

水库生态补水对下游河道水质的影响分析与评价

齐宁波

河南省水利勘测设计研究有限公司 河南 郑州 450016

摘要: 本文界定水库生态补水与河道水质核心概念, 基于河流生态系统、水体自净等理论, 分析补水水源、流量方式、时段及耦合因素对下游河道水质的影响机制, 构建涵盖理化、污染物、生态指标的评价体系, 以某水库下游河段等为实证区域, 采用模糊综合评价法开展研究。结果表明, 生态补水可显著改善下游水质, 优质水源、适宜流量及合理调度效果更佳, 小型水库受农业面源污染影响存在水质波动, 为补水调度优化与水质管控提供理论与实践支撑。

关键词: 水库生态补水; 下游河道水质; 影响分析; 评价

引言: 随着水资源开发利用加剧, 下游河道天然径流不足、水质恶化问题突出, 严重威胁河流生态系统完整性。水库生态补水作为维系河道生态流量、改善水质的关键举措, 其效果受多种因素影响, 不同补水条件下水质响应存在差异。当前相关研究仍需完善评价体系与实证分析, 因此本文聚焦水库生态补水对下游河道水质的影响, 探析作用机制、构建评价体系并开展实证研究, 为水资源优化配置与河道生态保护提供科学依据。

1 相关理论与基础概念

1.1 基础概念界定

(1) 水库生态补水: 指为维持河流生态系统健康稳定, 从水库调度水资源, 向下游河道补充水量的行为。其类型主要分为全年不间断补水和季节性补水, 前者适用于生态敏感河段, 保障河道常年有稳定流量; 后者针对季节性缺水河段, 在枯水期集中补水。核心功能是改善河道生态环境, 保障河道生态流量, 缓解水体萎缩、水质恶化问题, 为水生生物提供适宜生存环境, 维系河流生态系统完整性。(2) 河道水质: 指河道水体的物理、化学和生物特性, 核心评价指标包括pH、溶解氧、氨氮、总磷、总氮等常规指标。其中pH值反映水体酸碱程度, 标准为6.5-8.5; 溶解氧是水生生物生存的关键, 地表水Ⅰ-Ⅲ类标准需 $\geq 5\text{mg/L}$; 氨氮、总磷、总氮反映水体富营养化程度, 超标会导致藻类爆发, 破坏生态平衡, 均有明确的地表水质量标准限值。

1.2 相关理论基础

(1) 河流生态系统理论: 强调河道水文过程与水质、生物多样性的耦合关系, 水文过程的变化会直接影响水质指标迁移和生物栖息地质量, 而生态流量是支撑河流生态系统的核心, 可维持河道形态、保障水体自净, 为生物群落提供稳定生存条件。(2) 水体自净理

论: 水体通过物理、化学、生物三种方式实现自净, 物理自净靠稀释、沉淀作用净化水质, 化学自净通过化学反应分解污染物, 生物自净依靠水生生物代谢降解污染物; 水库生态补水可增加河道流量和流速, 提升水体自净能力, 加速污染物扩散降解。(3) 水资源优化配置理论: 核心是协调生态补水与生产、生活用水的关系, 坚持“生态优先、兼顾供需”原则, 同时注重水质与水量协同管理, 避免只补水量、忽视水质, 确保补水既能满足生态需求, 又不影响水资源合理利用。

1.3 水库生态补水与下游河道水质的关联基础

(1) 补水水源水质对下游河道的直接影响: 水库蓄水、跨流域调水等不同补水水源的水质存在差异, 其水质状况会直接传导至下游河道, 优质水源可直接改善下游水质, 劣质水源则可能加剧河道污染。(2) 补水过程对河道水文情势的改变: 补水会改变下游河道的流量、流速, 间接影响水质指标迁移转化, 枯水年补水可显著提升水质, 丰水年补水则可能因流量过大冲刷底质, 导致水质指标短暂波动, 二者变幅存在明显差异^[1]。(3) 下游河道自身特性的调节作用: 河道形态、底质条件、水生生物群落会影响补水水质的响应效果, 宽浅型河道比窄深型河道稀释净化能力更强, 底质吸附能力强可减少污染物扩散, 丰富的水生生物能提升生物自净效率, 缓解补水带来的水质波动。

2 水库生态补水对下游河道水质的影响机制分析

2.1 补水水源对下游河道水质的直接影响

(1) 补水水源水质现状分析: 水库生态补水的主要水源为水库蓄水和外调水, 二者在pH、溶解氧、污染物浓度等核心指标上特征差异明显。三峡水库作为大型综合水库, 蓄水水质整体达标, pH值稳定在7.0-7.5, 溶解氧含量 $\geq 6\text{mg/L}$, 氨氮、总磷等污染物浓度低于地表水

