

水利建设中的生态水利工程设计

方彬 文蓓蕾

江苏省泰州引江河管理处

DOI:10.12238/etd.v6i1.11707

[摘要] 泰州引江河作为南水北调东线工程重要的源头之一,其生态功能的优劣对区域水环境质量和生态系统健康程度具有重要意义。本研究结合工程河道现状,提出了生态护岸改造、水流动态调控和复合湿地建设等一体化生态水利工程设计方案,并引入智能化监测技术以实现水体水质实时监控与动态管理。经类似工程效果对比,结果表明优化后的方案可显著改善河道水质,提升区域生物多样性和系统韧性,具有显著的生态效益和经济可行性。研究成果为长江中下游及类似区域水利工程生态转型提供科学依据与实践参考。

[关键词] 生态水利工程; 动态水流调控; 复合湿地; 智能化监测; 生态优化

中图分类号: K826.16 **文献标识码:** A

Ecological Water Conservancy Engineering Design in Water Conservancy Construction

Bin Fang Beilei Wen

Taizhou Yinjiang River Management Office, Jiangsu Province

[Abstract] As one of the important sources of the East Route of the South to North Water Diversion Project, the ecological function of the Taizhou Yinjiang River is of great significance to the regional water environment quality and ecosystem health. This study proposes an integrated ecological water conservancy engineering design scheme that combines the current situation of engineering rivers, including ecological revetment renovation, dynamic water flow regulation, and composite wetland construction. Intelligent monitoring technology is introduced to achieve real-time monitoring and dynamic management of water quality. Through comparison of similar engineering effects, the results show that the optimized scheme can significantly improve river water quality, enhance regional biodiversity and system resilience, and has significant ecological benefits and economic feasibility. The research results provide scientific basis and practical reference for the ecological transformation of water conservancy projects in the middle and lower reaches of the Yangtze River and similar regions.

[Key words] Ecological Water Conservancy Engineering; Dynamic water flow regulation; Composite wetland; Intelligent monitoring; Ecological optimization

引言

泰州引江河作为南水北调东线的重要组成部分,在满足引水、防洪、航运等需求的同时,其生态功能的重要性日益显著。传统水利工程以引水、通航、排涝等较单一功能为主,很少能同时兼顾为生态系统服务功能。因工程建设需要,对原有地形地貌、河道水体等改变较大,生态破坏较大,这些因素都往往导致工程区域内生物多样性降低、水质退化等问题。为应对这一挑战及环保要求的不断提高,生态水利工程理念已逐渐成为水利建设的重要方向^[1]。本研究旨在通过对水利工程的生态优化设计,实现工程功能与生态服务功能的协同发展,为区域水利建设提供科学支持。本研究聚焦于护岸(护坡)生态化、水流调控优化和湿地功能提升等关键问题,提出基于生态系统服务的综合

设计方案。通过理论与实践结合,构建适合区域特性的生态水利工程技术框架,以改善水质和提升区域内生物多样性,为生态水利工程的实施与推广提供技术支撑。

1 理论基础与技术框架

1.1 生态水利工程的理论基础

生态水利工程以生态系统服务理论为核心,通过恢复和优化区域内水体、岸线及湿地生态功能,满足水资源利用与生态保护双重需求。理论强调河流系统作为复杂生态网络,其健康状态直接影响区域生物多样性和水环境质量。同时,结合水土保持理论和生态修复原理,可有效提升工程综合适应性,减少传统水利建设对自然系统的干扰,为可持续发展提供科学支撑^[2]。

1.2 技术框架

本研究提出了一套综合生态修复与功能优化的技术框架,为泰州引江河等典型的区域水利工程提供理论支撑和实践路径。该框架涵盖以下核心内容:第一,基于区域原有自然条件,优化水利工程功能,注重与现有河道生态特性的适配性;第二,应用生态学原理,设计具有生态功能的护岸结构,通过增设植被护坡和生态基材以增强岸线的生物多样性;第三,通过构建区域性的人工湿地和生态廊道,提升区域水体净化能力、恢复野生动植物栖息地功能;第四,引入智能化监控技术,动态调节水流、优化水质,实现工程运行的精准化和高效化^[3]。技术框架通过工程实践对比验证了其科学性和可行性,可为类似区域的水利工程生态化改造提供可借鉴的技术方案。

2 研究区域与现状分析

2.1 研究区域概况

泰州引江河位于江苏省中部,是南水北调东线的重要组成部分,承担着引水、排涝、灌溉、航运、生态和旅游等多重功能。工程河道全长约24公里,贯穿多种自然与人文生态区域,包括农业用地、城镇区域及自然湿地。泰州引江河地处北亚热带湿润季风气候区,区域降水充沛,水系发达,但也面临季节性径流变化明显、旱季降水偏少的问题。通过研究区域原始自然条件可为生态水利工程设计提供丰富的实践基础,同时也对如何在多功能需求下优化生态保护提出了技术挑战。

