

装配式建筑工程造价核算方法与优化路径

王翼飞

(大华天陆新(山东)项目管理有限公司, 山东 烟台 264000)

摘要 装配式建筑作为建筑工业化的重要形式, 其造价核算与优化是推动行业可持续发展的关键。本文系统分析了装配式建筑工程造价的构成特点, 探讨了基于 BIM 与物联网、大数据、人工智能的核算技术, 并提出了预制构件智能制造、数字化施工模拟、供应链协同管理及区块链成本管控等优化路径。研究结果表明, 通过技术融合与管理创新, 可有效降低装配式建筑全生命周期成本, 提升项目经济性。

关键词 装配式建筑; 工程造价; BIM 技术; 物联网; 大数据分析

中图分类号: TU723

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.23.024

0 引言

装配式建筑通过标准化设计、工厂化生产、装配化施工, 显著提升了建筑效率与质量, 但其造价控制仍面临挑战。传统造价核算方法难以适应装配式建筑的复杂性, 导致成本超支、资源浪费等问题频发。随着 BIM、物联网、人工智能等技术的普及, 工程造价管理逐渐向数字化、智能化转型。然而, 如何将这些技术深度融入造价核算与优化流程, 仍是行业亟待解决的难题。本文通过分析装配式建筑的造价构成特点, 结合先进技术, 提出系统化的核算方法与优化路径, 旨在为行业提供实践参考。

1 装配式建筑工程造价构成特点

装配式建筑的造价构成与传统现浇建筑存在显著差异, 主要体现在以下几个方面。

1.1 预制构件生产成本占比显著

预制构件生产成本在装配式建筑造价中占据核心地位, 其构成涵盖设计、模具制作、混凝土浇筑、养护及质检等全流程环节。模具制作成本受构件标准化程度直接影响, 非标构件需定制专用模具, 导致单次生产成本显著上升。规模化生产通过提高模具复用率可有效摊薄单位成本, 但需平衡模具初始投资与生产规模的匹配性。生产设备的自动化水平直接影响生产效率与能耗, 高精度生产线虽能提升构件质量稳定性, 但设备采购与维护费用需纳入长期成本核算^[1]。

1.2 运输与安装成本构成复杂化

装配式建筑的运输与安装成本受多维度因素制约, 其复杂性源于构件体积、重量及现场施工条件的特殊要求。运输环节需综合考量道路承载力、转弯半径限制及超限运输许可等地理与法规因素, 长距离运输可

能引发额外的过路费或护送成本。安装阶段的机械选择直接影响成本, 大型吊装设备的租赁费用与作业时间呈非线性关系, 需通过施工方案优化实现效率最大化。高空作业安全措施涉及防护设施投入与人员培训成本, 而现场协调难度则可能引发窝工损失, 需通过 BIM 模拟与施工计划精细化管理降低不确定性。

1.3 全生命周期成本需系统统筹

装配式建筑的造价核算需突破传统阶段化思维, 将设计、施工、运营及拆除全周期成本纳入统一评估框架。设计阶段的材料选择直接影响后期维护成本, 例如: 耐候性材料虽增加初始投入, 但可显著降低维修频率与费用。结构体系的可拆卸性设计虽可提升拆除阶段的资源回收率, 却可能因连接节点复杂化增加施工成本。能耗系统的初期投资与长期运行费用需通过生命周期成本法(LCC)进行权衡, 如光伏构件的发电收益需覆盖其增量成本^[2]。

1.4 技术集成引发附加成本增量

装配式建筑中 BIM 建模、物联网监控及智能生产系统等技术的集成应用, 虽能提升管理效率, 但其软件购置、系统开发与运维成本构成新增成本项。BIM 模型的精细化程度与数据互通要求可能导致多专业协同平台的定制化开发, 增加初期投入。物联网传感器的布设密度与数据传输频次直接影响设备采购与网络运维费用, 需通过成本效益分析确定最优部署方案。人工智能算法的训练与迭代依赖高质量数据集, 数据采集与清洗成本需纳入技术应用的整体预算。

2 装配式建筑工程造价核算方法

2.1 基于 BIM 与物联网融合的核算技术

BIM 技术通过三维模型构建建筑全生命周期的数字化表达, 其核心价值在于实现设计、生产、施工、运

维各阶段数据的集成与共享。在造价核算中，BIM 模型基于参数化设计与构件库系统，可精确统计预制构件的数量、材料用量及施工工序，形成标准化的工程量清单。物联网技术通过传感器、RFID 芯片等设备实时采集构件生产进度、质量参数、运输轨迹及安装状态等动态数据，与 BIM 模型形成双向数据流。例如：生产环节的混凝土强度传感器数据可实时反馈至 BIM 模型，动态调整养护周期与成本预测；运输环节的 GPS 定位数据可与 BIM 进度计划对比，预警延误风险并触发成本修正机制。协同平台通过标准化接口整合多方数据源，消除设计变更、材料替换等环节的信息滞后问题，避免因图纸与实际脱节导致的重复计算或成本遗漏。

