

文章编号:1005-0523(2017)03-0019-08

基于 SPA 的绿色建筑设计方案区间数多属性评价

杨斯玲,蒋根谋,金峻炎

(华东交通大学土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:针对绿色建筑设计方案评价中存在的多属性、不确定性等问题,构建了绿色建筑方案综合评价指标体系。以区间数来表示指标值及其权重的可能范围,采用区间层次分析法(IAHP)给各指标赋权,结合集对分析(SPA)联系数理论将决策矩阵指标区间数矩阵转化为联系数矩阵,建立了基于联系势和联系数贴度两种排序准则的绿色建筑设计方案区间数多属性评价方法。实证分析验证了该评价方法的科学性和实用性。

关键词:绿色建筑;方案评价;区间数;IAHP;SPA

中图分类号:F407.9

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2017.03.004

作为一种可持续的生态建筑形式,绿色建筑以其低能源消耗、健康环保、与自然和谐共存等特点愈来愈受到全社会的广泛关注和提倡,加快绿色建筑的发展已经成为社会和建筑行业的共识^[1]。近几年有关绿色建筑的相关研究也逐渐成为热点,但通过研究发现,多数研究都是侧重于对已有建筑开展事后绿色评价和认证方面,缺少针对绿色建筑项目决策阶段的参选设计方案进行评价的研究,这对主动降低资源消耗和改善环境影响方面效果相对有限,也不能从项目源头提升项目品质^[2]。随着全社会对绿色建筑的关注度不断增大,社会各界对绿色建筑项目投资的力度也愈来愈大,如何对绿色建筑设计方案进行投资决策判断,也就是对绿色建筑设计方案评价的研究越来越重要。

目前,国内外对绿色建筑设计方案评价的研究还处于探索阶段,已有典型研究包括:Junli Yang等^[3]引入了一种支持多准则决策的系统DSS(decision-making support system)为绿色建筑设计人员提供有价值 and 明确的信息。Hadas Gabay等^[4]通过开发一个基于自愿的绿色建筑标准成本模型来评估项目每一项指标是否符合标准的成本与效益。高蓓超^[5]构建了由绿色建筑设计参数集-方案设计评价指标体系-方案决策模型三部分构成的绿色建筑方案设计评价与决策体系。鲍学英等^[6]研究了改进的层次分析法(三标度法)在绿色建筑设计方案优选中的应用。王立等^[7]运用多层次灰色关联分析法对绿色建筑设计方案进行了优选评价。段小容等^[8]等构建了基于灰色聚类法的绿色住宅建筑结构设计评价方法。考虑到绿色建筑设计方案评价是一个典型的多属性模糊决策问题,本文借用集对分析(set pair analysis,SPA)^[9]中的联系数理论,用区间数来描述指标值及其权重的可能范围,引入两种排序准则,建立基于SPA的绿色建筑设计方案区间数多属性评价方法,为绿色建筑设计方案的优选评价提供一种新的方法。

收稿日期:2016-11-23

基金项目:江西省科技厅软科学一般项目(20161BBA10045);江西省自然科学基金(20151BAB216026);江西省教育厅青年基金(GJJ14405)

作者简介:杨斯玲(1985—),讲师,博士,研究方向为建筑经济、项目管理。

1 方案评价指标体系

1.1 评价指标体系的构建

绿色建筑设计方案评价目的在于用系统化的评价指标体系以及评价模型来对设计方案进行综合的评定,以此来达到方案优选的效果。开展绿色建筑设计方案评价的首要环节是要合理选取适合的评价指标,这也是对绿色建筑设计方案进行综合评价并优选的基础。新版《绿色建筑评价标准》(GB/T50378-2014)在节能与能源利用、节水与水资源利用、节地与室外环境、节材与材料资源利用、室内环境质量和运营管理六类指标的基础上,增加“施工管理”类评价指标,同时规定设计评价时不对运营管理和施工管理这两类指标评价,但可预评相关条文^[10]。本文在构建绿色建筑设计方案评价指标体系时,以新版《绿色建筑评价标准》为基础,参考《民用建筑绿色设计规范》、《住宅性能评定技术标准》等有关文件及已有的研究成果^[11-13],重点考虑与绿色建筑设计方案有关的评价内容,拟从 5 大方面(一级指标)着手构建指标体系,具体遴选出 18 个评价指标(二级指标),如表 1 所示。

