

不同水质评价方法在漕桥河的应用与分析

谢卫平¹ 杨莉² 吴磊² 王玉敏² 宗旭超¹ 薛苗¹

(1. 宜兴市环境监测站, 江苏 宜兴 214200; 2. 东南大学能源与环境学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 选择单因子指数法、综合指数评价法及模糊综合评价法对漕桥河2008年—2011年的水质进行评价, 并结合评价结果对3种评价方法进行分析比较。结果表明, 采用模糊综合评价方法可以正确、全面地反映漕桥河的水质状况。

关键词: 水质; 单因子评价; 综合评价; 模糊综合评价; 漕桥河

中图分类号: X824 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2013)02-0062-05

Application and Analysis of Different Water Quality Evaluation Methods for the Caoqiao River

XIE Wei-ping¹, YANG Li², WU Lei², WANG Yu-min², ZONG Xu-chao¹, XUE Miao¹

(1. Yixing Environmental Monitoring Station, Yixing, Jiangsu 214200, China;

2. School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China)

Abstract: Water quality appraisal is the basic work of water environment management. Only reasonable water quality method is utilized can the river water quality situation be clearly described and the water environment management and decision-making requirement be satisfied. In this paper, single-factor index method, composite index evaluation method and fuzzy synthetic evaluation method are used to evaluate the water quality of Caoqiao River in recent years. The evaluation result is analyzed and compared which shows the water quality of Caoqiao River. The result shows that adopting fuzzy synthetic evaluation method can reflect Caoqiao River water quality correctly and comprehensively.

Key words: Water quality; Single-factor water quality assessment; Composite evaluation; Fuzzy synthetic evaluation; Caoqiao River

1 常用水质评价方法

目前, 河流的水质评价方法有很多, 较为典型的有单因子指数评价法、污染指数评价法、模糊数学评价法、灰色系统评价法、人工神经网络评价法、主成分分析法等。

1.1 单因子指数评价法

$$S_{ij} = \frac{C_{ij}}{C_{xi}} \quad (1)$$

式中: S_{ij} ——单项水质参数 i 第 j 点的标准指数;

C_{ij} ——污染物 i 在预测点 j 的质量浓度, mg/L;

C_{xi} ——水质参数 i 的地面水水质标准, mg/L。

1.2 综合指数评价法

综合指数评价法是对各评价指标的相对污染指数进行统计, 得出代表水体污染程度的数值^[1]。

$$S_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{ij} \quad (2)$$

式中: S_j —— j 断面水污染综合指数;

S_{ij} —— j 断面 i 项污染物的污染指数;

n ——参与评价的污染物项数。

$$K_j = \frac{S_j}{\sum_{j=1}^m S_j} \times 100\% \quad (3)$$

收稿日期: 2012-08-07; 修订日期: 2013-02-27

作者简介: 谢卫平(1973—), 男, 江苏宜兴人, 高级工程师, 大学, 从事环境监测工作。

式中: K_j —— j 断面的污染负荷比;
 m ——参与评价的断面数。

1.3 模糊综合评价法

模糊综合评价是对多种因素所影响的事物或现象,根据给出的评价标准和实测值,经过模糊变换,对其做出总评价的一种方法,使系统中的不确定性通过隶属度加以量化,在水质评价中显现出其优越性^[2]。模糊综合评价法的步骤如下。

1.3.1 建立评价对象的因子集和评价集

选择 n 个评价因子,组成评价因素集,记为 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$; 假设水质级别划分为 m 级,则评价集合记为 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 。

1.3.2 建立模糊关系矩阵

由于水质污染程度和水质分级标准是模糊的,故用隶属度来划分各级标准界限比较合理。隶属函数是各单项水质指标模糊评价的依据,各单项指标的评价又是多因素模糊综合评价的基础。因此,确定各因素对各级的隶属函数是问题的关键^[3]。

设 r_{ij} 为第 i 种污染物对第 j 类标准的隶属度,这样就构成了水质评价因子与水质类别的模糊关系矩阵 R 。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

运用降半梯形隶属度函数确定各单项因子隶属度公式为:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & S_{j-1} \leq C_i \leq S_j \\ \frac{S_{j+1} - C_i}{S_{j+1} - S_j} & S_j < C_i \leq S_{j+1} \\ 0 & C_i < S_{j-1}, C_i \geq S_{j+1} \end{cases} \quad (5)$$

