

# 基于云模型耦合 AHP 的装配式建筑 全生命周期绿色度评价\*

李辉山 赵瑞瑞

(兰州理工大学, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 装配式建筑全生命周期绿色度评价能够促进建筑生产方式转型和绿色发展。从全生命周期角度构建设计、生产运输、施工和使用维护 4 阶段装配式建筑绿色度评价指标体系, 耦合云模型和 AHP 建立装配式建筑全生命周期绿色度评价模型, 并结合甘肃省装配式建筑实例进行验证。结果表明: 甘肃省装配式建筑绿色度评价等级为一级, 装配式建筑绿色度评价模型具有可行性和合理性。

**关键词:** 装配式建筑; 绿色度; 全生命周期; 云模型; AHP

## 0 引言

2022 年年底, 中国建筑节能协会能耗与碳排放数据专业委员会发布的《2022 年中国建筑能耗研究报告》显示, 2020 年, 全国建筑全过程能耗和碳排放总量分别为 22.7 亿 tce (标准煤计量当量) 和 50.8 亿 tCO<sub>2</sub>, 分别占全国能源消费总量的 45.5% 和 50.9%。建筑行业应大力推行节能和低碳建筑, 促进双碳目标实现。《装配式建筑综合效益分析方法研究》中的测算结果显示, 装配式建筑在整个生命周期内可减少碳排放, 其中建造阶段减少碳排放 645.66t, 使用阶段减少碳排放 2415.9t。装配式建筑改变了传统建造方式, 符合绿色发展理念, 实现了建筑产业化等优势, 已成为国内外学者研究的热点。

装配式建筑虽然具有诸多优点, 但其较传统建造方式的应用和推广范围较窄, 发展呈区域性特点。为促进装配式建造方式的改革、创新和发展, 进一步加快我国建筑行业低碳、绿色发展, 本研究构建了装配式建筑全生命周期绿色度评价指标体系, 建立了绿色度评价模型。

## 1 文献综述

### 1.1 装配式建筑绿色度评价指标相关研究

魏明海<sup>[1]</sup>、杨苏<sup>[2]</sup>等基于全生命周期理论, 构建了以“四节一环保”、文脉、技术、室内及室外环境、施工文明程度、运营管理、评价管理和使用寿命为准则层的装配式建筑绿色度评价指标体系; 朱百峰<sup>[3]</sup>和许兆丰<sup>[4]</sup>建立了四维度的装配式建筑绿色度评价指标体系, 前者基于机制运行度、经济绿色度、效益协调度和环境平衡度构建, 后者基于资源节约与利用、环境保护、舒适度、管理机制构建。

### 1.2 装配式建筑绿色度评价模型相关研究

2018 年, 曹志成等<sup>[5]</sup>采用 CRITIC 和 TOPSIS 法构建装配式建筑绿色度评价模型, 结果表明该模型具有合理性, 且主要适用于新旧装配式建筑绿色度对比研究; 2020 年, 王乾坤等<sup>[6]</sup>采用标准正态云物元模型评价装配式建筑施工绿色度, 结果表明装配式建筑绿色度等级为二级, 且云物元理论引入评价过程使得评价结果更具客观性; 2022 年, 曹敏等<sup>[7]</sup>为评价装配式建筑绿色度, 建

\* 基金项目: 国家自然科学基金项目 (51868047)。

立了组合赋权-属性识别的综合评价模型,结果表明该模型就装配式建筑绿色度评价具良好的适用性。

综上,目前国内装配式建筑绿色度评价相关研究较为丰富,评价指标的构建考虑了主客观环境、经济及人文等因素,评价方法及模型多元化,但存在装配式建筑全生命周期绿色度评价指标选取不全面、对指标维度权重的设置不合理的情况。因此,本文在已有研究的基础上,采用云模型(Cloud Model, CM)耦合层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)构建装配式建筑全生命周期绿色度评价模型,为装配式建筑绿色度评价提供一种新的评价模型,并为其发展和推广提供参考依据。

