

水利水电工程施工质量管理信息化应用

董志华

济南市长清区机关事务服务中心 山东 济南 250300

摘要：水利水电工程施工质量管理信息化应用以BIM、GIS、IoT及AI技术为核心，通过三维建模、实时监测、数据分析与智能预警，实现施工过程透明化、资源优化配置及质量动态管控。结合SL规范体系与区块链技术，保障数据精准采集、不可篡改及责任追溯。该模式提升施工效率与精度，降低安全风险及成本，推动工程全生命周期管理向智能化、精细化转型，为水利行业现代化建设提供技术支撑。

关键词：水利水电工程；施工质量管理；信息化；应用

引言：随着信息技术在工程建设领域的深度渗透，水利水电工程质量管理正经历从传统人工管控向数字化、智能化转型的关键阶段。面对工程规模扩大、施工环境复杂、质量标准提升等挑战，信息化手段通过集成BIM建模、物联网实时监测、大数据分析 with AI决策等技术，构建覆盖全生命周期的质量管控体系。该模式不仅能提升施工精度与效率，更可实现质量风险预警、责任追溯及资源优化配置，成为推动水利行业高质量发展的核心驱动力。

1 水利水电工程施工质量管理信息化理论基础

1.1 质量管理核心理论

(1) PDCA循环与六西格玛管理的数字化延伸：传统PDCA循环（计划-执行-检查-处理）通过数字化工具实现闭环升级，依托云端平台实时采集施工数据，动态优化质量计划与整改方案；六西格玛管理则借助大数据分析，将质量波动控制在极小范围，通过数字化模型模拟施工变量对质量的影响，提升过程管控精度。(2) 水利水电工程特有质量标准（SL规范体系）：以《水利水电工程施工质量检验与评定规程》（SL176）等为核心，明确工程原材料、工序验收、实体质量的量化指标，为信息化系统设定质量判定基准，确保数据采集、分析与标准要求精准匹配。

1.2 信息化技术赋能路径

(1) BIM技术：通过构建工程全生命周期三维模型，实现施工方案可视化交底，减少技术误解；利用碰撞检测功能提前排查管线、结构构件空间冲突，降低施工返工率，保障工程结构质量。(2) IoT技术：部署温度传感器、应力监测仪、GNSS位移监测设备，实时采集混凝土养护温度、结构应力及大坝变形数据，数据超阈值时自动预警，避免因环境因素导致的质量隐患。(3) AI技术：基于深度学习算法训练质量缺陷识别模型，自动

识别混凝土裂缝、钢筋间距异常等问题；通过视频分析施工人员操作规范，减少人为质量失误。(4) 区块链技术：将材料检测报告、工序验收记录等关键质量数据上链存储，确保数据不可篡改；一旦出现质量问题，可快速追溯责任主体，提高质量追责效率^[1]。

1.3 质管信息化成熟度模型

水利水电工程质量管理信息化遵循“单点应用→部门协同→全流程智能化”的三级跃迁路径。单点应用阶段：聚焦单一质量环节，如采用IoT设备监测混凝土温度、使用BIM软件进行图纸会审，实现局部质量数据的数字化；部门协同阶段：打通设计、施工、监理等部门的数据壁垒，建立统一质量信息平台，实现质量计划共享、验收流程线上化，提升跨部门协作效率；全流程智能化阶段：融合AI、大数据等技术，实现质量风险自动预警、施工方案智能优化、质量验收无人化检测，形成从工程立项到竣工验收的全周期智能质量管理体系。

2 水利水电工程施工信息化质量管理体系架构设计

2.1 总体框架

(1) 物理层：作为系统数据采集的“感知神经”，构建多维度感知网络。一方面部署分布式传感器网络，包括混凝土温度传感器、钢筋应力传感器、大坝位移监测站等，实时采集施工关键参数；另一方面配置移动终端设备，如平板电脑、智能安全帽（内置定位与视频采集功能），满足现场质检员巡检记录、图像上传等移动作业需求，实现质量数据“随查随录、即时上传”。

(2) 数据层：搭建多源异构数据融合平台，破解数据孤岛难题。平台支持结构化数据（如材料检测报告、验收记录表）、非结构化数据（如施工影像、BIM模型文件）、实时流数据（如IoT传感器数据）的统一接入，通过数据清洗、格式转换、关联映射等技术，将分散在不同设备、系统中的数据标准化处理，形成高质量质量数

