

[文章编号] 1003-4684(2023)02-0091-04

基于组合赋权的装配式建筑风险因素研究

邹贻权, 张若涵

(湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068)

[摘要] 装配式建筑在技术、质量、功能、工期上都有了更高追求,所面临的风险比传统现浇建筑更加严峻。为了规避和降低风险,在文献研究的基础上,通过半结构化访谈识别出覆盖决策、设计、生产运输、施工吊装、运营阶段的 24 个风险因素,构建装配式建筑全寿命周期风险因素指标体系。结合指标体系采用主、客观相耦合的定权方法——AHP-熵权法对某项目进行案例分析,研究表明各阶段的关键风险因素分别为市场需求预估不准确、设计未考虑全生命周期的可行性、构件混凝土强度不足、工业化、机械化施工吊装水平较低和运营效果不稳定,并针对关键风险因素提出风险防控措施。

[关键词] 装配式建筑;全寿命周期;风险因素;AHP-熵权法

[中图分类号] TU201.2 **[文献标识码]** A

住房和城乡建设部关于 2020 年度全国装配式建筑发展情况的通报中指出,2020 年全国新开工的装配式建筑共计 6.3 亿 m^2 ,较 2019 年增长 50%,占新建建筑面积的比例约为 20.5%,装配式建筑作为一种新型的建造方式,已逐渐取代传统现浇建筑。与传统现浇建筑相比,装配式建筑的目标不再局限于工期、质量和成本,而是拓展到追求节能、环保、全周期价值最大化且可持续发展的高度上,更严苛的要求使得装配式建筑各阶段的风险愈加明显。故科学评价装配式建筑全寿命周期风险并提出切实可行的防控措施成为了新的研究方向。

目前,我国装配式建筑还处在发展阶段,杜鹃等^[1]对装配式建筑设计变更风险进行了研究,刘凯等^[2]分析了装配式建筑设计风险;李强年等^[3]对装配式建筑部品运输风险进行了评价;陈伟等^[4]、段永辉等^[5]、吴溪等^[6]均研究了装配式建筑施工安全风险;李文龙等^[7]、田学泽等^[8]对装配式建筑吊装施工安全风险进行了评估。综上所述,国内学者对于装配式建筑风险因素的研究大多集中在建设工程的某一个阶段,对全寿命周期的风险因素研究甚少。鉴于此,本文提出“基于组合赋权的装配式建筑全寿命周期风险因素研究”,拟通过对装配式建筑全寿命周期的研究,将层次分析法与熵权法相结合,对某实际项目进行风险分析,并针对关键风险因素提出风险防控措施,为进一步减少装配式建筑项目风险提供参考。

1 装配式建筑全寿命周期风险因素定性分析

1.1 装配式建筑全寿命周期风险现状分析

通过中国知网、万方数据知识服务平台等数据库,搜索 2015—2021 年间含有关键词“装配式建筑”“风险因素”的文献并进行检索分析,得到 177 篇相关文献,通过筛选文献,最终确定 21 篇原始文献^[1-21]作为本文风险因素的来源,并分别对决策、设计、生产运输、施工吊装、运营阶段的风险进行现状分析。

1.1.1 决策阶段 项目决策阶段的风险主要来源于社会、市场和经济。政府的城市规划、政策以及居民主观意愿和开发商的利益等因素都会使装配式建筑项目陷入僵局,影响工程进展。现阶段相继颁布了一些装配式建筑相关文件,给装配式建筑的建设提供指导性意见的同时也带来了许多不确定因素。其次,装配式建筑的市场需求预估不准确以及企业间的竞争无疑也会加剧风险。由于装配式建筑项目的开发资金大都直接来源于政府的银行贷款以及外部资金,政府的资金补贴政策也会对项目的融资产生影响,汇率贬值以及企业本身债务过多都会成为项目实施中的绊脚石。同时装配式建筑的发展也不是一蹴而就的,装配式建筑项目可行性分析的缺失也会成为阻碍。

