

基于模糊数学综合评价法 的生态保护发展区大气环境研究^①

邓 茂¹, 张永江^{1,2}, 李莹莹¹, 姚 靖¹, 刘先良¹

1. 重庆市黔江区环境监测中心站, 重庆 黔江 409099; 2. 西南大学 资源与环境学院, 重庆 400716

摘要: 运用模糊数学方法, 选用 SO_2 , NO_2 , PM_{10} 作为评价因子, 参照大气环境质量标准, 通过计算污染因子权重、权重分配系数和隶属度, 对生态保护发展区大气环境质量进行评价。模糊数学综合评价结果表明, 生态保护发展区“十二五”期间主要污染因子为 PM_{10} , 次要污染因子由 SO_2 逐渐变为 NO_2 , NO_2 污染呈现上升趋势应引起警惕。大气环境质量基本上处于清洁和轻度污染水平, 且大气环境质量有逐年改善趋势。

关键词: 生态保护发展区; 大气环境质量; 模糊数学; 综合评价

中图分类号: X51

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2017)07-0005-07

空气污染已经成为备受民众关注的热点。客观地分析大气环境质量现状, 对其发展趋势进行科学的评价, 才能采取有针对性的措施对大气环境进行有效的治理。因此对大气环境质量评价具有十分重要的意义。目前, 用于大气环境质量综合评价的方法比较多。如层次分析法^[1]、空气污染指数法^[2]、灰关联分析方法^[3-7]、人工神经网络法^[8]、模糊综合评价法^[9-12]等。其中常用的空气污染指数是将常规监测的几种空气污染物质量浓度(SO_2 , NO_2 , PM_{10})简化成为单一的概念性指数值形式, 将空气污染程度和空气质量状况分级表征, 对环境空气质量进行评价。该方法属于一种相对的评价方法, 忽略了污染物质量浓度间的统计差异性, 对空气质量的好坏并没有完全反应出来。

生态保护发展区地处武陵山脉, 紧邻黔北、湘西和鄂西, 是渝鄂湘黔四省市结合部, 位于重庆、武汉、长沙、贵阳四大城市辐射圈交汇地带。生态保护发展区由黔江区、石柱县、秀山县、酉阳县、武隆县、彭水县等 6 个区县组成, 幅员面积约 1.98 万 km^2 , 占重庆市总面积 20.6%, 总人口约 364 万人, 是国家重点生态功能区与重要生物多样性保护区。随着生态保护发展区工业化和城镇化的高速发展, 环境压力越来越大, 生态保护发展区大气环境质量逐渐凸显, 空气质量优良天数呈下降趋势。与其它城市一样, 大气环境污染也成为城市环境的主要问题之一。然而对生态保护发展区的环境空气质量研究多集中在黔江区, 其他 5 个区县有关环境空气质量的研究未见报道。为客观地分析和认识生态保护发展区大气环境质量状况, 本文以重庆市生态保护发展区“十二五”期间大气监测数据为依据, 参照《环境空气质量标准》(GB3095-2012), 选取二氧化硫(SO_2)、二氧化氮(NO_2)和 PM_{10} 共 3 个大气环境污染因子作为评价参数, 利用模糊数学综合评价和超标倍数赋权法计算大气环境污染因子权重分配系数和隶属度, 探讨了各污染因子对生态保护发展区大气环境质量的影响, 客观地评价和分析了生态保护发展区大气环境质量变化的影响因素, 以期

① 收稿日期: 2016-11-07

基金项目: 重庆市基础科学与前沿技术研究项目(cstc2015jcyjA0002); 重庆市环境保护局科技项目(环科学 2015CF 第 101 号)。

作者简介: 邓 茂(1987-), 男, 重庆巫溪人, 硕士, 工程师, 主要从事环境监测和环境污染防治研究。

通信作者: 张永江, 博士研究生, 高级工程师。

为生态保护发展区大气环境综合防治方案提供科学理论依据.

