

文章编号: 1674-9057(2010)04-0599-04

# 桂林市湖泊水质的模糊综合评价

司圣飞<sup>a</sup>, 刘康怀<sup>a,b</sup>, 赵文玉<sup>a,b</sup>, 孙洪林<sup>a,b</sup>, 王洪涛<sup>a,b</sup>, 苏 诚<sup>a,b</sup>, 史奇峰<sup>a,b</sup>

(桂林理工大学 a. 环境科学与工程学院; b. 广西环境工程与保护评价重点实验室, 广西 桂林 541004)

**摘 要:** 构建了水质模糊综合评价模型, 并应用于桂林市区的湖泊水质评价。结果表明, 桂林市区湖泊水质达到Ⅰ类和Ⅳ类地表水质标准占的比例较大, 基本达到了桂林市功能区划(Ⅳ类)水质标准, 但是总氮、总磷含量较高。根据桂林市区湖泊水体污染的特点, 建议采取一些措施: 定期对桂林市区四湖进行疏导, 针对水体中氮、磷的降解采取投加一定量的石灰石、沸石等方法, 以保持桂林市区湖泊水质良好。

**关键词:** 模糊综合评价; 地表水; 湖泊; 污染; 桂林市

**中图分类号:** X524

**文献标志码:** A

1965年美国控制论专家 L. A. Zadeh 发表了开创性论文“模糊集合”, 标志着模糊数学的诞生<sup>[1]</sup>。40多年来, 模糊数学在很多领域得到了蓬勃的发展, 如在水质整体质量评价<sup>[2]</sup>、给水管网水质的综合评价<sup>[3]</sup>、湖泊水质富营养化评价<sup>[4]</sup>、水源地水质综合评价<sup>[5]</sup>及地下水水质综合评价<sup>[6]</sup>等方面均有相关研究, 而且其研究成果均表明了将模糊数学用于水质评价研究的可行性。但是, 模糊数学直接用于水污染评价方面的报道较少。桂林市的“两江四湖”工程是进入新世纪后, 为桂林这一旅游明珠新增的特色旅游景点。随着我国经济的快速发展, 桂林接待旅客的数量不断增加, 四湖的水质污染问题也因此而倍受人们关注。为了深入了解、分析桂林市区湖泊的水质污染状况, 本文采用模糊综合评价的方法, 对桂林市区四湖的水质进行了综合评价。

## 1 水质综合评价模型的建立

### 1.1 评价模型构建

设参与评价水环境质量的因子(因素集)有  $n$

个, 用  $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$  表示,  $n$  为评价因子数; 评价级别集为  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$ ,  $m$  为评价级别数; 评价因素的权重系数集为  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ ; 由  $U$  和  $V$  就可以构成模糊关系矩阵

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}。$$

式中:  $n$  是污染因子, 即评价水环境质量的因子数;  $m$  是水体类别, 即评价水环境质量所属级别;  $r_{ij}$  表示第  $i$  种污染物的数值可能被评价为属于第  $j$  类水环境质量级别的隶属程度; 模糊矩阵  $R$  则表明每一个污染因子对每一级水体质量标准的隶属程度, 即隶属函数。水质模糊综合评价结果为

$$B = A \circ R。 \quad (1)$$

式中: “ $\circ$ ”为模糊矩阵合成算子, 分为最大最小运算和矩阵乘法等<sup>[7]</sup>。

### 1.2 隶属度的确立

确立隶属度即是确立矩阵  $R$ , 隶属度函数的确立有很多方式, 一般选用升降半梯形分布<sup>[1,3]</sup>。

收稿日期: 2009-12-13

基金项目: 广西科学基金项目(桂科青 0542004); 广西研究生教育创新基金项目(2008105960814M07)

作者简介: 司圣飞(1984—), 男, 硕士, 市政工程专业。

通讯作者: 刘康怀, 男, 教授, liukanghuai@glite.edu.cn。

引文格式: 司圣飞, 刘康怀, 赵文玉, 等. 桂林市区湖泊水质的模糊综合评价[J]. 桂林理工大学学报, 2010, 30(4): 599-602.

