

装配式住宅建筑施工工艺优化分析

刘谦，刘欢，张琦楠

莆田中建建设发展有限公司，福建 莆田 351100

DOI:10.61369/ETQM.2025120024

摘 要： 本文围绕构件生产运输、现场装配和全过程管理三环节开展装配式住宅施工工艺优化研究。基于 3 个实际项目（总建筑面积 15.6 万 m²）的量化数据，运用 BIM、精益施工与进度-成本耦合模型，通过标准化生产、装配精度控制与能耗调控，实现生产周期缩短 18%、装配误差控制在 ±2mm、碳排放降低 22.14%。研究结合误差传递与进度-成本模型及核心数据表格，验证了工艺优化的可行性与有效性，为同类项目提供技术支撑。

关 键 词： 装配式住宅；施工工艺优化；分析策略

Analysis of Optimization of Construction Technology for Prefabricated Residential Buildings

Liu Qian, Liu Huan, Zhang Qinan

Putian Zhongjian Construction Development Co., LTD., Putian, Fujian 351100

Abstract： This paper conducts research on the optimization of construction techniques for prefabricated residential buildings, focusing on three key links: component production and transportation, on-site assembly, and full-process management. Based on the quantitative data of three actual projects (with a total construction area of 156,000 square meters), by applying BIM, lean construction and the coupled model of progress and cost, and through standardized production, assembly accuracy control and energy consumption regulation, the production cycle was shortened by 18%, the assembly error was controlled within ±2mm, and carbon emissions were reduced by 22.14%. The research combined error transmission and progress-cost models with core data tables to verify the feasibility and effectiveness of process optimization, providing technical support for similar projects.

Keywords： prefabricated residential buildings; optimization of construction techniques; analysis strategy

一、构件生产与运输环节的工艺优化

构件的生产与运输工作作为装配式住宅施工前期的核心环节，按照《装配式混凝土建筑技术标准》（GB/T 51232 - 2016）的模数协调规则。经优化标准参数、把控质量指标、改良运输调度，达成“高效生产、低耗运输、优质供件”的预期^[1]。

（一）构件标准化生产参数优化

构件的标准化水平是决定装配式住宅生产效能与成本管控的核心要素。构件生产的标准化程度越高，构件生产时的重复特性和通用特性愈发明显，不但能削减模具投入，还可改善构件的精度和一致性。施工工艺的优化需以“减少模具种类、统一模数规格”为核心指引，从根源上增强生产组织的合理性与经济性^[2]。

处于中等程度的标准化状态下，预制比例提升到 60%，构件型号减至 16 种，所需模具数量降低到 8 套，生产周期以批次计缩短至 36 天，合格比例提高到 95.8%，单位成本降低至 302 元每平方米。若进一步提高到高度标准化程度，预制比例达 70%，

将构件型号数量限制为 12 种，仅需 6 套模具，每批次生产周期减至 30 天，产品合格率提升到 98.5%，每平方米单位成本降至 285 元^[3]。此对比结果清晰呈现，提高标准化水平既能缩减生产时长、削减成本，还能明显提高质量标准，对装配式住宅施工的整体效益十分关键。基于上述数据，构建构件标准化程度与生产指标关系表（表 1），明确优化参数。

表 1 构件标准化程度与生产指标关系表（项目 A）

标准化程度	预制率（%）	构件型号（种）	模具数量（套）	生产周期（天/批次）	合格率（%）	单位生产成本（元/m ² ）
低	50	28	15	45	92.3	320
中	60	16	8	36	95.8	302
高	70	12	6	30	98.5	285

（二）构件工厂预制质量控制指标优化

装配式住宅现场施工能否顺利开展，关键在于预制构件的质量，构件性能和耐久性，其三项核心要素为尺寸偏差、混凝土强度及钢筋保护层厚度。预制占比 65% 的建造进程中，项目团队

作者简介：

刘谦 (1994.11-)，男，湖南永兴人，本科，中级工程师，研究方向：工程管理、技术质量管理。

刘欢 (1990.03-)，男，本科。

张琦楠 (1996.08-)，男，本科。

围绕这三项中容展开了系统优化与改良，收获明显成效^[4]。

（三）构件运输与堆场调度优化

在堆场调度方面，借助 BIM 技术对入场计划实施精准化管控，合理划分堆场的功能分区。把“待装区”设定在离吊装点不超过50m的范围中，作为可直接装配的构件堆放处；“备用区”被设置于50米至100米的距离范围，作备用构件临时存储用。通过科学筹划，二次搬运比例从 25% 锐减至 8%，极大增强了现场吊装的效率，运输时长从 7 天减至 4 天，每 t 运输成本自 65 元降至 48 元。具体对比数据见表 2。

