

李晓雪, 卢新卫. 基于熵权的西安市大气环境质量模糊综合评价[J]. 环境科学与技术 2012 35(4): 195-199. Li Xiao-xue, Lu Xin-wei. Fuzzy comprehensive evaluation of atmospheric environmental quality in Xi'an City based on entropy of weight of evaluating indicators[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 35(4): 195-199.

基于熵权的西安市大气环境质量模糊综合评价

李晓雪, 卢新卫*

(陕西师范大学旅游与环境学院 陕西 西安 710062)

摘要 : 针对传统方法在评价大气环境质量中存在评价因素单一, 不能反映多种污染物对大气环境的综合影响等缺点, 文章运用模糊综合评价理论并结合熵值赋权法, 选取 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 三个污染因子为评价参数, 参照国家大气环境质量标准, 通过计算污染因子权重分配系数和隶属度, 对 2006 年、2010 年西安市区及其不同功能区的大气环境质量作出客观综合评价并加以对比。评价结果表明, 2010 年西安市区大气环境质量符合国家一级标准, 较 2006 年无明显改善且有潜在污染加剧的趋势, 西安市内交通区、工业区的大气环境质量劣于全市平均水平, 是全市大气环境治理的重点区域, PM_{10} 为西安市区最主要污染因子, 在全市污染影响普遍, 但近年 NO_2 污染呈现的上升趋势也应引起警惕。

关键词 : 大气环境质量; 模糊综合评价; 熵权; 功能区; 西安市

中图分类号: X823 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1003-6504.2012.04.042 文章编号: 1003-6504(2012)04-0195-05

Fuzzy Comprehensive Evaluation of Atmospheric Environmental Quality in Xi'an City Based on Entropy of Weight of Evaluating Indicators

LI Xiao-xue, LU Xin-wei*

(College of Tourism and Environment, Shanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract : The atmospheric environmental quality of Xi'an City and its different function districts were evaluated by using method of fuzzy comprehensive evaluation with the entropy method for weight determination, selecting SO_2 , NO_2 , PM_{10} as evaluation factors, consulting the standards relevant to atmospheric environment and calculating the weight of distribution coefficients and grade attachment of atmospheric pollution factors. The method of fuzzy comprehensive evaluation can give a more objective result than traditional methods. The comprehensive assessment results indicate that air environmental quality of Xi'an in 2010 belongs to Class I and no significant improvement over 2006, even show the trend of increasing pollution; the air environmental quality of industrial area and traffic area lower than the average level, are as the main control areas. PM_{10} is the main pollutant, but trend of increasing pollution shown in recent years should also cause vigilance.

Key words : atmospheric environmental quality; fuzzy comprehensive evaluation; entropy; function district; Xi'an City

模糊综合评价法是根据模糊数学的隶属度理论对受多个因素影响的事物作出全面评价的多因素评价方法, 具有结果清晰、系统性强的特点, 能较好地解决模糊的、难以量化的问题。目前, 该方法已广泛应用于工程技术、社会经济等各个领域, 近年来越来越多的用于环境生态方面, 如: 土壤环境质量、水体环境质量、大气环境质量和城市生态安全的评价^[1-6], 可有

效地解决评价标准边界模糊和监测误差等问题对评价结果的影响。

在模糊综合评价中, 权重的设计是一项重要内容, 对评价结果有很重要的影响。以往文献中较常采用超标倍数赋权法^[6-7], 即根据评价对象的各评价指标的监测值相对于标准值的超标程度来确定各评价指标的权重。这是一种主因素突出型的赋权方法, 当同

《环境科学与技术》编辑部 (网址) <http://fjks.chinajournal.net.cn/> (电话) 027-87643502 (电子信箱) hjksyjs@126.com

收稿日期: 2011-06-25, 修回: 2011-09-29

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划项目 (NCET-05-0861); 中央高校基本科研业务费专项资金项目资助 (GK200901008)

