

基于 AHP-模糊综合评价法的建筑施工风险评估研究

吴明月

河南理工大学, 河南 焦作 454003

摘要: 随着建筑行业的快速发展, 施工过程中的风险因素日趋复杂, 传统的经验判断方法已难以满足科学风险管理的需求。本文构建了基于层次分析法 (AHP) 与模糊综合评价法相结合的建筑施工风险评估模型, 以某住宅小区工程项目为例进行实证分析。研究采用德尔菲法识别出人员、设备材料、管理、技术、环境 5 大类共 19 项风险因素, 运用 AHP 确定各风险因素权重, 通过模糊综合评价法进行风险等级量化评估。结果表明: 项目整体风险等级为“一般” (评分 0.5064), 其中人员风险权重最高 (0.2402), 施工人员安全意识薄弱、安全管理体系不完善等为关键风险因素。该模型为建筑企业提供了科学的风险管理决策工具, 具有良好的实用性和推广价值。

关键词: 建筑施工; 风险评估; 层次分析法; 模糊综合评价; 风险管控

DOI:10.63887/jeti.2025.1.3.29

引言

建筑施工作为高风险行业, 其安全事故频发给企业和社会带来巨大损失。据统计, 我国建筑业安全事故死亡人数占全部工业事故死亡人数的 50% 以上^[1]。随着建筑工程规模不断扩大、技术复杂程度日益提高, 施工过程中面临的危险因素呈现多样化、复杂化特征, 传统的经验判断和定性分析方法已难以满足现代风险管理的精细化要求^[2-3]。

目前, 国内外学者在建筑施工风险评估方面开展了大量研究。Keshk 等运用定性风险分析方法识别建筑项目施工风险, 强调系统性风险评估的重要性^[4]。国内研究中, 陈钢针对装配式建筑提出基于项目特性的风险识别方法^[5], 马成燕构建了超高层建筑模架支撑体系安全风险评价指标体系^[6]。然而, 现有研究多侧重于单一方法应用, 缺乏定性定量相结合的综合评估模型。

层次分析法 (AHP) 作为一种系统性决策分析方法, 能够有效处理多准则决策问题, 但

在处理模糊性和不确定性方面存在局限性^[7]。

模糊综合评价法能够较好地处理评价过程中的模糊信息, 但权重确定主观性较强^[8]。将两种方法有机结合, 可以充分发挥各自优势, 提高评估结果的科学性和准确性。

本文以某住宅小区工程项目为研究对象, 构建 AHP-模糊综合评价相结合的建筑施工风险评估模型, 旨在为建筑企业提供科学的风险管理工具, 提高施工安全管理水平。

1 研究方法

1.1 风险识别方法

采用德尔菲法进行风险因素识别。选择 10 名相关领域专家, 包括项目经理、技术负责人、安全总监、高校教授等, 通过 3 轮问卷调查达成专家共识。同时结合实地调研, 深入了解施工现场具体风险情况, 确保风险识别的全面性和准确性。

1.2 AHP-模糊综合评价模型

1.2.1 层次分析法

建立三层递阶层次结构：目标层为建筑施工风险评估，准则层为各类风险因素，指标层为具体风险因子。通过构造判断矩阵，采用1-9标度法进行两两比较，计算各指标权重。判断矩阵一致性检验采用一致性比率CR，当 $CR < 0.1$ 时认为判断矩阵具有满意的一致性^[9]。

权重计算步骤如下：

- ①构造判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$
- ②计算判断矩阵最大特征值 $\lambda_{\max}$ 及对应特征向量
- ③进行一致性检验： $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$ ， $CR=CI/RI$
- ④计算各层次权重并进行总排序

1.2.2 模糊综合评价法

设定评语集 $V=\{\text{高风险, 较高风险, 一般风险, 较低风险, 低风险}\}$ ，对应评分值 $\{0.9, 0.7, 0.5, 0.3, 0.1\}$ 。通过专家打分确定各风险因素对不同风险等级的隶属度，构建模糊关系矩阵 $R=(r_{ij})_{m \times n}$ 。