1 模型与研究方法

1.1 建立因子集、评价集和权重集

给定 2 个有限论域 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 和 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$. U 是影响评判对象的各种因素为元素所组成的一个普通集合(因子集). V 是由 n 个评价级别做成的论域(评价集). 权重集是由各权数组成的集合, 即 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, 通常各权数应满足非负性和归一性.

1.2 建立模糊关系矩阵

模糊关系矩阵 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: r_{gh} 为第 g 种评价因子数值被评为第 h 级标准的可能性, 即第 g 种评价因子隶属于第 h 级标准的程度, 具体数值由隶属度函数给出.

1.3 确立评价指标的权重 A

1.4 综合评价

通过模糊数学矩阵的乘法求出运算结果 $B = A \cdot R$, 即

$$B = \{a_1, a_2, \dots, a_m\} \times \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_m) \quad (2)$$

b_h 是由 A 与 R 的第 h 列运算得到的, 表示被评价事物从整体上对 h 等级模糊子集的隶属度, 最后对模糊数学综合评价结果向量进行分析. 用模糊数学的方法, 采用隶属度函数来描述大气污染状况, 体现了实际界限的模糊性, 同时考虑到了污染因子的综合作用, 其评价结果能客观反应区域大气环境质量, 缺点是计算较为复杂.

2 评价步骤

2.1 评价区域及大气污染因子的选定

本文选择生态保护发展区(黔江区、石柱县、秀山县、酉阳县、武隆县、彭水县)作为研究区域. 参照国家环保部颁发的环境监测评价规范(大气和废气部分)必须监测项目的规定和结合生态保护发展区实际, 本文选取 SO_2 , NO_2 和 PM_{10} 为评价因子, 对评价区域 2011—2015 年的大气环境状况进行分析评价. 各评价因子数据来源于重庆市环保局的历年环境质量公报(表 1).

2.2 评价等级的确定

根据《环境空气质量标准》(GB3095-2012)评价分析标准, 并结合大气污染实际水平, 将大气污染分成 I, II, III 级. 则因子集 $U = \{SO_2, NO_2, PM_{10}\}$, $V = \{I, II, III\}$, 大气质量标准如表 2 所示.

2.3 各种污染物隶属度函数的建立

隶属度是描述污染物的质量浓度与各污染物等级间相关程度的参数, 是模糊控制的应用基础. 参照有关文献, 本文中各评价因子均属逆向因子, 采用降半梯形函数确定隶属度. 用 j 表示污染的等级 $j = 1, 2, \dots, n$; x_i 表示环境要素的第 i 种污染物的实测值; 用 S_{ij} 表示第 i 种污染物的第 j 级标准; 用 r_{ij} 表示第 i 种污染物对第 j 级的隶属度. 则隶属度的计算公式见式(3) - (5).

当 $j = 1$ 时,

$$r_{ij} = \begin{cases} 0, & x_i \geq S_{i(j+1)} \\ \frac{S_{i(j+1)} - x_i}{S_{i(j+1)} - S_{ij}}, & S_{ij} < x_i < S_{i(j+1)} \\ 1, & x_i \leq S_{ij} \end{cases} \quad (3)$$