文献 [8] 把地面水水质分为 5 类, 隶属度函数可由以下公式确定:

$$r_{i1} = \begin{cases} 1, & x_i \leq S_{i1}; \\ \frac{S_{i2} - x_i}{S_{i2} - S_{i1}}, & S_{i1} < x_i < S_{i2}; \\ 0, & x_i \geq S_{i2}。 \end{cases}$$
$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & x_i = S_{ij}; \\ \frac{x_i - S_{i(j-1)}}{S_{ij} - S_{i(j-1)}}, & S_{i(j-1)} < x_i < S_{ij}; \\ \frac{S_{i(j+1)} - x_i}{S_{i(j+1)} - S_{ij}}, & S_{ij} < x_i < S_{i(j+1)}; \\ 0, & x_i \leq S_{ij}, x_i \geq S_{i(j+1)}。 \end{cases} \quad (2)$$
$$r_{im} = \begin{cases} 1, & x_i \geq S_{im}; \\ \frac{x_i - S_{i(m-1)}}{S_{im} - S_{i(m-1)}}, & S_{i(m-1)} < x_i < S_{im}; \\ 0, & x_i \leq S_{i(m-1)}。 \end{cases}$$

式中: $r_{ij}$  表示第  $i$  种污染因子属于第  $j$  类水质的隶属度; $i = 1, 2, \cdots, n$ , 为评价因子数; $m$  为水质级别数; $S_{ij}$  为第  $i$  种评价因子第  $j$  类的国家标准浓度; $x_i$  为第  $i$  种评价因子的实际检测值。但是必须注意, 对溶解氧 (DO) 隶属度的算法需要将上式适当变形。

1.3 权重的确立

权重确立的方法有很多, 为了避免人为确立权重的局限性, 本文根据  $n$  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, 并对其进行归一化处理得到权重系数矩阵, 计算方式如下

$$a_i = \frac{x_i}{b_i}, b_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m S_{ij}。$$

(3)

式中,  $a_i$  表示第  $i$  种污染物的权重。但要注意类似 DO 值越大、水质越好的指标, 其权重取式 (3) 的倒数。最后得到评价因素的权重为

$A = (a_1, a_2, \cdots, a_n)$ , 经归一化处理后可得评价因素权重系数矩阵

$$A = (A_1, A_2, \cdots, A_n)。$$

(4)

1.4 获取评价结果

得出模糊隶属度评价矩阵  $R$  和评价因素权重系数矩阵  $A$  后, 就可由式 (1) 得出矩阵  $B$ , 即可反映所评价水质对 5 类水质标准的所属程度。

2 桂林市四湖水质综合评价

2.1 评价标准

采用文献 [8] 的分类作为评价标准, 确立 DO、高锰酸盐指数、BOD<sub>5</sub>、COD、氨氮、总氮、

总磷、挥发酚、总氰化物、总汞、总铅、总铜、硫化物、石油类、阴离子活性剂、粪大肠菌群 16 个评价因子, 对应的评价标准值见表 1。

2.2 评价数据

评价数据采用桂林市区桂湖、木龙湖、榕湖和杉湖的 16 个检测指标 2008 年的平均值, 具体见表 2。

表 1 地表水质标准等级<sup>[8]</sup>

Table 1 Water quality evaluation standard

项目	分 类				
	I	II	III	IV	V
DO	7.5	6	5	3	2
高锰酸钾	2	4	6	8	10
BOD <sub>5</sub>	3	3	4	6	10
COD	15	15	20	30	40
氨氮	0.015	0.5	1	1.5	2
总氮	0.2	0.5	1	1.5	2
总磷	0.01	0.025	0.05	0.1	0.2
挥发酚	0.002	0.002	0.005	0.01	0.1
总氰化物	0.005	0.05	0.05	0.2	0.2
总汞	0.000 05	0.000 05	0.000 1	0.001	0.001
总铅	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
总铜	0.01	0.01	0.01	1	1
硫化物	0.05	0.1	0.2	0.5	1
石油类	0.05	0.05	0.05	0.5	1
阴离子活性剂	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
粪大肠菌群	200	2 000	10 000	20 000	40 000

