

可拓评价方法在环境质量综合评价中的应用

王锦国¹,周志芳¹,袁永生²

(1. 河海大学土木工程学院,江苏 南京 210098;2. 河海大学理学院,江苏 南京 210098)

摘要 详细介绍了可拓评价方法的步骤.以太子河本溪区段 5 个断面的水环境评价为例,探讨了可拓评价方法在环境质量综合评价中的应用.经与其它方法比较,表明可拓评价方法应用于环境质量综合评价是合理可行的.

关键词 可拓方法 环境质量 物元 综合评价

中图分类号 :X820.2 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2002)01-0015-04

可拓学是用形式化的工具,从定性和定量两个角度去研究解决矛盾问题的规律和方法,它通过建立多指标参数的质量评定模型来完整地反映样品的综合质量水平.从蔡文^[1]1983 年提出可拓集合以来,从物元分析到可拓学,可拓学已经初步形成了它的理论框架,并开始向应用领域发展.可拓方法在评价中的应用主要在产品质量的评价上,在其它学科中的应用很少.本文将可拓评价方法应用在环境质量的综合评价中,并以水环境的质量评价为例,给出了具体算例.

1 可拓评价方法

1.1 同征物元体

在客观世界中,事物是质与量的统一体,因此事物的变化有量变和质变之分.在解决矛盾问题的过程中,既要考虑事物量的变化,也要考虑质的变化.可拓学把质与量有机地结合起来,引入了物元概念,它是以事物、特征及事物关于该特征的量值三者所组成的三元组,记作 $R = (\text{事物}, \text{特征}, \text{量值})$.物元的概念正确地反映了质与量之间的关系,可以更贴切地描述客观事物变化的过程.不同的物体可以具有相同的特征元,用同征物元表示.为了研究和应用方便,可将诸多同征物元用简便的方法表示出来.

设 $R_1 = (N_1, C, V_1) = \begin{bmatrix} N_1 & C_1 & V_{11} \\ & C_2 & V_{21} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{n1} \end{bmatrix}$, $R_2 = (N_2, C, V_2) = \begin{bmatrix} N_2 & C_2 & V_{12} \\ & C_2 & V_{22} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{n2} \end{bmatrix}$, $\cdots$, $R_m = (N_m, C, V_m) = \begin{bmatrix} N_m & C_1 & V_{1m} \\ & C_2 & V_{2m} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{nm} \end{bmatrix}$, 为 m 个同征 $(C_1, C_2, \cdots, C_n)$ 物元,则称 R 为 m 个同征物元,

$$R = \begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & \cdots & N_m \\ C & V_1 & V_2 & \cdots & V_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & \cdots & N_m \\ C_1 & V_{11} & V_{12} & \cdots & V_{1m} \\ C_2 & V_{21} & V_{22} & \cdots & V_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_n & V_{n1} & V_{n2} & \cdots & V_{nm} \end{bmatrix}$$

$R_1, R_2, \dots, R_m$ 为同征物元体, N 表示事物 $N_1, N_2, \dots, N_m$ 的全体, $(V_{ij})_{n \times m}$ 称为同征物元阵. 式中符号意义参见文献[1]. 从同征物元体中很容易看出 m 个同征物元, 表达简洁.

1.2 可拓评价

可拓评价方法的具体步骤如下:

a. 确定经典域与节域.

$$R_0 = \begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & \cdots & N_m \\ C & V_1 & V_2 & \cdots & V_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & \cdots & N_m \\ C_1 & \langle a_{11}, b_{11} \rangle & \langle a_{12}, b_{12} \rangle & \cdots & \langle a_{1m}, b_{1m} \rangle \\ C_2 & \langle a_{21}, b_{21} \rangle & \langle a_{22}, b_{22} \rangle & \cdots & \langle a_{2m}, b_{2m} \rangle \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_n & \langle a_{n1}, b_{n1} \rangle & \langle a_{n2}, b_{n2} \rangle & \cdots & \langle a_{nm}, b_{nm} \rangle \end{bmatrix}$$

是同征物元 $R_1, R_2, \dots, R_m$ 的同征物元体, 其中 N_j 表示所划分的第 j 个评价类别, C_i 表示第 i 个评价指标, $V_{ij} = \langle a_{ij}, b_{ij} \rangle$ 分别为 N_j 关于指标 C_i 所规定的量值范围, 即各类别关于对应的评价指标所取的数据范围经典域.

