

# 基于BIM+物联网的轨道交通工程智能建造 体系构建与应用研究

蒋瑶玥

中国水利水电第七工程局有限公司 四川 成都 641000

**摘要：**城市化进程加快，轨道交通工程建设规模与复杂度提升，传统建造模式在进度、质量、安全管控上效率低、协同难的问题更突出。BIM技术以可视化等特性提供全生命周期数据支撑，物联网技术可实现现场实时数据采集，二者融合是关键。本文基于二者融合机理构建轨道交通工程智能建造体系，明确框架等，结合三大场景验证可行性。该体系能提升智能化水平，助力高质量建设与行业转型。

**关键词：**轨道交通工程；BIM技术；物联网；施工管理

## 1 BIM 与物联网技术基础及融合机理

### 1.1 BIM技术核心功能

BIM技术通过三维数字化模型集成工程几何信息、属性数据及时间维度，形成全生命周期信息载体。其核心功能包括：三维可视化与协同设计，支持建筑、结构、机电等多专业模型集成，通过冲突检测提前发现设计矛盾（如管线碰撞），减少施工阶段返工；4D施工模拟，将时间维度引入三维模型，动态模拟工序衔接与资源调配，优化进度计划；运维数据承载，BIM模型关联设备信息（型号、维护记录）与空间定位，为运维阶段提供数字化底座。

### 1.2 物联网技术架构

物联网技术通过“感知层-网络层-平台层-应用层”架构实现“物-物”互联，支撑轨道交通工程实时感知与智能决策。感知层部署传感器（应变计、倾角仪）、RFID标签及摄像头，采集结构应力、环境温度湿度、人员定位等数据，例如高铁梁体施工监测中光纤光栅传感器可捕捉0.1mm级变形；网络层采用5G+LoRa混合组网，解决地下隧道信号覆盖问题，5G网络下数据传输延迟低于20ms，满足实时控制需求；平台层基于云平台（如阿里云IoT）存储与处理海量数据，提供设备管理、规则引擎及AI分析服务；应用层开发移动端APP与PC端管理系统，支持数据可视化与决策指令下发，如通过AR技术将BIM模型叠加至现场，指导工人精准施工。物联网的实时性与泛在连接能力，为智能建造提供动态数据源<sup>[1]</sup>。

### 1.3 BIM与物联网的融合路径

BIM与物联网的融合需解决“模型-数据”双向交互与轻量化处理问题。数据驱动模型更新：物联网实时数据（如温度、振动）反馈至BIM模型，动态修正参数，例

如大跨度钢结构施工中通过监测焊接变形数据自动调整模型应力分布；模型指导数据采集：BIM模型定义传感器布设位置与监测频率，避免盲目部署，如隧道掘进中根据地质模型在断层带加密应变传感器；轻量化与标准化：将BIM模型转换为GLTF或USDZ格式，通过OPCUA标准与物联网平台交互，降低传输负载，测试显示轻量化后模型加载时间从15s降至2s。融合路径的核心在于建立“模型-物理世界”的数字映射关系，实现虚实联动。

## 2 轨道交通工程智能建造体系架构设计

### 2.1 体系总体框架

体系采用“数据层-技术层-应用层-管理层”四层架构。数据层整合三类数据：BIM模型全生命周期数据、物联网实时数据、业务管理数据，用“分布式存储+数据中台”管理，配备加密与备份机制保障安全。技术层集成多技术协同：BIM构建模型、物联网采集数据、大数据分析偏差、AI智能预警、云计算提供资源，某项目用云边协同实现边缘实时预警、云端深度分析。应用层针对全生命周期开发模块：设计阶段智能协同设计、施工阶段智能管控、运维阶段智能运维，模块间数据互通，如施工质量数据同步至运维档案。管理层通过制度、标准、组织保障运行，成立专项小组并建立考核机制，定期评估应用效果优化体系。

### 2.2 关键子系统设计

#### 2.2.1 基于BIM的施工模拟与优化系统

该系统解决传统模拟与现场脱节问题，含三大模块。进度模拟与优化将BIM模型关联进度软件，构建4D模型，导入物联网实际数据对比偏差，某地铁隧道项目据此将偏差调整时间从5天缩至1天。工艺模拟与验证针对复杂工序，如地铁车站深基坑施工，模拟支护结构安

装顺序,某项目提前发现支撑间距问题,避免坍塌风险。资源配置模拟与优化结合物联网资源数据,模拟人员、设备、材料配置方案,为施工高效推进提供支撑<sup>[2]</sup>。

