

水利水电工程智慧化管理及施工质量控制探究

刘 森

济南市济阳区汇泽水务工程有限公司 山东 济南 251400

摘要: 围绕水利水电工程智慧化管理与施工质量控制展开探究, 阐述智慧化管理的技术架构与核心特征, 分析其在质量数据采集、过程管控、风险预警及多方协同中的应用逻辑, 探讨材料追溯、工序管控等关键质量控制技术与优化策略, 为解决传统工程管理痛点、提升施工质量、实现工程全生命周期高效管控提供思路与支撑。

关键词: 智慧化管理; 水利水电工程; 施工质量控制; 全生命周期; 动态监测

引言: 水利水电工程关乎国计民生, 施工质量直接影响工程安全与长远效益, 传统管理模式存在信息滞后、协同不足等弊端, 难以适配工程高质量建设需求。随着数字化技术的快速发展, 智慧化管理成为突破行业瓶颈的重要路径。基于此, 结合智慧化管理技术应用, 探究施工质量控制的有效方法, 破解管理与质量管控难题, 具有重要的现实意义。

1 水利水电工程智慧化管理的技术架构与核心特征

水利水电工程智慧化管理以数字化、网络化、智能化为核心, 通过多技术融合构建全要素协同管理体系。其技术架构主要包括感知层、传输层、数据层与应用层四个层级: 感知层依托传感器、无人机、卫星遥感等设备, 实现对工程地质、水文环境、施工参数等数据的实时采集; 传输层通过5G、LoRa等通信技术, 构建低延迟、高可靠的数据传输网络; 数据层基于云计算与边缘计算技术, 建立工程数据中心, 实现多源数据的整合存储与标准化处理; 应用层则通过BIM(建筑信息模型)、数字孪生等技术, 搭建可视化管理平台, 支持工程进度、质量、安全等多维度的智能决策。

智慧化管理的核心特征体现为“三化”: 一是数据驱动化, 通过全周期数据采集与分析, 将经验决策转变为数据决策; 二是过程动态化, 实时监测施工状态与环境变化, 实现风险的提前预警与动态调控; 三是协同一体化, 打破设计、施工、监理等参与方的信息壁垒, 构建跨主体、跨阶段的协同管理机制。这种架构与特征使智慧化管理能够有效解决传统工程中信息滞后、协同低效、风险响应不足等问题, 为施工质量控制提供技术基础^[1]。

2 智慧化管理在施工质量控制中的应用逻辑

2.1 质量数据的全周期采集与标准化处理

施工质量数据的精准性与完整性是智慧化控制的前提。智慧化管理通过三类技术手段实现数据采集: 一是分布式传感技术, 如光纤传感器监测混凝土应力应变、

超声波检测仪评估结构密实度, 实现关键部位质量参数的实时采集; 二是移动终端与物联网设备, 通过手机APP、智能安全帽等工具, 记录施工工序的执行情况与质量验收数据; 三是三维激光扫描与摄影测量技术, 对混凝土浇筑、钢结构安装等工序进行三维建模, 获取几何尺寸与位置偏差数据。

数据采集后, 需通过标准化处理提升可用性: 一方面, 建立统一的数据编码体系, 对材料性能、施工工艺、检测结果等数据进行分类标识; 另一方面, 利用数据清洗技术剔除异常值, 并通过时空校准将多源数据关联至BIM模型的对应构件与施工阶段, 确保数据与工程实体的精准映射。

2.2 基于数字孪生的施工过程可视化管控

数字孪生技术通过构建工程实体的虚拟镜像, 实现施工质量的可视化动态管控。在设计阶段, 将BIM模型与地质勘察数据、水文参数融合, 建立包含材料属性、结构力学特性的数字孪生体; 施工阶段, 实时同步现场采集的进度数据、质量检测数据与虚拟模型, 通过对比分析识别偏差。例如, 在混凝土浇筑过程中, 数字孪生模型可实时显示浇筑温度、振捣密实度的分布情况, 当局部温度梯度超过阈值时, 自动触发预警并提示调整浇筑工艺。

可视化管控的核心价值在于提升质量问题的可追溯性: 通过时间轴回溯功能, 可定位质量缺陷的产生工序、责任主体与影响范围; 通过虚拟仿真模拟不同施工方案对质量的影响, 为工艺优化提供依据。此外, 数字孪生模型可集成历史工程数据, 通过机器学习算法识别质量隐患的关联因素, 辅助制定针对性控制措施。

