

水利工程信息化管理与智能化的发展路径研究

古丽阿依姆·莫敏 艾尔肯·艾合麦提

新疆维吾尔自治区塔里木河流域叶尔羌河水利管理中心

DOI:10.32629/hwr.v9i12.6676

[摘要] 在数字中国与智慧水利战略引领下,水利工程管理正经历从传统经验驱动向数据智能驱动的转型变革。本文系统分析当前水利工程在信息感知、数据应用、智能决策等方面的发展现状与核心痛点,在此基础上,从技术架构优化、数据治理体系构建、协同机制创新、人才梯队培育四个维度,提出兼具可行性与前瞻性的发展路径,为推动水利工程治理能力现代化、构建智慧水利体系提供学术参考与实践借鉴。

[关键词] 水利工程; 信息化管理; 智能化转型; 数字孪生; 发展路径

中图分类号: P333.5 文献标识码: A

Research on the Development Path of Informatization Management and Intellectualization of Water Conservancy Projects

Guliyimu Momin Aierken Aihemaiti

Yarkand River Water Conservancy Management Center, Tarim River Basin, Xinjiang Uygur Autonomous Region

[Abstract] Under the guidance of the strategies of Digital China and Smart Water Conservancy, the management of water conservancy projects is undergoing a transformative evolution from traditional experience-driven mode to data-intelligence-driven mode. This paper systematically analyzes the current development status and core pain points of water conservancy projects in aspects such as information perception, data application and intelligent decision-making. On this basis, from four dimensions including technical architecture optimization, data governance system construction, collaborative mechanism innovation and talent echelon cultivation, it puts forward feasible and forward-looking development paths, which provide academic reference and practical guidance for promoting the modernization of water conservancy project governance capacity and constructing the smart water conservancy system.

[Key words] Water Conservancy Projects; Informatization Management; Intelligent Transformation; Digital Twin; Development Path

引言

水利工程作为国家水安全保障的核心载体,承担着防洪减灾、水资源调配、生态保护等多重战略功能,其管理效能直接关系到经济社会可持续发展与生态安全。随着全球气候变化加剧,极端水文气象事件频发,加之水利工程建设规模扩大、管理场景日趋复杂,传统依赖人工巡检、经验决策的管理模式已难以满足新时期水安全保障的高标准要求。近年来,国家出台《“十四五”水安全保障规划》《关于推进智慧水利建设的指导意见》等政策文件,明确将智慧水利建设作为推动水利高质量发展的核心路径,提出到2025年建成七大江河数字孪生流域、实现重点领域“预报、预警、预演、预案”全流程智能化的目标。在此背景下,物联网、大数据、人工智能、北斗定位等新一代信息技术与水利工程管理深度融合,催生了数字孪生流域、智能监测预

警、智慧调度等创新应用,为水利工程管理提质增效提供了全新可能。

1 水利工程信息化管理与智能化发展现状

我国水利工程信息化建设起步于21世纪初,经过多年发展,已初步构建起覆盖全国的水利信息基础设施网络,形成了国家水资源监控能力建设项目、国家地下水监测工程等一批标志性成果。截至2024年,我国智能水利设备行业市场规模已突破420亿元,年均复合增长率达15.3%,预计2025年将增至485亿元,展现出强劲的发展势头。截止2025年8月,我国已基本形成涵盖31颗遥感卫星、100余部测雨雷达、4800余架无人机、13.3万处地面水文报讯站、30多万处工程安全监测点的“天空地水工”一体化监测感知体系,正在告别以往以固定站点和断面为主的监测模式,逐步迈向“天空地水工”监测感知一体化的“立体时代”。

智能化建设方面,数字孪生流域建设取得突破性进展,七大江河数字孪生流域建设有序推进,在防洪调度、水资源调配等领域实现初步应用。人工智能技术在水利工程中的应用场景不断拓展,水资源智能预测、河湖库遥感解译、工程安全智能监测等技术逐步成熟,部分领域已达到国际先进水平。例如,长江流域水资源智能预测模型将中长期水资源量预测精准度显著提升,为防汛抗旱调度提供了有力支撑;三峡工程采用的毫米级变形监测技术,实现了工程安全状态的实时感知与精准评估^[1]。

从区域发展来看,长江经济带、粤港澳大湾区等重点区域成为智能化建设先行示范区,2024年长江经济带智能水利设备采购额占全国总量的25%以上。福建、山西等地通过构建省级数字水网平台,实现了全域水利资源的协同管理与智能调度,灾害损失显著降低。但总体来看,我国水利工程信息化与智能化发展仍存在区域不平衡、应用碎片化等问题,中小水利工程智能化改造滞后,部分地区仍依赖传统管理模式,整体发展水平与智慧水利建设目标仍有差距。

