

基于组合赋权云模型的装配式建筑投资风险评价

刘冠权^{1,2}, 张琳琳^{1,2}, 王志远^{1,2}

(1. 青岛理工大学管理工程学院, 山东 青岛 266520;
2. 山东省高校智慧城市建设管理研究中心, 山东 青岛 266520)

摘要:装配式建筑的推广离不开开发商的积极配合,然而目前存在产业链不健全、技术不成熟等风险因素制约着开发商的投资决策。从政策、市场、技术、管理和经济5个方面出发,对装配式建筑投资风险进行剖析,并将COWA算子和G1法相结合,确定了指标权重值;继而运用云模型理论构建装配式建筑投资风险评价模型,最终通过案例验证了云模型的可行性,并通过相似度计算找出了影响风险评价等级的主要因素,为开发商评判和规避投资风险提供了一定的参考依据。

关键词:装配式建筑;COWA算子;G1法;云模型;风险评价

中图分类号:F293.344;TU741 **文献标志码:**A

装配式建筑是将PC构件在工厂中进行批量生产,继而运到施工现场进行组装而成的建筑。较传统建筑而言,装配式建筑在环境、能源和工期等方面具有显著的优势,然而中国装配式建筑起步较晚,相关政策法规不够完善,技术水平较低,相应的政策风险、技术风险管理不够完善,导致开发商对装配式建筑的开发意愿不够强烈。笔者从开发商视角出发,建立一套针对装配式建筑项目开发投资风险的评价体系,以期为开发商开发装配式建筑提供参考。

在装配式建筑项目风险管理研究方面,专家学者已经做了相关研究。荀志远等^[1]运用DEMATEL结合博弈论计算组合权重的方法,运用云模型对装配式建筑安全风险进行了评价;董翔等^[2]对超高层装配式建筑施工安全进行了评价,运用4M1E理论建立

了超高层装配式建筑施工风险评价指标体系,并结合三元区间数理论,验证了所建立模型的可行性;句秋月^[3]等运用WBS-RBS法对装配式建筑安全风险因素进行识别,并运用序关系法和DEMATEL法对安全风险因素进行了分析,针对装配式建筑各阶段提出了相应的风险管理措施;黄桂林等^[4]运用社会网络分析法对装配式建筑绿色供应链全过程各阶段的风险进行相互作用分析,找出了关键影响因素,并提出了相应的风险管理措施;桑培东等^[5]运用结构方程模型模拟拟合确定装配式建筑项目开发风险影响因素权重并结合案例分析了验证模型的可行性;李晓娟^[6]通过SEM结构方程赋权指标,实现了对装配式项目投资风险的定量评价。

梳理过往研究可以发现,在装配式建筑风险研究领域,多数学者从施工安全风险评

价或装配式供应链风险方面进行了研究。然而在投资风险研究领域,相关文献研究较少,且现有文献研究存在评价指标不够全面、评价模型单一等问题。目前,装配式建筑在商品房领域运用较少,主要原因是开发商对于装配式建筑发展认知不足,对投资风险的看法也存在分歧。因此,笔者基于开发商视角,对装配式建筑项目风险进行深入研究,构建基于云模型的装配式建筑投资风险评价模型,最终找出对装配式建筑投资风险影响最大的因素,并提出相应的应对措施,为开发商开发装配式建筑提供一定的参考依据。

一、装配式建筑投资风险评价指标体系

装配式建筑在中国发展起步较晚,国内还未大规模推行,而且各地域发展水平也参差不齐,真正实施落地的项目较少,故本研究对装配式建筑投资风险因素的识别主要采用文献分析法,通过汇总分析国内外学者在装配式建筑领域方面的研究成果,将装配式建筑投资风险大致分为政策风险、技术风险、市场风险、管理风险和经济风险5类,最终建立装配式建筑投资风险评价指标体系(见表1)。