式中: S_{ij} ——因素 u_i 的第 j 类水质标准值;
 C_i ——第 i 个因素 u_i 的实测浓度。

1.3.3 建立评价因子的权重矩阵

目前,常用“污染物浓度超标法”来计算权重,即按照各评判因子超标情况进行加权,超标越多,权重值越多。

$$\bar{S}_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k S_{ij} \quad i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, k \quad (6)$$

$$W_i = \frac{C_i}{\bar{S}_i} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

式中: W_i ——因素 u_i 的权重(表明了污染物 u_i 浓度的超标倍数);

k ——水质评价分级总数;
 \bar{S}_i ——因素 u_i 的各级评价标准的均值。

计算的权重值可能出现 >1 的情况,而模糊数学运算只允许在 $[0, 1]$ 区间连续取值,故各项权重还需进行归一化处理^[4-5]。

$$a_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}, \sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (8)$$

因此,得到一个 $1 \times n$ 的模糊权重矩阵 A ,即:

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_n) \quad (9)$$

1.3.4 模糊综合评价

将权重矩阵 A 和模糊矩阵 R 代入公式 $B = A \times R$, 得出 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$, 其中各元素表示该水质对各级水质标准的隶属度。最后,根据最大隶属度原则,确定该水样点所属的水质等级。

2 3 种评价方法的应用

漕桥河位于江苏省宜兴市的北部,在太湖与太湖之间,全长 21.5 km,其部分河段为宜兴市和常州市武进区共有段,在上游闸口处与武宜运河交汇于上游的棟聚村,在下游分水处与太漏运河交汇于下游的分水村,最后经百渎港汇入太湖。

漕桥河、太漏运河、武进港等 15 条主要入湖河流的污染负荷占太湖入湖污染总负荷的 80% 以上^[6]。漕桥河沿岸区域工业较发达,人口密集,水质影响因素多,污染负荷较大。

根据漕桥河的实际情况和各种评价方法的适用特点,拟采用单因子指数评价法、综合指数评价法及模糊综合评价法对漕桥河的水质情况进行评价与对比分析。

2.1 选取水质评价指标、评价标准及评价数据

选取漕桥河的 6 个典型断面,分别为钟溪大桥、徐家大塘、闸口、漕桥、西仓桥、裴家自动站,不同水期水量相差较大,水质也就有所差别,根据多年历史资料,漕桥河的枯水期为 1—3 月、12 月,平水期为 4—5 月、10—11 月,丰水期为 6—9 月。

根据漕桥河水质实际情况,常规监测项目中 DO、 I_{Mn} 、 NH_3-N 、TP 为主要超标项目。尽管 TN 常年超标严重,但是由于氮来源广泛,通常评价过程中故不考虑 TN。以《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) 作为评价依据,2008 年—2011 年漕桥河各断面不同水期监测数据平均值见表 1。

表 1 2008 年—2011 年漕桥河各断面不同水期监测数据平均值 mg/L

Table 1 The average value of each section in different water period of Caoqiao River from 2008 to 2011 mg/L

水期	断面名称	DO	I_{Mn}	$NH_3 - N$	TP
枯水期	钟溪大桥	7.18	7.55	3.35	0.48
	徐家大塘	8.35	6.73	2.45	0.24
	闸口	6.90	6.79	2.93	0.35
	漕桥	7.46	6.85	2.91	0.37
	西仓桥	7.03	13.20	5.81	0.50
平水期	裴家自动站	7.35	8.30	3.10	0.42
	钟溪大桥	5.59	5.96	2.37	0.34
	徐家大塘	6.68	6.51	1.73	0.32
	闸口	5.60	5.93	2.29	0.35
	漕桥	5.44	5.53	2.22	0.33
丰水期	西仓桥	5.41	10.48	4.82	0.50
	裴家自动站	5.88	6.12	2.97	0.29
	钟溪大桥	4.53	6.12	1.13	0.28
	徐家大塘	4.98	5.70	1.02	0.24
	闸口	4.53	5.77	1.14	0.27
	漕桥	4.07	5.88	1.27	0.29
	西仓桥	4.84	6.23	1.27	0.31
	裴家自动站	5.39	5.40	1.25	0.24

表 2 2008 年—2011 年漕桥河各断面不同水期的单因子评价结果

Table 2 The result of single-factor water quality assessment in different water period of Caoqiao River from 2008—2011

