

# 用改进的灰色识别法评价大气环境质量

## ——以北京市石景山区为例

袁秀娟, 毛显强

(北京师范大学环境学院环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875)

**摘 要:**改进的灰色识别法以灰色关联法为基础,针对灰色关联法评价大气环境质量的不足,引入关联离散度和隶属度算法加以改进,并将大气环境质量标准等级就其相应的隶属度加权平均求得更为精确的大气环境质量级别,提高了分辨率和实用性。在简要论述利用改进的灰色识别法评价大气环境质量的计算原理、方法和步骤的基础上,以北京市石景山区为研究对象,对大气环境质量进行评价,确定质量等级及其变化趋势,为大气环境保护规划提供科学依据。结果表明:改进的灰色识别法可比性强,分辨率高,具有较高的实用价值。

**关键词:**灰色识别法; 灰色关联法; 关联离散度; 隶属度; 大气环境质量评价

**中图分类号:**X823 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-6504(2006)09-0071-03

评价大气环境质量的数学方法很多,主要有:综合指数法<sup>[1]</sup>,层次分析法<sup>[2]</sup>,模糊数学法<sup>[3]</sup>,物元分析法<sup>[4]</sup>,灰色关联法<sup>[5]</sup>,灰色聚类法<sup>[6]</sup>,遗传神经网络模型法<sup>[7]</sup>等。由于大气环境监测数据往往缺乏时间和空间的连续性,以及环境质量标准等级划分的相对性,可以说大气环境质量是一个仅能明确部分信息的灰色系统,所以运用灰色系统理论方法进行大气环境质量评价在理论上是可行的。运用灰色系统分析方法进行大气环境质量评价,可降低大气环境质量标准分类中的主观因素,较客观地确定大气环境质量级别。灰色关联法用于大气环境质量评价,虽然能给出评价对象之间的排序关系或隶属度信息,并具有概念直观,计算简便,易于推广应用等特点<sup>[8]</sup>,但其评价价值趋于均化,分辨率低。张军方在灰色关联法的基础上,引入关联离散度概念,建立灰色识别法<sup>[9]</sup>。本文在总结完善灰色关联法的基础上,对灰色识别法进行改进,并运用于大气环境质量评价。首先扩展关联离散度和隶属度算法,提高了判断大气质量级别的分辨率,然后通过求取精确的大气环境质量级别,比较属同级别的大气环境质量样本差异,得到更为精确的评价结果。

### 1 计算原理方法与步骤

(1)建立参考序列和比较序列。确定各监测点大气污染物监测值的样本数据矩阵和大气质量标准分级矩阵。首先定义 $L$ ,即由 $a$ 个年度的 $n$ 个大气环境评价因子组成的样本数据矩阵;其次,设大气环境质量标准为 $m$ 级,根据大气环境质量相关标准确定标准矩阵 $S$ 。

$$\begin{aligned} l_i(k) &= \{l_i(1), l_i(2) \cdots l_i(n)\} & s_j(k) &= \{s_j(1), s_j(2) \cdots s_j(n)\} \\ s_j(k) &= \begin{cases} s_j(k) & j=1, 2, 3 \\ [s_{(j-0.5)}(k) + s_{(j+0.5)}(k)]/2 & j=1.5, 2.5 \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $i$ 为评价年度, $i=1, 2 \cdots a$ ;  $k$ 为大气环境评价因子, $k=1, 2 \cdots n$ 。 $l_i(k)$ 组成样本矩阵 $L$ 。 $s_1(k), s_2(k), s_3(k)$ 分别对应因子的大气环境质量Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ级标准, $s_j(k)$ 组成标准矩阵 $S$ ,在本文中 $j=1, 1.5, 2, 2.5, 3$ ,分别表示清洁,轻微污染,轻度污染,中度污染,重度污染。

(2)序列归一化处理。由于大气各评价因子监测值的量纲不一,因此应该对样本数据矩阵和标准分类矩阵进行无量纲化处理,使样本矩阵 $L$ 归一化为灰色样本矩阵 $X(x_{ij} \in X)$ ,标准矩阵 $S$ 归一化为灰色标准矩阵 $B(b_{ij} \in B)$ 。设1级或<1级环境质量的值为1, $m$ 级或> $m$ 环境质量的值为0,(1, $m$ )之间的环境质量标准值取(0,1)之间的值,计算公式如下:

$$x_i(k) = [S_m(k) - l_i(k)] / [s_m(k) - s_i(k)] \quad (2)$$

其中 $i=1, 2 \cdots a, k=1, 2 \cdots n, x_i(k)$ 组成矩阵 $X$ ;

