

装配式建筑全生命周期造价影响因子量化分析

——基于层次分析法

杨 娜^{1,3} 付素娟^{2,3} 张 涛^{2,3}

1.河北建研建筑设计有限公司建筑更新（鹿泉）分公司 河北 石家庄 050021

2.河北省建筑科学研究院有限公司 河北 石家庄 050021

3.装配式住宅河北省工程研究中心 河北 石家庄 050227

【摘 要】：装配式建造模式是建筑业工业化转型的核心载体，但其增量造价偏高的问题长期制约行业规模化落地。本文综合文献计量检索、一线项目实地走访、多方案造价对比测算三种研究手段，全面梳理装配式项目从构件生产、物流运输到现场装配全流程的造价扰动要素；依托层次分析法（AHP）搭建三级量化评价模型，通过行业专家问卷采集数据，构建分层判断矩阵并完成一致性校验，量化测算各类因子对项目总造价的影响权重，识别造价管控核心抓手；结合权重排序结果，从政策配套、构件生产、物流调度、现场装配四大维度提出落地性降本策略，为装配式项目造价管控、行业产业化发展提供量化理论支撑与实操方案。

【关键词】：建筑工业化；装配式建造；层次分析法；增量造价；造价管控；权重分析

DOI:10.12417/2811-0528.26.20.029

绪论

传统现浇施工模式存在建筑垃圾产出量大、现场扬尘噪声污染严重、冬季施工受限、人工需求大、工程质量离散性强等短板，装配式建筑依靠工厂预制、现场拼接的工业化建造逻辑，能够从根源缓解上述行业痛点。近十年国家持续出台顶层政策推动装配式产业落地：2017年国务院办公厅印发建筑业转型升级指导文件，明确将混凝土装配式、钢结构建筑作为产业现代化核心发展方向，要求各地逐年提升新建建筑装配化比例；2020年住建部联合多部委出台新型建筑工业化配套意见，重点强调预制部品标准化集成、全流程工业化施工、建筑数字化技术融合三大发展方向。装配式建造契合“双碳”绿色发展战略，是建筑业实现节能降碳、可持续发展的关键路径。尽管政策扶持力度持续加码，但国内装配式行业推广成效未达预期。现阶段行业配套标准体系仍存在漏洞，构件生产、现场装配施工工艺成熟度不足，相较欧美、日本等拥有数十年工业化建造经验的国家仍存在明显差距，装配式项目整体落地推进速度缓慢，其中预制构件带来的增量造价过高是房企、施工企业落地装配式项目最核心的顾虑。在此背景下，量化拆解装配式全流程造价影响要素、区分主次影响因子、针对性制定降本方案，具备极强的行业现实意义。

1 国内外研究现状

1.1 国外发展现状

发达国家装配式产业起步更早，已形成完善的规范体系与

成熟的造价管控机制。美国构建了覆盖设计、生产、施工全链条的行业标准化规范，同步配套多元化经济激励政策，强化工程实体质量与现场安全管控标准，提升市场端开发企业、业主对装配式建筑的接纳程度。日本以统一建筑模数体系为核心，出台专项法律法规约束预制构件出厂品质，平衡构件标准化批量生产与建筑外立面造型多样化的矛盾，从源头降低非标构件带来的额外生产成本。海外学者围绕装配式造价开展多维度量化研究：Ed Bartett 团队以建筑全生命周期为研究边界，测算装配式建造模式对工程总造价、内外环境成本的影响权重，从能源节约、污染物减排、长期运维造价角度综合评估装配式项目综合收益，以此推动房地产开发企业主动转型工业化建造模式；Duarte 团队聚焦外墙围护结构造价差异，对比预制混凝土外墙与传统砌块外墙的主材、人工、辅材费用，针对墙体材料价差开展定量拆解分析；Bari NAA 等学者将研究视角延伸至产业链上游原材料端，分析砂石、钢筋、水泥等主材价格波动对项目最终盈利水平的传导规律，基于供应链视角输出产业链整体降本优化方案。

