

EPC 模式下装配式建筑施工质量风险评价

张杰辉, 尧杰辉

(福建工程学院 管理学院, 福建 福州 350118)

摘要: 为了评价 EPC 模式下装配式建筑施工质量风险, 采用文献研究法从施工场内、外两个方面识别出 22 个质量风险指标, 构建了 EPC 模式下装配式建筑施工质量风险综合评价体系。运用 G1-物元分析法对 EPC 模式下装配式建筑施工质量风险进行评价, 提出相应的管控措施。结果表明, 这种风险评价方法可以为总承包方识别、评价和控制 EPC 模式下装配式建筑施工质量风险提供方法和措施上的参考。

关键词: EPC 模式; 装配式建筑; 施工质量风险评价

中图分类号: TU741

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2021)06-0581-07

Construction quality risk assessment of prefabricated buildings under EPC mode

ZHANG Jiehui, YAO Jiehui

(School of Management, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: To study the construction quality risk assessment of prefabricated buildings under EPC mode, 22 quality risk indicators were identified from both the inside and outside of the construction site by using the literature research method, and a comprehensive assessment system for the construction quality risk of prefabricated buildings under the EPC mode was constructed. The G1 matter-element analysis method was used to evaluate the construction quality risk of prefabricated building under the EPC mode, and relevant countermeasures were put forward accordingly. Results show that this risk evaluation method can provide reference on methods and measures for the general contractor to identify, evaluate and control the construction quality risk of prefabricated construction under the EPC mode.

Keywords: EPC mode; prefabricated buildings; construction quality risk assessment

近年来,由于建筑劳动工人的短缺和国家环保节能的政策压力,建筑业正逐步从传统建筑向装配式建筑转型^[1]。但装配式建筑施工中存在的质量风险一直是困扰施工人员的难题^[2]。关于装配式建筑施工质量风险的研究很多,如采用层次分析法^[3]、未确知测度模型^[4]、社会网络分析方法^[5]、ANP-FUZZY 法^[6]、集对理论^[7]、ABC 分类法^[8]、三角模糊数^[9]、结构方程模型^[10]等对装配式建筑施工质量风险进行评价分析。但这些装配式建筑施工质量风险的评价局限于传统模式,而 EPC 模式(engineering procurement construc-

tion, 总承包模式)下的装配式建筑施工质量风险与传统模式不同^[11],因而其风险评价也不一样。EPC 模式具有集成化、一体化的特点,可以很好地规避部分施工质量风险,但也存在总承包商风险责任大的缺陷。因此,对 EPC 模式下装配式建筑施工质量风险研究有现实意义。本研究拟采用 G1-物元分析法对 EPC 模式下装配式建筑施工质量风险进行综合评价分析,通过构建 G1-物元分析法决策模型将 EPC 模式下装配式建筑施工质量风险因素之间的复杂相关性简单直观地体现出来。

收稿日期: 2021-09-06

基金项目: 福建省社科规划项目(FJ2020B040)

第一作者简介: 张杰辉(1967—),男,福建福州人,副教授,博士,研究方向:工程项目管理。

1 搭建施工质量风险评价指标体系

本研究以同时具备设计资质和施工资质的总承包方为视角,以装配式混凝土结构施工质量风险为评价对象,以文献研究法为基础,在中国知网、Web of Science 等学术数据库中搜索“装配式

建筑质量”“EPC 模式风险”“EPC 模式下装配式建筑质量”等关键词,挑出 30 篇具备代表性的文献进行整理分析,结合相关 EPC 模式建筑专家和装配式建筑专家的意见,对初步整理得到的风险因素进行合并、删除及补充,最终得到的评价指标体系整理如表 1 所示。

表 1 EPC 模式下装配式建筑施工质量风险指标
Tab.1 Construction quality risk index of prefabricated buildings under EPC mode