$$b_j(k) = [s_m(k) - s_j(k)] / [s_m(k) - s_i(k)] \quad (3)$$

其中 $j=1, 2 \cdots m, b_j(k)$ 组成矩阵 $B$ 。

(3)求关联系数。首先求差序列、两级差的最大和最小值,计算公式:

$$\Delta_{ij}(k) = |b_j(k) - x_i(k)| \quad (4)$$

$$\Delta_{\max} = \max_j \max_k (\Delta_{ij}(k)) \quad (5)$$

$$\Delta_{\min} = \min_j \min_k (\Delta_{ij}(k)) \quad (6)$$

其中 $i=1, 2 \cdots a; j=1, 2 \cdots m; k=1, 2 \cdots n$

然后计算关联系数,计算公式:

$$\zeta_{ij}(k) = (\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}) / (\Delta_{ij}(k) + \rho \Delta_{\max}) \quad (7)$$

式中: $\rho$ 为分辨系数, $0 < \rho < 1$ ,通常取 $\rho=0.5$ <sup>[10]</sup>。

(4)关联度和关联离散度的计算。参考序列 $x_i(k)$ 与比较序列 $b_j(k)$ 的关联性定义为关联度。本文采用的计算关联度的方法为:

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^n w(k) \zeta_{ij}(k), w(k) \text{为各指标权重。} \quad (8)$$

在计算过程中,通常认为各指标权重值相等<sup>[11]</sup>。很多学者用上述方法求得的关联度来确定水质类别<sup>[12]</sup>,评价结果存在评价价值均值化,分辨率低等问题,由此史晓新引入关联差异度=1-关联度的概念。但张军方等认为关联差异度也没有很好突出序列间的差异程度,为此引入关联离散度=(1-关联度)<sup>2</sup>的概念,发现关联离散度使序列间的差异程度更为突出<sup>[10]</sup>。本文在此基础上对关联离散度概念做了进一步扩展,将其定义为 $R_{ij}^q=(1-r_{ij})^q$ ,然后通过比较选取合适的 $R_{ij}^q$ 进行计算。

(5)隶属度计算。大气环境质量样本和大气环境质量标准分级之间的差异程度可以用以隶属度为权重的加权关联离散度来表示。本文选用陈守煜推导的最优分类隶属度矩阵<sup>[11]</sup>,即最优 $U_{ij}$ ,通过计算得到隶属度矩阵,并依据最大隶属度原则,确定大气环境质量级别。

$$U_{ij}=1/[(R_{ij}^q)^2 \sum_{j=1}^a (R_{ij}^q)^{-2}] \tag{9}$$

(6)精确质量级别。为比较同属一类大气环境质量级别样本之间的差异,将其所属大气环境质量级别 $j$ 就其相应的隶属度 $U_{ij}$ 加权平均,得到可以更准确描述大气环境质量状态的精确环境质量级别 $S_i$ ,其中:

$$S_i=\sum_{j=1}^5 (U_{ij} \times j) \tag{10}$$

(7)评价结果分析。根据计算结果判断精确大气环境质量级别,判断大气环境质量变化趋势,为建议措施的实施提供依据。

2 案例研究

2.1 评价因子与评价标准

本次评价选用对石景山区大气环境污染贡献较大的SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、TSP评价因子进行评价,采用石景山区环保局提供的1991~2004年监测数据。大气环境质量评价标准分别由计算公式(1)得到。通过选取评价因子与评价标准,建立样本数据矩阵和标准矩阵<sup>[12]</sup>。

2.2 序列(数据)归一化处理

通过公式(2)(3)对样本数据和分类标准进行归一化处理。取 $a=14, m=5, n=3$ 对样本数据和大气环境质量标准数据作无量纲化处理。

2.3 关联系数关联度关联离散度

首先通过编制计算程序以及上述公式(4)求得 $\Delta_{ij}(k)$ 的值,然后通过计算公式(5)(6)(7)得到关联系数 $\zeta_{ij}(k)$ 的值。通过公式(8)计算得到关联度矩阵。在计算关联度矩阵 $r_{ij}$ 的基础上,本文分别计算了关联离散度 $R_{ij}^1, R_{ij}^{1/2}, R_{ij}^2, R_{ij}^3$ 。

2.4 隶属度计算

根据公式(9)计算隶属度矩阵,其中 $R_{ij}^q$ 分别取 $R_{ij}^1$ 、 $R_{ij}^{1/2}$ 、 $R_{ij}^2$ 、 $R_{ij}^3$ 时,隶属度值分布集中,分辨率低,不能精确的判定大气环境质量级别。 $R_{ij}^q$ 取 $R_{ij}^2, R_{ij}^3$ 时,隶属度值分布更为分散,折线斜率绝对值较大,分辨率较高,因此大气环境质量级别的归属更加明显,本文根据实际情况选择 $R_{ij}^q$ 取 $R_{ij}^3$ 时得到的隶属度 $U_3$ 进行大气环境质量评价。

