

基于 G1 - 物元分析法的装配式建筑施工安全风险评价

常春光¹, 吴 溪¹, 李自浩²

(1. 沈阳建筑大学管理学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 中建铁路投资建设集团有限公司, 北京 100054)

摘 要: 为了有效地对装配式建筑项目施工安全风险进行评价, 分析了装配式建筑存在的主要危险源, 构建了一套风险评估指标体系。将 G1 - 物元分析法引入装配式建筑项目施工安全的评价中, 实现了装配式建筑项目的风险评价分级, 并结合实例进行分析, 证实了该模型在装配式建筑项目施工安全风险评价中具有较好的实用性和可行性, 从而为企业制定施工安全管理方案提供一定的参考依据。

关键词: 装配式建筑; G1 - 物元分析法; 施工安全; 风险评价

中图分类号: TU714 **文献标志码:** A

随着我国城市化进程的不断加快和可持续发展观念的不断深入, 传统建筑行业转型升级势在必行, 装配式建筑凭借其建造速度快、节省人力成本、施工周期短、利于环保等优势逐渐成为业界关注的热点。我国装配式建筑目前尚处于起步阶段, 其现场施工安全生产管理不完善, 还有待深入研究。因此, 加强装配式建筑现场施工安全管理不仅有利于装配式建筑的进一步发展, 也成为建筑行业健康持续快速发展的重要前提。

装配式建筑结构与传统的现浇结构存在很大差异, 然而目前对装配式建筑的安全风险评估仍然按照传统施工项目的评估方法进行, 给现场的施工及管理带来很多安全隐患。为了对装配式建筑进行有效的安全风险评价, 就必须建立有针对性的、系统综合的指标体系和模型。近年来, 国内外学者对传统的安全风险评价模型进行了大量研究^[1-2], 但对于装配式建筑施工安全风险评价的研究

较少, 且主要集中在管理和技术方面^[3-5]。史玉芳等^[6]通过构建装配式建筑 SWOT 矩阵对装配式建筑发展进行了研究; 李颖等^[7]基于预制装配式建筑的施工流程引入层次分析法, 运用事故树分析法对施工过程的危险源与质量控制点进行了分析; 李翔等^[8]运用模糊层次分析法, 构建了沈阳市装配式建筑评价指标体系; 汤彦宁^[9]以装配式住宅施工过程为研究对象, 运用系统动力学的方法对装配式结构住宅施工阶段安全风险状况进行了分析。上述研究成果丰富了装配式建筑施工安全风险评价理论, 但将 G1 法与物元分析法结合起来应用于装配式建筑施工安全风险评价方面的研究还较为缺乏。笔者拟采用 G1 法进行权重计算, 运用物元分析法对装配式建筑施工安全进行综合评价分析, 通过构建多指标性能参数的物元决策模型来更好地反映和解决装配式建筑施工及安全管理过程中存在的问题。

一、评价指标体系构建与评估等级经典域划分

1. 评价指标体系构建

装配式建筑施工安全风险因素涉及各个方面。笔者在现有的国内外关于装配式建筑施工安全风险的研究文献及对该行业若干专

家学者调查访问的基础上,选取若干正在施工的装配式建筑典型案例作为样本进行实地走访调查,根据风险评估指标选取的原则,将装配式建筑项目施工安全风险因素主要概括为人、机、料、法、环、管理6个方面,这6个方面分别涉及若干风险子因素,具体如表1所示。

