

Assessment and optimization of the impact of ecological water conservancy projects on the water environment of river basins

Xuesong Wu

Yellow River Estuary Management Bureau Lijin Yellow River Affairs Bureau, Dongying, Shandong, 257000, China

Abstract

Ecological water conservancy engineering, as an improved means to cope with the ecological damage caused by traditional water conservancy construction, has played a positive role in regulating water resources, purifying water quality, and restoring river ecology. Based on the theme of "Impact of Ecological Water Conservancy Engineering on Watershed Water Environment", this article analyzes its mechanism and problem links through watershed quantitative assessment methods, and proposes systematic optimization strategies.

Keywords

ecological water conservancy; Watershed water environment; Water quality assessment; Ecological optimization; ecological engineering

生态水利工程对流域水环境影响的评估与优化

吴雪松

黄河河口管理局利津黄河河务局, 中国·山东 东营 257000

摘要

生态水利工程作为应对传统水利建设对生态系统破坏的改进手段, 其在调控水资源、净化水质、恢复河道生态方面发挥了积极作用。围绕“生态水利工程对流域水环境影响”主题, 本文通过流域量化评估方法分析其作用机制与问题环节, 提出系统化的优化策略。

关键词

生态水利; 流域水环境; 水质评估; 生态优化; 生态工程

1 引言

传统水利工程忽视生态, 致河流功能退化。生态水利强调自然与工程协同, 推进湿地恢复与生态治理。本文构建评价体系, 结合案例分析其风险与局限, 提出源头控制、生态设计与动态优化结合的改进路径, 为后续项目提供参考。

2 生态水利工程对流域水环境影响的评价指标体系构建

2.1 水量调控与水文过程变量

生态水利工程在流域综合治理过程中扮演着关键角色, 其最直接的影响体现在对水量空间分布与时间节律的调控上。通过建设拦河坝、调节闸门、橡胶坝、堰体等调控设施, 工程能够有计划地管理上下游之间的水量流动, 实现对干旱期基础流、丰水期泄洪量的调节, 从而改变原始水文过程变

量。合理的水量调配有助于提升河道湿地的补水效率, 维持一定频率与时长的河道湿润状态, 为湿地植物恢复、底栖动物栖息和鱼类洄游创造条件。然而, 若调控方式不科学, 可能造成上游蓄水过多、下游断流, 或生态基流不足, 导致河道生态功能退化、水体连续性中断及水生生物生境破坏。

为了定量评估水量调控对流域生态水文过程的影响, 需设立与生态适宜性相对应的指标体系。例如: 基础生态流量、最小生态水位、日均流量变异系数、干旱期最小保障流量等, 并结合动态水位监测系统开展全过程数据记录与分析。同时, 通过与历史自然状态下水文数据的对比, 量化工程实施前后水文过程的变异程度, 可科学识别工程在生态供水保障与调控节律方面的利弊, 为水量调度策略提供依据。

2.2 水质指标与污染物削减

生态水利工程常通过人工湿地、缓冲带、水生植被群落等设施手段, 对流域水体进行自然净化处理, 降低水体污染负荷, 改善水质结构。这些生态设施通过水力停留、沉淀过滤、有机物吸附、植物吸收及微生物协同作用, 对总氮(TN)、总磷(TP)、化学需氧量(COD)、氨氮等污染

【作者简介】吴雪松(1992-), 男, 中国山东东营人, 本科, 工程师, 从事自动化专业研究。

物具有显著削减效果。人工湿地特别适合用于农业面源污染、城市初期雨水径流及农村污水的生态处理，其运行过程不仅体现出较高的去除率，还具有能耗低、生态友好等优势。

在水质评价中，应设置涵盖治理前后多个断面及时间节点监测方案，测定污染物浓度变化趋势，结合污染削减率、净化效率等关键指标进行对比分析。此外，应关注生态设施运行的长期稳定性，特别是在高负荷输入或低温季节运行过程中，其净化能力可能下降，甚至因植物衰退、底泥扰动等问题引发次生污染。对此，可引入富营养化预警指标，如叶绿素 a 浓度、透明度、DO 变化率等，作为动态监测与预警手段，提升对生态净化系统效能的综合判断力。

2.3 生态多样性与系统自净能力

生态水利工程对流域生态系统的结构与功能恢复具有重要意义，尤其是在河道整治和水动力恢复背景下，工程可通过降低流速、形成浅滩、创造生境斑块等方式促进水生生态系统的重构。流水条件的改善以及水体连通性的增强，通常会导致鱼类、底栖动物、水生植物等生物群落结构的重新组合，使原先生境退化或断裂的生态系统逐步恢复活性。

