

基于BIM技术的装配式建筑全生命周期管理

雷 玉

中国有色金属工业第六冶金建设有限公司 河南郑州 450000

摘 要：随着建筑工业化与数字化转型的深入推进，装配式建筑因其高效、绿色、节能等优势成为建筑业发展的重要方向。然而，其复杂的设计、生产、运输、装配及运维过程对协同管理提出了更高要求。本文提出以建筑信息模型（BIM）技术为核心，构建覆盖装配式建筑“策划—设计—生产—施工—运维—拆除”全生命周期的一体化管理框架。通过引入数字孪生、物联网（IoT）与区块链等新兴技术，强化BIM在各阶段的数据贯通与价值延伸。文章重点探讨BIM在构件标准化、进度可视化、质量可追溯及运维智能化等方面的创新应用，并结合实际工程案例验证其可行性与效益。研究表明，基于BIM的全生命周期管理模式不仅提升项目协同效率与资源利用率，还能显著降低碳排放与综合成本，为装配式建筑高质量发展提供科学路径。

关键词：BIM技术；装配式建筑；全生命周期管理；数字孪生

引言

当前，我国建筑业正加速向绿色化、工业化、智能化转型，装配式建筑作为实现“双碳”目标的关键载体，其推广面临信息割裂、协同低效、质量波动等现实挑战。传统项目管理模式难以满足装配式建筑对高精度、强协同、全流程管控的需求。BIM技术凭借其三维可视化、信息集成与过程模拟优势，为破解上述难题提供了新思路。本文立足于BIM技术与装配式建筑深度融合的视角，系统构建覆盖全生命周期的管理机制，旨在提升装配式建筑的整体效能与可持续性，推动行业从“建造”向“智造”跃迁。

一、BIM技术赋能装配式建筑全生命周期的理论基础

装配式建筑以标准化设计、工厂化生产、装配化施工、一体化装修和信息化管理为核心特征，强调构件的模数统一与流程的系统集成，其本质是通过工业化手段提升建造效率与质量稳定性。BIM技术凭借强大的信息集成能力、多专业协同平台支撑以及参数化建模机制，能够精准表达建筑构件的几何属性与非几何信息，为装配式体系提供数字化底座。在设计阶段，BIM模型可实现构件拆分的自动化与节点连接的精细化；在生产环节，模型数据可直接对接数控设备，驱动预制构件的精准制造；施工过程中，三维可视化与进度模拟有效指导现场吊装与误差控制；运维阶段则依托模型中的设备参数与维护记录，提升设施管理效能。BIM与装配式建

筑的深度融合，构建起“以构件为基本单元、以数据为流动纽带”的全生命周期管理逻辑，使设计、生产、运输、装配到拆除各环节形成信息连续、过程可控、反馈及时的闭环系统。这种融合不仅强化了建筑产品从虚拟到实体的一致性，也推动项目参与方在统一数据环境中高效协作，从根本上解决传统模式下信息割裂与资源浪费问题，为装配式建筑向智能化、绿色化发展奠定理论与技术基础。

二、基于BIM的装配式建筑全生命周期管理框架构建

1.构建“五阶段一平台”管理模型

装配式建筑的全生命周期可划分为策划、设计、生产、施工与运维五个关键阶段，各阶段环环相扣，对信息连续性与协同效率提出极高要求。为实现全过程高效管控，需依托统一的BIM协同云平台，将分散的数据流整合为结构化、可追溯的信息体系。该平台作为中枢系统，支持多参与方在不同阶段实时访问、更新与共享模型及关联数据，打破传统项目中设计院、构件厂、施工单位与运维单位之间的信息壁垒。通过标准化接口与权限管理机制，确保从前期方案比选到后期资产移交的无缝衔接，形成以数据驱动决策、以模型支撑执行的集成化管理模式，为装配式建筑的高质量实施提供系统性保障。

2.明确各阶段BIM应用重点

在策划阶段，BIM用于场地分析、装配率测算与经济性评估，辅助确定技术路线；设计阶段聚焦构件拆分

逻辑优化、节点构造精细化及多专业碰撞检查，提升预制可行性；进入生产环节，模型赋予每个构件唯一编码，关联材料、工艺、质检等属性，并通过虚拟仿真验证生产线适配性；施工阶段则结合时间与成本维度，构建4D/5D模型，动态模拟吊装顺序、资源投入与现场物流，优化施工组织；运维阶段利用竣工BIM模型集成设备台账、保修信息与能耗数据，支撑智能巡检、故障预警与节能调控。各阶段应用既独立又联动，共同构成覆盖全链条的数字化管理闭环。

