

# 基于改进 TOPSIS 的装配式建筑施工安全评价研究

常春光,石秋红

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

**摘 要:**为了有效地对装配式建筑项目施工安全进行评价,分析了影响装配式建筑施工安全的主要因素,构建了一套装配式建筑施工安全评价指标体系。基于 G1 法和熵权的组合赋权改进了优劣解距离法(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, TOPSIS),构建了装配式建筑项目安全评价体系模型。并通过实例分析,证实了该模型在装配式建筑项目施工安全评价中具有较好的实用性和可行性,从而为企业实施装配式建筑施工安全评价研究提供了一定的参考依据。

**关键词:**装配式建筑;评价体系;组合赋权;优劣解距离法

**中图分类号:** TU714      **文献标志码:** A

装配式建筑具有建造速度快、受气候条件制约小、节能环保等特点。科学的装配式建筑施工安全评价方法,可以评价装配式建筑施工现场的安全状况,为安全管理决策提供指导依据。因此,在装配式建筑项目施工过程中,必须建立一套适用于施工安全评价的指标体系,并构建综合评价模型,进而改善装配式建筑施工安全现状,确保现场施工人员的人身安全,预防和减少安全事故的发生,这对装配式建筑施工安全的科学管控具有重要的现实意义。

近年来,对于装配式建筑施工安全评价的研究主要集中在管理和技术方面<sup>[1]</sup>。在管理方面,刘迪<sup>[2]</sup>研究了装配式混凝土建筑安全施工管理;夏立明等<sup>[3]</sup>基于定性比较分析方法分析了装配式建筑施工安全的影响因素;兰兆红<sup>[4]</sup>研究了装配式建筑的工程项目

管理及发展的问题。在技术方面,王以贤等<sup>[5]</sup>在对装配式建筑概念及生产施工过程总体介绍的基础上,着重探讨了新时代信息技术在装配式建筑发展中的应用与展望;刘骅宇<sup>[6]</sup>用系统动力学方法分析了 BIM 技术应用上的缺陷;叶浩文等<sup>[7]</sup>分析了装配式建筑发展中存在的难题,提出了只有建立并完善装配式建筑全专业的一体化技术体系才能推进其产业化发展;樊则森<sup>[8]</sup>详细分析了预制装配式建筑的设计要点。上述研究成果丰富了装配式建筑施工方面的理论,但将 G1 法与熵权法进行组合赋权改进的优劣解距离法(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, TOPSIS)应用于装配式建筑施工安全评价方面的研究较匮乏。笔者拟采用 G1 法和熵权法进行组合权重计算,运用 TOPSIS 构建装配式建筑安全评价模型

收稿日期:2018-11-08  
基金项目:国家自然科学基金项目(51678375);辽宁省高等学校基本科研项目(LJZ2017009);辽宁省自然科学基金项目(201502794)  
作者简介:常春光(1973—),男,辽宁辽阳人,教授,博士。

并结合实证进行分析,为装配式建筑施安全管理中存在的问题提供新的方法。

## 一、装配式建筑施工安全事故成因分析

装配式建筑施工安全生产是一个多维系统,其子系统处于不断变化的状态,可能在某些触发机制的作用下相互影响,诱发安全事故。对装配式建筑主要安全事故类型、影响因素进行归纳和分析,将影响装配式建筑安全的子系统概括为人的不安全行为、物的不安全状态、环境的不安全状态和管理缺失4个方面。

### 1. 人的因素

在装配式建筑施工过程中,人是各类安全事故所造成的伤害和损失的直接承受者。在施工现场经常出现施工人员安全防范意识差、状态不佳、设备操作不规范等问题;管理人员经验不足或缺乏相应的工作能力;参与装配式建筑项目施工的作业人员技术水平参差不齐、不严格遵守安全制度等现象,这些人的不安全行为或失误都是引发安全事故的直接因素。