## 2 装配式建筑全生命周期绿色度评价指标体系建筑

通过文献阅读法梳理装配式建筑绿色度评价指标,采用线上邀请专家访谈的方式构建装配式建筑全生命周期绿色度评价指标体系,见表1。

表1 装配式建筑全生命周期绿色度评价指标体系

目标层	准则层 A	准则层 B	评价层 C
装配式建筑绿色度 P	设计阶段 A <sub>1</sub>	节地 B <sub>1</sub>	土地资源的有效利用 C <sub>1</sub>
			选址与城市系统协调 C <sub>2</sub>
		文化 B <sub>2</sub>	融入地方文化设计 C <sub>3</sub>
			保护地方文化遗产 C <sub>4</sub>
		技术 B <sub>3</sub>	技术策略适应性 C <sub>5</sub>
			BIM 技术的应用 C <sub>6</sub>
	装配率 C <sub>7</sub>		
	生产运输阶段 A <sub>2</sub>	节材 B <sub>4</sub>	节约材料 C <sub>8</sub>
			低碳材料使用率 C <sub>9</sub>
		节能 B <sub>5</sub>	提高可再生能源利用率 C <sub>10</sub>
			降低能耗 C <sub>11</sub>
		环保 B <sub>6</sub>	废气排放 C <sub>12</sub>
			固体废弃物排放 C <sub>13</sub>

(续)

目标层	准则层 A	准则层 B	评价层 C
装配式建筑绿色度 P	施工阶段 A <sub>3</sub>	节水 B <sub>7</sub>	节水器具及给排水设施的设计 C <sub>14</sub>
			非传统水源的利用 C <sub>15</sub>
		室外环境 B <sub>8</sub>	绿地率 C <sub>16</sub>
			施工文明程度 B <sub>9</sub>
		建筑垃圾排放 C <sub>18</sub>	
		施工机械化水平 B <sub>10</sub>	施工机械化程度 C <sub>19</sub>
	信息化水平 C <sub>20</sub>		
	使用与维护阶段 A <sub>4</sub>	室内环境 B <sub>11</sub>	提升采光、日照、通风水平 C <sub>21</sub>
			提高温度舒适度 C <sub>22</sub>
		运营管理 B <sub>12</sub>	废弃物处理 C <sub>23</sub>
			节能节水管理 C <sub>24</sub>
			绿化管理 C <sub>25</sub>
		评价管理 B <sub>13</sub>	周围居民满意度 C <sub>26</sub>
施工企业自评 C <sub>27</sub>			

## 3 基于云模型耦合 AHP 的装配式建筑全生命周期绿色度评价

### 3.1 云模型

李德毅于1995年提出云模型,随后云模型的发展经历了理论形成、完善和应用三个阶段。云模型是基于随机数学和模糊数学理论可以实现定性和定量相互转换的模型,它是用自然语言值表示的某个定性概念与其定量表示之间的不确定性转换模型<sup>[8]</sup>。云模型常通过期望(Ex)、熵(En)和超熵(He)等数字特征来描述其在概念上的整体性。

### 3.2 层次分析法(AHP)

20世纪70年代末,T. L. Satty首次提出的层次分析法是一种适用于对多层次目标决策的、定性定量相结合的分析方法<sup>[8]</sup>。

### 3.3 基于云模型耦合 AHP 的装配式建筑全生命周期绿色度评价模型

#### 3.3.1 确定绿色度评价等级

借鉴住房和城乡建设部颁布的《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378—2019)中的等级划分,确

定本文装配式建筑绿色度评价为 5 个等级，分别是不合格、基本级、一级、二级、三级。采用改进黄金分割法<sup>[9]</sup>计算绿色度评价（权重）标尺云数字特征，见表 2。

3.3.2 确定各指标的分级标准云参数

各指标分级归属范围见表 3，其标准云参数参见表 2。

3.3.3 基于云模型改进 AHP 确定评价指标权重云参数

(1) 绿色度评价云模型判断矩阵构造。在主体为层次分析法的基础上，引入云模型标度（表 4）。通过专家访谈的方式构造装配式建筑绿色度评价云模型判断矩阵。由于篇幅原因，以设计阶段为例，见表 5 ~ 表 8。

表 2 绿色度评价（权重）标尺云数字特征

数字特征	不合格	基本级	一级	二级	三级
$E_x$	19.096	30.900	50.000	69.100	80.904
$E_n$	0.594	0.367	0.227	0.367	0.594
$H_e$	0.026	0.016	0.010	0.016	0.026

