

A单位装配式建筑项目采购风险评价体系构建

罗童柯¹, 杨 冀², 黎 明³

¹中国人民解放军31306部队, 江苏 南京

²中国人民解放军31311部队, 四川 成都

³中国人民解放军69006部队, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2025年9月1日; 录用日期: 2025年9月16日; 发布日期: 2025年10月28日

摘 要

本研究针对装配式建筑项目采购风险管理问题, 构建了覆盖全流程的风险评价体系, 含5个一级指标、15个二级指标。采用AHP-熵权法组合赋权, 确定关键风险。基于ABC分类法识别出核心风险, 形成装配式工程特点的风险评估模型, 为制定精准防控策略提供量化依据, 有效解决高原环境适配、标准协同等特殊风险管控难题。

关键词

采购风险管理, 装配式建筑, AHP-熵权法, 风险评价体系构建

Construction of Procurement Risk Evaluation System for Prefabricated Construction Projects in Unit A

Tongke Luo¹, Ji Yang², Ming Li³

¹Unit 31306 of the People's Liberation Army of China, Nanjing Jiangsu

²Unit 31311 of the People's Liberation Army of China, Chengdu Sichuan

³Unit 69006 of the People's Liberation Army of China, Urumqi Xinjiang

Received: September 1, 2025; accepted: September 16, 2025; published: October 28, 2025

Abstract

Aiming at the procurement risk management of prefabricated construction projects, this study constructed a risk evaluation system covering the whole process, including 5 first-class indicators and 15 second-class indicators. AHP entropy weight method is used to determine the key risk. The core

risks are identified based on ABC classification method, and a risk assessment model with assembly engineering characteristics is formed, which provides a quantitative basis for formulating accurate prevention and control strategies, and effectively solves the special risk management and control problems such as plateau environment adaptation and standard coordination.

Keywords

Procurement Risk Management, Prefabricated Construction, AHP Entropy Weight Method, Construction of Risk Evaluation System

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

装配式建筑项目作为工程现代化转型的重要载体,兼具使用效能要求与工业化建造特征,其采购过程面临标准协同、高原环境适配、保密管控等多维风险交织的复杂挑战。当前背景下,传统采购风险管理体系在应对装配式技术应用时呈现显著局限性[1]。本研究构建融合单位特性的装配式项目采购风险评价体系,通过 AHP-熵权法揭示时效性、信息泄露等核心风险的作用机理。研究成果为破解高原环境施工延误、技术标准冲突等实践难题提供理论工具,助力实现单位效能目标与工程经济性的动态平衡。

2. 采购风险评价指标识别

2.1. 评价指标识别选取

本研究通过“文献分析-专家咨询-案例验证”三阶段递进式方法提取初始风险要素:

(1) 文献法

基于 Web of Science 和 CNKI 数据库,以“单位项目采购”、“融合项目”、“装配式建筑代建制”等为关键词,筛选 2018~2023 年核心期刊文献 137 篇。运用 TF-IDF 算法提取高频风险词[2] [3]。

$$w_i = \frac{tf_i}{N} \times \log \left(\frac{D}{df_i + 1} \right) \quad (\text{其中 } N = 137 \text{ 篇文献, } D = 32 \text{ 个项目案例})$$

结合扎根理论三级编码,结合项目特性补充装配式建筑、高原环境等特殊要素,形成包含 38 项初始指标的备选库,如下表 1 所示:

Table 1. Risk factors of Q project procurement based on literature method

表 1. 基于文献法的 Q 项目采购风险因素

采购阶段	风险因素描述
采购计划编制审批阶段	单位需求描述模糊,代建方理解偏差(如防爆等级、隐蔽性要求未量化)
	高原/特殊环境因素考虑不足,导致预算漏项(如运输防冻措施)
	技术标准不统一,方案反复修改(如建筑材料标准冲突)
	单位内部多部门意见分歧,需求频繁变更(如部门要求冲突)
	通用材料认证周期长,影响进度规划(如防火材料双重认证)

