

基于灰色—模糊理论的 房间空调器评价方法研究

天津大学 张甫仁[☆] 杨 昭

摘要 分析了目前有关综合评价方法中的缺陷和不足,从能效性、经济性、安全可靠性和外观使用性等方面确定了房间空调器的评价指标体系,结合灰色理论和模糊数学理论的相关知识,建立了综合评判的层次结构模型,并对五种房间空调器的性能进行了综合评价,给出了评价结果。

关键词 房间空调器 灰色—模糊评价 评价指标 模型

Evaluation method of room air conditioner based on the grey-fuzzy theory

By Zhang Furen[★] and Yang Zhao

Abstract Analyses the deficiency of existing comprehensive evaluation methods. Establishes the evaluation index hierarchy from the energy efficiency, economics, safety, and appearance and practicability. Presents the comprehensive evaluation model combining grey theory and fuzzy mathematics. Evaluates the performance of five kinds of room air conditioner and gives the evaluation results.

Keywords room air conditioner, grey-fuzzy evaluation, evaluation index, model

★ Tianjin University, Tianjin, China

①

0 引言

相关统计资料显示,2000 年我国生产了约 920 万套空调器,超过日本而成为全球第二大空调器生产和销售国。随着房间空调器的使用日益普及,空调已成为人们生活中的必需品。因而人们对其性能要求越来越高,同时,如何根据各种房间空调器的特点和各种实际需求及条件,正确评价和选择房间空调器已成为设计人员和用户在设计 and 选购时必须考虑的一个问题,也是节能、节电、环保和可持续发展的一个关键问题。据此,1991 年国家轻工业部在提出了彻底贯彻 GB 7725-87 的同时,还对空调器产品的最低能效比和噪声等提出了要求。1993 年国家轻工业协会又颁布制定了《节能空调器技术导向指标》,提出了能效比、噪声、除湿量和季节能效比等四项指标。由此可见,发展和研究综合性多指标的房间空调器评价方法已经显得非常

重要。

由于影响因素繁多而复杂,在目前房间空调器的性能研究中,基本上还局限于从某个因素或者某几个因素来进行考虑和评价,没有对房间空调器进行综合性能评价。目前有很多学者从理论上对房间空调器的季节性能、COP 等单一的因素进行了大量的分析和优化研究。文献[1]虽根据《节能空调器技术导向指标》对各种性能指标进行了探讨,但也只局限于讨论各种指标的合理性和实用性。文献[2~3]也仅讨论了马来西亚制定房间空调器最低能效比的节能性和环保作用。

①[☆] 张甫仁,男,1975 年 3 月生,在读博士研究生
300072 天津大学热能研究所
(022) 27890443
E-mail:zh_feixue@163.com
收稿日期:2002-09-10
一次修回:2002-12-17
二次修回:2004-06-03

1 现有评价方法中存在的缺陷和不足

目前已有学者尝试使用模糊综合评判的方法来进行其他方面的评价工作,但这些评价方法都存在一些理论或者方法本身的缺陷和不足。在文献[4~7]中所采用的层次分析法,其核心思想仍然是模糊理论中以建立隶属函数的方法为基础来进行评判。由于模糊综合评判是一种间接的方法,为了能够求出各因素(指标)的隶属函数,必须把各项指标值进行特征化处理。有些指标的白化数值,经过特征化处理后,会不同程度地丢失信息,使得原来的白化值反而变成了一个区间的模糊值,这样,给评判带来了误差,甚至会出现错误^[8]。同时,由于文献[4,7]对所有指标完全依靠专家评分的方法,在很大程度上存在着人为的因素,从而给评判结果带来较大的误差。而文献[4]中所采用的评价指标,由于在隶属函数的求解过程中,其单因素函数的确定在一定程度上取决于所选指标的最大和最小值,而不是以评价对象中指标所有值来确定,因此,如果选取的最大和最小值不同,也将给评判结果带来偏差。