3. 引入数字孪生理念

数字孪生技术将物理世界的装配式建筑与其虚拟BIM模型建立高保真映射关系，通过物联网传感器持续采集结构状态、环境参数与使用行为等实时数据，并反馈至模型中进行动态更新与智能分析。这种双向交互机制使管理者能在虚拟空间中预演维护策略、评估改造影响或模拟应急响应，显著提升建筑运行的安全性与韧性。在全生命周期视角下，数字孪生不仅延伸了BIM的应用深度，更实现了从“静态交付”向“持续服务”的转变，使建筑成为可感知、可分析、可进化的有机体，为未来智慧城市基础设施的智能运维提供技术范式。

三、关键技术融合与创新应用

1. BIM与物联网(IoT)的融合应用

将物联网技术深度嵌入基于BIM的装配式建筑管理体系，可实现对预制构件全链条状态的动态感知与智能响应。在构件生产完成后，微型传感器被植入关键部位或附着于表面，用于采集温度、湿度、振动、倾斜角等多维数据。运输过程中，GPS与加速度传感器实时上传位置与冲击信息，BIM平台自动比对预设阈值，预警异常颠簸或偏离路线；现场吊装阶段，倾角与位移传感器辅助校准安装精度，确保节点对接符合设计容差；建筑投入使用后，长期布设的应变与裂缝监测设备持续反馈结构健康状况，数据同步映射至BIM模型，形成可视化诊断界面。这种“物理—数字”双向联动机制，使管理者能够远程掌握构件从出厂到服役的完整履历，显著提升质量控制能力与应急响应效率，为装配式建筑的安全性与耐久性提供技术保障。

2. BIM与区块链技术的协同机制

区块链的去中心化、时间戳记录与不可篡改特性，为装配式建筑供应链中的信任构建提供了全新路径。每个预制构件在BIM系统中生成唯一数字身份标识，并关联其原材料来源、生产工艺、质检报告、物流记录及安

装责任人等全周期信息。这些数据经加密后写入区块链分布式账本，任何参与方可依权限验证但无法篡改。一旦出现质量问题，系统可快速追溯至具体批次、工序甚至操作人员，明确责任边界，避免推诿扯皮。同时，业主、监理与监管部门可通过透明链上数据监督履约过程，增强项目公信力。BIM作为信息载体，区块链作为信任基础设施，二者结合不仅强化了质量溯源体系，也推动装配式建筑供应链向高效、可信、合规的方向演进，为行业诚信体系建设注入技术动能。

3. BIM与人工智能(AI)的集成创新

人工智能技术的引入，使BIM平台从被动信息存储转向主动智能决策支持。在生产计划环节，机器学习算法分析历史项目数据、工厂产能与订单优先级，自动生成最优排产方案，减少模具闲置与库存积压；施工阶段，AI模型结合天气、人力、设备等变量，预测潜在进度延误或安全事故风险，提前触发干预措施；运维期间，系统通过分析能耗、人流动线与设备运行日志，识别能效瓶颈并推荐优化策略，如调整空调启停时段或照明分区控制。

在某高层装配式住宅项目中，BIM与人工智能的深度融合取得了显著成效。该项目采用集成AI算法的BIM协同管理平台，打通了设计、构件生产与现场施工的数据链路。设计阶段，系统自动识别并修正了37处专业碰撞问题，避免了后期拆改；进入预制构件生产环节，AI基于工厂设备状态、模具类型及订单交付时间，动态优化排产计划，使模具周转率提升22%，库存积压减少18%；施工过程中，平台融合气象预报、劳动力排班和塔吊调度数据，构建风险预测模型，提前7天预警两次可能因强风导致的吊装延误，并自动调整作业窗口，保障了关键路径不受影响。同时，通过实时比对BIM模型与现场扫描点云数据，系统自动检测出5处构件安装偏差超过容许值，及时通知班组校正，有效控制了装配精度。项目最终实现整体工期缩短15%，返工率下降40%，直接节约成本约230万元。更为重要的是，竣工模型完整保留了所有构件的生产批次、质检记录与安装影像，为后续运维提供了高价值数字资产。该案例验证了“BIM+AI”不仅能在单点场景提升效率，更能通过数据闭环驱动全链条精益管理，为装配式建筑的智能化转型提供了可复制、可推广的实践范式。