### 2. 物的因素

物的不安全状态是装配式建筑施工过程中最大的隐患和危险源。在施工现场经常出现消防设施等安全防护设施管理不到位;安全帽、安全绳索、绝缘防护用品等个人防护用具得不到保障;机械设备超负荷使用、日常维护和定期检测不到位;大型机械设备安拆与使用时安全控制不到位。如果不能正确地对待这些物的不安全状态,很有可能引起安全事故的发生。

### 3. 环境因素

装配式建筑施工现场中的人和物通常受到环境因素的影响,使安全事故伤害客体的状态发生改变,进而诱发安全隐患,导致安全事故的发生。施工中遇到的恶劣天气或一些未探测到的地质变化情况,如果处理不当不仅会影响施工进度,还会影响施工现场的安全。施工现场的照明、噪音、粉尘、通风、温度以及湿度等条件都会对装配式建筑的安全

产生影响。

## 4. 管理因素

在施工现场由于管理问题而引起的安全事故的情况包括:安全技术措施、安全技术交底工作贯彻的不彻底;现场防火情况和安全用电等情况检查不到位;施工作业人员大多知识水平相对较低,安全常识及规范作业知识欠缺;装配式建筑项目工程量大、机械作业多、各工种之间交叉作业频繁,很难建立一套完善的施工现场安全管理制度;安全事故的预防及处理不到位和安全管理责任制落实比较困难等。

## 二、装配式建筑施工安全评价体系研究

### 1. 装配式建筑施工安全评价指标体系的建立

(1)安全评价指标的选取。通过对装配式建筑施工安全事故的成因分析,可以看出,影响装配式建筑施工安全的因素大致可以归纳为人、物、环境和管理4类。笔者为了保证评价结果的全面性,对历年来建筑行业安全事故的案例资料和相关文献进行了汇总整理,针对以上4方面选取了14项影响装配式建筑施工安全风险的子因素(见表1)。其中,二级指标中安全防护设施及劳保用品 $X_{21}$ 、施工机具设备的性能检修与维护 $X_{22}$ 、机械设备的安拆与使用 $X_{23}$ 、施工现场安全教育及培训 $X_{42}$ 和安全事故的预警及应急处理 $X_{45}$ 为定量评价指标,其余指标为定性评价指标。

(2)指标评估标准。将装配式建筑施工各项指标分为定性评价指标和定量评价指标两种,根据指标不同的性质分别进行合理的量化,为进一步分析装配式建筑施工安全状况提供基础依据。

对于定性评价指标,笔者参考国内外装配式建筑施工安全方面的研究成果,结合专家学者意见,根据评估要求并结合实际情况,将指标的安全程度评价分为满意、一般、不满意和非常不满意4种情况。采用检查小组打分法,将这4种情况对应的评价分值的区域划分为 $[100.0, 75.0]$ ,  $(75.0, 50.0]$ ,  $(50.0, 25.0]$ ,  $(25.0, 0.0]$ 。

表1 装配式建筑施工安全评价指标体系

一级指标	二级指标
人的因素 $X_1$	作业人员的工艺技术水平 $X_{11}$
	作业人员的安全意识 $X_{12}$
	管理人员的安全管理能力 $X_{13}$
	作业人员对安全制度的遵守情况 $X_{14}$
物的因素 $X_2$	安全防护设施及劳保用品 $X_{21}$
	施工机具设备的性能检修与维护 $X_{22}$
	机械设备的安拆与使用 $X_{23}$
环境因素 $X_3$	自然环境 $X_{31}$
	工作场所环境 $X_{32}$
管理因素 $X_4$	安全生产检查 $X_{41}$
	施工现场安全教育及培训 $X_{42}$
	施工现场安全管理制度 $X_{43}$
	安全管理责任制度 $X_{44}$
	安全事故的预警及应急处理 $X_{45}$