表 3 指标分级归属范围

指标	单位	绿色度等级				
		不合格	基本级	一级	二级	三级
$C_1 \sim C_5, C_{11}, C_{14} \sim C_{16}, C_{18} \sim C_{27}$	分数	[0, 60]	[60, 70]	[70, 80]	[80, 90]	[90, 100]
$C_6$	%	[0, 10]	[20, 40]	[40, 50]	[50, 70]	[70, 100]
$C_7$	%	[0, 20]	[20, 50]	[50, 70]	[70, 90]	[90, 100]
$C_8$	%	[0, 10]	[10, 30]	[30, 40]	[40, 50]	[50, 60]
$C_9$	%	[0, 30]	[30, 40]	[40, 45]	[45, 55]	[55, 60]
$C_{10}$	%	[0, 40]	[40, 50]	[50, 60]	[60, 70]	[70, 80]
$C_{12}$	kg/m <sup>2</sup>	[20, 24]	[18, 20]	[16, 18]	[14, 16]	[10, 14]
$C_{13}$	t/万 m <sup>2</sup>	[300, 500]	[250, 300]	[200, 250]	[150, 200]	[0, 150]
$C_{17}$	dB	[70, 100]	[65, 70]	[60, 65]	[55, 60]	[0, 55]

表 4 云模型标度

云模型标度值	含义
$C_1 = (1, 1, 0)$	两个因素相比，同样重要
$C_2 = (1/3, 0.33/9, 0.01/9)$	两个因素相比，前者比后者稍微不重要
$C_3 = (3, 0.33, 0.01)$	两个因素相比，前者比后者稍微重要
$C_4 = (1/5, 0.33/25, 0.01/25)$	两个因素相比，前者比后者明显不重要
$C_5 = (5, 0.33, 0.01)$	两个因素相比，前者比后者明显重要
$C_6 = (1/7, 0.33/49, 0.01/49)$	两个因素相比，前者比后者强烈不重要
$C_7 = (7, 0.33, 0.01)$	两个因素相比，前者比后者强烈重要
$C_8 = (1/9, 0.33/81, 0.01/81)$	两个因素相比，前者比后者极端不重要
$C_9 = (9, 0.33, 0.01)$	两个因素相比，前者比后者极端重要

表 5 P-A 云模型判断矩阵

P	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	(1, 1, 0)	(1/7, 0.33/49, 0.01/49)	(1/3, 0.33/9, 0.01/9)	(1/7, 0.33/49, 0.01/49)
A <sub>2</sub>	(7, 0.33, 0.01)	(1, 1, 0)	(1/3, 0.33/9, 0.01/9)	(1, 1, 0)

(续)

$P$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$A_3$	(3, 0.33, 0.01)	(3, 0.33, 0.01)	(1, 1, 0)	(3, 0.33, 0.01)
$A_4$	(7, 0.33, 0.01)	(1, 1, 0)	(1/3, 0.33/9, 0.01/9)	(1, 1, 0)

表6  $A_1$ - $B$  云模型判断矩阵

$A_1$	$B_1$	$B_2$	$B_3$
$B_1$	(1, 1, 0)	(3, 0.33, 0.01)	(1, 1, 0)
$B_2$	(1/3, 0.33/9, 0.01/9)	(1, 1, 0)	(1/3, 0.33/9, 0.01/9)
$B_3$	(1, 1, 0)	(3, 0.33, 0.01)	(1, 1, 0)

表7  $B_1$ - $C$ 、 $B_2$ - $C$  云模型判断矩阵

$B_1$	$C_1$	$C_2$
$C_1$	(1, 1, 0)	(1, 1, 0)
$C_2$	(1, 1, 0)	(1, 1, 0)

表8  $B_3$ - $C$  云模型判断矩阵

$B_3$	$C_5$	$C_6$	$C_7$
$C_5$	(1, 1, 0)	(1/3, 0.33/9, 0.01/9)	(1/3, 0.33/9, 0.01/9)
$C_6$	(3, 0.33, 0.01)	(1, 1, 0)	(1/3, 0.33/9, 0.01/9)
$C_7$	(3, 0.33, 0.01)	(3, 0.33, 0.01)	(1, 1, 0)