### 2.2.2 物联网驱动在现场感知与控制系统

系统以实时感知与智能控制为核心。感知子系统分类部署设备:地质监测用应力传感器、设备监控用振动转速传感器、人员管理用UWB定位标签、环境监测用粉尘气体传感器,数据采集频率根据需求设为1次/分钟至1次/秒。控制子系统实现自动响应:设备异常时远程调整参数,如盾构机转速异常时发送指令;环境超标时启动设备,粉尘超标自动开喷淋;人员违规时触发报警,进入危险区域声光提醒。

### 2.2.3 BIM-物联网数据融合平台

平台是体系数据交互核心,具备三大功能。数据接入功能支持多源数据导入,兼容BIM模型格式(如Revit、IFC)与物联网设备协议(如MQTT、Modbus),自动识别数据类型分类存储。数据处理功能通过算法清洗、转换、融合数据,剔除传感器异常值,将物联网数据转化为BIM模型可识别格式,关联至对应构件。数据服务功能提供多端访问,管理人员通过PC端查看融合模型,施工人员用移动端接收预警信息,确保全流程数据一致与高效利用。

## 2.3 技术标准与规范

技术标准体系涵盖三方面。数据标准明确格式与接口:BIM模型遵循《建筑信息模型应用统一标准》,构件信息完整度 $\geq 95\%$ ;物联网数据规定采集指标与频率,地质数据精度达毫米级;接口标准统一数据交互格式,确保BIM与物联网平台无缝对接。应用标准规范各阶段操作:设计阶段BIM模型审查标准,碰撞检查覆盖率100%;施工阶段物联网设备安装标准,传感器布置偏差 $\leq 5\text{cm}$ ;运维阶段数据更新标准,设备状态数据每日更新。管理标准明确各方职责:设计单位负责模型质量,施工单位保障设备运行,监理单位核查数据真实性,某地铁项目严格执行标准,模型错误率降低60%,设备故障率降至5%以下。

## 3 BIM+ 物联网的轨道交通工程智能建造体系核心应用场景

### 3.1 施工过程动态管控

在轨道交通工程施工中,基于BIM+物联网的智能建造体系可对进度、工序、设备进行动态管控,提升施工效率与精准度。

#### 3.1.1 进度动态管控

通过4D-BIM模型与物联网进度数据联动,实现施工

进度实时掌握。在BIM模型中关联各分项工程进度计划,利用安装在施工机械上的GPS传感器、工效传感器,采集实际施工进度数据,如盾构机每日推进里程、车站主体结构浇筑完成量。系统将实际数据与计划进度对比,生成进度偏差报告。若某工序滞后,如车站顶板浇筑滞后,系统会自动分析原因。若因混凝土供应不足,便建议增加搅拌站或调整供应计划。同时,通过BIM模型可视化展示进度偏差部位,方便管理人员直观掌握滞后情况并及时纠偏。该功能使施工进度偏差率降低,总工期得以缩短<sup>[3]</sup>。

#### 3.1.2 工序动态管控

基于BIM模型的工序流程与物联网的工序执行数据,实现工序标准化与规范化管理。在BIM模型中预设各工序的施工顺序、技术参数与验收标准,如隧道管片拼装需按“定位-拼装-注浆-验收”顺序进行,拼装精度控制在 $\pm 2\text{mm}$ 内。物联网通过部署在施工区域的视频监控、RFID标签阅读器,采集工序执行数据,如管片拼装位置数据、注浆压力数据。系统将实际执行数据与BIM模型预设标准对比,若发现管片拼装顺序错误或注浆压力不足,立即通过平台向现场施工人员发送预警信息,提示整改。同时,系统自动记录工序执行过程,形成可追溯的工序档案,便于后期质量核查。应用该功能后,工序违规率降低,工序验收效率提升。

#### 3.1.3 设备动态管控

依托物联网设备感知数据与BIM模型设备信息,实现施工设备全周期管理。在BIM模型中录入设备型号、参数、维护周期等基础信息,物联网通过安装在设备上的传感器,实时采集设备工作状态(如转速、温度、振动)、位置信息与能耗数据。当设备出现异常,如盾构机轴承温度超标,系统自动在BIM模型中标注设备位置并发出故障预警,同时推送维护建议;当设备接近维护周期时,系统提前发送维护提醒,避免设备故障停机。应用该功能后,施工设备故障率降低,设备平均无故障运行时间延长。

## 3.2 质量与安全闭环管理

质量与安全是轨道交通工程建设的核心,基于BIM+物联网的智能建造体系通过“数据采集-分析预警-整改验收-归档追溯”的闭环流程,实现质量与安全的全方位管控。涵盖原材料质量、施工过程质量与验收质量三环节。在原材料质量管控中,于钢筋、混凝土等原材料上粘贴RFID标签,记录材料规格、生产厂家、检测报告等信息,物联网通过RFID阅读器采集材料进场数据,自动与BIM模型中预设的材料标准对比,若发现材料规格

