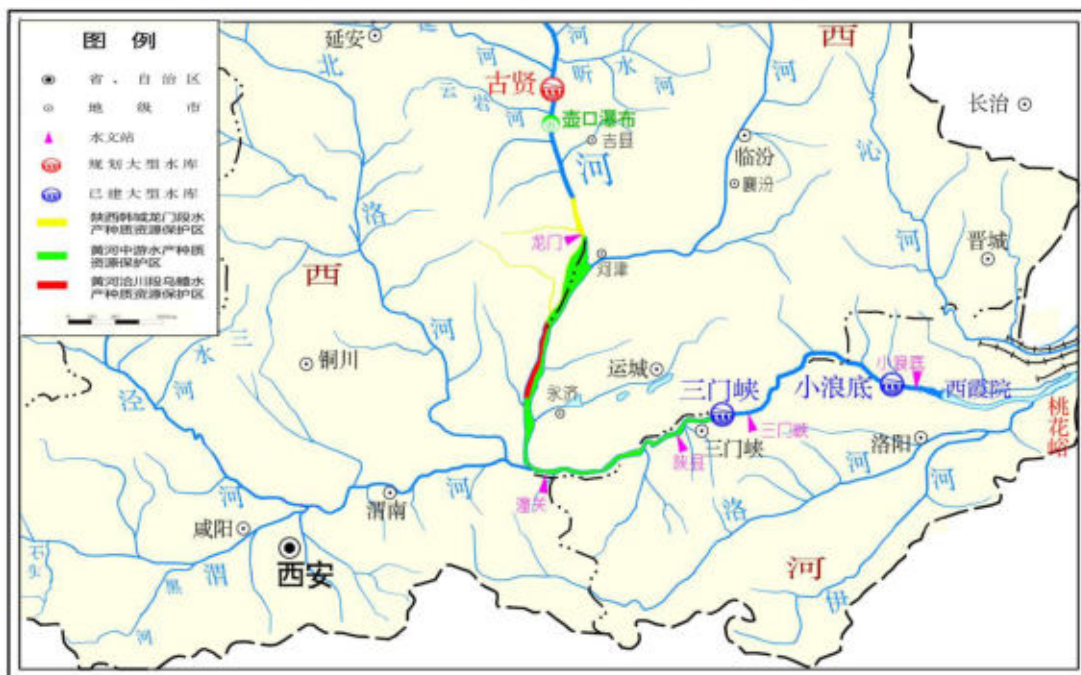


图 10.4.4-1 评价河段国家级水产种质资源保护区分布示意图

10.4.2 施工期对保护区的影响

工程坝址位于壶口瀑布以上约 10km 处，工程施工期影响范围有限，施工区域距离下游最近的黄河陕西韩城龙门段黄河鲤兰州鲇国家级水产种质资源保护区距离约为 50km。工程施工期截流等对水产种质资源保护区基本无影响。

10.4.3 初期蓄水期对保护区的影响

初期蓄水时间约 4~6 个月（11 月~次年 4 月），下泄流量为 $200\text{m}^3/\text{s} \sim 284\text{m}^3/\text{s}$ ，与各月多年平均流量相比，减少了约 49.5%~68.7% 左右。坝下河段水资源量相应减少，但该时间段恰好处于鱼类的越冬期，鱼类一般在深水区越冬，越冬生境虽受到水资源量影响面积有所减少，但对鱼类的影响较小。

10.4.4 运行期对保护区的影响

古贤水利枢纽建成运营后，主要是坝下水文情势、水温和泥沙条件变化引起的水生态环境的变化对坝下水产种质资源保护区产生影响，其中主要是水文情势及水温变化产生不利影响，影响范围集中在坝下至潼关河段。

1. 水文情势变化的影响

水库调度运行可能导致的水位频繁变动、流速、流量、水深变化等水文情势变化对保护区的影响，主要涉及鱼类的栖息水域面积、繁殖水文条件及鱼类早期资源等。

根据以往水库建设运行的经验，水库调度运行可能会使得坝下的水位频繁涨落，可能对鱼类产卵产生不利影响，影响鱼类繁殖和鱼类的早期发育，影响鱼类资源。为了最大程度的减缓水位频繁涨落对鱼类产卵的影响。从生态保护角度对水库的调度运行进行了优化，优化前，4月~6月，日内流量范围变动范围在 $190\text{m}^3/\text{s}$ ~ $450\text{m}^3/\text{s}$ 范围内；经优化后，4月~6月，各典型年日平均流量范围 $430\text{m}^3/\text{s}$ ~ $600\text{m}^3/\text{s}$ （调水调沙期除外）。当日均流量为 $430\text{m}^3/\text{s}$ 时，日内流量范围为 $360\text{m}^3/\text{s}$ ~ $550\text{m}^3/\text{s}$ ；日平均流量 $500\text{m}^3/\text{s}$ 时，日内流量范围为 $425\text{m}^3/\text{s}$ ~ $615\text{m}^3/\text{s}$ ；日平均流量 $600\text{m}^3/\text{s}$ 时，日内流量范围为 $525\text{m}^3/\text{s}$ ~ $715\text{m}^3/\text{s}$ 。日内变化幅度控制在 $200\text{m}^3/\text{s}$ 以内。

选取黄淤 65 断面（产漂流性卵产卵场代表断面）、50 断面（产沉粘性卵产卵场代表断面、汾河汇入口以下）作为典型断面，分析产卵期流量水位变化。

根据预测结果，日内变化幅度控制在 $200\text{m}^3/\text{s}$ 以内情况下，当流量从 $400\text{m}^3/\text{s}$ 增加到 $600\text{m}^3/\text{s}$ 时，黄淤 65 断面水位变化范围 364.24m ~ 364.52m ，变幅为 0.27m ；水面宽度变化范围 655.74m ~ 839.22m ，变幅约 183m 。黄淤 50 断面，水位变化范围 337.17m ~ 337.31m ，变幅为 0.23m ；水面宽度 1870.36m ~ 2031.48m （附近断面主槽过流能力较小，流量增大后漫滩），变幅约 340m 。

优化后，水位变幅在 0.23m ~ 0.27m ，水面宽度变幅在 180m ~ 340m ，考虑小北干流河段河道较宽，可以大大减缓流量下泄引起的水位频繁涨落，基本可以满足鱼类产卵要求。采取上述措施以后，水文情势变化会对坝下鱼类会产生一定的影响，但影响不大。

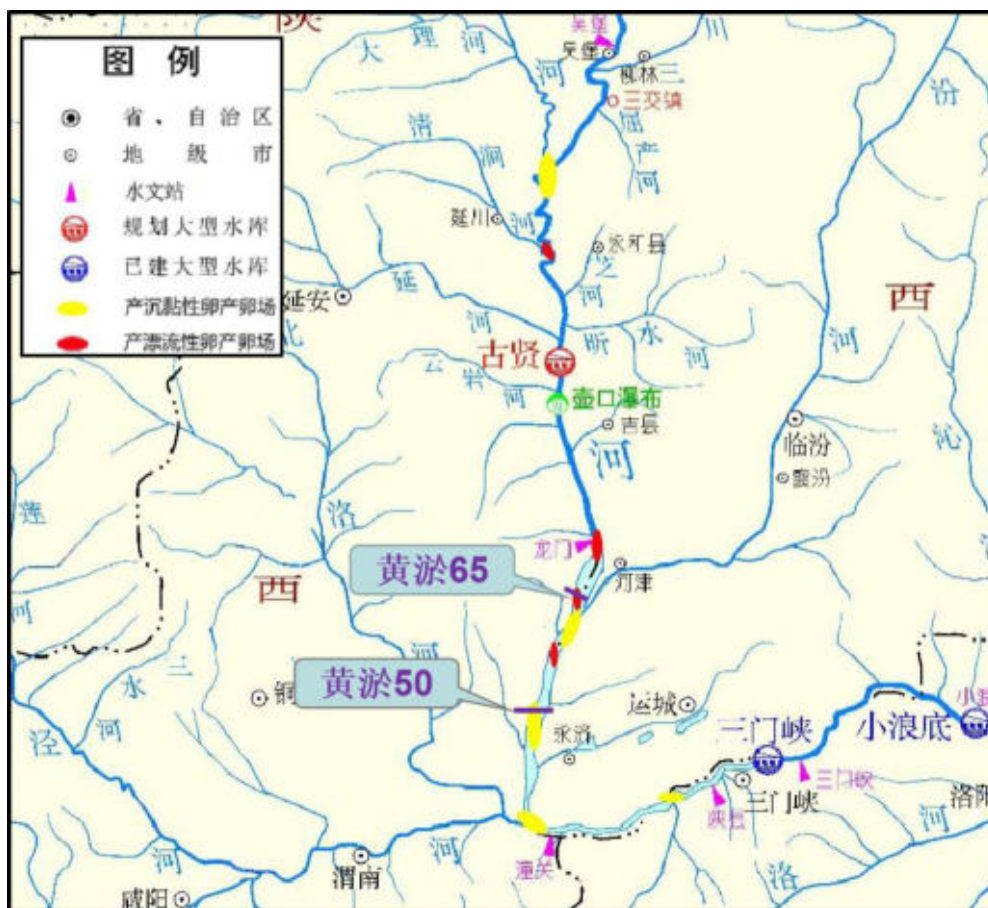


图 10.4.4-2 典型断面位置示意图

2. 水温变化的影响

古贤水利枢纽工程运行后，下泄底层水，水温过程较坝址天然情况有较大的改变，主要表现出 3 月~7 月较为突出的低温水影响和 11 月~翌年 1 月的高温水影响。其中坝下冬季高温水现象对鱼类越冬有利，而春夏季下泄低温水使得坝下鱼类生长、性腺发育变慢，生长期缩短。经模型预测，距离坝址下游较近的 1#产卵场拦沙初期达到 18℃ 的时间比天然状况下推迟 31 天，在采取分层取水措施以后，比天然状况下推迟了 14 天。古贤水利枢纽工程的低温水效应沿程会得到一定程度的缓解，对保护区的影响程度沿程会减小。基于不同时期坝下水温变化的差异，坝下低温水对保护区的影响拦沙初期最大，其次为拦沙后期，正常运用期影响相对较小。

(1) 黄河陕西韩城龙门段黄河鲤兰州鲇国家级水产种质资源保护区

保护区位于黄河陕西省韩城龙门段老鸦坳至山陕峡谷口禹门口及韩城全境黄河干流河段及黄河支流，全长 335.3km，其中干流长度 23km，特别保护期为每年 4 月 15 日至 6 月 20 日。保护区主要保护对象为黄河鲤、兰州鲇等物种。该保护区最上缘距离工

程坝址约 50km，是距离工程最近的保护区。工程对保护区的影响主要集中在运行期，运行期的水文情势变化对保护区保护对象会产生一定的影响，下泄水温推迟保护区主要保护对象（黄河鲤、兰州鲇）产卵繁殖期。下泄低温水拦沙初期影响最大，会使该河段鱼类产卵期延迟 31 天，在采取分层取水措施的情况下，会使得鱼类产卵期延迟 14 天。

（2）黄河中游禹门口至三门峡段国家级水产种质资源保护区

保护区位于晋、陕、豫三省交汇地带，范围为黄河中游禹门口至三门峡水库大坝段，特别保护期 4 月 1 日～6 月 30 日。主要保护对象为黄河鲤、兰州鲇、乌鳢、黄颡鱼、赤眼鳟、乌苏里拟鲮、黄河魮、瓦氏雅罗鱼、中华鳖等物种，水生野生动物的产卵场、索饵场、越冬场及其生存环境。该保护区位于禹门口以下黄河干流河段，属于黄河小北干流宽谷生境，紧邻黄河陕西韩城龙门段黄河鲤兰州鲇国家级水产种质资源保护区。工程运行对该保护区功能影响较小，主要影响下泄低温水下泄会使得鱼类产卵繁殖期推迟。下泄低温水拦沙初期影响最大，会使该河段鱼类产卵期延迟 24 天，在采取分层取水措施的情况下，会使得鱼类产卵期延迟 13 天。

但在采取分层取水措施以后，产卵期推迟现象明显得到改善。

（3）黄河洽川段乌鳢国家级水产种质资源保护区

保护区地处陕西合阳县境内的黄河流域，东邻主河道山西省临猗县，西接黄土峰塬，南到大荔县华原界，北与韩城市芝川镇接壤。主要保护对象为黄河乌鳢、黄河鲇鱼、黄河鲤鱼、黄颡鱼、合阳高原鳅。古贤枢纽的运行不影响保护区功能，坝址距离该水产种质资源保护区最近距离 115km，接近 2#产卵场位置，下泄低温水拦沙初期影响最大，会使该河段鱼类产卵期延迟 16 天，在采取分层取水措施的情况下，会使得鱼类产卵期延迟 12 天。

10.4.5 调水调沙对保护区的影响

（1）保护目标及生态习性要求

评价河段上述三个国家级水产种质资源保护区保护对象的繁殖习性详见表 10.4.5-1，保护区内鱼类产卵繁殖时间为 4 月～9 月，产沉粘性卵鱼类对产卵场的条件要求是有静水及水草等，适宜受精卵粘着孵化，产漂流性卵的要求是要有一定流速的流程满足鱼类漂流孵化。

表 10.4.5-1 评价区河段国家级水产种质资源保护区保护对象生态习性

种类	生境	产卵时间	产卵类型	温度	流速
黄河鲤	卵粒附着在水生维管束植物或漂浮的树枝上,	4-6 月	沉性卵(具粘性)	18℃	0.1-0.8m/s
兰州鲇	粘附于水底水草上	4-7 月	沉性卵(具粘性)	18-21℃开始产卵	
乌鳢	靠近岸边的水草丛生和避风的浅水地区	5-7 月	浮性卵		
光泽黄颡鱼	水草生长茂盛或泥底的静水、浅水区	4-9 月	沉性卵(强粘性)	>20℃	
赤眼鲮	支流沿岸有水草的区域,间或有在较浅的沙滩产卵,江河涨水时多上溯至小河中。	5-8 月	漂流性卵	适合水温 26-30℃	>0.2m/s 0.5-1.0m/s
翘嘴鲌	岸边、水草稀疏、水深 1m 左右或缓流浅滩	5-8 月	微粘性,易漂流发育	产卵水温 20-30℃,适宜水温 25℃	适宜流速 0.1-0.5m/s

(2) 流量、流速条件影响分析

该河段保护区繁殖期为 4 月~6 月,评价河段禁渔期 2018 年~2021 年为 4~6 月,2021 年~2025 年,禁渔期为 4 月~7 月,延长了 1 个月时间。鱼类生长期为每年 7 月~次年 3 月,调水调沙期为每年 6 月~7 月。

调水调沙引起了鱼类产卵末期 6 月份流量的极端变化,因此针对调水调沙期流量、流速及水深条件的变化分析对鱼类产生的影响。流速、水深及水面宽在调水调沙前后发生显著变化,先急剧上升后急剧下降,影响了栖息地,对于产粘性卵与沉性卵鱼类的产卵及幼鱼生长产生一定的负面影响。

类比小浪底运行后下游实际调查结果,调水调沙期间高流量时段伴随着高泥沙量,一方面水流速迅速增加冲击鱼类,另一方面泥沙阻塞鱼鳃致使鱼类受到严重影响。经过了 20 多年的调水调沙实践,下游适宜的中水河槽已经逐步形成,调水调沙的时间也作了一定的优化,调整为 6 月底 7 月初,排沙期在 7 月初,基本避开了鱼类产卵期。且随着生态环保意识的加强,加强管理,黄河流域从 2018 年实施禁渔期制度,避免了部分受影响鱼类被捕捞,调水调沙结束后,大部分的鱼类可以逐渐得到恢复。另外,鱼类有趋利避害的本能,调水调沙期间,黄河下游支流伊洛河鱼类明显增多,调水调沙结束后,鱼类又逐渐回到黄河干流。因此,环评也提出了增殖放流、加强古贤上下游干支流鱼类栖息地保护、实施鱼类庇护所等措施,在发挥调水调沙正效益的同时,最大程度的减缓对鱼类的不利影响。

综合以上分析,古贤水利枢纽工程会对 3 个水产种质资源保护区产生一定的负面影

响，但借鉴小浪底运行的经验，在采取措施的有效措施以后，不利影响可得到一定程度减缓，不会对保护区的功能产生影响。

10.5 水生生态保护措施论证

10.5.1 保护对象

根据实际情况，统筹兼顾、突出重点，合理确定保护对象和保护顺序。从重要性的角度考虑，通常按照以下顺序进行选择：列入国家级或省级保护动物名录的鱼类、列入濒危动物红皮书的鱼类、地域性特有鱼类、水域生态系统中的关键物种、重要经济鱼类；从受影响程度考虑，分布区域狭窄、抗逆能力差、生境受损程度高、与影响水域生态环境适应性强的鱼类优先选择。

评价河段 40 种鱼类中，分布有国家级二级保护动物大鼻吻鮡，陕西省省级保护动物翘嘴鲌；主要经济鱼类有鲤、鲫、鲇、瓦氏雅罗鱼等。

10.5.2 水生态保护措施布局

根据古贤水利枢纽工程上下游河段水生生态特点、鱼类分布等特征，古贤水利枢纽工程建设拟采取栖息地保护、增殖放流、过鱼设施、水库生态调度、监测与保护效果评价、渔政管理、鱼类保护技术研究等水生生态保护措施。其中栖息地保护、增殖放流、过鱼设施、水库生态调度等主要保护措施布局的总体思路如下：

栖息地保护：根据古贤水利枢纽工程上下游河段水生生态特点，重要栖息生境分布，提出重要栖息地保护方案。

增殖放流：根据古贤水利枢纽工程上下游河段水生生态特点，结合黄河干流已有水利工程历史遗留的问题，从黄河中下游水生生态保护与修复的角度，综合分析鱼类增殖放流需求。

过鱼设施：根据古贤水利枢纽工程上下游河段河道特点，以及壶口瀑布对鱼类形成的天然阻隔，从水生生物多样性保护和鱼类种群有效交流的需求出发，统筹考虑鱼类资源的交流。

水库生态调度：生态调度主要考虑坝址下游水生态保护需求和库尾流水生境的水生态保护需求，满足鱼类敏感期生态需水。

分层取水：根据古贤水利枢纽工程坝下水温沿程变化特点，提出可行的分层取水措

施。

鱼类庇护所保护：为了更好的保护鱼类资源，减少调水调沙对鱼类的不利影响，提出鱼类庇护所保护。

10.5.3 栖息水域保护

栖息地保护是保护鱼类自然资源的有效措施。栖息地保护应以为评价河段河流鱼类提供完成生活史、维持一定种群的必要栖息地为基本原则，依据鱼类资源的现状及其分布特点进行布局。

（1）干流栖息地保护

古贤水利枢纽工程建成后，评价河段中流水生境河段干流有天桥坝下至古贤库尾、坝下至潼关河段。

天桥坝下至古贤库尾为干流未开发河段，维持了原河流生境，能够为评价区古贤枢纽坝上适应流水性鱼类或需要在流水生境繁殖鱼类提供了栖息和繁殖完成生活史的流水生境，但考虑到天桥坝下至古贤库尾河段鱼类种类较少，资源量不丰富，且在该河段规划有磴口水利枢纽工程，因此不宜把该河段划为保护河段。

古贤水利枢纽工程建成后，坝下干流河段由于受水库调节运行影响，水文情势较原河流改变，影响鱼类的栖息和繁殖。但河流出禹门口后，河道变宽，工程对水文情势的影响减缓，基本能够维持原河流生境状况，满足鱼类对流水生境的需求，且小北干流河段分布有3处水产种质资源保护区，因此应将禹门口至潼关之间132km河段，作为鱼类栖息地保护水域。

（2）支流栖息地保护

支流也是黄河干流鱼类的重要生活空间，许多鱼类生命史的完成包括摄食、繁殖和越冬都常常往返于干流和支流之间。库区较大支流有无定河、清涧河、三川河、延水河、昕水河，坝下较大支流有汾河、渭河。

古贤水利枢纽工程建成后，特别是流域梯级开发后，干流库区流水生境萎缩，库区支流流水生境是仅存的能够为库区鱼类提供栖息和繁殖所需的流水生境，评价考虑将库区支流作为鱼类栖息地保护水域。

表 10.5.3-1 黄河北干流磧口至古贤河段主要支流特征表

支流名称	流域面积 (km ²)	河流长度 (km)	年均降雨量 (mm)	年径流量 (10 ⁸ m ³)	年输沙量 (10 ⁸ t)
三川河	4161	176.4	509.76	2.14	0.155
昕水河	4326	138	548.49	1.24	0.136
无定河	30261	491.2	417.75	11.09	1.046
清涧河	4080	167.8	476.36	1.36	0.321
延水河	7687	284.3	519.5	2.00	0.402

根据现状调查,无定河大桥至河口段,河长约 20km,调查到雅罗鱼、鮡、鲃、棒花鱼、鲫等,与干流鱼类组成的相似度较高,其它支流仅在河口附近调查到雅罗鱼、鲤、鲃、棒花鱼等。从河长、鱼类资源、径流量等综合看,无定河大桥至河口段调查到雅罗鱼、鮡、鲃、棒花鱼、鲫等,与干流鱼类组成的相似度较高,建议将库区支流无定河大桥至河口段作为鱼类栖息地保护水域。

综合以上分析,为保护鱼类,减缓库区河段生境变化及坝址下游水文情势变化对鱼类产生的影响,将黄河干流坝址以下河段将禹门口至潼关河段河长 132km,支流无定河大桥至河口段河长 20km,划定为鱼类栖息地保护河段。保护河段内不再进行水利水电等拦河筑坝工程开发,并严格执行禁渔区制度,设立标志区界牌,加强管护,禁止在鱼类栖息地保护水域进行任何捕捞活动。同时加强渔政管理和水污染防治等工作,保证鱼类良好的栖息生境,保护鱼类资源,减缓工程对鱼类的影响。

(3) 鱼类天然庇佑所

鱼类等水生生物具有规避行为,为减缓调水调沙期间对鱼类的影响,可将坝址下游的主要支流划定为鱼类天然庇佑所加以保护。

坝址下游小北干流河段分布的主要支流有汾河、渭河,除此之外在潼关至三门峡河段分布有圣天湖。

根据现场考察踏勘,综合考虑了干流与支流连通性、支流水量水质等因素。经分析认为,汾河水质较差,不宜作为庇佑所。支流渭河入黄口及圣天湖,主要鱼类保护对象有黄河鲤、鲃、鲫、黄颡鱼等,与干流物种相似。

①渭河入黄口

渭河入黄口段分布有渭河国家级水产种质资源保护区,其中核心区由渭河长涧河入口至入黄河口段,河长 30km,地理坐标为(110°03'53"E, 34°38'23"N)到(110°15'49"E, 34°36'46"N)。主要保护对象为鲤、鲃鱼、黄颡鱼、乌鳢、鲫,其他保护物种有黄鳊、大鼻吻鮡、中华鳖等。渭河国家级水产种质资源保护区分布有鱼类 3 目 6 科 18 种,其

中鲤科鱼类为主要优势门类,其次为鳅科、鲮科鱼类。保护区内渭河干流河段曲折蜿蜒,形成较多的回水湾生境,均为产沉黏性卵鱼类产卵场生境。保护区位于渭河入黄河口河段,且位于黄河大拐弯区域,该区域黄河干流分布有更加集中的产卵繁殖生境,干支流具有高度的统一性和关联性。

②圣天湖、天鹅湖

圣天湖、天鹅湖位于黄河潼关至三门峡河段山西省芮城县的黄河岸边。2007 年农业部 1130 号公告批准《关于公布国家级水产种质资源保护区名单(第二批)的公告》批准设立圣天湖鲢鱼黄河鲤国家级水产种质资源保护区。

圣天湖鲢鱼黄河鲤国家级水产种质资源保护区总面积 2952 公顷,其中核心区面积 467 公顷,实验区面积 2485 公顷。核心区特别保护期为每年的 4 月 1 日—7 月 31 日。保护区位于山西省芮城县圣天湖、天鹅湖及周边水域,范围在东经 110°49′55"—110°54′58",北纬 34°38′42"—34°44′17"之间。核心区位于圣天湖内,南面靠近庄上,北面靠近柳弯,呈半椭圆形状,东面紧邻黄河河道。主要保护对象为鲢鱼、黄河鲤,其他保护物种包括鲫、草鱼、鲢、鳙、团头鲂、黄颡鱼、黄鳊等。该区域干支流具有高度的统一性和关联性。

因此,在调水调沙期间,把渭河入黄口、圣天湖、天鹅湖等水域作为鱼类天然庇佑所,结合渭河国家级自然保护区、圣天湖鲢鱼黄河鲤国家级水产种质资源保护区,加强保护,禁止进行任何捕捞活动,同时加强渔政管理和水污染防治等工作。

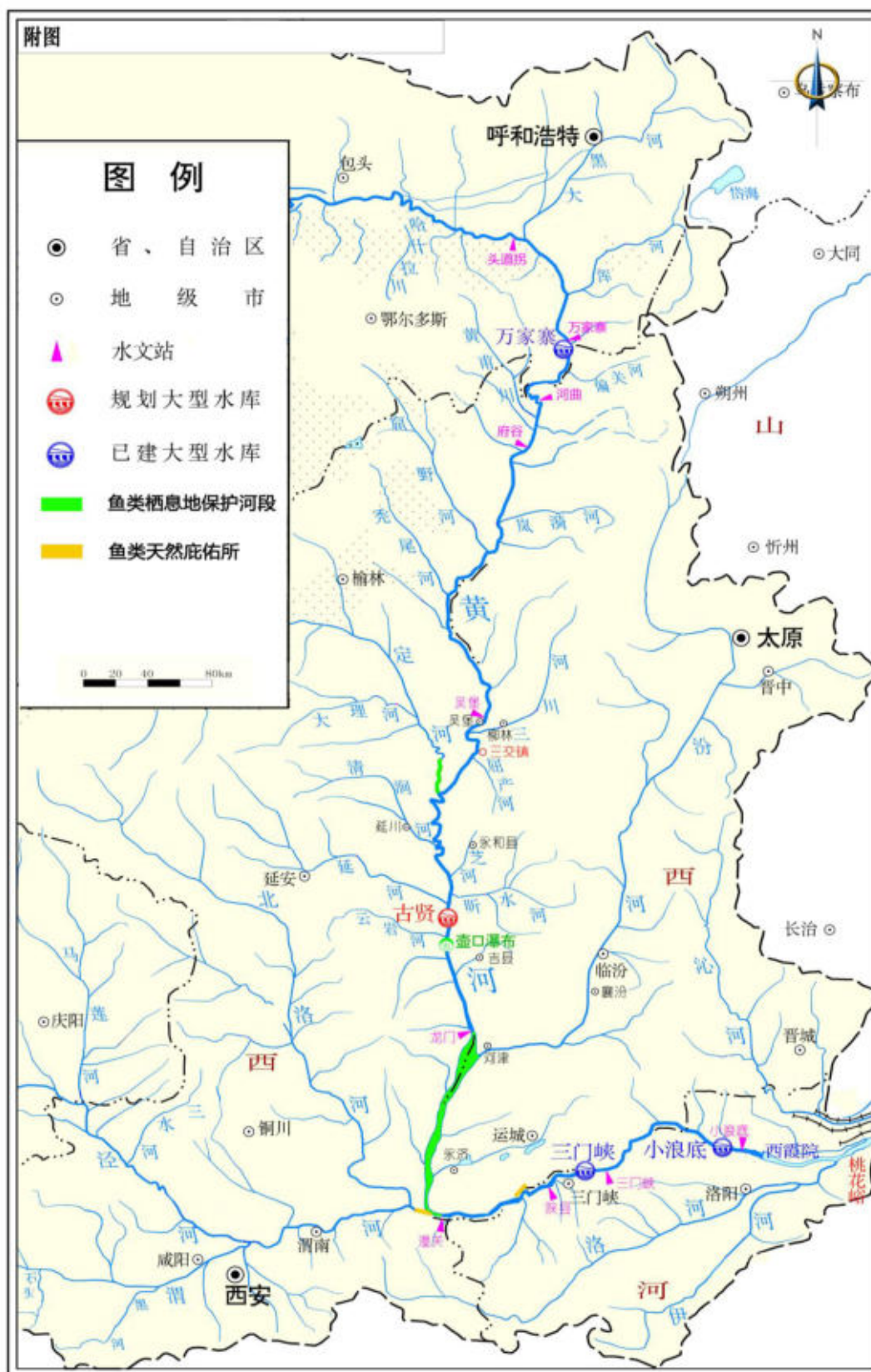


图 10.5.3-1 鱼类栖息地保护河段及鱼类庇护所分布示意图

10.5.4 过鱼措施

古贤水利枢纽工程所在上下游河段，没有长距离洄游性鱼类，但工程建设对非洄游性鱼类也有阻隔效应。根据《中华人民共和国渔业法》第四章第三十二条规定，“在鱼、虾、蟹洄游通道建闸、筑坝，对渔业资源有严重影响的，建设单位应当建造过鱼设施或者采取其他补救措施”。2006年1月9日国家环境保护总局办公厅下发了《关于印发水电水利建设项目水环境与水生生态保护技术政策研讨会会议纪要的函》环办函〔2006〕11号，要求“在珍稀保护、特有、具有重要经济价值的鱼类洄游通道建闸、筑坝，须采取过鱼措施。对于拦河闸和水头较低的大坝，宜修建鱼道、鱼梯、鱼闸等永久性的过鱼建筑物；对于高坝大库，宜设置升鱼机，配备鱼泵、过鱼船，以及采取人工网捕过坝措施。同时应重视掌握各种鱼类生态习性和水电水利工程对鱼类影响的研究，加强过鱼措施实际效果的监测，并据此不断修改过鱼设施设计，调整改建过鱼设施，优化运行管理。”

过鱼设施不仅是洄游性鱼类穿越大坝上溯产卵的通道，也可作为协助大坝上游的亲体或幼鱼下行的设施。其种类主要包括鱼道、仿自然通道、鱼闸、升鱼机、集运鱼系统等。建造过鱼设施必须从多方面、多角度综合分析。

坝区河段呈“V”型河谷生境，两岸山体陡峭，河床较狭窄，水流相对较急，边滩较少，泥沙底质，水体浑浊。评价区鱼类中没有江海洄游或长距离洄游鱼类分布，受古贤大坝阻隔影响，坝下鱼类的上溯通道完全阻断，但坝下约10km即为壶口瀑布，形成了鱼类上溯的天然阻隔。由于鱼类多有逆水上溯习性，鱼类上行受壶口瀑布的阻隔，古贤坝址至壶口段鱼类由下游上行补充受阻，该河段鱼类资源较匮乏。

由于壶口瀑布的天然阻隔，古贤水利枢纽工程对鱼类的阻隔影响仅限于坝下约10km河段的鱼类。古贤枢纽建成后，坝下约10km河段鱼类资源不能得到补充，鱼类资源会进一步减少。由于影响河段较短，从地理位置和可行性考虑，建议不建设鱼道。

大坝的阻隔也会对鱼类下行产生一定影响。工程实施以后，坝址以上由原来的流水生境变化为库区生境，适应于缓流或静水环境生活的鱼类如鲤、鲫、鲃、麦穗鱼等，其种类、数量在库区将上升成为库区的优势物种。而坝址以下小北干流河段河道宽浅，水流散乱，为适应缓流或静水环境生活的鱼类如鲤、鲫、鲃、麦穗鱼等提供良好的生存环境。因此，古贤水利枢纽工程实施后，未来坝址上、下游鱼类种类具有相似性，且鱼

类汛期可借助溢洪下行，大坝阻隔会对坝下鱼类产生一定的影响，但影响不大。

为减缓对鱼类下行的影响，根据评价河段地理条件，可考虑三种过鱼方案。

①结合壶口瀑布补沙工程措施兼顾鱼类下行方案

根据第十五章壶口瀑布景观影响与保护措施，瀑布补沙工程措施主要是采用“水下泥泵+隧洞过坝补沙方案”。具体措施如下：在坝前3公里库区范围内设置四套管径0.85m的“水上作业平台+水下泥泵”移动排沙设施，通过管道向坝下河道补沙，可使1000m³/s左右的壶口瀑布含沙量达到3kg/m³（黄色瀑布）以上，最大程度减少工程运行对壶口瀑布颜色的影响，并采用四艘小功率深水取沙作业装备同时施工，作业装备主要由深水一体式吸沙装置和水上模块化平台组成。挖掘提升的沙水混合物通过4条内径为0.85m的排泥管（单管流量1.94m³/s、管内水流平均含沙量400kg/m³，最大排沙能力3.1t/s）从水库取沙位置至坝前的输沙管道，穿过连接竖井，通过竖井底层排沙孔进入长度为577.95m隧洞，隧洞出口采用挑流鼻坎，通过挑流将沙水混合物挑至河道。

水下泥泵的位置大约在坝前3公里库区范围，而鱼类捕捞或集鱼的地方适合位置是库尾，两者的位置不同，难以结合；而且水下泥泵工作时产生的噪声比较大，也会对鱼类产生一定的干扰，不利于集鱼。因此，结合壶口瀑布补沙工程措施兼顾鱼类下行的方案不可行。

②集鱼船集鱼辅以运鱼车运鱼过坝方案

具体措施：在库尾河段设置集鱼船，启开舱道两头闸门，放下接鱼栅，让水流从舱道中流过，通过改变流速的方式吸引不同的鱼类，其它诱鱼设备如LED水下诱鱼灯、声控诱鱼装置等诱鱼措施促使鱼类游入集鱼舱道，1.5~2.5小时后，进行计数，选鱼，然后把收集的鱼转入运鱼车运鱼过坝，在禹门口附近放入坝址下游河道。

集运鱼船作为一种活动过鱼设施，具有如下优点：能根据不同工作情况变换集鱼地点、可在较大范围内根据目标鱼类的不同调节诱鱼流速、当确定定向流速后可将鱼放至不被下泄水流影响的河段上等，但也存在如下缺点：如大坝尾水处是鱼群最易集聚的地方，但河床多以乱石为主，容易卡锚，为了安全起见一般不在尾水处作业；最关键的技术即集鱼方法有待进一步挖掘，船内发动机和水泵开动产生的噪音和振动会惊扰鱼类，对集鱼量造成一定影响；集运鱼船作业周期比较长，需要较多操作人员，运行费用较大；

集运鱼船还存在较难诱集底层鱼类等问题。

所以，推广集运鱼船时，如何更好地将现有集诱鱼技术应用其中，如何更好地因地制宜使它顺利运行，都是需要十分小心谨慎处理的问题。目前该技术尚不成熟，集运鱼船目前在国外的应用仅局限于鲑鱼幼鱼下行过坝过程。因此，不建议采用集鱼船集鱼辅以运鱼车运鱼过坝方案。

③网捕过坝

具体措施：可考虑鱼类网捕过坝，鱼类网捕过坝建议春秋两季在古贤水库库尾附近设置定置张网捕鱼。春季 3-4 月份、秋季 10 月份操作。作业时间 30 天，所有捕获鱼类均通过运鱼车运鱼过坝。放鱼地点选择禹门口水流较缓的合适水域投放捕获鱼类。

网捕过坝是减缓大坝建设阻隔上下游鱼类种群之间的种质交流一种过鱼措施，和集鱼船相比，有以下优点：一是网捕过坝，可以捕捞到底层、中层、上层各层的鱼类；二是网捕过坝避免了集鱼船内发动机和水泵开动产生的噪音和振动对鱼类的惊扰；三是网捕过坝技术相对成熟，但运鱼过程中避免鱼类死亡仍然是关键技术。

综合以上分析，推荐采用网捕过坝措施。同时，在工程运行期，加强古贤工程水生生态监测及过鱼能力研究，对鱼类保护措施效果进行评估及优化。

10.5.5 增殖放流

鱼类人工种群建立及增殖放流是目前保护物种、增加鱼类种群数量的重要措施之一，在一定程度上可以缓和水利水电工程对鱼类种群资源数量的不利影响。实践证明，建立鱼类资源增殖放流站，实行人工繁育苗种放流是补偿因水利工程造成渔业资源损失的行之有效措施。

10.5.5.1 放流种类

以翘嘴鲌、兰州鲇、黄河鲇作为保护性增殖放流对象；鲇、瓦氏雅罗可作为补偿性放流对象。

考虑到技术、资源等对放流的影响，黄河鲇无人工繁育成功经验，不易作为近期增殖放流对象，需要加强人工繁育技术研究，待取得突破后再实施人工增殖放流。翘嘴鲌、兰州鲇、鲇、瓦氏雅罗鱼放流技术已基本成熟，可作为近期放流对象，工程建成后即可开展放流工作。

10.5.5.2 放流标准

放流苗种必须是由野生亲本人工繁殖的子一代，无伤残和病害、体格健壮。供应商的生产和管理应符合农业部颁发的《水产苗种管理办法》，并有渔业主管部门核发的《水产苗种生产许可证》。

10.5.5.3 放流周期

参照《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规范》“7.2 生物资源损害赔偿和补偿年限（倍数）的确定”，放流周期暂按 20 年考虑，20 年后根据鱼类资源监测情况，对放流种类和数量进行相应的调整，并制定长期的放流计划。

10.5.5.4 放流苗种数量

增殖放流数量的多少一般与增殖放流的目标、放流水体自然环境、水文气候、理化性质、饵料生物资源、鱼类资源现状和种群结构特点以及放流对象生物学特性、规格大小等相关联。水工程建设实施的增殖放流保护措施，属补偿性放流，增殖放流数量的确定还与工程建设和运行对鱼类资源的影响范围和程度紧密联系。由于增殖放流数量的确定需要考虑的因素较为复杂，不确定的因素较多，至今没有统一的规范计算方法。评价区鱼类资源较贫乏，工程补偿性放流初拟放流量 60 万尾（表 10.5.5-1）。

表 10.5.5-1 评价区初拟放流鱼类的数量和规格

种类	全长 (cm)	数量 (万尾/年)	备注
黄河鲇	4~6	20	远期
翘嘴鲇	4~6	6	近期
兰州鲇	4~6	4	
鲇	4~6	4	
瓦氏雅罗鱼	4~6	26	
合计		60	

10.5.5.5 放流地点

放流地点主要为古贤水库库尾和禹门口以下河段，放流种类和数量按照放流对象生态习性和水域生态特点具体划分为：

库尾放流：黄河鲇、兰州鲇以及瓦氏雅罗鱼

禹门口以下放流：翘嘴鲇、鲇。

后期根据两区域放流鱼类生长情况的监测结果，调整放流比例。

10.5.5.6 标志和遗传档案的建立

为了使人工增殖放流达到预期效果，必须进行放流效果的评价，即所有物种的人工增殖放流必须进行部分或全部标志或标记。

10.5.5.7 增殖放流站建设

（1）主要任务

鱼类增殖放流站的主要任务是进行放流对象野生亲本捕捞、运输、驯养，实施鱼类人工繁殖和苗种培育，提供鱼类苗种进行放流并监测放流效果，同时开展相关的科学研究工作。鱼类增殖站主要工作应针对保护性放流对象翘嘴鲌、兰州鲇、黄河鲇等的放流技术攻关，同时兼顾补偿性放流对象鲢、瓦氏雅罗鱼的放流工作。

（2）场址选择

鱼类增殖放流站建在业主营地，便于监督管理。增殖放流站占地面积与集约化程度相关。初拟古贤鱼类增殖站总面积 30 亩，并预留一定的场地为流域其它工程鱼类增殖放流做储备。

（3）生产工艺流程

鱼类增殖站不仅需要有专门的亲鱼、孵化设施、苗种培育池、亲鱼培育池及其它附属设施，而且还需要有丰富经验的专门技术人员。鱼类增殖放流站工作流程见图 10.5.5-1。

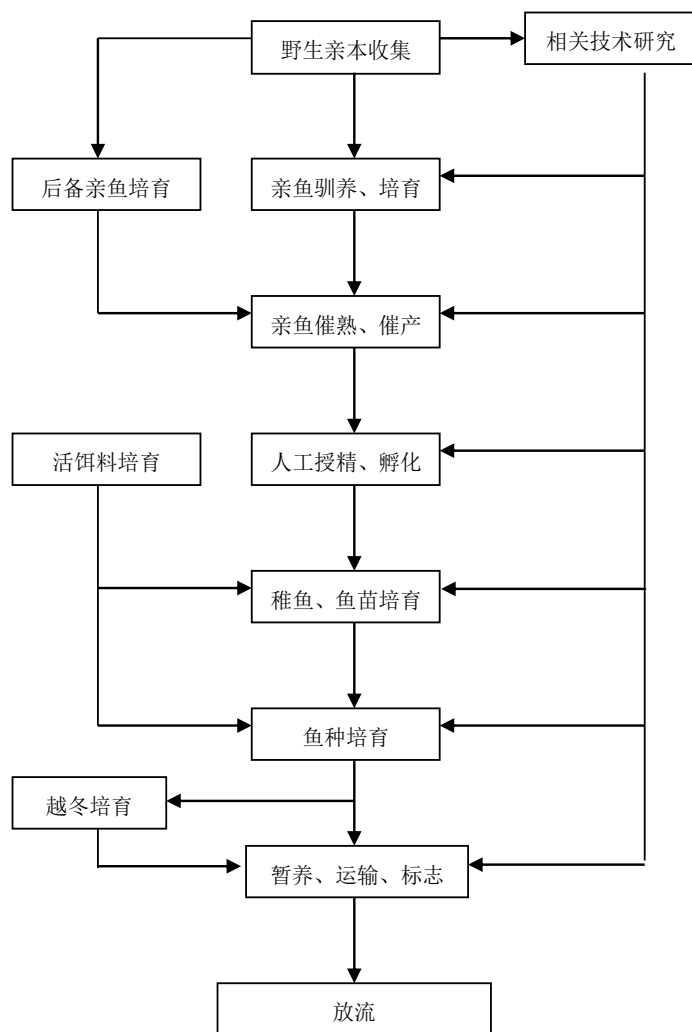


图 10.5.5-1 鱼类增殖站工作流程示意图

(4) 建设内容

鱼类增殖放流站规划占地约 30 亩，需要建设专门的亲鱼、孵化设施、苗种培育池、亲鱼培育池及其它附属设施。增殖站总体布置见图 10.5.5-2。



图 10.5.5-2 鱼类增殖放流站示意图

鱼类增殖站建设内容（表 10.5.5-2）如下：

蓄水池：蓄水池 1 座，规格为 36m×12m×3m，蓄水深 2.5m，容积为 1080m³。

亲鱼培育车间：亲鱼培育车间 3 座，车间尺寸均为 48m×30m，总面积 4320m²。每座车间内设 8 个亲鱼培育池和 1 个防疫隔离池，亲鱼培育池规格为 25m×4m×2m，有效水深 1.5m，防疫隔离池规格为 20m×4m×1.5m，控制水深 1.2m。

催产孵化及开口苗培育车间：催产孵化及开口苗培育车间 1 座，车间尺寸为 48m×30m，总面积 1440m²。内设半径 0.5m 的鱼苗培育缸 306 个、半径 1.5m 的催产池 2 个、孵化槽 23 个、尤先科孵化器 4 个、循环水处理系统 1 套。

鱼苗培育车间：鱼苗培育车间 1 座，车间尺寸为 42m×24m，总面积 1008m²。内设 20m×3m 鱼苗培育池 7 个、半径 1.5m 的鱼苗培育缸 8 个、循环水处理系统 1 套。

鱼种培育车间：鱼种培育车间 2 座，车间尺寸均为 48m×28m，总面积 2688m²。每座车间内设半径 1.5m 的鱼种培育缸 60 个、循环水处理系统 1 套。

其它设施：包括综合楼、输变电工程、生活用自来水工程、站区道路、交通工具等。

表 10.5.5-2 鱼类增殖站建设内容一览表

序号	名称	建设内容
1	综合管理区	综合楼一座，包括办公室、展示室、实验室、会议室、配电室、职工宿舍、值班室等。综合楼前停车场一个。
2	生产区	高位蓄水池 1 口，室内亲鱼培育车间 3 座，催产孵化及开口苗培育车间 1 座，鱼苗培育车间 1 座、鱼种培育车间 2 座。
3	景观绿化	选取当地花木进行绿化，绿化面积达放流站占地 30% 以上。
4	道路	进场公路可从业主营地或站址右边公路接入。
5	附属工程	包括产区内给排水系统、输变电工程、生活用自来水工程、交通工具等。

5) 运行机制

考虑鱼类增殖放流站实际情况，将增殖放流工作划分为两个部分，分别为技术攻关和管理与生产。技术攻关项目可以采用项目招标方式，发包给有相当能力的单位执行。增殖站的管理运行及生产则由相关单位和放流站内固定员工完成。

10.5.6 分层取水措施

为减缓低温水对坝址下游鱼类产卵的影响，工程拟采用分层取水措施，对不同分层取水方案及效果进行论证。

本报告拟定了 3 种叠梁门层高方案进行比选。方案一：叠梁门层高 4m；方案二：叠梁门层高 6m；方案三：叠梁门层高 8m。根据水温影响与保护措施章节结果，推荐叠梁门层高 6m。

总体来说,采用了叠梁门分层取水措施后,一定程度减缓了下泄低温水影响。不同层高方案叠梁门对下泄水温的影响规律基本一致,4月由于垂向水温分层较弱,各方案叠梁门分层取水对下泄水温基本无提高作用,5月开始,坝前垂向水温分层增强,下泄水温升高幅度逐渐加大,至5月下旬~6月上旬,下泄水温提高幅度达到最大,方案一、方案二、方案三旬均水温较单层取水最大升高 3.7°C 、 4.1°C 、 3.7°C ,7月上旬由于水库水位下降较快,下泄水温较单层取水反而有所下降,各方案旬均最大下降均为 1.3°C 。

就各方案分层取水的低温水改善效果来看,除6月中旬以外,不同方案最大差异在 0.4°C 以内,月均差异在 0.3°C 以内。旬均改善最佳工况为6m层高叠梁门方案,6月上旬旬均最大改善达 4.1°C ,且该方案在水库水位下降后,造成的下泄水温下降幅度要略小于其他两个方案。

本阶段推荐方案二6m作为单节叠梁门层高。采用推荐方案分层取水后下游河道沿程恢复较单层取水快,产卵场到达特征水温 18°C 的时间最长提前17天。

10.5.7 其他措施

10.5.7.1 生态调度

鱼类繁殖期水文过程对鱼类的繁殖有重要的刺激作用。鱼类繁殖期实施生态调度,营造鱼类繁殖期天然的水文过程,对鱼类的繁殖有重要作用。评价河段鱼类产卵期集中在4月~6月,应力求避免下泄水量的频繁变动,维持下游河段水位的稳定,避免对鱼类的繁殖生境产生破坏。

为了最大程度的减缓水位频繁涨落对鱼类产卵的影响。从生态保护角度对水库的调度运行进行了优化,优化后运行期4月~6月,日平均流量范围 $430\sim 600\text{m}^3/\text{s}$ 。日内流量变化幅度低于 $200\text{m}^3/\text{s}$,优化后,可以满足关键期生态流量要求,也可减缓流量下泄引起的水位频繁涨落。且黄河出龙门后,河道明显变为宽浅河流,水文涨落影响进一步得到减缓。

10.5.7.2 建设人工鱼巢

设置人工鱼巢是一种行之有效的保护鱼类资源的方法。本项目保护对象鲤、鲫、鲇等为产粘性卵鱼类,其卵粘附于水草或植物根须上。古贤水利枢纽工程建成后,库区水位增加,库区范围内水草或植被淹没,鲤、鲫产卵场淹没消失。坝下湿地面积可能减少,加上清水下泄,河道下切,河滩湿地与河道水域联系受影响,原有的河滩湿地鲤、鲫产

卵场受一定影响。利用鱼类产卵粘附于水草、砂卵石等基质上孵化的习性，在合适水域设置各种类型的人工鱼巢，供鱼类产卵繁殖，可减缓古贤枢纽建设对产粘性卵鱼类资源的影响，保护鲤、鲫、鲂等产粘性卵鱼类资源。人工鱼巢构建技术的关键在于鱼巢材料、实施水域和实施时间的选择，以及实施期间的管理与维护。人工鱼巢宜采用棕片、水草等材料建造。根据鱼类繁殖习性、水域生境特点实施地点放置在库尾、无定河和清涧河库湾、韩城芝川河段、合阳洽川河段、黄河大拐弯河段。

10.5.7.3 强化渔业管理

捕捞会对天然渔业资源的产生严重威胁，评价河段虽然毒、炸鱼等非法捕捞行为已基本杜绝，但电捕鱼行为却屡禁不止，急需加强渔政管理保护鱼类资源。

渔政管理内容包括建立良好的渔业捕捞制度、限制渔具渔法、规定捕捞对象的可捕标准及渔获量、严格禁渔区和禁渔期制度、加强水环境保护等，加强水生态和鱼类保护及相关法律法规的宣传工作，提高群众的环境保护和法制意识，维护良好的渔业环境，保护评价区鱼类资源。为保障渔政管理工作顺利进行，还应加强渔政执法能力建设，提高渔政部门的执法能力和力度。

为了有效避免工程实施过程中人为因素造成的鱼类资源破坏，另建议结合工程实施情况，建立相关组织机构，加强施工期鱼类的保护和救护工作。

10.5.7.4 科学研究

针对水生生态影响及存在的问题，建议开展黄河大北干流及小北干流河段鱼类生境保护效果及对策研究，包括鱼类种类、种群、生境调查监测，提出生境保护措施有效性监测评价等；鱼类增殖放流关键技术研究，包括省级保护物种翘嘴鲇、补偿性物种黄河魮等鱼类生物学、驯养繁育技术，增殖放流效果与监测，增殖放流方案优化调整等；分层取水措施效果研究，包括坝下鱼类水温、鱼类产卵孵化的监测，沿程水温变化对鱼类产卵影响等；小北干流河段动床变化对鱼类的影响，包括工程对坝址下游河段动床变化的影响，及对湿地及鱼类的影响等；加强调水调沙前、中、后的监测，研究调水调沙对鱼类的影响及保护对策。

10.6 小结

(1) 黄河干流上、中、下游生境差异大，特有土著鱼类主要分布在上游，北干流、

小北干流及三门峡库区不是特有土著鱼类集中分布区域。古贤水利枢纽工程所在河段及其下游河段保护鱼类较少，北干流河段鱼类资源相对贫乏，鱼类个体小型化趋势明显，小北干流是黄河中游壶口瀑布以下鱼类重要的栖息和繁殖水域，较大北干流鱼类物种多样性丰富。

(2) 壶口瀑布已形成了评价河段鱼类上溯的天然阻隔，古贤水利枢纽工程的建设进一步加大了壶口瀑布原有的地理阻隔影响，主要坝址到壶口瀑布之间 10km 河段的鱼类上溯形成阻隔，但影响程度和范围有限，整体上，工程建设对鱼类阻隔影响不大。

(3) 古贤水利枢纽工程建成后，库区河段流速发生明显变化，库尾流速较大，进入库区后，流速逐渐变缓。原适应于底栖、流水的鱼类如雅罗鱼、黄河魮、似铜魮、南方魮等将逐渐移向库尾以上干流及库区支流的回水区以上流水河段，流水生境压缩，但库尾至天桥河段仍然保留了 238km 的流水生境，可以满足适应流水性鱼类或需要在流水生境繁殖鱼类栖息和繁殖完成生活史的需求。同时适应于缓流或静水环境生活的鱼类如鲤、鲫、麦穗鱼等，其种类、数量在库区逐渐增加，库区生境也为鱼类的越冬、索饵提供了良好条件。

(4) 古贤水利枢纽工程运行后，年径流量没有变化，年内径流量分配发生了很大变化，坝下水文频繁涨落，可能会对下游鱼类产卵产生不利影响，为了最大程度的减缓对鱼类的影响，对 4 月~6 月产卵期的流量进行了优化。经优化后，满足产卵期生态水量要求，日内流量浮动范围控制在 $200\text{m}^3/\text{s}$ 以下，避免了水位频繁涨落对鱼类产卵及鱼类早期资源的影响。且黄河出禹门口后，河道变宽，影响会得到进一步减缓。

(5) 库区滞温效应延迟库区鱼类的繁殖期，影响较小。高低温水在下游河道中沿程与大气热交换作用，最远在下游 208km 接近潼关水文站处恢复至天然水平；春夏季下泄低温水使得坝下鱼类生长、性腺发育变慢，生长期缩短，繁殖期推迟。由于沿程低温水的恢复，位于古贤坝下，距坝址最近的产沉粘性卵产卵场，位于坝址下游约 96km 处，水温达到 18°C 的时间较建库前延迟 31 天，在采取本阶段推荐 6m 作为单节叠梁门层高的情况下，水温达到 18°C 的时间较建库前延迟 14 天，鱼类繁殖期相应延迟。

第十一章 小北干流河段湿地影响与保护措施

古贤水利枢纽工程坝址下游 72km 处的黄河小北干流河段分布有广阔的沿河洪漫湿地，工程运行期小北干流河段水文情势及河道形态有一定的改变，从而对湿地产生一定影响。本章在现场查勘、资料收集、文献统计、遥感解译的基础上，分析了小北干流湿地的形成、历史演变及特征，明确了湿地与黄河的水力作用机理；结合古贤水库运行方式和小北干流河段特性，综合采用类比分析法和机理分析法，分析了小北干流河段的河势、水文过程、漫滩洪水及地下水位等变化，预测了工程对小北干流湿地、动植物的影响，并提出减缓湿地不利影响的主要环保措施。

11.1 黄河小北干流河段湿地形成与演变

11.1.1 小北干流河段概况

古贤水利枢纽工程坝址下游 72km 处的黄河禹门口至潼关河段（又称禹潼河段，小北干流河段），位于北纬 $34^{\circ} 13'$ ~ $35^{\circ} 52'$ 和东经 $108^{\circ} 58'$ ~ $110^{\circ} 38'$ 之间，呈近南北流向，全长 132.5km。两岸涉及陕西、山西 2 省的渭南、运城 2 市 8 县（市）。黄河出龙门后，骤然放宽，河床由 100m 的峡谷展宽为 4km 以上，河道比降降至 0.41‰。受庙前、夹马口等天然节点控制，小北干流河段可分为三个河段，上段禹门口至庙前（黄淤 61 断面）河长 42.5km，河宽 3.5~13.0km；中段庙前至夹马口（黄淤 54 断面）河长 30km，河宽 3.5~6.6km；下段夹马口至潼关（黄淤 41 断面）河长 60km，河宽 2.4~18.8km。该河段为典型的堆积游荡型河道，主流摆动不定，河床宽浅，水流散乱，沿程主要分布有汾河、渭河 2 条较大支流，渭河在小北干流末端汇入。

11.1.2 河段治理与保护关系

小北干流河段既是黄河干流滞洪沉沙的场所，也是滩区群众赖以生存的家园，还是流域河漫滩湿地集中分布河段，该河段湿地保护与河道治理、农业生产等矛盾突出。

一方面，在黄河流域历次规划中，小北干流河段一直是黄河干流重点治理河段和

滞洪沉沙的重要场所之一，主要通过自然滞洪沉沙或人工放淤，减轻黄河下游河段的防洪减淤压力，是确保黄河长治久安的主要措施之一。另一方面，小北干流河段宽浅游荡的特性，使得河道水流散乱、泥沙大量淤积，为沿河洪漫湿地的发育提供了良好条件，是野生动植物栖息的优良场所。此外，小北干流河段还是滩区群众世代生产生活的场所，自然保护区设立时将大量的村庄及耕地划入了保护区范围，但实际却为当地村民所世代占有，为了生计，村民在保护区内耕种、养殖较多。由于小北干流河道主流的频繁摆动，经常造成冲滩塌岸，严重影响两岸人民生活生产和社会经济发展，该河段作为晋、陕两省的天然界河，历史上两省为争种滩地而发生纠纷的现象屡有述载，为了控制河势，两省先后修建了大量河道整治工程，这些工程对于稳定河势、保滩、护村等起到了一定积极作用，但其中有些工程严重挑流，给对岸造成危害，不仅造成财力、人力的不必要投入，而且不利于河势的改善，使两岸矛盾加剧。

为团结治河，1990年国务院发布了“关于黄河禹门口至潼关河段河道治导控制线意见的批复”，授权黄委统一规划和管理河段治理工程，以稳定河段河势及中水流路。依据治导控制线，国家先后于1998年、2005年批准实施了两期河道整治工程建设，目前正在实施第三期工程建设，小北干流河段基本形成了相对完善的河道整治工程，黄河地表径流基本被束缚在两岸控导（护岸）工程之间的区域，使两岸矛盾逐步得以解决，促进了两岸社会稳定和经济发展，同时，也使得两岸控导（护岸）工程以外的区域基本都被开发成了农田。

因此，小北干流河段湿地的历史演变特征和现状分布规律是河段来水来沙条件、河道整治过程、滩区群众生活方式等多因素综合作用的结果，河段湿地的保护与修复需要与河道治理、滩区群众生活生产等因素结合起来。

11.1.3 河段湿地形成与演变

小北干流河段主河道游荡摆动，河床比降较小，使得泥沙大量沉积，水流在河床中留下许多裸滩、河心洲，形成了特殊的沿河洪漫湿地，呈带状分布在沿河两岸。小北干流湿地随河道的变迁而处于动态变化中，其形成、发展和演变与河流水沙条件、河道边界条件等息息相关。上世纪80年代以来，受河段来水减少、河道整治工程建设、滩区开垦等边界条件变化的共同影响，小北干流河段土地利用类型也发生了巨大变化

（如图 11.1.3-1），分析该河段近四十年来遥感解译结果，可以看出：（1）天然湿地面积呈显著下降趋势，从上世纪 80 年代的 66194ha 下降到 2020 年现状年的 36334ha，减少了 45.1%；（2）农田面积增加趋势较为明显，从上世纪 80 年代的 40497ha 增加到现状年的 64731ha，增加了 59.8%；（3）人工湿地呈增加趋势，从上世纪 80 年代的 899ha 增加到现状年的 6525ha，增加了 626%；（4）河段土地覆被格局发生了巨大变化，上世纪 80 年代天然湿地、农田、人工湿地的面积比例为 61:38:1，以天然湿地为主；现状年演变为 34:60:6，以农田为主。

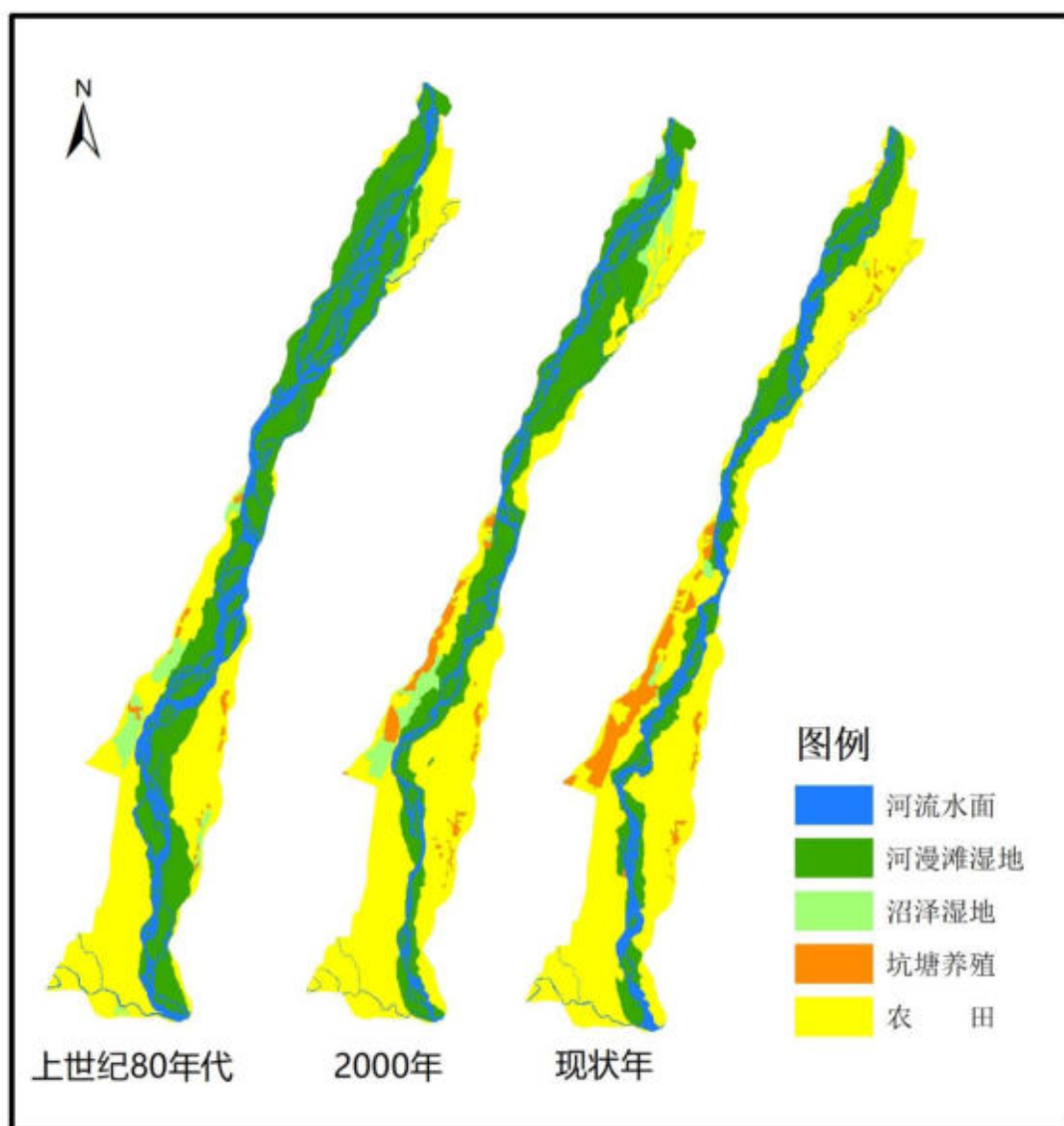


图 11.1.3-1 上世纪 80 年代以来黄河小北干流河段土地利用类型遥感解译

进一步分析发现，小北干流河段天然湿地以河流水面和河漫滩湿地为主，现状年主要集中分布在河段两岸控导（护岸）工程之间的河流主槽及嫩滩区域。该河段典型

区域天然湿地与河道整治工程、农田的位置关系如图 11.1.3-2 所示。



图 11.1.3-2 黄河小北干流河段天然湿地分布

综上，根据小北干流河段湿地历史演变与河道整治工程、滩区土地开垦等关系分析，结合该河段天然湿地现状分布、河道整治工程对地表径流的束缚作用等分析，综合确定本次评价范围为：河段两岸控导（护岸）工程之间的河流主槽及嫩滩区域。

11.1.4 湿地自然保护区

小北干流河段良好的湿地生态环境使其成为区域生物多样性较为丰富的地区，1992 年以来相关部门先后设立了陕西黄河湿地省级自然保护区、山西运城湿地省级自然保护区。其中，陕西黄河湿地省级自然保护区由原“陕西三河湿地自然保护区”与原“合阳黄河湿地自然保护区”合并并扩建后建立，总面积 45986hm²，属于生态系统类别中的“湿地类型自然保护区”，以河流湿地生态系统及生物多样性为保护对象；山西运城湿地省级自然保护区由原运城天鹅自然保护区和原河津灰鹤自然保护区合并并扩建后建立，总面积 86861hm²，以湿地自然环境及自然资源为保护对象。

两湿地自然保护区均为省级湿地自然保护区，保护区功能区划如表 11.1.4-1、图 11.1.4-1 所示。

表 11.1.4-1 陕西黄河、山西运城湿地自然保护区功能分区面积

序号	功能区	陕西黄河省级湿地自然保护区		山西运城省级湿地自然保护区	
		面积(hm ²)	占比(%)	面积(hm ²)	占比(%)
1	核心区	18209	39.60	36019.4	41.47
2	缓冲区	17774	38.65	7325.5	8.43
3	试验区	10003	21.75	43516.1	50.1
4	总计	45986	100	86861	100

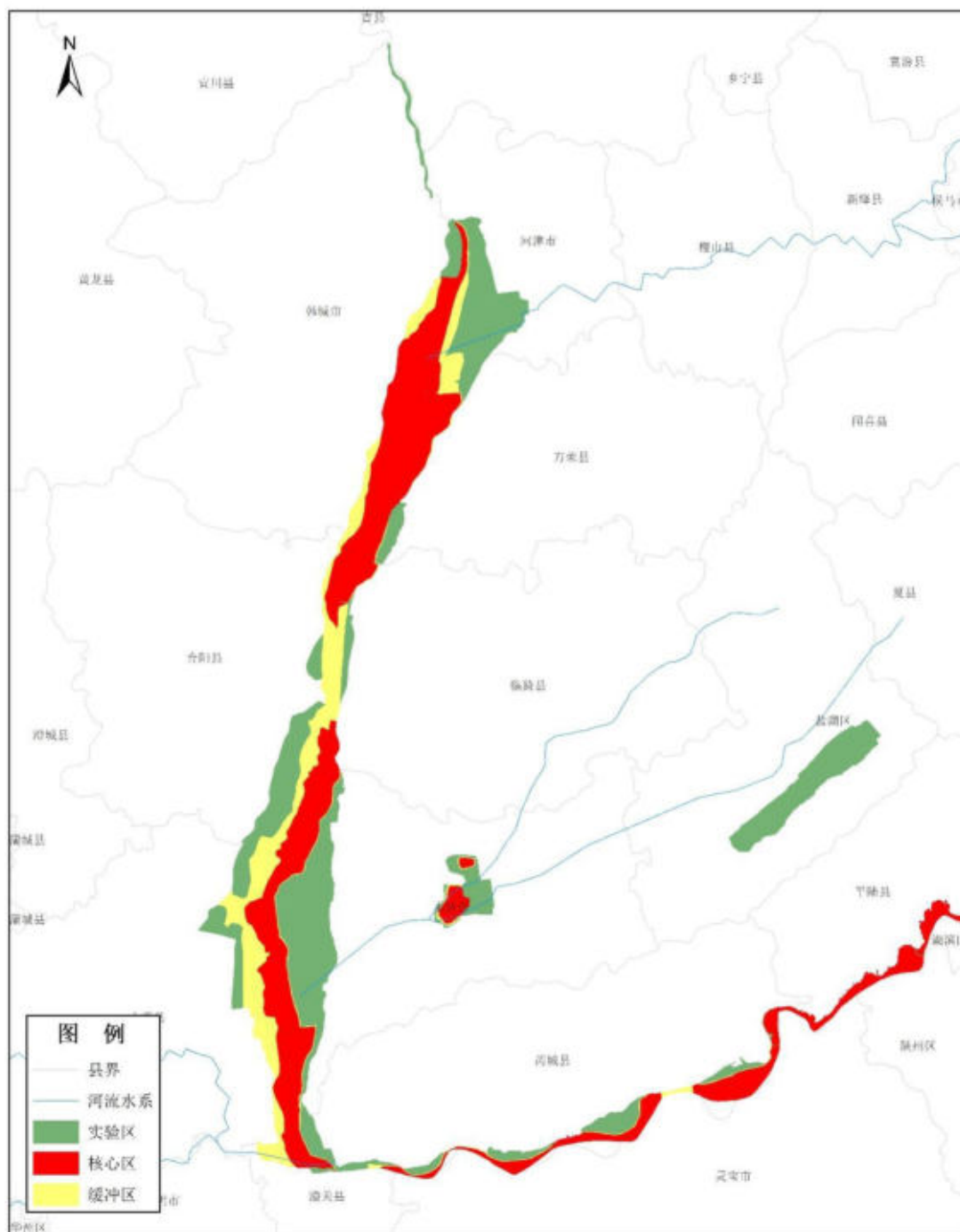


图 11.1.4-1 自然保护区功能区划图

11.2 小北干流湿地现状调查与评价

11.2.1 河段水文特征

11.2.1.1 径流量年际变化

小北干流河段无常设水文站，其上游 10km 处龙门站位于上游北干流河段末端，控制了小北干流河段 80% 以上来水，评价以龙门断面径流变化过程来分析小北干流水文变化。龙门断面多年径流过程如下图 11.2.1-1 所示。可以看出，1919-2020 年龙门断面实测径流量总体呈下降趋势。

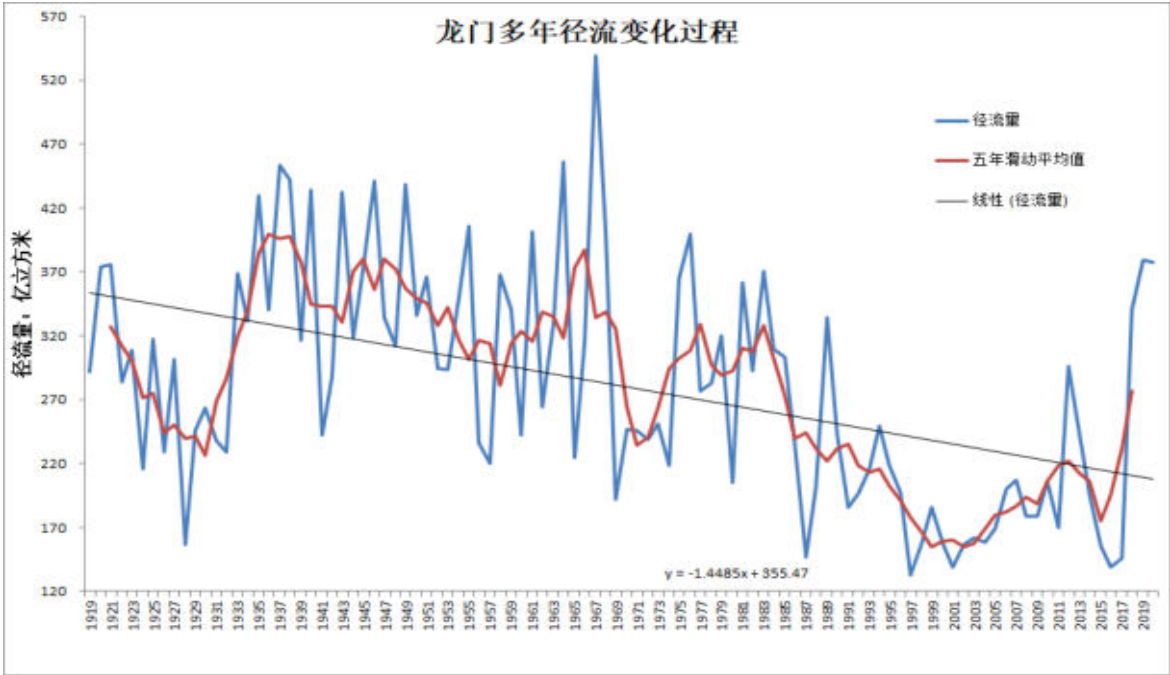


图 11.2.1-1 龙门站径流量年际变化趋势图

11.2.1.2 径流量年内分配

龙门断面径流年内变化分析表明，汛期径流量所占比例逐渐由 1919~1968 年（天然时期）60.6% 下降到 1969~1986 年（刘家峡水库单独运行时期）的 53.4%，1987~1999 年（龙刘水库联合运行时期）进一步下降到 42.4%，2000~2020 年有了一定的回升，为 46.0%。

11.2.1.3 流量级分布

黄河小北干流河段汇入支流中仅有汾河、渭河两条河流水量较大，其中渭河于河段末端潼关汇入黄河，对河段影响较小，因此只考虑汾河的区间汇入，选择汾河入黄控制站河津水文站的实测径流量作为区间入流。

不同历史时期小北干流河段来水分布情况如图 11.2.1-2 所示。总体来看，受天然来水和人工干扰对下垫面的影响，流量过程趋于均匀化，大流量过程减少，中小流量过程成为新常态。（1）从评价结果来看，随着刘家峡、龙羊峡水利枢纽工程建设和运行， $1000\text{m}^3/\text{s}$ 以下的天数总体增加， $1000\text{m}^3/\text{s}$ 以上各流量区间的天数均呈减少的趋势，其中 1986 年龙羊峡水库运行后， $500\text{m}^3/\text{s}$ 以下的天数由建设前的 90.1 天增加到 158.6 天，所占比例增加了 18.8 个百分点；2000 年以来， $3000\text{m}^3/\text{s}\sim 3500\text{m}^3/\text{s}$ 流量区间的天数呈增加的趋势。（2）从流量级分布来看，流量主要位于 $1000\text{m}^3/\text{s}$ 以下区间，天数所占百分比为 62.2%~87.1%， $1000\text{m}^3/\text{s}$ 以上各流量区间时，随着流量级的增加，对应的天数逐渐减小。1986 年之后， $2500\text{m}^3/\text{s}$ 以上的天数平均只有 4.2 天，2000 年后进一步增加到 4.8 天。

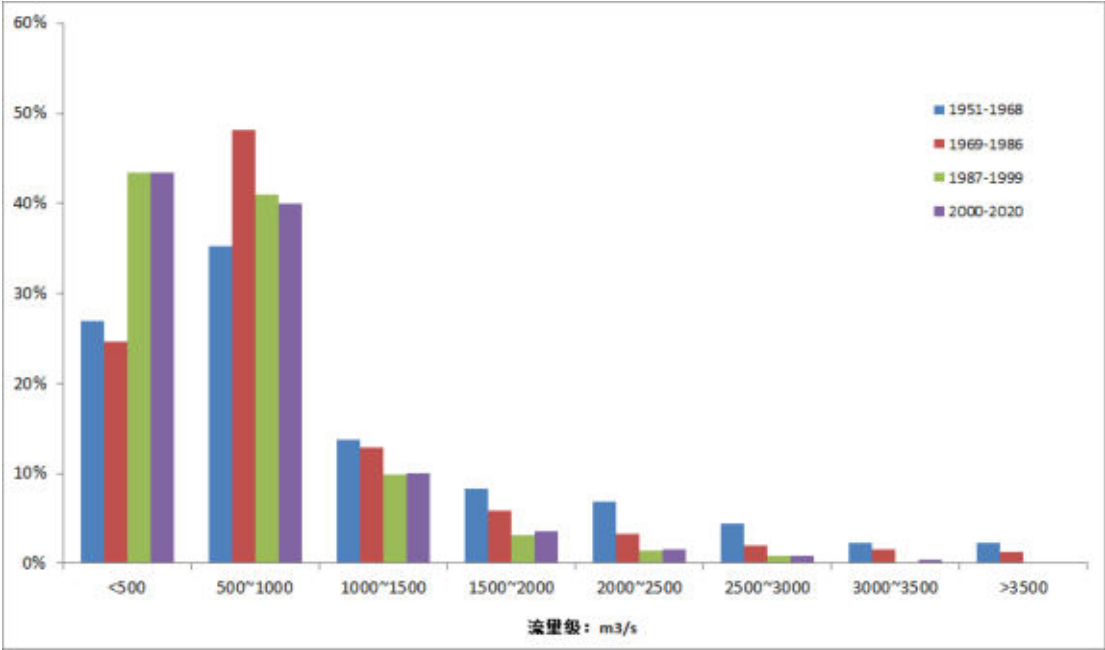


图 11.2.1-2 不同历史时期河段径流量分布情况

11.2.1.4 年最大日均流量变化

统计 1951~2020 年最大日均流量，分析不同时期变化及其分布情况。结果表明，小北干流河段最大日均流量总体呈不断减小的趋势，2000 年以来主要位于 $2000\sim 3000\text{m}^3/\text{s}$ 范围，如图 11.2.1-3 所示。

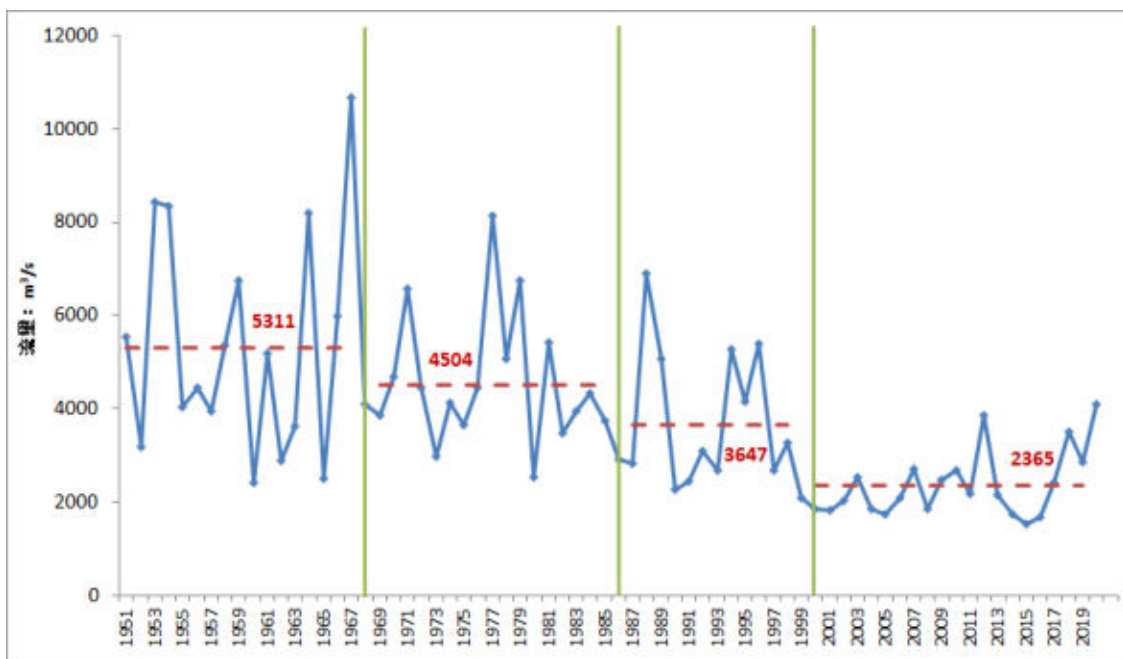


图 11.2.1-3 1951~2020 年最大日均流量变化情况

11.2.1.5 地表水与地下水的响应关系

根据区域水文地质条件，小北干流河段河流湿地内含水层主要为第四纪含水层，补给来源包括降雨补给、黄河漫滩补给及区域下伏含水层补给等。在对河段布设的 12 口地下水井水位监测数据与地表径流水位相关度分析的基础上，利用地表水-地下水数值模型，分析了黄河对两岸湿地区域内第四纪含水层的贡献程度。结果表明，陕西侧第四纪含水层的主要补给来源为降雨（占 21.8%）和高岸地下水流（占 67.7%），黄河的渗流补给仅占总补给量的 10.4%；山西侧黄河地表水补给占总补给量的 26%，降水补给占 24.1%，高岸地下水流的补给量最大（约 49.9%）。因此，黄河小北干流湿地地下水的补给水源主要为河道两侧高岸地下水，黄河地表径流对地下水的补给作用较为有限，仅占总补给量的 10%~26%。

11.2.2 漫滩洪水及频次

平滩流量是指水位与滩面齐平时河道的过流能力，是反映河槽过流能力、泥沙输移、洪水动力传输、生态影响等的重要指标。滩唇位置的确定是计算平滩流量的核心和关键，河道治理工程中为了保护滩区群众的生命财产安全，常将高滩或二滩作为滩唇，而湿地遥感解译中发现，现状年小北干流河流湿地主要分布在两岸控导（护岸）工程之间的河流主槽及嫩滩区域，为了更好的反映地表水变化对河流湿地的影响，这

里的平滩流量选择低滩湿地所在嫩滩作为滩唇，与河道治理工程中所说的平滩流量略有不同。

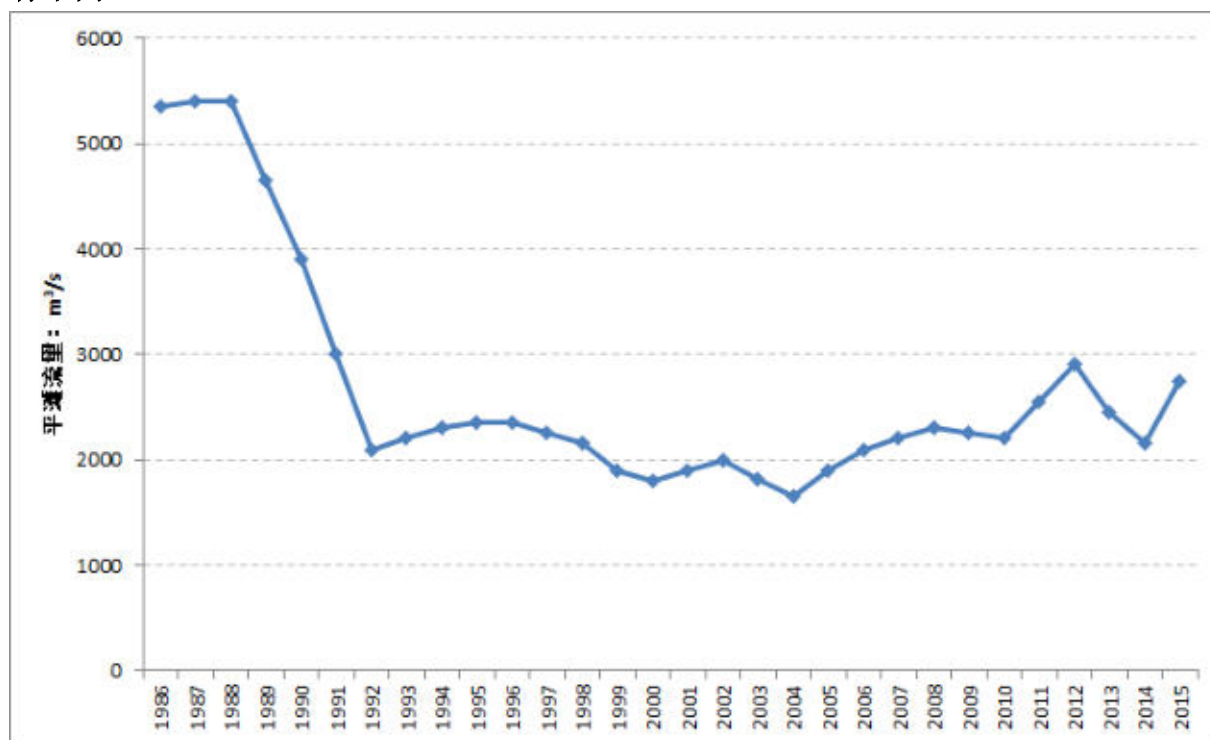


图 11.2.2-1 黄河小北干流河段平滩流量变化

基于小北干流河道特点，分别选取黄淤 65、黄淤 56、黄淤 50 三个代表性断面，利用 1986-2015 年实测大断面资料，分析沿程平滩流量变化情况（图 11.2.2-1）。小北干流河段平滩流量的变化与河道冲淤、潼关高程等关系密切。1986~2003 年属枯水枯沙系列年，来水来沙条件不利，该时段小北干流河道淤积萎缩严重，主槽过洪能力显著减弱，平滩流量下降明显。2004~2015 年小北干流虽然出现连续枯水枯沙年份，但是来水来沙条件较为有利，加上此间开展的小北干流放淤原型观测试验、三门峡水库蓄水位按不超过 318m 控制运用、利用桃汛洪水冲刷降低潼关高程试验等措施，使得小北干流河道持续冲刷，河道平滩流量有所增加。

进一步分析漫滩次数和漫滩总天数变化情况（图 11.2.2-2、图 11.2.2-3），可以看出，受上世纪 90 年代平滩流量迅速下降的影响，该时段漫滩洪水发生频率较高，漫滩天数也达到了较高水平；进入 20 世纪后，漫滩次数和漫滩天数不断下降，2010 年以后仅有三分之一的年份（2010 年和 2012 年）发生了漫滩洪水，但漫滩的次数和持续天数较 20 世纪初有了一定的增加。

通过对龙门断面实测流量过程进行分析，发现小北干流河段的漫滩时间主要集中在 7-8 月主汛期，部分年份发生在 9 月。

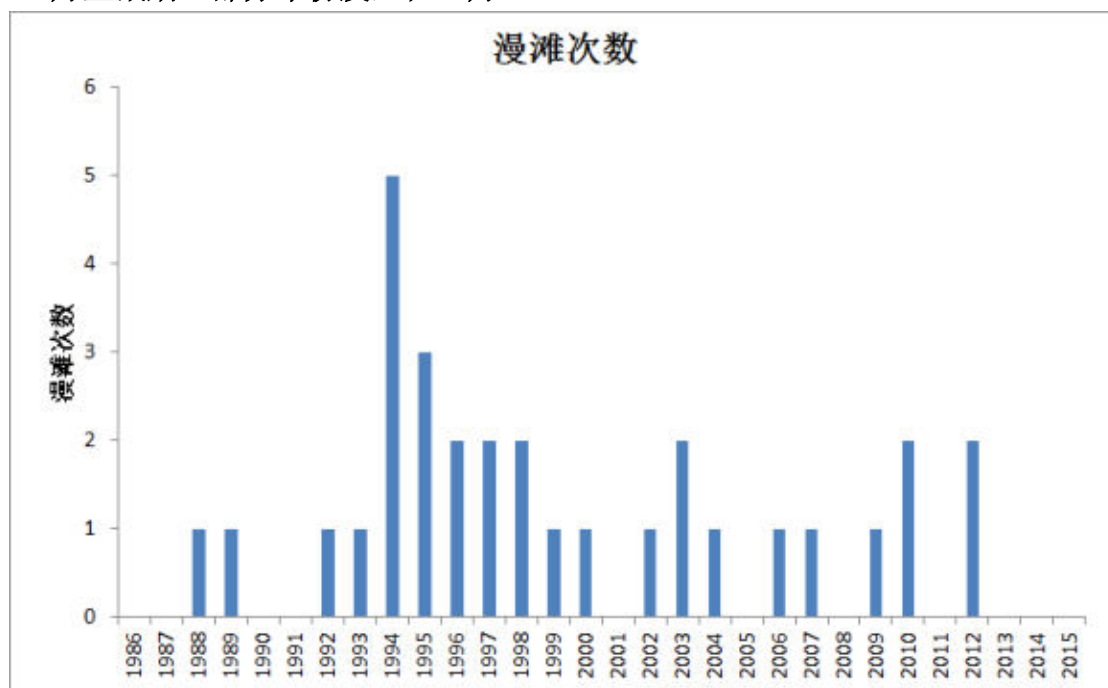


图 11.2.2-2 黄河小北干流河段漫滩次数变化图



图 11.2.2-3 黄河小北干流河段漫滩总天数变化图

11.2.3 近 30 年湿地景观变化

11.2.3.1 数据获取与解译

1. 湿地景观分类

以河道两岸控导（护岸）工程为边界，对评价范围内的天然湿地景观变化进行分析。黄河小北干流河段为典型的游荡型河段，天然湿地以河流湿地为主，根据遥感影像及现场踏勘识别，将湿地景观划分为河流水面、裸滩湿地和河漫滩湿地。其中，河流水面是指常水位条件下淹没的区域；裸滩湿地指常水位情况下出露而高水位情况下淹没的河槽内滩地，其随着径流变化可与河流水面相互转换；河漫滩湿地分布于河道两侧的地形稍高区域，只有在较大洪水情况下才可能被淹没，其地表通常生长有湿生植被。

2. 数据源

为评价小北干流河段近 30 年内湿地景观变化，项目组联合中国科学院地理科学与资源研究所，选用四期典型遥感数据（上世纪 80 年代、2000 年前后、2010 年前后、2020 现状年），分别对湿地信息进行提取（如表 11.2.3-1、图 11.2.3-1）。同时结合现场查勘和 2000 年全国土地利用现状数据、2006 年沿黄湿地解译数据、2000 年全国湿地解译数据及相关的文字资料和报告、全国生态环境十年变化遥感调查专项项目数据以及 DEM 数据等已有研究成果，对解译结果进行验证。

表 11.2.3-1 黄河小北干流河段天然湿地解译成果表 单位：ha

类型	上世纪 80 年代	2000 年	2010 年	现状年
河流水面	20808	12853	16038	14565
裸 滩	27919	17062	10839	9705
河漫滩	12959	15857	15681	10911
合计	61686	45772	42558	35181

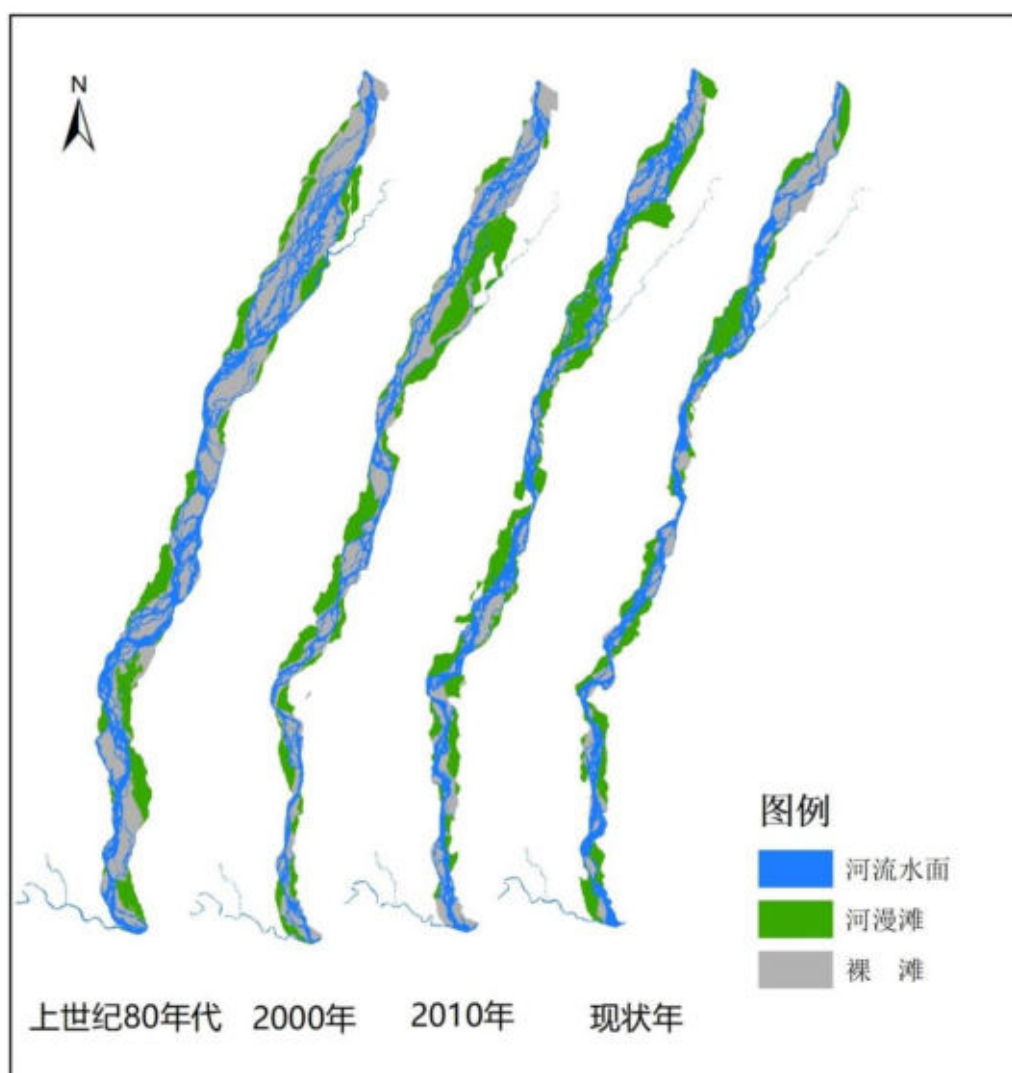


图 11.2.3-1 上世纪 80 年代以来评价范围内天然湿地景观变化

11.2.3.2 小北干流湿地主要特征

对评价范围内天然湿地景观变化进行分析，可以看出该河段湿地具有几个特征：

（1）不同湿地景观类型具有明显的动态变化特征，受河势游荡摆动和径流量变化影响，河流水面、裸滩湿地与河漫滩湿地动态转化频繁；

（2）河流湿地总体呈略微减少的趋势，其中，河流水面面积受河段来水影响呈现一定的波动；裸滩呈逐渐减小的趋势，由上世纪 80 年代的 27919ha 减少到现状的 9705ha；河漫滩湿地呈先增加后减少的趋势，在本世纪初达到了最高值，此后逐渐减少。

（3）该河段湿地是黄河中游生态圈的重要组成部分，生物多样性较高，是黄河干流三大河流湿地集中分布区之一，为越冬鸟类提供了良好的栖息生境，具有调节气候、

蓄洪防旱、保护生物多样性等多种功能。

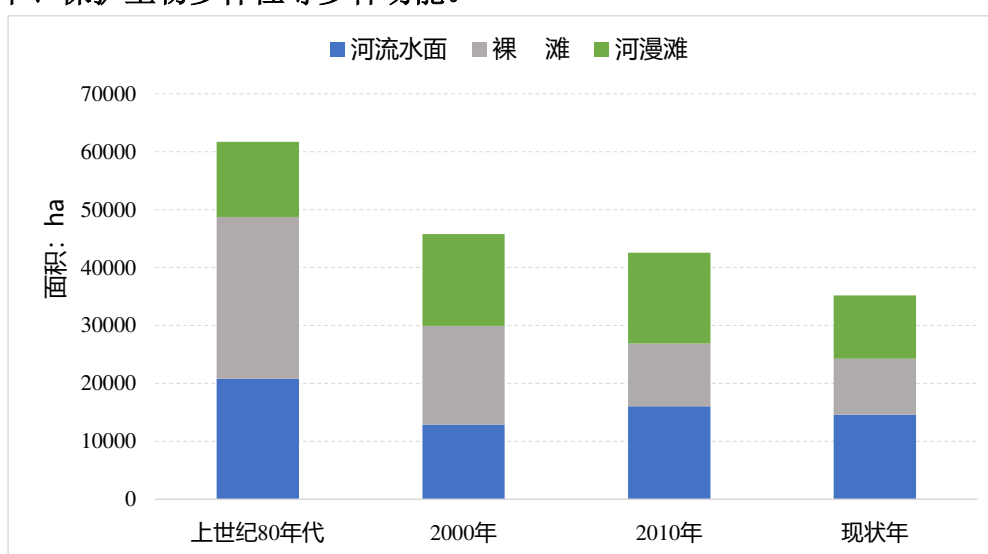


图 11.2.3-2 评价范围内河流湿地面积及组成变化

11.2.4 湿地植物

小北干流湿地植物资源调查采取现场样方调查和遥感解译相结合的方式，开展了现场查勘和野外调查，共设置了 36 个具有代表性调查样方，对河段乔木、灌木、草本植物进行调查。调查点位如图 11.2.4-1 所示。





图 11.2.4-2 黄河小北干流典型断面湿地实景照片

11.2.4.1 植被种类

根据现场调查结果，结合相关研究成果，小北干流湿地分布有种子植物 70 科 236 属 287 种，其中，野生植物 216 种，栽培植物 71 种。裸子植物 1 科 2 种，单子叶植物 17 科 69 种，双子叶植物 52 科 216 种。湿地植物名录详表 11.2.4-1。

表 11.2.4-1 小北干流湿地植物名录

科名	种名	学名	科名	种名	学名	科名	种名	学名
柏科	侧柏	<i>Platycladus orientalis</i>	石竹科	蚤缀	<i>Arenaria serpyllifolia</i>	木犀科	迎春花	<i>Jasminum nudiflorum</i>
	圆柏	<i>Sabina chinensis</i>		卷耳	<i>Cerastium arvense</i>	龙胆科	苳菜	<i>Nymphoides peltatum</i>
香蒲科	香蒲	<i>Typha orientalis</i>		狗筋蔓	<i>Cucubalus baccifer</i>	萝藦科	鹅绒藤	<i>Cynanchum chinense</i>
	宽叶香蒲	<i>Typha latifolia</i>		瞿麦	<i>Dianthus superbus</i>		杠柳	<i>Periploca sepium</i>
	水烛	<i>Typha angustifolia</i>		鹅肠草	<i>Myosoton aquaticum</i>	旋花科	打碗花	<i>Calystegia hederacea</i>
黑三棱科	单枝黑三棱	<i>Sparganium simplex</i>		麦瓶草	<i>Silene conoidea</i>		甘薯	<i>Ipomoea batatas</i>
	黑三棱	<i>Sparganium stoloniferum</i>		鹤草	<i>Silene fortunei</i>	紫草科	狭苞斑种草	<i>Bothriospermum kusnezowii</i>
眼子菜科	小眼子菜	<i>Potamogeton pusillus</i>		中国繁缕	<i>Stellaria chinensis</i>		琉璃草	<i>Cynoglossum zeylanicum</i>
	龙须眼子菜	<i>Potamogeton pectinatus</i>		麦蓝菜	<i>Vaccaria hispanica</i>		鹤虱	<i>Lappula myosotis</i>
	角果藻	<i>Zannichellia palustris</i>	睡莲科	莲	<i>Nelumbo nucifera</i>		麦家公	<i>Lithospermum arvense</i>
茨藻科	茨藻	<i>Najas marina</i>	毛茛科	长叶碱毛茛	<i>Halerpestes ruthenica</i>		狼紫草	<i>Lycopsis orientalis</i>
芝菜科	水麦冬	<i>Triglochin palustre</i>		芍药	<i>Paeonia lactiflora</i>		弯齿盾果草	<i>Thyrocarpus glochidiatus</i>
泽泻科	东方泽泻	<i>Alisma plantago-aquatica var. orientale</i>		牡丹	<i>Paeonia suffruticosa</i>		附地菜	<i>Trigonotis peduncularis</i>
	华夏慈姑	<i>Sagittaria trifolia var. sinensis</i>		茴茴蒜	<i>Ranunculus chinensis</i>	鞭草科	马鞭草	<i>Verbena officinalis</i>
水鳖科	黑藻	<i>Hydrilla verticillata</i>	罂粟科	紫堇	<i>Corydalis edulis</i>	唇形科	线叶筋骨草	<i>Ajuga linearifolia</i>
禾本科	看麦娘	<i>Alopecurus sequalis</i>	十字花科	芸薹（油菜）	<i>Brassica campestris</i>		匍匐风轮菜	<i>Clinopodium repens</i>
	野燕麦	<i>Avena fatua</i>		白菜	<i>Brassica pekinensis</i>		夏至草	<i>Lagopsis supina</i>
	白羊草	<i>Bothriochloa .ischaemum</i>		荠菜	<i>Capsella bursa-pastoris</i>		益母草	<i>LeonUrus japonica</i>
	雀麦	<i>Bromus japonicus</i>		播娘蒿	<i>Descurainia Sophia</i>		地瓜儿苗	<i>Lycopus lucidus</i>
	假苇拂子茅	<i>Calamagrostis pseudophragmites</i>		独苳菜	<i>Lepidium apetalum</i>		薄荷	<i>Mentha haplocalyx</i>
	虎尾草	<i>Chloris virgata</i>		豆瓣菜	<i>Nasturtium</i>		夏枯草	<i>Prunella vulgaris</i>

科名	种名	学名	科名	种名	学名	科名	种名	学名
					<i>officinale</i>			
	糙隐子草	<i>Cleistogenes squarrosa</i>		萝卜	<i>Raphanus sativa</i>		荔枝草	<i>Salvia plebeia</i>
	狗牙根	<i>Cynodon dactylon</i>		荇蓼	<i>Thlaspi arvense</i>		黄芩	<i>Scutellaria baicalensis</i>
	马唐	<i>Digitaria sanguinalis</i>	景天科	瓦松	<i>Orostachys fimbriatus</i>	茄科	甘露子	<i>Stachys sieboldi</i>
	稗	<i>Echinochloa crusgalli</i>		扯根菜	<i>Penthorum chinensis</i>		辣椒	<i>Capsicum annum</i>
	蟋蟀草	<i>Eleusine indica</i>	蔷薇科	桃	<i>Amygdalus persica</i>		曼陀罗	<i>Datura stramonium</i>
	画眉草	<i>Eragrostis pilosa</i>		杏	<i>Armeniaca vulgaris</i>		枸杞	<i>Lycium chinensis</i>
	大麦	<i>Hordeum vulgare</i>		蛇莓	<i>Duchesnea indica</i>		番茄	<i>Lycopersicon esculentum</i>
	白茅	<i>Imperata cylindrical var. major</i>		苹果	<i>Malus pumila</i>		烟草	<i>Nicotiana tabacum</i>
	荻	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>		委陵菜	<i>Potentilla chinensis</i>		白英	<i>Solanum lyratum</i>
	芒	<i>Miscanthus sinensis</i>		多茎委陵菜	<i>Potentilla multicaulis</i>		茄	<i>Solanum melongena</i>
	雀稗	<i>Paspalum thunbergii</i>		西山委陵菜	<i>Potentilla sischanensis</i>		龙葵	<i>Solanum nigrum</i>
	狼尾草	<i>Pennisetum alopecuroides</i>		李	<i>Prunus salicina</i>		马铃薯	<i>Solanum tuberosum</i>
	鬼蜡烛	<i>Phleum paniculatum</i>		白梨	<i>Pyrus bretschneideri</i>	玄参科	通泉草	<i>Mazus japonicus</i>
	芦苇	<i>Phragmites australis</i>		茅莓	<i>Rubus parvifolius</i>		毛泡桐	<i>Paulownia tomentosa</i>
	早熟禾	<i>Poa annua</i>		地榆	<i>Sanguisorba officinalis</i>		地黄	<i>Rehmannia glutinosa</i>
	棒头草	<i>Polypogon fugax</i>		紫穗槐	<i>Amorpha fruticosa</i>		婆婆纳	<i>Veronica didyma</i>
	纤毛鹅观草	<i>Roegneria ciliaris</i>	豆科	落花生	<i>Arachis hypogaea</i>	紫葳科	北水苦苣	<i>Veronica anagallis-aquatica</i>
	狗尾草	<i>Setaria viridis</i>		糙叶黄芪	<i>Astragalus scaberimus</i>		灰楸	<i>Catalpa fargesii</i>
	高粱	<i>Sorghum vulgare</i>		扁豆	<i>Dolichos lablab</i>	车前科	角蒿	<i>Incarvillea sinensis</i>
	长芒草	<i>Stipa bungeana</i>		皂荚	<i>Gleditsia sinensis</i>		车前	<i>Plantago asiatica</i>
	黄背草	<i>Themeda triandra var. japonica</i>		大豆	<i>Glycine max</i>		平车前	<i>Plantago depressa</i>
	锋芒草	<i>Tragus racemosus</i>		野大豆	<i>Glycine soja</i>	茜草科	麦仁珠	<i>Galium tricornis</i>

科名	种名	学名	科名	种名	学名	科名	种名	学名
	小麦	<i>Triticum aestivum</i>		米口袋	<i>Gueldenstedtia multiflora</i>		披针叶茜草	<i>Rubia lanceolata</i>
	玉米	<i>Zea mays</i>		掐不齐	<i>Kummerowia stipueacea</i>	败酱科	异叶败酱	<i>Patrinia heterophylla</i>
莎草科	异型莎草	<i>Cyperus difformis</i>		达乌里胡枝子	<i>Lespedeza davurica</i>	葫芦科	冬瓜	<i>Benincasa hispida</i>
	褐穗莎草	<i>Cyperus fuscus</i>		山豆花	<i>Lespedeza tomentosa</i>		西瓜	<i>Citrullus lanatus</i>
	碎米莎草	<i>Cyperus iria</i>		小苜蓿	<i>Medicago minima</i>		黄瓜	<i>Cucumis sativus</i>
	直穗莎草	<i>Cyperus orthostachys</i>		苜蓿	<i>Medicago sativa</i>		笋瓜	<i>Cucurbita maxima</i>
	莎草	<i>Cyperus rotundus</i>		黄香草木樨	<i>Melilotus officinalis</i>		南瓜	<i>Cucurbita moschata</i>
	水葱	<i>Fimbristylis subbispicata</i>		硬毛棘豆	<i>Oxytropis hirta</i>		西葫芦	<i>Cucurbita pepo</i>
	牛毛毡	<i>Heleocharis yokoscensi</i>		绿豆	<i>Phaseolus radiatus</i>		葫芦	<i>Lagenaria siceraria</i>
	水莎草	<i>Juncellus serotinus</i>		豌豆	<i>Pisum sativa</i>		栝楼	<i>Trichosanthes kirilowii</i>
	球穗扁莎草	<i>Pycnus globosus</i>		刺槐	<i>Robinia pseudoacacia</i>	菊科	牛蒡	<i>Arctium lappa</i>
	萤蔺	<i>Scirpus juncoides</i>		槐	<i>Sophora japonica</i>		碱蒿	<i>Artemisia anethifolia</i>
	扁秆荆三棱	<i>Scirpus planiculmis</i>		狼牙刺	<i>Sophora viciifolia</i>		黄花蒿	<i>Artemisia annua</i>
天南星科	白菖蒲	<i>Acorus calamus</i>		苦马豆	<i>Sphaerophysa salsula</i>		细叶艾	<i>Artemisia argyi var. gracilis</i>
浮萍科	浮萍	<i>Lemma minor</i>		披针叶黄花	<i>Thermopsis lanceolata</i>		茵陈蒿	<i>Artemisia capillaries</i>
鸭跖草科	鸭跖草	<i>Commelina communis</i>		山野豌豆	<i>Vicia amoena</i>		野艾	<i>Artemisia lavandulaefolia</i>
雨久花科	鸭舌草	<i>Monochoria vaginalis</i>	牻牛儿苗科	牻牛儿苗	<i>Erodium stephanianum</i>		猪毛蒿	<i>Artemisia scoparia</i>
灯心草科	小灯心草	<i>Juncus bufonius</i>	蒺藜科	蒺藜	<i>Tribulus terrestris</i>		小花鬼针草	<i>Bidens parviflora</i>
	翅灯心草	<i>Juncus alatus</i>	芸香科	花椒	<i>Zanthoxylum bungeanum</i>		飞廉	<i>Carduus crispus</i>
百合科	洋葱	<i>Allium cepa</i>	苦木科	臭椿	<i>Ailanthus altissima</i>		天名精	<i>Carpesium abrotanoides</i>

科名	种名	学名	科名	种名	学名	科名	种名	学名
	葱	<i>Allium fistulosum</i>	楝科	楝树	<i>Melia azedarach</i>		马刺蓟	<i>Cirsium monocephalum</i>
	蒜	<i>Allium sativum</i>		香椿	<i>Toona sinensis</i>		刺儿菜	<i>Cirsium segetum</i>
	韭	<i>Allium tuberosum</i>	大戟科	铁苋菜	<i>Acalypha australis</i>		大刺儿菜	<i>Cirsium setosum</i>
	野蒜	<i>Allium macrostemon</i>		泽漆	<i>Euphorbia helioscopia</i>		小白酒草	<i>Conyza Canadensis</i>
	芦笋（石刁柏）	<i>Asparagus officinalis</i>		地锦草	<i>Euphorbia humifusa</i>		野菊	<i>Dendranthema indicum</i>
	金针菜（黄花菜）	<i>Hemerocallis citrina</i>		蓖麻	<i>Ricinus communis</i>		甘菊	<i>Dendranthema lavandulaefolium</i>
鸢尾科	马蔺	<i>Iris actea var. chinensis</i>	凤仙花科	凤仙花	<i>Impatiens balsamina</i>		鳢肠	<i>Eclipta prostrata</i>
兰科	绶草	<i>Spiranthes sinensis</i>	鼠李科	枣树	<i>Zizyphus jujuba</i>		一年蓬	<i>Erigeron annuus</i>
杨柳科	加拿大杨	<i>Populus canadensis</i>	葡萄科	葡萄	<i>Vitis vinifera</i>		辣子草	<i>Galinsoga parviflora</i>
	垂柳	<i>Salix babylonica</i>		苘麻	<i>Abutilon theophrasti</i>		向日葵	<i>Helianthus annuus</i>
	旱柳	<i>Salix matsudana</i>	锦葵科	陆地棉	<i>Gossypium hirsutum</i>		泥胡菜	<i>Hemistepta lyrata</i>
胡桃科	核桃	<i>Juglans regia</i>		野西瓜苗	<i>Hibiscus trionum</i>		阿尔泰狗娃花	<i>Heteropappus altaicus</i>
榆科	榆树	<i>Ulmus pumila</i>		野锦葵	<i>Malva rotundifolia</i>		旋覆花	<i>Inula japonica</i>
桑科	构树	<i>Broussonetia papyrifera</i>	猕猴桃科	猕猴桃	<i>Actinidia chinensis</i>		纤细苦苣菜	<i>Ixeris gracilis</i>
	葎草	<i>Humulus scandens</i>	柽柳科	柽柳	<i>Tamarix chiensis</i>		抱茎苦苣菜	<i>Ixeris sonchifolia</i>
	桑树	<i>Morus alba</i>	堇菜科	犁头草	<i>Viola japonica</i>		蒙山莴苣	<i>Lactuca tatarica</i>
麻科	蝎子草	<i>Girardinia cuspidata</i>		紫花地丁	<i>Viola philippica</i>		莴笋	<i>Lactuca sativa var. angustata</i>
廖科	两栖蓼	<i>Polygonum amphibium</i>	千屈菜科	耳叶水苋	<i>Ammannia arenaria</i>		大丁草	<i>Leibnitzia anandria</i>
	篇蓄	<i>Polygonum aviculare</i>		千屈菜	<i>Lythrum salicaria</i>		裸菀	<i>Miyamayomena piccolii</i>
	水蓼	<i>Polygonum hydropiper</i>	石榴科	石榴	<i>Punica granatum</i>		毛莲菜	<i>Picris japonica</i>
	酸模叶蓼	<i>Polygonum lapathifolium</i>	伞形科	芹菜	<i>Apium graveolens</i>		祁州漏芦	<i>Rhaponticum uniflorum</i>
	齿果酸模	<i>Rumex dentatus</i>		田葛缕子	<i>Carum buriaticum</i>		风毛菊	<i>Saussurea japonica</i>
藜科	藜	<i>Chenopodium album</i>		芫荽	<i>Coriandrum sativum</i>		千里光	<i>Senecio scandens</i>
	灰绿藜	<i>Chenopodium glaucum</i>		野胡萝卜	<i>Daucus carota</i>		麻花头	<i>Serratula centauroides</i>

科名	种名	学名	科名	种名	学名	科名	种名	学名
	碱地肤	<i>Kochia scoparia</i> var. <i>sieversiana</i>		胡萝卜	<i>Daucus carota</i> var. <i>sativus</i>		豨薟	<i>Siegesbeckia orientalis</i>
	猪毛菜	<i>Salsola collina</i>		茴香	<i>Foeniculum vulgare</i>		苦苣菜	<i>Sonchus arvensis</i>
	碱蓬	<i>Suaeda glauca</i>		水芹	<i>Oenanthe javanica</i>		蒲公英	<i>Taraxacum mongolicum</i>
	盐地碱蓬	<i>Suaeda salsa</i>		窃衣	<i>Torilis scabra</i>		华蒲公英	<i>Taraxacum sinicum</i>
苋科	空心莲子草	<i>Alternanthera philoxeroides</i>	报春花科	点地梅	<i>Androsace umbellata</i>		蒜叶婆罗门参	<i>Tragopogon porrifolius</i>
	反枝苋	<i>Amaranthus retroflexus</i>		海乳草	<i>Glaux maritime</i>		碱菀	<i>Tripolium vulgare</i>
	鸡冠花	<i>Celosia cristata</i>		狼尾花	<i>Lysimachia barystachys</i>		苍耳	<i>Xanthium sibiricum</i>
商陆科	商陆	<i>Phytolacca oleracea</i>	蓝雪科	二色补血草	<i>Limonium bicolor</i>		黄鹌菜	<i>Youngia japonica</i>
马齿苋科	马齿苋	<i>Portulaca oleracea</i>	柿树科	柿	<i>Diospyros kaki</i>			

根据各科的大小分组，可以将小北干流湿地植物分为 3 组。含种数 10 种以上的科为大科，分别为菊科（40 种）、禾本科（26 种）、豆科（14 种）、落草科（11 种）和唇形科（10 种）共 5 科 101 种，都是世界广布种；含 5-9 种的科为中等科，分别有石竹科（9 种）、蔷薇科（7 种）、紫草科（7 种）、藜科（6 种）、十字花科（5 种）、蓼科（5 种）共 6 科 39 种；含 1-4 种的科为小科，共有小科 44 个，但仅含有 76 个种。

表 11.2.4-2 小北干流湿地植物科的分组

分组	科数	科数占比	种数	种数占比
大科（含 10 种以上）	5	9%	101	47%
中等科（含 5-9 种）	6	11%	39	18%
小科（含 1-4 种）	44	80%	76	35%
总计	55	100%	216	100%

对该河段湿地植被科的分布区类型进行统计分析，55 个科可分为 5 个分布型。其中世界广布科最多，含有 37 科，占总科数的 67.3%；其次为泛热带科，含有 10 科（占 18%）；再次为北温带科，含有 6 科（占 11%）；东亚及热带南美间断科、旧世界温带科分别只含 1 科。说明本湿地的植物区系是以世界广布成分为主的植物区系，由于广布成分不能确定植物区系的性质，加上这些广布科在本湿地所含的属基本都是温带属，因此，本湿地植物区系的性质是温带性质。

11.2.4.2 国家重点保护植物

黄河小北干流河段分布有珍稀保护植物 1 种，为国家二级保护野生植物野大豆（*Glycine soja*），特有物种贫乏。野大豆广泛分布于欧亚大陆的北亚热带至北温带地区。在我国长江流域以北的西北、华北、东北、华东以及中南等地区均有分布。野大豆适应性较强，通常生于沟谷及河岸，水分条件较好时，可生于山坡上及灌丛帘，有时也生于草甸及沼泽中。野大豆为一年生缠绕草本，主根细长，侧根稀疏，蔓茎纤细，略带四棱形，叶互生，羽状三出复叶，适应性较强，在小北干流河段内仅见于潼关县黄河与渭河交汇处的河岸上，零星分布，与芦苇或香蒲混生，并缠绕其茎上，向上生长，是喜阳不耐阴的植物。

11.2.4.3 植被群落

（1）群落类型

小北干流河段湿地植被类型包括湿地沼泽、森林、草地 3 种植被型组 17 个群系

28 个群丛，沼泽植被种类最多，主要为非地带性植被，大多是单优势种群落，群落的优势种和建群种以草本植物为主，包括水生植物、湿生植物和陆地中生植物，按照生活型划分，以地面芽植物、地下芽植物和一年生植物为主。小北干流湿地植被类型见表 11.2.4-3。

表 11.2.4-3 小北干流湿地植被类型一览表

植被 型组	植被型	群系	群丛	分布
湿地 沼泽	森林沼泽	旱柳群落	旱柳-芦苇-浮萍群落	广布于小北干流湿地，尤以合阳洽川为甚。
	灌丛沼泽	杠柳群落	杠柳-细叶艾群落	本湿地到处都有分布，尤以合阳洽川的黄河岸边为甚。
	草丛沼泽	芦苇沼泽	芦苇沼泽	分布普遍，而以合阳洽川的群落最为壮观。
			芦苇-香蒲-浮萍沼泽	分布普遍，主要位于合阳洽川以及潼关秦东镇。
			芦苇-荻-齿果酸模沼泽	主要位于大荔和潼关，合阳则较少见。
			低矮芦苇沼泽	位于大荔县范家镇营南村，其他地方未见。
		香蒲沼泽	香蒲沼泽	本湿地的香蒲群落主要位于潼关的黄河与渭河交汇处，洽川的群落面积有 1000m ² ，而黄河渭河交汇处的面积则有 10000m ² 。
			香蒲-芦苇沼泽	本群落在湿地分布较多。芦苇一般位于群落内部，香蒲位于外部，伴生植物不多，与香蒲群落几乎一样。
		荻沼泽	荻沼泽	本湿地的荻沼泽主要位于湿地南部。
		拂子茅沼泽	假苇拂子茅沼泽	分布比较广泛，多生于河岸低湿处。
		空心莲子草沼泽	空心莲子草（喜旱莲子草）沼泽	仅在湿地南部潼关县高桥乡桃林寨有分布。
		莎草沼泽	小碎米莎草沼泽	生长于田埂、路边、荒地等湿地上及近水处。该群落在本湿地分布较广，面积约 7000m ² 。
		节节草沼泽	节节草沼泽	本湿地的节节草群落分布普遍，面积很小，有的只有几平方米。
	浅水湿地植物群落	漂浮植物群落	浮萍群落	本湿地的浮萍群落见于湿地北部合阳县洽川镇，为浮萍的单优群落。
		浮叶植物群落	荇菜群落	分布比较广泛，多生于河岸低湿处。
		沉水植物群落	龙须眼子菜群落	本湿地的此类群落位于合阳县洽川镇的许多小池塘中，基本都是单优群落。
			茨藻群落	本湿地的此类群落见于合阳县，生于池塘的浅水区。
			轮藻群落	本湿地的此类群落见于合阳县洽川镇夏阳溪，生于池塘中。
	盐沼	灌丛盐沼	桤柳-碱蓬群落	见于合阳县黑池镇黄河林场，群落面积 15000m ² 。
			桤柳-齿果酸模群落	位于合阳县洽川镇夏阳村
		草丛盐沼	碱蓬群落	分布普遍，南部潼关县高桥乡分布较多，群落面积达 60000m ² 。
			盐地碱蓬群落	分布普遍，大荔县范家镇营南村分布较为集中。
			白茅群落	分布普遍，尤以合阳县洽川镇夏阳村的群落生长最好。
			狗牙根群落	分布普遍，南部的潼关县有单优群落。
			碱菀群落	分布普遍，在大荔县范家镇营南村分布集中。
森林	阔叶林	加拿大杨树林	加拿大杨树林	河岸及周边地区分布比较广泛。
		刺槐林	刺槐林	河岸及周边地区分布比较广泛。
草地	温带草丛	白羊草群落	白羊草群落	合阳县洽川镇和黑池镇分布较多

可以看出：

①小北干流河段植物种类丰富，但基本为常见物种，特有物种贫乏，表明该河段植物区系的个性特征不明显；

②河段植被主要是由草本植物组成，乔木、灌木只有少数属，而草本植物却占到90%以上，占绝对的优势；

③该河段纤维植物面积大，种类多，以芦苇分布最广、面积最大，其次为荻，其他的纤维植物还有构树、桑树、榆树、马蔺等。

④本河段常见沉水植物、浮叶植物主要有浮萍科、眼子菜科、轮藻科、茨藻科等，这些水生植物主要分布在河段内的人工池塘等静水区域中，根据现场调查结果，黄河由于含沙量高，河道游荡摆动，自然河流水域内无沉水植物、浮叶植物分布。

⑤从整个植被分布情况来看，靠近河道主要为沼泽植被，植被覆盖度大一些，向河道两岸依次为草甸、灌草丛及阔叶林。

（2）典型湿地植物群落

小北干流湿地草本植物群落主要为芦苇、香蒲、荻、假苇拂子茅、狗牙根，其中前4个植物群落为草丛沼泽，后1种是草丛盐沼，它们的优势种都是广布植物。5个群落除了芦苇和香蒲为世界温带广布种外，其余3种为北温带广布种。

①芦苇沼泽

芦苇沼泽是以禾本科芦苇属植物为优势种所组成的群落，广泛分布于全国各地的湖泊、浅水洼地、河流沿岸、滨海滩涂和河口。本湿地有芦苇沼泽、芦苇-香蒲-浮萍沼泽、芦苇-荻-齿果酸模沼泽、低矮芦苇沼泽四种类型。

其中，芦苇沼泽（*Ass. Phragmites australis*）群落对水分的适应幅度较广。黄河湿地的芦苇沼泽分布普遍，而以合阳洽川的群落最为壮观。芦苇高达2m，有的可达3m，粗约5mm左右，有的达1cm。几乎是芦苇的单优群落，群落盖度为95%，多度为极多（Soc.），群落内几乎不生长其他植物，只是水面上有时有浮萍生长，未发现任何沉水植物。

芦苇-香蒲-浮萍沼泽（*Ass. Phragmites australis- typha orientalis- Lemna minor*）群落是以芦苇和香蒲为共优势种所形成的群落，在本湿地分布普遍，主要位于合阳洽川以及潼关秦东镇。芦苇位于湖心位置，而湖边静水地段为香蒲所占，水面漂浮着浮萍，

但数量不多。群落高 2m 左右，有时香蒲高达 2.5m。芦苇盖度 50%，多度为多（Cop³），而香蒲盖度 40%，多度为尚多（Cop¹）。群落周围的湿地上（未积水地段）生长有多种伴生植物，主要的有刺儿菜、细叶艾、小白酒草、鹅绒藤、灰绿藜、马唐、黄香草木樨、马蔺、画眉草、黄背草、狗尾草等。偶尔可见灌木怪柳和杠柳。

芦苇-荻-齿果酸模沼泽（*Ass. Phragmites australis-Miscanthus sacchariflorus-Rumex dentatus*）群落是以芦苇和荻为共优势种所形成的群落，湿地范围内分布不多，主要位于大荔和潼关，而合阳则较少见。群落高 2m 左右，芦苇盖度 50%，多度为多（Cop²），而荻的盖度为 40%，多度为尚多（Cop¹），地面生长有齿果酸模的越冬植株，多度为很多（Cop³），盖度为 50%。其他伴生植物有碱蓬、夏至草、狗尾草、鹅绒藤以及蕨类植物节节草。灌木植物只见到杠柳。

低矮芦苇沼泽（*Lower Ass. Phragmites australis*）群落位于大荔县范家镇营南村，其他地方未见。芦苇高 0.4m，多度为很多（Cop³），盖度达 95%。土壤积水较浅，几乎是稀泥，盐碱含量高，这是芦苇生长不好的主要原因。另外，这里的芦苇作为饲料经常刈割，而又不对土壤施肥，土壤营养贫乏，是芦苇生长不良的另一原因。组成群落的伴生植物种类较少，主要有扁杆荆三棱、碎米莎草、盐地碱蓬、碱菀、东方泽泻、白茅等。除了盐地碱蓬多度为尚多外，其他伴生植物的多度为不多（Sp.）。

②香蒲沼泽

该沼泽是由香蒲科香蒲属植物所组成的群落，是生态适应性很广的植物群落，即广生态幅植物群落，广泛分布于温带和亚热带。小北干流湿地包括香蒲沼泽、香蒲-芦苇沼泽两种类型。

其中，香蒲沼泽（*Ass. Typha orientalis*）群落主要位于合阳洽川、潼关的黄河与渭河交汇处。群落高达 2m，盖度为 95%，多度为极多（Soc.），群落外貌整齐，绿绿葱葱，植株高大，茂密，为香蒲的单优群落。群落除了优势种外，尚有为数不多的伴生植物，主要有东方泽泻、华夏慈姑、水芹、扁杆荆三棱等。积水较深的地方有沉水植物龙须眼子菜。水面则漂浮着浮萍。

香蒲-芦苇沼泽（*Ass. Typha orientalis-Phragmites australis*）群落为香蒲和芦苇为共优势种所形成的群落，与芦苇-香蒲群落相似，只不过本群落香蒲为主优势种。群落高 2m 左右，香蒲的多度为多（Cop²），盖度为 50%，而芦苇的多度为尚多（Cop¹），盖度为 40%。本群落在湿地分布较多。芦苇一般位于群落内部，香蒲位于外部，伴生

植物不多，与香蒲群落几乎一样。

③荻沼泽

荻沼泽是以禾本科荻属植物为优势种所组成的群落，广泛分布于亚热带的一些湖滩和河滩，是亚热带的典型湿地植物群落。本湿地只有一种类型。

小北干流湿地的荻沼泽 (*Ass. Miscanthus sacchariflorus*) 群落主要位于湿地南部。地表潮湿地段，荻群落生长良好，高度可达 2.5m，多度为很多 (Cop³)，盖度达 80%。地表干旱地段，荻群落生长不良，高度 0.5m，多度为尚多 (Cop¹)，盖度 60%。荻群落内偶尔有芦苇和香蒲，而群落周围则有较多的伴生植物，主要有碱蓬、齿果酸模、夏至草、狗尾草、鹅绒藤、杠柳以及蕨类植物节节草等。

④拂子茅沼泽

拂子茅沼泽是以禾本科拂子茅属植物为优势种所组成的群落。分布于全国各地，抗盐碱土壤，耐强湿，很能固定泥沙，是保护河岸的优良草种。本湿地有假苇拂子茅沼泽一种类型。

假苇拂子茅沼泽 (*Ass. Calamagrostis pseudophragmites*) 群落小北干流湿地分布普遍，但面积都较小，只有潼关县黄河与渭河交汇处有大面积分布，面积约 2500m²，为假苇拂子茅的单优群落。群落高 1.3m (比秦岭的群落高出 0.3m)，多度为很多 (Cop³)，盖度达 90%。群落内有极少的芦苇以及国家保护植物野大豆，同时还伴生有稗、小白酒草、碎米莎草、水蓼等。

⑤狗牙根群落

此类群落是以狗牙根为优势种所组成的群落，分布于黄河以南各省区，全世界温暖地区都有。该群落多生于村庄附近、道旁河岸以及荒地山坡。其根茎蔓延力很强，广铺地面，为良好的固堤保土植物，常用以铺建草坪或球场。该群落在本湿地分布普遍，湿地南部的潼关县有单优群落。群落高 0.3m，多度为极多 (Soc.)，盖度几乎为 100%，群落内不出现其他物种，群落周围伴生有少数其他物种，如碱蓬、灰绿藜、猪毛菜、小白酒草、蒺藜等。

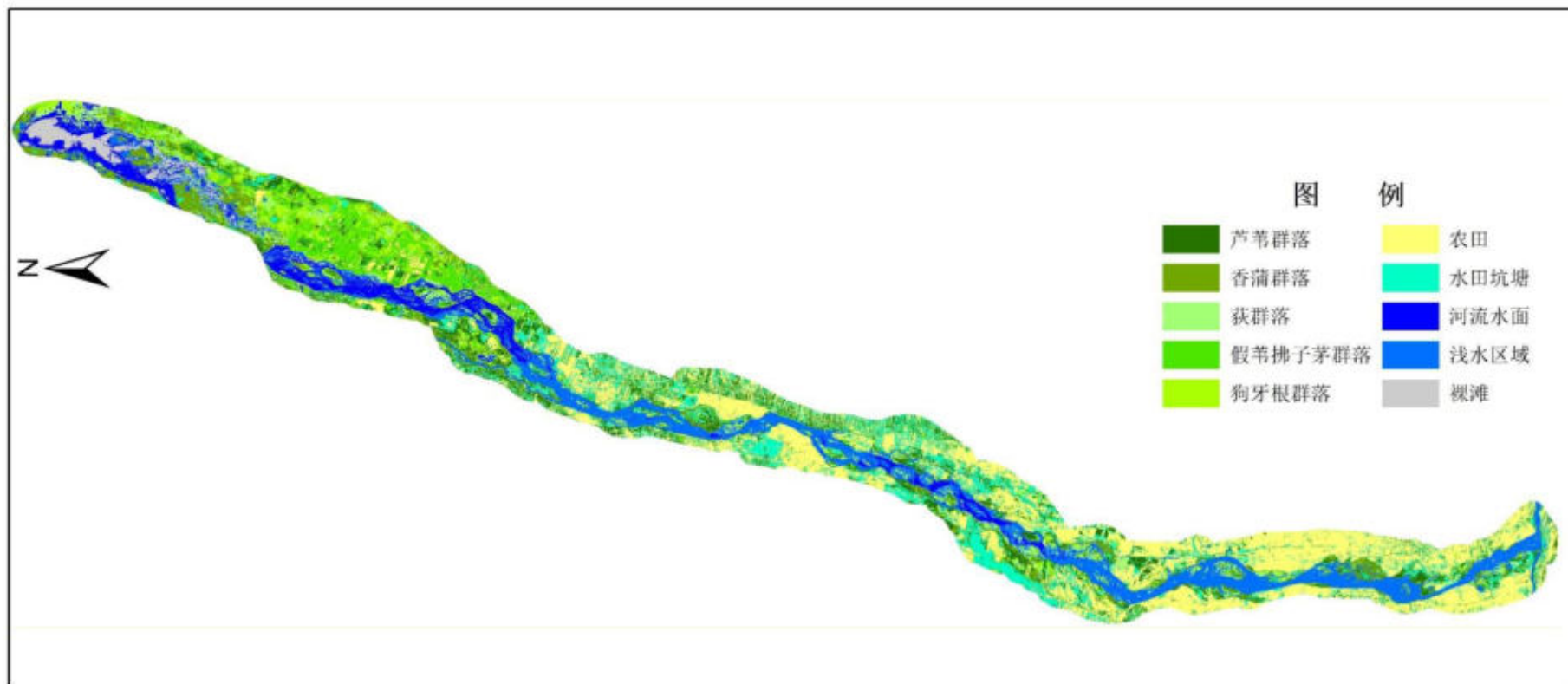


图 11.2.4-3 小北干流河段典型植被群落类型分布

（3）空间分布

小北干流湿地植被具有典型的空间分布特征，从河流水面至两侧滩地植被分布情况如下：

本河段常见沉水植物、浮叶植物主要有浮萍科、眼子菜科、轮藻科、茨藻科等，这些水生植物主要分布在河段内的人工池塘等静水区域中，一般要求水体透明度 $>80\text{cm}$ 。小北干流河段泥沙含量较高，实测资料显示龙门断面含沙量为 27.2kg/m^3 ，水体透明度约为 $20\text{cm}\sim 50\text{cm}$ ，水体光合作用较差，加上该河段游荡摆动剧烈，因此不适宜沉水植物、浮叶植物的生长。根据现场调查结果，黄河河流域内无沉水植物、浮叶植物分布。

河流岸边、河滩沼泽、池塘等地下水位较高的区域，往往形成以多年生湿生植物为建群种的植物群落，以香蒲科、禾本科和莎草科为主，优势种主要为世界性广布种类，如芦苇、香蒲、荻、蔗草、水莎草等。

二滩或高滩区域，湿地植被以湿中生植物或中生植物为主，该区域土壤湿度下降，最开始形成以一年生植物为主的植物群落，如蒿类群落、狗尾草群落、野区蒿群落等，种类组成简单，年季间变化较大；随着环境的改善，多年生中生植物开始在河漫滩定居，主要群落类型包括白茅群落、狗牙根群落、赖草群落等，群落类型和结构相对稳定，年季间变化不明显。

总体来看，受黄河地表水位的涨落、河势游荡摆动等影响，湿地植物生长环境不稳定，尤其是嫩滩区域湿地植被组成比较单一，以湿生植被为主；二滩或高滩区域受影响较小，植物比较丰富，主要为湿中生植物或中生植物。

（4）生长周期

小北干流湿地植物由于物种生长节律和物候节律形成了独特的时间动态，现以几种优势湿地植被为例说明（如表 11.2.4-4）。结合《中国常见植物野外识别手册》等相关参考资料，可以看出河段湿地植物一般 4 月份生根发芽，4-7 月进入生长旺盛期，部分植物进入花期，7-10 月为花果期，11 月开始枯萎。

表 11.2.4-4 小北干流湿地主要植物叶花果期表

植物	生长周期											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
芦苇				+	+	+	+	※	※	※*	*	
香蒲				+	※*	※*	※*	※*	+	+	+	
荻				+	+	+	+	※	※	※*	*	
假苇拂子茅				+	+	+	※	※*	*	+	+	
狗牙根				+	※	※	*	*	+	+	+	
碱蓬				+	+	※	※	※*	*	*	+	

备注：“+”表示枝叶生长期，“※”表示花期，“*”表示果期。

11.2.5 湿地鸟类

联合山西大学、渭南师范学院联合开展了鸟类和哺乳类调查，采用样线调查法，对种类和种群数量进行了调查。根据河段地形地貌、生境类型、调查目标和可行走性，依据地理信息系统（GIS）及卫星遥感影像，共在小北干流河段布设了 15 条调查样线（如图 11.2.5-1），涵盖了河流湿地、人工湿地、农田、人工林和草地等多种生境类型。调查时间选择风和日丽、鸟类活动较为频繁的时段，每条样线长度 5~22km，当发现鸟群时，通过肉眼识别鸟种或用望远镜辨别并计数，同期拍摄数码照片。分别于 2019 年 7 月和 12 月、2020 年 3~4 月、2021 年 1 月等开展了多期现场调查。现场拍摄的部分珍稀鸟类照片如图 11.2.5-2 所示。

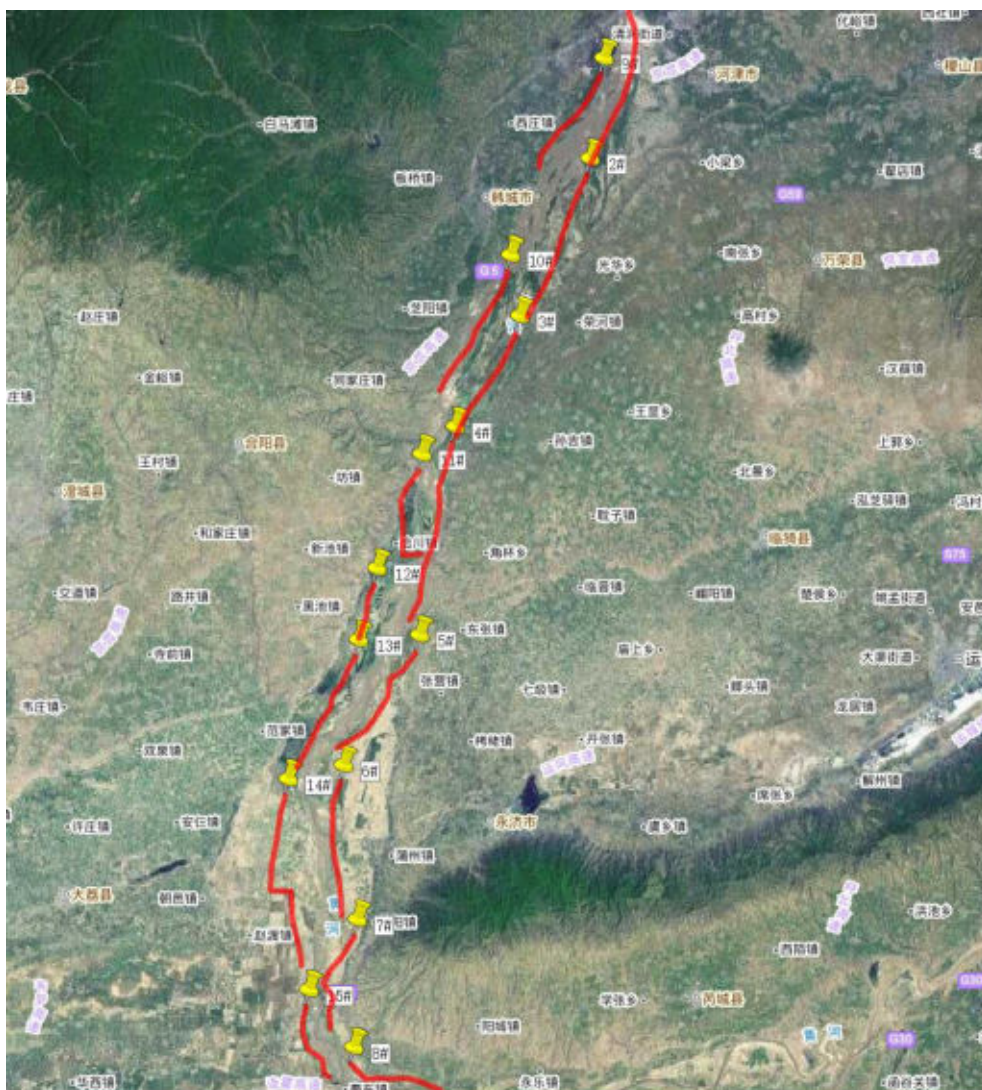
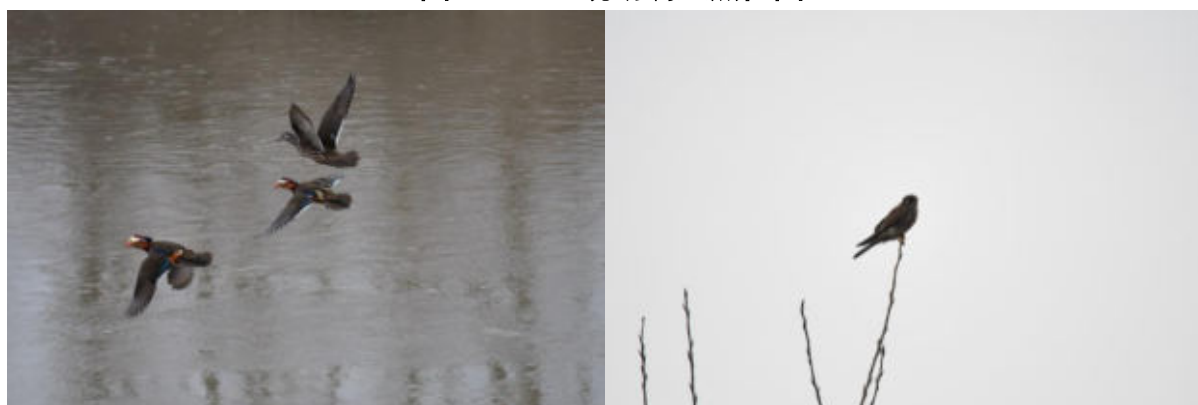


图 11.2.5-1 现场调查点位图



鸳鸯 红隼



游隼 白尾鹞



图 11.2.5-2 评价区域鸟类现场调查图

11.2.5.1 鸟类多样性评价

1. 物种组成

经实地调查，同时查阅以往调查成果、咨询保护区工作人员和当地群众等，黄河小北干流河段分布有鸟类 19 目 46 科 142 种，如表 11.2.5-1。其中，雀形目鸟类种类在本地区鸟类区系中占有明显优势地位，有 22 科 58 种，占本区鸟类总种数的 40.85%；其次为鸽形目和雁形目，分别占本区鸟类总种数的 14.08%和 12.68%。在科中，以鸭科鸟类最多，为 18 种，占本区鸟类总种数的 12.68%；其次为鹳科、鹭科、鸛鸛科。

表 11.2.5-1 黄河小北干流河段鸟类名录

序号	目	科	最新种名	序号	目	科	最新种名
1	鸡形目	雉科	石鸡 (<i>Alectoris chukar</i>)	72	鸻形目	鸻科	雕鸮 (<i>Bubo bubo</i>)
2			环颈雉 (<i>Phasianus colchicus</i>)	73			纵纹腹小鸮 (<i>Athene noctua</i>)
3	雁形目	鸭科	鸿雁 (<i>Anser cygnoid</i>)	74			长耳鸮 (<i>Asio otus</i>)
4			豆雁 (<i>Anser fabalis</i>)	75			短耳鸮 (<i>Asio flammeus</i>)
5			大天鹅 (<i>Cygnus cygnus</i>)	76	佛法僧目	翠鸟科	蓝翡翠 (<i>Halcyon pileata</i>)
6			翘鼻麻鸭 (<i>Tadorna tadorna</i>)	77			普通翠鸟 (<i>Alcedo atthis</i>)

序号	目	科	最新种名	序号	目	科	最新种名
7			赤麻鸭 (<i>Tadorna ferruginea</i>)	78	啄木鸟目	啄木鸟科	冠鱼狗 (<i>Megaceryle lugubris</i>)
8			鸳鸯 (<i>Aix galericulata</i>)	79			星头啄木鸟 (<i>Dendrocopos canicapillus</i>)
9			赤膀鸭 (<i>Mareca strepera</i>)	80			大斑啄木鸟 (<i>Dendrocops major</i>)
10			罗纹鸭 (<i>Mareca falcata</i>)	81			灰头绿啄木鸟 (<i>Picus canus</i>)
11			赤颈鸭 (<i>Mareca penelope</i>)	82	隼形目	隼科	红隼 (<i>Falco tinnunculus</i>)
12			绿头鸭 (<i>Anas platyrhynchos</i>)	83			红脚隼 (<i>Falco amurensis</i>)
13			斑嘴鸭 (<i>Anas zonorhyncha</i>)	84			游隼 (<i>Falco peregrinus</i>)
14			绿翅鸭 (<i>Anas crecca</i>)	85		黄鹡科	黑枕黄鹡 (<i>Oriolus chinensis</i>)
15			琵嘴鸭 (<i>Spatula clypeata</i>)	86	雀形目	卷尾科	黑卷尾 (<i>Dicrurus macrocerus</i>)
16			红头潜鸭 (<i>Aythya ferina</i>)	87		伯劳科	红尾伯劳 (<i>Lanius cristatus</i>)
17			凤头潜鸭 (<i>Aythya fuligula</i>)	88			棕背伯劳 (<i>Lanius schach</i>)
18			鹊鸭 (<i>Bucephala clangula</i>)	89			楔尾伯劳 (<i>Lanius sphenocercus</i>)
19			班头秋沙鸭 (<i>Mergellus albellus</i>)	90		鸦科	灰喜鹊 (<i>Cyanopica cyanus</i>)
20			普通秋沙鸭 (<i>Mergus merganser</i>)	91			红嘴蓝鹊 (<i>Urocissa erythroryncha</i>)
21	鸊鷉目	鸊鷉科	小鸊鷉 (<i>Tachybaptus ruficollis</i>)	92			喜鹊 (<i>Pica pica</i>)
22			凤头鸊鷉 (<i>Podiceps cristatus</i>)	93			红嘴山鸦 (<i>Pyrrhocorax pyrrhocorax</i>)
23	鸽形目	鸠鸽科	岩鸽 (<i>Columba rupestris</i>)	94			大嘴乌鸦 (<i>Corvus macrorhynchos</i>)
24			山斑鸠 (<i>Streptopelia orientalis</i>)	95		山雀科	沼泽山雀 (<i>Parus palustris</i>)
25			火斑鸠 (<i>Streptopelia tranquebarica</i>)	96			褐头山雀 (<i>Parus montanus</i>)
26			珠颈斑鸠 (<i>Streptopelia chinensis</i>)	97			大山雀 (<i>Parus cinereus</i>)
27	夜鹰目	雨燕科	普通雨燕 (<i>Apus apus</i>)	98		百灵科	短趾百灵 (<i>Alaudala cheleensis</i>)
28	鸚形目	杜鹃科	四声杜鹃 (<i>Cuculus micropterus</i>)	99			凤头百灵 (<i>Galerida cristata</i>)
29			大杜鹃 (<i>Cuculus canorus</i>)	100		扇尾莺科	棕扇尾莺 (<i>Cisticola juncidis</i>)
30	鸚形目	鸚科	大鸚 (<i>Otis tarda</i>)	101		苇莺科	东方大苇莺 (<i>Acrocephalus orientalis</i>)
31	鹤形目	秧鸡科	黑水鸡 (<i>Gallinula chloropus</i>)	102			黑眉苇莺 (<i>Acrocephalus bistrigiceps</i>)
32			白骨顶 (<i>Fulica atra</i>)	103	燕科	燕科	崖沙燕 (<i>Riparia riparia</i>)
33		鹤科	灰鹤 (<i>Grus grus</i>)	104			家燕 (<i>Hirundo rustica</i>)
34	鸚形目	反嘴鹬科	黑翅长脚鹬 (<i>Himantopus himantopus</i>)	105	鸭科	鸭科	白头鸭 (<i>Pycnonotus sinensis</i>)
35			反嘴鹬 (<i>Recurvirostra avosetta</i>)	106			黄腰柳莺 (<i>Phylloscopus proregulus</i>)
36		鸚科	凤头麦鸡 (<i>Vanellus vanellus</i>)	107	柳莺科	柳莺科	黄眉柳莺 (<i>Phylloscopus inornatus</i>)
37			灰头麦鸡 (<i>Vanellus cinereus</i>)	108			远东树莺 (<i>Horornis canturians</i>)

序号	目	科	最新种名	序号	目	科	最新种名
38			金鸻 (<i>Pluvialis fulva</i>)	109		长尾山雀科	银喉长尾山雀 (<i>Aegithalos glaucogularis</i>)
39			金眶鸻 (<i>Charadrius dubius</i>)	110		鸢鹑科	山鹑 (<i>Rhopophilus pekinensis</i>)
40			环颈鸻 (<i>Charadrius alexandrinus</i>)	111			棕头鹑雀 (<i>Sinosuthora webbiana</i>)
41		鹬科	针尾沙锥 (<i>Gallinago stenura</i>)	112		噪鹛科	山噪鹛 (<i>Garrulax davidi</i>)
42			扇尾沙锥 (<i>Gallinago gallinago</i>)	113		椋鸟科	八哥 (<i>Acridotheres cristatellus</i>)
43			白腰杓鹬 (<i>Numenius arquata</i>)	114			灰椋鸟 (<i>Spodiopsar cineraceus</i>)
44			白腰草鹬 (<i>Tringa ochropus</i>)	115			北椋鸟 (<i>Agropsar sturninus</i>)
45			林鹬 (<i>Tringa glareola</i>)	116		鸫科	乌鸫 (<i>Turdus mandarinus</i>)
46			矶鹬 (<i>Actitis hypoleucos</i>)	117			赤颈鸫 (<i>Turdus ruficollis</i>)
47		燕鸻科	普通燕鸻 (<i>Glareola maldivarum</i>)	118			红尾斑鸫 (<i>Turdus naumanni</i>)
48		鸥科	红嘴鸥 (<i>Chroicocephalus ridibundus</i>)	119			斑鸫 (<i>Turdus eunomus</i>)
49			黑尾鸥 (<i>Larus crassirostris</i>)	120	鹡科		北红尾鹡 (<i>Phoenicurus auroreus</i>)
50			西伯利亚银鸥 (<i>Larus smithsonianus</i>)	121			黑喉石鹡 (<i>Saxicola maurus</i>)
51			白额燕鸥 (<i>Sternula albifrons</i>)	122			乌鹡 (<i>Muscicapa sibirica</i>)
52			普通燕鸥 (<i>Sterna hirundo</i>)	123	雀科		山麻雀 (<i>Passer rutilans</i>)
53			灰翅浮鸥 (<i>Chlidonias hybrida</i>)	124			麻雀 (<i>Passer montanus</i>)
54	鸛形目	鸛科	黑鸛 (<i>Ciconia nigra</i>)	125	鸛科	鸛科	山鸛鸛 (<i>Dendronanthus indicus</i>)
55	鵀鸟目	鵀鸛科	普通鵀鸛 (<i>Phalacrocorax carbo</i>)	126			黄鸛鸛 (<i>Motacilla tschutschensis</i>)
56	鸛形目	鸛科	白琵鹭 (<i>Platalea leucorodia</i>)	127			黄头鸛鸛 (<i>Motacilla citreola</i>)
57		鹭科	大麻鳊 (<i>Botaurus stellaris</i>)	128			灰鸛鸛 (<i>Motacilla cinerea</i>)
58			黄斑苇鳊 (<i>Ixobrychus sinensis</i>)	129			白鸛鸛 (<i>Motacilla alba</i>)
59			栗苇鳊 (<i>Ixobrychus cinnamomeus</i>)	130			田鸛 (<i>Anthus richardi</i>)
60			夜鹭 (<i>Nycticorax nycticorax</i>)	131			树鸛 (<i>Anthus hodgsoni</i>)
61			池鹭 (<i>Ardeola bacchus</i>)	132	燕雀科		燕雀 (<i>Fringilla montifringilla</i>)
62			苍鹭 (<i>Ardea cinerea</i>)	133			黑尾蜡嘴雀 (<i>Eophona migratoria</i>)
63			大白鹭 (<i>Ardea alba</i>)	134			金翅雀 (<i>Chloris sinica</i>)
64			白鹭 (<i>Egretta garzetta</i>)	135	鹀科		灰眉岩鹀 (<i>Emberiza godlewskii</i>)
65	鹰形目	鹰科	雀鹰 (<i>Accipiter nisus</i>)	136			三道眉草鹀 (<i>Emberiza cioides</i>)
66			苍鹰 (<i>Accipiter gentilis</i>)	137			栗耳鹀 (<i>Emberiza fucata</i>)
67			白尾鹀 (<i>Circus cyaneus</i>)	138			小鹀 (<i>Emberiza pusilla</i>)
68			白尾海雕 (<i>Haliaeetus albicilla</i>)	139			田鹀 (<i>Emberiza rustica</i>)
69			大鵟 (<i>Buteo hemilasius</i>)	140			黄喉鹀 (<i>Emberiza elegans</i>)

序号	目	科	最新种名	序号	目	科	最新种名
70			普通鵟 (<i>Buteo japonicus</i>)	141			苇鹀 (<i>Emberiza pallasi</i>)
71	犀鸟目	戴胜科	戴胜 (<i>Upupa epops</i>)	142			芦鹀 (<i>Emberiza schoeniclus</i>)

表 11.2.5-2 黄河小北干流河段鸟类群落组成

序号	目别	科数	占总科数比例	种数	占总种数比例
1	鸡形目	1	2.17 %	2	1.41 %
2	雁形目	1	2.17 %	18	12.68 %
3	鸛形目	1	2.17 %	2	1.41 %
4	鸽形目	1	2.17 %	4	2.82 %
5	夜鹰目	1	2.17 %	1	0.70 %
6	鹃形目	1	2.17 %	2	1.41 %
7	鸱形目	1	2.17 %	1	0.70 %
8	鹤形目	2	4.35 %	3	2.11 %
9	鸱形目	5	10.87 %	20	14.08 %
10	鸱形目	1	2.17 %	1	0.70 %
11	鹬鸟目	1	2.17 %	1	0.70 %
12	鹬形目	2	4.35 %	9	6.34 %
13	鹰形目	1	2.17 %	6	4.23 %
14	鸱形目	1	2.17 %	4	2.82 %
15	犀鸟目	1	2.17 %	1	0.70 %
16	佛法僧目	1	2.17 %	3	2.11 %
17	啄木鸟目	1	2.17 %	3	2.11 %
18	隼形目	1	2.17 %	3	2.11 %
19	雀形目	22	47.83 %	58	40.85 %
合计		46	100.00 %	142	100.00 %

2. 居留类型

本区 142 种鸟类中，留鸟 52 种，占本区鸟类总种数的 36.62%；冬候鸟 35 种、占 24.65%；夏候鸟 32 种、占 22.54%；旅鸟 23 种、占 16.20%。黄河小北干流河段鸟类居留型见图 11.2.5-3。

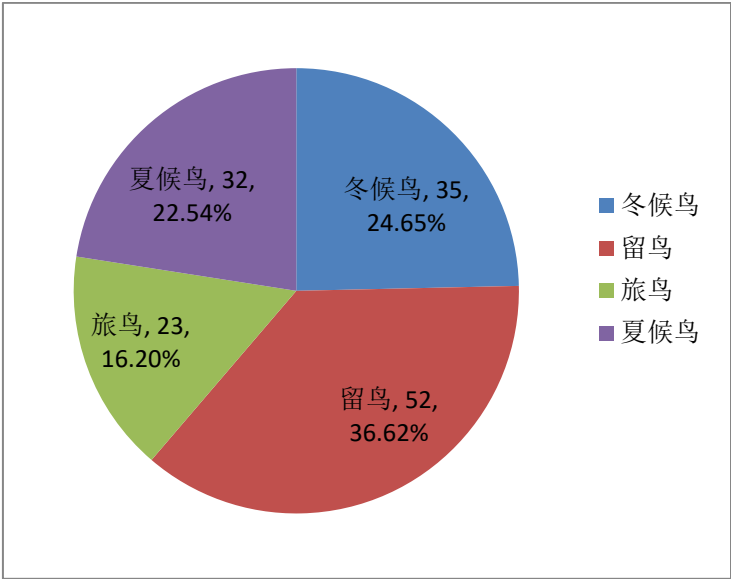


图 11.2.5-3 黄河小北干流河段鸟类居留型

3. 重点保护物种

本区分布的国家一级重点保护动物有大鸨、白尾海雕、黑鹳 3 种。分布有国家二级重点保护动物 19 种，分别为：大天鹅、灰鹤、大鸕、普通鸕、长耳鸕、短耳鸕、红隼、雀鹰、白尾鹞、雕鸕、纵纹腹小鸕、游隼、鸳鸯、苍鹰、白琵鹭、红脚隼、鸿雁、白腰杓鹬、班头秋沙鸭。

11.2.5.2 种群数量分析

依据种群数量及分布的生境范围，将黄河小北干流河段鸟类大致划分为优势种、常见种、偶见种、稀有种 4 个数量级别。

(1) 优势种：崖沙燕、家燕、绿头鸭、斑嘴鸭、绿翅鸭、白骨顶、麻雀、小鹁等，各优势种群的生态习性、生境类型、停留时间如表 11.2.5-3 所示。

(2) 常见种：凤头鹳、山斑鸠、黑翅长脚鹬、凤头麦鸡、灰头麦鸡、普通鸕、夜鹭、池鹭、苍鹭、大白鹭、扇尾沙锥、白腰草鹬、红嘴鹬、普通燕鹬、白鹭、黑卷尾、红嘴蓝鹬、喜鹊、东方大苇莺、黄眉柳莺、棕头鸦雀、斑鸠、田鸕、金翅雀、三道眉草鹬、栗耳鹬、苇鹬、短趾百灵、凤头百灵、红尾斑鸠等。

(3) 偶见种：鸿雁、石鸡、罗纹鸭、凤头潜鸭、岩鸽、大杜鹃、反嘴鹬、金眶鸕、黄斑苇鹬、戴胜、蓝翡翠、普通翠鸟、星头啄木鸟、大斑啄木鸟、灰头绿啄木鸟、棕背伯劳、楔尾伯劳、沼泽山雀、白头鹎、银喉长尾山雀、山鹧、乌鸕、北红尾鹬、黑喉石鹬、山鹧、灰鹧、树鹬、黄喉鹬、豆雁、赤膀鸭、赤颈鸭、黑水鸡、环颈鸕、林鹬、黑尾鹬、白额燕鹬、灰翅浮鹬、黄腰柳莺、山噪鹬、乌鸕、燕雀、黑尾蜡嘴雀、灰眉岩鹬、田鹬、芦鹬、大天鹅、白琵鹭、红隼、红脚隼、红嘴山鹬、黑鹳、大嘴乌鸦、棕扇尾莺、赤颈鸕等。

(4) 稀有种：白腰杓鹬、班头秋沙鸭、翘鼻麻鸭、琵嘴鸭、火斑鸠、四声杜鹃、大麻鹬、栗苇鹬、黑枕黄鹬、八哥、北椋鸟、黄头鹬、金鸕、普通燕鸕、西伯利亚银鹬、黑眉苇莺、山麻雀、鸳鸯、灰鹤、雀鹰、苍鹰、白尾鹞、大鸕、普通鸕、雕鸕、纵纹腹小鸕、长耳鸕、短耳鸕、游隼、冠鱼狗、大鸨、白尾海雕、远东树莺等。

表 11.2.5-3 黄河小北干流河段鸟类优势种群生态习性表

序号	种	拉丁名	目	科	生态习性	生境类型	停留时间	种群数量变化
1	崖沙燕	<i>Riparia riparia</i>	雀形目	燕科	常在黄河土崖上集群营巢繁殖，在湿地附近的农田、草地活动。晨昏间最为活跃，常结群在水面上空穿梭飞行，捕食昆虫。	湿地附近的农田、草地、土崖等	4月-10月	未见明显变动
2	家燕	<i>Hirundo rustica</i>	雀形目	燕科	常在农村屋檐下营巢繁殖，在湿地附近的农田、草地活动，结群在水面上空穿梭飞行，捕食昆虫。	村庄、湿地、农田、草地等	4月-10月	未见明显变动
3	麻雀	<i>Passer montanus</i>	雀形目	雀科	人类伴生种。常在农村屋檐、墙洞营巢繁殖。在湿地附近的农田、草地结群活动。以作物和昆虫为食。	分布于村庄附近的森林、灌丛、农田、草地等多种生境	全年	有恢复和增长趋势
4	绿头鸭	<i>Anas platyrhynchos</i>	雁形目	鸭科	栖息于河流、湖泊等湿地，在湿地草丛繁殖，常结群活动，取食水草茎叶和作物种子。	栖息于开阔的河流湿地、库塘、洪泛平原湿地	全年	未见明显变动
5	斑嘴鸭	<i>Anas zonorhynchos</i>	雁形目	鸭科	栖息于河流、湖泊等湿地，在湿地草丛繁殖，常结群活动，取食水草茎叶和作物种子。	栖息于开阔的河流湿地、库塘、洪泛平原湿地	全年	未见明显变动
6	绿翅鸭	<i>Anas crecca</i>	雁形目	鸭科	栖息于河流、湖泊等湿地，常结群活动，取食水草茎叶和作物种子等。	栖息于开阔的河流湿地、库塘、洪泛平原湿地	每年3月-4月北迁、10月-11月南迁	未见明显变动
7	白骨顶	<i>Fulica atra</i>	鹤形目	秧鸡科	栖息于河流、湖泊等湿地，常结群活动，取食水草茎叶和作物种子等。	栖息于河流湿地、库塘、洪泛平原湿地	全年	未见明显变动

11.2.5.3 栖息生境分布

1. 不同生境鸟类组成

根据小北干流湿地环境类别，鸟类的生境可划分为 4 类，即河流湿地、库塘鱼塘、人工林、农田等。详见表 11.2.5-4。可以看出，水域及湿地主要以雁鸭类和鹤形目为主，其中芦苇湿地是雀形目鸟类的重要栖息地；人工林中雀形目鸟类占有较大的比重，如乌鸫、喜鹊、大山雀等，其它的如斑鸠、斑啄木鸟、隼形目鸟类、鸱形目鸟类等都有分布；农田里雀形目鸟类较多，如灰鹤、大鸨、豆雁、灰雁、麻雀等。

表 11.2.5-4 小北干流河段鸟类分布栖息情况

生境类型	生境特征	冬季主要鸟类
库塘鱼塘	合阳、万荣、临猗等处分布有大面积的鱼塘，其水面阔而浅、饵料丰富、人类活动较多	大白鹭、苍鹭等涉禽，鸥类、骨顶鸡、斑嘴鸭等中小型水禽
河流湿地	滩涂广阔，为鸟类提供了丰富的食物和其他动物不易侵入的栖息生境，人为活动相对影响较小	绿头鸭、绿翅鸭、红头潜鸭、斑嘴鸭、凤头潜鸭、普通秋沙鸭、普通鸕鹚等
农田	大面积农田和莲池，农作物主要有小麦和棉花，莲池由芦苇荡开发而来，生境结构较简单，食物相对贫乏，人类活动频繁	灰椋鸟、灰鹤、大白鹭、白鹭、苍鹭、白琵鹭、斑嘴鸭等
人工林	以人工次生林为主，为鸟类提供了较为隐蔽的栖息、繁殖场所和丰富的食物资源	灰椋鸟、麻雀、珠颈斑鸠、苍鹭、夜鹭、普通鸕鹚等

2. 主要鸟类集中分布区域

根据现场调查结果，结合相关研究文献，黄河小北干流河段鸟类集中分布区域主要为合阳洽川镇、大荔县华原、洽川镇抽黄总干渠西侧林带、汾河入黄口、万荣西滩和临猗张郭村、黄河河心滩等区域。

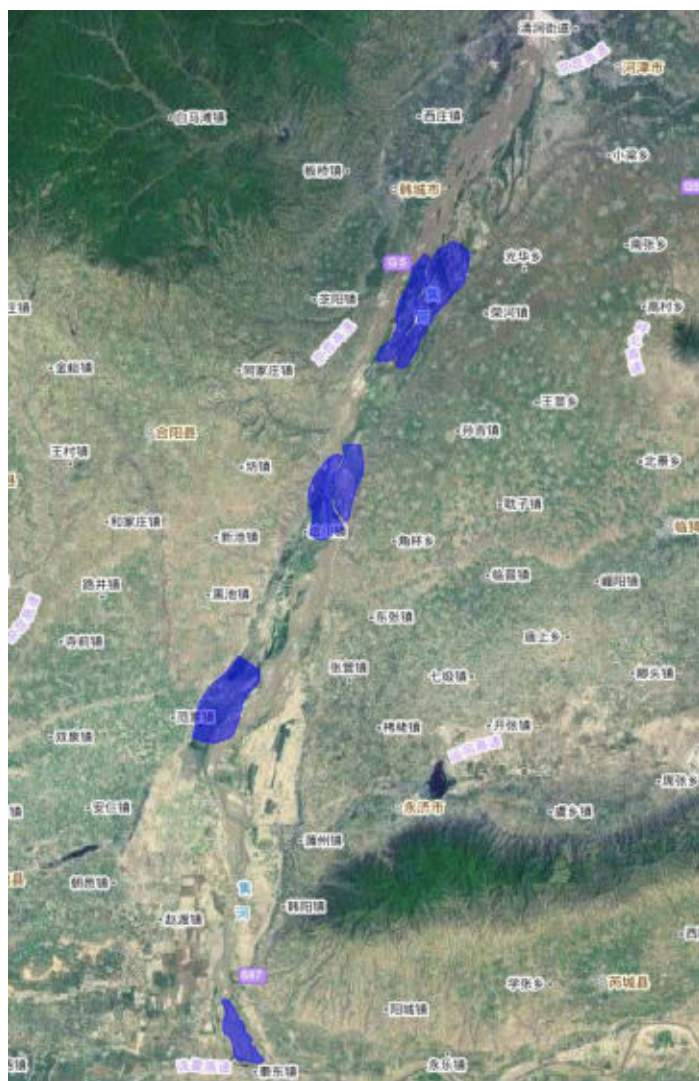


图 11.2.5-4 黄河小北干流河段鸟类集中分布区域位置图

(1) 合阳洽川镇 ($110^{\circ} 21' E$, $35^{\circ} 12' N$, 海拔 366m 左右), 生境类型: 滩涂、鱼塘、芦苇沼泽、农田

野外观察统计共记录越冬期鸟类 10 目 25 科 85 种。冬季的优势种类有苍鹭、大白鹭、豆雁、赤麻鸭、绿翅鸭、绿头鸭、斑嘴鸭、赤膀鸭、普通秋沙鸭、骨顶鸡、凤头麦鸡、红脚鹬、灰棕鸟等; 常见种类包括小鸊鷉、普通鸊鷉、白鹭、琵嘴鸭、灰头麦鸡、金眶鸬、反嘴鹬、普通燕鸥、珠颈斑鸠、角百灵、云雀、麻雀、金翅雀等; 偶见种类有凤头鸊鷉、夜鹭、大天鹅、针尾鸭、赤颈鸭、鹊鸭、黑鹳、蓑羽鹤、白头鹎等。其中凤头鸊鷉、针尾鸭、赤颈鸭、鹊鸭为迁徙途经种类, 仅在初冬 (10~11 月初) 和春末 (3 月下旬~4 月初) 见到少量个体。

(2) 大荔县华原 ($110^{\circ} 12.10' E$, $34^{\circ} 57.01' N$, 海拔 332m 左右), 生境类型:

农田、鱼塘。

野外观察统计，共记录越冬期鸟类 9 目 23 科 78 种，调查地区冬季的优势种类有苍鹭、大白鹭、赤麻鸭、绿翅鸭、绿头鸭、赤膀鸭、红头潜鸭、斑头秋沙鸭、普通秋沙鸭、骨顶鸡、凤头麦鸡、红脚鹬、灰棕鸟等；常见种类包括小鸊鷉、普通鸊鷉、白鹭、灰鹤、琵嘴鸭、灰头麦鸡、矶鹬、反嘴鹬、普通燕鸥、珠颈斑鸠、麻雀、金翅雀等；偶见种类有夜鹭、大天鹅、赤颈鸭、黑鹳、大鸨、白头鹎等。其中凤头鸊鷉、赤颈鸭为迁徙途经种类，仅在初冬（10~11 月初）和春末（3 月下旬~4 月初）见到少量个体。



图 11.2.5-5 典型现场调查照片

(3) 洽川镇抽黄总干渠西侧林带（35° 11′ 24″ N，110° 20′ 20″ E，海拔 372m 左右），生境类型：人工林

2010 年 7 月 19 日~8 月 5 日，在进行鹭类生境调查时，发现一处白鹭、苍鹭、池鹭、夜鹭的集群繁殖地。经目测，林带内共有白鹭 60 只、苍鹭 55 只、池鹭 32 只、夜鹭 8 只。此繁殖地位于陕西省渭南市大荔县洽川镇抽黄总干渠西侧的林带内。林带南北长约 100 m，东西长约 80m，东临莲池和鱼塘，西邻黄土崖。林带内柳树占 70%，杨树占 10%，其他树种占 20%。巢树多为柳树（10~15m），与柳树枝条较多、为鹭类筑巢提供支持有关。

据观察，距林带东侧 50m 的莲池、鱼塘等人工湿地是鹭类的主要觅食地。距林带西侧 30m 的黄土崖为鹭类休息的主要场所。林带鹭群伴生鸟种有山斑鸠、火斑鸠、金腰燕和麻雀等。



图 11.2.5-6 洽川镇抽黄总干渠西侧林带鹭类栖息地

(4) 汾河入黄口 ($110^{\circ}30'18''\text{E}$, $35^{\circ}23'35''\text{N}$, 海拔 360m 左右), 生境类型: 芦苇沼泽、农田、滩涂。

分布于河津市汾河入黄河处的连伯滩, 由汾河携带的大量泥沙淤积而成, 面积约 33km^2 , 是灰鹤 (*Grus grus*) 等珍稀水鸟在山西最大的越冬栖息地。黄河改道淤积并被开发成农田的滩地, 种植有棉花、玉米、冬小麦等作物。共查得鸟类 11 目 31 科 71 种, 以雀形目鸟类最多, 共 16 科 36 种; 其次是隼形目, 3 科 12 种, 占 16.90%。优势种为白鹭、麻雀、崖沙燕, 常见种为灰椋鸟、雉鸡、喜鹊、凤头百灵等。本区鸟类组成以雀形目鸟类为主, 猛禽类多在本区上空盘旋或捕食昆虫、鼠类等, 物种丰富度较高但数量稀少。冬季大鸨、灰鹤等多种珍稀鸟类主要栖息于本区, 此外大天鹅、豆雁等雁鸭类也常在农田取食冬小麦麦苗。

(5) 万荣西滩和临猗张郭村 ($110^{\circ}22'47''\text{E}$, $35^{\circ}10'53''\text{N}$, 海拔 346m 左右), 生境类型: 鱼塘、芦苇沼泽、农田、滩涂。

调查到鸟类 13 目 37 科 79 种, 其中以雀形目最多, 共 13 科 27 种, 占该生境鸟类总种数的 34.18%; 鸽形目 6 科 16 种, 占 20.25%; 鸛形目 3 科 10 种, 占 12.66%。本区优势种为树麻雀、崖沙燕、黑翅长脚鸛; 常见种有白鹭、家燕、斑嘴鸭、苍鹭、普通燕鸥等。本区人工开发的荷塘、鱼塘等人工湿地由于人工投放饲料、肥料等, 使本区鱼、虾等食物资源异常丰富, 加之本区水深较浅, 人工植被条件良好, 是鸛形目和鸽形目鸟类理想的栖息觅食场所。本区春、夏季节鸟类物种丰富度及种群数量都较多, 尤其在夏季, 黑翅长脚鸛、白鹭等鸟类常成群聚集在荷塘觅食。

(6) 黄河河心滩, 生境类型: 河流水面、河漫滩湿地

小北干流河段河流湿地滩涂广泛发育，人为干扰活动较小，是绿头鸭、绿翅鸭、红头潜鸭、斑嘴鸭等游禽和涉禽的重要栖息生境，尤以汾河入黄口附近、合阳临猗黄河段、渭河入黄口附近等区域分布最为集中。其中，在陕西省合阳县防洪堤以内黄河干流的河心滩，河床呈南北走向，南至洽川镇，北至黄河抽黄一级站之间长 11 公里，这里的河心滩是大型候鸟越冬的重要栖息地。2009 年 12 月 2 日至 2010 年 3 月 16 日，先后 4 次在这里分别发现有豆雁、赤麻鸭、斑嘴鸭、鸕鹚等候鸟，这里是豆雁等冬候鸟最为集中的栖息地，豆雁种群庞大，曾观察到豆雁的数量多达 160 只。



图 11.2.5-7 典型现场调查图片

11.2.5.4 珍稀保护物种的分布及数量

1. 迁徙规律和种群数量

根据收集到的文献数据，结合近些年开展的现场调查工作，对小北干流河段重点保护鸟类迁徙规律进行归纳总结。可以看出：

- (1) 河段内重点保护鸟类以冬候鸟为主，其次为留鸟，夏候鸟最少；
- (2) 多数冬候鸟 11 月到达，次年 3 月迁离。12 月鸟类数量急剧增加，12 月至次年 1 月数量达到峰值，然后开始慢慢减少，3 月份仅有少量鸟类还停留在本河段。
- (3) 夏候鸟主要为红脚隼，一般 3 月份到达，9 月份离开。
- (4) 从种群数量上来看，小北干流河段灰鹤的种群数量最多，其次为大鸨、黑鹳、白琵鹭等，其余种群规模均较少，主要为罕见种。

表 11.2.5-5 小北干流河段重点保护鸟类迁徙规律及动态变化

序号	最新种名	保护级别	居留期	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1	大鸨 (<i>Otis tarda</i>)	一级	冬候鸟	170	60	25								42	150
2	白尾海雕 (<i>Haliaeetus albicilla</i>)	一级	冬候鸟	1											
3	黑鹳 (<i>Ciconia nigra</i>)	一级	留鸟	4	5	45	20	16	18	12	20	15	6	28	7
4	鸿雁 (<i>Anser cygnoid</i>)	二级	冬候鸟		4	9								6	5
5	大天鹅 (<i>Cygnus cygnus</i>)	二级	冬候鸟	2	25	6								12	3
6	鸳鸯 (<i>Aix galericulata</i>)	二级	旅鸟	3		12								25	
7	班头秋沙鸭 (<i>Mergellus albellus</i>)	二级	冬候鸟	2	2	4								4	2
8	灰鹤 (<i>Grus grus</i>)	二级	冬候鸟	2200	600	50								200	1500
9	白腰杓鹬 (<i>Numenius arquata</i>)	二级	旅鸟			1	1								
10	白琵鹭 (<i>Platalea leucorodia</i>)	二级	冬候鸟	28	25	30	6						8	26	32
11	雀鹰 (<i>Accipiter nisus</i>)	二级	留鸟	1					1			1			
12	苍鹰 (<i>Accipiter gentilis</i>)	二级	旅鸟			1								1	
13	白尾鹞 (<i>Circus cyaneus</i>)	二级	冬候鸟	2	2	1								2	3
14	大鸺 (<i>Buteo hemilasius</i>)	二级	冬候鸟	1	1									1	2
15	普通鸺 (<i>Buteo japonicus</i>)	二级	冬候鸟		1										1
16	雕鸮 (<i>Bubo bubo</i>)	二级	留鸟			1				1					
17	纵纹腹小鸮 (<i>Athene noctua</i>)	二级	留鸟		1						1				
18	长耳鸮 (<i>Asio otus</i>)	二级	冬候鸟	1											1
19	短耳鸮 (<i>Asio flammeus</i>)	二级	冬候鸟		1										1
20	红隼 (<i>Falco tinnunculus</i>)	二级	留鸟	1	2			1		1		2		1	
21	红脚隼 (<i>Falco amurensis</i>)	二级	夏候鸟			3	2	4	6	4	2	10			
22	游隼 (<i>Falco peregrinus</i>)	二级	旅鸟			1								2	

2. 繁殖习性

黄河小北干流河段冬候鸟只在此越冬，不在本区繁殖，如大鸨、白尾海雕、大天鹅、灰鹤、白琵鹭、白尾鹳、大鸕、普通鸕、长耳鸕、短耳鸕、鸿雁、班头秋沙鸭等；旅鸟表现为迁徙季节途径本区做短暂的逗留、停栖，不在本区繁殖和越冬，如鸳鸯、苍鹰、游隼、白腰杓鹬等。

在本河段繁殖的鸟类主要为留鸟和夏候鸟，其中，黑鹳、雀鹰等在保护区之外山区的悬崖峭壁营巢、繁殖，保护区没有适宜的繁殖生境，故不在保护区繁殖；雕鸕、纵纹腹小鸕在保护区之外的土崖、山地悬崖峭壁、土穴、洞穴或者树木的洞穴营巢、繁殖；在保护区繁殖的鸟类主要为红隼和红脚隼，多数是占据高大乔木上的喜鹊旧巢产卵繁殖，几乎不受湿地条件变化的影响。

3. 栖息和觅食习性

冬季鸟类处于非繁殖季节，食物和栖息地对鸟类群落组成、分布和数量起着重要作用。小北干流河段各重点保护鸟类栖息和觅食生态习性如下表所示。

表 11.2.5-6 黄河小北干流河段重点保护鸟类栖息和觅食习性

序号	保护鸟类	保护级别	食性	主要食物	生境类型	停留时间	种群数量变化
1	大鸨	一级	杂食	植物的嫩叶、嫩芽、嫩草、种子，冬小麦、玉米粒以及昆虫、蚱蜢、蛙等	低矮芦苇地及周边的麦田、苜蓿地、玉米地等农耕地或撂荒地活动	冬候鸟，10月中旬至4月上旬	300~500 只
2	黑鹳	一级	肉食	以鱼类为主，亦食蛙类、昆虫	黄河附近的鱼塘、人工荷塘、河流湿地	留鸟，全年	50~200 只
3	白尾海雕	一级	肉食	以鱼类为食，也捕食野鸭、大雁、雉鸡、鼠类、野兔等	黄河边的土崖、人工荷塘	冬候鸟，11月初至4月底	罕见种，偶尔能见到1只
4	灰鹤	二级	植食	植物的嫩叶、嫩芽、嫩草、种子，花生粒	农田、人工荷塘、河漫滩湿地	冬候鸟，11月初至3月底	观测到的最大种群数量约 2000 只
5	白琵鹭	二级	杂食	以虾、蟹、水生昆虫、甲壳类、软体动物、蛙、蝌蚪、蜥蜴、小鱼为食，偶食少量植物性食物	人工荷塘、沼泽地、河漫滩湿地	冬候鸟，11月初至4月底	100~150 只
6	鸿雁	二级	杂食	以草本植物的叶、芽等植物性为食，也吃少量甲壳类和软体动物	开阔的湖泊、水塘、河流、沼泽及其附近的农田和洪泛平原	冬候鸟，11月至次年3月	10~20 只左右
7	大天鹅	二级	杂食	以水生植物的根茎、叶、茎、种子为食，也吃取食少量昆虫、贝类、鱼类、蛙、蚯蚓、软体动物等	主要分布于潼关以下的芮城圣天湖、平陆三湾天鹅湖等地，合阳洽川附近的库塘鱼塘、开阔水域	冬候鸟，11月初至3月底	50 只左右
8	鸳鸯	二级	杂食	以水生植物为主，亦捕食鱼、虾及水生昆虫	合阳洽川附近的库塘鱼塘、开阔水域	旅鸟，2~4月、10月~11月	5~30 只左右
9	班头秋沙鸭	二级	杂食	捕食鱼类、无脊椎动物和少量植物	开阔的湖泊、河流、人工荷塘	冬候鸟，11月至次年3月	罕见种
10	白腰杓鹬	二级	肉食	主要以甲壳类、软体动物、蠕虫、昆虫和昆虫幼虫为食，也啄食小鱼和蛙	合阳洽川、大荔平民附近河湖岸边、水田、人工荷塘及沼泽湿地	旅鸟，9月~11月、3月~4月	罕见种

序号	保护鸟类	保护级别	食性	主要食物	生境类型	停留时间	种群数量变化
11	雀鹰	二级	肉食	捕食小鸟、鼠类及昆虫	乔木林及开阔的林缘疏林地帶	留鸟，全年	罕见种
12	苍鹰	二级	肉食	捕食雉鸡、鼠类、斑鸠、草兔等	人工林	旅鸟，2~4月、10月~11月	罕见种
13	白尾鹞	二级	肉食	捕食小鸟、鼠类、蛙和昆虫等	韩城龙亭、大荔平民附近的平原、沼泽、草原、农田、芦苇塘等	冬候鸟，11月初至4月中旬	罕见种
14	大鵟	二级	肉食	捕食鼠类、草兔、蛙、蛇、雉鸡、石鸡等	洪泛平原湿地、农田、土崖	冬候鸟，12月初至4月底	罕见种
15	普通鵟	二级	肉食	捕食鼠类、草兔、蛙、蛇、雉鸡、石鸡等	洪泛平原湿地、农田、土崖	冬候鸟，11月初至3月底	罕见种
16	雕鸮	二级	肉食	捕食鼠类、鼯类、草兔、蛙类、蛇类等	黄河边的高大乔木林，黄土崖等	留鸟，全年	罕见种
17	纵纹腹小鸮	二级	肉食	捕食昆虫，鼠类等	黄河边的人工林、黄土崖、村庄	留鸟，全年	罕见种
18	长耳鸮	二级	肉食	捕食鼠类、啮齿类、昆虫及小鸟等	黄河附近的人工林、疏林	冬候鸟，11月下旬至3月中旬	罕见种
19	短耳鸮	二级	肉食	捕食鼠类、啮齿类、昆虫及小鸟等	洪泛平原的草地、灌丛	冬候鸟，11月下旬至3月中旬	罕见种
20	红隼	二级	肉食	捕食昆虫、蛙、蜥蜴、小型鸟类及鼠类等	疏林、耕地、旷野、农田、草地及洪泛平原等	留鸟，全年	罕见种
21	红脚隼	二级	杂食	主要以蝗虫、蚱蜢、蝼蛄等昆虫为食，有时也捕食小型鸟类、蜥蜴、蛙、鼠类等小型动物	人工林地、农田、荷塘、洪泛平原湿地	夏候鸟，3月至10月	10~30只
22	游隼	二级	肉食	捕猎野鸭等水禽	洪泛平原湿地、农田	旅鸟，2~4月、10月~11月	罕见种

河段内国家一级保护鸟类及种群数量较多的保护鸟类生态习性和越冬地、觅食地如下：

（1）大鸨（*Otis tarda*）

生态习性：大型陆禽，栖息于开阔的平原、干旱草原、稀树草原和半荒漠地区，也出现于河流、湖泊沿岸的湿地，常结小群活动，善于奔跑。食物杂，主要吃植物的嫩叶、嫩芽、嫩草、种子以及昆虫、蚱蜢、蛙等。本河段常见在农田中取食冬小麦和遗失的玉米粒。

停留时间：在保护区为冬候鸟，每年 10 月中旬到次年 4 月上旬在河段内栖息越冬。根据相关调查成果（程铁锁等，2017），每年 12 月到次年 3 月上旬都会有大量的成体和亚成体大鸨在此栖息越冬，3 月下旬陆续离开，最迟到 4 月上旬。

生境类型：在多年野外观察中发现，越冬大鸨多在低矮芦苇地及周边的麦田、苜蓿地、玉米地等农耕地或撂荒地活动。

越冬地和觅食地分布：根据现场调查结果，结合相关研究成果，小北干流河段大鸨的越冬地和觅食地有五处，分别为万荣县岔门口村、万荣县罗池村、洽川以北、大荔段朝邑新村、范家与朝邑镇结合部，因为这些区域有面积较大的农田，大鸨主要取食冬小麦和遗失的玉米粒。其中，万荣县岔门口村附近的万亩麦田，越冬地中心点坐标为（110° 31′ 58.44″、35° 28′ 19.36″），面积约 12.4692km²，该区域是大鸨较为稳定的越冬地和觅食地，观测到的大鸨最大种群数量约 50 只。万荣县罗池村附近的万亩麦田，越冬地中心点坐标为（110° 30′ 25.32″、35° 25′ 15.74″），面积约 27.8345km²，也是大鸨较为稳定的越冬地，在此越冬的大鸨种群数量较多，观测到的大鸨最大种群数量约 100 只。洽川以北的莲池、矮生芦苇、沼泽地，由于区域植被、土地利用以及人为活动等情况多年来变化起伏不大，且该区域面积狭小，大鸨在此只是零星分布，多年来无明显变化，数量在 50 只左右。大荔段朝邑新村附近的麦田、苜蓿地，因棉花种植面积的逐年增加，使原大鸨觅食地的苜蓿种植面积逐年缩小，加之区内人为活动的增加，造成在此区域分布的大鸨种群数量有所减少，据观察记载，2006-2007 年种群数量最多时达到 310 只左右，2008 年以后，每年种群数量在 120~150 只。范家与朝邑镇结合部附近的沼泽地、矮生芦苇、盐碱地，远离人群居住地，人为

活动少，且多为盐碱裸地、低矮芦苇荡、自然水池以及少量的农田，该区域原生态一直良好，特别是近年周边区域小麦种植面积有所增加，此处大鸨种群数量呈逐年上升趋势，从 2010 年至今，该区域每年栖息越冬的大鸨种群数量都在 300 只左右，最多时达 321 只。



图 11.2.5-8 万荣黄河段现场调查拍摄的大鸨照片

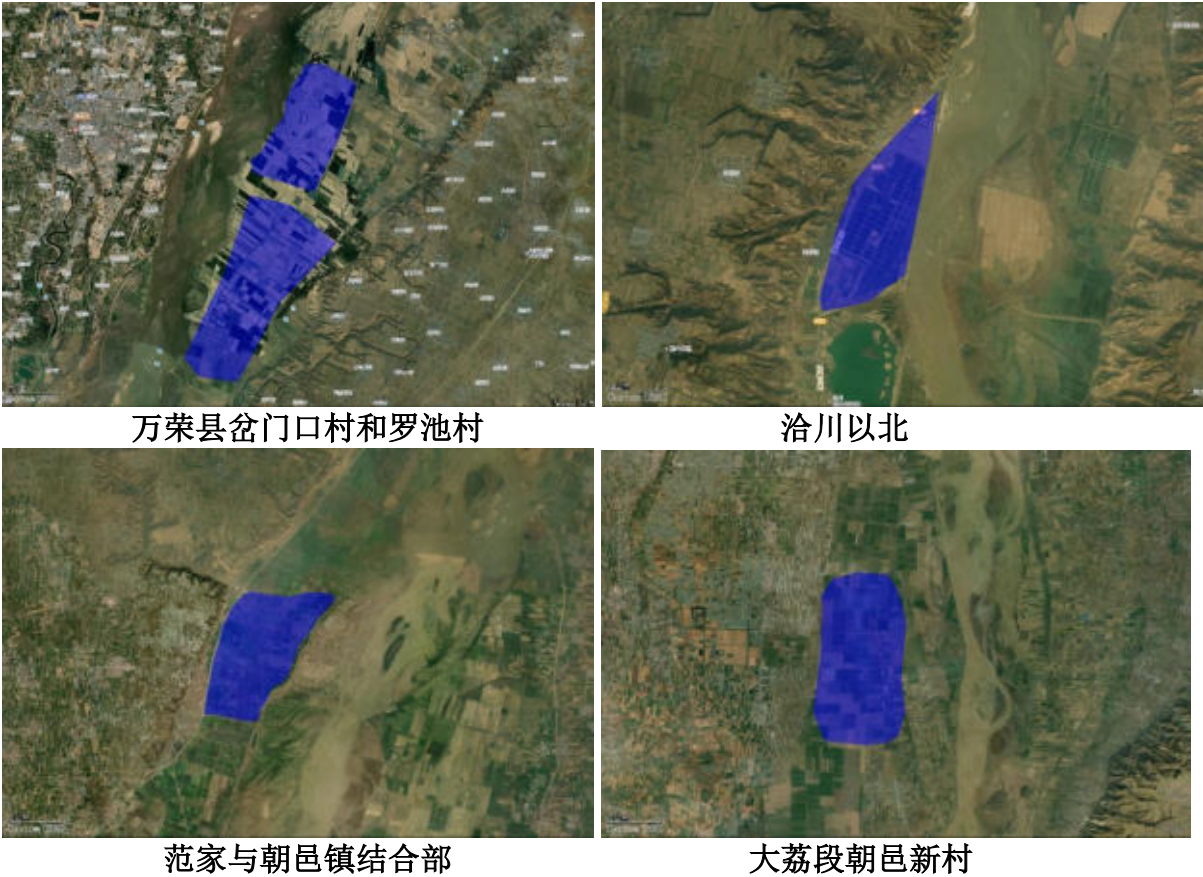


图 11.2.5-9 大鸨越冬地和觅食地

种群数量历史变化：经统计整理发现，每年迁徙到保护区栖息越冬的大鸨种群数量整体上呈逐年增加趋势（程铁锁等，2017），食物因素和干扰因素是大鸨栖息地选

择的关键因素（吴逸群，2013~2015 年）。

表 11.2.5-7 越冬大鸨种群数量变化

年/月	数量（只）	栖息地类型
2006/12	258	麦田、苜蓿地
2007/01	252	苜蓿地、沼泽地
2008/12	293	麦田、苜蓿地、莲池
2009/12	183	麦田、苜蓿地、
2010/01	306	麦田
2011/01	318	玉米地、莲池
2012/01	321	麦田、玉米地
2013/12	254	麦田、玉米地
2014/02	305	麦田

（2）黑鹳（*Ciconia nigra*）

生态习性：多栖息于森林、沼泽、河边、池塘、水库及山间溪流等处，性机警敏锐，常单独或结成小群活动，食物以鱼类为主，亦食蛙类、昆虫等。

停留时间：本区留鸟。

生境类型：多见于黄河附近的鱼塘、人工荷塘、河流湿地。

栖息地和觅食地：小北干流河段黑鹳的栖息地和觅食地有五处，分别为万荣县龙井村、临猗县元上村、合阳洽川镇、合阳黑池、大荔范家。其中，万荣县龙井村附近有大片人工荷塘，观测到黑鹳种群数量 1-3 只；合阳洽川镇和临猗县元上村附近的人工荷塘，观测到的黑鹳最大种群数量为 25 只左右；合阳黑池、大荔范家附近林木较多且无干扰的水塘或河谷区域也是黑鹳的重要栖息生境之一。



图 11.2.5-10 临猗县元上村附近现场调查拍摄的黑鹳照片

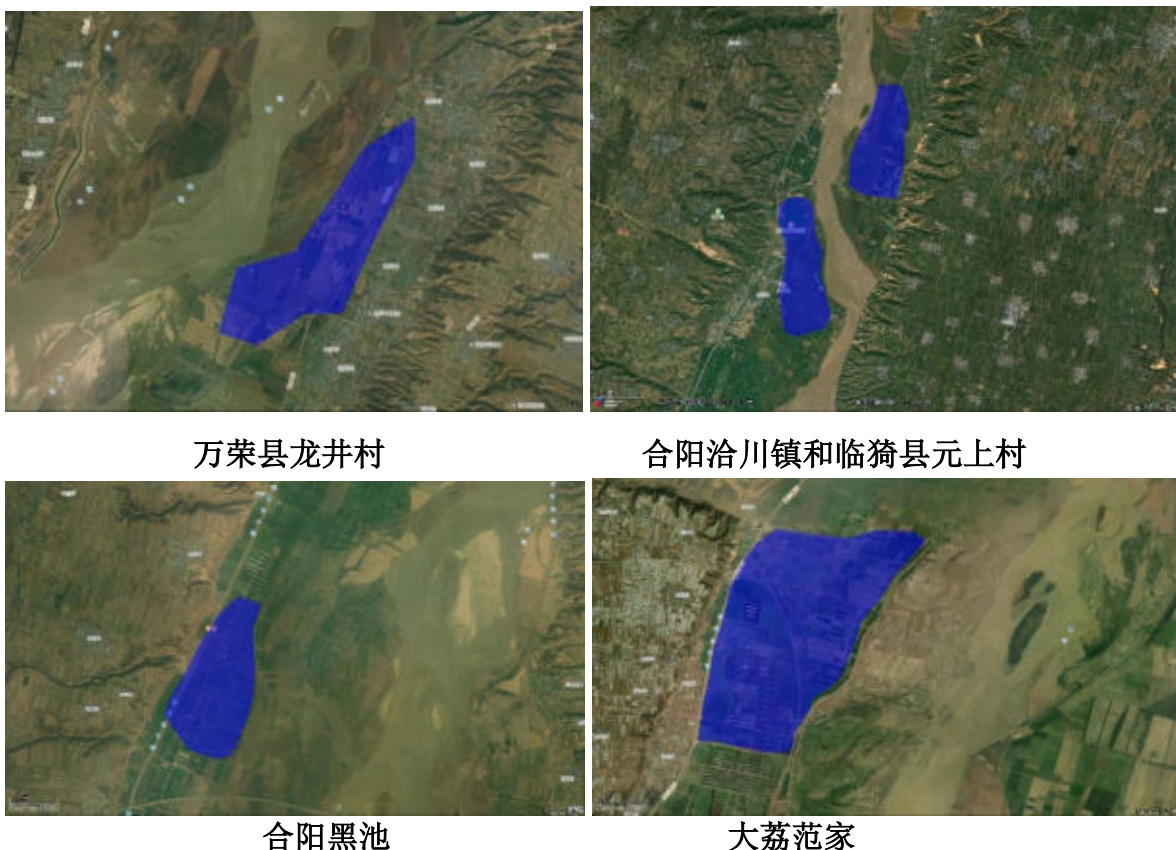


图 11.2.5-11 黑鹳栖息地和觅食地

种群数量历史变化：约 50~200 只，调查到 5 群 10~20 只的黑鹳种群（郭东龙，2014~2016 年），黄河滩涂改为人工湿地（荷塘）后，已成为黑鹳的重要觅食地。种群数量有较明显的增多趋势。

（3）白尾海雕（*Haliaeetus albicilla*）

生态习性：栖息于黄河滩涂地带，常单独活动。白天常蹲立不动，飞行时振翅甚缓慢。休息时停栖黄河边的土崖上，以鱼类为食，也捕食野鸭、大雁、雉鸡、鼠类、野兔等，有时吃动物尸体。

停留时间：每年 11 月初至次年 4 月底。

生境类型：见于黄河边的土崖、人工荷塘。

越冬地和觅食地分布：小北干流河段白尾海雕的越冬地和觅食地有 2 处，分别为临猗县元上村、合阳洽川镇。临猗县元上村附近的人工荷塘曾观测到 1 只（1 次）。

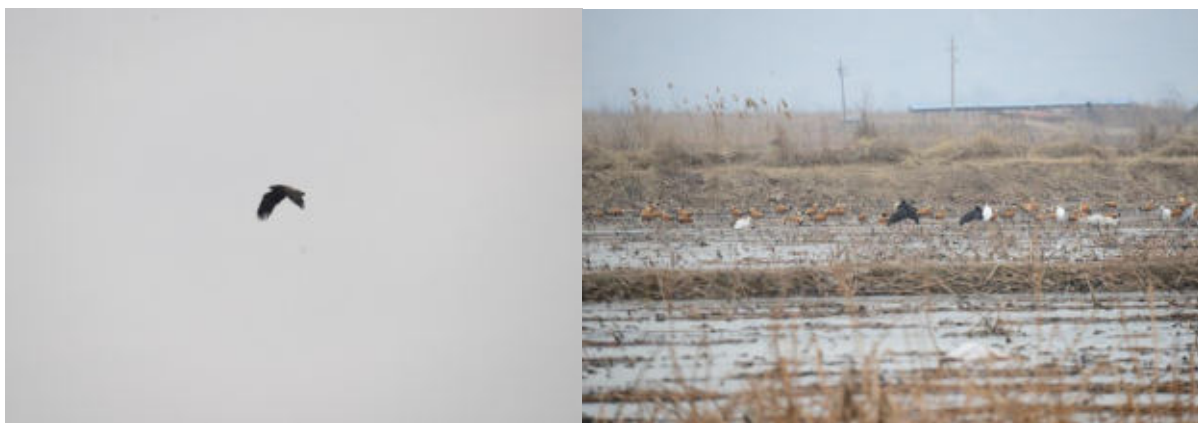


图 11.2.5-12 临猗县黄河段现场调查拍摄的白尾海雕照片



图 11.2.5-13 白尾海雕越冬地和觅食地

种群数量历史变化：本区罕见冬候鸟，偶尔能见到 1 只。见于临猗的人工荷塘。

(4) 灰鹤 (*Grus grus*)

生态习性：栖息于河流、湖泊、水库沼泽地带，常结群活动，白天常到农田中觅食，夜间在距河岸 1~2km 处四面环水的沙滩或荒草丛生的小岛上过夜，主食花生等作物。性机敏，善鸣叫，飞行能力强。

停留时间：每年 11 月初至次年 3 月底。

生境类型：夜宿于四面环水的沙滩或荒草丛生的小岛，白天主要在人为干扰活动

稀少、面积较大的农田、人工荷塘、河漫滩湿地。

越冬地和觅食地分布：小北干流河段灰鹤的越冬地和觅食地有四处，分别为万荣县岔门口村、万荣县罗池村、合阳洽川镇、临猗县杨范村附近。其中，万荣县岔门口村和罗池村附近有面积较大的农田，这一区域也是河段内灰鹤较为稳定的越冬地和觅食地，万荣县岔门口村附近的万亩麦田，越冬地中心点坐标为（110° 31′ 58.44″、35° 28′ 19.36″），面积约 12.4692km²，观测到的灰鹤最大种群数量约 100 只；万荣县罗池村附近的大片麦田，越冬地中心点坐标为（110° 30′ 25.32″、35° 25′ 15.74″），面积约 27.8345km²，在此越冬的灰鹤种群数量较多，观测到的灰鹤最大种群数量约 2000 只；合阳洽川镇、临猗县杨范村附近的人工荷塘也是灰鹤的主要越冬地和觅食地之一，临猗县杨范村越冬地中心点坐标为（110° 21′ 54.86″、35° 8′ 46.32″），面积约 1.4865km²，观测到的灰鹤最大种群数量约 80 只。



万荣西滩 临猗黄河段

图 11.2.5-14 现场调查拍摄的灰鹤照片



图 11.2.5-15 灰鹤越冬地和觅食地（左图：万荣县 右图：合阳和临猗）

种群数量历史变化：小北干流河段灰鹤种群数量呈减少明显，1983 年观测到的最大种群数量约 2000 只，1996 年记录到 740 只，2015 年仅调查到 141 只（郭东龙，

2013~2015 年），农田种植结构变化和人为及机械干扰是主要原因。上世纪 80 年代，河津连伯滩等地种植有大面积的花生，灰鹤主要集中分布于河津黄河段附近，取食花生。近年来，本区农业产业结构发生了变化，改种玉米和冬小麦，加之黄河改道等，灰鹤的数量有所减少，分布区域也发生了明显的变化。目前灰鹤主要分布于万荣黄河段人类活动干扰较少、面积较大的麦田，常在麦田取食冬小麦麦苗。

（5）白琵鹭（*Platalea leucorodia*）

生态习性：栖息于河流、湖泊湿地浅水处，常成群活动。休息时常在水边成一字形散开。长时间站立不动，受惊后则飞往他处。性机警畏人，飞翔时两翅鼓动较快，常排成稀疏的单行，或成波浪式的斜列飞行。主要以虾、蟹、水生昆虫、甲壳类、软体动物、蛙、蝌蚪、蜥蜴、小鱼为食，偶食少量植物性食物。觅食主要在早晨和黄昏，也常在晚上觅食。

停留时间：每年 10 月至次年 4 月。

生境类型：栖息于人工荷塘、沼泽地、河漫滩湿地。

越冬地和觅食地分布：小北干流河段白琵鹭的越冬地和觅食地有 3 处，分别为临猗县元上村、合阳洽川镇、韩城芝川。临猗县元上村附近的人工荷塘是白琵鹭的重要越冬地和觅食地，观测到的白琵鹭最大种群数量为 100 只；合阳洽川镇、韩城芝川附近开阔的沼泽地、浅水湖泊，水库边及河流滩地也是白琵鹭的主要栖息地之一。



图 11.2.5-16 临猗县元上村现场调查拍摄的白琵鹭照片



临猗县元上村、合阳洽川镇



韩城芝川

图 11.2.5-17 白琵鹭越冬地和觅食地

种群数量历史变化：种群数量 100~150 只左右，有增多的趋势。

11.2.5.5 水鸟

小北干流河段国家重点保护鸟类中，水鸟有 8 种，包括黑鹳、灰鹤、白琵鹭、白腰杓鹬 4 种涉禽和大天鹅、鸳鸯、鸿雁、班头秋沙鸭 4 种游禽，这些鸟类主要栖息于芦苇沼泽、浅滩、鱼塘、农田、人工荷塘等地，食性以杂食为主，除黑鹳为留鸟外，其余鸟类停留时间集中在每年的 11 月至次年 3 月。

表 11.2.5-8 自然保护区国家重点保护鸟类及生态习性

序号	名称	拉丁名	保护级别	类型	食性	主要食物	生境类型
1	黑鹳	<i>Ciconia nigra</i>	I 级	涉禽	肉食	食物以鱼类为主，亦食蛙类、昆虫等	多见于黄河附近的鱼塘、莲池，河流湿地、洪泛平原湿地
2	灰鹤	<i>Grus grus</i>	II 级	涉禽	植食	主要以各种植物和种子或植株为食，特别是谷特居多	栖息于河流、湖泊、水库沼泽地带
3	白琵鹭	<i>Platalea leucorodia</i>	II 级	涉禽	杂食	主要以虾、蟹、水生昆虫、甲壳类、软体动物、蛙、蝌蚪、蜥蜴、小鱼为食，偶食少量植物性食物。觅食主要在早晨和黄昏，也常在晚上觅食。	栖息于人工荷塘、河流湿地边、洪泛平原湿地等生境
4	白腰杓鹬	<i>Numenius arquata</i>	II 级	涉禽	肉食	主要以甲壳类、软体动物、蠕虫、昆虫和昆虫幼虫为食，也啄食小鱼和蛙。	栖息于开阔的河流湿地、洪泛平原湿地、沼泽、人工荷塘等生境
5	鸳鸯	<i>Aix galericulata</i>	II 级	游禽	杂食	食物以水生植物为主，亦捕食鱼、虾及水生昆虫。	栖息于开阔的河道、湖面、洪泛平原湿地
6	大天鹅	<i>Cygnus cygnus</i>	II 级	游禽	杂食	以植物茎叶和种子为食物，也捕食少量软体动物和水生昆虫。	栖息于开阔的明水面，人为干扰活动稀少的麦田和洪泛平原

序号	名称	拉丁名	保护级别	类型	食性	主要食物	生境类型
7	鸿雁	<i>Anser cygnoid</i>	Ⅱ级	游禽	杂食	以各种草本植物和水生植物、芦苇、藻类等植物性食物为食，也吃少量甲壳类和软体动物等动物性食物。	栖息于开阔的湖泊、水塘、河流、沼泽及其附近的农田和洪泛平原
8	班头秋沙鸭	<i>Mergellus albellus</i>	Ⅱ级	游禽	杂食	斑头秋沙鸭通过潜水觅食。食物包括小型鱼类、甲壳类、贝类、水生昆虫石蚕等无脊椎动物，偶尔也吃少量植物性食物水草、种子、树叶等。	栖息于开阔的湖泊、河流、人工荷塘

表 11.2.5-9 国家重点保护水鸟在河段内停留时间

鸟类名称	保护等级	停留月份											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
黑鹳	I	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
大天鹅	II	■	■	■								■	■
白琵鹭	II	■	■	■	■						■	■	■
灰鹤	II	■	■	■								■	■
鸳鸯	II	■	■	■								■	■
鸿雁	II	■	■	■								■	■
白腰杓鹬	II			■	■					■	■	■	
班头秋沙鸭	II	■	■	■								■	■

11.2.6 其他湿地动物

小北干流河段在中国动物地理区划上属于古北界、华北区、黄土高原亚区的渭河谷地和黄土高原丘陵沟壑。根据实地调查及对相关资料综合分析，小北干流河段的野生脊椎动物包括两栖爬行动物 4 目 8 科 14 种，鸟类 19 目 46 科 142 种，哺乳动物 5 目 8 科 19 种。河段内国家重点保护野生动物均为鸟类。

(1) 哺乳类

本区地势开阔平坦，森林资源缺乏，水域面积较大，人为活动频繁，尤其缺少大型哺乳类动物的栖息环境，因此哺乳类动物资源甚为贫乏。河段有哺乳动物 5 目 8 科 19 种，常见物种以危害作物的啮齿动物为主，包括松鼠科的达乌尔黄鼠（*Citellus dauricus*），鼠科的大仓鼠（*Cricetulus triton*）、黑线仓鼠（*C. barabensis*）、子午沙鼠（*Meriones meridianus*）、棕色田鼠（*Microtus mandarinus*）等，都是典型的农田害鼠；草兔是适应性极强的狩猎种类，数量较大，对农作物也可造成不同程度的损失。低等种类中，食虫目中的普通刺猬（*Erinaceus europaeus*）在渭河平原广泛分布，也在区内常见；

本区地处黄土高原的边缘地区，黄鼬(*Mustela sibirica*)曾是关中平原区的主要小型毛皮兽，区内亦能见到。常见的哺乳动物种类主要有草兔、刺猬、黄鼠、大仓鼠等。哺乳类野生动物名录见下表。

表 11.2.6-1 黄河小北干流河段哺乳类动物名录

种 名	学 名	数 量	分布型*
一、食虫目 INSECTIVORA			
（一）蝟科 Erinaceidae			
普通刺猬	<i>Erinaceus europaeus</i>	++	0
二、翼手目 CHIROPTERA			
（二）狐蝠科 Pteropodidae			
大狐蝠	<i>Pteropus giganteus</i>	+	Wa
（三）蝙蝠科 Vspertilionidae			
东方蝙蝠	<i>Vespertilio superans</i>	+	0
三、食肉目 CARNIVORA			
（四）鼬科 Mustelidae			
黄鼬	<i>Mustela sibirica</i>	+	Uh
艾鼬	<i>M. eversmanni</i>	-	Uf
狗獾	<i>Meles meles</i>	+	We
四、啮齿目 RODENTIA			
（五）松鼠科 Sciuridae			
达乌尔黄鼠	<i>Citellus dauricus</i>	++	Ga
（六）仓鼠科 Cricetidae			
黑线仓鼠	<i>Cricetulus barabensis</i>	++	Xg
长尾仓鼠	<i>C.longicaudatus</i>	++	D
大仓鼠	<i>C.triton</i>	+++	Xa
甘肃仓鼠	<i>Cansumys caus</i>	+	0 (L)
中华鼯鼠	<i>Myospalax fontanieri</i>	+	Bc
（七）鼠科 Muridae			
小家鼠	<i>Mus musculus</i>	++	Uh
巢鼠	<i>Micromys minutus</i>	+	Uh
中华姬鼠	<i>Apodemus draco</i>	+	Sd
黑线姬鼠	<i>A.agrarius</i>	++	Ub
黄胸鼠	<i>Rattus flavipectus</i>	+	We
褐家鼠	<i>R.norvegicus</i>	++	Ue
五、兔形目 LAGOMORPHA			
（八）兔科 Leporidae			
草兔	<i>Lepus capensis</i>	+++	0

注：种群数量“+++”优势种群，“++”一般种群，“+”稀少种群。分布型参考张荣组（1999）。

（2）两栖、爬行类

小北干流河段内分布两栖爬行动物 4 目 8 科 14 种，其中，两栖类 1 目 2 科 4 种，爬行类 3 目 6 科 10 种。区系组成兼具关中平原和黄土高原的共同特征，两栖爬行类动物物种多样性相对贫乏。优势种包括两栖类中的中华蟾蜍、花背蟾蜍和爬行类中的虎斑颈槽蛇等。

两栖类和爬行类野生动物名录见下表。

表 11.2.6-2 黄河小北干流河段两栖及爬行类动物名录

种名	学名	数量（级）	分布型*
一、两栖纲 AMPHIBIA			
（一）无尾目 ANURA			
1. 蟾蜍科 Bufonidae			
中华蟾蜍	<i>Bufo gargarizans</i>	+++	季风型（Eg）
花背蟾蜍	<i>Bufo raddei</i>	+++	东北-华北型（Xg）
2. 蛙科 Ranidae			
黑斑侧褶蛙	<i>Pelophylax nigromaculata</i>	+++	季风型（Ea）
泽陆蛙	<i>Euphlyctis limnocharis</i>	+	东洋型（We）
二、爬行纲 REPTILIA			
（一）龟鳖目 TESTUDINES			
鳖科 Trionychidae			
鳖	<i>Trionyx sinensis</i>	+	季风型（Ea）
（二）蜥蜴目 LACERTIFORMES			
1. 壁虎科 Gekkonidae			
无蹼壁虎	<i>Gekko swinhonis</i>	++	华北型（Ba）
2. 鬣蜥科 Agamidae			
草原沙蜥	<i>Phrynocephalus frontalis</i>	++	草原型（Ga）
3. 蜥蜴科 Lacertidae			
丽斑麻蜥	<i>Eremias argus</i>	+	东北-华北型（Xe）
（三）蛇目 SERPENTIFORMES			
1. 游蛇科 Colubridae			
黄脊游蛇	<i>Coluber spinalis</i>	+	古北型（Ub）
赤链蛇	<i>Dinodon rufozonatum</i>	+	季风型（Ed）
白条锦蛇	<i>Elaphe dione</i>	+	古北型（Ub）
虎斑颈槽蛇	<i>Rhabdophis tigrina</i>	+++	季风型（Ea）
翠青蛇	<i>Entechinus major</i>	++	南中国型（Sv）
2. 蝰科 Viperidae			
中介蝮	<i>Agkistrodon intermedius</i>	+	中亚型（De）

注：“+++”示优势种群，“++”示一般种群，“+”示稀少种群。分布型参考张荣组（1999）。

11.2.7 湿地与黄河水力作用分析

小北干流湿地是以黄河为依托的沿河洪漫湿地，黄河是该湿地生态系统形成、发育和维持的重要因子。

1. 游荡摆动的河势是小北干流湿地维持的主要影响因子

小北干流河段游荡摆动的河势特性，使得水流散乱、泥沙大量淤积，最终形成了该河段的沿河洪漫湿地，塑造了小北干流湿地的总体格局，是湿地维持的主要影响因子。随着河势的摆动，湿地结构处于动态变化中，河流水面与河漫滩湿地之间的转换十分频繁。

2. 湿地植被生长期为 4-11 月，4-6 月黄河以地下水侧渗的形式补给两岸湿地植被，7-10 月汛期以漫滩洪水形式补给

小北干流湿地植被主要生长时期为 4-11 月，其中 4-6 月黄河通过维持河道适宜的生态流量，以地下水侧渗的形式补给两岸湿地植被。7-10 月汛期黄河地表水以漫滩洪水的方式对两岸湿地植被进行水源补给，统计分析该河段历史漫滩洪水变化，发现漫滩时间主要集中在 7-8 月主汛期，部分年份发生在 9 月，漫滩天数一般为 1-7 天。此外，汛期除了黄河地表径流漫滩补给外，降水是湿地植被的主要补给水源之一。11 月植物进入枯萎期，湿地植被对水量需求较小。

进一步对黄河下游河流湿地变化与黄河水文节律响应关系进行分析，上世纪 90 年代末，由于流域来水减少、用水增加，黄河下游部分河段断流，湿地萎缩严重，沿河湿地面积相较于上世纪 80 年代减少了 36.9%；小浪底水库建设运行后，通过实施防断流调度、4-6 月植被生长期维持敏感生态流量、其他时段维持生态基流要求，黄河下游湿地逐渐恢复，2017 年湿地面积增加了 12%。

因此，河道断流对湿地影响较大，在湿地保护与修复中，应该尽量避免地表径流断流或极端低流量过程的出现，维持河道生态流量是保护和修复湿地生态环境的关键。

3. 河流水面面积与河段日均流量呈正相关关系

河流水面面积与地表水联系最为密切，对地表水变化十分灵敏，主要受河道断面形态和地表径流影响，当河道断面形态固定时，水面面积与河段流量成正相关关系。

为分析河川径流与湿地响应关系，首先对比分析了 1986-1988 年遥感调查得到的河流水域面积与对应时间的日径流量相关关系。基于 1986-1988 年 10 期遥感调查得到的水域面积，选取龙门站的日径流数据构建河流水面面积模拟模型，建立回归模型，最终研究得到相对最优的基于幂指数的模拟模型（图 11.2.7-1）。分析结果表明，日径流量与河流水面面积具有较好的显著相关性，相关系数为 0.88。在此基础上，进一步对比分析了 2009-2011 年遥感调查得到的河流水域面积与对应时间的日径流量相关关系，分析结果发现日径流量与河流水域面积相关系数在 0.91 以上。

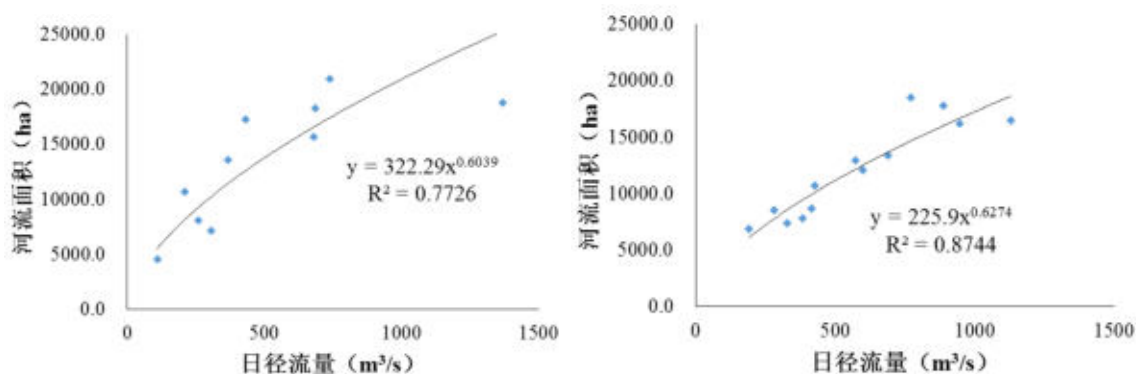


图 11.2.7-1 1986~1988 年、2009~2011 年龙门站日径流量与河流水面面积的拟合关系

通过对比分析 1986-1989 年和 2009-2011 年两个时期的河流水面与日径流量模拟关系图, 可知 80 年代随着径流量的增大, 其河流水域面积的增大速率要远大于 2010 年前后的河流水面增长速率。主要原因在于, 80 年代径流增大会造成显著的漫流, 河流水面迅速增大; 而随着 2000 年之后的河道工程建设, 河流水面被约束在固定的河道中, 减少了漫流, 河流水面面积的增加速率小于 80 年代。

4. 重点保护鸟类以冬候鸟为主, 涉禽栖息生境对黄河地表水依赖程度较低。

通过对河段重点保护鸟类的迁徙规律、繁殖习性、觅食习性等进行分析, 发现小北干流河段重点保护鸟类以冬候鸟为主, 停留时间集中在每年 11 月至次年 3 月, 冬季鸟类处于非繁殖季节, 食物和栖息地对鸟类群落组成、分布和数量起着重要作用。河段内游禽和涉禽等水鸟主要栖息于芦苇沼泽、浅滩、鱼塘、农田、人工荷塘等地, 食性以杂食为主。涉禽中, 灰鹤等植食性鸟类越冬地和觅食地主要集中河滩附近的农田中, 取食农田中的冬小麦和遗失的玉米粒; 黑鹳、白琵鹭等肉食或杂食性鸟类越冬地和觅食地主要为河段内的人工荷塘、鱼塘或水田等人工湿地中, 因此, 农田及人工荷塘、鱼塘、水田等人工湿地区域是涉禽的主要越冬地和觅食地, 涉禽栖息生境对黄河地表水依赖程度较低。大天鹅、鸳鸯、鸿雁、班头秋沙鸭等游禽对水域面积有一定的要求, 但主要分布在潼关以下的三门峡库区及周边湖泊, 在该河段数量较少, 一般要求水深大于 0.5 米。

11.3 工程对小北干流湿地影响分析

古贤水库对小北干流河段湿地的影响主要集中在运行期。工程运行后, 通过改变小北干流河段河势、水文过程和漫滩洪水等湿地水源补给条件, 从而对湿地、鸟类等

产生影响。同时，考虑到小浪底水库的工程任务、规模、运行方式与古贤水库基本相似，其下游的花园口至高村河段为游荡型河道，因此，本次评价选取小浪底水库下游的花园口至高村河段作为类比河段，通过回顾小浪底水库对黄河下游花园口至高村河段湿地的影响，类比分析古贤水库可能对小北干流河段湿地的影响。

11.3.1 影响途径分析

从湿地生态系统现状调查可知，影响小北干流湿地的主要途径有：

（1）河势形态。小北干流河段游荡摆动的河势特性是形成沿河洪漫湿地的重要基础，塑造了该河段湿地的总体格局。

（2）流量过程的影响。沿河洪漫湿地与黄河地表水作用最为密切，河道断流或极端低流量过程的出现对小北干流湿地的影响较大，维持河道适宜的生态流量是保护和修复湿地生态环境的关键。

（3）漫滩洪水的影响。小北干流不同湿地类型之间的转换主要受黄河来水的控制，在不同径流条件下，河流水面和河漫滩湿地之间相互转换。

（4）地下水的影响。古贤水库运行后，随着河槽的不断冲刷，河道两岸一定范围内的地下水位随之下降，地下水对湿地的补给作用也将发生变化。

通过分析古贤水利枢纽工程运行后小北干流河段河势、流量过程、漫滩洪水和地下水变化，进而分析对湿地的规模、结构、功能、动植物资源的影响。

11.3.2 河段水文过程变化

11.3.2.1 优化调整过程

为最大程度降低古贤水利枢纽工程建设和运行对小北干流河段湿地产生的不利影响，环评单位与设计单位进行了充分的沟通互动，不断优化古贤水利枢纽工程调度运行方式。针对可研原设计中仅要求按照最小生态流量 $180\text{m}^3/\text{s}$ 下泄，未考虑小北干流河段湿地生态需水要求，环评单位从坝址下游各敏感保护目标需水特性出发，根据河段生态功能定位和保护要求，统筹流域水资源支撑条件，对工程下泄生态流量进行了全面复核和细化，并将耦合后生态流量指标反馈给设计单位，作为古贤水库最小下泄流量要求，古贤水库 4~6 月最小下泄流量为 $240\text{m}^3/\text{s}$ ；7~10 月最小下泄流量为 $336\text{m}^3/\text{s}$ ，

其余月份下泄流量不低于 $180\text{m}^3/\text{s}$ 。通过这一优化，古贤水库下泄流量较原设计文件有了很大的提升，该河段生态流量满足程度达到了 100% 。下面对优化后的流量过程进行分析。

11.3.2.2 优化后流量过程

分别选取丰水年（ $P=25\%$ ，1969 年）、平水年（ $P=50\%$ ，1962 年）、枯水年（ $P=75\%$ ，1973 年）、特枯水年（ $P=90\%$ ，1980 年）等典型年份，分析古贤水库建库前后龙门水文站各典型年日均流量过程变化，如图 11.3.2-1 至图 11.3.2-4 所示。

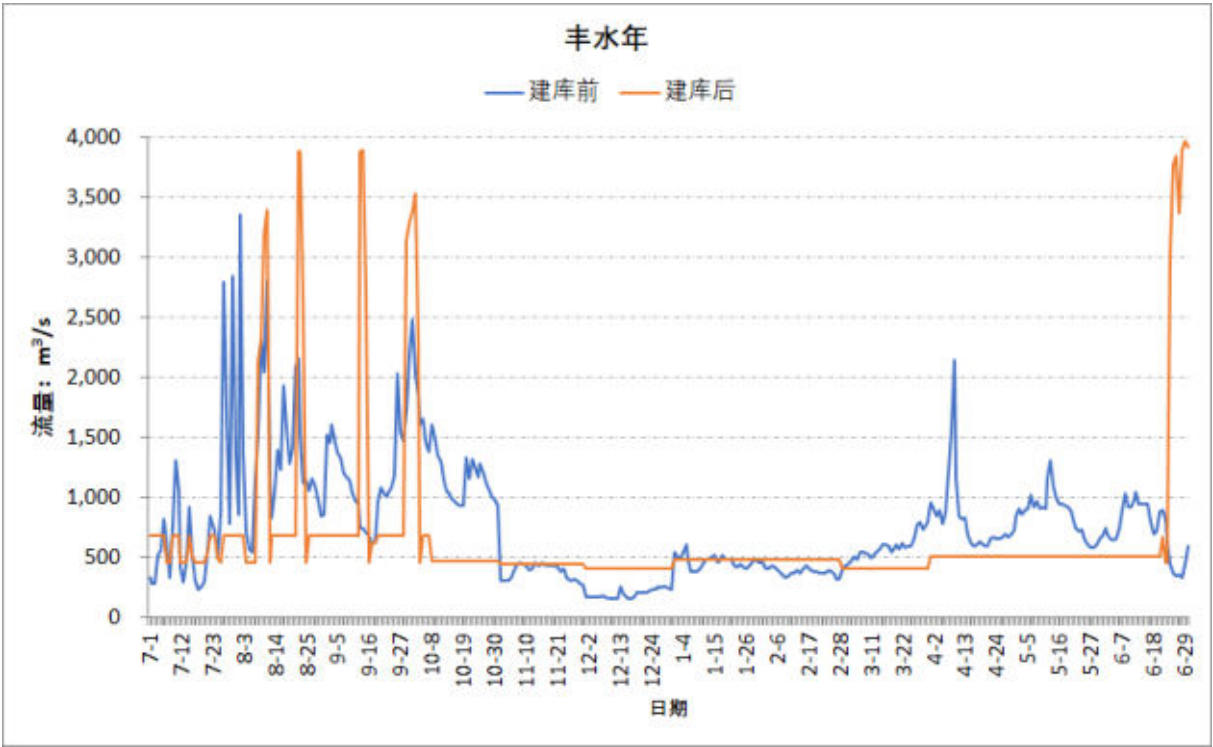


图 11.3.2-1 龙门站丰水年建库前后流量过程变化

丰水年份，最大日均流量由建库前的 $3363\text{m}^3/\text{s}$ 增加到建库后的 $3977\text{m}^3/\text{s}$ ，大于 $3000\text{m}^3/\text{s}$ 的天数由建库前的 1 天增加到建库后的 17 天。建库后大洪水过程主要发生在汛期，4 月中旬凌汛洪水消失；非汛期流量过程均匀化程度提高，非汛期流量主要位于 $380\sim730\text{m}^3/\text{s}$ 之间；11 月至 12 月流量过程增加较为明显，其余月份流量变化趋势总体与建库前相同。其中，12 月份流量过程由建库前的 $200\text{m}^3/\text{s}$ 左右增加到 $500\sim540\text{m}^3/\text{s}$ ，11 月份流量也由建库前的 $400\text{m}^3/\text{s}$ 增加到 $600\text{m}^3/\text{s}$ ；1~2 月流量过程位于 $380\sim470\text{m}^3/\text{s}$ ，3 月流量位于 $580\text{m}^3/\text{s}$ 左右，敏感期（4~6 月）流量为 $730\text{m}^3/\text{s}$ 左右。

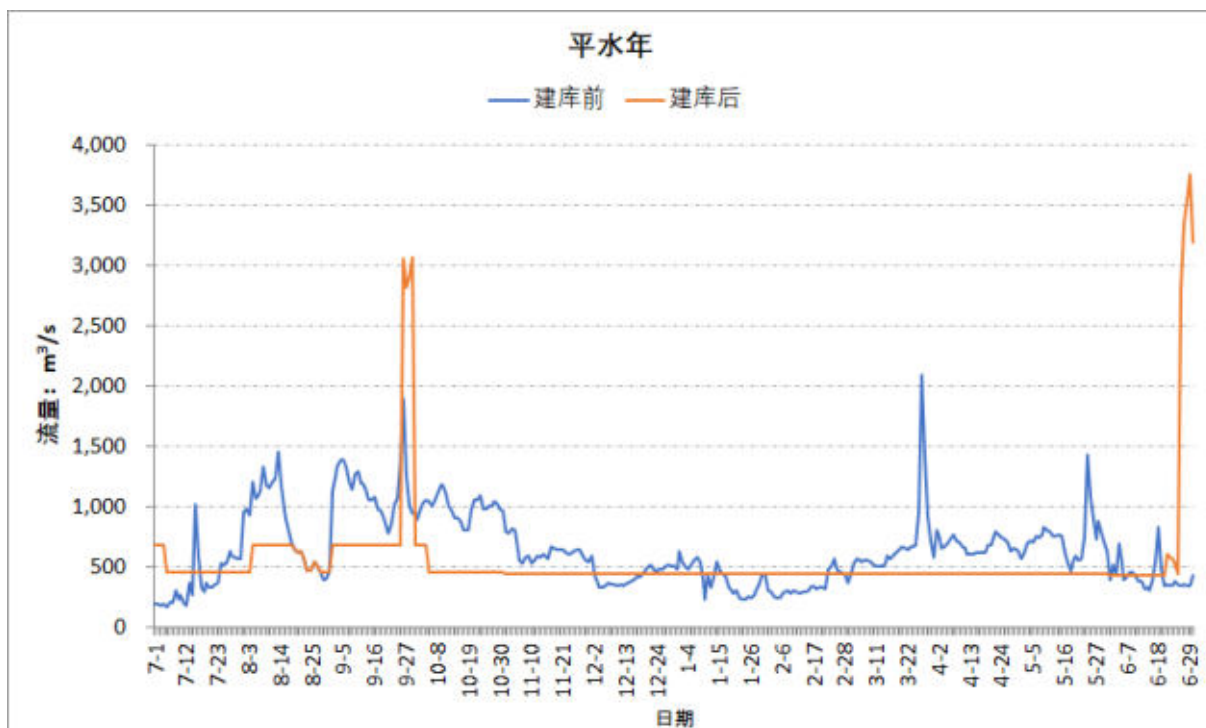


图 11.3.2-2 龙门站平水年建库前后流量过程变化

平水年份，最大日均流量由建库前的 $2090\text{m}^3/\text{s}$ （凌汛洪水）增加到建库后的 $3763\text{m}^3/\text{s}$ ，大于 $3000\text{m}^3/\text{s}$ 的天数由建库前的 0 天增加到建库后的 6 天。大洪水过程主要发生在汛期，4 月凌汛洪水消失；非汛期流量过程更加均匀，主要位于 $540\sim 590\text{m}^3/\text{s}$ 之间。枯水期（12 月~2 月）、6 月~7 月流量过程增加明显，其余月份流量过程减少。

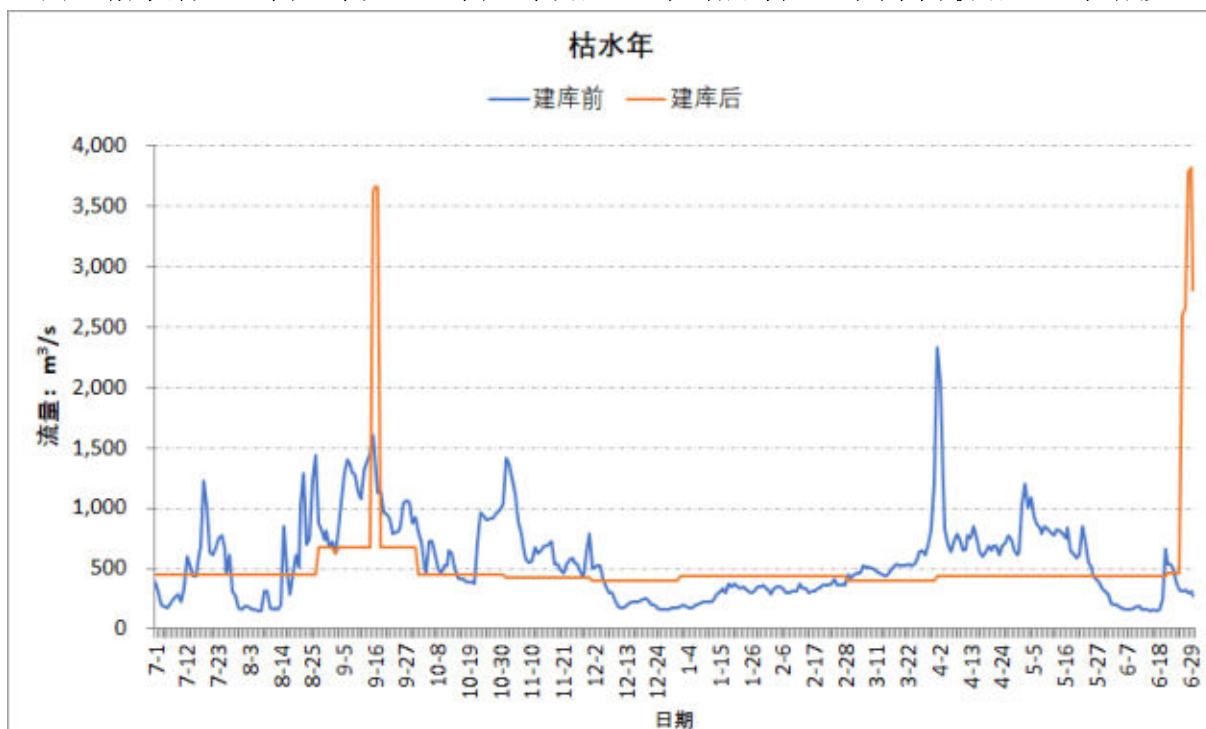


图 11.3.2-3 龙门站枯水年建库前后流量过程变化

枯水年份，最大日均流量由建库前的 $2334\text{m}^3/\text{s}$ （凌汛洪水）增加到建库后的 $3822\text{m}^3/\text{s}$ ，大于 $3000\text{m}^3/\text{s}$ 的天数由建库前的 0 天增加到建库后的 5 天。大洪水过程主要发生在汛期，4 月凌汛洪水消失；非汛期流量过程更加均匀，主要位于 $340\sim530\text{m}^3/\text{s}$ 之间。其中，12 月、6 月流量过程增加，其余月份流量过程减少。

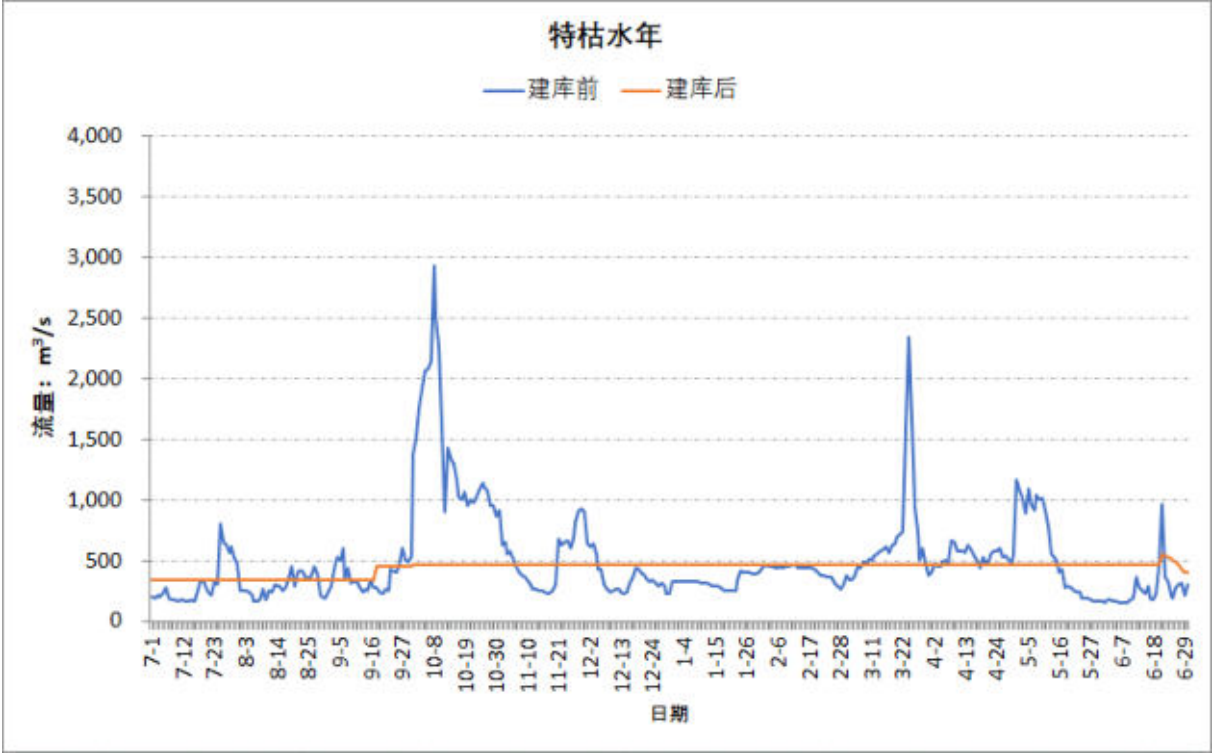


图 11.3.2-4 龙门站特枯水年建库前后流量过程变化

特枯水年份，全年流量过程更加均匀，其中，枯水期（12 月~2 月）、5 月下旬至 6 月流量过程增加，其余月份流量过程减少。

综上，古贤水库的调度运行，使得丰水年、平水年、枯水年来水情况下龙门断面最大日均流量分别由建库前的 $3363\text{m}^3/\text{s}$ 、 $2090\text{m}^3/\text{s}$ 、 $2334\text{m}^3/\text{s}$ 增加到建库后的 $4000\text{m}^3/\text{s}$ 左右，最大日均流量较建库前均有不同程度的提升， $3000\text{m}^3/\text{s}$ 以上大流量过程及其持续时间均有了较大程度的提升，提高了河段的水动力条件；建库后洪水过程主要发生在汛期，凌汛期洪水过程基本消失，低于 $200\text{m}^3/\text{s}$ 的小流量过程基本消失；非汛期流量过程主要位于 $340\sim600\text{m}^3/\text{s}$ 之间，流量过程均匀化程度提高。其中枯水期和 5-6 月份的流量过程增加。

11.3.3 河势（河型）变化

11.3.3.1 近年来小北干流河势变化情况

20 世纪六十年代以前，小北干流河段属于天然河道，河势极不稳定，经常造成冲滩塌岸，严重影响两岸人民生活生产和社会经济发展，历史上晋、陕两省为争种滩地而发生纠纷的现象屡有述载。七、八十年代开始，河道两岸地方陆续修建一些河道整治工程，在一定程度上束缚了河道摆动。90 年代以来，以缓解两省耕地纠纷为目的、严格沿国务院批复的治导线修建的河道整治工程陆续建设，1998 年、2005 年由国家批准实施了两期河道整治工程建设，强化了河道边界，大大缩小了河势游荡摆动范围，部分河段甚至形成了较为稳定的流路，有效防止了两岸塌岸塌滩，对稳定两岸经济社会发展起到了重要作用。

禹门口至庙前河段河势自 1990 年至 2016 年河势由左岸逐年向右岸摆动，最大摆幅达 2000m 左右；庙前至夹马口河段河势相对稳定；夹马口至潼关河段平均河宽达到 10km，两岸河床抗冲性较差，呈现出游荡型河段水流宽浅散乱的特点，经过两期工程治理，水流在两岸河道整治工程约束下，摆动范围除局部河段外，基本上被控制在控导（护岸）工程以内。

11.3.3.2 小北干流河势变化预测

在充分咨询业内专家的基础上，综合考虑小北干流河段河势历史变化特点，预测古贤水库建成后，小北干流河段游荡摆动的河势特性不会发生根本性改变，随着小北干流河段两岸控导（护岸）工程的不断完善，小北干流河势摆动幅度将控制在两岸控导（护岸）工程之间的范围内。

11.3.4 河道形态影响

11.3.4.1 小浪底水库对下游河段河道形态影响回顾

由于水动力条件、河道冲淤的不断变化，河道断面形态也会出现相应的调整，考虑到黄河下游游荡型河道主要分布在花园口至高村河段，选取花园口、高村断面等代表性断面，分析小浪底运行前后河道断面形态的变化。可以看出：

（1）全线冲刷

无论花园口断面还是夹河滩、高村断面，随着水库运行，断面均发生了不同程度

的刷深。1999 年各河道断面基本呈现宽浅的形态，河道主槽不明显。经过连续多次的调水调沙和大洪水下泄，目前，各断面基本都形成了窄深的河道主槽形态。

(2) 上游河道刷深较大，下游刷深较小

从断面形态测量结果来看，在调水调沙运行下，花园口断面刷深要大于夹河滩断面，夹河滩断面刷深要大于高村断面，即在全线刷深成槽的前提下，越靠近上游，河床刷深效果越显著。初步分析认为，这是由于花园口至夹河滩河段仍属于游荡性河段，河床相对较宽，起到了滞洪、削峰的作用，使同样来水条件下，刷槽作用降低。

(3) 游荡型河床特性仍在，但摆动范围缩小

花园口至夹河滩河段之间属于典型的游荡型河道，在刷深河槽后，遇到洪水过程后仍然会发生河槽迁徙的现象。花园口断面的河道摆动幅度要小于夹河滩断面的摆动幅度。

综上，小浪底水库运用后，通过调水调沙和清水下泄使得黄河下游河道主槽全线冲刷，整个下游河段平均冲刷深度大约为 1.9m，花园口断面在小浪底拦沙初期（1999-2007 年）平均刷深 1.7m，至 2015 年平均刷深 2.4m，呈现上游河道刷深较大，下游刷深较小的特点。同时，河道形态向天然状态（1986 年之前）演变，其中花园口的主槽平均宽度和平均滩槽高差均已超过 1960 年，高村断面的平均滩槽高差也超过了 1960 年，花园口和高村河段在拦沙后期主槽宽度均于稳定。

11.3.4.2 小北干流河道形态变化分析

在类比黄河下游河段回顾影响分析的基础上，基于工程运行后河段水沙情势的变化，分别在小北干流河段的上段、中段、下段各选取 3 个黄淤断面作为代表断面（图 11.3.4-1），通过构建河流水动力学模型，预测了古贤水库不同运行时期第一年各典型黄淤断面形态的变化。

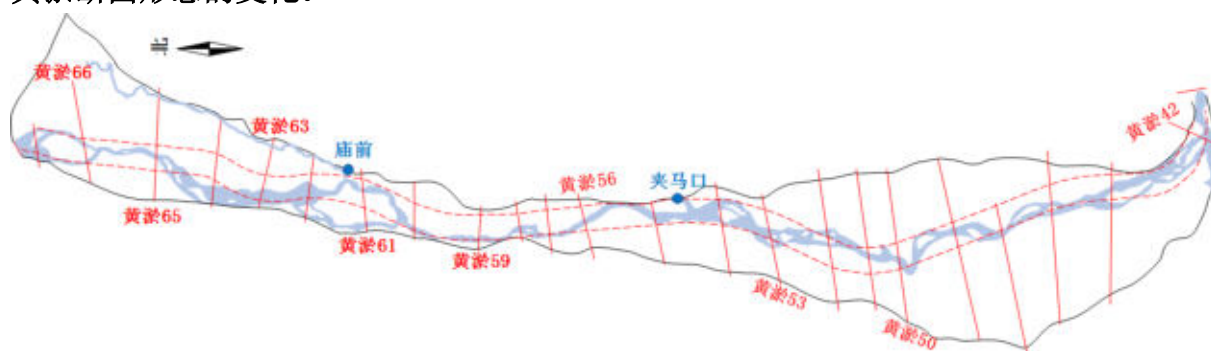


图 11.3.4-1 小北干流河段典型黄淤断面位置示意图

(1) 小北干流上段

在小北干流禹门口至庙前河段，选取黄淤 63、65、66 作为河段代表断面，通过分析各断面形态变化，分析古贤水库不同运用期小北干流上段河道形态变化。结果表明，古贤工程运行后，受古贤出库冲刷影响，本段将会首先发生冲刷，刷深呈沿程逐渐减小的变化趋势，并且除主河槽冲刷较为强烈外，河槽边缘处也有一定程度的冲刷。整个拦沙期最大刷深为 1.9m 左右，平均刷深由黄淤 66 断面的 1.77m 逐渐下降到黄淤 63 断面的 1.68m；其中，拦沙初期最大刷深为 1.01m 左右，平均刷深由 0.89m 逐渐下降到 0.79m；拦沙后期最大刷深为 0.89m 左右。

