

基于 AHP-模糊综合评价的公共建筑设计阶段风险模型研究

廖芯¹ 刘鹏^{2,*}

1 昆明理工大学建筑工程学院

2 昆明理工大学津桥学院

DOI:10.32629/bd.v9i10.4575

[摘要] 设计阶段是公共建筑全生命周期风险管控的关键前置环节,该阶段风险识别与评价成效,直接决定项目施工、运维阶段的安全、质量与成本管控水平。现阶段公共建筑设计风险研究多以定性分析为主,缺少系统化定量评价体系。本文以云南民族文化宫为研究实例,从设计团队、技术方案、外部环境、成本管控四个维度,构建15项评价指标的设计阶段风险体系,运用层次分析法确定指标权重,结合模糊综合评价法开展量化风险评估。结果表明,技术方案权重占比最高,为首要风险因素,设计团队能力、抗震方案合理性及场地地质条件为核心风险指标,项目整体处于较高风险等级。本研究可为多民族地区复杂公共建筑设计阶段的风险防控、决策优化与精细化管理提供参考。

[关键词] 层次分析法; 模糊综合评价; 设计阶段; 指标体系

中图分类号: O157.2 文献标识码: A

Research on Risk Model of Public Building Design Stage Based on AHP-Fuzzy Comprehensive Evaluation

Xin Liao¹ Peng Liu^{2,*}

1 Faculty of Civil Engineering and Mechanics, Kunming University of Science and Technology

2 Kunming University of Science and Technology Oxbridge College

[Abstract] The architectural design stage constitutes a critical upstream link in the whole-life-cycle risk management of construction projects, where the effectiveness of risk identification and assessment profoundly determines the safety, cost control and operational quality of subsequent construction and operation phases. Existing risk evaluation studies on public buildings at the design stage predominantly adopt qualitative analysis, with a scarcity of systematic and quantitative research frameworks. Taking the Yunnan Ethnic Culture Palace as the research object, this paper constructs a design-stage risk evaluation system covering 15 indicators from four dimensions, namely design team, technical scheme, external environment and cost control. The Analytic Hierarchy Process (AHP) is employed to calculate indicator weights, and the fuzzy comprehensive evaluation method is integrated to realize quantitative risk assessment. The findings reveal that the technical scheme ranks first in weight contribution as the dominant risk source. Core risk factors include the professional competency of the design team, the rationality of seismic design schemes and site geological conditions, and the overall risk level of the project is moderately high. This research provides a solid theoretical foundation and practical implications for risk early warning, scientific decision-making and refined risk management of complex public buildings in multi-ethnic regions.

[Key words] Analytic Hierarchy Process; fuzzy comprehensive evaluation; design phase; index system

引言

建筑设计是工程项目落地的核心环节,需统筹功能、技术、成本与地域文化等多重条件,设计决策失误易引发返工、超预算、安全隐患等系列问题。当下公共建筑日趋复杂化、地域化,设计风险多元耦合,传统经验化管控模式难以适配精细化管理

要求,建立量化评价体系尤为关键。

国外主流风险识别方法包含AHP、德尔菲法、头脑风暴法等。其中,层次分析法可量化指标权重,模糊综合评价法能够化解风险的模糊主观属性,二者适配性强、优势互补。现有研究多局限于单一定性分析,鲜有两种方法结合的量化研究,

且针对高抗震、多民族融合类特殊公共建筑的风险研究较为薄弱。

本文融合AHP与模糊综合评价法构建耦合模型，以8度抗震设防、场地及文化条件复杂的云南民族文化宫为实例开展论证，验证模型的合理性。研究将从四个维度建立风险指标体系，完成模型运算与案例实证，判定整体风险水平并提出防控策略，以期同类特殊公共建筑设计阶段的风险管理提供理论支撑与实践借鉴。

1 建筑设计阶段风险评价指标体系构建

1.1 风险因素识别

结合大型公共文化建设项目建设特点，通过文献梳理、专家访谈及项目实际调研，^[1]通过相关研究对建筑设计阶段风险的阐述，^[2]最终研究总结如下：设计团队因素、技术方案因素、外部环境因素、成本管控因素共计4类影响因素。研究考虑到要对建筑设计阶段的风险影响因素进行针对性分析，最终针对上述4类影响因素，组织专家咨询队伍，通过德尔菲法将其细化为15项具体内容如图所示。（图1）

