

智能化技术在水利水电工程管理中的应用分析

周溢 譔

长江工程监理咨询有限公司(湖北) 湖北 武汉 430014

摘要: 水利水电工程管理涉及规划设计、施工建设、运维保障等多个环节,传统管理模式存在效率低下、安全质量管控薄弱、资源配置失衡等突出问题,难以适配工程规模化、复杂化的发展需求。本文聚焦智能化技术与水利水电工程管理的深度融合,系统梳理物联网、大数据、人工智能等技术的应用框架,分析其在工程全流程管理中的具体应用场景,剖析当前技术应用面临的数据孤岛、硬件成本过高、人才短缺等挑战,提出针对性优化路径,整合技术、管理与人才资源,完善智能化管理体系,为水利水电工程管理提质增效、实现精细化管控提供实践支撑,推动工程管理模式的智能化转型。

关键词: 水利水电工程;智能化管理;数字孪生;大数据分析;全流程管控

引言:水利水电工程作为国民经济基础设施的重要组成部分,具有建设周期长、技术难度高、参建主体多元等特征,管理复杂度远超一般土木工程。传统管理模式长期依赖人工经验与纸质文档,信息传递滞后、资源配置粗放、安全管控被动等问题在大型项目中愈发突出。近年来物联网、大数据与人工智能等技术的快速成熟,为工程管理的智慧化转型提供了可行路径。深入分析智能化技术在水利水电工程全生命周期中的应用逻辑与现实挑战,对于提升管理精度与决策效率具有重要的学术价值与实践意义。

1 水利水电工程管理中的问题与智能化需求

1.1 传统管理模式的效率瓶颈

水利水电工程项目体量庞大、参建主体众多,传统管理手段在面对多线并行的施工局面时显得捉襟见肘。管理人员专业素质参差不齐的问题长期存在,部分一线管理人员习惯依赖过往经验而非规范标准开展日常管控,对施工人员操作中的偏差行为缺乏敏锐的识别能力,未能在偏差扩大前予以纠正^[1]。工程质量管理目标在分解至各层级后往往变得模糊,不同部门之间缺少统一的管理方向与协调机制,施工现场各工种交叉作业时秩序混乱,监管力量难以覆盖全部作业面。信息传递链条冗长是困扰传统管理模式的另一大障碍,建设方、设计方、施工方与监理方之间缺乏高效的信息交换通道,设计意图经过层层传达后容易失真,施工人员对图纸的理解与设计初衷之间出现偏差,这种偏差往往要等到实体工程完工后才被发现,返工与修复带来的时间和经济损失十分可观。

1.2 安全与质量管控的薄弱环节

安全教育培训在不少项目中停留在签字走过场的层

面,培训内容多年未更新,缺乏针对深基坑开挖、高空作业、临时用电等高风险工种的专项技能训练,工人对本岗位的危险源辨识能力十分有限。现场隐患排查的覆盖面严重不足,脚手架搭设不规范、临边防护缺失、大型机械安拆未经严格验收即投入使用等问题反复出现却长期得不到根治,排查记录与整改闭环之间存在明显断层。材料采购渠道不规范同样是质量管控的短板,部分施工单位为压缩成本选择非正规供应商,进场材料检验缺乏严格的随机抽检机制,送检环节存在代检与补检现象,仓储环境的温湿度控制与分类码放要求得不到有效执行,钢筋锈蚀、水泥结块变质等材料性能劣化问题时有发生。

1.3 资源配置与进度管控的失衡

施工计划编制缺乏科学性是进度失控的深层原因,不少项目在排布总体进度时仅凭经验拍板,未运用网络技术对工序逻辑关系进行梳理,关键线路上的瓶颈工序被掩盖在看似充裕的机动时间之中。各专业工序衔接不合理在土建与机电安装交叉作业阶段表现尤为突出,暖通管道预埋与主体结构浇筑之间缺乏有效咬合,电气桥架安装又滞后于装饰施工的起始节点,窝工与抢工交替发生。资源配置与施工节拍之间始终难以找到平衡点,高峰期劳动力与机械设备供给不足导致关键工序被迫减速,低谷期又出现大量人工与设备闲置。成本核算颗粒度过粗使得各部分项的实际支出长期处于模糊状态,管理者在偏差已经形成后才获知信息,月度甚至季度才出具的成本分析报告对指导现场施工已失去时效性。