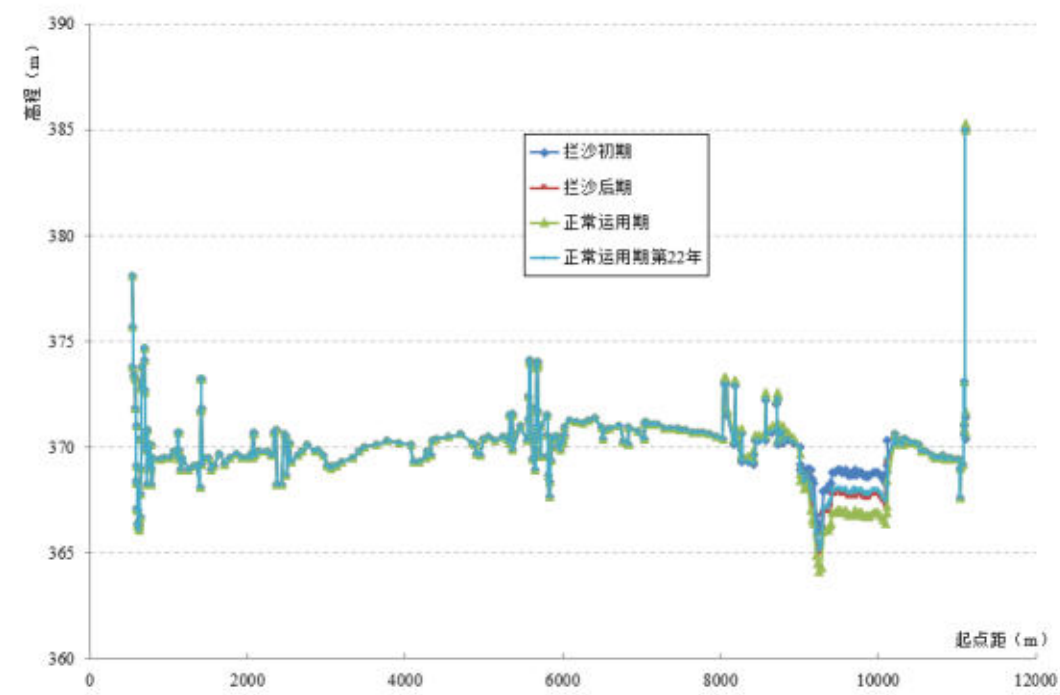


图 11.3.4-2 小北干流上段河道形态变化情况图（以黄淤 65 断面为例）

(2) 小北干流中段

在小北干流庙前至夹马口河段，选取黄淤 56、59、61 作为河段代表断面，通过分析各断面形态变化，分析古贤水库不同运用期小北干流中段河道形态变化。结果表明，河段刷深呈现先减小后增大的趋势，在黄淤 56 断面处刷深达到最大值。该河段上半部分整个拦沙期最大刷深达 1.53m。其中拦沙初期，最大刷深为 0.78m；拦沙后期，最大刷深 0.75m。黄河 56 断面刷深最大，整个拦沙期刷深达 2.4m，其中拦沙初期刷深 1.47m，拦沙后期刷深 0.93m。

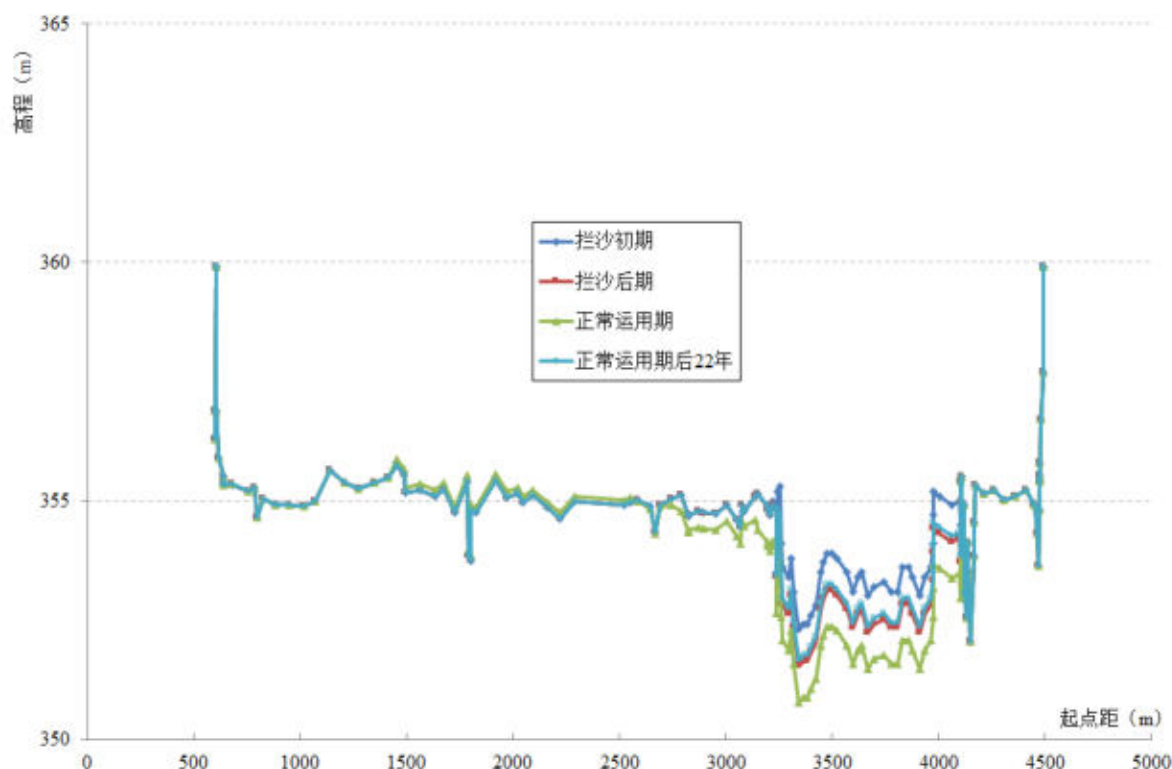


图 11.3.4-3 小北干流中段河道形态变化情况图（以黄淤 59 断面为例）

（3）小北干流下段

小北干流整体河段呈纺锤形，或哑铃型。黄河出小北干流河段中游后，河势重新展开，恢复游荡河势。但同时，小北干流河段下段也是河段农业开发最广泛的河段，两侧有面积最大的永济滩和朝邑滩，主要是三门峡库区移民返迁集中地。为了防护该滩区的安全，本处河道整治工程对河势整治较严。受两岸工程约束，此处的黄河河道一般在工程范围之内摆动，迁徙范围受到压缩，展宽面积与上段相比，范围大大缩减。

在小北干流夹马口至潼关河段，选取黄淤 42、50、53 作为河段代表断面，通过分析典型断面形态变化，分析古贤水库不同运用期对小北干流下段河道形态的影响。结果表明，河段刷深呈现逐渐减小的趋势。从黄淤 53 断面到黄淤 42 断面，整个拦沙期最大刷深由 2.09m 逐渐下降到 1.91m，其中，拦沙初期最大刷深由 1.15m 逐渐下降到 1.01m，拦沙后期逐渐由 0.94m 下降至 0.90m。

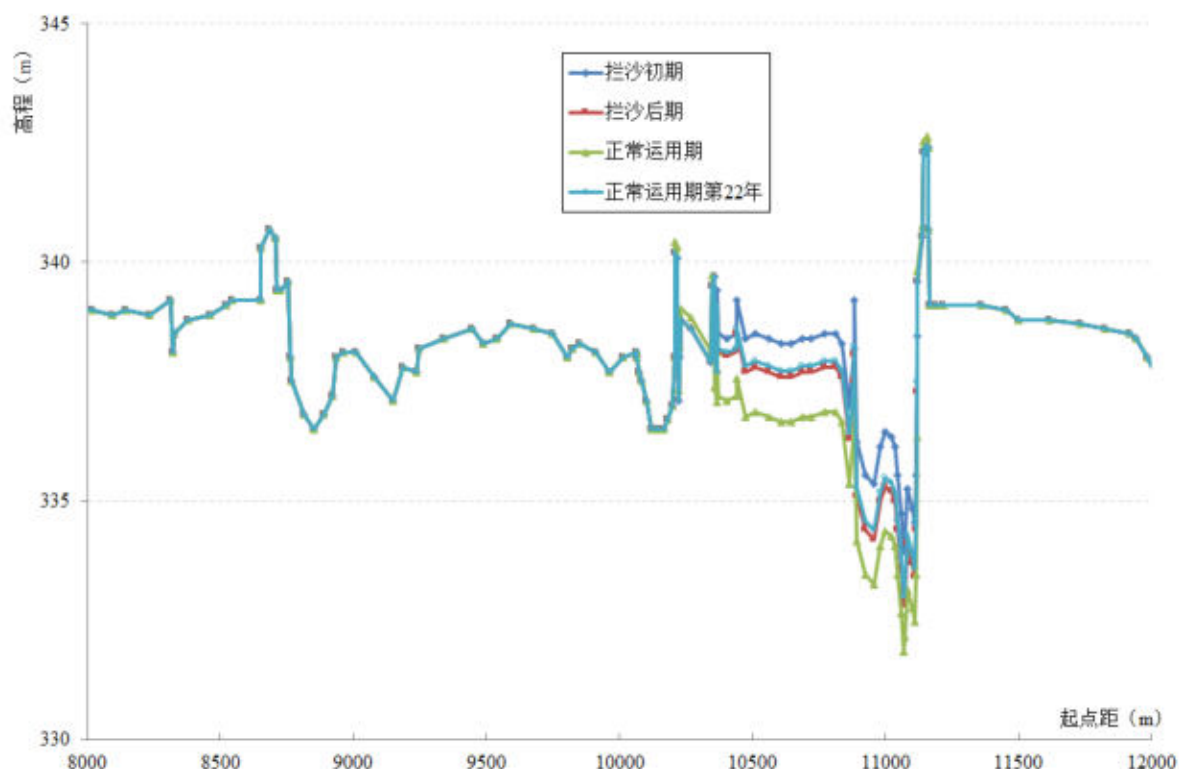


图 11.3.4-4 小北干流下段河道形态变化情况图（以黄淤 50 断面为例）

综上，古贤水库运行后，小北干流河道断面形态将逐渐由宽浅型向窄深型演变。整个拦沙期，小北干流河段平均刷深位于 1.9~2.4m。其中拦沙初期小北干流河段平均刷深位于 0.78~1.47m 之间，在此基础上，拦沙后期将继续刷深 0.75~0.94m。

11.3.5 漫（嫩）滩洪水影响

11.3.5.1 平滩流量

以低滩湿地所在的嫩滩作为平滩流量的滩唇，分析古贤水库不同运用时期小北干流河段典型段面平滩流量变化情况如表 11.3.5-1 所示。在拦沙期，随着河道形态的不断冲刷，各断面平滩流量逐渐增加，拦沙初期第一年整个河段平滩流量为 2783m³/s，拦沙后期第一年河段平滩流量增加为 5084m³/s，正常运用期第一年进一步增加到 7379m³/s，进入正常运用期后，古贤水库冲淤平衡，小北干流河段开始回淤，平滩流量逐渐下降，至正常运用期第 22 年，整个河段平滩流量为 4818m³/s，基本回淤到拦沙后期第一年水平，此后，随着河道不断回淤，平滩流量进一步下降。

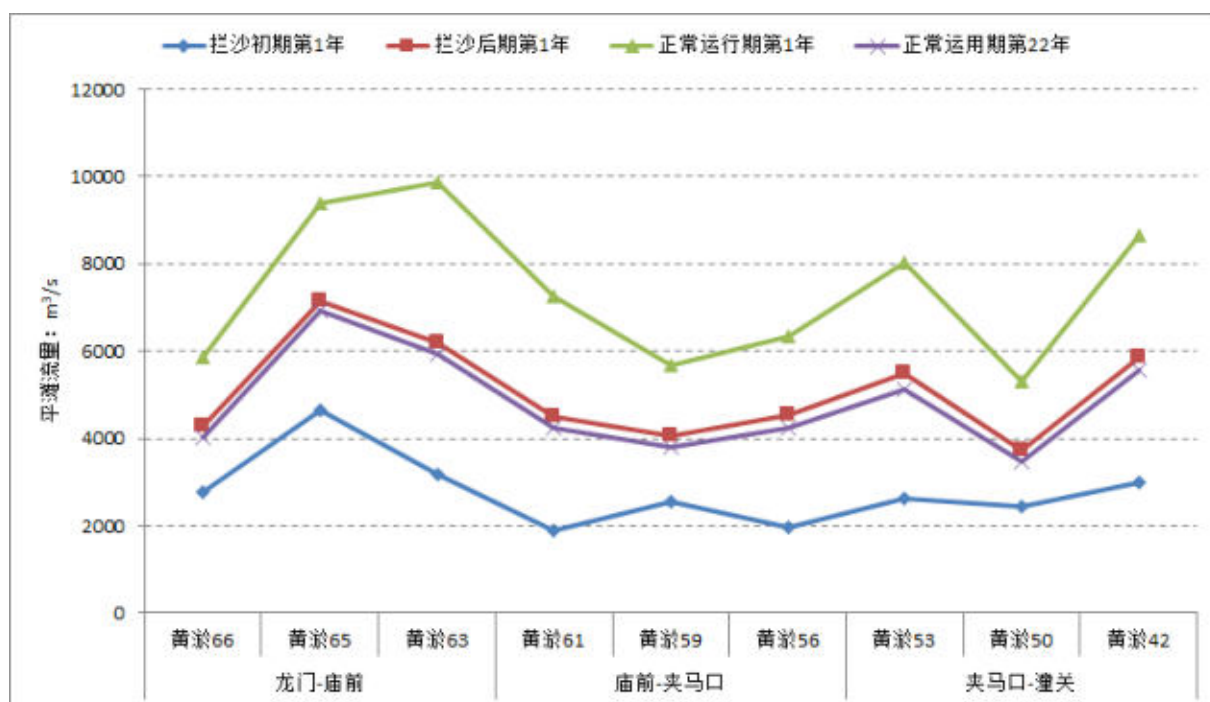


图 11.3.5-1 古贤水库不同运用时期小北干流河段典型断面平滩流量变化

表 11.3.5-1 古贤水库不同运用时期小北干流河段典型断面平滩流量变化

河 段	断 面	平滩流量 (m³/s)			
		拦沙初期第一年	拦沙后期第一年	正常运用期第一年	正常运用期第 22 年
禹门口~庙前	黄淤 66	2759	4276	5856	4015
	黄淤 65	4641	7130	9405	6920
	黄淤 63	3195	6174	9867	5920
庙前~夹马口	黄淤 61	1894	4489	7247	4260
	黄淤 59	2558	4071	5692	3810
	黄淤 56	1948	4543	6331	4255
夹马口~潼关	黄淤 53	2632	5479	8044	5130
	黄淤 50	2440	3717	5310	3480
	黄淤 42	2977	5876	8660	5570
小北干流河段		2783	5084	7379	4818

11.3.5.2 漫（嫩）滩天数

根据小北干流湿地用水需求，结合古贤水库冲刷潼关高程及联合小浪底水库调水调沙运用等，项目对古贤水库运行方式进一步优化，在每年的 4~7 月塑造 3000~4000m³/s 的漫滩洪水过程。对比古贤建设前后不同来水年份漫滩天数变化（表 11.3.5-2），可以看出，拦沙初期由于古贤水库的调节作用，使得 3000m³/s 以上流量天数显著增加（特枯水年除外），丰水平、平水年、枯水年时漫滩天数分别由建库前的 4 天、0 天、0 天增加到 18 天、7 天、5 天，漫滩天数增加明显；随着河道的不断冲刷，平滩流量增加，漫滩天数逐渐减少，至拦沙后期第一年，不同来水年份漫滩天数均下降到 0 天，但考虑到该时期最大日均流量 4000m³/s 的洪水过程日内变化，距离平滩流

量 5084m³/s 较近，该时期丰、平、枯水年份部分河段仍有可能发生短期局部漫滩过程。但随着平滩流量的进一步增加，漫滩洪水发生的几率越来越少。至正常运用期第 22 年，平滩流量恢复到拦沙后期第一年水平，此后漫滩洪水发生的几率逐渐增加。

表 11.3.5-2 古贤建设前后不同来水年份漫滩天数变化

时 期	平滩流量(m³/s)	不同来水年份漫滩天数（天）			
		丰水年	平水年	枯水年	特枯水年
无古贤	2783	4	0	0	1
拦沙初期第一年	2783	18	7	5	0
拦沙后期第一年	5084	0	0	0	0
正常运用期第一年	7379	0	0	0	0
正常运用期第 22 年	4818	0	0	0	0

注：拦沙初期、拦沙后期、正常运用期分别指该时期的第一年。

11.3.6 地下水影响

工程运行会引起坝址下游黄河水文情势变化，由于地下水与地表水存在水力联系，坝址下游区域地下水动态将会发生变化。根据第 9.2.3 节构建的地表水-地下水耦合数值模型模拟结果，古贤水库运行对黄河小北干流两岸湿地地下水水位的影响较小，最大影响范围在河道外侧 0.95km 范围之内，地下水降幅基本在 0~0.5m 之间，其中陕西侧湿地地下水下降幅度略小于山西侧湿地地下水降幅，受黄河水位变化影响更小。小北干流两侧湿地地下水水位受影响预测情况见 11.3.6-1 所示。

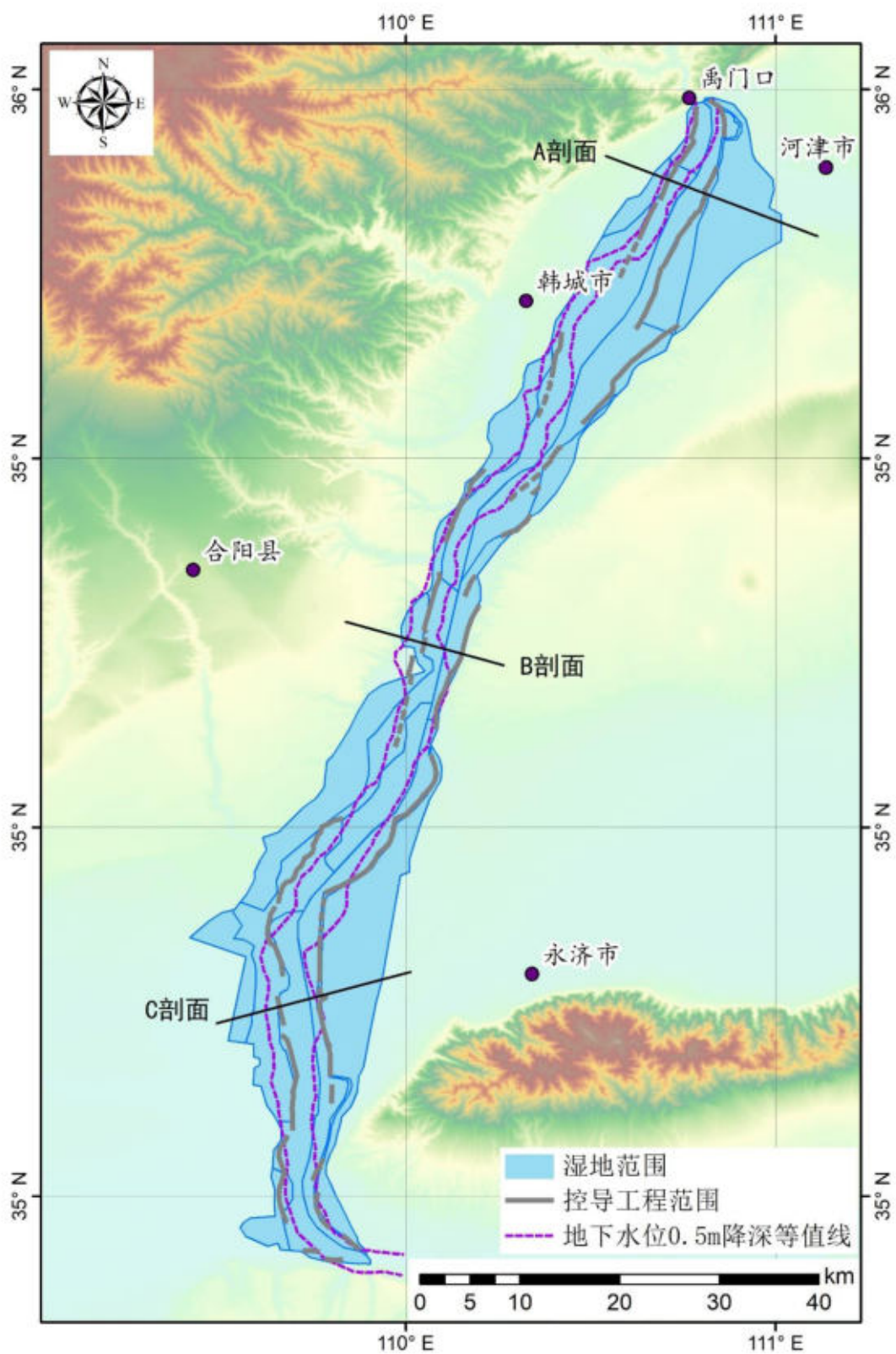


图 11.3.6-1 建库后小北干流河段湿地地下水位影响范围图

11.3.7 工程对湿地影响分析

1. 小浪底水库对黄河下游河段湿地的影响回顾分析

考虑到黄河下游花园口至高村河段位于小浪底水库下游，也是黄河上典型的游荡摆动型河段，与小北干流河段具有较好的可类比性。借助遥感解译技术，对小浪底水库运行前后该河段典型时期遥感影像进行解译分析，如图 11.3.7-1 所示。结果显示，随着小浪底水库的建设运行，花园口至高村河段河流湿地面积呈现先增加再减少近期趋于稳定的趋势。其中，拦沙初期（1999~2007 年）河流湿地呈增加趋势，2006 年较 1999 年增加了 12%；进入拦沙后期后，河流湿地面积呈现先减少近期趋于稳定的趋势。

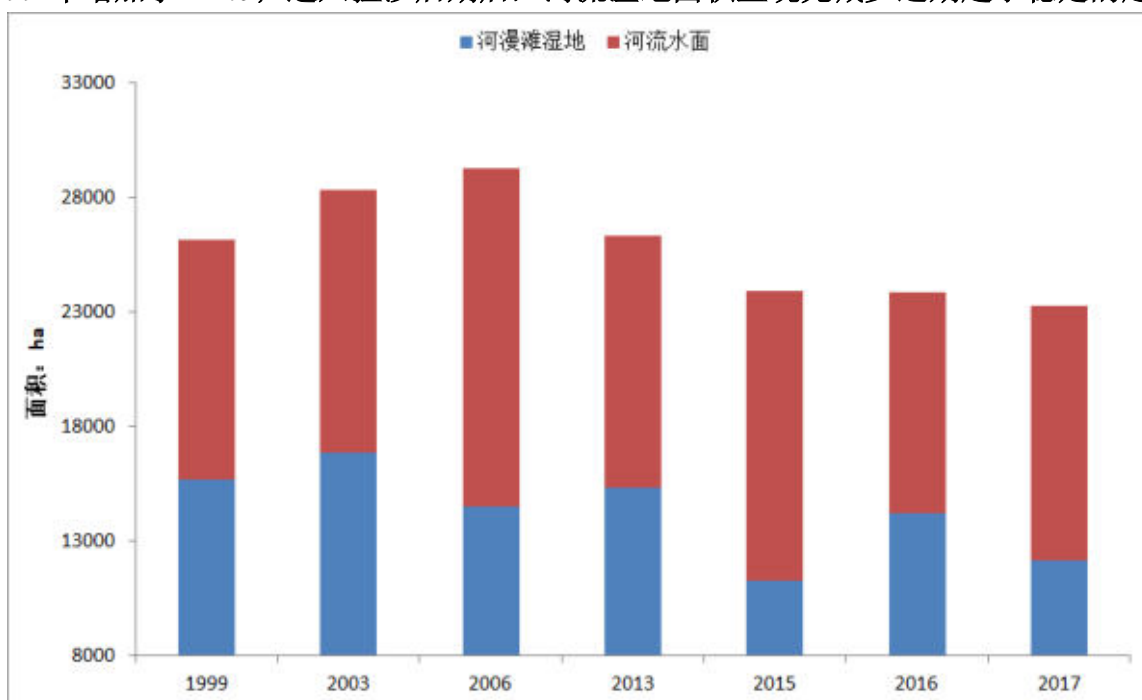


图 11.3.7-1 小浪底水库运行后花园口至高村河段天然湿地面积变化趋势

2. 古贤水库运行对小北干流湿地影响

古贤水库运行后，小北干流河段河势游荡摆动的特性不会发生根本改变，湿地总体格局不会受到影响；河段生态流量满足程度由近 20 年的 86.8% 提高到 100%，为湿地的维持提供了水资源条件。因此，古贤水库运行对小北干流湿地总体格局和规模不会产生显著影响，但随着河槽的不断刷深，部分时段将对湿地结构产生一定的影响。

拦沙初期，小北干流河段平均刷深在 0.78~1.47m 之间，使得平滩流量逐渐由拦沙初期第一年的 2800m³/s 增加到拦沙后期第一年的 5000m³/s 左右，不利于漫滩洪水的补给；但是古贤工程通过优化调度运行方式，在 4-7 月份塑造 3000~4000m³/s 的洪水脉冲

过程，丰水年、平水年、枯水年漫滩天数分别由无古贤时的 4 天、0 天、0 天增加到拦沙初期的 18 天、7 天、5 天，而现状 2010 年以来仅有三分之一的年份发生了漫滩洪水，因此，拦沙初期漫滩范围及漫滩洪水补给量较现状均有一定程度的增加。

拦沙后期，随着小北干流河段的持续刷深，河道摆动幅度变小，漫滩洪水发生的几率逐渐减小，部分河流水面将向河漫滩湿地转化。通过采取生态调度、洪峰塑造、建设湿地生态补水工程和鸟类栖息地保护工程等措施，可基本维持现有湿地规模。类比黄河下游花园口至高村河段河流湿地变化发现，预计进入拦沙后期以后，随着古贤水库的调度运行，小北干流两岸河流湿地将逐渐适应新的水源补给条件，河流湿地结构也将逐渐趋于稳定。

11.3.8 工程对湿地植物影响分析

根据前面湿地植被与黄河水力联系分析可知，4-6 月黄河以地下水侧渗的形式补给两岸湿地植被，7-10 月汛期以漫滩洪水形式补给。

1. 汛期漫滩洪水变化对湿地植物的影响

拦沙初期，不同来水年份漫滩天数较建库前均有增加，漫滩时间将由现状年 7-9 月提前到 6 月底至 7 月初，该时段是湿地植被生长旺盛期，部分植物已进入花期，将更加有利于植物的生长发育；拦沙后期，漫滩洪水发生机率逐渐减少，将对植物水源补给产生一定影响，但考虑到现状年仅有三分之一的年份发生漫滩，并且漫滩时间集中在主汛期，该时段降雨较多，因此认为漫滩洪水的减少不会对湿地植物产生显著的影响；进入正常运用期后，漫滩洪水发生机率增加，至正常运用期第 22 年，漫滩洪水基本恢复至拦沙初期水平，对湿地植物的影响同拦沙初期。

2. 4-6 月地下水变化对湿地植物的影响

①植物生长对地下水埋深的要求

植物需要有适宜生长的地下水位，最低值称之为凋萎水位。地下水埋深不超过根系深度与土壤毛细上升高度之和时，植物生长良好，否则植物就发生凋萎以至死亡。

该河段湿生植物主要包括芦苇、香蒲、荻等，常分布在河岸边、池塘或滩地中的沼泽地段，根系发育深度一般小于 0.3m；湿地中生植物主要包括狗牙根、虎尾草、鹅绒藤等，一般分布在二滩或高滩区域，根系发育深度一般在 0.5-1.0m。结合野外调查

资料及国内已有相关研究成果，发现湿地范围内毛细水上升高度一般在 1.0-1.5m 之间，因此，河段湿生植物的极限地下水位埋深为 1.3-1.8m；湿中生植物或中生植物地下水位极限埋深在 1.5-2.5m。

②生态流量满足程度变化

4-6 月为小北干流河段湿地生长旺盛期，也是黄河流域水资源供需矛盾最为突出的时段，河段生态流量的满足程度在一定程度上可以反映地表水对两岸地下水的侧渗补给情况。古贤建库前枯、特枯来水年份 4-6 月生态流量满足程度分别为 80%、69%，古贤水库运行后生态流量满足程度达到 100%，将有利于维持良好的湿地水源补给条件，促进湿地的保护和维持。

③地下水变化对湿地植物的影响

小北干流湿地范围内，湿生植物所在区域一般土壤含水量较高，地下水埋深在 0.3 米以内，湿中生植物所在区域地下水埋深低于 1~1.5 米。根据小北干流河段地下水影响分析结果，建库后极端不利条件下，最大影响范围在河道外侧 0.95km 范围之内，地下水降幅基本在 0~0.5m 之间，因此，古贤拦沙后期，河道刷深达到最大时，湿地范围内地下水埋深为 0.8-1.5m 左右，均低于各植物的极限地下水位埋深，因此，湿地植被仍可从地下水获得水源补给。

综上，拦沙初期，漫滩洪水增加、生态流量满足程度提高将对湿地植物产生积极影响；进入拦沙后期，漫滩洪水减少和河槽下切将对湿地水源补给产生一定不利影响，但考虑到现状年漫滩补给的天数较短、4-6 月生态流量满足程度提高到 100% 等因素，在采取湿地生态补水措施下，可基本维持现有湿地植被群落结构和功能。因此，古贤水库的运行不会给湿地的结构和功能带来明显不利影响。

11.3.9 工程对湿地鸟类影响分析

11.3.9.1 对湿地鸟类及栖息生境的影响

1. 小浪底水库对黄河下游河段鸟类影响回顾

根据《黄河小浪底水利枢纽工程环境影响后评价报告》，与小浪底工程运行前调查数据相比，沿黄湿地保护区中鸟类的种数和大多数鸟类的种群数量均有增加。以水鸟为例，据 1990~1995 年共六个隆冬季节的沿黄鸟类调查，共记录冬季水鸟 45 种（冬

候鸟 32 种，留鸟 10 种，旅鸟 3 种），本次调查记录水鸟 100 种，其中包括多年未记录的凤头鸊鷉、草鹭、大白鹭、黑鹳、花脸鸭、琵嘴鸭、鸳鸯、白头鹤、白枕鹤等。

以沿黄湿地保护区孟津段水鸟为例，与小浪底工程运行前相比，水鸟种数由 41 种增加到 98 种（图 11.3.9-1）。

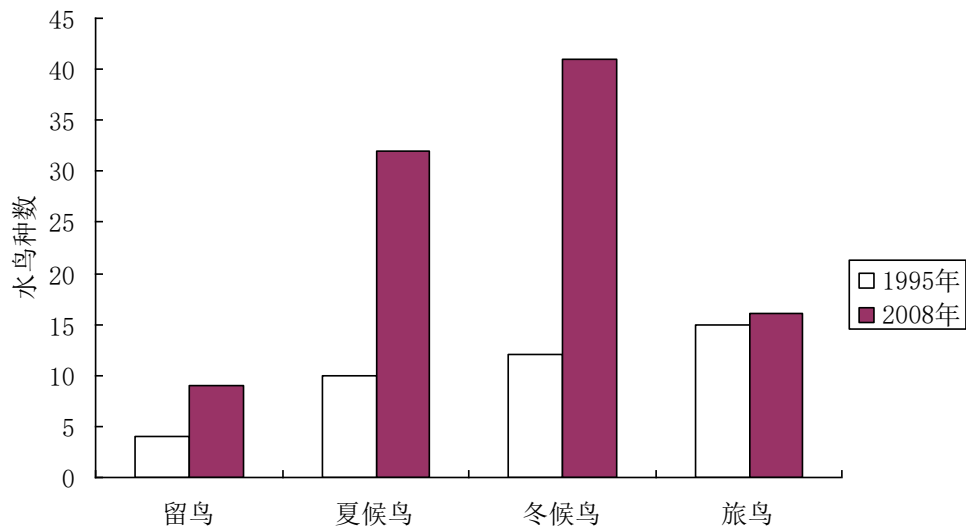


图 11.3.9-1 小浪底水库运行前后孟津段水鸟种类变化

2. 古贤工程对小北干流河段鸟类影响

对于小北干流河段生活在林地、草地及农田的鸟类来说，工程对其栖息环境影响小，不会给这部分鸟类的栖息和生活带来影响。古贤工程主要影响栖息生境位于河流湿地区域的鸟类。根据调查，水域是雁鸭类和鸕鹚类鸟类的重要觅食和休息生境，河漫滩湿地是雀形目鸟类的重要栖息地；重点保护鸟类中水鸟有 8 种，占 38%，主要为冬候鸟(11 月至次年 3 月)或旅鸟(4 月和 10 月短暂停留)。

古贤水库运行后，小北干流河段湿地总体格局和规模不会发生显著变化，随着河槽的不断刷深，河流水面主要集中在主河槽内，同时，河段流量过程均匀化程度提高，水位变幅减小，裸滩失水，其上植被覆盖度增加，裸滩湿地将逐渐向河漫滩湿地转化，河漫滩湿地面积增加，因此，对于栖息在河漫滩湿地的鸟类不会产生明显影响。

对于栖息在水域的鸟类来说，水域面积最小值是重要的影响因素，但河段鸟类数量高峰期（12 月~2 月）为小北干流河段的枯水期，地表径流较小且主要分布在主河槽范围内，古贤运行后最小流量过程有了明显的提升，其中，平水年份 12 月~2 月最小流量由建库前的 223~329m³/s 增加到建库后的 450m³/s 左右，枯水年份也由建库前的

161~289m³/s 增加到建库后的 440m³/s 左右，河水水域面积较建库前未发生大的变化。因此，对栖息于水域的鸟类栖息生境影响较小。

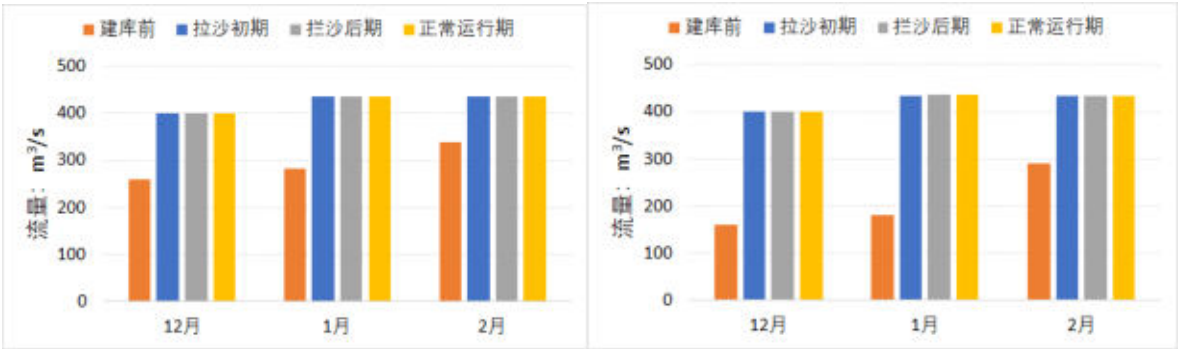


图 11.3.9-2 平水年（左）和枯水年（右）建库前后最小流量变化

3. 工程对重点保护鸟类的影响

根据山西大学、渭南师范学院近年来的鸟类观测及调查资料，小北干流河段分布的重点保护鸟类主要包括猛禽、陆禽、涉禽、游禽几种。其中猛禽主要为白尾海雕、苍鹰、大鵟、长耳鸮、红隼等，栖息生境主要位于高崖或林地，工程不会对其产生影响。陆禽主要为大鸨，既善奔跑，亦善飞翔，栖息于开阔的草原、半荒漠地区和离村庄较远的河滩地，本河段常见在合阳和大荔段的黄河滩涂农田中，取食冬小麦和遗失的玉米粒，因此，古贤工程运行不会对其越冬地和觅食地产生影响。

涉禽有灰鹤、黑鹳、白琵鹭、白腰杓鹬 4 种，灰鹤、黑鹳、白琵鹭种群数量较多，白腰杓鹬种群数量较少，偶尔能见到 1~2 只。其中，黑鹳食性为肉食，白琵鹭食性为杂食，现场调查到的越冬地和觅食地主要为河段内的人工荷塘、鱼塘或水田。灰鹤食性为植食，主要以各种植物和种子或植株为食，特别是谷作物居多，现场调查到的越冬地和觅食地主要集中在万荣县、合阳洽川镇、临猗县杨范村附近的大片农田，取食农田中的冬小麦和遗失的玉米粒。白腰杓鹬食性为肉食，种群数量较少，偶尔能见到 1~2 只，现场调查的栖息地主要为合阳洽川、大荔平民附近的人工荷塘、坑塘、水田、河流岸边等区域。因此，古贤工程运行不会对其栖息生境造成影响。

游禽中重点保护鸟类主要为大天鹅、鸳鸯、鸿雁、班头秋沙鸭等，但种群数量较少，该河段主要分布在合阳洽川附近的库塘鱼塘、开阔水域，主要分布在潼关下游的三门峡库区、伍姓湖等区域，本河段不是其集中分布区，因此工程也不会对其造成显著影响。

11.3.9.2 对其他湿地动物的影响

1. 两栖爬行类

黄河小北干流河段两栖类动物主要有中华蟾蜍、花背蟾蜍，均为陆栖型两栖类，主要分布在阴湿的草丛、土洞、砖石下，对于水流条件要求较低；该河段爬行类动物主要有虎斑颈槽蛇，为林栖傍水型爬行类，不是水栖型爬行类，常生活于河流、沟塘、水渠、稻田等近水区域，以蛙、蟾蜍、蝌蚪和小鱼为食，受水文情势和水环境变化影响较小。因此，工程运行期，黄河小北干流河段两栖爬行类动物不会受到显著影响。

2. 哺乳类

黄河小北干流河段哺乳类动物主要为草兔、刺猬、黄鼠、大仓鼠等，均为半地下生活型哺乳动物，主要在草丛、灌木丛内活动，工程基本不会对其产生影响。

11.3.10 工程对支流交汇口湿地影响

黄河小北干流河段主要有汾河、渭河 2 条较大支流汇入，古贤水库建设运行后主要对黄河干流河段水文情势和河道形态产生影响，工程调度运行并不会改变渭河、汾河等支流的水沙情势，对支流的影响主要体现在，随着小北干流河道和潼关高程的不断冲刷，将对支流河道产生溯河冲刷。溯河冲刷的强度与干支流河道高程差、支流径流量等有关。汾河自黄淤 64 断面进入黄河干流河道，于黄淤 61 断面附近汇入黄河主流，在黄河干流河道内左右摆动十余公里，因此，汾河汇入段基本位于黄河干流河道范围内，考虑到汾河径流量较小，综合分析认为汾河汇口段溯河冲刷强度较小，不会对汾河口湿地产生显著影响。

渭河在黄河干流黄淤 42 断面附近汇入黄河，潼关高程的下降将对渭河河道产生溯河冲刷。分析不同历史时期黄淤 42 断面形态变化（如图 11.3.11-1），发现该断面冲淤变化十分频繁，现状年较上世纪 80 年代平均淤积了 2 米左右。根据预测，古贤水库拦沙期黄淤 42 断面平均刷深 1.9 米左右，因此，古贤水库运行后，黄淤 42 断面不断刷深，至拦沙期结束基本恢复至上世纪 80 年代水平。渭河受溯河冲刷影响的区域包括两河交汇段和交汇段以上的渭河河道两部分，由于渭河河道河滩较窄，仅有部分零星区域分布有河漫滩湿地，因此，渭河入黄段天然湿地主要集中在两河交汇河段，该河段也是渭河溯河冲刷影响最为明显的区域。该河段渭河左右岸均建有控导工程，受工程束缚影响，两河交汇段的溯河影响区将主要集中在工程之间的区域内，渭河左侧控导工程

以北的大片河漫滩湿地水源补给以黄河水为主，受溯河冲刷影响较小，加上本次湿地补水工程措施中，该区域规划有陕西黄渭湿地补水工程，可以有效减缓渭河溯河冲刷对该区域湿地的影响，总体来看，溯河冲刷对渭河口附近湿地影响有限。

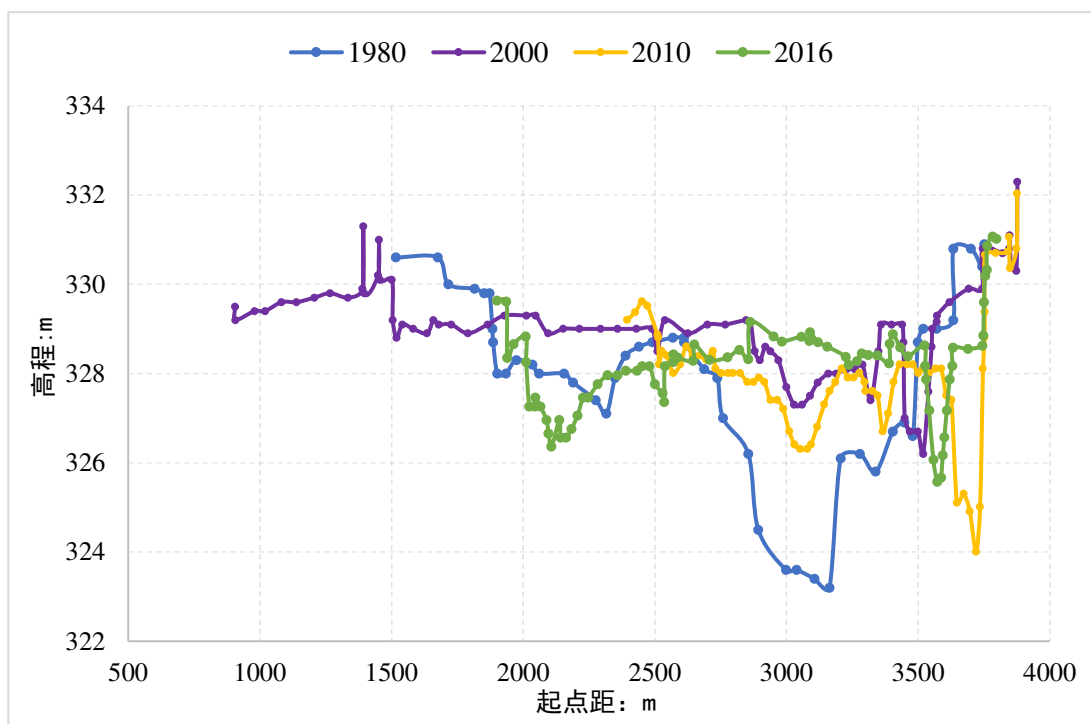


图 11.3.10-1 不同时期黄淤 42 断面形态套嵌图



图 11.3.10-2 现状年渭渭河入黄段遥感影像图

11.3.11 工程对自然保护区及结构功能的影响分析

(1) 工程与保护区位置关系

黄河小北干流河段分布陕西黄河湿地省级自然保护区、山西运城湿地省级自然保护区。两湿地自然保护区功能区划及其与湿地评价范围的空间位置关系如图 11.3.11-1 所示。可以看出，山西运城湿地省级自然保护区除了在小北干流河段分布外，在黄河潼关以下至小浪底河段、永济伍姓湖、运城盐湖等区域也有分布。小北干流湿地评价范围主要涉及到两自然保护区靠近主河道的部分。

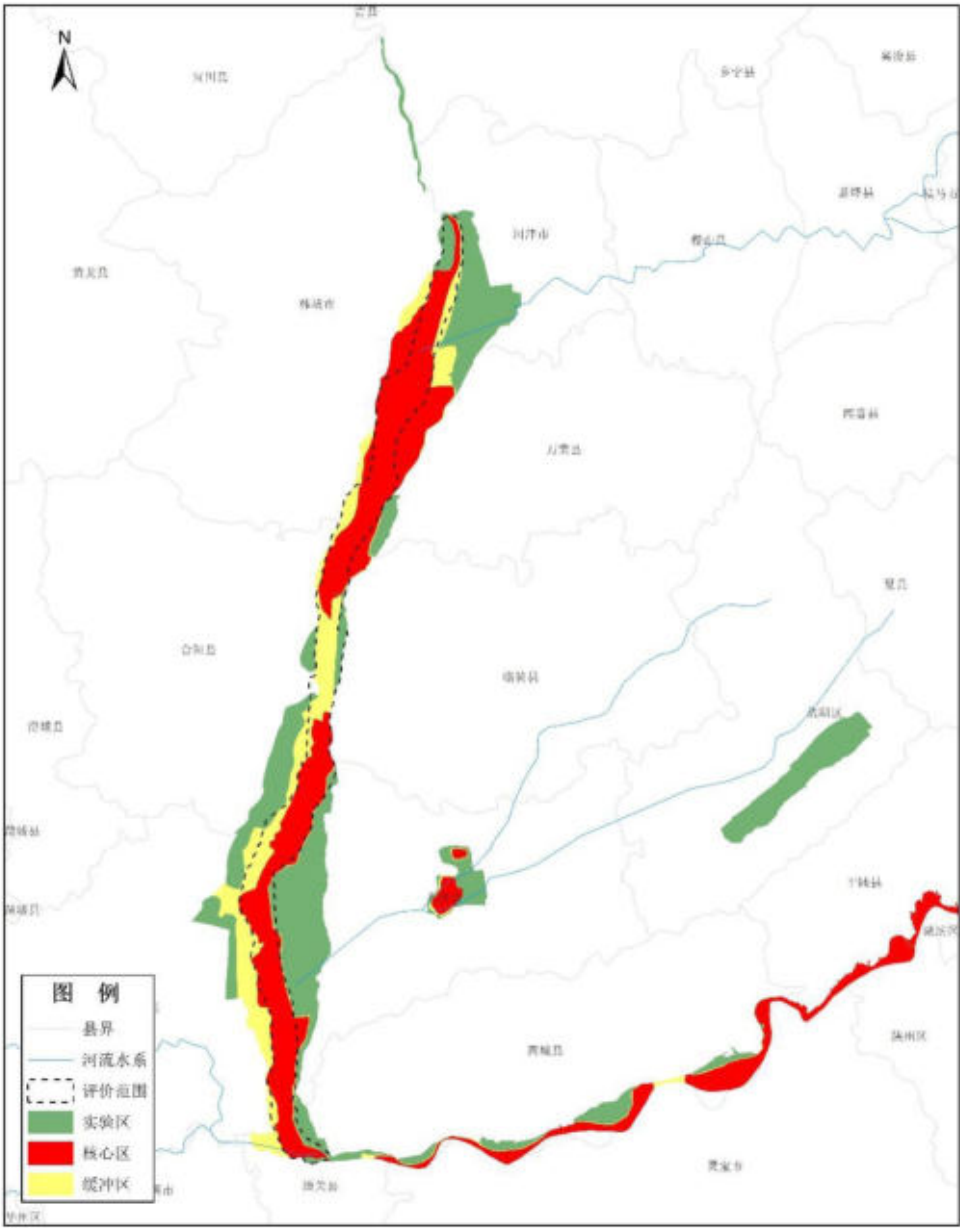


图 11.3.11-1 陕西、山西湿地自然保护区功能区划与湿地评价范围位置关系图

（2）对保护区结构和功能影响

古贤水库运行对小北干流河段的影响范围主要集中在河道两岸控导（护岸）工程之间的区域，对于控导（护岸）工程以外区域的自然保护区不会产生影响，根据两者空间位置关系可以看出仅影响到自然保护区靠近黄河河道一侧区域。天然情况下，该区域河势游荡摆动频繁，河床冲淤变化强烈，河流水面与河漫滩湿地之间动态转化。而古贤工程施工和工程占压均不涉及自然保护区，工程对自然保护区影响主要表现在运行期水库调度对河段水文情势、河道冲淤的影响，古贤运行后小北干流河段游荡摆动的河势特性未发生根本改变，天然湿地的总体格局不会发生改变。通过优化古贤水库调度运行方式，该河段径流的年内丰枯特征仍然得到保留，湿地的地表补给水源不会被切断，小于 $180\text{m}^3/\text{s}$ 的极端低流量过程消失，河段生态流量满足程度由 2000~2020 年的 86.8% 提高到 100%，因此，河流湿地的结构不会发生大的变化，保护区核心区内沿河洪漫湿地依然内生物多样性最高的区域，自然保护区的结构和各项功能也不会发生改变。

（3）对保护区生物完整性和多样性影响

保护区内重点保护动物全部为鸟类，其中受水文情势影响最为明显的水鸟停留时间主要为 11 月至次年 3 月，该时段为小北干流河段枯水期，枯水期流量增加使得河流水域面积较建库前未发生大的变化，对栖息于水域的鸟类栖息生境影响较小，对自然保护区动植物资源及生物多样性不会产生明显影响，保护区内生物完整性不会受到影响。

（4）对保护区生态系统稳定性影响

工程运行后，河段小于 $180\text{m}^3/\text{s}$ 的极端低流量过程消失，该河段生态流量满足程度由 2000~2020 年的 86.8% 提高到 100%，减少了极端小流量过程甚至河道断流对保护区生态系统的干扰风险，黄河地表径流与保护区湿地的水力联系保持相对稳定，对于保护区生态系统的稳定具有积极的作用。

综上，古贤水库运行对两湿地自然保护区整体影响较小，不会对自然保护区生态系统结构、功能、生物多样性和完整性产生明显的不利影响，随着湿地稳定性的提高，自然保护区生态系统稳定性也将得到改善。

11.4 湿地保护措施

11.4.1 优化水库调度

为减少工程运行对小北干流湿地的影响，本次从坝址下游壶口瀑布景观、小北干流湿地和水生生态等敏感保护目标需水特性出发，根据河段生态功能定位和保护要求，统筹流域水资源支撑条件，对工程下泄生态流量进行了全面复核和细化，并将耦合后生态流量指标反馈给设计单位，作为古贤水库最小下泄流量要求，古贤水库 4~6 月最小下泄流量为 $240\text{m}^3/\text{s}$ ；7~10 月最小下泄流量为 $336\text{m}^3/\text{s}$ ，其余月份下泄流量不低于 $180\text{m}^3/\text{s}$ 。目前，生态流量指标已纳入水库调度运行原则。优化后，河段生态流量满足程度由近 20 年的 86.8% 提高到 100%，极端小流量过程基本消失。同时，考虑到现状条件下漫滩洪水主要集中在 7-8 月主汛期，部分年份发生在 9 月，结合古贤水库调度运行方式，通过在每年 4-7 月塑造 $3000\sim 4000\text{m}^3/\text{s}$ 的洪水脉冲过程，可保证小北干流河段一定的水文节律。

防洪减淤和调水调沙作为古贤水库的主要工程任务之一，古贤运行后将联合小浪底水库进行调水调沙调度。小北干流湿地漫滩洪水的塑造紧密结合古贤小浪底调水调沙运用，同时兼顾河段防洪安全需求，综合确定最大洪水脉冲为 $3000\sim 4000\text{m}^3/\text{s}$ ，持续时间 5~7 天。该流量过程大于拦沙初期河段平滩流量，可以实现漫滩补给，是有效和可行的。塑造的脉冲洪水持续时间大于历史上的漫滩天数（1~7 天），能够满足漫滩补给的需求，是科学合理的。本项措施同调水调沙调度一起纳入了工程调度运行方式。

11.4.2 湿地补水工程

古贤工程运行后，随着河槽持续刷深，拦沙后期漫滩洪水减少，两岸地下水位由于受到河道下切影响稍有下降，黄河地表径流对两岸湿地植被的水源补给作用减弱，为维持小北干流湿地规模，减轻拦沙后期漫滩洪水减少对湿地的影响，需要适时建设湿地生态补水工程，恢复工程运行前黄河地表径流对湿地的水源补给作用。

11.4.2.1 补水工程设计原则

1、系统性原则

在对湿地进行生态补水时，要通过调整系统内各种要素，针对不同的生态配置、

不同的生物群落，采取不同的补水方式。

2、因地制宜原则

天然湿地是生物与环境长期协调发展而形成的具有自我调节、相对稳定的自然综合体，当生态系统达到动态平衡的稳定状态时，能够自我调节和维持自身的正常功能，并能在很大程度上克服和消除外来的干扰，保护自身的稳定性。在布设补水工程时，应结合当地实际，充分保留和利用已有的地形结构，促进人工湿地系统与周边环境相协调。

3、充分利用现有取水工程原则

黄河小北干流河段现有禹门口黄河提水工程、东雷抽黄取水工程、夹马口-吴王取水工程等引黄涵闸和引黄灌渠，湿地补水工程应充分利用这些现有取水工程资源，结合河段地形特点，合理安排布设补水线路，以求现有资源的有效利用。

4、可操作性原则

黄河尖锐的水资源供需矛盾使得小北干流河段湿地补水面临巨大的困难，因此在确定生态补水量时，不能单纯从湿地生态系统需水的角度出发，还要结合河段内水生态系统、河道用水等多方面综合考虑，同时优化补水路线，提高补水效率，使得补水方案具有可实施性和可操作性。

11.4.2.2 补水工程总体布置

1、现有引黄工程分布

小北干流上中段分布有禹门口黄河提水工程、东雷抽黄取水工程、夹马口-吴王取水工程等引黄涵闸和引黄灌渠，各引黄工程基本情况如下所示：

（1）禹门口黄河提水工程

禹门口水利工程是依托黄河水资源，集泵站、水库、灌区等为一体的大型综合性水利工程。工程从黄河干流禹门口取水，通过多级提水，向运城市的河津、稷山、新绛、万荣、临猗、闻喜和临汾市的侯马、曲沃、襄汾、翼城等 10 个县（市）提供工农用水、城乡生活用水和生态补水。工程包括枢纽、北干线、南干线、调蓄和灌区五部分，灌溉面积 250.88 万亩，是山西省最大的灌区。



图 11.4.2-1 禹门口水利工程总体布置图

(2) 东雷抽黄工程

东雷抽黄工程是陕西省关中东部以黄河为水源的多级高扬程电力提水灌溉工程，一级抽水站取水点位于合阳县城东 25km 处的伏六乡东雷村塬下（图 11.4.2-2）。

(3) 东雷抽黄续建工程

东雷抽黄续建工程（二期抽黄）是继东雷抽黄一期工程建成受益之后，又修建的一项黄河上的大型抽水灌溉工程。

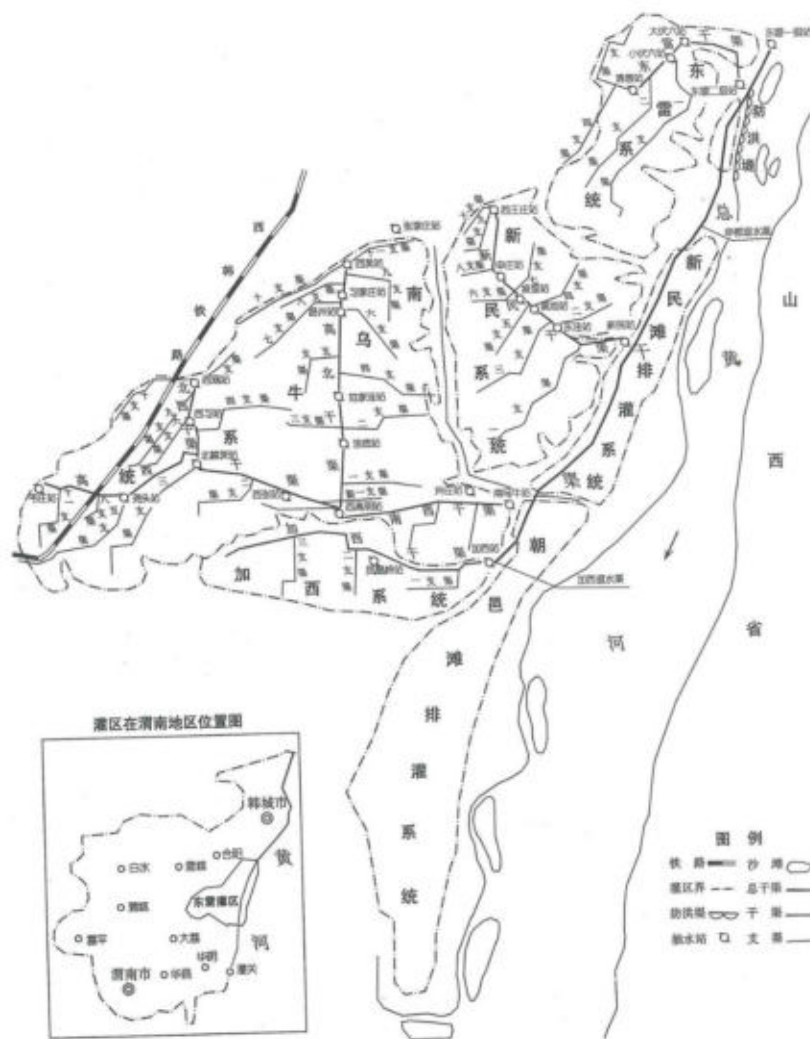


图 11.4.2-2 东雷抽黄灌溉工程平面图

(4) 夹马口-吴王取水工程

夹马口引黄工程是我国黄河上兴建的第一座大型高扬程电力提黄灌溉工程。工程枢纽位于山西省运城市境内黄河小北干流夹马口村，北距龙门 72.6km，南距通关港口 50km，1958 年 7 月 2 日开工典礼，1960 年 7 月 25 日开机上水。

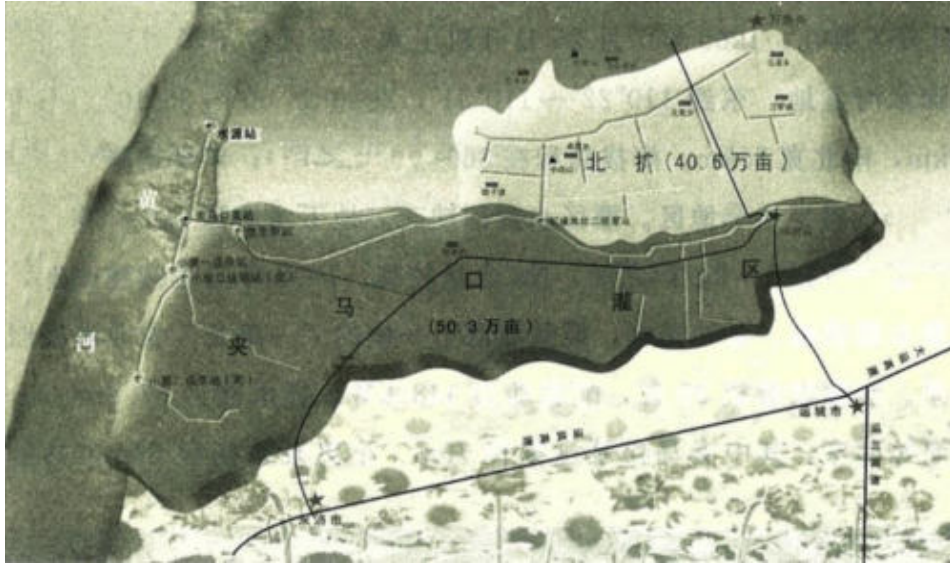


图 11.4.2-3 夹马口灌区示意图

2、新建抽水泵站和补水渠道

小北干流上中段分布有禹门口黄河提水工程、东雷抽黄取水工程、夹马口-吴王取水工程等引黄涵闸和引黄灌渠，因此该河段湿地补水工程建设可在现有取水工程基础上，结合各河段地形特点及湿地分布状况，因地制宜的布设湿地生态补水渠道；其余距离现有引黄灌渠较远但河漫滩湿地广泛发育的区域，除了布设补水渠道外，还需新建抽水泵站。

根据小北干流河段地形特点、已有泵站和渠道建设情况、现状年河漫滩湿地分布情况等，将各矢量文件进行空间叠加，因地制宜的安排布置河段湿地补水工程，总体布局如图 11.4.2-4 所示。小北干流湿地生态补水工程依托现有 4 座引水涵闸和部分引黄灌渠，新建补水工程 10 处、引水泵站 4 座、补水渠道 186km，如表 11.4.2-1 所示。其中，山西侧新建山西禹门口湿地补水工程、山西小石咀湿地补水工程、山西尊村湿地补水工程、山西韩阳湿地补水工程和山西长旺湿地补水工程共 5 处生态补水工程，新建泵站 2 座，新建补水渠道 91km；陕西侧新建陕西南谢湿地补水工程、陕西申都湿地补水工程、陕西合阳吴仁湿地补水工程、陕西大荔营南湿地补水工程和陕西黄渭湿地补水工程 5 处生态补水工程，新建泵站 2 座，新建补水渠道 95km。工程建成后每年向湿地内进行补水，补水量不小于湿地最小生态需水量。

表 11.4.2-1 黄河小北干流河段湿地生态补水工程基本情况表

省区	工程名称	是否新建 泵站	渠道设计（米）		
			干渠长度	支沟长度	总长度
山西	山西禹门口湿地补水工程	否	2300	7300	9600
	山西小石咀湿地补水工程	否	10000	20000	30000
	山西尊村湿地补水工程	否	8500	15800	24300
	山西韩阳湿地补水工程	是	8100	10100	18200
	山西长旺湿地补水工程	是	5150	3800	8950
	小计		34050	57000	91050
陕西	陕西南谢湿地补水工程	是	11600	21800	33400
	陕西申都湿地补水工程	否	6800	3400	10200
	陕西合阳吴仁湿地补水工程	否	5900	11700	17600
	陕西大荔营南湿地补水工程	否	5600	6600	12200
	陕西黄渭湿地补水工程	是	7800	13900	21700
	小计		37700	57400	95100
合计			71750	114400	186150

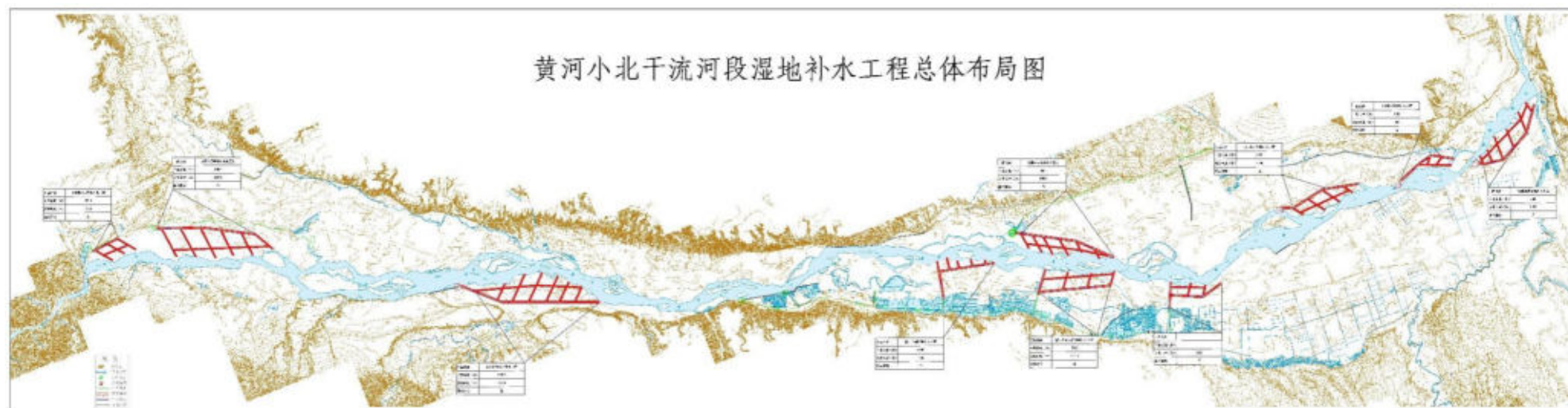


图 11.4.2-4 黄河小北干流河段湿地生态补水工程总体布置图

11.4.2.3 补水工程详细设计

1、工程设计原理

项目区生态补水渠道干渠、支渠均采用明渠均匀流公式进行计算，计算公式为：

$$Q = AC\sqrt{Ri} \quad (\text{式 11.4.2-1})$$

其中：

A——过水断面面积（m²），A=bh；

R——水力半径，R=A/X，X为湿周，X=b+2h；

Q——设计流量（m³/s）；

i——比降；

C——谢才系数，采用公式 $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$ 进行计算，n为沟（渠）床糙率。

渠道渠底比降应根据项目区内地形条件及渠道纵断面设计选择合适的比降，并使渠道满足临界不淤流速不小于 0.30m/s，最大流速不大于允许不冲流速而定。

2、工程补水渠道详细设计

根据《灌溉与排水工程设计标准》（GB50288-2018）等相关规范要求，结合工程所在区域地形条件，开展补水渠道的详细设计。

（1）山西禹门口湿地补水工程

该工程位于黄河禹门口下游山西侧龙门村附近，可以利用现有的禹门口黄河提水工程进行取水，同时需要新建补水渠道 9600 米，其中，干渠长度 2300 米，支渠长度 7300 米。干渠采用矩形设计结构，渠宽 0.55 米，渠深 0.5 米，设计水深 0.3 米，渠肩采用浆砌石结构，宽 0.3 米，渠道抹平采用 M10 水泥砂浆厚 20mm，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层；支渠采用梯形设计结构，渠宽 0.4 米，渠深 0.4 米，设计水深 0.2 米，考虑到向两侧生态补水的需要，边坡采用透水性较好的生态混凝土块结构，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层。为适应温度变化、基础不均匀沉陷等原因引起的变形，渠底砼每间隔 5m 设置一道横向伸缩缝，渠肩每间隔 10m 设置一道沉降缝，缝宽 2cm，沉降缝与伸缩缝结合布置，并以沥青水泥砂浆填缝止水。

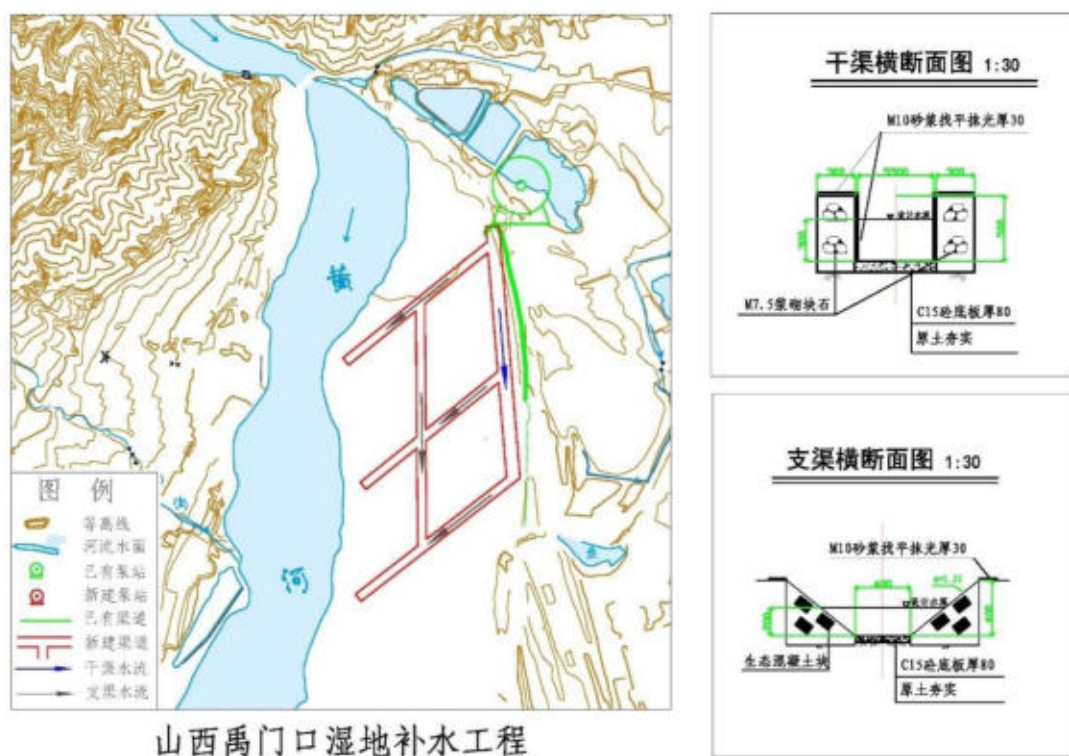


图 11.4.2-5 山西禹门口湿地补水工程详细设计

(2) 山西小石咀湿地补水工程

该工程位于黄河禹门口下游山西侧龙门黄河大桥附近，可以利用现有的禹门口黄河提水工程进行取水，同时需要新建补水渠道 30000 米，其中，干渠长度 10000 米，支渠长度 20000 米。干渠采用矩形设计结构，渠宽 1 米，渠深 0.65 米，设计水深 0.45 米，渠肩采用浆砌石结构，宽 0.3 米，渠道抹平采用 M10 水泥砂浆厚 20mm，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层；支渠采用梯形设计结构，渠宽 0.5 米，渠深 0.5 米，设计水深 0.3 米，边坡系数为 1.25，考虑到向两侧生态补水的需要，边坡采用透水性较好的生态混凝土块结构，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层。为适应温度变化、基础不均匀沉陷等原因引起的变形，渠底砼每间隔 5m 设置一道横向伸缩缝，渠肩每间隔 10m 设置一道沉降缝，缝宽 2cm，沉降缝与伸缩缝结合布置，并以沥青水泥砂浆填缝止水。

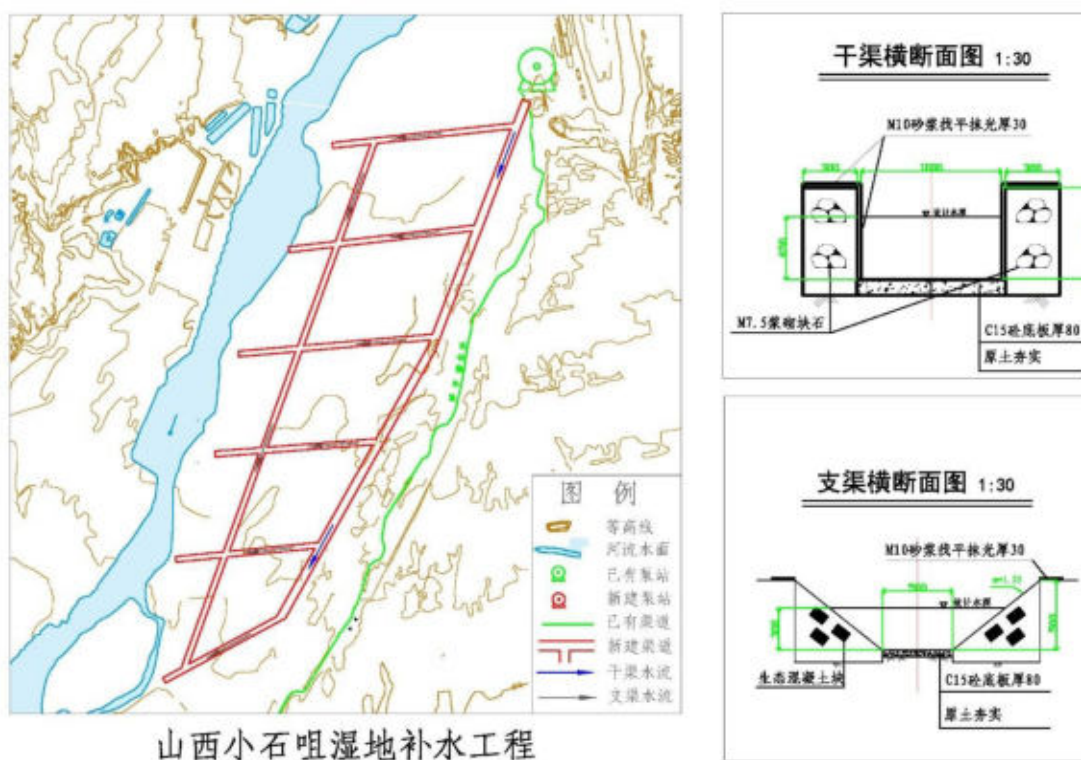


图 11.4.2-6 山西小石咀湿地补水工程详细设计

(3) 山西尊村湿地补水工程

该工程位于黄河山西省永济市张营镇尊村附近，可以利用现有的尊村引黄工程进行取水，同时需要新建补水渠道 24300 米，其中，干渠长度 8500 米，支渠长度 15800 米。干渠采用矩形设计结构，渠宽 1.0 米，渠深 0.63 米，设计水深 0.43 米，渠肩采用浆砌石结构，宽 0.3 米，渠道抹平采用 M10 水泥砂浆厚 20mm，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层；支渠采用梯形设计结构，渠宽 0.5 米，渠深 0.45 米，设计水深 0.25 米，边坡系数为 1.25，考虑到向两侧生态补水的需要，边坡采用透水性较好的生态混凝土块结构，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层。为适应温度变化、基础不均匀沉陷等原因引起的变形，渠底砼每间隔 5m 设置一道横向伸缩缝，渠肩每间隔 10m 设置一道沉降缝，缝宽 2cm，沉降缝与伸缩缝结合布置，并以沥青水泥砂浆填缝止水。

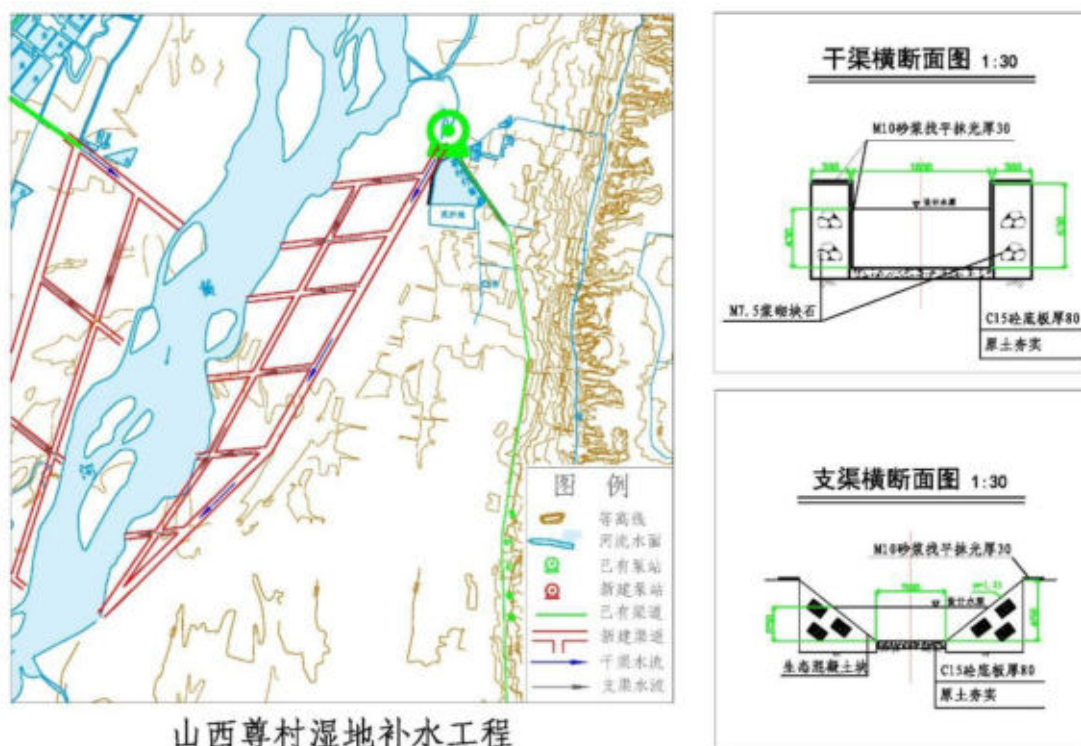


图 11.4.2-7 山西尊村湿地补水工程详细设计

(4) 山西韩阳湿地补水工程

该工程位于黄河山西侧永济市韩阳镇附近，需要新建引水泵站一座，泵站设计引水流量为 $1\text{m}^3/\text{s}$ ；同时需要新建补水渠道 18200 米，其中，干渠长度 8100 米，支渠长度 10100 米。干渠采用矩形设计结构，渠宽 1 米，渠深 0.63 米，设计水深 0.43 米，渠肩采用浆砌石结构，宽 0.3 米，渠道抹平采用 M10 水泥砂浆厚 20mm，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层；支渠采用梯形设计结构，渠宽 0.45 米，渠深 0.4 米，设计水深 0.2 米，边坡系数为 1.25，考虑到向两侧生态补水的需要，边坡采用透水性较好的生态混凝土块结构，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层。为适应温度变化、基础不均匀沉陷等原因引起的变形，渠底砼每间隔 5m 设置一道横向伸缩缝，渠肩每间隔 10m 设置一道沉降缝，缝宽 2cm，沉降缝与伸缩缝结合布置，并以沥青水泥砂浆填缝止水。

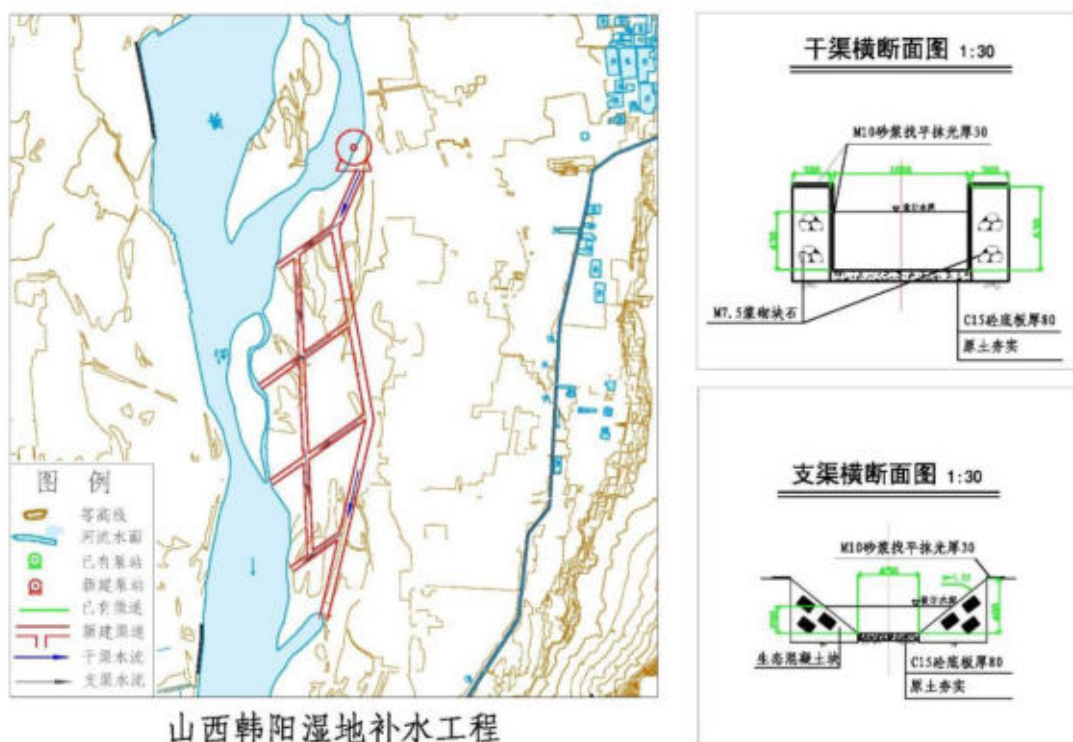


图 11.4.2-8 山西韩阳湿地补水工程详细设计

(5) 山西长旺湿地补水工程

该工程位于黄河山西侧永济市上源头村附近，需要新建引水泵站一座，泵站设计引水流量为 $1\text{m}^3/\text{s}$ ；同时需要新建补水渠道 8950 米，其中，干渠长度 5150 米，支渠长度 3800 米。干渠采用矩形设计结构，渠宽 0.6 米，渠深 0.6 米，设计水深 0.4 米，渠肩采用浆砌石结构，宽 0.3 米，渠道抹平采用 M10 水泥砂浆厚 20mm，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层；支渠采用梯形设计结构，渠宽 0.4 米，渠深 0.4 米，设计水深 0.2 米，边坡系数为 1.25，考虑到向两侧生态补水的需要，边坡采用透水性较好的生态混凝土块结构，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层。为适应温度变化、基础不均匀沉陷等原因引起的变形，渠底砼每间隔 5m 设置一道横向伸缩缝，渠肩每间隔 10m 设置一道沉降缝，缝宽 2cm，沉降缝与伸缩缝结合布置，并以沥青水泥砂浆填缝止水。

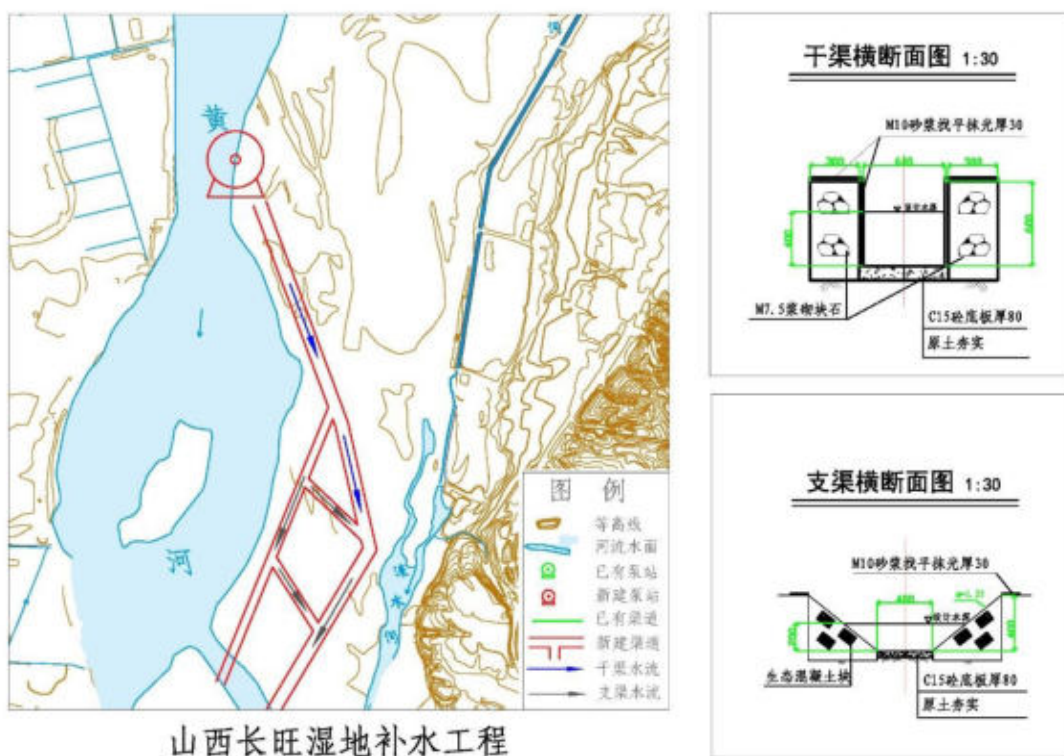


图 11.4.2-9 山西长旺湿地补水工程详细设计

(6) 陕西南谢湿地补水工程

该工程位于黄河陕西侧韩城市芝川镇附近，需要新建引水泵站一座，泵站设计引水流量为 $1\text{m}^3/\text{s}$ ；同时需要新建补水渠道 33400 米，其中，干渠长度 11600 米，支渠长度 21800 米。干渠采用矩形设计结构，渠宽 1.2 米，渠深 0.65 米，设计水深 0.45 米，渠肩采用浆砌石结构，宽 0.3 米，渠道抹平采用 M10 水泥砂浆厚 20mm，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层；支渠采用梯形设计结构，渠宽 0.6 米，渠深 0.5 米，设计水深 0.3 米，边坡系数为 1.25，考虑到向两侧生态补水的需要，边坡采用透水性较好的生态混凝土块结构，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层。为适应温度变化、基础不均匀沉陷等原因引起的变形，渠底砼每间隔 5m 设置一道横向伸缩缝，渠肩每间隔 10m 设置一道沉降缝，缝宽 2cm，沉降缝与伸缩缝结合布置，并以沥青水泥砂浆填缝止水。

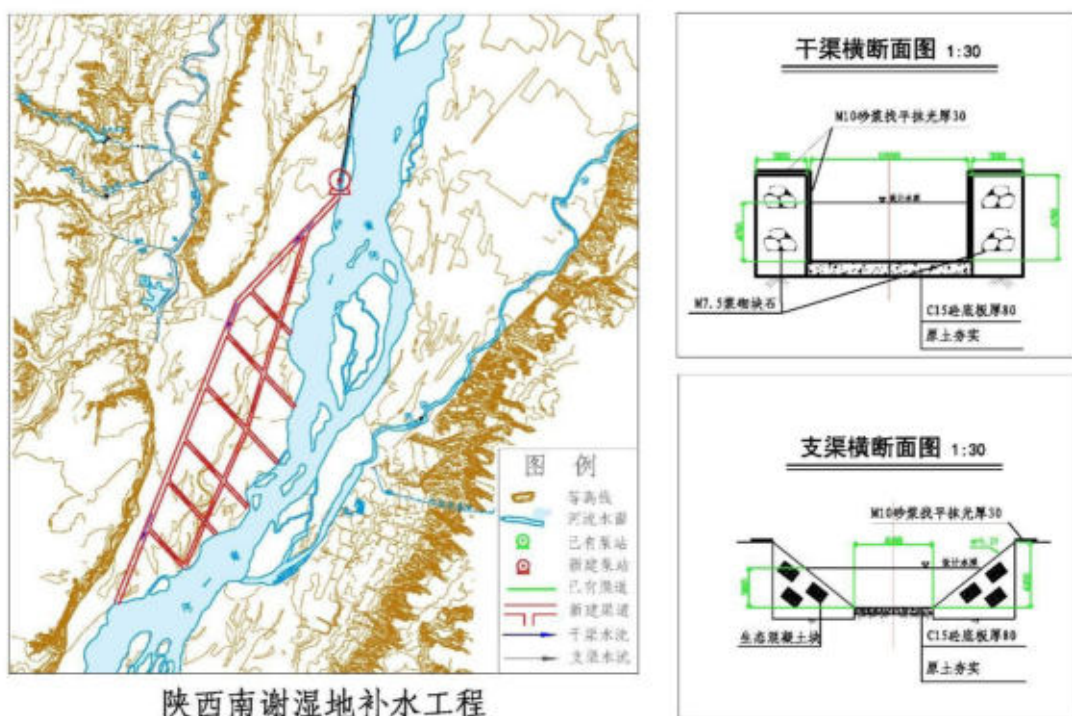


图 11.4.2-10 陕西南谢湿地补水工程详细设计

(7) 陕西申都湿地补水工程

该工程位于黄河陕西侧合阳县黑池镇附近，可以利用现有的东雷抽黄灌溉工程进行取水，同时需要新建补水渠道 10200 米，其中，干渠长度 6800 米，支渠长度 3400 米。干渠采用矩形设计结构，渠宽 0.6 米，渠深 0.58 米，设计水深 0.38 米，渠肩采用浆砌石结构，宽 0.3 米，渠道抹平采用 M10 水泥砂浆厚 20mm，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层；支渠采用梯形设计结构，渠宽 0.4 米，渠深 0.4 米，设计水深 0.2 米，边坡系数为 1.25，考虑到向两侧生态补水的需要，边坡采用透水性较好的生态混凝土块结构，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层。为适应温度变化、基础不均匀沉陷等原因引起的变形，渠底砼每间隔 5m 设置一道横向伸缩缝，渠肩每间隔 10m 设置一道沉降缝，缝宽 2cm，沉降缝与伸缩缝结合布置，并以沥青水泥砂浆填缝止水。

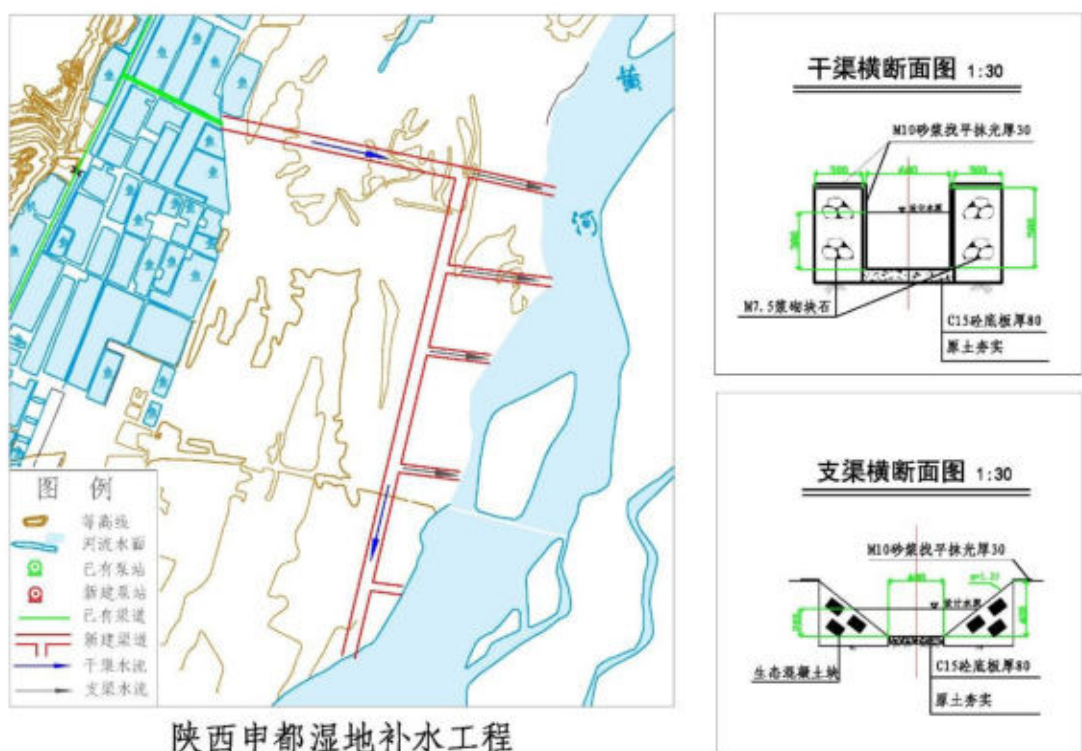


图 11.4.2-11 陕西申都湿地补水工程详细设计

(8) 陕西合阳吴仁湿地补水工程

该工程位于黄河陕西侧合阳县吴仁村附近，可以利用现有的东雷抽黄灌溉工程进行取水，同时需要新建补水渠道 17600 米，其中，干渠长度 5900 米，支渠长度 11700 米。干渠采用矩形设计结构，渠宽 0.9 米，渠深 0.65 米，设计水深 0.45 米，渠肩采用浆砌石结构，宽 0.3 米，渠道抹平采用 M10 水泥砂浆厚 20mm，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层；支渠采用梯形设计结构，渠宽 0.4 米，渠深 0.45 米，设计水深 0.25 米，边坡系数为 1.25，考虑到向两侧生态补水的需要，边坡采用透水性较好的生态混凝土块结构，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层。为适应温度变化、基础不均匀沉陷等原因引起的变形，渠底砼每间隔 5m 设置一道横向伸缩缝，渠肩每间隔 10m 设置一道沉降缝，缝宽 2cm，沉降缝与伸缩缝结合布置，并以沥青水泥砂浆填缝止水。

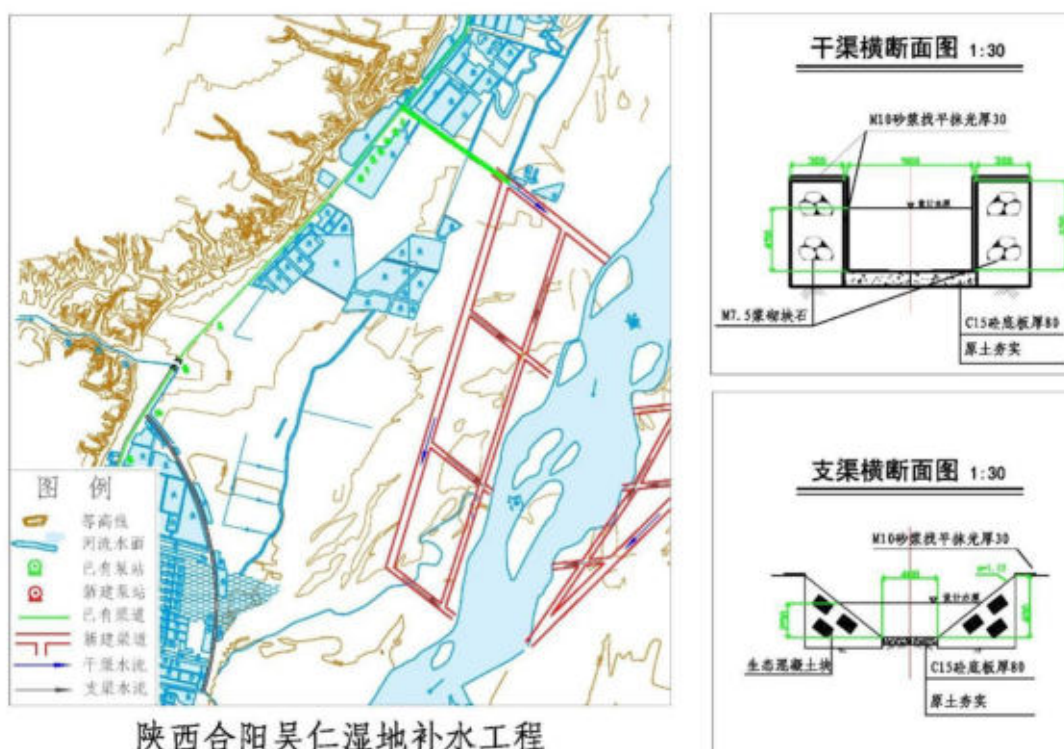


图 11.4.2-12 陕西合阳吴仁湿地补水工程详细设计

(9) 陕西大荔营南湿地补水工程

该工程位于黄河陕西侧大荔县营南村附近，可以利用现有的东雷抽黄灌溉工程进行取水，同时需要新建补水渠道 12200 米，其中，干渠长度 5600 米，支渠长度 6600 米。干渠采用矩形设计结构，渠宽 0.7 米，渠深 0.6 米，设计水深 0.4 米，渠肩采用浆砌石结构，宽 0.3 米，渠道抹平采用 M10 水泥砂浆厚 20mm，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层；支渠采用梯形设计结构，渠宽 0.4 米，渠深 0.4 米，设计水深 0.2 米，边坡系数为 1.25，考虑到向两侧生态补水的需要，边坡采用透水性较好的生态混凝土块结构，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层。为适应温度变化、基础不均匀沉陷等原因引起的变形，渠底砼每间隔 5m 设置一道横向伸缩缝，渠肩每间隔 10m 设置一道沉降缝，缝宽 2cm，沉降缝与伸缩缝结合布置，并以沥青水泥砂浆填缝止水。

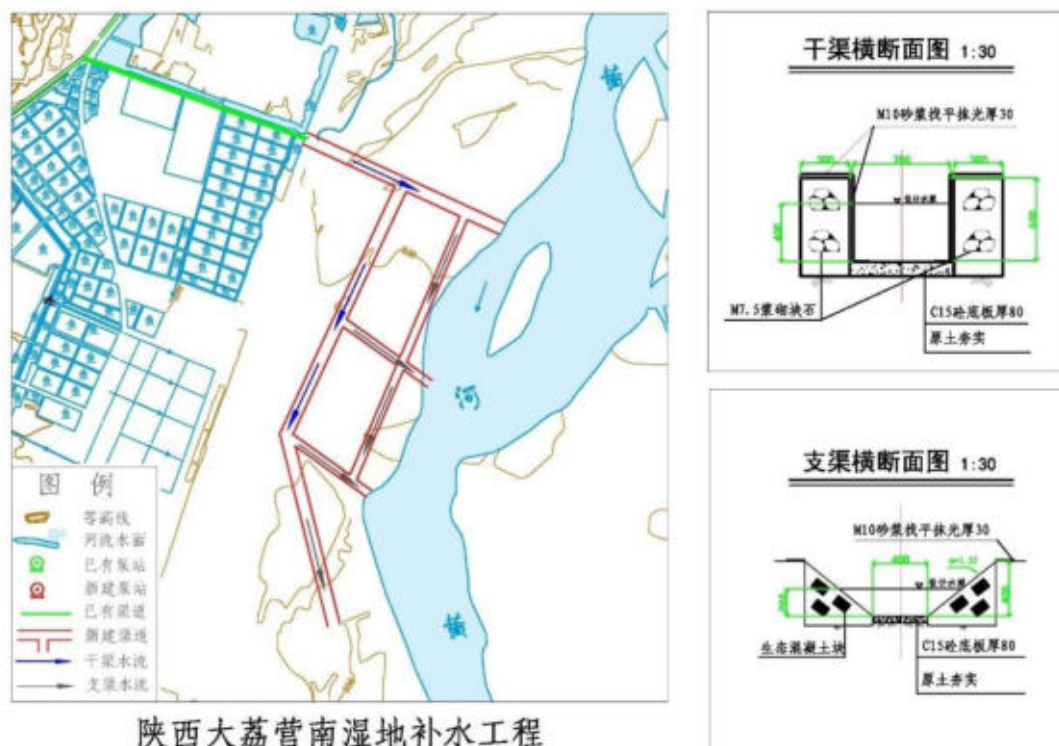


图 11.4.2-13 陕西大荔营南湿地补水工程详细设计

(10) 陕西黄渭湿地补水工程

该工程位于黄河陕西侧大荔县渭河与黄河交江处上游区域，需要新建引水泵站一座，泵站设计引水流量为 $1\text{m}^3/\text{s}$ ；同时需要新建补水渠道 21700 米，其中，干渠长度 7800 米，支渠长度 13900 米。干渠采用矩形设计结构，渠宽 1 米，渠深 0.7 米，设计水深 0.5 米，渠肩采用浆砌石结构，宽 0.3 米，渠道抹平采用 M10 水泥砂浆厚 20mm，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层；支渠采用梯形设计结构，渠宽 0.5 米，渠深 0.45 米，设计水深 0.25 米，边坡系数为 1.25，考虑到向两侧生态补水的需要，边坡采用透水性较好的生态混凝土块结构，渠底采用 C15 砼现浇底板，厚 80mm，采用夯实土垫层。为适应温度变化、基础不均匀沉陷等原因引起的变形，渠底砼每间隔 5m 设置一道横向伸缩缝，渠肩每间隔 10m 设置一道沉降缝，缝宽 2cm，沉降缝与伸缩缝结合布置，并以沥青水泥砂浆填缝止水。

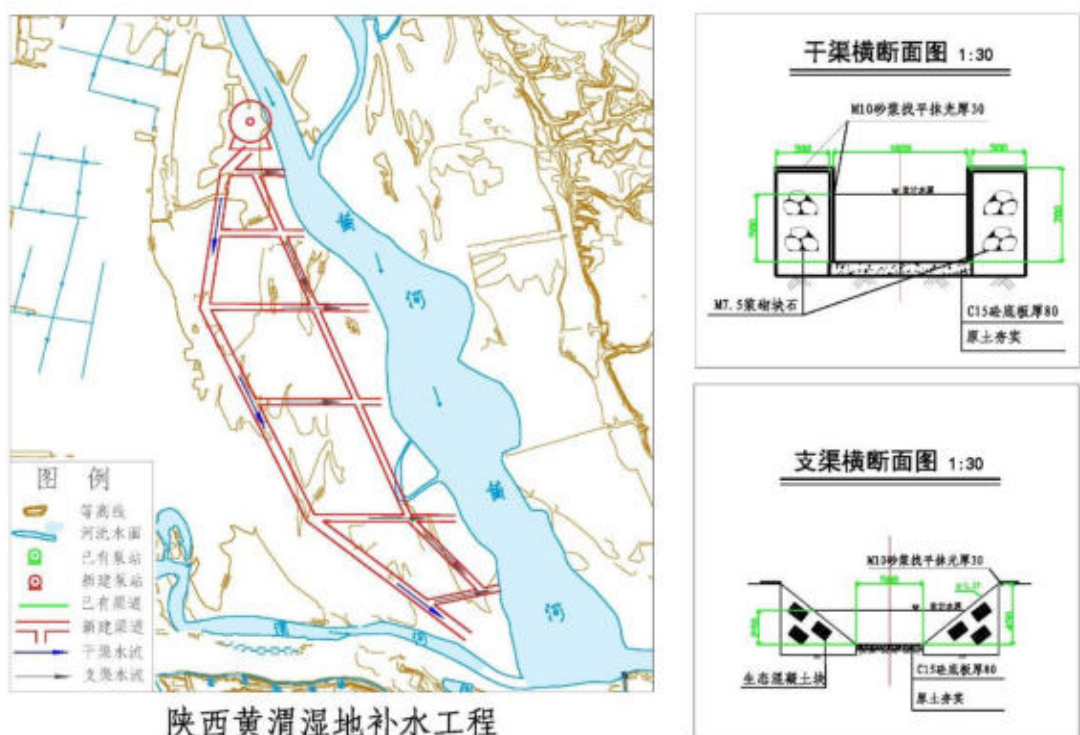


图 11.4.2-14 陕西黄渭湿地补水工程详细设计

11.4.2.4 生态补水时段分析

河流湿地植被多以草丛沼泽为主，选取芦苇、香蒲、荻、假苇拂子茅、狗牙根等主要植被群落作为代表物种，分析各植物生长周期（表 11.2.4-4），河段湿地植物生长期主要集中在 4~11 月。一般 4 月份生根发芽，4~7 月进入生长旺盛期，部分植物进入花期，7~10 月为花果期，11 月开始枯萎。

芦苇作为分布最为普遍的植物，一般为多年生草本，繁殖能力非常强，有水的地方生长较好，一般 4 月上旬发芽，4~7 月为生长旺盛期，8~10 月开花，10~11 月结果，12 月开始枯叶。芦苇的根状茎非常发达，在自然生境中主要以根状茎繁殖，根状茎生命力非常强，遇到适宜的条件可以迅速的长出新枝进行繁殖。

香蒲：多年生草本，喜高温多湿气候，生长适温为 15~30℃，当气温下降到 10℃ 以下时，生长基本停止，越冬期间能耐零下 9℃ 低温，当气温升高到 35℃ 以上时，植株生长缓慢。其最适水深 20~60 厘米，亦能耐 70~80 厘米的深水。生长期为 4~11 月，旺盛生长期集中在 4~9 月，花果期 5~8 月。

荻：多年生草本，多生长在湖洲、河堤或山坡草地，对气候、土壤要求不严格，耐旱、耐寒、耐涝。一般气温稳定达到 5℃ 时，地下茎上的休眠芽萌动。4 月至 7 月为

生长盛期，花期为 8-10 月，果期为 10-11 月。有性繁殖、无性繁殖均可。

假苇拂子茅：多年生草本，4 月萌发，4-6 月生长迅速，7-8 月为花期，8-9 月为果期。

狗牙根：4 月萌发，5-6 月为花期，7-8 月为果期，11 月枯萎。

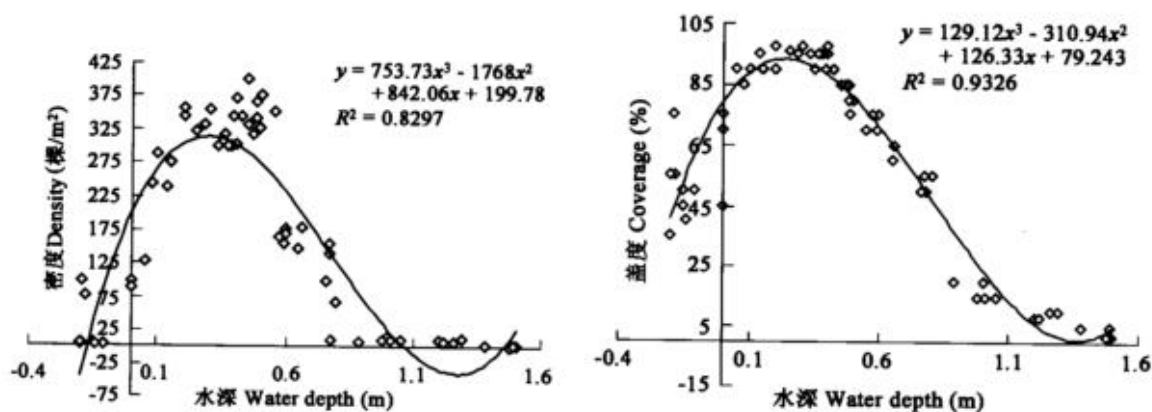
综合以上分析，4 月份为小北干流湿地植被萌芽期，需要提供一定的水源补给，加速土壤解冻，提高地温，促进植被发芽；5~6 月为植被生长旺盛期，植被需水量迅速增加，该时段降雨不能满足植被生长需求，需要额外补充一定的水量；7~10 月为河段湿地植被的花果期，该时段为汛期，降雨量较多，基本可以满足植被生态用水需求，不需要人工补水；11 月大多数植被已进入枯萎期，需水量减少，也不需要人工补水。因此，湿地生态补水时段主要为每年的 4~6 月份。

11.4.2.5 生态补水量及过程分析

工程运行后，随着河槽的不断刷深，漫滩洪水发生几率减少，沿岸地下水位降低，使得黄河地表径流对小北干流湿地的水源补给作用发生变化。为减轻工程运行对小北干流湿地的影响，湿地补水工程需要补充漫滩洪水减少和地下水位降低对湿地的补给水量，恢复地表径流对湿地的水源补给作用。

1. 补充漫滩洪水减少所需（补）水量

湿生植被具有一定的水深需求，漫滩洪水可以为湿地植被提供适宜的水深生境。以河段内分布最为广泛的芦苇群落为代表，分析小北干流湿地植被与水深的响应关系。根据崔保山对芦苇湿地对水深的响应研究，芦苇平均密度和平均盖度值的变化呈非线性变化趋势，水深过低和过高都是芦苇生长的制约因子，茎粗增加有利于芦苇在水体中的生长，防止折断。在年内平均水深为 0.3m 时，芦苇平均密度和盖度出现明显的峰值，原因是水深过低和过高都是芦苇生长的制约因子，水深过高导致茎粗增加；在年平均水深 0.3m 附近，随着水深度的变化，芦苇群落的密度逐渐降低。进一步结合国内外的研究结果，芦苇群落的适宜水深约为 0.05~0.60m。



芦苇密度与水深非线性拟合 芦苇密度与水深非线性拟合

图 11.4.2-15 芦苇与水深响应关系

芦苇不但对水深有要求，根据其生长发育规律，所需水量也不同，在 4 月初春季芦苇发芽前，应维持适宜浅水环境，水深一般为 0.05~0.1m；5 月，芦苇进入生长旺盛期，生长速度加快，需水量增加，水深应保持在 0.05~0.3m；8 月以后，芦苇进入花期，需水量降低，保持土壤湿润，促进芦苇成熟和秋芽发育。

基于以上需求分析，为补偿黄河地表径流漫滩对湿地的补给作用，应在 4 月初开展一次生态补水过程，维持植被 0.05~0.1m 水深，加速土壤解冻，提高地温，促进植被发芽；5~6 月植被生长旺盛期，再开展一次生态补水过程，维持植被 0.05~0.3m 水深。由此计算得到补水工程用于维持湿地植被生长对水深需求，需要补水 843~3372 万 m³，其中，4 月初补水 422~843 万 m³，5~6 月份适时补水 422~2529 万 m³。

表 11.4.2-2 补充湿地植被生长对水深需求所需补水量计算

需水等级	水深需求（米）			需（补）水量（万 m³）			
	4 月	5 月	6 月	4 月	5 月	6 月	合计
最小	0.05	0.05		422	422		843
中等	0.075	0.17		632	1433		2065
适宜	0.1	0.3		843	2529		3372

2. 补充地下水位下降所需（补）水量

古贤水库运行后，极端不利条件下，小北干流河槽下切对两岸地下水最大影响范围为 0.95km，地下水降幅在 0~0.5m 之间。选择地下水平均降幅 0.25 米作为适宜需水等级的补偿标准，由此计算补充地地下水位下降所需补水量为 2529~6323 万 m³，4~6 月份每月需补水量均为 843~2108 万 m³。

表 11.4.2-3 补充地下水位下降所需补水量计算

需水等级	补充地下水位下降深度（米）			需（补）水量（万 m ³ ）			
	4 月	5 月	6 月	4 月	5 月	6 月	合计
最小	0.1	0.1	0.1	843	843	843	2529
中等	0.18	0.18	0.18	1517	1517	1517	4552
适宜	0.25	0.25	0.25	2108	2108	2108	6323

3. 总需（补）水量

将以上两项补水量加和，得到为了恢复工程运行前黄河地表径流对两岸湿地的水源补给条件，湿地生态补水工程在 4~6 月需要人工补水 3372~9695 万 m³。综合考虑河段湿地用水需求和黄河水资源特点，选择中等需水等级作为小北干流湿地的近期补水目标，即每年 4~6 月需要人工补水 0.66 亿 m³。其中，4 月初补水 0.22 亿 m³，5 月份补水 0.29 亿 m³，6 月份补水 0.15 亿 m³。

表 11.4.2-4 小北干流湿地 4~6 月需（补）水量及过程 单位：万 m³

项目	需水等级	4 月	5 月	6 月	合计
补充漫滩洪水减少水量	最小	422	422		843
	中等	632	1433		2065
	适宜	843	2529		3372
补充地下水位下降水量	最小	843	843	843	2529
	中等	1517	1517	1517	4552
	适宜	2108	2108	2108	6323
总需（补）水量	最小	1265	1265	843	3372
	中等	2150	2951	1517	6618
	适宜	2951	4637	2108	9695

11.4.2.6 措施的可行性和有效性分析

（1）工程布置合理性

湿地补水工程的总体布置设计综合考虑了系统性、科学性和可操作性等原则，涵盖了河段内天然湿地主要集中分布区域，通过对这些区域生态补水，可以满足湿地生态用水需求。

（2）补水方式可行性

为保证补水工程具有稳定的水源供给，采用泵站抽水的方式进行补水。其中，山西禹门口湿地补水工程、陕西合阳吴仁湿地补水工程等 6 处补水工程可以基于禹门口黄河提水工程、东雷抽黄取水工程、夹马口-吴王取水工程等引黄涵闸和引黄灌渠取水；山西韩阳湿地补水工程、山西长旺湿地补水工程、陕西南谢湿地补水工程、陕西黄渭湿地补水工程 4 处补水工程，河漫滩湿地集中分布但现状缺乏引水泵站，设计新建了 4 座引水泵站。

(3) 补水过程有效性

湿地补水时段和过程紧密结合湿地植被的生态需求过程，以维持工程运行前黄河地表径流对两岸湿地的水源补给条件为目标，通过每年 4~6 月向小北干流湿地补水 0.66 亿 m^3 ，可以有效补充漫滩洪水减少和地下水位降低对湿地水源补给的影响，基本保证湿地结构和功能不改变。

综合以上分析，生态补水措施是可行的，也是符合湿地生态保护需求的。

11.4.3 鸟类栖息地保护工程

11.4.3.1 设计原则

鸟类生境改善的核心在于针对不同的鸟类在生活中觅食、繁殖、营巢等行为进行合理的生境布局。雁鸭类等游禽最适宜的活动、觅食区域在水深 0.3~2.0m 之间，且要求空间开敞的大水面便于起飞，同时要求水域内有茂密植被、生境复杂；大型鹭类等涉禽类多分布于水深 0.1~0.3m 的水域，营巢、繁殖却在芦苇丛或岸际高大乔木林地中。因此，为了恢复鸟类生物多样性，水系、林地的布局整合度要高，岛屿、林地、水体等各类栖息地联系需紧密，以保持生态绿带的通达。结合小北干流河段天然湿地分布的特点和现有鸟类的空间分布格局，着眼于不同鸟类对食物、隐蔽地及水深等生境因子的不同要求，从有利于鸟类群落稳定、鸟类生境再造的可行性等角度出发，进行科学合理的空间布局。

11.4.3.2 工程总体布置

在小北干流河段两岸上中下段建设汾黄鸟类栖息地保护工程、吴王鸟类栖息地保护工程、黄渭鸟类栖息地保护工程等三处工程，这些区域有较大面积的浅滩湿地，鸟类资源丰富，适宜水禽类栖息。

鸟类栖息地保护与创建工程包括鸟岛建设和围栏工程两部分，其中，鸟岛工程为避免林地被淹，需要将拟建林地处用土垫高 2m 以上，形成岛屿状，岛上植物可选择麻栎、马尾松、化香、黄连木、香樟、女贞、意杨、红叶、桃树、梅花、金合欢、桂花、黄荆、野山楂、六月雪等乔木和灌木；围栏工程需要在浅滩湿地用围栏围封起来，避免被垦殖。

11.4.3.3 鸟岛设计

设计保留和营造深水、浅水、湖荡、岛屿、泻湖、浅水塘、沼泽、洼地、浅滩等丰富地形，形成湿生植物群落、过渡带植物群落、陆生乔灌木植物群落等不同植被的镶嵌，为不同习性的鸟类营造适宜的栖息和觅食的生态岛屿和半岛生境序列，招引涉禽、游禽等水禽来此繁衍生息。

表 11.4.3-1 湿地鸟类生境营造地高程参数

生境类型	水深（相对高差）（m）	适合鸟类
深水区	-0.5~1.5	雁鸭类等大型游禽
浅水区	-0.5 ~-0.2	雁鸭类、鹭类等涉禽、游禽
沼泽	-0.2 ~ 0.2	鹭类、鸕鹚类等涉禽
漫滩	0.2 ~ 0.4	鸕鹚类等涉禽
碎石浅滩	0.2 ~ 0.8	鸕鹚类、燕鸥等涉禽、游禽（繁殖场所）
岛屿	0.8 ~ 1.8	雁鸭类等游禽（夜栖地）

① 鸟类栖息地地形塑造

鸟类栖息地地形塑造要求：

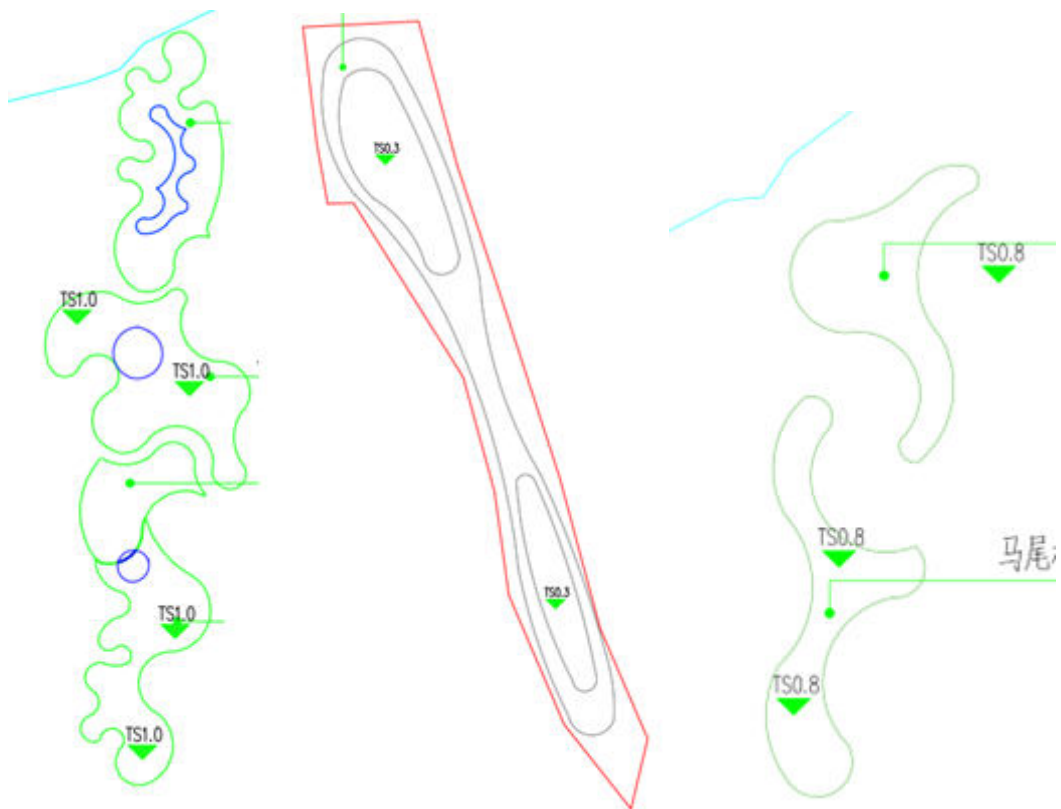
A、面积：岛屿面积不宜过大，在现有地形基础上进行地形破碎和调整。

B、分布：以链状、网状分布为主，加强各岛屿间联系；多个（大于 4 个）岛屿呈 W 型或 O 型分布，形成半围合的空间（隔离人为干扰）。

C、形状：避免过于规则的形状（如矩形、圆形），构造内凹、外延的结构，增强边岸蜿蜒性，延长岸线长度；重视泻湖的塑造，在单个岛屿中形成半围合空间，招引鹭科、鸕鹚类、鸭科等涉禽和游禽。

D、地形：降低岛屿高程，高于水面 0.5—2m 既可；降低边岸坡度，从深水区至边岸营造缓坡入水的效果（坡度小于 15°）；在岛屿边缘形成浅水沼泽区，招引鹭类、鸕鹚类等涉禽；岛内营造起伏地形，在岛心留出小塘（湖中有岛、岛中有浅塘及洼地，浅塘水深小于 0.5m，洼地水深小于 0.2m）招引雁鸭类游禽。

所布置的 3 处鸟类栖息地地形塑造见图 11.4.3-1。



汾黄 吴王 黄渭

图 11.4.3-1 鸟岛地形塑造图

②鸟类栖息地底质改造

根据不同鸟类对于栖息、觅食的需求，创造块石、砾石、砂石、倒木等不同类型的底质及结构，提高岛屿及浅滩的空间异质性，为具不同生态位的鸟类提供所需生境。

根据岛屿大小，选择一定数量岛屿，在其外沿铺设长 3m~6m、宽 2m~3m、平缓入水的砂石或砾石区，同时配置块石，为鸟类提供上岸、晒羽的场所。对岛屿植物生长底质进行处理，混入砂石、砾石等介质以控制植物的生长，维持植物盖度在 50%~70%，维持岛内生境异质性。

在靠近岛屿的浅水区、岛屿内草本植物带可放置适量倒木、站木，为鹭类等涉禽提供捕食、休憩的场所。

③鸟类栖息地植被恢复

在功能定位上鸟岛是作为繁育基地存在的，因此需要满足鸟类的食物、水、隐蔽三大基本需求，才能成为其繁育的栖息地。在平面布局上需要设置防风林、筑巢林、

食源性植物，以及有一定郁闭度的围合空间以利于其隐蔽（乔木<30%，小乔木、灌木<50%）。沉水植物沿岸可向下伸展达水深 1m~2m，生长最深的金鱼藻、苦草、黑藻可达 2.5m。

植被恢复时应尽可能选择本地种，利用多种植物进行搭配，同时维持植物盖度在 50%~70%，适当留出空滩。鸟类栖息地地形塑造及底质改造工程，以本地植物为主，进行鸟类栖息地植被恢复。规划鸟类栖息地植被恢复工程 40hm²。所布置的 3 处鸟类栖息地植被种植分类示意图见 11.4.3-2。

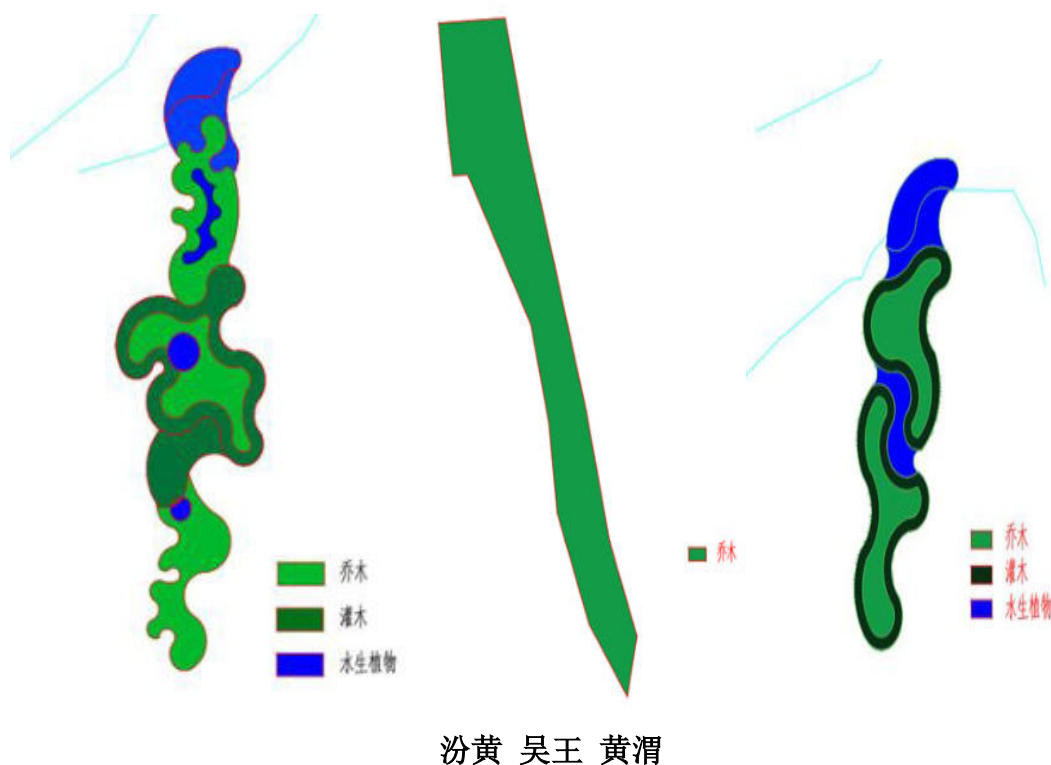


图 11.4.3-2 鸟岛植物种类分布示意图

11.4.3.4 围栏设计

为了防止无关人员进入林岛进行破坏行为，故设置围栏。设计钢丝围栏长度 7862m，高 1.8m。

多样性造成压力和破坏。同时，规范保护区宣传，在保护区及各功能分区、村庄、道路、大桥等醒目位置，设置保护区功能区警示牌、法律法规宣传牌，营造良好的宣传舆论氛围。

2. 鼓励农民退耕还湿

当前，农民开垦的湿地区域还属广种薄收或有种无收区域，还有大量的曾经效益好的开垦地在耕种几年后效益大幅度降低。所以，应该鼓励农民“退耕还湿”，参考西部开发“退耕还林”的优惠政策，在湿地的边缘地带，鼓励农民种树，避免多次耕作。同时，结合沿河著名的永乐宫、关帝庙、龙门等旅游景点，建设开发湿地公园，既可以解决当地农村富余劳动力的就业问题，又可以拉动当地经济增长，收到事半功倍的效果。

3. 严格生态流量下泄管理

加强古贤水利枢纽工程的运行管理工作，严格按照既定的调度运行方式下泄生态流量，减小工程对自然保护区的影响。此外，可以在古贤坝址下游设置生态流量监控措施，并严格落实。

4. 强化湿地生态监测和科学研究

开展古贤水利枢纽工程对小北干流湿地影响评估及措施有效性研究。古贤水利枢纽工程运行前 5 年，开展小北干流湿地生态系统综合调查和研究，对小北干流湿地变化情况进行分析，结合水库不同年份调度运行方式，评估古贤工程对下游河段湿地的影响，并提出古贤工程优化调度意见，及时反馈给建设单位。

5. 加强生态保护宣传教育

在湿地保护区边界，尤其是核心保护区内树立宣传提示标语牌、警示牌等，加强管护。同时，加强对嫩滩两岸居民的生态环境保护教育和宣传，发放生态环境保护宣传手册，树立良好生态保护意识，严禁在保护区内开垦农田，减少人类活动对湿地的干扰。

11.5 小结

(1) 小北干流河段位于古贤水利枢纽工程坝下 72km 至 205km 处，全长 132.5km。河段属典型的堆积游荡型河道，河势游荡多变，主流经常摆动，造成冲滩塌岸，是黄

河干流重点治理河段之一。由于该河段淤积和游荡摆动的特点，河道及两侧形成了特殊的沿河洪漫湿地。二十世纪 90 年代以来，为稳定河势、缓解晋陕两省争地矛盾，河段先后实施了多期河道整治工程，两岸大部分河段建有控导和护岸工程。通过分析小北干流湿地历史演变与河道整治工程建设、滩区土地开垦等关系发现，小北干流河段两岸控导（护岸）工程之外的滩地现状年主要为农田，而控导（护岸）工程之间的河流主槽及嫩滩区域，既是现状天然湿地的主要分布区域，也是古贤水库运行的主要影响区域，因此将两岸控导（护岸）工程之间的主槽及嫩滩区域作为本次的重点评价范围。

（2）综合野外现场调查，查阅以往调查成果、走访保护区工作人员和当地群众等，黄河小北干流河段分布有种子植物 70 科 236 属 287 种，沼泽植被种类最多，主要植被有芦苇、香蒲、荻、狗尾草、拂子茅等，均为常见种，河段分布有珍稀保护植物 1 种，为国家二级保护野生植物野大豆。嫩滩区域湿地植被组成比较单一，以湿生植被为主；二滩或高滩区域主要为湿中生植物或中生植物。小北干流河段野生脊椎动物有两栖爬行动物 4 目 8 科 14 种，鸟类 19 目 46 科 142 种，哺乳动物 5 目 8 科 19 种。鸟类资源中，雀形目鸟类种类最多，优势种包括崖沙燕、家燕、绿头鸭、斑嘴鸭、绿翅鸭、白骨顶、麻雀、小鹁等，居留类型以留鸟、冬候鸟和夏候鸟为主。河段内国家重点保护野生动物均为鸟类，分布有国家一级重点保护动物大鸨、白尾海雕、黑鹳 3 种，分布有国家二级重点保护动物大天鹅、灰鹤、大鸕、班头秋沙鸭等 19 种。国家重点保护鸟类中水鸟有 8 种，包括大天鹅、鸳鸯、鸿雁、班头秋沙鸭 4 种游禽和黑鹳、灰鹤、白琵鹭、白腰杓鹬 4 种涉禽，这些鸟类均主要栖息于芦苇沼泽、浅滩、鱼塘、农田、人工荷塘等地，食性以杂食为主，停留时间主要集中在 11 月至次年 3 月。

（3）游荡摆动的河势塑造了小北干流湿地的总体格局，是河段湿地形成和维持的主要影响因子。7-10 月湿地植被生长期，黄河以漫滩洪水形式对两岸湿地植被进行水源补给，2010 年以来，仅有三分之一的年份发生漫滩洪水，主要集中在 7-8 月主汛期，漫滩天数一般为 1-7 天；4-6 月植被生长期，黄河以地下水侧渗的形式补给，维持河道适宜的生态流量可以促进地表水与地下水交换，是保护和修复小北干流湿地生态环境的关键。河段重点保护鸟类以冬候鸟为主，这些冬候鸟只在此越冬，不在河段内湿地

繁殖，主要在河段内越冬栖息和觅食，根据现场调查结果，农田及人工荷塘、鱼塘、水田等人工湿地区域是涉禽的主要越冬地和觅食地，涉禽栖息生境对黄河地表水依赖程度较低。

(4) 90年代以来，以缓解两省耕地纠纷为目的、严格沿国务院批复的治导线修建的河道整治工程陆续建设，预计十四五末，小北干流河段的河势游荡将基本被控制在两岸控导（护岸）工程之间的区域，故未来天然湿地也将主要集中在控导（护岸）工程范围内。古贤水库运行后，小北干流河段游荡摆动的河势特性不会发生改变，河势摆动幅度将基本控制在两岸控导工程范围内。整个拦沙期，小北干流河段平均刷深约 1.9-2.4m，拦沙初期第一年河段平滩流量为 $2783\text{m}^3/\text{s}$ ，拦沙后期第一年增加至 $5084\text{m}^3/\text{s}$ ，正常运用期第一年进一步增加到 $7379\text{m}^3/\text{s}$ 。

(5) 古贤水库运行后，小北干流河段河势游荡摆动的特性不会发生改变，湿地总体格局不会受到影响；河段生态流量满足程度由近 20 年的 86.8% 提高到 100%，为湿地的维持提供了水资源条件。因此，古贤水库运行对小北干流湿地总体格局和规模不会产生显著影响，但随着河槽的不断刷深，部分时段将对湿地结构产生一定的影响。

拦沙初期，小北干流河段平均刷深在 0.78~1.47m 之间，通过优化工程调度运行方式，在 4-7 月份塑造 $3000\sim 4000\text{m}^3/\text{s}$ 的洪水脉冲过程，丰水年、平水年、枯水年漫滩天数分别由无古贤时的 4 天、0 天、0 天增加到拦沙初期的 18 天、7 天、5 天，而 2010 年以来仅有三分之一的年份发生了漫滩洪水，湿地漫（嫩）滩天数和漫（嫩）滩范围较现状有一定程度的增加，有利于河段湿地的保护和修复。

拦沙后期，随着小北干流河段的持续刷深，河道摆动幅度变小，漫（嫩）滩洪水发生的几率逐渐减小，部分河流水面将向河漫滩湿地转化。通过采取生态调度、洪峰塑造、生态补水等综合措施，可基本维持现有湿地规模。进一步类比黄河下游花园口至高村河段河流湿地变化，发现随着小浪底水库的调度运行，下游河流湿地面积逐渐趋于稳定，预计古贤水库进入拦沙后期以后，随着小北干流河段水文情势和河道形态的稳定，两岸河流湿地将逐渐适应新的水源补给条件，河流湿地的结构也将逐渐趋于稳定。

(6) 小北干流河段水鸟主要以冬候鸟、旅鸟为主，停留时间主要为 11 月至次年

3月，其中12月至次年2月为小北干流河段的枯水期，古贤水库运用后河段平均流量和最小流量均有不同程度增加，水域面积较建库前未发生大的变化，因此不会对鸟类栖息生境产生显著影响。重点保护物种中种群数量较多的水鸟栖息生境主要位于农田、人工荷塘、鱼塘或水田等区域，古贤工程运行不会对重点保护鸟类产生显著影响，河段湿地生物多样性不会变化。

(7) 为最大程度降低古贤对小北干流湿地的不利影响，提出了优化水库调度、建设湿地补水工程和鸟类栖息地保护工程及其他非工程措施等。古贤水库优化调度后，下泄过程满足生态流量要求，小北干流河段极端小流量过程基本消失，同时在每年4-7月塑造3000~4000m³/s的洪水脉冲过程，保证一定的水文节律。为降低拦沙后期漫滩洪水几率减小对小北干流湿地的影响，需要适时建设湿地生态补水工程，开展河段湿地补水，湿地补水工程以河段现有引黄泵站和灌渠为基础，同时新建4座抽水泵站和186km补水渠道，每年补水量不小于0.66亿m³。同时，在小北干流上中下段选择鸟类集中分布的区域，因地制宜建设汾黄、吴王、黄渭三处鸟类栖息地保护工程，联合相关部门加强对滩地垦殖等人类活动的管理和约束。

第十二章 黄河下游河漫滩湿地及河口湿地

影响与保护措施

黄河下游花园口到高村为典型的游荡型河段，形成了典型的河漫滩湿地，由黄河通过侧渗和漫滩方式进行补给。人民治黄以来，黄河下游先后实施了多期河道治理工程，使下游河流湿地主要分布在两岸控导工程、生产堤之间的河流主槽及嫩滩区域。黄河河口由黄河淤积、延伸、摆动形成，现存湿地大部分介于内陆和海域之间，是典型的陆海两相生态系统交汇带、缓冲带；其中生产力较高、生物多样性较丰富的淡水湿地主要分布在黄河现行流路两侧，也是当前受黄河水沙变化影响的主要区域。为评价古贤小浪底水库联合运用可能会对下游河漫滩湿地及河口湿地产生的影响，本章在资料收集、遥感解译、现场查勘的基础上，采用机理分析法，分析了黄河下游河漫滩湿地及河口湿地现状、演变趋势及其与黄河水力联系作用机理，通过分析古贤水库运行前后黄河下游主要控制断面水文过程、生态流量满足程度等变化，预测工程可能对黄河下游河漫滩湿地及河口三角洲湿地的影响，提出进一步加强湿地保护和修复的措施建议。

12.1 黄河下游河漫滩湿地现状及影响

12.1.1 黄河下游河漫滩湿地现状调查与评价

12.1.1.1 黄河下游河漫滩湿地分布

黄河下游湿地是黄河洪水泥沙的副产品，其形成、变化与分布是自然因素（水沙条件）和人类干预（河道治理、水沙调控、修筑生产堤等）共同作用的结果。

黄河下游河道具有上宽下窄、比降上陡下缓、排洪能力上大下小的特点，据此可以分为游荡性、过渡性和弯曲性三种（如图 12.1.1-1）。其中花园口至高村河段为游荡性河道，河长约 184.6km，河宽在 5km~10km 之间，最宽处达 24km；高村至陶城铺为从游荡性向弯曲性过渡的过渡性河道，河长约 169.4km，河宽在 2km~8km；陶城铺至利津为弯曲性河道，河长约 309.1km，河宽在 0.8km~2km，最窄处艾山断面仅有 275m。黄河下游堤距之间土地资源肥沃，自古以来都居住着大量的滩区群众，现有群众约 180 万

人，并将滩区大量垦殖为耕地。

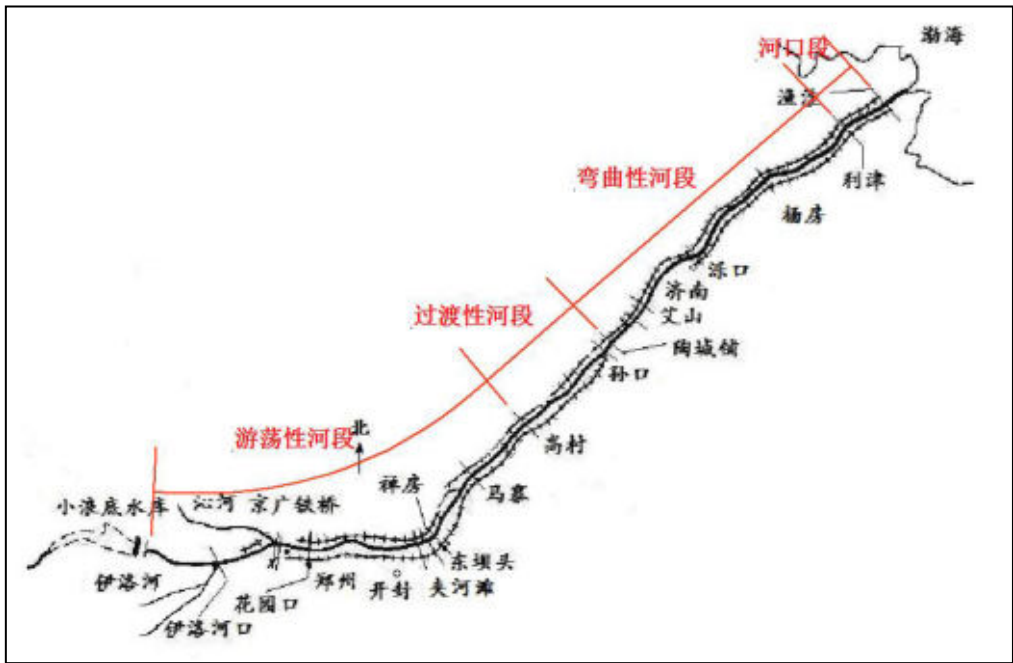
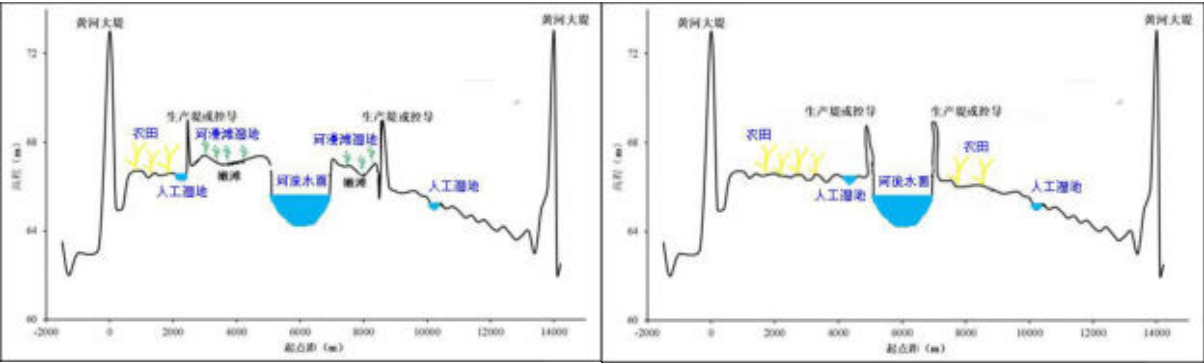


图 12.1.1-1 黄河下游河道及典型断面示意图

受黄河河槽宽度和河势变化影响，黄河下游不同河段湿地呈现不同的分布规律（如图 12.1.1-2）。其中，黄河花园口至高村河段的游荡型河段内由于黄河摆动范围广，湿地面积广阔，是黄河下游湿地的主要发育区；高村至陶城铺的过渡型河段湿地分布逐渐缩减，陶城铺以下弯曲型河段湿地面积基本被压缩在河槽之内。



游荡性河段 弯曲性河段

图 12.1.1-2 黄河下游不同河段湿地分布示意图

根据黄河下游河流宽浅河道主槽和嫩滩的复合断面类型，进一步可将黄河下游湿地划分为河漫滩湿地和河道湿地，其中河道湿地为河流水面部分，河漫滩湿地为河道嫩滩区域，为黄河行洪、排沙通道。黄河下游河流湿地补水方式主要有河流漫滩和地下水侧渗补给两种，汛期补给方式兼有漫滩补水和地下水侧渗补给，非汛期主要依赖主流对河

道湿地的侧渗补给。

12.1.1.2 近 30 年河漫滩湿地变化

本次评价选用了花园口至利津河段八期典型遥感影像数据（80 年代、90 年代、2003 年、2006 年、2013 年、2015 年、2016 年、2017 年），借助遥感解译技术，对黄河下游河流湿地（河漫滩和河道湿地）信息进行提取（如表 12.1.1-1）。解译范围为黄河下游花园口至利津长 660km 的河段，两侧以沿黄大堤为边界。

表 12.1.1-1 黄河下游花园口至利津河段河流湿地解译成果表

湿地类型		面积(ha)							
		80 年代	90 年代	2003 年	2006 年	2013 年	2015 年	2016 年	2017 年
河流 湿地	河道水面	54000	41400	39838	45726	40298	40510	39373	41521
	河漫滩湿地	43900	16000	23760	17859	21512	17375	18606	15914
	小计	88528	55819	63598	63585	61810	57886	57979	57435

从解译结果来看，黄河下游河流湿地面积呈现先减少后增加再减少并趋于稳定的趋势。从上世纪 80 年代至 90 年代，受黄河枯水期影响，河流湿地面积显著减少；其后，随着调水调沙的实施，下游河道扩展，河流湿地面积得以恢复；2006 年以后，随着河流中水河槽逐渐成型，和河防工程逐渐完善，下游河流湿地面积逐渐趋于稳定。

同时，根据黄河下游河段湿地特征，对各河段内河流湿地进行了解译和分析。现状年，黄河下游河流湿地总面积 57434ha，其中河流水面面积 41521ha，河漫滩面积 15913ha。在各河段中，花园口至高村河段河漫滩湿地面积为 14197ha，占黄河下游河漫滩湿地总面积的 76%，是黄河下游河漫滩湿地集中分布区。

表 12.1.1-2 黄河下游各河段河流湿地组成变化

河段	湿地 类型	80 年代	2000 年	2003 年	2006 年	2013 年	2015 年	2016 年	2017 年
		面积(ha)	面积(ha)	面积(ha)	面积(ha)	面积(ha)	面积(ha)	面积(ha)	面积(ha)
花园口 至高村 河段	河流 水面	19427	10478	11498	14743	10992	12651	9676	11087
	河漫滩	27169	15671	16845	14494	15321	11263	14197	12173
	小计	46596	26149	28343	29237	26313	23914	23873	23260
高村至 陶城铺 河段	河流 水面	9134	5770	5288	8163	7087	5583	6818	7310
	河漫滩	2871	1053	2959	965	1894	2871	1919	1402
	小计	12005	6823	8247	9128	8981	8454	8737	8712
陶城铺 至利津 河段	河流 水面	27588	22265	23042	22819	22219	22276	22879	23124
	河漫滩	2339	582	3955	2400	4297	3241	2490	2338
	小计	29927	22847	26997	25219	26516	25517	25369	25462

12.1.1.3 湿地与河防整治工程的关系

自然情况下，黄河下游河道游荡、摆动、迁徙不定，是中华民族的心腹大患。同时，黄河下游滩区土地肥沃，滩区内仍居住有 180 万群众。防洪、保滩是黄河下游治理的重要目标。

为保障防洪安全，新中国成立以来，黄河下游共进行了三次比较系统的流域规划，目前已经基本建成较为完善的河防工程体系。黄河下游防洪工程体系主要包括河防工程、分滞洪工程、滩区安全建设等，河防工程主要包括干流堤防、险工和控导工程等。堤防为黄河防洪最后一道防线，是黄河下游的边界。险工和控导工程属控制中水河槽、稳定河势的整治工程，险工主要依附在堤防之上，控导工程深入河道范围之内，沿治导控制线两侧、在河湾段分段布设；多年来，为保护滩区安全，滩区内人民群众在控导之间修建“生产堤”抵御洪水，从而在黄河下游形成了“堤防--滩区-河防工程-河漫滩-河槽水面”的典型格局(如图 12.1.1-3)。通过黄河下游河道整治工程建设，进一步控制了河势，归顺河势，稳定中水流路；通过调水调沙，协调水沙关系，塑造 $4000\text{m}^3/\text{s}$ 中常洪水的主槽过流能力，并长期维持河槽的行洪排沙能力，确保黄河安澜。



图 12.1.1-3 黄河下游土地利用典型格局示意图

黄河下游河流湿地是河道行洪的一部分，其形成、发展和萎缩与黄河水沙条件、河道边界条件息息相关。一年中最大流量时段、洪峰过程决定了河道所能接受洪水直接补给的边界，因而也决定了河流湿地的范围。

近年来，随着小浪底水库洪水调控能力增强、河防工程体系进一步完善、下游滩区防洪保安全政策的实施，黄河下游河槽按照 $10000\text{m}^3/\text{s}$ 行洪能力设计，中常洪水范围控制在河防工程范围以内，黄河下游土地利用总体格局基本稳定；黄河下游河流湿地类型在河漫滩湿地和河槽水面湿地之间动态变化。随着下游生态廊道建设和退耕还河实施，湿地面积总体略有增加，但幅度不大，总体保持稳定。

图 12.1.1-4 给出了同一年内枯水期（2019 年 1 月 21 日，当日花园口断面日均流量 $426\text{m}^3/\text{s}$ ）和丰水期（2019 年 7 月 7 日，当日花园口断面日均流量 $3980\text{m}^3/\text{s}$ ）河流水面和河漫滩湿地转换过程。

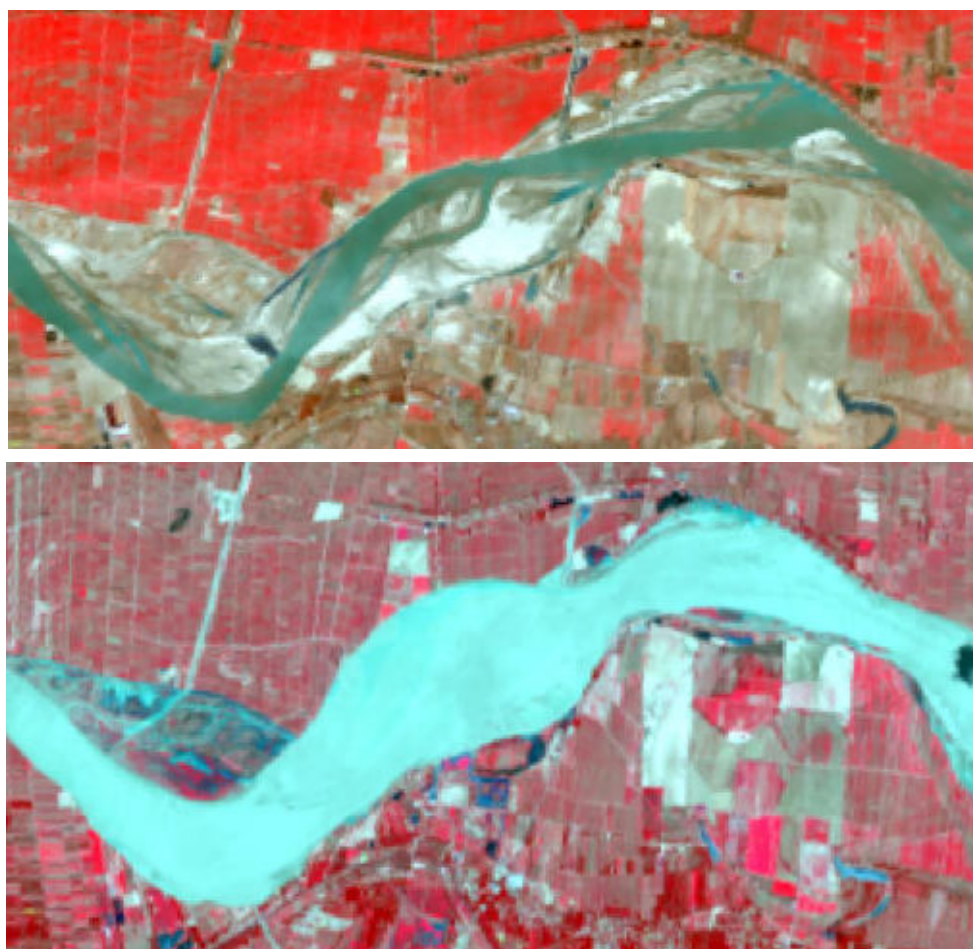


图 12.1.1-4 不同流量对湿地的补给（上：2019 年 1 月 21 日；下：2019 年 7 月 7 日）

12.1.1.4 存在的主要问题

1. 黄河下游生态基流基本得到保障，部分河段适宜生态流量保障程度不高

黄河下游地区是流域水资源供需矛盾最为突出的区域，尤其是 4-6 月份既是农灌用水高峰期，同时也是生态用水高峰期，协调和保障“三生”用水压力巨大。经过近年来小浪底水库调度运用、全河水量统一调度、生态调度等实践，下游河段生态流量满足程

度有了较大程度的提高，2006 年以来花园口和利津断面生态基流满足程度都达到了 95% 以上，但部分河段敏感生态流量满足程度不高，尤其遇到特枯水年份时，黄河下游主要控制断面适宜生态流量保障仍面临较大困难。根据黄河流域综合规划确定的生态流量目标，近 20 年（2000 年~2020 年）花园口断面 4 月~6 月最小生态流量程度为 99.9%，适宜生态流量满足程度为 98.9%；利津断面 4 月~6 月最小生态流量程度为 75%，适宜生态流量满足程度为 63.8%。特别是枯水年份，花园口断面 4 月~6 月适宜生态流量满足程度只有百分之六十多，利津断面满足程度只有百分之十几，对于黄河两岸河流湿地保护与修复相对不利。

2. 小浪底水库现已进入拦沙后期，后续动力不足，塑造大洪水的能力不够

小浪底水库是黄河下游的骨干控制性工程，对下游河段的水资源开发利用及生态环境保护起着重要的作用。1999 年，小浪底水库建设运用以来，通过不断优化调度运行方式、塑造大流量洪水过程，黄河下游河段生态流量满足程度不断提高，河道两侧地下水水位得到显著抬升，河流生态系统得到一定程度的恢复，湿地结构和功能得以修复，栖息地得以保护，河流湿地萎缩的态势基本得到了初步遏制。据遥感调查，1999 年至 2013 年，黄河下游河流湿地面积增加了 6.4%，河漫滩湿地面积增加了 14.3%，近年来逐渐趋于稳定。按照《小浪底水利枢纽拦沙后期（第一阶段）运用调度规程》，当前小浪底水库处于拦沙后期第一阶段，当小浪底水库拦沙完成后，面临后续动力不足等问题，无法塑造足够的洪水过程，对于湿地现有规模持续维持相对不利。

12.1.2 河漫滩湿地与黄河水力联系

1. 河流流量与河流水面面积关系

河流水面面积与地表水联系最为密切。为分析黄河下游河川径流与湿地补给关系，基于 Landsat 卫星数据遥感解译得到水域面积，充分考虑黄河下游水沙及河道特点，以黄河下游铁谢至夹河滩河段为对象开展河道湿地演变趋势与水文情势响应关系研究。通过对比分析 1986 年~1988 年 18 期、1999 年~2001 年 14 期遥感调查得到的河流水域面积与对应时间的日径流量相关关系如图 12.1.2-1。

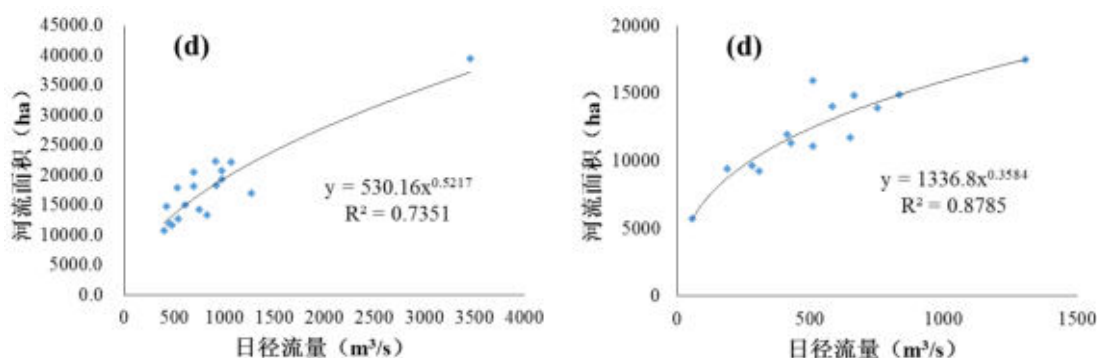


图 12.1.2-1 1986 年~1988 年、1999 年~2001 年日均流量与河流水面相关关系图

分析结果表明,日径流量与河流水域面积均具有较好的显著正相关性。1986 年~1988 年相关系数为 0.86, 1999 年~2001 年相关系数在 0.95 以上。因此, 河流流量与河流水面面积呈正相关关系, 是影响河流水面面积的主要因素。

2. 平滩流量与河流湿地面积关系

黄河下游湿地以河流湿地为主, 沿黄河两岸呈带状分布, 与黄河水力联系密切。大流量 (大于 $4000\text{m}^3/\text{s}$) 时, 黄河水以漫滩洪水的形式对两岸低滩湿地进行水源补给; 小流量时, 黄河水以侧渗形式对两岸低滩湿地进行地下水水源补给。2000 年以来黄河下游平滩流量不断增加, 漫滩洪水发生几率不断降低, 黄河下游河流湿地水源补给转变为侧渗补给为主, 但大洪水过程对于侧渗补给范围和补给量仍具有重要意义。

黄河下游河段主要控制断面平滩流量变化如图 12.1.2-2 所示。可以看出, 各断面平滩流量处于动态变化中。2000 年花园口、高村、艾山和利津断面平滩流量分别为 $3700\text{m}^3/\text{s}$ 、 $2500\text{m}^3/\text{s}$ 、 $3000\text{m}^3/\text{s}$ 、 $3100\text{m}^3/\text{s}$, 2002 年各断面平滩流量为 $4100\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1850\text{m}^3/\text{s}$ 、 $2800\text{m}^3/\text{s}$ 、 $2900\text{m}^3/\text{s}$, 2014 年各断面平滩流量增加至 $7200\text{m}^3/\text{s}$ 、 $6100\text{m}^3/\text{s}$ 、 $4250\text{m}^3/\text{s}$ 、 $4650\text{m}^3/\text{s}$ 。黄河下游主要控制断面平滩流量在上世纪 90 年代末至本世纪初达到最低值, 此后平滩流量逐渐增加, 漫滩洪水平均峰值、平均历时与最大峰值在持续性降低。1999 年以来, 漫滩洪水发生几率不断降低, 部分河段仅 2002 年发生一次漫滩洪水。随着平滩流量的增加, 河流湿地面积同步增加。

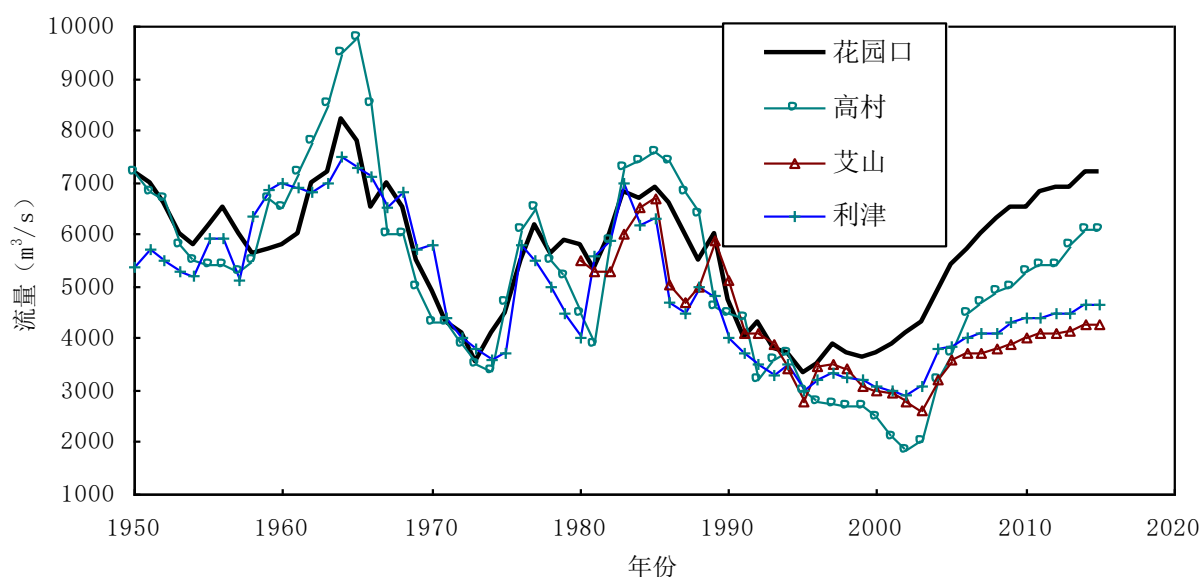


图 12.1.2-2 黄河下游主要断面平滩流量变化

综上所述，黄河下游河流湿地与黄河水力联系紧密，黄河不仅是下游河流湿地的重要水源补给，也是控制下游河流湿地的主要因素。受现有治黄方略和滩区保安全影响，黄河下游湿地主要局限在河防工程和生产堤范围内的河道主槽和嫩滩区域，黄河水主要通过漫滩和侧渗的方式对湿地进行水源补给，小浪底水库现有调度运行方式主要通过汛期塑造一定量级的大洪水过程（ $2600\text{m}^3/\text{s}\sim 4000\text{m}^3/\text{s}$ 左右）、4 月~6 月植被生长期维持敏感生态流量、其他时段维持生态基流要求，从而实现对两岸河流湿地的水源补给。

12.1.3 工程对黄河下游河漫滩湿地影响

12.1.3.1 工程对下游水文情势的影响

1. 流量过程变化

根据设计单位提供的古贤水库和小浪底水库联合运行调算资料，古贤水库运行后，基本维持了小浪底水库现有的调度运行方式，黄河下游河段水文情势和断面形态未发生大的改变，同时进一步结合古贤水库运行特点对特枯水年、枯水时段等流量过程进行了优化。分别选取丰水年、平水年、枯水年、特枯水年等典型年份，分析古贤水库建库前后花园口断面各典型年日均流量变化情况，如图 12.1.3-1 所示。

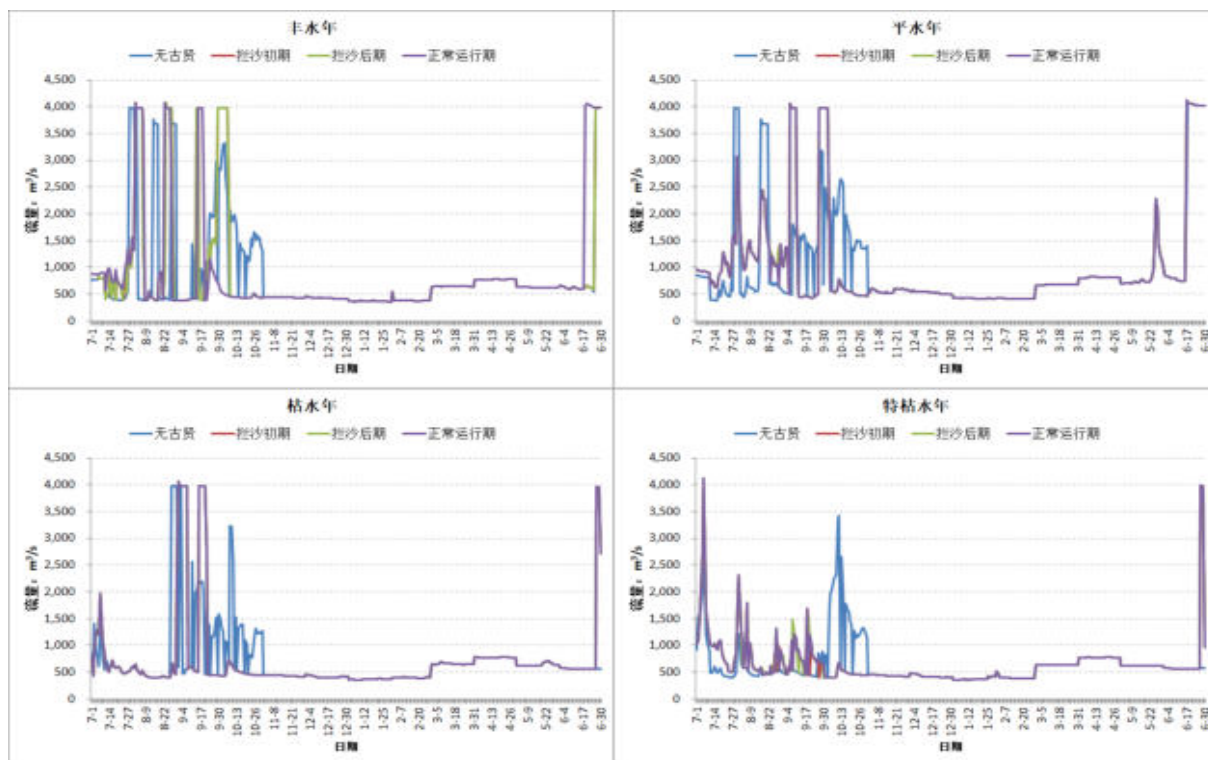


图 12.1.3-1 两库联合运用前后花园口断面流量过程变化

古贤水库与小浪底水库联合调度运用后，基本维持了小浪底水库现有调度运行方式，黄河下游的水文情势、泥沙淤积等基本不发生大的改变，同时，通过两库联合调度，可以塑造更长时间的大洪水过程。分析古贤水库和小浪底水库联合运用前后花园口断面流量过程变化，可以看出，非汛期流量过程变化较小，汛期流量过程发生一定变化，特枯水年最大日均流量有了一定程度的增加。花园口断面特枯水年最大日均流量分别由建库前的 $3440\text{m}^3/\text{s}$ 、 $3270\text{m}^3/\text{s}$ 增加到建库后的 $4120\text{m}^3/\text{s}$ 、 $3950\text{m}^3/\text{s}$ 左右。

2. 流量级分布变化

分析不同来水年份下古贤水库和小浪底水库联合运用前后，不同流量级天数分布情况(表 12.1.3-1)，可以看出，不同来水年份， $3000\text{m}^3/\text{s}$ 以下天数未发生大的变化， $3500\text{m}^3/\text{s}$ 以上的天数有了一定程度的增加。其中，花园口断面丰水年、平水年、枯水年、特枯水年 $3500\text{m}^3/\text{s}$ 以上的天数分别由无古贤时的 18 天、23 天、6 天、0 天增加到古贤小浪底联合运用后的 26 天、26 天、15 天、4 天；利津断面丰水年、平水年、枯水年、特枯水年 $3500\text{m}^3/\text{s}$ 以上的天数分别由无古贤时的 18 天、23 天、6 天、0 天增加到古贤小浪底联合运用后的 26 天、26 天、15 天、4 天。古贤水库和小浪底水库联合运用后，92%~99% 的天数集中在 $3000\text{m}^3/\text{s}$ 以下流量区间，其中，花园口断面 78.6%~91.5% 的天数集中在 $200\text{m}^3/\text{s}$ ~ $1000\text{m}^3/\text{s}$ 区间，1.6%~12.1% 的天数集中在 $1000\text{m}^3/\text{s}$ ~ $2000\text{m}^3/\text{s}$ 区间；利津断

面 80%~95.3%的天数集中在 1000m³/s 以下流量区间，1.1%~11%的天数集中在 1000m³/s~2000m³/s 区间。

表 12.1.3-1 古贤水库和小浪底水库联合运用后花园口断面不同来水年份流量级分布情况

不同时期		流量级(m³/s)								
		0~200	200~500	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000~2500	2500~3000	3000~3500	3500以上
丰水年	无古贤	0.0%	46.3%	37.5%	4.1%	4.1%	0.8%	1.4%	0.8%	4.9%
	拦沙初期	0.0%	48.2%	41.1%	2.5%	0.5%	0.5%	0.0%	0.0%	7.1%
	拦沙后期	0.0%	48.2%	41.1%	2.5%	0.5%	0.5%	0.0%	0.0%	7.1%
	正常运行期	0.0%	48.2%	41.6%	1.6%	0.3%	0.0%	0.3%	0.3%	7.7%
平水年	无古贤	0.0%	22.5%	56.2%	6.3%	4.4%	2.7%	1.1%	0.5%	6.3%
	拦沙初期	0.0%	24.1%	54.5%	9.9%	2.2%	1.6%	0.3%	0.3%	7.1%
	拦沙后期	0.0%	24.1%	54.5%	9.9%	2.2%	1.6%	0.3%	0.3%	7.1%
	正常运行期	0.0%	24.1%	55.1%	9.3%	2.2%	1.6%	0.3%	0.3%	7.1%
枯水年	无古贤	0.0%	41.9%	44.9%	7.1%	1.6%	1.4%	0.5%	0.8%	1.6%
	拦沙初期	0.0%	48.8%	44.7%	1.1%	0.5%	0.3%	0.5%	0.0%	4.1%
	拦沙后期	0.0%	48.8%	44.7%	1.1%	0.5%	0.3%	0.5%	0.0%	4.1%
	正常运行期	0.0%	48.8%	44.7%	1.1%	0.5%	0.3%	0.5%	0.0%	4.1%
特枯水年	无古贤	0.0%	47.1%	43.6%	4.4%	2.5%	1.4%	0.3%	0.8%	0.0%
	拦沙初期	0.0%	42.5%	49.0%	4.9%	1.4%	0.5%	0.5%	0.0%	1.1%
	拦沙后期	0.0%	43.0%	47.9%	5.8%	1.1%	0.5%	0.5%	0.0%	1.1%
	正常运行期	0.0%	42.2%	49.0%	5.5%	1.1%	0.5%	0.5%	0.0%	1.1%

12.1.3.2 工程对下游生态流量影响

现状条件下，黄河下游河段生态基流基本都能得到满足，但部分河段适宜生态流量满足程度相对不高。古贤水库建成后，通过与小浪底水库联合调度，丰水年、平水年、枯水年来水条件下花园口断面适宜生态流量全部得到满足，其余时段满足生态基流要求，可以基本维持现有的河流水面面积及侧渗补水量。特枯水年份，通过与小浪底水库联合运用，可以进一步优化水资源调度过程，提高特枯水年份、枯水时段及敏感期黄河下游重要控制断面生态流量保障程度，改善湿地地表水补给条件，为黄河下游湿地的保护和修复提供有利条件。

12.1.3.3 工程对下游大洪水过程影响

现状条件下，黄河下游河段发生漫滩洪水的几率较小，但大流量洪水过程仍会通过侧渗补给的方式影响两岸河流湿地。一般来说，流量过程越大，地表水位越高、地表水侧渗补给量和补给范围也越大，因此塑造一定量级的大洪水过程对于河流湿地保护和修复仍然十分必要。根据前述分析，古贤水库与小浪底水库联合运用后，黄河下游河段主

要控制断面中小流量过程未发生大的变化，主要是大流量洪水过程持续时间有了一定程度的提高，特枯水年份通过联合运用后，使得洪水量级和持续时间增加幅度最为明显，为两岸河流湿地提出了更好的水源补给条件。其中， $3500\text{m}^3/\text{s}$ 以上的天数分别由无古贤时的 18 天、23 天、6 天、0 天增加到古贤水库、小浪底水库联合运用后的 26 天、26 天、15 天、4 天。因此，古贤水库运行后，不会对黄河下游大洪水过程产生明显不利影响。

12.1.3.4 工程对黄河下游湿地生态系统结构及功能的影响

黄河下游河床是典型的复式冲积性河床，河流湿地呈带状分布于沿河两岸的滩地里，从主河槽向两侧黄河大堤依次分布有河流水面、河漫滩湿地、人工湿地、农田等，植被类型依次为一年生植物群落—>多年生植物群落-->农田栽培植物。经过近年来全河水量统一调度和小浪底生态调度等生态保护与修复实践，黄河下游湿地生态系统结构和功能逐渐趋于稳定状态。河流湿地是黄河下游湿地的主要组成，与黄河水力联系最为密切，除了需要一定量级的洪水过程实现漫滩补给外，其余时段通过保持适宜的河流生态流量，可以基本维持对两岸湿地的侧渗补给。

根据前述分析，古贤水库与小浪底水库联合运用时，基本维持了小浪底水库现有调度运行方式，黄河下游河段水文情势和断面形态等未发生大的改变，但利津断面 4-6 月适宜生态流量满足程度由现状的 77% 增加到 100%，不同来水年份 $3500\text{m}^3/\text{s}$ 以上大洪水过程持续时间均有了不同程度的增加，为黄河下游湿地的维持和改善提供了有利的水资源条件。此外，在特枯水年份，通过古贤水库与小浪底水库联合调度，将花园口和利津断面 $3500\text{m}^3/\text{s}$ 以上的大洪水过程持续时间分别由小浪底水库单独运用时的 0 天、0 天增加到两库联合运用后的 4 天、4 天，一定程度上改善了极端条件下湿地生态水文条件。因此，古贤水库建设运行后，对湿地的水源补给条件未产生不利影响，不会对下游湿地生态系统的结构和功能产生较大影响。

12.2 黄河河口湿地现状及影响

12.2.1 黄河河口湿地基本情况

12.2.1.1 黄河河口湿地现状

黄河河口位于山东省东营市垦利县，一般指以渔洼为顶点，北起挑河口、南至宋春

荣沟，面积约 2400km² 的扇形地带。黄河口地区湿地资源丰富，是野生动植物主要栖息地，是维持三角洲生态系统完整和稳定的重要组成部分。

依据《湿地分类》（GB 24708-2009）标准，采用 Landsat 8 卫星遥感影像对 2020 年黄河河口湿地进行解译和分类，结果如图 12.2.1-1 所示。根据解译结果，黄河河口现有湿地面积 1365.1km²，约占土地总面积的 56.9%；其中天然湿地 776km²，约占湿地总面积的 56.8%，可细分为淡水湿地、咸水湿地和近海海岸湿地。淡水湿地总面积 280.8km²，占天然湿地总面积的 29.3%，其中河流湿地面积 54.5km²，芦苇淡水沼泽湿地 173km²。河口湿地面积统计见表 12.2.1-1。

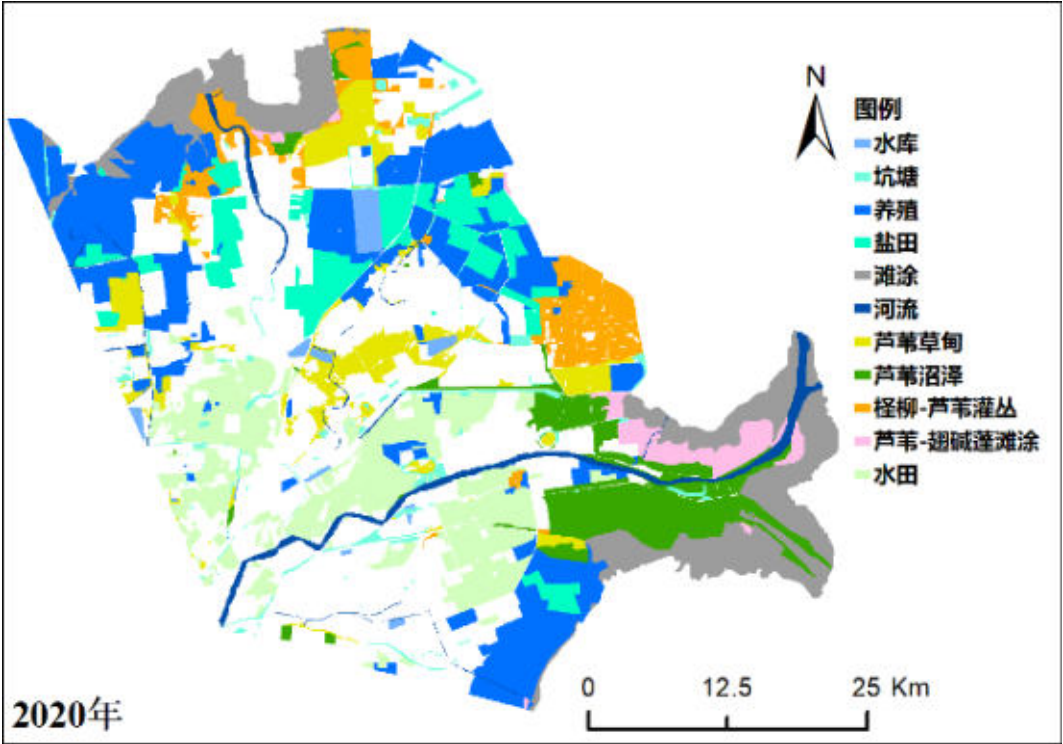


图 12.2.1-1 黄河河口湿地面积分布图

表 12.2.1-1 2020 年黄河河口湿地面积统计 单位：km²

湿地类型	人工湿地					自然湿地						
	水库	坑塘	养殖	盐田	小计	滩涂	河流	芦苇草甸	芦苇沼泽	柽柳芦苇灌丛	芦苇翅碱蓬滩涂	小计
现代三角洲	24.5	42.6	371.2	150.8	589.1	245.7	54.5	116.1	173.0	116.1	70.1	776

12.2.1.2 山东黄河三角洲国家级自然保护区

山东黄河三角洲国家级自然保护区位于山东省东营市东北部的黄河入海口处，北临渤海，东靠莱州湾，与辽东半岛隔海相望；地理坐标为东经 118°33′—119°20′，北纬 37°35′—38°12′；总面积 15.3 万 hm²，其中核心区面积 5.8 万 hm²，缓冲区面积 1.3 万 hm²，实验区面积 8.2 万 hm²。见图 12.2.1-2。

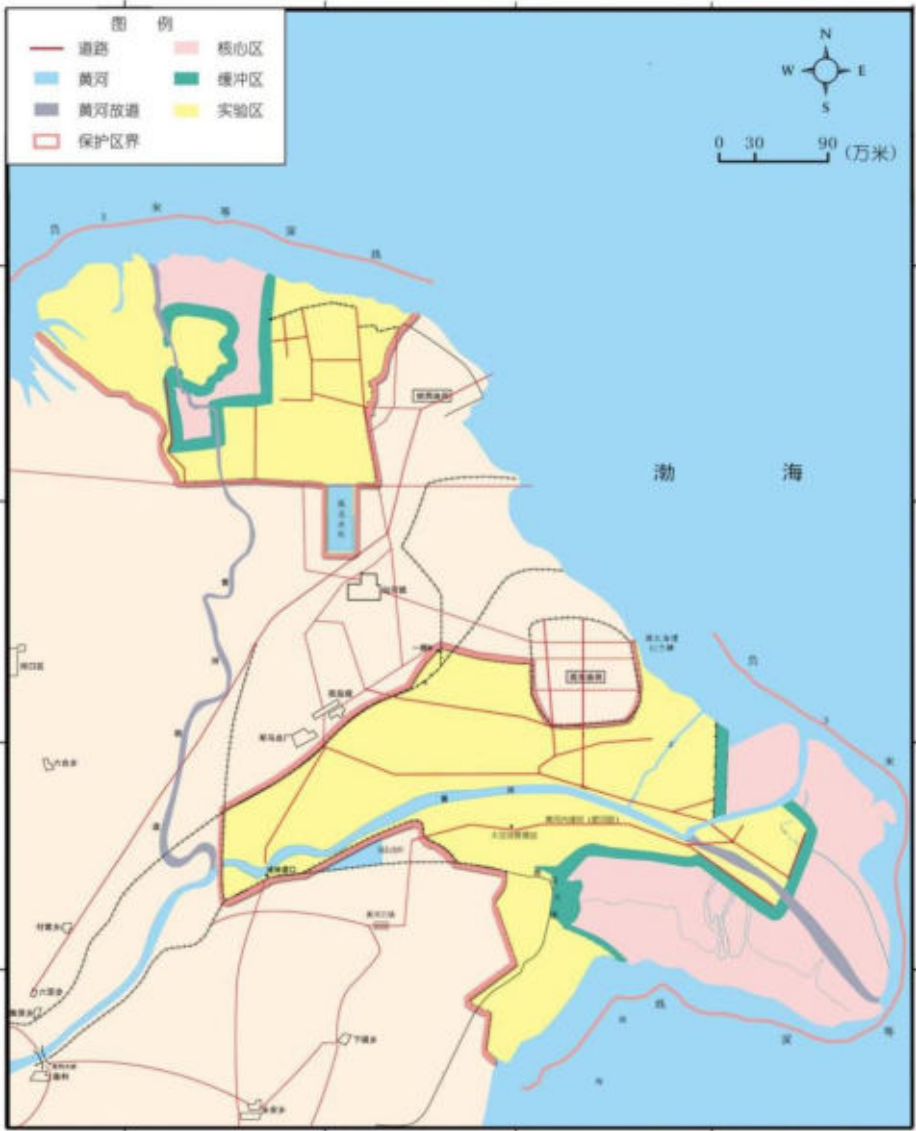


图 12.2.1-2 黄河三角洲国家级自然保护区功能区划图

黄河三角洲国家级自然保护区是东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的“中转站”、越冬地和繁殖地，以新生湿地生态系统和珍稀濒危鸟类作为主要保护对象，在我国生物多样性保护和湿地研究工作中占有极其重要的地位。2005 年被国家林业局列为全国林业系统 51 个示范保护区之一。

保护区湿地生境类型多样，为许多动植物，特别是鸟类提供了适宜的繁殖地。据调

查，黄河三角洲自然保护区内分布维管束植物 46 科 128 属 195 种；鱼类 16 目 55 科 197 种；哺乳动物 7 目 14 科 26 种；鸟类 12 目 58 科 296 种；两栖动物 3 科 6 种；爬行动物 6 科 10 种。该保护区是国家乃至世界上鸟类保护的重要基地，在 296 种鸟类中，国家 I 级重点保护动物 12 种，国家 II 级重点保护动物 55 种。国家 I 级保护鸟类有丹顶鹤、白头鹤、大鸨、东方白鹳、金雕、中华秋沙鸭、白尾海雕、遗鸥等，国家 II 级保护鸟类有灰鹤、大天鹅、鸳鸯等。在中日两国政府保护鸟类及栖息环境协定所列的 227 种鸟类中，该保护区内有 155 种，占 68.3%；在中澳两国政府保护候鸟协定所列 84 种鸟类中，该保护区有 53 种，占 65.4%；列入《濒危野生动植物种国际贸易公约》中有 55 种。

12.2.1.3 黄河口国家公园

据调查相关部门正在以黄河三角洲国家级自然保护区为基础，对黄河口临近区域 7 个保护地进行优化整合，筹建黄河口国家公园（见图 12.2.1-3）。规划黄河口国家公园总面积为 3523km²，核心保护区面积为 1841km²，占总面积的 52.3%；一般控制面积为 1682 km²，占总面积的 47.7%。

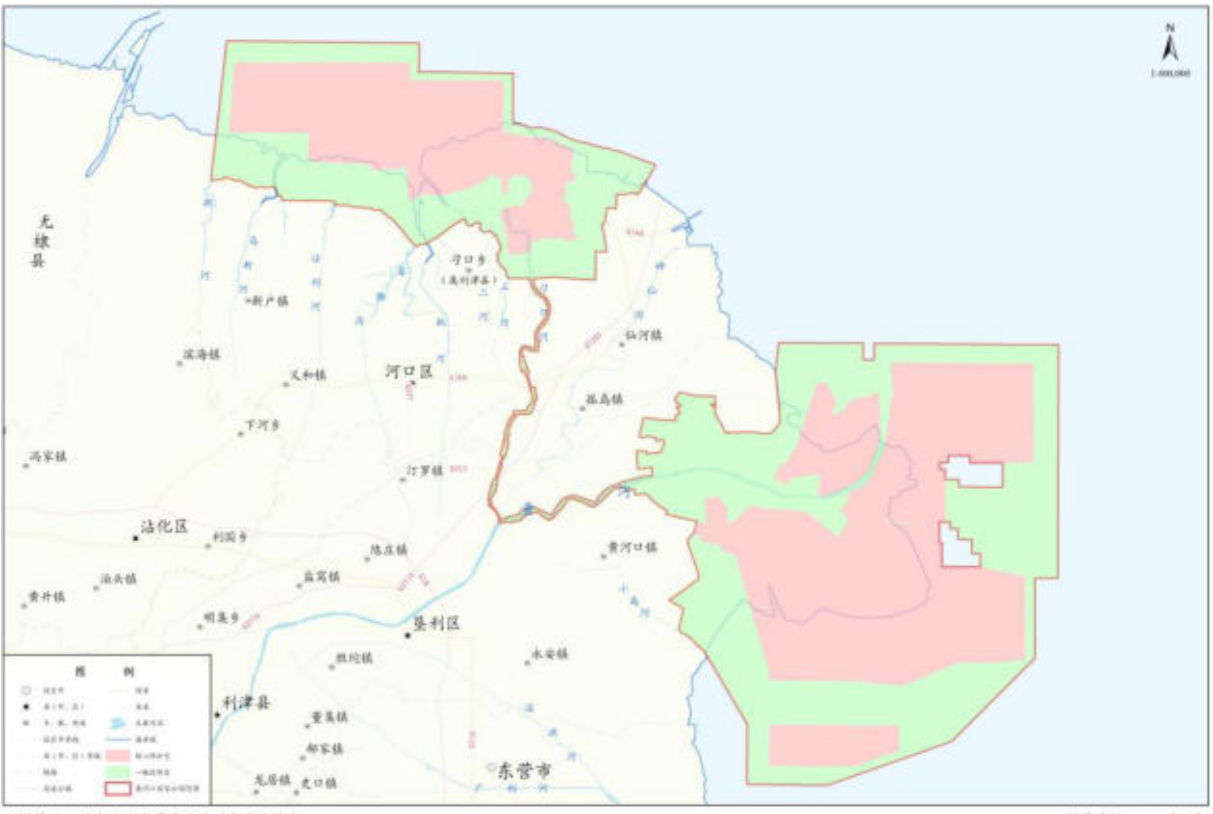


图 12.2.1-3 黄河口国家公园规划范围和区划示意图

12.2.2 河口淡水湿地分布与黄河水力联系

12.2.2.1 黄河河口湿地分布特征

根据解译结果，黄河河口湿地分布格局呈现以下几个特征：

（1）河口湿地资源丰富，面积广阔，整体上呈带状围绕在三角洲边缘，介于内陆和海域之间，是典型的陆海两相生态系统交汇带、缓冲带。

（2）河口湿地分为天然湿地和人工湿地两类，其中天然湿地集中分布在刁口河尾间和黄河现行流路两侧，即在黄河三角洲国家级自然保护区范围之内，其余海岸为人工湿地。

（3）黄河三角洲国家级自然保护区内天然湿地占三角洲天然湿地总面积 81.1%，其中保护区南部现行流路两侧天然湿地约占保护区内天然湿地总面积的 62.7%，是河口地区天然湿地保护的主体，见图 12.2.2-1。

（4）黄河三角洲国家级自然保护区内淡水沼泽湿地面积约占河口淡水湿地总面积的 96.8%；其中保护区南部现行流路两侧淡水沼泽湿地面积占保护区内淡水沼泽湿地面积的 96.3%；表明黄河水沙资源是河口淡水沼泽湿地生态系统的主要条件，对维持河口湿地生态系统稳定起到重要作用。

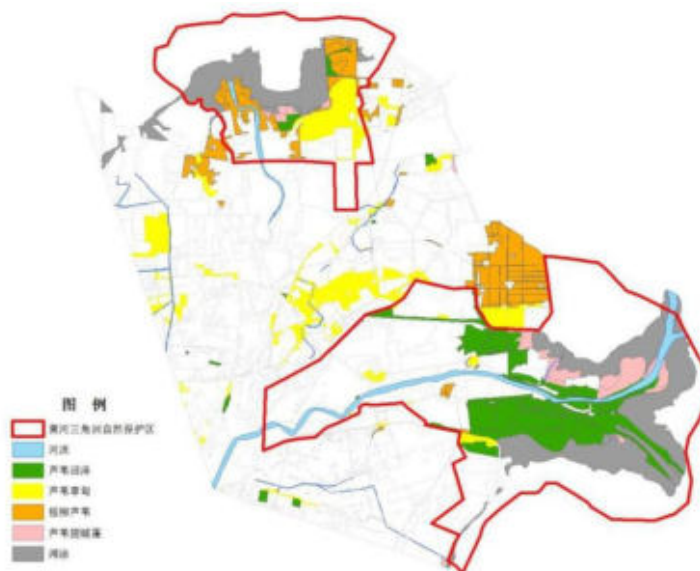


图 12.2.2-1 黄河河口天然湿地分布与保护区位置关系图

12.2.2.2 河口淡水湿地与黄河水力联系

黄河河口淡水湿地由于生产力高，是黄河河口最重要和核心的湿地生态类型，是维系河口生态系统发育和演替、构成河口生物多样性和生态完整性的重要基础生态体系，也是保障河口湿地生态系统实现稳定平衡最重要的基础。

根据解译结果，黄河三角洲国家级自然保护区内淡水湿地主要分布在自然保护区南部区域，且主要集中分布黄河现行流路两侧。上世纪 80 年代，为开发黄河口石油资源，胜利油田和地方政府分别在黄河两侧沿河修建了顺河路，隔断了黄河与大部分淡水湿地的直接水力联系，如图 12.2.2-2 所示。



图 12.2.2-2 黄河河口淡水湿地与黄河位置关系实景影像

上世纪 90 年代，受黄河枯水期影响，黄河河口淡水湿地萎缩严重。2002 年以后，通过调水调沙，黄河河床不断下切，黄河同流量水位降低。根据 2011 年~ 2015 年黄河河口段清 6 断面测量结果，清 6 断面深泓点平均高程 0.275m，平均主槽高程 3.15m，河唇嫩滩高程约 6m，之后随着与黄河距离延长，滩地高程逐渐降低。清 6 断面位置及剖面形态图分别见图 12.2.2-3 和图 12.2.2-4。

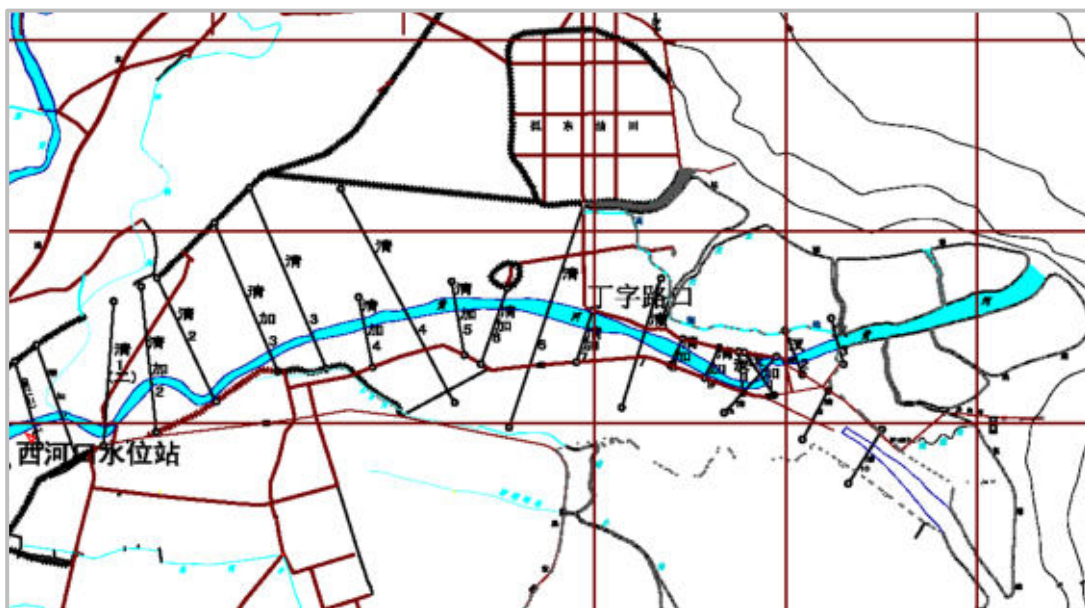


图 12.2.2-3 黄河河口段水文监测断面分布图

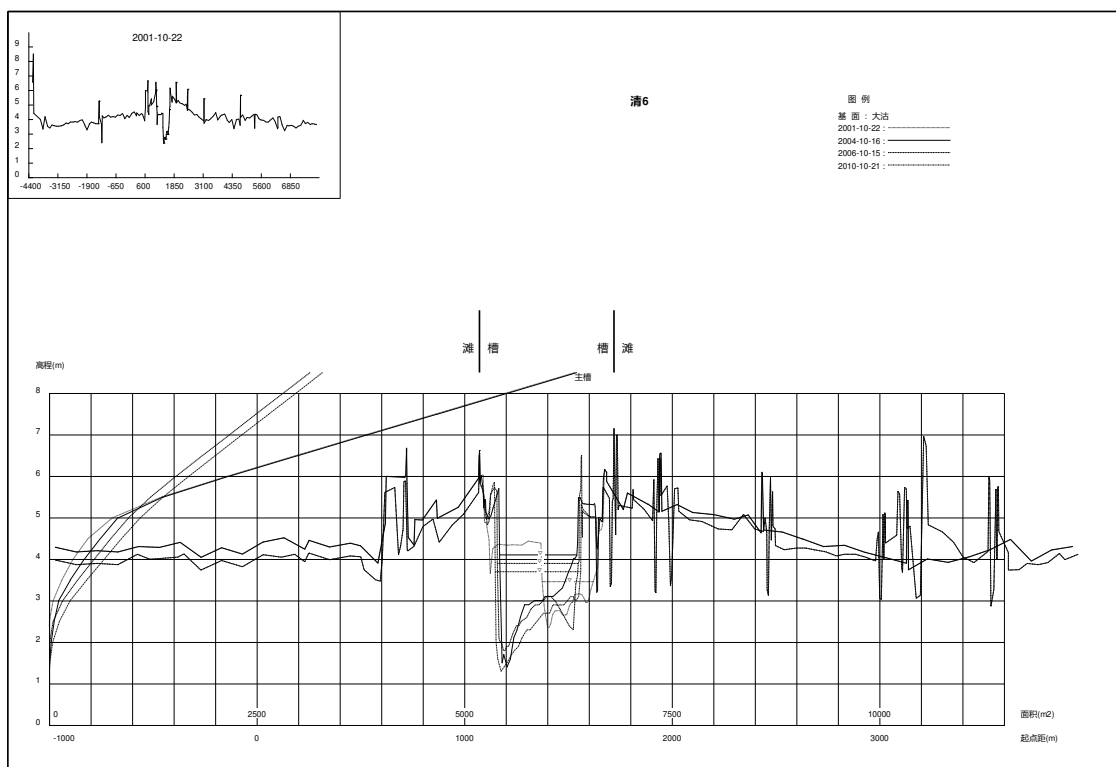


图 12.2.2-4 黄河河口段清 6 断面剖面形态图

受堤防道路影响，黄河三角洲国家级自然保护区南部淡水湿地补水困难。为保护淡水湿地资源，保护区管委会于 2003 年在黄河现行流路南侧大汶流保护区管理站内划定了 5 万亩湿地恢复区，2006 年新增了 10 万亩湿地恢复区。自然保护区管委会以刁口河流路过水为契机，于 2009 年在自然保护区北部划定了 2 万亩湿地恢复区，于 2013 年在清水沟流路北侧划定了 1 万亩湿地恢复区。目前，自然保护区共有湿地恢复区 18 万亩，

合计 120km²。自然保护区和淡水湿地恢复区见图 12.2.2-5。

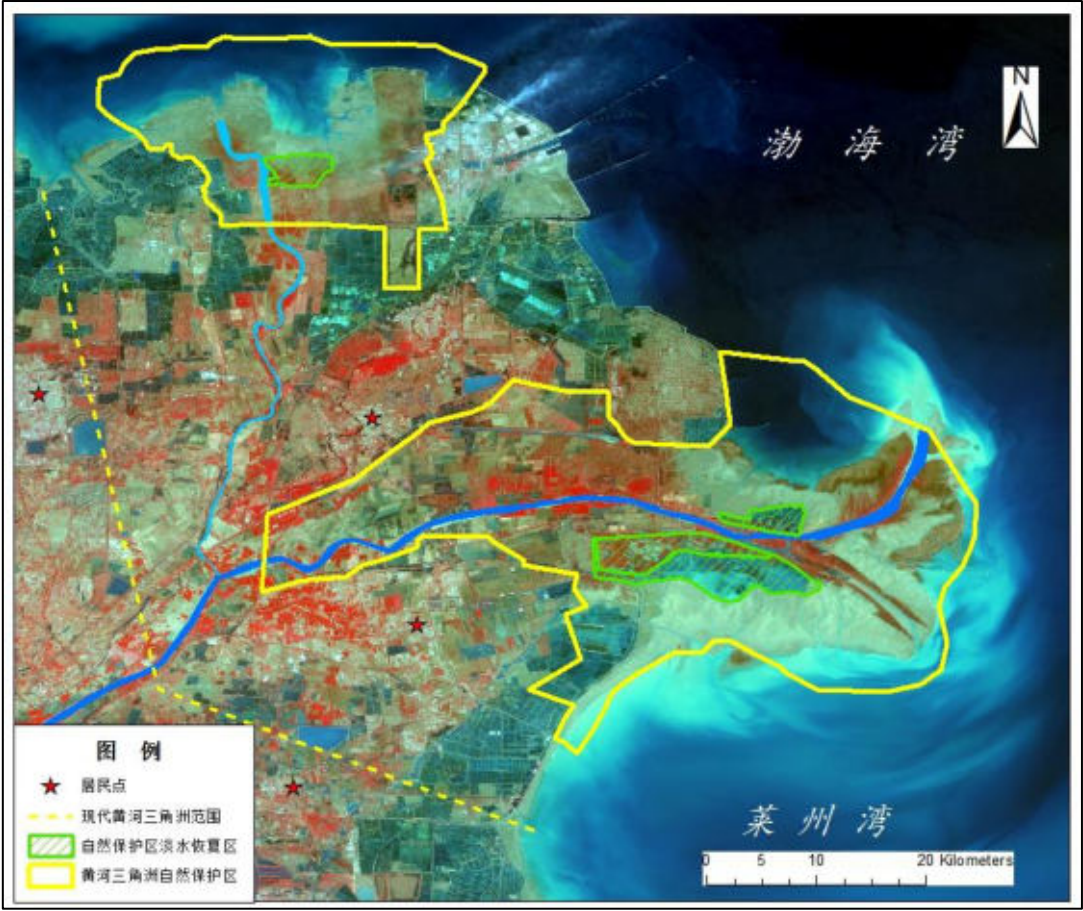


图 12.2.2-5 黄河河口淡水湿地恢复区示意图

现行流路南侧 15 万亩淡水湿地恢复区引水主要通过 1 所泵站和 1 号、2 号、3 号引水闸进行补水，现行流路北侧 1 万亩淡水湿地恢复区主要通过 4 号、5 号引水闸进行补水。本次以 15 万亩淡水湿地恢复区为例介绍引水闸基本情况，分析补水条件。黄河河口湿地现有补水基本情况见表 12.2.2-1 和图 12.2.2-6。

表 12.2.2-1 黄河河口湿地现有补水口基本情况

项目	引黄提水泵站	引黄 1 号闸	引黄 2 号闸	引黄 3 号闸
底板高程	6.831	4.083	3.572	2.888
设计流量(m ³ /s)	1	20	6	6
引水渠长度 (km)	4.7	3.5	0.7	0.3
控制湿地面积 (万亩)	0	14	0.5	0.5

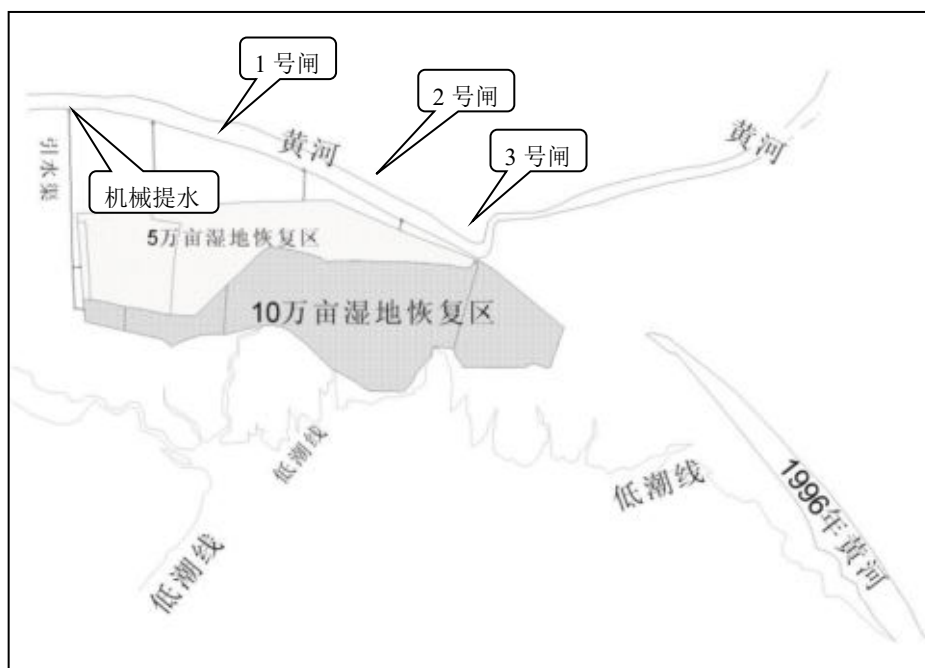


图 12.2.2-6 河口现行流路南侧湿地引水涵闸分布图

根据 1 号闸和 3 号闸实测水位流量关系曲线图，结合实测的大断面图来计算具备引水条件和达到设计引水能力时的闸前黄河干流水位。根据山东黄河水文水资源局现场实测及计算，当具备引水条件时，1 号闸相应利津流量为 $1100\text{m}^3/\text{s}$ ；3 号闸相应利津流量为 $2500\text{m}^3/\text{s}$ 。当达到设计引水能力时，1 号闸相应利津流量为 $3500\text{m}^3/\text{s}$ ；3 号闸相应利津流量为 $3300\text{m}^3/\text{s}$ 。

2008 年后，根据黄河三角洲自然保护区内淡水湿地需水要求，黄委开展了黄河河口淡水湿地生态补水，2010 年实施了刁口河备用流路过水，有目的的生态调度，向自然保护区淡水恢复区进行生态补水。据统计，至 2020 年，共向黄河河口淡水湿地恢复区补水 6.58 亿 m^3 （见表 12.2.2-2），2021 年继续向三角洲淡水湿地恢复区进行了补水 1.81 亿 m^3 ，极大地促进了河口区域生态环境的修复，初步实现了人工干预下有限目标生态环境的修复，为遏制河口生态环境恶化趋势和促进黄河流域生态环境修复提供了积极的淡水资源保障。

表 12.2.2-2 2008 年~2020 年黄河三角洲淡水湿地补水情况统计 单位：万 m^3

年份	引水天数	清水沟引水	刁口河引水	合计引水
2008	11	1356		1356
2009	10	1507		1507
2010	12.6	2041	3628	5669
2011	15	2248	3619	5867

年份	引水天数	清水沟引水	刁口河引水	合计引水
2012	19	3036	3285	6321
2013	19	2129	2613	4742
2014	10	803	1325	2128
2015	16	1678	1744	3422
2016				0
2017			2400	2400
2018		1100	3621	4721
2019	32	3982	2091	6073
2020		12568	9033	21601
合计				65807

12.2.3 黄河河口湿地面积变化

1. 河口湿地变化趋势

评价根据 1986 年~2018 年间历史遥感影像、野外考察和历史调查资料，解译得到黄河河口 1986 年~2018 年间湿地资源变化趋势。保护区南部现行流路两侧淡水沼泽湿地面积占河口淡水沼泽湿地总面积 93.2%，也是受黄河淡水资源影响最直接湿地，评价以之为对象分析其变化趋势。见图 12.2.3-1。

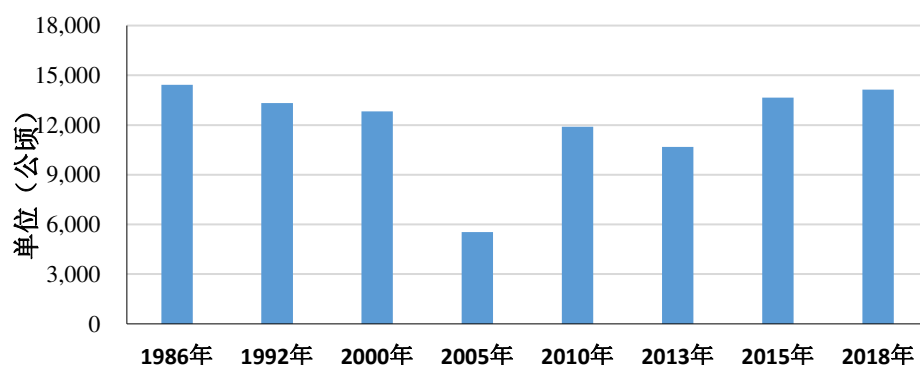


图 12.2.3-1 保护区现行流路两侧淡水沼泽湿地面积变化

从图 12.2.3-1 中可见，保护区南部淡水沼泽湿地面积从上世纪 80 年代至今呈现先减少后增加，逐渐恢复的趋势。从 1986 年至本世纪初，受黄河水量减少影响，淡水沼泽湿地面积显著减少，从 1986 年的 144.3km² 减少至 2000 年的 128.2km²，由于 2000-2002 年为黄河连续特枯年份，年均入海水量仅有 39 亿 m³，流路两侧大面积淡水湿地被怪柳和农田代替，至 2005 年淡水沼泽湿地面积减少至 55km²。此后，随着保护区生态补水工作的开展，淡水沼泽湿地面积逐渐恢复，至 2018 年已恢复至 141.4km²，基本恢复至上世纪 80 年代水平。

12.2.4 存在的主要问题

1. 天然湿地面积萎缩，淡水湿地补水困难

上世纪 80 年代以来，黄河河口湿地总面积不断下降，至 2018 年整体下降了 16%，但天然湿地下降更为明显，萎缩了约 52.8%，由占总面积的 96.87%降低至 54.96%；人工湿地增加约 1110.2%，由占总面积的 3.13%上升至 45.04%。河口湿地面积、结构发生显著变化。自然情况下，河口淡水湿地主要受黄河漫溢和侧渗补给，分布在黄河干流两侧。但在河口道路建设和油田垦采影响下，大部分淡水湿地均为道路、圩堤围合，与黄河的直接水力联系被隔断，区域水文连通性遭到破坏，成为人工干预条件下的“自然湿地”。现行流路两侧湿地淡水补给必须在黄河大流量期间开启涵闸口门来实现引水，一般需要利津断面日均流量大于 $2500\text{m}^3/\text{s}$ 方可以引水，引水天数少，补水时机补水过程受到影响极大，无法实现常态化补水。

2. 人类活动强度加大，与湿地争地现象剧烈

2000 年以来，黄河河口经济社会发展快速，土地利用开发强度显著增加，区域城镇扩张、交通道路修建及油田开发，大片土地被开发成坑塘、盐田等，侵占原有湿地资源。如 2006 年以来，河口北部芦苇草甸和芦苇柽柳湿地随着水土资源开发，大量的被开发为人工湿地和农牧地，由于河口土壤肥力弱，经过一两年生产后，大量土地又被抛荒。再如，2010 年刁口河备用流路的生态补水后，沿河两侧由荒地大面积开发为稻田等生产用地，消耗了大量的生态用水，对刁口河尾间湿地恢复区引水造成影响；此外，保护区南部区域内大量黄河沿岸土地被开发为稻田，与湿争地，与湿争水现象明显。

12.2.5 工程对河口淡水湿地影响分析

12.2.5.1 对河口生态流量影响预测

黄河是黄河河口淡水湿地维持的重要水源。在黄河汛期(7-10 月)和生态敏感期(4-6 月)通过自流引水向淡水湿地实现生态补水，在非汛期(11-3 月)可以通过泵站引水补给。因此，保障河口生态流量(在非汛期保障生态基流、敏感期保障敏感生态流量)是保障河口淡水湿地水源的基础。

1. 河口控制断面生态流量指标

利津水文站是黄河把口站，是黄河干流最后一个水文站，距黄河三角洲国家级自然保护区 50km，距渔洼约 20km，是黄河过河口鱼类通道和河口湿地生态控制断面，同

时反映了流域水资源开发利用程度，是黄河入海水量控制断面。因此，本章选择利津断面作为河口生态流量、入海水量需求的计算断面。

2013 年国务院批复的《黄河流域综合规划》对利津断面生态流量进行了规定，指出利津断面 4 月适宜生态流量为 120m³/s、5 月~6 月适宜生态流量为 250m³/s；2017 年水利部批复的《黄河下游生态流量试点工作实施方案》将利津断面生态流量根据生态系统构成需水分为：最小生态流量 30m³/s~50m³/s、特枯水年可按 30m³/s 调度、水生生物栖息地生态流量 75m³/s~1000m³/s、廊道功能维持和湿地生态流量为 2600m³/s~4000m³/s。

根据上述批复，综合确定利津断面生态流量为：非汛期生态基流 50m³/s，敏感期 4 月生态流量 120m³/s、5 月~6 月 250m³/s。

2. 现状条件下生态流量满足程度

考虑上世纪 70 年代至 1999 年，黄河下游经常断流，与当前水文情势差异较大。选择 2000 年以来利津断面日均流量过程评估现状条件下的生态流量满足程度。

(1) 生态基流满足程度

以 2000 年以来非汛期 1、2、3、11、12 月日均流量过程评估利津断面生态基流满足程度，见表 12.2.5-1。可以看出，2000 年以来利津断面非汛期生态基流满足程度平均达到 94.4%，其中 2003 年以后满足程度基本均达到 100%。而 2000 年~2002 年生态基流满足程度不高的原因为：该时期正值黄河流域连续特枯水年，水量极其匮乏，满足程度逐年降低。

表 12.2.5-1 2000 年以来利津断面非汛期生态基流满足程度

年份	满足程度	年份	满足程度	年份	满足程度	年份	满足程度
2000	97.5%	2006	100.0%	2012	100.0%	2018	100.0%
2001	88.1%	2007	100.0%	2013	100.0%	2019	100.0%
2002	56.7%	2008	100.0%	2014	100.0%	2020	100.0%
2003	44.4%	2009	100.0%	2015	100.0%	平均	94.4%
2004	100.0%	2010	100.0%	2016	100.0%		
2005	100.0%	2011	96.7%	2017	100.0%		

(2) 关键期（4 月~6 月）生态流量满足程度

以 2000 年以来 4 月~6 月日均流量过程评估利津断面关键期生态流量满足程度，见表 12.2.5-2。2000 年以来利津断面关键期生态流量满足程度平均为 63.8%，年内最小满足程度为 0%，最大满足程度为 100%。从上表可以看到，满足程度不高的年份主要发生在连续枯水年和连续枯水年后的第一个平水年。

表 12.2.5-2 2000 年以来利津断面关键期生态流量满足程度

年份	满足程度	年份	满足程度	年份	满足程度	年份	满足程度
2000	3.2%	2006	100.0%	2012	97.8%	2018	100.0%
2001	12.1%	2007	57.2%	2013	89.0%	2019	100.0%
2002	0.0%	2008	100.0%	2014	93.4%	2020	100.0%
2003	0.0%	2009	48.3%	2015	96.7%	平均	63.8%
2004	98.9%	2010	53.8%	2016	41.8%		
2005	30.8%	2011	23.5%	2017	93.4%		

3. 古贤水库运用后利津断面生态流量满足程度

古贤水库建成后,与小浪底水库进行联合调度运用。根据设计单位提供的拦沙初期、拦沙后期和正常运行期分别遭遇丰水年、平水年、枯水年和特枯水年(注:本章内丰平枯以龙门断面计)的 12 种情形下利津断面日均流量过程,计算利津断面生态流量满足程度,见表 12.2.5-3。

表 12.2.5-3 古贤运用后利津断面生态基流满足程度

时段		生态基流	4 月	5-6 月
拦沙初期	丰水年	100%	100%	100%
	平水年	100%	100%	100%
	枯水年	100%	100%	100%
	特枯水年	100%	100%	100%
拦沙后期	丰水年	100%	100%	100%
	平水年	100%	100%	100%
	枯水年	100%	100%	100%
	特枯水年	100%	100%	100%
正常运行期	丰水年	100%	100%	100%
	平水年	100%	100%	100%
	枯水年	100%	100%	100%
	特枯水年	100%	100%	100%

从表 12.2.5-3 可以看出,古贤水库建成后,充分利用自身库容实现与小浪底的联合运用,可以保障利津断面的生态流量,将利津断面生态流量满足程度提高至 100%水平。

12.2.5.2 对黄河河口湿地生态系统结构和功能影响

黄河河口湿地类型分为天然湿地和人工湿地,其中天然湿地主要集中在自然保护区内部,受黄河和渤海影响,其生态系统结构由河向海依次为:河流生态系统-->淡水湿地生态系统-->盐沼湿地生态系统-->滩涂生态系统-->近海生态系统。其中具有较高生产力、生物多样性较高的湿地主要为淡水湿地,而黄河河口淡水湿地主要集中在现行流路两侧。自 2003 年黄河河口生态恢复区建设以来,河口淡水湿地规模处于人工控制状态,在未新建引黄淡水沼泽湿地恢复区以前,河口湿地生态系统结构和功能基本处于稳定状态。

河口淡水湿地生态功能质量高低主要受黄河每年向恢复区内补水量的影响。受滩唇

高程和沿河交通道路建设影响，目前黄河两侧淡水湿地主要通过黄河大流量过程（利津断面日均流量>2500m³/s）实现自流补水，因此古贤水利枢纽建成与小浪底联合运用后，黄河对河口湿地影响主要体现在不同水平年内是否满足大流量过程要求。

根据设计单位提供的拦沙初期、拦沙后期和正常运行期分别遭遇丰水年、平水年、枯水年和特枯水年（注：本章内丰平枯以龙门断面计）的 12 种情形下利津断面日均流量过程，计算利津断面大流量天数，见表 12.2.5-4。

表 12.2.5-4 古贤水利枢纽运用后利津断面大流量发生天数统计 单位：天

时段		天数
拦沙初期	丰水年	26
	平水年	27
	枯水年	15
拦沙后期	丰水年	26
	平水年	27
	枯水年	16
正常运行期	丰水年	29
	平水年	27
	枯水年	16

根据黄河三角洲国家级保护区现状补水情况可知，黄河河口在利津断面大流量过程期间，引水天数在 10 天~20 天之间，引水量在 3000 万 m³~6000 万 m³ 之间。古贤水库运用后，利津断面丰水年、平水年、枯水年大流量天数分别为 29 天、27 天、26 天，基本高于现状条件下利津断面大流量天数。古贤水利枢纽通过水资源优化调度，可以为黄河河口湿地的维持和改善提供有利的水资源条件，促进河口湿地的生态保护和修复。

12.3 黄河下游河漫滩湿地及河口湿地保护措施

12.3.1 优化下游生态调度方案

优化黄河下游生态调度方案，联合运用古贤水库和小浪底水库，塑造更长时间的大洪水过程，提高 4-6 月份敏感期生态流量满足程度；充分利用古贤水库的调节性能，保障下游河段特枯水年份、枯水时段及敏感期的生态流量要求。

12.3.2 实施生态流量适应化管理

按照生态监测——效果评估——总结反馈的研究方法，根据湿地评估效果，及时修

正调整生态流量目标,优化生态调度方案和古贤小浪底水库联合运用方式,强化生态流量的总结—研究—实践—再总结—再研究—再实践,促进黄河稀缺水资源对黄河生态的有效修复与保护。

12.3.3 加强下游湿地生态监测和科学研究

构建黄河下游湿地定期监测评估制度,开展黄河下游湿地生态系统综合监测,对湿地变化情况进行分析,评估生态修复效果;开展古贤和小浪底水库联合调度对下游河流湿地影响专项研究,及时反馈研究成果,提出进一步优化水库联合调度方式建议。

12.4 小结

(1)河流湿地是黄河下游湿地的主要类型,也是受黄河径流影响的主要湿地类型,可划分为河漫滩湿地和河流水面湿地,主要通过漫滩和侧渗的方式进行水源补给。其中河流水面面积与黄河径流变化显著正相关,河漫滩湿地则通过每年大流量过程实现漫滩补给,在平水期则通过河流水面侧渗补给。通过小浪底水库运用,在平水期保障黄河下游生态基流和4月~6月植被生长期维持适宜生态流量实现河流湿地补给,在汛期通过塑造一定量级的大洪水过程($2600\text{m}^3/\text{s}\sim 4000\text{m}^3/\text{s}$ 左右)实现对河漫滩湿地的直接补给。

(2)古贤水库与小浪底水库联合运用后,基本维持了小浪底水库现有调度运行方式,黄河下游河段水文情势和断面形态等未发生大的改变,对黄河下游湿地生态系统不会产生显著影响。同时,通过与小浪底水库开展联合调度,花园口和利津断面特枯水年份生态流量满足程度有了很大程度的提高,利津断面4月~6月适宜生态流量满足程度由现状的60%提高到100%,花园口断面丰水年、平水年、枯水年、特枯水年份 $3500\text{m}^3/\text{s}$ 以上大洪水过程持续时间分别由小浪底水库单独运行时的18天、23天、6天、0天增加到两库联合运用后的26天、26天、15天、4天,为黄河下游湿地的维持和改善提供了有利的水资源条件。

(3)黄河河口湿地类型众多,其中淡水沼泽湿地是生物多样性较丰富、也是受黄河淡水补给影响最直接的湿地类型。受堤防道路和河滩泥沙淤积影响,淡水沼泽湿地需通过黄河大流量过程(利津断面 $>2000\text{m}^3/\text{s}$)实现自流引水补给,保证其淡水需求。自2008年黄河生态补水以来,河口淡水湿地面积逐渐修复,目前以恢复至上世纪80年代

水平。

(4) 古贤水库运行后，通过小浪底水库联合运用，可以将利津断面生态流量满足程度提高至 100%水平。同时，利津断面在丰水年、平水年、枯水年大流量（利津断面日均流量 $>2500\text{m}^3/\text{s}$ ）天数分别为 29 天、27 天、26 天，基本高于现状水平。古贤水利枢纽工程在未超出陕西、山西两省用水指标情况下供水后，会在一定程度上减少黄河年入海水量，但工程可以根据河口湿地的需要优化水资源调控，增加枯水年枯水期和生态敏感期的入海流量，可以为黄河河口湿地的维持和改善提供有利的水资源条件，促进三角洲湿地的生态保护和修复。

(5) 为进一步加强黄河下游河漫滩湿地及河口湿地保护，需要全面强化流域水资源节约利用，进一步优化黄河下游生态调度方案、实施生态流量适应化管理、加强湿地生态监测和科学研究等。

第十三章 陆生生态影响与保护措施

古贤水利枢纽工程地处黄土高原丘陵沟壑区，人为活动干扰强烈，水土流失严重，生态环境脆弱；区域涉及多个生态敏感区，陆生生态环境敏感。本工程内容复杂，涉及点、线、面等多种形式，库区淹没、坝址区施工、坝址下游进场道路和皮带机线路施工等不同类型工程的生态环境影响差异较大，因此根据各类工程的布置及施工，将工程直接影响范围分为库区、坝址区和坝址下游区三个区域进行。

本章详细分析了工程所在区域黄土高原区生态环境特征，系统调查古贤水利枢纽工程库区、坝址区及坝址下游区域的生态环境现状，全面分析工程建设对区域的生态环境影响，提出陆生生态环境保护措施，以减免工程建设对陆生生态环境的影响。

13.1 陆生生态现状调查与评价

13.1.1 调查概况

13.1.1.1 调查时间

评价单位于 2019 年 8 月、2021 年 4 月、2022 年 9 月和 2022 年 11 月分 4 次对评价范围进行了全面现场踏勘和野外调查，并在 2018 年~2022 年间多次走访两省生态环境、林业等部门，陆续收集生态环境相关资料。

13.1.1.2 调查范围

本次调查涵盖整个陆生生态评价范围，重点调查以下四类区域：

(1) 工程永久占地区和临时占地区，包括坝区、淹没区、施工道路区、料场、渣场及其他施工占地区。

(2) 生态敏感区，具体为 2 个自然保护区，3 个风景名胜区及 4 个地质公园。

(3) 国家和地方重点保护保护野生动物栖息地。

13.1.1.3 调查因子及方法

根据《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022）要求，结合评价区域环境特征，采用现场踏勘、样方调查、遥感解译、资料查阅及走访等方法，开展了区域陆生生态现状调查。具体调查内容及方法见表 13.1.1-1。

表 13.1.1-1 陆生生态现状调查基本情况表

调查生态因子	调查方法	调查内容
基础地理信息	现场踏勘及区域 DEM 数据分析	地貌、高程、坡度等。
生态系统组成	遥感解译和现场踏勘相结合	生态系统类型及分布
土地利用现状	现场踏勘与遥感解译相结合的方法。通过野外建立判译标志, 运用 GPS 定位技术, 进行踩点记录, 在室内应用 ARCGIS 图象处理软件对遥感影像数据进行分类	土地利用类型及面积
植被	通过现场踏勘、遥感解译及查阅《山西植被》和《陕西植被》等资料	植被类型及空间分布、植被物种组成和生物量
野生植物	采用现场踏勘、样方调查、资料查阅及现场走访	植物种类及分布
名木古树	林业勘察数据等相关资料收集及山西、陕西两省林业部门、村民走访	位置、保护现状等
公益林	现场踏勘, 山西、陕西两省林业部门咨询	位置、面积、保护级别等
野生动物	实地考察、查阅资料、访谈法、样线法、总量计数法以及山西、陕西林业部门访问调查等	野生动物的种类及分布
景观格局	遥感分析和模型计算法	景观类型、分布
自然保护区	现场踏勘、主管部门走访、查阅自然保护区规划等资料	位置、面积及功能区划、动植物种类及分布
风景名胜区	现场踏勘、主管部门走访、查阅风景名胜区规划等资料	位置、面积及功能区划等
生物量	草本植物采用收割法、其他类型参考国内外有关生物量的相关成果	各植被类型生物量

13.1.2 土地利用现状调查与评价

本评价通过遥感解译分析与现场调查相结合的方法, 对坝址至回水末端两岸一级分水岭之间的区域以及工程施工影响区的土地利用现状进行了调查。库区和下游评价区采用 2020 年 9 月的 Landsat8 卫星影像数据, 分辨率 15m。为更详细的调查坝址施工区土地利用情况, 坝址区采用 2020 年 7 月分辨率为 2.5m 的 spot 高清影像数据。土地类型分类依据《土地利用现状分类》(GBT 21010-2017) 中的土地利用现状分类方法。

经调查, 评价区域总面积为 1176.95km², 主要土地利用类型有草地、耕地、林地、水域及水利设施用地、建设用地和其他土地, 详见表 13.1.2-1。

表 13.1.2-1 评价区土地利用现状情况

用地类型	面积 (km ²)	面积百分比 (%)
耕地	393.77	33.46
林地	114.8	9.75
草地	556.09	47.25
水域及水利设施用地	94.35	8.01
建设用地	17.75	1.51
其他土地	0.19	0.02
合计	1176.95	100

经分析, 区域内土地利用受人为活动影响较大, 其中草地和耕地为主要土地利用类型, 面积分别为 556.09km² 和 393.77km², 占总面积的 47.25% 和 33.46%; 林地面积为 114.8km², 占总面积的 9.75%。水域及水利设施用地、建设用地及其他土地面积较小。

(1) 库区

库区总面积 960.40km²，土地利用以草地和耕地为主，林地次之，水域及水利设施用地、建设用地及其他土地面积较小。各土地利用类型面积比例与整个评价区相差不大。各土地利用类型面积比例见图 13.1.2-1。库区土地利用现状图见附图 5-1-1。

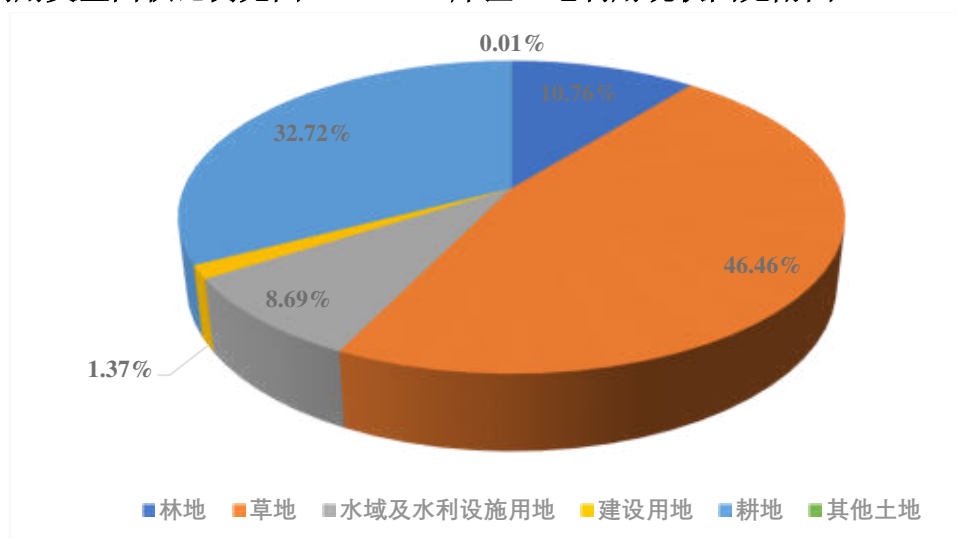


图 13.1.2-1 库区土地利用现状结构图

（2）坝址区

坝址评价区总面积 32.56km²，耕地面积最大，草地次之，林地、水域及水利设施用地及建设用地最小。各土地利用类型面积比例见图 13.1.2-2。坝址区土地利用现状图见附图 5-1-2。

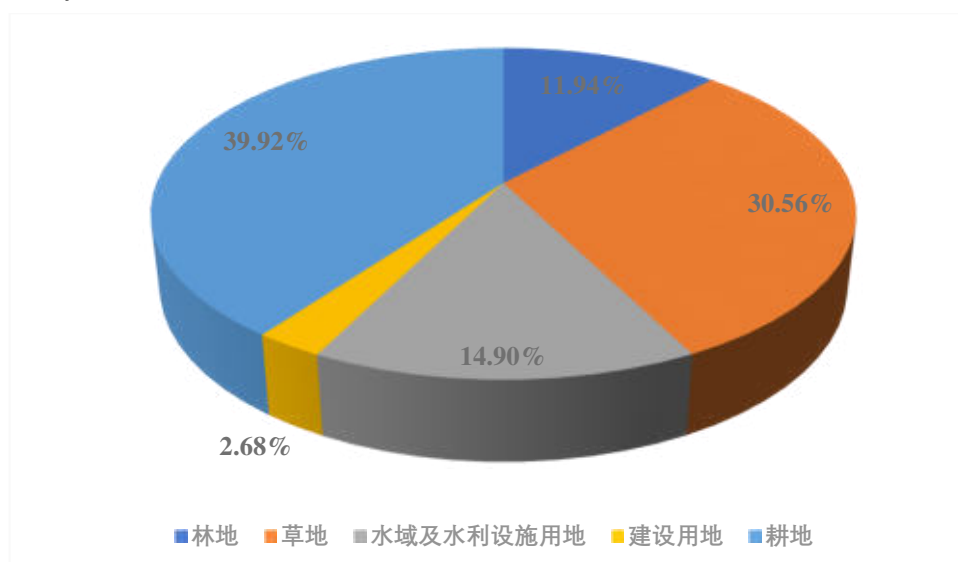


图 13.1.2-2 坝址区土地利用现状结构图

（3）坝址下游区

下游评价区总面积 183.98km²，草地面积最大，耕地次之，林地、水域及水利设施用地、建设用地及其他土地土地面积很小，各土地利用类型面积比例见图 13.1.2-3。坝址下游区土地利用现状图见附图 5-1-3。

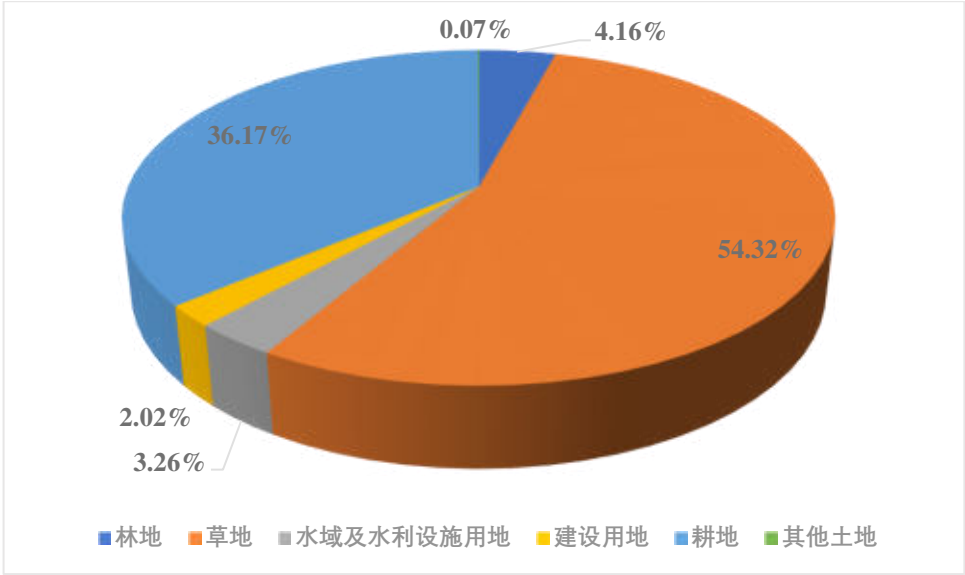


图 13.1.2-3 坝址下游区土地利用现状结构图

总之，评价区 3 个区域土地利用类型面积分布基本一致，均以草地和耕地面积最大，其它类型面积较小。

13.1.3 陆生植物现状调查与评价

13.1.3.1 陆生植物调查

为了获取评价区植被类型及其生长状况信息（覆盖度、生物量、分布特征等），评价人员采取了无人机拍摄、遥感影像解译、实地踏勘、样方分析、查阅资料等多种方法。以下着重说明样方调查情况。

1. 样方布设原则

- （1）在工程施工及水库淹没占地区、间接影响区及生态敏感区等区域布设样方。
- （2）在每个区域均选择典型植被布设样方，保证每种群系至少有 5 个样方。
- （3）根据评价区地带性植被特征，在山区不同海拔高度区域设样方，在坡向对植被生长影响较大的区域，在不同坡向位置布设样方。

2. 样方调查内容

乔木样方：在 1000m² 样地内，依据样地的地形，按照梅花布点取样的方法，在样

方内布设 20m×20m 的样方，统计样方内的乔木种类、冠幅、株高、测定覆盖度，同时纪录 GPS 坐标。

灌丛样方：在 500m² 样地内，依据样地的地形，按照梅花布点取样的方法，布设 10m×10m 的样方，统计样方内的灌木种类、株高、测定覆盖度。同时取样称重，纪录 GPS 坐标。

草地样方：在 100m² 样地内，按照梅花布点取样的方法，布设 1m×1m 的样方，统计样方内的草本种类、观测长势，估测覆盖度，实测地上生物量，同时纪录 GPS 坐标。

3. 样方基本信息

根据调查，评价区主要植被类型共 20 个，每个群系设置至少 5 个样方，共设置了 120 个样方，样方包括乔木、灌木、草地三类，植被样方调查情况见表 13.1.1-1。

表 13.1.1-1 植被样方调查情况

序号	工程区位置	所在县	坐标	群系类型
1	骨料场占地区	乡宁	110.709E, 35.732N;	荆条+酸枣灌丛
2		乡宁	110.710E, 35.733N;	荆条+酸枣灌丛
3		乡宁	110.711E, 35.734N;	沙棘灌丛
4		乡宁	110.707E, 35.737N;	茭蒿群系
5	骨料场加工区	乡宁	110.710E, 35.741N;	沙棘群系
6		乡宁	110.715E, 35.743N;	茭蒿群系
7	骨料渣场	乡宁	110.696E, 35.747N;	沙棘群系
8		乡宁	110.693E, 35.748N;	臭椿群系
9		乡宁	110.694E, 35.749N;	臭椿群系
10		乡宁	110.699E, 35.742N;	臭椿群系
11		乡宁	110.695E, 35.742N;	臭椿群系
12	皮带机隧洞顶部	乡宁	110.6064 E, 35.9427 N;	长芒草群系
13		乡宁	110.6467 E, 35.8537 N;	黄背草群系
14	进场道路与皮带机线路施工场地	乡宁	110.694E, 35.749N;	虎榛子群系
15		乡宁	110.694E, 35.750N;	虎榛子群系
16		乡宁	110.695E, 35.751N;	虎榛子群系
17		乡宁	110.695E, 35.752N;	虎榛子群系
18		乡宁	110.696E, 35.753N;	虎榛子群系
19	进场道路与皮带机线路隧洞上方	吉县	110.694E, 35.747N;	沙棘群系
20	下游河道两侧滩地（壶口瀑布风景名胜区内）	宜川	110.466E, 36.092N;	茭蒿群系
21		吉县	110.449E, 36.122N;	北沙柳群系
22		吉县	110.450E, 36.123N;	北沙柳群系
23		吉县	110.449E, 36.123N;	北沙柳群系
24		吉县	110.449E, 36.124N;	北沙柳群系
25		吉县	110.447E, 36.128N;	白羊草群系
26		吉县	110.444E, 36.159N;	白羊草群系
27		吉县	110.456E, 36.195N;	白羊草群系
28	大坝右岸	宜川	110.439E, 36.224N;	茭蒿群系
29		宜川	110.441E, 36.225N;	刺槐群系
30	大坝右岸	宜川	110.441E, 36.232N;	茭蒿群系

序号	工程区位置	所在县	坐标	群系类型
31	4号施工生活区（山西）	宜川	110.445E, 36.233N;	刺槐群系
32		宜川	110.453E, 36.216N;	黄背草群系
33		宜川	110.454E, 36.217N;	芦苇群系
34	大坝占地区（陕西）	宜川	110.456E, 36.237N;	芦苇群系
35		宜川	110.458E, 36.239N;	北沙柳群系
36		宜川	110.456E, 36.240N;	荆条+酸枣+白羊草灌草丛
37	进场道路及皮带机隧洞口 （壶口瀑布风景名胜区内）	吉县	110.480E, 36.162N;	刺槐群系
38	大坝占地区（山西）	吉县	110.462E, 36.235N;	黄背草群系
39	综合加工厂（山西）	吉县	110.450E, 36.220N;	芦苇群系
40		吉县	110.450E, 36.214N;	芦苇群系
41	库区淹没区（山西）	吉县	110.464E, 36.235N;	长芒草群系
42		吉县	110.461E, 36.236N;	黄背草群系
43		吉县	110.462E, 36.237N;	罗布麻群系
44		吉县	110.465E, 36.240N;	山桃、山杏灌丛
45		吉县	110.466E, 36.241N;	山桃、山杏灌丛
46		吉县	110.467E, 36.240N;	山桃、山杏灌丛
47		吉县	110.467E, 36.242N;	山桃、山杏灌丛
48		吉县	110.468E, 36.243N;	山桃、山杏灌丛
49	1号弃渣场（山西）	吉县	110.473E, 36.250N;	荆条+酸枣灌丛
50		吉县	110.474E, 36.252N;	刺槐林群系
51	2号弃渣场（山西）	吉县	110.473E, 36.250N;	刺槐林群系
52		吉县	110.470E, 36.244N;	柠条锦鸡儿群系
53	施工道路占地区（山西）	吉县	110.468E, 36.233N;	黄背草群系
54	办公及生活区占地区（山西）	吉县	110.469E, 36.229N;	罗布麻群系
55	引水洞上方占地区	吉县	110.467E, 36.242N;	荆条+酸枣灌丛
56	壶口瀑布风景名胜区内	宜川	110.493E, 36.164N;	侧柏群系
57		宜川	110.494E, 36.165N;	侧柏群系
58		宜川	110.494E, 36.166N;	侧柏群系
59		宜川	110.496E, 36.163N;	侧柏群系
60		宜川	110.497E, 36.162N;	侧柏群系
61		宜川	110.499E, 36.165N;	白羊草群系
62	大宁县淹没区	大宁	110.535E, 36.442N;	长芒草群系
63		大宁	110.574E, 36.448N;	荆条+酸枣灌丛
64		大宁	110.4765 E, 36.3449 N;	罗布麻群系
65	延长县淹没区 （延河及其河口）	延长	110.472E, 36.400N;	茭蒿群系
66		延长	110.459 E, 36.407 N;	刺槐群系
67		延长	110.443 E, 36.407 N;	茭蒿群系
68		延长	110.624 E, 37.254 N;	荆条+酸枣灌丛
69		延长	110.471 E, 36.548 N;	芦苇群系
70		延长	110.513 E, 36.584 N;	芦苇群系
71		延长	110.452 E, 36.310 N;	罗布麻群系
72	山西永和黄河蛇曲国家地质公园	永和	110.391E, 36.688N;	柠条锦鸡儿群系
73		永和	110.394E, 36.690N;	长芒草群系
74		永和	110.393E, 36.687N;	荆条+酸枣+白羊草灌草丛
75		永和	110.390E, 36.687N;	油松林群系
76		永和	110.390E, 36.686N;	油松林群系
77		永和	110.391E, 36.687N;	油松林群系
78		永和	110.390E, 36.688N;	油松林群系
79		永和	110.392E, 36.687N;	油松林群系
80	山西永和县黄河乾坤湾风景区	永和	110.481E, 36.671N;	罗布麻群系
81		永和	110.494E, 36.676N;	荆条+酸枣+白羊草灌草丛
82		永和	110.510E, 36.675N;	长芒草群系
83	陕西延川黄河蛇曲国家地	延川	110.394E, 36.697N;	黄背草群系

序号	工程区位置	所在县	坐标	群系类型
84	质公园	延川	110.394E, 36.697N;	山杨群系
85		延川	110.395E, 36.697N;	沙棘群系
86		延川	110.393E, 36.697N;	罗布麻群系
87	延川县淹没区 (清涧河)	延川	110.436 E, 36.429 N;	刺槐群系
88		延川	110.390 E, 36.831 N;	黄背草群系
89		延川	110.397 E, 36.837 N;	芦苇群系
90		延川	110.548 E, 37.158 N;	芦苇群系
91		延川	110.628 E, 37.250 N;	北沙柳群系
92	石楼县淹没区	石楼	110.449E, 37.045N;	罗布麻群系
93		石楼	110.420E, 36.886 N;	刺槐群系
94		石楼	110.429E, 36.944N;	沙棘群系
95	陕西清涧无定河曲流群地 质公园	清涧	110.437E, 37.044N;	三裂绣线菊+白羊草灌草丛
96		清涧	110.431E, 37.049N;	三裂绣线菊+白羊草灌草丛
97	绥德县淹没区(枣树坪镇)	绥德	110.625E, 37.403N;	白羊草群系
98		绥德	110.623E, 37.400N;	三裂绣线菊+白羊草灌草丛
99		绥德	110.622E, 37.396N;	芦苇群系
100		绥德	110.6160 E, 37.3945 N;	白羊草灌草丛
101		绥德	110.6161 E, 37.3942 N;	三裂绣线菊草丛
102		绥德	110.617 E, 37.3941N;	白羊草群系
103	吴堡县淹没区	吴堡	110.701E, 37.448N;	荆条+酸枣+白羊草灌草丛
104		吴堡	110.699E, 37.447N;	红枣林群系
105		吴堡	110.699E, 37.446N;	红枣林群系
106		吴堡	110.702E, 37.447N;	红枣林群系
107		吴堡	110.701E, 37.447N;	红枣林群系
108		吴堡	110.699E, 37.448N;	红枣林群系
109		吴堡	110.692E, 37.447N;	山杨林群系
110		吴堡	110.691E, 37.447N;	杨树林
111		吴堡	110.693E, 37.447N;	山杨林
112		吴堡	110.692E, 37.448N;	山杨林
113	柳林县淹没区(三川河与 黄河交汇处)	柳林	110.634E, 37.394N;	臭椿林群系
114		柳林	110.630E, 37.394N;	柠条锦鸡儿群系
115		柳林	110.631E, 37.395N;	柠条锦鸡儿群系
116		柳林	110.630E, 37.3926;	三裂绣线菊+白羊草灌草丛
117	柳林县淹没区(三交镇后 靠移民安置点)	柳林	110.687E, 37.284N;	三裂绣线菊+白羊草灌草丛
118		柳林	110.687E, 37.286N;	长芒草群系
119		柳林	110.689E, 37.287N;	柠条锦鸡儿群系
120		柳林	110.690E, 37.285N;	荆条+酸枣+白羊草灌草丛

