

基于云模型的装配式建筑施工安全风险评价

常春光,董 慧

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

摘 要:为预防装配式建筑施工安全事故的发生,根据工程实际和文献资料进行评价指标筛选,结合调查问卷信度、效度分析结果,从人、物、技术、管理、环境5个方面建立了科学合理的安全风险评价指标体系。采取序关系分析法(Order Relation Analysis Method, GI)-熵权法(Entropy Weight Method, EWM)计算主客观权重,加以博弈论组合赋权,确定评语集各等级数学特征,并将其以 MATLAB 绘制映射到云图上。结合具体案例分析,建立了评价标准云和项目评价云模型,计算项目评价云与各标准云的云相似度,得到项目“比较安全”的结果,据此提出了安全措施建议,对装配式建筑的安全管理有一定的借鉴意义。

关键词:装配式建筑;组合赋权;云模型;施工安全;风险评价

中图分类号:TU714 **文献标志码:**A

目前中国的建筑业正在蓬勃发展,住房和城乡建设部在《“十四五”建筑业发展规划》中要求要大力发展装配式建筑。装配式建筑因其工期可控、精度高、质量好、环保等优点而得到了广泛应用,但其普及率尚不及英美等国家。究其原因,是英美等发达国家在建筑现代化方面相对成熟,并已形成了多种装配式专用体系。作为一种施工难度高的新型施工方式,装配式建筑的安全事故发生率高于传统现浇建筑,所以对装配式建筑的安全风险进行系统地识别评价并提出相应的对策显得非常必要。

基于此,国内外诸多相关领域的学者对装配式建筑施工的安全问题进行了深入探讨,Fard等^[1]通过对职业安全与健康管理局调查的事故进行研究确定了最常见的伤害类型和事故原因,并从事故发生的地点、职业类别、设备以及活动等方面对事故进行分析。

Witzany等^[2]将模糊综合理论和层次分析法(Antalytic Hierarchy Process, AHP)相结合对施工安全项目进行判断并提出了应对措施。国内学者主要在评价方法方面进行了研究,武云芬等^[3]提出基于夏普利值赋权建立施工质量灰色综合评价模型;李皓燃等^[4]采用结构方程模型进行了风险的验证性因素分析;冯亚娟等^[5]利用集对分析法和熵权法(Entropy Weight Method, EWM),构建了装配式建筑施工安全评价模型;常春光等^[6]采用未确知测度模型,应用序关系分析法(Order Relation Analysis Method, GI)-EWM法得出综合指标权重并进行评价;吴溪等^[7]采用 Markov 链与 Bayesian 网络相结合的方法估算风险因素发生概率,并在基于种群的随机优化技术算法(Particle Swarm Optimization, PSO)基础上作出了决策;杨斯玲等^[8]提出了一种基于结构熵权和修正证

据理论的方法。另外,还有许多学者应用优劣解距离法^[9] (Technique for Order Preference by Simiarity to an Ideal Solution, TOPSIS)、模糊集^[10]等对装配式建筑安全问题进行了研究。

以上的研究成果为装配式建筑的安全风险评价提供了诸多参考,但由于施工过程的不确定性、复杂性等多种不稳定原因,装配式建筑的安全评价仍旧存有许多值得深入探讨之处。研究采用 EWM 法与 G1 法组合赋权,联系云模型进行评价,以期对装配式建筑施工的安全评价提供新方法。

一、装配式建筑施工安全风险评价相关理论

1. 装配式建筑基本理论

装配式是结合工厂构配件生产和施工现场连接的一种施工方式,主要包括砌块建筑、板材建筑、盒式建筑等,具有构配件工厂生产化、现场现浇作业少、设计施工一体化和绿色环保的施工特点,以及构件临时支撑及吊装风险较大、施工工序繁琐等安全管理特点。

装配式建筑施工阶段的安全风险主要有影响装配式建筑正常施工进度因素,导致与初始定制质量、成本目标存在差距的因素等。

2. 确定指标综合权重

(1)G1 法确定主观权重

G1 法^[11]是将各个指标按重要性排序,并按其排序的结果,对其重要性进行对比判定,得到各个指标的权重。步骤如下:

