

模糊综合评价法在余姚江水质评价中的应用

于会泉^{1,2}

(1. 浙江同济科技职业学院, 浙江 杭州 311231; 2. 河海大学, 江苏 南京 210098)

摘要: 水体质量受到多种因素的影响,水质分类与评价标准具有复杂模糊性,因此,从众多影响因素中选取溶解氧、高锰酸盐指数、氨氮、总氮、总磷、五日生化需氧量 6 个组分作为评价因子,构造综合评判模糊数学模型。对余姚江的开丰桥、蜀山大桥、丈亭、姚江大西坝、姚江大闸 5 个典型监测站的水质进行监测与综合分析评价。结果表明:丈亭、姚江大西坝、姚江大闸监测站的水质基本达到地表水环境质量标准,但其他监测站的水质评价结果不容乐观。该模型操作方法简单、结果可靠。通过水质评价为其合理使用提供指导,可以有针对性的制定江河水质的治理方案。

关键词: 模糊综合评价; 水质评价; 隶属度矩阵; 余姚江

中图分类号: X824

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)01-0171-03

Application of fuzzy comprehensive evaluation method in water quality evaluation of Yuyaojiang river

YU Huiquan^{1,2}

(1. Zhejiang Tongji College of Science And Technology, Hangzhou 311231, China;

2. Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Water quality is affected by a number of factors, and its classification and evaluation standard are complex and fuzzy. Therefore, this paper constructed a mathematical model based on fuzzy comprehensive evaluation, select six evaluation factors such as dissolved oxygen, ammonia nitrogen, permanganate index, total nitrogen, total phosphorus, five day BOD and so on from many factors. After monitoring and comprehensive evaluation of water quality of the five typical monitoring stations including Kaifeng Bridge, Shushan Bridge, Zhangting, West Dam and Sluice of Yaojiang River, the result shows that water quality at the monitoring stations of Zhangting, West Dam and Sluice of Yao River reaches the environmental quality standard of surface water. However, water quality of other monitoring stations is not optimistic. The operation of this model is simple and reliable. The evaluation of water quality provides guidance for its rational use, so as to specially make a control project of water quality of the river.

Key words: fuzzy comprehensive evaluation; water quality evaluation; membership degree matrix; Yuyaojiang river

0 引言

随着我国改革程度的进一步深入,位于我国长三角的余姚经济发生了巨大变化,在经济发展的同时,导致的环境问题也日益突出,其中,余姚江水质亦呈下降趋势,江上随处可见的漂浮物,大量繁殖的绿藻等,水质污染直接影响到供水区居民用水安全和社会经济的发展,因此,对江河水质作出直观评价是非常重要的。目前,有很多评价水质的方法,如综合指数评价法、主成分分析法^[1]、判别分析法^[2]、模

糊综合评价法^[3-4]、人工神经网络模型遗传算法^[5]等。模糊数学是美国加利福尼亚大学控制论专家扎德教授于 1965 年创立的,模糊综合评价法是以模糊数学理论作为基础,近年来在水利工程领域得到了广泛的应用^[6]。由于水质评价指标具有多样性、随机性和模糊性,因此笔者采用模糊综合评价法对余姚江水质进行了评价。

1 模糊识别模型

水体污染程度的轻重属于模糊概念,模糊识别

模型是指对模糊事物进行识别和判断,它以模糊数学为基础。因此,根据水质的级别标准值进行水体污染程度的评价,是一个模糊模式识别^[7-8]问题。其模型具体内容为:设 n 个水体样本集合 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 为实测指标集合,每个样本有 m 项评价指标集合 $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$ 为评价标准所组成的集合。则有实测指标矩阵:

$$X_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} = (x_{ij}) \quad (1)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。 x_{ij} 为样本 j 指标 i 的实测值。

m 项指标按 c 级水质标准评价,有指标标准矩阵

$$Y_{m \times c} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1c} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2c} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mc} \end{bmatrix} = (y_{ih}) \quad (2)$$

