

基于组合赋权的装配式建筑绿色性 灰色聚类测评模型

于 淼,饶潇潇,张梦婷

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

摘 要:通过对装配式建筑、绿色建筑评价标准进行总结,结合装配式建筑发展现状,从生态建设、经济效益、社会效益、管理水平以及装配化程度5个方面构建了装配式建筑绿色性评价指标体系。在构建的测评模型基础上,选用相容矩阵法及均方差法对指标体系进行组合赋权,并通过对其进行灰色聚类分析得出了装配式建筑的综合评价等级。最后,将模型应用到沈阳市具体工程项目中,验证了该模型的可行性,通过数据分析找出有待提升的影响因素,并对装配式建筑的可持续发展提出了相关建议。

关键词:装配式建筑;绿色性;相容矩阵法;均方差法;灰色聚类评价

中图分类号:TU741 **文献标志码:**A

当前,各国各地区都在向建筑产业化的方向发展,建筑工业化是推进建筑产业化的有效方式,而发展装配式建筑正是实现建筑工业化的重要方式。如今虽然各地区已出台发展装配式建筑的相关政策,但对于规范且全面的评价标准还没有提出明确的要求。故在评价指标的选取上,仅从绿色建筑评价标准或装配式建筑评价标准入手是远远不够的。关于绿色建筑评价标准,国内外已有其健全的评价体系,同时,也有学者分别对英国的BREEAM绿色建筑评估体系(Building Research Establishment Environmental Assessment Method, BREEAM)、美国的LEED绿色建筑评估体系(Leadership in Energy and Environmental Design, LEED)、日本的CASBEE绿色建筑评估体系(Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency, CASBEE)进行了剖析^[1-3],但由于装配式建筑建造方式不同以及评价侧重点不同(如日本CASBEE主要考察环境效率这一方面),以上绿色建筑评价标准并不能完全适用于装配式建筑的绿色性评价,中国也于2006年颁布了《绿色建筑评价标准》,但主要针对事后评估^[4],其系统性不够,也不能全面地评价装配式建筑项目。我国的装配式建筑评价标准主要针对项目的装配率,未考虑建筑的绿色性、经济性等因素。笔者对各方面指标进行整合、提取以及增删,确立了装配式建筑绿色性评价指标体系。

在指标体系确定的基础上,建筑评价通常包括两个步骤:一是对指标权重的计算;二是对指标进行综合评价。常见计算权重的方

收稿日期:2019-08-12
基金项目:国家自然科学基金项目(71701137);辽宁省社会科学规划基金项目(L18CGL011);辽宁省经济社会发展研究课题(2020lsktqn-059)
作者简介:于淼(1987—),女,黑龙江双城人,副教授,博士。

法有层次分析法^[5]、熵权法^[6]、相容矩阵法^[7]、粗糙集法^[8]、结构方程^[9]等;就现有文献来看,目前,应用较广泛的赋权方法有层次分析法、熵权法,两者的理论已经十分成熟且计算较为简便,但还存在一些不足。层次分析法的主观性较强并且会出现判断矩阵的一致性差的问题;熵权法是一种客观赋值法,但对数据要求较高,装配式建筑刚刚兴起,数据的准确性和全面性不能保证,熵权法显然是不合适的。为解决该问题,笔者首先选用相容矩阵法以及均方差法各自赋权,再通过极值定理将主客观权重结合起来。其中,相容矩阵法与层次分析法相似,能够反映评价者的主观判断,但也不能消除其专家打分的随意性;而均方差法虽然已有完善的数学理论,能够保证权重的客观性,但忽视了主观信息^[10]。故结合以上两种主客观赋权方法,使其兼具专家打分和已知数据的主客观信息特征。将其应用于装配式建筑绿色综合评价中可以大大减少专家评价的主观性,做到求大同存小异。

在模型构建方面,学者采用灰色聚类模型^[11]、BP神经网络(Back Propagation, BP)^[12]、云模型^[13]、支持向量机模型^[14]等。装配式建筑评价模型虽已逐渐成熟,但在保证数据全面性上仍存在一定的困难。因此,笔者构建装配式建筑绿色性灰色聚类测评模型,灰色聚类充分利用已知信息淡化未知信息^[15],其对数据的要求也不是十分严格,能有效地解决现有装配式建筑部分信息不完备的弊端,在一定程度上消除主观误差,最终客观真实地反映系统本质。

