

64-72  
灰色局势决策法在海水水质评价中的应用

徐恒振 周传光

(国家海洋局海洋环境保护研究所, 大连, 116023)

## 摘 要

本文应用灰色局势决策法对大连湾海域 15 个监测站位的 4 种主要污染因子进行了评价, 与模糊综合评判法和灰色聚类法进行了比较, 结果表明, 本方法运算简单, 不求权重, 用隶属函数即可评价出海水水质分级的模糊性, 是一种均权平均型的评价方法。

关键词: 灰色局势决策, 海水水质, 评价

有关海水水质评价, 在评价界目前一般主张用单项要素评价, 即通常所指的如基本指数法<sup>[1]</sup>, 该法简明扼要, 可较客观地评价海水水质状况; 因而一直被广为用之。随着经济的发展, 人们开发海洋的意识逐渐加强, 海洋环境保护迫在眉睫, 单项要素评价法有时亦不能满足需要, 因而仍需要对海水质量作一综合评价, 即需要对多因子污染的海域作一个总体的评价。一般的综合评价易掩盖问题, 如以往的综合指数法<sup>[1]</sup>等。近年来发展起来的模糊综合评判法<sup>[2,3]</sup>可以较客观地评价出海水质量级别的模糊性, 但亦存在遗失数据信息等某些缺陷<sup>[4]</sup>。海水污染过程是连续的, 其监测数据多数是间断的。尽管某些污染因子的监测数据是明确的信息, 而污染过程的全部信息则是不完全的。我们把监测因子部分信息确知, 部分信息不确知的污染监测系统称为海洋污染监测灰色系统。由此可见, 海水水质评价具有模糊性和灰色性。对此, 本文应用灰色系统理论对海水水质评价作一探讨。

1 模式介绍<sup>[5]</sup>

灰色局势决策是指在事件、对策、目标和效果统一的前提下, 对明显含有灰元的系统进行决策。对于一个具有模糊性对策集的灰色系统, 对应不同的目标, 构造不同的隶属函数, 使事件和对策量化作为效果测度算式, 并用灰色系统理论方法, 从各种可能的对策方案中, 选出一个效果最佳方案。

用  $U$  表示海水水质评价的灰色局势决策空间, 由事件集  $A$  (监测站位), 对策集  $B$  (海水水质等级标准), 效果集  $C$  (隶属函数) 所组成, 即

$$U = \{A, B, C\}$$

事件集  $A$  与对策集  $B$  的卡笛积为局面  $S$ 。

$$T_1: A \times B \rightarrow S = \{S_{ij} | i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m\}$$

$T_1$  为事件  $A$ 、对策  $B$  对局面  $S$  的变换,  $S_{ij}$  称为事件  $i$  与对策  $j$  的一个局势。

局势到效果的映射为  $T_2: S \rightarrow \gamma, S_{ij} \rightarrow \gamma_{ij}$  或  $(a_i, b_j) \rightarrow \gamma_{ij}$ ,  $\gamma$  是效果的全体。

作为效果  $\gamma_{ij}$ , 事件  $a_i$ , 对策  $b_j$  的整体, 称为对策元, 记为  $d_{ij}$ ,

$$d_{ij} \stackrel{\Delta}{=} \frac{\gamma_{ij}}{(a_i, b_j)} \stackrel{\Delta}{=} \frac{\gamma_{ij}}{S_{ij}}$$

其中“ $\stackrel{\Delta}{=}$ ”表示“被定义作”。

### 1.1 决策矩阵与决策向量

对于同一事件  $a_i \in A$  (符号“ $\in$ ”表示“属于”), 若用对策  $b_j (j=1, 2, \dots, m)$  去对付, 便有局势集  $\{S_{ij}\} = \{S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{im}\} = \{(a_i, b_1), (a_i, b_2), \dots, (a_i, b_m)\}$  对于第  $k (k=1, 2, \dots, l)$  个目标, 考虑到映射  $T_2$ , 则有  $T_2\{S_{ij}\} = \{\gamma_{ij}^{(k)}, \gamma_{ij}^{(k)}, \dots, \gamma_{ij}^{(k)}\}$  对应于  $\{S_{ij}\}$ , 便有第  $k$  个目标的决策行向量:

$$d_i^{(k)} = [d_{i1}^{(k)}, d_{i2}^{(k)}, \dots, d_{im}^{(k)}] = \left[ \frac{\gamma_{i1}^{(k)}}{S_{i1}}, \frac{\gamma_{i2}^{(k)}}{S_{i2}}, \dots, \frac{\gamma_{im}^{(k)}}{S_{im}} \right] \gamma_{ij}^{(k)}$$

