

河道水闸调度模式优化对流域水生态修复作用研究

王 鹏

湖北钟环达环境检测有限公司, 湖北 钟祥 431900

[摘要]河道水闸是调节流域水量、水位和水动力条件的重要水利设施,其运行方式不仅影响防洪、灌溉、供水及排涝安全,也直接改变河流纵向连通性、水体交换能力和水生生物栖息环境。本文结合典型平原河网流域运行参数开展情景对比分析,结果表明,优化调度后河道生态基流保障率、水体流速、溶解氧浓度及水生生物适生面积均得到改善,水位波动幅度和污染物滞留风险明显降低。研究可为兼顾防洪、供水与生态修复需求的河道水闸运行管理提供技术参考。

[关键词]河道水闸;调度模式;生态流量;河流连通性;水生态修复

DOI: 10.64635/ja.2026.1418

中图分类号: TV66

文献标识码: A

Research on the Role of River Sluice Gate Scheduling Mode Optimization in Watershed Water Ecological Restoration

Wang Peng

Hubei Zhonghuanda Environmental Testing Co., Ltd., Zhongxiang, Hubei 431900, China

Abstract: River sluice gates are important water conservancy facilities for regulating water volume, water level, and hydrodynamic conditions in watersheds. Their operation modes not only affect flood control, irrigation, water supply, and drainage safety, but also directly change river longitudinal connectivity, water exchange capacity, and aquatic habitat conditions. This paper conducts scenario comparison analysis based on operating parameters of a typical plain river network watershed. The results show that, after optimized scheduling, the guarantee rate of ecological base flow, water flow velocity, dissolved oxygen concentration, and suitable habitat area for aquatic organisms are all improved, while the fluctuation range of water level and the risk of pollutant retention are significantly reduced. The study can provide technical reference for the operation and management of river sluice gates that coordinate the needs of flood control, water supply, and ecological restoration.

Keywords: river sluice gate; scheduling mode; ecological flow; river connectivity; water ecological restoration

引言

在流域开发利用程度持续提高的背景下,水闸已由单一的挡水、泄水设施逐渐转变为承担防洪排涝、农业灌溉、城乡供水、航运保障和生态补水等多重任务的综合调控节点。水闸建设虽然提升了水资源配置能力,但闸门长期关闭、调度周期固定和上下游控制不同步,会削弱河流天然水文节律,造成水体流动性下降、泥沙淤积、污染物富集及鱼类迁移通道受阻。部分河段即使实施清淤、生态护岸和水生植物恢复工程,也可能因缺乏适宜的水文水动力条件而难以形成稳定修复效果。本文围绕河道水闸调度与水生态修复之间的内在关系,构建兼顾工程安全、资源利用和生态需求的调度优化思路,以期增强河流水生态系统的自我维持和自我修复能力。

1 现行河道水闸调度模式存在的主要问题

1.1 调度目标偏重工程效益,生态约束落实不足

当下的水闸调度规程,通常把防洪限制水位、灌溉水位、供水保证率、排涝时间当作核心指标,而关于生态流量、水位变幅、生物关键期等方面的要求,往往只是停留在原则规定方面。在水资源紧张的时段,生态用水极易被生产生活用水所挤占。汛期结束后,部分水闸为增加蓄水量会长期处于关闭状态,导致下游河段缺乏持续补水。不同季节的生态需求存在比较明显的差异,春季鱼类繁殖需要特定的流量过程,夏季高温时需要提高水体交换和复氧能力,冬季则要防止水位快速下降使得越冬深水区缩小。固定的水位控制和固定的启闭周期难以适应这种差异。部分管理单位虽设置了最低下泄流量,但缺少与天然来水、

河道水质、生态敏感期相结合的动态调整机制,致使生态流量指标与实际河道需求脱节。因此,调度目标需从单纯追求水位控制、用水保证,转变为防洪、供水、排涝、水质与生态多个目标协同。

1.2 单闸独立运行明显,流域闸群协同性不足

流域内不同水闸通常分属于水利、农业、城建、属地管理单位来进行运行操作,这使得调度信息和控制指令缺乏统一协调。当上游水闸开启准备进行泄水操作时,下游水闸可能仍处于关闭状态,如此便会造成中间河段的水位快速上升、污染水团聚集甚至出现局部顶托现象。要是下游水闸提前进行泄水而上游补水不足,又有可能导致河道水位下降速度过快。单闸调度往往只关注闸前水位和局部任务,没有全面考虑水流在上游河段与下游河段之间的传播时间、支流汇入量、沿程取水所带来的影响,故而很难形成连续且稳定的生态水流。在平原河网地区,多座水闸、泵站、支河之间联系非常紧密,一处闸门开度发生变化就可能引发多个河段的水位和流向改变。缺少闸群联合调度时,生态补水容易出现“有水进入却无通道排出”或者“主河道有水而支流末端缺水”等情况,削弱了水生态修复的整体性。因此,应以流域或者水系单元为尺度,统一确定闸门启闭顺序、流量分配、水位控制区间。

