

文章编号:1672-058X(2009)02-0190-04

## 模糊综合评价模型在水质整体质量 评价中的应用\*

何锦峰<sup>1</sup>, 刘艳艳<sup>1</sup>, 舒 兰<sup>2</sup>, 刘邵权<sup>3</sup>

(1. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074; 2. 重庆交通大学 人文学院, 重庆 400074;  
3. 中科院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

**摘 要:**构建了水质模糊综合评价模型,并以雅安市青衣江龟都府水质监测断面为例,对比分析了水质的单因子评价法和模糊综合评价方法的特点.结果表明:雅安市青衣江龟都府水质的单因子评价结果为Ⅲ类,模糊综合评价结果对Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类水质标准相应的隶属度分别为0.771 6, 0.178 1, 0.050 3,反映尽管断面水质在单因子评价中为Ⅲ类,但大部分监测指标能达到Ⅰ、Ⅱ类标准,模糊综合评价比单因子评价法更能全面地反映水质状况.

**关键词:**水质;模糊综合评价;单因子评价;隶属度

**中图分类号:**X 37;X 322

**文献标识码:**A

水质综合评价是一种依据水质标准进行水质等级划分的典型的模式识别问题.目前水质综合评价模型主要有单因子评价法、模糊模式识别法、灰关联模式识别法、BP人工神经网络法等.由于水质模糊综合评价法能充分考虑每个因子对综合评价结果的贡献,并把贡献按权重进行分配,评价结果反映了各评价参数的综合作用,使其便于在不同地区间进行水质横向比较,能够较为准确的反映水质综合状况<sup>[1]</sup>.

### 1 水质模糊综合评价模型

#### 1.1 水质模糊综合评价模型构建

水质模糊综合评价的基本思路是先对参评指标的各评价级别进行综合,得到样品对各个评价级别的综合满意度,然后再根据评价问题的需要予以集化,得到一个最终的评价结果<sup>[2]</sup>.其评价模型构建思路如下:

设评价因素集为  $U = \{U_1, U_2, \dots, U_i, \dots, U_n\}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ),  $n$  为评价因子数;评价级别集为  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_j, \dots, V_m\}$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ),  $m$  为评价级别数;评价因素的权重系数集为  $A = (A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n)$  ( $0 < \alpha_i \leq 1$ ); $R$  为由单要素评价向量组成的综合评价矩阵,单要素评价向量为单个评价因子相对于各评价等级的隶属度所组成的向量.则水质模糊综合评价结果为:

$$B = A \circ R \quad (1)$$

式(1)中,“ $\circ$ ”为模糊运算的合成算子.

#### 1.2 隶属度的确定

隶属度在模糊综合评价中是指某一评价因子在指定论域中的隶属程度.水质综合评价的关键是要确定诸因子的隶属函数.隶属函数确定有多种方式,一般常选用升(降)半梯形分布,建立一元线性隶属函数<sup>[3]</sup>.

收稿日期:2008-12-23;修回日期:2009-01-23.

\* 基金项目:雅安市人民政府“雅安市国家级生态市建设规划”项目.

作者简介:何锦峰(1975-),男,四川广安人,博士,副教授,从事生态环境评价与保护等方面的研究工作.

设  $x_i$  表示第  $i$  种污染因子的浓度值,则第  $i$  种污染因子属于第  $j$  类水质的隶属度计算关系式为:

$$\mu_{i1}(x_i) = \begin{cases} 1, & x_i \leq s_{i1} \\ (x_i - s_{i1}) / (s_{i1} - s_{i2}), & s_{i1} < x_i \leq s_{i2} \\ 0, & x_i > s_{i2} \end{cases}$$

$$\mu_{ij}(x_i) = \begin{cases} (x_i - s_{ij-1}) / (s_{ij} - s_{ij-1}), & s_{ij-1} < x_i < s_{ij} \\ (x_i - s_{ij+1}) / (s_{ij} - s_{ij+1}), & s_{ij} < x_i < s_{ij+1} \\ 0, & x_i > s_{ij+1} \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{im}(x_i) = \begin{cases} 1, & x_i \geq s_{im} \\ (x_i - s_{im-1}) / (s_{im} - s_{im-1}), & s_{im-1} \leq x_i \leq s_{im} \\ 0, & x_i < s_{im-1} \end{cases}$$

式(2)中: $\mu_{ij}$ 为第  $i$  种污染因子属于第  $j$  类水质的隶属度; $n$ 为评价因子数; $m$ 为水质级别数; $x_i$ 为第  $i$  种评价因子的监测值; $s_{ij}$ 为第  $i$  种评价因子第  $j$  类的国家标准浓度.