综合评价计算公式为： $B = W \circ R$

其中， W 为权重向量， $\circ$ 为模糊合成算子，采用加权平均型算子。最终风险评分 $Q=V \times BT$ ，根据评分值确定风险等级^[10]。

2 实证分析

2.1 案例项目概况

以 ZJ 建筑公司承建的某住宅小区项目为研究对象^[11]。该项目位于河南省，总投资 1.5 亿元，建筑面积 15 万平方米，包括 6 栋高层住宅楼和 10 栋小高层洋房，总户数 1052 户。项目于 2021 年 6 月开工，计划 2024 年 12 月竣工^[12]。该项目具有建筑类型多样、施工工艺复杂、工期要求紧等特点，为风险评估研究提供了典型样本^[13]。

2.2 风险因素识别

通过德尔菲法专家调查和实地调研，识别出建筑施工过程中的主要风险因素，构建风险评估指标体系如表1所示^[14-15]。

表1 建筑施工风险评估指标体系

一级指标	二级指标编号	二级指标
人员风险 (P1)	P11	施工人员安全意识薄弱
	P12	施工人员操作技术水平欠缺
	P13	施工人员未正确使用个人防护用具
	P14	缺乏足够的安全教育和培训
设备材料风险 (P2)	P21	构件进入施工现场质量不一
	P22	未及时进行设备维护保养
	P23	未合理选择机械设备
	P24	施工现场材料堆码不规范
管理风险 (P3)	P31	安全管理体系不完善
	P32	管理人员素质参差不齐
	P33	质量管理不到位
	P34	材料管理不到位
技术风险 (P4)	P41	施工技术方案设计不合理
	P42	机械设备操作不当
	P43	构件安装精度控制不合格
	P44	施工前技术交底不充分
环境风险 (P5)	P51	气候环境恶劣
	P52	施工作业环境差
	P53	施工现场防护措施不到位

2.3 权重计算与风险评估

2.3.1 AHP 权重计算

邀请 10 名专家对各风险因素进行两两比

较打分，构建判断矩阵并进行一致性检验。准则层判断矩阵一致性比率 $CR=0.0012 < 0.1$ ，各指标层判断矩阵 CR 值均小于 0.1，满足一致

性要求。

表 2 风险指标权重计算结果

一级指标	一级权重	二级指标	二级权重	组合权重	排序
人员风险	0.2402	施工人员安全意识薄弱	0.3338	0.0802	1
		施工人员操作技术水平欠缺	0.3145	0.0755	3
		未正确使用个人防护用具	0.2078	0.0499	11
		缺乏安全教育和培训	0.1440	0.0346	17
设备材料风险	0.2197	构件质量不一	0.2962	0.0651	5
		设备维护保养不及时	0.1948	0.0428	13
		机械设备选择不合理	0.2338	0.0514	10
		材料堆码不规范	0.2751	0.0604	6
管理风险	0.2008	安全管理体系不完善	0.3768	0.0757	2
		管理人员素质参差不齐	0.1618	0.0325	18
		质量管理不到位	0.2647	0.0532	8
		材料管理不到位	0.1967	0.0395	15
技术风险	0.1817	施工技术方案不合理	0.1961	0.0356	16
		机械设备操作不当	0.2653	0.0482	12
		构件安装精度不合格	0.3050	0.0554	7
		技术交底不充分	0.2336	0.0424	14
环境风险	0.1576	气候环境恶劣	0.1954	0.0308	19
		施工作业环境差	0.4738	0.0747	4
		防护措施不到位	0.3308	0.0521	9