风险大类	一级指标	二级指标
施工场内风险	现场管理风险 A_1	混凝土、套筒、灌浆材料、钢筋强度及性能风险 B_{11}
		预制构件的验收、堆放和保护风险 B_{12}
		吊装设备的选型与养护风险 B_{13}
		施工组织设计与吊装方案选择风险 B_{14}
		质量安全技术交底及操作培训情况 B_{15}
		有无质量问责机制与应急机制 B_{16}
	现场操作风险 A_2	施工质量의 检查和验收情况 B_{17}
		施工现场成品保护风险 B_{18}
		测量放线定位风险 B_{21}
		预制构件节点连接风险 B_{22}
施工场外风险	组织管理风险 A_3	预制构件安装风险 B_{23}
		临时支撑的设置风险 B_{24}
		接缝、孔洞的处理风险 B_{25}
		供应商的选择与管理风险 B_{31}
		设计优化风险 B_{32}
	合同管理风险 A_4	设计、采购、施工集成化管理风险 B_{33}
		有无适配的 EPC 组织管理模式 B_{34}
		分包方的选择与管理风险 B_{35}
		基于发包人的基础资料做出的解释和推断风险 B_{41}
		总承包合同中归属于承包方责任的潜在质量风险 B_{42}
		采购合同中质量标准与验收的风险 B_{43}
		分包合同中质量问题向分包方索赔的风险 B_{44}

2 构建 G1-物元分析法评价模型

2.1 采用 G1 法确定评价指标权重

首先,确定指标的重要性。假设评价指标集为 $\{X'_1, X'_2, \cdots, X'_n\}$,先让专家选出主观认为最重要的指标 X'_1 ,再选出主观认为第二重要的指标 X'_2 ,接着选出主观认为第三重要的指标 X'_3 ,直至最后选出最不重要的指标 X'_n ,最终得

出指标间的重要性排序。
接着,确定各指标的相对重要程度,邀请专家进行重要性打分, r_n 为 X'_{n-1} 与 X'_n 的重要性之比,有:

$$r_n = \frac{w_{n-1}}{w_n}$$

(1)

式中, w_n 代表第 n 个指标的权重,指标相对重要性赋值如表 2 所示。

表 2 指标相对重要性赋值参考表

Tab.2 Reference table of the relative importance assignment of index

r_n	对应的相对重要性关系
1.0	同等重要
1.1	同等重要和轻微重要之间
1.2	轻微重要
1.3	轻微重要和显著重要之间
1.4	显著重要
1.5	显著重要和强烈重要之间
1.6	强烈重要
1.7	强烈重要和极其重要之间
1.8	极其重要

依照上述步骤,先计算一级指标权重系数,再展开计算二级指标的权重系数。以第 m 个指标权重的计算为例,假设专家给出 r_n 的理性赋值,则第 m 个指标对应的权重 w_m 为:

$$w_m = (1 + \sum_{n=2}^m \prod_{i=n}^m r_i)^{-1} \tag{2}$$

计算出某一指标单个权重后,可根据公式(3)计算同指标集合内其他指标的权重:

$$w_{n-1} = r_n w_n, \quad n = m, m-1, \dots, 3, 2 \tag{3}$$

同理,可以算出各层指标的权重。最后确定群决策结果。假设第 k 位专家的权重系数 L_k ,第 k 专家决策下第 i 个指标的权重为 w_i^k ,总共有 t 位专家进行决策打分,则第 i 个指标的群决策计算结果为:

$$w_i = \sum_{k=1}^t L_k w_i^k \tag{4}$$

2.2 运用物元分析法进行综合评价

确定经典域、节域与待评价物元矩阵。

$$\begin{aligned} R_{oj} &= (Z_{oj}, C_{oi}, V_{oji}) = \\ \begin{bmatrix} Z_{oj} & C_{o1} & V_{oj1} \\ & C_{o2} & V_{oj2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_{on} & V_{ojn} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} Z_{oj} & C_{o1} & (a_{oj1}, b_{oj1}) \\ & C_{o2} & (a_{oj2}, b_{oj2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_{on} & (a_{ojn}, b_{ojn}) \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{5}$$

式中, Z_{oj} 是第 j 个评价等级 ($j = 1, 2, \dots, m$), C_{oi} 是指标 Z_{oj} 的第 i 个描述特征 ($i = 1, 2, \dots, n$), V_{oji} 是 Z_{oj} 关于 C_{oi} 的取值范围, (a_{oji}, b_{oji}) 即为经典域。

$$R_p = (Z, C_i, V_{pi}) =$$

$$\begin{bmatrix} Z & C_1 & V_{p1} \\ & C_2 & V_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_j & C_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & C_2 & (a_{p2}, b_{p2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{bmatrix} \tag{6}$$