灰色综合评判是一种直接的评判方法,它可以充分利用已有的白化信息,减少评判误差,为多层次评判问题提供一种有效的途径,使评判工作更科学、更符合实际、更简练有效。但灰色系统理论在评价数据的处理过程中无法定量化,有些指标无法获得具体的数据,而专家评分也只能给出不确定性的语言描述。本文借助模糊数学先进的模糊语言变量的处理方法来进行处理,结合两者的优点,从而为获得准确、可靠、科学、合理的结果提供保证。

2 灰色—模糊综合评价的核心理论和评价步骤

2.1 灰色综合评价的核心理论^[9~10]

灰色多层次综合评判可分为单层次综合评判和多层次综合评判。当评判对象的各指标之间有不同的层次结构时,就必须进行多层次综合评判。下面对本文所采用的两层次综合评判进行分析和讨论。

两层次综合评判的主要步骤有:评判指标的确定、最优指标集的确定、数据的无量纲处理、评判矩阵的确定、各权重的确定、第二层次综合评判、第一层次综合评判等。

a) 评判指标确定。评判指标就是评判对象的

各种属性或性能,是对评判对象进行评判的依据。

b) 最优指标集 E^* 的确定。最优指标集是各评判对象的最优指标组成的数集,它是各评判对象比较的基准。最优指标集 E^* 和各评判对象的指标组成矩阵 E :

$$E = \begin{bmatrix} e_1^* & e_2^* & \cdots & e_m^* \\ e_1^i & e_2^i & \cdots & e_m^i \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e_1^n & e_2^n & \cdots & e_m^n \end{bmatrix}^T \quad (1)$$

式中 e_k^i 为第 i 个评判对象中第 k 个指标的原始值; $E^* = \{e_1^*, e_2^*, \dots, e_m^*\}$ 。

c) 数据的无量纲处理。由于参评指标通常具有不同的量纲,因而必须对其进行无量纲化处理。常用的方法是数据均值化处理:

$$e_i^{(1)} = \frac{e_i^{(0)}}{\bar{e}_i} \quad (2)$$

式中 $e_i^{(0)}$, $e_i^{(1)}$ 分别为参评指标的原始数据和无量纲处理后的数据; $\bar{e}_i$ 为第 i 个指标的平均值。

d) 评判矩阵的确定。将无量纲化处理后的数据矩阵 E' 作为比较数列,最优指标集 E^* 作为参考数列,根据灰色系统理论,可由下式求得第 i 个评判对象与第 k 个指标的灰色关联系数 $t_i(k)$:

$$t_i(k) = \frac{\min_i \min_k |e_k^* - e_k^i| + \rho \times \max_i \max_k |e_k^* - e_k^i|}{|e_k^* - e_k^i| + \rho \times \max_i \max_k |e_k^* - e_k^i|} \quad (3)$$

式中 ρ 为分辨系数,为 $[0, 1]$ 之间某一值,一般取 0.5; $i=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, n$ 。

各关联系数组成评判矩阵 T :

$$T = \begin{bmatrix} t_1(1) & t_1(2) & \cdots & t_1(m) \\ t_2(1) & t_2(2) & \cdots & t_2(m) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ t_n(1) & t_n(2) & \cdots & t_n(m) \end{bmatrix}^T \quad (4)$$

e) 各权重的确定。各评判指标对评判对象的影响程度不同,为了尽量反映实际情况,常采用二元对比法确定各层次评判指标的权重系数矩阵 Q ,本文采用两个层次的综合评判,权重矩阵分别为 Q_B 和 Q_A 。

f) 第二层次灰色综合评判。第二层次评判结果矩阵 $L = Q_B \times T$,灰色关联度计算式为:

$$l_i(k) = \sum_{j=1}^n q_{bi}(j) t_j(k) \quad (5)$$

式中 $q_{bi}(j)$ 为权重系数矩阵 Q_B 中的元素。

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} l_1(1) & l_1(2) & \cdots & l_1(m) \\ l_2(1) & l_2(2) & \cdots & l_2(m) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_n(1) & l_n(2) & \cdots & l_n(m) \end{bmatrix}^T \quad (6)$$