①确定同一级别相邻指标间的重要比值 r_j 。邀请专家对 r_j 理性赋值,数值越大,表示第 $j-1$ 个指标相对于第 j 个指标越重要。

$$r_j = w_j/w_{j-1}, j = n, n-1, \cdots, 3, 2 \tag{1}$$

式中: r_j 为专家对于第 $j-1$ 个指标相对于第 j 个指标重要程度的打分, r_j 可取 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8; w_j 为第 j 个指标。

②计算指标主观权重。第 j 个评价指标的主观权重为

$$w_j = 1/(1 + \sum_{i=2}^j \prod_{k=i}^j r_k), i = j, j-1, j-$$

$$2, \cdots, 3, 2 \tag{2}$$

其余指标的主观权重为

$$w_{j-1} = r_j w_j, j = n, n-1, \cdots, 3, 2 \tag{3}$$

则评价指标的主观权重 $\omega_1 = (w_1, w_2, \cdots, w_n)$ 。

(2)EWM 法确定客观权重

EWM 法可用于衡量离散度。熵值越小系统越无序,熵权越大,则该指标及其权重的重要性就越强。计算步骤如下:

①计算指标特征比重 p_{ij} 。

$$p_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^m r_{ij} \tag{4}$$

②计算指标 j 的熵值 E_j 。

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \tag{5}$$

式中:当 $p_{ij}=0$ 时规定 $p_{ij} \ln p_{ij}=0$ 。

③计算指标客观权重 w_j 。

$$w_j = (1 - E_j) / \sum_{j=1}^n (1 - E_j) \tag{6}$$

式中: n 为指标层指标个数; m 为指标层评价指标个数; r_{ij} 为第 i 个指标层评价指标对第 j 个指标的数值($i=1, \cdots, m; j=1, \cdots, n$)。

得出评价指标客观权重 $\omega_2 = (w_1, w_2, \cdots, w_n)$ 。

(3)博弈论组合赋权法确定组合权重

博弈论组合赋权是对不同方法得到的指标权重进行协调处理,极小化 ω 与各个 ω_c 之间的偏差。其具体步骤如下:

①计算指标主客观权重。G1-EWM 法权重计算所得线性组合为

$$\begin{cases} \omega = \sum_{c=1}^2 \alpha_c \omega_c^T \\ \alpha_c > 0 \\ \sum_{c=1}^2 \alpha_c = 1 \end{cases} \tag{7}$$

式中: ω 为权重的线性组合; α_c 为权重系数; ω_c^T 为主客观权重向量集的转置矩阵; c 为赋权方法数量(c 取 1, 2)。

②优化组合。对主客观指标权重进行最佳优化,即

$$\min \| \sum_{c=1}^2 \alpha_c \omega_c^T - \omega_b^T \|_2, b = 1, 2 \tag{8}$$

式中: ω_b^T 为主客观权重向量集的转置矩阵 (b 取 1, 2)。

③等价转换。将式(8)进行等价变换^[12]即

$$\sum_{c=1}^2 \alpha_c \omega_b \omega_c^T = \omega_b \omega_b^T \tag{9}$$

式(9)等同于式(10)

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \cdot \omega_1^T & \omega_1 \cdot \omega_2^T \\ \omega_2 \cdot \omega_1^T & \omega_2 \cdot \omega_2^T \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_1 \cdot \omega_1^T \\ \omega_2 \cdot \omega_2^T \end{bmatrix} \tag{10}$$

④归一化处理。由式(10)可得到系数 α_c , 并对其进行归一化处理。

$$\alpha_c^* = \alpha_c / \sum_{c=1}^2 \alpha_c \tag{11}$$

则组合赋权的指标综合权重为

$$\omega^* = \sum_{c=1}^2 \alpha_c^* \omega_c^T \tag{12}$$

3. 云模型原理

(1) 云模型的基本定义

$X = \{x\}$ 为一个集合即论域, 论域 X 上一模糊集合 A , 对任意 x 都存在一随机数, $\mu(x) \in (0, 1)$ 为 x 对 A 的隶属度。论域上隶属度的分布叫隶属云^[13], 每一个点 $(x, \mu(x))$ 为一个云滴。

(2) 云的数字特征

云的数字特征是形成云图的基础, 主要表现为期望值 Ex 、熵值 En 、超熵值 He 。期望值 Ex 表示论域中云滴的分布期望值; 熵值 En 表示论域中云滴的分布范围, 熵越大, 论域内云图的跨度就越大, 这个概念就越难量化; 超熵值 He 表示熵的熵, He 值越大, 云图越离散, 隶属度分布越随机, 云层厚度越大。