2.3 质量风险的智能预警与动态调控

智慧化管理通过多维度数据融合分析, 构建质量风险预警模型, 实现从“事后处理”向“事前预防”的转变。预警模型的构建需整合三类数据: 一是环境数据,

如温度、湿度、降雨等对混凝土强度、土方稳定性的影响；二是施工参数数据，如模板支护压力、钢筋绑扎间距、灌浆压力等工艺指标；三是材料性能数据，如水泥强度、钢筋屈服强度等关键指标。

基于上述数据，采用机器学习算法（如随机森林、神经网络）训练风险预测模型，实时计算各工序的质量风险指数。例如，在大坝碾压施工中，模型可根据振动的行进速度、激振力、遍数等数据，结合坝体材料的压实度检测结果，预测碾压区域的密实度是否达标，并在风险指数超过阈值时，自动推送调整建议（如减慢速度、增加碾压遍数）。动态调控机制则通过物联网设备与自动化控制系统的联动，实现部分质量参数的自动修正，如通过智能注浆系统根据压力反馈实时调整注浆流量，确保灌浆饱满度^[2]。

2.4 全参与方协同质量管控机制

智慧化管理打破传统质量管控中“施工方自检-监理方抽检”的单向模式，构建多方协同的质量管理平台。平台通过权限分级管理，实现设计单位、施工单位、监理单位、业主的信息实时共享：设计单位可在线更新设计变更并推送至施工端，避免因信息滞后导致的质量偏差；监理单位通过移动端实时查看施工数据与检测报告，远程审核质量验收结果；业主则可通过仪表盘监控关键质量指标，实现宏观管控。

协同机制的核心是建立“质量责任追溯链”：每个施工工序的质量数据均关联至具体班组与负责人，并通过区块链技术确保数据不可篡改。当出现质量问题时，可通过平台快速定位责任主体与影响范围，并调取历史数据追溯问题根源。此外，协同平台支持在线质量例会与技术交底，通过视频会议与三维模型标注功能，提升跨主体沟通效率，减少因信息不对称导致的质量隐患。

3 施工质量控制的关键技术与优化策略

3.1 材料全生命周期质量追溯技术

材料质量是工程的基础，智慧化管理通过“源头把控-过程监测-使用追溯”的全链条管控实现材料质量的精准控制。源头把控阶段，利用RFID（射频识别）技术对进场材料进行电子标识，记录生产厂家、规格型号、性能参数等信息，并与国家材料数据库联网核验，杜绝不合格材料入场。过程监测阶段，通过物联网传感器对材料存储环境进行实时监测，如钢材防锈蚀的温湿度控制、水泥的防潮监测，当环境参数超标时自动触发预警。使用追溯阶段，通过BIM模型与材料电子标识的关联，记录材料在工程实体中的具体位置与使用量，实现“一物一码”全生命周期追溯。

针对水利水电工程中常见的混凝土材料，可通过智能配比系统优化质量：基于历史数据与实时环境参数（如砂石含水率、气温），自动调整水灰比、外加剂用量等配比参数，并通过流动度传感器、含气量检测仪实时监测混凝土工作性能，确保浇筑质量。对于钢材、防水材料等关键材料，可采用光谱分析、超声波探伤等无损检测技术，结合AI图像识别算法自动判断材料内部缺陷，提升检测效率与准确性^[3]。

3.2 工序质量的精细化管控与优化

水利水电工程工序复杂、交叉作业多，智慧化管理通过工序标准化、参数化控制实现质量精细化。首先，基于BIM模型拆解施工工序，明确各工序的质量控制点与验收标准，如土方开挖的边坡坡度、混凝土浇筑的分层厚度、钢筋绑扎的间距误差等，并将标准参数嵌入管理平台，作为质量检测的依据。其次，通过自动化施工设备提升工序质量稳定性，例如智能摊铺机根据设计高程自动调整摊铺厚度，液压滑膜系统精准控制混凝土浇筑成型尺寸，减少人为操作误差。

针对关键工序（如大坝防渗墙施工、隧洞开挖），可采用“工序质量数字画像”技术：通过采集该工序的历史质量数据（如成墙垂直度、开挖轮廓线偏差），结合当前施工参数，生成工序质量评分模型，实时评估工序执行质量。当评分低于阈值时，系统自动分析偏差原因并推送优化方案，如调整钻具角度、优化爆破参数。此外，通过工序模拟仿真技术，在施工前对复杂工序（如导流洞封堵）进行虚拟演练，预判可能出现的质量风险，提前优化施工方案。