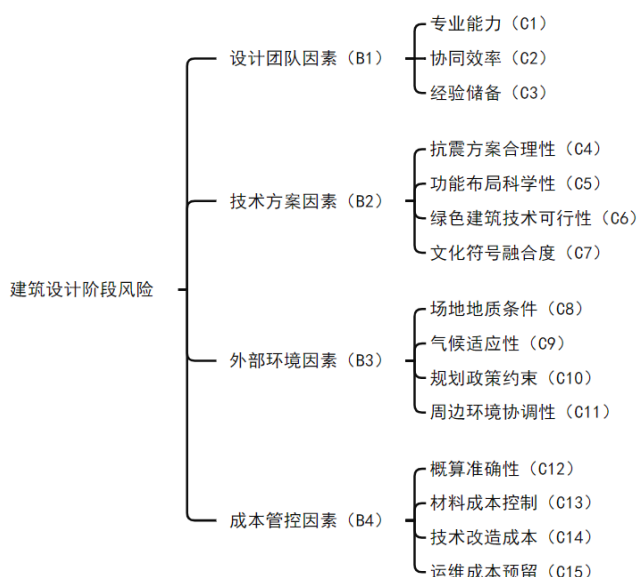


图1 建筑设计阶段风险评价指标体系

1.2 指标体系说明

云南民族文化宫项目的特殊性决定了指标体系的针对性：一是突出抗震技术风险，项目地处8度抗震设防区，且为重点设防类建筑，需采用消能减震技术，故将“抗震方案合理性”列为核心技术指标；二是强化地域文化与环境适配，项目需融合云南民族文化并与周边博物馆协调，同时应对场地液化土层、低地势易积水等问题，因此纳入文化符号融合度、场地地质条件等指标；三是兼顾全周期成本，公共建筑运维周期长，设计阶段需预留运维成本，故增设运维成本预留指标。

2 AHP-模糊综合评价模型构建

2.1 层次分析法确定指标权重

2.1.1 构造判断矩阵

邀请建筑设计、结构抗震、工程管理技术领域的15位专家，依据1-9标度法（表1）对各层级指标进行重要性评分，构建判断矩阵。以准则层（B）对目标层（A）的判断矩阵为例（表2），其余层级矩阵同理构建。^[3]

表1 AHP法9标度涵义

标度	含义说明
1	两因素对目标的重要性相同
3	一因素比另一因素稍微重要
5	一因素比另一因素明显重要
7	一因素比另一因素强烈重要
9	一因素比另一因素极端重要
2、4、6、8	用于调和重要性判断的过渡状态
例数	若因素 i 与 j 比较为 a_{ij} ， 则 j 与 i 比较为 $1/a_{ij}$

表2 准则层(B)对目标层(A)的判断矩阵

A	B1 设计团队	B2 技术方案	B3 外部环境	B4 成本管控
B1	1	1/3	2	1/2
B2	3	1	4	2
B3	1/2	1/4	1	1/3
B4	2	1/2	3	1

2.1.2 权重计算与一致性检验

采用几何平均法计算指标权重，步骤如下：

(1) 计算判断矩阵每行元素乘积的n次方根：

$$\omega_i' = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n}$$

(2) 对 ω_i' 进行归一化处理，得到相对权重

$$\omega_i = \frac{\omega_i'}{\sum_{j=1}^n \omega_j'}$$

(3) 计算最大特征根 $\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n \frac{(AW)_j}{nW_j}$

(4) 一致性检验：计算一致性指标 $C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ ，结合平均随

机一致性指标 $R.I.$ （表3），通过 $C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$ 判断一致性。若

$C.R. < 0.1$ ，则判断矩阵通过一致性检验，权重结果有效。

表3 平均随机一致性指标R. I.

