

灰色关联分析在水质评价应用中的改进^{*}

张 蕾¹, 王高旭², 罗美蓉³

(1. 广东省水文局, 广东 广州 510150;

2. 中山大学水资源与环境研究中心, 广东 广州 510275;

3. 湖南省水利水电勘测设计研究院, 湖南 长沙 410007)

摘 要: 用改进了的灰色关联分析方法对广州市部分监测断面水质进行评价, 本文所用方法不仅考虑了水质评价标准的区间形式, 比按临界值判断水质的级别归属更为客观, 而且还对无量纲化方法作了调整, 采用“中心化”方法, 使得计算结果比经典方法更具有区分性, 具有更明确的物理意义, 实例证明该方法在评价水质时具有较强的合理性和可行性。

关键词: 灰色关联分析; 水质评价

中图分类号: X824 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) S1-0234-03

随着灰色系统理论的发展, 灰色关联分析方法已经成为水环境质量评价中一种应用广泛的方法。应用灰色关联分析, 把水质状态看作灰色变量、水质级别作为一个灰类, 考虑了水质分级界线的不确定性, 可以避免分级临界值附近的实测浓度值或综合污染指数的微小变化可能导致的评价结果级别归属的改变。但这种方法的缺陷是: 当评价指标较多时, 指标权重的归一化可能使某些指标分得的权重很小, 从而忽略这些指标在评价中的作用。在经典的灰色关联分析方法中, 作为比较数列没有考虑水质评价标准的区间形式, 而是将其近似地概化为比较曲线, 这必然影响到水质评价结果的精度。本文将针对传统灰色关联分析法的缺点进行一些改进, 并用此方法对广州市部分监测断面进行评价。

1 传统灰色关联分析的基本原理^[1]

灰色关联分析是根据灰色系统中离散数据之间的相似程度来判断关联性大小, 并进行排序。

设参考数列 $\{S_i(k)\}$, 比较数列 $\{C_j(k)\}$:

$$\{S_i(k)\} = \{S_i(1), S_i(2), \dots, S_i(m)\},$$

$$\{C_j(k)\} = \{C_j(1), C_j(2), \dots, C_j(m)\}$$

则 $\{C_j(k)\}$ 对 $\{S_i(k)\}$ 在第 k 点的关联系数 (反映比较数列与参考数列在某点上的关联程度) 定义为:

$$\xi_{ij}(k) = \frac{[\min \Delta_{ij}(k)] + \rho [\max \Delta_{ij}(k)]}{\Delta_{ij}(k) + \rho [\max \Delta_{ij}(k)]} \quad (1)$$

式中, $\Delta_{ij}(k)$ 为 $\{S_i(k)\}$ 与 $\{C_j(k)\}$ 在 k 点的绝对

差, $\Delta_{ij}(k) = |S_i(k) - C_j(k)|$; $\min \Delta_{ij}(k)$ 为 $\Delta_{ij}(k)$ 最小值; $\max \Delta_{ij}(k)$ 为 $\Delta_{ij}(k)$ 最大值; ρ 为分辨系数, $\rho \in [0, 1]$ 。

综合各点 ($k = 1, 2, \dots, m$) 的关联系数, 得整个数列 $\{C_j(k)\}$ 与参考数列 $\{S_i(k)\}$ 的关联度为:

$$\gamma_j = \sum_{k=1}^m W_j(k) \xi_{ij}(k) \quad (2)$$

$W_j(k)$ 为第 j 个断面中第 k 评价因子权重。

在应用本法时, 可得出多个关联度; 比较各关联度的大小, 关联度越大说明两者越接近。应用在水质评价时, 要确定出最大关联度数, 其对应的参考数列 (标准) 即为所评价的水质所属等级。

2 在水质评价中应用改进的灰色关联分析方法

(1) 由于水质标准中各个指标的量级不同, 必须在关联分析之前进行数据的无量纲化处理。目前在水质评价中使用的无量纲化方法主要是:

① “极小化”处理, 即

$$b_i(k) = \frac{C_i(k)}{C_{\max}(k)} \quad (3)$$

② “极差化”处理, 即

$$b_i(k) = \frac{C_i(k) - C_{\min}(k)}{C_{\max}(k) - C_{\min}(k)} \quad (4)$$

③ “均值化”处理, 即

$$b_i(k) = C_i(k) / \overline{C_i(k)} \quad (5)$$

文献 [2] 讨论了各种无量纲方法对灰色关联

^{*} 收稿日期: 2004-03-17

作者简介: 张 蕾 (1977年生), 女, 助理工程师; E-mail: gclawzk@163.com

序的影响，本文采用其中讨论的“中心化”处理方法，以期将分析对象之间的差异体现的最大。

即：

$$b_i(k) = \frac{C_i(k) - \overline{C_i(k)}}{\sigma_i(k)} \tag{6}$$

以上各式中， $i = 0, 1, 2, \cdots, n$ ； $C_{\max}(k)$ ， $C_{\min}(k)$ ， $\overline{C_i(k)}$ ，分别为 $C_i(k)$ 中的最大值、最小值和样本平均值， $\sigma_i(k)$ 是 $C_i(k)$ 的样本均方差，下同。

(2) 由于评价标准并非一个数值，而是一个区间。传统关联分析中采用的点到点的计算方法是不合适的。文献[3]提出了一种基于点到区间距离的关联系数公式，定义绝对差为

$$\Delta_{ij}(k) = \begin{cases} C_{\min}(k) - S_i(k) \\ 0 \\ S_i(k) - C_{\max}(k) \end{cases} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} S_i(k) &< C_{\min}(k) \\ C_{\min}(k) &< S_i(k) < C_{\max}(k) \\ S_i(k) &> C_{\max}(k) \end{aligned}$$

(3) ρ 为分辨系数。 $\rho \in [0, 1]$ ，其取值不同，分辨能力不同，值愈大，分辨能力愈强，但对整个顺序趋势无影响，在环境质量评价中，只是求得其关联系数的大小顺序即可。为了简便计算，本文 ρ 不在对的取值进一步讨论， $\rho=0.5$ 。

2.1 实例研究

用上述方法对广州市南沙、罗冲围和江村 3 个

监测断面 2002 年的监测数据（见表 1）进行评价。表 2 给出了本文采用的地表水环境质量标准（GB3838—2002）。

表 1 水质监测数据

Tah 1 The water quality determination data mg/L

测点	溶解氧	生化需氧量	高锰酸盐指数	氨氮	总磷
南沙	6.57	1.63	2.6	0.42	0.04
罗冲围	1.58	8.79	6.6	3.91	0.31
江村	4.09	3.60	4.1	1.67	0.13

表 2 地表水环境质量标准基本项目标准限值

Tah 2 The standard value of surface water quality mg/L

项目	I 类	II 类	III类	IV类	V 类
溶解氧	≥7.5	6~7.5	5~6	3~5	2~3
生化需氧量	≤3	≤3	3~4	4~6	6~10
高锰酸盐指数	≤2	2~4	4~6	6~10	10~15
氨氮	≤0.015	0.015~0.5	0.5~1	1~1.5	1.5~2
总磷	≤0.02	0.02~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4

以表 2 列出的评价标准组成比较序列，并以监测断面资料组成参考序列，将参考序列逐个与比较序列组合，进行灰关联分析。首先计算南沙站的水质级别，按照公式（6），对监测数据和水质标准进行无量纲化处理，得到的结果如表 3 所示。

表 3 各指标数据无量纲化结果

Tah 3 The non-dimension data of water quality elements

项目	南沙站	I 类	II 类	III类	IV类	V 类
溶解氧	0.94	≥1.41	1.41~0.65	0.65~0.15	0.15~—0.85	—0.85~—1.36
生化需氧量	—1.35	—1.97~—0.83	—0.83	—0.83~—0.45	—0.45~0.30	0.30~1.82
高锰酸盐指数	—1.04	—1.60~—1.17	—1.17~—0.73	—0.73~—0.30	—0.30~0.56	0.56~1.64
氨氮≤	—0.83	—1.43~—1.41	—1.41~—0.72	—0.72~0	0.00~0.71	0.71~1.42
总磷≤	—1.21	—1.50~—1.35	—1.35~—0.77	—0.77~—0.03	—0.03~0.71	0.71~1.44

依据公式（7）对南沙站的数据组成的比较数列和水质级别数据组成的参考数列求绝对差，并求出 $\Delta_{ij}(k)$ 最大值和最小值 $\min \Delta_{ij}(k)$ ，计算结果如表 4 所示。