1.1.2 设计阶段 设计师基于二维 CAD 图纸进行

[收稿日期] 2021-10-27

[第一作者] 邹贻权(1973—),男,湖北公安人,湖北工业大学副教授,研究方向为数字化设计与建造

[通信作者] 张若涵(1994—),女,湖北宜昌人,湖北工业大学硕士研究生,研究方向为数字化设计与建造

装配式建筑设计时,由于预制构件拆分方法不合理,且未遵循模数协调原则,导致存在同种类型的预制构件有几种预制方案的情况,都会增加生产、运输、施工吊装的难度。目前,我国装配式建筑还处在发展阶段,设计方案无法因地制宜,不能完全满足当地消费者对经济、美观、安全和可靠的基本要求,使得设计阶段的风险大大增加。同时设计阶段被割裂开来,未考虑生产运输、施工吊装和运营阶段的实际情况,导致设计出来的方案可操作性差,大大增加了装配式建筑项目风险事故的发生概率。同时设计师普遍缺乏集成设计经验,致使有些装配式建筑也无法完全达到消费者预期。

1.1.3 生产运输阶段 构件生产运输是指构件在预制构件厂生产到运输至项目所在地的过程。在实际生产过程中,预制构件厂存在缺乏专用设备的情况,有些预制构件厂的资质和水平不达标,专业人员也未对构件供应商进行严格把控导致预制构件商的水平参差不齐。其次预制构件的生产工艺不成熟、技术不过关,如脱模前预埋、插筋、预留孔洞等出现偏差,混凝土拆模起吊前未达到相应强度等,都会影响预制构件的质量。同时,预制构件的混凝土强度不宜低于 C30,部分预制构件混凝土强度不足也会使装配式建筑不稳定,直接影响后期运营效果。另外在运输时,未做好预制构件的固定和防损坏措施也会成为运输风险的来源之一。

1.1.4 施工吊装阶段 装配式建筑的施工方法完全颠覆了传统现浇建筑,大都采用较先进的施工工艺,然而目前大多数施工单位还未能掌握装配式建设工程技术,导致工作效率较低且关键部位施工质量难以控制,无法达到预期效果。其次,装配式建筑项目的一个基本特征就是建设投资额巨大,对机械化施工程度的要求较高,不仅会造成成本增加,而且工期延迟甚至未按期竣工都会直接影响其利息支出,致使开发商蒙受经济损失。同时,施工作业现场环境复杂,存在许多安全隐患,再加上我国大部分一线施工人员专业素质偏低,缺乏系统的专业知识,大多数施工是凭借经验,而传统的施工经验无法满足装配式建筑对建设工程技术的要求,这就导致施工阶段的风险大大增加。

1.1.5 运营阶段 研究表明,如果一个建筑物使用大约 7 年,产生的费用将超过建造期间的费用,可见成本增加会伴随风险产生,充分说明运营阶段也不容小觑。物业管理风险贯穿整个运营阶段,包括早期干预、早期管理和日常管理。其次运营期间若未能达到预期效果或未进行科学维护,都会增加该阶段的风险。同时从装配式建筑的长期利益和实用性

方面考虑,运营效果不稳定主要是由于装配式建筑还未形成一套完整的运营管理体系。

1.2 装配式建筑全生命周期风险因素体系构建

本文在文献研究^[1-21]的基础上,梳理出有关装配式建筑全生命周期的风险因素。为了进一步确定最终风险因素指标体系,在武汉市建筑业协会装配式建筑分会的支持下,对有装配式建筑项目经验的 40 位行业专家进行了半结构化访谈,受访者的基本信息如表 1 所示。受访者通过问卷调查对风险因素进行李克特 5 级量表评分(1=低风险,5=高风险),在发放问卷一周后以视频会议的形式与专家进行深入访谈,通过对访谈结果和问卷调查的分析,最终确定了 24 项风险因素指标体系,如表 2 所示。

表 1 受访者基本信息

背景	划分标准	人数	比例/%
单位性质	施工单位	15	37
	设计单位	10	25
	咨询单位	8	20
	建设单位	4	10
	科研机构	3	8
工作岗位	项目经理	18	45
	部门经理	14	35
	高校教授	5	12
	单位领导	3	8
受教育程度	博士	4	10
	硕士	12	30
	本科	19	48
	专科	3	7
从业年限	专科以下	2	5
	3—5 年	5	13
	5—8 年	16	40
	8—10 年	15	37
	10 年以上	4	10