水期	断面名称	DO	I_{Mn}	$NH_3 - N$	TP	最终评价结果
枯水期	钟溪大桥	II	IV	劣 V	劣 V	劣 V
	徐家大塘	I	IV	劣 V	IV	劣 V
	闸口	II	IV	劣 V	V	劣 V
	漕桥	II	IV	劣 V	劣 V	劣 V
	西仓桥	II	V	劣 V	劣 V	劣 V
平水期	裴家自动站	II	IV	劣 V	劣 V	劣 V
	钟溪大桥	III	III	劣 V	V	劣 V
	徐家大塘	II	IV	V	V	V
	闸口	III	III	劣 V	V	劣 V
	漕桥	III	III	劣 V	V	劣 V
丰水期	西仓桥	III	V	劣 V	劣 V	劣 V
	裴家自动站	III	III	劣 V	IV	劣 V
	钟溪大桥	IV	IV	IV	IV	IV
	徐家大塘	IV	III	IV	IV	IV
	闸口	IV	III	IV	IV	IV
	漕桥	IV	III	IV	IV	IV
	西仓桥	IV	IV	IV	V	V
	裴家自动站	III	III	IV	IV	IV

2.2 单因子评价

2008 年—2011 年漕桥河各断面不同水期的单因子评价结果见表 2。

由表 2 可见,根据水质取决于最差因子原则,可以看出漕桥河流域各断面枯水期均为劣 V 类水,相对而言,丰水期水质较好,只有西仓桥为 V 类水,其余监测断面均为 IV 类水,平水期只有徐家大塘为 V 类水,其余监测断面均为劣 V 类水。主要污染超标因子为 $NH_3 - N$ 和 TP。

单因子指数评价法体现单因子否决权,适用于个别评价因子超标过大,严重影响水环境质量的情况。然而受污染的水体中常含多种污染物,因此用单因子指数法评价水质不够全面,不同的污染水域很难对比,单因子评价法以最差水质指标所属类别作为综合水质类别,评价结论过保守且其本身也缺少数量概念。

2.3 综合指数评价

综合污染指数评价分级^[7]见表 3,2008 年—2011 年漕桥河各断面不同水期的综合指数评价结果见表 4。

由表 4 可见,枯水期和平水期基本上各断面都是 $NH_3 - N$ 的负荷比最大,其次为 TP,而丰水期 TP 的负荷大于 $NH_3 - N$ 。综合污染指数西仓桥的污

表 3 综合污染指标评价分级

Table 3 Evaluation classification of integrated pollution indications

指数 S_j	水质级别	水质现状
$S_j \leq 0.8$	合格	多数指标未检出,个别检出也在标准内
$0.8 < S_j \leq 1.0$	基本合格	个别项目检出值超标
$1.0 < S_j \leq 2.0$	污染	一部分项目检出值超过标准
$S_j > 2.0$	重污染	一部分项目检出值超过标准数倍或几十倍

染程度最深,达到了重污染的级别,其余断面都属于污染的级别。

2.4 模糊综合评价

根据各评价因子的超标比可计算出各个监测断面各评价因子的权重值,进行归一化处理,所得结果见表 5。由于枯、平、丰水期的各指标的权重类似,因此表 5 只列出枯水期的评价因子归一化结果。

由表 5 可见, $NH_3 - N$ 和 TP 对水质的影响程度相对较大,2 者的权重和在各监测断面中均超过了 50%,说明漕桥河的主要污染物为氮和磷。

表 4 2008 年—2011 年漕桥河各断面不同水期的综合指数评价结果

Table 4 The results of composite evaluation in different water period of Caoqiao River from 2008—2011

