

文章编号:1007-6735(2012)04-0318-05

PROMETHEE 方法在城市环境空气质量评价中的应用

胡 君, 蒋 艳

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 针对国内各大城市环境空气质量污染状况的差异性和复杂性,许多评价方法在对其进行质量评价时不能显示较强的优越性,尤其不能方便快捷地对其数据进行处理等问题,采用 PROMETHEE 法并结合国家空气质量评级标准对样本城市的空气质量进行了综合评价.引入信息熵的理论来计算各评价指标的权重以避免权重确定的主观性,在此基础上建立的基于熵权的 PROMETHEE 法大气质量评价模型所得到的评价结果不仅符合实际情况,而且使得数据处理的计算过程变得简单.研究结果显示了所建模型及其方法的可靠性和适用性.

关键词: 环境复杂性; 空气质量评价; 熵权; PROMETHEE 法

中图分类号: N 945 **文献标志码:** A

PROMETHEE Method Applied in the Evaluation of Urban Air Environmental Quality

HU Jun, JIANG Yan

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Due to the diversity and complexity of the pollution situation of domestic urban air environmental quality, many evaluation methods for air quality doesn't appear to be fully suitable, especially they can not quickly acquire the data for processing. The PROMETHEE method was introduced to give the sample a comprehensive assessment according to the national air quality rating standard, and the theory of information entropy was presented to calculate the weight of each evaluation index for determining the weight values without subjectivity. Finally, an atmospheric quality evaluation model using method of PROMETHEE based on entropy weight was established. The analysis results by the model can basically correspond to the fact, and make the calculation of the data processing easier, demonstrating the reliability and applicability of the established model and method.

Key words: environmental complexity; air environmental quality evaluation; entropy weight; PROMETHEE method

收稿日期: 2012-03-01

基金项目: 上海市重点学科建设资助项目(S30501)

作者简介: 胡 君(1985-),男,硕士研究生.研究方向:运筹与决策. E-mail: hujun2011@hotmail.com

蒋 艳(联系人),女,副教授.研究方向:运筹与决策. E-mail: ppjyan@163.com

随着经济的高速发展,生活水平的不断提高,人们越来越关注生存的环境,国内外关于环境质量评价方法的研究也日趋活跃. 空气质量是环境质量中的一个重要组成部分. 目前空气质量评价方法很多,如 API 法、模糊综合评判法、灰色聚类关联分析法及神经网络法等^[1]. 由于我国各大城市地理环境和发展程度的差异,工业废气和汽车尾气的排放程度级别和限制措施的力度不同,导致环境空气质量评价的差异性和复杂性. 环保政策实施得好,市民的环保意识高,则其环境空气质量也就更高. 如何客观地评价出不同城市环境空气质量的优劣,解决其自身所存在的复杂性以及评价过程中的复杂性,是本研究的目的所在.

本文在相关研究结果的基础上,采用样本城市的环境空气质量作为评价对象,以对样本进行监测所得的可吸入颗粒物(PM₁₀)、二氧化硫(SO₂)和二氧化氮(NO₂)这 3 个因子为评价指标,设置了相应的评价指标体系,并通过熵值法确定各指标的权重以避免权重确定的主观性^[2]. 评价结果显示本文所采用方法的适用性和可靠性.

1 指标体系模型的构建

1.1 评价指标的确定

根据国家空气质量评级标准 GB3095—1996(见表 1)可以知道,影响城市环境空气质量的主要因素可从 3 个方面考虑:PM₁₀, SO₂ 和 NO₂, 监测的指标属性值均为年平均量. 级别越高,环境空气污染越严重,空气质量自然越差.

表 1 空气质量评级标准

Tab.1 The evaluation standard mg/m³

污染物名称	一级标准	二级标准	三级标准
PM ₁₀	0.04	0.10	0.15
SO ₂	0.02	0.06	0.10
NO ₂	0.04	0.04	0.08

1.2 方案集的确定

为了具体说明方法的使用,选取了 2009 年统计年鉴中的 8 个城市——北京、哈尔滨、上海、合肥、乌鲁木齐、海口、重庆和拉萨分别作为评价样本,即样本集 $A: \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8\}$. 经过一定地整理后得到相关的指标数值. 各个方案与其相对应的属性值所构成的评价模型如表 2 所示. 可以根据最后的排序结果来估计 8 个样本的空气质量的排序.