作者简介: 李晓雪 (1986-), 女, 硕士研究生, 研究方向为环境评价与治理 (手机) 15929737613 (电子信箱) lxx1808@sina.com; * 通讯作者, 教授, 博导 (电子信箱) luxinwei@snnu.edu.cn。

时面对多个评价对象时,需要分别计算每个对象
的各评价指标的权重值,运算量过大,却并不能考虑到
不同监测点位间的相互关系,导致评价结果不够准
确。本文将熵权法引入权重的计算中,可综合考虑评
价中各因素所提供的信息,根据各评价指标反映的
信息熵,即各监测值的差异程度来确定权重,从而给
出客观、可靠的评价结果,还能大大减少运算量。

本文采用模糊综合评价法对 2006 年、2010 年西
安市区及各功能区的大气环境质量进行评价,并将评
价结果加以对比分析,以期对西安市环境防治方
案和城市总体规划的制定提供科学理论依据。

1 研究区概况

西安市位于关中盆地中部的渭河南岸,东经 107°
40'~109°49'和北纬 33°39'~34°45'之间,现辖 10 个
区、4 个县,辖区总面积 11 053 km²,其中市区面积 3
782 km²。西安市地势起伏较小,海拔高度 400 m~600
m,包括渭河及其支流形成的冲积平原以及山前洪积
扇平原与黄土台塬等,地貌类型比较复杂,分布规律
明显。西安市属暖温带半湿润大陆性季风气候,四季
分明,夏季炎热多雨,冬季寒冷少雨雪。市区年均气温
13.7~15.6℃,年均降水量 504.7~719.8 mm,年均相对
湿度 70%~78%,常年主导风向为东北风。

西安是我国中西部地区重要的科研、高等教育、
国防科技工业和高新技术产业基地。近年来,西部大

开发推动了西安的高新技术产业蓬勃发展,但是原有
以重工业占主要地位的基础格局尚未改变,一些大型
的重污染行业,如:设备制造、纺织、石化、电力、制药
等,在较长时间内还将保持着支柱产业的地位。不断
增加的人口也使得能源需求逐年扩张,西安市能源消
费以煤炭为主,其次是电力、天然气。

2 材料与方法

2.1 数据收集

西安市环境监测站在市区内几个不同方位的功
能区布设了大气环境质量监测站点,分别位于:西安
高压开关厂、兴庆小区、纺织城、小寨、草滩。2007 年新
增了市人民体育场、高新西区、经开区 3 个监测点。
监测的主要项目有 SO₂、NO₂、PM₁₀,监测方法按照环
境监测规程规定分析方法,监测频率为 24 h 连续采
样。本文选取了西安市环境监测站 2006 年在 5 个站
点和 2010 年在 8 个站点对大气中 3 种污染物的监测
数据来进行模糊综合评价。见表 1。

2.2 评价方法和程序

采用模糊综合评价法^[8-11],选取具有代表性、合理
性、准确性的评价参数,建立评价因素集合:U={u₁, μ₂,
… μ_n},式中 n 为评价参数的个数。

参照国家环境质量标准建立评价集:V={v₁, ν₂,
… ν_m},式中 m 为评价标准的级数。大气环境质量标
准(GB3095-1996)共划分了 3 级,见表 2。

表 1 2006 年、2010 年西安市各监测站点大气污染物年平均浓度
Table 1 The annual average data of atmospheric pollution of Xi'an City in 2006 and 2010 (mg/m³)

监测点	2006 年			2010 年		
	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀
高压开关厂	0.051	0.045	0.141	0.045	0.054	0.134
兴庆小区	0.051	0.036	0.139	0.035	0.048	0.126
纺织城	0.052	0.04	0.123	0.035	0.059	0.116
小寨	0.06	0.046	0.123	0.042	0.058	0.126
草滩	0.042	0.031	0.127	0.029	0.035	0.136
市体育场	-	-	-	0.049	0.067	0.126
高新西区	-	-	-	0.04	0.051	0.124
经开区	-	-	-	0.031	0.035	0.126
全市均值	0.051	0.04	0.131	0.038	0.051	0.127

