

利用模糊数学评价大沽河干流水质的研究

周贵忠¹, 张金恒¹, 王军强², 李 佳¹

(1. 青岛科技大学 生态环境与农业信息化研究所, 环境与安全工程学院, 山东 青岛 266042; 2. 青岛市农业技术推广站, 山东 青岛 266000)

摘 要:采用模糊数学方法对大沽河干流水水质进行综合评价。选定西巨家等 9 个监测断面, 确定高锰酸钾指数等 7 个评价因子, 通过建立评价因子矩阵, 计算各因子的权重及进行模糊综合运算, 得到各监测断面的综合水质状况。进一步分析发现, 早朝、江家庄监测断面综合水质较差。与实际结果进行比较可知, 采用模糊数学方法评价水质状况是一种较为恰当的方法。

关键词:水质; 模糊关系; 评价; 大沽河

中图分类号: X824 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2010)增刊-0191-05

Application of the Fuzzy Mathematics in Evaluation Dagou River Water Quality

ZHOU Gui-zhong¹, ZHANG Jin-heng¹, WANG Jun-qiang², LI Jia¹

(1. Institute of Eco-environment & Agriculture Information, School of Environment and Safety Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China; 2. Qingdao Station for Popularizing Agricultural Techniques, Qingdao 266000, China)

Abstract: In this paper, fuzzy mathematical method was used to evaluate Dagou River water quality. Nine Detection of cross-sections (Such as Xijujia, etc.) with seven evaluation factors (such as potassium permanganate index etc.) were selected to establish an evaluation factor matrix. The comprehensive water quality of each section was obtained by fuzzy computing with their calculate weight. The analysis revealed that the water qualities were bad in Zaobao, Jiangjiazhuang monitoring sections. Compared with the actual results we can see that the fuzzy mathematical method evaluation of water quality is a more appropriate way.

Keywords: water quality; fuzzy relation; Dagou River

大沽河流域位于胶东半岛西部, 处在东经 $120^{\circ}03' \sim 120^{\circ}25'$, 北纬 $36^{\circ}10' \sim 37^{\circ}12'$ 之间。流域总面积 $4\,631.3\text{ km}^2$, 流域范围包括烟台市的莱州、招远及莱阳市的一部分, 青岛市的莱西市以及平度、胶州、即墨、城阳 4 市(区)的一部分, 其中青岛市境内流域面积 $3\,722.7\text{ km}^2$ 。多年平均降水量 685.3 mm , 多年平均径流量 $6.311 \times 10^3\text{ m}^3$ 。其走向大致与干流走向相同^[1]。流域北部为山区和浅山丘陵区, 南部为山麓平原和平原洼地, 地势北高南低, 地形坡度由北向南逐

渐变缓。流域内山区 527.6 km^2 , 丘陵区 $1\,597.4\text{ km}^2$, 平原区 $1\,705.1\text{ km}^2$, 洼地 801.2 km^2 , 分别占流域面积的 11.4%、34.5%、36.8% 和 17.3%。

大沽河全长 179.9 km , 属常年性河流, 是青岛市最大、最可靠的水源地。然而随着水源分布区周边地区经济的发展, 水质污染和有序超采现象明显增加。青岛地区农业生产的长足发展离不开对农业的投入, 尤其是化肥、农药、除草剂等用量大幅度增长。化肥和农药的过量施用或不合理施用, 导致在水土流失的同时, 大量氮磷元素及农药进入水体。本文通过研究 2004 年大沽河流域青岛段的水质监测数据与国家标准进行对比, 建立大沽河流域青岛段水质与相关水质指标模糊关系, 为流域水污染控制和水资源的科学管理提供理论依据。

收稿日期: 2009-09-13

基金项目: 青岛市科技计划项目 (08-2-1-36-nsh, 09-1-1-53-nsh)

作者简介: 周贵忠, 博士后, 副教授, 硕士生导师。

E-mail: zhougz@qust.edu.cn

通讯作者: 张金恒 E-mail: zhangjinheng@qust.edu.cn

1 水质监测数据

大沽河主河道自入青岛境内至胶州湾,干流全程自上而下布设了西巨家、马连庄、早朝、江家庄、后沙湾庄、移风坝、青平公路桥、麻湾桥、斜拉桥 9 个监测断面。监测项目主要包括 pH、温度、电导率、DO、高

