

水利工程 BIM 与物联网融合的智慧施工管理系统设计与实现

徐文彪 郑东飞

山东黄河河务局山东黄河信息中心

DOI:10.32629/hwr.v9i11.6674

[摘要] 水利工程建设阶段对信息获取速度、施工协同效率与现场安全监测提出更高要求。基于此,将BIM与物联网融合构建智慧施工管理系统成为提升施工管理质量的重要路径。该系统在BIM的三维信息模型基础上,通过物联网设备采集现场实时数据,实现结构状态、机械运行及环境参数的动态呈现,并依托数据分析支持施工调度与风险预控。系统以模型可视化为载体,以传感网络为驱动,使施工信息流实现贯通与透明化,形成可监测、可追踪、可预测的管理方式。研究围绕系统架构设计、关键功能构建与应用流程进行验证,表明该模式能够提升管理响应能力并减少施工不确定性,为水利工程数字化管理提供可行路径。

[关键词] 水利工程; BIM; 物联网; 智慧施工; 施工管理系统

中图分类号: TV5 **文献标识码:** A

Design and Implementation of a Smart Construction Management System Integrating BIM and Internet of Things in Water Conservancy Projects

Wenbiao Xu Dongfei Zheng

Shandong Yellow River Conservancy Bureau, Shandong Yellow River Information Center

[Abstract] The construction stage of water conservancy projects places higher demands on the speed of information acquisition, the efficiency of construction collaboration, and on-site safety monitoring. Based on this, integrating BIM with the Internet of Things to build a smart construction management system has become an important path to improve the quality of construction management. Based on the three-dimensional information model of BIM, this system collects real-time on-site data through Internet of Things devices, dynamically presenting the structural status, mechanical operation and environmental parameters, and supports construction scheduling and risk pre-control through data analysis. The system takes model visualization as the carrier and sensor networks as the driving force, enabling the construction information flow to be connected and transparent, and forming a management approach that is monitorable, traceable and predictable. The research focuses on verifying the system architecture design, key function construction and application process, indicating that this model can enhance the management response capability and reduce construction uncertainty, providing a feasible path for the digital management of water conservancy projects.

[Key words] Water conservancy project "BIM; Internet of Things "Smart construction; Construction Management System

引言

水利工程施工过程涉及多专业协同与多阶段衔接,信息链条复杂且变化频繁,使管理精度和现场可控性面临挑战。随着工程规模扩大与质量要求提升,依靠经验驱动的传统管理方式已难以满足实时监测、快速响应及高效调度的需求。BIM的三维表达能力与物联网的实时感知特性,为提升施工阶段的透明度与可控性提供新的技术基础。当两者结合,一个能够实时呈现现场状态、同步更新施工信息并进行过程调控的智慧管理系统成为

可能。其价值不仅在于直观展示施工过程,更在于将数据转换为可执行的施工决策依据,从而推动水利工程施工向数字化、精细化和智能化方向迈进。基于此展开系统设计研究具有现实必要性。

1 水利工程施工管理中信息脱节的问题呈现

传统水利工程建设施工现场的结构变形数据、设备运行状态、混凝土浇筑参数及环境监测指标均依赖人工汇报或分散式记录,导致信息来源不统一,实时性不足,使管理层难以准确掌

握关键环节的动态变化。大量数据停留在纸质表单或孤立软件中,缺乏与三维工程模型的关联,形成“数据孤岛”。这种割裂状态使施工进度计划、现场资源调度以及安全监控之间难以形成持续、同步的交互机制,协同工作面临延迟、失真和不一致的风险。

在结构物施工过程中,钢筋绑扎密度、模板支撑刚度、混凝土入仓温度及湿度变化等关键工序指标往往无法持续监测。当出现偏差时,信息传递滞后,使决策响应难以跟上施工节奏。与此同时,水利工程现场设备数量庞大,包括起重机械、排水设施、高压泵组等,其运行状态缺乏集中监控平台,使设备故障隐患的发现依赖人员巡检,容易错过最佳干预节点。施工环境受地形、水位变化和气象条件影响明显,若监测数据不能及时传回管理端,将影响对边坡稳定、基坑渗压及大坝围堰安全性的判断。

各参与单位之间的数据格式、传输方式与记录标准不一致,使沟通成本不断上升。不同专业团队难以在统一界面下共享信息,施工模型更新滞后于现场实际情况,导致模型与现实脱节。信息流无法在时间维度和空间维度上保持连贯,使管理者在调度人力、物资和机械资源时缺乏精确依据。水利工程施工规模巨大且条件动态变化,一旦信息链条缺乏连续性,工程管理中的不确定性随之放大,影响施工组织的稳定性与可靠性。

