

# 基于层次熵物元可拓模型的绿色建筑绿色度评价 ——以甘肃省为例

李强年, 赵巧妮

(兰州理工大学 土木工程学院, 兰州 730050)

**摘要:** 目前中国对绿色建筑的评价方法多为星级制,该评价方法以定性评价为主,量化程度低,评价结果较粗放,无法全面反映各地区的地域特征,且指标权重分配不合理。为完善适合甘肃地区的绿色建筑评价标准,以《甘肃省绿色建筑评价标识管理办法》(试行)为例,结合甘肃的地域特征和国内外学者在绿色建筑评价方面的研究成果,最终确定以“绿色度”来准确客观地评价绿色建筑;参考我国新版 GB/T 50378—2019《绿色建筑评价标准》和国内外学者提出的绿色建筑评价模型,重新筛选各评价条款并建立以量化结果为评分的绿色建筑可拓评价模型。将该模型应用到兰州新区中建大厦项目的绿色度等级测算中,验证了该评价模型在绿色建筑绿色度评价方面的合理性和有效性,为我国绿色建筑的发展提供了新的研究思路,具有一定的理论参考和应用价值。

**关键词:** 绿色建筑; 层次熵; 物元可拓模型; 绿色度; 指标体系

**中图分类号:** TU201.5      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1673-7237(2020)07-0066-06

## Green Degree Evaluation of Green Building Based on Hierarchical-Entropy Matter-Element Extension Model: On Gansu Province

LI Qiang-nian, ZHAO Qiao-ni

(School of Architecture and Construction, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** At present, most of the evaluation methods for green buildings in China are star systems. These evaluation methods are mainly based on qualitative evaluation, with low quantification degree, extensive evaluation results, unable to fully reflect the regional characteristics of various regions, and unreasonable index weight distribution. In order to improve the green building evaluation standards suitable for Gansu, taking “Green Building Evaluation Mark Management Measures of Gansu Province” (for trial implementation) as an example, combining the regional characteristics of Gansu Province and the research results of domestic and foreign scholars in green building evaluation, the “Green degree” is finally decided to accurately and objectively evaluate green buildings; referring to “Assessment Standard for Green Building” (GB/T50378—2019) and green building evaluation models proposed by scholars at home and abroad, evaluation clauses are re-screened, and green building extension evaluation model is established with quantitative result rating. The rating model is applied to green degree calculation of the Zhongjian Building Project in Lanzhou New District, verified the rationality and effectiveness of the evaluation model in green building green degree evaluation, and provided new research ideas for the development of green buildings in China. It has certain theoretical reference and application value.

**Keywords:** green building; hierarchical entropy; matter-element extension model; green degree; index system

## 0 引言

我国传统的建筑业呈“三高—低”的粗放型发展模式,对环境产生了极大的威胁<sup>[1]</sup>。绿色建筑能够在建筑全寿命周期内最大限度地实现人与自然和谐共生,为缓解环境压力,有效解决能源消耗过量和资源紧缺的问题,需大力发展绿色建筑,因此绿色建筑逐渐成为建筑行业的发展趋势<sup>[2]</sup>。如何对绿色建筑进行科学合理的评价尤为重要。我国新版 GB/T50378—2019《绿色建筑评价标准》自2019年8月1日起实施,国标将绿色建筑评价等级分为基础级、一星级、二星级、三星级,即在旧条文的基础上增加了基础级,并提高了各评价等级的分数。但是由于国标的评价范围比较宽泛,无法全面反映各地区的地域性特征,且评价方式以定性为主,在绿色建筑的绿色性能评估方面具有一定的模糊性和不确定性<sup>[3]</sup>。而《甘肃省绿色建筑评价标识管理办法》(试行)也沿用了国家标准,采用以定性为主的星级制对绿色建筑的性能进行评价,评价结果粗放,不利于有针对性地提升和改良绿色建筑的性能。为完善适用于甘肃地区的绿色建筑评价标准,以《甘肃省绿色建筑评价标准》(试行)为基础,结合甘肃省的地域特征和国内外学者在绿色建筑评价方面的研究成果<sup>[4-12]</sup>,最终确定以“绿色度”来准确客观地评价绿色建筑,并重新构建绿色建筑绿色评价指标体系,建立以量化为评分的绿色建筑评价模型,这对进一步提升绿色建筑的性能和等级是非常必要的。

