

协同治理理论框架下建筑项目低碳化管理多元主体协作模式研究

沈铁娟

上海兴日建筑工程有限公司

DOI:10.32629/bd.v9i10.4573

[摘要] 目的: 为应对建筑项目低碳化管理中多元主体协同低效的挑战,本研究旨在探究基于协同治理理论的多元主体协作模式,以提升建筑全生命周期碳减排绩效。方法: 构建“主体-机制-技术”协同治理理论框架,并运用系统动力学方法建立仿真模型,模拟不同协同情景下关键变量的动态演化,同时结合案例分析对理论模式进行实证检验。结果: 仿真与案例结果表明,多元协同水平与低碳绩效呈显著正相关。在“强协同”模式下,碳排放强度在预测期末可降低约51%(相较于基准情景);案例分析也证实了协同机制在运营阶段可带来持续减排(观测期内累计降幅达22.1%)。结论: 有效的协同治理是建筑深度脱碳的关键。通过构建权责清晰的主体网络、设计激励相容的协同机制并集成数字孪生、区块链与人工智能等智能技术,能够系统性地克服协作障碍,驱动建筑业绿色低碳转型。

[关键词] 协同治理; 建筑低碳管理; 多元主体; 系统动力学

中图分类号: G278 文献标识码: A

Research on Multi Subject Collaboration Model for Low Carbon Management of Construction Projects under the Framework of Collaborative Governance Theory

Tiejuan Shen

Shanghai Xingri Construction Engineering Co., Ltd.

[Abstract] Objective: To address the challenge of inefficient collaboration among multiple stakeholders in low-carbon management of construction projects, this study aims to explore a multi stakeholder collaboration model based on collaborative governance theory to enhance the carbon reduction performance of the entire life cycle of buildings. Method: Construct a theoretical framework of "subject mechanism technology" collaborative governance, and use system dynamics methods to establish a simulation model to simulate the dynamic evolution of key variables under different collaborative scenarios. At the same time, combine case analysis to empirically test the theoretical model. Result: Simulation and case studies show a significant positive correlation between the level of multi-dimensional collaboration and low-carbon performance. In the "strong synergy" mode, carbon emission intensity can be reduced by about 51% at the end of the forecast period (compared to the baseline scenario); The case analysis also confirmed that the collaborative mechanism can bring sustained emission reduction during the operation phase (with a cumulative decrease of 22.1% during the observation period). Conclusion: Effective collaborative governance is the key to deep decarbonization of buildings. By building a clear network of entities with clear rights and responsibilities, designing incentive compatible collaborative mechanisms, and integrating intelligent technologies such as digital twins, blockchain, and artificial intelligence, it is possible to systematically overcome collaboration barriers and drive the green and low-carbon transformation of the construction industry.

[Key words] collaborative governance; Low carbon management in construction; Diverse subjects; System Dynamics

引言

协同治理理论观点下,建筑行业碳减排是实现“双碳”目标的核心,并且其全生命周期管理涉及多主体、多环节,而传统的

碎片化管理模式使得责任模糊、信息孤岛与激励缺失,协同困境突出,但协同治理理论能够整合政府、企业、市场以及社会等多元主体的力量,给予了系统的分析框架。本文由此切入,注重建

筑项目,力图设立一个包含主体识别、动力机制、协同技术与效果检验的完整的多元主体协作形式,目的是破解建筑业低碳转型的协同难题、增强减排整体效能给予理论参照跟实践途径。

1 建筑项目低碳化管理多元主体协同治理框架构建

1.1 协同治理主体识别与权责界定

建筑项目的低碳化管理涉及多元主体构成的繁复网络,重点主体构成包含政府监管机构(制定标准与监督)、投资开发企业(顶层决策与整合)、勘察设计单位(低碳方案源头)、施工单位(绿色工艺执行)、材料供应商(绿色供应链环节)、第三方咨询机构(碳核查跟审核)、物业运营方(长期减碳责任者)还有社区公众(使用者跟监督者)^[1]。法律法规、合同契约跟利益相关者理论三个思路出发,必须清晰界定各主体贯穿全生命周期的详细权力、减排责任与重点的利益诉求,开发商拥有技术选型决策权,同时承担投资风险;供应商则需给予产品碳数据,持续改良,清晰的权责界定是打破“责任模糊地带”、实现有效协同的逻辑起点^[2]。