表1 装配式建筑投资风险评价指标体系		
一级指标		二级指标
装配式建筑投资风险	政策风险 A ₁	相关法律法规的完善性 A ₁₁
		政策执行效力 A ₁₂
		政策的稳定性和持续性 A ₁₃
	技术风险 A ₂	预制结构体系完善性 A ₂₁
		信息化平台应用程度 A ₂₂
		工业化模数体系的健全性 A ₂₃
	市场风险 A ₃	产业链完整性 A ₃₁
		公众认知度 A ₃₂
		开发成熟度 A ₃₃
	管理风险 A ₄	管理人员经验与能力 A ₄₁
		管理模式风险 A ₄₂
		企业间协调风险 A ₄₃
	经济风险 A ₅	国民经济发展风险 A ₅₁
		企业融资风险 A ₅₂
		利率变动风险 A ₅₃

(1)政策风险是指由于政府及相关主管部门出台的激励措施不够完善,政策标准不够规范而带来的风险^[7]。尽管政府已经制定了相关法律法规,用于推进装配式建筑发

展,但更多用于财政出资的保障性住房及公租房上,相关政策对于装配式建筑开发商而言,仍存在政策不稳定、执行效力弱等问题。

(2)技术风险是指由于装配式建造工艺不够成熟、应用较少,在建造过程中可能出现问题的风险,如预制结构体系的完善程度、装配式施工全寿命周期信息化平台的应用程度^[8]及技术工人的操作水平等。

(3)市场风险是指由于装配式建筑开发及销售过程中产业链不够完善、公众接受度低等带来的风险。一方面,装配式建筑虽具有节能低碳等优点,但其成本较高,在一众现浇式建筑占市场主导地位的环境中,市场接受度不够高;另一方面,PC构件从设计、运输再到施工牵扯企业较多,上下游配套产业链不够完善,可供选择的生产厂家也较少,因此,装配式建筑产业链不可避免地存在不完善等问题。

(4)管理风险是指由于建造方式新颖、参建单位多元化、管理模式亟需更新所带来的风险。装配式建筑与传统建筑建造方式不同,其项目管理方法应与时俱进,质量管理、安全管理、信息管理等标准体系也应重新商讨确定。同时,在装配式建筑项目实施过程中,参与主体更加多元化,协调调度各参建单位也是装配式建筑管理过程中重要的一环。

(5)经济风险是指装配式建筑开发建设过程中,开发商资金链受国家经济发展因素影响带来的风险。装配式建筑具有资金投资量大的特点,因此,对国家经济政策、利率等变动较为敏感。对于装配式建筑而言,其前期一次性资金投入量较大,而建设项目一般投资周期较长,资金回笼慢,对于企业的融资能力而言是一种考验。

二、基于 COWA-G1 法和云模型的装配式建筑投资风险评价模型

1. 装配式建筑投资风险评价指标权重

考虑到装配式建筑投资风险评价指标过多,评价结果易受主观赋权的影响,本研究将

COWA 算子(有序加权平均算子)和 G1 法(序关系分析法)两种方法相结合,以削弱专家主观偏好所带来的不利影响。

(1)COWA 算子赋权

COWA 算子在确定指标权重时,通过将决策数据降序排列进行位置加权处理,更好地避免了主观因素对评价产生极端值的影响。COWA 算子赋权过程如下。

Step1:对决策数据进行降序排列并依次进行编号,得到 $b_0 \geq b_1 \geq \cdots \geq b_{n-1}$ 。

Step2:计算数据 b_j 的加权向量

$$w_{j+1} = \frac{C_{n-1}^j}{2^{n-1}}, j = 0, 1, \cdots, n-1 \tag{1}$$

式中: C_{n-1}^j 为 $n-1$ 个数据中取出 j 个数据的组合数。

Step3:计算指标的绝对权重值

$$\overline{w}_i = \sum_{j=1}^n w_j b_j, w_j \in [0, 1], j \in [1, n] \tag{2}$$

Step4:计算指标的相对权重值

$$w_i = \frac{\overline{w}_i}{\sum_{i=1}^m \overline{w}_i}, i = 1, 2, \cdots, m \tag{3}$$

(2)G1 法

G1 法即序关系法,是郭亚军教授提出的关于系统决策分析的方法,该方法是对 AHP(层次分析法)的优化,有效规避了层次分析法计算量大、精度不高的缺点^[9]。G1 法赋权步骤如下。