表 2 评价模型

Tab.2 The evaluation model mg/m³

A	评价指标		
	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂
A ₁	0.121	0.034	0.053
A ₂	0.101	0.046	0.054
A ₃	0.081	0.035	0.053
A ₄	0.111	0.023	0.027
A ₅	0.140	0.093	0.068
A ₆	0.038	0.007	0.016
A ₇	0.105	0.053	0.037
A ₈	0.050	0.008	0.021

1.3 权重的确定

由于各污染物对大气环境质量的影响程度不同,所以应赋予它们不同的权重值. 多指标的综合评价因子权重的确定方法,大体可分为主观赋权法和客观赋权法两类. 在这里采用客观赋权法中与多属性决策分析联系比较紧密的熵值法来确定权重^[3].

首先考虑一个方案评估的问题,设有 m 个评价对象(方案), n 个评估指标,按照定性与定量相结合的原则构建一个多对象关于多指标的评价矩阵 $R = (x_{ij})_{m \times n}$, 其中 x_{ij} 为对象 a_i 在第 j 个评价指标 x_j 下的属性值,因此这个矩阵称为属性值矩阵.

对于属性值矩阵 $R = (x_{ij})_{m \times n}$, 由熵的定义,在有 m 个评价对象, n 个被评价指标的评估问题中,第 j 个评价指标的熵定义为

$$H_j = -k \sum_{i=1}^m t_{ij} \ln t_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

其中, $k = \frac{1}{\ln m}$, $t_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$, 并假定, 当 $t_{ij} = 0$ 时, $t_{ij} \ln t_{ij} = 0$.

第 i 个指标的熵权定义为

$$\omega_j = \frac{(1 - H_j)}{(n - H_j)} \quad (2)$$

其中, $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$

1.4 PROMETHEE 法

PROMETHEE 法是一种基于方案的两两比较的多属性决策分析方法,它是建立在“级别优先于”关系上的排序方法. PROMETHEE 法由 PROMETHEE I 法和 PROMETHEE II 法组成, PROMETHEE I 法在方案集 A 上建构一个部分序,而 PROMETHEE II 法则在方案集 A 上建构一个完全序^[4]. 其基本原理为:

考虑一个有限 m 个的可能方案城市集 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, 有 n 个数字型属性,其属性值矩

阵 $R = (x_{ij})_{m \times n}$, $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$. 由表 2 中的评价标准可知, 将最终的评价结果设定为各个城市的污染严重程度, 并按照由大到小进行排序, 所以对空气质量的评价指标的属性为效益型, 即所有属性的值越大越优, 空气的质量相对就越差. 其具体步骤如下:

a. 确定每个指标的优先函数

优先函数的概念就是在效益型指标 x_j 下, 对象城市 A_i 优于另一个对象 A_r 的程度. 其形式为

$$P_j(d_{ir}) = \begin{cases} 0 & d_{ir} < 0 \\ P(d_{ir}) & d_{ir} \geq 0 \end{cases}$$

其中, $d_{ir} = x_{ij} - x_{rj}$ ($i, r = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$)

在实际的应用中, PROMETHEE 法一般提供了 6 种可供选择的优先函数, 决策者可以根据自身的偏好结合实际为每个指标选择优先函数, 当然决策也可以另行构造准则. 这里采用具有线性优先关系的函数来对每一个指标进行评价, 该函数准则允许决策者在 $d < m$ 之内其偏好强度对 d 的增加而线性增长^[5], 即

$$P(d) = \begin{cases} d/k & d \leq k \\ 1 & d > k \end{cases}$$

式中给出的就是线性优先关系的情况, $P(d_{ir})$ 的函数图像见图 1, 其中 k 取各指标属性值的最大与最小之间的差值. 当 $d_{ir} \leq k$ 时, x_{ij} 与 x_{rj} 无差异; 当 $d_{ir} > k$ 时, x_{ij} 与 x_{rj} 为严格优于关系.