式中, Z 表示待评价指标的所有等级, V_{pi} 为 Z 关于 C_i 所有等级的取值范围集合, (a_{pi}, b_{pi}) 即为节域。

$$R_o = (Z_o, C_i, V_i) = \begin{bmatrix} Z_o & C_1 & V_1 \\ & C_2 & V_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_n \end{bmatrix} \tag{7}$$

式中, R_o 是待评价物元, Z_o 是评价指标, V_i 为 Z_o 是关于 C_i 的特征值实测数据。

第 i 项特征的第 j 级关联度函数 $K_j(V_i)$ 可定义为:

$$K_j(V_i) = \begin{cases} \frac{\rho(V_i, V_{oji})}{\rho(V_i, V_{pi}) - \rho(V_i, V_{oji})} & V_i \notin V_{oji} \\ \frac{-\rho(V_i, V_{oji})}{|V_{oji}|} & V_i \in V_{oji} \end{cases} \tag{8}$$

其中,

$$\rho(V_i, V_{oji}) = \left| V_i - \frac{a_{oji} + b_{oji}}{2} \right| - \frac{b_{oji} - a_{oji}}{2} \tag{9}$$

$$\rho(V_i, V_{pi}) = \left| V_i - \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2} \right| - \frac{b_{pi} - a_{pi}}{2} \tag{10}$$

$$|v_{oji}| = |a_{oji} - b_{oji}| \tag{11}$$

式中, $\rho(V_i, V_{oji})$ 表示 V_i 与经典域 (a_{oji}, b_{oji}) 的距, $\rho(V_i, V_{pi})$ 表示 V_i 与节域 (a_{pi}, b_{pi}) 的距。

由此可建立 EPC 模式下装配式建筑项目待评价对象 Z 关于等级 j 的关联度:

$$K_j(Z) = \sum_{i=1}^n W_{C_i} \cdot K_j(V_i) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \tag{12}$$

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

根据最大隶属度原则, 设 $K_{j_o} = \max \{K_j(Z)\} (j = 1, 2, \dots, n)$, 则可判断 EPC 模式下装配式建筑施工质量风险等级属于 j_o 级。关联函数 K_{j_o} 的数值反映评价对象是否符合某级标准以及符合程度。 $0 \leq K_{j_o} \leq 1$, 评价对象符合某级标准; $-1 \leq K_{j_o} < 0$, 表示评价对象不符合某级标准, 但具备一定转化条件; $K_{j_o} < -1$, 表示评价对

象不符合某级标准且无法转化。

计算评价等级的特征值 j^* ,

$$\overline{K_j(Z)} = \frac{K_j(Z) - \min K_j(Z)}{\max K_j(Z) - \min K_j(Z)} \tag{13}$$

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j \overline{K_j(Z)}}{\sum_{j=1}^m \overline{K_j(Z)}} \tag{14}$$

式中, j^* 为被评价对象偏向某一级别的程度。

3 案例分析

3.1 工程项目概况

以某 EPC 模式下装配式办公楼建设项目为例,该项目由 D 公司承建,建筑面积 7 040 m²,建筑总高度为 26 m,地上 6 层,其中底层层高 5.0 m,第 2 至 6 层的层高均为 4.2 m,该办公大楼整体立面采用玻璃幕墙和外挂预制墙板,抗震等级为 3 级,是整体式框架结构体系。

3.2 施工质量风险评价

首先,确定评价指标权重。邀请 15 位专家对表 1 建立的评价指标进行重要性排序和重要性打分,由公式(1)~(4)算出各风险评价指标的权重系数,计算结果如表 3 所示。

为确定各风险因素评估标准,结合专家建议,按照评估要求并结合实际情况,将风险程度分为 5 级:Ⅰ级 = {较低风险级}、Ⅱ级 = {可容忍风险级}、Ⅲ级 = {一般风险级}、Ⅳ级 = {较高风险级} 和 V 级 = {高风险级}。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: [1,2) [2,4)[4,7)[7, 9)[9,10]5 个区域,专家的打分成绩进行加权平均后确认为评价物元。根据公式(5)~(7)进行计算,具体数值如表 4 所示。

