

数字技术在装配式建筑供应链中的应用综述

李妍芹

重庆交通大学, 重庆市南岸区, 400074;

摘要: 在国家推动建筑业高质量发展的战略背景下, 装配式建筑供应链优化成为行业转型升级的关键路径。数字技术的快速发展及应用为优化装配式建筑供应链管理提供了新的工具和方法, 推动供应链从传统模式向数字化、数智化转型。对此, 本文旨在讨论数字技术在装配式建筑供应链中的应用现状, 并提出对未来的展望。

关键词: 数字技术; 装配式建筑供应链; 综述

DOI: 10.69979/3029-2700.25.06.087

1 引言

作为国民经济的支柱产业, 建筑业在我国经济高质量发展进程中发挥着关键作用。面对传统建造模式长期存在的资源消耗高、生产效率低、环境负荷大等突出问题, 装配式建筑以其模块化设计、工厂化预制和现场高效组装的特性, 成为推动行业转型升级的重要突破口。尽管装配式建筑拥有诸多优势, 但其独特的组装特性仍受限于传统的供应链管理方式。在全球建筑业加速向工业化、智能化转型的背景下, 我国住房和城乡建设部在 2022 年发布的《“十四五”建筑业发展规划》中明确设定目标: 至 2025 年新建装配式建筑占比达到 30%^[1]。这一目标不仅体现了国家推动建筑业高质量发展的战略意图, 更凸显了优化装配式建筑供应链体系的紧迫性。以大数据、物联网和人工智能为代表的数字技术, 通过赋能设计精准化、生产智能化和物流可视化, 为优化装配式建筑供应链管理提供了新的工具和方法^[2]。数字技术在整个供应链的设计、生产、运输和装配阶段都有应用, 对整个项目周期产生了影响。基于此, 本文拟梳理国内外相关文献, 探讨数字技术在装配式建筑供应链中的实际应用, 帮助建筑行业的研究人员和从业者了解数字技术的应用现状和未来的发展方向。

2 数字技术的应用研究现状

2.1 BIM

作为装配式建筑全生命周期管理的核心技术, 建筑信息模型 (BIM) 通过三维参数化建模与多源数据集成, 实现了规划、设计、施工及运维全流程信息的协同管控。通过构建统一的数据交互平台, 有效促进了供应链各参

与方的信息传递与共享, 显著提升了工程协同效率。在规划设计阶段, BIM 技术的三维可视化特性不仅能够精准呈现建筑实体模型, 更通过多专业协同实现了设计意图的直观表达与实时验证, 有效降低了设计变更率。辜裕新等通过整合 BIM 技术与装配式技术, 在设计阶段借助 BIM 来实施装配式构件的拆分设计, 配置合理的装配式预制方案以精确计算装配率从而提升了设计效率和质量^[3]。王乾坤等创新性地基于 BIM 建立了三维信息模型同时关联构件的进度信息和能耗信息, 构建了“构件属性-施工进度-资源消耗”的三位一体量化分析模型, 将抽象的施工能耗转化为可视化数值指标^[4]。既解决了传统粗放式能耗统计的精度缺失问题, 又能通过进度模拟预演不同施工方案的能源消耗差异, 实现了施工过程的优化和管理。

2.2 数字孪生

随着建筑技术的进步, 数字孪生 (DT) 正逐渐成为装配式建筑管理中越来越重要的工具, 为行业带来了巨大的利益。数字孪生技术为实时监控和数据分析提供了物理资产的虚拟副本, 实现物理与虚拟模型的双向映射与仿真优化, 从而提升装配式建筑供应链施工调度动态响应能力与资源协同效率。戴成元等针对施工过程调度方案难以动态调整的问题, 以最短工期为目标构建了考虑工序和资源选择的数字孪生调度模型, 以实现实时进度偏差分析从而支持动态调度优化^[5]。现有研究表明, 应用数字孪生模型不仅可以通过模拟虚拟场景识别潜在的瓶颈, 还能促进利益相关者之间的合作。丁志昆等为解决多人装配过程中的协同问题, 构建了基于数字孪

生驱动的智能装配协同体系,通过动态装配序列规划与流程-场景-数据三维协同分析,实现工艺信息实时迭代与多工况自适应,消除了协作信息壁垒^[6]。

2.3 区块链

区块链技术凭借其去中心化、可追溯、可加密等核心特性,为装配式建筑供应链的信息管理提供了突破性解决方案。针对该领域内普遍存在的跨主体信息孤岛、多环节信息断层等痛点,区块链通过构建多方参与的分布式信息共享网络,实现从构件生产、物流追踪到现场装配的全链数据实时上链存证,帮助各利益相关者及时掌握项目状况,降低信息不对称性。谭兆秋和王金茹构建了基于区块链技术的装配式建筑供应链平台,通过集成监督、节点管理和数据服务等技术板块,建立“区块链-供应链”双链融合采购模型,有效抑制了牛鞭效应并提升供应链透明度与效率^[7]。Dong 等提出了 BIM-区块链集成框架,研究首先自动将资产信息和活动计划从 BIM 传输到区块链,然后通过生成 QR 码并附加到物理资产上进行跟踪,以提高供应链的透明度和效率^[8]。