为第  $k$  个目标决策效果,  $\frac{\gamma_{ij}^{(k)}}{S_{ij}}$  为第  $k$  个目标决策元。

对于第  $k$  个目标的同一对策  $b_j$ , 可以与事件  $a_i, i=1, 2, \dots, n$  相匹配, 便可得到第  $k$  个目标的决策列向量:

$$(d_j^{(k)})^T = [d_{1j}^{(k)}, d_{2j}^{(k)}, \dots, d_{nj}^{(k)}]^T = \left[ \frac{\gamma_{1j}^{(k)}}{S_{1j}}, \frac{\gamma_{2j}^{(k)}}{S_{2j}}, \dots, \frac{\gamma_{nj}^{(k)}}{S_{nj}} \right]^T$$

这里“ $T$ ”表示“转置”。

由第  $k$  个目标的决策行向量和决策列向量构成第  $k$  个目标的决策矩阵:

$$D^{(k)} = \begin{bmatrix} [d_{i1}^{(k)} \dots d_{in}^{(k)}] \\ \dots \dots \dots \\ [d_{1j}^{(k)} \dots d_{nj}^{(k)}] \end{bmatrix} = [d_{ij}^{(k)}]_{n \times m}$$

多个目标,  $(k=1, 2, \dots, l)$  的决策, 应先将多个目标转化为综合后的单目标, 然后再按目标进行决策。

对于  $k=1, 2, \dots, l$  个目标的情况, 其综合后的效果记为  $\gamma_{ij}^z$ , 有  $\gamma_{ij}^z = \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l \gamma_{ij}^{(k)}$ ; 综合后相应的决策元, 决策矩阵分别为:

$$d_{ij}^{(z)} \stackrel{\Delta}{=} \frac{\gamma_{ij}^{(z)}}{S_{ij}}, \quad D_{ij}^z = [d_{ij}^{(z)}]_{n \times m}$$

### 1.2 决策准则

决策的任务是从各种局势中, 挑出效果最佳者, 这种挑选可以按行挑, 即从对付事件  $a_i$  的各种对策  $b_j (j=1, 2, \dots, m)$  中, 挑出效果最好的对策来。也可以按列挑, 即从与同一个对策  $b_j$  匹配的各事件  $a_i (i=1, 2, \dots, n)$  中挑出效果最佳的事件来。

#### 1.2.1 行最优局势

若记第  $k$  个目标的对策  $b_j^*$  为对付事件  $a_i, \forall a_i \in \{a_i | i=1, 2, \dots, n\}$  的最佳者 (“ $\forall$ ”表示“存在”, “ $\in$ ”表示“属于”), 便有最佳效果:

$$v_0^{(k)} = \max_j \{v_j^{(k)}\} = \max \{v_1^{(k)}, \dots, v_2^{(k)}, \dots, v_n^{(k)}\}$$

$$\text{相应的最佳对策元: } d_j^* = \frac{v_j^*}{S_j^*}$$

$$\text{最佳局势: } S_0^* = (a_i, b_j^*)$$

1. 2. 2 列最优局势

若记第  $k$  个目标的  $a_i^*$  为与对策  $b_j$  匹配效果最佳者,  $A_k \in \{b_j | j=1, 2, \dots, m\}$ , 有最佳效果:

$$v_0^{(k)} = \max_i \{v_i^{(k)}\} = \max \{v_1^{(k)}, v_2^{(k)}, \dots, v_m^{(k)}\}$$

$$\text{相应的最佳对策元 } d_{i,j}^{(k)} = \frac{v_{i,j}^{(k)}}{S_{i,j}^{(k)}}$$

$$\text{最佳局势 } S_{i,j} = (a_i^*, b_j)$$

关于多目标综合决策准则类似于上述单目标决策。若记  $b_j^*$  为最佳对策, 便有  $v_0^{(k)} = \max_j \{v_j^{(k)}\}$ , 记  $a_i^*$  为最佳事件, 便有  $v_i^{(k)} = \max_j \{v_j^{(k)}\}$ 。

2 结果与讨论

用灰色局势决策法对大连湾海域(1988年) 15个监测站位, 4种主要污染物<sup>[1,4]</sup>(COD、油类、无机氮、无机磷)进行综合评价, 其监测站位如图1所示。这里事件  $A = \{1, 2, 3, 5, 7, 9, 15, 17, 24, 25, H_{009}, H_{010}, H_{011}, H_{012}, H_{013}\} = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_{15}\}$ , 对策集为海水水质等级  $B = \{I, II, III\} = \{b_1, b_2, b_3\}$ , 有局势集  $S = A \times B = \{(a_1, b_1), (a_1, b_2), (a_1, b_3); (a_2, b_1), (a_2, b_2), (a_2, b_3); \dots; (a_{15}, b_1), (a_{15}, b_2), (a_{15}, b_3)\}$ , 目标集  $G = \{g_i\} = \{g_1, g_2, g_3, g_4\} = \{\text{COD, 油类, 无机氮, 无机磷}\}$ 。大连湾海域水质评价参数的监测数据及其水质评价标准分别列于表1和表2。