表 1 绿色建筑设计方案评价指标
Tab.1 Evaluation index of green building design scheme

目标层	一级指标层(准则层)	权重	二级指标层(方案层)	权重
绿色 建筑 设计 方案 A	节能与能源利用(B_1)	[0.245,0.268]	建筑节能设计(C_{11})	[0.414,0.474]
			设备及系统能耗(C_{12})	[0.265,0.339]
			能量回收系统(C_{13})	[0.169,0.216]
			利用可再生能源(C_{14})	[0.118,0.138]
	节水与水资源利用(B_2)	[0.236,0.265]	建筑节水设计(C_{21})	[0.450,0.536]
			节水技术措施利用率(C_{22})	[0.321,0.351]
			使用非传统水源(C_{23})	[0.134,0.208]
	节地与室外环境(B_3)	[0.185,0.214]	土地利用(C_{31})	[0.287,0.340]
			室外环境(C_{32})	[0.129,0.176]
			交通设施与公共服务(C_{33})	[0.228,0.269]
			场地设计与场地生态(C_{34})	[0.258,0.304]
	节材与材料资源利用(B_4)	[0.127,0.143]	节材设计(C_{41})	[0.459,0.541]
			建材性能优化(C_{42})	[0.318,0.390]
			建材循环利用(C_{43})	[0.139,0.149]
	室内环境质量(B_5)	[0.076,0.102]	室内声环境(C_{51})	[0.197,0.231]
			室内光环境(C_{52})	[0.112,0.175]
			室内热环境(C_{53})	[0.345,0.364]
			室内空气质量(C_{54})	[0.283,0.325]

1.2 评价指标权重的赋值

指标体系建立后,要对各指标赋权,在众多赋权方法中,层次分析法(analytic hierarchy process,AHP)应用最为广泛,但其建立模型时使用的是传统的数学方法,处理的数据是“点数据”或“刚性数据”。区间层次分析法(interval analytic hierarchy process,IAHP)在传统 AHP 的基础上融入了区间数的特性,以区间数判断矩

阵来取代传统的判断矩阵,是对 AHP 的改进,从而有效地表达专家对因素相对重要性的不确定性判断。因此,本文使用 IAHP 法给各指标赋权,其具体的权重赋值步骤如下^[14-15]。

若给定区间数判断矩阵 $A_r=(a_{ij})_{n \times n}=[A_r^-,A_r^+]$, 其中 $A_r^-(a_{ij}^-)_{n \times n}, A_r^+=(a_{ij}^+)_{n \times n}; a_{ij}$ 为第 i 行第 j 列的区间数; a_{ij}^- 为第 i 行第 j 列的区间数下界; a_{ij}^+ 为第 i 行第 j 列的区间数上界。

1) 求 A_r^-, A_r^+ 的 λ_{\max} 及相应归一化特征向量 x_r^-, x_r^+ , 见式(1)。

$$x_r^- = \frac{1}{\sum_{j=1}^n a_{ij}^-} a_{ij}^-, \quad x_r^+ = \frac{1}{\sum_{j=1}^n a_{ij}^+} a_{ij}^+ \quad (1)$$

2) 由 $A_r^-(a_{ij}^-)_{n \times n}, A_r^+=(a_{ij}^+)_{n \times n}$, 计算系数 α 和 β , 见式 2。

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{j=1}^n a_{ij}^+}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}^+}}, \quad \beta = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{j=1}^n a_{ij}^-}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}^-}} \quad (2)$$