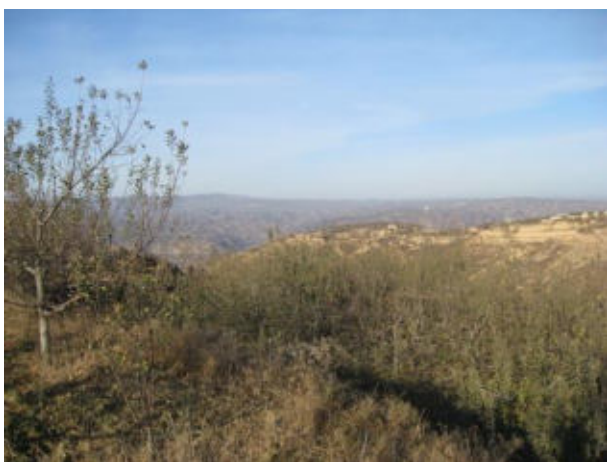
陆生植物样方调查点位布置示意图见附图 6-3。



坝址半坡样方调查



砂石料场区样方调查



进场道路隧洞上方现场调查



管头山自然保护区现场调查



坝址区渣场样方调查



坝址区施工生活区样方调查



坝址山西侧航拍



坝址陕西侧航拍



坝址下游壶口风景名胜区滩区调查



下游河道植被调查



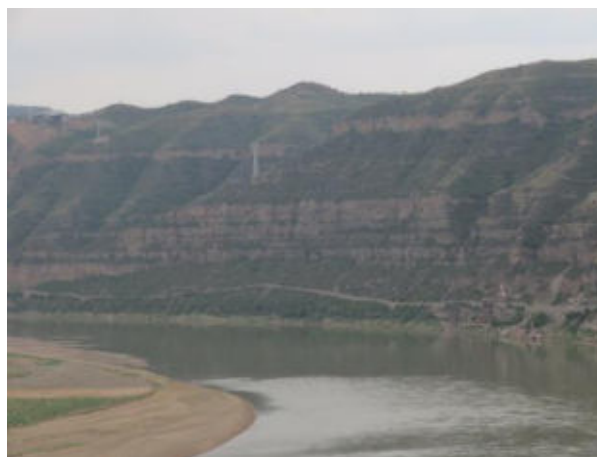
吉县淹没区调查



宜川县淹没区调查



大宁县淹没区调查



延川县淹没区调查



清涧县淹没区调查



石楼县淹没区调查



吴堡县淹没区调查



永和县淹没区调查



绥德县淹没区调查



柳林县淹没区调查



延长县淹没区调查



骨料场渣场植被调查



骨料场砂石料加工区植被调查



皮带机线路隧洞上方植被调查

图 13.1.3-1 陆生植物现场调查

13.1.3.2 植被

1. 植被区划

根据《中国植被》《山西植被》和《陕西植被》，项目区陕西侧属Ⅱ夏绿阔叶林区

域—II B 温带草原化森林地带—II B3 延河流域黄土丘陵及残塬地区灌木残林植被区—II B3 (9) 黄河沿岸黄土丘陵破碎塬灌丛残林植被小区，项目区山西侧属II A 北暖温带落叶阔叶林亚地带—II Aa 晋中部山地丘陵、盆地，杆林、油松、辽东栎林地区—II Aa-10 晋西黄土丘陵虎榛子、沙棘、荆条等次生灌丛区和II A 北暖温带落叶阔叶林亚地带—II Ab 晋东南、晋南西山，油松林、辽东栎林地区—II Ab-6 吕梁山南段，辽东栎、油松林及翅果油树次生灌丛区。

2. 主要植被类型及群落特征

按照《中国植被》《山西植被》和《陕西植被》中自然植被的分类系统，在样方调查的基础上，参考现有文献和资料，根据群落的特征，评价区植被包括 5 个植被型组，6 个植被型，20 个群系。主要植被及分布详见表 13.1.3-2。

表 13.1.3-2 评价区主要植被类型

植被型组	植被型	群系	分布区域
I 森林	(一) 温性针叶林	1 侧柏林 Form. <i>Platycladus orientalis</i>	多分布于库区南部的吉县、大宁县、永和县海拔 700m 以上的丘陵坡地
		2 油松林 Form. <i>Pinus tabulaeformis</i>	在库区的延长县、永和县有小面积分布
		3 红枣林 Form. <i>Ziziphus jujube</i>	多分布于库区北部清涧县、绥德县、吴堡、柳林县库周的丘陵坡地上以及滩地上
	(二) 落叶阔叶林	4 刺槐林 Form. <i>Robinia pseudoacacia</i>	骨料场、皮带机、枢纽工程区、渣场及库区均有分布，在海拔 650m 以上的丘陵顶部分布比较集中
		5 山杨林 Form. <i>Populus davidiana</i>	仅在北部的绥德县、柳林县、吴堡县的库区内有小面积分布
		6 臭椿林 Form. <i>Ailanthus altissima</i>	在整个评价区均有分布，面积不大，南部略多
II 灌丛	(三) 温性落叶灌丛	7 荆条、酸枣灌丛 Form. <i>Vitex negundo</i> + <i>Ziziphus jujube</i>	是整个评价区分布最广的植被类型之一，自南向北逐渐减少
		8 柳灌丛 Form. <i>Salix babylonica</i>	仅分布于黄河滩地上
		9 沙棘灌丛 Form. <i>Hippophae rhamnoides</i>	评价区均有零星分布，北部略多，面积不大
		10 虎榛子灌丛 Form. <i>Ostryopsis davidiana</i>	评价区均有零星分布，北部略多，面积不大
		11 柠条锦鸡儿灌丛 Form. <i>Caragana korshinskii</i>	仅见于绥德库区，面积很小
		12 山桃、山杏灌丛 Form. <i>Amygdalus davidiana</i> + <i>Armeniaca sibirica</i>	大坝左岸上游滩地弃渣场（表土堆存场）河边有分布
III 灌草丛	(四) 灌草丛	13 荆条、酸枣、白羊草灌草丛 Form. <i>Vitex negundo</i> + <i>Ziziphus jujube</i> + <i>Bothriochloa ischaemum</i>	整个评价区分布最广的植被类型之一
		14 三裂绣线菊、白羊草灌草丛 Form. <i>Spiraea trilobata</i> + <i>Bothriochloa ischaemum</i>	骨料场、皮带机沿线分布较多
IV 草丛	(五) 草丛	15 白羊草草丛 Form. <i>Bothriochloa ischaemum</i>	整个评价区分布最广的植被类型之一，在永和县、延川县、石楼县的库区分布比较集中

植被型组	植被型	群系	分布区域
		16、黄背草草从 Form. <i>Themeda triandra</i>	评价区内均有分布
		17 茭蒿草从 Form. <i>Artemisia giraldii</i>	整个评价区分布最广的植被类型之一，在吉县、延川县、大宁县的库区分布比较集中
		18 长芒草草从 Form. <i>Stipa bungeana</i>	主要分布于评价区北部几个县的库区内
V 草甸	(六) 河漫滩草甸	19 罗布麻草甸 Form. <i>Apocynum venetum</i>	分布于黄河滩地
		20 芦苇草甸 Form. <i>Phragmites communis</i>	分布于黄河滩地

项目区位于半干旱半湿润气候区，降水量少。受地形所限，黄河水资源利用难度大，区内自然植被较差，植被主要以自然草地和灌丛为主。草丛植被以温性中生和中旱生禾草为主，白羊草草从和蒿类草从分布广泛，黄背草草从也较多，为主要草丛植被类型。灌丛植被主要以荆条、酸枣、虎榛子为主。乔木林主要有刺槐、侧柏和枣、苹果、梨等经济林。各主要植被群落特征如下：

(1) 乔木林地

①刺槐林

刺槐林在评价区分布较为广泛，在古贤库区、坝址区和坝址下游区均有分布，部分刺槐林为人工林，部分为天然林，人工林主要分布在坡度较小的坡地上及道路两旁，天然刺槐林多分布于海拔 650m 以上的丘陵区。

刺槐群系主要以刺槐-铁杆蒿-长芒草群丛的形式出现，一般分布在丘陵区荒山半阴半阳坡的中部。林下灌木层次不明显，多为零星分布，常见有杠柳、柠条锦鸡儿，个别地方还可以看到扁核木。林下草本生长较旺盛，主要草本植物有铁杆蒿、长芒草、白羊草和茭蒿等。

②侧柏林

评价区侧柏为次生林或人工林，只在悬崖和岩石裸露的石质山坡上可以见到一些原生林。侧柏林的结构及种类组成均受生境条件及人为活动等因素的影响，目前多为幼林，老林较少。山区侧柏林稀疏且不整齐，由于本工程所在区域土壤干燥贫瘠，不适宜落叶阔叶树的生长。

(2) 灌木林地

①酸枣、荆条灌丛

酸枣、荆条灌丛是评价区分布最广的植被类型之一，从上游库区至坝址均有分布，

以坝址区域居多。两种植物环境适应性较强，主要分布在评价区低山丘陵的阳坡及山麓地带，在黄土丘陵区沟壑边缘、村庄附近，生长也较为普遍，常与农田镶嵌分布，可以形成 0.6m~1.5m 的密灌丛，特别是沟谷内水土较充裕区域分布最多。

酸枣、荆条灌丛是植被演替中的一种类型，如继续破坏，则形成灌草丛或草丛。应采取措施，加强保护和利用，控制水土流失。

②虎榛子灌丛

虎榛子系桦木科虎榛子属植物，为我国特有属。虎榛子为建群种形成的植物群落，主要分布在黄土丘陵地区的阴坡和半阳坡，生态幅度较大，亦可生长在阳坡、半阳坡。

虎榛子灌丛主要分布在评价区北部的石楼、清涧和吴堡等县，位于水库淹没区及其边界外的阴坡和半阳坡，群落分布相对较少，群落面积均不大。

③山桃、山杏灌丛

经现场调查，以山桃为单优势种的灌丛较少，主要分布于低、中山阳坡和半阳坡。山杏天然灌丛更少见，在黄土丘陵区零星分布，它们多混生组成群落。乔木稀疏，覆盖度较低，而灌木层覆盖度较大。生境一般比较干燥瘠薄，岩石裸露破碎。

(3) 灌草丛

灌草丛主要指荆条+酸枣+白羊草灌草丛，是整个评价区分布最广的植被类型之一。该群落是分布区内山地垂直带谱基带成分之一，是森林植被或荆条酸枣灌丛破坏后形成的次生类型，如若遭受破坏，其中的灌木难以生存，该群落将发展为白羊草草丛。主要分布于森林植被及灌丛植被区域的周边区域。本评价区的阳坡和半阳坡，水分条件较差的区域较多，生态稳定性相对较差，容易受到人类活动干扰或者干旱、暴雨冲刷等恶劣天气的破坏，应加强保护，避免退化。

(4) 草地

①白羊草草地

白羊草草地是整个评价区分布最广的植被类型之一，在永和县、延川县和石楼县等上游区库区两侧分布比较集中，以评价区北部区域较多，多分布于凸起的山坡及山脊区域。

白羊草草地是我国暖温带森林草原地区的代表类型，白羊草是中生、旱生多年生禾

草，须根的最大部分约 25cm 以上，具短根状茎，极耐牲畜啃食和践踏，常在干旱、土层薄、多石砾的阳坡呈草皮状繁生。白羊草群落组成较为丰富，除白羊草为建群种外，优势种有兴安胡枝子、长芒草、芡蒿、铁杆蒿等。其他伴生种主要有纤毛鹅观草和萎陵菜等。

②黄背草草地

该群系是灌丛破坏后形成的次生类型。是植被演替中的过渡阶段，如封禁可演替为灌草丛或灌丛。山西境内的黄背草草丛，大部分距居民点较近，与农田植被交错分布，是山西暖温带有指示意义的地带性植被。伴生植物有白羊草、荩草、白头翁、羊胡子草、萎陵菜和地榆等。

③长芒草草地

长芒草是一种喜暖的旱生植物，黄土高原地区是长芒草的集中分布区。本区域长芒草已被广泛开垦，天然植被残存无几，很难找到大面积连片分布的长芒草地群落。但在山坡、田边、路旁以及多年撂荒的地段，常可看到长芒草草地的片段。

长芒草草地的组成相对较为简单，其中以菊科占第一位，禾本科次之，豆科再次之。蔷薇科和唇形科也有一定的分布。重要的属有禾本科的针茅属、冰草属、隐子草属，菊科的蒿属，豆科的黄耆属等。其中建群种为长芒草，亚建群种有糙隐子草和短花针茅，优势种多以小半灌木为主，如兴安胡枝子、白莲蒿和百里香，常见种以多年杂类草为主。

④芡蒿草地

芡蒿为半灌木，叶片狭小，被灰白色茸毛，主根深达 50cm 以上，根系多分布于 30cm 内，结实丰富，且能从母株根部萌生出新株，故其耐旱与适应环境的能力较强。

芡蒿草地的种类组成较为丰富，除芡蒿为建群种外，优势种常有长芒草、白羊草和铁杆蒿等。群落中芡蒿、铁杆蒿、尖叶铁扫帚和草木犀状黄耆等组成第一层，其它草本植物多居第二层。

3. 主要植被类型面积及分布

依据遥感解译结果统计分析，库区、坝址区及坝址下游区 3 个区域植被类型的面积及分布如下：

库区评价区总面积 960.40km²，由于区域降水量少，自然植被主要以自然草地、灌

丛为主。草丛植被以温性中生和中旱生禾草为主。白羊草草丛和蒿类草丛分布广泛，黄背草草丛也较多，为主要草丛植被类型。其中白羊草草丛及黄背草草丛面积最大，分别为 366.68km² 和 98.83km²，占库区评价区总面积的 37.76% 和 10.18%；灌丛植被主要以灌丛以荆条、酸枣为主，局部地区有少量山杏、山桃和虎榛子灌丛。栽培植被以红枣、冬小麦、谷子等为主。库区植被现状示意图见附图 5-2-1。

坝址评价区临近村镇，总面积 32.56km²，范围较小，人类活动影响较大，区内植被以农田和果园类型为主，面积为 13.00km²，占坝址评价范围区总面积的 39.92%。主要分布于两岸塬上及坡度较大的坡地上。自然植被主要以自然草地、灌丛为主，草地以白羊草和黄背草草丛占多数，面积分别为 5.05km² 和 4.90km²，分别占 15.5% 和 15.06%，主要分布于山坡及沟谷中。林地植被类型较少，主要分布于道路两旁及人工种植的果园中。坝址区植被现状示意图见附图 5-2-2。

坝址下游评价区总面积 183.98km²，植被以荆条、酸枣、白羊草灌草丛为主要群落的灌草丛为主，面积为 87km²，占下游区评价范围内的 47.29%。农田类型植被小麦、玉米和花生次之，面积为 66.53km²，占 36.16%。其它如刺槐林、侧柏林、虎榛子灌丛、山杏、山桃灌丛分布相对较少。坝址下游区植被现状示意图见附图 5-2-3。

4. 主要植被类型分布规律

古贤水库回水长度 202.1km，评价区南北跨度大，整个回水河段均为峡谷区，评价区植被分布存在一定的水平地带性和垂直地带性，山地与河谷的阴坡与阳坡有一定的差异。

(1) 水平分布规律

由于评价区南北跨越较大，降雨量的不同使得植被分布呈现有一定的水平差异。

林地：评价区自南向北林地逐渐减少，林地种类有所不同。南部主要为刺槐林，此外还有小面积侧柏林。从石楼县和清涧县向北，大片刺槐林难以见到，刺槐逐渐减少，逐渐出现山杨林、榆树林和红枣林；其中人工经济林在南部吉县、乡宁县和宜川县等主要种植苹果树、梨树等果树，间或有少量红枣林，而北部的石楼县、清涧县、绥德县和吴堡县等主要经济果林为红枣林，苹果林等相对较少。

灌丛：评价区自南向北灌丛逐渐减少；从灌丛种类看，南部主要有荆条灌丛、酸枣

灌丛、土庄绣线菊灌丛、黄刺玫灌丛和翅果油树灌丛等，荆条灌丛和酸枣灌丛占绝对优势。向北荆条、酸枣逐渐减少，逐渐出现沙棘灌丛、榆树灌丛、山杏灌丛、鬼箭锦鸡儿灌丛、虎榛子灌丛和土庄绣线菊灌丛等，但群落面积均不大。

草丛：草丛水平地带性变化不明显，始终以白羊草、黄背草以及各种蒿类为主，向北本氏针茅数量逐渐增加，但依然属于伴生种。根据样方分析结果，自南向北草丛覆盖度呈降低趋势，由 60% 左右逐渐降低到 20% 左右，平均高度降低 5cm 左右。自南向北，评价区植被整体呈现乔木、灌木分布逐渐减少，草地相对逐渐增多的趋势。

（2）垂直分布规律

评价区内从黄河水面至两岸最高处，高差最大约 300m 左右，植被呈现出一定的垂直分布规律。

水面至两岸一级阶地：主要为滩地、农田及防护林。滩地主要分布在黄河拐弯处的凹岸一侧，植被包括河柳灌丛、芦苇草丛、白茅草丛和麻黄草丛等，部分滩地被开垦为农田，种植红枣林、小麦和玉米等。防护林是黄河岸边公路两侧的绿化乔木林，主要为侧柏林、刺槐林、刺柏林等。

两岸一级阶地至 650m 高程：该范围以草地和灌丛为主，包括白羊草草丛、黄背草草丛和芨芨草丛等，灌丛包括荆条灌丛、酸枣灌丛、虎榛子灌丛和黄刺玫灌丛等。草丛占绝对优势，灌丛仅分布于山间洼地、坡脚等土层较厚和积水较多的局部区域。该范围乔木林地以刺槐林为主，但分布较少。

650m 以上高程：该高程范围多为两岸丘陵地的顶部，地势一般比较平缓，多被开垦为耕地，种植苹果、梨等经济林；自然植被以刺槐林为主，该范围是刺槐林分布比较集中的区域，明显多于 650m 以下区域。侧柏林多分布于 700m 以上的区域。

13.1.3.3 植被覆盖度

1. 调查方法

本次采用 2020 年 Landsat 8 OLI_TIRS 卫星遥感数据，通过解译分析，采用归一化植被指数 (NDVI) 方法，对评价区的植被覆盖度进行计算，植被覆盖度计算公式为：

$$F_{cover} = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}}$$

F_{cover} 为覆盖度，NDVI 为归一化植被指数， $NDVI_{soil}$ 为土壤的 NDVI， $NDVI_{veg}$

为植被覆盖像元最大值的 NDVI。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

NIR 为近红外波段（0.7μm~1.1μm），R 为红波段（0.4μm~0.7μm）。

2. 分析结果

通过归一化植被指数（NDVI）方法，得到整体评价区的植被覆盖度情况，详见表 13.1.3-3。

表 13.1.3-3 评价区植被覆盖度

覆盖度（%）	面积（km ² ）	比例（%）
0-30	121.93	10.36
30-45	305.54	25.96
45-60	436.89	37.12
60-75	215.26	18.29
≥75	97.33	8.27
合计	1176.95	100

由表 13.1.3-3 可知，评价区由南向北，植被覆盖度逐渐降低，这与该区域降雨量有关。其中 45%~60%植被覆盖度的面积最大，占比 37.12%，主要分布于黄河两岸农业区；其次为 30%~45%植被覆盖度面积，占比 25.96%，主要分布于黄河沿岸草地覆盖区；60%~75%植被覆盖度的面积占比 18.29%，主要分布于黄河沿岸林地覆盖区；第四为 0~30%植被覆盖度的面积，占比 10.36%，主要分布于黄河河道及沿岸滩涂内；≥75%植被覆盖度的面积最小，占比 8.27%，主要分布于壶口瀑布风景名胜区内。评价区植被覆盖度图见附图 6-5。

13.1.3.4 植物资源

1. 植物种类

依据资料收集及现场样方调查，评价区有种子植物 93 科 315 属 577 种，其中裸子植物 2 科 4 属 5 种，占评价区总种数的 0.87%；被子植物 91 科 311 属 572 种，占评价区总种数的 99.13%。优势科为蔷薇科、菊科、禾本科、毛茛科和伞形科，优势属种有蒿属、委陵菜属、苹果属、蔷薇属、槭树属、柳属等。详见表 13.1.3-4。

表 13.1.3-4 评价区植物种类组成表

类别	科数（种）	占总科数（%）	属数（种）	占总属数（%）	种数（种）	占总种数（%）
裸子植物	2	2.15	4	1.27	5	0.87
单子叶植物	12	12.90	51	16.19	78	13.52
双子叶植物	79	84.95	260	82.54	494	85.61
合计	93	100	315	100	577	100

2. 重要植物物种

通过调查，依据《国家重点保护野生植物名录》（2021 年）《山西省重点保护野生植物名录》（2004 年）《陕西省地方重点保护野生植物名录》（2022 年）和《中国生物多样性红色名录-高等植物卷》（2013 年），评价区有国家重点保护野生植物 4 种，山西省重点保护野生植物 4 种，极危、濒危、易危种共 4 种，中国特有种 3 种。

根据晋、陕两省林业部门提供的古树名木资料，叠加古树名木位置图与工程水库淹没区、坝址区及坝址下游施工区占地影响范围图，结合现场踏勘，古贤水利枢纽工程陕西侧施工区、水库淹没区及山西侧施工区无古树名木分布。山西侧水库淹没区分布有 2 株古树名木，均为 400 年树龄的国槐。除古树名木外，上述其他重要物种分布于管头山和人祖山自然保护区，工程施工占地区调查未发现。具体见表 13.1.3-5。

表 13.1.3-5 评价区重要植物物种一览表

序号	物种	拉丁名	保护级别	濒危等级	是否特有	分布区域	资料来源	是否占用
1	银杏	<i>Ginkgo biloba</i>	I	CR	是	主要分布于管头山和人祖山自然保护区	资料	否
2	翅果油树	<i>Elaeagnus mollis</i>	II	EN	是			否
3	刺五加	<i>Acanthopanax senticosus</i>	II					否
4	水曲柳	<i>Fraxinus mandshurica</i>	II	VU				否
5	文冠果	<i>Xanthoceras sorbifolium</i>	山西					否
6	脱皮榆	<i>Ulmus lamellosa</i>	山西	VU	是			否
7	华山松	<i>Pinus armandii</i>	山西					否
8	漆树	<i>Toxicodendron verniciflum</i>	山西					否
9	国槐	<i>Styphnolobium japonicum</i>				南庄乡永和关村	资料	淹没
10	国槐	<i>Styphnolobium japonicum</i>				阁底乡阴德河村	资料	淹没

注：I 为国家一级重点保护，II 为国家二级重点保护；极危（Critically Endangered）简写为 CR。濒危（Endangered）简写为 EN；易危（Vulnerable）简写为 VU；山西代表山西省重点保护。










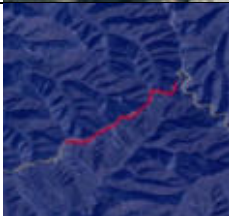






图 13.1.3-2 阴德河村古槐 图 13.1.3-3 永和关村古槐



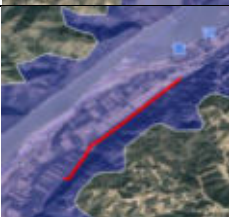
13.1.4 陆生动物现状调查与评价

本次陆生野生动物调查主要通过查阅资料、现场走访和样线调查等方法，开展陆生动物种类、生态习性、分布及其生境等内容的调查。其中样线调查共进行了 4 次，时间分别为 2019 年 8 月、2021 年 4 月、2022 年 9 月和 2022 年 11 月。陆生动物调查在评价范围内水域、林地、草地、耕地四种生境内分别设置了 5 条样线，共 20 条样线，详见表 13.1.4-1。陆生野生动物调查样线布置示意图见附图 6-4。

表 13.1.4-1 陆生动物调查样线一览表

编号	位置	生境类型	样线中心点坐标（度）	海拔（m）	长度（km）	影像图
1	黄河东岸	水域	E110.473; N36.257	487	1.1	
2	黄河沿岸	水域	E110.471; N36.278	494	1.1	
3	黄河西岸	水域	E110.463; N36.242	465	1.2	
4	黄河西岸	水域	E110.465; N36.303	478	1.0	
5	黄河大桥	水域	E110.495; N36.510	499	1.2	
6	皮带机线路旁林地	林地	E110.691; N36.751	772	1.3	

编号	位置	生境类型	样线中心点坐标（度）	海拔（m）	长度（km）	影像图
7	皮带机线路沿途林地	林地	E110.541; N36.051	821	1.0	
8	管头山自然保护区	林地	E110.553; N36.149	1302	1.4	
9	黄河壶口瀑布风景区	林地	E110.456; N36.122	580	1.0	
10	水库淹没区	林地	E110.456; N36.122	594	1.0	
11	坝址东侧	草地	E110.463; N36.233	610	1.0	
12	进场道路与皮带机线路附近	草地	E110.463; N36.221	720	1.0	
13	坝址西侧	草地	E110.449; N36.240	705	1.0	
14	水库淹没区	草地	E110.469; N35.385	573	1.0	

编号	位置	生境类型	样线中心点坐标 (度)	海拔 (m)	长度 (km)	影像图
15	水库淹没区	草地	E110.497; N35.475	514	1.0	
16	临时施工道路附近	耕地	E110.474; N36.225	808	1.2	
17	水库淹没区	耕地	E110.469; N36.288	483	1.2	
18	水库淹没区	耕地	E110.458; N36.338	512	1.1	
19	水库淹没区	耕地	E110.484; N36.425	496	1.2	
20	水库淹没区	耕地	E110.483; N36.463	532	1.5	

陆生动物现场调查情况见图 13.1.4-1。



喜鹊



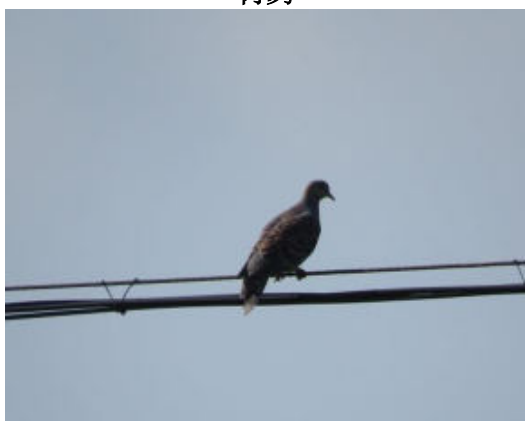
雉鸡



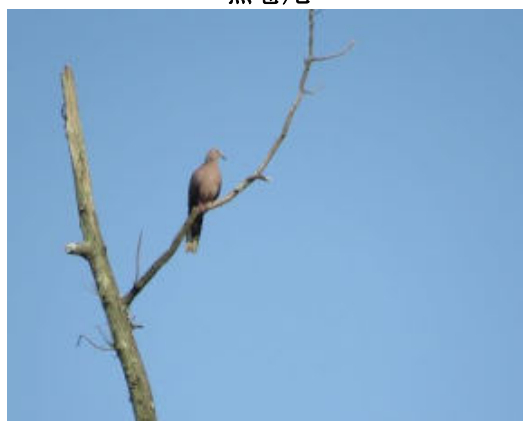
树鹦



黑卷尾



山斑鸠



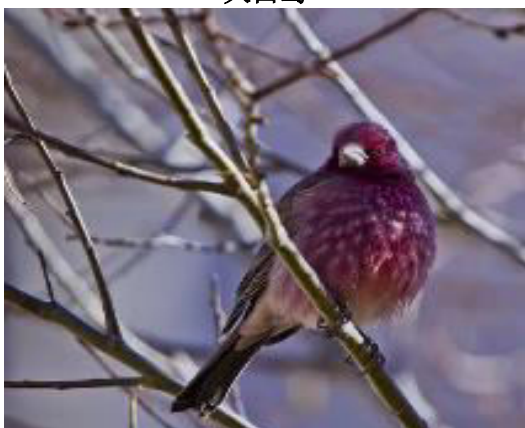
珠颈斑鸠



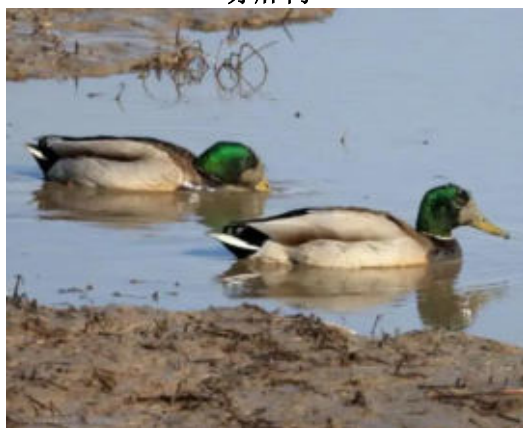
大白鹭



赤麻鸭



红眉朱雀



绿头鸭



矶鹬



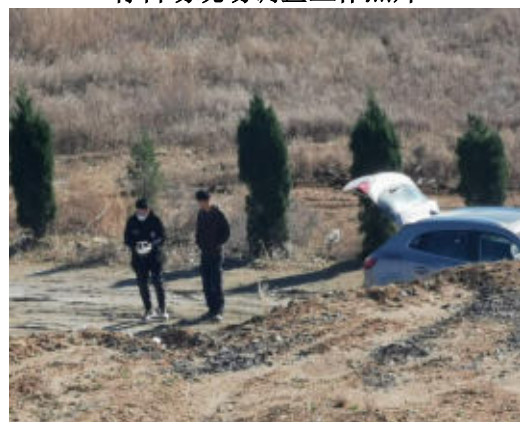
普通燕鸥



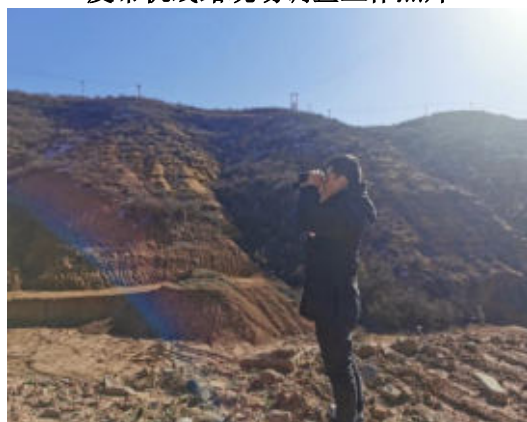
骨料场现场调查工作照片



皮带机线路现场调查工作照片



库区现场调查工作照片



库区现场调查工作照片

图 13.1.4-1 陆生动物现场调查

13.1.4.1 种类及区系组成

项目区人为活动干扰强烈，野生动物种类较为贫乏。采用查阅资料、部门及群众访谈、样线、总体计数及痕迹计数等方法，确定评价区域分布有陆生栖脊椎动物 27 目、59 科、187 种（亚种），地理区划为东洋界、古北界和广布种。具体见表 13.1.4-2。

表 13.1.4-2 评价区陆生脊椎动物区系及种类组成情况表

种类组成				动物区系		
纲	目	科	种	东洋界	古北界	广布种
两栖纲	1	2	3		1	2
爬行纲	3	5	10	1	5	3
鸟纲	17	36	131	17	72	42
哺乳纲	6	16	43	8	22	13
合计	27	59	187	26	100	60

依据调查结果,评价区哺乳纲动物有 6 目、16 科、43 种,占总种数的 22.8%;以啮齿目占绝对优势,食肉目次之,翼手目、兔形目及偶蹄目最少。两栖纲动物 1 目 2 科 3 种,中华蟾蜍、花背蟾蜍属无尾目蟾蜍科;黑斑侧褶蛙属无尾目蛙科。爬行纲动物 3 目 5 科 10 种,约占评价区陆生脊椎动物总种数的 5.3%,爬行纲动物以游蛇科种类占优势。鸟纲动物 17 目 36 科 131 种(亚种),占总种数的 69.7%;以雀形目鹡科种类最多,占评价区鸟类总种数的 19.81%;其次为雀形目的雀科、鸦科,其他各目、科的种类较少。

13.1.4.2 主要生态类型及生境特征

根据评价区内陆生脊椎动物的生态习性,将其划分为不同的生态类型,具体见表 13.1.4-3。

表 13.1.4-3 评价区内野生动物种类及生境特征

种类	生态类型	主要动物	生境特征
两栖类	陆栖型	中华蟾蜍、花背蟾蜍	阴湿的林下、草丛、土洞及砖石下
	水陆两栖型	黑斑侧褶蛙	水源不远的陆地上及河流内活动
爬行类	灌丛石隙型	丽斑麻蜥、无蹼壁虎	黄河两岸灌丛、草丛等
	林栖傍水型	鳖、黄脊游蛇、赤链蛇、白条锦蛇、虎斑颈槽蛇、乌梢蛇等	溪流及其周边植被相对丰富的区域,在河谷两侧灌丛、草丛、农田亦可见
兽类	穴居型	乌尔鼠兔、中华鼯鼠、社鼠、大仓鼠等	兔形目、啮齿目和食肉目主要分布在林地、灌丛等生境,啮齿目鼠科分布广泛
	树栖型	豹猫	植被丰富的林地生境,黄河河谷两岸植被较好的林地、灌丛,村落亦有分布
	半水栖型	纹背鼯鼠和短尾鼯	山涧溪流
	陆栖型	狍、青鼬和黄鼬等	评价区外缘植被丰富的林地及林缘灌丛
鸟类	游禽	赤麻鸭、绿头鸭等	评价区黄河及其支流的河面
	涉禽	白骨顶、林鹳、矶鹳、黑翅长脚鹳等	水库淹没区河道沿岸滩涂或农田等生境
	陆禽	毛腿沙鸡、雉鸡、灰斑鸠、珠颈斑鸠和大杜鹃等	河谷两侧农田、灌丛、灌草生境及评价区外缘林地均有分布,分布广泛
	猛禽	苍鹰、长耳鸮、红隼、纵纹腹小鸮等	隼形目分布于河谷农田、灌丛、灌草生境,鸮形目分布于植被较好的林地
	攀禽	戴胜、黑枕绿啄木鸟、大斑啄木鸟等	河谷两岸及植被丰富的林地生境
	鸣禽	雀形目所有种类	分布于河谷及其支流两岸、村落或评价区外缘植被较为丰富的灌丛或林地生境

从表 13.1.4-3 可知,评价区内兽类和鸟类生态类型较多,爬行类和两栖类生态类型

较少。鸟类以鸣禽种类为主，还有部分猛禽、游禽、涉禽、陆禽和攀禽等，集中分布于评价区黄河及其支流两岸、滩涂、灌丛或林地生境，生境较为广泛。兽类和爬行类的生境以林地和灌丛为主，两栖类生境以河流和沟谷灌丛为主。

13.1.4.3 野生动物季节组成

依据陆生动物现状调查结果及对评价区野生动物的习性分析，上述野生动物中，除部分候鸟、旅鸟外，其余的留鸟、哺乳类、两栖类、爬行类等一年四季在评价区内均有分布。其中夏候鸟 23 种，有小田鸡、白骨顶、毛腿沙鸡、大杜鹃、中杜鹃、普通夜鹰、白腰雨燕、家燕、金腰燕、灰沙燕、山鹊鸽、黄头鹊鸽、灰鹊鸽、白鹊鸽、田鸲、树鸲、水鸲、虎纹伯劳、楔尾伯劳、黑枕黄鹂、黑卷尾、灰卷尾和发冠卷尾，一般在每年的 4 月~10 月份在评价区栖息。

冬候鸟 9 种，有大白鹭、中白鹭、赤麻鸭、绿头鸭、矶鹬、普通燕鸥、银鸥、燕雀和红眉朱雀，一般在 11 月至第二年 3 月在评价区内栖息。

旅鸟 12 种，包括凤头麦鸡、金眶鸻、环颈鸻、林鸻、针尾沙锥、长趾滨鸻、乌脚滨鸻、红胸滨鸻、黑翅长脚鸻、普通朱雀和鸬鹚等，这些鸟类迁徙中会途经评价区，但不在该地区繁殖或越冬，一般出现在春季、夏季或秋季，停留时间较短。

其余鸟类均为留鸟，包括小鸊鷉、岩鸽、雉鸡、灰斑鸠、珠颈斑鸠、毛脚鱼鹰、长耳鸮、纵纹腹小鸮、戴胜、蚁鸢、黑枕绿啄木鸟、大斑啄木鸟、凤头百灵和短趾沙百灵等，一年四季在评价区均有分布。

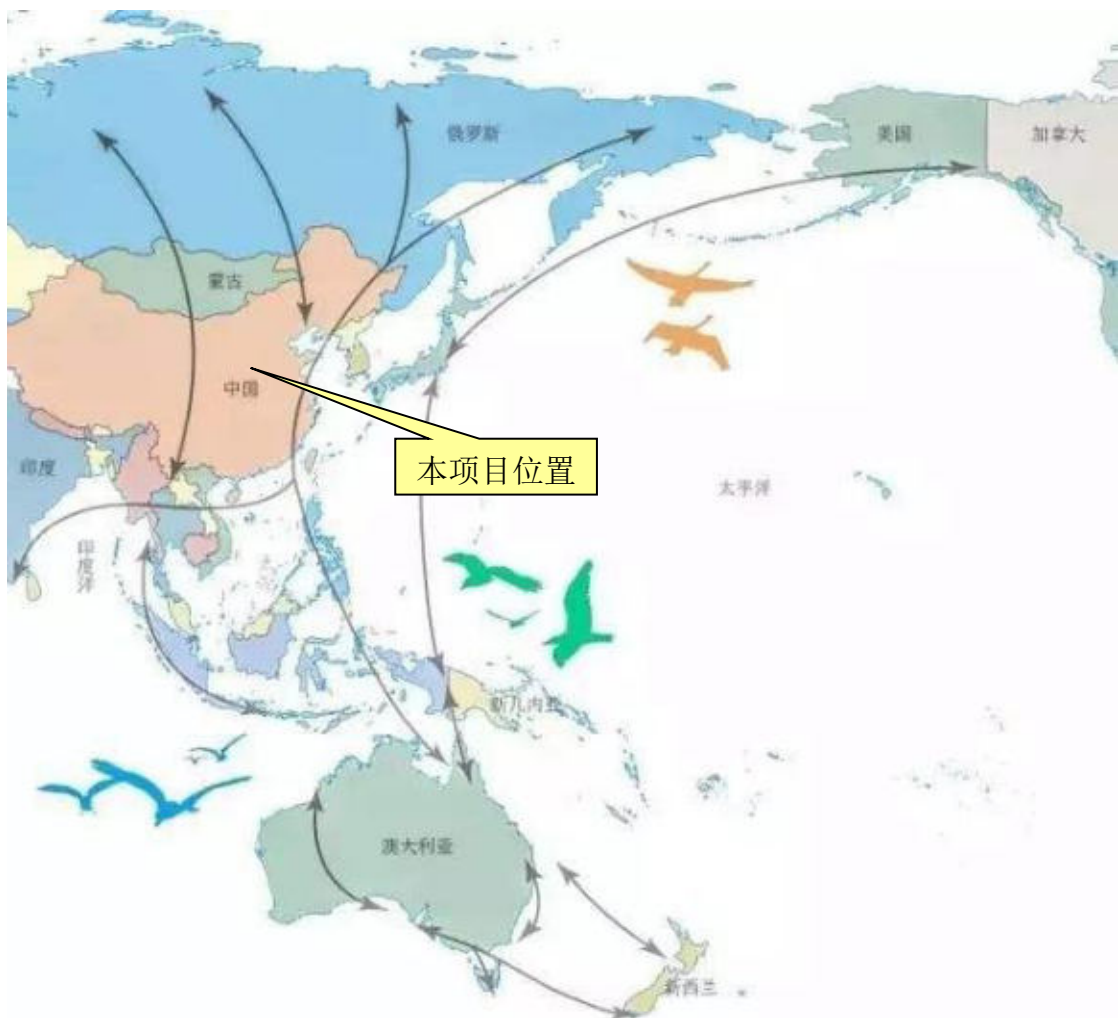


图 13.1.4-1 中国及周边地区鸟类迁徙路线图

13.1.4.4 野生动物资源分布

根据调查，库区淹没范围较大，植被类型多样，兽类、爬行类、两栖类及鸟类均有分布；坝址区主要位于河道及滩地，包括水域、草地以及乔木林地，鸟类种类和数量较多；坝址下游区以灌丛和草地为主，鸟类以及小型兽类分布较多。

表 13.1.4-4 评价区野生动物分布情况

区域	工程区	生态概况	动物种类
库区	淹没区	库区由于回水长度较长，淹没范围较大，库区淹没范围内分布有林地、灌丛、草地，水体滩地及农田等，植被类型相对较多，适合评价区几乎所有动物栖息的生境均有分布	兽类：大仓鼠、长尾仓鼠、草兔、大林姬鼠、社鼠等
			两栖类：中华蟾蜍、花背蟾蜍、黑斑侧褶蛙等
			爬行类：丽斑麻蜥、无蹼壁虎、鳖、黄脊游蛇等
			鸟类：黑卷尾、喜鹊、寒鸦、树麻雀、大紫胸鹦鹉、戴胜、灰头绿啄木鸟、毛腿沙鸡、雉鸡、灰斑鸠、珠颈斑鸠、大杜鹃，赤麻鸭、红脚鹬等
坝址区	主体工程区	位于主河道及滩地上，还有小部分岸坡，以水域湿地、草地为主	兽类：社鼠、长尾仓鼠、大林姬鼠及草兔等
			两栖类：中华蟾蜍、黑斑侧褶蛙
			爬行类：丽斑麻蜥等
	弃渣场	位于山间洼地，可以积存雨水，	鸟类：主要为鸣禽，如小鸊鷉、戴胜、大嘴乌鸦等 兽类：草兔、大仓鼠、长尾仓鼠、大林姬鼠

	区	生态条件优越，以散生乔木和灌丛为主，盖度高，生物量大	鸟类：主要是林居鸟类，包括雉鸡、戴胜等
			两栖类：中华蟾蜍、黑斑侧褶蛙等
			爬行类：丽斑麻蜥
	交通道路及生产生活区	位于丘陵地、黄土塬、黄土峁以及河内滩地区，以农田、草地、建设用地为主，人类活动密集，自然植被低矮，野生动物稀少	兽类：大仓鼠、长尾仓鼠、草兔、大林姬鼠、社鼠。
坝址下游区			鸟类：喜鹊、树麻雀、雉鸡等
	骨料场区	位于石质山体上，以灌丛和草地为主	兽类：大仓鼠、长尾仓鼠、草兔、大林姬鼠、社鼠及松鼠。
			鸟类：金腰燕、红尾伯劳、黑卷尾、喜鹊、寒鸦、树麻雀、雉鸡
	皮带机和进场道路	线路较长，植被以灌丛和草地为主，其它相对较少	兽类：大仓鼠、长尾仓鼠、草兔等
			两栖类：中华蟾蜍
			鸟类：鸣禽和陆禽，如红尾伯劳、黑卷尾、雉鸡等

13.1.4.5 重点保护动物

1. 种类

根据查阅资料和现场调查，并依据《国家重点保护野生动物名录》（2021年）可知，评价区共有国家重点保护野生动物 19 种，其中 I 级保护动物 3 种，为豹、原麝、褐马鸡；II 级保护动物 16 种，为长耳鸮、苍鹰、毛脚鱼鸮、纵纹腹小鸮、红隼、雀鹰、游隼、松雀鹰、普通鵟、红脚隼、雕鸮、赤腹鹰、普通夜鹰、大鵟、青鼬和豹猫。这些保护动物在人祖山和管头山省级自然保护区内分布相对集中，在库区两侧的山林中也有少量分布。

根据《山西省重点保护野生动物名录》（2021 年），评价区有山西省重点保护野生动物 52 种；根据《陕西省重点保护野生动物名录》（2001 年），评价区有陕西省重点保护野生动物 8 种。主要分布于评价区内的林地和滩区湿地。

根据《中国生物多样性红色名录-脊椎动物卷》（2015 年）可知，评价区分布有极危种 2 种，濒危种 1 种，易危物种 4 种；分布有中国特有种 1 种，为褐马鸡。国家重点保护动物、极危、濒危和易危物种、中国特有种主要分布于人祖山和管头山省级自然保护区内。详见表 13.1.4-5。

表 13.1.4-5 评价区重要物种保护级别一览表

序号	中文名	拉丁名	保护等级	濒危等级	是否特有	分布区	资料来源	是否占用
1	豹	<i> Panthera pardus</i>	I	CR		人祖山和管头山省级自然保护区及水库两侧山地及林区	查阅资料	否
2	原麝	<i> Moschus moschiferus</i>	I	CR				否
3	褐马鸡	<i> Crossoptilon mantchuricum</i>	I	Vu	是			否
4	长耳鸮	<i> Asio otus</i>	II					否
5	苍鹰	<i> Accipiter gentilis</i>	II					否
6	毛脚鱼鸮	<i> Ketupa flavipes</i>	II					否
7	纵纹腹小鸮	<i> Athene noctua</i>	II					否

序号	中文名	拉丁名	保护等级	濒危等级	是否特有	分布区	资料来源	是否占用
8	红隼	<i>Falco tinnunculus</i>	Ⅱ					否
9	雀鹰	<i>Accipiter nisus</i>	Ⅱ					否
10	游隼	<i>Falco peregrinus</i>	Ⅱ					否
11	松雀鹰	<i>Accipiter virgatus</i>	Ⅱ					否
12	普通鵟	<i>Buteo buteo</i>	Ⅱ					否
13	红脚隼	<i>Falco amurensis</i>	Ⅱ					否
14	雕鸮	<i>Bubo bubo</i>	Ⅱ					否
15	赤腹鹰	<i>Accipiter soloensis</i>	Ⅱ					否
16	普通夜鹰	<i>Caprimulgus indicus</i>	Ⅱ					否
17	大鵟	<i>Buteo hemilasiu</i>	Ⅱ	Vu				否
18	青鼬	<i>Martes flavigula</i>	Ⅱ					否
19	豹猫	<i>Felis bengalensis</i>	Ⅱ	Vu				否
20	狗獾	<i>Meles meles</i>	陕西、山西					否
21	狍	<i>Capreolus capreolus</i>	陕西、山西					否
22	苍鹭	<i>Ardea cinerea</i>	陕西、山西			黄河两岸湿地	栖息地可能 被淹没	
23	大白鹭	<i>Ardea alba</i>	陕西、山西					
24	中白鹭	<i>Ardea intermedia</i>	陕西、山西					
25	赤麻鸭	<i>Tadorna ferruginea</i>	陕西					
26	绿头鸭	<i>Anas platyrhynchos</i>	陕西					
27	王锦蛇	<i>Elaphe carinata</i>	陕西、山西	EN		评价区 内的林 地内		现场 调查
28	岩鸽	<i>Columba rupestris</i>	山西					
29	普通夜鹰	<i>Caprimulgus indicus</i>	山西					
30	白腰雨燕	<i>Apus pad ficus</i>	山西					
31	大杜鹃	<i>Cuculus canorus</i>	山西					
32	中杜鹃	<i>Cuculus Saturatus</i>	山西					
33	黑翅长脚鹬	<i>Himantopus himantopus</i>	山西					
34	凤头麦鸡	<i>Vanellus vanellus</i>	山西					
35	金眶鸻	<i>Charadrius dubius</i>	山西					查 阅 资 料
36	黄斑苇鳉	<i>Ixobrychus sinensis</i>	山西					
37	戴胜	<i>Upupa epops</i>	山西					
38	蓝翡翠	<i>Halcyon pileata</i>	山西					
39	蚁鸻	<i>Jynx torquilla</i>	山西					
40	大斑啄木鸟	<i>Dendrocopos major</i>	山西					
41	黑枕黄鹂	<i>Oriolus chinensis</i>	山西					
42	黑卷尾	<i>Dicrurus macrocercus</i>	山西					
43	发冠卷尾	<i>Dicrurus hottentottus</i>	山西					
44	虎纹伯劳	<i>Lanius tigrinus</i>	山西					
45	楔尾伯劳	<i>Lanius sphenocercus</i>	山西					
46	松鸦	<i>Garrulus glandarius</i>	山西			评价区 内的林 地内		栖 息 地 可 能 被 淹 没
47	红嘴山鸦	<i>Pyrrhcorax pyrrhcorax</i>	山西					
48	沼泽山雀	<i>Parus palustris</i>	山西					
49	大山雀	<i>Parus major artatus</i>	山西					
50	凤头百灵	<i>Galerida cristata</i>	山西					
51	角百灵	<i>Eremophila alpestris</i>	山西					
52	家燕	<i>Hirundo rustica</i>	山西					
53	金腰燕	<i>daurica japonica</i>	山西					
54	银喉长尾山雀	<i>Aegithalos caudatus</i>	山西					
55	银脸长尾山雀	<i>Aegithalos fuliginosus</i>	山西					
56	北椋鸟	<i>Sturnus sturninus</i>	山西					
57	红喉姬鹀	<i>Ficedula parva</i>	山西					
58	山鹊鸂	<i>Dendronanthus indicus</i>	山西					
59	黄头鹡鸰	<i>Motacilla citreola</i>	山西					
60	灰鹡鸰	<i>Motacilla cinerea</i>	山西			现场 调查		



序号	中文名	拉丁名	保护等级	濒危等级	是否特有	分布区	资料来源	是否占用
61	白鹡鸰	<i>Motacilla alba</i>	山西				查阅资料	
62	树鹨	<i>Anthus hodgsoni</i>	山西					
63	水鹨	<i>Anthus spinoletta</i>	山西					
64	东北刺猬	<i>Erinaceus amurensis</i>	山西					
65	黄鼬	<i>Mus tela</i>	山西			评价区内的林地和草地内		
66	艾鼬	<i>Mustela eversmanni</i>	山西	VU				
67	花背蟾蜍	<i>Bufo raddei</i>	山西					
68	黑斑侧褶蛙	<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	山西					
69	黄脊游蛇	<i>coluber spinalis</i>	山西					
70	赤链蛇	<i>Dinodon rufozonatum</i>	山西					
71	白条锦蛇	<i>Elaphe dione</i>	山西					
72	虎斑颈槽蛇	<i>Rhabdophis tigrina</i>	山西					
73	乌梢蛇	<i>Zaocys dhumnades</i>	山西					

注：Ⅰ为国家一级重点保护，Ⅱ为国家二级重点保护；极危（Critically Endangered）简写为CR。濒危（Endangered）简写为EN；易危（Vulnerable）简写为VU；山西代表山西省重点保护，陕西代表陕西省重点保护。

（2）重要保护动物生态习性及分布

依据调查，评价区重点保护动物、极危、濒危和易危物种、中国特有种在以保护森林生态系统和野生动物为主要保护对象的人祖山和管头山省级自然保护区内分布相对集中；评价区内黄河两岸湿地有大白鹭、中白鹭、赤麻鸭、绿头鸭和黑翅长脚鹬等重点保护游禽和涉禽停留；鸱形目的长耳鸱、雕鸱和隼形目的苍鹰、普通夜鹰、赤腹鹰等猛禽分布相对广泛；黄鼬、东北刺猬、花背蟾蜍、黑斑侧褶蛙及白条锦蛇等部分省级重点保护动物在评价区偶尔出现。以下重点说明国家重点保护野生动物的生态习性及其分布情况，具体见表 13.1.4-6。

表 13.1.4-6 评价区国家级重点保护野生动物生态习性及其分布

种名	生态习性	分布	照片	保护等级
豹 <i>Panthera pardus</i>	豹主要生活在有森林的山地中，也有的豹生活在丘陵地带。它的食物包括鹿、羊等有蹄类动物，也吃一些猫类动物、鼬科动物以及猴子、兔子、鼠类等。另外也偶然捕食鸟类、鱼类。食物缺乏时，也食青蛙、蝼蛄、蝗虫等	人祖山和管头山省级自然保护区		国家一级
原麝 <i>Moschus moschiferus</i>	原麝多在针阔混交林、针叶落叶林、针叶混交林、疏林灌丛地带的悬崖峭壁和岩石山地生境中栖居，有时随季节的不同而作垂直的迁徙。以植物为食，偶尔吃小动物。	人祖山和管头山省级自然保护区		国家一级

种名	生态习性	分布	照片	保护等级
褐马鸡 <i>Crossoptilon mantchuricum</i>	褐马鸡主要栖息在以华北落叶松、云杉次生林为主的林区和华北落叶松、云杉、杨树、桦树次生针阔混交森林中。主要以乔木、灌木和草本植物的叶、嫩茎、幼芽、花蕾、浆果、种子等植物性食物为食，也吃少量动物性食物。	人祖山和管头山省级自然保护区、山西黄河壶口瀑布风景名胜區		国家一级
长耳鸮 <i>Asio otus</i>	喜欢栖息于针叶林、针阔混交林和阔叶林等各种类型的森林中，也出现于林缘疏林、农田防护林和城市公园的林地中。以鼠类等啮齿动物为食，也吃小型鸟类、哺乳类和昆虫。如雀类、莺类、蝙蝠、甲虫、金龟子、蝗虫、蝼蛄等。	人祖山和管头山省级自然保护区		国家二级
苍鹰 <i>Accipiter gentilis</i>	栖息于疏林、林缘和灌丛地带，次生林中也较常见。栖息于不同海拔高度的针叶林、混交林和阔叶林等森林地带，也见于山前平原和丘陵地带的疏林和小块林内。以鼠类、野兔、雉类、榛鸡、鸠鸽类和其他中小形鸟类为食。	人祖山和管头山省级自然保护区		国家二级
毛脚鱼鸮 <i>Ketupa blakistoni</i>	栖息于河谷树林或灌丛中。夜行性，白天隐伏于树枝上，常到溪流边捕食，嗜食鱼类。受到惊扰时一般不轻易飞走，会发出深沉的呼呼声，以鱼、蛙和鼠等为食。	人祖山和管头山省级自然保护区、山西永和黄河蛇曲地质公园		国家二级
纵纹腹小鸮 <i>Athene noctua</i>	常见留鸟，在岩洞或树洞中营巢。通常夜晚出来活动，在追捕猎物时，不仅同其他猛禽一样从空中袭击，而且还会利用一双善于奔跑的双腿去追击。以昆虫和鼠类为食，也吃小鸟、蜥蜴、蛙类等小动物。	人祖山和管头山省级自然保护区、山西黄河壶口瀑布风景名胜區		国家二级
红隼 <i>Falco tinnunculus</i>	小型猛禽之一。常见栖息于山地和旷野中，多单个或成对活动，飞行较高。以猎食时有翱翔习性而著名。吃大型昆虫、小型鸟类、青蛙、蜥蜴以及小哺乳动物。	人祖山和管头山省级自然保护区、山西黄河壶口瀑布风景名胜區		国家二级
雀鹰 <i>Accipiter nisus</i>	属小型猛禽，体长 30-41 厘米。栖息于针叶林、混交林、阔叶林等山地森林和林缘地带。日出性。常单独生活。以雀形目小鸟、昆虫和鼠类为食，也捕食鸽形目鸟类和榛鸡等小的鸡形目鸟类，有时亦捕食野兔、蛇、昆虫幼虫。	人祖山和管头山省级自然保护区		国家二级

种名	生态习性	分布	照片	保护等级
游隼 <i>Falco peregrinus</i>	游隼是体形比较大的隼类，体长为 38-50 厘米，翼展 95-115 厘米，体重 647-825 克，寿命 11 年。中型猛禽。主要栖息于山地、丘陵、半荒漠、沼泽与湖泊沿岸地带，也到开阔的农田、耕地和村屯附近活动。	人祖山和管头山省级自然保护区		国家二级
松雀鹰 <i>Accipiter virgatus</i>	常单独或成对在林缘和丛林边等较为空旷处活动和觅食。性机警。并不时发出尖利的叫声，飞行迅速，亦善于滑翔。以各种小鸟为食，也吃蜥蜴，蝗虫、蚱蜢、甲虫以及其他昆虫和小型鼠类，有时甚至捕杀鹌鹑和鸠鸽类中小型鸟类。	人祖山和管头山省级自然保护区		国家二级
普通鵟 <i>Buteo buteo</i>	主要栖息于山地森林和林缘地带，从海拔 400 米的山脚阔叶林到 2000 米的混交林和针叶林地带均有分布，常见在开阔平原、荒漠、旷野、开垦的耕作区、林缘草地和村庄上空盘旋翱翔。以森林鼠类为食。	人祖山和管头山省级自然保护区		国家二级
红脚隼 <i>Falco amurensis</i>	主要栖息于低山疏林、林缘、山脚平原、丘陵地区的沼泽、草地、河流、山谷和农田等开阔区，尤喜欢具有稀疏树木的平原、低山和丘陵地区。主要以蝗虫、蚱蜢、金龟子、蟋蟀、叩头虫等昆虫为食，有时也捕食小型鸟类、蜥蜴、蛙、鼠类等小型脊椎动物。	人祖山和管头山省级自然保护区		国家二级
雕鸮 <i>Bubo bubo</i>	雕鸮栖息于山地森林、平原、荒野、林缘灌丛、疏林，以及裸露的高山和峭壁等各类环境中。在新疆和西藏地区，栖息地的海拔高度可达 3000-4500 米左右。	人祖山和管头山省级自然保护区		国家二级
赤腹鹰 <i>Accipiter soloensis</i>	息于山地森林和林缘地带，也见于低山丘陵和山麓平原地带的小块丛林，农田地缘和村庄附近。常单独或成小群活动，休息时多停息在树木顶端或电线杆上。主要以蛙、蜥蜴等动物性食物为食，也吃小型鸟类，鼠类和昆虫。	人祖山和管头山省级自然保护区		国家二级
普通夜鹰 <i>Caprimulgus indicus</i>	普通夜鹰主要栖息于海拔 3000 米以下的阔叶林和针阔叶混交林；也出现于针叶林、林缘疏林、灌丛和农田地区竹林和丛林内。主要以天牛、岔龟子、甲虫、夜蛾、蚊、蚋等昆虫为食。	人祖山和管头山省级自然保护区、山西黄河壶口瀑布风景名胜區		国家二级

种名	生态习性	分布	照片	保护等级
大鵟 <i>Buteo hemilasius</i>	栖息于山地、山脚平原和草原等地区，也出现在高山林缘和开阔的山地草原与荒漠地带，分布高度可以达到 4000 米以上的高原和山区。喜停息在高树上或高凸物上。主要以啮齿动物，蛙、蜥蜴、野兔、蛇、黄鼠、鼠兔、旱獭、雉鸡、石鸡、昆虫等动物性食物为食。	人祖山和管头山省级自然保护区		国家二级
青鼬 <i>Martes flavigula</i>	栖息地海拔高度为 3000m 以下。活动于常绿阔叶林和针阔叶混交林区。大面积的丘陵或山地森林中，但不受林型的影响。典型食肉兽，主要食物包括鼠、獾、鸟和鸟卵、鱼及植物的果实等，也捕食山羊、麝和鹿等，偶尔潜入村庄偷吃家禽。	人祖山和管头山省级自然保护区		国家二级
豹猫 <i>Prionailurus bengalensis</i>	主要栖息于山地林区、郊野灌丛和林缘村寨附近，通常以啮齿类、鸟类、鱼类、爬行类及小型哺乳动物为食。窝穴多在树洞、土洞、石块下或石缝中。	人祖山和管头山自然保护区、山西黄河壶口瀑布风景名胜区		国家二级

经调查，距离工程较近的自然保护区为工程进场道路和皮带机东侧分布的人祖山和管头山省级自然保护区，两个自然保护区的核心区和缓冲区内有大面积天然次生林分布，这里作为野生动物的主要栖息地，有隐蔽性强、面积大、连通性高、受人类干扰较少等特点，适合大中型兽类及各种陆禽、猛禽的栖息。临近本工程进场道路与皮带机线路的管头山自然保护区西侧区域，用地类型主要为灌丛、草地及耕地，农村居民点较多，而且有多条道路在保护区和工程区之间形成阻隔，保护区内的重点保护动物，尤其大型兽类如豹、原麝等进入工程区附近的可能性较小。

13.1.4.6 重要物种生境评价

1. 生境评价的定义和目的

生境评价的主要目标是通过分析物种的生境需求及其与研究区自然环境之间的匹配关系，从而确定物种的生境特征和分布范围（王秀磊，2005 年）。生境评价是建立在长期监测和实地调查分析的基础之上，分析各种生境因子对物种的影响，明确因子间的相互关系，构建物种与生境因子之间关系的数学模型。在确定生境适宜度标准的前提下，对动物生境进行综合评判，分析野生动物的生境特征及其潜在分布范围，为了解濒危野生动物种群减少原因以及保护管理提供科学依据。

2. 数据概况

本文采用的卫星数据是 2020 年 9 月的 Landsat8 卫星影像数据,分辨率 15m,投影地理参考采用 UTM,参考椭球体为 WGS84。土地利用现状图采用遥感手工解译获得。植被覆盖度图采用归一化植被指数 (NDVI) 方法获得。交通路线矢量图、河流矢量图、居民点分布图来自当地收集的矢量数据。

3. 评价方法

生境定量分析的经典方法是栖息地适宜度指数法,栖息地适宜度指数有 3 种格式:二元格式、单变量格式和多变量格式。一般而言,生境适宜度分析是综合非生物环境、食物、行为适合度的前提下分析生境空间的适宜度,综合多个适宜度指数来定义综合指数,多变量方法考虑了环境变量中的相互关系和相关性,因此本次生境评价采用多变量的栖息地适宜度指数法。

(1) 指标选择与评价标准

鉴于评价区重要物种较多,无法针对某一具体物种确定指标和标准,只能根据其中绝大部分野生动物对环境的依存关系,同时参照前人的研究成果确定评价指标和标准。本次选择植被覆盖度、用地类型、水源距离、道路距离、村庄距离 5 个影响因子建立评价区自然环境因素评价准则。

表 13.1.4-7 重要物种受自然环境因素影响评价准则表

影响因素	影响因子	最适宜	适宜	勉强适宜	不适宜
自然因素	与水源的距离及赋值	<500m (5)	500m~1000m (4)	1000m~2000m (3)	≥ 2000 (1.5)
	植被覆盖度及赋值	大于 60% (5)	45%~60% (4)	20%~45% (3)	0~20% (1)
	用地类型及赋值	林地、湿地 (5)	草地 (4)	耕地 (3)	建设用地、裸地 (0.5)

注:括号内为赋值

表 13.1.4-8 重要物种受社会因素影响评价准则表

影响因素	影响因子		影响较强	影响一般	影响轻微
社会因素	距离村庄直线距离及赋值		<500m (0.6)	500m~1000m (0.7)	>1000m (0.9)
	距离道路直线	高速公路	<100m (0.6)	100m~300m (0.7)	>300m (0.8)
	距离及赋值	省道、国道、县道	<500m (0.7)	500m~1000m (0.8)	>1000m (0.9)

注:括号内为赋值

(2) 评价流程

首先根据样地调查数据及参考文献确定反映当地多数重要物种生境特征的生境因子及评价准则；其次是重要物种生境因子相关数据的准备，包括通过遥感影像分类得到的评价区用地类型图、植被覆盖度图；第三，地理信息数据的处理，主要是对评价区道路、河流、居民点的缓冲区分析；最后，综合所有生境图层数据依照评价准则计算生境适宜性。生境评价的基本流程见图 13.1.4-1。

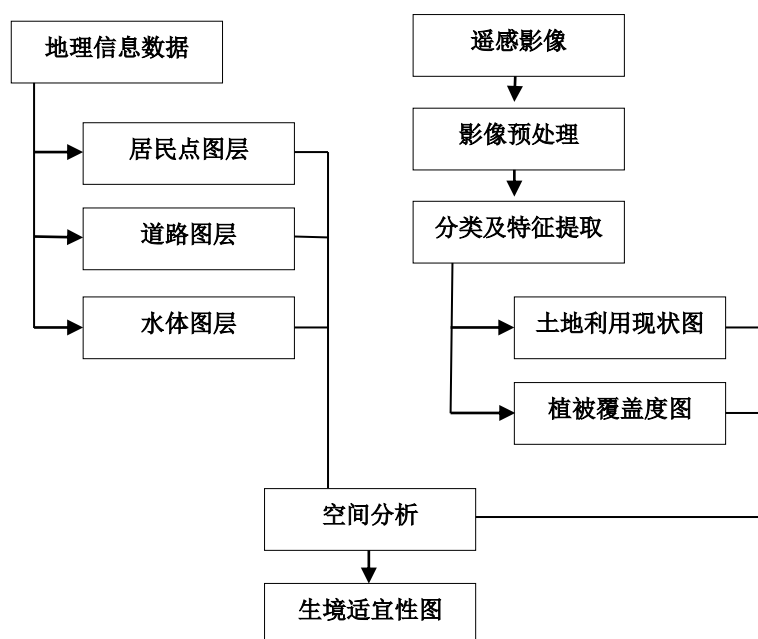


图 13.1.4-1 重要物种生境评价流程图

根据评价区的河流、道路、村庄矢量图层,依照评价标准计算缓冲区,然后将河流、道路和村庄图层分别栅格化为分辨率为 30m 的栅格图层。基于 Landsat8 影像进行生境评价时,采用 30m×30m 网格为评价单元;依据评价标准利用模糊数学法对 5 个单因子的生境适宜度进行 0~5 的赋值,其中:0 为适宜性最低值,5 为适宜性最高值。采用模糊赋值求积法进行生境因子的综合评价,表达式为:

$$S_j = \prod_{i=1}^n U_i,$$

式中,月表 S_j 表示各评价单元生境适宜性值,生境评价中 $n=5$,包括植被覆盖度、用地类型、距离水源的距离、距离居民点距离、距离主要道路距离; U_i 表示不同的单因素对重要生物生境的影响强度。

数据处理及空间分析流程如图 13.1.4-2 所示。计算出每个评价单元的生境适宜度值后,计算得到评价单元生境适宜性值,最后参考项目区实际的野生动物栖息情况,对生

境适宜性值由高到低进行分组，从而得到最适宜生境、适宜生境、次适宜生境、不适宜生境的面积及分布情况。

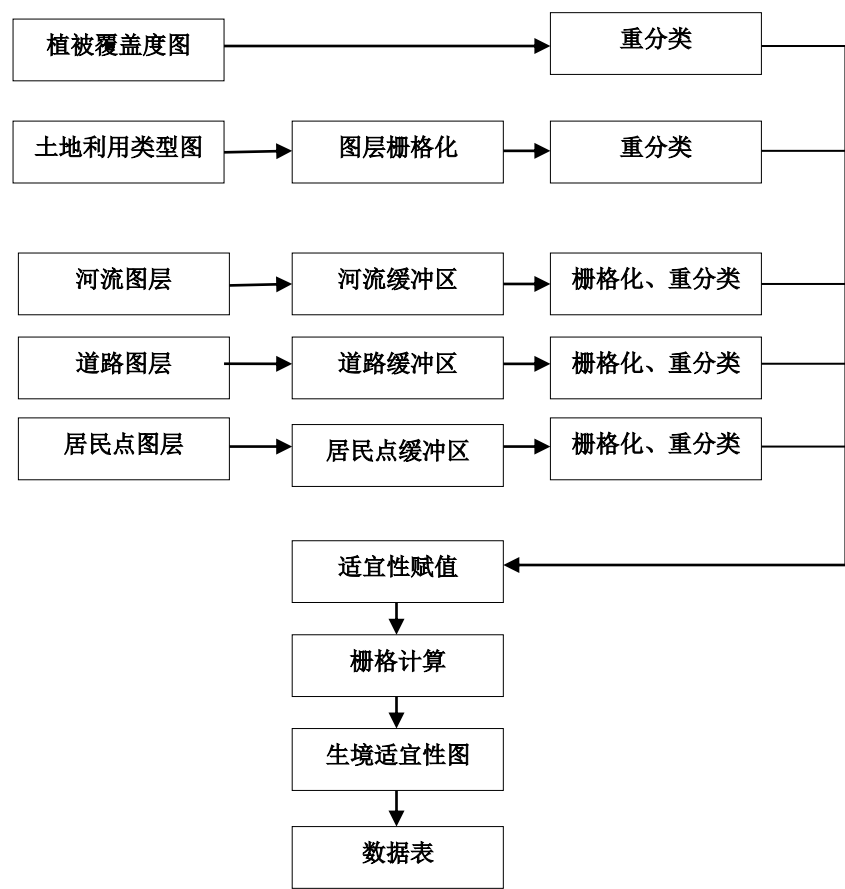


图 13.1.4-2 生境评价空间流程图

4. 评价结果

按照上述评价流程进行图像叠加分析，可得到各类适宜度生境的面积及分布情况，详见表 13.1.4-9。评价区生境适宜度分布图见附图 6-6。

表 13.1.4-9 评价区各适宜度生境面积表

生境适宜度	面积（km ² ）	百分比（%）
最适宜生境	151.71	12.89
适宜生境	238.45	20.26
勉强适宜生境	474.78	40.34
不适宜生境	312.01	26.51
合计	1176.95	100

结果表明，该评价区最适宜生境面积为 151.71km²，占比 12.89%，比例最低，主要分布于黄河河道、滩地及覆盖度较高、人类扰动较少的林地内，与目前重要物种分布现状吻合，多位于吉县境内。

适宜生境面积 238.45km²，占比 20.26%，比例较低，主要分布于黄河沿岸覆盖度

较高的林地和草地内，距离村庄或道路较近，有一定程度的人类干扰。多位于吉县、宜川境内。

勉强适宜生境面积 474.78km²，占比 40.34%，比例最高。这里以农业区为主，植被覆盖度较低，多位于石楼县、永和县、延川县内。

不适宜生境面积 312.01km²，占比 26.51%，主要分布于距离村庄和道路较近的农业区、裸露土地地区、低覆盖度草地区。多位于评价区北部的石楼县、清涧县、柳林县、绥德县、吴堡县。

13.1.5 景观格局现状评价

从生态学角度讲，判定一个地区景观质量的好坏，关键因素是看模地是否由对生态环境质量具有较强调控能力的地物类型构成。目前对景观模地的判定可以采用传统生态学中计算植被重要值的方法决定某一拼块类型在景观中的优势，也叫优势度值。

优势度计算的数学表达式如下：

密度 $Rd = \frac{\text{拼块}i\text{的数目}}{\text{拼块总数}} \times 100\%$
频率 $Rf = \frac{\text{拼块}i\text{出现的样方数}}{\text{总样方数}} \times 100\%$

样方是以 1km×1km 为一个样方，对景观全覆盖取样，并用 *Merrington Maxine*“t-分布点的百分比表”进行检验。

景观比例 $Lp = \frac{\text{拼块}i\text{的面积}}{\text{样地总面积}} \times 100\%$
优势度 $Do = \frac{(Rd + Rf) / 2 + Lp}{2} \times 100\%$

根据遥感解译成果分析，评价区景观生态系统包括林地景观、草地景观、水域湿地景观、建设用地景观、农田景观及未利用土地景观 6 类景观。通过计算，确定评价区的景观优势度及相关指标见表 13.1.5-1。

表 13.1.5-1 评价区各类拼块优势度值

拼块类型	密度 Rd(%)	频度 Rf(%)	景观比例 Lp(%)	优势度 Do(%)
林地景观	19.86	15.98	9.75	13.84
草地景观	30.09	78.82	47.55	51.00
水域湿地景观	3.95	21.65	8.02	10.41
建设用地景观	11.95	9.07	1.51	6.01
未利用土地景观	0.47	1.27	0.02	0.45
农田景观	33.33	65.98	33.16	41.41

由表 13.1.5-1 可知，评价区草地景观优势度最大，为 51.00%，其次为农田景观，优势度为 41.41%，林地景观、水域湿地景观、建设用地景观和未利用土地景观优势度

相对较小。由此可见，草地景观为评价区域景观的模地，草地以中、高覆盖度草地为主，其生态功能处于中等水平。评价区耕地优势度也较高，由于该区域地处黄土丘陵，坡耕地较多，水土流失较严重，因此对生态负面影响也较大。综上所述，该区域生态景观质量一般。

13.1.6 生物多样性现状评价

本次生物多样性评价将参考《区域生物多样性评价标准》（HJ 623-2011），通过构建相关评价指标，对评价区域生物多样性进行定量分析。

13.1.6.1 评价指标及其内涵

根据《区域生物多样性评价标准》（HJ 623-2011），生物多样性评价包括 6 个评价指标。

（1）野生维管束植物丰富度

指评价区域内野生维管束植物的物种数，包括野生蕨类植物、裸子植物及被子植物三类，研究区内有大面积的人工林，也计入在内。该指标用来表征野生植物的多样性。

（2）野生高等动物丰富度

指评价区内野生高等动物的物种数，包括鸟类、爬行类、两栖类、淡水鱼类以及哺乳类动物五类。该指标用于表征野生动物的多样性。

（3）生态系统类型多样性

指评价区内自然或半自然的生态系统类型数。该指标中规定的生态系统类型是按照《中国植被》（吴征镒，1980）的分类标准确定的，以群系为分类的基本单位进行划分。研究区内的大面积人工林，计入自然生态系统类型调查范围内；果园、农田等属于人工生态系统，不计入调查范围内。该指标用于表征自然生态系统类型的多样性。

（4）物种特有性

指评价区内属于中国特有分布的野生维管束植物和野生高等动物的相对数量，其中中国特有分布的植物是按照吴征镒教授《关于中国种子植物的分布区类型划分》中属于中国特有分布的植物物种，该指标用于表征物种的特殊价值。

物种特有性=（评价区内中国特有的野生维管束植物物种数/3662+评价区内中国特有的野生高等动物物种数/635）/2

（5）外来物种入侵度

指评价区内外来入侵物种数在本地野生维管束植物和野生高等动物物种总数中所占的比例。该指标用于表征生态系统受外来物种的干扰程度。

外来物种入侵度=外来入侵物种/（野生维管束植物物种数+野生高等动物物种数）

（6）受威胁物种丰富度

指被评价区内受威胁的野生维管束植物和野生高等动物的相对数量，受威胁物种指《世界自然保护联盟物种红色名录濒危等级和标准》（3.1 版）中规定的极危（CR）、濒危（EN）、易绝（VU）和近危（NT）四类物种。

受威胁物种丰富度=（受威胁的野生维管束植物物种数/3662+受威胁的野生高等动物物种数/635）/2

13.1.6.2 评价方法

（1）指标的归一化处理

归一化后的评价指标=归一化前的评价指标×归一化系数

$$\text{归一化系数} = 100 / A_{\text{最大值}}$$

其中， $A_{\text{最大值}}$ ：指被计算指标归一化处理前的最大值。各个指标的 $A_{\text{最大值}}$ 详见下表。

表 13.1.6-1 相关指标参考最大值

指标	参考最大值	归一化系数
野生维管束植物丰富度	3662	0.027
野生动物丰富度	635	0.157
生态系统类型多样性	124	0.806
物种特有性	0.3070	325.732
受威胁物种的丰富度	0.1572	636.132
外来物种入侵度	0.1441	693.963

（2）指标权重

各指标权重见表 13.1.6-2。

表 13.1.6-2 各指标权重表

指标	参考最大值
野生维管束植物丰富度	0.20
野生动物丰富度	0.20
生态系统类型多样性	0.20
物种特有性	0.20
受威胁物种的丰富度	0.10
外来物种入侵度	0.10

（3）生物多样性指数的计算

生物多样性指数（BI）是指将上述六项指标，即野生维管束植物丰富度、野生高等动物丰富度、生态系统类型多样性、物种特有性、外来物种入侵度和受威胁物种丰富度

加权求和,用来表征被评价区域的生物多样性状况。其中外来物种入侵度为成本型指标,即指标的属性值越小越好,因此对该指标要作适当转换。

生物多样性指数 (BI) =归一化后的野生维管束植物丰富度×0.20+归一化后的野生高等动物丰富度×0.20+归一化后的生态系统类型多样性×0.20+归一化后的物种特有性×0.20+ (100-归一化后的外来物种入侵度) × 0.10+归一化后的受威胁物种丰富度×0.10

(4) 多样性状况分级

根据生物多样性指数 (BI) , 生物多样性状况分为低、一般、中、高四个等级, 见表 13.1.6-3。

表 13.1.6-3 生物多样性状况分级标准

生物多样性等级	生物多样性指数	生物多样性状况
高	BI≥60	物种高度丰富, 特有属、种多, 生态系统丰富多样
中	30≤BI<60	物种较丰富, 特有属、种较多, 生态系统类型较多, 局部地区生物多样性高度丰富
一般	20≤BI<30	物种较少, 特有属、种不多, 局部地区生物多样性较丰富, 但生物多样性总体水平一般
低	BI<20	物种贫乏, 生态系统类型单一、脆弱, 生物多样性极低

13.1.6.3 评价结果

(1) 指标统计

根据评价区生态系统及野生动植物资源的调查结果, 对植被丰富度、动物丰富度、生态系统多样性等 6 项评价指标进行统计, 见表 13.1.6-4。

表 13.1.6-4 评价区生物多样性评价指标值

指标	数值
植物丰富度	577
动物丰富度	187
生态系统多样性	13
物种特有性	0.0012
外来物种入侵度	0.0039
受威胁物种丰富度	0.122

(2) 归一化处理

利用归一化方法, 对评价区各项评价指标进行归一化处理, 结果见表 13.1.6-5。

表 13.1.6-5 归一化处理后各评价指标值

指标	数值
归一化后的植物丰富度	15.58
归一化后的动物丰富度	29.52
归一化后的生态系统多样性	10.48
归一化后的物种特有性	0.39
归一化后的外来物种入侵度	2.49
归一化后的受威胁物种丰富度	84.66

(3) 生物多样性指数

将表 13.1.6-4 各项指标值带入生物多样性指数公式，具体如下：

$$BI=42.15 \times 0.20 + 31.24 \times 0.20 + 20.96 \times 0.20 + 1.53 \times 0.20 + (100 - 64.25) \times 0.10 + 79.81 \times 0.10 = 30.73$$

由此可见，评价区生物多样性指数（BI）为 29.41。

(4) 保护区生物多样性评价结果

依据表 13.1.6-5，评价区整体生物多样性评价结果为一般水平，特有属、种不多，局部地区生物多样性较丰富，但生物多样性总体水平一般。

13.1.7 生态系统现状评价

13.1.7.1 生态系统组成

本次采用遥感的技术手段，根据《全国生态状况调查评估技术规范——生态系统遥感解译与野外核查》（HJ 1166-2021）的分类方法，将评价区生态系统分为 7 类，分别为森林生态系统、灌丛生态系统、草地生态系统、湿地生态系统、农田生态系统、城镇生态系统及其他，各类生态系统组成详见表 13.1.7-1。

表 13.1.7-1 评价区生态系统组成情况

一级分类	二级分类	面积（km ² ）	面积百分比（%）
森林生态系统	针叶林	11.964	1.02
	阔叶林	14.955	1.27
	针阔混交林	2.991	0.25
	小计	29.91	2.54
灌丛生态系统	阔叶灌丛	84.89	7.21
草地生态系统	草甸	56.08	4.76
	草丛	500.01	42.48
	小计	556.09	47.25
湿地生态系统	河流	94.35	8.02
城镇生态系统	居民地	9.2	0.78
	城市绿地	2.02	0.17
	工矿交通	6.54	0.56
	小计	17.75	1.51
农田生态系统	耕地	310.77	26.40
	园地	83	7.05
	小计	393.77	33.46
其他	裸地	0.19	0.02
总计		1176.95	100.00

由表 13.1.7-1 可知，评价区草地生态系统面积最大，为 556.09km²，占比 47.25%；其次农田生态系统，为 393.77km²，占比 33.46%；第三为湿地生态系统，为 94.35km²，占比 8.02%；其余生态系统面积均不大。评价区生态系统类型图见附图 6-7。

13.1.7.2 生态系统生产力分析

通过类比和查阅资料（《非污染生态影响评价技术导则培训教材》，自然生态司，1999 年）的方法，并结合评价区的植被生长状况，得出评价区单位面积的平均净第一性生产力，详见表 13.1.7-2。

表 13.1.7-2 评价区第一性生产力表

生态系统类型	面积 (km ²)	平均净第一性生产力 (t/hm ² .a)
林地生态系统	29.91	8
灌丛生态系统	84.89	6
草地生态系统	556.09	5
湿地生态系统	94.35	2.5
城镇生态系统	17.75	1.4
农田生态系统	393.77	6.4
其他生态系统	0.19	0.3
平均		5.36

表 13.1.7-2 结果表明，评价区平均净第一性生产力为 5.36t/hm².a。奥德姆（Odum，1959）将地球上生态系统按生产力由高到低，划分为 4 个等级（见表 13.1.7-3），本评价区的平均生产力水平处于较低等级的第三亚等级。由此可知，评价区平均生产力较低。

表 13.1.7-3 地球上生态系统生产力划分等级表

等级名称		生产力 (t/hm ² .a)	代表性生态系统	备注
1	最高等级	36.5~73	农业高产田、河漫滩、三角洲、珊瑚礁、红树林	
2	较高等级	10.95~36.5	热带雨林、农耕地和浅湖	
3	较低等级	第一亚等级 8~10.95	温带阔叶林（平均生产力约为 8.5t/hm ² .a）	该等级生产力范围是 1.82~10.95 t/hm ² .a，此范围比较宽泛，指导意义不强，因此本评价以温带阔叶林、疏林灌丛和温带草原三个比较典型的生态系统的生产力为代表，将该等级进一步细化为 3 个亚等级。
		第二亚等级 6~8	疏林灌丛（平均生产力约为 6t/hm ² .a）	
		第三亚等级 1.82~6	温带草原（平均生产力约为 5t/hm ² .a）	
4	最低等级	小于 1.82	荒漠和深海	

注：来源于 Odum，1959。评价人员为了更清晰反映评价区生产力水平所处的位置，将“较低等级”又细划分为 3 个亚等级。

13.1.7.3 生态系统稳定分析

自然系统稳定状况从恢复稳定性和阻抗稳定性两方面进行分析，前者是指系统受到破坏后恢复到原来状态的能力，后者指系统抵御外界干扰的能力。

（1）恢复稳定性

根据对典型样方的生物量测量，并结合评价区植被类型图及植被覆盖度，可以得到评价区的生物量为 372.60 万 t，平均生物量为 31.65t/hm²，处于温带草原（16t/hm²）和疏林灌丛（68t/hm²）之间。平均生物量高于温带草原主要是由于农田经过人工抚育，

投入了大量化肥、农药等措施所致，如果没有这些措施，平均生物量会还会降低，由此可见评价区恢复稳定性不强。

(2) 阻抗稳定性

阻抗稳定性是由该区域景观异质性决定的，因为高的异质性可以有效阻止外界的干扰。从评价区各用地类型斑块分布的格局可知，评价区大部分区域为草地，其他斑块只是镶嵌分布在草地上，阻止外界干扰的功能较弱。从草地斑块内部看，由于植被覆盖度低，生物多样性差，因此草地斑块的自维持能力也不强。故整体来看，评价区的阻抗稳定性不强。

13.1.7.4 生态系统功能分析

生态系统生产力分析生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用，它不仅给人类提供生存必需的食物、医药及工农业生产的原料，而且维持了人类赖以生存和发展的生命支持系统（Daily，1997；欧阳志云等，1999）。

生态系统服务功能可通过“生态系统服务价值”进行定量分析。生态系统服务价值是通过货币的形式表征生态系统的各项服务功能的大小。下面根据我国学者谢高地提出的中国各类生态系统各项生态服务的价值（见表 13.1.7-4），计算出本项目评价区的生态系统服务价值，详见表 13.1.7-5。

表 13.1.7-4 中国陆地生态系统单位面积服务价值表 单位：元/hm²

生态服务项目	耕地	林地	草地	水域	未利用地	湿地	园地
气体调节	442.4	3097	707.9	0	0	1592.8	2655.0
气候调节	787.5	2389.1	796.4	407.0	0	15131.8	1770
水源涵养	530.9	2831.5	796.4	407	0	15131.8	1770
土壤形成与保护	1291.9	3450.9	1725.5	8.8	17.7	1513.2	1291.1
废物处理	1451.2	1159.2	1159.2	16086.6	8.8	16087.5	1451.4
生物多样性	628.2	2884.6	964.5	2203.3	300.8	2212.3	964.7
食物生产	884.9	88.5	265.5	88.5	8.8	265.5	442.5
原材料	88.5	2301.6	44.2	8.8	0	61.9	177.0
娱乐文化	8.8	1132.6	35.4	3840.2	8.8	4911.0	1132.8
总计	6114.3	19335	6406.5	40676.4	371.4	55492	11301.5

表 13.1.7-5 评价区陆地生态系统服务价值

生态系统类型	面积 (km ²)	生态系统服务价值单价 (元/hm ²)	生态系统服务价值 (万元)
林地生态系统	114.8	19335	22196.58
草地生态系统	556.09	6406.5	35625.91
湿地生态系统	94.35	40676.4	38378.18
城镇生态系统	17.75	-1000	-177.50
农田生态系统	393.77	6114.3	24076.28
其他 生态系统	0.19	371.4	0.71
合计	1176.95		120100.15

注：（1）建设用地生态系统参考《城市建设用地生态服务功能价值计算与应用》中的研究成果；本表将灌丛生态系统归并到森林生态系统统一进行分析。（2）灌丛生态系统统一并入森林生态系统进行分析。

以上分析可知，评价区生态系统服务价值为 12.01 亿元，平均生态系统服务价值为 102.04 万元/km²，远高于全国平均水平 50 万元/km²（《中国陆地生态系统服务功能及其价值评价研究》，赵同谦 2004 年博士论文），说明评价区生态系统服务功能较高。

13.1.8 评价区主要生态问题

综合分析可知，整体来看，评价区生态比较脆弱，主要存在如下问题：

（1）水土流失比较严重

项目区位于黄土丘陵沟壑区，沟壑纵横，梁、峁、台、塬遍布，土质疏松，植被稀少，水土流失极为严重，以中度侵蚀和强烈侵蚀为主，壤侵蚀模数背景值 3000t/(km²·a) 左右。

（2）野生动植物资源不丰富

评价区降雨量偏少，植被以灌草及栽培植物为主，林地发育不充分，野生动植物资源不丰富，有国家和地方重点保护野生植物 8 种，国家和地方重点保护野生动物 73 种。

（3）植被结构简单

由于气候比较干旱，评价区自然植被整体以灌木林地、灌草地和草地为主，仅在山间洼地、河边等有少量天然次生林或人工林，植被由南向北存在灌木林地—灌草地—草地的演化趋势，群系类型较少。草地平均单个样方物种 8 种。植被覆盖度不高，大部分在 40% 以下。生物量较低，灌丛平均 2.1kg/m² 左右，草地平均 0.8kg/m² 左右。

（4）生态环境脆弱

评价区景观基质为草地景观和农田景观，植被覆盖度不高，坡耕地较多，水土流失强烈。平均净第一性生产力处于较低水平，平均生物量不高，群落结构简单，系统稳定

性较低，生态环境脆弱。

13.2 陆生生态影响预测与评价

13.2.1 工程区域生态环境总体影响分析

古贤水利枢纽工程位于黄河中游，该区域是世界上最大的黄土分布区，黄土总面积约 64 万 km²。区域地貌主要由高塬沟壑区（塬面地形为主）和丘陵沟壑区（梁峁为主）组成，具有连续的第四纪黄土堆积，除土石山区黄土厚度低于 50m 外，其余区域黄土厚度为 50m~300m。古贤水库所在的区域黄土厚度很薄，为 0~50m 范围。黄土高原主要为风尘粉砂堆积，质地疏松多孔，极易发生土壤侵蚀和水土流失。

水资源是黄土高原生态环境建设和植被恢复的重要因素，古贤水利枢纽工程建成后，有利于黄河水沙的调控和改善黄土高原区局部区域的用水条件，有利于农田水利建设，开展水土保持和生态修复工程建设，降低该区域的水土流失强度，进而促进植被正向演替，使裸露地表变为耕地、草地或林地，草地变为林地等。植被生物量及植被覆盖度增加，增强区域水土保持能力，改善区域生态环境。

工程位于西北黄土高原干旱区域，特殊的气候及地貌条件导致区域降雨较少，蒸发量较大。工程运行后，古贤库区整体气温略有升高，降低了年内温差，能在一定程度上延长库区周边植物的生长期，有利于周边野生植物的生长；水库形成引起库面蒸发量的增加及相对湿度的增大，可能会在一定程度上降低库区周边局部黄土地地表蒸发，有利于土壤保湿和陆生植被的生长，改善区域生态环境。

13.2.2 土地利用影响分析

13.2.2.1 施工期

工程施工占地 797.49hm²，工程施工对土地利用的影响主要为施工占地对地表土地利用方式的改变。采用图形叠置法，通过叠加工程施工布置图与区域土地利用图得出施工占地对区域各土地利用类型的占压影响，具体见表 13.2.2-1。

表 13.2.2-1 施工占地区土地利用情况

用地类型	临时占地 (hm ²)	永久占地 (hm ²)	合计 (hm ²)	面积百分比 (%)
林地	87.42	80.20	167.61	21.02
耕地	65.79	47.28	113.08	14.18
草地	198.68	171.19	369.87	46.38
水域及水利设施用地	8.49	82.94	91.43	11.26
建设用地	15.82	26.05	41.87	5.25
其他土地	7.64	5.99	13.63	1.71
合计	383.84	413.65	797.49	100.00

从占地类型分析，工程施工占地区土地利用类型以草地为主，被占压草地面积为 369.87hm²，占总占地面积的 46.38%，林地及耕地次之，面积分别为 167.61hm² 和 113.08hm²，分别占总面积的 21.02% 和 14.18%，水域及水利设施用地、建设用地及其他土地占地面积相对较小。

依据占地性质的不同，工程占地分为永久占地和临时占地，其中临时占地 383.84hm²，占施工总占地的 48.13%，永久占地 413.65hm²，占施工总占地的 51.87%。临时占地主要是施工临时道路、施工营地及其他临时工程的占地，临时占压地表植被，虽然临时占地面积不大，但工程施工期时间较长，工程施工过程中应注意表层土的剥离与保护，施工结束后应及时恢复，做到“完成一处，恢复一处”，减少工程施工对土地利用的影响。永久占地主要为永久占压使草地、耕地及林地等变为建设用地，造成土地利用类型由多样性利用方式向建设用地的永久转变，但相对于整个评价区，工程永久占地面积并不大，工程占地不会改变区域整体土地利用结构，对区域土地利用影响有限。

13.2.2.2 运行期

工程运行期对土地利用的影响主要为水库淹没占地的影响，其中拦沙初期水库运行水位主要集中在 560m~621m，水库最大淹没面积为 153.57km²；拦沙后期水库运行水位主要集中在 560m~621m，水库最大淹没面积为 190.53km²；正常运营期最高水位为 627m，水库最大淹没面积为 219.16km²。叠加不同时期水库淹没范围图与土地利用类型图，各时期淹没情况见表 13.2.2-2。

表 13.2.2-2 水库不同运用期淹没土地利用情况

运用时期	拦沙初期		拦沙后期		正常运用期	
	淹没面积 (km ²)	比例 (%)	淹没面积 (km ²)	比例 (%)	淹没面积 (km ²)	比例 (%)
林地	20.16	13.13	48.82	25.62	61.02	27.84
耕地	8.88	5.78	10.09	5.30	11.47	5.23
草地	50.90	33.14	54.03	28.36	66.84	30.50
水域及水利设施用地	64.75	42.16	64.91	34.06	65.53	29.91
建设用地	8.56	5.58	10.04	5.27	11.23	5.12
其他土地	0.32	0.21	2.64	1.39	3.07	1.40
合计	153.57	100	190.53	100.00	219.16	100.00

由表 13.2.2-2 可知,淹没区土地类型均以草地、水域及水利设施用地为主。拦沙初期淹没土地类型以水域及水利设施用地面积最大 64.75km²,占拦沙初期淹没总面积的 42.17%,其次为草地,面积为 50.9km²,占淹没总面积的 33.14%;拦沙后期淹没土地类型以水域及水利设施用地面积最大 64.91km²,占拦沙初期淹没总面积的 34.07%,其次为草地,面积为 54.03km²,占淹没总面积的 28.36%;正常运营期淹没土地类型以草地最大 66.84km²,占拦淹没总面积的 30.50%,其次为水域及水利设施用地,面积为 65.53km²,占淹没总面积的 29.90%。水库淹没后各土地利用类型全部变为水域,使淹没区土地利用结构发生改变,因此水库蓄水对淹没区土地利用结构有较大影响。工程建成后对区域土地利用影响示意图见附图 7-6。

13.2.3 陆生动植物的影响分析

13.2.3.1 施工期

1. 施工占地对植被的影响

工程施工对陆生植被的影响主要为工程施工开挖及占地等对植被的占压与破坏。通过叠加工程布局图和评价区植被类型分布图可知,各工程施工占地区主要植被类型包括刺槐林、侧柏林、虎榛子灌丛、酸枣+荆条灌草丛、白羊草草丛、黄背草草丛、栽培植被等多个群系,具体见表 13.2.3-1。

表 13.2.3-1 施工占地区各植被类型面积表

植被类型	临时占地 (hm ²)	永久占地 (hm ²)	合计	百分比 (%)
刺槐林	30.85	22.89	53.74	6.74
侧柏林	14.27	23.53	37.80	4.74
苹果+梨+杏等果园	17.43	17.84	35.27	4.42
虎榛子灌丛	21.66	24.90	46.56	5.84
荆条+酸枣+白羊草灌草丛	1.22	1.09	2.31	0.29
白羊草+杂类草草丛	25.34	24.41	49.74	6.24
黄背草草丛	57.15	61.96	119.10	14.93

植被类型	临时占地 (hm ²)	永久占地 (hm ²)	合计	百分比 (%)
长芒草草丛	7.45	7.31	14.76	1.85
茭蒿+禾草草丛	66.59	61.22	127.81	16.03
栽培植被	99.67	106.91	206.58	25.90
其他	42.21	61.59	103.82	13.02
合计	383.84	413.65	797.49	100

由表 13.2.3-1 可知，施工占地总面积 797.49hm²，临时占地面积为 383.84hm²，植被以栽培植物、茭蒿+禾草草丛、黄背草草丛及刺槐林。永久占地面积 413.65hm²，植被以栽培植被、白羊草+杂类草草丛、茭蒿+禾草草丛、黄背草草丛、虎榛子灌丛为主，其它植被类型面积较小。

其中，坝址施工区占地范围内的植被类型主要为栽培植物、白羊草+杂类草草丛及荆条+酸枣+白羊草灌丛，林地以刺槐林、侧柏林等为主。坝址下游区占地范围内的植被类型主要为栽培植物、白羊草+杂类草草丛、荆条+酸枣+白羊草灌丛，林地主要以刺槐林、侧柏林及果园等为主。

总之，坝址施工区及坝址下游施工区植被类型基本相同，各植被类型在工程周边分布广泛，临时占地区植被在施工结束后可以在当年或者次年得到恢复，影响较小。永久占地区陆生植被变为建设用地，对植被有一定的影响，但永久占地面积不大，且占压植被类型在周边区域分布广泛，因此，永久占地对植被的影响有限。

2. 对植物资源的影响

依据工程施工情况，施工对植物多样性的影响主要为占地及扰动对区域陆生植物物种的影响。施工期影响主要发生在坝址区及坝址下游区的施工开挖和占压区。依据区域的植物种类、分布以及其生物学特征，分析工程施工对区域植物的影响。

(1) 坝址区

古贤水利枢纽工程坝址区施工区占地包括主体工程区、永久办公生活区、弃渣场区、原头坡砂石料场区、交通道路区及施工生产生活区等区域，总占地面积 517.35hm²。由于原头坡砂石料场区全部位于淹没区，水库蓄水后，该区域植被将会被淹没，其植物资源影响不再详细阐述。

①主体工程区

主体工程区包括大坝枢纽区、施工围堰及导流洞进出口等区域，占地面积 224.76hm²，根据现状调查，区域主要植物为灌丛植物和草本植物，林木为少量人工种植的侧柏和油

松。灌丛植物主要有酸枣、荆条、河朔堯花、绣线菊、小檗和黄刺玫等，主要分布于地形相对平坦或低洼的区域；草本植物主要有白羊草、黄背草、茭蒿、长芒草、白茅、纤毛鹅观草和萎陵菜等，分布于坝址区域两侧山坡及山脊上。施工区域陆生植物均为本地常见种，在主体工程周边相似环境中大量分布，具有较强的自我恢复能力。施工结束后临时占地进行植被恢复，永久占地区的空地上进行绿化。在采取上述措施后，对区域陆生植物影响有限。

②弃渣场区

坝址区共设置 1 号、2 号和 3 号共 3 个弃渣场区，占地总面积为 92.98hm²，均位于坝址上游左岸的 3 道沟壑中，植被较好，植物种类相对丰富，其中林地植物主要为刺槐，伴生有臭椿、榆树等，分布于弃渣场区的沟谷坡地。灌丛植物主要有酸枣、荆条、绣线菊、小檗和河朔堯花等，分布于沟谷坡地及沟谷谷底；草本植物主要有白羊草、白茅、纤毛鹅观草、萎陵菜、画眉草、铁杆蒿、长芒草、茭蒿、大羽茅、香茅草、二色棘豆和兴安胡枝子等，这些植物物种在周边区域分布相对较广。工程弃渣后，弃渣堆放占压将直接引起区域植物的死亡和相应的生物量损失，影响不可避免，但占压区植被类型及植物种类在弃渣占地区周边十分常见。在施工结束后，临时占压区植被可以得到恢复，工程施工仅会引起区域植物个体数量的减少，并不会对区域陆生植物造成较大不利影响。

③交通道路区

坝址区交通道路占地面积 65.23hm²，主要植物为灌丛植物和草本植物，灌丛植物主要有酸枣、荆条、绣线菊、小檗、河朔堯花等，分布于地形相对平坦或低洼的区域；草本植物主要有白羊草、黄背草、茭蒿、长芒草、白茅、纤毛鹅观草等，多分布区域山坡上；路基开挖及施工占压直接引起生物量损失，施工机械及人员活动区域碾压或踩踏会引起植物数量变化，由于该区域陆生植物均为本地常见种，在施工区附近分布较广，不会对植物产生较大不利影响。

④工程永久办公区及施工生产生活区

工程永久办公区占地 5.53hm²，施工生产生活区占地 103.85hm²，均布置于坝址周边，区域植物主要为灌丛植物和草本植物，灌丛植物主要有酸枣、荆条、绣线菊、小檗、河朔堯花等，分布于坡地、滩区及塬区；草本植物主要有白羊草、白茅、纤毛鹅观草、

萎陵菜、画眉草、铁杆蒿、长芒草、白羊草、茭蒿、大羽茅、香茅草、二色棘豆、兴安胡枝子、尖叶铁扫帚、茵陈蒿、艾蒿、黄鼠草等，在周边各区域均有分布。永久办公及施工生产生活设施布置占地将对造成区域植物数量的损失，不会造成植物群落较大的变化，也不会引起区域物种种类的改变。

（2）坝址下游区

①进场道路及皮带机线路区

进场道路及皮带机线路施工占地区主要包括进场道路及皮带机线路、施工临时道路、进场道路渣场，皮带机线路弃渣场和施工生产生活区占地。总占地面积 176.25hm^2 。进场道路及皮带机线路工程沿线隧洞口及桥梁区域主要植物为灌丛植物和草本植物，零星分布有少量臭椿、刺槐等林木。灌丛植物主要有酸枣、荆条、小檗、河朔堇花等，分布于坡脚及低洼区域；草本植物主要有白羊草、白茅、纤毛鹅观草、萎陵菜、画眉草、铁杆蒿、长芒草、茭蒿、大羽茅、香茅草、黄鼠草等，多分布于山坡及山顶区域；这些植物均为当地常见种，在周边有大量分布。工程施工对植物的影响主要为工程施工占压及开挖引起施工占地区植被破坏和植物死亡的影响，但由于施工占压及开挖面积并不大，主要集中在隧洞口及桥梁区，施工区植被类型及植物种类十分常见，因此，进场道路及皮带机线路施工不会对区域植物资源产生较大不利影响。

进场道路及皮带机线路区的施工临时道路，施工开挖及占压直接引起施工占地区域植物的死亡。临时道路均分布于进场道路与皮带机沿线两侧，植被类型与植物种类分布与进场道路及皮带机线路主体工程区相似，在周边区域分布广泛。且进场道路及皮带机线路区多为现有乡间道路，工程占压与开挖仅会引起植物数量上的损失，不会对区域植物资源产生较大不利影响。

进场道路及皮带机线路工程的渣场分布于工程沿线两侧及下游黄河左岸的沟谷中，工程弃渣占压直接导致区域陆生植物的死亡，与进场道路及皮带机线路主体工程区植被类型及植物种类相似，各种植物在周边区域分布广泛，弃渣占压仅引起弃渣区域小面积的植物死亡和生物量损失，不会对当地生物多样性造成较大不利影响。

进场道路及皮带机线路工程施工生产生活区均分布于离村镇较近的区域，多在坡度较小的坡地及塬区，生产生活设施的布置占压引起地表植被的破坏，表层土的剥离引起

植物的直接损失,由于区域受人类活动影响较大,区域土地利用类型以草地和农田为主,植物种类常见,在周边区域分布广泛,因此施工生产生活区的布置对植物多样性的影响有限。

②西磴口人工骨料场区

西磴口料场区包括人工骨料场区、交通道路区、施工生产生活区及弃渣场区。总占地面积 103.89hm², 该区施工布置相对集中, 区域林地植物较少, 主要有少量臭椿、刺槐、榆树等。灌丛植物主要有酸枣、荆条、小檗等, 分布于坡脚及低洼区域; 草本植物主要有白羊草、白茅、纤毛鹅观草、萎陵菜、画眉草等, 多分布于沟谷上方坡地; 植物种类较为常见, 区域交通道路、施工生产生活区、弃渣场区对植物的影响, 与坝址区、进场道路与皮带机线路区分布的同类工程对植物的影响方式相同, 占地面积均不大, 影响范围内植物种类常见, 对陆生植物影响很小。

西磴口料场区骨料的开挖, 直接清理料场区地表土壤, 使区域岩石裸露, 同时大型机械的深度挖掘, 直接导致骨料开挖区植被的绝迹, 且形成植被难以恢复的裸露岩体区域, 对地表植被影响较大, 但骨料场区占地为 38.96hm², 面积不大, 且区域植物种类均为常见种, 在骨料场周边区域分布广泛, 因此骨料开挖对植物的影响仅集中在开挖区, 影响可以接受。

13.2.3.2 运行期

(1) 对植被影响分析

依据库区评价区植被现状调查, 通过叠加淹没范围图和库区植被类型分布图可知, 库区主要淹没的植被类型包括刺槐林、侧柏林、酸枣+荆条灌草丛、虎榛子灌丛、白羊草草丛、黄背草草丛、栽培植被等多个群系。详见表 13.2.3-2。

表 13.2.3-2 不同运用期库区淹没的植被类型面积表

植被类型	拦沙初期		拦沙后期		正常运用期	
	淹没面积 (km ²)	比例 (%)	淹没面积 (km ²)	比例 (%)	淹没面积 (km ²)	比例 (%)
刺槐林	2.34	1.53	3.10	1.62	3.44	1.57
侧柏林	1.76	1.15	2.36	1.24	2.62	1.20
苹果+梨+杏等果园	8.60	5.60	8.77	4.60	9.04	4.12
虎榛子灌丛	8.01	5.21	14.21	7.46	17.16	7.83
荆条+酸枣+白羊草灌草丛	21.82	14.21	27.71	14.54	32.22	14.70
白羊草+杂类草草丛	21.19	13.80	22.38	11.74	23.31	10.64
黄背草草丛	13.51	8.79	16.05	8.42	19.57	8.93
长芒草草丛	7.52	4.90	8.85	4.64	10.79	4.92

植被类型	拦沙初期		拦沙后期		正常运用期	
	淹没面积 (km ²)	比例 (%)	淹没面积 (km ²)	比例 (%)	淹没面积 (km ²)	比例 (%)
茭蒿+禾草草丛	7.99	5.20	11.64	6.11	14.19	6.47
栽培植被	8.14	5.30	12.57	6.60	15.33	6.99
其他	52.69	34.31	62.89	33.03	71.49	32.63
合计	153.57	100	190.53	100.00	219.16	100.00

由表 13.2.3-2 可知，库区淹没植被主要为荆条+酸枣+白羊草灌草丛、白羊草+杂类草草丛、黄背草草丛。水库蓄水将会淹没库区内的植被，导致区域植被面积减少。由于本区植被绝大多数属于常见类型，在淹没范围以外周边区域仍有广泛的分布，水库的蓄水仅导致其面积的减少，不会对区域各植被群落结构造成较大影响。

(2) 植物资源的影响

依据资料查阅及样方调查，由于水库淹没占地面积及南北跨度较大，水库淹没区共有植物约 400 余种，约占评价区植物总种数的 70%，因整个淹没区处于河谷地区，林地植物主要为红枣林、刺槐、侧柏，零星分布有榆树、杨树、柳树及臭椿等，灌丛植物主要有荆条、酸枣、土庄绣线菊、黄刺玫、沙棘、锦鸡儿、虎榛子等，草本植物以白羊草、黄背草为主，其它种类有画眉草、铁杆蒿、长芒草、茭蒿、艾蒿、茵陈蒿、白茅、大羽茅、香茅草、二色棘豆、兴安胡枝子、尖叶铁扫帚、茵陈蒿、艾蒿等，栽培植被主要为小麦、玉米、油菜等，淹没范围内未发现重点珍稀保护植物。植物种类均为常见种或人为栽培种，在库区周边内及库区上游地区仍然有大量的种群分布或被广泛栽培。水库淹没会造成植物数量减少，不会降低库区物种的种类数量。

随着水库蓄水，新的湿生环境形成，适宜生长在河岸边的物种将重新定居和发展，形成群落。占压及淹没的植被在库区周边分布广泛，因此对植物多样性影响有限。工程建成后对区域植被影响示意图见附图 7-7。

(3) 生物量的影响

工程施工占地及水库淹没影响区的主要植被类型包括刺槐林、侧柏林、酸枣+荆条灌草丛、虎榛子灌丛、白羊草草丛、黄背草草丛、栽培植被等多个群系，具体损失量见表 13.2.3-3。

表 13.2.3-3 工程占地及水库淹没引起的生物量和生产力损失

植被类型	面积 (hm ²)	单位面积生物量 (t/hm ²)	单位面积生产力 (t/hm ² /年)	生物量损失 (万 t)	生产力损失 (万 t/年)
刺槐林	397.84	300	12.6	11.94	0.50
侧柏林	299.80	200	8.5	6.00	0.25
苹果+梨+杏等果园	939.67	150	9.1	14.10	0.86
虎榛子灌丛	1762.56	68	5.9	11.99	1.04
荆条+酸枣+白羊草灌草丛	3224.71	60	6.7	19.35	2.16
白羊草+杂类草草丛	2380.94	14	5.9	3.33	1.40
黄背草草丛	2076.40	15	5.5	3.11	1.14
长芒草草丛	1094.16	16	5.7	1.75	0.62
芨芨+禾草草丛	1547.21	16.5	5.3	2.55	0.82
栽培植被	1739.98	11	6.4	1.91	1.11
裸地	7253.21	3	0.2	2.18	0.16
合计	22716.48			78.20	10.06

依据表 13.2.3-3，施工占地及水库淹没导致地表植被直接生物量和生产力损失分别为 78.20 万 t 和 10.06 万 t/年。工程运行后，这些占地区域大部分变为水域，水域面积生物量和生产力分别为 0.45 万 t 和 9.09 万 t/年，在一定程度上减少了区域生物量和生产力综合损失量，因此，生物量综合损失量为 77.75 万 t，占评价区现状总生物量（372.60 万 t）的 20.87%，生产力综合损失量为 0.97 万 t/年，占评价区现状总生产力（63.10 万 t/年）的 1.54%，工程建设运行引起的生产力损失较小。

13.2.3.3 重要植物的影响

依据现状调查，工程施工占地影响区及水库淹没区均没有发现重点保护野生植物的分布。评价区的银杏、翅果油树、刺五加、水曲柳、文冠果、脱皮榆、华山松和漆树 8 种重点保护植物，主要分布在距离工程较远的管头山省级自然保护区和人祖山省级自然保护区内，因此，工程的施工及运营对重点保护野生植物无影响。

13.2.3.4 古树名木的影响分析

依据现状调查，工程建设运营影响范围内存在 2 株 400 年份的国槐，均位于山西省永和县水库淹没范围内，工程运行期将对其产生淹没影响，可采取移栽措施加以保护。

13.2.3.5 公益林的影响分析

依据晋、陕两省林业部门提供的公益林资料，古贤水库枢纽淹没区山西侧占地共涉及柳林县、石楼县、永和县、大宁县和吉县等 5 县的二级国家级公益林 1771.41hm²，陕西侧占地共涉及吴堡县、绥德县、清涧县、延川县、延长县和宜川县等 6 县的二级国家级公益林 900.87hm²，工程占地范围内没有国家级一级公益林分布。具体国家级二级公益林在各县分布见表 13.2.3-4。

表 13.2.3-4 项目区占地地区公益林面积及分布

省	所在县	公益林级别	面积（hm ² ）	比例（%）
山西省	柳林县	国家级二级	1.00	0.04
	石楼县	国家级二级	206.05	7.71
	永和县	国家级二级	127.51	4.77
	大宁县	国家级二级	1352.86	50.63
	吉县	国家级二级	83.99	3.14
	小计		1771.41	66.29
陕西省	吴堡县	国家级二级	0	0
	绥德县	国家级二级	0	0
	清涧县	国家级二级	30.56	1.14
	延川县	国家级二级	653.12	24.44
	延长县	国家级二级	167.15	6.25
	宜川县	国家级二级	50.04	1.87
	小计		900.87	33.71
合计			2672.28	100.00

由表 13.2.3-3 可知，项目占地影响区公益林总面积 2672.28hm²，全部为国家级二级公益林，其中山西侧受影响公益林面积为 1771.41hm²，占总面积的 66.29%，陕西侧为 900.87hm²，占总面积的 33.71%。在各县受影响的公益林中，山西侧大宁县受影响面积最大，为 1352.86hm²，占总面积的 50.63%，主要分布于黄河沿线滩区和昕水河河口两侧；其次为延川县，面积为 653.12hm²，占总面积的 24.44%，主要分布于黄河延川段南端，其它县区分布较少，零星分布于黄河两岸。

因此工程建成后，随着蓄水水位的升高，淹没范围逐渐增大，影响不可避免。建议通过相同区位、相同面积的国家级公益林的补偿栽种，达到增减平衡，减少对公益林的影响。

13.2.4 陆生动物的影响分析

13.2.4.1 施工期

工程施工期对野生动物的影响途径主要有工程占地、施工噪声、交通阻隔、夜间灯光及人类活动等。项目各施工区域陆生动物种类分布基本一致，但由于不同区域的施工方式不同，对动物的影响程度和范围并不相同，根据主体工程、渣场、料场、皮带机线路、交通道路、施工生活营地等区域施工方式的不同，分不同施工区域，结合陆生动物生态习性，分析工程施工活动对陆生动物的影响。

1. 坝址区

(1) 主体工程

①对兽类的影响

主体工程施工区分布的社鼠、长尾仓鼠、大林姬鼠和草兔均为小型兽类，以长尾仓鼠为优势种，具夜行性，白昼很少外出，以植物性食物为主。长尾仓鼠一般选择在坝址两岸较干燥的荒坡地、灌草丛和滩区作为栖息地。工程施工对其栖息生境形成占压影响，地表植被的破坏减少其食物来源，施工噪声、扬尘也会对其觅食活动产生一定的惊扰。

②对鸟类的影响

主体工程区鸟类分布稀少，偶尔有小鸊鷉、戴胜、大嘴乌鸦等常见留鸟经过或短暂停留。主体工程区施工物料加工运输机施工机械噪声、扬尘等会使原本要在区域停留的鸟类远离该区域，对鸟类的觅食活动有一定的影响，工程占地也在一定程度上减少小鸊鷉、戴胜、大嘴乌鸦等鸟类的栖息与觅食范围，但占地面积不大，由于上述鸟类不在该区域筑巢繁殖，工程施工对其影响程度较小。

③对两栖类及爬行类的影响

主体工程区分布的两栖类和爬行类主要有中华蟾蜍、黑斑侧褶蛙和丽斑麻蜥。中华蟾蜍与黑斑侧褶蛙一般栖息于海拔 500m~1000m 间的水域及附近的草丛中，在主体工程区附近河道水陆交界处及坝址上下游区域均有一定量的分布，生境广阔。丽斑麻蜥在主体工程区及周边区域均有一定的分布，常在灌丛或草地周围活动，活动范围不大，对周围环境的干扰极为敏感，一遇危险即迅速逃入洞穴或草丛中。

依据设计资料，工程死水位 588m，正常蓄水位 627m，大坝施工活动主要位于海拔 500m 以上，中华蟾蜍和黑斑侧褶蛙在主体工程区有一定量的分布，主体工程开挖及占压会占用其部分生境，工程施工期间可能对两栖类有一定影响。丽斑麻蜥活动范围较小、有原地迂回躲避不愿远逃的习性，工程施工对其栖息有一定的影响。

由于 3 种动物均为当地常见种，迁徙能力相对较弱，容易受到施工活动的干扰，施工过程中加强管理和宣传教育工作，施工结束后应及时恢复原地形地貌，可以减缓对两栖类及爬行类动物正常栖息的影响，同时周边相同环境的区域相对广阔，同类物种分布广泛，工程建设对两栖及爬行动物的影响程度有限。

(2) 弃渣场

坝址区弃渣场分布于坝址左岸的河道及沟谷汇中，可以积存雨水，以散生乔木和灌丛为主，野生动物相对丰富，两栖类、爬行类、鸟类数量较多。弃渣场施工活动主要为

工程弃渣的运输与堆放，机械运输的施工噪声、扬尘对陆生动物有一定的影响，工程弃渣对土地有一定的占压破坏，进而影响陆生动物的栖息、觅食与繁殖。

①对兽类的影响

依据现状调查，弃渣场区分布的兽类与主体工程区类似，主要为啮齿类小型动物，有草兔、大仓鼠、长尾仓鼠和大林姬鼠等，弃渣直接占压了这些动物的栖息生境，同时弃渣对植被的占压也造成了区域陆生植物及昆虫的消亡，减少了该类以植物和昆虫为食的小型兽类的食物来源，对其觅食产生一定的影响。

由于草兔为适应性极强的种类，生性机警，逃跑速度较快，活动范围较大，食物来源分布较广，在工程施工时可以及时逃离，因此对草兔的影响很小。大仓鼠、长尾仓鼠和大林姬鼠等均为当地常见广布种，数量较大，分布范围广，且弃渣场面积范围较小，栖息地的破坏并不会影响其种群数量。施工结束后，人为干扰消失，随着渣场区域内植被恢复，部分兽类可以回到原来的栖息地中生活，工程弃渣对区域兽类影响可以得到进一步降低。

②对鸟类的影响

弃渣场区生态环境较好，是以雉鸡、戴胜为代表的常见留鸟主要觅食地，弃渣场的设置将会直接占压或破坏其生境，使其丧失部分觅食地，迫使其向周边区域迁徙。且雉鸡在该区域可能筑巢繁殖（现场调查未发现），因此弃渣场区施工活动对鸟类的影响主要是对其栖息与觅食的影响。由于渣场占地面积不大，周边区域以雉鸡、戴胜等鸟类的栖息与觅食地分布广泛，加之施工结束后采取一系列植被恢复措施后，对其影响较小。

③对两栖类及爬行类的影响

弃渣场施工对两栖及爬行类的影响主要为栖息地占压的影响，山间洼地及沟谷为两栖爬行类的集中分布区域，以中华蟾蜍、花背蟾蜍、黑斑侧褶蛙、丽斑麻蜥为优势种类，工程弃渣直接占压栖息生境，工程弃渣对两栖类及爬行类有一定的影响。由于区域两栖类及爬行类为常见种，在附近区域分布较为广泛，同时弃渣场占地面积不大，在采取相应的保护措施后，对其影响较小。

（3）交通道路

交通道路位于河滩区、黄土塬、黄土崩上，受人类活动影响较大，自然植被以低矮

灌丛为主，区域多为常见的半地下生活型的小型兽类，优势种包括大仓鼠、长尾仓鼠、草兔、大林姬鼠、社鼠等。鸟类以雉鸡、戴胜、喜鹊、麻雀等为主，其它种类相对较少，主要分布于滩区及耕地附近。对陆生动物的影响主要为工程占地、交通阻隔、交通噪声对陆生动物的影响。

①对兽类的影响

由于工程规模较大，交通道路较多，道路以及密集的车流对野生动物的活动产生阻隔影响和惊扰，导致兽类的部分觅食、繁殖、栖息场所的丧失或割裂。对于草兔等活动觅食范围较大的动物，道路施工及密集的车流会使草兔受到惊扰，将会迁徙他处；对鼠类等活动范围较小的动物会影响其栖息与觅食，但这些鼠类为当地常见广布种，分布范围广，不会影响其种群数量。

②对鸟类的影响

依据现场调查，坝址区交通道路沿线未发现鸟类集中分布区，同时交通道路全线采取禁止鸣笛，限制施工人员及运输车辆活动范围，禁止施工人员捕鸟等保护措施，车辆运输及施工人员不会对沿线鸟类造成严重惊扰，也不会对其栖息环境造成较大的破坏，对鸟类影响很小。

（4）施工生产生活区

施工生产生活区多位于丘陵地、黄土塬上及坝址下游河滩地上，以耕地、草地、建设用地为主，自然植被低矮，以大仓鼠、喜鹊、麻雀为优势种类，其它野生动物相对较少。工程对陆生动物影响主要为工程占地以及密集人员活动对陆生动物的影响。

①对兽类的影响

生产生活区分布于主体工程区周边，区内兽类分布与主体工程区基本一致，多为常见的半地下生活型的小型兽类，工程施工对其的影响主要为施工惊扰和人类活动。随着施工结束，施工场地的植被得到恢复，这些兽类可以回到原来的栖息地中生活，对区域兽类影响较小。

②对鸟类的影响

施工期间，受生产生活区施工机械噪声及人员活动干扰的影响，工程区域一定范围内除喜伴人生活的鸟类，如喜鹊、麻雀等鸟类外，其它部分鸟类将迁离原有生境，向周

边相似生境迁移，从而在一定程度上改变区域鸟类的种群数量，但这种改变是暂时的，随着施工结束而消失。

2. 坝址下游区

（1）进场道路与皮带机线路

进场道路与皮带机线路沿线区域分布的陆生动物主要以小型兽类及鸟类为主，两栖类及爬行类相对较少。皮带机线路工程施工不涉及水域湿地，对陆生动物的影响主要为隧洞口和桥梁占地及施工噪声的影响。

①对兽类的影响

进场道路与皮带机线路沿线兽类优势种有大草兔、大林姬鼠及松鼠等，多为半地下生活型的小型啮齿类等，少数为林地性动物，如松鼠等，均为常见种类，在附近区域分布较广。工程采用多隧洞形式，隧洞口及桥梁的施工范围小，施工时间短，施工地表占压与破坏不大，对草兔、大林姬鼠以及松鼠等动物栖息生境的直接占压影响很小。但隧洞口开挖噪声、桥梁施工噪声以及人类活动的惊扰，将使草兔、大林姬鼠以及松鼠等这些警觉的动物迁至他处，施工结束后，该部分动物仍可以返回原处觅食。同时由于工程采用隧洞和桥梁的形式，不会对兽类产生阻隔，对区域兽类影响较小。

②对鸟类的影响

进场道路与皮带机线路沿线分布的鸟类主要有红尾伯劳、喜鹊、黑卷尾、树麻雀和雉鸡等鸣禽和陆禽，主要栖息于沿线周边的林地及茂密灌草丛中，偶尔也出现长耳鸮、纵纹腹小鸮、毛脚鱼鸮和雕鸮等鸮类猛禽，主要栖息于进场道路东侧管头山省级自然保护区（鸮类影响详见重点保护动物的影响分析）。

进场道路与皮带机线路工程主要采用隧洞施工，隧洞施工活动位于地下，对鸟类影响很小。隧洞口开挖及桥梁架设等施工噪声对附近红尾伯劳、喜鹊、黑卷尾、树麻雀和雉鸡等鸟类有一定的影响，依据工程设计，隧洞口及桥梁施工时间较短，占地面积较小，且在施工期间区域鸟类仍可以在附近栖息觅食，对鸟类的影响有限。

（2）骨料场区

骨料场距离黄河较远，工程施工不涉及水域湿地，陆生动物以小型兽类和鸟类为主，两栖类和爬行类较少。骨料的开采占压破坏了地表植被，破坏了区域小型兽类的栖息生

境，同时骨料加工的机械噪声，对陆生动物产生一定的惊扰。

①对兽类的影响

骨料场区主要优势动物有大仓鼠、长尾仓鼠、草兔、大林姬鼠及社鼠等，均为常见种类，在附近区域分布较广。骨料场开挖将直接破坏大仓鼠、长尾仓鼠、草兔和大林姬鼠等动物的栖息生境，骨料开采的机械噪声也会影响动物的栖息与觅食。由于区域适宜其生存的生境较多，且分布连续，不会对其迁移产生障碍，影响有限。

② 对鸟类的影响

该区域鸟类主要为鸣禽和陆禽，如金腰燕、红尾伯劳、黑卷尾、喜鹊、寒鸦、树麻雀、雉鸡等，这些鸟类多以草籽和昆虫为食，骨料场将会占用压和破坏区域陆生植被，但这些鸟类会迁徙至附近区域，骨料场施工不会对上述鸟类产生较大影响。

13.2.4.2 运行期

运行期对陆生动物的影响主要为水库蓄水淹没的影响，随着水位的上升，原有动物生境会逐渐被淹没，对陆生动物的栖息、觅食以及部分冬眠动物造成一定的影响。

(1) 对鸟类的影响

淹没范围内分布的鸟类种类较多，这些鸟类中有黑卷尾、喜鹊、寒鸦、树麻雀、大紫胸鹦鹉、戴胜、灰头绿啄木鸟、毛腿沙鸡、雉鸡、灰斑鸠、珠颈斑鸠和大杜鹃等旱地鸟类，也有赤麻鸭、红脚鹬等湿地鸟类及水鸟。

水库淹没导致区域由河流生态系统变为类似湖泊的生态系统，水体流动性减弱，有利于部分坡度较小的区域形成湿地环境，促进区域水生植物和挺水植物的生长，库周可能会出现大面积芦苇、香蒲等，为赤麻鸭、红脚鹬等鸟类的栖息与觅食提供有利条件，有利于湿地鸟类及水鸟的生存与繁育。

由于淹没区峡谷形地貌特征，植被稀疏，适宜鸟类生存的生境较少，水库的淹没会损失一些林地及灌丛，对旱地鸟类的栖息与觅食有一定的影响，相比于整个评价区，旱地面积减少并不大，因此水库蓄水对旱地鸟类的影响有限。

(2) 对两栖类及爬行类的影响

水库建成蓄水后，将使中华蟾蜍、花背蟾蜍、黑斑侧褶蛙、丽斑麻蜥等向海拔稍高处迁移。但水库建成后，库区形成更丰富的静水或缓流水环境，平缓的水体以及大面积

水体消落区，有利于部分缓坡区植被的生长，为两栖类、爬行类的生长繁育提供有利的条件，水库蓄水后两栖及爬行类的种群数量可能存在一定上升。

(3) 对兽类的影响

库区分布的兽类主要有岩松鼠、花鼠、达乌尔黄鼠、大仓鼠、大林姬鼠和社鼠等，水库蓄水后，这些野生动物栖息地将被淹没，将被迫向高海拔区迁徙。由于水库淹没线以上的生境类型与淹没区没有较大差别，它们很容易找到新的栖息地继续生存，对其影响程度较小。

(4) 初期蓄水期对冬眠动物影响

评价区有冬眠动物 14 种，其中兽类 2 种，爬行类 9 种，两栖类 3 种。大部分动物冬眠期每年 10 月至翌年 4 月。具体情况详见表 13.2.4-1。

表 13.2.4-1 评价区冬眠动物基本情况表

序号	类别	动物名称	冬眠时间	保护等级
1	兽类	东北刺猬 <i>Erinaceus europaeus</i>	10 月至翌年 4 月	山西重点保护
2		松鼠 <i>Sciurus</i>	10 月至翌年 4 月	
3	爬行类	赤链蛇 <i>Dinodon rufozonatum</i>	10 月至翌年 4 月	山西重点保护
4		白条锦蛇 <i>Elaphe diene</i>		
5		乌梢蛇 <i>Zaocys dhumnades</i>		
6		黄脊游蛇 <i>coluber spinalis</i>		
7		虎斑颈槽蛇 <i>Rhabdophis tigrina</i>		
8		中介蝮 <i>Agkistrodon intermedius</i>		
9		王锦蛇 <i>Elaphe carinata</i>		陕西重点保护
10		无蹼壁虎 <i>Gekko swinhonis</i>	11 月至翌年 3 月中旬	
11		丽斑麻蜥 <i>Eremias argus</i>	10 月至翌年 4 月	
12	两栖类	中华蟾蜍 <i>Bufo gargarizans</i>	10 月至翌年 4 月	山西重点保护
13		花背蟾蜍 <i>Bufo raddei</i>	10 月至翌年 4 月	
14		黑斑侧褶蛙 <i>Rana nigromaculata</i>	11 月初至翌年 3 月	

根据施工期安排，古贤水库下闸蓄水时间为水库建设第 8 年的 10 月下旬，初期蓄水所需时间约为 6 个月。由此可见，水库初期蓄水时间与上述动物冬眠期重合，将会有部分冬眠动物被淹死，由于这些动物生境范围较广，在评价区周边比较常见，因此影响可以接受。

13.2.4.3 重点保护野生动物的影响

(1) 保护鸟类的影响

评价区重点保护鸟类 56 种，这些保护鸟类种有猛禽 14 种，涉禽和游禽类水鸟 9 种，陆禽 2 种，攀禽 8 种，鸣禽 23 种。评价区猛禽主要栖息于进场道路人祖山和管头山自然保护区及库区段黄河两岸的高山林区，工程施工区及蓄水淹没区不是其主要分布区域，

工程建设运行对其影响很小。褐马鸡主要分布在人祖山和管头山自然保护区的核心区，海拔 1000m 以上的区域，其他区域分布很少，岩鸽主要分布于黄河两岸山地岩石和悬崖峭壁处，工程建设运行不会对褐马鸡和岩鸽的栖息与觅食产生不利影响；评价区涉禽和游禽等水鸟主要分布在库区段黄河滩区湿地，工程施工不会对其产生明显不利影响，水库蓄水后，水面面积扩大有利于库区周边湿地的形成和扩大，为水鸟的栖息与觅食提供适宜的场所；评价区分布的攀禽和鸣禽大多为小型林鸟，在评价区分布广泛，进场道路两侧及库区两岸林地和村庄有这些鸟类分布，工程施工会对这些鸟类产生一定的惊扰，使其远离施工区域，水库蓄水会使这些鸟类向高海拔区域迁徙，但这些鸟类活动性较强，觅食范围较广，周围适宜生境广阔，受到干扰后很容易找到新的栖息地，工程建设运行对攀禽和鸣禽等林地鸟类的影响不大。具体影响分析见表 13.2.4-2。

表 13.2.4-2 重点保护鸟类的影响

名称	种类及生态习性	影响分析
陆禽 (鸡形目)	仅褐马鸡 1 种，主要栖息在以侧柏、华北落叶松、云杉次生林为主的林区和华北落叶松、云杉、杨树、桦树次生针阔混交森林中，不善飞行，活动区域较小。冬季多活动于 1000m~1500m 高山地带，夏秋两季多在 1500m~1800m 的山谷和山坡山坳里活动，在评价区主要分布于管头山自然保护区、人祖山自然保护区，在库区两侧高山林地也有少量分布。	褐马鸡的适宜栖息生境位于人祖山和管头山两个自然保护区的核心区，距离工程最近距离 3km 以上，其他区域分布很少，工程施工运行基本不会对褐马鸡产生影响。
陆禽 (鸽形目)	仅岩鸽 1 种，主要栖息于山地岩石和悬崖峭壁处，最高可达海拔 5000m 以上的地区，多结成小群在山谷和平原田野上觅食。	依据调查及走访咨询，工程施工区未发现岩鸽的分布，库区两侧崖壁海拔较高处曾有少量分布，水库蓄水不会淹没其栖息地，工程施工及运行不对岩鸽产生影响。
猛禽 (鸮形目)	鸮类包括毛脚鱼鸮、长耳鸮、纵纹腹小鸮、雕鸮 4 种，主要栖息于针叶林和针阔叶混交林，均习惯夜间活动，以小型鼠类、蛙等为食。	主要栖息于人祖山和管头山自然保护区，及库区两侧山区林地，在进场道路沿线偶有出现。进场道路桥梁和隧洞口施工占地面积很小，且均成点状分布，对鸟类的栖息地占压有限，同时鸮类飞行及环境适应能力较强，会逃离施工影响区；由于 4 种鸮类均为夜行性，在进场道路沿线工程禁止夜间施工，不对其产生影响。
猛禽 (隼形目)	包括苍鹰、雀鹰、松雀鹰、普通夜鹰、赤腹鹰、红隼、游隼、红脚隼、普通鵟、大鵟 10 种，白天活动的猛禽，飞翔能力较强，栖息于高山、森林、草原、荒漠、湿地等各种生态环境，获取各种动物性食物。	栖息于人祖山和管头山自然保护区内的高山密林区，库区两侧山区林地也有一定的分布，未在工程区附近发现这些鸟类的巢穴，由于这些鸟类飞行高度高，觅食范围较广，周边适宜生境广阔，工程施工及淹没区不是其主要栖息地，工程对其不会产生较大影响。
涉禽 (鸻形目)	包括苍鹭、大白鹭、中白鹭 3 种，栖息于河流、湖泊、水库岸边浅水及沼泽地。主要在水中取食鱼、蛙、螺、虾等水生动物，有时也觅食蟾蜍、蜥蜴、蝗虫等陆生动物。大多在树上或芦苇丛中营巢，也在岩崖、屋顶、高压线杆塔上营巢。	由于库区河段为高山峡谷河段，河道内没有大面积滩区，该河段不是游禽和涉禽这些水鸟的集中分布区域，仅在部分滩地偶有发现。工程施工对其无影响，运行期水库蓄水会淹没部分滩区，但水库的形成，水面面积的扩大，形成的库周浅滩为这些游禽和涉禽提供了良好的栖息觅食场所，总体影响有利。
涉禽 (鸨形目)	包括黑翅长脚鸨、凤头麦鸡和金眶鸨 3 种，栖息于水边、湖泊、沼泽、沿岸或内陆。以鱼、昆虫和底栖动物为食。	

名称	种类及生态习性	影响分析
涉禽 (鸕形目)	仅黄斑苇鴉 1 种, 栖息于平原, 和低山丘陵地带富有水边植物的开阔水域中。主要以小鱼、虾、蛙、水生昆虫等动物性食物为食。	
游禽 (雁形目)	包括赤麻鸭、绿头鸭 2 种, 栖息于江河、湖泊、河口、水塘及其附近的沼泽、沙滩、农田和平原疏林等各类生境中, 主要以水生植物叶、芽、种子、农作物幼苗、谷物等植物性食物为食。	
攀禽 (鸚形目、型形目)	包括大杜鹃、中杜鹃、蚊鴉、大斑啄木鸟 4 种。栖息阔叶林或针阔混交林区, 食物以昆虫为主。	主要分布于工程及淹没区两侧山林内, 活动性较强, 周围适宜生境广阔, 受到干扰后很容易找到新的栖息地, 对其影响不大。
攀禽 (佛法僧目)	仅蓝翡翠 1 种, 栖息于有灌丛或疏林、水清澈而缓流的小河、溪涧、湖泊及水库, 食物以小鱼为主, 兼吃甲壳类和多种水生昆虫及其幼虫, 也啄食小型蛙类和少量水生植物。	评价区分布较少, 偶尔在黄河及支流水面觅食, 工程施工对其影响很小, 水库蓄水后, 水面扩大有利于蓝翡翠的栖息与觅食。
攀禽 (犀鸟目)	仅戴胜 1 种, 栖息于山地、平原、森林、林缘、路边、河谷、农田、草地和果园等开阔地方, 尤其以林缘耕地生境较为常见。以虫类为食。	广泛分布于评价区, 工程施工会对其产生一定的惊扰, 使其远离施工区域。但其周围适宜生境广阔, 活动性较强, 受到干扰后很容易找到新的栖息地, 影响不大。
攀禽 (雨燕目)	仅白腰雨燕 1 种, 栖息于陡峻的山坡、悬岩、尤其是靠近河流、水库等水源附近的悬岩峭壁较为喜欢。以各种昆虫为食。	工程施工区不是其主要分布区域, 工程施工不会对其产生不利影响, 工程运行期, 水库蓄水有利于白腰雨燕的栖息。
攀禽 (夜鹰目)	仅普通夜鹰 1 种, 栖息于海拔 3000 以下的阔叶林和针阔叶混交林; 夜行性, 白天多蹲伏于林中草地上或卧伏在阴暗的树干上。主要以天牛、岔龟子、甲虫、夜蛾、蚊、蚋等昆虫为食。	工程施工区及水库淹没区不是其主要活动区域, 工程施工运行对其影响很小。
鸣禽 (雀形目)	包括虎纹伯劳、牛头伯劳、黑枕黄鹂、发冠卷尾、松鸦、红嘴山鸦、沼泽山雀、大山雀、银喉长尾山雀、银脸长尾山雀、红喉姬鹀、山鹊鸂、黄头鹡鸰、灰鹡鸰、白鹡鸰、树鹨、水鹨等 23 种, 它们体型较小, 大多数为林鸟, 在评价区广泛分布, 主要分布于工程及淹没区两侧山林内。	进场道路两侧有部分鸣禽分布, 这些鸟类在周围适宜生境广阔, 受到干扰后很容易找到新的栖息地, 受影响不大。

(2) 保护兽类的影响

评价区及周边重点保护兽类包括金钱豹、原麝、青鼬、黄鼬、艾鼬、豹猫、狗獾、狍和东北刺猬等 9 种, 其中金钱豹、原麝、青鼬和豹猫 4 种均为国家重点保护动物, 黄鼬、艾鼬、狗獾、狍、东北刺猬 5 种为省级重点保护动物。本评价针对 9 中重点保护兽类分别进行影响分析, 具体见表 13.2.4-3, 以管头山自然保护区主要保护对象金钱豹为关键种, 依据其生境情况及活动区域重点进行影响分析。

表 13.2.4-3 重点保护兽类的影响

名称	生态习性	影响分析
金钱豹	多栖息于森林、灌丛、热带雨林、山地、丘陵、平原、干旱地、湿地、甚至荒漠等, 在评价区附近, 主要生活在有森林的山地中。	仅在工程附近自然保护区内发现过粪便和疑似足迹, 工程附近不是其主要栖息地, 影响很小。
原麝	多栖居在针阔混交林、针叶落叶林、针叶混交林、疏林灌丛地带的悬崖峭壁和岩石山地。有较为固定的活动、觅食路线, 活动范围亦较为固定。食性广, 植物为主, 偶尔也吃两栖类等小动物, 评价区内仅管头山和人祖山自然保护区有少量分布。	主要分布于自然保护区内, 活动范围较为固定, 工程施工区及水库淹没区不是其栖息生境, 工程施工并不影响其栖息、觅食及繁殖, 水库淹没也不会对其栖息生境产生影响。

名称	生态习性	影响分析
青鼬	栖息 3000m 以下的各种类型的林区,巢穴多筑于树洞或石洞中。喜晨昏活动,善攀缘树木陡岩,行动敏捷。主要食物包括鼠、獾、狸、鸟和鸟卵、鱼,以及植物的果实等,也能猎捕山羊、麝和鹿等,评价区森林区中有少量分布。	主要分布于受人类活动影响较小的高山密林中,工程施工区域不是其主要活动区域,同时由于其迁徙能力较强,工程施工及水库淹没对其影响很小。
豹猫	主要栖息于山地林区、郊野灌丛和林缘村寨附近。分布于河谷到海拔 3000m 高山林区。在半开阔的稀树灌丛生境中数量最多,人工林和空旷的平原农耕地数量较少,夜行性,晨昏活动较多。善游水,通常以鼠类、鸟类、鱼类、爬行类及小型哺乳动物为食。在库区灌丛及进场道路沿线有少量分布。	白天很少出现,影响不大,进场道路工程禁止夜间施工,不会对豹猫的夜间活动造成影响。进场道路区主要为隧洞和桥梁,豹猫可以通过隧洞上方及桥下在道路两边穿行,不会对豹猫的活动形成阻隔。
黄鼬	栖息于山地和平原,见于林缘、河谷、灌丛、草丘和村庄附近。居于石洞、树洞或倒木下。夜行性,尤其是清晨和黄昏活动频繁,有时也在白天活动。食性很杂,主要以小型哺乳动物为食。在野外以老鼠和野兔为主食。	经资料查阅及走访调查,评价区曾有分布,本次调查未发现实体,工程施工及水库蓄水可能会对其栖息产生影响,在禁止夜间施工情况下,可降低对其的影响。
艾鼬	栖息于海拔 3200m 以下的开阔山地、草原、森林、灌丛及村庄附近。黄昏和夜间活动。主要以鼠型啮齿动物为食。也吃鸟类、鸟卵、小鱼、蛙类、甲壳动物,以及一些植物浆果、坚果等。	
狗獾	栖息于森林中或山坡灌丛、田野、沙丘草丛及湖泊、河溪旁。夜行性。以植物的根、茎、果实和蛙、蚯蚓、小鱼、沙蜥、昆虫(幼虫及蛹)和小型哺乳类等为食。主要分布于工程及淹没区两侧较远的森林、山坡及农田区。	施工区及黄河河谷内分布很少,工程施工及水库淹没对其影响很小。
狍	栖息于山坡小树林中,采食各种草、树叶、嫩枝、果实、谷物等。	主要分布于工程施工区东侧的管头山自然保护区内,以及淹没区两侧山林地,工程施工及运行不会对其产生直接影响。
东北刺猬	主要栖息于灌木丛内,夜间活动,以昆虫和蠕虫为主要食物。在评价区广泛分布,在人类活动较少的灌丛区域分布较多。	生境范围广,进场道路、沿皮带机线路及水库淹没区均有少量分布,工程施工会使刺猬远离人类活动区域,不会对其产生较大影响。

结合表 13.2.4-2 的影响分析,下面采用关键种分析的方法,进一步分析工程对兽类的影响。关键种主要选择食物链顶端的物种,对环境比较敏感,如果这类物种可以承受工程的影响,其他物种一般也可以承受。

比较上述 9 种重点保护动物,本次选择金钱豹作为关键种。为了调查金钱豹的分布情况,对人祖山和管头山自然保护区进行了实地走访和调查,均未发现金钱豹的实体。通过对人祖山自然保护区管理站工作人员访谈得知,该管理站近期进行了详细地科学考察,也未发现金钱豹的实体,但在龙王庙附近,发现了金钱豹的粪便和疑似足迹。对管头山保护区管理站工作人员访谈得知,护林员已经多年未发现金钱豹。综合分析,该区域依然有金钱豹生存,但数量极其稀少。

根据金钱豹生态习性可知,金钱豹适宜的生境类型比较多,包括森林、灌丛、热带雨林、山地、丘陵、平原、干旱地、湿地、甚至荒漠等,在评价区附近,金钱豹主要生活在有森林的山地中,也有的金钱豹生活在丘陵地带。就本项目周边区域分析,最适合

金钱豹栖息的区域为人祖山自然保护区、管头山自然保护区以及北侧的连绵山体，总面积 330km²，这些区域植被以林地为主，可为金钱豹提供隐秘的栖息环境，同时其中有比较丰富的食物来源。

现场调查可知，金钱豹适宜生境距离大坝施工区最近距离 8km，距离拟建进场道路与皮带机线路最近距离 2.5km。工程占地区及周边区域主要为村庄、果园、农田和部分荒草，植被以灌丛、草地、和栽培植物为主，人类活动频繁，野生动物十分稀少，不是金钱豹最适宜的栖息地，且距离管头山自然保护区较近的进场道路与皮带机线路主要采用隧道和桥梁施工，工程施工并不会对沿线产生大的振动与噪声，不会影响到可能到自然保护区边缘活动的金钱豹。同时由于工程距保护较近，应严格限定施工范围，防治施工人员进入自然保护区。对施工人员做好保护野生动物的宣传教育，禁止破坏金钱豹栖息生境，禁止非法捕猎。

总之，由于金钱豹、原麝和狍主要分布于自然保护区内，进场道路沿线不是其适宜生境，金钱豹近年来未发现在自然保护区周边活动，工程对其影响很小。青鼬、黄鼬、艾鼬主要分布于林区，喜晨昏活动或夜间活动，在禁止夜间施工情况下，对其影响可以接受。东北刺猬生境范围较广，工程施工和水库淹没将使其向周围迁徙，不会对其产生较大影响。

（3）两栖及爬行类的影响

评价区重点保护两栖类仅有花背蟾蜍和黑斑侧褶蛙 2 种，爬行类有王锦蛇、黄脊游蛇、赤链蛇、白条锦蛇、虎斑颈槽蛇和乌梢蛇等 6 种，均为山西省重点保护动物，其施工期和运行期的影响分析见章节 13.2.4.1 和章节 13.2.4.2 中两栖动物的影响。工程施工及水库蓄水会占压其栖息生境，这些两栖类及爬行类在工程周边生境广阔，工程施工时会远离施工区寻找新的栖息地，造成局部区域数量的减少，在加强野生动物保护宣传教育的情况下，对两栖类和爬行类影响有限。

13.2.4.4 重要物种生境的影响

通过工程布局图与生态要素图叠加分析，得到各类适宜度生境的面积及分布情况，详见表 13.2.4-4。

表 13.2.4-4 评价区各适宜度生境面积变化表

生境适宜度	现状		施工期		运营期	
	面积 (km ²)	百分比 (%)	面积 (km ²)	百分比 (%)	面积 (km ²)	百分比 (%)
最适宜生境	151.71	12.89	130.76	11.11	392.99	33.39
适宜生境	238.45	20.26	227.62	19.34	215.85	18.34
勉强适宜生境	474.78	40.34	481.25	40.89	361.68	30.73
不适宜生境	312.01	26.51	337.32	28.66	206.44	17.54
合计	1176.95	100	1176.95	100.00	1176.96	100.00

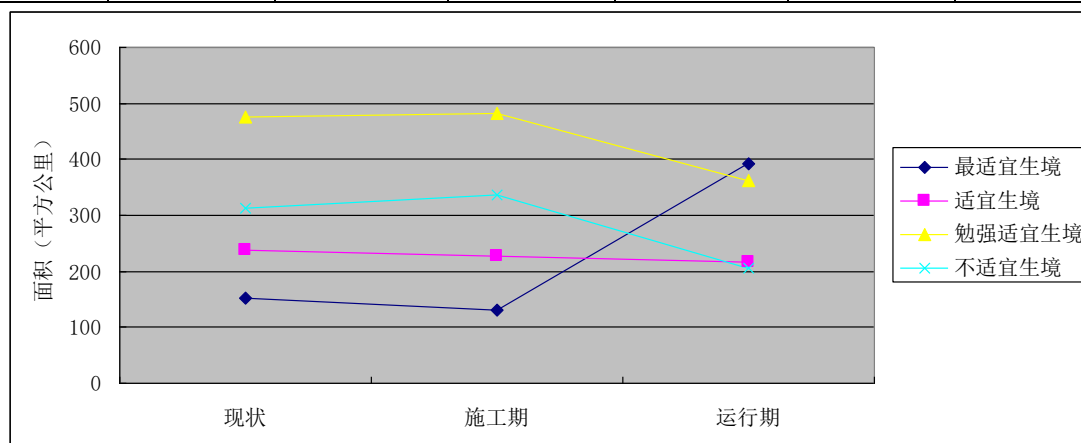


图 13.2.4-1 评价区生境适宜度面积变化曲线图

由表 13.2.4-4 和图 13.2.4-1，施工期，不适宜生境面积显著上升，增幅 2.11%；勉强适宜生境略有上升，增幅 0.55%；最适宜生境和适宜生境面积均呈下降趋势。在进场道路段及坝址区附近，大部分生境类型从最适宜生境直接降为不适宜生境，由此可见坝址和进场道路是对生境影响最明显的工程内容，施工时要密切关注这两个区域的生物多样性变化。

运行期，随着库区蓄水，最适宜生境面积显著增加，与施工期相比，增幅高达 22.28%，其余三个适宜度生境面积均不同程度降低。由此可见，工程的运行有利于生物多样性保护，尤其对湿地鸟类最为有利。

13.2.5 水库消落带的影响分析

13.2.5.1 消落带区基本情况

本工程初始运用最低水位为 560m，正常运用期死水位 588m，最高水位 627m，随着水库的运行调节，会产生一定范围的消落带。由于水库三个运用期最高水位不同，因此消落范围也不同，详见表 13.2.5-1。

表 13.2.5-1 水库不同运营用期消落带情况表

运用分期	拦沙初期	拦沙后期	正常运用期
水位变化 (m)	560~588	560~621	588m~627
消落带高差 (m)	28	61	39
淹没面积 (km ²)	113.5~153.21	113.5~190.53	153.21~219.16
消落带面积 (km ²)	39.71	77.03	65.95

由表 13.2.5-1 可知，拦沙初期消落带高差 28m，消落带面积 39.71km²；拦沙后期消落带高差 61m，消落带面积 77.03km²；正常运用期消落带高差 39m，消落带面积 65.95km²。回水消落区主要集中在上游（北部）区域。

古贤水利枢纽工程消落带区处于峡谷区，山体陡峭，基岩裸露，植被稀疏（典型区域见图 13.2.5-1）。仅部分缓坡区域及上游河道消落区的滩地植被相对较好；受整个消落带地形地貌与气候的影响，消落带区植被现状具有以下特征：

（1）同一位置消落带与消落带以上区域的植被类型及植物种类无明显区别，工程整个消落带及以上区域植被主要以天然草地和灌丛为主，天然林地较少，植物种类常见，周边区域分布广泛；

（2）受南北跨度较大的影响，消落带区植被南北存在一定的差异，自南向北存在林地及灌丛减少，植被盖度降低，植物耐旱种类增多的趋势，但差异不大。

（3）消落带内存在多处面积大小不一的缓坡区，受人类活动的影响，多开发成耕地或人工林地，植被相对较好。

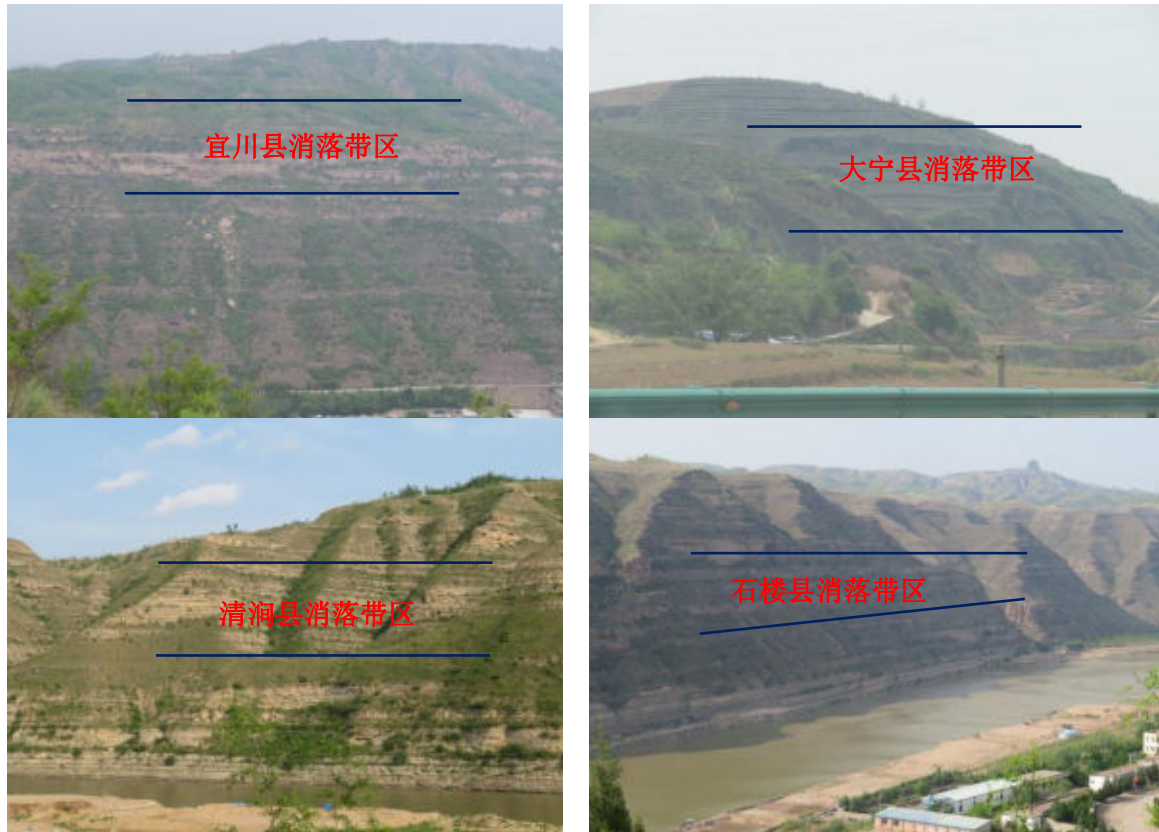


图 13.2.5-1 消落带区示意图

13.2.5.2 消落带区影响

工程对消落带区植被的影响主要为水库水位变化对消落带区反复淹没的影响，消落区由原来的陆生生态系统变为干湿交替的周期性的湿地生态系统，由于土壤、水分和光照的频繁变化，原来适应陆地生长的植物逐渐枯萎死亡，拦沙初期引起的生物量损失为 51.97 万 t/a，拦沙后期生物损失增加至 65.61 万 t/a，正常运用期增加至 74.23 万 t/a，。但消落带内受影响植被及植物种类在消落带上部仍有分布，因此消落带的形成并不会引起区域植被类型及植物种类的改变。

依据现场调查和消落带区地形数据，消落带区存在部分地势相对平坦的区域（如延川县延水关镇、石楼县前山乡、柳林县三川河河口滩区、大宁县昕水河滩区、延长县延河滩区以及陕西清涧曲流群地质公园等区域内的部分平滩区），由于区域坡度较小，存在一定厚度的土层，加之水库的反复淹没，增加了水资源的补给，有利于湿地的形成和植物的生长，为消落带区生态的修复提供了良好条件，湿地植被的形成可为区域的陆生动物提供良好的栖息与觅食环境，在一定程度上可能弥补消落带引起的生物量和植被的损失。

总体来说,由于古贤水库整个淹没区都处于峡谷地带,库周大部分区域为陡峭山体,坡度较大,消落带垂直高差较大,且地表以基岩为主,植被比较稀疏,古贤水库消落带对植被损失并不大。

13.2.6 地质灾害的影响分析

水库塌岸是修建水库常见的地质灾害,尤其是古贤水库位于黄土高原地区,在基岩~黄土库段和黄土库段均可能存在塌岸问题。

13.2.6.1 地质灾害概况

(1) 地质灾害类型

古贤水利枢纽工程位于黄河中游,其工程建设及水库淹没区位于黄土高原区,易发生黄土塌岸。天然状态下,库岸稳定性好,仅局部存在崩塌现象,基岩产生的滑坡极少,地质灾害危险性小。整个水库河段,岩层倾角很缓,蓄水后产生崩塌、滑坡的可能性较小,地质灾害主要表现为松散堆积物塌岸问题,以黄土塌岸为主。

(2) 古贤库区塌岸情况

依据设计单位的塌岸计算结果,库区塌岸总长度约 82.12km,占库岸长度的 14%。塌岸区段 175 处,其中左岸 69 处,长度合计 30.38km,涉及居民点 20 个。右岸 106 处,长度合计 51.74km,涉及居民点 27 个。塌岸面积 7.4km²。其中无定河、延水河及昕水河等塌岸相对集中区域塌岸及地表浸润灾害分布示意图见图 13.2.6-1~图 13.2.6-3。

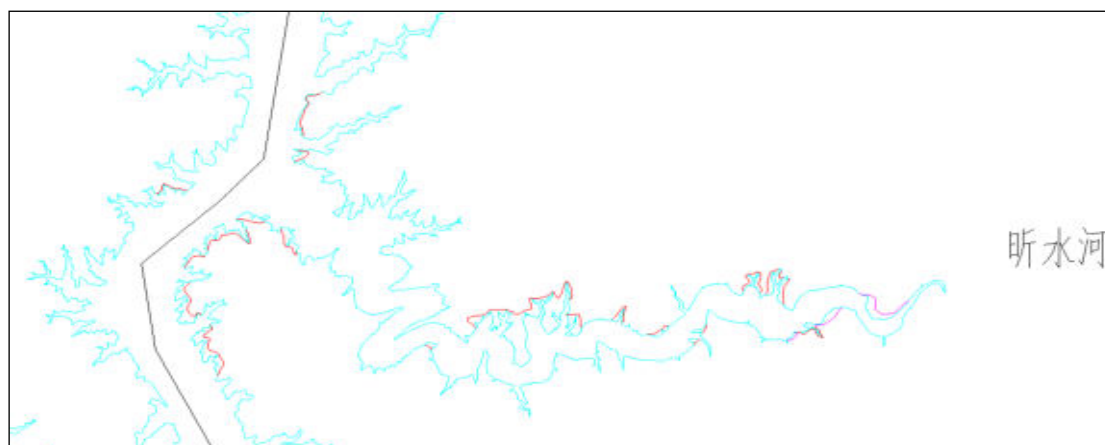


图 13.2.6-1 古贤库区昕水河回水区塌岸及地表浸润灾害分布示意图

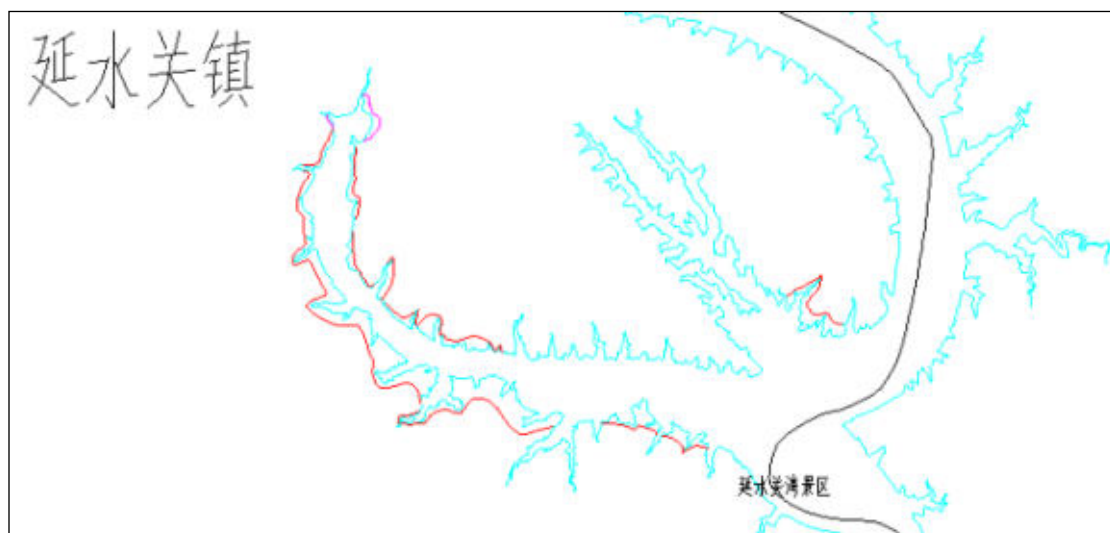


图 13.2.6-2 古贤库区延水河回水区塌岸及地表浸润灾害分布示意图

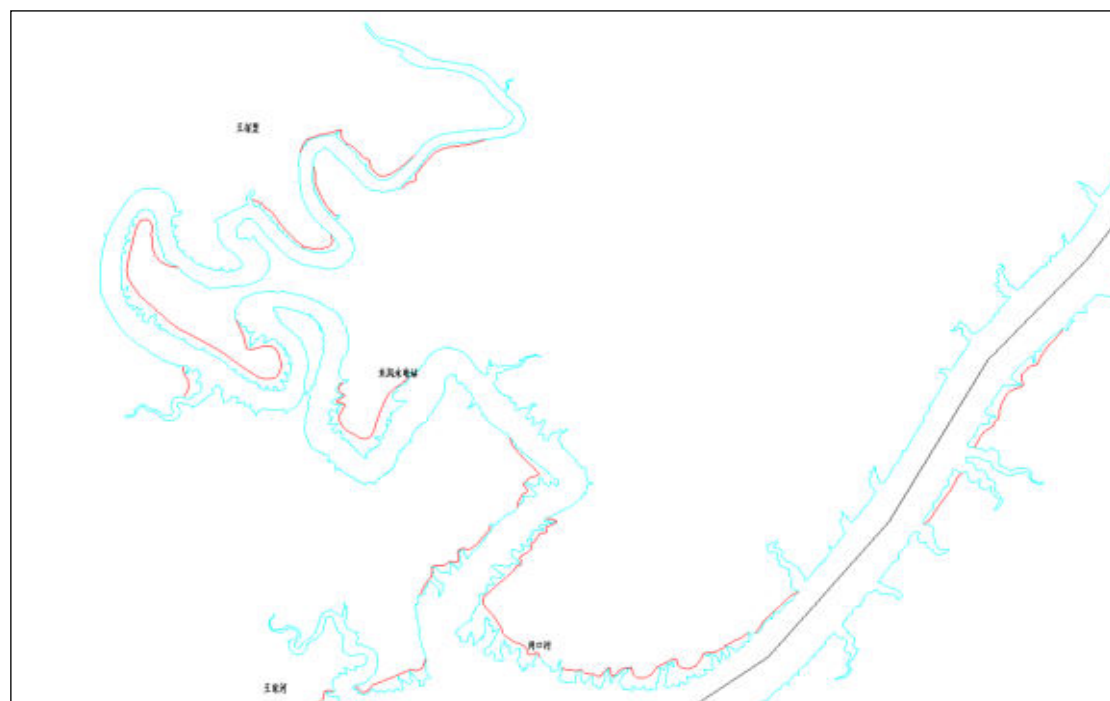


图 13.2.6-3 古贤库区无定河回水区塌岸及地表浸润灾害分布示意图

塌岸区域在库区上下游均有分布，以黄河干流绥德、柳林和吉县段，支流无定河、延水河、昕水河等回水区分布较多，塌岸长度较长，昕水河库尾存在小面积浸没。

13.2.6.2 塌岸区陆生生态环境影响

1. 塌岸区陆生植物现状及影响

(1) 陆生植被现状

依据陆生生态库区评价区植被现状调查成果，结合水库塌岸区域的分布，无定河、延水河、昕水河等支流塌岸区受人类活动影响较大，这些区域主要土地利用类型为耕地、

草地，局部区域存在小面积林地和建设用地，干流及其他支流塌岸区域植被以草地为主。

塌岸区耕地区以旱田植被为主，植物种类主要为小麦、油菜、玉米和谷子等作物。由于古贤水库处于黄土高原区，区域整体干旱少雨。黄河两侧由于长期水蚀作用，水土流失相对严重，土壤贫瘠，塌岸区地表自然植被以中低盖度的荒草地为主，主要类型有白羊草+杂类草草丛、白羊草草丛、长芒草草丛、黄背草草丛、荆条+酸枣+白羊草灌草丛等。主要植物种类有白羊草、黄背草、长芒草、茭蒿等、酸枣等。此外，塌岸区域存在小面积人工林地，主要为红枣林及侧柏林。红枣林主要分布于无定河塌岸区及绥德县和吴堡县的干流塌岸区，侧柏主要分布于永和县段。

依据陆生植物调查成果，坍塌区域并没有发现珍稀重点保护植物的分布。

（2）陆生植物影响分析

水库区塌岸区段 175 处，塌岸总长度约 82.12km，占库岸长度的 14%。塌岸总面积约 7.4km²，占水库淹没区面积(219.2km²)的 3.38%，占库区评价区总面积(960.40km²)的 0.77%。塌岸区面积较小，植被类型及植物种类与水库淹没区及其周边区域基本一致。古贤水库库岸坍塌会直接导致塌岸区域植被的破坏，引起土地利用类型的转变，同时造成一定的生物量损失。但由于坍塌范围不大，且区域植被类型及植物种类均常见，在部分区域采取有效防护措施后，不利影响影响可以得到一定的预防减免，水库区域坍塌对陆生植物的影响可以接受。

2. 塌岸区陆生动物现状及影响

（1）动物现状

依据陆生生态库区评价区陆生动物现状调查成果，结合水库塌岸区域的分布，古贤水库塌岸区植被稀疏低矮，动物主要为以草地和农田为栖息地和觅食场所的种类。哺乳动物种类主要有大仓鼠、长尾仓鼠、草兔、大林姬鼠、社鼠等小型动物，这些动物多穴居，以草籽、昆虫及农作物为食，分布有限，且这些物种均为评价区常见种类。鸟类主要为黑卷尾、喜鹊、寒鸦、麻雀、戴胜、雉鸡等，这些鸟类主要分布于河谷及两岸坡地、村落、农田、灌丛、灌草丛等生境，在塌岸区域有少量分布。其他种类（如大部分猛禽、游禽等）基本无分布。塌岸区并不是两栖类的适宜生境，两栖类分布很少，但分布有少量丽斑麻蜥、黄脊游蛇、白条锦蛇、虎斑颈槽蛇等爬行类。

依据评价区重点保护动物的分布情况，塌岸区域不是重点保护动物的主要栖息地。

(2) 影响分析

古贤库区塌岸区域分布的动物为常见种类，塌岸区不是重点保护动物栖息地，这些动物在整个评价区分布广泛，且坍塌区面积不大，塌岸对这些陆生动物的影响很小，影响可以接受。

3. 水土流失的影响

古贤水库地处黄土高原区，塌岸区黄土厚度约 0~50m，库岸坍塌后，坍塌区域大面积地表裸露，由于降雨水蚀的作用，极易发生大规模水土流失，形成沟壑，进一步影响生态环境，水土流失是不可避免的，因此工程应做好塌岸管理，做好前期防护的同时，也应关注塌岸后的修复治理。

4. 小结

水库塌岸主要分布在水库淹没线附近，水库塌岸的范围具有一定的不确定性，但是根据区域的地形地貌、地层岩性、水库运行式、风浪作用、水流冲刷、等进行分析，塌岸地点及塌岸范围是可以预测的。水库塌岸是一种缓慢的、动态的岸坡再造过程，塌岸范围也是渐进扩大的，最终达到平衡状态，这种坍塌的影响会对塌岸区陆生植被、陆生动物、水土流失及区域社会经济有一定的影响，但对古贤水库塌岸区陆生生态及社会经济环境的影响并不显著，同时这种影响在重要部位也是可以防护的，坍塌后生态影响是可以得到降低和局部修复的，影响可以接受。

13.2.7 局地气候的影响分析

古贤水利枢纽总库容 130.59 亿 m^3 ，调节库容 34.61 亿 m^3 ，属于大型水利枢纽工程。枢纽工程建成后，回水长度达 202.1km。与工程建设前相比，古贤水利枢纽所在河段水面面积大幅增加，这将对库区及周边的气候产生一定影响。

13.2.7.1 分析方法

水库运行后所引起的局地气候定量分析，至今还没有完善的计算方法可供参考，故本评价采用类比的方法进行分析。类比对象是黄河干流上的三门峡水库和小浪底水库，参考《水利水电工程对局地温度、湿度影响及其计算方法》（秦金虎等，水土保持研究，2007 年）和《小浪底水库蓄水后气候变化对生态、农业的影响》（介玉娥等，气象与

环境科学，2009 年）、《小浪底水库蓄水对库区及周边降水的影响》（胡玉梅、介玉娥等，气象与环境科学，2009 年）等研究成果。三座水库位置，库区面积及库区长度等情况见表 13.2.7-1。

表 13.2.7-1 三座水库主要特征值对照表

水库名称	小浪底水库	三门峡水库	古贤水库
所在河流	黄河干流	黄河干流	黄河干流
所在位置	洛阳、三门峡、济源	河南省三门峡市	山西临汾市和陕西延安市
坝高（m）	160	106	215
坝长（m）	1667	963	990
库区面积（km ² ）	272	138	219
库区长（km）	130	120	202

13.2.7.2 三门峡水库对库周小气候的影响

（1）水库蓄水后，年均气温略有升高，其中冬、夏季升高 0.1℃~0.4℃，秋季降低 0.2℃左右，春季无大变化。年最高气温平均降低 1.0℃；年最低气温升高了 1.4℃左右。对极端气温的影响远比平均气温显著。夏季气温升高的原因是水库防洪运用畅泄所致。冬、春季和夜间，水体相对成为热源，并以潜热和感热等方式向大气传送热量，冬、春季平均气温和极端最低气温建库前相比有所升高。由于冬、春季防凌蓄水运用拦蓄了来自中上游的大量冰凌，不但抑制了库中水体向大气输送热量，而且融冰过程又要消耗大量热量，库周春季平均气温并未发生较大变化。

（2）由于水库蓄水运用，库区水面面积扩大近两倍，因此随着水温升高和水温年较差减小，以及原有河道的冷性水面转变成暖性水面（水表面温度与空气温度相比较而言），有利于库区水面蒸发，致使库周平均湿度比建库前明显增大。

13.2.7.3 小浪底水库对库周小气候的影响

（1）库区和周边的温度均呈增高趋势，其中春季平均气温增高 1.5℃，夏季变幅不大，秋季平均增高 0.5℃，冬季平均增高 0.6℃；

（2）夏、秋季日照和蒸发量显著减少，轻雾日数明显增多，相对湿度呈略增大趋势。

13.2.7.4 类比分析结论

古贤水库回水淹没区两岸相对于水库水面海拔较高，水面狭长，未形成大面积湖泊型水面，且由于山体的阻挡，古贤水库难以形成大范围空气的对流。依据三门峡水库、小浪底水库局地小气候影响分析成果，古贤水库蓄水后，库区和周边春季和秋季气温略

有升高，夏季温变化不大；冬季由于冰封和流凌的作用，库内水体与水库上方空气热量交换受到阻隔，加之本身水面宽度不大，接触面相对较小，因此古贤水库对库区及周边区域气温不会产生明显影响。

此外，古贤水库蓄水后形成狭长型水面，水面面积增大，将导致库区蒸发量的增加，库区周边及水库表面相对湿度增大，加上两岸山体对风的阻挡作用，库区范围年内轻雾日数会有所增加。总之，古贤水库具有河谷型狭长水库的特性，对库区周边局地气候有一定影响。由于三门峡水库、小浪底水库与古贤水库存在地理位置、库区面积、周边地形、植被分布等诸多差异，类比结果只供参考，准确的影响结果需水库运行后进行连续监测。

13.2.8 景观格局的影响分析

根据遥感解译成果，运用景观生态学方法，分析评价区各景观类型面积、斑块数及景观优势度的变化情况，分析工程运行对区域生态景观的影响。通过计算确定评价区各类景观斑块数量、优势度变化详见表 13.2.8-1。

表 13.2.8-1 工程建成前后评价区景观格局变化情况

景观类型	面积 (km ²)		斑块数 (块)		斑块数比例 (%)		优势度 Do(%)	
	施工后	施工前	施工后	施工前	施工后	施工前	施工后	施工前
林地景观	90.63	114.8	1650	2137	18.5	19.86	12.22	13.84
草地景观	438.77	559.63	2534	3238	28.4	30.44	45.45	51.00
水域湿地景观	329.78	94.35	524	425	5.87	3.95	29.65	10.41
建设用地景观	30.13	17.75	1418	1287	15.9	11.95	9.89	6.01
裸地景观	0.12	0.19	40	51	0.45	0.47	0.42	0.45
农田景观	287.53	390.23	2755	3587	30.88	33.33	33.91	41.41
合计	1176.95	1176.95	8921	10725	100	100	12.22	13.84

由表 13.2.8-1 可知，工程建成运营对草地景观影响最大，草地面积减少了 120.86km²，斑块数量减少 704。水库蓄水后，库区大量零散的斑块被单一的水域湿地斑块取代，评价区水域及湿地景观优势度大幅增加，增幅达 19.24%，水域及湿地景观优势度增加对评价区整体生态质量的改善是有利的。除水域及湿地景观和建设用地景观斑块数量增加外，其他景观类型面积和优势度变化不大。工程运行后草地景观优势度依然最高，整体上项目区各景观指数变化较小，工程建设对评价区的景观格局影响较小。

13.2.9 生态系统的影响分析

评价区域生态系统的核心是生物，尤其是植被。由于生物有生产的能力，可为受到

干扰的生态系统提供修补的功能，从而维持生态系统的生态平衡。如果人类干扰过多，超过了生物的修补（调节）能力时，该生态系统将失去维持平衡的能力，由较高的生态系统等级衰退为较低级别的生态系统。本评价采用生态机理分析法，依据陆生植物生产力变化，以及其引起的自然系统稳定性的变化综合确定工程建设运营对区域生态完整性的影响。

13.2.9.1 生态系统生产力影响分析

工程运行后，评价区土地利用结构发生较大变化，其中建设用地和水面面积大幅增加，其他土地利用类型面积均不同程度减少，故评价区自然系统的净第一性生产力也将发生变化，其中第一生产力减少最大的是林地，减少量为 49805.97t/a，占评价区总减少量的 48.89%，其次为草地，减少量为 27082.45t/a，占评价区总减少量的 26.58%，其它土地利用类型面积减少量相对较少。详见表 13.2.9-1。

表 13.2.9-1 运行期评价区自然系统生产力改变表

类型	占地面积 (hm ²)	净第一性生产力 (t/hm ² .a)	净第一性生产力减少 (t/a)	百分比 (%)
林地	6225.75	8	49805.97	48.89
草地	7737.84	3.5	27082.45	26.58
水域湿地	5976.85	2.5	14942.13	14.67
建设用地	1179.48	0.4	471.79	0.46
未利用土地	313.81	1.3	407.94	0.40
耕地	1698.13	5.4	9169.88	9.00
减少量			101880.16	100.00

工程永久占地及淹没占地区域植被类型均是当地常见的类型。虽然项目建设后，区域的净第一性生产力有一定的减少，减少量 101880.16t/a，但从整个评价区来看，减少量为 0.87t/hm².a，其对评价区生产能力影响很小。

13.2.9.2 生态系统稳定状况影响分析

(1) 恢复稳定性

工程建成后，各种土地利用类型发生变化，林地、草地及耕地等拼块类型的面积减少，建筑用地面积增加，但建筑用地面积占评价范围的比例较小，对景观的影响较小，生态系统依然保持稳定。工程建设造成评价区生态系统生产力减少，生态系统的生产力有一定下降，但下降幅度很小，仍具有一定的生态承载力。工程建设引起的干扰在可承受范围之内，生态系统的稳定性未发生大的改变。

(2) 阻抗稳定性

本工程建设运营后，本项目所在区域内大部分的覆被面积和植被类型没有发生变化，对本区域生态环境起控制作用的组分未变动，生境的异质性没有发生大的改变。本项目评价范围内改变的植被类型均为本区域内较常见的植被类型，因此，工程对植被类型也不会造成影响，对本区域生态功能不会造成大的改变，亦即对区域生态系统的异质化程度和阻抗能力影响不大。

古贤水利枢纽工程实施后，工程影响区域内植被覆盖率有所变化，生态系统结构将发生一定程度的变化，其影响较大的植被主要是山坡地带的荒草地，河谷及滩区地带的农田、灌丛、灌草丛等。这些植被常见分布广，工程运营对植被的生态结构和稳定性影响较小。因此工程建设运营不会对区域生态系统完整性产生明显不利影响，生态系统仍可维持其生产生物资源功能、蓄水保水、保护土壤、保护和维持生物多样性等生态功能。

13.2.9.3 生态系统服务功能影响

工程实施后，评价区生态系统结构的变化必然导致生态系统服务功能的变化。下面根据评价区生态系统面积变化计算生态服务价值变化情况，见表 13.2.9-2 所示。

表 13.2.9-2 评价区生态系统服务价值变化表

生态系统类型	工程实施后评价区生态系统面积 (hm ²)	单位面积生态系统服务价值 (元/hm ²)	工程实施后生态系统服务价值(万元)	工程实施前生态系统服务价值(万元)	变化 (万元)
林地生态系统	4501.18	19335	8703.03	35625.91	-26922.88
草地生态系统	46957.75	6406.5	30083.49	38378.18	-8294.69
湿地生态系统	26855.88	40676.4	109240.05	-177.50	109417.55
城镇生态系统	1869.25	-1000	-186.93	24076.28	-24263.21
农田生态系统	37510.74	6114.3	22935.19	22196.58	738.61
其他生态系统	0.2	371.4	0.01	0.71	-0.70
合计	117695		170774.84	120100.15	50674.69

注：（1）建设用地生态系统参考《城市建设用地生态服务功能价值计算与应用》中的研究结果；本表将灌丛生态系统归并到森林生态系统统一进行分析。（2）灌丛生态系统统一并入森林生态系统进行分析。

工程实施后，评价区生态系统服务价值将增加 5.07 亿元，比现状 12.01 亿元增加 57.8%，单位平均价值由 102 万元/km² 上升到 145 万元/km²。生态系统服务价值上升的主要原因是库区水面大幅增加，湿地生态系统又是生态系统服务价值最高的类型，因此提升了评价区整体的生态系统服务价值，有利于生态系统服务功能的发挥。

13.2.10 生物多样性的影响

13.2.10.1 生物多样性评价指标变化分析

(1) 植物丰富度

依据现状调查，评价区现状植物丰富度值为 577。施工期，由于工程施工占地区域呈片状分布，且各区面积不大，依据陆生植物现场调查成果，占地区的植物种类在工程周边广泛分布，工程施工不会导致植物物种减少。

运行期，库区淹没会导致黄河滩区局部区域植物种类减少，但依据现场调查，对于评价区总体而言，淹没区植物种类在库区周边及上下游分布广泛，评价区植物种类没有发生变化，且在库区水面稳定后，会形成新的滩涂生境，通过上下游湿地植物（如芦苇）种子的漂流或风传播，滩涂区消失的物种会逐渐恢复，植物丰富度也不会发生变化。

(2) 动物丰富度

施工期，工程占地区的生境类型主要为耕地、灌丛、草地、河流，不存在周边区域没有的特有生境，栖息于此的野生动物种类很少，更没有野生动物集中分布区，这里分布的野生动物在施工区之外的类似生境均有分布，因此，施工期评价区野生动物数量会减少，但物种数量降低的可能性不大。因此，施工期动物丰富度没有发生变化，丰富度值同现状一样仍为 187。

运行期，库区水面大幅增加，形成了相对较稳定的静水区，喜欢开阔水域的水鸟种类和数量必将有增加趋势。依据评价区现有鸟类的种类分布及候鸟的迁徙停留情况，类比工程下游已建小浪底水库库区现有鸟类资源数据，预计运行期古贤水库库区鸟类种类将增加约 64 种（小浪底水库库区有水鸟 86 种，本评价区现有水鸟 22 种）。其他类野生动物种类预计不会产生明显变化。因此，由于水鸟种类增加，本评价预计古贤水库淹没区动物丰富度值将由现状的 187 变为 251。

(3) 生态系统多样性

施工期，由于占地面积有限，不会导致评价区生态系统类型发生变化。

运行期，库区水面大幅增加，形成了相对较稳定的静水区，因此增加了一类生态系统-湖泊生态系统，而淹没区的林地、草地、耕地等在周边仍有分布，不会因为水库的形成而消失。由于湖泊生态系统的出现，运行期生态系统丰富度值将由现状的 13 变为

14。

(4) 物种特有性

调查发现,评价区仅有一个特有物种——褐马鸡,主要分布于山西管头山和人祖山自然保护区核心内,距离工程区最近距离 8km 以上,施工期和运行期均不会对其产生影响,因此物种特有性不会发生变化。

(5) 外来物种入侵度

本评价所提出的生态修复措施,所采用的植物物种均为本地物种,不引入外来物种,则外来物种入侵度就不会发生变化。

(6) 受威胁物种丰富度

根据《中国生物多样性红色名录-脊椎动物卷》(2015 年),评价区有极危种 2 种,有濒危种 1 种,有易危物种 4 种,根据野生动物影响分析结果,施工期和运行期对其影响均很小,工程也不会导致其他物种变为濒危物质,因此受威胁物种丰富度不会发生变化。

根据以上分析结果,评价区的植被丰富度、动物丰富度、生态系统多样性等 6 项评价指标变化见表 13.2.10-1;利用归一化方法,对评价区各项评价指标进行归一化处理,归一化处理后评价区生物多样性各指标变化情况见表 13.2.10-2。

表 13.2.10-1 评价区生物多样性评价指标变化表

指标	现状值	施工期	运行期
植物丰富度	577	577	577
动物丰富度	187	187	251
生态系统多样性	13	13	14
物种特有性	0.0012	0.0012	0.0012
外来物种入侵度	0.0039	0.0039	0.0039
受威胁物种丰富度	0.122	0.122	0.122

表 13.2.10-2 归一化处理后各评价指标变化表

指标	现状值	施工期	运行期
归一化后的植物丰富度	15.58	15.58	15.58
归一化后的动物丰富度	29.52	29.52	39.56
归一化后的生态系统多样性	10.48	10.48	11.28
归一化后的物种特有性	0.39	0.39	0.39
归一化后的外来物种入侵度	2.49	2.48	2.48
归一化后的受威胁物种丰富度	84.66	84.66	84.66

13.2.10.2 生物多样性影响分析

依据表 13.2.10-2 中各项指标值,采用生物多样性指数公式进行计算,得到施工期

和运行期的生物多样性指数，具体如下表：

表 13.2.10-3 生物多样性指数变化表

生物多样性指数	现状值	施工期	运行期
BI	29.41	29.41	31.58

由表 13.2.10-3 可知，施工期评价区生物多样性指数不发生变化，运行期生物多样性植物由 29.41 增加到 31.58。根据生物多样性状况分级标准（见第 13.1.6 节），运行期评价区生物多样性等级由现在的一般水平（ $20 \leq BI < 30$ ）变为中等水平（ $30 \leq BI < 60$ ），生物多样性状况变为：物种较丰富，特有属、种较多，生态系统类型较多，局部地区生物多样性高度丰富。由此可见，本工程对评价区生物多样性的影响是正面的。

13.3 陆生生态敏感区影响预测与评价

陆生生态环境敏感区包括自然保护区、风景名胜区及地质公园等。鉴于本报告对风景名胜区及地质公园设置了专章，本节仅对自然保护区影响进行分析。地质公园和黄河乾坤湾风景名胜区影响分析见第十四章相关内容。黄河壶口瀑布风景名胜区影响见第十五章相关内容。

13.3.1 工程与自然保护区位置关系

根据《管头山省级自然保护区总体规划报告》、《人祖山省级自然保护总体规划报告》以及《黄河古贤水利枢纽工程可行性研究报告》的相关内容可知，本工程附近区域分布有 2 处自然保护区。通过现场调查，工程建设影响区及水库淹没区均不涉及两个自然保护区，山西管头山省级自然保护区位于进场道路工程东侧，其实验区边界距工程最近距离为 2km；山西人祖山省级自然保护区位于坝址及库区东侧，其西侧边界距库区最近距离为 9km，距坝址最近距离为 18km。具体见图 5.4.8-1。

13.3.2 山西管头山省级自然保护区的影响

依据工程与山西管头山省级自然保护区位置关系，工程与自然保护最近距离约 2km，工程施工及运营不直接涉及山西管头山省级自然保护区，工程施工不直接扰动与破坏保护区植被，也不会对保护区范围内的陆生动物产生惊扰。依据评价区重点野生保护动物影响分析可知（详见章节 13.2.6.3），工程施工运营对保护区内及工程附近的褐马鸡、苍鹰、雀鹰、松雀鹰、赤腹鹰、红隼、游隼、红脚隼、普通夜鹰等鸟类影响很小，在采

取禁止夜间施工的保护措施后，对长耳鸮、雕鸮、毛脚鱼鸮和纵纹腹小鸮等夜行性鸟类的影响可以得到进一步减免。在采取宣传教育、禁止捕猎和划限制施工范围等预防和减缓措施后，对可能出现于项目区附近金钱豹、原麝、青鼬、豹猫、东北刺猬等保护兽类的影响有限，故工程建设运营对山西管头山省级自然保护区的影响很小。

13.3.3 山西人祖山省级自然保护区的影响

古贤工程建设及运行影响区域距山西人祖山省级自然保护区均较远，不会影响保护区的植被及陆生动物，对人祖山省级自然保护区无影响。

13.4 生态保护红线影响分析

13.4.1 工程涉及生态保护红线基本情况

根据与陕西省自然资源厅关于古贤用地压占生态保护红线范围比对分析，古贤工程施工布置范围不涉及生态保护红线，库区淹没区共涉及生态保护红线 3953.829hm²，包括黄土丘陵沟壑水土流失防控生态保护红线、陕西延川黄河蛇曲国家级地质公园和陕西清涧无定河曲流群省级地质公园。陕西省自然资源厅出具了《关于对黄河古贤水利枢纽工程用地压占生态保护红线情况的复函》对此进行了确认。

根据与山西省自然资源厅关于古贤用地压占生态保护红线范围比对分析，古贤工程共涉及山西省生态保护红线 2396.2056hm²，均处于库区淹没范围。主要为永和黄河蛇曲国家地质自然公园自然保护地和一般生态保护红线（黄土丘陵沟壑水土流失）。山西省自然资源厅出具《关于对黄河古贤水利枢纽工程用地范围压占生态保护红线情况的复函》（晋自然资函〔2022〕575 号）对此进行了确认。

13.4.2 生态保护红线的要求

根据中共中央办公厅国务院办公厅 2019 年 10 月印发的《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》，生态保护红线内，自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动，其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规前提下，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动，主要包括：……必须且无法避让、符合县级以上国土空间规划的线性基础设施建设、防洪和供水设施建设与运行维护……。

根据 2022 年 8 月印发的《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，“生态保护红线管控范围内有限人为活动，涉及新增建设用地、用海用岛审批的，在报批农用地转用、土地征收、海域使用权、无居民海岛开发利用时，附省级人民政府出具符合生态保护红线内允许有限人为活动的认定意见；不涉及新增建设用地、用海用岛审批的，按有关规定进行管理，无明确规定的由省级人民政府制定具体监管办法。上述活动涉及自然保护地的，应征求林业和草原主管部门或自然保护地管理机构意见。”“上述允许的有限人为活动之外，确需占用生态保护红线的国家重大项目……按规定由自然资源部进行用地用海预审后，报国务院批准。”“占用生态保护红线的国家重大项目，应严格落实生态环境分区管控要求，依法开展环境影响评价。”

根据陕西省自然资源厅《关于古贤水利枢纽工程占用生态保护红线的意见》（陕自然资规函〔2022〕20 号文）：“古贤水利枢纽工程符合允许占用生态保护红线的国家重大项目，在确实难以避让的情况下，可以占用生态红线，但是要严格按照相关规定办理用地审批手续。”根据山西省自然资源厅《关于古贤水利枢纽工程占用生态保护红线的意见》（晋自然资呈〔2022〕252 号文）：“该项目属于党中央、国务院发布文件或批准规划中明确具体名称的项目，符合允许占用生态保护红线的国家重大项目类型，在确实难以避让的情况下，可以占用生态保护红线，并严格按照相关规定办理用地审批手续”。

13.4.3 生态保护红线影响分析

古贤水利枢纽工程是黄河历次重要规划确定的干流七大骨干枢纽之一，在黄河水沙调控体系中具有承上启下的战略地位，是保障黄河长治久安不可替代的战略工程。工程的开发任务是以防洪减淤、调水调沙为主，兼顾供水灌溉和发电等综合利用。属于生态保护红线内允许建设的项目类型。目前已办理完成用地预审手续，陕西省自然资源厅与山西省自然资源厅均认为古贤工程符合允许占用生态保护红线的国家重大项目类型，在确实难以避让的情况下，均同意可以占用生态保护红线，并提出了相应的管控要求。工程与生态保护红线管理要求相符合。

古贤库区涉及陕西延川黄河蛇曲国家级地质公园、陕西清涧无定河曲流群省级地质公园、山西永和黄河蛇曲国家地质公园，工程将会淹没地质公园部分土地，其中陕西延

川黄河蛇曲国家级地质公园淹没土地面积为 19.45km²，以草地和林地为主，陕西清涧无定河曲流群省级地质公园淹没土地面积为 61.28km²，以草地和水体滩地为主，山西永和黄河蛇曲国家地质公园淹没土地面积为 32.00km²，以草地、林地和耕地为主，由于工程淹没区植被主要为灌丛和草地，周边均有分布，故对植被及植物资源影响不大。工程对地质景观影响见相关专题报告。

工程库区涉及黄土丘陵沟壑水土流失防控区，工程运行后库周生态用水量必将增加，会促进区域植被发生正向演替，增加植被覆盖度及生物量，可降低该区域的水土流失强度，有利于区域生态环境改善。

13.5 陆生生态保护措施

根据《环境影响评价技术导则 生态影响》(HJ19-2022)，根据陆生生态实际影响情况提出了避让、减缓、修复、补偿研究等措施，其中避让措施通过调整工程布置及施工设计，对生态环境敏感区进行避让，减缓措施主要针对施工占地及陆生动植物的保护提出生态影响减缓措施，修复措施包括临时占地修复、永久占地绿化及消落带修复等措施，补偿措施主要针对公益林的占压进行补偿，同时提出局地气候和生态环境的影响研究措施。此外，本评价提出了古树名木保护措施及地质灾害影响保护措施，明确了各项措施的实施主体、实施期限及实施内容。

13.5.1 避让措施

根据现场调查，原工程设计内容皮带机线路、施工生产生活区及施工进场道路等区域涉及山西人祖山省级自然保护区、管头山省级自然保护区以及壶口瀑布风景名胜区（山西）一级区，为最大程度减少工程对生态敏感区的影响，环评单位积极与工程设计单位沟通，在工程布置及施工布置中避开工程区域涉及的自然保护区、风景名胜区等，设计单位采纳了环评建议，对工程布置进行了调整。

（1）皮带机线路调整

原工程可研报告中，本工程皮带机线路穿越山西管头山省级自然保护区实验区、缓冲区和核心区。根据《自然保护区条例》的相关要求，评价提出对皮带机线路进行调整，经多次沟通，可研编制单位调整了皮带机线路方案，调整后的皮带机线路布置在自然保

护区之外，避开了自然保护区。

（2）施工进场道路调整

原工程可研报告中工程施工进场道路涉及山西人祖山、管头山省级自然保区以及壶口瀑布风景名胜区（山西）一级区，在进场道路施工及运营过程中将对自然保区及风景名胜区产生不利影响。据此环评提出优化调整进场道路线路的建议，避开环境敏感区域，调整后的进场道路不涉及自然保护区，同时避开风景名胜区一级区。

（3）施工生活区、渣场布置调整

为减少对黄河壶口风景名胜区陕西侧的影响，优化了坝址区施工生活区、渣场及炸药库的布置，取消了黄河壶口风景名胜区（陕西）范围的3号渣场、4号渣场布置，将坝址区4号施工生活区调整至黄河壶口风景名胜区（陕西）范围之外。

（4）工程布置形式调整

为了尽量减少对黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）的影响，在进场道路与皮带机线路无法避让风景名胜区的情况下，均将其设计成隧洞形式。

13.5.2 减缓措施

为减缓施工占地、施工扰动、施工机械及施工人员活动等对占地、植被及陆生动物的影响，针对施工区域、皮带机线路区、料场及渣场等区域提出生态影响减缓措施。

1. 占地影响的减缓措施

（1）在位于坝址区和坝址下游的（大坝、生产生活区、渣场区、交通道路两侧）等施工区周围设置施工围挡，施工车辆、人员必须在施工范围内活动，严禁随意扩大扰动范围；

（2）坝址区主体工程施工前剥离表层土，并集中堆放，施工过程中采用临时围挡减少影响范围，同时做好护坡给排水，防止因坍塌及冲刷间接扩大影响区域，临时占地区施工结束后表层土回填；

（3）坝址区、料场区及皮带机线路区施工生活营地施工前回收耕植土，占地前要剥离地表30cm的表土层集中堆放，表层土堆放设置临时护坡及排水沟，并加盖防尘网，施工完成后对临时占地区进行清理、平整，有坡度区域修筑种植槽；

（4）施工临时道路施工前，表土进行剥离堆放，临时道路结束后进行恢复平整；

(5) 施工时对各渣场采取拦挡措施，保持水土，防止坍塌，施工结束后对渣场边坡进行护坡。

2. 植被影响减缓措施

(1) 在料场、渣场、皮带机线路区等天然植被较好的区域，设置植物保护警示牌，保护植被与野生动物栖息生境；

(2) 严禁随意砍伐和破坏施工区以外的各种野生植被，特别要防止借工程建设之机大肆砍伐林木事件的发生，在工程施工过程中，重视对现有林地植被的保护，在施工区竖立防火警示牌，预防火灾发生；

(3) 工程施工时若发现有重点保护野生植物，应立即上报相关部门，并在管理部门的指导下采取就地或移栽的保护措施。

具体措施见表 13.5.2-1。

表 13.5.2-1 野生植物保护措施表

序号	措施名称	措施内容	数量	具体实施情况
1	施工隔离	限定施工范围，在各工程施工区、生产生活区周边及道路两侧打桩拉隔离绳或隔离网	约 20km	在限定区域边界打 1m 高木桩，拉隔离线绳或隔离网
2	生态保护宣传教育	1.施工区附近环境敏感区分布情况；2.周边环境敏感区内珍稀保护野生植物认知学习；3.野生植物保护教育	2 次	第 1 次安排在施工开工前，建设单位安排地点，第 2 次安排在施工高峰期，地点在各生活营地；
		野生植物保护宣传栏措施	20 个	宣传栏安置在各施工生活营地
3	警示牌措施	设置野生植物保护警示牌，禁止滥砍滥伐	50 块	各施工区、料场、渣场及生产生活区 1 到 2 个，进场道路及皮带机沿线桥梁与隧洞口附近 7 至 14 个。
4	表层土保护措施	施工前表层土剥离保护	810.38h m ²	各施工占地区在施工前应剥离表层土集中堆放备用

3. 动物影响减缓措施

(1) 广泛开展宣传教育，施工单位进入施工区域之前对施工人员进行培训教育，加强对施工人员生态保护的宣传教育，对各施工生活区、业主营地及西磴口骨料场区生活营地等施工及管理人员集中的区域设置野生动物保护宣传栏，印制重点保护野生动物图册分发给施工人员，识别保护动物；

工程开工前，由工程建设单位在施工区及库区周边村镇（如古贤村、文城乡等）进行宣传教育，采用黑板报、张贴标语、宣传车等方式宣传有关野生动物的知识及保护意义，与周边居民相互监督，保护野生动物栖息环境。

(2) 限定施工范围，保护栖息环境，工程施工前应划定施工范围，减少施工区以

外野生动物栖息与觅食环境的破坏，并且在料场区、渣场区、皮带机线路隧洞口附近等区域设置野生动物保护警示牌；

(3) 控制施工噪声，施工道路全线禁止鸣笛，设置禁止鸣笛标识牌。隧洞施工及骨料开采尽量避免采用高噪音的爆破施工；

(4) 禁止捕猎，依法保护野生动物，制定生态环境保护制度，把施工人员的活动限制在施工占地及周边地区，禁止任何人员偷猎野生动物；把是否出现违犯《中华人民共和国野生动物保护法》事件列入工程是否合格的考核标准；禁止捕捉黑斑侧褶蛙、丽斑麻蜥、王锦蛇、黄脊游蛇、白条锦蛇、虎斑颈槽蛇、刺猬、雉鸡、灰斑鸠和珠颈斑鸠等野生动物，同时杜绝破坏动物巢穴、捕捉动物幼体等行为；禁止施工及管理人员向附近村民购买和在附近不法餐馆食用野生动物；在施工过程中，如发现受伤或死亡个体应及时上报林业部门进行处置，不得私自倒卖、食用；

(5) 施工前对施工区野生动物进行驱赶，在施工过程中发现野生动物在施工区附近活动，应做好驱赶工作，避免对其造成伤害；

(6) 根据库周重点保护动物分布情况，在水库蓄水时派出巡护人员沿岸进行巡视，遇到受困的豹猫、东北刺猬等野生动物及其幼体及时采取救助措施。

具体措施见表 13.5.2-2。

表 13.5.2-2 野生动物保护措施表

序号	措施名称	措施内容	数量	具体实施情况
1	野生动物保护宣传教育	1.野生动物保护的目的地和意义, 2.区域野生动物知识识别学习, 3.野生动物保护知识学习, 4.野生动物保护相关法律学习	2 次	第 1 次安排在施工开工前, 建设单位安排地点, 第 2 次安排在施工高峰期, 地点在各生活营地;
		野生动物宣传栏措施	20 个	宣传栏安置在各施工生活营地
2	重点野生保护动物图册发放	野生保护动物认知学习	15000 册 (参考施工高峰期人数)	把印有分布于评价区的重点野生保护动物的图册发放给施工人员, 并安排专人讲解说明
3	警示牌措施	设置野生动物保护警示牌, 禁止捕捉、猎杀	50 个	各施工区、料场、渣场及生产生活区 1 到 2 个
		禁止鸣笛标志牌	7 个	进场道路沿线七个桥梁位置设置 7 块

13.5.3 修复措施

为最大程度减少施工临时占地对植被的影响，评价分别在料场区、渣场区、施工生产生活区及施工进场道路等区域提出植被的恢复措施，具体措施如下。

1. 植被修复的目标及要求

对工程临时占地，要及时进行植被修复。根据《土地复垦条例》、《土地复垦技术

标准》等规定，结合当地实际，植被修复目标和要求如下：

- (1) 恢复植被和土壤，保证一定的植被覆盖度和土壤肥力；
- (2) 维持物种种类和组成，保护生物多样性；
- (3) 实现生物群落的恢复，提高生态系统的生产力和自我维持力；
- (4) 应综合考虑物理（非生物）方法、生物方法和管理措施，边施工、边修复。
- (5) 土地复垦率（已复垦的土地面积与被破坏的土地面积之比）应达到 90% 以上，耕（园）地土地复垦率达 100%。
- (6) 复垦后土地在条件允许情况下，应优先复垦为耕地或农用地。
- (7) 复垦后地形地貌与当地自然环境和景观相协调。

2. 植被修复技术标准

根据《土地复垦质量控制标准》（TD/T1036-2013）中黄土高原区土地复垦质量控制标准，结合《高标准基本农田建设标准》（TD/T-1033-2012），按照两者中较高标准，制定本工程农用地复垦标准：

(1) 耕地复垦标准

①水浇地

地面坡度 $\leq 15^\circ$ ，平整度为田面高差 $\pm 5\text{cm}$ 内，有效土层厚度 $\geq 80\text{cm}$ ，土壤容重 $\leq 1.4\text{g/cm}^3$ ，土壤质地为壤土至粘壤土，砾石含量 $\leq 5\%$ ，pH 值在 6.5~8.5 之间，有机质含量 $\geq 0.8\%$ ，配套设施到达到当地各行业工程建设标准要求，五年后地块的产量要达到周边地区同等土地利用类型水平。

②旱地

地面坡度 $\leq 25^\circ$ ，有效土层厚度 $\geq 80\text{cm}$ （土石山区 $\geq 30\text{cm}$ ），土壤容重 $\leq 1.45\text{g/cm}^3$ ，土壤质地为壤土至粘壤土，砾石含量 $\leq 10\%$ ，pH 值在 6.5~8.5 之间，有机质 $\geq 0.5\%$ ，电导率 $\leq 2\text{ds/m}$ ，配套设施到达到当地各行业工程建设标准要求。

(2) 林地复垦标准

①有林地

有效土层厚度 $\geq 30\text{cm}$ ，土壤容重 $\leq 1.5\text{g/cm}^3$ ，土壤质地为砂土至砂质粘土，砾石含量 $\leq 25\%$ ，pH 值在 6.0~8.5 之间，有机质 $\geq 0.5\%$ ，配套设施（道路）到达到当地本行业工

程建设标准要求，郁闭度 ≥ 0.30 ，定植密度满足《造林作业设计规程》（LY/T1607）要求。

②灌木林地

有效土层厚度 $\geq 30\text{cm}$ ，土壤容重 $\leq 1.5\text{g/cm}^3$ ，土壤质地为砂土至砂质粘土，砾石含量 $\leq 25\%$ ，pH 值在 6.0~8.5 之间，有机质 $\geq 0.5\%$ ，配套设施（道路）达到当地本行业工程建设标准要求，郁闭度 ≥ 0.30 ，定植密度满足《造林作业设计规程》（LY/T1607）要求。

③其他林地

有效土层厚度 $\geq 30\text{cm}$ ，土壤容重 $\leq 1.5\text{g/cm}^3$ ，土壤质地为砂土至砂质粘土，砾石含量 $\leq 25\%$ ，pH 值在 6.0~8.5 之间，有机质含量 $\geq 0.5\%$ ，配套设施（道路）达到当地本行业工程建设标准要求，郁闭度 ≥ 0.2 ，定植密度满足《造林作业设计规程》（LY/T1607）要求。

（3）草地复垦标准

①人工牧草地

地面坡度 $\leq 20^\circ$ ，有效土层厚度 $\geq 40\text{cm}$ ，土壤容重 $\leq 1.4\text{g/cm}^3$ ，土壤质地为壤土至粘壤土，砾石含量 $\leq 10\%$ ，pH 值在 6.5~8.5 之间，有机质含量 $\geq 0.5\%$ ，覆盖度 $\geq 30\%$ ，配套设施达到当地各行业工程建设标准要求，五年后地块的产量要达到周边地区同等土地利用类型水平。

②其他草地

有效土层厚度 $\geq 30\text{cm}$ ，土壤容重 $\leq 1.5\text{g/cm}^3$ ，土壤质地为砂土至壤粘土，砾石含量 $\leq 15\%$ ，pH 值在 6.0~8.5 之间，有机质含量 $\geq 0.3\%$ ，覆盖度 $\geq 30\%$ ，配套设施达到当地各行业工程建设标准要求，五年后地块的产量要达到周边地区同等土地利用类型水平。

③生物和化学措施标准

复垦生物化学措施包括栽种乔木、灌木、草籽以及培肥工程，其设计标准如下：

复垦乔木树种主要包括新国槐，栽植密度为 2500 株/hm^2 （行株距 $5\text{m} \times 5\text{m}$ ），灌木主要种植沙棘、碧桃，种植密度 5000 株/hm^2 （行株距 $2\text{m} \times 2\text{m}$ ），撒播草籽主要包括紫花苜蓿、黑麦草混播等，混撒比例为 1:1，撒播密度为 50kg/hm^2 。坡地上撒播爬山虎。

由于复垦后农用地表土扰动严重，土壤肥力下降，为了迅速提高土壤肥力，在耕地和林草地种植前追施肥料，肥料选择商品有机肥，结合《青海省土地开发整理工程建设标准》，施肥标准为耕地 200kg/亩，林草地 80kg/亩。

3. 植被修复措施

(1) 临时占地植被修复措施

依据《全国生态功能区划》和《全国主体功能区规划》，区域主要生态发展方向为生态治理与水土保持，工程建设完成后不仅要进行植被恢复，而且要开展工程区域生态治理，做好水土保持工程措施和植物恢复措施，植被恢复尽量利用当地原有物种，尽量使物种多样化，避免单一，保护原有生态系统和物种多样性，乔木和灌木采用种植幼苗的方式，植草恢复采用播撒草籽的方式。依据《土地复垦质量控制标准》(TD/T1036-2013)和《高标准基本农田建设标准》(TD/T-1033-2012)，结合古贤工程周边生态环境实际情况，本项目临时占地植被修复设定乔木种植密度：株行距 2m×3m，Φ60cm 穴状整地，灌木种植密度：株行距 1.5m×1.5m，Φ30cm 穴状整地，植草：撒播植草，种植密度，草籽 60kg/hm²。

其中乔木株距和行距均为 3m，灌木株距和行距均为 1.5m。

①弃渣场恢复措施

坝址区 1 号、2 号和 3 号弃渣场占地类型为林草地，堆渣结束后，对弃渣场顶面进行平整，种植乔木、灌木和草，坡面网格护坡种草。乔木以国槐、侧柏为主，灌木以紫穗槐、黄杨为主，草以白羊草为主。

西硃口料场弃渣场占地类型为灌丛草地，渣场结束后进行绿化。顶面种植乔木、灌木和草，坡面网格护坡种草，灌木以紫穗槐、黄杨为主，草以白羊草为主。

进场道路及皮带机线路区共设弃渣场 13 个，占地类型为林、草地。堆渣结束后，对弃渣场顶面进行平整，顶面种植乔木、灌木和草，坡面网格护坡种草，乔木以刺槐、侧柏为主，灌木以紫穗槐、黄杨为主，草以白羊草为主。

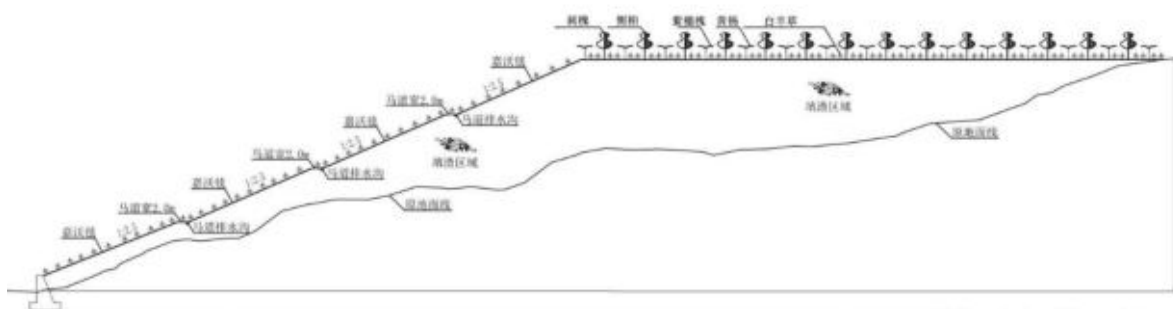


图 13.5.3-1 弃渣场典型工程生态修复工程设计图

②料场区

西磴口人工骨料场占地类型为草地和灌木林。施工结束后，进行人工覆土，料场边坡种植小乔木+攀缘植物的方式绿化，其中攀缘植物选用爬山虎，小乔木选择侧柏。根据区域适生灌草，采取撒播灌草方式绿化，灌木选用紫穗槐、黄杨混合种籽，草种选用白羊草。

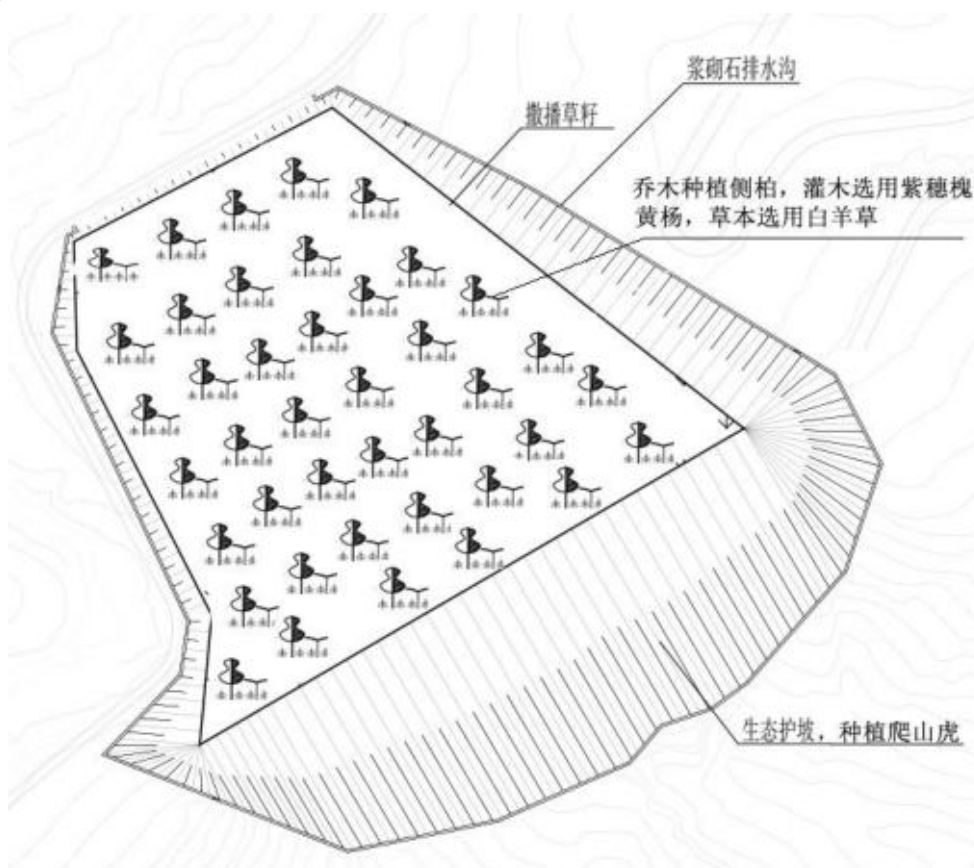


图 13.5.3-2 料场生态修复工程设计图

③交通道路区

交通道路包括永久道路和临时道路。库区外临时道路，占地类型主要为灌木林地，施工结束后需要恢复灌木林地。在施工前进行表土剥离，并集中堆放，施工后回覆。施工结束后恢复林地，种植乔木、灌木和草本。永久道路两侧各种植一排行道林，行道林选择树种为大叶女贞、刺槐、杨树、侧柏。

④施工生产生活区

施工生产生活区占地类型主要为灌木和草本。在施工结束后，采取植被恢复工程，种植乔木、灌木和草进行植被恢复，其中乔木种植密度：株行距 2m×3m，Φ60cm 穴状整地，灌木种植密度：株行距 1.5m×1.5m，Φ30cm 穴状整地，植草：撒播植草，种植密度，草籽 60kg/hm²。

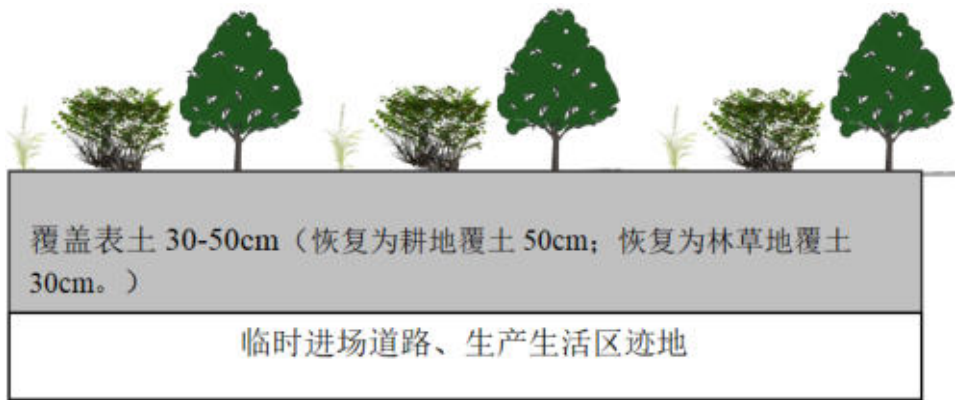


图 13.5.3-3 临时进场道路、生产生活区植被修复工程设计示意图

2) 永久占地恢复措施

对坝肩高边坡采取高次团粒客土喷播技术进行恢复绿化。

导流洞出口、大坝枢纽建筑物工程区进行土地整治措施，采取种植乔木、灌木和草进行绿化。

在工程永久办公生活区围墙周边选取当地的优势植物群落进行绿化，种植常绿乔木进行绿化，树种选用侧柏、刺槐、雪松、广玉兰等。在办公房周边种植低矮灌木进行美化，选用黄杨球、紫叶小檗等。办公院内绿地内铺设羊草草坪，并种植杜鹃花、黄刺玫等加以点缀，道路两侧种灌木（大叶黄杨）绿篱。

4. 消落带生态修复措施

古贤水库的消落带主要为峡谷型消落带，面积较小，坡度陡峭，依据消落带区地形地貌及土壤分布分析，消落区大部分区域多为基岩，不具备生态修复条件，但在部分沟

叉内的一些区域，坡度比较平缓，土层较厚，具有植被生长条件，可进行典型区域消落带生态治理。参考三峡库区消落带植物修复的分区原则，古贤水利枢纽工程消落带修复区分为 627m~630m 正常蓄水位以上 3m 区域、620m~627m 消落带上段、610m~620m 消落带中段、588m~610m 消落带下段，依据水库运营调度情况，正常运行期，588m 以下至死水位 588m 消落带一年中有 231 天以上处在水面以下，基本不具备治理条件。

本工程消落带修复选择的典型区为清涧县无定河口（右岸）、延川县延水关镇（右岸）、延长县延河（右岸）、柳林县三川河河口、石楼县前山乡（左岸）和大宁县昕水河 6 个区域。具体实验区面积、高程及坡度范围见表 13.5.3-1。

治理方式主要采用人工植被生态修复：①620m~627m 消落带上段主要种植酸枣、柽柳等。②610m~620m 消落带中段主要种植柽柳、狗牙根等；③588m~610m 消落带下段主要种植稗草、狗牙根及芦苇等耐水淹的植物。

表 13.5.3-1 古贤水利枢纽工程消落带修复实验区植被恢复措施表

修复地点	面积 (亩)	高程范围 (m)	坡度范围(度)	植物材料	种植方法	材料来源
清涧县无定河实验区	89.79	600~625	0~10	枣树、旱柳、柽柳、狗牙根及芦苇	消落带上部种植柽柳幼苗，行距为 5m，林下地面及消落带中下部种植狗牙根及芦苇，采用直接播草籽，播种量为 150kg/hm ² 。	市场购买
延川县延水关镇实验区	83.86	588~627	0~20	刺槐、旱柳、酸枣、柽柳、狗牙根及芦苇	消落带上部种植酸枣幼苗，行距为 5m，林下地面及消落带中下部种植狗牙根及芦苇，采用直接播草籽，播种量为 150kg/hm ² 。	市场购买
延长县延河实验区	92.15	600~627	0~15	刺槐、侧柏、旱柳、柽柳、狗牙根、稗草及芦苇	消落带上部种植柽柳、酸枣幼苗，行距为 5m，林下地面及消落带中下部种植狗牙根、稗草及芦苇，草籽采用撒播，播种量为 150kg/hm ² 。	市场购买
柳林县三川河河口实验区	98.44	620~630	0~5	杨树、旱柳、沙棘、柽柳、狗牙根	消落带上部种植酸枣、柽柳幼苗，行距为 5m，林下地面及消落带中下部种植狗牙根，草籽采用撒播，播种量为 150kg/hm ² 。	市场购买
石楼县前山乡实验区	67.02	588~627	0~25	刺槐、侧柏、旱柳、沙棘、柽柳、狗牙根、稗草及芦苇	上部种植酸枣、柽柳幼苗，行距为 5m，林下地面及消落带中下部种植狗牙根、稗草及芦苇，草籽撒播，播种量为 150kg/hm ² 。	市场购买
大宁县昕水河实验区	94.14	588~627	0~20	刺槐、柽柳、狗牙根、稗草及芦苇	上部种植酸枣、柽柳幼苗，行距为 5m，林下地面及消落带中下部种植狗牙根、稗草及芦苇，草籽采用撒播，播种量为 150kg/hm ² 。	市场购买

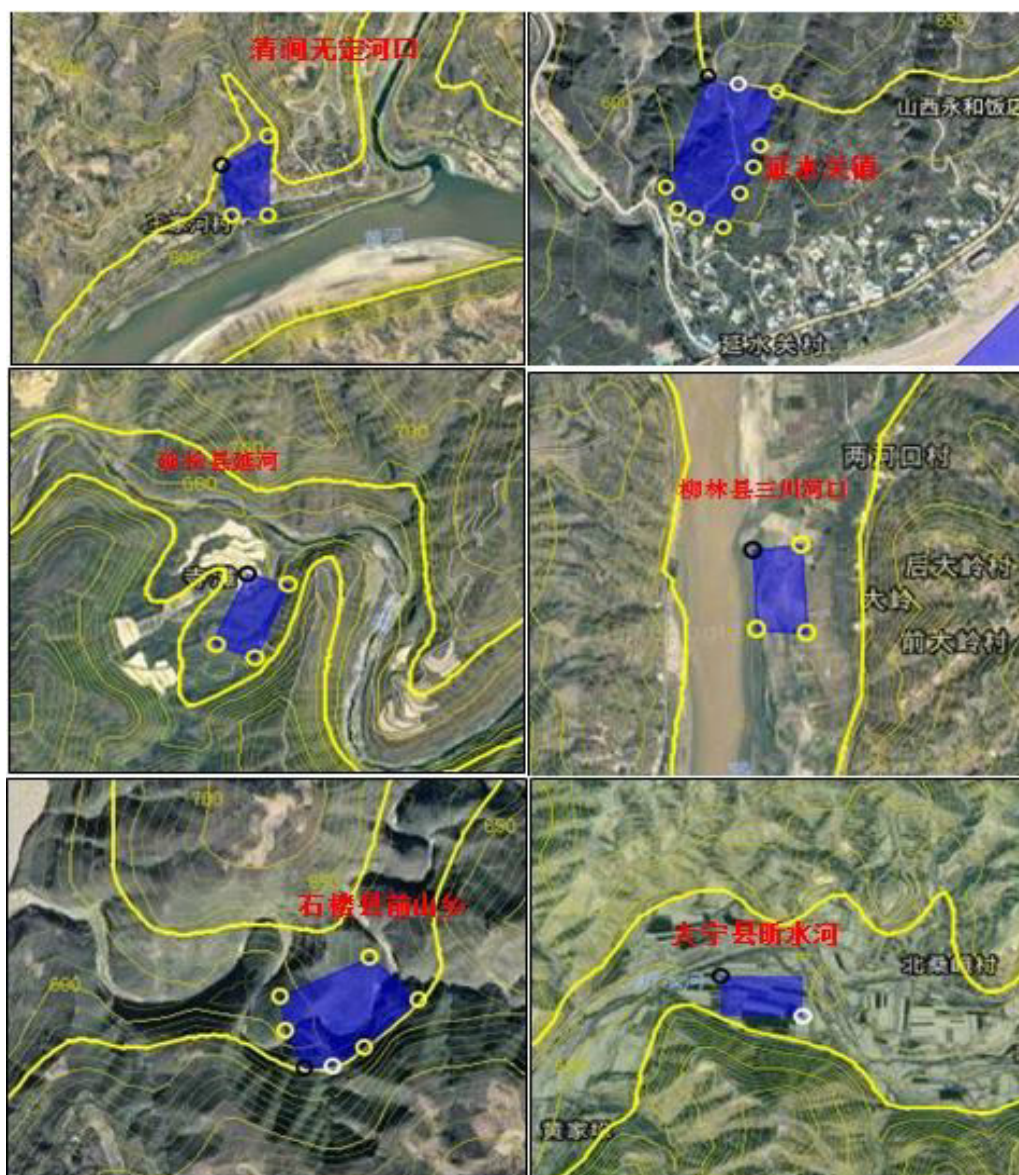


图 13.5.3-1 消落带生态修复区试点

13.5.4 生态敏感区保护措施

生态敏感区保护措施主要包括限定施工范围、禁止采掘和猎杀野生动植物、降低施工噪声、洒水降尘及禁止夜间施工等。

(1) 限定施工及施工人员活动范围，减少对工程周边陆生生态环境的破坏，采取禁止采掘、捕猎等措施，禁止进入临近的自然保护区挖掘野生植物和捕猎金钱豹等陆生动物。

(2) 距离自然保护区较近的进场道路及临近皮带机施工采用低噪音设备，并采用禁止鸣笛，定时洒水降尘，以减少对周边陆生动物的惊扰。

(3) 为减轻长耳鸮、毛脚鱼鸮、纵纹腹小鸮、雕鸮等夜行性鸟类及豹猫、黄鼬、艾鼬、狗獾及刺猬等夜行兽类的影响，进场道路施工区域禁止夜间施工。

13.5.5 古树名木保护措施

对山西侧淹没区分布的 2 棵古树进行移栽，加以保护。具体方案如下：

(1) 移栽地选择及可行性

根据国家相关部门对珍稀植物移栽要求，结合古贤水利枢纽周围环境特点，为了便于后期养护管理，规划将古树移栽至业主营地，不再单独征地。依据移栽要求，乔木移栽时，乔木的土球直径一般按胸径的 6 倍~8 倍，本项目需移栽两株国槐胸径分别为 420cm 和 318cm，一棵树木移栽需占地面积约 200m²，共计 400m²，永久生产生活区可以满足古树移栽需要。

移植区与古树目前所在区域均位于淹没线以上区域，生态环境相似，环境适宜可行。国槐蝶形花科槐属植物，树木自身适应能力强，移植成活可能性大。尽管其生活年龄较长，对其移植造成一定困难，在做到足够的保护措施（如断根以增加呼吸作用、去叶以降低蒸腾作用等）下，其移植成活率较高。

(2) 移栽时间选择

根据古贤水利枢纽蓄水进度安排，古树必须在水库开始蓄水前移栽完毕。

(3) 古树移栽方法

古树移植必须由林业专家指导，按专家要求进行，并要作好以下工作：掌握古树生物特性、生态习性、古树来源地、种植地的土壤等环境因素。准备好必须的机械设施（如吊车、平板运输车等）、人力及辅助材料，并实地勘测行走路线，制定出详细的起运栽植方案。预先进行疏枝、短截及树干伤口处理（涂白调合漆或石灰乳），以及栽植地树穴处理（如树穴除考虑土坨大小外，还要预留出人工坑内作业空间）。

挖掘古树时，首先保证根系少受损伤。第一年，在离胸径 2 倍~3 倍处挖沟，只挖 1/4 圈或 1/3 圈，然后填土，第二年接着挖同样的距离，第三年或第四年挖成一圈，来年即可把圈内土带树根及其古树一起移走，这样可以让树产生大量须根，有利移栽。用吊车吊苗时，钢丝绳与土坨接触面放 3cm 的木块，以防止土坨因局部受力过大而松散。为防止下部枝干折伤，在运输车上要做好支架。栽植深度略深于原来的 2cm~3cm。带

土坨苗木剪断草绳，取出蒲包或麻袋片，边埋土边夯实。裸根树木栽植时，根系要舒展，不得窝根，当填土至坑的 1/2 时，将苗木轻轻提几下，再填土、夯实。库区清理的腐殖土、施工的表土 50cm 运到移栽地，作为移栽的用土。树木栽好后，做好三角支架或铅丝吊桩。支柱与树干相接部分要垫上蒲包片，以防磨伤树皮。

（4）养护管理

古树移植后的养护管理要作以下工作：新移植古树由于根系受损，吸收水分的能力下降，所以保证水分充足是确保树木成活的关键。除适时浇水外，还应根据树种和天气情况进行喷水雾保湿或树干包裹，同时观察当地病虫害发生情况，适时采取预防措施。古树移植后，适当多浇水和注意及时排水。夏季气温高，光照强，移栽后应喷水雾降温，必要时应做遮荫伞；冬季气温偏低，为确保新植古树成活，常采用草绳绕干、设风障等方法防寒。

（5）古树的管理抚育

移栽过程中建立古树档案，包括施工、栽植、管护、运输、病虫害防治、扶壮等，并由林业、居建等部门同时进行跟踪监督，按设计、指定地点进行施工。迁地保护还必须建立追踪制度，保证古树在迁入地得到有效保护。为保证移栽植株成活，必须进行一年的管理抚育。包括浇灌、遮盖、防止病虫害及其它自然的不利因素，防止人为破坏等。

13.5.6 公益林补偿措施

按照《国家级公益林管理办法》规定，“严格控制勘查、开采矿藏和工程建设使用国家级公益林地。确需使用的，严格按照《建设项目使用林地审核审批管理办法》有关规定办理使用林地手续。”“经审核审批同意使用的国家级公益林地，可按照规定实行占补平衡”。古贤工程所涉及国家级公益林全部为集体所有，保护等级为二级。按要求如经审核审批同意使用，需按照增减平衡的原则，补进相同区位、相同面积的国家级公益林，保证国家级公益林面积不减少。

建设单位根据本项目拟占用公益林地情况，根据国家关于公益林地补偿相关规定，向地方缴纳公益林恢复费，专款用于异地公益林修复和养护，达到增减平衡，恢复公益林生态功能。

13.5.7 地质灾害影响保护措施

1. 工程防护措施

根据可研报告，塌岸范围内位于库尾的三交镇等人口密集村庄，采取防护措施为护坡和挡墙。村镇之外多为荒地和少量林草地采取补偿措施。本评价在可研报告成果的基础上，为了更好保护塌岸区生态环境，防治水土流失，提出了以下保护措施：

（1）坡式护岸：采用砌石护岸和植被种植相结合的方式增强库岸的抗冲刷性和稳定性，在适当地段可种植植被，构筑生态型护坡。护坡结构有利于减弱纵向水流和横向环流对库岸的侵蚀，也有利于减小波浪的作用。砌石料应选用抗冲刷和抗风化能力强的新鲜岩石。

（2）墙式护岸：对于可能失稳的岸坡，建议采用挡水墙。挡水墙不仅可以防止水流对岸坡坡脚的冲刷，还可结合挡土墙的要求，起到支撑岸坡岩土体稳定岸坡的作用。

（3）排水工程措施

在对库岸边坡进行整治时，除了防止水对岸坡的冲刷和浪蚀外，还要特别注意采取措施防止地表水对边坡的影响。地表排水一般采用设置外围截水沟的方法。同时，还要对岸坡坡面进行整平夯实，做好岸坡的绿化工作。

（4）黄土状土岸坡防护

因其前缘陡立，常被风浪淘蚀，失稳坍塌。其治理方法是蓄水前在其脚部抛石填渣，使其形成平缓的斜坡，再在其上砌石护坡或修筑挡水防浪墙，阻挡浪蚀。

2. 植被修复措施

结合水土保持工作，对已经坍塌区域，为了防止坍塌和水土流失面积的进一步扩大，在采用削坡、减重反压、设置抗冲刷挡墙等必要的工程措施后，应对坍塌裸露区域进行植被修复措施。由于工程地处黄土高原干旱区域，生态环境脆弱，生态自然恢复能力相对较弱，需进行人工辅助修复，在进行适当地平整后，对塌岸后形成的裸露区域进行必要的植被修复措施，在合适区域通过播撒草籽、栽种等措施进行植被修复。

3. 动物保护措施

坍塌区域主要为耕地和中低盖度荒草地，植物种类相对简单，动物种类也较少，没有重点保护动物和保护植物，具体保护措施见古贤库区动物保护措施，坍塌区不再单独设置动物保护措施。

4. 塌岸区生态环境管理及补偿措施

工程运营单位安排专门人员对库区周边进行定期巡视，发现库区周边塌岸前、塌岸期及塌岸后生态环境变化，进行及时保护。

坍塌前预防措施，对可能坍塌的村镇进行提前搬迁，纳入征地和移民安置。对可能塌岸的耕地及林地等纳入征地范围，并进行合理补偿。工程运行后，除塌岸巡视人员，应避免其他人员进入可能坍塌区域从事生产活动。

坍塌区域管理，结合水土保持及植被修复措施，树立坍塌危险标志，对坍塌区进行定期巡视，查看水土保持及植被修复效果。

13.5.8 开展区域生态环境影响研究

古贤水利枢纽工程地处黄土高原区，区域干旱少雨，古贤水库建成后，库区淹没面积 达 219.16km²，回水长度达 202.1km，将形成大面积的水域，对库区周边气温、降水、日照、湿度、蒸发及周边黄土高原区生态环境等产生一定的影响，鉴于古贤水库所处位置和规模，目前尚没有十分合适的类比对象，建议工程运行后，开展古贤水利枢纽库区局地气候及生态环境演变研究，建立气候气象及生态环境长期监测点位，对比研究古贤水利枢纽工程建库前后库区周边气候、气象及陆生生态环境的演变，分析古贤水利枢纽工程建设对库区及其周边局地气候和生态环境的影响。

13.5.9 陆生生态保护措施汇总

古贤工程陆生生态环境保护措施内容、责任主体及进度时限见表 13.5.9-1。

表 13.5.9-1 古贤水利枢纽工程建设运行生态环境保护措施及其落实要求

措施类别	具体措施	措施内容	责任主体	进度时限
避让措施	骨料皮带机运输线路调整	原工程可研报告中，本工程皮带机线路穿越山西管头山省级自然保护区实验区、缓冲区及核心区。根据《自然保护区条例》的相关要求，评价提出对皮带机线路进行调整，经多次沟通，可研编制单位调整了皮带机方案，调整后的皮带机布置在自然保护区之外，避开了自然保护区。	可研编制单位和初步设计单位	开工建设前完成
	施工进场道路调整	原工程可研报告中工程施工进场道路涉及山西人祖山、管头山省级自然保护区以及壶口瀑布风景名胜区（山西）一级区，在进场道路施工及运营过程中将对自然保区及风景名胜区产生不利影响。据此环评提出优化调整进场道路线路的建议，避开环境敏感区域，调整后的进场道路不涉及自然保护区，同时避开风景名胜区一级区。		
	施工生活区、渣场布置调整	为减少对黄河壶口风景名胜区陕西侧的影响，优化了坝址区施工生活区、渣场及炸药库的布置，取消了黄河壶口风景名胜区（陕西）范围的 3 号渣场、4 号渣场布置，将坝址区 4 号施工生活区调整至黄河壶口风景名胜区（陕西）范围之外。		
	工程布置形式调整	为了尽量减少对黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）的影响，在进场公路和皮带机无法避让风景名胜区的情况下，均将其设计成隧洞形式。		

措施类别	具体措施	措施内容	责任主体	进度时限
减缓措施	占地影响的减缓措施	控制施工范围、保护施工剥离的表层土，施工场地进行平整。	工程建设运行管理单位（施工单位和设计单位配合）	与工程施工同时进行
	植被影响减缓措施	设置植物保护警示牌；严禁随意砍伐和破坏施工区以外的各种野生植被；竖立防火警示牌，预防火灾发生；重点保护植物采取就地或移栽的保护措施。		
	动物影响减缓措施	设置野生动物保护宣传栏，印制重点保护野生动物图册分发给施工人员，识别保护动物；进行宣传教育，采用黑板报、张贴标语、宣传车等方式宣传有关野生动物的知识及保护意义；）限定施工范围，保护栖息环境；依据噪声预测结果控制施工噪声，施工道路全线禁止鸣笛，设置禁止鸣笛标识牌；禁止捕猎；施工前对施工区野生动物进行驱赶。		施工期措施与工程施工同时进行
	生态敏感区保护措施	进场道路及临近皮带机施工采用低噪音设备，止鸣笛，定时洒水降尘，禁止夜间施工。	工程建设运行管理单位	与工程施工同时进行
	古树名木保护措施	委托专业古树移栽单位对山西侧淹没区分布的2棵古树进行移栽。	工程建设运行管理单位	水库开始蓄水前移栽完毕
植被修复措施	临时占地植被修复措施	在383.84hm ² 临时占地区进行植被恢复，乔木和灌木采用种植幼苗的方式，植草恢复采用播撒草籽的方式。其中乔木株距和行距均为3m，灌木株距和行距均为1.5m。	工程建设运行管理单位	临时占地结束后1年内完成
	永久占地恢复措施	对坝肩高边坡采取高次团粒客土喷播技术进行恢复绿化；导流洞出口、大坝枢纽建筑物工程区进行土地整治措施，采取种植乔木、灌木和草进行绿化；在工程永久办公生活区围墙周边种植常绿乔木进行绿化，树种选用侧柏、刺槐、雪松、广玉兰等。在办公房周边种植低矮灌木进行美化，选用黄杨球、紫叶小檗等。办公院内绿地内铺设羊草草坪，并种植杜鹃花、黄刺玫等加以点缀，道路两侧种灌木（大叶黄杨）绿篱。	工程建设运行管理单位	主体工程建同时实施
	消落带生态修复措施	本工程消落带修复选择的典型区为清涧县无定河口（右岸）、延川县延水关镇（右岸）、延长县延河（右岸）、柳林县三川河口、石楼县前山乡（左岸）和大宁县昕水河6个区域，治理方式主要采用人工植被生态修复。	工程建设运行管理单位	工程正常运行阶段至报废前完成
生态补偿措施	公益林补偿措施	建设单位根据本项目拟占用公益林地情况，根据国家关于公益林地补偿相关规定，向地方缴纳公益林恢复费，专款用于异地公益林修复和养护，达到增减平衡，恢复公益林生态功能。	工程建设运行管理单位和公益林管理单位	工程施工结束前完成
地质灾害影响保护措施	工程防护措施	在可研报告成果的基础上，在库尾的三交镇等人口密集村庄区设置坡式护岸、墙式护岸、排水工程措施和黄土状土岸坡防护等工程防护措施。	工程建设运行管理单位	工程蓄水前完成
	植被修复措施	对坍塌区具有植被恢复条件的区域播撒草籽、栽种等措施进行植被修复。	工程建设运行管理单位	出现坍塌后1年个完整年内
	塌岸区生态环境管理及补偿措施	包括库区定期巡视、搬迁措施、树立坍塌危险标志、坍塌区进行定期巡视查看水土保持措施效果。	工程建设运营单位	水库蓄水及运行阶段完成
科学研究措施	生态环境影响研究	开展古贤水利枢纽库区局地气候及生态环境演变研究，建立气候气象及生态环境长期监测点位，对比研究古贤水利枢纽工程建库前后库区周边气候、气象及陆生生态环境的演变，分析古贤水利枢纽工程建设对库区及其周边局地气候和生态环境的影响。	工程建设运行管理单位	工程正常运行阶段至报废前完成

13.6 小结

（1）生态环境现状

工程区域位于黄土高原丘陵沟壑区，水土流失严重，人为干扰强烈。区域植被以自然草地及栽培植被为主，植被覆盖度低，生物多样性差，生态环境脆弱。

评价区主要土地利用类型有草地、耕地、林地、水域及水利设施用地、建设用地和

其他土地，区域内生态系统受人为活动影响较大，草地和耕地为主要土地利用类型，分别占评价区总面积的 47.25% 和 33.46%，林地面积占总面积的 9.75%。水域及水利设施用地、建设用地及其他土地面积较小。

评价区分布有种子植物 93 科 315 属 577 种，其中国家重点保护野生植物 4 种，山西省重点保护野生植物 4 种，极危、濒危、易危种共 4 种，中国特有种 3 种，工程建设区及水库淹没区均未发现重点保护野生植物；受影响的 2 株古树名木分布于山西侧永和县的水库淹没区；区内自然植被状况较差，主要以自然草地、灌丛为主；草丛植被主要为白羊草草丛和蒿类草丛，灌丛植被主要为荆条、酸枣、虎榛子。

评价区内共有陆栖脊椎动物 27 目 59 科 187 种（亚种），主要为小型野生动物。重点保护野生动物 73 种，其中国家一级重点保护野生动物 3 种，国家二级重点保护野生动物 16 种；陕西省重点保护野生动物 8 种；山西省重点保护野生动物 52 种；极危 2 种，濒危种 1 种，易危物种 4 种；中国特有种 1 种。

（2）陆生生态影响分析

施工期，工程施工活动会扰动地表，占压土地，对植被产生一定的破坏，这些区域植被均为本地常见种，植被类型在周边分布广泛，临时占地区植被在施工结束后可以在当年或者次年得到恢复，工程建设对植被影响较小；运营期，水库淹没对植被有一定的影响，淹没植被类型及植物种类为常见种，影响较小。评价区重要保护植物均分布于工程影响范围外的自然保护区内，工程建设运行对其无影响；受影响古树名木 2 株，分布于永和县淹没区，采用移栽措施；评价区受影响公益林 2672.28hm²，全部为国家级二级公益林，在采取相应补偿措施后，影响可以接受。

施工占地区兽类以小型兽类为主，工程施工对其栖息生境形成占压影响，地表植被的破坏减少其食物来源，施工噪声、扬尘也会对其觅食活动产生一定的惊扰，随着施工活动结束，人为干扰消失，部分兽类可以回到原来区域。施工活动会导致区域两栖类和爬行类远离施工区寻找新的栖息地，受影响两栖类和爬行类动物均为当地常见种类，工程施工对两栖类和爬行类影响有限。施工活动会对附近鸟类的栖息地造成一定的破坏，施工区及其附近鸟类数量将会有所减少，由于受影响保护鸟类以猛禽、鸣禽和攀禽为主，这些鸟类觅食范围较广，周边适宜生境广阔，多为本地常见种，在采取加强施工管理、

严禁滥捕滥杀等保护措施情况下，不会对其产生较大影响。

评价区国家级重点保护动物、极危、濒危和易危物种以及中国特有物种主要位于人祖山省级自然保护区、管头山省级自然保护区和库区两侧海拔较高的山林中，工程不直接涉及，对其影响很小；其余省级保护动物主要分布于施工区和淹没区，由于保护动物迁徙性较强，工程施工和淹没会使其向周边区域迁徙，影响较小。水库建成后，库区周边坡度较小区域形成浅滩和湿地，为游禽、涉禽等喜水鸟类的栖息与觅食提供良好条件，有利于该类鸟类在此停留和本地鸟种群的扩大。

（3）陆生生态保护措施

本评价提出进场道路、皮带机线路等工程设计方案调整，避让了两个省级自然保护区和壶口瀑布风景名胜区一级区。

施工占地采取剥离表层土、临时围挡、临时护坡及排水沟、占地区清理平整等减缓措施，结合水土保持，提出临时占地植被恢复和永久占地绿化保护措施；陆生植物保护采取限定施工范围、设置警示牌、禁止乱砍滥伐；2棵古树名木移栽至业主营地；公益林采取增减平衡的补偿措施。

陆生动物保护包括宣传教育、禁止捕猎、进场道路禁止夜间施工、隧洞施工及骨料开采尽量避免采用高噪音的爆破施工、限定施工范围、设置警示牌。加强区域生态环境科学研究等措施。

第十四章 地质公园影响与保护措施

古贤工程涉及黄河蛇曲国家地质公园、黄河壶口瀑布国家地质公园和陕西清涧无定河曲流群地质公园，其中黄河蛇曲国家地质公园（山西侧部分同时也是黄河乾坤湾风景名胜区）位于古贤坝址上游约 50km 处，陕西清涧无定河曲流群地质公园位于古贤坝址上游约 120km 处，水库建成后对地质公园将产生一定淹没影响；黄河壶口瀑布国家地质公园位于古贤坝址下游 10.1km 处，水库运行将对地质公园地质遗迹产生一定影响。本章的主要任务为对工程涉及的地质公园进行全面、细致、客观的调查，从地质遗迹保护与公园发展的角度出发，科学、客观地评价古贤工程建设对地质公园内地质遗迹可能产生的影响，以及对地质公园运营、规划所带来的变化，提出保护及补偿对策方案。

