

基于云模型的装配式建筑施工安全风险评价

刘晓初, 谢 翔, 李映波*, 张存良, 黎洪江

(中建科技集团有限公司, a.中建科技集团西部有限公司, b.安全管理研究西部中心, 重庆 400000)

摘 要:近年来装配式建筑迅速发展,给建筑施工安全管理带来新的挑战。针对安全管理的新形势,引入云模型建立装配式建筑施工安全风险预测模型。文中选取对施工安全影响较大的 19 个因素作为评价指标,并将风险等级划分为由低到高 5 个等级,首先计算综合权重,然后进行风险等级评价,最后以某装配式建筑工程为例,验证方法的合理性与有效性。结果表明,评价结果与项目实际安全风险情况一致,表明该模型具备一定的实用性。

关键词:装配式建筑;施工安全;云模型;风险评价

中图分类号: TU714

文献标识码: A

文章编号: 1006-7973 (2023) 01-0031-03

引言

随着建筑工业化的不断推进,装配式建筑迅速发展,装配式建筑施工过程的安全性、可靠性等问题日益凸显。良好的施工安全环境不仅可以提高装配式建筑的施工效率,而且还能保证施工作业人员人身安全,避免安全事故的发生。因此,装配式建筑施工过程作为一个受多因素影响的复杂系统^[1],评价显得尤为重要,是工程项目进行安全生产的重要基础。

装配式建筑施工安全风险影响因素众多,且因素间关系复杂,界定模糊,主观性较强,国内部分学者也开展了相关研究^[2-3]。云模型可以实现定性概念与定量描述之间的转化,在处理装配式建筑施工安全风险这类模糊性较强的问题方面具备相对突出的优势^[4]。

因此,文中建立基于云模型的装配式建筑施工安全风险评价模型,同时利用 3 标度理论改进层次分析法计算综合权重。最后,将建立的安全风险评价模型应用到某装配式建筑工程中,以验证模型的科学性与合理性。

一、指标权重的确定

传统风险评价常采用基于 9 标度理论的层次分析法确定指标权重,但 9 标度理论易受主观因素影响而导致评价失败。因此,基于 3 标度理论对层次分析法进行改进,其计算过程如下。

1. 比较矩阵的建立

基于 3 标度理论的比较矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, a_{ij} 取值如为

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{表示此}j\text{重要} \\ 0 & \text{表示此}j\text{同等重要} \\ -1 & \text{表示}i\text{不如}j\text{重要} \end{cases} \quad (2)$$

2. 最优传递矩阵的建立

最优传递矩阵 R 为

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: $r_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n (a_{in} + a_{nj})$, 则综合判断矩阵 D 为

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & d_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: $d_{in} = \exp(r_{in})$ 。

3. 指标权重的计算

指标权重计算过程如下。

$$w = (w_1, w_2, \cdots, w_n) \\ w_i = \left(\prod_{n=1}^n d_{in} \right)^{1/n} / \sum_{n=1}^n \left(\prod_{n=1}^n d_{in} \right)^{1/n} \quad (5)$$

式中, $w = (w_1, w_2, \cdots, w_n)$ 为指标权重。

二、正态云理论

1. 云模型的基本思想

云模型理论是基于模糊数学和概率论为基础,以一种确定分布代替确定数值,根据模型自身的特征参数同时表征信息的随机性与模糊性,实现定性描述与定量数值之间的相互转化,近年来云模型以其较好的准确性被广泛应用于各类评价中。

收稿日期: 2022-10-01

作者简介: 刘晓初 (1983-), 男, 中建科技集团西部有限公司, 工程师。

通讯作者: 李映波 (1978-), 男, 中建科技集团西部有限公司, 高级工程师。

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2019YFC1907200); 国家重点研发计划子课题 (2019YFC1907204-03)。

2. 云的数字特征

云模型特征参数计算如式 (6) 所示:

$$\begin{cases} Ex = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \\ En = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{\pi}{2} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|} \\ He = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 - En^2} \end{cases} \quad (6)$$

