

# 基于改进式城市大气质量变权可拓论评价模型的建立

赵晓亮<sup>1</sup>, 齐庆杰<sup>1</sup>, 周扬<sup>1</sup>, 郑娇<sup>2</sup>

1. 辽宁工程技术大学资源与环境工程学院, 辽宁阜新 123000
2. 南京理工大学化工学院, 南京 210094

**摘要** 为实现可拓论经典集合中“属于”和“不属于”集合的定性描述扩展到精准定量描述, 依据大气质量等级标准和大气质量影响因子构造经典域物元和节域物元; 实现关联函数逻辑域由  $(0, 1)$  到  $(-\infty, +\infty)$  的扩展; 并采用层次分析法 (AHP) 确定特征加权; 考虑到大气样本并没有严格的属性, 以及它们在形态和类属方面存在着中介性, 确定了对人类生理健康影响较大的  $PM_{10}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$ 、 $CO$  和降尘 5 项评价因子; 建立变权可拓论的城市大气质量评价模型; 新模型不仅可以体现城市大气质量整体等级水平, 而且通过质量与等级的关联度可以辨识影响大气质量的主次要污染因子。以阜新市 2010 年大气环境质量为应用评价对象, 将应用评价结果与上海大气质量指数法、模糊综合评判法的结果比较, 给出新模型在大气质量评价应用中的适用性。应用型新模型的建立城市大气环境质量的评价与治理均具有一定的理论价值与现实指导意义。

**关键词** 大气质量评价; 可拓论; 层次分析法; 加权

**中图分类号** X823

**文献标识码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.01.013

## Model Establishment for the City Air Quality Assessment Based on Improved Extension Theory with Varying Weights

ZHAO Xiaoliang<sup>1</sup>, QI Qingjie<sup>1</sup>, ZHOU Yang<sup>1</sup>, ZHENG Jiao<sup>2</sup>

1. College of Resource and Environment Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning Province, China
2. Institute of Chemical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China

**Abstract** In order to realize quantitative description of logical domain instead of "belong to" or "not belong to" some set in classical extenics, an extenics engineering method was combined with cluster analysis to construct classical and limited matter elements according to air quality standards and main factors affecting air quality. The logical domain was extended from  $(0, 1)$  to  $(-\infty, +\infty)$ . Analytic Hierarchy Process (AHP) was used to determine weights of air quality factors and establish improved extenics model with varying weight for assessing air quality. In view of no-strict attributes of city atmosphere sample and betweenness of their form and class attribute, five assessment factors which have great influence on the human health i.e.  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ , and Fallen Dust are identified. The new model not only could reflect the whole level of air quality, but also identify the main air pollution facts which exert great impact. An improved extenics model is used to assess air quality in Fuxin city in the year of 2010. And then the results are compared with the results based on Shanghai air quality index method and fuzzy comprehensive evaluation method. The serviceability of new model in the applications of air quality assessment is analyzed. To a certain degree, the establishment of application-typed model dedicated to assessment and control of city atmosphere has its theoretical value and realistic guiding significance.

**Keywords** air quality assessment; extension theory; Analytic Hierarchy Process; weight

### 0 引言

城市大气环境是一个复杂的系统, 时空变化性很强, 存

在很多未确知因素<sup>[1]</sup>。评价城市大气环境质量可以应用如指数法、模糊综合评价法、灰色理论、未知数学理论和计算机技

收稿日期: 2011-10-08; 修回日期: 2011-12-02

基金项目: 辽宁省教育厅科学技术研究项目 (2009A-336)

作者简介: 赵晓亮, 讲师, 研究方向为环境系统模拟与评价, 电子信箱: zhaoxiaoliang2008@126.com

术等方法<sup>[2]</sup>。这些评价方法有各自的特点,但是在某个环节也均存在着一定缺点,如单因子指数法对较复杂的污染现象不太适用,综合指数法的评价准则比较主观<sup>[3]</sup>,又如模糊数学评价法在评价因子的选择,权重的确定和算子的选择上存在差异<sup>[4]</sup>,并且存在因采用最大-最小计算算子而损失大批原始信息或对隶属同一级别的对象做不到进行更细微识别的不足<sup>[5]</sup>。因此对现有的评价方法进行有效补充和更进一步研究具有十分积极的意义。