14.1 工作内容及评价技术方法

14.1.1 工作内容

1. 地质公园重要地质遗迹及人文景观现状调查

通过与中国地质环境监测院深度合作，开展陕西延川黄河蛇曲国家地质公园、山西永和黄河蛇曲国家地质公园（同黄河乾坤湾风景名胜区）、陕西省清涧无定河曲流群地质公园重要地质遗迹调查工作，调查重要地质遗迹和人文景观分布与保护情况。

调查壶口瀑布国家地质公园地质遗迹的类型，主要地质遗迹的形成条件。

2. 构建地质公园景观三维可视化系统

委托河南大学地理与环境学院王家耀院士（国内地图制图与地理信息工程学科带头人）团队，对研究区进行高精度地理空间数据的采集及数据库建设，构建黄河蛇曲国家地质公园和陕西省清涧无定河曲流群地质公园的三维地形模型，完成地质公园景观三维可视化系统的设计和开发。

3. 水库淹没对黄河蛇曲地质公园（含黄河乾坤湾风景名胜区）、无定河曲流群地质公园影响分析

分析工程不同时段（拦沙初期、拦沙后期、正常运行期）特征水位对黄河蛇曲地质

公园、无定河曲流群地质公园的淹没影响范围和程度，对各地质公园不同典型水位情况下淹没范围及地质遗迹淹没影响程度进行分析；分析各特征运用水位对公园中典型地质遗迹（乾坤湾、清水湾、伏寺湾、仙人湾、太极湾、鱼儿砦等）淹没情况；分析泥沙淤积对地质遗迹的影响；从地学研究价值、景观生态价值、社会经济价值等方面开展水库淹没前后景观价值影响评估。

4. 黄河壶口瀑布地质公园地质遗迹影响分析

分析工程运行后水沙条件变化对壶口瀑布向源侵蚀、十里龙槽冲刷侵蚀的影响。

5. 地质遗迹保护及补偿对策措施

针对重要地质遗迹、人文景观的景观价值及资源特点，提出地质公园内地质遗迹保护及补偿对策措施。

14.1.2 技术方法

为深入认识工程不同运用水位对地质公园内典型河湾的淹没影响，评价委托河南大学地理与环境学院王家耀院士团队根据黄河蛇曲地质公园相关规划资料，结合古贤水利枢纽开发方案的库区特征水位，主要采取 GIS 与 3D 可视化、VR（虚拟现实技术）、无人机遥感等技术手段，基于 LiDAR 技术构建了涵盖研究区范围 1:2000 比例尺的数字高程模型（DEM）、正射影像图（DOM）以及数字线划图（DLG）等高精度数据成果。其中，DEM 数据中误差在平地不超过 0.2m，在高山地最高不超过 1.5m，DOM 数据中误差在平地不超过 0.6m，在高山地最高不超过 0.8m，基于 skyline 平台创建了黄河蛇曲和清涧无定河曲流群地质公园高度逼真的三维模拟系统（界面如图 14.1-1），实现不同时期、不同水位的淹没影响情况模拟，为古贤工程对地质公园的淹没影响研究提供辅助决策和分析平台。

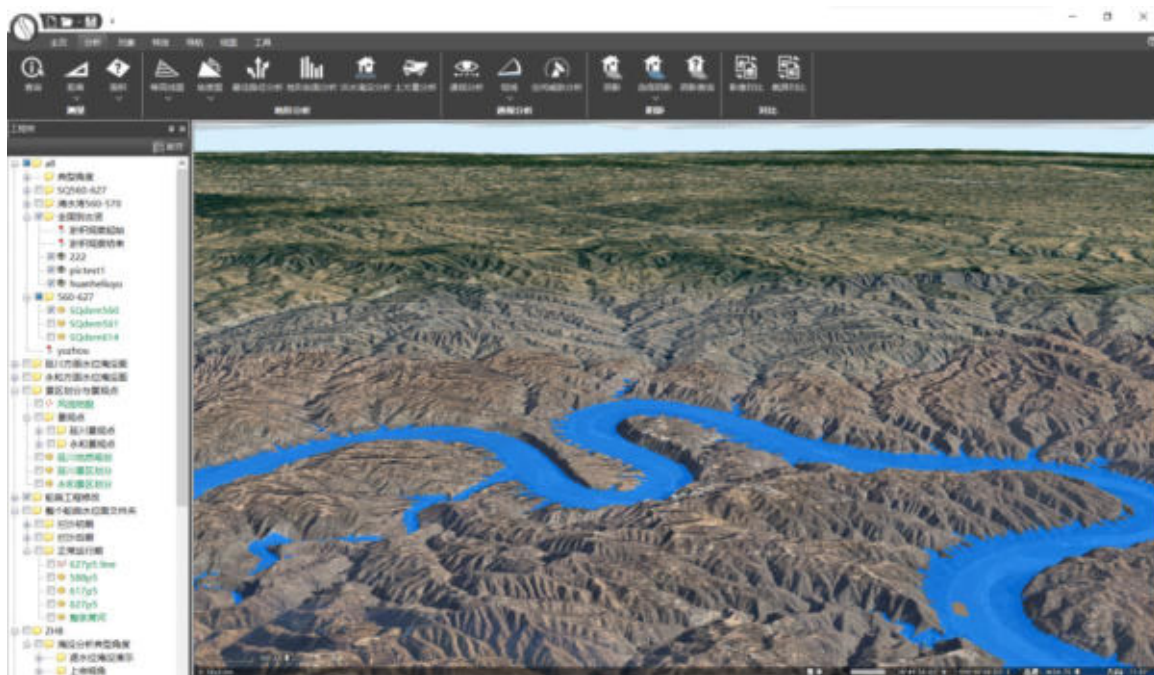


图 14.1.2-1 Skyline Terra Explorer 主界面

现状调查共完成地质遗迹调查面积约 300km²，地质遗迹调查线路约 860km，无人机拍摄 20 余处，采集了地质遗迹点及观测点 60 余个，获取野外典型地质现象照片 1600 余张，动态影像 280 余段。

14.2 古贤水利枢纽与地质公园的位置关系

在古贤库区，自下而上分布有多个河湾，分别是：清水湾(陕)/仙人湾(晋)、乾坤湾(陕)/河汾里湾(晋)、伏寺湾(陕)/郭家湾(晋)、永和关湾(晋)、英雄湾(晋)和太极湾(陕)/天下第一湾(晋)等，涉及陕西省的延川县、清涧县和山西省的永和县、石楼县等，各河湾分布示意见图 14.2-1。这些气势恢宏的河湾，为晋陕大峡谷增添了壮丽的美景。

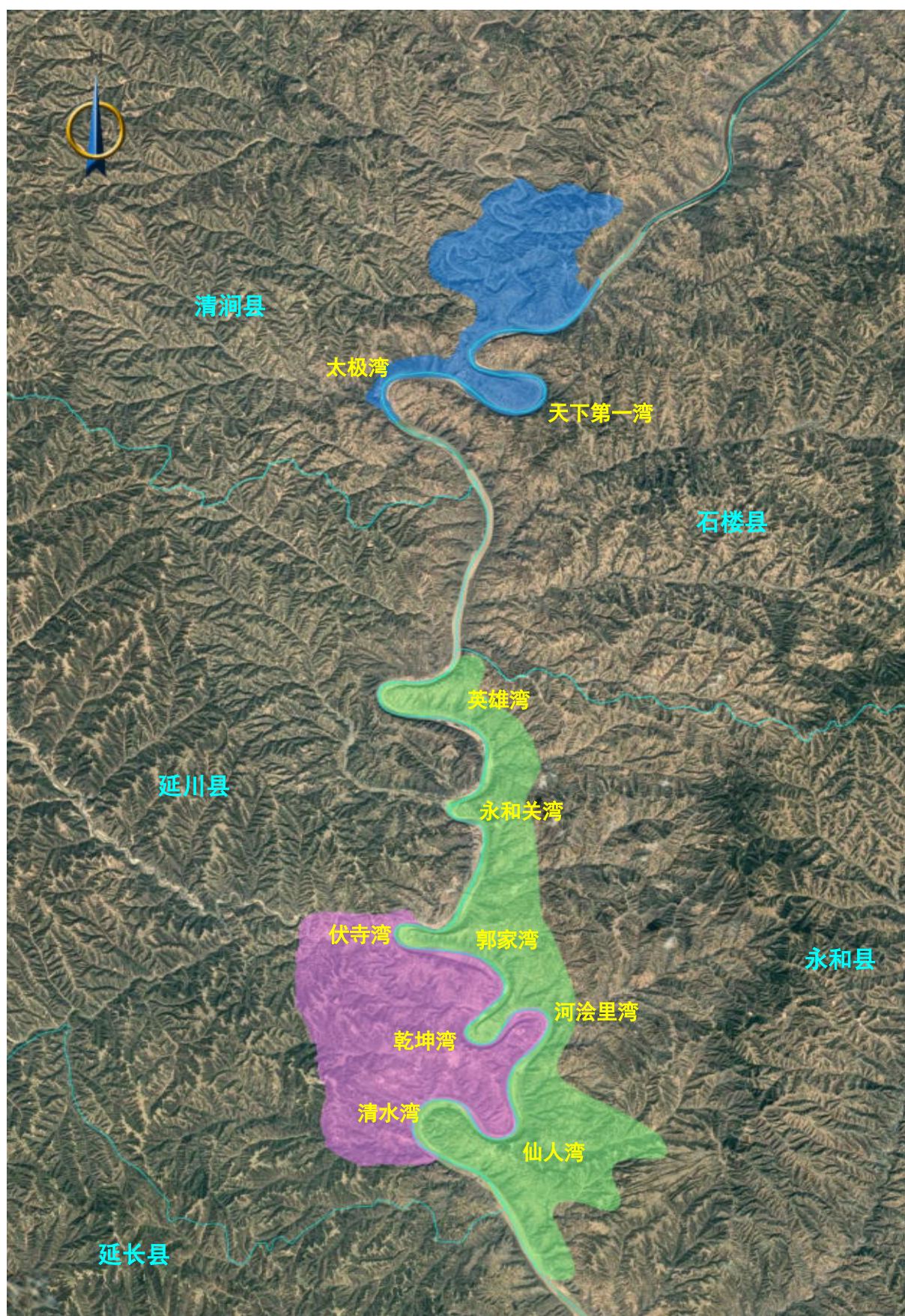


图 14.2-1 古贤库区主要河湾分布示意图

为让更多民众欣赏黄河河湾美景，并保护区域内独特的地质遗迹，国家在陕西延川县和山西永和县分别设立了“陕西延川黄河蛇曲国家地质公园”和“山西永和黄河蛇曲国家地质公园”，面积分别为 86km² 和 105.6km²，以清水湾/仙人湾、乾坤湾/河汾里湾、伏寺湾/郭家湾、永和关湾以及英雄湾为核心地质景观，并将各河湾之间的主要水域和滩地等，划为一级保护区。黄河乾坤湾省级风景名胜区是在山西永和黄河蛇曲国家地质公园基础上划定的省级风景名胜区，其地理位置、面积和界限与永和蛇曲地质公园一致。

位于清涧县和石楼县的“太极湾（陕）/天下第一湾（晋）”，气势和观赏度不亚于“乾坤湾/河汾里湾”，在山西侧并未划定为地质公园，陕西省在无定河入黄口上游设立了“陕西省清涧无定河曲流群地质公园”，其一级保护区也基本沿黄河干流、无定河河道及部分滩地划定。

黄河壶口瀑布国家地质公园位于古贤坝址下游，是 2001 年国土部批准的国家地质公园，总面积 55.89km²。

各地质公园与古贤水利枢纽的关系见表 14.2-1。

表 14.2-1 各地质公园与古贤水利枢纽的关系一览表

名称	核心景观	与古贤工程位置关系	主要影响
陕西延川黄河蛇曲国家地质公园	河流蛇曲地貌和地质构造遗迹	南边界位于古贤工程坝址上游 50km 处，园区内无主体工程、附属工程及施工布置。	古贤工程水库蓄水后的淹没影响
山西永和黄河蛇曲国家地质公园			
黄河乾坤湾省级风景名胜	同山西永和黄河蛇曲国家地质公园		
陕西省清涧无定河曲流群地质公园	河流蛇曲地貌和地质构造遗迹	南边界位于古贤工程坝址上游 120km 处，园区内无主体工程、附属工程及施工布置。	古贤坝址下游水沙条件变化对壶口瀑布、十里龙槽的冲刷侵蚀影响
黄河壶口瀑布国家地质公园	壶口瀑布和十里龙槽	位于古贤工程坝址下游 10.1km 处，园区内无主体工程、附属工程及施工布置。	

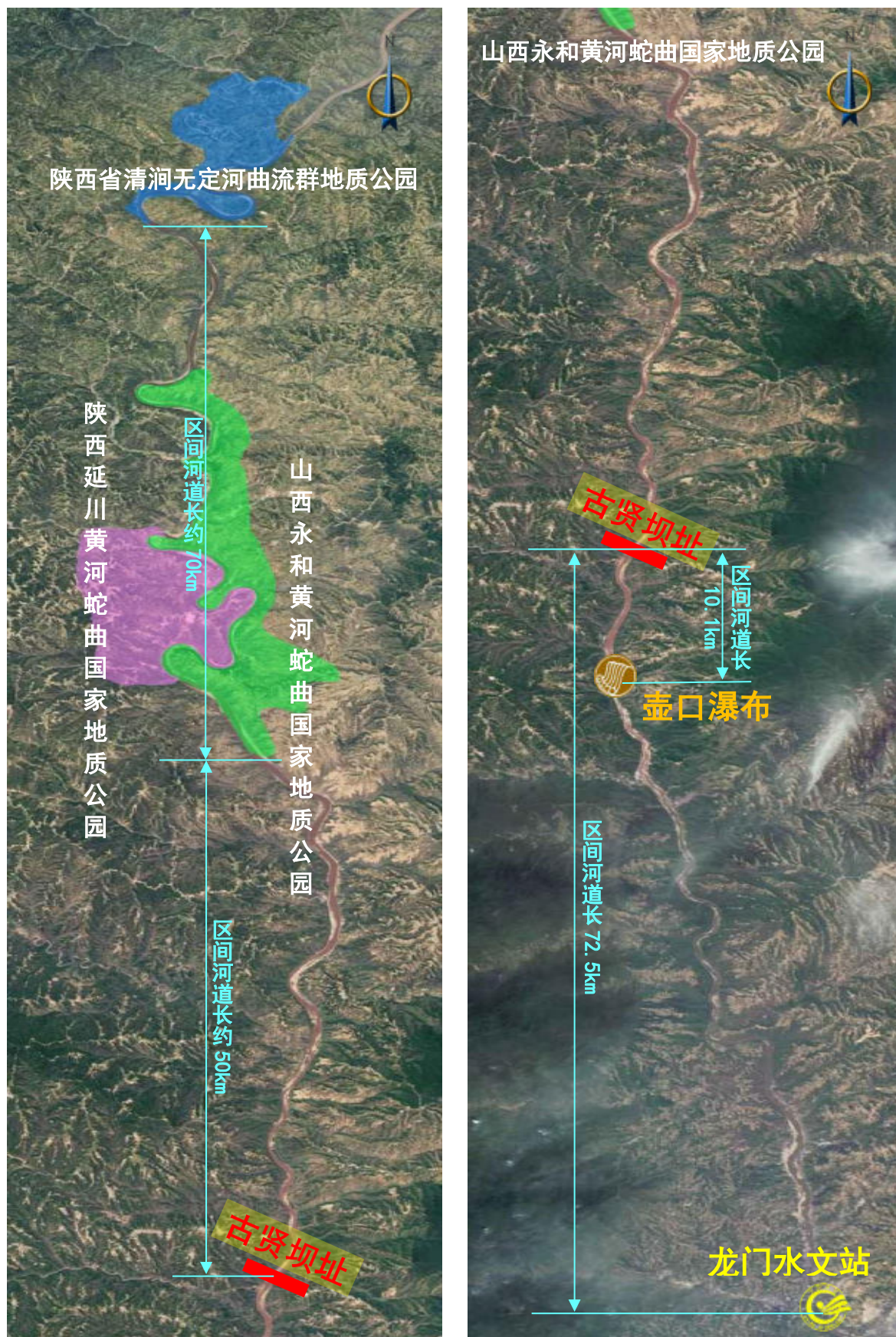


图 14.2-2 古贤工程与地质公园以及壶口瀑布位置关系示意图

14.3 黄河蛇曲国家地质公园

14.3.1 黄河蛇曲地质遗迹概况

14.3.1.1 黄河蛇曲地质遗迹的形成及其科学意义

黄河蛇曲地质遗迹、地形地貌特征系受中、新生代以来的构造运动控制而形成的。在中生代三叠纪末期鄂尔多斯盆地经历过一段较长时期的抬升侵蚀，新生代末塑造成黄土高原内残留的基岩山区、低山山前带盆地边缘区和盆地区三种类型的古地貌格局，进入第四纪时期以来，由于构造作用，黄土高原及其邻近地区经历了古准平原—古湖泊低地—高原河流三大地貌过程。在黄土高原的主隆起期，黄河切穿三门峡，黄河水系诞生。黄河蛇曲的发育明显受断裂构造的控制，在该区的基岩中 NE 向、NW 向的垂直节理发育，两组节理将三叠系基岩切割成近似棋盘格式的构造格局，岩石支解强烈。在地壳稳定时期，黄河及其支流蛇曲沿着两组节理发育而成，奠定了黄河蛇曲的基本格局。新构造运动使黄土高原处于不断的、急速的区域性抬升活动中，黄河下蚀作用急剧增强，不断发育演化为现今的地貌形态，以此造就了我国黄土高原地貌背景下的大型峡谷蛇曲群景观。

在黄土高原，不同规模的河流蛇曲多有发育，其中黄河蛇曲是发育在秦晋大峡谷中的大型深切嵌入式蛇曲群体，规模宏大，是黄河干流河道上蛇曲发育规模最大、最完好、最密集的蛇曲群。从英雄湾至清水湾的五大蛇曲对于黄河的形成和发育，新构造运动和河流侵蚀、淤积的关系，具有重要的科学意义。

14.3.1.2 黄河蛇曲基本地貌

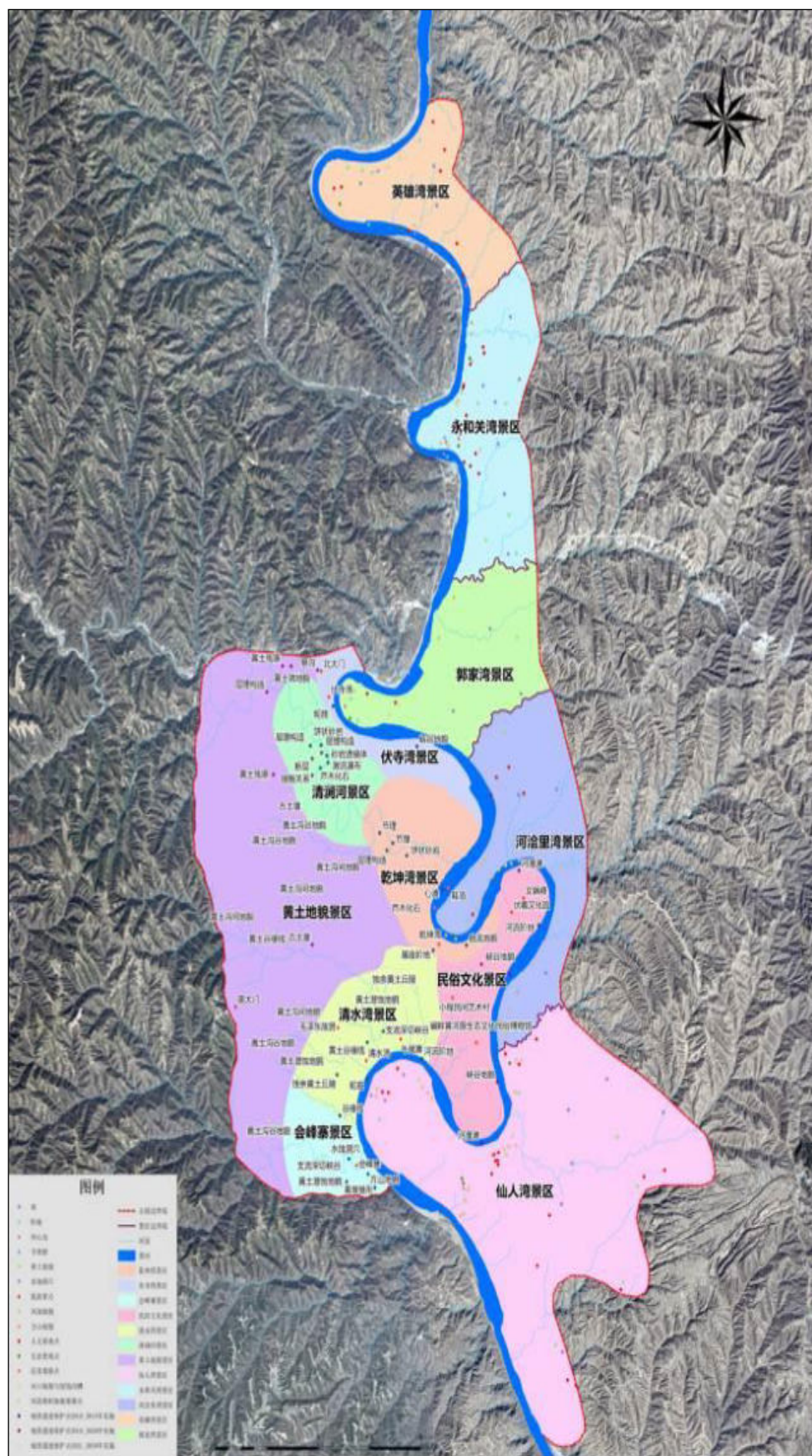
黄河蛇曲地质公园的干流河道位于晋陕峡谷南段，为深切曲流峡谷，河流弯曲，河床纵比降为 0.77‰，曲流系数 2.05。在曲流河谷中发育有河漫滩、河心滩及河心岛。河床宽一般为 200m~400m，最窄仅 100m 左右，河谷深切 100m~300m，两岸为悬崖峭壁，水急流深，河床总面积 14km²。深切的河道、悬崖峭壁和蜿蜒的蛇曲群形成了该河段独特的地质资源，是我国黄土高原地貌背景下的大型峡谷蛇曲群景观。黄河蛇曲地质公园遥感影像见图 14.3.1-1。



图 14.3.1-1 黄河蛇曲地质公园遥感影像图（现状）

14.3.1.3 黄河蛇曲国家地质公园的管理

山西、陕西两省分别申报了国家地质公园，其中陕西延川黄河蛇曲国家地质公园是 2005 年 9 月第四批被国土资源部批准的国家地质公园，山西永和黄河蛇曲国家地质公园是 2011 年 12 月第六批被国土资源部批准的国家地质公园，两省分别进行管理，黄河蛇曲地质公园总体规划范围见图 14.3.1-2。



14.3.2 黄河蛇曲国家地质公园现状调查与评价

14.3.2.1 陕西延川黄河蛇曲国家地质公园

1. 地理位置及规划范围

陕西延川黄河蛇曲国家地质公园位于延川县域东部，黄河沿线，行政区涉及延川县乾坤湾镇和延水关镇。根据《陕西延川黄河蛇曲国家地质公园规划》(2011-2030 年)(2011 年 12 月)，公园北起伏寺湾，南至会峰寨，西从武家山村东达黄河主流线，南北长约 12.5km，东西宽约 4.5km~10.2km，总面积 86.0km²。

2. 地质公园景区划分

根据公园规划，陕西延川黄河蛇曲国家地质公园共划分为 7 个景区，分别为：伏寺湾景区、清涧河景区、乾坤湾景区、民俗文化景区、清水湾景区、会峰寨景区和黄土地貌景区，园区内景区划分情况见图 14.3.2-1。

表 14.3.2-1 陕西延川黄河蛇曲国家地质公园景区划分

景区	伏寺湾景区	清涧河景区	乾坤湾景区	民俗文化景区	清水湾景区	会峰寨景区	黄土地貌景区
面积 (km ²)	4.9	7.1	9.9	10.8	10.1	5.3	37.9

3. 主要地质遗迹类型与分布

陕西延川黄河蛇曲国家地质公园地质遗迹主要为黄河干流及其周边支流、面流、潜流等侵蚀形成的地质景观，以及重力、水力、风力等作用下形成的地质遗迹。地质公园内主要地质遗迹类型与分布见表 14.3.2-2。

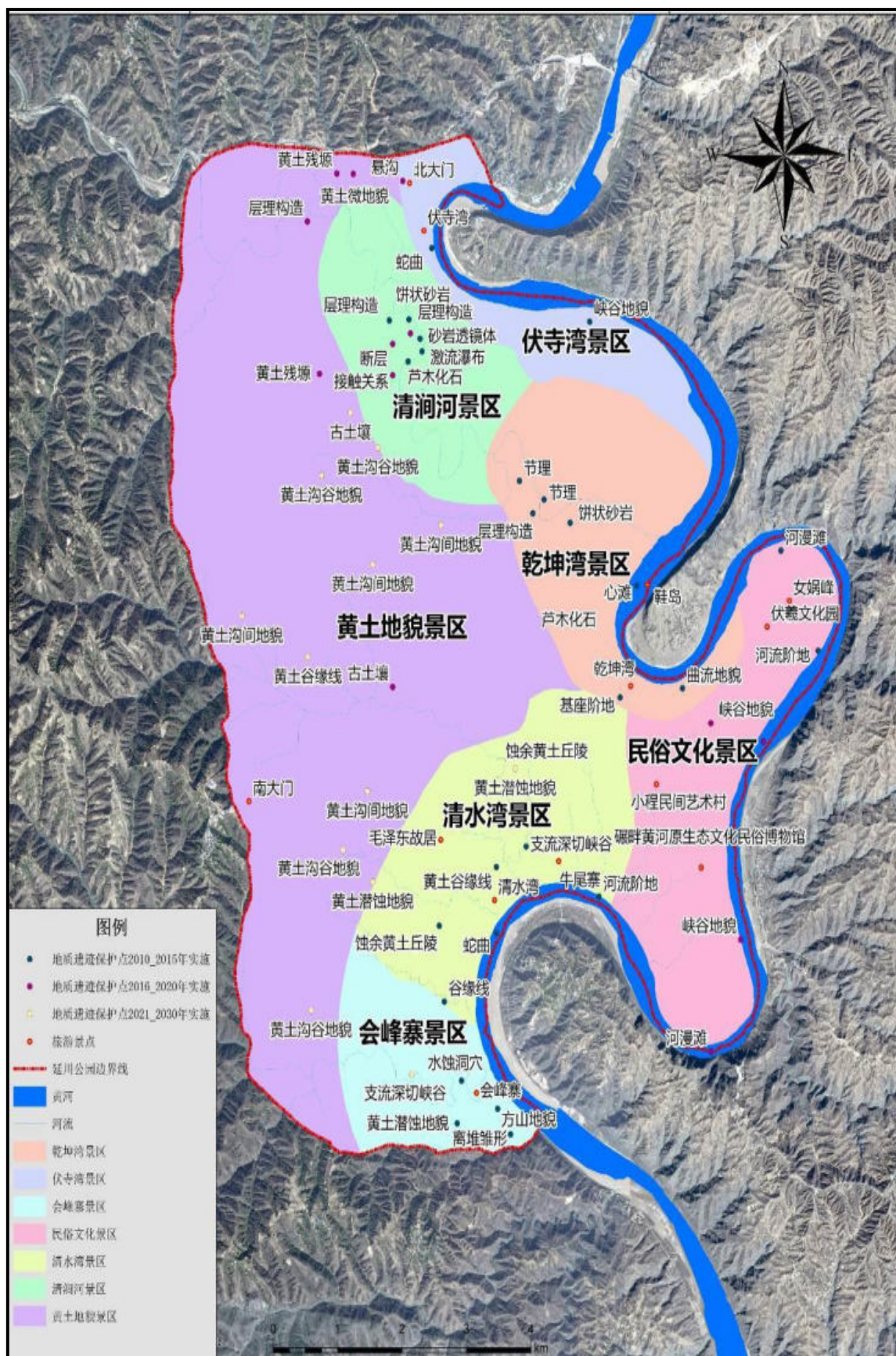


表 14.3.2-2 陕西延川黄河蛇曲国家地质公园地质遗迹类型与分布

地质遗迹类型		主要分布区域	备注
河流地貌	河流蛇曲地貌	①黄河干流：主要分布于伏寺湾、乾坤湾、清水湾 ②黄河支流：主要分布于周边支流河谷区域	以乾坤湾、清水湾两个蛇曲地貌发育最为完好
	峡谷地貌	晋陕峡谷、清涧河峡谷、支流峡谷	
	河流阶地（谷中谷）	园区内沿黄河两岸区域、清涧河河谷	
	河心岛	乾坤湾附近清涧河河口“鞋岛”	
	河漫滩	园区内沿黄河两岸区域	
	水蚀凹痕	黄河蛇曲河流阶地或古河道	
	侧蚀洞穴	黄河及支流两岸的岩壁上	会峰寨景区、河洽里景区侧蚀洞穴保存较好
	陡壁跌水	园区内黄河及支流两岸的岩壁上	
	河流差异侵蚀	黄河干流及支流两岸的岩壁上	
	瀑布	清涧河河谷	
黄土地貌	黄土沟谷地貌	纹沟、切沟、冲沟	区内黄土沟谷底部
	黄土沟（谷）间地貌	主要为塬、梁、峁	区内沟谷之间的地貌
	黄土谷坡地貌	泻流、崩塌物、滑坡等	区内黄土沟谷的侧部
	黄土潜蚀地貌	黄土碟、凹陷、黄土桥、黄土柱等	区内黄土面平缓地带
沟蚀地貌	悬谷	园区内黄河两岸的岩壁上	反映干流和支流的侵蚀差异
	支流谷底冲沟	黄河两岸的丘陵地带上	
	潜蚀线沟	黄河两岸的岩壁上	
重力地貌	重力崩塌地貌	黄河两岸的岩壁上	
	方山地貌	黄河及支流两岸	
	倒石锥	黄河及支流两岸岸边	地下水、裂隙、重力等作用引起的碎屑堆积
其他地质遗迹	节理与断层	园区内均可见到	会峰寨、乾坤湾发育较好
	水平岩层剖面	乾坤湾、清涧河河谷、王家渠、会峰寨	
	化石	乾坤湾、清涧河河谷	清涧河河谷与乾坤湾多为植物化石
		王家渠	纳玛象
	交错层理	园区内均可见到	
	沉积透镜体	园区内均可见到	
	差异风化	园区内均可见到	
	象形石	多分布在黄河两岸	“女娲神像”等

地质公园区内还存留有古窑洞、古关口、碑记、石刻、古码头、黄河原生态文化村落等历史文化遗存，以及革命历史文物等人文景观，见图 14.3.2-1。

4. 地质遗迹保护分区划分

按照地质遗迹的分布特征和不同级别地质遗迹的保护要求，陕西延川黄河蛇曲国家地质公园共划分为 3 个不同级别的保护区和外围生态保育区，见表 14.3.2-3 和图 14.3.2-2。

表 14.3.2-3 陕西延川黄河蛇曲国家地质公园地质遗迹保护分区划分 单位：km²

保护区级别	范围	面积
一级保护区	保护重点是伏寺湾蛇曲，乾坤湾蛇曲，清水湾蛇曲	3.67
二级保护区	一级保护区外的黄河沿岸地质遗迹，小程村和碾畔民俗民情文化，范围分别在三大蛇曲一级保护区外围	17.52
三级保护区	范围为东起二级保护区外围线和未划入一、二级保护区的黄河水域主流中线，西至地质公园西部生态保育区边线，主要保护黄土高原地貌宏观特征	34.17
地质遗迹保护点	一些重要地质遗迹呈点状分布在不同级别的保护区，为此设立地质遗迹保护点予以保护	

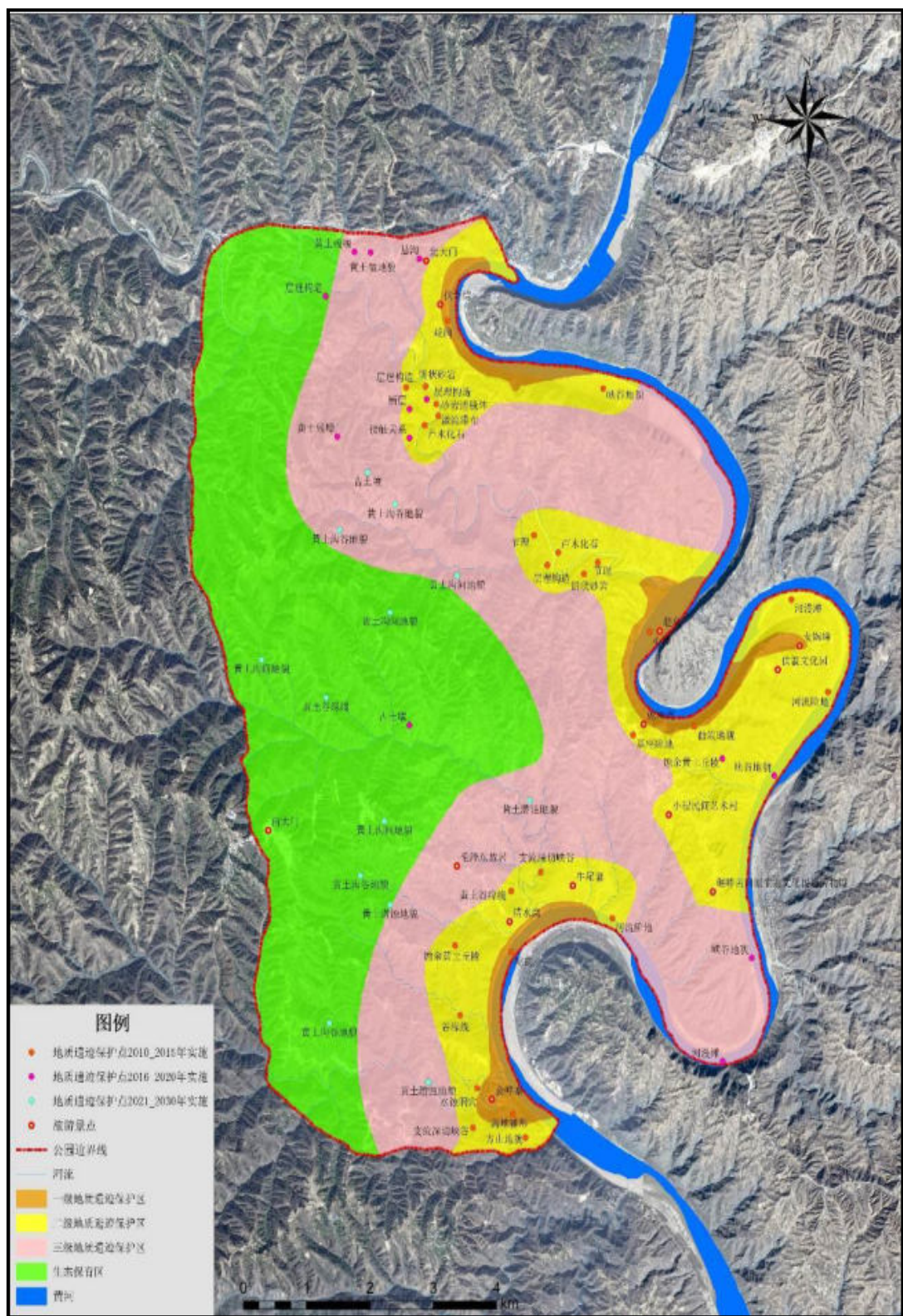


图 14.3.2-2 陕西延川黄河蛇曲国家地质公园地质遗迹保护分区图

公园的一级保护区作为核心保护区域，沿清水湾、乾坤湾和伏寺湾的水域和滩地进行划定，主要包括了黄河蛇曲的主要景观区域，面积 3.67km²，区内地质地貌特征突出、

景点较集中，主要保护三大河流蛇曲地貌、河心岛及沿黄峡谷阶地等；公园的二级保护区主要包括了部分黄土地貌、支流河谷以及部分黄河干流河谷与河漫滩，面积 17.52km²；三级保护区所属范围普遍海拔较高，主要为黄土地貌保护区，面积 34.17km²。

14.3.2.2 山西永和黄河蛇曲国家地质公园

1. 地理位置及规划范围

山西永和黄河蛇曲国家地质公园位于临汾市永和县西部，行政区划包括南庄乡、打石腰乡和阁底乡，公园北起前北头，南至铁罗关，西到黄河河道中线，东至上退干村，全长约 50km，东西宽约 1km~10km，总面积为 105.61km²。

2. 地质公园景区划分

山西永和黄河蛇曲国家地质公园包括：英雄湾景区、永和关湾景区、郭家湾景区、河浚里湾景区、仙人湾景区 5 个景区，见图 14.3.2-3。

表 14.3.2-4 山西永和黄河蛇曲国家地质公园景区划分

景区	英雄湾景区	永和关湾景区	郭家湾景区	河浚里湾景区	仙人湾景区
面积 (km ²)	12.10	15.71	14.75	18.24	44.81

3. 主要地质遗迹类型与分布

地质公园区内广泛分布着地史时期形成的多种类型的地质遗迹，主要包括：

- (1) 黄河及支流的河流冲刷、侵蚀作用及与其它地质作用共同形成的河流（景观带）地貌，包括河流蛇曲地貌、冲蚀、磨蚀地貌；
- (2) 黄土高原在水流作用、重力作用和风蚀的作用影响形成的黄土地貌，包括黄土梁、黄土沟、黄土丘等；
- (3) 地史时期由于沉积相变，生物演化在地层中赋存的古生物化石地质遗迹；
- (4) 其它外力地质作用形成在河谷两侧低山、丘陵，以及临河地段所造成的边坡滑动及重力垮塌现象等地质灾害遗迹。

地质公园区内还存留有古县城、古窑洞、古关口、碑记、石刻、古码头、黄河原生态文化村落等历史文化遗存，以及革命历史文物。

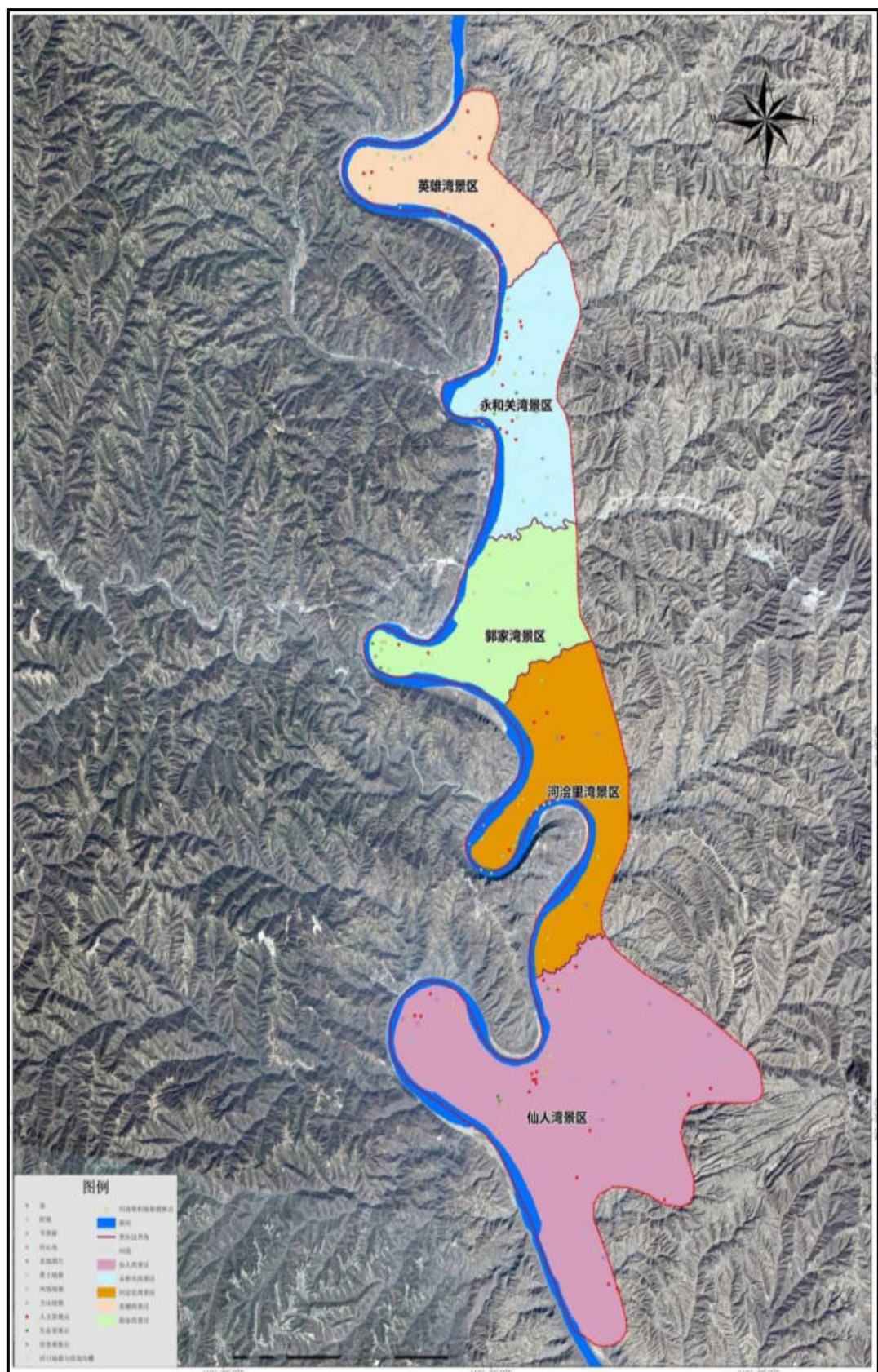


图 14.3.2-3 山西永和黄河蛇曲国家地质公园景区划分图

4. 地质遗迹保护分区划分

按照公园内地质遗迹的科学价值、珍稀程度和重要性等，山西永和黄河蛇曲国家地质公园划分为一级、二级、三级保护区，见图 14.3.2-4。

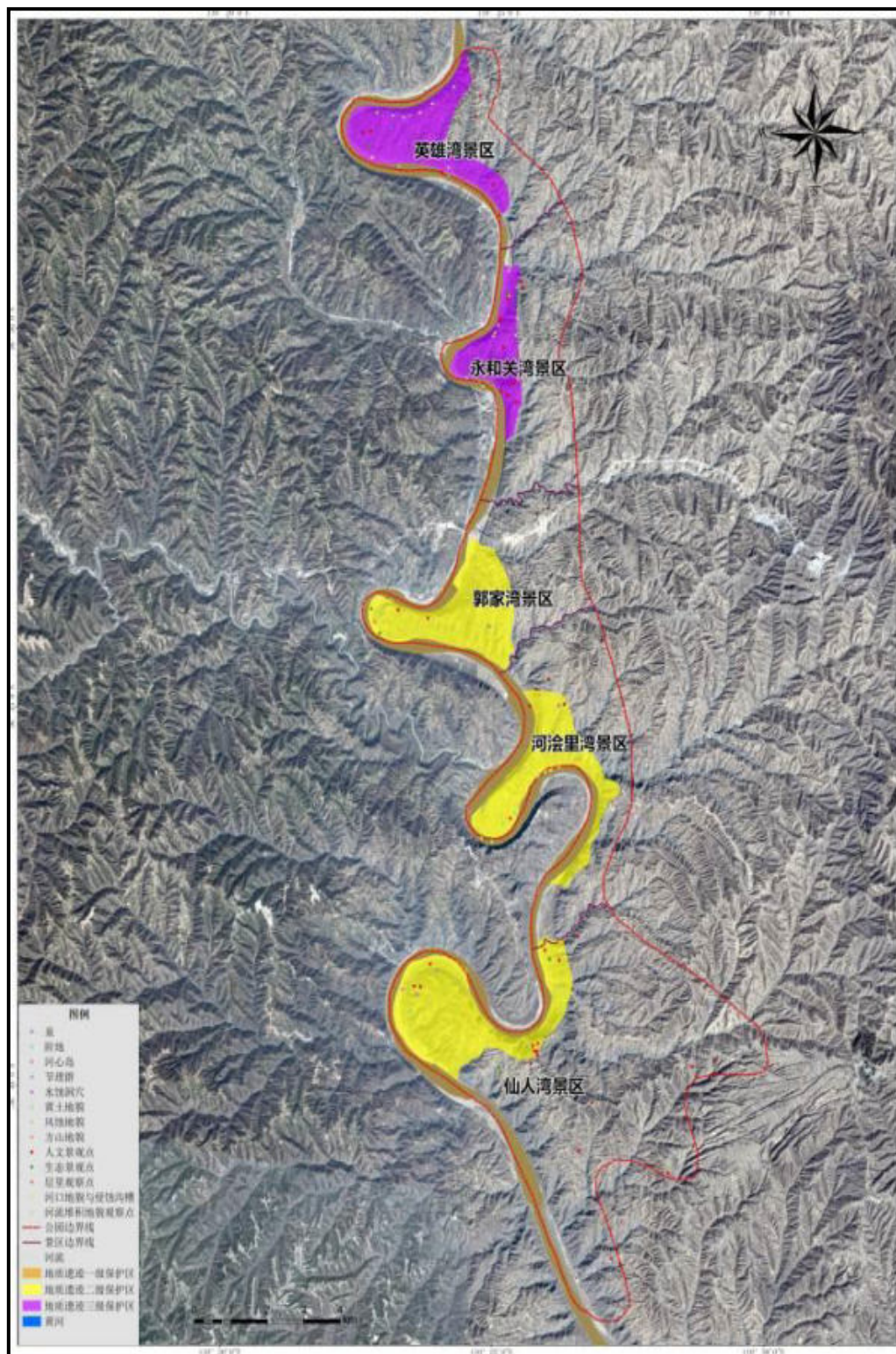


图 14.3.2-4 山西永和黄河蛇曲地质公园地质遗迹保护分区图

公园的一级保护区主要分布于黄河沿线 50km 长度范围内，沿黄河干流河道进行划定，呈长条状展布，面积 8.22km²，主要保护对象为五大河流蛇曲地貌、河心岛及沿黄峡谷阶地等；公园的二级保护区主要分布于郭家湾、河湟里湾、仙人湾景区，为一级保护区的外延区域，面积 18.06km²，区内包含了黄河蛇曲峡谷上部的部分黄土地貌、黄河支流峡谷地貌、河流阶地、风蚀崖壁、摩崖石刻、象形石等；公园的三级保护区主要分布于英雄湾、永和关湾景区，为一级保护区的外延区域，面积 8.79km²，包含了园区内大部分黄土地貌和风蚀地貌景观。

表 14.3.2-5 山西永和黄河蛇曲国家地质公园地质遗迹保护分区划分 单位：km²

分区	范围	面积
一级保护区	黄河沿线 50km 长度范围内的五大河流蛇曲地貌、心滩及沿黄峡谷阶地，重点保护五大河流蛇曲地貌	14.25
二级保护区	河湟里湾景区黄家岭二级保护区，重点保护河湟里湾蛇曲地貌外围片状黄土地貌及各种微地貌形态	5.32
	郭家湾景区郭家山二级保护区，重点保护郭家湾蛇曲地貌外围片状分布的黄土地貌	5.56
	仙人湾景区于家咀二级保护区，重点保护仙人湾蛇曲地貌外围片状分布的黄土地貌及各种微地貌形态	7.18
三级保护区	英雄湾景区咀头三级保护区，重点保护黄土高原地貌的宏观特征	5.60
	永和关湾景区永和关三级保护区，重点保护黄土高原地貌的宏观特征	3.19

14.3.2.3 黄河蛇曲地质公园的主要保护价值分析

(1) 科学研究价值

科学研究价值是地质公园的主要价值之一。

黄河蛇曲地质公园内以英雄湾、永和关湾、伏寺湾/郭家湾、乾坤湾/河湟里湾以及仙人湾/清水湾为核心景观的系列河谷蛇曲地貌，其科学研究价值主要体现在：一是大规模的深切嵌入式基岩蛇曲对河流蛇曲的成因理论研究有重要价值；二是蛇曲两岸的河流阶地对研究黄河中游的河流发育与新生代以来地壳运动的关系有重要价值；三是黄河曲流对研究黄土高原古气候的演化、变迁与环境变迁有重要的价值。

(2) 景观生态价值

黄河蛇曲是以自然景观为主的地质遗迹，园区内连续的典型蛇曲地貌共同构成了我国黄河干流河道上蛇曲发育规模最大、最完好、最密集的蛇曲群，以其形宏大、其势壮美、其色多变的景色给人美的享受，是具有一定代表性的景观标志，具有比较重要的景观价值。蛇曲地质公园现状总体形态卫星影像见图 14.3.2-5。

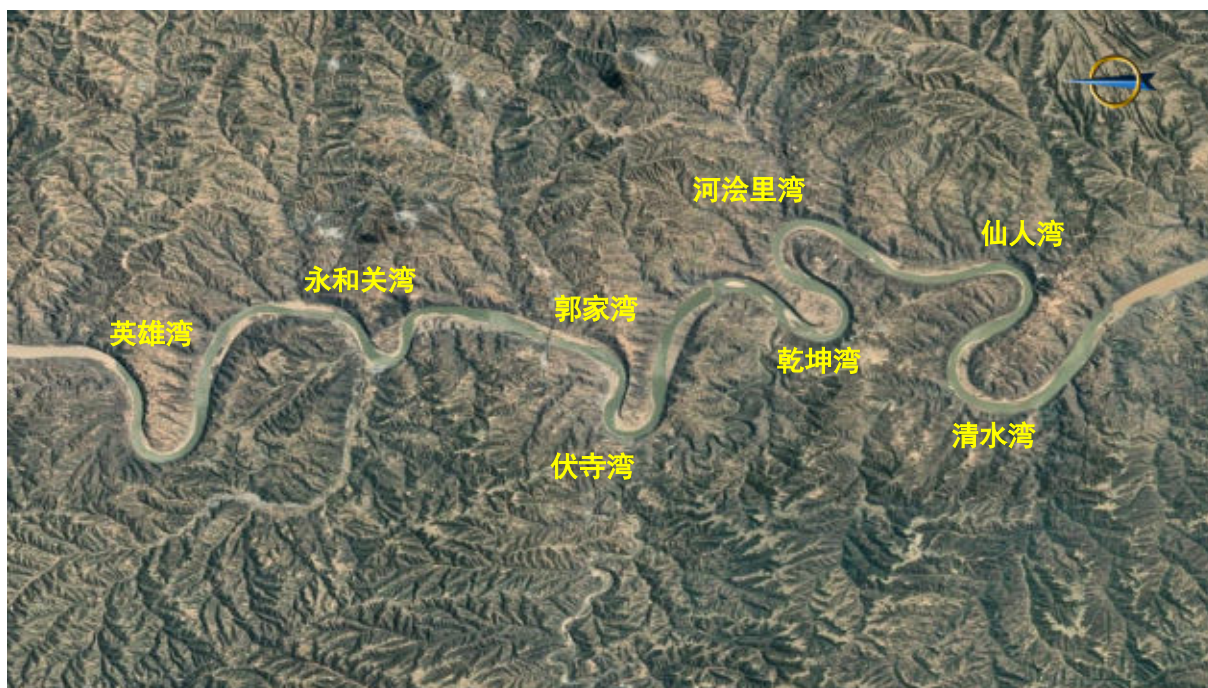


图 14.3.2-5 黄河蛇曲地质公园现状卫星影像图

(3) 旅游价值

黄河蛇曲地质公园作为旅游景区和西北旅游线路的延伸，有一定的旅游价值，但目前两个省区的地质公园都存在旅游开发程度较低，宣传力度不足，基础设施落后、外地游客较少，整体旅游发展速度缓慢等情况。

14.3.3 工程运行方式及不同水位变化

古贤水利枢纽工程建设期 11 年（含筹建期 1.5 年），对黄河蛇曲国家地质公园没有影响。工程建成后，分为拦沙初期、拦沙后期、正常运用期三个阶段，水库水位在不同时期为动态变化，因此不同时期不同运行方式下对地质公园的淹没影响范围和程度也不相同。

(1) 拦沙初期（第 1~7 年）

投入运行至起始运用水位 560m 以下拦沙库容淤满前，即起始运用水位以下拦沙库容淤满前，水库拦沙量在 32 亿 m^3 左右。水库水位在起始运用水位 560m~588m 之间变化。汛期调水运用，非汛期主要满足河道生态、发电和工农业供水等要求的兴利应用。

(2) 拦沙后期（第 8~38 年）

拦沙初期结束后，达到设计的高滩深槽淤积形态之前，即为拦沙后期，水库拦沙量

为 93.42 亿 m³ 左右。水库水位在 560m~621m 之间变化。

汛期水库逐步抬高水位拦沙(拦粗排细)和调水调沙运用,库区河床逐步平行淤高,排沙比较拦沙初期明显增大;非汛期水库兴利调节运用同拦沙初期。

(3) 正常运用期(第 39 年后)

水库拦沙后期结束后进入正常运用期,水库利用汛限水位以下的 20 亿 m³ 槽库容进行调水调沙运用,长期发挥水库对下游河道的减淤作用。水库水位在死水位 588m~627m 之间变化。汛期调水调沙运行,长期发挥水库对下游河道的减淤作用;非汛期兴利运用。

在主汛期水库运用水位在正常死水位 588m 至主汛期限水位 617m 之间变化;汛期限水位 617m 至滩面高程 625.5m 之间 12 亿 m³ 库容,供水库下游防洪之用。在调节期蓄水拦沙、调节径流兴利运用,水位在正常蓄水位 627m (正常运用条件下的最高水位) 以下调节运用。

根据可研,拦沙初期、拦沙后期、正常运用期不同水位出现天数统计如下表。

表 14.3.3-1 工程不同运行期不同水位出现天数统计

运用期	不同水位 (m)											
	560~588			588~617			617~627			627		
	出现 天数 (d)	平均 水位	最高 水位	出现 天数 (d)	平均 水位	最高 水位	出现 天数 (d)	平均 水位	最高 水位	出现 天数 (d)	平均 水位	最高 水位
拦沙初期 (第 1~7 年)	365	572.1	588.0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
拦沙第 8~20 年	58	586.0	587.9	307	596.3	607.4						
后期第 21~38 年	/	/	/	326	603.8	616.9	39	619.1	620.9			
正常运用期 (第 39 年后)	/	/	/	231	608.3	617.0	132	622.4	627	2	627	627
注:各时期高于 617m 的水位均出现在非汛期,基本为旅游淡季。												

由上表可以看出:

拦沙初期(第 1~7 年),全年水库水位在 560m~588m 之间变化,平均水位 572.1m,最高水位 588m;

拦沙后期(第 8~20 年),水库水位在 560m~607m 之间变化,其中 560m~588m 平均每年出现天数为 58 天,588m~607m 平均每年出现天数为 307 天;

拦沙后期(第 21~38 年)水库水位在 588m~621m 之间变化,其中 588m~617m 平均每年出现天数为 326 天,617m~621m 平均每年出现天数为 39 天;617m 以上水位出现在非汛期,基本为地质公园的旅游淡季。

正常运用期（第 39 年后），水库水位在 588m~627m 之间变化，其中 588m~617m 平均每年出现天数为 231 天，占全年的 63.3%；617m~627m 平均每年出现天数为 132 天，占全年的 36.2%；627m 的最高水位平均每年出现的天数为 2 天，仅占全年的 0.5%，且出现在非汛期，基本为地质公园的旅游淡季。

14.3.4 陕西延川黄河蛇曲国家地质公园淹没影响情况

工程施工期 11 年（含筹建期 1.5 年）对陕西延川黄河蛇曲国家地质公园不产生影响。工程建成后对其主要影响是运行期水位抬高对河道及沿岸的地质遗迹和人文景观等造成的淹没影响。

14.3.4.1 不同运行时期对地质公园的淹没情况

根据拦沙初期、拦沙后期、正常运用期不同水位出现天数统计，分析不同运行期对陕西延川黄河蛇曲国家地质公园的淹没影响，统计结果见表 14.3.4-1 和表 14.3.4-2。

表 14.3.4-1 不同运行期典型蓄水位淹没情况统计 单位：km²

总面积	不同水位淹没面积						不同水位淹没比例（%）					
	560m	588m	607m	617m	621m	627m	560m	588m	607m	617m	621m	627m
86	9.74	13.22	15.79	17.46	18.03	19.26	11.33	15.38	18.36	20.30	20.97	22.40

表 14.3.4-2 不同运行期地质公园淹没情况统计

不同运行期		淹没水位（m）	淹没地质公园面积（km ² ）	淹没地质公园比例
拦沙初期（第 1~7 年）		560~588	9.74~13.22	11.33%~15.38%
拦沙后期	第 8~20 年	560~607	9.74~15.78	11.33%~18.35%
	第 21~38 年	588~621	13.22~17.88	15.38%~20.79%
正常运用期（第 39 年后）		588~627	13.22~19.26	15.38%~22.40%

拦沙初期（第 1~7 年），自起始运用水位 560m 至最高水位 588m，淹没陕西延川黄河蛇曲地质公园面积自 9.74km² 扩大至 13.22km²，淹没景区总面积的比例为 11.33%~15.38%。

拦沙后期（第 8~20 年），自起始运用水位 560m 至最高水位 607m，淹没地质公园面积自 9.74km² 扩大至 15.78km²，淹没景区总面积的比例为 11.33%~18.35%。

拦沙后期（第 21~38 年），自起始运用水位 588m 至最高水位 621m，淹没地质公园面积自 13.22km² 扩大至 17.88km²，淹没景区总面积的比例为 15.38%~20.79%。

正常运用期（第 39 年后），自死水位 588m 至最高水位 627m，淹没地质公园面积自 13.22 km² 扩大至 19.26km²，淹没景区总面积的比例为 15.38%~22.40%。

总体来看，从起始运用水位 560m 至正常蓄水位 627m（正常运用条件下的最高水

位),淹没面积自 9.74km² 扩大至 19.26km²,淹没景区总面积的比例为 11.33%~22.40%。
随着水位抬升,淹没地质公园面积逐渐增大。

14.3.4.2 工程运行对地质公园不同保护区的淹没情况

根据数字三维模拟分析结果,不同水位下对陕西延川黄河蛇曲国家地质公园不同保护区的淹没情况统计见表 14.3.4-3 和 14.3.4-4。

表 14.3.4-3 典型蓄水位对保护区的淹没情况统计

总规划区	总面积 (km ²)	不同水位 (m) 淹没面积 (km ²)						不同水位 (m) 淹没比例 (%)					
		560	588	607	617	621	627	560	588	607	617	621	627
一级保护区	3.67	2.50	2.84	3.03	3.12	3.15	3.20	68.12	77.42	82.56	84.94	85.83	87.18
二级保护区	17.52	4.24	6.49	7.88	8.58	8.88	9.29	24.21	37.05	44.98	48.95	50.68	53.02
三级保护区	34.17	3.00	3.89	4.88	5.67	5.85	6.52	8.78	11.39	14.28	16.59	17.12	19.08
其他	30.64	0	0	0	0.10	0.15	0.25	0	0	0	0.32	0.49%	0.83
合计	86.00	9.74	13.22	15.79	17.46	18.03	19.26	11.33	15.38	18.36	20.30	20.87	22.40

表 14.3.4-4 不同运行期对保护区的淹没情况统计

不同运行期		淹没水位 (m)	一级保护区 淹没比例	二级保护区 淹没比例	三级保护区 淹没比例
拦沙初期 (第 1~7 年)		560~588	68.12%~77.42%	24.21%~37.05%	8.78%~11.39%
拦沙后期	第 8~20 年	560~607	68.12%~82.56%	24.21%~44.98%	8.78%~14.28%
	第 21~38 年	588~621	77.42%~84.94%	37.05%~50.68%	11.39%~17.12%
正常运用期 (第 39 年后)		588~627	77.42%~87.18%	37.05%~53.02%	11.39%~19.08%

1. 一级保护区淹没情况

公园的一级保护区作为国家地质公园的核心保护区域,主要包括了黄河蛇曲的主要景观区域,面积 3.67km²,区内地质地貌特征突出、景点较集中,主要保护三大河流蛇曲地貌、河心岛及沿黄峡谷阶地等。

根据数字三维模拟淹没分析成果,在工程运行的不同阶段和不同运用水位(560m、588m、607m、617m、621m 和 627m),陕西延川蛇曲国家地质公园内的一级保护区在工程建设运行的各个时期均受到较大的影响,主要体现在:曲流面积扩大、河道水域面积增加、峡谷地貌相对高差缩小、河心岛和河流阶地淹没。对区内地质遗迹、人文景观点和游客及设施均有不同程度影响,其中伏寺湾、乾坤湾、清水湾均受到了淹没影响,其中,拦沙初期(第 1~7 年),淹没一级保护区面积自 2.5km² 扩大至 2.84km²,占一级保护区总面积比例为 68.12%~77.42%;拦沙后期(第 8~20 年),淹没一级保护区面积自 2.5km² 扩大至 3.03km²,占一级保护区总面积比例为 68.12%~82.56%;拦沙后期(第 21~38 年),淹没一级保护区面积自 2.84km² 扩大至 3.15km²,占一级保护区总面积比例为 77.42%~84.94%;正常运用期(第 39 年后),淹没一级保护区面积自 2.84km² 扩大至

3.2km²，占一级保护区总面积比例为 77.42%~87.18%。

2. 二级保护区淹没状况

公园的二级保护区作为国家地质公园的主要保护区域，包括了部分黄土地貌、支流河谷以及部分黄河干流河谷与河漫滩，面积 17.52km²。

由于二级保护区涉及高程范围变化较大，位于干流的河谷与河漫滩受到淹没影响较大外，主要的黄土地貌区域不会受到蓄水影响。

拦沙初期（第 1~7 年），淹没二级保护区面积自 4.24km²扩大至 7.88km²，占二级保护区总面积比例为 24.21%~37.05%；拦沙后期（第 8~20 年），淹没二级保护区面积自 4.24km²扩大至 7.88km²，占二级保护区总面积比例为 24.21%~44.98%；拦沙后期（第 21~38 年），淹没二级保护区面积自 6.49km²扩大至 8.88km²，占二级保护区总面积比例为 37.05%~50.68%；正常运用期（第 39 年后），淹没二级保护区面积自 6.49km²扩大至 9.29km²，占二级保护区总面积比例为 37.05%~53.02%。

3. 三级保护区淹没状况

三级保护区所属范围普遍海拔较高，主要为黄土地貌保护区，面积 34.17km²，除区域内部分包含的黄河河漫滩将会受到蓄水淹没外，其他地区均不会受到蓄水影响。

拦沙初期（第 1~7 年），淹没三级保护区面积自 3km²扩大至 3.89km²，占三级保护区总面积比例为 8.78%~11.39%；拦沙后期（第 8~20 年），淹没三级保护区面积自 3km²扩大至 4.88km²，占三级保护区总面积比例为 8.78%~14.28%；拦沙后期（第 21~38 年），淹没三级保护区面积自 3.89km²扩大至 5.85km²，占三级保护区总面积比例为 11.39%~17.12%；正常运用期（第 39 年后），淹没三级保护区面积自 3.89km²扩大至 6.52km²，占三级保护区总面积比例为 11.39%~19.08%。

各保护区在不同典型蓄水位下的淹没范围及淹没内容见图 14.3.4-1。

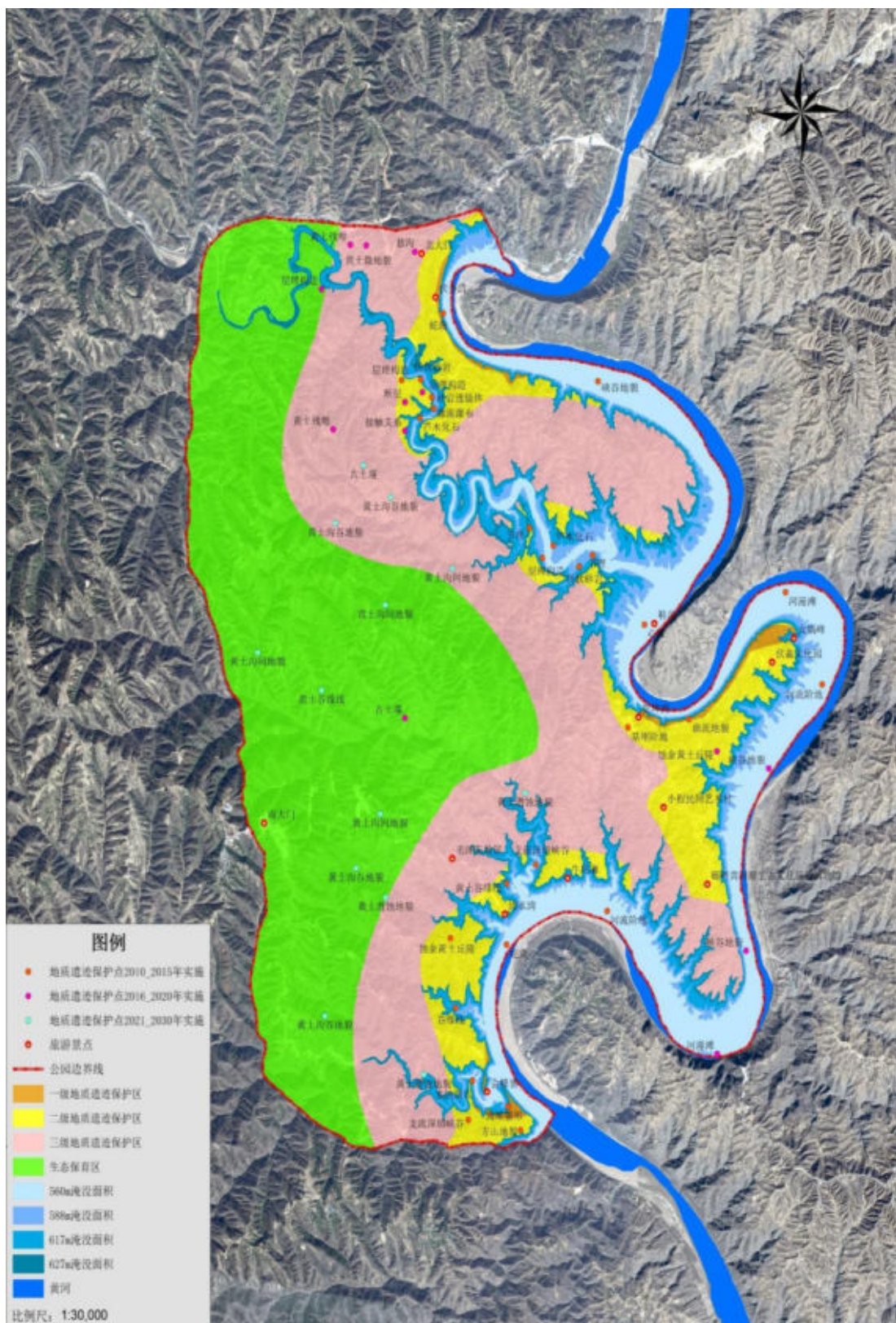


图 14.3.4-1 陕西延川黄河蛇曲地质公园特征水位淹没情况示意图

总体来看，随着水库水位抬升，淹没地质公园各级保护区的面积不断增加，其中对

一级保护区淹没影响较大，对三级保护区的淹没影响较小。这主要是由于地质公园的一级保护区沿河分布。从起始运用水位 560m 至正常蓄水位 627m（正常运用条件下的最高水位），对一级保护区淹没影响比例为 68.12%~87.18%。

14.3.4.2 不同运用水位对园区地质遗迹及人文景观淹没影响

根据三维模拟情况分析，不同水位各级保护区的淹没范围及淹没内容见附图。各运用水位情况下受到淹没影响的地质遗迹和人文景观见表 14.3.4-5。

表 14.3.4-5 不同运行水位淹没的重要地质遗迹和人文景观

保护区划	不同水位 (m)	受淹没影响地质遗迹景观		受淹没影响人文景观	
		数量	名称	数量	名称
一级保护区	560	6	伏寺湾蛇曲、乾坤湾蛇曲、清水湾蛇曲、干流峡谷、河流阶地、鞋岛	0	无
	588	6	伏寺湾蛇曲、乾坤湾蛇曲、清水湾蛇曲、干流峡谷、河流阶地、鞋岛	0	无
	607	6	伏寺湾蛇曲、乾坤湾蛇曲、清水湾蛇曲、干流峡谷、河流阶地、鞋岛	0	无
	617	6	伏寺湾蛇曲、乾坤湾蛇曲、清水湾蛇曲、干流峡谷、河流阶地、鞋岛	2	女娲峰、会峰寨
	621	6	伏寺湾蛇曲、乾坤湾蛇曲、清水湾蛇曲、干流峡谷、河流阶地、鞋岛	2	女娲峰、会峰寨
	627	6	伏寺湾蛇曲、乾坤湾蛇曲、清水湾蛇曲、干流峡谷、河流阶地、鞋岛	2	女娲峰、会峰寨
二级保护区	560	4	清涧河峡谷、清涧河河流阶地、会峰寨支流蛇曲、清水湾支流深切峡谷	0	无
	588	4	清涧河峡谷、清涧河河流阶地、会峰寨支流蛇曲、清水湾支流深切峡谷	2	清水关渡口、牛尾寨
	607	6	清涧河峡谷、清涧河河流阶地、会峰寨支流蛇曲、清水湾支流深切峡谷、清涧河河口芦木化石发现点、层理构造、	2	清水关渡口、牛尾寨
	617	9	清涧河峡谷、清涧河河流阶地、会峰寨支流蛇曲、清水湾支流深切峡谷、清涧河河口芦木化石发现点、层理构造、节理、清涧河瀑布、饼状砂岩	2	清水关渡口、牛尾寨
	621	10	清涧河峡谷、清涧河河流阶地、会峰寨支流蛇曲、清水湾支流深切峡谷、清涧河河口芦木化石发现点 2 处、层理构造、节理、清涧河瀑布、饼状砂岩	2	清水关渡口、牛尾寨
	627	11	清涧河峡谷、清涧河河流阶地、会峰寨支流蛇曲、清水湾支流深切峡谷、清涧河河口芦木化石发现点 2 处、层理构造、节理、清涧河瀑布、饼状砂岩、水蚀洞穴	2	清水关渡口、牛尾寨
三级保护区	560	1	河漫滩	0	无
	588	1	河漫滩	0	无
	607	1	河漫滩	0	无
	617	1	河漫滩	0	无
	621	1	河漫滩	0	无
	627	1	河漫滩	0	无

陕西延川黄河蛇曲国家地质公园自起始运用水位（560m）至正常蓄水位（627m），

淹没影响地质遗迹自 11 处增至 18 处。拦沙初期、拦沙后期、正常运用期淹没影响地质遗迹数量分别为 11 处、11 处~17 处、11 处~18 处，占地质公园内地质遗迹总数的比例分别为 39.3%、39.3%~60.7%、39.3%~64.3%，主要集中在一级保护区内，其中：伏寺湾、乾坤湾、清水湾，沿黄河沿线分布，水位抬升对其影响较大；黄土地貌及其它类型地质遗迹在区域内广泛分布，影响较小。

14.3.5 山西永和黄河蛇曲国家地质公园淹没影响情况

工程施工期 11 年（含筹建期 1.5 年）对山西永和黄河蛇曲国家地质公园不产生影响。工程建成后对其主要影响是运行期水位抬高对河道及沿岸的地质遗迹和人文景观等造成的淹没影响。

14.3.5.1 不同运行期对地质公园的淹没情况

根据可研，工程运行分为拦沙初期、拦沙后期、正常运用期三个阶段，拦沙初期工程运用水位在 560m~588m 之间，拦沙后期在 560m~621m 之间，正常运用期在 588m~627m 之间，工程运行过程中起始运用水位、死水位、汛限水位、正常蓄水位分别为 560m、588m、617m 和 627m，根据可研，其中正常运用期正常蓄水位 627m 每年出现仅 2 天。

根据数字三维模拟分析结果，不同运行期对山西永和黄河蛇曲国家地质公园的淹没情况统计见表 14.3.5-1 和表 14.3.5-2。

表 14.3.5-1 不同运行期典型蓄水位淹没情况统计 单位：km²

总面积	不同水位淹没面积						不同水位淹没比例（%）					
	560m	588m	607m	617m	621m	627m	560m	588m	607m	617m	621m	627m
105.61	17.85	23.10	26.66	28.66	29.50	30.84	16.89	21.87	25.34	27.14	28.04	29.20

表 14.3.5-2 不同运行期地质公园淹没情况统计

不同运行期		淹没水位（m）	淹没地质公园面积（km²）	淹没地质公园比例
拦沙初期（第 1~7 年）		560~588	17.85 ~23.10	16.90%~21.87%
拦沙后期	第 8~20 年	560~607	17.85 ~26.66	16.90%~25.24%
	第 21~38 年	588~621	23.10 ~29.50	21.87%~27.93%
正常运用期（第 39 年后）		588~627	23.10 ~30.84	21.87%~29.20%

拦沙初期（第 1~7 年），自起始运用水位 560m 至最高水位 588m，淹没地质公园面积自 17.85km² 扩大至 23.1km²，淹没景区总面积的比例为 16.9%~21.87%。

拦沙后期（第 8~20 年），自起始运用水位 560m 至最高水位 607m，淹没地质公园面积自 17.85km² 扩大至 26.66km²，淹没景区总面积的比例为 16.9%~25.24%。

拦沙后期（第 21~38 年），自起始运用水位 588m 至最高水位 621m，淹没地质公园面积自 23.1km² 扩大至 29.5km²，淹没景区总面积的比例为 21.87%~27.93%。

正常运用期（第 39 年后），自死水位 588m 至最高水位 627m，淹没地质公园面积自 23.1km² 扩大至 30.84km²，淹没景区总面积的比例为 21.87%~29.20%。

总体来看，从起始运用水位 560m 至正常蓄水位 627m（正常运用条件下的最高水位），淹没面积自 17.85km² 扩大至 30.84km²，淹没景区总面积的比例为 16.9%~29.20%。随着水位抬升，淹没地质公园面积逐渐增大。

14.3.5.2 工程运行对地质公园不同保护区的淹没情况

根据数字三维模拟分析结果，典型水位下对山西永和黄河蛇曲国家地质公园不同保护区的淹没情况统计见表 14.3.5-3 和表 14.3.5-4。

表 14.3.5-3 典型蓄水位对保护区的淹没情况统计

总规划区	总面积 (km ²)	不同水位 (m) 淹没面积 (km ²)						不同水位 (m) 淹没比例 (%)					
		560	588	607	617	621	627	560	588	607	617	621	627
一级保护区	8.22	8.22	8.22	8.22	8.22	8.22	8.22	100	100	100	100	100	100
二级保护区	18.06	5.10	7.28	8.47	9.20	9.44	9.87	28.23	40.29	46.89	50.94	52.27	54.65
三级保护区	8.79	1.17	2.38	3.05	3.35	3.47	3.64	13.29	27.03	34.65	38.15	39.47	41.46
其他	70.54	3.36	5.24	6.93	7.91	8.37	9.13	4.76	7.43	9.82	11.21	11.87	12.94
合计	105.61	17.85	23.10	26.66	28.66	29.50	30.84	16.89	21.87	25.24	27.14	27.93	29.20

表 14.3.5-4 不同运行期对保护区的淹没情况统计

不同运行期		淹没水位 (m)	一级保护区 淹没比例	二级保护区 淹没比例	三级保护区 淹没比例
拦沙初期（1~7 年）		560~588	100%~100%	28.23%~40.29%	13.29%~27.03%
拦沙 后期	第 8~20 年	560~607	100%~100%	28.23%~46.89%	13.29%~34.65%
	第 21~38 年	588~621	100%~100%	40.29%~52.27%	27.03%~39.47%
	正常运用期（第 39 年后）	588~627	100%~100%	40.29%~54.65%	27.03%~41.46%

1. 一级保护区淹没情况

公园的一级保护区主要分布于黄河沿线 50km 长度范围内，呈长条状展布，面积 8.22km²，区内地质地貌特征突出、景点较集中，主要保护五大河流蛇曲地貌、河心岛及沿黄峡谷阶地等。

山西永和蛇曲国家地质公园内的一级保护区主要分布沿黄河干流河道进行划定，根据数字模拟成果，在工程运行的不同阶段和各典型运用水位（560m、588m、617m 和 627m），一级保护区在起始运用水位即全部淹没，其受到淹没影响的面积比例均为 100%；对区内地质遗迹、人文景观点和游客及设施均有不同程度影响，其中英雄湾、永和关湾、郭家湾、河汾里湾、仙人湾均受到了淹没影响。

2. 二级保护区淹没状况

公园的二级保护区主要分布于郭家湾、河湟里湾、仙人湾景区，为一级保护区的外延区域，面积 18.06km^2 ，区内包含了黄河蛇曲峡谷上部的部分黄土地貌、黄河支流峡谷地貌、河流阶地、风蚀崖壁、摩崖石刻、象形石等。

拦沙初期（第 1~7 年），淹没二级保护区面积自 5.1km^2 扩大至 7.28km^2 ，占二级保护区总面积比例为 24.21%~37.05%；拦沙后期（第 8~20 年），淹没二级保护区面积自 5.1km^2 扩大至 8.47km^2 ，占二级保护区总面积比例为 28.23%~46.89%；拦沙后期（第 21~38 年），淹没二级保护区面积自 7.28km^2 扩大至 9.44km^2 ，占二级保护区总面积比例为 40.29%~52.27%；正常运用期（第 39 年后），淹没二级保护区面积自 7.28km^2 扩大至 9.87km^2 ，占二级保护区总面积比例为 40.29%~54.65%。

3. 三级保护区淹没状况

公园的三级保护区主要分布于英雄湾、永和关湾景区，为一级保护区的外延区域，面积 8.79km^2 ，公园的三级保护区包含园区内大部分黄土地貌和风蚀地貌景观。

拦沙初期（第 1~7 年），淹没三级保护区面积自 1.17km^2 扩大至 2.38km^2 ，占三级保护区总面积比例为 13.29%~27.03%；拦沙后期（第 8~20 年），淹没三级保护区面积自 1.17km^2 扩大至 3.05km^2 ，占三级保护区总面积比例为 13.29%~34.65%；拦沙后期（第 21~38 年），淹没三级保护区面积自 2.38km^2 扩大至 3.47km^2 ，占三级保护区总面积比例为 27.03%~39.47%；正常运用期（第 39 年后），淹没三级保护区面积自 2.38km^2 扩大至 3.64km^2 ，占三级保护区总面积比例为 27.03%~41.46%。

各保护区的在不同典型蓄水位下的淹没范围及淹没内容见图 14.3.5-1。

总体来看，随着水库水位抬升，淹没地质公园各级保护区的面积不断增加，其中一级保护区在起始运用水位 560m 时即全部淹没，这主要原因是地质公园的一级保护区均为沿河分布；工程对三级保护区的淹没影响较小。

14.3.5.3 不同蓄水位对园区地质遗迹及人文景观淹没影响情况

根据三维模拟情况分析，不同水位各级保护区的淹没范围及淹没内容见附图 4~附图 7。各典型水位情况下受到淹没影响的地质遗迹和人文景观见表 14.3.5-5。

表 14.3.5-5 不同典型蓄水位淹没影响的重要地质遗迹和人文景观

保护区划	不同水位 (m)	受淹没影响地质遗迹		受淹没影响人文景观	
		数量	名称	数量	名称
一级保护区	560	16	英雄湾蛇曲、永和关湾蛇曲、郭家湾蛇曲、河洽里湾蛇曲、仙人湾蛇曲、黄河阶地、石球、化石、方山、沙滩、边滩、二鸟同行、河口凹槽、河心岛、砂岩节理、老鹰	3	红军崖、马家滩遗址、李家畔河神庙
	588	16	英雄湾蛇曲、永和关湾蛇曲、郭家湾蛇曲、河洽里湾蛇曲、仙人湾蛇曲、黄河阶地、石球、化石、方山、沙滩、边滩、二鸟同行、河口凹槽、河心岛、砂岩节理、老鹰	3	红军崖、马家滩遗址、李家畔河神庙
	607	16	英雄湾蛇曲、永和关湾蛇曲、郭家湾蛇曲、河洽里湾蛇曲、仙人湾蛇曲、黄河阶地、石球、化石、方山、沙滩、边滩、二鸟同行、河口凹槽、河心岛、砂岩节理、老鹰	3	红军崖、马家滩遗址、李家畔河神庙
	617	16	英雄湾蛇曲、永和关湾蛇曲、郭家湾蛇曲、河洽里湾蛇曲、仙人湾蛇曲、黄河阶地、石球、化石、方山、沙滩、边滩、二鸟同行、河口凹槽、河心岛、砂岩节理、老鹰	3	红军崖、马家滩遗址、李家畔河神庙
	621	16	英雄湾蛇曲、永和关湾蛇曲、郭家湾蛇曲、河洽里湾蛇曲、仙人湾蛇曲、黄河阶地、石球、化石、方山、沙滩、边滩、二鸟同行、河口凹槽、河心岛、砂岩节理、老鹰	3	红军崖、马家滩遗址、李家畔河神庙
	627	16	英雄湾蛇曲、永和关湾蛇曲、郭家湾蛇曲、河洽里湾蛇曲、仙人湾蛇曲、黄河阶地、石球、化石、方山、沙滩、边滩、二鸟同行、河口凹槽、河心岛、砂岩节理、老鹰	3	红军崖、马家滩遗址、李家畔河神庙
二级保护区	560	17	望河犬、千斤顶、风蚀崖、河流阶地、风蚀地貌、河滩、小瀑布、海底世界、笑口常开、塌鼻魔头等象形石	3	鱼泉、抗旱大桥、于家咀码头
	588	25	黄河堆积阶地、风蚀崖、河流阶地、侵蚀阶地、风蚀地貌、河滩、摩崖石窟、摩崖石刻及望河犬、飞天、千斤顶、笑口常开、海底世界、小瀑布、塌鼻魔头、骷髅头、天眼、跳台等象形石	3	鱼泉、抗旱大桥、于家咀码头
	607	25	黄河堆积阶地、风蚀崖、河流阶地、侵蚀阶地、风蚀地貌、河滩、摩崖石窟、摩崖石刻及望河犬、飞天、千斤顶、笑口常开、海底世界、小瀑布、塌鼻魔头、骷髅头、天眼、跳台等象形石	3	鱼泉、抗旱大桥、于家咀码头
	617	27	黄河堆积阶地、黄河溢流口、风蚀崖、河流阶地、侵蚀阶地、风蚀地貌、河滩、摩崖石窟、摩崖石刻及望河犬、飞天、千斤顶、笑口常开、海底世界、小瀑布、塌鼻魔头、骷髅头、天眼、跳台等象形石	4	鱼泉、抗旱大桥、于家咀码头、阴德河碉堡
	621	28	黄河堆积阶地、黄河溢流口、风蚀崖、河流阶地、侵蚀阶地、风蚀地貌、河滩、摩崖石窟、摩崖石刻及望河犬、飞天、千斤顶、笑口常开、海底世界、小瀑布、塌鼻魔头、骷髅头、天眼、跳台等象形石	4	鱼泉、抗旱大桥、于家咀码头、阴德河碉堡

保护区划	不同水位(m)	受淹没影响地质遗迹		受淹没影响人文景观	
		数量	名称	数量	名称
	627	31	黄河堆积阶地、黄河溢流口、风蚀崖、河流阶地、侵蚀阶地、风蚀地貌、河滩、摩崖石窟、摩崖石刻及望河犬、飞天、千斤顶、笑口常开、海底世界、小瀑布、塌鼻魔头、骷髅头、天眼、跳台等象形石、蛇行洞、溶洞、象鼻山、	5	鱼泉、郭家山西碛堡、抗旱大桥、于家咀码头、阴德河碛堡
三级保护区	560	6	“悬谷”、黄河阶地、风蚀摩崖及鲨鱼吞食、将军石等象形石	3	永和关黄河大桥、永和关古渡口、原始文化古窑群
	588	9	“悬谷”、风蚀摩崖、黄河阶地、层理、节理、风蚀城堡及卧龙、鲨鱼吞食、将军石等象形石	3	永和关黄河大桥、永和关古渡口、原始文化古窑群
	607	10	“悬谷”、风蚀摩崖、黄河阶地、层理、节理、风蚀城堡及卧龙、鲨鱼吞食、将军石等象形石	4	咀头墓群、永和关黄河大桥、永和关古渡口、原始文化古窑群
	617	11	“悬谷”、风蚀摩崖、黄河阶地、层理、节理、裂隙、风蚀城堡及卧龙、鲨鱼吞食、将军石等象形石	5	咀头墓群、永和关黄河大桥、永和关古渡口、原始文化古窑群、张家圪河神庙
	621	11	“悬谷”、风蚀摩崖、黄河阶地、层理、节理、裂隙、风蚀城堡及卧龙、鲨鱼吞食、将军石等象形石	5	咀头墓群、永和关黄河大桥、永和关古渡口、原始文化古窑群、张家圪河神庙
	627	12	“悬谷”、风蚀摩崖、黄河阶地、层理、节理、裂隙、风蚀城堡及卧龙、鲨鱼吞食、将军石等象形石	5	咀头墓群、永和关黄河大桥、永和关古渡口、原始文化古窑群、张家圪河神庙

(1) 一级保护区

一级保护区内由于库区水位上升导致的淹没影响主要为：曲流面积扩大、河道水域面积增加、峡谷地貌相对高差缩小，河心岛、沙滩、边滩、河口凹槽、方山、古生物化石产出点、河流阶地等受到淹没影响。

除地质遗迹景观外，一级保护区内的红军崖、马家滩遗址、李家畔河神庙人文景观点也受到了蓄水影响，随着水位增加淹没范围不断扩大。

(2) 二级保护区

在工程运行不同阶段，二级保护区内黄河蛇曲峡谷上部的黄土地貌地势较高，不会受到蓄水影响，但黄河蛇曲峡谷上部的黄河支流峡谷地貌、河流阶地、摩崖石刻及部分象形石等将会受到不同程度的影响，主要表现为支流河道变宽、支流蛇曲水域面积增大，河流阶地、摩崖石窟石刻和骷髅头、望河犬等象形石的淹没。

除地质遗迹景观外，二级保护区内的鱼泉、抗旱大桥、于家咀码头、阴德河碛堡等人文景观点也受到了不同蓄水位的淹没影响，随着水位增加淹没范围不断扩大。

(3) 三级保护区

在工程运行不同阶段，三级保护区内由于黄土地貌位于海拔较高的黄土高原顶部，不会受到蓄水影响；而位于黄河沿岸的风蚀摩崖将会受到不同程度的淹没；此外，由于

黄河水位上升，峡谷地貌相对高差缩小，部分地势较高的河流阶地、层理、节理等构造与将军石等象形石将会淹没，对黄河峡谷景观也会有一定影响。

三级保护区内除地质遗迹景观外的永和关黄河大桥、永和关古渡口、原始文化古窑群等人文景观也受到了不同蓄水位的淹没影响，随水位增加淹没范围不断扩大。

总体上，山西永和黄河蛇曲国家地质公园自起始运用水位 560m 至正常蓄水位 627m，淹没影响地质遗迹自 39 处增至 59 处。拦沙初期、拦沙后期、正常运用期淹没影响地质遗迹数量分别为 39 处~50 处、39 处~55 处、50 处~59 处，占地质公园内地质遗迹总数的比例分别为 43.8%~56.2%、43.8%~61.8%、56.2%~66.3%，主要集中在一级保护区内，其中英雄湾、永和关湾、郭家湾、河汾里湾和仙人湾均沿黄河沿线分布，水位抬升对其影响较大；黄土地貌及其它类型地质遗迹在区域内广泛分布，影响较小。

14.3.6 典型地质遗迹淹没影响分析和评价

14.3.6.1 园区内地质遗迹主要类型分析

根据陕西、山西黄河蛇曲国家地质公园的综合考察报告列出的地质遗迹，结合野外调查与核实成果，按照《地质遗迹调查规范》(DT/Z0303-2017)对地质遗迹的分类设置标准，将两个黄河蛇曲国家地质公园内的重要地质遗迹进行重新分类梳理，见图 14.3.6-1。

地质遗迹分类标准			园区内分布地质遗迹		
大类	类	亚类	具体遗迹	等级评价	分布区域
地貌景观大类	水体地貌	河流（景观带）地貌	干流蛇曲	世界级	一、二级保护区
			支流蛇曲	国家级	
	构造地貌	峡谷（断层崖）	河心岛	省级及以下	一、二、三级保护区
			河流阶地		
基础地质大类	岩土体地貌	黄土地貌	河流滩		三级保护区
			水蚀地貌		
	重要化石产地	古植物化石产地	干流峡谷	国家级	二级保护区
			支流峡谷		
	构造剖面	断裂	黄土沟（谷）	世界级	二级保护区
			黄土梁		
			黄土塬		
			黄土崖		
			黄土侵蚀地貌		
			黄土风蚀崖壁		
			古芦木化石	省级	二级保护区
			逆冲断层	省级以下	二级保护区

图14.3.6-1 黄河蛇曲国家地质公园重要地质遗迹梳理

根据梳理后的分类结果，两个地质公园内的主要地质遗迹分为两个大类：地貌景观大类和基础地质大类。其中地貌景观大类中以水体地貌为主要景观，即黄河干流在晋陕大峡谷中形成的河流（景观带）地貌为核心地质遗迹，主要包括：干流蛇曲和其他同生

水体地貌景观。此外，黄土地貌作为公园的重要地质遗迹的组成部分，与河流（景观带）地貌共同构成了地质公园设立的基础。其他类型的地质遗迹虽作为园区地质遗迹的重要组成部分之一，但在黄土高原、黄河流域以及同层地层中极为常见。

14.3.6.2 黄河蛇曲地貌总体形态变化情况

根据可研，工程运行后起始运用水位 560m、死水位 588m、汛限水位 617m 和正常蓄水位 627m（正常运用条件下的最高水位）条件下，黄河蛇曲现状以及各典型水位时三维模拟影像见图 14.3.6-2~图 14.3.6-6。

需要特别说明的是，蛇曲地质公园总体形态模拟视角高度约为 30000m，一般民用无人机仅能拍摄到其中一个完整的典型蛇曲。

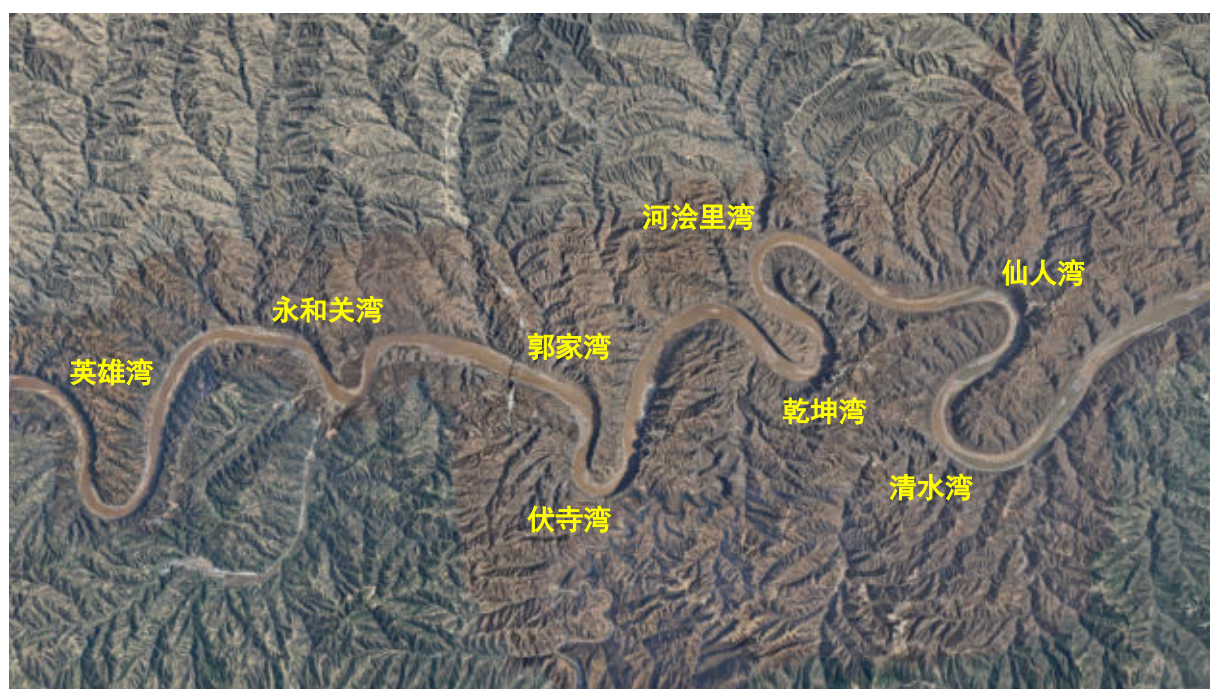


图14.3.6-2 黄河蛇曲地质公园三维模拟影像图（现状）



图14.3.6-3 黄河蛇曲地质公园三维模拟影像图（蓄水位 560m）



图14.3.6-4 黄河蛇曲地质公园三维模拟影像图（蓄水位 588m）

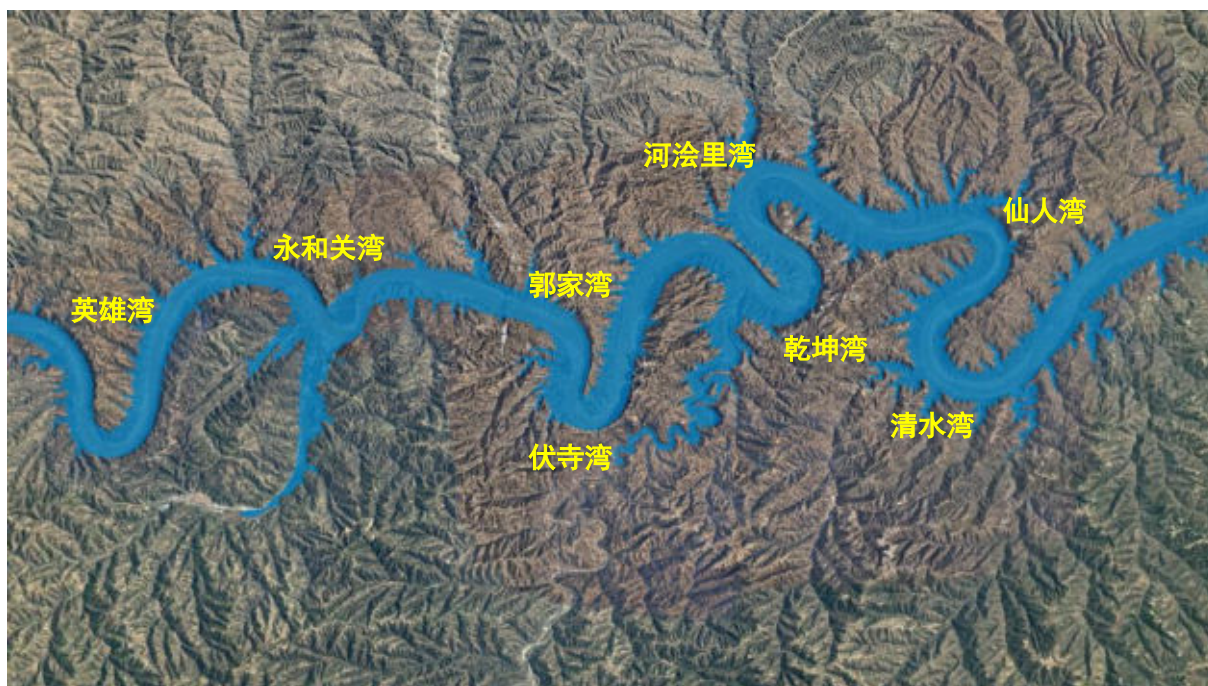


图14.3.6-5 黄河蛇曲地质公园三维模拟影像图（蓄水位 617m）



图14.3.6-6 黄河蛇曲地质公园三维模拟影像图（蓄水位 627m）

在水库拟定功能目标实现的前提下，工程运行对黄河蛇曲地质公园的淹没影响不可避免。水库蓄水后，黄河河床水面变宽，两岸坡度变缓，黄河干流峡谷型蛇曲群的整体形态有所改变。公园将形成新的水体地貌景观，由“黄河高山峡谷蛇曲群”景观变化为“黄土高原高峡湖泊”景观，具有新的景观特征及观赏价值。

14.3.6.3 园区内核心地质遗迹影响分析

由英雄湾、永和关湾、伏寺湾/郭家湾、乾坤湾/河汾里湾、仙人湾/清水湾组成的黄河蛇曲群地质遗迹景观，是两个国家地质公园的核心地质遗迹。根据王家耀院士团队构建的三维模拟系统，模拟 560m、588m、617m、627m 蓄水位时的各典型蛇曲的淹没状况，具体影响分析如下。

1. 典型蛇曲地貌景观水位抬升情况

从最北端的英雄湾到最南端的仙人湾，典型蛇曲地貌景观水位抬升情况见表

14.3.6-1。

表 14.3.6-1 不同蓄水位典型蛇曲地貌景观水位抬升情况统计 单位：m

典型蛇曲景观	现状河底 高程 (m)	水位升高情况 (m)					
		起始运用水位 560m	死水位 588m	607m	汛限水位 617m	621m	正常蓄水位 627m
英雄湾	546~547	13	41	60.4	70	73.9	80
永和关湾	538~539	21	49	68.4	78	81.9	88
伏寺湾/郭家湾	533~535	25	53	72.4	82	85.9	92
乾坤湾/河汾里湾	523~528	32	60	79.4	89	92.9	99
清水湾/仙人湾	515~516	44	72	91.4	101	104.9	111

从上表可以看出，典型蛇曲地貌所在河段河底高程为 515m~547m 之间，两岸峡谷高度为 100m~300m，水库蓄水后，蛇曲所在河段水位抬升至 560m~627m 之间，典型蛇曲地貌景观随着工程运用水位不同而呈现淹没、出露的交替变化。

自起始运用水位 560m 至正常蓄水位 627m（正常运用期每年出现的时间约 2 天），公园最北端的英雄湾水位抬升幅度由 13m 增至 80m，最南端清水湾水位抬升幅度由 44m 增至 111m。蛇曲河段水位平均抬升 27m~94m。随着各典型蛇曲水位抬升，黄河河床水面变宽，公园形成新的水体地貌景观，“黄河干流蛇曲群”景观类型变为黄土高原高峡湖泊景观，具有新的特征及观赏价值。

2. 典型蛇曲地貌景观水面宽度变化情况

陕西、山西两侧景区共设置了 4 处观景台，分别为伏寺湾、乾坤湾、仙人湾和清水湾。根据三维模拟系统成果，典型蛇曲地貌景观水面宽度变化情况见表 14.3.6-2。

表 14.3.6-2 不同运用水位典型蛇曲地貌景观水面宽度模拟变化情况 单位：m

典型湾	现状河床宽度	运用水位	最小河宽	最大河宽	平均河宽	观景台位置河宽
伏寺湾	200~300	560	411	724	523	507
		588	577	843	691	637
		607	675	1015	828	773
		617	723	1100	896	840
		621	723	1176	955	902
		627	745	1248	1013	961
乾坤湾	200~300	560	457	718	533	479
		588	532	934	746	736
		607	711	1060	880	900
		617	799	1122	947	981
		621	811	1986	1260	1732
		627	857	2404	1432	2108
仙人湾	200~300	560	510	899	646	629
		588	641	963	777	707
		607	727	1042	857	784
		617	770	1081	897	822
		621	774	1108	912	838
		627	795	1138	937	862
清水湾	200~300	560	516	827	645	585
		588	602	954	742	654
		607	676	1138	851	742
		617	712	1229	905	786
		621	722	1279	941	775
		627	743	1342	982	790

工程运行前，伏寺湾、乾坤湾、仙人湾、清水湾观景台处河宽约为 200m~300m。工程运行后，随着水位的抬高，各典型湾的河段均发生不同程度的变宽，变化的程度主要与各湾所在的地形条件密切相关。起始运用水位 560m 时，各典型湾河宽分别扩展到 400m~600m，约为现状河宽的 2 倍；正常运用期最高水位 627m 时，各典型湾河宽扩展到 800m~2000m，达到现状河宽的 3 倍~7 倍。其中，乾坤湾河段的河宽变化最大，由现状的 200 m~300m，最宽扩展到 2108m。

3. 典型蛇曲地貌景观水面与山体最高点高差变化情况

根据现场测量结合三维模拟系统，不同蓄水位时，水面与各典型湾山体最高点高程差见表 14.3.6-3。

表 14.3.6-3 不同水位时河面与各典型湾山体最高点的高差变化统计

水位 典型湾	山体最高 点高程 (m)	现状高差 (m)	不同水位河面与典型湾山体最高点高差 (m)				备注
			560	588	617	627	
伏寺湾	664	132	104	76	47	37	山体最高点距观景台约 1.3km
乾坤湾	660	126	100	72	43	33	山体最高点距观景台约 2.3km
仙人湾	695	180	135	107	78	68	山体最高点距观景台约 1.4km
清水湾	670	155	110	82	53	43	山体最高点距观景台约 1km

工程运行前，伏寺湾、乾坤湾、仙人湾、清水湾各河面与各典型湾山体最高处的高差约为 126m~180m。

工程运行后，随着水位的抬高，各典型湾河面与山体最高点的高差有不同程度的缩小。起始运行水位 560m 时，各典型湾河面与山体最高点的高差缩小至 100m~135m；正常运行期最高水位 627m 时，各典型湾河面与山体最高点的高差缩小至 33 m~68m。其中，四个湾中，乾坤湾河段与山体最高点的高差最小。

总体上，从各典型湾所在河段的河宽和与山体最高点的高差变化可以看出，工程运行对乾坤湾的淹没影响最大，伏寺湾次之，对清水湾和仙人湾淹没影响相对最小。

各典型蛇曲地貌景观现状与受到淹没后的景观变化，见图 14.3.6-7~图 14.3.6-12。

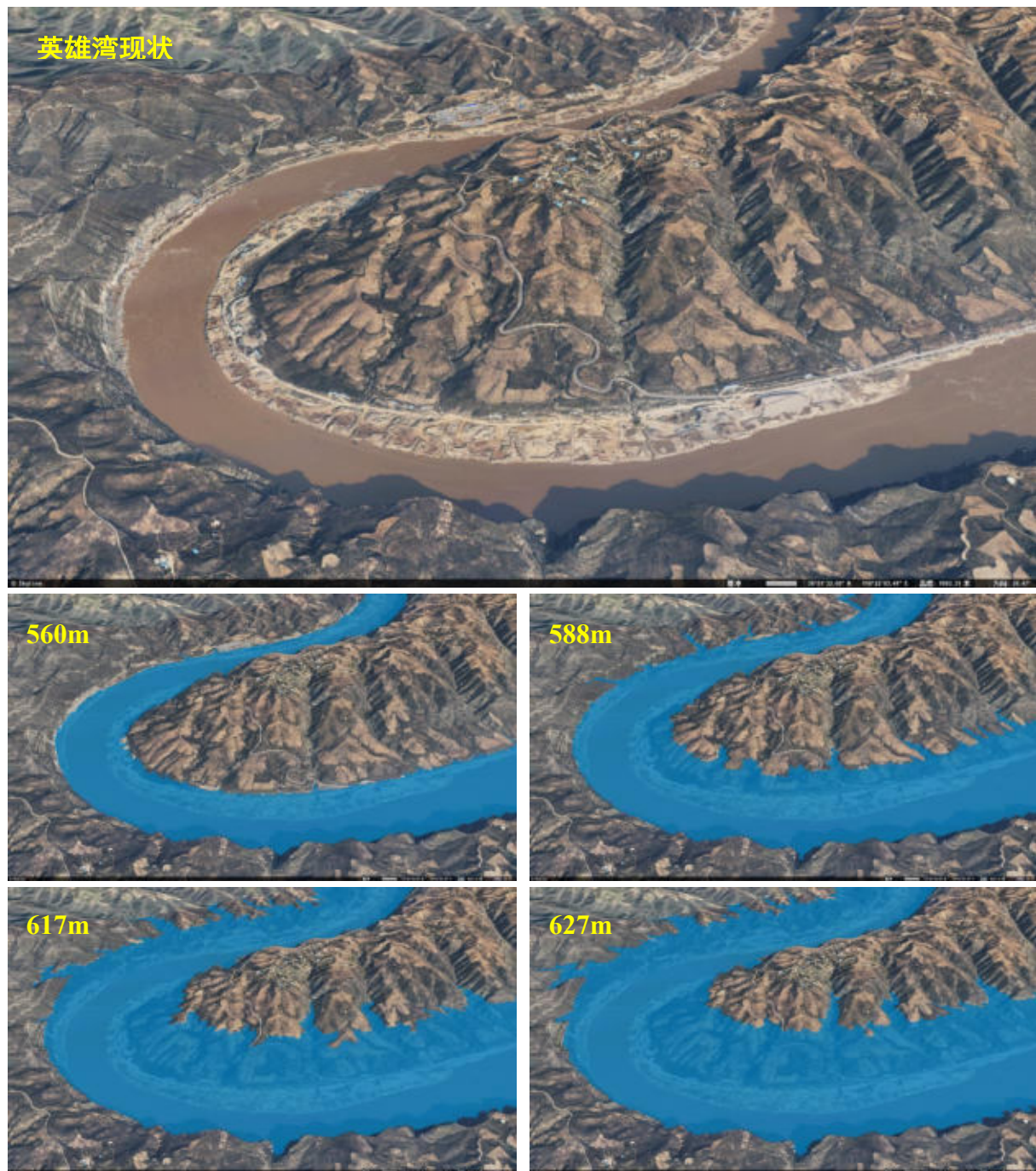


图14.3.6-7 英雄湾现状与 560m、588m、617m、627m 蓄水位淹没后对比

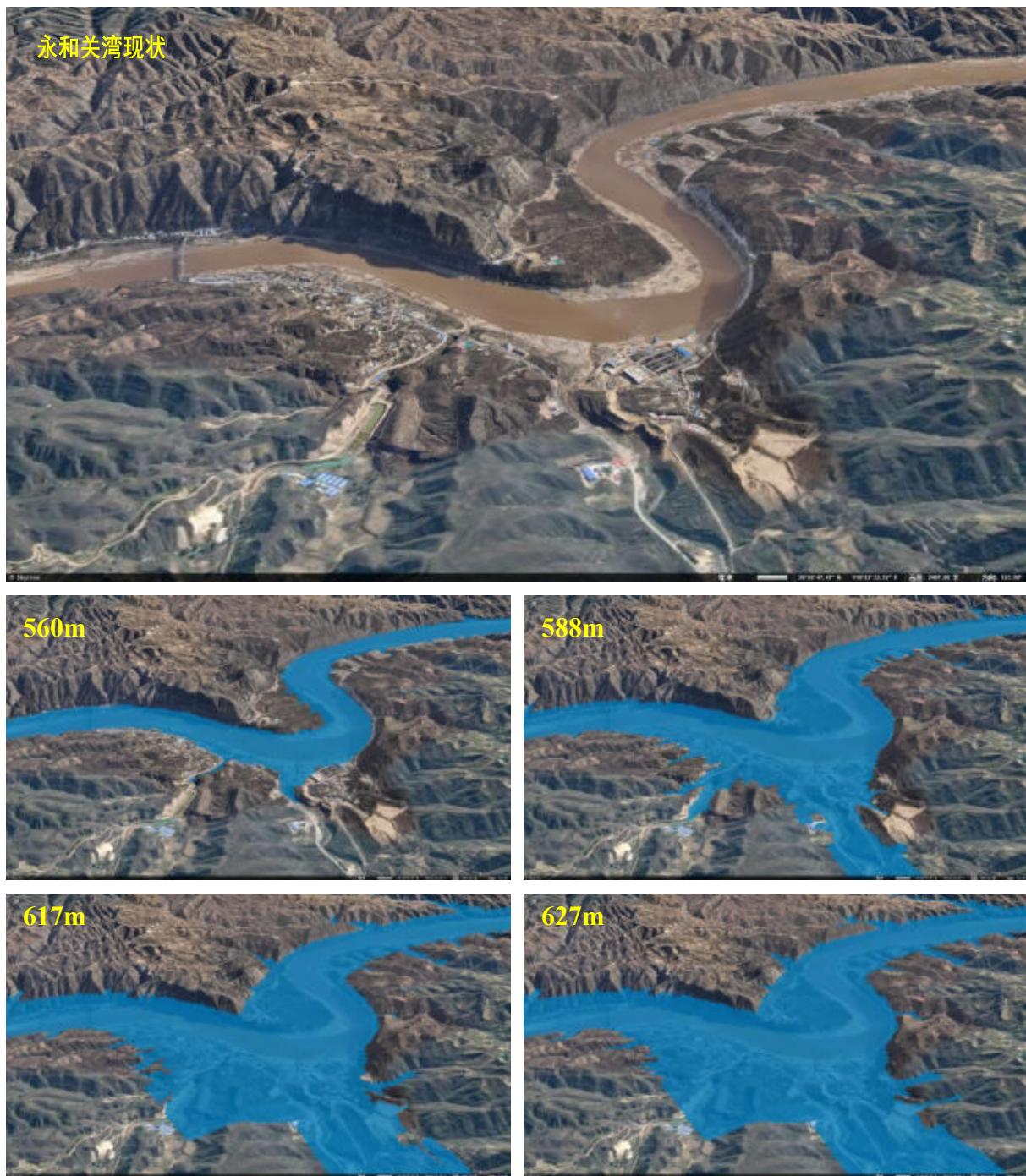


图14.3.6-8 永和关湾现状与 560m、588m、617m、627m 蓄水位淹没情况对比

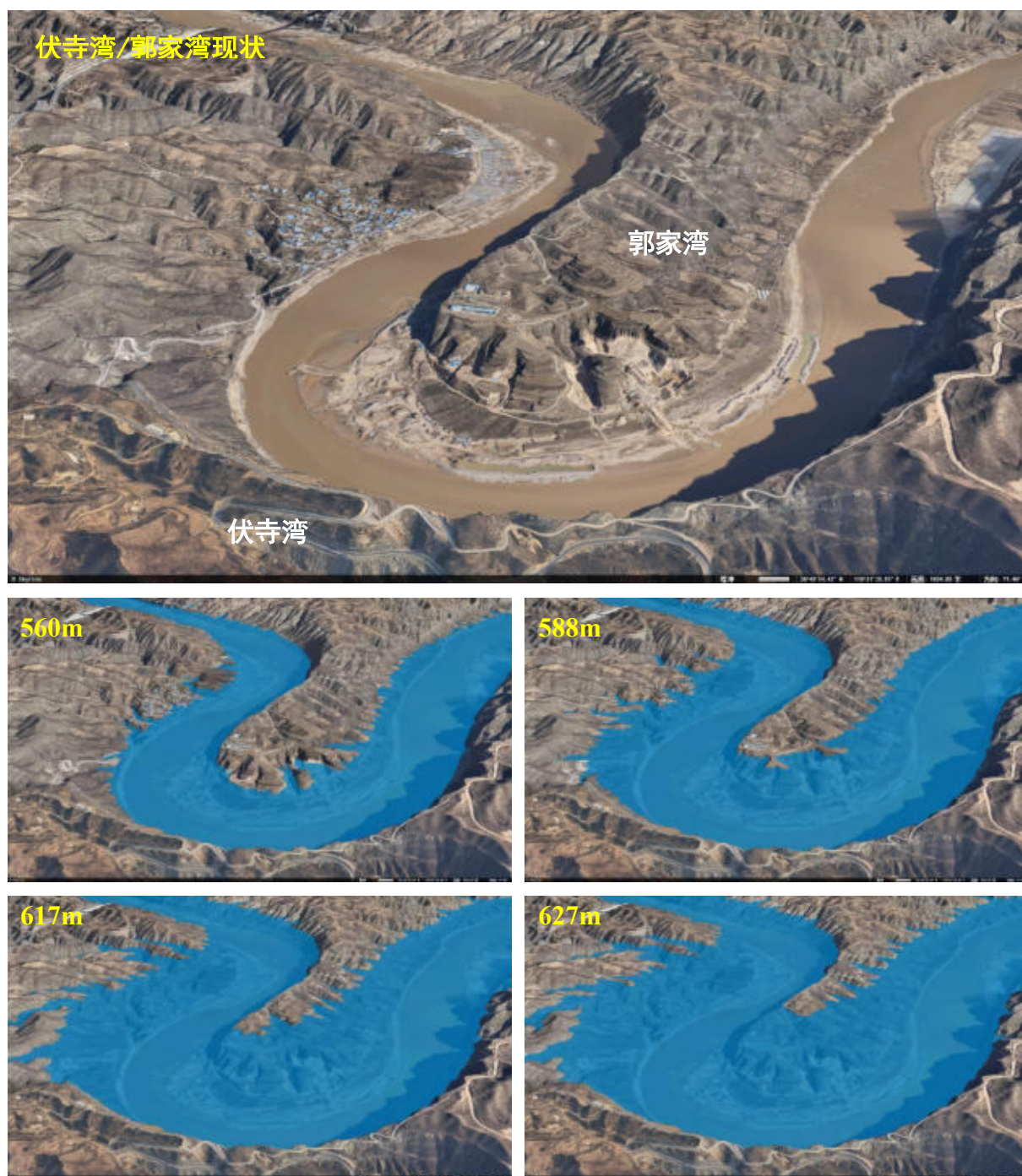


图14.3.6-9 伏寺湾/郭家湾现状与 560m、588m、617m、627m 蓄水位淹没情况对比

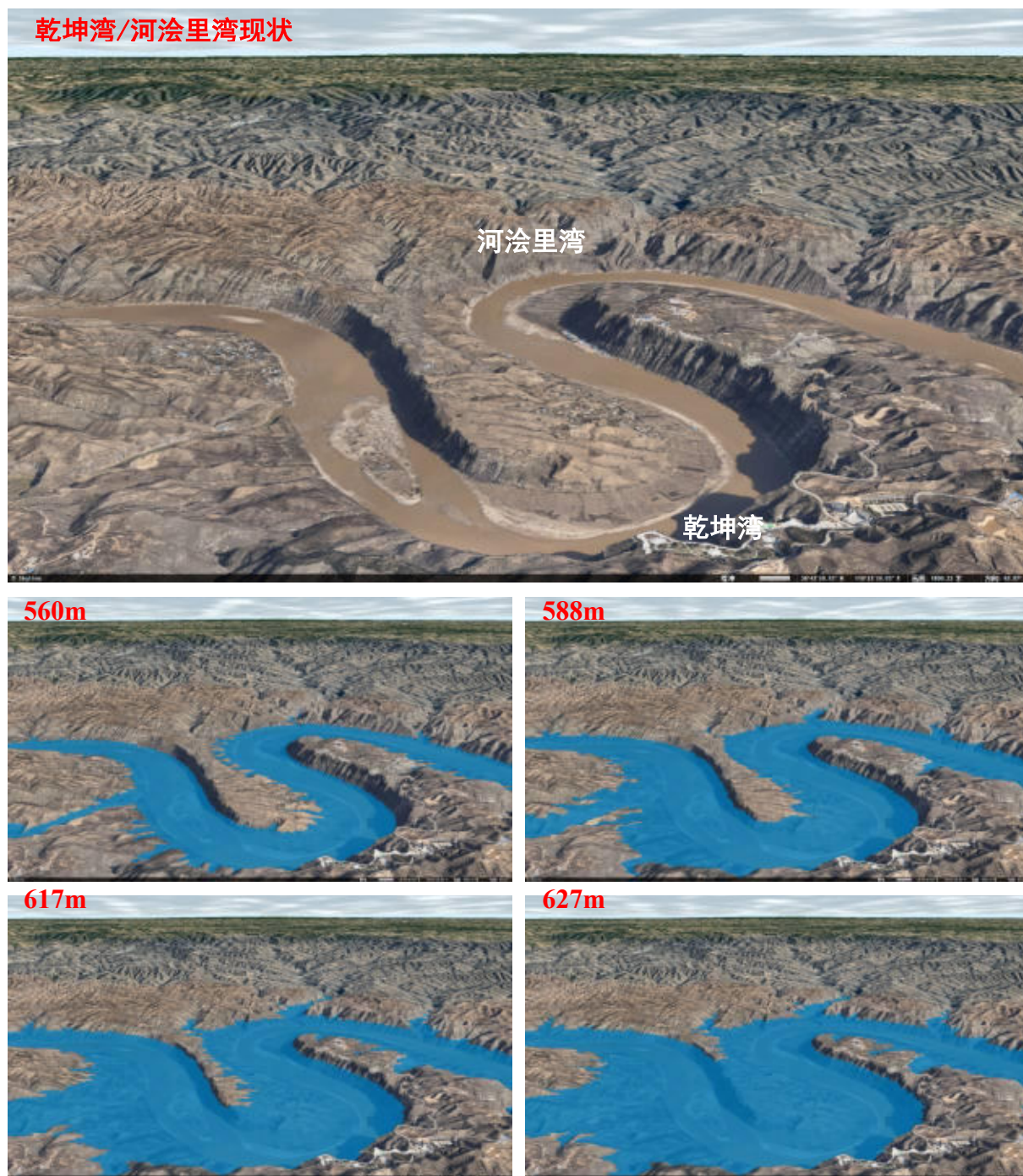


图14.3.6-10 乾坤湾/河汾里湾现状与 560m、588m、617m、627m 蓄水位淹没情况对比



图14.3.6-11 仙人湾现状与 560m、588m、617m、627m 蓄水位淹没情况对比

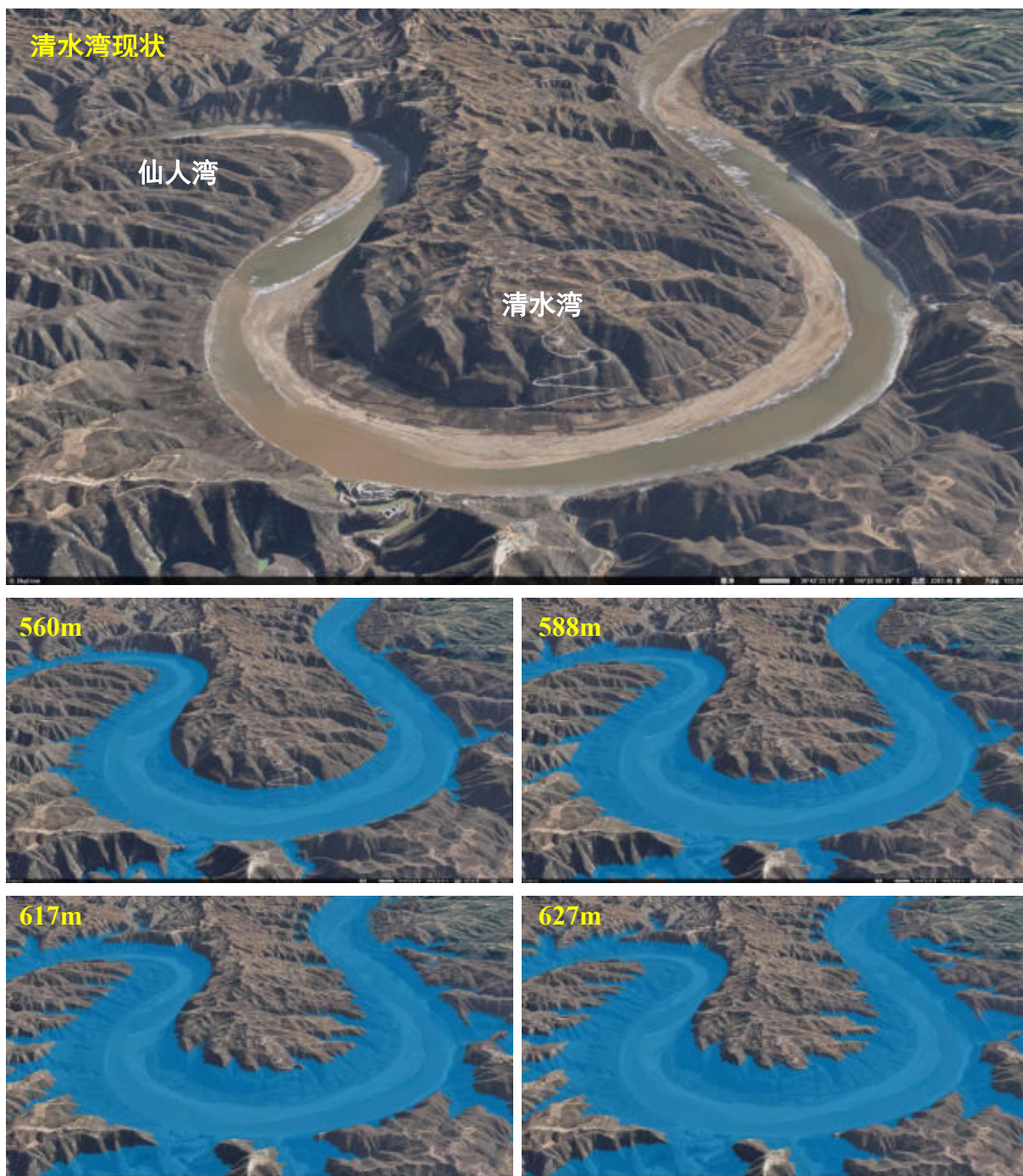


图14.3.6-12 清水湾现状与 560m、588m、617m、627m 蓄水位淹没情况对比

拦沙初期，平水年全年水位在 561m~579m 之间变化，水位变幅为 18m，此时各典型湾的形态基本保留；拦沙后期，全年水位在 582m~610m 之间变化，水位变幅为 28m，此时各典型湾受淹没影响较大，全年内受影响程度无显著差异；正常运用期，全年水位在 601m~625m 之间变化，水位变幅为 24m，此时各典型湾全年受淹没影响明显，黄河蛇曲的整体形态有所改变。

4. 不同运行期典型年年内景观变化分析

选取平水年作为典型年，根据可研成果，不同运行时期的平水年年内水位变化情况见图 14.3.6-13。

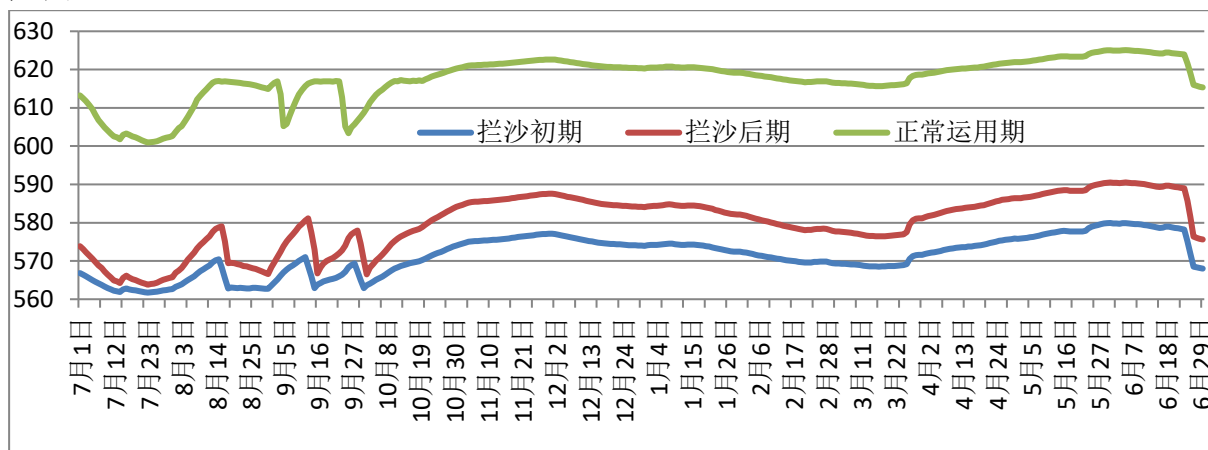


图14.3.6-13 不同运行期平水年年内水位变化曲线

拦沙初期第一年（以平水年为例），全年水位在 561.7m~579.9m 之间变化，水位变幅为 18m；拦沙后期第一年，全年水位在 563.8m~590.5m 之间变化，水位变幅为 27m；正常运用期第一年，全年水位在 600.9m~625.1m 之间变化，水位变幅为 24m。

不同运行时期的年内水位变化规律基本一致，每年的 5 月中下旬至 6 月下旬，水位达到最高，自 6 月底起水位开始下降，变动较为频繁，至 10 月初水位开始抬升，之后水位变动较为平缓。古贤对蛇曲地貌景观的影响，从年内来看，每年的 5~6 月淹没影响最大。

5. 典型蛇曲地貌景观价值变化分析

(1) 地貌景观价值评价指标体系

为了合理、有效地评价园区内的重要地质遗迹的淹没影响，评价与中国地质环境监测院深度合作，依据《国家地质公园规划编制技术要求》（国土资发〔2016〕83 号）、《国家地质公园评审标准（试行）》（2009）、《国家地质公园验收标准》（国土资规〔2010〕40 号）等相关技术规范中对于国家地质公园内地质遗迹的评审要求，并结合《地质遗迹调查规范》（DT/Z 0303-2017）中关于地质遗迹调查的内容，对地质遗迹的主要特征、重要价值进行细化，筛选出符合地质遗迹影响评价的相关评价内容，有针对性地设置评价指标。以地质遗迹的自然属性、社会属性为出发点，针对作为地质遗迹所体现出四个

重要价值：地学研究价值、景观生态价值、社会经济价值、科普教育价值进行评价。评价指标见表 14.3.6-4。

表 14.3.6-4 淹没影响评价指标

一级指标	二级指标	三级指标	评价说明
自然属性	地学研究价值	科学性	该地质遗迹对地学发展及研究具有怎样的科学价值
		稀有性	对于同类地质遗迹中，其在世界、国内、省内稀有性
		典型性	是否最能代表所评价区域内的地质遗迹类型、规模、内容等
		完整性	是否属于反映地质事件完整过程的地质遗迹，或者能为该类地貌形成与演化过程提供重要证据
	景观生态价值	天然性	是否保持自然状态未受到人类活动影响，或受到了何种程度的人为影响和改造
		观赏性	具备的美学价值
社会属性	社会经济价值	社会效益	是否对促进社会安定、有序发展具有重要意义
		经济效益	是否对当地经济发展、建设具有带动或帮助作用
	科普教育价值	地学教育意义	是否属于经典的地质现象，对地质现象认识、地学学科教育是否具备突出作用
		科普宣传意义	是否对地学知识传播具备一定的价值

以地质遗迹的四个重要价值为基础，对每一项重要价值再进行细化，设置具体的评价内容，评价重要地质遗迹的基础特征和重要意义。

地质遗迹的地学研究价值主要体现在：科学性、稀有性、典型性、完整性，其中科学性、稀有性代表了该地质遗迹最根本的科学价值，涵盖了其对地质研究、对比分析中重要贡献；典型性和完整性从地质遗迹的发育规模、发育特点、发育过程着手，评价其在地质遗迹研究中的突出价值。

地质遗迹的景观生态价值主要体现在：天然性和观赏性，天然性代表了地质遗迹是否维持原有天然发育状态，或者受到了何种程度的人为活动影响和改造；观赏性从美学的角度出发，客观评价地质遗迹所具备的美学价值。

地质遗迹的社会经济价值主要体现在：社会效益和经济效益，其中社会效益评价地质遗迹对当地社会发展所具备的作用；经济效益评价地质遗迹为地方经济建设所带来的价值。

地质遗迹的科普教育价值主要体现在：地学教育意义和科普宣传意义，其中地学教育意义体现了地质遗迹是否可作为经典地质现象，为地学教育提供教案、教例；科普宣传意义体现了地质遗迹为地学常识科普所做出的贡献。

(2) 典型蛇曲地貌景观价值变化分析

对各典型蛇曲淹没前后的科学研究价值、景观生态价值、社会经济价值、科普教育价值进行评价，评价结果见表 14.3.6-5。

表 14.3.6-5 黄河干流蛇曲群淹没前后评价分析

一级指标	二级指标	三级指标	天然状态下评价结果	淹没后预测影响评价结果
自然属性	地学研究价值	科学性	黄河干流蛇曲群大规模的深切嵌入式基岩蛇曲对深化河流蛇曲的成因理论研究有重要参考价值；发育于蛇曲两岸的河流阶地对研究黄河中游的河流发育与新生代以来地壳运动的关系有着重要价值；黄河曲流在黄土高原的演化，对研究黄土高原古气候的演化、变迁与环境变迁有重要作用	库区蓄水后，会影响到黄河在天然水文地质条件下其形态演化、发育与基岩河岸的水-岩相互作用，同时会对研究黄河早期在黄土地区演化、发育的过程以及蛇曲形态的识别带来一定困难；另外，变化后的黄河水文条件可能给晋陕大峡谷人为作用影响下的黄河演化研究提供新的方向
		稀有性	五大蛇曲共同构成了黄河流域最密集、规模最大、发育最完好的干流峡谷型蛇曲群，属于国内稀有	随着水位的不断抬升，英雄湾、清水湾蛇曲形态变化不大，永和关湾、伏寺湾（郭家湾）、乾坤湾（河洽里湾）天然的“太极形蛇曲”形态影响较大，五大曲流共同构成的“蛇曲群”景观，稀有性受到影响
		典型性	五大蛇曲展示了黄河在黄土高原地区自然演化的规律，其规模宏大、形态优美，具备黄河天然大型蛇曲形态的典型特征	英雄湾、清水湾蛇曲形态变化不大，永和关湾、伏寺湾（郭家湾）、乾坤湾“蛇曲”形态变化较大，峡谷地貌相对高差缩小，且凸岸一侧部分山体淹没，形成高峡湖泊片状水域，反映黄河自然演化过程的众多河流地貌受到了淹没，典型性受到影响或削弱
		完整性	黄河干流蛇曲群与其河流阶地、水蚀地貌共同展示了黄河深切基岩形成大型蛇曲的过程，对研究蛇曲成因及晋陕大峡谷地貌形态演化具有重要意义	因淹没范围相对较大，共同构成黄河蛇曲的河流阶地、河漫滩、水蚀洞穴等受到完全淹没，且“蛇曲”形态受到了影响，黄河蛇曲群反映黄河演化发育特征的完整性受到了影响
	景观生态价值	天然性	英雄湾、郭家湾等有采砂现象，乾坤湾、清水湾、仙人湾作为国家地质公园最主要的景区，受到了良好的保护，湾内无采砂现象，严格按照国家地质公园一级保护区的保护要求进行相关保护，并在附近建设了博物馆与观景台等设施	库区蓄水后，乾坤湾将被淹没，与对岸河洽里湾共同构成的“太极形”蛇曲形态基本消失，整体蛇曲群受到人为影响
		观赏性	五大曲流共同构成我国黄河干流河道上蛇曲发育规模最大、最完好、最密集的蛇曲群，具有较高的观赏性	水位上升后，水域面积逐渐增大，蛇曲形态发生改变，增大的水域面积为增添新的水上景观和水上活动等游览服务提供了基础；地质公园河段形成新的“串珠状”湖泊，构成新的景观
社会属性	社会经济价值	社会效益	五大曲流是支撑公园建设发展、对外宣传的核心内容，属于地质公园设立的基础	古贤工程建成后，新形成的库区可以有效防洪拦沙，对保障黄河长治久安、改善区域生态环境、推动流域高质量发展具有重大社会意义
		经济效益	陕西侧园区内相关配套游览设施相对完善，主要收入来源于门票、住宿和餐饮等	水域面积扩大后，园区可以通过重新规划，合理调节功能结构，拓展公园内水上娱乐项目，增加经济效益
	科普教育价值	地学教育意义	五大曲流作为单个“蛇曲”在黄河流域属于常见的地质遗迹，共同构成的黄土高原大型峡谷“蛇曲群”在国内外十分稀有，对地学教育、地貌认识有着重要的意义	受到淹没后，单个蛇曲形态消失或几近消失，其对应的科教意义和价值也受到影响
		科普价值	两侧地质公园内均设置有博物馆、主碑、标识牌和人工解说系统，为来访游客提供了便捷的科普介绍服务，科普宣传价值较高	库区蓄水后不会影响到现有的科普宣传系统，届时可在博物馆内增加蓄水前后地质遗迹景观变化的对比研究内容，并向游客阐述古贤水利工程的重大意义，引导游客对地质遗迹的理性认识

对于干流蛇曲群的自然属性来说，景观形态的变化削弱了黄河蛇曲群作为重要地质遗迹的稀有性、典型性和完整性，淹没对这三方面的影响是不可逆的；科学性可通过及时开展相关科学研究和调查来一定程度的弥补，而观赏性随着水位的变化会产生新的景

观。通过及时开展的科研及调查可以充实科普教育内容，在一定程度上提升其科普教育价值。

14.3.6.4 园区内其他地质遗迹影响分析

1. 黄土地貌

黄土地貌也是园区内的核心地质遗迹，该类地质遗迹在区域分布广泛。由于地处峡谷高岸，海拔较高，黄土地貌总体受蓄水淹没影响不大，总体可以得到保留。

2. 其他类型地质遗迹

(1) 黄河支流蛇曲景观

黄河支流蛇曲受大气降水控制，由于其存在季节性断流，所以在现阶段并不是公园内主要的地质遗迹景观。库区蓄水后，水位上升使得部分支流蛇曲处于常年丰水状态，呈现出类似干流蛇曲群的景观特点。虽然其在规模上无法与干流蛇曲相比，但在一定程度上弥补了干流蛇曲景观由于淹没而产生的缺失问题。

(2) 其他类型地质遗迹

鞋岛、河漫滩、河流阶地、水蚀洞穴等与黄河曲流，共同构成了园区内黄河干流的河流地貌类地质遗迹，做为园区地质遗迹的组成部分之一，这些地质遗迹所处位置高程较低，库区蓄水后完全淹没，但其在黄河流域属于极为常见的地貌，并不具备突出的自然属性，对其稀有性、观赏性、科普意义影响不大，因此，水库蓄水对这类遗迹淹没的总体影响十分有限。

表 14.3.6-6 其他类型河流地貌蓄水淹没前后评价分析

一级指标	二级指标	三级指标	天然状态下评价结果	淹没后预测影响评价结果
自然属性	地学研究价值	科学性	该类地质遗迹与黄河曲流共同构成了干流“蛇曲”，对“蛇曲”成因理论、区域地壳运动和黄土高原古气候的演化研究等有着重要价值	该类地质遗迹所处高程较低，受淹没较大，但此类地质遗迹在黄河中游地区广泛分布，具有研究选择的可替代性
		稀有性	该类地质遗迹在晋陕大峡谷黄河流域分布广泛，不具备稀有性	
		典型性	该类地质遗迹在黄河中游地区十分常见，不具备典型性	
		完整性	该类地质遗迹与黄河曲流共同构成了“蛇曲”群景观	
	景观生态价值	天然性	受人为扰动程度较低，基本保持为天然状态	淹没后对总体景观无影响
		观赏性	除鞋岛外，其他地质遗迹观赏性较低	
社会属性	社会经济价值	社会效益	该类地质遗迹无显著社会效益	淹没后对园区总体的社会经济价值基本无影响
		经济效益	鞋岛在枯水期时可登岛游览，丰水期时处于淹没状态，经济价值较低	
	科普教育价值	教育意义	河心岛、河漫滩、河流阶地、水蚀洞穴等水体地貌在黄河流域极为常见，对地学教育意义不大	该类地质遗迹不属于园区主要地质遗迹，淹没后科普教育价值影响不大
		科普意义	虽然黄河河流景观的重要组成部分，但科普价值不高	

14.3.6.5 潜在库岸崩塌预测分析

1. 基础工程地质条件

根据野外调查成果,对受淹没影响的黄河干流蛇曲库区的基础工程地质条件进行初步分析。

(1) 地形地貌: 晋陕大峡谷两侧岩壁陡峭,蓄水后形成的库岸坡面也为陡立面,部分区域为近乎直立甚至前缘临空,这些高陡的斜坡为岩体的崩落提供势能场。由于斜坡坡度大,地形陡峻,势能大,重力卸荷作用强,如若松散岩体脱离母岩,会在向下运动的过程中发生加速运动翻滚、坠落,增大其破坏力。

(2) 地层岩性: 园区内受到淹没影响的地层为三叠系中统铜川组、延长组的砂岩和砂质页岩层,岩层层理近乎水平,岩土体性质普遍较为稳定。但岩体随着暴露时间加长,受风化程度逐渐增高,另外由于岩体节理裂隙的发育,将岩体切割呈块状,可能导致发生崩滑发生。

(3) 构造裂隙: 区域上基岩岩体多有裂隙发育,根据区域地质调查成果,部分裂隙切割深度超过 1m,且发育方向以垂向裂隙为主。构造裂隙的发育破坏了岩体完整性,降低了岩体力学强度。当岩体重力卸荷作用大于岩体强度抗力作用时,由于岩体内部应力调整,节理、裂隙等软弱结构部位将发生位移变形,不但岩体中的节理、裂隙会扩展,新的裂隙也将发生、发展,促使危岩体脱离母岩。

2. 库岸崩滑的诱因初步分析

黄河蛇曲群天然形成的库岸地貌多为陡崖、陡坡,由于岩体构造裂隙和风化裂隙发育,受节理、裂隙结构面组合关系与及坡面关系控制,在自然条件下其表层破碎岩块极易沿与坡向一致的结构面产生整体剥落,从而形成大小不一不稳定岩块的位移,其崩落特征以滑移式和倾倒式为主,形成倒石堆,在对干流蛇曲的野外调查中偶有发现。

因此,库区内地形地貌、地层岩性、构造裂隙发育等为库岸崩塌提供了一定的地质基础。

3. 可能发生的库岸崩滑失稳方式

库岸崩滑的失稳方式,由于岩体产状平缓,倾角一般小于 20 度,引起库岸崩滑的主控面多为后缘的垂向卸荷裂隙。陡崖前缘不稳定的岩块附着于母岩上,以一定角度的

裂隙（卸荷裂隙）面接触，在危岩体自重、地表水渗入裂隙及植物根系生长等因素的作用下，裂隙面锁固部位被贯通，侧向压力岩块沿母岩（或基座）发生剪切破坏，发生库岸崩滑，其失稳方式见下图。

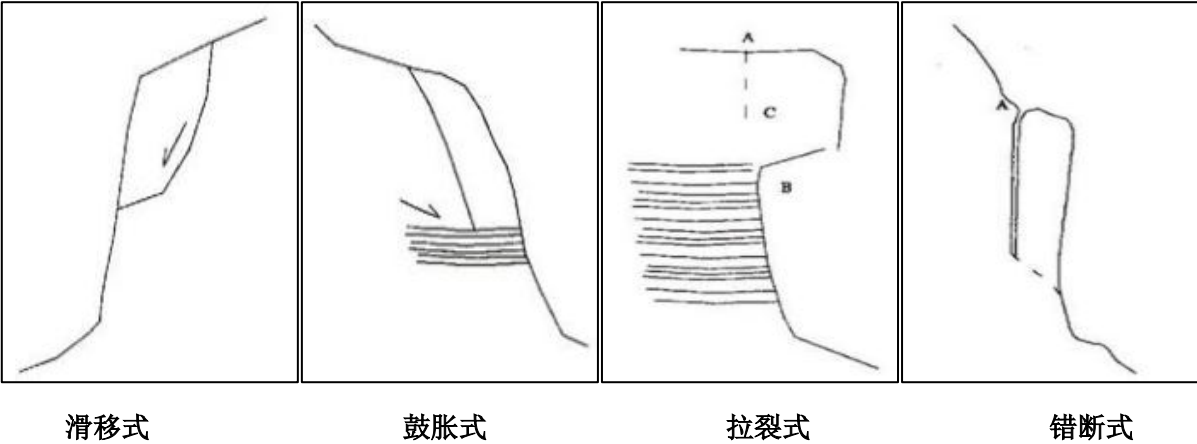


图14.3.6-14 岩体失稳方式

水库蓄水后，由于充水等原因，卸荷裂隙中产生的水平侧压力，使岩体产生错动或脱离母岩，属于滑移式或鼓胀式破坏，此种破坏方式往往有渐变特征。局部岩体前缘临空或后缘产生裂缝，破坏形式受岩体临空条件影响，往往发生更加突然。

4. 水库蓄水可能对库岸崩滑产生的影响预测

库岸崩滑的形成除地形地貌、地层岩性、节理裂隙等因素影响外，还受以下外部因素影响：

- (1) 风化作用：库岸的岩体长期处于暴露中，古贤水利枢纽工程开始运行后，库区水位会随着防洪调蓄等发生经常性变化，不断变动的水位可能加剧岩体风化。
- (2) 岩石力学性质改变：蓄水过程中，水位上升，随着岩土体含水率的增大，岩土体的抗压、抗拉强度等力学指标将发生改变，岩体自重卸荷和外力影响下，可能发生崩滑现象。
- (3) 蓄水侧压力作用：部分岩体后缘发育裂隙贯通性均较好，沿走向及垂向延伸长度大，张开性较好，裂缝中虽有一定充填物，但随着古贤工程的蓄水，水位不断上升，地表水进入岩体裂缝后产生动水压力，不仅危岩体后缘产生向外的水平推力，而且水位变化冲蚀裂隙间充填物，增大岩体松动程度，使危岩体稳定性下降甚至失稳破坏。
- (4) 冻融作用：库区蓄水抬升区域地下水位，库岸附近渗入到岩层层理中的水体

受季节变化,产生冻融作用影响,可能会扩张岩体裂隙,增加危岩体崩塌、滑落的风险。

总体来说,受淹没影响的库岸岩体力学特征总体良好,并且产状近水平的三叠系砂岩性质单一稳定,库区蓄水后不会产生明显的、大规模的库岸滑坡或塌岸问题,但局部可能受到上述外部应力的作用,产生危岩体崩落。为满足相关的灾害评估,还需开展专项库区地质灾害勘察工作。

14.3.6.6 地质公园内地质遗迹影响程度评价

根据水库淹没三维模拟成果,结合对地质遗迹淹没前后的通过对园区内各类地质遗迹淹没前后的科学研究价值、景观生态价值、社会经济价值进行评价,综合判定地质公园内地质遗迹的影响程度。

1. 无影响的地质遗迹及人文景观

水库蓄水后这些地质遗迹景观点和人文景观点不会受到淹没影响,不影响地质公园的正常运营和健康发展。不受影响的地质遗迹和人文景观见表 14.3.6-7 和表 14.3.6-8。

表 14.3.6-7 不受影响的地质遗迹和人文景观（延川蛇曲地质公园）

序号	名称	高程（m）	所在景区	所在保护分区
1	方山地貌	669.2	会峰寨景区	二级地质遗迹保护区
2	基座阶地	725.7	乾坤湾景区	二级地质遗迹保护区
3	节理	623.4	乾坤湾景区	二级地质遗迹保护区
4	砂岩透镜体	630.5	清涧河景区	二级地质遗迹保护区
5	层理构造	728.5	清涧河景区	二级地质遗迹保护区
6	饼状砂岩	631.7	清涧河景区	二级地质遗迹保护区
7	接触关系	633.0	清涧河景区	二级地质遗迹保护区
8	断层	676.8	清涧河景区	二级地质遗迹保护区
9	层理构造	689.5	清涧河景区	二级地质遗迹保护区
10	黄土地貌	700m 以上	各景区均有分布	二、三级地质遗迹保护区
11	碾畔黄河原生态文化民俗博物馆	715.3	民俗文化景区	二级地质遗迹保护区
12	小程民间艺术村	721.3	民俗文化景区	二级地质遗迹保护区
13	伏羲文化园	666.7	民俗文化景区	二级地质遗迹保护区

表 14.3.6-8 不受影响的地质遗迹及人文景观（永和蛇曲地质公园）

序号	名称	景区	类型	序号	名称	景区	类型
1	冲积扇	英雄湾景区	地质遗迹	35	铁花里碉堡	英雄湾景区	人文景观
2	沟口	英雄湾景区	地质遗迹	36	社里龙王庙	英雄湾景区	人文景观
3	水蚀洞穴	英雄湾景区	地质遗迹	37	驼头崖	永和关湾景区	人文景观
4	基座阶地	英雄湾景区	地质遗迹	38	河口古渡	永和关湾景区	人文景观
5	黄土崩	英雄湾景区	地质遗迹	39	汉代古城堡遗址	永和关湾景区	人文景观
6	侵蚀阶地	英雄湾景区	地质遗迹	40	寨子山方城遗址	永和关湾景区	人文景观
7	母子情、扮鬼脸	永和关湾景区	地质遗迹	41	永和关遗址	永和关湾景区	人文景观
8	动物世界	永和关湾景区	地质遗迹	42	欢喜岭碉堡	永和关湾景区	人文景观
9	不整合面	永和关湾景区	地质遗迹	43	白氏家族墓地	永和关湾景区	人文景观
10	黄土梁	永和关湾景区	地质遗迹	44	张家圪遗址	永和关湾景区	人文景观
11	黄土梁	永和关湾景区	地质遗迹	45	郭家山遗址	郭家湾景区	人文景观

序号	名称	景区	类型	序号	名称	景区	类型
12	黄土崩	永和关湾景区	地质遗迹	46	河心岛远景	河洽里湾景区	人文景观
13	黄土崩	永和关湾景区	地质遗迹	47	李家畔城址	河洽里湾景区	人文景观
14	黄土崩	永和关湾景区	地质遗迹	48	李家畔遗址	河洽里湾景区	人文景观
15	黄土梁	郭家湾景区	地质遗迹	49	伏羲亭	仙人湾景区	人文景观
16	黄土崩	河洽里湾景区	地质遗迹	50	打瓦赛场	仙人湾景区	人文景观
17	侵蚀阶地	河洽里湾景区	地质遗迹	51	永和碉堡	仙人湾景区	人文景观
18	巨蟒捕食	仙人湾景区	地质遗迹	52	乾坤台	仙人湾景区	人文景观
19	探河龟	仙人湾景区	地质遗迹	53	黄河宣言台	仙人湾景区	人文景观
20	顶梁柱	仙人湾景区	地质遗迹	54	炮台山	仙人湾景区	人文景观
21	有眼无珠	仙人湾景区	地质遗迹	55	红军东征纪念馆	仙人湾景区	人文景观
22	负重之驼	仙人湾景区	地质遗迹	56	古井	仙人湾景区	人文景观
23	石球群	仙人湾景区	地质遗迹	57	红军井	仙人湾景区	人文景观
24	猪嘴石	仙人湾景区	地质遗迹	58	阴德河月城遗址	仙人湾景区	人文景观
25	沙发石	仙人湾景区	地质遗迹	59	小坪遗址	仙人湾景区	人文景观
26	冲沟	仙人湾景区	地质遗迹	60	马家湾土地庙	仙人湾景区	人文景观
27	黄土崩	仙人湾景区	地质遗迹	61	下退干遗址	仙人湾景区	人文景观
28	黄土塬	仙人湾景区	地质遗迹	62	下退干后坪遗址	仙人湾景区	人文景观
29	黄土塬	仙人湾景区	地质遗迹	63	雨林遗址	仙人湾景区	人文景观
30	植物化石点	仙人湾景区	地质遗迹	64	罗岔遗址	仙人湾景区	人文景观
31	观景台	英雄湾景区	人文景观	65	罗岔城址	仙人湾景区	人文景观
32	咀头烽火台遗址	英雄湾景区	人文景观				
33	社里炮台遗址	英雄湾景区	人文景观				
34	碑崩墓群	英雄湾景区	人文景观				

2. 受轻微影响的地质遗迹及人文景观

这些地质遗迹在秦晋大峡谷区域较为常见，其地学研究价值、景观生态价值与社会经济价值相对较低，水库蓄水对这些地质遗迹有一定程度的不利影响，但影响程度有限，并且可以在区域内寻找到相同或相似的地质遗迹，具备可替代性，不影响地质公园的正常运营和健康发展。受轻微影响的地质遗迹和人文景观见表 14.3.6-9 和表 14.3.6-10。

表 14.3.6-9 受轻微影响的地质遗迹和人文景观（延川蛇曲地质公园）

序号	名称	高程（m）	所在景区	所在保护分区
1	黄河河流阶地	/	全部景区	各级地质遗迹保护区
2	黄河河漫滩	/	全部景区	各级地质遗迹保护区
3	离堆雏形	610.5	会峰寨景区	一级地质遗迹保护区
4	水蚀洞穴	599.4	会峰寨景区	二级地质遗迹保护区
5	支流蛇曲	583.2	会峰寨景区	二级地质遗迹保护区
6	芦木化石	588.7	乾坤湾景区	二级地质遗迹保护区
7	芦木化石	572.9	清涧河景区	二级地质遗迹保护区
8	支流蛇曲	565.3	清涧河景区	二级地质遗迹保护区
9	支流深切峡谷	547.7	清水湾景区	二级地质遗迹保护区
10	饼状砂岩	587.6	乾坤湾景区	二级地质遗迹保护区
11	层理构造	569.5	乾坤湾景区	二级地质遗迹保护区
12	节理	577.8	乾坤湾景区	二级地质遗迹保护区
13	激流瀑布	566.1	清涧河景区	二级地质遗迹保护区
14	干流峡谷地貌	/	全部景区	二级地质遗迹保护区
15	女娲峰（象形山）	578.9	民俗文化景区	一级地质遗迹保护区

表 14.3.6-10 受轻微影响的地质遗迹及人文景观（永和蛇曲地质公园）

序号	名称	景区	类型	序号	名称	景区	类型
1	黄河阶地	英雄湾景区	地质遗迹	32	二级阶地	河洽里湾景区	地质遗迹
2	“悬谷”	英雄湾景区	地质遗迹	33	河心岛	河洽里湾景区	地质遗迹
3	节理	英雄湾景区	地质遗迹	34	河心岛	河洽里湾景区	地质遗迹
4	化石	英雄湾景区	地质遗迹	35	河流阶地	河洽里湾景区	地质遗迹
5	卧龙、风蚀城堡	英雄湾景区	地质遗迹	36	风蚀地貌	河洽里湾景区	地质遗迹
6	石球、化石	英雄湾景区	地质遗迹	37	河流阶地	仙人湾景区	地质遗迹
7	鲨鱼吞食	永和关湾景区	地质遗迹	38	河滩	仙人湾景区	地质遗迹
8	层理、节理	永和关湾景区	地质遗迹	39	笑口常开	仙人湾景区	地质遗迹
9	将军石	永和关湾景区	地质遗迹	40	海底世界	仙人湾景区	地质遗迹
10	风蚀洞庭	永和关湾景区	地质遗迹	41	小瀑布	仙人湾景区	地质遗迹
11	风蚀摩崖	永和关湾景区	地质遗迹	42	塌鼻魔头	仙人湾景区	地质遗迹
12	风蚀摩崖	永和关湾景区	地质遗迹	43	骷髅头	仙人湾景区	地质遗迹
13	黄河阶地	永和关湾景区	地质遗迹	44	侵蚀阶地	仙人湾景区	地质遗迹
14	层理	永和关湾景区	地质遗迹	45	天眼	仙人湾景区	地质遗迹
15	基座阶地、方山	永和关湾景区	地质遗迹	46	象鼻山	仙人湾景区	地质遗迹
16	裂隙	永和关湾景区	地质遗迹	47	河岸风光	郭家湾景区	地质遗迹
17	黄河溢流口	郭家湾景区	地质遗迹	48	跳台	河洽里湾景区	地质遗迹
18	黄河堆积阶地	郭家湾景区	地质遗迹	49	摩崖石窟	仙人湾景区	地质遗迹
19	望河犬	郭家湾景区	地质遗迹	50	摩崖石刻	仙人湾景区	地质遗迹
20	飞天	郭家湾景区	地质遗迹	51	城堡	仙人湾景区	地质遗迹
21	千斤顶	郭家湾景区	地质遗迹	52	黄土地貌	所有景区	地质遗迹
22	风蚀崖	郭家湾景区	地质遗迹	53	鱼泉	仙人湾景区	人文景观
23	河流阶地	郭家湾景区	地质遗迹	54	红军崖	英雄湾景区	人文景观
24	蛇形洞	河洽里湾景区	地质遗迹	55	马家滩遗址	英雄湾景区	人文景观
25	沙滩	河洽里湾景区	地质遗迹	56	咀头墓群	英雄湾景区	人文景观
26	边滩	河洽里湾景区	地质遗迹	57	郭家山西碉堡	郭家湾景区	人文景观
27	河流阶地	河洽里湾景区	地质遗迹	58	抗旱大桥	河洽里湾景区	人文景观
28	二鸟同行	河洽里湾景区	地质遗迹	59	李家畔河神庙	河洽里湾景区	人文景观
29	河口凹槽	河洽里湾景区	地质遗迹	60	于家咀码头	仙人湾景区	人文景观
30	砂岩节理	河洽里湾景区	地质遗迹	61	阴德河碉堡	仙人湾景区	人文景观
31	老鹰	河洽里湾景区	地质遗迹				

3. 受影响较大的地质遗迹及人文景观

受影响较大的主要是英雄湾至仙人湾的五个黄河干流蛇曲和河心岛（鞋岛），由于蛇曲地貌在位置、规模、曲率等方面的区别，形成景观各不相同。工程建成蓄水后，抬升了黄河水位，改变了现有蛇曲的景观特征，蛇曲水平面提高、范围扩大。黄河蛇曲下切深度大、两侧四级阶地高出河面距离大等典型特征弱化。

乾坤湾景区内河心岛面积较大且常年可见，其形似鞋子，当地人称为“鞋岛”，是该区域内最大的河心岛，水位上升后，该地质遗迹被淹没，该处景观永久消失。

根据分析成果，受到库区蓄水影响较大的地质遗迹点和人文景观点见表 14.3.6-11 和表 14.3.6-12。

表 14.3.6-11 受影响较大的地质遗迹和人文景观（延川蛇曲地质公园）

序号	名称	所在景区	所在保护分区
1	伏寺湾蛇曲	伏寺湾景区	一级地质遗迹保护区
2	乾坤湾蛇曲	乾坤湾景区	一级地质遗迹保护区
3	清水湾蛇曲	清水湾景区	一级地质遗迹保护区
4	鞋岛（河心岛）	乾坤湾景区	二级地质遗迹保护区
5	牛尾寨	清水湾景区	二级地质遗迹保护区
6	清水关	清水湾景区	二级地质遗迹保护区
7	会峰寨	会峰寨景区	一级地质遗迹保护区

表 14.3.6-12 受影响较大的地质遗迹（永和蛇曲地质公园）

序号	名称	景区	性质
1	英雄湾蛇曲地貌	英雄湾景区	地质遗迹
2	永和关湾蛇曲地貌	永和关湾景区	地质遗迹
3	郭家湾蛇曲地貌	郭家湾景区	地质遗迹
4	河汾里湾蛇曲地貌	河汾里湾景区	地质遗迹
5	仙人湾蛇曲地貌	仙人湾景区	地质遗迹
6	鞋岛（河心岛）	河汾里湾景区	地质遗迹

4. 消落带对地质公园景观的影响

古贤水利枢纽工程正常运用期死水位 588m，汛限水位 617m，最高水位 627m，由于 627m 最高水位每年仅出现 2 天，运行期水库常水位为 588m~617m，随着水库水位在 588m~617m 之间频繁涨落，会产生一定范围的消落带，消落带高度约为 29m。

由于古贤工程整个淹没区都处于峡谷地带，库周大部分区域为陡峭山体，坡度较大，消落带垂直高差较大，且地表以基岩为主，植被比较稀疏。

古贤工程建成后，随着水位抬升，黄河河床水面变宽，黄河蛇曲地质公园将形成新的水体地貌景观，“黄河干流蛇曲群”景观类型变为“黄土高原高峡湖泊”景观，具有新的特征及观赏价值，但消落带的形成，将对此景观产生一定的影响，消落带内的植被稀疏，岩石外露，景观单一，一定程度上影响景观欣赏。为尽量减少工程运行对生态景观的影响，本次环评提出消落带修复的研究课题，把消落带治理作为工程生态保护的重要工作，选择坡度比较平缓，具有植被生长条件的典型区域进行消落带生态治理试点，通过实施自然修复与人工治理，对消落带进行植被修复，提升景观价值。

14.3.6.7 地质公园保护价值影响分析

1. 科学研究价值影响

古贤工程蓄水后，位于死水位以下的地质遗迹常年处于水面以下，但死水位以上的地质遗迹随着水库运用时的水位升降，呈现淹没、出露的交替变化，仍具有一定科学研

究价值。

经实地调查，黄河北干流上段的万家寨库区河段（老牛湾景区）以及北干流中段的石楼县、清涧县河段也发育有蛇曲地貌，与永和、延川的蛇曲地貌基本相同，其形成的地质条件、地质构造类型与蛇曲地质公园内的核心地质遗迹有一定相似性，可在一定程度上弥补同类地质遗迹的科学研究价值。

2. 对景观生态的影响

（1）工程对黄河蛇曲地貌总体景观形态影响

古贤工程蓄水后，随着各典型蛇曲水位抬升，死水位 588 以下的景观将被淹没，同时黄河河床水面变宽，两岸坡度变缓，黄河干流峡谷型蛇曲群的整体形态有所改变，由“黄河干流蛇曲群”景观变化为“黄土高原高峡湖泊”景观，具有新的景观特征及观赏价值。

黄河蛇曲现状以及各典型运用水位时的总体形态见图 14.3.6-2~图 14.3.6-6。

（2）工程对典型蛇曲地貌景观淹没影响

古贤工程蓄水后，由现状的黄河水与两岸高峡组合形成的高峡蛇曲景观变化为“高峡平湖”水体景观，与原有景观存在较大差异，但“蛇曲”形态可以得到部分保留，并增添新的水上景观。

各典型蛇曲地貌淹没前后景观变化情况见图 14.3.6-7~图 14.3.6-12。

北干流及黄土高原地区不同规模的“河流蛇曲”多有发育，虽然其规模、密集程度不及黄河蛇曲地质公园，但就单个蛇曲地貌而言，可以一定程度上弥补同类地质遗迹的景观生态价值。

3. 旅游价值影响

古贤工程建成后，库区形成宽阔水面，给区域旅游发展带来新的机遇。两岸可依托库区水面，并与区域其他景区联动，开展多种新的旅游观光项目，提升地质公园的旅游价值，同时可为当地提供就业机会，解决农村剩余劳动力的转化问题，促进乡村振兴。

14.3.7 黄河蛇曲地质公园保护补偿措施

14.3.7.1 保护原则

1. 指导思想

客观分析国家重大建设项目对地质遗迹的综合影响，确定公园内重要地质遗迹的保护要求，落实重要地质遗迹的保护方法，促进重要地质遗迹的科学研究和合理利用，坚持国家地质公园的全面协调、可持续的发展观，通过分析预测模拟的库区蓄水淹没影响状况，科学部署地质遗迹保护方案，确保重要地质遗迹得到最有效的保护。由于淹没影响涉及陕西延川与山西永和黄河蛇曲两处国家地质公园，因此保护方案部分工作需要在两处公园进行统一部署。

2. 总体布局

- (1) 客观分析，综合论证；
- (2) 方法，满足地质遗迹保护要求；
- (3) 长期规划，协调发展；
- (4) 全面监控，重点防范；
- (5) 科学合理，具备可操作性的原则；
- (6) 统筹兼顾，使区域社会经济安全与地质遗迹保护协调发展。

3. 基础原则

(1) 坚持“保护第一”的原则

把地质遗迹与环境保护放在首位，各项保护措施贯穿于地质公园开发、建设的全过程，把对重要地质遗迹和生态环境的影响减少到最低限度。

(2) 规范化、科学化原则

必须严格遵循《中国国家地质公园建设技术要求和指南》、《地质遗迹调查规范》等技术要求和各级国土管理部门对地质公园的保护、建设要求。

(3) 严格遵守注重生态环境保护的原则

重新修编国家地质公园规划时需充分考虑地质遗迹综合利用和环境保护要求。

(4) 专款专项使用原则

保护方案费用应专款专用，不得截留、挤占和挪用，提高资金使用效益。

14.3.7.2 总体保护补偿措施布局

水库蓄水后对黄河蛇曲国家地质公园的淹没范围较广，对重要地质遗迹的淹没影响程度较高，受库区淹没影响的主要地质遗迹为英雄湾、永和关湾、伏寺湾（郭家湾）、乾坤湾、河汾里湾、仙人湾及清水湾组成的“蛇曲群”，淹没范围较大，不适用于工程防

护措施进行保护。因此，在黄河其他河段开展同类型地质遗迹的调查工作和现有的曲流群的研究工作及科研资料留存工作，这些手段是保护黄河中游“蛇曲群”最有效方法。

因此，对于这类地质遗迹的保护方式主要以以下方面为主：

1. 加强同地区、同类地质遗迹调查，寻找具备相同或类似地学研究价值、景观生态价值、社会经济价值的蛇曲地貌。

2. 加快重要地质遗迹的相关研究工作，本工程建设期为 11 年，到完成正常水位蓄水需要 38 年，具备相对充分的科研时间。通过增加科研经费，投入大量人力物力资源开展黄河蛇曲的相关研究，力争在受到淹没影响前，完成对黄河蛇曲的深度科学研究，从科学研究价值角度将淹没损失降到最低。

3. 开展资料留存工作，采用多媒体数字化技术，将现有的重要地质遗迹景观进行拍摄、三维扫描等，为后续参观展示、科学研究提供依据。

4. 改建博物馆，充实公园博物馆内容，进一步丰富博物馆的科学内涵。依托调查成果和科研成果，强化博物馆内关于黄河演化、“蛇曲”形成等地学知识的科普效果，并利用最新的声、光、电、影等技术手段，再现黄河“蛇曲”的天然景观，让游客可以切身感受到黄河“蛇曲群”的壮丽风景。

14.3.7.3 北干流区域同类地质遗迹调查

水库蓄水后，作为公园内的核心地质遗迹黄河干流峡谷型“蛇曲群”将受到一定的淹没影响。由于北干流及黄土高原地区不同规模的“河流蛇曲”多有发育，虽然其规模、密集程度不及黄河蛇曲地质公园，但其形成的地质条件、地质构造类型与黄河蛇曲有一定相似性，可以一定程度上弥补同类地质遗迹的科学研究价值、景观生态价值，因此，评价单位对黄河北干流的蛇曲地貌进行了调查，寻找类似的蛇曲地貌景观，加以保护。主要选取了黄河北干流上段的万家寨库区河段（老牛湾景区），北干流中段的石楼县、清涧县河段。

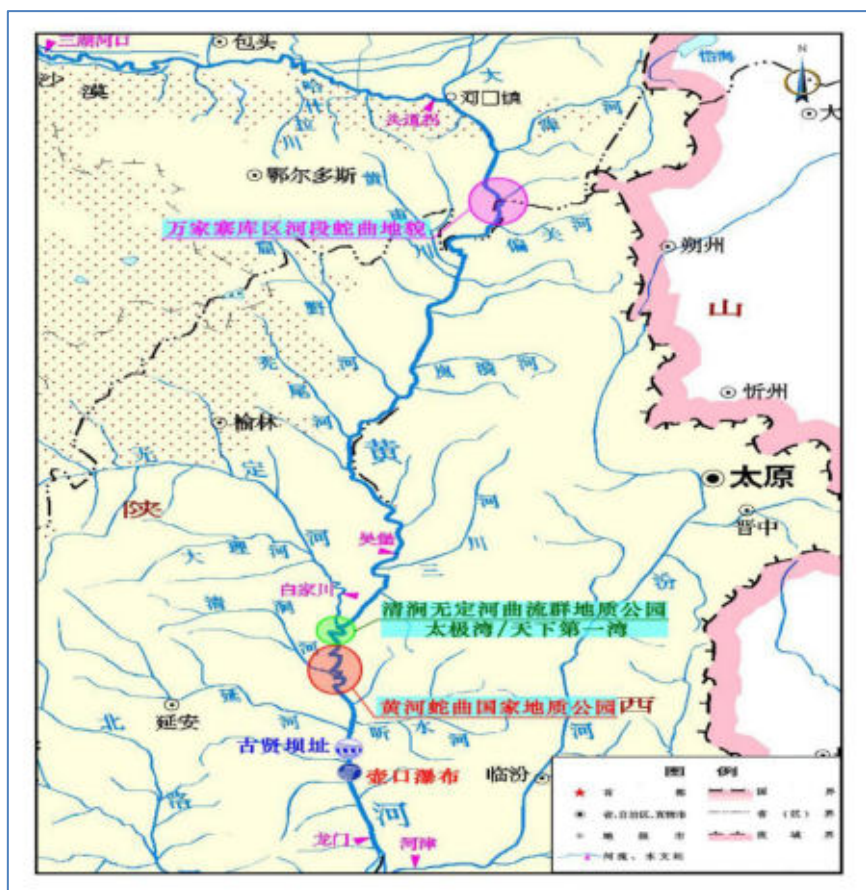


图 14.3.7-1 黄河北干流主要蛇曲地貌位置示意图

1. 万家寨库区河段蛇曲地貌景观分布情况

万家寨水利枢纽位于黄河北干流上段，距离古贤工程坝址 570km，其库区河段分布有两个 S 形弯道，分别为万家寨坝址上游约 3km 处的乾坤湾（山西省偏关县境内）和上游约 17km 处的太极湾（内蒙古清水河县境内），另外黄河支流杨家川入黄口有一处弯道，为内蒙清水河县、山西偏关县交界杨家川河上的老牛湾。

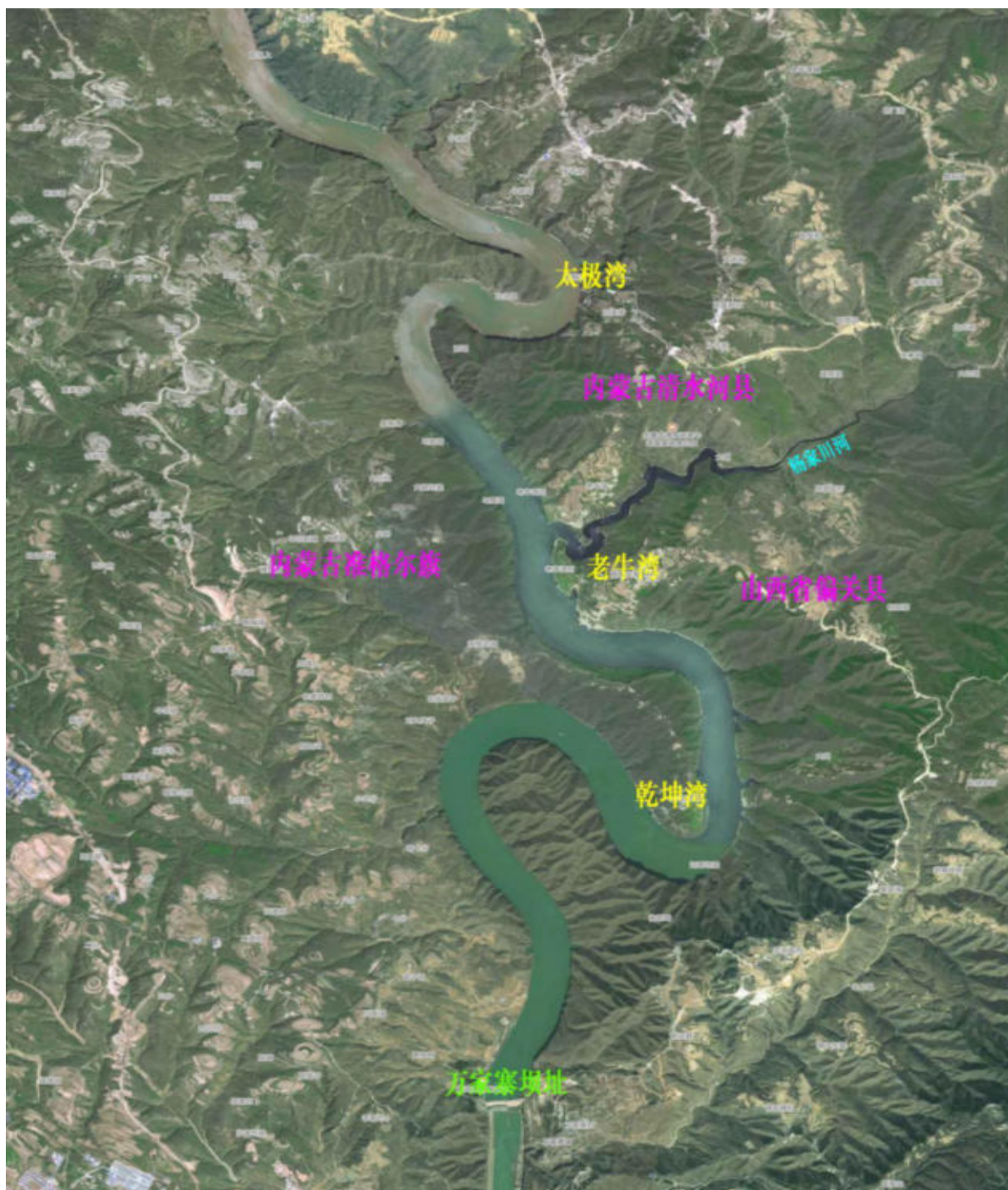


图 14.3.7-2 万家寨库区河段全景卫星影像图

内蒙古对境内的太极湾、老牛湾划定了内蒙古清水河老牛湾地质公园，2012 年 12 月，经内蒙古国土资源厅批准建立了自治区级地质公园，2014 年 2 月，国土资源部正式批准为第七批国家地质公园名单之一。该地质公园位于山西省和内蒙古交界处，以黄河为界，南依山西偏关县，北岸是内蒙古清水河县，西邻鄂尔多斯高原的准格尔旗。

该公园与黄河蛇曲地质公园类似，也是属于地貌与水体景观类、地层剖面类地质公园。公园规划总面积 25.344km²，园区内共有地质遗迹点 29 处，主要有黄河大峡谷、杨家川大峡谷、老牛湾、太极湾、古生物化石、地层遗迹等。其中世界级地质遗迹点 2 处（太极湾和黄河大峡谷），国家级地质遗迹点 1 处（老牛湾），其余为自治区级地质遗迹点，共 26 处。

图 14.3.7-3 内蒙古清水河老牛湾国家地质公园规划范围

老牛湾位于黄河和杨家川河交汇处，呈牛头形状，这里是全国唯一的黄河与长城的交汇点，规划中确定其为国家级地质遗迹。乾坤湾位于万家寨大坝上游约 3km 处，该处有连续的两道湾，形似太极。



图 14.3.7-4 老牛湾全景（来自科考报告）



图 14.3.7-5 老牛湾（观景位置山西侧）



图 14.3.7-6 乾坤湾（摄于 2017 年 5 月）



图 14.3.7-7 乾坤湾（摄于 2020 年 8 月）

从现场来看，内蒙古清水河老牛湾国家地质公园内的太极湾、老牛湾以及下游的乾坤湾也为水体曲流类地貌景观，均为河流下切黄土高原形成的蛇曲地貌景观，与永和、延川境内的黄河蛇曲地貌类似，但该河段的蛇曲规模和数量不及永和、延川黄河蛇曲地质公园，河道峡谷也没有黄河蛇曲河段纵深。但该曲流作为黄河晋陕峡谷的一部分，其

科学研究价值、科普价值与黄河蛇曲地质公园较为类似，对于研究黄河的形成和演化以及晋陕地区的构造运动都有着重要的作用和意义。

2. 石楼、清涧河段蛇曲地貌景观分布情况

在黄河石楼、清涧河段，无定河入黄河后，有两个连续的蛇曲，陕西侧划定了陕西清涧无定河曲流群地质公园，陕西侧称该处河流蛇曲为太极湾，山西侧称黄河第一湾，山西侧没有申报地质公园，正在打造“天下黄河第一湾”景区。太极湾下游约 10km 即进入山西永和黄河蛇曲国家地质公园英雄湾景区。

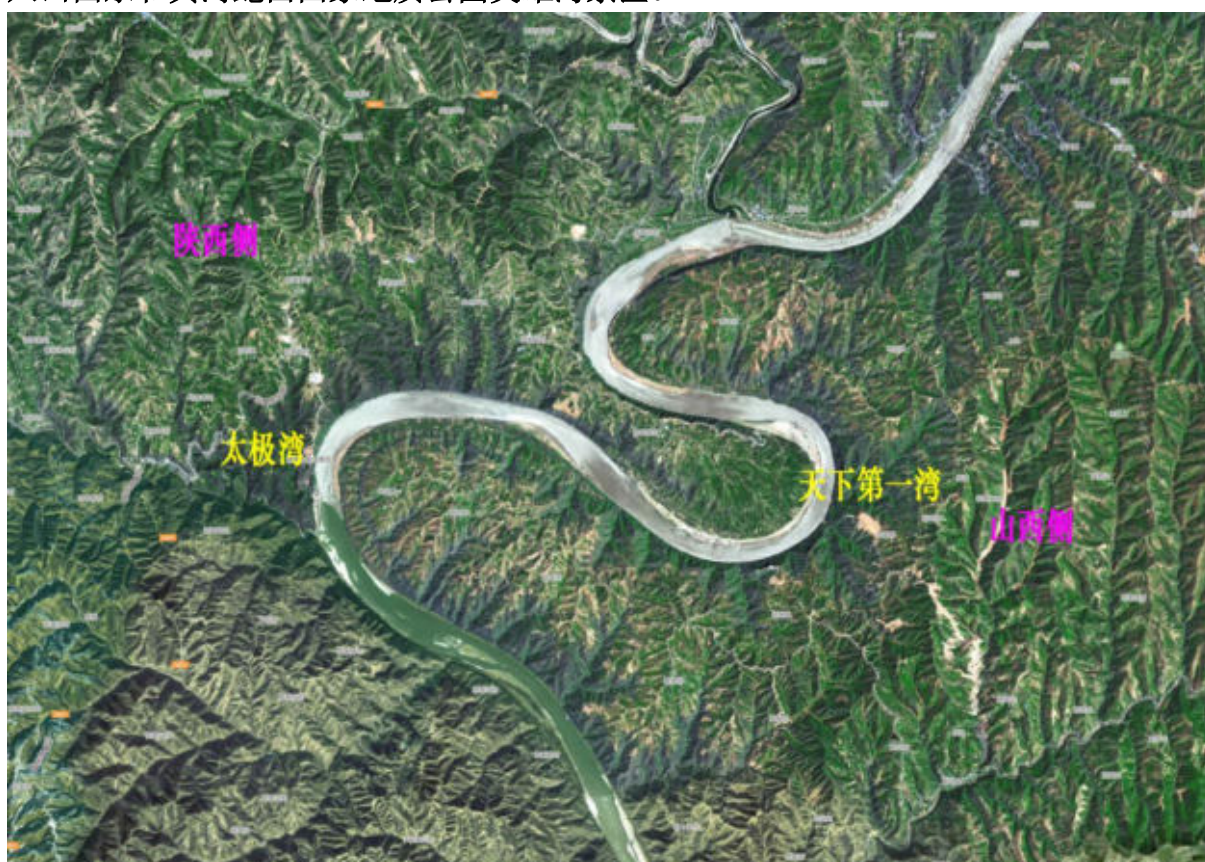


图 14.3.7-8 天下第一湾全景卫星影像图

此处曲流是黄河干流上的一个大湾，曲流地貌完整典型，曲率大，入弯处至出弯处水流总距离约为 14km，弯内陆地以入弯与出弯处最窄，仅为 700m，最宽处为 1700m，最高处与水面垂直距离约为 200m，太极湾下沿与下游的英雄湾上沿距离仅 10km 左右，其所处河段也在古贤水利枢纽库区范围内。

陕西侧太极湾形似中国的古老的太极图，阴极是弯曲的黄河，阳极是黄土山坡，蕴含人文历史价值与美学观赏价值。同时，作为典型的河流地貌景观，又兼具科学研究价

值。规划中确定地质遗迹等级为国家级。

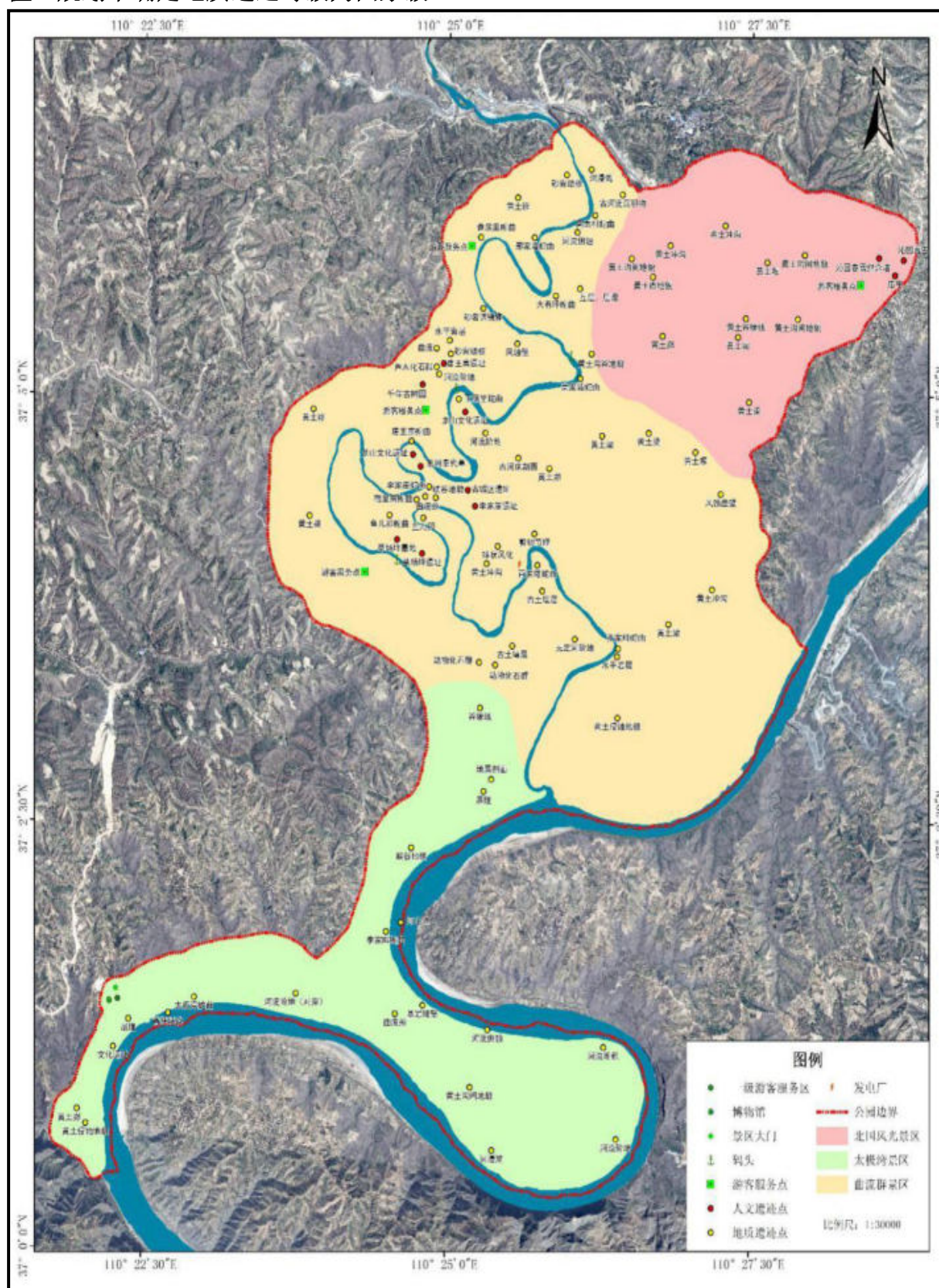


图 14.3.7-9 陕西清涧无定河曲流群地质公园总体规划范围



图 14.3.7-10 太极湾实景（陕西侧观测点，北端凸岸）



图 14.3.7-11 黄河第一湾（山西侧观景点，中部凸岸）

该段黄河河道弯曲，形成连续的三处凸岸，其中，山西一侧 2 处凸岸，陕西 1 处凸岸。蛇曲谷两岸地质体为中三叠统延长组一段肉红色、灰红色、灰白色含绿色斑点厚层岩屑长石砂岩，上覆第四系离石组黄土。

河谷特征：河床形态整体呈“U”型，河流长约 26km，宽 180m~410m，一般宽 280m，

曲率 2.06，河床纵比降 2.4‰，山顶与河面高差约 200m。汛期流量大，泥沙含量高，水体呈黄色。

该蛇曲是黄河干流中形成的典型的嵌入型蛇曲地貌，与永和、延川蛇曲地质公园的蛇曲地貌类似。古贤水库蓄水后，该河段也是水库库区范围，现状河底高程在 563m~570m，随着水位的抬升，起始运行水位 560m 时基本不淹没，死水位 588m 时水位抬升 10m~25m、汛限水位 617m 时水位抬升 47m~54m 左右，正常蓄水位 627m 时（第 39 年后每年出现 2 天）水位抬升 57m~64m 左右，蛇曲形态基本保留，并随着水体的充盈，蛇曲景观更具有观赏性，工程蓄水对太极湾的影响总体是有利的。

总体上，太极湾和黄河第一湾曲流的地貌类型、地层岩性与永和、延川的蛇曲地貌基本相同，且湾道的规模大小也基本相当。该蛇曲也是受中、新生代以来的构造运动控制而形成，其形成机理基本相同，虽湾道密集程度不及黄河蛇曲地质公园，但该蛇曲对于研究河流蛇曲的成因、黄土高原新构造运动特征、黄土高原古气候的演化特征、黄河在中游演化发育历史、流水侵蚀对地貌发育过程等均具有重要意义，其科学研究价值、美学价值、科普价值及旅游开发价值基本与永和、延川单个蛇曲地貌相似。

3. 北干流黄河蛇曲地貌的保护措施

作为黄河晋陕峡谷的一部分，北干流河段蛇曲地貌老牛湾与黄河第一湾从地貌类型、科学研究价值、美学价值、科普价值及旅游开发价值与永和、延川黄河蛇曲地质公园蛇曲地貌有一定类类似性，对于研究黄河的形成和演化以及晋陕地区的构造运动有着重要的作用和意义，具有重要的保护价值，应加强保护。

（1）禁止在蛇曲地貌保护区范围内开山、采石、采砂，保护其恢宏、苍凉、肃静之美的视域氛围。

（2）保护蛇曲河段两岸崖壁的完整性，严禁在崖壁修建道路。

（3）保护区应划界立桩，严禁采砂、采石、放牧、狩猎等破坏景观的活动。

（4）严格按照《内蒙古清水河老牛湾国家地质公园规划》、《陕西省清涧无定河曲流群地质公园规划》的有关要求，对地质公园内的地质遗迹进行保护。

14.3.7.4 开展库区其他地质遗迹调查工作

1. 公园园区及其外延范围地质遗迹详查工作

陕西延川黄河蛇曲国家地质公园与山西永和黄河蛇曲国家地质公园，园区面积广阔、地质遗迹资源丰富，包含地质类型众多的遗迹景观。通过开展园区内及外延区域的地质遗迹详查工作，补充尚未查明的地质遗迹，丰富已有的地质遗迹资源，为公园的长期发展提供技术保障，同时也为受到淹没影响的地质遗迹景观提供可替代选项。数字化资料留存工作可与园区地质遗迹详查工作同步展开。

（1）深入查明地质遗迹重要价值

① 通过开展园内地质遗迹详查工作，查明园区内地质遗迹的分布情况和分布特征，并对重要地质遗迹进行必要的三维扫描、视频拍照等数字化信息采集，为后续开展科学研究提供基础资料。

② 按照《地质遗迹调查规范》（DZ/T 0303-2017），对已有及新发现的地质遗迹资源进行重新梳理，更新已有的解说系统和相关标志标识。

③ 公园内重要地质遗迹调查成果数字化与资料留存工作，主要内容包括：蛇曲地质遗迹航空拍摄与视频录制、干流峡谷地貌三维扫描与可视化系统建设、黄河峡谷工程地质调查与岩土体取样，最终将全部分析成果纳入新建的黄河干流蛇曲地质遗迹详查数据库建设中。

④ 编制《陕西延川黄河蛇曲国家地质公园地质遗迹详查》《陕西延川黄河蛇曲国家地质公园地质遗迹详查》报告。

（2）寻找可替代地质遗迹资源

在园内及其外围区域开展淹没地质遗迹景观可替代性详细调查工作，为地质公园规划修编提供基础资料。

（3）调查范围

陕西延川黄河蛇曲国家地质公园全部园区 86km² 范围以及园区外围主要黄河支流流域；

山西永和黄河蛇曲国家地质公园全部园区 105.61km² 范围以及园区外围主要黄河支流流域。

2. 库区上游地质遗迹调查工作

在未受库区蓄水影响的黄河干支流开展地质遗迹调查工作，深入研究晋陕大峡谷地

质遗迹资源分布特征。

（1）地质遗迹调查工作

开展全面的库区上游黄河干流和支流地质遗迹调查工作，查明晋陕大峡谷地质遗迹资源分布特征。完成黄河上中游地区地质遗迹调查工作，根据调查结果填写地质遗迹调查表、拍摄地质遗迹数字化资料、编制地质遗迹分布图等相关内容。

（2）类比研究分析工作

根据调查结果，类比分析库区上游的河流景观类地质遗迹与园区内受淹没影响地质遗迹特征，总结梳理晋陕大峡谷河流地貌成因规律。完成《晋陕大峡谷地质遗迹综合调查研究》报告。

（3）调查范围及工作内容

调查范围：库区上游约 300km 的干流峡谷流域及其周边黄土地貌区域；

工作内容：开展库区上游黄河干流及支流的河流地貌、峡谷地貌、黄土地貌、构造类地貌等地质遗迹详细调查工作；对比及综合分析晋陕大峡谷黄河流域地质遗迹分布特征与演化规律。

14.3.7.5 地质遗迹科学研究与科普教育

通过深入开展黄河蛇曲群成因演化分析等科研工作，推动我国黄河在黄土高原黄河干流成因演化及相关理论研究，充分发挥地质遗迹资源的地学研究价值。并借助研究成果，向公众进行科普和展示，实现地质遗迹资源的科普教育价值的最大化。

1. 科学研究工作

（1）地质遗迹科学研究工作

开展园区内重要地质遗迹的科学研究工作。建设期通过大力推进地质遗迹科研工作进展，深入研究园区内重要地质遗迹的成因、演化规律，弥补库区淹没造成的研究对象损失；运行期加强地质环境的监测，开展地质环境变化研究工作。

科学研究工作内容包括：晋陕大峡谷及曲流群成因与演化研究、黄土高原地区地貌特征与黄河自然演化特征关系研究、黄土高原古气候的演化与环境变迁研究、古贤水库运行后地质环境变化研究。

（2）重点人文景观科考工作

两处国家地质公园内有多处重要人文景观受到了蓄水淹没影响，为保证人文文化遗产可以得到有效保护和进一步研究，需开展相应的科考及资料留存工作，并拍摄科考纪录片。

科考内容：

① 陕西延川黄河蛇曲国家地质公园：会峰寨、清水关古渡口；

② 山西永和黄河蛇曲国家地质公园：永和关古渡口、马家滩遗址、咀头墓群、原始文化古窑群。

2. 科普教育工作

科普教育工作是对地质遗迹调查成果与科学研究工作成果的转化与利用，体现了黄河蛇曲、晋陕大峡谷重要地质遗迹科普价值的核心内容，需在陕西、山西两省共同开展。

（1）专题纪录片拍摄

在工程建设蓄水前，对“黄河蛇曲群”不同季节的地质遗迹景观特征进行多方位、多角度拍摄，同时跟踪拍摄园区内地质遗迹详查、库区范围内地质遗迹调查工作和古贤水利枢纽工程建设实况等，并将“黄河蛇曲”演化规律、方式等科研成果制作成科普短片，最终编辑完成以“晋陕大峡谷地质遗迹保护与黄河水沙调控”为主题的纪录宣传片，可用于充实博物馆展示资料。

（2）研究成果展示及转化

利用开展科学研究得到的成果和园区地质遗迹资源详查的成果，整合编撰研究专著，可以进一步充实博物馆的内容，为公众提供科普研学材料，实现地质遗迹资源科学价值的成果转化与应用。

14.3.7.6 地质公园运营与规划修编

根据计划开展的园区地质遗迹详查工作和库区上游地质遗迹调查工作成果，结合公园现状发展情况和当地政府发展规划，针对古贤水利枢纽工程建成后对地质公园的淹没情况，调整保护分区和发展规划。

通过对已有的地质公园规划修编，可以使其更符合地方实际发展现状，分析自身的优势和发展中遇到的瓶颈，使国家地质公园与地方发展目标有机结合，同时实现地质公园更好、更快的建设与发展。

14.3.7.7 博物馆改扩建与科研成果展示

利用黄河蛇曲地质遗迹研究、园区内地质遗迹详查和黄河上游地质遗迹调查成果，补充完善现有博物馆内的展览内容。

对两处国家公园内的现有博物馆进行扩建，增设多功能展示厅，采用多媒体数字技术，将黄河蛇曲演化过程、三维数字化成果、科普记录片等进行宣传展示，补充完善现有的园区解说系统，体现科研成果的科普价值。此外，在博物馆内增设科研中心，为相关研究人员和学者提供科研场所，为国内外学术交流提供场地。

建设内容：

（1）黄河“蛇曲”地质遗迹景观三维全息投影展示系统建设

采用三维全息投影技术，再现黄河“蛇曲”不同季节、不同水量条件下的地质遗迹景观，最大限度弥补库区蓄水后造成的生态景观损失。

（2）黄河“蛇曲”地质遗迹科研成果综合展示厅建设工程

依托地质遗迹调查与地质遗迹科学研究成果工作，补充完善相关地质遗迹科研成果，促进地学研究发展，实现地质遗迹调查与保护的科研价值。同时，为国内外相关领域学者提供学术交流平台和科研场地。

（3）黄河“蛇曲”科普宣传影视展映厅改建工程

改建完善现有的地质遗迹科普宣传展映厅，补充地质遗迹调查拍摄的相关视频资料、重新拍摄宣传视频，并依托科研成果，增加专业科普讲解员、定期发放科普宣传手册、组织当地中小学及高校开展地学科普学堂，最大程度地实现地质遗迹的科普价值，让普通大众参与到地质遗迹保护中来。

黄河蛇曲国家地质公园保护补偿措施见表 14.3.7-1。

表 14.3.7-1 黄河蛇曲国家地质公园保护补偿措施

序号	保护补偿方案	主要工作内容	预期成果
1	黄河蛇曲地质公园地质遗迹详查工作	陕西延川公园内地质遗迹详查工作、地质遗迹资源可代替分析工作	《陕西延川黄河蛇曲国家地质公园地质遗迹详查》报告及图件、地质遗迹数据库建设、地质遗迹拍摄等高精度资料留存、重要遗迹三维扫描数据
		山西永和公园内地质遗迹详查工作、地质遗迹资源可代替分析工作	《山西永和黄河蛇曲国家地质公园地质遗迹详查》报告及图件、地质遗迹数据库建设、地质遗迹拍摄等高精度资料留存、重要遗迹三维扫描数据
2	库区上游地质遗迹调查与研究工作	地质遗迹资源调查工作*	黄河中游地质遗迹分布图、地质遗迹调查表、地质遗迹数字化照片与视频资料拍摄
		同类地质遗迹类比研究分析工作*	《晋陕大峡谷地质遗迹综合调查研究》报告及图件
3	黄河蛇曲国家地质公园规划修编工作	规划修编工作	陕西延川国家地质公园规划与专项研究报告
			山西永和和国家地质公园规划与专项研究报告
4	科学研究与科普教育工作（与山西永和黄河蛇曲国家地质公园共同开展）	地质遗迹科学研究工作*	晋陕大峡谷及曲流群成因与演化研究、黄土高原地区地貌特征与黄河自然演化特征关系研究、黄土高原古气候的演化与环境变迁研究、古贤水库运行后地质环境变化研究
		重点人文景观科考工作	重要人文景观、文化保护单位科考报告、科考纪录片拍摄（陕西侧）
			重要人文景观、文化保护单位科考报告、科考纪录片拍摄（山西侧）
		科普教育工作*	“晋陕峡谷地质遗迹保护”专题纪录片拍摄与制作
			研究专著出版与学术交流
			晋陕峡谷国家公园申报可行性研究
5	博物馆改扩建与研究成果展示工作	陕西延川黄河蛇曲国家地质公园博物馆改扩建与研究成果展示工程	博物馆改扩建、展示与解说系统更新、三维影像展示系统建设、信息管理系统完善
		山西永和黄河蛇曲国家地质公园博物馆改扩建与研究成果展示工程	博物馆改扩建、展示与解说系统更新、三维影像展示系统建设、信息管理系统完善

14.4 陕西省清涧无定河曲流群地质公园

14.4.1 无定河曲流群地质公园现状调查与评价

14.4.1.1 地理位置

陕西省清涧无定河曲流群地质公园是 2015 年 12 月陕西省国土厅批复的省级地质公园，位于陕西省榆林市清涧县高杰村镇、玉家河镇和老舍翼乡境内。地处华北地台的鄂尔多斯台向斜之陕北台凹东部，属于黄土残塬梁峁丘陵沟壑区和黄河沿岸蚀余黄土丘陵沟壑区。

14.4.1.2 范围、边界、面积

公园北起邢家塌村南至惠家河入黄口，西从川口东达高家圪村，南北长 11.9km，东西最宽 6km，总面积为 47km²。陕西清涧地质公园总体规划见图 14.4.1-1。

14.4.1.3 地质遗迹保护区划分

陕西清涧地质公园保护区划分见图 14.4.1-2。

一级保护区：公园无定河河谷两侧、黄河太极湾河谷西侧，成狭长带状，面积 14.5km²（含特殊地质一级保护地段 0.5km²），主要保护重点是无定河曲流群、太极湾、曲流颈、古生物化石地质遗迹等。

二级保护区：一级保护区外延区域，面积 9.3km²，包含黄河及无定河蛇曲的河湖相、河流阶地及黄土微地貌、谷中谷地貌、地层剖面、基岩沉积构造等地质遗迹。

三级保护区：北国风光景区残塬，6.2km²，主要保护公园内各种类型黄土地貌。

生态保护区：公园视域环境，地质遗迹自然环境背景，17km²。

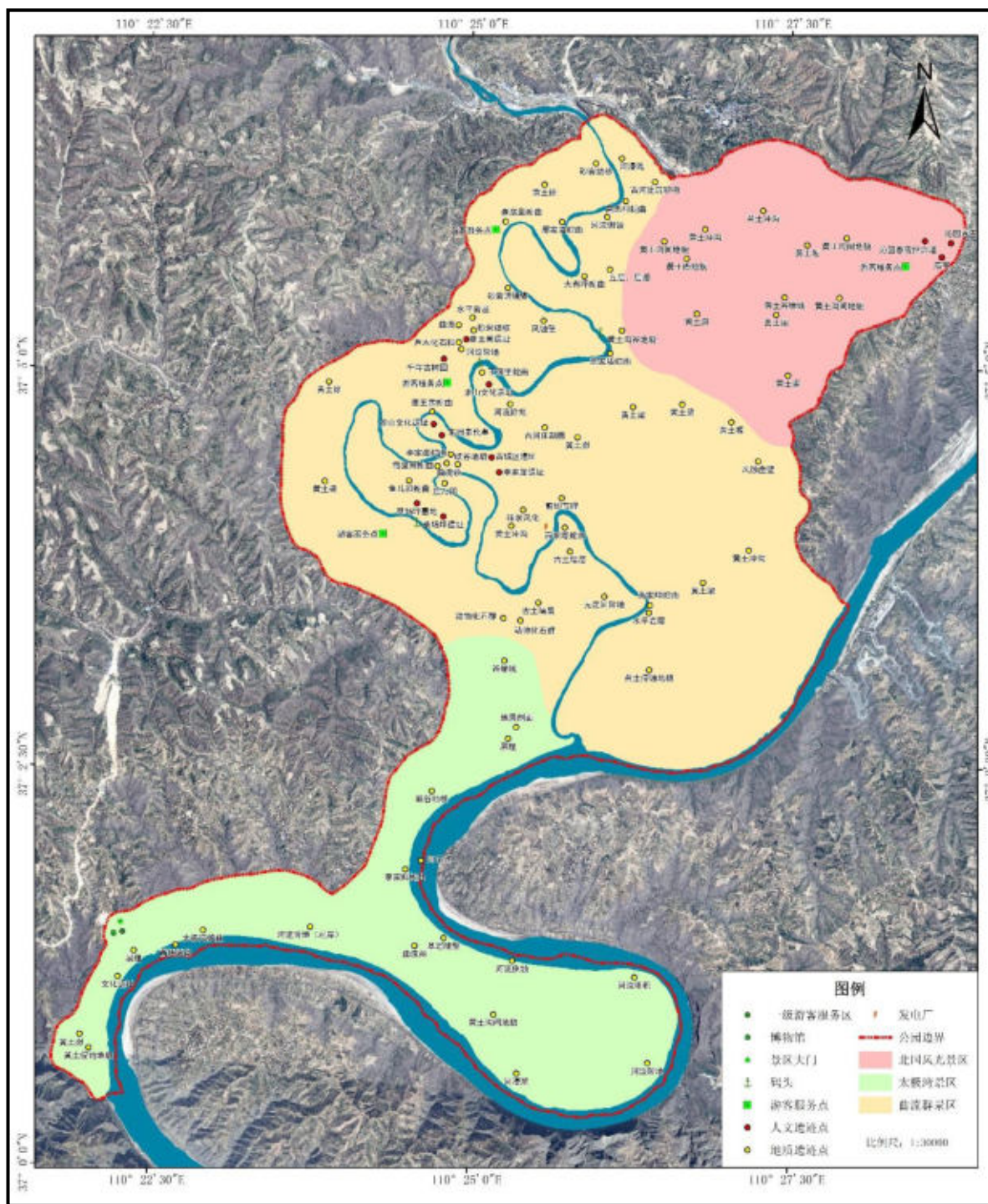


图 14.4.1-1 陕西清涧无定河曲流群地质公园总体规划图

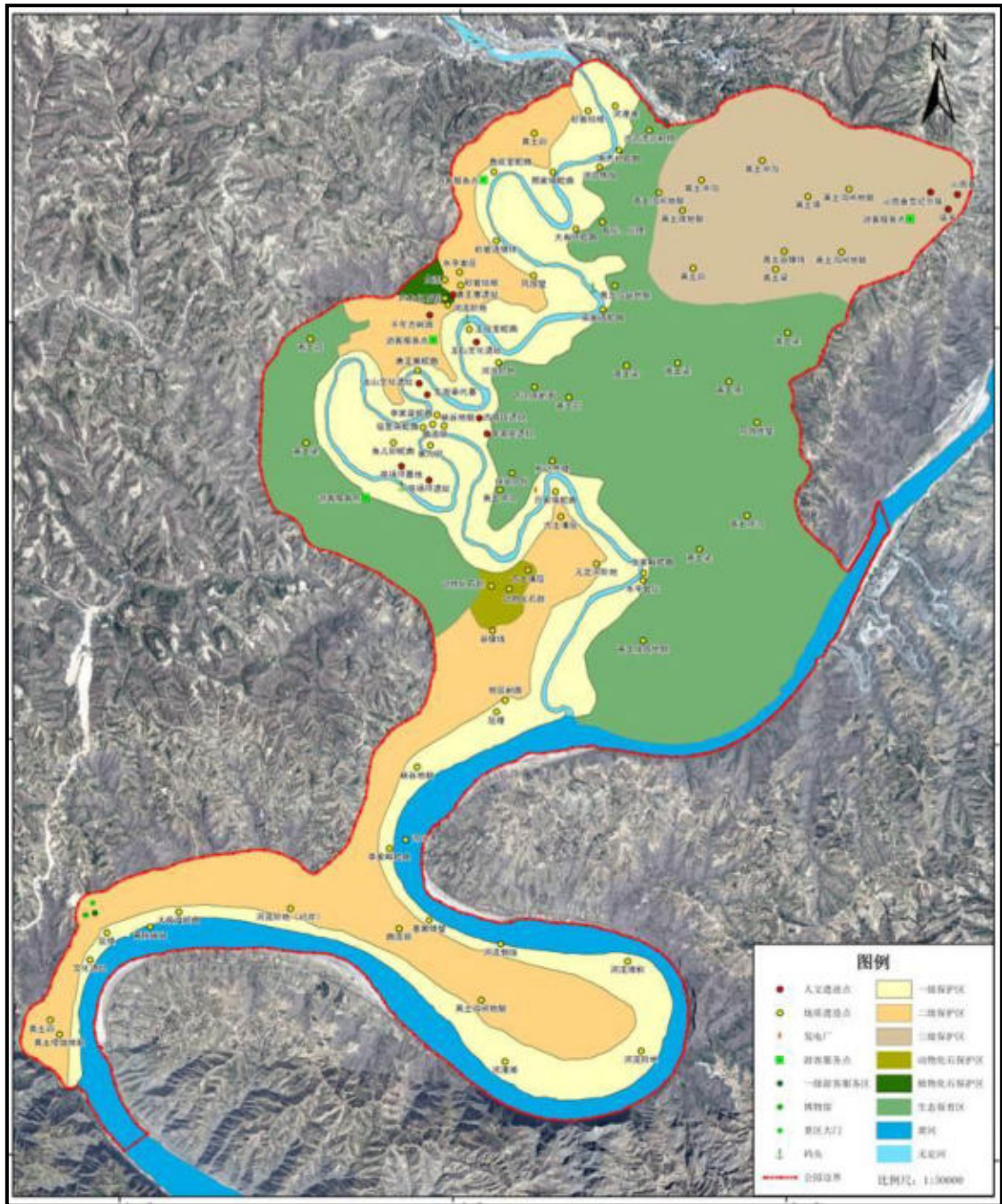


图 14.4.1-2 陕西清涧无定河曲流群地质公园地质遗迹保护分区图

14.4.1.4 重要地质遗迹保护现状

根据调查，园区内重要地质遗迹保护现状见表 14.4.1-1。

表 14.4.1-1 园区内重要地质遗迹保护及发展利用现状

序号	名称	保护现状
1	太极湾	太极湾河谷西侧为园区一级保护区，现太极湾地质遗迹点设为景区，有基础设施建设，暂未在河滩处发现采砂现象，现阶段保护良好。
2	鱼儿崾	无定河曲流群地质公园的核心地质遗迹点，位于一级保护区，鱼儿崾曲流现阶段保存完好，未发现采砂等破坏行为，同时，鱼儿崾观测点设有标识牌、观景台和游步道，基础设施比较完善。
3	无定河曲流群	公园内无定河河谷两侧为一级保护区，河流阶地等为二级保护区。现阶段无定河曲流群暂无保护措施，但自然保存情况良好，没有见到大型采砂作业等情况，偶见小型采砂活动，基本是在无定河支流的河漫滩上进行。
4	峡谷及河流阶地	公园内深切峡谷与河流阶地十分发育，但此类地质遗迹较为常见，且规模较小、科学价值不高、保护意义较低，目前园区也未采取有效保护措施，基本都处于自然保存状态，暂无人破坏现象。
5	古生物化石地质遗迹	设置了保护警示牌，在化石富集地设置围栏



太极湾现状



鱼儿崾现状



无定河支流曲流群



黄河四级阶地

图 14.4.1-3 园区内重要地质遗迹现状

14.4.2 无定河曲流群地质公园淹没影响分析

14.4.2.1 工程不同蓄水位对各级保护区淹没情况

古贤水利枢纽在拦沙初期起始运用水位（560m）、正常运用期死水位（588m）、拦

沙后期（607m、621m）、汛期限制水位（617m）和正常蓄水位（627m）情况下，对无定河曲流群地质公园的淹没情况见表 14.4.2-1（工程运行方式及不同水位变化详见 14.3.3）。各保护区的淹没范围及淹没内容见图 14.4.2-1。

表 14.4.2-1 各典型水位情况下对无定河曲流群地质公园淹没情况

总规划区	总面积 (km ²)	不同水位 (m) 淹没面积(km ²)						不同水位(m)淹没比例 (%)					
		560	588	607	617	621	627	560	588	607	617	621	627
一级保护区	14.5	0	2.85	4.7	5.62	6.14	6.95	0	19.68	32.67	39.1	42.55	47.95
二级保护区	9.3	0	0.02	0.12	0.17	0.21	0.29	0	0.21	1.30	1.84	2.35	3.14
三级保护区	6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
其他	17	0	0.5	0.71	0.82	0.89	1	0	2.94	4.21	4.84	5.25	5.88
合计	47		3.37	5.53	6.61	7.24	8.24		7.17	11.78	14.06	15.41	17.53

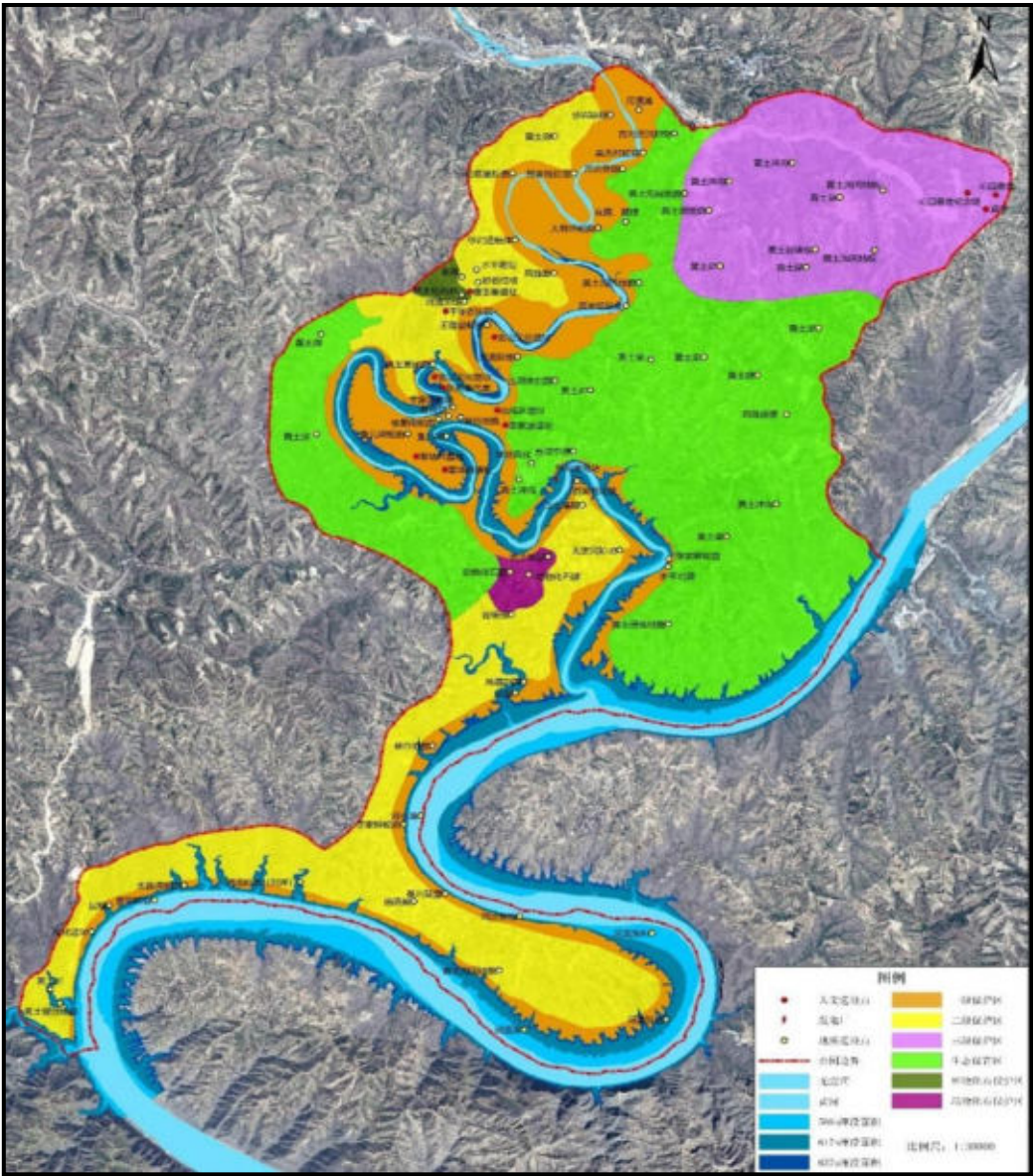


图 14.4.2-1 无定河曲流群地质公园特征水位淹没情况图

由表 14.4.2-1 及图 14.4.2-1 可知，工程运行后，随着水位逐渐抬升，清涧无定河曲流群地质公园内各级保护区受到不同程度淹没影响，其中一级保护区受影响较大。

拦沙初期(第 1~7 年),水库水位在 560m 和 588m 之间变化。起始运用水位(560m)对地质公园不产生淹没影响，588m 时淹没影响地质公园面积 3.37km²，占该地质公园总面积的 7.17%。

拦沙后期(第 8~20 年),水库水位在 560m 和 607m 之间变化。起始运用水位(560m)对地质公园不产生淹没影响，607m 时淹没影响地质公园面积 5.53km²，占该地质公园总面积的 11.78%。

拦沙后期（第 21~38 年），水库水位在 588m 和 621m 之间变化。此时淹没影响地质公园面积 3.37km²~7.24km²，占该地质公园总面积的 7.17%~15.41%；其中淹没一级保护区保护区 2.85km²~6.14km²，占一级保护区总面积的 19.68%~42.55%。

正常运用期（第 39 年后），水库水位在死水位 588m 和 627m 之间变化。此时淹没影响地质公园面积 3.37km²~8.24km²，占该地质公园总面积的 7.17%~17.53%；其中淹没影响一级保护区 2.85km²~6.95km²，占一级保护区总面积的 19.68%~47.95%。

14.4.2.2 不同蓄水位对园区地质遗迹及人文景观淹没影响情况

根据三维模拟情况分析，不同水位各级保护区的淹没范围及淹没内容见附图。各典型水位情况下受到淹没影响的重要地质遗迹和人文景观见表 14.4.2-2。

表 14.4.2-2 各典型水位情况下受淹没影响的地质遗迹和人文景观

保护区划	不同水位(m)	受淹没影响地质遗迹景观		受淹没影响人文景观	
		数量	名称	数量	名称
一级保护区	560	0	无	0	无
	588	4	晋陕峡谷、黄河河流侵蚀、黄土堆积地貌、张家畔蛇曲	0	无
	607	5	张家畔蛇曲、李家畔蛇曲、太极湾蛇曲、晋陕峡谷、鱼儿岭	2	石王庙、东风水电站
	617	13	晋陕峡谷、太极湾蛇曲、黄河河流侵蚀、黄土堆积地貌、张家畔蛇曲、唐王寨蛇曲、鱼儿岭、黄河支流地层剖面、层理构造、李家畔蛇曲、黄河东西侧河流阶地、黄河河漫滩	2	石王庙、东风水电站
	621	13	晋陕峡谷、太极湾蛇曲、黄河河流侵蚀、黄土堆积地貌、张家畔蛇曲、唐王寨蛇曲、鱼儿岭、黄河支流地层剖面、层理构造、李家畔蛇曲、黄河东西侧河流阶地、黄河河漫滩	2	石王庙、东风水电站
	627	14	晋陕峡谷、太极湾蛇曲、黄河河流侵蚀、黄土堆积地貌、张家畔蛇曲、唐王寨蛇曲、鱼儿岭、黄河支流地层剖面、层理构造、李家畔蛇曲、黄河东西侧河流阶地、黄河河漫滩、高家圪蛇曲	3	东周秦代墓、石王庙、东风水电站
二级保护区	560	0	无	0	无
	588	0	无	0	无
	607		无	0	无

保护区划	不同水位(m)	受淹没影响地质遗迹景观		受淹没影响人文景观	
		数量	名称	数量	名称
	617	2	黄土侵蚀地貌、黄土崩	0	无
	621	2	黄土侵蚀地貌、黄土崩	0	无
	627	2	黄土侵蚀地貌、黄土崩	0	无
三级保护区	560	0	无	0	无
	588	0	无	0	无
	607	0	无	0	无
	617	0	无	0	无
	621	0	无	0	无
	627	0	无	0	无

(1) 一级保护区

一级保护区内由于库区水位上升导致的淹没影响主要为：曲流面积扩大、河道水域面积增加、峡谷地貌相对高差缩小。

560m 对一级保护区地质遗迹景观和人文景观无淹没影响；588m、607m、617m、621m、627m 分别淹没一级保护区内 4 处、5 处、13 处、13 处、14 处地质遗迹景观；588m 对一级保护区内人文景观无淹没影响，607m、617m、621m、627m 分别淹没 2 处、2 处、2 处、3 处人文景观。随着水位增加淹没范围不断扩大。

(2) 二级保护区

560m、588m、607m 均不淹没二级保护区内地质遗迹景观和人文景观。617m、621m、627m 淹没影响二级保护区内黄土侵蚀地貌、黄土崩 2 处地质遗迹景观，对人文景观均无淹没影响。

(3) 三级保护区

560m、588m、607m 、617m、621m、627m 均不淹没三级保护区地质遗迹景观和人文景观。

14.4.3 无定河曲流群地质公园综合评价

14.4.3.1 园区内重要地质遗迹影响评价

黄河干流蛇曲（太极湾）、无定河曲流群作为地质公园的核心地质遗迹和主要保护对象，是本次研究评价的重点内容。本节针对工程运行后的 3 个典型蓄水位，死水位（588m）、汛限水位（617m）、正常蓄水位（627m）分别评价蓄水前后公园内重要地质遗迹的影响变化。其中，工程正常蓄水位（627m）在正常运用期每年出现的时间大约为 2 天。

1. 太极湾蛇曲

根据相关分析成果,工程运行后的死水位 588m、汛限水位 617m 和正常蓄水位 627m 条件下,太极湾水位抬升情况见表 14.4.3-1。

表 14.4.3-1 不同蓄水位太极湾水位抬升情况统计

典型地质遗迹	现状河底高程 (m)	水位抬升 (m)		
		死水位 588m	汛期限制水位 617m	正常蓄水位 627m
太极湾	563-570m	21	50	60

由表 14.4.3-1 可知,从死水位 588m 至正常蓄水位 627m,太极湾水位抬升由 21m 抬升至 60m。采用三维模拟技术,模拟 588m、617m、627m 蓄水位时的太极湾淹没状况,对比太极湾现状与受到淹没后的景观变化,见图 14.4.3-1。

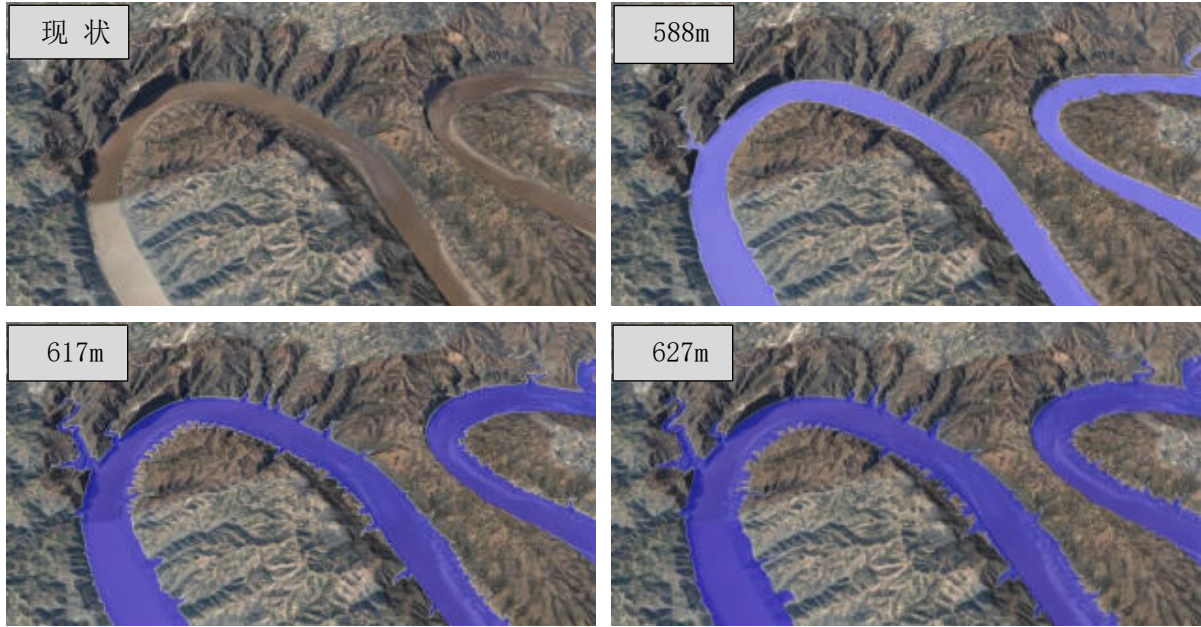


图 14.4.3-1 太极湾现状与 588m、617m、627m 蓄水位淹没后对比

根据三维模拟结果,同时结合野外地质调查与相关科考报告分析成果,对太极湾淹没前后的科学研究价值、景观生态价值、社会经济价值进行评价,评价结果见表 14.4.3-2。

表 14.4.3-2 太极湾曲流淹没前后评价分析

一级指标	二级指标	三级指标	天然状态下评价结果	淹没后预测影响评价结果
自然属性	地学研究价值	科学性	太极湾曲流是清涧无定河地质公园境内黄河上的一个大湾，曲流地貌完整典型，曲率大，入弯处至出弯处水流总距离为 8000m。与延川乾坤湾相比，形态更为完整，曲率更为显著。发育于蛇曲两岸的河流阶地对研究黄河中游的河流发育与新生代以来地壳运动的关系有着重要价值；黄河曲流在黄土高原的演化，对研究黄土高原古气候的演化、变迁与环境变迁有重要作用	库区蓄水后，虽然上升的水位不会对已经形成“蛇曲”的黄河自然演化过程的科学价值造成影响，但会影响到黄河今后在天然的水文地质条件下，其形态演化、发育与基岩河岸的水-岩相互作用，同时会对研究黄河早期在黄土地区演化、发育的过程以及蛇曲形态的识别带来一定困难。另外，变化后的黄河水文条件可能给晋陕大峡谷流域的人为作用影响下的黄河演化研究提供新的方向
		稀有性	太极湾与其它蛇曲共同构成了黄河干流流域最密集、规模最大、发育最完好的干流峡谷型蛇曲	淹没后形态影响不大，依旧是黄河干流的主要曲流之一，稀有性基本没有影响
		典型性	太极湾是无定河曲流群地质公园内黄河主干流上最大的曲流，是黄河中游干流的大型蛇曲之一，较为完整的显示了黄河在黄土高原地区自然演化的规律	淹没后形态影响不大，依旧是黄河干流的典型曲流之一，典型性基本没有影响
		完整性	太极湾与其河流阶地、水蚀地貌共同展示了黄河深切基岩形成大型蛇曲的过程，对研究蛇曲成因及晋陕大峡谷地貌形态演化具有重要意义	由于淹没范围相对较小，共同构成太极湾的河流阶地、河漫滩等受到淹没影响不大，太极湾反映黄河演化发育特征的完整性没有受到明显影响
	景观生态价值	天然性	目前已修建了游客服务中心、停车场、标识牌、栈道、观景台等基础设施，暂未发现人为采砂作业等破坏情况	水位的上升会有效防止采砂作业等现象，某一方面来说更利于河漫滩的保护
		观赏性	太极湾形似中国的古老的太极图，阴极是弯曲的黄河，阳极是黄土山坡，蕴含人文历史价值与美学观赏价值	淹没后的太极湾曲流河道变宽，水域面积变大，增加了视觉上的宽阔感和优美感，同时多条支流的增加和演化也在一定程度上增加了太极湾观赏性上的层次感和趣味性
社会属性	社会经济价值	社会效益	太极湾的社会效益主要体现在为当地居民提供了休闲、娱乐场地，景区的开放也为当地百姓提供了一定的就业机会	工程建成后，太极湾将成为古贤库区的组成部分之一，新形成的库区可以有效防洪拦沙，减少下游沿黄地区水沙灾害和水资源紧张问题，具有重要社会意义
		经济效益	作为公园太极湾景区的主要景观点，是当地旅游经济的重要创收点之一	依旧是公园内最重要的景观点之一，对旅游人次和旅游收入基本没有影响
	科普教育价值	地学教育意义	太极湾作为单个“蛇曲”在黄河晋陕峡谷流域属于比较常见的地质遗迹，但与其下游的伏寺湾、乾坤湾、清水湾共同构成的黄土高原大型峡谷“曲流群”在国内外十分稀有，对地学教育、地貌认识有着重要的意义	受到淹没后，其蛇曲形态依旧保留，作为单体遗迹，其对应的科教意义和价值没有受到显著影响
		科普宣传意义	太极湾地质遗迹点的基础建设完成时间较晚，科普解说系统尚未建立，也未开发研学教育等活动，对地学知识传播效果相对较差	在公园未来规划建设中应着重科普宣传，根据情况增加科普解说内容，提高科普利用价值

太极湾蛇曲的观景点海拔较高（644m），588m~627m 蓄水位基本不会受到影响，但随着水位的抬升，其地质遗迹点本身受到了一定的淹没影响，具体表现为曲流的面积扩大、河道水域面积增加、曲流的曲率减小。

总体来说，古贤水利枢纽工程建成后，随着水位的抬升，588m、617m，太极湾蛇曲形态基本保留，并随着水体的充盈，蛇曲景观更具有观赏性，因此，在拦沙初期和后

期的 38 年内,工程蓄水对太极湾的影响总体是有利的。627m 条件下,曲流的面积扩大、河道水域面积增加、曲流的曲率减小,蛇曲形态受到一定削弱,但此情景在正常运用期出现的时间为每年 1~2 个月。上升的水位淹没部分河流地貌地质遗迹,会对“蛇曲”的发育、演化研究有一定影响,但也提供了人为影响下黄河演化趋势变化的研究证据,可开展这一方向的研究课题。景观生态价值和社会经济价值基本没有不利影响,公园可以根据后续发展合理调整规划,得到可持续发展。

2 鱼儿崾

根据相关分析成果,工程运行后的死水位 588m、汛限水位 617m 和正常蓄水位 627m 条件下,鱼儿崾遗迹景观水位抬升见表 14.4.3-3。

表 14.4.3-3 不同蓄水位典型地质遗迹水位抬升情况统计

典型地质遗迹	现状河底高程 (m)	水位抬升 (m)		
		死水位 588m	汛期限制水位 617m	正常蓄水位 627m
鱼儿崾	592-595m	无影响	25	35

由表 14.4.3-3 可知,鱼儿崾河底高程 592m~595m,死水位对其无影响,617m、627m 水深分别为 25m、35m。

采用三维模拟技术,模拟 588m、617m、627m 蓄水位时的鱼儿崾淹没状况,对比鱼儿崾现状与受到淹没后的景观变化,见图 14.4.3-2。并对鱼儿崾淹没前后的科学研究价值、景观生态价值、社会经济价值进行评价,评价结果见表 14.4.3-4。

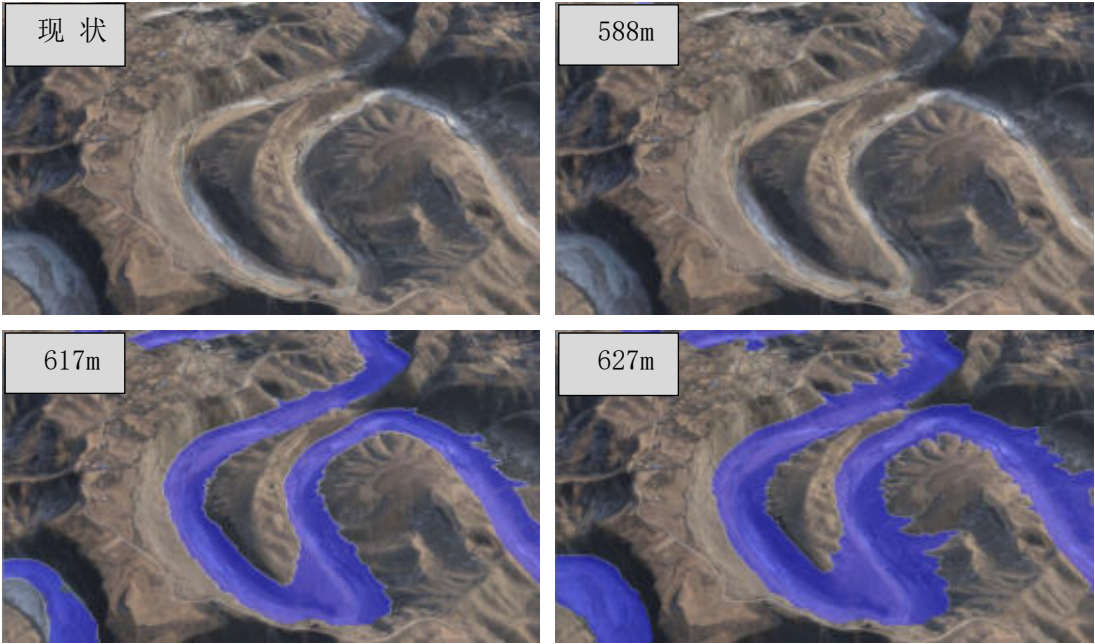


图 14.4.3-2 鱼儿崾现状与 588m、617m、627m 蓄水位淹没后对比

表 14.4.3-4 鱼儿砦淹没前后评价分析

一级指标	二级指标	三级指标	天然状态下评价结果	淹没后预测影响评价结果
自然属性	地学研究价值	科学性	河流呈鸭蛋形环绕鱼儿砦，围绕的山体好似鱼的头部，故名鱼儿砦，该曲流与王宿里南曲流顶部形成曲流颈，并将逐渐演化为离锥山，是研究曲流颈及离锥山地貌成因演化的重要地质遗迹景观	曲流颈变窄，逐渐演变为离锥山，水位的上升会加快其演化速度，对研究曲流颈-离锥山的演化有借鉴意义
		稀有性	鱼儿砦因其特殊的形态和构造，成为无定河曲流群中一处独特的蛇曲	鱼儿砦“蛇曲”形态发生一定改变，但对稀有性影响不大
		典型性	鱼儿砦蛇曲的曲率大，是典型的曲流颈（河曲颈）地质现象	淹没后河流曲率减缓，鱼儿砦将从典型的曲流颈随着时间推移逐渐演变为典型的离锥山地貌
		完整性	鱼儿砦与其河流阶地、水蚀地貌共同展示了黄河支流深切基岩形成曲流群的过程，对研究蛇曲成因及峡谷地貌形态演化具有重要意义	由于淹没范围相对较大，共同构成鱼儿砦的河流阶地、河漫滩、水蚀洞穴等均受到了淹没影响，“蛇曲”形态受到了削弱，曲流颈持续变窄，鱼儿砦反映河流及峡谷演化发育特征的完整性受到了一定影响
	景观生态价值	天然性	现阶段鱼儿砦建有解说牌、游步栈道及观景台，没有发现人为采砂作业现象，保存完好	预测淹没后对此处地质遗迹造成一定程度的影响，届时可以增加其他保护措施
		观赏性	鱼儿砦远观形似灵动的河鳗，具有美学观赏价值，同时鱼儿砦与上、下游多处蛇曲共同构成了无定河上规模最大、最完整、最密集的曲流群，具有较高的观赏性	水位上升后，在公园内的现有的观测点处依然能观赏到鱼儿砦曲流整体景观，但其形态的改变使视觉效果发生变化
社会属性	社会经济价值	社会效益	鱼儿砦作为地质公园内的重要景点，是支撑曲流群景区建设发展、对外宣传的核心内容，属于地质公园设立的基础和条件	617m、627m 蓄水位，鱼儿砦曲流及无定河曲流群会受到一定的淹没影响，但整体的曲流群结构和曲流数量没有发生大的改变，仍旧是地质公园内重要的地质遗迹基础
		经济效益	鱼儿砦是公园曲流群景区的重要地质遗迹景观点，是主要旅游经济收入创收点	水域面积扩大后，园区可以通过重新规划，合理调节功能结构，拓展鱼儿砦水上娱乐项目，增加经济效益
	科普教育价值	地学教育意义	鱼儿砦曲流作为单个“蛇曲”在曲流颈-离锥山演化方面具有地学教育意义，同时，它与其他蛇曲共同构成的无定河曲流群，对河流地貌的认识和地学教育同样有着重要意义	受到淹没后，其蛇曲形态基本保留，其对应的科教意义和价值也没有受到显著影响
		科普价值	鱼儿砦对科学普及曲流、曲流颈和离锥山等多种地貌特征成因演化具有重要价值，现阶段还未设立科学解说体系	库区蓄水后不会影响到现有的科普价值，可在景区内增加蓄水前后该处地质遗迹景观变化的对比展示牌，并向游客着重科普宣传其地貌上的科学演化过程，激发游客对地质遗迹的认识

588m 蓄水位，鱼儿砦未受到淹没影响。617m、627m 水位时，无定河鱼儿砦曲流面积扩大、河道水域面积增加、曲流的曲率减小，受淹没影响较大的是鱼儿砦的曲流颈部位，水位上升，曲流颈变窄，根据河水侵蚀规律，在河流侧方持续侵蚀的作用下，曲流颈可能将被切穿，鱼儿砦将逐渐形成离堆山地貌。

总体分析，鱼儿砦处河底高程 592m~595m，古贤水利枢纽工程建成后，拦沙初期 8 年和拦沙后期 30 年，水库运行的大部分时段对鱼儿砦无影响，水位抬升对鱼儿砦观赏性有有利影响；拦沙后期，627m 条件下，鱼儿砦水域面积逐渐增大，对鱼儿砦“蛇曲”

形态造成一定影响，但此情景出现的时间为每年 1~2 个月。总体来说，工程蓄水对鱼儿崂地质遗迹的稀有性、典型性影响不大，对其观赏性有有利影响。

3 无定河曲流群

588m~627m，随着水位的抬升，除太极湾、鱼儿崂外，无定河曲流群的多处蛇曲受到不同程度淹没影响。从无定河上游至入河口，依次分布有高杰村蛇曲、邢家塔蛇曲、高家坬蛇曲、张家畔蛇曲等蛇曲群，588m 蓄水位时，水库回水至百家塔蛇曲，影响张家畔蛇曲、百家塔蛇曲 2 处；617m 蓄水位时，水库回水至唐王寨蛇曲，影响张家畔蛇曲、百家塔蛇曲、鱼儿崂蛇曲、宿里南蛇曲、李家崖蛇曲、唐王寨蛇曲等 6 处；627m 蓄水位时，水库回水至高家坬蛇曲，影响高家坬蛇曲、唐王寨蛇曲、张家畔蛇曲、李家崖蛇曲等 8 处，各蛇曲处水位抬升情况见表 14.4.3-5。

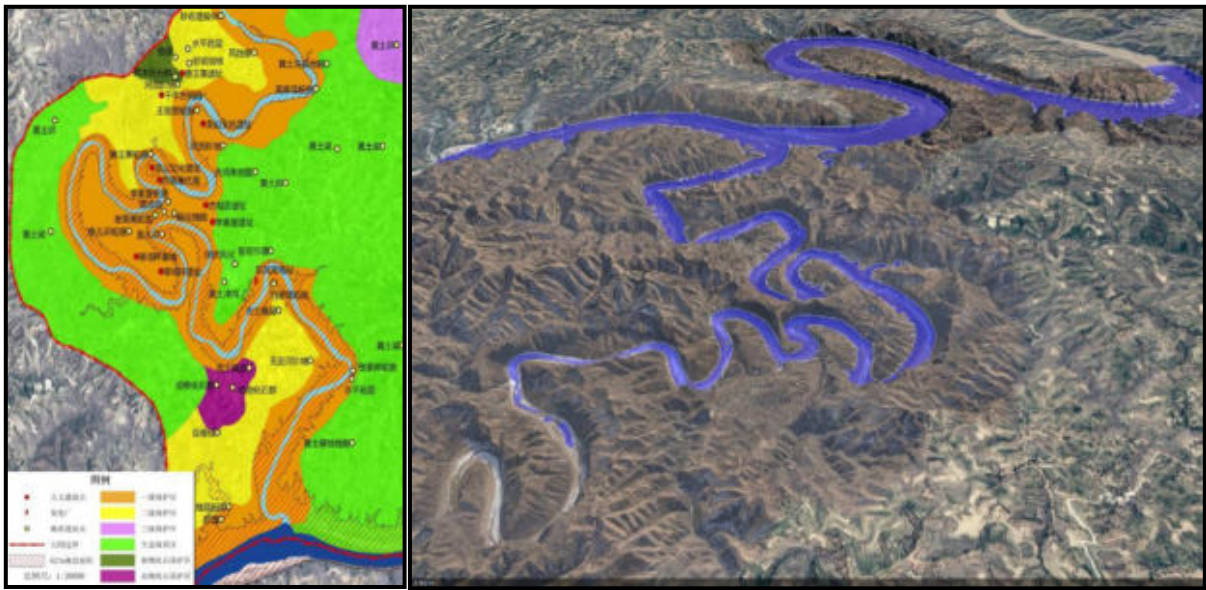


图 14.4.3-3 无定河曲流群淹没效果平面图及三维立体图

表 14.4.3-5 不同蓄水位典型地质遗迹水位抬升情况统计

序号	名称	现状河底高程	水位抬升（m）		
			死水位 588m	汛期限制水位 617m	正常蓄水位 627m
1	高杰村蛇曲	633.86			
2	邢家塔蛇曲	632.12			
3	大有坪蛇曲	631.44			
4	盘底里蛇曲	630.52			/
5	高家坬蛇曲	624.49			2.51
6	王宿里蛇曲	620.75		/	6.25
7	唐王寨蛇曲	610.94		6.06	16.06
8	李家崖蛇曲	611.33		5.67	15.67
9	宿里南蛇曲	610.77		6.23	16.23

序号	名称	现状河底高程	水位抬升 (m)		
			死水位 588m	汛期限制水位 617m	正常蓄水位 627m
10	鱼儿岭蛇曲	592.00	/	25	35
11	百家塔蛇曲	587.76	0.24	29.24	39.24
12	张家畔蛇曲	587.71	0.29	29.29	39.29