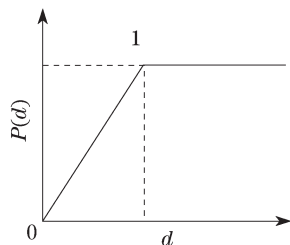


图 1 $P(d_{ir})$ 的函数图像

Fig.1 The function image of $P(d_{ir})$

b. 确定指标/准则的相对重要性(权重)

确定指标权重 $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$, ω_j ($j = 1, 2, \dots, n$) 表示指标 j 的相对重要性的度量. 在这里就是熵权.

c. 确定优先指数

多准则优先指数定义为

$$\pi(A_i, A_r) = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_j P_j(d_{ir})}{\sum_{j=1}^n \omega_j} = \sum_{j=1}^n \omega_j P_j(d_{ir})$$

其中, $i, r = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$

$\pi(A_i, A_r)$ 是决策者同时考虑所有指标时, 对方案城市 A_i 与 A_r 的优先强度的描述.

d. 确定每个对象的流出和流入

流出定义为

$$\varphi^+(A_i) = \sum_{r=1}^m \pi(A_i, A_r) = \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^m \omega_j P_j(d_{ir})$$

其中, $r \neq i$

流入定义为

$$\varphi^-(A_i) = \sum_{r=1}^m \pi(A_r, A_i) = \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^m \omega_j P_j(d_{ri})$$

其中, $i \neq r$

式中, $\varphi^+(A_i)$ 为方案城市 A_i 的流出, 即表示 A_i 级别优于其它对象的可能性, 它的值越大, A_i 相对于其它方案的级别就越高; $\varphi^-(A_i)$ 为方案城市 A_i 的流入, 即表示其它方案的级别优于 A_i 的可能性, 一般而言, 其值越小, 该对象方案的级别越好. 因此, 可以得到部分序 $\{P^{(1)}, I^{(1)}, R\}$. 其中, P 表示级别优先于关系, I 表示等价关系, R 则表示两个方案之间是不可比的.

e. 确定完全序

以上 4 步为 PROMETHEE I 法的基本步骤, 它只能得到所有城市方案集 A 上的偏序. 通过使用 PROMETHEE II 法在 A 上才可以得到完全序 $\{P^{(2)}, I^{(2)}\}$, 各方案 A_i 的净流量为

$$\varphi(A_i) = \varphi^+(A_i) - \varphi^-(A_i)$$

据各方案净流量的大小, 可确定其优先关系为

$$A_i P^{(2)} A_r \quad \text{若} \quad \varphi(A_i) > \varphi(A_r)$$

$$A_i I^{(2)} A_r \quad \text{若} \quad \varphi(A_i) = \varphi(A_r)$$

2 模型的评价和分析

2.1 构建模型矩阵

表 2 中每个评价指标相对于空气污染程度而言都为效益型指标, 即属性值越大, 空气污染程度越严重. 它们的优先函数均为线性优先函数(III), 而且函数参数 k 值取各指标属性值的最大与最小值之差, 表 2 中求得 $k_{PM_{10}} = 0.102$, $k_{SO_2} = 0.086$, $k_{NO_2} = 0.052$.

2.2 权重值确定

根据上述熵值法计算式(1)和式(2)求得各指标的权重见表 3.

表 3 指标权重

Tab.3 The weight of every evaluation index

评价指标	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂
熵 H_j	0.967 429 3	0.884 034 6	0.954 243 3
熵权 ω_j	0.167 637 0	0.596 859 1	0.235 503 9

2.3 排序结果分析

根据以上决策矩阵及其优先函数参数和权重,

用 PROMETHEE 法所求得的 $\pi(A_i, A_r)$ 如表 4 所示, $\varphi^+(A_i)$, $\varphi^-(A_i)$ 和 $\varphi(A_i)$ 的值见表 5.