锰酸盐指数、五日生化需氧量、挥发酚、石油类、化学需氧量、总磷、氨氮和铜、锌、铅、镉、铬等。根据大沽河干流水质现状,从中筛选出高锰酸盐指数、五日生化需氧量、氨氮、挥发酚、石油类、总磷、化学需氧量等 7 项作为河流综合污染指数的评价指标(如表 1 所示),取值为 2004 年各项指标平均值。

表 1 2004 年大沽河干流水质监测结果统计 (mg · L⁻¹)
Table 1 Statistics of Dagu River water quality monitoring results in 2004 (Annual average Units: mg · L⁻¹)

序号	监测断面	高锰酸盐指数	五日生化需氧量	氨氮	挥发酚	石油类	总磷	化学需氧量
1	西巨家	1.32	0.90	0.085	0.001	0.010	0.005	5.00
2	马连庄	1.24	1.10	0.072	0.001	0.010	0.005	5.50
3	早朝	5.85	5.05	0.700	0.001	0.010	0.222	22.5
4	江家庄	5.5	3.61	0.349	0.001	0.010	0.134	18.31
5	后沙湾庄	4.48	3.15	0.244	0.001	0.010	0.090	15.17
6	移风坝	3.38	1.61	0.150	0.001	0.010	0.073	10.00
7	青平公路桥	3.17	1.57	0.248	0.001	0.010	0.073	9.67
8	麻湾桥	2.56	3.13	0.134	0.001	0.010	0.113	13.69
9	斜拉桥	5.48	4.82	0.409	0.001	0.010	0.221	24.06

2 结果与分析

2.1 水质分级

按照上列指标要求,根据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),结合大沽河当地情况^[8],将河水水质分为 5 级,确定水质标准值如表 2。

2.2 水质评价方法

本研究采用模糊数学原理对水质进行综合评判。模糊综合评判法是一种运用模糊数学原理分析和评价具有“模糊性”事物的系统分析方法,它是以模糊推理为主的定性定量相结合、精确与非精确相统一的分析评价方法^[2-4]。在进行模糊综合评价时,以隶属度来划分事物的模糊界限,并以隶属函数来表示。针对水质污染问题,在给定的水质分级标准后,需要确立达到该标准所表述之特征的程度,即建立各因子对

相应水质级别的隶属函数,然后将实测值代入相应的隶属函数,经过模糊变换与综合运算,得到综合隶属度,再依此确定水体的水质级别。其步骤如下:

2.2.1 建立水质评价因子集合

设评价因子集合为 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 其中 $u_1, u_2, \dots, u_n$ 为参与评价的 n 个评价因子。在本研究中 $U = \{\text{高锰酸盐指数, 五日生化需氧量, 氨氮, 挥发酚, 石油类, 总磷, 化学需氧量}\}$ 。

2.2.2 建立水质评价等级

水质评价等级集合 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$, 其中 $v_1, v_2, \dots, v_m$ 是与相对应评价标准分级的集合。在本研究中 $V = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ 。

2.2.3 建立隶属函数

用降半梯形分布函数,确定某种因素的隶属度:

表 2 大沽河河水水质分级 (mg · L⁻¹)
Table 2 The water quality classification of Dagu River (mg · L⁻¹)

序号	分类	高锰酸盐指数	五日生化需氧量	氨氮	挥发酚	石油类	总磷	化学需氧量
1	I	2	3	0.15	0.002	0.05	0.02	15
2	II	4	3	0.50	0.002	0.05	0.10	15
3	III	6	4	1.00	0.005	0.05	0.20	20
4	IV	10	6	1.50	0.010	0.50	0.30	30
5	V	15	10	2.00	0.100	1.00	0.40	40

$$U(X) = \begin{cases} 1 & 0 \leq X \leq a_1 \\ \frac{a_2 - X}{a_2 - a_1} & a_1 < X \leq a_2 \\ 0 & X > a_2 \end{cases}$$

式中: X 为样本中评价因子的实测值; a_1, a_2 为相邻两水质等级的标准值; $U(X)$ 为某种元素的隶属度, 其中: 当 $X \leq a_1$ 时, X 对 i 级的 X 隶属度 $U(X) = 1$; 当 $X > a_2$ 时, X 对 i 级的 X 隶属度 $U(X) = 0$; 当 $a_1 < X \leq a_2$ 时, X 对 i, j 级都有隶属关系, 且 $U(X) = (a_2 - X)/(a_2 - a_1)$ 。

