 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i3.9816

Research on the Construction of Multi-subject Collaborative Management Mechanism for Prefabricated Building Projects

Tao Jiang

Shanghai Pudong Real Estate Co., Ltd., Shanghai, 201204, China

Abstract

Driven by the "dual carbon" strategy and intelligent construction policies, prefabricated buildings have become a crucial direction for the green transformation and industrial upgrading of the construction industry. Their characteristic of "integration of design, manufacturing and construction" brings about a high degree of complexity in multi-subject collaborative management. Based on the system analysis method, this paper identifies the key issues of multi-subject collaboration in prefabricated buildingprojects, and constructs a multi-level organizational collaboration model integrating clear responsibilities, information sharing and interest coordination. The collaborative mechanism is verified through system dynamics simulation, and the results show that the construction of clear functional division of labor, a unified information interaction platform and a multi-dimensional communication and feedback mechanism significantly improves the project collaboration efficiency and execution performance. The research results provide a systematic theoretical framework and intelligent decision support for the multi-subject collaborative management of prefabricated building projects, and promote the collaborative innovation and green and efficient development of the construction industry chain.

Keywords

Prefabricated Building; Multi-subject Collaboration; System Dynamics; Information Integration; Functional Division of Labor

装配式建筑项目多主体协同管理机制构建研究

蒋涛

上海浦东地产有限公司。中国·上海 201204

摘　要

在“双碳”战略与智能建造政策的驱动下，装配式建筑作为建筑产业绿色转型和工业化升级的重要方向，其“设计-制造-施工一体化”特征带来了多主体协同管理的高度复杂性。本文基于系统分析方法，识别装配式建筑项目中多主体协同的关键问题，构建职责明确、信息共享和利益协调相结合的多层次组织协同模型。通过系统动力学仿真对协同机制进行验证，结果表明，构建清晰的职能分工、统一的信息交互平台及多维度沟通反馈机制，显著提升了项目协同效率和执行绩效。研究成果为装配式建筑项目多主体协同管理提供了系统化理论框架与智能化决策支持，促进建筑产业链协同创新与绿色高效发展。

关键词

装配式建筑；多主体协同；系统动力学；信息集成；职能分工

1 引言

随着我国建筑产业进入高质量发展新阶段，装配式建筑作为推动建筑工业化与绿色转型的重要抓手，受到国家政策的大力支持[1,2]。住房和城乡建设部发布的《装配式建筑发展行动方案（2019—2021 年）》明确提出，通过标准化设计、模块化生产与智能化施工，促进建筑产业链各环节的深度融合与协同创新[3]。装配式建筑项目本质上是一个高度集成的复杂系统，涵盖了从投资、设计、构件制造、物流运输，到现场施工、运营维护及政府监管等众多主体，形成了一个动态演化的产业生态系统[4,5]。在这个系统中，各主体间不仅存在紧密的技术衔接，更交织着复杂的利益关系、信息流和管理流程，其协同管理的复杂性与挑战性远超传统建筑模式。

目前国内外研究多聚焦于装配式建筑的技术应用和局部流程优化，如建筑信息模型（BIM）在设计与施工阶段的应用[6]，以及物联网（IoT）技术助力供应链数字化转型[7]，提升了部分协作环节的透明度和效率。但针对装配式建筑“设计 - 制造 - 施工”一体化过程中多主体协同管理的系统机制研究较为缺乏，尤其是缺少覆盖全生命周期的动态协同机制模型，难以满足项目复杂多变的协作需求[8,9]。

基于系统科学和协同治理理论，本文聚焦装配式建筑项目多主体协同管理机制构建，旨在破解职责模糊、信息割

【作者简介】蒋涛（1989—），男，中国上海人，硕士，从事建筑结构研究。

裂和利益冲突等核心问题。通过构建职责明晰、信息共享和利益协调的多层次协同管理框架，结合系统动力学仿真验证其动态协同效应，形成理论与方法上的创新。该研究不仅深化了多主体协同治理的理论体系，也为推动装配式建筑项目管理向智能化、绿色化和高效化转型提供了系统化的理论支持与决策参考。

2 存在问题及产生原因

装配式建筑项目作为设计、制造与施工紧密融合的复杂系统，其多主体协同管理面临多方面挑战 [10]。当前管理实践中存在职责模糊、信息不对称、激励不足及文化融合障碍，严重制约了项目整体协同效率和绩效提升。具体表现及成因如下：

2.1 职责界定模糊与管理边界不清，责任追溯困难

装配式建筑涵盖设计院、构件制造企业、物流运输、施工单位及监理机构等多方参与 [11]，环节间任务交叉且流程复杂。传统的线性责任划分模式，即“设计 - 招标 - 施工”的串行管理逻辑，已无法适应“模块化设计 - 工厂化生产 - 现场装配”这种多阶段、跨领域的并行与交叉协同特征。这导致在设计与生产的接口、生产与施工的衔接等关键节点上，职责边界模糊，协作接口不清。例如，当现场出现安装偏差时，问题根源可能在于设计参数、构件生产精度或现场测量误差，责任归属难以界定，导致主体间相互推诿，问题解决周期拉长。技术层面缺乏基于过程建模和量化分析的责任分配框架，难以准确识别关键协同节点及相应责任归属，进而阻碍风险预警和责任追溯机制的有效实施。