表1 装配式建筑风险评估指标体系

| 一级指标 | 二级指标 |
|---------------|-------------------------------------|
| 人员危险性 B_1 | 人机混合作业、高处作业 C_{11} |
| | 高强度作业引起的疲劳施工 C_{12} |
| | 施工人员的不安全操作,缺乏专业技术人员 C_{13} |
| | 从业人员素质较低,安全意识薄弱 C_{14} |
| 机械设备危险性 B_2 | 相关设备的运行维护监管、安全定期检测等不到位 C_{21} |
| | 运输设备、吊装设备、灌浆专用设备等的选型、布置不合理 C_{22} |
| 材料危险性 B_3 | 其他和施工有关的安全防护用品质量不合格 C_{31} |
| | 施工过程中所用到的建筑材料的不安全状态 C_{32} |
| 环境危险性 B_4 | 作业面狭窄,光线照明不足,临边洞口等防护措施不到位 C_{41} |
| | 施工场地周围存在带电高压导线、地下燃气管道等危险源 C_{42} |
| | 气候恶劣 C_{43} |
| 技术危险性 B_5 | 临时支撑体系等安全防护技术存在缺陷 C_{51} |
| | 预制构件的吊装设备的附着措施等存在施工工艺缺陷 C_{52} |
| | 预制构件的组装、关键部位的处理等存在施工技术缺陷 C_{53} |
| 管理危险性 B_6 | 没有明确的安全生产管理制度,缺乏相关安全教育及培训 C_{61} |
| | 缺乏统一管理标准和监理机制 C_{62} |
| | 施工过程中多方协调管理不到位 C_{63} |

2. 指标评估等级经典域划分

为更好地确定各因素评估标准,笔者参考了国内外装配式建筑施工安全风险方面的研究成果,在咨询众多专家学者后,按照评估要求并结合实际情况,将风险程度分为5级:Ⅰ级 = {较轻风险级}、Ⅱ级 = {可容许风险级}、Ⅲ级 = {一般风险级}、Ⅳ级 = {重大风险级}和Ⅴ级 = {不允许风险级}。采用专家评分法,将这5个等级对应评估等级的经典域分别划分为:[1,5],(5,6],(6,8],(8,9],(9,10]5个区域。

二、装配式建筑施工安全风险评价模型的构建——G1 - 物元分析法评价模型

G1 - 物元分析法评价模型主要由2个部分组成,第1部分运用G1法确定指标权

重,第2部分运用物元法进行综合评价。其中,物元法综合评价是在G1法的基础上进行的,两者相辅相成,共同提高了评价的可靠性。

1. G1法——确定评价指标权重

G1法是郭亚军^[10]教授在层析分析法的基础上提出的。G1法的具体实施步骤如下。

(1)确定序列顺序及指标相对重要程度的赋值。首先,邀请15~20位相关领域的专家,由他们按照自身经验,根据相应评价准则,对所提供的指标按照重要程度的大小进行排序;再对排在相邻位置的指标进行两两判定比较,并根据具体标准进行赋值,最后,将这些数据进行运算处理得到各评价指标的权重系数。

G₁法将评价指标的相对重要程度从高到低按 $X_1 > X_2 > \cdots > X_s$ 进行排序,其重要程

度权重系数分别 W_1, W_2, \dots, W_s ; 满足 $W_1 + W_2 + \dots + W_s = 1$ 。将指标 X_{k-1} 与 X_k 相对重要程度之比记作: $\frac{W_{k-1}}{W_k} = r_k (k = s, s-1, \dots, 2)$ 。 r_k 的赋值按照标度的不同依次分别取 1.0, 1.2, \dots , 1.8, 具体赋值及各数值含义如表 2 所示。

表 2 指标 X_{k-1} 与 X_k 相对重要性赋值参考表

| r_k | 赋值说明 |
|-------|------|
| 1.0 | 同样重要 |
| 1.2 | 稍微重要 |
| 1.4 | 明显重要 |
| 1.6 | 强烈重要 |
| 1.8 | 极端重要 |

(2) 计算权重系数 W_k 。设有 m 位专家给出一致的排序, 专家 i 对 r_k 的理性赋值记为 r_{ki} , 则 $r_k^* = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m r_{ki}$, 表示 m 位专家给出 r_k 的平均取值。有:

$$W_s = [1 + \sum_{k=2}^s \prod_{j=k}^s r_j^*]^{-1} \tag{1}$$

$$W_{k-1} = W_k \times r_k \quad (k = s, s-1, \dots, 2) \tag{2}$$

由于专家之间存在认知差异, 在多指标情况下给出的排序也不同, 现设共有 n 位专家, 给出的不同排序结果共有 t 种, 其中, 给出排序 j 的专家有 n_j 名, $j = 1, 2, \dots, t$ 。为减少主观因素带来的影响, 可将指标 k 的最终权重 W_k^* 确定为

$$W_k^* = p_1 W_{k1} + p_2 W_{k2} + \dots + p_t W_{kt} \tag{3}$$

其中, $p_1 = \frac{n_1}{n}, p_2 = \frac{n_2}{n}, \dots, p_t = \frac{n_t}{n}$; W_{kj} 表示序列 j 关系下, 按上述方法计算出的指标 k 的权重。