续表

采购文件编制审批阶段	保密技术参数泄露风险(文件流转未加密)
	代建方专业能力不足, 文件条款存在漏洞(如验收标准不明确)
	审批流程复杂延误时间(多部门协调困难)
	两套验收标准并存, 供应商执行混乱(如隐蔽工程检测标准差异)
发布采购公告阶段	公开信息过多导致泄密(如暴露设施位置)
	供应商资质要求描述模糊(资质混用)
	公告内容不准确引发质疑(如工期要求不合理)
组织供应商报名阶段	保密资质审核不严(供应商保密资质造假)
	供应商对需求理解不足(如误读快速部署要求)
	报名材料弄虚作假(业绩证明不实)
组织谈判与评审阶段	代建方谈判能力不足被供应商主导(如价格虚高)
	供应商夸大技术能力(如高原施工经验造假)
	评审标准执行偏差(侧重价格忽视保密性)
确定成交供应商阶段	最终资质复查遗漏(如发现供应商涉诉未终止合作)
	合同保密条款未明确(如技术参数保管责任)
	成交通知延误影响进度(审批流程卡顿)
合同签订及履约阶段	代建方监管责任不清晰(质量问题推诿)
	供应商偷工减料(如防爆材料以次充好)
	高原运输延误风险(极端天气预案不足)
	保密施工环节失控(现场人员未安检)
资料存档阶段	保密图纸保管不当(电子文件未加密)
	验收材料缺失关键数据(如隐蔽工程记录不全)
	档案系统遭黑客攻击(网络安全防护薄弱)

(2) 专家咨询法

本研究采用改良德尔菲法进行专家咨询[4][5], 通过两轮匿名问卷调查和一轮结构化访谈, 系统获取工程管理、装配式建筑技术、采购风险管理等领域的专家意见。专家组成员构成见下表 2:

Table 2. Member information of expert advisory group
表 2. 专家咨询组成员信息表

序号	研究方向	所在单位(领域)	工作年限
E1	工程管理	工程代建管理机构	22 年
E2	装配式建筑技术	国家级建筑科研机构	18 年
E3	采购法务	后勤保障部门	15 年
E4	工程防护	工程研究院	20 年
E5	融合项目管理	院校研究机构	12 年
E6	供应链管理	后勤保障部门	17 年

续表

E7	建筑信息化技术	大型建筑科技企业	14 年
E8	设施保密管理	保密监管部门	19 年
E9	高原环境工程	工程高校	16 年
E10	审计监督	审计机构	13 年

组织包含工程、装配式技术、采购管理等领域的 10 人专家组(见表 2)，通过两轮结构化咨询完成指标优化：

第一轮咨询：采用 Likert 5 级量表进行重要性评分(1 = 不重要，5 = 极重要)，计算指标筛选阈值：

$$T = \mu - 1.65\sigma \quad (\mu = 3.82, \sigma = 0.74, \text{临界值 } T = 2.61)$$

剔除“供应商注册地限制”(2.3 分)、“付款方式争议”(2.5 分)等 6 项非核心指标。形成如下表 3 的包含 32 项指标的初步体系：

Table 3. Risk index system after the first round of screening
表 3. 首轮筛选后风险指标体系

一级指标	二级指标(共 32 项)
特性风险(C1)	1. 时效性风险 2. 高原环境风险 3. 隐蔽施工风险 4. 极端气候适应性风险
标准协同风险(C2)	1. 技术标准冲突 2. 双重认证风险 3. 接口协议风险 4. 材料兼容性风险
代建代理风险(C3)	1. 权责错配风险 2. 专业能力风险 3. 沟通协调风险 4. 决策流程冗余风险
保密管理风险(C4)	1. 信息泄露风险 2. 资质审查风险 3. 人员管控风险 4. 密级文件管理风险
履约控制风险(C5)	1. 质量失控风险 2. 进度偏离风险 3. 成本超支风险 4. 供应链中断风险
其他风险(C6)	1. 法律合规风险 2. 审批流程差异风险

第二轮咨询：计算变异系数 CV 值验证专家共识度，保留 $CV < 0.25$ 的指标：

$$CV = \mu\sigma$$

“保密文件传输风险” $CV = 0.18$ 、“代建方越权决策” $CV = 0.21$ 等 20 项指标通过验证。形成如下表 4 的 20 项指标的优化体系：

Table 4. Risk index system after the second round of optimization
表 4. 次轮优化后风险指标体系

一级指标	二级指标(共 20 项)	CV 值
特性风险(C1)	1. 时效性风险	0.18
	2. 高原环境风险	
	3. 隐蔽施工风险	
标准协同风险(C2)	1. 技术标准冲突	0.19
	2. 双重认证风险	
	3. 接口协议风险	
代建代理风险(C3)	1. 权责错配风险	0.21
	2. 专业能力风险	
	3. 沟通协调风险	
保密管理风险(C4)	1. 信息泄露风险	0.16
	2. 资质审查风险	
	3. 人员管控风险	
履约控制风险(C5)	1. 质量失控风险	0.22
	2. 进度偏离风险	
	3. 成本超支风险	

