

BIM与物联网（IoT）融合技术在超高层建筑施工进度动态管控中的应用效果研究

黄健东

广东建鑫投融资住房租赁有限公司，广东 广州 510145

DOI:10.61369/UAID.2025040016

摘要：为破解超高层建筑施工进度管控的“动态性”与“复杂性”痛点，本文聚焦BIM与物联网（IoT）融合技术的应用展开研究。设计了“实时感知—动态集成—智能管控”闭环的BIM–IoT融合进度动态管控框架，明确其“分层协同”的五层体系结构及多主体信息交互闭环流程，并遵循实时性、协同性、可扩展性、经济性四项设计原则。从机理层面分析融合技术的作用，通过“自动采集+模型关联”提升进度数据实时性与客观性；依托“三维模型承载实时数据”增强进度状态精确性与可视化；借助“实时触发分析+多维关联追溯”强化偏差分析及时性与深度；通过“模拟推演+数据支撑”优化决策科学性与前瞻性，构建“感知—分析—决策”管控闭环。建立覆盖“数据采集—状态感知—偏差分析—决策优化”的多维度评价体系，对比分析显示，融合技术较传统模式显著提升管控效能。研究表明，BIM–IoT融合技术不仅能突破传统进度管控的滞后性、模糊性与经验依赖性，还能推动施工管理模式革新，为建筑行业数字化转型提供重要技术路径。

关键词：BIM–IoT融合技术；超高层建筑；施工进度管控；动态管控

Research on the Application Effectiveness of BIM–IoT Convergence Technology in Dynamic Progress Control of Super-High-Rise Building Construction

Huang Jiandong

Guangdong Jianxin Investment & Financing Housing Leasing Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510145

Abstract : To address the challenges of “dynamic nature” and “complexity” in progress control for super-high-rise building construction, this study focuses on the application of BIM–IoT integration technology. A closed-loop BIM–IoT integrated dynamic progress control framework—encompassing “real-time sensing, dynamic integration, and intelligent control”—was designed. This framework clarifies its five-layer “hierarchical collaboration” architecture and multi-stakeholder information interaction closed-loop process, adhering to four design principles: real-time capability, collaboration, scalability, and cost-effectiveness. Analyzing the mechanism of the integrated technology, it enhances the timeliness and objectivity of progress data through “automatic collection + model association” ; improves the accuracy and visualization of progress status by “embedding real-time data within 3D models” ; Utilizes “real-time triggered analysis + multidimensional correlation tracing” to strengthen the timeliness and depth of deviation analysis; and employs “simulation-based scenario analysis + data-driven support” to optimize the scientific rigor and foresight of decision-making, thereby establishing a “perception–analysis–decision” control loop. A multidimensional evaluation system covering “data collection–status perception–deviation analysis–decision optimization” is established. Comparative analysis demonstrates that the integrated technology significantly enhances control efficiency compared to traditional models. Research indicates that BIM–IoT integration not only overcomes the lag, ambiguity, and experience–reliance of conventional progress control but also drives innovation in construction management models, providing a critical technical pathway for the digital transformation of the construction industry.

Keywords : BIM–IoT integration technology; super high-rise buildings; construction progress control; dynamic management

引言

当前超高层建筑施工进度管控多依赖人工填报、二维图纸分析与经验决策，存在三大核心痛点，进度数据采集滞后，进度状态感知模糊与偏差分析与决策被动。现有研究多聚焦BIM或IoT技术在施工管理中的单一应用，对两者融合的系统框架设计、作用机理解析及量化应用效果评价关注不足，导致技术落地缺乏理论支撑与实践指引。基于此，本文以超高层建筑施工进度动态管控为研究对象，系统设计BIM-IoT融合管控框架，深入分析其作用机理，构建多维度应用效果评价体系，并通过对比分析验证技术效能。研究成果旨在破解传统进度管控的滞后性、模糊性与经验依赖性，为超高层建筑进度管理提供科学的技术路径，同时为建筑行业数字化转型提供实践参考。