对所得云模型判断矩阵  $P$ - $A$ 、 $A_1$ - $B$ 、 $B_1$ - $C$ 、 $B_2$ - $C$ 、 $B_3$ - $C$  归一化处理, 进行一致性检验。一致性检验指标为  $C_c$ , 见式 (1); 随机一致性检验指标为  $R_c$ , 见式 (2)。若  $C_c/R_c < 0.1$ , 则一致性检验通过。

$$C_c = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

式中,  $\lambda_{\max}$  为判断矩阵最大特征值;  $n$  为判断矩阵的阶数。

$$R_c = \frac{\bar{\lambda}_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

式中,  $\bar{\lambda}_{\max}$  为最大特征值的平均值。

本文结合式 (1) 和式 (2) 检验  $C_c$  与  $R_c$  的比值, 其值小于 0.1, 满足一致性要求。

(2) 计算云模型权重。根据根法<sup>[8]</sup>, 见式 (3) ~ 式 (5), 计算各评价指标对应的云模型权重  $w_i^0$  ( $Ex_i^0, En_i^0, He_i^0$ ), 公式如下

$$Ex_i^0 = Ex_i \div \sum_{i=1}^n Ex_i$$

$$= \left( \prod_{j=1}^n Ex_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \div \sum_{i=1}^n \left( \prod_{j=1}^n Ex_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

式中,  $En_i^0$  为云模型权重的期望;  $Ex_i$  为第  $i$  项指标的期望。

$$En_i^0 = En_i \div \sum_{i=1}^n En_i$$

$$= \left[ \prod_{j=1}^n Ex_{ij} \sqrt{\sum_{j=1}^n (En_{ij} \div Ex_{ij})^2} \right]^{\frac{1}{n}} \div \sum_{i=1}^n \left[ \prod_{j=1}^n Ex_{ij} \sqrt{\sum_{j=1}^n (En_{ij} \div Ex_{ij})^2} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

式中,  $En_i^0$  为云模型权重的熵;  $En_i$  为第  $i$  项指标的熵。

$$He_i^0 = He_i \div \sum_{i=1}^n He_i$$

$$= \left[ \prod_{j=1}^n Ex_{ij} \sqrt{\sum_{j=1}^n (He_{ij} \div Ex_{ij})^2} \right]^{\frac{1}{n}} \div \sum_{i=1}^n \left[ \prod_{j=1}^n Ex_{ij} \sqrt{\sum_{j=1}^n (He_{ij} \div Ex_{ij})^2} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