2 装配式建筑全生命周期风险因素定量分析

2.1 AHP-熵权法介绍

2.1.1 层次分析法(AHP) 层次分析法由萨帝教授在上世纪 70 年代提出,将决策问题的相关影响因素按照一定的层次分解形式整理归纳,然后对各影响因素的重要程度借助专家评价进行量化研究。计算步骤如下:

1)构建层次结构模型 将由决策目标、决策对象和决策指标构建的评价指标体系划分成一个具有目标层、准则层、指标层的结构模型如表 2。

2)构造判断矩阵 对处在同一层次上的两个指标根据 1—9 标度法进行比较打分,进而得到判断矩阵,且满足 $b_{ij}b_{ji}=1$ 。

表 2 装配式建筑全寿命周期风险因素指标体系

目标层	准则层	指标层	文献来源
U	决策阶段 B1	政策变化快 C11	[1、2、9-16]
		融资市场尚不健全 C12	[1、10、11、13、14、21]
		通货膨胀的不确定性 C13	[11、13、14、16]
		市场需求预估不准确 C14	[10-12、15、21]
		装配式建筑可行性分析的缺失 C15	[14、18、19、21]
	设计阶段 B2	未遵循模数协调原则 C21	[11、14、17]
		产品设计未因地制宜 C22	[10-12、14、15、21]
		缺乏集成设计经验 C23	[1、2、10-14、17]
		预制构件拆分方法不合理 C24	[1、10、11、14-16]
		设计未考虑全生命周期的可行性 C25	[1、10-15、17、21]
	生产运输阶段 B3	构件混凝土强度不足 C31	[2、4、5、7、8、11-13、15、16]
		构件运输时防护和堆放欠妥 C32	[3-5、9-16、17、21]
		构件拆模起吊前混凝土强度未达标 C33	[11、13-15]
		构件供应商的选择未严格把控 C34	[11、14、15]
		脱模时预埋、插筋、预留孔洞等出现偏差 C35	[11、12、20]
	施工吊装阶段 B4	工期延误的不可控 C41	[10、11、14、17]
		施工人员综合素质普遍较低 C42	[1、4-12、14、15、17、21]
		施工现场存在较多安全隐患 C43	[2、4-10、14]
		装配式建筑施工和吊装成本较高 C44	[2、10、11、14、17]
		工业化、机械化施工吊装水平较低 C45	[2、4-8、11、13-15]
	运营阶段 B5	运营效果不稳定 C51	[10、11、13、15]
		物业管理存在缺陷 C52	[2、10-15、21]
		装配式建筑后期维护不足 C53	[10-15、17、21]
		未达到预期综合性能 C54	[10-15、17、21]

3)层次单排序 层次单排序是根据建立的判断矩阵运用矩阵理论的方法计算出某层次指标对其所属指标的重要程度。

计算判断矩阵的每一行乘积

$$m_i = \prod_{j=1}^n b_{ij}, j = 1, 2, \cdots, n$$
 (1)

计算 m_i 的 n 次方根

$$\overline{w}_i = \sqrt[n]{m_i}$$
 (2)

4)将向量 $\overline{w} = (\overline{w}_1, \overline{w}_2, \cdots, \overline{w}_n)$ 归一化,得到各指标权重

$$w_i = \frac{\overline{w}_i}{\sum_{i=1}^n \overline{w}_i}$$
 (3)

$w = (w_1, w_2, \cdots, w_n)^T$ 即为所求特征向量。

计算最大特征值

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(A_w)_i}{w_i}$$
 (4)

式中 A 为判断矩阵, A_w 为矩阵与向量的乘积。

判断一致性

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0, CR = \frac{CI}{RI}$$
 (5)

若 $CI = 0$,则表示判断矩阵具有一致性;若不具有一致性,则需要判断是否满足 $CR < 0.1$ (一致性指标 RI 的值查表可知),若不满足需要调整判断矩

阵直至合理。

5)层次总排序 将经过上述计算得到的二级指标权重分别乘以其所属一级指标的权重,求出综合权重即得到层次总排序。

2.1.2 熵权法 熵权法是一种客观确定权重系数的方法,主要是根据各指标传递给决策者的信息量大小来确定其权重。一般情况下,信息量越大,其熵值越小,指标的离散程度就越大,在综合评价中所起的作用就越大,即熵权就越大。计算步骤如下:

1)建立评价矩阵 构建 m 个评价对象, n 个评价指标的判断矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times n}$

2)数据归一化处理

$$r_{ij} = \frac{a_{ij} - \min_j \{a_{ij}\}}{\max_j \{a_{ij}\} - \min_j \{a_{ij}\}}$$
 (6)

其中, $\min_j a_{ij}$ 是不同评价对象 i 在 j 指标下的最小值, $\max_j a_{ij}$ 是不同评价对象 i 在 j 指标下的最大值。

3)确定指标的信息熵值

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}$$
 (7)

式中 $f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}$,且约定当 $f_{ij} = 0$ 时, $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ 。

4)确定指标的客观权重

$$w_j = \frac{1 - E_j}{n - \sum_{j=1}^n E_j} \tag{8}$$

2.1.3 AHP-熵权法组合权重 为使装配式建筑全寿命周期风险评价指标的权重既考虑评价者的主观意愿又兼顾指标本身代表的意义,将由 AHP 计算的主观综合权重和熵权法计算的客观综合权重相耦合得到组合权重,优化公式为:

$$w = \frac{w_i w_j}{\sum_{i,j=1}^n w_i w_j} \tag{9}$$

2.2 案例分析

本文选用的案例为湖北某机电科技产业园项目(1#、3#、4#楼),该项目的装配式面积为74215 m²,采用装配整体式组合框架结构、装配式混凝土结构,其中3#楼装配率高达93.6%,属于AAA级装配式建筑,是武汉市2021年度第一批装配式建筑示范项目。因此选择该项目作为本文的案例分析,具有极大的代表意义。

2.2.1 AHP 计算指标权重

1)邀请参与该装配式建筑项目的10位专家采用1—9标度法对评价指标的重要性进行两两比较,综合专家打分结果,得到判断矩阵 $U-B_i$,根据式(1)~(3)计算出风险因素评价指标的权重(表3),同理可得到各准则层对应指标层的因素权重分别为:

$$\begin{aligned} w_1 &= (0.111, 0.176, 0.077, 0.347, 0.289)^T \\ w_2 &= (0.072, 0.109, 0.194, 0.228, 0.397)^T \\ w_3 &= (0.406, 0.067, 0.256, 0.106, 0.165)^T \\ w_4 &= (0.104, 0.148, 0.344, 0.059, 0.344)^T \\ w_5 &= (0.446, 0.285, 0.164, 0.105)^T \end{aligned}$$

2)一致性检验:根据式(4)~(5)对判断矩阵进行一致性检查(表4)。

3)层次总排序:计算 AHP 综合权重(表5)。

表3 U-Bi 判断矩阵

U	B1	B2	B3	B4	B5	w_i
B1	1.000	0.500	0.333	0.200	0.333	0.067
B2	3.000	0.500	0.500	0.333	1.000	0.126
B3	3.000	3.000	1.000	0.500	2.000	0.258
B4	5.000	3.000	2.000	1.000	3.000	0.408
B5	2.000	1.000	0.333	0.333	2.000	0.141

表4 一致性检验表

	B_i	C1	C2	C3	C4	C5
λ_{\max}	5.157	5.115	5.104	5.072	4.071	5.197
CI	0.039	0.029	0.026	0.018	0.024	0.049
RI	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	0.900
CR	0.035	0.026	0.023	0.016	0.026	0.044
一致性	通过	通过	通过	通过	通过	通过

2.2.2 熵权法计算指标权重 本文选取的指标是评价装配式建筑项目风险水平的,因此为定性指标,详见表2。为了量化各评价指标,邀请参与该装配式建筑项目的10位专家对24个指标进行打分。根据式(6)对判断矩阵A进行归一化处理,得到矩阵R,再根据式(7)、(8)可分别求出信息熵值 E_j 和客观权重 w_j (即综合权重),如表5所示。将各指标层的所有综合权重相加,即得到各指标层所对应准则层的权重,再用所求得的客观权重 w_j (即综合权重)除以该指标层所对应准则层的权重,即可得到指标层的层内权重(表5)。