一、装配式建筑绿色性评价指标体系构建

装配式建筑指标体系是一个复杂且庞大的系统,笔者就《装配式建筑评价标准 GB/T 51129—2017》、《绿色建筑评价标准 GB/T 50378—2019》、《沈阳市绿色建筑评价标准 DB 2101/TJ 22—2015》以及相关文献进行分析,先将相关文献以及绿色建筑、装配式建筑评价标准进行整合,确立初级评价指标体系,

再经专家讨论消除冗余指标,尽可能做到指标全面且保证各指标之间较低的关联度。

现有装配式建筑的评价标准主要侧重于装配率的计算,未包含其绿色性、经济性等指标,但在构建装配式建筑绿色性评价指标体系时,不能完全套用绿色建筑评价标准,因此,笔者将现有观点进行归纳整理,以期探寻两者的契合度。

结合装配式建筑的特点将绿色建筑标准中环境保护指标与资源消耗及利用指标合并称为生态建设;将建筑建造过程中的主要成本——建造成本与维护成本称为经济效益指标;将社会性与室内环境相关指标合并称为社会效益指标;将全寿命周期中管理能力指标称为管理水平指标;将设计、生产、施工装配化合并称为装配化程度指标。

装配式建筑的特点即节能环保以及建筑设计标准化、构件生产工厂化、装修过程一体化和建造过程装配化。在《装配式建筑评价标准 GB/T 51129—2017》中,有两条明确体现:一是装配式建筑装配率应不小于50%,即组织设计的标准化;二是宜采用装配化装修,即装修过程一体化。由于所构建的装配式建筑绿色性指标体系侧重于绿色性,故降低装配化程度指标的比重,将装配式建筑评价标准中对主体结构、围护结构和内隔墙、装修和设备管线的装配率计算统称为建造过程装配化。最终确立指标层为生态建设、经济效益、社会效益、管理水平以及装配化程度5个维度(见表1)。

生态建设主要以“四节一环保”为基准考察建设项目的生态能力和绿色功能;经济效益主要考察建设项目的经济性;社会效益主要考察建设项目在可持续发展的大背景下给社会、环境带来的正面和负面影响;管理水平主要考察在装配式建筑的全寿命周期过程中管理能力的优劣;装配化程度主要考察装配式建筑的工业化程度。

二、装配式建筑绿色性灰色聚类测评模型

首先,利用相容矩阵法及均方差法分别

表 1 装配式建筑绿色性评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
生态 建设 A	资源消耗及利用情况 A ₁	节材率 A ₁₁
		节能率 A ₁₂
		节水率 A ₁₃
		新能源利用 A ₁₄
		土地资源利用 A ₁₅
	环境保护情况 A ₂	固体废弃物 A ₂₁
		废水排放 A ₂₂
		碳排放 A ₂₃
		噪声污染 A ₂₄
		产品单方造价 B ₁₁
经济 效益 B	建造成本 B ₁	PC 部品生产成本 B ₁₂
		PC 部品安装成本 B ₁₃
		构配件运输费用 B ₁₄
	维护成本 B ₂	维修费用 B ₂₁
		环境恢复成本 B ₂₂
		健康舒适度 C ₁₁
社会 效益 C	环境协调能力 C ₁	尊重地方文化程度 C ₁₂
		社会评价 C ₂₁
	社会相容能力 C ₂	科技进步 C ₂₂
		产业结构优化 C ₃₁
	促进经济发展能力 C ₃	促进劳动就业 C ₃₂
		流水线质量 D ₁₁
管理 水平 D	生产管理 D ₁	产品合格率 D ₁₂
		文明施工程度 D ₂₁
	施工管理 D ₂	环境管理 D ₂₂
		管理制度 D ₃₁
	运营管理 D ₃	技术管理 D ₃₂
		BIM 及大数据使用 D ₄₁
	信息化管理 D ₄	质量管理信息化 D ₄₂
		安全管理智能化 D ₄₃
	设计装配化 E ₁	组织设计标准化 E ₁₁
		构件生产工厂化 E ₂₁
装配式 程度 E	生产装配化 E ₂	一体化装修 E ₃₁
	施工装配化 E ₃	建造过程装配化 E ₃₂