令 $R_p = (P, C, V_p) = \begin{bmatrix} P & C_1 & V_{1p} \\ & C_2 & V_{2p} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{np} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & C_1 & \langle a_{1p}, b_{1p} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{2p}, b_{2p} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & \langle a_{np}, b_{np} \rangle \end{bmatrix}$, 其中 P 表示类别的全体, V_{ip} 为 P 关于 C_i

所取的量值的范围, 即 P 的节域.

b. 确定待评物元. 对待评事物 p , 把所检测得到的数据或分析结果用物元 $\begin{bmatrix} p & C_1 & V_1 \\ & C_2 & V_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_n \end{bmatrix}$ 表示, 称为事物

p 的待评物元, 其中 V_i 为 p 关于 C_i 的量值, 即待评事物检测所得的具体数据.

c. 确定权系数. 确定指标 C_i 的权系数为 α_i , 且 $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$.

d. 确定待评事物关于各类别等级的关联度.

$$K_j(v_i) = \begin{cases} \frac{\rho(v_i, V_{ij})}{\rho(v_i, V_{ip}) - \rho(v_i, V_{ij})} & \rho(v_i, V_{ip}) - \rho(v_i, V_{ij}) \neq 0 \\ -\rho(v_i, V_{ij}) - 1 & \rho(v_i, V_{ip}) - \rho(v_i, V_{ij}) = 0 \end{cases} \tag{1}$$

其中 $\rho(v_i, V_{ij}) = \rho(v_i, \langle a_{ij}, b_{ij} \rangle) = |v_i - (a_{ij} + b_{ij})/2| - (b_{ij} - a_{ij})/2$.

e. 计算待评事物 p 关于等级 j 的关联度.

$$K_j(p) = \sum_{i=1}^n \alpha_i K_j(v_i) \tag{2}$$

f. 等级评定. 若 $K_{j_0}(p) = \max_{j \in \{1, 2, \dots, m\}} K_j(p)$, 则评定 p 属于等级 j_0 . 令

$$\bar{K}_j(p) = \frac{K_j(p) - \min_j K_j(p)}{\max_j K_j(p) - \min_j K_j(p)} \tag{3}$$

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j \cdot \bar{K}_j(p)}{\sum_{j=1}^m \bar{K}_j(p)} \tag{4}$$

则称 j^* 为 p 的级别变量特征值. 例如, $j_0 = 2, j^* = 2.6$ 表示 p 属于第二类偏向第三类(严格说来应属于 2.6 类), 从 j^* 中可以看出偏向另一类的程度.

2 权值的确定

用简单关联函数可以确定指标权值. 设

$$r_{ij}(v_i, V_{ij}) = \begin{cases} \frac{2(v_i - a_{ij})}{b_{ij} - a_{ij}} & v_i \leq \frac{a_{ij} + b_{ij}}{2} \\ \frac{2(b_{ij} - v_i)}{b_{ij} - a_{ij}} & v_i \geq \frac{a_{ij} + b_{ij}}{2} \end{cases} \quad (i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, m)$$

(5)

且 $v_i \in v_{ip}$ (节域, $i = 1, 2, \cdots, n$), 则

$$r_{ij_{\max}} = \max_j \{r_{ij}(v_i, V_{ij})\}$$

(6)

如果指标 i 的数据落入的类别越大, 该指标应赋以越大的权值, 则取

$$r_i = \begin{cases} j_{\max} \times (1 + r_{ij_{\max}}(v_i, V_{ij})) & r_{ij_{\max}}(v_i, V_{ij}) \geq -0.5 \\ j_{\max} \times 0.5 & r_{ij_{\max}}(v_i, V_{ij}) < -0.5 \end{cases}$$