1.2 协同治理动力与约束条件

助推协同的动力集中体现于几个关键点:政策法规驱动(如碳配额、绿色标准)、市场绿色需求拉动(消费者、租户及绿色金融带来的需求)、技术创新助推(减少低碳实践的成本),还有企业社会责任以及品牌形象的内生动力^[3]。但是协同面对明显的约束,集中地显现于几个关键点:各环节的信息壁垒与不对称使得碳数据难以整合,主体间短期的成本与长期低碳目标冲突,利益博弈冗杂;建立协同平台以及统一标准产生额外的协同成本,还有跨部门制度标准不健全,缺乏统一的碳计量、核算跟价值实现规则^[4]。

2 多元主体协作的主要影响及关键协同机制

2.1 多元主体协作对低碳绩效的主要影响

多元主体的有效协作给建筑项目各阶段低碳绩效带来系统主动作用,在观察决策以及规划阶段,开发商、设计方与咨询机构的早期协同,能将低碳目标转化为详细的技术经济指标,到了设计阶段,各专业工程师跟供应商的周密协作,能最大化地实现被动式设计、可再生能源集成跟低碳材料选用的技术协同效应。施工阶段,总包、分包以及供应商依据统一平台的协作,能保证绿色方案准确落地,减少浪费,同时实现建造过程碳数据的实时采集^[5]。

2.2 关键协同机制设计

保证协作稳定地实践,需要针对2大核心机制方面做好设计,信息共享与透明化机制的重点是设立依据BIM、物联网与云计算的协同平台,实现碳数据、设计变更、材料信息以及能耗数据的实时、透明、可追溯共享,消除信息孤岛。利益协调与激励相容机制方面,把报酬跟实测碳绩效靠着“低碳绩效合同”直接挂钩,设计“碳收益分享”形式让各参与方共同分享经济收益,同时对接绿色信贷、补贴等外部的政策来实现正向激励。

3 基于系统动力学的协同效应模拟分析

3.1 系统动力学仿真模型构建

本研究设立的系统动力学仿真模型,靠着动态模拟思路讨论多元主体协同治理怎样作用于建筑项目全生命周期碳排放的机制,模型边界包含四个重点子系统:政府子系统靠着政策强度、补贴力度等因素驱动,市场子系统折射绿色需求、碳价等市场信号,企业协同子系统构成重点部分,模拟各主体间的信息、目标与行动互动,技术子系统表征低碳技术的成本、性能跟扩散速率。使用系统动力学建模方法,本研究绘制存量流量图,刻画出“政策以及市场驱动协同度增强→协同度助推技术采纳跟应用→技术应用减小碳排放强度”这一正向反馈回路,同样设立由“协同成本、技术壁垒”等要素形成的平衡回路,用来仿真政策干预后系统行为的长期演化趋势。

3.2 技术阶段划分

为清晰地刻画协同治理的动态演化途径,本模型依据时间维度把模拟周期(10年)划分成三个阶段,协同启动期(第1-3年)围绕强制性政策驱动这一重点,凭借设定碳目标跟补贴,打破惯性,初步地建立协作框架,此阶段协同度以及技术采纳率靠着政策助推而缓慢地爬升。按时间维度来说,第4-7年属于协同成长期,这一阶段是核心的转型期,市场绿色溢价开始表现,企业能力获得增强,同前期的示范项目形成正反馈效应,协同度以及技术采纳率沿着S型曲线快速地攀升,规模效应助推低碳技术成本持续减少,碳排放强度表现出加速减少的态势。

3.3 数值模拟结果分析

凭借模拟四种情景(“无协同”到“强协同”)中核心指标十年间(2025-2034年)的动态变化,数据维度思路,得到重点的数据如下(模拟值,单位:碳排放强度为 $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$,协同度跟采纳率为指数化或者百分比)。

表1 多元主体协同情景下建筑项目关键指标模拟结果对比表

模拟年份	情景	项目整体碳排放强度	主体协同度指数(0-1)	低碳技术采纳率(%)
2025(基年)	所有情景	450	0.20	15
2028	无协同基准情景	430	0.22	20
2028	弱协同情景	410	0.40	35
2028	中等协同情景	375	0.65	55
2028	强协同情景	340	0.85	75
2032	无协同基准情景	415	0.25	25
2032	弱协同情景	365	0.50	50
2032	中等协同情景	290	0.80	85
2032	强协同情景	220	0.95	95

4 支撑多元协作的关键使能技术

4.1 基于数字孪生的全生命周期碳数据管理技术

该技术是设立“透明、一致、可追溯”碳数据基石的重点

使能工具,从技术实现角度看,集成建筑信息模型、物联网以及智能分析,给物理项目创建一个实时互动、动态更新的虚拟数字孪生体,建造阶段,物联网设备自动采集施工现场的能耗、材料消耗和设备运行数据,以及BIM模型里的构件信息、材料碳足迹数据库(来自供应商)关联起来,实时地实现建造碳排放的实时计量和可视化。