1.3 监测手段与反馈机制不完善

当下部分基层水闸,在调度工作进行方面,依然多依赖人工读取水尺、现场巡查、凭借经验来判断,监测频率不高,致使流量、水质与生境的变化情况难以被及时掌握。水位数据仅能体现河道的蓄水情形,无法全面呈现水体流速、溶解氧、污染物浓度及藻类风险等信息。当上游来水、水质或者气象条件有改变时,调度人员往往是在水体出现黑臭、鱼类出现缺氧状况或者水位出现异常以后,才会采取相应举措,调度具有比较显著的滞后性。水生态修复效果评价一般比较关注工程完成量,像清淤长度、岸线绿化面积、水生植物种植面积等,然而对生态基流保障率、水体停留时间、生物多样性、栖息地稳定性等关注不足,很难判定调度调整是否切实改善了生态系统。因缺乏“监测—分析—决策—执行—评价”的闭环机制,导致水闸运行与生态修复工程相互分离,部分修复设施在不合适的水位和流速条件下难以长期稳定运行。

2 面向水生态修复的河道水闸调度模式优化

2.1 构建生态流量与水位双约束调度模式

调度优化首先要明确河道的最低生态流量、适宜生态水位、允许水位变幅。最低生态流量可依据河道断面形态、

历史径流过程、污染负荷、主要水生生物需求综合确定,适宜生态水位需保证主河槽持续过水、滨岸带适度湿润、关键栖息地不出现大面积干涸。在实际运行当中,河道可分为生态敏感期、一般维持期、防洪排涝期。生态敏感期重点保障鱼类繁殖、水生植物生长、湿地补水需求,采用连续小流量下泄并实施稳定水位控制,一般维持期根据来水和水质状况动态调整开度,保持河道基本流动,防洪排涝期在确保安全的前提下控制水位下降速率,防止闸门全开导致生态水量在短时间内大量流失。闸门启闭适宜采用分级控制,将目标开度分为预开启、稳定泄水、逐级关闭三个阶段,减少水位突变。对于枯水期来水不足的河段,可以按照“重要生态节点优先、干支流统筹、上下游均衡”的原则分配有限水量,优先维持饮用水水源地、自然湿地、鱼类产卵场、黑臭风险较高河段的基本生态需水。

2.2 建立闸群联合调度与动态反馈机制

闸群联合调度要将流域水系视为一个整体加以考量,根据上游来水情况、支流汇入状况、用水需求、下游控制水位,来确定各个水闸的启闭先后顺序。进行生态补水操作时,可按照“上游引水—中游输水—下游排水”的顺序分阶段开启水闸,先适当降低下游控制水位,接着开启上游水闸,以使补水水体能沿河道保持连续流动,避免形成局部顶托现象。对于污染物浓度较高的河段,可借助上下游闸门联动形成定向水流,并结合泵站运行提高水体置换效率。闸群调度平台应接入水位、流量、降雨、水温、溶解氧、氨氮、叶绿素等一系列数据,依据实时监测结果修正闸门开度。当溶解氧持续下降或水温上升时,可增加交换流量,当下游水位接近警戒值时,降低上游泄水量,当降雨导致面源污染集中流入河流时,先控制污染水团扩散,再结合水质变化组织分段换水。通过滚动式更新未来24~72小时的来水和需水预测结果,使调度方案从固定计划转变为动态决策。调度工作完成后,还需对生态流量达标率、水位变幅、水质变化、生境响应进行评价,并将评价结果应用于下一周期的参数修正中。

2.3 优化调度模式的生态修复效果分析

为深入剖析调度模式优化所带来的实际成效,特意选取了某平原河网流域内具备典型特征的控制河段来建立对比情景。此段河流设有上游、中游、下游三座控制水闸,在传统模式下,闸上蓄水位一直维持着,经常是连续关闭5~7天之后才集中进行泄水作业。而优化后的模式,则采取了包括生态基流持续下泄、闸群按序启闭、对水质进行动态反馈控制等一系列举措。在运行过程中,将最低生