矩阵阶数 n	3	4	5	6	7
R. I.	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36

通过计算, 准则层(B)对目标层(A)的判断矩阵最大特征根 $\lambda_{max}=4.082$, 一致性指标C. I. =0.027, 一致性比率C. R. =0.030 < 0.1, 通过一致性检验。各层级指标权重计算结果如下(表4、5):

表4 准则层指标权重

准则层指标	B1 设计团队	B2 技术方案	B3 外部环境	B4 成本管控
权重(%)	18.62	45.37	12.89	23.12

表5 指标层二级指标权重

准则层	二级指标	权重(%)
B1 设计团队	C1 专业能力	52.15
	C2 协同效率	28.43
	C3 经验储备	19.42
B2 技术方案	C4 抗震方案合理性	35.72
	C5 功能布局科学性	27.41
	C6 绿色建筑技术可行性	18.65
	C7 文化符号融合度	18.22
B3 外部环境	C8 场地地质条件	41.36
	C9 气候适应性	23.57
	C10 规划政策约束	18.72
	C11 周边环境协调性	16.35
B4 成本管控	C12 概算准确性	32.68
	C13 材料成本控制	29.45
	C14 技术改造成本	21.83
	C15 运维成本预留	16.04

权重结果显示, 准则层中技术方案因素(45.37%)和成本管控因素(23.12%)占比最高, 是设计阶段的核心风险来源; 指标层中, 专业能力(52.15%)、场地地质条件(41.36%)、抗震方案合理性(35.72%)权重居前三位, 为关键风险指标。

2. 2 模糊综合评价模型构建

2. 2. 1 确定评价集与指标集

评价集 $V = (V1-V2-V3-V4-V5)$, 对应评价等级为“风险极高(V1)、风险较高(V2)、风险中等(V3)、风险较低(V4)、风险极低(V5)”。

指标集分为两级: 一级指标集 $U = (B1-B2-B3-B4)$, 二级指标集 $U1 = (C1-C2-C3)$ 、 $U2 = (C4-C5-C6-C7)$ 、 $U3 = (C8-C9-C10-C11)$ 、 $U4 = (C12-C13-C14-C15)$ 。

2. 2. 2 构建模糊判断矩阵

利用Fuzzy理论, 通过评价结果的量化, 较大程度上避免了定性评价方法的主观性对评价结果的影响; 向参与权重确定的15位专家发放模糊评价问卷, 统计各二级指标对应不同评价等级的频数占比, 构建单因素模糊判断矩阵 R_i 。以技术方案因素(B2)为例, 其模糊判断矩阵如下:

$$R2 = \begin{bmatrix} 0.32 & 0.45 & 0.18 & 0.04 & 0.01 \\ 0.25 & 0.38 & 0.27 & 0.08 & 0.02 \\ 0.12 & 0.23 & 0.41 & 0.19 & 0.05 \\ 0.10 & 0.20 & 0.35 & 0.25 & 0.10 \end{bmatrix}$$

矩阵中 r_{ij} 表示第i个二级指标对第j个评价等级的隶属度, 例如 $r_{11}=0.32$ 表示“抗震方案合理性(C4)”指标中32%的专家认为其风险等级为“风险极高”。

2. 2. 3 综合评价计算

采用“积-和”模糊算子进行两级模糊综合评价:

(1) 一级模糊评价: 矩阵乘法计算各准则层评价结果 $Q_i = W_i \times R_i$, 其中 W_i 为准则层对应二级指标权重向量。

(2) 二级模糊评价: 构建准则层模糊判断矩阵 $R = \begin{bmatrix} Q1 \\ Q2 \\ Q3 \\ Q4 \end{bmatrix}$, 结合

准则层权重向量

$$W = (18.62\%, 45.37\%, 12.89\%, 23.12\%)$$
, 计算综合评价结果 $Q = W \times R$ 。

3 实证分析——以云南民族文化宫项目为例

3. 1 项目概况

云南民族文化宫位于昆明市滇池路片区, 总建筑面积31900 m², 地上三层、地下一层, 建筑主体高度20m, 为集民族文化展示、演艺交流、非遗传承等功能于一体的综合性公共建筑。项目地处滇池流域, 场地存在液化土层, 抗震设防烈度为8度, 需采用消能减震技术; 同时需融合云南26个民族文化元素, 与周边云南民族博物馆协调统一, 设计复杂度高, 风险因素多元。

3. 2 一级模糊评价结果

AHP-Fuzzy综合评价方法是利用模糊数学的方法来判别事物的优劣, 其原理是先按某一属性将事物分成若干因素, 然后对其中某一因素通过构建一个模糊综合评价[4]的数学模型进行模糊变换得出评价结果, 最后将结果整合。通过计算得到各准则层模糊评价结果:

- (1) 设计团队因素(B1): $Q1 = (0.286-0.352-0.224-0.108-0.030)$
- (2) 技术方案因素(B2): $Q2 = (0.243-0.367-0.251-0.112-0.027)$
- (3) 外部环境因素(B3): $Q3 = (0.185-0.273-0.326-0.174-0.042)$
- (4) 成本管控因素(B4): $Q4 = (0.162-0.295-0.318-0.183-0.042)$

3. 3 二级模糊评价结果

构建准则层模糊判断矩阵, 由一级评价结果 $Q1-Q4$ 构成准则层模糊判断矩阵 R , 再结合准则层权重向量 W , 计算得综合评价结果:

$$Q = W \times R = (0.227-0.341-0.263-0.132-0.037)$$

根据最大隶属度原则, 综合评价结果为“风险较高”(隶属

度0.341),表明云南民族文化宫项目设计阶段整体风险处于较高水平,需重点针对核心风险指标制定管控措施。

3.4 风险结果与管控对策

3.4.1 技术方案

抗震方案合理性、功能布局科学性为首要风险,项目位于8度抗震设防区,结构减震设计与多业态功能布局直接影响建筑安全及使用效能。应开展抗震方案多轮比选与专家专项论证,合理应用消能减震技术;依托BIM模拟优化空间布局,提前研判绿色建筑技术适配性,有效削减技术风险。

3.4.2 设计团队

团队专业能力占比最高,项目融合民族文化、特殊地质及抗震专项技术,对设计综合能力要求严苛。需优选具备大型公建与地域建筑设计经验的人员,搭建跨专业协作团队,完善沟通机制与设计审核流程,辅以专项培训,提升团队综合设计水平。

3.4.3 外部环境

场地地质条件风险最为显著,场地液化土层、软土震陷等问题易威胁地基稳定。应强化详细地质勘察,引入地质专家参与基础设计,优化桩基形式与布设方案,针对性处置不良土层,保障建筑地基安全稳固。

3.4.4 成本管控

概算编制与材料成本为主要管控要点,民族特色定制材料价格波动明显。设计阶段需精准编制工程概算,优选高性价比、供应稳定的建材,结合全生命周期成本测算,统筹建设与后期运维开支,实现成本合理管控。

4 结论与展望

4.1 研究结论

本文以云南民族文化宫为研究案例,构建AHP-模糊综合评价模型,实现公共建筑设计阶段风险的系统化定量评估。研究发现,复杂公共建筑设计风险多维耦合,技术方案为首要风险,团队专业能力、抗震设计及场地地质条件为核心影响因素,项目整体风险等级偏高,需从技术论证、团队建设、地质勘察与全周期

成本管控等方面落实防控。实践表明,两种方法结合可兼顾风险主观模糊性与权重客观量化,适配工程多准则决策;指标体系需结合地域特征与全周期需求,以此提升风险评价的针对性与实用性。

4.2 研究展望

本研究模型虽经案例验证,但仍存在实证对象单一、权重静态化、缺乏信息化融合、指标覆盖不足等局限。后续可拓宽调研与实证范围,优化指标权重以增强普适性;引入动态权重,实现设计全过程风险预警;结合BIM、大数据与机器学习,推动风险评价智能化、可视化;拓展指标体系维度,纳入政策、文化等非技术因素,搭建全周期风险传导机制。未来将依托工程实践与技术迭代,推动公共建筑设计风险管控由经验化、静态化向量化、动态化、全生命周期管理转型,为建筑高质量发展提供理论与实践支撑。

[参考文献]

- [1]刘钊.基于AHP法的太原城郊森林公园视觉景观质量评价[J].中南林业科技大学学报,2023,43(02):188-200.
- [2]曹蕾,孟世玉,张舒盈,等.主客价值共创视角下城市历史文化街区复合空间协同的破局与新生——以北京什刹海为例[J].城市发展研究,2025,32(05):68-76.
- [3]张宇航.基于AHP及模糊综合评价对建筑施工风险影响因素的研究[J].建筑技术开发,2025,52(07):143-147.
- [4]高鑫.基于AHP法的装配式建筑施工风险分析[J].城市建设理论研究(电子版),2023(23):134-136.

作者简介:

廖芯(1991—),女,汉族,云南昆明人,本科,讲师,研究方向:工程管理、建筑设计及其理论。

*通讯作者:

刘鹏(1983—),男,汉族,湖南冷水江人,硕士研究生,教授,研究方向:岩土工程、工程管理。