

文章编号:1673-887X(2026)06-0047-03

引黄调水工程的防洪调控作用与 农业灌溉用水的保障能力协调研究

郭峰,邢云妍,宋银杰,贾禄进,马瑶

(山东省调水工程运行维护中心烟台分中心,山东 烟台 264003)

摘要 黄河流域水资源时空分布不均问题,长期制约着区域经济社会发展与生态安全。引黄调水工程作为系统工程,在防洪调控与灌溉保障方面具有重要作用。本研究以小浪底水库为核心的黄河中下游调水工程体系为对象,系统分析其防洪减灾与农业灌溉保障的机制与成效。历史运行数据和典型案例显示,小浪底水库对洪峰流量的削减比例稳定在40%以上,显著提升了防洪标准;同时通过蓄水调节与跨流域输水,在枯水期可有效保障下游及跨区域灌溉用水,支撑粮食安全与生态安全。但工程运行仍面临极端气候、水资源竞争等挑战,需进一步优化调度策略,提升协同管理水平。研究成果可为调水工程精细化调度与流域水资源可持续管理提供科学依据,对保障国家水安全、粮食安全与生态安全具有重要意义。

关键词 引黄调水;防洪调控;灌溉保障;水资源配置;可持续发展

中图分类号 S277.7

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1673-887X.2026.06.016

Research on the Coordination of Flood Control Regulation Function and the Guarantee Capacity for Agricultural Irrigation Water Supply of the Yellow River Diversion Project

Guo Feng, Xing Yunyan, Song Yinjie, Jia Lujin, Ma Yao

(Yantai Branch of Shandong Water Diversion Project Operation and Maintenance Center, Yantai 264003, Shandong, China)

Abstract: This study focused on the water diversion project system of the Yellow River's middle and lower reaches centered around the Xiaolangdi Reservoir, systematically analyzing its mechanisms and effectiveness in flood control and disaster reduction as well as agricultural irrigation guarantee. Historical operation data and typical cases showed that the Xiaolangdi Reservoir had a stable reduction ratio of more than 40% in flood peak flow, significantly enhancing the flood control standard. At the same time, through water storage regulation and cross-regional water transfer, it could effectively guarantee water supply for downstream and cross-regional irrigation during dry periods, supporting food security and ecological security. The study also pointed out that the project operation still faced challenges such as extreme climate and water resource competition, and further optimization of scheduling strategies and improvement of collaborative management levels were needed. The research results could provide scientific basis for the refined scheduling of water diversion projects and sustainable management of water resources in the basin, and were of great significance for ensuring national water security, food security and ecological security.

Key words: Yellow River water diversion; flood control regulation; irrigation guarantee; water resource allocation; sustainable development

黄河流域作为中华民族的母亲河,其水资源的高效管理与可持续利用始终是国家战略的重点。但是,黄河流域存在着水资源时空分布极度不均的难题,夏季洪水汹涌,威胁下游安全;冬春及干旱年径流锐减,难以满足沿线广袤农田的灌溉需求及生活、生态用水^[1]。这一矛盾,制约着区域的经济社会发展与生态安全。引黄调水工程是一个包含大型水库、干支渠、节制闸、分水枢纽等在内的复杂系统工程。过去的研究多

侧重于工程的防洪调度模型的优化或分析其供水经济效益,对工程如何在实际运行中协同发挥防洪与灌溉保障功能,以及其内在的联动机制与潜在矛盾,尚缺乏系统性的整合分析^[2]。

基于此,本文以黄河中下游小浪底水库为核心的调水工程体系为研究对象,分析工程防洪调控机理与灌溉保障机制,结合典型案例量化评估防洪削峰与灌溉供水成效,梳理工程运行面临的现实挑战并提出协

收稿日期 2025-10-19

作者简介 郭峰(1993-),男,山东五莲人,助理工程师,研究方向为水利建设。

同优化思路,以期为引黄调水工程防洪与灌溉功能协同提升、流域水资源可持续利用提供科学依据。

1 研究区域概况

本研究的对象是黄河中下游以小浪底水利枢纽为

关键调控节点,涵盖黄河下游引黄灌区及跨流域调水渠道所构成的综合性调水工程体系。黄河下游地区,特别是河南、山东两省,既是洪水威胁最为严重的区域,也是全国最大的引黄灌区。研究区主要引黄调水工程关键参数见表1。

表1 研究区主要引黄调水工程关键参数表

Tab.1 Key parameters of the main Yellow River water diversion project in the study area