式中: $h = 1, 2, \dots, c$; y_{ih} 为 h 级标准指标 i 的标准值。

由于水体污染的模糊性,用相对隶属度来表达其相应的模数变换,则模糊数学模型为:

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} \leq y_{i1} \text{ (或 } x_{ij} \geq y_{ic}) \\ \frac{x_{ij} - y_{ic}}{y_{i1} - y_{ic}} & y_{i1} > x_{ij} > y_{ic} \\ 1 & x_{ij} \geq y_{ic} \text{ (或 } x_{ij} \leq y_{i1}) \end{cases} \quad (3)$$

$$s_{ih} = \begin{cases} 1 & y_{ih} = y_{ic} \\ \frac{y_{i1} - y_{ih}}{y_{i1} - y_{ic}} & y_{ih} > y_{ij} > y_{ic} \\ 0 & y_{ih} = y_{i1} \end{cases} \quad (4)$$

式中: r_{ij} 为 j 指标对 i 的特征值的相对隶属度; s_{ih} 为 h 指标标准值的相对隶属度;对实测浓度越大污染越重的指标 i , $x_{ij} \leq y_{i1}$, 其对于污染的相对隶属度为 $r_{ij} = 0$; $x_{ij} \geq y_{ic}$, $r_{ij} = 1$;对实测值越大污染越轻的指标 i (如溶解氧), $x_{ij} \geq y_{i1}$ 时 $r_{ij} = 0$; $x_{ij} \leq y_{ic}$ 时, $r_{ij} = 1$;介于 y_{i1} 和 y_{ic} 之间,按线性内插法计算 r_{ij} 。类似地 i 的 1 级标准值对污染的相对隶属度为 0;指标 i 的 c 级标准值对污染的相对隶属度为 1;介于 1 级与 c 级之间指标 i 的 h 级标准值相对隶属度 s_{ih} 按线性内插法确定。

通过模糊变换,得到相对隶属度的 R 与 S 矩阵:

$$R_{m \times n} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} = (r_{ij}) \quad (5)$$

$$S_{m \times c} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1c} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2c} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \cdots & s_{mc} \end{bmatrix} = (s_{ih}) \quad (6)$$

样本 j 以相对隶属于 h 级水质标准,则有样本相对隶属度矩阵:

$$U_{c \times n} = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ u_{m1} & u_{m2} & \cdots & u_{cn} \end{bmatrix} = (u_{hj}) \quad (7)$$

满足约束条件 $\sum_{h=1}^c u_{hj} - 1 = 0, \forall j$ 及 $\sum_{j=1}^n u_{hj} > 0, \forall h$ 时,其权重按列归一化矩阵为:

$$W_{m \times n} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_{m1} & w_{m2} & \cdots & w_{mn} \end{bmatrix} = (w_{ij}) \quad (8)$$

同样地,集合满足约束条件时,其样本 j 与 h 级水质标准之间的差异可用加权广义权距离表示,并以加权广义权距离平方和最小为目标函数,其参数取欧氏距离即 $P = 2$ 。由此建立水体污染模糊模式识别评价模型:

$$u_{hj} = \begin{cases} 0 & h < a_j \text{ 或 } h > b_j \\ 1 / \sum_{k=a_j}^{b_j} \left[\frac{\sum_{i=1}^m (w_{ij} | r_{ij} - s_{ik} |)^p}{\sum_{i=1}^m (w_{ij} | r_{ij} - s_{ik} |)^p} \right]^{\frac{2}{p}} & a_j \leq h \leq b_j \\ 1 & r_{ij} = s_{ik} \end{cases} \quad (9)$$