计算各指标的主观权重、客观权重;其次,通过拉格朗日极值定理计算主客观权重待定系数,得出指标的组合同权重;最后,构建装配式建筑绿色性灰色聚类模型,计算指标体系的综合聚类系数,根据隶属度最大原则得出绿色性综合评价等级并进行分析。

1. 权重计算

(1)共邀请 r 个专家对装配式建筑绿色性各评价指标的重要程度进行两两比较,所得分值记为 x_{kij} ,由 x_{kij} 组成的判断矩阵记为 M_{kij} ($k=1,2,\cdots,r;i=1,2,\cdots,n;j=1,2,\cdots,n$), M_{kij} 表示第 k 个指标之间重要程度的看法,评分采用 1~9 标度法。

$$M_{kij} = \begin{bmatrix} x_{k11} & x_{k12} & \cdots & x_{k1n} \\ x_{k21} & x_{k22} & \cdots & x_{k2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{kn1} & x_{kn2} & \cdots & x_{knn} \end{bmatrix}$$

式中: $x_{kij} = \frac{1}{x_{kji}}$ 。

(2)采用相容矩阵法计算主观权重。计算相容矩阵式为

$$d_{ij} = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n x_{ik} \cdot x_{kj}} \tag{1}$$

式中: $d_{ij} = \frac{1}{d_{ji}}, d_{ij} = d_{ik} \cdot d_{kj}$ 。

由 d_{ij} 即得相容矩阵 $D_{ij} = (d_{ij})_{n \times n}$ 。计算得到指标权重

$$\omega'_i = \frac{c_k}{\sum_{k=1}^n c_k} \tag{2}$$

式中: $c_k = \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n d_{ij}}$ 。

(3)利用均方差法求得客观权重。取评价矩阵中

$$\overline{x_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m x_{ij}, \quad i = 1, 2, \cdots, n \tag{3}$$

并有

$$s_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \overline{x_i})^2, \quad i = 1, 2, \cdots, n \tag{4}$$

得到客观权重为

$$\omega''_i = \frac{s_i}{\sum_{i=1}^n s_i}, \quad i = 1, 2, \cdots, n \tag{5}$$

(4)将上述所得主观权重及客观权重进行加法集成,得到组合权重

$$\omega_i = k_1 \omega'_i + k_2 \omega''_i, \quad i = 1, 2, \cdots, n \tag{6}$$

式中: k_1 和 k_2 为待定常数, $k_1 + k_2 = 1$,且对于 k_1 和 k_2 ,应用 Lagrange 极值定理满足下列条件:

$$\left\{ \begin{aligned} k_1 &= \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \omega''_i a_{ij}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \omega'_i a_{ij})^2 + (\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \omega''_i a_{ij})^2}} \\ k_2 &= \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \omega'_i a_{ij}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \omega'_i a_{ij})^2 + (\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \omega''_i a_{ij})^2}} \\ k_1^2 + k_2^2 &= 1 \\ k_1 > 0, k_2 > 0 \end{aligned} \right. \tag{7}$$

为满足 $k_1 + k_2 = 1$, 需将 k_1 及 k_2 标准化, 即 $k'_1 = \frac{k_1}{k_1 + k_2}, k'_2 = \frac{k_2}{k_1 + k_2}$, 得到最终的组合权重为 $\omega_i = k'_1 \omega'_i + k'_2 \omega''_i$ 。

2. 灰色聚类分析

(1) 划分灰类

灰类划分的灰类个数由评价指标体系的复杂程度来决定^[16]。根据实际需要, 笔者将装配式建筑绿色性评价分为优秀、较好、一般和较差 4 个灰类, 对应的量化值采取十分制。具体灰类区间如表 2 所示。

表 2 灰类划分与取值范围

较差	一般	较好	优秀
(0,3]	(3,6]	(6,8]	(8,10]