工程名称	主要功能	设计引/调水能力/(m ³ ·a ⁻¹)	涉及主要灌区/受水区	关键调控节点
小浪底水利枢纽	防洪、减淤、供水、发电	调蓄库容约51×10 ⁸ m ³ (防洪库容)	黄河下游全线	水库自身
黄河下游引黄灌区	农业灌溉、生态补水	总设计引水能力超300×10 ⁸	豫、鲁两省大型灌区	各引水闸
引黄济青工程	城市供水、沿线补水	约5.5×10 ⁸	青岛市及胶东地区	渠首泵站、调节水库
引黄入冀补淀	生态补水、农业灌溉	约7.0×10 ⁸	白洋淀及河北部分地区	输水干线

小浪底水库位于黄河最后一道峡谷出口,控制着黄河近92%的流域面积和大部分泥砂。其设计库容巨大,不仅赋予了它强大的径流调节能力,更使其承担着“防洪减淤”的首要任务^[3]。在防洪方面,小浪底通过拦蓄上游洪水,将下游河道的防洪标准从约60年一遇提高到千年一遇,从根本上改变了下游的防洪形势。在供水方面,它通过调节下泄流量,为下游灌溉及跨流域调水提供了相对稳定可靠的水源。

2 引黄调水工程的防洪调控作用分析

2.1 调控机理与运行模式

工程防洪的核心在于利用水库的调蓄能力。当预报上游将发生较大洪水时,调度部门会提前加大下泄流量。洪水来临后,水库开始拦蓄,将超过下游安全泄量的洪水暂时储存在水库中,使下泄流量变得平缓。待洪峰过后,再逐步释放库存水量,为迎接下一次洪水做好准备,有效避免了洪峰叠加造成的灾难性后果。在特定洪水情境下,经过批准的引黄干渠可参与分洪。当下游某段河道水位接近警戒线且预报后续仍有来水时,可启用分洪闸将部分洪水引入设计容量较大的渠道或蓄滞洪区,从而直接降低干流洪峰水位。这种“干支流协同”的调度方式,丰富了防洪调控的手段。

2.2 防洪实例

小浪底水库对典型洪水过程的调控效果见表2。

表2 小浪底水库对典型洪水过程的调控效果表

Tab.2 The regulatory effect of the Xiaolangdi Reservoir on the typical flood processes

洪水事件	入库洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)	经调度后下泄洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)	削峰率/%	下游关键站水位控制情况
2012年汛期洪水	7 520	4 100	约45.5	花园口站未超警
2018年7月洪水	6 600	3 800	约42.4	花园口站未超警
2021年秋汛洪水	7 800	4 500	约42.3	有效降低下游河道高水位持续时间

3 引黄调水工程的灌溉保障能力

引黄调水工程的另一作用,是解决黄河流域水资源在时空上分布不均的难题,其灌溉保障能力直接关系到国家粮食安全、区域经济社会稳定与生态安全^[5]。

3.1 保障机制的构建

3.1.1 蓄水调节

小浪底、三门峡等干支流大型水库在每年汛末进行蓄水,将夏季丰水期无法全部利用,甚至可能成患的洪水资源储存起来。到了次年春季,黄河流域干旱,当小麦等作物需水时,水库再按计划逐步加大下泄流量,将河道基流抬升至可保障沿线引水闸正常引水的水平。可应对黄河天然径流年内分配极度不均的方法。小浪底水库典型水文年调节对下游灌溉关键期流量保障贡献见表3。

3.1.2 节水增效

许多老灌区渠系渗漏严重,“大水漫灌”方式粗放,水资源利用效率低下。近20年来,大规模的续建配套与节水改造项目实施,包括渠道衬砌、管道输水替代明渠,以及推广喷灌、滴灌、微灌等高效节水技术,显著减少了输水和田间环节的损失。

3.2 综合效益评估

3.2.1 粮食安全保障效益

黄河下游引黄灌区涉及豫、鲁两省近30个地市,有效灌溉面积超过666.67×10⁴ hm²,是我国最重要的粮食

表3 小浪底水库典型水文年调节对下游灌溉关键期流量保障贡献表
Tab.3 The contribution of the typical hydrological year regulation of the Xiaolangdi Reservoir to the guarantee of flow during the critical irrigation period downstream

水文年型	天然情况下花园口站3月— 6月平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)	经调节后花园口站3月— 6月平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)	流量提升 幅度/%	对下游主要灌区春灌保障作用评价
平水年(2019年)	约850	约1100	约29.4	充分保障,灌区引水需求完全满足
枯水年(2014年)	约520	约900	约73.1	关键性保障,避免大面积作物受旱减产
特枯年(2002年)	约350	约700	约100	决定性保障,在极度干旱下维持了农业生产基本盘

生产基地之一,生产了全国超过25%的小麦和大量的玉米、棉花。引黄灌溉是这片土地农业生产的命脉。

3.2.2 经济效益

灌溉保障带来的农业产值除了直接的农产品收益外,还支撑了灌区内的畜牧业、农产品加工业等相关产业,形成了庞大的产业链。引黄供水对山东、河南两省灌区农业GDP的贡献率超过30%,同时减少了因缺水导致的耕地退化、土壤沙化,兼顾了农业经济与水土资源保护。