2 水利工程信息化管理与智能化发展的核心问题

2.1 数据治理体系不完善,数据孤岛现象突出

数据是水利工程信息化与智能化发展的核心要素,但当前我国水利工程数据治理仍存在诸多短板。一是数据标准不统一,不同流域、不同部门采用的技术规范与数据格式差异较大,数字孪生、物联网设备接口缺乏统一行业标准,导致系统兼容性差,数据共享难度大。例如,新疆小型农田水利工程中53%的设施缺乏统一数据库支持,数据整合成本高昂。二是数据共享机制不健全,水利部门与气象、自然资源、农业等相关部门的数据共享壁垒未完全打破,跨行业数据融合不足,难以形成全域水资源管控的完整数据链条。

2.2 技术融合深度不够,应用场景碎片化

尽管新一代信息技术在水利工程中已广泛应用,但技术与业务的深度融合仍存在不足,呈现“重技术部署、轻业务适配”的现象。一是核心技术攻关不足,在水利专用AI模型、低功耗传感技术、国产化核心软件等领域仍存在“卡脖子”问题,依赖进口设备与软件的情况较为普遍,影响了智能化系统的安全性与可控性。二是场景适配性不足,现有智能化技术多针对大型水利工程设计,对中小水利工程的适配性较差,且缺乏对不同区域水文地质特征、工程类型的个性化设计。例如,西北干旱地区的灌区智能化系统,因未充分考虑当地气候条件与灌溉需求,应用效果大打折扣。此外,技术迭代与工程管理需求脱节,部分智能化设备部署后因维护成本高、操作复杂等问题被闲置,未能充分发挥技术赋能作用。

2.3 人才体系滞后,协同机制不健全

复合型人才短缺是制约水利工程信息化与智能化发展的关键瓶颈。当前,水利行业从业人员多为传统工程技术背景,既懂水利工程又精通数字技术、人工智能的复合型人才短缺,难以满足智能化建设与运维的需求。高校与科研机构的人才培养体系

与行业需求脱节,缺乏“智慧水利”交叉学科设置,实战型人才培养不足,人才梯队建设滞后^[2]。

协同机制不健全则导致智能化建设合力不足。一方面,政府、企业、科研机构的协同创新机制不完善,科研成果转化效率低,大量技术专利难以落地应用。例如,部分高校研发的水利AI预测模型,因缺乏与工程实践的结合,未能实现规模化推广。另一方面,资金投入机制不均衡,智能化改造资金缺口较大。

3 水利工程信息化管理与智能化的发展路径

3.1 优化技术架构,构建“感知-平台-应用”全链条体系

以数字孪生流域建设为核心,优化水利工程信息化与智能化技术架构,构建“感知层-网络层-平台层-应用层”全链条技术体系。感知层方面,完善“天空地一体化”水利感知网,整合北斗定位、智能传感、遥感监测等设备,实现对水文、气象、工程安全、生态环境等要素的全维度、高精度感知。重点推进中小水利工程感知设备全覆盖,针对复杂场景研发低功耗、高可靠的专用传感设备,提升感知数据的精准度与时效性。平台层方面,升级完善全国水利一张图,构建统一的数据底板与模型平台,整合水文、水力学、工程安全等7大类专业模型,实现基础数据统一、监测数据汇集、二三维一体化展示。推进水利云平台建设,采用公有云与专有云有机统一的架构,为智能化应用提供高效算力支撑。应用层方面,构建“2+N”水利智能业务应用体系,重点强化流域防洪、水资源管理与调配两大核心应用的“四预”功能,推进水利工程建设运行管理、河湖长制、水土保持等N项业务应用智能化升级。鼓励结合工程实际需求,开发个性化智能应用模块,提升技术与业务的适配性^[3]。

强化核心技术攻关,聚焦水利专用AI模型、国产化核心软件、低功耗传感技术等“卡脖子”领域,组织产学研优势力量协同攻关。推动人工智能与水利业务深度融合,优化水资源预测、风险预警、智能调度等模型算法,提升模型的精准度与泛化能力。加快国产化替代进程,研发水利专用操作系统、数据库与应用软件,保障智能化系统的安全可控。推进5G、边缘计算与水利工程融合应用,实现毫秒级数据响应与实时决策,提升智能化系统的运行效率。

3.2 构建全域数据治理体系,激活数据要素价值

建立统一的数据治理机制,打破数据孤岛,充分发挥数据要素的核心价值。一是制定统一的数据标准体系,明确数据采集、存储、传输、分析、应用各环节的技术规范与格式要求,统一物联网设备接口标准,实现不同系统、不同流域、不同部门的数据互通共享。重点完善水利数据元标准与代码体系,推进全国水利数据资源目录编制,构建标准化的数据资源体系。