3) 求区间权重向量, 见式(3)。

$$w_r = [w_r^-, w_r^+] = [\alpha w_r^-, \beta w_r^+] \quad (3)$$

4) 为了便于计算,可以进一步将区间权重转化为确定性权重向量。由于所有的区间权重是由同一专家决策人或专家决策群给出的,可近似假定每个指标区间权重上下限对其目标权重的偏差是恒定的,见式(4)^[16]。

$$d_r^-/d_r^+ = c, \quad \forall r \in \{1, \dots, n\} \quad (4)$$

式中: c 为常数, $d_r^- = w_r^* - w_r^-, d_r^+ = w_r^+ - w_r^*$, 于是得到式(5)、式(6)。

$$c = \frac{d_r^-}{d_r^+} = \frac{\sum_{r=1}^n d_r^-}{\sum_{r=1}^n d_r^+} = \frac{1 - \sum_{r=1}^n w_r^-}{\sum_{r=1}^n w_r^+ - 1} \quad (5)$$

$$w_r' = w_r^- + \frac{c}{c+1} (w_r^+ - w_r^-) = w_r^- + \frac{1 - \sum_{r=1}^n w_r^-}{\sum_{r=1}^n w_r^+ - \sum_{r=1}^n w_r^-} (w_r^+ - w_r^-) \quad (6)$$

5) 参照 AHP 的矩阵一致性检验方法,衡量区间矩阵的一致性。

6) 参照 AHP 计算规则进行层次总排序, 求出最后组合权重 $W^*=(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)^T$ 。

2 基于 SPA 的区间数多属性评价模型

2.1 联系度函数

绿色建筑设计方案评价是一个多属性模糊决策问题,解决方案指标属性不确定性是问题的关键,中国学者赵克勤先生提出的集对分析(set pair analysis, SPA)是解决该类不确定问题的有效分析方法,它以联系度为重要计算工具,从同、异、反 3 个方面研究事物的特性,从而全面地刻画事物。集对分析理论中,对于任意两个给定的集合 A 和 B ,可组成集对为 $H=(A, B)$,为将两集合的确定性与不确定性联系起来,采用表达式^[17]

$$\mu_{(A, B)} = \frac{S}{N} + \frac{F}{N} i + \frac{P}{N} j = a + bi + cj \quad (7)$$

式中: μ 为联系度,表示集对之间的关联程度; N 为集对特性总数; S 为集对中相同的特性数; P 为集对中对立的特性数; F 为集对中既不相同也不对立的特性数, $F=N-S-P$ 。 $a=\frac{S}{N}$, $b=\frac{F}{N}$, $c=\frac{P}{N}$ 分别为同一度、差异度、对立度,且 $a+b+c=1$; i 为差异度标记系数, $i \in [-1, 1]$; j 为对立度系数, $j \in [-1, 1]$ 一般取 $j=-1$ 。对于联系数 $\mu=a+bi+cj$,称 $shi(H)=a/c$ 为联系数 μ 的联系势,以 a/c 之间的比值关系为划分依据,将态势分为 3 类: $a>c$ 同势; $a=c$ 为均势; $a<c$ 反势,联系势反映了所论两个集合趋同趋势的大小。

2.2 方案属性区间数矩阵

由于绿色建筑设计方案评价指标属性的不确定性,采用区间数来描述指标的可能范围比用单纯的数值表示更为合理。设 m 个绿色建筑设计方案构成方案集: $P=\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$, 每个方案有 n 个评价属性指标, 构成指标属性集: $I=\{I_1, I_2, \dots, I_n\}$, 当指标属性为区间数: $I_i=[i^-, i^+]$, 且 $i^+ \geq i^-$, 则得到方案的多属性的决策矩阵

$$P=\begin{bmatrix} [i_{11}^-, i_{11}^+] & [i_{12}^-, i_{12}^+] & \cdots & [i_{1n}^-, i_{1n}^+] \\ [i_{21}^-, i_{21}^+] & [i_{22}^-, i_{22}^+] & \cdots & [i_{2n}^-, i_{2n}^+] \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ [i_{m1}^-, i_{m1}^+] & [i_{m2}^-, i_{m2}^+] & \cdots & [i_{mn}^-, i_{mn}^+] \end{bmatrix} \quad (8)$$

