

倍斜率聚类法在环境质量综合评价中的应用

丁进宝

(株洲市环境科学研究所, 湖南株洲 412000)

摘要 倍斜率聚类法依据灰色系统理论和模糊数学理论的有关基本原理, 以宽域式结构建立隶属函数, 函数的左侧斜率小于右侧斜率。以大气环境质量评价为例说明了该法的具体应用, 并与模糊综合评判法和灰色聚类法进行了比较。结果表明, 该法更为合理、实用。

关键词 倍斜率聚类法, 模糊综合评判法, 灰色聚类法, 隶属函数, 环境质量评价。

在环境质量评价中, 模糊综合评判法^[1,2]和灰色聚类法^[3,4]的应用较为广泛^[5-11]。这 2 种方法均注意到了环境系统的模糊性和不确定性, 通过隶属函数来反映这个属性并加以量化。这 2 种方法的区别主要体现在污染物的权重计算方法上^[6]。前者的权重既与污染物的级别标准值有关, 也与实际监测浓度有关, 而后的权重仅与级别标准值有关。模糊综合评判法和灰色聚类法还存在着一些不足^[13-16]。从隶属函数结构看, 由于采用了“降半梯形”形式, 每一级别隶属函数仅与相邻的上、下 2 个级别存在隶属关系, 当污染物浓度分布过于离散时, 可能会损失很多有用的信息; 同时, 隶属度难以体现污染级别是一个范围而不是某个确定值这个实际情况。从权重看, 前者易受控于主要污染物, 而后者没有考虑主要污染物的影响, 有时会导致“平均化”的结果出现。

为了寻求能弥补上述缺陷的评价模型, 本文以灰色理论和模糊数学理论为基础, 结合作者的前期研究成果^[12-16], 提出了倍斜率聚类法。实例分析表明, 该法继承了前述 2 种方法的全部优点而又克服了它们的不足, 是一种更为科学合理的评价方法。

1 数学模型

1.1 评判原理

设某评价对象有 m 个污染级别和 n 个污染物, 且记 $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ 。并设污染物 i 关于级别 j 的隶属函数为 $f_{ij}(x)$, 则

该评价对象与级别 j 的亲疏关系可由聚类系数 η_j 来表征 (x_i 为污染物 i 的监测浓度):

$$\eta_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ij}(x_i)$$

若下式成立:

$$\eta_p = \max_{1 \leq j \leq m} \{\eta_j\} \quad p \in [1, 2, \dots, m]$$

则该评价对象应属的污染级别应判为级别 p 。此即倍斜率聚类法的基本评价原则。

1.2 隶属函数构造方法

隶属函数的构造遵循下列原则:

(1) 污染物浓度处于级别范围之内时, 该级别的隶属函数值最大且均为 1。

(2) 污染物浓度处于级别范围之外时, 该级别的隶属函数以该级别的下限和上限的标准值为起点(起点函数值为 1), 分别向左侧和右侧模糊展开。

(3) 隶属函数左侧斜率小于右侧斜率(绝对值), 且右侧斜率为 $1/S_m(1)$ 。

经计算机模拟, 就大气环境质量评价而言, 右侧斜率为左侧斜率的 2 倍较为适宜。故隶属函数表达式为:

$$f_{ij}(x) = \begin{cases} 1 + \frac{x - S_{ij}(1)}{2S_m(1)} & x < S_{ij}(1) \\ 1 & S_{ij}(1) \leq x \leq S_{ij}(2) \\ 1 - \frac{x - S_{ij}(2)}{S_m(1)} & x > S_{ij}(2) \end{cases}$$

上式结果若出现负值, 则视为 0, 即隶属函数值

不能为负值(下同,不另注明)。式中, $S_{ij}(1)$ 、 $S_{ij}(2)$ 分别为污染物 i 的第 j 个级别的下限标准值和上限标准值。

1.3 隶属函数的典型图形

由隶属函数构造原则可知,隶属函数有 3 种基本图形,如图 1 所示。其中(a)适用于下限为 0,上限为确定值的级别(如级别 1);(b)适用于

上、下限同为确定值的级别;(c)适用于下限为确定值,上限为无穷大的级别(如级别 m)。从图 1 知,隶属函数覆盖的污染物浓度变化范围很宽,属于一种信息利用率很高的宽域式结构。同时又是一种梯形结构,平顶部分对应于整个级别范围,不论在同一级别的上限附近还是下限附近,都不会发生误判。