Step1:确定序关系

专家根据评价准则在指标集 $\{X_1, X_2, \cdots, X_m\}$ 中选出一个认为是最重要的,标记为 X_1^* ,在剩下的 $m-1$ 个指标中再选出一个次位重要影响因素指标 X_2^* ,以此类推,确定序关系 $X_1^* > X_2^* > \cdots > X_m^*$ 。

Step2:计算各相邻指标的相对重要程度

$$\frac{w_{j-1}^*}{w_j^*} = r_j, j = m, m-1, \cdots, 2 \tag{4}$$

式中: w_{j-1}^*, w_j^* 为评价指标 X_{j-1}^*, X_j^* 的权重系数; r_j 为第 $j-1$ 个指标对第 j 个指标的相对重要程度,取值参考如表 2 所示。

表 2 r_j 赋值参考

r_j	说明
1.0	指标 X_{j-1}^* 与指标 X_j^* 同等重要
1.2	指标 X_{j-1}^* 与指标 X_j^* 稍微重要
1.4	指标 X_{j-1}^* 与指标 X_j^* 明显重要
1.6	指标 X_{j-1}^* 与指标 X_j^* 非常重要
1.8	指标 X_{j-1}^* 与指标 X_j^* 强烈重要

Step3:计算权重系数

$$w_m^* = (1 + \sum_{j=2}^m \prod_{i=j}^m r_i)^{-1} \tag{5}$$

$$w_{j-1}^* = r_j w_j^*, j = n-1, n-2, \cdots, 2 \tag{6}$$

2. 基于云模型的综合评价方法

云模型是李德毅院士提出的一种以概率论和模糊数学为基础,通过云发生器实现定性概念与定性数值相互转化的模型^[10]。基于 COWA-G1 算子与云模型相结合的评价方法,能够有效克服评价系统中存在的随机性和离散性。在投资风险评价过程中,运用云模型生成的云图可以更加直观地判断装配式建筑投资风险的评价等级,具体步骤如下。

(1)标准云 C_v 的确定

建立评价标准等级论域 U ,并把此论域划分为若干区间,其中第 v 个区间的阈值为 $[x_v^{min}, x_v^{max}]$,则该区间对应的评价标准云的数字特征为 (E_{xv}, E_{nv}, H_{ev}) ,此算法乃正向云发生器运算过程,即将定性的模糊概念转化为定量的具体数值。

$$E_{xv} = \frac{x_v^{max} + x_v^{min}}{2} \tag{7}$$

$$E_{nv} = \frac{x_v^{max} - x_v^{min}}{6} \tag{8}$$

$$H_{ev} = k \tag{9}$$

式中: E_{xv} 为期望值,反映的是云模型的分布中心,是最能表示装配式建筑投资风险等级概念的点值; E_{nv} 为熵,反映的是评价指标的模糊度; H_{ev} 为超熵,反映的是云滴的聚集程度,根据云的雾化性质和项目模糊阙度取常数值即可。

(2)指标评价云 C_u 的确定

邀请 m 名专家对第 i 个指标进行打分 $F(f_{i1}, f_{i2}, \cdots, f_{im})$,则第 i 个指标对应着一个云模型 $C(E_{xi}, E_{ni}, H_{ei})$,此算法与正向云发生器相反,是将定量数值转化为定性的模糊

概念,称之为逆向云发生器。

$$E_{xi}=\frac{\sum_{j=1}^m h_{ij}}{m} \tag{10}$$

$$E_{ni}=\sqrt{\frac{\pi}{2}}\frac{1}{m}\sum_{j=1}^m |h_{ij}-E_{xi}| \tag{11}$$

$$H_{ei}=\sqrt{S_i^2-E_{ni}^2} \tag{12}$$

$$S_i^2=\frac{1}{m-1}\sum_{j=1}^m (h_{ij}-E_{xi})^2 \tag{13}$$

式中: h_{ij} 为第 j 位专家对第 i 个指标的评分, $j=1,2,\cdots,m$ 。

(3) 计算综合评价云 C

在得到各级指标云图后,由评价云 C_u 和综合权重 w 通过以下式计算,得到综合云 $C(E_x, E_n, H_e)$ 。

$$E_x=\sum_{i=1}^n E_{xi}w_i \tag{14}$$

$$E_n=\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_{ni}w_i)} \tag{15}$$