2.2.4 建立模糊矩阵

通过隶属函数, 利用实测值, 求出 i 个单项指标对 j 级水的隶属程度, 得出 i, j 矩阵 R 如下:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1j} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \cdots & r_{ij} \end{bmatrix}$$

其中 r_{ij} 表示第 i 个评价因子对第 j 级评价等级的隶属度。

考虑每个参与评价的因子对水质影响的贡献率不同, 相应有不同的侧重, 需要对每个参与评价的因子赋予不同的权重, 组成参与评价因子的权数矩阵 W 如下:

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_i]$$

式中: w_i 为第 i 个评价因子的权重数, 对于数值越大污染越重的指标 $w_i = c_i/s_i$ 。

c_i 为第 i 种污染物实测浓度, s_i 为第 i 种污染物各级标准值的算术平均值。

对 w_i 进行归一化处理, 由 $a_i = \frac{w_i}{\sum w_i}$, 得到归一化处理后的权数矩阵如下:

$$A = [a_1, a_2, \dots, a_n]$$

2.2.5 建立水质评价模型并计算结果

应用模糊综合运算对矩阵 A, R 进行运算, 按照模糊矩阵的运算法则, 得出综合评价结果。将矩阵 A 与矩阵 R 进行复合运算^[5-6]:

$$Y = A \cdot R = [y_1, y_2, \dots, y_i]$$

式中: Y 为模糊综合评价结果, 此结果对应于各级水质的隶属度; $\cdot$ 为模糊矩阵的复合运算, 一般取算子“ $\vee$ ”和“ $\wedge$ ”。

这样可得出总体对于各级水质的隶属度。一般采取隶属度最大的原则, 如果在模糊矩阵复合运算结果中出现两个最大值, 则考虑与次大值贴近的那个结

果所在的水质级别。

2.3 评价结果与讨论

2.3.1 建立单因子评判矩阵

根据 2004 年大沽河干流水质检测结果(表 1)和《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)(表 2), 可以计算 9 个检测断面的单因子隶属度, 建立如下相关隶属度矩阵^[7-9]:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0.007 & 0.93 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.47 & 0.53 & 0 \\ 0 & 0.60 & 0.40 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.78 & 0.22 & 0 \\ 0 & 0 & 0.75 & 0.25 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0.25 & 0.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0.39 & 0.61 & 0 & 0 \\ 0 & 0.43 & 0.57 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.66 & 0.34 & 0 & 0 \\ 0 & 0.34 & 0.66 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0.76 & 0.24 & 0 & 0 \\ 0 & 0.85 & 0.15 & 0 & 0 \\ 0 & 0.74 & 0.26 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.12 & 0.88 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.97 & 0.03 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_6 = \begin{bmatrix} 0.31 & 0.69 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.34 & 0.66 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_7 = \begin{bmatrix} 0.41 & 0.59 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.72 & 0.28 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.34 & 0.66 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_8 = \begin{bmatrix} 0.72 & 0.28 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.87 & 0.13 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.87 & 0.13 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_9 = \begin{bmatrix} 0 & 0.26 & 0.74 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.59 & 0.41 & 0 \\ 0.26 & 0.74 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.79 & 0.21 & 0 \\ 0 & 0 & 0.59 & 0.41 & 0 \end{bmatrix}$$

2.3.2 确立各因子的权重集

按前述的权重计算方法,归一化处理后,建立归一化权重矩阵 A , 可得到 9 个监测断面的权重集。

2.3.2.1 权重计算集

$$W_1 = [0.178\ 4 \quad 0.173\ 1 \quad 0.082\ 5 \quad 0.042\ 0 \quad 0.030\ 3 \quad 0.024\ 5 \quad 0.208\ 3]$$

$$W_2 = [0.167\ 6 \quad 0.211\ 5 \quad 0.069\ 9 \quad 0.042\ 0 \quad 0.030\ 3 \quad 0.024\ 5 \quad 0.229\ 2]$$

$$W_3 = [0.790\ 5 \quad 0.971\ 2 \quad 0.679\ 6 \quad 0.042\ 0 \quad 0.030\ 3 \quad 1.088\ 2 \quad 0.937\ 5]$$