2.2.3 AHP-熵权法计算组合权重 根据式(9)对AHP和熵权法所求得各指标层综合权重进行组合,得到指标层的组合权重,再将各指标层的组合权重相加即可得到所对应准则层的组合权重(表5)。

表5 权重计算结果

目标层	准则层	层内权重		组合权重
		AHP	熵权法	
U	B1	0.067	0.173	
	B2	0.126	0.117	
	B3	0.258	0.228	0.053
	B4	0.408	0.229	
	B5	0.141	0.193	

指标层	层内权重		综合权重		组合权重
	AHP	熵权法	AHP	熵权法	
C11	0.111	0.139	0.007	0.024	0.004
C12	0.176	0.220	0.012	0.038	0.009
C13	0.077	0.127	0.005	0.022	0.002
C14	0.347	0.289	0.023	0.050	0.023
C15	0.289	0.225	0.019	0.039	0.015
C21	0.072	0.120	0.010	0.022	0.004
C22	0.109	0.196	0.015	0.036	0.011
C23	0.194	0.207	0.027	0.038	0.021
C24	0.228	0.207	0.032	0.038	0.024
C25	0.397	0.272	0.056	0.050	0.056
C31	0.406	0.240	0.105	0.050	0.105
C32	0.067	0.183	0.017	0.038	0.013
C33	0.256	0.202	0.066	0.042	0.055
C34	0.106	0.183	0.027	0.038	0.021
C35	0.165	0.192	0.043	0.040	0.034
C41	0.104	0.175	0.042	0.040	0.034
C42	0.148	0.175	0.060	0.040	0.048
C43	0.344	0.262	0.140	0.060	0.168
C44	0.059	0.087	0.024	0.020	0.010
C45	0.344	0.301	0.140	0.069	0.194
C51	0.446	0.358	0.056	0.069	0.078
C52	0.285	0.259	0.036	0.050	0.036
C53	0.164	0.197	0.021	0.038	0.016
C54	0.105	0.187	0.013	0.036	0.010

2.2.4 案例结果分析

- 1)准则层B相对于目标层U的权重:
- B层各指标对于评价目标的影响排序由大到小

分别为 B4>B3>B5>B2>B1。其中,B4、B3 权重分别为 0.454、0.228,权重相对较大,说明该装配式建筑项目的施工与生产运输阶段都存在较大风险,且施工阶段风险最大;B2、B5 的权重均大于 0.1 且小于 0.15,说明设计与运营阶段的风险相对较小,且接近;此外,B1 对于目标层的权重小于 0.1,说明决策阶段的风险最小。

2)指标层 C 相对于准则层 B 的权重:

如表 5 所示,B1 中各指标的影响程度排序为 C14>C15>C12>C11>C13。其中,C14 的权重为 0.023,说明市场需求预估不准确是决策阶段的关键风险因素;B2 中各指标的影响程度排序为 C25>C24>C23>C22>C21。其中,C25 的权重达到 0.056,说明设计未考虑全生命周期的可行性是设计阶段的关键风险因素;B3 中各指标的影响程度排序为 C31>C33>C35>C34>C32。其中,C31 的权重超过 0.1,说明构件混凝土强度不足是生产运输阶段的关键风险因素;B4 中各指标的影响程度排序为 C45>C43>C42>C41>C44。其中,C45、C43 的权重均大于 0.15,接近 0.2,说明工业化、机械化施工吊装水平较低为施工吊装阶段的关键风险因素,且施工现场存在较多安全隐患也是主要风险来源;B5 中各指标的影响程度排序为 C51>C52>C53>C54。其中,C51 的权重为 0.078,说明运营效果不稳定是运营阶段的关键风险因素。

3 装配式建筑全生命周期关键风险因素防控措施

针对关键风险因素,可采取以下防控措施:

1)针对市场需求预估不准确 目前我国装配式建筑还处在发展阶段,对于市场需求应从内在和外在两方面综合考虑。内在需求方面,相较于传统现浇建筑,装配式建筑具有节能减排、加快工程进展、降低建筑事故发生概率等优点,但装配式建筑的发展不能过度激进,要根据地区差异,做好项目定位、市场调研和经济效益分析,并结合装配式建筑自身特点充分考量该地区是否适合推进装配式建筑,切忌盲目推崇;外在需求方面,必须以政府机构政策为主导,相关技术规范、评价指标、支持性政策为保障,社会大众的消费需求为发展方向。从各地的政策中也不难看出,保障性住房已成为我国装配式建筑最广泛的应用领域,随着我国对保障性住房需求的不断增加,保障性住房将会成为未来我国装配式建筑的发展方向。

