

智慧水利在水利水电工程管理中的应用研究

李永周

贵州中水建设管理股份有限公司 贵州 贵阳 550002

摘要: 智慧水利依托物联网、大数据、人工智能等技术,在水利水电工程管理中实现从规划、建设到运行的全生命周期智能化升级。通过传感器网络实时采集工程运行状态及水文环境数据,结合数字孪生技术模拟全生命周期动态,实现设备故障预警、洪水演进预测及水资源优化调度。其应用显著提升管理效率,降低安全风险与运营成本,推动工程从经验驱动向数据驱动转型,为防洪减灾、生态保护及工程效益最大化提供技术支持。

关键词: 智慧水利; 水利水电工程管理; 应用

引言: 水利水电工程作为国家基础设施的关键部分,在防洪、灌溉、发电等方面发挥着不可替代的作用。然而,传统管理模式存在人工巡检效率低、应急响应滞后、多部门数据不互通等问题,难以适应现代工程复杂化与规模化发展需求。随着物联网、大数据、人工智能等技术的兴起,智慧水利应运而生。它通过整合前沿技术,为水利水电工程管理带来新契机。研究智慧水利在该领域的应用,对提升工程管理水平、保障运行安全、实现资源优化配置以及生态保护具有重要现实意义。

1 智慧水利技术体系与理论基础

1.1 智慧水利的核心技术

(1) 物联网: 通过在水利工程关键部位布设水位、流量、水质、设备振动等传感器,构建覆盖全域的传感器网络,实现对工程运行状态、水文环境的实时数据采集,将物理世界信息转化为可分析的数字信号,为后续数据处理提供基础。(2) 大数据与云计算: 依托云计算平台的海量存储能力,存储物联网采集的多维度数据;借助大数据分析技术,挖掘数据间关联规律,如分析历史水文数据与洪水发生的关系,为决策提供数据支撑,解决传统数据处理能力不足的问题。(3) 人工智能: 利用机器学习、深度学习算法构建水情预测模型,精准预测降雨、洪峰等水文要素;通过AI故障诊断模型,分析设备运行数据,及时识别设备异常,提前预警故障,提升工程运行安全性与可靠性。(4) 数字孪生: 构建与实体工程高度一致的数字模型,整合工程设计、施工、运行数据,模拟工程全生命周期状态,可模拟不同工况下工程响应,如模拟大坝在极端洪水下的受力情况,为工程优化与风险评估提供可视化工具。(5) 5G与边缘计算: 5G技术实现监测数据的高速、低时延传输,保障实时数据及时反馈;边缘计算将部分数据处理任务在靠近数据采集端完成,减少数据传输量与时延,确保应急场景下(如

突发险情)的快速响应^[1]。

1.2 理论框架

(1) 系统工程理论: 将智慧水利视为复杂系统,统筹协调技术、管理、生态等多要素,通过系统分析、优化设计,实现各环节高效协同,确保智慧水利体系整体功能最优,避免局部决策影响整体效益。(2) 智慧城市与智慧水务的交叉融合: 借鉴智慧城市的全域协同理念与智慧水务的精细化管理经验,整合城市供水、排水与流域水利数据,实现城乡水利资源统筹调度,推动水利管理从单一工程向全域协同转变。(3) 风险管理理论在工程中的应用: 运用风险管理理论,识别智慧水利工程建设与运行中的风险点,如数据安全风险、设备故障风险,制定风险评估与应对策略,降低风险发生概率与损失,保障工程稳定运行。

2 水利水电工程管理痛点与智慧化需求

2.1 传统管理模式的问题分析

(1) 人工巡检效率低、覆盖盲区: 水利水电工程多分布在偏远山区、江河沿岸,依赖人工携带设备巡检,每日仅能覆盖有限区域,且像大坝深部廊道、水下闸门等区域难以抵达,易形成监测盲区,导致设备隐患、结构损伤难以及时发现,增加工程安全风险。(2) 应急响应滞后: 传统模式下,水文数据需人工采集、逐级上报,数据传输与分析周期长,以洪水预警为例,从发现水位异常到发布预警往往需数小时,错过最佳应急处置时间,可能导致沿岸村庄受淹、农田被毁,加剧灾害损失。(3) 多部门数据不互通、决策依赖经验: 工程涉及水文、运维、调度等多个部门,各部门数据存储于独立系统中,如水文部门的降雨数据与运维部门的设备运行数据无法共享,导致决策时难以综合多维度信息,多依赖管理人员过往经验,易出现调度方案不合理、资源调配失衡等问题。