鉴于可拓论里构成可拓物元集的元素内部结构是能够变动和分解的,元素在集合中的“地位”也能改变,所以可拓论能够比较合理的描述自然现象和社会现象中各种事物的内部结构和彼此间的关系以及事物变化。本文实现了关联函数逻辑域的值域拓展与特征权重的确立,完成可拓论模型的改进,并应用于大气质量的评价研究。因此,对环境评价理论的丰富与延伸具有重要的理论价值和现实意义。

### 1 大气环境评价的物元模型

物元及其变换的物元理论和作为定量化工具的可拓集合论构成了可拓论的两个支柱<sup>[6]</sup>。物元分析是用来处理在某些条件下,用通常的方法无法达到预期目标的不相容问题的规律的一种分析方法<sup>[7-8]</sup>,现应用于城市大气环境系统评价。在物元分析中,共同组成物元为

$$R=(M,c,x) \quad (1)$$

其中, $M$ 为所描述的事物, $c$ 为特征, $x$ 为量值。

如果一个事物  $M$  需用  $n$  个特征  $c_1, c_2, \dots, c_n$  及其相应的量值  $x_1, x_2, \dots, x_n$  描述,则为  $n$  维物元,可用矩阵表示为

$$R = \begin{bmatrix} M & c_1 & x_1 \\ & c_2 & x_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & x_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

## 2 建立基于改进式可拓论的大气质量评价模型

### 2.1 确定经典域与节域

可拓论模型的评价机理与模糊聚类非常一致,参照“模糊聚类的类别——评价对象”体系建立“可拓论模型的经典域——评价节域”体系。

令

$$R_{0j}=(N_{0j},c,V_{0j}) = \begin{bmatrix} N_{0j} & c_1 & V_{0j1} \\ & c_2 & V_{0j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & V_{0jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{0j} & c_1 & \langle a_{0j1}, b_{0j1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{0j2}, b_{0j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{0jn}, b_{0jn} \rangle \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中, $N_{0j}$ 为所划分的第  $j$  个质量等级; $c_i(i=1,2,\dots,n)$ 为质量等级  $N_{0j}$  的特征(大气质量指标); $V_{0ji}$ 为  $N_{0j}$  关于特征  $c_i$  所规定的量值范围,即各质量等级关于对应的特征所取的数据范围,即经典域<sup>[9-10]</sup>。

令

$$R_D=(D,c,V_D) = \begin{bmatrix} D & c_1 & V_{D1} \\ & c_2 & V_{D2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & V_{Dn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D & c_1 & \langle a_{D1}, b_{D1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{D2}, b_{D2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{Dn}, b_{Dn} \rangle \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中, $D$ 为质量等级的全体; $V_{Dk}$ 为  $D$  关于特征  $c_i$  所取的量值的范围,即  $D$  的节域。

### 2.2 确定待评物元

对评价对象  $p$ ,把测量所得的数据或分析结果用物元表示,称为评价对象的待评物元,即

$$R = \begin{bmatrix} p & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中, $p$ 表示评价对象; $v_i$ 为  $p$  关于特征  $c_i$  的量值,即评价对象检测所得的具体数据<sup>[11]</sup>。

### 2.3 首次评价

对评价对象  $p$ ,首先用非满足不可的特征  $c_k$  的量值  $v_{ik}$  评价。若  $v_{ik} \notin V_{0ik}$ ,则认为评价对象  $p$  不满足“非满足不可的条件”,不予评价;否则进入下一个步骤。

### 2.4 确定各特征的权重

通常采用权重来反映重要性的差别<sup>[12]</sup>。权重的确定采用层次分析法。非满足不可的特征  $c_k$ ,记其权重为  $\Lambda$ ,其他特征