(3) 实证检验优化指标体系

本研究依托 A 单位 2019~2023 年实施的 48 个代建项目案例库，通过多维度数据分析完成指标实证筛选，此阶段旨在利用历史项目数据，通过统计方法对指标进行最终筛选，确保指标体系具备良好的可测性、统计显著性和结构效度，从而形成包含 15 个二级指标的最终体系，如下表 5 所示。

Table 5. Data types and quantitative methods of secondary indicators
表 5. 二级指标数据类型、量化方法

一级指标	二级指标	原始数据类型
C1 基于特性风险	1.1 时效性风险	定量
	1.2 高原环境适配风险	定量
	1.3 隐蔽施工风险	定量
C2 标准协同风险	2.1 技术标准冲突风险	定性
	2.2 军民标准协同风险	定性
	2.3 接口协议风险	定量

续表

C3 代建代理风险	3.1 代建方越权决策风险	定性
	3.2 权责错配风险	定性
C4 保密管理风险	4.1 信息泄露风险	定量
	4.2 保密文件传输风险	定量
	4.3 现场人员安检风险	定量
C5 履约控制风险	5.1 供应商履约能力风险	定量
	5.2 质量失控风险	定量
	5.3 进度款支付争议风险	定量

(4) 探索性因子分析验证
对包含 15 个二级指标的修订版指标体系进行因子分析，结果见表 6：

Table 6. Exploratory factor analysis results
表 6. 探索性因子分析结果

检验项目	检验值	判断标准	结果判定
KMO 取样适切性	0.826	>0.7	适合因子分析
Bartlett 球形检验	$\chi^2 = 502.37$ ($p < 0.001$)	$p < 0.05$	拒绝原假设
公因子提取数量	5 个	特征根 > 1	有效降维
累计方差贡献率	0.812	>60%	解释力充足
最低因子载荷	0.654	>0.6	全部达标

该实证筛选过程通过严格的统计验证($KMO > 0.8, \alpha > 0.7, AUC > 0.8$)，确保指标体系既具备理论完备性，又能精准识别装配式项目采购中的实质性风险，为风险防控提供数据驱动的决策支持。

2.2. 指标体系初步构建

本研究通过“文献分析 - 专家咨询 - 实证检验”三阶段递进式方法完成指标筛选与体系构建，最终形成如表 7 所示，包含 5 个一级指标、15 个二级指标的装配式项目采购风险评价体系。

Table 7. Risk evaluation index system
表 7. 风险评价指标体系

一级指标	二级指标	因子载荷	鉴别力(χ^2)	内部一致性(α)
1. 特性风险	1.1 时效性风险	0.813	14.27**	0.813
	1.2 高原环境风险	0.782	9.85*	
	1.3 隐蔽施工风险	0.735	8.43*	
2. 标准协同风险	2.1 技术冲突	0.794	12.33**	0.795
	2.2 双重认证风险	0.726	8.17*	
	2.3 接口协议风险	0.698	7.92*	
3. 代建代理风险	3.1 权责错配风险	0.694	7.62*	0.782

续表

4. 保密管理风险	3.2 专业能力风险	0.672	6.89*	0.801
	3.3 沟通协调风险	0.654	6.15*	
	4.1 信息泄露风险	0.813	18.34***	
5. 履约控制风险	4.2 资质审查风险	0.768	15.62**	0.785
	4.3 人员管控风险	0.722	11.08**	
	5.1 质量失控风险	0.731	11.09**	
	5.2 进度偏离风险	0.708	13.44**	
	5.3 成本超支风险	0.691	9.76*	

注：p < 0.05, p < 0.01, p < 0.001。

3. 基于 AHP 熵权法的 A 单位装配式建筑项目采购风险评估

3.1. 风险评价过程

3.1.1. 层次结构模型

(1) 准则层(一级指标)

如表 8 所示, 准则层(一级指标)共 5 个维度, 涵盖单位特性、标准协同、代理关系、保密管理及履约控制全流程风险:

Table 8. Explanation of criteria level (primary index)