2. 物元分析法——综合评价

物元分析是研究解决不相容问题的方法和规律的新兴学科, 它能够将事物的量与质相结合, 有效地将复杂问题中相互影响的各个因素划分出有序层次, 在进行评价结果等级划分时具有独特优势。采用物元分析法对多指标复杂问题的过程较为简单, 可用 Matlab 等软件进行编程运算, 实用性较强。物元是描述基本事物的元, 由事物的名称、量值和

特征构成 3 个基本要素, 即 $R = (N, C, V)$, R 表示物元, N 表示事物的名称, C 表示物元的特征, V 表示特征的量值。对具有 c_1, c_2, \dots, c_n 个特征和 v_1, v_2, \dots, v_n 个相应量值的事物 N , 其物元 R 可以描述为

$$R = (N, C, V) = \begin{bmatrix} N & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix}$$

运用物元分析法进行研究时, 具体步骤如下。

(1) 确定经典域、节域、待评价物元矩阵。确定经典域: 设 P_{oj} 为待评估事物的第 j 个等级 ($j = 1, 2, \dots, m$), c_i 是关于 P_{oj} 的第 i 个特征 ($i = 1, 2, \dots, n$), $V_{olj}, V_{o2j}, \dots, V_{onj}$ 是分别关于特征 c_i 的量值范围, $V_{oij} = (a_{oij}, b_{oij})$ 表示第 j 等级关于特征 c_i 量值范围, 即经典域, 则经典域的物元可表示为

$$R_{oj} = (P_{oj}, C_i, V_{oij}) = \begin{bmatrix} P_{oj} & c_1 & V_{olj} \\ & c_2 & V_{o2j} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & V_{onj} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} P_{oj} & c_1 & (a_{olj}, b_{olj}) \\ & c_2 & (a_{o2j}, b_{o2j}) \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & (a_{onj}, b_{onj}) \end{bmatrix}$$

确定节域物元: 节域是表示物元特征各个等级所对应的值域。设物元 P_p 是特征 c_i 的全体, $V_{p1}, V_{p2}, \dots, V_{pn}$ 分别是关于 c_1, c_2, \dots, c_n 的取值范围, 即 P_p 的节域, $V_{pi} = (a_{pi}, b_{pi})$ ($i = 1, 2, \dots, n$) 代表 R_p 节域物元关于 c_i 的量值范围, 显然 $V_{oi} \subset V_{pi}$ ($i = 1, 2, \dots, n$), 则 R_p 可表示为

$$R_p = (P_p, C_i, V_p) = \begin{bmatrix} P_p & c_1 & V_{p1} \\ & c_2 & V_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & V_{pn} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} P_p & c_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & c_2 & (a_{p2}, b_{p2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{bmatrix}$$

确定待评价物元:由待评价对象的特征构成的物元称为评价物元。确定节域物元后,找出待评价对象,根据测得的数据和分析结果,建立相应的物元矩阵

$$R_o = (P, c_i, v_i) = \begin{bmatrix} P & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix}$$

式中: P 为待评价对象; v_i 为 P 关于 c_i 的量值。

(2)确定关联函数。关联函数表示物元的量值取值为实轴上一点时,物元符合要求的范围程度。笔者根据所建立的装配式建筑施工安全评价指标体系,选择使用可拓理论中的初等关联函数法来计算待评价物元与物元模型的“接近度”,用以表示待评价对象的某种性质。第 i 项特征的第 j 级关联度函数 $K_j(v_i)$ 可定义为

$$K_j(v_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(v_i, v_{oji})}{|v_{oji}|}, & v_i \in v_{oji} \\ \frac{\rho(v_i, v_{oji})}{\rho(v_i, v_{pi}) - \rho(v_i, v_{oji})}, & v_i \notin v_{oji} \end{cases} \tag{4}$$