## 1 绿色度评价指标体系及权重的确定

### 1.1 绿色度评价体系的构建

为完善适合甘肃地区的绿色建筑评价标准,结合甘肃省的地域特征,并参考国内外学者的研究成果,最终确定以绿色度来评价绿色建筑的绿色性能,将评价等级划分为{非绿  $G_1$ 、浅绿  $G_2$ 、中绿  $G_3$ 、深绿  $G_4$ 、泛绿  $G_5$ }共5个区间标准来描述,区间划分等级更加详细,是对《甘肃省绿色建筑评价标准》(试行)的优化。通过阅读大量文献,参考我国新版 GB/T50378—2019《绿色建筑评价标准》和国内外学者提出的绿色建筑评价模型,重新对绿色建筑相关评价指标进行选取,最终建立了一个包含7项一级指标、23项二级指标的绿色建筑绿色度评价指标体系,具体如图1所示。

### 1.2 指标权重的确定

#### 1.2.1 层次分析法确定权重

层次分析法是美国运筹学家萨迪(T. L. Saaty)于20世纪70年代初提出的,由于该方法具有系统、简便、灵活等优点,在经济管理、科研成果评价等领域得到了广泛的应用<sup>[13]</sup>。运用 AHP 方法对各评价指标的

权重进行计算时,可根据文献[14]中的相关计算公式来确定,大体分为以下几个步骤:

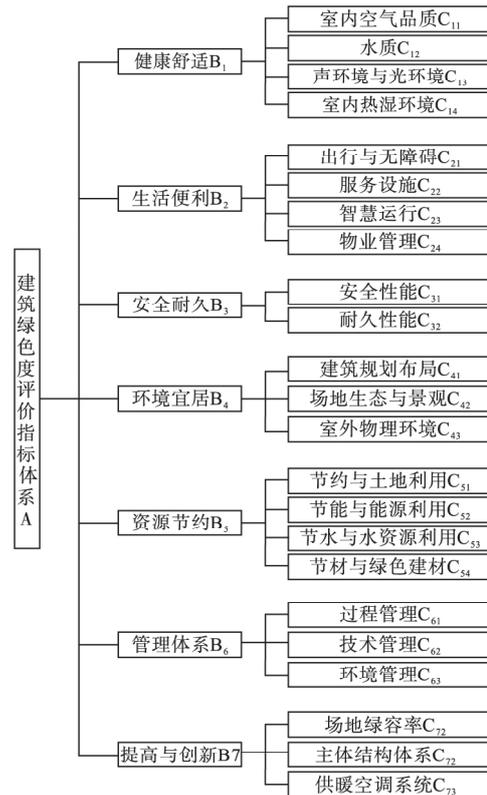


图1 绿色建筑绿色度评价指标体系

Fig. 1 Green building greenness evaluation index system

(1) 构造判断矩阵。在对相关理论进行深入研究和咨询相关领域专家的基础上,判断评价系统中各基本要素之间的相对重要程度,对各级指标进行科学合理的赋权,得到判断矩阵。

(2) 由判断矩阵计算各评价指标的相对权重。

(3) 进行一致性检验,判断该评价有无逻辑错误。

(4) 对各备选方案的权重进行排序。

#### 1.2.2 熵权法确定权重

熵权法是一种定量赋权法,评价结果更具客观性,其中,各决策指标的重要程度可通过各指标值所包含的信息量的差异程度来反映。基本计算步骤如下:

(1) 选取  $m$  个样本  $n$  个评价指标,则  $x_{ij}$  为第  $i$  个样本的第  $j$  个评价指标的数值。

(2) 指标的标准化处理,即异质指标同质化。处理方法如下:

$$x_{ij} = \frac{\max_i \{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max_i \{x_{ij}\} - \min_i \{x_{ij}\}} \quad (1)$$

(3) 确定第  $j$  个样本下的第  $i$  个指标的比重:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (2)$$

根据计算结果得到比重矩阵为:

$$Y = (Y_1 \ Y_2 \ \dots \ Y_n) \quad (3)$$

(4) 计算信息熵:

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m y_{ij} \ln y_{ij} \quad (j = 1 \ 2 \ \dots \ n) \quad (4)$$

