

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2014.04.013

基于改进的模糊数学评价法的外秦淮河水质评价

童朝锋^{1,2}, 吕立锐², 冯 骞³, 邵宇阳²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;
2. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098; 3. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要:针对河流水质评价中存在的不确定性和模糊性,采用改进的模糊数学评价法,对南京市外秦淮河进行综合水质评价。结果表明,除七桥瓮断面外,外秦淮河大部分河段水质处于劣Ⅴ类标准水平,其中NH₃-N和TP是外秦淮河水质的主要影响因子。
关键词:水质评价;改进的模糊数学评价法;单因子评价法;NH₃-N;TP
中图分类号:X826 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2014)04-0061-06

Evaluation of water quality in external Qinhuai River based on improved fuzzy mathematical method

TONG Chaofeng¹, Lyu Lirui², FENG Qian³, SHAO Yuyang²

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
3. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In view of the uncertainty and fuzziness in the evaluation of river water quality, an improved fuzzy mathematical method was used for comprehensive evaluation of the water quality in the external Qinhuai River, in Nanjing City. The results show that the water quality in most sections of the external Qinhuai River reaches the inferior grade V standard, except in the Qiqiaoweng section. NH₃-N and TP are the major indices that affect the water quality.
Key words: water quality assessment; improved fuzzy mathematical method; single-factor assessment; NH₃-N; TP

河流水质评价以水环境监测资料为基础,按照评价目标选择一定的水质参数、水质标准和评价法,对水体质量进行定性或定量评定,以准确反映水质现状,了解和掌握水体污染影响程度和发展趋势,为水环境保护和水资源管理规划提供科学依据。鉴于水质监测数据量大,不确定性大,且不存在明显的规律,用于水质评价的方法主要是以统计学方法为主的不确定性方法^[1]。应用较多的有单因子评价法^[2]、综合污染指数法^[3]、模糊数学评价法、灰色系统评价法^[4]、物元法^[5]、人工神经网络法^[6]、层次分析法^[7]、主成分分析法^[8-9]等;此外还有投影寻踪技术、集对分析和粗集理论、蚁群算法等方法。这些方法考虑了数据的不充分性和水环境决策本身具有的

模糊概念等特点,切合我国目前的水环境监测和水质标准的现状,但是各种方法自身也存在一些问题。单因子指数法评价过于保守,污染指数法不能判断综合水质类别,模糊数学法、灰色系统评价法、物元法、层次分析法、人工神经网络法不能评价劣Ⅴ类水。于是对各种方法的综合运用,取长补短或者对现有方法进行改进和修正成为主流。随着统计学原理的发展和应用,产生了综合水质标识指数法^[10]、改进的模糊数学评价法^[10]、改进的模糊物元法^[11]、层序聚类分析和哈斯图等方法。其中改进的模糊数学评价法对评价标准进行改进,用每个水质指标上下限值的中间值作为评价标准,从而可以评价劣Ⅴ类水。因此,笔者在对外秦淮河水质评价中采用改

进的模糊数学评价法,并对形成这样评价结果的主要影响因子进行讨论。

1 研究区域概况

水质监测断面位于外秦淮河城区段,属于外秦淮河下游,是南京市的“母亲河”。外秦淮河流域面积 2631 km²,流域呈蒲扇形,长宽各 50 km 左右,丘陵山区占流域面积 80%,地势周高中低。秦淮河有南北两源,北源称句容河,南源称溧水河。句容河沿途有汤水河、解溪河、索墅河等支河汇入,至江宁县西北村汇入秦淮河干流。外秦淮河城区段跨越秦淮、雨花、建邺、鼓楼 4 个区,在南京城南绕行,上游起于运粮河口,经长干桥后汇合落马涧,在西水关外与内秦淮河汇合,合流后经草场门、定淮门于三汊河口汇入长江,全长 15.6 km(图 1)。外秦淮河枯水期通过秦淮新河闸抽引长江水进入秦淮新河及外秦淮河,汛期主要靠上游汇流及石臼湖自流进入秦淮河干流及外秦淮河,城区沿程有内秦淮河中段、南段等汇入。