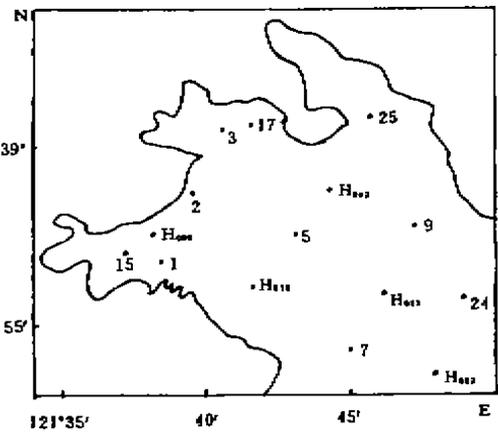


图1 大连湾海域监测站位图

表1 大连湾海域 1988 年监测值

(mg/dm<sup>3</sup>)

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
站位	1	2	3	5	7	9	15	17	24	25	H <sub>009</sub>	H <sub>010</sub>	H <sub>011</sub>	H <sub>012</sub>	H <sub>013</sub>
COD	2.74	1.74	1.25	1.22	1.02	2.24	2.76	1.66	0.98	1.30	2.76	1.74	1.98	0.90	1.02
油类	0.155	0.140	0.120	0.055	0.030	0.085	0.205	0.085	0.055	0.050	0.190	0.090	0.065	0.065	0.035
无机氮	1.280	1.193	0.2920	0.0658	0.04150	1.3482	0.06050	0.24850	0.00990	0.16031	0.61800	0.30300	0.34700	0.19940	0.0703
无机磷	0.04040	0.00130	0.03640	0.00200	0.00760	0.00150	0.00350	0.01450	0.00200	0.00270	0.01180	0.01700	0.00150	0.00750	0.0013

表 2 海水水质评价标准值

(mg/dm<sup>3</sup>)

水质级别	COD	油类	无机氮	无机磷
I	3	0.05	0.1	0.015
II	4	0.10	0.2	0.03
III	5	0.50	0.3	0.045

对于第  $k$  个目标  $g_k$ , 根据海水水质的分级标准, 建立其对策集  $b_j (j=1, 2, 3)$  的隶属函数如下<sup>[4]</sup>:

$$\mu_1^{(k)}(X_k) = \begin{cases} 1 & X_k < b_1 \\ \frac{b_2 - X_k}{b_2 - b_1} & b_2 \geq X_k \geq b_1 \\ 0 & X_k > b_2 \end{cases} \quad \mu_2^{(k)}(X_k) = \begin{cases} \frac{X_k - b_1}{b_2 - b_1} & b_2 \geq X_k \geq b_1 \\ \frac{b_3 - X_k}{b_3 - b_2} & b_3 \geq X_k \geq b_2 \\ 0 & X_k > b_3, X_k < b_1 \end{cases}$$

$$\mu_3^{(k)}(X_k) = \begin{cases} 1 & X_k > b_3 \\ \frac{X_k - b_2}{b_3 - b_2} & b_3 \geq X_k \geq b_2 \\ 0 & X_k < b_2 \end{cases}$$

上列诸式中,  $X_k, k=1, 2, 3, 4$  分别代表 COD、油类、无机氮、无机磷四个监测因子的监测值;  $b_j (j=1, 2, 3)$  分别代表第  $k$  个监测因子的 I、II、III 级海水水质评价标准值(表 2 中的数值);  $\mu_j^{(k)}(X_k) (j=1, 2, 3; k=1, 2, 3, 4)$  分别代表第  $k$  个监测因子  $g_k$  的监测值  $X_k$  隶属于第  $j$  级评价标准  $b_j$  的隶属函数, 此隶属函数可作为目标参数的测度算式, 将表 1 和表 2 中的数据分别代入相应的隶属函数中, 可求得各效果测度, 由这些效果测度可分别构成四个目标的决策矩阵  $D_1^{(1)}, D_1^{(2)}, D_1^{(3)}, D_1^{(4)}$  (即 COD、油类、无机氮、无机磷的决策矩阵) 再由这四个决策矩阵求得综合决策矩阵  $D_1^{(2)}$  列于表 3。由决策矩阵  $D_1^{(2)}$  可求出其行和列的最佳局

