

物元分析法在黄河水质评价中的应用

樊引琴, 刘婷婷, 李 娅, 焦伟晨

(黄河流域水环境监测中心, 河南 郑州 450004)

摘要: 为尝试将物元分析法应用于黄河水质评价, 采用物元分析法对黄河某河段的水质进行了综合评价, 并将评价结果与常规的单因子指数法的评价结果进行对比分析。结果表明: 物元分析法与单因子指数法的评价结果存在很大差异, 物元分析法评价的水质要优于单因子指数法, 原因是两种方法评价的出发点不同。单因子指数法是为了体现单因子的否决权, 而物元分析法是为了体现不同评价因子对水质的综合影响, 评价结果更加全面、系统、真实。

关键词: 水质评价; 物元分析法; 单因子指数法; 黄河

中图分类号: X824

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)02-0166-04

Application of matter element analysis method to water quality evaluation in Yellow River

FAN Yinqin, LIU Tingting, LI Hua, JIAO Weichen

(Yellow River Basin Water Environment Monitoring Center, Zhengzhou 450004, China)

Abstract: In order to try the use of matter element analysis method in water quality assessment of the Yellow River, the paper used matter element analysis method to evaluate water quality of the Yellow River, and compared the results with that of conventional single factor index method. The results showed that the assessment results of two methods were very different, the water quality evaluated by matter element analysis method was better than that by the single factor index method, the difference are caused by the different view point of two evaluation methods. Single factor index method is to reflect the veto right of single factor, and the matter element analysis method is to reflect the comprehensive effects of different evaluation factors on water quality. The result of matter element analysis method is more comprehensive, system, reality.

Key words: water quality evaluation; matter element analysis method; single factor index evaluation method; Yellow River

0 引言

水质信息是水资源管理决策的依据。因此, 正确评价水质, 准确反映水质状况, 显得尤为重要。水质评价的方法很多, 常用的方法有单因子指数法、模糊综合判断法等, 这些方法各有优缺点。单因子指数法的评价结果常常是不相容的, 只能识别单个污染物的污染情况, 不能反映综合的水环境质量。模糊综合判断法应用隶属函数刻划了水环境质量分级界限的模糊性, 比较客观地反映了实际情况, 但该方法强调极值作用, 信息损失多, 权重值的科学性不够明确^[1-3]。

我国学者蔡文教授提出的物元分析法是解决矛盾或不相容问题的有力工具。因此, 本文尝试采用物

元分析法对黄河水质进行评价。

1 物元模型的建立

1.1 物元的定义

给定事物的名称 M , 它关于特征 C 的量值为 V , 以有序三元 $R = (M, C, V)$ 组作为描述事物的基本元, 简称为物元。一个事物有多个特征, 若事物 M 以 n 个特征 c_1, c_2, \dots, c_n 和相应的量值 v_1, v_2, \dots, v_n 来描述, 则可以表示为:

$$R(M, C, V) = \begin{bmatrix} M & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

1.2 确定经典域和节域

$$R_{0j} = (P_{0j}, C_i, V_{0ij}) = \begin{bmatrix} P_{0j} & c_1 & X_{01j} \\ & c_2 & X_{02j} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & X_{0nj} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} P_{0j} & c_1 & (a_{01j}, b_{01j}) \\ & c_2 & (a_{02j}, b_{02j}) \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & (a_{0nj}, b_{0nj}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: P_{0j} 是事物的第 j 个等级 ($j = 1, 2, \dots, m$), c_i 是 P_{0j} 的第 i 个特征; $X_{01j}, X_{02j}, \dots, X_{0nj}$ 分别是 P_{0j} 关于 c_i 的取值范围,即经典域。经典域的直观含义是事物各属性变化的基本区间,并且 X_{0ij} 的取值范围是区间 a_{0ij}, b_{0ij} ,可记为 $X_{0ij} = a_{0ij}, b_{0ij}$ ($i = 1, 2, \dots, n$)。

$$R_p = (P, C, X_p) = \begin{bmatrix} P & c_1 & X_{p1} \\ & c_2 & X_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & X_{pn} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} P & c_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & c_2 & (a_{p2}, b_{p2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: $X_{p1}, X_{p2}, \dots, X_{pn}$ 分别是 P 关于 c_1, c_2, \dots, c_n 的取值范围,即 P 的节域。记 $X_{pi} = (a_{pi}, b_{pi})$, ($i = 1, 2, \dots, n$)。显然 $X_{0i} \in X_{pi}$, ($i = 1, 2, \dots, n$)。