通过计算求得最优分类矩阵中的每个元素,从而得到每年大气环境质量对于各级别的隶属度。以1998和2003年为例对大气环境质量级别的分辨率进行比较,结果如图1和图2,其中 $U_0, U_1, U_2, U_3$ (即图中隶属度0、1、2、3),分别代表 $R_{ij}^q$ 取 $R_{ij}^1, R_{ij}^{1/2}, R_{ij}^2, R_{ij}^3$ 时的隶属度值。

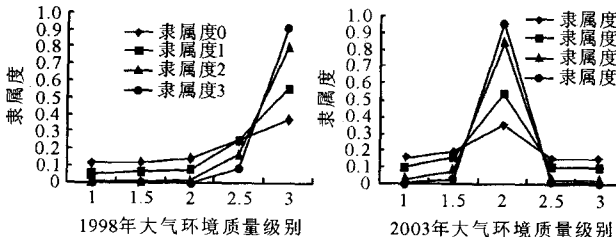


图1 1998年与2003年大气环境质量级别隶属度值比较

通过比较分析发现, $R_{ij}^q$ 取 $R_{ij}^1, R_{ij}^{1/2}$ 时,隶属度值分布集中,分辨率低,不能精确的判定大气环境质量级别。 $R_{ij}^q$ 取 $R_{ij}^2, R_{ij}^3$ 时,隶属度值分布更为分散,折线斜率绝对值较大,分辨率较高,因此大气环境质量级别的归属更加明显,本文根据实际情况选择 $R_{ij}^q$ 取 $R_{ij}^3$ 时得到的隶属度 $U_3$ 进行大气环境质量评价。

2.5 环境质量级别精确计算及评价结果

根据最大隶属度原则,分析评价得到1991~2004年大气环境质量等级如图2。由图2可知,石景山区大气环境质量一直较差,特别是1998年以前大气环境质量均为Ⅲ级,属于重度污染,这主要是石景山区重工业布局所致,同时也与北京市干旱、多风、沙尘暴天气密切相关。1998年以后大气环境质量开始逐渐改善为Ⅱ级,这是石景山区近年来环境保护力度加大的成果。但是尚不能比较属于同一级别的大气环境质量等级,在了解大气环境质量的总体变化趋势基础上,改进的灰色识别法能够帮助进行进一步的大气环境质量状况分析。

根据计算公式(10)对图3中大气环境质量分级 $j$ 就其相应的隶属度 $U_{ij}$ 进行加权平均,得到精确大气环境质量级别 $S_i$ ,计算结果见图3。与图2相比较,图3可以更为精确地描述属同一级别的各年大气环境质量状况之间的细微差别,从而明确政府及相关部门每年采取不同政策措施所起的作用,为以后政府部门实施相关政策措施提供参考。

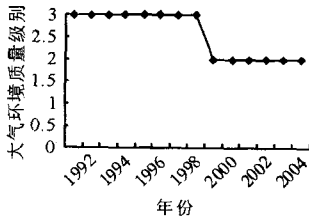


图2 大气环境质量级别及其变化趋势线

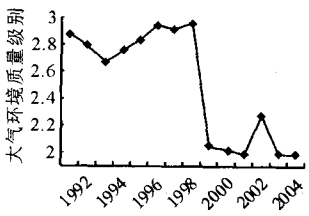


图3 精确大气环境质量级别

3 小结

改进的灰色识别法概念清晰,推导严谨,分析结果合理。此外,该方法较模糊综合评判等方法简单、计算量小、可比性强,较灰色关联法分辨率高,较灰色识别法更能准确地辨别大气环境质量级别及其变化趋势。案例应用结果表明,改进的灰色识别法可广泛应用于大气环境质量的综合评价。

[参考文献]

[1] Hunova I. Spatial interpretation of ambient air quality for the territory of the Czech Republic[J]. Environ Pollutant, 2001,112(2):107-119.

[2] SattyTL, Erdener E. A new approach to performance measurement the analytic hierarchy process[J]. Design Methods and Theories, 1979,13(2):62-68.

[3] Fisher, Bernard. Fuzzy environmental decision-making: applications to air pollution[J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(14):1865-1877.

[4] 杨晓华,杨志峰,郦建强. 大气环境质量综合评价的物元分析法[J]. 环境工程,2003,21(5):69-71.