生物多样性作为生态系统健康水平的重要指征，是生态水利成效评估的重要组成部分。可采用物种数量变化、物种多样性指数(如 Shannon-Wiener 指数)、均匀度指数(Pielou 指数)、生物优势度指数等多指标构建生态评价模型，并结合指示物种监测结果，对生态恢复程度进行定量描述。特别是通过对关键功能物种的回归情况与群落稳定性分析，可进一步推断生态系统自净能力的提升程度。

此外，水体自净能力还受到水动力条件、水生植被覆盖率、微生物多样性等因素影响，因此应综合利用水质改善幅度与生态群落变化数据，构建“水质—生物—功能”一体化的生态效益评价模型，系统评估生态水利工程在促进水体健康、维系生态系统稳定性方面的综合效果。

3 生态水利工程影响机制分析与工程风险识别

3.1 水文与沉积动力学改变机制

生态水利工程中广泛应用的坝闸等水工结构，在提升水资源调控能力、促进湿地恢复方面确有显著效果，但同时也深刻改变了原有水文与沉积动力系统。一方面，坝体阻断了自然径流的连续性，致使上游流速降低、水体停滞时间延长，水沙输移能力减弱，易形成淤积，尤其在泥沙含量较高的流域表现更为明显。另一方面，下游因流量减少、冲淤平衡被打破，常出现河床下切、护岸破坏等冲刷现象，严重时影响堤防安全及生态护岸系统稳定性。若沿河布设多个连续小坝，可能在中上游区域形成“堰塞湖”效应，造成局部湿地长期积水、植被退化；而下游河道则因断面变窄、水力半径减小而丧失部分洪水通行能力，对防洪安全、航运功能及生态连通性均构成潜在威胁。因此，在工程设计阶段，必

须引入水动力学模拟工具，充分预测建坝后不同水位条件下的流场变化、淤积节奏及河床断面演化趋势，提前制定有效的冲淤调控与应急管理方案，保障水利工程与生态系统长期协调共存。

3.2 营养物质滞留与水体富营养化

生态湿地与缓冲带通常被视为水体污染的“自然净化器”，通过物理沉淀、植物吸收和微生物降解作用，有效去除水体中的氮、磷、有机物等污染因子。然而，当污染负荷输入超过系统承载能力时，湿地自身亦可能转化为“污染源”。特别是在农业非点源污染与城市生活污水持续汇入背景下，湿地沉积物中氮磷的累积将显著上升，导致内源污染风险加剧。此类营养物质的滞留，若缺乏有效排涝与调水机制调控，极易诱发蓝藻水华、浮游植物过度繁殖及水体溶氧下降，最终引发生物死亡、食物链破坏等生态灾害事件。为了避免湿地系统“超负荷运行”，生态水利工程必须坚持“源头控制+过程净化”双管齐下的原则，在加强流域污染物总量管控的同时，合理布设人工湿地、生态滤池、水质调节塘等生态工程单元，提升系统整体调控与净化能力，减少水体富营养化风险。

3.3 生物通道阻隔与物种迁移受限

生态水利工程常被用于恢复区域生态功能、改善水质水量条件，尤其在提升局部生态多样性方面成效明显。然而，不可忽视的是，大多数工程措施涉及水位提升与流速控制，常以坝体、堰堤、渠道等硬质结构作为主要手段，这在无形中水生生物的自由迁徙构成阻碍。许多鱼类、两栖动物具有固定的洄游繁殖路径，尤其是溯河型鱼类对水流方向、流速感知极为敏感。坝体设置后若未设计合理的鱼道或溢洪通道，极易阻断种群通道，导致下游鱼类难以上溯至产卵地，长期将造成物种隔离、种群退化，甚至出现近亲繁殖、遗传漂变等遗传多样性问题。此外，部分人工鱼梯由于设计坡度过陡、水流扰动剧烈或水位不连通等问题，难以被大多数鱼类识别和利用，流于形式，未能真正实现生态连通目标。因此，生态水利工程在追求生态改善效益的同时，必须充分考虑物种迁徙需求，优化通道设计、保障水流连贯性，避免“治一域而毁一系”的局部优化风险，实现真正意义上的生态整体修复。

4 典型案例评估与效果分析

4.1 某中小流域湿地恢复工程

该项目位于典型丘陵地区，主要目标是恢复流域生态系统调节功能与水质净化能力。工程通过在河道中下游段建设生态截流堤坝，形成人工湿地区，结合沉水植物带、水体滞蓄池等结构，实现污水截流、滞洪蓄水和生态净化功能的一体化布局。监测数据显示，湿地在丰水期具有显著的净化能力，其中化学需氧量(COD)平均下降30%，总磷浓度