其中, $\rho(v_i, v_{oji}) = \left| v_i - \frac{a_{oji} + b_{oji}}{2} \right| - \frac{1}{2}(b_{oji} - a_{oji})$, $\rho(v_i, v_{pi}) = \left| v_i - \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2} \right| - \frac{1}{2}(b_{pi} - a_{pi})$, $|v_{oji}| = |a_{oji} - b_{oji}|$ 。

由此可建立装配式建筑项目待评价对象 P 关于等级 j 的关联度

$$K_j(P) = \sum_{i=1}^n W_i \cdot K_j(v_i) \quad (j = 1, 2, \dots, 5) \tag{5}$$

其中, W_{C_i} 为指标 C_i 权重分配系数; $K_j(P)$ 为第 i 项特征关于第 j 级的关联度。

(3)确定评价等级。求得装配式建筑施工安全关于各评价等级的关联度 $K_j(P)$ 之后,根据最大隶属度原则,设 $K_{j_o} = \max\{K_j(P)\} \quad (j = 1, 2, \dots, n)$,则可判定待评价的装配式建筑项目风险等级属于 j_o 级。关联函数 K_{j_o} 的数值可定量反映评价单元的

好坏及其所属评价水平等级的程度。 $0 \leq K_{j_o} \leq 1$,表示评价单元符合标准范围的要求, K_{j_o} 值越大越接近标准上限; $-1 \leq K_{j_o} < 0$,表示评价单元不符合某级标准的要求,若调整权重因子和参数可具备转化为符合该级标准的条件; $K_{j_o} < -1$,表示评价单元不符合某级标准的要求且不具备转化为符合标准的条件。

(4)计算评价等级的特征值。令

$$\overline{K_j(P)} = \frac{K_j(P) - \min K_j(P)}{\max K_j(P) - \min K_j(P)} \tag{6}$$

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j \overline{K_j(P)}}{\sum_{j=1}^m \overline{K_j(P)}} \tag{7}$$

其中, j^* 为级别变量特征值,据此可以得出装配式建筑施工安全风险评价等级偏向某一级别的程度。

三、实例分析

1. 工程项目概况

笔者以某装配式建设项目为例,该项目由 C 公司承建,建筑面积 6 100 m²,地上 5 层,建筑总高度 21.8 m,底层层高 5.0 m,2 ~ 5 层均为 4.2 m,大楼整体立面采用玻璃幕墙 + 外挂 PC 墙板,该建筑为整体式框架结构体系,抗震等级为三级。

2. 风险评价指标体系权重计算

采用 G1 法确定指标的权重系数,根据表 1 建立的评价指标体系,邀请 15 位专家根据评价指标的重要度进行排序,由于计算内容过多不宜一一列举。根据式(1)~(3)可分别算出一级指标权重 W_{B_i} 和二级指标权重 W_{C_i} ,再根据一级指标与二级指标的权重值计算出指标 C_i 的综合权重 W ,即该装配式建筑项目评价指标体系综合权重,具体结果如表 3 所示。