数据库,为上层应用提供可靠数据支撑。(3)模型层:打造系统的“智慧大脑”,包含两大核心组件。一是数字孪生体,基于BIM模型与实时监测数据,构建与实体工程同步映射的虚拟模型,动态还原施工进度与质量状态;二是风险预测算法,集成统计分析模型、机器学习模型等,如通过分析历史质量缺陷数据,建立质量风险预测模型,提前识别混凝土裂缝、结构位移等潜在隐患。

(4)应用层:聚焦用户实际需求,开发轻量化、场景化应用工具。质量巡检APP支持质检员现场填写检查记录、上传缺陷照片、生成整改通知书,实现质量问题闭环管理;智能决策看板则通过可视化图表(如质量合格率趋势图、风险分布热力图),直观展示工程质量整体状况,为管理人员提供实时决策依据^[2]。

2.2 关键技术模块

(1)基于BIM的施工模拟与质量预控:在施工前利用BIM模型进行工序模拟,模拟混凝土浇筑、钢筋绑扎等关键工序的施工流程,提前发现施工方案中的质量漏洞,如浇筑顺序不合理导致的冷缝风险;施工中通过BIM模型与现场实际数据对比,实时核查构件尺寸、钢筋间距等参数,实现质量预控与动态纠偏。(2)无人机倾斜摄影与三维激光扫描的实测实量:无人机倾斜摄影可快速获取施工区域三维实景模型,对比设计BIM模型排查外观尺寸偏差;三维激光扫描技术则能高精度采集结构表面数据,生成点云模型,自动计算混凝土平整度、钢筋保护层厚度等关键指标,替代传统人工测量,提升实测实量效率与精度。(3)大数据分析的质量趋势预测(LSTM神经网络):基于LSTM(长短期记忆)神经网络算法,对历史质量数据(如混凝土强度检测结果、工序验收记录)、环境数据(温度、湿度)、施工参数(浇筑速度、振捣时间)进行深度挖掘,构建质量趋势预测模型,可提前7-14天预测某一施工环节的质量合格概率,为质量管控提供前瞻性指导。(4)移动端质量报验与电子签章系统:施工单位通过移动端APP提交质量报验申请,上传报验资料(如检验批验收记录、试验报告);监理单位在线审核资料,审核通过后使用电子签章确认,生成具有法律效力的验收文件。系统实现报验流程线上化,缩短报验周期,同时电子签章与文件绑定存储,便于后续追溯核查^[3]。

2.3 系统集成与接口设计

(1)与ERP/PM系统的数据互通:设计标准化数据接口,实现与企业资源计划(ERP)系统、项目管理(PM)系统的无缝对接。一方面从ERP系统获取材料采购信息(如钢筋、水泥的供应商资质、进场批次),关

联质量检测数据,确保材料质量可追溯;另一方面向PM系统推送质量验收结果、整改完成情况等数据,同步更新项目进度与质量状态,实现“质量-成本-进度”协同管控。接口采用RESTful API架构,支持实时数据同步与定时批量数据传输,保障数据一致性与时效性。(2)跨参建方协同平台的权限管理:针对业主、设计、施工、监理等多参建方,构建精细化权限管理体系。采用“角色-权限-数据”三维授权模式,为不同参建方分配专属角色(如施工单位质检员、监理单位审核员),每个角色对应特定操作权限(如数据查看、审批签字、缺陷整改),同时限制数据访问范围(如施工单位仅能查看本单位负责标段的质量数据)。系统支持权限动态调整,当参建方职责变更时,可快速更新权限配置,确保协同平台数据安全与操作规范,避免信息泄露或越权操作。

3 水利水电工程施工质量管理信息化实施保障体系

3.1 技术保障

(1)边缘计算设备部署:针对水利水电工程野外作业区域网络覆盖薄弱问题,在施工现场部署边缘计算网关,实现数据本地化处理。传感器采集的温度、应力等实时质量数据先在边缘节点完成预处理与筛选,仅将关键异常数据和汇总结果通过无线网络上传至云端平台,减少数据传输对广域网的依赖,降低网络延迟,确保断网场景下仍能完成基础质量数据存储与初步分析,保障信息化系统持续运行。(2)数据安全防护:构建全流程数据安全体系,对质量数据采用“传输加密+存储加密”双重防护,通过SSL/TLS协议实现数据传输加密,采用AES-256算法对数据库存储数据加密;同时强化权限隔离,基于角色对参建方人员设置数据访问权限,如施工人员仅查看本岗位相关质量数据,管理人员可获取全标段数据,防止数据泄露或越权操作,保障质量信息安全。