g) 第一层次灰色综合评判。多层次评判是在单层次综合评判的基础上进行的,其评判方法相似,但在处理数据方面不相同,第一层次的数据完全借助于第二层次的数据。第一层次的评判,直接利用第二层次评判结果组成第一层次的评判矩阵 $\mathbf{L}$ 。综合评判结果矩阵 $\mathbf{R} = \mathbf{Q}_A \times \mathbf{L}$,其计算式为:

$$r_i = \sum_{k=1}^m q_{ai} l_i(k) \quad (7)$$

式中 q_{ai} 为权重矩阵 $\mathbf{Q}_A$ 中的元素。

2.2 模糊语言变量的数值化处理

我们认为一个语言变量可以近似地用一个模糊数来表达。常见的模糊性语言变量主要有“很低,低,较低,中等,较高,高,很高”,简称为 VL, L, FL, M, FH, H, VH^[11]。如图 1 所示。

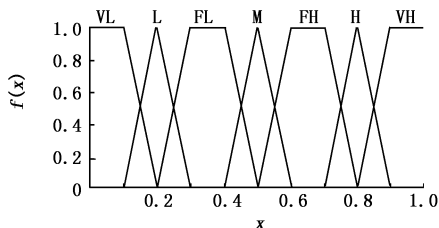


图 1 模糊语言的近似模糊数

根据文献[11],可以得出这些模糊语言变量的三角模糊数或梯形模糊数的表示式:

$$f_{VL}(x) = \begin{cases} 1, & 0 < x \leq 0.1 \\ \frac{0.2-x}{0.1}, & 0.1 < x \leq 0.2 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

$$f_L(x) = \begin{cases} \frac{x-0.1}{0.1}, & 0.1 < x \leq 0.2 \\ \frac{0.3-x}{0.1}, & 0.2 < x \leq 0.3 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

$$f_{FL}(x) = \begin{cases} \frac{x-0.2}{0.1}, & 0.2 < x \leq 0.3 \\ 1, & 0.3 < x \leq 0.4 \\ \frac{0.5-x}{0.1}, & 0.4 < x \leq 0.5 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

$$f_M(x) = \begin{cases} \frac{x-0.4}{0.1}, & 0.4 < x \leq 0.5 \\ \frac{0.5-x}{0.1}, & 0.5 < x \leq 0.6 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

$$f_{FH}(x) = \begin{cases} \frac{x-0.5}{0.1}, & 0.5 < x \leq 0.6 \\ 1, & 0.6 < x \leq 0.7 \\ \frac{0.8-x}{0.1}, & 0.7 < x \leq 0.8 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (12)$$

$$f_H(x) = \begin{cases} \frac{x-0.7}{0.1}, & 0.7 < x \leq 0.8 \\ \frac{0.9-x}{0.1}, & 0.8 < x \leq 0.9 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (13)$$

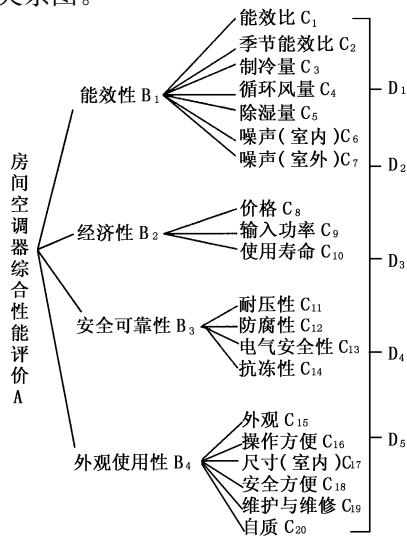
$$f_{VH}(x) = \begin{cases} \frac{x-0.8}{0.1}, & 0.8 < x \leq 0.9 \\ 1, & 0.9 < x \leq 1.0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (14)$$