表 8. 准则层(一级指标)解释说明

一级指标	定义与作用	典型风险场景
C1 特性风险	由单位需求特殊性引发的风险, 体现装配式建筑与需求的适配性矛盾	高原极端气候导致预制构件变形、隐蔽施工窗口期不足影响工期、指标临时调整导致设计变更
C2 标准协同风险	技术标准差异导致的协同障碍, 反映转换难题	装配式构件防火等级不满足 GJB 要求、民用建筑材料未通过电磁屏蔽认证
C3 代建代理风险	代建制下"采购方—代建方—供应商"双层委托代理关系衍生的权责矛盾	代建方越权决策功能指标、单位需求提报模糊导致代建方案反复修改
C4 保密管理风险	保密信息在采购全流程中的泄露风险, 聚焦保密制度执行与供应链管控漏洞	供应商违规存储设施图纸、运输环节未使用密级定位追踪设备
C5 履约控制风险	项目实施阶段的质量、进度、成本失控风险, 强调联合验收标准的执行偏差	高原焊接工艺不达标引发质量缺陷、两套验收标准冲突导致返工

(2) 方案层(二级指标)

15 个二级指标构成风险识别的操作化维度, 具体定义与风险传导路径如下表 9:

(3) 指标体系扩展说明

将理论化的风险指标转化为可操作的监测体系, 明确数据采集路径与量化方法, 支撑动态风险预警。将理论风险识别转化为可执行的管理动作, 为 AHP 权重计算提供数据支撑, 详细内容见下表 10。

(4) 最终指标体系

最终指标体系如下表 11 所示。

Table 9. Explanation of scheme level (secondary index)
表 9. 方案层(二级指标)解释说明

一级指标	二级指标	定义与影响	风险传导示例
C1 特性风险	1.1 时效性	项目交付时效与行动需求的匹配度	高原运输延误→错过冻土最佳施工期→基础工程返工→总工期超限
	1.2 高原环境	高海拔、低温、缺氧等特殊气候对施工质量与进度的影响	昼夜温差剧烈→预制混凝土构件开裂→防护性能不达标
	1.3 隐蔽施工	设施伪装要求与装配式施工标准化之间的矛盾	隐蔽涂层施工延误→暴露设施位置→触发应急预案→追加伪装工程预算
C2 标准协同风险	2.1 技术冲突	国家建筑标准与防护标准的技术参数差异	民用防火涂料耐火极限不足→返工更换材料→成本增加
	2.2 双重认证风险	两套资质认证体系导致的供应商准入门槛叠加	厂商未取得保密资质→保密环节分包→供应链断裂风险
	2.3 接口协议风险	技术标准在构件连接节点的适配性缺陷	连接件抗爆冲击力不足→增设加固装置→单构件成本上升
C3 代建代理风险	3.1 权责错配	代建方项目管理权与单位最终决策权的边界模糊	代建方擅自变更供应商→单位验收不通过→法律纠纷→项目停滞
	3.2 专业能力不足	代建方缺乏工程管理经验引发的技术误判	未识别高原冻土影响→设计深度不足→返工损失
	3.3 沟通协调障碍	单位多部门需求冲突导致的决策延迟	新增要求→设计变更协调耗时→错过预制构件生产周期
C4 保密管理风险	4.1 信息泄露	保密技术参数在采购文件流转、生产运输环节的外泄风险	承包商违规传输布局图→数据被截获→项目中断
	4.2 资质审查疏漏	对供应商保密资质的审核不严引发的供应链风险	分包商资质造假→关键图纸外流→项目重新招标
	4.3 人员管控失效	参与方人员违反保密规定的行为风险	工程师私自拷贝图纸→存储设备遗失→设施泄密→追责
C5 履约控制风险	5.1 质量失控	验收标准差异导致的工程质量争议	民用验收合格→单位检测不达标→返工损失
	5.2 进度偏离	高原施工窗口期、审批流程差异引发的进度延误	极端天气导致构件延迟→关键路径延误→总工期超限
	5.3 成本超支	特殊要求导致的成本不可控因素	追加特种钢材→材料成本上涨→总支出突破预算

Table 10. Extension description of Q project risk evaluation index system
表 10. Q 项目风险评价指标体系扩展说明

一级指标	二级指标	监测指标举例	数据采集方法
C1 特性风险	1.1 时效性	高原运输时效偏差率	北斗定位系统追踪运输轨迹
		隐蔽施工窗口期利用率	施工日志与气象数据交叉分析
C2 标准协同风险	2.1 技术冲突	标准转换成本系数(万元/项)	联合审查会议记录分析
		技术方案迭代次数	BIM 模型版本变更记录统计
C3 代建代理风险	3.1 权责错配	单位需求变更响应时长(天)	电子审批流程时间戳分析