2 BIM在水利工程施工信息组织与模型关联中的应用构建

BIM在水利工程施工阶段的应用以三维信息模型为载体,将结构构件、施工工艺参数及现场资源要素按逻辑关系重新组织,使信息能够在空间与时间维度上保持一致性。三维模型不仅呈现实体构件的几何形态,还能够嵌入材质参数、施工顺序、进度计划、质量检验记录以及安全管控要求,使模型成为多源信息的集成平台。通过对闸室、溢洪道及坝体构件建立参数化对象,构件间的联系被转化为可计算关系,从而使设计信息与施工过程数据保持动态关联。施工单位在模型环境中开展工序模拟,能够检查模板系统与钢筋布置的空间冲突,减少因信息缺失引起的返工风险。

在信息组织环节中,BIM通过多维度编码体系将构件编号、位置坐标与施工任务相连接,使每一条数据都能追溯到模型中的具体实体。进度信息与模型的绑定实现了施工场景的动态可视化,管理人员能够在模型中查看当天任务、资源投入量以及实际完成情况,与计划偏差保持同步对照。材料管理中的到货批次、检验记录和存放位置可直接与构件对象建立关联,使物资流转路径更加清晰。质量检测中涉及的混凝土强度回弹值、钢筋保护层厚度、压水试验结果等数据能够与对应构件自动匹配,形成结构化记录。

模型关联能力还体现在对施工环境要素的映射。通过将地形模型、水位变化曲线和围堰分区布置嵌入BIM平台,能够在虚拟环境中评估工序间的影响关系,并将环境条件变化同步记录到构件生命周期中。施工机械的布置位置、作业范围和行走路径在模型中可视化更新,为设备调度提供直观依据。施工现场临

时设施、机电系统布线、排水沟布设也可在模型内进行校核,使系统化管理更加精细。通过BIM建立的施工信息组织框架,使数据不再停留在分散记录中,而是与工程实体保持持续映射,为后续与物联网数据的融合奠定结构化基础,使施工阶段的信息能够以模型为核心实现集中、连续和可追踪的管理方式。

3 物联网在现场数据采集与动态监测中的部署路径

物联网在水利工程施工管理中的部署以感知层、网络层与平台层的协同构建为核心,通过对关键工序、结构状态与施工环境的连续监测形成动态数据链条。现场感知设备的布置围绕工程实体展开,结构变形监测点覆盖闸墩、坝体、基坑支护体系和临时围堰等关键部位,通过位移计、应变计、倾角传感器和渗压传感器实时采集受力变化和稳定性参数,使隐蔽工况中的细微变动能够即时呈现。混凝土浇筑区域布设的温度节点、湿度节点和渗流压力监测单元通过无线传输网络持续反馈水化热变化规律,为施工节奏控制和结构质量评估提供实时依据。起重设备、运输车辆以及高压泵组等机电设备安装运行状态监测模块,通过振动信号、油压数据和工作时长记录,使机械运转的健康度得以持续量化。

在施工现场环境监测中,物联网节点被布置于边坡、基坑、河道及导流区域,实时采集气象参数、水位变化、土体湿度和泥沙含量,使工程周边环境动态与施工活动保持同步传输。危险区域设置RFID定位标签与人员识别腕带,记录人员活动轨迹,帮助管理端掌握作业分布情况。噪声、扬尘、光照度和风速风向监测设备则分布在施工外围,为评估施工扰动范围与环境安全控制能力提供数据基础。

物联网的网络传输层通过多路径架构确保数据稳定到达管理平台,施工现场采用LoRa、NB-IoT与4G/5G融合的通信方式,根据监测区域规模、节点密度与地形条件选择合适信号覆盖策略。长距离区域采用低功耗广域网实现跨区域传输,高数据量设备使用4G/5G模块提升传输速率,特殊区域通过网关中继节点扩大通信范围。为了提高数据完整性,网络层设计自动重传机制、断点续传机制与数据缓存策略,使设备在高湿度、高粉尘、强振动等施工环境中仍能保持稳定运行。

平台层通过统一的数据接入协议处理多源异构数据,将采集到的结构指标、机械参数和环境监测值按照时间戳分类汇聚,形成连续数据链。系统采用边缘计算设备在本地对结构变化和风险特征进行初步分析,将异常趋势即时上报,减少因网络延迟带来的响应滞后。数据在平台中按照构件编号、施工区域和监测类型建立映射关系,为与BIM模型的后续融合提供清晰的数据结构。通过可视化界面呈现渗压变化曲线、机械运行振动频谱和温湿度监测图,使管理人员能够直观掌握现场状态,实现对关键工序的实时干预与动态掌控。

4 BIM与物联网融合的智慧施工管理系统架构设计

BIM与物联网融合的智慧施工管理系统在架构设计中强调模型信息、感知数据与调控策略的深度协同,以实现水利工程施工过程的实时可视化、动态预警与智能调度。系统以BIM模型作

为核心数据框架,通过构件编码体系、空间几何关系和多维属性库构建信息载体,使三维实体成为数据关联的主入口。在此基础上,将物联网设备采集的位移、应力、渗压、温湿度、机械振动和水位变化等监测数据按照统一的数据接口进行接入,通过数据解析模块完成格式转换与时间戳校准,使感知层输出与BIM构件保持一一对应关系,实现模型与现场状态的同步更新。

