



基于可拓方法的居住建筑节能效果评价研究

蔡建国¹, 赛云秀^{1,2}

1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 西安 710055
2. 西安工业大学建筑工程系, 西安 710032

摘要 新建居住建筑的节能效果受多种因素共同影响, 如何对其节能效果进行客观、准确、合理地评价, 一直是建筑节能领域研究的重要内容。基于可拓理论, 提出了一种将定性定量相结合的新建居住建筑节能效果评价方法——可拓方法, 并详细介绍了该评价方法的步骤。以实际工程为例, 综合考虑多种影响因素, 建立了居住建筑节能效果综合评价指标及其量值标准, 采用简单关联函数计算各评价指标的权重, 有效避免了主观因素的影响。在此基础上, 引入可拓学, 构建了新建居住建筑节能效果可拓评价的物元模型, 通过关联度和等级度计算, 客观全面地给出了居住建筑节能效果综合评价结果。实例结果表明, 该方法能够有效地保证节能效果评价的质量和效率, 实际操作简便, 具有可行性。

关键词 可拓方法; 居住建筑; 物元模型; 节能效果; 关联度

中图分类号 F407.9

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)17-0091-04

Energy-saving Effect Evaluation of Residential Building Based on Extension Method

CAI Jianguo¹, SAI Yunxiu^{1,2}

1. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China
2. Department of Architectural Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China

Abstract The energy-saving effect of a new residential building is controlled by various factors. How to evaluate the energy-saving effect objectively is an important research issue. Based on the extension theory, an extension method which combines qualitative and quantitative evaluations of the energy-saving effect for residential buildings is proposed. Taking a real project as an example, various factors are comprehensively considered, and the evaluation indicators and standards of the energy-saving effect for residential buildings are established. The weight of a factor is determined by a simple correlation function, to avoid subjective speculations in practices. On this basis, the extension theory is adopted. The matter element model for the evaluation of the energy-saving effect for residential buildings is constructed. The correlation and the grade are accurately calculated, to objectively and comprehensively evaluate the residential building's energy-saving effect. Results show that the proposed approach is effective and efficient and the extension method can be used to estimate the energy-saving effect of new residential buildings.

Keywords extension method; residential building; matter element model; energy-saving effect; dependent degree

0 引言

随着社会经济的快速发展, 新建居住建筑规模在不断迅

速扩张, 居住产业已经成为拉动国民经济增长和刺激消费的重要力量, 人们也越来越重视居住建筑的节能效果, 节能居

收稿日期: 2010-03-22; 修回日期: 2010-04-28

作者简介: 蔡建国, 博士研究生, 研究方向为建筑节能评价、技术经济评价和项目管理等, 电子信箱: caijianguo@163.com; 赛云秀 (通信作者), 教授, 研究方向为项目管理, 电子信箱: saiyunxiu@263.net

住建筑已经成为商品房热销中的一大卖点。利用已有信息,准确、及时分析和评价新建居住建筑的节能效果,具有很强的实际意义^[1]。

可拓学是蔡文于 1983 年提出的一种新理论^[2]。该理论通过引进物元 $R=(P,C,V)=(物,特征,量值)$ 把物的质和量有机结合起来,从定性和定量两个角度研究和解决不相容问题的规律和方法,真正地反映了物的质与量的辩证关系^[3]。依据可拓学的基本理论和方法,在合理选取居住建筑节能效果评价指标的基础上,结合工程实例对新建居住建筑的节能效果进行评价,以期对相关方的投资决策提供科学依据和参考。

1 节能效果可拓评价方法

1.1 确定经典域和节域

1) 经典域

设新建居住建筑节能效果所处等级共有 m 种,节能效果的评价指标有 n 个,则由其标准集合 P_{0j} 、其 n 个评价指标 c_i 及其标准量值范围 $v_{0ji}=\langle a_{0ji}, b_{0ji} \rangle$ 组成的物元为居住建筑节能效果经典域物元。记为

$$R_{0j}=(P_{0j}, C, V_{0ji}) = \begin{vmatrix} P_{0j} & c_1 & v_{0j1} \\ & c_2 & v_{0j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{0jn} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} P_{0j} & c_1 & \langle a_{0j1}, b_{0j1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{0j2}, b_{0j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{0jn}, b_{0jn} \rangle \end{vmatrix} \quad (1)$$