3.2 管理保障

(1)组织架构调整:在项目管理团队中设立专职数据治理中心,配备数据分析师、IT运维人员,负责统筹信息化系统数据采集、清洗、更新与应用,协调解决各部门数据协同问题,避免因数据管理分散导致的信息混乱,确保质量数据全生命周期可控。(2)标准化流程制定:编制《信息化质量管理操作手册》,明确质量数据采集标准(如传感器布设位置、数据采集频率)、系统操作流程(如质量报验步骤、缺陷整改闭环流程)及异常处理机制(如数据异常时的上报路径),统一参建方操作规范,减少因流程不统一导致的信息化推进障碍^[4]。

3.3 人员保障

(1)复合型人才培训:开展“工程+IT”双技能培

训,邀请工程专家与IT讲师联合授课,内容涵盖BIM软件操作、质量数据解读、信息化系统运维等,定期组织实操考核,培养既熟悉水利工程质量管控要点,又能熟练运用信息化工具的复合型质管员,解决“懂工程不懂IT、懂IT不懂工程”的人才断层问题。(2)激励机制设计:将数字化质管纳入KPI考核体系,对质管员的信息化工具使用率、质量数据上传及时性、缺陷识别准确率等指标进行量化评分,考核优秀者给予绩效奖励、晋升优先等激励,激发人员主动使用信息化系统的积极性,保障信息化管理落地见效。

4 水利水电工程施工质量管理信息化的挑战与对策

4.1 主要挑战

(1)野外恶劣环境对传感器可靠性的影响:水利水电工程多位于山区、河谷等野外区域,常面临高温、高湿、强电磁干扰、地质振动等恶劣条件。普通传感器易出现部件锈蚀、信号衰减、数据采集偏差等问题,例如混凝土温度传感器在长期高湿环境下可能出现测量误差,影响质量监测数据的准确性,甚至导致系统误判质量风险。(2)多系统集成中的数据格式兼容问题:工程参建方往往使用不同品牌、不同架构的信息化系统,如施工单位的质量巡检系统、监理单位的验收系统、业主的项目管理系统,各系统数据格式(如BIM模型格式、检测报告文档格式)不统一。在系统集成时,易出现数据无法正常读取、字段匹配错误等问题,导致质量数据难以跨系统流转,形成“数据孤岛”。(3)参建方对信息化质管的接受度差异:部分参建人员(尤其是基层施工人员、传统监理人员)存在“重经验、轻技术”的观念,认为信息化系统操作复杂、增加工作量,对数字化工具存在抵触情绪;同时,中小企业因资金有限、技术储备不足,对信息化质管的投入意愿较低,导致不同参建方推进信息化的进度不一致,影响整体协同效果。

4.2 对策建议

(1)研发抗干扰型物联网设备:联合科研机构、设备厂商针对水利水电野外环境特性,研发具备抗高温、防腐蚀、抗电磁干扰功能的物联网传感器,如采用不锈

钢外壳封装温度传感器、加装电磁屏蔽层的应力监测设备;同时优化设备供电方案(如采用太阳能供电),提升设备在无外接电源场景下的续航能力,确保传感器在恶劣环境中稳定运行。(2)推动行业级数据接口标准制定:由水利行业主管部门牵头,联合大型工程企业、软件开发商制定统一的数据接口标准,明确BIM模型(如IFC格式)、质量检测数据(如XML格式)、验收记录等数据的传输规范;强制要求新建信息化系统需符合行业标准,对现有系统进行改造升级,实现不同系统间数据“即插即用”,打破数据格式壁垒。(3)通过政策补贴引导企业数字化转型:政府部门设立水利工程信息化专项补贴,对积极投入质量管理信息化建设的企业(尤其是中小企业)给予设备采购补贴、技术服务补贴;同时将信息化质管水平纳入工程评优、资质评审的考核指标,通过“正向激励”推动参建方主动接受数字化工具,加快整体转型进度。

结束语

水利水电工程施工质量管理信息化应用,以技术革新驱动管理升级,通过实时数据监测、智能分析与全流程追溯,构建了高效、精准、透明的质量管控新模式。这不仅提升了工程质量与建设效率,更推动了行业向智能化、精细化转型。未来,需持续深化技术融合与创新实践,强化跨领域协同,让信息化真正成为保障水利安全、促进可持续发展的核心动能,为全球工程建设管理贡献智慧与力量。

参考文献

- [1]雷健.信息化时代水利工程施工管理的质量控制策略[J].计算机与网络,2021,(04):41-42.
- [2]张成哲,许源,刘冰.水利工程建设与管理的信息化应用[J].电脑知识与技术,2025,(12):79-81.
- [3]邓华亮.水利工程施工管理信息化应用策略探究[J].河北农业,2025,(04):46-47.
- [4]李春林.水利工程管理信息化的实践应用与未来发展[J].内蒙古水利,2025,(10):94-95.