表 3 COD、油类、无机氮、无机磷、以及综合决策矩阵

站位	$D_1^{(1)}$	$D_1^{(2)}$	$D_1^{(3)}$	$D_1^{(4)}$	$D_1^{(2)}$
1	$\frac{1}{S_{11}} \quad \frac{0}{S_{12}} \quad \frac{0}{S_{13}}$	$\frac{0}{S_{11}} \quad \frac{0.863}{S_{12}} \quad \frac{0.138}{S_{13}}$	$\frac{0}{S_{11}} \quad \frac{0}{S_{12}} \quad \frac{1}{S_{13}}$	$\frac{0}{S_{11}} \quad \frac{0.307}{S_{12}} \quad \frac{0.693}{S_{13}}$	$\frac{0.250}{S_{11}} \quad \frac{0.293}{S_{12}} \quad \frac{0.458}{S_{13}}$
2	$\frac{1}{S_{21}} \quad \frac{0}{S_{22}} \quad \frac{0}{S_{23}}$	$\frac{0}{S_{21}} \quad \frac{0.900}{S_{22}} \quad \frac{0.100}{S_{23}}$	$\frac{0}{S_{21}} \quad \frac{0}{S_{22}} \quad \frac{1}{S_{23}}$	$\frac{1}{S_{21}} \quad \frac{0}{S_{22}} \quad \frac{0}{S_{23}}$	$\frac{0.500}{S_{21}} \quad \frac{0.225}{S_{22}} \quad \frac{0.275}{S_{23}}$
3	$\frac{1}{S_{31}} \quad \frac{0}{S_{32}} \quad \frac{0}{S_{33}}$	$\frac{0}{S_{31}} \quad \frac{0.950}{S_{32}} \quad \frac{0.050}{S_{33}}$	$\frac{0}{S_{31}} \quad \frac{0.080}{S_{32}} \quad \frac{0.920}{S_{33}}$	$\frac{0}{S_{31}} \quad \frac{0.573}{S_{32}} \quad \frac{0.427}{S_{33}}$	$\frac{0.250}{S_{31}} \quad \frac{0.401}{S_{32}} \quad \frac{0.349}{S_{33}}$
5	$\frac{1}{S_{41}} \quad \frac{0}{S_{42}} \quad \frac{0}{S_{43}}$	$\frac{0.900}{S_{41}} \quad \frac{0.100}{S_{42}} \quad \frac{0}{S_{43}}$	$\frac{0}{S_{41}} \quad \frac{0}{S_{42}} \quad \frac{0}{S_{43}}$	$\frac{1}{S_{41}} \quad \frac{0}{S_{42}} \quad \frac{0}{S_{43}}$	$\frac{0.975}{S_{41}} \quad \frac{0.025}{S_{42}} \quad \frac{0}{S_{43}}$