$$H_e=\sum_{i=1}^n (H_{ei}w_i) \tag{16}$$

式中: w_i 为第 i 个指标的权重, $\sum_{i=1}^n w_i=1, i=1,2,\cdots,n$ 。

(4) 评价结果的确定

装配式建筑项目风险评判等级结果可通过两种方法进行判断:一种方法是云图法,即将标准云和综合云同时输入正向云发生器内,以生成标准云图和评价云图,并通过判断评价云与标准云的接近程度,来确定风险处于某一标准程度。此种方法简单且直观,但是肉眼判断终究会产生误差,严谨的科学研究应运用数据。另一种方法是相似度算法,即通过计算评价云与 5 个标准云之间的相似度来判断风险等级,通过输入两个评价云 $C_1(E_{x_1}, E_{n_1}, H_{e_1}), C_2(E_{x_2}, E_{n_2}, H_{e_2})$, 输出相似度 θ , 相似度 θ 越大说明两者越相似,即投资风险处于该等级。具体步骤^[11]如下。

Step1: 生成一个遵循正态分布率随机数 $En'_1=R_N(E_{n_1}, H_{e_1},)$, 其中, En'_1 的期望为 E_{n_1} , 标准差为 H_{e_1} ;

Step2: 生成一个遵循正态分布率随机数

$x_i=R_N(E_{x_1}, En'_1)$, 其中, x_i 的期望为 E_{x_1} , 标准差为 En'_1 ;

Step3: 计算 $\theta'_i=\exp\left(-\frac{(x_i-E_{x_2})^2}{2En_2^2}\right)$;

Step4: 重复 step2 和 step3, 以生成 n 个 θ'_i ; 计算 n 个 θ'_i 的均值, 即为相似度 θ 。

三、案例分析

为验证云模型的可行性,以青岛市某装配式建筑项目为例进行分析,项目建筑面积 272 634 m², 总体预制率达 34%, 装配率为 43%, 主体结构采用装配式混凝土剪力墙结构。

1. 基于 COWA-G1 组合赋权法的指标赋权

邀请装配式建筑领域 7 名权威专家组成小组,采用 0~10 打分法,运用专业知识与经验对每项指标进行打分。受篇幅限制,以指标层政策风险 A_1 各评价要素的权重为例,阐述 COWA 法赋权步骤,专家打分结果如表 3 所示。

表 3 指标初始分数值

指标	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6	专家 7
A_{11}	7	6	8	7	7	5	6
A_{12}	9	8	7	7	6	8	9
A_{13}	8	9	5	8	7	7	8

以评价要素 A_{11} 为例,采用 COWA 算子进行指标赋权,计算过程如下。

(1) 将 A_{11} 的专家打分结果进行排序得到: $b=(8,7,7,7,6,6,5)$, 因 $n=7$, 运用式(1)求得加权向量为 $(0.015\ 6, 0.093\ 8, 0.234\ 4, 0.312\ 5, 0.234\ 4, 0.093\ 8, 0.015\ 6)$ 。

(2) 运用式(2)求得指标 A_{11} 绝对权重 $\overline{w_{11}}=\sum_{i=1}^n w_j b_j=(0.015\ 6, 0.093\ 8, 0.234\ 4, 0.312\ 5, 0.234\ 4, 0.093\ 8, 0.015\ 6)*[8,7,7,7,6,6,5]^T=6.657$, 同理可求得 $\overline{w_{12}}=7.751, \overline{w_{13}}=7.641$ 。

(3) 根据式(3)计算出二级指标 A_1 的权重向量 $\omega_1=(0.302, 0.352, 0.347)$ 。

(4) 同理,求得其他各指标权重分别为: $\omega_2=(0.385, 0.302, 0.312), \omega_3=(0.355,$

$(0.285,0.36),\omega_4=(0.335,0.321,0.344),\omega_5=(0.295,0.383,0.322)$ 。

将专家打分法和 G1 法相结合确定一级指标权重,同样邀请 7 位权威专家进行打分评判。在对一级指标进行排序后,专家根据

表对 r_j 进行赋值,继而按照式(4)~(6)求得初始准则层权重(见表 4),将 6 组权重分别求其算术平均值,得到初始准则层最终权重为 $\omega_1^*=0.319,\omega_2^*=0.251,\omega_3^*=0.177,\omega_4^*=0.13,\omega_5^*=0.113$ 。