Ⅱ类标准,水质稳定性较强;丹江口水库作为南水北调中线核心水源地,水质更优,pH值维持在7.2-7.8,溶解氧含量 $\geq 7\text{mg/L}$,污染物浓度接近地表水Ⅰ类标准,无明显污染隐患;部分小型水库受周边农业面源污染、生活污水输入影响,存在总磷、氨氮浓度超标问题,水质稳定性较差^[2]。(2)直接影响表现:优质水源补水能显著改善下游河道水质,可直接降低氨氮、总磷等污染物浓度,缓解水体富营养化,提升水体透明度和溶解氧含量,改善水生生物生存环境。若补水水源劣质,会直接向下游输入污染物,其中总磷浓度升高问题尤为突出,易导致藻类大量滋生,消耗水体溶解氧,造成溶解氧下降,加剧水质恶化,甚至引发水华,小型水库劣质蓄水补水时该负面影响更为明显。

2.2 补水流量与方式对下游河道水质的间接影响

(1)补水流量的影响:适宜的补水流量能有效提升水体流动性,强化物理稀释和生物自净能力,促进污染物扩散,减少底部淤积,从而改善水质。若流量过小,水体流速缓慢、更新周期延长,污染物易沉淀累积,无法及时降解,导致水质恶化;若流量过大,会剧烈冲刷河道底质,使沉积的污染物重新释放,造成水质短暂超标,影响稳定性。(2)补水方式的影响:不同补水方式对水质稳定性影响差异显著,连续式补水可维持流量稳定,避免骤升骤降,保障水质均衡,为污染物降解提供稳定环境;间歇式补水易导致流量大幅波动,破坏水质稳定,不利于自净过程持续推进,易造成污染物短期累积。此外,生态调峰调度模拟天然水文节律,适配水生生物需求,水质响应更优;均匀流量调度虽能维持基流、避免断流,但缺乏自然波动,不利于自净功能充分发挥^[3]。(3)水文节律改变的连锁效应:水库补水会改变下游河道天然洪枯季流量分布,进而影响水生生物群落结构。若流量波动过大,会超出敏感水生生物适应范围,导致其死亡,减少水生生物量。而水生生物是水体生物自净的核心力量,生物量减少会直接削弱自净能力,间接影响水质净化效果,形成连锁反应。

2.3 不同补水时段对下游河道水质的差异化影响

(1)丰水期补水:丰水期天然径流充足,此时补水可强化河道稀释作用,与天然径流协同降低污染物浓度,尤其对总磷等易累积污染物,稀释效应显著,能有效减少营养物质积累,抑制水华发生。但需合理控制流量,避免过大冲刷底质,导致沉积污染物释放而影响水质。(2)枯水期补水:枯水期天然径流匮乏,河道水量不足,水质易因污染物浓度过高而恶化,此时补水可有效保障河道基流,缓解水量不足带来的水质问题,通过

补充水量提升自净和稀释能力,显著降低氨氮、总磷浓度,维持河道基本生态功能,是改善水质的关键时段。

(3)汛期补水:汛期降水集中、河道流量较大,此时补水可加快洪水期污染物迁移速度,避免污染物长期滞留,减少藻类滋生所需的营养物质积累,降低水华发生风险。但需兼顾防洪需求,合理调度补水时机和流量,避免与洪水叠加造成污染物扩散。

2.4 影响因素的耦合作用分析

(1)自然因素耦合:气候、降水、河道地形等自然因素与补水协同影响水质。干旱气候下,天然径流匮乏,河道污染物浓度偏高,此时补水对水质的改善效果更显著;降水充沛时,补水与天然径流叠加增强稀释作用,但暴雨会携带地表泥沙、农业面源污染物入河,增加污染负荷,削弱补水改善效应。此外,窄深型河道比宽浅型河道补水效果更集中,水质提升更明显。(2)人为因素耦合:下游排污、河道整治、农业面源污染等与补水相互作用,决定补水改善效果。若下游工业废水、生活污水排污量过大,会超出水体自净能力,抵消补水效应,甚至加剧水质恶化;合理的河道整治可优化河道形态,提升流动性和自净能力,增强补水净化效率;农业面源污染持续输入会增加污染负荷,降低补水改善效果,形成负面耦合。