(2) 计算指标中心点三角白化权函数

首先, 令 λ_k 为灰类 k 的中心点, 将中心点 $(\lambda_k, 1)$ 、中心点 $(\lambda_{k-1}, 0)$ 和中心点 $(\lambda_{k+1}, 0)$ 相连接成三角形; 其次, 将指标 i 所属的灰类 k 的取值范围规定为 $[\lambda_{k-1}, \lambda_{k+1}]$ ($k = 1, 2, \dots, s$), 则可得到指标 i 关于灰类 k 的三角白化权函数 $f_i^k(x)$ ($i = 1, 2, \dots, n$)。当 $k = 1$ 时, $f_i^1(x)$ 采用下限三角白化权函数, $x \in [\lambda_0, \lambda_2]$; 当 $k = s$ 时, $f_i^s(x)$ 采用上限三角白化权函数, $x \in [\lambda_{s-1}, \lambda_{s+1}]$ (见图 1)。

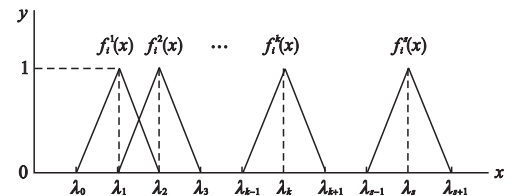


图 1 基于中心点的三角白化权函数示意图

对于指标 i 的分值 x , 可分别计算其属于第 k 灰类 ($k = 1, 2, \dots, s$), 计算式为

$$f_i^1(x) = \begin{cases} 0 & x \notin [0, 4.5] \\ 1 & x \in [0, 1.5] \\ \frac{4.5 - x}{4.5 - 1.5} & x \in [1.5, 4.5] \end{cases} \quad (8)$$

$$f_i^k(x) = \begin{cases} 0 & x \notin [\lambda_{k-1}, \lambda_{k+1}] \\ \frac{x - \lambda_{k-1}}{\lambda_k - \lambda_{k-1}} & x \in [\lambda_{k-1}, \lambda_k] \\ \frac{\lambda_{k+1} - x}{\lambda_{k+1} - \lambda_k} & x \in [\lambda_k, \lambda_{k+1}] \end{cases} \quad (9)$$

$$f_i^4(x) = \begin{cases} 0 & x \notin [7, 10] \\ \frac{7 - x}{7 - 9} & x \in [7, 9] \\ 1 & x \in [9, 10] \end{cases} \quad (10)$$

式(8)~(10)中: $f_i^1(x), f_i^k(x), f_i^4(x)$ 分别为指标 i 对于第 1 灰类、第 k 灰类、第 4 灰类的三角白化权函数 ($k = 2, 3$); x 为指标 i 的评分值; $\lambda_1, \lambda_k, \lambda_4$ 分别为第 1、第 k 、第 4 灰类的中心点, $\lambda_1 \sim \lambda_4$ 的取值分别为 1.5, 4.5, 7.0, 9.0。

(3) 计算综合聚类系数

计算指标 i 关于灰类 k 的综合聚类系数

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^5 f_i^k(x_{ij}) \omega_j \quad (i = 1, 2, \dots, 5; k = 1, 2, 3, 4) \quad (11)$$

式中: ω_i 为指标 i 的权重。

(4) 计算综合评价系数

$$\tau^k = \sum_{i=1}^5 \sigma_i^k \omega_i \quad (i = 1, 2, \dots, 5; k = 1, 2, 3, 4) \quad (12)$$

由式 $\max_{1 \leq k \leq 4} \{\tau^k\} = \tau^{k^*}$ 及最大隶属度原则可判断所分析的装配式建筑项目的绿色性综合评价等级属于 k^* 灰类, 然后确定其绿色性综合评价等级, 最后, 依据细化指标的灰色聚类系数分析项目的优势及劣势。

三、实例分析

1. 实例概况

选取沈阳市 XX 二期项目为例, 该二期项目于 2019 年完工, 其主体结构为框架剪力墙结构, 项目住宅楼共 8 栋, 其中, 6 层层高 4 栋, 5 层层高 2 栋, 18 层层高 2 栋, 地上总体建筑面积为 32 795.84 m²; 项目中板、楼梯、阳台、空调板等构件装配率达 60%, 非砌筑内隔墙、标准化预制构件、景观构件比例均大于或等于 50%, 住宅楼单体预制装配率为 41.8%, 项目整体装配率为 51.13%。