表 4 各方案对的 $\pi(A_i, A_r)$ 值
Tab.4 The value of $\pi(A_i, A_r)$ of each scheme pair

A_i	A_r							
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
A_1	—	0.032 87	0.065 74	0.210 53	0.000 00	0.491 37	0.098 76	0.442 06
A_2	0.087 81	—	0.113 74	0.281 91	0.000 00	0.546 31	0.076 99	0.497 00
A_3	0.006 94	0.000 00	—	0.201 03	0.000 00	0.432 57	0.072 46	0.383 26
A_4	0.000 00	0.016 44	0.049 31	—	0.000 00	0.464 33	0.009 86	0.231 53
A_5	0.508 63	0.453 69	0.567 43	0.719 16	—	1.000 00	0.475 53	0.950 69
A_6	0.000 00	0.000 00	0.000 00	0.000 00	0.000 00	—	0.000 00	0.000 00
A_7	0.131 86	0.055 16	0.164 37	0.253 50	0.000 00	0.524 47	—	0.475 17
A_8	0.000 00	0.000 00	0.000 00	0.000 00	0.000 00	0.049 31	0.000 00	—

表 5 各方案的 $\varphi^+(A_i)$, $\varphi^-(A_i)$ 和 $\varphi(A_i)$ 的值
Tab.5 The value of $\varphi^+(A_i)$, $\varphi^-(A_i)$ and $\varphi(A_i)$ of each scheme

参数	A_i							
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
流出 Φ^+	1.341 32	1.603 76	1.096 26	0.771 47	4.675 14	0.000 00	1.604 52	0.049 31
流入 Φ^-	0.735 25	0.558 15	0.960 59	1.666 13	0.000 00	3.508 35	0.733 60	2.979 71
净流 Φ	0.606 08	1.045 61	0.135 68	-0.894 66	4.675 14	-3.508 35	0.870 92	-2.930 40

据表 5 中的 $\varphi^+(A_i)$ 的数据(由大到小)、 $\varphi^-(A_i)$ 的数据(由小到大),由 PROMETHEE I 法可以得到方案集 A 上的部分序,如图 2 所示.

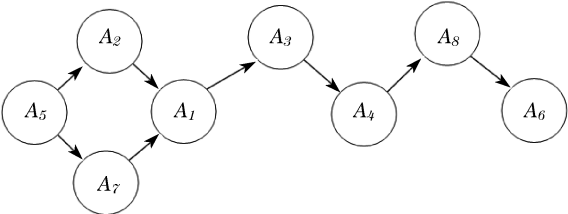


图 2 PROMETHEE I 法的排序关系图
Fig.2 The advantage relation graph of PROMETHEE I method

图 2 中方案 A_2 与 A_7 之间是不可比的,故排序关系为部分序.由 PROMETHEE II 法对 $\varphi(A_i)$ 的数据的大小进行排序,从而可以得到各个城市的空气质量受污染程度的完全序关系图,如图 3 所示.

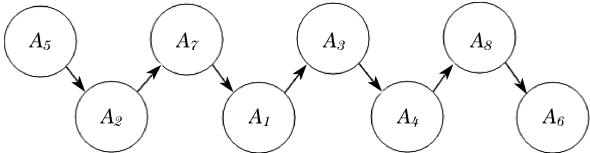


图 3 PROMETHEE II 法的排序关系图
Fig.3 The advantage relation graph of PROMETHEE II method

由图 3 的排序结果可知,首先 A_5 即乌鲁木齐市的环境污染最严重,空气质量也是所有城市当中最差的,主要是因为其地处沙漠的地理位置有关;其次是东北的哈尔滨 A_1 、山城重庆 A_7 、北京 A_1 、上海 A_3 及合肥 A_4 ;最后,空气质量最好的是拉萨 A_8 与海口 A_6 ,拉萨因为地处高原,海拔高,人烟稀少,季节也以雨雪多,而海口则因其地处岛屿,一年四季以海洋性气候为主,并且发展旅游业和农业,所以空气质量自然最好.很显然理位置和区域经济的发展对各城市的评价结果有很大的影响,但各城市还是要根据各自的实际发展情况采取相应的环保政策,以便更好地提高各城市的环境空气质量,最终改善市民的呼吸质量.