(3) 云发生器

云发生器 (Cloud Generator, CG) 分为正、逆向云发生器 (见图 1)。其中, 正向云发生器发生过程如下:

①输入数字特征 (Ex 、 En 、 He)、云滴数 t ;

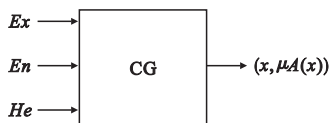


图 1 正向云发生器

②生成正态随机数 $En' \sim N(En, He)$;

③生成正态随机数 $x \sim N(Ex, En')$;

④ x 隶属度 $\mu(x) = \exp \{ -(x - Ex)^2 / 2 (En')^2 \}$;

⑤将上述步骤 t 次重复, 得 t 个云滴 x 的空间位置和隶属度 $\mu(x)$, 将每个云滴表示于坐标中即为云图。

二、装配式施工安全风险评价指标体系的构建

要实现对装配式建筑施工安全风险进行比较精确的评价, 需建立一套完整科学的指标体系。对在实际工程中影响施工安全的因素, 通过实例分析、参考文献并结合理论逐一判定, 总结出对评价指标影响大的因素。在此基础上构建装配式建筑安全风险评价指标体系, 以达到安全生产与质量、造价、进度相协调。

1. 评价指标体系选取原则的确立

装配式建筑项目施工过程非简单的工序叠加, 而是复杂的和多变的。故选取安全指标要综合考虑各阶段主要风险, 在选取主客观赋权法的基础上, 构建合理科学的体系尤为重要。安全评价指标的选取原则包括:

(1)科学性。科学性是指选取的指标既能全面涵盖大部分风险因素, 又能考虑指标间的逻辑联系, 进而筛选出发生概率较高的指标。

(2)代表性。要使筛选出的风险指标能最大化地涵盖施工工程的普遍风险因素, 同时又能表示出所选择项目的特点。

(3)可评价性。既要保证指标可用定性的方法进行评价, 也能用定量的方法确定出相应的风险等级。

2. 风险评价指标预选

根据装配式建筑施工特点、施工安全问题以及实际施工案例中所发生的事故情况, 总结出装配式建设项目在人、物、技术、管理、环境 5 个方面均存在影响施工安全的风险因素。

人的因素包括作业人员的安全意识、作业人员的技术水平、作业人员疲劳作业、作业人员文化素质水平、作业人员的责任意识、作业人员对安全制度的遵守情况、管理人员的

安全管理能力。

物的不安全因素包括构件的质量、设备的使用及检修、防护用具的质量及完备程度、临时支撑的稳定性、机械设备的安拆与使用、高空坠物。

技术因素包括方案设计、预制构件定位技术、构件连接技术、构件吊装技术、成品保护。

管理因素包括施工现场安全教育及培训、施工现场安全管理制度、安全生产检查、施工现场多方协调程度、预制构件堆放管理、事故预警及紧急处理。

环境因素包括政府政策及经济环境、自

然环境、施工现场道路及场地环境、供水供电情况、项目卫生情况、工程地质条件。

3. 风险评价指标筛选

对经过文献阅读、实际项目调查得出的众多指标进行问卷调查,所得结果选用 α 信度系数法进行信度检验;选用统计量检验 (Kaiser Meyer Olkin, KMO) 和巴特利特球形效度检验方法进行效度检验,以提高问卷结果的可信性。

4. 风险评价指标体系的建立

评价指标体系 5 个准则层指标及 15 个指标层指标构成如表 1 所示。

表 1 装配式建筑施工安全风险评价指标体系

目标层	准则层	指标层
装配式建筑施工安全风险评价指标体系	人的因素 X_1	现场人员的安全意识 X_{11}
		作业人员的技术水平 X_{12}
		作业人员疲劳作业 X_{13}
	物的因素 X_2	构件的质量 X_{21}
		设备的使用及检修 X_{22}
		防护用具的质量及完备程度 X_{23}
	技术因素 X_3	预制构件吊装技术 X_{31}
		构件连接技术 X_{32}
		安全检测技术 X_{33}
	管理因素 X_4	施工现场安全教育及培训 X_{41}
		施工现场安全管理制度 X_{42}
		安全生产检查 X_{43}
	环境因素 X_5	自然环境 X_{51}
		施工现场道路及场地环境 X_{52}
		政府政策及经济环境 X_{53}