表 1 2011—2015 年生态保护发展区大气污染物年度平均值质量浓度

区县	年份	质量浓度 / (mg · m ⁻³)			区县	年份	质量浓度 / (mg · m ⁻³)		
		SO ₂	NO ₂	PM ₁₀			SO ₂	NO ₂	PM ₁₀
石柱	2011	0.028	0.025	0.086	黔江	2011	0.050	0.033	0.092
	2012	0.030	0.026	0.070		2012	0.037	0.019	0.082
	2013	0.038	0.028	0.077		2013	0.041	0.030	0.084
	2014	0.027	0.023	0.058		2014	0.033	0.026	0.079
	2015	0.013	0.014	0.049		2015	0.024	0.030	0.068
彭水	2011	0.058	0.023	0.086	酉阳	2011	0.026	0.026	0.078
	2012	0.037	0.023	0.078		2012	0.022	0.024	0.066
	2013	0.034	0.025	0.071		2013	0.021	0.026	0.065
	2014	0.022	0.025	0.071		2014	0.013	0.018	0.059
	2015	0.022	0.030	0.064		2015	0.012	0.022	0.056
武隆	2011	0.041	0.028	0.082	秀山	2011	0.046	0.015	0.065
	2012	0.030	0.026	0.071		2012	0.038	0.014	0.050
	2013	0.023	0.024	0.077		2013	0.032	0.018	0.061
	2014	0.022	0.031	0.068		2014	0.027	0.018	0.062
	2015	0.019	0.029	0.073		2015	0.015	0.026	0.041

表 2 大气环境质量评价标准

指标	I 级(清洁)	II 级(轻度污染)	III 级(中度污染)
SO ₂	0.02	0.06	0.10
NO ₂	0.02	0.04	0.08
PM ₁₀	0.04	0.07	0.10

当 $j = 2, 3, \dots, n-1$ 时,

$$r_{ij} = \begin{cases} 0, & x_i \leq S_{i(j-1)}, x_i \geq S_{i(j+1)} \\ \frac{x_i - S_{i(j-1)}}{S_{ij} - S_{i(j-1)}}, & S_{i(j-1)} < x_i < S_{ij} \\ \frac{S_{i(j+1)} - x_i}{S_{i(j+1)} - S_{ij}}, & S_{ij} \leq x_i < S_{i(j+1)} \end{cases} \quad (4)$$

当 $j = n$ 时,

$$r_{ij} = \begin{cases} 0, & x_i \leq S_{i(j+1)} \\ \frac{x_i - S_{i(j-1)}}{S_{ij} - S_{i(j+1)}}, & S_{ij} < x_i < S_{i(j+1)} \\ 1, & x_i \geq S_{ij} \end{cases} \quad (5)$$

本文大气污染物项目数 $m = 3$, 大气环境质量标准 $n = 3$, 即建立一个第 k 年的 3×3 的隶属度矩阵 R_k .

$$R_k = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{SO}_2 \\ \text{NO}_2 \\ \text{PM}_{10} \end{matrix} \quad (6)$$

将生态保护发展区大气环境污染物浓度年均值带入隶属度函数计算, 并建立模糊隶属度矩阵, 其隶属度如表 3 所示.