[5] 魏云鹤,王镇,郭晓玉. 灰色关联度模型及其在大气环境质量评价中的应用[J]. 山东大学学报(工学版), 2004,34(2): 122-124.

[6] 李子君, 陈淑芬. 灰色系统理论在泰安市大气环评中的应用[J]. 山东建筑工程学院学报, 2000,15(1):72-76.

[7] 周延刚. 基于遗传神经网络模型的大气环境质量评价方法[J]. 四川环境,2003,22(3):73-76.

[8] 史晓新, 夏军. 水环境质量评价灰色模式识别模型及应用[J]. 中国环境科学, 1997,17(2): 127-130.

[9] 张军方,陈森,罗雪. 灰色识别法在水环境质量评价中的应用研究[J]. 贵州工业大学学报(自然科学版), 2003,32(4): 91-94.

[10] 曾光明,杨春平,综北危. 环境影响综合评价的灰色关联分析方法[J]. 中国环境科学, 1995,15(4): 247-251.

[11] 陈守煜,陈晓冰. 水质模糊评价理论与模型[J]. 环境科学学报, 1991,11(1): 1-8.

[12] 吴文业,戈建民,黄奕龙. 应用灰色关联分析进行城市地表水环境质量评价[J]. 世界地质, 2000, 19(1): 53-56.

\* 武汉工程大学研究生苏青青、李少婷、程婷婷、定花等参加了本项目的研究工作。

(收稿 2005-09-06;修回 2005-11-11)

(上接第 65 页)

衡误差在下一年就可调整到均衡状态。这 2 个模型的误差修正项系数分别为-0.149、-0.691 都显著<0,符合反向修正机制,但绝对值都不是很高,说明经济增长、废气排放量还有很多其他因素的影响。

3.4 Granger 因果关系检验

协整检验结果可知,上海的经济增长与能源消费之间存在长期的均衡关系,但是这种均衡关系是否构成因果关系,还需要进一步验证。本文采用1978~2003年的能源消费量与GDP数据,对其进行Granger因果关系检验,结果如表4所示。第一列是Granger因果关系检验的零假设,以后每列的第一行为滞后期、第二行为F-统计量的数值,括号内为统计量在零假设成立时的概率显著性水平。

表 4 LNPGDP 与 LNE NE 的 Granger 因果关系检验

滞后期	1	2	3	4	5
LNPGDP 不是 LNE NE 的原因	0.59825 ( 0.4479)	1.66824 ( 0.2164)	1.40378 ( 0.2805)	0.97410 ( 0.4572)	0.75525 ( 0.6032)
LNE NE 不是 LNPGDP 的原因	4.32286 ( 0.0501)	2.63191 ( 0.0994)	1.25660 ( 0.3247)	6.58242 ( 0.0048)	3.45445 ( 0.0510)

4 结论

通过协整检验显示,上海市能源消费与经济增长、能源消费与废气排放量之间存在着长期协整关系,但与二氧化硫的排放量之间不存在协整关系,近年来的数据也显示上海市二氧化硫排放量呈现稳定的趋势,在一定程度上显示出上海市对二氧化硫排放万方数据

的管理和控制工作的成效,使二氧化硫的排放量没有明显的增加。从长期模型可以看出,每增加1%的能源消费将带来2.314%的经济增长,但同时也带来1.180%的废气排放量的增加。另外,Granger因果关系检验结果显示,上海市的能源消费量是经济增长的原因,即经济的快速发展以大量的能源消耗为代价,如果按照上海近年来超过10%的经济增长速度继续发展,到2010年能源消费总量将超过10000吨标煤,对依靠从外省买入能源的上海来说将是很大的挑战,给大气环境也会带来不小的影响。

所以,上海市要实现可持续发展,建成生态型城市的首要解决的问题就是要解决能源的问题。从污染的“源头”——能源利用抓起,改善能源消费结构,提高能源的利用效率,并要清洁使用能源,同时要积极开发利用可再生、新能源,减少常规能源的消耗,控制大气污染物的排放。

[参考文献]

[1] 刘文虎. 单整、协整检验的几种实用方法[J]. 潍坊学院学报, 2004,4(4):40-44.

[2] 易丹辉. 数据分析与 Eviews 应用[M]. 北京:中国统计出版社,2002.

[3] 朱春奎. 上海 R&D 投入与经济增长关系的协整分析[J]. 中国科技论坛, 2004,11(6):79-83.

[4] 杨朝峰,陈伟忠. 能源消费和经济增长:基于中国的实证研究[J]. 石油大学学报(社会科学版),2005,21(1):18-22.

(收稿 2005-08-22;修回 2006-01-20)