三、装配式施工安全风险评价模型的建立

1. 确定指标评价标准云

采用五标度法对研究对象进行等级划分,项目云模型的评语集可以表示为: V (不安全,较不安全,一般安全,比较安全,非常安全)。

根据设置的评语集,现采用黄金分割比率法^[14]来确定评价集的数字特征,指定有效论域 $[X_{\min}, X_{\max}]$,在有效论域上生成 5 朵云。中间的一朵云为 $C_n (Ex_n, En_n, He_n)$,则其左右相邻的云分别为 $C_{-2} (Ex_{-2}, En_{-2}, He_{-2})$ 、 $C_{-1} (Ex_{-1}, En_{-1}, He_{-1})$ 、 $C_{+1} (Ex_{+1}, En_{+1}, He_{+1})$ 、 $C_{+2} (Ex_{+2}, En_{+2}, He_{+2})$ 。一般情况下, He_0 为最大评估指标的 1%, 研究中最大评估指标为 10, 所以 He_0 为 0.1。

这 5 朵云的期望值为

$$\begin{cases} Ex_0 = (X_{\min} + X_{\max})/2 \\ Ex_{-2} = X_{\min} \\ Ex_{+2} = X_{\max} \\ Ex_{-1} = Ex_0 - 0.382 (Ex_0 - X_{\min}) \\ Ex_{+1} = Ex_0 - 0.382 (E_{\max} - Ex_0) \end{cases} \quad (13)$$

熵值为

$$\begin{cases} En_0 = 0.618 En_{+1} \\ E_{+1} = En_{-1} = \frac{0.382 (X_{\max} - X_{\min})}{6} \\ En_{+2} = En_{-2} = En_{+1}/0.618 \end{cases} \quad (14)$$

超熵值为

$$\begin{cases} He_0 = 0.1 \\ He_{+1} = He_{-1} = He_0/0.618 \\ He_{+2} = He_{-2} = He_{+1}/0.618 \end{cases} \quad (15)$$

2. 确定综合评价云

(1)确定指标层风险评价云。设某一样本点 $X_z(z=1,2,\cdots,k;k$ 为样本数), 计算该指标的云数字特征参数

$$\begin{cases} Ex = \bar{X} = \frac{1}{k} \sum_{z=1}^k X_z \\ En = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{k} \sum_{z=1}^k |X_z - Ex| \\ He = \sqrt{S^2 - En^2} \\ S^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{z=1}^k (X_z - \bar{X})^2 \end{cases} \quad (16)$$

(2)确定目标层风险评价云。利用式(17)将各指标评价云转化为准则层评价云,同理,再将准则层风险云转化为目标层风险综合云。

$$\begin{cases} Ex = \frac{\sum_{i=1}^h Ex_i En_i \beta_i}{\sum_{i=1}^h En_i \beta_i} \\ En = \sum_{i=1}^h En_i \beta_i \\ He = \frac{\sum_{i=1}^h He_i En_i \beta_i}{\sum_{i=1}^h En_i \beta_i} \end{cases} \quad (17)$$

式中: h 为各准则层中指标层指标的个数, h 取 1,2,3; β_i 为各指标的权重值。

(3)计算云相似度并确定安全风险评价等级。为综合判断云图风险等级,有必要共同绘制综合云和指标标准云。使用组合模糊贴近度方法计算相似度^[15],该综合云的评价等级即与之相似度最大的指标云等级,以此验证直观判断的准确性,并将上述结论与项目实际情况进行比较。

$$\begin{cases} \zeta_1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2\Phi(v)} - \Phi(v) \\ \Phi(v) = \int_{-\infty}^v \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \\ v = \frac{|Ex_1 - Ex|}{\sqrt{En^2 + He^2} + \sqrt{En_l^2 + He_l^2}} \end{cases} \quad (18)$$

式中: $C(Ex,En,He)$ 为指标评价云的数字特征值; $C_l(Ex_l,En_l,He_l)$ 为第 l 个标准评价云

的数字特征值, l 取值为 $-1,-1,0,+1,+2$ 。

四、案例分析

1. 项目概况

研究对象为中国北方某城市 2021 年所建装配式建筑项目,建设持续时间一年零 6 个月。拟建 2、4 和 7 号楼共 3 栋装配式住宅楼,其中地上建筑面积 32 934. 12 m²,地下建筑面积 16 138. 85 m²,总建筑面积 49 072. 97 m²,容积率 2. 299。该建筑结构体系为钢筋混凝土剪力墙结构,预制构件包括预制楼梯、栏板、阳台等,项目装配率为 48. 78。该项目初步满足评价指标体系需要。