注:粪大肠杆菌单位为个/L,其余各指标单位为 mg/L。

表 2 桂林市区四湖水质监测 2008 年平均值

Table 2 Aveage water quality of Guilin four lakes monitoring in 2008

项目	桂湖	木龙湖	榕湖	杉湖
DO	7.3	7.4	7.6	7.8
高锰酸钾	1.6	1.6	2	2.1
BOD <sub>5</sub>	2	1	1	1
COD	4	2	2	4
氨氮	0.156	0.131	0.144	0.122
总氮	1.58	1.56	1.46	1.49
总磷	0.06	0.05	0.05	0.06
挥发酚	0.001	0.001	0.001	0.001
总氰化物	0.002	0.002	0.002	0.002
总汞	0.000 005	0.000 005	0.000 005	0.000 005
总铅	0.002 8	0.002 8	0.002 8	0.002 8
总铜	0.02	0.02	0.02	0.02
硫化物	0.002	0.002	0.002	0.002
石油类	0.02	0.02	0.02	0.02
阴离子活性剂	0.02	0.02	0.02	0.02
粪大肠菌群	20 000	20 000	8 115	230

注:粪大肠杆菌单位为个/L,其余各指标单位为 mg/L;桂林市区四湖水质近两年变化不大,故 2008 年水质监测数据基本可以反映桂林市区四湖近年水质情况。

2.3 评价结果与讨论

由式（2）可分别求得桂林市桂湖、木龙湖、榕湖和杉湖水质的隶属度评价矩阵  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  和  $R_4$ （由于篇幅有限，本文没有列出）。又由式（3）和式（4）可分别求得桂湖、木龙湖、榕湖和杉湖 16 种污染评价因子的评价因素权重系数矩阵  $A_i$ （表 3）。

利用式(1)对权重系数矩阵  $A$  和隶属度评价矩阵  $R$  进行矩阵的复合运算,就可以得到桂林市四湖泊水质状况的模糊综合评价结果  $B$ （表 4）。

表 3 评价因素权重系数矩阵				
Table 3 Weight coefficient matrix of evaluation factors				
项 目	评价因子			
	桂湖( $A_1$ )	木龙湖( $A_2$ )	榕湖( $A_3$ )	杉湖( $A_4$ )
DO	0.114 4	0.122 9	0.143 4	0.151 1
高锰酸钾	0.047 4	0.051 6	0.077 3	0.087 8
BOD <sub>5</sub>	0.068 4	0.037 2	0.044 6	0.048 2
COD	0.029 6	0.016 1	0.019 3	0.041 8
氨氮	0.027 6	0.025 3	0.033 3	0.030 5
总氮	0.270 0	0.290 2	0.325 6	0.359 4
总磷	0.138 5	0.125 6	0.150 6	0.195 5
挥发酚	0.007 5	0.008 1	0.009 7	0.010 5
总氰化物	0.003 5	0.003 8	0.004 6	0.005 0
总汞	0.002 0	0.002 2	0.002 6	0.002 9
总铅	0.009 6	0.010 4	0.012 5	0.013 5
总铜	0.008 8	0.009 5	0.011 4	0.012 4
硫化物	0.001 0	0.001 0	0.001 3	0.001 4
石油类	0.010 8	0.011 7	0.014 1	0.015 2
阴离子活性剂	0.014 8	0.016 1	0.019 3	0.020 9
粪大肠菌群	0.246 2	0.268 0	0.130 3	0.004 0

表 4 模糊综合评价 B 值					
Table 4 Fuzzy comprehensive evaluation value of B					
评价因子	地表水质分类等级				
	I	II	III	IV	V
桂湖( $B_1$ )	0.313 3	0.023 3	0.119 5	0.500 8	0.043 2
木龙湖( $B_2$ )	0.292 3	0.014 3	0.135 1	0.523 5	0.034 8
榕湖( $B_3$ )	0.374 9	0.039 6	0.274 5	0.299 7	0
杉湖( $B_4$ )	0.421 6	0.023 6	0.175 8	0.391 4	0

矩阵  $B$  反映的是评价水质对 5 类水质标准的隶属程度，如： $B_1 = (B_{1-I}, B_{2-II}, B_{3-III}, B_{4-IV}, B_{5-V})$ ，则  $B_{1-I}$  即为桂湖的评价水质对 I 类水质标准的隶属程度，以此类推，就可知各湖泊的评价水质对应水质标准的隶属程度。本文运