(5) 计算指标的权重:

$$w_j = \frac{1 - E_j}{n - \sum_{j=1}^n E_j} \quad (j = 1 \ 2 \ \dots \ n) \quad (5)$$

### 1.2.3 层次分析法和熵权法综合确定权重

为了对绿色建筑绿色度进行正确的评价,需要对各级指标进行科学合理的赋权。层次分析法得到的结果主观性太强,而熵权法得到的结果无法反映专家和公众的意见,得到的结果可能会偏离实际,因此将层次分析法和熵权法相结合,采用层次熵权法得到的结果会更加科学合理。其处理方法如下:

$$\omega_i = \frac{w_i W_i}{\sum_{i=1}^m w_i W_i} \quad (6)$$

式中:  $\omega_i$  为评价指标的综合权重;

$w_i$  为熵权法所确定的指标权重;

$W_i$  为层次分析法所确定的指标权重;

$m$  为评价指标的个数。

## 2 绿色度可拓评价模型的构建

可拓评价法是以关联函数为工具,用来解决矛盾问题的定量化研究方法<sup>[15]</sup>。其具体计算步骤如下。

(1) 确定经典域、节域与待评物元。

①经典域物元

$$R_j = (N_j, C_i, V_{ji}) = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & v_{j1} \\ & c_2 & v_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & \langle a_{j1} \ b_{j1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{j2} \ b_{j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{jn} \ b_{jn} \rangle \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中:  $N_j$  为绿色建筑绿色度第  $j$  个评价等级;

$V_{ji}$  为评价指标的值域,  $V_{ji} = \langle a_{ji} \ b_{ji} \rangle$ 。

②节域物元

$$R_p = (N_p, C_i, V_{pi}) = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & v_{p1} \\ & c_2 & v_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{pn} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} P & c_1 & \langle a_{p1} \ b_{p1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{p2} \ b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{pn} \ b_{pn} \rangle \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中:  $P$  为效果评价指标的集合;

$V_{pi}$  为  $P$  关于  $C_i$  的取值范围。

③待评物元

$$R_o = (p, c_i, x_{pi}) = \begin{bmatrix} p_o & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中:  $p_o$  为待评对象;

$v_i$  为  $p_o$  关于  $c_i$  的量值。

(2) 确定待测物元关于各类别的关联度函数。

待评物元关于各等级的关联函数如下:

$$K_j(v_i) = \begin{cases} \rho(v_i, x_{ji}) / [\rho(v_i, x_{pi}) - \rho(v_i, x_{ji})] & v_i \in x_{ji} \\ -\rho(v_i, x_{ji}) / |x_{ji}| & v_i \notin x_{ji} \end{cases} \quad (10)$$

其中,

$$\rho(v_i, x_{ji}) = \left| v_i - \frac{a_{ji} + b_{ji}}{2} \right| - \frac{1}{2}(b_{ji} - a_{ji}) \quad (11)$$

$$\rho(v_i, x_{pi}) = \left| v_i - \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2} \right| - \frac{1}{2}(b_{pi} - a_{pi})$$

(3) 确定关联度和等级。

$$K_j(p_o) = \sum_{i=1}^n w_i K_j(v_i) \quad (12)$$

其中,  $W_i$  为指标权重,若  $K_j = \max K_j(p_o)$ , 则  $K_j(p_o)$  为标的物  $p_o$  关于等级  $j$  的关联度。

## 3 案例分析

兰州新区中建大厦(1#办公楼、2#综合楼)位于兰州新区,是“十三五”国家科研攻关示范项目近零能耗建筑技术示范工程,项目总建筑面积 28 233.48 m<sup>2</sup>。其中,1#办公楼的光源应用建筑光伏一体化技术,采暖制冷系统应用高效率的蒸发冷却智能机组技术。该方案符合兰州地区的气候条件和《被动式超低能耗绿色建筑技术导则》的要求。兰州新区中建大厦1#办公楼项目于2018年11月7日通过了中国被动式超低能耗建筑联盟的评审。采用本文所建立的层次熵物元可拓模型对该工程项目的绿色度进行评价,过程如下。