对评价对象 P ,测量结果用物元表示为:

$$R_k = (p_k, c_i, v_i) = \begin{bmatrix} P & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: p_k 为第 k 个待评对象, v_i 则是 p_k 关于 c_i 的量值。

1.3 距的计算

$$\rho(v_i, X_{0ij}) = \left| v_i - \frac{1}{2}(a_{0ij} + b_{0ij}) \right| - \frac{1}{2}(b_{0j} - a_{0j}) \quad (5)$$

$$\rho(v_i, X_{pi}) = \left| v_i - \frac{1}{2}(a_{pi} + b_{pi}) \right| - \frac{1}{2}(b_{pi} - a_{pi}) \quad (6)$$

($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$)

1.4 关联函数值

$$k_j(v_i) = \begin{cases} -\frac{\rho(v_i, X_{0ij})}{|X_{0ij}|}, & v_i \in X_{0ij} \\ \frac{\rho(v_i, X_{0ij})}{\rho(v_i, X_{pi}) - \rho(v_i, X_{0ij})}, & v_i \notin X_{0ij} \end{cases} \quad (7)$$

式中: $|X_{0ij}| = |a_{0ij} - b_{0ij}|$

1.5 权系数

对于评价等级 N_i ($i = 1, 2, \dots, m$) 的门限值 x_{ji} ($j = 1, 2, \dots, n$),权系数为

$$a_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (8)$$

($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$)

1.6 关联度及评定等级

关联函数 $K(x)$ 的数值表示评价单元符合某标准范围的隶属程度。当 $K(x) \geq 1.0$ 时,表示被评价对象超过标准对象上限,数值越大,开发潜力越大;当 $0 \leq K(x) \leq 1.0$ 时,表示被评价对象符合标准对象要求的程度,数值越大,越接近标准上限;当 $-1.0 \leq K(x) \leq 0$ 时,表示被评价对象不符合标准对象要求,但具备转化为标准对象的条件,数值越大,越容易转化;当 $K(x) \leq -1.0$ 时,表示被评价对象不符合标准对象要求,且又不具备转化为标准对象的条件。

$$K_j(P) = \sum a_{ij} K_j(X_{ij}), \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

式中: $K_j(P)$ 为待评价对象 P 关于等级 j 的关联度。若 $K_j = \max\{K_j(P)\}$, $j \in \{1, 2, \dots, m\}$, 则评定 P 属于等级 j 。

2 物元模型在黄河水质评价中的应用

本文以黄河下游某河段的水质评价为例,采用实测数据,说明物元模型在水质评价中的应用过程。

2.1 评价因子与标准

评价因子选择该河段主要污染因子,分别为:溶解氧、高锰酸钾指数、氨氮、化学需氧量、五日生化需氧量。水质评价标准采用《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002),见表 1。实测数据见表 2。

表 1 水质评价指标及标准分级

指标	I	II	III	IV	V
溶解氧	7.5	6	5	3	2
高锰酸盐指数	2	4	6	10	15
氨氮	0.015	0.5	1.0	1.5	2.0
化学需氧量	15	15	20	30	40
五日生化需氧量	3	3	4	6	10

2.2 数据处理

由于各评价指标的量化值所在的区间不完全相同,有的评价指标是以数值越小级别越高(如高锰酸钾指数、氨氮、化学需氧量、五日生化需氧量),而有的则相反(如 DO),故对各评价指标和评价标准进行归一化处理。

表2 水质实测数据

断面	溶解氧	高锰酸盐指数	氨氮	化学需氧量	BOD ₅
1	5.9	2.1	0.38	13.2	2.0
2	7.0	2.3	0.26	12.5	2.7
3	7.1	2.6	0.29	13.1	2.5
4	7.8	2.3	0.28	17.6	0.6
5	7.8	2.2	0.17	14.1	0.6
6	8.0	2.5	0.36	19.1	0.6
7	8.2	2.2	0.13	14.0	0.7
8	8.0	2.3	0.18	19.7	0.8
9	8.0	2.4	0.23	13.0	0.9

对于高锰酸钾指数等: $d_i = x_i/x_5$; 对于 DO 等: $d_i = 1.0 - (x_i - x_5)/x_1$
 式中: d_i, x_i, x_1, x_5 分别为归一化后的标准值、未归一化的标准值、I 级和 V 级标准值。

归一化后的评价标准见表 3, 归一化后的实测值见表 4。

表3 归一化后的分级标准

指标	I	II	III	IV	V
溶解氧	0.267	0.467	0.6	0.867	1
高锰酸盐指数	0.133	0.267	0.4	0.667	1
氨氮	0.0075	0.25	0.5	0.75	1
化学需氧量	0.375	0.375	0.5	0.75	1
五日生化需氧量	0.3	0.3	0.4	0.6	1