表 3 生态保护发展区大气污染物隶属度

区县	年份	项目	隶属度			区县	年份	项目	隶属度		
			I 级	II 级	III 级				I 级	II 级	III 级
石柱	2011	SO ₂	0.800	0.200	0.000	黔江	2011	SO ₂	0.250	0.750	0.000
		NO ₂	0.750	0.250	0.000			NO ₂	0.350	0.650	0.000
		PM ₁₀	0.000	0.467	0.533			PM ₁₀	0.000	0.267	0.733
	2012	SO ₂	0.750	0.250	0.000		2012	SO ₂	0.575	0.425	0.000
		NO ₂	0.700	0.300	0.000			NO ₂	1.000	0.000	0.000
		PM ₁₀	0.000	1.000	0.000			PM ₁₀	0.000	0.600	0.400
	2013	SO ₂	0.550	0.450	0.000		2013	SO ₂	0.475	0.525	0.000
		NO ₂	0.600	0.400	0.000			NO ₂	0.500	0.500	0.000
		PM ₁₀	0.000	0.767	0.233			PM ₁₀	0.000	0.533	0.467
	2014	SO ₂	0.825	0.175	0.000		2014	SO ₂	0.675	0.325	0.000
		NO ₂	0.850	0.150	0.000			NO ₂	0.700	0.300	0.000
		PM ₁₀	0.400	0.600	0.000			PM ₁₀	0.000	0.700	0.300
	2015	SO ₂	1.000	0.000	0.000		2015	SO ₂	0.900	0.100	0.000
		NO ₂	1.000	0.000	0.000			NO ₂	0.500	0.500	0.000
		PM ₁₀	0.700	0.300	0.000			PM ₁₀	0.067	0.933	0.000
彭水	2011	SO ₂	0.050	0.950	0.000	酉阳	2011	SO ₂	0.850	0.150	0.000
		NO ₂	0.850	0.150	0.000			NO ₂	0.700	0.300	0.000
		PM ₁₀	0.000	0.467	0.533			PM ₁₀	0.000	0.733	0.267
	2012	SO ₂	0.575	0.425	0.000		2012	SO ₂	0.950	0.050	0.000
		NO ₂	0.850	0.150	0.000			NO ₂	0.800	0.200	0.000
		PM ₁₀	0.000	0.733	0.267			PM ₁₀	0.133	0.867	0.000
	2013	SO ₂	0.650	0.350	0.000		2013	SO ₂	0.975	0.025	0.000
		NO ₂	0.750	0.250	0.000			NO ₂	0.700	0.300	0.000
		PM ₁₀	0.000	0.967	0.033			PM ₁₀	0.167	0.833	0.000
	2014	SO ₂	0.950	0.050	0.000		2014	SO ₂	1.000	0.000	0.000
		NO ₂	0.750	0.250	0.000			NO ₂	1.000	0.000	0.000
		PM ₁₀	0.000	0.967	0.033			PM ₁₀	0.367	0.633	0.000
	2015	SO ₂	0.950	0.050	0.000		2015	SO ₂	1.000	0.000	0.000
		NO ₂	0.500	0.500	0.000			NO ₂	0.900	0.100	0.000
		PM ₁₀	0.200	0.800	0.000			PM ₁₀	0.467	0.533	0.000
武隆	2011	SO ₂	0.475	0.525	0.000	秀山	2011	SO ₂	0.350	0.650	0.000
		NO ₂	0.600	0.400	0.000			NO ₂	1.000	0.000	0.000
		PM ₁₀	0.000	0.600	0.400			PM ₁₀	0.167	0.833	0.000
	2012	SO ₂	0.750	0.250	0.000		2012	SO ₂	0.550	0.450	0.000
		NO ₂	0.700	0.300	0.000			NO ₂	1.000	0.000	0.000
		PM ₁₀	0.000	0.967	0.033			PM ₁₀	0.667	0.333	0.000
	2013	SO ₂	0.925	0.075	0.000		2013	SO ₂	0.700	0.300	0.000
		NO ₂	0.800	0.200	0.000			NO ₂	1.000	0.000	0.000
		PM ₁₀	0.000	0.767	0.233			PM ₁₀	0.300	0.700	0.000
	2014	SO ₂	0.950	0.050	0.000		2014	SO ₂	0.825	0.175	0.000
		NO ₂	0.450	0.550	0.000			NO ₂	1.000	0.000	0.000
		PM ₁₀	0.067	0.933	0.000			PM ₁₀	0.267	0.733	0.000
	2015	SO ₂	1.000	0.000	0.000		2015	SO ₂	1.000	0.000	0.000
		NO ₂	0.550	0.450	0.000			NO ₂	0.700	0.300	0.000
		PM ₁₀	0.000	0.900	0.100			PM ₁₀	0.967	0.033	0.000

2.4 确定权重模糊矩阵

模糊数学综合评价中赋权方法一般分为标准赋权法和主因素突出赋权法^[11]。超标倍数法是一种主因素突出型的赋权方法,但不同的权重定义常常导致评价结果相差很大。本文采用了超标倍数赋权法,并将

权值归一化, 这样既可突出环境质量评价中的主要污染物作用, 又考虑了不同污染物标准值的差异, 计算较简单, 其公式为:

$$\omega_i = \frac{\frac{x_i}{s_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{s_i}} \quad (7)$$

式中: ω_i 为第 i 种污染物的权重值; s_i 为第 i 种污染物的 3 个类别标准的平均值; x_i 为第 i 种污染物的实际质量浓度值. 对环境大气中污染物的权重进行计算, 并进行归一化处理, 得到一个 1×3 的权重矩阵 W . 具体结果如表 4 所示.