式中, P_{0j} 为新建居住建筑节能效果等级 ($j=1, 2, \dots, m$), $j=1$ 表示节能效果等级为“优”, $j=2$ 为“良”, $j=3$ 为“中”, $j=4$ 为“次”, $j=5$ 为“差”; c_i 为居住建筑节能效果评价指标 ($i=1, 2, \dots, n$); V_{0ji} 为居住建筑节能效果等级 P_{0j} 对应于评价指标 c_i 的量值范围,即经典域 $\langle a_{0ji}, b_{0ji} \rangle$ 。

2) 节域

由集合 P 、其 n 个特征 c_i 及其将标准量值范围拓广了的量值范围 $v_{pi}=\langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$ 组成的物元称为节域物元,记为

$$R_p=(P, C, V_{pi}) = \begin{vmatrix} P & c_1 & v_{p1} \\ & c_2 & v_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{pn} \end{vmatrix} \quad (2)$$

式中, P 为新建居住建筑节能效果等级的全体; $v_{p1}, v_{p2}, \dots, v_{pn}$ 分别为 P 关于 c_1, c_2, \dots, c_n 的取值范围,即 P 的节域。

1.2 确定待评价新建居住建筑的物元

对待评价的居住建筑,将所收集到的数据用物元 R 表示,称为节能效果的待评价物元。

$$R=(p, c_i, v_i) = \begin{vmatrix} p & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{vmatrix} \quad (3)$$

式中, p 表示待评价新建居住建筑节能效果等级; v_i 表示 p 关于特征 c_i 的量值,即待评价新建居住建筑关于评价指标所收集的数值。

1.3 确定关联度

1) 确定各评价指标关于各状态的关联度

设 V_{pi} 内的数值按由小到大排列且越大越优,即第 1 类为最优级、第 m 类为最差级。则第 i 个影响因素关于第 j 类等级的关联度为

$$K_j(v_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(v_i, V_{0ji})}{|V_{0ji}|} & v_i \in V_{0ji} (j=2, 3, \dots, m-1) \\ 0.5 & v_i \in V_{0li} \text{ 且 } v_i > \frac{a_{0li} + b_{0li}}{2} \\ 0.5 & v_i \in V_{0mi} \text{ 且 } v_i < \frac{a_{0mi} + b_{0mi}}{2} \\ \frac{\rho(v_i, V_{0ji})}{\rho(v_i, V_{pi}) - \rho(v_i, V_{0ji})} & v_i \notin V_{0ji} \end{cases} \quad (4)$$

其中,

$$\rho(v_i, \langle a, b \rangle) = \left| v_i - \frac{a+b}{2} \right| - \frac{b-a}{2} \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

2) 确定待评物元关于等级 j 的关联度

待评价居住建筑节能效果等级 p 关于居住建筑节能效果等级 j 的关联度为

$$K_j(p) = \sum_{i=1}^n \alpha_i K_j(v_i) \quad (5)$$

1.4 新建居住建筑节能效果等级评定

若 $K_{j0} = \max K_j(p)$, 则确定 p 属于等级 P_{j0} 。令

$$\overline{K_j(p)} = \frac{k_j(p) - \min k_j(p)}{\max k_j(p) - \min k_j(p)} \quad j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j \overline{K_j(p)}}{\sum_{j=1}^m \overline{K_j(p)}} \quad (6)$$

则称 j^* 为 p 的级别变量特征值。例如, $j=2, j^*=2.8$ 表示 p 属于第 2 类偏向第 3 类(严格来说应属于 2.8 类),从 j^* 中可以看出偏向另一类的程度。

2 权重确定的一种新方法

采用简单关联函数^[4]确定各评价指标的权重。设

$$r_{\bar{j}}(v_i, V_{\bar{j}}) = \begin{cases} \frac{2(v_i - a_{\bar{j}})}{b_{\bar{j}} - a_{\bar{j}}} & v_i \leq \frac{a_{\bar{j}} + b_{\bar{j}}}{2} \\ \frac{2(b_{\bar{j}} - v_i)}{b_{\bar{j}} - a_{\bar{j}}} & v_i \geq \frac{a_{\bar{j}} + b_{\bar{j}}}{2} \end{cases} \quad (7)$$