最后,根据模糊理论知识将所得模糊值进行精确数据处理和转化。

3 房间空调器综合评价指标及权重

3.1 房间空调器综合评价指标及评价模型图

本文从能效性、经济性、安全可靠、外观使用性四个方面共 20 项性能指标来综合进行房间空调器的评价研究,建立了如图 2 所示的 3 个层次的层次结构关系图。



A 总目标层 B 子目标层 C 指标层 D 方案层

图 2 房间空调器综合评价模型图

3.2 评价指标权重的确定

根据上述评价指标及评价模型图,利用层次分析法^[12],并借助于文献[4,9]中所采用的计算方法,来确定各评价指标的权重。由于该方法涉及到矩阵的计算,同时,要对评价矩阵进行一致性检验并对不满足一致性的矩阵继续一致性调整,并进行计算,过程较为复杂。本文利用 Matlab 软件和 VB6.0 编制权重计算机程序进行计算,其具体权重数据如表 1 和表 2 所示。

表 1 指标层的权重值

指标项	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
权重值	0.412 4	0.402 5	0.113 7	0.113 7	0.064 4	0.064 4	0.037 4
指标项	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄
权重值	0.648 3	0.229 7	0.122 0	0.166 7	0.166 7	0.499 9	0.166 7
指标项	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉	C ₂₀	
权重值	0.089 9	0.283 2	0.089 9	0.163 9	0.283 2	0.089 9	

表 2 子目标层的权重值

目标项	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
权重值	0.412 4	0.412 4	0.111 1	0.064 1

4 房间空调器综合评价的实际应用

4.1 选取综合评判对象

从目前我国几家大型空调厂家的空调产品中选取较为近似的几种产品来进行综合评价分析,相应的评价结果见表 3。

表 3 几种空调器的评价指标原始数据

	空调 D ₁	空调 D ₂	空调 D ₃	空调 D ₄	空调 D ₅
C ₁	2.955	2.477	2.755	2.941	4.000
C ₂	3.23	2.60	2.95	3.18	4.45
C ₃ /kW	2.6	2.7	2.7	2.5	2.8
C ₄ /(m ³ /h)	500	460	450	450	540
C ₅ /(10 ⁻³ m ³ /h)	1.3	1.5	1.2	1.2	1.3
C ₆ (A 声级)/dB	37	38	37	38	38
C ₇ (A 声级)/dB	48	48	52	48	48
C ₈ /元	3 643.8	3 430	3 742	3 643.8	4 222
C ₉ /W	880	1 090	980	850	700
C ₁₀ /a	20	20	20	20	20
C ₁₁	VH	H	VH	H	VH
C ₁₂	9	8.5	9	8.5	8.5
C ₁₃	9.5	9	9	8.5	9
C ₁₄	H	H	H	H	H
C ₁₅	9	9.5	9	8.5	8.5
C ₁₆	VH	H	H	VH	VH
C ₁₇ /m ³	0.040 4	0.036 3	0.035 4	0.041 1	0.044 9
C ₁₈	H	VH	VH	H	H
C ₁₉	9	9.5	9.5	9	8
C ₂₀ /kg	40	42	37	39	52

4.2 综合评判指标体系的设计

空调器的综合评价系统通过二次评判加以确定,即由两个层次组成,第一层次为 B₁, B₂, B₃, B₄ 构成因素的评判系统;第二层次为 C₁~C₂₀ 构成因

素评判的具体系统。

根据表 1 和表 2,可知子目标项对目标 A 即第一层次的权重系数矩阵为:

$$Q_A = (0.412\ 4 \quad 0.412\ 4 \quad 0.111\ 1 \quad 0.064\ 1);$$

指标项对子目标项即第二层次的权重系数矩阵分别为:

$$Q_{B1} = (0.412\ 4 \quad 0.402\ 5 \quad 0.113\ 7 \quad 0.113\ 7 \\ 0.064\ 4 \quad 0.064\ 4 \quad 0.037\ 4)$$

$$Q_{B2} = (0.648\ 3 \quad 0.229\ 7 \quad 0.122\ 0)$$

$$Q_{B3} = (0.166\ 7 \quad 0.166\ 7 \quad 0.499\ 9 \quad 0.166\ 7)$$

$$Q_{B4} = (0.089\ 9 \quad 0.283\ 2 \quad 0.089\ 9 \quad 0.163\ 9 \\ 0.283\ 2 \quad 0.089\ 9)$$