1.2 国内装配式造价相关研究现状

国内学界针对装配式造价的研究主要分为三大研究分支：第一，造价构成与增量成本拆解研究。齐宝库等从房地产开发企业经营视角，拆解预制构件原材料、构件现场利用率两大核心造价模块，同时提出环保型绿色建材替代传统高污染主材的降本思路；重庆大学研究团队选取多组同规模现浇、装配式住

宅开展造价对比测算，研究证实现浇主体结构施工造价更低，但装配式模式在室内装饰、机电安装分部工程中长期性价比优势显著。第二，计价体系与综合效益测算研究。李丽红等学者通过大量实体项目测算指出，装配式项目多数分部分项可压缩人工与现场辅材投入，整体造价增量集中在 PC 预制构件工厂生产、现场吊装拼接两大环节，厂房建设、生产设备折旧摊销属于极易被造价人员忽略的隐性增量成本；汤晗昕结合江苏省当地工程计价定额规则，搭建装配式整体式住宅专属定额测算框架，依托区域内多个落地项目实测构件、人工、机械定额消耗量。第三，全流程造价风险管控研究。王英春将装配式项目完整建造周期划分为前期方案设计、中期施工统筹、后期竣工运维三大阶段，提出需结合项目体量、结构形式匹配差异化管控手段；黄灵全程跟进多个装配式住宅项目从规划开盘至竣工验收全周期，系统识别设计、生产、运输、施工各环节潜藏的造价超支风险。

2 装配式建造全流程造价扰动指标识别

本文以装配式项目增量造价产生逻辑为基础，综合分析项目建设体量、装配率指标、预制构件装配组合方案、构件标准化使用率、非承重隔墙板材品类、干式楼面及集成厨卫部品选型、现场装配施工工艺差异等要素对造价增量的影响幅度，系统性筛选出项目造价管控核心扰动因子，为后续 AHP 量化模型搭建、增量造价优化策略制定提供基础支撑。

2.1 指标初筛流程

采用文献计量检索法完成第一轮指标筛选，检索数据库包含中国知网、万方、维普三大中文核心数据库，检索关键词设置为“装配式建筑造价”“装配式项目成本管控”“PC 构件增量成本”，筛选近五年内下载量、引用频次较高的核心期刊论文与硕士学位论文，提取文献中高频出现的造价影响指标。

对提取到的全部指标进行汇总合并，剔除出现频次低、行业实操价值弱的次要因素，将筛选后的指标与装配式项目增量造价来源交叉比对二次筛选，统计在 5 篇及以上文献中重复出现的共性指标，最终筛选得到 19 项核心造价扰动指标，并按照造价产生环节划分为四大准则维度，详见下表 1。

表 1 装配式建造增量造价指标分层体系

准则层维度	维度释义	细分指标	指标编号
B1 预制构件生产成本	工厂预制阶段产生的全部固定、可变成本	预制构件产线工艺与厂区产能水平	C1
		预制构件工厂年度量产规模	C2
		钢筋、水泥等主材集中采购单价	C3

		预制墙板、楼板标准化设计程度	C4
		构件生产专用模具摊销分摊费用	C5
		厂房、自动化养护设备固定资产折旧	C6
		项目整体装配率设计指标	C7
B2 预制构件物流运输成本	构件厂区至施工工地全程物流损耗费用	预制厂区与项目工地运输里程	C8
		运输车辆单次装载周转效率	C9
		运输路线规划、现场构件调度管理方案	C10
		预制构件专用运输车辆配置标准	C11
B3 现场装配施工成本	工地吊装、拼接、后浇施工产生费用	项目现场管理团队专业能力与从业经验	C12
		起重塔吊利用率、垂直吊装台班费用	C13
		现场工人装配施工工艺成熟度	C14
		现场管理人员、装配班组专业储备	C15
		建筑单体规模、主体结构体系选型	C16
B4 外部综合环境成本	政策、产业链、税收等外部隐性成本	地方装配式配套政策、行业强制规范标准	C17
		区域装配式上下游产业链完善程度	C18
		预制构件生产、销售环节税收优惠政策	C19