2 智能化技术体系与水利水电管理的融合框架

2.1 智能感知与数据采集技术

水利水电工程管理的智能化转型以感知层的全面覆

盖为起点。物联网感知设备被大规模部署于水库大坝、堤防、输水渠道等关键部位,传感器网络持续采集水位、流量、渗流量、结构变形等核心参数,数据经由无线网络实时回传至监控中心,为管理者提供全天候的工程状态画像^[2]。无人机巡检系统搭载倾斜摄影测量技术后,能够在短时间内覆盖大面积区域并生成高比例尺三维地形图,弥补了人工巡查在效率与精度上的先天不足。各类感知终端产生的海量数据流构成了智能化管理的数据底座,为后续分析与决策提供了丰富的原始素材。

2.2 大数据分析 with 智能决策技术

多源数据融合架构将气象、水文、遥感等不同来源的数据汇聚至统一平台,通过机器学习与深度学习算法进行清洗、关联与挖掘,从看似杂乱的数据流中提取出有价值的管理信息。数字孪生技术在这一框架中扮演着桥梁角色,技术人员依据采集到的物理参数构建工程虚拟仿真模型,该模型能够与实体工程保持动态映射关系,管理者借助三维可视化界面即可直观掌握大坝应力分布、库区水位变化等关键状态。智能调度系统运用强化学习多目标优化算法,在防洪安全、发电效益、生态保护等多重目标之间寻找最优平衡点,调度指令的生成不再依赖单一经验判断,而是建立在算法对历史数据与实时工况综合推演的基础之上,决策的科学性与响应速度均获得显著提升。

2.3 人工智能与自动化执行技术

人工智能与自动化执行技术将决策层的指令转化为现场的具体动作。AI摄像头监测系统利用目标检测模型对施工现场与工程运行状态进行持续扫描,能够自动识别未佩戴防护装备、违规进入危险区域等安全隐患,识别精度与响应速度远超人工目视巡查。智能闸门系统根据实时采集的水位与流量数据自动调节闸门开度,在洪水来临前提前泄洪或在枯水期精准蓄水,整个过程无需人工干预。水闸自动化控制与堤防修复自动化作业通过预设程序驱动机械设备完成既定任务,大幅降低了高风险环境下的人工暴露程度。预测性维护技术则将关注点从故障发生后的被动抢修前移至故障发生前的主动预防,技术人员通过振动监测与油液分析持续跟踪设备运行状态,在异常趋势初现端倪时便安排检修,避免了因突发停机造成的工程损失^[3]。

3 智能化技术在水利水电工程全流程管理中的应用

3.1 规划设计阶段的智能辅助

规划设计是水利水电工程的起点,智能化技术在该阶段的介入为后续建设奠定了科学基础。大数据分析技术将区域水文、地质、气象等多维数据纳入统一分析

框架,技术人员借助算法对海量历史数据进行挖掘与关联,从中提取出降雨径流规律、地质构造特征等关键信息。数字孪生技术在此基础上构建工程虚拟仿真模型,设计人员可在虚拟空间中模拟不同工况下工程结构的受力状态与运行表现,提前预判工程建设可能面临的风险点。BIM与CAE集成分析将建筑信息模型与计算机辅助工程深度结合,对大坝、溢洪道、输水隧洞等建筑物进行三维数值结构分析,应力分布、变形趋势等参数在模型中清晰呈现,设计团队可依托这些参数优化坝体结构与输水线路方案,使设计成果更加贴合实际受力需求。多方案自动推演功能在虚拟环境中对不同设计方案进行快速对比,从安全性、经济性、施工可行性等维度进行综合评价,虚拟专家系统则依托历史工程案例库提供智能建议,辅助设计人员在多个备选方案中做出更加合理的选择。

3.2 施工建设阶段的智能管控

施工建设阶段是智能化技术落地最为密集的环节。智慧工地系统将人员行为监测与健康数据采集融为一体,管理人员通过平台实时掌握现场作业人员的位置分布与身体状态,车辆实时定位与驾驶行为分析功能有效管控施工车辆的运行轨迹与行驶速度,降低场内交通事故发生概率。电子围栏技术在危险作业区域设置虚拟边界,人员未经授权擅自闯入时系统立即报警,配合实时监控画面可快速定位异常情况,安全事故的防范能力由此得到实质性提升。施工材料与工艺流程的全程监控确保每一道工序均满足质量标准,从原材料进场到混凝土浇筑再到结构成型,各个环节的数据被自动记录并上传至管理平台,质量追溯链条完整且清晰。噪音、粉尘、废水等环境指标的在线监测装置被部署于施工场地周边,数据超标时系统自动触发预警并联动降噪、喷淋等设备,施工活动的环保合规性得到有效保障。智能传感设备被预先嵌入施工构件内部,混凝土浇筑温度、钢筋应力变化等关键数据在养护期间被持续采集,为后续结构安全评估提供了翔实的原始依据。