根据式(2)首先得某一样品各个评价因子的单因子模糊评价隶属度向量  $R_i$ ,

$$R_i = (\mu_{i1}, \mu_{i2}, \dots, \mu_{ij}, \dots, \mu_{im}) \quad (3)$$

然后将各单因子评价集的隶属度为行组成隶属度综合评价矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_i \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \mu_{1j} & \dots & \mu_{1m} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \dots & \mu_{2j} & \dots & \mu_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu_{i1} & \mu_{i2} & \dots & \mu_{ij} & \dots & \mu_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu_{n1} & \mu_{n2} & \dots & \mu_{nj} & \dots & \mu_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

### 1.3 权重的确定

确定权重的方法较多,根据  $n$  种污染因子所产生的污染作用的不同,以污染物的超标情况决定权重较为合理.也就是说超标越多则赋权越大,并进行归一化处理得到权重系数矩阵,计算方式如下<sup>[4]</sup>:

$$\alpha_i = \frac{x_i}{s_i} \quad (5)$$

$$s_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_{ij} \quad (6)$$

式(5)、(6)中: $\alpha_i$ 为第  $i$  种污染物的权重; $x_i$ 为第  $i$  种污染物的浓度实测值; $s_i$ 为第  $i$  种污染物的多级浓度标准值的平均值; $s_{ij}$ 为第  $i$  种污染物的第  $j$  类的标准值; $m$ 为水质级别数.

由于 DO 与其他因素性质相反,实测 DO 浓度大,说明水质污染不严重,水质好.所以 DO 的权重值取  $\frac{x_i}{s_i}$  的倒数.得到评价因素的权重集为:

$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_n) \quad (7)$$

对评价因素权重集,即式(7)进行归一化处理,得到评价因素权重系数矩阵:

$$A = (A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n) \quad (8)$$

其中:

$$A_i = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (9)$$

### 1.4 模糊矩阵复合运算

综合评价结果是通过权重系数矩阵  $A$  和模糊隶属度评价矩阵  $R$  的复合运算得到,由公式(1)(4)(8)得:

$$B = A \circ R = (A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n) \circ \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{11} & \dots & \mu_{1j} & \dots & \mu_{1m} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \dots & \mu_{2j} & \dots & \mu_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu_{i1} & \mu_{i2} & \dots & \mu_{ij} & \dots & \mu_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu_{n1} & \mu_{n2} & \dots & \mu_{nj} & \dots & \mu_{nm} \end{bmatrix} \quad (10)$$

式(10)中运算符号“ $\circ$ ”为合成算子,通常采用两种处理方法:一是模糊矩阵合成算法;二是普通矩阵的算法.按模糊矩阵合成法则,即按最大、最小运算法则进行,与普通矩阵算法相比较,运算过程一样,只是将实数加法改为逻辑加“ $\vee$ ”,实数乘法改为逻辑乘“ $\wedge$ ”.由于其运算法则只突出了隶属度很大和很小项的作用,所得运算结果 $B$ 中的值有时相等,评价不出优劣,这在实际问题的处理中是不合理的.因此,采用普通矩阵的算法进行复合运算,这种算法在评价结果向量中包括所有因素的共同作用,真正体现了综合<sup>[5]</sup>.

### 1.5 模糊水质综合评价结果

运算结果矩阵 $B$ 中的值是对应于集合 $V$ 的各项隶属度,反映了评价水质对 I、II、III、IV、V 类水质标准的所属程度.

## 2 雅安市水质模糊综合评价

雅安市位于四川省中西部,市内青衣江属岷江水系,是大渡河左岸最大的一级支流,作为雅安市水资源的重要组成部分,其水质的优劣直接影响着工农业的发展和人们的生产生活.以《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)作为评价标准,采用模糊综合评价法对 2007 年雅安市青衣江龟都府断面水质进行评价.

### 2.1 评价方法

根据《地表水环境质量标准》规定的 5 类水质标准,构建相应的水质量评价集: $V = \{I, II, III, IV, V\}$ .结合雅安市青衣江龟都府断面水污染特性和监测情况,选择 21 个决定水质类别的评价因子组成因子集: $U = \{DO, COD_{Mn}, BOD_5, \text{氨氮}, \text{总磷}, \text{总氮}, \text{铜}, \text{锌}, \text{氟化物}, \text{硒}, \text{砷}, \text{汞}, \text{镉}, \text{六价铬}, \text{铅}, \text{氰化物}, \text{挥发酚}, \text{石油类}, \text{阴离子表面活性剂}, \text{硫化物}, \text{粪大肠菌群}\}$ .