下降 25%，有效改善河道水质，并恢复了季节性湿地水面与水景，对提升区域生态与景观功能具有积极意义。然而，工程运行后导致下游基流量减少 15%，鱼类可监测种类减少 20%，尤其是对需稳定流态与水深的物种影响显著。该案例表明，在追求上游水质与蓄水生态功能的同时，需统筹考虑下游生态连通与水量维持之间的平衡问题，特别是在枯水季节合理制定生态调度计划，避免“上游治水、下游失水”的生态矛盾。

4.2 山区梯级拦河生态取水工程

该工程位于西南山区泥石流多发河段，设计目标是在保障安全的前提下开展生态水资源利用。项目建设了一系列小型梯级拦河坝群，采用生态溢流与取水结构组合，实现上游雨水调蓄与干早期生态基流保障。工程引入生态鱼梯设计，并设有侧向分流口，旨在保持一定流速与流量稳定性，改善河道水质与生境条件。监测数据显示，拦蓄段水质改善明显，尤其在雨季 COD 和总氮浓度平均下降超过 20%，但鱼类洄游监测显示，鱼梯通过成功率不足 50%，部分逆游能力较弱的本地鱼类难以顺利通过，导致工程区段生物多样性恢复效果不及预期。该案例反映出生态设施结构设计与生态时序匹配存在不足，建议对鱼梯坡度、水流扰动、导流引导区等关键结构进行优化，并结合生物繁殖季节调整坝体运行节奏，以更好支撑生态连通与生物多样性恢复目标。

4.3 城市河道生态景观带建设

此项目位于城市建成区内，属于典型的城市黑臭水体整治与滨水景观提升融合工程。建设内容包括河道护岸改造、生态浮床种植、水草带配置与亲水平台营造，目标是实现净化、生态修复与公共开放空间相融合。项目建成后，通过人工湿地植物对氮磷等营养物质的吸附与转化作用，使生活污水入河后污染浓度明显下降，监测结果表明，总氮和总磷平均浓度下降幅度均达 25% 以上；同时，周边居民满意度提升至 80% 以上，形成了良好的生态景观与公众互动空间。但在汛期暴雨事件中，由于亲水平台及生态护岸结构抗冲能力较弱，曾出现排洪不畅与局部冲刷溃决风险，暴露出在城市高密度排水背景下，生态护岸设计尚缺乏足够的极端工况响应能力。建议加强护岸结构与排涝系统的联动设计，提升工程韧性，兼顾生态美学与城市防洪安全的双重需求。

5 优化策略与工程系统构建

5.1 源-网-端控制体系建立

施工作为管控第一步：源控制即对污染物输入进行截留与控制，确保进入生态设施之前的污染负荷减少；网控制即工程内部水、生态结构及空间形态相协调；端控制即下游生态与使用功能保障，设置生态流量保障机制及生态补偿设施。

5.2 生态设计手段与生态连通

生态坝体、鱼梯设计应结合本地物种习性与洪期变化规律，通过仿生或梯级设计，增强鱼类通道功能。湿地设计需兼顾离心流处理、沼气形成、携氧结构模式，最大化 fit 本地系统生态需求。

6 结语

生态水利工程在流域治理中扮演重要角色，其对水环境具有积极改善与潜在副作用双重影响。通过建立包括量化评价指标、影响机制分析与优化路径在内的完整体系，可以提升工程绩效。未来，应以 adaptive 管理、工程生态创新与流域综合协同为核心理念，实现工程与自然双赢目标，为持续改善水生态系统提供技术保障。

参考文献

- [1] 夏勤江.调水工程与生态环境研究[C]//中国水利学会,西安理工大学.2024中国水利学术大会论文集(第二分册).中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司;2024:22-34.
- [2] 杨晓灵,刘丽诗,王丽.引调水工程对珠江三角洲生态环境累积性影响研究[C]//河海大学,浙江省水利河口研究院(浙江省海洋规划设计研究院),浙江省水利学会.2024(第十二届)中国水生态大会论文集.珠江水资源保护科学研究所;2024:1011-1017.
- [3] 崔建忠,赵硕.水利工程经济与生态环境效益的协同发展[J].大众投资指南,2024,(29):100-102.
- [4] 王洪新,张治锋.论黄河水资源对饮水安全和生态环境的影响[C]//中国水利学会城市水利专业委员会.第七届城市水安全与水管理学术研讨会论文集.山东菏泽黄河工程有限公司;2024:273-275.
- [5] 郭秀成.水利建设对生态环境的影响及对策探讨[J].黑龙江环境通报,2024,37(06):126-128.