3.3 运维管理阶段的智能保障

运维管理阶段是水利水电工程发挥效益的关键时期,智能化技术为长期安全运行提供了持续保障。实时监测与预警系统对水位、流量、渗流量等核心参数进行全天候不间断采集与分析,数据经过智能算法处理后与预设安全阈值进行比对,一旦超出警戒范围便自动触发分级预警,管理人员在第一时间获知异常信息并启动应急响应^[4]。AI洪水演进模拟系统利用深度学习算法对上游来水过程进行推演,提前数小时甚至数天预判洪水演进

趋势，为防洪调度决策提供了可靠的数据支撑。无人船搭载高清摄像头与水质传感器在库区水域自主巡航，实现水质动态监测与水面安全智能识别，人工巡查难以覆盖的宽阔水域由此纳入了常态化监控范围。机器人检测技术则将检测触角延伸至大坝内部廊道、输水管道等人工难以抵达的狭小空间，高清摄像与超声波探测设备的组合使结构内部缺陷无所遁形，全方位检测为工程长期安全运行筑牢了技术屏障。

4 智能化技术应用的挑战与优化路径

4.1 当前面临的主要挑战

智能化技术在水利水电工程管理中的推广面临多重现实障碍。数据孤岛问题制约了预警时效性，不同部门与不同系统之间的数据资源长期处于割裂状态，跨平台传递过程中信息延迟甚至丢失，管理决策所依赖的数据支撑被严重削弱。硬件投入占比过高使智能化改造的门槛居高不下，传感器网络、高性能计算设备与通信基础设施的采购维护费用令中小型水利项目难以承受，资金压力直接抑制了技术普及速度。山区信号盲区对无人机巡检效果产生了明显干扰，地形遮挡导致通信链路不稳定，飞行控制与图像回传均受到波及。历史数据缺失使得机器学习模型训练样本不足，算法精度在面对极端工况时明显下降，模型泛化能力与实际应用需求之间存在较大落差。技术壁垒在管理层面同样突出，部分管理人员对智能化工具的操作逻辑缺乏了解，难以从经验驱动的工作模式向数据驱动模式平稳过渡，智能系统在实际使用中常被闲置或误用。

4.2 智能化管理体系的优化方向

应对困境需要从平台架构、技术适配、数据治理与人才建设四个维度协同发力。构建一体化智能管理平台是打通信息壁垒的关键举措，将工程建设、运维监测、调度决策等全流程数据纳入统一汇聚框架，各业务模块之间的数据隔阂由此消除，管理者可在单一界面上获取

所需的全部信息。开发轻量化数字孪生平台能够显著降低硬件配置要求，云原生版本按需订阅计算资源的模式让中小项目也能以较低成本接入智能化管理体系。建立数据质量评估体系为模型训练提供了可靠的数据底座，小样本学习算法的开发则致力于在数据匮乏条件下依然保持较高的预测精度，两项举措共同提升了智能化系统在复杂工况下的适应能力^[5]。打造具备水利专业知识与智能技术能力的复合型人才队伍是长效之策，完善人才激励机制有助于吸引更多跨学科人才投身水利水电智能化管理领域，为技术落地提供持续的智力支撑。

结束语

智能化技术正在重塑水利水电工程管理的底层逻辑，从感知层的数据采集到决策层的智能调度，技术链条的每一个环节都在为管理效能的跃升注入动力。然而数据孤岛、硬件成本与人才缺口等现实瓶颈依然制约着技术落地，短期内难以彻底消除。唯有坚持平台一体化建设与轻量化技术推广并行，将数据治理与人才培养作为长期投入方向，方能使智能化手段真正融入工程管理的每一个角落，为水利水电事业的高质量发展提供持久支撑。

参考文献

- [1]胡琦.智能化技术在水利水电工程管理中的应用探讨[J].城市情报,2024(18):39-40.
- [2]许林春.智能化技术在水利水电工程施工管理中的应用与研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(10):257-259.
- [3]曹刚.智能化技术在水利水电工程中的应用与展望[J].张江科技评论,2025(1):88-90.
- [4]张忠惠.智能化在水利水电工程管理中的应用[J].大众标准化,2024(16):170-172.
- [5]王光辉.水利水电工程监理信息化管理模式的应用研究[J].水上安全,2025(13):121-123.