水期	断面名称	污染负荷比 K_j				综合污染指数 S_j	污染程度
		DO	I_{Mn}	$NH_3 - N$	TP		
枯水期	钟溪大桥	14.58	12.78	34.05	24.46	2.11	重污染
	徐家大塘	22.06	14.81	32.40	16.06	1.61	污染
	闸口	16.39	13.44	34.83	20.95	1.80	污染
	漕桥	17.34	13.28	33.80	21.75	1.85	污染
	西仓桥	9.18	14.37	37.92	16.21	2.97	重污染
	裴家自动站	15.99	15.05	33.70	22.66	2.01	污染
丰水期	钟溪大桥	16.76	18.88	20.87	25.83	1.11	污染
	徐家大塘	19.48	18.61	20.07	23.54	1.04	污染
	闸口	17.06	18.11	21.47	25.08	1.08	污染
	漕桥	14.38	17.29	22.39	25.87	1.13	污染
	西仓桥	16.52	17.71	21.64	26.86	1.21	污染
	裴家自动站	19.81	16.54	22.95	21.98	1.11	污染
平水期	钟溪大桥	15.09	13.41	31.97	23.13	1.55	污染
	徐家大塘	19.17	15.58	24.82	22.65	1.43	污染
	闸口	15.57	13.73	31.79	24.01	1.53	污染
	漕桥	15.28	12.93	31.18	23.11	1.47	污染
	西仓桥	8.40	13.56	37.44	19.55	2.54	重污染
	裴家自动站	15.20	13.18	38.37	18.78	1.65	污染

表 5 各评价因子权重归一化结果

Table 5 The normalized results of each evaluation factor weight

断面	钟溪大桥	徐家大塘	闸口	漕桥	西仓桥	裴家
DO	0.09	0.11	0.11	0.11	0.06	0.11
I_{Mn}	0.14	0.18	0.15	0.16	0.17	0.16
$NH_3 - N$	0.45	0.49	0.49	0.45	0.54	0.45
TP	0.32	0.22	0.24	0.28	0.23	0.28

将表 5 中所得的权重集与各单因素模糊关系矩阵代入建立的模糊综合评价模型中进行计算, 即可以得到模糊综合评价集。漕桥河各监测断面的模糊综合评价结果见表 6, 项目栏里 I ~ V 表示地表水环境质量标准级数。

由表 6 可见, 丰水期水质最好, 断面的水质级别都为 III 类; 枯水期的水质较差, 都为 V 类水; 平水

表 6 2008 年—2011 年漕桥河各断面不同水期的模糊综合评价法评价结果

Table 6 The results of fuzzy synthetic evaluation in different water period of Caoqiao River from 2008—2011

水期	断面名称	I	II	III	IV	V	评价等级
枯水期	钟溪大桥	0.07	0.02	0.09	0.05	0.77	V
	徐家大塘	0.12	0.00	0.30	0.09	0.49	V
	闸口	0.07	0.05	0.12	0.27	0.49	V
	漕桥	0.11	0.00	0.13	0.22	0.54	V
	西仓桥	0.04	0.02	0.00	0.06	0.88	V
	裴家	0.10	0.01	0.12	0.21	0.56	V
丰水期	钟溪大桥	0.00	0.00	0.62	0.38	0.00	III
	徐家大塘	0.00	0.27	0.73	0.00	0.00	III
	闸口	0.00	0.02	0.52	0.23	0.23	III
	漕桥	0.00	0.00	0.49	0.51	0.00	III
	西仓桥	0.00	0.00	0.49	0.48	0.03	III
	裴家	0.00	0.15	0.81	0.04	0.00	III
平水期	钟溪大桥	0.00	0.09	0.17	0.21	0.53	V
	徐家大塘	0.07	0.08	0.29	0.36	0.20	IV
	闸口	0.00	0.12	0.17	0.18	0.53	V
	漕桥	0.00	0.11	0.21	0.27	0.41	V
	西仓桥	0.00	0.04	0.05	0.14	0.77	V
	裴家	0.00	0.13	0.17	0.26	0.44	V

期基本上都为V类水,只有徐家大塘为IV类水。

2.5 评价结果比较

分别采用单因子指数评价、综合指数评价、模糊综合评价法对漕桥河各断面不同水期进行水质评价。通过上述的评价结果比较可以看出:单因子指数评价方法简单明了,但缺乏对环境及其综合质量的整体反映,仅表示了水质类别。综合污染指数是相对标准值计算的结果,综合反映了河流污染状态,能全面平衡污染因子对水质的贡献度,可以比较各监测断面污染程度,但不能说明水质类别。模糊综合评价法将模糊数学应用到水质综合评价,采用隶属函数来描述水质的分级,因而能够较好地反映水体真实状况。

(上接第20页)

3 结论

(1) 通过设计合理的水质监测方案,所得数据用于主成分分析,将喻家湖13个水质指标统计分类为4个主成分,可以反映至少2/3的原始信息:VF1与Cu、Pb、Cd显著相关,代表喻家湖的重金属污染;VF2与NH₃-N、TN、Chla显著相关,与TP中度相关,代表喻家湖富营养化水平;VF3与SD、BOD₅、I_{Mn}显著相关,代表喻家湖有机污染程度;VF4与pH值、DO显著相关,间接指示其富营养化程度;