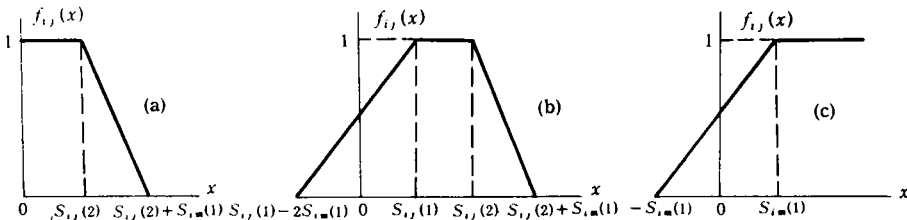


图 1 隶属函数的 3 种基本图形

1.4 权重的处理

权重既要反映主要污染物的影响,又不能受其控制。目前的权重计算方法均未满足这一要求。倍斜率聚类法将污染物权重隐含在隶属函数结构之中,巧妙地解决了这一矛盾。

隶属函数的左侧斜率小于右侧斜率,表明同一污染物对高级别的贡献(由左斜率体现)大于对低级别的贡献(由右斜率体现),从而加重了高级别对评价结果的影响,间接地体现了主要污染物的重要性。因此,评价结果不是一种简单平均化的结果,而是加权平均的结果,但由于权重是隐含在函数结构中,与污染物实际浓度无关,因此,评价结果不会出现受控现象。

2 评价实例

现以大气环境质量评价为例来说明倍斜率聚类法的具体应用。

2.1 评价标准与监测结果

评价标准、监测结果分别见表 1 和表 2。其中 I、II、III 分别为国家大气环境质量标准中的前 3 级,超过 III 的级别定为 IV。

表 1 环境质量分级标准(mg/Nm³)

污染物	I	II	III	IV
SO ₂	0—0.05	0.05—0.15	0.15—0.25	0.25—∞
NO _x	0—0.05	0.05—0.10	0.10—0.15	0.15—∞
TSP	0—0.15	0.15—0.30	0.30—0.50	0.50—∞

表 2 大气监测数据(mg/Nm³)

测点号	SO ₂	NO _x	TSP
A ₁	0.125	0.086	0.239
A ₂	0.022	0.013	0.188
A ₃	0.131	0.016	0.101
A ₄	0.097	0.027	0.417
A ₅	0.067	0.035	0.657
A ₆	0.014	0.018	0.409
A ₇	0.176	0.123	0.415
A ₈	0.050	0.050	0.150
A ₉	0.100	0.075	0.225
A ₁₀	0.064	0.058	0.176

2.2 构造隶属函数

由隶属函数构造原则,可得 3 个污染物的 4 类隶属函数,如图 2 所示($i=1,2,3$; $j=1,2,3,4$),图 2 中的有关参数见表 3。

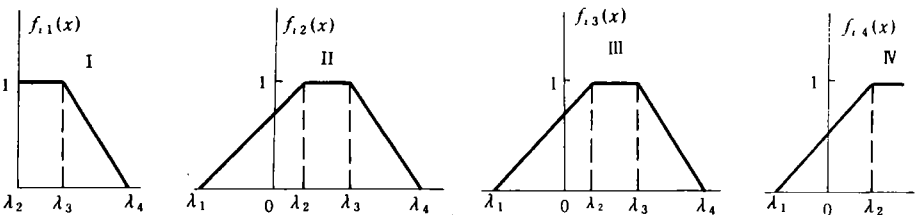


图 2 各污染物的 4 级隶属函数图形

表 3 隶属函数参数

污染物	级别	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
SO ₂	I		0	0.05	0.30
	Ⅰ	-0.45	0.05	0.15	0.40
	Ⅱ	-0.35	0.15	0.25	0.50
	Ⅳ	-0.25	0.25	∞	
NO _x	I		0	0.05	0.20
	Ⅰ	-0.25	0.05	0.10	0.25
	Ⅱ	-0.20	0.10	0.15	0.30
	Ⅳ	-0.15	0.15	∞	
TSP	I		0	0.15	0.65
	Ⅰ	-0.85	0.15	0.30	0.80
	Ⅱ	-0.70	0.30	0.50	1.00
	Ⅳ	-0.50	0.50	∞	