且 $v_i \in V_{pi}$ (节域, $i=1, 2, \dots, n$), 则

$$r_{\bar{j} \max} = \max \{r_{\bar{j}}(v_i, V_{\bar{j}})\}$$

如果指标 i 的数据落入的级别越大,该指标应赋予越大的权值,取

$$r_i = \begin{cases} j_{\max} \times [1 + r_{i \max}(v_i, V_{\bar{j}})] & r_{i \max}(v_i, V_{\bar{j}}) \geq -0.5 \\ j_{\max} \times 0.5 & r_{i \max}(v_i, V_{\bar{j}}) < -0.5 \end{cases} \quad (8)$$

否则,如果指标 i 的数据落入的级别越大,该指标应赋予越小的权值,取

$$r_i = \begin{cases} (m - j_{\max} + 1) \times [1 + r_{i \max}(v_i, V_{\bar{j}})] & r_{i \max}(v_i, V_{\bar{j}}) \geq -0.5 \\ (m - j_{\max} + 1) \times 0.5 & r_{i \max}(v_i, V_{\bar{j}}) < -0.5 \end{cases} \quad (9)$$

则指标 i 的权重为



$$\alpha_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^n r_i} \quad (10)$$

3 实证研究

采用上述方法,对南昌市某新建商住楼盘 11# 楼的建筑节能效果进行实证分析。该楼为 6 层框架结构,总建筑面积 2921.55m²,总高度 16.90m,建筑等级为一级,耐久年限 50a,抗震设防等级为 6 度,耐火等级为一级,屋面防水等级为二级。11# 楼体形系数为 0.35;外墙:加气混凝土空心砌块+胶粉聚苯颗粒外保温;分户墙:加气混凝土空心砌块+20mm 保温砂浆;屋顶结构形式:钢筋混凝土+挤塑聚苯板保温屋面;窗户类型:铝合金低辐射中空玻璃窗;户门类型:防盗门。

3.1 确定评价指标及其量值范围

建立评价指标,是对新建居住建筑节能效果进行评价的基础性工作,其科学合理性直接影响到评价结果的准确性和真实性。采用以下原则选取节能效果评价指标:① 可操作性

原则。所选取的指标可通过现有条件和技术获得,且不需为此付出很高的成本;② 系统性原则。所选取的指标能构成一个相对客观、完整和全面的整体,以便在现阶段能真实有效地反映居住建筑节能的实际效果^[5-6]。最终确定 11# 楼的节能效果评价指标为:建筑朝向、建筑体形系数、外墙平均传热系数、外墙热惰性、分户墙平均传热系数、楼板保温性、屋面保温性、户门保温性、外墙保温性、门窗气密性等级、平均窗墙面积比共 11 个指标,分别记为 $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8, c_9, c_{10}, c_{11}$ 。

根据国家和南昌市相关规范、标准和检测数据^[7-8],通过实际调查、科学论证,并对设计者、施工者和有关建筑节能领域资深专家学者进行访问,确定各评价指标在五类节能效果级别下的具体范围值。在构建可拓识别的物元模型前,为消除量纲的影响,需对各评价指标的标准值进行无量纲处理^[9],处理结果见表 1。