式中: x_i 为样本观测值; n 为样本个数; 期望 Ex 为定性问题量化的理想均值点, 是云滴在论域内分布的中心点; 熵 En 表示定性概念的量化区间, 是实际与期望之间的偏差, 反映信息的模糊性; 超熵 He 为 En 的熵, 体现了信息的随机性, 在云图中反映为云滴凝聚的松紧程度。对于存在上限、下限 $[L_{min}, L_{max}]$ 的区间数, 其云模型的 3 个特征参数如式 (7) ~ (9) 所示。

$$Ex = (L_{min} + L_{max}) / 2 \quad (7)$$

$$En = (L_{max} - L_{min}) / 6 \quad (8)$$

$$He = k \quad (9)$$

式中: k 为常数, 根据变量的模糊阔度进行选取, 常取 0.01、0.02、0.5、1.00, 参照文献并综合考虑本评价指标的模糊阔度, 取 $k=0.5$ 。

3. 评价等级的计算

采用专家打分法对评价指标进行评判, 可得到评价矩阵 Z 为

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ z_{m1} & z_{m2} & \cdots & z_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

其中, z_{ij} 为第 i 个专家对第 j 个指标的评价结果。对评价矩阵 Z 按式 (6) ~ (8) 进行处理, 即可得到第 j 个指标评价云 $C_j (Ex_j, En_j, He_j)$, $j=1, 2, \dots, n$ 。将综合权重 w 代入 C_j , 得到装配式建筑施工安全风险综合评价云 $C (Ex, En, He)$:

$$C \begin{cases} Ex = \sum_{j=1}^n (Ex_j \cdot w_j) \\ En = \sqrt{\sum_{j=1}^n (En_j^2 \cdot w_j)} \\ He = \sum_{j=1}^n (He_j \cdot w_j) \end{cases} \quad (11)$$

将生成的评价矩阵采用反向云发生器进行计算, 利用 Matlab 软件将得到装配式建筑施工安全风险综合评价云图与评价标准云进行比较, 以确定综合评价云图的评价等级, 从而确定装配式建筑施工安全风险等级。

三、安全风险评价模型的建立

1. 装配式建筑施工安全风险评价指标体系

根据装配式建筑施工特点, 结合部分装配式建筑施工安全评价指标^[2-3, 5]的选取, 将风险因素划分为 5 个一级指标, 19 个二级指标, 得到装配式建筑施工安全评价指标体系, 如图 1 所示。

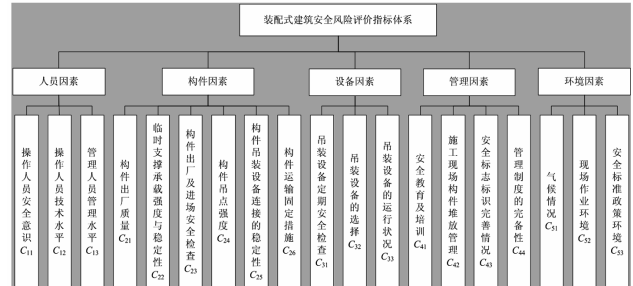


图 1 装配式建筑安全风险评价指标体系

2. 划分评价标准

评价标准的确定直接影响评价结果的准确性。在相关标准 (JGJ 59-2011) 及文献^[5]的基础上, 根据需要将施工安全评价标准等级划分为危险、轻度危险、合格、安全、非常安全 5 个等级, 各个指标的取值范围也按评价标准对应划分为 $[0, 60)$, $[60, 70)$, $[70, 80)$, $[80, 90)$, $[90, 100]$ 等 5 个等级。通过式 (9) ~ (11) 进行云的数字特征计算, 结果如表 1 所示。

表 1 安全风险等级划分及标准云参数

评价标准	区间划分	特征参数
危险	$[0, 60)$	$(30.0, 10, 0.5)$
轻度危险	$[60, 70)$	$(65.0, 1.67, 0.5)$
合格	$[70, 80)$	$(75.0, 1.67, 0.5)$
安全	$[80, 90)$	$(85.0, 1.67, 0.5)$
非常安全	$[90, 100]$	$(95.0, 1.67, 0.5)$