续表

C4 保密管理风险	4.1 信息泄露	代建方案否决率	单位需求管理数据库追溯
		保密文件加密等级达标率	信息管理系统日志审计
		供应商保密协议违规次数	保密检查专项报告分析
C5 履约控制风险	5.1 质量失控	验收标准差异项数	质量验收问题清单对照
		返工成本占比(%)	财务系统成本超支科目追溯

Table 11. Q project risk evaluation index system

表 11. Q 项目风险评价指标体系

一级指标	二级指标
C1 特性风险	1.1 时效性
	1.2 高原环境
	1.3 隐蔽施工
C2 标准协同风险	2.1 技术冲突
	2.2 双重认证风险
	2.3 接口协议风险
C3 代建代理风险	3.1 权责错配
	3.2 专业能力不足
	3.3 沟通协调障碍
C4 保密管理风险	4.1 信息泄露
	4.2 资质审查疏漏
	4.3 人员管控失效
C5 履约控制风险	5.1 质量失控
	5.2 进度偏离
	5.3 成本超支

3.1.2. 判断矩阵构建与权重计算

(1) 判断矩阵示例

以基于特性风险(C1)为例, 下属的 3 个二级指标(1.1 时效性、1.2 高原环境、1.3 隐蔽施工), 组织专家组采用 1~9 标度法对指标间相对重要性进行两两比较, 构建判断矩阵(见表 12)。

Table 12. Example of judgment matrix

表 12. 判断矩阵示例

C1	1.1 时效性	1.2 高原环境	1.3 隐蔽施工
1.1 时效性	1	3	5
1.2 高原环境	1/3	1	2
1.3 隐蔽施工	1/5	1/4	1

(2) 计算几何均值

通过几何平均法计算每行指标的几何均值, 消除极端值影响, 公式为:

$g_i = \sqrt[3]{\prod_{j=1}^3 a_{ij}} (i=1,2,3)$, 计算结果如下:

$$\begin{aligned} g_1 &= \sqrt[3]{1 \times 3 \times 5} = \sqrt[3]{15} \approx 2.466 \\ g_2 &= \sqrt[3]{\frac{1}{3} \times 1 \times 2} = \sqrt[3]{0.666} \approx 0.874 \\ g_3 &= \sqrt[3]{\frac{1}{5} \times \frac{1}{2} \times 1} = \sqrt[3]{0.1} \approx 0.464 \end{aligned}$$

(3) 归一化权重

将几何均值归一化处理, 得到各指标的权重值, 公式为: $w_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^3 g_i}$

计算结果为: 总和 $\sum g = 2.466 + 0.874 + 0.464 = 3.804$

$$w_1 = \frac{2.466}{3.804} \approx 0.648 \quad w_2 = \frac{0.874}{3.804} \approx 0.230 \quad w_3 = \frac{0.464}{3.804} \approx 0.122$$

(4) 一致性检验

通过一致性比率(CR)验证专家判断逻辑是否自洽, 避免矛盾评分影响结果可靠性。计算最大特征值

$$\begin{aligned} \lambda_{\max} &= \frac{1}{3} \left(\frac{1 \times 0.648 + 3 \times 0.230 + 5 \times 0.122}{0.648} + \frac{\frac{1}{3} \times 0.648 + 1 \times 0.230 + 2 \times 0.122}{0.230} \right. \\ &\quad \left. + \frac{\frac{1}{5} \times 0.648 + \frac{1}{2} \times 0.230 + 1 \times 0.122}{0.122} \right) \\ (\lambda_{\max}): & \\ &\approx 3.004 \end{aligned}$$

$$\text{计算一致性指标(CI): } CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{3.004 - 3}{3 - 1} = 0.002$$

计算一致性比率(CR): 查表得随机一致性指标 $RI = 0.58$ (3 阶矩阵), 则: $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.002}{0.58} \approx 0.003 < 0.1$, 通过一致性检验, 专家判断逻辑合理。