2.3 区间数矩阵化为联系数矩阵

设绿色建筑设计方案 P_k 的属性指标区间 $i_{kr}=[i_{kr}^-, i_{kr}^+]$, 则可根据式 8 将其转化为一个三元联系数: $u_{kr}=a_{kr}+b_{kr}i+c_{kr}j$, 其中 $a_{kr}=i_{kr}^-$ 为方案属性指标的同一度, $b_{kr}=i_{kr}^+-i_{kr}^-$ 为方案属性指标的差异度, $c_{kr}=1-i_{kr}^+$ 为方案属性指标的对立度, 经过转换后的联系度矩阵

$$U_P=\begin{bmatrix} a_{11}+b_{11}i+c_{11}j & a_{12}+b_{12}i+c_{12}j & \cdots & a_{1n}+b_{1n}i+c_{1n}j \\ a_{21}+b_{21}i+c_{21}j & a_{22}+b_{22}i+c_{22}j & \cdots & a_{2n}+b_{2n}i+c_{2n}j \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1}+b_{m1}i+c_{m1}j & a_{m2}+b_{m2}i+c_{m2}j & \cdots & a_{mn}+b_{mn}i+c_{mn}j \end{bmatrix} \quad (9)$$

2.4 计算方案综合联系数

将平均联系度作为绿色建筑设计方案综合评价指标, 即将 IAHP 法确定的权重分配结果与 SPA 法得到的联系数相结合^[18]

$$u=w_r^* \times u_{kr} = \sum_{r=1}^n w_r^* (a_{kr}+b_{kr}i+c_{kr}j) = \sum_{r=1}^n w_r^* a_{kr} + \sum_{r=1}^n w_r^* b_{kr}i + \sum_{r=1}^n w_r^* c_{kr}j \quad (10)$$

其中: u 为综合联系度; w_r^* 为第 r 个二级风险因素指标的权重; u_{kr} 为第 r 个评价指标的联系度。

2.5 计算联系数距离

借鉴 TOPSIS 法的原理, 计算绿色建筑设计方案属性指标联系数与正、负理想解的距离, 根据方案属性指标联系数与理想解的相对贴近度进行排序。

1) 定义绝对正理想解和负理想解。设方案 A_k 属性指标联系数的绝对正理想解为: $A^+=\{u_r^+, u_r^+=1+0i+0j, 1 \leq r \leq n\}$; 绝对负理想解为 $A^-=\{u_r^-, u_r^-=0+0i+1j, 1 \leq r \leq n\}$ 。

2) 计算方案属性指标联系数分别与绝对正理想解、绝对负理想解的欧式距离

$$d_k^+ = \sum_{r=1}^n \omega_r^* \sqrt{(1-a_r)^2 + b_r^2 + c_r^2} \quad (11)$$

$$d_k^- = \sum_{r=1}^n \omega_r^* \sqrt{a_r^2 + b_r^2 + (1-c_r)^2} \quad (12)$$

3) 计算方案属性指标联系数与理想解的相对贴近度

$$d_k^* = d_k^- / (d_k^+ + d_k^-) \quad (13)$$

式中: $0 \leq d_k^* \leq 1$, d_k^* 表示各个方案属性指标联系数与理想解的相对贴近度。该值越大, 表明所对应的方案越接近正理想解, 方案越优; 反之, 该值越小, 说明离负理想解越近, 方案越差。

4) 按照计算结果对 d_k^* 进行排序, 从大到小表示方案由优到劣的次序, d_k^* 最大的方案就表即为最优方案。

3 实例验证

某住宅项目规划总用地约为 50 870.70 m², 总建筑面积不大于 127 177 m², 总容积率为 2.5, 建筑密度 25%, 绿地率为不小于 35%, 拟建 14 幢高层建筑, 分别为 18~22 层。该项目区位优势, 交通便利, 周边配套设