3 结束语

使用 PROMETHEE 方法来对城市环境空气质量的优劣进行评价排序,结果与实际情况基本符合.并且该方法无需对原始数据进行预处理,避免了信息的偏离,增强了评价的客观性和科学性.

PROMETHEE 法一般提供 6 种可供选择的优先函数,在本文中采取的是线性优先函数(Ⅲ)来描述各指标属性值的差别与目标达到程度之间的关

系.当然还要根据数据的自身特点来选择最佳的优先函数及参数.确定指标权重采用的熵值法是通过计算样本自身数据对权重做出判断,避免了人为的主观性和随意性,保持了样本指标的数据独立性,但熵值法确定指标的权重也存在一定局限性,如容易忽略不同指标数据之间的关联性.因此在很多情况下,可以将该决策方法中的客观熵权与专家的主观权重结合进行决策评价.

城市环境的空气质量的评价是一个很复杂的课题,涉及的方法也很多,有待于进一步研究和探讨.

参考文献:

- [1] 张云海,马雁军,孙财涛,等.灰色聚类评价在经济区

大气环境质量评价中的应用[J].环境科学与技术,2010,33(6):426-428.

- [2] 李维,杨保安,周力.基于 PROMETHEE II 法和熵值法的城市新型工业化评价[J].郑州航空工业管理学院学报,2007,25(3):19-22.
- [3] 邱苑华.管理决策与应用熵学[M].北京:中国电力出版社,2011.
- [4] Jiang Y, Tian D G, Pan Y. Ranking environmental projects model based on multicriteria decision-making and the weight sensitivity analysis [J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2007, 18(3): 534-539.
- [5] 岳超源.决策理论与方法[M].北京:科学出版社,2002.

(上接第317页)

3 结束语

通过运用模糊控制器中的模糊规则为传统粒子群算法加入了新的扰动因子,改进了粒子群进化的更新方程,利用该方程更新粒子的速度与位置,不仅避免了过早收敛问题,而且还扩大了群体的搜索范围.通过实例验证表明了该算法的有效性.对此方法中涉及参数地指导性调整将是进一步研究的课题.

参考文献:

- [1] Kennedy I, Eberhart R C. Particle swarm optimization [C]//Proc IEEE Int Conf On Neural Networks. Perth, 1995:1942-1948.
- [2] Shi Y, Eberhart R C. A modified swarm optimizer[C]// IEEE international conference of Evolutionary Computation. Anchorage, 1998:125-129.
- [3] Bergh F, Engelbrecht A P. Cooperative learning in neural networks using particle swarm optimizers[J]. South African Computer Journal, 2000, 11(6):84-90.
- [4] Voss M S, Feng X. A RMA model selection using particle swarm optimization and AIC criteria[C]// 15th Triennial World Congress. Barcelona: IFAC,

2002:41-45.

- [5] Andrews P S. An investigation into mutation operators for particle swarm optimization[C]//Proceeding of the 2006 IEEE Congress on Evolutionary Computation. Toronto, 2006:1044-1051.
- [6] 李炳宇,萧蕴诗,吴启迪.一种基于微粒群算法求解约束优化问题的混合算法[J].控制与决策,2004,19(7):804-807.
- [7] 于繁华,杨威,张利彪.基于模糊的多目标粒子群优化算法及应用[J].计算机仿真,2007,24(2):53-156.
- [8] 柳寅,马良.模糊蚁群算法及其在 TSP 中的应用[J].数学的实践与认识,2011,41(6):150-154.
- [9] Takagi T, Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control[J]. IEEE Trans Sys Man: Cybernetics, 1985, 15(10):116-132.
- [10] Khaled B, Fzouzi T. Genetic algorithm for the design of a class of fuzzy controllers: an alternative approach [J]. IEEE Trans: Fuzzy Systems, 2000, 8(4):398-405.
- [11] 丁建梅,王可崇.基于 MATLAB 的模糊控制器控制规则优化研究[J].哈尔滨工业大学学报,2004,10(3):45-50.
- [12] 马良,朱刚,宁爱兵.蚂蚁优化算法[M].北京:科学出版社,2008:190-194.