

水利工程科技创新驱动的效能提升策略研究

文 / 赵洪争 聊城黄河河务局阳谷黄河河务局

摘要: 在全球气候变化加剧、水安全风险凸显的背景下, 科技创新已成为推动水利工程效能提升的核心驱动力。本文基于“十五五”水利科技创新规划, 系统分析了我国水利工程科技创新的现状、面临的机遇与挑战, 深入探讨了水利工程科技创新驱动的效能提升策略, 旨在为相关工作人员提供借鉴参考。

关键词: 水利工程; 科技创新; 效能提升; 智慧水利; 数字孪生; 水资源管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.062

引言

水利工程作为国家基础设施的重要组成部分, 在保障国家水安全、促进经济社会发展中发挥着不可替代的作用。随着全球气候变化加剧、极端天气事件频发, 传统的水利工程管理模式已难以适应新形势下的需求。科技创新作为引领发展的第一动力, 正在深刻改变着水利工程建设、运行和管理方式, 成为提升水利工程效能的关键路径。“十四五”期间, 我国水利科技创新取得了显著成效。研发的“天河”系列水文预报模型使洪水预报精度达到98%, 较“十三五”提升15%; “东方红”系列大型灌排设备出口38个国家, 市场占有率全球第一; 长江三峡水沙调控、黄河调水调沙等关键技术取得突破。这些成就为“十五五”时期水利工程科技创新奠定了坚实基础。

一、水利工程科技创新的现状分析

(一) 科技创新成就与突破

我国水利工程科技创新在“十四五”期间实现了跨越式发展, 在多个关键领域取得重大突破。在自主创新方面, “天河”系列水文预报模型的研发标志着我国在水文预报领域达到世界领先水平, 98%的洪水预报精度为防洪减灾提供了强有力的技术支撑。“东方红”系列大型灌排设备的成功研发和推广, 不仅满足了国内需求, 更是走向国际市场, 彰显了我国水利装备制造业的竞争力。

创新体系建设方面取得重要进展。长江黄河水治理国家实验室的组建, 标志着我国水利科技创新进入国家战略科技力量行列。5个国家野外科学观测研究站的布局, 为长期系统观测水文水资源变化提供了重要平台。水利部重点实验室达到34个、工程技术研究中心23个, 较“十三五”增长65%, 形成了较为完善的创新平台体系。7个国家级水利科技创新基地的建成, 为科技成果转化和产业化提供了重要载体。

科技成果转化成效显著提升。全国技术合同成交额突破800亿元, “需求—研发—应用”闭环机制的建立, 使科技成果转化率达到40%。技术作价入股比例放宽至70%, 极大激发了科研人员的创新积极性。“十四五”期间推广的500项成熟适用技术, 在提高水利工程建设质量、运行效率和管理水平方面发挥了重要作用。

(二) 存在的问题与不足

尽管取得了显著成就, 但我国水利工程科技创新仍

存在一些突出问题。第一, 基础研究投入不足严重制约了原始创新能力的提升。基础研究投入占比不足8%, 远低于发达国家15%~20%的水平, 导致在一些前沿领域缺乏原创性成果, 难以实现从跟跑到领跑的转变。

第二, 关键核心技术受制于人的局面尚未根本改变。30%的核心设备依赖进口, 特别是在高端传感器、智能控制系统、大型水利装备关键零部件等方面, “卡脖子”问题依然存在。这不仅增加了工程建设成本, 也对国家水安全构成潜在威胁。

第三, 智慧化发展面临算力瓶颈。智慧水利建设需要强大的计算能力支撑, 但目前算力缺口达50%, 严重影响了数字孪生流域、智能预报调度等关键技术的应用推广。同时, 数据标准不统一、信息孤岛现象普遍, 制约了水利大数据的深度挖掘和应用。

第四, 创新生态系统有待完善。产学研用协同创新机制不够健全, 科研院所、高校与企业之间的合作深度不够, 导致科研成果与实际需求脱节。人才激励机制不够完善, 高层次创新人才流失现象时有发生, 影响了创新活力的持续释放。

(三) 面临的机遇与挑战

新时代水利工程科技创新面临前所未有的机遇。国家层面, 《国家水网建设规划纲要》提出构建“系统完备、安全可靠、集约高效、绿色智能、循环通畅、调控有序”的国家水网, 为水利科技创新指明了方向。“双碳”目标的提出, 要求2030年常规水电装机容量达4.2亿千瓦, 倒逼水电开发模式转型, 为低碳水利技术创新提供了广阔空间。

科技革命带来的新机遇不容忽视。量子计算、空天信息技术的快速发展, 推动水利科研范式向“数据驱动+机理融合”转变。人工智能技术在水文预报中的应用, 如华为盘古气象大模型实现24小时降雨预报误差小于8mm, 展现了巨大潜力。水系统智能仿真、深海淡水开发、水能氢能融合等前沿技术的发展, 为水利工程效能提升开辟了新路径。