的权重为  $a_i$ ,且  $\sum_{i=1, i \neq k}^n a_i = 1$ 。

### 2.5 建立关联函数,确定质量等级的关联度

关联函数  $K_j(v_i)$  的计算公式为

$$K_j(v_i) = \begin{cases} \frac{\rho(v_i, V_{0ji})}{|v_i|} & v_i \in V_{0ji} \\ \frac{\rho(v_i, V_{0ji})}{\rho(v_i, V_{Dk}) - \rho(v_i, V_{0ji})} & v_i \notin V_{0ji} \end{cases} \quad (6)$$

其中, $\rho(v_i, V_{0ji})$ 为点与区间  $V_{0ji}$  的距, $\rho(v_i, V_{Dk})$ 为点与区间  $V_{Dk}$  的距。

其中

$$\rho(v_i, V_{0ji}) = \left| v_i - \frac{a_{0ji} + b_{0ji}}{2} \right| - \frac{b_{0ji} - a_{0ji}}{2} \quad (7)$$

则计算评价对象  $p$  关于等级  $j$  的综合关联度

$$K_j(p) = \sum_{i=1}^n a_i K_j(v_i) \quad (8)$$

### 2.6 评定大气质量等级

若  $K_s(p) = \max K_j(p)$ ,其中  $s \in \{1, 2, \dots, m\}$ ,则评定  $p$  属于等级  $s$ 。

## 3 基于改进式可拓论大气质量评价模型的应用

以阜新市 2010 年大气环境质量为评价对象,应用可拓论评价模型进行全市大气质量等级以及首要污染物的评价,大气质量因子<sup>[13-14]</sup>监测数据(其中,降尘以平均每月计量)如表 1 所示。

表 1 阜新各功能区的季节均值

Table 1 Mean value of each season in every functional areas of Fuxin

污染物	PM <sub>10</sub> /(mg·m <sup>-3</sup> )	SO <sub>2</sub> /(mg·m <sup>-3</sup> )	NO <sub>2</sub> /(mg·m <sup>-3</sup> )	CO /(mg·m <sup>-3</sup> )	降尘 DP /(t·km <sup>-2</sup> )
日均值	0.239	0.056	0.026	1.2	19.7

### 3.1 确定经典域和节域

大气质量等级可以划分为 3 个等级,各等级的经典域物元为

$$R_{01} = \begin{bmatrix} N_{01} & PM_{10} & <0.08, 0.12> \\ & SO_2 & <0.03, 0.05> \\ & NO_2 & <0.05, 0.08> \\ & CO & <1.00, 3.00> \\ & DP & <1.00, 5.00> \end{bmatrix}$$

$$R_{02} = \begin{bmatrix} N_{02} & PM_{10} & <0.12, 0.30> \\ & SO_2 & <0.05, 0.15> \\ & NO_2 & <0.08, 0.12> \\ & CO & <3.00, 4.00> \\ & DP & <5.00, 8.00> \end{bmatrix}$$

$$R_{03} = \begin{bmatrix} N_{03} & PM_{10} & <0.30, 0.50> \\ & SO_2 & <0.15, 0.25> \\ & NO_2 & <0.12, 0.13> \\ & CO & <4.00, 6.00> \\ & DP & <8.00, 20.00> \end{bmatrix}$$

节域物元为

$$R_D = \begin{bmatrix} D & PM_{10} & <0.06, 0.60> \\ & SO_2 & <0.02, 0.30> \\ & NO_2 & <0.03, 0.15> \\ & CO & <0.50, 6.50> \\ & DP & <0.50, 20.50> \end{bmatrix}$$

### 3.2 确定待评物元

待评物元为

$$R = \begin{bmatrix} N & PM_{10} & 0.239 \\ & SO_2 & 0.056 \\ & NO_2 & 0.026 \\ & CO & 1.2 \\ & DP & 19.7 \end{bmatrix}$$

### 3.3 首次评价

在大气质量等级指标体系中,没有非满足不可的指标(特征),故该步可省略。

### 3.4 确定各特征的权重

利用层次分析法<sup>[15-16]</sup>建立“比较判断”矩阵,本文利用选取的 5 个大气质量指标因子,通过专家调查,即在确定评价指标的基础上,由各个专家根据其多年的工作和实践经验对