对于定量评价指标,根据《施工企业安全生产评价标准》<sup>[9]</sup>对未满足下列标准的项目采取扣分制,满分为100分,每个评价指标的分数扣完为止。①安全防护设施及劳保用品。漏电保护装置布置不合理的、未对老化线路及时更换的每处扣3分,消防器材配备不到位或有损坏的扣5~10分,未制定对安全帽、安全带和绝缘防护用品等个人防护用具管理制度扣30分,未按制度执行的每项条款扣2分,主要区域、危险部位没有悬挂安全标志的每处扣2分。②施工机具设备的性能检修与维护。未对机械的安全装置进行检查就开机使用的扣15分,未定期维护检修、使用状态不佳的机械设备扣5~10分,未按要求填写设备安装验收、维护记录情况的每次扣5分,私自对机械配置进行更改扣5~10分。③机械设备的安拆与使用。没有制定合理的安拆方案扣10分,安拆过程中没有专人监护,相关人员不具备相应的资格证书的每项扣5分,没有依据相关标准对安装好的设备进行检查扣10分,使用中未做到专人专机管理扣5~10分。④施工现场安全教育及培训。未建立安全教育培训制度或内容不明确扣15分,企业未对安全管理人员、专职安全员及特种作业人员进行安全教育及培训

扣5~10分,变换工种或采用新技术、新工艺、新设备施工时未对施工人员进行安全教育及培训扣5~10分。⑤安全事故的预警及应急处理。未建立安全事故应急救援预案制度或无针对性的扣15分,未建立救援组织扣15分,未按预案配备相应的救援人员、器材和物资的每项扣5分,未按规定制定演练制度并实施扣5分。

2. 装配式建筑施工安全评价模型的构建

(1)评价指标的组合赋权。①基于G1法评价指标主观权重的确定。G1法是郭亚军<sup>[10]</sup>教授基于层次分析法基础上提出的。具体计算步骤如下:

步骤一:确定各个评价指标的序关系。专家将指标集中的值按照重要程度由大到小进行排列,得到各评价指标重要程度的序关系 $\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 。

步骤二:判断评价指标 $w_{k-1}$ 与 $w_k$ 重要程度之比 $r_k$ 可表示为

$$r_k = \frac{w_{k-1}}{w_k} \tag{1}$$

其中, $k=2,3,\dots,n$ 。根据评价指标的相对重要程度分别取值为 $\{1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8\}$ (见表2)。当指标数量 $n$ 较大时,可取最次要指标 $r_n=1$ 。

表2 指标 $w_{k-1}$ 与 $w_k$ 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

步骤三:计算评价指标权重系数 $w_k$ 。根据式(1)得到重要程度之比 $r_k$ 的理性赋值,则指标权重 $w_n$ 可表示为

$$w_n = [1 + \sum_{k=2}^n \sum_{i=k}^n r_i]^{-1} \tag{2}$$

$$w_{k-1} = w_k \times r_k \tag{3}$$

最终得到的权重集为 $\mathbf{W}^{(G)} = \{w_1^{(G)}, w_2^{(G)}, \dots, w_n^{(G)}\}$ 。

②基于熵权法评价指标客观权重的确定。熵权法是在客观条件下,由评价指标值

来确定指标权重的一种方法。在综合评价中,一般情况下指标信息量会随着信息熵的减少而增加。具体计算步骤如下:步骤一:将  $m$  个可行方案  $n$  个指标值的统计值  $x_{ij}(i=1, 2, \cdots, m; j=1, 2, \cdots, n)$  组成的矩阵定义为  $X_0 = [x_{ij}]_{m \times n}$ 。

步骤二:数据标准化,得到标准化矩阵  $A = [a_{ij}]_{m \times n}$ ,计算公式为

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (4)$$

其中,  $i=1, 2, \cdots, m; j=1, 2, \cdots, n$ ; 后续公式中相同。

步骤三:计算各指标的熵  $e_j$ , 计算公式为

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m a_{ij} \cdot \ln a_{ij} \quad (5)$$

其中,  $k=1/\ln m$ 。

步骤四:计算评价指标的熵权,计算公式为

$$w_j^{(S)} = \frac{h_j}{\sum_{j=1}^n h_j} \quad (6)$$

式中,  $h_j$  为信息偏差度,  $h_j = 1 - e_j$ , 最终得到的权重集为  $W^{(S)} = \{w_1^{(S)}, w_2^{(S)}, \cdots, w_n^{(S)}\}$ 。