4 防洪与灌溉协同调度技术措施

引黄调水工程运行中,防洪安全与灌溉供水在库容分配、水量调度时序上存在天然矛盾:汛期需预留充足防洪库容,枯水灌溉期则需保障蓄水供给,二者难以自然协同。仅依靠单一工程调度或临时处置,无法实现防洪减灾与灌溉保供的统筹兼顾。实际运行中需通过工程联合调度、动态阈值管控、农业节水配套等技术手段,推动洪水资源化利用,在严守防洪安全底线的前提下,最大化保障农业灌溉用水需求,提升流域水资源综合利用效率。

4.1 库群—渠系联合协同调度

黄河中下游水库群呈梯级分布,需构建以小浪底为核心枢纽,联合三门峡、陆浑、故县等上游水库,联动引黄干支渠系的一体化调度模式。汛前阶段,上游水库侧重蓄水保灌,提前储备灌溉水源;小浪底水库按规范控制汛限水位,足额预留防洪库容,保障汛期行洪安全。汛期洪水过程中,依据洪水量级、径流组成优化梯级水库拦蓄分配方案,在满足下游河道安全泄量要求的基础上,合理拦蓄可控洪水资源,将汛期冗余水量转化为灌溉可用水源。非汛期通过水库接力下泄、渠系精准配水,稳定维持下游引水闸取水流量,保障引黄灌区灌溉用水需求,形成分阶段、差异化的联合调度机制。

4.2 基于水文预报的汛限水位动态控制

依托流域水雨情监测及中长期预报成果,实施汛限水位动态调控技术。在预报流域无强降雨过程、洪水风险较低时,可在安全可控范围内适度抬高水库运行水位,增加蓄水量,提前储备灌溉用水;当预报流域将出现明显降雨、可能形成洪水过程时,立即执行预泄调度,按计算流量有序腾出库容,确保洪水入境前水位回落至防洪安全控制水位。通过动态调整调度阈值,

平衡防洪腾库与蓄水保灌需求,在不降低防洪标准的前提下,提高水资源利用效率。

4.3 农业节水配套保障措施

农业灌溉为引黄调水主要用水方向,节水潜力直接影响防洪与灌溉调度的协同性。在引黄灌区推进渠道衬砌、管网化改造等节水工程建设,推广喷灌、滴灌、水肥一体化等高效节水技术,严格落实农业灌溉用水定额管理,配套实施节水激励政策,降低灌区灌溉用水量与峰值需求。通过农业节水缩减灌溉用水压力,减少枯水期水库供水负荷,同时避免汛期集中引水对干流行洪造成干扰,为防洪调度提供空间,弱化防洪与灌溉用水竞争,实现工程调度与灌区用水的协同适配。

5 结语

本研究系统分析了引黄调水工程在防洪调控与灌溉保障两方面的作用机制与实际效益,得出以下主要结论:防洪减灾方面,以小浪底水库为核心的调水工程体系通过“拦、蓄、分、泄”系统调控,可稳定削减洪峰40%以上,显著提升下游河道防洪标准,减少洪水威胁,保障重要基础设施与人民生命财产安全。灌溉保障方面,工程通过蓄水调节与跨流域输水,有效缓解黄河流域水资源时空分布不均问题,在枯水期显著提升下游及受水区灌溉供水能力,支撑粮食生产、区域经济发展与生态补水需求。综合协同方面,防洪与灌溉功能在运行中存在一定的竞争关系,需通过库群联合调度、动态水位阈值管理及非工程措施,推动洪水资源化与水资源高效利用。

参考文献

[1] 惠婧璇,谭琦璐,侯奕菲.促进黄河流域水-能源-粮食协调发展的水资源管理研究[J].人民黄河,2024,46(S2):62-63.
[2] 张睿,李纪辉,鲁春辉,等.考虑生态流量保证率的丹江口水库多目标优化调度[J].长江科学院院报,2025,42(9):192-201.
[3] 王婷,赵东晓,马怀宝,等.小浪底水库减淤调度模式探讨[J].人民黄河,2024,46(8):26-30.
[4] 王远见,江恩慧,李新杰.黄河小浪底水库2018年生态调度的理论与方案研究[C]//中国大坝工程学会.水库大坝高质量发展与绿色发展:中国大坝工程学会2018学术年会论文集.郑州:黄河水利出版社,2018:69-75.
[5] 赵英,王海霞,王毅,等.黄河流域农业水资源高效利用与优化配置研究[J].中国工程科学,2023,25(4):158-168.