### 3.1 测算指标权重

#### 3.1.1 AHP 确定权重

本文使用 MCE - AHP 软件计算指标权重,由于篇幅有限,只列出了  $B_1$ (健康舒适)的判断矩阵(见表1)。

表1 B1的判断矩阵及权重计算  
Table 1 B<sub>1</sub> judgment matrix and weight calculation

B <sub>1</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>14</sub>	W(权重)	一致性指标
C <sub>11</sub>	1	2	4	3	0.482	λ <sub>max</sub> = 4.117
C <sub>12</sub>	1/2	1	1	1/2	0.154	CI = 0.039, RI = 0.9
C <sub>13</sub>	1/3	1/3	1/2	1	0.130	CR = 0.043 < 0.1
C <sub>14</sub>	1/3	1/3	1/2	1	0.234	通过一致性检验

注: {C<sub>11</sub>, C<sub>12</sub>, C<sub>13</sub>, C<sub>14</sub>} = {0.482, 0.154, 0.130, 0.234}, 且 CR = 0.043 < 0.1, 通过一致性检验。

根据 MCE - AHP 软件得到的各级指标权重集如下所示:

$$W_A = (0.302, 0.084, 0.154, 0.164, 0.070, 0.080, 0.146)$$

$$W_{B_1} = (0.482, 0.154, 0.130, 0.234)$$

$$W_{B_2} = (0.474, 0.104, 0.255, 0.167)$$

$$W_{B_3} = (0.667, 0.333)$$

$$W_{B_4} = (0.540, 0.297, 0.163)$$

$$W_{B_5} = (0.477, 0.257, 0.138, 0.128)$$

$$W_{B_6} = (0.594, 0.157, 0.249)$$

$$W_{B_7} = (0.493, 0.311, 0.196)$$

### 3.1.2 熵权法确定权重

评价因素的指标权重由绿色施工领域内管理经验丰富和影响力较大的5位专家打分确定。根据公式(1)~(5)确定各评价指标的权重集如下所示:

$$w_{B_1} = (0.237, 0.148, 0.307, 0.308)$$

$$w_{B_2} = (0.291, 0.209, 0.290, 0.210)$$

$$w_{B_3} = (0.368, 0.632)$$

$$w_{B_4} = (0.347, 0.338, 0.315)$$

$$w_{B_5} = (0.231, 0.345, 0.201, 0.223)$$

$$w_{B_6} = (0.303, 0.395, 0.302)$$

$$w_{B_7} = (0.316, 0.313, 0.317)$$

### 3.1.3 评价指标综合权重

根据 AHP - 熵权法,由式(6)对权重加权求和,得到各评价指标的综合权重集如下所示:

$$\omega_{B_1} = (0.459, 0.092, 0.160, 0.289)$$

$$\omega_{B_2} = (0.513, 0.082, 0.275, 0.130)$$

$$\omega_{B_3} = (0.538, 0.462)$$

$$\omega_{B_4} = (0.553, 0.296, 0.151)$$

$$\omega_{B_5} = (0.431, 0.348, 0.109, 0.112)$$

$$\omega_{B_6} = (0.568, 0.195, 0.237)$$

$$\omega_{B_7} = (0.495, 0.309, 0.196)$$

## 3.2 绿色度测算

### 3.2.1 计算指标关联函数

将绿色建筑的绿色度测算等级划分为{非绿 G<sub>1</sub>、浅绿 G<sub>2</sub>、中绿 G<sub>3</sub>、深绿 G<sub>4</sub>、泛绿 G<sub>5</sub>}共5个区间标准来描述,相较于国标中4个等级的星级制,区间划分等级更加详细,具有一定的客观性。其中,待评价对象的定性指标由相关领域的专家根据自身经验打分确定,定量指标根据绿色建筑行业相关标准和规范确定,项目的实际评价价值通过对待评工程进行实地调研和分析来确定,具体数值见表2。