2.2 大数据驱动的成本分析技术

装配式建筑造价核算需依托历史项目数据的深度挖掘与规律提炼。通过构建包含构件单价、工期、资源消耗、地域差异等多维度的行业数据库，大数据分析技术可揭示成本影响因素的关联性。聚类算法通过特征相似性对项目进行分类，识别不同装配率、结构类型或规模下的典型成本结构，进而对比异常支出项并追溯成因。回归模型则通过量化装配率、材料价格、劳动力成本等变量对总造价的影响权重，预测不同技术方案的经济性阈值。结合 GIS 技术的空间分析功能，可将区域材料价格波动、交通条件、政策法规等地理因素纳入成本预测模型，动态优化采购与物流策略。此外，大数据技术通过时间序列分析与机器学习算法，可评估极端天气、供应链中断等风险事件的概率及其对成本的潜在冲击，生成风险敏感型成本估算与应急预案。

2.3 人工智能辅助的造价估算技术

人工智能技术通过算法模型重构造价估算的逻辑与流程，实现从数据输入到方案优化的自动化处理。深度学习算法（如 BP 神经网络）通过训练历史项目数据与实时参数（如市场行情、技术参数），构建非线性成本预测模型，其优势在于捕捉隐含的变量交互关系并提升复杂场景的预测精度。遗传算法则通过模拟自然选择机制，将成本、工期、质量等约束条件转化为多目标优化函数，迭代生成满足经济性与可行性的最优设计方案。例如：在预制构件选型阶段，算法可同时评估不同构件组合的生产成本、安装效率与结构性能，筛选出全局最优解。自然语言处理技术通过解析设计文档中的技术要求（如规范条款、功能描述），提取关键参数并自动生成造价清单，减少人工解读误

差。此外，强化学习算法可模拟不同决策路径下的成本演化过程，辅助制定动态调整策略^[3]。

3 装配式建筑工程造价优化路径

3.1 预制构件智能制造技术

预制构件智能制造技术通过系统性整合标准化设计、自动化生产与质量追溯体系，实现成本控制与效率提升的双重目标。

模块化设计以统一接口与尺寸标准为核心，通过构建标准化构件库，减少非标构件的定制需求，降低模具开发成本。标准化设计需兼顾建筑功能多样性与生产经济性，通过参数化建模技术实现构件的灵活组合，既保证通用性又满足差异化需求。智能生产线集成以工业机器人为核心，通过自动化完成钢筋绑扎、混凝土布料、养护监测等关键工序，减少人工操作误差与劳动强度，同时提升构件尺寸精度与表面质量的一致性。

自动化设备的精准控制可有效降低材料损耗率，例如通过智能布料系统优化混凝土配比与浇筑路径，减少过量使用。

质量追溯系统通过 RFID 芯片或二维码技术，将生产全流程数据（包括原材料批次、工艺参数、质检结果）实时记录并关联至构件唯一标识，形成可追溯的数字档案。该系统通过数据分析可识别质量缺陷的根源，如模具磨损或温控偏差，从而针对性优化生产流程，减少因返工导致的隐性成本。

标准化、自动化与追溯体系的协同作用，使预制构件生产从离散式作业转向连续式精益制造，显著提升资源利用效率与成本控制能力^[4]。

3.2 数字化施工模拟技术

数字化施工模拟技术依托 BIM 与算法模型，构建虚拟施工环境以优化资源配置与作业流程。4D-BIM 进度模拟通过将施工进度计划与三维模型动态关联，可视化呈现各阶段资源需求（如劳动力、机械、材料）的空间分布与时间序列，识别资源供需矛盾点，例如设备闲置或材料短缺时段，从而调整采购计划与施工顺序。

碰撞检测与优化技术在虚拟环境中对构件安装路径与空间位置进行多维度校验，通过算法自动识别管线冲突、结构干涉等问题，生成冲突报告与调整建议，避免因现场返工导致的成本超支。

吊装路径优化技术基于最短路径算法与能耗模型，综合考虑起重机臂长、作业半径、地面承载力等约束条件，生成多套吊装方案并评估其时间、燃料与机械

损耗成本，选择最优路径以降低机械租赁费用与施工周期。该技术通过虚拟仿真提前暴露施工风险，将传统经验驱动的决策模式转变为数据驱动的精准规划，减少现场协调难度与资源浪费，同时提升施工方案的经济性与可行性。

