

装配式房屋建筑施工协同管理技术创新应用

谭鑫贵 邬榕 何奉健

中建五局土木工程有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i6.4850

[摘要] 我国新型城镇化加速、“双碳”目标推进,装配式建筑因优势突出成为建筑业转型重要方向。但在设计、生产、运输等多环节高度依赖多专业、主体、阶段的高效协同,传统粗放式施工管理模式难以满足其精细化等管理需求。本文围绕装配式房屋建筑施工全过程,系统剖析协同管理中存在信息孤岛、流程割裂等核心问题,深入探讨BIM、物联网等新一代信息技术的创新应用路径。通过构建“平台驱动、数据贯通、流程再造、智能决策”的协同管理新范式,提出涵盖全生命周期的协同机制与技术框架。这种技术创新驱动的协同管理模式,能显著提升装配式建筑项目整体效率、质量控制与成本管控能力,为其高质量发展提供理论与实践支持。

[关键词] 装配式建筑; 协同管理; BIM; 物联网; 数字孪生; 智能建造; 全生命周期管理

中图分类号: TU741 **文献标识码:** A

Research on the Innovative Application of Collaborative Management Technology in Prefabricated Housing Construction

Xingui Tan Rong Wu Fengjian He

China Construction Fifth Engineering Division Civil Engineering Co., Ltd.

[Abstract] With the acceleration of China's new urbanization and the advancement of the "dual carbon" goals, prefabricated construction has become a significant direction for the transformation of the construction industry due to its prominent advantages. However, it highly relies on efficient collaboration among multiple disciplines, stakeholders, and stages across design, production, transportation, and other processes, making traditional extensive construction management models inadequate to meet its refined management requirements. Focusing on the entire construction process of prefabricated housing, this paper systematically analyzes core issues in collaborative management, such as information silos and fragmented workflows. It further explores innovative application pathways for new-generation information technologies like BIM and the Internet of Things. By establishing a new collaborative management paradigm characterized by "platform-driven operations, data integration, process reengineering, and intelligent decision-making," the study proposes a collaborative mechanism and technical framework covering the entire lifecycle. This technology-driven collaborative management model can significantly enhance the overall efficiency, quality control, and cost management capabilities of prefabricated construction projects, providing theoretical and practical support for their high-quality development.

[Key words] Prefabricated construction; Collaborative management; BIM; Internet of Things; Digital twin; Intelligent construction; Full lifecycle management

引言

装配式建筑是指将建筑构件在工厂进行标准化预制,再运输至施工现场进行组装的建造方式。相较于传统现浇混凝土结构,其具有施工周期短、质量可控、绿色低碳、劳动力需求少等显著优势。近年来,国家层面密集出台政策支持装配式建筑发展,《“十四五”建筑业发展规划》明确提出“大力发展装配式建

筑,2025年装配式建筑占新建建筑比例达到30%以上”。然而,在实际推广过程中,装配式建筑仍面临“设计—生产—施工”脱节、供应链协同不畅、现场装配精度不足、管理效率低下等瓶颈问题,其根源在于缺乏高效的协同管理机制与技术支撑体系。传统建筑项目管理多采用线性、分段式管理模式,各参与方(设计院、构件厂、施工单位、监理单位、业主等)之间信息传递依赖纸质



图1 协同管理技术架构

图纸、电话、邮件等低效方式, 导致信息失真、滞后甚至丢失。而在装配式建筑中, 构件的尺寸精度、连接节点、吊装顺序等对协同要求极高, 任何环节的微小偏差都可能引发连锁反应, 造成返工、延误甚至安全事故。因此, 亟需通过技术创新重构协同管理模式, 实现全链条、全要素、全过程的高效协同。

1 装配式建筑施工协同管理的核心挑战

1.1 信息孤岛现象严重。在传统模式下, 设计单位使用CAD软件出图, 构件厂依据图纸进行深化设计与生产, 施工单位则根据施工组织设计进行现场作业。各阶段使用的软件平台不兼容, 数据格式不统一, 导致信息无法有效流转。例如, 设计变更未能及时同步至构件厂, 造成已生产构件报废; 或施工进度信息无法反馈至设计端, 影响后续工序安排。

1.2 流程衔接不畅。装配式建筑涉及“设计—拆分—深化—生产—运输—吊装—灌浆—验收”等多个环节, 各环节由不同主体负责, 缺乏统一的流程标准与接口规范^[1]。例如, 设计阶段未充分考虑构件吊点、临时支撑等施工需求, 导致现场安装困难; 物流调度与现场吊装计划脱节, 造成构件堆积或停工待料。

1.3 责任边界模糊。由于参与方众多, 且部分工作存在交叉 (如深化设计常由构件厂完成), 一旦出现质量问题, 责任界定困难。例如, 构件裂缝是因设计配筋不足、生产养护不当, 还是运输碰撞所致? 缺乏全过程可追溯的数据记录, 使得质量追责机制失效。

