

综合评价方法在水质评价中的应用及改进

马 红 芳

(华侨大学土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要 就物元分析法和模糊综合评判法在河流水质评价中的应用,从适用范围、数学模型的建立、权重的确定方式,以及评价结果的可信度等几方面进行分析与对比.结果表明,物元分析法在解决水质评价中的不相容问题,以及刻画水质动态转化趋势方面均优于模糊综合评价法.对模糊综合评价法在应用中存在的问题,文中提出改进措施.

关键词 水质评价, 模糊综合评判法, 物元分析法, 权系数, 可信度

中图分类号 X 824

文献标识码 A

由于河流的流速、流量、污染物浓度等在一年中的变化很大,导致了河流水质的不确定性.为了反映这种不确定性,一些基于不确定性理论的水质评价方法,在河流水质评价中均得到广泛应用,如物元分析法^[1,2]、模糊综合评判法^[3]、灰关联法等在实际应用中已取得良好的成效.上述几种方法在其模型的建立、适用范围、权系数的确定,以及评价结果可信度等方面各有利弊.本文对物元分析法和模糊综合评判法在水质评价中的应用作进一步的分析,对各自的适用条件和置信度进行对比,并探讨河流水质评价方法的改进措施.

1 两种水质评价方法分析

1.1 模糊综合评判法

模糊综合评判法的数学模型为 $B=A \cdot R=(b_1, b_2, \cdots, b_m)$. 其中, B 为模糊综合评判结果输出矩阵, b_i 被评价断面对各级水质标准的隶属度, A 为评价因素的模糊权向量, R 为模糊评判矩阵. 即

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}.$$

在进行单因素评价时,需先确定各评价指标的隶属函数.但它有多种形式,没有完全客观的统一标准,通常由主观初步确定.通过模糊统计进行检验和调整,就需要大量的试验数据,计算量也较大.

1.2 物元分析法

物元分析法的数学模型表示为, $K(x) = \sum_{i=1}^n W_i \cdot K(X_i)$. 其中 $K(x)$ 为综合关联度, W_i 为权重系数, $K(X_i)$ 为关联系数. 根据 $K(x)$ 值,作为评价依据,得出评价结果. 有

$$K(X_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(X_i, X_k)}{|X_k|}, & X_i \in X_k; \\ \frac{\rho(X_i, X_k)}{\rho(X_i, X_{p_i}) - \rho(X_i, X_k)}, & X_i \notin X_k. \end{cases}$$

式中, $\rho(X_i, X_k) = |X_i - \frac{1}{2}(a_k + b_k)| - \frac{1}{2}(b_k - a_k)$, $\rho(X_i, X_{p_i}) = |X_i - \frac{1}{2}(a_{p_i} + b_{p_i})| - \frac{1}{2}(b_{p_i} - a_{p_i})$,

收稿日期 2005-08-12

作者简介 马红芳(1969-),女,讲师.主要从事水污染与防治的研究. E-mail: mahongfa@hqu.edu.cn

$[b_{pi}-a_{pi}]$, $[b_{ki}-a_{ki}]$ 分别表示节域对象和标准对象关于特征的量值范围。

模糊评判法按照分级标准求得的隶属度是针对两极级别的,不能体现两者之间的差异。例如,小于某一极值的评价因子都评为Ⅰ级,隶属度都为1,那么其范围内的差异没有体现出来。物元分析法则较好的解决了这个问题。在物元分析法中,当综合关联度小于-1时,表示不符合该水质级别,且不具有转化为该级水质标准的条件;而属于 $[-1,0]$ 时,表示虽不符合该级水质标准,但具有转化为符合该级标准的条件;大于等于0时,符合该水质级别,且其值越大,水质越好。实际河流水质具有动态变化特征,而模糊综合评价方法不能很好反映这种动态变化趋势。这是因为其分析评价是由某一时刻的监测值得出某一断面的评价结果,这常与实际情况不相符合。物元分析法则把模糊集合通过隶属度刻画的 $[0,1]$ 闭区间拓广到 $(-\infty, +\infty)$ 实数轴,能反映水质变化的动态趋势,克服了模糊综合方法无法准确描述 $(-\infty, 0]$ 和 $[1, +\infty)$ 间的不足,具有特殊的优越性。水质评价中常存在各指标间的不相容问题,例如当某断面DO值较大而BOD₅值超标较多时,各单项指标评价结果不相容。物元分析法对不相容问题进行研究,克服了模糊综合方法在这方面存在的缺陷。