式中: $j = 1, 2, \dots, n; 1 \leq a_j < b_j \leq c; h = a_j, a_j + 1, \dots, b_j$ 。 u_{hj} 为样本 j 隶属于 h 级水质标准的相对隶属度;根据矩阵 R 得样本 j 的 m 个指标相对隶属度为 $r_j = (r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj})^T$ 分别与矩阵 S 中的行向量逐一对比,可得 r_j 落入矩阵 S 的级别下限为 a_j 及级别上限 b_j , a_j, b_j 满足约束条件, $\sum_{h=a_j}^{b_j} u_{hj} = 1$ 及 $\sum_{h=1}^c u_{hj} = 1$, 且 a_j, b_j 为 k 的取值范围, k 是动态变化的; s_{ik} 为 k 的指标标准值的相对隶属度。

则 n 个水体样本归属于各级别^[2-3] 的级别特征

值向量:

$$B = (1, 2, \cdots, c) \cdot (u_1, u_2, \cdots, u_{cn})^T$$
$$= (B_1, B_2, B_n) \tag{10}$$

这里,各级别是指水体水质评价级别从 1 级至 c 级,一般有饮用水要求的水质分为 5 级。根据样本的级别特征值,对水体污染程度归属的级别作出综合评价。

2 应用实例分析

余姚江(又称姚江),发源于大岚镇夏家岭龙角山,流经上虞、余姚、鄞州和江北汇入甬江,其干流全长 105 km,流域总面积 2 940 km²,约占宁波市陆域面积的三分之一^[9]。

选取姚江具有代表性的五个水质监测站点作为评价样本。经多次采集观察比较,发现超标污染物种类基本一致,因此确定评价指标为溶解氧、氨氮、高锰酸盐指数、总氮、总磷、五日生化需氧量。各监测站点水质状况见表 1。参照 GB3838 - 2002《地表水环境质量标准项目标准限值》^[10],建立指标评价标准见表 2。

表 1 各监测站点水质状况						mg/L
监测站 点名称	溶解氧	高锰酸 盐指数	总氮	总磷	氨氮	五日生 化需氧量
开丰桥	7.44	3.77	2.61	0.214	0.61	5.74
蜀山大桥	3.99	4.81	3.94	0.149	1.91	1.18
丈亭	8.43	4.65	4.00	0.113	1.20	1.21
姚江大西坝	8.04	4.02	5.03	0.255	1.30	1.94
姚江大闸	6.85	4.57	4.58	0.075	1.17	1.71

表 2 评价指标标准						mg/L
项目	溶解氧	高锰酸盐指数	总氮	总磷	氨氮	
I 级	7.5	2	0.2	0.02	0.15	
II 级	6.0	4	0.5	0.10	0.50	
III 级	5.0	6	1.0	0.20	1.00	
IV 级	3.0	10	1.5	0.30	1.50	
V 级	2.0	15	2.0	0.40	2.00	

水质标准共分为 5 级, I 级标准对应水质级别最高,达到饮水水质要求,只需注意保持及保护好水源; II 级、III 级标准对应的水质级别较差,需治理和保护水源地,达到饮水安全要求; IV 级、V 级标准对应的水质级别很差,需采取一定的措施,改善水质条件,使期达到饮水安全的要求。

从上述资料可以建立评价影响因素矩阵 X、对应的评价标准矩阵 Y:

$$X_{6 \times 5} = \begin{bmatrix} 7.44 & 3.99 & 8.43 & 8.04 & 6.85 \\ 3.77 & 4.81 & 4.65 & 4.02 & 4.57 \\ 2.61 & 3.94 & 4.00 & 5.03 & 4.58 \\ 0.21 & 0.15 & 0.11 & 0.255 & 0.08 \\ 0.61 & 1.91 & 1.20 & 1.30 & 1.17 \\ 5.74 & 1.18 & 1.21 & 1.94 & 1.71 \end{bmatrix} = (x_{ij})$$

$$Y_{6 \times 5} = \begin{bmatrix} 7.50 & 6.0 & 5.0 & 3.0 & 2.0 \\ 2.00 & 4.0 & 6.0 & 10.0 & 15.0 \\ 0.20 & 0.50 & 1.0 & 1.5 & 2.0 \\ 0.02 & 0.10 & 0.2 & 0.3 & 0.4 \\ 0.15 & 0.50 & 1.0 & 1.5 & 1.0 \\ 3.00 & 3.00 & 4.0 & 6.0 & 10.0 \end{bmatrix} = (y_{ih})$$