方案进行绿色效果评审。8# 楼为高层建筑,地下 2 层,地上 20 层,为单梯 4 户的住宅楼,抗震设防类别为丙类,场地类别为 Ⅱ类。设计单位依据项目绿色建筑标识目标与土地转让合同中规定的硬性指标,参照绿色建筑示范工程典范建设及《绿色建筑评价标准》完成方案的设计,最终备选设计方案有 5 个,现对其进行优选评价。首先,邀请熟悉绿色建筑设计领域的 10 位专家对备选设计方案进行百分制评价打分。然后,对专家的打分结果进行统计处理,将指标分值化为区间数。其中,指标区间值的下限等于 10 位专家的平均分减去分数标准差,指标区间值上限等于 10 位专家的平均分加分数标准差。最后进行归一化处理,即转化为[0-1],结果如表 2 所示。

表 2 绿色建筑设计方案属性指标区间值
Tab.2 Interval values of attributed index in green building design scheme

指标	方 案				
	A	B	C	D	E
C_{11}	[0.807,0.873]	[0.742,0.814]	[0.880,0.920]	[0.832,0.902]	[0.663,0.737]
C_{12}	[0.803,0.881]	[0.806,0.860]	[0.818,0.866]	[0.852,0.882]	[0.735,0.839]
C_{13}	[0.725,0.793]	[0.769,0.843]	[0.734,0.826]	[0.795,0.893]	[0.837,0.898]
C_{14}	[0.775,0.863]	[0.808,0.848]	[0.823,0.875]	[0.876,0.890]	[0.771,0.865]
C_{21}	[0.810,0.868]	[0.752,0.832]	[0.694,0.862]	[0.855,0.923]	[0.840,0.911]
C_{22}	[0.719,0.771]	[0.714,0.750]	[0.830,0.874]	[0.920,0.956]	[0.712,0.781]
C_{23}	[0.670,0.762]	[0.806,0.848]	[0.791,0.849]	[0.864,0.887]	[0.668,0.736]
C_{31}	[0.708,0.764]	[0.874,0.916]	[0.837,0.883]	[0.724,0.778]	[0.707,0.777]
C_{32}	[0.843,0.905]	[0.811,0.843]	[0.892,0.926]	[0.805,0.846]	[0.803,0.869]
C_{33}	[0.809,0.859]	[0.742,0.794]	[0.852,0.921]	[0.723,0.785]	[0.844,0.896]
C_{34}	[0.865,0.917]	[0.737,0.781]	[0.882,0.934]	[0.740,0.784]	[0.718,0.815]
C_{41}	[0.730,0.792]	[0.712,0.762]	[0.865,0.908]	[0.776,0.856]	[0.659,0.761]
C_{42}	[0.689,0.747]	[0.782,0.862]	[0.843,0.879]	[0.758,0.875]	[0.763,0.886]
C_{43}	[0.740,0.792]	[0.734,0.826]	[0.752,0.846]	[0.777,0.825]	[0.669,0.840]
C_{51}	[0.817,0.859]	[0.790,0.874]	[0.822,0.869]	[0.850,0.896]	[0.817,0.883]
C_{52}	[0.852,0.908]	[0.853,0.913]	[0.857,0.923]	[0.668,0.734]	[0.886,0.930]
C_{53}	[0.842,0.876]	[0.768,0.822]	[0.832,0.873]	[0.736,0.788]	[0.756,0.839]
C_{54}	[0.712,0.764]	[0.852,0.912]	[0.743,0.822]	[0.875,0.910]	[0.664,0.741]

3.1 权重计算

按照 1.2 提出的 IAHP 法确定指标权重。首先,邀请 20 位有经验的专家对表 1 所列的评价指标进行两两比较,通过 SPSS 软件进行信息合成后,逐一建立判断矩阵,检查一致性并计算(以节能与能源利用 B_1 对其所属二级指标的判断矩阵为计算示例)。

$$B_1-C=\begin{bmatrix} [1,1] & [1,2] & [2,3] & [3,4] \\ [\frac{1}{2},1] & [1,1] & [1,2] & [2,3] \\ [\frac{1}{3},\frac{1}{2}] & [\frac{1}{2},1] & [1,1] & [1,2] \\ [\frac{1}{4},\frac{1}{3}] & [\frac{1}{3},\frac{1}{2}] & [\frac{1}{2},1] & [1,1] \end{bmatrix}$$