1.4 动态响应能力弱。施工现场环境复杂多变, 天气、场地条件、劳动力调配等因素均可能影响施工进度。传统管理模式依赖人工经验判断, 缺乏实时数据支撑, 难以快速调整计划。例如, 某日因大风暂停吊装, 但未及时通知构件厂调整次日发货计划, 造成资源浪费。

2 协同管理技术创新应用体系构建

针对上述挑战, 本文提出以“数据驱动、平台集成、智能协同”为核心的协同管理技术创新体系, 其技术架构如图1所示 (此处为文字描述):

底层: 物联网 (IoT) 设备 (如RFID标签、GPS定位器、倾角传

感器、温湿度传感器) 部署于构件、车辆、塔吊等实体对象, 实现物理世界数据的自动采集。

中间层: BIM模型作为统一信息载体, 集成几何信息、属性信息、进度信息、成本信息等, 形成项目“数字底座”; 云计算平台提供算力与存储支持。

上层: 基于BIM+IoT数据, 构建数字孪生系统, 实现虚实映射与动态仿真; 引入人工智能 (AI) 算法进行进度预测、风险预警、资源优化; 区块链技术用于关键数据存证, 确保信息不可篡改。

协同机制: 建立跨组织、跨阶段的协同 workflow, 通过统一平台实现任务分配、进度跟踪、问题闭环、文档共享等功能。

2.1 BIM技术: 构建统一信息模型。BIM技术在装配式建筑协同管理中的核心价值, 在于其能够作为贯穿项目全生命周期的唯一权威信息源。从方案设计初期, 建筑师、结构工程师与机电工程师即可在同一BIM环境中开展协同工作, 确保各专业模型的空间协调性。进入构件拆分段, 设计团队可直接在模型中定义预制范围、划分构件单元, 并对连接节点进行精细化建模, 充分考虑制造与安装的可行性。该模型随后无缝传递至构件厂, 作为深化设计与数控加工的直接依据, 彻底摒弃了传统“图纸转译”过程中可能产生的误差。施工阶段, BIM模型进一步被赋予时间维度 (4D) 与成本维度 (5D), 形成动态的施工模拟与资源计划工具^[2]。管理人员可通过可视化界面直观掌握每日吊装任务、机械配置及人力投入, 并提前识别潜在冲突。项目竣工后, 包含完整构件信息、隐蔽工程记录的竣工BIM模型移交至运维方, 为后期设施管理、维修更换提供精准数据支撑。由此可见, BIM不仅是建模工具, 更是实现信息集成、流程贯通与多方协同的数字中枢。

2.2 物联网 (IoT) 与智能感知。物联网技术的应用, 为装配式建筑的物理实体赋予了“感知”与“说话”的能力。在构件生产完成后, 通过嵌入RFID芯片或粘贴高密度二维码, 为其赋予唯一的数字身份, 其中编码了规格型号、生产批次、质检报告等关键属性。运输过程中, 车辆搭载的GPS定位器与震动传感器持续采集位置轨迹与冲击数据, 一旦运输路线偏离或遭遇剧烈颠簸, 系统可自动预警, 提醒相关方核查构件状态。抵达现场后, 基于UWB (超宽带)

技术的室内定位系统能精确追踪每一构件在堆场中的三维坐标, 管理人员通过移动终端即可快速定位所需构件, 大幅提升找料效率。更重要的是, 这些由传感器自动采集的实时数据, 能够与BIM模型中的对应构件动态关联, 形成“物理-数字”映射, 为后续的进度跟踪、质量追溯与安全监控奠定坚实的数据基础。

2.3 数字孪生: 虚实融合的动态协同。数字孪生技术通过在虚拟空间中构建一个与物理工地完全同步的数字化镜像, 实现了对施工过程的全景式、沉浸式管理。这一虚拟模型不仅包含静态的几何信息, 更集成了来自BIM、IoT、项目管理软件等多源的动态数据流。在此基础上, 管理人员可以进行高保真的施工过程预演, 例如模拟塔吊在特定时间段内的作业路径, 提前发现其与临时支撑架或外脚手架之间的空间干涉, 从而优化吊装顺序或调整设备站位。当实际施工进度因各种原因发生偏移时, 系统能自动将现场采集的进度数据注入数字孪生体, 与基准计划进行比对, 直观展示滞后区域, 并基于历史数据预测未来趋势, 辅助管理者做出科学决策。此外, 针对高空作业、大型构件吊装等高风险场景, 数字孪生系统还可用于应急预案的虚拟演练, 评估不同处置方案的有效性, 显著提升项目的安全韧性。

2.4 区块链: 构建可信协同环境。在多方参与、利益交织的装配式项目中, 建立一个各方均认可的可信数据环境至关重要。区块链技术凭借其去中心化、数据不可篡改及可追溯的特性, 为此提供了理想的技术解决方案。项目中的关键业务事件, 如设计变更的审批记录、构件出厂合格证的签发、运输交接的电子签收、现场隐蔽工程的验收影像等, 均可被加密后写入区块链。一旦上链, 这些数据便无法被任何单方篡改或删除, 所有授权参与方均可随时查验其真实性与时效性。这种透明、公正的信息存证机制, 极大地降低了因信息不对称而产生的信任成本与纠纷风险^[3]。当质量问题发生时, 只需根据构件ID在链上追溯其全生命周期的操作记录, 即可迅速锁定问题环节与责任主体, 为高效、公平的追责与改进提供了坚实依据。