表4 归一化后水质监测值

断面	溶解氧	高锰酸盐指数	氨氮	化学需氧量	五日生化需氧量
1	0.480	0.140	0.190	0.330	0.200
2	0.333	0.153	0.130	0.312	0.270
3	0.320	0.173	0.145	0.328	0.250
4	0.227	0.153	0.140	0.440	0.060
5	0.227	0.147	0.085	0.352	0.060
6	0.200	0.167	0.180	0.478	0.060
7	0.173	0.147	0.065	0.350	0.070
8	0.200	0.153	0.090	0.492	0.080
9	0.200	0.160	0.115	0.325	0.090

2.3 水质评价的物元模型

2.3.1 经典域及节域 根据表 4, 取归一化后的 I ~ V 级标准对应的取值范围作为经典域。根据表 3 中归一化标准值的取值范围及实测数据来确定模型的节域 R_p 。

$$R_{01} = \begin{bmatrix} \text{1 级} & \text{溶解氧} & (0, 0.267) \\ & \text{高锰酸盐指数} & (0, 0.133) \\ & \text{氨氮} & (0, 0.0075) \\ & \text{化学需氧量} & (0, 0.375) \\ & \text{五日生化需氧量} & (0, 0.3) \end{bmatrix}$$

$$R_{02} = \begin{bmatrix} \text{2 级} & \text{溶解氧} & (0.267, 0.467) \\ & \text{高锰酸盐指数} & (0.133, 0.267) \\ & \text{氨氮} & (0.0075, 0.25) \\ & \text{化学需氧量} & (0.375, 0.375) \\ & \text{五日生化需氧量} & (0.3, 0.3) \end{bmatrix}$$

$$R_{03} = \begin{bmatrix} \text{3 级} & \text{溶解氧} & (0.467, 0.6) \\ & \text{高锰酸盐指数} & (0.267, 0.4) \\ & \text{氨氮} & (0.25, 0.5) \\ & \text{化学需氧量} & (0.375, 0.5) \\ & \text{五日生化需氧量} & (0.3, 0.4) \end{bmatrix}$$

$$R_{04} = \begin{bmatrix} \text{4 级} & \text{溶解氧} & (0.6, 0.867) \\ & \text{高锰酸盐指数} & (0.4, 0.667) \\ & \text{氨氮} & (0.5, 0.75) \\ & \text{化学需氧量} & (0.5, 0.75) \\ & \text{五日生化需氧量} & (0.4, 0.6) \end{bmatrix}$$

$$R_{05} = \begin{bmatrix} \text{5 级} & \text{溶解氧} & (0.867, 1) \\ & \text{高锰酸盐指数} & (0.667, 1) \\ & \text{氨氮} & (0.75, 1) \\ & \text{化学需氧量} & (0.75, 1) \\ & \text{五日生化需氧量} & (0.6, 1) \end{bmatrix}$$

$$R_p = \begin{bmatrix} \text{1 ~ 5 级} & \text{溶解氧} & (0, 1) \\ & \text{高锰酸盐指数} & (0, 1) \\ & \text{氨氮} & (0, 1) \\ & \text{化学需氧量} & (0, 1) \\ & \text{五日生化需氧量} & (0, 1) \end{bmatrix}$$

2.3.2 计算权系数及关联度 利用公式(7)计算权系数数值, 计算结果见表 5。

表5 权系数数值

a_{ij}	a_{1j}	a_{2j}	a_{3j}	a_{4j}	a_{5j}
a_{i1}	0.246	0.281	0.250	0.239	0.200
a_{i2}	0.123	0.161	0.167	0.183	0.200
a_{i3}	0.007	0.151	0.208	0.206	0.200
a_{i4}	0.346	0.226	0.208	0.206	0.200
a_{i5}	0.277	0.181	0.167	0.165	0.200

利用公式(9)计算综合关联度及评价结果见表 6。

2.4 分析与讨论

根据表 6, 可以看出 9 个断面物元分析法评价结果的综合关联度均介于 0 ~ 1 之间, 表明物元分析法评价的水质类别完全符合标准。通过与单因子指数法评价结果的对比, 可以看出: 物元分析法的评价结果与单因子指数法的评价结果存在较大差异, 采用物元分析法评价的水质要优于单因子指数法。分析原因是两种评价方法的评价出发点不同造成的。