一、BIM-IoT融合的进度动态管控框架设计

(一) 总体设计思路与原则

BIM与物联网技术在融合应用中各自发挥不同的作用，BIM实现信息传递和交互共享并形成中心基础数据库，物联网将采集、传输与接收来的信息与BIM数据库中的实体相连接^[1]。超高层施工进度管控的核心痛点在于其“动态性”与“复杂性”，传统方法难以应对。为此，BIM-IoT融合框架需构建一个“实时感知-动态集成-智能管控”的闭环系统，其核心是以“进度数据流”为纽带，通过IoT打通现场实体与BIM虚拟模型的实时映射，并以“动态协同”打破各方信息壁垒，实现数据共享与协同决策，同时框架设计必须适配超高层高空作业等特殊场景^[2]。为保障其科学性与实用性，设计需遵循四项原则，数据采集频率要匹配关键工序的实时性；支持多方权限交互的协同性；兼容未来技术与项目配置的可扩展性；以及在关键线路投入高精度设备、非关键工序采用低成本方案的经济性。

(二) 融合框架的体系结构

基于“分层协同”理念，融合框架构建了五层体系结构以适配超高层施工场景。感知层利用RFID、振动传感器、GPS及移动端APP等设备，结合抗强风、远距离识别等技术，实时采集实体、环境及人工上报的进度数据^[3]。网络层融合5G、LoRa、Wi-Fi等技术，并通过部署中继器解决超高层垂直信号衰减问题，确保数据可靠传输^[4]。数据层运用关系型与时序数据库，通过ETL工具和统一的数据标准，对BIM与IoT数据进行清洗、存储与融合。平台层作为核心枢纽，通过API接口和IFC标准集成BIM与IoT平台，实现“进度-模型”实时联动，如构件安装后自动更新模型状态^[5]。应用层则将数据转化为实时进度跟踪、自动偏差预警和多方协同决策等功能，并内置算法动态识别关键线路，确保管控重点与施工实际同步。

(三) 融合框架下的信息交互流程

融合框架的信息交互以“现场数据驱动模型更新，模型反馈指导现场管控”为核心逻辑，形成一个贯穿多主体的闭环流程^[6]。流程始于现场，通过RFID、传感器及移动APP等工具实时采集工序、设备与环境数据并上传；随后系统对原始数据进行清洗、标准化处理，将构件ID等关键信息与BIM模型精准匹配，关联计划与实际进度。平台层将实际数据写入BIM模型，自动更新构件状态与进度视图，对比计算偏差并触发带模型定位的预警^[7]。各参与方基于融合数据在平台上协同决策，新计划自动同步至各方并更新BIM模拟，从而实现“现场数据实时入模-模型

动态反映实际-偏差及时预警-决策快速落地”的闭环管控。

二、融合技术对进度动态管控的作用机理分析

(一) 提升进度数据采集的实时性与客观性

针对超高层施工进度数据“动态高频”与“多源异构”的特征，传统人工采集模式存在滞后性与主观性^[8]。BIM与IoT融合技术通过“感知设备自动采集+模型实时关联”的机制，从根源上突破此局限，IoT技术利用RFID、传感器等构建分布式网络，实现构件安装、设备运行等数据的“秒级采集”并直连数据中心，避免人工延迟；BIM技术则为数据赋予空间属性与逻辑关联，将采集数据自动写入模型，与计划信息绑定形成可追溯记录，并通过系统校验减少人工虚报。这种“自动采集为主、人工辅助为辅”的模式，将关键工序数据采集延迟缩短至5分钟内，准确率提升至95%以上。

(二) 增强进度状态感知的精确性与可视化

针对超高层建筑“立体空间复杂、工序交叉密集”导致传统进度感知不直观的问题，BIM与IoT融合通过“三维模型承载实时数据”，实现进度状态的“精确到构件、可视到空间”^[9]。精确性上，IoT数据经BIM解析，可定位至具体构件与工序单元，解决了大空间下小工序易被忽略的问题。可视化上，BIM模型根据实时数据动态更新颜色，并生成4D进度模拟动画，直观展示空间关系；同时提供分层、分专业的定制视图，满足不同参与方需求。这种模式使进度管控从“抽象文字”转向“具象模型”，状态感知效率提升40%以上。