续表 3

7	$\frac{1}{S_{51}}$	$\frac{0}{S_{52}}$	$\frac{0}{S_{53}}$	$\frac{1}{S_{51}}$	$\frac{0}{S_{52}}$	$\frac{0}{S_{53}}$	$\frac{1}{S_{51}}$	$\frac{0}{S_{52}}$	$\frac{0}{S_{53}}$	$\frac{1}{S_{51}}$	$\frac{0}{S_{52}}$	$\frac{0}{S_{53}}$	$\frac{1}{S_{51}}$	$\frac{0}{S_{52}}$	$\frac{0}{S_{53}}$
9	$\frac{1}{S_{61}}$	$\frac{0}{S_{62}}$	$\frac{0}{S_{63}}$	$\frac{0.300}{S_{61}}$	$\frac{0.700}{S_{62}}$	$\frac{0}{S_{63}}$	$\frac{0.652}{S_{61}}$	$\frac{0.348}{S_{62}}$	$\frac{0}{S_{63}}$	$\frac{1}{S_{61}}$	$\frac{0}{S_{62}}$	$\frac{0}{S_{63}}$	$\frac{0.738}{S_{61}}$	$\frac{0.262}{S_{62}}$	$\frac{0}{S_{63}}$
15	$\frac{1}{S_{71}}$	$\frac{0}{S_{72}}$	$\frac{0}{S_{73}}$	$\frac{0}{S_{71}}$	$\frac{0.738}{S_{72}}$	$\frac{0.263}{S_{73}}$	$\frac{0}{S_{71}}$	$\frac{0}{S_{72}}$	$\frac{1}{S_{73}}$	$\frac{1}{S_{71}}$	$\frac{0}{S_{72}}$	$\frac{0}{S_{73}}$	$\frac{0.500}{S_{71}}$	$\frac{0.185}{S_{72}}$	$\frac{0.316}{S_{73}}$
17	$\frac{1}{S_{81}}$	$\frac{0}{S_{82}}$	$\frac{0}{S_{83}}$	$\frac{0.300}{S_{81}}$	$\frac{0.700}{S_{82}}$	$\frac{0.0}{S_{83}}$	$\frac{0}{S_{81}}$	$\frac{0.515}{S_{82}}$	$\frac{0.485}{S_{83}}$	$\frac{1}{S_{81}}$	$\frac{0}{S_{82}}$	$\frac{0}{S_{83}}$	$\frac{0.575}{S_{81}}$	$\frac{0.304}{S_{82}}$	$\frac{0.121}{S_{83}}$
24	$\frac{1}{S_{91}}$	$\frac{0}{S_{92}}$	$\frac{0}{S_{93}}$	$\frac{0.900}{S_{91}}$	$\frac{0.100}{S_{92}}$	$\frac{0}{S_{93}}$	$\frac{1}{S_{91}}$	$\frac{0}{S_{92}}$	$\frac{0}{S_{93}}$	$\frac{1}{S_{91}}$	$\frac{0}{S_{92}}$	$\frac{0}{S_{93}}$	$\frac{0.975}{S_{91}}$	$\frac{0.025}{S_{92}}$	$\frac{0}{S_{93}}$
25	$\frac{1}{S_{101}}$	$\frac{0}{S_{102}}$	$\frac{0}{S_{103}}$	$\frac{1}{S_{101}}$	$\frac{0}{S_{102}}$	$\frac{0}{S_{103}}$	$\frac{0.397}{S_{101}}$	$\frac{0.603}{S_{102}}$	$\frac{0}{S_{103}}$	$\frac{1}{S_{101}}$	$\frac{0}{S_{102}}$	$\frac{0}{S_{103}}$	$\frac{0.849}{S_{101}}$	$\frac{0.151}{S_{102}}$	$\frac{0}{S_{103}}$
H <sub>009</sub>	$\frac{1}{S_{111}}$	$\frac{0}{S_{112}}$	$\frac{0}{S_{113}}$	$\frac{0.200}{S_{111}}$	$\frac{0.800}{S_{112}}$	$\frac{0}{S_{113}}$	$\frac{0}{S_{111}}$	$\frac{0}{S_{112}}$	$\frac{1}{S_{113}}$	$\frac{1}{S_{111}}$	$\frac{0}{S_{112}}$	$\frac{0}{S_{113}}$	$\frac{0.500}{S_{111}}$	$\frac{0.194}{S_{112}}$	$\frac{0.306}{S_{113}}$
H <sub>010</sub>	$\frac{1}{S_{121}}$	$\frac{0}{S_{122}}$	$\frac{0}{S_{123}}$	$\frac{0.200}{S_{121}}$	$\frac{0.800}{S_{122}}$	$\frac{0}{S_{123}}$	$\frac{0}{S_{121}}$	$\frac{0}{S_{122}}$	$\frac{1}{S_{123}}$	$\frac{0.867}{S_{121}}$	$\frac{0.113}{S_{122}}$	$\frac{0}{S_{123}}$	$\frac{0.517}{S_{121}}$	$\frac{0.228}{S_{122}}$	$\frac{0.250}{S_{123}}$
H <sub>011</sub>	$\frac{1}{S_{131}}$	$\frac{0}{S_{132}}$	$\frac{0}{S_{133}}$	$\frac{0.700}{S_{131}}$	$\frac{0.300}{S_{132}}$	$\frac{0}{S_{133}}$	$\frac{0}{S_{131}}$	$\frac{0}{S_{132}}$	$\frac{1}{S_{133}}$	$\frac{1}{S_{131}}$	$\frac{0}{S_{132}}$	$\frac{0}{S_{133}}$	$\frac{0.675}{S_{131}}$	$\frac{0.075}{S_{132}}$	$\frac{0.250}{S_{133}}$
H <sub>012</sub>	$\frac{1}{S_{141}}$	$\frac{0}{S_{142}}$	$\frac{0}{S_{143}}$	$\frac{0.700}{S_{141}}$	$\frac{0.300}{S_{142}}$	$\frac{0}{S_{143}}$	$\frac{0.006}{S_{141}}$	$\frac{0.994}{S_{142}}$	$\frac{0}{S_{143}}$	$\frac{1}{S_{141}}$	$\frac{0}{S_{142}}$	$\frac{0}{S_{143}}$	$\frac{0.677}{S_{141}}$	$\frac{0.324}{S_{142}}$	$\frac{0}{S_{143}}$
H <sub>013</sub>	$\frac{1}{S_{151}}$	$\frac{0}{S_{152}}$	$\frac{0}{S_{153}}$	$\frac{1}{S_{151}}$	$\frac{0}{S_{152}}$	$\frac{0}{S_{153}}$	$\frac{1}{S_{151}}$	$\frac{0}{S_{152}}$	$\frac{0}{S_{153}}$	$\frac{1}{S_{151}}$	$\frac{0}{S_{152}}$	$\frac{0}{S_{153}}$	$\frac{1}{S_{151}}$	$\frac{0}{S_{152}}$	$\frac{0}{S_{153}}$