补充说明：装配率 C7、建筑规模与结构体系 C16 属于项目前期设计阶段确定的前置指标，会同步作用于构件生产、现场装配两大环节；为保障层次模型内各指标独立不重复，表格内仅单次罗列，不再分维度重复标注。

2.2 专家问卷调研设计与数据采集

初次筛选得到的 19 项指标存在主观定性偏差，为保证指标体系科学合理，本文采用行业专家问卷调研法校验各指标重要程度。问卷内容分为两大模块：第一模块采集填写人员从业年限、职称、岗位类型基础信息，用于筛选有效调研样本；第

二模块采用 AHP 标准 1-9 九级标度法，要求调研人员对同维度内指标两两对比，评判指标相对重要程度，标度评判规则如表 2 所示。

表 2 AHP 九级重要性评判标度说明

标度数值	两项指标重要程度对比定义	补充计算规则
1	两项指标对造价的影响程度完全等同	若指标 p 相较于 q 赋值为 λ_{pq} ，则 q 对比 p 取值为 $\lambda_{qp} = 1/\lambda_{pq}$ （倒数关系）
3	前者对比后者略微重要	
5	前者对比后者明显重要	
7	前者对比后者强烈重要	
9	前者对比后者极端重要	
2、4、6、8	相邻两级重要程度中间过渡值	

本次问卷投放渠道包含问卷星线上表单、行业线下交流会现场发放、装配式企业内部工作社群，调研对象限定为从业满 3 年、持有中级及以上工程类职称的造价工程师、构件厂技术负责人、装配式项目项目经理、高校建筑工业化研究教师。本次累计投放调研问卷 120 份，回收后剔除作答逻辑矛盾、指标打分空缺的无效问卷 2 份，最终留存有效问卷 106 份，问卷有效回收率达到 88.3%，样本数据具备行业代表性。

2.3 三级层次评价模型搭建

本次构建三层层级量化模型：顶层为总目标层 A——装配式建造全流程总造价；中间准则层包含四大成本维度 B1、B2、B3、B4；底层指标层为 19 项细分造价扰动指标 C1~C19，层级架构逻辑清晰，各层级从属关系如图 1 所示。

3 基于 AHP 的量化模型计算与权重分析

依托 106 份有效专家问卷打分均值，分层构建目标层-准则层、各准则层-指标层判断矩阵，分别计算层级指标权重、最大特征值 $\lambda_{\max}$ 、一致性指标 CI、一致性比例 CR，行业通用评判标准为 $CR < 0.1$ 时，矩阵主观打分逻辑合理，通过一致性校验。本次全部分层矩阵 CR 数值均低于 0.1，全部通过一致性检验，权重测算结果真实有效。

3.1 准则层整体权重测算（A-B 矩阵）

目标层 A 对应四大成本维度判断矩阵、权重计算结果如下：准则层权重向量 $W=(0.501,0.149,0.278,0.072)$ ，最大特征值 $\lambda_{\max}=4.008$ ， $CI=0.00259$ ， $CR=0.00291 < 0.1$ 。权重排序：预制构件生产成本 B1（0.501）> 现场装配施工成本 B3（0.278）> 构件物流运输成本 B2（0.149）> 外部综合环境成本 B4（0.072）。结论：预制构件工厂生产环节是决定装配式项目总造价的核心环节，造价管控资源应当优先向生产