2.3 隶属函数值

将给定测点的污染物浓度代入隶属表达式即可求出相应的函数值,如 A₁ 的函数值见表 4。

表 4 测点 A₁ 的隶属函数值

污染物	I	Ⅰ	Ⅱ	Ⅳ
SO ₂	0.700	1	0.950	0.750
NO _x	0.760	1	0.953	0.787
TSP	0.822	1	0.939	0.739

2.4 聚类系数

某测点关于级别 j 的聚类系数由下式给定:

$$\eta_j = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 f_{ij}(x_i) \quad j = 1, 2, 3, 4$$

经计算,各测点各级别聚类系数见表 5。

2.5 聚类结果

聚类就是按最大原则确定评价对象应属的级别。表 5 中,A₁ 的 4 个聚类系数以级别 Ⅰ 最大,故判为 Ⅰ 级。同理可得各测点应属的级别,如表 5 右侧一栏所示。

表 5 各测点聚类系数与评价结论

测点号	I	Ⅰ	Ⅱ	Ⅳ	评价级别
A ₁	0.761	1	0.947	0.759	Ⅰ
A ₂	0.975	0.940	0.781	0.592	I
A ₃	0.892	0.946	0.828	0.639	Ⅰ
A ₄	0.759	0.896	0.884	0.734	Ⅰ
A ₅	0.644	0.745	0.768	0.750	Ⅱ
A ₆	0.827	0.868	0.818	0.666	I
A ₇	0.493	0.838	1	0.892	Ⅱ
A ₈	1	1	0.828	0.639	I、Ⅰ
A ₉	0.828	1	0.914	0.725	Ⅰ
A ₁₀	0.946	1	0.855	0.666	Ⅰ

3 与其它方法的比较

在各种环境质量评价方法中,模糊综合评判法和灰色聚类法较具代表性,下面就同一实例用这 2 种方法来进行评价。

3.1 评价步骤

评价过程按文献[6]进行:

- (1)拟出“降半梯形”形式的隶属函数;
- (2)计算权重。

对于灰色聚类,其权重为:

$$W_{ij} = \frac{S_{ij} / \bar{S}_i}{\sum_{i=1}^n S_{ij} / \bar{S}_i}$$

式中,W_{ij}为污染物 i 的第 j 个级别的权重;S_{ij}为污染物 i 的第 j 级标准值(上限值); $\bar{S}_i$ 为污染物 i 的各级标准值的均值。

对于模糊综合评判,其权重为:

$$W_i = \frac{x_i / \bar{S}_i}{\sum_{i=1}^n x_i / \bar{S}_i}$$

式中,W_i为污染物 i 的权重;x_i为污染物 i 的浓度; $\bar{S}_i$ 为污染物 i 各级标准值的均值。

(3)用信息利用率最高的 M(·,⊕)模

型^[5,6]进行复合运算,然后同样按最大隶属原则确定各测点的污染级别。

3.2 评价结果

这 2 种方法的评价结果见表 6。

表 6 模糊综合评判法和灰色聚类法评价结果¹⁾

模糊综合评判隶属度与结果				灰色聚类系数与结果			
I	II	III	结论	I	II	III	结论
0.309	0.691	0	I	0.318	0.689	0	I
0.827	0.173	0	I	0.908	0.081	0	I
0.477	0.523	0	II	0.793	0.275	0	I
0.274	0.381	0.345	II	0.518	0.293	0.195	I
0.251	0.026	0.723	III	0.594	0.058	0.333	I
0.175	0.375	0.450	III	0.638	0.146	0.181	I
0	0.563	0.437	I	0	0.571	0.428	II
A ₈	1	0	0	I	1	0	0
0.500	0.500	0	I、II	0.500	0.500	0	I、II
0.841	0.159	0	I	0.840	0.157	0	I