表 4 序关系重要性计算结果

专家	序关系	r_2	r_3	r_4	r_5	ω_1^*	ω_2^*	ω_3^*	ω_4^*	ω_5^*
1	$X_3 > X_2 > X_5 > X_4 > X_1$	1.2	1.6	1.4	1.2	0.329	0.274	0.171	0.122	0.102
2	$X_3 > X_5 > X_2 > X_4 > X_1$	1.4	1.2	1.2	1.6	0.329	0.235	0.196	0.163	0.102
3	$X_5 > X_4 > X_3 > X_1 > X_2$	1.2	1.4	1.6	1.0	0.315	0.263	0.188	0.117	0.117
4	$X_3 > X_2 > X_4 > X_5 > X_1$	1.6	1.4	1.2	1.2	0.329	0.206	0.147	0.122	0.102
5	$X_2 > X_3 > X_5 > X_1 > X_4$	1.2	1.2	1.6	1.0	0.294	0.245	0.204	0.128	0.128
6	$X_3 > X_5 > X_1 > X_4 > X_2$	1.0	1.6	1.2	1.0	0.273	0.273	0.170	0.142	0.142
7	$X_5 > X_3 > X_2 > X_4 > X_1$	1.4	1.6	1.4	1.2	0.365	0.261	0.163	0.116	0.097

为确定最终序关系,笔者提出序积分的概念。评价指标根据序关系依次排序并进行分值赋予得到的分数即为序积分。当对 n 个评价指标进行序关系排序时,排在首位的评价指标 X_1 序积分 F_1 为 n ,次位 X_2 序积分为 $n-1$,并以此类推。最终根据 m 名专家打分结果得出的累计序积分确定最终序关系。以政策风险 X_1 为例, $F_1=1+1+2+1+2+3+1=11$,同理,求得 $F_2=21,F_3=31,F_4=16,F_5=26$ 。因 $F_3 > F_5 > F_2 > F_4 > F_1$,所以有 $X_3 > X_5 > X_2 > X_4 > X_1$,得到: $\omega_1^*=\omega_{X_3}=0.319,\omega_2^*=\omega_{X_5}=0.251,\omega_3^*=\omega_{X_2}=0.177,\omega_4^*=\omega_{X_4}=0.13,\omega_5^*=\omega_{X_1}=0.113,\omega=(0.113,0.177,0.319,0.13,0.251)^T$ 。

2. 基于云模型的装配式建筑投资风险评价

(1) 确定指标标准云

通过咨询装配式建筑领域相关专家以及结合本项目实际情况,将装配式建筑项目投资风险评价划分为 5 个分值区间:低风险(0,2],较低风险(2,4],中等风险(4,6],较高风险(6,8],高风险(8,10],由式(7)~(9)得到本项目风险评价标准云参数,为使云图更加精准地反映评价标准,笔者结合区间模糊度,经过多次取值实验后,发现将 k 取 0.03 更加符合本项目实际情况(见表 5)。

利用标准云参数,结合正向云发生器原

理,运用 MATLAB 软件进行编程,得到综合标准云图(见图 1)。

表 5 风险评价标准云参数

风险等级	区间划分	标准云参数
低风险	[0,2]	(1,0.8,0.03)
较低风险	(2,4]	(3,0.8,0.03)
中等风险	(4,6]	(5,0.8,0.03)
较高风险	(6,8]	(7,0.8,0.03)
高风险	(8,10]	(9,0.8,0.03)

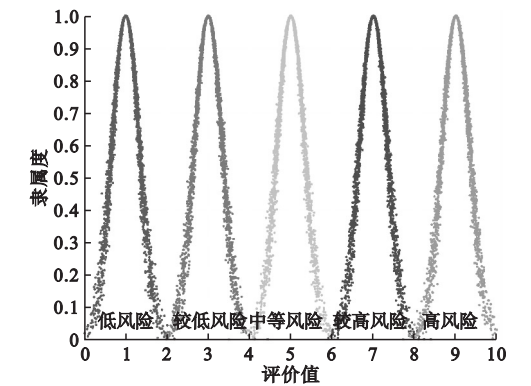


图 1 标准云图

(2) 确定项目评价云

根据专家打分情况,运用逆向云发生器由式(10)~(13)进行计算,得到各评价指标的云参数(见表 6)。根据式(14)~(16)计算项目评价云 $C=(3.809,0.923,0.199)$,再利用正向云发生器进行编程,将项目评价云的特征值转化为综合风险评价云图(见图 2)。