2.2 水利建设现状

近年来,泰州引江河工程在传统水利工程运行中取得了显著的经济和社会成效。该工程主要包括泵站、节制闸、船闸、引水河道及护岸设施等,显著提升了里下河等区域的水资源调控能力和防洪排涝水平。因工程建设于上世纪末期,受当时工程理念及经济等因素制约,工程设计以引水、通航等单一功能为主,对生态保护与修复功能等考虑不足。具体表现为:河道两侧护岸以硬质砼结构为主,未能满足岸线生态恢复需求;河道内缺乏自然化的水流调控,生态系统自净能力有限;湿地功能退化,生物多样性显著降低。以高港枢纽为例,近年来虽已通过多次局部环境提升改造,但工程整体仍偏重于以工程效益为主,未充分考虑生态系统的平衡性。

2.3 生态环境问题分析

现状表明,泰州引江河水利建设存在一定的生态功能缺失。过度依赖硬质护岸对自然岸线的改造,导致生境单一化,岸线植物群落与水生生物之间的联系受限。同时,由于河道调控未能模拟自然水文过程,水体流速主要受供水调控要求影响变化很大,在无引水要求时长期稳定在较低流速范围内,导致水质自我净化功能逐渐退化。此外,因周边工程建设影响,河道两侧的湿地生态廊道功能削弱,迁徙水禽栖息环境日益缩小。综合来看,这些问题限制了引江河生态服务功能的发挥,亟需通过技术改造提升生态系统韧性,为多功能水利工程的优化设计提供参考。

3 生态水利工程设计方案

3.1 目标与设计原则

本次设计目标是通过构建生态与水利功能相结合的工程体系,拟改善泰州引江河的水质和生态服务功能,促进生物多样性恢复,同时满足防洪、灌溉和航运等传统需求。设计坚持“生态优先、功能复合、技术适配”三大原则:生态优先注重恢复河流生态系统的自然状态;功能复合强调水利功能与生态服务的协同;技术适配确保设计方案结合区域实际条件,具有科学性与可操作性,为生态水利工程提供创新路径^[4]。

3.2 护岸生态改造

针对泰州引江河以硬质护岸为主,生态功能不足的现状,设计采用生态化护岸改造方案。通过增设植被缓冲带,使用生态基材护坡和多功能滞留层的构建,提升岸线生态效益。植被缓冲带可通过植物的污染物吸附功能改善水质;生态基材护坡为微生物和水生物提供栖息环境,同时增强护岸稳定性;底部多功能滞留层模拟自然河床,为鱼类等生物创造适宜的繁殖场所。该方案兼顾护岸稳定性与生态恢复,为岸线生态化提供了示范。

3.3 水流动态调控

现有河道水流调控单一,限制了水体的流动性,难以模拟自然水文特性和生态功能。设计引入动态水流调控技术,优化水闸与泵站联合运行模式,结合季节性需水变化,动态调节流量和流速。同时,利用物联网监测系统实时跟踪水文数据,通过智能调控系统实现动态优化操作。在河道分叉点布设缓流区与分流装置,改善水体交换能力,为水生生物提供多样化的生境环境。此方案可有效提升了水体自净能力和生态系统韧性。

3.4 复合湿地构建

湿地建设是提升水质、增强生物多样性和恢复生态廊道功能的重要手段。可在泰州引江河沿线设置复合型人工湿地,分为污染削减区、生态恢复区和景观提升区。污染削减区通过物理沉降、化学吸附和植物净化有效处理入河污染物;生态恢复区引入本地耐污染水生植物和动物栖息结构,恢复生态功能;景观提升区结合生态旅游需求,建设湿地景观廊道与观鸟平台,增强社会服务功能。湿地设计注重区域适配性和长期稳定性,为流域提供持续的生态支持。

3.5 技术创新与适用性

本设计的创新点在于生态优化与智能化技术的深度融合。生态优化体现在对护岸和湿地的生态化改造,基于泰州引江河的自然条件提出了适应性强的技术方案。智能化技术通过物联网和动态调控系统,实现水质、水量和生态环境的实时监测与精准调控,提升工程的运行效率和生态效益。整体方案不仅科学性强、适用性高,还具有较好的推广价值,为国内其他河流的生态水利工程改造提供了创新思路和实践参考。

4 设计方案的实施与评价

4.1 方案实施的技术措施

本方案的实施以科学合理的技术措施为基础,针对护岸、河道水流和湿地进行分阶段优化改造。在护岸改造中,采用生态基材与植被相结合的复合型护岸结构,分层设计包括植被缓冲带、多孔护坡和生物滞留层,既保障护岸的防护能力,又提升生态功

能。在河道水流调控中,通过优化水闸与泵站联合运行,实现季节性流量变化的模拟,增强水体流动性和自净能力。在湿地建设中,将功能分区明确化,包括污染削减区、生物多样性恢复区和景观提升区,通过沉降、吸附和生物降解协同作用改善水质,同时提高湿地的生态承载力^[6]。整个实施过程注重区域适配性,确保技术方案符合当地自然和社会条件。