按式(3)、(4) 得到相对隶属度的 R 与 S 矩阵:

$$R_{6 \times 5} = \begin{bmatrix} 0.011 & 0.638 & 0.000 & 0.000 & 0.118 \\ 0.136 & 0.216 & 0.204 & 0.155 & 0.198 \\ 1.000 & 1.000 & 1.000 & 1.000 & 1.000 \\ 0.511 & 0.339 & 0.245 & 0.618 & 0.145 \\ 0.249 & 0.951 & 0.568 & 0.622 & 0.551 \\ 0.391 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix} = (r_{ij})$$

$$S_{6 \times 5} = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.273 & 0.455 & 0.818 & 1.000 \\ 0.000 & 0.154 & 0.308 & 0.615 & 1.000 \\ 0.000 & 0.167 & 0.444 & 0.722 & 1.000 \\ 0.000 & 0.211 & 0.474 & 0.737 & 1.000 \\ 0.000 & 0.189 & 0.459 & 0.730 & 1.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.143 & 0.429 & 1.000 \end{bmatrix} = (s_{ih})$$

将矩阵 R_{6×5} 按列归一化得超标权重矩阵:

$$W_{6 \times 5} = \begin{bmatrix} 0.005 & 0.203 & 0.000 & 0.000 & 0.059 \\ 0.059 & 0.069 & 0.101 & 0.065 & 0.098 \\ 0.435 & 0.318 & 0.496 & 0.417 & 0.497 \\ 0.222 & 0.108 & 0.121 & 0.258 & 0.072 \\ 0.108 & 0.302 & 0.282 & 0.260 & 0.274 \\ 0.170 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix} = (w_{ij})$$

采用欧氏距离 P = 2,代入识别模型,得到各监测站点水质对各级别的相对隶属矩阵:

$$U = \begin{bmatrix} 0.039 & 0.015 & 0.030 & 0.035 & 0.032 \\ 0.059 & 0.047 & 0.058 & 0.054 & 0.048 \\ 0.135 & 0.111 & 0.356 & 0.138 & 0.382 \\ 0.387 & 0.377 & 0.278 & 0.008 & 0.222 \\ 0.380 & 0.450 & 0.278 & 0.619 & 0.315 \end{bmatrix} = (u_{hj})$$

由式(10) 得 5 个监测站点水质的级别特征向量:

$$B = [4.008, 4.198, 3.715, 3.684, 3.739]$$

由以上综合评价可见,姚江河段整体水质情况不容乐观,虽然丈亭、姚江大西坝、姚江大闸监测站

- of Environment, 1992(41):197-209.
- [24] 尹楠. NOAA/AVHRR 的分裂窗算法在地表温度反演中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2005, 28(4):8-11.
- [25] 刘含海, 钱乐祥, 李爽. 基于 RS 的陆面温度反演研究进展[J]. 平顶山学院学报, 2007, 22(2):118-122.
- [26] 陈怀亮, 毛留喜, 冯定原. 遥感监测土壤水分的理论、方法及研究进展[J]. 遥感技术与应用, 1999, 14(2):55-65.
- [27] 汪潇, 张增祥, 赵晓丽, 等. 遥感监测土壤水分研究综述[J]. 土壤学报, 2007, 44(1):157-163.
- [28] 肖国杰, 李国春. 遥感方法进行土壤水分监测的现状与进展[J]. 西北农业学报, 2006, 15(1):121-126.
- [29] 赵天杰, 张立新, 蒋玲梅, 等. 利用主被动微波数据联合反演土壤水分[J]. 地球科学进展, 2009, 24(7):769-775.
- [30] Chen J M, Pavlic G, Brown L, et al. Derivation and validation of Canada-wide coarse-resolution leaf area index maps using high-resolution satellite imagery and ground measurements[J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 80:165-184.
- [31] 张晓阳, 李劲峰. 利用垂直植被指数推算作物叶面积系数的理论模式[J]. 遥感技术与应用, 1995, 10(3):13-18.
- [32] 方秀琴, 张万昌. 叶面积指数(LAI)的遥感定量方法综述[J]. 国土资源遥感, 2003(3):58-62.
- [33] 李开丽, 蒋建军, 茅荣正, 等. 植被叶面积指数遥感监测模型[J]. 生态学报, 2005, 25(6):1491-1496.
- [34] 浦瑞良, 宫鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京:高等教育出版社, 2000.
- [35] 宫鹏, 史培军, 浦瑞良, 等. 对地观测技术与地球系统科学[M]. 北京:科学出版社, 1996.
- [36] 浦瑞良, 宫鹏, 约翰 R. 米勒. 用 CASI 遥感数据估计横跨美国俄勒冈州针叶林叶面积指数[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 1993, 17(1):41-48.
- [37] Peng Gong, Ruiliang P U, Miller J R. Coniferous forest leaf area index estimation along the Oregon transect using compact airborne spectrographic imager data[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1995, 61(9):1107-1117.
- [38] Verhoef W. Light scattering by leaf layers with application to canopy reflectance modeling - the SAIL model[J]. Remote Sensing of Environment, 1984, 16:125-141.
- [39] Blöschl G, Sivapalan M. Scale issues in hydrological modeling: A review[J]. Hydrological Processes, 1995, 9(3-4):251-290.
- [40] 徐宗学, 程磊. 分布式水文模型研究与应用进展[J]. 水利学报, 2010, 41(9):1009-1017.

(上接第 173 页)

的水质基本达到地表水环境质量标准。但开丰桥、蜀山大桥监测站水体污染较为严重,水质评价结果为Ⅳ级以上,分析原因主要是工业发展带来排污量的继续增加;城市化建设使原来散布的生活污染向城镇集中,造成城市内河,流经城市河段的水质进一步恶化,应引起足够重视。

3 结 语

综合考虑影响水质因素的随机性、模糊不确定性及多样性等特点,采用了模糊综合评价法,分析结果表明,该方法操作简单,结果真实可靠,是一种比较适用的评价方法。通过对水质评价,可以有针对性制定江河治理方案。

参考文献:

- [1] 秦天玲, 候佑泽, 郝彩莲, 等. 基于主成分分析法的武烈河流域水质评价研究[J]. 环境保护科学, 2011, 37(6):102-105.
- [2] 李俊, 卢文喜, 辛欣, 等. 判别分析法在饮用水源地水质评价中的应用[J]. 人民黄河, 2009, 31(2):43-44.
- [3] 郜慧, 金辉. 模糊综合评判法在沙坪河流域水质评价中的应用[J]. 人民珠江, 2005, 26(6):50-51.
- [4] 孟祥宇, 徐得潜. 流域水质评价模糊综合评判模型及其应用[J]. 环境保护科学, 2009, 35(2):92-93.
- [5] 陈守煜, 李亚伟. 基于模糊人工神经网络识别的水质评价模型[J]. 水科学进展, 2005, 16(1):88-91.
- [6] 李培月, 吴树宽. 基于模糊数学的内蒙古东胜煤田阿不亥普查区水质评价[J]. 水利科技与经济, 2009, 15(9):789-791.
- [7] 陈守煜. 复杂水资源系统优化模糊识别理论与应用[M]. 长春:吉林大学出版社, 2002.
- [8] 王颖, 方航. 模糊识别法在水库水质评价中的应用[J]. 人民黄河, 2010, 32(7):40-41.
- [9] 史建静. 姚江水资源统一调配和保护设想[M]. 北京:北京水利水电出版社, 2005, 2.
- [10] 国家环境保护总局. GB3838-2002, 地表水环境质量标准[S]. 北京:中国环境科学出版社, 2002, 4.