(7)

否则, 如果指标 i 的数据落入的类别越大, 该指标应赋以越小的权值, 则取

$$r_i = \begin{cases} (m - j_{\max} + 1) \times (1 + r_{ij_{\max}}(v_i, V_{ij})) & r_{ij_{\max}}(v_i, V_{ij}) \geq -0.5 \\ (m - j_{\max} + 1) \times 0.5 & r_{ij_{\max}}(v_i, V_{ij}) < -0.5 \end{cases}$$

(8)

于是指标 i 的权重为

$$\alpha_i = r_i / \sum_{i=1}^n r_i$$

(9)

3 环境质量评价实例分析

采用文献[2]中对太子河本溪区段 5 个断面的水环境评价为例, 阐明可拓评价方法在环境质量评价中的应用.

在环境质量评价中, 样品的评价指标分别为溶解氧、化学需氧量、生化需氧量、石油类、挥发酚、氰化物、亚硝酸盐、锌铬(六价)、砷、铜(单位均为 mg/L). 按照国家地面水环境质量标准, 评价等级划分为五类.

评价样品质量, 得同征物元体为

$$R_0 = \begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & N_3 & N_4 & N_5 \\ C_1 & [12, 7.5] & [7.5, 5.5] & [5.5, 4.0] & [4.0, 2.5] & [2.5, 0.0] \\ C_2 & [0.0, 15.0] & [0.0, 15.0] & [0.0, 15.0] & [15.0, 20.0] & [20.0, 40.0] \\ C_3 & [0.0, 3.0] & [0.0, 3.0] & [3.0, 5.0] & [5.0, 8.0] & [8.0, 20.0] \\ C_4 & [0.0, 0.1] & [0.0, 0.1] & [0.0, 0.1] & [0.1, 0.8] & [0.8, 1.2] \\ C_5 & [0.0, 0.002] & [0.0, 0.002] & [0.002, 0.008] & [0.008, 0.02] & [0.02, 0.5] \\ C_6 & [0.0, 0.005] & [0.005, 0.05] & [0.05, 0.2] & [0.05, 0.2] & [0.05, 0.2] \\ C_7 & [0.0, 0.06] & [0.06, 0.1] & [0.1, 0.15] & [0.15, 1.0] & [1.0, 2.0] \\ C_8 & [0.0, 0.05] & [0.05, 1.0] & [0.05, 1.0] & [1.0, 2.0] & [1.0, 2.0] \\ C_9 & [0.0, 0.01] & [0.01, 0.05] & [0.01, 0.05] & [0.01, 0.05] & [0.05, 0.1] \\ C_{10} & [0.0, 0.05] & [0.0, 0.05] & [0.0, 0.05] & [0.05, 0.1] & [0.05, 0.1] \\ C_{11} & [0.0, 0.01] & [0.01, 1.0] & [0.01, 1.0] & [0.01, 1.0] & [0.01, 1.0] \end{bmatrix}$$

$$R_p = \begin{bmatrix} N & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 & C_7 & C_8 & C_9 & C_{10} & C_{11} \\ [12, 0] & [0, 40] & [0, 20] & [0, 1.2] & [0, 0.5] & [0, 0.2] & [0, 1] & [0, 2] & [0, 0.1] & [0, 0.1] & [0, 1] \end{bmatrix}^T$$

待评同征物元体为

$$R = \begin{bmatrix} P & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 & C_7 & C_8 & C_9 & C_{10} & C_{11} \\ P_1 & 10.50 & 1.82 & 0.057 & 0 & 0 & 0.009 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_2 & 10.88 & 6.33 & 2.45 & 0.085 & 0 & 0 & 0.01 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_3 & 9.40 & 11.71 & 4.98 & 0.058 & 0.136 & 0.136 & 0.035 & 0.034 & 0.002 & 0.017 & 0.135 \\ P_4 & 7.60 & 35.61 & 19.47 & 0.886 & 0.423 & 0.163 & 0.109 & 0.355 & 0 & 0.083 & 0.127 \\ P_5 & 7.08 & 24.64 & 6.20 & 0.585 & 0.063 & 0.047 & 0.148 & 0.130 & 0 & 0.006 & 0.11 \end{bmatrix}$$

其中 P_1 到 P_5 分别代表 5 个断面的水样.