同时, 也面临严峻挑战。气候变化导致极端天气频发, 2025年全国干旱受灾面积同比上升18%, 对水利工程的适应性和韧性提出更高要求。水资源供需矛盾在部分地区持续加剧, 华北平原深层地下水水位仍以每年0.5~1.5米

速度下降，迫切需要通过科技创新提高水资源利用效率。国际竞争日趋激烈，发达国家在水利科技领域的领先优势明显，我国亟须加快创新步伐，实现换道超车。

二、水利工程科技创新的重要意义

(一) 保障国家水安全的战略需要

水安全是国家安全的重要组成部分，事关国计民生和国家长治久安。在全球气候变化加剧、极端天气事件频发的新形势下，传统的水利工程建设和管理模式已难以有效应对复杂多变的水安全挑战。科技创新作为提升水利工程防灾减灾能力的核心驱动力，对于构建现代化水安全保障体系具有重要战略意义。同时，基于数字孪生技术的智能调度系统能够实现水资源的精准配置和优化调度，有效缓解水资源时空分布不均的矛盾，为经济社会发展提供可靠的水安全保障。科技创新不仅能够提升水利工程的本质安全水平，更能够通过构建韧性管理机制，增强水利系统应对极端事件的适应性和恢复力，从根本上维护国家水安全。

(二) 推动水利行业高质量发展的内在要求

新时代水利工作要求从注重工程建设向更加注重水利工程建设 and 运行管理并重转变，这一转变的实现离不开科技创新的强力支撑。科技创新是推动水利行业从要素驱动向创新驱动转型的关键路径，对于提升水利工程建设质量、运行效率和管理水平具有重要意义。通过物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术的深度应用，可以实现水利工程全生命周期的智慧化管理，大幅提升工程运行效率和服务能力。”东方红”系列大型灌排设备等自主创新成果的成功应用，不仅满足了国内水利建设需求，更在国际市场上展现了强大竞争力，有力推动了水利装备制造业的转型升级。同时，科技创新还能够通过优化工程设计、改进施工工艺、创新管理模式等途径，显著降低工程建设成本，提高投资效益，实现水利事业的可持续发展。在“双碳”目标约束下，绿色低碳技术的创新应用更是水利行业实现高质量发展的必然选择。

(三) 应对气候变化和极端天气的现实需求

气候变化已成为 21 世纪人类面临的巨大挑战之一，其对水循环系统的深刻影响使得传统水利工程面临前所未有的考验。极端降雨事件频发、干旱洪涝并存、水资源时空分布更加不均等现象日益突出，迫切需要通过科技创新来增强水利工程的适应性和韧性。智慧水利技术的发展为应对这一挑战提供了有效手段，通过构建覆盖“空-天-地-水”四维空间的全息感知网络，可以实现对极端天气事件的早期识别和精准预警，为防灾减灾决策提供科学依据。数字孪生技术使得水利工程能够在虚拟空间中进行各类极端情景的预演推演，提前制定应对策略，大幅提升应急响应能力。同时，基于人工智能的智能调度系统能够根据实时气象水文信息动态优化调度方案，最大限度发挥工程的综合效益。面对华北平原深层地下水位持续下降等严峻现实，科技创新更是实现水资源高效利用、破解水资源

短缺难题的根本途径，对于维护区域生态安全和促进可持续发展具有重要现实意义。

三、水利工程科技创新驱动的效能提升策略

(一) 数智融合·万物互联——构建水利工程全息感知网络体系

水利工程的精准管理离不开全面、实时的数据支撑。“十五五”期间，应充分利用物联网、卫星遥感、无人机、水下机器人等先进技术，构建覆盖“空-天-地-水”四维空间的立体感知网络（如下图）。通过在水利工程关键节点部署各类智能传感器，并与卫星遥感影像、无人机巡检数据、水下机器人探测信息等信息有机融合，实现对工程运行状态的全方位、全天候、全要素动态监测。同时，借助 5G/6G 等新一代通信技术，打造高速、广覆盖、低时延的万物互联网络，确保海量监测数据的实时回传。在此基础上，引入边缘计算技术对监测数据进行就近处理，大幅提升数据解析效率。最终形成“一张网感知、一平台汇聚、一中心决策”的智慧水利新格局，实现从被动监测向智能感知的跨越，为水利工程的精准调度、预见性维护提供坚实基础。这一系列创新将使水利工程管理从经验式走向数字化、智能化，极大提升工程运行效能和安全水平。