表 2 不同运输车辆选型与运输指标对比表（项目 C 预制柱运输）

运输车辆 类型	载重 (t)	单次运 输数量 (根)	单次成本 (元)	单位成本 (元/t)	损耗率 (%)	日均运 输次数 (次)
10t 平板车	10	1	800	65	1.2	6
15t 平板车	15	2	1200	48	0.5	5
20t 平板车	20	2	1500	52	0.3	4

二、现场施工装配环节的工艺优化

（一）BIM 技术下的装配精度控制优化

BIM 技术可达成构件三维模型搭建、碰撞查验与精度提前把控。项目 A 借助 Revit 搭建结构模型，经 Navisworks 检测，发现管线和预制梁存在 12 处碰撞点，防止现场重复施工。以 BIM 坐标进行定位，利用全站仪（精度达到 ±1mm）来完成构件的安装工作，通过误差传递理论对总误差加以控制^[9]。各环节误差依据误差传递公式（公式 1）进行优化，其中装配总误差 Δ 总是由制造误差 Δ 制、运输变形误差 Δ 运、安装误差 Δ 安构成，利用误差传递公式（公式 1）来优化各环节的误差。

公式 1：Δ 总 = √(Δ 制² + Δ 运² + Δ 安²)

项目 A 预制柱装配精度优化前：Δ 制 = ±2mm、Δ 运 = ±1.5mm、Δ 安 = ±2.5mm，综合误差 Δ 总 ≈ ±3.54mm；优化后（数控加工、专用支架、BIM 定位），Δ 制 = ±1mm、Δ 运 = ±0.8mm、Δ 安 = ±1mm，Δ 总 ≈ ±1.62mm，实际监测误差为 ±2mm，符合 GB 50204-2015 ≤ ±3mm 要求。BIM 应用显著提升了装配精度与效率（见表 3）。

表 3 BIM 技术应用前后装配指标对比表（项目 A 1-6 层）

指标类型	BIM 应用前	BIM 应用后	优化幅度（%）
柱垂直度偏差	±3.2mm	±1.8mm	43.75
梁水平度偏差	±2.8mm	±1.2mm	57.14
板拼接缝宽度	2.5 - 4mm	1 - 1.8mm	52.00
单日装配构件数	8 件 / 天	15 件 / 天	87.50
装配返工率	8.5%	1.2%	85.88

（二）精益施工下的工序衔接优化

按照精益施工思想，创建工序衔接时间的优化模型，削减等候时长。项目 B 现场装配涵盖“构件吊装（t₁=2h）→临时固定（t₂=1h）→灌浆连接（t₃=3h）→钢筋绑扎（t₄=2.5h）→混凝土浇筑（t₅=1.5h）”这 5 道工序，传统串行作业的总工期 T1 为各工序时间之和，借助并行改进（固定工作在吊装完成 50% 时启动，当灌浆进度达 60% 后开展绑扎工作，搭建总体工期模型，其中并

行启动系数用 α_i 表示，其取值在 0 到 1 之间^[7]。

三、施工全过程管理与性能监测优化

基于进度 - 成本耦合理论与实时监测技术，构建优化模型，实现质量、进度、成本、能耗的协同控制，提升项目综合效益。

（一）施工全过程进度 - 成本耦合优化模型

为平衡进度与成本，构建耦合模型（公式 4），设计划工期 T0、计划成本 C0，工期压缩量 Δ_T=T₀-T，成本含直接成本（人工、材料）与间接成本（管理、规费）。

公式 4：C(T)=C_直0 + k₁ · ΔT + C_间0 - k₂ · ΔT + k₃ · ΔT²

项目 B 的规划成本 C0 设定为 1700 万元，对应周期 T0 为 180 天。若工期压缩量 ΔT 取值 27 天，对应压缩比例 15%，总工期达 153 天。优化之前成本 C 的值为 1920.8 万元，优化后成本 C 为 1890.35 万元，考虑到返工数量减少 80 万以及损耗数值降低 45 万，实际所需成本仅达 1765 万元，相比计划降低了 2.06%。

（二）装配式结构施工质量实时监测参数优化

在装配式建筑搭建期间，节点连接质量对结构的整体安全与耐久性起着直接作用。传统人工巡检模式常具延迟性与不稳定性，难以即刻发现潜在风险，项目 A 采用压电传感器（PZT）开展实时监控，借助参数调校与科学布局，达成对节点状态的动态感知及预警。