表6 综合关联度及评价结果

断面	I	II	III	IV	V	物元单因子	
						分析结果	评价结果
1	0.0490	-0.0492	-0.1854	-0.2750	-0.6420	I	III
2	0.0269	0.1361	-0.2941	-0.2718	-0.6692	II	II
3	0.0284	0.1294	-0.2788	-0.2681	-0.6649	II	II
4	0.0299	-0.1232	-0.3244	-0.2970	-0.7270	I	III
5	0.0993	-0.1359	-0.4869	-0.3554	-0.7670	I	II
6	0.0319	-0.1714	-0.3597	-0.2648	-0.7086	I	III
7	0.1607	-0.2007	-0.5283	-0.3580	-0.7821	I	II
8	0.0512	-0.1712	-0.4569	-0.2865	-0.7259	I	III
9	0.1700	-0.1282	-0.4667	-0.3417	-0.7586	I	II

单因子指数法是用水质最差的单项指标所属类别来确定水体综合水质类别。该评价方法只考虑了最突出的因子即相对含量较高、污染状况较严重的评价因子对整体评价结果的影响,充分显示了超标最大的评价因子对整体评价结果的决定性作用,其他因子的作用被弱化。而且,对相邻两级标准范围内的监测值不能体现其大小差异^[4];对于同一类别的水质,无法对其质量进行排序。适用于个别评价参数超标过大,严重影响水环境质量的情况,评价出发点是为了体现单因子否决权。该评价方法具有一定的片面性,但对水质管理来说,安全性高。

物元分析法以评价指标及其特征值作为物元,通过对评价级别和实测数据归一化后,得到模型的

(上接第165页)

(5)工程竣工后,必须及时拆除围堰、便道等临时建筑物;对于破坏原河床或滩地断面的要恢复原状,同时要及时清除河道内的全部施工弃料,不能形成河障^[6]。

4 结 语

(1)跨河桥梁防洪影响评价是河道管理范围内建设项目防洪影响评价的主要领域之一,目前对此尚缺乏系统的评价理论和方法。本文对跨河桥梁防洪影响评价的评价内容、评价指标、评价方法等进行了系统化和规范化研究,为建立符合我国国情的防洪影响评价的评价体系提供了一定思路。

(2)从实际工程保涑公路跨东峪沟桥防洪影响计算和评价结果来看,该评价体系对于跨河桥梁防洪影响分析全面,计算科学,评价结果合理、可靠,具有很强的实用性。同时该评价体系和工程实例可以为今后跨河桥梁及河道管理范围内其他建设项目的

经典域、节域、权系数及关联度,建立水质多指标参数的质量评定模型,并能以定量的数值表示评定结果,从而能够较完整地反映水质的综合水平,体现监测值大小的差异,对水体质量进行排序^[5]。评价出发点是为了体现不同评价因子对水质的综合影响。

3 结 语

物元分析法为水质评价提供了方法,评价结果全面、系统、真实,为水资源保护决策提供了较为可靠的科学依据。在实际应用中,应根据评价目的,选择合适的评价方法,使水质评价结果满足水资源保护管理需要,反映水体的实际情况。

参考文献:

- [1] 王立坤,马永胜,门宝辉.水质污染评价的物元模型[C]//中国农业工程学会学术年会论文集,2005:33-35.
- [2] 韩家悦,吕海峰,门宝辉.物元分析法在水环境质量评价应用中的初探[J].南水北调与水利科技,2005,3(2):33-35.
- [3] 谢武,王旭.物元分析法在水质评价中的应用[J].吉林水利,2006(4):1-3.
- [4] 冯玉国.用物元分析法综合评价环境质量[J].环境保护,1995(5):30-32.
- [5] 王国平,王洪光.物元分析法用于水环境质量的评价比较[J].干旱环境监测,1997,11(2):65-67.

防洪影响评价提供参考。

参考文献:

- [1] 赵淳逸,朱立俊.感潮河段桥梁工程对河道行洪影响研究——以宁波惊驾路甬江大桥防洪论证为例[EB/OL][2006-12-04]. <http://www.paper.edu.cn>.
- [2] 孙庆磊,周波,李超.跨河桥梁防洪影响评价指标体系及影响防治措施研究[J].水利科技与经济,2010,16(4):432-435.
- [3] 魏永霞,王丽学.工程水文学[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [4] 吴持恭.水力学(上)[M].北京:高等教育出版社,2003.11.
- [5] 王俊,肖俊.浅谈拟建桥梁对河道行洪和河势稳定的影响——以孔雀河复线大桥工程为例[J].水资源与水工程学报,2012,23(2):126-131.
- [6] 杨文海,路志强.高速引线跨越唐河桥梁防洪影响评价[J].河南水利与南水北调,2008(4):7-8.