4.2 区块链赋能的低碳信用与交易协同技术

该技术作为制度性的使能工具,可以解决多元主体间信任缺失与激励错配问题,它凭借设立由项目各重点参与方(如业主、总包、重点分包商、供应商)共同维护的许可制联盟链,把核心的低碳行为(如采购低碳认证建材、使用装配式工艺、提交碳足迹报告)当作不可篡改的交易记录上链存证。每条记录经共识机制确认后,可自动转化成标准化的低碳信用凭证。

5 案例分析:协作模式与控制措施实施效果

5.1 现场监测数据

为实证检验多元主体协同治理形式的实际效果,本研究靠着实例分析思路选取了长三角地区一个总建筑面积约15万平方米的商业综合体项目(下文简称“S项目”),分析了该项目实行了上述协同框架与关键技术后第2至第5年的现场监测数据。S项目早在设计阶段就确立了“强协同情景”的低碳目标,同样部署了碳数据管理平台,表2展示了项目进入运营阶段后(2028年作为基准年),连续四个监测年度内凭借数字孪生平台实时采集并核算的核心碳排放绩效数据。此类数据包含单位面积年度运营碳排放强度、源自BIM-IoT集成的重点系统(暖通、照明)节能率还有依据区块链记录的各年度低碳行为有效记录数(当作协同活跃度的量化表征),三者共同地构成了折射协同管理模式运营阶段持续效果的“仪表盘”。

表2 “S项目”运营期低碳绩效与协同活跃度年度监测数据

监测年度(运营第N年)	单位面积年运营碳排放强度(kgCO ₂ e/m ²)	暖通/照明系统融合节能率(%)	年度低碳行为有效记录数(条)
第2年(2028)	28.5	18.2	1,250
第3年(2029)	26.1	22.7	1,890
第4年(2030)	24.0	26.5	2,150
第5年(2031)	22.2	29.8	2,300

5.2 实施效果评价

纵向分析角度看,表2的监测数据说明,多元主体协同治理形式让“S项目”的运营阶段取得了明显的持续改良效果,单位面积年运营碳排放强度从第2年的28.5 kgCO₂e/m²稳步下降到第5年的22.2 kgCO₂e/m²,累计降幅达22.1%,年均降幅超过5%,呈现出稳定的碳减排轨迹,证明了协同管理可以持续地释放运营阶段的效益。技术节能效果方面,暖通以及照明系统的融合节能率稳步地增加,由18.2%加强到29.8%,这直接得益于数字孪生技术的持续调适改良,还有运营团队跟技术服务商高效的协同反馈机制,观察协同活跃度跟减排效果的关系,年度低碳行为有效记录数由1250条增长到2300条,呈现出物业、租户以及服务商靠着区块链激励参加节能微行动的积极性持续高涨。

6 结论

本研究证实,协同治理理论观点设立的建筑项目低碳化管理多元主体协作形式,是系统增进减排绩效的有效途径,该形式依靠界定清晰的主体权责网络,融合信息共享、利益协调跟监督履约三大机制,依赖数字孪生、区块链跟人工智能等关键技术赋能,可以有效地克服信息壁垒、目标冲突跟信任缺失等协同障碍。系统仿真以及实例说明,高水平的协同治理可以明显地加速低碳技术采纳和扩散,驱动碳排放强度大幅度地减少。

【参考文献】

- [1]徐浩洋.基于演化博弈的绿色建筑低碳化运营提升策略研究[D].河北建筑工程学院,2024.
- [2]朱同盛.建筑供应链低碳化驱动因素分析与系统仿真[D].山东建筑大学,2024.
- [3]汪莎.装配式建筑项目低碳化管理行为效应研究[D].中南林业科技大学,2023.
- [4]汪莎,沈良峰,曾倩,等.装配式建筑项目承包商低碳化管理行为效应研究[J].科技和产业,2023,23(02):197-203.
- [5]陈琳,李书全.基于HTOE模型的建筑施工企业项目低碳化管理行为驱动力研究[C]//天津市社会科学界联合会.学习贯彻党的十九大精神 推进“五个现代化天津”建设——天津市社会科学界第十三届学术年会优秀论文集(下).天津财经大学管理科学与工程系,2017:143-150.

作者简介:

沈铁娟(1984--),女,汉族,绍兴人,本科,研究方向:建筑工程项目管理。