势决策结果列于表 4 和表 5。综合行和列的决策局势,有下列最佳局势: $S_{51}(1.000) = S_{151}(1.000) > S_{41}(0.975) = S_{91}(0.975) > S_{101}(0.849) > S_{61}(0.738) > S_{141}(0.677) > S_{131}(0.675) > S_{81}(0.575) > S_{121}(0.517) > S_{21}(0.500) = S_{111}(0.500) = S_{71}(0.500) > S_{13}(0.458) > S_{32}(0.401)$ 。

据文献[6]可知,上述的隶属函数可能出现当  $X_i$  大于某级水质标准值时隶属度反而

表 4 行最佳局势

行顺序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
最佳效果测度( $\gamma^i F$ )	0.458	0.500	0.401	0.975	1	0.738	0.500	0.575	0.975	0.849	0.500	0.517	0.675	0.677	1
最佳决策元( $d_i^j F$ )	$\frac{\gamma^1 F_3}{S_{13}}$	$\frac{\gamma^2 F_1}{S_{21}}$	$\frac{\gamma^3 F_2}{S_{32}}$	$\frac{\gamma^4 F_1}{S_{41}}$	$\frac{\gamma^5 F_1}{S_{51}}$	$\frac{\gamma^6 F_1}{S_{61}}$	$\frac{\gamma^7 F_1}{S_{71}}$	$\frac{\gamma^8 F_1}{S_{81}}$	$\frac{\gamma^9 F_1}{S_{91}}$	$\frac{\gamma^{10} F_1}{S_{101}}$	$\frac{\gamma^{11} F_1}{S_{111}}$	$\frac{\gamma^{12} F_1}{S_{121}}$	$\frac{\gamma^{13} F_1}{S_{131}}$	$\frac{\gamma^{14} F_1}{S_{141}}$	$\frac{\gamma^{15} F_1}{S_{151}}$
最佳局势 $S_{j^*}$	$(a_1, b_3)$	$(a_2, b_1)$	$(a_3, b_2)$	$(a_4, b_1)$	$(a_5, b_1)$	$(a_6, b_1)$	$(a_7, b_1)$	$(a_8, b_1)$	$(a_9, b_1)$	$(a_{10}, b_1)$	$(a_{11}, b_1)$	$(a_{12}, b_1)$	$(a_{13}, b_1)$	$(a_{14}, b_1)$	$(a_{15}, b_1)$

表 5 列最佳局势

列顺序	1	2	3
最佳效果测度( $\gamma^j F$ )	1.000	0.401	0.458
最佳决策元( $d_i^j F$ )	$\frac{\gamma^1 F_1}{S_{51}}, \frac{\gamma^6 F_1}{S_{151}}$	$\frac{\gamma^3 F_2}{S_{32}}$	$\frac{\gamma^1 F_3}{S_{13}}$
最佳局势( $S_{i^*}$ )	$(a_5, b_1), (a_{15}, b_1)$	$(a_3, b_2)$	$(a_1, b_3)$

小于当  $X_i$  小于该标准值时的隶属度的情形。对此,本文再选取如下隶属函数:

$$\gamma_1^{(1)}(X_i) = \begin{cases} 1 + \frac{b_1 - X_i}{b_1} & 0 < X_i \leq b_1 \\ 0 & X_i < b_1, X_i < 0 \end{cases}$$

$$\gamma_2^{(1)}(X_i) = \begin{cases} 1 + \frac{b_2 - X_i}{b_2 - b_1} & b_1 < X_i \leq b_2 \\ 0 & X_i < b_1, X_i > b_2 \end{cases}$$

$$\gamma_3^{(1)}(X_i) = \begin{cases} 1 + \frac{b_3 - X_i}{b_3 - b_2} & b_2 < X_i \leq b_3 \\ 0 & X_i < b_2, X_i > b_3 \end{cases}$$

$$\gamma_4^{(1)}(X_i) = \begin{cases} 1 + e^{(b_3 - X_i)} & X_i \geq b_3 \\ 0 & X_i < b_3 \end{cases}$$