表2 绿色度指标划分范围及实际取值

Table 2 Greenness index division range and actual value

指标	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>p</sub>	R <sub>o</sub>
C <sub>11</sub>	[0, 0.2)	[0.2, 0.3)	[0.3, 0.5)	[0.5, 0.8)	[0.8, 1]	[0, 1]	0.43
C <sub>12</sub>	[0, 0.25)	[0.25, 0.4)	[0.4, 0.6)	[0.6, 0.8)	[0.8, 1]	[0, 1]	0.67
C <sub>13</sub>	[0, 0.2)	[0.2, 0.4)	[0.4, 0.65)	[0.65, 0.9)	[0.9, 1]	[0, 1]	0.75
C <sub>14</sub>	[0, 0.2)	[0.2, 0.4)	[0.4, 0.7)	[0.7, 0.8)	[0.8, 1]	[0, 1]	0.65
C <sub>21</sub>	[0, 0.2)	[0.2, 0.4)	[0.4, 0.6)	[0.6, 0.75)	[0.75, 1]	[0, 1]	0.35
C <sub>22</sub>	[0, 0.3)	[0.3, 0.5)	[0.5, 0.75)	[0.75, 0.9)	[0.9, 1]	[0, 1]	0.85
C <sub>23</sub>	[0, 0.2)	[0.2, 0.5)	[0.5, 0.6)	[0.6, 0.8)	[0.8, 1]	[0, 1]	0.77
C <sub>24</sub>	[0, 0.25)	[0.25, 0.5)	[0.5, 0.7)	[0.7, 0.9)	[0.9, 1]	[0, 1]	0.91
C <sub>31</sub>	[0, 0.2)	[0.2, 0.3)	[0.3, 0.5)	[0.5, 0.8)	[0.8, 1]	[0, 1]	0.35
C <sub>32</sub>	[0, 0.2)	[0.2, 0.4)	[0.4, 0.6)	[0.6, 0.8)	[0.8, 1]	[0, 1]	0.46
C <sub>41</sub>	[0, 0.4)	[0.4, 0.6)	[0.6, 0.8)	[0.8, 0.95)	[0.95, 1]	[0, 1]	0.78
C <sub>42</sub>	[0, 0.2)	[0.2, 0.4)	[0.4, 0.6)	[0.6, 0.8)	[0.8, 1]	[0, 1]	0.59
C <sub>43</sub>	[0, 0.2)	[0.2, 0.4)	[0.4, 0.55)	[0.55, 0.7)	[0.7, 1]	[0, 1]	0.73
C <sub>51</sub>	[0, 0.25)	[0.25, 0.4)	[0.4, 0.7)	[0.7, 0.9)	[0.9, 1]	[0, 1]	0.84
C <sub>52</sub>	[0, 0.4)	[0.4, 0.6)	[0.6, 0.8)	[0.8, 0.9)	[0.9, 1]	[0, 1]	0.71
C <sub>53</sub>	[0, 0.3)	[0.3, 0.4)	[0.4, 0.6)	[0.6, 0.8)	[0.8, 1]	[0, 1]	0.62
C <sub>54</sub>	[0, 0.3)	[0.3, 0.5)	[0.5, 0.7)	[0.7, 0.9)	[0.9, 1]	[0, 1]	0.91
C <sub>61</sub>	[0, 0.3)	[0.3, 0.4)	[0.4, 0.65)	[0.65, 0.8)	[0.8, 1]	[0, 1]	0.38
C <sub>62</sub>	[0, 0.2)	[0.2, 0.3)	[0.3, 0.6)	[0.6, 0.8)	[0.8, 1]	[0, 1]	0.56
C <sub>63</sub>	[0, 0.25)	[0.25, 0.4)	[0.4, 0.6)	[0.6, 0.8)	[0.8, 1]	[0, 1]	0.59
C <sub>71</sub>	[0, 0.25)	[0.25, 0.5)	[0.5, 0.8)	[0.8, 0.95)	[0.95, 1]	[0, 1]	0.84
C <sub>72</sub>	[0, 0.3)	[0.3, 0.5)	[0.5, 0.7)	[0.7, 0.8)	[0.8, 1]	[0, 1]	0.82
C <sub>73</sub>	[0, 0.2)	[0.2, 0.4)	[0.4, 0.55)	[0.55, 0.8)	[0.8, 1]	[0, 1]	0.56