表 4 权重计算结果

区县	年份	污染物			区县	年份	污染物		
		SO ₂	NO ₂	PM ₁₀			SO ₂	NO ₂	PM ₁₀
石柱	2011	0.209	0.240	0.551	黔江	2011	0.292	0.248	0.460
	2012	0.243	0.271	0.486		2012	0.281	0.185	0.534
	2013	0.271	0.257	0.472		2013	0.271	0.254	0.475
	2014	0.254	0.278	0.468		2014	0.246	0.249	0.505
	2015	0.178	0.247	0.575		2015	0.199	0.319	0.482
彭水	2011	0.360	0.183	0.457	酉阳	2011	0.206	0.265	0.529
	2012	0.277	0.222	0.501		2012	0.201	0.282	0.517
	2013	0.268	0.253	0.479		2013	0.191	0.303	0.506
	2014	0.191	0.280	0.529		2014	0.150	0.267	0.583
	2015	0.191	0.334	0.475		2015	0.136	0.320	0.544
武隆	2011	0.278	0.245	0.477	秀山	2011	0.380	0.159	0.461
	2012	0.241	0.269	0.490		2012	0.384	0.182	0.434
	2013	0.192	0.257	0.551		2013	0.298	0.215	0.487
	2014	0.183	0.332	0.485		2014	0.261	0.224	0.515
	2015	0.160	0.314	0.526		2015	0.179	0.400	0.421

2.5 模糊数学综合评价计算

根据模糊数学计算法则, $Y_i = W_i \cdot R_i$. 即 3 种大气污染物与对应单因子评价矩阵进行模糊矩阵运算, 得到大气质量综合评价, 计算结果如表 5 所示.

表 5 生态保护发展区按年度划分的模糊数学综合评价结果

区县	年份	I 级	II 级	III 级	级别	区县	年份	I 级	II 级	III 级	级别
石柱	2011	0.347	0.359	0.294	II	黔江	2011	0.160	0.503	0.337	II
	2012	0.250	0.628	0.000	II		2012	0.347	0.440	0.213	II
	2013	0.303	0.587	0.110	II		2013	0.256	0.522	0.222	II
	2014	0.633	0.367	0.000	I		2014	0.340	0.508	0.152	II
	2015	0.827	0.173	0.000	I		2015	0.371	0.629	0.000	II
彭水	2011	0.174	0.583	0.244	II	酉阳	2011	0.361	0.498	0.141	II
	2012	0.348	0.518	0.134	II		2012	0.485	0.515	0.000	II
	2013	0.364	0.620	0.016	II		2013	0.483	0.517	0.000	II
	2014	0.391	0.591	0.017	II		2014	0.631	0.369	0.000	I
	2015	0.443	0.557	0.000	II		2015	0.687	0.313	0.000	I
武隆	2011	0.279	0.530	0.191	II	秀山	2011	0.369	0.631	0.000	II
	2012	0.369	0.615	0.016	II		2012	0.683	0.317	0.000	I
	2013	0.383	0.488	0.128	II		2013	0.570	0.430	0.000	I
	2014	0.356	0.644	0.000	II		2014	0.577	0.423	0.000	I
	2015	0.333	0.615	0.052	II		2015	0.866	0.134	0.000	I

3 计算结果分析与讨论

3.1 计算结果分析

根据隶属度最大原则和表 3 可知,生态保护发展区除了黔江、石柱和彭水 2011 年 PM_{10} 的隶属度处于 III 级(中度污染),其隶属度分别为 0.733,0.533 和 0.533 外.其他年份的隶属度均在 I 级和 II 级之间徘徊.生态保护发展区的 SO_2 和 NO_2 均处在 I 级和 II 级间.