最后根据公式（1）计算监测数据与各水质级别数据之间的关联度，并根据公式（2）求出比较数列与参考数列之间的整体关联度。对于本例中水质数据，认为各个评价因子所占权重是相同的。得到计算结果如表 5 所示。

表 4 南沙测站监测数据绝对差计算结果¹⁾

Tah 4 The value of absolute differened in Nanshan station

项目	I	II	III	IV	V
Δ_1	0.57	0	0.29	0.79	
Δ_2	0.00	0.52	0.52	0.90	1.05
Δ_3	0.13	0	0.31	0.74	1.60
Δ_4	0.58	0	0.11	0.83	1.54
Δ_5	0.14	0	0.44	1.18	1.92

1) $\max \Delta_{ij}(k)$ 为 1.92， $\min \Delta_{ij}(k)$ 为 0

表 5 南沙测站关联度计算结果

Tah 5 The value of grey association degree in Nanshan station

项目	I	II	III	IV	V
ξ_1	0.63	1.00	0.77	0.55	0.35
ξ_2	1.00	0.65	0.65	0.52	0.48
ξ_3	0.88	1.00	0.76	0.56	0.38
ξ_4	0.62	1.00	0.90	0.54	0.38
ξ_5	0.87	1.00	0.69	0.45	0.33
γ_j	0.80	0.93	0.75	0.52	0.38

根据表 5 中算的关联度数据，南沙测站的监测数据与 II 类水指标的关联度最大，故南沙测站属于 II 类水。

根据同样的计算步骤，可以计算出罗冲围和江村测站数据与水质标准的关联度，如表 6。

表 6 罗冲围和江村站关联度计算结果

Tah 6 The value of grey association degree in Luochongwei station and Jiangcun station

测点	I	II	III	IV	V
罗冲围	0.54	0.58	0.67	0.77	0.96
江村	0.58	0.73	0.85	0.83	0.64

显然罗冲围测站属于 V 类水，江村测站属于 III 三类水。罗冲围位于西航道，又属于潮汐河段，是中心城区主要供水水源地，受到以工业废水、生活

污水为主的有机污染，水质较差，江村也是广州市重要饮用水源地，近年来从监测结果来看，较 2002 年水质有变差的趋势，水质性缺水已经严重地威胁着广州市的饮用水源。

3 结 语

本文采用了改进的灰色关联分析方法对广州市部分水质监测数据进行评价，经典的灰色关联分析方法只是把水质标准近似的概化为比较曲线，本文所用方法考虑了水质评价标准的区间形式，比按临界值判断水质的级别归属更为客观，因而具有更明确的物理意义，所得结果也更合理。本文方法还对无量纲化方法作了调整，采用“中心化”方法，也使得计算结果也比经典方法更具有区分性。经实例验证，该方法用于水质评价是可行的。

参考文献:

[1] 刘思峰,郭天榜,党耀国,等. 灰色系统理论及其应用 [M]. 北京: 科学出版社,1999: 40— 70.

[2] 李炳军,朱春阳,周杰. 原始数据无量纲化处理对灰色关联序的影响[J]. 河南农业大学学报,2002(2): 199— 202.

[3] 沈珍瑶,谢彤芳. 一种改进的灰关联分析方法及其在水环境质量评价中的应用[J]. 水文,1997(3): 13— 15.

[4] 吕义清,武胜忠,孙建星. 灰色关联分析在水质综合评价中的应用[J]. 太原工业大学学报,1997(3): 31— 36.

Application of an Improved Grey Association Analysis Method in Water Environmental Quality Assessment

ZHANG Lei¹, WANG Gao xu², LUO Mei rong³

(1. Bureau of Hydrology of Guangdong Province, Guangzhou 510150, China;

2. Center of Water Resources and Environment, Sun Yat sen University 510275, China;

3. Hunan Municipal Design and Investigation Institute of Water Resources and Hydropower, Changsha 410007, China)

Abstract: The grey association analysis method is applied to environmental quality assessment in this paper. In order to overcome the defects of the traditional grey association analysis method, some improvements are put forward. A practical example is given, and the results show that this method is more reasonable and more feasible.

Key words: grey association analysis; water quality assessment