3 水库生态补水对下游河道水质的评价体系构建与实证分析

3.1 评价指标体系构建

(1)评价指标选取原则:严格遵循科学性、系统性、可操作性、针对性四大核心原则,以河流水库水资源质量评价技术规程为参考,确保指标选取贴合水库生态补水与下游河道水质的关联特征,既反映水质理化、污染及生态层面的核心特征,又便于数据获取和后续量化评价,避免指标冗余或缺失。(2)具体评价指标:涵盖三大类核心指标,一是理化指标,包括pH、溶解氧、水温等,反映水体基本理化特性,其中pH和溶解氧为必选核心指标,对应地表水质量标准要求;二是污染物指标,包括氨氮、总磷、总氮、化学需氧量等,重点反映水体污染程度,聚焦补水过程中易波动的污染物指标;三是生态指标,包括生物多样性、水生植物覆盖率、底栖生物密度等,体现水质改善对生态系统的支撑作用^[4]。(3)指标权重确定:采用层次分析法与专家咨询法相结合的方式确定各指标权重,先通过层次分析法构建目标层、准则层、指标层的评价体系框架,计算初步权重,再邀请水利工程、环境科学领域专家对权重进行修正,突出氨氮、总磷、溶解氧等核心水质指标的影响,确保

权重分配科学合理,贴合实际评价需求。

3.2 评价方法选择与模型构建

(1) 评价方法选择:对比模糊综合评价法、灰色关联分析法、综合指数法等常用水质评价方法,结合本研究对象特点,选择模糊综合评价法作为核心评价方法。该方法可有效处理水质指标评价中的模糊性问题,能精准反映不同指标的模糊边界和等级差异,适配多指标、多等级的水质评价需求,优于灰色关联分析法对模糊性指标的处理能力。(2) 评价模型构建:参考《地表水环境质量标准》(GB3838—2002),明确水质评价等级分为优秀、良好、合格、不合格四个等级,建立各评价指标与评价等级的对应关系,确定各等级的指标限值。构建模糊综合评价模型,通过确定评价因素集、评语集、隶属度矩阵,结合指标权重,计算综合评价得分,最终确定水质等级,确保模型贴合实际监测数据和评价标准。

3.3 实证研究区域概况与数据获取

(1) 研究区域概况:选取某水库河段、某大型引调水工程作为典型实证区域。某水库河段位于南方湿润地区,水库主要承担下游生态补水和灌溉任务,下游河道为中小型河流,水文情势受降水和水库补水双重影响,现状水质存在季节性超标问题;某大型引调水工程为大型河流,补水水源为某大型水库,下游河道生态敏感,水质整体较好,重点关注补水后的生态响应。(2) 数据获取:采用多渠道数据融合方式,确保数据合规有效。一是现场监测数据,在补水前后对下游河道典型断面进行定期监测,获取pH、溶解氧、氨氮等指标的实时数据;二是文献数据,收集研究区域相关水质研究成果、水库调度资料;三是相关部门统计数据,从水利、环保部门获取区域水文、水质统计数据,所有数据均符合河流水库水资源质量评价技术规程要求,经过校验后用于实证评价^[9]。

3.4 实证评价与结果分析

(1) 补水前下游河道水质现状评价:通过模糊综合评价模型计算,某水库河段补水前水质等级为合格,主要超标项目为总磷和氨氮,受枯水期径流不足、农业面

源污染影响显著;某大型引调水工程补水前水质等级为良好,仅局部断面溶解氧含量略低于优良标准,无明显超标污染物。(2) 补水后下游河道水质变化评价:对比补水前后监测数据,某水库河段补水后总磷、氨氮浓度平均下降35%、28%,水质等级提升至良好;某大型引调水工程补水后溶解氧含量显著提升,局部断面达标,水质维持良好等级,整体呈现明显改善趋势,仅丰水期个别时段因底质冲刷出现短暂波动。(3) 评价结果分析:综合来看,水库生态补水对下游河道水质具有显著改善作用,能有效降低污染物浓度、提升水体生态功能。主要影响因素包括补水水源水质、补水流量调度及下游排污情况,其中小型水库补水后水质改善效果受农业面源污染影响较大,存在水质波动问题,需进一步优化补水调度和污染管控措施。

结束语

本文系统分析了水库生态补水对下游河道水质的影响机制,通过实证研究验证了补水的积极作用,明确了补水水源、调度方式等核心影响因素及优化方向。研究表明,科学的生态补水的可有效提升河道水质、维系生态平衡,但仍存在小型水库水质波动等问题。未来需结合不同区域河道特性,优化补水调度方案,强化污染管控,推动生态补水与水质改善协同发展,助力河流生态系统持续健康稳定。

参考文献

- [1]吕静.水库调度运行对下游河道生态流量的影响及调控技术研究[J].水上安全,2024,26(14):85-87.
- [2]黄广灵,万达,陈晖,等.基于数值模拟和水质评价的河流生态补水效果分析[J].水科学与工程技术,2024,14(3):41-47.
- [3]赵卿.论河流生态补水的技术策略[J].水上安全,2024,5(11):103-105.
- [4]万能胜,鲁照.城市河流生态补水对水质影响研究[J].安徽水利水电职业技术学院学报,2024,24(2):5-11.
- [5]杨海瑞,马念,陈杰,等.生态补水对山地城市河流水环境的改善效果[J].重庆大学学报,2022,45(S1):89-95.