从表 4 各污染因子权重系数可以看出,生态保护发展区影响空气质量的主要污染物是 PM_{10} .由于近年来生态保护发展区的能源结构的调整和机动车数量的急剧增加,次要污染物逐渐由 SO_2 转变为 NO_2 ,大气污染特征已经开始从烟煤型转向烟煤和机动车尾气混合型污染,应引起高度关注.模糊数学综合评价表明,生态保护发展区的大气环境质量有所改善.由表 5 可知,“十二五”期间大气环境质量处于 I 级(清洁)的地区比例在逐渐增加.其中石柱和酉阳 2014—2015 年大气环境质量综合评价处于清洁水平,秀山 2012—2015 年大气环境质量连续 4 年处于清洁水平.

3.2 与其他方法的比较

为了考察模糊数学综合评价法对生态保护发展区的大气质量评价的可靠性,本文将模糊数学综合评价的结果与层次分析法评价结果(表 6)进行比较,其结果基本一致,表明模糊数学综合评价法在大气环境质量评价中是可行的.

表 6 生态保护发展区按年度划分的层析分析评价结果

区县	年份	I 级	II 级	III 级	级别	区县	年份	I 级	II 级	III 级	级别
石柱	2011	0.411	0.313	0.277	II	黔江	2011	0.194	0.453	0.352	II
	2012	0.366	0.575	0.059	II		2012	0.409	0.375	0.217	II
	2013	0.339	0.509	0.152	II		2013	0.301	0.454	0.245	II
	2014	0.591	0.313	0.096	I		2014	0.390	0.438	0.173	II
	2015	0.693	0.217	0.091	I		2015	0.352	0.583	0.066	II
彭水	2011	0.247	0.525	0.227	II	酉阳	2011	0.417	0.432	0.151	II
	2012	0.401	0.441	0.158	II		2012	0.476	0.457	0.067	II
	2013	0.360	0.576	0.064	II		2013	0.465	0.457	0.078	II
	2014	0.404	0.556	0.041	II		2014	0.557	0.344	0.099	I
	2015	0.415	0.494	0.091	II		2015	0.618	0.287	0.095	I
武隆	2011	0.326	0.455	0.218	II	秀山	2011	0.320	0.568	0.112	II
	2012	0.366	0.575	0.059	II		2012	0.580	0.305	0.115	I
	2013	0.449	0.421	0.130	II		2013	0.517	0.380	0.104	I
	2014	0.340	0.597	0.063	II		2014	0.532	0.376	0.092	I
	2015	0.359	0.562	0.079	II		2015	0.803	0.151	0.046	I

3.3 讨论

大气污染评价中,除了上述几种主要因之外,还有 $PM_{2.5}$ 、 O_3 、苯并芘等污染物存在,由于目前获取监测数据难度比较大、影响的次要性和部分因子评价标准的模糊性而未予考虑,但对大气环境质量评价结果不会产生影响.根据生态保护发展区的大气污染特征应从以下方面采取措施,改善区域大气环境质量:1)在 SO_2 的控制方面应进行产业优化和调整,改变能源结构,推广清洁能源天然气的使用.2)在 NO_x 控制方面,加强对机动车的管理,严格执行尾气排放标准,淘汰黄标车,发展公共交通,鼓励绿色出行.3)加强对建筑扬尘的治理,增加绿地面积,提高环境的自净能力.4)提升环境监管能力,引入先进的环境监测技术.