根据表 1,可得 11# 楼节能效果各等级的经典域物元 $R_{01} \sim R_{05}$ 分别为

$R_{01} =$	优	$c_1 <90, 100>$	$R_{02} =$	良	$c_1 <70, 90>$	$R_{03} =$	中	$c_1 <40, 70>$	$R_{04} =$	次	$c_1 <20, 40>$	$R_{05} =$	差	$c_1 <0, 20>$
	$c_2 <0, 0.28>$	$c_2 <0.28, 0.30>$		$c_2 <0.30, 0.33>$	$c_2 <0.33, 0.36>$		$c_2 <0.36, 1>$							
	$c_3 <0, 1.0>$	$c_3 <1.0, 1.2>$		$c_3 <1.2, 1.5>$	$c_3 <1.5, 2.0>$		$c_3 <2.0, 10>$							
	$c_4 <4.0, 20>$	$c_4 <3.0, 4.0>$		$c_4 <2.5, 3.0>$	$c_4 <2.0, 2.5>$		$c_4 <0, 2.0>$							
	$c_5 <0, 1.0>$	$c_5 <1.0, 1.5>$		$c_5 <1.5, 2.0>$	$c_5 <2.0, 2.5>$		$c_5 <2.5, 15>$							
	$c_6 <0, 1.0>$	$c_6 <1.0, 1.5>$		$c_6 <1.5, 2.0>$	$c_6 <2.0, 2.5>$		$c_6 <2.5, 10>$							
	$c_7 <0, 0.8>$	$c_7 <0.8, 1.0>$		$c_7 <1.0, 1.2>$	$c_7 <1.2, 1.5>$		$c_7 <1.5, 15>$							
	$c_8 <0, 2.0>$	$c_8 <2.0, 2.5>$		$c_8 <2.5, 3.0>$	$c_8 <3.0, 4.0>$		$c_8 <4.0, 15>$							
	$c_9 <0, 2.5>$	$c_9 <2.5, 3.5>$		$c_9 <3.5, 4.5>$	$c_9 <4.5, 5.5>$		$c_9 <5.5, 20>$							
	$c_{10} <90, 100>$	$c_{10} <70, 90>$		$c_{10} <50, 70>$	$c_{10} <30, 50>$		$c_{10} <0, 30>$							
	$c_{11} <0, 0.25>$	$c_{11} <0.25, 0.30>$		$c_{11} <0.30, 0.40>$	$c_{11} <0.40, 0.50>$		$c_{11} <0.50, 5>$							

表 1 处理后的 11# 楼节能效果评价指标及标准(无量纲)

Table 1 Value of treatment indicators and criteria on energy saving effect (dimensionless)

评价指标	优(P_{01})	良(P_{02})	中(P_{03})	次(P_{04})	差(P_{05})
建筑朝向 c_1	90~100	70~90	40~70	20~40	0~20
建筑体形系数 c_2	0~0.28	0.28~0.30	0.30~0.33	0.33~0.36	0.36~1
外墙平均传热系数 c_3	0~1.0	1.0~1.2	1.2~1.5	1.5~2.0	2.0~10
外墙热惰性 c_4	20~4.0	3.0~4.0	2.5~3.0	2.0~2.5	0~2.0
分户墙平均传热系数 c_5	0~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~15
楼板保温性 c_6	0~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~10
屋面保温性 c_7	0~0.8	0.8~1.0	1.0~1.2	1.2~1.5	1.5~15
户门保温性 c_8	0~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	3.0~4.0	4.0~15
外窗保温性 c_9	0~2.5	2.5~3.5	3.5~4.5	4.5~5.5	5.5~20
门窗气密性等级 c_{10}	90~100	70~90	50~70	30~50	0~30
平均窗墙面积比 c_{11}	0~0.25	0.25~0.30	0.30~0.40	0.40~0.50	0.50~5



节域物元为

$R_p =$	节能效果级别	c_1	$\langle 0, 100 \rangle$
		c_2	$\langle 0, 1 \rangle$
		c_3	$\langle 0, 10 \rangle$
		c_4	$\langle 0, 20 \rangle$
		c_5	$\langle 0, 15 \rangle$
		c_6	$\langle 0, 10 \rangle$
		c_7	$\langle 0, 15 \rangle$
		c_8	$\langle 0, 15 \rangle$
		c_9	$\langle 0, 20 \rangle$
		c_{10}	$\langle 0, 100 \rangle$
		c_{11}	$\langle 0, 5 \rangle$

3.2 确定待评物元

查阅相关设计文件,并对该居住建筑的相关评价指标按国家有关规范标准进行检测试验,可得各评价指标的实测值,并对实测值进行无量纲化处理,可得 11# 楼的物元为

$R =$	p	c_1	94
		c_2	0.35
		c_3	1.1
		c_4	3.9
		c_5	1.9
		c_6	2.3
		c_7	0.7
		c_8	3.1
		c_9	3.3
		c_{10}	76
		c_{11}	0.36