注:资料来源于西安市环境保护局 2006、2010 年西安市环境质量报告。

表 2 国家大气环境质量标准
Table 2 National atmospheric environmental quality standards of China (mg/m³)

污染物名称	取值时间	浓度限值		
		一级标准	二级标准	三级标准
SO ₂	年平均	0.02	0.06	0.10
NO ₂	年平均	0.04	0.04	0.08
PM ₁₀	年平均	0.04	0.10	0.15

隶属度函数为分段线性函数,通过隶属度函数可
以计算出各评价参数对各级评价标准的隶属度。隶属
函数如下:

第一级:

$$r_{i1} = \begin{cases} 1 & c_i \leq v_{i1} \\ (c_i - v_{i2}) / (v_{i1} - v_{i2}) & v_{i1} < c_i < v_{i2} \\ 0 & c_i \geq v_{i2} \end{cases} \quad (1)$$

第二级:

$$r_{i2} = \begin{cases} 0 & c_i \leq v_{i1}, c_i \geq v_{i3} \\ (c_i - v_{i1}) / (v_{i2} - v_{i1}) & v_{i1} < c_i < v_{i2} \\ (c_i - v_{i3}) / (v_{i2} - v_{i3}) & v_{i2} < c_i < v_{i3} \end{cases} \quad (2)$$

第三级:

$$r_{i3} = \begin{cases} 0 & c_i \leq v_{i2} \\ (c_i - v_{i2}) / (v_{i3} - v_{i2}) & v_{i2} < c_i < v_{i3} \\ 1 & c_i \geq v_{i3} \end{cases} \quad (3)$$

式中 c_i 为第 i 个评价参数的实测值, v_{ij} 为第 i 个评价参数在第 j 级评价标准规定的标准值 ($i=1, 2, \dots, n$; $j=1, 2, \dots, m$)。

把各监测点位的实测值和各级浓度标准值代入隶属度函数公式中, 即可组成单因素评价矩阵:

$$R = (r_{ij})_{n \times m} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{pmatrix}$$

式中 r_{ij} 为第 i 个评价参数对第 j 级评价标准的隶属度 ($i=1, 2, \dots, n$; $j=1, 2, \dots, m$)。

由于各个评价参数对大气环境质量的影晌程度不尽相同, 因此, 合理的确定各个评价参数的权重在模糊综合评价中十分重要。本文把熵值法引入权重的确定中^[12], 涉及多个评价对象时; 采用熵值法对各因子赋权, 只需 1 次计算即可, 计算方法如下:

$$w_i = \frac{1 - H_i}{n - \sum_{i=1}^n H_i} \quad (4)$$

式中 w_i 为第 i 个评价参数的权重, 且 $0 \leq w_i \leq 1$,

$\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。 H_i 为第 i 个评价参数的熵值, 计算方法如下:

$$H_i = -k \sum_{j=1}^p f_{ij} \ln f_{ij} \quad (5)$$

$$f_{ij} = e_{ij} / \sum_{j=1}^p e_{ij} \quad k = 1 / \ln p \quad (6)$$

式中 p 为监测点位的数量, e_{ij} 为第 i 个评价参数在第 j 个监测点位经归一化后的实测值 ($i=1, 2, \dots, n$; $j=1, 2, \dots, p$)。

由权重矩阵与单因素评价矩阵进行模糊矩阵运算, 即可得到模糊综合评价矩阵。其运算方法有 2 种, 一种是“ \cap (交) 和 \cup (并)”算子, 另一种是“ \cdot (乘号) 和 \cup (并) 算子”, 此处采用后一种算法, 因为其对所有因素依权重大小均衡兼顾, 适用于各因素起作用的情况。

$$B = W \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_m)$$

式中 $b_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot r_{ij}$ ($j=1, 2, \dots, m$)。最大的 b_j 所在的级别就决定了评价对象的大气环境质量所处的级别。