1) 测点同表 5

3.3 3 种评价方法及其结果比较

3.3.1 结果合理性

3 种评价方法所得结论差异较为明显,从实例数据分析,倍斜率聚类法所得结论与实际污染状况吻合较好。如 A₁₀ 的 3 个污染物均处于 II 级范围,本法将其判为 II 级,而另 2 种方法均判为 I 级。又如 A₆ 有 2 个污染物属 I 级,一个属 III 级,本法判为 II 级,而另 2 种方法分别判为 I 和 III。可见,本法评价结果更为合理。

3.3.2 评价错误

A₄ 各污染物浓度高于 A₆,但模糊法判 A₄ 为 I 级、A₆ 为 III 级,出现了评价错误。A₄ 的 3 个污染物浓度分别属于 I、II、III 级的中心附近,灰色法将 A₄ 判为 I 级也显荒谬。本法将 A₄、A₆ 均判为 II 级,较合理。

3.3.3 正确处理模糊信息和白化信息

白化信息是指所得评价结论十分明确的信息,否则就是模糊信息。本法采用梯形函数结构,能正确处理白化信息,而另 2 种方法只能处理模糊信息,处理白化信息时可能出错。如 A₁ 和 A₁₀,各污染物浓度均分别处于级别 II 的高端和低端,本法将 A₁ 和 A₁₀ 均判为 II 级,符合实际。而另 2 种方法将 A₁₀ 判为 I 级,出现了误判。

3.3.4 边界效应

本法构造的隶属函数使相邻 2 个级别在级别分界点上具有相等的函数值,因而在分界点附近不会造成误判,而“降半梯形”函数做不到这一点。如 A₈ 各污染物浓度位于 I、II 级交界处,本法所得结论为 I 或 II,而另 2 种方法将 A₈ 判为典型的 I 级,且将 I、II 分界点移到了 II 级中心处(如 A₉ 所示)。

3.3.5 能区分多测点环境质量优劣

本法是一种加权的宽域聚类法,信息利用率高,不同测点间的环境质量差异可由各自的聚类系数得到反映。区分方法为:级别不相同者,则级别越低,环境质量越好;级别相同者,则最高级别的聚类系数越小,环境质量越好。另 2 种方法由于信息利用范围太窄而不具备这个特点。

4 结语

本法融模糊数学理论和灰色系统理论于一体,把污染物权重隐含在隶属函数结构之中,评价结果不受主要污染物控制,但兼顾了其重要影响。较为充分地利用了监测信息,对白化信息和模糊信息都能正确进行处理,边界效应好。

参考文献

1 汪培庄.模糊集合论及其应用.上海:上海科学技术出版社,1983;288—295
2 吴望名.应用模糊集方法.北京:北京师范大学出版社,1985;113—117
3 邓聚龙.灰色系统(社会、经济).北京:国防工业出版社,1985;103
4 胡明志,任荔.环境科学丛刊.1987,8(2):33
5 严晋婴,陈庚华.中国环境监测.1991,7(3):15
6 慕金波,侯克复.环境科学.1991,12(2):86
7 邓新民.重庆环境科学.1989,11(2):15
8 劳期团.环境科学研究.1990,3(1):1
9 邓超冰.环境污染与防治.1990,12(2):24
10 张松滨.农业环境保护.1991,10(2):80
11 丁进宝,程永平.中国环境监测.1991,7(4):23
12 丁进宝,程永平.云南环境科学.1992,11(2):11
13 丁进宝,程永平.煤矿环境保护.1992,8(4):57
14 丁进宝,周耀文.化工环保.1993,13(1):45
15 丁进宝,贺青等.四川环境.1993,12(3):46
16 丁进宝,程永平.农业环境保护.1993,12(4):187

Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

of 146.8—351.4 ml/(L · d), a hydrogen content of above 60% in the gas, and a COD removal of 62.3%—78.2%. When the concentrations of wastewater ranged from 1260 to 5040 mgCOD/L, the IPSB could maintain stable hydrogen production for 93 hours, with an average gas production rate of 120.7—140.0 ml/(L · d), a hydrogen content of above 75% in the gas, and a COD removal of 41%—61.3%.