3.3 结构安全与耐久性的智慧化监测

水利水电工程结构复杂、服役周期长，智慧化监测需覆盖施工期与运营期，确保结构安全与耐久性。施工期监测重点包括结构应力应变、变形位移、裂缝发展等指标：采用光纤光栅传感器监测大坝浇筑过程中的温度应力，通过全站仪与InSAR（合成孔径雷达干涉测量）技术监测坝体沉降与边坡位移，利用裂缝监测仪记录混凝土表面裂缝的宽度与深度变化。监测数据实时传输至数字孪生模型，通过结构力学分析软件评估结构安全性，当应力超过设计限值时自动预警。

耐久性控制聚焦于材料劣化与环境侵蚀的预防：通过氯离子传感器、碳化深度检测仪监测混凝土内部侵蚀因子，结合环境数据（如水质pH值、干湿循环频率）预测材料劣化速率，提前采取防护措施（如表面涂层、阴极保护）。对于钢结构，采用腐蚀传感器实时监测锈蚀程度，结合电化学保护系统自动调节防护参数。此外，利

用AI图像识别技术定期对结构表面进行巡检,通过无人机航拍与高清摄像头捕捉表面缺陷(如剥落、锈迹),实现大面积快速检测^[4]。

3.4 环境适应性与施工质量协同控制

水利水电工程多位于复杂自然环境中,环境因素(如水文、地质、气候)对施工质量影响显著,智慧化管理需实现环境与质量的协同控制。水文环境方面,通过水位传感器、流速仪实时监测施工区域的水位变化,结合洪水预报模型调整施工计划,如提前完成围堰填筑以应对汛期;地质条件方面,利用地质雷达、超前钻探技术探测地下溶洞、断层等不良地质体,通过BIM模型可视化展示,并制定针对性处理方案(如注浆加固、超前支护)。

气候适应性控制需结合气象数据优化施工工艺:高温环境下,通过智能喷淋系统控制混凝土浇筑温度,利用遮阳棚与通风设备降低水化热;低温环境下,采用电伴热技术维持混凝土养护温度,通过温湿度传感器实时调节养护条件。此外,针对施工扬尘、噪音等环境问题,可通过智慧环保监测系统联动施工设备,当扬尘浓度超标时自动启动雾炮降尘,实现施工质量与环境影响的协同优化。

3.5 人员行为与质量管理的融合机制

人员是施工质量的直接影响因素,智慧化管理通过“技能培训-行为规范-绩效激励”的闭环机制提升人员质量意识与操作水平。技能培训方面,利用VR(虚拟现实)技术模拟复杂施工场景,如高空作业、水下浇筑,让施工人员在虚拟环境中熟悉操作规程与质量标准,提升培训效果。行为规范方面,通过智能安全帽、北斗定位设备监测人员作业轨迹与操作行为,当出现违规操作(如未按规范绑扎钢筋、擅自修改施工参数)时,系统自动

发出语音警示并记录行为数据。

绩效激励机制将质量指标与人员考核直接挂钩:管理平台根据施工人员负责工序的质量合格率、隐患整改效率等数据,生成个人质量绩效评分,与薪酬、晋升直接关联。同时,通过大数据分析识别质量事故的人员相关因素(如经验不足、操作失误),针对性开展专项培训。此外,建立质量知识库,整合历史质量问题案例与解决方案,施工人员可通过移动端随时查询,提升问题处理能力,形成“培训-实践-反馈-提升”的人员质量管理闭环^[5]。

结束语:智慧化管理为水利水电工程施工质量控制提供了全新解决方案,通过多技术融合构建的管控体系,有效弥补了传统管理的短板,实现了质量管控的数字化、动态化与协同化。从技术架构的落地应用到关键质量控制策略的优化完善,全方位提升了工程管理效率与施工质量水平。未来需持续深化技术融合,不断完善跨主体协同管理机制,破解技术落地中的各类难题,推动智慧化管理在水利水电工程领域实现常态化、精细化应用,为工程高质量建设提供坚实保障。

参考文献

- [1]赵冬保.水利水电工程施工质量信息化管理及控制浅析[J].新潮电子,2025(10):37-39.
- [2]李家平,屠新红.水利水电工程建筑的施工技术与管理策略研究[J].价值工程,2025,44(7):59-62.
- [3]刘永强,李俊成.水利水电工程中施工技术及管理措施[J].工程建设与设计,2024(12):239-241.
- [4]徐练,刘娇.基于BIM技术的水利水电工程施工管理研究[J].张江科技评论,2025(9):80-82.
- [5]胡飞飞.水利水电工程智慧化管理及施工质量控制策略研究[J].行车指南,2025(11):0182-0183.