四、实例应用

1. 项目概况

中建科技某中学项目为重庆科学城首个装配式绿色建筑示范学校, 总建筑面积 11.03 万 m^2 , 项目主体采用预制柱、叠合梁、叠合板等结构类装配式预制构件, 项目总体装配率达装配率达到 67.23%。

2. 评价指标权重的确定

利用 3 标度理论改进层次分析法, 得到装配式建筑施工安全风险评价指标权重, 见表 2 所示。

3. 各级指标评价云的确定

采用专家打分法邀请装配式建筑安全施工领域专家 10 人以问卷调查的形式对准则层因素以百分制的形式进行评分, 然后根据式 (6) 计算得到指标云模型数字特征, 如表 2 所示。

4. 综合评价云

将表 2 中指标权重 w_i 和指标云 $C_j (Ex_j, En_j, He_j)$ 代入式 (13), 得到装配式建筑施工安全风险综合评价云为 $C (82.19, 2.49, 0.99)$, 然后利用 Matlab 软件生成综合评价云图, 如图 3 所示。(下转第 74 页)

基于前期的工程分析，在工程实施过程中进行改进和优选。对整个工程进行了全面的计划，并对其进行了科学的设计，并对其进行了设计，并对其进行了详细的设计。

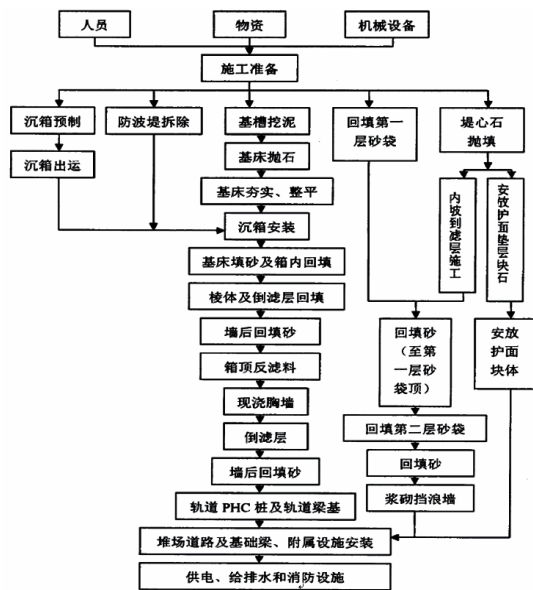


图 3 实例工程优化后的施工工序结构图
四、结论

文章以江苏大津港清洁能源设备集装箱码头项目为案例，分析了项目前期六个多个项目的成本和进度，并进行了分析，并分析了目前项目成本控制中出现的问题，分析了产生这些问题的根源，并运用了 AHP AHP 分析方法，运用了先进的胜利值方法和 AHP AHP 分析方法进行了讨论；从工艺的最优角度，给出了相应的改善方案。

参考文献

[1] Pe terGoodw in. Ana ly tica l so lutions fo r estim ating effec tive d ischarge[J]. Journal of Hy drau lic Eng ineer ing, 2004, 130 (8): 729-738.
[2] 周海英. 加强项目成本管理的过程控制[J]. 铁道标准设计, 2002, (11): 67-68.
[3] 王者丽. 企业的战略成本管理研究[J]. 中国商贸, 2011, 10 (12): 17-19.
[4] 姚家园居住区市政工程项目成本管理分析[D]. 北京: 北京工业大学, 2009.
[5] 李栋梁. 施工项目管理与成本控制[J]. 中国科技财富, 2010, (6): 38-38.
[6] Larry Leach. How to Account For the Bias between Project Performance and Your Model[J]. Project Management Journal, 2003, (6): 12-14.