③组合权重的确定。设  $W' = \{w'_1, w'_2, \cdots, w'_n\}$  为 G1 法和熵权法组合后的指标权重集。将  $W'$  表示为  $W^{(G)}$  和  $W^{(S)}$  的线性组合, 计算公式为

$$w'_j = \frac{\sqrt{w_j^{(G)} w_j^{(S)}}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{w_j^{(G)} w_j^{(S)}}} \quad (7)$$

(2) 基于改进 TOPSIS 的装配式建筑施工安全评价模型。笔者利用组合权重对决策矩阵权重的确定进行了改进, 对传统的 TOPSIS 进行改进。并通过设置固定的评价对象, 解决了 TOPSIS 只能对多个项目进行优劣排序, 无法进行评价等级评判的问题<sup>[11-12]</sup>。因此, 依照上述指标的安全程度评价分值的划分区域, 取具有代表性的评分值 75.0、50.0、25.0 对应 3 个固定评价项目, 分别用 A、B、C 来表示。当项目的相对贴进度大于等于 A 的相对贴进度时评价等级为“满

意”, 当项目的相对贴进度小于 A 的相对贴进度且大于等于 B 的相对贴进度时评价等级为“一般”, 当项目的相对贴进度小于 B 的相对贴进度并且大于等于 C 的相对贴进度时评价等级为“不满意”, 当项目的相对贴进度小于 C 的相对贴进度时评价等级为“非常不满意”。

①对各个项目的初始评分值进行标准化, 得到标准化矩阵。将标准化矩阵进行组合赋权后得到加权标准化得分矩阵  $D$ :

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mn} \end{bmatrix}$$

②确定正理想解  $d^+$  与负理想解  $d^-$

$$d^+ = \{ \max_{i=1}^m (d_{i1}), \max_{i=1}^m (d_{i2}), \cdots, \max_{i=1}^m (d_{in}) \} \quad (8)$$

$$d^- = \{ \min_{i=1}^m (d_{i1}), \min_{i=1}^m (d_{i2}), \cdots, \min_{i=1}^m (d_{in}) \} \quad (9)$$

③计算每个评价对象分别与正理想解和负理想解的加权距离  $D^+$  和  $D^-$ , 计算公式为

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n [W'_j (d_{ij} - d^+)]^2} \quad (10)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n [W'_j (d_{ij} - d^-)]^2} \quad (11)$$

④计算第  $i$  个评价对象与最优方案的相对贴进度  $d_i$ , 计算公式为

$$d_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (12)$$

当  $D_i^+$  越小时, 第  $i$  个评价对象与最优方案的相对贴进度越大; 反之, 相对贴进度越小。

## 三、实证分析

### 1. 数据样本

通过检查小组对中建某局有限公司 5 个在建装配式建筑施工项目进行检查, 项目编号分为  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ 、 $P_5$ , 并根据上述指标评估标准给出各因素的评分值。其中对于定性评价指标, 根据检查小组成员分别给出的评



分值,对每个装配式建筑项目的评分值进行均权处理。对于定量评价指标,由检查小组根据实际情况统一给出评分值,最终得到各因素评价指标的初始评分值(见表 3)。将评价等级引入到各个在建项目的评价对象中,从而能更加清晰地对各个在建目的管理水平进行比较分析。

表 3 各在建项目的初始评分值 分

项目	初始评分值/分						
	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>
P <sub>1</sub>	84.3	75.4	67.5	67.7	77.0	91.0	77.0
P <sub>2</sub>	77.5	76.9	86.2	77.5	87.0	88.0	72.0
P <sub>3</sub>	87.4	86.5	77.3	81.5	79.0	73.0	77.0
P <sub>4</sub>	77.5	71.3	67.5	72.1	67.0	75.0	77.0
P <sub>5</sub>	80.8	76.5	82.8	71.3	82.0	85.0	67.0