上述各隶属函数的意义同于前述各隶属函数中相应符号的意义,所不同的是  $j=1, 2, 3, 4$ , 即有四级隶属函数。不难看出,当实测值  $X_i$  刚好等于某级的水质标准值时,其隶属度为 1; 当  $X_i$  变小——即水质变好,但仍在该级水质范围内时,其隶属度变大,其余水质级别的隶属度均为零;当  $X_i$  大于 III 级水质标准时,定义为第 IV 级;当  $X_i$  越大(水质越差),隶属度就越小。这样水质变化与水质功能的概念便相互协调了。将表 1 和表 2 中的数据分别代入上述相应的隶属函数中,可求出 COD、油类、无机氮、无机磷的决策矩阵  $D_1^{(1)}, D_2^{(2)}, D_3^{(3)}, D_4^{(4)}$ (略),再由其求出综合决策矩阵  $D_2^{(2)}$ (表 6)。

表 6 COD、油类、无机氮、无机磷的综合决策矩阵  $D^{(1)}$

站 位 级 别	1	2	3	5	7	9	15	17	24	25	$H_{000}$	$H_{010}$	$H_{011}$	$H_{012}$	$H_{013}$
I	$\frac{0.272}{S_{11}}$	$\frac{0.833}{S_{21}}$	$\frac{0.396}{S_{31}}$	$\frac{1.201}{S_{41}}$	$\frac{1.535}{S_{51}}$	$\frac{0.788}{S_{61}}$	$\frac{0.712}{S_{71}}$	$\frac{0.620}{S_{81}}$	$\frac{0.942}{S_{91}}$	$\frac{0.847}{S_{101}}$	$\frac{0.573}{S_{111}}$	$\frac{0.355}{S_{121}}$	$\frac{0.810}{S_{131}}$	$\frac{0.800}{S_{141}}$	$\frac{1.543}{S_{151}}$
II	0	0	0	$\frac{0.475}{S_{42}}$	0	$\frac{0.738}{S_{62}}$	0	$\frac{0.325}{S_{72}}$	$\frac{0.475}{S_{92}}$	$\frac{0.899}{S_{102}}$	0	$\frac{0.767}{S_{122}}$	$\frac{0.425}{S_{132}}$	$\frac{0.677}{S_{142}}$	0
III	$\frac{0.793}{S_{13}}$	$\frac{0.475}{S_{42}}$	$\frac{1.151}{S_{33}}$	0	0	0	$\frac{0.435}{S_{73}}$	$\frac{0.379}{S_{83}}$	0	0	$\frac{0.444}{S_{113}}$	0	0	0	0
IV	$\frac{0.344}{S_{14}}$	$\frac{0.352}{S_{24}}$	0	0	0	0	$\frac{0.293}{S_{74}}$	0	0	0	$\frac{0.317}{S_{114}}$	$\frac{0.499}{S_{124}}$	$\frac{0.489}{S_{134}}$	0	0

为了同模糊综合评判法和灰色聚类法进行比较,本文引用文献[7]中的结果,将大连湾海域 15 个站位和各种评价结果一并列于表 7,表中灰色局势决策法中的(一)、(二)分别表示第一种和第二种隶属函数的评价结果。比较三种方法可以看出,它们的共同点是除灰色局势决策法(二)外,其余的皆具有同样的隶属级别。因此,它们的四个单因素评价结果(表 3 中的  $D_1^{(1)}, D_1^{(2)}, D_1^{(3)}, D_1^{(4)}$ )是相同的,从这种意义上来说,这三种方法除具有综合评价的功能,又具有相同评价结果的单因素评价功能,仔细分析表 3 和表 7 尚可看出,尽管

表 7 大连湾海域各站位不同评价方法的水质级别

站 位	1	2	3	5	7	9	15	17	24	25	$H_{000}$	$H_{010}$	$H_{011}$	$H_{012}$	$H_{013}$
灰色局势(一)	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
决策法(二)	II	I	II	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	I	I
灰色聚类法	II	I	I	I	I	I	II	II	I	I	II	I	I	II	I
模糊综合评判法	II	II	II	I	I	I	II	II	I	II	II	II	II	I	I