2.2 信息不对称与系统集成不足，限制协同效率

多主体协同高度依赖信息的实时共享与同步。当前信息管理系统多为孤立分散架构，缺乏统一标准、接口规范与跨平台数据集成能力 [12]。设计变更、构件生产进度、运输状态等关键信息难以实现无缝衔接，导致信息流传递存在延迟、失真和数据孤岛现象。其根本原因在于缺少基于 BIM 与物联网（IoT）深度融合的智能信息集成平台，制约了多维度信息的有效利用和动态决策支持。

2.3 利益冲突及激励机制失衡，削弱协同动力

装配式建筑项目参与主体之间存在复杂的利益关系网络，涉及投资回报、风险分摊、工期压力等多维度矛盾。各主体作为独立的经济实体，其首要目标是自身利益最大化，这与项目整体利益最优的目标时常发生冲突。现行合同与激励机制多为静态设计，缺乏动态调整与利益共享机制 [13]，难以激发持续的协作意愿和责任担当。缺少基于博弈论和合同理论的科学激励设计，以及数据驱动的绩效评估和风险分摊模型，导致协同动力不足，合作效益难以最大化。

2.4 组织文化与技术融合不足，阻碍认知一致性与流程优化

装配式建筑结合制造业标准化流程与建筑业现场管理 [14]，然而，这两个行业的参与主体在技术能力、管理理念、工作习惯与风险认知上存在显著差异。设计人员可能习惯于后期修改，而工厂生产则要求“图纸冻结”；施工团队习惯于现场的灵活调整，而装配式施工则更依赖于精确的计划和预制构件。这种文化认同的不足及技术应用能力的差异造成了沟通障碍和认知偏差，严重影响协同效率和项目进展。此外，缺乏跨界培训和融合型知识管理平台，使得项目经验和教训难以在不同主体、不同项目间有效沉淀和共享，阻碍了统一技术语言和认知框架的形成，制约了流程标准化和智能化的深化推进。

3 技术性解决方案

针对装配式建筑项目多主体协同管理中存在的职责不清、信息孤岛、激励不足及文化融合障碍等问题，本文提出基于产学研融合的系统化解决路径，构建“职责清晰 - 信息集成 - 激励优化 - 文化融合”四维协同管理框架，具体实施策略如下：

3.1 明确职责分工，构建多主体责任矩阵体系

基于复杂系统理论，采用多层次责任分解框架（MLRD）结合关键路径法（CPM）与模糊层次分析法（FAHP），实现任务分解与职责权重的量化分配。通过构建多主体责任矩阵（RAM）并嵌入基于马尔可夫过程的动态调整模型，实现职责分配的实时动态优化。利用事件驱动机制结合多智能体系统（MAS）监控职责执行，采用异常检测算法对职责执行偏差进行预警，保障权责清晰且具备适应项目进展变化的弹性，有效减少跨主体管理冲突和任务重复。

3.2 基于 BIM– 物联网融合的智能信息集成平台设计

集成建筑信息模型（BIM）与物联网（IoT）传感网络，构建面向装配式建筑全生命周期的数字孪生平台。平台利用部署在构件、设备和现场的分布式传感器，实现对构件生产状态、物流位置、环境参数及施工进度的实时监测与数据采集。在架构设计上，采用服务导向架构（SOA）和微服务架构，将不同功能（如设计协同、生产管理、进度监控）封装为独立的、可互操作的服务，从而保证多主体异构系统（如 CAD、ERP、SCM）间的无缝数据交互。为确保数据质量，通过引入基于时空数据库的多维数据融合技术对异源数据进行清洗和对齐，并利用机器学习算法对缺失数据进行插补和预测，增强数据的一致性和预测分析能力。最终，该平台不仅是信息的汇集地，更是智能决策的支持中心，能够显著提升信息透明度及协同响应时效。

3.3 多主体协作激励机制的博弈论建模与区块链实现

基于合作博弈理论构建动态激励机制模型 [15]，定义多主体之间的效用函数和资源约束条件，应用纳什均衡分析来寻找能够最大化项目整体利益并兼顾各方公平性的最优利益分配方案。与传统静态合同不同，该模型将与项目关键绩效指标（KPIs），如成本节约、工期提前、质量优良等挂钩。

为保证激励机制的执行力和公信力，引入区块链技术。通过将激励条款编写为智能合约，实现项目里程碑达成后奖金的自动支付或违约罚金的自动扣除，全过程公开透明、不可篡改。区块链的分布式账本特性还可用于记录关键交付物（如图纸、构件合格证）的流转过程，结合其共识机制，极大降低了系统内的信任成本，从而系统性地提升多方参与积极性，实现资源优化配置并有效规避合作风险。