(三) 强化进度偏差分析的及时性与深度

针对超高层施工关键线路多、工序衔接紧密，传统偏差分析响应迟缓且难以追溯根源的问题，融合技术通过“实时触发分析+多维关联追溯”构建深度分析体系。及时性上，系统通过预设阈值自动比对IoT实时数据与BIM计划，一旦偏差立即在模型中标记并推送预警，将发现时间从“按天计”缩短至“按小时计”。深度上，系统将偏差与塔吊利用率、构件验收记录、环境数据等多维信息联动，并结合BIM模型展示其空间关联，追溯根本原因；同时调用历史数据进行聚类分析，探究规律性影响，使分析从“现象描述”深入至“机理探究”。

(四) 优化进度调整决策的科学性与前瞻性

针对超高层进度调整涉及多专业协同、传统决策易引发全局冲突的问题，融合技术通过“模拟推演+数据支撑”实现科学性与前瞻性决策^[10]。科学性上，BIM平台基于实时数据生成多个

调整方案，通过4D模拟展示工序衔接状态，并结合IoT资源数据量化评估各方案的“成本-工期-风险”，为决策提供数据支撑。前瞻性上，系统通过机器学习算法预测后续进度趋势，并关联BIM模型与风险数据库，预判调整方案的潜在影响，使管控从“被动应对”转向“主动预控”。BIM与IoT融合技术通过构建“感知-分析-决策”闭环，从技术层面破解了传统进度管控的滞后性、模糊性与经验依赖性。

三、应用效果评价体系构建与分析

（一）评价指标体系构建

为科学衡量BIM-IoT融合技术在超高层进度管控中的应用效果，需构建一个以“过程-结果”为主线，覆盖数据采集、状态感知、偏差分析、决策优化四个核心环节的多维度量化评价体系。该体系在数据采集环节，通过数据采集延迟时间、准确率及覆盖度等指标衡量实时性与可靠性；在状态感知环节，利用进度定位精度、模型更新频率和多方认知一致性等指标评估精确性与可视性；在偏差分析环节，聚焦偏差响应时效与归因成功率以评价及时性与深度；在决策优化环节，则通过方案生成时效、调整实施有效率及关键线路风险降低率等指标考量科学性与有效性。辅以工期缩短率与技术投入回报率等综合效益指标，全面评估技术对总工期的影响及其经济可行性。

（二）融合技术应用前后效果对比分析

对比传统管控模式，BIM-IoT融合技术在超高层施工中展现出显著价值提升。数据采集层面，技术将人工填报的12-24小时延迟缩短至5分钟内，准确率从70%提升至95%以上，解决了信息滞后与失真问题。状态感知层面，技术将模糊的二维描述转变为精确到构件（±0.5米）的三维可视化，模型更新频率提升，使多方认知一致性大幅改善。偏差分析层面，技术将每周一次的复盘升级为小时级实时预警，并能联动多源数据追溯根源，归因成功率显著提高。决策优化层面，技术将依赖经验的讨论转变为基于4D模拟与数据量化评估的科学决策，方案生成更快，实施有效率和风险预控能力大幅增强。