3. 物元评价

笔者根据对该装配式建筑项目的实地调研,结合所设立的评价指标体系,收集了与该项目安全风险评价指标相关的数据,确定了待评价物元矩阵。

表3 各级指标权重列表

| 一级指标 | 一级指标 权重 W_{B_i} | 二级指标 | 二级指标 权重 W_{C_i} | 综合权重 W |
|-------|----------------------|----------|----------------------|-------------|
| B_1 | 0.194 | C_{11} | 0.206 | 0.040 |
| | | C_{12} | 0.239 | 0.046 |
| | | C_{13} | 0.289 | 0.056 |
| | | C_{14} | 0.266 | 0.052 |
| B_2 | 0.140 | C_{21} | 0.475 | 0.066 |
| | | C_{22} | 0.525 | 0.074 |
| B_3 | 0.170 | C_{31} | 0.536 | 0.075 |
| | | C_{32} | 0.464 | 0.079 |
| B_4 | 0.156 | C_{41} | 0.359 | 0.061 |
| | | C_{42} | 0.337 | 0.052 |
| | | C_{43} | 0.304 | 0.047 |
| B_5 | 0.121 | C_{51} | 0.297 | 0.036 |
| | | C_{52} | 0.335 | 0.040 |
| | | C_{53} | 0.368 | 0.044 |
| B_6 | 0.219 | C_{61} | 0.300 | 0.066 |
| | | C_{62} | 0.334 | 0.073 |
| | | C_{63} | 0.366 | 0.080 |

由式(4)可计算出各个指标关于各等级的关联函数值,由式(5)可得到该装配式建筑项目施工安全风险关于评价等级Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ的关联度,由式(7)可计算出评价等级特征值,具体数值如表4~表6所示。

$R_0 = (P, c_i, v_i) =$

| | | |
|-----|----------|-----|
| P | C_{11} | 4.2 |
| | C_{12} | 5.6 |
| | C_{13} | 3.7 |
| | C_{14} | 3.1 |
| | C_{21} | 2.4 |
| | C_{22} | 3.5 |
| | C_{31} | 2.2 |
| | C_{32} | 5.7 |
| | C_{41} | 3.9 |
| | C_{42} | 4.3 |
| | C_{43} | 5.3 |
| | C_{51} | 5.3 |
| | C_{52} | 3.6 |
| | C_{53} | 4.6 |
| | C_{53} | 4.6 |
| | C_{61} | 6.8 |
| | C_{62} | 5.6 |
| | C_{63} | 7.4 |

表4 各指标关于各等级的关联函数值 $K_j(v_i)$

| 指标 | Ⅰ级 | Ⅱ级 | Ⅲ级 | Ⅳ级 | Ⅴ级 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| C_{11} | -0.005 | -0.008 | 0.008 | -0.020 | -0.009 |
| C_{12} | -0.007 | -0.023 | 0.005 | -0.005 | -0.003 |
| C_{13} | -0.018 | -0.028 | 0.025 | -0.025 | -0.017 |
| C_{14} | -0.012 | -0.018 | 0.018 | -0.026 | -0.015 |
| C_{21} | 0.032 | -0.033 | -0.026 | -0.019 | -0.016 |
| C_{22} | -0.037 | 0.022 | -0.022 | -0.007 | -0.006 |
| C_{31} | 0.002 | -0.038 | -0.006 | -0.002 | -0.002 |
| C_{32} | -0.024 | -0.036 | 0.036 | -0.040 | -0.025 |
| C_{41} | -0.006 | 0.031 | -0.031 | -0.003 | -0.002 |
| C_{42} | -0.014 | -0.026 | 0.016 | -0.016 | -0.011 |
| C_{43} | -0.024 | 0.005 | -0.010 | -0.003 | -0.002 |
| C_{51} | 0.006 | -0.018 | -0.011 | -0.006 | -0.005 |
| C_{52} | -0.013 | -0.020 | 0.018 | -0.018 | -0.012 |
| C_{53} | -0.004 | -0.007 | 0.007 | -0.022 | -0.008 |
| C_{61} | -0.020 | -0.033 | 0.026 | -0.026 | -0.018 |
| C_{62} | -0.022 | -0.033 | 0.033 | -0.037 | -0.024 |
| C_{63} | -0.016 | -0.024 | 0.024 | -0.040 | -0.022 |

根据最大隶属度原则, $K_{j_0} = \max \{k_1(P), k_2(P), k_3(P), k_4(P), k_5(P)\} = k_3(P) = 0.1103$, 即 $j = 3$, 评价该项目风险等级为Ⅲ级。根据式(7)可得到级别变量特征值

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j \overline{K_j(P)}}{\sum_{j=1}^m \overline{K_j(P)}} = 2.279$$