2.5 云平台与移动协同。为了支撑上述各项技术的落地应用, 一个强大而灵活的云平台是必不可少的基础设施。该平台采用微服务架构, 能够按需集成BIM引擎、IoT数据处理模块、AI分析算法及区块链节点等多种功能组件, 并通过API接口实现与各参与方现有系统的互联互通。更重要的是, 平台提供友好的移动端应用, 使身处一线的施工员、质检员、安全员等角色能够随时随地接入协同网络。现场人员通过手机扫描构件二维码, 即可查阅其全部技术参数与安装指引; 发现质量问题时, 可即时拍照上传, 系统自动生成带有地理位置与时间戳的问题工单, 并智能推送至相关责任人。处理过程全程留痕, 直至问题闭环。这种“指尖上的协同”模式, 打破了时空限制, 将管理触角延伸至每一个作业面, 真正实现了管理的扁平化与敏捷化。

3 全生命周期协同管理机制设计

3.1 设计-生产协同机制。为解决设计与生产脱节的顽疾, 必须建立一种以BIM模型为纽带的双向互动协同机制。在此机制下, 设计单位不再仅仅是交付一套静态图纸, 而是在云端BIM平

台上发布一个可供多方协同编辑的动态模型。构件厂的技术人员在收到初步拆分方案后, 可直接在模型上进行可制造性评审, 针对钢筋密集区避让、预埋件定位、模具通用性等生产实际问题, 提出具体的优化建议。双方通过平台内置的评论、标注与版本对比工具, 高效地完成多轮迭代, 直至达成共识。最终冻结的BIM模型, 既是设计成果的确证, 也是生产指令的源头, 确保了“所见即所得”, 从根本上杜绝了因理解偏差导致的生产错误。

3.2 生产-物流-施工协同机制。实现生产、物流与施工的精准匹配, 关键在于建立一个以施工进度为驱动的反向拉动式供应链。项目总包方基于BIM4D模型制定出详细到每一天、每一吊的吊装计划, 并将其作为核心输入, 反向推导出未来数周内对各类构件的精确需求时间与数量。这一需求计划实时共享至构件厂的生产管理系统, 指导其进行柔性排产。同时, 物流调度中心根据构件厂的发货计划、构件体积重量以及施工现场堆场的实时占用情况, 利用智能算法动态规划最优的运输路线与车辆配载方案。施工现场则通过IoT感知堆场状态, 当某类构件库存低于安全阈值时, 系统自动触发补货请求。通过这样一个环环相扣、数据驱动的协同闭环, 实现了“需要什么、何时需要、需要多少”的精准供应, 最大限度地减少了库存积压与等待浪费。

3.3 质量与安全协同管控机制。建立“全过程质量追溯链”: 从原材料进场、模具校验、混凝土浇筑、蒸汽养护到出厂检验, 每个环节的操作人员、设备参数、环境数据均自动记录并关联至构件ID。现场安装时, 监理人员扫码核验构件信息, 确认无误后方可吊装。若后期出现质量问题, 可快速定位问题环节与责任人。安全方面, 通过数字孪生系统监控高风险作业(如高空吊装、临边防护), 结合AI视频分析识别未戴安全帽、违规穿越等行为, 实时告警。

4 结语

本文系统论证了技术创新在装配式房屋建筑施工协同管理中的关键作用。研究表明, 以BIM为核心, 融合物联网、数字孪生、区块链等技术, 构建全生命周期协同管理平台, 能够有效破解信息孤岛、流程割裂等难题, 实现“设计精准化、生产智能化、物流可视化、施工精益化、运维数字化”的管理目标。未来, 随着5G、边缘计算、生成式AI等技术的发展, 协同管理将向更高阶的“自主协同”演进。例如, AI可根据历史数据自动生成最优吊装方案; 数字孪生系统可预测构件老化趋势, 主动推送维护建议。同时, 行业亟需加快BIM标准、数据接口、协同流程的规范化建设, 推动协同管理模式从“项目级”向“企业级”乃至“行业级”升级。

[参考文献]

- [1]郑松根.基于新质生产力的装配式建筑全流程协同管理优化[C]//广西大学广西县域经济发展研究院.2025年第二届工程技术数智赋能县域经济城乡融合发展学术交流论文集.杭州睿丽科技有限公司,2025:312-313.
- [2]张瀚鹏.基于BIM技术的装配式建筑协同管理与智能监控方法研究[D].广东工业大学,2025.
- [3]庄建新.工程总承包模式下装配式建筑项目管理协同研究[J].中国招标,2024,(08):171-174.