2.2 智慧化转型的必要性

(1) 实时监控与动态调度需求: 随着工程规模扩大与运行复杂度提升, 需实时掌握水利要素与设备状态, 通过智慧化系统实现数据秒级采集、自动分析, 基于实时数据动态调整调度策略, 如根据降雨量自动调节水库泄洪量, 保障工程安全与下游供水稳定。(2) 资源优化配置: 当前水电站群多独立运行, 难以统筹考虑流域来水情况与电力需求, 智慧化转型可通过搭建协同管理平台, 整合各水电站的发电数据、流域水文数据, 优化机组启停与发电计划, 提升整体发电效率, 减少水资源浪费。(3) 生态保护与合规性要求: 近年来环保法规日益严格, 水利水电工程需满足生态流量保障、水质达标等要求, 传统管理难以精准把控生态指标, 智慧化系统可实时监测河道生态流量、水质参数, 自动预警超标情况, 确保工程运行符合环保合规要求, 实现工程效益与生态效益统一。

3 智慧水利在水利水电工程管理中的应用

3.1 建设期应用

(1) BIM+GIS技术辅助设计优化: 将建筑信息模型(BIM)的精细化建模能力与地理信息系统(GIS)的空间分析能力结合, 可构建水利水电工程三维可视化模型, 清晰呈现大坝、厂房等结构的空间布局与地质环境关联。设计阶段能模拟不同地形条件下的工程方案, 如分析坝体与山体的契合度、输水管道的路径合理性, 及时发现设计冲突, 减少后期施工变更; 同时, 模型可关联材料参数、施工工艺等信息, 为工程量计算、成本预算提供精准数据支撑, 提升设计效率与方案科学性。(2) 无人机与遥感技术监测施工进度: 通过无人机定期对施工现场进行航拍, 结合遥感技术获取高清影像数据, 将影像与施工计划BIM模型叠加对比, 可直观呈现实际施工进度与计划的偏差, 如坝体浇筑高度是否达标、厂房钢结构安装是否滞后。此外, 无人机还能监测施工区域的地形变化, 及时发现基坑开挖边坡变形、弃渣场违规堆放等问题, 保障施工安全, 同时减少人工现场核查的工作量, 提升进度管控效率。(3) 智能物料管理系统: 利用物联网技术对水泥、钢筋等关键建材加装射频识别(RFID)标签, 实时追踪物料的采购、运输、入库、使用全流程, 避免物料丢失或错用; 结合区块链技术, 将物料的质量检测报告、供应商信息等数据上链存储, 确保数据不可篡改, 防止劣质建材流入施工现场。系统还能自动分析物料消耗规律, 预测库存需求, 避免物料积压或短缺, 降低建设成本^[2]。

3.2 运行期应用

(1) 设备健康诊断: 在水轮发电机组、闸门启闭设

备等关键设备上安装振动、温度、转速等传感器, 实时采集设备运行数据; 通过AI算法对数据进行分析, 建立设备健康状态评估模型, 识别设备异常运行特征, 如轴承温度异常升高、机组振动超标等, 提前预警设备潜在故障。同时, 结合设备历史故障数据, 预测设备剩余使用寿命, 制定精准的维护计划, 避免突发停机, 保障工程稳定运行。(2) 水情预报与调度优化: 整合流域内水文站、气象站的降雨、水位、流量等数据, 构建基于机器学习的水情预报模型, 精准预测未来数小时至数天的流域来水情况; 根据预报结果, 结合水库防洪库容、下游用水需求、水电站发电计划等因素, 通过优化算法制定水库调度方案, 如确定合理的泄洪流量、发电水头, 在保障防洪安全的前提下, 最大化水资源利用效益, 实现防洪、发电、供水的协同优化^[3]。(3) 库区生态监测: 在库区及周边布设水质传感器(监测pH值、溶解氧、污染物浓度等)、土壤墒情传感器、视频监控设备, 实时监测库区水质状况与周边水土流失情况; 通过数据传输网络将监测数据上传至管理平台, 一旦发现水质超标(如农业面源污染流入)、山体滑坡隐患(如植被覆盖度下降、土壤含水率异常), 立即发出预警, 并联动相关部门采取治理措施, 如启动水质净化设备、开展边坡加固工程, 保护库区生态环境, 维持生态平衡。