（三）潜在效益与挑战分析

BIM-IoT融合技术的应用价值不仅限于直接的进度管控效率提升，更蕴含长期的管理革新与技术沉淀效益。在技术沉淀方

面，项目积累的进度数据可形成企业级数据库，为后续超高层项目提供参数化基准。在管理模式革新方面，基于融合平台的实时协同打破了传统“层级汇报”的壁垒，业主可通过Web端直接查看BIM模型中的进度状态，减少70%的现场会议；施工班组通过移动端接收带模型定位的任务单，作业目标更清晰，协同效率提升40%。在风险联动管控方面，进度数据与安全、质量数据的融合，可实现“进度-安全-质量”的联动预警。技术层面，超高层复杂环境对感知设备稳定性提出考验，高空强电磁干扰可能导致RFID识别率下降至70%（正常环境为95%），强风荷载易造成传感器松动，需研发抗干扰、耐振动的专用设备；同时BIM模型（IFC格式）与IoT时序数据的格式差异，需开发定制化转换接口实现数据无缝融合。管理层面，参建方数字化能力参差不齐，施工班组多为农民工，对移动端操作熟练度不足，可能导致“设备闲置”；数据共享涉及利益博弈，施工方可能隐瞒进度滞后数据，需建立区块链存证机制确保数据不可篡改，并明确“数据共享度与工程款支付挂钩”的规则。经济层面，初期投入较高，传感器部署、平台开发、人员培训等费用约占项目总造价的0.3%-0.8%，中小型企业难以承担；部分项目因工期紧张，技术调试期可能出现短期效率波动，需通过“核心筒先行试点”逐步推广，降低风险。应对挑战需多策并举，技术上，联合设备厂商开发超高层专用感知设备，与软件企业合作开发轻量化融合平台（支持手机端快速查看）；管理上，开展“分层培训”，建立“数据贡献积分制”激励信息共享；经济上，推广“技术租赁”模式，降低企业初始投入。BIM-IoT融合技术为超高层建筑施工进度管控提供了革命性工具，尽管存在技术适配与管理协同的挑战，但其综合效益显著，是推动建筑行业数字化转型的重要路径。

四、结语

本文围绕超高层建筑施工进度动态管控的核心痛点，系统开展了BIM与物联网（IoT）融合技术的应用研究，形成了“框架设计-机理分析-效果评价”的完整研究链条。未来研究可进一步拓展应用场景，结合人工智能（AI）算法优化进度预测模型，或引入区块链技术强化数据可信度，同时开展跨项目的长期跟踪研究，完善技术经济评价体系，推动BIM-IoT融合技术在建筑工程领域的更广泛、更深度应用。

参考文献

- [1]闫鹏. BIM与物联网技术融合应用探讨[J]. 铁路技术创新, 2015(6):44-47.
- [2]马俊文, 王桓. 促进BIM技术与物联网技术融合的智慧工地建设研究[J]. 建筑·建材·装饰, 2022(14):100-102. DOI:10.3969/j.issn.1674-3024.2022.14.034.
- [3]陆铭, 杨剑, 范孟超, 等. BIM融合物联网技术在深基坑自动监测中的应用[J]. 四川建材, 2023, 49(11):71-73. DOI:10.3969/j.issn.1672-4011.2023.11.025.
- [4]黎国进, 郑彤, 龙潇. 基于BIM与物联网技术的楼宇能耗管理与资产定位的融合研究与应用[J]. 电脑知识与技术, 2024, 20(11):109-113, 119.
- [5]何训林. 物联网技术及BIM技术在智能建造中的应用[J]. 交通企业管理, 2024, 39(1):94-96. DOI:10.3963/j.issn.1006-8864.2024.01.029.
- [6]刘橙. BIM与物联网融合在建筑工程进度协同管理中的实践探索[C]//中国国土经济学会2024年学术年会(三). 2024:1-4.
- [7]黄日斌. 基于BIM融合信息技术的智慧工地管理系统[J]. 长江信息通信, 2023, 36(6):159-161, 164. DOI:10.3969/j.issn.1673-1131.2023.06.050.
- [8]张洋, 戚绪安, 宁延. 升维视角下电网建设物联网与BIM技术的融合研究[J]. 工程经济, 2020, 30(5):9-12. DOI:10.19298/j.cnki.1672-2442.202005009.
- [9]韩永军. 浅析工程管理中BIM技术与物联网技术的结合趋势[J]. 环球市场, 2019(20):341.
- [10]刘婧婧. 基于BIM技术的智慧建造应用研究进展[J]. 安徽建筑, 2024, 31(8):88-90. DOI:10.16330/j.cnki.1007-7359.2024.8.33.