由于地质遗迹类型相同且发育程度类似,因此将这多处蛇曲合并进行淹没影响评价,评价结果见表 14.4.3-6。

表 14.4.3-6 无定河曲流群蓄水淹没前后评价分析

一级指标	二级指标	三级指标	天然状态下评价结果	淹没后预测影响评价结果
自然属性	地学研究价值	科学性	作为黄河的一级支流,无定河曲流群具有地质遗迹发育密集、曲流多级别、曲率大、发育完整典型、展示不同曲流序列等特点,具有很高的河流蛇曲形成演化科学研究价值	对无定河曲流群部分蛇曲的影响较大,主要影响为河道加宽,水域面积增大,蛇曲曲率减小,蛇曲景观特征在一定程度上被弱化;水动力条件的改变对曲流的演化和局部气候环境都有所影响;其中李家崖蛇曲的东侧会因水位上涨而加速对河道的侵蚀,使河道改变,形成大型离锥山地貌
		稀有性	无定河下游蜿蜒 20km 分布着多个蛇曲,比较少见稀有	蛇曲的数量不会受到影响,可能形成的新的地貌景观会增加无定河曲流群整体的稀有性
		典型性	曲流群展示了无定河在黄土高原地区自然演化的规律,其规模宏大、形态优美,具备无定河天然蛇曲形态的典型特征	依旧是典型的黄土高原上的河流蛇曲地貌,典型性没有受到较大影响
		完整性	曲流颈、离锥山、河漫滩、河心滩等各类型河流景观均有所发育,景观系统与生态系统完整	由于库区水位抬升,无定河也随之相应地提升了水位,部分曲流群伴生的河流阶地、河漫滩、水蚀洞穴等受到了不同程度的淹没影响,且“蛇曲”形态也有部分变化,因此无定河曲流群反映黄河演化发育特征的完整性受到一定程度的影响
	景观生态价值	天然性	无定河曲流群现阶段偶见河漫滩种植、渔业及采砂作业情况出现	库区蓄水后,无定河曲流群形态受到一定的影响,“蛇曲”形态基本保留,但其天然的演化发育状态受到人为的干预
		观赏性	比之黄河蛇曲的开阔恢弘,无定河曲流则以精致、典型、小巧和多空间变换取胜,具有一定的美学观赏价值;主流支沟、曲流成群,密集分布、大小兼顾,曲折迂回、动态之美,成就了无定河下游地貌景观的美学特征;从风景旅游美学角度看,黄土高原地貌不同级别的组合景观特征	河道加宽水域面积有所增大,整体上对其美学价值影响不大,反而因新生成的地质遗迹景观而增加了观赏性
社会属性	社会经济价值	社会效益	无定河曲流群作为地质公园的重要景区,是支撑公园建设发展、对外宣传的核心内容,属于地质公园设立的基础	工程建成后,无定河曲流群依旧是地质公园的重要组成部分,是支撑地质公园发展建设的重要地质遗迹景观
		经济效益	现阶段无定河曲流群主要设有渔业、水上漂流等娱乐项目	水域面积的增大可以在现有基础上增加丰富的水上娱乐活动,令经济创收
	科普教育价值	教育意义	无定河曲流群作为黄河一级支流上发育完整、密集的峡谷曲流群,在国内外十分稀有,对地学教育、地貌认识有着重要的意义	受到淹没后,其“蛇曲”形态基本保留,其对应的科教意义和价值受到一定程度的影响
		科普意义	无定河曲流群发育典型,同曲流的地貌模型展示,极易被理解,具有很好的科普性	库区蓄水后新的地质遗迹景观的形成会丰富无定河曲流群的科普价值,可增加蓄水前后无定河曲流群变化的对比研究内容,激发游客对地质遗迹的理性认识

588m 时,无定河曲流群基本不受影响;617m 蓄水位时,随着水位上升,上升的库区水位会使无定河曲流群下游部分张家畔、百家塔蛇曲水位抬升在 30m 左右,回水

末端唐王寨蛇曲水位抬升 6m 左右；627m 蓄水位时，随着水位上升，入河口处张家畔蛇曲水位抬升 40m 左右，回水末端高家坬蛇曲水位抬升 2.5m 左右。

总体来说，下游蛇曲受影响相对较大，越往上游受影响越小，水位的上升为地质公园带来全新的地质遗迹景观，增大的水域面积提高了河流景观的观赏性，也为地质公园旅游产业提供新的发展方向，对地质公园持续发展起到积极的推动作用。

14.4.3.3 库区泥沙淤积对地质公园影响分析

根据泥沙淤积情况分析，拦沙后期第一年公园太极湾河段泥沙淤积高度在 30m 左右，正常运用期太极湾河段泥沙淤积高度在 46m 左右，水库泥沙淤积将掩埋河心滩、河流堆积、河漫滩、河流阶地等地质遗迹，黄土侵蚀地貌、晋陕峡谷等地貌景观部分被泥沙掩埋。位于泥沙淤积线以下的地质遗迹和人文景观见表 14.4.3-7。从受影响的地质遗迹的性质来说，都属于不能异地保护的地质遗迹，可通过采取拍摄图像资料留存的方式进行保护。

表 14.4.3-7 受泥沙淤积影响的地质遗迹和人文景观

序号	名称	所在功能区
1	河心滩	
2	晋陕峡谷	一级保护区
3	河流侧蚀	一级保护区
4	河流堆积	一级保护区
5	黄土侵蚀地貌	二级保护区

14.4.3.4 园区内地质遗迹影响程度分析

1. 无影响的地质遗迹及人文景观

根据水库淹没三维模拟成果，通过对各地质遗迹和人文景观淹没前后的综合价值评价，无定河曲流群地质公园内无影响的地质遗迹及人文景观见表 14.4.3-8。

表 14.4.3-8 无影响的地质遗迹及人文景观

序号	名称	高程（m）	所在保护分区
1	无定河上游河漫滩	653.17	一级保护区
2	砂岩结核	696.14	一级保护区
3	古河流沉积物	683.49	一级保护区
4	高杰村蛇曲	633.86	一级保护区
5	无定河上游河流侧蚀	634.83	一级保护区
6	无定河上游互层、层理	670.85	生态保育区
7	大有坪蛇曲	631.44	一级保护区
8	砂岩透镜体	737.91	一级保护区
9	风蚀壁	716.69	一级保护区
10	无定河上游河流阶地	660.72	二级保护区
11	芦木化石群	721.44	植物化石保护区

序号	名称	高程 (m)	所在保护分区
12	盘底里蛇曲	630.52	一级保护区
13	无定河古河床剖面	754.27	生态保育区
14	动物化石群	769.14	动物化石保护区
15	各类黄土地貌	700 以上	二、三级地质遗迹保护区
16	唐王寨遗址	686.99	二级保护区
17	千年古树园	654.47	二级保护区
18	龙山文化遗址	663.70	一级保护区
19	古城遗址	717.73	一级保护区
20	李家崖遗址	735.20	一级保护区
21	草场坪墓地	678.27	一级保护区
22	草场坪遗址	653.21	一级保护区
23	沁园春雪纪念碑	951.47	三级保护区
24	沁园春雪	856.53	三级保护区
25	庙宇	838.97	三级保护区
26	龙山文化遗址	642.97	一级保护区

2. 较有影响的地质遗迹及人文景观

受轻微影响的地质遗迹及人文景观是指建设工程项目对该处地质遗迹或人文景观有一定程度的不利影响，但程度非常有限，采取一定的保护措施可以弥补或挽救，总体上仍能保障地质公园这些地质遗迹或人文景观的正常运营和健康发展，详见表 14.4.3-9。

表 14.4.3-9 受轻微影响的地质遗迹及人文景观

序号	地质遗迹或人文景观	海拔高度 (m)	所在保护区
1	高家峁蛇曲	624.49	一级保护区
2	王宿里蛇曲	620.75	一级保护区
3	唐王寨蛇曲	610.94	一级保护区
4	李家崖蛇曲	611.33	一级保护区
5	宿里南蛇曲	610.77	一级保护区
6	百家塔蛇曲	587.76	一级保护区
7	无定河峡谷地貌	610.23	一级保护区
8	张家畔蛇曲	587.71	一级保护区
9	李家畔蛇曲	577.34	一级保护区
10	黄河河流阶地（对岸）	611.27	一级保护区
11	黄土地貌	614.27	一、二级保护区
12	太极湾蛇曲	568.78	一级保护区
13	晋陕峡谷	568.12	一级保护区
14	鱼儿峁	602.34	一级保护区
15	东周秦代墓	621.80	一级保护区
16	石王庙	603.73	一级保护区

高家峁蛇曲、唐王寨蛇曲、李家畔蛇曲等均为无定河下游的典型河流蛇曲地貌，海拔高度均在 577m~624m 之间，水位上升后，它们所受到的影响比较轻微，只有部分河流阶地和河漫滩受到淹没，河道冲击侵蚀稍有增强，整体的形态不会受到太大改变，无定河现状流量较小，水位抬升后对景区整体景观为有利影响。

太极湾蛇曲地势较高，水位上升令其黄河河道加宽水面增大，科学性和观赏性有较轻微的影响。

晋陕峡谷的科学性和完整性受到一定影响，但观赏性和科学利用性方面各有利弊。

一、二级保护区内的黄土侵蚀地貌在水位上升的情况下，会加快侵蚀速度和范围，但在区域内分布广泛，整体影响不大。

鱼儿崾蛇曲现有观测点不受淹没影响，但蛇曲本身的形态发生变化，对其蛇曲演化过程产生一定影响，在科学性、观赏性方面都受到了影响。

东周秦代墓等人文景观受到的影响也比较轻微，加以一定的原地保护措施或对其文物进行搬迁保护。

3. 受影响较大的地质遗迹及人文景观

受影响较大的地质遗迹及人文景观见表 14.4.3-10。

表 14.4.3-10 受影响较大的地质遗迹及人文景观

序号	地质遗迹或人文景观	海拔高度 (m)	所在保护区
1	层理	593.53	一级保护区
2	河心滩	579.99	一级保护区
3	河流侧蚀	578.38	一级保护区
4	河流堆积	576.50	一级保护区
5	河漫滩	591.76	一级保护区
6	东风水电站	597.26	一级保护区

黄河、无定河下游峡谷两侧崖壁的层理构造、河流阶地、河流侵蚀、堆积地貌、河道中的河心滩等均受到直接淹没影响。

14.4.4 清涧无定河曲流群地质公园保护补偿措施

清涧无定河曲流群地质公园可开展的地质遗迹保护补偿方案见表 14.4.4-1。

表 14.4.4-1 清涧无定河曲流群地质公园保护补偿方案

序号	保护补偿方案	主要工作内容	预期成果
1	清涧无定河曲流群省级地质公园地质遗迹详查工作	公园内地质遗迹详查工作	《陕西清涧无定河曲流群省级地质公园地质遗迹详查》报告及图件、《陕西清涧无定河曲流群国家地质公园综考报告》、《陕西清涧无定河曲流群国家地质公园申报书》等相关文件
		地质遗迹资源可代替分析工作	
		国家地质公园申报工作	
2	公园外围地质遗迹调查与研究	地质遗迹资源调查工作	《无定河流域地质遗迹调查》报告及相关图件、视频数字化资料等
		同类地质遗迹类比研究分析工作	
3	清涧无定河曲流群省级地质公园规划修编	陕西清涧无定河曲流群省级地质公园规划修编	陕西清涧无定河曲流群省级地质公园规划与专项研究报告（规划修编工作与国家地质公园申报工作需同时开展）
4	科学研究与科普教育工作	地质遗迹科学研究工作	无定河流域地质条件分析研究、无定河曲流群成因与演化研究
		科普教育工作	专题纪录片与宣传片拍摄与制作
			研究专著出版与学术交流

14.5 黄河壶口瀑布国家地质公园

14.5.1 黄河壶口瀑布国家地质公园现状调查与评价

14.5.1.1 地理位置和范围

黄河壶口瀑布国家地质公园是 2001 年国土部批准的国家地质公园，该地质公园位于黄河中游晋陕峡谷，南至县川口，北至龙王辿，以黄河为轴心向东西各延伸 1.5km，总面积 55.89km²。黄河西岸为黄河壶口瀑布国家地质公园（陕西），隶属陕西省宜川县，总面积为 29km²；黄河东岸为黄河壶口瀑布国家地质公园（山西），隶属山西省临汾市吉县，面积为 26.89km²。

14.5.1.2 主要地质遗迹类型

黄河壶口瀑布国家地质公园为综合性国家地质公园，具有黄土地貌特征和黄河峡岩中 I、II、III 级阶地及堆积物发育的地质遗迹景观。其中壶口瀑布和十里龙槽作为世界级地质遗迹，是公园核心地质遗迹和主体景观。

黄河壶口瀑布国家地质公园主要地质遗迹类型见表 14.5.1-1。

表 14.5.1-1 黄河壶口瀑布国家地质公园主要地质遗迹类型与分布

序号	类型	名称	分布区域	保护级别
1	水体地质遗迹	瀑布	壶口主瀑 1 处、侧瀑 2 处，支流水洗瀑布 32 处	一级
2	峡谷地貌遗迹	谷中谷、不对称河谷	晋陕峡谷、十里龙槽、县川河口	一级
3	黄土侵蚀剥蚀堆积地貌遗迹	深切峡谷、切沟、冲沟，悬谷，黄土梁	两岸边界谷坡、支流谷口	二级
4	侵蚀地貌单体形态遗迹	大型壶穴	壶口主瀑两岸、河流谷坡阶梯台地	二级
		冲蚀凹槽	侵蚀河床基岩底部	二级
		河心岛	孟门山、离堆山	一级
		侵蚀台地	峡谷两侧	二级
		侵蚀洞穴	河槽岩壁两侧	二级
		漏斗	河床岩层上	二级
5	构造地质遗迹	残积物和堆积物	公路斜坡	二级
		节理、岩层、方头山	顺河流谷底水流方向、横跨河谷方向	二级

14.5.1.3 主要地质遗迹形成条件及过程

根据国内对壶口瀑布及其周围地区在地质、水利方面的研究成果来看，黄河壶口瀑布国家地质公园内地质遗迹的形成过程如下：

（1）形成条件

从构造条件来看，黄河壶口瀑布国家地质公园位于鄂尔多斯台地的东部边缘，黄河

南北向构造带中。基岩节理发育呈棋盘式，易于形成冲蚀；

从岩性条件来看，晋陕峡谷区段河床岩层由硬度较大三叠系中厚砂岩层和硬度较软的砂页岩、泥岩等交互相间组成，软硬相间的底层为流水下蚀作用提供有利条件。

（2）形成过程

在距今 70 万年（或者 140 万年），由于地壳运动引发的断裂抬升作用和水流的侵蚀作用，逐步形成了现今的黄河古河道和壶口瀑布。壶口瀑布究其成因，一是因为秦晋峡谷本身就是断层，节理十分发育，易遭流水侵蚀切割，极易形成规模宏大而奇特的河谷地貌；二是该区域地壳运动一直以缓慢抬升作用为主，在这种情况下水流的下切作用更加强烈，有助于瀑布的形成和发展。

黄河秦晋峡谷在发育过程中，一方面由于自身的垂直侵蚀和侧蚀作用改造着河谷地貌；另一方面，该区河谷地带河床节理密布、岩性软硬相间以及新构造运动所造成的地壳上升，又加剧了河床的深切过程。经过数万年的河流溯源侵蚀作用，壶口瀑布逐渐后退，形成了今天的孟门山、十里龙槽等地质遗迹。在重力、风力、水力综合侵蚀作用下，也形成其他各类地质遗迹景观。

综上所述，评价认为黄河壶口瀑布国家地质公园的各类地质遗迹是长时间地质条件演变下，地壳运动和流水共同作用的结果。

14.5.1.4 综合价值分析

根据陕西省和山西省关于黄河壶口瀑布国家地质公园的申报材料，研究认为作为国家级地质公园，壶口瀑布的综合价值主要体现在以下方面：

（1）科研价值

壶口瀑布地质景观从宏观角度具有独特的黄土高原地貌，涉及第四纪地质和古气候的变化、鄂尔多斯地块地史演化、黄河古河道的发育和变迁、黄土地区基岩侵蚀等问题，具有较高的科学研究价值。

（2）科普价值

黄河壶口瀑布国家地质公园内地质遗迹种类丰富，大至侵蚀三角面、河心岛、基座阶地，小至侵蚀洞穴、冲刷槽、掏蚀圆坑，对于研究和了解黄河发育史、晋陕峡谷的形成、瀑布的成因和演化具有现实科普教育意义。

（3）社会经济价值

通过黄河壶口瀑布国家级地质公园的建立，对于带动陕西省宜川县和山西省吉县当地旅游产业和社会经济的发展起到了有利的推动作用。目前两县已将黄河壶口瀑布国家地质公园和黄河壶口瀑布风景名胜区作为旅游品牌加以推广，并已成为当地经济发展的支柱产业，其社会经济价值得到不断体现。

14.5.2 黄河壶口瀑布国家地质公园影响

古贤水利枢纽主体工程、附属工程及施工布置均不在黄河壶口瀑布国家地质公园（陕西侧、山西侧）范围内，工程对其影响主要是水库运行后，一是流量、含沙量、水温、流速的变化对壶口瀑布景观形态、规模和颜色等产生的影响，二是水沙条件变化可能改变原有水流侵蚀作用，对核心地质遗迹演化产生影响。工程对壶口瀑布景观的形态、规模、颜色及冰瀑影响见第 15 章，本节重点分析对地质遗迹演化的影响。

14.5.2.1 对地质遗迹形成的地质环境条件影响

壶口瀑布和十里龙槽是多种地质条件、水文条件和各种内外力地质作用共同形成的地质现象，根据地质遗迹分类，均属于地貌景观大类，水体地貌类。

壶口瀑布和十里龙槽形成条件主要有三方面：一是三叠纪二马营组岩层近水平发育的砂岩，其中夹泥岩、页岩等形成互层发育、软硬交替的独特岩层，提供了合适的基岩；二是地层受节理、断层等构造作用形成了两组共轭式垂直节理（裂隙）发育，其与近水平的地层层面构成三个互相垂直的三个面，造成原始河床面上构造线的分布呈棋盘构造，从而形成易于冲蚀的客观条件；三是水动力的强烈冲刷侵蚀作用。水体携带泥沙对基岩河床的侵蚀作用，水体和所携带泥沙一方面对岩石进行不断地冲刷和磨蚀；另一方面流水还对砂岩下较松软的泥岩不断掏蚀，致使砂岩松动脱落形成的巨大落差。

工程建设和运行后，不会改变基岩岩性、产状和结构、区域内构造、节理发育等地质条件。工程对于地质遗迹形成和赋存条件的改变，主要是工程建成后，下泄水量、流速和含沙量等发生变化，进而影响现有水蚀作用所引起的。

14.5.2.2 壶口河段流速变化分析

古贤工程建成后，下泄水流的含沙量有所减少，尤其是拦沙初期和拦沙后期，水库

清水下泄的天数显著增加，将减少水流对基岩河床的磨蚀度，进而将减缓壶口瀑布的地质条件的变化。

根据可研，古贤工程水体下泄采用排沙泄洪建筑物下泄和电站发电尾水下泄，工程建设了消能水垫塘，消除水体从高空落下的势能，水流出水垫塘后，流速基本变为自然的缓流状态，下泄尾水流速未超出天然状态，工程建成后，总体水流对河床的冲击力变化不大。

14.5.2.3 对壶口瀑布向源侵蚀的影响分析

壶口瀑布落差巨大，地表流水由高处向低处流动过程中，势能不断转化为动能。水体携带泥沙从高位冲下，对基岩河床的侵蚀作用包括冲蚀、磨蚀、拍打、重力跌落、溅落等方式。泥沙的搬运特点呈撞击、推移、跳跃、滚动等方式。水体一方面凭借自身流动的巨大动能和所携带泥沙直接对岩石进行不断地冲刷和磨蚀；另一方面流水还对砂岩下较松软的泥岩不断掏蚀，造成砂岩悬空，受重力作用或冬天石缝中冰楔作用，加之自身的裂隙，砂岩就会松动脱落。

根据观测资料显示，壶口瀑布目前萎缩明显，主瀑布落差缩小，陡壁变缓，在黄河富泥沙的激流冲刷下，瀑布前沿石块不断垮落、瀑布顶部处 2.5m 高度已退化成缓倾的激流，具体见图 15.5.2-1。

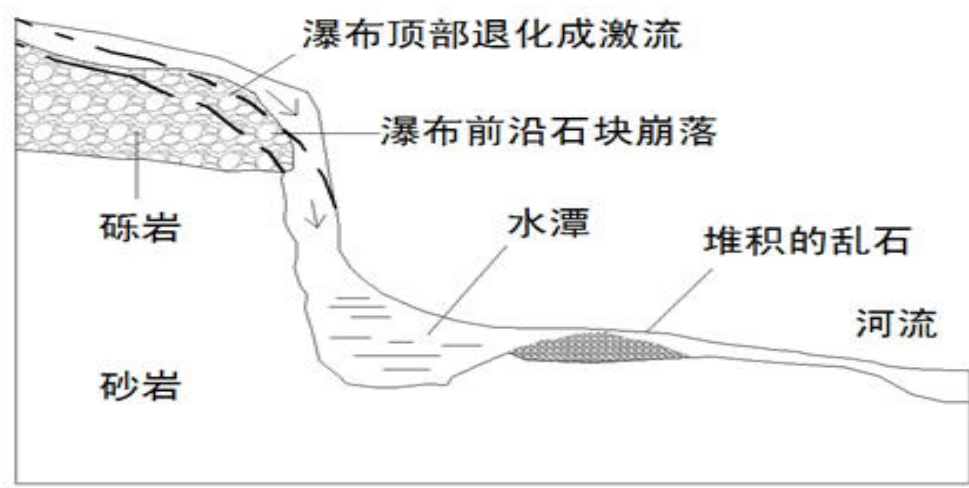


图 15.5.2-1 壶口瀑布景观退化示意图

拦沙初期：即起始运用水位 560m 以下库容淤满前，可以淤积泥沙 32 亿 m³，拦沙

初期水库蓄水拦沙和调水运用，水库以异重流排沙为主，在非汛期基本上为清水下泄。一方面，排沙泄洪建筑物下泄水量经消能水垫塘消除冲刷能量后，再经过 10km 河道消能减速，至壶口瀑布水流流速增加不大，基本可以恢复至天然水平；电站发电尾水下泄流量在天然状态范围内，古贤工程未导致壶口瀑布断面流速产生明显变化。另一方面，上游蓄水拦沙使得壶口断面通过水沙量都大大减少，水流的冲蚀、磨蚀作用整体降低，减弱了壶口瀑布的向源侵蚀作用，瀑布后移减缓，瀑布前沿石块垮落情况减少。

拦沙后期：当起始运用水位 560m 以下库容和以上斜体淤积淤满后，水库进入拦沙后期运用。根据黄河下游平滩流量和小浪底水库库容变化情况，古贤、小浪底水库联合调水调沙运用，适时蓄水（原则同拦沙初期）或利用天然来水冲刷黄河下游和小浪底库区，长期维持黄河下游中水河槽过流能力。此阶段，古贤工程同样未导致壶口瀑布断面流速产生明显变化。另一方面，随着库容的逐渐损失，拦沙效率将逐渐减小，相对拦沙初期，河水含沙量逐渐增多，对于水蚀作用的减弱逐渐降低；但是，相对建库前，河水含沙量降低，减弱了壶口瀑布的向源侵蚀作用。

正常运用期：水库拦沙期完成，库区形成具有高滩深槽的纵横断面形态，转入正常运用时期。水库利用汛限水位 617m 以下的 20 亿 m^3 槽库容进行调水调沙运用，长期发挥水库对下游河道的减淤作用。当水库槽库容淤积不严重时，古贤、小浪底水库联合调水调沙运用原则同拦沙后期；当水库槽库容淤积较严重时，利用入库流量冲刷排沙，恢复槽库容。水流、含沙量和河流运行模式的改变均会对壶口瀑布和地质遗迹形成条件形成一定影响。一方面，基于消能水垫塘的作用，水体动能与建库前相比相差不大，未改变壶口瀑布断面流速；另一方面，含沙量较拦沙初期、拦沙后期变大，但仍低于建库前水平。古贤工程调度运行整体未加剧壶口瀑布的向源侵蚀作用。

整体看来，古贤建成后，下泄水流的含沙量有所减少，尤其是拦沙初期和拦沙后期，水库清水下泄的天数显著增加，将减少水流对基岩河床的磨蚀度，进而将减缓壶口瀑布地质条件的变化速度。工程建设了消能水垫塘，消除水体从高空落下的势能，水流出水垫塘后，流速基本变为自然的缓流状态，工程建成后，总体水流对河床的冲击力变化不大。工程总体减弱了壶口瀑布的向源侵蚀作用，使瀑布后移速度降低，减缓了壶口瀑布的退化过程。

根据《水经注》史料记载推测，壶口当时的上移速度为 3.5m/a；甘肃水文总站刘振和依据史料研究成果，夏-西周时期壶口上移速度约为 1.8m/a、东周-晋时期壶口上移速度约为 1.6m/a、隋-元时期壶口上移速度约为 1.2m/a；山西理工大学利用 1955 年航空摄影照片进行的分析结果，在 2006 年从微地貌中确定当年壶口瀑布的位置，再用经纬仪作水平测量，获得这 50 年当中壶口瀑布以 1.63m/a 的速率后退；壶口瀑布国家地质公园管委会(山西)的初步观测数据表明,近几年间壶口瀑布后退的平均速率约为 0.7m/a。

从古贤工程的运行方式来看，古贤建成后，下泄水流的含沙量有所减少，尤其是拦沙初期和拦沙后期，水库清水下泄的天数显著增加，将减少水流对基岩河床的磨蚀度，进而将减缓壶口瀑布的地质条件的变化速度。工程建设了消能水垫塘，消除水体从高空落下的势能，水流出水垫塘后，流速基本变为自然的缓流状态，工程建成后，总体水流对河床的冲击力变化不大。工程在拦沙初期、拦沙后期总体将会减弱壶口瀑布的向源侵蚀作用，使瀑布后移速度降低，减缓了壶口瀑布的退化过程。

从大的时间尺度来看，从有史料记载的北魏时期至近代、从依据航遥数据测算的 1955-2006 年间和公园管理部门统计估算的近几年瀑布后退速度来看，壶口瀑布的向源侵蚀速率一直处于逐渐减缓的趋势，而古贤运行后的拦沙初期、拦沙后期会进一步减缓这个演化过程，但古贤拦沙初期、拦沙后期共 38 年时间，从地质遗迹演化千百年甚至上万年的时间尺度来看，工程对壶口瀑布向源侵蚀的作用影响十分有限。

14.5.2.4 对十里龙槽影响分析

1. 十里龙槽冲刷侵蚀分析

现有水蚀作用分别以向源侵蚀、下蚀和侧蚀三种方式对十里龙槽产生影响，见表 14.5.2-1。

表 14.5.2-1 天然水蚀作用引起的十里龙槽发育

形式	概念	作用	天然演化情况
向源侵蚀	向河流源头方向的侵蚀	使河谷不断向源头方向延长	壶口瀑布不断向上游移动，龙槽向上游延伸
下蚀	垂直于地面的侵蚀	使河床加深，河流向纵向方向发展	瀑布落差变大，龙槽变深，两岸陡崖变高
侧蚀	垂直于两侧河岸的侵蚀	使谷底展宽，谷坡后退，河流向横向发展	瀑布宽度变大，龙槽变宽，进一步造成河水变浅

工程运行后，运行初期，汛期下泄沙量减少明显，水流对于龙槽两侧崖岸和阶地的冲蚀、磨蚀作用降低，减弱了龙槽的侧向侵蚀和向源侵蚀作用，瀑布后移减缓。

从较长时间看,由于水库的调节作用,整体上使河水流速流量趋于平缓,更加可控,上游水流流速变缓,携带泥沙的能力减弱,水蚀作用将会减弱,三种侵蚀作用仍然存在,只是强度发生变化,工程运行期将减缓现有龙槽的切割、拓宽的速度。

2. 十里龙槽冲淤问题分析

(1) 非汛期

根据设计,古贤水利枢纽应用后,在非汛期基本上为清水下泄,由于壶口断面上游来沙大大减少,分析认为在非汛期不会造成十里龙槽淤积。

(2) 汛期

一般来说,影响水流携沙能力的因素包括以下四个方面:

- ① 水流条件,包括流速 U 、水深 h 、比降 J 和重力作用 g ;
- ② 水流物理性质,包括容重 γ 、粘性 ν ;
- ③ 泥沙物理性质,包括容重 γ_s 、沉速 ω 或粒径 D ;
- ④ 边界条件,河床物质的组成和河宽 B 。

根据壶口断面水位(壶口瀑布上游 400m)观测站监测分析,壶口以上河段为石板河床,河面宽阔,无冲淤变化,水位~流量关系为单一线。古贤~壶口间比降 J 为 1.5‰,壶口~龙门间为 1‰。而十里龙槽均为河质石岩,宽 30m,深 50m。分析认为影响携沙能力变化的水流条件和边界条件基本不变。

根据水沙情势分析,古贤水利枢纽运用后,汛期在拦沙运用期下泄沙量减少明显;在正常运用期,通过调水调沙,小于 400m³/s 枯水流量明显减少,并凑泄三门峡流量按 4000m³/s 设计,分析认为这将有利于提高水流的携沙能力。在设计调度运用模式下,汛期基本不会造成十里龙槽的淤积。

3. 地质遗迹发育演化问题分析

根据前述分析,从壶口瀑布地质遗迹形成条件及过程来看,黄河壶口瀑布国家地质公园内地质遗迹的形成是漫长地壳运用和流水作用的共同结果,从大的时间尺度上来看,评价认为古贤水利枢纽运行不会对黄河壶口瀑布国家地质公园的地质遗迹的发育演化造成较大影响。

14.6 黄河乾坤湾风景名胜区影响分析

14.6.1 黄河乾坤湾风景名胜区基本情况

14.6.1.1 景区位置

黄河乾坤湾省级风景名胜区位于永和县西部黄河沿线的晋陕两省交界处，与山西永和蛇曲地质公园地理位置、面积和界限一致。2017年6月27日，山西省人民政府批复了《黄河乾坤湾风景名胜区总体规划（2016-2030年）》。

乾坤湾风景名胜区总面积105.61km²，总体呈南北向展布，南北长约32km，东西宽1km~5km，地理坐标东经110°24'34"-110°27'19"，北纬36°40'32"-36°52'43.3"。核心景区面积36.35km²，占风景名胜区总面积的34.42%。

14.6.1.2 景区性质与资源特色

黄河乾坤湾风景名胜区是以黄河多湾相连的蛇曲群地质遗迹、黄河峡谷地貌景观、黄土高原民俗村和古民居、红色革命遗迹四大特色景观为核心资源，融多元历史文化—乾坤湾文化与蛇曲群、峡谷、黄土高原等自然景观为一体，以科学考察、历史文化探源、游览观光度假和生态科研保育为主要功能的河流类省级风景名胜区。

根据《黄河乾坤湾风景名胜区总体规划（2016-2030年）》，现状黄河乾坤湾风景名胜区的风景名胜资源分2大类、8中类、29小类，共91处景源，其中自然景源37个，人文景源54个。规划对现状景点中80个景源定级，其中自然景源32个，人文景源48个；共包括特级景源1个，一级景源4个，二级景源13个，三级景源28个，四级景源34个。特级、一级、二级自然景源为英雄湾、河汾里湾等核心蛇曲地貌景观。现状景观单元定级情况见表14.6.1-1。

表 14.6.1-1 现状景观单元规划等级表

级别	自然景观	人文景观
特级景源 (1个)	白家山湾 (1个)	
一级景源 (4个)	河汾里湾、仙人湾、于家咀湾 (3个)	永和关古民居 (1个)
二级景源 (13个)	英雄湾、永和关湾、郭家湾 (3个)	望海寺、永和关方城遗址公园、张家城堡址遗址公园、永和关古渡口、河汾里民俗村、李家畔河神庙、于家咀民俗村、黄河蛇曲国家地质博物馆、红军东征纪念馆、阴德河民俗村 (10个)

级别	自然景观	人文景观
三级景源 (28 个)	风蚀城堡、黄河文化树、骆驼龟石、闯王石、巨鳄含珠、永和关风蚀摩崖、风蚀壁龛、神龟探海、曲流颈、郭家山风蚀摩崖、定情岛、鱼泉、于家咀风蚀摩崖、仙人洞 (14 个)	永和关龙王庙、永和关佛庙、娘娘庙、张家圪遗址、黄家岭民俗村、前冯家腰民俗村、红军井、小坪遗址、下退干遗址、罗岔遗址、东征回师渡口、罗岔城址、红军东征故居、东征村红军寨 (14 个)
四级景源 (34 个)	英雄湾河流阶地、千斤顶、崩塌岩、白家山河流阶地、河口凹槽、方山地貌、沙发石、砂岩结核、骷髅头、于家咀河流阶地、黄土冲沟 (11 个)	咀头烽火台遗址、咀头河神庙、铁花里碉堡遗址、红军崖摩崖题刻、永和关遗址、永和关窑址、永和关清泉庙遗址、永和关碉堡、欢喜岭碉堡、永和关电影外景滩、永和关古墓群、郭家山碉堡、郭家山遗址、郭家山西碉堡、打石腰四季枣园、李家畔石寨子、仙人湾摩崖石窟、阴德河碉堡遗址、阴德河月城遗址、伏羲墓、马家湾土地庙、石家湾红军寨、雨林遗址 (23 个)
合计	32 个自然景源	48 个人文景源

14.6.1.3 景区分级保护要求

根据《黄河乾坤湾风景名胜区总体规划（2016-2030 年）》，景区共分 3 级：一级保护区为核心景区-严格禁止建设范围、二级保护区为严格限制建设范围、三级保护区为限制建设范围。分级保护规划图见图 14.6.1-1。

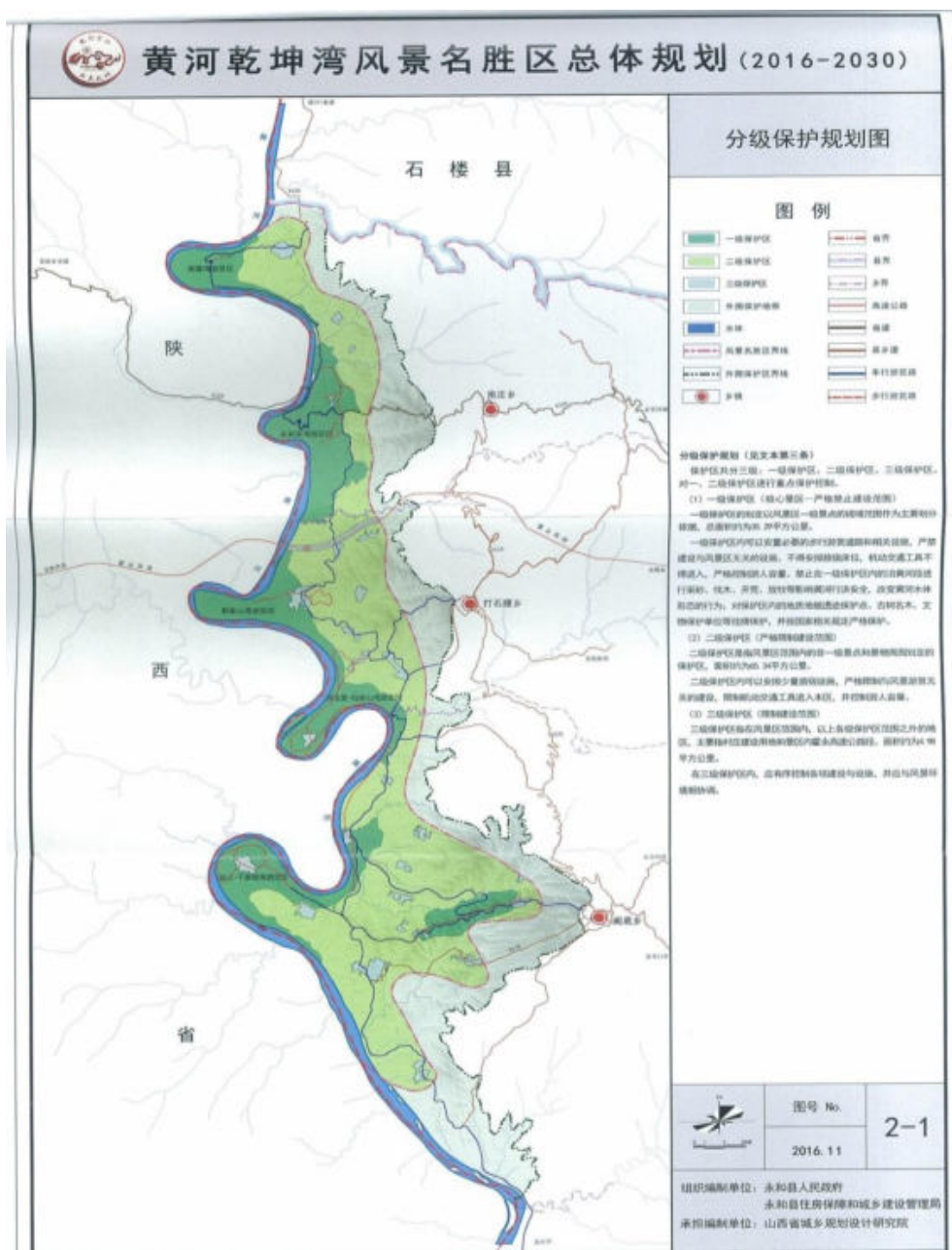


图 14.6.1-1 黄河乾坤湾风景名胜区分级保护规划图

1. 一级保护区（核心景区-严格禁止建设范围）

一级保护区的划定以风景区一级景源的视域范围作为主要划分依据，总面积约36.35km²。一级保护区内可以安置必要的步行游赏道路和相关设施，严禁建设与风景区无关的设施。不得安排旅宿床位，机动交通工具不得进入，严格控制游人容量。禁止在一级保护区内的沿黄河段进行采砂、伐木、开荒、放牧等影响黄河行洪安全，改变黄河水体形态的行为；对保护区内的地质地貌遗迹保护点、古树名木、文物保护单位等挂牌

保护，并按国家相关规定严格保护。

2. 二级保护区（严格限制建设范围）

二级保护区是指风景区范围内的非一级景源和景物周围划定的保护区，面积约 64.38km²。二级保护区内可以安排少量旅宿设施，严格限制与风景游赏无关的建设，限制机动车辆进入本区，并控制游人容量。

3. 三级保护区（限制建设范围）

三级保护区指在风景区范围内，以上各级保护区范围之外的地区，主要指村庄建设用地和景区内霍永高速公路段，面积约 4.98km²。在三级保护区内，应有序控制各项建设与设施，并应与风景环境相协调。

14.6.2 工程建设对黄河乾坤湾风景名胜区影响分析

古贤水利枢纽工程的主体工程、附属工程和施工布置等均不涉及黄河乾坤湾风景名胜区范围，施工期 11 年对景区不产生影响。运行期库区蓄水后，黄河水位抬升将会对景区造成不同程度淹没影响。

黄河乾坤湾风景名胜区与山西永和黄河蛇曲国家地质公园地理位置、面积和界限、核心景观基本一致，仅对一、二、三级保护区划分及景点划定有一定差异。且由于其总体规划批复时间较晚，现有景观和基础设施主要依托山西永和黄河蛇曲国家地质公园。古贤水库蓄水后对其产生影响与山西永和黄河蛇曲国家地质公园基本一致（具体见章节 14.3），本节重点对各运行期不同蓄水位对其一、二、三级保护区淹没的面积和比例及淹没景点数量进行统计分析。

14.6.2.1 对景区淹没情况统计

运行期古贤水库蓄水后，拦沙初期（1~7 年）、拦沙后期（8~20 年）、拦沙后期（21~38 年）、正常运用期（长期运用）蓄水位分别在 560m~588m、560~607m、588~621m、588~627m 变化。水库水位变化在不同时期为动态、变化的，因此不同时期、不同运行方式下对乾坤湾景区的淹没影响范围和程度也不相同。

根据数字三维模拟分析结果，典型水位下对黄河乾坤湾风景名胜区不同保护区的淹没情况统计见表 14.6.2-1。

表 14.6.2-1 不同典型蓄水位淹没情况统计

保护区划	总面积 (km ²)	不同水位淹没面积 (km ²)						不同水位淹没比例 (%)					
		560	588	607	617	621	627	560	588	607	617	621	627
一级保护区	35.29	13.20	16.56	18.93	19.58	20.01	20.55	37.40	46.92	53.64	55.48	56.7	58.23
二级保护区	65.34	4.52	6.26	8.23	8.83	9.13	10.04	6.92	9.58	12.6	13.51	13.97	15.37
三级保护区	4.98	0.13	0.19	0.23	0.25	0.25	0.25	2.61	3.82	4.62	5.02	5.02	5.02
合计	105.61	17.85	23.01	27.39	28.66	29.39	30.84	16.9	21.79	25.94	27.14	27.83	29.20

由表 14.6.2-1 可知，古贤水利枢纽工程建成后，随着水位逐渐抬升，乾坤湾风景名胜区内各级保护区受到不同程度淹没影响，其中一级保护区受影响较大。

拦沙初期，水库水位在 560m 和 588m 之间变化。此时淹没景区面积 17.85km²~23.10km²，占景区总面积的 16.9%~21.87%。其中淹没一级保护区 13.20km²~16.56km²，占一级保护区总面积的 37.40%~46.92%；淹没二级保护区 4.52km²~6.226km²，占二级保护区总面积的 6.92%~9.58%；淹没三级保护区 0.13km²~0.19km²，占三级保护区总面积的 2.61%~3.82%。

拦沙后期（8~20 年），水库水位在 560m~607m 之间变化。此时淹没景区面积 17.85km²~27.39km²，占景区总面积的 16.9%~25.94%。其中淹没一级保护区 13.20km²~18.93km²，占一级保护区总面积的 37.40%~53.64%；淹没二级保护区 4.52km²~8.23km²，占二级保护区总面积的 6.92%~12.6%；淹没三级保护区 0.13km²~0.23km²，占三级保护区总面积的 2.61%~4.62%。

拦沙后期（21~38 年），水库水位在 588m~621m 之间变化。此时淹没景区面积 23.10km²~29.39km²，占景区总面积的 21.87%~27.83%；其中淹没一级保护区 16.56km²~20.01km²，占一级保护区总面积的 46.92%~56.7%；淹没二级保护区 6.26km²~9.13km²，占二级保护区总面积的 9.58%~13.97%；淹没三级保护区 0.19km²~0.25km²，占三级保护区总面积的 3.82%~5.02%。

正常运用期（长期运用），水库水位在 588m~627m 之间变化。此时淹没景区面积 23.1km²~30.84km²，占景区总面积的 21.87%~29.20%；其中淹没一级保护区 16.56km²~20.55km²，占一级保护区总面积的 46.92%~58.23%；淹没二级保护区 6.26km²~10.04km²，占二级保护区总面积的 9.58%~15.37%；淹没三级保护区

0.19km²~0.25km²，占三级保护区总面积的 3.82%~5.02%。

14.6.2.2 对景区景点淹没情况统计

560m、588m、617m 和 627m 4 个典型水位对黄河乾坤湾风景名胜区内自然景观、人文景观淹没统计情况见表 14.6.2-2、14.6.2-3。

表 14.6.2-2 不同典型蓄水位淹没的自然景观和人文景观（不同保护区）

保护区划	不同水位 (m)	受淹没影响自然景观		受淹没影响人文景观	
		数量	名称	数量	名称
一级保护区	560	22	英雄湾、永和关湾、郭家湾、河洽里湾、白家山湾、仙人湾、于家咀湾、英雄湾河流阶地、风蚀壁龛、黄河文化树、永和关风蚀摩崖、郭家山风蚀摩崖、千斤顶、曲流颈、定情岛、崩塌岩、白家山河流阶地、河口凹槽、鱼泉、骷髅头、于家咀河流阶地、于家咀风蚀摩崖	7	永和关电影外景滩、永和关古渡口、李家畔石寨子、李家畔河神庙、河洽里民俗村、阴德河民俗村、东征回师渡口
	588	25	英雄湾、永和关湾、郭家湾、河洽里湾、白家山湾、仙人湾、于家咀湾、英雄湾河流阶地、风蚀城堡、风蚀壁龛、黄河文化树、永和关风蚀摩崖、郭家山风蚀摩崖、千斤顶、曲流颈、定情岛、崩塌岩、白家山河流阶地、河口凹槽、鱼泉、骷髅头、沙发石、仙人洞、于家咀河流阶地、于家咀风蚀摩崖	9	永和关电影外景滩、永和关古渡口、李家畔石寨子、李家畔河神庙、河洽里民俗村、阴德河月城遗址、阴德河碉堡遗址、阴德河民俗村、东征回师渡口
	607	26	英雄湾、永和关湾、郭家湾、河洽里湾、白家山湾、仙人湾、于家咀湾、英雄湾河流阶地、风蚀城堡、风蚀壁龛、黄河文化树、永和关风蚀摩崖、巨鳄含珠、郭家山风蚀摩崖、千斤顶、曲流颈、定情岛、崩塌岩、白家山河流阶地、河口凹槽、鱼泉、骷髅头、沙发石、仙人洞、于家咀河流阶地、于家咀风蚀摩崖	11	永和关电影外景滩、永和关古渡口、李家畔石寨子、李家畔河神庙、河洽里民俗村、阴德河月城遗址、阴德河碉堡遗址、阴德河民俗村、东征回师渡口、永和关古墓群、欢喜岭碉堡
	617	26	英雄湾、永和关湾、郭家湾、河洽里湾、白家山湾、仙人湾、于家咀湾、英雄湾河流阶地、风蚀城堡、风蚀壁龛、黄河文化树、永和关风蚀摩崖、巨鳄含珠、郭家山风蚀摩崖、千斤顶、曲流颈、定情岛、崩塌岩、白家山河流阶地、河口凹槽、鱼泉、骷髅头、沙发石、仙人洞、于家咀河流阶地、于家咀风蚀摩崖	14	咀头河神庙、永和关电影外景滩、永和关古渡口、永和关古墓群、欢喜岭碉堡、永和关古民居、郭家山西碉堡、李家畔石寨子、李家畔河神庙、河洽里民俗村、阴德河月城遗址、阴德河碉堡遗址、阴德河民俗村、东征回师渡口
	621	26	英雄湾、永和关湾、郭家湾、河洽里湾、白家山湾、仙人湾、于家咀湾、英雄湾河流阶地、风蚀城堡、风蚀壁龛、黄河文化树、永和关风蚀摩崖、巨鳄含珠、郭家山风蚀摩崖、千斤顶、曲流颈、定情岛、崩塌岩、白家山河流阶地、河口凹槽、鱼泉、骷髅头、沙发石、仙人洞、于家咀河流阶地、于家咀风蚀摩崖	14	咀头河神庙、永和关电影外景滩、永和关古渡口、永和关古墓群、欢喜岭碉堡、永和关古民居、郭家山西碉堡、李家畔石寨子、李家畔河神庙、河洽里民俗村、阴德河月城遗址、阴德河碉堡遗址、阴德河民俗村、东征回师渡口
	627	27	英雄湾、永和关湾、郭家湾、河洽里湾、白家山湾、仙人湾、于家咀湾、英雄湾河流阶地、风蚀城堡、风蚀壁龛、黄河文化树、永和关风蚀摩崖、巨鳄含珠、郭家山风蚀摩崖、千斤顶、曲流颈、定情岛、崩塌岩、白家山河流阶地、河口凹槽、鱼泉、骷髅头、仙人湾摩崖石窟、	14	咀头河神庙、永和关电影外景滩、永和关古渡口、永和关古墓群、欢喜岭碉堡、永和关古民居、郭家山西碉堡、李家畔石寨子、李家畔河神庙、河洽里民俗村、阴德河月城遗址、阴德河碉堡遗址、

保护区划	不同水位 (m)	受淹没影响自然景观		受淹没影响人文景观	
		数量	名称	数量	名称
			沙发石、仙人洞、于家咀河流阶地、于家咀风蚀摩岸		阴德河民俗村、东征回师渡口
二级保护区	560	1	方山地貌	2	红军崖摩崖题刻、罗岔遗址
	588	1	方山地貌	2	红军崖摩崖题刻、罗岔遗址
	607	1	方山地貌		红军崖摩崖题刻、罗岔遗址
	617	1	方山地貌	2	红军崖摩崖题刻、罗岔遗址
	621		方山地貌		红军崖摩崖题刻、罗岔遗址
	627	1	方山地貌	3	红军崖摩崖题刻、罗岔遗址、罗岔城址
三级保护区	560	0	/	1	永和关龙王庙
	588	0	/	1	永和关龙王庙
	607	0	/	1	永和关龙王庙
	617	0	/	1	永和关龙王庙
	621	0	/	1	永和关龙王庙
	627	0	/	1	永和关龙王庙

表 14.6.2-3 不同典型蓄水位淹没的自然景观和人文景观（不同景源等级）

级别	不同水位 (m)	受淹没影响自然景观		受淹没影响人文景观	
		数量	名称	数量	名称
特级景点	560	1	白家山湾		
	588	1	白家山湾		
	607	1	白家山湾		
	617	1	白家山湾		
	621	1	白家山湾		
	627	1	白家山湾		
一级景点	560	3	河洽里湾、仙人湾、于家咀湾		
	588	3	河洽里湾、仙人湾、于家咀湾		
	607	3	河洽里湾、仙人湾、于家咀湾		
	617	3	河洽里湾、仙人湾、于家咀湾	1	永和关古民居
	621	3	河洽里湾、仙人湾、于家咀湾		
	627	3	河洽里湾、仙人湾、于家咀湾	1	永和关古民居
二级景点	560	3	英雄湾、永和关湾、郭家湾	4	永和关古渡口、河洽里民俗村、李家畔河神庙、阴德河民俗村
	588	3	英雄湾、永和关湾、郭家湾	4	永和关古渡口、河洽里民俗村、李家畔河神庙、阴德河民俗村
	607	3	英雄湾、永和关湾、郭家湾	4	永和关古渡口、河洽里民俗村、李家畔河神庙、阴德河民俗村
	617	3	英雄湾、永和关湾、郭家湾	4	永和关古渡口、河洽里民俗村、李家畔河神庙、阴德河民俗村
	621	3	英雄湾、永和关湾、郭家湾	4	永和关古渡口、河洽里民俗村、李家畔河神庙、阴德河民俗村
	627	3	英雄湾、永和关湾、郭家湾	4	永和关古渡口、河洽里民俗村、李家畔河神庙、阴德河民俗村
三级景点	560	8	黄河文化树、永和关风蚀摩崖、风蚀壁龛、曲流颈、郭家山风蚀摩崖、定情岛、鱼泉、于家咀风蚀摩崖	3	永和关龙王庙、罗岔遗址、东征回师渡口
	588	10	风蚀城堡、黄河文化树、永和关风蚀摩崖、风蚀壁龛、曲流颈、郭家山风蚀摩崖、定情岛、鱼泉、于家咀风蚀摩崖、仙人洞	3	永和关龙王庙、罗岔遗址、东征回师渡口

级别	不同水位(m)	受淹没影响自然景观		受淹没影响人文景观	
		数量	名称	数量	名称
	607	11	风蚀城堡、黄河文化树、巨鳄含珠、永和关风蚀摩崖、风蚀壁龛、曲流颈、郭家山风蚀摩崖、定情岛、鱼泉、于家咀风蚀摩崖、仙人洞	3	永和关龙王庙、罗岔遗址、东征回师渡口
	617	11	风蚀城堡、黄河文化树、巨鳄含珠、永和关风蚀摩崖、风蚀壁龛、曲流颈、郭家山风蚀摩崖、定情岛、鱼泉、于家咀风蚀摩崖、仙人洞	3	永和关龙王庙、罗岔遗址、东征回师渡口
	621	11	风蚀城堡、黄河文化树、巨鳄含珠、永和关风蚀摩崖、风蚀壁龛、曲流颈、郭家山风蚀摩崖、定情岛、鱼泉、于家咀风蚀摩崖、仙人洞	3	永和关龙王庙、罗岔遗址、东征回师渡口
	627	11	风蚀城堡、黄河文化树、巨鳄含珠、永和关风蚀摩崖、风蚀壁龛、曲流颈、郭家山风蚀摩崖、定情岛、鱼泉、于家咀风蚀摩崖、仙人洞	4	永和关龙王庙、罗岔遗址、东征回师渡口、罗岔城址
四级景点	560	8	英雄湾河流阶地、千斤顶、崩塌岩、白家山河流阶地、河口凹槽、方山地貌、骷髅头、于家咀河流阶地	3	红军崖摩崖题刻、永和关电影外景滩、李家畔石寨子
	588	9	英雄湾河流阶地、千斤顶、崩塌岩、白家山河流阶地、河口凹槽、方山地貌、沙发石、骷髅头、于家咀河流阶地	5	红军崖摩崖题刻、永和关电影外景滩、李家畔石寨子、阴德河碉堡遗址、阴德河月城遗址
	607	9	英雄湾河流阶地、千斤顶、崩塌岩、白家山河流阶地、河口凹槽、方山地貌、沙发石、骷髅头、于家咀河流阶地	7	红军崖摩崖题刻、欢喜岭碉堡、永和关电影外景滩、永和关古墓群、李家畔石寨子、阴德河碉堡遗址、阴德河月城遗址
	617	9	英雄湾河流阶地、千斤顶、崩塌岩、白家山河流阶地、河口凹槽、方山地貌、沙发石、骷髅头、于家咀河流阶地	9	咀头河神庙、红军崖摩崖题刻、欢喜岭碉堡、永和关电影外景滩、永和关古墓群、郭家山西碉堡、李家畔石寨子、阴德河碉堡遗址、阴德河月城遗址
	621	9	英雄湾河流阶地、千斤顶、崩塌岩、白家山河流阶地、河口凹槽、方山地貌、沙发石、骷髅头、于家咀河流阶地	9	咀头河神庙、红军崖摩崖题刻、欢喜岭碉堡、永和关电影外景滩、永和关古墓群、郭家山西碉堡、李家畔石寨子、阴德河碉堡遗址、阴德河月城遗址
	627	10	英雄湾河流阶地、千斤顶、崩塌岩、白家山河流阶地、河口凹槽、方山地貌、仙人湾摩崖石窟、沙发石、骷髅头、于家咀河流阶地	9	咀头河神庙、红军崖摩崖题刻、欢喜岭碉堡、永和关电影外景滩、永和关古墓群、郭家山西碉堡、李家畔石寨子、阴德河碉堡遗址、阴德河月城遗址

四个典型水位对乾坤湾风景名胜区不同级别现有自然景源、人文景源的淹没统计情况见下表 14.6.2-4。

表 14.6.2-4 典型蓄水位淹没现有自然景源情况统计（1）

景源重要性等级	景观类型	景源数量（处）	淹没自然景观数量（处）						淹没同级景观比例（%）					
			560m	588m	607m	617m	621m	627m	560m	588m	607m	617m	621m	627m
特级景源	自然景观	1	1	1	1	1	1	1	100	100	100	100	100	100
	人文景观													
	小计	1	1	1	1	1	1	1	100	100	100	100	100	100
一级景源	自然景观	3	3	3	3	3	3	3	100	100	100	100	100	100
	人文景观	1				1	1	1				100	100	100
	小计	4	3	3	3	4	4	4	75	75	75	100	100	100
二级景源	自然景观	3	3	3	3	3	3	3	100	100	100	100	100	100
	人文景观	10	4	4	4	4	4	4	40	40	40	40	40	40
	小计	13	7	7	7	7	7	7	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8
三级景源	自然景观	14	8	10	11	11	11	11	57.1	71.4	78.6	78.6	78.6	78.6
	人文景观	14	3	3	3	3	3	4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	28.6
	小计	28	11	13	14	14	14	15	39.3	46.4	50.0	50.0	50.0	53.6
四级景源	自然景观	11	8	9	9	9	9	10	72.7	81.8	81.8	81.8	81.8	90.9
	人文景观	23	3	5	7	9	9	9	13	21.7	30.4	39.1	39.1	39.1
	小计	34	11	14	16	18	18	19	32.4	41.2	47.1	52.9	52.9	55.9
合计	自然景观	32	23	26	27	27	27	28	71.9	81.3	84.4	84.4	84.4	87.5
	人文景观	48	10	12	14	17	17	18	20.8	25.0	29.2	35.4	35.4	37.5
	全部景观	80	33	38	41	44	44	46	41.3	47.5	51.3	55.0	55.0	57.5

表 14.6.2-5 典型蓄水位淹没现有自然景源情况统计（2）

景源重要性等级	景观类型	景源数量（处）	淹没自然景观数量（处）						淹没同级景观比例（%）					
			560m	588m	607m	617m	621m	627m	560m	588m	607m	617m	621m	627m
特级景源	小计	1	1	1	1	1	1	1	100	100	100	100	100	100
一级景源	小计	4	3	3	3	4	4	4	75	75	75	100	100	100
二级景源	小计	13	7	7	7	7	7	7	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8
三级景源	小计	28	11	13	14	14	14	15	39.3	46.4	50.0	50.0	50.0	53.6
四级景源	小计	34	11	14	16	18	18	19	32.4	41.2	47.1	52.9	52.9	55.9
合计	全部景观	80	33	38	41	44	44	46	41.3	47.5	51.3	55.0	55.0	57.5

由表 14.6.2-2~14.6.2-4 可知, 古贤水利枢纽工程建成后, 随着水位动态变化, 乾坤湾风景名胜区内各景点受到不同程度影响。560m、588m、607m、617m、621m、627m 淹没影响的自然景观分别有 23、26、27、27、27、28 处, 人文景观分别有 10、12、14、17、17、18 处, 主要集中在一级保护区内。其中, 特级自然景源(白家山湾)、一级自然景源(河浍里湾、仙人湾、于家咀湾), 二级自然景源(英雄湾、永和关湾、郭家湾) 7 处为景区核心蛇曲地貌景观, 沿黄河干流沿线分布, 水位抬升对其影响明显。

拦沙初期, 水库水位在 560m 和 588m 之间变化。淹没景源数量为 33~38 处, 占景区现有景源的比例为 41.3~47.5%。其中淹没特级景源、一级景源、二级景源、三级景源、四级景源数量分别为 1 处、3~4 处、7 处、11~13 处、11~14 处, 占同级景源比例分别为 100.00%、75.00%~100%、53.8%、39.3%~46.4%、32.4%~41.2%。

拦沙后期(8~20 年), 水库水位在 560m~607m 之间变化。淹没景源数量为 33~41 处, 占景区现有景源的比例为 41.3%~51.3%。其中淹没特级景源、一级景源、二级景源、三级景源、四级景源数量分别为 1 处、3 处、7 处、11~14 处、11~16 处, 占同级景源比例分别为 100.00%、75.00%、53.8%、39.3%~50.0%、32.4%~47.1%。

拦沙后期(21~38 年), 水库水位在 588m~621m 之间变化。淹没景源数量为 38~44 处, 占景区现有景源的比例为 47.5~55.0%。其中淹没特级景源、一级景源、二级景源、三级景源、四级景源数量分别为 1 处、3~4 处、7 处、13~14 处、14~18 处, 占同级景源比例分别为 100.00%、75.00%~100%、53.8%、46.4%~50.0%、41.2%~52.9%。

正常运用期, 水库水位在死水位 588m 和 627m 之间变化。淹没景源数量为 38~46 处, 占景区现有景源的比例为 47.5~57.5%。其中淹没特级景源、一级景源、二级景源、三级景源、四级景源数量分别为 1 处、3~4 处、7 处、13~15 处、14~19 处, 占同级景源比例分别为 100.00%、75.00%~100%、53.8%、46.4%~53.6%、41.2%~55.9%。

从以上统计可知, 从起始运用水位(560m)至正常蓄水位(627m), 淹没景源自 33 处增至 46 处。随水位上升, 淹没景源数量逐渐增多。其中特级、一级、二级自然景源淹没占比较大。这是由于乾坤湾景区的特级、一级、二级自然景源(为核心景源-蛇曲地貌景观)是沿黄河干流沿线分布, 水位抬升对其影响明显。同时也由于受淹没影响景源沿黄河干流古贤库区段分布, 因此随着工程运用水位不同, 核心景源-蛇曲地貌景

观及景区内部分景观呈现淹没、出露的交替变化。

14.6.2.3 核心景观-黄河蛇曲地貌淹没影响分析

黄河乾坤湾风景名胜区核心景观主要为英雄湾、河洄里湾等黄河干流蛇曲地貌景观，与山西永和蛇曲地质公园核心地质遗迹一致。古贤工程的建设提升了黄河水位，改变了现有蛇曲景观的特征，景区内的部分景点受到不同程度淹没影响，随着工程运用水位不同而呈现淹没、出露的交替变化。

但同时，由于乾坤湾风景名胜区内现有的游览内容较少、游览方式单一、游览项目稀少，难以带动区域经济发展；工程实施后，随着水位的提升，现有“蛇曲群”将变化为“串珠状湖泊和高峡的景观组合”，河流水体景观具有新的特征及观赏价值，依托丰富的水体资源可开展一系列游览活动，拓展游览内容和方式，由单一参观模式发展到多元体验式，对于景区的开发和当地社会经济发展具有促进作用。

工程运行对黄河乾坤湾风景名胜区核心景观-蛇曲群地质遗迹影响见蛇曲地质公园影响分析内容，具体见本章 14.3 小节。

14.7 小结

14.7.1 黄河蛇曲国家地质公园影响

(1) 古贤工程建设期 11 年（含筹建期 1.5 年），对黄河蛇曲国家地质公园不造成影响。

(2) 工程运行后，随着水位逐渐上升，黄河蛇曲国家地质公园各级保护区将受到不同程度淹没影响。

拦沙初期、拦沙后期和正常运用期淹没陕西延川黄河蛇曲国家地质公园面积占园区总面积比例分别为 11.33%~15.38%、11.33%~20.79%和 15.38%~22.40%，其中淹没一级保护区面积分别占总面积的 68.12%~77.42%、77.42%~85.83%和 77.42%~87.18%。

拦沙初期、拦沙后期和正常运用期淹没山西永和黄河蛇曲国家地质公园面积占园区总面积比例分别为 16.9%~21.87%、16.9%~27.93%和 21.87%~29.20%，其中一级保护区自起始运用水位即全部受到淹没影响。

清水湾(陕)/仙人湾(晋)、乾坤湾(陕)/河汾里湾(晋)、伏寺湾(陕)/郭家湾(晋)、永和关湾(晋)、英雄湾(晋)等核心河流蛇曲地貌均受到淹没影响，具体表现为水位抬升以及水面变宽，水面面积变大。其中园区内的乾坤湾在工程运行后，水面抬升 32m~99m，水面宽度展宽 274m~1173m。

(3) 古贤工程蓄水后，死水位以上的地质遗迹随水位升降，呈现淹没、出露的交替变化，仍具有一定科学研究价值；黄河北干流上段的万家寨库区河段以及北干流中段的石楼县、清涧县河段发育有蛇曲地貌，与永和、延川的蛇曲地貌基本相同，其形成的地质条件、地质构造类型与蛇曲地质公园内的核心地质遗迹有一定相似性，可在一定程度上弥补同类地质遗迹的科学研究价值。

随着水位抬升，黄河河床水面变宽，园区将形成新的水体地貌景观，“黄河干流蛇曲群”景观类型变为“黄土高原高峡湖泊”景观，具有新的特征及观赏价值，并为当地旅游业发展带来新的机遇，从而促进乡村振兴战略的实施落地。

(4) 加强黄河北干流河段同类蛇曲地貌景观的保护，一定程度上可弥补黄河蛇曲地质公园地质遗迹的科学研究价值、景观价值；采用先进多媒体数字技术方法及专业措施，构建蓄水淹没影响区域的地学研究、科普教育等系统资料体系，予以最大程度的减缓水库淹没的功能损失；在水库蓄水前加强园区及外围区域地质遗迹调查及科学研究力度，尽可能寻求替代型的科考与保护效果；对现有地质公园规划进行必要的修编和调整，加大国家及项目建设方对地质景观和迹地影响的保护与经费投入；对两处现有博物馆进行改建，采用多媒体数字技术，将黄河蛇曲演化过程、三维数字化成果、科普记录片等进行宣传展示，最大程度减小、减轻和减缓项目对地质公园的影响。

14.7.2 陕西省清涧无定河曲流群地质公园影响

(1) 陕西清涧无定河曲流群地质公园位于古贤坝址上游约 120km，工程建设期 11 年内，对无定河曲流群地质公园没有影响。

(2) 工程运行对无定河曲流群地质公园产生的淹没影响较小。工程起始运用水位（560）对地质公园不产生淹没影响，自死水位（588m）至最高水位（627m），随着水位抬升，无定河曲流群地质公园受淹没面积比例由 7.17%上升至 17.53%。

(3) 起始运用水位（560m）不淹没地质遗迹，自死水位（588m）至最高水位（627m），

淹没影响地质遗迹自 4 处增至 14 处。受影响的地质遗迹中，黄土地貌在园区内广泛分布，总体影响不大；园区内核心地质遗迹太极湾蛇曲、鱼儿砦、无定河蛇曲群、晋陕峡谷，水体抬升对其不产生显著影响。

（4）水库蓄水后园区内水域面积增大，形成新的地质景观，对地质公园持续发展将起到积极的推动作用。在水库蓄水前，加强该园区地质遗迹调查及科学研究力度，加大地质遗迹保护经费投入，对现有地质公园规划进行修编，可提升地质公园的综合价值。

14.7.3 黄河壶口瀑布国家地质公园影响

（1）古贤工程主体工程及施工布置均不占压黄河壶口瀑布国家地质公园，工程施工和建设期不对该地质公园产生影响。

（2）工程建设和运行不改变壶口地质公园基岩岩性、产状和结构、区域内构造、节理发育等地质条件。工程在拦沙初期、拦沙后期总体减弱了壶口瀑布的向源侵蚀作用，使瀑布后移速度降低，减缓了壶口瀑布的退化过程。从大的时间尺度来看，壶口瀑布的向源侵蚀速率一直处于逐渐减缓的趋势，古贤运行后的拦沙初期、拦沙后期会进一步减缓这个演化过程，但古贤拦沙初期、拦沙后期共 38 年时间，从地质遗迹演化千百年甚至上万年的时间尺度来看，工程对壶口瀑布向源侵蚀的作用影响十分有限。

14.7.4 黄河乾坤湾风景名胜区

（1）黄河乾坤湾风景名胜区与山西永和黄河蛇曲国家地质公园地理位置、面积和界限、核心景观基本一致，仅对一、二、三级保护区划分及景点划定有一定差异。古贤水库蓄水后对其产生影响与山西永和黄河蛇曲国家地质公园基本一致。

（2）古贤工程施工期 11 年对景区不造成影响。运行期古贤水库蓄水提升了黄河水位，改变了现有蛇曲景观的特征，部分景点随着工程运用水位不同，将呈现淹没、出露的交替变化。但同时，现有“蛇曲群”将变化为“串珠状湖泊和高峡的景观组合”，具有新的特征及观赏价值，依托丰富的水体资源可拓展游览内容和方式，将促进景区的开发和当地社会经济发展。

（3）古贤水利枢纽工程建成后，随着水库水位的动态变化，景区内各级保护区、景点受到不同程度淹没影响，其中一级保护区受影响较大。拦沙初期、拦沙后期（8~20

年)、拦沙后期(21~38年)、正常运用期淹没景区总面积比例范围分别为 16.9%~21.87%、16.9%~25.94%、21.87%~27.83%、21.87%~29.20%；其中淹没一级保护区总面积比例范围分别为 37.40%~46.92%、37.40%~53.64%、46.92%~56.7%、46.92%~58.23%。拦沙初期、拦沙后期(8~20年)、拦沙后期(21~38年)、正常运用期淹没景源数量分别为 33~38 处、33~41 处、38~44 处、38~46 处，占景区现有景源的比例分别为 41.3%~47.5%、41.3%~51.3%、47.5%~55.0%、47.5%~57.5%。主要集中在一级保护区内。其中，英雄湾、河湟里湾等 7 处特级、一级、二级自然景源为景区核心蛇曲地貌景观，沿黄河干流沿线分布，水位抬升对其影响明显。

14.7.5 措施建议

加强北干流河段同类蛇曲地貌景观的保护；采用先进多媒体数字技术方法及专业措施，构建蓄水淹没影响区域的地学研究、科普教育等系统资料体系，最大程度的减缓水库淹没的功能损失；在水库蓄水前加强园区及外围区域地质遗迹调查及科学研究力度，尽可能寻求替代型的科考与保护效果；对现有地质公园规划进行必要的修编和调整，加大国家和项目建设方对地质景观和遗迹影响的保护与经费投入；对两处现有博物馆进行改建，采用多媒体数字技术，将黄河蛇曲演化过程、三维数字化成果、科普记录片等进行宣传展示，最大程度减小、减轻和减缓项目对地质公园的影响。

第十五章 壶口瀑布景观影响与保护措施

黄河古贤水利枢纽工程位于壶口瀑布上游约 10.1km 处，壶口瀑布风景名胜区是以瀑布型景观为核心景观的国家重点风景名胜区，水库建成后蓄水拦沙及水沙调控将引起壶口瀑布水量、沙量的变化，进而对壶口瀑布景观造成一定影响。本章主要论证古贤水利枢纽工程建设和运行对壶口瀑布风景名胜区的核心景观壶口瀑布的影响，针对不利影响，提出壶口瀑布景观保护目标和相应的对策措施。工程建设和施工对壶口瀑布风景名胜区的占压影响具体见第十六章“施工期及其他环境影响与保护措施”16.6 节。

15.1 评价思路及技术方法

15.1.1 工作思路

(1) 根据 1934 年~2020 年近 87 年间龙门水文站水量、沙量数据，结合大量壶口瀑布现状观测资料，建立壶口瀑布规模与流量、颜色与含沙量的响应关系。

(2) 考虑近年黄河保护治理、社会经济用水及气候变化情况，利用建立的响应关系，分析近 87 年来壶口瀑布景观历史演变趋势，据此分析提出科学合理的瀑布景观保护目标。

(3) 根据可研单位提供的水库调度运行数据，结合壶口河段水文泥沙情势、水温变化，对工程不同运用期壶口景观变化情况进行分析预测。

(4) 将确定的壶口瀑布景观保护目标和具体的保护需求，以及影响的初步预测结果反馈可研单位，制定工程水库调度优化方案、水库排沙等措施。

(5) 对实施调度优化方案和水库补沙措施后，工程不同运用期壶口瀑布的规模、颜色、声音气势、造瀑面及冰瀑等景观变化情况进行分析预测。

15.1.2 主要研究内容

(1) 广泛收集山西、陕西侧壶口瀑布风景名胜区总体规划及有关研究资料等，调查壶口瀑布景观现状，分析壶口瀑布形成机理及历史变迁，评价壶口瀑布景观特点。

(2) 收集 1934 年~2020 年龙门断面逐日水文、泥沙资料，并对壶口瀑布景观进

行长期现场观测，建立壶口瀑布景观形态、颜色与流量、含沙量的响应关系，分析冰瀑形成机理，分析冰瀑形成时间、规模、持续时间与水温、气温的相互关系。

(3) 根据近 87 年水文、泥沙等统计资料，利用建立的壶口瀑布景观形态、颜色与流量、含沙量的响应关系，分析壶口瀑布景观的历史变化趋势，根据研究成果提出科学合理的瀑布景观保护恢复目标。

(4) 分析古贤水利枢纽不同典型年拦沙初期、拦沙后期、正常运用期的丰水年、平水年、枯水年 3 个典型年，共 9 种情景下壶口流量、含沙量等的变化，研究不同运用期对壶口瀑布形态多样性、颜色多样性及声音气势、造瀑面的影响；针对冰瀑的影响，本次制作仿壶口冰瀑模型，在研究冰瀑形成机理基础上，采用实验方法进行冰瀑影响的模拟和预测。

(5) 针对古贤运用对壶口瀑布形态、颜色、声音气势、冰瀑等的不利影响，提出相应的水库优化调度、水库补沙、管理等措施。并对实施调度优化方案和水库补沙措施后，工程不同运用期壶口景观变化情况进行分析预测。

(6) 召开多次研讨会、技术讨论会、咨询会等，广泛邀请国内知名专家进行技术指导。根据专家意见深化对壶口瀑布景观影响研究工作。

15.2 壶口瀑布景观特征

15.2.1 壶口瀑布的形成机理与历史变迁

壶口瀑布形成的原因主要有三点：一是合适的基岩岩性，二是地层受节理、断层等构造作用影响，三是水动力的强烈冲刷作用。

壶口瀑布最初形成于今河津市龙门，在黄河河谷第二次抬升时，位于龙门下游的三门古湖溃决，古湖水面在龙门骤降 200m，在龙门形成瀑布。古黄河自龙门开始，由于造瀑层岩体自身机械强度低，往往造瀑面下陡壁泥岩被黄河河水掏蚀冲走，使砂岩悬空因重力作用垮塌，从而使瀑布沿黄河河道向上游逐年溯源侵蚀。

大约 4000 年前溯源侵蚀发生至孟门山附近，由于黄河水量的减少，河水对峡谷的切割作用转变为对河床的切割，河水的下蚀作用在河床上留下了长度约 5km 的石质水槽（即“十里龙槽”）以及石槽两岸大量的地质遗迹，成为壶口瀑布 4000 年来演化发育过程的历史遗存。

由于特殊的岩性条件、构造条件、河流地质作用，黄河河水冲刷之下形成的溯源侵蚀作用，使两组近菱形发育的节理构造网络被侵蚀剥蚀，导致造瀑面趋平面“V”字型发育，逐渐形成壶口瀑布马蹄形的造瀑面。

15.2.2 壶口瀑布景观特点

黄河壶口瀑布主要观景区域划分如下：北起霸沟口，南到黄河大桥的峡谷地域，面积约 8.5km²，主要的自然景观有壶口瀑布和“十里龙槽”等。壶口瀑布的主要基本特征见表 15.2.2-1。

表 15.2.2-1 壶口瀑布景观基本特征表

序号	名称	基本特征
1	主瀑	主瀑宽约 50m，高 15m~40m 左右，流量大于 2000m ³ /s 时瀑布落差减小，形态基本消失。
2	侧瀑	流量 400m ³ /s 以上，陕西一侧、山西一侧二道河形成侧瀑。
3	十里龙槽	长 4.6km，最深约 40m，宽度为 30m~50m。
4	冰瀑	冬季壶口两岸形成的以冰挂为主的冰柱、冰桥、冰岸等景观。

壶口瀑布、十里龙槽航拍见图 15.2.2-1。



图 15.2.2-1 壶口瀑布、十里龙槽航拍图

15.3 壶口瀑布景观特征与水文泥沙要素响应关系

黄河壶口瀑布为国内著名的瀑布型景观，瀑布景观与所在河段的流量、含沙量等水沙条件关系密切。本节在大量调研基础上，主要根据 2015 年 6 月~2016 年 9 月共 15

个月现状观测影像资料，结合距壶口瀑布最近的龙门水文站实测水文、泥沙数据，建立壶口瀑布景观与水文泥沙要素响应关系，为古贤水利枢纽工程对壶口瀑布景观影响预测分析提供研究基础。

15.3.1 壶口瀑布现状观测

为深化工程建设对壶口瀑布影响分析，评价单位委托山西吉县、陕西宜川县壶口瀑布风景名胜区工作人员连续开展了为期 15 个月的壶口瀑布景观现状观测工作。

观测时段：2015 年 6 月 20 日～2016 年 9 月 20 日，共 15 个月（448 天）；

观测频次：每日上、下午各拍摄一组照片，每周固定 1 次进行视频录制，水文情势变化时补充视频录制；

观测点位布设：左岸山西侧布设 3 个点位，进行 7 个角度的拍摄工作，右岸陕西侧布设 5 个点位，进行 10 个角度的拍摄工作；

观测内容：壶口瀑布主瀑、侧瀑的形态、颜色，冰瀑的形态、规模、持续时间，以及当天气温、天气、光线等基本信息。

观测点位布设情况见表 15.3.1-1 及图 15.3.1-1。

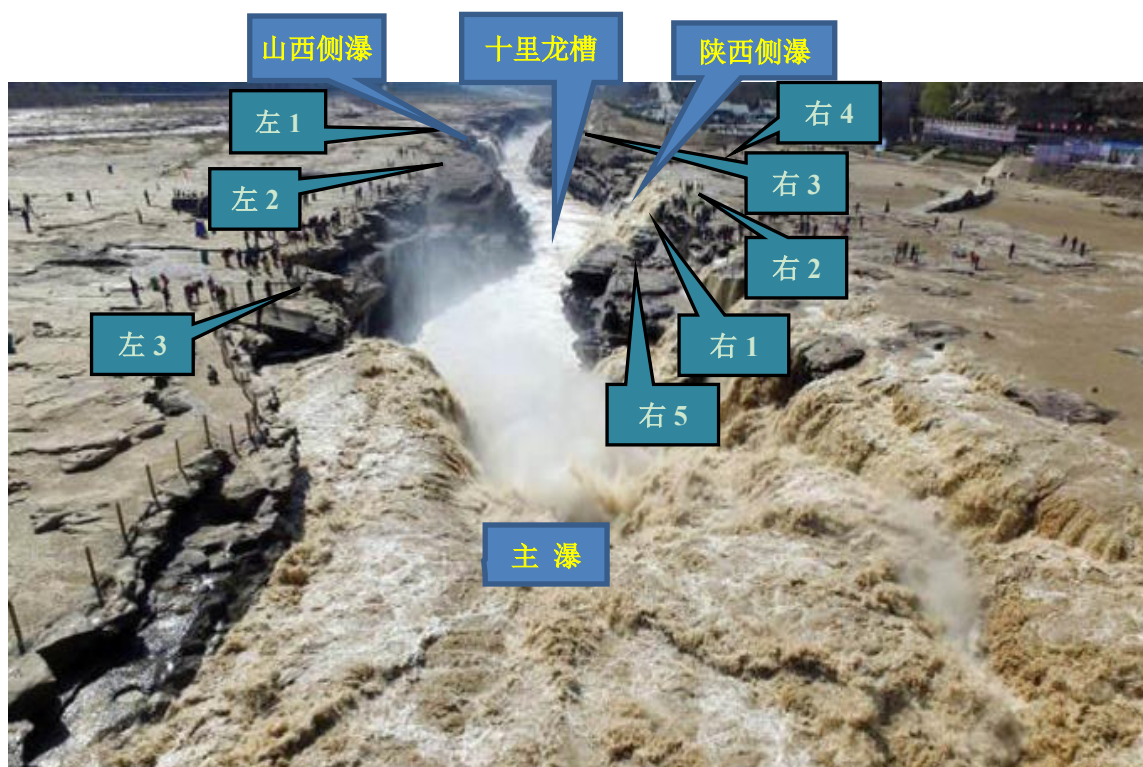




图 15.3.1-1 壶口瀑布景观现状观测点位布设示意图

表 15.3.1-1 观测点位布设情况一览表

岸别	点位	距离主瀑距离	点位设置目的	现状观测实景图
左岸 山西 吉县	左 1	200m	观测右岸侧瀑， 十里龙槽	 
	左 2	70m	观测主瀑、右岸 侧瀑、主侧瀑连 接段及右岸游 客数量	  
	左 3	10m	近距离观测主 瀑和右岸主侧 瀑连接段	 

岸别	点位	距离主瀑距离	点位设置目的	现状观测实景图	
右岸 陕西 宜川	右 1	50m	观测主瀑、右岸侧瀑、左岸游客数量		
	右 2	70m	观测主瀑、右岸侧瀑、左岸景区游客数量		
	右 3	200m	观测左岸侧瀑、右岸景区情况		

岸别	点位	距离主瀑距离	点位设置目的	现状观测实景图
	右 4	160m	观测右岸景区 总体情况	 
	右 5	10m	近距离观测 主瀑	

经过 15 个月的长期连续观测，此次共形成照片 15000 余张、视频 100 余段、记录 900 余条，全面、系统记录了观测时段每天壶口瀑布主瀑、侧瀑的形态、颜色，冰瀑的形态、规模、持续时间。

15.3.2 瀑布形态规模与流量响应关系

壶口瀑布的形态与流量密切相关。黄河水量条件多变，受壶口所在河段河道地形条件的影响，壶口瀑布因不同流量级水量而形成了主瀑、侧瀑景观和多样的瀑布形态，瀑布的气势、声音随着流量条件的改变而变化，不同的瀑布形态具有不同的美感。

项目组在前期大量调研基础上，对 2015 年 6 月~2016 年 9 月期间现场观测影像资料先后数次进行深入细致的查看总结。并对壶口瀑布不同形态规模对应的龙门水文站当日流量（日均流量）逐一进行统计分析。分析过程中，对于当日水文情势变化明显而导致瀑布形态规模变化显著的情况，采用当日实时流量数据对其日均流量进行校正，最终确定了壶口瀑布不同形态与流量的响应关系，并对其进行概化分级。

15.3.2.1 壶口瀑布主要形态规模与对应流量

结合龙门逐日、逐时流量数据，对 2015 年 6 月~2016 年 9 月共 15 个月现场观测影像资料进行系统的整理分析，结果表明：壶口瀑布形态和规模多样，观测时段壶口瀑布各形态和规模均有出现，主要展现出仅有主瀑、有侧瀑、主侧相连、漫滩四种瀑布形态，各种瀑布形态出现不同的瀑布规模。

（1）仅有主瀑

仅有主瀑时，两岸均无侧瀑出现（详见图 15.3.2-1），主瀑规模有偏小和正常两种。观测时段常出现的流量范围为 131 m³/s~410m³/s。具体形态规模特征与对应流量见表 15.3.2-1，主瀑偏小和主瀑正常实景见图 15.3.2-2、15.3.2-3。

表 15.3.2-1 仅有主瀑形态规模特征

瀑布规模	瀑布形态规模特征	常出现流量范围 (m³/s)	备注
主瀑偏小	主瀑偏小时，主瀑下跌处河道中心巨石裸露，壶口瀑布难以达到雄浑壮观的景观效果	131~211	见图 15.3.2-2
主瀑正常	随瀑布规模的增大，主瀑下跌处河道中心巨石裸露现象消失，壶口瀑布主瀑规模恢复正常。	201~410	见图 15.3.2-3



图 15.3.2-1 仅有主瀑～两岸侧瀑位置实景图



图 15.3.2-2 仅有主瀑～主瀑偏小实景图 图 15.3.2-3 仅有主瀑～主瀑正常实景图

(2) 有侧瀑

有侧瀑时，主瀑已形成一定规模，两岸侧瀑包括小型侧瀑、中型侧瀑、大型侧瀑 3 种规模，其中小型侧瀑包括仅出现细流的瀑布规模。观测时段常出现的流量范围为 $380\text{m}^3/\text{s} \sim 1130\text{m}^3/\text{s}$ 。具体形态规模特征与对应流量见表 15.3.2-2。小型侧瀑、中型侧瀑、大型侧瀑实景图见图 15.3.2-4～15.3.2-6。

表 15.3.2-2 有侧瀑形态规模特征

瀑布规模	瀑布形态规模特征	常出现流量范围 (m^3/s)	备注
小型侧瀑	小型侧瀑出现时，陕西侧侧瀑 1#位置出现瀑布，2#位置无瀑布或仅出现一小股瀑布，1#、2#位置之间瀑布不连续，中间崖壁裸露；山西侧侧瀑 1#位置瀑布相比细流状态有所增大，但是该位置崖壁仍有一定程度裸露，2#位置瀑布不出现或仅为细流，崖壁裸露较多。	380～630	见图 15.3.2-4
中型侧瀑	中型侧瀑出现时，陕西侧侧瀑 1#位置、2#位置瀑布逐步相连，中间崖壁几乎无裸露；山西侧侧瀑 1#位置瀑布形成一定规模，2#位置瀑布规模有所增大，但是 2#位置崖壁裸露仍较多。	629～858	见图 15.3.2-5
大型侧瀑	大型侧瀑出现时，陕西侧侧瀑 1#位置、2#位置瀑布完全相连，中间崖壁完全无裸露；山西侧侧瀑 1#位置瀑布规模较大，2#位置瀑布规模有所增大，1#、2#位置逐步相连，中间崖壁裸露减少。此时，陕西侧主瀑景区开始局部漫滩，陕西侧无法近距离观赏主瀑，但可观赏山西侧瀑。	825～1130	见图 15.3.2-6



图 15.3.2-4 有侧瀑-小型侧瀑实景图



图 15.3.2-5 有侧瀑-中型侧瀑实景图

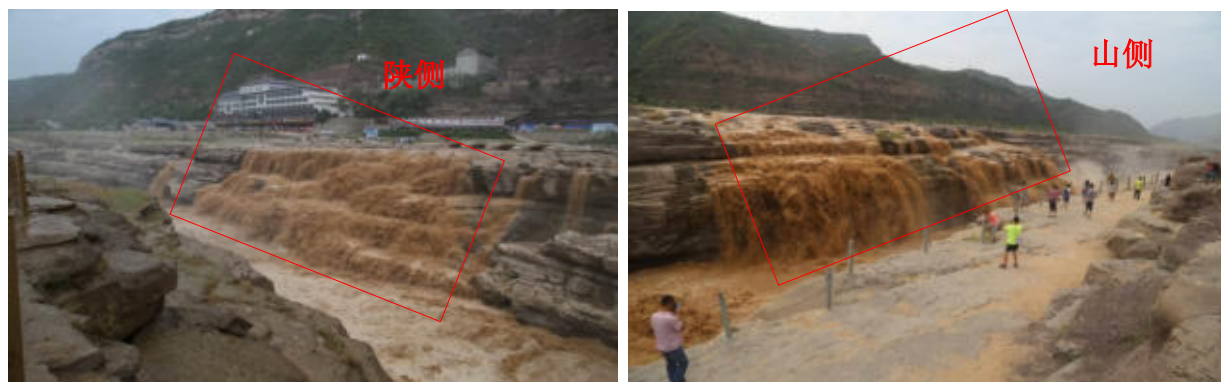


图 15.3.2-6 有侧瀑-大型侧瀑实景图

(3) 主侧相连

主侧相连形态出现时，瀑布规模巨大，此时主瀑与陕西侧瀑逐步连成一片，产生主瀑和侧瀑交融的景观；山西侧瀑规模巨大。随着巨大瀑布的出现，十里龙槽水位抬高显著，瀑布落差不明显。观测时段常出现流量范围为 $1160\text{m}^3/\text{s} \sim 1750\text{m}^3/\text{s}$ 。巨大瀑布出现时两岸侧瀑实景详见图 15.3.2-7，主瀑及十里龙槽实景详见图 15.3.2-8。



图 15.3.2-7 巨大瀑布-侧瀑实景图



图 15.3.2-8 巨大瀑布-主瀑及十里龙槽实景图

(4) 漫滩

漫滩形态出现时，山西、陕西两侧壶口瀑布观景区均无法进入，景区关闭。观测时段出现流量范围为 $2070\text{m}^3/\text{s} \sim 2910\text{m}^3/\text{s}$ 。两岸漫滩实景详见图 15.3.2-9。



图 15.3.2-9 漫滩实景图

15.3.2.2 瀑布形态规模与流量响应关系确立

为方便对壶口瀑布长期历史景观进行总结分析，并对古贤建成后壶口景观变化情况进行预测，本次根据以上统计分析，对不同形态规模壶口瀑布对应的流量进行概化分级，具体见表 15.3.2-3。

表 15.3.2-3 不同形态壶口瀑布对应的流量分级表

瀑布形态	瀑布规模	流量分级 (m³/s)	瀑布形态规模特征
仅有主瀑	主瀑偏小	≤200	主瀑规模较小，壶口瀑布难以达到雄浑壮观的景观效果
	主瀑正常	200~400	无侧瀑出现，主瀑规模正常
有侧瀑	小型侧瀑	400~600	出现小型侧瀑或细流
	中型侧瀑	600~850	侧瀑规模中等，观景效果较佳
	大型侧瀑	850~1150	侧瀑规模为大型，观景效果较佳，陕西侧主瀑观景区开始局部漫滩
主侧相连	巨大瀑布	1150~2000	陕西侧主瀑区漫滩，主侧瀑连成一片，产生主瀑和侧瀑交融的景观，出现巨大瀑布，十里龙槽水位抬高，瀑布落差变小。
漫滩		>2000	山西、陕西两侧壶口瀑布观景区域均发生漫滩，此时无法观景，景区关闭。

不同流量级条件下壶口瀑布的形态见表 15.3.2-4。

表 15.3.2-4 不同流量区间壶口瀑布实景及主要特点 单位：m³/s

流量范围 (m³/s)	主/侧瀑	左岸山西吉县观测		右岸陕西宜川观测	
≤200 主瀑偏小	主瀑				
	侧瀑				
	对应流量 主要特点	2016.08.13 流量 138 m³ /s	2016.04.17 流量 198m³ /s 流量≤200m³/s，两岸均未出现侧瀑，左岸主瀑观景规模相对较小，右岸主瀑观景规模相对正常	2016.08.13 流量 138 m³ /s	2016.04.17 流量 198m³ /s
200~400 主瀑正常	主瀑				

流量范围 (m³/s)	主/侧瀑	左岸山西吉县观测		右岸陕西宜川观测	
	侧瀑				
	对应流量	2015.08.10 流量 268 m³ /s	2015.08.06 流量 374m³ /s	2015.08.10 流量 268 m³ /s	2015.08.06 流量 374m³ /s
	主要特点	流量 200m³/s~400 m³/s 区间，两岸均未出现侧瀑，两岸主瀑观景规模正常。			
400~600 小型侧瀑	主瀑				
	侧瀑				
	对应流量	2015.08.26 流量 426 m³ /s	2016.07.09 流量 575 m³ /s	2015.08.26 流量 426 m³ /s	2016.07.09 流量 575 m³ /s
	主要特点	流量 400m³/s~600 m³/s 区间，两岸均出现侧瀑，其中 400m³/s~450 m³/s 区间，两侧侧瀑多为细流，不成规模；450m³/s~600m³/s 区间，侧瀑规模多为小型。			

流量范围 (m³/s)	主/侧瀑	左岸山西吉县观测				右岸陕西宜川观测			
600~850 中型侧瀑	主瀑								
	侧瀑								
	对应流量	2015.07.25 流量 644m³ /s		2015.08.22 流量 786m³ /s		2015.07.25 流量 644m³ /s		2015.08.22 流量 786m³ /s	
	主要特点	流量 600m³/s~850 m³/s 区间，两岸均出现侧瀑，侧瀑规模为中型。							
850~1150 大型侧瀑	主瀑								
	侧瀑								
	对应流量	2015.07.22 流量 866m³ /s		2016.09.20 流量 976m³ /s		2015.07.22 流量 866m³ /s（主瀑观景区局部漫滩）		2016.09.20 流量 976m³ /s（主瀑观景区局部漫滩）	
	主要特点	流量 850m³/s~1150 m³/s，两岸均出现侧瀑，侧瀑规模多为大型。同时，陕西侧主瀑观景区开始局部漫滩，无法近距离观赏主瀑，但仍能观赏山西侧瀑。							

流量范围 (m³/s)	主/侧瀑	左岸山西吉县观测		右岸陕西宜川观测	
1150~2000 巨大瀑布	主瀑				
	侧瀑				
	对应流量	2016.09.05 流量 1330m³ /s	2016.08.21 流量 1750m³ /s	2016.09.05 流量 1330m³ /s	2016.08.21 流量 1750m³ /s
	主要特点	流量 1150m³/s~2000 m³/s, 陕西侧主侧瀑逐步连成一片, 出现巨大瀑布, 且十里龙槽水位抬高, 瀑布落差变小。			
>2000 漫滩	漫滩				
	对应流量	2016.08.15 流量 2630m³ /s	2016.08.16 流量 2910m³ /s	2016.08.15 流量 2630m³ /s	2016.08.16 流量 2910m³ /s
	主要特点	流量≥2000 m³/s , 两岸出现漫滩几率增大, 景区关闭, 无法观景			

15.3.2.3 壶口瀑布景观对流量的主要要求

连续 15 个月的科学观测与大量调研表明，壶口瀑布较佳瀑布形态对应流量指标为 $600\text{m}^3/\text{s} \sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ ，此时主瀑规模较大，落差明显，侧瀑出现几率多。

《黄河壶口瀑布风景名胜区（陕西）总体规划》提出避免壶口河段流量 $>4000\text{m}^3/\text{s}$ 和 $<150\text{m}^3/\text{s}$ 。根据调查，为保证壶口瀑布景观观赏条件，本次提出应当保证白天观景时段（8:00~18:00）下泄流量不小于 $200\text{m}^3/\text{s}$ ；同时除黄河调水调沙和行洪需要外，应尽量保证白天观景时段（8:00~18:00）下泄流量不大于 $2000\text{m}^3/\text{s}$ ，从而避免对壶口瀑布景区的漫滩影响，保证景区人员安全。

15.3.3 瀑布颜色与含沙量响应关系

瀑布的颜色与水体的含沙量、阳光照射、河床底质等有关，不同含沙量、泥沙颗粒级配及光照条件下，产生不同的景观视觉效果。其中含沙量是影响瀑布颜色的最主要因素，随着含沙量条件的不同，壶口瀑布呈现出不同的颜色。

15.3.3.1 壶口瀑布主要颜色与对应含沙量

结合龙门逐日、逐时含沙量数据，对 2015 年 6 月~2016 年 9 月共 15 个月现场观测影像资料进行系统的整理分析，结果表明：壶口瀑布颜色多样，主要有清水、淡黄、黄色、黄褐四种颜色。具体颜色特征与对应含沙量见表 15.3.3-1。

表 15.3.3-1 不同颜色壶口瀑布特征及对应含沙量统计

瀑布颜色	各色瀑布景观特征	含沙量常出现范围 (kg/m^3)	备注
清水	瀑布颜色浅、淡，瀑布迸溅出的水花为清水，视为清水瀑布。	0~1.13	见图 15.3.3-1
淡黄	瀑布颜色逐步加深，迸溅出淡黄色水花时，视为淡黄色瀑布。	0.92~3.39	见图 15.3.3-2
黄色	瀑布颜色呈现清晰明亮的黄色时，视为黄色瀑布。	3.11~7.3	见图 15.3.3-3
黄褐	壶口瀑布迸溅出的水花如泥水或泥浆状，当呈泥浆状时，有清晰的颗粒感，一般视为黄褐色瀑布。	6.76~105.15	见图 15.3.3-4



图 15.3.3-1 清水瀑布



图 15.3.3-2 淡黄色瀑布



图 15.3.3-3 黄色瀑布



图 15.3.3-4 黄褐色瀑布

15.3.3.2 瀑布颜色与含沙量响应关系确立

经概化分级，不同颜色瀑布景观与含沙量对应关系如表 15.3.3-2 所示。

表 15.3.3-2 不同颜色壶口瀑布对应的含沙量分级表

颜色	含沙量分级 (kg/m ³)	瀑布颜色特征
清水	≤1	瀑布颜色浅、淡，瀑布迸溅出的水花为清水
淡黄	1~3	瀑布颜色呈现为淡黄色，相对清水瀑布颜色加深
黄色	3~7	瀑布颜色呈现为清晰明亮的黄色
黄褐	>7	壶口瀑布迸溅出的水花如泥水般，呈深黄色，一般视为黄褐色瀑布，其中含沙量至 20kg/m ³ 后，壶口瀑布迸溅出泥浆状水花。

不同含沙量级条件下壶口瀑布的颜色见表 15.3.3-3。

表 15.3.3-3 不同含沙量区间壶口瀑布实景及主要特点

含沙量 分级 (kg/m³)	岸别	主瀑		侧瀑	
≤1 清水瀑布	左岸 山西 吉县 观测				
	右岸 陕西 宜川 观测				
	对应 含沙量	2015.07.01 含沙量 0.019kg/m³		2015.10.29 含沙量 0.891 kg/m³	
	主要 特点	含沙量小于 1kg/m³ 时，瀑布颜色浅、淡，瀑布迸溅出的水花为清水，可视为清水瀑布。			
1~3 淡黄色 瀑布	左岸 山西 吉县 观测				

含沙量 分级 (kg/m³)	岸别	主瀑		侧瀑	
	右岸 陕西 宜川 观测				
	对应 含沙量	2015.11.12 含沙量为 1.17 kg/m³	2015.07.28 含沙量为 2.8kg/m³	2015.11.08 含沙量为 1.78kg/m³	2015.07.28 含沙量为 2.8kg/m³
	主要 特点	含沙量 1 kg/m³~3kg/m³ 之间，瀑布颜色呈现为淡黄色，相对清水瀑布颜色加深。			
3~7 黄色瀑布	左岸 山西 吉县 观测				
	右岸 陕西 宜川 观测				
	对应 含沙量	2015.10.17 含沙量 4.86kg/m³	2015.09.21 含沙量 6.2kg/m³	2015.10.17 含沙量 4.86kg/m³	2015.09.21 含沙量 6.2kg/m³
	主要 特点	含沙量 3 kg/m³~7kg/m³ 之间，瀑布颜色呈现为清晰的黄色。			

含沙量 分级 (kg/m³)	岸别	主瀑		侧瀑	
>7 黄褐色瀑布	左岸 山西 吉县 观测				
	右岸 陕西 宜川 观测				
	对应含沙量	2015.09.30 含沙量 9.24kg/m³	2016.08.16 含沙量 105.15kg/m³	2015.09.30 含沙量 9.24kg/m³	2016.08.16 含沙量 105.15kg/m³
	主要特点	含沙量>7 kg/m³，壶口瀑布迸溅出的水花如泥水般，当含沙量至 20kg/m³ 后，壶口瀑布迸溅出泥浆状水花，一般视为黄褐色瀑布。			

15.3.4 壶口冰瀑特征及形成机理

冰瀑景观主要由壶口瀑布水流快速溅落、冲击带来的水雾在两岸岩石、护栏等载体上降温凝结形成。由于载体的不同，形成了冰挂、冰柱、冰岸等不同的形态，在北方较为常见。壶口冰瀑指的是冬季壶口两岸形成的以冰挂为主的冰挂、冰柱、冰岸等景观，形成区域为侧瀑到主瀑之间，主要分布在主瀑附近。其中主瀑处冰瀑主要由主瀑喷溅、跌落在两岸峭壁上形成，侧瀑处冰瀑主要由岸坡归槽水流降温凝结而成。上游流凌在壶口瀑布上下游河槽、岸坡的堆积、壅塞不属于冰瀑。

15.3.4.1 壶口冰瀑的形成过程

壶口冰挂一般从每年小雪节气以后的 11 月底持续到来年的 1 月底，其中 11 月底至 12 月初，壶口地区气温逐渐降低，壶口瀑布两岸开始出现冰挂，该阶段为冰挂形成初始阶段，持续时间约 10 天~15 天；大雪节气后的 12 月中旬，受较强冷空气影响，壶口地区气温大幅下降，瀑布开始形成由大规模冰挂组成的冰瀑景观，形成最大规模冰瀑景观的时段约为 12 月 20 日以后至来年 1 月上旬，持续时间约为 10 天~20 天左右；1 月中下旬，受上游冰凌影响，瀑布两岸的冰挂被冰凌逐步覆盖，形成冰塞，壶口冰瀑景观随之消失。

本次工作以 2015 年 12 月初~2016 年 04 月的现场观测结果为基准。根据现场观测的照片和影像资料，冰瀑形成后主要分布在瀑布口两侧，分属陕西（水流方向右岸）和山西（水流方向左岸）两个行政区，受风向及地形条件影响，陕西冰瀑规模要大于山西冰瀑规模，形成区域为侧瀑到主瀑之间。观测时段内，冰瀑形成于 12 月上旬，在 12 月中旬成稳定规模景观。壶口下游两岸冰瀑均存在多冰区和少冰区；陕西侧多冰区主要由瀑布下泄形成的水雾凝结成冰，少冰区主要由侧瀑下泄残留水结冰形成；受风向影响，山西侧多冰区位于侧瀑，而少冰区位于瀑布口和龙洞附近。陕西、山西侧瀑多冰区稳定规模长度均在 90m 左右，陕西侧多冰区最大面积约 800m²，山西侧多冰区最大面积约 450m²。

15.3.4.2 冰瀑的形成机理

（1）气温条件

1) 形成冰挂、冰瀑的最低气温

根据壶口瀑布影像资料，壶口瀑布初始出现冰挂的时间约为 2015 年 12 月 4 日～2015 年 12 月 8 日，此时冰挂量较少，且受气温影响较大，上午出现冰挂，下午由于气温升高，冰挂消失。3 日、9 日～14 日未观察到冰挂出现，地面积存少量冰霜。其中 9 日、10 日、12 日和 13 日的全天气温均高于零度，不可能形成冰挂。3 日～8 日、11 日、14 日的小时气温变化如图 15.3.4-1 所示。为了进一步分析气温对冰挂形成的影响作用，对 3 日～8 日、11 日、14 日的夜间气温进行统计，详细统计结果见表 15.3.4-1。

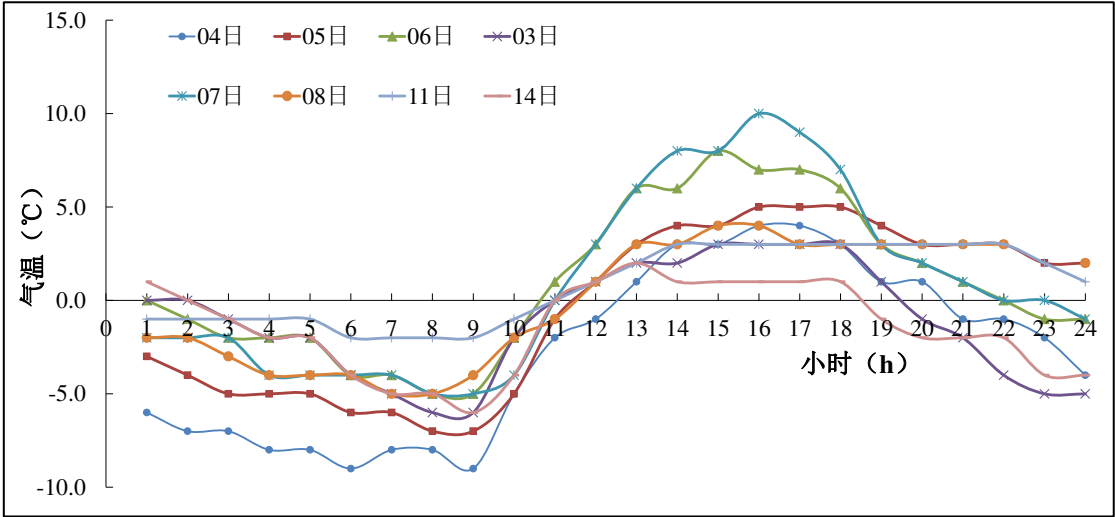


图 15.3.4-1 3 日～8 日、11 日、14 日的逐时气温变化

表 15.3.4-1 12 月部分时段夜间气温统计结果

时间	最低气温*	最高气温*	12 小时累积气温**	冰挂形成
12 月 3 日	-6.0℃	1.0℃	-26.0℃	否
12 月 4 日	-9.0℃	-5.0℃	-87.0℃	是
12 月 5 日	-7.0℃	-2.0℃	-60.0℃	是
12 月 6 日	-5.0℃	2.0℃	-22.0℃	是
12 月 7 日	-5.0℃	-1.0℃	-38.0℃	是
12 月 8 日	-5.0℃	0℃	-37.0℃	是
12 月 11 日	-2.0℃	-1.0℃	-16.0℃	否
12 月 14 日	-6.0℃	-1.0℃	-26.0℃	否

注： **累积气温为 12 小时逐时平均气温累加（前一天晚 10 点至第二天上午 10 点）

以冰挂出现的时间为例，4 日～8 日早上 8:00～9:00 时可以观察到冰挂出现，至下午 15 时冰挂消失。4 日～8 日间最低气温为-5.0℃，因此可认为气温低于-5℃是形成冰挂的必要条件。

由于冰挂形成是一个气温累积作用的结果，本次采用 12 小时累积负气温进行分析。当 12 小时累积气温低于-30.0℃时，冰挂出现的可能性较大；当 12 小时累积气温高于-20.0℃时，出现冰挂的可能性较小；当 12 小时累积气温在-20.0℃～-30.0℃之间时，水温和水

文条件对冰挂的形成有一定影响。

2) 冰瀑形成的气温过程

2015 年 12 月初~2016 年 04 月初之间,冰瀑稳定存在的时段为 12 月 15 日~27 日,至 27 日形成大规模的冰瀑景观。27 日后受上游来水量大影响,多冰区部分冰瀑被水流破坏,但后续小流量时可观察到恢复过程。1 月中下旬,受上游流凌影响,瀑布两岸的冰挂被冰凌逐步覆盖,形成冰塞,壶口冰瀑景观消失。

本次选取 12 月 15 日至 12 月 25 日的 24 小时(逐时)累积温度来分析气温对冰瀑形成的影响。24 小时累积温度变化情况如图 15.3.4-2 所示,壶口瀑布附近的冰瀑变化情况分多冰区和少冰区进行统计分析。

从图 15.3.4-2 可知,从 15 日开始,24 小时累积温度值均较低,其中最低超过-180.0℃。根据冰瀑的形成和发展情况,冰瀑主要形成于 15 日~18 日。结合统计结果,认为 24 小时累积温度值连续三天低于-70.0℃时,可稳定形成冰瀑。从图 15.3.4-2 可以看到,22 日的 24 小时累积温度值有短暂的升高过程,但是从现场观测结果看,22 日与 21 日冰瀑的形貌和体积并没有太大的变化,因此,短暂温升不会对冰瀑形貌产生明显的视觉影响。

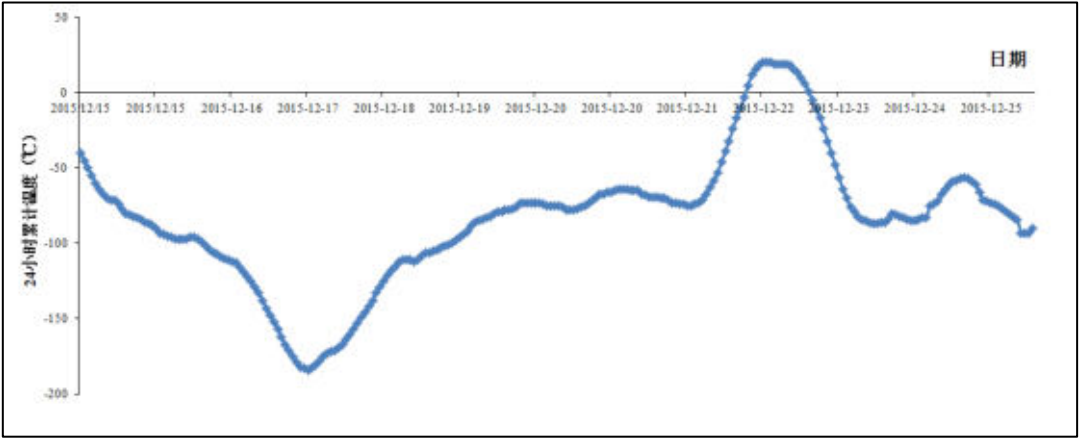


图 15.3.4-2 12 月 15 日至 12 月 25 日 24 小时累积温度变化

(2) 流量条件

在分析流量条件对冰挂形成的影响时,选择气温变化不大,流量突变的情况,包括两个时段:一是未出现冰挂时段;二是出现冰挂或冰瀑时段。选择了 12 月 3 日、6 日、8 日和 14 日进行分析,讨论水流条件对冰挂或冰瀑形成的影响作用。表 15.3.4-2 是这四天的气温和流量,流量采用龙门水文站监测数据。

在 12 月 3 日、6 日和 14 日，最低气温分别为-6.0℃、-5.0℃和-6.0℃；12 小时累积气温分别为-26.0℃、-22.0℃和-26.0℃，流量分别为 712m³/s、502m³/s 和 1370m³/s。从气温统计看，在 12 月 3 日和 14 日，最低气温和 12 小时累积气温值，均低于 6 日的统计结果，但是在 6 日出现冰挂，而 3 日和 14 却没有出现冰挂。从流量上看，3 日、14 日的流量均远大于 6 日。合理推测表明，在气温并未达到足够低的条件下，流量增加会导致冰挂形成的可能性减少。比较 12 月 3 日与 8 日的统计结果，8 日的流量为 843m³/s，大于 3 日的流量，但是在 8 日却出现了冰挂，从气温统计结果看，虽然 8 日最低气温略高于 3 日，但是 12 小时累积气温值却远低于 3 日，这表明气温是形成冰挂的主要因素。

表 15.3.4-2 气温和流量统计结果

时间	最低气温*	最高气温*	12 小时累积气温**	流量(m³/s)	冰挂形成
12 月 3 日	-6.0℃	1.0℃	-26.0℃	712	否
12 月 6 日	-5.0℃	2.0℃	-22.0℃	505	是
12 月 8 日	-5.0℃	0℃	-37.0℃	843	是
12 月 14 日	-6.0℃	-1.0℃	-26.0℃	1370	否

(3) 水温条件

冰瀑景观形成期间，壶口断面水温可由上游吴堡站和下游龙门站水温资料推算得到。表 15.3.4-3 给出了壶口瀑布 12 月 3 日至 22 日的水温推算结果。其中 4 日～8 日有冰挂，9 日～14 日无冰挂，可见在低气温作用下，低水温并非冰瀑形成的必要条件。

表 15.3.4-3 壶口瀑布处水温推算结果

2015 年 12 月	3 日	4 日	5 日	6 日	7 日	8 日	11 日	14 日
水温(℃)	3.9	3.5	3.2	2.9	2.5	2.2	1.9	2.6
2015 年 12 月	15 日	16 日	17 日	18 日	19 日	20 日	21 日	22 日
水温(℃)	3.0	1.5	1.0	1.7	1.6	1.3	1.0	1.2

总体来讲，壶口瀑布冰瀑景观与气温、水温、水动力学特性等都有一定的关系，气温是壶口冰瀑形成的决定性因素。气温低于-5℃是冰瀑形成的必要条件，24 小时累积温度值连续三天低于-70.0℃时，可稳定形成冰瀑。冰瀑稳定形成后的短暂温升不会对冰瀑形貌产生明显的视觉影响。大流量和低水温均非冰瀑形成的必要条件。古贤建成后受冬季高温水过流影响，陕西、山西两侧冰瀑规模将变小。

15.4 壶口瀑布景观特征历史演变及趋势分析

15.4.1 壶口瀑布景观历史演变情况

选取 1934 年～2020 年共 87 年龙门水文站日均流量、含沙量资料，进行壶口瀑布

历史演变情况分析。1934 年～1955 年水文系列反应了黄河大合唱时期（1939 年）壶口瀑布流量、含沙量状态；1956 年～1986 年，黄河干流水利工程建设较少，水资源开发利用程度较低，此水文系列基本反映了壶口瀑布流量、含沙量的天然状态；20 世纪 80 年代中期以来，随着社会经济用水量加大，上游龙羊峡（1987 年建成）、中游万家寨（1998 年建成）等水利枢纽建设运行，对黄河北干流流量过程产生了一定影响，因此，壶口瀑布景观特征变化趋势分析以 1987 年、1998 年为节点，通过 1987 年～1998 年、1999 年～2020 年与 1956 年～1986 年、1934 年～1955 年水文系列的对比，分析八十余年壶口瀑布规模的主要变化趋势。

考虑到万家寨水库运行和黄土高原的水土保持效益发挥情况，此次壶口河段沙量变化分析时将 1999 年～2020 年再细分为 1999 年～2009 年、2010 年～2020 年两个阶段。

15.4.1.1 壶口河段水文情势变化情况

(1) 径流量

根据 1934 年～2020 年水文系列，分析 1934 年～1955 年、1956 年～1986 年、1987 年～1998 年、1999 年～2020 年壶口河段径流量的变化详见表 15.4.1-1 和图 15.4.1-1。

表 15.4.1-1 壶口河段径流量及年内分配统计

时段（年）	径流量（亿 m ³ ）			占全年径流量比例（%）	
	全年	汛期 （7 月～10 月）	非汛期 （11 月～6 月）	汛期 （7 月～10 月）	非汛期 （11 月～6 月）
1934～1955	362.44	215.84	146.60	59.6	40.4
1956～1986	304.71	174.15	130.55	57.2	42.8
1987～1998	206.41	87.73	118.68	42.5	57.5
1999～2020	206.64	94.45	112.19	45.7	54.3

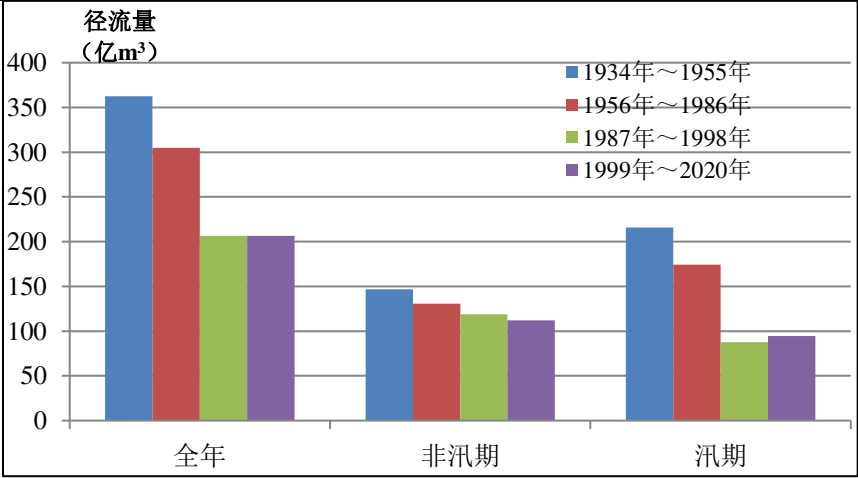


图 15.4.1-1 壶口河段径流量及年内分配统计

年均径流量：1934 年～1955 年，壶口瀑布年均径流量为 362.44 亿 m³。1956 年～

1986 年，壶口瀑布年均径流量为 304.71 亿 m³，减少 57.73 亿 m³，减少幅度为 15.9%；1987 年~1998 年，年均径流量为 206.41 亿 m³，减少 156.03 亿 m³，减少幅度为 43.0%；1999 年~2020 年，年均径流量为 206.64 亿 m³，减少 155.8 亿 m³，减少幅度为 43.0%。由此可以看出，由于经济社会发展用水量大幅度增加，以及气候降雨和人类活动对下垫面的影响，进入黄河的水量逐步减少，20 世纪 80 年代中期以来发生显著变化。

年内分配：1934 年~1955 年，汛期水量占全年水量的 59.6%，非汛期占 40.4%；1956 年~1986 年，汛期水量占全年水量的 57.2%，非汛期占 42.8%；1987~1998 年，汛期水量占全年水量的 42.5%，非汛期占 57.5%；1999 年~2020 年，汛期水量占全年水量的 45.7%，非汛期占 54.3%。由此可以看出，由于龙羊峡等大型水库的调蓄作用和沿途引用黄河水，使黄河干流河道内实际来水年内分配发生了较大的变化，表现为汛期比例下降，非汛期比例上升，年内径流量月分配趋于平均，大流量出现的几率下降。

(2) 不同流量分级变化

根据 1934 年~2020 年水文系列，分析 1934 年~1955 年、1956 年~1986 年、1987 年~1998 年、1999 年~2020 年壶口河段不同流量分级出现天数的变化详见表 15.4.1-2 和图 15.4.1-2。

表 15.4.1-2 壶口河段不同流量分级出现天数的变化统计

瀑布形态	瀑布规模	流量分级 (m ³ /s)	出现天数 (d)				所占比例 (%)			
			1934 年 ~1955 年	1956 年 ~1986 年	1987 年 ~1998 年	1999 年 ~2020 年	1934 年 ~1955 年	1956 年 ~1986 年	1987 年 ~1998 年	1999 年 ~2020 年
仅有主瀑	主瀑偏小	≤200	2	14	38	31	0.5	3.8	10.4	8.5
	主瀑正常	200-400	43	56	79	87	11.8	15.3	21.6	23.8
	小计		45	70	117	118	12.3	19.1	32	32.3
有侧瀑	小型侧瀑	400-600	55	74	89	94	15.1	20.3	24.4	25.8
	中型侧瀑	600-850	76	83	74	71	20.8	22.7	20.3	19.5
	大型侧瀑	850-1150	49	50	49	42	13.4	13.7	13.4	11.5
	小计		180	207	212	207	49.3	56.7	58.1	56.8
主侧相连	巨大瀑布	1150-2000	69	49	27	30	18.9	13.4	7.4	8.2
	景区漫滩	>2000	71	39	9	10	19.5	10.7	2.5	2.7
合计			365	365	365	365	100.0	100.0	100.0	100.0

从表 15.4.1-2 可以看出，20 世纪 80 年代中期以来，随着气候变化、社会经济用水量加大、上游龙羊峡等水利枢纽建设运行，壶口河段不同流量分级出现天数也发生了一

定的变化，与 1934 年～1955 年相比，主要变化如下：

小于 $200\text{m}^3/\text{s}$ 的流量级出现的天数：有明显增加，1934 年～1955 年出现天数为 2 天/年，1956 年～1986 年、1987 年～1998 年、1999 年～2020 年增加至 14 天/年、38 天/年和 31 天/年。

$200\text{m}^3/\text{s} \sim 400\text{m}^3/\text{s}$ 、 $400\text{m}^3/\text{s} \sim 600\text{m}^3/\text{s}$ 流量级出现天数：有一定幅度增加，1934 年～1955 年出现天数为 43 天/年和 55 天/年，1956 年～1986 年出现天数增加至 56 天/年和 74 天/年，1987 年～1998 年增加至 79 天/年和 89 天/年，1999 年～2020 年又增加至 87 天/年和 94 天/年。

$600\text{m}^3/\text{s} \sim 850\text{m}^3/\text{s}$ 、 $850\text{m}^3/\text{s} \sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ 流量级出现天数：1986 年之后有一定幅度减少。1934 年～1955 年出现天数为 76 天/年和 49 天/年，1956 年～1986 年出现天数为 83 天/年和 50 天/年，有一定幅度增加；1987 年～1998 年减少至 74 天/年和 49 天/年，1999 年～2020 年减少至 71 天/年和 42 天/年。

$1150\text{m}^3/\text{s} \sim 2000\text{m}^3/\text{s}$ 流量级出现天数：有明显减少，1934 年～1955 年出现天数为 69 天/年，1956 年～1986 年出现天数减少至 49 天/年，1987 年～1998 年减少至 27 天/年，1999～2020 年减少至 30 天/年。

大于 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 的流量级：有明显减少，1934 年～1955 年出现天数为 71 天/年，1956 年～1986 年、1987 年～1998 年、1999 年～2020 年减少至 39 天/年、9 天/年和 10 天/年。

综上，黄河已经是一条受人工高度调控化的河流，受流域工程调控和水资源开发利用程度不断增加的影响，壶口河段内 20 世纪 80 年代中后期水量减少。随着 1999 年万家寨水库投入运行，流域社会经济用水量进一步增加，壶口河段年内流量趋于均化。1999 年后， $600\text{m}^3/\text{s}$ 以下中小流量出现的几率显著增加，由 1934 年～1955 年的 100 天/年增至 212 天/年； $600\text{m}^3/\text{s}$ 以上流量出现的天数显著减少，由 265 天/年减少至 153 天/年；特别是 $1150\text{m}^3/\text{s}$ 以上大流量出现的几率明显降低，由 140 天/年减少至 40 天/年。壶口大型瀑布景观出现几率也随之减少。

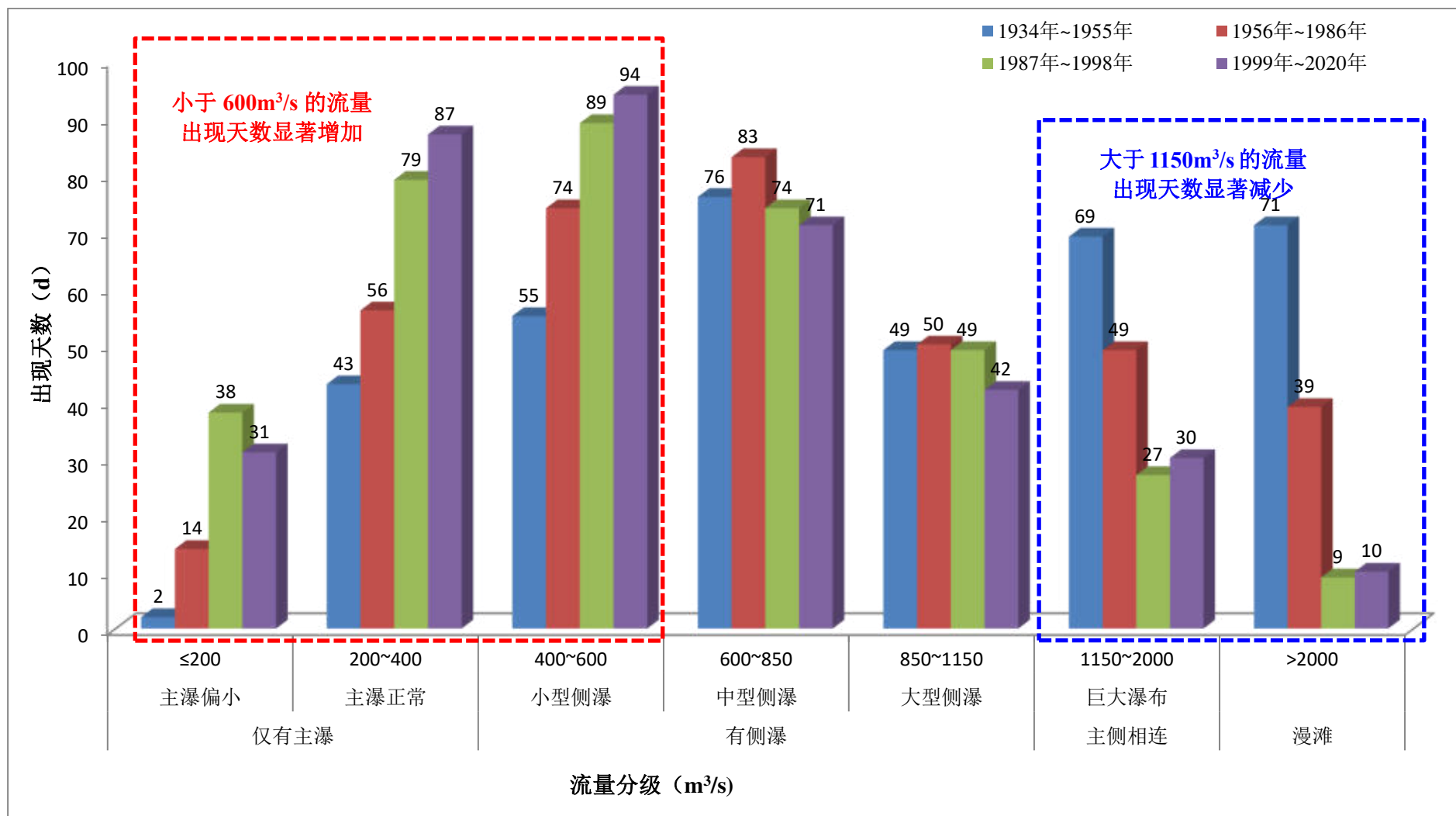


图 15.4.1-2 壶口河段不同流量分级出现天数的变化统计

15.4.1.2 壶口河段沙量变化情况

(1) 输沙量和含沙量

1934 年~1955 年、1956 年~1986 年、1987 年~1998 年、1999 年~2009 年、2010 年~2020 年壶口河段输沙量、含沙量的变化详见表 15.4.1-3 和图 15.4.1-3、15.4.1-4。

表 15.4.1-3 壶口河段输沙量、含沙量统计

时段 (年)	输沙量 (亿 t)			含沙量 (kg/m ³)		
	全年	非汛期	汛期	全年	非汛期	汛期
1934~1955	11.0	1.3	9.7	30.9	8.9	46.1
1956~1986	9.1	1	8.1	29.9	7.7	46.5
1987~1998	5.5	0.9	4.6	26.6	7.6	52.4
1999~2009	1.6	0.4	1.2	9.2	3.8	17.6
2010~2020	1.5	0.1	1.4	5.9	0.8	10.6

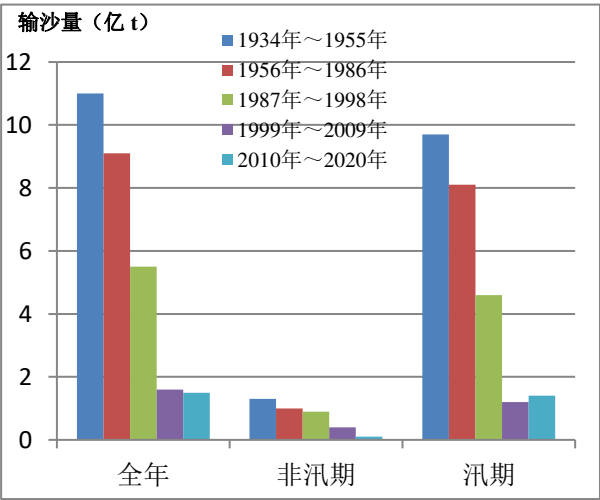


图 15.4.1-3 壶口河段年输沙量统计

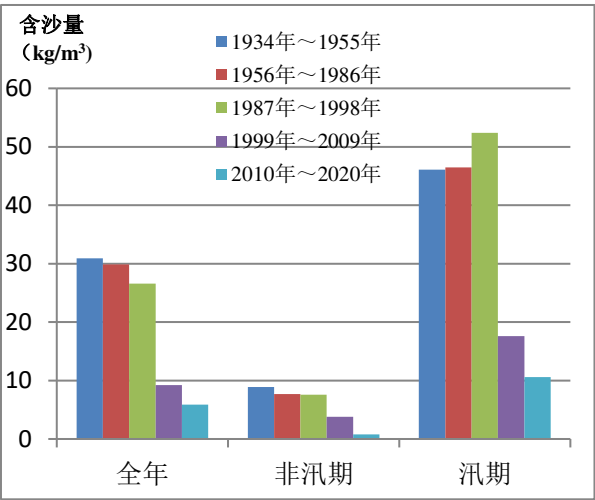


图 15.4.1-4 壶口河段年含沙量统计

年均输沙量：1934 年~1955 年，壶口河段年均输沙量为 11.0 亿 t。1956 年~1986 年，壶口河段年均输沙量为 9.1 亿 t，比 1934 年~1955 年减少 1.9 亿 t，减少幅度为 17.3%；1987 年~1998 年，年均输沙量为 5.5 亿 t，减少 5.5 亿 t，减少幅度为 50.0%；1999 年~2009 年，年均输沙量为 1.6 亿 t，减少 9.4 亿 t，减少幅度为 85.5%；2010 年~2020 年，年均输沙量为 1.5 亿 t，减少 9.5 亿 t，减少幅度为 86.4%。年均输沙量的大量减少，主要来自于汛期输沙量的大量减少。汛期输沙量分别由 1934 年~1955 年的 9.7 亿 t 减少到 1956 年~1986 年、1987 年~1998 年、1999 年~2009 年、2010 年~2020 年的 8.1 亿 t、4.6 亿 t、1.2 亿 t、1.4 亿 t。

壶口河段的输沙量主要来自于中游万家寨~壶口区间，该区间为黄河的多沙粗沙区，近年来由于水土保持措施持续实施，进入黄河的沙量明显减少，加上气候降雨、经济社

会发展使用水量大幅度增加影响,20 世纪 80 年代中期年均输沙量明显减少,尤其是 1999 年之后,输沙量大幅下降。

年均含沙量: 1934 年~1955 年、1956 年~1986 年、1987 年~1998 年壶口瀑布年均含沙量分别为 30.9 kg/m³、29.9kg/m³和 26.6kg/m³; 1999 年~2009 年、2010 年~2020 年,壶口瀑布年均含沙量为 9.2kg/m³、5.9kg/m³,年均含沙量明显减少,较 1934 年~1955 年减少幅度分别为 70.2%、80.9%。1999 年~2009 年和 2010 年~2020 年,年均含沙量由 9.2kg/m³降至 5.9kg/m³,减少幅度为 35.9%。

由此可以看出,1999 年之前的 3 个时期壶口河段年均含沙量变化不大,基本反映了壶口瀑布含沙量的天然状态。1999 年后万家寨水库投运,黄土高原退耕还林还草政策正式实施,加之气候变化、大暴雨发生几率降低等因素影响,壶口河段含沙量发生了较大的变化,年均含沙量、汛期含沙量、非汛期含沙量均较 1934 年~1955 年有较大幅度的减少。尤其是 2010 年以来,壶口河段含沙量减少明显。

(2) 不同含沙量级出现天数的变化

1934 年~1955 年、1956 年~1986 年、1987 年~1998 年、1999 年~2009 年、2010 年~2020 年壶口河段不同含沙量分级出现天数的变化详见表 15.4.1-4 和图 15.4.1-5。

表 15.4.1-4 壶口瀑布不同含沙量级出现天数统计表

壶口瀑布颜色	含沙量分级 (kg/m ³)	不同颜色瀑布出现的天数 (d)					出现天数所占的比例 (%)				
		1934 年~1955 年	1956 年~1986 年	1987 年~1998 年	1999 年~2009 年	2010 年~2020 年	1934 年~1955 年	1956 年~1986 年	1987 年~1998 年	1999 年~2009 年	2010 年~2020 年
清水	≤1	21	10	4	80	215	5.7	2.7	1.1	21.9	59.0
淡黄	1~3	31	63	67	142	79	8.5	17.3	18.3	38.9	21.6
黄色	3~7	100	123	136	76	38	27.4	33.7	37.3	20.8	10.4
黄褐	>7	213	169	158	67	33	58.4	46.3	43.3	18.4	9.0
合计		365	365	365	365	365	100.0	100.0	100.0	100	100.0

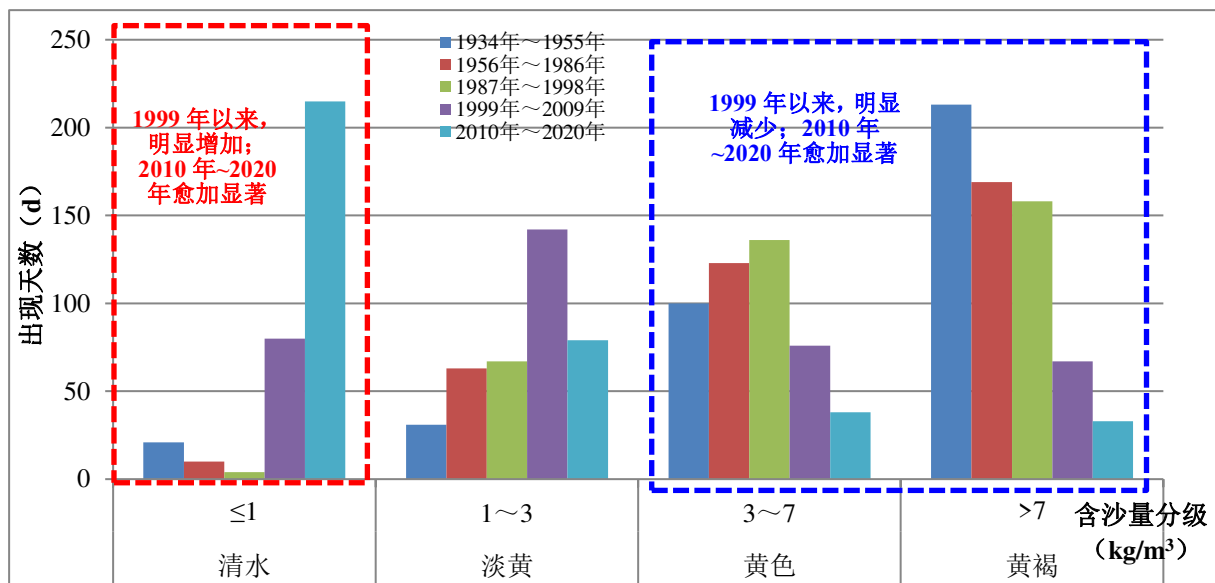


图 15.4.1-5 壶口瀑布不同含沙量级出现天数统计图

从表 15.4.1-4、图 15.4.1-5 可以看出，1999 年后，随着气候变化、水保措施发挥效益、社会经济用水量加大，壶口河段不同含沙量分级出现天数也发生了一定的变化，2010 年后愈加显著。1999 年~2009 年、2010~2020 年与 1934 年~1955 年、1956 年~1986 年、1987 年~1998 年相比，主要变化如下：

小于 1kg/m^3 的流量级出现的天数：有大幅增加，分别由 1934 年~1955 年、1956 年~1986 年、1987 年~1998 年的 21 天/年、10 天/年、4 天/年增加为 1999 年~2009 年、2010 年~2020 年的 80 天/年、215 天/年，2010 年~2020 年变化愈加显著。

$3\text{kg/m}^3 \sim 7\text{kg/m}^3$ 、大于 7kg/m^3 的流量级出现的天数：有大幅减少，分别由 1934 年~1955 年、1956 年~1986 年、1987 年~1998 年的 313 天/年、292 天/年、294 天/年减少为 1999 年~2009 年、2010 年~2020 年的 143 天/年、71 天/年，2010 年~2020 年变化愈加显著。

综上，随着陕西、山西两岸水保措施发挥效益、气候变化及上中游社会经济用水量加大，近几十年来黄土高原进入黄河的泥沙量大量减少，壶口河段输沙量不断减少。2010 年后含沙量减少明显，小于 1kg/m^3 含沙量级出现天数大幅增加，由 1934 年~1955 年的 21 天/年增加为 2010 年~2020 年的 215 天/年，大于 3kg/m^3 的含沙量出现的天数明显降低，由 313 天/年减少为 71 天/年。壶口瀑布景观的颜色发生了显著的变化。

15.4.1.3 壶口瀑布景观历史演变情况

根据 1934 年~1955 年、1956 年~1986 年、1987 年~1998 年、1999 年~2020 年

四个时段的水文泥沙数据，分析四个时段壶口瀑布形态、规模的变化情况，具体见表 15.4.1-5。

表 15.4.1-5 壶口瀑布景观形态、规模历史演变情况分析表

瀑布形态规模		不同景观出现天数（d）			
		1934 年～1955 年	1956 年～1986 年	1987 年～1998 年	1999 年～2020 年
仅有主瀑	主瀑偏小	2	14	38	31
	主瀑正常	43	56	79	87
有侧瀑	小型侧瀑	55	74	89	94
	中型侧瀑	76	83	74	71
	大型侧瀑	49	50	49	42
巨大瀑布		69	49	27	30
景区漫滩		71	39	9	10
形态、规模变化特点	多样性	瀑布各种形态、各种规模均能出现			
	景观优势类型	有侧瀑-中型侧瀑出现几率较多	小型侧瀑、中型侧瀑出现几率较多	仅有主瀑～主瀑正常、有侧瀑～小型侧瀑、有侧瀑～中型侧瀑出现几率较多	仅有主瀑～主瀑正常、有侧瀑～小型侧瀑、有侧瀑～中型侧瀑出现几率较多
	较佳观瀑类型	出现天数为 125 天/年，年内出现几率为 34.2%	出现天数为 133 天/年，年内出现几率为 36.4%	出现天数为 123 天/年，年内出现几率为 33.7%	出现天数为 113 天/年，年内出现几率为 31.0%
	不利景观类型	出现天数为 73 天/年，占全年 20.0%	出现天数为 53 天/年，占全年 14.5%	不利景观类型出现天数为 47 天/年，占全年 12.9%	出现天数为 41 天/年，占全年 11.2%

根据 1934 年～1955 年、1956 年～1986 年、1987 年～1998 年、1999 年～2009 年、2010 年～2020 年五个时段的水文泥沙数据，分析五个时段壶口瀑布颜色的变化情况，具体见表 15.4.1-6。

表 15.4.1-6 壶口瀑布景观颜色历史演变情况分析表

瀑布颜色		不同景观出现天数（d）				
		1934 年～1955 年	1956 年～1986 年	1987 年～1998 年	1999 年～2009 年	2010 年～2020 年
清水		21	10	4	80	215
淡黄		31	63	67	142	79
黄色		100	123	136	76	38
黄褐色		213	169	158	67	33
颜色变化特点	类型	瀑布各种颜色类型均能出现				
	结构	以黄色、黄褐为优势颜色，出现天数为 313 天/年，清水瀑布出现天数仅为 21 天/年	以黄色、黄褐为优势颜色，出现天数为 292 天/年，清水瀑布出现天数仅为 10 天/年	以黄色、黄褐为优势颜色，出现天数为 294 天/年，清水瀑布出现天数仅为 4 天/年	以清水、淡黄为优势颜色，出现天数为 222 天/年，清水瀑布出现天数为 80 天/年。	以清水、淡黄为优势颜色，出现天数为 294 天/年，清水瀑布出现天数为 215 天/年。

由表 15.4.1-5、表 15.4.1-6 可以看出，近几十年来壶口瀑布景观的历史演变特点为：

（1）1934 年～1955 年、1956 年～1986 年、1987 年～1998 年、1999 年～2020 年四个时期壶口瀑布的各种形态、规模类型均存在，景观多样性未发生变化，壶口瀑布规模总体有一定程度减小。受流域工程调控和水资源开发利用程度不断增加的影响，四个

时期瀑布形态、规模各种类型出现几率发生变化，主要表现为 $600\text{m}^3/\text{s}$ 以上较大规模瀑布出现的天数显著减少，由 1934 年～1955 年的 265 天/年减少至 153 天/年； $600\text{m}^3/\text{s}$ 以下较小规模瀑布出现的天数大量增加，由 1934 年～1955 年的 100 天/年增至 212 天/年。较佳瀑布规模出现的天数在四个时期内总体减少，由 1934 年～1955 年、1956 年～1986 年的 125 天/年、133 天/年减少为 1999 年～2020 年的 113 天/年。

(2) 1934 年～1955 年、1956 年～1986 年、1987 年～1998 年、1999 年～2009 年、2010 年～2020 年五个时期壶口瀑布的各种颜色均存在，但瀑布颜色结构发生了一定变化。1934 年～1955 年、1956 年～1986 年、1987 年～1998 年瀑布颜色以黄色和黄褐色为主，出现天数占全年总天数的 80% 以上。1999 年～2009 年、2010 年～2020 年，瀑布颜色变化为以清水、淡黄色为主，出现天数分别占全年总天数的 60.8%、80.5%，黄色、黄褐色出现的几率明显降低，其中 2010 年～2020 年清水瀑布出现天数显著增多，达 215 天/年，占全年总天数的 58.9%。可见由于受气候降雨、水土保持措施持续实施、水资源调控的影响，进入黄河干流河道的泥沙量减少，黄河保护治理已经对瀑布颜色特征产生了一定影响。

总体从 1934 年以来壶口河段水沙变化情况来看，受黄河上游省区经济社会发展、龙羊峡刘家峡水库调控、黄河流域水土保持措施持续发挥效益，以及气候变化、大暴雨发生几率降低等多种因素影响，壶口河段水量、沙量持续减少，流量趋于均化，壶口瀑布景观也随之发生了一定变化。一味追求壶口瀑布回到完全自然状态是难以实现的，也不符合黄河现阶段的实际情况。根据壶口瀑布景观历史演变情况研究，确定本次以 1999 年～2020 年壶口瀑布景观特征为保护恢复目标，进行工程调度方案优化和工程补沙。

15.4.2 壶口瀑布保护目标

15.4.2.1 壶口瀑布形态、规模保护目标

(1) 壶口瀑布形态、规模景观恢复目标选择时段

根据壶口瀑布景观形态、规模历史演变趋势研究成果，随着气候变化、社会经济发展和龙刘水库调控，20 世纪 80 年代中后期壶口河段水量明显减少，比 1934 年～1956 年减少 43.0% 左右。1999 年后，壶口河段年内流量进一步趋于均匀化， $600\text{m}^3/\text{s}$ 以下中小流量出现几率显著增加，由 1934 年～1955 年的 100 天/年增至 1999 年～2020 年的 212

天/年；1150m³/s 以上大流量出现的几率明显降低，由 1934 年~1955 年的 140 天/年减至 1999 年~2020 年的 40 天/年。考虑到壶口河段水量变化，报告书以 1999 年~2020 年壶口瀑布景观规模特征为保护恢复目标，对工程运行调度进行了优化。

(2) 不同观瀑流量出现天数统计

经统计，1999 年~2020 年每年不同流量级别出现的天数、流量变化范围如表 15.4.2-1 所示。

表 15.4.2-1 1999 年~2020 年每年不同流量级别出现天数统计 单位：天/年

年份 (年)	≤200m³/s	200m³/s ~400m³/s	400m³/s ~600 m³/s	600m³/s ~850 m³/s	850m³/s ~1150 m³/s	1150m³/s ~2000m³/s	>2000 m³/s	流量变动范围 (m³/s)
1999	53	87	73	70	50	31	1	79.4-2080
2000	73	82	99	56	45	11	0	67.2-1850
2001	89	68	111	73	21	3	0	32.9-1810
2002	25	112	129	76	18	5	0	56.8-2000
2003	74	104	59	56	50	21	1	54.8-1840
2004	27	113	127	68	21	10	0	133-1850
2005	78	63	82	86	30	26	0	91-1750
2006	12	90	102	77	53	27	4	123-2100
2007	11	96	69	105	52	29	3	154-2710
2008	47	65	123	75	32	24	0	111-1840
2009	19	125	94	55	51	19	2	148-2470
2010	10	87	94	79	66	25	4	144-2680
2011	21	114	120	65	23	20	2	141-2170
2012	22	70	80	50	47	48	49	138-3850
2013	11	59	85	89	49	71	1	151-2020
2014	14	87	100	88	52	24	0	136-1640
2015	21	126	113	84	18	3	0	139-1520
2016	45	139	114	47	10	11	0	138-1690
2017	29	136	116	62	16	5	1	119-2430
2018	0	63	89	42	46	68	57	210-3520
2019	0	3	40	69	117	80	56	305-2710
2020	0	22	49	80	67	104	44	232-3980
平均	31	87	94	71	42	30	10	

根据以上统计，1999 年~2020 年 22 年间，各流量级的统计如下：

1) 日均流量最小为 32.9 m³/s，最大为 3980 m³/s。

2) 各流量级别出现几率为：

小于 200m³/s 流量级：出现的天数波动范围为 0~89 天/年，每年平均出现天数为 31 天/年；

200m³/s~400m³/s 流量级：出现的天数波动范围为 3~139 天/年，每年平均出现天数为 87 天/年；

400m³/s~600m³/s 流量级：出现的天数波动范围为 40~129 天/年，每年平均出现天数为 94 天/年；

600m³/s~850m³/s 流量级：出现的天数波动范围为 42~105 天/年，每年平均出现

天数为 71 天/年;

850m³/s~1150m³/s 流量级: 出现的天数波动范围为 10~117 天/年, 每年平均出现天数为 42 天/年;

1150m³/s~2000m³/s 流量级: 出现的天数波动范围为 3~104 天/年, 每年平均出现天数为 30 天/年;

大于 2000m³/s 的流量级: 出现的天数波动范围为 0~57 天/年, 每年平均出现天数为 10 天/年;

1999 年~2020 年 22 年间壶口瀑布日均流量为 32.9~3980 m³/s, 现状规模主要以“仅有主瀑~主瀑正常 (200 m³/s~400 m³/s)、有侧瀑~小型侧瀑 (400 m³/s~600 m³/s)、有侧瀑~中型侧瀑 (600 m³/s~850 m³/s)”为主, 合计 252d, 占全年天数的 69.0%; 其次为“有侧瀑~大型侧瀑 (850 m³/s~1150 m³/s), 占全年天数的 11.6%; “主瀑偏小”(<200 m³/s)、主侧相连 (1250 m³/s~2000 m³/s) 出现天数较少, 分别为 31d 和 30d; 漫滩 (≥2000m³/s) 出现天数最少, 仅为 10d。较佳瀑布规模 (600~1150 m³/s) 出现的天数为 113 天/年, 年内出现几率为 31.0%。

(3) 现状年各月瀑布形态、规模评述

1) 月均流量

根据龙门断面 1999 年~2020 年连续 22 年的流量观测资料, 壶口河段 1999 年~2020 年各月月均流量情况见图 15.4.2-1。

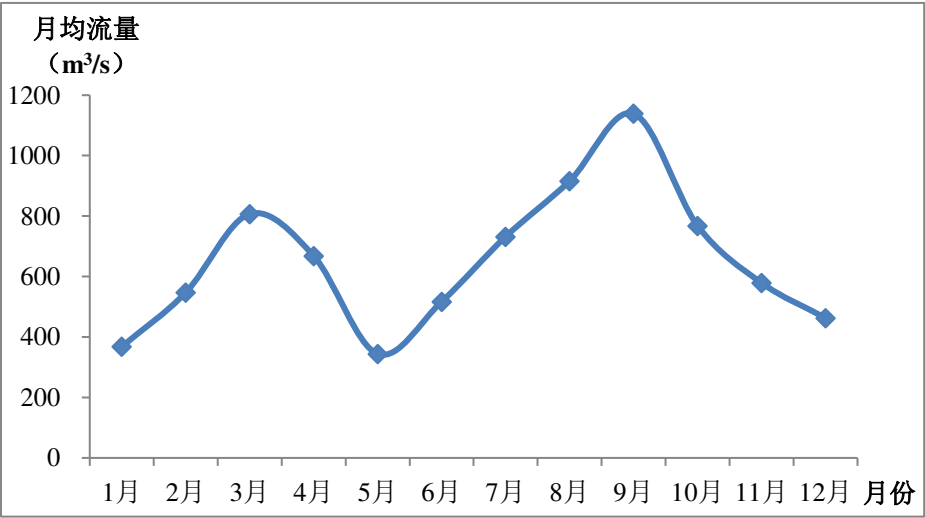


图 15.4.2-1 壶口瀑布 (龙门断面) 1999 年~2020 年月均流量变化情况

2) 各月景观形态、规模特征

壶口瀑布形态、规模各月景观特征见表 15.4.2-2。

表 15.4.2-2 壶口瀑布各月景观典型特征表（1999 年～2020 年系列）

月份	月均流量范围 (m^3/s)	月均流量均值 (m^3/s)	景观特征
1 月	186～575	368	以仅有主瀑、小型侧瀑景观类型为主
2 月	398～784	547	以小型侧瀑、中型侧瀑类型为主
3 月	588～1056	807	以中型、大型侧瀑形态为主
4 月	257～1071	668	以小型、中型、大型侧瀑为主
5 月	149～871	344	以仅有主瀑、小型瀑布景观类型为主，中型、大型侧瀑亦有出现
6 月	184～1189	517	以仅有主瀑、小型、中型侧瀑瀑布景观类型为主，大型侧瀑、巨大瀑布也有出现
7 月	120～2331	732	除大型侧瀑外，各类型均可出现
8 月	395～2565	916	除仅有主瀑—主瀑偏小外，各类型均可出现
9 月	541～2540	1139	瀑布规模较大，以大型侧瀑类型居多
10 月	425～2390	768	以小型、中型侧瀑为主
11 月	321～1087	579	多以主瀑、小、中型侧瀑形式出现，大型侧瀑也有出现
12 月	277～705	463	多以主瀑、小型侧瀑形式出现，中型侧瀑也有出现

综上：

1 月、2 月，壶口流量较小，瀑布主要以主瀑出现，景观规模的类型主要为“仅有主瀑～主瀑正常”、“有侧瀑～小型侧瀑”。

3 月、4 月，黄河上游冰凌消融形成春汛，尤其是 3 月下旬、4 月上旬，壶口断面流量逐渐增加，主要以“有侧瀑小型、中型侧瀑”形态出现，“大型侧瀑”亦有出现。

5 月～6 月，为黄河的枯水期，此时期受灌溉用水影响，上游用水量增加，河道内水量减小，2001 年 6 月份曾出现 $45\text{m}^3/\text{s}$ 的极低值，壶口流量变小，此时瀑布规模变小，主要以主瀑、小型侧瀑形态出现，其他类型瀑布出现天数较少，至 6 月底，随着汛期到来，壶口流量增加，瀑布规模有所增加。

7 月～10 月，随着汛期到来，壶口流量增加，主瀑规模开始变大，侧瀑出现几率增加，瀑布各规模类型基本均有出现，有侧瀑～大型侧瀑类型出现天数增加，主侧相连巨大瀑布、漫滩的瀑布类型也有出现；

11 月～12 月，随着汛期结束，壶口上游来水量减少，多以主瀑、小型侧瀑形式出现，中、大型侧瀑也有出现。

3) 游客较多月份景观情况

根据对壶口瀑布景区 2016 年、2017 年逐月游客人数进行统计，确定游客人数较多的月份均为 5 月、7 月、8 月和 10 月份。2016 年、2017 年这 4 个月游客人数占全年游客人数的比例分别为 64.0%、57.8%。

5 月份，流量均值为 $344\text{m}^3/\text{s}$ ，瀑布规模较小，主要为以仅有主瀑、小型侧瀑形式出现，中型、大型侧瀑亦有出现。

7 月份，流量均值为 $732\text{m}^3/\text{s}$ ，瀑布多以主瀑、侧瀑形式出现，可以出现主侧瀑连成一片的巨大瀑布，也会出现景区漫滩情况。

8 月份，流量均值为 $916\text{m}^3/\text{s}$ ，流量较大，瀑布多以主瀑、侧瀑形式出现，规模较大，可以出现主侧瀑连成一片的巨大瀑布，也会出现景区漫滩情况。

10 月份，流量月均值为 $768\text{m}^3/\text{s}$ ，流量相对较大，瀑布规模较大，以小型、中型、大型侧瀑为主。

15.4.2.2 壶口瀑布颜色保护目标

(1) 壶口瀑布颜色景观恢复时段选择

受水土保持措施实施及气候变化等因素影响，1999 年以来壶口河段含沙量有大幅度减少，2010 年后愈加显著。1934 年~1955 年、1956 年~1986 年、1987 年~1998 年壶口瀑布年均含沙量分别为 $30.9\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $29.9\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $26.6\text{kg}/\text{m}^3$ ；1999 年~2009 年、2010 年~2020 年，壶口瀑布年均含沙量减少为 $9.2\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $5.9\text{kg}/\text{m}^3$ ，年均含沙量明显减少，较 1934 年~1955 年减少幅度分别为 70.2%、80.9%。

1999 年~2009 年至 2010 年~2020 年，年均含沙量由 $9.2\text{kg}/\text{m}^3$ 降至 $5.9\text{kg}/\text{m}^3$ ，减少幅度为 35.9%；清水瀑布 ($\leq 1\text{kg}/\text{m}^3$) 出现天数由 80 天/年增至 215 天/年，淡黄色 ($1\text{kg}/\text{m}^3 \sim 3\text{kg}/\text{m}^3$)、黄色 ($3\text{kg}/\text{m}^3 \sim 7\text{kg}/\text{m}^3$)、黄褐色瀑布 ($> 7\text{kg}/\text{m}^3$) 出现天数分别由 142 天/年、76 天/年、67 天/年减至 79 天/年、38 天/年、33 天/年。自 1999 年~2009 年至 2010 年~2020 年，壶口河段含沙量和不同颜色年内出现几率发生了明显变化。故此次以 2010 年~2020 年壶口瀑布景观颜色特征为恢复目标，提出了补沙工程措施，并进行工程对壶口瀑布景观颜色影响评价。

(2) 现状年瀑布不同颜色出现天数统计

经统计，2010 年~2020 年每年不同含沙量级出现的天数如表 15.4.2-3 所示。

表 15.4.2-3 2010 年~2020 年每年不同流量级别出现天数统计 单位：天/年

年份（年）	$\leq 1 \text{ kg/m}^3$	$1 \text{ kg/m}^3 \sim 3 \text{ kg/m}^3$	$3 \text{ kg/m}^3 \sim 7 \text{ kg/m}^3$	$> 7 \text{ kg/m}^3$	含沙量变动范围 (kg/m^3)
2010	214	95	24	32	0.00~73.97
2011	211	70	52	32	0.00~29.45
2012	235	67	34	30	0.00~105.44
2013	216	52	44	53	0.00~132.00
2014	244	80	33	8	0.00~8.45
2015	234	66	39	26	0.00~15.89
2016	213	69	41	43	0.03~105.15
2017	203	87	38	37	0.00~179.42
2018	163	89	55	58	0.15~130.54
2019	205	116	28	16	0.13~71.07
2020	228	82	33	23	0.09~62.21
出现天数波动范围	163-244	52-116	28-55	8-58	
平均天数	215	79	38	33	

根据以上统计，2010 年~2020 年 11 年间，各含沙量级的统计如下：

1) 日均含沙量最小为 0.00 kg/m^3 ，最大为 179.42 kg/m^3 。

2) 各含沙量级别出现几率为：

① 小于 1 kg/m^3 含沙量级：出现的天数波动范围为 163 天/年~244 天/年，平均出现天数为 215 天/年；

② $1 \text{ kg/m}^3 \sim 3 \text{ kg/m}^3$ 含沙量级：出现的天数波动范围为 52 天/年~116 天/年，平均出现天数为 79 天/年；

③ $3 \text{ kg/m}^3 \sim 7 \text{ kg/m}^3$ 含沙量级：出现的天数波动范围为 28 天/年~55 天/年，平均出现天数为 38 天/年；

④ 大于 7 kg/m^3 含沙量级：出现的天数波动范围为 8 天/年~58 天/年，平均出现天数为 33 天/年。

经统计，2010 年~2020 年日均含沙量为 $0.00 \sim 179.42 \text{ kg/m}^3$ ，壶口瀑布现状颜色以清水、淡黄色为主，全年出现天数分别为 215d、79d，合计 294d，占全年天数的 80.5%；其次为黄色瀑布，全年出现天数为 38d，占全年天数的 10.4%；出现天数最小的为黄褐色瀑布，为 33d，占全年天数的 9.0%。

(3) 现状年各月瀑布颜色分析

1) 月均含沙量

根据龙门断面 2010 年~2020 年连续 11 年的含沙量观测资料,壶口河段 2010 年~2020 年各月月均含沙量情况见图 15.4.2-2。

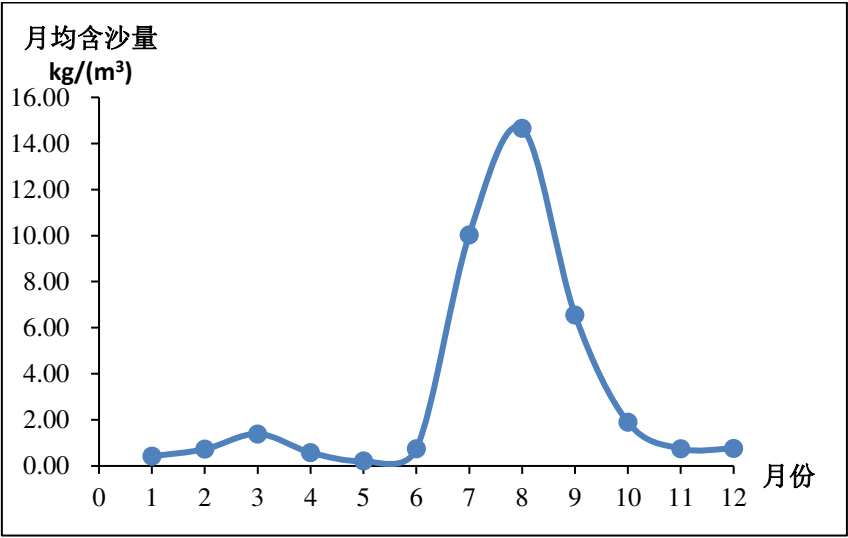


图 15.4.2-2 壶口瀑布（龙门断面）2010 年~2020 年月均含沙量变化情况

2) 各月景观颜色特征

2010 年~2020 年壶口瀑布颜色各月景观特征见表 15.4.2-4。

表 15.4.2-4 壶口瀑布各月颜色典型特征表（2010 年~2020 年系列）

月份	月均含沙量范围 (kg/ m³)	月均含沙量 (kg/ m³)	景观特征
1 月	0.00~0.86	0.42	含沙量较小，为清水瀑布为主。
2 月	0.32~1.16	0.73	含沙量较小，以清水、淡黄色瀑布为主。
3 月	0.49~2.65	1.39	含沙量有所增加，但仍以清水、淡黄色为主
4 月	0.28~1.06	0.58	含沙量有所减小，仍以清水、淡黄色为主
5 月	0.00~0.62	0.21	含沙量最小，为清水瀑布为主。
6 月	0.16~1.37	0.74	含沙量有所增加，以清水、淡黄色瀑布为主。
7 月	1.86~27.16	10.03	含沙量一年中最大，瀑布颜色多呈黄色和黄褐色，尤其降雨后黄褐色瀑布出现几率增加。
8 月	3.09~34.31	14.66	
9 月	3.00~12.60	6.56	含沙量较大，瀑布颜色多呈黄色和黄褐色
10 月	0.84~3.72	1.90	含沙量较小，瀑布颜色多为淡黄色、黄色。
11 月	0.31~1.17	0.75	含沙量较小，主要以清水、淡黄色瀑布为主。
12 月	0.33~2.69	0.76	含沙量较小，主要以清水、淡黄色瀑布为主。

综上：1 月、2 月，壶口河段含沙量较小，瀑布主要以清水瀑布为主。

3 月、4 月，壶口河段含沙量有所增加，但仍以清水、淡黄色为主。

5 月，为黄河的枯水期，含沙量一年中最小，该月基本为清水瀑布。

6 月，含沙量有所增加，多数情况下以清水、淡黄色瀑布为主。

7月、8月，随着汛期到来，含沙量一年中最大，瀑布颜色多呈黄色和黄褐色，尤其降雨后黄褐色瀑布出现几率增加。

9月，含沙量较大，瀑布颜色多呈黄色和黄褐色。

10月，随着主汛期的逐步结束，含沙量变小，瀑布颜色多为淡黄色、黄色。

11月、12月，壶口含沙量减少，主要以清水、淡黄色瀑布为主。

3) 游客较多月份景观情况

根据统计，现状游客人数较多的月份为5月、7月、8月和10月。

5月份，含沙量均值为 0.21 kg/m^3 ，瀑布以清水瀑布为主。

7月份，含沙量均值为 10.03 kg/m^3 ，瀑布颜色多呈黄色和黄褐色。

8月份，含沙量均值为 14.66 kg/m^3 ，瀑布颜色多呈黄色和黄褐色。

10月份，含沙量均值为 1.90 kg/m^3 ，瀑布颜色多为淡黄色和黄色。

15.5 工程运行对壶口瀑布景观特征的影响分析

15.5.1 壶口瀑布形态、规模影响分析

15.5.1.1 流量变化分析

流量是决定壶口瀑布形态的主要因素。古贤水库库容大，对水量调节能力强，在2000年~2008年项目建议书阶段研究初期，对水库调度设计综合考虑了工程防洪减淤、下游河道基流（ $180\text{m}^3/\text{s}$ ）、引黄工程引水、调峰发电流量要求等因素，对壶口瀑布所需的景观流量未做过多考虑。2009年黄委组织工程的环境论证工作，经多次与设计单位的沟通反馈，工程逐步将壶口观景流量需求纳入水量调度考虑的重要方面之一。2017年进入可行性研究阶段后，工程的水量调度方案不仅考虑壶口景观流量需求，而且工程针对壶口瀑布目前存在的瀑布规模减小问题，进行精细化调度，争取通过水库的优化调控，起到进一步改善瀑布景观的作用。

(1) 水库调度方案优化前

根据可研调算，在水库运行方案精细化调度之前，不考虑观景时段（8:00~18:00）的精细化调控，拦沙初期、拦沙后期、正常运用期不同典型年（丰、平、枯水平年）来水情况下，壶口河段流量具体变化如表 15.5.1-1~15.5.1-3 和图 15.5.1-1~15.5.1-3 所示：

表 15.5.1-1 拦沙初期不同典型年壶口河段不同流量级出现天数的变化（未优化） 单位：天

瀑布形态	瀑布规模	流量分级(m ³ /s)	1999 年~2020 年	古贤运行后		
				丰水年 (P=25%)	平水年 (P=50%)	枯水年 (P=75%)
仅有主瀑	主瀑偏小	≤200	31	0	0	0
	主瀑正常	200~400	87	0	0	0
有侧瀑	小型侧瀑	400~600	94	281	306	330
	中型侧瀑	600~850	71	63	50	32
	大型侧瀑	850~1150	42	0	0	0
巨大瀑布		1150~2000	30	0	0	0
景区漫滩		>2000	10	21	9	3

表 15.5.1-2 拦沙后期不同典型年壶口河段不同流量级出现天数的变化（未优化） 单位：天

瀑布形态	瀑布规模	流量分级 (m ³ /s)	1999 年~2020 年	古贤运行后		
				丰水年 (P=25%)	平水年 (P=50%)	枯水年 (P=75%)
仅有主瀑	主瀑偏小	≤200	31	0	0	0
	主瀑正常	200~400	87	0	0	0
有侧瀑	小型侧瀑	400~600	94	281	306	329
	中型侧瀑	600~850	71	63	50	33
	大型侧瀑	850~1150	42	0	0	0
巨大瀑布		1150~2000	30	0	0	0
景区漫滩		>2000	10	21	9	3

表 15.5.1-3 正常运用期不同典型年壶口河段不同流量级出现天数的变化（未优化）单位：天

瀑布形态	瀑布规模	流量分级(m ³ /s)	1999 年~2020 年	古贤运行后		
				丰水年 (P=25%)	平水年 (P=50%)	枯水年 (P=75%)
仅有主瀑	主瀑偏小	≤200	31	0	0	0
	主瀑正常	200~400	87	0	0	0
有侧瀑	小型侧瀑	400~600	94	286	306	330
	中型侧瀑	600~850	71	61	50	32
	大型侧瀑	850~1150	42	0	0	0
巨大瀑布		1150~2000	30	0	0	0
景区漫滩		>2000	10	18	9	3

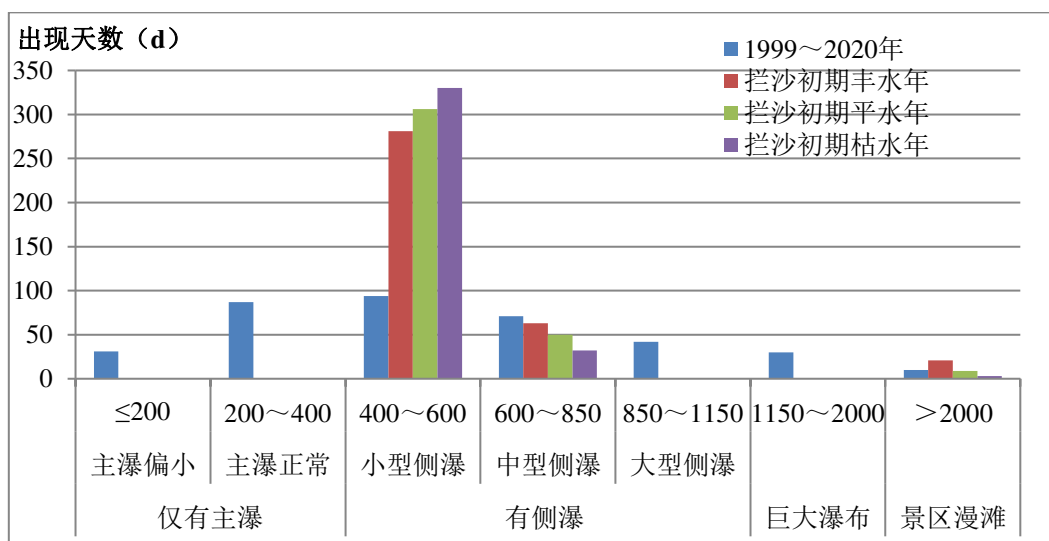


图 15.5.1-1 拦沙初期壶口瀑布不同流量级出现天数的变化（未优化）

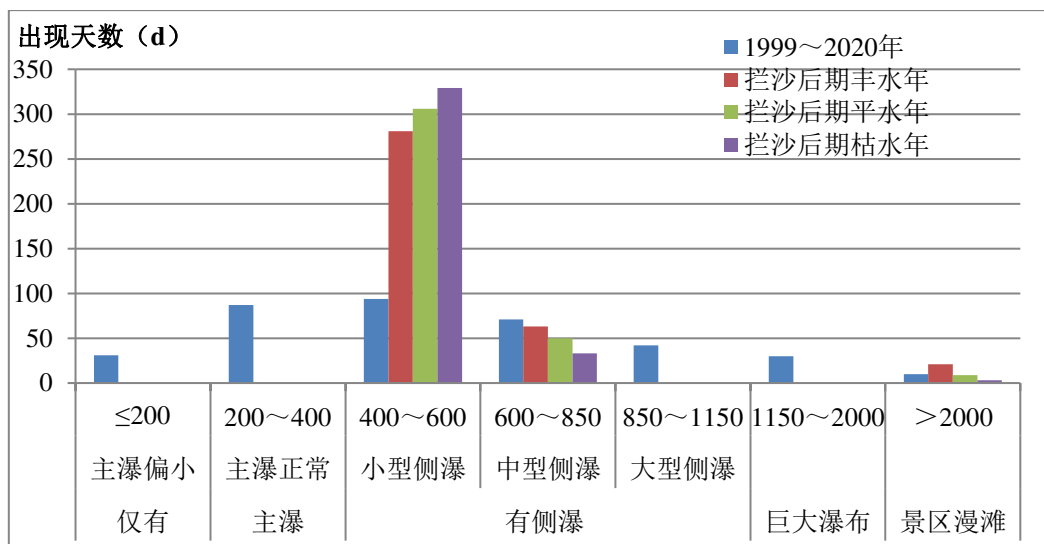


图 15.5.1-2 拦沙后期壶口瀑布不同流量级出现天数的变化（未优化）

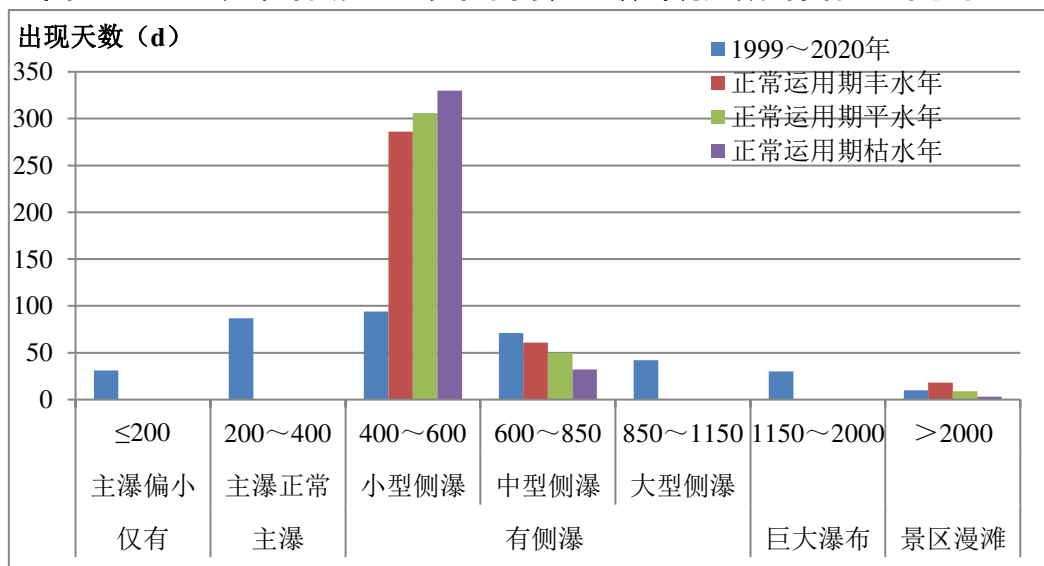


图 15.5.1-3 正常运用期壶口瀑布不同流量级出现天数的变化（未优化）

从以上图表可以看出：

1) 拦沙初期

在不优化调度的情况下，景观单一化严重，景观多样性受到影响。

消除了不适于观景的小于 $200\text{m}^3/\text{s}$ 的流量，丰、平、枯来水条件下流量级别主要集中在 $400\text{m}^3/\text{s} \sim 600\text{m}^3/\text{s}$ 范围内，出现天数分别为 281 天/年、306 天/年、330 天/年。丰、平、枯来水条件下， $600\text{m}^3/\text{s} \sim 850\text{m}^3/\text{s}$ 范围出现天数分别为 63 天/年、50 天/年、32 天/年，大于 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 的流量出现天数分别为 21 天/年、9 天/年、3 天/年。 $200\text{m}^3/\text{s} \sim 400\text{m}^3/\text{s}$ 、 $850\text{m}^3/\text{s} \sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1150\text{m}^3/\text{s} \sim 2000\text{m}^3/\text{s}$ 流量基本不出现。

2) 拦沙后期

在不优化调度的情况下，景观单一化严重，景观多样性受到影响。

消除了不适于观景的小于 $200\text{m}^3/\text{s}$ 的流量，丰、平、枯来水条件下流量级别主要集中在 $400\text{m}^3/\text{s}\sim 600\text{m}^3/\text{s}$ 范围内，出现天数分别为 281 天/年、306 天/年、329 天/年。丰、平、枯来水条件下， $600\text{m}^3/\text{s}\sim 850\text{m}^3/\text{s}$ 范围出现天数分别为 63 天/年、50 天/年、33 天/年，大于 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 的流量出现天数分别为 21 天/年、9 天/年、3 天/年。 $200\text{m}^3/\text{s}\sim 400\text{m}^3/\text{s}$ 、 $850\text{m}^3/\text{s}\sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1150\text{m}^3/\text{s}\sim 2000\text{m}^3/\text{s}$ 流量基本不出现。

3) 正常运用期

在不优化调度的情况下，景观单一化严重，景观多样性受到影响。

消除了不适于观景的小于 $200\text{m}^3/\text{s}$ 的流量，丰、平、枯来水条件下流量级别主要集中在 $400\text{m}^3/\text{s}\sim 600\text{m}^3/\text{s}$ 范围内，出现天数分别为 286 天/年、306 天/年、330 天/年。丰、平、枯来水条件下， $600\text{m}^3/\text{s}\sim 850\text{m}^3/\text{s}$ 范围出现天数分别为 61 天/年、50 天/年、32 天/年，大于 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 的流量出现天数分别为 18 天/年、9 天/年、3 天/年。 $200\text{m}^3/\text{s}\sim 400\text{m}^3/\text{s}$ 、 $850\text{m}^3/\text{s}\sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1150\text{m}^3/\text{s}\sim 2000\text{m}^3/\text{s}$ 流量基本不出现。

综上，古贤水利枢纽运行后，如果不从壶口景观需求角度进行精细化水量调控，丰、平、枯各种来水条件下，壶口河段流量主要集中在 $400\text{m}^3/\text{s}\sim 600\text{m}^3/\text{s}$ 范围内，其他流量级别出现几率很小甚至不出现，景观单一化严重，景观多样性受到影响。

(2) 水库调度方式优化后

近十几年来领导、专家、公众对环境、景观保护的意识越来越强，壶口瀑布景观保护的重要性凸显。考虑到壶口瀑布景观的重要性的敏感性，为避免水库下泄流量变化对壶口瀑布形态产生明显不利影响，利于人们在白天观景时段内（8:00~18:00）观景，可研阶段将壶口瀑布景观流量需求作为主要考虑因素之一，总体以 1999 年~2020 年（现状年）壶口瀑布的景观形态、规模特征作为恢复目标，根据壶口瀑布观景流量需求（大于 $200\text{m}^3/\text{s}$ ），调整水库调度运行方式，适当减少晚高峰 18:00~22:00 电站的发电流量，用于增加白天观景时段 8:00~18:00 内的出库流量。

1) 调度优化要求

本次环评与可研单位就水库的运行调度方案进行了多次的沟通对接，提出的调度优化要求如下：

① 考虑流量小于 $200\text{m}^3/\text{s}$ 时，壶口瀑布规模较小，失去了原本恢弘的气势，经与

壶口瀑布管理单位沟通并开展游客观感调查，应通过水库调度优化，尽量避免小于 200 m³/s 的流量出现。

② 为了保证景区安全，除调水调沙时段外，白天观景时段 8:00~18:00 内，保证壶口瀑布流量不大于 2000m³/s，防止在观景时段内出现景区漫滩情况。

③ 7 月~10 月，考虑自然状态下汛期壶口瀑布流量相对较大，在优化调整时，视来水情况，尽量增加白天观景时段 8:00~18:00 内的出库流量，减少夜间下泄流量，但需保证汛期基流需要。

④ 12 月 15 日~1 月底，考虑到维持冰瀑规模的需求，尽量保持稳定流量，避免水势过大破坏两岸冰挂。

⑤ 全年白天观景时段（8：00~18：00）内较佳观瀑流量 600m³/s~1150m³/s 出现的天数不低于 113 天/年。增加游客较多时段内较佳瀑布流量出现的几率，即在元旦、清明、五一、端午、中秋、十一、春节等法定节假日和游客较多的 7 月、8 月、10 月，尽量保证白天水库下泄流量维持在 600 m³/s~1150m³/s。

⑥ 4 月~6 月，考虑该时段为鱼类产卵期，满足鱼类敏感期生态流量需求，并避免水流骤涨骤落对鱼类产卵、孵化产生影响。

2) 水库调度结果分析

水库调度方式优化后壶口河段流量具体变化分析如下：

考虑到一日内游客观景时段为 8:00~18:00，从观景角度，本次研究以 8:00~18:00 时段内的平均流量变化，分析水库建成前后拦沙初期对壶口瀑布观景的影响。

古贤水利枢纽建成后，丰水年（P=25%）、平水年（P=50%）、枯水年（P=75%）来水条件下，壶口日均流量为 400.2m³/s~3924.69 m³/s，不同流量级出现天数的变化分析结果见表 15.5.1-4~15.5.1-6 和图 15.5.1-4~15.5.1-6 所示。

表 15.5.1-4 拦沙初期壶口河段不同流量级出现天数的变化（调度方案优化后） 单位：天/年

瀑布形态	瀑布规模	流量分级(m ³ /s)	1999 年~2020 年	拦沙初期		
				丰水年 (P=25%)	平水年 (P=50%)	枯水年 (P=75%)
仅有主瀑	主瀑偏小	≤200	31	0	0	0
	主瀑正常	200~400	87	18	18	18
有侧瀑	小型侧瀑	400~600	94	65	131	138
	中型侧瀑	600~850	71	173	156	174
	大型侧瀑	850~1150	42	50	24	13
巨大瀑布		1150~2000	30	38	27	19
景区漫滩		>2000	10	21	9	3

注：古贤运行后的流量为每日适宜观景时段 8:00~18:00 的日平均流量。

表 15.5.1-5 拦沙后期壶口河段不同流量级出现天数的变化（调度方案优化后） 单位：天/年

瀑布形态	瀑布规模	流量分级(m ³ /s)	1999 年~2020 年	拦沙后期		
				丰水年 (P=25%)	平水年 (P=50%)	枯水年 (P=75%)
仅有主瀑	主瀑偏小	≤200	31	0	0	0
	主瀑正常	200~400	87	18	18	18
有侧瀑	小型侧瀑	400~600	94	65	131	138
	中型侧瀑	600~850	71	173	155	173
	大型侧瀑	850~1150	42	50	25	13
巨大瀑布		1150~2000	30	38	27	20
景区漫滩		>2000	10	21	9	3

注：古贤运行后的流量为每日适宜观景时段 8:00~18:00 的日平均流量。

表 15.5.1-6 正常运用期壶口河段不同流量级出现天数的变化（调度方案优化后） 单位：天/年

瀑布形态	瀑布规模	流量分级(m ³ /s)	1999 年~2020 年	正常运用期		
				丰水年 (P=25%)	平水年 (P=50%)	枯水年 (P=75%)
仅有主瀑	主瀑偏小	≤200	31	0	0	0
	主瀑正常	200~400	87	14	18	18
有侧瀑	小型侧瀑	400~600	94	52	132	138
	中型侧瀑	600~850	71	145	155	174
	大型侧瀑	850~1150	42	82	24	12
巨大瀑布		1150~2000	30	54	27	20
景区漫滩		>2000	10	18	9	3

注：古贤运行后的流量为每日适宜观景时段 8:00~18:00 内的日平均流量。

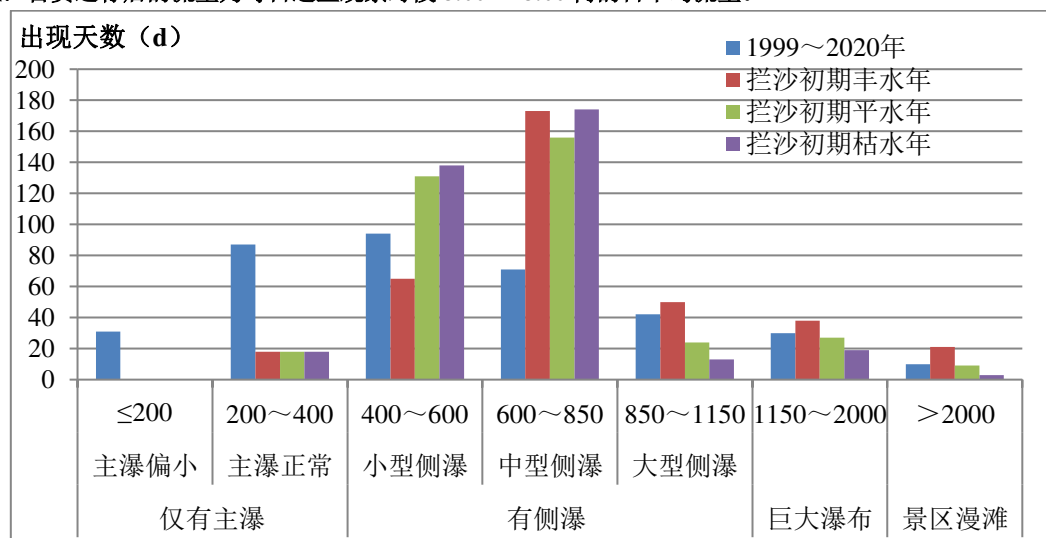


图 15.5.1-4 拦沙初期壶口瀑布不同流量级出现天数的变化（调度方案优化后）

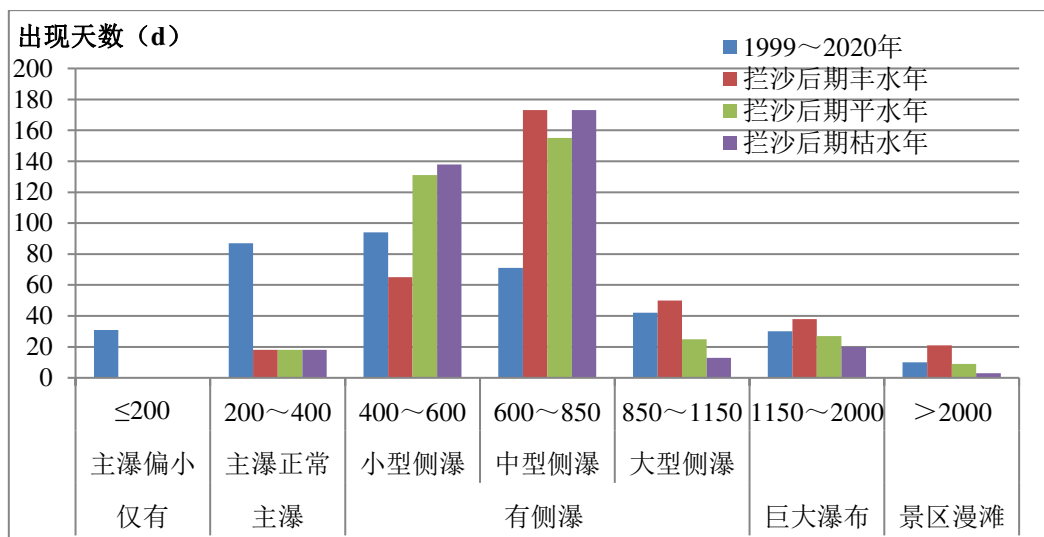


图 15.5.1-5 拦沙后期壶口瀑布不同流量级出现天数的变化（调度方案优化后）

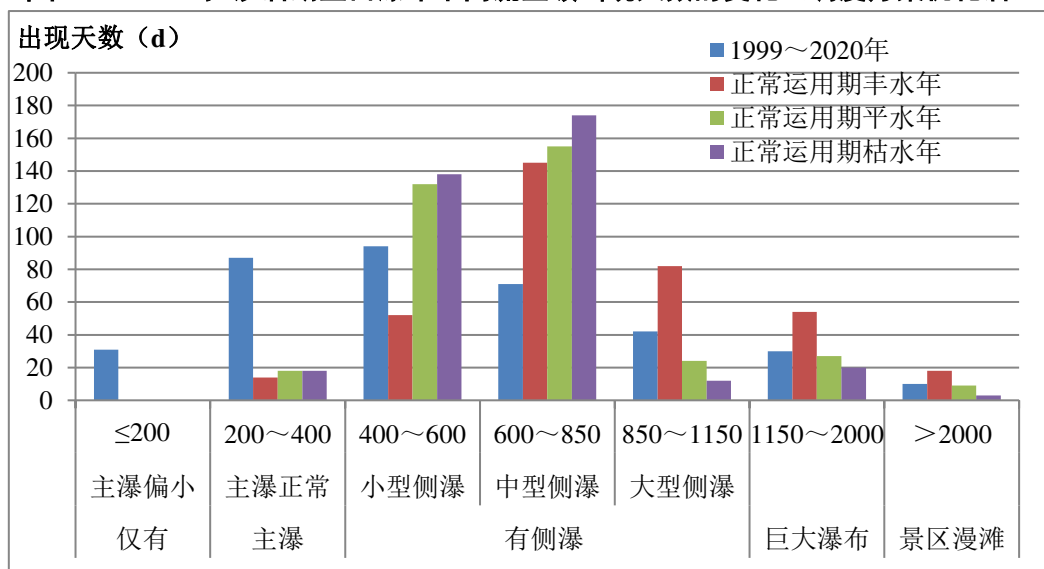


图 15.5.1-6 正常运用期壶口瀑布不同流量级出现天数的变化（调度方案优化后）

由以上分析可以看出：

① 拦沙初期

古贤工程建成后，与 1999 年~2020 年相比，拦沙初期小于 200 m³/s 流量级不出现，其他流量级别均能出现。各流量级变化如下：

200m³/s~400m³/s 流量级：出现天数显著减少，由 1999 年~2020 年的 87 天/年减少至均为 18 天/年；

400m³/s~600m³/s 流量级：出现天数在丰水年有所减少，平水年、枯水年有所增加，由 1999 年~2020 年的 94 天/年变化至 65 天/年、131 天/年和 138 天/年；

600m³/s~850m³/s 流量级：出现天数有较大幅度的增加，由 1999 年~2020 年的 71

天/年增加至 173 天/年、156 天/年和 174 天/年；

850m³/s~1150m³/s 流量级：出现天数在丰水年有所增加，平水年、枯水年有所减少，由 1999 年~2020 年的 42 天/年变化至 50 天/年、24 天/年和 13 天/年；

1150m³/s~2000m³/s 流量级：出现天数在丰水年有所增加，平水年、枯水年有所减少，由 1999 年~2020 年的 30 天/年变化至 38 天/年、27 天/年和 19 天/年；

大于 2000m³/s 流量级：出现天数丰水年有一定程度的增加，平水年、枯水年有所减少，由 1999 年~2020 年的 10 天/年变化至 21 天/年、9 天/年和 3 天/年。

② 拦沙后期

古贤工程建成后，与 1999 年~2020 年相比，拦沙初期小于 200 m³/s 流量级不出现，其他流量级别均能出现。各流量级变化如下：

200m³/s~400m³/s 流量级：出现天数显著减少，由 1999 年~2020 年的 87 天/年减少至均为 18/年；

400m³/s~600m³/s 流量级：出现天数丰水年有所减少，平水年、枯水年有所增加，由 1999~2020 年的 94 天/年变为 65 天/年、131 天/年和 138 天/年；

600m³/s~850m³/s 流量级：出现天数有较大程度的增加，由 1999 年~2020 年的 71 天/年增加至 173 天/年、155 天/年和 173 天/年；

850m³/s~1150m³/s 流量级：出现天数在丰水年有所增加，平水年、枯水年有所减少，由 1999 年~2020 年的 42 天/年变化至 50 天/年、25 天/年和 13 天/年；

1150m³/s~2000m³/s 流量级：出现天数在有所减少，由 1999 年~2020 年的 40 天/年减少至 38 天/年、27 天/年和 20 天/年；

大于 2000m³/s 流量级：出现天数丰水年、平水年有一定程度的增加，平水年、枯水年有所减少，由 1999 年~2020 年的 10 天/年变化至 21 天/年、9 天/年和 3 天/年。

③ 正常运用期

古贤工程建成后，与 1999 年~2020 年相比，拦沙初期小于 200 m³/s 流量级不出现，其他流量级别均能出现。各流量级变化如下：

200m³/s~400m³/s 流量级：出现天数显著减少，由 1999 年~2020 年的 87 天/年减少至 14 天/年、18 天/年和 18 天/年；

400m³/s~600m³/s 流量级：出现天数丰水年有所减少，平水年不变，枯水年有所增

加，由 1999～2020 年的 94 天/年变为 52 天/年、132 天/年和 138 天/年；

600m³/s～850m³/s 流量级：出现天数有较大幅度的增加，由 1999 年～2020 年的 71 天/年增加至 145 天/年、155 天/年和 174 天/年；

850m³/s～1150m³/s 流量级：出现天数在丰水年有所增加，平水年、枯水年有所减少，由 1999 年～2020 年的 42 天/年变化至 82 天/年、24 天/年和 12 天/年；

1150m³/s～2000m³/s 流量级：出现天数在丰水年有所增加，平水年、枯水年有所减少，由 1999 年～2020 年的 30 天/年变化至 54 天/年、27 天/年和 20 天/年；

大于 2000m³/s 流量级：出现天数丰水年有一定程度的增加，平水年、枯水年有所减少，由 1999 年～2020 年的 10 天/年变化至 18 天/年、9 天/年和 3 天/年。

3) 小结

总体来看，水库优化调度后，丰、平、枯各种来水条件下的变化主要为：

① 观景时段内（8:00～18:00）消除了不适于观景的极枯流量（≤200 m³/s），其他流量级别均能出现。

② 壶口河段流量主要集中在 400m³/s～850 m³/s 范围内，拦沙初期、拦沙后期、正常运用期丰、平、枯典型年（400m³/s～850 m³/s 流量级）出现的天数均大于 197 天/年，均占全年天数的 54%以上。

③ 由于水库的调水调沙功能，大于 2000m³/s 流量级在丰水年有所增加。

④ 较佳观瀑流量（600m³/s～1150m³/s）在拦沙初期、拦沙后期、正常运用期丰、平、枯典型年出现的天数为 179～227 天/年，平均为 196 天/年。较现状的 113 天/年最少增加 66 天/年，平均增加 83 天/年，均有较大幅度的增加。

15.5.1.2 不同运用期壶口瀑布形态、规模影响分析

根据古贤运行后，不同来水条件下壶口河段的流量分析结果，分析不同运用期壶口瀑布形态、规模情况，具体见表 15.5.1-7。

表 15.5.1-7 古贤运行后不同典型年壶口瀑布形态、规模分析

时段	项目	仅有主瀑		有侧瀑			主侧相连 (巨大瀑布)	漫滩	
		主瀑偏小	主瀑正常	小型侧瀑	中型侧瀑	大型侧瀑			
1999 年 ～ 2020 年	出现天数	31	87	94	71	42	30	10	
	所占比例	8.5	23.8	25.8	19.5	11.5	8.2	2.7	
	景观多样性	瀑布各种形态、各种规模均能出现							
	景观优势类型	形态整体以“有侧瀑”为优势类型；仅有主瀑～主瀑正常、有侧瀑～小型侧瀑、有侧瀑～中型侧瀑出现几率较多							
	不利观瀑类型	“仅有主瀑～主瀑偏小、漫滩”不利景观类型出现天数为 41 天/年，占全年 11.2%							
	较佳观瀑类型	较佳瀑布规模出现天数为 113 天/年，年内出现几率为 31.0%							
古贤运行后	拦沙初期	出现天数	0	18	65～138	156～174	13～50	19～38	3～21
		景观多样性	除不利于观景的“主瀑偏小”类型外，瀑布其他形态、规模均能出现，景观多样性保留						
		景观优势类型	形态整体以“有侧瀑～小型侧瀑、有侧瀑～中型侧瀑”为优势类型						
		不利观瀑类型	“仅有主瀑～主瀑偏小、漫滩”不利景观类型出现天数为 3～21 天/年，比现状年少						
		较佳观瀑类型	较佳瀑布规模出现天数为 180～223 天/年，比现状年有所增加						
	拦沙后期	出现天数	0	18	65～138	155～173	13～50	20～38	3～21
		景观多样性	除不利于观景的“主瀑偏小”类型外，瀑布其他形态、规模均能出现，景观多样性保留						
		景观优势类型	形态整体以“有侧瀑～中型侧瀑、有侧瀑～小型侧瀑”为优势类型						
		不利观瀑类型	“仅有主瀑～主瀑偏小、漫滩”不利景观类型出现天数为 3～21 天/年，比现状年少						
		较佳观瀑类型	较佳瀑布规模出现天数为 180～223 天/年，比现状年有所增加						
	正常运用期	出现天数	0	14～18	52～138	145～174	12～82	20～54	3～18
		景观多样性	除不利于观景的“主瀑偏小”类型外，瀑布其他形态、规模均能出现，景观多样性保留						
		景观优势类型	形态整体以“有侧瀑～小型侧瀑”、“有侧瀑～中型侧瀑”为优势类型						
		不利观瀑类型	“仅有主瀑～主瀑偏小、漫滩”不利景观类型出现天数为 3～18 天/年，比现状年少						
		较佳观瀑类型	较佳瀑布规模出现天数为 179～227 天/年，比现状年有所增加						

从表 15.5.1-7 可以看出，工程运行后，通过水库的调度优化，对壶口瀑布的形态、规模的影响不显著，主要影响如下：

(1) 连续 15 个月的科学观测和大量调研表明，壶口河段流量 $\leq 200\text{m}^3/\text{s}$ 和 $> 2000\text{m}^3/\text{s}$ ，瀑布观赏效果较差；较佳观瀑流量为 $600\text{m}^3/\text{s}\sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ 。古贤工程建成后，通过优化白天和夜晚的下泄流量，可更好地满足壶口较佳观瀑流量、避免极小流量。

(2) 按照优化后的设计运行方式，枢纽运用后，壶口日均流量为 $400.2\text{m}^3/\text{s}\sim 3924.69\text{m}^3/\text{s}$ ，基本未超出现状年的流量波动范围，壶口瀑布主瀑、侧瀑不同形态、规

模均可出现。通过水库调节，消除了不利于观景的小于 200 m³/s 的流量，200 m³/s～400m³/s、400m³/s～600m³/s、600m³/s～850 m³/s、850m³/s～1150m³/s、1150m³/s～2000 m³/s、大于 2000m³/s 各流量级都能出现。

(3) 考虑景观管理部门意见和游客观赏的需要，消除了小于 200 m³/s 极低流量，即“仅有主瀑～主瀑偏小”类型基本不出现。

(4)工程运用后，流量主要集中在 400 m³/s～600m³/s、600 m³/s～850 m³/s 范围内，也即工程实施后，壶口瀑布多数时间以主瀑+侧瀑的景观出现，以小、中型侧瀑规模为主，与现状年的景观优势类型基本变化不大。

(5)通过水库一日内的灵活调节，古贤水库运行后，850m³/s～1150m³/s、1150m³/s～2000 m³/s、大于 2000m³/s 的流量，与现状年相比，出现天数有一定程度变化，但总体在自然的变幅内。

(6) 通过水库一日内的灵活调节，不同运用期丰、平、枯来水条件下，壶口瀑布较佳观瀑规模出现的天数有不同程度的增加，均大于现状年的 113 天/年。

15.5.1.3 不同流量级出现时段变化分析

根据古贤运行后，不同来水条件下壶口河段流量分析结果，对建库前与建库后 7 种流量级别出现的天数、出现时段进行统计。具体见表 15.5.1-8。

表 15.5.1-8 古贤建库前后不同流量级出现时段变化情况

流量级 (m³/s)	出现天数 (天/年)		主要出现时段	
	建库前	建库后	建库前	建库后
<200	31	0	主要出现在 1 月、5~7 月、12 月	在调度中避免 200m³/s 以下流量的不适观景条件出现。
200~400	87	18	其中 1 月、5 月、11 月~12 月出现较多	主要集中在 11 月
400~600	94	110	1 月~4 月、10~12 月出现较多	主要出现于 1 月、4 月~6 月、12 月
600~850	71	164	主要出现于 2 月~6 月、10 月	主要出现于 2 月~3 月、6 月~12 月
850~1150	42	32	主要出现于 3 月~4 月、8 月~9 月	主要出现于 8 月~10 月
1150~2000	30	30	主要出现于 3 月、7 月~9 月	主要出现于 7 月、9 月
>2000	10	11	主要出现于 3 月、8 月~9 月	主要出现于 6 月、9 月

备注：建库后出现天数为拦沙初期、拦沙后期、正常运用期的丰水年、平水年、枯水年等 9 种预测情景的平均数据。

由表 15.5.1-8 可以看出，通过优化调度运行方式，古贤运用后不再下泄不适宜观景的 200m³/s 以下流量，其他各流量级均可出现，出现时段总体与现状年一致。部分流量级出现时段较现状年更为集中，如 200m³/s～400m³/s 流量级现状年主要出现于 1 月、5 月、11 月～12 月，古贤运用后主要出现于 11 月，且出现天数也由建库前的 87 天/年减至 18 天/年。850 m³/s～1150m³/s、1150 m³/s～2000 m³/s、>2000 m³/s 3 个流量级建库后

不再出现于 3 月，主要出现于 6 月～9 月，出现天数与现状年基本保持一致。现状年较佳观瀑流量 600m³/s～1150m³/s 主要出现于 2 月～6 月、8 月～10 月，建库后主要出现于 2 月～3 月、6 月～12 月，出现时段范围更大，出现天数由现状年的 113 天/年增至 196 天/年。在游客人数较多的 7 月、8 月、10 月及节假日，瀑布规模集中在中、大型瀑布，有利于壶口瀑布的欣赏。

15.5.1.4 各月瀑布形态、规模变化分析

根据古贤运行后，不同来水条件下壶口河段各月的流量分析结果，分析古贤运行后各月壶口瀑布形态、规模的变化情况，具体见表 15.5.1-9。

表 15.5.1-9 古贤运行后各月壶口瀑布形态、规模变化

月份	1999 年～2020 年		古贤运行后	
	月均流量 波动范围	瀑布规模特点	月均流量 波动范围	瀑布规模特点
1 月	186～575	以仅有主瀑、小型侧瀑景观类型为主	435～510	以小型侧瀑类型为主
2 月	398～784	以小型侧瀑、中型侧瀑类型为主	680～860	以中型、大型侧瀑为主
3 月	588～1056	以中型、大型侧瀑形态为主	610～860	以中型、大型侧瀑为主
4 月	257～1071	以小型、中型、大型侧瀑为主	440～620	以小型、中型侧瀑为主
5 月	149～871	以仅有主瀑、小型瀑布景观类型为主， 中型、大型侧瀑亦有出现	457～620	以小型、中型侧瀑为主
6 月	184～1189	以仅有主瀑、小型、中型侧瀑瀑布景观类型为主，大型侧瀑、巨大瀑布也有出现	445～936	以小型、中型侧瀑为主，漫滩也有出现
7 月	120～2331	除大型侧瀑外，各类型均可出现	610～948	中型、大型侧瀑、巨大瀑布为主
8 月	395～2565	除仅有主瀑—主瀑偏小外，各类型均可出现	673～1625	中型、大型侧瀑、巨大瀑布、漫滩为主
9 月	541～2540	瀑布规模较大，以大型侧瀑类型居多	1366～1575	瀑布规模较大，大型瀑布、巨大瀑布居多
10 月	425～2390	以小型、中型侧瀑为主	610～932	以中型、大型侧瀑为主，巨大瀑布、漫滩也可出现
11 月	321～1087	多以主瀑、小、中型侧瀑形式出现， 大型侧瀑也有出现	472～860	以仅有主瀑、中型、大型侧瀑为主
12 月	277～705	多以主瀑、小型侧瀑形式出现，中型侧瀑也有出现	411～523	以小型、中型侧瀑为主

从以上分析可以看出，通过水库一日内的优化调度调节，1 月～12 月各月的观瀑流量基本未超出 1999 年～2020 年现状年的变动范围，壶口瀑布景观的形态、规模与现状年各年相比，基本未发生显著的变化，在游客人数较多的 7 月、8 月、10 月，瀑布规模集中在中、大型瀑布，有利于壶口瀑布的欣赏。

15.5.2 壶口瀑布颜色影响分析

含沙量是决定壶口瀑布颜色的主要因素。古贤工程拦沙、水沙调控，将对壶口瀑布颜色产生一定影响。为了减轻工程对壶口瀑布颜色影响，工程进行了两次设计优化和调整。在古贤水利枢纽项目建议书阶段的早期，将工程的排沙底孔高度由 509m 调整至 490m，适当降低排沙底孔高程可以将泥沙尽早排出，同时水库拦沙初期形成的异重流更容易运行至坝前并顺利排沙出库，排沙底孔的优化调整缩短了泥沙出库时间，在一定程度上减缓了拦沙初期对壶口瀑布颜色的影响。可研阶段，设计单位提出了壶口瀑布补沙工程措施，即采用库区泵吸取沙措施（具体方案为水下泥泵+隧洞过坝方案），进一步减缓工程对壶口瀑布颜色影响。

15.5.2.1 库区泥沙淤积总体特点

壶口河段水体含沙量主要受控于古贤水利枢纽工程。古贤水利枢纽工程蓄水后，库区水面变宽、流速减缓，泥沙不断沉降淤积，不同运用期库区沿程淤积形态图如 15.5.2-1 所示。

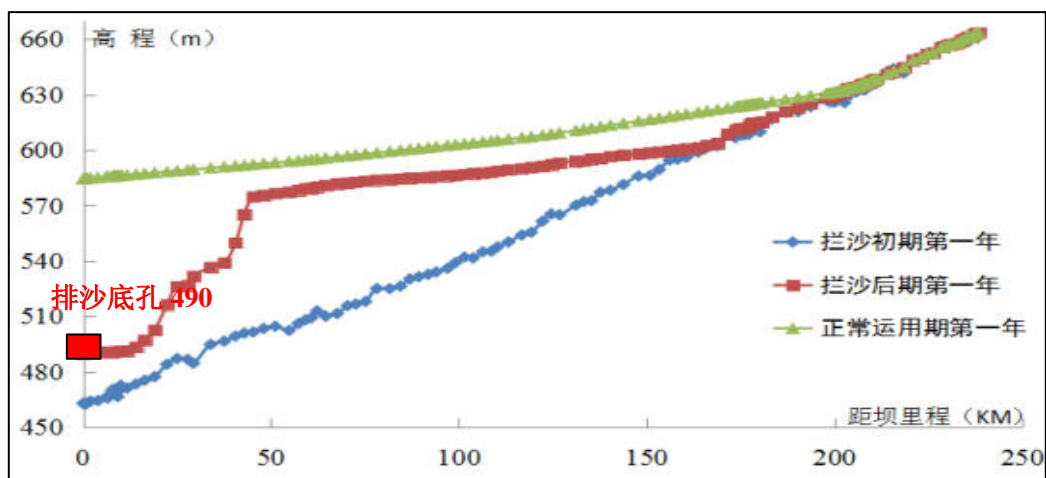


图 15.5.2-1 不同时期库区沿程淤积形态图

由此图可以看出：

(1) 拦沙初期

拦沙初期库区水流流速低，挟沙能力小，泥沙在库区落淤，形成三角洲淤积体，淤积主要集中在水库中部，主要淤积范围为距坝 25km~150km，库尾段及坝前段淤积量较少。拦沙初期，水库主要为清水下泄。

在防洪及调水调沙运用，水库泄放大流量或库区形成异重流时，少量泥沙可以运行

至坝前，部分可以排出库外。根据小浪底水库运行实践，采用泥沙模型分析古贤水库拦沙初期库区逐年淤积情况，统计坝前 3km 范围内的泥沙淤积厚度及淤积量，见表 15.5.2-1。

表 15.5.2-1 拦沙初期近坝段泥沙累计淤积情况

年份	坝前 3km 淤沙厚度 (m)	泥沙累计淤积量 (万 t)	考虑围堰淤沙后的泥沙 量 (万 t)
第 1 年	4.29~6.70	841	2011
第 2 年	7.67~10.72	1742	2912
第 3 年	11.04~14.02	2702	3872
第 4 年	15.21~19.28	3722	4892
第 5 年	19.62~24.87	4801	5971
第 6 年	24.27~30.76	5939	7109
第 7 年	29.17~36.97	7136	8306

(2) 拦沙后期

拦沙后期，泥沙大量淤积，主要淤积在坝前 0~50km 范围内，泥沙淤积高度超过排沙底孔 490m，此时水库具备排沙条件，可通过调水调沙进行排沙，水库排沙较拦沙初期明显增大，但水库仍以拦沙为主，库区水沙输移随着水库蓄水体积、水深大小以及入库水沙过程不同表现出不同的特征，也可能形成异重流排沙。

(3) 正常运用期

水库拦沙后期结束后转入正常运用期，主汛期水库利用 20 亿 m³ 调水调沙库容与小浪底水库联合运用，该时期水库排沙方式主要以壅水明流和均匀明流输沙为主，但也存在异重流排沙方式，实现水库泥沙多年调节，保持水库冲淤平衡。非汛期，水库蓄水拦沙、调节径流兴利运用，主要以清水下泄为主。

15.5.2.2 不同含沙量级出现的天数

(1) 优化排沙底孔后

工程的排沙底孔高度由 509m 调整至 490m 后，古贤水利枢纽建成运行，丰、平、枯条件下，古贤工程不同运用期（取各时期中间年份为代表）日均含沙量为 0.00 kg/m³~793.21 kg/m³，各含沙量级出现天数的变化分析结果见表 15.5.2-2~15.5.2-4 和图 15.5.2-2~15.5.2-4 所示。

表 15.5.2-2 拦沙初期壶口河段不同含沙量级出现天数 单位：天/年

瀑布颜色	含沙量分级 (kg/m³)	现状年 (2010 年~2020 年)	拦沙初期		
			丰水年	平水年	枯水年
清水	≤1	215	308	336	321
淡黄	1~3	79	23	18	17
黄色	3~7	38	7	4	6
黄褐	>7	33	27	7	21

表 15.5.2-3 拦沙后期壶口河段不同含沙量级出现天数 单位：天/年

瀑布颜色	含沙量分级 (kg/m ³)	现状年 (2010 年~2020 年)	拦沙后期		
			丰水年	平水年	枯水年
清水	≤1	215	291	299	301
淡黄	1~3	79	29	37	18
黄色	3~7	38	13	15	15
黄褐	>7	33	32	14	31

表 15.5.2-4 正常运用期壶口河段不同含沙量级出现天数 单位：天/年

瀑布颜色	含沙量分级 (kg/m ³)	现状年 (2010 年~2020 年)	正常运用期		
			丰水年	平水年	枯水年
清水	≤1	215	250	259	267
淡黄	1~3	79	50	36	33
黄色	3~7	38	14	24	15
黄褐	>7	33	51	46	50

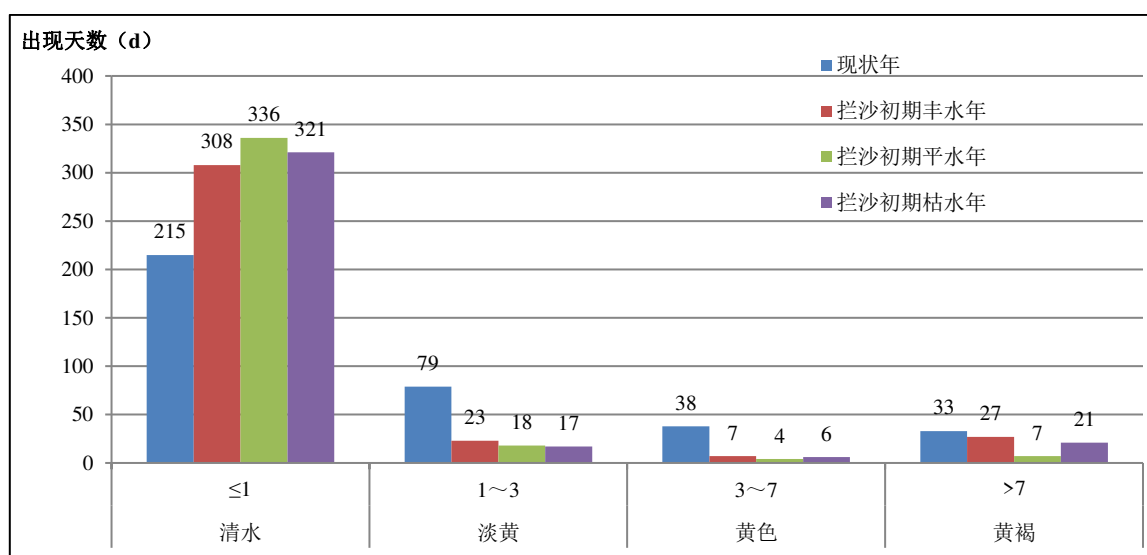


图 15.5.2-2 拦沙初期壶口河段不同含沙量级出现天数变化

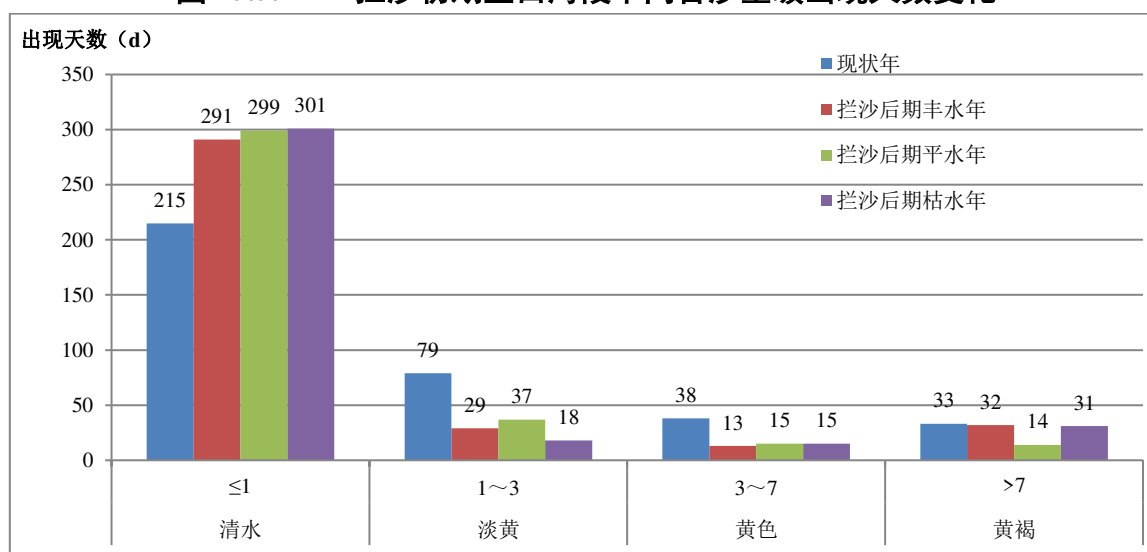


图 15.5.2-3 拦沙后期壶口河段不同含沙量级出现天数变化

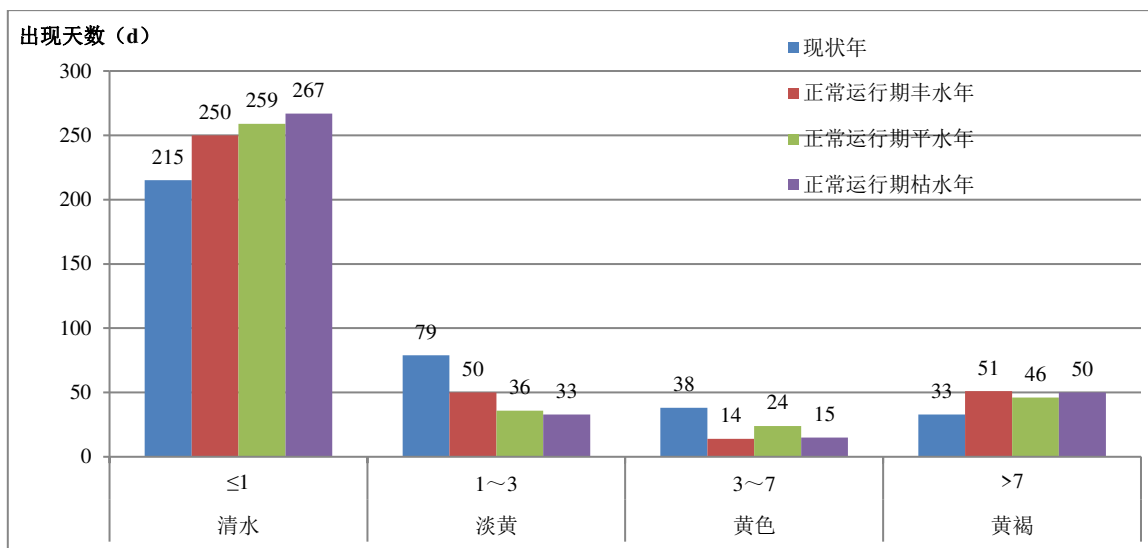


图 15.5.2-4 正常运用期壶口河段不同含沙量级出现天数变化

1) 拦沙初期

含沙量不同级别均能出现，由于水库的拦沙作用， $\leq 1 \text{ kg/m}^3$ 含沙量出现的天数有大幅度增加， $1 \text{ kg/m}^3 \sim 3 \text{ kg/m}^3$ 、 $3 \text{ kg/m}^3 \sim 7 \text{ kg/m}^3$ 、大于 7 kg/m^3 级别含沙量出现天数均有较大程度的减少，各级别含沙量出现天数的变化具体如下：

① $\leq 1 \text{ kg/m}^3$ 含沙量：丰、平、枯条件下出现的天数较现状年有较大幅度的增加，分别由现状年的 215 天/年增加到 308 天/年、336 天/年、321 天/年；

② $1 \text{ kg/m}^3 \sim 3 \text{ kg/m}^3$ 含沙量：丰、平、枯条件下出现的天数较现状年有显著的减少，分别由现状年的 79 天/年减少到 23 天/年、18 天/年、17 天/年；

③ $3 \text{ kg/m}^3 \sim 7 \text{ kg/m}^3$ 含沙量：丰、平、枯条件下出现的天数较现状年有显著减少，分别由现状年的 38 天/年减少至 7 天/年、4 天/年、6 天/年；

④ 大于 7 kg/m^3 含沙量：丰、平、枯条件下出现的天数较现状年有一定程度的减少，分别由现状的 33 天/年，减少至 27 天/年、7 天/年、21 天/年。

2) 拦沙后期

水库拦沙后期，不同分级的含沙量均能出现，与现状年相比， $\leq 1 \text{ kg/m}^3$ 含沙量出现的天数有较大程度增加， $1 \text{ kg/m}^3 \sim 3 \text{ kg/m}^3$ 、 $3 \text{ kg/m}^3 \sim 7 \text{ kg/m}^3$ 、大于 7 kg/m^3 级别含沙量出现的天数有不同程度的减少。进入拦沙后期后，由于水库排沙功能增加， $1 \text{ kg/m}^3 \sim 3 \text{ kg/m}^3$ 、 $3 \text{ kg/m}^3 \sim 7 \text{ kg/m}^3$ 、大于 7 kg/m^3 含沙量出现天数与拦沙初期相比有所增加。变化具体如下：

① $\leq 1 \text{ kg/m}^3$ 含沙量：丰、平、枯条件下出现天数较现状年有较大幅度的增加，分别由现状年的 215 天/年增加到 291 天/年、299 天/年、301 天/年；

② $1 \text{ kg/m}^3 \sim 3 \text{ kg/m}^3$ 含沙量：丰、平、枯条件下出现的天数较现状年有显著的减少，分别由现状年的 79 天/年减少到 29 天/年、37 天/年、18 天/年；

③ $3 \text{ kg/m}^3 \sim 7 \text{ kg/m}^3$ 含沙量：丰、平、枯条件下出现的天数与现状年相比有显著的减少，分别由现状年的 38 天/年减少至 13 天/年、15 天/年和 15 天/年；

④ 大于 7 kg/m^3 含沙量：丰、平、枯条件下出现的天数与现状年相比有一定程度的减少，分别由现状的 33 天/年，减少至 32 天/年、14 天/年、31 天/年。

3) 正常运用期

正常运用期，不同分级的含沙量均能出现，与现状年相比， $\leq 1 \text{ kg/m}^3$ 含沙量出现的天数有较大程度增加， $1 \text{ kg/m}^3 \sim 3 \text{ kg/m}^3$ 、 $3 \text{ kg/m}^3 \sim 7 \text{ kg/m}^3$ 含沙量出现的天数有一定程度的减少，进入正常运用期后，水库排沙功能进一步增加，大于 $7 \text{ m}^3/\text{s}$ 含沙量出现天数与现状年基本持平。变化具体如下：

① $\leq 1 \text{ kg/m}^3$ 含沙量：丰、平、枯条件下出现天数较现状年有较大幅度的增加，分别由现状年的 215 天/年增加到 250 天/年、259 天/年、267 天/年；

② $1 \text{ kg/m}^3 \sim 3 \text{ kg/m}^3$ 含沙量：丰、平、枯条件下出现的天数较现状年有较大幅度的减少，分别由现状年的 79 天/年减少到 50 天/年、36 天/年、33 天/年；

③ $3 \text{ kg/m}^3 \sim 7 \text{ kg/m}^3$ 含沙量：丰、平、枯条件下出现的天数与现状年相比有不同程度的减少，平沙、小沙条件下分别由现状年的 38 天/年减少至 14 天/年、24 天/年和 15 天/年；

④ 大于 7 kg/m^3 含沙量：丰、平、枯条件下出现的天数与现状年相比有所增加，分别由现状的 33 天/年，变化至 51 天/年、46 天/年、50 天/年。

综上，古贤运行后，拦沙初期、拦沙后期、正常运用期日均含沙量为 $0.00 \text{ kg/m}^3 \sim 793.21 \text{ kg/m}^3$ ，不同含沙量级别均能出现。拦沙初期，由于水库的拦沙作用，古贤水利枢纽下泄断面含沙量小于 1 kg/m^3 （清水瀑布）的出现天数与现状年相比大幅增加，其余含沙量出现天数大幅减少；拦沙后期和正常运用期，小于 1 kg/m^3 （清水瀑布）的出现天数与现状年相比大幅增加，由于水库库内淤积了一定量的泥沙，可以在一定程度上进行水库排沙和调水调沙，含沙量 $1 \text{ kg/m}^3 \sim 7 \text{ kg/m}^3$ 出现的天数有所恢复，但仍低于现状年；大于 7 kg/m^3

出现天数在正常运用期比现状年有所增加。

(2) 实施壶口补沙措施后

古贤水库投入运行后,采用逐步抬高主汛期水位拦沙和调水调沙运用方式,水库泥沙淤积量随着水库运行逐渐增大。根据前文分析,古贤工程不同运用期壶口瀑布颜色均受到工程影响,其中拦沙初期受影响最大。考虑到古贤工程运行后,坝前 3km 库区范围内泥沙淤积量为 841 万 t/年~7136 万 t/年(见表 15.5.2-1),为向坝下壶口瀑布补沙提供了可能性。设计单位据此在坝前上游 3km 设置库区泵吸取沙措施(具体方案为水下泥泵+隧洞过坝方案),通过管道向坝下河道补沙,以期最大程度减少工程建设和运行对壶口瀑布颜色的影响。此次以 2010 年~2020 年(现状年)壶口瀑布景观颜色特征为恢复目标实施补沙措施。

1) 补沙措施实施原则

补沙措施实施的原则为:

① 保证观景时段(8:00-18:00)内,含沙量范围尽量保持在现状年范围内,现有瀑布景观颜色的多样性、层次性得到保留。

② 在清明、五一、中秋、十一等法定节假日和游客较多的 7 月、8 月、10 月,增加淡黄色、黄色瀑布景观出现的几率,有利于壶口瀑布的观赏。

③ 由于黄褐色瀑布含沙量太大,工程补沙困难,不再增加黄褐色瀑布出现几率。

2) 拦沙初期

根据拦沙初期库区淤积沙量,结合壶口瀑布观景需求,在尽量减少工程运行对壶口瀑布颜色影响的原则下,对坝下河段进行补沙。经计算,拦沙初期枯水年、平水年、丰水年年内补沙需求在 462 万 t~526 万 t 之间,拦沙初期各年库区淤积泥沙量可以满足此要求。

实施库区泵吸取沙措施(具体方案为水下泥泵+隧洞过坝方案)补沙后,丰、平、枯条件下,古贤工程拦沙初期日均含沙量为 $0.00 \text{ kg/m}^3 \sim 102.46 \text{ kg/m}^3$,各含沙量级出现天数的变化分析结果见表 15.5.2-5 和图 15.5.2-5 示。

表 15.5.2-5 拦沙初期壶口河段不同含沙量级出现天数(实施补沙措施后) 单位:天/年

瀑布颜色	含沙量分级 (kg/m^3)	现状年 (2010~2020 年)	拦沙初期		
			丰水年	平水年	枯水年
清水	≤ 1	215	221	241	227
淡黄	1~3	79	79	79	79
黄色	3~7	38	38	38	38
黄褐	> 7	33	27	7	21

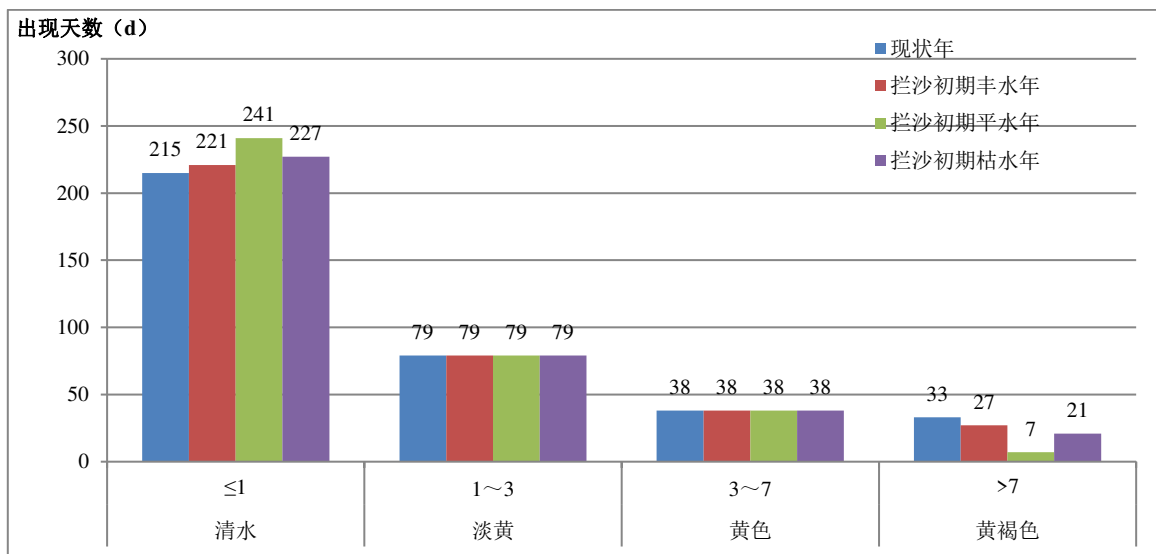


图 15.5.2-5 拦沙初期壶口河段不同含沙量级出现天数变化（实施补沙措施后）

实施补沙措施后，有效减缓了工程对壶口瀑布颜色的影响，显著减少了 $\leq 1\text{kg/m}^3$ 含沙量出现天数，增加了 $1\text{kg/m}^3 \sim 3\text{kg/m}^3$ 、 $3\text{kg/m}^3 \sim 7\text{kg/m}^3$ 含沙量出现天数。不同含沙量级别出现天数的变化具体如下：

① $\leq 1\text{kg/m}^3$ 含沙量：出现天数较补沙措施实施前有较大幅度的减少，丰、平、枯条件下出现的天数分别由补沙措施实施前的 308 天/年、336 天/年、321 天/年减少至 221 天/年、241 天/年、227 天/年。与现状年相比（出现 215 天/年），有所增加，增加天数的控制在 12% 以内。

② $1\text{kg/m}^3 \sim 3\text{kg/m}^3$ 含沙量：出现天数较补沙措施实施前有较大幅度的增加，丰、平、枯条件下出现的天数分别由补沙措施实施前的 23 天/年、18 天/年、17 天/年提高至现状年水平（出现 79 天/年）。

③ $3\text{kg/m}^3 \sim 7\text{kg/m}^3$ 含沙量：出现天数较补沙措施实施前有较大幅度的增加，丰、平、枯条件下出现的天数由补沙措施实施前的 7 天/年、4 天/年、6 天/年提高至现状年水平（出现 38 天/年）。

④ 大于 7kg/m^3 含沙量：出现天数与补沙措施实施前相同，丰、平、枯条件下出现的天数为 27 天/年、7 天/年、21 天/年，补沙措施实施对该含沙量范围无明显调控作用。与现状年相比（出现 33 天/年），出现天数有一定程度的减少。

综上，古贤运行后，在实施补沙措施后，拦沙初期日均含沙量为 $0.00\text{kg/m}^3 \sim$

102.46kg/m³，不同含沙量级别均能出现；补沙措施显著减缓了对壶口瀑布颜色的影响，≤1kg/m³含沙量出现天数显著减少，控制在 241 天/年以内，1 kg/m³~3kg/m³、3 kg/m³~7kg/m³含沙量出现天数明显提升增加，可恢复至现状年水平。

3) 拦沙后期、正常运用期

根据与设计单位沟通，拦沙后期库区泥沙大量淤积库区在 0km~50km 范围内，至正常运用期，库区内淤积了大量泥沙。经计算，坝前 3km 的泥沙淤积量充足，足够满足壶口瀑布景观补沙要求。考虑到受冬季冰瀑、工程本身所限，冬季 12~2 月，不再补沙；大于 7 kg/m³补沙困难，不再增加含沙量 7 kg/m³ 出现天数；其余时间，可在 8:00~18:00 观景时段内，恢复壶口瀑布现状年颜色。

拦沙后期：≤1kg/m³含沙量（现状年 215 天/年）出现天数为 216 天/年~234 天/年，1 kg/m³~3kg/m³、3kg/m³~7kg/m³出现的天数与现状年（2010 年~2020 年）相当，分别可以达到 79 天/年和 38 天/年；大于 7 kg/m³出现天数（现状年 33 天/年），为 14 天~32 天，比现状年有一定程度减少。总体上，拦沙后期，≤1 kg/m³含沙量出现天数有一定程度增加，大于 7 kg/m³出现天数有一定程度减少，其余级别含沙量出现天数和现状年水平一致。

正常运用期：≤1kg/m³含沙量（现状年 215 天/年）出现天数为 197 天/年~202 天/年，1kg/m³~3kg/m³、3kg/m³~7kg/m³出现的天数与现状年（2010 年~2020 年）相当，分别可以达到 79 天/年和 38 天/年；大于 7 kg/m³出现天数（现状年 33 天/年），为 46 天~51 天，比现状年有所增加。总体上，进入正常运用期，≤1 kg/m³含沙量出现天数有一定程度减少，大于 7 kg/m³出现天数有一定程度增加，其余级别含沙量出现天数和现状年水平一致。

15.5.2.3 不同运用期壶口颜色影响分析

实施库区泵吸取沙措施（具体方案为水下泥泵+隧洞过坝方案）后，根据古贤运行后不同来水条件下壶口河段含沙量的分析结果，分析不同运用期壶口瀑布颜色变化情况，具体见表 15.5.2-6。

表 15.5.2-6 古贤运行后不同运用期壶口瀑布颜色变化 单位：天

项目		现状年 2010 年~2020 年	拦沙初期		拦沙后期		正常运用期	
			补沙措施 实施前	补沙措施 实施后	补沙措施 实施前	补沙措施 实施后	补沙措施 实施前	补沙措施 实施后
颜色多样性		各种颜色类型均 能出现	各种颜色类型均能出现					
颜色 结构	优势 颜色	瀑布颜色以清 水、淡黄为优势 颜色	以清水瀑布为 优势颜色	以清水、淡黄 瀑布为优势颜 色	以清水瀑布为 优势颜色	以清水、淡黄 为优势颜色	以清水瀑布为 优势颜色	以清水、淡黄 为优势颜色
	清水瀑布 天数	215	308~336	221~241	291~301	216~234	250~267	197~202
	淡黄色瀑 布天数	79	17~23	79	18~37	79	33~50	79
	黄色瀑布 天数	38	4~7	38	13~15	38	14~24	38
	黄褐瀑布 天数	33	7~27	7~27	14~32	14~32	46~51	46~51

从以上分析可以看出，古贤工程投运后，清水瀑布天数由现状年 2010 年~2020 年的 215 天/年增至 250 天/年~336 天/年，尤其是拦沙初期 7 年更为严重：清水瀑布出现天数由 215 天/年增加至 308 天/年~336 天/年。

为减缓水库影响，拟建设库区泵吸取沙措施（具体方案为水下泥泵+隧洞过坝方案）对坝前 3km 内的泥沙进行强排，以增加出库水流的含沙量。

（1）测算表明，实施壶口补沙措施后，虽然拦沙初期的清水瀑布出现天数达 221 天/年~241 天/年，比现状年多 3%~12%，但较无强排设施的清水瀑布出现天数减少 28%~29%；进入水库的拦沙后期，清水瀑布出现天数更少，仅略大于与现状年水平；至正常运用期，清水瀑布出现天数少于现状年水平。

（2）通过壶口补沙措施的实施，拦沙初期、拦沙后期、正常运用期淡黄色、黄色瀑布出现天数与现状年相同，分别达到 79 天/年、38 天/年，较无强排设施增加显著。

（3）由于黄褐色瀑布含沙量太大，工程补沙困难，不再增加黄褐色瀑布出现几率。黄褐色瀑布出现的天数与无强排设施一致。拦沙初期、拦沙后期有一定幅度减少，随着水库库区泥沙的逐步淤积，水库排沙和调水调沙能力的增加，至正常运用期较现状年有一定程度增加。

（4）实施壶口补沙措施后，拦沙初期、拦沙后期、正常运用期含沙量不同级别均

能出现，壶口瀑布各种颜色均能出现，瀑布优势颜色均为清水、淡黄色，与现状年基本相同。

15.5.2.4 各月壶口瀑布颜色变化分析

实施补沙措施后，根据古贤工程运行后不同来水条件下壶口河段各月的流量分析结果，分析古贤运行后各月壶口瀑布形态、规模的变化情况，具体见表 15.5.2-7。

表 15.5.2-7 古贤运行后各月壶口瀑布颜色变化

月份（月）	瀑布颜色特点		
	现状年	拦沙初期	拦沙后期、正常运用期
1	以清水瀑布为主	清水瀑布	清水瀑布
2	以清水、淡黄色瀑布为主	清水瀑布	清水瀑布
3	以清水、淡黄色瀑布为主，出现黄色、黄褐色瀑布	以清水、淡黄色瀑布为主	以清水、淡黄色瀑布为主
4	以清水、淡黄色瀑布为主	以淡黄色瀑布为主	以淡黄色瀑布为主
5	以清水瀑布为主	以清水、黄色瀑布为主	为清水、黄色瀑布为主
6	以清水、淡黄色瀑布为主	淡黄色瀑布	以淡黄色瀑布为主
7	以黄色、黄褐色瀑布为主	以黄色瀑布为主	以黄色、黄褐色瀑布为主
8		以淡黄、黄褐色瀑布为主	
9		以清水、淡黄色瀑布为主	
10	以淡黄色、黄色瀑布为主	以清水瀑布、淡黄色瀑布为主	以淡黄色瀑布为主
11	以清水、淡黄色瀑布为主	清水瀑布	清水瀑布
12	以清水、淡黄色瀑布为主	清水瀑布	清水瀑布

从以上分析可知，实施壶口补沙措施后，各月壶口瀑布颜色与现状年相比变化不大。

15.5.3 壶口瀑布气势和声音的影响

流量是决定壶口瀑布气势和声音的主要因素。不漫滩情况下壶口瀑布声音气势随着瀑布流量增大逐渐增大。当壶口河段流量增大至漫滩情况，壶口瀑布落差逐渐消失，其磅礴气势明显减弱，同时景区关闭，无法观景。根据壶口瀑布现场观测及对景区管理人员调研，在壶口瀑布观景范围及附近区域，壶口瀑布跌落产生的轰鸣声巨大，人耳听觉对壶口瀑布声音变化不敏感，壶口瀑布声音变化不是人们关注的焦点。

本次研究统计了古贤工程建设前后月均流量的变化，考虑到壶口瀑布的观景时段（8:00~18:00），古贤工程运行后月均流量主要统计 8:00~18:00 时段内每月的平均流量。古贤水利枢纽建成后，丰水年（P=25%）、平水年（P=50%）、枯水年（P=75%）来水条件下，水库不同运用期观景时段内月均流量变化分析结果见表 15.5.3-1 和图

15.5.3-1~15.5.3-3 所示。

表 15.5.3-1 古贤工程建设前后月均流量变化 单位：m³/s

月份 (月)	1999~2020 年		拦沙初期			拦沙后期			正常运用期		
	月均 流量	波动范围	丰水 年	平水 年	枯水年	丰水 年	平水 年	枯水年	丰水 年	平水 年	枯水年
1	368	186~575	486	442	435	486	441	435	510	441	435
2	547	398~784	860	680	680	860	680	680	789	680	680
3	807	588~1056	650	680	680	610	680	680	860	680	610
4	668	257~1071	620	440	444	610	440	444	610	440	443
5	344	149~871	305	311	326	347	345	346	351	350	366
6	517	184~1189	936	802	445	929	801	445	928	801	445
7	732	120~2331	910	681	610	904	681	610	948	681	610
8	916	395~2565	1596	845	673	1591	853	685	1625	845	673
9	1139	541~2540	1499	1575	1367	1504	1575	1372	1536	1575	1372
10	769	425~2390	901	660	610	932	660	610	663	660	610
11	579	321~1087	500	500	476	500	500	488	860	472	472
12	463	277~705	411	523	502	411	523	502	425	518	502

注：古贤运行后的流量为每日适宜观景时段 8:00~18:00 时段的日平均流量。

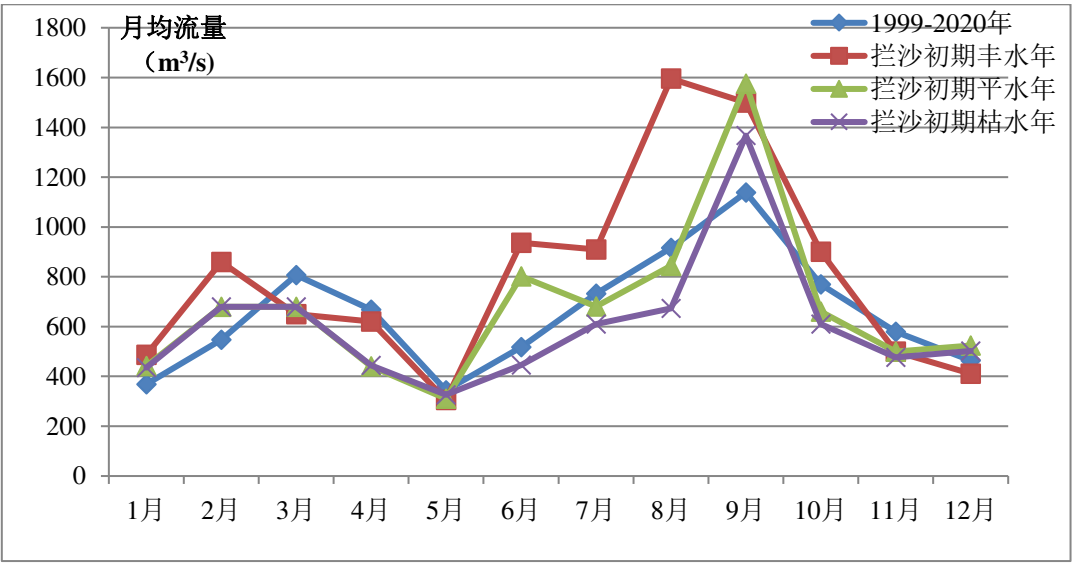


图 15.5.3-1 拦沙初期壶口瀑布月均流量变化

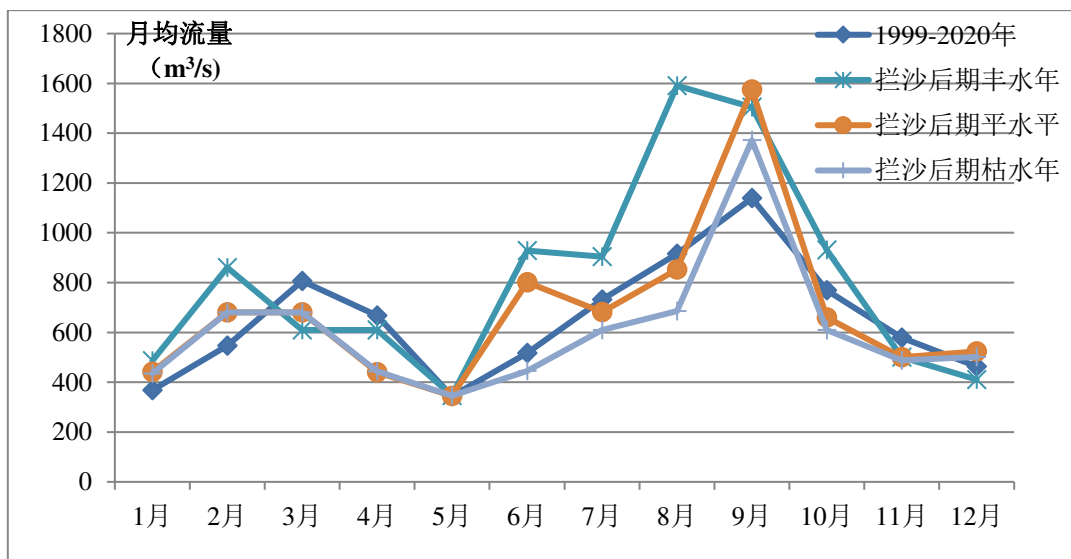


图 15.5.3-2 拦沙后期壶口瀑布月均流量变化

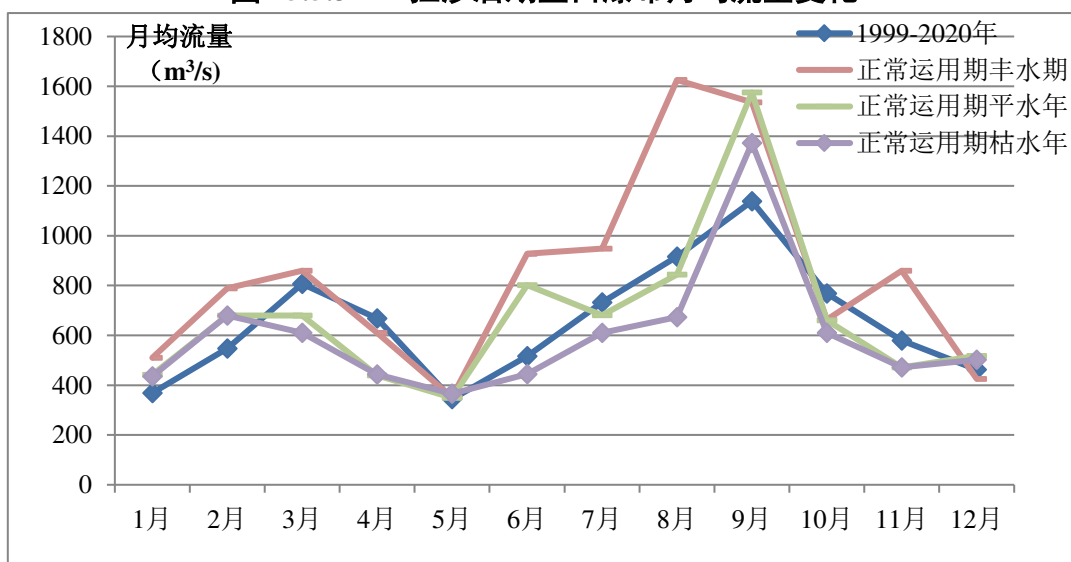


图 15.5.3-3 正常运用期壶口瀑布月均流量变化

从表 15.5.3-1 和图 15.5.3-1~15.5.3-3 可以看出，古贤工程运行后，通过水库的优化调度，在白天观景时段内，减少了小流量（小于 $400 \text{ m}^3/\text{s}$ ）出现的几率，增加了 $600 \text{ m}^3/\text{s}$ ~ $1150 \text{ m}^3/\text{s}$ 出现的几率，比较适合观景。各月变化具体如下：