2. 组合赋权计算指标权重

共邀请 10 位相关领域专家对装配式建筑绿色性各评价指标进行打分, 采用 1~9 标度法两两比较得到比较矩阵集。

以某一位专家对一级指标层的评价矩阵

为例进行计算

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 3 & 6 & 5 \\ 1/4 & 1 & 1/2 & 3 & 2 \\ 1/3 & 2 & 1 & 3 & 2 \\ 1/6 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1/2 \\ 1/5 & 1/2 & 1/2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

由式(1)和式(2)可得一级指标的主观权重

$\omega' = \{0.495\ 6, 0.145\ 8, 0.202\ 4, 0.060\ 2, 0.096\ 0\}$

由式(3)~式(5)可得一级指标的客观权重

$\omega'' = \{0.052\ 7, 0.229\ 1, 0.168\ 6, 0.284\ 3, 0.265\ 4\}$

由式(7)可得

$k'_1=0.659\ 1, k'_2=0.340\ 9$

故一级指标的组合同权重为

$\omega = \{0.345\ 4, 0.177\ 3, 0.190\ 6, 0.136\ 5, 0.154\ 1\}$

同理可得其余各指标组合权重。

权重计算可通过 MATLAB 软件实现,所有指标权重如表 3 所示。

表 3 装配式建筑项目指标权重

指标层	权重 ω_i	分值 x	指标层	权重 ω_i	分值 x
A	0.345 4	—	C ₂₁	0.024 1	4.800 0
A ₁₁	0.051 4	6.600 0	C ₂₂	0.031 0	4.800 0
A ₁₂	0.031 1	4.800 0	C ₃₁	0.021 7	4.200 0
A ₁₃	0.036 2	5.600 0	C ₃₂	0.039 9	5.200 0
A ₁₄	0.033 6	4.000 0	D	0.136 5	—
A ₁₅	0.026 7	6.800 0	D ₁₁	0.017 0	5.400 0
A ₂₁	0.048 6	5.000 0	D ₁₂	0.013 2	5.000 0
A ₂₂	0.034 4	5.000 0	D ₂₁	0.014 7	5.000 0
A ₂₃	0.042 1	5.200 0	D ₂₂	0.022 8	6.600 0
A ₂₄	0.041 6	5.400 0	D ₃₁	0.020 0	5.800 0
B	0.173 3	—	D ₃₂	0.013 8	7.200 0
B ₁₁	0.038 9	7.200 0	D ₄₁	0.010 4	6.600 0
B ₁₂	0.027 4	7.400 0	D ₄₂	0.011 1	6.800 0
B ₁₃	0.022 5	7.400 0	D ₄₃	0.013 1	6.600 0
B ₁₄	0.024 5	5.800 0	E	0.154 1	—
B ₂₁	0.026 7	5.600 0	E ₁₁	0.036 8	7.200 0
B ₂₂	0.034 3	7.200 0	E ₂₁	0.044 9	6.400 0
C	0.190 6	—	E ₃₁	0.036 2	5.400 0
C ₁₁	0.047 8	7.200 0	E ₃₂	0.043 0	4.400 0
C ₁₂	0.026 1	6.000 0			

3. 灰色聚类分析

“废水排放”“碳排放”“生产成本”等客

观指标参照国家标准或行业平均水平对其进行评分;“社会评价”“文明施工程度”等主观指标(见表 1)邀请上述 10 位相关专家对其进行评分,取平均数为标准值。评分均采用十分制。据式(8)~(10)计算各指标的白化权函数值,计算结果如表 4 所示。