式中,  $He_i^0$  为云模型权重的超熵;  $He_i$  为第  $i$  项指标的超熵。

经过归一化处理, 得到各指标对应的云模型权重  $w$ , 见表 9。

表9 各指标对应的云模型权重  $w$

准则层 A	准则层 B	评价层 C	$w$
A <sub>1</sub> (0.057, 0.055, 0.055)	B <sub>1</sub> (0.429, 0.435, 0.421)	C <sub>1</sub> (0.500, 0.500, 0.500)	(0.010, 0.012, 0.012)
		C <sub>2</sub> (0.500, 0.500, 0.500)	(0.010, 0.012, 0.012)
	B <sub>2</sub> (0.142, 0.130, 0.158)	C <sub>3</sub> (0.500, 0.500, 0.500)	(0.003, 0.004, 0.004)
		C <sub>4</sub> (0.500, 0.500, 0.500)	(0.003, 0.004, 0.004)
	B <sub>3</sub> (0.429, 0.435, 0.421)	C <sub>5</sub> (0.135, 0.115, 0.124)	(0.001, 0.003, 0.003)
		C <sub>6</sub> (0.281, 0.387, 0.338)	(0.006, 0.008, 0.007)
		C <sub>7</sub> (0.584, 0.498, 0.538)	(0.008, 0.013, 0.013)
A <sub>2</sub> (0.245, 0.256, 0.232)	B <sub>4</sub> (0.142, 0.130, 0.158)	C <sub>8</sub> (0.250, 0.500, 0.769)	(0.022, 0.012, 0.016)
		C <sub>9</sub> (0.750, 0.500, 0.231)	(0.045, 0.023, 0.022)
	B <sub>5</sub> (0.429, 0.435, 0.421)	C <sub>10</sub> (0.500, 0.500, 0.500)	(0.045, 0.053, 0.049)
		C <sub>11</sub> (0.500, 0.500, 0.500)	(0.045, 0.053, 0.049)
	B <sub>6</sub> (0.429, 0.435, 0.421)	C <sub>12</sub> (0.500, 0.500, 0.500)	(0.045, 0.053, 0.049)
		C <sub>13</sub> (0.500, 0.500, 0.500)	(0.010, 0.053, 0.049)
A <sub>3</sub> (0.452, 0.434, 0.481)	B <sub>7</sub> (0.047, 0.045, 0.047)	C <sub>14</sub> (0.500, 0.500, 0.500)	(0.086, 0.010, 0.010)
		C <sub>15</sub> (0.500, 0.500, 0.500)	(0.086, 0.010, 0.010)
	B <sub>8</sub> (0.169, 0.179, 0.166)	C <sub>16</sub> (1.000, 1.000, 0.000)	(0.065, 0.076, 0.061)
	B <sub>9</sub> (0.615, 0.597, 0.621)	C <sub>17</sub> (0.250, 0.500, 0.769)	(0.059, 0.096, 0.131)
		C <sub>18</sub> (0.750, 0.500, 0.231)	(0.177, 0.180, 0.173)
	B <sub>10</sub> (0.169, 0.179, 0.166)	C <sub>19</sub> (0.250, 0.500, 0.769)	(0.016, 0.027, 0.036)
C <sub>20</sub> (0.750, 0.500, 0.231)		(0.048, 0.051, 0.047)	
A <sub>4</sub> (0.245, 0.256, 0.232)	B <sub>11</sub> ( (0.142, 0.130, 0.158) )	C <sub>21</sub> (0.500, 0.500, 0.500)	(0.014, 0.017, 0.017)
		C <sub>22</sub> (0.500, 0.500, 0.500)	(0.014, 0.017, 0.017)
	B <sub>12</sub> (0.429, 0.435, 0.421)	C <sub>23</sub> (0.200, 0.214, 0.186)	(0.018, 0.022, 0.019)
		C <sub>24</sub> (0.200, 0.214, 0.186)	(0.018, 0.022, 0.019)
		C <sub>25</sub> (0.600, 0.573, 0.627)	(0.054, 0.062, 0.060)
	B <sub>13</sub> (0.429, 0.435, 0.421)	C <sub>26</sub> (0.250, 0.500, 0.769)	(0.022, 0.037, 0.049)
		C <sub>27</sub> (0.750, 0.500, 0.231)	(0.067, 0.072, 0.061)

(3) 绿色度评价实测云参数确定。通过浮动云法<sup>[10]</sup>计算装配式建筑绿色度评价指标实测云参数，浮动云计算公式见式(6)和式(7)，此处  $He$  取 0.01。

$$Ex = w_1Ex_1 + w_2Ex_2 + \dots + w_nEx_n \quad (6)$$

$$En = \frac{w_1Ex_1En_1 + w_2Ex_2En_2 + \dots + w_nEx_nEn_n}{w_1Ex_1 + w_2Ex_2 + \dots + w_nEx_n} \quad (7)$$

式中， $w_1, w_2, \dots, w_n$  为  $m$  ( $m \geq 2$ ) 名专家分别对  $n$  ( $n \leq 5$ ) 朵基云的支持率，且  $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$  ( $n \leq 5$ )。