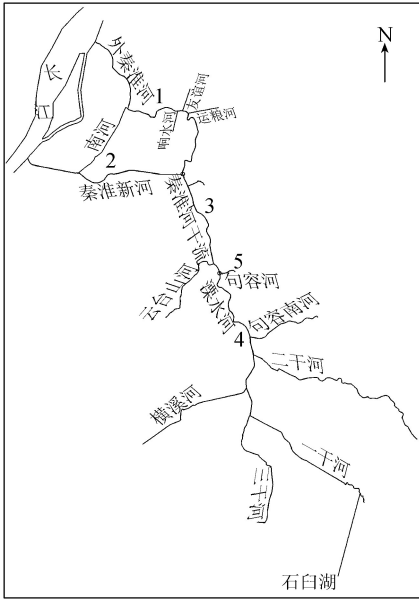


图 1 秦淮河流域水系

2 数据来源

根据外秦淮河的自然条件和功能区水质保护目标要求,在外秦淮河上布置了 6 个监测断面(图 2),从上游到下游依次为七桥瓮、武定门、凤台桥、三山桥、草场门桥、三汊河口。监控指标共有 7 个:透明度、pH 值、DO、NH₃-N、COD_{Mn}、COD 和 TP,监测时间为 2009 年,每月监测 4~5 次,分析方法选用 GB3838—2002《地表水环境质量标准》中规定的基本项目分析方法。根据水质评价参数选择的针对性和适度原则,主要考虑 DO、NH₃-N、COD_{Mn}、COD 和 TP 等 5 项指标,以每月水质监测指标的平均值作为

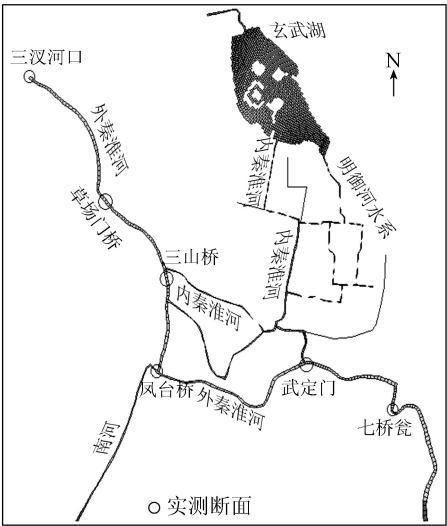


图 2 外秦淮河流域及实测断面

分析基础。监测断面的数据变化过程见图 3。

3 评价法

模糊数学评价法是以模糊数学为基础,应用模糊关系合成的原理,将一些边界不清、不易定量的因素量化,从而进行综合评价的方法。该方法可以有效得到河道各断面综合水质状况,但是不容易明显看出对水体水质起主要作用的水质指标,故结合单因子评价法,发挥它可以确定主要影响因子的优点来确定占主要影响地位的水质指标。

3.1 改进的模糊数学评价法

河流水质指标具有总体的不均匀性和局部范围的相对稳定性,水质污染程度是一个模糊的概念,模糊数学评价根据水功能区相应的水质标准和实测值,经过模糊变换,对水功能区给出客观、定量的评价。传统的模糊评价法不能有效地评价劣 V 类水,需要进行一定的改进。评价过程中,找出影响水质的主要因素,确定因子集、评价集、隶属函数,计算各因子的权重和隶属度,得到综合隶属度,判定该水功能区水质级别。

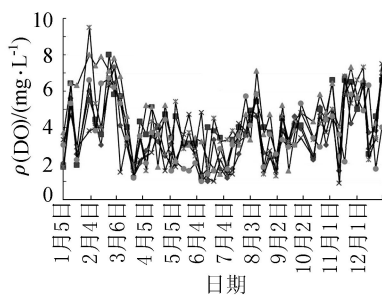
3.1.1 因子集和评价集建立

选取水质监测的若干指标作为评价因子,建立因子集。在外秦淮河的各监测指标中,选择 DO、NH₃-N、COD_{Mn}、COD 以及 TP 作为评价因子,则评价因子集 $U = \{ DO, NH_3-N, \rho COD_{Mn}, COD, TP \}$ 。GB3838—2002《地表水环境质量标准》中,将水质分为 5 个级别,据此确定评价集为 $V = \{ I, II, III, IV, V \}$ 。考虑南京市相关部门规划,外秦淮河城区段水功能区划为 IV 类,那么评价中各指标的最低限值为 IV 类水标准值。

