

基于 AHP—模糊综合评价法的装配式住宅项目 风险评价研究

王凯川¹ 冉元睿¹ 邱菁华^{2*}

1. 成都简投建设发展有限公司; 2. 乐山市市中区农业技术推广中心

摘要: 从 2016 年以来, 针对环境保护、人口红利逐渐消失等方面的问题, 国家大力发展装配式建筑, 并出台了一系列政策进行扶持。与此同时, 查阅大量文献表明, 对装配式住宅项目从决策立项到设计、生产运输、施工四个阶段的整体风险评价体系还不够完善, 相关研究存在不足。在装配式住宅推广和应用过程中仍然存在一系列不可预见的风险, 使得相关企业保持着观望的态度。为此, 本文对装配式住宅项目各阶段的风险因素进行研究, 为企业提供相关的参考依据。

关键词: 装配式住宅项目; 风险评价; 层次分析法; 模糊综合评价

DOI: 10.65976/3078-8145.2026.01.022

引言

根据国家统计局 2024 年数据, 住宅项目投资在房地产开发投资和新开工面积中仍占有很大比例, 因此住宅项目仍然是当前建筑行业发展的重要部分。

2024 年 12 月 26 日, 住房和城乡建设部发布了 2025 年住房城乡建设重点任务, 明确提出了要更大范围推广智能建造、绿色建造、装配式建筑, 选择在基础好的地区支持打造形成现代化建筑产业链。

房地产企业一方面受房地产市场环境的影响, 另一方面也因装配式住宅产品在开发建设中存在着一些不同于传统住宅项目的风险因素, 而减少了投资开发的积极性, 装配式这种建造方式在商品房建设领域中的运用比例仍然不足。

张兵、刘芳等^[1]从构件制造、施工准备、现场施工和过程管理四个方面构建了装配式建筑质量风险水平评价模型。李静文、张哨军等^[2]通过熵权法确定各影响因素的权重, 运用贝叶斯网络算法模型对安全风险因素进行定量分析和评估。常晋荣、闫林君^[3]识别出项目建设周期内影响装配式住宅质量 5 个维度的 22 个二级指标风险因素, 用熵权法确定权重和正态云模型进行质量风险的综合评价。李晓娟^[4]结合熵权法和模糊数学构建了质量评价体系。识别出主要风险依次来源于施工前的材料质量、施工中的构件定位以及完工后的质量验收。王幼松等^[5]通过构建经济效益评价模型, 从设计成本、施工成本、工期缩短、政策补贴等效益维度进行分析评估, 并分析影响各部分经济效益的因素。彭军龙^[6]构建了 ISM-BN 模型以分析装配式建筑隐性成本,

并揭示出资源配置效率、预制(装配)率及环境恢复是影响发生概率的核心因素。易红雨^[7]基于多方视角识别了进度风险因素及其排序, 提出信息流通、专业培训和设计标准优化是降低进度滞后影响的关键措施。

基于此, 本文结合工程实际和相关文献, 分析归纳出装配式住宅项目各阶段的风险因素, 构建基于 AHP—模糊综合评价法的风险评价模型, 通过对各因素权重的分析, 得出影响装配式住宅项目实施的重要风险因素。据此, 有针对性地提出应对措施, 助力装配式住宅项目发展。

1 装配式住宅项目各阶段风险因素

结合装配式住宅项目开发建设的周期和相关文献研究, 将装配式住宅项目划分为从项目决策立项、设计、生产运输、现场施工 4 个阶段, 识别出各阶段对应的风险因素共 22 个。

