

智能化技术在水利工程建设中的应用与发展趋势

李浩丰

(兰州新多维勘测设计工程有限公司, 甘肃 兰州 730030)

摘要 在现代科学技术飞速发展的推动下,人类社会正加速迈向数字化时代,智能化技术作为核心驱动力,其在传统行业的融合应用已成为必然趋势。水利工程作为保障国计民生的重要基础设施,需充分发挥智能化技术在水利工程建设中的作用。长期以来,水利工程建设对于工程质量要求极高,但受技术与管模式的限制,普遍存在管理粗放、施工效率低、运维不便等多重问题。本文以都江堰水利工程智能化升级改造作为案例,深入分析智能化技术在水利工程建设中的应用以及发展趋势,阐述智能化技术的应用价值,旨在为智能化技术在水利工程建设中的应用提供实践参考,推动水利工程项目向智能化、数字化、绿色化协同转型。

关键词 智能化技术; 水利工程建设; 物联网技术; 人工智能技术; 数字孪生技术

中图分类号: TV66; TP393

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.18.012

0 引言

水利工程作为现代社会的重要基础设施,兼具水资源配置、水旱灾害防御与生态环境调节多重功能。在以往水利工程管理过程中,由于管理比较粗放化、施工管控滞后、勘察精度不足、应急响应缓慢,导致项目在施工阶段质量与安全无法达到要求,也难以满足水利工程的高效化、精准化、绿色化发展需求。近年来,人工智能、大数据、物联网、数字孪生等智能化技术应用在各行各业,尤其在工程建设中能发挥改革性作用,使水利工程管理从传统粗放型向智能精准型转变。都江堰是全世界迄今唯一仍持续运转超2300年的古代超级水利工程,也是联合国教科文组织认定的世界文化遗产,其智能化升级实践为智能化技术在水利工程中的应用提供宝贵经验,也说明智能化技术在水利工程建设管理中发挥重要作用^[1]。基于此,本文从实际情况出发,深入分析智能化技术在水利工程建设中的作用、应用现状以及发展趋势,为智能化技术在水利工程中的应用提供经验。

1 水利工程建设智能化技术的作用

1.1 提升工程建设精准度,降低建设风险

智能化技术的主要特点是高精度感知、大数据分析以及智能决策,能弥补传统水利管理中存在的缺陷,满足水利工程建设和运维高精度要求。智能化

技术应用到水利工程勘察设计阶段,通过遥感技术、无人机航拍等,对水利工程建设现场地质、地形、水温等信息全面搜集,再利用AI算法预测地质灾害、水文变化等,从而实现水利工程方案的优化设计。而水利工程施工利用智能化监控、传感器等设备,及时获取现场施工参数,消除施工潜在的质量隐患,防止误差造成返工以及安全风险。

1.2 提高工程建设与运维效率,降低综合成本

水利工程建设中融入智能化技术,能实现项目管理的集约化、高效化,有效降低项目施工环节整体成本。在施工阶段,以大数据、物联网技术为支撑,通过对施工现场全面、动态化管控,达到资源优化配置,降低人工成本的效果。在运维阶段,AI故障预判、智能感知网络等技术可精准判断设备异常与潜在风险,助力工作人员及时发现问题并采取有效应对措施,大幅提升运维效率与工程安全性。例如:2021-2023年,都江堰灌区通过实施灌区续建配套与智能运维现代化改造,累计改善灌溉面积62.81万亩,新增节水能力7885万立方米,灌区灌溉保障能力和水资源利用效率显著提升。

1.3 优化水资源调度,助力生态水利建设

智能化技术应用后,在水利工程管理阶段能及时获取水文、气象、水资源分布等各项数据信息,再利用AI算法分析气象变化对水利工程的影响,促使水资

作者简介: 李浩丰(1996-),男,本科,助理工程师,研究方向:水利水电。

源利用率提升, 打造节水型的水利设施。同时, 智能化技术根据水利工程对生态环境影响的分析, 确保在水利工程功能合格的基础下, 能有效降低对周边环境造成的破坏。例如: 都江堰“智慧堰脑”系统自动升级灌溉策略, 能保证周边农田灌溉效果合格, 且避免周边生态环境破坏。

2 水利工程建设智能化技术应用分析

2.1 物联网技术应用

物联网技术作为智能化技术的核心组成部分, 其在水利工程建设中能够实现运营管理的全流程数据采集与传输。在水利工程建设过程中, 物联网系统构建安装多功能传感器, 其能掌握闸门、大坝、河道、渠道等关键位置运行参数, 再利用智能鱼眼摄像头感知设备, 及时获取泥沙流量、水流速度、水位变化、工程结构形变、河道漂浮物等数据, 从而构建智能化感知网络体系。上述监测数据直接传输到后台控制系统, 使运维人员及时掌握水利工程运行各项参数, 并实现多部门信息共享, 防止存在信息孤岛。例如: 都江堰水利工程植入智能感知网络, 其能实现鱼嘴分水、飞沙堰调控实时采集, 为 AI 调度方案制定提供依据。