2.3.2 模糊综合评价

建目标层评价矩阵：

通过专家问卷调查，获得各风险因素的风险等级评价数据，建立隶属度矩阵。以人员风险为例，其模糊关系矩阵为：

$$E = \begin{bmatrix} 0.1190 & 0.2457 & 0.4920 & 0.1326 \\ 0.0387 & 0.1518 & 0.3214 & 0.3571 & 0.1295 & 0.0402 \\ 0.1607 & 0.3348 & 0.3571 & 0.1205 & 0.0268 & 0.1518 \\ 0.3036 & 0.4018 & 0.1116 & 0.0313 & 0.0036 & 0.0134 \\ 0.0804 & 0.2143 & 0.4196 & 0.2768 & 0.0804 & 0.0089 \\ 0.0625 & 0.0893 & 0.5268 & 0.2500 & 0.0714 & 0.0446 \\ 0.0804 & 0.6696 & 0.1071 & 0.0982 \end{bmatrix}$$

$$E_1 = \begin{bmatrix} 0.0804 & 0.1071 & 0.5804 & 0.1518 \\ 0.0804 & 0.2143 & 0.4196 & 0.2768 & 0.0804 & 0.0089 \\ 0.0625 & 0.0893 & 0.5268 & 0.2500 & 0.0714 & 0.0446 \\ 0.0804 & 0.6696 & 0.1071 & 0.0982 \end{bmatrix}$$

最终综合评价结果： $F = W \times E = [0.1190 \ 0.2457 \ 0.2920 \ 0.2150 \ 0.1283]$

进行模糊合成运算： $F_1 = W_1 \times E_1$
 $= [0.1190 \ 0.2457 \ 0.4920 \ 0.1326 \ 0.0387]$
类似地计算其他风险类别的评价结果，构

综合风险得分： $Q = 0.1190 \times 0.9 + 0.2457 \times 0.7 + 0.2920 \times 0.5 + 0.2150 \times 0.3 + 0.1283 \times 0.1 = 0.5064$

表3 ZJ建筑公司工程施工项目施工风险隶属表

一级指标	二级指标	高风险	较高风险	中等风险	较低风险	低风险
人员风险	施工人员的安全意识	0.0804	0.1071	0.5804	0.1518	0.0804
	施工人员的操作技术	0.2143	0.4196	0.2768	0.0804	0.0089
	施工人员正确使用个人防护用具	0.0625	0.0893	0.5268	0.2500	0.0714
	安全教育和培训	0.0446	0.0804	0.6696	0.1071	0.0982
材料及设备风	构件进入施工现场质量	0.2054	0.5179	0.1696	0.0804	0.0268

险	机械设备维护保养	0.0714	0.1250	0.5089	0.2054	0.0893
	机械设备的选择	0.2589	0.4821	0.1786	0.0804	0.0000
	施工现场材料堆码	0.0000	0.0357	0.0804	0.5089	0.3750
管理风险	安全管理体系	0.1786	0.4018	0.3214	0.0804	0.0179
	管理人员素质	0.0089	0.0446	0.1071	0.4375	0.4018
	质量管理	0.1786	0.3750	0.3482	0.0893	0.0089
	材料管理	0.2500	0.5089	0.1786	0.0625	0.0000
技术风险	施工技术方案设计	0.0982	0.2143	0.3482	0.2411	0.0982
	机械设备操作	0.2143	0.4464	0.3304	0.0089	0.0000
	构件安装精度控制	0.1964	0.4018	0.2679	0.1071	0.0268
	施工前技术交底	0.0804	0.1339	0.4375	0.1964	0.1518
环境风险	气候环境	0.0000	0.0179	0.0625	0.5000	0.4196
	施工作业环境	0.0089	0.0357	0.1071	0.4464	0.4018
	施工现场防护措施	0.0000	0.0000	0.0625	0.6161	0.3214

2.4 管控策略

基于风险评估结果，提出分级管控策略。

对于权重排名前 5 位的高风险因素，实施重点管控措施。针对施工人员安全意识薄弱问题，建立公司级、项目级、班组级三级安全教育体系，实施安全积分制管理，将安全表现与个人绩效挂钩。对于安全管理体系不完善的问题，制定标准化安全管理制度，明确各级人员安全责任，建立安全责任追溯机制。针对施工人员操作技术水平欠缺，加强专业技能培训，严格实行特种作业人员持证上岗制度，定期开展技能考核。

对于权重排名 6 至 12 位的中等风险因素，采取定期检查监控措施。在构件质量管控方面，建立供应商准入和退出机制，制定严格的材料验收标准，对不合格供应商实行黑名单管理。针对材料堆码不规范问题，制定现场材料管理标准，明确不同材料的堆放要求，安排专