依据公式(7)~(9)和表2确定绿色建筑绿色度评价体系的经典域、节域和待评物元。鉴于篇幅,文章只列出B1(健康舒适)的物元评价模型。

经典域:

$$R_{B1} = \begin{bmatrix} N_1 & N_2 & N_3 & N_4 & N_5 \\ C_{11} & \langle 0, 0.2 \rangle & \langle 0.2, 0.3 \rangle & \langle 0.3, 0.5 \rangle & \langle 0.5, 0.8 \rangle & \langle 0.8, 1 \rangle \\ C_{12} & \langle 0, 0.25 \rangle & \langle 0.25, 0.4 \rangle & \langle 0.4, 0.6 \rangle & \langle 0.6, 0.8 \rangle & \langle 0.8, 1 \rangle \\ C_{13} & \langle 0, 0.2 \rangle & \langle 0.2, 0.4 \rangle & \langle 0.4, 0.65 \rangle & \langle 0.65, 0.9 \rangle & \langle 0.9, 1 \rangle \\ C_{14} & \langle 0, 0.2 \rangle & \langle 0.2, 0.4 \rangle & \langle 0.4, 0.7 \rangle & \langle 0.7, 0.85 \rangle & \langle 0.85, 1 \rangle \end{bmatrix}$$

节域和待评物元:

$$R_{p1} = \begin{bmatrix} R_p & C_{11} & \langle 0, 1 \rangle \\ & C_{12} & \langle 0, 1 \rangle \\ & C_{13} & \langle 0, 1 \rangle \\ & C_{14} & \langle 0, 1 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} R_o & C_{11} & 0.43 \\ & C_{12} & 0.67 \\ & C_{13} & 0.75 \\ & C_{14} & 0.65 \end{bmatrix}$$

### 3.2.2 确定关联度

根据公式(10)和公式(11)计算待评对象对各评价等级的关联度,结果见表3。

表3 二级指标各等级的关联度  
Table 3 Relevance of each level of secondary indicators

二级指标	各等级的关联度				
	非绿 G1	浅绿 G2	中绿 G3	深绿 G4	泛绿 G5
C <sub>11</sub>	-1.150	-1.300	0.149	-2.333	-1.850
C <sub>12</sub>	-1.680	-1.800	-0.350	0.269	-0.650
C <sub>13</sub>	-2.750	-1.750	-0.400	0.667	-1.500
C <sub>14</sub>	-2.250	-1.250	0.167	-0.500	-0.750
C <sub>21</sub>	-0.750	0.167	-0.250	-1.667	-1.600
C <sub>22</sub>	-1.833	-1.750	-0.400	0.500	-0.500
C <sub>23</sub>	-2.850	-0.900	-1.700	0.150	-0.150
C <sub>24</sub>	-2.640	-1.640	-1.050	-0.050	0.125
C <sub>31</sub>	-0.075	-0.500	0.167	-0.500	-2.250
C <sub>32</sub>	-1.300	-0.300	0.150	-0.700	-1.700
C <sub>41</sub>	-0.950	-0.900	0.100	-0.133	-3.400
C <sub>42</sub>	-1.950	-0.950	0.025	-0.050	-1.050
C <sub>43</sub>	-2.650	-1.650	-1.200	0.100	0.125
C <sub>51</sub>	-2.360	-2.930	-0.467	0.600	-0.600
C <sub>52</sub>	-0.775	-0.550	0.563	-0.900	-1.900
C <sub>53</sub>	-1.067	-2.200	-0.100	0.056	-0.900
C <sub>54</sub>	-2.033	-2.050	-1.050	-0.050	0.125
C <sub>61</sub>	-0.267	0.053	-0.080	-1.800	-2.100
C <sub>62</sub>	-1.800	-0.520	0.100	-0.200	-1.200
C <sub>63</sub>	-1.360	-1.267	0.025	-0.050	-1.050
C <sub>71</sub>	-2.360	-1.360	-0.133	0.333	-2.200
C <sub>72</sub>	-1.733	-1.600	-0.600	-0.200	0.125
C <sub>73</sub>	-1.800	-0.800	-0.067	0.023	-1.200