(4) 绿色度综合评价云确定。采用加权平均法<sup>[10]</sup>确定装配式建筑绿色度综合评价云  $WC$ ，公式如下

$$WC = \sum_{i=1}^n (w_i \times C_i) \quad (8)$$

式中， $w_i$  为评价指标  $i$  的权重云参数； $C_i$  为评价指标  $i$  的实测云参数。

其中， $Ex$  和  $En$  按照云模型乘法和加法规则计算。设权重云为  $C_a$ ，实测云为  $C_b$ ，见式(9)和式(10)， $He$  取 0.01。在此基础上，确定评价等级。公式如下

$$C_a \times C_b = C \left[ Ex_a \times Ex_b, |Ex_a \times Ex_b| \times \sqrt{\left(\frac{En_a}{Ex_a}\right)^2 + \left(\frac{En_b}{Ex_b}\right)^2}, 0.01 \right] \quad (9)$$

$$C_a + C_b = C (Ex_a + Ex_b, \sqrt{En_a^2 + En_b^2}, 0.01) \quad (10)$$

式中,  $Ex_a$ 、 $En_a$  为权重云  $C_a$  的期望和熵;  $Ex_b$ 、 $En_b$  为权重云  $C_b$  的期望和熵。

## 4 实证分析

(1) 装配式建筑绿色度评价指标实测云参数。实证以甘肃省装配式建筑整体情况为目标进行绿色度评价。目前, 甘肃省已建成装配式建筑 95 万  $m^2$ , 本文选取甘肃省典型的装配式建筑, 采用调查问卷结合实地调研, 确定装配式建筑绿色度评价各指标实测值, 并结合表 2、表 3、式 (6) 和式 (7) 确定实测云参数, 见表 10。其中, 调查问卷采用邮件形式, 共邀请相关领域的 10 名专家参与, 其中高级职称 6 人, 中级职称 4 人, 具有博士学位的 5 人, 其余 5 人均具有硕士学位。

表 10 装配式建筑绿色度评价指标实测云参数

指标	实测云参数	指标	实测云参数
$C_1$	(30.900, 0.367, 0.016)	$C_{15}$	(30.900, 0.367, 0.016)
$C_2$	(50.000, 0.255, 0.010)	$C_{16}$	(57.640, 0.294, 0.010)
$C_3$	(30.900, 0.367, 0.016)	$C_{17}$	(30.900, 0.367, 0.016)
$C_4$	(69.100, 0.367, 0.016)	$C_{18}$	(50.000, 0.227, 0.010)
$C_5$	(19.096, 0.594, 0.026)	$C_{19}$	(30.900, 0.367, 0.016)
$C_6$	(50.000, 0.227, 0.010)	$C_{20}$	(30.900, 0.367, 0.016)
$C_7$	(30.900, 0.367, 0.016)	$C_{21}$	(50.000, 0.227, 0.010)
$C_8$	(38.540, 0.294, 0.010)	$C_{22}$	(69.100, 0.367, 0.016)
$C_9$	(19.096, 0.594, 0.026)	$C_{23}$	(69.100, 0.367, 0.016)
$C_{10}$	(19.096, 0.594, 0.026)	$C_{24}$	(69.100, 0.367, 0.016)
$C_{11}$	(30.900, 0.367, 0.016)	$C_{25}$	(71.401, 0.418, 0.010)
$C_{12}$	(69.100, 0.367, 0.016)	$C_{26}$	(69.100, 0.367, 0.016)
$C_{13}$	(50.000, 0.227, 0.010)	$C_{27}$	(65.280, 0.346, 0.010)
$C_{14}$	(30.900, 0.367, 0.016)		

(2) 装配式建筑绿色度综合评价云。通过式 (8), 结合式 (9) 和式 (10) 计算甘肃省装配式

建筑绿色度综合评价云参数, 为 (44.859, 14.178, 0.010)。基于 Matlab R2017b 软件, 采用正向发生器算法确定其综合云图, 如图 1 所示。

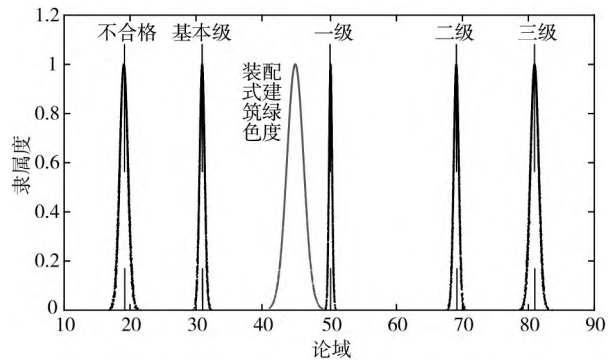


图 1 装配式建筑绿色度综合云图

(3) 装配式建筑绿色度评价等级。由图 1 初步确定甘肃省装配式建筑绿色度评价等级为基本级和一级之间。通过计算基本级、一级和待评价对象对应  $Ex$  之间距离 ( $d_{左}$  和  $d_{右}$ ), 判断待评价对象评价等级, 计算得到  $d_{左} = 13.959$ ,  $d_{右} = 5.141$ , 故根据就近原则, 确定甘肃省装配式建筑绿色度评价等级为一级标准。