2)针对设计未考虑全生命周期的可行性 装配式建筑的设计阶段构件种类繁多,且设计—生产—

施工各参与方沟通无序,导致设计阶段工作效率较低,风险较大。基于 BIM 的协同平台可将多专业、多环节、多主体的信息打通,打破各专业、各阶段之间形成的“信息孤岛”,将各专业设计师的模型数据进行协同,实现建筑、结构、给排水、电气、暖通专业的一体化设计和设计、生产运输、施工吊装、运营阶段的一体化管理。同时 BIM 技术可模拟多专业间的现场组装顺序,尽早发现施工吊装中的问题,并在设计阶段提前解决;同时整合各阶段各参与方的优势资源,减少信息壁垒,确保信息及时传递,从而消除各阶段各参与方之间的设计冲突,提高设计信息的传递和交换效率,加强所有关键环节的沟通与协调,最大程度减少设计变更,使设计方案更加合理可行。

3)针对构件混凝土强度不足 构件混凝土强度不足会直接导致构件质量问题。总承包商应派专业人员驻场监督构件的生产过程,将构件用钢筋网和钢筋骨架尺寸、钢筋保护层厚度和配筋、高强度螺栓强度、模板是否标准等作为主控点,并做好记录。同时在生产准备阶段,BIM 咨询单位负责建立基于 BIM 的协同平台,并协助完成构件生产进度的挂接、编码录入等工作,实现 RFID 芯片与 PC 构件的挂接,在 BIM 协同平台对构件信息进行实时跟踪,方便质检人员及时发现有质量问题的构件。在预制构件出厂时,总承包商需与预制构件厂负责人对构件的规格型号、生产合格标识等做抽样检查,对于验收不合格的构件,应要求构件厂商予以更换。另外,在运输前,需结合工程现场状况、道路状况制定专项运输方案;且放置构件时,要设置合理的构件支撑点并用填充物对构件之间的空隙进行填充使构件对车辆施加的荷载均匀,避免构件在运输过程中发生晃动和碰撞从而对构件质量造成影响。

4)针对工业化、机械化施工吊装水平较低 相较于传统现浇建筑,装配式建筑施工周期更短,对施工效率的要求更高,使用 BIM 和 RFID 技术可将施工现场的实时控制情况以三维模型的形式展示出来以实现高效、精准的操作。在构件入场阶段,可在 BIM 协同平台上清晰展示出各构件的放置区域,确保工作人员在构件或材料堆放时能定点堆放,避免二次搬运,提高工作效率。在施工准备阶段,可在 BIM 协同平台上进行各专业的施工模拟,以便找出存在的施工节点问题,如构件安装高度存在问题会影响后续排水和消防管道的安装,预留孔洞位置偏大导致管道无法正常穿过等,都可在施工准备阶段进行检查,确保施工时能够一次性完成;对于一些具有较高复杂性的关键施工节点,为保证准确施工,可

利用 BIM 技术对此节点的施工过程编制专项施工方案,也可对整个施工环节、工作面等制定详细的计划,进而制定合适的施工工序,优化不同施工技术之间的时间间隔,提升施工吊装水平。

5) 针对运营效果不稳定 在运营阶段引入 BIM 技术能实现良好的信息化管理,解决运营管理体系的现状,提升运营效果。运营管理人员依据 PC 构件里的 RFID 芯片可获取构件的生产厂商、运输人员、安装人员等相关信息,一旦运营阶段出现问题,借助 RFID 芯片能对整个建筑展开有效监测,开展相应分析工作,并制定相应的解决方案,如对建筑结构进行加固,提升建筑质量等;且由于前期各阶段形成的 BIM 模型数据和信息,都可汇总到 BIM 协同平台,方便信息数据的收集、分析和提取,并能及时掌握运营阶段的资产信息和设备使用情况,可快速发现并解决问题,不仅能提高运营收益也能提升运营效率。另外涉及到后期建筑物的扩建或拆除,也可通过 BIM 技术来分析各项指标,避免建筑结构的损伤,有利于了解构件的再利用情况,减少资源浪费,节省成本,降低运营风险。