3 评价结果

根据西安市监测站监测的主要项目, 选取 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 3 个主要污染因子构成评价因素集合:

$$U = \{SO_2, NO_2, PM_{10}\}$$

将 2006 年与 2010 年各个监测站点实测所得的 3 种污染物年均浓度值和国家大气环境质量标准中规定的各级浓度限值分别代入隶属度函数(1)、(2)、(3), 即得到单因素评价矩阵 $R_1 \sim R_6$ 与 $R_1^* \sim R_9^*$, 从中可以得出各单项评价参数对三级大气环境质量的隶属度(见表 3)。使用熵值法来计算 2006 年与 2010 年各评价参数的权重, 将 3 个评价参数在各个点位经归一化后的实测值代入公式(4)、(5)、(6), 可分别得到 2006 年与 2010 年西安市大气污染因子 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 的权重, 权重矩阵为:

$$W = (0.313, 0.284, 0.403)$$

$$W^* = (0.333, 0.222, 0.444)$$

表 3 单因素评价结果 $R_1 \sim R_6$ 、 $R_1^* \sim R_9^*$
Table 3 The fuzzy matrix for sampling site 1~6 and 1*~9*

监测点	评价标准	2006 年			2010 年		
		SO_2	NO_2	PM_{10}	SO_2	NO_2	PM_{10}
高压开关厂	级	0.225	0	0	0.375	0	0
	级	0.775	0.875	0.18	0.625	0.65	0.32
	级	0	0.125	0.82	0	0.35	0.68
兴庆小区	级	0.225	1	0	0.625	0	0
	级	0.775	0	0.22	0.375	0.8	0.48
	级	0	0	0.78	0	0.2	0.52
纺织城	级	0.2	1	0	0.625	0	0
	级	0.8	0	0.54	0.375	0.525	0.68
	级	0	0	0.46	0	0.475	0.32
小寨	级	0	0	0	0.45	0	0
	级	1	0.85	0.54	0.55	0.55	0.48
	级	0	0.15	0.46	0	0.45	0.52
草滩	级	0.45	1	0	0.775	1	0
	级	0.55	0	0.46	0.225	0	0.28
	级	0	0	0.54	0	0	0.72
市体育场	级	-	-	-	0.275	0	0
	级	-	-	-	0.725	0.325	0.48
	级	-	-	-	0	0.675	0.52
高新西区	级	-	-	-	0.5	0	0
	级	-	-	-	0.5	0.725	0.52
	级	-	-	-	0	0.275	0.48
经开区	级	-	-	-	0.725	1	0
	级	-	-	-	0.275	0	0.48
	级	-	-	-	0	0	0.52
全市均值	级	0.225	1	0	0.55	0	0
	级	0.775	0	0.38	0.45	0.725	0.46
	级	0	0	0.62	0	0.275	0.54

使用算子 $M(\cdot, +)$ 进行模糊矩阵复合运算, 得到模糊综合评价矩阵 $B_1 \sim B_6$ 、 $B_1^* \sim B_9^*$:

$$B_1 = W \cdot R_1 = (0.07, 0.565, 0.365)$$

$$B_2 = W \cdot R_2 = (0.354, 0.332, 0.314)$$

$$B_3 = W \cdot R_3 = (0.347, 0.468, 0.185)$$

$$B_4=W \cdot R_4=(0 \ 0.772 \ 0.228)$$
$$B_5=W \cdot R_5=(0.425 \ 0.357 \ 0.218)$$
$$B_6=W \cdot R_6=(0.354 \ 0.396 \ 0.25)$$
$$B_1^*=W^* \cdot R_1^*=(0.125 \ 0.495 \ 0.38)$$
$$B_2^*=W^* \cdot R_2^*=(0.208 \ 0.516 \ 0.276)$$
$$B_3^*=W^* \cdot R_3^*=(0.208 \ 0.545 \ 0.247)$$
$$B_4^*=W^* \cdot R_4^*=(0.15 \ 0.52 \ 0.33)$$
$$B_5^*=W^* \cdot R_5^*=(0.48 \ 0.2 \ 0.32)$$
$$B_6^*=W^* \cdot R_6^*=(0.09 \ 0.53 \ 0.38)$$
$$B_7^*=W^* \cdot R_7^*=(0.167 \ 0.559 \ 0.274)$$
$$B_8^*=W^* \cdot R_8^*=(0.463 \ 0.305 \ 0.232)$$
$$B_9^*=W^* \cdot R_9^*=(0.18 \ 0.52 \ 0.3)$$

根据以上模糊矩阵运算结果及最大隶属度原则,将西安各监测站点及整个市区的大气环境质量

进行分级归类(见表 4) 2006 年西安市 5 个监测点中,高压开关厂(西郊工业区)、纺织城(东郊工业、交通、居民混合区)、小寨(交通商业区)3 个点位大气环境质量属于 级,兴庆小区(居民文教区)、草滩(清洁对照点)2 个点位大气环境质量属于 级,全市综合大气环境质量达到国家大气环境质量级标准;2010 年的 8 个监测点中,高压开关厂(西郊工业区)、兴庆小区(居民文教区)、纺织城(东郊工业、交通、居民混合区)、小寨(交通商业区)、市体育场(中心交通区)、高新西区(交通、商务、居民区)6 个点位的大气环境质量属于 级,草滩(清洁对照点)、经开区(商务居民区)2 个点位的大气环境质量属于 级,全市综合大气环境质量仍为国家大气环境质量 级标准。

表 4 西安市区及各功能区模糊综合评价结果
Table 4 The results of fuzzy comprehensive evaluation of Xi'an City and its different function districts

年份	高压开关厂	兴庆小区	纺织城	小寨	草滩	市体育场	高新西区	经开区	全市均值
2006 年	级	级	级	级	级	-	-	-	级
2010 年	级	级	级	级	级	级	级	级	级

4 结果分析

对 3 种污染因子的权重值计算结果可知,3 种污染因子对西安市区大气环境质量的影响程度在 2006 与 2010 两年中变化不大,均为 PM₁₀>SO₂>NO₂,可吸入颗粒物是最主要污染因子,在各监测点浓度均超过国家二级标准,全市范围内污染影响普遍,其次是二氧化硫、二氧化氮。

根据模糊综合评价矩阵 B₁~B₆可知,小寨、高压开关厂监测点的模糊综合评价矩阵 B₄、B₁在 级和 级的隶属度高于全市均值的模糊综合评价矩阵 B₆在 级和 级的隶属度,说明 2006 年西安市各不同功能区中,市区南部的交通商业区和西郊工业区的大气污染相对较重;根据模糊综合评价矩阵 B₁^{*}~B₉^{*}可知,市体育场、高压开关厂和小寨监测点的模糊综合评价矩阵 B₆^{*}、B₁^{*}、B₄^{*}在 级和 级的隶属度高于全市均值的模糊综合评价矩阵 B₆^{*}在 级和 级的隶属度,说明 2010 年西安市各不同功能区中,位于市区中部的交通区、西郊工业区和市区南部的交通商业区的大气污染相对较重。可见,西安市交通区、工业区相对于其他功能区大气环境质量较差,是大气污染重点治理的区域,而市内居住区的大气质量表现出污染加重趋势,应引起注意。