表 6 云模型数字特征

一级指标	一级指标权重	一级指标云模型(E_x, E_n, H_e)	二级指标	二级指标权重	二级指标云模型(E_x, E_n, H_e)
A_1	0.113	(2.317, 0.658, 0.134)	A_{11}	0.302	(1.875, 0.548, 0.138)
			A_{12}	0.352	(3.125, 0.823, 0.126)
			A_{13}	0.347	(1.875, 0.548, 0.138)
A_2	0.177	(3.272, 0.958, 0.246)	A_{21}	0.385	(3.125, 0.823, 0.126)
			A_{22}	0.302	(3.750, 1.332, 0.597)
			A_{23}	0.312	(3.000, 0.627, 0.055)
A_3	0.319	(4.236, 1.083, 0.322)	A_{31}	0.355	(6.000, 0.627, 0.055)
			A_{32}	0.285	(3.125, 0.823, 0.126)
			A_{33}	0.360	(3.375, 1.528, 0.740)
A_4	0.13	(3.729, 0.933, 0.086)	A_{41}	0.335	(3.500, 0.940, 0.083)
			A_{42}	0.321	(2.875, 0.823, 0.126)
			A_{43}	0.344	(4.750, 1.018, 0.053)
A_5	0.251	(4.509, 0.913, 0.103)	A_{51}	0.295	(3.000, 0.940, 0.203)
			A_{52}	0.383	(6.625, 0.901, 0.062)
			A_{53}	0.322	(3.375, 0.901, 0.062)

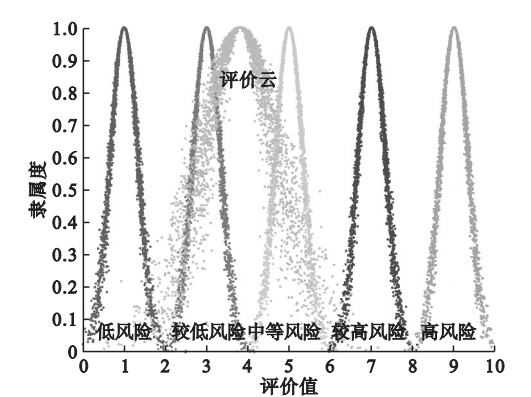


图 2 综合评价云图

由图 2 可知,该装配式建筑投资风险介于较低风险与中等风险之间,运用 MATLAB 软件进行编程,计算出综合云 C 与各标准云之间的相似度,得到 $\theta_1 = 0.0643$, $\theta_2 = 0.5981$, $\theta_3 = 0.4069$, $\theta_4 = 0.017$, $\theta_5 = 6.6589 \times 10^{-6}$ 。由此可知,综合云 C 与较低风险云 C_2 相似度最大,所以该装配式建筑投资风险处于较低风险,具有可投资性,符合实际情况。

为更全面地评价该装配式建筑投资风险,对二级指标的云特征值求相似度,计算结果如表 7 所示。

表 7 相似度汇总结果

风险类型	低风险	较低风险	中等风险	较高风险	高风险
政策风险 A_1	0.2317	0.5687	0.0458	3.1458×10^{-7}	1.6244×10^{-14}
技术风险 A_2	0.1616	0.7703	0.2804	0.0175	2.712×10^{-6}
市场风险 A_3	0.0297	0.5743	0.7143	0.0873	0.0018
管理风险 A_4	0.1077	0.6843	0.3973	0.0174	7.6736×10^{-5}
经济风险 A_5	0.0109	0.3624	0.7117	0.0708	4.0697×10^{-4}