4.3 灰色多层次综合评判的应用

对上述数据中模糊语言所表示的数据,利用模糊数学的方法进行模糊语言定量化处理后,再根据灰色综合评判的方法进行计算。

将已知各原始值构造矩阵 E ,由式(2)进行无量纲处理后构造新的矩阵 E' ;再将 E' 中各值代入式(3)计算出其相对应的关联系数矩阵 T 中的各系数值 $t_i(k)$,将矩阵 T 按照第二层次四个子目标项及其所含指标项数进行矩阵划分,即可以分为 T_1, T_2, T_3, T_4 ;再由 $L_i = Q_{B_i} \times T_i$ 计算出 L_1, L_2, L_3, L_4 分别为:

$$L_1 = (0.564\ 6 \quad 0.524\ 3 \quad 0.511\ 7 \quad 0.610\ 3 \\ 0.969\ 1)$$

$$L_2 = (0.745\ 8 \quad 0.846\ 8 \quad 0.675\ 2 \quad 0.756\ 2 \\ 0.668\ 1)$$

$$L_3 = (1.000\ 0 \quad 0.579\ 3 \quad 0.749\ 1 \quad 0.496\ 9 \\ 0.914\ 0)$$

$$L_4 = (0.788\ 0 \quad 0.758\ 6 \quad 0.781\ 3 \quad 0.644\ 5 \\ 0.726\ 2)$$

由 L_1, L_2, L_3, L_4 构造第二层次的评判系数矩阵 L :

$$L = \begin{bmatrix} 0.564\ 6 & 0.745\ 8 & 1.000\ 0 & 0.788\ 0 \\ 0.524\ 3 & 0.846\ 8 & 0.579\ 3 & 0.758\ 6 \\ 0.511\ 7 & 0.675\ 2 & 0.749\ 1 & 0.781\ 3 \\ 0.610\ 3 & 0.756\ 2 & 0.496\ 9 & 0.644\ 5 \\ 0.969\ 1 & 0.668\ 1 & 0.914\ 0 & 0.726\ 2 \end{bmatrix}^T$$

最后,根据式(7),即 $R = Q_A \times L$ 进行第一层次的综合评判计算,则可得:

$$R = (0.702\ 0 \quad 0.678\ 4 \quad 0.622\ 8 \quad 0.660\ 1 \\ 0.822\ 3)$$

5 结果分析讨论

5.1 计算结果分析

从综合评判结果 R 来看,空调 D_5 的综合性能远远超过其他空调,说明空调 D_5 是最优性能产品,也是顾客更愿意购买的产品。

由评判矩阵 L 可知,从能效性来看,空调 D_5 是最佳的,远远高于其他的空调;从经济性来看,空调 D_2 是首选;从安全可靠性能来看,空调 D_1 最佳;从外观使用性来看,空调 D_1 仍是最佳选择。

由上可以看出:

a) 如何在相同的制冷量时降低能耗是空调性能提高的一个最为重要的因素;

b) 从用户的角度出发,价格是影响顾客购买该产品的一个主要因素;

c) 安全可靠性和外观使用性,是空调设计和顾客购买中较为重视的因素,也是空调厂家在设计时不可忽视的两个因素,同时也说明,在改进空调系统性能的同时,如何提高空调的安全和操作智能化将是空调企业获得成功必须考虑的因素。

5.2 同其他方法的比较

对于单指标的评判方法,从上面的结果分析可以发现,如果以经济性为标准,则被选空调将会是 D_2 ,而以安全可靠为选择标准,则 D_1 又将是首选,而从能效性出发,则 D_5 为首选。由此可见,根据单指标的评判方法所得结果不能得出真正性能最好的方案。