对比 2 年监测数据可以看出,2010 年全市各监测点的二氧化硫年均浓度较 2006 年都有了较大幅度的减小(图 1),可吸入颗粒物的全市平均浓度也有所降

低(图 2)。说明西安市近几年来对这 2 种主要大气污染物的治理取得了一定成效。但经模糊综合评价法作出全面评价后得出,2010 年的西安市综合大气质量仍处于国家 级标准,较 2006 年并没有显著改善,而比较模糊综合评价矩阵 B₆与 B₆^{*},发现 2010 年西安市区综合大气质量的 级隶属度比 2006 年更大。究其原因,一个不容忽视的问题就是 NO₂ 浓度的增加,由图 3 可看出 2010 年各监测点位的 NO₂ 年均浓度都有所增加,且增幅不小。这说明 NO₂ 污染的逐年加重对西安市综合大气环境质量造成了很大影响。

5 结论

(1)2010 年西安市区大气环境质量符合国家 级标准,可以达到国家规定的大气环境质量要求,但与 2006 年相比,大气质量并无显著改善且有潜在污染加剧的趋势。可吸入颗粒物为西安市最主要大气污染因子,其次为二氧化硫、二氧化氮。

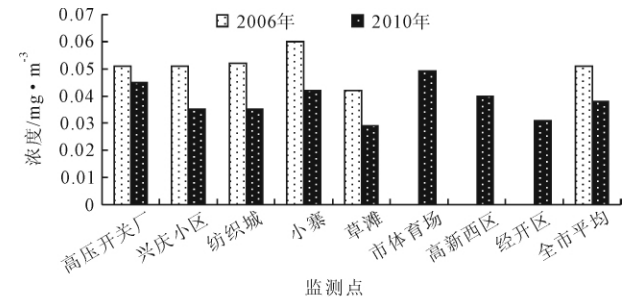


图1 2006、2010年西安市区及不同功能区SO₂污染情况
Fig.1 SO₂ pollution of Xi'an and different function districts in 2006 and 2010

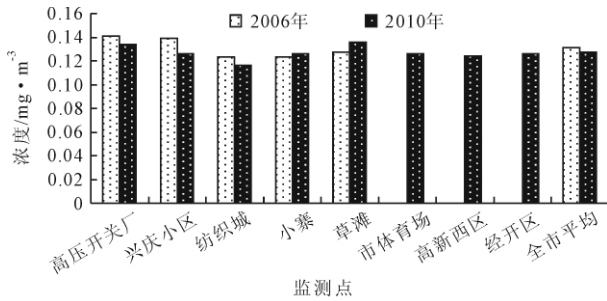


图2 2006、2010年西安市区及不同功能区PM₁₀污染情况
Fig.2 PM₁₀ pollution of Xi'an and different function districts in 2006 and 2010

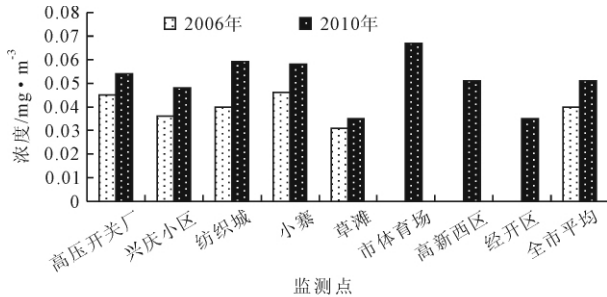


图3 2006、2010年西安市区及不同功能区NO₂污染情况
Fig.3 NO₂ pollution of Xi'an and different function districts in 2006 and 2010

(2)从空间分布上看,西安市不同功能区的大气环境质量存在一定差异,要提高西安市区整体大气环境质量,应将大气污染较重的交通区、工业区作为西安市大气环境治理的重点区域。

(3)西安市区近几年来“煤改气”、改变燃料结构和整治二次扬尘的工作取得了一定成效,2010年市区内二氧化硫和可吸入颗粒物浓度都有一定幅度下降,但作为主要大气污染因子,仍应继续加大对它的防治工作。随着西安市汽车拥有量的增多,二氧化氮污染呈现上升趋势,成为制约西安市大气环境质量提升的重要因素,应引起环保部门的足够重视。