4. 评估结果分析

通过对该装配式建筑项目的实例分析,结合数据分析结果,由 $j^* = 2.279$ 可知:该项目建设施工安全风险等级属于Ⅲ级偏向Ⅱ级,属于一般风险级别。对薄弱环节进行把控时,应综合考虑权重较大且安全风险较大的指标作为重点整改对象,进而降低事故发生率。各指标因素风险分析及应对措施如下。

(1) 人员的危险性。根据最大隶属度原则 $K_{j_0} = \max \{K_j(P)\} = 0.003$ 可知,此时 $j = 3$, 风险等级属于Ⅲ级,为一般风险。表现为施工人员和班组的不安全操作,例如:班组违章无序指挥容易造成施工现场混乱;施工人员不按照正确方法对灌浆专业设备等进行操作,不仅会降低施工质量,还容易引起器械

表 5 各指标关于各等级的关联度 $K_j(P)$

| 关联度 | I 级 | II 级 | III 级 | IV 级 | V 级 |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 人员危险性关于各等级关联度 P_1 | -0.002 | -0.004 | 0.003 | -0.004 | -0.002 |
| 机械设备危险性关于各等级关联度 P_2 | -0.001 | -0.001 | -0.003 | -0.002 | -0.002 |
| 材料危险性关于各等级关联度 P_3 | -0.002 | -0.006 | 0.002 | -0.003 | -0.002 |
| 环境危险性关于各等级关联度 P_4 | -0.002 | 0.001 | -0.002 | -0.001 | -0.001 |
| 技术危险性关于各等级关联度 P_5 | -0.001 | -0.002 | 0.001 | -0.002 | -0.001 |
| 管理危险性关于各等级关联度 P_6 | -0.004 | -0.007 | 0.006 | -0.008 | -0.005 |
| 综合关联度 | -0.183 | -0.287 | 0.110 | -0.314 | -0.196 |

表 6 各指标关于各等级的级别变量特征值

| I 级 | II 级 | III 级 | IV 级 | V 级 |
|-------|-------|-------|------|-------|
| 0.310 | 0.064 | 1.000 | 0 | 0.280 |

的过度损耗。此外,缺乏相应的专业技术人员也是造成风险的原因之一,进行装配式构件组装、吊装的现场施工人员需具备一定的专业知识技能,安装人员的不规范操作很容易引起构件不牢固、脱落、断裂等问题。若该公司增加一些专业知识背景丰富、管理经验充足的人员,组织员工进行岗前教育培训等能使风险相应地减少。

(2) 机械设备、环境危险性。机械设备方面,根据最大隶属度原则 $K_{j_0} = \max \{K_j(P)\} = -0.001$,此时 $j = 2$;环境方面,根据最大隶属度原则的 $K_{j_0} = \max \{K_j(P)\} = 0.001$,此时 $j = 2$,两者的安全风险评估结果都属于 II 级,为可容忍风险。通过咨询相关的主管得知,该公司多年来在设备采购、安装及定期维护方面和作业面的处理、临边洞口等防护措施方面具有丰富经验,因此风险系数也较低。但由于装配式建筑施工的复杂性,任何一个环节的疏忽都会导致安全事故的发生,因而必须认真对待。

(3) 材料危险性。根据最大隶属度原则 $K_{j_0} = \max \{K_j(P)\} = 0.002$,此时 $j = 3$,属于 III 级,为一般风险。装配式建筑预制构件的长度长、体积大,在运输过程中若支撑架不牢固,遇到不平整道路容易引发构件倾覆,排水设施与存放方法不当等容易影响构件质量,造成构件强度、精度不合格等问题。因此,应对预制构件的运输、存放区域的选择等方面进行改善,例如:可采用专用运输架运输,构

件存放场地应该尽量选择平整且有足够地基承载力的地方。

(4) 技术危险性。根据最大隶属度原则 $K_{j_0} = \max \{K_j(P)\} = 0.001$,此时 $j = 3$,属于 III 级,为一般风险。装配式建筑涉及预制构件的组装、垂直运输以及关键部位等施工技术的处理,而目前国内装配式建筑安全生产技术相对落后,现行的很多规范和标准已经满足不了技术进步和施工安全的要求,因此,建议该公司在技术方面加大投入,引入先进的施工技术,培养专业的技术人才。