$$W_4 = [0.743\ 2 \quad 0.694\ 2 \quad 0.338\ 8 \quad 0.042\ 0 \quad 0.030\ 3 \quad 0.656\ 9 \quad 0.762\ 9]$$

$$W_5 = [0.605\ 4 \quad 0.605\ 8 \quad 0.236\ 9 \quad 0.042\ 0 \quad 0.030\ 3 \quad 0.441\ 2 \quad 0.632\ 1]$$

$$W_6 = [0.456\ 8 \quad 0.309\ 6 \quad 0.145\ 6 \quad 0.042\ 0$$

$$0.030\ 3 \quad 0.357\ 8 \quad 0.416\ 7]$$

$$W_7 = [0.428\ 4 \quad 0.301\ 9 \quad 0.240\ 8 \quad 0.042\ 0 \quad 0.030\ 3 \quad 0.357\ 8 \quad 0.402\ 9]$$

$$W_8 = [0.345\ 9 \quad 0.601\ 9 \quad 0.130\ 1 \quad 0.042\ 0 \quad 0.030\ 3 \quad 0.553\ 9 \quad 0.570\ 4]$$

$$W_9 = [0.740\ 5 \quad 0.926\ 9 \quad 0.397\ 1 \quad 0.042\ 0 \quad 0.030\ 3 \quad 1.083\ 3 \quad 1.002\ 5]$$

2.3.2.2 归一化处理集

$$A_1 = [0.241\ 3 \quad 0.234\ 2 \quad 0.111\ 6 \quad 0.056\ 8 \quad 0.041\ 0 \quad 0.033\ 2 \quad 0.281\ 9]$$

$$A_2 = [0.216\ 2 \quad 0.273\ 0 \quad 0.090\ 2 \quad 0.054\ 2 \quad 0.039\ 1 \quad 0.031\ 6 \quad 0.295\ 7]$$

$$A_3 = [0.174\ 2 \quad 0.213\ 9 \quad 0.149\ 7 \quad 0.009\ 3 \quad 0.006\ 7 \quad 0.239\ 7 \quad 0.206\ 5]$$

$$A_4 = [0.227\ 4 \quad 0.212\ 4 \quad 0.103\ 7 \quad 0.012\ 9 \quad 0.009\ 3 \quad 0.201\ 0 \quad 0.233\ 4]$$

$$A_5 = [0.233\ 4 \quad 0.233\ 6 \quad 0.091\ 3 \quad 0.016\ 2 \quad 0.011\ 7 \quad 0.170\ 1 \quad 0.243\ 7]$$

$$A_6 = [0.259\ 7 \quad 0.176\ 0 \quad 0.082\ 8 \quad 0.023\ 9 \quad 0.017\ 2 \quad 0.203\ 5 \quad 0.236\ 9]$$

$$A_7 = [0.237\ 4 \quad 0.167\ 3 \quad 0.133\ 5 \quad 0.023\ 3 \quad 0.016\ 8 \quad 0.198\ 3 \quad 0.223\ 3]$$

$$A_8 = [0.152\ 1 \quad 0.264\ 6 \quad 0.057\ 2 \quad 0.018\ 5 \quad 0.013\ 3 \quad 0.243\ 5 \quad 0.250\ 8]$$

$$A_9 = [0.175\ 4 \quad 0.219\ 5 \quad 0.094\ 0 \quad 0.010\ 0 \quad 0.007\ 2 \quad 0.256\ 5 \quad 0.237\ 4]$$

2.3.3 进行模糊综合评判计算

根据模糊运算法则, $Y = A \cdot R$, 应用模糊综合运算对矩阵 A, R 进行运算, 可以得到各检测断面的综合水质。

$$Y_1 = A_1 \cdot R_1 = \begin{bmatrix} 0.241\ 3 \\ 0.234\ 2 \\ 0.111\ 6 \\ 0.058\ 6 \\ 0.041\ 0 \\ 0.033\ 2 \\ 0.281\ 9 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} =$$

$$[1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

同理,

$$Y_2 = A_2 \cdot R_2 = [1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$$Y_3 = A_3 \cdot R_3 = [0.016\ 0 \quad 0.102\ 0 \quad 0.664\ 2 \quad 0.217\ 7 \quad 0]$$

$$Y_4 = A_4 \cdot R_4 = [0.022\ 2 \quad 0.396\ 3 \quad 0.581\ 6 \quad 0 \quad 0]$$