根据公式(8)~(11)计算各指标关于各等级的关联函数值 $K_j(V_i)$,根据公式(12)计算各指标关于各等级的关联度 $K_j(Z)$,根据(13)~(14)计算评价等级的特征值 j^* ,具体数值如表 5、表 6 所示。

表 3 各级指标权重列表
Tab.3 List of index weights at all levels

一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重	二级指标综合权重
A ₁	0.190 0	B ₁₁	0.116 0	0.022 0
		B ₁₂	0.173 4	0.032 9
		B ₁₃	0.150 8	0.028 6
		B ₁₄	0.100 9	0.019 2
		B ₁₅	0.208 1	0.039 5
		B ₁₆	0.083 4	0.015 8
		B ₁₇	0.075 8	0.014 4
		B ₁₈	0.091 7	0.017 4
A ₂	0.385 7	B ₂₁	0.138 4	0.053 4
		B ₂₂	0.315 1	0.121 5
		B ₂₃	0.274 0	0.105 7
		B ₂₄	0.152 2	0.058 7
		B ₂₅	0.120 3	0.046 4
A ₃	0.2660	B ₃₁	0.165 1	0.043 9
		B ₃₂	0.321 9	0.085 6
		B ₃₃	0.247 6	0.065 9
		B ₃₄	0.150 1	0.039 9
		B ₃₅	0.115 4	0.030 7

续表

一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重	二级指标综合权重
A_4	0.158 3	B_{41}	0.292 0	0.046 2
		B_{42}	0.379 6	0.060 1
		B_{43}	0.182 5	0.028 9
		B_{44}	0.146 0	0.023 1

表 4 评价经典域、节域及评价物元

Tab.4 Classical domain, node domain and matter element of evaluation

指标	经典域					节域	评价物元
	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级		
B_{11}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	2.866 7
B_{12}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	3.333 3
B_{13}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	1.333 3
B_{14}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	2.666 7
B_{15}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	2.133 3
B_{16}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	2.785 7
B_{17}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	2.571 4
B_{18}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	1.866 7
B_{21}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	4.333 3
B_{22}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	6.666 7
B_{23}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	5.933 3
B_{24}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	3.866 7
B_{25}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	4.733 3
B_{31}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	4.933 3
B_{32}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	4.933 3
B_{33}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	4.466 7
B_{34}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	4.266 7
B_{35}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	3.866 7
B_{41}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	3.214 3
B_{42}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	3.071 4
B_{43}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	2.866 7
B_{44}	[1,2)	[2,4)	[4,7)	[7,9)	[9,10]	[1,10]	1.733 3

表 5 各指标关于各等级的关联函数值

Tab.5 Correlation function value of each index with respect to each level

二级指标	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级	隶属等级
B_{11}	- 0.317 1	0.866 7	- 0.377 8	- 0.688 9	- 0.766 7	II 级
B_{12}	- 0.363 6	0.400 0	- 0.222 2	- 0.611 1	- 0.708 3	II 级
B_{13}	0.333 3	- 0.666 7	- 0.888 9	- 0.944 4	- 0.958 3	I 级
B_{14}	- 0.285 7	0.666 7	- 0.444 4	- 0.722 2	- 0.791 7	II 级
B_{15}	- 0.105 3	0.133 3	- 0.622 2	- 0.811 1	- 0.858 3	II 级