决策立项阶段风险包括装配式相关政策变化、法律法规变化、成本目标准确性、可行性研究准确性、项目融资风险。

设计阶段风险包括装配式设计人员专业程度、设计单位水平、项目前期设计目标不明确、装配式设计方案实操性、预制构件深化设计协同作业。

生产运输阶段风险包括构件厂产能、构件运输能力、工厂管理水平、构件成品质量、生产人员专业程度、构件生产工艺水平。

施工阶段风险包括人员素质与水平、装配式施工隐形成本增加、监理单位的监督管理水平、施工组织合理性、现场沟通协调能力、装配式施工技术风险。

作者简介: 王凯川(1995—), 男, 硕士研究生, 中级工程师, 研究方向为装配式建设工程管理。

通讯作者: 邱菁华(1995—), 女, 硕士研究生, 研究方向为农业工程技术管理、建筑工程管理。

2 基于 AHP—模糊综合评价法风险评价模型构建

2.1 构建装配式住宅项目风险因素评价指标体系

根据项目开发建设管理的实际情况分为以下三个层次: 目标层 A 为装配式住宅项目的整体目标; 准则层 B 为影响整体目标风险因素的分解; 指标层 C 代表着评估准则层指标的具体风险因素, 属于最低层, 如表 1 所示。

表 1 装配式住宅项目风险管理影响因素评价指标体系

目标层	准则层	指标层
某装配式住宅项目风险管理影响因素 A	决策立项 风险 B1	装配式相关政策变化 C1
		法律规范变化 C2
		成本目标准确性 C3
		可行性研究准确性 C4
		项目融资风险 C5
	设计管理 风险 B2	装配式设计人员专业程度 C6
		设计单位资质、水平 C7
		项目前期设计目标不明确 C8
		装配式设计方案实操性 C9
		预制构件深化设计协同作业 C10
	生产运输 风险 B3	构件厂产能 C11
		构件运输能力 C12
		工厂管理水平 C13
		构件成品质量 C14
		生产人员专业程度 C15
		构件生产工艺水平 C16
	施工管理 风险 B4	管理人员、工人素质与水平 C17
		装配式施工隐形成本增加 C18
		监理单位的监督管理水平 C19
		施工组织合理性 C20
		现场沟通协调能力 C21
		装配式施工技术风险 C22

2.2 AHP 装配式住宅项目风险因素权重计算

采用 AHP 对各层次风险因素进行权重确定。通过两组因素的比较来确定每个风险因素的相对重要性。邀请了本领域 20 位专家, 分别对表 1 构建的层次分析结构中准则层 B 以及指标层 C 的重要程度进行打分, 对打分结果进行了相应的归纳整理与明显矛盾的修正, 得到对应的判别矩阵 (见表 2)。

表 2 准则层的判断矩阵及单层次权重表

指标项	B1	B2	B3	B4
B1	1	1/4	1/3	1/2
B2	4	1	2	4
B3	3	1/2	1	4
B4	2	1/4	1/4	1

首先计算出 A-B 判断矩阵最大特征值 $\lambda=4.135$ 。再进行一致性检验, 一致性指标计算如下:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4.135 - 4}{4 - 1} = 0.044$$

4 阶矩阵的平均随机一致性指标为 0.89。

随机一致性比率计算如下:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.044}{0.89} = 0.050 < 0.10$$

由于小于 0.1, 可以认为判断矩阵的构造是合理的, 因此我们计算出的 A-B 指标权重见表 3。

表 3 A-B 准则层权重表

指标层	特征向量	权重值
B1	0.371	0.0927
B2	1.879	0.4698
B3	1.250	0.3125
B4	0.500	0.1250

对各指标层风险因素 B-C 的权重进行计算, 按照上述步骤依次进行计算及一致性检验, 根据相关风险因素权重计算结果, 对装配式住宅项目的风险指标及权重进行汇总, 见表 4。

表 4 风险评价指标体系及权重

权重	准则层	权重	指标层
0.0927	决策立项 风险 B1	0.1862	装配式相关政策变化 C1
		0.0773	法律规范变化 C2
		0.0946	成本目标准确性 C3
		0.2417	可行性研究准确性 C4
		0.4002	项目融资风险 C5
0.4698	设计管理 风险 B2	0.0950	装配式设计人员专业程度 C6
		0.1272	设计单位资质、水平 C7
		0.1823	项目前期设计目标不明确 C8
		0.2580	装配式设计方案实操性 C9
		0.3375	预制构件深化设计协同作业 C10
		0.3125	生产运输 风险 B3
0.0732	构件运输能力 C12		
0.0752	工厂管理水平 C13		
0.3140	构件成品质量 C14		
0.1826	生产人员专业程度 C15		
0.1957	构件生产工艺水平 C16		
0.1250	施工管理 风险 B4	0.3478	管理人员、工人素质与水平 C17
		0.0965	装配式施工隐形成本增加 C18
		0.1190	监理单位的监督管理水平 C19
		0.0931	施工组织合理性 C20
		0.1795	现场沟通协调能力 C21
		0.1641	装配式施工技术风险 C22