表 4 装配式建筑项目灰色聚类分析计算表

指标	白化权函数值			
	差	中	良	优
A	0.005 6	0.134 1	0.110 4	0
A ₁₁	0	0.072 7	0.840 0	0
A ₁₂	0	0.400 0	0.120 0	0
A ₁₃	0	0.254 5	0.440 0	0
A ₁₄	0.166 7	0.833 3	0	0
A ₁₅	0	0.036 3	0.920 0	0
A ₂₁	0	0.363 6	0.200 0	0
A ₂₂	0	0.363 6	0.200 0	0
A ₂₃	0	0.327 3	0.360 0	0
A ₂₄	0	0.290 9	0.360 0	0
B	0	0.012 1	0.071 5	0.017 3
B ₁₁	0	0	0.400 0	0.100 0
B ₁₂	0	0	0.355 5	0.200 0
B ₁₃	0	0	0.355 5	0.200 0
B ₁₄	0	0.218 1	0.520 0	0
B ₂₁	0	0.254 5	0.440 0	0
B ₂₂	0	0	0.400 0	0.100 0
C	0.100 0	2.209 1	1.520 0	0.100 0
C ₁₁	0	0	0.400 0	0.100 0
C ₁₂	0	0.181 8	0.600 0	0
C ₂₁	0	0.400 0	0.120 0	0
C ₂₂	0	0.400 0	0.120 0	0
C ₃₁	0.100 0	0.900 0	0	0
C ₃₂	0	0.327 3	0.280 0	0
D	0	0.023 2	0.076 7	0.001 4
D ₁₁	0	0.290 9	0.360 0	0
D ₁₂	0	0.363 6	0.200 0	0
D ₂₁	0	0.363 6	0.200 0	0
D ₂₂	0	0.072 7	0.840 0	0
D ₃₁	0	0.218 1	0.520 0	0
D ₃₂	0	0	0.400 0	0.100 0
D ₄₁	0	0.072 7	0.840 0	0
D ₄₂	0	0.036 3	0.920 0	0
D ₄₃	0	0.072 7	0.840 0	0
E	0.001 4	0.057 0	0.061 9	0.003 7
E ₁₁	0	0	0.400 0	0.100 0
E ₂₁	0	0.109 1	0.760 0	0
E ₃₁	0	0.290 1	0.360 0	0
E ₃₂	0.033 3	0.966 7	0	0

由式(11)可得综合聚类系数集

$\sigma = (\sigma^1, \sigma^2, \sigma^3, \sigma^4)^T$

$$= \begin{bmatrix} 0.005 & 6 & 0.134 & 1 & 0.110 & 4 & 0 \\ 0 & 0.012 & 1 & 0.071 & 5 & 0.017 & 3 \\ 0.100 & 0 & 2.209 & 1 & 1.520 & 0 & 0.100 & 0 \\ 0 & 0.023 & 2 & 0.076 & 7 & 0.001 & 4 \\ 0.001 & 4 & 0.057 & 0 & 0.061 & 9 & 0.003 & 7 \end{bmatrix}$$

由式(12)可得出绿色性综合评价系数集

$$\tau = (\tau^1, \tau^2, \tau^3, \tau^4) = [0.021 \ 1, 0.479 \ 1, 0.361 \ 5, 0.028 \ 0]$$

四、数据分析及对策

根据隶属度最大原则,判断该装配式建筑项目隶属于“一般”灰类。根据所计算的各指标的灰色聚类系数,绝大多数指标在“差”灰类的聚类系数为0,即新能源的利用指标 A_{14} 和加快产业结构优化指标 C_{31} 在该灰类的聚类系数分别为0.166 7和0.100 0。故就该工程项目而言,新能源的利用和产业链的优化仍有待提高。而该项目的综合评价系数在“一般”灰类为0.479 1,“较好”灰类为0.361 5,两者差值并不是很大,表明项目仍存在极大的提升空间。

就新能源利用来说,在工程项目建设过程中,建筑节能与新能源利用的路径主要发生于设计阶段,且二者不是独立存在的,而是相辅相成的,新能源的利用率高逐渐成为决定建筑节能优劣的主要方式之一。要充分利用新能源和自然资源(如风能、太阳能、地热能等),在建筑设计阶段合理规划房屋的采光结构,延长建筑光照时间;在建筑顶端安装太阳能板、太阳能集热器;提高地热能的利用率;加强夜间通风以达到蓄冷、节能的功效等。

就当前我国建筑装备产业结构优化来说,加快装配式建筑产业结构优化是一项庞大的工作,一要完善装配式建筑标准规范,真正实现装配式建筑的设计阶段标准化、生产阶段工业化、施工阶段装配化、装修过程一体化;二要健全与装配式建筑相适应的制度,实现工程全寿命周期各阶段的深度管理;三要鼓励各地积极出台人才培养政策,为建筑行