4 结语与展望

1)“十二五”期间生态保护发展区大气环境质量明显有好转趋势,通过权重系数分析表明,主要污染物是 PM_{10} , SO_2 总体呈下降趋势, NO_2 的权重在逐渐增加,进一步表明机动车尾气对大气环境质量的影响逐渐增大,表明大气污染特征已经从烟煤型污染向烟煤和机动车尾气混合型污染转换,应引起高度重视.

2) 模糊数学综合评价结果表明,“十二五”期间生态保护发展区的大气环境质量基本上处于清洁和轻度污染水平,环境质量有明显改善.生态保护发展区6个区县大气环境I级(清洁)评分结果逐年上升,其中石柱和酉阳2014—2015年大气环境质量综合评价处于清洁水平,秀山2012—2015年大气环境质量连续4年处于清洁水平.

3) 在持续增长和能源消耗逐年增加的情况下,生态保护发展区应积极响应面上保护、点上开发的办法.发展大旅游经济和贯彻环保五大行动,对改善大气环境质量起到了关键作用.

参考文献:

- [1] 卓 倩, 杨文卿, 钱庆荣, 等. 层次分析法在福州市大气环境质量评价中的应用 [J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2012, 28(1): 60—65.
- [2] 高俊枝, 程 鹰. 安徽省宣州市大气环境质量的 API 评价 [J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2000, 23(2): 166—168.
- [3] 于相毅, 尚金城, 张 研. 模糊关联分析法及其应用 [J]. 中国环境监测, 2005, 21(1): 68—72.
- [4] 梁爱萍, 侯祺棕, 刘爱东. 大气环境质量灰色聚类关联分析法的应用研究 [J]. 工业安全与环保, 2005, 31(6): 35—37.
- [5] 袁 静, 施介宽, 麻永尧. 模糊聚类理论在大气环境质量评价中的应用 [J]. 东华大学学报(自然科学版), 2001, 27(1): 95—97.
- [6] 邢爱国, 胡厚田, 王仰让. 大气环境质量评价的灰色聚类法 [J]. 环境保护科学, 1999, 26(4): 29—31.
- [7] 杨晓华, 杨志峰, 酆建强. 大气环境质量综合评价的物元分析法 [J]. 环境工程, 2003, 21(5): 69—70, 80.
- [8] 李柞泳, 盛祖康. 人工神经网络用于大气环境质量评价与排序 [J]. 四川环境, 1994, 13(3): 45—47.
- [9] 张春娜, 李良玉. 唐山市大气环境质量的模糊数学综合评价 [J]. 中国农学通报, 2012, 28(35): 192—196.
- [10] 杨文澜, 李 磊. 应用模糊数学综合评价淮安市大气环境质量 [J]. 气候与环境研究, 2009, 14(4): 451—454.
- [11] 郑 健. 2001—2011年乌鲁木齐大气环境质量模糊数学综合评价 [J]. 环境污染与防治, 2014, 36(1): 28—34, 41.
- [12] 何再超, 郑钦玉, 卢 坤, 等. 重庆市大气环境质量的模糊数学综合评价 [J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2005, 27(3): 397—400.

Fuzzy Mathematics-Based Comprehensive Evaluation of Atmospheric Environmental Quality in Take Ecological Protection Zones

DENG Mao¹, ZHANG Yong-jiang^{1,2},
LI Ying-ying¹, YAO Jing¹, LIU Xian-liang¹

1. Environmental Monitoring Center Station of Qianjiang District in Chongqing, Qianjiang Chongqing 409099, China;

2. School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China.

Abstract: Consulting the standards of atmospheric environment, the atmospheric environment quality of take ecological protection zones have been evaluated by means of fuzzy mathematics, selecting SO₂, NO₂, PM₁₀ as evaluation factors to calculate the weight of distribution coefficients and grade attachment of atmospheric pollution factors. The results of comprehensive evaluation indicate that the atmospheric environment of take ecological protection zones were clean and light pollution, and it was improved year after year.

Key words: ecological protection zones; atmospheric environmental quality; Fuzzy Mathematics; comprehensive evaluation