### 2.2 评价数据

评价数据采用 2007 年青衣江龟都府断面监测指标的年平均值(表 1)<sup>[6]</sup>:

表 1 龟都府断面水质评价指标年平均值

	mg/L						
评价指标	DO	COD <sub>Mn</sub>	BOD <sub>5</sub>	氨氮	总磷	总氮	铜
监测值	8.6	1.9	1.0	0.156	0.07	0.301	0.000 5
评价指标	锌	氟化物	硒	砷	汞	镉	六价铬
监测值	0.025	0.329	0.000 17	0.000 05	0.000 025	0.000 5	0.004
评价指标	铅	氰化物	挥发酚	石油类	阴离子表面活性剂	硫化物	粪大肠菌群
监测值	0.005	0.002	0.002	0.011	0.03	0.017	2 134 个

### 2.3 水质模糊综合评价结果

根据 21 种评价因子监测数据计算权重<sup>[7]</sup>,并进行归一化处理得到青衣江龟都府断面监测的权重系数矩阵: $A = (0.189 3, 0.088 9, 0.066 6, 0.052 5, 0.118 9, 0.100 3, 0.000 2, 0.007 2, 0.095 0, 0.004 2, 0.000 2, 0.019 7, 0.033 3, 0.026 6, 0.039 4, 0.005 3, 0.029 1, 0.011 5, 0.043 3, 0.017 3, 0.051 2)$ .

将表 1 数据代入公式(2),得青衣江龟都府断面水质隶属度评价矩阵 $R$ ,再利用式(1)对权重系数矩阵 $A$ 和隶属度综合评矩阵 $R$ 进行复合运算得到监测断面模糊综合评价结果 $B$ : $B = (0.771 6, 0.178 1, 0.050 3, 0.000 0, 0.000 0)$ .

计算结果可看出,雅安市青衣江龟都府断面的水质对 I、II、III类水质标准相应的隶属度分别为 0.771 6, 0.178 1, 0.050 3,表明尽管有个别指标只能达到 III类水表明,但大部分指标均能达到 I、II类水要求,该区域水质状况良好,这与实际情况比较相符。

### 3 结论与讨论

根据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)的 21 项评价参数和标准,用单因子评价法对龟都府断面进行评价,其中达到 I、II、III类评价因子分别为 16、4、1 个,占总参评因子数量比例分别为 76.2%、19.0%、4.8%,断面水质为 III类,决定水质类别的参数为粪大肠菌群(表 1)。而模糊评价结果表明,该断面属于 III类水水质的程度仅为 0.050 3,属于粪大肠菌群引起的评价等级,而属于 II类水水质的程度为 0.178 1,相对应的水质污染物指标主要为氨氮、总磷、总氮和挥发酚,其他水质污染物指标均能达到 I类水标准,反映出主要污染类型为生活污染物排放导致的有机污染<sup>[8]</sup>。因此,模糊综合评价结果比单项水质参数评价法的评价结果更能全面、客观地反映出水体的整体水质状况。

#### 参考文献:

- [1] 李奇珍,何俊仕.水质综合评价方法探讨[J].人民黄河,2007,29(1):50-52
- [2] 田钦谟.模糊综合评价中的权向量与合成算子[J].大连水产学院学报,2000,15(1):55-59
- [3] 何锦峰.水资源价值评价—以成都市为例[D].北京:中国科学院,2000
- [4] 陈剑,白艳丽.模糊数学在浑河(抚顺段)水质综合评价中的应用[J].辽宁城乡环境科技,2003,23(2):21-24
- [5] 刘彬,周玉娟,奕清华.模糊数学在地下水水质综合评价中的应用[J].河北建筑科技学院学报,2006,23(1):8-10
- [6] 雅安市环境保护局.2007年雅安市环境质量报告书[R].2008,3:23-29
- [7] 李鸿吉.模糊数学基础及实用算法[M].北京:科学出版社,2005
- [8] 曾永,樊引琴.水质模糊综合评价法与单因子指数评价法比较[J].人民黄河,2007,29(2):64-65

## Application of fussy mathematical model to water quality assessment

HE Jin - feng<sup>1</sup>, LIU Yan - yan<sup>1</sup>, SHU Lan<sup>2</sup>, LIU Shao - quan<sup>3</sup>

(1. School of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. School of Humanities, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

3. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Sichuan Chengdu 610041, China)

**Abstract:** Taking Guidufu water observation section in Qingyi River as an example, a fussy comprehensive assessment model was set up to make an evaluation on water quality. It also analyzed the differences between fussy model and single index model. The results show that the water quality belongs to III according to single index model, it covers water quality of II, III, and the subordinate degrees account for 0.771 6, 0.178 1, 0.050 3 respectively, compared with single index model, fussy model can explain the real condition of water quality.

**Key words:** water quality; Fussy Comprehensive Assessment; single index assessment model; subordinate degree

责任编辑:李翠薇