各个指标的重要程度进行两两比较,建立“比较判断”矩阵,利用 Matlab 计算出矩阵的特征值与对应特征向量,一致性检验满足的条件下,得出各污染因子的权重为

$$W = (0.238, 0.109, 0.068, 0.054, 0.531)$$

### 3.5 建立关联函数,确定各质量等级的关联度

根据式(6)和式(7),可计算大气质量与大气质量等级的关联度为

$$K_1 = \begin{bmatrix} -0.399 & 0.003 & -0.254 \\ 0.033 & 0.06 & -0.723 \\ 1.2 & 1.08 & -1.047 \\ 0.1 & -0.72 & -0.8 \\ -0.948 & -0.936 & 0.025 \end{bmatrix}$$

### 3.6 计算全市大气质量的综合关联度

根据式(8),可得大气质量的综合关联度  $K_{p1} = W \cdot K_1 = (-0.508, -0.455, -0.240)$ ,所以-0.240 为最大值,对应等级为 III。

### 3.7 评价方法对比分析

对同一组数据,采用模糊综合评价模型、上海大气质量指数法<sup>[17-18]</sup>评价阜新市大气质量等级及首要污染物,得到结果如表 2 所示。

表 2 不同模型评价结果比较  
Table 2 Comparison of evaluation results based on different models

评价方法	大气质量等级	首要污染因子
改进式可拓论评价法	III	DP, PM <sub>10</sub>
模糊综合评价法	III	DP
上海大气质量指数法	III	DP

采用模糊综合评价模型、上海大气质量指数法对比分析可知:可拓论评价法、模糊综合评价法和上海大气质量指数法 3 种评价方法的评价结果吻合良好,评价结果均为 III 级,比较客观,符合阜新实际大气质量状况。并且由改进式可拓论评价法的关联度计算可以进一步可知:降尘在全市的众多污染因子中所占比重最大,为首要污染物,PM<sub>10</sub>次之,SO<sub>2</sub>第 3,NO<sub>2</sub>第 4,CO 比重最小。阜新市是以煤炭电力工业为主的城市,地属北温带大陆型季风气候区,风沙较大,气候干燥,多风引起的扬尘对大气污染的贡献很大,冬季采暖是 PM<sub>10</sub>、降尘污染严重的重要原因。

## 4 结论

(1) 建立基于改进式可拓论的城市大气质量评价模型;新模型能够处理在实际城市大气环境质量评价中出现的多指标决策的不相容问题,评价结果真实可靠,有较好的分辨能力,简便易操作,便于计算机编程。

(2) 新模型的特点是在计算关联度前要计算监测点到评

价标准的距离(基于点到区间距离),在计算关联度时,监测值在评价级别区间外距值为正,关联度值为负;监测值在评价级别区间内距值为负,关联度为正。这种结合以层次分析法确定权重的处理方法考虑了级别区间内外的变化特征。