将 B_1-C 所示的区间数判断矩阵拆分为两个矩阵,分别为

$$B_1-C^- = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \\ \frac{1}{2} & 1 & 1 & 2 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & 1 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix} \quad B_1-C^+ = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 1 & 2 & 3 \\ \frac{1}{2} & 1 & 1 & 2 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

根据式(1)求归一化特征向量为

$$x_3^- = [0.426, 0.275, 0.175, 0.123]^T \quad x_3^+ = [0.406, 0.290, 0.185, 0.118]^T$$

再根据式(2)求得 $\alpha=0.963, \beta=1.167$, 代入式(3)计算得区间权重 $WB_1 = \{[0.414, 0.474], [0.265, 0.339], [0.169, 0.216], [0.118, 0.138]\}^T$ 。按照同样的方法得到 $A-B, B_2-C, B_3-C, B_4-C, B_5-C$ 区间权重向量, 一致性检验指标 CR 均满足 $CR < 0.1$, 所以均满足一致性检验, 结果列入表 2。

由公式(6)将区间权重转化为指标的确定目标权重。最后, 参照 AHP 计算规则求出组合权重, 得到: $W^* = (0.114, 0.075, 0.048, 0.033, 0.132, 0.090, 0.046, 0.068, 0.033, 0.054, 0.061, 0.072, 0.051, 0.021, 0.022, 0.014, 0.037, 0.031)^T$ 。

3.2 方案综合评价

利用本文提出的区间数多属性评价模型, 对 5 个既定绿色建筑设计方案进行评价, 从而从中选取最优方案。

1) 根据表 2 中绿色建筑设计方案属性指标区间值构建绿色建筑设计方案属性指标区间数矩阵, 然后将其转换为联系数矩阵, 限于论文篇幅, 不详细列出联系数矩阵。

2) 根据式(1)中求得的绿色建筑设计方案属性指标联系数矩阵, 结合 3.1 中求得的指标权重, 由式(10)求得各绿色建筑设计方案的综合联系数 μ , 进一步求得联系数 μ 的联系势, 结果列入表 3。

3) 根据各绿色建筑设计方案属性指标联系数矩阵, 由式(11)、式(12)分别计算各方案属性指标联系数与绝对正、负理想解的距离, 进而根据式(13)确定各方案属性指标联系数与正理想解的相对贴近度 d^* , 最终结果如表 3 所示。

表 3 绿色建筑设计方案评价结果
Tab.3 Evaluation results of green building design scheme

方案	综合联系数 μ	联系势	d^+	d^-	d^*
A	$0.772+0.061i+0.167j$	4.627	0.290	1.138	0.797
B	$0.770+0.058i+0.172j$	4.471	0.294	1.132	0.794
C	$0.816+0.067i+0.117j$	6.691	0.229	1.206	0.840
D	$0.813+0.058i+0.129j$	6.692	0.237	1.193	0.834
E	$0.744+0.081i+0.175j$	4.250	0.323	1.114	0.776

由表 3 可以发现, 5 个方案按综合联系数的联系势排序: $C > D > A > B > E$, 按相对贴近度 d^* 的大小排序: $C > D > A > B > E$, 两种排序方法排序结果一致。可得五个方案的优劣排序为: $C > D > A > B > E$, 方案 C 是最佳的设计方案。

4 结语

绿色建筑设计方案评价是一个典型的多属性模糊决策问题, 本文通过参考相关规范标准以及已有的研

究成果,综合考虑绿色建筑相关方面专家的意见来确定选取指标,在对指标权重进行衡量时,提出了 IAHP 法,合理地解决了专家可能在两两比较时判断的模糊性。同时,考虑到绿色建筑设计方案评价指标属性的不确定性,借用 SPA 中的联系数理论,构建区间数多属性联系数模型,将绿色建筑设计方案属性指标区间数转化为联系数矩阵,在此基础上给出了两种排序准则,对绿色建筑设计方案进行优选评价。实例分析表明,该方法适用于绿色建筑设计方案的评价,具有一定的可行性和科学性,可以作为绿色建筑设计方案评价的依据,为绿色建筑设计方案的选择评价提供了新的框架方法。

