

# 水利水电工程节水减污一体化技术体系构建与实践

浮桂玲<sup>1</sup>, 王丹<sup>2</sup>

1.河南益祥建筑工程有限公司, 河南 商水 466100

2.中商建投建设有限公司郑州分公司, 河南 郑州 450000

DOI:10.61369/ME.2024100004

**摘要**：随着全球水资源短缺与环境污染问题日益严峻，水利水电工程作为水资源开发的核心载体，亟需探索节水减污协同增效的可持续发展路径。本文立足水利水电工程全生命周期管理视角，阐述节水减污一体化技术体系实践价值，从技术融合、管理优化与制度保障三个维度提出技术体系构建策略，并从人才培养、试点示范与全周期目标管理等方面提出具体实践路径，以期为推动水利水电行业绿色低碳转型提供理论参考。

**关键词**：水利水电工程；节水减污；一体化；绿色低碳；全生命周期管理

## Construction and Practice of Integrated Technology System for Water Saving and Pollution Reduction in Water Conservancy and Hydropower Projects

Fu Guiling<sup>1</sup>, Wang Dan<sup>2</sup>

1.Henan Yixiang Construction Engineering Co., Ltd., Shangshui, Henan 466100

2.Zhongshang Jiantou Construction Co., Ltd., Zhengzhou branch, Zhengzhou, Henan 450000

**Abstract**：With the global shortage of water resources and environmental pollution becoming increasingly serious, water conservancy and hydropower projects, as the core carrier of water resources development, urgently need to explore the sustainable development path of water saving and pollution reduction synergy. Based on the perspective of life cycle management of water conservancy and hydropower projects, this paper expounds the practical value of the integrated technology system of water saving and pollution reduction, puts forward the construction strategy of the technology system from three dimensions of technology integration, management optimization and system guarantee, and puts forward specific practical paths from the aspects of talent training, pilot demonstration and life cycle target management, with a view to providing theoretical reference for promoting the green and low-carbon transformation of water conservancy and hydropower industry.

**Keywords**：water conservancy and hydropower engineering; saving water and reducing pollution; integration; green and low carbon; life cycle management

## 引言

当前我国水利水电工程面临水资源开发强度与生态承载能力失衡的结构性矛盾，传统技术体系难以满足“双碳”目标下绿色发展的新要求。工程运行中灌溉回水浪费、施工面源污染、库区富营养化等问题交织，暴露出单一技术路径在系统效能上的局限性。节水减污一体化技术体系通过重构技术要素的交互关系，将水资源高效利用与污染全过程防控纳入统一框架，其核心在于打破专业壁垒形成的技术孤岛效应。本文立足工程全生命周期管理视角，探索技术集成创新与制度供给联动的综合实施路径，为行业转型升级提供理论支撑。

## 一、推进水利水电工程节水减污一体化建设的意义

### （一）提升水资源利用效率

水利水电工程节水减污一体化建设通过技术协同与系统优化，重新定义了水资源开发中的效率边界。传统工程运行中，灌溉回水蒸发、发电冷却水直排、施工废水处理粗放等问题长期存在，导致水资源利用链条存在多环节损耗。一体化技术体系将节

水工艺嵌入工程全流程，例如在输水环节采用智能渗漏监测技术实时优化管网压力，在发电机组冷却系统中引入闭式循环装置降低补水量，同时结合生态沟渠与蓄渗设施实现雨洪资源化利用<sup>[1]</sup>。这种节水模式突破了单一环节改造的局限，形成取水、用水、排水三端的联动增效机制。技术集成带来的效率提升不仅体现在水量节约层面，更催生了水质分级利用的新范式。通过建立不同水质标准下的梯级用水系统，将处理后的生产废水转化为生

态补水或绿化用水，从而激活低质水资源的潜在价值。

## （二）强化生态环境保护

工程活动对水生生态系统的扰动在传统开发模式下往往呈现累积性特征，而节水减污一体化技术体系通过构建多维度防控网络，实现了生态影响的系统性消减。在污染控制方面，该体系整合了施工期径流截留技术、运行期面源污染拦截装置以及库区富营养化防治系统，形成覆盖工程全周期的污染阻隔链条。例如，在施工阶段采用可移动式沉淀池与植被缓冲带组合工艺，可截留大部分悬浮颗粒物；在库区运行期，通过浮动湿地与生物膜反应器的协同作用，可有效抑制藻类爆发。更关键的是，一体化技术打破了末端治理的被动模式，将生态保护前移至规划设计阶段。基于生态需水量的精准测算优化工程调度方案，利用鱼类洄游通道设计与生态流量保障机制维持河流连续性，借助水下地形改造技术修复栖息地破碎化问题<sup>[2]</sup>。