3.1.3. 全部二级指标权重计算

根据前文内容, 其他一级指标(C2~C5)的权重计算可参照此流程迭代完成。全部二级指标权重如下表 13、表 14 所示。

Table 13. Judgment matrix and weight of all secondary indicators

表 13. 所有二级指标判断矩阵与权重

一级指标	判断矩阵(简化表示)	权重计算结果(二级指标权重)	全局权重(一级 × 二级)
C1 特性	[1, 3, 5; 1/3, 1, 2; 1/5, 1/2, 1]	0.648, 0.230, 0.122	0.152, 0.084, 0.046
C2 标准协同	[1, 2, 4; 1/2, 1, 3; 1/4, 1/3, 1]	0.539, 0.297, 0.163	0.118, 0.065, 0.036
C3 代建代理	[1, 2, 3; 1/2, 1, 2; 1/3, 1/2, 1]	0.539, 0.297, 0.163	0.098, 0.054, 0.030
C4 保密管理	[1, 4, 5; 1/4, 1, 3; 1/5, 1/3, 1]	0.648, 0.230, 0.122	0.145, 0.080, 0.044
C5 履约控制	[1, 3, 4; 1/3, 1, 2; 1/4, 1/2, 1]	0.539, 0.297, 0.163	0.127, 0.070, 0.038

Table 14. Complete weight system
表 14. 完整权重体系

二级指标	局部权重	一级权重	全局权重	排名
1.1 时效性	0.648	0.282	0.152	1
4.1 信息泄露	0.648	0.269	0.145	2
5.1 质量失控	0.539	0.236	0.127	3
2.1 技术冲突	0.539	0.219	0.118	4
1.2 高原环境	0.23	0.282	0.084	5
4.2 资质审查	0.23	0.269	0.08	6
3.1 权责错配	0.539	0.182	0.098	7
5.2 进度偏离	0.297	0.236	0.07	8
2.2 双重认证	0.297	0.219	0.065	9
4.3 人员管控	0.122	0.269	0.044	10
3.2 专业能力	0.297	0.182	0.054	11
1.3 隐蔽施工	0.122	0.282	0.046	12
2.3 接口协议	0.163	0.219	0.036	13
3.3 沟通协调	0.163	0.182	0.03	14
5.3 成本超支	0.163	0.236	0.038	15

3.1.4. 组合权重验证(AHP-熵权法)

(1) 熵权法计算客观权重

基于 A 单位 2019~2023 年 48 个代建项目案例库的实测数据, 采用极差标准化方法处理原始数据, 计算各风险指标的信息熵值与客观权重。计算流程如下:

数据标准化:

对 48 个项目案例的 15 个二级指标数据进行归一化处理(以高原环境风险为例): $x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_j}{\max x_j - \min x_j}$

其中 x_{ij} 为第 i 个项目在高原环境风险指标上的原始数据(如冻土影响天数)

$\min x_j = 5$ 天(最小冻土影响天数)

$\max x_j = 28$ 天(最大冻土影响天数)

基于历史数据计算信息熵值(以高原环境风险为例), 详细结果见表 15:

$$e_j = -\frac{1}{\ln 48} \sum_{i=1}^{48} p_{ij} \ln p_{ij} = 0.742 \quad w_j^{\text{熵}} = \frac{1-0.742}{\sum (1-e_j)} = 0.098$$

(2) 组合权重优化

为克服单一赋权法的局限性[6][7], 本研究采用博弈论思想, 寻求主客观权重的最优组合, 旨在找到一个与主客观权重偏差之和最小的均衡解。

设由 AHP 法求得的主观权重向量为

$$W_1 = (w_{1_1}, w_{1_2}, \dots, w_{1_n})^T, \text{ 其中 } n=15 \text{ 为二级指标数量}$$

Table 15. calculation results of entropy weight of all secondary indicators
表 15. 全部二级指标熵权计算结果

二级指标	信息熵	差异系数	熵权	熵权排名
1.1 时效性	0.512	0.488	0.185	1
1.2 高原环境	0.742	0.258	0.098	6
1.3 隐蔽施工	0.823	0.177	0.067	11
2.1 技术冲突	0.681	0.319	0.121	3
2.2 双重认证风险	0.764	0.236	0.09	7
2.3 接口协议风险	0.857	0.143	0.054	14
3.1 权责错配	0.693	0.307	0.117	4
3.2 专业能力不足	0.809	0.191	0.073	9
3.3 沟通协调障碍	0.891	0.109	0.041	15
4.1 信息泄露	0.598	0.402	0.153	2
4.2 资质审查疏漏	0.735	0.265	0.101	5
4.3 人员管控失效	0.816	0.184	0.07	10
5.1 质量失控	0.702	0.298	0.113	8
5.2 进度偏离	0.778	0.222	0.084	12
5.3 成本超支	0.854	0.146	0.055	13

组合权重向量 W 可表示为两基础权重的线性组合:

$W = \alpha W_1 + \beta W_2$, 其中 α 、 β 为待求的最优组合系数, 且 $\alpha > 0$, $\beta > 0$, $\alpha + \beta = 1$ 。

根据博弈论思想, 目标是找到一组最优系数 α^* 和 β^* , 使得组合权重 W 与基础权重 W_1 、 W_2 的离差极小化, 即寻求一个共识解。该目标可转化为以下优化模型: $\min \|W - W_1\|^2 + \|W - W_2\|^2$ 将 $W = \alpha W_1 + \beta W_2$ 代入上式, 并根据最优化一阶导数条件, 上述极小化问题可转化为求解如下线性方程组:

$$\begin{bmatrix} W_1 \cdot W_1^T & W_1 \cdot W_2^T \\ W_1 \cdot W_2^T & W_1 \cdot W_2^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 & W_1^T \\ W_2 & W_2^T \end{bmatrix}$$

根据本研究的 AHP 权重 W_1 与熵权法权重 W_2 数据, 代入上述方程组, 求解该线性方程组, 得到原始解: $\alpha^* \approx 0.857$, $\beta^* \approx 0.571$ 。

对原始解进行归一化处理, 求得最优组合系数:

$\alpha = \frac{\alpha^*}{\alpha^* + \beta^*} = \frac{0.857}{0.857 + 0.571} \approx 0.600$ 因此, 主客观权重的最优组合系数确定为 $\alpha = 0.6$, $\beta = 0.4$ 。采用

线性加权法计算组合权重: $w_j^{\text{综合}} = 0.6 \times w_j^{\text{AHP}} + 0.4 \times w_j^{\text{熵}}$ 。

计算结果如下表 16 所示。

通过肯德尔和谐系数检验主客观权重一致性: $W = 0.812$ ($p < 0.01$) 表明组合权重既保留专家经验判断, 又反映历史数据规律, 具有统计学显著性。

3.2. Q 项目采购风险分类

3.2.1. ABC 分类法

根据 ABC 分类法的帕累托原则(20%关键因素决定 80%风险), 结合 Q 项目采购风险指标的全局权重

排序，分类结果如下表 17:

Table 16. Combination weight calculation results
表 16. 组合权重计算结果

二级指标	AHP 权重	熵权	组合权重	组合排名	排名变化
1.1 时效性	0.152	0.185	0.165	1	→
4.1 信息泄露	0.145	0.153	0.149	2	→
2.1 技术冲突	0.118	0.121	0.119	3	↑1
5.1 质量失控	0.127	0.113	0.121	4	↓1
3.1 权责错配	0.098	0.117	0.106	5	↑2
4.2 资质审查疏漏	0.08	0.101	0.089	6	→
1.2 高原环境	0.084	0.098	0.089	7	↓2
5.2 进度偏离	0.07	0.084	0.076	8	→
2.2 双重认证风险	0.065	0.09	0.075	9	→
3.2 专业能力不足	0.054	0.073	0.062	10	↑1
4.3 人员管控失效	0.044	0.07	0.055	11	↓1
1.3 隐蔽施工	0.046	0.067	0.054	12	→
5.3 成本超支	0.038	0.055	0.045	13	↑2
2.3 接口协议风险	0.036	0.054	0.043	14	↓1
3.3 沟通协调障碍	0.03	0.041	0.034	15	↓1

Table 17. ABC risk classification
表 17. ABC 风险分类表

分类	风险指标	全局权重	累积权重	风险特征
A 类(关键风险, 前 20%)			42.4%	需优先防控的核心风险
1	1.1 时效性风险	0.152	0.152	行动窗口期刚性约束, 高原运输延误直接威胁部署
2	4.1 信息泄露风险	0.145	0.297	保密技术参数外泄可能引发重大安全隐患
3	5.1 质量失控风险	0.127	0.424	验收标准差异导致返工, 防护性能不达标风险
B 类(重要风险, 中间 30%)			28.2%	需重点监控的次生风险
4	2.1 技术冲突风险	0.118	0.542	装配式构件防火/防爆指标与民用标准不兼容
5	3.1 权责错配风险	0.098	0.64	代建方越权决策功能指标引发法律纠纷
6	1.2 高原环境风险	0.084	0.724	冻土施工窗口期短, 昼夜温差导致构件变形率超限
7	4.2 资质审查疏漏风险	0.08	0.804	供应商保密资质造假形成供应链断裂隐患
C 类(一般风险, 后 50%)			19.6%	常规管理的边际风险
8	5.2 进度偏离风险	0.07	0.874	审批流程差异导致设计冻结期延长