人定期巡查整改。

对于其他低优先级风险因素，采用日常巡检方式进行管控。通过建立常态化的安全检查机制，及时发现并处理潜在安全隐患，确保各类风险因素始终处于可控状态。

结束语

本文构建了基于 AHP-模糊综合评价法的建筑施工风险评估模型，并通过实证分析验证了模型的有效性。主要结论如下：

（1）成功识别出人员、设备材料、管理、技术、环境 5 大类共 19 项建筑施工风险因素，构建了较为完整的风险评估指标体系。其中，人员风险权重最高（0.2402），是影响施工安全的首要因素。

（2）建立的 AHP-模糊综合评价模型能够有效处理风险评估中的不确定性和模糊性问题，实现了定性判断与定量计算的有机结合。案例项目风险评分为 0.5064，属于“一般风

险”等级，但需重点关注施工人员安全意识、安全管理体系等关键风险因素。

(3) 基于风险权重和评估结果，提出了分级管控策略，为建筑企业制定针对性的风险管理措施提供了科学依据，具有良好的实用性和可操作性。

本研究为建筑施工风险管理提供了新的方法和工具，但仍存在一定局限性。未来研究可扩大样本范围，结合大数据、人工智能等技术进一步优化评估模型，提高风险管理的智能化水平。

参考文献

- [1] Keshk A M, Maarouf I, Annany Y. Special studies in management of construction project risks, risk concept, plan building, risk quantitative and qualitative analysis, risk response strategies[J]. Alexandria Engineering Journal, 2018, 57(4): 3179-3187.
- [2] Zhang Z, Huang M, Wu B. Risk analysis and control factors based on excavation of a large underground subway station under construction[J]. Symmetry, 2020, 12(10): 162-165.
- [3] Krechowiec M. Effective Risk Management in Innovative Projects: A Case Study of the Construction of Energy-efficient, Sustainable Building of the Laboratory of Intelligent Building in Cracow[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, 245-247.
- [4] Sudarsana D K. Development of an integrated cost, time, quality and safety risk analysis tool in a construction project[J]. International Journal of Comadem, 2023, 26(3): 3-8.
- [5] 陈钢. 装配式建筑施工阶段安全风险因素识别方法选择研究[J]. 商品与质量, 2021(4): 209.
- [6] 代霞, 周兆银, 张婷, 等. 装配式建筑施工阶段安全风险因素识别方法选择研究[J]. 重庆建筑, 2020, 19(08): 20-22.
- [7] 田蓓. 深基坑工程施工安全风险因素识别与关系分析[D]. 南昌: 南昌大学, 2020.
- [8] 郭瑞华. 基于 BIM 平台的高层建筑施工阶段风险管理应用研究[D]. 西安: 长安大学, 2023.
- [9] 何灼辉. 建筑施工现场安全事故风险因素与防控[J]. 四川水泥, 2019(1): 1-10.
- [10] 马成燕. 超高层建筑复杂模架支撑体系施工安全风险指标体系构建及评价研究[J]. 项目管理技术, 2024, 22(1): 122-126.
- [11] 盖泳伶, 郑如意, 马超, 等. 营房施工安全风险评价指标体系构建[J]. 项目管理技术, 2022, 4(7): 116-119.
- [12] 何叶荣, 聂冰琪. 基于 SEM 的装配式建筑施工安全风险评价[J]. 徐州工程学院学报(自然科学版), 2024, 39(1): 1-9.
- [13] 于治成, 陆红梅, 吴松, 等. 基于改进可拓云模型的装配式建筑施工安全风险评价方法[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2024, 42(4): 449-456.
- [14] 许莉莉. 基于指标体系法的边坡施工安全风险评估[J]. 山西建筑, 2020, 46(16): 186-188.
- [15] 邵志超, 徐瑾. 基于 BIM 可视化技术的建筑施工风险分级管控研究[J/OL]. 天津理工大学学报, 1-6[2025-04-02].