## （三）推动行业绿色低碳转型

在碳中和目标的约束下，水利水电工程的低碳化发展亟需技术体系革新提供驱动力。节水减污一体化建设通过能效提升与碳汇增强双重路径，重构了行业发展的底层逻辑。技术层面，智能节水设备的应用直接降低了水泵、水处理等环节的能耗强度，而污水热能回收系统的引入可将处理过程中产生的余热转化为清洁能源。除此之外，通过减少新鲜水取用量降低原水输送能耗，借助生态护岸工程增强河道碳封存能力，利用数字孪生技术优化工程运行碳排放轨迹<sup>[3]</sup>。这些技术创新形成的复合减碳效应，推动水利水电工程从单纯能源供给者向综合碳管理平台转变。行业转型的深层价值在于重塑产业链条：节水技术的标准化催生新型环保设备制造业，生态修复需求带动环境服务业发展，碳资产核算体系完善激活绿色金融创新。

# 二、水利水电工程节水减污一体化技术体系构建策略

## （一）推动技术融合创新

水利水电工程节水减污一体化技术体系的核心突破在于打破传统技术模块的割裂状态，通过跨领域技术要素的深度耦合形成协同效应。技术融合需以系统能效最大化为导向，重点解决单一技术应用导致的资源循环断裂问题。在节水维度，智能渗漏监测技术与动态水力模型的结合可重构输水管网运行逻辑，通过实时压力调节减少无益损耗；膜分离工艺与生物反应器的集成创新，能够实现不同水质需求下的分级处理与精准回用。减污领域的技术融合更具复杂性，例如将生态护岸工程中的植物根系过滤效应与人工湿地脱氮除磷功能相叠加，形成多级污染物拦截屏障；库区富营养化防控则需耦合水下地形改造技术、鱼类种群调控策略与藻类生长抑制手段，构建立体化生态干预系统<sup>[4]</sup>。

## （二）优化工程管理模式

传统工程管理的碎片化特征难以适应节水减污一体化需求，管理模式优化需从线性管控转向网络化协同。在规划阶段建立多目标决策机制，将生态需水量、污染承载阈值等约束条件嵌入工程设计方案比选流程，通过水资源-环境-经济的多维度评价模

型确定最优技术组合。施工期管理重点在于构建污染防治的动态响应体系，采用物联网传感器网络实时监测施工面源污染强度，结合机器学习算法预测污染扩散趋势，触发沉淀池容量调整或植被缓冲带扩建等自适应调控措施<sup>[5]</sup>。管理模式优化的关键在于打通数据壁垒，建立覆盖工程设计、施工、运行全周期的数字孪生平台，通过多源信息融合实现节水减污措施的精准预判与快速响应，将传统经验驱动型管理升级为数据驱动型智能决策。

## （三）完善配套制度体系

技术体系的可持续运行需要制度创新提供保障，重点在于构建激励相容的约束与引导机制。建立基于水足迹核算的用水配额制度，根据不同工程类型与地域特征设定差别化节水基准值，将再生水利用率、单位产值水耗等指标纳入工程绩效评价体系<sup>[6]</sup>。在污染防治领域推行排污权确权交易机制，通过市场化手段调节工程运营主体的治污行为，同时探索生态损害责任终身追溯制度，利用区块链技术固化施工期环境管理数据以实现全过程问责。制度设计的突破点在于跨部门协同机制建设，例如水利部门与生态环境部门联合制定工程生态调度规程，电力监管部门将碳减排指标融入水电电价形成机制，自然资源部门在土地使用审批中嵌入节水减污技术应用条款<sup>[7]</sup>。此外，需建立动态化的标准更新体系，针对新型节水材料、智能监测设备等技术进步及时修订技术规范，消除制度滞后对技术应用的制约。

# 三、水利水电工程节水减污一体化技术体系实践路径

## （一）加强复合人才培养与技术推广

实施节水减污一体化技术体系的关键在于建立跨学科人才梯队与技术扩散网络。针对水利工程与环境保护的交叉需求，应在高等院校增设水生态工程、智能水务管理等复合型专业，构建“理论授课+工程实训”的双轨培养机制。实训环节可依托典型工程设立现场教学基地，组织学员参与渗漏监测设备调试、生态护岸施工等实践项目，强化技术应用能力<sup>[8]</sup>。对企业技术人员开展定向培训，通过模块化课程更新其知识结构——例如将膜分离技术原理与智能控制系统操作整合为专题培训包，结合虚拟仿真平台进行故障诊断模拟演练。技术推广需构建多级传播体系：由国家科研机构提炼共性技术要点，形成标准化操作手册；地方技术服务中心针对区域特征开发定制化解决方案，通过技术沙龙、案例巡展等形式向中小工程企业渗透；基层站点建立技术指导员制度，派驻工程师驻场指导设备安装与参数调校。