项目	初始评分值/分						
	X <sub>31</sub>	X <sub>32</sub>	X <sub>41</sub>	X <sub>42</sub>	X <sub>43</sub>	X <sub>44</sub>	X <sub>45</sub>
P <sub>1</sub>	78.6	80.5	77.2	72.0	77.4	85.5	85.0
P <sub>2</sub>	76.7	75.6	75.6	85.0	74.7	77.1	77.0
P <sub>3</sub>	77.6	87.3	67.6	92.0	87.3	76.7	86.0
P <sub>4</sub>	77.8	65.3	68.7	80.0	77.5	86.6	82.0
P <sub>5</sub>	74.3	75.6	77.4	83.0	79.7	75.7	83.0

2. 多个在建项目综合评价

(1)主观权重的确定。采用 G1 法确定本项目所选用的评价指标的主观权重。经过检查小组的得分评价,确定了评价指标的 G1 权重,具体结果如表 4 所示。

表 4 G1 法确定的主观权重

指标代码	权重	指标代码	权重
X <sub>11</sub>	0.096 3	X <sub>31</sub>	0.085 4
X <sub>12</sub>	0.044 1	X <sub>32</sub>	0.136 6
X <sub>13</sub>	0.068 8	X <sub>41</sub>	0.018 9
X <sub>14</sub>	0.057 3	X <sub>42</sub>	0.031 7
X <sub>21</sub>	0.128 0	X <sub>43</sub>	0.014 5
X <sub>22</sub>	0.153 6	X <sub>44</sub>	0.022 7
X <sub>23</sub>	0.091 4	X <sub>45</sub>	0.050 8

(2)客观权重的确定。根据式(4)计算各在建项目的标准化评分值,计算结果如表

$$D = \begin{pmatrix} 0.013 & 0.011 & 0.020 & 0.012 & 0.025 & 0.032 & 0.014 & 0.005 & 0.031 & 0.007 & 0.010 & 0.005 & 0.008 & 0.007 \\ 0.012 & 0.011 & 0.025 & 0.014 & 0.028 & 0.031 & 0.014 & 0.005 & 0.029 & 0.007 & 0.012 & 0.005 & 0.007 & 0.007 \\ 0.013 & 0.013 & 0.023 & 0.015 & 0.026 & 0.025 & 0.014 & 0.005 & 0.033 & 0.006 & 0.013 & 0.006 & 0.007 & 0.008 \\ 0.012 & 0.010 & 0.020 & 0.013 & 0.022 & 0.026 & 0.014 & 0.005 & 0.025 & 0.006 & 0.012 & 0.005 & 0.008 & 0.007 \\ 0.012 & 0.011 & 0.024 & 0.013 & 0.027 & 0.030 & 0.013 & 0.005 & 0.029 & 0.007 & 0.012 & 0.006 & 0.007 & 0.007 \end{pmatrix}$$

5 所示。

表 5 各在建项目的标准化评分值

项目	标准化评分值/分						
	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>
P <sub>1</sub>	0.207	0.195	0.177	0.183	0.196	0.221	0.208
P <sub>2</sub>	0.190	0.199	0.226	0.209	0.222	0.214	0.195
P <sub>3</sub>	0.215	0.224	0.203	0.220	0.202	0.177	0.208
P <sub>4</sub>	0.190	0.184	0.177	0.195	0.171	0.182	0.208
P <sub>5</sub>	0.198	0.198	0.217	0.193	0.209	0.206	0.181

项目	标准化评分值/分						
	X <sub>31</sub>	X <sub>32</sub>	X <sub>41</sub>	X <sub>42</sub>	X <sub>43</sub>	X <sub>44</sub>	X <sub>45</sub>
P <sub>1</sub>	0.204	0.210	0.211	0.175	0.195	0.213	0.206
P <sub>2</sub>	0.199	0.197	0.206	0.206	0.188	0.192	0.186
P <sub>3</sub>	0.202	0.227	0.184	0.223	0.220	0.191	0.208
P <sub>4</sub>	0.202	0.170	0.187	0.194	0.195	0.216	0.199
P <sub>5</sub>	0.193	0.197	0.211	0.202	0.201	0.189	0.201