1 月、2 月：与现状年相比月均流量有明显增加，现状年月均流量主要集中在 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ ~ $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 范围内，建库后月均流量主要集中在 $435 \text{ m}^3/\text{s}$ ~ $860 \text{ m}^3/\text{s}$ 左右；

3 月、4 月：与现状年相比月均流量基本持平，现状年由于桃花汛的原因，月均流量较大，主要集中在 $588 \text{ m}^3/\text{s}$ ~ $1071 \text{ m}^3/\text{s}$ 范围内，工程建成后月均流量主要集中在 $440 \text{ m}^3/\text{s}$ ~ $860 \text{ m}^3/\text{s}$ 左右；

5 月、6 月：与现状年相比月均流量明显增加，现状年月均流量主要集中在 $150 \text{ m}^3/\text{s}$ ~

700 m³/s 范围内，建库后月均流量主要集中在 305m³/s~936 m³/s 范围内；

7 月~10 月：通过水库白天观景时段内的调控，与现状年相比月均流量有所增加，月均流量主要集中在 610m³/s~1625 m³/s 范围内；

11 月、12 月：与现状年相比月均流量基本持平，现状年月均流量主要集中在 300m³/s~800 m³/s 范围内，建库后月均流量主要集中在 410m³/s~860m³/s 范围内。

根据古贤建设前后逐月月均流量分析情况，古贤水利枢纽建成后，1 月~12 月各月的观瀑流量范围仍在 1999 年~2020 年现状年变动范围之内，与现状年各年相比，壶口瀑布流量未发生显著变化，通过水库的优化调度，还可以增加游客较多月份的瀑布流量。同时，由于古贤运行后壶口河道断面未发生明显变化，壶口瀑布流速与现状年各年相比，也未发生显著变化。

总体而言，古贤水利枢纽建成后，并不会改变壶口河段地形地貌，壶口瀑布造瀑面、瀑布落差未发生变化，壶口瀑布各种流量级也仍存在，不会对壶口瀑布的气势、声音造成显著影响，而且通过水库优化调度，游客较多月份瀑布的气势较现状年更加雄浑壮观。

15.5.4 壶口瀑布造瀑面等地质条件影响分析

壶口瀑布和十里龙槽是多种地质条件、水文条件和各种内外力地质作用共同形成的地质现象。工程建设和运行后不会改变基岩岩性、产状和结构、区域内构造、节理发育等地质条件。工程对于壶口地质遗迹形成和赋存条件的改变，主要是工程建成后，下泄水量（流速）和含沙量等变化，进而影响现有水蚀作用所引起的。

15.5.4.1 古贤水库消能防冲设施设计

根据《水利水电工程等级划分及洪水标准》（SL252-2017），古贤水利枢纽工程重力坝下游消能防冲建筑物为 1 级建筑物，水垫塘消能防冲按 100 年一遇洪水设计。鉴于下游水垫塘对重力坝抗滑稳定的重要影响，水垫塘消能防冲防洪标准按照与大坝相同考虑，即 1000 年一遇洪水标准设计，5000 年一遇洪水标准校核。

古贤水库混凝土重力坝排沙泄洪建筑物结合坝身布置在河道主河床位置，主要建筑物型式包括排沙底孔、泄洪中孔和溢流表孔。工程根据排沙泄洪建筑物总体布置格局，将下游消能防冲设施设置 3 个分区，分别对应河床左侧“3 底孔+2 中孔”、河中部“3 表孔+2 底孔”和河床右侧“3 底孔+2 中孔”，三组水垫塘间设中间隔墙，两侧水垫塘左、右

边墙分别与电站尾水渠隔、左岸基岩岸坡衔接。消能水垫塘方案布置示意图见图 15.5.4-1。

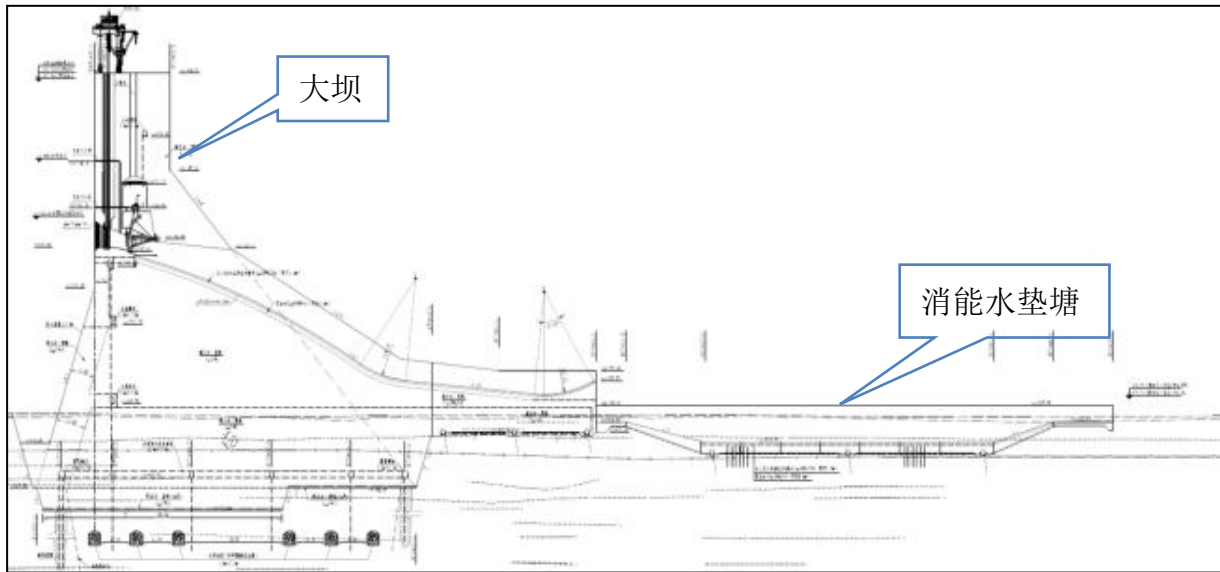


图 15.5.4-1 消能水垫塘方案布置示意图

根据设计规范要求，水垫塘的长度应满足出塘水流基本恢复到正常缓流状态的水流衔接要求，通常按水流抛射距离和在水垫塘中的旋滚长度确定。根据可研，本次设计河床左侧“3 底孔+2 中孔”和右侧“3 底孔+2 中孔”水垫塘长度为 200m，河床中部“3 表孔+2 底孔”水垫塘长度为 230m。

经可研计算，工程泄洪、调水调沙运用时，排沙泄洪建筑物下泄水量经消能水垫塘消能后，可大幅消除掉水库自高处排出水沙产生的巨大的冲刷能量，流速基本可以恢复至天然水平。同时根据设计单位提供资料，正常发电运用时，水的势能和动能转化为电能，发电尾水经消能水垫塘后，水流至壶口河段时，基本与壶口河段现状的流速差别不大。流速变化对壶口瀑布造瀑面和十里龙槽等地质条件未发生明显影响。

15.5.4.2 对壶口瀑布造瀑面及十里龙槽地质条件影响分析

对壶口瀑布造瀑面影响。古贤工程建成后，由于下泄水流含沙量总体有所减少，将减少水流对基岩河床的磨蚀度。工程建设了消能水垫塘，可消除调水调沙和泄洪时期水体从高空落下的势能，该时期水流对河床的冲击力总体变化不大。工程总体减弱了壶口瀑布的向源侵蚀作用，使瀑布后移速度降低，减缓了壶口瀑布的退化过程，有利于壶口瀑布造瀑面稳定。

对十里龙槽影响。古贤工程建设后，整体上未明显改变壶口瀑布断面和十里龙槽的流速，而且由于壶口瀑布断面含沙量减少，水蚀作用将会减弱，使十里龙槽向源侵蚀（向

上游延伸)、下蚀(龙槽变深及两岸陡崖变高)和侧蚀(龙槽变宽)速度变小,减缓了十里龙槽冲刷侵蚀。

工程运行对壶口瀑布造瀑面等地质条件影响详细内容,具体见章节“14.5.2 黄河壶口瀑布国家地质公园影响”。

15.5.5 冰瀑布影响分析

15.5.5.1 研究方法和思路

本次在分析冰瀑现状及形成机理后,结合现场观测资料,在大型恒温实验室内(见图 15.5.5-1)模拟不同气温、水温、风速、湿度、水汽量等实验条件,利用概化的壶口微缩模型(见图 15.5.5-2),观测不同实验条件下冰凌的产生和生长过程,分析其生长速度。在此基础上,确定黄河古贤水利枢纽建成后对壶口瀑布在冬季形成冰凌景观的影响。

15.5.5.2 室内试验研究成果

(1) 实验方法和工作思路

1) 恒温恒湿实验室

本次实验在长 4m, 宽 3m, 高 2m 的恒温恒湿实验室(见图 15.5.5-1)内进行。实验室温度调节范围为 $-20^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$, 相对湿度控制范围为 20%RH~95%RH, 温度的误差在 0.5°C 以内。此设备能自动记录实验室内的相对湿度及温度的变化过程。实验室工作时, 鼓风机、压缩机、加湿器等同时进行, 可将出风口处温度控制到所需温度。



图 15.5.5-1 恒温恒湿实验室

2) 实验模型

为充分还原壶口瀑布冬季冰瀑的形成和消融过程，本次根据壶口瀑布地形条件，按照 1:45 的比例，制作了实物模型（见图 15.5.5-2）。模型长 330cm，宽 200cm，高 50cm。

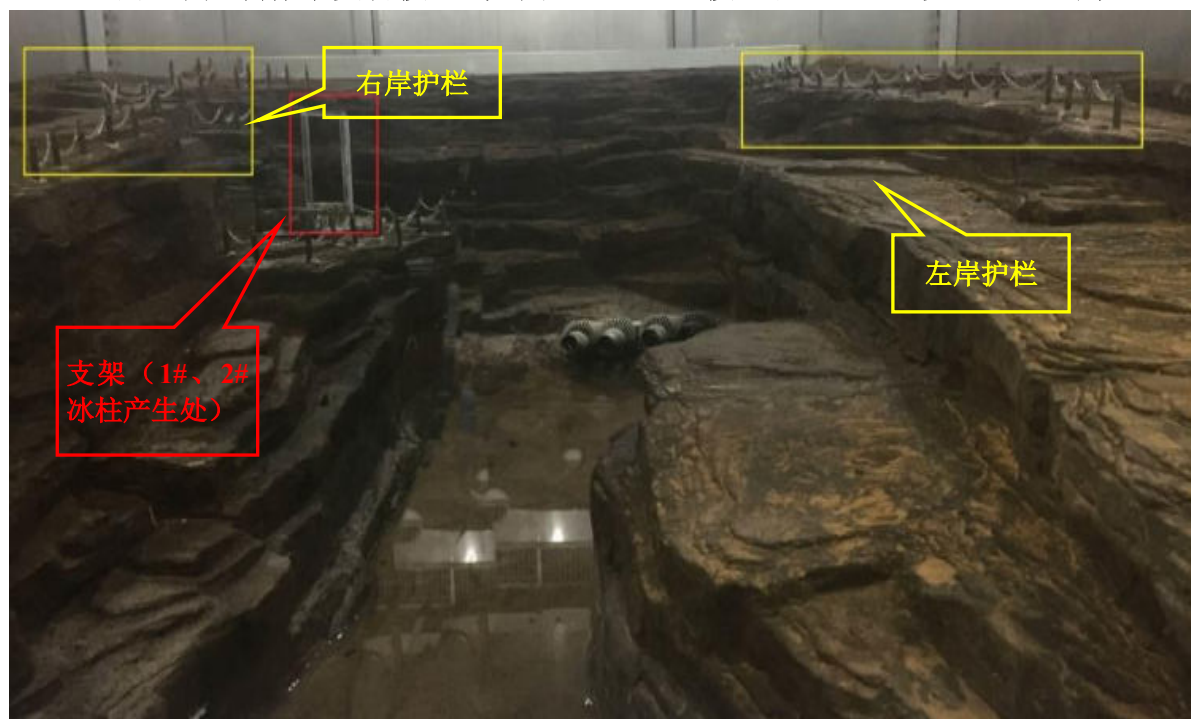


图 15.5.5-2 壶口瀑布实验模型（1:45）

护栏：根据现场观测，瀑布两侧的护栏上会形成大量的冰凌，此次在模型的两侧布置有高度 3cm~4cm 护栏。

支架：冰生消物理模型尚未有成熟理论支撑，模型中栏杆结冰也不利于统计冰的相关参数，因此在河道右岸布置一个长 20cm、高 20cm 的支架，用于测量冰柱生消的速度等实验参数。实验过程中在支架处形成有 2 根冰柱，分别命名为 1#冰柱和 2#冰柱。

壶口瀑布冰凌主要是水在跌落过程中产生的大量水汽遇冷而形成的，但是模型中水流在跌落过程中不会产生大量的水汽，为模拟瀑布溅水，在河道两岸上方各布置一个喷头，两喷头分别向两岸喷水雾，水汽颗粒粒径在 $5\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 之间。

3) 实验方法与思路

水体的结冰过程分为三个阶段：结冰期、封冻期和解冻期。当水体温度低至冰点温度后，水体中开始有冰晶出现，从水体开始出现冰晶到生成稳定的初始冰盖在这段时间为结冰期；从形成稳定的初始冰盖到冰盖开始融化这段时间为封冻期；从冰盖开始融化直至消失这一阶段为解冻期。本次实验主要研究的是典型现状低气温和典型现状气温的

结冰期，以及典型现状高气温条件下的解冻期。

实验主要记录和观察了冰柱的形成、生长过程、融化过程以及生长和融化所用的时间。为了更好地了解冰柱生长速率，定义冰柱生长速率 V_L ：

$$V_L = \Delta L / \Delta T$$

式中， ΔL 为某时间段内的冰柱增长长度； ΔT 为时间段。

在现场观测和前期预实验中发现，冰柱的形状为不规则倒圆锥形。在统计过程中，根据冰柱具体的形状，假定其为圆锥体或者圆柱体，以统计各个时刻冰柱的质量。为了能够定量分析冰柱的质量，定义冰柱质量变化速率 V_M ：

$$V_M = \Delta M / \Delta T$$

式中， ΔM 为某个时间段内的冰柱增长质量。

实验过程中在支架处形成的 1#、2#冰柱都属于长冰柱系列，通过分析冰柱各时刻生长和质量变化，以揭示冰柱变化的规律。

(2) 实验条件设计

1) 气温

现场观测年度（2015 年～2016 年）冰瀑景观盛期在 2016 年 1 月，本次根据该时段吉县冬季气温，设定典型现状低气温、典型现状平均气温和典型现状高气温三个实验条件来代表壶口现场气温变化。

条件 1：典型现状低气温，2016.1.24 日（日均-14.4℃）；

条件 2：典型现状平均气温，2016.1.12 日（日均-4.9℃）；

条件 3：典型现状高气温，2016.1.4（日均气温为 2.3℃），由于 2016.1.4 仅在 21:00 以后气温低于 0℃，该工况主要用于观察冰凌消融。

典型现状低气温、现状平均气温、高气温三个实验条件气温日变化过程见图 15.5.5-3。

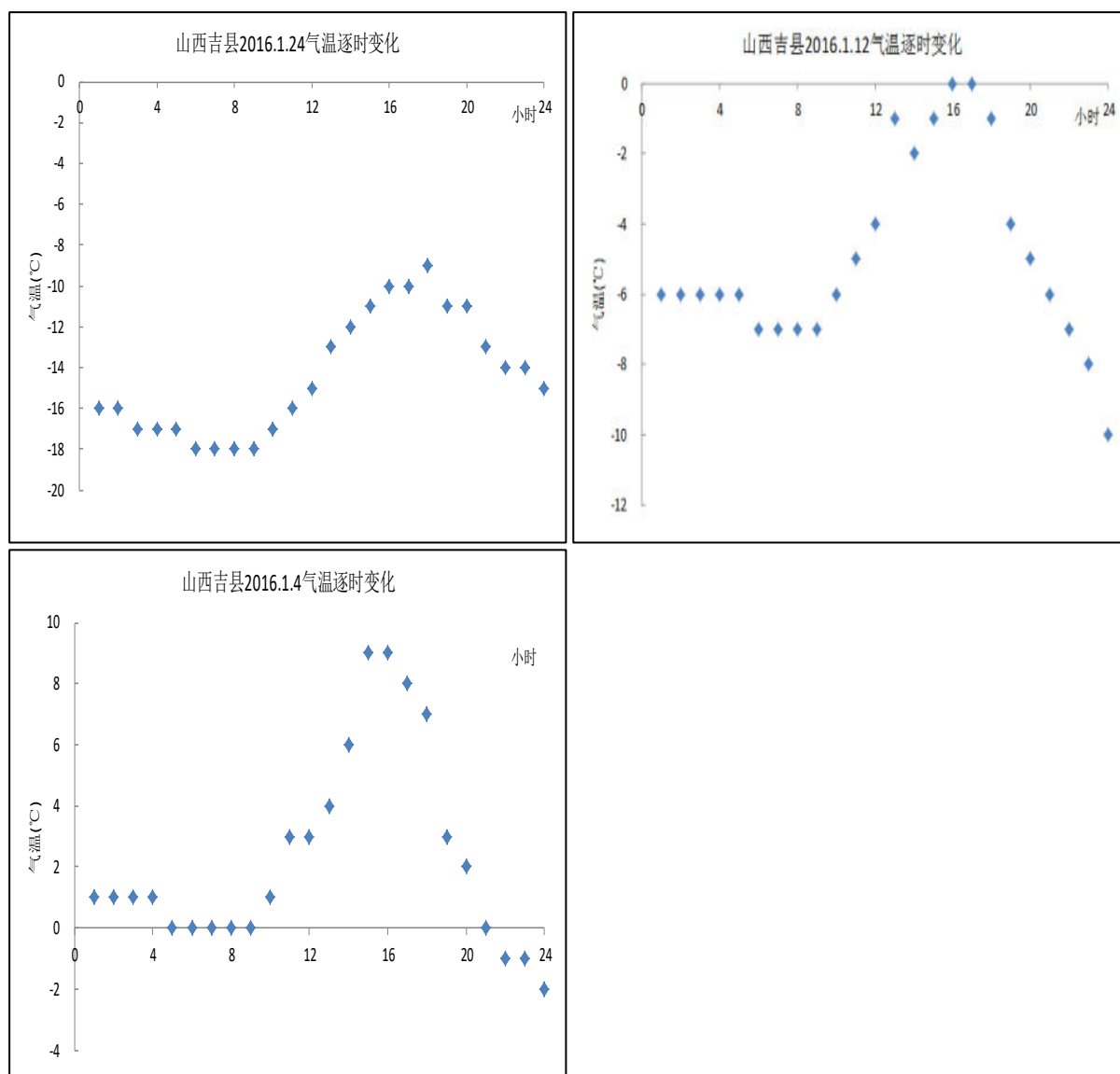


图 15.5.5-3 吉县气象站冰瀑期的典型低气温、现状气温、高气温过程

2) 水温

根据 2016 年 1 月壶口河段水温情况, 设定现状水温; 根据古贤水温影响预测情况, 设定受水库影响的水温。

条件 1: 现状水温, 采用 1 月平均水温 0.5°C 。

条件 2: 受水库影响水温, 采用建库后典型低气温日对应的预测水温 4.7°C 。

条件 3: 根据古贤水利枢纽工程下泄水温预测结果, 不同运用期 12 月~2 月, 壶口河段最高水温为 8.6°C 左右, 选择 8.6°C 作为壶口结冰实验的高温水工况。

3) 模型水汽量选择

水汽量是壶口瀑布冰凌形成的关键因素。为使实验中的水汽量和现场的水汽量相吻

合，采取现场实测水汽量，对实验中的水汽量进行校正。

现场水汽量测量：水汽量测量开始时间为 2018 年 4 月 9 日~10 日，总时长为 12h。选择 2 个测量点位（图 15.5.5-4）。经计算点位 1 和点位 2 的水汽量分别为 19mL/h 和 144mL/h。

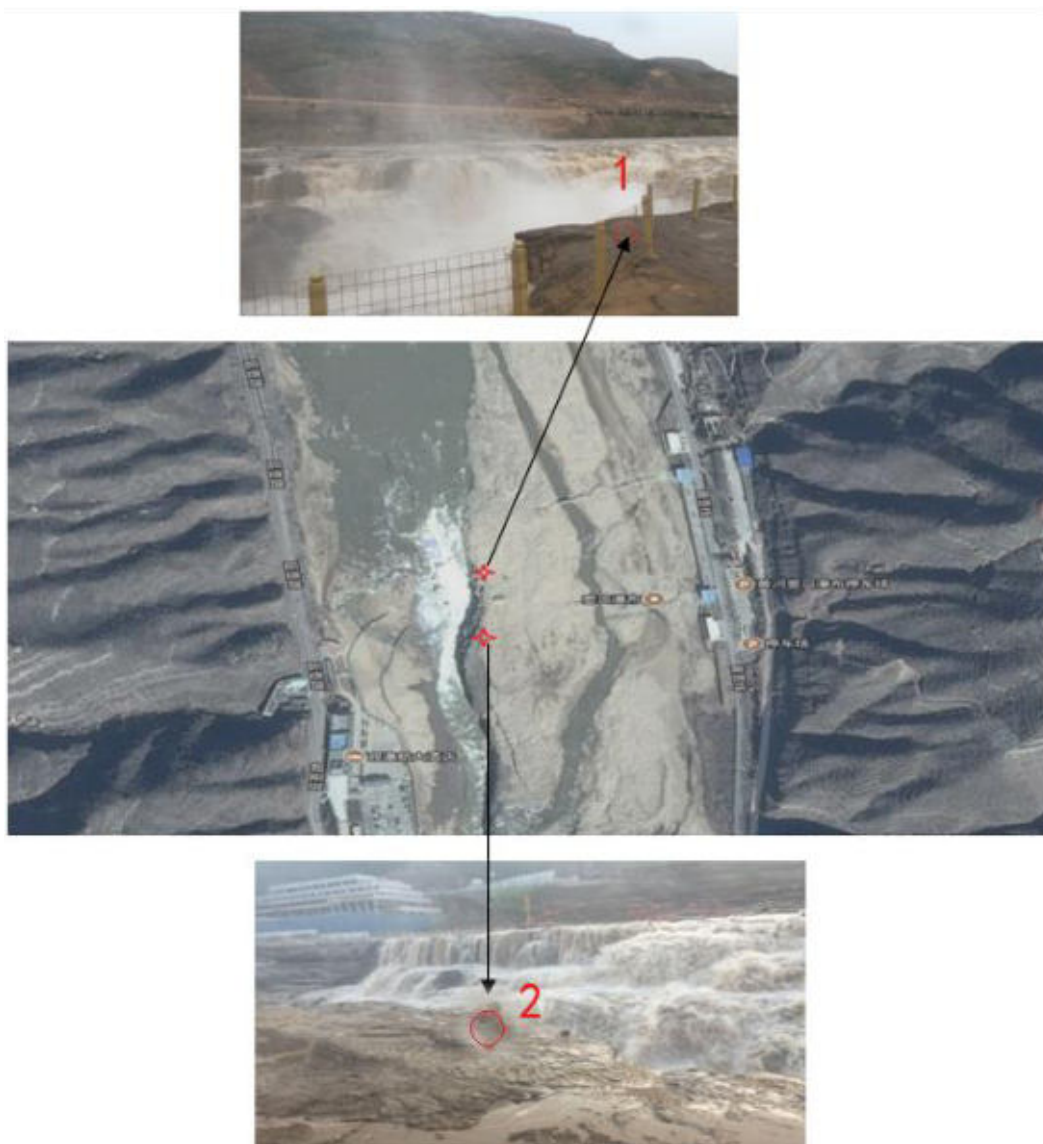


图 15.5.5-4 壶口瀑布现场水汽量测量点位布置示意图

模型验证：模型水汽量的验证位置分别放置在模型支架处和右岸栏杆处（见图 15.5.5-2）。经测量两点位的水汽量值分别为 66mL/h 和 81.6mL/h，均在现场观测值 19mL/h~144mL/h 范围内，因此认为实验过程中的水汽量与现场观测是一致的。

4) 工况设计

本次实验工况具体设置见表 15.5.5-1。

表 15.5.5-1 实验工况表

序号	气温		水温		湿度 (%RH)	水汽量 (mL/h)
	气温变化类型	对应典型日	水温选择类型	水温(℃)		
1	典型现状低气温	2016 年 1 月 24 日	现状水温	0.5	38~42	66~81.6
			建库后预测水温	4.7		
			建库后预测高水温	8.6		
2	典型现状平均 气温	2016 年 1 月 12 日	现状水温	0.5		
			建库后预测水温	4.7		
			建库后预测高水温	8.6		
3	典型现状高气温	2016 年 1 月 4 日	现状水温	0.5		
			建库后预测水温	4.7		

为了解下泄高温水对水流形成冰瀑（如壶口瀑布侧瀑冰瀑）影响，本次开展 4℃水流 10h 的冰瀑消融实验。

(3) 实验结果与分析

实验结果示例如图 15.5.5-5 所示。

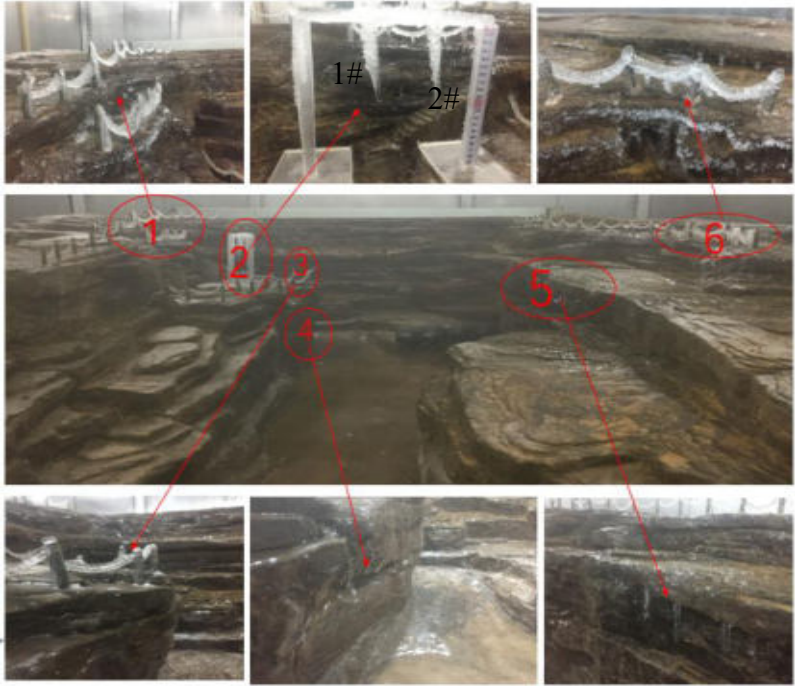


图 15.5.5-5 实验结果示例（典型现状低气温+0.5℃现状水温）

不同实验条件下冰柱形成情况、冰柱消融情况如表 15.5.5-2、15.5.5-3 所示。

表 15.5.5-2 不同实验条件下冰柱形成情况

实验条件		初冰 时刻 (min)	最大冰 柱长度 (cm)	最大冰柱变 化速率 (cm/min)	平均冰柱变 化速率 (cm/min)	最大冰 柱质量 (g)	最大冰柱质 量变化速率 (g/min)	平均冰柱质 量变化速率 (g/min)
气温	水温 (℃)							
典型现 状低气 温	0.5	3	12.5	1.5	0.1	22.63	1.41	0.19
	4.7	1	20	0.75	0.17	22.38	0.3	0.19
	8.6	3	13	0.29	0.11	36	0.80	0.30
典型现 状平均 气温	0.5	2	10	0.3	0.08	19.81	0.4	0.17
	4.7	2	10	0.67	0.08	16.41	0.5	0.14
	8.6	2	16	0.26	0.13	45	0.72	0.38

表 15.5.5-3 不同实验条件下冰柱消融情况

成冰原因	实验条件		实验结果			
	气温	水温 (℃)	最大冰柱变化 速率 (cm/min)	平均冰柱变化 速率 (cm/min)	最大冰柱质量变 化速率 (g/min)	平均冰柱质量变 化速率 (g/min)
水流飞溅、蒸 散发形成	典型现状	0.5	-0.56	-0.13	-0.44	-0.24
	高气温	4.7	-1.2	-0.28	-0.87	-0.32
下泄残留水流	4℃水流 10h		冰瀑融化 10cm 厚度			

根据实验结果：

① 根据冰瀑消融实验，在典型现状低气温、典型现状平均气温两种气温条件下，0.5℃、4.7℃和 8.6℃水温均显示出明显的结冰现象，三种水温对冰挂形成的初冰时刻、冰量（最大冰柱长度和质量）、结冰速度（最大冰柱长度和质量变化速率）无规律性影响。0.5℃、4.7℃和 8.6℃水温对冰瀑形成无显著性差异。

② 对于由于水流飞溅、蒸散发形成产生的冰瀑（如壶口瀑布主瀑处冰瀑），典型现状高气温条件下，水温越低，越不利于冰柱的消融，冰柱消融速率（冰柱长度和质量变化速率绝对值）越小，但总体来看，建库后 4.7℃的水温不会对冰柱的消融造成明显影响；对于下泄残留水流形成的冰瀑（如壶口瀑布侧瀑处冰瀑），在 4℃水流 10h 条件下，可使冰瀑融化 10cm 厚度，可知古贤建成后下泄高温水条件下，壶口左右岸侧瀑冰瀑均将存在冬季高温过流导致部分消融的情况。

综上，根据目前开展的实验，当气温恒定时，水温越低，初冰时刻出现的越早，结冰速度也越快。在相同水温条件下，气温越低，初冰时刻出现的越早，结冰速度也越快。从初冰时刻来看，现状典型气温和现状低气温、现状水温和远期高水温对初冰时刻均无显著影响。从冰量来看（以冰柱长度计算），现状低气温和现状典型气温条件下，现状水温和远期高水温对冰量无规律性影响。冬季高气温遇高水温会造成不结冰的现象，由于壶口两岸宜川、吉县近 10 年 12 月～2 月最低气温一般低于-15.0℃，水库建成后冬季高气温遇高水温导致冰瀑消失的可能性较小。

15.5.5.3 工程运行后冰瀑布影响分析

综合 2015 年 12 月初～2016 年 04 月现场观测壶口冰瀑形成的过程及特征，以及冰瀑影响实验研究结果，确定工程运行后对壶口冰瀑布影响情况如下：

（1）气温是壶口冰瀑形成的决定性条件。工程建设运行后，壶口冰瀑基本成型条件未发生本质变化，不会造成壶口冰瀑景观的消失。

（2）冰瀑主要集中在两岸壶口主瀑到侧瀑之间，水库下泄高温水，主瀑处冰瀑基

本不受影响，侧瀑处过流高温水，将导致部分过流处的冰挂消融，壶口冰瀑规模有所减小。

(3) 由于该河段不再形成冰凌灾害条件，壶口冰瀑景观不会再被流凌覆盖，冰瀑景观较现状延长。

总体来看，古贤水库高温水下泄对壶口冰瀑的影响有正有负：正面影响是“冰瀑不再被流凌覆盖，观景时间延长”；负面影响是“冰瀑景观虽不会消失，但冰瀑的形成时间会推迟、侧瀑规模将减少”。

15.5.6 工程泄洪、调水调沙运用和发电调峰调度对壶口瀑布及风景名胜区影响

15.5.6.1 泄洪、调水调沙运用

(1) 对壶口瀑布形态、规模景观影响

调水调沙期间古贤水库利用自身蓄水和河道来水塑造持续一定历时的大流量过程，冲刷小浪底库区淤积的泥沙，该时段不再进行壶口瀑布景观调度和补沙，调水调沙与壶口瀑布补沙时间不重叠。

长期的科学观测与大量调研结果表明，流量大于 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 时，壶口瀑布漫滩形态出现，山西、陕西两侧壶口瀑布观景区均无法进入，景区关闭。工程泄洪、调水调沙运用时下泄流量涉及该流量级别。据统计，现状年（1999 年~2020 年）大于 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 流量级出现天数为 0 天/年~57 天/年，平均为 10 天/年，主要出现于 8 月~9 月。根据可研单位提供调算数据，古贤工程运行后，拦沙初期、拦沙后期、正常运用期的丰、平、枯水年 9 种预测情景下，大于 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 出现天数为 3 天/年~21 天/年，平均为 11 天/年，主要出现于 6 月、9 月。

同时，工程泄洪、调水调沙运用时，排沙泄洪建筑物下泄水量经消能水垫塘消能后，可大幅消除掉水库自高处排出水沙产生的巨大的冲刷能量，流速基本可以恢复至天然水平。流速变化对壶口瀑布造瀑面和十里龙槽等地质条件未发生明显影响。

总体而言，工程泄洪、调水调沙运用对壶口瀑布及风景名胜区影响与现状汛期基本一致，仅是大流量出现时段有一定变化。

(2) 对壶口瀑布颜色景观影响

一方面调水调沙期间不再进行壶口瀑布景观调度和补沙，调水调沙与壶口瀑布补沙

时间不重叠。开展调水调沙的时段主要在主汛期（7月~9月），古贤水库利用自身蓄水和河道来水塑造持续一定历时的大流量过程，冲刷小浪底库区淤积的泥沙，为小浪底水库提供调水调沙后续动力。在此期间，由于古贤水库相对其他时段出库流量大、坝前水位低，出库水流一般均能挟带一定含沙量的泥沙，不再进行壶口瀑布补沙。

另一方面，设计单位在调研国内补沙、清淤疏浚等工程方案、工程设备的基础上，研究提出了壶口瀑布补沙工程措施。拦沙初期、拦沙后期、正常运用期坝前 3km 沙源可以保障补沙措施所需沙量。

拦沙初期主要进行蓄水拦沙和调水运用，不进行调沙。根据调算，考虑施工期围堰上游侧沉积的泥沙，水库拦沙初期第 1 年坝前 3km 范围内泥沙淤积量即达 2011 万 t，坝前 3km 范围内的泥沙可以满足工程补沙（462 万 t~526 万 t）的需要。拦沙后期，水库泥沙淤积量在 32 亿 m³~93.42 亿 m³；正常运用期，93.42 亿 m³ 拦沙库容淤满。拦沙后期和正常运用期，水库调水调沙期间，入库泥沙随着大流量来水排出水库，但沉积在水库中的泥沙难以排出水库，足以保障补沙措施所需沙源。

根据上述分析，不同时期坝前 3km 范围内的泥沙可以满足工程补沙的需要。同时补沙措施采用含沙量均在水流挟沙能力范围之内，在满足壶口瀑布观赏的同时，也基本能有效地输送到下游河道，不会对河道冲淤造成不利影响。

总体而言，工程泄洪、调水调沙运用对壶口瀑布及风景名胜区影响与现状汛期基本一致。考虑到现状大流量下泄后，景区滞留泥沙对生态环境、游客观景带来的不利影响，环评建议每次在工程调水调沙运用时段的后期，尽量下泄一定量的流量、低含沙量河水，减轻泄洪、调水调沙后滞留泥沙对景区带来的影响。

15.5.6.2 发电调峰（相机调峰）调度

古贤水利枢纽开发任务以防洪减淤、调水调沙为主，兼顾供水灌溉和发电等综合利用，发电在古贤水库开发任务中为从属地位，以水定电。环评单位与设计单位对发电调峰调度进行了不断优化，设计单位提出更有利于壶口瀑布景观保护的调度运行方式。

其中主汛期 7 月~9 月的调水调沙期间，不再进行壶口瀑布景观调度；在非汛期以及主汛期 7 月~9 月的非调水调沙期间，白天观景时段按壶口瀑布景观流量要求泄放，晚上非观景时段机组泄放流量不小于该时段生态基流及水生生态需求，在电网负荷晚高峰的 18 点~22 点根据剩余水量进行水电站相机调峰运用。从而避免发电调峰运用对壶

口瀑布景观产生较大影响。另外，古贤水电站设置 6 台发电机组（6×350MW），单台机组额定流量为 288.4m³/s，单台机组最小运行流量为 150m³/s。工程运行过程中，通过相机调整运行机组数量，通过单台机组运行，或者几台机组满负荷、非满负荷组合运行，满足壶口瀑布不同观景流量需求。

通过优化调度，避免 200m³/s 以下流量的不适观景条件出现；增加 600m³/s～1150m³/s 较佳观瀑流量出现的几率，有利于壶口瀑布的观赏；同时，工程运行后该河段不再形成冰凌灾害条件，壶口冰瀑景观不会再被流凌覆盖，壶口景区冰瀑观赏期延长，景区安全得到进一步保障。

总体而言，工程相机发电调峰运用对壶口瀑布及风景名胜区无明显影响。评价建议建立水利部门与林草、电力、风景名胜区管理机构及地方政府多部门联动机制，将壶口瀑布景观用水需求纳入水库调度规程，保障相关调度优化措施和补沙措施落实到位；同时开展基于景观生态多目标保护要求的水库调度优化方案研究、黄河壶口瀑布景观变化跟踪评估及保护措施研究等科研课题，为实现壶口瀑布保护、古贤水利枢纽工程防洪减淤功能等多重目标提供技术支撑。

15.6 施工导流及初期蓄水对壶口瀑布景观特征的影响分析

15.6.1 施工导流及初期蓄水对壶口瀑布形态规模影响分析

根据施工导流及初期蓄水对壶口河段水文情势影响（具体见第七章），可知施工导流各时期及初期蓄水期对壶口瀑布景观影响情况如表 15.6.1-1 所示。

表 15.6.1-1 施工导流对壶口瀑布景观影响情况

时间		最大下泄能力 (m³/s)	泄水建筑物	对壶口瀑布景观影响
第 1 年 10 月～第 3 年 11 月	2 年 1 个月	12600	原河床过流	此阶段利用原河床过流，对水文情势无影响，对壶口瀑布形态规模无影响。
第 3 年 11 月上旬		1270	1#、2#导流洞	此阶段进行河床截流，截流期间来水由龙口和导流隧洞全部下泄，对壶口瀑布形态规模无明显影响。
第 3 年 11 月～第 8 年 6 月	4 年 8 个月	7054.4	1#、2#导流洞	非汛期来水采用 1#、2#导流洞或 8 孔排沙底孔全部下泄，对流量过程基本无影响；汛期偶发大流量洪水时，通过围堰存水，但随后几天即可全部下泄，对整个河段水文情势无较大调节作用，对壶口瀑布形态规模整体影响有限，不会产生较大影响。
第 8 年 7 月～第 8 年 9 月	3 个月	8678.6	2#导流洞+ 8 孔排沙底孔	
第 8 年 10 月中旬	6 个月	200~347	1#导流洞内的供水钢管	此阶段下泄流量维持在 200 m³/s～284m³/s，壶口瀑布景观单一化，多为仅有主瀑形态，主瀑规模正常。但此时段仅持续 4～6 个月，且均处于非汛期，壶口瀑布非汛期现状流量均较小，多为仅有主瀑形态。总体而言，壶口瀑布形态规模在此时段会受到影响，有一定程度的萎缩，但影响时段较短，且与现状相比，瀑布规模变化不大。
第 8 年 1 月下旬～第 9 年 3 月		200~347	8 孔排沙底孔	

根据以上分析可知：

在整个施工导流过程中，壶口河段无断流现象。

第3年11月之前，利用原河床过流，壶口瀑布形态规模未受到影响。第3年11月～第8年10月，非汛期来水全部下泄，汛期偶发大流量洪水时，通过围堰存水，但随后几天即可全部下泄，对整个河段水文情势无较大调节作用，影响有限。

第8年10月～第9年3月为初期蓄水期，下泄流量较小，壶口瀑布景观单一化，多为仅有主瀑形态，主瀑规模正常。但此时段仅持续4～6个月，且均处于非汛期，壶口瀑布在非汛期天然状态即多为仅有主瀑形态。总体而言，壶口瀑布形态规模在此时段会受到影响，有一定程度减小，但影响时段较短，与天然状态相比，瀑布规模变化不大。

在建设期11年内，除初期蓄水的4～6个月，施工导流对壶口瀑布形态规模总体影响有限。

15.6.2 施工期和初期蓄水期壶口瀑布颜色的变化分析

根据施工导流对壶口河段水文情势影响，尤其是对壶口流量和含沙量的影响过程，可知河床截流前（第3年11月前），利用原河床过流，对水文泥沙情势无影响，壶口瀑布颜色不受影响；在河床截留后～2#导流洞下闸封堵前（第3年11月～第8年10月），非汛期来水采用1#、2#导流洞或8孔排沙底孔全部下泄，对瀑布颜色基本无影响；汛期偶发大流量洪水时，通过围堰存水，但随后几天即可全部下泄，对整个河段水文情势无较大调节作用，对壶口瀑布颜色整体影响有限，不会产生较大影响。

初期蓄水期，泥沙被拦截至库区，无法下泄，多为清水瀑布。但此时段均处于非汛期，壶口瀑布天然状态多为清水瀑布，且影响时段较短，与现状相比瀑布颜色变化不大。

在建设期11年内，除初期蓄水的4～6个月外，施工导流对壶口瀑布颜色总体影响有限。

15.7 壶口瀑布景观影响减缓对策

15.7.1 水库优化调度措施

古贤水利枢纽库容巨大，对水量具有很强的调节性能，在古贤水利枢纽的调度运行中，应将壶口景观保护对水量的需求作为水库调控的重要考虑因素，按照壶口瀑布景观保护对流量的主要需求，进行水库调控，保证壶口瀑布形态、规模的多样性和可观赏性

不因古贤水利枢纽工程的建设而受到影响，瀑布各形态、规模出现的几率与现状相比，不发生较大变化，较佳的观瀑流量出现的几率有所增加。

古贤水利枢纽水量调控应满足以下原则：

（1）白天观景时段 8:00~18:00 内，保证壶口瀑布流量不低于 200m³/s，消除对观景极为不利的流量级别。

（2）为了保证景区安全，除调水调沙时段外，白天观景时段 8:00~18:00 内，保证壶口瀑布流量不大于 2000m³/s，防止在观景时段内出现景区漫滩情况。

（3）保证观景时段内，各月流量范围尽量保持在现状年各月的流量范围内，现有瀑布景观形态、规模的多样性、层次性得到保留。

（4）12 月 15 日~1 月底，考虑到维持冰瀑规模的需求，尽量保持稳定流量，避免水势过大破坏两岸冰挂。

（5）全年白天观景时段（8：00~18：00）内较佳观瀑流量 600m³/s~1150m³/s 出现的天数不低于 113 天/年。增加游客较多时段内较佳瀑布流量出现的几率，即在元旦、清明、五一、端午、中秋、十一、春节等法定节假日和游客较多的 7 月、8 月、10 月，尽量保证白天水库下泄流量维持在 600 m³/s~1150m³/s。

壶口瀑布景观保护对古贤水利枢纽工程下泄流量的要求如表 15.7.1-1 所示。

表 15.7.1-1 壶口瀑布景观保护对古贤水利枢纽工程各月下泄流量的要求

时段	现状年各月均流量范围 (1999 年~2020 年)	现状年各月壶口瀑布的主要形 态、规模特征	古贤工程运行后应维持的流量范围
1	186~575	以仅有主瀑、小型侧瀑景观类型 为主	尽量维持在 400 m ³ /s~600 m ³ /s，考虑冰瀑， 避免水量骤涨骤落
2	398~784	以小型侧瀑、中型侧瀑类型为主	尽量维持在 600 m ³ /s~700 m ³ /s，其中法定节 假日下泄流量为 600~1150
3	588~1056	以中型、大型侧瀑形态为主	尽量维持在 600 m ³ /s~700 m ³ /s，其中法定节 假日下泄流量为 600 m ³ /s~1150 m ³ /s
4	257~1071	以小型、中型、大型侧瀑为主	尽量维持在 400 m ³ /s~600 m ³ /s，流量尽量保 持稳定，避免骤涨骤落
5	149~871	以仅有主瀑、小型瀑布景观类型 为主，中型、大型侧瀑亦有出现	尽量维持在 400 m ³ /s~600 m ³ /s，考虑鱼类产 卵要求，流量尽量保持稳定，避免骤涨骤落
6	184~1189	以仅有主瀑、小型、中型侧瀑瀑 布景观类型为主，大型侧瀑、巨 大瀑布也有出现	尽量维持在 400 m ³ /s~600 m ³ /s，考虑鱼类产 卵要求，流量尽量保持稳定，避免骤涨骤落
7	120~2331	除大型侧瀑外，各类型均可出现	游客较多月份，除调水调沙和行洪外，尽量保 障较佳瀑布规模，流量为 600 m ³ /s~1150 m ³ /s
8	395~2565	除仅有主瀑，主瀑偏小外，各类 型均可出现	游客较多月份，除调水调沙和行洪外，尽量保 障较佳瀑布规模，流量为 600~1150
9	541~2540	瀑布规模较大，以大型侧瀑类 型居多	除调水调沙和行洪外，其他时段维持 400 m ³ /s~2000 m ³ /s，法定节假日下泄流量为 600 m ³ /s~1150 m ³ /s

时段	现状年各月均流量范围 (1999 年~2020 年)	现状年各月壶口瀑布的主要形 态、规模特征	古贤工程运行后应维持的流量范围
10	425~2390	以小型、中型侧瀑为主	游客较多月份, 尽量保障较佳瀑布规模, 流量 为 600 m ³ /s~1150 m ³ /s
11	321~1087	多以主瀑、小、中型侧瀑形式出 现, 大型侧瀑也有出现	尽量维持在 200~850, 法定节假日和周末下泄 流量为 600 m ³ /s~1150 m ³ /s
12	277~705	多以主瀑、小型侧瀑形式出现, 中型侧瀑也有出现	尽量维持在 400 m ³ /s~600 m ³ /s, 12 月 15 日之 后考虑冰瀑, 避免水量骤涨骤落
综合要求		以上各月除应维持相应的流量范围外, 全年应注意保持流量的多样性, 保证每个 流量级别均能出现(除小于 200 m ³ /s 的流量外), 保持壶口瀑布景观规模的多样 性和层次性。	

15.7.2 壶口瀑布补沙工程措施

含沙量是影响壶口瀑布颜色的主要因素。古贤水利枢纽的主要功能为防洪减淤、调水调沙, 拦沙库容 93.42 亿 m³, 对壶口瀑布颜色的影响难以避免。为尽量减少对壶口瀑布颜色的影响, 设计单位提出了壶口瀑布补沙工程措施, 即采用库区泵吸取沙措施(具体方案为水下泥泵+隧洞过坝方案), 尽最大程度减缓工程对壶口瀑布颜色影响。

15.7.2.1 补沙原则

补沙措施实施的原则为:

(1) 保证观景时段(8:00~18:00)内, 含沙量范围尽量保持在现状年范围内, 现有瀑布景观颜色的多样性、层次性得到保留。

(2) 在清明、五一、中秋、十一等法定节假日和游客较多的 7 月、8 月、10 月, 增加淡黄色、黄色瀑布景观出现的几率, 有利于壶口瀑布的观赏。

15.7.2.2 补沙量需求及坝前泥沙淤积量满足程度分析

(1) 补沙量需求

按照拟定的补沙原则, 在观景时段的 8:00~18:00 进行补沙操作, 按照不同典型年的调算结果, 水库拦沙初期枯水年、平水年、丰水年年内补沙需求在 462 万 t~526 万 t 之间。具体见表 15.7.2-1。

表 15.7.2-1 水库拦沙初期不同典型年需要工程措施补充的沙量

典型年	时间	需要补充的沙量(万 t)
丰水年	汛期	195
	非汛期	331
	合计	526
平水年	汛期	243
	非汛期	246
	合计	490
枯水年	汛期	230
	非汛期	232
	合计	462

(2) 坝前泥沙淤积量满足程度

采用泥沙模型分析古贤水库拦沙初期库区逐年淤积情况，统计坝前 3km 范围内的泥沙淤积厚度及淤积量，见表 15.7.2-2。水库运用第 1 年坝前 3km 泥沙淤积厚度达到了 4.29m~6.70m，泥沙淤积量达到了 841 万 t；此后随着泥沙不断淤积，至第 7 年泥沙累计淤积量可以达到 7136 万 t。

模型计算的是水库正式投运后的坝前泥沙淤积情况，施工期的第 3 年 11 月~第 8 年 10 月由于围堰挡水，在围堰的上游侧 2km 范围内由于低壅水和回流影响产生的泥沙淤积量约 1170 万 t，这部分泥沙也可以作为水库初期蓄水期间的泥沙来源，结余部分可以在拦沙初期继续使用。坝前 3km 范围内的泥沙足以作为工程补沙的沙源。

因此，古贤水库坝前 3km 范围内的泥沙足以作为工程补沙的沙源。

表 15.7.2-2 古贤水库拦沙初期近坝段泥沙累计淤积情况

年份	坝前 3km 淤沙厚度 (m)	泥沙累计淤积量 (万 t)	考虑围堰淤沙后的泥沙 量 (万 t)
第 1 年	4.29~6.70	841	2011
第 2 年	7.67~10.72	1742	2912
第 3 年	11.04~14.02	2702	3872
第 4 年	15.21~19.28	3722	4892
第 5 年	19.62~24.87	4801	5971
第 6 年	24.27~30.76	5939	7109
第 7 年	29.17~36.97	7136	8306

15.7.2.3 关键方案比选

1. 取沙方案比选

在前期研究成果的基础上，针对受到关注的补沙措施可操作性和持续性问题，设计单位联合中交疏浚技术装备国家工程研究中心对库区取砂方案挖掘系统、输送方案、深水一体式吸砂装备进行了系统分析和论证，对配套工程进行了设计，目前已完成专题研究报告。

水库排沙减淤的工程措施主要有王瑶水库远距离补沙、降低排沙底孔高程、机械排沙、水力排沙等。通过对不同工程措施方案进行比选，适用于本工程的方案为机械排沙方案。此次对 1) 大功率框架式水下采沙装置方案 2) 小功率一体式水下泵吸沙装置方案两种机械排沙方案进行比选。

(1) 大功率框架式水下采沙装置方案

本方案主要由吸沙头、水下电机泵组、框架、吸沙头冲水泵、泥泵封水泵及管路等

组成。长 13m、宽 5m、高 7.5m，总重量约 90 吨。吸沙头采用圆形喇叭口结构，外圈平均分配高压冲水管路及喷嘴，高压冲水可有效防止闷管并冲散沙层以方便泵抽吸，保证期望的含固率。

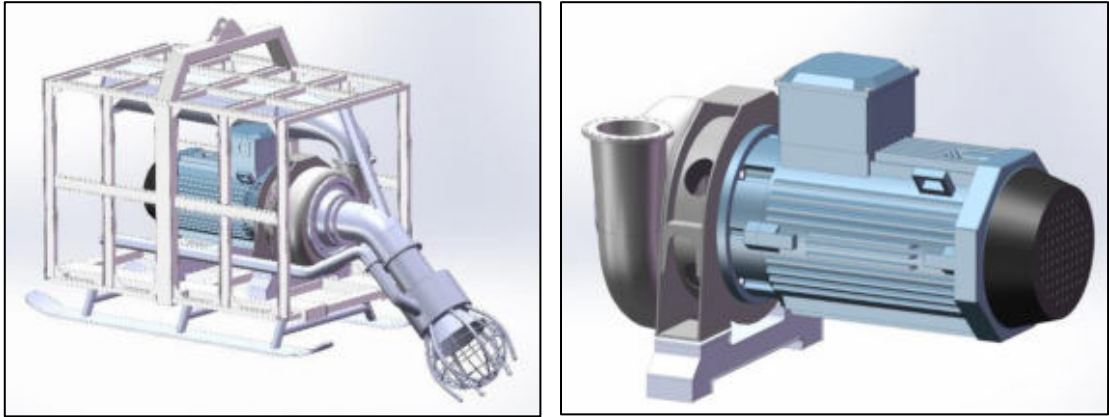


图 15.7.2-1 大功率水下采沙装置及电机泵组示意图

整个装置由一根钢缆自水上船体平台往下吊放到水底，平稳着地后进行抽沙施工。整个装置外设保护框架可使设备在吸头朝下、大角度前倾的姿态下仍可安全工作。一个位置抽沙结束后由船体平台起吊移动至另一个位置继续施工。

(2) 小功率一体式水下泵吸沙装置方案

本方案由水下泥泵、吸沙头、保护壳或框架、电机及各管路附件组成。电机泵组设置在更加紧凑的保护壳或者框架内。主尺度约长 4m，宽 4m，高 8m，总重量约 45 吨。

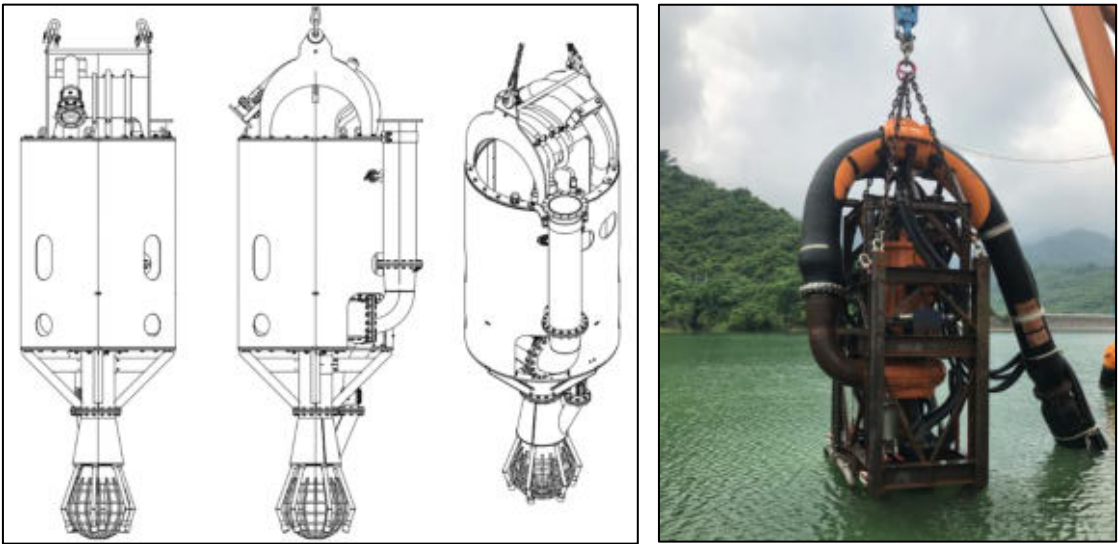


图 15.7.2-2 小功率一体式水下泵吸沙装置示意图

工作原理与大功率框架式水下吸沙装置方案基本相同，依靠吸沙头和离心泵匹配工

作将沙水混合物提升输送排出,但其工作特点是吸沙头朝下,整个装置需钢缆悬吊施工。

(3) 推荐方案确定

以上 2 个方案的主要优缺点对比详见表 15.7.2-3。

表 15.7.2-3 两种方案对比分析表

方案特性	关键指标对比分析
可行性	小功率方案配套船体管路更加轻量化,在入场、移动、起吊、维修保养等方面更具有优势
可靠性	超 100m 深水泵吸设备,国内外均有不少实际应用案例; 小功率方案:数量多,集成度低,一个出现故障,其他还能继续施工;采用钢丝绳悬吊施工,对水下斜坡等地形适应性好,连接末端采用 360 度旋转扣,在一定程度上避免钢丝绳旋转受扭力; 大功率方案:数量少,集成度高,出现故障,需停工;坐底施工,对于水下大角度陡峭地形,适应性较低
造价	大功率水下电机应用较少,施工深度较大,造价更高,且配套的船舶及起吊装置均属于大型设备

综合以上对比分析,装备形式在满足水下地形特征的基础上,考虑提高冗余度、增强可靠性,推荐采用方案(2)小功率一体式水下泵吸沙装置方案。

2. 输送方案比选

(1) 输送方案

根据输送要求,共分析了适用的两种输送方案,其中计算条件为:152m 水深取沙,中值粒径 0.012mm,平均粒径 0.025mm,输送距离 3km,输沙产量 3.08t/s(干沙),干沙密度 2.72t/m³。上述计算条件在两种输送方案中均不变化。本项目采用的临界流速计算公式是实际工程大管径中常用的临界流速计算公式:疏浚规范公式,该方程已经在 850mm 管径中通过粉土至粗砂的实际输送检验。

方案一:4 条内径为 0.85m 的排泥管从水库取沙位置直接到达坝前储沙井,流量 4×7000m³/h,折算颗粒体积浓度 15%。

方案二:4 条内径为 0.85m 的排泥管从水库取沙位置到达水面,每两条 0.85m 管线汇聚成 1 条内径为 1.2m 的排泥管到达过坝处,共组成 2 组混合管径的管线。流量 4×7000m³/h,折算颗粒体积浓度 15%。

(2) 推荐方案确定

两种输送方案不同水深下的运行参数如表 15.7.2-4 所示,方案一消耗的总功率最大,需要布置 4 条管线,但面对单条管道堵塞的情况对整体输送效果影响较小,其他泵可以

提高转速增加排泥量。方案二中单泵功率最小，但当出现一条管道堵管、或泵出现问题时，两台泵就需要停泵。综合考虑推荐方案一。

表 15.7.2-4 两种输送方案运行参数

方案	方案 1			方案 2		
排距 (km)	3			3		
颗粒体积浓度 (%)	15			15		
泥浆密度 (t/m³)	1.25			1.25		
临界流速(m/s)	2.5			2.9		
平均流速(m/s)	3.43			3.43		
水深 (m)	90	152	162	90	152	162
需求扬程(m)	48.8	64.3	66.8	41.6	57.2	59.7
单泵有效功率 (kW)	930	1226	1273	793	1090	1138
单泵额定功率 kW (85%效率)	>1443			>1283		
单泵最大功率 kW (85%效率)	>1498			>1339		
总额定功率 kW	>5772			>5132		

3. 补沙过坝方案比选

根据古贤工程总体布置情况，结合过坝补沙要求，本次拟定 1) 利用左岸导流洞补沙方案、2) 结合坝身布置的补沙孔方案和 3) 右岸厂房侧布置的岸边补沙洞方案等三个方案进行比选。具体见表 15.7.2-5。

表 15.7.2-5 过坝补沙方案比较表

方案名称	具体内容	优点	缺点
方案 1: 利用导流洞补沙方案	过坝补沙设施利用河床左侧的 2#导流洞改建，连接竖井布置在导流洞进口上方 560m 高程处，连接竖井后接新建连接隧洞，出洞后接明渠将水沙引至下游河道。	利用部分导流洞进行改建，竖井开挖量较导流洞全利用方案少，隧洞开挖量相对较小，不影响堵头施工工期，初始流速相对较小	导流洞末端需加设围堰保证洞内改建施工；导流洞后段回填混凝土方量仍较大；导流洞与电站尾水位处于不同侧，不利于排出泥沙与尾水掺混。
方案 2: 坝身补沙方案	坝身补沙孔布置在大坝右岸 40#坝段坝体内，连接竖井布置在右岸 40#、41#坝段坝体上游，与坝前布置的连接竖井底层排沙孔衔接，补沙浑水出坝体后沿坝体下游坡面设台阶式补沙泄槽进入明渠，末端将补沙浑水送入下游河道。	无竖井和隧洞开挖	坝内流态复杂，出坝流态较难控制；输沙运行与大坝日常运行管理有交叉，对坝体安全有影响
方案 3: 岸边补沙方案	岸边补沙洞布置在河床右岸，进口高程 554m，与连接竖井底层排沙孔衔接，隧洞长度为 577.95m，出口采用挑流鼻坎，鼻坎高程为 467m，通过挑流将补沙浑水挑至河道。	隧洞开挖量较左岸较小	隧洞开挖量较导流洞改建方案大

方案 1 利用导流洞补沙方案工序复杂、影响工程工期，高落差形成的高速掺气水流对管渠衬砌安全影响较大；方案 2 坝身补沙孔将影响岸坡坝段施工期，运行管理与大坝日常运行管理交叉；方案 3 岸边补沙洞布置和其他建筑物无交叉，运行管理相对独立，不影响工期。综合推荐补沙过坝采用方案 3 岸边补沙洞方案。

15.7.2.4 水下泥泵+隧洞过坝补沙方案布置

壶口瀑布补沙措施采用库区泵吸取沙措施（具体方案为水下泥泵+隧洞过坝方案），即在坝前 3km 库区范围内设置四套管径 0.85m 的“水上作业平台+水下泥泵”移动排沙设施，通过管道向坝下河道补沙，可使 1000m³/s 左右的壶口瀑布含沙量达到 3kg/m³（黄色瀑布）以上，最大程度减少工程运行对壶口瀑布颜色的影响。

本次采用四艘小功率深水取沙作业装备同时施工，作业装备主要由深水一体式吸沙装置和水上模块化平台组成。挖掘提升的沙水混合物通过 4 条内径为 0.85m 的排泥管（单管流量 1.94m³/s、管内水流平均含沙量 400kg/m³，最大排沙能力 3.1t/s）从水库取沙位置至坝前的输沙管道，穿过连接竖井，通过竖井底层排沙孔进入长度为 577.95m 隧洞，隧洞出口采用挑流鼻坎，通过挑流将沙水混合物挑至河道。

15.7.2.5 总体工艺流程

补沙措施总施工工艺主要包括：1) 进场准备；2) 设备安装；3) 管线铺设施工；4) 清水调试；5) 深水取沙；6) 泵头换点；7) 拖带移位；8) 管道输送；9) 深井排沙；10) 瀑布呈现等工作流程。具体见图 15.7.2-3。

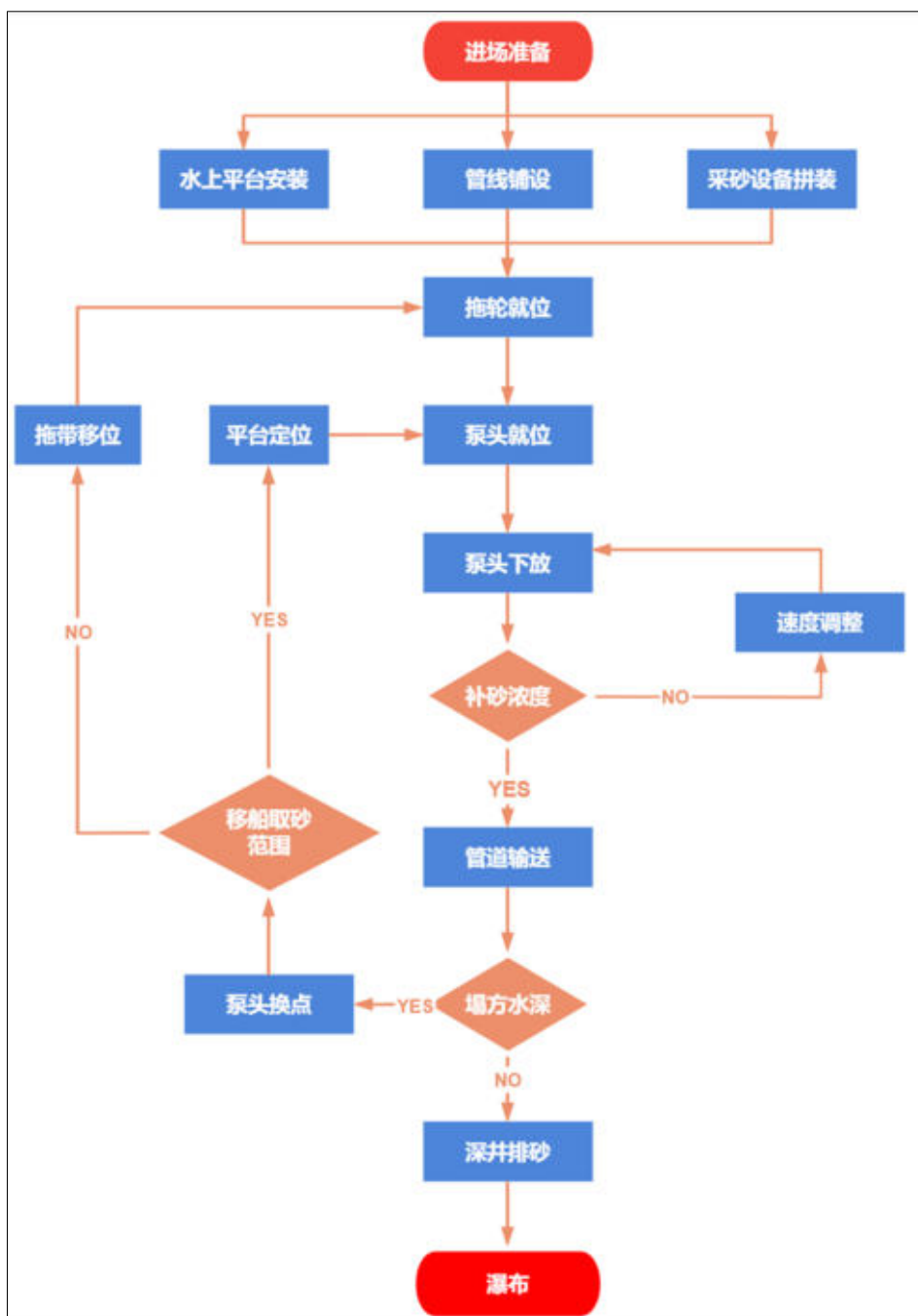


图 15.7.2-3 总施工工艺流程图

15.7.2.6 工程信息化

在取沙过程中，需对吸沙装备进行水下三维高精度定位、吸入浓度高精度控制和输送状态监控等多方面自动化智能化控制，以此实现高精度水下吸沙和保持连续稳定的输送状态。

1. 三维高精度取沙定位系统

(1) 船舶平面定位

在取沙过程中，采用全球卫星定位系统差分模式（DGPS）进行测量定位，基站接收 GPS 卫星信号并进行比较后，求得误差并得出校正值，基站附近的 GPS 用户接收机收到来自基站的校正信号，修正自身的 GPS 测量值，从而大大提高定位精度。

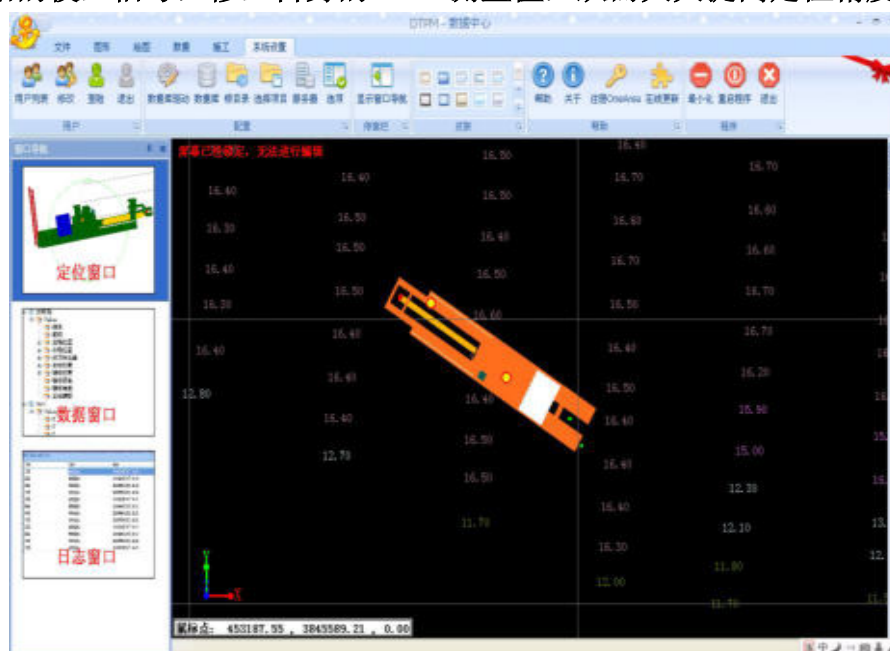


图 15.7.2-4 差分 GPS 定位

（2）水下挖深控制

水下挖深定位，主要通过吸沙泵搭载的测深传感器、锚缆上安装的编码器实时获取吸沙设备下放深度。在此基础上，同步水库水位和实测地形数据，通过水上平台的锚缆设备，实现高精度定深吸沙，如图 15.7.2-5 所示。同时，在原始地形基础上，结合吸沙方量，给出实时水下三维地形，如图 15.7.2-6 所示。

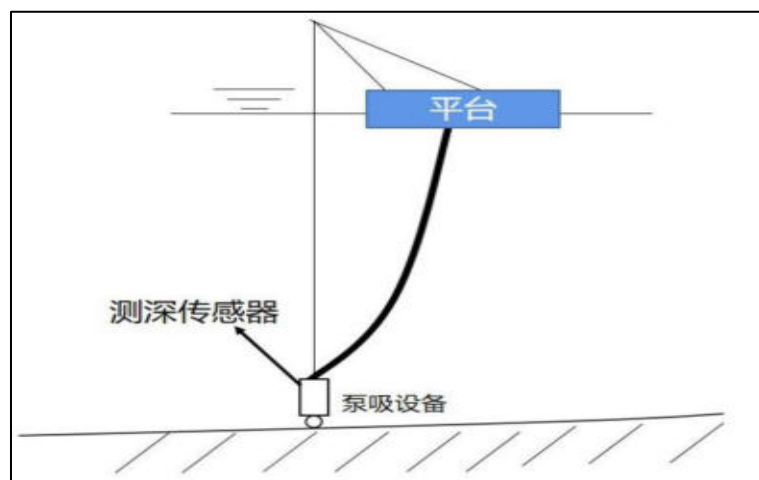


图 15.7.2-5 水下挖深控制技术

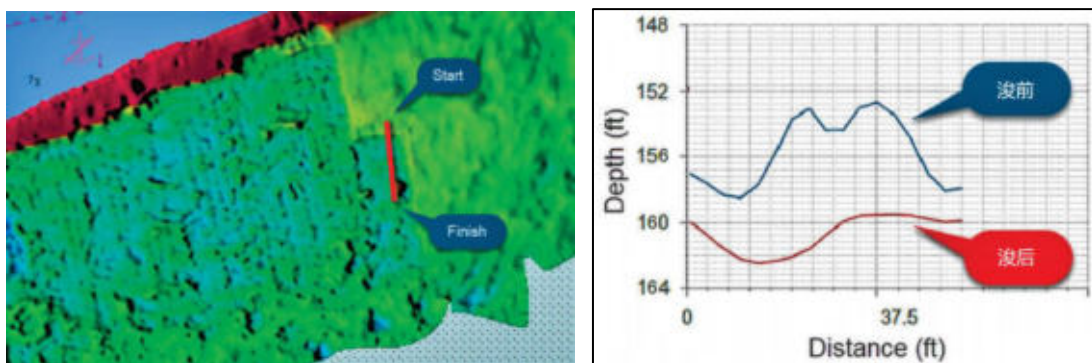


图 15.7.2-6 水下三维实时地形

2. 吸沙效果监控系统

(1) 吸沙核心参数实时监控

通过将水下吸沙设备的运行状态、吊装系统的实时参数、水上平台的工作状态集中于吸沙监控系统中，实现吸沙过程核心工艺参数和设备运行参数的统一监控。具体见图 15.7.2-7。包括吸沙设备的泵组转速、泵组吸入真空、密封情况、输送流速、输送密度、输送产量、泵组排出压力、泵组负载、泵组效率等；以及库区水位、泵组吸沙深度、水上平台坐标。



图 15.7.2-7 吸沙监控系统

(2) 吸入浓度控制技术

整个吸入浓度控制技术主要包括水下泵头、卷扬机、连接卷扬机和泵头的钢丝绳，浓度计和母船控制室内的控制系统。图 15.7.2-8 所示为吸入浓度控制技术的流程。利用排泥管上安装的浓度计，实现吸沙浓度的实时监测；实测泥沙浓度数据实时传递至母船

上的吸沙监控系统；根据浓度大小控制泵头下放位置以及速度。



图 15.7.2-8 吸入浓度控制技术流程图

3. 输送监控技术

输送管道监测需要在沿程上压力、流量、密度设备，监测数据可实时反应输送过程的输送流量、泥沙量、输送压力等数据，达到管道状态的实时掌握，及输送参数最优化控制。水上传感器安装方式见图 15.7.2-9 所示。其远程监控界面如图 15.7.2-10 所示。



图 15.7.2-9 管道监测设备水上安装示意图

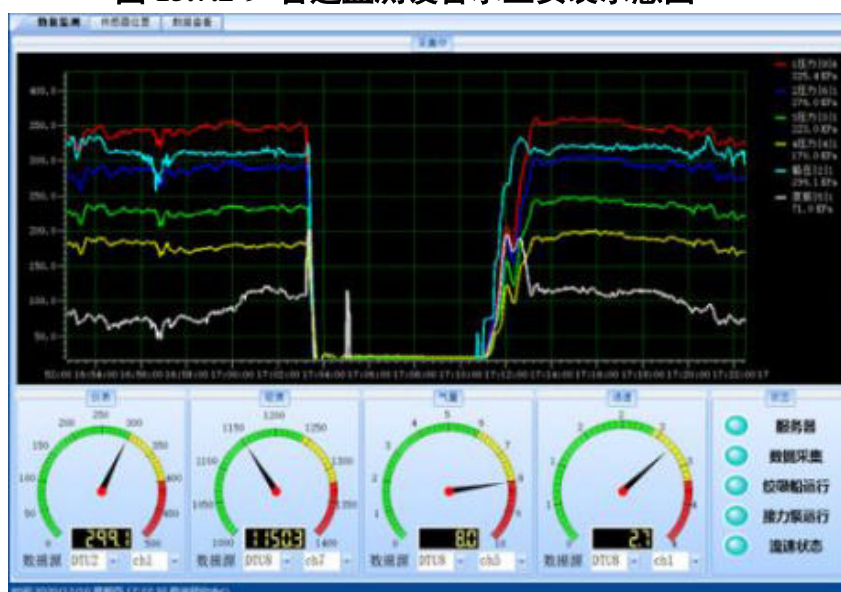


图 15.7.2-10 管道输送状态远程监测系统

15.7.2.7 工程措施补沙的可行性分析

根据泥沙模型的计算结果分析，考虑施工期围堰上游侧沉积的泥沙，水库拦沙初期第 1 年坝前 3km 范围内泥沙淤积量即达 2011 万 t，至拦沙初期第 7 年可以达到 8306 万 t。按照不同典型年的调算结果，丰水年、平水年、枯水年年内补沙需求在 462 万 t~526 万 t 之间。坝前 3km 范围内的泥沙可以满足工程补沙的需要。同时，根据设计单位分析，补沙措施采用含沙量均在水流挟沙能力范围之内，在满足壶口瀑布观赏的同时，也基本能有效地输送到下游河道，不会对河道冲淤造成不利影响。

根据设计单位调研，本次设计的管道排沙方案，国内相关科研院所已经开展了长期的攻关，在理论研究、科学试验等都有丰厚的积累，并已经在国内的部分水库进行过实际试验和应用，是一种较为可靠的工程补沙手段。

15.7.2.8 工程措施补沙的效果分析

采用工程补沙措施前后，拦沙初期不同典型年、不同瀑布出现的天数见下表 15.7.2-6。可以看到，通过采取工程补沙措施，大幅减小了清水瀑布出现的天数，丰水年、平水年、枯水年清水天数减小了 87 天~95 天，淡黄色瀑布、黄色瀑布天数达到了现状年水平。

通过精细化调度和工程补沙措施，保证了清明、五一、中秋、十一等法定节假日观景时段壶口瀑布全部能达到黄色瀑布级别；游客较多的 7 月、8 月、9 月，淡黄色、黄色瀑布天数基本恢复至现状年水平，最大化满足了观赏需求。

表 15.7.2-6 拦沙初期壶口河段补沙前后不同含沙量级出现天数 单位：天/年

瀑布 颜色	含沙量 (kg/m³)	现状年	补沙前			补沙后		
			丰水年	平水年	枯水年	丰水年	平水年	枯水年
清水	≤1	215	308	336	321	221	241	227
淡黄	1~3	79	23	18	17	79	79	79
黄色	3~7	38	7	4	6	38	38	38
黄褐	>7	33	27	7	21	27	7	21

15.7.2.9 投资概算

工程静态总投资为 59318.53 万元。其中，建筑工程投资 19115.76 万元，机电设备及安装工程投资 23553.60 万元，金属结构设备及安装工程投资 4991.77 万元，临时工程投资 1362.46 万元，独立费用投资 4902.36 万元，基本预备费 5392.59 万元。

15.7.3 壶口瀑布监测措施

古贤水利枢纽运行情况复杂，工程建成后，应长期开展壶口河段流量、含沙量、瀑

布景观的监测工作，观测工程建成和运行对壶口瀑布景观的实际影响，同时应全面监控古贤建设和运行后壶口瀑布水质，为优化水库调度运行方案提供基础支撑，最大限度保护壶口瀑布景观。

具体的景观观测和水质监测内容见第二十章环境管理与监测计划。

15.7.4 其他措施

(1) 建立水利部门与林草、电力、风景名胜区管理机构及地方政府多部门联动机制，将壶口瀑布景观用水需求纳入水库调度规程。

(2) 建立壶口景观水量、含沙量、水温、水质等监测系统，长期开展壶口河段景观的观测和监测工作，建立数据库，完善和细化壶口河段流量、含沙量与壶口瀑布形态、规模、颜色的关系，为壶口景观的优化提供坚实的基础支撑。

(3) 实现对瀑布景观的动态监控，建立壶口景观与古贤水利枢纽工程调控的动态反馈系统，根据景观的实时动态监测数据，对古贤水利枢纽的下泄流量、含沙量等进行动态调控，保障景观的可观赏性及陕西、山西两侧景区的安全。在清明、五一、端午、中秋、十一、元旦、春节等旅游黄金时段，塑造更好的瀑布景观，有利于游客欣赏到气势磅礴、雄浑壮阔的瀑布效果，体会中华民族不屈不挠、自强不息的伟大精神，促进景区旅游发展。

(4) 古贤水利枢纽工程进行设计时，应充分重视工程的景观设计工作，景观设计理念可与壶口景观、黄土高原景观特色紧密结合，打造壶口、古贤、黄土高原等大景观模式。

(5) 壶口景区的规划和管理工作与古贤水利枢纽工程紧密结合，进行大景区规划和管理，营造多个景点，解决壶口景区“游览时间短、过境景区”的困局，引导游客在区域进行长时间游览，促进景区旅游发展。

(6) 根据预测，古贤水利枢纽工程建成后不同运行阶段，库尾至库区支流入库断面富营养化状况为中营养、富营养或轻度富营养状态，坝前（壶口瀑布上游 10km，可代表壶口瀑布来水水质）为贫营养状态。

鉴于地表水环境变化对壶口瀑布景观的影响受到部分专家学者关注，建议自古贤工程筹建期开始，加强壶口河段的富营养化监测和相应时段壶口瀑布景观监测，累积相关

的数据与研究资料，结合“多泥沙河流建库后水体富营养发生趋势及防治策略研究”等课题，据此开展“地表水环境变化对壶口瀑布景观影响研究”课题研究，为保护壶口瀑布景观提供支撑。

(7) 考虑到现状大流量下泄后，景区滞留泥沙对生态环境、游客观景带来的不利影响，此次建议每次在工程调水调沙运用时段的后期，尽量下泄一定量的大流量、低含沙量河水，减轻泄洪、调水调沙后滞留泥沙对景区带来的影响。

15.7.5 科学研究

应加强基础的科学研究工作，为实现壶口瀑布保护、古贤水利枢纽工程防洪减淤功能等多重目标提供技术支撑，为管理决策提供科技支撑。主要研究内容如下：

(1) 基于景观生态多目标保护要求的水库调度优化方案研究

古贤水利枢纽工程下游主要分布有壶口瀑布、小北干流湿地、多个鱼类产卵场等，工程不同的调度运行方案对敏感保护目标的影响范围、影响程度不同。根据黄河高质量发展的有关要求，古贤水利枢纽运行应在考虑实现工程防洪减淤作用的同时，满足壶口瀑布、小北干流湿地、多个鱼类产卵场对水温、流量、水质、流速、河宽、漫滩洪水频次的要求，实现防洪减淤和生态保护等多目标的保护。考虑到古贤水利枢纽工程规模大，运行方式复杂，须开展专门的基于景观生态多目标保护要求的调度优化方案研究工作，为古贤水利枢纽优化调度方案提供技术支撑。

主要研究瀑布景观、鱼类保护和龙门～三门峡河段水环境改善、小北干流湿地的保护等对水库调度的要求，提出多目标保护的工程优化调度方案。

(2) 黄河壶口瀑布景观变化跟踪评估及保护措施研究

工程建设将对壶口瀑布景观产生影响。鉴于此，需在工程建设期和运行期，开展黄河壶口瀑布景观变化跟踪评估及保护措施研究工作。主要研究古贤水利枢纽建设期、拦沙初期、拦沙后期、正常运用期壶口瀑布形态、规模、颜色的实际变化，综合评估古贤水利枢纽工程对壶口瀑布景观的实际影响，评估已采取措施的有效性，针对不利影响，提出仍需采取的补救措施。

(3) 黄河壶口冰瀑变化及保护方案研究

古贤工程对壶口瀑布冰瀑的影响十分复杂，环评阶段主要采用实验研究的方式进行

了古贤水利枢纽工程对冰瀑布的研究工作，研究过程需进一步深入，研究结论需待古贤工程建成后进行进一步的复核。因此需在古贤工程蓄水后，开展黄河壶口冰瀑变化及保护方案研究工作。主要内容为：研究古贤水利枢纽蓄水后至拦沙初期前 5 年壶口河段水温的变化，分析工程建成后，壶口冰瀑形成时间、持续时间、形成规模等的变化，评估古贤水利枢纽工程对冰瀑的实际影响，提出相应的保护方案。

15.8 小结

(1) 壶口瀑布的形态和颜色主要受上游来水水量及含沙量影响。流量 $200\text{m}^3/\text{s}$ 以下时，壶口瀑布整体规模较小；流量大于 $400\text{m}^3/\text{s}$ 流量时出现侧瀑， $1150\text{m}^3/\text{s}$ 以上流量时瀑布落差减少，至 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 以上流量时瀑布基本被河水覆盖。上游来水含沙量小于 $1\text{kg}/\text{m}^3$ 时，壶口瀑布为清水瀑布， $1\text{kg}/\text{m}^3\sim 3\text{kg}/\text{m}^3$ 时为淡黄色瀑布， $3\text{kg}/\text{m}^3\sim 7\text{kg}/\text{m}^3$ 时为黄色瀑布，大于 $7\text{kg}/\text{m}^3$ 时为黄褐色瀑布。

(2) 受黄河上游省区经济社会发展、龙羊峡刘家峡水库水资源调控、黄河流域水土保持措施持续发挥效益，以及气候变化、大暴雨发生几率降低等多种因素影响，1934 年以来壶口河段水量、沙量持续减少，流量趋于均化，壶口瀑布景观也随之发生了一定变化。特别是在 1999 年以来，壶口河段径流量、含沙量比 1934 年~1956 年分别减少了 43.0%和 86.3%，壶口瀑布景观特征已经发生了变化，表现为瀑布规模明显减小，清水瀑布出现几率明显增加，2010 年后清水瀑布占全年总天数的 58.9%。

(3) 按照优化后的调度方案，古贤水库运行后，瀑布景观类型与现状年相比未发生改变，壶口瀑布主瀑、侧瀑不同形态、规模均得到保留，景观多样性得到保留。同时避免 $200\text{m}^3/\text{s}$ 以下流量的不适观景条件出现；较佳观瀑流量（ $600\text{m}^3/\text{s}\sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ ）出现的天数明显增加，平水年条件下，拦沙初期、后期、正常运用期出现的天数由现状的 113 天/年分别增加到 180 天/年、180 天/年和 179 天/年；并且通过水库一日内的灵活调度，可在游客人数较多的 7 月、8 月、10 月及节假日，使瀑布规模集中调节为中、大型瀑布形态，更有利于壶口瀑布的观赏。

(4) 为最大限度减少对壶口瀑布颜色的影响，工程采用“库区泵吸补沙工程措施”对坝前 3km 内的泥沙进行强排、以增加出库水流的含沙量，减少对壶口瀑布颜色的影响。补沙措施显著减缓了对壶口瀑布颜色的影响，以平水年为例，拦沙初期清水瀑布为

241 天/年，比现状年的 215 天/年多 26 天/年，淡黄色、黄色瀑布出现天数明显增加，可恢复至现状年水平，黄褐色瀑布减少 26 天/年。拦沙后期，随着库区排沙能力的增加，平水年清水瀑布出现天数比现状年增加 19 天/年，淡黄色、黄色瀑布出现天数与现状年相同。至正常运用期，采取补沙措施后，各种颜色瀑布出现天数与现状年基本持平。

（5）古贤工程建设不改变壶口瀑布的地形及地质构造，其水量、沙量的变化在自然变幅内，不会造成该河段淤积、冲刷或是地形变化，而且由于壶口瀑布断面含沙量减少，水蚀作用将会减弱，有利于造瀑面的稳定。

古贤水利枢纽建成后，并不会改变壶口河段地形地貌，壶口瀑布造瀑面、瀑布落差未发生变化，壶口瀑布各种流量级也仍存在，不会对壶口瀑布的气势、声音造成显著影响，而且通过水库的优化调度，游客较多月份瀑布的气势较现状年更加雄浑壮观。

工程建设运行后，壶口冰瀑基本成型条件未发生本质变化，不会造成壶口冰瀑景观的消失。主瀑处冰瀑基本不受影响，侧瀑处过流高温水，将导致部分过流处的冰挂消融，壶口冰瀑规模有所减小。由于该河段不再形成冰凌灾害条件，壶口冰瀑景观不会再被流凌覆盖，冰瀑景观较现状延长。

（6）工程的建设和运行不可避免地将对壶口瀑布景观产生一定影响，通过采取水库优化调度措施、壶口瀑布补沙措施等，工程的运行对壶口瀑布形态规模、声音、气势、造瀑面基本没有影响，瀑布颜色在拦沙初期有一定影响，但总体影响不大，壶口瀑布景观的完整性得到有效保护。

（7）建议继续开展基于壶口瀑布保护的水库调度运行方案优化、水库有效排沙等研究，保护壶口瀑布的景观多样性，实现适宜观瀑景观的科学调度。

第十六章 施工期及其它环境影响与保护措施

由于古贤水利枢纽工程施工期长、施工点多、面广，不同施工阶段的施工内容不同，为科学合理开展施工期环境影响预测工作，本章根据可研施工组织设计内容，分皮带机线路区、坝址区和料场区等不同区域及筹建期、施工准备期、主体工程施工期等不同时期开展施工期地表水、环境空气、声环境、固体废弃物的影响分析和措施制定。皮带机线路区部分工程施工涉及壶口风景名胜区，对其影响设专节。陆生生态及移民安置施工期影响评价内容见相关章节。

本章在调查古贤水利枢纽工程区域地表水环境、环境空气、声环境、土壤环境等环境要素现状基础上，根据古贤水利枢纽工程施工布置、施工方式、工艺及方法等，考虑工程区域环境保护要求，客观科学地预测和评价工程施工可能产生的环境影响，提出减缓不利影响的措施，尽可能使工程建设不降低所在区域的环境质量。

16.1 地表水环境影响分析与保护措施

16.1.1 地表水环境现状

古贤水利枢纽工程坝址区分布有黄河及其支流云岩河、三川河、无定河等。历年监测资料及 2022 年补充监测数据表明黄河干流坝址区现状水质状况良好，能满足《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）的Ⅲ类水质标准，主要支流现状水质较差。具体评价结果见第八章相关内容。

16.1.2 废污水影响源项及影响分析

古贤水利工程施工期废污水主要来自于皮带机线路施工区、坝址施工区、料场施工区施工人员生活污水和施工生产废水，上述不同施工区生活污水、生产废水产生及排放情况详见表 16.1.2-1~16.1.2-2。

表 16.1.2-1 施工期生活污水产生及排放情况

施工区名称		高峰人数 (人)	污水产生 量(m³/d)	产生 时段	水环境 功能类别	环保措施	排放情况	
皮带机 线路 施工区	皮带机线路施工 生活区	2000	160	工程 筹建期	Ⅲ类	生活污水 处理系 统，达标 处理	全部回用， 不外排	
坝址施 工区	导流等前期工程 施工生活区	3000	240	施工 准备期			主体 工程 施工期	全部回用， 不外排
	1#施工生活区	1000	80					
	2#施工生活区	2500	200					
	3#施工生活区	3000	240					
	4#施工生活区	5300	424					
	业主营地	140	11.2					
料场施 工区	西礅口料场生活 区	2000	160				全部回用， 不外排	

表 16.1.2-2 施工期生产废水产生及排放情况

施工区 名称	废水类型	废水产生量	废水特征	产生时段	采取措施	排放情况
皮带机 线路 施工区	混凝土拌和 系统废水	128m ³ /d	悬浮物浓度约 5000mg/L；废水呈 碱性，pH 值为 11~12	工程 筹建期	絮凝沉淀 处理	处理后全 部回用，不 外排
坝址 施工区	混凝土拌和 系统废水	208m ³ /d	同上	施工准备期、 主体工程施 工期	同上	处理后全 部回用于 生产，不外 排
	机械修配系 统废水	128m ³ /d	石油类产生浓度约 30mg/L，悬浮物浓 度为 2000mg/L		油水分离， 隔油处理	
	砂石料加工 系统废水	1050.24 万 m ³	SS 浓度 50000mg/L		沉淀处理	
	基坑废水	初期排水强度约 16625m ³ /h；经常性排 水最大强度约为 9290m ³ /h	SS 浓度一般在 2000mg/L 左右， pH 在 11~12 之间		投加絮凝 剂，静置沉 淀	沉淀静置 后抽排至 黄河
料场 施工区	机械修配系 统废水	72 m ³ /d	石油类产生浓度约 30mg/L，悬浮物浓 度为 2000mg/L	主体工程 施工期	利用油水 分离器处 理	处理后全 部回用于 生产，不外 排
	砂石料加工 系统废水	18.12 万 m ³	SS 浓度 50000mg/L		沉淀处理	

从上表可知，坝址施工区生活污水产生量较大，产生时段较长，皮带机线路施工区、料场区生活污水产生量较小，排放时段相对较短，经处理达到回用标准后均可全部回用不外排；坝址区生产废水仅基坑废水产生量较大，产生时间较短且集中，废水中悬浮物经沉淀静置后可达到排放要求；其余区域生产废水产生量较小，类比相似水利枢纽工程生产废水处理措施，经采取相应处理措施后可全部回用于生产系统，不外排。

16.1.3 废污水影响预测与评价

16.1.3.1 皮带机线路施工区废污水影响分析

(1) 生活污水影响分析

皮带机线路区施工时段为筹建期 1.5 年以及施工准备期第 1 年，施工高峰期污水产生量为 $160\text{m}^3/\text{d}$ ，污染物主要为 COD、BOD₅、氨氮和 SS。由于线路长度较长，沿线隧洞、桥梁较多，施工生产生活区较为分散，废水产生量较小。

根据施工组织设计，皮带机线路施工区共布设 13 个施工生活区，考虑到进场道路施工生活区人数较多，建议将其余 12 个生活区的生活污水采用化粪池统一收集，集中运送至进场道路施工生活区进行集中处理，处理后达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）要求后回用于施工区道路抑尘及绿化浇灌，冬季或雨季绿化用水量较小时段通过塑料储水罐进行收集储存，在干燥多风天气加大施工区域道路抑尘洒水频次，废水可以全部回用，不外排，采取上述措施情况下，皮带机线路施工生活污水不会对地表水造成影响。

（2）生产废水影响分析

皮带机线路施工区生产废水主要为混凝土拌和系统废水，施工废水含有较高的悬浮物且含粉率较高，悬浮物浓度约 5000mg/L ；废水量为 $128\text{m}^3/\text{d}$ ，呈碱性。根据施工进度安排，皮带机线路区混凝土浇筑主要发生在筹建期第 2 年及施工准备期第 1 年，混凝土拌和系统冲洗废水主要发生在上述时段。

皮带机线路区所使用的强制式搅拌机台数较多，但施工区较为分散，单个施工区冲洗废水产生量较少，建议冲洗后的废水经中和沉淀处理后回用于搅拌机的冲洗，不外排，基本不会对地表水产生不利影响。

16.1.3.2 坝址施工区废污水影响分析

（1）生活污水影响分析

坝址区生活污水包括施工准备期工程及导流洞等前期工程的生活废水，主体工程施工期生活污水和业主营地产生的生活污水，其中导流洞等前期工程生活污水处理后用于洒水降尘，不外排。业主营地施工期产生废水较少。坝址区 1#~4#施工生活区高峰时段污水产生量为 $944\text{m}^3/\text{d}$ ，污染物主要为 COD、BOD₅、氨氮和 SS，产生废污水量较多，持续时间长，如不处理直接排放会对下游黄河水质产生较大影响。

经现状调查，古贤水利枢纽工程坝址区无取水口，距坝址最近的 1 处提水工程为禹门口黄河提水工程，位于坝址下游 74km，取水口性质为工业、农业。为尽可能减少对

黄河干流水环境造成的不利影响，在坝址区建设 1 座污水处理站，处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）要求后用于洒水降尘和混凝土拌和系统用水，冬季或雨季绿化用水需求量较小时段通过塑料储水罐进行收集储存，在干燥多风天气加大施工区域道路抑尘洒水频次，废水可以全部回用，不外排，不会对地表水造成影响。

（2）混凝土拌和系统冲洗废水影响分析

根据施工进度安排，大坝工程混凝土浇筑于第 5 年 6 月开始，第 9 年 6 月底坝体浇筑完成，总工期为 49 个月，混凝土废水产生量为 $960\text{m}^3/\text{d}$ ，混凝土浇筑施工时段较长，且坝址区混凝土拌和系统布置在黄河滩地，如不处理，直接排放至黄河，可能会对黄河水环境质量产生一定影响。建议对坝址区混凝土拌和系统废水，采用加絮凝剂沉淀的方法达到《混凝土用水标准》（JGJ63-2006）后回用于混凝土拌和系统，不外排，采取上述措施情况下，不会对黄河水环境质量产生不利影响。

（3）机械修配系统废水影响分析

坝址施工区机械修配系统运行贯穿于整个主体工程施工期的 65 个月，废水产生量为 $99.2\text{m}^3/\text{d}$ ，废水污染物以石油类和悬浮物为主，类比同类工程，石油类产生浓度约 30mg/L ，悬浮物浓度为 2000mg/L ；含油废水排入水体将在水面形成油膜，影响水质和感官，由于坝址区机械修配厂紧邻黄河，地表水环境要求高，废水经收集后采用预处理+油水分离设备处理，处理后回用于场地浇洒，不外排，对工程区地表水环境影响较小。

（4）砂石料加工系统冲洗废水影响分析

根据施工总进度安排，本工程砂石料加工系统运行贯穿于主体工程施工期的 65 个月，其中施工高峰期发生在施工期第 6 年 9~11 月份，施工时段持续 12 个月，从第 6 年 3 月份持续到第 7 年 2 月份，废污水量较大，悬浮物浓度大，废水产生量为 $920\text{m}^3/\text{d}$ ，砂石料系统废水经 DH 高效污水净化器处理后回用于施工生产或场地浇洒，不外排，不会对工程区地表水环境造成影响。

（5）基坑废水影响分析

基坑废水来自坝址施工区，初期排水以黄河地表水为主，排水强度约 $16625\text{m}^3/\text{h}$ ，对坝址下游水质影响较小。基坑经常性排水由降水、地下渗水汇集而成，废水量较大，

最大排水强度约为 $9290\text{m}^3/\text{h}$ ，主要污染物为悬浮物，其浓度一般在 2000mg/L 左右，pH 值在 11~12 之间，若直接排放至黄河，会造成局部河段悬浮物浓度增加，根据其它水利项目基坑初期排水的处理经验，仅向基坑投加聚合氯化铝絮凝剂，静止沉淀 2h 后悬浮物浓度一般能降到 200mg/L 以下，对初期排水中的悬浮物消减作用显著。经沉淀处理后的基坑废水中 SS 排放浓度可降至 70mg/L 以下，满足《污水综合排放标准》

（GB8978-1996）表 4 中的一级标准，可达标排放至黄河。

16.1.3.3 料场施工区废污水影响分析

（1）生活污水影响分析

西礅口料场开采时段集中在主体工程施工期及完建期，共计 86 个月，施工高峰期污水产生量约为 $160\text{m}^3/\text{d}$ ，污染物主要为 COD、BOD₅、氨氮和悬浮物，分别为 48kg/d 、 32kg/d 、 8kg/d 和 40kg/d 。

根据现场查勘，西礅口料场施工生活区紧邻料场开采区，料场开挖和来往车辆引起区域灰尘较大，洒水降尘需水较大，因此本次环评建议料场区施工生活区采用一体化污水处理设备处理生活污水，处理后达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）要求后回用于施工区道路抑尘及绿化浇灌，冬季或雨季绿化用水需求量较小时段通过塑料储水罐进行收集储存，在干燥多风天气加大施工区域道路抑尘洒水频次，废水可以全部回用，不外排，不会对料场区地表水环境质量产生影响。

（2）生产废水影响分析

1）机械修配系统废水影响分析

料场施工区施工活动贯穿整个主体工程施工期 65 个月，机械修配系统冲洗废水产生量为 $72\text{m}^3/\text{d}$ ，废水污染物以石油类和悬浮物为主，类比同类工程，石油类产生浓度约 30mg/L ，悬浮物浓度为 2000mg/L ；废水经收集后采用预处理+油水分离设备处理，处理水回用于场地浇洒，不外排，对料场区地表水环境影响较小。

2）砂石料加工系统冲洗废水影响分析

根据料场施工区砂石料加工系统冲洗废水影响分析，料场区砂石料加工系统贯穿主体工程施工期的 65 个月，施工高峰期发生在施工期第 6 年 9~11 月份，施工时段持续 12 个月，从第 6 年 3 月份持续到第 7 年 2 月份，废污水量较大，悬浮物浓度大，废水

产生量为 16m³/d。砂石料冲洗废水采用辐流式沉淀池处理后回用于施工生产或场地洒水，不外排，不会对料场区地表水环境造成影响。

16.1.4 废污水处理措施论证

本次废水处理措施主要根据不同区域废水产生情况和区域水环境保护的要求，确定废水处理目标，在此基础上，从处理工艺先进性、可行性和处理目标的可达性等方面综合分析确定处理方案。考虑施工区设置比较分散，原则采取分散收集，集中处理，同时施工废水尽量做到全部回收利用。其中皮带机线路区和料场区施工生活废水排放量较小，且皮带机线路区和料场区分布大片林地，经处理后全部回用；坝址区地处黄河滩地，生活废水排放量较大，需进行处理后一部分用水洒水降尘绿化浇灌，一部分回用于混凝土拌和系统用水，不外排；施工生产废水处理全部回用于生产系统。

16.1.4.1 皮带机线路施工区废污水处理措施

(1) 生活污水处理措施

1) 处理目标

皮带机线路区生活污水排放量相对较小，经处理后全部回用，不外排。处理后水质满足《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）中绿化、洒扫、建筑施工标准。

2) 处理方案论证

针对施工生活污水的处理，选取污水处理站、一体化地埋式生活污水处理设备和玻璃钢化粪池 3 种方案进行比选，具体见表 16.1.4-1。

表 16.1.4-1 生活污水处理方案比选

名称	污水处理站	一体化地埋式生活污水处理设备	玻璃钢化粪池
工艺	A/A/O（活性污泥法）	A/O（厌氧+生物接触氧化法）	沉淀和厌氧发酵
运行费用	1 元/m³~2 元/m³	1 元/m³~2 元/m³	0.3 元/m³~0.6 元/m³
占地	较大	较小	较小
处理能力	5000m³/d 以上	200m³/d 以下	200m³/d 以下
处理效果	满足《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）中绿化、洒扫标准		
运行管理	需专人管理运行	全自动控制，不需人员管理	无需专人管理运行

皮带机线路施工区共布设 13 个生活区，其中进场道路生活区距离风景名胜区较近，约为 2km，且该生活区高峰期废污水产生量较大，建议在进场道路生活区设置 1 套生活污水处理系统，其余 12 个生活区的生活污水采用相应规模的化粪池，统一收集后利用吸粪车定期清理，集中运至该生活区进行处理。

根据区域环境保护要求，结合皮带机线路区生活污水处理量 and 水质出水要求，对比分析以上处理方案，三种方案均可以满足出水水质目标；一体化污水处理和化粪池不需专人管理，运行成本较低，因此进场道路生活区拟选用一体化地埋式生活污水处理设备，其余施工生活区选用化粪池，用于处理皮带机线路区施工人员产生的生活污水。

3) 处理工艺流程及设计参数

一体化地埋式污水处理装置有多种，类比黄河流域同类工程施工期生活污水处理情况，本工程皮带机线路施工区拟采用 WSZ-AO 系列一体化污水处理设备，该设备采用接触氧化工艺，可埋入地表以下，也可以设置于地面，其工艺流程示意见图 16.1.4-1。

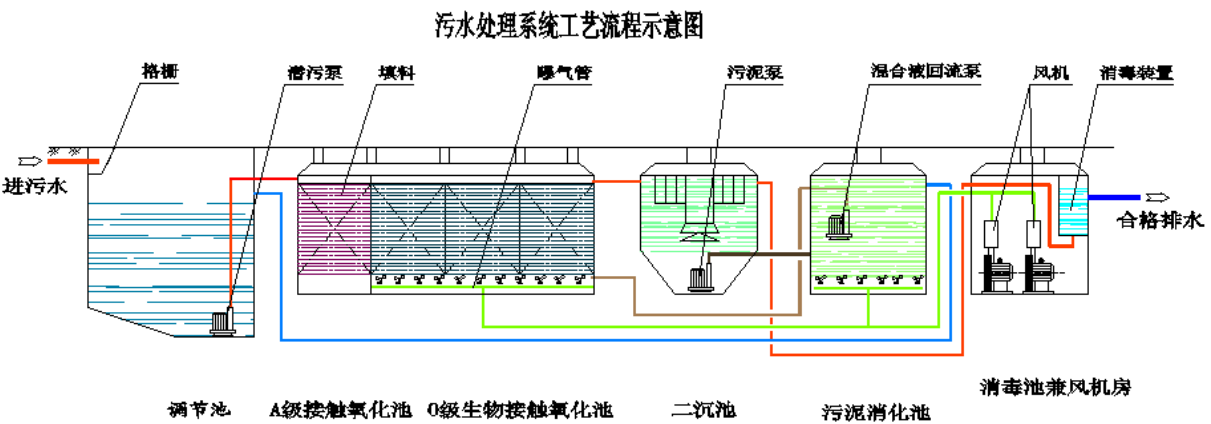


图 16.1.4-1 一体化生活污水处理设备工艺流程图

本次评价考虑将各污水集中至调节池再进行处理，可提高整个污水处理系统的抗冲击性能并减小后续设备的设计规模，考虑不均匀系数，因此生活污水处理系统进水量按平均污水产生量的 1.2 倍进行设计。

表 16.1.4-2 皮带机线路施工生活区生活污水处理设施一览表

污水产生量 (m³/d)	污水设计量 (m³/d)	环保厕所 (座)	一体化污水处理设施规模 (m³/d)
160	192	22	200

工艺设计参数详见表 16.1.4-3。

表 16.1.4-3 皮带机线路施工区生活污水处理系统设计参数

污水处理系统	构筑物名称	主要工艺参数
一体化生活污水处理设备	调节池	停留时间 8h
	初沉池	为平流式沉淀池，表面负荷为 1.5m³/m².h
	A 级生物池	为推流式厌氧生化池，污水在池内的停留时间为 3h，填料为弹性立体填料，填料比表面积为 200m²/m³
	O 级生物池	为推动式生物接触氧化池，污水在池内的停留时间为 5h~6h，填料为弹性立体填料，填料比表面积为 200m²/m³
	二沉池	为旋流式沉淀池，表面负荷为 1.0m³/m².h 沉淀时间为 2h
	消毒池	为旋流反应池，污水在池内总停留时间为 5h 左右
	污泥池	污泥可用吸粪车从入孔伸入污泥池底部进行抽吸后外运即可
	事故水池	为避免污水处理系统发生事故时污水外溢，在营地设置事故水池，事故水池的按照一天污水量确定规模

4) 污水处理主要构筑物及设备

皮带机线路施工生活区污水处理设施包括一体化污水处理和化粪池。一体化污水处理设施主要设备包括格栅渠、隔油池、调节池等。主要构筑物及设备详见表 16.1.4-4。

5) 占地面积

根据一体化地埋式生活污水处理系统构筑物尺寸、工艺流程和拟设计的平面布置情况，皮带机线路施工生活污水处理系统设施占地面积约为 100m²。

表 16.1.4-4 皮带机线路施工区生活污水处理系统主要构筑物及设备一览表

污水处理设施	设备名称	尺寸 (m)	备注
一体化污水处理设备	格栅渠	2.0×0.6×1.5	选用 RSD-500×2000×5
	隔油池	1.5×1.0×3.7	GG-1SF
	调节池	6.0×6.0×4	/
	WSZ-AO 一体化设备	占地 100m ² 左右	WSZ-F-10~25, 3L21WD 型风机 4 台, 功率为 2.2kW, AS10-2CB 型水泵 4 台, 功率 1.1kW
	污泥池	4.0×3.0×2.5	/
	污泥干化池	4.0×3.0×2.5	滤料 25.0m ³
	回用水池	8.0×4.0×3.5	回用水泵 1 台
化粪池	玻璃钢化粪池	6.48×3.24×7	G10-100QF

6) 污水处理可行性分析

本工程进场道路和皮带机线路路线长，沿线生活区多且分散，除进场道路生活区人数较多，其余 12 个生活区施工人员相对较少，因此在进场道路生活区集中设置 1 处生活污水处理系统。参考已建和在建水电工程生活污水处理系统的运行调查情况，提出采用 WSZ-AO 一体化地埋式生活污水处理工艺。WSZ-AO 污水处理设施运行稳定，技术成熟，广泛应用于生活污水处理，处理出水经过消毒处理后一般可以达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）中绿化、洒扫标准，因此选择一体化地埋式生活污水处理工艺是可行的。

皮带机线路施工区地处黄河北干流河段，该区域属温带大陆性季风气候，春季干燥少雨风沙多，且皮带机线路施工区土石方开挖及运输量均较大，特别是在干旱有风时段，施工作业面及运输扬尘对环境空气影响较大，需通过洒水措施降低对区域环境空气质量的影响。根据皮带机线路施工区集中开挖区域洒水需求，需至少配置 10 台规格为 10t 的洒水车，非雨日每日洒水 2 次~4 次，用水需求为 200m³/d ~400m³/d，同时进场道路生活区及施工道路沿线绿化及浇灌需水量约为 50m³/d，道路抑尘和绿化需水量大于进场道路生活区生活污水排放量 160m³/d；冬季或雨季绿化用水需求量较小时段通过 10 个容积为 20t 的塑料储水罐进行收集储存，在干燥多风天气加大施工区域道路抑尘洒水

频次，因此皮带机线路施工区生活污水处理后可以完全回用不外排。综上，皮带机线路区生活污水回用于施工生活区、施工作业面、道路等区域，可以节约水资源，降低施工成本，因此皮带机线路施工生活污水处理后全部回用于施工生产生活区是可行的。

（2）其它施工区生活废污水处理措施

由于进场道路和皮带机线路较长，桥梁和隧洞工作面较多，工程施工现场作业区范围较大，为了收集生活污水及粪便，防止各施工区污水排放对环境产生不利影响，在进场道路和皮带机线路沿线的桥梁、隧洞口、渣场等施工区修建 20 座环保厕所，定期清运至进场道路生活区生活污水处理设施集中处理，处理后用于农田或林草灌溉。

（3）生产废水处理措施

本工程皮带机线路施工区施工生产废水主要为混凝土强制式搅拌机冲洗废水，废水中污染物以 SS 为主，且呈碱性，具体情况见表 16.1.4-5。

1) 处理目标

由于混凝土拌合系统冲洗废水的悬浮物浓度高，根据《水工混凝土施工规范》（SL677-2014）规定，确定本设计处理目标为出水悬浮物浓度 $<2000\text{mg/L}$ ，废水经处理后达到《混凝土用水标准》（JGJ63-2006）后回用于混凝土拌和系统冲洗。

2) 处理方案选择

根据目前混凝土冲洗废水处理工艺和技术，选取（中和）沉淀法、一体化处理和絮凝沉淀法 3 种方案进行比选分析。

①（中和）沉淀法

采用简易的沉淀池将每台班末的冲洗废水排入池内，采用中和工艺，对废水静置至 6h~8h 后，清水外排。适用于废水量较小的处理系统。

②一体化处理

采用一体化组合式废水处理技术，将混凝反应、旋流分离、重力分离、污泥浓缩等功能组合运用，将废水处理时间缩短为（20min~30min），实现了污水快速高效处理，适用于废水量大、连续排放的处理系统。

③絮凝沉淀法

废水先进入平流式沉淀池，经初步沉淀处理后进入集水池。在集水池中，通过提升

泵将废水泵入机械搅拌反应池，在提升泵后管道里加混凝剂聚合氯化铝，同时加入酸调整废水的 pH 值到 8 左右。经过混合后进入机械搅拌反应池，在混凝剂的作用下，废水中的悬浮颗粒形成比较大的颗粒体。机械搅拌反应池出水流进斜管沉淀池，在沉淀池中实现固液高效分离。沉淀池出水到回用水池提供回用循环水。平流沉淀池和斜管沉淀池底部的污泥排到干化池脱水，过滤水回到集水池再处理，干泥可作为回填土用于各施工场所或者运至附近弃渣场进行处置。

本工程皮带机线路区混凝土废水产生量较小，经比选分析建议采用中和沉淀法，处理工艺可满足处理目标要求。该方案废水经沉淀、中和处理后循环利用，两个简易沉砂池一备一用。沉淀池的污泥进行自然干化后运输至对外交通道路设置的 1#渣场。混凝土拌合系统冲洗废水处理流程如图 16.1.4-2。

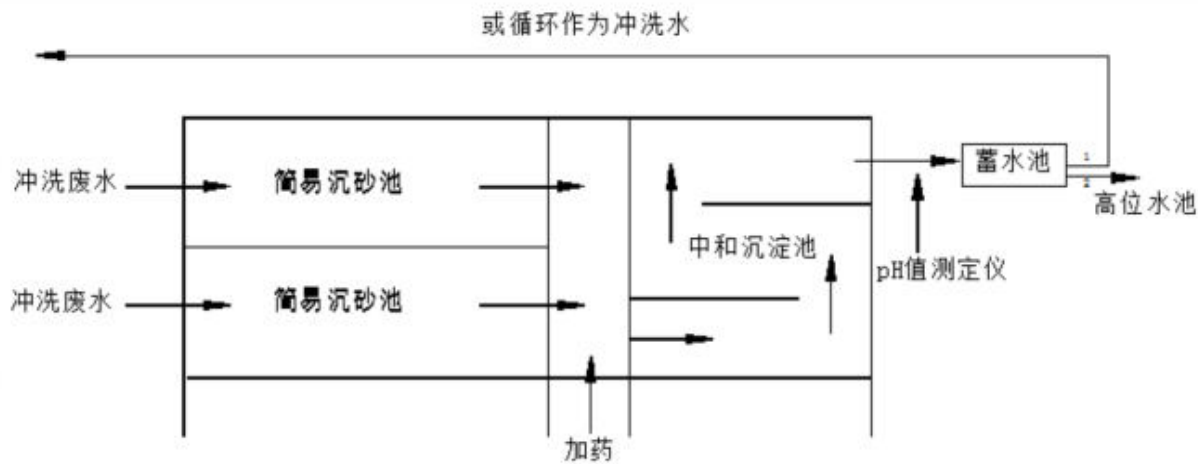


图 16.1.4-2 强制式搅拌机冲洗废水处理工艺流程图

3) 工艺设计参数

根据皮带机线路区施工废污水处理工艺，进行典型设计，主要设计参数详见表 16.1.4-5。

表 16.1.4-5 皮带机线路施工区混凝土废水处理系统构筑物设计参数	
构筑物名称	主要工艺参数
简易沉砂池	设计停留时间 12h，1 座 2 格间歇使用
中和沉淀池	设计停留时间 24h
蓄水池	设计停留时间 24h
加药廊道	采用人工加药

4) 主要构筑物及设备

皮带机线路施工区混凝土废水处理系统主要构筑物及占地面积详见表 16.1.4-6。

表 16.1.4-6 皮带机线路施工区混凝土废水处理系统主要构筑物一览表

废水处理系统	构筑物名称	数量 (座)	单池净尺寸 (m)	结构	占地面积 (m ²)
皮带机线路区单台搅拌机	简易沉砂池	1	1.0×1.5×1.8	钢砼	10
	中和沉淀池	1	1.0×3.0×1.8	钢砼	
	蓄水池	1	1.0×3.0×1.8	钢砼	
	加药廊道	1	1.0×1.0×1.8	钢砼	

5) 可行性分析

中和沉淀法不借助任何机械动力，经重力沉降、适当投加绿矾和聚丙烯酰胺的混合物，降低悬浮物浓度和降低沉淀池内废水的碱性。经处理后，排放的废水浓度可以满足《混凝土用水标准》（JGJ63-2006）的要求。由于混凝土拌和系统废水高峰期产生量较系统用水量小，因此皮带机线路施工区混凝土拌和系统废水全部回用是可行的。

16.1.4.2 坝址施工区废污水处理措施

(1) 生活污水处理措施

1) 处理目标

坝址施工区生活污水排放量相对较大，经处理后全部回用，处理后水质满足《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）中绿化、洒扫、建筑施工标准后，一部分用于施工道路和施工作业面洒水降尘和绿化浇灌，剩余部分同时达到《混凝土用水标准》（JGJ63-2006）后回用于混凝土拌和系统用水，不外排。

2) 处理方案比选论证

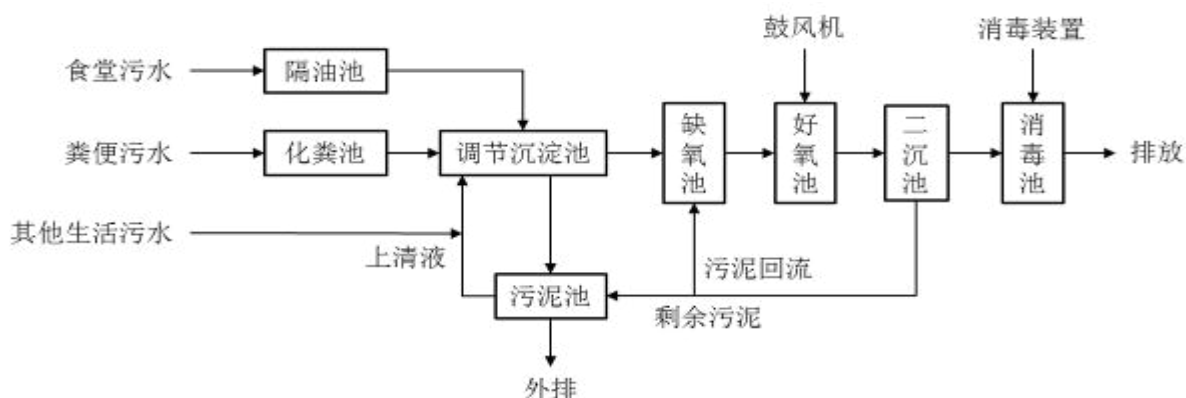
针对坝址区施工生活污水的处理，仍选用比较常见的污水处理站、一体化地埋式生活污水处理和玻璃钢化粪池 3 种方案进行比选，与皮带机线路区的比选内容相同，具体见表 16.1.4-1。

由于坝址区导流等前期工程以及坝址区 1#~4#生活区为临时工程，主要排放时段为施工准备期 28 个月和主体工程施工期及完建期共 86 个月；业主营地为永久工程，排放时段为施工期和运行期。根据《水电水利工程施工环境保护技术规程》（DL/T5260-2010）中有关生活污水处理的规定，当施工期超过 5 年且生活污水日均总排放量 1000m³ 以上，应设置污水处理厂。结合本工程施工组织设计，建议坝址区生活污水采用小型污水处理站处理，处理达标后全部回用，不外排。

3) 处理工艺流程及设计参数

本工程业主营地为永久工程，导流等前期工程施工生活区、1#~4#施工生活区为临

时工程，考虑到永久工程与临时工程污水处理措施相结合的原则，且业主营地紧邻 3# 施工生活区，本次拟将污水处理站布置在 3# 生活区附近，导流等前期工程施工生活区、1#、2#、4# 施工生活区拟采用相应规模的化粪池收集生活污水，利用吸粪车定期清理，集中运送至 3# 生活区污水处理站进行处理。上述污水处理设施具体工艺流程和参数设计如下：



本次评价考虑将各污水集中至调节池再进行处理,可提高整个污水处理系统的抗冲击性能并减小后续设备的设计规模,考虑不均匀系数,因此生活污水处理系统进水量按平均污水产生量的 1.2 倍进行设计。

污染源位置	污水产生量 (m³/d)	污水设计量 (m³/d)	环保厕所 (座)	污水处理站规模 (m³/d)
坝址区生活区	955.2	1146.24	74	1200

表 16.1.4-8 坝址区生活污水处理系统设计参数

污水处理系统	构筑物名称	主要工艺参数
污水处理站	隔油池	停留时间 10min, 清除周期 7d
	化粪池	停留时间 24h, 清掏周期 90d
	沉砂池	停留时间 1min, 最大流速 0.15m/s
	调节池	停留时间 5h
	初沉池	停留时间 56min
	缺氧池	停留时间 2h
	好氧池	停留时间 8h
	二沉池	停留时间 30min
	消毒池	停留时间 3min, 消毒时间 4s, 紫外剂量 20mJ/cm ²
	储泥池	平均进泥含水率 97.6%

4) 污水处理主要构筑物及设备

污水处理站规模为 1200m³/d, 主要设备包括各生活污水处理系统主要构筑物及设备详见表 16.1.4-9。

表 16.1.4-9 坝址区生活污水处理系统主要构筑物及设备一览表

工程区域	污水处理规模 (m ³ /d)	设备名称	尺寸 (m)	备注
坝址区 污水处理站	1200m ³ /d	隔油池	3.0×1.0×2.8	选用 ZG-4F 型
		化粪池	6.48×3.24×3.8	Z8-25QF
		渗滤液暂存池	3.0×3.0×2.0	G10-40QF
		格栅渠	4.4×1.0×1.5	
		沉砂池	3.5×1.0×4.5	
		调节池	10.0×7.0×4.5	
		初沉池	9.7×2.5×4.5	
		缺氧池	2.6×5.0×4.5	
		好氧池	10.4×5.0×4.5	
		二沉池	Φ8×4.5	
		消毒池	7.3×1.0×1.5	
		储泥池	Φ5×4.5	
		脱水机房	11.0×8.0×5.5	
		鼓风机房	7.0×6.2×3.5	选用 FGS65, 1 用 1 备, 配隔音罩
		库房	7.0×4.7×3.5	
		变配电间	7.0×4.7×3.5	
		化验室	7.0×4.7×3.5	
		值班室	7.0×4.7×3.5	回用水泵 1 台

5) 占地面积

根据处理系统构筑物尺寸、工艺流程和拟设计的平面布置情况, 污水处理站占地面积详见表 16.1.4-10。

表 16.1.4-10 坝址区生活污水处理系统占地面积一览表

生活污水处理系统	占地面积 (m ²)
坝址区污水处理站	2500

6) 污水处理可行性分析

本工程业主营地为永久工程，且与 3#施工生活区相邻，导流工程距离坝址较近，因此选择坝址区业主营地、导流工程与坝址区 1#~4#生活区集中建设污水处理设施是合理可行的。小型污水处理站运行稳定，技术成熟，广泛应用于生活污水处理，处理出水经过消毒处理后一般可以达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920-2020)中绿化、洒扫、建筑施工标准，因此选择污水处理站集中处理坝址区生活污水是可行的。

坝址施工区地处黄河北干流河段，该区域属温带大陆性季风气候，春季干燥少雨风沙多，且坝址施工区土石方开挖及运输量均较大，特别是在干旱有风时段，施工作业面及运输扬尘对环境空气影响较大，需通过洒水措施降低对区域环境空气质量的影响。根据导流等前期工程集中开挖区域洒水需求，需至少配置 2 台规格为 10t 的洒水车和 2 套固定式高压喷雾设备、2 辆高压喷雾车，非雨日每日洒水 2 次~4 次，用水需求为 50m³/d~100m³/d，另外用于负责生产导流工程和抗剪洞及施工支洞等混凝土的临时混凝土拌和系统需大量取用黄河水，因此导流等前期工程道路抑尘和绿化需水量以及临时混凝土拌和系统需水量远大于导流洞等前期工程生活污水产生量 240m³/d；根据坝址区左右岸集中开挖区域洒水需求，需至少配置 8 台规格为 10t 的洒水车和 8 套固定式高压喷雾设备、8 辆高压喷雾车，非雨日每日洒水 2 次~4 次，用水需求为 200m³/d~400m³/d，另外大坝主体工程区 4 个混凝土拌和系统需大量取用黄河水（高峰日需水量约为 3.12 万 m³/d），因此坝址区主体工程施工区道路抑尘和绿化需水量以及 4 个混凝土拌和系统需水量远大于 1#~4#生活区和业主营地产生的生活污水量 955.2m³/d；冬季或雨季绿化洒水用水需求量较小时段通过 20 个容积为 50t 的塑料储水罐进行收集储存，在干燥多风天气加大施工区域道路抑尘洒水频次，废水可以全部回用，不外排。

综上，坝址施工区生活污水回用于施工生活区、施工作业面、道路等区域以及混凝土拌和系统，可以大量节约水资源，降低施工成本，因此坝址施工区生活污水处理后全部回用于施工生产生活是可行的。

(2) 其它施工作业面生活废污水处理措施

由于大坝主体工程施工作业区范围较大,为防止各施工作业面废污水排放对环境造成不利影响,在大坝左右两岸、混凝土拌合系统区、砂石料加工系统、机械修配厂、导流洞出入口、上下游围堰、下窑子北沟导流洞、关里沟导流洞、1#~3#渣场等远离生活区的工作面修建 14 座环保厕所,收集各施工作业面生活污水及粪便,定期清运至附近坝址区生活污水处理设施,处理后用于农田或林草灌溉。

(3) 生产废水处理措施

1) 混凝土拌和系统废水处理措施

① 处理目标

由于混凝土拌合系统冲洗废水的悬浮物浓度高,根据《水工混凝土施工规范》(SL677-2014)规定,确定本设计的处理目标为出水 SS 浓度 $<2000\text{mg/L}$,废水经处理后达到《混凝土用水标准》(JGJ63-2006)后回用于混凝土拌和系统的冲洗。

② 处理方案选择

根据目前混凝土冲洗废水处理工艺和技术,选取(中和)沉淀法、成套设备法和絮凝沉淀法三种方案进行比选分析,与 16.1.4.1 小节中皮带机线路区生产废水处理措施比选论证过程相同。由于本工程坝址区导流前期工程的混凝土废水较小,经比选分析建议同皮带机线路施工区一致,采用中和沉淀法处理技术,可满足处理目标要求,运行经济成本合理。导流等前期工程混凝土拌合系统冲洗废水处理流程见图 16.1.4-2。

本工程坝址施工区主体工程设置 4 座混凝土拌和系统,混凝土冲洗废水产生量较大,且持续时间较长,贯穿于整个主体工程施工期约 65 个月,本次对 4 个混凝土拌和系统均采用“加絮凝剂沉淀法”达到《混凝土用水标准》(JGJ63-2006)后回用于混凝土拌和系统的冲洗,污泥干化后运输至附近坝址区弃渣场。具体处理流程如图 16.1.4-4。

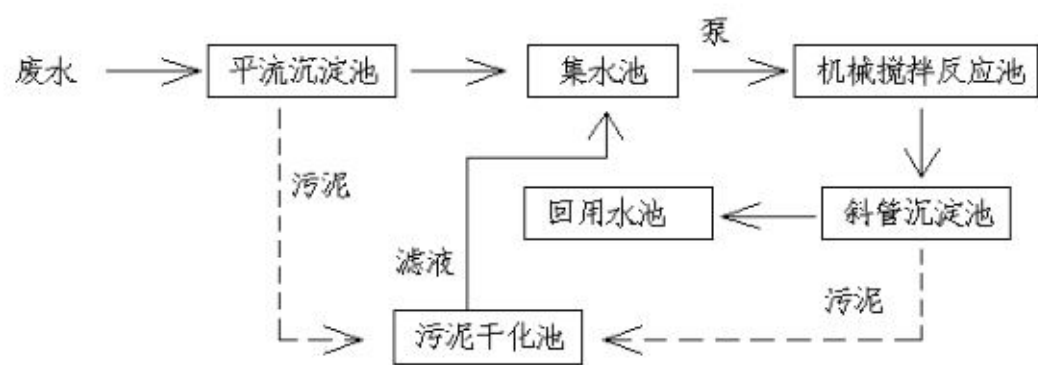


图 16.1.4-4 絮凝沉淀法废水处理工艺流程

③ 工艺设计参数

坝址区导流前期工程混凝土废污水处理工艺主要设计参数详见表 16.1.4-5；坝址区左右岸混凝土拌和系统废水处理工艺设计参数详见表 16.1.4-11。

表 16.1.4-11 坝址区混凝土废水处理系统设计参数

构筑物名称	主要工艺参数
平流沉淀池	初步沉淀，使废水中的大颗粒物得到去除，并除去部分的悬浮物。配置排泥泵两台；设计去除效率为 90%，停留时间 8h，清泥周期 7d。
集水池	作为储水用途。配置两台提升泵，一用一备；停留时间 20h。
机械搅拌反应池	保证废水与药剂充分混合反应；停留时间 1.2h。
斜管沉淀池	反应混合物在此实现固液分离，普通沉淀池。配置排泥泵一台；停留时间 10h。
回用水池	储存沉淀池出水用于混凝土搅拌和系统冲洗用水，配置两台回用水泵；停留时间 10h。
干化池	2 座，轮流使用，清泥周期 3d。

④ 主要构筑物及设备

混凝土废水处理系统主要构筑物及占地面积详见表 16.1.4-12。

表 16.1.4-12 坝址区混凝土废水处理系统主要构筑物一览表

废水处理系统	构筑物名称	数量 (座)	单池净尺寸 (m)	结构	占地面积 (m ²)
导流等前期工程 1 台混凝土拌和楼	简易沉砂池	1	4.0×1.5×1.8	钢砼	40
	中和沉淀池	1	4.0×3.0×1.8	钢砼	
	蓄水池	1	4.0×3.0×1.8	钢砼	
	加药廊道	1	4.0×1.0×1.8	钢砼	
坝址区左岸高线/左岸低线 /右岸高线/右岸低线混凝土生产系统	平流沉淀池	1	10×2×4	钢砼	20
	集水池	1	5×5×2	钢砼	10
	机械搅拌反应池	1	2×2×2	钢砼	5
	斜管沉淀池	1	4×4×4	钢砼	16
	回用水池	1	4×4×4	钢砼	16
	干化池	2	3×2×1	钢砼	6

⑤ 可行性分析

坝址区混凝土拌和系统废水经絮凝沉淀处理后，悬浮物浓度小于 2000mg/L，满足《混凝土用水标准》（JGJ63-2006）的要求，可回用于混凝土搅拌及冲洗。由于坝址区混凝土拌和系统废水高峰期产生量小于系统用水量，因此坝址区混凝土拌和系统废水全部回用是可行的。

2) 机械修配系统废水处理措施

① 处理目标

本工程机械修配系统含油废水经处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）中相应标准后，回用于车辆冲洗、洒水降尘。

② 方案选择

根据机械修配含油废水的水量、产生时段、废水特点以及出水水质要求，选取 4 种

处理方案进行比选分析，具体情况见表 16.1.4-13。

表 16.1.4-13 机械修配合油废水处理方案

处理方案	方案比较
方案 1：简易除油沉淀	适用于场地狭窄、处理规模小的机修及保养系统。设置集水池及简易隔油池处理后排放。在施工区车辆停放场，可在洗车检修台下布置排水沟，车辆停放场周边布置集水池，收集排水沟内的机械清洗废水，在集水池末端设隔油板，集水池出口处设薄壁堰溢流水。定时清除隔油板壁聚积的废油，并清理沟底淤泥。
方案 2：隔油沉淀法	由隔油池与沉淀池组成，占地规模大，处理量灵活。设置集水沟和隔油池，并进行一定时间的沉淀处理后出水。在施工区车辆停放场，可在洗车检修台下布置集水沟。
方案 3：隔油过滤法	污水在小型隔油池内由浮子撇油器排除废油，废水再经焦炭过滤器进一步除油。
方案 4：成套油水分离器	油水分离效果好，油分回收和去除率高，适用于含油量高的废水，能满足大修时石油类高峰浓度达标排放的要求。

坝址所处区域黄河段水环境质量目标为Ⅲ类，为减少对黄河水环境质量的不利影响，机械修配及保养含油废水进行集中处理后回用不外排；考虑到回用水对水质要求较高，推荐采用油水分离效果好，油分回收率和去除率高的成套油水分离器进行处理，处理达标后回用于车辆冲洗、道路洒水降尘。

③方案设计

结合设计参数，综合考虑确定本次坝址施工区导流等前期工程、大坝工程机械修配合油废水处理设备设计处理能力分别为 30m³/d 和 100m³/d。成套油水分离器污水处理工艺流程如图 16.1.4-5。废水经过油水分离器处理后，石油类浓度≤10mg/L，排放到出水池储存，可以直接排放或者用泵打到各回用水点。油水分离器分离出来的高含油污泥委托外运处置。



图 16.1.4-5 机械修配系统废水处理流程图

具体构筑物及占地面积见下表。

表 16.1.4-14 坝址区机械修配系统废水处理系统主要构筑物一览表

机械修配系统	构筑物名称	数量 (座)	规模	占地面积 (m²)
导流等前期工程 机械修配厂	调节池	1	5m×5m×3.5m	30
	提升泵	2	/	
	油水分离器	1	30m³/d	
	回用水池	1	5m×5m×3.5m	
坝址区机械修配厂	调节池	1	10m×5m×3.5m	50
	提升泵	2	/	
	油水分离器	1	100m³/d	
	回用水池	1	10m×5m×3.5m	

④ 可行性分析

选用成套油水分离器处理水利工程施工期含油废水，在国内各大型水电水利工程中均有采用，废水处理后能达到相应标准。

3) 砂石料加工系统废水处理措施

① 处理目标

从水资源合理利用和环境保护角度考虑，本工程坝址施工区砂石冲洗废水按《水电工程砂石加工系统设计规范》（NB/T 10488-2021）规定，按照处理后满足回用于坝址区砂石系统生产的要求进行设计，不外排。

② 处理工艺选择

a. 废水处理工艺

结合国内大中型砂石加工系统废水处理实例，针对本工程的砂石料加工系统选取絮凝自然沉淀法（以平流式沉淀池为代表），混凝沉淀法（以辐流式混凝沉淀池为代表），集混凝、分离、过滤为一体的成套设备处理法（以 DH 高效污水净化器为代表）3 种方案进行工艺及技术经济比较。具体见表 16.1.4-15。由表可知，3 种方案从技术上均可满足废水达标排放要求。

表 16.1.4-15 三种砂石加工系统废水处理工艺技术比较

序号	项目	平流式絮凝沉淀工艺	辐流式混凝沉淀工艺	DH 高效污水净化器
1	工作原理	采用重力沉降原理，废水加药沉淀停留时间不小于 3h，沉淀池容量要求大，对于细颗粒处理效率较低	运用重力沉降原理，废水沉淀停留时间较长，加药絮凝废水沉淀时间不小于 3h，设备体积较大，处理效率略低	采用一体化组合式废水处理技术，将混凝反应、旋流分离、重力分离、污泥浓缩等功能组合运用，将废水沉淀停留时间缩短（20min~30min），实现了污水快速高效处理
2	处理负荷	在沉淀池面积足够大时，对高浓度悬浮物适应能力较强	对高浓度高悬浮物废水处理浓度可高达 170000mg/L，但对处理负荷波动性适应能力相对较差	进水 SS 适应性强，浓度可高达 60000mg/L，对 SS 颗粒无要求。处理 ≤50000mg/L 的高浓度废水时，无需进行预处理减轻处理负荷。可以满足处理负荷水量、水质较大范围的浓度
3	污泥排放	污泥含水率较高，达 90% 以上	所排污泥浓度高，污泥含水量 <85%	所排污泥浓度高，污泥含水量 <80%，排泥量较小
4	运行稳定性	运行较稳定，处理效果受沉淀物的粒径、浓度等影响	运行稳定性较差，影响因素多，如体积庞大，进、出水难均匀，易发生短流，影响沉淀效率	运行稳定可靠，可任意启停，进水水量在 20% 波动范围内不影响处理效果；而冲击负荷强，运行操作简单，可实时监控
5	日常维护保养	需人工或机械刮泥，劳动强度较大	刮泥机械故障多，排泥管易堵塞，需人工清理	本体设备无转动部件，罐体内部无需保养和维护；污泥定时排放，采用快速排泥，不堵塞
6	占地面积	场地条件要求高，处理能力 200m³/h 占地面积约 200m²	单台处理能力为 200m³/h 的辐流沉淀池占地面积约 150m²	单台处理能力 200m³/h 的设备占地面积约 16m²
7	效果	可满足砂石加工系统回用水质要求		

砂石冲洗废水的主要特点为水量大、悬浮物含量高，废水经过处理后产生大量含水率较高的污泥，处理工作量大。因此，对砂石冲洗废水的处理，需要着重考虑以下几个方面：一是在拟定废水处理流程时，须先考虑回收该部分石粉，回掺进混凝土用砂；二是经处理后的水质能满足排放或回用于生产的要求；三是污泥的处理能达到弃渣场堆放的要求。本次评价在参考国内类似水利水电工程砂石废水处理工程实例的基础上，考虑坝址区砂石料加工系统左岸滩地用地紧张，且废水产生量较大，拟采用 DH 高效净化器法。

b. 废水处理系统污泥处理工艺

砂石料系统废水量大、悬浮物浓度高，废水处理后的污泥处理是系统正常运行的关键。大型水利水电工程砂石加工废水污泥的处理通常采用自然干化和机械干化两种形式。自然干化一般采用污泥干化池；机械干化多采用压滤脱水或离心脱水，将沉淀池内的污泥用泵直接抽至压滤机进行机械脱水，压滤后的干污泥运至弃渣场，滤液可直接回用。考虑到污泥干化池占地大，而机械干化处理效率高，管理方便，可节省土建费用和占地面积，且机械设备布置不受地形条件限制，拆装灵活，重复利用率较高。因此，坝址区砂石冲洗废水处理系统的污泥处理采用机械脱水方案。

③工艺设计参数

坝址区砂石冲洗废水处理系统工艺设计参数详见表 16.1.4-16。

表 16.1.4-16 坝址区砂石冲洗废水处理系统工艺设计参数

序号	构筑物名称	主要工艺参数
1	石粉回收装置	设计去除率 60%
2	调节池	停留时间约 20min
3	DH 高效污水净化器	设计去除率 99.8%，停留时间约 0.5h
4	清水池	停留时间约 1h

④主要构筑物和设备

坝址区砂石冲洗废水处理系统主要构筑物详见表 16.1.4-17；坝址区砂石冲洗废水处理系统主要设备详见表 16.1.4-18。

表 16.1.4-17 坝址区砂石加工系统废水处理系统主要构筑物一览表

废水处理系统	构筑物名称	数量(座)	尺寸(m)	结构	占地面积(m ²)	备注
坝址区砂石系统	石粉回收车间	1	20×7.5×4	钢砼	179	
	清水池	1	19×15×4	钢砼	320	
	加压泵站	1	17×10×5	砖混	198	
	脱水车间	1	28×16×5.5	框架	493	一层

废水处理系统	构筑物名称	数量(座)	尺寸(m)	结构	占地面积(m ²)	备注
	渣浆泵房	1	18×10×6.8	钢砼	209	
	调节池	1	12×12×3.5	钢砼	169	
	加药间	1	13×5×3.5	砖混	84	
注：水池超高均为 0.3m。						

⑤ 占地面积

本工程坝址区砂石冲洗废水处理系统就近布置于砂石加工系统旁，构筑物利用砂石加工系统附近空地布置，占地面积约 5000m²。

表 16.1.4-18 坝址区砂石冲洗废水处理系统主要设备一览表

废水处理系统	设备名称	型号	单位	数量	单台功率(kW)	备注
坝址区砂石系统	石粉回收装置	VDS512-4	套	3	7.4	每套配置 8 个 10 英寸旋流器
	DH 高效污水净化器	DH-SSQ-250	台	6	/	
	高效混凝混合器	DH-HNQ-250	台	6	/	
	加药系统	DHJ-250	套	1	/	
	渣浆泵	GMZ100-35-250	台	8	55	6 用 2 备

⑥ 处理效果分析

DH 高效污水净化器处理效率能达 98%，出水水质中悬浮物浓度可以满足坝址区砂石料冲洗的用水要求。由于坝址区砂石料加工系统废水高峰期产生量小于系统用水量，因此坝址区砂石料加工系统废水全部回用是可行的。

4) 基坑废水处理措施

① 设计目标

本工程基坑废水来自于坝址施工区，基坑废水水质相对较好，经沉淀后，排放标准执行《污水综合排放标准》（GB8978—1996）表 4 中的一级标准，悬浮物排放浓度为 70mg/L 以下。

② 处理工艺

根据水利水电项目基坑废水的处理实践，本次评价建议向基坑内投加絮凝剂（可采用聚合氯化铝或者聚丙烯酰胺），排水静置 2h 后抽出排放，剩余污泥定期人工清理，该处理方法技术合理，经济指标优越。经处理后的出水 SS 排放浓度为 70mg/L 以下，满足《污水综合排放标准》（GB8978—1996）表 4 中的一级标准，可达标排放至黄河。根据本工程基坑实际排水量，初期排水需配备排水泵（型号 14Sh-19，流量 1260m³/h，扬程 26m）17 台，经常性排水需配备同型号排水泵 10 台，以及配套的加药系统（含混

合池、加药泵）、控制柜和管阀等。

16.1.4.3 料场施工区废污水处理措施

(1) 生活污水处理措施

1) 处理目标

料场区生活污水排放量较小，且生活区及附近施工道路所需洒水降尘水量需求较大，因此本次建议料场区生活污水经污水处理设备处理后全部回用，不外排，污水处理标准执行《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）中绿化、洒扫标准。

2) 处理方案比选论证

针对料场区施工生活污水的处理，也进行了方案的比选，与皮带机线路的比选内容相同，具体见表 16.1.4-1。

从比选结果可知，三种方案均可以满足出水水质目标，但一体化污水处理不需专人管理，运行成本较低，考虑到料场区生活污水排放将贯穿整个主体工程施工期，因此建议采用一体化地埋式污水处理设备处理料场区生活污水，处理后的生活污水全部回用于生活区或施工区洒水抑尘及绿化，不外排。

3) 处理工艺流程及设计参数

本工程料场施工区距离坝址区较远，拟单独采用一体化地埋式生活污水处理工艺，与坝址区生活污水处理工艺相同，具体工艺流程见图 16.1.4-1，工艺设计参数详见表 16.1.4-3，处理设施设计参数见表 16.1.4-19。

表 16.1.4-19 料场施工生活区生活污水处理设施设计一览表

污染源位置	污水产生量 (m³/d)	污水设计量 (m³/d)	环保厕所 (座)	一体化污水处理设备规模 (m³/d)
西礅口料场生活区	160	192	10	200

4) 污水处理主要构筑物及设备

料场区一体化污水处理设备规模为 200m³/d，主要设备包括格栅渠、隔油池、化粪池等，详见表 16.1.4-20。

5) 占地面积

根据一体化污水处理系统构筑物尺寸、工艺流程和拟设计的平面布置情况，料场区生活污水处理设施占地面积约为 100m²。

表 16.1.4-20 料场区生活污水处理系统主要构筑物及设备一览表

污水处理规模	设备名称	尺寸 (m)	备注
一体化污水处理 200m ³ /d	格栅渠	2.0×0.6×1.5	选用 RSD-500×2000×5
	隔油池	1.5×1.0×3.7	GG-1SF
	化粪池	6.48×3.24×7	G10-100QF
	调节池	6.0×6.0×4	/
	WSZ-AO 一体化设备	占地 100m ² 左右	WSZ-F-10~25, 3L21WD 型风机 4 台, 功率为 2.2kW, AS10-2CB 型水泵 4 台, 功率 1.1kW
	污泥池	4.0×3.0×2.5	/
	污泥干化池	4.0×3.0×2.5	滤料 25.0m ³
	回用水池	8.0×4.0×3.5	回用水泵 1 台

6) 污水处理可行性分析

西磴口料场区远离坝址区，需单独建设污水处理设施；WSZ-AO 系列污水处理设施运行稳定，技术成熟，广泛应用于生活污水处理，处理出水经过消毒处理后一般可以达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）中绿化、洒扫标准，因此选择一体化地埋式生活污水处理工艺是可行的。

根据料场区砂石料加工系统及集中开挖区域洒水需求，需至少配置 4 台规格为 10t 的洒水车，非雨日每日洒水 2 次~4 次，用水需求为 80m³/d ~160m³/d，同时料场生活区绿化及场内施工道路沿线绿化需水量约为 100m³/d，上述道路抑尘和绿化需水量大于料场生活区生活污水排放量 160m³/d；冬季或雨季绿化用水需求量较小时段通过 10 个容积为 20t 的塑料储水罐进行收集储存，在干燥多风天气加大施工区域道路抑尘洒水频次，因此料场施工区生活污水处理后可以完全回用，不外排。综上，料场区生活污水回用于施工生活区、施工作业面、施工道路等区域，可以节约水资源，降低施工成本，因此料场区生活污水处理后全部回用于施工生产生活区是可行的。

(2) 其它施工作业面生活污水处理措施

料场区施工开挖作业面范围较大，开采作业面和砂石料加工系统距离施工生活区较远，为了充分收集生活污水及粪便，防止料场区产生的分散污水对环境的不利影响，在料场区的砂石加工系统区、开采作业面等共修建 8 座环保厕所，定期清运至料场区生活污水处理设施，处理后用于农田或林草灌溉。

(3) 生产废水处理措施

1) 机械修配系统废水处理措施

①处理目标

本工程机械修配系统含油废水经处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》

(GB/T 18920-2020) 中相应标准后, 回用于车辆冲洗、洒水降尘。

②方案选择

根据料场区机械修配合油废水的水量、产生时段、废水特点以及出水水质要求, 选取 4 种处理方案进行比选分析, 与坝址区机械修配合油废水比选内容相同, 详见表 16.1.4-13。回用水对水质要求较高, 评价推荐采用油水分离效果好, 油分回收率和去除率高的成套油水分离器进行处理, 处理达标后回用于料场施工区车辆冲洗、道路洒水降尘。

③方案设计

结合设计参数综合考虑, 确定本次料场区机械修配合油废水处理设备设计处理能力为 75m³/d。具体构筑物及占地面积见下表。

表 16.1.4-21 料场区机械修配系统废水处理系统主要构筑物一览表

序号	构筑物名称	数量 (座)	规模	占地面积 (m ²)
1	调节池	1	10m×5m×3.5m	50
2	提升泵	2	/	
3	油水分离器	1	75m ³ /d	
4	回用水池	1	10m×5m×3.5m	

④可行性分析

成套油水分离器处理水利工程生产区含油废水在国内各大型水利水电工程中均有采用, 废水处理后可达到相应标准。

2) 砂石料加工系统废水处理措施

①处理目标

从水资源合理利用和保护环境角度考虑, 本工程料场施工区砂石冲洗废水按《水电工程砂石加工系统设计规范》(NB/T 10488-2021) 规定, 处理后满足回用于料场区砂石系统生产的要求进行设计, 不外排。

②处理工艺选择

a. 废水处理工艺

选取絮凝自然沉淀法、混凝沉淀法、DH 高效污水净化器等 3 种方案进行工艺及技术经济比较。具体见表 16.1.4-15。

在参考国内类似水利水电工程砂石废水处理工程实例的基础上, 料场区砂石料加工系统因场地范围大, 废水产生量较小, 拟采用辐流式混凝沉淀法。

b. 废水处理系统污泥处理工艺

根据废水处理系统污泥处理工艺，料场区砂石冲洗废水处理系统的污泥处理同坝址区一致，采用机械脱水方案。

③工艺设计参数

料场区砂石冲洗废水处理系统工艺设计参数详见表 16.1.4-22。

表 16.1.4-22 料场区砂石冲洗废水处理系统工艺设计参数

序号	构筑物名称	主要工艺参数
1	石粉回收装置	设计去除率 60%
2	辐流沉淀池	设计去除率 99.5%，停留时间约 8h
3	清水池	停留时间约 1h
4	回用水池	停留时间约 1h

④主要构筑物和设备

料场区砂石冲洗废水处理系统主要构筑物详见表 16.1.4-23。

表 16.1.4-23 料场区砂石加工系统废水处理系统主要构筑物一览表

废水处理系统	构筑物名称	数量(座)	尺寸(m)	结构	占地面积(m ²)	备注
料场区砂石系统	石粉回收车间	1	10×7.5×4	钢砼	94	
	辐流沉淀池	2	Φ25×6.8	钢砼	1145	
	清水池	1	10×9×4	钢砼	110	
	回用水池	1	10×9×4	钢砼	110	
	加压泵站	1	15×4×5	砖混	80	
	脱水车间	1	21.8×7.5×5.5	框架	194	一层
	渣浆泵房	1	13×5×6.8	钢砼	84	
	配水井	1	2×2×1.6	钢砼	9	
	加药间	1	7×4×3.5	砖混	40	

注：水池超高均为 0.3m。

料场区砂石冲洗废水处理系统主要设备详见表 16.1.4-24。

表 16.1.4-24 料场区砂石冲洗废水处理系统主要设备一览表

设备名称	型号	单位	数量	单台功率(kW)	备注
石粉回收装置	VDS512-4	套	1	12	配置 8 个 10 英寸旋流器
渣浆泵	GMZ100-35-250	台	3	55	2 用 1 备
厢式压滤机	XMZ500/1500	台	5	5.5	4 用 1 备
清水泵	IS150-125-160	台	4	23.5	3 用 1 备
周边传动全桥刮泥机	ZBGS-25	套	2	0.55	
渣浆泵	80ZD-36	台	4	19	2 用 2 备
电磁流量计	DN200	台	3	/	2 用 1 备
SS 在线测定仪	ZY-7200	台	3	/	2 用 1 备

⑤占地面积

本工程料场区砂石冲洗废水处理系统就近布置于砂石料加工系统附近，构筑物利用砂石加工系统附近空地进行布置，占地面积约为 2000m²。

⑥处理效果分析

一般情况下辐流式混凝沉淀法处理效率能达到 98%，出水水质中悬浮物浓度可以

满足料场区砂石料冲洗的用水要求。由于料场区砂石料加工系统废水高峰期产生量小于系统用水量，施工过程中仍需与新鲜水混合后回用于砂石料加工系统，因此料场区砂石料加工系统废水全部回用是可行的。

16.1.4.4 维护管理

(1) 皮带机线路施工区、坝址施工区、料场施工区的生活污水处理设施进行统一管理、统一维护。

(2) 至少设立一名专业管理人员，在上岗前由一体化地埋式生活污水处理设施、污水处理站等生产厂家进行技术培训。

(3) 操作人员应严格按照操作技术规程，进行正确的操作和定期的维护，发现问题及时向建设单位和环境管理部门汇报。

(4) 加强环境保护宣传，食堂产生的废污水经油水分离器处理后，优先供给当地居民家养的牲畜，进行综合利用，减少污水产生量；经过处理后的生活污水，用于农田、绿化灌溉。

16.2 环境空气影响分析与保护措施

16.2.1 环境空气现状调查与评价

为了解工程影响区域的环境空气质量现状，评价单位于 2022 年 11 月 19 日~25 日对工程施工区域的环境空气质量进行了现场监测和采样分析。

16.2.1.1 监测点位、监测项目及频次

(1) 监测点位布设

根据古贤水利枢纽工程布局以及污染源分布、环境空气功能区划、环境空气保护目标的分布等，在施工区域附近的古贤村、中市村、壶口瀑布景区、东庄小学、西磴口村等布设 5 个监测点位，对其环境空气质量进行了现场监测，其中中市村、壶口瀑布景区 2 个监测点位于环境空气一类功能区，古贤村、东庄小学和西磴口村 3 个监测点位位于环境空气二类功能区，详见表 16.2.1-1、图 16.2.1-1。

(2) 监测项目及监测频次

现状监测主要监测项目为 SO₂、NO₂、CO、TSP、PM₁₀ 和 PM_{2.5}，其中 NO₂、SO₂、CO 监测小时值和日均值，TSP、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 监测日均值，共监测 7 天，详见表 16.2.1-2。

表 16.2.1-1 古贤水利枢纽工程环境空气及噪声监测点位设置一览表

点位编号	监测点位名称	纬度	经度	所属工程区域
1	古贤村	N36°20'12"	E110°53'26"	坝址区
2	中市村	N36°9'27"	E110°29'8"	进场道路和皮带线路区
3	壶口瀑布景区	N36°6'12"	E110°27'53"	
4	东庄小学	N35°53'34"	E110°39'17"	
5	西磴口村	N35°43'12"	E110°43'8"	料场区

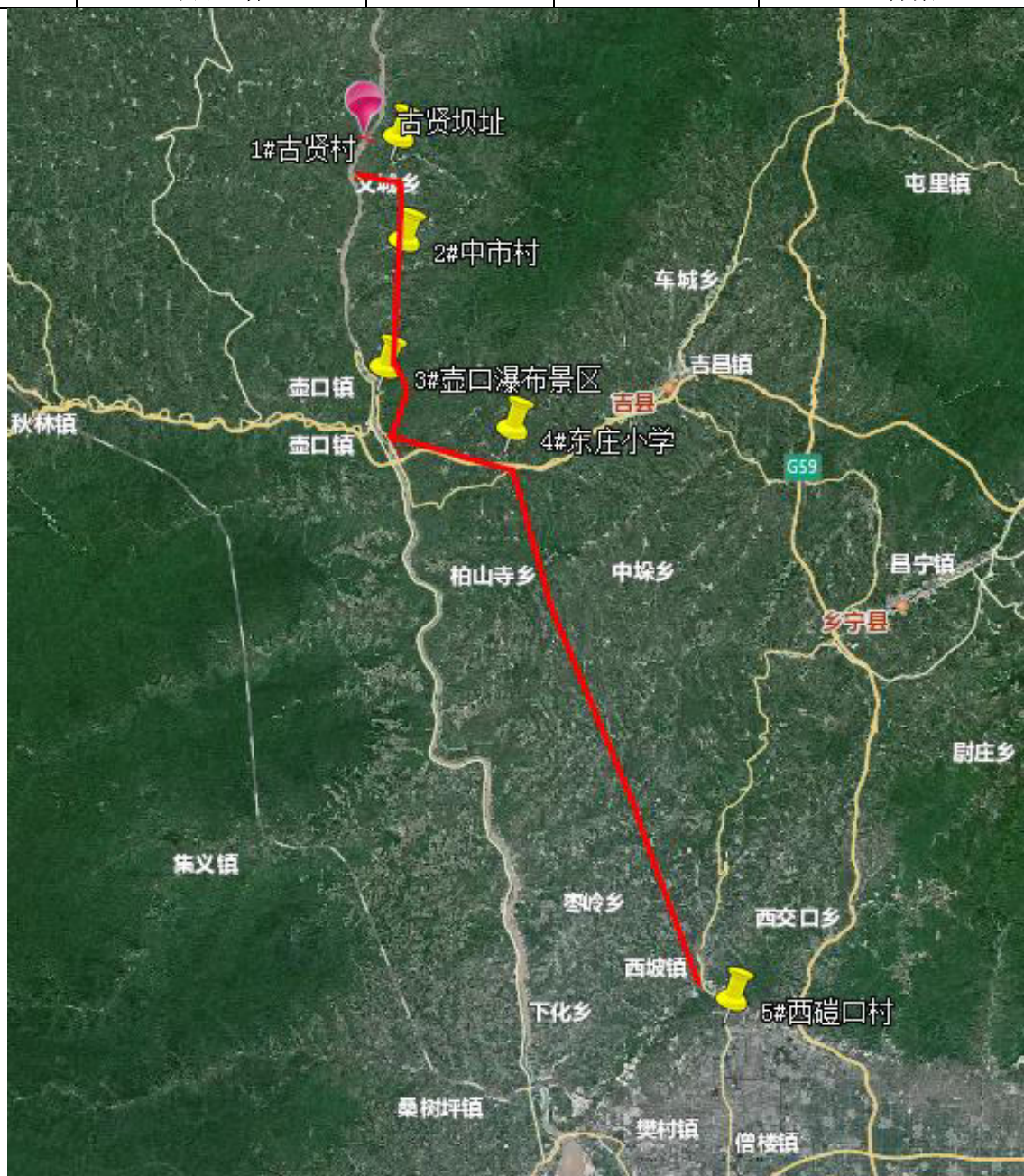


图 16.2.1-1 环境空气及声环境质量现状监测点位布设示意图

表 16.2.1-2 古贤水利枢纽工程环境空气监测时间及频率一览表

监测因子	监测项目	监测频率
SO ₂	日平均	连续监测 7 天，每日采样至少 20h
	一小时平均	每日 4 次，07:00、14:00、19:00、02:00，每次至少 45min
NO ₂	日平均	连续监测 7 天，每日采样至少 20h
	一小时平均	每日 4 次，07:00、14:00、19:00、02:00，每次至少 45min
CO	日平均	连续监测 7 天，每日采样至少 20h
	一小时平均	每日 4 次，07:00、14:00、19:00、02:00，每次至少 45min
TSP	日平均	连续监测 7 天，每日连续采样 24h
PM ₁₀	日平均	连续监测 7 天，每日采样至少 20h
PM _{2.5}	日平均	连续监测 7 天，每日采样至少 20h

16.2.1.2 监测结果及评价

古贤村、中市村、壶口瀑布景区、东庄小学、西礅口村 5 个监测点的环境质量现状监测结果见表 16.2.1-3。

表 16.2.1-3 工程区环境空气质量监测结果单位：mg/m³

监测项目	时间范围	古贤村	中市村	壶口瀑布景区	东庄小学	西礅口村
SO ₂	小时平均值	0.01~0.028	0.008~0.019	0.008~0.014	0.010~0.020	0.010~0.023
	标准限值	0.5	0.15	0.15	0.5	0.5
	达标情况	达标	达标	达标	达标	达标
	日均值	0.012~0.024	0.009~0.016	0.009~0.013	0.013~0.015	0.011~0.020
	标准限值	0.15	0.05	0.05	0.15	0.15
	达标情况	达标	达标	达标	达标	达标
NO ₂	小时平均值	0.014~0.028	0.015~0.025	0.013~0.022	0.018~0.029	0.018~0.026
	标准限值	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	达标情况	达标	达标	达标	达标	达标
	日均值	0.018~0.024	0.017~0.020	0.014~0.018	0.019~0.023	0.018~0.022
	标准限值	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	达标情况	达标	达标	达标	达标	达标
CO	小时平均值	0.2~1.4	0.3~1.0	0.3~0.9	0.3~0.9	0.3~1.0
	标准限值	10	10	10	10	10
	达标情况	达标	达标	达标	达标	达标
	日均值	0.4~1.0	0.6~0.7	0.5~0.9	0.5~0.7	0.5~1.0
	标准限值	4	4	4	4	4
	达标情况	达标	达标	达标	达标	达标
TSP	日均值	0.109~0.159	0.120~0.157	0.042~0.108	0.140~0.169	0.102~0.166
	标准限值	0.3	0.12	0.12	0.3	0.3
	达标情况	达标	不达标	达标	达标	达标
PM ₁₀	日均值	0.074~0.119	0.063~0.121	0.026~0.044	0.098~0.118	0.063~0.124
	标准限值	0.15	0.05	0.05	0.15	0.15
	达标情况	达标	不达标	达标	达标	达标
PM _{2.5}	日均值	0.038~0.056	0.031~0.062	0.013~0.028	0.032~0.055	0.028~0.063
	标准限值	0.075	0.035	0.035	0.075	0.075
	达标情况	达标	不达标	达标	达标	达标

从监测结果可以看出,本次 5 个点位连续 7 天的 SO₂、NO₂ 和 CO 的小时平均浓度、日平均浓度均能满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012)的质量要求; TSP、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 日平均浓度仅中市村不达标, 其余 4 个点位均达标。

本工程坝址及其它施工区域附近无大型工业企业分布, 不存在大型、集中大气污染源, 中市村 TSP、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 监测值超标原因主要是和村庄冬季取暖有关。

16.2.2 环境空气影响源项及预测情景分析

工程施工期环境空气污染主要来自机动车辆和施工机械排放的燃油尾气、道路开挖、爆破、砂石料加工系统粉尘、混凝土拌和系统粉尘、作业面扬尘以及交通运输的扬尘等。根据工程分析, 不同施工区域环境空气影响源项分析详见表 16.2.2-1。

表 16.2.2-1 不同施工区域环境空气影响源项分析

施工区域	废气类型	废气来源	污染物类型及排放强度	敏感目标	影响时段
皮带机线路施工区	爆破粉尘及废气	隧洞开挖爆破	NO _x 、CO、其它有害气体排放量分别为 22.14t、60.54t、9.06 万 m ³	东庄小学	工程筹建期、施工准备期第 1 年
	施工作业面粉尘	隧洞口、弃渣场	粉尘 19.44×10 ⁻⁵ g/s.m ²		
	机械燃油废气	大型燃油机械设备及混凝土、物料运输等车辆	NO ₂ 、CO、SO ₂ 、碳氢化合物分别为 646.7t、393.29t、47.19t、64.67t		
	交通扬尘	施工行驶车辆	扬尘 21.32kg/km.h		
坝址施工区	爆破粉尘及废气	大坝及施工隧洞开挖爆破	NO _x 、CO、其它有害气体排放量分别为 119.11t、325.65t、48.75 万 m ³	古贤村	主体工程 施工期, 主要集中在第 3~5 年
	砂石骨料加工系统粉尘	砂石骨料加工系统	195kg/h		
	混凝土拌合系统粉尘	混凝土拌合系统	950kg/h		
	施工作业面粉尘	隧洞口、弃渣场、坝基、导流洞开挖	粉尘 19.44×10 ⁻⁵ g/s.m ²		
	机械燃油废气	大型燃油机械设备及混凝土、物料运输等车辆	NO ₂ 、CO、SO ₂ 、碳氢化合物分别为 4353.14t、2647.37t、317.68t、435.31t		
	交通粉尘	施工行驶车辆	扬尘 149.24kg/km.h		
料场施工区	爆破粉尘及废气	料场开采爆破	NO _x 、CO、其它有害气体排放量分别为 183.24t、501t、75 万 m ³	西礅口村、赵家圪垛、张家岭村等居民点	
	砂石骨料加工系统粉尘	砂石骨料加工系统	230kg/h		
	施工作业面粉尘	料场开采、弃渣场	粉尘 19.44×10 ⁻⁵ g/s.m ²		
	机械燃油废气	大型燃油机械设备及混凝土、物料运输等车辆	NO ₂ 、CO、SO ₂ 、碳氢化合物分别为 1867.7t、1135.85t、136.3t、186.77t		
	交通粉尘	施工行驶车辆	扬尘 17.22kg/km.h		

皮带机线路施工区废气产生量较小, 产生时段较短, 主要集中在筹建期第 2 年及施工准备期第 1 年; 坝址施工区和料场施工区产生废气量较大, 且时间段较长。上述施工

区域周边均分布有村庄、学校，产生的废气会直接影响村庄居民或学生，但通过采取洒水、降尘等措施后，上述区域施工废气浓度会大幅度降低，可减小施工期对敏感对象的不利影响。基于上述排放源项确定，类比同类水利工程，定性分析施工废气对区域环境空气及敏感保护目标的影响。

16.2.3 环境空气影响分析

16.2.3.1 皮带机线路施工区环境空气影响分析

（1）机械燃油废气影响分析

机械燃油废气主要来自于皮带机线路施工区大型燃油机械设备及混凝土、物料运输车辆等，主要污染物为 NO_2 、 CO 、 SO_2 、碳氢化合物等燃油废气。由于运输车辆废气沿交通路线沿程排放，施工机械废气基本以点源形式排放，废气排放具有不连续性。根据同类水利工程施工场地大气污染物的监测结果， CO 和 NO_x 在空气中的浓度很低，施工机械和施工车辆排放的废气不会对当地大气环境质量产生较大影响。

结合进场道路和皮带机线路施工布置，大多数施工区域地处黄土塬上的农村开阔地区，空气扩散条件较好，2013 年国务院发布的《大气污染防治行动计划》提出“加强机动车环保管理，全国提供符合第五阶段标准的车用汽油和柴油”，目前油品质量较高，施工机械和运输车辆的性能和环保设计已有了很大程度的改良，施工机械和车辆在运行过程中机械废气均可达标排放，因此施工机械和运输车辆产生的废气对周围环境影响不大。

（2）施工爆破粉尘影响分析

皮带机线路施工区施工爆破粉尘主要来自于进场道路和皮带机线路平行段的路基开挖、隧洞进出口钻爆开挖，爆破时会产生粉尘和 CO 、 NO_x 等有害气体，爆破具有瞬时性、间歇性，且非连续性排放。随着爆破技术的发展，目前爆破粉尘及废气一次排放量比较小，且粉尘颗粒直径较大，沉降速度较快，影响范围主要集中在爆破源附近，因此对周边环境的影响短暂。

（3）交通粉尘影响分析

交通扬尘主要来源于皮带机线路区施工车辆行驶，交通扬尘在受风力作用下将会对施工现场及周围环境空气产生影响。

根据相关资料，交通运输扬尘影响程度与路面种类、天气状况以及汽车运行速度、载重量等因素有关。参考《金沙江乌东德水电站工程环境影响报告书》（长江水资源保护所，2015 年），根据其它工程公路施工期不同阶段扬尘监测结果可知，除路面施工、桥梁浇筑、桥台修建、爆破施工外，其余各施工阶段距离公路边界 20m 以外 PM_{10} 日均值均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准；TSP 除在路面施工段有超标外，其余施工段均无超标影响。据交通部公路所对京津塘高速公路施工期运输车辆扬尘的监测，下风向 150m 处，TSP 浓度 $5.093mg/m^3$ ，超过《环境空气质量标准》

（GB3095-2012）中二级标准，风速大时污染影响范围将增大。交通运输产生的扬尘影响范围一般在宽 10m~50m、高 4m~5m 的空间内，3min 后较大颗粒即沉降于地面，微细颗粒（所占比重较小）在空中停留时间较长。根据国内公路施工和环境影响评价经验，洒水可有效地抑制扬尘量。

本工程道路设计时已考虑交通扬尘影响情况，进场道路采用水泥混凝土路面，场内施工道路均采用泥结碎石路面，设计时速较低，可较好地减少扬尘产生。进场道路和皮带线路隧洞和桥梁较多，施工高峰时段为筹建期的第 2 年以及施工准备期的第 1 年，此时施工场地周边粉尘浓度可能较高。

（4）施工作业面粉尘影响分析

皮带线路施工过程中如隧洞口土石方开挖、混凝土拌和系统、弃渣等均会产生一定的粉尘，在干燥的天气情况下，特别在大风时容易产生扬尘，这些粉尘随风飞扬会影响周围环境空气质量，并使大气能见度降低，也会直接危害现场施工人员及附近村庄居民的健康和生活。由于皮带线路施工作业面较为分散，且采用 TBM 隧道掘进机和强制式搅拌机，粉尘产生量很小。根据工程施工组织设计，本工程筹建期土石方开挖及填筑集中在筹建期 1.5 年，产生时间段较短，在采取降尘措施、合理安排施工时段情况下，不会对区域环境空气以及皮带线路 12#渣场作业面附近的东庄小学环境空气产生较大影响。

16.2.3.2 坝址施工区环境空气影响分析

（1）机械燃油废气影响分析

根据同类水利工程施工场地大气污染物的监测结果，CO 和 NO_x 在空气中的浓度很

低，坝址施工区施工机械和车辆废气排放基本不会对当地大气环境质量产生较大影响，且坝址区施工区域地处黄河两岸滩地以及黄土塬上的农村开阔地区，空气扩散条件较好，因此施工机械和运输车辆产生的废气对坝址区域周围环境造成影响不大。

(2) 施工爆破粉尘及废气影响分析

坝址区地处农村区域，环境空气质量现状较好。坝址施工区域 200m 范围内不涉及村庄，大坝施工作业面东侧约 2km 处分布有古贤村，施工爆破废气及粉尘排放可能会对古贤村居民生活环境产生影响。大坝施工区常年主导风向为北风，次主导风向为东北风，距离坝址约 2km 处的古贤村位于坝址东侧，因此坝体开挖爆破产生的粉尘及废气基本不会对古贤村产生影响。

由于坝址施工区域处于山谷地形，受地形影响，工程施工爆破时须注意山谷风转换时段，制定严格的爆破规程，严格控制爆破规程、爆破时间及方式，爆破时采取有效隔离措施等，将爆破粉尘及废气对古贤村及施工人员的影响降至最低。

(3) 砂石料加工系统粉尘影响分析

1) 污染源分析

坝址区砂石料加工系统采用半干法生产工艺。砂石料加工系统产生的主要污染物为粉尘（TSP），污染源主要有预筛车间、主筛车间、成品骨料胶带机等，骨料露天堆放亦会产生一定扬尘。根据污染源分析，坝址区砂石料加工系统粉尘排放源强为 195kg/h。通过采取先进、湿法低尘破碎工艺，并配备石粉回收装置，粉尘的排放量将减少 94% 以上，后续采用砂石料生产线专用脉冲式布袋除尘器，除尘效率可达到 99%，坝址区砂石加工系统 TSP 排放强度为 0.12kg/h。坝址区砂石料加工系统粉尘排放速率详见表 16.2.3-1。

表 16.2.3-1 坝址区砂石料加工系统粉尘（TSP）无组织污染源排放情况

污染源	排放高度 (m)	面源长度 (m)	面源宽度 (m)	粉尘排放速率 (g/s)	
				正常工况	非正常工况
砂石料加工系统	10	400	250	0.03	54.17

2) 预测分析

采用《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018）推荐的 SCREEN3 估算模式对坝址区砂石料加工系统粉尘污染排放进行预测分析。预测因子选取粉尘（TSP），预测时段选取施工高峰时段，分析最不利气象条件下，坝址区砂石料加工系统无组织排

放对该区域环境空气的影响距离和影响程度，预测结果见表 16.2.3-2、图 16.2.3-1 和图 16.2.3-2。

表 16.2.3-2 坝址区砂石料加工系统粉尘（TSP）无组织排放污染物影响预测结果

距离（m）	正常工况下（除尘措施落实）		非正常工况下（不采取除尘措施）	
	浓度（mg/m ³ ）	占标率（%）	浓度（mg/m ³ ）	占标率（%）
10	0.002198	0.24	3.968	440.89
100	0.003141	0.35	5.671	630.11
200	0.00413	0.46	7.457	828.56
300	0.005228	0.58	9.441	1049
400	0.005887	0.65	10.63	1181.11
500	0.005867	0.65	10.59	1176.67
600	0.006154	0.68	11.11	1234.44
662	0.006203	0.69	11.2	1244.44
700	0.006187	0.69	11.17	1241.11
800	0.006046	0.67	10.92	1213.33
900	0.005837	0.65	10.54	1171.11
1000	0.005608	0.62	10.13	1125.56
1500	0.005379	0.6	8.244	916
2000	0.005157	0.57	6.842	760.22
2500	0.00495	0.55	5.804	644.89

注：TSP 的 1h 平均取样时间的二级标准质量浓度取其日平均浓度标准值的 3 倍，即为 0.9mg/m³。

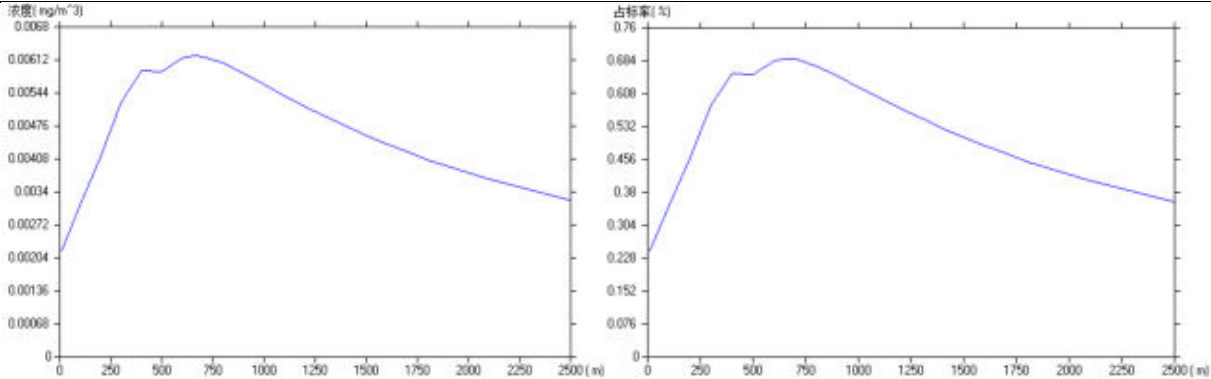


图 16.2.3-1 坝址区砂石料加工系统正常工况下浓度、占标率分布图

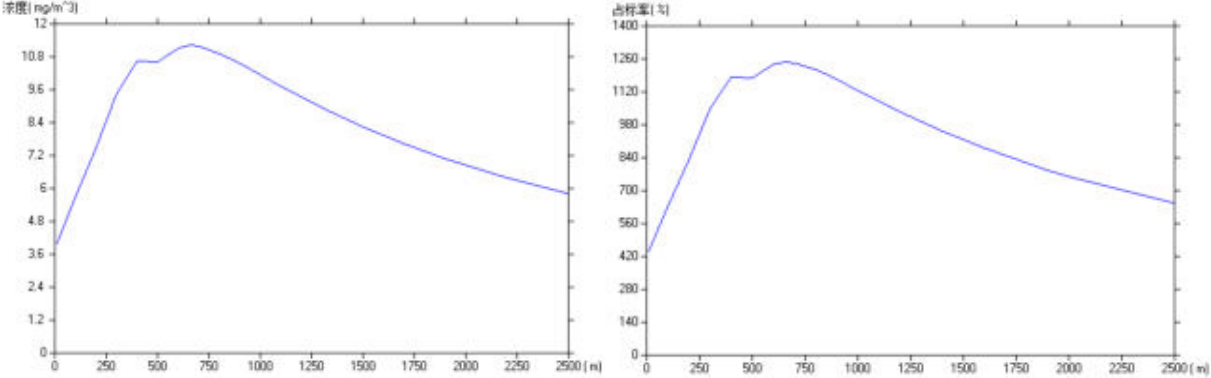


图 16.2.3-2 坝址区砂石料加工系统非正常工况下浓度、占标率分布图

由表16.2.3-1可知，在未采取任何粉尘控制措施的非正常工况下，坝址区砂石加工系统粉尘（TSP）最大一次落地浓度为11.2mg/m³，占标率为1244.44%，对周边区域环

境空气的不利影响较大。在采用湿法工艺、洒水降尘、密闭破碎等粉尘防治措施后，正常工况下，坝址区砂石加工系统粉尘（TSP）最大一次落地浓度为0.006mg/m³，占标率为0.69%，对应的距离为662m，砂石料加工系统厂界外不超标，对周围大气环境质量影响较小。

(4) 混凝土拌和系统粉尘及废气影响分析

1) 污染源分析

坝址区临时工程设计混凝土拌和系统内配置一座HZ150-1Q3000型拌和楼，额定生产能力为150m³/h，设计生产能力为115m³/h，大坝主体工程区设置4座混凝土拌和系统，各系统内均配置3台HL360-4F4500自落式拌和楼，系统综合生产能力950m³/h。以大坝主体工程左岸低线混凝土拌和系统为例，粉尘排放速率为2074.8kg/h；混凝土拌合系统中骨料通过胶带密闭运输，搅拌罐等粉尘产生节点上方设有集气罩，粉尘经集气罩收集后经用旋风除尘器一级除尘，先分离粗颗粒，除尘效率高达90%；再用袋式除尘器进行二级除尘，除尘效率可达99.9%，最终粉尘排放速率为0.21kg/h。

表 16.2.3-3 坝址区混凝土拌和系统粉尘（TSP）无组织污染源排放情况

污染源	排放高度 (m)	面源长度 (m)	面源宽度 (m)	粉尘排放速率 (g/s)	
				正常工况	非正常工况
左岸低线 混凝土拌和系统	10	300	200	0.06	60

2) 预测分析

采用《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018）推荐的SCREEN3估算模式对坝址区混凝土拌合系统粉尘排放污染物进行预测分析。预测因子选取坝址区左岸低线混凝土拌和系统产生的粉尘（TSP），预测时段选取施工高峰时段，分析最不利气象条件下，混凝土拌和系统无组织排放对该区域环境空气的影响距离和影响程度，结果见表16.2.3-4、图16.2.3-3和图16.2.3-4。

表 16.2.3-4 坝址区混凝土拌和系统粉尘（TSP）无组织排放污染物影响预测结果

距离 (m)	正常工况下（除尘措施落实）		非正常工况下（不采取除尘措施）	
	浓度 (mg/m ³)	占标率 (%)	浓度 (mg/m ³)	占标率 (%)
10	0.005516	0.61	52.98	5886.67
100	0.008586	0.95	82.48	9164.44
200	0.01172	1.3	112.6	12511.11
300	0.01442	1.6	138.5	15388.89
400	0.01526	1.7	146.5	16277.78
500	0.01493	1.66	143.4	15933.33
600	0.01558	1.73	149.7	16633.33

距离 (m)	正常工况下 (除尘措施落实)		非正常工况下 (不采取除尘措施)	
	浓度 (mg/m ³)	占标率 (%)	浓度 (mg/m ³)	占标率 (%)
624	0.0156	1.73	149.8	16644.44
700	0.01545	1.72	148.4	16488.89
800	0.01497	1.66	143.8	15977.78
900	0.01436	1.6	138	15333.33
1000	0.01373	1.53	131.9	14655.56
1500	0.01311	1.46	105	11666.67
2000	0.01252	1.39	84.56	9395.56
2500	0.01196	1.33	69.31	7701.11

注：TSP 的 1h 平均取样时间的二级标准质量浓度取其日平均浓度标准值的 3 倍，即为 0.9mg/m³。

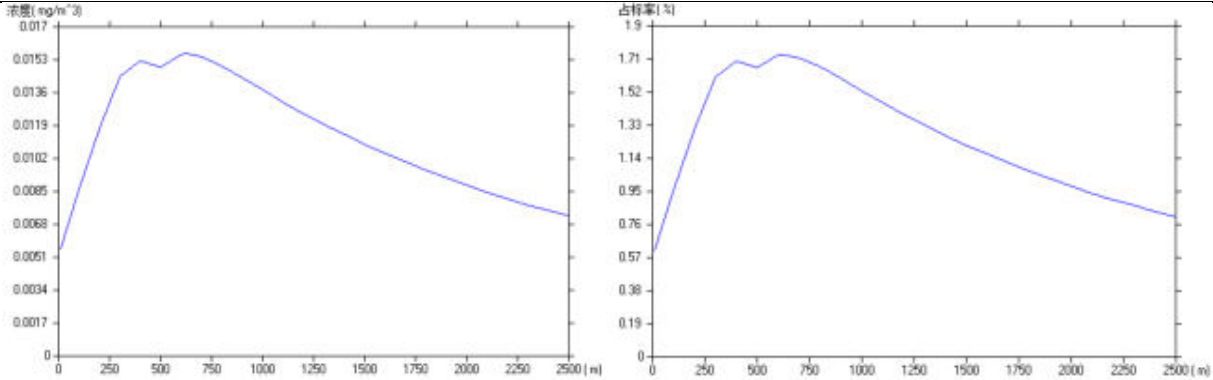


图 16.2.3-3 坝址区混凝土拌和系统正常工况下浓度、占标率分布图

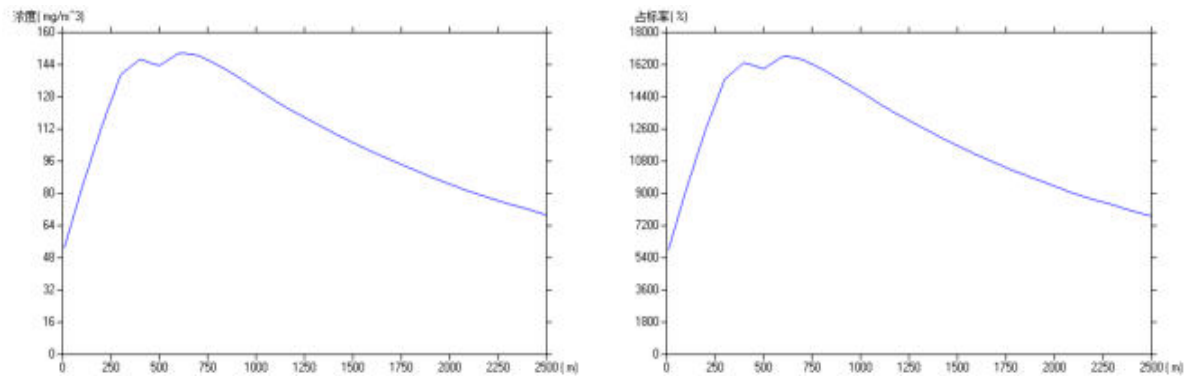


图 16.2.3-4 坝址区混凝土拌和系统非正常工况下浓度、占标率分布图

由表 16.2.3-3 可知，在无任何粉尘防治措施的非正常工况下，混凝土拌合系统粉尘（TSP）无组织排放最大一次落地浓度为 149.8mg/m³，占标率为 16644.44%，对坝址区混凝土拌和系统周边区域大气环境造成一定不利影响。在落实各项粉尘防治措施的正常工况下，坝址区左岸低线混凝土拌合系统粉尘（TSP）无组织排放最大一次落地浓度为 0.016mg/m³，占标率为 1.73%，对应的距离为 624m；混凝土拌合系统厂界外不超标，对周围大气环境质量影响较小。

（5）交通扬尘影响分析

坝址区大坝等主体工程施工期间，砂石料和大部分外来物资将会通过皮带机线路和

进场道路、场内道路运输至坝址区，物资材料及弃渣运输车辆在行驶过程中，如若加盖不严，通过桥梁路面、场内公路路面时可能会产生运输扬尘、路面扬尘等交通扬尘。根据施工布置，进场道路终点及坝后黄河大桥附近分布有 3#施工生活区和业主营地，场内道路大多紧邻施工生活区，因此交通扬尘可能会对施工人员造成一定的影响。

根据同类工程施工经验，坝址施工区交通扬尘可通过对水泥、砂石料、弃渣等运输车辆加盖篷布、车辆清洗、路面洒水降尘等措施来降低对区域环境空气影响。

（6）施工作业面粉尘影响分析

坝址区施工产生大量土石方开挖、填筑，开挖及填筑时间集中在第 3 年~5 年，在开挖和填筑的过程中会产生大量的施工粉尘，但距离坝址区最近的古贤村约 2km，相对较远且村庄位于坝址区常年主导风向的上风向，对其影响较小。坝址区砂石料加工系统、左岸高线砼系统距离坝址区 2#施工生活区分别为 300m、150m，为减缓对坝址施工区环境空气质量和施工人员的不利影响，建议坝址开挖尽量选用湿法作业，开挖后持续一定时间采用“雨鸟”设施喷水，以最大限度降低粉尘产生量。

16.2.3.3 料场施工区环境空气影响分析

（1）机械燃油废气影响分析

根据同类水利工程施工场地大气污染物的监测结果，CO 和 NO_x 在空气中的浓度很低，料场施工区施工机械和车辆废气排放基本不会对当地大气环境质量产生较大影响。结合料场区施工布置，大多数施工区域地处农村开阔地区，空气扩散条件较好，因此施工机械和运输车辆产生的废气对料场施工区域周围环境造成影响不大。

（2）施工爆破粉尘及废气影响分析

根据施工布置，料场区地处农村区域，环境空气质量现状较好。料场施工区域 200m 范围内不涉及村庄，约 2km 处分布有西磴口村、赵家圪垛、张家岭村，施工爆破废气及粉尘排放可能会对上述居民生活环境产生影响。西磴口料场所在的河津地区地处临汾盆地西南部，常年主导风向为东南风，距离料场约 2km 处的西磴口村位于料场东南方位，赵家圪垛、张家岭村位于西南方位，因此料场开采爆破产生的粉尘及废气基本不会对上述村庄产生较大影响。

（3）砂石料加工系统粉尘及废气影响分析

1) 污染源分析

料场区砂石料加工系统采用半干法生产工艺。砂石料加工系统产生的主要污染物为粉尘（TSP），污染源主要有预筛车间、主筛车间、成品骨料胶带机等，骨料露天堆放亦会产生一定扬尘。根据污染源分析，料场区砂石料加工系统粉尘排放源强为 230kg/h。通过采取先进、湿法低尘破碎工艺，并配备石粉回收装置，粉尘的排放量将减少 94% 以上，再采用砂石料生产线专用脉冲式布袋除尘器，除尘效率可达到 99%，则料场区砂石加工系统 TSP 排放强度为 0.14kg/h。料场区砂石料加工系统粉尘排放速率详见表 16.2.3-5。

表 16.2.3-5 料场区砂石料加工系统粉尘（TSP）无组织污染源排放情况

污染源	排放高度 (m)	面源长度 (m)	面源宽度 (m)	粉尘排放速率 (g/s)	
				正常工况	非正常工况
砂石料加工系统	10	300	220	0.04	63.89

2) 预测分析

采用《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018）推荐的SCREEN3估算模式对料场区砂石料加工系统粉尘排放进行预测分析。预测因子选取粉尘（TSP），预测时段选取施工高峰时段。分析最不利气象条件下，料场区砂石料加工系统无组织排放对该区域环境空气的影响距离和影响程度，结果见表16.2.3-6、图16.2.3-5和图16.2.3-6。

表 16.2.3-6 料场区砂石料加工系统粉尘（TSP）无组织排放污染物影响预测结果

距离 (m)	正常工况下（除尘措施落实）		非正常工况下（不采取除尘措施）	
	浓度 (mg/m ³)	占标率 (%)	浓度 (mg/m ³)	占标率 (%)
10	0.003447	0.38	5.505	611.67
100	0.005312	0.59	8.484	942.67
200	0.007196	0.8	11.49	1276.67
300	0.008971	1	14.33	1592.22
400	0.009527	1.06	15.22	1691.11
500	0.009319	1.04	14.88	1653.33
600	0.009741	1.08	15.56	1728.89
626	0.009755	1.08	15.58	1731.11
700	0.009665	1.07	15.44	1715.56
800	0.009369	1.04	14.96	1662.22
900	0.00899	1	14.36	1595.56
1000	0.008594	0.95	13.73	1525.56
1500	0.008206	0.91	10.92	1213.33
2000	0.007836	0.87	8.835	981.67
2500	0.007484	0.83	7.345	816.11

注：TSP 的 1h 平均取样时间的二级标准质量浓度取其日平均浓度标准值的 3 倍，即为 0.9mg/m³。

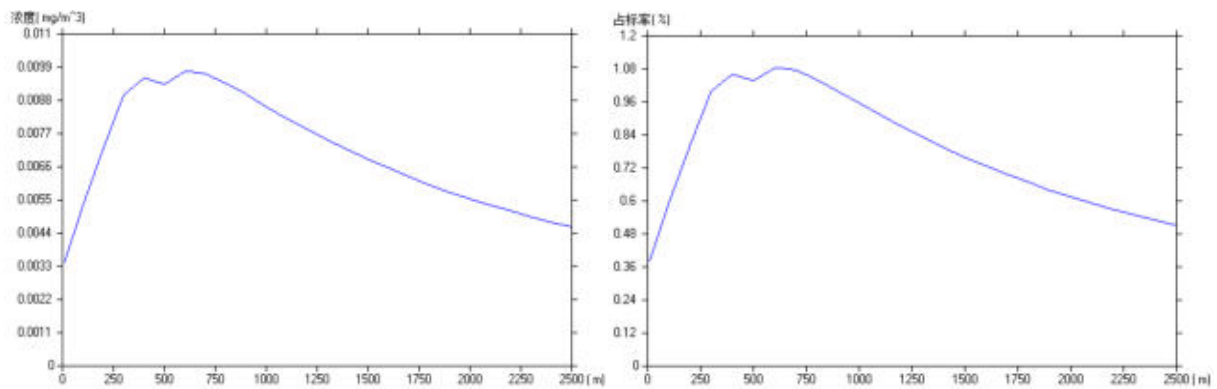


图 16.2.3-5 料场区砂石料加工系统正常工况下浓度、占标率分布图

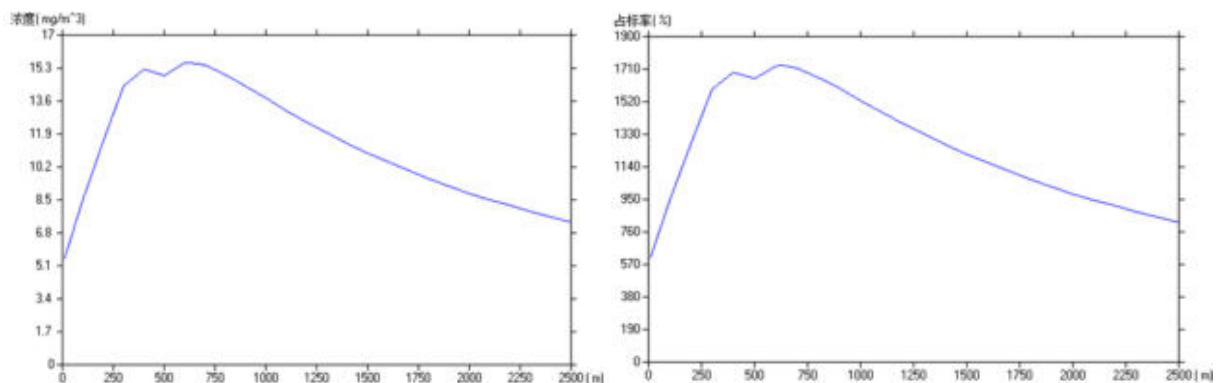


图 16.2.3-6 料场区砂石料加工系统非正常工况下浓度、占标率分布图

由表 16.2.3-5 可知，在未采取任何粉尘控制措施的非正常工况下，料场区砂石加工系统粉尘（TSP）最大一次落地浓度为 15.58mg/m^3 ，占标率为 1731.11% ，对周边区域环境空气带来一定的不利影响。在采用湿法工艺、洒水降尘、密闭破碎、袋式除尘器等粉尘防治措施后，正常工况下，料场区砂石加工系统粉尘（TSP）最大一次落地浓度为 0.0098mg/m^3 ，占标率为 1.08% ，对应的距离为 626m ，料场区砂石加工系统厂界外不超标，对周围大气环境质量影响较小。因此，必须保证除尘措施落实到位、设施正常运行。

（4）交通扬尘影响分析

料场施工区交通扬尘主要来源于运输车辆行驶，交通扬尘在受风力作用下将会对施工现场及周围环境空气产生影响。根据国内公路施工和同类工程环境影响评价经验，料场施工区交通扬尘可通过对弃渣运输车辆加盖篷布、车辆清洗、路面洒水降尘等措施来降低对区域及施工人员的影响。

（5）施工作业面粉尘影响分析

料场区需大量开采石料，距离料场区最近的西磴口村、赵家圪垛、张家岭村均约 2km ，距离相对较远，且村庄位于料场区常年主导风向的上风向，建议料场开挖尽量选

用湿法作业，开挖后持续一定时间采用“雨鸟”设施喷水，以最大限度降低粉尘产生量，采取洒水降尘措施后，基本不会对施工区域造成较大影响。

16.2.4 环境空气保护措施

16.2.4.1 皮带机线路施工区环境空气保护措施

（1）防治目标

减少施工环境空气污染物排放量，保护施工区、周边环境敏感区环境空气质量。环境空气质量满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准要求。

（2）保护措施

皮带机线路区隧道、桥梁施工过程中粉尘以及各种燃油机械、施工车辆排放的废气，对环境空气的影响范围主要是在施工区及运输公路两侧，如不采取任何处理措施，施工作业场地附近废气及粉尘含量较高，会对周边村庄居民及区域环境空气产生一定不利影响。针对不同大气污染源，提出环境空气保护措施。

1) 开挖、爆破粉尘的削减与控制

皮带机线路施工区开挖爆破粉尘主要来自于进场道路路基开挖、隧洞进出口开挖爆破。道路路基开挖爆破时应严格按施工规范要求，采取自上而下、分台阶的开挖方法，爆破时严格控制药量，严禁大范围大药量的爆破，并应采取预裂或光面爆破；隧洞进出口开挖爆破后应立即喷射混凝土，减少粉尘产生量；尽量选用产生低扬尘的工艺，钻孔施工中选用湿法作业，爆破前应对爆区充分洒水浸透，爆破后持续一定时间采用“雨鸟”设施喷水，湿润爆堆上的粉尘和石渣，以减小出渣和翻渣作业时石渣顺边坡滚落产生的扬尘。隧洞开挖时应采取洒水、通风等措施，改善扩散条件等方式减少粉尘影响。在皮带机线路施工区开挖集中区域至少配置 6 台洒水车，非雨日每日洒水 2 次~4 次，加速粉尘沉降，缩小粉尘影响时间与范围。同时为有效降低上述各施工作业面开挖爆破粉尘，还应至少配备 20 套固定式高压喷雾设备、4 台移动式高压喷雾车进行洒水降尘。

2) 混凝土搅拌系统除尘

水泥装卸作业除要求文明作业外，水泥库实行全封闭作业，加强物料管理，减少扬尘产生量，水泥运输应采用密闭式自卸运输车辆，实行口对口密闭传递；32 台混凝土搅拌机在工作过程中，应配置 32 套相应规格的袋式收尘器以及 32 套固定式高压喷雾设

备，收尘器与搅拌机同时运行，不间断洒水降尘。

3) 施工机械设备控制

皮带机线路施工区使用多为大型运输车辆，根据大气污染防治行动计划，施工工地场内禁止使用超过标准排放的施工移动机械；采用清洁能源车辆及能源效率高的施工机械设备，提高各种机械设备的使用率和满载率；施工运输车辆必须安装尾气净化器，保证尾气达标排放，降低废气污染程度；施工移动机械未安装污染控制装置或者污染控制装置不符合要求，不能达标排放的，应当加装或者更换符合要求的污染控制装置；不得使用列入淘汰范围的老旧设备，严禁购买、使用不符合国家和山西省、陕西省标准的劣质柴油；执行《机动车强制报废标准规定》，推行强制更新报废制度，发动机耗油多、效率低、排放尾气严重超标的老、旧车辆，要及时更新；燃油机械设备应选用符合国家有关环保标准的施工机械，使其排放的废气符合国家有关标准。施工机械和运输车辆使用国家最新标准的车用汽、柴油，减少大气污染物的产生；施工机械集中场地须安装尾气在线监测和视频监控设备。

4) 堆渣扬尘的削减与控制

施工所需的水泥、石灰应采用物料仓贮存，土石方临时存放时必须采取采用帆布覆盖等防风遮盖措施；皮带机线路 13 个弃渣场至少应配置 6 台移动式高压喷雾车，在弃渣运输至弃渣场进行倾倒后，及时洒水，使其表面保持一定湿度。

5) 道路运输过程除尘

①做好运输车辆的密封和车辆保洁，减少因弃渣、砂、土的撒落造成的扬尘污染。凡运送土石方、石灰、粉煤灰等道路材料的运货车，都应用蓬布或塑料布全覆盖，或用包装袋分装堆存，避免扬尘。

②施工车辆须定期清洗，减少交通扬尘影响。

③皮带机线路段施工运输车辆途经东庄小学、孟庄、南掌村等村庄；进场道路段施工运输车辆途经南村、南村坡及克难坡景区、侯家原村、留村、上市村、中市村、南原村等村庄设置限速标志，防止车速过快产生扬尘污染环境。上述村庄以及施工便道应至少配置 4 台洒水车，非雨日每日洒水 2 次~4 次，加速交通扬尘沉降，缩小扬尘影响时间与范围。

6) 在隧洞出入口和桥梁集中区域安装在线监测和视频监控设备，并与当地住房城乡建设主管部门联网。

7) 结合水土保持措施，在皮带机线路施工生活区周围及道路两旁有条件的地方栽种树草，进行绿化，降低粉尘污染。

16.2.4.2 坝址施工区环境空气保护措施

大坝基础及施工洞开挖、浇筑等施工过程中爆破、砂石料加工及混凝土拌和系统等产生的粉尘以及各种燃油机械、施工车辆排放的废气，对环境空气的影响范围主要是在坝址施工区及运输公路两侧，应针对不同大气污染源提出不同区域的环境空气保护措施。

(1) 开挖、爆破粉尘的削减与控制

大坝左右肩开挖爆破时应选用低扬尘工艺及爆破方式，左右坝肩开挖集中区域应至少配置 6 台洒水车，非雨日每日洒水 2 次~4 次，加速粉尘沉降，缩小粉尘影响时间与范围。导流洞和施工支洞等工程开挖时采取洒水、通风等措施，改善扩散条件等方式降低污染程度。同时为有效降低上述各施工作业面开挖爆破粉尘，还应至少配备 8 套固定式高压喷雾设备、7 台移动式高压喷雾车进行洒水降尘。

(2) 混凝土拌和楼除尘

坝址施工区的水泥装卸作业除要求文明作业外，水泥库实行全封闭作业，加强物料的管理，减少扬尘产生量，水泥的运输应采用密闭式自卸运输车辆，实行口对口密闭传递；坝址区混凝土拌和系统工作过程中，应在封闭的混凝土拌和楼内进行，减少粉尘排放；此外还需对 13 个混凝土拌和楼配置 13 套相应规格的袋式收尘器以及 13 套固定式高压喷雾设备，收尘器与拌和楼同时运行，不间断洒水降尘。

(3) 砂石料加工系统除尘

坝址区砂石骨料加工优先采用湿法破碎的低尘工艺，如在破碎机上设置 2 套固定式高压喷雾设备，对受料口均匀喷洒水雾，降低砂石料细碎生产时产生的粉尘；同时对砂石料加工系统及其周围进行洒水降尘。

(4) 施工机械设备控制

坝址区施工机械设备控制同皮带机线路施工区一致。

(5) 堆渣扬尘的削减与控制

坝址施工区施工所需的水泥、石灰以及开挖产生的土石方等容易产生粉尘的物料，在临时存放时必须采取防风遮盖措施，可采用帆布全覆盖的方法减少粉尘的产生；坝址区左岸3个弃渣场至少应配置3台移动式高压喷雾车，在弃渣运输至弃渣场进行倾倒后，应在堆渣表面及时洒水，使其保持一定湿度，减少扬尘产生。

（6）道路和运输过程除尘

1）坝址施工区施工车辆途径1#、2#、3#、4#施工生活区、业主营地以及古贤村等区域设置限速标志，防止车速过快产生扬尘污染。

2）坝址区1#、2#、5#、6#、603#道路为工程运行管理道路，对其进行硬化处理，并在道路两侧栽植树木，减少运输车辆的扬尘。对上述工程运行道路以及场内施工道路区域应至少配置4台洒水车，非雨日每日洒水2次~4次，加速交通扬尘沉降，缩小扬尘影响时间与范围。

3）做好运输车辆的密封和车辆保洁，减少因弃渣、砂、土的散落造成的扬尘污染。凡运送土石方、石灰等材料的运货车，都应用蓬布或塑料布100%全覆盖，或用包装袋分装运输，避免产生道路扬尘。

（7）加强施工期环境管理和环境监理，在左右坝肩集中开挖区域、混凝土拌和楼、砂石料加工系统安装扬尘自动在线检测、喷淋及视频监控系统，并与当地住房城乡建设主管部门监控平台联网，实现监控数据互通共享，进一步提升控尘水平。

（8）采用基于BIM的现场施工管理信息技术和基于互联网的项目动态管理信息技术（智慧工地系统），实现施工现场可视化、虚拟化的管理，通过对环保措施的动态精细化监控，实现新能源等绿色施工技术运用，提高绿色施工管理水平。

（9）结合水土保持措施，在坝址施工生活区周围及道路两旁有条件的地方栽种花草，进行绿化，降低粉尘污染。

16.2.4.3 料场施工区环境空气保护措施

料场开挖爆破、砂石料加工等产生的粉尘以及各种燃油机械、施工车辆排放的废气，其影响范围主要是在料场施工区及运输公路两侧，针对不同大气污染源，提出环境空气保护措施。

（1）开挖、爆破粉尘的削减与控制

料场开挖爆破时应选用低扬尘工艺及爆破方式，开挖集中区域应至少配置 2 台洒水车，非雨日每日洒水 2 次~4 次，加速粉尘沉降，缩小粉尘影响时间与范围。同时为有效降低各施工作业面开挖爆破粉尘，还应至少配备 3 套固定式高压喷雾设备、3 台移动式高压喷雾车进行洒水降尘。

（2）砂石料加工系统除尘及输送

料场区砂石骨料加工优先采用湿法破碎的低尘工艺，在破碎机上设置 1 套固定式高压喷雾设备，对受料口均匀喷洒水雾，降低破碎生产时产生的粉尘。对砂石料加工系统及其周围进行洒水降尘；砂石骨料通过皮带机线路运输时应实行口对口密闭传递，减少扬尘产生量。

（3）施工机械设备控制

料场区施工机械设备控制同皮带机线路施工区一致。

（4）堆渣扬尘的削减与控制

料场施工区施工所需的水泥、石灰以及开挖产生的土石方等容易产生粉尘的物料，在临时存放时必须采取防风遮盖措施，减少粉尘的产生；料场区弃渣场至少应配置 1 台移动式高压喷雾车，在弃渣运输至弃渣场进行倾倒后，应在堆渣表面及时洒水，使其保持一定湿度，减少扬尘产生。

（5）道路运输过程除尘

1) 施工车辆途径施工生活区附近的路段，对其进行硬化处理，减少运输车辆的扬尘；同时设置限速标志，防止车速过快产生扬尘污染；场内 1#~3#施工道路及支线道路等应至少配置 2 台洒水车，非雨日每日洒水 2 次~4 次，加速交通扬尘沉降，缩小扬尘影响时间与范围。

2) 做好运输车辆的密封和车辆保洁，减少因弃渣、砂、土的撒落造成的扬尘污染。凡运送土石方、石灰、粉煤灰等道路材料的运货车，都应用蓬布或塑料布 100%全覆盖，或用编织袋分装，避免产生道路扬尘。

（6）料场集中开挖区域、砂石料加工系统须安装在线监测和视频监控设备，并与当地住房城乡建设主管部门联网。

（7）结合水土保持措施，在料场施工生活区周围及道路两旁有条件的地方栽种树

草，进行绿化，降低粉尘污染。

16.3 声环境影响分析与保护措施

16.3.1 声环境现状调查与评价

为了解工程影响区域的声环境现状，评价单位于 2022 年 11 月 22 日~23 日对工程施工区域的声环境进行了现场监测和采样分析。

16.3.1.1 监测点位、项目及频次

根据本工程施工布置、区域声环境功能区划以及评价范围内声环境保护目标的分布，本次环评共布设 5 个监测点（详见表 16.3.1-1、图 16.2.1-1），对施工区域附近的声环境质量进行了现场监测，其中壶口瀑布景区、中市村 2 个监测点位于黄河壶口瀑布风景名胜区三级保护区内，执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）0 类标准；其余 3 个监测点位执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）1 类标准。监测项目为连续等效声级，各点连续监测 2 天，昼夜各监测 1 次。

16.3.1.2 监测结果及评价

本项目声环境质量现状评价执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）0 类和 1 类标准。监测及评价结果见表 16.3.1-1。

表 16.3.1-1 工程区域声环境质量现状监测及评价结果单位：dB（A）

时间点位	11 月 22 日		11 月 23 日		标准限值		达标情况
	昼间	夜间	昼间	夜间	昼间	夜间	
古贤村	47	37	46	36	55	45	达标
中市村	48	37	48	37	50	40	达标
壶口瀑布景区	47	36	46	37	50	40	达标
东庄小学	45	36	47	35	55	45	达标
西磴口村	47	38	47	37	55	45	达标

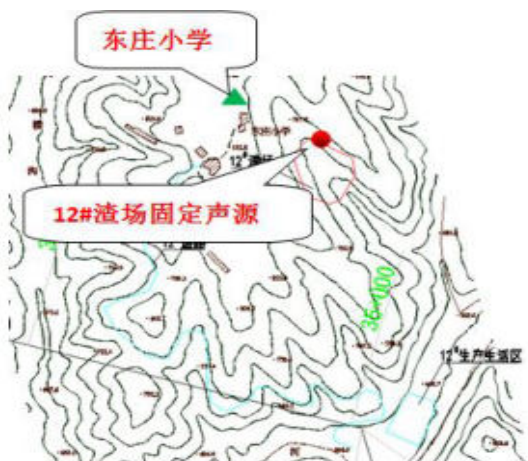
从监测结果可以看出，中市村、壶口瀑布景区 2 个监测点昼夜声环境均能够满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）0 类标准，即昼间 50dB（A），夜间 40dB（A）的要求；古贤村、东庄小学、西磴口村 3 个监测点昼夜声环境均能够满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）1 类标准，即昼间 55dB（A），夜间 45dB（A）的要求，区域声环境质量良好。

16.3.2 声环境影响源项及预测情景分析

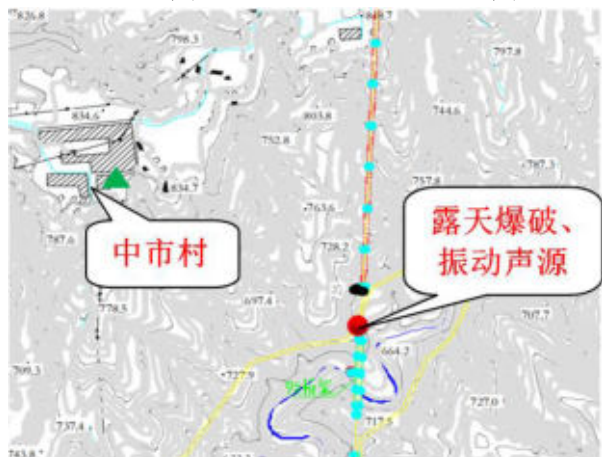
根据工程施工布置和现场调查，古贤水利工程施工期噪声源包括施工机械及辅助企业噪声、交通噪声、爆破噪声和爆破振动，其中施工机械及辅助企业噪声源分析包括砂石料加工系统、混凝土拌和系统、弃渣场等，交通噪声为运输车辆运输噪声，爆破噪声和振动为大坝岸坡开挖、皮带机隧洞开挖、石料场开采爆破噪声和振动。声环境敏感目标与工程的位置关系见表 16.3.2-1 和图 16.3.2-1。

表 16.3.2-1 施工期噪声影响源强以及声环境敏感目标与工程的相对位置关系

施工区域	噪声类型	影响源	影响对象		与工程的关系	影响时段
皮带机线路施工区	固定噪声源	施工机械设备	东庄小学	/	皮带机线路 12#渣场北侧 80m	工程筹建期 1.5 年，施工准备期第 1 年
	交通移动声源	交通运输车辆	/	/	/	主体工程施工期，主要集中在第 3~5 年
	露天爆破噪声	道路路基、隧洞口开挖爆破	侯家原村、中市村、南原村	10 余户，房屋以 2 层为主，南北朝向	侯家原村位于 10#隧洞入口东北侧约 800m、中市村位于 9#隧洞入口西北侧约 800m、南原村位于 7#隧洞入口西北侧 1km 处	工程筹建期 1.5 年、施工准备期第 1 年
	振动	TBM 掘进振动扰动				
坝址施工区	固定噪声源	施工机械设备	/	/	/	施工准备期 28 个月；主体工程施工期，主要集中在第 3~5 年
	交通移动声源	交通运输车辆	/	/	/	
	露天爆破噪声	开挖爆破	古贤村	200 余户居民，房屋以 2 层为主，南北朝向	坝址区东侧 2000m	
	爆破振动					
料场施工区	固定噪声源	施工机械设备	/	/	/	主体工程施工期，主要集中在第 3~5 年
	交通移动声源	交通运输车辆	/	/	/	
	露天爆破噪声	开挖爆破	西磴口村、赵家圪垛、张家岭村等居民点	500 余户居民，房屋以 2 层为主，南北朝向	西磴口料场周边 2000m	
	爆破振动					



皮带机线路进场道路与皮带机线路平行段



进场道路与皮带机线路平行段



图 16.3.2-1 声环境敏感目标与工程的相对位置关系示意图

由表 16.3.2-1 可知，皮带机线路施工区、坝址施工区、料场施工区均有固定噪声源和交通移动声源，皮带机线路 12#渣场距离东庄小学较近，施工高峰时段可能会影响其声环境质量，采用固定声源预测模式，对东庄小学进行预测分析。

皮带机线路区、坝址区和料场区均有爆破开挖施工，且周围 2km 范围内均分布有

村庄,开挖爆破时产生的噪声和振动可能会影响上述村庄的声环境质量以及房屋稳定性,采用《环境影响评价技术导则声环境》(HJ 2.4-2021)中推荐模式以及爆破安全规程中爆破振动安全允许距离计算公式,对爆破噪声和振动可能对周围村庄的影响进行预测分析,基于预测分析结果,有针对性的提出环境敏感目标保护或减缓措施及建议。

16.3.3 声环境影响预测与评价

16.3.3.1 皮带机线路施工区声环境影响预测

皮带机线路施工区噪声源主要为施工机械产生的固定声源噪声、交通运输车辆产生的移动声源噪声、进场道路和皮带机线路并线段路基开挖以及隧洞口开挖产生的爆破噪声和振动、TBM 施工掘进时产生的振动扰动,以下主要对上述固定声源噪声、交通运输车辆产生的移动声源、爆破噪声和振动影响以及 TBM 振动扰动影响进行预测分析。

(1) 固定噪声源影响预测

施工期固定噪声源主要是施工机械设备噪声。包括隧洞掘进机、挖掘机、推土机、自卸汽车、搅拌机。皮带机线路区施工方式、施工机械以及噪声源强等见表 16.3.3-1。

表 16.3.3-1 皮带机线路施工区固定声源源强情况单位: dB (A)

区域	工程内容	施工方式或施工机械	声源 噪声级
皮带机线路区隧洞进出口、桥梁、弃渣场	隧洞开挖、弃渣运输	TBM 隧道掘进机、手风钻、三臂钻、潜孔钻、挖掘机、砼搅拌机和自卸汽车	90

1) 预测模型

根据施工组织设计,本工程皮带机线路区施工噪声主要为施工机械噪声,机械噪声具有分散、间断性的特点,拟采用点声源模式进行预测,点声源影响预测模式如下:

$$L_A(r) = L_A(r_0) - 20\lg(r/r_0)$$
 (式 16.3.3-1)

式中: $L_p(r)$ —距离声源 r 处的 A 声级;

$L_p(r_0)$ —参考位置 r_0 处的 A 声级;

r —预测点距离声源的距离, m;

r_0 —参考位置距离声源的距离, m。

2) 预测结果

固定噪声源源强选择最大值,进行最不利情况预测。皮带机线路施工区的固定噪声源影响预测结果见表 16.3.3-2。

表 16.3.3-2 固定噪声源影响预测结果单位: dB (A)

区域	源强	不同距离的噪声贡献值							
		10m	20m	50m	100m	150m	200m	300m	400m
皮带机线路区隧洞进出口、桥梁、弃渣场	90	70	64	56	50	46	44	40	38

根据《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523—2011), 施工场界噪声限值为昼间 70dB (A), 夜间 55dB (A)。从预测结果可知, 在进场道路和皮带机线路隧洞进出口、桥梁、弃渣场等施工场界外 10m 范围, 昼间可以满足施工场界标准。

3) 对敏感目标的预测

根据施工总布置及现场查勘情况, 东庄小学可能受皮带机线路 12#渣场施工机械影响, 东庄小学噪声预测结果见表 16.3.3-3。

表 16.3.3-3 工程各敏感点噪声预测结果一览表单位: dB (A)

序号	敏感点 保护目标	功能区	评价范围内户 数约 (户)	昼间 贡献值	昼间 背景值	昼间 预测值	昼间 执行标准	达标 情况
1	东庄小学	1 类	首排教学楼 50 余人	52	47	53	55	达标

由上表可知, 东庄小学昼间噪声级可以满足《声环境质量标准》(GB3096-2008) 规定中 1 类标准声环境功能区要求 (昼间 55dB (A))。为进一步保证东庄小学师生有一个安静的学习环境, 皮带机线路 12#弃渣场运输弃渣时应结合东庄小学师生作息时, 合理安排弃渣运输时间, 运输路线应尽量远离东庄小学, 倾倒弃渣时进一步降低施工机械噪声。

(2) 交通移动声源影响分析

皮带机线路施工区交通运输噪声主要来自于对外交通道路和场内道路的运输车辆, 噪声污染呈带状、间歇性的影响。根据施工组织设计, 进场道路和皮带机线路平行段大多采用隧洞穿山体而过, 仅在深沟处出露时架设桥梁连接隧洞出入口。此处不再对交通噪声采用线声源模型进行预测, 仅做定性分析。

结合施工布置, 侯家原村位于 10#隧洞入口东北侧约 800m、中市村位于 9#隧洞入口西北侧约 800m、南原村位于 7#隧洞入口西北侧 1km 处, 且上述 3 个村庄位于半山腰上, 隧洞口和桥梁位于山底, 村庄与隧洞口和桥梁的垂直距离约为 130m, 因此进场道路和皮带机线路平行段交通移动声源不会影响上述 3 个村庄的声环境质量。

(3) 露天爆破噪声影响分析

1) 预测模式

露天爆破噪声属于固定噪声源，根据施工布置与周围敏感点的相对位置，采用《环境影响评价技术导则声环境》（HJ 2.4-2021）中推荐模式进行预测。

预测公式如下：

$$L_w(r) = L_A(r_0) - 20\lg(r/r_0) - a \times (r - r_0) \tag{式 16.3.3-12}$$

式中： $L_w(r)$ —预测点的噪声 A 声压级（dB（A））；

$L_A(r_0)$ —参照基准点的噪声 A 声压级（dB（A））；

$20\lg(r/r_0)$ —几何发散衰减（dB（A））；

r —预测点到噪声源的距离（m）；

r_0 —参照基准点到噪声源的距离（m）；

a —空气吸收附加衰减系数（取 1dB（A）/100m）。

2) 对敏感目标的预测

皮带机线路施工区需要爆破的作业面主要为进场道路和皮带机线路平行段的路基开挖和隧洞口开挖面，开挖爆破时采取预裂或光面爆破。爆破施工噪声为瞬时噪声，声级较高，瞬时源强高达 130dB（A）左右，本工程皮带机线路施工区开挖爆破噪声影响范围详见表 16.3.3-4。对距离隧洞口较近的侯家原村、中市村、南原村的噪声影响预测见表 16.3.3-5。

表 16.3.3-4 爆破噪声影响范围预测结果单位：dB（A）

声源	源强	噪声预测值											
		50m	100m	200m	300m	400m	500m	600m	800m	1300	1500m	1900	2000
爆破噪声	130	97	90	83	78	75	72	69	64	55	52	45	43

表 16.3.3-5 爆破噪声对敏感点的影响预测结果

敏感点	与噪声源距离（km）	贡献值 dB（A）	现状监测值 dB（A）	叠加值 dB（A）	标准 dB（A）	达标情况
侯家原村、中市村	0.8	64	48	64	50	不达标
南原村	1	60	48	60	50	不达标

经预测，侯家原村、中市村昼间受爆破噪声影响叠加值为 64dB（A），南原村昼间受爆破噪声影响叠加值为 60dB（A），均不能够满足乡村区域执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）的 0 类标准（昼间噪声限值为 50 dB（A））。由于皮带机线路施工区爆破所使用的炸药量较少，总量仅为 1450t，爆破作业面分散，分散至每个爆破作业面的炸药用量很小，且爆破施工噪声为瞬时噪声，在合理安排爆破作业情况下，皮带机线路开挖爆破作业面对侯家原村、中市村和南原村的短暂影响可以控制在更小的范

围。

(4) 爆破振动影响预测分析

1) 预测模式

根据《爆破安全规程》（GB6722-2014），爆破振动安全允许距离可按下式计算：

$$R = \left(\frac{K}{V}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \cdot Q^{\frac{1}{3}} \quad (\text{式 16.3.3-13})$$

式中：R—爆破振动安全允许距离，单位（m）；

Q—炸药量，齐发爆破为总药量，延时爆破为最大一段药量，单位 kg；

V—保护对象所在地质点振动安全允许速度，单位 cm/s；

K、 α —与爆破点至计算保护对象间的地形、地质条件有关的系数和衰减指数，其取值见表 16.3.3-6。

表 16.3.3-6 爆区不同岩性的 K、 α 取值

岩性	K	α
坚硬岩石	50~150	1.3~1.5
中硬岩石	150~250	1.5~1.8
软岩石	250~350	1.8~2.0

质点振动速度公式如下：

$$V = \frac{K \cdot Q^{\frac{\alpha}{3}}}{R^{\alpha}} \quad (\text{式 16.3.3-14})$$

根据施工规划：爆破对象为中硬岩，此处 K 取 250， α 取 1.5；选择一般民用建筑物作为复核计算的被保护类型，根据南原村、中市村和南原村距皮带机线路隧洞口开挖边界距离，上述 3 个村庄附近质点振动安全允许速度选择 2.5cm/s。根据施工组织设计，皮带机线路隧洞口开挖爆破时，最大一段炸药量不超过 50kg。

2) 对敏感目标的预测

根据施工规划，皮带机线路隧洞口分布有侯家原村、中市村和南原村，距离最近隧洞口开挖爆破场界约为 800m。经计算，上述村庄附近振动速度见表 16.3.3-7。

表 16.3.3-7 振动速度计算结果一览表

振动源	居民点	最近居民与爆破点最近距离 (m)	敏感点处振动速度 (cm/s)	达标情况
隧洞口爆破（高峰日 3.0t）	侯家原村、中市村、南原村	800	0.08	达标

皮带机线路隧洞口开挖爆破振动对侯家原村、中市村、南原村居民点有一定影响，但产生的振动速度能够满足《爆破安全规程》（GB6722-2014）规定的要求（以一般民

用建筑物作为复核计算目标，2.5cm/s）。为保护侯家原村、中市村、南原村居民点房屋安全，建议皮带机线路距离房屋较近的隧洞口各爆破点施工炸药量不超过施工规划允许的最大炸药量。

（5）TBM 振动扰动影响分析

根据《黄河古贤水利枢纽工程施工工期影响专题报告》，皮带机骨料输送线路总长约 63.75km，线路起点靠近料场，终点位于坝址下游左岸，大部分为隧道，仅在跨深沟处设置隧道钻爆法和 TBM 施工的进出口。皮带机线路采用钻爆法和 TBM 分段施工，开敞式 TBM 施工段长约 15.26km，钻爆法施工段长约 25.92km，剩余段与进场道路结合。筹建第 1 年 4 月开工，第 2 年 6 月投入使用，建设工期为 27 个月。

皮带机骨料输送线路施工机械包括盾构、钻孔、挖掘机等，上述施工机械作业时，一般距施工机械 10m 处的振动值为 63dB ~85dB、30m 处振动值为 64dB ~76dB、40m 处振动值为 62dB ~74dB，因此施工机械 30m 处可达到混合区昼间标准值 75dB 的要求，但夜间因标准值为 72dB，达标距离会较远。

皮带机骨料输送线路施工区施工期振动影响主要表现为强振动施工机械对距离隧道进出口、横洞、斜井口等施工场地较近的保护目标的影响。根据现场调研，皮带机线路 10#隧洞入口东北侧约 800m 分布有侯家原村、9#隧洞入口西北侧约 800m 分布有中市村，7#隧洞入口西北侧 1km 处分布有南原村，隧洞口施工机械振动可能对上述村庄造成暂时性影响，需进一步采取施工机械振动污染控制措施。

16.3.3.2 坝址施工区声环境影响预测

坝址施工区噪声源主要包括固定点声源、交通移动声源、露天爆破噪声及爆破振动等 4 种噪声类型。由于坝址区交通移动声源主要来自于场内施工道路运输车辆，且沿线无村庄居民点，本次不再对交通噪声采用线声源模型进行预测分析，仅对坝址区固定噪声源源强及预测结果进行分析，对露天爆破噪声及爆破振动影响进行预测分析。

（1）固定噪声源影响预测

坝址区固定噪声源主要来自于砂石料加工区、混凝土生产区、施工工厂区等，各施工区施工机械以及噪声源强等见表 16.3.3-8。

表 16.3.3-8 坝址施工区固定声源源强情况单位: dB (A)

区域	工程内容	施工方式或施工机械	声源噪声级
大坝区	导流洞施工; 围堰施工; 基础开挖; 电站厂房施工等	钻机、推土机、装载机、挖掘机、自卸汽车等	110
砂石料加工系统	进料、堆放、粉碎、筛分、洗砂、运输等	车辆; 振动给料、破碎、脱水、传输等	110
混凝土生产系统	混凝土拌和楼、骨料及水泥粉煤灰贮运系统、装卸设施等	车辆; 混凝土拌和; 砂浆拌和	110
施工工厂	钢筋加工厂、木材加工厂、金属结构拼装场、机械修配厂、汽车停放保养厂、加油站及综合仓库等	车辆, 生产加工机械	110

1) 预测模型

采用点声源模式进行预测, 点声源影响预测模式详见 16.3.3.1 小节。

2) 预测结果

固定噪声源源强选择最大值, 进行最不利情况预测, 施工区的固定噪声源影响预测结果见表 16.3.3-9。

表 16.3.3-9 坝址区固定噪声源影响预测结果单位: dB (A)

区域	源强	不同距离的噪声贡献值							
		10m	20m	50m	100m	150m	200m	300m	400m
大坝区	110	90	84	76	70	66	64	60	58
砂石料加工系统	110	90	84	76	70	66	64	60	58
混凝土生产系统	110	90	84	76	70	66	64	60	58
施工工厂	110	90	84	76	70	66	64	60	58

从预测结果可知, 由于夜间不施工, 大坝区、砂石料加工系统、混凝土拌和系统、施工工厂等施工场界外 100m 范围, 昼间可以满足施工场界标准。

(2) 露天爆破噪声影响分析

坝址施工区需要爆破的作业面主要有大坝施工区的进口引渠段和进口塔架段、导流洞、泄洪洞、排沙洞、发电引水洞等主体工程; 上述工程岩石开挖采用周边预裂、建基面预留保护层的深孔梯段爆破开挖。爆破施工噪声为瞬时噪声, 因此对敏感点的影响是瞬时短暂的。

1) 预测模式

露天爆破噪声属于固定噪声源, 根据施工布置与周围敏感点的相对位置, 采用《环境影响评价技术导则声环境》(HJ 2.4-2021) 中推荐模式进行预测, 预测公式详见 16.3.3.1 小节。

2) 对敏感目标的预测

根据相关资料, 坝址施工区开挖爆破噪声瞬时源强高达 130dB (A), 坝址区开采

爆破噪声影响范围详见表 16.3.3-4，对古贤村的噪声影响预测见表 16.3.3-10。

表 16.3.3-10 爆破噪声对敏感点的影响预测结果单位：dB（A）

敏感点	与噪声源距离 (km)	贡献值 dB(A)	现状监测值 dB(A)	叠加值 dB(A)	标准 dB(A)	达标情况
古贤村	2.0	43	47	48	55	达标

经预测，昼间爆破影响范围为 1300m，古贤村昼间受爆破噪声影响叠加值为 48dB（A），能够满足乡村区域执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）的 1 类标准（昼间噪声限值为 55 dB（A）），因此坝址区施工开挖爆破对古贤村声环境造成的影响可以接受。

（3）爆破振动影响预测分析

1) 预测模式

预测模式及参数同皮带机线路区一样，选取爆破振动安全允许距离计算公式，详见 16.3.3.1 小节。根据施工组织设计，料场开采爆破最大一段炸药量不超过 250kg。

2) 对敏感目标的预测

根据施工规划，坝址区东侧分布有古贤村，距离大坝等主体工程开挖爆破场界约为 2km。经计算，古贤村附近振动速度见表 16.3.3-11。

表 16.3.3-11 古贤村振动速度计算结果一览表

振动源	居民点	最近居民与爆破点最近距离 (m)	敏感点处振动速度 (cm/s)	达标情况
大坝边坡爆破（高峰日 8.5t）	古贤村	2000	0.044	达标

大坝等主体工程开挖爆破振动对古贤村居民点有一定影响，但在古贤村处产生的振动速度能够满足《爆破安全规程》（GB6722-2014）规定的要求（以一般民用建筑物作为复核计算目标，2.5cm/s）。为保护古贤村居民点房屋安全，建议大坝等主体工程各爆破点施工炸药量不超过施工规划允许的最大炸药量。

16.3.3.3 料场施工区声环境影响预测

料场施工区噪声源主要包括固定点声源、交通移动声源、露天爆破噪声及爆破振动等 4 种噪声类型。由于料场区交通移动声源主要来自于场内施工道路运输车辆，且沿线无村庄居民点，本次不再对交通噪声采用线声源模型进行预测分析，仅对料场区固定噪声源、露天爆破噪声及爆破振动进行预测分析。

（1）固定噪声源影响预测

料场施工区固定噪声源主要来自于料场开采和砂石料加工系统，主要施工机械以及

噪声源强等见表 16.3.3-12。

表 16.3.3-12 料场施工区固定声源源强情况单位: dB (A)

施工内容	施工机械	声源噪声级
石料开采、加工	爆破作业、推土机、挖掘机、自卸汽车等	90

1) 预测模型

采用点声源模式进行预测, 点声源影响预测模式详见 16.3.3.1 小节。

2) 预测结果

固定噪声源源强选择最大值, 进行最不利情况预测, 料场施工区的固定噪声源影响预测结果见表 16.3.3-13。

表 16.3.3-13 固定噪声源影响预测结果单位: dB (A)

源强	不同距离的噪声贡献值							
	10m	20m	50m	100m	150m	200m	300m	400m
90	70	64	56	50	46	44	40	38

从预测结果可知, 由于夜间不施工, 料场施工区料场开采、砂石料加工系统等施工场界外 10m 范围, 昼间可以满足施工场界标准。

(2) 露天爆破噪声影响分析

料场施工区砂石骨料爆破, 采用周边预裂、建基面预留保护层的深孔梯段爆破开挖, 爆破影响范围较小, 爆破施工噪声为瞬时噪声, 因此对敏感点影响很小。

1) 预测模式

露天爆破噪声属于固定噪声源, 根据施工布置与周围敏感点的相对位置, 采用《环境影响评价技术导则声环境》(HJ 2.4-2021) 中推荐模式进行预测, 预测公式详见 16.3.3.1 小节。

2) 对敏感目标的预测

根据相关资料, 料场施工区开挖爆破噪声瞬时源强高达 130dB (A), 爆破噪声影响范围同皮带机线路区和坝址施工区一样, 详见表 16.3.3-4; 对西磴口村、赵家圪垛、张家岭村的噪声影响预测见表 16.3.3-14。

表 16.3.3-14 爆破噪声影响范围预测结果

敏感点	与噪声源距离 (km)	贡献值 dB (A)	现状监测值 dB (A)	叠加值 dB (A)	标准 dB (A)	达标 情况
西磴口村、赵家圪垛、张家岭村	2.0	43	47	48	55	达标

经预测, 西磴口村、赵家圪垛、张家岭村昼间受爆破噪声影响叠加值为 48dB (A), 能够满足乡村区域执行《声环境质量标准》(GB3096-2008) 的 1 类标准(昼间噪声限

值为 55 dB（A）），因此料场区开挖爆破不会对西磴口村、赵家圪垛、张家岭村的声环境质量造成影响。

（3）爆破振动影响预测分析

1) 预测模式

预测模式及参数同坝址区一样，选取爆破振动安全允许距离计算公式，详见 16.3.3.1 小节。根据施工组织设计，料场开采爆破最大一段炸药量不超过 300kg。

2) 对敏感目标的预测

根据施工规划，西磴口料场周边分布有西磴口村、赵家圪垛、张家岭村等居民点，各居民点与料场区开挖边界相距约为 2km。经计算，各敏感点处振动速度见表 16.3.3-15。

表 16.3.3-15 各敏感点处振动速度计算结果一览表

振动源	居民点	最近居民与爆破点最近距离（m）	敏感点处振动速度（cm/s）	达标情况
料场开采爆破（高峰日 10.4t）	西磴口村、赵家圪垛、张家岭村	2000	0.048	达标

料场开挖爆破振动对周边居民点有一定影响，但在各点处产生的振动速度能够满足《爆破安全规程》（GB6722-2014）规定的要求（以一般民用建筑物作为复核计算目标，2.5cm/s）。为保护西磴口村、赵家圪垛、张家岭村各居民点房屋安全，建议料场各开挖爆破点施工炸药量不超过施工规划允许的最大炸药量。

16.3.4 声环境保护措施

16.3.4.1 皮带机线路施工区声环境保护措施

（1）防治目标

施工期间严格控制噪声，维护施工区及其周边区域的声环境质量，施工区附近东庄小学声环境敏感目标声环境质量达到《声环境质量标准》（GB3096-2008）1 类标准。确保工程建设不对施工区域附近村庄居民的正常生活环境造成影响，不因工程的建设而使工程所在区域的声环境质量下降。

（2）保护措施

1) 规划防治对策

根据“以人为本”和“合理布局”的原则，皮带机线路隧洞出入口、12#渣场尽可能缩小施工范围；优化施工布局，高噪声设备尽可能远离东庄小学和侯家原村、中市村和南原村等村庄。

2) 噪声源控制

①施工机械必须选用符合国家有关环保标准的施工机械，在满足上述标准情况下尽量选用低噪声设备和施工工艺；运输车辆噪声应符合《汽车定置噪声限值》（GB16170-1996）和《汽车加速行驶车外噪声限值及测量方法》（GB 1495-2002），其它施工机械符合《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）。

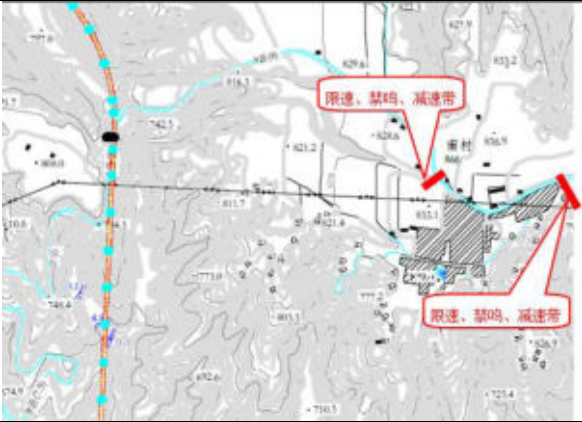
②合理安排施工时间，禁止夜间施工，避免高噪声施工活动在夜间（22:00～6:00）进行，尤其是夜间进场道路的交通运输，夜间禁止大型车辆行驶，以减小对周围村庄的影响。

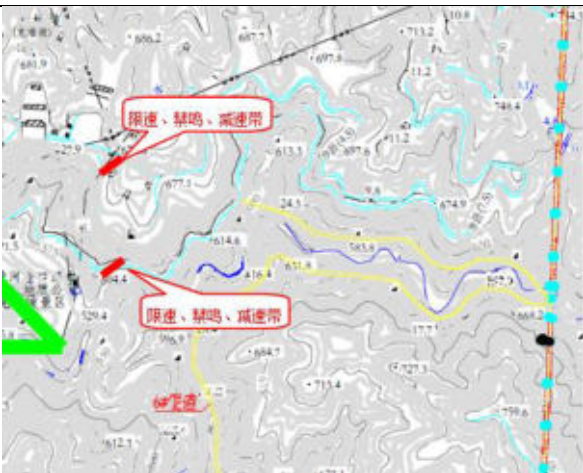


③严格控制进场道路和皮带机线路平行段路基及隧洞口开挖爆破时间，严控爆破单响药量，避开夜间爆破，建议爆破时间选择在下午 17:00～17:30，在爆破前应张贴公告并向附近侯家原村、中市村、南原村居民进行通告，并在爆破前 15min 鸣警笛提示警戒。

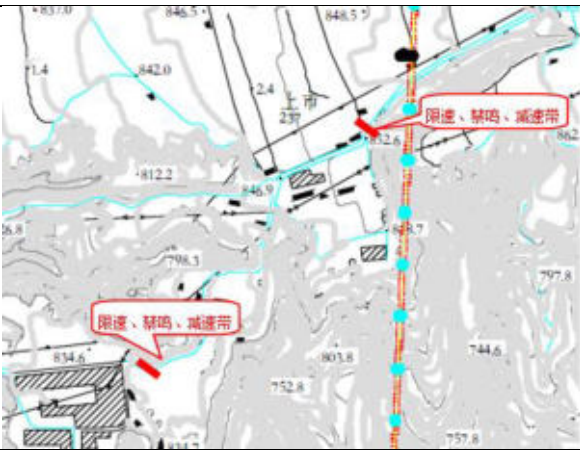

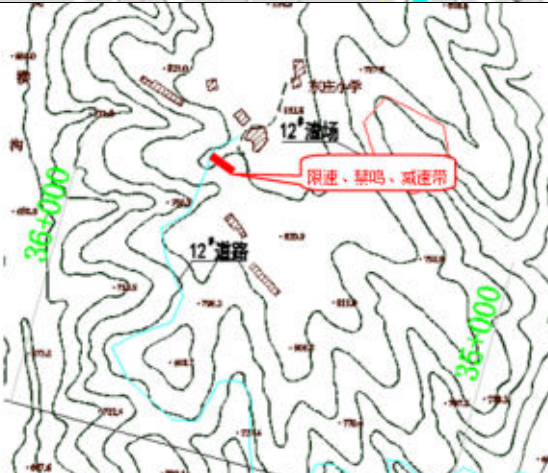
④施工期间隧洞口振动大的施工机械尽量远离侯家原村、中市村和南原村；对打桩类的强振动施工机械要加强控制和管理；做好施工期的振动和地面沉降监控，尽量减少施工对建筑物的影响；在建筑结构较差的房屋附近施工时，应尽量使用低振动设备，或避免振动性作业，减少项目施工对地表构筑物的影响。


⑤加强交通噪声管理，在皮带机线路区各施工生产生活区、施工道路沿线村庄设置 14 个限速和禁鸣标志牌以及减速带，见表 16.3.4-1。

表 16.3.4-1 皮带机线路施工区限速、禁鸣标牌及减速带情况一览表

保护目标	限速、禁鸣标牌及减速带设置数量	限速、禁鸣标牌及减速带设置位置	
南村	限速、禁鸣标牌、减速带各 2 处	进场道路临时施工道路经过南村出入口各设置 1 处，见右图。	

保护目标	限速、禁鸣标牌及减速带设置数量	限速、禁鸣标牌及减速带设置位置	
南村坡村及克难坡景区	限速、禁鸣标牌、减速带各2处	进场道路临时施工道路经过南村坡村及克难坡景区出入口各设置1处，见右图。	
侯家原村	限速、禁鸣标牌、减速带各2处	进场道路临时施工道路经过侯家原村出入口各设置1处，见右图。	
留村	限速、禁鸣标牌、减速带各2处	进场道路临时施工道路经过留村出入口各设置1处，见右图。	

保护目标	限速、禁鸣标牌及减速带设置数量	限速、禁鸣标牌及减速带设置位置	
上市村、中市村	限速、禁鸣标牌、减速带各2处	进场道路临时施工道路经过上市村、中市村出入口各设置1处，见右图。	
南原村	限速、禁鸣标牌、减速带各2处	进场道路临时施工道路经过南原村出入口各设置1处，见右图。	
东庄小学	限速、禁鸣标牌、减速带1处	12#道路临近东庄小学附近设置1处，见右图。	

保护目标	限速、禁鸣标牌及减速带设置数量	限速、禁鸣标牌及减速带设置位置	
皮带机线路4#生活区及孟庄村	限速、禁鸣标牌、减速带1处	4#道路临近生活区和孟庄村附近设置1处，见右图。	
小计	限速、禁鸣标牌及减速带各设14处		

3) 传播途径控制

皮带机线路12#弃渣场施工期间，东庄小学昼间噪声级可以满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定中1类标准声环境功能区要求；为进一步保证东庄小学师生有一个安静的学习环境，本次环评建议12#弃渣场在临近东庄小学侧设置临时围挡，围挡高度为3m，长度为100m，尽量缩小施工机械运输范围，降低施工机械噪声可能对东庄小学的影响。