3.3 确定指标权重

从保守的角度考虑,如果指标 i 的数据落入的级别越大,则该指标对建筑节能的影响越不利,该指标应赋予越大的权重,因此采用式(7)~式(10)计算权重,可得各评价指标的权重矩阵:

$$\alpha = (0.051, 0.076, 0.213, 0.089, 0.040, 0.083, 0.097, 0.035, 0.129, 0.074, 0.113)$$

3.4 关联度计算及节能效果评价

由式(4)计算关联度,由计算所得关联度、各指标权重和式(5)、式(6)计算 11# 楼的节能效果等级。关联度及节能效果等级评价结果见表 2。

表 2 11# 楼关联度计算结果及节能效果评价结果
Table 2 Evaluation results and calculation of relational degree of Building 11

$K_1(p)$	$K_2(p)$	$K_3(p)$	$K_4(p)$	$K_5(p)$	j	j^*
-0.20	-0.38	0.62	-0.59	-0.78	3	3.2

由表 2 可知,11# 楼节能效果等级为 3 级,其级别变量的特征向量为 3.2,说明该新建居住建筑的节能效果处于中等水平。

4 结论

1) 可拓理论是用形式化的工具,考虑多因素的共同影响作用,从定性和定量两个角度研究和解决不相容问题的规律和方法,通过建立评价指标的物元模型描述客观事物的特征,并以定量的数值表示评价的结果,能够直观地反映新建居住建筑的节能水平。

2) 利用关联函数确定各评价指标的权重,从而有效避免了目前权重确定的主观性和随意性,为权重确定提供一种新的更加科学合理的计算方法。

3) 应用可拓理论对新建居住建筑节能效果进行评价是一种新的评价方法,该方法理论严谨、实际可行、计算方便,并可以灵活调整评价指标和标准,便于实现电算化,且能得到科学合理的评价结果。

参考文献 (References)

- 王建华. 建筑综合节能效果评价研究 [J]. 工业建筑, 2006, 36 (1): 19-21.
Wang Jianhua. *Industrial Construction*, 2006, 36(1): 19-21.
- 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
Cai Wen, Yang Chunyan, Lin Weichu. *Extension engineering methods* [M]. Beijing: Science Press, 1997.
- 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
Cai Wen. *Matter-element model and its application*[M]. Beijing: Science and Technological Literature Press, 1994.
- 王锦国, 周志芳, 袁永生. 可拓评价方法在环境质量综合评价中的应用[J]. 河海大学学报, 2002, 30(1): 15-18.
Wang Jinguo, Zhou Zhifang, Yuan Yongsheng. *Journal of Hohai University*, 2002, 30(1): 15-18.
- 丁力行, 李越铭, 包劲松. 建筑节能综合评价指标体系的建立[J]. 建筑, 2003(12): 19-22.
Ding Lixing, Li Yueming, Bao Jinsong. *Architecture*, 2003(12): 19-22.
- 丛娜, 吴成东, 丁君德. 建筑节能综合评价指标体系 [J]. 智能建筑, 2007(9): 1672-1640.
Cong Na, Wu Chengdong, Ding Junde. *Intelligent Building*, 2007 (9): 1672-1640.
- 中华人民共和国建设部. 民用建筑热工设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1993.
Ministry of Construction of the People's Republic of China. *Thermal design code for civil building*[S]. Beijing: China Planning Press, 1993.
- 中华人民共和国建设部. 建筑节能工程施工质量验收规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
Ministry of Construction of the People's Republic of China. *Code of acceptance energy efficient building construction* [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2006.
- 连建发, 慎乃齐, 张杰坤. 基于可拓方法的地下工程围岩评价研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(9): 1450-1453.
Lian Jianfa, Shen Naiqi, Zhang Jiekun. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2004, 23(9): 1450-1453.
- 舒美英, 蔡建国, 陈森彭. 建设工程项目招投标规范化可拓综合评价 [J]. 重庆建筑大学学报, 2007, 29(4): 133-135.
Shu Meiyang, Cai Jianguo, Chen Senpeng. *Journal of Chongqing Jianzhu University*, 2007, 29(4): 133-135.

(责任编辑 岳臣)