根据式(5)、(6)计算二级指标的熵值( $e_j$ ),熵权( $w_j^{(S)}$ ),计算结果如表 6 所示。

表 6 熵权法确定的客观权重

指标	$e_j$	$w_j^{(S)}$	指标	$e_j$	$w_j^{(S)}$
X <sub>11</sub>	0.999 3	0.034 4	X <sub>31</sub>	0.999 9	0.005 7
X <sub>12</sub>	0.998 7	0.062 8	X <sub>32</sub>	0.997 2	0.135 3
X <sub>13</sub>	0.996 8	0.156 2	X <sub>41</sub>	0.998 9	0.052 1
X <sub>14</sub>	0.998 7	0.066 1	X <sub>42</sub>	0.998 0	0.096 6
X <sub>21</sub>	0.997 7	0.111 0	X <sub>43</sub>	0.999 1	0.044 0
X <sub>22</sub>	0.997 6	0.115 8	X <sub>44</sub>	0.998 9	0.052 3
X <sub>23</sub>	0.999 1	0.045 4	X <sub>45</sub>	0.999 5	0.022 3

(3)组合权重的确定。根据式(7),得出评价指标的组合权重,如表 7 所示。

表 7 组合权重

指标代码	权重	指标代码	权重
X <sub>11</sub>	0.061 9	X <sub>31</sub>	0.023 7
X <sub>12</sub>	0.056 6	X <sub>32</sub>	0.146 1
X <sub>13</sub>	0.111 4	X <sub>41</sub>	0.033 7
X <sub>14</sub>	0.066 1	X <sub>42</sub>	0.059 5
X <sub>21</sub>	0.121 8	X <sub>43</sub>	0.027 2
X <sub>22</sub>	0.143 4	X <sub>44</sub>	0.037 0
X <sub>23</sub>	0.069 2	X <sub>45</sub>	0.036 2

(4)相对贴进度计算。①将标准化得分矩阵加权后得到加权标准化得分矩阵:

②根据式(8)计算正理想解  $d^+$  和根据式(9)计算负理想解  $d^-$

$$d^+ = (0.013, 0.013, 0.025, 0.015, 0.028, 0.032, 0.014, 0.005, 0.033, 0.007, 0.013, 0.006, 0.008, 0.008)$$

$$d^- = (0.012, 0.010, 0.020, 0.012, 0.022, 0.025, 0.013, 0.005, 0.025, 0.006, 0.010, 0.005, 0.007, 0.007)$$

③根据式(10)、(11)计算每个评价项目分别与正理想解和负理想解的加权距离。以  $D_1^+$  和  $D_1^-$  为例进行计算

$$D_1^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n [W_j'(d_{ij} - d_j^+)]^2} = 0.0026$$

$$D_1^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n [W_j'(d_{ij} - d_j^-)]^2} = 0.0034$$

同理可计算出各个评价项目分别与正理想解和负理想解的加权距离。

④计算评价指标与最优方案的相对贴进度。根据式(12)计算出项目  $P_1$  的相对贴进度  $d_1 = 0.5698$ , 同理可以计算出项目  $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ 、 $P_5$  的相对贴进度  $d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$ 、 $d_5$ , 计算结果如表 8 所示。

表 8 TOPSIS 模型计算结果	
项目	$d_i$
$P_1$	0.5698
$P_2$	0.6617
$P_3$	0.6036
$P_4$	0.1252
$P_5$	0.5852

3. 单个在建项目评价

以单个在建项目为评价对象, 各个在建项目初始评分值与设置的固定评价项目的取值共同组成项目的初始评分值, 详细分析单个在建项目的评价等级和管理水平。以  $P_1$  项目为例建立初始评分值, 如表 9 所示。

与多个在建项目综合评价的评价程序相同, 通过数据的初始处理、主观权重、客观权重、组合权重、加权标准化决策矩阵、正负理想解的计算以及项目与正负理想解的加权距离的计算最终得到各个评价指标与最优方案的相对贴进度, 计算结果如表 10~表 14 所示。