2. 项目综合评价

(1)计算各指标权重

邀请 5 名专家学者对指标层指标进行分析判断打分。

①G1 法求得主观权重: $\omega_1 = (0. 122, 0. 102, 0. 085, 0. 120, 0. 075, 0. 063, 0. 091, 0. 051, 0. 042, 0. 069, 0. 049, 0. 035, 0. 041, 0. 030, 0. 025)$

②EWM 法求得客观权重: $\omega_2 = (0. 144, 0. 157, 0. 156, 0. 038, 0. 048, 0. 068, 0. 012, 0. 043, 0. 204, 0. 032, 0. 023, 0. 034, 0. 024, 0. 006, 0. 013)$

③博弈论法得到组合权重: $\omega = (0. 141\ 2, 0. 011\ 1, 0. 009\ 3, 0. 013\ 1, 0. 008\ 2, 0. 006\ 8, 0. 009\ 9, 0. 005\ 5, 0. 004\ 6, 0. 007\ 5, 0. 005\ 4, 0. 003\ 8, 0. 004\ 5, 0. 003\ 2, 0. 002\ 7)$

(2)确定指标标准云

令论域 $= [0, 10]$, 根据式(13)~(15)计算 5 朵云的期望值、熵值和超熵值,该项目的安全风险等级标准云如表 2 所示。

表 2 装配式建筑施工安全风险等级标准云

风险等级	标准云 C_j
不安全	(0, 1. 030, 0. 262)
较不安全	(3. 09, 0. 637, 0. 162)
一般安全	(5, 0. 393, 0. 1)
比较安全	(6. 91, 0. 637, 0. 162)
非常安全	(10, 1. 030, 0. 262)

(3)确定综合评价云

根据专家打分情况,利用式(16)将各专家的评价意见进行综合得到指标云,结果如表3所示。根据式(17)计算综合评价云 $C=(6.369,0.674,0.018)$ 。

(4)确定项目安全风险评价等级

利用 MATLAB 软件绘制标准云图和综合云图(见图2)。综合云的位置处于一般安全云与比较安全云中间,并离比较安全云更近。为了准确确定综合云的评价等级,运用式(18)计算综合云与各标准云的云相似度得 $\xi_{-2}=5.895\times10^{-13}$, $\xi_{-2}=1.036\times10^{-2}$, $\xi_0=0.159$, $\xi_{+1}=0.602$, $\xi_{+2}=0.028$ 。由上述结果可知,综合云与比较安全云图相似度最大,为0.602,所以该项目的安全风险评价等级是比较安全。评价云数字特征如表3所示。

表3 评价云数字特征

指标层	各指标数字特征参数
现场人员的安全意识	(7.254,4.193,0.985)
作业人员的技术水平	(7.417,4.310,0.761)
作业人员疲劳作业	(6.953,4.027,0.729)
构件的质量	(8.389,4.577,3.563)
设备的使用及检修	(7.054,3.792,2.511)
防护用具质量及完备程度	(7.087,3.798,3.086)
预制构件吊装技术	(8.623,4.381,4.113)
构件连接技术	(6.611,3.484,2.748)
安全检测技术	(6.761,3.428,3.039)
施工现场安全教育及培训	(6.807,3.538,2.612)
施工现场安全管理制度	(8.793,4.697,3.891)
安全生产检查	(5.996,3.144,2.178)
自然环境	(6.128,3.120,2.712)
施工现场道路及场地环境	(6.665,3.418,3.237)
政府政策及经济环境	(7.198,3.698,3.290)