续表						
二级指标	I 级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	V 级	隶属等级
B_{16}	- 0.305 6	0.785 7	- 0.404 8	- 0.702 4	- 0.776 8	Ⅱ级
B_{17}	- 0.266 7	0.571 4	- 0.476 2	- 0.738 1	- 0.803 6	Ⅱ级
B_{18}	0.181 8	- 0.133 3	- 0.711 1	- 0.855 6	- 0.891 7	I 级
B_{21}	- 0.411 8	- 0.090 9	0.111 1	- 0.444 4	- 0.583 3	Ⅲ级
B_{22}	- 0.583 3	- 0.444 4	0.111 1	- 0.090 9	- 0.411 8	Ⅲ级
B_{23}	- 0.491 7	- 0.322 2	0.355 6	- 0.207 8	- 0.429 9	Ⅲ级
B_{24}	- 0.394 4	0.048 8	- 0.044 4	- 0.522 2	- 0.641 7	Ⅱ级
B_{25}	- 0.422 7	- 0.164 2	0.244 4	- 0.377 8	- 0.533 3	Ⅲ级
B_{31}	- 0.427 2	- 0.191 8	0.311 1	- 0.344 4	- 0.508 3	Ⅲ级
B_{32}	- 0.427 2	- 0.191 8	0.311 1	- 0.344 4	- 0.508 3	Ⅲ级
B_{33}	- 0.415 7	- 0.118 6	0.155 6	- 0.422 2	- 0.566 7	Ⅲ级
B_{34}	- 0.409 6	- 0.075 5	0.088 9	- 0.455 6	- 0.591 7	Ⅲ级
B_{35}	- 0.394 4	0.048 8	- 0.044 4	- 0.522 2	- 0.641 7	Ⅱ级
B_{41}	- 0.354 2	0.550 0	- 0.261 9	- 0.631 0	- 0.723 2	Ⅱ级
B_{42}	- 0.340 9	0.812 5	- 0.309 5	- 0.654 8	- 0.741 1	Ⅱ级
B_{43}	- 0.317 1	0.866 7	- 0.377 8	- 0.688 9	- 0.766 7	Ⅱ级
B_{44}	0.571 4	- 0.266 7	- 0.755 6	- 0.877 8	- 0.908 3	I 级

表 6 各指标关于各等级的关联度及特征值

Tab.6 Correlation degree and eigen value of each index with respect to each level

一级指标	I 级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	V 级	隶属等级	特征值
A_1	- 0.024 6	0.049 6	- 0.099 9	- 0.144 9	- 0.156 2	Ⅱ级	1.869 6
A_2	- 0.187 6	- 0.097 7	0.065 7	- 0.104 9	- 0.189 0	Ⅲ级	2.976 6
A_3	- 0.111 2	- 0.034 2	0.052 7	- 0.106 6	- 0.146 5	Ⅲ级	2.629 9
A_4	- 0.032 8	0.093 1	- 0.059 1	- 0.108 7	- 0.121 1	Ⅱ级	1.996 1
项目综合	- 0.111 8	- 0.022 6	0.011 0	- 0.113 6	- 0.160 7	Ⅲ级	2.534 8

3.3 评价结果分析

通过对实例分析,结合计算结果可知,该项目的综合风险等级为Ⅲ级,即一般风险,项目综合特征值为 $j^* = 2.534\ 8$,施工质量风险等级为Ⅲ级偏向Ⅱ级。针对薄弱环节进行把控时,应综合考虑权重系数较大且质量风险较大的指标作为重点整改对象,从而降低施工质量风险。针对各指标因素的风险分别分析并采取应对措施。

3.3.1 现场操作风险

由 $K_{j_0} = \max \{ K_j(Z) \} = 0.065\ 7$ 时 $j = 3$,可知现场操作风险级别属于Ⅲ级,为一般风险,主要表现为现场操作没有达到质量标准要求,例如:构件安装过程中碰撞损坏严重;预制墙板吊装出现位置偏位,严重影响工程美观和质量;预制构件灌浆不

密实,节点连接不可靠;螺杆洞、脚手架洞、墙缝等堵塞不严实,引起墙体渗水等。建议该公司引入先进的装配式施工技术,积极培养专业技术人才。

3.3.2 组织管理风险

由 $K_{j_0} = \max \{ K_j(Z) \} = 0.049\ 6$ 时 $j = 3$,可知组织管理风险级别属于Ⅲ级,为一般风险,主要表现为设计、采购、施工一体化、集成化管理经验不足,例如:预制构件的尺寸、预埋件、吊环、预留孔洞的位置存在一定设计偏差,供应商生产的构件外观和质量存在一定的瑕疵,由于设计环节的设计缺陷和生产环节的质量问题集中在施工环节暴露,严重影响到现场建设项目的施工质量。建议该公司加大设计优化力度,加快建立自己的材料、设备采购平台,建立适配的 EPC 模式组织架构。