端倾斜；其次为现场装配施工阶段，物流运输、政策产业链外部环境对造价扰动幅度相对有限。

3.2 预制构件生产成本维度（B1-C 矩阵）

本维度包含 7 项细分指标，计算得出层级内权重向量 $W=(0.127,0.217,0.028,0.256,0.081,0.042,0.248)$ ， $\lambda_{\max}=7.745$ ， $CR=0.09126 < 0.1$ 。结合准则层权重 0.501 换算全局总权重：C1 构件生产工艺产能：0.064；C2 工厂量产规模：0.109；C3 主材采购成本：0.014；C4 构件标准化程度：0.128；C5 模具摊销费用：0.040；C6 设备厂房折旧：0.021；C7 项目装配率：0.124。生产维度全局权重前三名：预制构件标准化程度 C4、项目装配率 C7、工厂年度生产规模 C2。标准化设计能够统一构件外形尺寸，大幅减少非标模具定制数量，提升钢模周转复用次数，直接摊薄单件构件模具分摊成本；扩大预制构件工厂生产体量能够发挥规模效应，降低厂房、设备固定折旧分摊；装配率直接决定项目预制构件使用总量，同等装配率下不同构件组合方案造价差异显著。

3.3 构件物流运输成本维度（B2-C 矩阵）

本维度 4 项指标层级权重 $W=(0.243,0.172,0.501,0.084)$ ， $\lambda_{\max}=4.144$ ， $CR=0.05392 < 0.1$ ；结合准则层权重 0.149 换算全局权重：C8 运输距离 0.036、C9 运输效率 0.026、C10 运输调度方案 0.075、C11 专用运输车辆 0.012。运输方案及现场调度管理 C10 为本维度核心管控指标，权重远高于运输距离、车型等硬性条件。合理联动构件生产排产与现场吊装施工计划，分批次配送构件、规划最优通行路线，能够避免构件到场堆积闲置、场内二次转运、运输磕碰破损返修等额外支出，降本效果优于单纯缩短运输里程。

3.4 现场装配施工成本维度（B3-C 矩阵）

本维度 5 项指标层级权重 $W=(0.278,0.144,0.430,0.062,0.086)$ ， $\lambda_{\max}=5.268$ ， $CR=0.05979 < 0.1$ ；全局权重换算：C12 现场管理团队水平 0.077、C13 塔吊垂直运输费用 0.040、C14 装配施工工艺 0.120、C15 班组人员基础能力 0.017、C16 建筑规模结构体系 0.024。施工技术水平 C14 是施工阶段最关键指标，成熟的装配拼接、后浇节点施工工艺能够缩短吊装工期、减少现场返工修复人工与材料损耗；高水平现场管理团队能够优化工序衔接、合理排布构件堆放区域，规避窝工、重复搬运带来的造价浪费。

3.5 外部综合环境成本维度（B4-C 矩阵）

本维度 3 项指标层级权重 $W=(0.731,0.081,0.188)$ ， $\lambda_{\max}=3.056$ ， $CR=0.06239 < 0.1$ ；全局权重：C17 地方政策规范 0.053、C18 区域产业链完整度 0.006、C19 行业

税收政策 0.014。地方装配式扶持政策、强制规范标准是外部环境层面首要影响因子，完整的产业链、税收优惠仅起到辅助调节造价的作用。地方政府出台的财政补贴、土地审批优待、装配率差异化要求，能够直接对冲构件厂前期固定资产投入成本，缓解行业初期增量造价压力。

3.6 全指标全局权重综合排序分析

汇总全部 19 项指标全局权重，筛选影响造价最突出的六大核心因子，权重从高至低排序：预制构件标准化程度 C4 (0.128)；2.项目装配率 C7 (0.124)；3.现场装配施工工艺 C14 (0.120)；4.预制构件工厂量产规模 C2 (0.109)；5.现场管理团队专业水平 C12 (0.077)；6.构件运输调度方案 C10 (0.075)。