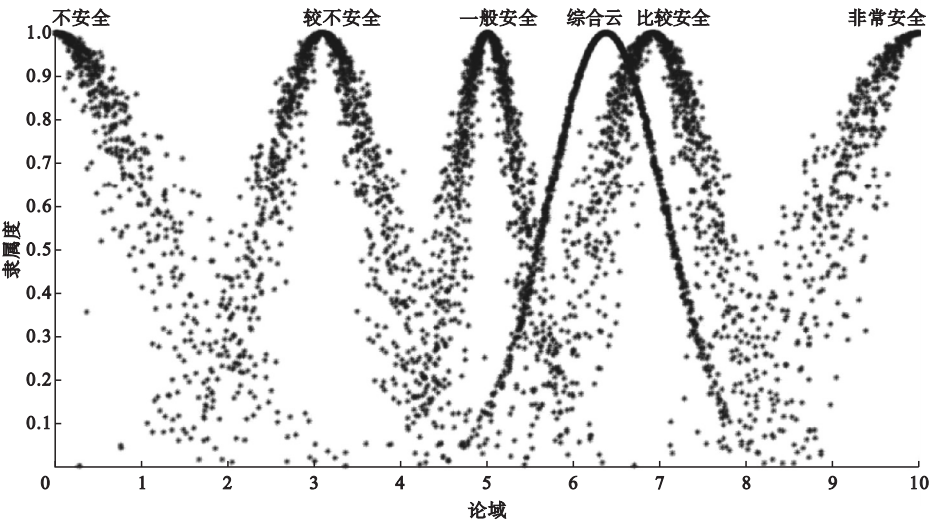


图2 标准云图和综合云图

3. 评价分析及对策建议

通过该项目各指标的评价云可以看出,安全生产检查不全面、构件定位及连接技术等因素也使得项目安全受到威胁,虽然综合评价云图更加接近比较安全云,但这些风险因素仍不能轻易忽视^[16],故结合案例提出一系列对策建议。

(1)人员方面

制定安全制度,进行安全教育,提高安全意识,避免疲劳作业。确定与企业职业健康安全一致的指导思想,实施安全教育系统工程,制定符合安全指导思想的培训计划。

(2)机械设备方面

建立施工机械安全管理制度,提高机械设备管理意识和能力,安排专人对施工机械设备进行维护检测,并确保投入施工的所有机械设备全部验收合格。根据不同设备性质进行日常保养、月保养、年保养、下场保养。制定设备操作规范,并保证操作人员掌握,减少因操作不当引起的事故。

(3)技术方面

积极学习国内外先进技术,并将其投入现场施工,与时俱进,定期举行新技术新工艺研讨会。加强 BIM 技术的引入,实现构件安

装、连接的精准定位,并通过碰撞检测等功能实现对施工方案的优化。

(4) 施工管理方面

加强施工现场安全教育及培训,进行安全生产大检查,建立相应的组织机构,制定计划组织全方位多面性的安全检查。明确定期检查的时限,尤其是在特定的季节和气候条件下要增加检查次数。

(5) 施工环境方面

关注政府出台的相应政策及技术经济形势,如政策法规方面的税收政策、土地政策等。了解施工现场自然环境,如气候、土壤、地下水情况等。加强施工现场自然环境保护,特别注意防止噪声污染、水污染、粉尘排放。坚持安全第一的方针,在施工区域要做到材料分区堆放整齐、保持场地洁净。

五、结 语

通过文献研究,从人、物、技术、管理、环境因素5个方面建立了相对全面有效的装配式建筑施工安全评价体系。用G1法和EWM法分别确定主客观权重、博弈论组合赋权,减少因赋权方法不同带来的误差。结合云模型进行案例分析,通过对指标云与综合云的观察及相似度计算能够反映装配式项目的安全风险等级。经过计算和总结,得出本案例评价等级为“相对安全”,计算结果与实际情况相符,证明了模型的有效性和可行性。

将云模型应用到装配式建筑安全评价中是非常有实际意义的,同时也为安全管理措施的制定提供了有效的参考。装配式建筑施工安全评价还可基于云贝叶斯网络或利用集对分析改进多维云模型,建立基于集对分析的多维联系云模型。

参考文献:

- [1] FARD M M, TEROUHID S A, KIBERT C J, et al. Safety concerns related to modular prefabricated building construction [J]. International journal for consumer and product safety, 2017, 24(1): 10-23.
- [2] WITZANY J, ZIGLER R, KROFTOVA K,

et al. Strengthening of compressed brick masonry walls with carbon composites [J]. Construction and building materials, 2016, 112(1): 1066-1079.