二是健全数据共享机制,搭建跨部门、跨行业数据共享交换平台,深化水利与气象、自然资源、农业、环保等部门的数据共享合作,建立数据共享清单与更新机制,实现全域水资源管控数据的实时共享与动态更新。完善数据安全保障体系,采用加密传输、访问控制、安全审计等技术手段,加强水利工控网与业务网的安全防护,防范数据泄露与网络攻击风险。建立数据质量评估

与管控机制,定期开展数据质量检查,确保数据的真实性、准确性与完整性^[4]。

三是深化数据应用,构建数据驱动的决策机制,运用大数据、人工智能技术对水利数据进行深度挖掘与智能分析,实现水文情势精准预测、工程安全风险预警、水资源优化调配等智能决策功能。例如,推广长江流域水资源智能预测模型的应用经验,构建覆盖全国主要流域的水资源预测预警体系;基于数字孪生技术构建工程运行仿真模型,为工程调度与安全评估提供科学依据。鼓励建设水利知识平台,整合技术文档与案例库,通过自然语言处理技术实现知识的智能检索与复用,提升决策效率。

3.3 创新协同机制,构建多元主体共建共享格局

构建政府引导、企业主导、科研支撑、公众参与的协同创新机制,整合各方资源,形成水利工程信息化与智能化建设的合力。政府层面,加强顶层设计与政策引导,制定智慧水利建设规划与实施方案,明确建设目标、重点任务与时间节点。加大财政投入力度,设立智慧水利发展专项基金,通过政策性银行低息贷款、政府专项债等方式,支持重大水利工程智能化改造与中小水利工程信息化建设。推广新疆“以田养田”模式与山西PPP项目经验,引导社会资本参与智能化建设,形成多元融资格局。企业层面,发挥市场主体作用,强化技术研发与成果转化,聚焦水利行业需求,开发适配性强、性价比高的智能化产品与解决方案。加强与水利管理部门、科研机构的合作,共建产学研用创新平台,推动科研成果快速落地应用。例如,华为、阿里云等科技巨头可与专业水利厂商合作,整合技术资源,构建水利数字孪生平台与智能监测系统。强化工程运维服务,建立智能化设备全生命周期运维体系,降低运维成本,提升系统运行稳定性。

3.4 培育人才梯队,强化数字化技能支撑

构建多层次人才培养体系,解决复合型人才短缺问题,为水利工程信息化与智能化发展提供人才支撑。一是加强高校人才培养,增设智慧水利、水利大数据、水利人工智能等交叉专业,优化课程体系,强化实践教学,培养具备扎实水利工程基础与数字技术能力的本科及研究生人才。建立高校与水利企业、管理部门的合作办学机制,共建实习实践基地,提升学生的实战能力。

二是强化现有从业人员培训,制定数字化技能培训计划,定期开展物联网、大数据、人工智能、数字孪生等技术的培训,

提升从业人员的技术应用能力与创新能力。针对不同岗位需求开展个性化培训,例如,对工程管理人员重点培训智能化系统操作与数据分析能力,对技术人员重点培训核心技术研发与系统运维能力。建立培训考核机制,将数字化技能纳入从业人员绩效考核,激发学习积极性。

三是完善人才激励机制,制定优惠政策,吸引数字技术领域的高端人才投身水利行业。设立人才专项基金,对在核心技术攻关、成果转化等方面做出突出贡献的人才给予奖励。建立灵活的人才流动机制,鼓励高校、科研机构与企业之间的人才双向交流,促进人才资源优化配置。构建人才梯队,培养青年科技人才,组建跨学科科研团队,为水利智能化发展提供持续的人才保障。

4 结论与展望

水利工程信息化管理与智能化发展是推动水利治理能力现代化、保障国家水安全的核心路径。随着5G、人工智能、数字孪生等技术的持续迭代与政策支持力度的加大,水利工程信息化与智能化将迎来更高质量的发展。到2025年,七大江河数字孪生流域将全面建成,重点领域“四预”功能将基本实现;到2030年,水利业务应用的数字化、网络化、智能化水平将全面提升,智慧水利体系2.0版将如期建成。未来,水利工程将逐步实现“感知全面化、数据一体化、决策智能化、调控自动化”,为防洪减灾、水资源优化配置、生态保护提供更加强有力的支撑。

【参考文献】

- [1]程明,程功.水利工程信息化管理与智能化的发展路径研究[J].中国战略新兴产业,2024,(33):66-68.
- [2]景巧莲.水利工程建设管理信息化发展方向分析[J].大众标准化,2022,(17):136-138.
- [3]许坤.农田水利工程信息化管理策略[J].乡村科技,2021,12(12):123-124.
- [4]张永兴.关于建立地方水利地理信息智能化系统的探讨[J].中国水利,2015,(07):62-64.

作者简介:

古丽阿依姆·莫敏(1992—),女,维吾尔族,新疆疏附县人,大学本科,文章方向:水利工程。

艾尔肯·艾合麦提(1988—),男,维吾尔族,新疆巴楚县人,大学本科,文章方向:水利工程。