## （二）推进试点节水减污工程示范建设

示范工程的选择应体现技术体系的适用广度与创新深度，优先在生态敏感区、高耗水行业集中区布局差异化试点。试点建设需遵循“技术集成-效果验证-模式提炼”的递进路径：在西南喀斯特地貌区，重点示范岩溶渗漏控制技术与雨水资源化利用系统的协同运行；在北方缺水灌区，突出智能滴灌系统与退水净化回用装置的全链条整合<sup>[9]</sup>。施工阶段组建跨专业监理团队，实时监测技术参数偏离度，例如通过无线传感网络追踪生态沟渠的水质净化效率，动态调整填料组合比例。工程验收后建立长效监测

机制，利用无人机航测评估库区生态修复效果，借助物联网平台持续采集节水设备的运行数据。示范效应释放需构建可视化展示体系，开发三维交互式技术应用图谱，直观呈现不同场景下的技术组合方案与实施成效。

### （三）科学设定工程全生命周期节水减污目标

目标体系设计需贯穿规划、建设、运营、退役各阶段，形成动态可调的行动框架。规划期采用多目标优化模型，统筹考虑工程功能定位与流域生态承载力的平衡关系，例如在发电效益最大化与下游生态基流保障之间确定合理的节水约束区间。施工阶段目标聚焦过程控制，设定扬尘抑制率、废水回用率等过程性指标，通过智能喷淋系统与移动式水处理设备的联动实现实时达标<sup>[10]</sup>。运营期目标强调系统协同，将库区富营养化指数、下游河道生物完整性指数等生态指标纳入考核体系，结合生态调度模型优化放水策略。目标设定需建立分级管理制度：国家级标准规定底线要求，流域管理机构制定差异性指标，项目法人细化操作层

面目标值。实施过程中引入自适应调整机制，每季度通过数字孪生系统模拟目标达成度，针对气候异常、设备老化等变量启动目标值修订程序。退役期重点落实生态恢复目标，明确弃渣场植被覆盖率、地下水位恢复度等长期监测指标，确保技术体系的闭环运行。

## 四、结语

水利水电工程节水减污一体化技术体系建设本质上是水资源管理模式从粗放扩张向精细调控的范式转变。技术融合创新需以系统能效提升为导向，管理模式优化应强化全流程动态监测能力，制度保障体系重在建立多方利益平衡机制。未来发展方向应注重技术创新与政策工具的协同发力，通过建立节水减污效能评估标准体系、完善市场化生态补偿机制、构建跨区域技术共享平台等举措，推动水资源开发利用与生态系统服务功能的深度协调。

## 参考文献

- [1] 柳小恒, 李修磊, 陈崇德. 漳河水库节水型生态灌区建设与发展对策研究 [J]. 农村经济与科技, 2022, 33(04): 55-57.
- [2] 钟鸣辉. 水利水电工程生态设计理念和思路探讨 [J]. 广东水利水电, 2018, (06): 8-11+18.
- [3] 左其亭, 秦西, 马军霞. 水利新质生产力: 内涵解读、理论框架与实施路径 [J]. 华北水利水电大学学报 (自然科学版), 2024, 45(03): 1-8.
- [4] 许全喜, 许继军. 发展长江水利新质生产力的几点思考 [J]. 长江科学院院报, 2024, 41(09): 1-7.
- [5] 韩湘湖, 张景娇. 水利工程施工中的环保技术与可持续发展 [J]. 水上安全, 2024, (11): 94-96.
- [6] 申勇, 宋致军, 宋方玉, 等. “双碳”背景下水利工程的发展趋势与研究进展 [J]. 水利发展研究, 2023, 23(06): 30-36.
- [7] 李奕, 刘佳, 张炯. 水利工程领域在减碳方面的措施与进展 [J]. 水资源开发与管理, 2023, 9(12): 60-64+73+45.
- [8] 张玉茂. 水利水电工程建设对生态环境影响的利弊分析 [J]. 大众标准化, 2024, (24): 77-79.
- [9] 徐浩东. 水利工程中水环境生态治理防护技术研究 [J]. 张江科技评论, 2024, (12): 87-89.
- [10] 张於林, 李春花. 基于无人机技术的水利工程建设管理及河道生态环境保护应用实践 [J]. 生态与资源, 2024, (10): 92-94.