2.3 基于模糊综合评价法的风险评价模型

为了解决在风险评价中不能量化的问题, 本文使用了基于模糊综合评价的方法进行风险因素评价。模糊综合评价是基于模糊数学的计算规则, 将一些难以量化的问题量化, 从而得出定量的评价结论。利用模糊评价方法对工程项目进行风险评价, 可以更好地反映工程实际, 从而得出定量的评价结论。本文对模糊综合评价的具体分析过程如下:

2.3.1 确定评价指标

因素论域中可以设定 n 个评价指标, $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 本文通过上述分析已确定了评价指标。

2.3.2 确定评语等级

设 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_p\}$, 每一个等级可对应一个模糊子集, 在本文的综合评价中, 对于每一个指标设定五个级别评语, 即 $V=$ 即等级集合。{ 风险高, 风险较高, 风险中等, 风险较低, 风险低 }, 并且等级对应赋值为 $V=\{100\ 80\ 60\ 40\ 20\}$ 。100 表示风险高, 80 表示风险较高, 60 表示风险中等, 40 表示风险较低, 20 表示风险低。

2.3.3 确定模糊评价矩阵

在构造了模糊子集后, 要逐个对被评事物从每个因素 $u_i(i=1, 2, \dots, n)$ 进行评价, 从单因素来看风险对等级模糊子集的隶属度 $(R|u_i)$, 进而得到模糊关系矩阵, 如下:

$$R = \begin{bmatrix} R | u_1 \\ R | u_2 \\ \dots \\ R | u_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{p1} & r_{p2} & \dots & r_{pm} \end{bmatrix}$$

其中, 第 i 行第 j 列元素 r_{ij} , 表示某个被评事物 u_i 对 v_j 等级模糊子集的隶属度。

2.3.4 确定评价因素的权重向量

在模糊综合评价中, 确定评价因素的权重向量: $W=(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 。本文已利用层次分析法确定了权重。

2.3.5 合成模糊综合评价结果向量

将权重向量 W 与各风险因素的隶属度矩阵 R 进行合成, 得到各风险的模糊综合评价向量 B :

$$B = W * R = (a_1, a_2, \dots, a_n) \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{p1} & r_{p2} & \dots & r_{pm} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_m)$$

其中, b_i 表示对 v_j 层次等级模糊子集的隶属程度。

2.3.6 确定拟评价对象风险等级

模糊评价的结果是一个评价向量 B 表示的是评价对象在各个评级等级的隶属度的显示, 再将构造的评语赋值的子集 V 与得到的评价向量 B 合成, 可以得到一个分数作为量化的结果^[8]。

$$F = V * B^T = [100\ 80\ 60\ 40\ 20] * (b_1, b_2, \dots, b_m)^T$$

可以得出整体项目风险的综合评分, 在模糊综合评价中, 需对结果向量进行解析以确定项目风险等级。计算得到评价向量后, 可得出各等级的综合隶属度, 遵循最大隶属度原则, 将隶属度最高的评语作为风险评价的最终等级^[8]。

3 装配式住宅项目风险因素应对措施

项目风险较高的有 B2 设计管理风险权重为 0.4698, 该类型风险中的深化设计协同作业、设计方案实操性占比超过 0.5; 其次是 B3 生产运输风险权重占比 0.3125, 该类型风险中构件生产工艺水平与构件成品质量占比超过 0.5。