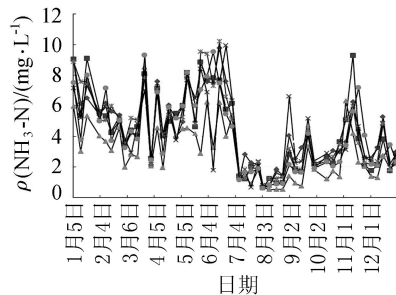
3.1.2 建立评价矩阵

评价矩阵 R 由上述 5 个评价因子隶属于 6 个不

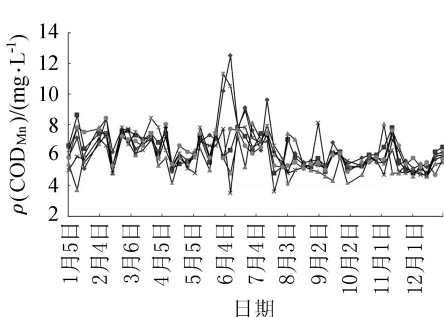
→ 草场门桥 → 凤台桥 → 七桥瓮 → 三汊河口 → 三山桥 → 武定门闸



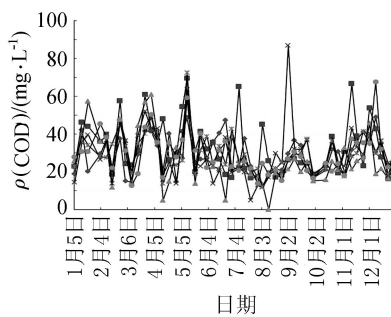
(a) DO



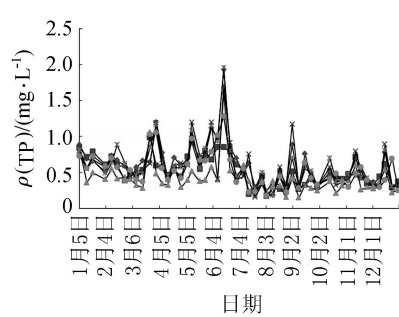
(b) NH₃-N



(c) COD_{Mn}



(d) COD



(e) TP

图3 外秦淮河6个监测断面5个评价指标实测数据变化

同级别的隶属度构成,隶属度根据隶属函数计算得出。每个因子都有对应于5个级别的隶属函数:

第1级别:

$$f_{i,1}(d) = \begin{cases} 1 & 0 < d \leq s_{i1} \\ \frac{s_{i2} - d}{s_{i2} - s_{i1}} & s_{i1} < d \leq s_{i2} \\ 0 & d > s_{i2} \end{cases} \quad (1)$$

第2~(k-1)级别:

$$f_{i,k-1}(d) = \begin{cases} \frac{d - s_{i,k-1}}{s_{i,k} - s_{i,k-1}} & s_{i,k-1} < d \leq s_{i,k} \\ \frac{s_{i,k+1} - d}{s_{i,k+1} - s_{i,k}} & s_{i,k} < d \leq s_{i,k+1} \\ 0 & s_{i,k-1} < d \leq s_{i,k+1} \end{cases} \quad (2)$$

第k级别:

$$f_{i,k}(d) = \begin{cases} 0 & 0 < d \leq s_{i,k-1} \\ \frac{d - s_{i,k-1}}{s_{i,k} - s_{i,k-1}} & s_{i,k-1} < d \leq s_{i,k} \\ 1 & d \geq s_{i,k} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $f_{i,k}(d)$ 为隶属函数; $s_{i,k}$ 为第*i*($i=1,2,\dots,5$)个评价因子的第*k*($k=1,2,\dots,6$)级水质评价标准; d 为各评价因子的实测值。对于DO,基本表达式不变,只需在表达式前加负号。

传统的模糊数学评价法是将水质各级别标准作为评价标准,这样就有5个隶属函数。但这样做的缺点是不能评价劣V类水,最差是评为V类水,对于因某些因子超标严重造成的水质降低不能有效反映

出来,改进的模糊数学评价法体现在对各级别评价标准的确定上,以各级别水质标准上下限的中间值作为准则求取隶属度,这样构成6个隶属函数,从而可以解决不能评价劣V类水的问题。例如COD_{Mn}指数,按照各级别水质标准,其水质级别区间为(0.0, 2.0],(2.0,4.0],[(4.0,6.0],[(6.0,10.0],[(10.0, 15.0],分别计算各区间的中间值为1.0, 3.0, 5.0, 8.0, 12.5,那么评价标准 $s_{i,k}$ 依次可取值为1.0, 3.0, 5.0, 8.0, 12.5, 15.0。

根据各个观测点的各评价因子实测值,运用上述的隶属函数计算公式及方法,计算出各实测值在不同水质级别中的隶属度,从而建立每个观测点的单因子模糊评价矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: r_{ik} 为第*i*个评价因子对于第*k*级别的隶属度, $i=1,2,\dots,5;k=1,2,\dots,6$ 。