$$Y_5 = A_5 \cdot R_5 = [0.048\ 3 \quad 0.829\ 6 \quad 0.122\ 1 \quad 0 \quad 0]$$

$$Y_6 = A_6 \cdot R_6 = [0.686\ 5 \quad 0.313\ 5 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$$Y_7 = A_7 \cdot R_7 = [0.691\ 6 \quad 0.308\ 4 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$$Y_8 = A_8 \cdot R_8 = [0.449\ 3 \quad 0.484\ 6 \quad 0.066\ 1 \quad 0 \quad 0]$$

$$Y_9 = A_9 \cdot R_9 = [0.041\ 6 \quad 0.447\ 3 \quad 0.413\ 7 \quad 0.097\ 3 \quad 0]$$

根据最大隶属度原则可对大沽河9个监测断面的水质进行综合评价,综合评价结果为:西巨家、马连庄、移风桥坝、青平公路桥监测断面综合水质为Ⅰ级,后沙湾庄、麻湾桥、斜拉监测断面综合水质为Ⅱ级,早朝、江家庄监测断面综合水质较差,为Ⅲ级水质。该区域的规划水质为劣于Ⅲ类,因此从选定的七个指标来看,本年度的综合水质均达标。

4 结论

应用模糊数学理论对大沽河干流水质进行模糊综合评价,得出如下结论:

(1)通过模拟发现在早朝、江家庄监测断面水质较差,与其上游的工业污水排放及化肥、农药的不合理使用呈正相关。

(2)模糊综合评价方法在评价水质时不仅限于评价单因子指标,在综合加权时充分考虑各污染物的污染权重,经过归一化方法比较不同因子污染状况,能够较客观放映实际情况。

参考文献:

- [1]孟春霞,王成见,董少杰.大沽河青岛段地表水水质变化分析[J].水资源与水工程学报,2008,19(1):73-76.
MENG Chun-xia, WANG Cheng-jian, DONG Shao-jie. Analysis on ground water quality changes in Qingdao Reach of Daguhe River [J]. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2008, 19(1): 73-76.
- [2]李莲芳,曾希柏,李国学,等.利用模糊综合评判法评价潮白河流域水质[J].农业环境科学学报,2006,25(2):471-476.

- LI Lian-fang, ZENG Xi-bai, LI Guo-xue, etc. Water quality assessment in Chaobai River by fuzzy synthetic evaluation method[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(2): 471-476.
- [3]Gvishiani, S M Agayan, S R Bogoutdinov, et al. Mathematical methods of geoinformatics. (II): Fuzzy-logic algorithms in the problems of abnormality separation in time series[J]. *Cybernetics and Systems Analysis*, 2003, 39(4): 555-563.
- [4]Weldon A L. Reliable computing: Special issue on the linkages between interval mathematics and fuzzy set theory[J]. *Reliable Computing*, 2002, 8(1): 93-95.
- [5]凌敏华,左其亨.水质评价的模糊数学方法及其应用研究[J].人民黄河,2006,28(1):34-36.
LING Min-hua, ZUO Qi-ting. Water quality assessment and application of fuzzy mathematics method[J]. *Yellow River*, 2006, 28(1): 34-36.
- [6]王晓燕,王一岫,蔡新广,等.北京密云水库流域非点源污染现状研究[J].环境科学与技术,2002,25(4):1-4.
WANG Xiao-yan; WANG Yi-xun; CAI Xing-guang, etc. Investigation of non-point pollution in watershed of Miyun Reservoir[J]. *Environmental Science and Technology*, 2002, 25(4): 1-4.
- [7]国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局.地表水环境质量标准 GB3838 [M].北京:中国环境科学出版社,2002.
State Environmental Protection Administration, State Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Environmental quality standards for surface water GB3838[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [8]杨林,李小玲.模糊数学在湟水流域水质综合评价中的应用[J].中国环境监测,2000(12):49-52.
YANG Lin, LI Xiao-ling. Application of fuzzy in huangshui river water quality synthetical evaluation[J]. *Environmental Monitoring In China*, 2000(12): 49-52.
- [9]慕全波,侯馥.灰色聚类法在水环境质量评价中的应用[J].环境科学,1991(2):86-90.
MU Quan-bo, HOU Fu. Application of grey clustering method to water environmental quality assessment[J]. *Environmental Science*, 1991(2): 86-90.