结合权重数值开展机理分析：（1）构件标准化设计：统一构件模数、归并墙板楼板尺寸，减少模具种类，解决模具周转频次低、单件摊销成本高的痛点；同步优化构件配筋、浇筑养护工艺，提升工厂生产效率与构件成品合格率，单件构件综合生产成本显著下降。（2）装配率指标：装配率提升会同步增加预制构件采购总量，推高项目整体造价；但同一装配率下存在多种构件搭配方案，已有相关研究证实装配率 30% 工况下，选用外围护墙板+内隔墙+楼板+空调板+楼梯的组合模式造价最优，企业可在政策装配率要求内选择经济构件搭配方案。（3）现场装配施工工艺：成熟工业化装配工艺可压缩现场施工总工期，减少塔吊、管理人员租赁周期；优化建筑自重提升结构抗震性能，工厂预制模式减少现场湿作业，降低扬尘、建筑垃圾处理成本，兼具经济效益与绿色环保社会效益。（4）构件规模化量产：扩大预制厂区年产量，摊薄厂房、自动化养护设备、模台等大额固定资产折旧，提升模具重复利用率，依靠规模效应持续压低单件构件生产成本。

其余指标如主材采购费、产业链完整度、现场班组基础能力全局权重均低于 0.02，对项目造价扰动幅度较小，不作为核心管控重点。

参考文献：

- [1] 齐宝库,张阳.装配式建筑全生命周期成本构成与优化路径研究[J].建筑经济,2016,37(06):28-31.
- [2] 李丽红,耿博慧,齐宝库,等.装配式混凝土建筑增量成本构成及测算研究[J].工程管理学报,2016,30(03):1-6.
- [3] 汤晗昕.江苏省装配整体式住宅工程计价定额编制研究[J].工程造价管理,2021(03):56-62.
- [4] 王英春.装配式建筑全过程建造流程管控与成本风险识别[J].施工技术,2020,49(12):112-115.
- [5] 张雪.基于 AHP-熵权法的装配式建筑增量成本影响因素研究[D].沈阳建筑大学,2021.
- [6] 刘思远.装配式混凝土建筑全过程成本控制体系研究[D].重庆大学,2020.

4 装配式建造全流程造价优化落地策略

4.1 分层制定区域差异化扶持政策，缓解行业增量成本压力

政策层面完善多元化扶持体系：一是财政补贴扶持，对预制构件生产企业给予厂房建设、自动化产线设备购置专项补贴，对装配率达标住宅、公建项目发放造价补贴；二是行政审批优待，预制构件厂区土地划拨、项目规划报建开通绿色通道，压缩企业前期时间成本；三是税费减免政策，下调预制构件增值税税率、装配式项目土地增值税抵扣优惠，对冲构件厂前期厂房、设备大额固定资产投入带来的折旧摊销压力，降低行业发展初期的“学习成本”。

4.2 推行全专业协同标准化设计，优化预制构件生产工艺

项目前期方案设计阶段，建筑、结构、机电专业协同开展一体化设计，统一墙板、楼板、楼梯、阳台等预制构件模数尺寸，归并异形非标构件数量，从源头减少定制模具的投入。标准化构件能够大幅提升钢模、模台重复周转次数，降低单件构件模具分摊费用。

4.3 统筹构件产销与施工计划，精细化管控物流运输成本

构件生产企业、施工总包单位建立联动排产机制，依据现场吊装施工进度制定分批次构件配送计划，避免大批量构件一次性到场造成工地堆积、场内二次转运损耗。

5 研究展望

本次研究仅采用层次分析法开展单一量化测算，主观问卷打分存在一定人为偏差；后续研究可引入熵权法、DEMATEL 模型结合 AHP 开展主客观组合权重计算，进一步提升指标权重测算精准度。同时本次调研样本集中于华北区域装配式行业从业者，区域产业特征存在局限性，后续可扩大全国多区域调研样本，对比不同地域装配式造价影响因子差异，制定分区域适配的造价管控方案。长期来看，随着建筑数字化、BIM 技术、智能预制产线全面普及，构件标准化集成程度持续提升，叠加各地配套扶持政策落地，装配式项目增量造价将逐步收窄，工业化建造模式会成为建筑业主流发展方向。