表1 水质监测结果(mg·L⁻¹)

断面名称	DO	BOD ₅	氨氮	COD _{Mn}
峡山口	6.86	4.01	0.006	4.77
凤台渡口	6.80	4.26	0.006	4.97
石头埠	6.73	4.43	0.005	4.59
胡大洞	6.10	3.86	0.011	4.78
新城口	6.40	4.09	0.011	4.43

2 实例应用的分析和对比

以某河段某时期水质为评价对象,评价标准采用《GB 3838-2002 地面水质量标准》,水质资料如表1所示。运用模糊综合评价法,可得模糊综合和评价结果向量 R 为

$$R = \begin{bmatrix} 0.1672 & 0.3170 & 0.5139 & 0.0020 & 0 \\ 0.1509 & 0.2928 & 0.5058 & 0.0525 & 0 \\ 0.1378 & 0.3530 & 0.4132 & 0.0909 & 0 \\ 0.0271 & 0.5332 & 0.4397 & 0 & 0 \\ 0.0876 & 0.4502 & 0.4441 & 0.0180 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{峡山口} \\ \text{凤台渡口} \\ \text{石头埠} \\ \text{胡大洞} \\ \text{新城口} \end{matrix}$$

根据最大隶属度原则可得各断面水质等级,即峡山口为Ⅲ类、凤台渡口为Ⅲ类、石头埠为Ⅲ类、胡大洞为Ⅱ类、新城口为Ⅱ类。运用物元分析法,可得

$$K(x) = \begin{bmatrix} -0.222 & -0.089 & 0.141 & 0.408 & 0.201 \\ -0.237 & -0.112 & 0.102 & 0.398 & 0.358 \\ -0.239 & -0.107 & 0.105 & 0.372 & 0.361 \\ -0.233 & -0.106 & 0.133 & 0.435 & 0.345 \\ -0.228 & 0.090 & 0.135 & 0.398 & 0.344 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{峡山口} \\ \text{凤台渡口} \\ \text{石头埠} \\ \text{胡大洞} \\ \text{新城口} \end{matrix}$$

则各断面水质等级,峡山口为Ⅲ类、凤台渡口为Ⅲ类、石头埠为Ⅲ类、胡大洞为Ⅲ类、新城口为Ⅲ类。

两种方法计算结果主要差异有是,在胡大洞、新城口两断面,模糊综合评价法评为Ⅱ类,而物元分析法评为Ⅲ类。究其原因,认为有2个主要原因。(1) 5个断面的氨氮监测值虽都小于Ⅰ类水质质量标准,但是各断面值距离标准的差距不同,胡大洞、新城口两断面氨氮含量约为其余3个断面的200%。在模糊综合评价法中,各断面氨氮含量均评为Ⅰ类水,其隶属度均为1.0,因此其计算评价结果无法体现各自差异性与相关性;而物元分析法通过各断面氨氮值相对各水质等级的关联函数值大小,使这一差异得以体现。(2) 模糊综合法评价结果的确定,主要依据最大隶属度原则,但此方法的使用是有条件的。在所求 b_i, r_i 值中,当最大值和次大值在0.5附近且极为接近时,仅根据最大隶属度得出结论容易造成信息丢失,影响模型有效性。例如,模糊综合和评价结果向量 R 中对胡大洞、新城口两断面水质等级的确定;而物元分析法则可根据综合关联度在 $(-\infty, +\infty)$ 内数值,直接得出评定结果。因此,物元分析法较之模糊综合评价法更为严谨。上述方法中加权方式的选择,直接影响着评价结果的好坏,而权重系数的选定又大多依赖主观性和经验性,难以做到客观全面。对此,分析目前常用的3种权重系数确定方法。(1) 评价因子标准值与各级标准值的和之比。这种方式根据分级标准确定评价因子的权重,不受水质数据资料准确性的影响,较客观实际,但计算较复杂。(2) 实测值和多级标准值的极值之比。这种方式的特点是评价因子超标越多,污染贡献越大,权重值就越大。所以,在因子离差过大的情况下,通常会放大含量较多因子的作用,人为减少含量较少因子在环境质量中的作用,适用于某种污染物占明显优势的情况。(3) 实测值和

平均允许值之比. 这种方式考虑到各因子的权重是隐含在各级分类标准中, 不能体现差异性, 易造成信息丢失, 适用于包含多个主要污染物的情况. 每一种方式侧重点均不同, 各有利弊.