(4) 结果与讨论。甘肃省装配式建筑全生命周期绿色度评价等级为一级, 处于中等水平, 与甘肃省现实情况一致。就目前国家政策要求而言, 为促进我国双碳目标的实现, 甘肃省还应大力发展装配式建筑, 并提高其在全生命周期内绿色度的等级水平。

基于上述分析, 提出以下建议:

1) 从全生命周期角度来看, 生产运输、施工、使用与维护阶段是装配式建筑绿色度评价的主导阶段。可建立装配式建筑生产链绿色度监测部门, 政府部门制定装配式建筑绿色达标政策, 企业可申请税收优惠及减免。

2) 影响装配式建筑绿色度的主要指标集中在施工阶段的建造垃圾排放  $C_{18}$ 。应回收装配式建筑施工现场建造垃圾并进行循环利用。各大高校可联合增设建造垃圾再利用研究课题, 促进装配式建筑生产可持续发展。

## 5 结语

本文构建了装配式建筑绿色度评价模型,依托甘肃省装配式建筑进行实证研究,得出以下结论:

(1) 通过耦合云模型和 AHP 构建了装配式建筑全生命周期绿色度评价模型,其评价结果合理且贴合实际,为装配式建筑绿色度评价提供了一种新的评价模型,客观、准确地实现了定性指标的量化和定量指标的衡量。

(2) 甘肃省装配式建筑全生命周期绿色度评价等级为一级,处于中等水平。为提高甘肃省装配式建筑绿色度水平,提出建立生产链绿色度监测部门、申请税收优惠及注重施工阶段建筑垃圾排放等措施。

(3) 未来研究可继续优化装配式建筑全生命周期绿色度指标体系,实现装配式建筑绿色度区域化研究,促进双碳目标的实现。

## 参考文献

[1] 魏明海,马茹萱,李丽红. 装配式建筑绿色度评价指标体系构建 [J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2017, 19(3): 281-285.

- [2] 杨苏,江影影. 基于全生命周期理论的装配式建筑绿色度评价 [J]. 安徽工程大学学报, 2020, 35(1): 85-94.
- [3] 朱百峰. 装配整体式建筑绿色度评价体系研究 [D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2016.
- [4] 许兆丰. 装配式建筑绿色评价体系研究 [D]. 唐山: 华北理工大学, 2020.
- [5] 曹志成,刘伊生,李明洋,等. 基于 CRITIC 和 TOPSIS 法的装配式建筑绿色度评价研究 [J]. 建筑节能, 2018, 46(9): 37-40, 58.
- [6] 王乾坤,年春光,邓勤犁. 基于云物元理论的装配式建筑施工绿色度评价方法研究 [J]. 建筑经济, 2020, 41(11): 84-89.
- [7] 曹敏,方前程. 基于组合赋权-属性识别的装配式建筑绿色度评估模型研究 [J]. 安全与环境学报, 2022, 22(4): 2166-2175.
- [8] 沈超. 基于云模型的宁镇地区下蜀土降雨型滑坡风险评价研究 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2019.
- [9] 徐选华,吴慧迪. 基于改进云模型的语言偏好信息多属性大群体决策方法 [J]. 管理工程学报, 2018, 32(1): 117-125.
- [10] 张满银,王生新,孙志忠,等. 基于云理论的油气管道滑坡危险性综合评价 [J]. 工程科学学报, 2018, 40(4): 427-437. **PMT**

收稿日期: 2023-01-03

作者简介:

李辉山(1970—),男,教授级高级工程师,硕士研究生导师,研究方向: 项目管理。

赵瑞瑞(通信作者)(1997—),女,研究方向: 项目管理。