2.2 人工智能技术应用

在水利工程建设中, 应用人工智能技术能实现分析—决策功能提升, 其利用机器学习、深度学习等算法, 对水利工程运维各项数据深度分析, 从而为智能化决策制定提供依据。水利工程建设阶段, 应急管理利用 AI 算法既能掌握水文、气象等参数, 精准预测洪峰、干旱等自然灾害发生时间与强度, 并提前 12 h 发出警报, 以便制定适宜应急方案。而在水利工程运维管理中, 通过 AI 模型分析水利工程运行参数, 预判设备老化、结构形变等故障, 并制定最佳水利工程运维方案。都江堰 AI 分水优化模型间隔 10 min 形成一次调度方案, 能有效提升都江堰水流调度的精准性和效率^[2]。

2.3 数字孪生技术应用

在水利工程智能化建设过程中, 利用数字孪生技术构建水利工程虚拟孪生体能, 对水利工程全生命周期进行可视化管控以及模拟仿真。在该技术应用阶段, 根据勘察数据、设计参数、运行数据构建虚拟模型, 对水利工程运维方案进行可视化模拟与动态展示, 及时调整方案不合理部分, 并对方案执行效果实时监控。都江堰管理开发“智慧堰脑”系统, 其构建全球首个古堰数字孪生体, 融合 1437 年以来的 6 万条水文记录, 能模拟不同水文场景下的运行状态, 并且自主优化适应气候变化的灌溉策略, 确保水利工程运维策略制定更具科学性。

2.4 大数据技术应用

大数据技术作为现代科学技术的代表, 能实现多维数据的整合存储与分析, 以提高水利工程建设与管控水平。在水利工程智能化改造中, 通过大数据技术融合工程勘察、施工、运维、水文、气象、历史档案等各项数据, 构建统一大数据平台, 并利用大数据深度挖掘和分析, 从而实现工程建设规律, 优化管控方案的制定。在水利工程勘察设计时, 通过大数据掌握水文地质信息, 并制定方案应对不良地质条件; 水利工程运维管理使用大数据技术掌握各项运行状况数据, 并优化运维方案, 从而延长工程使用寿命。而在水利资源调度时, 利用大数据技术整合流域内水资源分布参数, 从而实现水资源优化配置^[3]。

2.5 5G 技术应用

5G 技术作为智能化技术十分重要的支撑手段, 其根本用途就是解决水利工程建设中数据传输的高速率、低延迟、大容量诸种需求, 因此也是各类智能化技术协同应用最可靠的网络基础。水利工程大多建设于偏远山区、河道沿岸等传统网络覆盖薄弱的区域, 传统网络传输存在速率慢、延迟高、信号不稳定等突出问题, 不能很好地满足实时数据采集、高清视频监控、远程操控等场景的需要。故而 5G 技术在水利工程中的应用实现了全流程数据的高速、可靠传输, 真正支持高清视频实时回传、海量感知数据同步上传、远程闸门精准操控等应用, 也由此打破地域限制, 极大地提高了管控的实时性及便捷性。具体而言, 大型水库施工时可以用 5G 网络将施工现场高清监控画面实时、无损地传输到远程管控中心, 管理人员可随时远程查看施工进度、检查施工安全, 而偏远河道运维时又可以用 5G 网络让智能感知设备所采集的河道水情、工程状态数据实时上传, 运维人员据此及时作出专业响应。

2.6 BIM 技术应用

建筑信息模型 (BIM) 技术是水利工程勘察设计、施工管控中十分成熟的智能化技术, 其以工程三维可视化模型为基本手段, 实现了工程全流程精细化管理。勘察设计阶段用 BIM 技术整合地形、地质、水文诸种数据, 建立三维模型, 直观展示工程布置及周边环境, 因而有利于设计人员优化方案, 规避设计漏洞。施工阶段把施工进度、质量参数、设备信息都导入 BIM 模型, 进行施工过程的动态模拟及可视化管控, 因此管理人员能实时掌握施工进度, 合理调配施工资源, 主动地排查施工隐患。运维阶段又利用 BIM 模型关联工程设备参数、运维记录诸类数据, 直接、可靠地支持设备检修、结构维护, 切实延长工程寿命。更难得的是, 都江堰水利工程智能升级实践将 BIM 技术与数字孪生技术相