4 结 论

1) 本文在文献研究的基础上,通过半结构化访谈筛选出以决策、设计、生产运输、施工吊装和运营阶段为 5 个维度的 24 个装配式建筑全寿命周期风险因素指标体系。

2) 结合装配式建筑全寿命周期风险因素指标特点,选取 AHP-熵权法对某示范项目进行案例分析,研究结果表明市场需求预估不准确、设计未考虑全生命周期的可行性、构件混凝土强度不足、工业化、机械化施工吊装水平较低和运营效果不稳定为关键风险因素。

3) 针对关键风险因素提出切实可行的防控措施,为减少装配式建筑项目风险提供参考。

[参 考 文 献]

[1] 杜娟,王文鑫,胡珉.基于 SEM 和 Multi-agent 仿真的装配式建筑设计变更风险管理[J].上海大学学报(自然科学版),2022,28(06):1038-1050.

[2] 刘凯,丁晓欣,刘春伟,等.基于灰色故障树的装配式建筑设计风险[J].土木工程与管理学报,2020,37(03):162-167.

[3] 李强年,陈瑞军,马岷成.基于组合权重的装配式建筑部品运输风险评价[J].土木工程与管理学报,2021,38(01):52-57.

[4] 陈伟,杨主张,熊威,等.装配式建筑工程施工安全风险

传导 DEMATEL-BN 模型[J].中国安全科学学报,2020,30(07):1-6.

[5] 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(02):70-75.

[6] 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.

[7] 李文龙,李慧民,裴兴旺,等.基于结构熵权-可信性测度理论的装配式建筑吊装施工安全风险评估[J].武汉大学学报(工学版),2020,53(05):410-417.

[8] 田学泽,胡庆国,何忠明.基于改进组合赋权-动态模糊理论的装配式建筑吊装施工安全风险评价[J].土木工程与管理学报,2021,38(03):187-193.

[9] 杨苏,田庆枫.基于 AHP-熵权法的装配式建筑安全影响因素研究[J].宁波工程学院学报,2020,32(02):27-34.

[10] 孟涛.基于可拓学理论的装配式建筑风险综合评价[J].项目管理技术,2018,16(10):44-52.

[11] 齐宝库,朱娅,范伟阳.装配式建筑全寿命周期风险因素识别方法[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2016,18(03):257-261.

[12] 齐宝库,朱娅.装配式建筑风险评价方法研究[J].工程造价管理,2015(04):30-33.

[13] 孙伟,李卉.基于熵权法的装配式建筑风险因素识别[J].价值工程,2018,37(12):63-65.

[14] 杨婧媛.装配式建筑全寿命周期风险控制与评价方法研究[D].成都:西南交通大学,2020.

[15] 马滢,刘阳冰.装配式建筑全生命周期的风险评估研究[J].南阳理工学院学报,2018,10(04):62-67.

[16] 徐娜娜.基于 EPC 模式的装配式建筑项目风险管理研究[D].徐州:中国矿业大学,2020.

[17] 黄桂林,张闯.基于 SNA 的装配式建筑绿色供应链风险[J].土木工程与管理学报,2020,37(02):41-49.

[18] 邹灵,易郴,吴彦.基于装配式建筑中拆分设计的控制条件研究[J].混凝土与水泥制品,2020(01):83-85.

[19] 安然,周东明,张彦欢,等.基于 BIM 和 RFID 技术的 PC 建筑全生命周期应用研究[J].工程建设,2017,49(11):24-27.

[20] 叶浩文,周冲,王兵.以 EPC 模式推进装配式建筑发展的思考[J].工程管理学报,2017,31(02):17-22.

[21] 陈燕.我国装配式建筑全生命周期风险分析[J].西昌学院学报(自然科学版),2018,32(02):27-30.

[22] 赵金煜,王悦,王定河.基于 AHP-熵权法的建筑工程 BIM 应用障碍因素研究[J].建筑经济,2020,41(S2):182-187.

[23] 王刚,商苹真,刘学麟,等.采用 AHP-熵权法的巷道启封中毒窒息致因研究[J].中国安全科学学报,2021,31(07):187-192.