3.3 应急管理应用

(1) 洪水演进模拟与避险路径规划: 基于数字孪生技术构建流域洪水演进模型, 输入实时降雨、水位数据, 模拟洪水在流域内的传播速度、淹没范围、淹没深度等动态过程; 结合流域内村庄、城镇、交通干线的分布信息, 通过路径优化算法规划最优避险转移路线, 明确转移时序、交通工具、安置点位置, 为应急指挥部门提供决策支持, 确保受洪水威胁区域群众快速、安全转移。(2) 大坝安全实时预警系统: 在大坝坝体、坝基、溢洪道等关键部位安装位移、渗压、应力等传感器, 实时监测大坝结构变形、渗流情况; 设定多级预警阈值, 当监测数据超过阈值时, 系统自动触发预警, 通过短信、平台通知等方式向管理人员推送预警信息, 同时联动大坝闸门控制系统、应急照明系统, 启动应急响应措施, 如关闭相关闸门、开启应急通道, 防止险情扩大, 保障大坝安全^[4]。(3) 灾后损失评估与恢复方案生成: 灾害发生后, 通过无人机航拍、遥感技术获取灾区影像数据, 结合地理信息系统中的土地利用类型(农田、房屋、基础设施)、人口分布等数据, 利用AI图像识别技术统计灾害损失, 如淹没农田面积、损毁房屋数量、中断道路长度等; 根据损失评估结果, 结合工程恢复优先级(如优先

恢复供水、供电设施),自动生成灾后恢复重建方案,明确恢复项目、工期计划、所需资源(人力、物资、资金),加快灾后恢复进程,减少灾害对工程运行与群众生活的影响。

4 智慧水利发展的挑战与对策建议

4.1 主要挑战

(1) 技术层面:数据安全、模型精度、设备可靠性:智慧水利依赖海量监测数据传输与存储,数据涵盖工程核心参数、流域水文信息等敏感内容,易面临黑客攻击、数据泄露风险;同时,水情预测、设备故障诊断等AI模型受极端天气、复杂地质条件影响,预测精度易出现偏差,如突发暴雨时模型难以精准预判洪峰量级;此外,水利工程多处于恶劣环境,传感器、监测设备长期受高温、高湿、腐蚀影响,设备故障率较高,影响数据采集稳定性。(2) 管理层面:部门协同障碍、人才短缺:智慧水利涉及水利、气象、环保、电力等多部门,各部门管理标准、数据格式不统一,存在“数据孤岛”现象,如水利部门的水库调度数据与电力部门的发电需求数据难以实时共享,阻碍协同决策;同时,行业缺乏既懂水利工程原理,又掌握物联网、AI、大数据等技术的复合型人才,现有管理人员技术储备不足,难以高效操作智慧化系统,制约技术落地应用。(3) 经济层面:初期投资高、回报周期长:智慧水利建设需投入大量资金用于传感器布设、平台开发、设备采购等,如一套覆盖大型水库的数字孪生系统建设成本可达数千万元;且智慧化效益多体现在长期的运维成本降低、风险损失减少上,短期内难以快速回收投资,导致部分企业、地方政府投资意愿不足,尤其在中小型水利工程中推广难度较大。

4.2 对策建议

(1) 政策支持:标准制定、财政补贴:国家层面应加快出台智慧水利数据安全、技术应用、管理协同等统一标准,规范数据采集格式、传输协议,打破部门数据壁垒;同时,设立专项财政补贴,对智慧水利示范项目给予资金支持,如补贴中小型水利工程智慧化改造费用

的30%-50%,并通过税收减免、贷款贴息等政策,降低企业投资压力,激发市场参与热情。(2) 技术创新:产学研合作、开源平台:推动水利企业与高校、科研院所建立产学研合作机制,针对数据安全防护技术、高精度预测模型、耐恶劣环境设备等关键技术开展联合攻关;搭建智慧水利开源技术平台,共享成熟算法、软件模块,降低技术研发成本,加速技术成果转化与推广应用。(3) 人才培养:复合型工程师培养体系:高校应优化水利工程专业课程设置,增设物联网、大数据、AI等技术课程,开展“水利+信息技术”交叉学科教育;企业与高校合作建立实习实训基地,邀请行业专家开展技术培训,提升现有管理人员的智慧化操作能力;同时,通过高薪引进、职称评定倾斜等方式,吸引信息技术人才投身智慧水利领域,构建多层次复合型人才队伍。

结束语

智慧水利为水利水电工程管理带来了革新性的变革,在工程建设、运行及应急管理环节展现出显著优势,极大提升了管理效率与质量,增强了工程应对风险的能力,实现了经济效益与生态效益的双赢。不过,其发展仍面临技术、管理与经济层面的诸多挑战。未来,需通过政策引导、技术创新与人才培养等多维度举措协同推进。相信在各方努力下,智慧水利将在水利水电工程管理中发挥更大作用,推动行业朝着智能化、精细化方向持续迈进,为水利事业的可持续发展筑牢坚实基础。

参考文献

- [1] 龚振.智慧水利信息化系统在水利工程的应用研究[J].水上安全,2024,(09):85-87.
- [2] 郑毅.智慧水利的发展及应用探讨[J].现代农业科技,2024,(19):162-163.
- [3] 吴成邦.智慧水利工程管理模式的创建与实施优势[J].水上安全,2023,(09):91-92.
- [4] 叶纪刚.水利工程智慧化管理系统设计探究[J].四川水利,2022,(15):159-160.