从保守的角度考虑,如果指标 i 的数据落入的类别越大,则该指标对水环境的影响越不利,应赋以越大的权值,因此用公式 (5) (6) (7) (9) 来计算权重,可得到全体样品的指标权值矩阵:

$$W = \begin{bmatrix} 0.116 & 0.120 & 0.125 & 0.130 & 0.070 & 0.091 & 0.070 & 0.070 & 0.070 & 0.070 & 0.070 & 0.070 \\ 0.111 & 0.137 & 0.102 & 0.097 & 0.074 & 0.074 & 0.099 & 0.074 & 0.074 & 0.074 & 0.074 & 0.074 \\ 0.055 & 0.085 & 0.091 & 0.055 & 0.282 & 0.165 & 0.054 & 0.039 & 0.033 & 0.052 & 0.089 & 0.089 \\ 0.019 & 0.028 & 0.046 & 0.133 & 0.123 & 0.180 & 0.076 & 0.091 & 0.019 & 0.156 & 0.134 & 0.134 \\ 0.064 & 0.128 & 0.161 & 0.144 & 0.201 & 0.051 & 0.072 & 0.075 & 0.022 & 0.028 & 0.054 & 0.054 \end{bmatrix}^T$$

按上述权值,用式 (1) ~ (4) 来计算,可以得到评价结果 (见表 1).

从表 1 中可以看出,

表 1 水环境质量评价结果

采用可拓评价方法得到的结果与文献 [2] 中采用 Fuzzy 贴近度评价法得到的结果基本一致,而本文的方法进一步计算出了每个样品的级别变量特征值,反映出了偏向相邻类别的程度,如第三个样品为 2 类水,其级别变量特征值为 2.43,即其实际为 2.43 类水,评价更符合实际情况.

Table 1 Assessment results of water environmental quality

$K_j(p)$	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	j	j^*	文献 [2]
1	0.699	0.570	0.270	-0.854	-0.950	1	1.89	1
2	0.252	0.171	0.107	-0.870	-0.980	1	1.87	1
3	-0.289	0.012	-0.343	-0.578	-2.516	2	2.43	2
4	-0.848	-0.200	-0.894	-0.158	-1.322	4	3.08	4
5	-0.539	-0.332	0.078	-0.307	-0.264	3	3.43	3

4 结 论

可拓评价方法通过建立多指标参数的质量评定模型,并以定量的数值表示评定结果,能较完整地反映样品的综合质量水平.对环境质量的综合评价结果可以看出,利用可拓评价方法对环境质量进行评价是合理的,所给的级别变量特征值能够更恰当地反映样品所处的级别.可拓工程方法的理论体系还不完善,如权值的选取等方面,因此在理论和应用上还需要进一步探索.

参考文献:

[1] 蔡文,杨春燕,林伟初.可拓工程方法[M].北京:科学出版社,1997.202~209.
[2] 李振亮,李光浩,卢炳野.水质 Fuzzy 贴近度评价法的理论与模型[J].环境工程,1995(2):53~56.

Application of Extension Method to Comprehensive Assessment of Environmental Quality

WANG Jin-guo¹, ZHOU Zhi-fang¹, YUAN Yong-sheng²

(1. College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;
2. College of Science, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract : The extension method is introduced. With the water environment assessment of 5 sections of the Benxi reach of the Taizihe River as an example, application of the extension method is discussed. It is shown that, compared with other methods, the present method is reasonable in comprehensive assessment of environmental quality.

Key words : extension method ; environmental quality ; matter element ; comprehensive assessment