3.3 供应链协同管理技术

供应链协同管理技术以信息透明化与流程标准化为基础，重构装配式建筑的材料采购与物流体系。供应商分级管理通过建立多维度评价指标（如交货准时率、质量合格率、服务响应速度），运用层次分析法（AHP）或数据包络分析（DEA）对供应商进行量化评级，形成动态分级目录。高评级供应商可获得优先合作权，通过规模化采购降低单位成本，同时规避低质量供应商带来的隐性成本。需求预测与库存优化基于历史项目数据与实时进度信息，采用时间序列分析或机器学习模型预测材料需求波动，结合 JIT（准时制）模式制定采购计划，通过动态调整库存水位减少资金占用与仓储成本。物流路径智能规划整合多项目运输需求，利用路径优化算法（如蚁群算法、遗传算法）分析地理信息与交通限制，生成共享运输路线，降低空载率与单位运输费用。该技术通过供应链各环节的协同运作，消除信息孤岛与冗余环节，实现从原材料到施工现场的全流程成本压缩与效率提升^[5]。

3.4 基于区块链的成本管控技术

区块链技术通过分布式账本与智能合约机制，构建装配式建筑成本管控的可信体系。合同智能合约将付款条件、工期节点、质量标准等条款转化为可执行的代码逻辑，当满足预设条件（如验收合格、进度达标）时自动触发付款或违约处理，减少人工审核与资金挪用风险。成本数据上链存证要求所有交易凭证（如采购发票、施工签证、验收报告）以加密哈希值形式存储于区块链，确保数据不可篡改与全程可追溯，防止虚假报销与账目舞弊。多方协同审计机制允许业主、承包商、监理等参与方通过共识算法共同验证成本数据，例如通过零知识证明技术验证隐蔽工程的施工量，降低第三方审计成本的同时提升数据可信度。区块链技术通过技术手段重构成本管理的信任机制，消除信息不对称导致的合同纠纷与成本争议，实现全参与方的成本透明化与风险共担。该技术与传统财务系统结合，可形成从预算编制到结算审计的全链条成本管控闭环，显著提升装配式建筑项目的财务合规性与成本可控性。

3.5 绿色低碳技术集成应用

绿色低碳技术通过优化资源利用、降低能耗与碳排放，构建装配式建筑全生命周期的成本节约与环境效益协同提升机制。材料选择阶段采用生命周期评估（LCA）方法，综合考量构件生产、运输、施工及拆除各环节的能耗与碳排放，优先选用低碳建材（如再生骨料混凝土、低能耗钢材）与装配式光伏一体化构件，减少隐含碳成本的同时降低长期运营能耗支出。在施工过程中集成可再生能源技术，例如在预制构件工厂部署光伏发电系统与余热回收装置，通过能源自给与循环利用降低生产能耗成本；施工现场采用电动化运输设备与智能照明系统，结合能源监控平台实时优化用电策略，减少化石能源依赖与运维费用。在废弃物管理方面，通过 BIM 模型预设构件拆分与回收路径，实现建筑垃圾减量化与资源化，例如将拆除后的预制构件经分类处理后重新用于非承重部位，显著降低废弃物处置成本与新材料采购需求。在政策层面，绿色建筑认证体系（如 LEED、WELL）与碳交易市场机制的结合，可为采用低碳技术的项目提供税收优惠或碳排放权交易收益，形成经济激励与环境效益的双重驱动。

4 结束语

通过系统梳理装配式建筑工程造价的构成特点与核算方法，提出了基于 BIM、大数据、人工智能及区块链的优化路径。研究表明，通过技术融合与管理创新，可有效解决传统造价核算中的信息割裂、预测偏差等问题，同时通过智能制造、数字化施工、供应链协同及区块链管控，实现成本的全过程精细化管理。这些方法与路径为装配式建筑的经济性提升提供了理论参考与实践框架，对推动建筑行业工业化、智能化发展具有积极的作用。

参考文献:

- [1] 戚晓. 基于装配式建筑的工程造价动态控制与优化模型 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(01): 173-175.
- [2] 齐金. 装配式建筑平面布局及构件设计对工程造价的影响探析 [J]. 江西建材, 2025(01): 337-339.
- [3] 邵雯璇. 装配式建筑混凝土结构施工的全过程工程造价控制 [J]. 中国水泥, 2024(11): 91-93.
- [4] 白思宇. 装配率对装配式建筑工程造价的影响研究 [J]. 砖瓦, 2024(09): 105-108.
- [5] 高晓艳. 试论装配式建筑对工程造价的影响及改善路径 [J]. 工程建设与设计, 2024(15): 234-236.