由此可知, 该项目阶段风险最大的为设计管理风险, 其次是生产运输风险; 其中风险权重占比依次为深化设计协同作业 > 设计方案实操性 > 构件成品质量 > 构件生产工艺水平。据此研究提出部分应对措施以供参考。

设计管理阶段风险应对措施。BIM 技术在建筑设计中的运用, 可以提前解决图纸问题, 有效地降低了工程设计中的变化。同时, 还可以实现跨部门、跨区域的设计成果交流, 并对问题进行探讨, 进行设计评审, 将 BIM 正向设计更有效地运用于建筑设计中。在设计过程中, 建立多环节的设计风险审查制度, 可以有效地减少设计中的风险。要充分考虑建筑设计、施工、生产、运输等各方面的综合效益, 发挥其最大作用。应用 BIM 技术建立构件产品库, 在强化构件标准化的基础上, 可以提高构件的分解效率和精度, 解决构件数量多、管理困难等问题。通过 BIM 建模可视化的方法, 可以实现对建筑工程中的困难进行虚拟建模, 从而减少因设计变更而产生的二次设计, 从而降低工程造价。

生产运输阶段应对措施。预制构件要有原材料的质量检验报告, 在预制构件制造过程中, 应对预埋钢筋的数量规格、尺寸精度、捆扎牢固度及保护层设置实施严格的质量检测, 并保存完整的图像记录。预制构件的运输与堆放作业必须严格符合技术规范要求。对于叠合板、楼梯段及预制梁等水平构件, 应当采取平放方式堆放, 且叠放层数严禁超过五层。针对施工过程中出现的质量问题, 定期对装配式建筑工人进行专项技术培训, 突出质量控制要点、重点施工工艺, 注重技术交底, 对重点施工工序进行多次交底。构件厂应设置合理的组织架构, 设立相应的管理指标, 进行绩效考核, 同时建立对应的生产线管理制度, 建立合理的奖惩制度, 保证构件生产质量, 提高管理水平。

4 结论

本文研究了装配式建筑, 选取近年来的国内外相

关文献,采用文献分析法对装配式住宅项目的风险因素进行初步识别分类;之后邀请高校专家及相关知名企业的管理专家,利用问卷调查的方式对风险因素进行进一步的分析、归纳和调整。

根据专家意见,对风险因素类别、内容整理合并后,得出决策立项、设计管理、构件生产运输、施工管理四个阶段的风险,共计 22 个风险因素。其次,采用 AHP 方法对风险因素的权重进行拆分,并检查风险因素的一致性,确保风险因素的权重合适,装配式住宅项目各阶段风险因素权重为设计管理阶段风险>生产运输阶段风险>施工管理阶段风险>决策立项阶段风险。最后,采用模糊综合评价法对风险因素进行量化,最终形成装配式住宅项目风险评估体系。

针对装配式住宅项目的设计管理和生产运输风险提出应对措施,为我国房地产相关企业在装配式住房建设中的风险管理提供参考。

参考文献:

[1] 张兵,刘芳,查晓庭.装配式建筑质量风险评价:基

于 ISM-ANP 灰色聚类模型[J].建筑经济,2023,44(增刊 2):101-107.

[2] 李静文,张哨军,周湛林.基于贝叶斯网络的装配式建筑安全风险研究[J].建筑经济,2023,44(增刊 2):597-601.

[3] 常晋荣,闫林君.装配式住宅建设周期内质量风险评估研究[J].兰州交通大学学报,2022,41(4):18-25.

[4] 李晓娟.装配式建筑施工质量风险评估研究[J].工程管理学报,2020,34(6):107-112.

[5] 王幼松,孟巖,闫辉,等.装配式住宅设计施工阶段经济效益分析[J].工程管理学报,2018,32(2):18-23.

[6] 彭军龙,周静.基于 ISM-BN 的装配式建筑隐性成本分析[J].土木工程与管理学报,2021,38(1):37-43+85.

[7] 易红雨.基于 SNA 的装配式住宅项目进度风险研究[D].成都:西华大学,2019.

[8] 穆飙.商业综合体项目建设风险管理研究:基于房地产企业视角[D].重庆:重庆大学,2020.