3.1.3 确定权重

权重是衡量某一因子对水质影响相对大小的量值,权重系数越大,则该因子对水质的影响程度越大。其确定过程,本质上是客观的,但在具体应用中,容许有一定的人为技巧,即运用相关数学工具,进行数学解析。本研究中,在确定各评价因子的权重时,首先确定各评价因子的超标比。某指标的实测值相对于水质标准值的超标比越大,说明该指标

对污染的贡献越大,从而权重越大。

对于一般的成本性指标,如 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP, 超标比计算式为

$$I_{ji} = \frac{\rho_{ji}}{S_{0i}} \tag{5}$$

对于收益性指标,如 DO, 超标比计算式为

$$I_{ji} = \frac{S_{0i}}{\rho_{ji}} \tag{6}$$

式中: I_{ji} 为第 j 个断面第 i 个评价因子的超标比; ρ_{ji} 为第 j 个断面第 i 个评价因子的实测值, mg/L; S_{0i} 为第 i 个评价因子各等级水质标准限值的均值, mg/L, 用加权平均算法求得。具体到各水质指标, $\rho(\text{DO})$ 为 3.75 mg/L, $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 为 1.00 mg/L, $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ 为 7.5 mg/L, $\rho(\text{COD})$ 为 20.00 mg/L, $\rho(\text{TP})$ 为 0.20 mg/L。

计算出超标比后, 进行归一化处理, 算出每一个评价因子的权重:

$$W_i = \frac{I_i}{\sum I_i} \quad (i = 1, 2, \dots, 5) \tag{7}$$

从而可得权重集, $W = \{W_1, W_2, \dots, W_j\}$, ($j = 1, 2, \dots, 6$)。

3.1.4 建立评价模型

确定了模糊评价矩阵 R 和权重集 W 之后, 可建立模糊评价模型:

$$B = W \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_n) \tag{8}$$

式中: n 为隶属度的个数。结合最大隶属度原则, 若 $b_j = \max(b_1, b_2, \dots, b_n)$, 则该观测点处水质级别为第 j 级, 即每一个行向量中, 最大隶属度所处的位置代表了该断面处水质的级别, 然后结合各断面的评价结果, 可以对整个水功能区的水质情况做出综合评判。

3.2 单因子评价法

采用单因子评价法找到对水质影响最严重的一个或几个影响因子。单因子评价法将各参数浓度代表值与评价标准逐项对比, 以单项评价最差项的类别作为水质类别, 从而可以确定出超标严重的评价因子, 其计算公式为

$$P_i = \frac{\rho_i}{\rho_{si}} \tag{9}$$

式中: P_i 为某评价因子的相对计算值; ρ_i 为某评价因子的实测浓度值; ρ_{si} 为某评价因子的最高允许标准值; $i = 1, 2, \dots, 5$ 。对于某一类水质标准来说, $P_i \leq 1$ 表明该指标达标, $P_i > 1$ 表明该指标超标。

4 计算结果及分析

根据建立起来的评价因子集和评价集, 以及不同水质级别的隶属函数, 计算出从上游到下游各断

面的评价矩阵:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.33 & 0.67 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.73 & 0.27 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.73 & 0.27 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.58 & 0.42 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.56 & 0.44 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.13 & 0.87 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.57 & 0.43 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.17 & 0.83 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.55 & 0.55 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.56 & 0.44 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.67 & 0.33 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.49 & 0.51 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.59 & 0.41 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.67 & 0.33 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.52 & 0.48 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

这 6 个评价矩阵分别代表 6 个观测点各评价因子实测值的隶属度。上述矩阵中, 各行依次代表 DO、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 、COD 和 TP。根据上述计算权重的公式, 计算得各监测断面各评价因子的权重系数(表 1)。

表 1 各监测断面处各评价因子权重系数

断面名称	权重系数				
	DO	$\text{NH}_3\text{-N}$	COD_{Mn}	COD	TP
七桥瓮	0.10	0.37	0.10	1.50	2.60
武定门桥	0.10	0.41	0.08	0.15	0.26
凤台桥	0.09	0.42	0.08	0.16	0.25
三山桥	0.09	0.42	0.08	0.14	0.27
草场门桥	0.10	0.41	0.08	0.13	0.28
新三汊河口	0.11	0.40	0.08	0.14	0.28