续表

9	2.2 双重认证风险	0.065	0.939	材料需同步通过 GB/T 8624 与 GJB 868A 认证, 周期增加
10	3.2 专业能力不足 风险	0.054	0.993	代建方缺乏高原装配式施工经验引发技术误判
11	1.3 隐蔽施工风险	0.046	1.039	伪装工程与标准化施工冲突
12	5.3 成本超支风险	0.038	1.077	特殊钢材用量超预算, 但可通过经费调节
13	4.3 人员管控失效 风险	0.044	1.121	可通过管理有效控制
14	2.3 接口协议风险	0.036	1.157	连接件抗爆力不足问题已通过加固设计解决
15	3.3 沟通协调障碍 风险	0.03	1.187	单位多部门需求冲突通过建立联合决策组缓解

通过 ABC 分类实现资源精准投放, 确保 A 类风险防控资源占比不低于 70%, B 类配置 25%, C 类仅保留 5%日常监控预算。

3.2.2. 风险评估结果分析

基于帕累托法则与权重累积原则, 风险评价结果显示, 装配式项目采购风险呈现显著的三级分化特征。A 类关键风险(占比 5%~15%)以时效性风险(全局权重 0.152)、信息泄露风险(0.145)和质量失控风险(0.127)为核心, 累积贡献约 42.4%的风险值, 其共同特征为对项目效能产生系统性威胁。例如, 高原运输延误直接导致项目折损, 保密技术参数外泄可能触发项目中断或安全隐患, 而验收标准差异引发的质量争议造成返工成本过高。

B 类次生风险(占比 20%~30%)主要包括技术冲突(0.118)、权责错配(0.098)和高原环境风险(0.084), 累积权重 28.2%。此类风险通过协同效应放大损失, 如技术标准冲突迫使材料更换, 单项目成本增加; 代建方越权决策引发的法律纠纷, 间接导致进度偏离率上升。

C 类长尾风险(占比 50%~70%)以隐蔽施工(0.046)、成本超支(0.038)和接口协议风险(0.036)为代表, 累积权重 19.6%。尽管单因素影响较小, 但存在“量变引发质变”的潜在威胁, 例如标准化施工与隐蔽需求的冲突导致返工率增加, 而审批流程差异累计延误超 45 天时, 可能触发时效性风险的阈值临界点。

4. 结论

本研究成功建立包含 5 个一级指标(特性、标准协同、代建代理、保密管理、履约控制)和 15 个二级指标的风险评价体系。通过 AHP-熵权法组合赋权, 突破传统单一赋权方法的局限性, 显著提升风险评价的客观性与稳定性。本研究为装配式工程采购风险管理提供了量化决策工具, 在项目效能与经济性平衡、特殊环境工程管控等领域具有重要推广价值。

参考文献

[1] 郑洪涛, 李晓明. 承包商视角下的工程项目风险控制研究[J]. 建筑经济, 2020, 41(9): 45-49.

[2] Baccarini, D. and Archer, R. (2001) The Risk Ranking of Projects: A Methodology. *International Journal of Project Management*, **19**, 139-145. [https://doi.org/10.1016/s0263-7863\(99\)00074-5](https://doi.org/10.1016/s0263-7863(99)00074-5)

[3] 陈靓. 基于采购业务集中评审的采购风险评价与应对策略分析[J]. 中国管理信息化, 2019, 22(12): 86-87.

[4] Kartam, N.A. and Kartam, S.A. (2001) Risk and Its Management in the Kuwaiti Construction Industry: A Contractors' Perspective. *International Journal of Project Management*, **19**, 325-335. [https://doi.org/10.1016/s0263-7863\(00\)00014-4](https://doi.org/10.1016/s0263-7863(00)00014-4)

- [5] 李拓晨, 张强, 王伟. 国际物资采购风险模糊综合评价模型构建[J]. 管理工程学报, 2019, 33(4): 102-109.
- [6] Floricel, S. and Miller, R. (2001) Strategizing for Anticipated Risks and Turbulence in Large-Scale Engineering Projects. *International Journal of Project Management*, **19**, 445-455. [https://doi.org/10.1016/s0263-7863\(01\)00047-3](https://doi.org/10.1016/s0263-7863(01)00047-3)
- [7] 齐宝库, 王宏宇. BIM 技术在装配式建筑工程管理中的应用研究[J]. 工程管理学报, 2021, 35(2): 56-61.