3 结论

(1) 文[1]运用加权平均原则^[4], 对模糊综合评价结果向量进行分析. 它将等级看作一种相对位置, 用“1, 2, …, m ”依次作为各等级的秩, 然后用 B 中对应分量将各等级的秩加权求和, 得出评价等级. 此方法在一定程度上克服了单纯运用最大隶属度原则所存在的缺陷, 但它本身又存在另一个缺陷. 即二次加权时权系数采用各等级的秩(取为各等级的位置顺序号), 未考虑各等级间及其实际指标值的相对差异性和重要性的问题. 我们认为在等级集合元素较多时, 此方法较符合实际, 但当划分级别偏少(如少于 5 类)时, 若仍用各等级的相对位置作为各等级的秩, 则不能反映级别之间的差异, 相对误差较大. 对此, 我们提出根据各等级的秩与各等级质量标准值, 综合得出权系数进行二次加权的方法. 即 $B' = \sum_{j=1}^m b_j^* \cdot w_j / \sum_{j=1}^m b_j^*$, $w_j = j \cdot K_j$, $K_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{in}$. 其中 i 为评价因子, j 为水质等级, a 为质量标准值, b_j 为第 j 等级的隶属度, K_j 为水质标准影响系数, w_j 为权系数. 以新城口断面为例. 模糊综合评价法, $B' = 2.919$, 评为Ⅲ类水, 略偏向Ⅱ类. 此方法所得结果与根据最大隶属度原则所得结果有些出入, 但较符合实际.

(2) 由于水质评价中水质样本资料、水质等级划分均兼具模糊性和灰色性. 因此, 单一运用模糊评判法所得模糊评判矩阵数值, 会受到水质资料、水质评价标准、水质评价等级划分集合的大小(如本文中所以采用水质等级为 5 级)所限, 易发生稳定性较差等问题. 建议采用模糊灰关联综合评价法^[5], 在模糊评判的基础上对模糊评判向量进行灰关联分析, 通过对数据的多级比较作进一步的信息挖掘. 然后, 进行有序样本的聚类分析, 得出对象集的等级划分. 此方法计算会比较复杂, 但可靠性却大幅增加, 并可通过计算机编程运行以提高实用性, 这有待进一步探讨.

本文提出改进的二次加权法对模糊综合评价法的结果向量进行分析, 效果令人满意. 评价过程中权重的确定方法需视具体情况灵活选择运用, 扬长避短. 模糊灰关联综合评价法用于水质评价, 具有一定的可行性.

参 考 文 献

- 1 王国平, 王洪光. 物元分析法用于水环境质量的综合评价比较[J]. 干旱环境监测, 1997, 11(2): 67~112
- 2 徐恒振, 尚龙生, 周传光. 海水水质评价的物元分析法[J]. 海洋环境科学, 1996, 15(3): 10~14
- 3 潘 峰, 付 强, 梁 川. 模糊综合评价在水环境质量综合评价中的应用研究[J]. 环境工程, 2002, 20(2): 58~61
- 4 胡永宏, 贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 167~188
- 5 包研科. 模糊灰关联综合评判模型及其应用[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2001, 20(5): 719~721

The Use of Matter Element Analysis Methods and Fuzzy Comprehensive Evaluation Method in Water Quality Assessment

Ma Hongfang

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, 362021, Quanzhou, China)

Abstract The different usages of matter element and fuzzy comprehensive evaluation methods in river water quality assessment, are analyzed and compared with each other in the following aspects: their applicable scopes, mathematic models, weighted indexes, reliability. Incompatible problem and dynamic trend in water quality assessment can be solved by the matter element analysis method, which is better than fuzzy comprehensive evaluation method. The improvement of fuzzy comprehensive evaluation method is put forward to solve the practical problems.

Keywords water quality assessment, fuzzy comprehensive evaluation method, matter element analysis method, weighted index, reliability