不符或检测报告缺失,禁止材料进场。施工过程中质量管控中,物联网通过传感器、无人机航拍采集施工质量数据,如混凝土浇筑强度数据、隧道衬砌厚度数据,将数据上传至BIM模型,与质量标准对比,若混凝土强度未达到设计要求,系统触发质量预警,通知技术人员现场复核,制定加固方案。验收质量管控中,利用BIM模型生成数字化验收清单,验收人员通过移动终端对照清单逐项验收,验收数据实时上传至系统,形成验收报告,若验收合格,系统自动归档验收资料;若不合格,明确整改要求与时限,整改完成后重新验收,直至合格。应用该体系后,工程一次验收合格率提升,质量问题整改率达较高水平;聚焦人员安全、设备安全与环境安全。人员安全管控中,施工人员佩戴内置GPS与心率传感器的智能安全帽,物联网实时采集人员位置与生命体征数据,在BIM模型中动态显示人员分布,若人员进入危险区域或心率异常,系统立即发出声光预警,同时通知现场安全员前往处置;当发生紧急情况时,通过BIM模型快速定位人员位置,为救援提供精准指引。设备安全管控中,除实时监测设备状态外,在BIM模型中划分设备安全作业区域,若设备超出区域范围,系统自动切断设备动力电源,防止安全事故。环境安全管控中,物联网实时监测施工现场粉尘、噪声、有毒气体浓度,数据超标时自动启动降尘、降噪设备,同时在BIM模型中标记超标区域,限制人员进入;若遇极端天气,系统结合气象数据与BIM模型地形信息,预测积水风险区域,提前通知人员撤离与设备防护。应用该体系后,未发生重大安全事故,轻伤事故率大幅降低<sup>[4]</sup>。

### 3.3 资源优化与能耗管理

轨道交通工程建设需消耗大量资源,基于BIM+物联网的智能建造体系通过精准数据支撑,实现资源高效配置与能耗优化,降低工程建设成本与环境影响。在人力资源优化方面,依据BIM模型细致分解的工程量与工序计划,能够精确计算每个施工阶段所需人员的数量以及相应的技能类型,进而生成科学合理的人员配置计划。物联网则发挥其强大的数据采集与分析能力,通过人员定位数据与工时统计数据,深入剖析人员工作效率。一旦发现某区域人员闲置率过高,或者某工序由于人员技能

不匹配导致效率低下,系统会迅速提出人员调整建议,比如将闲置人员调配至人员短缺区域,或者安排技能培训以提升人员与工序的适配度。应用这一优化方式后,人力资源成本显著降低,人员工作效率大幅提升,为工程的顺利推进提供了坚实的人力保障;材料资源优化上,基于BIM模型可精确计算各构件材料用量,生成精准的材料需求计划,从源头上避免“多算多购”造成的材料浪费。物联网借助仓库传感器,实时采集材料库存数据,当库存低于安全阈值时,自动触发采购提醒,确保材料及时供应,避免因材料短缺影响工程进度。同时,利用RFID技术跟踪材料使用轨迹,能有效防止材料丢失或挪用。应用后,材料浪费率大幅降低,材料库存周转率显著提升,减少了资金在材料库存上的积压。设备资源优化中,结合BIM模型施工进度计划与物联网设备位置数据,可优化设备调度路径,减少设备无效移动,降低设备运输成本。通过分析设备工作状态数据,合理安排设备作业时间,避免设备空转。应用后,设备运输成本和空转率明显降低,提高了设备的利用率 and 使用寿命,为工程建设节省了大量成本。

### 结束语

基于BIM+物联网的轨道交通工程智能建造体系,为工程建设带来全新变革。通过技术融合与体系构建,实现了施工过程的精准动态管控、质量安全的全方位闭环管理以及资源能耗的高效优化。未来,随着技术不断发展,该体系将进一步完善,为轨道交通建设及其他领域提供更强大的技术支持与借鉴,助力行业持续创新发展。

### 参考文献

- [1]张宏瑞,汪咏琳,朱紫威等.轨道交通工程智能建造技术应用研究[J].运输经理世界,2020(28):80-82.
- [2]贾科.城市轨道交通智能建造技术发展趋势分析[J].现代城市轨道交通,2021(06):107-112.
- [3]白丽,王石生,姚湘静,闫晓楠.城市轨道交通综合智能运维平台研究与设计[J].铁路计算机应用,2020,29(11):62-65.
- [4]杨远栋.BIM结合装配式技术在城市轨道交通高质量数字化转型的应用[J].城市轨道交通,2024,(10):47-49.