2.4 物联网

物联网(IoT)作为物理对象与传感器、软件和网络连接的网络,通过二维码、RFID 及传感器等核心技术的突破性发展,正在重构装配式建筑项目的全流程管理体系。在装配式建筑项目中应用物联网技术可以提高效率、安全性和可持续性。孙玉芳等基于 BIM 和 IOT 构建了“设计参数-生产数据-施工反馈”的闭环控制链,对项目设计、生产、运输和装配的全生命周期中的质量管理进行研究,提高了项目管理的信息化水平及质量管理水平。此外,物联网网络为供应链各主体之间的通信和信息共享提供了便利。当与大型数据集结合使用时,物联网系统可以促进更快或实时的决策。Yang 等提出了一个结合 IOT、GPS 和智能传感器技术的 5D 数字支持平台,基于 IOT 所捕获的实时预制材料信息模拟物料流和工作流的实现以改善利益相关者之间的协调^[9]。

2.5 大数据与人工智能

人工智能(AI)技术涵盖多个分支领域,其在装配式建筑中的应用主要基于其强大的数据处理能力和模式识别优势。AI 技术的核心原理主要涉及机器学习、深

度学习和数据分析,这些技术共同驱动着装配式建筑的智能化进程。在项目前期,AI 技术可以通过分析数据和标准,根据过去的业绩、经验、专业知识和价格等因素,确定最合适的候选人,从而在招标阶段加强对承包商的选择。AI 技术还可以在施工阶段自动比较实际和计划模型来监控现场施工进度,并识别现场风险。Arashpour 等人开发了一种基于点云-BIM 的自动对比算法,通过使用优化模型构建惩罚-激励计划平衡质量成本,以最大限度地减少可变性,为预制件质量管控提供数据驱动的成本效益解决方案^[10]。此外,AI 可以辅助计算分析项目中的复杂数据,Ahn 等通过地理围栏与规则算法解析大规模 GPS 数据并提取关键运输需求信息,将提取的信息及项目规范用于训练预测模型,以估算新建项目物流成本^[11]。随着技术的进步,人工智能可能会成为装配式建筑管理中越来越重要的工具。

3 总结展望

当前以 BIM、数字孪生、区块链等为代表的数字技术,已深度渗透装配式建筑供应链的设计协同、生产优化、物流追踪与施工管控等核心环节,通过全流程数据贯通、虚实系统交互与智能决策支持显著提升了供应链响应速度与资源整合效能。然而,技术集成应用仍面临数据标准化、跨系统兼容性、中小企业数字化基础薄弱等现实挑战。未来研究应聚焦多技术融合的数字生态系统构建,推动供应链从线性流程向分布式智能网络演进。同时需加强政策引导下的产学研用协同创新,通过制定相关政策促进数字技术在我国装配建筑行业的应用,探索中国特色智能建造路径。随着技术迭代与产业生态完善,装配式建筑供应链将加速向智能感知、自主决策的智慧化阶段演进,为全球建筑业数字化转型提供理论范式与实践参考。

参考文献

- [1] 赵娟,焦丽明. 装配式建筑产业发展现状及对策[J]. 建筑科学,2024,40(06):116-122.
- [2] 何继新,段美好,纪章然. 数智化在我国绿色建造中的应用:文献综述与知识框架[J]. 绿色建筑,2024,(05):1-9.
- [3] 辜裕新. 白云机场三期扩建工程安置区项目装配式

建筑 BIM 正向设计的综合应用[J]. 建筑结构, 2024, 54(24): 145-151+74.

[4] 王乾坤, 申楚雄, 郭曾, 等. 基于建筑信息模型的装配式建筑施工能耗均衡的进度优化[J]. 武汉大学学报(工学版), 2024, 57(04): 446-452.

[5] 戴成元, 梁邦勋, 程可, 等. 基于数字孪生的装配式建筑施工过程动态调度研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2024, 41(04): 83-94.

[6] 丁志昆, 孙奕程, 段亮亮, 等. 基于数字孪生的增强现实多人协作装配[J]. 计算机集成制造系统, 2023, 29(06): 2019-2034.

[7] 谭兆秋, 王金茹. 基于区块链的装配式建筑供应链采购模型研究[J]. 项目管理技术, 2023, 21(11): 112-119.

[8] Dong Y, Hu Y, Li S, et al. BIM-blockchain integrated automatic asset tracking and delay propagation analysis for prefabricated construction projects[J]. Automation in Construction, 2024, 168.

[9] Yang Y, Li M, Yu C, et al. Digital twin-enabled

visibility and traceability for building materials in on-site fit-out construction[J]. Automation in Construction: An International Research Journal, 2024, 166(000): 17.

[10] Arashpour M, Heidarpour A, Nezhad A A, et al. Performance-based control of variability and tolerance in off-site manufacture and assembly: optimization of penalty on poor production quality[J]. Construction Management and Economics, 2020, 38(6): 502-514.

[11] Ahn S J, Han S U, Al-Hussein M. Improvement of transportation cost estimation for prefabricated construction using geo-fence-based large-scale GPS data feature extraction and support vector regression[J]. Advanced engineering informatics, 2020, 43(Jan.): 101012. 1-101012. 15.

作者简介: 李妍芹 (2000-), 女, 汉族, 山西晋中, 硕士研究生, 研究方向: 供应链管理。单位: 重庆交通大学, 重庆市南岸区, 400074