3.4 跨组织知识管理体系与协同创新机制构建

采用本体构建方法建立标准化、结构化知识库，基于语义网技术实现知识语义互操作性。融合社会网络分析（SNA）与组织学习理论，促进跨主体间知识传播和创新扩散。引入知识图谱构建技术对项目经验与技术规范进行关系建模，支持基于图神经网络（GNN）的知识推理与智能检索。结合虚拟现实（VR）与增强现实（AR）技术，开发协同仿真培训平台，提升多学科团队的协同设计与施工能力，推动管理智能化和创新驱动。

4 结语

本文系统地剖析了装配式建筑项目在“设计 - 制造 - 施工”一体化模式下面临的多主体协同管理困境，指出职责模糊、信息割裂、利益冲突与文化壁垒是制约其发展的核心瓶颈。基于此，本文构建了一个涵盖组织、信息、目标与文化维度的“四位一体”协同管理机制框架。该框架通过明确责任矩阵、构建 BIM-IoT 融合的数字孪生平台、设计基于博弈论与区块链的动态激励机制，以及建立跨组织知识管理体系，为解决上述问题提供了系统化的技术与管理路径。

研究借助系统动力学方法，对所构建机制的关键要素之间的反馈关系与调控逻辑进行了模拟与解析。仿真结果表明，协同绩效的提升并非单一因素作用的结果，而是依赖于机制各要素之间的结构协调与动态适配。例如，信息平台的建设必须与责任矩阵的明晰化同步推进，否则信息透明化可能加剧责任推诿；激励机制的设计必须基于准确的绩效数据，而这些数据又依赖于信息平台的支撑。这说明机制构建需匹配工程项目不同阶段的治理需求，呈现出动态演化的特征。所提出的机制模型不仅在理论上完善了装配式建筑协同管理的体系，也为实践中提升多元主体的协同治理能力提供了具体的方法支撑与策略依据。未来研究可在此基础上，进一步引入不确定性建模、多智能体仿真及 BIM 与产品生命周期管理（PLM）的深度集成等技术，推动协同机制向自适应、智能化的更高阶段演化，以更好地应对未来智能建造的复杂挑战。

参考文献

[1] 李昊翔, 侯公羽, 陈钦煌, 等. 基于系统动力学的装配式建筑项目进度分析与系统实现[J]. 浙江大学学报(工学版), 2025,(06):1265-1276+1292

[2] 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.

[3] 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(01):77-83.

[4] 雷晓琪, 崔南方, 杨丁凤, 等. 装配式建筑环境下集成物料订货重复性项目调度优化[J].系统工程学报,2024,39(05):676-690.

[5] Su Y, Zhang Z. Evolutionary Game Analysis on the Promotion of Green Buildings in China Under the “Dual Carbon” Goals: A Multi-Stakeholder Perspective[J]. Buildings, 2025, 15(8): 2075-5309.

[6] Scott J, Ho W, Dey P K, et al. A decision support system for supplier selection and order allocation in stochastic, multi-stakeholder and multi-criteria environments[J]. International Journal of Production Economics, 2015,166: 226-237.

[7] Li X, Li J, He J,et al. What are the key factors of enterprises’ greenwashing behaviors under multi-agent interaction? A grey-DEMATEL analysis from Chinese construction materials enterprises[J]. Engineering construction & architectural management, 2024(11): 31.

[8] Piscopo A N, Weaver C P, Detenbeck N E. Using Multiobjective Optimization to Inform Green Infrastructure Decisions as Part of Robust Integrated Water Resources Management Plans[J]. Journal of the Water Resources and Planning and Management Division, 2021, 147(6):5452.

[9] 姜吉坤, 刘紫君, 顾志恒, 等. 基于变权物元可拓模型的装配式建筑吊装施工安全风险评价[J].武汉大学学报(工学版), 2024,57(09):1251-1260.

[10] 杨莹莹,李可用.装配式建筑发展面临的问题与对策研究[J].建筑经济,2022,43(S1):54-56.

[11] 杨增科, 樊瑞果, 石世英, 等. 基于CIM+的装配式建筑产业链运行管理平台设计[J].科技管理研究,2021,41(19):121-126.

[12] 杜娟, 王文鑫, 胡珉. 基于SEM和Multi-agent仿真的装配式建筑设计变更风险管理[J].上海大学学报(自然科学版),2022,28(06):1038-1050.

[13] 曹敏, 方前程. 基于组合赋权-属性识别的装配式建筑绿色度评估模型研究[J].安全与环境学报, 2022,22(04):2166-2175.

[14] 韩言虎, 杨澔宇. 装配式建筑推广障碍与解决策略研究[J].建筑经济,2021,42(07):15-18.

[15] 张宇嘉, 瞿富强, 陈初一. 基于PCSCOR-FANP的装配式建筑供应链绩效评价研究[J].建筑经济,2021,42(S1):172-176.