图 1 水利工程全息感知网络体系

(二) 孪生赋能·虚实交互——打造水利工程数字孪生新生态

以自主研发的“天河”系列模型和万亿次级水文—气象—生态耦合模型为基础，构建与实体工程高度匹配、实时交互的数字孪生体（如下图）。通过虚实映射，将物理工程的几何信息、材料属性、运行数据等全面映射到数字空间；借助动态仿真技术，实现数字孪生体与实体工程的实时同步；运用智能推演算法，对各类工况开展精准模拟。最终实现洪水预报、工程预警、风险预演、应急预案“四预”功能全覆盖。以数字孪生为支撑，可将洪水预见期从目前的几天延长至 10~30 天，预报精度也将从 90% 提升至 95% 以上。同时，数字孪生还可作为工程优化设计、运行策略研究的强大工具。”物理工程+数字孪生+智能决策”三位一体的创新模式，将赋予每一座水利工程以“智慧大脑”，使其更加聪明、更具韧性，从而实现提质增效和水平跃升。



图 2 水利工程数字孪生新生态

（三）绿色循环·碳水共治——创新水利工程低碳发展新路径

在“双碳”目标的驱动下，水利工程低碳发展成为大势所趋。水利工程建设过程自身也是碳排放大户，传统的水泥生产和施工工艺亟需绿色升级，应加快研发混凝土材料碳捕捉与利用新技术，通过优化水泥窑尾气捕集、改性二氧化碳矿化、特种混凝土制备等途径，最大限度实现建筑材料减碳固碳。小水电清洁、低碳、可再生的优势突出，但受限于电站规模和电量调节能力，其对电网的适应性有待提高。应创新开发“小水电+光伏”互补发电系统，利用小水电基础设施，因地制宜布置光伏电池阵列，实现优势互补，提升小水电清洁能源供给保障能力。生态流量智能调控是水电工程实现“鱼电和谐”的关键，要立足鱼类产卵洄游规律，研发生态流量精准调控系统，通过优化调度参数、预置开启时间、生态监测反馈等，使鱼道下泄流量与鱼类洄游需求精准匹配，确保洄游通道恢复率达 90% 以上。

（四）场景驱动·敏捷响应——建立水利工程韧性管理新机制

极端天气频发已成为新常态，传统的水利工程“职能单一、刚性防御”管理模式亟需变革。要顺应时代需求，建立“平急结合、动态调整”的韧性管理新机制，全面提升水利工程适应极端情景的能力。百年一遇洪水情景推演平台的研发，是韧性管理的核心支撑，要充分利用新一代水文水动力学模型，模拟构建覆盖典型区域、不同降雨模式、工程响应策略的极端洪水“情景库”；针对可能出现的重大洪水风险，会同相关部门制定统一协调、分工明确的应急“预案库”；同时，充分整合气象、水文、工程、抢险等方面资源，建立应急“资源库”。通过“三库”的动态关联、实时更新，形成情景驱动下

的智能响应闭环。一旦监测系统捕捉到极端事件先兆，人工智能算法就可快速搜索情景库，自动匹配最优预案方案，并基于资源库优化调度执行方案，大幅提升防汛抗洪的精准性和时效性。在此基础上，深入挖掘水利工程大数据的时空关联特性，利用机器学习算法，对历史洪水、降雨、工程调度等数据进行深度挖掘融合，形成个性化的应急辅助决策模型。当极端事件来临时，该模型可基于实时监测数据，自动、快速地生成最优应急预案，为现场指挥人员提供智能参考，进一步提升应急管理的科学性、灵活性。

结语

新时代赋予水利工程以新的使命，科技创新赋予水利工程以新的动力。“十五五”时期，我国水利工程科技创新将迎来更广阔的发展空间和更大的历史机遇。面对日益复杂的水安全形势和水资源约束，必须坚持创新驱动发展，加快构建水利工程科技创新体系，推动水利工程建设从高速度向高质量转变。数智融合、孪生赋能、绿色低碳、韧性管理，既是水利工程高质量发展的必由之路，也标志着科技创新正在重塑水利工程的未来图景。聚焦水利工程全生命周期，发挥新一代信息技术的叠加效应，构建“智慧水利”新格局，将极大提升工程效能。

参考文献

[1] 蔡明伦. 科技创新驱动下的水利工程智慧管理体系研究 [J]. 产业科技创新, 2025, 7 (01): 106-109.
 [2] 于银河, 魏洪展, 韩城. 水利科技成果在德州水利工程运行管理中的应用 [J]. 山东水利, 2024, (10): 53-55.
 [3] 水利部科技推广中心. 2023 年水利先进实用技术 [M]. 中国水利水电出版社: 2024. 08. 277.

作者简介：赵洪争（1989.04-），男，回族，山东省聊城市，本科，工程师，研究方向：水利工程。