考虑到进场道路和皮带机线路平行段隧洞机械振动可能会对侯家原村、中市村和南原村3个村庄造成影响，为进一步缩小施工活动范围，降低施工机械振动的影响，本次环评建议在桥梁、桥墩施工范围边界设置临时围挡，围挡高度为3m，长度依次为100m、150m、100m，待施工完成后及时拆除。经现场查勘，上述3个村庄均位于半山腰上，隧洞口和桥梁位于山底，村庄与隧洞口和桥梁的垂直距离约为130m，村民出行通道主要位于山坡及半山腰上，本次施工临时围挡不会影响当地村民的出行。

4) 受体保护

皮带机线路区的施工人员每天连续接触噪声的工作时间不宜过长，实行定时轮换岗制度。接触噪声的施工人员进场时，应佩带耳塞、耳罩、防声头盔等个人防护措施。

16.3.4.2 坝址施工区声环境保护措施

(1) 规划防治对策



坝址区露天开挖爆破尽可能缩小爆破范围、优化爆破方案和工艺，尽可能远离古贤

村。

(2) 噪声源控制

- 1) 坝址区砂石料筛分系统采用橡胶网、塑料钢板和涂阻尼材料。
- 2) 严格控制大坝等主体工程开挖爆破时间，严控爆破单响药量，避开夜间爆破，建议爆破时间选择在下午 17:00~17:30，在爆破前应张贴公告并向附近古贤村居民进行通告，并在爆破前 15min 鸣警笛提示警戒。
- 3) 加强交通噪声的管理和控制。在施工准备期导流等前期工程生活区、施工道路沿线设置 2 个限速和禁鸣标志牌以及减速带，在主体工程施工期坝址区各施工生活区、施工道路沿线村庄设置 7 个限速和禁鸣标志牌以及减速带。见表 16.3.4-2。

表 16.3.4-2 坝址施工区限速、禁鸣标牌及减速带情况一览表

保护目标	限速、禁鸣标牌及减速带设置数量	限速、禁鸣标牌及减速带设置位置	
导流等前期工程施工区	限速、禁鸣标牌、减速带各 2 处	导流工程工厂设施南侧及北侧现有道路各 1 处，见右图	
古贤村	限速、禁鸣标牌、减速带各 2 处	古贤村西北侧及东侧现有道路各 1 处，见右图	

保护目标	限速、禁鸣标牌及减速带设置数量	限速、禁鸣标牌及减速带设置位置		
坝址区 1#生活区	限速、禁鸣标牌、减速带各 1 处	902#道路临近 1#生活区弯道处 1 处，见右图		
坝址区 2#生活区	限速、禁鸣标牌、减速带各 1 处	502#道路临近 2#生活区弯道处 1 处，见右图		
坝址区 3#生活区、业主营地	限速、禁鸣标牌、减速带各 1 处	501#道路临近 3#生活区弯道处 1 处，见右图		
坝址区 4#生活区	限速、禁鸣标牌、减速带各 2 处	4#生活区西侧、5#道路南北端各 1 处，见右图		
总计		限速、禁鸣标牌及减速带各设 9 处		

(3) 传播途径控制

对坝址区砂石料破碎机、筛分楼、拌和楼等高噪声机械设备尽量安装消声器或采用局部消声罩，为骨料破碎机械、混凝土拌和楼等处的施工操作人员修建多孔吸声材料建成的隔声屏障或隔声间等。

(4) 受体保护

对于坝址施工区强噪声源，如混凝土拌和、骨料破碎、砂石料筛分等作业区，尽量提高自动化作业程度，实现远距离的监视操作，使作业人员尽量远离噪声源。

16.3.4.3 料场施工区声环境保护措施

(1) 规划防治对策

料场区露天开挖爆破尽可能缩小爆破范围、优化爆破方案和工艺，尽可能远离西磴口村、赵家圪垛、张家岭村等居民点。

(2) 噪声源控制

1) 料场区砂石料筛分系统采用橡胶网、塑料钢板和涂阻尼材料。

2) 严格控制料场开挖爆破时间，严控爆破单响药量，避开夜间爆破，建议爆破时间选择在下午 17:00~17:30，在爆破前应张贴公告并向附近西磴口村、赵家圪垛、张家岭村的居民进行通告，并在爆破前 15min 鸣警笛提示警戒。

3) 加强交通噪声的管理和控制，在料场区施工生活区、施工道路等沿线村庄设置 2 个限速和禁鸣标志牌以及减速带。见表 16.3.4-3。

表 16.3.4-3 料场施工区限速、禁鸣标牌及减速带情况一览表

保护目标	限速、禁鸣标牌及减速带设置数量	限速、禁鸣标牌及减速带设置位置	
料场区	限速、禁鸣标牌、减速带各 2 处	生活区南北侧道路各 1 处，见右图。	
总计	限速、禁鸣标牌及减速带各设 2 处		

(3) 传播途径控制

对料场区砂石料破碎机、筛分楼等高噪声机械设备尽量安装消声器或采用局部消声罩，为骨料破碎机械等处的施工操作人员修建多孔吸声材料建成的隔声屏障或隔声间等。

(4) 受体保护

对于料场施工区强噪声源，如骨料破碎、砂石料筛分等作业区，尽量提高自动化作业程度，实现远距离的监视操作，使作业人员尽量远离噪声源。

16.4 固体废弃物影响分析与保护措施

16.4.1 固体废弃物影响源项及预测情景分析

本工程固体废弃物包括生活垃圾、建筑垃圾和工程弃渣，若处理不当，将会对区域地表水环境、生态环境及人群健康产生不利影响，固体废弃物产生见表 16.4.1-1。

表 16.4.1-1 施工期固体废弃物影响源项分析

施工区名称	固体废弃物类型	固废产生量	影响时段
皮带机线路施工区	生活垃圾	1.6t/d	工程筹建期 1.5 年、施工准备期第 1 年
	建筑垃圾	临时工程拆除、地面清理以及综合加工厂废弃物等	
	工程弃渣	731.06 万 m ³	
坝址施工区	生活垃圾	9.58t/d	施工准备期、主体工程施工期
	建筑垃圾	临时工程拆除、地面清理以及综合加工厂废弃物等	
	工程弃渣	2480.79 万 m ³	
料场施工区	生活垃圾	1.6t/d	主体工程施工期
	建筑垃圾	临时工程拆除、地面清理以及综合加工厂废弃物等	
	工程弃渣	506.26 万 m ³	

由表 16.4.1-1 可知，施工期生活垃圾产生量较大，产生时间段贯穿于整个施工期。由于本工程施工分时段分区域开展，在不同施工期结束时，均会产生一定量的建筑垃圾。工程弃渣产生量较大，在运输至指定弃渣场时，可能会产生二次污染。因此将对上述固废可能产生的影响进行分析，提出合理可行的处置措施，减缓对环境的不利影响。

16.4.2 固体废弃物影响分析

16.4.2.1 皮带机线路施工区固废影响分析

（1）生活垃圾

皮带机线路施工高峰期生活垃圾产生量约 1.6t/d。生活垃圾腐败变质，是传播疾病的媒介，为疾病的发生和流行提供了条件。若不采取有效的收集和处置措施，将污染皮带机线路和进场道路周围环境、影响景观，也可能影响皮带机线路施工区卫生和施工人员健康。

（2）建筑垃圾

皮带机线路施工区临时工程拆除和地面清理产生的砖瓦、混凝土块、弃土等以及施工综合加工厂生产过程中产生的垃圾，如废旧钢材、包装袋、废弃木料等，施工结束后生产生活区拆除的废弃板材等垃圾，如不妥善处置，会造成土地占压、水土流失、堵塞河道等不利影响；其它废弃材料若露天堆放锈蚀、腐烂后会对皮带机线路施工区周围土壤、水体等造成污染。

（3）工程弃渣

皮带机线路施工区进场道路出渣量为 573.49 万 m³（松方），其中临近坝址区的 7# 隧洞下半段弃渣 53.27 万 m³（松方）运至坝址区 1#渣场，剩余弃渣 520.22 万 m³（松方）分别运至对外交通道路下游侧 1#和 2#弃渣场堆存；皮带机线路总弃渣量 157.57 万 m³（松方），渣场布置于皮带机线路起点（利用料场区渣场）、孟庄、南掌村、东庄小学、沿黄公路、皮带机线路终点（利用坝址区 1#渣场）13 个工作面附近的山沟内或地势低洼处，上述 13 个弃渣场（含坝址区 1#渣场、料场区渣场）的布设可以满足皮带机线路施工区临时堆弃渣要求。

弃渣对环境的影响主要表现为新增水土流失和对生态环境、自然景观的影响。堆置工地的回填土容易受到雨水冲刷和风的作用，造成水土流失和扬尘等环境污染，需采取

一定的临时措施；另外建筑材料及渣土的运输车辆若无遮盖措施或防护不当，易导致物料沿途散落，将影响道路及周边环境，应采取 100% 遮盖措施，避免砂石、土料等沿途洒落；本工程皮带机线路施工区工程弃渣将按照水土保持要求堆放在附近的弃渣场，并采取工程措施和植物措施，防止雨水冲刷和风的作用造成水土流失和扬尘等环境污染；弃渣场堆满后进行 100% 绿化。皮带机线路施工区工程弃渣对环境的影响主要在工程筹建期 1.5 年和施工准备期第 1 年，随着工程的建设完成，水土保持措施的逐步到位，其对环境的不利影响将逐渐消失。

16.4.2.2 坝址施工区固废影响分析

(1) 生活垃圾

坝址区施工高峰期生活垃圾产生量约 9.58t/d，如不采取有效的收集和处置措施，将污染坝址区周围环境、影响景观，也可能影响业主营地和坝址施工区卫生和施工人员健康。

(2) 建筑垃圾

坝址区建筑垃圾种类与皮带机线路施工区相同，如不妥善处置，废弃砖瓦、混凝土块、弃土等会造成土地占压、水土流失、堵塞河道等不利影响；其它废弃材料若露天堆放锈蚀、腐烂后会对坝址区周围土壤、水体等造成污染。

(3) 工程弃渣

坝址区共设弃渣场 3 个，分布于黄河左岸坝址上游，容量为 3392.00 万 m³ (松方)，弃渣量 2480.79 万 m³ (松方)，满足主体工程及临时堆弃渣要求；坝址区土石方除一小部分作为混凝土系统料源和部分围堰的填筑外，大部分弃渣运往弃渣场。

本工程坝址区大部分工程弃渣将按照水土保持要求堆放在附近的 1#~3#弃渣场，并采取工程措施和植物措施，防止雨水冲刷和风的作用造成水土流失和扬尘等环境污染；弃渣场堆满后进行 100% 绿化。坝址区固体废物对环境的影响主要在主体工程施工期，随着大坝主体工程的建设完成，水土保持措施的逐步到位，其对环境的不利影响将逐渐消失。

16.4.2.3 料场施工区固废影响分析

(1) 生活垃圾

料场区施工高峰期生活垃圾产生量约 1.6t/d。如不采取有效的收集和处置措施，将污染料场区周围环境、影响景观，也可能影响施工区卫生和施工人员健康。

(2) 建筑垃圾

料场区建筑垃圾种类与皮带机线路施工区一样，如不妥善处置，废弃砖瓦、混凝土块、弃土等会造成土地占压、水土流失、堵塞河道等不利影响；其它废弃材料若露天堆放锈蚀、腐烂后会对料场区周围土壤、水体等造成污染。

(3) 工程弃渣

西磴口料场覆盖层开挖设置 1 个弃渣场，渣场容量为 540 万 m³（松方），堆渣量 506.26 万 m³（松方）。料场区的土石方除一小部分作为混凝土系统料源和部分围堰的填筑外，大部分弃渣运往弃渣场。

本工程料场区大部分工程弃渣将按照水土保持要求堆放在附近的弃渣场，并采取工程措施和植物措施，防止雨水冲刷和风的作用造成水土流失和扬尘等环境污染；弃渣场堆满后进行 100%绿化。料场区工程弃渣对环境的影响主要在主体工程施工期，随着料场开采的完成，水土保持措施的逐步到位，其对环境的不利影响将逐渐消失。

16.4.3 固体废弃物处理措施

16.4.3.1 皮带机线路施工区固废处理措施

(1) 生活垃圾处理

1) 方案比选

我国城市生活垃圾无害化处理法主要有卫生填埋法、焚烧法、堆肥法等。其中填埋法占 95%以上。受市场因素制约，目前堆肥法一直未能成为生活垃圾处理的主要方法。根据本工程生活垃圾的特性，结合工程区及周边地区环境现状，对卫生填埋、垃圾外运和焚烧法 3 种方案进行技术经济比较，推荐适合本工程的生活垃圾处置方法。

①卫生填埋方案

卫生填埋法是最普遍的垃圾处置方法，具有技术可靠、工艺简单、操作性强等优点，但同时也存在一定的局限性，其选址困难，施工作业要求复杂。

根据《生活垃圾填埋污染控制标准》（GB16889-2008），并参考《城市生活垃圾卫生填埋技术标准》（CJJ17-2004），垃圾卫生填埋场的选址原则如下：符合施工布置

总体规划；考虑水库淹没因素，填埋场宜选在坝址下游；在人畜居栖点 500m 以外并避开环境敏感区域；尽量利用天然的洼地、沟壑、废坑等，此外考虑交通、征地、施工、地下水情况，避开环境敏感区域等因素。

②焚烧方案

焚烧是一种在有控制条件下，通过高温将垃圾中的有机成分和可燃成分燃烧完全，使生活垃圾变成惰性残余物，并对燃烧余热加以利用的处理方法。与其它处理方式相比，具有占地小、处理时间短、减量化显著（减重一般达 70%~90%）、无害化彻底，以及可回收余热等优点，但设备费用和运行费用较高，场地选择困难，且垃圾焚烧过程中产生二噁英等二次污染，燃烧飞灰属危险固废。

③垃圾外运方案

拟运往吉县垃圾填埋场。据调查该填埋场位于吉县吉昌镇桥南村水洞沟 620m 处，距离古贤水利枢纽坝址约 40km。建成于 2010 年，总投资 1741 万元，服务年限 15 年，日处理生活垃圾 75t，总库容量 60 万 m³。该垃圾填埋场计划实施二期工程建设，日处理垃圾规模由 75t/d 提高至 100t/d，于 2019 年 3 月实施，将可以接收古贤水利枢纽工程全部生活垃圾。

2) 技术经济比较

根据施工区垃圾特点及施工区现状条件，卫生填埋存在选址困难、施工作业要求复杂等难题，以下仅对外运、焚烧 2 种处置方式从技术可靠性、适用条件、占地面积、选址、环境影响、投资等方面进行综合分析比较，提出最佳处置方案，具体比较见表 16.4.3-1。

表 16.4.3-1 生活垃圾处理方案技术经济比较表

处置方案	垃圾外运	焚烧处理
技术特点	将本工程垃圾外运至其它垃圾处理场处置	占地面积相对小，运行稳定可靠，减量化效果好
技术可靠性	可靠，国内已普遍使用	可靠
适用条件	1.存在有条件的垃圾处理场接收工程区生活垃圾；2.交通便利	要求垃圾的低位热值大于 5000kJ/kg
选址	不需另外选址	需考虑场址大气扩散能力，远离村民集中居住区及位于居住区下风向。对地下水及地表水有一定的污染，燃烧飞灰为危险固废。
占地面积	不新增占地	约需 10000m ²
运距	40km	短
对环境的影响	/	需要配备渗沥液处理设施

处置方案	垃圾外运	焚烧处理
投资	垃圾桶：1.5 万元/年； 微型密闭垃圾车：20 万元； 垃圾清运处理费：10 万元/年； 处理费：10 万元/年； 总投资：按 10 年计，合计 235 万元；	焚烧设备：300 万元； 微型密闭垃圾车：20 万元； 垃圾清运费：10 万元/年； 处理运行费：10 万元/年； 总费用：按 10 年计，合计 520 万元；
综合比选结论	不需新增占地，运距较近，投资较少，推荐此方案。	需新增占地，选址困难，投资较大，且会产生二次污染，暂不推荐。

综合比较推荐施工期生活垃圾运至吉县垃圾处理场进行处理。目前已就生活垃圾运至吉县垃圾处理场进行处置的有关事宜与相关部门达成初步协议。吉县垃圾处理场管理部门对古贤施工生活垃圾分类提出以下要求：①古贤水利枢纽工程项目部必须出具生活垃圾证明，如每次吨位数和保证生活垃圾分类无医疗废物、易燃易爆和有毒有害物品的书面证明；②运输途中必须封闭，到垃圾处理场后由专业人员进行检查通过后垃圾可以倾倒。吉县垃圾处理场现状如图 16.4.3-1 所示。



图 16.4.3-1 吉县垃圾处理场现状图

根据皮带机线路施工区施工布置情况，拟在进场道路及皮带机线路各施工生产生活区分别放置 50 个共计 100 个容积为 5m³ 的垃圾桶收集垃圾，同时在进场道路及皮带机线路共建 2 个有效容积为 20m³ 垃圾中转站，配置 2 辆垃圾清运车，每天将垃圾桶内的垃圾清运至垃圾中转站。垃圾中转站采用砖混结构围墙，混凝土防渗基底，采用彩钢瓦遮盖防雨，并做好日常灭蝇消毒工作。定期将垃圾中转站的垃圾运送至吉县垃圾填埋场。

（2）建筑垃圾处置

根据施工规划及布置，皮带机线路施工区产生的废弃砖瓦、弃土、弃渣等统一运至附近皮带机线路施工区弃渣场处理；其余废旧材料如金属、塑料、木料、包装袋等可回收物，由指定的回收部门定期回收。剩余无回收价值的固体废弃物，统一运送弃渣场堆存，不得随意丢弃。

（3）工程弃渣处理

为减免因弃渣堆置不当而造成水土流失，进场道路和皮带机线路工程弃渣必须及时

运输至指定渣场集中堆放，不得沿途随意倾倒，运输车辆在运渣过程中采取遮盖措施，不得随意散落。渣场边坡采用水土保持措施中的浆砌石挡渣墙、浆砌石排水沟等永久性工程措施。

16.4.3.2 坝址施工区固废处理措施

（1）生活垃圾处理

根据对外运、焚烧 2 种处置方式进行综合分析比较，推荐坝址施工区生活垃圾运至吉县垃圾处理场进行处理，详见表 16.4.3-1。

此外根据坝址区施工布置情况，拟在坝址区导流等前期工程施工生活区、业主营地、1#~4#生活区、砂石料加工系统、混凝土拌和系统、综合加工厂、机械修理及保养厂等共放置 200 个容积为 5m³ 的塑料桶收集垃圾，同时在坝址左岸上下游施工生活区附近各建 1 个，共 4 个有效容积为 20m³ 垃圾中转站，配置 4 辆垃圾清运车，每天将垃圾桶内的垃圾清运至垃圾中转站，定期将垃圾中转站的垃圾运送至吉县垃圾填埋场。

（2）建筑垃圾及危险废物处置

1) 一般建筑垃圾

根据坝址施工区施工规划及布置，坝址区产生的废弃砖瓦、弃土、弃渣等统一运至坝址区 1#~3#弃渣场处理；其余废旧材料如金属、塑料、木料、包装袋等可回收物，由指定的回收部门定期回收。剩余无回收价值的固体废弃物建筑垃圾，统一运送弃渣场堆存，不得随意丢弃。

2) 含油污泥

坝址区导流等前期工程、大坝主体工程区均设置机械修配厂，施工期间机械修理和维护时会产生少量的含油废弃物，含油废水处理系统中也会产生少量的含油污泥。根据《国家危险废物名录》（2021 年版）上述物质属于危险废物，在大坝主体工程机械修配厂设置危险废物暂存间，建筑面积 20m²，并配备 0.5m³ 暂存铁桶 2 个，满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）中的规定，做好防雨、防渗漏措施，设置危险废物识别标志，交由具有相应类别危险废物处理资质的单位处置。制定事故方案措施和应急预案。危险废物的转移过程应按《危险废物转移联单管理办法》执行。

（3）工程弃渣处理

为减免因弃渣堆置不当而造成水土流失，坝址区工程弃渣必须及时运输至 1#~3#渣场集中堆放，不得沿途随意倾倒，更不能将其倾倒入黄河河道内，运输车辆在运渣过程中不得让弃渣随意散落。渣场边坡采取浆砌石挡渣墙、浆砌石排水沟等永久性工程措施。

16.4.3.3 料场施工区固废处理措施

（1）生活垃圾处理

根据对外运、焚烧 2 种处置方式进行综合分析比较，推荐施工期料场施工区生活垃圾运至吉县垃圾处理场进行处理，详见表 16.4.3-2。

此外根据料场区施工布置情况，拟在料场施工生活区、砂石料加工系统、机械修理及保养厂等共放置 50 个容积为 5m³ 的塑料桶收集垃圾，同时在料场施工生活区附近建 1 个有效容积为 20m³ 垃圾中转站，配置 1 辆垃圾清运车，每天将垃圾清运至垃圾中转站，定期将垃圾中转站的垃圾运送至吉县垃圾填埋场。

（2）建筑垃圾及危险废物处置

1）一般建筑垃圾

根据料场施工区施工规划及布置，料场区产生的弃土、弃渣等统一运至附近弃渣场处理；其余废旧材料如金属、木料、塑料、包装袋等可回收物，由指定的回收部门定期回收。剩余无回收价值的固体废弃物，统一运送弃渣场堆存，不得随意丢弃。

2）含油污泥

料场区设置有机修配厂，施工期间机械修理和维护时会产生少量的含油废弃物，含油废水处理系统中也会产生少量的含油污泥。根据《国家危险废物名录》（2021 年版）上述物质都属于危险废物，在料场施工区设置 1 座危险废物临时贮存室，建筑面积 10m²，并配备 0.5m³ 暂存铁桶 2 个。满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）中的规定，做好防雨、防渗漏措施，设置危险废物识别标志，交由具有相应类别危险废物处理资质的单位处置。制定事故方案措施和应急预案。危险废物的转移过程应按《危险废物转移联单管理办法》执行。

（3）工程弃渣处理

为减免因弃渣堆置不当而造成水土流失，工程弃渣必须及时运输至料场区渣场集中堆放，不得沿途随意倾倒，更不能将其倾倒入附近的石匣沟等沟道内，运输车辆在运渣

过程中不得让弃渣随意散落。渣场边坡采取水土保持措施中的浆砌石挡渣墙、浆砌石排水沟等永久性工程措施。

16.5 土壤环境影响分析与保护措施

16.5.1 现状监测与评价

根据调查，古贤坝址两侧区域地形主要为黄土梁、峁，沟壑发育，具典型的黄土地貌特征，附近主要为荒坡和退耕还林坡地，黄土层以中粉质壤土和重粉质壤土为主，夹轻粉质壤土、粉质粘土薄层，局部为粉质砂壤土，含少量钙质结核，其表部多为耕植层。

评价单位委托河南华测检测技术有限公司于 2017 年 6 月 22~23 日对工程涉及区域土壤和底泥环境进行了采样检测；2018 年 8 月 1 日，《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB15618-2018）和《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）正式实施，按照新标准的要求，评价委托郑州谱尼测试技术有限公司于 2022 年 11 月 21 日~28 日对工程涉及区域进行了土壤环境补充监测。

16.5.1.1 监测点位

第一次土壤环境质量现状调查，选择库区淹没地区典型性的耕地、草地、林地 3 种类型土壤进行监测，每种类型土壤左右岸各设一个采样点，共 6 个采样点；

底泥质量现状监测在库区（布置 4 个，依次为坝址上游 55km 右岸、坝址上游 120km 左岸、坝址上游 180km 右岸、坝址上游 220km 左岸）、坝址和坝址下游共设置 6 个采样点。

第一次土壤现状监测点位布置情况详见表 16.5.1-1，底泥监测点位布置情况见表 16.5.1-2。

土壤环境质量现状补充监测调查选择料场区和坝址区典型性的土壤进行监测，共 26 个采样点，详见表 16.5.1-3。

表 16.5.1-1 土壤现状监测点位布置详情

序号	采样点	采样点坐标	样品状态
1	古贤村耕地	E110°29'4.02", N36°13'21.62"	黄色、潮、沙壤土
	古贤村草地	E110°29'3.25", N36°13'20.50"	黄色、潮、沙壤土
	古贤村林地	E110°29'7.31", N36°13'19.22"	黄色、潮、沙壤土
2	清涧河与黄河交汇口干流北岸耕地	E110°25'52.54", N36°43'55.3"	黄色、潮、沙壤土
	清涧河与黄河交汇口干流北岸草地	E110°24'29.91", N36°43'13.73"	黄色、潮、沙壤土
	清涧河与黄河交汇口干流北岸林地	E110°25'55.29", N36°43'56.32"	黄色、潮、沙壤土
3	清涧河与黄河交汇口干流南岸耕地	E110°24'34.7", N36°43'12.45"	黄色、潮、沙壤土
	清涧河与黄河交汇口干流南岸草地	E110°24'33.89", N36°43'9.35"	黄色、潮、沙壤土
	清涧河与黄河交汇口干流南岸林地	E110°24'34.16", N36°43'12.13"	黄色、潮、沙壤土
4	无定河与黄河交汇口干流北岸耕地	E110°26'57.1", N37°2'37.39"	黄色、潮、沙壤土
	无定河与黄河交汇口干流北岸草地	E110°39'39.83", N37°26'19.2"	黄色、潮、沙壤土
	无定河与黄河交汇口干流北岸林地	E110°40'50.39", N37°26'20.29"	黄色、潮、沙壤土
5	无定河与黄河交汇口干流南岸耕地	E110°28'9.44", N37°3'27.49"	黄色、潮、沙壤土
	无定河与黄河交汇口干流南岸草地	E110°28'2.76", N37°3'23.83"	黄色、潮、沙壤土
	无定河与黄河交汇口干流南岸林地	E110°28'4.74", N37°3'23.4"	黄色、潮、沙壤土
6	吴堡县黄河干流北岸耕地	E110°39'40.74", N37°26'33.85"	黄色、潮、沙壤土
	吴堡县黄河干流北岸草地	E110°39'27.55", N37°26'22.03"	黄色、潮、沙壤土
	吴堡县黄河干流北岸林地	E110°39'33.47", N37°26'34.92"	黄色、潮、沙壤土
7	吴堡县黄河干流南岸耕地	E110°39'42.63", N37°26'9.51"	黄色、潮、沙壤土
	吴堡县黄河干流南岸草地	E110°39'39.83", N37°26'19.2"	黄色、潮、沙壤土
	吴堡县黄河干流南岸林地	E110°40'50.39", N37°26'20.29"	黄色、潮、沙壤土
8	延水河与黄河交汇口	E110°27'56.52", N36°21'56.92"	黄色、潮、砂土
9	延水河与黄河额交汇口下游干流左岸	E110°28'0.25", N36°22'1.63"	黄色、潮、砂土

表 16.5.1-2 底泥采样点位布置详情

序号	采样点	采样点坐标	样品状态
1	坝址上游 55 千米右岸延水河	E110°28'39.41", N36°23'9.46"	棕色、粉沙质细沙
2	坝址	E110°28'21.16", N36°15'34.87"	棕色、粉沙质细沙
3	坝址下游	E110°28'15.42", N36°15'0.78"	棕色、粉沙质细沙
4	坝址上游 120 千米左岸底泥	E110°25'20.11", N36°43'22.98"	棕色、粉沙质细沙
5	坝址上游 180 千米右岸底泥	E110°38'47.68", N37°15'27.83"	棕色、粉沙质细沙
6	坝址上游 20 千米左岸底泥	E110°41'25.3", N37°26'27.34"	棕色、粉沙质细沙

表 16.5.1-3 土壤现状补充监测点位布置详情

点位编号	区域		监测位置	监测地点	行政区域
1	料场区	区内	砂石料加工区	E110°41'51.76", N35°44'45.61"	乡宁县
2			料场区	E110°42'34.27", N35°43'54.24"	河津市
3			料场区	E110°42'50.99", N35°44'11.46"	河津市
4	皮带机	区内	渣场	E110°41'17.18", N35°47'5.52"	乡宁县
5			生活营地	E110°37'33.52", N35°54'24.61"	乡宁县
6			渣场	E110°34'41.61", N36°0'14.96"	吉 县
7	坝址区	区内	拟建坝址左岸	E110°28'01.70", N36°14'02.44"	吉 县
8			右岸临时占地	E110°27'14.90", N36°13'55.61"	宜川县
9			左岸临时占地	E110°27'36.15", N36°13'07.29"	吉 县
10		区外	左岸	E110°28'53.08", N36°13'10.47"	吉 县
11			右岸	E110°26'16.97", N36°13'32.40"	宜川县
12		库区	区内	左岸	E110°27'47.50", N36°19'57.30"
13	左岸（昕水河）			E110°35'35.82", N36°26'57.46"	大宁县
14	左岸			E110°30'20.07", N36°30'41.88"	大宁县
15	左岸			E110°26'31.92", N36°41'25.71"	永和县
16	左岸			E110°28'40.08", N37°3'40.29"	石楼县
17	左岸			E110°41'31.79", N37°17'41.83"	柳林县
18	右岸			E110°28'18.16", N36°16'20.46"	宜川县
19	右岸（延河）			E110°23'43.08", N36°26'17.73"	延长县

点位编号	区域		监测位置	监测地点	行政区域
20			右岸	E110°29'39.56", N36°30'53.74"	延长县
21			右岸	E110°24'43.59", N36°50'2.83"	延川县
22			右岸	E110°26'25.42", N37°2'42.90"	清涧县
23			右岸	E110°40'56.35", N37°26'33.88"	吴堡县
24		区外	左岸	E110°30'20.56", N37°2'18.93"	石楼县
25			右岸	E110°24'46.95", N36°30'27.57"	延长县
26			右岸	E110°36'39.62", N37°24'6.97"	绥德县
26			右岸	E110°36'39.62", N37°24'6.97"	绥德县

注：表中所列坐标均为 GCJ-02 坐标，采样时经委托方同意后可根据实际情况微调，以最终采样点坐标为准。

16.5.1.2 监测因子及监测频次

(1) 监测因子

第一次土壤环境和底泥现状监测选取 pH、镉、汞、砷、铜、铅、铬、锌、镍共 9 项检测因子。

补充监测时，1~9 号点位土壤环境现状监测因子共 47 个，除 pH 和含盐量外，其余 45 项为《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中表 1 所列全部基本项目；10~26 号点位土壤环境现状监测因子共 10 个，除 pH 和含盐量外，其余 8 项为《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB15618-2018）中表 1 所列全部基本项目：铜、锌、铅、镉、镍、总铬、汞、砷。

(2) 监测频次

每个点位采用梅花布点法，监测 1 次。

16.5.1.3 评价方法与标准

(1) 第一次现状监测

评价采用单项因子标准指数法评价。评价执行《土壤环境质量标准》（GB15618-1995）二级标准。

(2) 补充监测

1) 采用单项因子标准指数法评价，1#~9#点位参照执行《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）表 1 第二类用地筛选值，10#~26#点位执行《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB15618-2018）表 1 风险筛选值，具体指标见检测结果统计表。

2) 对照《环境影响评价技术导则土壤环境》附录 D 给出监测点位土壤盐化、酸化、碱化的级别。土壤盐化指标判别依据详见表 16.5.1-4，酸化、碱化指标判别依据详见表 16.5.1-5。

表 16.5.1-4 土壤盐化分级标准一览表

分级	土壤含盐量 (SCC) / (g/kg) (滨海、半湿润和半干旱地区)
未盐化	SSC<1
轻度盐化	1≤SSC<2
中度盐化	2≤SSC<4
重度盐化	4≤SSC<6
极重度盐化	SSC≥6

表 16.5.1-5 土壤酸化、碱化分级标准一览表

土壤 pH 值	土壤酸化、碱化强度
pH<3.5	极重度酸化
3.5≤pH<4	重度酸化
4.0≤pH<4.5	中度酸化
4.5≤pH<5.5	轻度酸化
5.5≤pH<8.5	无酸化或碱化
8.5≤pH<9.0	轻度碱化
9.0≤pH<9.5	中度碱化
9.5≤pH<10.0	重度碱化
pH≥10	极重度碱化

16.5.1.4 评价结果

(1) 第一次环境现状监测评价结果

土壤和底泥环境现状监测统计结果见表 16.5.1-6~7。

表 16.5.1-6 第一次土壤环境现状监测结果统计表

序号	采样点	监测内容 单位	pH 无	铬	汞	砷	镉	铜	铅	锌	镍
mg/kg											
1	古贤村耕地	监测值	8.72	54	0.01	11.8	0.11	15	17.6	58.1	25
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	古贤村草地	监测值	8.75	54	0.004	11.8	0.11	15	17.7	62.5	23
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	古贤村林地	监测值	8.55	54	0.035	12.4	0.12	14	18.5	62.6	25
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2	清涧河与黄河交汇口干流北岸耕地	监测值	8.52	57	0.01	12.5	0.14	21	19.6	65.5	28
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	清涧河与黄河交汇口干流北岸草地	监测值	8.68	55	0.013	11.6	0.09	20	18.4	61.7	27
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	清涧河与黄河交汇口干流北岸林地	监测值	8.68	44	0.006	7.02	0.1	11	17	44.9	17
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
3	清涧河与黄河交汇口干流南岸耕地	监测值	8.84	43	0.006	6.45	0.06	11	15.1	44.4	18
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	清涧河与黄河交汇口干流南岸草地	监测值	8.77	60	0.0024	7.32	0.13	12	20.1	55.3	20
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	清涧河与黄河交汇口干流南岸林地	监测值	8.84	52	0.003	7.24	0.05	10	16.2	45.4	18
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
4	无定河与黄河交汇口干流北岸耕地	监测值	8.57	43	0.005	7.65	0.09	11	16.6	47.7	21
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	无定河与黄河交汇口干流北岸草地	监测值	8.77	45	0.004	8.68	0.07	13	14.9	55.2	24
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	无定河与黄河交汇口干流北岸林地	监测值	8.88	45	0.005	7.3	0.09	9	17.5	48	20
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/

序号	采样点	监测内容	pH	铬	汞	砷	镉	铜	铅	锌	镍
		单位	无	mg/kg							
5	无定河与黄河交汇口干流南岸耕地	监测值	8.63	51	0.003	9.45	0.12	13	17	56.2	26
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	无定河与黄河交汇口干流南岸草地	监测值	8.7	47	0.004	9	0.08	12	15.8	55.6	25
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	无定河与黄河交汇口干流南岸林地	监测值	8.68	47	0.011	7.13	0.13	9	16.2	47.6	22
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
6	吴堡县黄河干流北岸耕地	监测值	8.76	44		6.67	0.09	8	16.9	47.4	20
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	吴堡县黄河干流北岸草地	监测值	8.9	45	0.005	7.23	0.08	8	15.9	47.2	21
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	吴堡县黄河干流北岸林地	监测值	8.61	46	0.005	7.39	0.07	15	15.8	61.7	20
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
7	吴堡县黄河干流南岸耕地	监测值	8.62	50	0.036	10.4	0.09	15	18.5	59.7	27
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	吴堡县黄河干流南岸草地	监测值	8.75	43	0.005	7.75	0.06	10	15.6	47.1	22
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	吴堡县黄河干流南岸林地	监测值	8.74	49	0.01	8.31	0.1	11	16.4	49.3	22
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
8	延水河与黄河交汇口	监测值	8.77	50	0.007	9.12	0.08	17	17	54.8	26
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
9	延水河与黄河额交汇口下游干流左岸	监测值	8.87	51	0.004	7.29	0.08	11	17.6	43.8	18
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 16.5.1-7 底泥环境现状监测结果统计表

序号	采样点	监测内容	pH	有机质	铬	镉	汞	砷	铜	铅	锌
		单位	无	g/kg	mg/kg						
1	坝址上游 55 千米右岸延水河	监测值	8.79	13.2	65	0.1	0.022	8.32	17.2	19.2	49.3
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2	坝址	监测值	9.06	10.1	65	0.08	0.015	6.96	14.6	17.4	42.2
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
3	坝址下游	监测值	9.19	10.5	65	0.07	0.009	6.61	14.2	19.2	40.9
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
4	坝址上游 120 千米左岸底泥	监测值	9.28	2.33	64	0.1	0.009	6.68	12.5	16.2	40.7
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
5	坝址上游 180 千米右岸底泥	监测值	9.17	3.15	64	0.1	0.007	5.83	11.5	18.3	38.2
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/
6	坝址上游 20 千米左岸底泥	监测值	9.22	2.62	63	0.1	0.013	5.6	12	15.5	36.9
		超标倍数	/	/	/	/	/	/	/	/	/

从表中可以看出,评价区内土壤和底泥环境质量现状较好,各项指标均能满足《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)二级标准的要求。

(2) 补充监测评价结果

补充监测结果统计情况见表 16.5.1-8~9。

表 16.5.1-8 土壤环境现状补充监测结果统计表（1#~9#）

序号	检测项	单位	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#
1	pH（无量纲）	无量纲	8.32	8.1	8.09	8.19	8.31	8.21	8.08	8.24	8.58
		酸碱化分级	无碱化								轻度碱化
2	总砷	mg/kg	10.1	9.15	11	11.5	12.1	13.8	12.1	7.37	12
		标准指数	0.17	0.15	0.18	0.19	0.20	0.23	0.20	0.12	0.20
3	镉	mg/kg	0.012	0.18	0.19	0.12	0.16	0.16	0.26	0.14	0.11
		标准指数	0.0002	0.0028	0.0029	0.0018	0.0025	0.0025	0.0040	0.0022	0.0017
4	铬（六价）	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
5	铜	mg/kg	20	18	20	19	18	20	17	19	18
		标准指数	0.0011	0.0010	0.0011	0.0011	0.0010	0.0011	0.0009	0.0011	0.0010
6	铅	mg/kg	18.4	18.6	20.2	19.2	19.8	19.8	21.8	18.5	17.4
		标准指数	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
7	总汞	mg/kg	0.05	0.086	0.089	0.031	0.025	0.038	0.029	0.022	0.031
		标准指数	0.0013	0.0023	0.0023	0.0008	0.0007	0.0010	0.0008	0.0006	0.0008
8	镍	mg/kg	28	27	32	28	27	32	26	25	27
		标准指数	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03
9	全盐量	g/kg	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.4
		盐化程度	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化
10	四氯化碳	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
11	氯仿	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
12	氯甲烷	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
13	1,1-二氯乙烷	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
14	1,2-二氯乙烷	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
15	1,1-二氯乙烯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
16	顺-1,2-二氯乙烯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
17	反-1,2-二氯乙烯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
18	二氯甲烷	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
19	1,2-二氯丙烷	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
20	1,1,1,2-四氯乙烷	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
21	1,1,2,2-四氯乙烷	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
22	四氯乙烯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
23	1,1,1-三氯乙烷	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
24	1,1,2-三氯乙烷	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
25	三氯乙烯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
26	1,2,3-三氯丙烷	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT

序号	检测项	单位	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#
27	氯乙烯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
28	苯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
29	氯苯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
30	1,2-二氯苯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
31	1,4-二氯苯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
32	乙苯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
33	苯乙烯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
34	甲苯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
35	间二甲苯+对二甲苯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
36	邻二甲苯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
37	硝基苯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
38	苯胺	μg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
39	2-氯酚	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
40	苯并(a)蒽	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
41	苯并(a)芘	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
42	苯并(b)荧蒽	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
43	苯并(k)荧蒽	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
44	蒽	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
45	二苯并(a,h)蒽	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
46	茚并(1,2,3-cd)芘	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
47	苯	mg/kg	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
注：NT 表示未检出											

表 16.5.1-9 土壤环境现状补充监测结果统计表（10#~26#）

序号	项目	单位	10#	11#	12#	13#	14#	15#	16#	17#	18#	19#	20#	21#	22#	23#	24#	25#	26#
1	pH	无量纲	7.96	8.41	8.85	8.74	8.38	8.91	8.6	8.6	8.54	8.45	8.78	8.85	8.65	8.89	8.69	8.61	8.81
		酸碱化分级	无碱化	无碱化	轻度碱化	轻度碱化	无碱化	轻度碱化	轻度碱化	轻度碱化	轻度碱化	无碱化	轻度碱化	轻度碱化	轻度碱化	轻度碱化	轻度碱化	轻度碱化	轻度碱化
2	总砷	mg/kg	10	11	8.95	11.2	10.7	8.23	10.8	8.81	9.44	11.6	7.06	7.12	7.34	10.8	11.4	6.93	8.47
		标准指数	0.40	0.44	0.36	0.45	0.43	0.33	0.43	0.35	0.38	0.46	0.28	0.28	0.29	0.43	0.46	0.28	0.34
3	镉	mg/kg	0.16	0.15	0.11	0.1	0.15	0.12	0.13	0.14	0.11	0.18	0.08	0.11	0.15	0.1	0.11	0.12	0.07
		标准指数	0.27	0.25	0.18	0.17	0.25	0.20	0.22	0.23	0.18	0.30	0.13	0.18	0.25	0.17	0.18	0.20	0.12
4	铜	mg/kg	18	20	12	17	17	14	17	17	17	20	10	10	16	11	17	17	10
		标准指数	0.18	0.20	0.12	0.17	0.17	0.14	0.17	0.17	0.17	0.20	0.10	0.10	0.16	0.11	0.17	0.17	0.10
5	铅	mg/kg	19.6	20.5	17.5	16.8	19.4	18.4	16.7	18.3	18.1	21.2	16.4	16.7	18.5	16.8	20.1	18.4	14.6
		标准指数	0.12	0.12	0.10	0.10	0.11	0.11	0.10	0.11	0.11	0.12	0.10	0.10	0.11	0.10	0.12	0.11	0.09
6	总汞	mg/kg	0.024	0.019	0.021	0.013	0.015	0.02	0.013	0.011	0.012	0.015	0.016	0.013	0.01	0.009	0.011	0.02	0.01
		标准指数	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
7	镍	mg/kg	26	30	22	28	28	24	27	28	27	30	20	20	27	20	28	28	21
		标准指数	0.14	0.16	0.12	0.15	0.15	0.13	0.14	0.15	0.14	0.16	0.11	0.11	0.14	0.11	0.15	0.15	0.11
8	锌	mg/kg	66	62	47	53	55	49	54	56	55	64	41	40	54	43	53	55	39
		标准指数	0.22	0.21	0.16	0.18	0.18	0.16	0.18	0.19	0.18	0.21	0.14	0.13	0.18	0.14	0.18	0.18	0.13
9	铬	mg/kg	54	50	46	41	43	40	39	42	43	46	39	32	44	41	40	42	35
		标准指数	0.22	0.20	0.18	0.16	0.17	0.16	0.16	0.17	0.17	0.18	0.16	0.13	0.18	0.16	0.16	0.17	0.14
10	全盐量	g/kg	0.1	0.3	0.6	0.5	0.2	0.6	0.5	0.5	0.3	0.2	0.4	0.6	0.2	0.6	0.3	0.3	0.6
		盐化程度	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化	未盐化

根据统计结果显示，料场区内各监测点位土壤未发生酸化或碱化，也未发生盐化，其他各项因子检测值均未超出《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)中表1第二类用地筛选值；坝址区内9#有轻度碱化现象，占地范围外除10#、11#和14#三个点位未碱化外，其余点位土壤均有轻度碱化现象，但未发生盐化，其他点位以及各项因子检测值均未超出《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618-2018)中表1风险筛选值和《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)中表1第二类用地筛选值。

16.5.2 土壤环境影响分析

本工程建设对土壤环境的影响，在施工期主要表现为土壤流失、少量污染物可能对浅层表土形成污染；运行期水库工程对土壤的影响，主要表现为水库蓄水导致土壤潜水位提高，可能导致盐渍化、酸碱化等。

16.5.2.1 施工期土壤环境影响

(1) 水库淹没及永久建筑物占压区

工程水库淹没区、大坝、引水隧洞进出口、发电厂房、工程管理站等范围内的地表土壤在施工过程中将彻底被破坏，难以恢复。工程占地区域内的土壤将被水域或永久建筑取代，土壤的生产能力完全丧失。

(2) 临时占地及工程施工活动区域

工程料场开采过程中，其表层土壤将被逐步清除，暂时集中堆存在料场空地内，待取料结束后，回覆料坑。在这一过程中，表土层受到机械开挖扰动，土壤紧实度、通气性等物理性质都将受到影响，经历一段时间后，可逐渐恢复原有性质。因此，这部分土壤受到的影响是短期暂时的，不会造成永久不可逆的影响。

其它施工活动区域由于施工人员的践踏和施工机械的碾压，将造成如下影响：一是原来适宜于草本植物生长的表层土壤结构破坏，土壤变得紧实，表土温度升高，土壤中的有机质的分解作用增强，微生物数量及营养元素流失；二是原有的土壤物质循环与养分富集的途径阻断，土壤的成土过程丧失；三是植被和表层土壤原有结构被破坏后，表层土壤在暴雨洪水或其它地表径流和风力的作用下，容易发生水土流失，并对周边环境产生影响；四是施工生产废水、生活污水、生活垃圾处置不当，也会对土壤环境造成污

染。施工结束后,临时占地区域的地表会逐渐恢复,土壤结构和功能逐步恢复到自然状态,恢复期和能够恢复的程度与扰动强度和采取的恢复措施等有关。

16.5.2.2 运行期土壤环境影响

古贤水利枢纽工程建成后,由于水库蓄水水位大幅上升,导致区域地下水位上升,可能使库周土壤受浸没影响,发生盐碱化、潜育化或沼泽化。

(1) 库区浸没分析

水库浸没是指水库蓄水后,库岸岩土体被水浸泡而逐渐饱和,地下水水位随之上升而形成壅水。若岸坡相对平缓、地下水水位接近甚至高出地面,导致库岸岩土体强度降低、大片土地变成沼泽或严重盐渍化的过程和现象。

古贤水库为峡谷河道型水库,库岸大部分由古生界二叠系、中生界三叠系基岩组成,基岩岸坡陡峻。

1) 坝址~无定河口库段

在坝址~无定河口库段断续分布的Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级阶地低于正常蓄水位 627m 而被淹没,Ⅳ级阶地基座虽低于正常蓄水位 627m,但上覆黄土类土地形呈斜坡状,自然坡度一般 $13^{\circ}\sim 20^{\circ}$,局部形成黄土陡坎,受库水影响,将产生局部塌岸,基本不存在浸没问题;

2) 无定河口~三交库段

该段为顺直河谷,断续分布Ⅱ级、Ⅲ级阶地,Ⅱ级阶地低于正常蓄水位 627m 而被淹没,Ⅲ级阶地上覆黄土类土地形呈斜坡状,自然坡度一般 $20^{\circ}\sim 49^{\circ}$,受库水影响,将产生局部塌岸,基本不存在浸没问题;

3) 三交~吴堡库段

该段为弯曲峡谷,在弯曲河道凸岸分布着发育完整的Ⅰ级、Ⅱ级、阶地,该段大部分Ⅰ级阶地低于正常蓄水位 627m 而被淹没,Ⅱ级Ⅲ级阶地基座高于正常蓄水位 627m 而不受影响,Ⅱ级阶地上覆黄土类土地形呈斜坡状,自然坡度一般 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$,受库水影响,库岸再造产生局部塌岸,基本不存在浸没问题。

综上,主河道库区周边不存在浸没问题。

(2) 浸没范围

库周可能的浸没范围内分布的主要为旱地、荒地及少量民房，无大型工矿企业和集中居民点分布。经估算，古贤水利枢纽工程水库浸没区总面积约为 300 亩，均属农田浸没区，分布在左岸支流昕水河回水末端和右岸支沟延水关沟回水末端，浸没区范围较小，总体影响较小。

（3）浸没区土壤酸碱化分析

根据库区水文地质调查显示，库区沟谷深切，地形陡峻，地表径流条件良好，因而库区地下水具有水量贫乏、坡度大、埋藏深的基本特征，浸没区地表土壤受地下水的影
响较小；根据现状监测结果显示，本区土壤 pH 值为 8.52~9.28，已呈轻度碱化或中度碱化，高于黄河干流河水 pH 值，本工程拦沙初期，库水年替换次数 5 次，拦沙后期年替换次数 9.2 次，正常运行期年替换次数 21.8 次，替换频繁，因此库区水体浸没对土壤环境的酸碱化程度影响较小。

（4）浸没区土壤盐渍化分析

受浸没影响，土壤潜水位升高，地下水易通过土壤毛管上升并在太阳照射下强烈蒸发，水中盐分沉淀，堆积于土壤中，导致土壤次生盐渍化。

根据现状监测结果可知，库区内各监测点位土壤未发生盐化，工程建成运行后，库区范围内基本没有浸没问题，仅在左岸支流昕水河回水末端和右岸支沟延水关沟回水末端有少量浸没区，但浸没程度轻微，部分土壤可能会出现轻度盐渍化，影响农作物正常生长，但范围很小。

16.5.3 土壤环境保护措施

为进一步减免工程建设和运行对土壤环境的影响，应采取如下对策措施：

（1）施工期结合水土保持措施，做好表土剥离和堆存，及时采取拦挡、截排水及种植水保植物等措施，有效防治土壤流失；

（2）对施工生产区进行场地硬化，加强施工物料的防流失措施，做好废污水处理池防渗处理；

（3）定期维护机械设备，杜绝跑冒漏滴现象；

（4）运行期应建立土壤环境质量监测和反馈机制，及时进行跟踪评价，发现有明显不良影响的应及时采取改进措施，把不利影响降至最低水平。

16.6 黄河壶口瀑布风景名胜区影响分析与保护措施

根据《黄河壶口瀑布风景名胜区（陕西）总体规划（2017-2035）》及坝址区施工组织设计，施工布置经优化调整后，景区内陕西侧仅保留 1 座跨两省的黄河大桥、2#、6#进场道路，且均位于景区北部区域的三级保护区，不涉及核心景区。根据《黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）总体规划（2018-2035）》及皮带机线路区施工组织设计，本工程皮带机线路、进场道路平行段将穿过壶口瀑布风景名胜区，穿越长度分别为 11.042km、10.957km，采用隧道、桥梁相结合的方式通过壶口瀑布风景区二级保护区（严格限制建设范围）、三级保护区（限制建设范围），施工时段为筹建期 1.5 年以及施工准备期第 1 年，皮带机线路和进场道路平行段隧洞和桥梁等施工活动可能会对风景名胜区的水环境、环境空气、声环境以及固体废弃物处置产生不利影响。

16.6.1 壶口风景名胜区影响源项及预测情景分析

坝址区黄河大桥、2#、6#进场道路以及皮带机线路区进场道路和皮带机线路平行段在穿过壶口瀑布风景名胜区时，不设置施工生活区和弃渣场。坝址区黄河大桥、2#、6#进场道路在经过陕西侧壶口瀑布风景名胜区三级保护区时产生的生产废水、大气、噪声以及固体废弃物计入坝址区，此处不再单独进行影响分析；皮带机线路平行段在穿过壶口瀑布风景名胜区时产生的生产废水、大气、噪声以及固体废弃物排放情况详见表 16.6.1-1。

表 16.6.1-1 皮带机和进场道路平行段穿过壶口瀑布风景名胜区时影响源项分析

环境要素	污染物排放量	影响时段	措施
地表水环境	混凝土搅拌机冲洗废水产生量为 50m³/d，主要污染物为 SS	工程筹建期 1.5 年、施工准备期第 1 年	处理后全部回用于混凝土搅拌机生产及冲洗
环境空气	机械燃油废气产生 NO ₂ 、CO、SO ₂ 、碳氢化合物分别为 290t、176t、21t、29t；隧洞口开挖、爆破及运输产生 TSP、CO、NO _x 等其它有害气体排放量分别为 32t、10t、27t		采取洒水降尘等措施
声环境	施工机械噪声，均小于 100dB（A）		采取合理安排施工时段、降低车速等措施
固体废弃物	工程弃渣量约为 200 万 m³		定期清运至景区外指定弃渣场

由表 16.6.1-1 可知，进场道路和皮带机线路平行段在穿过壶口瀑布风景名胜区时可能产生生产废水、大气污染物、噪声以及工程弃渣等，产生高峰时段主要集中在工程筹建期的第 2 年和施工准备期第 1 年。基于上述污染物产生及排放情况，本次将对其可能

产生的影响进行分析，提出适用于风景名胜区环境保护和污染防治的措施和建议。

16.6.2 黄河壶口瀑布风景名胜区基本情况

16.6.2.1 地理位置、范围与面积

黄河壶口瀑布风景名胜区是以壶口瀑布为核心的国家级风景名胜区，黄河左、右岸景区分属山西省吉县和陕西省宜川县，东距吉县县城 45km，西距宜川县城 49km。

1988 年 8 月，国务院以《批转建设部关于审定第二批国家重点风景名胜区报告的通知》（国发〔1988〕51 号文），确定黄河壶口瀑布风景名胜区为国家重点风景名胜区。1997 年 5 月，原建设部以建城〔1997〕101 号文《建设部关于黄河壶口瀑布风景名胜区总体规划的批复》对两省编制的总体规划予以批复，确定黄河壶口瀑布风景名胜区规划范围为 178km²，为追溯中华文明渊源的瀑布型国家重点风景名胜区。陕西省宜川县和山西省吉县在壶口瀑布景区分别设立了管理部门。目前上述两个规划已超过规划期，两省正在编制新的规划。

根据《黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）总体规划（2018-2035）》，山西侧风景区总面积 116km²。风景区范围四至地理坐标分别为：北至 36°12'39.556"N，110°28'29.205"E；东至 36°11'14.998"N，110°35'59.216"E；南至 36°5'21.074"N，110°28'5.454"E；西至 36°9'53.654"N，110°26'24.280"E。

根据《黄河壶口瀑布风景名胜区（陕西）总体规划（2017-2035）》（已通过陕西省住建厅审查），陕西侧风景区总面积为 147.94km²。风景区范围四至地理坐标分别为：北至 36°14'44.82"N，110°20'11.78"E；东至 36°03'9.92"N，110°28'34.53"E；南至 36°03'0.24"N，110°28'11.39"E；西至 36°13'58.64"N，110°15'33.30"E。

16.6.2.2 分级保护要求

根据《黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）总体规划（2018-2035 年）》和《黄河壶口瀑布风景名胜区（陕西）总体规划（2017-2035 年）》，按照资源的重要程度和现状资源质量，划分为一级、二级、三级保护区三个层次，实施分级控制保护，并对一级、二级保护区实施重点保护控制。

（1）一级保护区（核心景区——严格禁止建设范围）

山西侧一级保护区包括壶口瀑布、黄河及沿河景观、黄土景观、克难坡历史景观、

管头山森林景观，总面积 31.25 km²。陕西侧一级保护区包括壶口瀑布景区、石堡寨景区（东部）、南塬沟壑景区（全部）、黄土塬景区和宜桑抗战公路景区的部分区域，总面积 54.73 km²。主要保护要求为：严格保护风景资源及其周边环境的真实性、完整性；禁止建设与风景无关的设施；严格控制新的建设活动，允许建设与风景游赏有关的建筑和设施；允许建设必要的游步道、科考研究和安全防护设施；大力培育森林资源，进行生态恢复，促进生态文明建设。

（2）二级保护区（严格限制建设范围）

山西侧二级保护区包括分区规划中的林地保育区，总面积 32.76 km²。陕西侧二级保护区主要包括包括黄土塬景区、云岩河景区、仕望河景区，并包括石堡寨景区、壶口瀑布景区、宜桑抗战公路景区的部分区域，总面积 58.56 km²。主要保护要求为：禁止砍伐、攀摘、捕猎，加强生态保护，提高景区的森林覆盖率，减少水土流失，改善和营建植物群落；限制与风景游赏无关的建设；加强道路交通管理，完善车行游览线路，游览活动应按照指定线路进行，除游览区外，限制游人进入；适当恢复森林植被，保护现有植被。

（3）三级保护区（限制建设范围）

三级保护区主要是风景名胜区内村庄集中分布区域及旅游服务设施集中建设区域，其中山西侧总面积 51.99 km²，陕西侧总面积为 32.91 km²。主要保护要求为：保护乡土植被、防止水土流失、营造适合风景区的景观，游览设施和居民点建设必须严格履行风景名胜区等法定的审批程序，必须经过详细规划设计后按规划严格实施。

16.6.3 进场道路和皮带机线路平行段对山西侧风景名胜区的影响

16.6.3.1 山西侧景区内工程布置情况

根据工程可研，依据《黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）总体规划》（2018-2035 年），工程皮带机线和进场道路采用隧道、桥梁相结合的方式通过壶口瀑布风景区二级保护区（严格限制建设范围）、三级保护区（限制建设范围）。进场道路穿越山西侧景区总长度为 10.957km，穿越二、三级保护区长度分别为 3.08km、7.877km；皮带机骨料输送线路穿越景区总长度为 11.042km，穿越二、三级保护区长度分别为 3.104km、7.938km，以上线路均避开了一级保护区。包括隧道 6 座、桥梁 6 座、明线 4 段。涉及

二级保护区全部为隧洞穿过。工程与壶口瀑布风景名胜区(山西)位置关系见图 16.6.3-1。

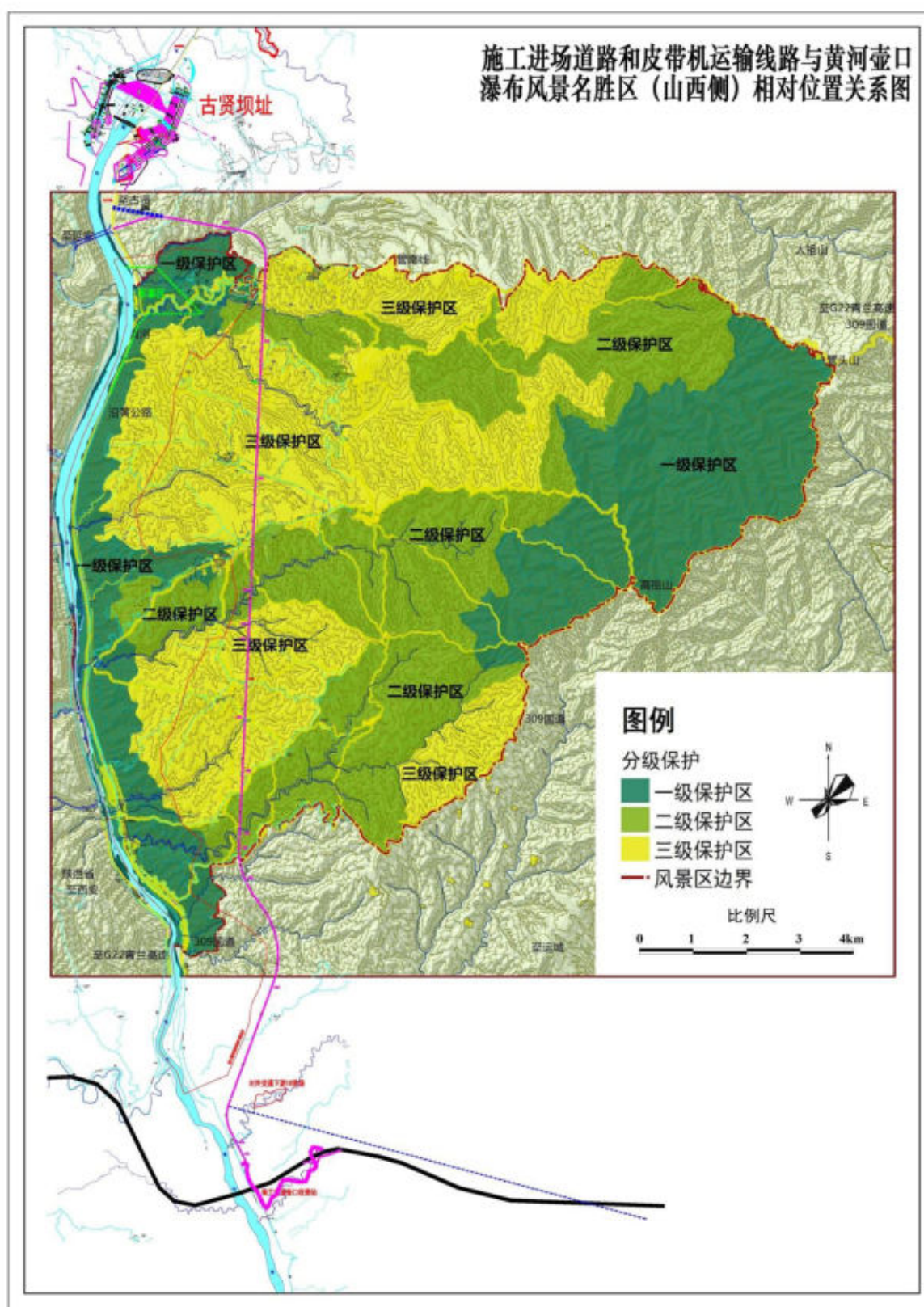


图 16.6.3-1 工程与黄河壶口瀑布风景名胜区(山西)相对位置关系图

16.6.3.2 施工对陆生生态影响分析

工程对壶口风景名胜区的影响主要为施工占地及隧道开挖对区域植被的影响。

(1) 工程占地对植被的影响

皮带机、进场道路在风景名胜区内临时占地面积约 79.73hm^2 ，永久占地主要为桥墩和隧洞口占地，占地面积约 8.18hm^2 。桥梁拟建地及隧洞口区域位于风景名胜区的二级区和三级区，植被多为稀疏灌木林地和草地，灌木主要为荆条、酸枣灌丛以及少量黄刺玫等，草地以白羊草草地居多，散生有部分刺槐和臭椿等林木。

桥梁建设及隧洞洞口开挖会破坏山体植被，导致桥梁及隧洞口附近植被和生物量的减少；工程临时占地在施工结束后采取植被恢复措施，对植被影响较小。永久占地面积为 8.18hm^2 ，占地面积相对较小。由于桥梁建设及隧洞口开挖破坏的植被类型在评价区均广泛分布，因此皮带机和进场道路平行段占地对区域植被影响有限。

(2) 隧洞施工对植被的影响

皮带机和进场道路平行段隧洞上方自然植被主要为白羊草、杂类草草丛和农田，由于草地根系大部分位于 $0\text{-}20\text{cm}$ 的土层内，依靠降水和空气中的水分生存，难以利用地下水，因此隧洞施工对地下水的影响不会影响到草地植被的生长。

皮带机和进场道路平行段隧洞在施工结束后对隧洞内壁进行了衬砌，相对封闭，不存在漏水渗水的现象，同时由于断面较小，不影响隧洞上方及周边区域地下水流动，对隧洞上方植被影响较小。

16.6.3.3 施工对地表水环境影响分析

根据可研报告，皮带机和进场道路平行段不在景区范围内设置施工生活区，不产生生活污水；混凝土拌和机生产废水产生量较小，且主要污染物为悬浮物，本次建议强制式搅拌机冲洗后的废水经沉淀处理后回用于搅拌机的冲洗，不外排，因此不会对风景名胜区内水体产生不利影响。

16.6.3.4 施工对地下水环境影响分析

根据地层结构和地下水的赋存条件、水力性质，上部风化卸荷带赋存的地下水为孔隙-裂隙水，隧道穿越区地下水类型为基岩裂隙水。

表层地下水主要接受大气降水补给，并通过裂隙排泄于沟谷，部分存在于风化卸荷

带内自然蒸发或者被植物吸收，垂直方向的渗透很少，难以形成稳定的地下水，地下水以水平向排泄为主，遇到较厚的粉砂岩层时，以泉水形式出露于地表。从可研勘察资料和青兰高速隧洞的勘察资料看，隧道穿越区位于微新岩体中，地下水贫乏，少数有渗水滴水，和沟谷相交处，可能有线状流水，不存在稳定地下水位，表层的孔隙-裂隙水和深部的裂隙水连通性差。因此，皮带机和进场道路平行段隧道开挖不会引起地下水位显著变化。

16.6.3.5 施工对环境空气影响分析

皮带机和进场道路平行段在穿越壶口瀑布风景名胜区施工时，环境空气污染主要包括施工机械及运输车辆产生的废气、隧洞口开挖、爆破等作业面以及交通运输产生的扬尘。根据工程分析，平行段施工期机械燃油废气和隧洞口开挖、爆破及运输产生废气的排放时段主要集中在筹建期，燃油污染物及粉尘排放均会对风景名胜区及周边村庄的环境空气造成一定影响。

施工过程中，需要采取选用达标机械和车辆、加强机械和车辆维护保养、定时洒水、物料运输及堆存时进行 100%全覆盖等措施，尽量减小对壶口瀑布风景名胜区环境空气质量影响。

16.6.3.6 施工对声环境影响分析

平行线路在穿越壶口瀑布风景名胜区施工时，对区域声环境的影响主要表现为施工机械噪声；由于受地形条件限制，本工程主要为 TBM 隧洞施工，使用的施工机械较少，主要包括空压机、砼搅拌机、振捣机和自卸汽车。根据同类工程对主要开挖施工机械设备车辆噪声实测值，上述施工机械噪声级均小于 100dB（A）。本工程平行段大部分采用隧道方式穿越景区，对景区声环境的影响较小。

16.6.3.7 固体废弃物影响分析

皮带机和进场道路平行段在穿越壶口瀑布风景名胜区施工时，产生的固体废弃物主要为工程弃渣。根据施工组织设计和工程分析，平行段在穿越风景名胜区二级、三级保护区段大多数为隧道，出渣量约为 200 万 m³，弃渣量较大。根据可研，景区内不设置弃渣场，弃渣全部外运至坝址区渣场和皮带机线路区位于青兰高速附近处的弃渣场。工程固体废弃物不会对风景名胜区产生不利影响。

16.6.4 工程施工对陕西侧风景名胜区影响分析

经优化调整后，目前仅保留 1 座跨两省的黄河大桥，以及 2#、6#施工道路部分路段。景区内长度分别为 0.145km、1.768km、1.623km，共计 3.536km，均位于景区三级保护区。以上工程在经过陕西侧壶口瀑布风景名胜区时施工活动依托坝址区进行，产生的生产废水、大气、噪声以及固体废弃物非常小。施工活动中应采取与山西侧景区内同样严格的措施，尽量减小对壶口瀑布风景名胜区（陕西）的影响。工程与黄河壶口瀑布风景名胜区（陕西）相对位置关系见图 16.6.4-1。

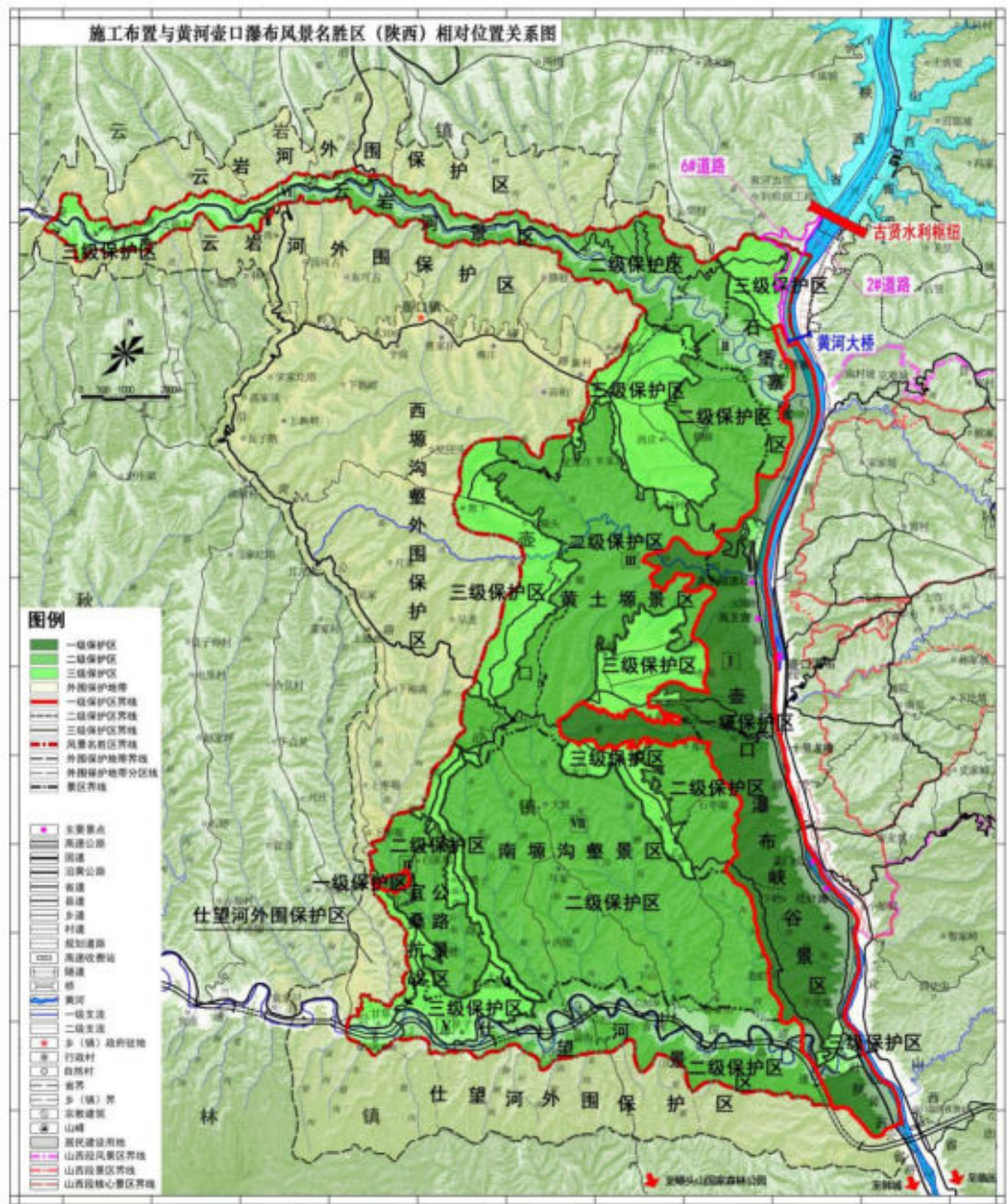


图 16.6.4-1 工程与黄河壶口瀑布风景名胜区（陕西）相对位置关系图

16.6.5 壶口风景名胜区保护措施

鉴于《黄河壶口瀑布风景名胜区总体规划（2017-2030）》正在报批阶段，待该规划经国务院批复后，工程方可建设实施。

16.6.5.1 地表水环境保护措施

皮带机和进场道路平行段生产废水主要是混凝土强制式搅拌机冲洗废水，废水量少，主要污染物为悬浮物。考虑到混凝土搅拌用水要求不高，建议该废水经沉淀处理后，出水 SS 浓度小于 2000mg/L，可以回用于搅拌机冲洗。

16.6.5.2 环境空气保护措施

（1）在风景名胜区保护范围内的隧洞开挖及爆破、桥梁浇筑、明线路段施工过程中，应选择达到或优于国家规定排放标准的施工机械，并使之处于良好运行状态；

（2）加强对隧道掘进机、挖掘机、空压机、砼搅拌机、振捣机和自卸汽车等施工机械和运输车辆的维护和保养，使用优质燃料，减少尾气排放量；

（3）对二级保护区范围边界处的隧洞口、三级保护区内的隧洞口、桥梁、明线路基作业面及施工道路，每天上下午至少各洒水 1 次；

（4）避免大风时段和污染严重天气下进行爆破、洞口开挖、混凝土拌合等高粉尘工序的施工作业；

（5）砂石、水泥等尘源物料的运输和堆存采取 100%全覆盖措施；工程弃渣应压实覆盖，减少扬尘产生；弃渣场堆满后进行 100%绿化。

16.6.5.3 声环境保护措施

（1）合理安排施工布局，物料装卸、堆放以及混凝土搅拌机等，应远离风景名胜区二级保护区以及三级保护区内村庄等环境敏感点；

（2）施工中优先选用噪声低的机械设备，并定期维修养护和正确使用，使之保持最佳工作状态，降低声级水平；强噪声设备安装隔声罩，控制施工噪声源，做到施工噪声不影响景区和附近村庄的声环境质量；

（3）外来运输车辆在穿越风景名胜区二级、三级保护区以及居民集中的路段时，设置禁止鸣笛放喇叭标识牌，控制瞬时突发噪声；

（4）结合景区旅游高峰时段，合理安排施工时间，将噪声影响大的工序安排在工

作日进行；禁止夜间（晚 22:00 至次日凌晨 6:00）高噪声机械施工；

（5）皮带机和进场道路平行段经过侯家原村、中市村和南原村附近时，应在进场道路隧洞出入口施工区域设置临时施工围挡，其中围挡设计安装时应考虑营造适合风景区的景观因素。

16.6.5.4 固体废弃物保护措施

根据景区规划要求，平行段在穿过风景区保护范围内不设置弃渣场，风景名胜区内隧洞开挖产生的弃渣应及时清运至坝址区 1#渣场和青兰高速附近施工进场道路 1#、2#弃渣场，并且在清运过程中封闭式覆盖，避免洒落，造成二次污染；同时弃渣场应做好水土保持措施。

在皮带机和进场道路平行段穿过风景名胜区的隧洞口及桥梁作业面放置 10 个容积为 5m^3 的塑料桶收集垃圾，同时在风景区南侧建 1 个有效容积为 20m^3 垃圾中转站，配置 1 辆垃圾清运车，每天将垃圾桶内的垃圾清运至垃圾中转站。施工结束后产生生活区板房拆除、皮带机线路拆除产生的废弃板材和皮带、废旧零部件等，应及时运送至附近坝址区或料场区施工工厂、机械修理厂内的建筑垃圾堆放点，进行回收利用，无法利用的可出售至废品收购站资源化回收，不随意丢弃。

16.7 小结

坝址区施工期生活废水排放量为 $955.2\text{m}^3/\text{d}$ ，排水量较大，在坝址区建设 1 座污水处理站，处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）中绿化、洒扫、建筑施工标准后用于洒水降尘和混凝土拌和系统用水，冬季或雨季绿化用水需求量较小时段通过塑料储水罐进行收集储存，在干燥多风天气加大施工区域道路抑尘洒水频次，废水可以全部回用，不外排，不会对黄河水环境质量产生不利影响；其余施工区生活废水排放量为 $320\text{m}^3/\text{d}$ ，采用化粪池和一体化处理设备处理后全部回用。各施工区的混凝土生产废水、砂石料加工系统废水采用絮凝沉淀法，机械修配系统废水采用成套油水分离器处理达标后全部回用，坝址区基坑废水经投加絮凝剂排水静置 2h 后达标排放至黄河，施工期废污水对地表水环境不会产生较大影响。

工程施工期砂石料加工系统粉尘、混凝土拌合系统粉尘配备袋式除尘器，并定期更新袋式除尘器毛毡滤袋，保证设备正常运行。坝址开挖、料场、皮带机线路隧洞进出口

开挖尽量选用湿法作业，开挖后持续一定时间采用“雨鸟”设施喷水，施工临时道路通过洒水车和高压喷雾设备定期洒水降尘、物料运输车辆加盖篷布等，采取上述措施情况下，基本不会对大坝附近的古贤村、料场附近的西磴口村、赵家圪垛、张家岭村及皮带机线路附近的东庄小学和周边环境空气造成大的影响。

施工期噪声源可分为点源和线源两大类。点源主要是大坝施工区噪声源、砂石加工系统噪声源、混凝土拌和系统噪声源、施工爆破噪声源、进场道路隧洞进出口、施工机械及施工作业噪声源；线源主要是交通运输车辆噪声源。在采取优化施工布局，减少高噪声设备且尽量远离声环境敏感目标；禁止夜间施工，东庄小学附近 12#弃渣场设置临时围挡；古贤村、南村、侯家原村、留村等设置限速标牌；夜间禁止大型车辆行驶等措施，对大坝附近的古贤村、料场附近及皮带机线路附近的村庄和区域声环境影响不大。

施工期固体废弃物包括工程弃渣、建筑垃圾及生活垃圾等。坝址区、料场区和皮带机线路区分别设置 3 个弃渣场、1 个弃渣场和 13 个弃渣场，并采取植被恢复和水保措施。建筑垃圾采用回收利用和运往弃渣场。含油污泥属于危险固废，委托有资质单位进行处置。生活垃圾主要为施工人员日常生活过程中产生的食物残渣、其它一般性固体垃圾等，采取集中收集、集中清运至吉县垃圾填埋场处理措施后，工程产生固废不会对周边环境产生大的影响。

根据现状监测结果，工程区域土壤环境满足相关标准要求；运行期仅在左岸支流昕水河回水末端和右岸支沟延水关沟回水末端有少量浸没区，库区范围内的局部水体浸没对土壤环境的酸碱化程度影响较小，浸没程度轻微，部分土壤可能会出现轻度盐渍化，影响农作物正常生长，但范围很小。

工程在壶口瀑布风景名胜区内不设置施工生活区和取弃土场。皮带机线路和进场道路平行段主要以隧洞形式穿越黄河壶口瀑布风景名胜区（山西侧），穿越长度分别为 11.042km、10.957km，主要涉及二、三级保护区。跨两省的黄河大桥及 2#、6#进场道路部分路段位于黄河壶口瀑布风景名胜区（陕西）北部区域的三级保护区。工程不会引起地下水位显著变化，也不会对隧洞上方地表植被造成明显影响。在采取保护措施后，生产废水不外排，大气污染、噪声产生量较小，同时工程弃渣全部外运出景区处置，工程总体对风景名胜区影响较小。

第十七章 移民安置环境影响与保护措施

古贤水利枢纽工程库区范围涉及陕西省的宜川、延长、延川、清涧、绥德、吴堡和山西省的吉县、大宁、永和、石楼、柳林等 11 县，枢纽工程建设区涉及山西省吉县、乡宁县、河津市和陕西宜川县等 4 个县（市）。工程建设征地涉及总人口 15063 人，影响总土地面积 34.24 万亩，影响集镇 4 个，影响道路总长 503.16km。基准年生产安置人口 12052 人，搬迁安置人口 14388 人。

规划设计水平年生产安置人口 13014 人，以农业安置方式为主；搬迁安置人口 4679 户 15530 人，从安置方式考虑，本村后靠安置 3039 户 9925 人，随集镇迁建安置 602 户 2176 人；进城（镇）自主安置 1038 户 3429 人。

工程淹没涉及移民安置的工程量较大，移民安置过程中将对生态环境产生一定的影响，本章节根据工程拟定的移民安置方案，开展移民安置区域的生态、土壤、环境空气、地表和地下水、土壤等环境指标调查，对工程移民安置方案环境合理性进行分析，对工程移民生产安置、生活安置、集镇迁建、专业项目复建过程中产生的环境影响进行预测分析，并提出相应的环境保护措施，将移民安置过程中对环境的影响降至最低，为工程建设及环境保护管理提供依据。

17.1 移民安置区环境现状

17.1.1 移民安置区涉及范围

17.1.1.1 移民安置区涉及市县村

根据移民安置规划方案，依据地方人民政府意见，同时根据当地的土地资源状况及生产能力，水资源及开发利用情况等因素，移民安置区涉及宜川、延长、延川、清涧、绥德、吴堡、柳林、石楼、永和、大宁、吉县等 11 县 31 个乡（镇）140 个行政村。

表 17.1.1-1 古贤水利枢纽移民安置涉及乡（镇）情况表

合 计	涉及乡（镇）个数	乡（镇）名称
	31	
一、陕西省	15	
宜川县	1	云岩镇
延长县	2	雷赤镇、罗子山镇
延川县	3	乾坤湾镇、延水关镇、大禹社区
清涧县	6	双庙河服务中心、老舍古服务中心、高杰村镇、谢家沟镇、石盘服务区
绥德县	2	定仙焉镇、枣林坪镇
吴堡县	1	宋家川街道办
二、山西省	16	
吉 县	1	文城乡
大宁县	3	太古乡、徐家垛乡、曲峨镇
永和县	4	交口乡、南庄乡、打石腰乡、阁底乡
石楼县	4	和合乡、前山乡、小蒜镇、曹家垣乡
柳林县	4	三交镇、高家沟乡、石西乡、薛村镇

17.1.1.2 生产安置方式、去向

规划农村移民生产安置以农业安置为主，一次性补偿和自谋职业安置为辅。农业生产安置用地以开发本村组剩余土地为主，本村组剩余土地不足以安置移民的，在邻近行政村或者组有偿调整土地，或采用一次性补偿、自谋职业的安置方式。规划水平年生产安置人口 13014 人，其中农业安置 10431 人，一次性补偿安置 1858 人，自谋职业安置 725 人。

17.1.1.3 搬迁安置方式、去向

古贤水利枢纽工程规划设计水平年（2028 年）山西、陕西两省搬迁安置移民共计 4679 户 15530 人。其中本村后靠安置 3039 户 9925 人，占搬迁安置人口的 63.91%；随集镇迁建安置 602 户 2176 人，占 14.01%；进城（镇）自主安置 1038 户 3429 人，占 22.08%。

从安置方式考虑，规划建设 28 个集中居民点和 1 个随集镇迁建集中居民点，安置移民 3374 户 11254 人，其中本村后靠集中安置 2772 户 9078 人，随乡镇迁建集中安置 602 户 2176 人；分散安置 1305 户 4276 人，其中本村分散安置 267 户 847 人，进城（集）镇自主分散安置 1038 户 3429 人。工程移民搬迁安置去向见表 17.1.1-2，工程淹没移民村规划搬迁位置见附图 7-7-1 和附图 7-7-2。

表 17.1.1-2 古贤水利枢纽工程农村移民搬迁安置方式表

行政区域					安置任务		本村后靠安置						随镇迁建安置		城（镇）自主安置			
省	县（市）	乡（镇）	行政村	居民组	户数	人口	小计		集中		分散		户数	人口	户数	人口		
							户数	人口	户数	人口	户数	人口						
总计					4679	15530	3039	9925	2772	9078	267	847	602	2176	1038	3429		
山西省	1、山西省合计				2187	7589	662	2333	558	1998	104	335	602	2176	923	3080		
	吉县	文城乡	王家垣村	原头坡	13	39									13	39		
				仁义	1	4							1	4				
				小计	14	43							14	43				
		合计			14	43									14	43		
	大宁县	太古乡	仪里	里仁坡	2	10									2	10		
			六儿岭	平渡关	45	159	32	113	32	113					13	46		
			小计		47	169	32	113	32	113					15	56		
		徐家垛乡	于家坡	古镇	54	179										54	179	
				于家坡	1	1	1	1			1	1						
				小计	55	180	1	1			1	1			54	179		
			芙蓉	姚家滩	25	85	12	41					12	41			13	44
			李家垛	李家垛	111	376											111	376
				大坡	23	85											23	85
				下庄	26	100											26	100
				小计	160	561											160	561
			花崖	花崖	96	279											96	279
			徐家垛村	徐家垛	136	412											136	412
				黄家垛	68	207											68	207
				小计	204	619											204	619
			北桑峨	北桑峨	135	413	22	67					22	67			113	346
			南桑峨	南桑峨	111	402											111	402
		乐棠	曹家坡	1	1	1	1					1	1					
		小计		787	2540	36	110					36	110			751	2430	
		曲峨镇	曲风	南风	30	106	24	86					24	86			6	20
	北风			7	27										7	27		
	小计			37	133	24	86					24	86			13	47	
	合计				871	2842	92	309	32	113	60	196			779	2533		

行政区域					安置任务		本村后靠安置						随镇迁建安置		城（镇）自主安置	
省	县（市）	乡（镇）	行政村	居民组	户数	人口	小计		集中		分散		户数	人口	户数	人口
							户数	人口	户数	人口	户数	人口				
	永和县	阁底乡	高家塬	佛堂	26	99	26	99	26	99						
			阴德河	阴德河	137	465	137	465	137	465						
			小计		163	564	163	564	163	564						
		打石腰乡	于家圪	河洽里	100	362	100	362	100	362						
			李家垣	直地里	28	97	28	97	28	97						
			小计		128	459	128	459	128	459						
		南庄乡	刘家圪塆	永和关	66	228	66	228	66	228						
		合计			357	1251	357	1251	357	1251						
	石楼县	和合乡	杨家沟	崖头	2	8									2	8
		前山乡	贺家洼	咀头	2	10									2	10
			韦家湾	辛关	10	41									10	41
				滩村	11	37									11	37
				小计	21	78									21	78
		小蒜镇	转角	转角	73	270	14	44			14	44			59	226
		合计			98	366	14	44			14	44			84	322
	柳林县	三交镇	下塔	下塔	36	131							30	106	6	25
			三交	三交	146	500							137	452	9	48
			沙坪则	沙坪则	100	329							95	315	5	14
				石滩	94	356							94	356		
				小计	194	685							189	671	5	14
			坪上	蒿园则	91	300							91	300		
				坪上	139	580							139	580		
				小计	230	880							230	880		
			坪头	下堡	16	67							16	67		
			小计		622	2263							602	2176	20	87
		高家沟乡	王家塔	王家塔	3	14	3	14			3	14				
			宋家寨	宋家寨	62	243	55	219	55	219					7	24
			小计		65	257	58	233	55	219	3	14			7	24

行政区域					安置任务		本村后靠安置						随镇迁建安置		城（镇）自主安置		
省	县（市）	乡（镇）	行政村	居民组	户数	人口	小计		集中		分散		户数	人口	户数	人口	
							户数	人口	户数	人口	户数	人口					
陕西省	石西乡	呼家垣	上庄	上庄	79	282	74	265	74	265					5	17	
			胡家塔	3	14					3	14						
			大岭（小园则）	18	50	7	10			7	10	11	40				
			小计	21	64	7	10			7	10	14	54				
			石西	石西组	40	150	40	150	40	150							
			后河底	后河底	20	71	20	71			20	71					
			小计	160	567	141	496	114	415	27	81	19	71				
			合计	847	3087	199	729	169	634	30	95	602	2176	46	182		
		2、陕西省合计				2492	7941	2377	7592	2214	7080	163	512			115	349
	延长县	雷赤镇	凉水岸	下坡	14	33	14	33			14	33					
				凉水岸	45	130	45	130	45	130							
				小计	59	163	59	163	45	130	14	33					
			合计				59	163	59	163	45	130	14	33			
	延川县	乾坤湾镇	枣洼	马家河	47	137									47	137	
			碾畔	伏羲河	154	465	154	465	154	465							
			小计		201	602	154	465	154	465					47	137	
		延水关镇	伏寺	伏寺 1	89	298	89	298	89	298							
				伏寺 2	63	215	63	215	63	215							
				小计	152	513	152	513	152	513							
			石佛	苏亚	193	621	193	621	193	621							
			新胜古	高家畔	109	332	109	332	109	332							
				王家渠	86	244	86	244	86	244							
				延水关	231	693	231	693	231	693							
				小计	317	937	317	937	317	937							
			冯家崖	冯家崖	106	321	106	321	106	321							
				干家山	22	78	22	78			22	78					
				杜家山	16	49	16	49			16	49					
				小计	144	448	144	448	106	321	38	127					
			贺家河	贺家河	198	580	198	580	198	580							
			张家河	赵家河	41	120	21	61			21	61			20	59	
				杨家山	18	62	18	62			18	62					
				柏树洼	56	178	27	89			27	89			29	89	

行政区域					安置任务		本村后靠安置						随镇迁建安置		城（镇）自主安置			
省	县（市）	乡（镇）	行政村	居民组	户数	人口	小计		集中		分散		户数	人口	户数	人口		
				户数			人口	户数	人口	户数	人口							
			小计	115	360	66	212			66	212			49	148			
		小计		1228	3791	1179	3643	1075	3304	104	339			49	148			
		大禹街道办	石克	白家圪楞	1	7	1	7			1	7						
		合计			1430	4400	1334	4115	1229	3769	105	346						
清涧县	双庙河便民服务中心	贺家畔	贺家畔	78	269	78	269	78	269									
			郭家河	84	269	84	269	84	269									
			小计	162	538	162	538	162	538									
		玉家河镇	王家河	王家河	150	548	150	548	150	548								
		高杰镇	河口	河口	229	834	229	834	229	834								
		石盘服务中心	马花坪	马花坪	3	10	3	10			3	10						
			上坪	上坪	53	139	53	139	53	139								
			小计		56	149	56	149	53	149	3	10						
		合计			597	2069	597	2069	594	2059	3	10						
绥德县	定仙碛镇	界首	子房沟	30	120	30	120	30	120									
			西沟	32	91	32	91	32	91									
			渠里	65	224	65	224	65	224									
			后店	128	391	128	391	128	391									
			小计	255	826	255	826	255	826									
	枣林坪镇	沟口	沟口	34	115	34	115	34	115									
		河底	河底	86	273	73	232	57	181	16	51				13	41		
		吴家渠	吴家渠	1	3	1	3			1	3							
		福乐坪	福乐坪	5	21										5	21		
		金水湾	鱼家湾	6	19	6	19			6	19							
		枣前坪	枣前坪	16	41	16	41			16	41							
		西河驿	西河驿	3	11	2	9			2	9				1	2		
		小计		151	483	132	419	91	296	41	123				19	64		
	合计			406	1309	387	1245	346	1122	41	123				19	64		

17.1.2 移民安置区环境质量现状调查

17.1.2.1 区域生态保护的要求

根据《全国主体功能区规划》、《陕西省主体功能区规划》、《山西省主体功能区规划》，移民安置区所在的区域属于相关规划中确定的限制开发区域（重点生态功能区）——黄土高原丘陵沟壑水土保持生态功能区，为水土保持型的重点生态功能区；在《全国生态功能区划》、《陕西省生态功能区划》、《山西省生态功能区划》等相关规划中，安置区所在区域位于黄土高原土壤保持重要区，属于生态调节一级功能区、土壤保持二级功能区、吕梁山山地土壤保持功能区（I-03-17）和陕北黄土丘陵沟壑土壤保持功能区（I-03-18）三级功能区，总体来说，区域土壤侵蚀敏感，主要的生态功能为水土保持，生态保护的主要方向是实施退耕还灌还草还林，实施小流域综合治理，推行节水灌溉新技术，发展林果业等。

17.1.2.2 集中安置点生态环境现状

根据移民安置规划，共设 29 个集中安置点，据现场调查，各安置点均不涉及自然保护区、风景名胜区等生态敏感区。根据调查移民安置区的 11 个县 31 个乡镇均属黄土丘陵区，大陆性季风气候区，地貌形态为黄土高原沟壑区和黄土丘陵沟壑区，水土流失严重。安置区主要种植经济作物为玉米、土豆、谷子等粮食作物和棉花、花生、烟叶等经济作物。移民安置区规划水平年农业总人口 38.20 万人，耕、园地总面积 191.65 万亩，人均耕地面积 1.8~13.1 亩。

各集中移民安置点植被及植物概况见表 17.1.2-1，部分集中安置点植被现状实景见图 17.1.2-1。

表 17.1.2-1 各集中安置点占地现状基本情况

省	序号	县	乡镇	行政村	集中安置点名称	占地类型及数量	主要非作物植物种
山西省	1	大宁县	太古乡	六儿岭村	平渡关	占地 17.51 亩，主要为草地	
	2	永和县	阁底乡	高家堰村	佛堂	占地 15.34 亩，主要为园地	枣树
	3			阴德河村	阴德河	占地 71.52 亩，主要为园地	枣树
	4			于家圪村	河汾里	占地 56.09 亩，主要为园地	枣树
	5		打石腰乡	李家垣村	直地里	占地 15.03 亩，主要为园地	枣树
	6			刘家圪崂村	永和关	占地 35.33 亩，主要为园地	枣树
	7	柳林县	三交镇		坪上村	占地 395.05 亩，主要为农田、大棚	
	8		高家沟乡	宋家寨村	宋家寨	占地 33.57 亩，主要为林地、草地	
	9		石西乡	上庄村	上庄	占地 41.06 亩，主要为园地	枣树
	10			石西村	石西	占地 23.24 亩，主要为草地	
陕西省	11	延长县	雷赤镇	凉水岸村	凉水岸	占地 20.14 亩，主要为园地	枣树、柏树
	12	延川县	乾坤湾镇	碾畔村	伏羲河	占地 72.05 亩，主要为园地	枣树
	13		延水关镇	伏寺村	伏寺 1	占地 46.18 亩，主要为园地	枣树
	14				伏寺 2	占地 33.42 亩，主要为园地	枣树
	15			石佛村	苏亚	占地 96.22 亩，主要为园地	枣树
	16			新胜古	高家畔	占地 51.44 亩，主要为园地	枣树
	17			延水关村	王家渠	占地 37.81 亩，主要为园地	枣树
	18				延水关	占地 107.38 亩，主要为园地	枣树
	19			冯家崖村	冯家崖	占地 49.74 亩，主要为园地	枣树
	20			贺家河村	贺家河	占地 89.87 亩，主要为园地	枣树
	21	清涧县	双庙河服务中心	贺家畔村	贺家畔	占地 41.68 亩，主要为耕地、园地	枣树
	22				郭家河	占地 41.68 亩，主要为园地	枣树
	23		玉家河镇	王家河村	王家河	占地 84.91 亩，主要为园地	枣树
	24		高杰村镇	河口村	河口	占地 130.07 亩，主要为耕地、园地	枣树
	25		石盘服务中心	上坪村	上坪	占地 21.54 亩，主要为园地	枣树
	26	绥德县	定仙碛镇	界首村	子房沟、西沟	占地 32.69 亩，主要为园地	枣树
	27				渠里、后店	占地 95.29 亩，主要为园地	枣树
	28		枣林坪镇	沟口村	沟口	占地 17.82 亩，主要为园地	枣树
	29			河底村	河底	占地 28.05 亩，主要为园地	枣树



延川冯家崖村安置点现状



延川伏寺村安置点现状



延川伏羲河村安置点现状



延川贺家河村安置点现状



延川苏亚村安置点现状



延川延水关村安置点现状



绥德沟口村安置点现状



绥德河底村安置点现状



绥德界首村安置点现状



柳林三交镇安置点现状



柳林县宋家寨村新址安置点现状



柳林县上庄村新址安置点现状



柳林县石西村新址安置点现状



清涧县郭家河安置点现状



清涧县贺家畔安置点现状



清涧县王家河安置点现状



清涧县河口村安置点现状



清涧县上坪前山里安置点现状



延长县凉水岸安置点现状



永和县直地里安置点现状



永和县阴德河安置点现状



永和县刘家圪崂安置点现状

图 17.1.2-1 移民安置点植被现状

17.1.2.3 环境空气

移民安置区涉及范围较广，环境空气调查以常规监测资料辅以现状实测方法开展。

1. 安置区整体环境空气状况

根据全国地级市空气质量数据查询，所在地市 2018 年 12 月份的常规监测情况见表 17.1.2-2，区域总体环境空气质量良好，临汾市轻度污染。根据现状调查，安置区主要以现有村庄后靠为主，搬迁距离最远不超过 4km，安置区均为农村区域，无大的废气污染源，环境空气总体质量比城区好，空气质量良好。

表 17.1.2-2		所在区域环境空气常规监测情况					单位：μg/m ³ (CO 为 mg/m ³)			
城市	月份	AQI	范围	质量等级	PM _{2.5}	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO ₂	O ₃
延安	2018.12	90	37~199	良	45	127	28	1.7	46	54
榆林	2018.12	94	44~308	良	44	115	30	1.587	52	49
临汾	2018.12	132	47~268	轻度污染	88	163	52	1.793	47	41
吕梁	2018.12	94	51~178	良	56	131	58	1.233	41	45

2. 环境空气现状实测

(1) 监测点布设

结合移民安置规划方案，选取典型集中移民安置点、迁建集镇，进行环境空气监测点布设，选取 1) 山西省柳林县三交镇的三交村迁建点 2) 山西省永和县徐家垛乡（北桑峨村）后靠安置点 3) 陕西省清涧县高杰村乡河口村后靠安置点 4) 陕西省延川县延水关镇后靠安置点等 4 个点位。

(2) 监测因子及监测频次

TSP、PM₁₀：日均值；SO₂、NO₂：日均值和小时平均值；连续监测七天。

(3) 监测时间

郑州谱尼测试技术有限公司于 2022 年 11 月 19 日~25 日进行了安置区环境空气监测。



图 17.1.2-2 移民安置区环境空气现状监测

(4) 监测结果

移民安置区环境空气现状调查结果见表 17.1.2-3~表 17.1.2-8。

表 17.1.2-3 二氧化硫小时平均浓度监测结果统计表 单位: mg/m³

序号	监测点名称	浓度范围 (mg/Nm ³)	均值 (mg/Nm ³)	标准指数	超标率 (%)	最大超标率 (%)
1	山西柳林三交村	0.01~0.022	0.014	0.028	0	/
2	山西永和北桑峨村	0.011~0.02	0.015	0.03	0	/
3	陕西清涧河口村	0.011~0.019	0.014	0.028	0	/
4	陕西延川延水关村	0.011~0.02	0.014	0.028	0	/
标准限值		《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级 0.5mg/Nm ³				

表 17.1.2-4 二氧化氮小时平均浓度监测结果统计表 单位: mg/m³

序号	监测点名称	浓度范围 (mg/Nm ³)	均值 (mg/Nm ³)	标准指数	超标率 (%)	最大超标率 (%)
1	山西柳林三交村	0.018~0.027	0.022	0.11	0	/
2	山西永和北桑峨村	0.018~0.027	0.021	0.105	0	/
3	陕西清涧河口村	0.016~0.024	0.02	0.1	0	/
4	陕西延川延水关村	0.017~0.025	0.02	0.1	0	/
标准限值		《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级 0.2mg/Nm ³				

表 17.1.2-5 二氧化硫日平均浓度监测结果统计表 单位: mg/m³

序号	监测点名称	浓度范围 (mg/Nm ³)	均值 (mg/Nm ³)	标准指数	超标率 (%)	最大超标率 (%)
1	山西柳林三交村	0.014~0.018	0.013	0.0867	0	/
2	山西永和北桑峨村	0.013~0.019	0.015	0.1	0	/
3	陕西清涧河口村	0.014~0.018	0.015	0.1	0	/
4	陕西延川延水关村	0.012~0.016	0.015	0.1	0	/
标准限值		《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级 0.15mg/Nm ³				

表 17.1.2-6 二氧化氮日平均浓度监测结果统计表 单位: mg/m³

序号	监测点名称	浓度范围 (mg/Nm ³)	均值 (mg/Nm ³)	标准指数	超标率 (%)	最大超标率 (%)
1	山西柳林三交村	0.019~0.022	0.02	0.25	0	/
2	山西永和北桑峨村	0.019~0.022	0.02	0.25	0	/
3	陕西清涧河口村	0.018~0.020	0.019	0.238	0	/
4	陕西延川延水关村	0.018~0.020	0.019	0.238	0	/
标准限值		《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级 0.08mg/Nm ³				

表 17.1.2-7 TSP 日平均浓度监测结果统计表 单位: mg/m³

序号	监测点名称	浓度范围 (mg/Nm ³)	均值 (mg/Nm ³)	标准指数	超标率 (%)	最大超标率 (%)
1	山西柳林三交村	0.107~0.188	0.141	0.470	0	/
2	山西永和北桑峨村	0.093~0.166	0.131	0.437	0	/
3	陕西清涧河口村	0.106~0.133	0.121	0.403	0	/
4	陕西延川延水关村	0.122~0.163	0.141	0.470	0	/
标准限值		《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级 0.3mg/Nm ³				

表 17.1.2-8 PM₁₀ 日平均浓度监测结果统计表 单位: mg/m³

序号	监测点名称	浓度范围 (mg/Nm ³)	均值 (mg/Nm ³)	标准指数	超标率 (%)	最大超标率 (%)
1	山西柳林三交村	0.068~0.108	0.09	0.600	0	/
2	山西永和北桑峨村	0.049~0.115	0.076	0.507	0	/
3	陕西清涧河口村	0.052~0.072	0.06	0.400	0	/
4	陕西延川延水关村	0.051~0.094	0.07	0.467	0	/
标准限值		《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级 0.15mg/Nm ³				

(5) 评价结果

监测结果表明, 移民安置区环境空气各项指标均可以满足《环境空气质量标准》

(GB3095-2012) 二级标准要求, 环境空气质量良好。

17.1.2.3 地下水

移民安置点选择过程中, 对拟选安置点的供水水质进行了监测, 监测结果表明, 各安置点水质可以满足移民生活用水的标准需求, 详见表 17.1.2-9 和表 17.1.2-10。

表 17.1.2-9 移民安置点生产用水水质分析

序号	类型	侵蚀性 CO ₂	游离 CO ₂	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	CL ⁻	K ⁺ Na ⁺	Ca ⁺	Mg ²⁺	矿化度	总硬度	pH	总体评价
		mg/L	mg/L	mmol/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	德国度		
1	延川县冯家崖安置点 (黄河水)	0	21.45	201.23	94.15	167.46	89.03	48.54	47.37	547.2	17.4	7.9	满足生产用水标准
2	延川县贺家河安置点 (黄河水)	0	20.78	204.23	96.15	166.46	90.05	47.74	46.69	549.21	17.0	8.0	满足生产用水标准
3	延川县延水关安置点 (黄河水)	0	21.53	199.45	95.76	167.42	88.99	47.68	46.92	546.5	17.2	8.1	满足生产用水标准
4	延川县伏寺村安置点 (黄河水)	0	18.79	194.12	87.46	165.58	90.63	47.56	48.68	537.0	17.5	8.1	满足生产用水标准
5	延川县苏亚村安置点 (黄河水)	0	19.29	194.12	87.46	166.18	91.13	48.26	47.88	539.63	18.15	8.2	满足生产用水标准
6	延川县伏羲河村安置点 (黄河水)	0	19.05	205.79	93.12	170.96	88.78	45.67	47.72	549.1	17.6	8.1	满足生产用水标准
7	清涧县贺家畔村安置点 (黄河水)	11.18	21.23	3.654	101.87	130.95	108.95	30.76	43.45	527.5	14.4	8.1	满足生产用水标准
8	清涧县郭家河村安置点 (黄河水)	0	19.53	3.13	102.51	131.53	107.11	31.06	45.31	508.52	15.9	8.2	满足生产用水标准
9	清涧县河口村安置点 (黄河水)	0	22.08	3.34	93.13	163.96	88.03	47.78	48.59	543.38	17.89	7.9	满足生产用水标准
10	清涧县王家河村安置点 (黄河水)	0	14.86	3.412	86.36	162.96	92.68	44.53	47.12	537.7	17.11	8.0	满足生产用水标准

序号	类型	侵蚀性 CO ₂	游离 CO ₂	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	CL ⁻	K ⁺ Na ⁺	Ca ⁺	Mg ²⁺	矿化度	总硬度	pH	总体评价
		mg/L	mg/L	mmol/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	德国度		
11	清涧县上坪村安置点（黄河水）	0	13.59	3.561	80.23	164.22	87.21	40.87	45.65	522.28	16.8	7.9	满足生产用水标准
12	清涧县河底村安置点（黄河水）	0	16.98	3.194	89.24	170.94	90.8	46.95	47.37	542.76	17.5	8.0	满足生产用水标准

表 17.1.2-10 移民安置点生活用水水质分析

序号	类型	侵蚀性 CO ₂	游离 CO ₂	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	CL ⁻	K ⁺ Na ⁺	Ca ⁺	Mg ²⁺	矿化度	总硬度	pH	总体评价
		mg/L	mg/L	mmol/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	德国度		
1	延川县伏寺村安置点（泉水）	0	0	193.42	48.96	27.68	50.24	27.69	28.68	280.0	9.2	7.9	满足生活饮用水标准
2	清涧县贺家畔村安置点（泉水）	0	17.56	5.203	228.24	67.50	169.75	51.58	30.31	706.13	14.2	8.1	满足生活用水标准
3	清涧县郭家河村安置点（泉水）	1.06	6.69	4.84	108.4	16.63	159.45	12.71	6.73	451.59	13.3	8.2	满足生活用水标准
4	清涧县河口村安置点（泉水）	0	0	4.961	122.24	84.97	128.2	49.38	30.44	572.4	13.93	8.4	满足生活用水标准
5	清涧县王家河村安置点（泉水）	0	29.3	7.575	39.77	159.95	84.53	52.63	83.93	651.91	15.12	8.4	满足生活用水标准
6	清涧县上坪村安置点（泉水）	0	0	3.211	49.46	28.02	53.15	28.02	25.06	300.1	10.2	8.5	满足生活用水标准
7	清涧县河底村安置点（泉水）	0	0	4.501	58.21	73.98	55.78	38.06	53.99	440.6	17.8	8.6	满足生活用水标准
8	柳林县三交镇（黄河水）1	0	22.08	3.34	93.13	163.96	88.03	47.78	48.59	543.38	17.89	7.96	满足生活用水标准
9	柳林县三交镇（黄河水）2	0	14.86	208.21	86.36	162.96	92.68	44.53	47.12	537.75	17.51	8.03	满足生活用水标准
10	柳林县三交镇（黄河水）3	0	16.98	194.92	89.24	170.94	90.80	46.95	47.37	542.76	17.51	8.0	满足生活用水标准
11	柳林县上庄村安置点（黄河水）1	0	22.08	3.34	93.13	163.96	88.03	47.78	48.59	543.38	17.89	7.96	满足生活用水标准
12	柳林县上庄村安置点（黄河水）2	0	14.86	208.21	86.36	162.96	92.68	44.53	47.12	537.75	17.51	8.03	满足生活用水标准
13	柳林县上庄村安置点（黄河水）3	0	16.98	194.92	89.24	170.94	90.80	46.95	47.37	542.76	17.51	8.0	满足生活用水标准
14	柳林县宋家寨村安置点（黄河水）1	0	22.08	3.34	93.13	163.96	88.03	47.78	48.59	543.38	17.89	7.96	满足生活用水标准

序号	类型	侵蚀性 CO ₂	游离 CO ₂	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	CL ⁻	K ⁺ Na ⁺	Ca ⁺	Mg ²⁺	矿化度	总硬度	pH	总体评价
		mg/L	mg/L	mmol/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	德国度		
15	柳林县宋家寨村安置点（黄河水）2	0	14.86	208.21	86.36	162.96	92.68	44.53	47.12	537.75	17.51	8.03	满足生活用水标准
16	柳林县宋家寨村安置点（黄河水）3	0	16.98	194.92	89.24	170.94	90.80	46.95	47.37	542.76	17.51	8.0	满足生活用水标准
17	柳林县石西村安置点（黄河水）1	0	22.08	3.34	93.13	163.96	88.03	47.78	48.59	543.38	17.89	7.96	满足生活用水标准
18	柳林县石西村安置点（黄河水）2	0	14.86	208.21	86.36	162.96	92.68	44.53	47.12	537.75	17.51	8.03	满足生活用水标准
19	柳林县石西村安置点（黄河水）3	0	16.98	194.92	89.24	170.94	90.80	46.95	47.37	542.76	17.51	8.0	满足生活用水标准

本次评价对移民区部分安置点地下水环境质量进行了实测。

1. 监测点布设

评价结合移民安置规划方案，选取典型集中移民安置点、迁建集镇，进行地下水环境监测点布设，选取 1）山西省柳林县三交镇的三交村迁建点 2）山西省永和县徐家垛乡（北桑峨村）后靠安置点 3）陕西省清涧县高杰村乡河口村后靠安置点 4）陕西省延川县延水关镇后靠安置点等 4 个点位。

2. 监测因子及监测频次

水温、pH、总硬度、氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氟化物、氯化物共 7 项。同时记录井深、水位埋深。

连续监测 3 天，每天 1 次。

3. 监测时间

郑州谱尼测试技术有限公司于 2022 年 11 月 22 日~24 日进行了移民安置区地下水环境监测。



地下水取样（河口村）

地下水取样（延水关村）

图 17.1.2-3 移民安置区地下水环境现状监测

4.监测结果

移民安置区地下水监测结果见表 17.1.2-11。

表 17.1.2-11 移民安置区地下水监测结果

监测点位	监测内容	pH	总硬度	氨氮	硝酸盐	亚硝酸盐	氟化物	氯化物
	标准值	6.5~8.5	≤450	≤0.5	≤20	≤1	≤1.0	≤250
山西柳林 三交村	范围	7.6~7.7	436~442	0.23~0.27	49.5~51.8	0.005	0.374~0.403	103~105
	平均值	7.63	439.33	0.25	50.83	0.005	0.391	104
	最大值超标倍数	-	-	-	2.54	-	-	-
永和县徐 家垛乡（北 桑峨村）	范围	7.4~7.5	206~219	0.08~0.13	2.66~2.97	< 0.001~0.001	0.729~0.800	74.7~76.5
	平均值	7.43	212.33	0.1	2.85	<0.001	0.772	75.3
	最大值超标倍数	-	-	-	-	-	-	-
陕西清 涧河口 村	范围	7.4~7.5	438~445	0.09~0.12	0.156~0.399	0.001~0.002	0.930~0.960	140~143
	平均值	7.43	441	0.11	0.266	0.002	0.94	142.33
	最大值超标倍数	-	-	-	-	-	-	-
陕西延 川延水 关村	范围	7.2~7.3	329~338	0.08~0.12	3.13~3.62	0.002	0.806~0.948	91.7~92.5
	平均值	7.26	334.33	0.1	3.32	0.002	0.895	92
	最大值超标倍数	-	-	-	-	-	-	-

5.评价结果

从监测结果可以看出，北桑峨村、河口村、延水关村 3 处监测点地下水各项指标可以满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）III 类标准要求；三交村监测点地下水指标中硝酸盐超标，超标率均 100%，最大值超标倍数分别为 2.54。

17.1.2.4 土壤

1. 监测点布设

监测点位	监测内容	pH	镉	汞	砷	铜	铅	铬	锌	镍
	风险筛选值	>7.5	0.6	3.4	25	100	170	250	300	190
	(mg/kg)	6.5~7.5	0.3	2.4	30	100	120	200	250	100
	风险管控值	>7.5	4.0	6.0	100		1000	1300		
陕西清涧 河口村	(mg/kg)	6.5~7.5	3.0	4.0	120		700	1000		
	监测值	8.47	0.13	0.014	9.17	17	16.1	43	55	26
陕西延川 延水关村	超标倍数		-	-	-	-	-	-	-	-
	监测值	8.82	0.07	0.013	7.33	11	14.8	37	39	21
	超标倍数	-	-	-	-	-	-	-	-	-

5.评价结果

调查结果表明，移民安置区生产用地各项指标均低于《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB15618-2018）中土壤污染风险筛选值标准要求。土壤环境质量良好。

17.1.3 典型移民安置区环境现状

（1）三交镇安置点

山西省柳林县三交镇，镇区包括三交、沙坪则、坪上村。三交集镇移民安置点位于黄河 III 阶地黄土塬上，西临黄河，距离黄河最近 529m。地势总体平坦，东部有起伏，地面高程 690m~716m。用地范围外北侧、南侧、西侧中部各发育 1 条较大冲沟。区内地表植被丰富，分布有农田（包含蔬菜大棚）和枣林，其中蔬菜大棚集中分布在区内北部，枣林分布在西部黄土坡区，农田分布广泛。区中北部和西部边缘分布有民房和村民活动广场。

规划设计水平年，安置 602 户 2620 人，居民点建设用地标准为 100m²/人，三交集镇居民点建设用地面积为 262000 m²。三交集镇移民新址整体坐落在黄河第 III 级阶地之上，地表覆盖厚层第四系松散堆积层，区内无基岩出露。地表为耕植土，区内揭露地层主要为第四系风积、冲洪积马兰黄土和三叠系铜川组基岩。场区内未见地表水，覆盖层内未见地下水。地下水埋深较深，为基岩裂隙水。

排水体制采用分流制。室外雨水采用管道排水。

表 17.1.3-1 三交镇排水工程主要工程量表

序号	项目	材料及型号	单位	数量	备注
	污水				
1	砖砌沉泥井	Φ 700	座	602	
2	UPVC 双壁波纹管	De200	座	7448	
3	钢筋混凝土排水管	d300	m	1882	
4	玻璃钢化粪池	100m ³	座	1	
5	玻璃钢化粪池	50m ³	座	1	
6	玻璃钢化粪池	预留	座	5	企业及镇办公用地

序号	项目	材料及型号	单位	数量	备注
7	玻璃钢化粪池	V=6 m³	座	13	公厕及公建
8	砖砌污水检查井	Φ 700	座	72	
9	地埋式污水处理设备	2m³/h	套	1	
	雨水				
1	钢筋混凝土管	d200	m	1530	
2	钢筋混凝土管	d300	m	557	
3	钢筋混凝土管	d400	m	821	
4	钢筋混凝土管	d500	m	913	
5	钢筋混凝土管	d600	m	596	
6	钢筋混凝土管	d700	m	474	
7	钢筋混凝土管	d800	m	328	
8	钢筋混凝土管	d1000	m	115	
9	钢筋混凝土管	d1200	m	133	
10	雨水检查井	Φ 1000	座	177	
11	雨水口		m	309	

根据本次监测结果，三交镇移民安置区环境空气各项指标均可以满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准要求，环境空气质量良好。地下水指标中硝酸盐超标，超标率均 100%，最大值超标倍数分别为 2.54。生产用地各项指标均低于《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB15618-2018）中土壤污染风险筛选值标准要求，土壤环境质量良好。

（2）河口村安置点

河口村安置点局点建设用地面积为 83400 m²，防护用地占地面积 3312m²，合 130.07 亩。地形总体东北高、西南低，南临黄河，西临无定河。安置点用地范围内，地形起伏较大，发育大小山脊 3 条、冲沟 4 条。区内山沟和冲沟主要种植枣树，少量种植玉米，目前有两处简易公路通往移民点安置内，无其他建筑物等。东南侧冲沟两侧斜坡有几处坟墓。

新址安置点整体坐落在黄河与无定河交汇岸坡的 IV 级阶地之上，IV 级阶地基座岩石出露，基座为较陡岸坡，岩性主要为呈层的砂岩和砂质泥岩，阶地上覆盖层主要为第四系黄土，地表为耕植土，其下以灰黄色粉质壤土为主。场区内未见地表水，覆盖层内未见地下水。地下水埋深较深，为基岩裂隙水。

排水体制采用分流制。单位建筑内排水系统设计为生活污水与生活废水合流排放，室外雨水采用雨水沟排水。

表 17.1.3-2 河口村排水工程主要工程量表

序号	项目	材料及型号	单位	数量
污水				
1	砖砌沉泥井	Φ 700	座	246
2	玻璃钢化粪池	6m ³	座	2
3	UPVC 双壁波纹管	De200	m	3059
4	钢筋混凝土排水管	d300	m	478
5	玻璃钢化粪池	40m ³	座	1
6	玻璃钢化粪池	30m ³	座	1
7	砖砌污水检查井	Φ 700	座	23
8	地埋式污水处理设备	2m ³ /h	套	2
雨水				
1	盖板排水沟	0.4×0.4	m	1044
2	盖板排水沟	0.5×0.5	m	1199

根据本次监测结果，河口村移民安置区环境空气各项指标均可以满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准要求，环境空气质量良好。监测点地下水各项指标可以满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）III 类标准要求。安置区生产用地各项指标均低于《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB15618-2018）中土壤污染风险筛选值标准要求，土壤环境质量良好。

17.2 移民安置环境影响分析

根据本工程移民安置方式以及区域环境特征，移民安置环境影响主要体现在以下方面：

（1）结合区域生态保护的要求，对移民生产安置和生活安置的环境适宜性进行分析。

（2）移民安置对区域生态环境和土地利用的影响

本工程涉及各县（区）移民安置主要在本县内安置，移民安置从县域角度，分析移民安置对各县（区）生态环境以及土地利用影响。

（3）移民安置对区域污染负荷影响

针对本工程移民安置规划以及方式，根据工程实施前后，从农村生活污水、工矿企业污染物控制等方面，分析移民安置对区域污染负荷的影响。

（4）移民安置工程环境影响分析

针对本工程提出的移民安置工程，选择典型工程，开展典型工程环境影响评价，明确各项工程环境影响程度以及保护要求，为后期移民安置环境保护工程实施提供依据。

17.2.1 移民安置环境适宜性分析

17.2.1.1 安置区环境容量分析

移民安置区的自然资源条件在一定程度上决定了安置区的社会经济条件和人口规模，因此，从移民安置区的自然资源条件分析移民安置区环境容量能否满足移民安置的要求。根据移民安置指导思想和初选安置区的特点，以土地承载容量和水资源容量为主对安置区环境容量进行分析，其中，水资源容量分析主要分析水资源能否满足移民的生产生活用水，土地资源主要分析土地生产力能否满足移民生产生活要求。

1. 土地承载容量

移民安置区土地环境容量分析以乡（镇）为单位进行分析，见表 17.2.1-1。经分析，规划设计水平年移民安置区土地资源可容纳的总人口容量为 21.80 万人，而需要土地承载的人口为 12.75 万人，土地可承载人口比需要土地承载的人口多 9.05 万人，即土地承载富裕容量为 9.05 万人，能够全部在本乡（镇）内安置，土地容量可以满足移民安置的需求。

表 17.2.1-1 工程建设征地移民环境容量分析

序号	行政区域	基准年基本情况		工程永久征收耕地 (亩)			规划设计水平年情况			土地承载富裕人口容量 (人)	评价结论
		农业人口 (人)	折算标准耕地 (亩)	水库淹没区+工程建设区	新址建设用地	折算标准耕地	农业人口 (人)	剩余标准耕地 (亩)	土地承载人口 (人)		
	总计	118133	596151	52194	1660	56574	127536	539577	217994	90458	满足
1	山西	57936	272190	26197	564	28468	63244	243721	100295	37051	满足
1.1	吉县	6091	24610	1802		2206	6650	22404	9151	2501	满足
	文城乡	6091	24610	1802		2206	6650	22404	9151	2501	满足
1.2	大宁县	7969	38565	7120		8122	8698	30442	12298	3600	满足
	太古乡	1267	4825	750		750	1383	4075	1982	599	满足
	徐家垛乡	5508	30988	5961		6837	6012	24150	8930	2918	满足
	曲峨镇	1194	2752	409		534	1303	2217	1386	83	满足
1.3	永和县	13167	100389	8834	193	9129	14372	91260	30422	16050	满足
	交口乡	1384	12698	37		37	1510	12661	4220	2710	满足
	阁底乡	5574	37215	3402	87	3591	6085	33625	11210	5125	满足
	打石腰乡	3410	22402	3486	71	3557	3722	18845	6282	2560	满足
	南庄乡	2799	28074	1909	35	1944	3055	26130	8710	5655	满足
1.4	石楼县	9404	64586	5034		5047	10266	59539	20776	10510	满足
	和合乡	1207	11739	708		708	1318	11031	3677	2359	满足
	前山乡	4275	27799	2984		2984	4667	24815	8272	3605	满足
	小蒜镇	2254	18706	827		830	2460	17877	5959	3499	满足
	曹家垣乡	1668	6342	515		525	1821	5817	2868	1047	满足
1.5	柳林县	21305	44039	3407	370	3964	23258	40076	27648	4390	满足
	三交镇	9491	14435	1150	329	1664	10361	12771	10563	202	满足
	高家沟乡	3106	7242	229		229	3391	7013	4383	992	满足
	石西乡	7975	20528	1959	41	2001	8706	18527	11599	2893	满足
	薛村镇	733	1835	70		70	800	1764	1103	303	满足
2	陕西省	60197	323961	25997	1097	28106	64292	295855	117699	53407	满足
2.1	宜川县	3855	15347	21		22	4117	15325	7881	3764	满足
	云岩镇	3855	15347	21		22	4117	15325	7881	3764	满足
2.2	延长县	12130	88444	3926	20	4147	12956	84298	28734	15778	满足
	雷赤镇	4932	32790	2507	20	2667	5268	30123	10675	5407	满足
	罗子山镇	7198	55655	1419		1480	7688	54175	18059	10371	满足
2.3	延川县	18459	122883	14643	584	16030	19715	106853	37924	18209	满足

序号	行政区域	基准年基本情况		工程永久征收耕地（亩）			规划设计水平年情况			土地承载富裕人口容量（人）	评价结论
		农业人口（人）	折算标准耕地（亩）	水库淹没区+工程建设区	新址建设用地	折算标准耕地	农业人口（人）	剩余标准耕地（亩）	土地承载人口（人）		
	乾坤湾镇	4914	36616	4929	72	5208	5249	31408	10469	5220	满足
	延水关镇	10371	66524	7933	512	8644	11076	57881	21600	10524	满足
	大禹社区	3174	19743	1781		2178	3390	17565	5855	2465	满足
2.4	清涧县	14798	65530	5338	319	5657	15804	59873	25415	9611	满足
	双庙河便民服务中心	1210	5089	700	83	784	1291	4305	2263	972	满足
	玉家河镇	2732	10981	1745	85	1830	2918	9152	4459	1541	满足
	老舍古便民服务中心	1228	4741	161		161	1311	4580	2254	943	满足
	高杰村镇	6862	32869	1634	129	1763	7330	31105	11779	4449	满足
	谢家沟镇	1595	6315	34		34	1703	6281	2843	1140	满足
	石盘便民服务中心	1171	5536	1065	22	1086	1251	4450	1817	566	满足
2.5	绥德县	7812	23761	1829	174	2003	8343	21758	12658	4315	满足
	定仙焉镇	1793	5965	590	128	718	1915	5247	2167	252	满足
	枣林坪镇	6019	17796	1239	46	1285	6428	16511	10491	4063	满足
2.6	吴堡县	3143	7996	238		248	3357	7748	5087	1730	满足
	宋家川街道办	3143	7996	238		248	3357	7748	5087	1730	满足

2. 水资源容量

安置区境内有黄河、延水河、清涧河、无定河、三川河、屈水河等河流通过，古贤水库蓄水后，可以改善两岸供水灌溉条件，实现坝上自流取水，提高供水保证率，对于移民安置区耕地的灌溉用水需求有保障。

根据现状调查，古贤水库淹没影响的村庄多位于黄河滩地及台阶地上，居民饮用水水源多为井水、河水或泉水，由于近年人畜饮水工程的兴建，目前部分移民村以自来水为主。

库区移民安置规划集中安置点 29 个，安置点水源选择详见表 17.2.1-2。

表 17.2.1-2 移民安置点生产生活用水水源

省	序号	县	乡镇	行政村	集中安置点名称	生产及生活水源	供水方式
山西省	1	大宁县	太古乡	六儿岭村	平渡关	黄河水作为生产用水，在建扶贫供水工程为生活水源	自来水
	2	永和县	阁底乡	高家塬村	佛堂	黄河水作为生产用水，泉水为生活水源	打井
	3			阴德河村	阴德河	黄河水作为生产用水，泉水为生活水源	打井
	4			于家圪村	河汾里	黄河水作为生产用水，泉水为生活水源	打井
	5	打石腰乡	李家垣村	直地里		黄河水作为生产用水，泉水为生活水源	打井
	6			刘家圪村	永和关	黄河水作为生产用水，泉水为生活水源	打井
	7	三交镇		坪上村		黄河水作为生产及生活水源	提水站
	8	高家沟乡	宋家寨村	宋家寨		黄河水作为生产及生活水源	提水站
	9	柳林县	石西乡	上庄村	上庄	黄河水作为生产及生活水源	提水站
	10			石西村	石西	黄河水作为生产及生活水源	接就近村庄管网
陕西省	11	延长县	雷赤镇	凉水岸村	凉水岸	黄河水作为生产及生活水源	提水站
	12	延川县	乾坤湾镇	碾畔村	伏羲河	黄河水作为生产用水	机井
	13			伏寺村	伏寺 1	黄河支流作为生产生活用水水源	提水站
	14				伏寺 2	黄河支流作为生产生活用水水源	提水站
	15			石佛村	苏亚	黄河水作为生产生活用水水源	提水站
	16			新胜古	高家畔	黄河水作为生产用水，采用延水关镇自来水作为生活用水	接原村庄管网
	17				王家渠	黄河水作为生产生活用水水源	提水站
	18		延水关镇	延水关村	延水关	黄河水作为生产用水，采用延水关镇自来水作为生活用水	接延水关镇管网
	19			冯家崖村	冯家崖	黄河水作为生产用水，采用延水关镇自来水作为生活用水	接延水关镇管网
	20			贺家河村	贺家河	黄河水作为生产用水，采用延水关镇自来水作为生活用水	接延水关镇管网
	21	清涧县	双庙河服务中心		贺家畔	黄河水作为生产用水，打井抽水作为生活用水	机井
	22			贺家畔村	郭家河	黄河水作为生产用水，集中打井抽水采用自来水方式作为生活用水	接就近村庄管网
	23		玉家河镇	王家河村	王家河	黄河水作为生产用水，集中打井抽水采用自来水方式作为生活用水	机井
	24		高杰村镇	河口村	河口	黄河水作为生产用水，集中打井抽水采用自来水方式作为生活用水	机井
	25		石盘服务中心	上坪村	上坪	黄河水作为生产用水，集中打井抽水采用自来水方式作为生活用水	机井
	26	绥德县	定仙塬镇	界首村	子房沟、西沟	黄河水作为生产用水，集中打井抽水采用自来水方式作为生活用水	机井
	27				渠里、后店	黄河水作为生产用水，集中打井抽水采用自来水方式作为生活用水	机井
	28		枣林坪镇	沟口村	沟口	黄河水作为生产用水，集中打井抽水采用自来水方式作为生活用水	机井
	29			河底村	河底	黄河水作为生产用水，集中打井抽水采用自来水方式作为生活用水	机井

本村后靠分散移民供水接入当地村民供水管网。29 个集中居民点，主要以黄河水为水源，根据现场调查，各集中居民点均有可靠的供水水源，水量满足生活用水的要求，水质良好，符合生活用水标准。

根据集中居民点新址的自然条件和供水条件，供水采用机井供水、提水站供水（黄河干流、黄河支流统一提水到蓄水池，从蓄水池再到移民居民点）、政府扶贫供水工程和就近连接自来水管网等形式。

（1）采用机井独立供水的集中居民点有 14 个，即永和县佛堂居民点、阴德河居民点、河汾里居民点、直地里居民点和永和关居民点，延川县伏羲河居民点，清涧县贺家畔居民点、王家河居民点、河口居民点和上坪居民点，绥德县子房沟和西沟居民点、渠里和后店居民点、沟口居民点和河底居民点。

（2）采用提水站供水的集中居民点有 8 个，其中从支流提水站供水的集中居民点有 2 个，即延川伏寺 1 组、2 组居民点；从干流提水站供水的集中居民点有 6 个，即柳林县三交镇居民点、宋家寨居民点、上庄居民点，延长县凉水岸居民点，延川县苏亚河居民点和王家渠居民点。

（3）利用政府扶贫供水工程的集中居民点 1 个，即大宁县平渡关居民点。

（4）就近连接自来水管网的集中居民点有 7 个，即大宁县割麦乡居民点、柳林县石西居民点、延川县高家畔居民点、延水关居民点、冯家崖居民点和贺家河居民点，清涧县郭家河居民点。

29 个集中居民点中，7 个居民点采用当地供水设施，22 个居民点规划新增提水站或打井设施，规划新建调蓄水池、泵房、透水井，安装水质处理设备、管道等。

安置点生产用水水质分析见表 17.1.2-9，生活用水水质分析见表 17.1.2-10。从以上分析可以看出，各安置点生产用水及生活用水水源可以满足移民生产和生活用水的标准需求。

17.2.1.2 集中安置区环境适宜性分析

古贤工程农村集中安置点 28 个，1 个集镇迁建安置点，各安置点新址概况见表 17.2.1-3。

表 17.2.1-3 集中安置区环境适宜性分析

省	序号	县	乡镇	行政村	集中安置点名称	安置规模		建设用地 占地面积 (亩)	搬迁距离	人畜饮水 条件	电源距离 (km)	交通条件	地形地貌	地质条件
						户数	人口							
山西省	1	大宁乡	太古乡	六儿岭村	平渡关	32	113	17.51	1.00	自来水	0.50	靠村村通公路, 交通便利	坡度较陡	适宜建筑
	2	永和县	阁底乡	高家堰村	佛堂	26	99	15.34	1.65	黄河水作为生产用水, 泉水为生活水源	0.80	交通便利	较平坦	适宜建筑
	3			阴德河村	阴德河	137	465	71.52	1.69		5.10	需新修道路	较平坦	适宜建筑
	4		打石腰乡	于家圪村	河洽里	100	362	56.09	3.34		1.00	交通便利	较平坦	适宜建筑
	5			李家垣村	直地里	28	97	15.03	0.56		0.80	交通便利	较平坦	适宜建筑
	6		南庄乡	刘家圪崂村	永和关	66	228	35.33	1.76		1.00	交通便利	较平坦	适宜建筑
	7		三交镇		坪上村		3099	395.05				交通便利	较平坦	适宜建筑
	8	柳林县	高家沟乡	宋家寨村	宋家寨	55	219	33.57	0.65	黄河水作为生产用水, 净化后作为生活水源	0.43	交通较不便利	地形起伏大, 不太平坦	适宜建筑
	9		石西乡	上庄村	上庄	74	265	41.06	0.65		0.45	交通便利	较平坦	适宜建筑
	10			石西村	石西	40	150	23.24	0.82		2.08	交通便利	较平坦	适宜建筑
陕西省	11	延长县	雷赤镇	凉水岸村	凉水岸	45	130	20.14	0.70	黄河水作为生产用水, 净化后作为生活水源	4.60	需要加宽和硬化路面	较平坦	适宜建筑
	12	延川县	乾坤湾镇	碾畔村	伏羲河	154	465	72.05	3.29	黄河水作为生产用水, 采用延水关镇自来水作为生活用水	0.00	交通方便	地形起伏较大, 平均纵坡约 7°	适宜建筑
	13		延水关镇	伏寺村	伏寺 1	89	298	46.18	1.44		2.17	需要加宽和硬化路面	地形起伏较大, 平均纵坡约 10°	适宜建筑
	14				伏寺 2	63	215	33.42	1.44		2.17	需要加宽和硬化路面	地形起伏较大, 平均纵坡约 10°	适宜建筑
	15			石佛村	苏亚	193	621	96.22	1.11		2.88	需要加宽和硬化路面	地形起伏较大, 平均纵坡约 6°	适宜建筑
	16			新胜古	高家畔	109	332	51.44	0.70		1.32	交通便利		适宜建筑

省	序号	县	乡镇	行政村	集中安置点名称	安置规模		建设用地 占地面积 (亩)	搬迁距离	人畜饮水 条件	电源距离 (km)	交通条件	地形地貌	地质条件
						户数	人口							
	17			延水关村	王家渠	86	244	37.81	0.76		1.84	交通较不便利,需新修道路	地形起伏较大,不太平坦	适宜建筑
	18				延水关	231	693	107.38	1.26		2.33	需硬化路面	地形起伏较大,平均纵坡约 10°	适宜建筑
	19			冯家崖村	冯家崖	106	321	49.74	0.30		0.78	硬化路面	地形起伏较大,平均纵坡约 7°	适宜建筑
	20			贺家河村	贺家河	198	580	89.87	0.76		1.92	交通便利	地形起伏较大,平均纵坡约 7°	适宜建筑
	21	清涧县	双庙河服务中心	贺家畔村	贺家畔	78	269	41.68	0.60	黄河水作为生产用水,集中打井抽水采用自来水方式作为生活用水	1.99	交通便利	地形起伏较大,平均纵坡约 8°	适宜建筑
	22				郭家河	84	269	41.68	0.70		0.90	交通便利	较平坦	适宜建筑
	23		玉家河镇	王家河村	王家河	150	548	84.91	0.40		1.91	改建原有道路	较平坦	适宜建筑
	24		高杰村镇	河口村	河口	229	834	130.07	0.40		0.95	改建原有道路	地形起伏较大,平均纵坡约 8°	适宜建筑
	25		石盘服务中心	上坪村	上坪	53	139	21.54	0.70		2.58	交通便利	地形起伏较大,平均纵坡约 6°	适宜建筑
	26	绥德县	定仙墁镇	界首村	子房沟、西沟	62	211	32.69	1.20	黄河水作为生产用水,集中打井抽水采用自来水方式作为生活用水	0.60	临近公路	较平坦	适宜建筑
	27				渠里、后店	193	615	95.29	1.20		0.60	临近公路	较平坦	适宜建筑
	28		枣林坪镇	沟口村	沟口	34	115	17.82	1.70		0.67	临近公路	较平坦	适宜建筑
	29			河底村	河底	57	181	28.05	1.40		10.50	临近公路	较平坦	适宜建筑

本工程移民安置基本均在本村、本乡内安置，以后靠安置为主，避免了行政区划的跨越，大部分搬迁安置移民由于搬迁距离不远，方便移民生产生活；选择在水源充足、水质良好、便于排水、对外交通便利，地质条件适宜的地段；安置点均解决了水、电、路等问题，水源符合卫生和水质水量的要求；根据现场考察，移民安置点现状土地利用类型多为农田、果园，安置点主要植被包括苹果、枣林、黄蒿、白茅草、车前草、野菊花、狗尾草等。安置点选址过程中，进行了地质稳定性评价，避开了自然保护区、风景名胜、天然林和基本农田等环境敏感目标。同时，居民点基础设施建设规划包括交通、供水、排水、绿化、教育、卫生等基础设施和公共设施的配置，废水和固废得到妥善处理，以及防灾减灾等。从土地环境容量及居民用水方面考虑，可以得到保障；总体上看，移民集中安置点选择的环境适宜性良好。

17.2.2 生态环境影响

17.2.2.1 陆生植物影响

根据移民安置规划，生产安置主要采取调整耕、园地的方式，移民安置后需要进行坡改梯、旱地平整、土壤改良以及农田水利和水保措施等农业基本建设工程措施。规划坡改梯面积 7435.3 亩，农田基本建设工程措施面积 17949.6 亩，规划对 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 的旱坡地进行土地平整，结合种植业、林果业种植计划对移民的耕园地开展土壤改良。移民生产安置在山区进行改土建设，发展农业生产，以修筑水平梯田为主，生产安置过程中做好水保措施，对生态环境影响相对较小。生产安置的总体原则与区域的生态保护总体方向一致。

移民居民点房屋和配套生活基础设施的修建如公路，将永久占据一定空间，挤占自然植被和野生动物的空间。规划新建移民居民点现状植被以人工植被为主，多为枣林地，移民迁建点虽然会破坏部分植被，但对区域生态完整性的影响不大。

可以看出，农村搬迁安置使安置点原有的耕地、林草地转变为建筑用地，农村移民安置使区域的土地利用方式发生改变，移民安置区人工植物（农田、果林地等）资源的数量减少，造成移民安置区植物生物量部分减少。由于生产安置和搬迁安置占用的植物种类多为农田作物及枣林，以人工作物及果园为主，少量的灌草种类和人工林种类，这些植物种类均为移民安置区周边常见种类，因此移民生产安置和搬迁安置活动不会改变

区域植物种类，但植物种类组成和数量将发生变化。

施工结束后应对施工迹地进行绿化，植树造林的树种应首选当地的种类，如选用外地种类一定要慎重，要进行充分论证，避免造成新的外来物种的生态入侵，主要包括移民安置施工临时占地区、新建道路两侧等。在时间上按照“三同时”的时限要求，同时完成各项环境保护工程的落实。

17.2.2.2 陆生动物影响

主要受影响种类为在农田、果园林地内的两栖类的陆栖型和爬行类的灌丛型，包括中华大蟾蜍、花背蟾蜍等种类，这些种类喜在人类活动频繁的耕园地活动，移民安置施工占地可能占用这些动物的栖息环境，土石方开挖可能伤害这些部分在灌丛下面、经常活动路边石缝中的爬行类。施工生产废水和生活污水对移民安置区附近水域造成污染，从而对两栖类和爬行类生活的水质造成影响。施工噪声对两栖和爬行类有驱赶作用。

主要受影响鸟类为陆禽和鸣禽等小型鸟类。由于鸟类善飞翔，移民安置活动对其影响主要是施工占地对其生境的占用，施工噪声对鸟类的驱赶作用，但不会减少鸟类的数量。

主要受影响兽类为穴居型种类，包括草兔、长尾仓鼠、大仓鼠、小家鼠等。这些小型兽类移动能力较强，移民安置活动主要是对这些小型兽类的栖息地占用和施工噪声的驱赶作用。

移民安置区由于人类活动强，人为干扰大，会吸引一些与人类伴生的鼠类到来，使得种群密度增加，而它们是某些自然疫源性疾病的传播源，可能引发自然疫源性疾病的传播。

17.2.2.3 水土流失影响

移民安置需要占用一定的土地，破坏原有植被，会造成一定范围和有限时间的水土流失。根据同类水利工程移民安置经验，移民安置区水土流失主要发生在“三通一平”时期，移民安置点的房屋建设和各专项设施的复建必然在一定范围挖取松散的表土层，并弃掉不需要的土石方，如处理不当，不但破坏原有景观地貌，且可能造成废弃物堆体垮塌，加剧水土流失。

为了防止上述水土流失产生，必须统一规划安置区的各项建设活动，对施工弃土弃

渣，选择合适的场地集中堆放，并采取相应的工程拦挡、植被恢复措施，通过采取适当的水土保持措施可以消除或降低水土流失风险。

17.2.3 移民安置区水环境影响

移民安置施工期间施工人员较少，废水规模较小，一般不会对水环境产生较大不利影响，主要预测移民安置完成后居民排放污水对水环境的影响。移民安置对水环境的影响主要来自居民点的生活污水。

1. 集中安置点

移民安置对水环境产生影响主要来自生活污水。农村移民用水量按 120L/人·d 计算，污水排放量取用水量的 0.8。工程农村和集镇移民安置迁建人口 12177 人，生活污水排放量 1168.99t/d；生活污水主要污染物为 COD、BOD₅、氨氮和 SS，排放浓度分别为 300mg/L、150mg/L、35mg/L、200mg/L，主要污染物排放量中 COD350.70kg/d、BOD₅175.35kg/d，氨氮 40.91kg/d、SS233.80kg/d。集中安置区生活污水量相对较大且集中，如不经处理直接排放，将影响周边水体水质。集中安置点的生活污水情况见表 17.2.3-1。

表 17.2.3-1 集中安置居民点排水量计算表

省	序号	县	乡镇	行政村	集中安置点名称	安置规模		生活用水量 (m³/d)	污水量 (m³/d)
						户数	人口	120L/人·d	排放系数 0.8
山西省	1	大宁县	太古乡	六儿岭村	平渡关	32	113	13.56	10.85
	2	永和县	阁底乡	高家塬村	佛堂	26	99	11.88	9.50
	3			阴德河村	阴德河	137	465	55.8	44.64
	4			于家圪村	河汾里	100	362	43.44	34.75
	5		打石腰乡	李家垣村	直地里	28	97	11.64	9.31
	6			刘家圪崂村	永和关	66	228	27.36	21.89
	7	柳林县	三交镇		坪上村		3099	371.88	297.50
	8		高家沟乡	宋家寨村	宋家寨	55	219	26.28	21.02
	9		石西乡	上庄村	上庄	74	265	31.8	25.44
	10			石西村	石西	40	150	18	14.40
陕西省	11	延长县	雷赤镇	凉水岸村	凉水岸	45	130	15.6	12.48
	12	延川县	乾坤湾镇	碾畔村	伏羲河	154	465	55.8	44.64
	13		延水关镇	伏寺村	伏寺 1	89	298	35.76	28.61
	14				伏寺 2	63	215	25.8	20.64
	15			石佛村	苏亚	193	621	74.52	59.62
	16			新胜古	高家畔	109	332	39.84	31.87
	17			延水关村	王家渠	86	244	29.28	23.42
	18				延水关	231	693	83.16	66.53
	19			冯家崖村	冯家崖	106	321	38.52	30.82
	20			贺家河村	贺家河	198	580	69.6	55.68

省	序号	县	乡镇	行政村	集中安置点名称	安置规模		生活用水量 (m ³ /d)	污水量 (m ³ /d)
						户数	人口	120L/人·d	排放系数 0.8
	21	清涧县	双庙河服务中心	贺家畔村	贺家畔	78	269	32.28	25.82
	22				郭家河	84	269	32.28	25.82
	23		玉家河镇	王家河村	王家河	150	548	65.76	52.61
	24		高杰村镇	河口村	河口	229	834	100.08	80.06
	25		石盘服务中心	上坪村	上坪	53	139	16.68	13.34
	26	绥德县	定仙墁镇	界首村	子房沟、西沟	62	211	25.32	20.26
	27				渠里、后店	193	615	73.8	59.04
	28		枣林坪镇	沟口村	沟口	34	115	13.8	11.04
	29			河底村	河底	57	181	21.72	17.38

集中安置点人员居住相对集中，污水可以通过管道进行收集处理。由上表可知，三交镇安置点规模最大，生活污水排放量最大，为297.50m³/d，推荐采用玻璃钢化粪池+污水处理站+人工湿地的处理方式。对于农村集中安置区，生活污水推荐采取玻璃钢化粪池+地埋式污水处理设施处理的方式。各安置点生活污水经处理后，出水标准执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）表4一级标准，结合安置点的绿化规划，首先用于安置区绿化、道路洒水、菜地和农作物灌溉用水，剩余水排入当地沟渠等排水系统，项目区干旱少雨，绿化、道路洒水消耗水量较大，各安置点定期清运安置点内化粪池，不会对当地水环境造成较大影响。

2. 分散安置点

本村后靠，本乡近迁仍属于农村分散安置，搬迁后移民生活排污不具备集中收集的条件。对于分散安置点，规模相对较小，生活污水并不直接排放入河，其性质属于面源，结合当地农村实际情况，评价建议安置户可采用化粪池，化粪池及时清运肥田，不会对当地水环境造成较大影响。

17.2.4 移民安置区固体废物影响

移民安置区固体废物对环境影响主要来自于移民安置区产生的生活垃圾。安置区生活垃圾产生量按 0.8kg/d·人计算，生活垃圾产生量 9.74t/d。安置点生活垃圾负荷见表 17.2.4-1。

表 17.2.4-1 集中安置点生活垃圾污染源负荷

省	序号	县	乡镇	行政村	集中安置点名称	安置规模		日产垃圾量 (kg)	年产垃圾量(t)
						户数	人口		
山西省	1	大宁县	太古乡	六儿岭村	平渡关	32	113	90.40	33.00
	2	永和县	阁底乡	高家堰村	佛堂	26	99	79.20	28.91
	3			阴德河村	阴德河	137	465	372.00	135.78
	4		打石腰乡	于家孤村	河汾里	100	362	289.60	105.70
	5			李家垣村	直地里	28	97	77.60	28.32
	6		南庄乡	刘家圪崂村	永和关	66	228	182.40	66.58
	7	柳林县	三交镇		坪上村		3099	2479.20	904.91
	8		高家沟乡	宋家寨村	宋家寨	55	219	175.20	63.95
	9		石西乡	上庄村	上庄	74	265	212.00	77.38
	10			石西村	石西	40	150	120.00	43.80
陕西省	11	延长县	雷赤镇	凉水岸村	凉水岸	45	130	104.00	37.96
	12	延川县	乾坤湾镇	碾畔村	伏羲河	154	465	372.00	135.78
	13		延水关镇	伏寺村	伏寺 1	89	298	238.40	87.02
	14				伏寺 2	63	215	172.00	62.78
	15			石佛村	苏亚	193	621	496.80	181.33
	16			新胜古	高家畔	109	332	265.60	96.94
	17			延水关村	王家渠	86	244	195.20	71.25
	18				延水关	231	693	554.40	202.36
	19			冯家崖村	冯家崖	106	321	256.80	93.73
	20			贺家河村	贺家河	198	580	464.00	169.36
	21		清涧县	双庙河服务中心	贺家畔村	贺家畔	78	269	215.20
	22	郭家河				84	269	215.20	78.55
	23	玉家河镇		王家河村	王家河	150	548	438.40	160.02
	24	高杰村镇		河口村	河口	229	834	667.20	243.53
	25	石盘服务中心		上坪村	上坪	53	139	111.20	40.59
	26	绥德县	定仙碛镇	界首村	子房沟、西沟	62	211	168.80	61.61
	27				渠里、后店	193	615	492.00	179.58
	28		枣林坪镇	沟口村	沟口	34	115	92.00	33.58
	29			河底村	河底	57	181	144.80	52.85
合计								9741.60	3555.68

安置点生活垃圾若随意丢弃，会对周边环境产生不利影响，需收集并定期运送至指定的垃圾填埋场。根据调查，农村生活垃圾的来源主要包括 2 个方面：家庭日常生活产生的垃圾和各种农作物产生的垃圾。由于库区周边农村人口居住分散，且大多数的农村没有固定的垃圾堆放处和专门的垃圾收集、运输、填埋和处理系统，各类垃圾未得到统一集中处理。安置点建成后，农村生活垃圾如果不进行较好的处理将影响新农村的面貌，对农民的生活环境与健康也将造成直接威胁。需要根据陕西、山西的农村环境整治行动

计划、水污染防治行动计划等要求进行生活垃圾的收集、无害化处理等，实现户分类、村收集、村处理模式，对生活垃圾进行收集并运至垃圾填埋场等。

17.2.5 移民安置区其它环境影响

17.2.5.1 环境空气影响

移民安置建设施工活动中主要机械设备和汽车大多以汽油或柴油为燃料，机械设备运行过程中将会排放废气，主要污染因子 NO₂、SO₂。对周围的村庄敏感点环境空气有一定影响，需加强建设阶段居民环境空气保护工作。

17.2.5.2 声环境影响

工程农村移民安置点建设对声环境敏感点可能产生影响的噪声源主要是固定噪声源，包括安置点建筑及道路施工噪声。建筑施工噪声主要来自推土机、挖掘机、自卸汽车、混凝土搅拌机等施工机械。道路施工噪声主要来自推土机、挖掘机、轮式装载机、混凝土搅拌机、压路机等施工机械。主要施工机械的实测噪声值见表 17.2.5-1。

表 17.2.5-1 主要施工机械噪声源实测值

声源	测试点距离（m）	噪声级 dB(A)
推土机	5	86
挖掘机	5	84
自卸汽车	5	90
混凝土搅拌机	2	90
轮式装载机	5	90
压路机	5	86

根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ/2.4-2021）中固定点源噪声预测公式计算不同距离噪声值，并用声能叠加求出预测点的噪声级。建筑施工场地约 100m 处声环境可达《建筑施工场界噪声排放标准》（GB12523-2011）要求。

表 17.2.5-2 主要施工机械施工噪声组合影响预测结果 单位：dB（A）

噪声源	施工机械	源强	距声源不同距离的噪声预测值							
			5m	10m	20m	50m	100m	150m	200m	300m
建筑施 工	推土机	86	92.5	86.5	80.5	72.6	66.6	63.0	60.5	57.1
	挖掘机	84								
	自卸车	90								
	混凝土搅拌机	90								

17.2.6 移民安置社会环境影响

（1）移民安置的社会影响

工程移民安置以本村本乡安置为主，工程规划 29 个集中安置点距移民原居住地距

离约 0.5~4km，可基本维持其原有的居住生活体系，兼顾文化习俗和生活习惯，对移民生活习惯和风俗起到了较好的保护作用。此外，移民安置必然会作用于移民的心理环境，使其产生依靠、怀旧、攀比等心理。移民关心问题主要集中在安置中是否影响其生活水平，是否造成本地居民的贫富差距，以及是否使本地居民的生活习惯被破坏。上述移民心理变化过程与所担心的问题可能影响移民后期生活，需要在移民安置规划和实施中引起高度重视，尽可能为移民创造好的条件，最大限度地解决移民所担心的问题。

（2）移民安置对土地资源的影响

移民安置对土地资源的影响主要是为安置移民进行耕园地调整、开发整理。土地开发整理主要通过调整现有耕、园地结构，进行坡改梯、旱地平整、土壤改良以及农田水利措施等，提高土地利用率和农业产出率，满足移民生产安置用地要求；充分挖掘土地利用潜力，提高土地质量，促进土地集约化利用。

随着移民生产安置的进行，土地资源的保肥能力将加强，随着土地开发的深入，安置区环境容量也将进一步提高。同时，随着土地开发整理的进行，有利于安置区的土地资源结构调整，促进安置区土地资源的优化利用，使其生产力逐步达到最佳水平。

（3）人群健康的影响

移民安置采取本村后靠安置或本乡镇内集中安置的方式。搬迁后，安置区基础设施健全，医疗和卫生条件较搬迁前将有较大改善，移民的生活环境质量也有所提高，不会对移民及安置区原居民健康产生不良影响。

移民搬迁可能会对个人心理产生一定的影响，如产生压抑感和不适感。工程移民大部分采取集中后靠安置方式，生产安置采取大农业安置，与其原有生活方式相同，且安置区离原住地相距不远，生活条件类似，生活习惯、卫生防疫等与原住地基本相同，适宜移民适应当地的生产生活，以消除搬迁造成的不适感。安置后移民生活环境、质量都有所提高，移民安置不会增加新的传染病种。蓄水初期，由于水库淹没使鼠类等病媒物向库周人群居住区迁移，如不加强预防和监控，有可能导致自然疫源性传染病在库周爆发流行。

移民搬迁期间，由于人口流动性大，房屋拆迁、新房、道路等设施的修建，生活、卫生设施尚未齐备，环境卫生状况较差，加之鼠类、蚊虫等病媒动物具有随人类搬迁而

随迁积聚的特点，较易引起虫媒、肠道等传染性疾病的发生。同时，移民搬迁劳累加上不良卫生习惯及饮用水卫生问题，若不采取措施，将可能导致人群中痢疾、肝炎、感染性腹泻等介水传染病流行。因此，需要以家庭为单位采取适宜、有效的预防措施，防止移民中传染性疾病的流行。

水库蓄水后，鼠类迁徙也会引起库周局部地区鼠密度增加，环境改变使各区存在鼠疫爆发的潜在危险，所以，农村移民安置点的库周区域应密切监测鼠密度的变化。移民安置初期，移民集中在安置点后，如果生活污水的无序排放，生活垃圾的乱堆乱放，将会使蚊蝇、老鼠等孳生，有可能使当地一些传染性疾病（如传染性肝炎、疟疾等）发病率增加。必须采取必要的措施，对生活污水、生活垃圾进行适当处理。

移民安置规划实施后，安置点环境状况将有大的改观，布局合理，对改善环境卫生、预防疾病和保护人群健康都将具有较大作用。

17.2.7 专项复建过程环境影响分析

17.2.7.1 淹没影响企业安置过程环境影响分析

古贤水利枢纽工程建设影响工业企业共计 28 个，其中库区影响 27 个，按照企业类型划分，其中水电站 2 个、砂岩气开采企业 1 个、旅游企业 2 个、红枣加工企业 12 个，建材企业 4 个、养殖企业 2 个、加油站 3 个、托养服务业 1 个。本阶段采取一次性补偿处理方式的有 19 个，7 个采取随柳林县三交镇迁建处理方式，1 个采取改建。枢纽工程建设区影响 1 个建材企业，采取一次性补偿方式处理。

受影响企业安置过程中将产生污废水、扬尘、固废等污染物，并不可避免地扰动地表，对周边生态环境产生一定影响。其中 20 个企业采取一次性补偿处理方式，7 个企业随集镇迁建处理，1 个采取改建，本阶段企业安置规划未明确，根据规划深度仅进行环境影响初步分析，下阶段各企业迁建前，根据淹没影响企业具体安置规划，结合当地环保管理要求，由业主单独开展专项环境影响评价。

17.2.7.2 专业项目复建环境影响分析

古贤水利枢纽其它专业项目复建包括交通工程、输变电工程、通信工程、广播电视工程、水利水电工程、企事业单位等项目。

1. 交通工程

(1) 等级公路及桥梁

受影响情况：古贤水库建设征地影响等级公路 25 条 134.03km，桥梁 81 座 4524.02m；其中二级公路 3 条 11.16km，桥梁 6 座 1450.92m；三级公路 14 条 67.04km，桥梁 39 座 1937.1m；四级公路 8 条 55.83km，桥梁 36 座 1136m。

恢复规划：根据库周地形、地质条件，规划复建道路 20 条，总长度 182.58km。其中等级公路共 14 条 156.76km，其中二级公路 1 条 6.2km，三级公路 9 条 68.98km，四级公路 4 条 81.58km。乡村道路 6 条 25.82km，包括等外路 4 条 7.65km，机耕路 2 条 18.17km。码头共 29 处，规划复建码头 9 处，一次性补偿码头 20 处。

古贤工程建设征地影响四级公路、乡村道路规划复建，规划桥梁 9 座 1188m；单车道 1 条，复建长度 4.35km，包括桥梁 7 座 710m。渡口码头，山西省 8 处一次性补偿，陕西省 21 处，9 处规划复建，12 处进行一次补偿。

① 工程路线选择方案合理性分析

道路工程对周围环境的影响为线性影响，路由合理与否将对工程沿线周围敏感区域的影响起到决定性的作用。因此，公路工程路由选择和 确定，是该类线型工程前期研究中的重要内容。评价选择柳林县三级公路进行典型工程评价。

柳林县沿黄公路复建工程整体位于古贤水利枢纽库尾段左岸库岸，该段黄河河谷形态为弯曲峡谷，整体流向由北向南，呈“U”型谷，河谷低宽 450m~800m，纵比降为 0.7%，地貌相对平坦开阔。

柳林县沿黄公路复建工程起点位于后河村北端，与原沿黄公路相接，路线布置靠近原沿黄公路，沿黄河左岸向高处布线，沿途经过后河底村、上庄村、宋家寨村、三交镇等村镇，跨越三川河等黄河支流，路线终点位于下塔上村东侧的屈产河右岸。道路沿线主要控制点有水库征地线、塌岸线、设计回水位线、原沿黄公路高程、移民安置点等。路线全长 26.222m，终点设计高程 642.0。其中利用原公路段 5km 长，改建长度共 21.222km。

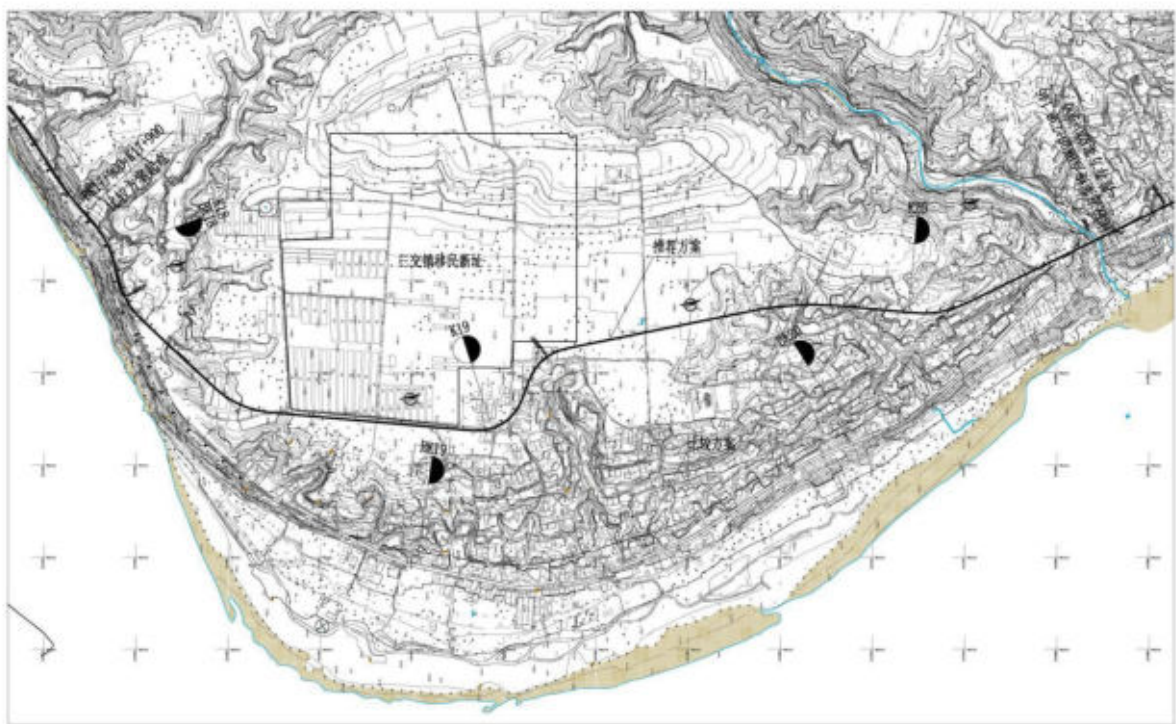
柳林县沿黄公路复建工程，进行了两个方案比选。

推荐方案：项目 K17+900~K20+500 段经过三交镇区域。推荐方案路线在 K17+900 处开始偏离现有沿黄公路，路线布置于移民新址边缘，高程较高，在 K19+600 处路线

开始偏向原沿黄公路，K20+300 开始路线与原沿黄公路基本并行，在 K20+438 处设 3×40m 大桥一座。

比选方案：K17+900~K18+800 段利用现有道路，K18+800 后距离现有沿黄公路较近，沿水库征地线边缘布线，路线起伏不大，K20+176 处设 3×16m 中桥，K20+676 处设 3×40m 大桥一座，在 K20+739.146 处与推荐方案并线。比选方案需设连接线，连接三交镇移民新址。

方案线路图见图 17.2.7-1。



两个方案环境经济比选见表 17.2.7-1。

表 17.2.7-1 柳林县沿黄公路复建工程方案比选表

项目	方案工程量	优点	缺点
推荐方案	路线长度 2.6km	路线靠近移民新址，便于当地居民生产生活；距离黄河较远，路线不受水库水位影响，路基防护工程量小。	路线纵坡较大，最大为 6.6%；移民征地工作较比选方案偏大。
比选方案	路线长度 2.84km，	路线靠近原沿黄公路，征地范围较小；征地范围较小；地形平坦，路线起伏较小。	离水库水面较近，需进行路基防护；距离居民点较远，需要专业设置连接线，居民出行较为不便。在考虑连接线造价情况下，比选方案建安费估算造价较高。

经综合比选，推荐方案工程费用较低，路线靠近移民新址，便于当地居民生产生活，

且与当地居民意见相符，因此选择该方案。

②典型复建道路工程环境保护目标

柳林县沿黄公路复建工程，等级大多路段为三级或四级公路，改建段共长21.222km，复建工程环境保护目标见表17.2.7-2。

表 17.2.7-2 典型复建道路工程环境保护目标一览表

环境要素	保护对象	与工程相对位置关系	保护要求
水环境	黄河	工程沿黄河右岸	维护评价河段现有水环境功能，工程施工期和运行期产生的污废水尽可能回用或处理，达到污水综合排放一级标准后排放
环境空气和声环境	工程沿线居民点	工程沿线道路中心线200m 范围内	维护工程区及其附近的环境空气质量和声环境质量功能区划要求
生态环境	工程所在的陆生生态系统、工程占地区及附近的动植物、库区水生生态系统	工程占地范围内及周边附近	工程施工期间应严格控制施工占地，尽可能减少植被破坏面积；临时占地区及时恢复植被，禁止捕杀陆生动物，维护工程区陆生生态系统完整性和多样性。禁止捕鱼，防治施工污废水对水生生态造成影响
社会环境	工程沿线被征占地居民	用地红线范围及临时用地	被征地人员采取相应补偿措施，尽量不影响安置人员的生产生活水平，促进当地农业生产和农村经济发展

③ 典型复建道路工程环境影响分析

a. 生态环境影响分析

i 对生态系统完整性和稳定性的影响

道路复建工程对评价区内生态系统完整性和稳定性的影响，主要是路基工程、桥涵工程和弃渣场等永久占地，以及临时堆土场、施工临时设施、施工便道等临时占地对其产生影响。

对自然景观系统抗干扰稳定性的度量可通过植被异质性的改变程度来度量，异质性指特征多样性程度，它表现在动植物已占据生态位和可能占据的潜在生态位的多样化程度。复建交通工程线路占地将造成植被损失，主要为耕地和果园，但由于各工程占地较小，因此对整个生态系统的稳定性影响不大，对工程所在区域的自然景观系统来说可以承受。

ii 对植被和珍稀保护植物的影响

根据现状调查，工程征占地区植被类型主要以耕地等人工植被及果园地为主。受影响的植物种类主要苹果、枣树等，公路沿线还分布有苹果、枣树等经济作物，这些植物均为该地区常见种类，该区域分布较为广泛，工程建设不会对其种群产生大的影响。

根据陆生生态环境现状调查，评价区无国家规定的保护植物，均为零星人工栽培，

因此工程建设不会对珍稀保护植物造成影响。

iii 对动物的影响

受工程影响的动物种类主要为该区域常见的两栖类和爬行类，其迁移能力相对较弱，生存生境空间非常有限，一般种群规模都不大，工程施工对其会产生一定的影响，施工期间应重点加以保护。鸟类活动范围较广、迁移能力较强，工程占地对其栖息环境、隐蔽条件、觅食、数量等不会产生较大影响，因此，工程建设对其影响较小。兽类迁移能力较弱，工程区域兽类主要为兽类，伴随着人类活动的增加而有所增加。

复建交通工程沿线人为活动较为频繁，周边有大量次生林灌草丛和农田植被分布，工程评价区内主要保护动物以鸟类为主，活动范围较广，迁移能力较强，工程占地对其栖息环境、隐蔽条件、觅食、数量等不会产生较大影响。因此，工程建设对珍稀保护动物影响较小。

iv 水土流失影响

道路施工过程中路基开挖、填筑、取土、弃土等活动会扰动地表植被、影响的植被类型主要为灌草丛，对地表植被产生一定的影响，并且工程开挖过程中也会产生一定的水土流失，如不采取水土保持措施，水土流失持续时间将较长，因此应及时做好道路施工迹地的植被恢复措施。

b. 环境空气影响分析

工程施工期环境空气污染主要由施工扬尘等导致，施工扬尘包括施工开挖、运输车辆行驶扬尘、灰土搅拌扬尘等，施工扬尘会对周边附近居民点或村庄造成一定影响。

在施工过程中，车辆行驶产生的扬尘量占扬尘总量的 60% 以上，车辆在行驶过程中产生的扬尘，在相同路面条件下，车速越快，扬尘量越大；在相同车速情况下，路面粉尘量越多，扬尘量越大。因此，限制车辆行驶速度以及保持路面的清洁是减少汽车扬尘的有效手段。同时施工期间对车辆行驶的路面实施洒水抑尘，也能起到很好的降尘效果。每天洒水 4~5 次，可使扬尘减少 70% 左右。

工程施工阶段扬尘的另一个主要来源是露天堆场和裸露场地的风力扬尘。由于施工需要，一些建筑材料需要露天堆放，一些施工作业点的表层土壤在经过人工开挖后，临时堆放于露天，在气候干燥且有风的情况下，会产生大量的扬尘。

施工砼拌合系统也会产生扬尘。陕西省延川县延水关大桥连接段和山西省永和县延水关大桥连接段施工期间，对施工沿线的居民点受施工活动影响较大，但施工时间较短，因此不会对其造成大的影响，随着施工活动的结束，其影响也将消失。

c. 声环境影响分析

道路复建工程施工期声环境的影响来源主要来自施工机械噪声，其特点具有间歇性、高强度和不固定性。主要影响对象是道路沿线的村庄。

d. 水环境影响分析

各复建工程施工过程中对水环境的影响主要来自各桥梁基础施工、混凝土浇筑等建设过程中产生的污废水、施工机械产生的含油废水和施工人员的生活污水。

工程施工期间施工机械、车辆维修和冲洗将产生一定量的废水，主要污染物为含有高浓度的泥沙悬浮物和石油类物质，另外施工机械、车辆运行可能出现机械跑冒滴漏现象，这类污水成分比较复杂，若直接排入水域，将对水环境造成不利影响，因此，需对施工机械、施工车辆冲洗废水进行集中收集和处理。

材料堆放场内堆放的施工材料、各路段表土剥离后临时堆放的临时堆土场等因雨水冲刷产生的污水，若直接排放会导致场地周围地表水体水质变差。施工区地处黄土高原地区，施工产生废水较小，蒸发较大，一般形不成径流进入沟道。

各施工临时生活设施一般采取租用当地民房解决，不另行建设，施工人员产生的污水采用化粪池对生活污水进行处理，并定期清运肥田，对周边水环境影响不大。

(2) 黄河大桥

古贤水库淹没影响黄河大桥 2 座，分别为延水关黄河大桥、马头关黄河大桥。根据规划，延水关黄河公路大桥和马头关黄河公路大桥本阶段处理方案为主管单位投资拆除重建。

2 座黄河大桥拆除过程中将产生大量建筑垃圾，在工程库底清理阶段，拆除的建筑垃圾运至居民迁移线以上，评价建议后期由专门垃圾清运机构运送至相应垃圾填埋场处理。大桥重建过程中，将产生混凝土浇筑养护、施工机械含油废水等生产废水、施工噪声、施工人员生活废水等，因工程方案本阶段不明确，建议大桥施工前应单独开展专项环境影响评价。

（3）码头、渡口

古贤水利枢纽淹没影响小型渡口 29 处，其中陕西省 21 处，山西省 8 处。其中 9 处规划复建，20 处进行一次性补偿处理。

渡口复建过程中会对水体产生扰动，施工期间有少量的开挖和混凝土浇筑，施工人员会产生一定的生活废水、生活垃圾，由于渡口工程的工程量都不大，施工期短，对周围环境不会产生大的影响。

2. 电力、通信、广播电视工程

电力、通信、广播电视工程在复建过程中应先建后拆，在建设过程中应与各主管部门进行妥善沟通，合理安排修复和新建计划，减小对周边群众生产、生活的影响。电力、通信、广播电视工程建设规模较小，施工期间有少量的开挖和混凝土基础浇筑，并产生轻微的施工噪声；施工期在杆塔架设、缆线敷设时挖、填方引起水土流失，应及时做好场地平整和植被恢复；电力线路运行期对周围会有一定的电磁场和无线电干扰，选线时与居民点和其它敏感设施应保持一定的距离。由于电力、通信、广播电视工程量不大，对周围环境不会造成大的影响。

17.3 移民安置及专项复建环境保护措施

在移民搬迁安置过程中，应采取针对性环境保护措施，最大程度减少移民安置产生的“三废”对区域环境造成的不利影响。

移民安置区主要是农村区域，根据生态环境部农业农村部《关于印发农业农村污染治理攻坚战行动计划的通知》，农村环境污染治理的基本原则有以下几个方面：

（1）保护优先、源头减量。严格生态保护红线管控，统筹农村生产、生活和生态空间，优化种植和养殖生产布局、规模和结构，强化环境监管，推动农业绿色发展，从源头减少农业面源污染。

（2）问题导向、系统施治。重点开展农村饮用水水源保护、生活垃圾污水治理、养殖业和种植业污染防治。

（3）因地制宜、实事求是。根据环境质量、自然条件、经济水平，坚持从实际出发，采用适用的治理技术和模式，注重实效。

农村环境保护的重点是农村饮用水水源、农村生活垃圾和污水治理以及减少农药、

化肥使用量和农业用水总量、农业废弃物的综合利用。

17.3.1 移民安置区施工期环境保护

17.3.1.1 施工期生态环境保护

移民安置区施工期生态环境保护主要是对施工期提出的水土保持要求，施工过程中对临时堆放开挖土石采取临时挡护措施，施工结束后栽植四旁树进行绿化。

1. 分散后靠安置

水土保持要求：建房区选择地势相对平缓地段，开挖土石优先用于房屋地基回填，减少弃渣量，剩余土石应弃往具备防护设施的渣场或堆渣点，避免乱堆乱弃。房屋建设尽量避开雨季，避免雨水冲刷开挖面造成水土流失，影响人居环境。

施工临时工程：开挖土石方就近临时堆放以便回采，堆放期采用装土袋进行临时拦挡。

植物措施：房屋建成原地表硬化，从环境美化、绿化角度，在移民建房点周围及附近空地栽植经济林木（如花椒、苹果等）进行绿化。

2. 集中安置点

（1）表土剥离

安置点现状以耕地、园地为主，少量灌木地草，为保护表土资源，场平进行剥离，剥离厚度 30~40cm，剥离表土集中堆置在安置点用地红线内的公共绿地和空地，后期用于绿化覆土、敷设回填，利用后对临时堆土区域恢复植被。

临时堆土场四周用填土编织袋围护，土源为剥离的表土。由于施工期较长，临时堆存的表土采取撒播草籽临时防护，撒播密度 30kg/hm²。

（2）拦挡措施

场地外侧填方边坡采用浆砌石挡墙拦挡，挡墙最大高度 8m。挡墙采用重力式浆砌石挡墙，挡墙高度为 2.0~15.0m。

（3）护坡措施

场地后边坡防护：覆盖层边坡采用挡土墙支挡处理。

（4）垃圾处置措施

拆迁过程中，拆除的废弃材料运至规划的渣场进行堆放，严禁任意倾倒；对可利用

材料尽可能利用，并采取临时防护措施，若需临时堆放在征地范围以外的，待施工结束后，恢复原有土地利用。

（5）排水措施

房前屋后四周的排水设施在四周开挖截、排水沟，并采用浆砌块石、片石进行衬砌，及时做好场地周边的临时排水措施

（6）绿化措施

建房结束后，移民安置区可进行绿化，部分采取植物恢复措施，种植当地适生树、草种。

3. 其它措施

加强监督管理，尽量减少耕地占用，减轻对植被破坏，做好原址拆除后的清理工作；在移民安置点建设过程中，大力开展生态环境保护宣传活动；严格在安置点建设征地范围内施工，禁止占用、破坏施工征地红线外植被。

安置点建设过程中充分利用淹没区建筑、木材等资源和原有旧料，对淹没区木材资源按归属进行合理调配，减轻由于移民建房和能源需要而产生的对森林资源的压力。

17.3.1.2 施工期水环境保护

移民安置区建房、道路修建的过程中，将产生一定的废水、废气、噪声、固废污染，因此施工期移民安置区应采取一定的生态环境保护、废水、废气、噪声、固废处置措施。移民安置点建设施工过程中，不可避免会有物料运输车辆冲洗等生产废水产生，评价建议在每个集中安置点分别设置 2 座小型沉淀池（2.0m×1.0m×1.5m）交替使用，共计 58 座，废水处理后回用，不外排。

17.3.1.3 施工期环境空气保护

安置点建设过程中要做好洒水降尘，以减轻对附近居民的影响；运输泥土及建筑材料的车辆应配置防散落装备，并规划好运输路线与时间；对运输过程中散落在路面上的泥土要及时清扫。

17.3.1.4 施工期声环境保护措施

建设期间采用低噪声设备；在居民密集的路段设置限速、限鸣笛的标志牌；为施工人员佩戴防噪声耳塞、耳罩或防噪声头盔。

17.3.2 移民安置区运行期环境保护

17.3.2.1 移民安置区生态环境保护

移民安置区运行期生态环境保护措施主要是建房结束后，重视移民生活区的绿化，对安置区裸露空地进行植被恢复等。保证移民点建设规划的绿地面积数量，在安置区四周及道路两侧种植树木、花草，民居建筑群间有风景树、草坪、花圃用地。

根据场地布置，在集中安置点内的空地、道路两侧、房前屋后进行绿化。植物群落结构以乔木、灌木、草坪相结合为主，街道两侧宜种植行道树，行道树以乡土乔木树种为主。

17.3.2.2 移民安置区饮用水水源保护

根据工程移民集中居民点供水工程规划，需要配套打井、建设泵站、调蓄池的安置点情况见表 17.3.2-1。

表 17.3.2-1 工程移民集中居民点供水工程规划

省	县（市）	乡（镇）	居民点	水源	供水方式	新打机井		泵站（处）	调蓄池
						地点	m/眼		
山西省	大宁县	太古乡	平渡关		在建扶贫供水工程				
	永和县	阁底乡	佛堂		打井	佛堂	280		40
			阴德河		打井	阴德河	260		150
		打石腰乡	河洽里		打井	河洽里	260		50
			直地里		打井	直地里	280		20
		南庄乡	永和关		打井	永和关	300		50
	柳林县	高家沟乡	宋家寨	黄河水	提水站			1	56
		石西乡	上庄	黄河水	提水站			1	82
			石西		接就近村庄管网				
陕西省	延长县	雷赤镇	凉水岸	黄河水	提水站			1	33
	延川县	乾坤湾镇	伏羲河		机井	伏羲河	180		143
		延水关镇	伏寺 1	黄河支流	提水站			1	90
			伏寺 2	水源	提水站			1	70
			苏亚河	黄河水	提水站			1	180
			高家畔		接原村庄管网				82
			王家渠	黄河水	提水站			1	
			延水关		接延水关镇管网				
			冯家崖		接延水关镇管网				
			贺家河		接延水关镇管网				

按照《农村住宅卫生标准》（GB9981-2012）的要求统一规划，在移民安置区原设计的生活供水系统（蓄水池、供水管网）基础上，增加生活饮用水卫生处理设施，配置沉砂过滤和消毒灭菌设备。移民居住人口较多的集中供水水源，要预先经水质采样监测符合饮用水源相关标准。

根据《村镇集中饮用水源保护区划分技术规范》(DB61/335-2003)、《农村饮用水水源地环境保护技术指南》(HJ 2032-2013)等要求,在饮用水源取水口设置 100m 范围的取水点卫生防护带,禁止堆放垃圾、粪便、废渣,不准修建渗水坑、渗水厕所,不准铺设污水管道等;调蓄水池周围 10m 以内不得有渗水坑和垃圾堆放点等污染源;取水点和调蓄池设置警示标志。

17.3.2.3 移民安置区生活污水处理措施

我国农村污水的特点是水量小、水质水量变化大,基本无法形成连续流,因此污水处理应采取因地制宜、经济适用、回用优先、可持续的原则,污染控制和资源化并举。

1. 移民安置区污水处理方法

农村移民生活污水处理方式有沼气池、化粪池、地埋式污水处理设备几种,其主要原理方法如下:

(1) 沼气池

生活污水、粪便等进入沼气池,在厌氧的情况下发酵,其有机成分得到降解,有害细菌在沼气池内的高温环境下被大量杀灭,并产生沼气,可用于生活燃料,沼气池出渣和出液可以用作农肥。

(2) 化粪池

生活污水经化粪池初步处理后排放,化粪池具有造价低、运行费用少等特点,适用于污水排放量少,污水排放要求不高的地区。

(3) 一体化污水处理设备

一体化污水处理设备具有占地面积小、技术成熟、处理效果好、运行稳定和便于管理的优点,适用于对污水处理后,水质要求较高的生活污水处理。

各种处理方式比较分析见表 17.3.2-2。

表 17.3.2-2 各种生活污水处理方式比较分析

序号	处理方式	优缺点分析	综合分析结论
1	沼气池	产生沼气可用作生活燃料,沼渣可用作农肥,但目前农村燃料普遍用电或液化气,且沼气池存在安全隐患	综合分析各种处理方式的优缺点,并结合库区、安置区目前现状,综合分析,农村分散安置采取化粪池处理方式,对于集中安置区,生活污水推荐采用玻璃钢化粪池+地埋式污水处理的措施,对于三交镇安置人口较多,推荐采用玻璃钢化粪池+污水处理站+人工湿地的处理方式,污水经管道收集,处理后排入当地农村规划的排水系统
2	化粪池	造价低、运行费用少等特点,适用于污水排放量少,污水排放要求不高的地区	
3	地埋式污水处理设备	占地面积小,技术成熟,处理效果好,便于管理,适用于污水处理水质要求较高的生活污水处理,污水产生量较小的不太适宜	

2. 移民安置区污水处理设施选择

(1) 库区农村和集镇生活污水处置现状

古贤水库库区地处我国北方农村地区，目前库区农村和集镇区普遍采用旱厕，生活污水无相关处理设施，基本为直接排放。



图 17.3.2-1 三交镇生活污水处置现状（散排）

(2) 移民安置区生活污水处置

① 分散安置点

分散安置移民分布相对分散，生活污水产生量小，并且污水产生以每户为单位，污染物主要是 BOD_5 、 COD_{Cr} 、氨氮等，且污水排放要求不高。从经济节约、因地制宜角度来考虑，对移民数量较少的分散安置点，采用化粪池的方式较为适宜。

② 集中安置点

根据工程移民安置规划，共规划有 29 个安置点（含 1 个集镇迁建安置点）。由于人员居住相对集中，污水可以通过管道进行收集处理。对于集中安置区，生活污水推荐采用玻璃钢化粪池+埋地式污水处理的措施，对于三交镇安置人口较多，推荐采用玻璃钢化粪池+污水处理站+人工湿地的处理方式，污水经管道收集，处理后排入当地农村规划的排水系统，集中安置居民点污水处理设施设备选型见表 17.3.2-3。

表 17.3.2-3 集中安置居民点污水处理设施设备选型

省	序号	县	乡镇	行政村	集中安置点名称	安置规模		污水量 (m ³ /d) 排放系数 0.8	生活废水处理设施
						户数	人口		
山西省	1	大宁县	太古乡	六儿岭村	平渡关	32	113	10.85	玻璃钢化粪池+埋式污水处理设施
	2	永和县	阁底乡	高家堰村	佛堂	26	99	9.50	
	3			阴德河村	阴德河	137	465	44.64	
	4		打石腰乡	于家圪村	河洽里	100	362	34.75	
	5			李家垣村	直地里	28	97	9.31	
	6		南庄乡	刘家圪崂村	永和关	66	228	21.89	
	7	柳林县	三交镇		坪上村		3099	297.50	玻璃钢化粪池+污水处理站+人工湿地
	8		高家沟乡	宋家寨村	宋家寨	55	219	21.02	玻璃钢化粪池+埋式污水处理设施
	9		石西乡	上庄村	上庄	74	265	25.44	
	10			石西村	石西	40	150	14.40	
陕西省	11	延长县	雷赤镇	凉水岸村	凉水岸	45	130	12.48	
	12	延川县	乾坤湾镇	碾畔村	伏羲河	154	465	44.64	
	13		延水关镇	伏寺村	伏寺 1	89	298	28.61	
	14				伏寺 2	63	215	20.64	
	15			石佛村	苏亚	193	621	59.62	
	16			新胜古	高家畔	109	332	31.87	
	17			延水关村	王家渠	86	244	23.42	
	18				延水关	231	693	66.53	
	19			冯家崖村	冯家崖	106	321	30.82	
	20			贺家河村	贺家河	198	580	55.68	
	21	清涧县	双庙河服务中心	贺家畔村	贺家畔	78	269	25.82	
	22				郭家河	84	269	25.82	
	23		玉家河镇	王家河村	王家河	150	548	52.61	
	24		高杰村镇	河口村	河口	229	834	80.06	
	25		石盘服务中心	上坪村	上坪	53	139	13.34	
	26	绥德县	定仙墁镇	界首村	子房沟、西沟	62	211	20.26	
	27				渠里、后店	193	615	59.04	
	28		枣林坪镇	沟口村	沟口	34	115	11.04	
	29			河底村	河底	57	181	17.38	

③典型移民安置区（三交镇）污水处理系统布置

选取三交镇为典型安置区进行污水处理系统布置进行分析。

a. 污水管网

宅前路采用管径 $\phi 200$ 的UPVC双壁波纹管,支、干路采用钢筋混凝土排水管排水,管道沿道路坡度敷设,坡度不小于0.003~0.004。每户设一个 $\phi 700$ 的砖砌沉泥井。

b. 排水沟

排水沟采用砖砌矩形排水沟,全部加设漏空盖板。为确保排水通畅,点内排水沟一般以不小于0.3%的坡度沿道路流向居民点外,经点外排水沟汇集后集中就近排至天然水体或人工排水沟渠。

c. 化粪池

在安置点公厕及公共建筑外就近设置一座化粪池，选用玻璃钢化粪池。在居民点外 60m 左右集中设置玻璃钢化粪池，化粪池后设在污水处置站的位置，化粪池应定期清掏，清掏周期 30 天。

d. 地埋式污水处理设施

采用 WSZ-AO 系列小型生活污水处理成套设备，经处理后的生活污水作为附近农田或果园灌溉用水。

小型生活污水处理成套设备采用成熟可靠的生物处理工艺，主工艺为 AO 工艺，能去除 BOD_5 、 COD_{Cr} 、 NH_3-N ，技术性能稳定可靠，处理效果好，投资省，占地少，维护方便，可埋入地表以下，地表可作为绿化或广场用地，也可以设置于地面。

污水处理站具体设计工艺流程详见图 17.3.2-2。

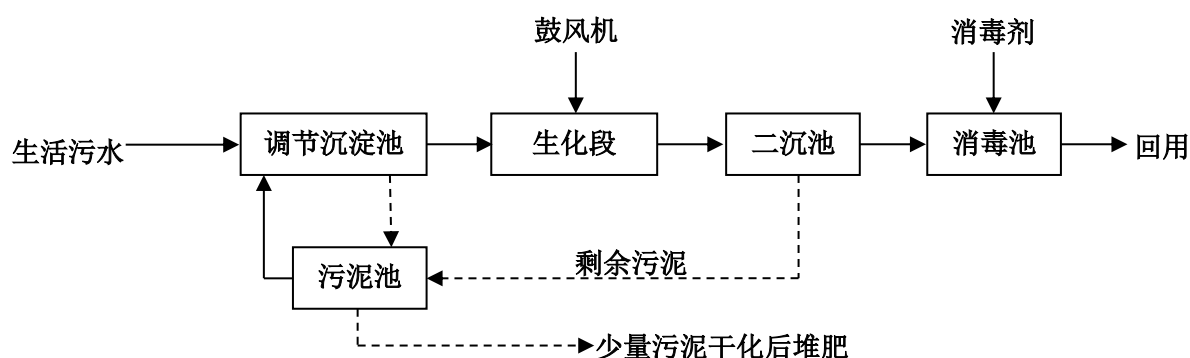


图 17.3.2-2 小型生活污水处理成套设备工艺流程图

本工程采用的 WSZ-AO 系列一体化污水处理设备中，生物处理采用传统 AO 工艺，结合推流式生物接触氧化池，处理效果优于完全混合式或二、三级串联完全混合式生物接触氧化池，池容较小，水质适应性强，耐冲击性能好，出水水质稳定，不会产生污泥膨胀。同时采用了新型弹性立体填料，它具有实际比表面积大，微生物挂膜、脱膜方便，在同样有机负荷条件下，比其它填料对有机物的去除率高，能提高空气中的氧在水中溶解度。由于在 AO 生物处理工艺中采用了填料填充，其填料的体积负荷比较低，微生物处于自身氧化阶段，因此产泥量较少。设计进水水质参数按一般生活水水质，即进水 $BOD_5 5200\text{mg/L}$ ，出水 $BOD_5 520\text{mg/L}$ 指标设计，处理站内设调节沉淀池、生化池、二沉池、消毒池、污泥池、消毒装置、风机房、泵房以及电控室等，具体如下：

调节沉淀池：主要是将污水集中与一处，调节时间为 8 小时，然后用提升泵将污水

提升至下一级工艺；

生化池：A 段生物池为推流式厌氧生化池，停留时间 3 小时；O 段生物池为推动式生物接触氧化池，停留时间为 5~6 小时；两段池内填料均为弹性立体填料，填料比表面积为 $200\text{m}^2/\text{m}^3$ ，接触池气水比为 12:1 左右。

二沉池：生化处理后的污水进入沉淀池，二沉池为旋流式沉淀池，表面负荷为 $1.0\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 沉淀时间为 2.1 小时，排泥采用空气提升至污泥池。

消毒池及消毒装置：消毒池按规范标准为 30min，采用固体氯片接触溶解的消毒方式，消毒装置能根据出水量的大小不断改变加药量，达到多出水多加药，少出水少加药的目的。

污泥池：沉池的所有污泥均用空气提至污泥池内进行好氧消化，污泥池上清液回流至生化池内进行处理。

鼓风机：地埋式生活污水设备风机房设在消毒池的上方，进口采用双层隔音，进风口有消声器、风机过滤器，运行时噪音较低。

生活污水集中至调节池后，用泵提升至生化池进行生化处理、沉淀及消毒后出水回用。消化池中的污泥用泵抽至污泥压滤机进行脱水处理，干化污泥产生量极小，可就近堆肥。

e. 人工湿地处理

针对三交镇，结合安置点景观规划，经污水处理设施处理过的废水，再进入人工处理系统，推荐采用表流人工湿地，植物可选择菖蒲、灯芯草等挺水植物，凤眼莲、浮萍、睡莲等浮水植物，伊乐藻、茨藻、金鱼藻、黑藻等沉水植物。处理过的废水首先用于安置点的绿化用水，多余部分随安置点排水系统排放。

17.3.2.4 移民安置区生活垃圾处置措施

1. 集中安置点

(1) 生活垃圾分类

移民安置点每年进行一次生活垃圾分类宣传培训，设立宣传展板，发放宣传材料，在每户居民家配备 2 个垃圾桶，用于盛放有机垃圾和不可回收无机垃圾。将新鲜的厨余及菜叶、果皮等用做家畜饲料，不可回收的无机垃圾送到公用垃圾桶。

（2）垃圾收运

每个安置点内根据户数设置一定数量的公用垃圾桶，每 5 户设置 1 个公用垃圾桶，不可回收无机垃圾由居民自行放入安置点的公用垃圾桶内，每个安置点设置 1 个垃圾收集池，由专人负责清理，并定期运交给当地城镇环卫部门处理。

（3）运行管理

对各个垃圾桶存放处及垃圾收集点经常喷洒灭害灵等药水，以防止蚊蝇等孳生，垃圾清运依托安置区域垃圾清运系统。

2. 分散安置点

农村分散安置点安置方案中没有对分散生活垃圾进行处理的措施，结合当地生活习惯，生活垃圾主要为禽畜粪便、厨余垃圾、其它有机废物等，由于分散，这些生活垃圾难以收集统一处理，建议农村生活垃圾可用于农田堆肥，一方面可减少垃圾抛投量，另一方面增加耕地肥力，对农田改良非常有利。

17.3.2.5 移民安置区噪声防治措施

移民安置区应设置车辆时速限速标志、禁鸣标志、减速带等噪声防护措施。

17.3.2.6 人群健康保护措施

（1）环境卫生清理

制定和实施安置区的卫生管理工作，搞好移民安置区卫生管理，铲除病媒生物孳生环境。移民迁入新居前应先进行 1 次卫生大扫除，清运建筑垃圾，填平水沟，喷洒灭蚊药物，彻底消灭蚊虫孳生地。

（2）病媒生物的控制

组织库区周围居民开展有计划、大规模的灭鼠活动，使鼠密度降至无危害水平，控制鼠传疾病的发生。可采用简便、高效的毒饵法，在移民安置区内同时投放毒饵，每年进行 2 次，按时按量向移民分发低毒高效鼠药。

（3）虫媒和自然疫源性疾病预防与接种

为预防传染病，应在移民安置区开展灭蚊、灭虫，消灭蚊虫孳生地的活动。移民的新建房屋要通风、透光，避免潮湿黑暗，减少蚊虫躲藏场所。在夏、秋蚊虫活动频繁的季节，积极动员移民挂蚊帐，不露宿，减少蚊虫叮咬机会，以达到控制虫媒传染病流行

的目的。

(4) 加强管理和宣传

在人群集中的地方采用办墙报和张贴宣传画等方式，在人群分散的地方以发放卫生宣传小手册为主，同时通过广播、电视等媒体进行广泛的卫生宣传。

做好移民区人畜饮水规划，选择清洁水源，定期对饮用水水源进行监测，保证饮用水卫生，此外还应加强建筑、生活垃圾和粪便的管理，防止疾病传播，把移民区卫生规划与环境结合起来，为移民创造卫生的环境，减免疾病对安置区居民健康的威胁。

17.3.3 专业项目复建环境保护

工程淹没的交通设施、水利设施、电力设施、通信设施等等工程复建的过程中将产生废水、废气、固废以及噪声污染，应按照相应的环境保护要求采取废水、废气、固废处置以及噪声防治和生态保护措施。

工程专项设施复建项目大多由建设单位出资由权属单位建设，其环境保护措施由权属单位负责。

对于集镇迁建、居民点建设需规划的对外连接道路或库周恢复道路、电力、通信、广播工程等，其建设过程中，可采取如下环保措施：

(1) 加强对施工设备的管理与维修保养，杜绝泄漏石油类物质的跑、冒、滴、漏；严禁向沿线水体倾倒残余燃油和机油；严禁向沿线水体抛弃生活垃圾、建材废料和建筑垃圾。

(2) 施工废水处理回用不外排。

(3) 合理规划施工布置，减少临时占地；加强施工管理，做好土石方的纵向调运，弃渣运至指定渣场，做好渣场堆渣管理。

(4) 施工期间配备洒水车，对施工区非雨日洒水，保持路面湿润，抑制扬尘。

17.3.4 移民安置环保措施汇总

移民安置区环保措施见表 17.3.4-1。

表 17.3.4-1 移民安置环保措施体系

阶段	环境要素	措施内容	满足标准
移民安置施工期	生态环境	尽量减少耕地占用，减轻对植被破坏，做好原址拆除后的清理工作；施工期采取表土剥离、拦挡措施、护坡措施；施工期结束后采取绿化措施	
	水环境	每个安置点分别设置 2 座小型沉淀池（2.0m×1.0m×1.5m）交替使用，共计 58 座	废水处理回用，不外排
	环境空气	安置点建设过程中要做好洒水降尘，以减轻对附近居民的影响	不对周围居民造成明显不利影响
		运输泥土及建筑材料的车辆应配置防散落装备，并规划好运输路线与时间	
	声环境	对运输过程中散落在路面上的泥土要及时清扫	不对周围居民造成明显不利影响
		建设期间采用低噪声设备	
		在居民密集的路段设置限速、限鸣笛的标志牌	
移民安置区运行期	固体废物	安置点建设过程中充分利用淹没区建筑、木材等资源 and 原有旧料；建筑材料合理堆放；生活垃圾定期清运	
	生态环境	移民安置区运行期生态环境保护措施主要是建房结束后，重视移民生活区的绿化，对安置区裸露空地进行植被恢复等，绿化植物群落结构以乔木、灌木、草坪相结合为主，行道树以乡土乔木树种为主；农业生产及果园种植中控制农业化肥农药使用量	
	饮用水水源保护	各安置点饮水水源统一规划	确保移民安置区饮用水安全，满足《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2006）
		各安置点饮用水源取水口设置 100m 范围的取水点卫生防护带，禁止堆放垃圾、粪便、废渣，不准修建渗水坑、渗水厕所，不准铺设污水管道等	
		各安置点集水池周围 10m 以内不得有渗水坑和堆放和垃圾等污染源	
		各安置点取水点或蓄水池设置警示标志	
	水环境	定期对移民安置区饮用水进行监测	共计 29 套污水处理设施
		分散安置点采取旱厕，定期清运	
		三交镇集中安置点人口数量较多，推荐采用化粪池+污水处理站+人工湿地的处理方式进行废水处理；	
		其余农村集中安置点推荐采用化粪池+地理式污水处理的方式进行废水处理，处理后首先用于安置点绿化用水；	
	固体废物	各安置点配备吸粪车，定期清运安置点内化粪池	确保移民安置区生活垃圾不对周围环境造成明显不利影响
		对移民安置点进行生活垃圾分类宣传培训	
	声环境	各安置点配备垃圾桶、垃圾收集池，定期清运，交运当地城镇环卫部门	
	人群健康保护	移民安置区应设置车辆时速限速标志、禁鸣标志、减速带等噪声防护措施	
专项设施复建过程	施工废水	加强移民安置区环境卫生清理、病媒生物控制，加强管理和宣传	
	生态环境	加强对施工设备的管理与维修保养，杜绝泄漏石油类物质的跑、冒、滴、漏；严禁向沿线水体倾倒残余燃油和机油；严禁向沿线水体抛弃生活垃圾、建筑废料和建筑垃圾	工程专项设施复建项目大多由建设单位出资由权属单位建设，其环境保护措施由权属单位负责
		施工废水处理后回用不外排	
	环境空气	合理规划施工布置，减少临时占地；加强施工管理，做好土石方的纵向调运，弃渣运至指定渣场，做好渣场堆渣管理	
	环境空气	对物料运输进行覆盖封闭，施工期间配备洒水车，对施工区非雨日洒水，保持路面湿润，抑制扬尘	

17.4 小结

17.4.1 结论

1. 水库淹没及移民安置规划概况

工程建设征地涉及总人口 15063 人，影响总土地面积 34.24 万亩。规划设计水平年生产安置人口 13014 人，以农业安置方式为主；搬迁安置移民 4679 户 15530 人，其中本村后靠安置 3039 户 9925 人，随集镇迁建安置 602 户 2176 人，进城（镇）自主安置 1038 户 3429 人。

2. 移民安置区环境现状

根据调查，移民安置区环境空气、地下水、土壤等各项指标均能够满足相应标准要求，环境质量良好。移民集中安置区共 29 个，经调查，集中安置区不涉及风景名胜区、自然保护区、水源保护区等环境敏感区；选择在水源充足、水质良好、便于排水、对外交通便利，地质条件适宜的地段；农村移民搬迁主要以后靠安置为主，搬迁安置距离不远，方便移民生产生活；移民设计上考虑了排水规划、生活垃圾处置规划，废水及固废得到妥善处理；从土地环境容量及居民用水方面考虑，可以得到保障；总体上看，移民集中安置点选择的环境适宜性良好。

3. 移民安置环境影响及措施分析

（1）地表水环境影响

移民集中安置对水环境的影响主要是生活污水如不经处理直接排放，将影响周边水体水质。移民数量较少的分散安置点，生活污水产生量小，采用化粪池的方式，定期清运，资源化利用，对水环境影响很小；对于农村集中安置区，生活污水推荐采取玻璃钢化粪池+地埋式污水处理设施处理，污水经管道收集，处理后排入当地规划的排水系统；对于三交镇，安置人口较多，结合安置点绿化规划，推荐采用玻璃钢化粪池+污水处理站+人工湿地的处理方式，处理后首先用于安置点的绿化用水，多余部分用于周边农田和枣林的灌溉用水。各安置点定期清运安置点内化粪池，废水经处理后排入当地规划的排水系统，对周围环境影响较小。

（2）固体废弃物影响

移民安置区固体废弃物对环境的影响主要来自移民安置区生活垃圾，评价提出对各

移民安置点进行生活垃圾分类宣传培训，各安置点配备垃圾桶、垃圾收集池，定期清运，交运至当地城镇环卫部门等措施，不会对当地环境造成明显不利影响。

（3）生态环境影响

生产安置主要采取调整土地生产安置方式，主要进行坡改梯、旱地平整、土壤改良以及农田水利措施等，对生态环境影响很小。

搬迁安置改变了安置点原有土地利用类型，使得区域植物资源数量减少，但不会改变区域植物种类，不会对区域生态环境造成明显的不利影响。

17.4.2 建议

鉴于移民安置、复建工程数量及集中安置点较多、影响较复杂，因本阶段受移民安置规划深度限制，仅对整体环境影响及典型工程进行了分析，为全面反映移民安置的环境影响，建议建设单位在移民安置具体实施过程中，根据地方环保部门的管理要求，编制移民安置环境影响相关文件，报陕西省、山西省相关环境保护行政主管部门审批，细化、落实移民安置中的环境影响措施，降低移民安置中的不利环境影响。

第十八章 环保措施汇总

18.1 环保措施汇总

本报告第七章~第十六章针对生态需水保障、水环境保护、水生生态保护、湿地保护、陆生生态保护、地质遗迹保护、壶口瀑布保护等提出了具体的对策和措施，本章主要对环保措施进行汇总。

18.1.1 施工期环保措施汇总

根据工程设计，施工期包含筹建期（36 个月）、准备期（28 个月）和主体工程施工期（65 个月），期间应采取的环保措施汇总见表 18.1.1-1~4。

18.1.2 运行期环保措施汇总

工程建成运行后，采取的环保措施汇总见表 18.1.2-1~4。

表 18.1.1-1 施工期生态环境保护措施汇总一览表

环境因子	施工期环保措施	
生态流量	第 1 年 10 月~第 3 年 10 月, 为修建导流洞施工支洞及导流时期, 在此期间, 采用原河床过流, 流量过程不受影响; 第 3 年 11 月上旬, 河床截流, 采用 1#、2#导流洞导流, 下泄能力达到设计流量 1270m ³ /s (旬流量, P=10%), 因此坝址上游来水基本可全部下泄; 第 3 年 11 月中旬~第 8 年 6 月, 采用 1#、2#导流洞导流, 最大下泄流量为 7054.4m ³ /s, 下泄流量可满足生态流量要求; 第 8 年 7 月~第 8 年 10 月底, 采用 2#导流洞+8 孔排沙底孔导流, 最大下泄流量为 8678.6m ³ /s, 下泄流量可满足生态流量要求。	
水生生态	<p>(1) 施工前采取驱鱼作业, 将施工影响水域的鱼类驱离再进行施工。施工期尽量避开鱼类的主要产卵季节, 并避开产卵区域或鱼类幼鱼生长区域。优化施工进度, 4 月~6 月尽量避免在河道及周边进行爆破、截流等施工作业。</p> <p>(2) 弃渣场周围应设置挡渣墙、截水沟和排水沟, 以避免水土流失造成水质污染和影响水生生物栖息环境。</p> <p>(3) 加强施工区管理, 避免生活污水直接排放, 禁止抛弃有毒有害物质, 减少水体污染。加强施工及管理人员水生生态保护宣传, 制作相关环境保护手册、警示牌等, 严禁施工人员捕捉河道鱼类等。</p> <p>(4) 建立鱼类救护机制。对截流时围堰内的鱼类及时进行捕捞、暂养或放归; 需要进行水下爆破的, 事先需对影响水域采用声、电或网具等手段驱赶鱼类; 初期蓄水时, 应安排人员巡查, 禁止初期蓄水期坝下减水河段捕鱼, 对搁浅的鱼类及时采取救护措施, 保护鱼类资源。</p>	
陆生生态	避让措施	环评单位积极与设计单位沟通, 工程布置尽量避开工程区域涉及的自然保护区、风景名胜等, 设计采纳了环评建议, 对工程布置进行了调整。
	占地影响减缓措施	(1) 在位于坝址区和坝址下游区的 (大坝、生产生活区、渣场区、交通道路两侧) 等施工区周围设置施工围挡, 施工车辆、人员必须在施工范围内活动, 严禁随意扩大扰动范围; (2) 坝址区主体工程施工前剥离表层土, 并集中堆放, 施工过程中采用临时围挡减少影响范围, 同时做好护坡给排水, 防止因坍塌及冲刷间接扩大影响区域, 临时占地区施工结束后表层土回填; (3) 坝址区、料场区及皮带机线路区施工生活营地施工前回收耕植土, 占地前要剥离地表 30cm 的表土层集中堆放, 表层土堆放设置临时护坡及排水沟, 并加盖防尘网, 施工完成后对临时占地区进行清理、平整, 有坡度区域修筑种植槽; (4) 施工临时道路施工前, 表土进行剥离堆放, 临时道路结束后进行恢复平整; (5) 施工时对各渣场采取拦挡措施, 保持水土, 防止坍塌, 施工结束后对渣场边坡进行护坡。
	植被影响减缓措施	(1) 在料场、渣场、皮带机线路区等天然植被较好的区域, 设置植物保护警示牌, 保护植被与野生动物栖息生境; (2) 严禁随意砍伐和破坏施工区以外的各种野生植被, 特别要防止借工程建设之机大肆砍伐林木事件的发生, 在工程施工过程中, 重视对现有林地植被的保护, 在施工区竖立防火警示牌, 预防火灾发生; (3) 工程施工时若发现有重点保护野生植物, 应立即上报相关部门, 并在管理部门的指导下采取就地或移栽的保护措施。
	动物影响减缓措施	(1) 广泛开展宣传教育, 施工单位进入施工区域之前对施工人员进行培训教育, 加强对施工人员生态保护的宣传教育, 对 1#~4#施工生活区、业主营地及西磴口骨料场区生活营地等施工及管理人员集中的区域设置野生动物保护宣传栏, 印制重点保护野生动物图册分发给施工人员, 识别保护动物; 工程开工前, 由工程建设单位在施工区及库区周边村镇 (如古贤村、文城乡、壶口镇等) 进行宣传教育, 采用黑板报、张贴标语、宣传车等方式宣传有关野生动物的知识及保护意义, 与周边居民相互监督, 保护野生动物栖息环境; (2) 限定施工范围, 保护栖息环境, 工程施工前应划定施工范围, 减少施工区以外野生动物栖息与觅食环境的破坏, 并且在料场区、渣场区、皮带机线路隧洞口附近等区域设置野生动物保护警示牌; (3) 控制施工噪声, 施工道路全线禁止鸣笛, 设置禁止鸣笛标识牌。隧洞施工及骨料开采尽量避免采用高噪音的爆破施工; (4) 禁止捕猎, 依法保护野生动物, 制定生态环境保护制度, 把施工人员的活动限制在施工占地及周边地区, 禁止任何人员偷猎野生动物; 把是否出现违犯《中华人民共和国野生动物保护法》事件列入工程是否合格的考核标准; 禁止捕捉黑斑侧褶蛙、丽斑麻蜥、王锦蛇、黄脊游蛇、白条锦蛇、虎斑颈槽蛇、刺猬、雉鸡、灰斑鸠和珠颈斑鸠等野生动物, 同时杜绝破坏动物巢穴、捕捉动物幼体等行为; 禁止施工及管理人员向附近村民购买和在附近不法餐馆食用野生动物; 在施工过程中, 如发现受伤或死亡个体应及时上报林业部门进行处置, 不得私自倒卖、食用; (5) 施工前对施工区野生动物进行驱赶, 在施工过程中发现野生动物在施工区附近活动, 应做好驱赶工作, 避免对其造成伤害; (6) 根据库周重点保护动物分布情况, 在水库蓄水时派出巡护人员沿岸进行巡视, 遇到受困的豹猫、东北刺猬等野生动物及其幼体及时采取救助措施。

环境因子	施工期环保措施	
临时占地恢复措施	<p>(1) 弃渣场恢复措施：大坝工程 1#、2#和 3#弃渣场占地类型为林草地，堆渣结束后，对弃渣场顶面进行平整，顶面种植乔木、灌木和草，坡面网格护坡种草。乔木以国槐、侧柏为主，灌木以紫穗槐、黄杨为主，草以白羊草为主。西磴口料场弃渣场占地类型为灌丛草地，渣场结束后进行绿化。顶面种植乔木、灌木和草，坡面网格护坡种草，灌木以紫穗槐、黄杨为主，草以白羊草为主。进场道路及皮带线路区共设弃渣场 6 个，占地类型为林、草地。堆渣结束后，对弃渣场顶面进行平整，顶面种植乔木、灌木和草，坡面网格护坡种草，乔木以刺槐、侧柏为主，灌木以紫穗槐、黄杨为主，草以白羊草为主。(2) 西磴口料场区：施工结束后，进行人工覆土，料场边坡种植小乔木+攀缘植物的方式绿化，其中攀缘植物选用爬山虎，小乔木选择侧柏。根据区域适生灌草，采取撒播灌草方式绿化，灌木选用紫穗槐、黄杨混合种籽，草种选用白羊草。(3) 交通道路区：库区外临时道路施工结束后需要恢复灌木林地。在施工前进行表土剥离，并集中堆放，施工后回覆，以便后期作为绿化用土。施工结束后需要恢复林地，种植乔木、灌木和草进行植被恢复。永久道路两侧各种植一排行道林，行道林选择树种为大叶女贞、刺槐、杨树、侧柏。(4) 施工生产生活区：在施工结束后，采取植被恢复工程，种植乔木、灌木和草进行植被恢复。</p>	
永久占地恢复措施	<p>对坝肩高边坡采取高次团粒客土喷播技术进行恢复绿化。导流洞出口、大坝枢纽建筑物工程区进行土地整治措施，采取种植乔木、灌木和草进行绿化。在工程永久办公生活区围墙周边选取当地的优势植物群落进行绿化，种植常绿乔木进行绿化，树种选用侧柏、刺槐、雪松、广玉兰等。在办公房周边种植低矮灌木进行美化，选用黄杨球、紫叶小檗等。办公院内绿地内铺设白羊草草坪，并种植杜鹃花、黄刺玫等加以点缀，道路两侧种植灌木（大叶黄杨）绿篱。</p>	
生态敏感区保护措施	<p>(1) 位于黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）内的进场道路及并线皮带机施工采用低噪音设备，风景名胜区内禁止鸣笛，定时洒水降尘。 (2) 为减轻长耳鸮、毛脚鱼鸮、纵纹腹小鸮、雕鸮等夜行性鸟类及豹猫、黄鼬、艾鼬、狗獾及刺猬等夜行兽类的影响，进场道路施工区域禁止夜间施工。</p>	
古树名木保护措施	<p>对山西侧淹没区分布的 2 棵古树移栽至业主营地，加以保护。</p>	
公益林补偿措施	<p>建设单位根据本项目拟占用公益林地情况，根据国家关于公益林地补偿相关规定，向地方缴纳公益林恢复费，专款用于异地公益林修复和养护，达到增减平衡，恢复公益林生态功能。</p>	
水土保持措施	<p>详见水土保持专题报告</p>	

表 18.1.1-2 施工期敏感保护目标环保措施汇总一览表

敏感保护目标	施工期环保措施	
黄河蛇曲国家地质公园地质遗迹	<p>(1) 加强同地区、同类地质遗迹调查,寻找具备相同或类似地学研究价值、景观生态价值、社会经济价值的蛇曲地貌,使被淹没的地质遗迹具备可替代性;</p> <p>(2) 加快重要地质遗迹的相关研究工作,本工程建设期为 10 年,到完成正常水位蓄水需要 40 年,具备相对充分的科研时间。通过增加科研经费,投入大量人力物力资源开展黄河蛇曲的相关研究,力争在受到淹没影响前,完成对黄河蛇曲的深度科学研究,从科学研究价值角度将淹没损失降到最低;</p> <p>(3) 开展资料留存工作,采用多媒体数字化技术,将现有的重要地质遗迹景观进行拍摄、三维扫描等,为后续参观展示、科学研究提供依据;</p> <p>(4) 充实公园博物馆内容,进一步丰富博物馆的科学内涵。依托调查成果和科研成果,强化博物馆内关于黄河演化、“蛇曲”形成等地学知识的科普效果,并利用最新的声、光、电、影等技术手段,再现黄河“蛇曲”的天然景观,让游客可以切身感受到黄河“蛇曲群”的壮丽风景。</p>	
陕西清涧无定河曲流群地质公园	<p>(1) 清涧无定河曲流群省级地质公园地质遗迹详查工作;</p> <p>(2) 公园外围地质遗迹调查与研究工作;</p> <p>(3) 清涧无定河曲流群省级地质公园规划修编;</p> <p>(4) 科学研究与科普教育工作。</p>	
壶口风景名胜区	环境空气保护措施	<p>(1) 在风景名胜保护区范围内的隧洞开挖及爆破、桥梁浇筑、明线路段施工过程中,应选择达到或优于国家规定排放标准的施工机械,并使之处于良好运行状态;</p> <p>(2) 加强对隧道掘进机、挖掘机、空压机、砼搅拌机、振捣机和自卸汽车等施工机械和运输车辆的维护和保养,使用优质燃料,减少尾气排放量;</p> <p>(3) 对二级保护区范围边界处的隧洞口、三级保护区内的隧洞口、桥梁、明线路基作业面及施工道路,每天上下午至少各洒水 1 次;</p> <p>(4) 避免大风时段和污染严重天气下进行爆破、洞口开挖、混凝土拌和等高粉尘工序的施工作业;</p> <p>(5) 砂石、水泥等尘源物料的运输和堆存采取覆盖措施;产生的工程弃渣,应压实覆盖,减少扬尘产生。</p>
	声环境保护措施	<p>(1) 合理安排施工布局,物料装卸、堆放以及混凝土搅拌机等,应远离风景名胜保护区二级保护区以及三级保护区内村庄等环境敏感点;</p> <p>(2) 施工中优先选用噪声低的机械设备,并定期维修养护和正确使用,使之保持最佳工作状态和最低声级水平,可视情况给强噪声设备安装隔声罩,控制施工噪声源,力争做到施工噪声不影响景区和附近村庄的声环境;</p> <p>(3) 外来运输车辆在穿越风景名胜保护区二级、三级保护区以及居民集中的路段时,设置禁止鸣笛放喇叭标识牌,控制瞬时突发噪声;</p> <p>(4) 结合景区旅游高峰时段,合理安排施工时间,将噪声影响大的工序安排在非周末及节假日进行;禁止夜间(晚 22:00 至次日凌晨 6:00)高噪声机械施工;</p> <p>(5) 进场道路和皮带机线路并线段经过侯家原村、中市村和南原村附近时,应在进场道路隧洞出入口施工区域设置临时围挡,施工围挡设计安装时应考虑营造适合风景区的景观因素。</p>
	固废处置措施	<p>并线段在穿过风景区保护范围内不设置弃渣场,风景名胜区内隧洞开挖产生的弃渣应及时清运至坝址区 1#渣场和青兰高速附近施工进场道路 1#、2#弃渣场,并且在清运过程中,覆盖严实,避免洒落,造成二次污染;同时弃渣场应做好水土保持措施。在进场道路及皮带机线路并线段穿过风景名胜区的隧洞口及桥梁作业面放置 10 个容积为 5m³ 的塑料桶收集垃圾,在风景名胜区南侧建 1 个有效容积为 20m³ 垃圾中转站,配置 1 辆垃圾清运车,每天将垃圾桶内的垃圾清运至垃圾中转站。施工结束后生产生活区板房拆除、皮带机线路拆除产生的废弃板材和皮带、废旧零部件等,应及时运送至附近坝址区或料场区施工工厂、机械修理厂内的建筑垃圾堆放点,首先进行回收利用,无法利用的可出售至废品收购站资源化回收,不随意丢弃。</p>

表 18.1.1-3 施工期其他环境保护措施汇总

环境因子	施工期环保措施	
地表水环境	皮带机线路区	(1) 生活污水：一体化生活污水处理系统 (260t/d) 1 套，玻璃钢化粪池 (10t/d) 13 套，食堂用油水分离器 14 套，环保厕所 42 个，吸粪车 1 台 (10m ³)，10 个塑料储水罐 (20t)； (2) 生产废水：混凝土拌和系统中和沉淀池 (5t/d) 32 套。
	坝址区	(1) 生活污水：业主营地污水处理站 (1200t/d) 1 座，玻璃钢化粪池 4 套 (240t/d 1 套，200t/d 1 套，80t/d 1 套，424t/d 1 套)，食堂用油水分离器 6 套，环保厕所 88 个，吸粪车 1 台 (10m ³)，20 个塑料储水罐 (50t)； (2) 生产废水：导流工程混凝土拌和系统中和沉淀池 (20t/d) 1 套，主体工程混凝土拌和系统絮凝沉淀池 (50t/d) 4 套，砂石料加工系统 DH 高效净化器 (3700t/d) 6 套，基坑废水絮凝沉淀池 (1260t/h) 27 套，导流工程油水分离器 (30t/d) 1 套，主体工程油水分离器 (100t/d) 1 套。
	料场区	(1) 生活污水：一体化生活污水处理设施 (200t/d) 1 套，食堂用油水分离器 1 套，环保厕所 18 个，10 个塑料储水罐 (20t)； (2) 生产废水：油水分离器 (75t/d) 1 套，砂石料加工系统辐流沉淀池 (200t/d) 1 套。
	以上措施涉及的设施、装置或设备应在相应的正式施工开始前落实完成，并由环境监理人员予以确认。	
地下水环境	建议合理布置工期，尽可能缩短施工工期，以免对地下水水位造成长期的影响；施工过程中，对于洞室顶部及时进行帷幕喷浆，避免顶部地下水持续渗漏排泄。料场开采涉及天津市西磴乡镇集中供水水源保护区二级保护区，需按要求办理相关手续。	
声环境	皮带机线路区	(1) 噪声源控制：施工机械必须选用符合国家有关环保标准的施工机械，在满足上述标准情况下尽量选用低噪声设备和施工工艺；运输车辆噪声和其它施工机械应符合相关标准要求；合理安排施工时间，控制夜间施工，尽量避免高噪声施工活动在夜间(22:00~6:00)进行；严格控制进场道路和皮带机线路并线段路基及隧洞口开挖爆破时间，严控爆破单响药量，爆破作用时间应避开夜间爆破，建议爆破时间选择在下午 17:00~17:30，在爆破前应张贴公告并向附近侯家原村、中市村和南原村居民进行通告，并在爆破前 15 分钟鸣警笛提示警戒；加强交通噪声的管理和控制，在皮带机线路区各施工生产生活区、施工道路沿线村庄设置 14 个限速和禁鸣标志牌以及减速带。 (2) 传播途径控制：在东庄小学、侯家原村、中市村和南原村附近施工区边界设置临时围挡，围挡高度为 3m，长度依次为 100m、100m、150m、100m。 (3) 受体保护：施工人员每天连续接触噪声的工作时间不宜过长，实行定时轮换岗制度。接触噪声的施工人员进场时应佩戴耳塞、耳罩、防声头盔等个人防护措施。
	坝址区	(1) 噪声源控制：坝址区砂石料筛分系统采用橡胶网、塑料钢板和涂阻尼材料；严格控制大坝等主体工程开挖爆破时间，严控爆破单响药量，爆破作用时间应避开夜间爆破，建议爆破时间选择在下午 17:00~17:30，在爆破前应张贴公告并向附近古贤村居民进行通告，并在爆破前 15 分钟鸣警笛提示警戒；加强交通噪声的管理和控制。在施工准备期导流等前期工程生活区、施工道路沿线设置 2 个限速和禁鸣标志牌以及减速带，在主体工程施工工期坝址区各施工生活区、施工道路沿线村庄设置 7 个限速和禁鸣标志牌以及减速带。 (2) 传播途径控制：对坝址区砂石料破碎机、筛分楼、拌和楼等高噪声机械设备尽量安装消声器或采用局部消声罩，为骨料破碎机械、混凝土拌和楼等处的施工操作人员修建多孔吸声材料建成的隔声屏障或隔声间等。 (3) 受体保护：对于坝址施工区强噪声源，如混凝土拌和、骨料破碎、砂石料筛分等作业区，提高自动化作业程度，实现远距离的监视操作，使作业人员尽量远离噪声源。
	料场区	(1) 噪声源控制：料场区砂石料筛分系统采用橡胶网、塑料钢板和涂阻尼材料；严格控制料场开挖爆破时间，严控爆破单响药量，爆破作用时间应避开夜间爆破，建议爆破时间选择在下午 17:00~17:30，在爆破前应张贴公告并向附近西磴口村、赵家圪垛、张家岭村的居民进行通告，并在爆破前 15 分钟鸣警笛提示警戒；加强交通噪声的管理和控制，在料场区施工生活区、施工道路等沿线村庄设置 2 个限速和禁鸣标志牌以及减速带。 (2) 传播途径控制：对料场区砂石料破碎机、筛分楼等高噪声机械设备尽量安装消声器或采用局部消声罩，为骨料破碎机械等处的施工操作人员修建多孔吸声材料建成的隔声屏障或隔声间等。 (3) 受体保护：对于料场施工区强噪声源，如骨料破碎、砂石料筛分等作业区，提高自动化作业程度，实现远距离的监视操作。

环境因子	施工期环保措施	
环境空气	皮带机线路区	<p>(1) 开挖、爆破粉尘的削减与控制：爆破时严格控制药量，严禁大范围大药量的爆破；选用湿法钻孔作业，爆破前应对爆区充分洒水浸透，爆破后持续一定时间采用“雨鸟”设施喷水；在皮带机线路施工区开挖集中区域至少配置 6 台洒水车，非雨日每日洒水 2~4 次，加速粉尘沉降，缩小粉尘影响时间与范围。同时为有效降低上述各施工作业面开挖爆破粉尘，还应至少配备 20 套固定式高压喷雾设备、4 台移动式高压喷雾车进行洒水降尘。</p> <p>(2) 混凝土搅拌系统除尘：水泥库实行全封闭作业，加强物料的管理，减少扬尘产生量，水泥运输采用密闭式自卸运输车辆，实行口对口密闭传递；32 台混凝土搅拌机在工作过程中，应配置 32 套相应规格的袋式收尘器以及 32 套固定式高压喷雾设备，收尘器与搅拌机同时运行，及时洒水降尘。</p> <p>(3) 施工机械设备控制：施工运输车辆必须安装尾气净化器，保证尾气达标排放，降低废气污染程度；强制更新报废耗油多、效率低、排放尾气严重超标的老、旧车辆；选用符合国家有关环保标准的燃油施工机械。</p> <p>(4) 堆渣扬尘的削减与控制：易产生粉尘的物料，水泥、石灰应采用物料仓贮存，土石方临时存放时必须采取防风遮盖措施；对皮带机线路 13 个弃渣场至少应配置 6 台移动式高压喷雾车，在弃渣运输至弃渣场进行倾倒后，及时洒水。</p> <p>(5) 道路运输过程除尘：做好运输车辆的密封和车辆保洁。运送材料的运货车都应用蓬布或塑料布覆盖，或用包装袋分装堆存，避免扬尘；施工车辆须定期清洗，减少交通扬尘影响；施工运输车辆途经沿线敏感点及对外交通生活区时设置限速标志。对上述村庄以及施工便道应至少配置 4 台洒水车，非雨日每日洒水 2~4 次。</p>
	坝址区	<p>(1) 开挖、爆破粉尘的削减与控制：选用低扬尘工艺及爆破方式，左右坝肩开挖集中区域应至少配置 6 台洒水车，非雨日每日洒水 2~4 次。导流洞和施工支洞等工程开挖时采取洒水、通风等措施。至少配备 8 套固定式高压喷雾设备、7 台移动式高压喷雾车进行洒水降尘。</p> <p>(2) 混凝土拌和楼除尘：水泥库实行全封闭作业，加强物料的管理，水泥的运输应采用密闭式自卸运输车辆，实行口对口密闭传递；坝址区混凝土拌和系统工作应在封闭的混凝土拌和楼内进行；对 13 个混凝土拌和楼配置 13 套相应规格的袋式收尘器以及 13 套固定式高压喷雾设备，收尘器与拌和楼同时运行，及时洒水降尘。</p> <p>(3) 砂石料加工系统除尘：坝址区砂石骨料加工优先采用湿法破碎的低尘工艺，在破碎机上设置 2 套固定式高压喷雾设备，对受料口均匀喷洒水雾；同时对砂石料加工系统及其周围进行洒水降尘。</p> <p>(4) 施工机械设备控制：坝址区施工机械设备控制同皮带机线路施工区一致。</p> <p>(5) 堆渣扬尘的削减与控制：容易产生粉尘的物料在临时存放时必须采取防风遮盖措施；坝址区左岸 3 个弃渣场至少应配置 3 台移动式高压喷雾车，在弃渣运输至弃渣场进行倾倒后，及时洒水，使其表面保持一定湿度。</p> <p>(6) 道路和运输过程除尘：坝址施工区施工车辆途径 1#、2#、3#、业主营地、4#施工生活区以及古贤村附近的地方设置限速标志；坝址区 1#、2#、5#、6#、603#道路进行硬化处理，并在道路两侧栽植树木。对上述工程运行道路以及场内施工道路区域应至少配置 4 台洒水车，非雨日每日洒水 2~4 次；做好运输车辆的密封和车辆保洁。凡运送土石方、石灰等材料的运货车，都应用蓬布或塑料布覆盖，或用包装袋分装运输，避免一路扬尘。</p>
	料场区	<p>(1) 开挖、爆破粉尘的削减与控制：料场开挖爆破选用低扬尘工艺及爆破方式，开挖集中区域应至少配置 2 台洒水车，非雨日每日洒水 2~4 次。至少配备 3 套固定式高压喷雾设备、3 台移动式高压喷雾车进行洒水降尘。</p> <p>(2) 砂石料加工系统除尘及输送：优先采用湿法破碎的低尘工艺，在破碎机上设置 1 套固定式高压喷雾设备，对受料口均匀喷洒水雾；对砂石料加工系统及其周围进行洒水降尘；砂石骨料通过皮带机线路运输时应实行口对口密闭传递。</p> <p>(3) 施工机械设备控制：料场区施工机械设备控制同皮带机线路施工区一致。</p> <p>(4) 堆渣扬尘的削减与控制：容易产生粉尘的物料在临时存放时必须采取防风遮盖措施；料场区弃渣场至少应配置 1 台移动式高压喷雾车，在弃渣运输至弃渣场进行倾倒后，及时洒水，使其表面保持一定湿度。</p> <p>(5) 道路运输过程除尘：施工车辆途径路段进行硬化处理，并在道路两侧栽植树木；设置限速标志；对场内 1#~3#施工道路及支线道路等应至少配置 2 台洒水车，非雨日每日洒水 2~4 次；做好运输车辆的密封和车辆保洁；凡运送土石方、石灰、粉煤灰等道路材料的运货车，都应用蓬布或塑料布覆盖，或用编织袋分装堆码，避免一路扬尘。</p>

环境因子	施工期环保措施	
固体 废弃物	皮带机 线路区	<p>(1) 生活垃圾: 各施工生产生活区分别放置 50 个、共计 100 个容积为 5m³ 的塑料桶收集垃圾, 同时在进场道路及皮带机线路共建 2 个有效容积为 20m³ 垃圾中转站, 配置 2 辆垃圾清运车, 每天将垃圾桶内的垃圾清运至垃圾中转站。垃圾中转站采用砖混结构围墙, 混凝土防渗基底, 采用彩钢瓦遮盖防雨, 并做好日常灭蝇消毒工作。定期将垃圾中转站的垃圾运送至吉县垃圾填埋场。</p> <p>(2) 建筑垃圾: 统一运至附近皮带机线路施工区弃渣场处理; 其余废旧材料可先进行回收利用, 无法利用的可出售至废品收购站资源化回收。</p> <p>(3) 爆破废渣: 收集并集中堆存, 进行无害化处理或者交由有资质的单位处理。同时为防止爆破废渣临时堆放地的降雨淋溶渗滤液污染地表水, 拟采用高密度聚乙烯膜对废渣堆放地进行防渗处理。</p> <p>(4) 工程弃渣: 须及时运输至指定渣场集中堆放, 不得沿途随意倾倒, 更不能将弃渣向河道内倾倒, 运输车辆在运渣过程中不得让弃渣随意散落, 其余结合水土保持措施。</p>
	坝址区	<p>(1) 生活垃圾: 共放置 200 个容积为 5m³ 的塑料桶收集垃圾, 同时在坝址左岸上下游施工生活区附近各建 1 个共 4 个有效容积为 20m³ 垃圾中转站, 配置 4 辆垃圾清运车, 每天将垃圾桶内的垃圾清运至垃圾中转站。</p> <p>(2) 建筑垃圾: 统一运至坝址区 1#~3#弃渣场处理; 其余废旧材料可先进行回收利用, 无法利用的可出售至废品收购站资源化回收。</p> <p>(3) 爆破废渣: 收集并集中堆存, 进行无害化处理或者交由有资质的单位处理。同时为防止爆破废渣临时堆放地的降雨淋溶渗滤液污染黄河等水体, 拟采用高密度聚乙烯膜对废渣堆放地进行防渗处理。</p> <p>(4) 含油污泥: 采用专用容器临时存放, 交由具有相应类别危险废物处理资质的单位处置。在坝址施工区设置 1 座危险废物临时贮存室, 建筑面积 20m², 并配备 0.5m³ 暂存铁桶 2 个。每个危险品贮存室应按照《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597-2001/XG1-2013) 要求进行建设, 做好防雨、防渗等措施, 避免产生二次污染。</p> <p>(5) 工程弃渣: 须及时运输至 1#~3#渣场集中堆放, 不得沿途随意倾倒, 更不能将弃渣向黄河内倾倒, 运输车辆在运渣过程中不得让弃渣随意散落, 其余结合水土保持措施。</p>
	料场区	<p>(1) 生活垃圾: 共放置 50 个容积为 5m³ 的塑料桶收集垃圾, 同时在料场施工生活区附近建 1 个有效容积为 20m³ 垃圾中转站, 配置 1 辆垃圾清运车, 每天将垃圾清运至垃圾中转站。</p> <p>(2) 建筑垃圾: 统一运至附近弃渣场处理; 其余废旧材料可先进行回收利用, 无法利用的可出售至废品收购站资源化回收。</p> <p>(3) 爆破废渣: 收集并集中堆存, 进行无害化处理或者交由有资质的单位处理。同时为防止爆破废渣临时堆放地的降雨淋溶渗滤液污染石匣沟等水体, 拟采用高密度聚乙烯膜对废渣堆放地进行防渗处理。</p> <p>(4) 含油污泥: 采用专用容器临时存放, 交由具有相应类别危险废物处理资质的单位处置。在料场施工区设置 1 座危险废物临时贮存室, 建筑面积 10m², 并配备 0.5m³ 暂存铁桶 2 个。每个危险品贮存室应按照《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597-2001/XG1-2013) 要求进行建设, 做好防雨、防渗等措施, 避免产生二次污染。</p> <p>(5) 工程弃渣: 须及时运输至料场区渣场集中堆放, 不得沿途随意倾倒, 更不能将弃渣向附近的石匣沟等河道内倾倒, 运输车辆在运渣过程中不得让弃渣随意散落其余结合水土保持措施。</p>

表 18.1.1-4 施工期移民安置环保措施汇总一览表

敏感保护目标	施工期环保措施	
移民安置	库底清理	包括卫生清理；建筑物和构筑物清理、林地清理；特殊清理对象等。
	生态环境保护	尽量减少耕地占用，减轻对植被破坏，做好原址拆除后的清理工作；施工期采取表土剥离、拦挡措施、护坡措施；施工期结束后采取绿化措施。
	水环境保护	每个安置点分别设置 2 座小型沉淀池（2.0m×1.0m×1.5m）交替使用，共计 58 座。
	环境空气保护	安置点建设过程中要做好洒水降尘，以减轻对附近居民的影响；运输泥土及建筑材料的车辆应配置防散落装备，并规划好运输路线与时间；对运输过程中散落在路面上的泥土要及时清扫。
	声环境保护	采用低噪声设备；在居民密集的路段设置限速、限鸣笛的标志牌；为施工人员佩戴防噪声耳塞、耳罩或防噪声头盔。
	固体废弃物	安置点建设过程中充分利用淹没区建筑、木材等资源 and 原有旧料；建筑材料合理堆放；生活垃圾定期清运。

表 18.1.2-1 运行期生态环境保护措施汇总一览表

环境因子	运行期环保措施	
生态流量	初期蓄水期	第 8 年 11 月上中旬采用 1#导流洞内预埋的管道向下游泄流, 11 月下旬采用 1#导流洞内钢管及排沙底孔泄流, 第 8 年 12 月~第 9 年 4 月采用排沙底孔泄流。
	运行期	(1) 相机调整发电机组数量, 下泄各月份需要的生态流量; (2) 在坝下设置生态流量监控系统, 在运行期开展生态流量监测, 对古贤水利枢纽下泄流量进行实时监控。
水生生态环境	鱼类栖息地保护	黄河干流坝址以下河段将禹门口至潼关河段河长 132km, 支流无定河大桥至河口段河长 20km, 划定为鱼类栖息地保护河段。保护河段内不再进行水利水电等拦河筑坝工程开发, 并严格执行禁渔区制度, 设立标志区界牌, 加强管护, 禁止在鱼类栖息地保护水域进行任何捕捞活动。同时加强渔政管理和水污染防治等工作, 保证鱼类良好的栖息生境, 保护鱼类资源, 减缓工程对鱼类的影响。
	鱼类天然庇佑所保护	在调水调沙期间, 把渭河入黄口、圣天湖等水域作为鱼类天然庇佑所加强保护, 禁止进行任何捕捞活动, 同时加强渔政管理和水污染防治等工作。
	过鱼设施	采取鱼类网捕过坝措施, 建议春秋两季在古贤水库库尾附近设置订制张网捕鱼。春季 3 月~4 月、秋季 10 月操作。作业时间 30 天, 所有捕获鱼类均过坝。放鱼地点选择禹门口水流较缓的合适水域投放捕获鱼类。
	增殖放流	在业主营地建设人工增殖放流站, 放流地点主要为古贤库尾和禹门口下, 库尾放流: 黄河鲇、兰州鲇以及瓦氏雅罗鱼; 禹门口下放流: 翘嘴鲇、鲢。初拟放流量 60 万尾, 所有物种的人工增殖放流必须进行部分或全部标志或标记。
	分层取水	大坝采用 6m 层高的叠梁门分层取水设计
	生态调度	运行期, 4 月~6 月, 日平均流量范围 $430\text{m}^3/\text{s}$ ~ $600\text{m}^3/\text{s}$, 日内流量变化幅度低于 $200\text{m}^3/\text{s}$ 。
	人工鱼巢	在合适水域设置各种类型的人工鱼巢, 宜采用棕片、水草等材料建造, 供鱼类产卵繁殖; 根据鱼类繁殖习性及其水域生境特点实施地点放置在库尾、无定河和清涧河库湾、韩城芝川河段、合阳洽川河段、黄河大拐弯河段。
陆生生态环境	科学研究	开展黄河大北干流及小北干流河段鱼类生境保护效果及对策研究、鱼类增殖放流关键技术研究、分层取水措施效果研究、小北干流河段动床变化对鱼类的影响、调水调沙对鱼类的影响及保护对策研究等。
	开展古贤水利枢纽库区局地气候及生态环境演变研究, 建立气候气象及生态环境长期监测点位, 对比研究古贤水利枢纽工程建库前后库区周边气候、气象及陆生生态环境的演变, 分析古贤水利枢纽工程建设对库区及其周边局地气候和生态环境的影响。	

表 18.1.2-2 运行期敏感保护目标保护措施汇总一览表

敏感保护目标	运行期环保措施	
小北干流湿地	优化水库调度	严格按照生态流量下泄，同时，在每年的 4 月~7 月，塑造 3000~4000m ³ /s 左右的洪水脉冲过程，保证小北干流河段一定的水文节律。
	湿地补水	依托两岸现有引水涵闸和部分引黄灌渠，新建生态补水工程 10 处、引水泵站 4 座、补水渠道 186km，每年补水量不小于 0.66 亿 m ³ 。
	湿地恢复	在小北干流河段上中下段分别选择选择鸟类集中分布的区域，因地制宜建设鸟类栖息地保护工程
	其他措施	(1) 加强保护区管理；(2) 鼓励农民退耕还湿；(3) 严格生态流量下泄管理；(4) 强化生态监测和科学研究；(5) 加强生态保护宣传教育。
壶口瀑布景观	水库优化调度措施	采取水库优化调度措施，详见表 13.7.1-1。
	水库排沙措施	工程实施库区泵吸取沙措施（具体方案为水水泥泵+隧洞过坝方案），在景区游览人数较多的月份增加淡黄色、黄色瀑布的效果，使拦沙初期、拦沙后期、正常运用期全年白天观景时段（8:00-18:00）淡黄色、黄色瀑布出现天数恢复至现状年水平。
	壶口瀑布监测	长期开展壶口河段流量、含沙量、瀑布景观的监测工作，建立壶口河段流量、含沙量与壶口瀑布形态、规模、颜色的关系，观测工程建成和运行对壶口瀑布景观的实际影响，同时应全面监控古贤建设和运行后对壶口瀑布水质，为优化水库调度运行方案提供基础支撑，最大限度保护壶口瀑布景观。
	其他措施	(1) 建立壶口景观水量、含沙量、水温、水质等监测系统，长期开展壶口河段景观的观测和监测工作，建立数据库，完善和细化壶口河段流量、含沙量与壶口瀑布形态、规模、颜色的关系，为壶口景观的优化提供坚实的基础支撑。 (2) 实现对瀑布景观的动态监控，建立壶口景观与古贤水利枢纽工程调控的动态反馈系统，在旅游黄金时段，塑造更好的瀑布景观促进景区旅游发展。 (3) 充分重视工程的景观设计工作，打造壶口、古贤、黄土高原等大景观模式。
	科学研究	基于景观生态多目标保护要求的水库调度优化方案、黄河壶口瀑布景观变化跟踪评估及保护措施研究、黄河壶口冰瀑变化及保护方案研究

表 18.1.2-3 运行期其他保护措施汇总一览表

环境因子	运行期环保措施	
地表水环境	初期蓄水水质保护措施	根据相关规定，细化库底环境清理方案，确保水库运行安全和水库水质不受影响，经环保验收后方可蓄水；水库蓄水前必须对库底进行清理，具体操作主要由各县移民局（办公室）组织进行，清理工作完成后，由省移民办公室、建设单位、设计单位、各淹没涉及县政府和移民局（办公室）以及其他相关单位的领导与专家组成验收工作组对库区进行验收，验收合格后方可进行水库蓄水。
	划分饮用水源保护区	（1）按照《中华人民共和国水法》和《中华人民共和国水污染防治法》《饮用水水源保护区划分技术规范》的相关要求，组织相关部门对库区进行饮用水水源保护区的划分。 （2）水源保护区范围内水体应满足《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）II 类水质标准。水源保护区划分后，设置饮用水水源保护区的界碑、警示牌、围网等措施，明确保护界线和保护要求并予以公告。 （3）在取水口处建立水质在线监测和预警系统，针对可能存在的突发事件，制定水源区管理范围内的水环境风险防控机制及突发事件应急预案，保障引水水质。
	库区点源污染控制措施	古贤水库建成后，其中民康食品有限公司排污口实施库区排污企业污水收集管网工程，严格要求废污水进入污水处理厂。对吴堡县污水处理厂进行提标升级改造，出水由《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级 B 标准提高至一级 A 标准，提高中水回用率，污水处理厂禁止直接排入划定的黄河干流饮用水水源保护区范围内。完善库周、坝下黄河两岸城镇生活污水管网配套建设，实现雨污分流，到 2035 年，各县区生活污水收集率达到 90% 以上。
	库区面源污染控制措施	（1）落实水土保持规划，治理水土流失；（2）农田面源控制；（3）农村畜禽养殖污染控制。
	业主营地生活污水处理措施	运行期生活污水主要产生于业主营地和左、右岸发电厂房。污水处理设施利用施工期污水处理站，污水经过处理并消毒后达到《城市污水再生利用—城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）的城市绿化水质标准后暂存于清水池，回用于营地绿化用水和抑尘洒水。
	发电机组检修废水处理措施	发电厂房设置集水沟和废水收集井，用于收集含油废水；一旦产生这部分废水，委托具有含油废水处理资质的单位进行处置。
地下水环境	运行期供水区污染控制措施	（1）城镇集中生活污水处理措施。对供水区各县区已建污水处理厂进行提标改造。加大老旧管网改造力度。积极推行低影响开发建设模式，县相关政府部门牵头开展建设滞、渗、蓄、用、排相结合的雨水收集利用设施和中水回用设施。强化日常监管，做好已建县城生活污水处理设施运行管理工作。 （2）工业点源废水污染物控制措施。为提高供水区的水资源利用率，在提标改造后的部分污水处理厂增设再生水回用设施，如泵站、管道等。督促钢铁、火电、化工、制浆造纸、印染等行业提高对再生水的利用率，积极发展工业园区及周边区域的市政绿化、道路清扫、车辆冲洗、景观用水等回用途径，提高再生水回用率。 （3）农业面源污染控制措施。采用畜禽养殖污染治理、农田径流污染治理措施。
	加强区域地下水环境监测工作	