由前面的分析可知,灰色方法可以充分利用已有的白化信息,减少评判误差,但由于灰色方法无法处理评判数据值为模糊的语言变量,因此,单纯的灰色方法不能对上述方案进行评价与优选。

对于模糊评判方法,由于其评判方法的间接性,必将导致评判结果产生一定的偏差。单纯使用模糊方法的具体计算,本文不给予详细的讨论。

6 结论

6.1 本文针对房间空调器所建立的灰色—模糊评价方法,能够全面、直观地反映出不同房间空调器的综合性能及其关键的制约因素,为进一步提高和改善房间空调器的综合性能提供决策依据。

6.2 本方法也适用于其他方面的评价与优选,它克服了模糊评价方法的不足,结合模糊函数处理过程,弥补了灰色系统对语言变量指标无法进行无量纲化处理这一弱点,从而扩大了灰色系统的应用范

围,增强了灰色系统的综合评价能力。

6.3 灰色—模糊评价方法采用灰色关联度评价各项目与最优项目的关联程度,能充分利用已知的白化信息,使多指标甚至多层次的项目评价达到量化比较,并且具有真实、客观、实用等优点,易于推广与应用。

参考文献

- 1 周子成. 论房间空调器的性能指标. 制冷, 1994, 13(4): 13 - 18
- 2 Masjuki H H, Mahlia T M I, Choudhury I A. Potential electricity savings by implementing minimum energy efficiency standards for room air conditioners in Malaysia. Energy Conversion and Management, 2001, 42(4): 439 - 450
- 3 Mahlia T M I, Masjuki H H, Choudhury I A, et al. Potential CO₂ reduction by implementing energy efficiency standard for room air conditioner in Malaysia. Energy Conversion and Management, 2001, 42(14): 1673 - 1685
- 4 李莉, 李善有, 赵军, 等. 应用层次分析法综合评价家用太阳能热水器. 太阳能学报, 1993, 14(4): 330 - 335
- 5 顾念祖. 制冷机组的模糊综合评价和优化选择. 东南大学学报, 1998, 28(11 增刊): 44 - 49
- 6 曹勇, 陈光明, 许文发. 大中型城市供热模式优化方法研究. 暖通空调, 2002, 32(1): 5 - 8
- 7 刘立平, 葛茂泉. 太阳能热泵系统的综合评价. 上海水产大学学报, 2001, 10(4): 343 - 346
- 8 景国勋. 矿井运输人一机一环境系统安全性分析. 北京: 煤炭工业出版社, 1999
- 9 张甫仁, 景国勋, 宋建尊, 等. 煤矿企业经济效益的灰色综合评判. 焦作工学院学报, 2002, 21(1): 75 - 78
- 10 邓聚龙. 灰色系统基本理论. 武汉: 华中理工大学出版社, 1988
- 11 Zhang Furen, Jing Guoxun, Yu Bensheng, et al. Research on gas explosion faulty tree fuzzy mathematics analysis methods. 2002 ' International Symposium on Mining Science and Safety Technology, Jiaozuo, China, 2002. 538 - 543
- 12 刘豹, 许树柏, 赵焕臣, 等. 层次分析法——规划决策的工具. 系统工程, 1984, 2(2): 23 - 30

· 广告 ·

暖通空调传感器专营

- ※ 温湿度, 风速, 露点, CO₂, CO 变送器, 手持表
 - ※ 微差压变送器, 压差开关, 高/低温断路器, 流量、液位开关
 - ※ 风阀执行器, 控制器, 控制阀等
- E+E 中国代理: 北京普莱而得机电技术有限公司
地址: 北京市海淀区知春路 6 号锦秋知春 A106 室
(100088)
电话: 82358330/1 手机: 13311106721 13311185711
传真: 82358330 www.bjpride.com; bjpride@263.net