由表 7 可知,市场风险 A_3 、经济风险 A_5 与中等风险的相似度较大,且有向更高风险等级接近的趋势,拉高了该项目综合风险评价价值,因此,在项目后续实施过程中应重点关注市场与经济等相关指标的风险管理问题。在市场风险管理方面,开发商各企业间可通过企业合作、资源优化整合等组建工业化企业联盟,以提高装配式建筑各企业的市场竞争力,同时,要积极配合政府加大对装配式建筑的宣传科普力度,增加公众认知度。对于经济方面的风险,开发商可考虑拓宽融资渠

道来降低风险,如通过开发商联合开发、商业汇票等形式降低经济风险。政策风险 A_1 、技术风险 A_2 、管理风险 A_4 处于较低风险等级,但是均有向中等风险转化的倾向,项目前期阶段,开发商要多关注政府相关政策法规,积极响应政府号召;项目实施过程中,重点关注来自技术方面与管理方面的风险,可推行工程总承包模式,将多单位协调管理问题转化为内部管理问题,加强对项目参与人员的培训,提高员工业务能力。

四、结 语

笔者从开发商视角出发,构建了装配式建筑投资风险评价指标体系,并通过 COWA 算子和 G1 法对指标权重进行组合赋权,同时,结合云模型理论进行风险评价,克服了风险评价过程中的随机性与模糊性,实现了评价结果可视化,对装配式建筑投资风险评价进行了新的尝试和创新。通过案例分析,分析出某项目风险等级及风险影响最大的因素,验证了模型的可行性和合理性,为开发商开发装配式建筑提供了一定的参考价值。装配式建筑项目投资本身是动态过程,其风险影响因素也是不断变化的,因此,实际操作过程中,需不断针对具体情况调整指标,进一步修改完善评价指标体系。

参考文献:

[1] 荀志远,张丽敏,徐瑛莲,等. 基于组合赋权云模型的装配式建筑安全风险评价[J]. 数学的实践与认识,2020,50(7):302-310.
[2] 董翔,谢桥漾,季晓刚,等. 超高层装配式建筑施工安全风险评价[J]. 建筑经济,2020,41(增刊):290-293.

[3] 句秋月,常春光. 装配式建筑安全风险影响因素研究[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版),2019,21(4):360-364.
[4] 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(2):41-49.
[5] 桑培东,李金晓. 基于结构方程的装配式建筑项目开发建设风险评价[J]. 土木工程与管理学报,2017,34(4):89-95.
[6] 李晓娟. 装配式建筑项目投资风险评价[J]. 工程管理学报,2019,33(2):130-135.
[7] 边晶梅,王震龙,刘霞. 基于主成分分析的装配式建筑发展制约因素研究[J]. 建筑经济,2021,42(2):76-80.
[8] 谢琳琳,陈雅娇. 基于熵权法的装配式建筑发展研究[J]. 建筑经济,2019,40(11):20-23.
[9] 栾婷婷,郭湛,庞磊,等. 基于组合权重的铁路危险货物运输风险预警模型[J]. 铁道学报,2017,39(12):1-7.
[10] 王志强,张樵民,吕云翔. 基于云模型的装配式混凝土建筑施工质量综合评价[J]. 混凝土,2020(3):138-141.
[11] 张仕斌,许春香,安宇俊. 基于云模型的风险评估方法研究[J]. 电子科技大学学报,2013,42(1):92-97.

Investment Risk Evaluation of Prefabricated Buildings
Based on Cloud Model of Combination Weighting

LIU Guanquan^{1,2},ZHANG Linlin^{1,2},WANG Zhiyuan^{1,2}

(1. School of Management Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, China;2. Smart City Construction and Management Center of Universities in Shandong Province, Qingdao 266520, China)

Abstract:The promotion of prefabricated buildings cannot be separated from the active cooperation of developers. However, at present, there are some risk factors, such as unsound industrial chain and immature technology, which restrict the investment decisions of developers. From five aspects of policy, market, technology, management and economy, the investment risk of prefabricated building is analyzed, and the index weight value is determined by combining COWA operator and G1 method. Then the cloud model theory is used to construct the prefabricated building investment risk evaluation model. Finally, the feasibility of the cloud model is verified through the case, and the main factors affecting the risk evaluation level are found out through the similarity calculation, which provides a certain reference basis for developers to judge and avoid the investment risk.

Key words:prefabricated building;COWA operator;G1 method;cloud model;risk assessment
(责任编辑:郝 雪 英文审校:林 昊)