(上接第 32 页)

表 2 安全评价指标

一级指标	权重	二级指标	指标权重	$C_i (E_{xi}, E_{ni}, H_{ei})$
人员因素	0.1415	操作人员安全意识 C_{11}	0.0228	(82.83, 3.55, 1.40)
		操作人员技术水平 C_{12}	0.0784	(83.00, 2.92, 2.06)
		管理人员管理水平 C_{13}	0.0403	(80.50, 3.13, 1.81)
构件因素	0.3360	构件出厂质量 C_{21}	0.0536	(82.67, 3.48, 2.85)
		临时支撑承载强度与稳定性 C_{22}	0.0423	(81.67, 2.92, 0.34)
		构件出厂及进场安全检查 C_{23}	0.0590	(80.33, 1.67, 0.82)
		构件吊点强度 C_{24}	0.0465	(80.83, 1.04, 0.35)
		构件吊装设备连接的稳定性 C_{25}	0.0562	(81.00, 2.09, 0.91)
		构件运输固定措施 C_{26}	0.0784	(83.33, 1.39, 0.27)
设备因素	0.1133	吊装设备定期安全检查 C_{31}	0.0511	(81.83, 2.72, 0.09)
		吊装设备的选择 C_{32}	0.0333	(82.50, 2.51, 1.68)
		吊装设备的运行状况 C_{33}	0.0289	(82.17, 1.88, 0.41)
		安全教育及培训 C_{34}	0.0367	(82.00, 3.34, 0.88)
管理因素	0.2376	施工现场构件堆放管理 C_{42}	0.0994	(84.17, 2.30, 0.94)
		安全标志标识完善情况 C_{43}	0.0648	(82.33, 2.92, 1.15)
		管理制度的完备性 C_{44}	0.0367	(82.50, 2.09, 0.25)
环境因素	0.1716	气候情况 C_{51}	0.0904	(81.50, 1.67, 0.84)
		现场作业环境 C_{52}	0.0536	(81.67, 2.79, 0.33)
		安全标准政策环境 C_{53}	0.0276	(83.17, 2.79, 1.42)

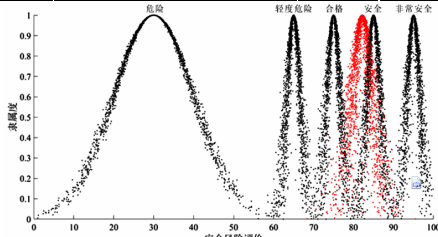


图 3 装配式建筑施工安全风险综合评价云

5. 评价结果分析

由图 3 可知，中建科技某中学项目装配式建筑施工安全

等级为安全，但仍存在改进空间。从表 2 中可以看出，构件因素和管理因素对施工安全影响相对较大，因此要加强装配式构件质量、运输、进出场以及堆放管理，完善安全标识标，确保装配式施工现场安全进一步提升。

五、结论

(1) 文中从人员、构件、设备、管理以及环境 5 个方面选取了 19 个风险因素指标，得到了装配式建筑施工安全评价指标体系。采用改进层次分析法确定评价指标的权重，运用云模型对某项目装配式建筑施工安全风险进行评价。(2) 某项目基于云模型的装配式建筑施工安全风险等级为安全，评价结果与实际管理情况符合，表明该模型具有一定可靠性和实用性。构件因素和管理因素是影响装配式建筑施工安全风险的重要因素，日常安全管理过程中应加强其风险管控。

参考文献

[1] 常春光, 吴溪. 装配式建筑施工安全风险评价研究[J]. 建筑经济, 2018, 39 (8): 49-52.
[2] 王灵智, 闫林君. 基于组合赋权-可变模糊集的装配式建筑施工安全评价[J]. 中国安全生产科学技术, 2020, 16 (11): 103-109.
[3] 冯亚娟, 都思竹, 张竞一. 基于 EW-SPA 的装配式建筑施工安全评价及预测[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29 (5): 85-90.
[4] 方前程, 商丽. 基于博弈论-云模型的露天矿岩质边坡稳定性分析[J]. 安全与环境学报, 2019, 19 (1): 8-13.
[5] 康琨. 基于云模型的装配式建筑施工安全评价研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2018.