业输送更多人才。

五、结 语

笔者构建了基础的装配式建筑评价体系,在指标体系构建过程中,注重绿色、适用、经济、安全的同时,保证其管理水平卓越和装配化程度符合国家及地方政策;同时,利用组合赋权法确定指标的主客观权重,使其结果更加符合实际;最后,经工程实例验证,该模型能够在一定程度上消除主观误差,并且能够有效避免对客观数据要求过高所带来的问题。通过对装配式建筑项目进行聚类分析,为行业提供了一定的宏观数据和模型分析支持,有利于我国装配式建筑朝着绿色可持续发展的方向发展。

参考文献:

- [1] SCHWEBER L, HAROGLU H. Comparing the fit between BREEAM assessment and design processes[J]. Building research & information, 2014, 42(3): 300–317.
- [2] MICHAEL M, ZHANG L, XIA X. An optimal model for a building retrofit with LEED standard as reference protocol[J]. Energy & buildings, 2016, 139: 22–30.
- [3] WONG S C, ABE N. Stakeholders' perspectives of a building environmental assessment method: the case of CASBEE [J]. Building & environment, 2014, 82: 502–516.
- [4] 李素兰. 装配式建筑的现状与发展[J]. 上海建材, 2018(5): 27–35.
- [5] 罗倩蓉, 董茜月, 曾德珩. 基于模糊层次分析法的装配式建筑 PC 构件厂选址[J]. 土木工程与管理学报, 2018, 35(3): 111–117.
- [6] 任宏, 祝连波. 基于组合权法的建筑施工企业信息化水平的多层次灰色评价[J]. 系统工程理论与实践, 2008(2): 82–88.
- [7] 吴建军, 蔡垚, 刘正江. 综合安全评估中指标权重的集对分析[J]. 中国航海, 2010, 33(3): 60–63.
- [8] 袁宁, 杨立兵. 基于粗糙集-人工神经网络的建筑施工安全评价及应用[J]. 安全与环境工程, 2012, 19(1): 60–64.
- [9] 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.

[10] 吴建军. 分道通航制水域航行环境安全的集对综合评价研究[D]. 大连:大连海事大学, 2010.

[11] 陈伟,付杰,熊付刚,等. 装配式建筑工程施工安全灰色聚类测评模型[J]. 中国安全科学学报,2016,26(11):70-75.

[12] 程波,贾国柱. 改进 AHP-BP 神经网络算法研究:以建筑企业循环经济评价为例[J]. 管理评论,2015,27(1):36-47.

[13] 李英攀,刘名强,王芳,等. 装配式建筑项目安全绩效云模型评价方法[J]. 中国安全科学学报,2017,27(6):115-120.

[14] 贾国柱,刘圣国,王剑磊,等. 基于支持向量机的建筑企业循环经济评价研究[J]. 管理评论,2013,25(5):11-18.

[15] 李万庆,郭海燕,孟文清,等. 基于灰色聚类-SPA 的建筑施工项目安全风险评价[J]. 数学的实践与认识,2012,42(8):168-173.

[16] 王志强,张樵民,王国强,等. 基于 FTA-SPA-灰色聚类的装配式建筑施工安全测评[J]. 安全与环境工程,2018,25(2):166-173.

Grey Clustering Evaluation Model of Prefabricated Building Greenness Based on Combination Weighting

YU Miao ,RAO Xiaoxiao ,ZHANG Mengting
(School of Management,Shenyang Jianzhu University ,Shenyang 110168 ,China)

Abstract:By summarizing the evaluation standards of prefabricated building and green building, the evaluation index system of prefabricated building's greenness is constructed combining with the development status of prefabricated building, which is from five aspects: ecological construction, economic benefits, social benefits, management level and assembly level. Then, in the structure of the evaluation model, this paper chooses compatible matrix and the mean square difference for performance combination weighting of index system, and obtains prefabricated building's level of comprehensive evaluation through the grey clustering analysis. Finally, this paper applies the model to a real engineering project in Shenyang, and demonstrates the feasibility of the model. The paper also finds out the factors to be improved through data analysis, and proposes the relevant suggestions on the sustainable development of prefabricated building.

Key words: prefabricated buildings; greenness; compatible matrix; mean square difference; grey clustering evaluation

(责任编辑:郝 雪 英文审校:林 昊)