再根据公式(12)计算一级指标的关联度,得到的结果见表4。

表4 一级指标各等级的关联度

Table 4 The relevance of each level of the first-level indicator

一级指标	二级指标权重 $\omega_i$	一级指标关联度 $K_j$
B <sub>1</sub>	(0.459 0.092 0.160 0.289)	(-1.733, -1.404, 0.020, -0.120, -1.366)
B <sub>2</sub>	(0.513 0.082 0.275 0.130)	(-1.662, -0.519, -0.765, -0.779, -0.887)
B <sub>3</sub>	(0.538 0.462)	(-0.641, -0.408, 0.159, -0.592, -1.996)
B <sub>4</sub>	(0.553 0.296 0.151)	(-1.503, -1.028, -0.119, -0.073, -2.172)
B <sub>5</sub>	(0.431 0.348 0.109 0.112)	(-1.631, -1.924, -0.134, -0.054, -1.004)
B <sub>6</sub>	(0.568 0.195 0.237)	(-0.825, -0.372, -0.020, -1.073, -1.676)
B <sub>7</sub>	(0.495 0.309 0.196)	(-2.506, -1.324, -0.264, 0.108, -1.286)

最后,计算待评物元P对各等级的关联度:

$$K_j(p) = (0.302 \ 0.084 \ 0.154 \ 0.164 \ 0.070 \ 0.080 \ 0.146) \times$$

$$\begin{bmatrix} -1.733 & -1.404 & 0.020 & -0.120 & -1.366 \\ -1.662 & -0.519 & -0.765 & -0.779 & -0.887 \\ -0.641 & -0.408 & 0.159 & -0.592 & -1.996 \\ -1.503 & -1.028 & -0.119 & -0.073 & -2.172 \\ -1.631 & -1.924 & -0.134 & -0.054 & -1.004 \\ -0.825 & -0.372 & -0.020 & -1.073 & -1.676 \\ -2.506 & -1.324 & -0.264 & 0.108 & -1.286 \end{bmatrix} =$$

$$(-1.168 \ -1.057 \ -0.103 \ -0.279 \ -1.543)$$

### 3.2.3 确定评价等级

由  $\max k_j(p_o) = k_3 = -0.103$  可知,该工程的绿色

度评价等级为“中绿”,表明该建筑的各项指标达到绿色建筑的相关评估标准。若采用《甘肃省绿色建筑评价标识管理办法》(试行)进行评价,其标识星级为一星级,该结论与本文的研究方法得到的结论基本一致,但是评价结果主观性强,无法准确的找出绿色程度较低的因素。而采用本文提出的绿色度评价方法进行评价时,可以快速准确地找出需要改进的指标为资源节约和管理体系,因此决策者需要加强管理体制,使建筑向更加节能环保的方向发展,使绿色建筑的绿色等级进一步提高。

## 4 结语

(1) 为了完善适用于甘肃地区的绿色建筑评价标

准,以《甘肃省绿色建筑评价标识管理办法》(试行)为例,结合甘肃省的地域特征,并参考国内外学者的研究成果,最终确定以“绿色度”来准确客观地评价绿色建筑的绿色性能。相较于国标中4个等级的星级制评价方式,将绿色建筑评价方法转变为5个区间的绿色度来描述,区间划分更加详细,具有一定的客观性,是对甘肃省绿色建筑评价方法的优化,对提高绿色建筑性能和等级有一定的积极作用。

(2) 参考我国新版 GB/T 50378—2019《绿色建筑评价标准》和国内外学者提出的绿色建筑评价模型,重新筛选各评价条款并建立绿色建筑评价指标体系;以可拓评价法为基础建立绿色建筑绿色度评价模型,该模型可将定性的指标描述转化为定量的计算,避免了单一赋权法的局限性,解决了绿色建筑评价的主观性、不确定性和模糊性等问题。

(3) 按照本文所构建的绿色建筑绿色度评价模型,对兰州新区中建大厦项目进行实证研究,不仅可以得出该绿色建筑的绿色度等级为“中绿”的结论,而且能够准确快速地找出该项目绿色等级较低的因素为资源节约和管理体系,开发商可以作为参考并提出针对性的解决方案。该评价方法对推动我国绿色建筑的发展及提高绿色建筑的绿色度具有一定的理论指导和应用价值,对提高我国人居环境、改善生态环境和建筑业的可持续发展具有积极的作用。

#### 参考文献:

- [1] 桑培东,姚浩娜.基于逻辑回归的绿色建筑项目参与意愿分析[J]. 工程管理学报,2019,33(1):95-100.
- [2] 国家标准《绿色建筑评价标准》发布[J]. 墙材革新与建筑节能,2019,(5):31.
- [3] 王敏,张行道,秦旋.我国新版《绿色建筑评价标准》纵横比较研究[J]. 工程管理学报,2016,30(1):1-6.