【参考文献】

- [1] 赵春容,赵万民. 模糊综合评价法在城市生态安全评价中的应用[J]. 环境科学与技术, 2009, 33(3): 179-183.
Zhao Chun-rong, Zhao Wan-min. Application of fuzzy comprehensive evaluation to urban ecosystem assessment [J]. Environmental Science & Technology, 2009, 33(3): 179-183.(in Chinese)
- [2] 吴新国,王杰,彭书时,等. 武汉市2001-2005年大气环境质量模糊综合评价[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(10): 58-60.
Wu Xin-guo, Wang Jie, Peng Shu-shi, et al. Fuzzy comprehensive evaluation of ambient air quality in Wuhan [J]. Environmental Science & Technology, 2007, 30(10): 58-60.(in Chinese)
- [3] 王淑雨,马建华,韩晋仙,等. 最大熵模糊综合评价法在污灌区土壤重金属污染等级划分中的应用[J]. 安全与环境学报, 2010, 10(1): 30-34.

Wang Shu-yu, Ma Jian-hua, Han Jin-xian, et al. Application of the maximal comprehensive entropy fuzzy evaluation method to the contaminated soil grading in the sewage irrigated areas[J]. Journal of Safety and Environment, 2010, 10(1): 30-34.(in Chinese)

- [4] 宋海亮,吕锡武,李先宁. 太湖西段入湖河流水质模糊综合评价[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(1): 87-90.
Song Hai-liang, Lv Xi-wu, Li Xian-ning. Application of fuzzy comprehensive evaluation in water quality assessment for the west inflow of Taihu Lake[J]. Journal of Safety and Environment, 2006, 6(1): 87-90.(in Chinese)
- [5] 邹志红,孙靖南,任广平. 模糊评价因子的熵权法赋权及其在水质评价中的应用[J]. 环境科学学报, 2005, 25(4): 552-556.
Zou Zhi-hong, Sun Jing-nan, Ren Guang-ping. Study and application on the entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(4): 552-556.(in Chinese)
- [6] 杨文澜,李磊. 应用模糊数学法综合评价淮南市大气环境质量[J]. 气候与环境研究, 2009, 14(4): 452-454.
Yang Wen-lan, Li Lei. Fuzzy mathematics based comprehensive evaluation of atmospheric environmental quality in Huainan[J]. Climatic and Environmental Research, 2009, 14(4): 451-454.(in Chinese)
- [7] 梁淑轩,吴虹,李占成,等. 环境空气质量动态变化规律的模糊数学综合评价[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(6): 78-81.
- [8] 谢季坚,刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 2006.
Xie Ji-jian, Liu Cheng-ping. Approach and Application of Fuzzy Mathematics[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2006.(in Chinese)
- [9] 王海燕. 株洲市总体环境质量的模糊综合评价[J]. 环境管理, 2002, 66: 329-340.
Wang Hai-yan. Assessment and prediction of overall environmental quality of Zhuzhou City, Hunan[J]. Environmental Management, 2002, 66: 329-340.(in Chinese)
- [10] 温卡,EG,德米尔I,希兹H. 伊斯坦布尔空气质量的模糊综合评价[J]. 大气环境, 2004, 38: 3809-3815.
OnkalEngin Guleda, Demir Ibrahim, Hiz Halil. Assessment of urban air quality in Istanbul using fuzzy comprehensive evaluation[J]. Atmospheric Environment, 2004, 38: 3809-3815.(in Chinese)
- [11] 陈玉成. 环境数学分析[M]. 重庆:西南师范大学出版社, 1998.
- [12] 韩智霞,张江山. 基于熵权的模糊物元法对福建省大气环境质量的综合评价[J]. 安全与环境工程, 2009, 9(5): 30-33.
Han Zhi-xia, Zhang Jiang-shan. Fuzzy matter element model based on entropy coefficients and its applications to the comprehensive evaluation of Fujian's atmospheric environment quality[J]. Safety and Environmental Engineering, 2009, 9(5): 30-33.(in Chinese)