单因素评价结果相同(隶属函数相同),但多因素综合评价结果却不同,其不同点是灰色局势决策法各因子(目标)的权重都是 1,其运算机制是“等权平均”;灰色聚类法各因素的权重值采用等级不同权重值不同的赋值法,即三级标准赋三级权重值,其综合运算机制是“加权平均”;模糊综合评判法的权重是采用各因子超标倍数的,其运算机制是采用“取小取大”的主因素突出型模式。对于 1 号站,单因素的评价结果多数为 II 级,因而其综合评价不论是“加权平均”还是“等权平均”和“取小取大”,它们的评价结果必然是 II 级。又如 5, 7, 9, 24,  $H_{013}$  站的单因素评价结果多数为 I 级,它们的综合评价结果都是 I 级。但当单因素评价结果不同时(如其余站位),不同的运算机制导致不同的综合评价结果,模糊综合评判法以主因素(无机氮)为隶属级别(多以 II、III 级出现),而灰色聚类法和灰色局势决策法则根据参加评价因子的多少按照不等权和等权对其隶属度进行平均,因而其综合评价结

果比主因素的评价结果偏低。就其灰色局势决策法而言,由于采用不同的隶属函数(一)和(二),其综合评价结果(一)和(二)也不太相同,方法(二)似乎偏高一些,但仔细分析即可知道,方法(二)的隶属函数有四级,即有三个海水标准阈值四个水质等级,这样的定义必然会使综合评价结果偏高。因此评价结果(一)和(二)是不矛盾的,由于它们综合评价的运算机制是“等权平均”,必然导致它们的评价结果(一)和(二)比起模糊综合评判法的低一些。

总之,模糊综合评判法是一种“主因素突出型”的评价方法,其信息遗失较多,使评价结果出现简并情形<sup>[4]</sup>。灰色聚类法是一种“加权平均型”的评价方法,信息的利用率较高,其评价结果的分辨率有所提高,但它毕竟是一种平均型的评价方法,当评价参数较多时,有可能掩盖主要因素的影响<sup>[7]</sup>;灰色局势决策法较上述两种方法运算简单,它基于当标准中各项都达到某一级标准时,它们分别对水质总体的影响是等价<sup>[8]</sup>(各因素同一级别隶属度的权重相等,且等于1)的原理,省去了求权重的运算过程,即认为各个项目对水质所施加的不同影响已作了考虑,无需再对各项目加权。在整个评价思路同于均权指数法,所不同的是,均权指数法是各因素对同一级水质标准值的隶属指数进行平均,而灰色局势决策法是对单因素各级海水标准值的隶属度求均值后,再择优评价结果,无人定评价等级范围的问题,尽管它的评价结果取决于所选择的隶属函数,但它毕竟是一种平均型的评价方法,因而亦存在当评价参数较多时,会掩盖主因素污染作用的情形,幸好它同上述提及的两种综合评价方法一样,从广义的角度来讲,它具有单因素评价(单因素决策矩阵即隶属函数)和多因素综合评价(多因素综合决策矩阵)的双重功能。因此,应用本方法评价,不仅可以知道各因素的污染状况,尚可知道多因素的综合评价情形。在进行综合评价时,根据不同的评价目的,可选择不同的综合评价模式,从这个意义上讲,本模式作为评价海水水质的一种方法,有它的新颖之处。

### 参 考 文 献

- [1] 徐恒振:大连湾现有监测站位及监测因子再优化,海洋环境科学,1992,11(1):80~87.
- [2] 蔡德昌:模糊综合评判法在海洋环境污染分析中的应用,海洋环境科学,1990,8(1):65~69.
- [3] 徐恒振等:用模糊数学评价海洋环境质量,交通环保,1988,(2):1~5.
- [4] 徐恒振:海水水质级别的模糊综合评价方法,海洋环境科学,1992,11(2):41~48.
- [5] 邓聚龙:灰色控制系统,华中工学院出版社,1985:404~426.
- [6] 蒋良维:河流水质级别判定方法探讨,重庆环境科学,1992,12(2):25~28.
- [7] 徐恒振:海水环境质量评价的灰色聚类法,海洋通报,1992,11(5):34~40.
- [8] 傅兴启:地面水水质综合评价的一种新方法——水质标准级别法,中国环境科学,1988,8(2):66~71.

## Application of Grey Situation Decision to Assessment of Sea Water Quality

Xu Hengzhen      Zhou Chuanguang

(*Institute of Marine Environmental Protection, SOA, Dalian, 116023*)

### Abstract

In this paper, grey situation decision method is used to assess sea water quality. After evaluating the four main pollution factors of the fifteen monitoring stations in Dalian Bay and comparing the results with those from fuzzy comprehensive evaluation and grey classification, it is shown that this new method for sea water quality assessment is a simple one. The fuzziness of the grading of sea water quality is evaluated with membership function instead of with weighting value.

**Key Words:** Grey situation decision    Sea water    Quality    Assessment