针对采样频率，项目团队对 200Hz、500Hz、1000Hz 三种方案开展了对比工作，200Hz 信号的分辨能力欠佳，易造成关键数据丢失；尽管 1000Hz 可实现更高精准度，却造成了大量的数据以及存储方面的负担^[4]。最终选定 500Hz 作为最适宜的采样频率，既能够精准抓取节点振动特性，与基准方案相比，数据存储量降低约 40%，提升了系统的运行效率。

对于预警阈值的设定，借助有限元分析得出加速度阈值 a0 为 0.8g，一旦实测的加速度值 a 超出 a0，系统便发出警示信号，表明节点有松动隐患，此阈值设置既杜绝了误判警报，又保障隐患可迅速被识别^[9]。

（三）绿色施工指标下的工艺能耗优化

在项目 C 建设期间，依照 GB/T 50378-2019《绿色建筑评价标准》，对能耗指标实施了全面优化，收获明显成果。采用预制叠合板替换传统现浇板用于混凝土材料，用预制叠合板替换传统现浇板，让混凝土用量从原先的 350m³/千 m² 减至 220m³/千 m²，极大削减资源消耗与施工现场湿作业的工作量。此做法既提升了材料利用率，又削减了后期保养费用。引入数控化装置到钢筋加工阶段，达成精细切割与处理，使钢筋损耗比例从 6% 降至 2.5%。该方法降低了原材料损耗，同时提高了构件尺寸精准度与施工效能，保障了项目整体的结构安全性与经济性^[9]。

在水资源利用方面，项目配备了储水量达 50m³ 的雨水收集系统，有效改善了施工与使用时期的水耗状况，让单位面积水资源消耗从 1.2t/m² 降至 0.6t/m²。借助循环再利用，既能减轻市政供水的压力，又凸显了绿色建筑的节水属性，该项目着重降低碳排放^[10]。通过实施减少湿作业这类方法，单位面积的碳排放量从

280kg/ m²降到了 218kg/ m²，既减轻了施工期间的环境压力，而且顺应绿色低碳发展的走向。优化前后能耗对比见表 4，符合绿色建筑要求。

表 4 绿色施工工艺优化前后能耗指标对比表（项目 C）			
能耗指标	优化前	优化后	降低幅度（%）
混凝土用量（m ³ / 千 m ² ）	350	220	37.14
钢筋损耗率（%）	6.0	2.5	58.33
水资源消耗（t/ m ² ）	1.2	0.6	50.00
碳排放（kg/ m ² ）	280	218	22.14
建筑垃圾（t / 千 m ² ）	80	35	56.25

四、总结

开展针对3个装配式住宅项目的研究发现：1）构件的生

产与运输阶段，达到高标准化，可使周期减少 18%、成本下降 10.9%，15 吨的平板车是最优选项；2）现场装配阶段，借助 BIM 与精益施工技术，可将误差控制在 ±2mm 范围中，让工期减少 55%，节点饱满程度达 98%；3）流程管理阶段，进度与成本耦合模型让工期缩减 15%、成本降低 2.06%，绿色工艺达成减少碳排放 22.14%。通过模型验证和量化参数对工艺进行优化，为装配式住宅增效保质提供可推行方法。

参考文献

[1]王鑫, 姜绪伦, 李鑫, 等. 装配式住宅建筑预制构件施工现场调度优化研究——以西安市某装配式建筑住宅群为例 [J]. 项目管理技术, 2023, 21(12): 17–22.

[2]黄俊. 基于住宅产业需求的装配式建筑设计优化研究 [J]. 城市开发, 2024(12): 95–97.

[3]李刚. 混凝土装配式住宅建筑工程的施工技术分析 [J]. 江西建材, 2024(6): 281–283.

[4]施益龄, 葛爱明. 装配式建筑施工技术在住宅工程中的应用探析 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2023(4): 4.

[5]孙超. 钢结构装配式住宅建筑标准化设计及抗震设计优化分析 [J]. 四川水泥, 2024(3): 33–35.

[6]贺海洋. 刍议混凝土装配式住宅建筑施工技术 [J]. 建筑·建材·装饰, 2015(12): 66–65.

[7]甘肃, 李心雨. 装配式建筑结构设计关键点及存在问题的改进——以某大型装配式住宅项目为例 [J]. 四川水泥, 2024(4): 103–105.

[8]肖居生. 浅谈混凝土装配式住宅建筑工程施工技术优势 [J]. 居舍, 2019(4): 10–15.

[9]韩耀. 装配式住宅建筑施工技术的应用及质量管控对策 [J]. 智能城市应用, 2024, 7(11): 33–35.

[10]张开勇. 混凝土装配式住宅建筑施工技术优势分析 [J]. 山西建筑, 2018, 44(36): 23–25.