结合,对古堰虚拟孪生体的可视化效果进行优化,也为工程运维决策提供了真正直观、精准的支撑^[4]。

3 水利工程建设智能化技术发展趋势

3.1 技术融合更加深入,实现全生命周期一体化管控

未来水利工程建设绝不再是单一技术局部应用的简单延续,必然要走向多源异构技术深度耦合、系统重构的新阶段,因此物联网、人工智能、数字孪生、大数据诸种技术将从简单的叠加转向底层逻辑的互通互融,由此打破勘察、设计、施工、运维、应急各环节的数据壁垒,进而构建起高度集成、彼此衔接的“感知—分析—决策—执行”闭环体系,工程数据在虚拟空间与物理实体之间实时映射、双向驱动。更难得的是,由此可建立统一的数据标准及交互协议,全流程信息流无缝衔接,管理模式也因而从分段式转向全链条协同。更为重要的是,智能化技术与生态理念将在工程中真正深度嵌合:除关注工程结构的安全、效率外,也把生态环境指标明确、系统地列为核心管控维度,算法模型自动权衡工程效益与生态影响,动态、最优地确定调度策略及施工方案,最大限度降低建设过程对水域生态的扰动。所形成的水利工程生命周期形态本身就是一个有自我感知的智能有机体,水资源配置的科学性都得到了根本性保障。

3.2 核心技术自主创新加速,实现国产化替代

由于国际形势日趋复杂、国家水安全战略需求又不断改变,因此水利工程智能化领域核心技术自主可控已经成为十分明确的必然趋势。故而国内科研力量及企业将把高端感知设备、工业控制芯片、核心算法引擎、数字孪生底座等“卡脖子”环节作为集中攻关的重点,从应用层模仿转向基础层原创,系统、有计划地构建起完全自主知识产权的技术体系,由此摆脱对国外软硬件平台的依赖。具体而言,在高精度水下传感器、极端环境通信模块、大规模水力仿真软件诸领域,都将形成有中国特色、有国际价值的技术标准及产品矩阵。更重要的是,产学研用协同创新机制将进一步健全完善,实验室成果向工程实战能力的转化真正提速,“研发—验证—迭代”的快速循环体系由此形成。又因为国产算力基础设施日趋成熟,算法模型已在本土完成充分训练,故而今后所开发的智能化系统在适应性、安全性、稳定性诸方面都会有极大的提升。简言之,这是技术替代,更是产业生态的主动、有力的重塑,必将孵化出一批有全球竞争力的本土领军企业,也必然建成安全可靠、开放兼容的水利智能技术供应链,这才是对国家重大水利工程建设最切实、最可靠的底层技术支撑^[5]。

3.3 应用场景普及化,缩小区域与工程规模差距

由于技术成熟度提高、边际成本大幅下降,水利智能化必然从大型标杆工程向中小型项目及欠发达地区全面渗透,以解决“数字鸿沟”问题。因此,今后针对不同规模、不同地域特征的水利工程,都会开发出模块化、轻量化、低门槛的智能化解决方案,采用云端部署与边缘计算结合的模式,让中小型水库、灌区及农村供水工程无需大量硬件投资即可用上先进的监测预警、调度优化服务。同时,政策方向已经十分明确地朝均衡性倾斜,资金、技术资源都将主动、有力地流向中西部地区及基层水利设施,标准化智能套件因而能真正大规模落地。与此形成极好呼应的是,智能化应用的边界正在扩展,从单点工程治理走向跨流域、跨国界的宏观水资源协同管理。借助通用数据接口及互联协议,不同水系的调度系统彼此互联互通,大范围水资源优化配置、联合防洪抗旱便有了切实可行的技术支撑。故而智能化不再是少数工程的“奢侈品”,而会成为各类水利设施的“标配”,全社会水治理体系的现代化水平得到实质性提高,水资源利用效率也必然整体跃升。

4 结束语

智能化技术应用到水利工程建设中,促使水利工程建设管理更加高效,且形成完善的运维体系,能使水利工程质量与安全达到要求,解决传统水利工程建设中的问题。智能化技术应用后,其发挥人工智能、物联网、数字孪生、大数据等先进技术优势构建完善运维体系,在水利工程管理阶段确保各项措施有序落实,预防造成严重的工程质量缺陷。本文选择都江堰水利工程智能化改造作为案例,探讨智能化技术在水利工程中的应用价值,并发挥政府、企业、科研机构、高校等多方协同作用,实现资金投入力度增强,技术改革水平提升,为促进智能化技术融入水利工程建设领域提供参考。

参考文献:

- [1] 田玲.智能化技术在农田水利工程中的应用[J].中国果业信息,2025,42(08):113-114.
- [2] 李舒,王璞,王继福.小型水利工程规划智能化技术适用性分析[J].水上安全,2025(18):58-60.
- [3] 王海群,王纳纳.智能化技术在水利工程运行管理中的应用研究[J].科技创新与应用,2025,15(30):183-186.
- [4] 刘辉.智能化技术在水利工程建设中的应用与发展趋势[J].水上安全,2025(22):70-72.
- [5] 刘坏.智能化技术在农田水利工程中的应用[J].农村科学实验,2024(21):81-83.