(3) 新模型评价结果不仅可以体现城市大气质量整体等级水平,而且可以通过质量与等级的关联度可以辨识影响城市大气质量的主次要污染因子,并体现相应的污染贡献。

### 参考文献 (References)

- [1] 赵晓亮, 宋子岭, 包晓明. 煤矿城市大气质量评价的变权识别模型的建立及应用研究[J]. 能源环境保护, 2007, 21(6): 52-55.  
Zhao Xiaoliang, Song Ziling, Bao Xiaoming. *Energy Environmental Protection*, 2007, 21(6): 52-55.
- [2] 刘琦, 潘伟斌. 环境质量评价[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2004: 36-48.  
Liu Qi, Pan Weibin. *Environment quality assessment* [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2004: 36-48.
- [3] 王俭, 朱峰, 刘渊. 智能分布式 LonWorks 水环境监测系统研究 [J]. 微计算机信息, 2010(1-1): 75-77.  
Wang Jian, Zhu Feng, Liu Yuan. *Microcomputer Information*, 2010(1-1): 75-77.
- [4] Goodchild M F, Parks B O, Steyaert L T. Environmental modeling with GIS[M]. New York: Oxford University Press, 1993: 20-25.
- [5] Stockwell W R, Kirchner R, Kuhn M. A new mechanism for regional atmospheric chemistry modelling [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102(D22): 25847-25879.
- [6] 王杨锋, 左洪超, 马雁军, 等. 应用 Model-3 模式系统对沈阳市大气质量的数值模拟研究[J]. 环境科学学报, 2007, 27(3): 487-493.  
Wang Yangfeng, Zuo Hongchao, Ma Yanjun, et al. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(3): 487-493.
- [7] 宋鹭, 龚为民. 大气环境质量的模糊综合评判方法 [J]. 上海环境科学, 1999, 18(1): 13-15.  
Song Lu, Gong Weimin. *Shai Hai Environmental Science*, 1999, 18(1): 13-15.
- [8] Jia Z Y, Ma J W, Wang F J, et al. Characteristics forecasting of hydraulic value based on grey correlation and ANFIS [J]. *Expert Systems with Application*, 2010, 37(2): 1250-1255.
- [9] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术出版社, 1994: 30-50.  
Cai Wen. *Accomplishment of matter-element model* [M]. Beijing: Science and Technology Press, 1994: 30-50.
- [10] Cai W. Method of matter elements analysis[J]. *Busefal*, 1984, 20(4): 51-56.
- [11] 赵晓亮, 宋子岭. 基于变权欧式距离模型的大气环境质量评价[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2005, 24(5): 643-645.  
Zhao Xiaoliang, Song Ziling. *Journal of Liaoning Technical University*, 2005, 24(5): 643-645.
- [12] 王锦国, 张乾飞, 袁永生. 城市大气质量综合评价的可拓方法 [J]. 中国环境监测, 2001, 17(6): 47-49.  
Wang Jinguo, Zhang Qianfei, Yuan Yongsheng. *Environmental Monitoring in China*, 2001, 17(6): 47-49.
- [13] 任阵海, 万本太, 苏福庆, 等. 当前我国大气环境质量的几个特征[J]. 环境科学研究, 2004, 17(1): 1-6.  
Ren Zhenhai, Wan Bentai, Su Fuqing, et al. *Research of Environmental Sciences*, 2004, 17(1): 1-6.
- [14] Hao J M, Duang L, Zhou X L. Application of a LR model to acid raid control in China[J]. *Environ Sci Technol*, 2001, 35(17): 3407-3415.
- [15] 马锋敏, 高庆先, 周锁铨, 等. 北京及周边地区一次典型大气污染过程的模拟分析[J]. 环境科学研究, 2008, 21(1): 30-36.  
Ma Fengmin, Gao Qingxian, Zhou Suoquan, et al. *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(1): 30-36.
- [16] 鲁然英. 城市环境大气质量及其评价方法研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2004: 15-35.  
Lu Ranying. Study on the city ambient air quality and the assessment methods[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2004: 15-35.
- [17] Richards M M. Grid-based analysis of air pollution data [J]. *Ecological Modelling*, 2006, 194(3): 274-286.
- [18] 吴宁. 模糊综合法在城市环境质量评价中的应用[J]. 气象科技, 2005, 33(6): 548-549.  
Wu Ning. *Meteorological Science and Technology*, 2005, 33(6): 548-549.

(责任编辑 郑伟, 刘志远)

### · 学术动态 ·

## “第十九届全国玻璃钢 / 复合材料学术年会”征文

由中国硅酸盐学会玻璃钢分会主办, 2012年10月1日在重庆市召开“第十九届全国玻璃钢/复合材料学术年会”。

征文范围: (1) 基础研究; (2) 材料研究; (3) 基本性能; (4) 复合材料力学及设计; (5) 成型工艺; (6) 设备及模具等; (7) 测试技术及标准; (8) 产品研究、开发应用及管理; (9) 基础设施、航空航天、风力发电、轨道交通、电力及桥梁等复合材料有关; (10) 国内外玻璃钢/复合材料及原辅材料发展现状的综述等; (11) 有关我国复合材料行业的热点问题的讨论。

论文截止日期: 2012年7月30日。

联系电话: 010-57811296。

通信地址: 北京市海淀区三里河路11号南配楼403室(100831)。

大会网站: <http://www.china-frp.com.cn/>。