参考文献:

- [1] 臧朋,邵必林. 生态视角下的绿色建筑评价方法研究[J]. 建筑科学, 2014, 30(2): 19-23.
- [2] 杨斯玲,蒋根谋. 基于灰色关联-集对分析的绿色建筑供应商选择[J]. 物流技术, 2016, 35(8): 106-110, 118.
- [3] YANG J L, OGUNKAH I C B. A multi-criteria decision support system for the selection of low-cost green building materials and components[J]. Journal of Building Construction and Planning Research, 2013(1): 89-130.
- [4] GABAY H, MEIR I A, SCHWARTZ M, et al. Cost-benefit analysis of green buildings: An Israeli office buildings case study[J]. Energy and Buildings, 2014(76): 558-564.
- [5] 高蓓超. 绿色建筑方案设计评价与决策体系研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2015.
- [6] 鲍学英,王起才,王恩茂. 改进的层次分析法在绿色建筑设计方案优选中的应用[J]. 四川建筑科学研究, 2014, 40(2): 320-322, 326.
- [7] 王立,云凌,徐重岐. 多层次灰色关联分析在绿色建筑设计方案优选中的应用[J]. 工业安全与环保, 2016, 42(4): 93-96.
- [8] 段小容,鲍学英,王起才. 基于灰色聚类法的绿色住宅建筑结构设计评价[J]. 工程管理学报, 2013, 27(3): 27-30.
- [9] 杨斯玲,蒋根谋. 基于约束理论和集对分析的 EPC 建筑供应链风险管理[J]. 技术经济, 2016, 35(8): 111-117.
- [10] 中国建筑科学研究院. GB/T50378-2014. 绿色建筑评价标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [11] 王晓许,祝连波. 基于 ECOTECT 软件的绿色建筑评价标准研究[J]. 施工技术[J], 2016, 45(12): 124-128.
- [12] LOH E, CROSBIE T, DAWOOD N, et al. A framework and decision support system to increase building life cycle energy performance[J]. Journal of Information Technology in Construction, 2010, 15(2): 337-353.
- [13] 孙益,申玲,任莹莹. 基于 DEA-个性优势识别法的绿色建筑标杆树立研究[J]. 科技管理研究, 2015(5): 237-239, 250.
- [14] 何小雨,杨璐萍,吴韬,等. 群层次分析法和证据推理法在绿色建筑评价中的应用[J]. 系统工程, 2016, 34(2): 76-81.
- [15] 胡万欣,刘玉露,周则程,等. 基于 IAHP 的低碳绿色高速公路评估研究[J]. 华东交通大学学报, 2015, 32(3): 70-77.
- [16] 卢颖,谢红涛,李波,等. 基于区间数属性联系度的地铁绿色施工方案评价[J]. 施工技术, 2015, 44(5): 107-110.
- [17] 孔令祯,张云,杨骏,等. 基于集对分析法的工程项目造价风险评价[J]. 土木工程与管理学报, 2016, 33(1): 90-96.
- [18] 李聪,陈建宏. 联系数的物元模型在建筑安全评价及预测中的应用[J]. 安全与环境学报, 2016, 16(2): 71-75.

Interval Number Multi-attribute Evaluation of Green Building Design Scheme Based on SPA

Yang Siling, Jiang Genmou, Jin Junyan

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Aiming at multiple attributes, uncertainty and other problems in the evaluation of green building design scheme, a comprehensive evaluation index system was established for green building design scheme selection in this paper. Interval number was adopted to represent the possible range of index value and its weight, and the weight of each evaluation index was determined through the interval analytic hierarchy process (IAHP) method. Connection number theory of set pair analysis (SPA) was introduced to convert interval number matrix into connection number matrix. An interval attribute evaluation model of green building design scheme based on two ranking criteria including the connection trend and the connection number approach degree was established. Finally, examples were given to verify the rationality and feasibility of this method.

Key words: green building; scheme evaluation; interval number; interval analytic hierarchy process (IAHP); set pair analysis (SPA)

(责任编辑 王建华)