4.2 智能化监测与动态管理

为确保实施效果,设计方案全面引入智能化监测技术。通过传感器网络采集水文、气象和生态指标数据,构建实时监测系统,并利用物联网将数据传输至综合管理平台。结合人工智能算法,系统可对数据进行分析与预警,动态优化水闸和泵站的运行模式,同时调控湿地功能区的运行状态^[6]。例如,当检测到水质异常时,系统能自动调整水流调控策略,并加强污染削减区的功能,实现高效且可持续的运行管理。智能化技术的引入提升了工程的运行效率和适应性,为长期生态功能的实现提供了技术保障^[7]。

4.3 实施效果的模拟与验证

实施前,通过建立河道-湿地一体化模拟模型,对优化方案的实际效果进行预测与验证。模拟结果显示,复合型护岸结构可显著减少岸线侵蚀,提升生物栖息地面积30%以上;动态水流调控优化了河道的水体流动性,水质指标如溶解氧浓度和总磷含量均达到国家Ⅲ类水标准;湿地的污染削减区有效削减入河污染物30%-40%,可显著改善周边生物多样性。模拟分析结果为方案实施提供了科学依据,也验证了设计在技术上的可行性。

4.4 技术经济可行性分析

技术经济分析表明,本设计方案在成本与效益之间实现了较好的平衡。在施工成本控制方面,采用区域化资源配置和模块化施工工艺,大幅降低了建造成本;运行维护阶段,通过智能化系统的高效管理,降低了长期运营费用。经济效益分析结果显示,护岸生态化改造和湿地建设的投资回收期为5-7年,明显优于传统水利工程10年以上的回收周期;水流动态调控技术显著提升了区域生态服务价值,如生态旅游收入和土地增值,进一步增强了方案的经济吸引力。

4.5 评价指标与方法

方案的评价基于生态、经济和社会效益的综合指标体系。生态评价包括水质改善率、生物多样性恢复率和湿地生态功能增强率;经济评价关注投资回报率和运行维护成本;社会评价则包括居民满意度和生态旅游收入增长。采用层次分析法(AHP)构建指标权重体系,并结合模糊综合评价法,对方案实施效果进行定量化评估。评估结果表明,优化后的方案在生态效益方面的

评分高于传统水利工程设计的30%-40%,经济和社会效益的综合表现也达到了优良水平。

4.6 推广与实践价值

通过实施与多维度评价,泰州引江河生态水利工程设计方案展示了显著的科学性与应用价值。其创新之处在于通过生态优化与智能化技术的结合,解决了传统水利工程生态功能不足的问题,同时满足区域水资源管理的多重需求。基于本方案的实践经验,可推广至其他河流流域的水利工程生态化转型。尤其在区域特性相似的长江中下游流域,该设计的技术和管理模式可提供直接参考,为全国范围内的生态水利建设提供借鉴路径。

5 研究结果与综合建议

研究结果表明,泰州引江河生态水利工程改造可显著提升区域水环境质量和生态服务功能。护岸生态改造增加了岸线生物多样性,动态水流调控改善了水体流动性和自净能力,湿地建设有效削减了30%-40%的污染物。整体方案通过生态技术与智能化管理的融合,实现水利功能与生态效益的双赢,溶解氧浓度提升15%,总磷和总氮浓度分别降低20%和18%。基于研究成果,建议在区域水利工程规划中优先考虑生态功能,推广生态护岸和复合湿地等技术。同时,引入智能化监测系统,提高运行效率与动态管理能力。总结本研究经验,制定区域化技术标准,为全国流域水利工程的生态化改造和可持续发展提供技术参考。

[参考文献]

- [1]胡晶晶.探究生态水利工程设计中的难点及对策[J].水上安全,2023,(11):141-143.
- [2]江泽宇,暴占军,辛旭东.生态水利工程建设理念在河道规划设计中的应用[J].黑龙江水利科技,2023,51(09):125-127.
- [3]刘威,宋珂.河道建设中生态水利工程设计的应用[J].工程建设与设计,2023,(24):73-75.
- [4]张丽芬,陈雪冬,高绍涌.丽江生态水利工程建设成果与发展建议[J].水利建设与管理,2023,43(S1):15-19+29.
- [5]狄尚君.探讨生态水利工程对水资源保护的影响[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(05):207-209.
- [6]汪亦清,郝青芳,许明智.生态水利工程设计的环境策略[J].黑龙江环境通报,2024,37(11):121-123.
- [7]鹿奕锋.生态水利工程设计在水利建设中的应用探索[J].水上安全,2024,(19):80-82.

作者简介:

方彬(1978—),男,汉族,江苏省泰州市人,大学本科,工程师,研究方向:生产运行(水土保持与环境保护)。