系统架构中,数据融合层承担对多源信息的处理、过滤和关联任务。采用特征提取算法识别结构变形趋势、设备运行偏差和环境变化幅度,通过数据清洗、插补与噪声抑制确保监测数据可靠性。融合引擎依据构件编号与监测点布局,将实时数据叠加到模型内部,使三维模型呈现动态色谱变化、状态标记与趋势曲线,形成“可视化监测面”。在复杂工况中,系统利用规则库与阈值模型比较实时数据,生成早期风险提示,对异常工况自动触发报警机制。

在业务逻辑层中,系统建立施工任务、资源配置和进度状态的联动模型。通过将施工计划WBS结构与BIM模型关联,系统能够在监测数据发生变化时动态调整作业区划、机械调度和材料配送计划,使施工组织更加贴合现场实际。对于关键部位的浇筑、支护或安装作业,系统可以依据实时温控数据、应力变化数据和设备负载情况生成作业指引,为施工过程提供数据驱动的调控依据。管理界面通过三维场景、交互式数据面板和时序播放功能呈现施工过程,使管理者能够以模型视角审查任务执行情况并快速定位问题区域。

系统架构还包含边缘计算节点的部署,用于在监测密集区域进行数据预处理和快速识别现场突发情况。边缘节点可在网络延迟条件下保持对关键指标的即时反馈,通过局部计算实现自适应决策,减少对中心服务器的依赖。在安全监控模块中,系统集成人员定位信息、风险区域模型与施工活动数据,形成动态安全防护圈,通过模型协同实现对危险行为的实时识别与响应。整个架构在统一数据标准与统一接口协议的支撑下,使BIM模型、物联网监测与施工控制在同一平台中形成高度耦合关系,为水利工程施工提供连续、透明且可调控的智能化管理体系。

5 系统运行效果的综合分析与实践经验凝练

系统在水利工程施工中的运行表现呈现出较高的协调性与响应能力,通过BIM与物联网的融合,使现场状态的变化能够快速映射至三维模型,形成动态可视化的管理界面。在坝体浇筑、地下结构支护、围堰稳定控制等关键工序中,监测点采集的数据以连续流的方式进入平台,经由融合算法处理后以色谱分布、曲线叠加或状态标记的形式呈现在模型上,使管理人员能够直观识别结构受力异常、位移趋势放大或温控偏差等潜在风险。模

型动态更新的机制使施工进度偏差、资源消耗进度及设备负荷变化得到及时反馈,减少管理层对现场状况理解的滞后现象。

在长期运行过程中,系统在风险识别与预控领域展现出显著优势。通过对渗压变化曲线、支护结构应力波动及机械振动频谱的持续分析,系统能够提前捕捉隐蔽性风险信号,使人工巡检难以发现的异常得到快速定位。边缘计算节点对关键监测点进行本地判断,使突发情况的响应时间得到有效压缩。施工人员定位数据与危险区域模型的叠合,使系统能够生成分区风险提示,减少高处作业区域人员误入导致的安全隐患。

项目协同视角下,各单位间信息传递更为顺畅。材料到货信息、检验记录及构件安装状态在模型中形成链条,供应链计划与现场作业保持一致。施工机械运行参数与作业位置在平台实时展示,机械调度决策依据更充分,减少等待与冲突。进度数据与监测信息叠加,为总控团队提供场景判断能力,施工组织更贴合现场实际。系统实践积累的经验表明,数据标准化、构件编码体系严谨性、监测点与模型空间对应关系是维持系统稳定运行的基础。施工早期建立模型管理制度、监测点布设原则、数据校验流程,降低后期融合过程中冲突与偏差,整个智慧施工体系在复杂环境下保持高效运转。

6 结语

本研究围绕水利工程施工管理的数字化需求,以BIM与物联网融合为核心展开系统化分析,构建了以模型为载体、以数据为驱动的智慧施工管理体系。系统在信息贯通、风险预控与过程调控方面展现出稳定性能,为复杂工况下的实时监测与精细化组织提供技术支撑,并为水利工程数字化施工模式形成可复制的应用经验。

[参考文献]

- [1]王晗宇.基于BIM的水利工程智慧施工管理体系研究[J].水利科技与管理,2022,18(4):52-57.
- [2]刘承浩.水利工程物联网监测系统构建与应用[J].水电自动化与信息工程,2023,45(2):33-40.
- [3]周程帆.BIM-物联网融合在施工阶段的动态管理方法研究[J].工程管理学报,2023,37(3):74-81.
- [4]郑毅鹏.水利建筑工程数字化施工技术实践[J].工程设计与设计,2024,42(1):118-123.
- [5]谢国梁.基于物联网的水利工程安全监测数据集成方法[J].水资源与工程学报,2022,28(6):95-102.

作者简介:

徐文彪(1990--),男,汉族,山东省齐河县人,本科,工程师,计算网络及其应用。