(5) 管理危险性。根据最大隶属度原则 $K_{j_0} = \max \{K_j(P)\} = 0.006$,此时 $j = 3$,属于 III 级,为一般风险。一方面,施工过程中的安全状态时时都在变化,传统的检查方式和反馈式事后控制已经不能满足装配式建筑工程中的危险防范需求,管理部门应当运用信息技术进行实时监控,建立动态管理机制,加大内部监督制约机制,提升安全监管水平,构建有效的建筑工程安全生产管理体系;另一方面,多方协调、管理和沟通上的不到位会导致安全施工技术措施落实不到位,安全事故频频发生。因此,协调工作对于总承包商和分包商尤其重要,要在两者之间构建有效的管理机制,加强施工安全管理。

四、结 语

笔者引入了 G1 - 物元分析法,建立了装配式建筑施工项目安全风险评价模型,采用 G1 法对评价指标进行权重赋值,运用物元分析法进行综合评价,通过各个指标与等级的关联度将指标间复杂的相关性简单直观地体

现出来。应用实例表明该模型运用于装配式建筑施工安全管理风险评价具有较好的可操作性,运用前景良好。对装配式建筑过程中的风险进行评估能科学合理地分析施工过程中引发安全风险事故的各种可能因素,找出施工过程中的薄弱环节,并实施有侧重性、有针对性的整改措施,是降低装配式建筑施工安全事故发生率的关键环节。G1-物元分析法在装配式建筑安全风险评价中的运用尚需进一步探索,对权重系数如何赋值更为客观,评价指标如何细化,关联函数如何构造更符合实际情况等问题是未来本领域研究的一个重要方向。

参考文献:

- [1] 胡鹰,叶义成,李丹青,等.建筑安全事故灰色季节指数预测模型及应用[J].中国安全科学学报,2014(4):86-91.
- [2] 翟瑞,张云宁,仲冉.基于AHP和VPRS建筑施工安全风险评价体系及其权重[J].土木工程与管理学报,2016(6):109-114.
- [3] 齐宝库,张阳.装配式建筑发展瓶颈与对策研究[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2015(2):156-159.
- [4] 白庶,张艳坤,韩凤,等.BIM技术在装配式建筑中的应用价值分析[J].建筑经济,2015(11):106-109.
- [5] 郑晔.装配式建筑施工安全管理若干要点研究[J].科学家,2017(7):43-44.
- [6] 史玉芳,康坤,王秀芬.基于SWOT分析的我国装配式建筑发展对策研究[J].建筑经济,2016(11):5-9.
- [7] 李颖,李峰,邹宇,等.预制装配式混凝土建筑施工安全 and 质量评估[J].建筑技术,2016(4):305-309.
- [8] 李朔,杨晓彤,吕文浩.基于模糊综合评价的沈阳市装配式建筑制约因素分析[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2016(5):482-487.
- [9] 汤彦宁.基于系统动力学的装配式住宅施工安全风险研究[D].西安:西安建筑科技大学,2015.
- [10] 郭亚军.综合评价理论、方法及应用[M].北京:科学出版社,2007.

Safety Risk Assessment of Prefabricated Construction Based on G1-Matter Element Analysis

CHANG Chunguang¹, WU Xi¹, LI Zihao²

(1. School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China; 2. China State Railway Investment Construction Group Co., LTD. Beijing 100054, China)

Abstract: In order to effectively evaluate the safety risk of prefabricated construction (PC), this paper analyzes the main hazard sources in the PC and constructs a set of risk assessment index systems. The G1-matter element analysis model is introduced into the risk assessment of prefabricated construction safety and PC risk rating is realized in prefabricated construction projects. Combined with the specific case, it is proved that the model has good practicability and feasibility in the PC safety risk assessment and provides some reference for PC safety management scheme of enterprises.

Key words: prefabricated construction; G1-matter element analysis method; construction safety; risk assessment