Key words: hydrogen production, photosynthetic bacteria, soybean wastewater.

Pilot Study on the Capacity of Coarse Sediments to Purify Wastewater. Zhang Mingquan et al. (Research Division of Water Resource & the Environ., Lanzhou Univ., Lanzhou 210024); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(1), 1995, pp. 45—47

The capacity of coarse sediments to purify waste water was determined in laboratory by both continuous and intermittent infiltration tests. It was found that more than 50 percent of bacteria, synthetic detergent and total chromium can be removed from the municipal waste water after its infiltrating through a 1.5m thick gravel soil. The removal of Mn(II) may be up to 76.2% in the intermittent infiltration test, but only 24.7% in the continuous infiltration test. There is an aeration condition in coarse sediments when waste water is infiltrating through it, that is advantageous for nitrification.

Key words: purifying of waste water, coarse sediments, continuous infiltration, intermittent infiltration.

A New Method for Assessing Environment Quality: Twice-slope classification. Ding Jinbao (Zhuzhou Research Institute of Environmental Science, Zhuzhou 412000); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(1), 1995, pp. 48—51

Based on the principles of the white function construction in the grey system theory and the grey classification, and the weight thought from fuzzy comprehensive assessment, a new method for assessing environment quality, i. e., the twice-slope classification, was suggested. A successful example of using the new method to assess air environment quality was given in this paper. A function based on the twice-slope method was established, and the value range of pollutants in the function was expanded with a full use of information. Compared with other methods, the new method made the use of information much fuller and gave the conclusion more reasonable and credible. It could also overcome the defects of both fuzzy comprehensive assessment

and grey classification and have more practical use in environment quality assessment.

Key words: twice-slope classification, fuzzy comprehensive assessment, grey classification, environment quality assessment.

Study on Large Pore Size Ultrafiltration Membrane of Polyvinylidene fluoride (PVDF). Wang Jingrong (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(1), 1995, pp. 52—53

A study on the preparation of large pore size ultrafiltration membrane of PVDF was reported in this paper. The effect of main parameters, such as solvents, additives and temperature, on the membrane properties was discussed. The membranes with a weight cut-off of 240000 and 150000 were prepared. The flux of 30—70 ml/(cm² · h) and the rejection rate above 90% can be achieved.

Key words: polyvinylidene fluoride, large pore size, ultrafiltration membrane.

Meteorological Characteristics of the Surface Dust Storm Bearing Yellow Sands Occurred on 8 April 1994 in the Hexi (Gansu) corridor and the Determination of Atmospheric Aerosol. Quan Hao et al. (Sino-Japanese Friendship Center of Environmental Protection, Beijing 100029); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(1), 1995, pp. 54—57

The process of forming the weather characterized by the surface dust storm bearing yellow sands occurred on 7—8 April 1994 in the Hexi Corridor of Gansu Province, and the results from both the meteorological observation and the determination of atmospheric total suspended particulates (TSP) were reported, along with describing the meteorology and the characteristics of a atmospheric aerosol while a weather of surface dust storm bearing yellow sands being occurred in northwest China. This surface dust storm was centred on the area of Jiayuguan and Jiuquan, where it was found to have a TSP concentration of up to 38.00mg/m³, an indoor TSP level of 8.63 mg/m³, a natural dust deposition intensity of 296.22 t/(km² · month), a cloud of yellow sands raising up to an altitude of about 2000 to 3000 m, and an increase in the levels of main constituting elements such as Si, Al, Ca, Fe, Mg, Mn and Ti. The atmospheric contents of yellow sands were being progressively decreased along the line from Jiayuguan, Jiuquan, Jincang, Lanzhou to Beijing as the distance increased. Then, at 2 AM on 11 April, the Haboob phenomenon occurred in most parts of the Gansu Province. It was suggested that in a future study on the dust storm bearing yellow