(2) 水质的时间变化可以分为2期,第一时期为4—12月,第二时期为1—3月,DA分析表明分为2组的正确率为95.8%;表征时间差异的显著性指标有8个,分别为SD、BOD₅、NH₃-N、I_{Mn}、Chla、Cu、Zn、Pb;

(3) 空间变化上也可分为2组,第一组为S1,第2组为S2~S12;DA分析表明分为2组的正确率为92.0%;表征空间差异的显著性指标是pH值、SD、NH₃-N、TN、Cu、Pb;主要污染物TN、NH₃-N的浓度从北到南逐渐减小,Chla的趋势与其相反。湖溪河是喻家湖最主要污染源,底泥的内源释放也是喻家湖表面水体重金属含量的重要来源。

[参考文献]

- [1] SU S, LI D, ZHANG Q, et al. Temporal trend and source apportionment of water pollution in different functional zones of Qiantang River, China [J]. *Water Research*, 2011, 45(4): 1781-1795.

[参考文献]

- [1] 彭文启,张祥伟.现代水环境质量评价理论和方法[M].北京:化学工业出版社,2005.
 [2] 张新钰,辛宝东,刘文臣,等.三种地下水水质评价方法的对比分析[J].*水资源与水工程学报*,2011,22(3):113-118.
 [3] 周林飞,高云彪.模糊数学在湿地水质评价中应用的研究[J].*水利水电技术*,2005,36(1):35-38.
 [4] 杨庆.地下水易污染性评价-DRASTIC指标体系[J].*水文地质工程地质*,1999(2):4-9.
 [5] 赵昌刚.福建省南部沿海地区地下水资源易污性评价[J].*矿产保护与利用*,2006(4):51-54.
 [6] 孙卫红,程炜,崔玉霞,等.太湖流域主要入湖河流环境综合整治[J].*中国资源综合利用*,2009,27(11):39-42.
 [7] 邢肖鹏,薛鹏松,冯民权.汾河运城段河流水质评价[J].*水土保持通报*,2011,31(2):142-145.

本栏目责任编辑 李文峻

- [2] ZHAO Y, XIA X H, YANG Z F, et al. Assessment of water quality in Baiyangdian Lake using multivariate statistical techniques [J]. *Procedia Environmental Sciences* 2012, 13: 1213-1226.
 [3] ZHOU F, HUANG G H, GUO H, et al. Spatio-temporal patterns and source apportionment of coastal water pollution in eastern Hong Kong [J]. *Water Research*, 2007, 41(15): 3429-3439.
 [4] GU Y, WANG Z, LU S, et al. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify source of anthropogenic impacts on metallic elements in sediments from the mid Guangdong coasts, China [J]. *Environmental Pollution* 2012(163): 248-255.
 [5] MATHES S, RASMUSSEN T. Combining multivariate statistical analysis with geographic information systems mapping: a tool for delineating groundwater contamination [J]. *Hydrogeology Journal* 2006, 14(8): 1493-1507.
 [6] MANTZAFLERI N, PSILOVIKOS A, BLANTA A. Water quality monitoring and modeling in lake kastoria, using GIS. Assessment and management of pollution sources [J]. *Water Resources Management* 2009, 23(15): 3221-3254.
 [7] 谢森,何连生,田学达,等.巢湖水质时空分布模式研究[J].*环境工程学报*,2010(3):531-539.
 [8] 吴丰昌,孟伟,宋永会,等.中国湖泊水环境基准的研究进展[J].*环境科学学报*,2008,28(12):2385-2393.
 [9] 霍守亮,陈奇,席北斗,等.湖泊营养物基准的候选变量和指标[J].*生态环境学报*,2010,26(6):1445-1451.
 [10] KAZI T G, ARAIN M B, JAMALI M K, et al. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2009, 72(2): 301-309.
 [11] 何万谦,黄金良.澳门半岛近岸海域水质时空变异分析[J].*环境科学*,2010(3):606-611.
 [12] 叶宗裕.关于多指标综合评价中指标正向化和无量纲化方法的选择[J].*浙江统计*,2003(4):24-25.