表 18.1.2-4 运行期移民安置区保护措施汇总一览表

敏感保护目标	运行期环保措施	
移民安置	生态环境 保护	移民安置区运行期生态环境保护措施主要是建房结束后，重视移民生活区的绿化，对安置区裸露空地进行了植被恢复等，绿化植物群落结构以乔木、灌木、草坪相结合为主，行道树以乡土乔木树种为主；农业生产及果园种植中控制农业化肥农药使用量。
	饮用水水 源保护	各安置点饮水水源统一规划；各安置点饮用水源取水口设置 100m 范围的取水点卫生防护带，禁止堆放垃圾、粪便、废渣，不准修建渗水坑、渗水厕所，不准铺设污水管道等；各安置点集水池周围 10m 以内不得有渗水坑和堆放垃圾等污染源；各安置点取水点或蓄水池设置警示标志；定期对移民安置区饮用水进行监测。
	水环境保 护措施	分散安置点采取旱厕，定期清运；三交镇集中安置点人口数量较多，推荐采用化粪池+污水处理站+人工湿地的处理方式进行处理；其余农村集中安置点推荐采用化粪池+地埋式污水处理的方式进行废水处理，处理后首先用于安置点绿化用水；各安置点配备吸粪车，定期清运安置点内化粪池。
	生活垃圾 处理措施	对移民安置点进行生活垃圾分类宣传培训；各安置点配备垃圾桶、垃圾收集池，定期清运，交运当地城镇环卫部门。
	声环境 保护措施	设置车辆时速限速标志、禁鸣标志、减速带等噪声防护措施。
	人群健康 保护措施	加强移民安置区环境卫生清理、病媒生物控制，加强管理和宣传。
	专项设施 复建	（1）施工废水：加强对施工设备的管理与维修保养，杜绝泄漏石油类物质的跑、冒、滴、漏；严禁向沿线水体倾倒残余燃油和机油；严禁向沿线水体抛弃生活垃圾、建材废料和建筑垃圾；施工废水处理后回用不外排；（2）生态环境：合理规划施工布置，减少临时占地；加强施工管理，做好土石方的纵向调运，弃渣运至指定渣场，做好渣场堆渣管理；（3）环境空气：对物料运输进行覆盖封闭，施工期间配备洒水车，对施工区非雨日洒水，保持路面湿润，抑制扬尘。

18.2 科学研究与试验

(1) 基于景观生态多目标保护要求的水库调度优化方案研究

古贤水利枢纽工程下游主要分布有壶口瀑布、小北干流湿地、多个鱼类产卵场等，工程不同的调度运行方案对敏感保护目标的影响范围、影响程度不同。根据黄河高质量发展的有关要求，古贤水利枢纽运行应在考虑实现工程防洪减淤作用的同时，满足壶口瀑布、小北干流湿地、多个鱼类产卵场对水温、流量、水质、流速、河宽、漫滩洪水频次的要求，实现防洪减淤和生态保护等多目标的保护。考虑到古贤水利枢纽工程规模大，运行方式复杂，须开展专门的基于景观生态多目标保护要求的调度优化方案研究工作，为古贤水利枢纽优化调度方案提供技术支撑。

主要研究瀑布景观、鱼类保护和龙门～三门峡河段水环境改善、小北干流湿地的保护等对水库调度的要求，提出多目标保护的工程优化调度方案。

(2) 黄河壶口瀑布景观变化跟踪评估及保护措施研究

工程建设将对壶口瀑布景观产生影响。鉴于此，需在工程建设期和运行期，开展黄河壶口瀑布景观变化跟踪评估及保护措施研究工作。主要研究古贤水利枢纽建设期、拦沙初期、拦沙后期、正常运用期壶口瀑布形态、规模、颜色的实际变化，综合评估古贤水利枢纽工程对壶口瀑布景观的实际影响，评估已采取措施的有效性，针对不利影响，提出仍需采取的补救措施。

(3) 黄河大北干流及小北干流河段鱼类生境保护效果及对策研究

开展黄河大北干流及小北干流河段鱼类生境保护效果及对策研究，包括鱼类种类、种群、生境调查监测，提出生境保护措施有效性监测评价等；鱼类增殖放流关键技术研究，包括省级保护物种翘嘴鲇、补偿性物种黄河鲇等鱼类生物学、驯养繁育技术，增殖放流效果与监测，增殖放流方案优化调整等；分层取水措施效果研究，包括坝下鱼类水温、鱼类产卵孵化的监测，沿程水温变化对鱼类产卵影响等；小北干流河段动床变化对鱼类的影响，包括工程对坝址下游河段动床变化的影响及由此对湿地和鱼类的影响等。

(4) 古贤水利枢纽工程对黄河中下游湿地影响评估及措施有效性研究

古贤工程下游的小北干流分布有多家省级自然保护区，是重要鸟类、鱼类和植被的栖息地，生态作用重要。但目前关于上述湿地及保护地内的生物学调查不系统、研究深

度不够。同时古贤工程运行对湿地内黄河河槽刷深较大，从而间接对小北干流湿地产生不利影响。古贤水利枢纽工程对小北干流湿地影响评估及措施有效性研究不仅要对其下游的小北干流湿地生态系统综合调查和研究，同时也要在跟踪调查基础上开展预测分析，并提出针对古贤工程调度运行的反馈意见。主要研究古贤水利枢纽工程截流后至运行前 5 年，对山西、陕西黄河湿地自然保护区的影响，评估湿地补水工程、恢复工程的有效性，针对小北干流湿地的影响，提出补救措施。

（5）古贤水利枢纽库区及坝下水环境保护对策研究

古贤水利枢纽库区以及坝址下游~三门峡河段分布有较大支流 8 条，这些支流流经了陕西、山西的多个城镇，除个别支流外，绝大部分支流水质污染严重，均为 V 类和劣 V 类。古贤水利枢纽工程建成后，支流污染将对古贤库区、坝址~三门峡河段的水环境保护造成较大的压力。未来古贤水库具有生活、工业供水功能，水环境的保护十分重要。因此，须开展古贤水利枢纽库区及坝下水环境保护对策研究工作，分析区域污染源的变化及对水环境的影响，库区富营养化情况、坝下水环境及纳污能力变化等，提出相应的保护方案和措施等，为区域水环境保护提供支撑。

（6）黄河干流已建骨干工程对黄河下游及河口生态系统影响评估

习近平总书记在黄河流域生态保护与高质量发展座谈会上，强调“黄河生态系统是一个有机整体，要充分考虑上中下游的差异。下游的黄河三角洲是我国暖温带最完整的湿地生态系统，要做好保护工作，促进河流生态系统健康，提高生物多样性”。古贤水利枢纽工程建成后，将与小浪底水利枢纽工程联合调度运行，对黄河下游、河口地区水文情势、河道淤积、河床演变、入海水量等产生一定影响，进而对黄河下游、河口生态系统产生深远的影响。因此，须开展黄河干流已建骨干工程对黄河下游及河口生态系统影响评估工作，研究古贤工程与小浪底工程联合运行后，黄河下游尤其是河口区域水文情势、河道淤积、河床演变情况，分析重要断面和河口生态需水量及过程的满足程度，研究工程对下游及河口地区水生生态、湿地、鸟类及生物多样性的影响等。

（7）黄河壶口冰瀑变化及保护方案研究

古贤工程对壶口瀑布冰瀑的影响十分复杂，环评阶段主要采用实验研究的方式进行古贤水利枢纽工程对冰瀑布的研究工作，研究过程需进一步深入，研究结论需待古贤

工程建成后进行进一步的复核。因此需在古贤工程蓄水后，开展黄河壶口冰瀑变化及保护方案研究工作。主要内容为：研究古贤水利枢纽蓄水后至拦沙初期前 5 年壶口河段水温的变化，分析工程建成后，壶口冰瀑形成时间、持续时间、形成规模等的变化，评估古贤水利枢纽工程对冰瀑的实际影响，提出相应的保护方案。

（8）古贤水利枢纽库区局地气候及生态环境演变研究

古贤水利枢纽工程建成后，库区形成 200km² 的水面，将改变局地气候，进而对局部区域生态环境产生一定影响。因此需开展古贤水利枢纽库区局地气候及生态环境演变研究工作。主要研究古贤水利枢纽工程运行后，库区周边局地气候的变化情况，以及由此产生的区域生态环境的演变和植被、动植物等的变化等，提出相应的保护方案和措施等。

（9）古贤水利枢纽库区消落带生态修复研究

古贤水利枢纽工程建成后，随着水库水位频繁涨落，会产生一定范围的消落带，将对此景观产生一定的影响，消落带内的植被稀疏，岩石外露，景观单一，一定程度上影响景观欣赏。为尽量减少工程运行对生态景观的影响，需提出消落带修复的研究课题，把消落带治理作为工程生态保护的重要工作，通过实施自然修复与人工治理，对消落带进行植被修复，提升景观价值。

（10）多泥沙河流建库后水体富营养发生趋势及防治策略研究

根据多泥沙河流富营养化发生机理，开展古贤水库富营养化及水华模拟及预警技术研究，构建多泥沙河流水库水华爆发调控技术体系，为改善库区水质提供参考和依据。需开展多泥沙河流富营养化发生机理研究，综合运用监测评估与数值模拟方法，构建古贤水库富营养化及水华模拟及预警技术，并针对古贤水库富营养化风险提出防治策略。

第十九章 环境风险评价

19.1 评价目的

本工程投资规模较大、环境影响涉及范围广、建设周期长、影响因素较多、建设河段环境敏感，工程建设和运行过程中可能存在一些不确定的突发性事故风险因素，产生一定的环境风险。因此，有必要进行环境风险分析，并制定针对性的预防措施。

根据原环境保护部《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》（环发〔2012〕77号文）的要求，依据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169-2018）的规定，通过风险识别、风险分析和风险后果计算等开展环境风险评价，为工程设计、环境管理和环境风险防范等提供资料和依据，以达到降低危险，减少危害的目的。

19.2 评价等级确定

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）中环境风险评价等级划分的规定，本项目风险源为油料及炸药，根据本项目可研报告，其一次储存量较小，属非重大危险源，且周围 500m 以内无敏感环境保护目标。根据施工需要，在坝址区、料场区均设置一处油库和炸药库，其中坝址区油库布置于黄河大桥下游 0.6km 左岸滩地，炸药库布置于坝址左岸上游 3.1km 的沟道内，该位置周边 0.5km 范围内无任何生产生活设施；料场区油库与砂石料加工系统毗邻布置，通过 2#临时桥与国道 G209 相连，该处与各工作面较近，建筑面积为 1000m²，占地面积为 5000m²，炸药库布置于料场西北侧 0.76km，建筑面积为 1000m²，占地面积为 5000m²。根据可研报告，炸药的主要成分为硝酸铵，最大储量为 280t，油料最大储量为 1150t，其中炸药库临界储量为 50t，油库的临界储量为 2500t，

根据附录 C，危险物质数量与临界量的比值(Q)按下式进行计算：

式中：q₁, q₂, ..., q_n—每种危险物质的最大存在量，t；

Q₁, Q₂, ..., Q_n—每种危险物质的临界量，t。

当 Q<1 时，该项目环境风险潜势为 I。

当 Q≤1 时，将 Q 值划分为：①1≤Q<10；②10≤Q<100；③Q≤100。

本工程危险物质数量与临界值的比值之和为 6.06。

依据附录 C，本项目危险物质及工艺系统危险性等级判定为 P4。

根据调查，油料库、炸药库距离村庄、企事业单位等较远，周边 1.5km 范围内无居住区、医疗卫生、文化教育、科研、行政办公等机构。依据附录 D，环境受体的敏感性为 E3。

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）表 2 建设项目风险潜势划分，本项目环境风险潜势为 I。

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169-2018）相关规定，确定本项目环境风险评价等级为简单分析。

19.3 风险识别

根据古贤水利枢纽工程特点，工程在施工期和运行期均存在一定环境风险。施工期环境风险主要包括：施工废污水处理设施故障造成废污水未经处理直接排放；施工期燃油及炸药存储设施发生火灾爆炸等事故；油库发生泄漏造成污染；施工人员健康风险、以及生态破坏风险等。运行期环境风险主要包括：移民风险、水污染事故风险、水库环境地质风险等，其中环境地质风险包括水库塌岸、库区渗漏、水库诱发地震等。

（1）施工期风险识别

1) 炸药库、油库

为满足施工需要，坝址区、料场区均布置有炸药库和油库，坝址区油库布置于黄河大桥下游 0.6km 左岸滩地，炸药库布置于坝址左岸上游 3.1km 的沟道内，料场区油库与砂石料加工系统毗邻布置，炸药库布置于料场西北侧 0.76km。

工程建设期间由外界运入并使用大量炸药、油料，可能存在爆炸、油料泄露的风险，引发生态破坏和水质污染等次生灾害。

2) 废污水非正常工况排放

根据工程特点，施工期废污水主要来源于混凝土养护、砂石料冲洗系统、机械冲洗和施工人员，在各施工区中，坝址区废污水量较大，排放持续时间较长，其混凝土废水、砂石料冲洗废水、机械冲洗和施工人员废污水排放量分别为 $192\text{m}^3/\text{d}$ 、 $920\text{m}^3/\text{h}$ 、 $99.2\text{m}^3/\text{d}$ 和 $955.2\text{m}^3/\text{d}$ ，其中砂石料冲洗废水量最大、浓度最高。正常情况下，施工期废污水不

外排，一旦污水处理设施出现故障，将导致大量废污水直接进入地表水环境，对水体产生较大污染影响。

3) 施工人员健康风险

本工程施工规模较大，施工人员较多，大量人员相对集中活动在施工区，存在传染病发病率增加的风险。

4) 生态破坏风险

本工程施工期较长，施工活动扰动频繁，且施工区位于黄土高原地区，属于水土流失比较严重的区域，施工活动易引发水土流失，在管理不当及突发高强度降雨的情况下，易引发生态环境破坏的风险。

(2) 运行期风险识别

1) 生态环境风险

库区蓄水运用后，坝体上下游相当长的河段水文情势发生较大改变，上游水体变缓，水生生物生境明显改变，可能导致该河段原有土著水生生物消亡；下游河段由于清水下泄将导致河道持续冲刷，改变河道底栖生物环境，进而对整个河道生态系统产生影响。

32) 水环境污染风险

水库建成后，库区及坝下河段水文情势发生改变，库区水流变缓，上游污染物易在库区聚集，存在诱发水体富营养化及水体污染的几率，存在库区水环境质量恶化的风险。库区有三条高速、一条村镇公路和一条省道穿越，交通运输活动存在跨河桥梁上出现事故的概率，导致水体出现油类或有毒有害物质的污染。

19.4 环境风险分析

19.4.1 施工期环境风险分析

19.4.1.1 炸药库风险分析

炸药库使用过程中，可能存在一定的爆炸风险，其原因来源于管理人员违反操作管理规定、静电作用引发或者雷电条件下电火花引燃炸药等三方面。

炸药库周围地势相对较高，附近 500m 范围内无企事业单位和村庄，且周围设置围墙。所处区域生态环境较为脆弱，地表植被以草本植物为主，覆盖度较低，无森林分布。

结合炸药库周围环境特点分析，在操作不当或自然因素引发爆炸后，爆炸行为所产生的环境影响主要是造成局部土壤扰动、引发火灾，破坏局部生态环境，并产生一定的生命财产损失。

根据炸药施工的相关管理要求，炸药的储运及使用，均有严格的规章制度可循，施工单位也制定严格的操作管理规程，重点加强施工中的安全、消防管理、事故防范措施建设，类比国内以往水利工程施工情况，出现爆炸事故的概率很小。

19.4.1.2 加油站风险分析

油库使用过程中，一旦出现设备故障或者违反操作管理规定作业时，可能引发汽油外溢，在遇到火源的情况下可引发火灾。

本工程所设置加油站位置比较偏僻，附近 500m 范围内无企事业单位和村庄。油库附近环境与炸药库所处环境相似，一旦出现汽油外溢而引发火灾，其影响将主要表现为对局部植被的破坏，并可能存在对生命财产的损坏。

在委托专业设计单位进行油库设计的情况下，加油站可以满足安全防护的相关要求，并最大可能的降低突发事件的风险。从已有水利工程施工情况来看，发生加油站事故的案例极少，在落实施工管理制度后，工程出现加油站风险的概率不大。

19.4.1.3 非正常工况排水风险

工程规模较大，施工期较长，施工期废污水量较大，影响时段较长，正常情况下，施工期废污水可以得到有效处理，不会对项目区水体产生污染。但在非正常工况下，这些废污水将直接排入黄河，对黄河水体产生污染风险。

(1) 生产废水

施工期非正常工况下，可能进入黄河的废水来源于坝址区的生产区，其可能排放量为 $932\text{m}^3/\text{h}$ ，污染物主要为SS和石油类；全部进入河道后将对施工河段水环境产生明显不利影响，并对下游饮用水源保护区的用水安全产生污染风险。

(2) 生活污水

施工期非正常工况下，可能进入黄河的生活污水来源于坝址区的生活区，生活污水排放量为 $40\text{m}^3/\text{h}$ ，污染物主要为COD、BOD₅、氨氮和SS，浓度值分别为300mg/L、200mg/L、50mg/L和250mg/L。非正常工况下全部进入水体，将对施工河段水环境产生

明显污染，产生水环境污染风险。

19.4.1.4 施工人员健康风险

根据调查，大型工程建设期间存在传染病流行的基础条件（传播媒介、病例），如果不采取有效的预防措施，存在诱发传染病的风险。传染病流行风险可能发生在施工区施工人员。

根据项目区临近市县疫情调查，肺结核、肝炎及痢疾等传染病在库区均有发生，其媒介生物在库区库周仍然存在。施工期间，施工区的卫生条件相对简陋，易导致肝炎、痢疾、伤寒能介水传染病流行。一旦出现传染病流行，将对施工人员、社会经济和工程工期造成一定影响。

施工区周围经济相对落后，对传染性疾病的防范意识较淡薄。传染性疾病一旦发生，施工区施工人员、施工区周围居民的身体健康将受到影响，增加家庭医疗负担；如果处理不当，有可能造成传染性疾病的暴发流行，将严重影响当地的社会经济发展和人群健康。

19.4.1.5 生态破坏风险

施工区属于黄土高原水土流失区，生态环境较为脆弱，受人为扰动，易产生水土流失，一旦出现极端降雨或防护措施不当的情况下，施工区容易产生生态破坏的风险。

工程建设具有施工区占地面积较大、施工期较长、施工人员较多等特点，施工活动对项目区扰动作用明显，易产生水土流失。人为扰动将破坏地表植被，扰动地表土壤，加重区域水土流失，存在产生较大生态环境破坏的风险。

19.4.2 运行期环境风险分析

库区有三条高速公路穿越，并有一条省道、一条乡镇道路穿越，其中高速公路分别为延延高速、青银高速和榆佳高速，库区段周边还有大量的交通道路，如有运输有毒、有害物质的车辆，则对运行期水质安全形成一定潜在的威胁，如车辆交通事故或其他原因造成的污染物泄露事故，将会对库区及坝下水质产生污染影响，造成库区水体污染，影响供水安全。

从交通事故类似案例来看，发生交通事故的主要原因可能来自超载、超速、疲劳驾驶、雨雪等不利天气、违章擅自运输危险品、安全监管不力等多重原因。此外，由于存

在应急监测系统不健全、基础资料缺乏、事故处置缺乏时效性、应急组织机构间协调差等各种因素，致使水污染事件发生后的污染影响不能得到有效控制。因此，加强管理、做好水污染突发事件风险防范和应急措施，是控制污染事故风险范围和程度的有效措施。同时在库区运输化学物品、农药化肥、医药及各类油品等运输车必须控制数量并登记备案以确保运输合法和安全，严格落实《关于加强危险品运输安全监督管理的若干意见》相关要求。

19.5 环境风险管理

环境风险分析的目的旨在对建设项目可能存在的事故隐患提出防范、应急和减缓措施或要求，为工程设计和安全生产提供依据。工程运行过程中不使用有毒有害的化学物质，对外界没有污染性影响。因此，环境风险管理主要关注工程安全及突发性污染对供水水质及环境的影响。

19.5.1 编制目的

为有效应对突发性环境事件，提高应对突发性事件的能力，将突发环境事件对人员、财产和环境造成的损失降低到最小程度，最大限度的保障人民群众的生命财产安全及环境安全，维护社会稳定。

19.5.2 编制依据

19.5.2.1 规章、制度

- (1) 《国家突发环境事件应急预案》；
- (2) 《关于进一步加强环境监督管理严防发生污染事故的紧急通知》；
- (3) 《关于加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》；
- (4) 《国家突发环境事件应急预案》；
- (5) 《国家突发公共事件总体应急预案》；
- (6) 《使用有毒物品作业场所劳动保护条例》；
- (7) 《危险化学品安全管理条例》；
- (8) 《陕西省突发环境事件应急预案管理暂行办法》；

- (9)《道路危险货物运输管理规定》;
- (10)《危险化学品等级管理办法》;
- (11)《山西省突发环境事件应急预案管理暂行办法》。

19.5.2.2 规范、导则

- (1)《建设项目环境风险评价技术导则》;
- (2)《环境污染事故应急预案编制技术指南》;
- (3)《危险化学品从业单位安全标准化通用规范》;
- (4)《常用化学危险品贮存通则》;
- (5)《石油库设计规范》;
- (6)《民用爆破器材工程设计安全规范》。

19.5.3 环境风险管理机构

(1) 管理机构设置

根据《中华人民共和国安全生产法》《国家安全生产事故灾难应急预案》和陕西省、山西省相关法律法规等固定,建议成立包括相关政府机构的古贤水利枢纽工程环境保护委员会(包括安全、水利、环保、发改委、公安等部门),作为工程环境风险管理、风险预警、风险控制以及水污染控制等的协调机构,明确相关各方的责任和义务,制定安全规程、事故防范措施及应急预案。管理人员应明确职责与权限,清楚风险事故发生后果,具备解除事故和减缓事故的能力。

建议管理部门设置环境风险应急管理指挥部,成员由主管安全、环保、生产、调度等部门主管人员组成。指挥部下设管理办公室,设专人负责日常风险防范生产管理和应急预案管理,设值班电话和日常工作联系电话。对员工进行经常性的应急处理常识教育,落实岗位责任制。

(2) 管理目标

建议成立相关政府机构,作为环境风险管理、风险预警、风险控制以及水污染控制等协调机构。工程风险管理将由环境管理机构统一进行管理,以确保项目符合有关安全生产、环境保护法规的要求,以及环境风险防范措施和应急措施得到有效实施,各项防范和应急措施的投资得到落实,实现工程建设的环境效益、社会效益与经济效益的统一。

（3）管理机构职责

制定工程安全运行规程及环境风险管理制度，强化安全生产管理。

组织开展安全运行和环境保护的宣传教育、专业讲座及技术培训等。

进行运行管理、监测和总结汇报，确保工程安全运行，符合各项规定，并重视信息反馈，随时鉴别和纠正遗留问题。

发生事故时，启动应急预案，组织人员采取紧急措施妥善处理事故，进行救护和监测，按最大安全半径和最短时间疏散人群。影响较大波及周围环境时，应上报当地政府，配合政府实施应急预案；及时通知相关单位，采取相关防护措施。

掌握引发事件危险化学品的类别和特性，受污染区域及可能涉及范围等，控制污染事故现场、划定紧急隔离区域、设置警告标志；对已发生污染危害的污染源应采取一切可能措施，予以消除，并防止扩散、蔓延；指令环境应急救援队伍进入应急状态，环境监测部门立即开展应急监测，随时掌握并报告事态进展情况；调集环境应急所需物资和设备，确保应急保障工作；统一协调相关部门的联动应急，确保应急处置工作有序进行。

事故得到控制后，对事故原因进行分析、总结和评价，提出今后的工作建议，并纳入未来管理工作中。

19.5.4 环境风险防范措施

根据前述分析，本工程在建设过程中环境风险发生概率低，在严格落实各项环保措施后，其风险发生可能性很小，但为进一步保护区域环境，将工程建设过程中不利环境影响减小到最低程度，尽可能减小工程建设过程中环境风险发生几率及风险事故发生的危害程度，工程实施过程中需严格落实风险防范措施。

19.5.4.1 总体原则

（1）工程实施过程中，建设单位应成立环境风险管理与应急处理管理部门，专人负责工程环境风险管理。

（2）严格加强环境风险管理，监督、检查与环境风险相关的各类施工活动及其环保措施实施情况。

（3）对工程周边群众及施工人员加强环境风险及其应急处理预的宣传，使其明了风险发生时应对及处理程序，作好配合协调工作。

(4) 制定严格的运行操作规程制度，对工程施工人员应进行风险防范及应急处理培训。

(5) 组织人员对施工现场进行定期巡查和不定期抽查，实行风险防范奖惩激励机制，减少风险隐患。

19.5.4.2 炸药库风险防范措施

根据《民用爆破物品安全管理条例》结合本工程和环境特点，制定炸药库风险防范措施，具体如下：

(1) 炸药库的设置必须有专业单位开展设计、施工等相关活动，确保炸药库符合相关设计规范要求；

(2) 炸药库必须设置四周围墙，安排双人负责值班看守，炸药库四周设置视频监控系统，并配备红外自动报警系统，保持 24 小时正常运行；

(3) 除炸药库主管人员外，其他人员不准进出炸药库，任何出入炸药库的人员必须及时做好进出记录；

(4) 炸药库工作人员在岗工作时，必须穿戴防静电工作服和防静电鞋；

(5) 进出炸药库人员严禁携带火柴、打火机等火种或易燃物品；

(6) 炸药库占地范围内必须清理生长植被；

(7) 炸药进出库由双人分别验收，确保进出炸药数量完全一致；

(8) 炸药库启用后，应定期请公安部门开展安全检查。

19.5.4.3 油库风险防范措施

油库的建设本身已经充分考虑安全需要，发生事故的可能性很小，但从降低环境风险的角度出发，仍应采取环境风险防范措施，防止油库泄露或爆炸对环境产生的影响。具体风险防范措施如下：

(1) 在油库周围修建截油沟，并根据储油量修建事故油池，收集事故情况下泄露的油料，并交由专业机构处置；

(2) 制定严格健全的油库安全管理制度和相关人员的培训制度，规范油料运输、储存和使用的整个过程；

(3) 在油罐周围修建防火堤，防火堤应有足够的容量，且使用不透水材料进行加

固，控制防火堤上的植被，防火堤内的雨水管道上应设置阀门；

（4）设置泡沫灭火系统、固定式水冷系统和消防水池等，消防水收集池容积不小于800m³，站内设置含油污水处理站，处理含油污水；

（5）油库设置报警器、电话和无线对讲机等通信设备；

（6）做好油库区的火源管理工作，油库区严禁烟火，并定期检查可能导致火灾的火源情况，并油品卸装时、汽车加油时均应做好巡查工作，防止抽烟等情况的发生；

（7）油库区的作业人员必须穿戴抗静电工作服和具有导电性能的工作鞋；

（8）油库防雷接地、防静电接地、电气设备的工作接地、保护接地极信息系统的接地等，宜共用接地装置；

（9）油库区配置一定的溢油控制应急设备和器材，如堵漏器材，防爆的抽油泵和贮油容器，挖沟用阻隔工具，应急修补的专用工具和器材等，溢油检漏专用仪器和设备等。

19.5.4.4 水库水质风险防范措施

（1）库区防范措施

禁止在水库上游建设高污染、高风险的建设项目；严格管理穿越库区的公路、油气管线等，建立应急预案，储备必要的应急物资，有效应对突发事件对水源的威胁；先关县级人民政府要建立完善水源环境管理档案和水源环境风险评估机制，定期排查水源周边及上游的风险隐患，特别要加强对石油化工生产、危险化学品运载、装卸和储存设施的监管，督促完善防溢、防渗漏、防污染措施。

（2）水库清理措施

为保证回水区域水质安全，需要根据《中华人民共和国环境保护法》《水利水电工程水库库底清理设计规范》等法律、法规和规章，蓄水前对古贤水库回水淹没范围进行库底清理，包括卫生清理；建筑物和构筑物清理、林地清理；特殊清理对象等。清理实施须强化各级政府领导、组织、监督职能，有目的、有计划的进行，清理时间过早、过晚都达不到预期的目的。

库底清理应当由当地政府及工程管理部门组织实施。组织由卫生、环保、市政、城建、交通、林业、水务等部门成立的库底清理小组，在专业负责与群众参与相结合的原

则下，库底清理工作实行岗位责任制。明确清理责任人和专业验收责任人的岗位责任，对库底清理的工作人员进行专业培训。

卫生清理中一般污染源的工作，在卫生防疫部门指导下，由乡（镇）政府组织实施。传染性污染源清理，由卫生行政部门组织实施。农村生活垃圾清理由乡（镇）政府组织实施，环保部门负责监督。农村建筑物清理由乡（镇）政府组织实施。库底清理过程中要符合劳动、安全、卫生的相关要求，应严格遵守相关法律法规。

水库管理部门要建立库底清理档案，记载清理项目、清理过程、清理责任人和验收责任人。为了保证清库质量，必须组织库底清理验收，通过清库验收，杜绝留下未清理的隐患。验收分为自验和终验。自验由地方人民政府组织，对已实施清理的全部项目，分组到现场逐项验收，编写库底清理验收报告。终验由政府主管部门和建设管理单位负责组织库底清理验收委员会，按照水库库底清理的技术要求及有关规定，对库底清理结果进行全面的验收，编制终验报告。经验收委员会验收合格后，方能蓄水。

从清库的管理规定、实施措施、组织方式、验收办法等可以看出，只要按规定实施清库，淹没区内原有污染物质都会得到较为彻底清除和处置，蓄水后其对水质影响将较小，对水质造成较大污染可能性是很小。

（3）公路交通事故污染防范措施

1）落实水质监测措施，建立保障措施

鉴于修建后的古贤库区有延延高速、青银高速和多条公路穿越，是区域重要的交通要道，环境风险较大。需要在古贤水库每个穿库高速下游 50m 设置水质自动检测设备，高速运输酸液、碱液、毒性液体、有机溶剂、油类、农药、化肥以及其他可能污染水源的物质，必须采取防溢、防渗、防漏措施和事故应急措施。

有关公路管理部门应加强桥梁段附近的交通管理，尤其在雨雪灾害天气等事故易发状态下，加强巡检和管理，减少发生事故几率；地方政府应加强道路运输安全管理，尤其是危险运输品的运输安全管理，严格禁止危险运输品的无照、超载等违规运输。

2）强化管理，降低污染风险

建议地方政府加强交通、环境保护、水行政等主管部门的协调工作，全面实施水源保护区的交通保护措施，降低交通运输产生的环境污染事故。需严格遵守相关规定，尤

其是危险运输品的运输安全管理，严格禁止危险运输品的无照、超载等违规运输。

3) 全面办调，落实相关措施职责

为预防区域交通道路的环境污染事故，主要采取的措施如下：

首先，应成立地方政府应急办建立危险化学品运输联席会议制度和通报制度。组织安监、公安、消防、交通、质监、环保、卫生等有关监管部门参加的危险化学品运输联席会议制度，定期通报危险化学品运输管理情况。同时，建立危险化学品道路运输通报制度，危险化学品道路运输转移联单由所在地和接收地的公安部门核准后，将道路运输转移联单连同详细路线图和运行时间表，移送安监、交通运管、环保部门等有关部门采取必要的防范应对措施。

其次，加强职责部门的监管职责，有效预防危化品运输事故。一是公安交警部门要严把危险化学品运输车辆的新车上户关和车辆年检审验关，严禁不合格车辆非法上路；二是质量监督部门要严把槽罐容器检验关。对于槽罐车的载质量、容积和外形尺寸按介质实际密度进行核定，坚决杜绝“大罐小标”私自改装行为；三是交通运管部门要严把运输市场准入关，进一步强化运输危险化学品企业责任，加强对挂靠经营行为的管理。

最后，交通部门在上游主要河流和人口稠密区的公路设置危险化学品运输车辆警示标志，通过的涉危车辆应由交警部门对通过时间、路线、承运的危险货物、重量等进行审批，并由交警部门通报沿线安监、公安、消防、环保等相关部门做好应对工作。

19.5.4.5 废污水风险防范措施

对生产废水处理系统进行有效的管理，可最大程度地避免事故的发生及可能带来的各种不利影响。为保证废水处理系统各设施正常稳定运行，操作人员应严格按照操作规程，进行正确的操作和定期的维护。

(1) 按照“三同时”要求，为保证废水处理系统的有效运行，建设单位应把废水处理系统的建设与有效运行作为合同的条款之一纳入工程承包合同。

(2) 环境监理单位应定期对废水处理系统的管理运行进行监督检查，及时掌握废水处理系统的运行情况，对不良情况提出口头或书面的整改意见。

(3) 组织废水处理站的管理维护人员在上岗前接受专项技术操作培训，以保证各项废水处理设施的良好运行。

(4) 在正式运行前进行调试, 确定混凝剂的最佳投加量, 确保出水水质达标和运行费用的优化。

(5) 沉砂和污泥的及时处理是废水处理系统正常运行的关键。因此在运行管理中一定要特别重视泥渣的及时清运。

(6) 废水处理系统的运行、管理费应专款专用, 以保证废水处理系统的正常运行。

(7) 一旦发生事故, 应立即停止砂石料加工系统的施工生产, 从源头上控制污水的产生, 待环保设施恢复正常后才可进行施工。

(8) 施工生产过程中, 若出现施工废水事故排放, 应立即停止生产, 停止废水的排放, 尽快找出事故原因, 使处理设施正常运转。

19.5.4.6 传染病风险防范措施

(1) 传染疾病发生后, 立即向当地县级以上(包括县级)卫生行政主管部门报告, 组织专家对其进行综合评估, 初步判定突发事件的类型。

(2) 对传染病病人和疑似传染病病人, 采取就地隔离、就地观察、就地治疗的措施;对于需要治疗和转诊的, 送到当地行政主管部门指定的医院进行治疗。

(3) 对传染病病人、病原携带者、疑似传染病病人污染的场所、物品, 应当实施必要的卫生处理。

(4) 加强施工区河段水质监测, 实时了解黄河水质变化情况。

(5) 根据传染性疾病预防种类、可控制程度, 提出是否停工, 并且加强施工区环境消毒管理。

总之, 在工程建设过程中, 施工区及周围地区存在传染病发生、流行风险的发生概率主要受自然因素和人为因素影响, 只要采取有效的卫生防疫措施、加强施工区管理, 一旦出现传染病暴发, 立即启动应急预案, 将有效地控制传染病发生风险。

19.5.4.7 生态风险防范措施

(1) 在施工单位环境管理部门下设生态环境保护小组, 负责施工期生态环境保护相关事宜;

(2) 开展环境保护教育, 提高施工单位环境保护意识, 结合黄土高原特点, 制定施工管理措施;

(3) 及时进行施工开挖、地表扰动后的保护与恢复；

(4) 开展定期监测、调查、巡查，及时掌握施工区生态环境破坏与恢复进展情况，及时对生态破坏问题提出恢复措施；

(5) 与气象部门建立日常联络机制，及时掌握恶劣天气的发生情况，并调整施工内容和进度安排，减少施工活动带来的生态破坏。

19.5.4.8 移民风险防范措施

(1) 由当地移民管理部门及时开展移民政策的宣传，让移民安置人员掌握国家、地方相关法律法规、政策；

(2) 在落实国家、地方移民政策的前提下，完善移民安置基础设施建设；

(3) 在制定移民安置去向的时候，应征求移民本人意愿，不得强制性安置；

(4) 由当地政府部门建立移民联络机制，定期开展文化活动，让移民尽快融入当地社会；

(5) 及时妥善处理移民出现的各种问题，减少不稳定社会因素。

19.5.5 环境风险应急预案

19.5.5.1 应急处置程序

(1) 信息报告

特别重大或者重大突发公共事件发生后，要立即报告上级应急指挥机构并通报有关地区和部门，最迟不得超过 4 小时。应急处置过程中，要及时续报有关情况。

(2) 先期处置

突发公共事件发生后，在报告特别重大、重大突发公共事件信息的同时，要根据职责和规定的权限启动相关应急预案，及时、有效地进行处置，控制事态。

(3) 应急响应

对于先期处置未能有效控制事态的特别重大突发公共事件，要及时启动相关预案，由上一级应急指挥机构统一指挥或指导有关地区、部门开展处置工作。

(4) 应急结束

特别重大突发公共事件应急处置工作结束，或者相关危险因素消除后，现场应急指挥机构应予以撤销。

19.5.5.2 事故应急预案

根据国家、陕西省、山西省突发公共事件的相关规定，制定本工程建设的事故应急预案，以预防潜在的环境风险，控制和减小可能发生风险的危害。

（1）应急计划区

根据工程特点，本工程应急计划区包括油库区、炸药库两处。

（2）应急组织机构、人员

鉴于本工程属于重大水利工程，影响范围较大，参建各方人员众多，古贤水利枢纽工程的应急组织机构应设于工程项目部，包括应急指挥部、应急办公室、应急保障和支持部门、应急救援队伍和社会支持保障力量、各专业组成等。

（3）预案分级响应

事故分为四个等级，分别为特别重大（Ⅰ）、重大（Ⅱ）、较大（Ⅲ）、一般（Ⅳ），针对不同事故等级，实行分级响应。

事故发生时，应立即启动并实施本部门应急预案，应急预案分级响应程序如下：

I级、II级、III级响应：发生影响、后果相当于I级、II级、III级事故灾难、自然灾害和公共卫生与社会安全事件时，应及时上报黄河水利委员会和省级应急管理机构，在省级应急管理机构指挥下，古贤水利枢纽工程应急机构开展应急救援工作。

IV级响应：发生影响、后果相当于IV级事故灾难、自然灾害和公共卫生与社会安全事件时，应及时报古贤水利枢纽工程应急机构，启动响应应急预案和现场处置方案，组织开展应急救援工作，同时上报黄河水利委员会和省级应急管理机构。

（4）应急救援保障

应依托黄河水利委员会通信系统，建立参建各方多形式的联系方式，保障信息传递的及时性。并于专业应急救援队伍建立联络机制，确保应急物资、应急经费保障及其他各项应急保障的落实到位。

（5）应急监测、救援和控制措施

环境监测组负责人应带领环境监测人员及时到达现场，对事故原因、性质进行初步分析、快速监测工作，及时提供监测数据，为事故出现后周围的安全防护距离、应急人员进出现场的要求、群众的疏散范围和路线等提供科学依据，确保群众和救援人员的安

全。

（6）应急防护措施

危险源控制组和消防组对事故现场进行调查取证，对事故类型、发生时间、影响范围和程度进行调查分析，形成初步意见，反馈现场指挥和应急领导机构。安全警戒组在事故区域设置警戒标识，禁止无关人员进入。各小组协作，由专业人员负责，及时控制危险源。

（7）人员疏散、撤离组织计划

受灾区域内被围困人员由安全疏散组织搜救，警戒区内无关人员由建设单位配合安全疏散组实施紧急疏散。伤员抢救组负责现场伤员的搜救和紧急处理，并护送伤员到医疗点救治，医疗救治组负责对受伤人员进行紧急救治并护送重伤人员到医院作进一步治疗。

（8）事故应急救助关闭程序和恢复措施

当遇险人员全部得救，事故现场得以控制，环境符合有关标准，导致次生、衍生事故隐患消除后，经现场应急指挥组确认，并报古贤水利枢纽工程应急指挥部批准，由现场应急指挥组宣布应急处置工作结束，应急救援队伍撤离现场。

（9）应急培训计划

应急培训工作按照统一领导、分级负责的原则开展。应急指挥部办公室负责编制应急培训工作计划，组织筹备各组各部门应急知识培训，并指导监督参建单位开展应急培训。

第二十章 环境管理与监测计划

为保证项目环境保护任务和责任目标实现，提出项目需落实的环境保护管理、环境监测、环境观测与研究、环境监理与环境监督和项目环境验收内容。

20.1 环境管理

20.1.1 环境管理目的

环境管理是工程管理的一部分，是项目环境保护工作有效实施的重要环节。本项目环境管理目的在于结合工程调度运行，确保工程运行期流域经济社会和生态环境的和谐；通过工程的调蓄，保障坝址下游生态水量和径流过程，确保流域生态安全、国防安全。

工程各项环境保护措施的顺利实施，可使工程施工和运行产生的不利环境影响得到减免，保证工程影响区环保工作的顺利进行，以维持流域生态系统稳定性，促进流域社会、经济、生态的协调发展。

20.1.2 环境管理原则

1. 预防为主、防治结合的原则

古贤水利枢纽工程在施工和运行过程中，环境管理要预先采取防范措施，防止流域环境污染和生态破坏，并把预防作为环境管理的重要原则。

2. 分级管理原则

工程建设和运行应接受各级环境保护行政主管部门的监督，而在内部则实行分级管理制，层层负责，责任明确。

3. 相对独立性原则

环境管理是工程管理的一部分，既需要满足整个工程管理的要求，更要满足流域管理的要求。同时环境管理又具有一定的独立性，必须依据我国现行环境保护法律法规体系，从环境保护和生态文明的角度对工程进行监督管理，协调工程建设与环境保护的关系。

4. 针对性原则

工程建设和运行的不同时期和不同区域可能会出现不同的环境问题，应通过建立合理的环境管理结构和管理制度，有针对性地解决出现的问题。

20.1.3 环境管理目标

(1) 确保本工程符合环境保护法规的要求。保证各项环境保护措施按照环境影响报告书及其批复、环境保护设计的要求实施，使各项环境保护设施按要求落实，并正常、有效运行。

(2) 确保工程能够实现其目标，确保工程运行期流域经济社会和生态环境的和谐；保障坝址下游生态水量和径流过程，确保流域生态、国防安全。

(3) 预防污染事故的发生，保证施工期各类污染物达标排放、合理回用，使工程区及其附近的水环境、环境空气和声环境质量达到环境功能区划要求的标准。

(4) 施工期水土流失和生态破坏得到有效控制，并通过采取措施恢复原有的水土保持功能和生态环境质量。

20.1.4 环境管理体系

古贤水利枢纽工程环境管理分为外部管理和内部管理两大部分，并纳入整个古贤水利枢纽工程环境管理体系之中。

(1) 外部管理

指国家及地方环境保护行政主管部门，依据国家相关法律、法规和政策，按照工程需达到的环境标准与要求，依法对各工程建设阶段进行不定期监督、检查及环境保护竣工验收等活动。

本工程外部环境管理体系由环境保护部、山西省环境保护厅、陕西省环境保护厅和项目所在县市环境保护局等组成。

(2) 内部管理

指建设单位、监理单位、施工单位和工程运行管理单位执行国家和地方有关环境保护的法律、法规、政策，贯彻环境保护标准，按照环境影响报告书及其批复、环境保护设计的要求落实环境保护措施，并对工程的建设过程和活动按环境保护要求进行管理。

内部管理分为工程施工期和运行期。施工期及运行期由建设单位负责组织实施，对

工程环境保护措施进行优化、组织和实施，保证达到国家和地方对建设项目环境保护的要求。内部环境管理体系由建设单位、监理单位和施工单位分级管理，分别成立专/兼职环境管理机构。

20.1.5 环境管理机构设置及其职责

20.1.5.1 施工期

1. 建设单位

建设单位须设立环境管理机构，设专职人员 2 人，负责确定其环保方针、审查项目环境目标和指标、审批环保项目立项和投资投入报告、审批环保项目实施方案和管理方案、检查环境管理业绩、培养职工环境保护意识等工作。

2. 施工单位

各施工承包单位在进场后均应设置“环境保护办公室”，设专职人员 1~2 人，负责落实工程招标文件或设计文件中规定的环境保护对策措施，负责相关环境保护措施的运行管理以及责任范围内的环保日常管理工作，及时处理施工过程中出现的环境问题，接受有关部门对环保工作的监督和管理。

20.1.5.2 运行期

工程建成运行后，运行管理单位应该设立“环境保护管理办公室”，设专职人员 1 人，具体负责和落实工程建成运行后的环境保护管理工作。

20.2 环境监理计划

20.2.1 环境监理目的

为保证古贤水利枢纽环境保护措施（包括水土保持措施）得以全面落实并达到预期效果，本工程需实施环境监理。全面监督和检查各施工单位环境保护措施的实施和效果，及时监督、处理和解决施工过程中出现的环境问题。使环境管理工作融入整个工程实施过程中，变事后管理为过程管理，变单纯的强制性管理为强制性和指导性相结合的管理方式，从而使环境保护由被动治理污染和破坏变为主动预防和过程治理。

20.2.2 环境监理机构设置与工作方式

根据古贤水利枢纽工程规模和施工规划，应在工程现场设置专门的环境监理机构

（其中水土保持监理必须持有水利部颁发的水土保持监理资质），环境监理部设置专职监理人员。环境监理人员常驻工地，对施工区环境保护工作进行动态监督、检查和管理。监理方式以现场监督管理为主，并定期、不定期检查各项环境监测数据和各项环保措施运行记录，发现问题后，立即要求承包商限期整改，并以公文函件确认。对于限期处理的环境问题，按期进行检查验收，将检查结果形成纪要下发承包商。

20.2.3 环境监理工作范围

古贤水利枢纽工程环境监理工作范围包括工程枢纽区、施工场地、生活营地、场内外公路、水库淹没区、渣料场、移民安置区等所有因工程建设可能造成环境污染和生态破坏的区域。

20.2.4 环境监理的职能和工作内容

20.2.4.1 环境监理职能

- （1） 监督、检查、评估职能。监督、检查承包商的环境保护工作的执行与措施落实情况，评估、评价环境保护工作。
- （2） 发现、指导职能。发现承包商环境保护工作的不足，指导承包商进行有效改正。
- （3） 帮助、协助职能。对承包商环境保护工作提供必要的帮助，协助业主做好环境管理工作。
- （4） 沟通与反馈职能。在业主和承包商之间进行信息沟通，及时反馈工作信息。
- （5） 协调职能。协调业主与承包商之间的关系，协调环境与工程之间的关系。

20.2.4.2 环境监理工作内容

- （1） 根据国家有关环保法律法规，依据合同开展环境保护监理工作。
- （2） 协助业主进行有关环保专项的招标工作，向业主提供咨询服务意见。
- （3） 监督检查施工过程中环保设施的安装、运行情况，对不合格的设施，按业主授权进行直接处理或拿出相应意见提交业主处理。
- （4） 在授权范围内，以合同中环保条款作为依据，独立、公正、公平地开展工作，监督、检查、评估承包商环境保护职责的落实与环境保护措施的实施。

(5) 为承包商环保工作提供必要的帮助。按照环境影响报告书的要求，协助业主做好环境管理工作。

(6) 做好业主和承包商之间进行信息沟通与反馈，就有关环境问题协调业主和承包商之间的关系。

(7) 处理施工过程中的有关环保违约事件。按合同程序，公正地处理环保方面的索赔。

(8) 按合同要求，以巡视、旁站等方式及时检查施工现场的环保工作情况，作好巡视记录，按时提交季报和年报等相关资料。

(9) 作好环保资料整理工作和建立环保资料档案。

(10) 参与环境管理的总结工作，协助业主作好环境保护设施竣工验收工作和工程竣工环境保护验收。

20.3 环境监测计划

20.3.1 施工期环境监测计划

20.3.1.1 地表水环境监测

1. 监测目的

了解工程施工期水污染源强和污废水处理设施的效果，以及工程施工对地表水环境的实际影响。

2. 监测断面、因子、频率及时间

结合主体工程布置，施工期施工废水监测点 46 个，地表水环境监测点 3 个，水质监测包括施工废（污）水监测（包括施工废水和生活污水）和施工影响河段地表水水质监测。水质监测断面、参数、频率及时间见表 20.3.1-1。

表 20.3.1-1 水环境监测计划一览表

内容	监测点	监测点位 (个)	监测项目	监测时间与频率
施工废水污染源监测	基坑排水口	坝址区 1 个	pH 值、悬浮物、废水流量	导流等前期工程施工生活区监测时间为施工准备期 (28 个月); 其余监测时间为主体工程施工期 (65 个月), 均为每季度监测 1 次, 每次监测 3 天, 每天监测 1 次; 监测出水水质, 并记录处理水量。
	混凝土拌和系统废水回用水池出口	皮带机线路区 32 个, 坝址区 5 个, 共计 37 个	pH 值、悬浮物、COD、废水流量	
	砂石料加工系统废水回用水池出口 (2 个)	坝址区 1 个, 料场区 1 个, 共 2 个	pH 值、悬浮物、COD、废水流量	
	机械修配系统废水回用水池	坝址区 2 个, 料场区 1 个, 共计 3 个	悬浮物、石油类、COD、废水流量	
	对外交通生活区、坝址区 3#生活区、西磴口料场施工生活区	皮带机线路区 1 个, 坝址区 1 个, 料场区 1 个, 共计 3 个	COD、BOD ₅ 、氨氮、总磷、总氮、粪大肠菌群、污水流量	
地表水质监测	导流工程工厂设施上游 500m 处	3 个	pH、DO、COD _{Cr} 、BOD ₅ 、NH ₃ -N、高锰酸钾指数、悬浮物、石油类、总磷、总氮、六价铬、硫化物和挥发酚等 13 项	施工期 114 个月 (9.5 年), 每季度监测 1 次, 每次监测 3 天, 每天监测 1 次。
	坝址右岸导流洞出口下游 1km 临河处取水口下游 500m 处			
	壶口瀑布主瀑上游 500m 处			

3. 监测方法及标准

水样采集按照《地表水和污水监测技术规范》规定执行, 样品分析按照《地表水环境质量标准》规定的方法执行。

分析标准地表水环境执行《地表水环境质量标准》(GB3838—2002), 废污水排放执行《污水综合排放标准》(GB8978—1996)、《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920-2020)。

20.3.1.2 地下水环境监测

施工期地下水环境监测点位布设及监测频次见表 20.3.1-2。

表 20.3.1-2 地下水环境监测计划一览表

内容	监测点	监测项目	监测时间与频率
地下水水位监测	古贤村取水井	水位	施工期 114 个月 (9.5 年), 每月监测 1 次, 每次监测 1 天。
	南村泉点		
	存心村附近泉点		
	留村附近泉点		
	中市村泉点		
	南塬村泉点		
	陈家岭村附近泉点		
	西磴集中供水水源保护区	水位、浑浊度、溶解性总固体、氨氮、Na ⁺ 、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻	

20.3.1.3 环境空气监测计划

1. 监测目的

了解工程施工期大气污染源强及其对环境空气质量的实际影响。

2. 监测点位

结合古贤水利枢纽工程施工布置以及评价范围内的环境特征,选取施工期砂石料加工系统、混凝土拌和系统、料场开采区等大气污染源以及受大气污染影响较大的村庄等共 5 个环境空气监测点。

表 20.3.1-3 施工期环境空气监测点位一览表

对象	监测地点	监测项目	监测频次及时间
敏感点	中市村	SO ₂ 、NO ₂ 、 TSP、PM ₁₀	筹建期 (1.5 年), 每年每个季度监测 1 期, 每期连续监测 7 天, 每天昼间 12h 连续监测, 其中 1 小时平均值, 每天 4 次, 每次至少 45min。
	东庄小学		
施工区	砂石料加工系统		主体工程施工期 65 个月 (5 年 5 个月), 每年每个季度监测 1 期, 每期连续监测 7 天, 每天昼间 12h 连续监测, 其中 1 小时平均值, 每天 4 次, 每次至少 45min。
	右岸混凝土拌和系统 西磴口料场开采区		

3. 监测因子、频次及时间

监测因子为 SO₂、NO₂、TSP 和 PM₁₀, 其中 SO₂、NO₂ 监测小时值和日均值, TSP 和 PM₁₀ 监测日均值。另外, 在进行大气监测的同时对气温、风速和风向等主要气象要素进行监测。施工前监测 1 次背景值; 施工期每年每季度监测 1 期, 每期连续监测 7 天。

4. 监测依据、方法

监测依据《环境空气质量标准》(GB3095-2012), 采用空气/智能 TSP 综合采样器、紫外可见分光光度计及分析天平等。

20.3.1.4 声环境监测计划

1. 监测目的

掌握工程施工噪声源强及其对声环境的实际影响。

2. 监测布点、频次及时间

同环境空气监测点位一致, 拟选取施工期砂石料加工系统、混凝土拌和系统、料场开采区等声源影响较大以及受声源影响较大的中市村、东庄小学等共 5 个监测点位。监测时段分别为主体工程施工期、筹建期, 每年每季度监测 1 次, 每次监测 1 天, 每天监测 2 次; 即每天每点昼夜各监测 1 次, 昼间 (6:00~22:00), 夜间 (22:00~6:00) 各测量一次, 其中施工地点注明施工工况。

20.3.1.5 陆生生态监测计划

1. 陆生植物及临时占地植被恢复监测

(1) 监测目的

- ① 了解工程施工对陆生植物的影响；
- ② 及时了解临时占地区植被恢复、土地复垦等情况。

(2) 监测项目

植物种类、物种丰富度、群落盖度、地上生物量、植物高度等。

(3) 监测方法

在样带内选择不同植物群落布设 $1m \times 1m$ 的样方进行调查。

(4) 监测频次

陆生植物监测为整个施工期每年 7 月份监测一次；

临时占地植被恢复监测依据临时占地结束具体时间确定，在临时占地结束后连续监测 3 年，每年 7 月份监测一次，同陆生植物监测一并进行。

(5) 监测点位布设

监测点位分布于主体工程施工区、各生产生活区、施工道路区、进场道路及并线皮带机沿线、骨料场区等施工活动对陆生植物有影响的区域。

植被恢复监测点位布设在渣场、料场等临时占地需要进行植被恢复的区域。

2. 施工期野生动物监测

(1) 监测目的及任务

了解工程区周边野生动物的分布状况、种群数量以及是否受到工程的影响，以便于及时采取措施。

(2) 监测内容

野生动物的种类、分布、数量、活动规律。

(3) 监测方法

采用实地测量法、巡查法、访谈法、红外拍摄法等。

(4) 监测频次

整个施工期每季度监测一次，每年监测 4 次。

(5) 监测站布设

在各工程区均有监测点，共布置 30 个测站点。筹建期主要为皮带机及进场道路施工区、骨料场施工区，施工期主要为坝址区施工区及骨料场施工区。

20.3.1.6 水生生态监测计划

通过对浮游植物、浮游动物、底栖动物、鱼类等的监测，及时反映项目施工期生态环境变化对水生生态的影响。

监测点位布设、监测时间及频次、监测内容见表 20.3.1-4。

监测方法：根据《水库渔业资源调查规范》(SL167-96)规定的方法进行监测和分析。

监测要求：详细记录每次采样的时间、水生生物和鱼类种类、数量、优势种，并定期分析变化趋势。

表 20.3.1-4 施工期水生生态监测

监测点位	监测时间	监测频次	监测内容
水生生物监测点布置 15 个、 鱼类监测点布置 10 个	主体工程施工期第 1、 3、5、7 年	监测年 3 月~6 月、9 月~10 月分别进行 1 次，每次不少于 30 天	浮游植物、浮游动物、 底栖动物、鱼类

20.3.1.7 湿地监测计划

根据工程环境保护要求，通过开展湿地监测和调查，及时掌握工程运行前后小北干流湿地主要环境要素的变化情况，以及生态环境保护措施实施后的效果，为小北干流湿地生态环境保护 and 流域环境管理提供依据，以此检查和督促施工单位落实环保措施。

1. 监测范围

以陕西黄河湿地省级自然保护区和山西运城湿地省级自然保护区两个湿地自然保护区的边界为监测范围，以核心区为重点监测范围。

2. 监测内容和方法

(1) 湿地植被调查

在小北干流上、中、下段选择典型地段布设湿地植被监测点。工程施工期开展本底调查。按照典型性、代表性的原则选择湿地植物调查样地，应在有限的调查面积中能够较好的反映出湿地植物群落的基本特征，在样地上设置相应的湿地调查样方或者样带，开展湿地植物样方调查，依次记录各样方的植物种类、大小和数量。同时，利用 GPS

做好相应的调查点位、调查轨迹的记录。监测点如表 20.3.1-5 所示，共 60 处监测点。

表 20.3.1-5 湿地植被监测点及监测内容

序号	监测区域	监测点及频率	监测内容
1	上段	沿黄淤 61 断面处布设一条样带，在河段两岸沿黄河中心线向外侧至断面起始点，等间距各布设 20 个点位	在施工期每年对小北干流湿地生态环境质量进行监测，共监测 11 次；设置固定样地监测植被演替变化特征；对湿地植被情况进行调查，监测内容包括植物物种、存活率、密度和覆盖率，以掌握工程运行带来的生态环境影响及区域生态环境修复情况
2	中段	沿黄淤 56 断面处布设一条样带，在河段两岸沿黄河中心线向外侧至断面起始点，等间距各布设 20 个点位	
3	下段	沿黄淤 48 断面处布设一条样带，在河段两岸沿黄河中心线向外侧至断面起始点，等间距各布设 20 个点位	

(2) 湿地动物调查

在小北干流河段主要鸟类栖息范围内布设样线 6 条，采用样带法统计在调查区域能见到的所有兽类、爬行类、两栖类、鸟类的物种及其数量。结合小北干流湿地水文变化和湿地植被监测，同步开展湿地鸟类调查，调查内容包括鸟类识别、各种鸟类数量、丰富性、鸟类活动的生境、主要物种种群动态变化及栖息生境变化。在冬季、春季、夏季、秋季分别连续监测 1 个月。

(3) 湿地水文要素监测

布设湿地水文监测 40 处，根据水文监测相关规范，对古贤工程建成前小北干流河段的水位、流量、泥沙、断面淤积及地表积水深度、淹水历时、地下水位等指标进行监测，调查河段漫滩次数，重点监测敏感期一定量级洪水的量级、历时、淹水面积等，掌握湿地水分条件变化。

(4) 湿地景观格局

采用遥感影像专题解译分析方法，对于湿地面积、水域面积、湿地植被类型及面积、湿地景观格局进行宏观监测。

3. 监测频次

湿地动植物监测于工程施工期每年调查 1 期，共 11 期；见表 20.3.1-6 所示。

表 20.3.1-6 施工期陆生生态监测时间及频次一览表

监测内容	监测时间及频次
湿地植被监测	施工期调查 11 期；每年为 1 个监测周期。
湿地动物监测	施工期调查 11 期；每年为 1 个监测周期。 鸟类观测分别于每年的冬季、春季、夏季、秋季连续监测 1 个月。

20.3.1.8 壶口瀑布观测计划

1. 壶口瀑布景观观测

(1) 监测目的

全面监控古贤水利枢纽建设期间对壶口瀑布景观的影响,为保护壶口瀑布景观提供基础支撑。

(2) 监测点位

壶口瀑布主瀑处、壶口瀑布陕西省侧瀑处、壶口瀑布山西省侧瀑处、十里龙槽。

(3) 监测内容

① 壶口瀑布主瀑处:主瀑形态、规模、颜色、宽度,冰瀑景观及规模,气温、湿度、风速;

② 壶口瀑布山西侧、陕西侧侧瀑:侧瀑形态、规模、颜色、宽度,冰瀑景观及规模;

③ 十里龙槽:龙槽景观,两岸冰瀑景观;;

④ 景区每天/每周游客人数,旅游高峰时间段游客人数。

(4) 监控时段及频次

施工期每天 1 次。

20.3.1.9 施工期地下水监测计划

施工前应进行详细的地质和水文地质条件勘察,查清隧洞与周边井、泉的关系,施工期间,对隧洞附近的井泉进行监测,及时掌握隧洞建设对当地居民地下水用水的影响。在隧洞施工区设置 7 个地下水监测点,在施工期内按照每季度一次的频率开展地下水水位监测。具体点位分布见 20.3.1-7。

表 20.3.1-7 施工期地下水监测点分布表

序号	经度	纬度	监测点	监测项目
1	110.4770	36.2170	古贤村取水井	水位
2	110.4900	36.2041	南村泉点	
3	110.4740	36.2019	存心村附近泉点	
4	110.4740	36.1730	留村附近泉点	
5	110.4740	36.1561	中市村泉点	
6	110.4720	36.1338	南塬村泉点	
7	110.4830	36.1196	陈家岭村附近泉点	

20.3.2 运行期环境监测计划

为了对古贤水利枢纽工程在运行期对环境可能造成的影响进行全面、系统的了解,评价建议建设一整套生态环境监测系统,将运行期进行的各项生态环境要素监测以及相

关的监测和观测活动纳入该系统中,对环评阶段主要环境影响预测成果及预防或减轻不良环境影响对策措施的有效性进行验证,为古贤水利枢纽工程相关的环境科学研究提供基础数据,同时为古贤水利枢纽的高效运行提供环境数据参考。

新建的生态环境监测系统主要包含自动监测站建设、移动监测站(车)建设、野外观测网络建设、观测设备和设施、辅助设备等内容。

(1) 建设 2 座自动站。在陕西取水口、山西取水口附近共建设 2 座水质自动监测站,对水质、水温等进行实施监测。

(2) 建设一个移动监测站。包括专用车辆、试验台改装、便携式、快速式仪器的购置等。

(3) 建设一个生态流量自动监测站点。在坝下 8km 处设置一套流量、水温自动监测设备,实时监控生态流量满足情况。

(4) 建设野外生态观测点位。在固定点位监测陆生植被、动物、地下水、局地气候的变化情况。包括打桩立碑、观测设备的安装、伪装保护措施等。

(5) 辅助设备,包括采样车等。

20.3.2.1 地表水环境监测

1. 监测目的

了解工程建成运行对地表水环境的实际影响。

2. 监测断面、因子、频率及时间

(1) 监测点位设置

① 为监测水库运行后库尾及支流入库、壶口瀑布富营养化状况,在库区~壶口断面共设置 8 个富营养化状况监测段断面。

② 为监测水库运行低温期水质分层情况,在坝址处共 2 个监测断面,根据水深情况,设置 4 个不同深度水质监测点位,监测水库垂向分布规律,共 8 个监测点位。

③ 为确保库区水源区取水水质安全,在坝址左右 2 处取水口进行水质监测,共 2 个监测点位。

④ 为判断古贤水库与小浪底水库联合调度运用时期坝下过饱和气体及水质状况,在坝下水垫塘、坝址下游 5km、坝址下游 10km 各设置 1 个监测点位,共 3 个监测点位。

⑤ 坝址下游龙门断面至潼关断面 132.5km 长度，考虑龙门站、潼关站均为黄河干流常规监测点位，拟在禹潼河段按照 22km 设置一个监测点位，监测点位布设考虑渭河、汾河和涑水河汇入口下游等设置，共设置 6 个监测点位。

⑥ 为加强受水区水质动态监测与管理，在山西省受水区 11 条受纳河流各设置一个监测点位，在陕西省受水区 7 条受纳水体各设置一个监测点位，共设置 18 个监测点位。

监测及因子见表 20.3.2-1。

表 20.3.2-1 运行期地表水环境监测点位、因子及时间一览表

序号	监测目的	监测点位	点位个数	监测因子	监测时段及频率
1	富营养化状况	库尾、三川河、无定河、屈产河、昕水河、清涧河、延河入库段、壶口瀑布设置 8 个表层水样	8	水温、pH、溶解氧、高锰酸盐指数、TN、TP、叶绿素、透明度，共 8 项	运行期每年 4 月~6 月监测共 1 次
2	坝前不同水深地表水环境状况	坝前设置 2 个断面，4 个不同深度分别取样，共 8 个监测点位	8	水温、pH、溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、总磷、总氮、氟化物、镉、六价铬、氰化物、挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂、硫化物、粪大肠菌群、汞、砷、铁、锰、悬浮物、叶绿素、透明度共 25 项	运行期每月监测 1 次，年监测 12 次
3	取水口地表水环境状况	坝前取水口设置 2 个表层水样监测断面，共 2 个监测点位	2		
4	坝址下游总溶解气体过饱和度及水质状况	古贤坝址水垫塘、坝址下游 5km、10km 共 3 个监测点位	3	流量、水深、DO、TDG 饱和度、气压、水温、pH、高锰酸盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、总磷、总氮、氟化物、镉、六价铬、氰化物、挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂、硫化物、粪大肠菌群、汞、砷、铁、锰、悬浮物、叶绿素、透明度共 29 项	运行期每年调水调沙期监测 1 次
5	龙门~潼关河段地表水环境状况	共设置 6 个点位	6	水温、pH、溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、总磷、总氮、氟化物、镉、六价铬、氰化物、挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂、硫化物、粪大肠菌群、汞、砷、铁、锰、悬浮物、叶绿素、透明度共 25 项	运行期每月监测 1 次，年监测 12 次
6	山西、陕西省受水区地表水环境状况	山西省受纳水体芝河、清水河、鄂河、汾河、洪安涧河、涝河、南涝河、浹河、三交河、涑水河、姚暹渠共设置 11 个点位，陕西省受纳水体云岩河、仕望河、居水河、徐水河、金水沟、北洛河、渭河共设置 7 个点位	18	水温、pH、溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、总磷、总氮、氟化物、镉、六价铬、氰化物、挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂、硫化物、粪大肠菌群、汞、砷、铁、锰、悬浮物、叶绿素、透明度共 25 项	运行期每月监测 1 次，年监测 12 次

(2) 监测频率及时间

监测时段为整个古贤水库运行时期，监测频率见表 20.3.2-1。

3. 监测方法及标准

水样采集按照《地表水和污水监测技术规范》规定执行，样品分析按照《地表水环境质量标准》规定的方法执行。

20.3.2.2 地下水环境监测

1. 监测目的

分析工程对库区、坝址区和坝址下游区范围内地下水环境的实际影响。

2. 监测点位、因子、频率及时间

(1) 监测点位及因子

库区、坝址区和坝址下游项目区范围内地下水监测共设置 13 个监测点位，其中库区设置 4 个，坝址区设置 2 个，坝址下游项目区设置 7 个。

为分析库区黄河水位雍高对库区范围内地下水环境的影响，共计设置 4 个监测点；为分析坝址区施工对周边地下水环境的影响，共计设置 2 个监测点；由于坝址下游项目区缺乏地下水长观孔，建议在项目运行后在山西、陕西两省分别设置 3 处地下水监测孔，此外包括灃泉也增补为地下水监测点，共计 7 个监测点。监测点位及因子见表 20.3.2-2。

表 20.3.2-2 运行期地下水环境监测点位、因子及时间一览表

序号	位置	村名或点位	经度 (°)	纬度 (°)	监测层位	监测目的
1	库区	上庄村	110.639775	37.36153889	半山井地下水	水位、水质
2		延水关村	110.4064861	36.83367778	半山井地下水	水位、水质
3		河口村	110.4400028	37.04446667	山泉水	水位、水质
4		贺家畔村	110.4034806	36.98020278	山泉水	水位、水质
5	坝址区	古贤村	110.4784333	36.22203611	半山井地下水	水位、水质
6		中市村	110.4795056	36.1599	半山井地下水	水位、水质
7	坝址区下游	CG01	110.346522	35.191771	浅层地下水	水位、水质
8		CG02	110.310224	35.081435	浅层地下水	水位、水质
9		CG03	110.251556	34.986684	浅层地下水	水位、水质
10		CG04	110.629280	35.651163	浅层地下水	水位、水质
11		CG05	110.505424	35.426007	浅层地下水	水位、水质
12		CG06	110.402915	35.268758	浅层地下水	水位、水质
13		灃泉	110.344788	35.143994	浅层地下水	水位、水质

(2) 监测频率及时间

监测频率为 4 个月一次。

3. 监测方法及标准

水样采集按照《地下水和污水监测技术规范》(HJ 164-2020) 规定执行，样品分析按照《地下水环境质量标准》(GBT 14848—2017) 规定的方法执行。

20.3.2.3 陆生生态监测计划

1. 库区周边植被监测

（1）监测目的

了解库周植被生长及植物种类变化状况，以确定是否受到盐碱化、沼泽化的影响。

（2）监测项目

库周植物生长、种类变化、群落盖度、面积变化、地上生物量、丰富度等。

（3）监测方法

采用遥感法和样方法相结合。

（4）监测时段

根据生态导则，本项目应该进行全生命周期生态监测，为此建议运行期前 5 年进行连续监测，每年监测一次；后期每 5 年监测一次，直至水库停止运行。

（5）监测站布设

在库周各种典型植被区设置样方，每种群落 5 个样方，共 120 个左右。

（6）监测费用

运行期预留前 5 年监测费用，后期长期监测不计入工程造价。

2. 野生动物监测

（1）监测目的及任务

了解工程区（特别是库区）周边野生动物的分布状况、种群数量以及是否受到工程的影响，以便于及时采取措施。

监测水库蓄水期冬眠动物种群个体数量受损情况，繁育及放生后种群恢复情况。

（2）监测内容

野生动物的种类、分布、数量、活动规律。

（3）监测方法

采用实地测量法、巡查法、访谈法、红外拍摄法等。

（4）监测频次

根据生态导则，本项目应进行全生命周期生态监测，为此建议运行期前 5 年进行连续监测，每个季度监测一次，每年监测 4 次；后期每 5 年监测一次，直至水库停止运行。

（5）监测站布设

主要采用样线法，在库区及坝址附近设 20 条左右的样线。

（6）监测费用

运行期预留前 5 年监测费用，后期长期监测不计入工程造价。

20.3.2.4 水生生态监测计划

通过对浮游生物、底栖动物、固着类生物、水生维管束植物、鱼类种群动态、鱼类产卵场等的监测，及时反映工程建设运行后生态环境变化趋势，为水库生态研究、鱼类和水生生物多样性的保护、水库生态管理，提供科学依据。

1. 监测内容与监测要素

（1）水生生态要素监测

水文、水动力学特征，水体理化性质（主要为 N、P 各种形式组分动态及浓度场分布）；浮游植物、浮游动物、底栖动物、水生维管束植物的种类、分布密度、生物量与水温及流态等的变化关系。

（2）鱼类种群动态及群落组成变化

鱼类的种类组成、种群结构、资源量的时空分布及累积变化效应，重点监测目前在评价区干流和具有重要生境的支流分布的鱼类种群动态及群落构成的变化趋势，分析具有重要生境支流与干流鱼类种类的重现度变化趋势。

（3）鱼类产卵场监测

早期资源种类组成与比例、时空分布、早期资源量、水文要素（温度、流速、水位）、产卵场的分布与规模变化、繁殖时间和繁殖种群的规模。

（4）增殖放流效果监测

开展与放流品种生物学习性相适应的监测标记；标记鱼类数量占放流鱼类总数的 1%~5%。开展人工放流增殖效果监测，建立样本回收及监测网络，通过研究人工增殖种群的行为生态学差异、对自然种群的贡献率等，评估增殖放流效果，为物种保护决策提供科学依据。

监测评价时限、频次：与增殖放流时限同步，每年在无定河汇入口、龙门黄河大桥、洽川河段各调查监测 1 次，主要调查种群变化及资源量情况等。

2. 监测断面

评价区设 13 个监测断面，具体监测断面及内容见表 20.3.2-3。

表 20.3.2-3 运行期水生生态监测断面及监测内容

序号	断面	水生态要素	鱼类种群动态	鱼类产卵场	增殖放流效果
1	罗峪口	+	+	+	
2	磧口	+	+	+	
3	吴堡（古贤库尾）	+	+		
4	无定河汇入口	+	+	+	+
5	古贤坝址	+	+		
6	古贤坝址下游 5km 处	+	+		
7	禹门口	+	+		
8	龙门黄河大桥	+	+	+	+
9	洽川河段	+	+	+	+
10	渭河汇入口	+	+	+	
11	风陵渡	+	+		
12	支流无定河	+	+	+	
13	支流渭河	+	+	+	

注：+为需要监测

（3）监测时段

本次运行期水生生态监测时间及监测频次详见表 20.3.2-4。

表 20.3.2-4 运行期水生生态监测时段

监测内容	监测时间	监测频次
水文要素、浮游植物、浮游动物、底栖动物、水生维管束植物	工程蓄水后 20 年内监测 8 年，即在第 1 年初期蓄水期，以及之后第 2、3、5、7、10、15、20 年进行监测，以后每 5 年监测一次。	监测年 4 月、10 月各监测 1 次
鱼类种群动态		监测年 3 月~6 月、9 月~10 月分别进行 1 次，每次 30 天左右
鱼类产卵场		监测年 3 月~7 月进行，年监测天数不少于 60 天
增殖放流效果监测	增殖放流实施后 10 年内监测 6 年，即第 1、2、3、5、7、9 年。之后每 5 年监测 1 次。	监测年 10 月~11 月监测 1 次

20.3.2.5 湿地监测计划

监测范围、监测内容和方法同施工期，监测频次为工程运行后连续监测。

20.3.2.6 壶口瀑布监测计划

1. 壶口瀑布景观观测

本次论证工作中，由于时间、资料所限，所建立的流量、含沙量与壶口瀑布景观的关系，主要采用了 2015 年 6 月~2016 年 9 月的景观观测数据和龙门断面的流量、含沙量数据，观测时间短、数据累积较少，且龙门断面与壶口实际的流量、含沙量有一定误差。

工程建成后，应长期开展壶口河段流量、含沙量、瀑布景观的监测工作，建立壶口河段流量、含沙量与壶口瀑布形态、规模、颜色的关系，观测工程建成和运行对壶口瀑布景观的实际影响，为优化水库调度运行方案提供基础支撑，最大限度保护壶口瀑布景

观。

（1）监测目的

全面监控古贤水利枢纽工程运行对壶口瀑布景观的影响，为优化水库调度运行方案、保护壶口瀑布景观提供基础支撑。

（2）监测点位

壶口瀑布主瀑处、壶口瀑布陕西省侧瀑处、壶口瀑布山西省侧瀑处、十里龙槽。

（3）监测内容

① 壶口瀑布主瀑处：主瀑形态、规模、颜色、宽度，冰瀑景观及规模，气温、湿度、风速；

② 壶口瀑布山西侧、陕西侧侧瀑：侧瀑形态、规模、颜色、宽度，冰瀑景观及规模；

③ 十里龙槽：龙槽景观，两岸冰瀑景观；

④ 景区每天/每周游客人数，旅游高峰时间段游客人数。

（4）监控时段及频次

运行期前 5 年每天 1 次，之后每月监测 5 天，每天 1 次。

2. 壶口瀑布水质监测

（1）监测目的

全面监控古贤水利枢纽运行对壶口瀑布水质的影响，为保护壶口瀑布景观提供基础支撑。

（2）监测断面

壶口瀑布上游 200m 处。

（3）监测内容

水质监测因子为：水温、pH、SS、溶解氧、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、高锰酸盐指数、石油类、总磷、六价铬、氰化物、砷、铜、铅、锌、汞、镉、挥发酚、阴离子表面活性剂等。

（4）监控时段及频次

运行期每月一次。

20.3.3 移民安置区环境监测计划

移民安置区环境监测主要是对集中安置区施工期进行环境空气监测，运行期对生活饮用水、生活污水、移民安置人群健康以及安置区生态恢复措施进行监测。

20.3.3.1 移民安置区施工期监测

移民安置区施工期环境空气监测点位见表 20.3.3-1，监测计划见表 20.3.3-2。

表 20.3.3-1 移民安置区施工期环境空气监测点位

省	序号	县	乡镇	行政村	集中安置点名称
山西省	1	大宁县	割麦乡		割麦村
	2		太古乡	六儿岭村	平渡关
	3	永和县	阁底乡	高家堰村	佛堂
	4			阴德河村	阴德河
	5		打石腰乡	于家圪村	河汾里
	6			李家垣村	直地里
	7		南庄乡	刘家圪崂村	永和关
	8	柳林县	三交镇		坪上村
	9		高家沟乡	宋家寨村	宋家寨
	10		石西乡	上庄村	上庄
	11			石西村	石西
陕西省	12	延长县	雷赤镇	凉水岸村	凉水岸
	13	延川县	乾坤湾镇	碾畔村	伏羲河
	14		延水关镇	伏寺村	伏寺 1
	15				伏寺 2
	16			石佛村	苏亚
	17			新胜古	高家畔
	18			延水关村	王家渠
	19				延水关
	20			冯家崖村	冯家崖
	21			贺家河村	贺家河
	22	清涧县	双庙河服务中心	贺家畔村	贺家畔
	23				郭家河
	24		玉家河镇	王家河村	王家河
	25		高杰村镇	河口村	河口
	26		石盘服务中心	上坪村	上坪
	27	绥德县	定仙墁镇	界首村	子房沟、西沟
	28				渠里、后店
	29		枣林坪镇	沟口村	沟口
	30			河底村	河底

表 20.3.3-2 移民安置区施工期环境空气计划一览表

项目	内 容
监测布点	30 个集中安置点
监测项目	SO ₂ 、NO ₂ 、TSP、PM ₁₀
监测方法	按《环境空气质量监测规范（试行）》中规定的方法进行
监测时间和频率	移民搬迁安置施工前监测 1 次背景值，连续监测 3 年，每季度监测 1 期，每期监测 7 天
执行标准	《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准

20.3.3.2 移民安置区生活饮用水监测

本工程设 30 个集中安置点（含 2 个迁建集镇），其余为农村后靠分散安置，集中安

置点生活饮用水全部作为监控点位，监测计划见表 20.3.3-3。

表 20.3.3-3 移民安置区生活饮用水监测计划

项目	内 容
监测布点	30 个集中安置点
监测项目	水温、pH、总大肠菌群、菌落总数、总硬度、浑浊度、硝酸盐、氯化物、氟化物、挥发酚、铁、锰、砷、汞、镉等
监测方法	按《生活饮用水标准检验方法》（GB/T5750）中规定的方法进行
监测时间和频率	移民搬迁安置开始，连续监测 5 年，每年监测 2 次，每次监测 1 天
执行标准	《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2022）

20.3.3.3 移民安置区生活污水监测

30 个集中安置点全部作为生活污水监控点位，监测计划见见表 20.3.3-4。

表 20.3.3-4 移民安置区生活污水监测计划

项目	内容
监测布点	30 个集中安置点
监测项目	pH、COD、BOD ₅ 、氨氮、SS、动植物油、粪大肠菌群、LAS
监测方法	水样采集按照《地表水和污水监测技术规范》规定执行，样品分析按照《地表水环境质量标准》规定的方法执行
监测时间和频率	移民搬迁安置开始，连续监测 5 年，每年监测 2 次，每次监测 1 天
执行标准	《污水综合排放标准》（GB8978-1996）表 4 一级标准

20.3.3.4 移民人群健康调查

人群健康监测工作由卫生防疫部门承担，重点是（1）库区蓄水流行的痢疾、肝炎、乙型脑炎疾病和其它疾病；（2）移民安置可能会引起的多种传染病传播，如肝炎、痢疾、肺结核等常见传染病。卫生防疫部门主要负责库区蓄水、移民安置所产生的痢疾、肝炎、乙型脑炎等病原体处理和控制，并负责水库蓄水软体动物和疟蚊灭杀计划，并对水库蓄水后工程区进行监测。

20.3.3.5 移民安置区生态恢复措施调查

移民安置区生态恢复措施调查主要调查移民安置区植被恢复措施、水土流失状况、施工期及运行期垃圾处理及处置状况。从移民安置建房开始，连续监测 5 年，以县为单位，每年一期。

20.4 环境保护工程验收

20.4.1 环境保护工程专项验收

1. 验收内容

古贤水利枢纽环保工程专项验收主要包括各项废污水处理系统、生活垃圾卫生填埋场、古树移栽工程等的验收工作。

各项环境保护专项工程建成后，需经环保管理中心验收合格后方可投入使用。

2. 工作程序

本工程各项环境保护专项工程按相关设计图纸规定的工程内容完成后，能满足生产要求或具备使用条件时，按照合同及环保管理中心的要求，各标段承包商和环保专项工程承包商向环保管理中心发出交工通知书请予组织验收；竣工验收前，承包商按规定整理好全部竣工资料并完成现场竣工验收的准备工作，环保管理中心及时组织正式验收；环保措施经环保管理中心验收、评定通过后，投产使用。

专项验收工作程序见图 20.4.1-1。

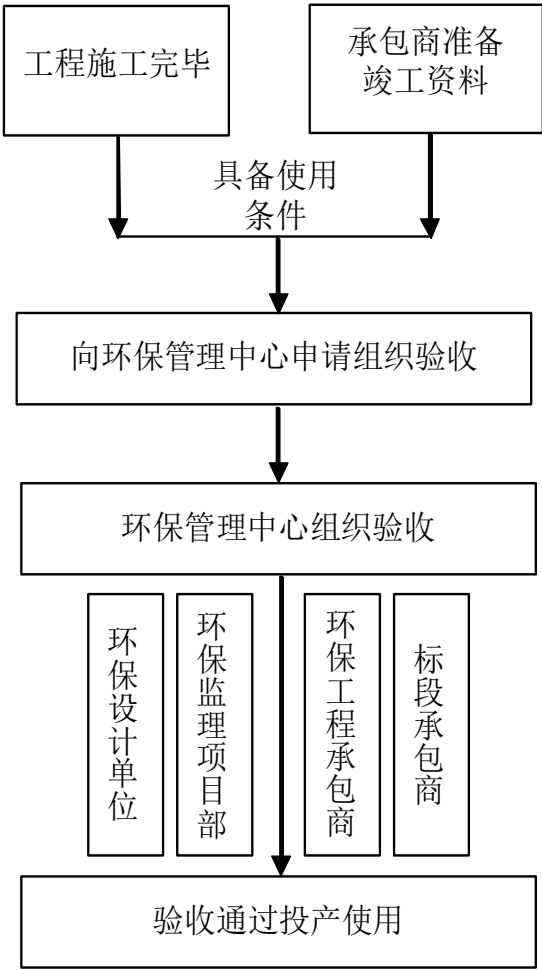


图 20.4.1-1 专项验收工作程序

20.4.2 “三通一平” 工程环境保护验收

古贤水利枢纽“三通一平”工程为生态环境部审批项目，工程的“三通一平”工程

环保验收应满足验收的相关要求。

20.4.3 蓄水阶段环境保护验收

1. 工作程序

古贤水利枢纽工程为生态环境部审批项目，工程的蓄水阶段环保验收应满足验收的相关要求，蓄水阶段环保验收的工作程序同“三通一平”阶段。

2. 验收内容

(1) 工程调查

调查工程建设过程和设计变更情况，收集工程立项文件、设计以及相关批复文件，说明工程审批程序的完整性和符合性。工程设计变更情况调查包括正常蓄水位、大坝坝型、施工布置、施工方式、水库运行和调度方案、水库淹没范围、移民数量、移民生活安置去向和生产安置途径、工程投资和环境保护投资变化以及变更备案情况等。

(2) 复核环境保护对象

根据工程建设前和现状调查，复核工程施工期的环境保护对象，包括居民点、学校、文物古迹、珍稀濒危保护动植物等。

(3) 工程环境保护措施调查

根据本工程环境影响评价报告书、行业和地方环境保护主管部门预审意见、环境影响报告批复文件以及工程环境保护“三同时”设计中提出的环境保护措施或要求，开展工程蓄水阶段环境保护措施调查，并明确这些措施或要求在蓄水阶段的落实情况和实施效果等，调查重点为蓄水阶段的生态流量泄放落实情况、珍稀保护植物移栽保护措施落实情况、鱼类增殖放流站的落实情况、库底清理落实情况、文物古迹环保措施落实情况、移民安置区环保措施落实情况等。

(4) 环境影响调查

环境影响调查主要根据工程建设前和施工期蓄水阶段的调查、监测成果，结合工程区域环境现状特点，分析工程建设带来的环境影响，主要包括水环境影响调查、生态环境影响调查、移民安置环境影响调查、环境空气和声环境、固体废物以及环保投资调查等。

(5) 根据工程环境影响的调查结果，客观、公正地从技术上论证该工程是否符合

蓄水阶段环境保护验收条件。

20.4.4 竣工环境保护验收

1. 工作程序

古贤水利枢纽工程为生态环境部审批项目，工程的竣工环保验收应满足生态环境部相关要求。

2. 竣工环保验收工作内容

(1) 工程情况调查，包括工程规模及任务、枢纽布置及主要建筑物、工程占地、水库淹没及移民安置、水库运行方式、工程环保设施建设情况及投资等，主要通过工程资料收集及现场查勘进行调查。

(2) 环境影响报告书回顾评价，根据环境影响报告书、水土保持方案、环评及水保批复等资料收集，简要分析报告书中环境影响的评价结论及提出的环保对策措施。

(3) 环境保护措施落实情况调查，根据环境影响报告书、环保设计以及对各级环保行政主管部门批复要求中所提环保措施的情况进行工程建设环境保护措施落实情况调查。调查工程已采取的生态保护、水土保持及污染控制措施，并通过对项目所在区域环境现状监测与调查结果的评价，分析各项措施实施的有效性。主要通过现场查勘、收集环保设计、环境监理资料及其他相关资料进行调查。

(4) 水环境影响调查与监测，主要通过收集工程所在河段已有水质及污染源监测资料及水电站环境监测资料；同时委托所在地区环境监测站进行现状水质和污染源监测；根据以上资料进行水质、污染源和下泄水温影响评价。

(5) 环境空气与声环境影响调查，委托所在地区环境监测站进行工程所在区域环境空气及声环境现状监测；同时收集施工期间环境空气和声环境监测资料；并根据监测结果进行评价。

(6) 生态环境影响调查与分析，根据工程占地情况及土石方开挖情况对陆生植物进行影响调查和分析，根据工程枢纽布置、施工布置、水库运行方式对水生生态进行影响调查和分析。主要通过现场查勘、相关资料收集以及专业调查单位调查成果等。

(7) 移民环境影响调查，根据现场调查及移民安置实施方案等资料的收集，对移民安置情况（包括生产安置、生活安置和专项设施复建等）、移民生活质量和生产条件

的改变、安置区所采取的环保措施等进行调查。

(8) 环境风险事故防范及应急措施调查，主要调查工程施工期和运行期可能产生的环境风险事故及其防范、应急措施，如施工期因土石方开挖造成的山体滑坡、油库和炸药库爆炸、水质突发性污染、人群健康危害等，运行期水库水质安全、油库爆炸等。

(9) 其它环境影响调查与分析，包括社会环境影响调查及固体废物环境影响调查等。其中社会环境影响调查可通过走访当地政府部门、单位和民众进行调查，主要表现为公众意见调查；固体废物环境影响调查主要通过向运营单位进行调查。

(10) 环境管理及监测计划落实情况调查与分析，调查工程施工期和运行期有关环境管理的情况，包括施工期间环境监理、环境监测的执行情况，针对环境影响报告书要求调查工程施工期和运行期有关环境监测计划的落实情况。主要通过向施工单位、监理单位 and 建设单位调查了解，并收集相关环保管理文件和环境监测、环境监理报告等资料。

(11) 公众意见调查，了解公众对工程建设期及运营期环境保护工作的意见、对当地经济发展的作用、对工程所在区域居民工作和生活的情况，通过发放调查表和走访相关部门、单位等形式进行公众意见调查，针对公众的合理要求提出解决建议。

(12) 环保投资调查，调查工程设计环保投资及实际环保投资。

(13) 根据工程环境影响的调查结果，客观、公正地从技术上论证该工程是否符合竣工环境保护验收条件。

第二十一章 环境经济损益分析及环境保护投资估算

21.1 环境经济损益分析

21.1.1 工程效益分析

古贤水利枢纽工程是《黄河流域防洪规划》《黄河流域综合规划》《黄河流域生态保护 and 高质量发展水安全保障规划》中确定的黄河干流重点骨干工程。

建设古贤水库是减缓下游河道淤积、保障下游防洪安全的重要战略措施，是降低潼关高程的需要，是进一步管理黄河洪水的需要，可为小北干流大规模放淤创造条件，是改善附近地区供水条件的需要，是西北、华北地区电力发展的需要。工程建设具有良好的经济效益、社会效益和生态效益。

21.1.2 环境效益分析

根据古贤水利枢纽工程环境影响特点，为了减免、恢复和补偿不利环境影响所采取的环境保护措施主要包括水环境保护措施、环境空气保护措施、声环境保护措施、生活垃圾处理措施、人群健康保护措施、环境地质防治措施、水土保持措施。生态环境保护措施、移民安置保护措施等减免措施等，在经济技术论证分析及多方案比选的基础上，并进行了环境保护措施费用概算，本工程环保总投资 193205 万元。

21.1.3 经济损益分析

古贤水利枢纽为非污染型项目，工程投入运行后，便利了当地的对外交通，完善了基础设施，增加了地方政府的财政收入，必将促进地方经济的发展；各项环保措施逐项落实后，工程施工对环境造成的不利影响将会得到避免、削减或补偿，生态环境保护与水电开发的矛盾将会得到妥善处理，最终实现社会、经济和生态的协调发展。

21.2 环境保护费用估算

21.2.1 主要经济技术指标

环境保护投资概算遵循以下原则：

- (1) 环境保护投资不包括水土保持投资；
- (2) 按照“谁污染、谁治理，谁开发、谁保护”原则，确定环境保护投资项目，指导投资分摊；
- (3) “功能恢复”原则，环保投资以保护或恢复工程建设前生态环境功能为下限。
- (4) 工程措施投资概算编制的依据、方法与主体工程一致，生物措施参照地方有关的标准。

21.2.2 编制原则和依据

- (1) 水利部《水利水电工程环境保护概估算编制规程》(SL359-2006)；
- (2) 国家经济贸易委员会公告 2002 第 78 号文件公布的《水电工程设计概算编制办法及计算标准》(2002 年版)(以下简称“编制办法”)；
- (3) 国家计委投资[1999]1340 号“关于加强对基本建设大中型项目概算中价差预备费管理有关问题的通知”；
- (4) 中国人民银行银发[1999]192 号“关于降低存、贷款利率的通知”；
- (5) 农村移民安置区参照水库概算相关标准及定额进行编制；
- (6) 建筑工程执行《水力发电建筑工程概算定额》；施工机械台时费执行《水力发电工程施工机械台时费定额》；
- (7) 陕西及山西省颁发的现行有关定额和费用标准及当地询价；
- (8) 涉及材料基础单价与主体工程相同。

21.2.3 投资估算

工程环境保护静态总投资为 193205 万元，其中：环境保护措施费 29385 万元、环境监测费 17294 万元、环保设施及安装费 11355 万元、环境保护临时措施费 22478 万元，独立费用 43457 万元、基本预备费 9917 万元，其他费用（补沙措施）59319 万元。

运行期环境保护措施投资估算详见表 21.2.3-1，环境监测措施投资估算详见表 21.2.3-2，仪器设备及安装措施投资估算详见表 21.2.3-3，施工期临时环境保护措施投资估算详见表 21.2.3-4，独立费用估算详见表 21.2.3-5。

工程环境保护投资汇总一览表见表 21.2.3-6。

表 21.2.3-1 运行期环境保护措施投资估算 单位：万元

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价	数量	投资	说 明
第一部分 环境保护措施							
一	水质保护					1644	
1	污水处理					160	
(1)	污水处理站	座				/	永临结合，运行期工程管理区人员生活污水利用施工期 4 号生活区配套建设的污水处理站处理
(2)	污水处理站运行费用	年		20	5	100	考虑试运行期 5 年的运行、维护和管理费用
(3)	例行检修含油废水处理	次		10	6	60	机组检修废水处理，5 年一次，共 6 台机组，考虑检修一次，机修废水外包处理，每次 10 万元
2	饮用水源保护					1484	
(1)	饮用水水源保护区划分					490	根据《饮用水水源保护区划分技术规范》（HJ 338-2018）进行饮用水水源保护区划分，主要包括饮用水水源保护区边界勘查、电子地图绘制及编制饮用水水源保护区规划报告等
(2)	库底清理					/	列入移民投资
(3)	隔网	km		20	80	800	隔离防护网采用框架式、C 型柱护栏网，单价 100 元/m
(4)	界碑、界桩	个		0.5	160	80	根据水库水源地一级、二级保护区陆域大致范围，每 2km 设置一个界碑和界桩，共 160 个
(5)	保护区标志牌	个		0.2	70	14	
(6)	视频监控设备	个		10	10	100	在库区规划的取水口及周边设置视频监控系统
二	陆生生态保护					2501.6	
1	古树名木保护措施			50	2	100	山西侧 2 棵古树移栽至业主营地
2	动物巡检保护	年		60	5	300	动物巡检保护，包括巡检费、保护费、宣传费、动物救治费等
3	消落带修复试点工程	亩		4	525.4	2101.6	
三	水生生态保护					6406.96	
1	鱼类增殖放流					6031.96	
(1)	增殖放流站	座			1	5331.96	增殖放流对象为翘嘴红鲌、兰州鲇、黄河鲇、鲤、鲫、鲂、瓦氏雅罗鱼等。自截流起到试运行期 5 年，连续放流 13 年
①	土建工程					2378.96	
	a.蓄水池	m ³	36*12*2.5m	0.09	1080	97.2	
	b.亲鱼培育车间	m ²	48*30*3m	0.18	1440	259.2	
	c.催产孵化及开口苗培育车间	m ²	48*30m	0.18	1440	259.2	
	d.鱼苗培育车间	m ²	42*24m	0.18	1008	181.44	
	e.鱼种培育车间	m ²	48*28m	0.18	1344	241.92	
	f.综合楼	m ²	3*600m ²	0.3	1800	540	
	g.园区道路	m ²	2000*4m	0.1	8000	800	

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价	数量	投资	说 明
②	附属工程		亲鱼池、孵化罐、孵化槽、孵化器、鱼苗培育缸			420	
③	鱼类增殖站主要设备					2194	
	a.孵化设备	个		210	2	420	
	b.亲鱼车间循环水系统	个		120	3	360	
	c.室外亲鱼池循环水处理系统	个		144	2	288	
	d.催化孵化车间	个		156	1	156	
	e.苗种培育车间	个		210	1	210	
	f.室外苗种培育循环水系统	个		180	2	360	
	g.备品备件报价	个		100	1	100	
	h.养殖辅助设备	个		150	2	300	
④	辅助设备		水质在线监测系统、网箱网具、显微镜等			339	
(2)	增殖放流站运行费用	年		100	7	700	施工期从截流开始 2 年，试运行期 5 年，共 7 年
2	鱼类生境保护					375	
(1)	人工鱼巢	个		30	10	300	根据鱼类的生态习性，为鱼类繁殖提供水流、底质等必要条件，修复鱼类产卵场或人为营造适宜的人工产卵场，共布置 10 个人工鱼巢。每个建设费 30 万，运行费合计每年 15 万
(2)	运行管理费用	年		15	5	75	
四	地质公园保护					11710	依据中国地质环境监测院编制的《黄河古贤水利枢纽工程对山西永和黄河蛇曲国家地质公园影响研究报告》、《黄河古贤水利枢纽工程对陕西延川黄河蛇曲国家地质公园影响研究报告》及《黄河古贤水利枢纽工程对陕西省清涧无定河曲流群地质公园影响研究报告》中所列投资计列。以上报告已通过山西省林草局和陕西省自然资源厅组织的专家审查
1	陕西省清涧无定河曲流群地质公园					940	
(1)	园区内地质遗迹详查工程					350	2019-2022 年调查公园范围内地址遗迹，地质遗迹资源可代替分析、国家地质公园申报
(2)	公园外围地质遗迹调查与研究					200	开展地质遗迹资源调查以及同类地质遗迹类比研究分析工作
(3)	开展地质公园规划修编工作					60	根据水库淹没后地质公园的变化情况，重新编制地质公园规划
(4)	科学研究及科普教育工作					330	无定河地质条件分析研究、无定河曲流群成因及演化研究 150 万，专题宣传片 100 万，研究专著、学术交流及宣传材料 80 万

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价	数量	投资	说 明
2	黄河蛇曲国家地质公园					10110	
(1)	公园园区地质遗迹详查工作			680	2	1360	山西永和黄河蛇曲国家地质公园和陕西延川黄河蛇曲国家地质公园各 680 万
(2)	地质遗迹科学研究及科普教育工作					2750	
①	科学研究					1750	秦晋大峡谷及曲流群成因与演化研究、黄土高原地区地貌特征与黄河自然演化特征关系研究、黄土高原古气候的演化与环境变迁研究
②	人文景观科考					420	陕西 130 万元；山西 290 万元
③	科普教育工作					580	专题宣传纪录片拍摄及后期编辑费用：200 万元；研究专著出版及科普宣传材料印制费用：180 万元；黄河蛇曲世界地质公园申报可行性研究工作费用：200 万元
(3)	地质公园运营与规划修编					400	陕西 200 万元；山西 200 万元。
(4)	地质公园改建及科考成果展示			2800	2	5600	山西、陕西各 2800 万，共计 5600 万元。 (1) 黄河蛇曲地质遗迹景观三维投影展示厅建设，1200 万，采用三维全息投影技术，再现黄河蛇曲地质公园不同季节、不同水量条件下的地质遗迹景观，360 度全周电子展示系统，展示厅面积 500m ² ； (2) 黄河蛇曲实体沙盘展示厅，800 万，展示厅面积 500m ² ； (3) 抢救性保护措施展示厅，800 万，展示厅面积 300m ² ，用于展示园区地质遗迹详查过程中调查拍摄的相关视频资料、拍摄宣传视频遗迹抢救挖掘的化石等地质遗迹
3	库区上游地质遗迹调查工作					660	开展库区上游黄河干流及支流的河流地貌、峡谷地貌、黄土地貌、构造类地貌等地质遗迹调查详细工作；对比及综合分析秦晋大峡谷黄河流域地质遗迹分布特征与演化规律
五	小北干流湿地环境保护					4646	
1	湿地补水工程					3926	
(1)	泵站建设费用					312	
①	泵站建筑物建设	座	小(1)型泵站,设计流量为 10m ³ /s,扬程 5m	80	4	280	按立式轴流方案：水泵每台 20 万，电机每台 15 万，拍门 2 万，桥式起重机 13 万，房屋建筑 30 万。总计：单个泵站约 70 万元
②	运行管理设备购置	座		8	4	32	包括流量计、压力表、温度计等计量设备及通讯、照明、通风设备、水量在线监测系统建设等，每座泵站约 8 万元
(2)	泵站维护费用	座		10	4	40	泵站的日常维护与管理，每座泵站每年 2 万元，5 年运行期每台泵站共 10 万元
(3)	补水渠道建设费用		在河道与生			3150	
①	沟渠土方开挖	km	境区之间新	15	186	2100	包括施工前期基底处理和人工、机械土方开挖费用等，每公里约 15 万元

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价	数量	投资	说 明
②	渠底及边坡修整	km	建生态补水渠道 210km, 其中山西测 120km, 陕西侧 90km。渠道采用梯形断面, 顶宽 1.9m, 底宽 0.7m, 渠深 0.5m	6	186	1050	渠道工程对开挖预留保护层要求较高, 需人工修整, 每公里约 6 万元
(4)	涵闸等建筑物	座		20	53	424	修建引水闸、泄水闸、联通闸、分水闸、联通桥涵等构筑物, 平均 4km 设置一个控制闸门, 约 53 个
2	湿地恢复工程	次				720	
(1)	生境营造	次		200	6	720	主要包括珍稀濒危鸟类栖息生境维持和营造, 在两侧河段上中下段分别选择面积约 4hm ² 的适宜地段营建固定鸟类栖息生境, 人工塑造苗、草、灌或林, 保证湿地水文情势变化后仍能形成固定鸟类栖息核心生境。参考黄河流域某类似工程经验, 生境恢复每平方米建造费用约 50 元
六	移民集中安置区环境保护					2476	
1	生态环境保护					300	
(1)	植被恢复	m ²				/	纳入移民安置费用
(2)	宣传教育	次		2	150	300	建成后每个安置点每年一次, 每次 2 万, 连续 5 年, 包含制作宣传牌、宣传手册、宣传画等
2	饮用水水源保护					150	
(1)	建设 100m 范围卫生防护带	个		5	30	150	建设警示标志, 清理垃圾, 加强巡视和管理
3	水环境保护					328	
(1)	旱厕	座				/	分散安置采用旱厕, 投资纳入移民安置费用
(2)	化粪池+污水处理站(三交镇)+三交镇人工湿地处理试点工程	座			1	328	三交镇集中安置点人口 3117 人, 数量较多, 距离库区较近, 推荐采用化粪池+污水处理站+人工湿地的处理方式进行废水处理。管网及污水处理设施纳入移民安置点规划基础设施建设中, 人工湿地处理系统为试点工程, 单独在环评计列投资, 设施建设费约 300 万, 运行费按吨水 0.5 元计, 处理规模约 300t/d, 试运行期 5 年运行费约 28 万元
(3)	化粪池+一体化污水处理设施	套			29	/	29 个农村集中安置点采用化粪池+埋地式污水处理的方式进行废水处理。纳入移民安置费用
4	固体废弃物处置					648	
(1)	垃圾桶	个				/	
(2)	垃圾收集池	座				/	纳入移民安置费用

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价	数量	投资	说 明
(3)	垃圾清运	次		0.08	8100	648	每个安置区每周 1 次，连续 5 年，共 8100 次
5	声环境保护					60	
(1)	限速、禁鸣标志牌	套	限速、禁鸣标志牌	1	30	30	每个安置区 1 套，约 10 个标志牌
(2)	减速带	套	减速带	1	30	30	每个安置区 1 套
6	人群健康保护					990	
(1)	环境卫生清理			50	11	550	涉及 11 个县
(2)	病媒生物控制			30	11	330	涉及 11 个县
(3)	管理和宣传			10	11	110	涉及 11 个县

表 21.2.3-2 环境监测措施投资估算 单位：万元

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价（万元）	数量	投资	说 明
第二部分 环境监测措施						17294	
一	生态环境监测系统					1838	用于运行期生态环境监测
1	自动监测站	套		350	2	700	山西陕西两省取水口处各安装 1 套共 2 套，每套设备购买和安装费用 300 万元，试运行期 5 年内的运行费用 50 万元。
2	移动监测站					573	
(1)	专用车辆	辆				178	专用车辆购买 148 万，改造费用 30 万
(2)	仪器设备	套				320	包括试验台、便携式检测仪器、快速测定仪器等
(3)	定期维护保养	年		15	5	75	按试运行期 5 年计，每年维护费 15 万
3	生态流量自动监测点建设	套		50	1	50	坝址下游 8km 处设置一套流量、水温自动监测设备
4	野外观测网络建设					300	
(1)	野外固定观测点基础设施	个		2	60	120	包括陆生植被和陆生动物观测点位标识、伪装及供电设施等，共 60 个
(2)	生态观测设备	套				120	包括照相机、摄像机、无人机等，含试运行期 5 年内各种易损配件等
(3)	局地气候监测设备	套		10	6	60	两岸沿库区各设置 3 套，共 6 套
5	壶口瀑布景观观测设备	套		20	2	40	山西、陕西两省各 1 套观测设备，包括照相机、摄像机、移动硬盘等
6	辅助设备					175	
①	采样车	辆		175	1	175	采样车购置费 50 万元，年运行费 25 万元，按运行期 5 年考虑共 125 万
二	施工期监测					7341.3	
1	水质监测					2457	
(1)	废水污染源监测					1933.2	
①	基坑排水	次		0.3	65	19.5	主体施工 65 个月，每月 1 次
②	砼拌合系统、砂石料加工系统回用水池	次		0.5	2535	1267.5	主体施工 65 个月，39 个回用水池，每月 1 次，每个回用水池各设 1 个监测点，共 2535 个点次
③	机修废水回用水池	次		0.5	195	97.5	主体施工 65 个月，3 个机修废水回用水池，每月监测 1 次，共 195 个点次
④	业主营地及施工生活区	次		0.7	231	161.7	对外交通生活区（筹建期 36 个月，每月 1 次，监测 36 次）；业主营地、坝址区污水处理站、西碛口料场生活区（主体施工 65 个月，每月 1 次，监测 65 次）
(2)	地表水质监测	次		1	387	387	施工期 129 个月，每月 1 次；3 个点位
(3)	地下水监测					136.8	
①	水位监测	次		0.1	798	79.8	施工期 114 个月，每月 1 次，7 个点位，共 798 次

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价（万元）	数量	投资	说 明
	② 水位、水质监测	次		0.5	114	57	施工期 114 个月，每月 1 次，1 个点位，共 114 次
2	大气监测					400.5	
(1)	敏感点监测	次		1.5	72	108	中市村（壶口瀑布风景名胜区内）和东庄小学，共 2 个点位，筹建期 36 个月，每月监测 1 次，共 72 个点点次
(2)	施工区监测	次		1.5	195	292.5	3 个点位，主体施工期 65 个月，每月监测 1 次
3	噪声监测					53.4	
(1)	敏感点监测	次		0.2	72	14.4	中市村（壶口瀑布风景名胜区内）和东庄小学，共 2 个点位 2，筹建期 36 个月，每月监测 1 次
(2)	施工区监测	次		0.2	195	39	3 个点位，主体施工期 65 个月，每月监测 1 次
4	小北干流湿地监测					763	
(1)	湿地植被监测	次		24	5	120	在施工期每两年开展一次湿地植被本底调查，调查湿地植被的种类、组成、种群、规模、分布，监测植被生长状况，分析其生态需水规律。在湿地范围内共布设植被调查样线 3 条，共计样点 60 个，每样点根据生物多样性观测技术导则--陆生维管植物设 20 个监测指标，每指标 100 元，河段两侧同时布置，共计 24 万
(2)	湿地鸟类观测	次		72	5	360	施工期间内每两年开展一次开展鸟类观测，调查鸟类物种、种群结构、组成、分布、觅食、育幼范围，调查其生态习性，监测区域内鸟类物种、种群变动，开展生物学调查。在河段主要鸟类栖息范围内布设样线 8 条，冬季、春季、夏季、秋季分别连续监测 1 个月，每月投入高级工程师 3 人，每人每天 1000 元，河段两侧同时布置，共计 72 万
(3)	湿地景观格局监测	次		23	5	115	施工期内每两年开展湿地景观格局监测和调查，以遥感和现场查勘等方式共同确定河段范围内湿地的分类、组成、面积、分布、规模等情况，监测小北干流湿地在现状条件下的变化，评估其空间分布格局变化。每年购买河段高清遥感影像 4 景，每景 4 万元，合计 16 万元。遥感解译费用每景 1 万元，合计 4 万元。同时开展现场查勘，一次 2 名高级工程师，每人每天 1000 元，调查 15 天，合计 3 万元。共计 23 万元
(4)	湿地水文要素监测	次		33.6	5	168	小北干流湿地水资源主要受黄河补给影响，在施工期开展土壤水份含量、降雨、蒸发、黄河漫溢范围等湿地基本水文要素监测，分析其年内年际水文条件变化，结合黄河来水、降雨等外部条件，分析湿地与黄河之间的水力联系，预期其变化趋势。布设地下水井、监测地下水变动每点 2 万元，监测地下水位 12 处。布设湿地水文监测 40 处，每次监测 400 元。投入高级工程师 2 人 40 天。共计 33.6 万

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价（万元）	数量	投资	说 明
5	陆生生态监测					860	
(1)	陆生植物监测	次	植物种类、物种丰富度、群落盖度、地上生物量、植物高度等	38	10	380	每年7月监测1次，连续10年（筹建期3年，施工期监测第1~7年），分布于主体工程施工区、各生产生活区、施工道路区、进场道路及皮带机线路沿线、骨料场区等施工活动区域，及时了解工程施工对陆生植物的影响。 临时占地植被恢复情况在各临时占地结束后连续监测3年，每年7月份监测一次，同陆生植物监测一并进行
(2)	野生动物监测	次	种类、分布、数量、活动规律	12	40	480	每季度监测1次，连续10年（筹建期3年，施工期9.5年监测第1~7年），共30个测站点。筹建期主要为皮带机及进场道路施工区、骨料场施工区，施工期主要为坝址区施工区及骨料场施工区
7	水生生态监测	次				1280	
(1)	水生生物监测	次	浮游植物、浮游动物、底栖动物	4	120	480	15个点位，施工期第1、3、5、7年分别在3-6月和9-10月开展一次，每次不少于10天
(2)	鱼类监测	次	鱼类	10	80	800	10个点位，施工期第1、3、5、7年分别在3-6月和9-10月开展一次，每次不少于10天
8	壶口瀑布景观观测	天	景观观测	0.12	3870	464.4	两岸各布设3个观测点位，施工期10.75年，每天观测1次，共3870天，每侧每天监测费用600元
9	壶口瀑布地质遗迹监测	次	地质遗迹监测	24	20	480	两岸各布设3个观测点位，施工期施工期10.75年，每半年观测1次，每次每点位监测费用4万元，每次共计24万元。
10	局地气候观测	年		10	11	110	施工期运行费用，含数据读取及整理、设备维护等
11	施工期生态环境综合评估	年				473	
(1)	数据分析、评估与评价	年		40	11	440	对施工期生态环境监测成果进行汇总、分析和评估，投入高级工程师5人，平均每月10天
(2)	成果印刷	年		3	11	33	
三	运行期监测					6279	利用本次工程配套建设的生态环境监测系统运行
1	水质监测					2268	
(1)	地表水质监测					2014	
	① 富营养化状况	次		0.4	40	16	8个点位，运行期前5年每年4~6月监测1次，共40次
	② 坝前、坝址~潼关河段以及受水区地表水环境状况	次		1	1980	1980	33个点位，运行期前5年监测，每月1次，共1980次
	③ 坝址下游总溶解气体过饱和度及水质状况	次		1.2	15	18	3个点位，运行期前5年每年调水调沙期监测1次，共15次
(2)	地下水监测					253.5	
	① 库区地下水监测	次		0.5	60	30	4个点位，监测水位、水质，运行期前5年监测，每年3次，共60次

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价（万元）	数量	投资	说 明
	② 坝址区地下水监测	次		0.5	30	15	2 个点位，监测水位、水质，运行期前 5 年监测，每年 3 次，共 30 次
	③ 坝址下游地下水监测	次		0.5	105	52.5	7 个点位，监测水位、水质，运行期前 5 年监测，每年 3 次，共 105 次
	④ 地下水监测井	口		12	13	156	共计 13 个点位，打井费用以及附属设施设备费用
2	水温观测与监测	年		0.05	5376	268.8	库区水温及叠梁门水温减缓效果观测及评估。监测范围为库区、坝址下游至三门峡河段，共 14 个点位，每周监测 1 次，下闸蓄水前至试运行期 5 年，共 8 年
3	小北干流湿地监测					673	
(1)	湿地植被监测	次		24	5	120	运行期开展湿地植被跟踪监测调查，评估工程运行对湿地植被物种变化和时空分布影响，预测湿地植被多样性变化，分析其变化趋势。 在湿地范围内共布设植被调查样线 3 条，样点 60 个，每样点根据生物多样性观测技术导则--陆生维管植物设 20 个监测指标，每指标 100 元，河段两侧同时布置，共计 24 万元
(2)	湿地鸟类观测	次		72	5	360	运行期跟踪监测鸟类各项指标变化，调查鸟类及其生境变化，分析鸟类资源的时空分布变化，预测其变化趋势。 在河段主要鸟类栖息范围内布设样线 8 条，冬季、春季、夏季、秋季分别连续监测一个月，每月投入高级工程师 3 人，每人每天 1000 元，河段两侧同时布置，共计 72 万元
(3)	湿地景观监测	次		23	5	115	运行期同步开展上述指标变化跟踪监测，分析在工程运行期间的不同类型转换，预测其在实际来水条件下的变化趋势。 每年购买河段高清遥感影像 4 景，每景 4 万元，合计 16 万元。遥感解译费用每景 1 万元，合计 4 万元。同时开展现场查勘，一次 2 名高级工程师，每人每天 1000 元，调查 15 天，合计 3 万元。共计 23 万元
(4)	湿地水文要素监测	次		15.6	5	78	运行期继续开展相关要素条件的跟踪监测，分析各湿地水文要素在实际来水条件下变化，评估工程建设对湿地水力影响，预测湿地变化。布设地下水井、监测地下水变动每点 0.5 万元，监测地下水位 12 处。布设湿地水文监测 40 处，每次监测 400 元。投入高级工程师 2 人 40 天。共计 15.6 万
4	陆生生态观测与监测					425	
(1)	野生植物监测	次	植物群落盖度、地上生物量、丰富度等	25	5	125	建成后连续监测 5 年，了解库区周边植被及植物种类变化状况，以确定是否受到盐碱化、沼泽化的影响。在库周各种典型植被区设置样方，每种群落 5 个样方，共 120 个左右

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价（万元）	数量	投资	说 明
(2)	野生动物监测	次	种类、分布、数量、活动规律	15	20	300	运行期监测 5 年，每季度监测一次，要采用样线法，在库区及坝址附近设 20 条左右的样线。具体包括库区周边、坝址区周边）及进场道路沿线等永久影响区
5	水生生态观测与监测					1171	13 个监测断面
(1)	水文要素、浮游植物、浮游动物、底栖动物、水生维管束植物	次		1.5	130	195	试运行期监测 5 年，4 月和 10 月各 1 次
(2)	鱼类种群动态	次		2	130	260	试运行期监测 5 年，每年 3-6 月和 9-10 月各监测 1 次，每次 10 天
(3)	鱼类产卵场	次		8	65	520	试运行期监测 5 年，每年 3-7 月监测 1 次，不少于 60 天
(4)	增殖放流效果监测	次		2	91	182	截流开始到试运行期 5 年共 7 年，每年 10-11 月监测 1 次
(5)	生态流量监测			2	7	14	从截流开始到试运行期 5 年共 7 年
6	壶口瀑布景观监测	天	景观观测	0.12	1825	219	两岸各布设 3 个观测点位，试运行期 5 年，每天观测 1 次，共 1825 天
7	壶口瀑布地质遗迹监测	次	地质遗迹监测	24	10	240	两岸各布设 3 个观测点位，试运行期 5 年，每半年观测 1 次，每次每点位监测费用 4 万元，每次共计 24 万元
8	局地气候观测	年		10	5	50	利用施工期设置的气象条件自动监测设备继续对局地气候进行观测
9	河道边界及水环境要素监测	年		50	15	750	监测范围为库区及下游龙三河段，监测内容为水动力学条件、河道边界条件、水环境容量的变化等，每年监测 3 次，共监测 5 年，每次监测费用 50 万元
10	运行期监测及观测结果综合评估					215	
(1)	数据分析、评估与评价	年		40	5	200	对试运行期前 5 年生态环境监测成果进行汇总、分析和评估，投入高级工程师 5 人，平均每月 10 天
(2)	成果印刷	年		3	5	15	
四	移民安置区环境监测					1835	
1	施工期环境空气监测	次		2	360	720	连续监测 3 年，每季度 1 期，30 个安置点，共 360 次
2	生活饮用水监测	次	饮用水	1	600	600	建成后每个安置点连续监测 5 年，每季度 1 次，共 600 次
3	生活污水监测	次	污水处理排放口	0.8	300	240	建成后各安置点连续监测 5 年，每年 2 次
4	生态恢复措施调查	次		55	5	275	建成后以县为单位，连续调查 5 年，每年 1 次；主要调查植被恢复状况、水土流失状况、垃圾处理及处置情况

表 21.2.3-3 仪器设备及安装费用投资估算 单位：万元

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价	数量	投资	说 明
第三部分	环境保护仪器设备及安装					11355	
一	皮带机线路区					2087.5	
1	生活污水					835	
(1)	对外交通生活区一体化污水处理设施	套	260t/d	220	1	220	共 6 个生活区，设置在对外交通生活区，其余 5 个运来处理
(2)	其余 5 个生活区玻璃钢化粪池	套	25t/d	20	5	100	皮带机线路 5 个生活区各 1 套
(3)	皮带机线路区吸粪车	辆	10t	25	1	25	集中运送生活污水
(4)	皮带机线路区环保厕所	套	4 蹲位	10	42	420	对外交通生活区 7 套，远离生活区的工作面（渣场、隧洞出入口）10 套；其余 5 个生活区各 3 套，共 15 套，沿线远离生活区的工作面（渣场、隧洞出入口）共 10 套，共计 42 套。
(5)	食堂污水油水分离器	套		10	6	60	对外交通生活区及皮带机线路 5 个生活区，每个生活区设置 1 套，共 6 套
(6)	临时储水设施	套		1	10	10	对外交通生活区设置 10 个容积为 20t 的塑料储水罐进行临时收集储存。
2	生产废水					480	
(1)	皮带机线路区中和沉淀池	套	5t/d	15	32	480	进场道路和皮带机沿线共 32 套混凝土拌合系统
3	大气污染					772.5	
(1)	隧洞开挖爆破区高压喷雾装置（固定式）	套		5	52	260	筹建期，隧洞出入口开挖爆破作业面以及桥梁作业面共 20 套、混凝土拌和机 32 套，共计 52 套
(2)	隧洞开挖爆破区高压喷雾装置（移动式）	套	10t	35	10	350	筹建期，隧洞开挖爆破
(3)	混凝土拌合楼袋式收尘器	套		5	32	160	筹建期，32 个混凝土拌合机各 1 套，按照过滤面积和处理风量等要求选取
(4)	在线监测及视频监控设备	套		2.5	1	2.5	筹建期，在隧洞出入口和桥梁集中区域安装 1 套在线监测和视频监控设备
二	坝址区					8067.5	
1	生活污水					3745	
(1)	业主营地一体化污水处理设施	套	15t/d	30	1	30	业主营地
(2)	4 号生活区污水处理站	座	1200t/d	1870	1	1870	污水处理站设置在坝址区 4 号生活区，导流等前期工程生活区、坝址区 1 号~3 号生活区生活污水集中运送至 4 号生活区
(3)	导流区生活区玻璃钢化粪池	套	240t/d	130	4	520	导流区生活区
(4)	1 号生活区玻璃钢化粪池	套	80t/d	40	1	40	坝址区 1 号生活区
(5)	2 号生活区玻璃钢化粪池	套	200t/d	100	1	100	坝址区 2 号生活区
(6)	3 号生活区玻璃钢化粪池	套	240t/d	120	1	120	坝址区 3 号生活区

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价	数量	投资	说 明
(7)	坝址区吸粪车	辆	10t	25	1	25	集中运送生活污水
(8)	坝址区环保厕所	套	4 蹲位	10	88	880	业主营地 2 套, 导流等前期工程生活区 15 套、坝址区 1#~4#生活区分别为 5 套、12 套、15 套、25 套; 远离生活区的工作面如 1#~3#渣场各 1 套、混凝土拌和系统 5 套、砂石料加工系统 1 套、综合加工厂 1 套、机械修配厂 2 套、导流洞出入口 2 套; 共计 88 套
(9)	食堂污水油水分离器	套		20	6	120	1 个业主营地、5 个生活区, 每个生活区设置 1 套
(10)	临时储水设施	套		2	20	40	设置 20 个容积为 50t 的塑料储水罐进行临时收集储存
2	生产废水					3515	
(1)	导流工程混凝土拌合系统中和沉淀池	套	20t/d	30	1	30	导流等前期工程混凝土拌合系统
(2)	主体工程混凝土拌合系统絮凝沉淀池	套	50t/d	60	4	240	主体工程混凝土拌合系统
(3)	导流工程机修废水油水分离器	套	30t/d	40	1	40	导流等前期工程机械修配系统
(4)	主体工程机修废水油水分离器	套	100t/d	100	1	100	主体工程机械修配系统
(5)	砂石料加工系统 DH 高效净化器	套	3700t/d	450	6	2700	砂石料加工系统
(6)	基坑废水絮凝沉淀池及排水泵	套	1260t/h	15	27	405	基坑废水初期排水设需排水泵等配套设施 17 台, 经常性排水需排水泵等配套设施 10 台, 共需 27 台
3	大气污染					807.5	
(1)	坝址区高压喷雾装置 (固定)	套		10	23	230	导流工程出入口作业面各 1 套, 混凝土拌合楼 1 套; 坝址区左右岸坝肩开挖各 3 套, 混凝土拌合楼 12 套, 砂石料加工系统 2 套, 共计 23 套
(2)	坝址区高压喷雾装置 (移动)	套	10t	50	10	500	导流工程 2 辆; 坝址左右岸各 4 辆, 共 10 辆
(3)	坝址区混凝土拌合楼袋式收尘器	套		5	13	65	准备期导流工程混凝土拌合楼 1 套, 主体工程施工期混凝土拌合楼 12 套
(4)	在线监测及视频监控设备	套		2.5	3	7.5	施工期, 在左右坝肩集中开挖区域、混凝土拌和楼、砂石料加工系统安装 3 套在线监测和视频监控设备
(5)	智慧工地管理系统	套		5	1	5	在业主营地安装 1 套智慧工地管理系统
三	料场区					1200	
1	生活废水					400	
(1)	料场生活区一体化污水处理设施	套	200t/d	200	1	200	西硐口料场生活区
(2)	料场区环保厕所	套	4 蹲位	10	18	180	西硐口料场生活区 10 套, 远离生活区的工作面如渣场 1 套、砂石料加工系统 2 套、料场开挖面 5 套, 共 18 套
(3)	料场生活区食堂污水油水分离器	套		10	1	10	西硐口料场生活区设置 1 套
(4)	临时储水设施	套		1	10	10	料场生活区设置 10 个容积为 20t 的塑料储水罐进行临时收集储存
2	生产废水					595	
(1)	料场区机修废水油水分离器	套	75t/d	75	1	75	机械修配系统
(2)	料场区砂石料加工系统辐流沉淀池	套	200t/d	260	2	520	砂石料加工系统
3	大气污染					205	

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价	数量	投资	说 明
(1)	料场开采区高压喷雾装置（固定）	套		10	4	40	施工期，料场开采作业面 3 套，砂石料加工系统 1 套，共计 4 套
(2)	高压喷雾装置（移动）	套		40	4	160	施工期，料场开采，爆破作业
(3)	在线监测及视频监控设备	套		2.5	2	5	施工期，在料场集中开挖区域、砂石料加工系统安装 2 套在线监测和视频监控设备

表 21.2.3-4 施工期临时措施投资估算 单位：万元

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价	数量	投资	说 明
第四部分	环境保护临时措施					22478	
一	废污水处理运行					10288	
1	砂石料加工系统废水处理及回用	t		0.0003	19428000	5828	坝址区准备期和料场区施工期总水量
2	混凝土拌和系统冲洗废水处理及回用	t		0.0003	579600	174	皮带机线路区筹建期、坝址区准备期和坝址区施工期混凝土拌合系统废水总量
3	机修保养含油废水处理	t		0.0007	229950	161	坝址区准备期和施工期、料场区施工期机修废水总量
4	基坑废水处理及回用	t		0.00003	95403600	2862	坝址区施工期基坑废水总量，基坑开挖共 14 个月
5	施工生活区生活污水处理	t		0.0003	1708050	512	皮带机线路区筹建期、坝址区准备期和施工期、料场区施工期总水量
6	吸粪车清运费	月·辆		5	150	750	皮带机线路区 1 辆，筹建期 36 个月；坝址区 1 辆，施工期 114 个月；每月每辆吸粪车收集、运送等费用 2 万元， $36*1+114*1=150$
二	噪声防治					100	
1	皮带机线路区					96	
(1)	限速、禁鸣标志牌	个	按照相关规范要求	0.2	14	3	筹建期，各施工区、施工道路沿线设置
(2)	减速带	套	6m 长	0.2	14	3	筹建期，各施工区、施工道路沿线设置
(3)	隔声屏障					90	筹建期
	①东庄小学	m	3m 高	0.2	100	20	施工区边界设置
	②侯家原村	m	3m 高	0.2	100	20	施工区边界设置
	③中市村	m	3m 高	0.2	150	30	施工区边界设置
	④南原村	m	3m 高	0.2	100	20	施工区边界设置
2	坝址区					4	
(1)	限速、禁鸣标志牌	个	按照相关规范要求	0.2	2	0.4	准备期，导流等前期工程生活区、施工道路沿线设置
(2)	前期工程区减速带	套	6m 长	0.2	2	0.4	准备期，导流等前期工程生活区、施工道路沿线设置
(3)	限速、禁鸣标志牌	个	按照相关规范要求	0.2	7	1.4	施工期，施工道路沿线设置
(4)	施工道路减速带	套	6m 长	0.2	7	1.4	施工期，施工道路沿线设置
3	料场区					1	
(1)	限速、禁鸣标志牌	个	按照相关规范要求	0.2	2	0.4	施工期，施工道路沿线设置
(2)	减速带	套	6m 长	0.2	2	0.4	施工期，施工道路沿线设置
三	固废处理					1742	

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价	数量	投资	说 明
1	皮带机线路区					119	
(1)	垃圾桶	个	240L	0.05	100	5	筹建期, 各生活区设置
(2)	垃圾中转站	座	20m ³	10	2	20	筹建期
(3)	垃圾中转运租用费	次	10m ³	0.3	312	94	筹建期 36 个月, 每周清运 1 次, 每次 3000 元, 2 辆车共 312 次
2	坝址区					549	
(1)	垃圾桶	个	240L	0.05	200	10	准备期, 导流等前期工程生活区 50 个; 主体工程施工期, 大坝区 150 个
(2)	垃圾中转站	座	20m ³	15	4	60	准备期, 导流等前期工程生活区 1 个; 主体工程施工期, 大坝区 3 个
(3)	垃圾中转运租用费	次	10m ³	0.3	1596	479	准备期 28 个月, 施工期 65 个月, 每周清运 1 次, 每次 3000 元, 4 辆车共 1596 次
3	料场区					56	
(1)	垃圾桶	个	240L	0.05	50	3	施工期, 各生活区
(2)	垃圾中转站	座	20m ³	12	1	12	施工期
(3)	垃圾中转运租用费	次	10m ³	0.15	279	42	施工期 65 个月, 每周清运 1 次, 每次 3000 元, 共 279 次
4	垃圾清运及处理	月·辆		2	509	1018	筹建期 36 个月, 准备期 28 个月, 施工期 65 个月; 每月每辆垃圾车收集、运送、填埋等费用 2 万元, 36*2+(28+65)*4+65*1=509
四	大气污染防治					8648	
1	皮带机线路区					2682	
(1)	洒水车洒水费用	月·辆		3	360	1080	皮带机线路区 10 辆, 筹建期 36 个月, 每月每辆洒水车人员、水费、油费等费用 3 万元, 36*10=360
(2)	高压喷雾装置(固定)运行费用	月		0.5	144	72	筹建期 36 个月, 4 台, 每台每月运行费 5000 元
(3)	高压喷雾装置(移动)运行费用	月·辆		2	360	720	皮带机线路区 10 辆, 筹建期 36 个月, 每月每辆洒水车人员、水费、油费等费用 2 万元, 36*10=360
(4)	洒水车租用费	天	10t	0.15	5400	810	筹建期 36 个月, 每天租金 1500 元, 5 辆车共 5400 天。
2	坝址区					3951	
(1)	洒水车洒水费用	月·辆		3	158	474	导流工程 1 辆, 准备期 28 个月; 坝址左右岸各 1 辆, 施工期 65 个月; 每月每辆洒水车人员、水费、油费等费用 3 万元, 28*1+65*2=158
(2)	高压喷雾装置(固定)运行费用	月		0.5	2139	1070	准备期 28 个月, 施工期 65 个月, 23 台, 每台每月运行费 5000 元

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价	数量	投资	说 明
(3)	高压喷雾装置（移动）运行费用	月·辆		2	576	1152	导流工程 2 辆，准备期 28 个月；坝址左右岸各 4 辆，施工期 65 个月；每月每辆移动喷雾车人员、水费、油费等费用 2 万元， $28*2+65*8=576$
(4)	洒水车租用费	天	10t	0.15	8370	1256	准备期 28 个月，施工期 65 个月，每天租金 1500 元，3 辆车共 8370 天
3	料场区					2015	
(1)	洒水车洒水费用	月·辆		3	260	780	料场区 4 辆，主体工程施工期 65 个月，每月每辆洒水车人员、水费、油费等费用 3 万元， $65*4=260$
(2)	高压喷雾装置（固定）运行费用			0.5	260	130	施工期 65 个月，4 台，每台每月运行费 5000 元
(3)	高压喷雾装置（移动）运行费用	月·辆		2	260	520	料场区 4 辆，主体工程施工期 65 个月，每月每辆移动喷雾车人员、水费、油费等费用 2 万元， $65*4=260$
(4)	洒水车租用费	天	10t	0.15	3900	585	施工期 65 个月，每天租金 1500 元，2 辆车共 3900 天
五	生态环境保护设施					190	
1	设置动物、植物保护警示牌	个	不锈钢金框架及铝合金版面,框架根基埋入地下,固定安装,	0.3	100	30	安装在野外施工区周边，共 100 个，其中植物警示牌 50 个，坝址施工区 20 个，坝址下游进场道路区及皮带机沿线 20 个，骨料场区 10 个；动物警示牌 50 个，坝址施工区 15 个，坝址下游进场道路及皮带机沿线 25 个，骨料场区 10 个；其中包括 15 个重点保护动物警示牌，5 个位于坝址施工区施工道路附近，10 个位于皮带机及进场道路沿线。临时警示牌以永久标准进行固定安装。警示牌制作及内容设计费每个 4500 元，运输、固定安装、人员劳务费每个 500 元
2	动植物保护宣传栏设置	个	不锈钢框架,玻璃宣传窗,纸质海报	0.5	20	10	设置在业主营地和施工生活区，共设置陆生动植物保护宣传栏 20 个。海报内容突出重点保护动植物保护，并定期更新。每个宣传栏及对应海报以及管理更新人员费用总计 5000 元
3	生境保护	m ²	1.5m 高网格状隔离铁丝网	0.02	7500	150	主要布置于施工区周边，施工道路两侧，重点区域为进场道路沿线桥梁及隧洞口两侧，材料及安装费每平方 300 元，依据施工布置测量。共约 7500m ²
六	人群健康保护					1021	
1	灭蚊蝇和灭鼠			20	10.75	215	每年平均 20 万元，施工期共计 10.75 年
2	施工区清理和消毒			25	10.75	269	每年平均 25 万元
3	人员建档和疫情普查			20	10.75	215	每年平均 20 万元
4	健康宣传及卫生检查			30	10.75	323	每年平均 30 万元
七	移民安置区环保措施					489	
1	生态环境保护		水保措施			/	纳入工程水保费用

序号	工程及费用名称	单位	规格或内容	单价	数量	投资	说 明
2	污水处理					210	
(1)	施工期生产污水处理	座		7	30	210	共 30 个安置点，每个安置点设置 2 座沉淀池，建设费约 2 万元，交替使用，施工期 12 个月，每月每个安置点运行费 0.5 万元
3	噪声防治					45	
(1)	限速、禁鸣标志牌	组		1.5	30	45	每个安置点 2 万
4	生活垃圾处置	次		0.03	7800	234	生活垃圾定期清运，施工期 65 个月，每个安置点每周清运一次

表 21.2.3-5 独立费用估算 单位：万元

序号	工程及费用名称	投资	说 明
第五部分 环境保护独立费用		43457	
一	环境保护建设管理费	3590	
1	管理人员经常费	1480	按前四项总投资的 3%
2	环境保护竣工验收收费	1220	包括各阶段环境保护竣工验收,编制环境保护竣工验收调查报告及相关专题。类比近年已开展的黄河下游近期防洪工程、三峡水库地下电站等工程竣工验收收费情况,核定本工程环境保护竣工验收费用
3	宣传教育及技术培训费	890	按前四项总投资的 2%
二	环境监理费	990	
1	工程环境监理	990	监理人员 5 人,每人 15 万元/年,共监理 10.75 年;办公、交通等费用考虑每年 50 万元
三	科研勘测设计咨询费	37067	
1	古贤水利枢纽环境影响报告	10133	根据水利部水规总院可研任务书审查意见(水总计[2017]377 号)核定后的投资,结合环评实际工作及变化,计列经费。
(1)	环境影响总报告	6273	根据水利部水规总院可研任务书审查意见(水总计[2017]377 号)核定后的投资,结合环评实际工作及变化,计列经费
(2)	重点环境专题研究	3860	根据水利部水规总院可研任务书审查意见(水总计[2017]377 号)核定后的投资,结合环评实际工作及变化,计列经费
	① 黄河水沙调控及治理开发回顾性评价	255	根据水利部水规总院审查通过的古贤水利枢纽工程可研任务书,在环评阶段开展黄河已有水沙调控体系的回顾性评价工作
	② 战略环境影响专题	192	根据水利部水规总院审查通过的古贤水利枢纽工程可研任务书,在环评阶段开展战略环境影响专题工作
	③ 水文泥沙情势影响专题	324	根据水利部水规总院审查通过的古贤水利枢纽工程可研任务书,在环评阶段开展水文泥沙情势影响专题工作
	④ 小北干流湿地环境影响专题	383	根据水利部水规总院审查通过的古贤水利枢纽工程可研任务书,在环评阶段开展小北干流湿地环境影响专题工作
	⑤ 陆生生态影响专题	362	根据水利部水规总院审查通过的古贤水利枢纽工程可研任务书,在环评阶段开展陆生生态影响专题工作
	⑥ 水生生态影响专题	428	根据水利部水规总院审查通过的古贤水利枢纽工程可研任务书,在环评阶段开展水生生态影响专题工作
	⑦ 水温影响专题	296	根据水利部水规总院审查通过的古贤水利枢纽工程可研任务书,在环评阶段开展水温影响专题工作
	⑧ 地表水环境影响专题	468	根据水利部水规总院审查通过的古贤水利枢纽工程可研任务书,在环评阶段开展地表水环境影响专题工作
	⑨ 地下水环境影响专题	266	根据水利部水规总院审查通过的古贤水利枢纽工程可研任务书,在环评阶段开展地下水环境影响专题工作
	⑩ 施工期影响专题	416	根据水利部水规总院审查通过的古贤水利枢纽工程可研任务书,在环评阶段开展施工期影响专题工作
	⑪ 移民安置影响专题	270	根据水利部水规总院审查通过的古贤水利枢纽工程可研任务书,在环评阶段开展移民安置影响专题工作
	⑫ 公众参与说明	200	根据生态环境部发布的《环境影响评价公众参与办法》,开展公众参与说明工作
2	重大环境支撑专题研究	4737	根据水利部水规总院可研任务书审查意见(水总计[2017]377 号)核定后的投资,结合专题实际工作及变化,计列经费,核定投资为 5695 万元
(1)	古贤水利枢纽工程对壶口瀑布景观影响论证	1384	根据水利部水规总院可研任务书审查意见(水总计[2017]377 号)核定后的投资,结合专题实际工作及变化,计列经费,核定投资为 1696 万元
(2)	古贤水利枢纽工程对黄河蛇曲地质公园影响论证	927	根据水利部水规总院可研任务书审查意见(水总计[2017]377 号)核定后的投资,结合专题实际工作及变化,计列经费,核定投资为 1573 万元

序号	工程及费用名称	投资	说 明
(3)	古贤水利枢纽淹没的生态红线协调研究及对生态红线结构和功能影响评估专题	1094	根据水利部水规总院可研任务书审查意见（水总计[2017]377号）核定后的投资计划经费，核定投资为 1094 万元
(4)	古贤水利枢纽对下游与河口生态功能影响及重要栖息地保护对策研究专题	1332	根据水利部水规总院可研任务书审查意见（水总计[2017]377号）核定后的投资计划经费，核定投资为 1332 万元
3	可研阶段新增专项报告	1390	
(1)	陕西省清涧无定河曲流群地质公园影响专项报告	560	在可研开展过程中，2017 年 4 月该地质公园规划获批，根据主管部门要求，在可研阶段新增开展陕西省清涧无定河曲流群地质公园影响专题报告工作
(2)	黄河乾坤湾风景名胜区影响专项报告	480	在可研开展过程中，2017 年 6 月该风景名胜区规划获批，根据主管部门要求，在可研阶段新增开展工程对乾坤湾风景名胜区影响专题报告工作
(3)	黄河壶口瀑布风景名胜区（山西侧）选址论证报告	350	2017-2018 年，该风景名胜区规划重新修编，根据主管部门要求，开展黄河壶口瀑布风景名胜区（山西侧）选址论证报告工作，该经费纳入环保投资
4	可研阶段新增专题报告	4500	根据专家咨询情况，新增研究专题
5	环保勘测设计费	6967	开展环境保护初步及施工图设计，按前四项总投资的 8% 计列
6	科学研究实验费	7880	
(1)	基于景观生态多目标保护要求的水库调度优化方案研究	760	古贤水利枢纽工程下游主要分布有壶口瀑布、山西、陕西黄河湿地自然保护区、多个鱼类产卵场等，工程不同的调度运行方案对敏感保护目标的影响范围、影响程度不同。目前国家对生态环境保护的要求越来越高，根据生态文明建设的有关要求，古贤水利枢纽运行应在考虑实现工程防洪减淤作用的同时，满足壶口瀑布、山西、陕西黄河湿地自然保护区、多个鱼类产卵场对水温、流量、水质、流速、河宽、漫滩洪水频次的要求，实现防洪减淤和生态保护等多目标的保护。考虑到古贤水利枢纽工程规模大，运行方式复杂，须开展专门的基于景观生态多目标保护要求的调度优化方案研究工作，为古贤水利枢纽优化调度方案提供技术支撑。 主要研究瀑布景观、鱼类保护和龙门-三门峡河段水环境改善、湿地自然保护区的保护等对水库调度的要求，提出多目标保护的工程优化调度方案
(2)	黄河壶口瀑布景观变化跟踪评估及保护措施研究	980	对壶口瀑布景观进行跟踪监测，研究古贤水利枢纽建成后，拦沙初期、拦沙后期、正常运行期壶口瀑布形态、规模、颜色实际变化，综合评估古贤水利枢纽工程对壶口瀑布景观的实际影响，提出对应的补救措施
(3)	黄河大北干流及小北干流河段鱼类生境保护效果及对策研究	870	开展黄河大北干流及小北干流河段鱼类生境保护效果及对策研究，包括鱼类种类、种群、生境调查监测，提出生境保护措施有效性监测评价等；鱼类增殖放流关键技术研究，包括省级保护物种翘嘴鲇、补偿性物种黄河鲇等鱼类生物学、驯养繁育技术，增殖放流效果与监测，增殖放流方案优化调整等；分层取水措施效果研究，包括坝下鱼类水温、鱼类产卵孵化的监测，沿程水温变化对鱼类产卵影响等；小北干流河段动床变化对鱼类的影响，包括工程对坝址下游河段动床变化的影响，及因此对湿地及鱼类的影响等

序号	工程及费用名称	投资	说 明
(4)	古贤水利枢纽工程对黄河中下游湿地影响评估及措施有效性研究	890	古贤工程下游的小北干流湿地和黄河下游湿地是黄河干流面积最大、连续最长、生物多样性最多的水生态系统载体，分布有多家国家级省级自然保护区，是重要鸟类、鱼类和植被的栖息地，生态意义重大。但目前关于上述湿地及保护地内的生物学调查不系统、研究深度不够。同时古贤工程的建设目的为与小浪底连续运用，增加小浪底使用年限，保证渭河及中下游防洪安全，对湿地内黄河河槽刷深较大，从而间接对小北干流湿地和黄河下游湿地产生不利影响。古贤水利枢纽工程对黄河中下游湿地影响评估及措施有效性研究不仅要对其下游的小北干流湿地和黄河下游开展湿地生态系统综合调查和研究，同时也要在跟踪调查基础上开展预测分析，并提出针对古贤工程调度运行的反馈意见。主要研究古贤水利枢纽截流后至运行前 5 年，对山西、陕西黄河湿地自然保护区的影响，古贤、小浪底联合运行，对小北干流、下游河段湿地保护区的影响以及对河口生态系统功能的影响等
(5)	古贤水利枢纽库区及坝下水环境保护对策研究	750	古贤水利枢纽库区以及坝址下游-三门峡河段分布有较大支流 8 条，这些支流流过了陕西、山西的多个城镇，除个别支流外，绝大部分支流水质污染严重，均为 V 类和劣 V 类。古贤水利枢纽建成后，支流污染将对古贤库区、坝址-三门峡河段的水环境保护造成较大的压力。未来古贤水利枢纽库区具有生活、工业供水功能，水环境的保护十分重要。因此，须开展古贤水利枢纽库区及坝下水环境保护对策研究工作，分析区域污染源的变化及对水环境的影响，库区富营养化情况、坝下水环境及纳污能力变化等，提出相应的保护方案和措施等，为区域水环境保护提供支撑
(6)	黄河干流已建骨干工程对黄河下游及河口生态系统影响评估	880	习主席在黄河流域生态保护与高质量发展座谈会上，强调“黄河生态系统是一个有机整体，要充分考虑上中下游的差异。下游的黄河三角洲是我国暖温带最完整的湿地生态系统，要做好保护工作，促进河流生态系统健康，提高生物多样性”。古贤水利枢纽工程建成后，将于小浪底水利枢纽工程联合调度运行，对黄河下游、河口地区水文情势、河道淤积、河床演变、入海水量等产生一定影响，进而对黄河下游、河口生态系统产生深远的影响。因此，须开展黄河干流已建骨干工程对黄河下游及河口生态系统影响评估工作，研究古贤工程与小浪底工程联合运行后，黄河下游尤其是河口区域水文情势、河道淤积、河床演变情况，分析重要断面及河口生态需水量及过程的满足程度，研究工程对下游及河口地区水生生态、湿地、鸟类及生物多样性的影响等
(7)	黄河壶口冰瀑变化及保护方案研究	970	主要研究古贤水利枢纽运行后至拦沙初期，壶口河段水温的变化，分析工程建成后对壶口冰瀑形成、规模等的影响，提出相应的保护方案
(8)	古贤水利枢纽库区局地气候及生态环境演变研究	780	古贤水利枢纽建成后，库区形成 200km ² 的水面，将改变局地气候，进而对局部区域生态环境产生一定影响。因此需开展古贤水利枢纽库区局地气候及生态环境演变研究工作。主要研究古贤水利枢纽运行后，库区周边局地气候的变化情况，以及由此产生的区域生态环境的演变以及植被、动植物等的变化等，提出相应的保护方案和措施等
(9)	古贤水利枢纽库区消落带生态修复研究	810	古贤水利枢纽建成后，随着水库水位频繁涨落，会产生一定范围的消落带，将对此景观产生一定的影响，消落带内的植被稀疏，岩石外露，景观单一，一定程度上影响景观欣赏。为尽量减少工程运行对生态景观的影响，需提出消落带修复的研究课题，把消落带治理作为工程生态保护的重要工作，通过实施自然修复与人工治理，对消落带进行植被修复，提升景观价值
(10)	多泥沙河流建库后水体富营养发生趋势及防治策略研究	1000	根据多泥沙河流富营养化发生机理，开展古贤水库富营养化及水华模拟及预警技术研究，构建多泥沙河流水库水华爆发调控技术体系，为改善库区水质提供参考和依据。需开展多泥沙河流富营养化发生机理研究，综合运用监测评估与数值模拟方法，构建古贤水库富营养化及水华模拟及预警技术，并针对古贤水库富营养化风险提出防治策略
7	黄河古贤水利枢纽工程环境影响后评价	2460	工程建成 3~5 年后，根据生态环境部要求，应适时开展工程后评价工作，重点调查和研究工程建设运行对区域及黄河流域水环境、陆生生态、水生生态、小北干流及下游湿地、黄河河口生态系统等的影响

表 21.2.3-6 环境保护投资估算汇总表

工程及费用名称	投资
第一部分 环境保护措施	29385
第二部分 环境监测措施	17294
第三部分 环境保护仪器设备及安装	11355
第四部分 环境保护临时措施	22478
第五部分 环境保护独立费用	43457
第六部分 基本预备费	9917
第七部分 其他（补沙措施）	59319
环境保护静态总投资	193205

第二十二章 评价结论

22.1 工程概况

古贤水利枢纽工程位于黄河中游北干流吴堡至禹门口河段，上距万家寨水利枢纽 550km，下距三门峡水利枢纽 317km，左岸为山西省吉县，右岸为陕西省宜川县。水库正常蓄水位 627m，总库容 130.59 亿 m^3 。其中防洪库容 12 亿 m^3 ，调水调沙库容 20 亿 m^3 ，拦沙库容 93.42 亿 m^3 。电站总装机容量 2100MW，多年平均年发电量 57.84 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。枢纽的开发任务为：以防洪减淤、调水调沙为主，兼顾供水灌溉和发电等综合利用。

古贤水利枢纽是国务院批复的《黄河近期重点治理开发规划》《黄河流域防洪规划》《黄河流域综合规划（2012-2030 年）》中的黄河干流七大控制性骨干工程之一，2014 年被国务院列入重点推进的 172 项节水供水重大水利工程，2020 年被国务院列为今年及后续加快推进的 150 项重大水利工程项目之一。古贤工程是实现黄河流域生态保护和高质量发展国家战略的重要举措，2022 年 3 月 29 日召开的国务院常务会议中，将古贤工程列入今年加快推进前期工作的 55 项重大水利项目清单；4 月 26 日习近平总书记主持召开中央财经委员会第十一次会议，要求加快推进古贤等项目前期工作，争取尽快开工建设。

古贤工程建成后将产生巨大的社会、经济、环境和生态效益，对实现黄河流域生态保护和高质量发展国家战略具有重要意义。一是可以改善进入黄河中下游的水沙关系，减缓黄河中下游河道淤积、维持中水河槽过流能力，对确保黄河下游堤防不决口、河床不抬高、保障黄河下游长治久安、降低潼关高程等具有十分重要的作用；二是与小浪底水库联合调度，显著增强流域水资源调控能力，确保黄河不断流，提高黄河中下游及河口生态水量满足程度，促进黄河三角洲生态系统保护，并进一步改善中游潼关-三门峡河段枯水期水环境质量；三是保障黄淮海地区生态安全，同时水库蓄水形成一条 200km 长的绿水青山带，形成局部小气候，改善沿黄两岸生态环境；四是可实现晋陕两省供水区坝上自流取水，大幅降低取水成本、改善沿岸地区因缺水带来的经济发展落后问题，有效推进黄河流域高质量发展；五是可为黄河“几”字弯大型清洁能源基地提供调峰电

源，助力“碳达峰”“碳中和”目标实现。

22.2 工程分析结论

22.2.1 工程与国家有关政策及相关规划符合性

工程的建设符合国家产业政策、《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》《黄河流域综合规划（2012-2030 年）》《黄河流域防洪规划》《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》《黄河流域生态保护和高质量发展水安全保障规划》《黄河流域生态环境保护规划》等相关规划，工程是落实黄河流域生态保护和高质量发展要求的重要举措，是完善黄河水沙调控体系、保障黄河长治久安的重要途径，也是国家水网战略中的一个重要“结”，对加快构建抵御自然灾害防线、全方位贯彻“四水四定”原则、大力推动区域生态环境保护治理具有积极支撑作用。

工程建设符合《中华人民共和国湿地保护法》《中华人民共和国黄河保护法》《风景名胜区条例》等有关法律法规的要求，与《全国主体功能区规划》《全国生态功能区划（修编版）》《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划》以及晋陕两省主体功能区规划、生态功能区划、国民经济发展规划规划相一致，与环境保护相关规划基本协调。

22.2.2 工程方案环境合理性

工程开展了多年的前期论证工作，工程方案已多次进行调整。为保留壶口瀑布景观，将原规划位于壶口瀑布下游 35km 的龙门坝址移至壶口瀑布上游 3.9km 的壶口坝址；为避免对壶口景观整体风貌影响，进一步将壶口坝址移至壶口瀑布上游 10.1km 处的古贤坝址，最大程度减缓了对壶口瀑布景观的影响。可研阶段提出了同乐坡和古贤坝址方案，古贤坝址淹没影响人口、工程扰动、水土流失影响及对蛇曲地质公园影响程度均较小，两坝址方案对壶口瀑布影响程度相近，两坝址方案环境影响没有明显差别，古贤坝址综合效益更大，工程投资较省，环评认为主体设计推荐的古贤坝址方案环境基本合理。

工程规模论证过程中，主要提出正常蓄水位 645m、633m、627m（主设推荐方案）、611.5m 四种方案，四方案运行调度方式基本相同，工程运行对坝下水文泥沙情势、水环境、水生生态、湿地影响差别不大，主要环境影响差异为水库淹没变化所引起的地质公园淹没情况和移民安置、工程占地的变化。水位越高，产生的淹没影响越大。其中地

质公园核心景观沿黄河及无定河干流两岸分布，四种方案水库蓄水造成的水位抬升均导致核心地质遗迹被淹没；正常蓄水位 645m、633m 对吴堡县城有不同程度淹没影响；正常蓄水位 611.5m 拦沙量仅有 79.5 亿 t，防洪减淤效益明显较差。环评权衡枢纽主要任务目标实现情况和淹没影响，认为设计推荐的正常蓄水位 627m 方案基本合理。

古贤水库仅在水库库容规模设置时考虑供水能力，在坝上两岸分别预留引水口，但不建设引水口以后的供水干线及供水区配套工程。古贤水库供水区在水资源配置过程中，强化水资源管理的刚性约束，对用水总量和用水效率进行双控管理。用水总量同时符合黄河流域“87 分水方案”以及陕西省和山西省用水总量红线管理要求，南水北调西线工程生效前，水库最大供水量 23.46 亿 m³，包括替代现状灌溉、工业、生活用水 22.51 亿 m³，及指标内新增工业、生活用水 0.95 亿 m³。古贤建成后，将视两省配套工程建设情况及“87 分水方案”分水指标的剩余情况，确定供水量。可研按照“四水四定”原则，确定供水区 2035 年各行业节水目标，灌溉水有效利用系数、城镇供水管网漏损率、工业万元增加值用水量、工业用水重复利用率等用水效率指标较现状年均有提高，符合《黄河流域综合规划（2012-2030 年）》《黄河流域生态保护和高质量发展水安全保障规划》《全国水资源综合规划》等规划的控制指标。工程供水规模设置基本合理。

22.2.3 工程施工布置环境合理性

可研阶段对工程施工布置进行了多次优化调整，将原涉及山西管头山省级自然保护区、壶口瀑布风景名胜区一级区的施工进场道路和皮带机骨料输送线路调整为完全绕避自然保护区和风景名胜区一级区，且主要采用隧洞形式穿越黄河壶口瀑布风景名胜区（山西侧）10.957km、11.042km，弃渣场、施工生活区全部调出山西侧景区范围，该线路已纳入《黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）总体规划（2018-2035）》，涉及景区二、三级保护区。将原位于黄河壶口瀑布风景名胜区（陕西侧）的 8#、601#道路，4#施工生活区，3#、4#渣场，炸药库，以及右岸底线、高线砗系统全部调出景区范围，涉及景区的黄河大桥、2#、6#道路已纳入《黄河壶口瀑布风景名胜区（陕西）总体规划（2017-2035）》，涉及景区三级保护区 3.536km。

优化后的施工布置不涉及自然保护区和风景名胜区的一级保护区，景区的二、三级保护区内无渣场、施工生活区布置。

22.3 环境影响预测与保护措施

22.3.1 水文泥沙情势

22.3.1.1 水文情势

1. 库区

古贤水库运行后，在拦沙初期（第 1~7 年），库区水位在 560.0m~588.0m 之间变化；拦沙后期（第 8~20 年），库区水位在 560.0m~607.4m 之间变化，拦沙后期（第 21~38 年）水库水位在 588.0m~620.9m 之间变化；进入正常运用期（第 39 年后），库区水位在 588.0m~627.0m 之间变化。拦沙初期水库最大回水长度约为 174.5km，拦沙后期及正常运用期水库最大回水长度约为 202.1km。正常运用期，正常蓄水位 627.0m 时，水面面积 219.16 km²，较建库前水面增大 2~3 倍。

2. 坝址~三门峡河段

(1) 龙门断面

径流量变化：由于坝下河段（禹门口~潼关河段）黄河干流取水口上移至古贤库区，故古贤水库建设后龙门断面径流量比建库前有一定减少，最大减少约 23.46 亿 m³，占该断面黄河实测径流量的 9.2%。

典型年流量变化：总体来看，建库后，11 月~次年 6 月基本为等流量（月均 400m³/s~600m³/s）下泄，汛期 7 月~10 月仍保留原有丰枯特征，与建库前相比，3 月~5 月流量减小并均化，枯水期 12 月~2 月流量有所增加。①丰水年：建库后，3 月上旬~6 月中旬、7 月下旬、8 月中旬、9 月上下旬及 10 月中下旬流量减小，减小范围为 5m³/s~665m³/s，其他旬流量增加，增加范围为 6m³/s~1045m³/s。10 月下旬减少 58.4%，减幅最大，6 月下旬增加 200.1%，增幅最大。②平水年：1 月中旬~2 月中旬、6 月中旬~7 月中旬、8 月下旬~9 月上旬、9 月下旬、12 月上中旬流量有所增加，增加范围为 13m³/s~1173m³/s，其他旬流量减少，增加范围为 15m³/s~540m³/s。10 月下旬减少 53.0%，减幅最大，6 月下旬增加 323.5%，增幅最大。③枯水年：3 月~5 月、7 月中下旬、8 月下旬~9 月上旬、9 月下旬~10 月上旬、10 月下旬~11 月下旬流量有所减少，减少范围为 21m³/s~625m³/s，其他旬流量增加，增加范围为 6m³/s~422m³/s。4 月上旬减少 58.8%，减幅最大，8 月上旬增加 142.7%，增幅最大。④特枯水年：3 月中旬~5 月中旬、7 月下旬、9

月上旬、9月下旬~11月上旬、11月下旬流量有所减少,减少范围为 $4\text{m}^3/\text{s}$ ~ $1577\text{m}^3/\text{s}$,其他旬流量增加,增加范围为 $19\text{m}^3/\text{s}$ ~ $312\text{m}^3/\text{s}$ 。10月上旬减少76.6%,减幅最大,6月上旬增加190.2%,增幅最大。

(2) 潼关断面

龙门~潼关河段,随着沿程渭河、汾河等较大支流汇入,总体上,工程对潼关断面水文情势的影响程度低于龙门断面。

古贤水库运行前后潼关断面流量变化不大,主要变化为12月~次年2月流量增加,3月~5月流量减小,其他月份变化较小。①丰水年:建库后,4月~5月流量减小,2月、11月~12月流量增加,其他月份变化不大,其中12月变幅最大,比建库前增加了 $304\text{m}^3/\text{s}$ (139.6%);②平水年:建库后,3月~5月及11月流量减小,2月、6月~7月流量增加,其他月份变化不大,其中5月变幅最大,比建库前增加了 $146\text{m}^3/\text{s}$ (35.8%);③枯水年:建库后,3月~5月及11月流量减小,6月、12月~次年2月流量增加,其他月份变化不大,其中12月变幅最大,比建库前增加了 $230\text{m}^3/\text{s}$ (83.7%);④特枯水年:建库后,3月~5月及10月流量减小,1月、6月、12月流量增加,其他月份变化不大,其中6月变幅最大,比建库前增加了 $168\text{m}^3/\text{s}$ (51.1%)。

3. 小浪底以下河段

黄河下游是黄河水量统一调度的关键河段,其流量过程主要受小浪底水库调度控制,古贤作为黄河水沙调控体系的核心工程,建成后,在调水调沙期为小浪底提供水流动力,延长小浪底水库使用年限,古贤不改变小浪底水库的运行调度原则,而是通过与小浪底联合调度,使小浪底水库对下游的防洪减淤作用能够长期发挥,长期维持下游主槽过流能力不低于 $4300\text{m}^3/\text{s}$ 。在调水调沙外的其他时段,古贤与小浪底水库分别按照各自承担的供水、发电、灌溉等任务进行调节运用,小浪底水库调节方式与现状方式基本相同。因此,古贤工程运行后,黄河下游的水文情势与现状情况相比,不发生较大变化。

22.3.1.2 泥沙情势

拦沙初期,主汛期7月~10月年均入库沙量为6.25亿t,平均含沙量 $67.98\text{kg}/\text{m}^3$,水库拦沙运用后,出库沙量为1.06亿t,平均含沙量仅为 $11.57\text{kg}/\text{m}^3$,水库排沙比仅为17.0%,由于水库拦沙,出库沙量及含沙量较入库大大减少。拦沙后期,主汛期年均入

库沙量为 3.72 亿 t，平均含沙量 40.42kg/m^3 ，水库拦沙运用后，出库沙量为 1.97 亿 t，平均含沙量为 21.46kg/m^3 ，水库排沙比为 53.0%，较拦沙初期增加。正常运用期，主汛期年均入库沙量为 3.41 亿 t，平均含沙量 37.02kg/m^3 ，水库调节运用后，出库年均沙量为 3.98 亿 t，平均含沙量为 43.29kg/m^3 ，该期间水库基本冲淤平衡，主汛期要将非汛期淤积的泥沙排出库外，因而，出库沙量、含沙量比入库大。

古贤水库投入运用后，可改变小北干流河段淤积的态势，使其由淤积转为冲刷，随着水库拦沙期的结束，小北干流河段又逐步回淤。古贤工程运行 60 年，小北干流河段减淤量为 31.71 亿 t，相当于现状 72.0 年不淤积，小北干流河段累计最大冲刷量为 13.13 亿 t，潼关高程最大冲刷下降值为 2.15m。

古贤、小浪底水库联合运用 60 年，下游河道累计淤积量为 54.00 亿 t，年均淤积量 0.90 亿 t；同期无古贤水库方案下游河道累计淤积量为 125.82 亿 t，古贤水库对下游河道减淤量为 71.82 亿 t，相当于现状工程条件时下游河道 34.2 年不淤积。古贤、小浪底联合运用 60 年，黄河下游整体平滩流量均值为 $4503\text{m}^3/\text{s}$ ，较同期无古贤水库时下游平滩流量均值 $3482\text{m}^3/\text{s}$ 提高 $1021\text{m}^3/\text{s}$ ，下游整体平滩流量有 44 年达到或超过 $4300\text{m}^3/\text{s}$ ，较小浪底水库单库运行增加 38 年。古贤水库投入运用后均能有效地改变黄河下游主槽行洪输沙能力逐步降低的局面，使下游主槽过流能力均能得到显著提高。

22.3.2 生态流量及满足程度

1. 工程下泄生态流量

根据已批复的《黄河流域综合规划（2012-2030 年）》（国函〔2013〕34 号），结合河段敏感保护目标壶口瀑布景观、小北干流湿地、鱼类保护等需水要求，综合确定了生态流量：11 月~3 月不小于 $180\sim 200\text{m}^3/\text{s}$ ，4~6 月不小于 $240\text{m}^3/\text{s}$ ，7 月~10 月不小于 $336\text{m}^3/\text{s}$ ；全年白天流量 $600\text{m}^3/\text{s}\sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ 出现的天数不低于 113 天/年；4 月~7 月一定量级（ $3000\text{m}^3/\text{s}\sim 4000\text{m}^3/\text{s}$ 以上）漫滩洪水持续 5 天~7 天，或通过建设湿地补水工程，每年补水量不少于 0.66 亿 m^3 。

现状情况下，龙门断面（代表坝址断面）部分时段生态流量得不到满足，2000 年~2020 年 7 月~10 月、4 月~6 月生态流量平均满足程度分别为 83.97%、78.75%。工程施工期通过 1#、2#导流洞、8 孔排沙底孔等泄流，初期蓄水采用 1#导流洞内预埋的管

道、排沙底孔等泄流，运行期通过相机调整发电机组运行数量，将龙门断面各时段生态流量满足程度提高至 100%。工程建成后在坝下设置生态流量监控系统，对工程下泄流量进行实时监控。

2. 黄河下游（以花园口、利津断面代表）

根据已批复的《黄河流域综合规划（2012-2030 年）》《水利部关于印发第一批重点河湖生态流量保障目标的函》（水资管函〔2020〕43 号）以及《黄河流域生态环境保护规划》（2022 年 6 月）对黄河下游重要控制断面生态流量的要求，黄河下游主要控制断面生态流量为：花园口断面 4~6 月流量不小于 320m³/s，其余月份不小于 200m³/s；利津断面 4 月流量不小于 120m³/s，5、6 月不小于 250m³/s，其余月份不小于 50m³/s。

2000 年~2020 年花园口断面 7 月~翌年 3 月生态流量平均满足程度达到 97.8%，敏感期 4 月~6 月适宜生态流量平均满足程度达到 98.9%；利津断面 7 月~翌年 3 月生态流量满足程度达到 95.7%，敏感期 4 月~6 月适宜生态流量平均满足程度为 63.8%，其中 2003 年 4 月~6 月满足程度最低，仅为 1.1%。

古贤水库运行期，通过与小浪底联合调度，花园口、利津断面不同时段生态流量满足程度均得到了提高，达到 100%。

22.3.3 地表水环境

22.3.3.1 水温

1. 主要影响

采用 α - β 指数法对拟建古贤水库不同运用时期的水温结构进行判断，拦沙初期、拦沙后期、正常运用期水库的水温分层结构依次为稳定分层型、稳定分层型、混合型。

古贤拦沙初期和拦沙后期各典型年水库均表现为明显的春、夏季下泄低温水和冬季下泄高温水效应。单层取水方式下，与坝址天然水温相比，拦沙初期下泄水温最大降幅为 9.2℃（4 月，平水年来水条件），最大升幅为 8.1℃（12 月，丰水年来水条件）；拦沙后期下泄水温最大降幅为 7.6℃（4 月，平水年来水条件），最大升幅为 5.0℃（12 月，丰水年来水条件）；正常运用期最大水温降幅为平水年 3.4℃（4 月，平水年来水条件），最大升幅为 2.4℃（11 月，丰水年来水条件）。河道水温最远在坝址下游 208km 潼关水文站处恢复至天然水平。

采用拟定的 6m 叠梁门分层取水方式，对拦沙初期、拦沙后期平水年 4 月~7 月低温水减缓效果进行预测。拦沙初期 5 月、6 月分层取水对月均下泄水温分别约有 2.2℃、2.8℃的改善；另外此时期下游产卵场水温到达 18℃的时间较单层取水有较大幅度提前，1#产卵场提前了 17d，下游其它产卵场水温到达 18℃的时间提前幅度为 0d~2d。拦沙后期下游河道水温变化规律与拦沙初期基本一致，坝址下游各产卵场达到特征水温时间较单层取水均有提前，最长提前了 14d。

2. 水温影响减缓措施

为了减缓古贤水利枢纽运行对下泄水温过程的影响，考虑采用叠梁门分层取水方案，达到取用上层温水减缓下泄低温水的目的。进水口采用叠梁门分层取水布置，叠梁门单节层高为 6m。

22.3.3.2 地表水水质

1. 地表水环境现状及保护目标

(1) 库区河段

根据晋、陕两省生态环境厅国控、省控断面水质监测结果，库区干流河段 2019 年~2021 年水质良好，年均水质均满足水功能区Ⅲ类水质目标要求。入库支流昕水河黑城村入黄断面水质良好，年均水质满足水功能区Ⅳ类水质目标要求，剩余入库支流三川河两河口桥入黄断面、无定河王家河入黄断面、清涧河杨家河畔入黄断面、延河寺滩入黄断面水质相对较差，年均及年内不同水期水质综合评价为Ⅲ类~劣Ⅴ类，大部分时段不能满足水功能区Ⅲ类~Ⅴ类水质目标要求。

根据评价单位 2017 年 5 月、2022 年 5 月、2022 年 7 月在库区补充监测结果表明：2017 年入库断面吴堡、出库断面壶口水环境呈轻度富营养状态；2022 年 5 月库区河段库尾、屈产河入黄口、清涧河入黄口、古贤坝址断面水环境呈中营养状态，入库支流无定河入黄口、延河入黄口呈轻度富营养状态。2022 年 7 月库区河段库尾、屈产河入黄口、无定河入黄口为中营养状态，延河入黄口、古贤坝址断面呈轻度富营养状态。

(2) 坝址~三门峡河段

古贤水利枢纽下游坝址~三门峡河段，干流壶口、龙门、风陵渡大桥、三门峡库区断面 2019 年~2021 年水质良好，年均及年内不同水期水质均满足水功能区Ⅲ类水质目

标要求。入黄支流汾河 2019 年~2021 年能够满足水环境功能区水质目标要求。涑水河水质较差，常年为 IV 类~劣 V 类，大部分时段不能满足水功能区水质目标要求。渭河水质良好，2019 年~2021 年全年水质及年内不同水期均满足水功能区 IV 类水质目标要求。

2. 主要环境影响

(1) 施工期

坝址区施工期生活废水排放量为 955.2m³/d，排水量较大，在坝址区建设 1 座污水处理站，处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920-2020)中绿化、洒扫、建筑施工标准后用于洒水降尘和混凝土拌和系统用水，冬季或雨季绿化用水需求量较小时段通过塑料储水罐进行收集储存，在干燥多风天气加大施工区域道路抑尘洒水频次，废水可以全部回用，不外排，不会对黄河水环境质量产生不利影响；其余施工区生活废水排放量为 320m³/d，采用化粪池和一体化处理设备处理后全部回用。各施工区的混凝土生产废水、砂石料加工系统废水采用絮凝沉淀法，机械修配系统废水采用成套油水分离器处理达标后全部回用，坝址区基坑废水经投加絮凝剂+静置 2h 后达标排放至黄河，施工期废污水对地表水环境不会产生较大影响。

(2) 运行期

a. 库区

古贤水库拦沙初期、拦沙后期为深水湖库，且横向分布差异不明显，采用立面二维预测模型；进入正常运用期，由于泥沙淤积，库容减少，库区转变为河流型水库，选用纵向一维预测模型。根据现状排污、相关治污规划实施后两种排污情景对建库后库区水质进行预测。

拦沙初期与拦沙后期不同典型年 COD_{Cr}、NH₃-N 浓度从库尾至坝前总体呈降低趋势，到坝前浓度降至最低。库区 COD_{Cr}、NH₃-N 浓度分层明显，两种情景下不同时期库区不同点位 COD_{Cr}、NH₃-N 均能满足Ⅲ类水质目标，坝前 COD_{Cr}、NH₃-N 能够达到Ⅱ类水质标准。正常运用期不同典型年 COD_{Cr} 浓度从库尾至坝前呈沿程递减趋势，NH₃-N 浓度在枯水年从库尾至坝前沿程维持稳定趋势，整体上正常运用期，不同典型年 COD_{Cr}、NH₃-N 均满足Ⅲ类水质目标。

根据水质预测结果，拦沙初期平水年与枯水年不同水期内各支流入黄口营养状况为轻度富营养~中度富营养状态，坝前为贫营养至中营养状态，拦沙后期平水年与枯水年不同水期内各支流入黄口营养状况为中度富营养状态~轻度富营养状态，坝前平水期则呈中营养状态。正常运用期由于库区变为河道型水库，TP、TN 浓度沿程变化较小，平水年与枯水年不同水期各支流与库区交汇口营养状况为中度富营养状态~轻度富营养状态。古贤水库建成后，支流入库处发生富营养化的风险较高，至坝前水体富营养状况有所改善。

b. 坝下水质

古贤水库坝址下游采用纵向一维模型，根据现状排污+供水区新增 0.95 亿 m³ 供水后退水、相关治污规划实施（含供水区“以新带老”治污措施实施后）排污两种情景对建库后坝址下游龙门~三门峡河段水质进行预测。

古贤水库建库后，出库水体的 COD_{Cr}、NH₃-N 浓度接近或优于 II 类水质浓度，汾河、涑水河等支流汇入对干流水质影响较小，总体上坝址下游河段水质较好，两种情景模式下，龙门~三门峡河段的汾河入黄口下游 500m、涑水河入黄口下游 500m、渭河入黄口下游 500m、三门峡库区断面不同典型年 COD_{Cr}、NH₃-N 浓度均能满足 III 类水质目标要求。

3. 地表水环境保护措施

（1）施工期

皮带机线路施工区生活废水采用一体化处理设施和化粪池进行处理后用于施工生活区、施工作业面及道路洒水降尘，不外排；坝址区生活污水通过建设污水处理站处理后达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）中绿化、洒扫、建筑施工标准后全部回用于洒水降尘和混凝土拌和系统用水，不外排；料场区生活污水采用一体化污水处理设施处理后用于施工生活区、施工作业面及道路降尘，不外排。料场区砂石料加工系统废水采用混凝沉淀法处理后回用于本系统；坝址区砂石骨料加工系统废水采用 DH 高效污水净化器处理后回用于本系统；皮带机线路施工区和坝址区混凝土生产系统废水分别采用中和沉淀和絮凝沉淀处理后回用于本系统；机械设备冲洗废水采用成套油水分离器处理后用于工程区的车辆冲洗、道路洒水降尘。

(2) 运行期

水库蓄水前对库底进行清理；划定饮用水水源保护区；控制库区点源污染和面源污染；实施库区排污企业污水收集管网工程，严格要求废污水进入污水处理厂，提升吴堡县污水处理厂出水标准，禁止直接排入划定的黄河干流饮用水水源保护区范围内；业主营地污水处理设施利用施工期污水处理站，污水经过处理并消毒后达到城市绿化水质标准后暂存于清水池，回用于营地绿化和抑尘洒水；发电厂房设置集水沟和废水收集井，委托具有含油废水处理资质的单位进行妥善处置。

22.3.4 地下水环境

22.3.4.1 地下水环境现状

库区及坝址区属石炭系-侏罗碎屑岩裂隙与上覆松散层孔隙含水系统，地下水赋存类型主要为基岩裂隙水和松散岩类孔隙水，黄河为该区域地下水的最低排泄基准点，区域地下水从两岸向黄河补给。坝址下游区（小北干流河段）两侧地下水主要为第四系松散岩类孔隙水和岩溶水，主要接受大气降水补给，由黄河沿岸向河道排泄；小北干流河段两侧区域大部分地下水水位波动幅度均在 0~1.5m 之间，年内随季节、丰枯水期小幅度变化。地下水环境质量现状监测表明，库区个别监测点位地下水水质不能满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）Ⅲ类标准要求，超标因子主要为氟化物、总硬度和硝酸盐氮。

22.3.4.2 地下水主要环境影响

工程建成运行后不会对库区地下水化学场和流场产生影响，本工程已在移民安置规划中对 22 处受库区蓄水淹没影响的分散居民点地下水水井替代水源予以考虑解决。施工期进场道路与皮带机线路隧道穿越区位于微新岩体中，地下水总体贫乏，且与表部浅层孔隙-裂隙水连通性差，隧道开挖不会引起地下水位显著变化，也不会对地表植被造成明显影响。料场开采涉及河津市西磴乡镇集中供水水源保护区二级保护区，该供水水源为地下水水源，建有取水井 5 眼，以第四系松散岩类孔隙水和碳酸盐岩类岩溶-裂隙水为主要开采水源，补给主要依赖区域内裸露灰岩区的降雨入渗、砂页岩孔隙裂隙水的补给和滴淋泉等，开采标高为 680m。本工程料场开采区不处于取水井地下水补给区天然流场上游，取水井补给范围广，并且料场与多数取水井所处位置有天然河谷及公路高

坎分割，因此料场开采不会对取水井取水层造成影响。料场开采设置了爆破安全距离，料场爆破对水源井影响在可控范围之内。

古贤水库调度运行改变坝址下游区（小北干流河段）来水过程，水库拦沙运用将引起黄河小北干流河段河床下切。数值模拟预测结果表明，会造成小北干流两侧地下水位发生小幅动态变化，降幅为 0m~0.512m，均在该区域地下水水位季节内的正常波动幅度之内。黄河小北干流河段两岸分布有蒲州地下水饮用水水源地和湿地，数值模拟预测结果表明，蒲州水源地的地下水位较初始地下水位降幅均小于 0.48m，水库运行对集中式水源地地下水位的影响较小。评价将 0.5m 降深作为建库后受到明显影响的小北干流河段湿地区域地下水位降深影响范围阈值，古贤水库调度运行会引起河道两侧 0.95km 湿地范围内地下水位发生小于 0.5m 的小幅动态变化，但不会对小北干流河段两侧湿地地下水水位造成较大影响。

22.3.5 陆生生态

1. 陆生生态现状及保护目标

工程区域位于黄土高原丘陵沟壑区，水土流失严重，人为干扰强烈，植被覆盖度低，生物多样性低，生态环境脆弱，库区汇流区为黄河最典型的多沙粗沙区，是黄河粗泥沙的主要来源区和规划控制区，影响黄河中下游防洪和生态安全。根据《全国主体功能区规划》《山西省主体功能区划》和《陕西省主体功能区划》，本项目所在地为黄土高原丘陵沟壑土壤保持重要功能区，主体生态功能为土壤保持。

（1）土地利用类型

评价区以草地和耕地为主要土地利用类型，草地和耕地分别占评价区总面积的 47.25%和 33.46%，林地占 9.75%，水域及水利设施用地、建设用地及其他土地面积较小。

（2）植物资源

项目区位于半湿润气候区，由于降水量少，区内自然植被状况较差，农业植被类型分布广泛。区域自然植被主要以自然草地和灌丛为主。草丛植被以温性中生和中旱生禾草为主。白羊草草丛和蒿类草丛分布广泛，黄背草草丛也较多，为主要草丛植被类型。灌丛植被主要以荆条、酸枣、虎榛子为主。

评价区有种子植物 93 科 315 属 577 种，列入《国家重点保护野生植物名录》的保护植物 4 种，分别为银杏、翅果油树、刺五加和水曲柳；列入《山西省重点保护野生植物名录》的保护植物 4 种，分别为文冠果、华山松、脱皮榆和漆树；列入《中国生物多样性红色名录-高等植物卷》的极危种 1 种，濒危种 1 种，易危种 2 种，中国特有种 3 种；这些重要物种均分布于管头山和人祖山自然保护区内。工程建设区及水库淹没区均未发现重点保护野生植物。

（3）动物资源

评价区动物资源比较贫乏，主要为小型野生动物。共有陆栖脊椎动物 27 目 59 科 187 种（亚种）。哺乳类动物 6 目 16 科 43 种，以啮齿目占绝对优势；两栖、爬行类 4 目 7 科 13 种；鸟类 17 目 36 科 131 种（亚种），该区鸟类以雀形目鸫科种类最多。

评价区共有重点保护野生动物 73 种，列入《国家重点保护野生动物名录》的野生动物 19 种，其中国家一级重点保护野生动物 3 种，分别为金钱豹、原麝和褐马鸡，国家二级重点保护野生动物 16 种，鸟类 14 种，兽类 2 种。列入《中国生物多样性红色名录-脊椎动物卷》的极危种 2 种，濒危种 1 种，易危种 4 种，中国特有种 1 种。列入《陕西省重点保护野生动物名录》的野生动物 8 种，《山西省重点保护野生动物名录》的野生动物 52 种。

（4）生态系统现状

评价区大部分区域为草地生态系统，占评价区总面积的 47.25%，其次为农田生态系统，占评价区总面积的 33.46%，其他斑块镶嵌分布在草地和农田上，阻止外界干扰的功能较弱。从草地斑块内部看，由于植被覆盖度低，生物多样性差，阻抗稳定性不强；评价区的生物量为 372.60 万 t，平均生物量为 31.65t/hm²，处于温带草原（16t/hm²）和疏林灌丛（68t/hm²）之间，评价区恢复稳定性不强。

2. 主要环境影响

（1）施工期

工程施工总占地 797.49hm²，其中临时占地 383.84hm²，永久占地 413.65hm²。施工占地区植被以草地和栽培植被为主，施工对植被的影响主要为施工开挖和占压的影响。施工区域植物种类均为本地常见种，植被类型在周边区域分布广泛，临时占地区植被在

施工结束后可以在当年或者次年得到恢复，永久占地面积不大，因此工程建设对植被影响较小。

施工占地区以小型兽类为主，工程施工对其栖息生境形成占压影响，地表植被的破坏减少其食物来源，施工噪声、扬尘也会对其觅食活动产生一定的惊扰，随着施工活动结束，人为干扰消失，部分兽类可以回到原来区域。施工活动会导致区域两栖类和爬行类远离施工区寻找新的栖息地，受影响两栖类和爬行类动物为当地常见种类，工程施工对两栖类和爬行类影响有限。施工活动也会对附近鸟类的栖息地造成一定的影响，施工区及其附近鸟类数量将会有所减少，由于受影响保护鸟类以猛禽、鸣禽和攀禽为主，这些鸟类觅食范围较广，周边适宜生境广阔，多为本地常见种，在采取加强施工管理、严禁滥捕滥杀等保护措施情况下，对其影响不大。

（2）运行期

经调查，水库淹没区植被类型主要有刺槐林、侧柏林、酸枣+荆条灌草丛、虎榛子灌丛、白羊草草丛、黄背草草丛和栽培植被等。受淹没面积最大的为荆条+酸枣+白羊草灌丛，白羊草+杂类草草丛和黄背草草丛次之，其他相对较少。淹没区植物种类绝大多数属于当地广布种，在淹没范围以外有广泛的分布，水库的蓄水会导致其生物量的减少，不会对区域生物多样性造成较大影响。受影响的2株古树名木分布于永和县淹没区，采用移栽措施后，影响可以得到减缓；评价区受影响公益林2672.28hm²，全部为国家级二级公益林，在采取相应补偿措施后，影响可以接受。

水库运行后，库区周边坡度较小区域形成浅滩和湿地，为游禽、涉禽等喜水鸟类的栖息与觅食提供良好条件，适宜生境面积增加，有利于该鸟类在此停留和种群扩大。哺乳动物受淹没影响将向高处迁徙，引起水库周边部分动物种群密度的增加，从而造成其种内、种间竞争加剧，但一段时间后可形成新的平衡。对于两栖和爬行类，静水区和缓流区域环境的扩大，有利于其生存和繁殖，蓄水后部分物种的种群数量可能会上升。

评价区国家级重点保护动物、极危、濒危和易危物种以及中国特有物种位于山西人祖山省级自然保护区、山西管头山省级自然保护区，工程不直接涉及，对其基本无影响；其余省级保护动物有少部分分布于施工区和淹没区，由于保护动物迁徙性较强，工程施工和淹没会使保护野生动物向周边区域迁徙，在采取相应保护措施后，影响较小。

古贤水利枢纽项目实施后，工程影响区域内植被覆盖率发生变化，生态系统结构组成将发生一定程度的变化，受影响较大的植被主要为荒草地、河谷及滩区地带的农田、灌丛、灌草丛等。区域的净第一性生产力减少量为 101880.16t/a，单位面积减少量为 0.87t/hm².a，对评价区生产能力影响很小。此外，这些淹没区植被在评价区分布广泛，工程运行对区域植被的生态结构和稳定性影响较小。

3. 陆生生态保护措施

对工程布置及施工布置进行调整，避开了山西管头山省级自然保护区、山西人祖山省级自然保护区和壶口瀑布风景名胜区一级区；2 棵古树名木移栽至业主营地；公益林采取增减平衡的补偿措施；严格限制施工范围，尽量减少施工占地和植被扰动；工程完工后对临时占地进行林草植被恢复和复耕；加强施工人员对野生动物和生态环境保护意识教育，进场道路禁止夜间施工、隧洞施工及骨料开采尽量避免采用高噪音的爆破施工；加强区域生态环境科学研究等。

22.3.6 水生生态

1. 水生生态现状及保护目标

评价河段水流湍急，含沙量高，有支流汇入，水文情势相对复杂。该河段鱼类群落结构组成存在一定差异，其中以壶口为较为明显的分界线，壶口以上多喜流水生境鱼类，以瓦氏雅罗鱼、鲤、鲇、兰州鲇以及鮡亚科小型鱼类为主；壶口以下河段鱼类种类明显增多，以缓静水鱼类为主，鲢科鱼类主要分布在壶口以下河段。

根据历史资料及本次现场调查，评价区鱼类有 57 种，隶属 6 目 13 科，其中鲤科鱼类占绝对优势，有 32 种；其次为鲢科鱼类和鳊科鱼类，分别为 7 种和 6 种；鳊虎鱼科和鲇科鱼类 2 种，鳊科、鲢科、塘鳊科、合鳃鱼科、怪颌鲂科、胡瓜鱼科、丽鱼科、银鱼科各 1 种。调查范围内无大型洄游性鱼类，部分产漂流性卵鱼类存在一定距离的生殖洄游，主要保护鱼类产卵时间在 3 月~9 月，集中繁殖期为 4 月至 6 月。产卵类型主要分为产沉粘性卵以及产漂流性卵两类。2020 年、2022 年调查到鱼类 40 种，其中鲤科鱼类 24 种，占 60%，是优势种群。

根据调查，评价河段历史记载分布有国家一级保护鱼类北方铜鱼，国家二级保护鱼类大鼻吻鲈，其中北方铜鱼近 20 年未捕获到，大鼻吻鲈在小北干流河段偶有发现，资

源量较少，库区及小北干流河段不是北方铜鱼和大鼻吻鮡的集中分布河段。

2. 主要环境影响

(1) 库区

古贤水利枢纽工程建设前，天桥水电站至壶口瀑布形成长 450km 的流水生境，工程运行后形成长约 202km 库区，将原河流（吴堡～坝址河段）淹没变成河道型水库库区，蓄水后库区水位逐步抬高，水面变宽，水流变缓甚至静水，河流流水生境萎缩，相应地库区鱼类种类组成将由“河流型”逐步向“湖泊型”演变；适应于底栖、流水的鱼类如雅罗鱼、鮡类等将逐渐移向干流库尾及库区支流的流水河段，栖息地规模变小。但压缩后的河段仍维持了 238km 的流水生境，能够为适应流水性鱼类或需要在流水生境繁殖鱼类提供完整生活史的场所。

静水性鱼类的栖息地规模变大，栖息空间增加，库区为适应缓流或静水环境生活和产卵的鱼类如鲤、鲫、麦穗鱼、棒花鱼等，提供了良好的栖息、繁殖条件，可能形成新的产卵场。

(2) 坝下河段

根据现状调查，黄河北干流河段以壶口为较为明显的分界线，壶口以上以瓦氏雅罗鱼、鲤、鲇、兰州鲇以及鮡亚科小型鱼类为主，鲢科鱼类主要分布在壶口以下河段。壶口已经对黄河北干流河段的河流连通性形成了天然阻隔，阻碍了壶口上下游鱼类种群交流。本工程坝址在壶口上游 10km 处，工程建设，会对坝址至壶口 10km 河段产生影响，阻隔影响较小。

根据调查，评价河段鱼类产卵期集中在 4 月～6 月，工程建成后 3 月～5 月流量较建库前减少，为了最大程度的减缓水文情势变化对鱼类产卵的影响，从生态保护角度对水库的调度运行进行了优化，优化后，鱼类产卵期生态流量可以得到满足，日内生态流量变化低于 $200\text{m}^3/\text{s}$ ，避免了水位涨落过大对鱼类产卵的影响，且黄河出龙门后，河道明显变为宽浅河流，水文涨落影响进一步得到减缓。

水库建成后低温水的影响范围为坝址下游河道 208km。根据调查，距坝址最近的产卵场，位于坝址下游约 96km 处，水库建成后该产卵场水温达到 18°C 的时间较建库前延迟 31 天，在采取分层取水措施后，该产卵场水温达到 18°C 的时间较建库前延迟 14 天。

3. 水生生态保护措施

根据黄河古贤工程上下游水生生态特点，鱼类分布，采取栖息地保护、增殖放流、调水调沙期鱼类庇护所保护、网捕过坝、水库生态调度等措施，并加强评价河段监测与保护效果评价、渔政管理、鱼类保护技术研究等。

(1) 栖息地保护

将坝址以下禹门口至潼关河段和支流无定河大桥至河口段作为鱼类栖息地重点保护水域，保护河段内不再进行水利水电等拦河筑坝工程开发，并严格执行禁渔区制度，设立标志区界牌，加强管护，禁止在鱼类栖息地保护水域进行任何捕捞活动。同时加强渔政管理和水污染防治等工作，保证鱼类良好的栖息生境，保护鱼类资源，减缓工程对鱼类的影响。

(2) 鱼类天然庇护所保护

把坝址下游渭河入黄口、圣天湖天鹅湖等作为鱼类天然庇护所进行保护，主要庇护的鱼类对象有黄河鲤、鲇、鲫、黄颡鱼等。在调水调沙期间，加强渭河入黄口、圣天湖天鹅湖等水域保护，禁止进行任何捕捞活动，同时加强渔政管理和水污染防治等工作。

(3) 增殖放流

在业主营地建设鱼类增殖站，占地面积约 30 亩。增殖放流对象以翘嘴鲌、兰州鲇、黄河鲇作为保护性增殖放流对象；鲇、瓦氏雅罗鱼资源量相对较丰富，古贤工程主要影响其资源量，可作为补偿性放流对象。拟放流量 60 万尾/年。

(4) 分层取水

为减缓低温水下泄对鱼类的影响，采取叠梁门分层取水措施，单节叠梁门层高 6m。

(5) 捕捞过坝

鱼类网捕过坝建议春季 3 月~4 月份、秋季 10 月份在古贤水库库尾附近设置张网捕鱼。作业时间 30 天，放鱼地点选择禹门口水流较缓的合适水域投放捕获鱼类。

(6) 水库生态调度

评价河段鱼类产卵期集中在 4 月~6 月，为避免对鱼类的繁殖生境产生破坏，应从生态保护角度对水库的调度运行优化，避免下泄水量的频繁变动，在鱼类产卵期流量日内变化控制在 $200\text{m}^3/\text{s}$ 以内。

22.3.7 小北干流河段湿地

1. 小北干流河段湿地现状及保护目标

小北干流河段位于古贤水利枢纽工程坝下 72km 至 205km 处，全长 132.5km。河段主流经常摆动，造成冲滩塌岸、滩区耕地时常易主，引发晋陕两省群众激烈矛盾。由于该河段淤积和游荡摆动的特点，河道及两侧形成了特殊的沿河洪漫湿地。20 世纪 80 年代中期以来，为稳定河势、促进当地团结祥和，该河段先后实施了多期河道整治工程，目前两岸建成的控导工程和护岸工程已大体实现了河势稳定，河势游荡基本控制在河防工程内，有效缓解了两岸群众矛盾。该河段淤积和游荡摆动的特点，也在河槽及两侧形成了特殊的沿河洪漫湿地，为黑鹳、灰鹤、大鸨等国家重点保护鸟类提供了栖息场所，其中天然湿地主要集中在两岸河道整治工程范围之内。

小北干流河段分布湿地植物 70 科 236 属 287 种，两栖爬行动物 4 目 8 科 14 种，鸟类 19 目 46 科 142 种，哺乳动物 5 目 8 科 19 种。湿地植被以沼泽植被为主，主要植被有芦苇、香蒲、荻、狗尾草、拂子茅等，均为常见种，河段分布有珍稀保护植物 1 种，为国家二级保护野生植物野大豆。鸟类以雀形目种类最多，分布有国家一级重点保护动物 3 种，国家二级重点保护动物 19 种。国家重点保护鸟类中水鸟有 8 种，包括大天鹅、鸳鸯、鸿雁、班头秋沙鸭 4 种游禽和黑鹳、灰鹤、白琵鹭、白腰杓鹬 4 种涉禽，这些鸟类均主要栖息于芦苇沼泽、浅滩、鱼塘、农田、人工荷塘等地，食性以杂食为主，停留时间主要集中在 11 月至翌年 3 月。

小北干流湿地与黄河水力联系密切，游荡摆动的河势是河段湿地形成和维持的主要影响因子。7 月~10 月湿地植被生长期，黄河主要以漫滩洪水形式对两岸湿地植被进行水源补给；4 月~6 月植被生长期，黄河主要以地下水侧渗的形式补给，维持河道适宜的生态流量可以促进地表水与地下水交换，是保护和修复小北干流湿地生态环境的关键。河段重点保护鸟类以冬候鸟为主，这些冬候鸟只在此越冬，不在河段内湿地繁殖，主要在河段内越冬栖息和觅食，根据现场调查结果，农田、人工荷塘、鱼塘或水田等人工湿地区域是涉禽的主要越冬地和觅食地，涉禽栖息生境对黄河地表水依赖程度较低。

2. 主要环境影响

(1) 河势变化

90 年代以来，以缓解两省耕地纠纷为目的、严格沿国务院批复的治导线修建的河道整治工程陆续建设，预计十四五末，小北干流河段的河势游荡将基本被控制在两岸控导（护岸）工程之间的区域，故未来天然湿地也将主要集中在控导（护岸）工程范围内。古贤水库运行后，小北干流河段游荡摆动的特性不会发生改变，河势摆动幅度将基本控制在两岸控导（护岸）工程范围内。

整个拦沙期，小北干流河段平均刷深约 1.9m~2.4m。拦沙初期第一年河段平滩流量为 2783m³/s，拦沙后期第一年增加至 5084m³/s，正常运用期第一年进一步增加到 7379m³/s。

（2）对湿地的影响

古贤水库运行后，小北干流河段河势游荡摆动的特性不会发生根本改变，湿地总体格局不会受到影响；河段生态流量满足程度由近 20 年的 86.8%提高到 100%，为湿地的维持提供了水资源条件。因此，古贤水利枢纽工程运行对小北干流湿地总体格局和规模不会产生显著影响，但随着河槽的不断刷深，部分时段将对湿地结构产生一定的影响。

拦沙初期，小北干流河段平均刷深在 0.78m~1.47m 之间，通过优化工程运行方式，在 4 月~7 月塑造 3000m³/s~4000m³/s 的洪水脉冲过程，丰水年、平水年、枯水年漫滩天数分别由无古贤时的 4 天、0 天、0 天增加到拦沙初期的 18 天、7 天、5 天，而 2010 年以来仅有三分之一的年份发生了漫滩洪水，湿地漫滩天数和漫滩范围较现状均有一定程度的增加，有利于河段湿地的保护和修复。

拦沙后期，随着小北干流河段的持续刷深，河道摆动幅度变小，漫滩洪水发生的几率逐渐减小，部分河流水面将向河漫滩湿地转化，远离河槽侧湿地植被类型由湿生向中生或旱中生植被演替，植被群落由一年生向多年生演替，湿地结构将发生一定变化。通过采取生态调度、洪峰塑造、生态补水等综合措施，可基本维持现有湿地规模。进一步类比黄河下游花园口至高村河段河流湿地变化，随着小浪底水库的调度运行，黄河下游河流湿地面积逐渐趋于稳定，预计古贤水库进入拦沙后期以后，随着小北干流河段水文情势的稳定，两岸河流湿地将逐渐适应新的水源补给条件，河流湿地的规模和结构也将逐渐趋于稳定。

（3）对鸟类栖息生境的影响

小北干流河段水鸟主要以冬候鸟、旅鸟为主，停留时间主要为 11 月至翌年 3 月。其中 12 月至翌年 2 月为河段枯水期，古贤水库运用后河段平均流量和最小流量均有不同程度增加，水域面积较建库前未发生大的变化，因此不会对鸟类栖息生境产生显著影响。重点保护物种中种群数量较多的水鸟栖息生境主要位于农田、人工荷塘、鱼塘或水田等区域，古贤工程运行不会对重点保护鸟类产生显著影响，河段湿地生物多样性不会变化。

3. 小北干流河段湿地保护措施

小北干流河段湿地保护措施体系包括优化水库调度、建设湿地补水工程和鸟类栖息地保护工程及其他非工程措施等。

(1) 生态调度措施

为最大程度降低古贤对小北干流河段湿地的不利影响，对工程调度运行方式进行了优化，优化后，水库下泄过程满足生态流量要求，小北干流河段极端小流量过程基本消失，同时在每年 4 月~7 月塑造 $3000\text{m}^3/\text{s}$ ~ $4000\text{m}^3/\text{s}$ 的洪水脉冲过程，保证一定的洪水漫滩。

(2) 湿地补水工程

为减少漫滩洪水发生的几率减小对小北干流河段湿地的影响，适时建设湿地补水工程，开展河段湿地补水。补水工程以河段现有引黄泵站和灌渠为基础，并新建补水工程 10 处、引水泵站 4 座、补水渠道 186km 补水渠道，每年补水量不小于 0.66 亿 m^3 。

(3) 鸟类栖息地保护工程

为保护鸟类栖息生境，在小北干流上中下段分别选择鸟类集中分布的区域，因地制宜建设汾黄、吴王、黄渭三处鸟类栖息地保护工程。

22.3.8 黄河下游河漫滩湿地及河口湿地

22.3.8.1 黄河下游河漫滩湿地

1. 黄河下游河漫滩湿地现状

黄河下游花园口到高村为典型的游荡型河段，长约 185km，河道淤积摆动频繁，形成了典型的河漫滩湿地，是黄河下游湿地的主要发育区。黄河水通过侧渗和汛期漫滩方式对湿地进行补给。黄河下游防洪安全地位重要，滩区内仍居住有 180 万群众，防洪保

滩是黄河下游治理的重要目标。人民治黄以来，该河段先后实施了多期河道治理工程，在黄河下游形成了“堤防--滩区-河防工程-河漫滩-河槽水面”的典型格局，中常洪水范围控制在河防工程范围以内，下游湿地主要局限在河防工程和生产堤范围内的河流主槽和嫩滩区域。上世纪 90 年代以来黄河断流导致该河段湿地严重萎缩，湿地面积较上世纪 80 年代减少了 36.9%；小浪底水库建设运行后，通过水量统一调度及调水调沙，遏制了黄河断流，提高了黄河下游湿地生态用水的保障率，黄河下游河漫滩湿地逐渐恢复，湿地面积较 1999 年增加了 13.9%。近年来，湿地面积逐步趋于稳定。

2. 主要影响

古贤水库与小浪底水库联合运用后，基本维持了小浪底现有调度运行方式，黄河下游游荡摆动的河道性质不发生改变，河段水文情势和断面形态等未发生大的改变。同时，通过与小浪底水库开展联合调度，丰、平、枯水年来水条件下花园口断面适宜生态流量全部得到满足，其余时段满足生态基流要求，可以基本维持现有的河流水面面积及侧渗补水量；花园口断面丰水年、平水年、枯水年、特枯水年份 $3500\text{m}^3/\text{s}$ 以上大洪水过程持续时间分别由小浪底水库单独运行时的 18 天、23 天、6 天、0 天增加到两库联合运用后的 26 天、26 天、15 天、4 天，为黄河下游湿地的维持和改善提供了有利的水资源条件，维持下游湿地生态系统现有的结构和功能。

22.3.8.2 黄河河口湿地

1. 黄河河口湿地现状

黄河河口属于弱潮多沙的强堆积性河口。独特的黄河水沙情况和河口较弱的海洋动力，使河口长期处于淤积、延伸、摆动、改道的频繁变化状态，从而形成了独特的湿地生态系统。黄河河口现存湿地大部分介于内陆和海域之间，是典型的陆海两相生态系统交汇带、缓冲带。其中与黄河来水密切相关的淡水湿地主要分布在清水沟现行流路两侧，也是受黄河水沙变化影响的主要区域。上世纪 80 年代，受油田资源开发影响，黄河两侧沿河修建了顺河道路，隔断了黄河与大部分淡水湿地的直接水力联系。河口淡水湿地主要补水方式由原来的自然漫滩补给逐渐变为人工补水，主要通过现行流路两侧 6 座引水涵闸进行补水。河口淡水湿地基本处于人工控制状态，成为人工干预条件下的“自然湿地”，当利津断面日均流量大于 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 方可以自流引水。

受 90 年代黄河断流影响，上世纪末，河口淡水湿地萎缩严重。为改善河口湿地生态系统，小浪底水库建设运行后，通过水量统一调度、调水调沙，遏制了黄河断流，使湿地生态需水保障程度得到一定提高；尤其是 2008 年以后，通过持续实施河口湿地补水，芦苇沼泽湿地面积逐年回升，生物多样性显著提高。

2. 主要环境影响

古贤水库建成以后，充分利用自身库容实现与小浪底的联合运用，可以基本维持黄河下游水沙情势现状，并将利津断面生态流量满足程度提高至 100% 水平。利津断面丰水年、平水年、枯水年日均流量大于 $2500\text{m}^3/\text{s}$ 的天数分别增加到 29 天、27 天、26 天，均高于现状水平，为清水沟现行流路两侧淡水湿地补水提供了有利条件，进一步促进河口湿地的生态保护和修复。

22.3.9 黄河蛇曲国家地质公园

1. 蛇曲地质公园现状

黄河北干流永和、延川河段河流蛇曲地貌分布密集，两岸分别划定了陕西延川黄河蛇曲国家地质公园和山西永和黄河蛇曲国家地质公园。黄河蛇曲地质公园位于古贤坝址上游 50km 处，是以地质遗迹景观和地貌景观为主体的地质公园，公园内主要地质遗迹分为地貌景观和基础地质两大类，其中以黄河干流在晋陕大峡谷中形成的连续蛇曲地貌为核心地质遗迹，其他类型的地质遗迹在黄土高原、黄河流域以及同层地层中极为常见。根据地质遗迹的分布特征和保护要求，两侧地质公园分别划定了三个不同级别的保护区，其中一级保护区为核心保护区，主要范围包括园区内黄河曲流及对应的河心岛、河流阶地等水体地貌，即黄河蛇曲群地貌。两岸一级保护区内自南向北分布有清水湾（陕）/ 仙人湾（晋）、乾坤湾（陕）/ 河汾里湾（晋）、伏寺湾（陕）/ 郭家湾（晋）、永和关湾（晋）和英雄湾（晋），具有一定的科学研究、景观生态和旅游观光等价值。

2. 主要淹没影响

（1）工程建设期 11 年，对黄河蛇曲国家地质公园没有影响。

（2）工程运行后，随着水位逐渐上升，黄河蛇曲国家地质公园各级保护区受到不同程度淹没影响。

拦沙初期、拦沙后期和正常运用期淹没陕西延川黄河蛇曲国家地质公园面积占园区总面积比例分别为 11.33%~15.38%、11.33%~20.79% 和 15.38%~22.40%，其中淹没

一级保护区面积分别占总面积的 68.12%~77.42%、77.42%~85.83%和 77.42%~87.18%。

拦沙初期、拦沙后期和正常运用期淹没山西永和黄河蛇曲国家地质公园面积占园区总面积比例分别为 16.9%~21.87%、16.9%~27.93%和 21.87%~29.20%，其中一级保护区自起始运用水位即全部受到淹没影响。

清水湾（陕）/仙人湾（晋）、乾坤湾（陕）/河汾里湾（晋）、伏寺湾（陕）/郭家湾（晋）、永和关湾（晋）、英雄湾（晋）等核心河流蛇曲地貌均受到淹没影响，具体表现为水位抬升以及水面变宽，水面面积变大。园区内最著名的乾坤湾在工程运行后，水面抬升 32m~99m，水面宽度展宽 274m~1173m。

3. 对地质公园保护价值影响

古贤工程蓄水后，死水位以上的地质遗迹随水位升降，呈现淹没、出露的交替变化，仍具有一定科学研究价值；黄河北干流上段的万家寨库区河段以及北干流中段的石楼县、清涧县河段发育有蛇曲地貌，与永和、延川的蛇曲地貌基本相同，其形成的地质条件、地质构造类型与蛇曲地质公园内的核心地质遗迹有一定相似性，可在一定程度上弥补同类地质遗迹的科学研究价值。

随着水位抬升，黄河河床水面变宽，公园将形成新的水体地貌景观，“黄河干流蛇曲群”景观类型变为“黄土高原高峡湖泊”景观，具有新的特征及观赏价值，并为当地旅游业发展带来新的机遇，从而促进乡村振兴战略的实施落地。

4. 蛇曲地质公园保护对策措施

加强黄河北干流河段同类蛇曲地貌景观的保护，一定程度上弥补黄河蛇曲国家地质公园地质遗迹的科学研究价值、景观价值；采用先进多媒体数字技术方法及专业措施，构建蓄水淹没影响区域的地学研究、科普教育等系统资料体系，予以最大程度的减缓水库淹没的功能损失；在水库蓄水前加强园区及外围区域地质遗迹调查及科学研究力度，尽可能寻求替代型的科考与保护效果；对现有地质公园规划进行必要的修编和调整，加大国家和项目建设对地质景观和迹地影响的保护与经费投入；对两个现有博物馆进行改建，采用多媒体数字技术，将黄河蛇曲演化过程、三维数字化成果、科普记录片等进行宣传展示，最大程度减小、减轻和减缓项目对地质公园的影响。

22.3.10 黄河壶口瀑布风景名胜区

1. 黄河壶口瀑布风景名胜区现状及核心景观

黄河壶口瀑布位于古贤水利枢纽坝址下游 10.1km 处，1988 年 8 月，国务院确定黄河壶口瀑布为国家重点风景名胜区。根据山西省《黄河壶口瀑布风景名胜区（山西）总体规划（2018-2035）》和陕西省《黄河壶口瀑布风景名胜区（陕西）总体规划（2017-2035）》，山西、陕西侧风景区总面积分别为 116km² 和 147.94km²。该景区的核心景观为壶口瀑布景观。

壶口瀑布由主瀑和陕西侧、山西侧侧瀑构成，主瀑宽约 50m，高 15m~40m 左右，侧瀑随流量不同宽度有所变化。瀑布观瀑效果与所在河段的流量、含沙量、水温、流速等水沙条件以及气温、光线、气象条件等外环境条件密切相关，其中，流量是影响瀑布景观形态规模、声音气势的主要因素，含沙量是影响瀑布景观颜色的主要因素。

2. 壶口瀑布景观与水文泥沙要素响应关系

（1）壶口瀑布形态与流量响应关系

壶口瀑布的形态、规模与流量密切相关。经现状观测，流量 200m³/s 以下时，壶口瀑布整体规模较小；流量 200m³/s~400m³/s 之间，主瀑规模正常；流量 400m³/s~600m³/s 之间，出现侧瀑，侧瀑规模较小或为细流；流量 600m³/s~850m³/s 之间，侧瀑规模为中型；流量大于 850m³/s~1150m³/s 时，侧瀑规模为大型；流量 1150m³/s~2000m³/s 之间时，陕西侧主侧瀑逐步连成一片，出现巨大瀑布，十里龙槽水位抬高，瀑布落差变小。至流量大于 2000m³/s 时，山西、陕西两侧壶口瀑布观景区域均发生漫滩，此时无法观景，景区关闭。流量 600m³/s~1150m³/s 时，主瀑规模较大，落差明显，侧瀑出现几率多，为较佳的观瀑流量。

（2）壶口瀑布颜色与含沙量响应关系

水体含沙量是瀑布颜色的最主要影响因素，随着含沙量条件的不同，壶口瀑布呈现出不同的颜色。根据现状观测，上游来水含沙量小于 1kg/m³ 时，壶口瀑布为清水瀑布，1kg/m³~3kg/m³ 时为淡黄色瀑布，3kg/m³~7kg/m³ 时为黄色瀑布，大于 7kg/m³ 时为黄褐色瀑布。

（3）壶口冰瀑与水温、气温响应关系

气温是冰瀑形成的决定性因素，大流量和低水温均非冰瀑形成的必要条件。根据统计：气温低于 -5°C 是冰瀑形成的必要条件，24 小时累积温度值连续三天低于 -70.0°C 时，可稳定形成冰瀑。冰瀑稳定形成后的短暂温升不会对冰瀑形貌产生明显的视觉影响。

3. 壶口瀑布景观历史演变情况

受黄河上游省区经济社会发展、龙羊峡刘家峡水库水资源调控、黄河流域水土保持措施持续发挥效益，以及气候变化、大暴雨发生几率降低等多种因素影响，1934 年以来壶口河段水量、沙量持续减少，流量趋于均化，壶口瀑布景观也随之发生了一定变化。特别是在 1999 年以来，壶口河段径流量、含沙量比 1934 年~1956 年分别减少了 43.0% 和 86.3%，壶口瀑布景观特征已经发生了变化，表现为瀑布规模明显减小，清水瀑布出现几率明显增加，2010 年后清水瀑布占全年总天数的 58.9%。黄河保护治理和经济社会发展引起的黄河水沙变化已对壶口瀑布景观特征产生了明显影响。

1999 年~2020 年，壶口瀑布现状规模以主瀑正常（流量 $200\text{m}^3/\text{s}\sim 400\text{m}^3/\text{s}$ ）和小型侧瀑（ $400\text{m}^3/\text{s}\sim 600\text{m}^3/\text{s}$ ）为主，全年出现天数共计 181d；其次为中型侧瀑（ $600\text{m}^3/\text{s}\sim 850\text{m}^3/\text{s}$ ），全年出现天数为 71d；主瀑偏小（ $<200\text{m}^3/\text{s}$ ）、大型侧瀑（ $850\text{m}^3/\text{s}\sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ ）出现天数相当，分别为 31d、42d；主侧相连的巨大瀑布（ $1150\text{m}^3/\text{s}\sim 2000\text{m}^3/\text{s}$ ）全年出现天数为 30d；漫滩（ $\geq 2000\text{m}^3/\text{s}$ ）出现天数较少，仅为 10d。

2010 年~2020 年，壶口瀑布现状颜色以清水（含沙量 $\leq 1\text{kg}/\text{m}^3$ ）为主，全年出现天数为 215d，其次为淡黄色瀑布（含沙量 $1\text{kg}/\text{m}^3\sim 3\text{kg}/\text{m}^3$ ），全年出现天数为 79d，黄色瀑布（含沙量 $3\text{kg}/\text{m}^3\sim 7\text{kg}/\text{m}^3$ ）、黄褐色（含沙量大于 $7\text{kg}/\text{m}^3$ ）出现最少，全年出现天数分别为 38d 和 33d。

4. 壶口瀑布景观影响

工程建设期 11 年对壶口瀑布景观基本不产生影响。运行期主要影响如下：

（1）对壶口瀑布形态、规模的影响

流量是决定壶口瀑布形态的主要因素。如不考虑壶口瀑布景观需求，仅按照水库基本功能调水调沙运用，丰、平、枯各种来水条件下，不同运用期壶口河段流量均主要集中在 $400\text{m}^3/\text{s}\sim 600\text{m}^3/\text{s}$ 范围内，其他流量级别出现几率很小甚至不出现，景观多样性受到影响。

为减缓工程对壶口瀑布形态、规模影响，本次以 1999 年～2020 年壶口瀑布形态、规模特征为恢复目标，将壶口瀑布景观流量需求作为主要因素进行工程调度方案优化。按照优化后的调度方案，古贤工程运行后，瀑布景观类型与建库前相比未发生改变，壶口瀑布主瀑、侧瀑不同形态、规模均得到保留，景观多样性得到保留。在调度中避免 $200\text{m}^3/\text{s}$ 以下流量的不适观景条件出现；较佳观瀑流量（ $600\text{m}^3/\text{s}\sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ ）出现的天数明显增加，平水年条件下，拦沙初期、后期、正常运用期出现的天数由现状的 113 天/年分别增加到 180 天/年、180 天/年和 179 天/年；并且通过水库一日内的灵活调度，可在游客人数较多的 7 月、8 月、10 月及节假日，使瀑布规模集中调节为中、大型瀑布形态，更有利于壶口瀑布的观赏。

（2）对壶口瀑布颜色的影响

含沙量是决定壶口瀑布颜色的主要因素。古贤工程拦沙、水沙调控，将对壶口瀑布颜色产生一定影响。如果不采取补沙措施，古贤水库运行将对壶口瀑布颜色产生较为显著的影响，其中拦沙初期清水瀑布出现天数比现状年最大增加 121 天/年，淡黄色、黄色、黄褐色等浑水瀑布出现的天数大幅减少。

为最大限度减少对壶口瀑布颜色的影响，本次以 2010 年～2020 年壶口瀑布颜色特征为恢复目标，采用“库区泵吸补沙措施”对坝前 3km 内的泥沙进行强排、以增加出库水流的含沙量。补沙措施显著减缓了对壶口瀑布颜色的影响，以平水年为例，拦沙初期清水瀑布为 241 天/年，比现状年的 215 天/年多 26 天/年，淡黄色、黄色瀑布出现天数明显增加，可恢复至现状年水平，黄褐色瀑布减少 26 天/年。拦沙后期，随着库区排沙能力的增加，平水年清水瀑布出现天数比现状年增加 19 天/年，淡黄色、黄色瀑布出现天数与现状年相同。至正常运用期，采取补沙措施后，各种颜色瀑布出现天数与现状年基本持平。

（3）对壶口瀑布气势和声音的影响

流量是决定壶口瀑布气势和声音的主要因素。不漫滩情况下壶口瀑布声音气势随着瀑布流量增大逐渐增大，当壶口河段流量增大至漫滩情况，壶口瀑布落差逐渐消失，其声音气势明显减弱，同时景区关闭，无法观景。古贤水利枢纽建成后，并不会改变壶口河段地形地貌，壶口瀑布造瀑面、瀑布落差未发生变化，壶口瀑布各种流量级也仍存在，

不会对壶口瀑布的气势、声音造成显著影响，而且通过水库的优化调度，游客较多月份瀑布的气势较现状年更加雄浑壮观。

（4）对壶口瀑布造瀑面影响

壶口瀑布与十里龙槽的形成是漫长地壳运用和流水作用的共同结果。古贤工程建设不改变壶口瀑布的地形及地质构造，其水量、沙量的变化在自然变幅内，不会造成该河段淤积、冲刷或是地形变化，而且由于壶口瀑布断面含沙量减少，水蚀作用将会减弱，有利于造瀑面的稳定。

（5）对冰瀑布的影响

气温是冰瀑形成的决定性因素。工程建设运行后，壶口冰瀑基本成型条件未发生本质变化，不会造成壶口冰瀑景观的消失。冰瀑主要集中在壶口主瀑到侧瀑之间的两岸，水库下泄水温高于天然河道水温，主瀑处冰瀑基本不受影响，侧瀑处过流高温水，将导致部分过流处的冰挂消融，壶口冰瀑规模有所减小。由于该河段不再形成冰凌灾害条件，壶口冰瀑景观不会再被流凌覆盖，冰瀑景观较现状延长。

（6）对壶口瀑布景观总体影响

工程的建设和运行不可避免地将对壶口瀑布景观产生一定影响，通过采取水库优化调度措施、壶口瀑布补沙措施等，工程的运行对壶口瀑布形态规模、声音、气势、造瀑面基本没有影响，瀑布颜色在拦沙初期有一定影响，但总体影响不大，壶口瀑布景观的完整性得到有效保护。

5. 施工对壶口瀑布风景名胜区影响

古贤水利枢纽坝址主体工程不在风景名胜区内，在观看壶口瀑布视野范围内看不到大坝及附属建筑物；山西侧景区内布设有进场道路和皮带机线路 10.957km、11.042km，位于景区二级、三级保护区，陕西侧景区内布设 1 座跨两省的黄河大桥，以及 2#、6# 进场道路部分路段，共计 3.536km，位于三级保护区。景区内不设施工生活区和弃渣场。施工过程中，混凝土搅拌机冲洗废水处理后全部回用不外排；工程弃渣运至坝址区 1# 弃渣场和对外交通道路下游侧 1# 和 2# 弃渣场；机械燃油废气、隧洞口开挖、爆破及运输粉尘和废气采取洒水降尘等措施；采取合理安排施工时段、降低车速等措施降低施工噪声影响。在采取以上有效措施后，工程对景区影响较小。

6. 壶口瀑布保护对策措施

(1) 壶口瀑布景观保护措施

工程运行时,应将壶口瀑布景观需水要求作为古贤水利枢纽工程优化调度的原则之一,保障全年白天观景时段(8:00~18:00)内较佳观瀑流量 $600\text{m}^3/\text{s}\sim 1150\text{m}^3/\text{s}$ 出现的天数不低于 113 天/年。实施库区泵吸补沙措施(水下泥泵+隧洞过坝方案),在景区游览人数较多的月份增加淡黄色、黄色瀑布的效果,使全年白天观景时段(8:00~18:00)淡黄色、黄色瀑布出现天数恢复至建库前水平。加强拦沙初期、拦沙后期和正常运用期壶口瀑布不同形态、规模和颜色的变化观测,加强科学研究,逐步优化水库生态调度运行方案、排沙方案,最大程度减缓对瀑布景观的影响。

(2) 施工期影响减缓措施

风景名胜区内不布设施工生活区、取弃土场。景区内无生活污水产生,混凝土拌合系统生产废水采用沉淀处理后回用于搅拌机冲洗;采用洒水、物料覆盖等措施以减少扬尘产生;强噪声设备安装隔声罩、设置隔声围挡、禁鸣标志以减少噪声;工程弃渣运至坝址区 1#渣场和施工进场道路 1#、2#弃渣场。

22.3.11 陕西省清涧无定河曲流群地质公园

1. 清涧无定河曲流群地质公园现状及保护目标

陕西省清涧无定河曲流群地质公园位于古贤坝址上游约 120km 处,属于黄土残塬梁峁丘陵沟壑区和黄河沿岸蚀余黄土丘陵沟壑区。公园北起邢家塌村,南至惠家河入黄口,西从川口东达高家峁村,南北长 11.9km,东西最宽 6km,总面积为 47km^2 。主要保护对象是以无定河曲流群地貌景观为主的河流地貌。

2. 主要环境影响

(1) 陕西清涧无定河曲流群地质公园位于古贤坝址上游约 120km,工程建设期 11 年,对无定河曲流群地质公园没有影响。

(2) 工程运行对无定河曲流群地质公园产生的淹没影响较小。工程起始运行水位(560m)对地质公园不产生淹没影响,自死水位(588m)至最高水位(627m),随着水位抬升,无定河曲流群地质公园受淹没面积比例由 7.17%上升至 17.53%。

(3) 起始运行水位(560m)不淹没地质遗迹,自死水位(588m)至最高水位(627m),

淹没影响地质遗迹自 4 处增至 14 处。受影响的黄土地貌地质遗迹在园区内广泛分布，总体影响不大；水体抬升对太极湾蛇曲、鱼儿砦、无定河蛇曲群、晋陕峡谷的影响不显著。

（4）水库蓄水后园区内水域面积增大，形成新的地质景观，对地质公园持续发展起到积极的推动作用。在水库蓄水前，加强该园区地质遗迹调查及科学研究力度，加大地质遗迹保护经费投入，对现有地质公园规划进行修编，可提升地质公园的综合价值。

3. 保护措施

开展园区地质遗迹详查与国家地质公园申报工作，查明园区内地质遗迹的分布特征；结合公园现状发展情况和当地政府发展规划，针对古贤水利枢纽工程建成后对地质公园的淹没情况，调整保护分区和发展规划；进一步充实博物馆的内容，为公众提供科普研学材料，实现地质遗迹资源科学价值的充分体现。

22.3.12 移民安置

1. 移民安置区环境现状

根据移民安置区环境空气、地下水、土壤等指标的监测结果，移民安置区环境质量良好，环境空气、地下水、土壤等各项指标均能够满足相应标准要求。

2. 主要环境影响

（1）环境适宜性分析

根据调查，移民安置区环境空气、地下水、土壤等各项指标均能够满足相应标准要求，环境质量良好。移民集中安置区共 29 个，经调查，集中安置区不涉及风景名胜区、自然保护区、水源保护区等环境敏感区；选择在水源充足、水质良好、便于排水、对外交通便利，地质条件适宜的地段；农村移民搬迁主要以后靠安置为主，移民搬迁安置距离不远，方便移民生产生活；移民设计上考虑了排水规划、生活垃圾处置规划，废水及固废得到妥善处置；从土地环境容量及居民用水方面考虑，可以得到保障；总体上看，移民集中安置点选择的环境适宜性良好。

（2）地表水环境影响

移民集中安置对水环境的影响主要是生活污水。移民数量较少的分散安置点，生活污水产生量小，采用化粪池的方式，定期清运进行资源化利用；对于农村集中安置区，

生活污水推荐采取玻璃钢化粪池+地埋式污水处理设施处理，污水经管道收集，处理后排入当地规划的排水系统；对于三交镇，安置人口较多，结合安置点绿化规划，推荐采用玻璃钢化粪池+污水处理站+人工湿地的处理方式，处理后首先用于安置点的绿化用水，多余部分用于周边农田和枣林的灌溉用水。各安置点定期清运安置点内化粪池，废水经处理后排入当地规划的排水系统，对周围环境影响较小。

（3）固体废弃物影响

移民安置区固体废物对环境的影响主要来自移民安置区生活垃圾，评价提出对各移民安置点进行生活垃圾分类宣传培训，各安置点配备垃圾桶、垃圾收集池，定期清运，交运至当地城镇环卫部门等措施，不会对当地环境造成明显不利影响。

（4）生态环境影响

生产安置主要采取调整土地生产安置方式，主要进行坡改梯、旱地平整、土壤改良以及农田水利措施等，对生态环境影响很小。搬迁安置改变了安置点原有土地利用类型，使得区域植物资源数量减少，但不会改变区域植物种类，不会对区域生态环境造成明显的不利影响。

3. 移民安置环保措施

对移民数量较少的分散安置点采用化粪池、定期清运的方式处理生活污水；对集中安置区，采取玻璃钢化粪池+地埋式污水处理设施进行处理，对于安置人口较多的三交镇，采用玻璃钢化粪池+污水处理站+人工湿地的处理方式，处理后用于绿化用水及灌溉用水。各移民安置点配备垃圾桶、垃圾收集池，定期清运，交运至当地城镇环卫部门。

22.3.13 其他

22.3.13.1 环境空气

1. 环境空气现状及保护目标

评价区 SO₂、NO₂ 和 CO 的小时平均浓度、日平均浓度均能满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的质量要求；TSP、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 日平均浓度仅中市村不达标，超标原因主要是和村庄冬季取暖有关。

2. 主要环境影响

工程施工期砂石料加工系统粉尘、混凝土拌合系统粉尘配备袋式除尘器，并定期清

理更换袋式除尘器毛毡滤袋，保证设备正常运行，不会对周边环境空气质量产生影响。坝址开挖、料场、皮带机线路隧洞进出口开挖尽量选用湿法作业，开挖后持续一定时间采用“雨鸟”设施喷水，施工临时道路通过洒水车和高压喷雾设备定期洒水降尘、物料运输车辆加盖篷布等，采取上述措施情况下，基本不会对大坝附近的古贤村庄、料场附近的西磴口村、赵家圪垛、张家岭村及皮带机线路附近的侯家原村、中市村、南原村和周边环境空气造成大的影响。

3. 大气环境保护措施

优化开挖爆破方法，严禁大范围爆破；皮带机线路施工区、料场区和坝址区设置洒水车和喷雾设备进行洒水降尘。砂石料加工和混凝土拌和采用封闭式作业，内设袋式除尘器；土石方临时存放时必须采取防风遮盖措施等。

22.3.13.2 声环境

1. 声环境现状及保护目标

古贤水利枢纽工程所在区域位于黄河晋陕大峡谷及两岸台塬上，沿线无大的工业企业。评价区昼夜声环境均达到《声环境质量标准》（GB3096-2008）0类和1类标准，区域声环境质量良好。

2. 主要环境影响

施工期噪声源可分为点源和线源两大类。点源主要是大坝施工区噪声源、砂石加工系统噪声源、混凝土拌和系统噪声源、施工爆破噪声源、进场道路隧洞进出口、施工机械及施工作业噪声源；线源主要是交通运输车辆噪声源。采取优化施工布局，减少高噪声设备且尽量远离声环境敏感目标；禁止夜间施工，东庄小学和侯家原村、中市村、南原村设置隔声围挡，古贤村、南村、侯家原村、留村等设置限速标牌，夜间禁止大型车辆行驶等措施，对大坝附近的古贤村、料场及皮带机线路附近的村庄和区域声环境影响不大。

3. 声环境保护措施

优化施工布局，尽可能缩小爆破范围，远离古贤村、西磴口村和赵家圪垛等村庄；砂石料破碎机、筛分楼等高噪声机械设备尽量安装消声器或采用局部消声罩；优化施工时间，夜间禁止施工。东庄小学和侯家原村、中市村、南原村设置隔声围挡、限速标牌，

夜间禁止大型车辆行驶。施工道路沿线古贤村、南村、侯家原村、留村等村庄设置限速和禁鸣标志牌以及减速带。皮带机线路段施工运输车辆途经的东庄小学、孟庄、南掌村等，进场道路施工运输车辆途经的南村、南村坡及克难坡景区、侯家原村、留村、上市村、中市村、南原村、麦麦掌等，坝址施工区施工车辆途径的 1#、2#、3#、业主营地、4#施工生活区以及古贤村附近设置限速标志。

22.3.13.3 固体废物

1. 主要环境影响

施工期固体废弃物可以分为工程弃渣、建筑垃圾及生活垃圾。工程弃渣主要来源于主体工程及隧洞开挖爆破、基坑开挖、砂石料开采等，工程弃渣设有弃渣场，并采取一定的植被恢复和水保措施；建筑垃圾部分回收利用，其余运往弃渣场；含油污泥委托有资质单位进行妥善处置；生活垃圾主要为施工人员日常生活过程中产生的食物残渣、其它一般性固体垃圾等，采取集中收集、集中清运等措施后，工程产生固废不会对周边环境产生大的影响。

2. 固体废物处理措施

进场道路及皮带机线路区、坝址区、料场和砂石料加工等各施工生产生活区分别放置一定数量的垃圾桶，建设相应规模的垃圾中转站并配置垃圾清运车，每天清运生活垃圾至垃圾中转站，定期统一运往吉县垃圾填埋场。

含油废水处理系统中产生的少量含油污泥属于危险废物，分别在大坝区和料场区设置危险废物临时贮存室，交由具有相应类别危险废物处理资质的单位处置。

在坝址区、料场区和皮带机线路区分别设置弃渣场，工程弃渣必须及时运输至指定渣场集中堆放，不得沿途随意倾倒，运输车辆在运渣过程中采取遮盖措施，不得随意散落，弃渣场并采取植被恢复和水保措施。

22.4 公众参与

依据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》《环境影响评价公众参与办法》等法律法规要求，建设单位开展了公众参与工作。建设单位已于 2018 年 9 月在黄河网、山西水利厅、陕西水利厅等政府官网进行了第一次网络公示；于 2019 年 12 月 24 日起在黄河网、山西水利网、陕西水利网等政府官网进行了征求意见。

见稿公示；与此同时，在山西日报、陕西日报分别进行两次登报公示，2019年12月24日~2020年1月9日期间在项目区涉及乡镇（村）进行张贴布告公示。为进一步深入了解公众对古贤工程和环评工作的意见，2022年12月2日建设单位主动召开了公众座谈会，会后2022年12月5日~9日在黄河网、山西水利厅、陕西水利厅政府官网公示了会议纪要。2022年12月30日在黄河网、山西水利厅、陕西水利厅政府官网进行了全文公示。三次公示期共收到公众反馈意见3份，主要关于地质安全、文物古迹、工程建设必要性、环境影响等方面，建设单位均及时给予了回复。

22.5 环境保护投资

工程环境保护静态总投资为193205万元，其中：环境保护措施费29385万元、环境监测费17294万元、环保设施及安装费11355万元、环境保护临时措施费22478万元，独立费用43457万元、基本预备费9917万元，其他费用（补沙措施）59319万元。

22.6 综合评价结论

古贤水利枢纽是国务院批复的《黄河流域综合规划（2012-2030年）》和《黄河流域防洪规划》等重大规划中确定的黄河干流控制性骨干工程之一，是《黄河流域生态保护与高质量发展规划纲要》中强调的黄河水沙关系调节这个“牛鼻子”的核心和战略工程之一，是实现黄河流域生态保护与高质量发展的重要举措，对保障黄河长治久安、改善区域生态环境、推动流域高质量发展具有重大战略作用。工程建成后，将产生巨大的社会、经济、环境和生态效益，可以改善进入黄河中下游的水沙关系，维持下游中水河槽过流能力，对确保黄河下游堤防不决口、河床不抬高、保障黄河下游长治久安、降低潼关高程等具有重要作用，促进下游沿黄及黄淮海平原等重点区域经济社会发展和生态稳定；提升水资源调控能力，确保黄河不断流，提高黄河中下游及河口生态水量满足程度，促进黄河河口湿地生态保护；改善区域供水和灌溉条件，解决沿岸地区因缺水带来的经济发展落后问题，有效推进黄河流域高质量发展。

由于工程建设规模大、淹没范围广，运行条件复杂多样，且影响区域环境十分敏感和复杂，工程的建设和运行将不可避免的对库区及坝下河段的地质遗迹、壶口景观、小北干流湿地、水环境、水生生态、陆生生态等带来一定的不利影响。结合治黄战略、项

目保护责任，评价提出了一系列的地质遗迹保护对策、壶口瀑布景观保护措施、水下泥泵+隧洞过坝工程措施、分层取水措施、鱼类栖息地保护措施、鱼类人工增殖放流措施、生态流量保障措施、湿地补水与修复措施、施工期污染防治措施等。国家林草局、晋陕两省林草（业）局针对工程涉及的风景区、地质公园、自然保护区等自然保护地均出具了同意工程建设的意见。工程在落实报告书提出的各项环保措施的前提下，不利影响可以得到有效的预防和减缓，从环境保护角度分析，古贤水利枢纽工程建设可行。

22.7 建议

（1）尽快开展评价提出的水库调度优化方案研究、壶口瀑布景观变化跟踪评估及保护措施研究、鱼类栖息地及保护措施有效性研究、小北干流湿地影响评估及措施有效性研究、多泥沙河流建库后水体富营养发生趋势及防治策略研究等相关科学研究工作。加强小北干流河段动床冲淤研究，为河段湿地保护提供技术支撑。

（2）建立完善的环境管理和环境监测体系。施工期加强环境管理，落实环境专项监理和环境监测。运行期开展长期的水环境、水温、水生态、沿河湿地、壶口瀑布、地质遗迹、局地气候等的观测和监测工作。

（3）结合工程实际进度及时开展环保措施总体设计及专项设计工作，对环保措施进一步深入研究和细化设计，严格遵循“三同时”制度，并落实相应环保措施费用，确保各项环保措施得以有效实施，减轻因工程建设和运行对区域生态环境造成的影响。

（4）在工程竣工完成环保验收运行3年~5年后，适时开展工程环境影响后评价。从整体上研究该工程建设对环境的实际影响，评估环保措施的可行性、合理性及有效性，提出切实可行的补救措施，实现工程建设与生态环境有序、协调发展。

（5）建设单位加强与风景名胜区、地质公园、自然保护区、水产种质资源保护区等环境敏感区主管部门的沟通协调，切实做好工程建设和运行期间环境敏感区的保护工作。



项目经办人（签字）：

賈新平

[illegible]

项目涉及法律法规规定的保护区情况		自然保护区		(可增行)							<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建 (多选)					
		饮用水水源保护区 (地表)		(可增行)							<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建 (多选)					
		饮用水水源保护区 (地下)		(可增行)							<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建 (多选)					
		风景名胜区		黄河壶口瀑布风景名胜区		国家	壶口瀑布	二、三级保护区	占用	102.27	<input checked="" type="checkbox"/> 避让 <input checked="" type="checkbox"/> 减缓 <input checked="" type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建 (多选)					
				黄河乾坤湾风景名胜区		省级	蛇曲群地貌景观	一二三级保护区	占用	3084.00	<input type="checkbox"/> 避让 <input checked="" type="checkbox"/> 减缓 <input checked="" type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建 (多选)					
		其他		陕西延川黄河蛇曲国家地质公园		国家	蛇曲群地貌景观	一二三级保护区	占用	1926.00	<input type="checkbox"/> 避让 <input checked="" type="checkbox"/> 减缓 <input checked="" type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建 (多选)					
				山西永和黄河蛇曲国家地质公园		国家	蛇曲群地貌景观	一二三级保护区	占用	3084.00	<input type="checkbox"/> 避让 <input checked="" type="checkbox"/> 减缓 <input checked="" type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建 (多选)					
陕西省清涧无定河曲流群地质公园				省级	曲流群地貌景观	一二三级保护区	占用	824.00	<input type="checkbox"/> 避让 <input checked="" type="checkbox"/> 减缓 <input checked="" type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建 (多选)							
主要原料及燃料信息		主要原料								<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 主要燃料						
		序号	名称		年最大使用量		计量单位		有毒有害物质及含量 (%)		序号	名称	灰分 (%)	硫分 (%)	年最大使用量	计量单位
大气污染治理与排放信息	有组织排放 (主要排放口)	序号 (编号)	排放口名称	排气筒高度 (米)	污染防治设施工艺			生产设施		污染物排放						
					序号 (编号)	名称	污染防治设施处理效率	序号 (编号)	名称	污染物种类	排放浓度 (毫克/立方米)	排放速率 (千克/小时)	排放量 (吨/年)	排放标准名称		
	无组织排放	序号		无组织排放源名称					污染物种类	排放浓度 (毫克/立方米)	排放标准名称					
水污染治理与排放信息 (主要排放口)	车间或生产设施排放口	序号 (编号)	排放口名称	废水类别		污染防治设施工艺			排放去向	污染物排放						
						序号 (编号)	名称	污染治理设施处理水量 (吨/小时)		污染物种类	排放浓度 (毫克/升)	排放量 (吨/年)	排放标准名称			
	总排放口 (间接排放)	序号 (编号)	排放口名称	污染防治设施工艺		污染防治设施处理水量 (吨/小时)	受纳污水处理厂		受纳污水处理厂排放标准名称	污染物排放						
							名称	编号		污染物种类	排放浓度 (毫克/升)	排放量 (吨/年)	排放标准名称			
	总排放口 (直接排放)	序号 (编号)	排放口名称	污染防治设施工艺		污染防治设施处理水量 (吨/小时)		受纳水体		污染物排放						
								名称	功能类别	污染物种类	排放浓度 (毫克/升)	排放量 (吨/年)	排放标准名称			
固体废物信息	废物类型	序号	名称	产生环节及装置		危险废物特性		危险废物代码	产生量 (吨/年)	贮存设施名称	贮存能力 (吨/年)	自行利用工艺	自行处置工艺	是否外委处置		
	一般工业固体废物					/		/		/	/	/	/			
						/		/		/	/	/	/			
						/		/		/	/	/	/			
	危险废物															

委 托 书

黄河水资源保护科学研究院：

黄河古贤水利枢纽工程是国务院批复的《黄河流域综合规划》和《黄河流域防洪规划》等重大规划中确定的黄河水沙调控控制性骨干工程。工程位于黄河中游北干流，左岸为山西省吉县，右岸为陕西省宜川县。枢纽的开发任务以防洪减淤为主，兼顾发电、供水和灌溉等综合利用。

依据《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护管理条例》有关规定，现委托你单位承担黄河古贤水利枢纽工程环境影响报告书编制工作，请接受委托后尽快开展工作。

黄河古贤水利枢纽工程筹建领导小组办公室

2018年9月27日



附图1-1 黄河流域水系示意图



黄河主要支流特征值表				
序号	支流名称	流域面积 (km ²)	河道长度 (km)	多年平均径流量 (亿m ³)
1	湟水	32863	373.9	48.76
2	洮河	25527	673.1	48.25
3	祖厉河	10653	224.1	1.53
4	清水河	14481	320.2	2.02
5	大黑河	15911	225.5	3.77
6	皇甫川	3246	137	1.52
7	窟野河	8706	241.8	5.54
8	无定河	30261	491.2	11.51
9	汾河	39471	693.8	18.47
10	渭河	134766	818.0	92.50
11	伊洛河	18881	446.9	28.32
12	沁河	13532	485.1	13.0
13	大汶河	9098	209	13.70

图例

★ 首都

● 省、自治区、直辖市

○ 地级市

台 地区、州、盟

国界

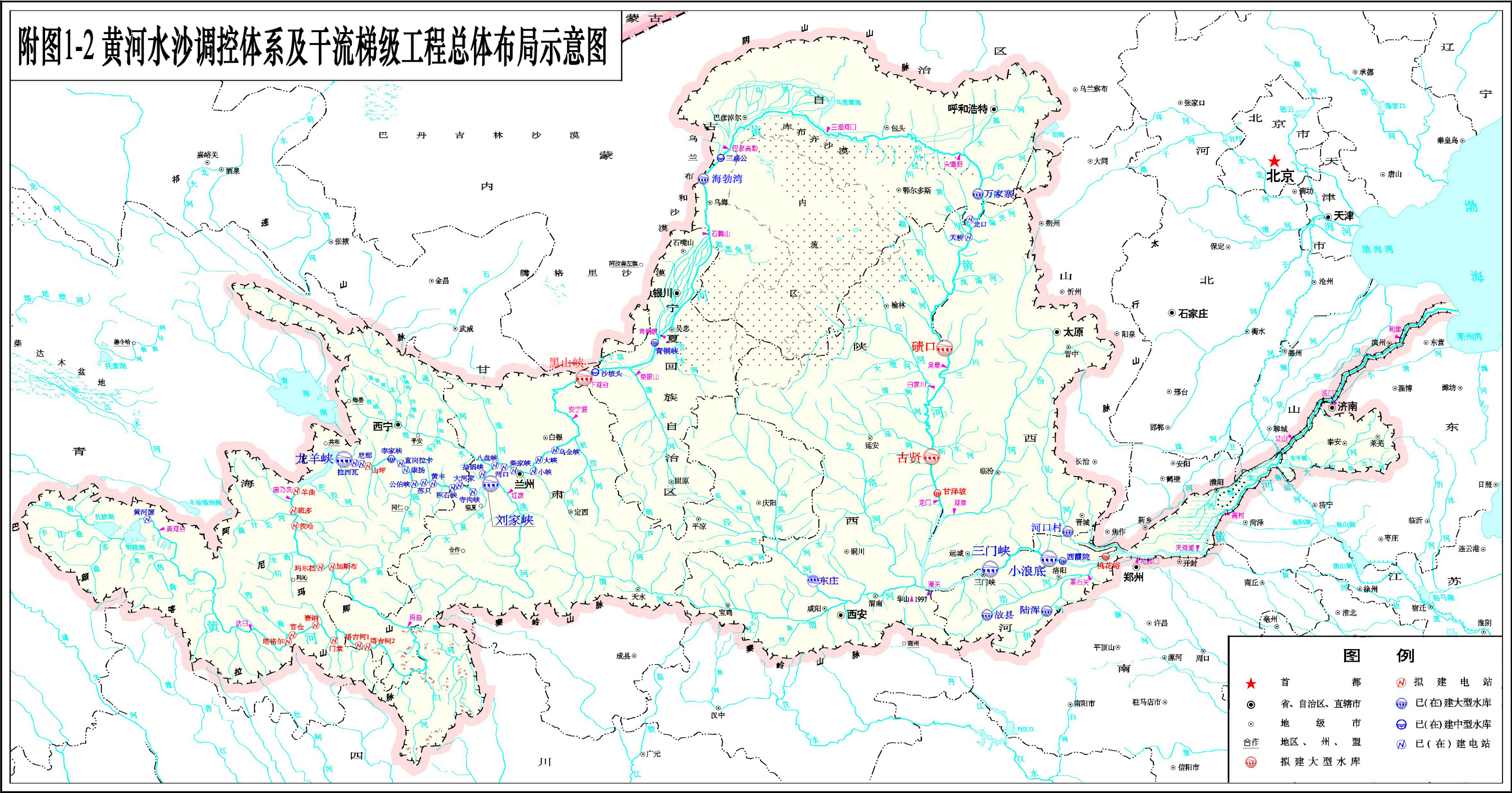
省界

流域界

河流

水文站

附图1-2 黄河水沙调控体系及干流梯级工程总体布局示意图



图例

- | | |
|-------------|-------------|
| ★ 首都 | Ⓜ 拟建电站 |
| ● 省、自治区、直辖市 | Ⓜ 已(在)建大型水库 |
| ○ 地级市 | Ⓜ 已(在)建中型水库 |
| 合作地区、州、盟 | Ⓜ 已(在)建电站 |
| Ⓜ 拟建大型水库 | |

附图2-1 古贤水利枢纽工程在黄河流域中地理位置示意图



附图2-3 古贤水利枢纽工程所在区域水系示意图