#### (上接第13页)

- [4] CHOU Juisheng, Dac-Khuong Bui. Modeling heating and cooling loads by artificial intelligence for energy-efficient building design[J]. Energy and Buildings, 2014, (82): 437-446.
- [5] 张佼,田琦,王美萍.基于遗传算法优化支持向量回归机参数的供热负荷预测[J]. 暖通空调,2017,47(2):104-108.
- [6] 于晓娟,顾吉浩,齐承英,等.几种集中供热负荷预测模型对比[J]. 暖通空调,2019,49(2):96-99.
- [7] Omer Yetemen, Tolga Yalcin. Climatic parameters and evaluation of energy consumption of the Afyon geothermal district heating system, Afyon, Turkey[J]. Renewable Energy, 2008, 34(3): 706-710.
- [8] 龙恩深.建筑能耗基因理论研究[D]. 重庆:重庆大学,2005.

- [4] 鲍学英,王起才,王恩茂.基于模糊层次分析法的建筑绿色度评价研究[J]. 生态经济:学术版,2013,(1):298-300.
- [5] Hikmat H. Ali, Saba F. AL Nsairat. Developing a green building assessment tool for developing countries-Case of Jordan[J]. Building and Environment, 2008, 44(5): 1053-1064.
- [6] 李肇娟,侯祥朝.绿色住宅绿色度的模糊综合评价模型——以福建省为例[J]. 土木工程与环境工程,2014,36(S1):37-40.
- [7] 韩立红,刘俊伟,尹巧玲.基于模糊可拓层次分析法的绿色建筑绿色度评价[J]. 价值工程,2019,38(12):127-129.
- [8] 刘莉,张言韬,卞华栋.灰色模糊综合评价法在既有校园建筑绿色改造中的应用[J]. 节能,2017,36(7):48-52.
- [9] 韩亚坤,陈汉利.基于层次分析—可拓学的建筑节能技术经济评价[J]. 工程管理学报,2018,32(5):18-23.
- [10] 赵金先,武丹丹,张英,等.基于熵权法的绿色建筑项目管理绩效可拓评价[J]. 工程管理学报,2018,32(2):125-130.
- [11] Drury Crawley, Ilari Aho. Building environmental assessment methods: applications and development trends[J]. Building Research and Information, 1999, 27(4-5): 300-308.
- [12] Ricardo Mateus, Luís Braganca. Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology sbtool pt-h[J]. Building and Environment, 2011, 46(10): 1962-1971.
- [13] 汪应洛.系统工程[M].第4版.北京:机械工业出版社,2014.
- [14] 李强年,赵巧妮,聂龔.基于层次分析法(AHP)的风电产业发展影响因素探析——以甘肃省酒泉风力发电基地为例[J]. 电网与清洁能源,2019,35(10):75-81.
- [15] 杨春燕,李兴森.可拓创新方法及其应用研究进展[J]. 工业工程,2012,15(1):131-137.

作者简介: 赵巧妮(1994),女,陕西咸阳人,土木工程造价与管理专业,硕士研究生,研究方向:绿色建筑、被动式建筑(1352358383@qq.com)。

指导教师: 李强年(1970),男,甘肃平凉人,工程项目管理专业,硕士生导师,高级工程师,研究方向:主要从事工程项目管理、施工技术研究(450392647@qq.com)。

- [9] 白超,崔旭阳,杨迪,等.基于Elman神经网络的秸秆成型燃料热值的预测[J]. 煤气与热力,2018,38(11):38-41.
- [10] 冯勤.基于回归数据挖掘预测系统的分析与研究[D]. 天津:天津大学,2005.

作者简介: 朱佳(1994),男,江苏靖江人,供热、供燃气、通风及空调工程专业,硕士,主要从事可再生能源利用及建筑节能技术的研究(zhujiathebut@163.com)。

通讯作者: 孙春华(1974),女,吉林永吉人,毕业于重庆大学,供热、供燃气、通风及空调工程专业,博士,副教授,主要从事供热优化与节能技术的研究(sunchunhuah@163.com)。