3.3.3 现场管理风险

由 $K_{jo} = \max \{K_j(Z)\} = 0.0527$ 时 $j = 2$, 可知现场管理风险级别属于 II 级, 为可容忍风险, 主要表现为现场管理人员的管理不到位, 例如: 预制构件验收手续流于形式, 残次品进入施工环节影响施工质量; 预制构件现场堆放的垫块不在一条线上导致构件产生一定程度的裂纹; 现浇节点主筋偏位不在箍筋内等问题。建议该公司建立健全质量问责机制与应急机制, 做好施工组织设计与吊装方案设计, 做好质量技术交底和岗前培训工作, 加强施工过程管理, 完工后做好成品检查与验收工作。

3.3.4 合同管理风险

由 $K_{jo} = \max \{K_j(Z)\} = 0.0931$ 时 $j = 2$, 可知风险级别属于 II 级, 为可容忍风险, 主要体现在与发包人签订的总承包合同中^[14-15], 具体表现为两方面: 一是总承包合同中归属于总承包方承担的潜在质量风险, 例如国家发布新的强制性质量标准, 已施工的部位需要返修直至满足新的国家标准, 而这部分质量风险由总承包方承担; 二是基于发包人的基础资料做出的解释和推断风险, 例如

总承包方轻信可行性研究报告, 实际施工后的项目质量达不到约定要求, 该违约风险由总承包方承担。此外需要关注采购合同中关于材料、设备质量方面的合同风险以及分包合同中出现质量问题向分包方索赔的风险。建议该公司全方位重视合同管理, 引进和培养相关法律人才, 合理运用工程保险、担保等方式转移潜在的质量风险。

4 结语

本研究引入 G1-物元分析法, 采用 G1 法对评价指标进行赋权, 提高了 EPC 模式下装配式建筑施工质量风险赋权过程的效率; 运用物元分析法对 EPC 模式下装配式建筑施工风险结果等级进行合理划分, 采用 Matlab 等软件可极大地提高物元分析法的可操作性和简洁性。本研究以具体项目进行实证分析, 通过构建 EPC 模式下装配式建筑施工质量风险评价模型, 将 EPC 模式下装配式建筑施工质量风险因素之间的复杂相关性简单直观地体现出来, 对总承包方管控 EPC 模式装配式建筑施工质量风险具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 申海龙. 基于组合评价法的装配式混凝土建筑工程质量评价[D]. 郑州: 郑州大学, 2019.
- [2] 李文龙, 李慧民, 孟海, 等. 基于熵权-未确知测度理论的装配式建筑施工安全风险评估[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2019, 51(3): 369-374.
- [3] 姜磊, 李敏, 刘艺岚, 等. AHP 法在装配式建筑建造质量风险分析中的应用[J]. 项目管理技术, 2019, 17(4): 26-30.
- [4] 刘娇, 苑俊丽, 常春光. 基于未确知测度的装配式建筑施工安全风险评价[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2017, 19(4): 387-393.
- [5] 王柔佳, 王成军. 基于 SNA 的装配式建筑项目关键风险识别与对策[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2019, 50(2): 247-250.
- [6] 瞿富强, 陈初一, 颜伟. 基于 ANP-FUZZY 的装配式建筑预制构件质量风险评价[J]. 土木工程与管理学报, 2019, 36(3): 92-98.
- [7] 胡庆国, 蔡孟龙, 何忠明. 基于组合赋权法与集对分析的装配式建筑施工安全风险评价[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2019, 16(4): 16-26.
- [8] 丁彦, 田元福. 装配式建筑施工质量与安全风险评价研究[J]. 建筑经济, 2019, 40(9): 80-84.
- [9] 吴伟东, 姚灿, 潘海洋, 等. 装配式建筑项目实施阶段质量风险评估研究[J]. 科技促进发展, 2020, 16(10): 1259-1265.
- [10] 段永辉, 周诗雨, 郭一斌, 等. 基于 SEM 的装配式建筑施工安全风险及策略[J]. 土木工程与管理学报, 2020, 37(2): 70-75, 121.
- [11] 汪小春. 承包商视角下装配式建筑施工质量关键风险因素研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2018.
- [12] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [13] 蔡文. 可拓学概述[J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18(1): 76.
- [14] 梁献超. EPC 模式下装配式建筑工程质量管理体系与策略[J]. 建筑经济, 2020, 41(11): 73-78.
- [15] 李惠玲, 牟勇霖. EPC 模式下总承包项目风险管理研究[J]. 建筑经济, 2020, 41(S1): 103-107.

(责任编辑: 方素华)