表 9 $P_1$ 项目初始评分值							
项目	初始评分值/分						
	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$
$P_1$	84.3	75.4	67.5	67.7	77.0	91.0	77.0
A	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
B	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
C	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0

项目	初始评分值/分						
	$X_{31}$	$X_{32}$	$X_{41}$	$X_{42}$	$X_{43}$	$X_{44}$	$X_{45}$
$P_1$	78.6	80.5	77.2	72.0	77.4	85.5	85.0
A	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
B	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
C	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0

表 10 项目 $P_1$ 的 TOPSIS 模型计算结果	
项目	$d_i$
$P_1$	0.9514
A	0.8562
B	0.4412
C	0.0000

表 11 项目 $P_2$ 的 TOPSIS 模型计算结果	
项目	$d_i$
$P_2$	0.9855
A	0.8563
B	0.4405
C	0.0000

表 12 项目 $P_3$ 的 TOPSIS 模型计算结果	
项目	$d_i$
$P_3$	0.9796
A	0.8628
B	0.4433
C	0.0000

表 13 项目 $P_4$ 的 TOPSIS 模型计算结果	
项目	$d_i$
$P_4$	0.8812
A	0.9632
B	0.4921
C	0.0000

表 14 项目 $P_5$ 的 TOPSIS 模型计算结果	
项目	$d_i$
$P_5$	0.9580
A	0.8891
B	0.4541
C	0.0000

4. 评价分析及对策建议

(1) 多个在建项目评价结果分析。通过

相对贴进度的分析,得到在建项目整体的安全管理水平。通过 TOPSIS 模型计算结果,可以看出各项目的施工安全综合管理水平与能力比较结果从大到小依次为: $P_2, P_3, P_5, P_1, P_4$ 。以  $P_1$  项目为例,由表 3、表 8 可以看出,虽然在施工机具设备的性能检修与维护、安全管理责任制度和安全事故的预警及应急处理等方面做的很好,但是由于整体状况不均衡,在管理人员的安全管理能力和作业人员对安全制度的遵守情况等方面比较薄弱,导致最终安全管理水平偏低。

(2)单个在建项目评价结果分析。通过运用 TOPSIS 对各个在建项目进行相对贴近度的计算,得出每个在建项目的安全管理水平,如表 10~表 14 所示,其中  $P_1, P_2, P_3, P_5$  的相对贴近度均高于 A 的相对贴近度,评价等级为“满意”,安全管理水平较高。只有  $P_4$  的相对贴近度处于 A 与 B 的相对贴近度之间,指标评价等级为“一般”,说明  $P_4$  安全管理整体状况不均衡,安全管理水平有待提高。

(3)对策建议。项目管理者可以通过对比自身项目与其他装配式建筑项目之间的差距。对自身项目安全管理薄弱环节制定有针对性的安全管理措施和安全管理结构,使其更科学合理<sup>[13-14]</sup>。根据各个指标的重要程度,提出以下几点建议:

①加强对施工现场人员的管理。注意加强对决策层、管理层、作业人员的安全意识培养,对施工现场作业人员进行技术培训,提高作业人员的安全技术水平。在建项目中管理人员的安全管理能力  $X_{13}$  对项目的施工安全管理起着很大的作用,要加强培养管理人员对利益驱动法、需求拉动法、精神鼓励法、检查督促法的应用能力,加强其组织协调、调查研究、综合分析和逻辑判断的能力。

②加强对施工现场机械设备的管理。装配式建筑施工现场机械种类繁多,使用频率较高,所以要加强对机械设备的管控工作。在建项目中施工机具设备的性能检修与维护  $X_{22}$  是施工安全管理中比较重要的一环。要做好这项工作应加强对大型机械设备进场前