态流量设定为 $3.5\text{m}^3/\text{s}$ ，并且将日水位变幅控制在 0.20m 范围以内，在高温低氧的时段还会适当增加过闸流量。两种调度模式的主要指标对比情况呈现于表 1 当中。

表 1 不同水闸调度模式下河道生态指标对比

指标	传统调度模式	优化调度模式	变化情况
生态基流保障率/%	68.4	93.7	提高 25.3 个百分点
平均流速/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	0.08	0.16	提高 100.0%
日均水位变幅/m	0.46	0.18	降低 60.9%
水体平均停留时间/d	8.2	4.9	缩短 40.2%
溶解氧浓度/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	4.6	6.2	提高 34.8%
氨氮浓度/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	1.12	0.78	降低 30.4%
适生水域面积占比/%	42.5	61.8	提高 19.3 个百分点

经过对比得出的结果表明，在传统调度情形下，河道流量的过程展现出明显的间歇性特点。集中泄水的时候，流速相对较大，处于关闭时段时，局部河段近乎处于静水状况，水位跟流速的变化对生境稳定非常不利。优化调度是借由维持持续的生态基流达成的，平均流速从 0.08m/s 提高到 0.16m/s ，水体平均停留时间减少了 3.3 天，这对污染物扩散、水体复氧有好处。当日均水位变幅降低至 0.18m 之后，浅滩、岸边缓流带的淹没条件越来越稳定，水生植物幼苗受水位涨落扰动的程度有所减轻。溶解氧浓度上升到 6.2mg/L ，氨氮浓度下降到 0.78mg/L ，这说明闸群联动、连续换水对河道水动力、水质条件有改善作用。适生水域面积占比从 42.5% 提高到 61.8%，这意味着稳定水位、适宜流速、河道连通性恢复能够增大鱼类、底栖动物、水生植物的生存空间。

3 河道水闸生态调度的实施保障措施

3.1 完善多目标调度制度与生态考核指标

水闸管理单位需要把生态流量、水位变幅、水体连通时间、关键生物期保障要求融入调度规程之中，以此来明确不同水文情景下的控制指标与调整权限。年度调度计划除了有防洪、灌溉、供水任务外，还要设置生态补水总量、最低下泄流量、连续过流天数等指标。考核方式要从只评价水位控制及供水完成情况，变为对工程安全、资源利用和生态效益展开综合评价。可以设置生态基流保障率、水

质改善率、异常水位事件数量、生态敏感期闸门开放率等指标，防止管理人员为了追求蓄水量而长时间关闭水闸。针对跨区域河流，要建立上下游协商机制和信息共享制度，明确生态水量分配、调度指令发布及异常情况处置责任，降低行政边界对流域整体调度的影响。

3.2 加强感知设备和智能控制系统建设

水闸生态调度需要持续且精确的数据来提供支持，应在重点闸站、生态敏感河段布置水位计、流量计、水质传感器、视频监控设备。监测系统要具备数据自动采集、异常识别、趋势分析、远程传输等功能，以此降低人工巡测所导致的时间间隔与误差。对于规模较大的闸群，可以建立数字化调度平台，将水文预报、水质监测、闸门状态、用水计划一同纳入模型计算中，通过多目标优化算法生成可执行的闸门控制方案。智能控制不能完全替代人工决策，需设置水位越限、设备故障、通信中断、水质突变等安全边界，当出现异常情况时自动切换至保守运行状态。

4 结论

河道水闸调度方式直接影响流域水量分配、水动力过程、河流连通性和生物栖息环境，是水生态修复能否持续发挥作用的重要控制因素。传统以蓄水、防洪和供水为主的调度模式容易造成生态基流不足、水位剧烈波动、闸群运行不同步及水体滞留时间过长。今后应进一步完善生态调度制度、实时监测体系和智能决策平台，推动水闸运行与污染控制、生态护岸、生境营造及生物恢复协同实施，使水闸由传统水量控制设施转变为流域水生态系统精细化调控的重要节点。

【参考文献】

[1]高展,许延霄.基于大数据的水闸智能调度与安全评估研究[J].中国水运,2026,(9):18-20.

[2]张丹.水闸对河道水流调控的影响及优化措施[J].珠江运,2025,(16):147-149.

[3]高丽莎,韩超,陈奕.基于水闸调度的上海市苏州河泵站放江污染消除方案[J].净水技术,2025,44(7):130-138.

[4]陈秀洪,孙玲玲,武亚菊.中山市文明三乡联围水闸优化调度方案研究[J].人民珠江,2024,45(S1):34-39.

[5]高原.基于不同降雨条件与水闸调度方案的城市河道防洪分析[D].东莞理工学院,2024.