用模糊综合评价方法对桂林市四湖水质进行了综合评价后可知：桂湖属于 I 类和 IV 类水质标准的程度为 0.313 3 和 0.500 8；木龙湖属于 I 类和 IV 类水质标准的程度为 0.292 3 和 0.523 5；榕湖属于 I 类和 IV 类水质标准的程度为 0.374 9 和 0.299 7；杉湖属于 I 类和 IV 类水质标准的程度为 0.421 6 和 0.391 4。此外，由隶属度评价矩阵  $R$  和权重矩阵  $A$  还可以看出粪大肠杆菌对桂湖和木龙湖的影响较大；总氮、总磷对水质标准影响较大，其中，总氮的含量达到 IV 类和 V 类水体的标准。氮磷是引起湖泊富营养化的主导因素<sup>[9]</sup>，因此，桂林市四湖作为著名的旅游景点如何降低氮、磷污染指标越发显得重要。

3 结论和建议

- （1）桂林市四湖水质总体是好的，其水质在 I 和 IV 类水质标准中分布较大，基本达到了桂林市功能区划（IV 类）水质的要求。
- （2）桂林市四湖近年有少数水体已达到了 V 类水质标准。因此，有关部门有必要采取一定的措施改善桂林市四湖水质。
- （3）为保护好市区水环境必须建立和完善相关的法律法规，严惩工厂偷排的现象，做到有法可依、有法必依，以合理开发湖泊的旅游资源。
- （4）应该进一步加强环境保护宣传工作，提高广大市民和旅客的环保意识，做到人人参与环境保护。
- （5）建议定期对桂林市区四湖进行清淤和疏导，始终保持水流畅通。
- （6）由于石灰石、沸石等填料对污水中的氮、磷吸附性较强<sup>[10]</sup>，建议向湖泊中适量投加此类填料，以降低湖泊水中的氮、磷含量，从而优化桂林市四湖的水质。

参考文献：

[1] 梁保松, 曹殿立. 模糊数学及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1-41.

[2] 何锦峰, 刘艳艳, 舒兰, 等. 模糊综合评价模型在水质整体质量评价中的应用 [J]. 重庆工商大学学报, 2009, 26 (2): 190-193.

[3] 王丹宁, 赵洪宾, 丛颖. 应用模糊数学模型对给水管网水质的综合评价 [J]. 给水排水, 2007, 33 (1): 103-105.

[4] 林衍, 顾恒岳, 韩勇. 湖泊水质富营养化评价的模糊隶属函数法 [J]. 重庆环境科学, 2006, 18 (3): 38-40.

[5] 时俊, 刘鹏霞, 张丽旭, 等. 上海市水源地水质综合评价方法的探讨 [J]. 海洋学报, 2009, 31 (1): 99-105.

[6] 姜建梅, 刘长礼, 叶浩, 等. 石家庄地区地下水水质综合评价方法研究 [J]. 安全与环境工程, 2008, 15 (3): 19-23.

[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] GB 3838—2002, 地表水环境质量标准 [S].

[9] 陈水勇, 吴振明, 俞伟波, 等. 水体富营养化的形成、危害和防治 [J]. 环境科学与技术, 1999 (2): 11-15.

[10] 覃许江. 人工快渗系统新填料组合的试验研究 [D]. 桂林: 桂林工学院, 2008.

Fuzzy Comprehensive Evaluation of Lakes Water Quality in Guilin

SI Sheng-fei<sup>a</sup>, LIU Kang-huai<sup>a,b</sup>, ZHAO Wen-yu<sup>a,b</sup>, SUN Hong-lin<sup>a,b</sup>, WANG Hong-tao<sup>a,b</sup>,  
SU Cheng<sup>a,b</sup>, SHI Qi-feng<sup>a,b</sup>

(a. College of Environmental Science and Engineering; b. Guangxi Key Laboratory of Environmental Engineering  
and Protection Evaluation, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** The water quality of the lakes is an important tourist attraction in Guilin. To monitor water quality, Fuzzy comprehensive evaluation method is more comprehensive than the single-factor evaluation method. Fuzzy comprehensive evaluation model is used to evaluate water quality for Guilin lakes. The research shows that the water quality of I and IV, a large proportion, reaches the water quality standards for functional districts, but the content of nitrogen and phosphorus content is a bit high. According to the water pollution in Guilin lakes, it is necessary to take good measures such as regular dredging, and adding some zeolite and limestone into the lakes to reduce the content of nitrogen and phosphorus, so that Guilin lakes have a better water quality.

**Key words:** Fuzzy comprehensive evaluation; surface water; lakes; pollution; Guilin