- [3] 武云芬, 洪文霞. 基于Shapley值赋权的装配式建筑项目施工质量灰色综合评价[J]. 青岛理工大学学报, 2022, 43(1): 36-42.
- [4] 李皓燃, 李启明, 陆莹. 基于SEM的装配式建筑施工安全关键风险分析[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(4): 171-176.
- [5] 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.
- [6] 常春光, 牛抒慧. 装配式建筑施工安全风险评价研究: 基于G1-熵权法及未确知测度模型[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2021, 23(4): 367-373.
- [7] 吴溪, 常春光, 严昕. 基于粒子群算法的装配式建筑施工安全风险决策[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(27): 304-310.
- [8] 杨斯玲, 黄和平, 刘伟, 等. 基于结构熵权和修正证据理论的装配式建筑施工安全风险评价[J]. 安全与环境工程, 2019, 26(6): 143-149.
- [9] 樊淑清. 灰色关联度-TOPSIS法的装配式建筑施工安全分析[J]. 建材发展导向, 2020, 18(8): 103-104.
- [10] 王迪, 申建红, 贾格淋, 等. 基于模糊集与DS证据理论的装配式建筑施工安全风险评价[J]. 黑龙江工程学院学报, 2022, 36(1): 36-43.
- [11] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [12] 山成菊, 董增川, 樊利明, 等. 组合赋权法在河流健康评价权重计算中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2012, 40(6): 622-628.
- [13] 李德毅, 孟海军, 史雪梅. 隶属云和隶属云发生器[J]. 计算机研究与发展, 1995(6): 15-20.
- [14] 徐选华, 吴慧迪. 基于改进云模型的语言偏好信息多属性大群体决策方法[J]. 管理工程学报, 2018, 32(1): 117-125.
- [15] 龚艳冰, 蒋亚东, 梁雪春. 基于模糊贴近度的正态云模型相似度度量[J]. 系统工程, 2015, 33(9): 133-137.
- [16] 王宇旻, 金强. 装配式建筑施工安全管理研究[J]. 建设科技, 2022(2): 23-26.

Research on Safety Risk Assessment of Prefabricated Building Construction

CHANG Chunguang ,DONG Hui

(School of Management ,Shenyang Jianzhu University ,Shenyang 110168 ,China)

Abstract:In order to prevent the occurrence of safety accidents in the construction of prefabricated building,the evaluation indicators were screened according to the actual project and literature ,and combined with the reliability and validity analysis results of the questionnaire ,a scientific and reasonable safety risk evaluation indicator system was established from five aspects : human , material , technology , management , and environment . Order Relation Analysis Method (G1)-entropy weight method is adopted to calculate the subjective and objective weights ,and game theory combination weighting is applied to determine the mathematical characteristics of each grade of the comment set ,and it is mapped to the cloud map in MATLAB . Combined with the specific case analysis ,the evaluation standard cloud and project evaluation cloud models are established ,and the cloud similarity between the project evaluation cloud and each standard cloud is calculated to get the “relatively safe” results of the project . Based on this ,safety measures and suggestions are proposed , which has certain reference significance for the safety management of prefabricated building .

Key words: prefabricated building ; combination weight ; cloud model ; safety in construction ; risk evaluation

(责任编辑:王丽娜 英文审校:林 昊)

(上接第 285 页)

Analysis of Unsafe Movement and Unsafe Physical State in Construction Accident of Falling from Height

YAN Weidong¹ ,WANG Haina² ,LIU Guoqi³

(1. President(CPC) Office ,Shenyang Jianzhu University ,Shenyang 110168 ,China ;2. School of Management ,Shenyang Jianzhu University ,Shenyang 110168 ,China ;3. School of Computer Science and Engineering ,Shenyang Jianzhu University ,Shenyang 110168 ,China)

Abstract:The construction height fall accident is the first production safety accident in the construction industry . In order to reduce the injury brought by the accident and reduce the occurrence of the accident ,the paper uses the “2 - 4” model of accident causes to analyze 30 construction height fall accident investigation reports ,and classifies statistics of the unsafe movement and unsafe material state in the formation and development of the accident . Grey relational degree method and interpretive structural model method are used to study the influence relationship between the two factors . The results showed that there were 168 unsafe actions in 12 categories and 38 unsafe physical states in 5 categories . The influencing relationship between the factors constituted the explanatory structure model of the three-layer structure . Finally ,three preventive countermeasures were proposed .

Key words: high fall construction accident ; “2 - 4” model ; unsafe action ; unsafe physical state

(责任编辑:王丽娜 英文审校:林 昊)