四、实施挑战与对策建议

1. 标准体系缺失与统一规范建设

当前装配式建筑在应用BIM技术过程中，面临标准

体系碎片化的问题。不同地区、企业甚至项目内部采用的建模深度、构件分类方法、信息交付格式存在显著差异，导致模型难以复用、数据无法互通。尤其在构件编码方面，缺乏全国统一的标识规则，使得从设计到生产的信息传递常出现错位或丢失。解决这一问题需加快制定国家级或行业级BIM应用标准，明确各阶段LOD（模型细度）要求、IFC数据交换规范及装配式构件的统一编码体系。通过标准化接口和通用数据字典，确保设计模型能无缝对接工厂MES系统与施工现场管理平台，为全生命周期数据贯通奠定基础。标准的统一不仅是技术问题，更是推动产业链协同与规模化发展的制度保障。

2. 协同机制薄弱与一体化组织重构

装配式建筑高度依赖设计、制造与施工环节的紧密配合，但现实中各方仍多沿用传统总承包模式，职责边界模糊，利益诉求不一致，造成深化设计滞后、构件错漏频发、现场返工等问题。要打破这一困局，应推动建立“设计—制造—施工”一体化联合体，由具备全产业链整合能力的主体牵头，实行EPC或IPD等新型合作模式。在此框架下，各方在项目初期即共同参与方案策划，共享BIM模型与进度计划，实现风险共担与收益共享。BIM平台作为协同中枢，支撑联合体内实时沟通与决策同步，减少信息衰减与执行偏差。这种组织模式的变革，有助于将装配式建筑的工业化优势真正转化为工程实效。

3. 人才能力断层与复合型培养路径

BIM与装配式技术的深度融合对从业人员提出更高要求，既需掌握建筑专业知识，又需具备数字化工具操作与跨专业协作能力。然而当前行业普遍存在人才结构失衡：设计人员熟悉建模但不了解生产工艺，工厂技术人员擅长数控却不理解模型逻辑，施工管理人员缺乏数据驱动意识。破解这一瓶颈，需构建覆盖高等教育、职业培训与企业实践的多层次人才培养体系。高校应增设BIM与智能建造交叉课程，企业则通过项目实战强化员工对构件拆分、模型轻量化、平台协同等技能的掌握。同时鼓励设计师、工程师与信息工程师组成复合型团队，在真实项目中磨合协作，逐步提升全链条数字化素养，为技术落地提供人力支撑。

4. 数据安全风险与治理体系构建

随着BIM模型承载的信息日益丰富，涵盖知识产权、成本数据、供应链关系等敏感内容，其安全防护成为不可忽视的挑战。模型在多方共享过程中易遭遇未授权访问、恶意篡改或数据泄露，尤其在云平台环境下风险更为突出。应对策略在于构建以权限分级、身份认证与数据加密为核心的治理体系。依据参与方角色设定精细化访问权限，确保仅相关方可查看或修改特定构件信息；采用国密算法或区块链存证技术，保障关键数据的完整性与可追溯性；定期开展安全审计与漏洞扫描，防范网络攻击。只有建立可信、可控、可审计的数据环境，才能真正释放BIM在装配式建筑全生命周期中的协同价值。

结束语

本文系统论证了BIM技术在装配式建筑全生命周期管理中的核心作用，并创新性地融合数字孪生、物联网与区块链等前沿技术，构建了数据驱动、智能协同的新型管理模式。实践表明，该模式不仅能有效解决传统装配式项目中存在的信息孤岛与流程脱节问题，还能显著提升建造效率、质量可控性与运维智能化水平。未来，随着BIM标准体系的完善与技术生态的成熟，基于BIM的全生命周期管理将成为装配式建筑高质量发展的标配路径。建议政府、企业与科研机构协同推进标准制定、平台建设与人才培养，共同打造绿色、智能、韧性的新型建筑产业体系，为实现建筑业“双碳”目标与数字化转型提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 林永民, 王涵, 赵德信, 等. 基于BIM的装配式建筑全生命周期信息管理平台研究[J]. 建筑经济, 2023, 44(1): 77-83. DOI: 10.14181/j.cnki.1002-851x.202301077.
- [2] 李筱滢. BIM技术在装配式建筑中的应用探究[J]. 建筑经济, 2024, 45(S2): 273-276.
- [3] 王海洋, 金珊, 孟凡鑫. BIM技术在装配式建筑全生命周期中的应用研究[C]//2024年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(上册). 2024.