的安全资质方面的检查力度,在施工机械闲置期间进行维修和保护,避免使用状态不佳的机械设备等。

③加强对施工现场环境的管理。施工现场的作业环境  $X_{32}$  是施工管理中最容易忽视的地方,然而却是安全事故多发的隐蔽地带。因此,应保证作业场地的面积、采光和照明等情况,并在施工现场采取必要的降尘措施,确保施工人员具有良好的作业环境,减少安全事故的发生。

④加强施工现场的制度管理。施工现场应加强与其相关的人、物、机的统一安排和布置,实行定序化管理。以信息系统作为依托,将人和物的状态进行分类,实现施工现场各类物资的合理化分配,使装配式建筑施工现场生产状态处于最佳,从而实现高效率施工生产。施工现场安全教育及培训  $X_{42}$  是在建项目中的关键环节,应定期召开安全教育培训,明确培训的内容。当进行工种变换或采用新技术、新工艺、新设备、新材料施工时应及时对作业人员进行安全教育。

四、结 语

近年来,随着我国大力倡导装配式建筑,为使其得到更加广泛的应用,势必要解决施工安全管理中存在的问题。通过 G1 法和熵权法的组合赋权,即克服了 G1 法主要凭借主观自觉经验的缺点,又可以减少熵权法仅考虑评价指标数学量化值的不足,使评价结果更加真实可靠。改进 TOPSIS 模型的建立对我国装配式建筑施工安全评价研究具有重要的指导意义。此外,此评价方法也为同行业安全管理措施的制定提供一定的参考依据。

参考文献:

[1] 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.

[2] 刘迪. 装配式混凝土建筑的安全施工管理[J]. 建筑施工,2016,38(7):991-992.

[3] 夏立明,刘佳峰. 基于定性比较分析方法的装

- 配式建筑安全影响因素分析[J]. 价值工程, 2018(23):60-62.
- [4] 兰兆红. 装配式建筑工程项目管理及发展问题研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2017.
- [5] 王以贤,陈凯,张洪欣. 信息技术在装配式建筑中的应用及展望[J]. 施工技术,2018(增刊1):1624-1627.
- [6] 刘骅宇. 基于系统动力学的建筑行业 BIM 技术应用研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.
- [7] 叶浩文,周冲. 装配式建筑的设计—加工—装配一体化技术[J]. 施工技术,2017(9):17-19.
- [8] 樊则森. 预制装配式建筑设计要点[J]. 住宅产业,2015(8):56-60.
- [9] 中华人民共和国建设部. 施工企业安全生产评价标准:JGJ/T77-2010[S/OL]. 北京:中国建筑工业出版社,1954:2-3[2003-12-01]. <https://baike.so.com/doc/3693932-3882027.html>.
- [10] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [11] 孙久亮,任东山,郭衍涛. 浅谈装配式建筑施工现场的安全管理[J]. 建筑安全,2019(1):20-24.
- [12] 梁卫明,王平. 装配式建筑如何做好吊装安全管理[J]. 建筑安全,2018(7):70-72.
- [13] 苗震. 基于 BIM 与 RFID 技术的装配式建筑施工安全管理研究[J]. 科技创新与应用,2018(31):189-190.
- [14] 刘名强,李英攀,王芳等. 基于 RVM 的装配式建筑吊装作业安全预警模型[J]. 中国安全科学报,2018(4):109-114.

## Construction Safety Evaluation of Prefabricated Construction on the Basis of the Improved TOPSIS

CHANG Chunguang, SHI Qiuhong

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

**Abstract:** In order to effectively evaluate the construction safety of prefabricated construction projects, the main factors influencing prefabricated constructions are analyzed, and a set of safety assessment index system is constructed. Based on the combination between G1 method and entropy weight, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, TOPSIS) is improved and the safety evaluation system model of the prefabricated construction project is constructed. Combined with the specific case, it is proved that the model has good practicability and feasibility in the construction safety assessment of the prefabricated construction project, which provides references for the enterprise to implement the safety evaluation of the prefabricated construction.

**Key words:** fabricated construction; evaluation system; combined empowerment; TOPSIS

(责任编辑:何旷怡 英文审校:林 昊)