根据表 1 可确定 6 个权重向量:

$$W_1 = [0.103, 0.369, 0.096, 0.172, 0.260]$$

$$W_2 = [0.100, 0.411, 0.083, 0.148, 0.258]$$

$$W_3 = [0.087, 0.417, 0.081, 0.162, 0.252]$$

$W_4 = [0.089, 0.417, 0.080, 0.139, 0.274]$
 $W_5 = [0.098, 0.409, 0.080, 0.133, 0.279]$
 $W_6 = [0.105, 0.404, 0.076, 0.141, 0.275]$
再根据模糊评价模型,计算出每个测点的水质级别,即根据式(8)可得:

$b_1 = [0.00, 0.00, 0.10, 0.22, 0.05, 0.63]$
 $b_2 = [0.00, 0.00, 0.05, 0.20, 0.09, 0.67]$
 $b_3 = [0.00, 0.00, 0.06, 0.14, 0.14, 0.67]$
 $b_4 = [0.00, 0.00, 0.05, 0.20, 0.06, 0.69]$
 $b_5 = [0.00, 0.00, 0.04, 0.19, 0.09, 0.69]$
 $b_6 = [0.00, 0.00, 0.05, 0.16, 0.11, 0.68]$

根据最大隶属度判定原则,从外秦淮河上游到下游的 6 个观测点,最大值分别为 0.63、0.67、0.67、0.69、0.69、0.68,而且这 6 个值均处于第 6 位的位置上,说明这 6 个测点的水质级别均为劣 V 类。

对于各指标的贡献度采用单因子分析,依据上述监测数据,以 V 类水水质标准作为评价准则,计算各个指标的相对计算值,该相对计算值是一个无量纲数。以相对计算值的最大值确定外秦淮河的主要超标因子。计算结果见表 2。

表 2 各断面各指标相对计算值

断面名称	相对计算值				
	DO	NH ₃ -N	COD _{Mn}	COD	TP
七桥瓮	0.44	1.49	0.39	0.69	1.05
武定门	0.54	2.08	0.42	0.75	1.30
凤台桥	0.48	2.15	0.42	0.83	1.30
三山桥	0.50	2.21	0.42	0.74	1.45
草场门桥	0.57	2.24	0.44	0.73	1.53
新三汊河口	0.59	2.13	0.40	0.75	1.45

由表 2 可见,相对计算值最高的是 NH₃-N,除七桥瓮为 1.49 外,其余 5 个监测断面均超过了 2.00,最高值在草场门桥断面出现,可达 2.24,表明 NH₃-N 超标严重;其次是 TP,平均超标 1.35 倍,最高值出现在草场门桥处,可达 1.53 倍,表明 TP 是仅次于 NH₃-N 的影响因子。而 DO、COD_{Mn} 和 COD 三者的相对计算值均未超过 1.0,均满足 V 类水质标准。单因子评价法的结果表明,外秦淮河中 NH₃-N 和 TP 是主要的影响因子。即使在七桥瓮断面,水质达到 V 类,NH₃-N 和 TP 仍是超标的。

运用其他评价法,包括污染指数法、层次分析法以及模糊物元法等,进行对比验证,对比结果见表 3。由表 3 可见,改进的模糊数学评价法对各断面水质的评价结果与其他方法基本一致,与模糊物元法结果相差较大,原因是模糊物元法不能评价劣 V 类水。说明改进的模糊数学评价法用在此处是合理、贴近实际的。

表 3 不同水质评价法对外秦淮河水质评价结果对比

评价法	水质评价结果					
	七桥瓮	武定门	凤台桥	三山桥	草场门桥	新三汊河口
单因子评价法	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类
污染指数法	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类
层次分析法	V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	V 类
模糊物元法	V 类	V 类	V 类	V 类	V 类	V 类
综合水质指标指法	V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	V 类
改进的模糊数学评价法	V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类	劣 V 类

同样的,运用上述方法对各个季度的外秦淮河水质进行评价(图 4)。由图 4 可见,外秦淮河水质在各季度有所变化,其中第三季度水质要好于其他季度。

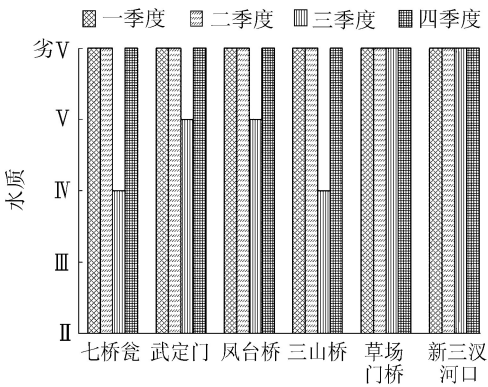


图 4 各季度外秦淮河各断面综合水质评价结果

5 结 论

- a. 改进的模糊数学评价法能够有效评价出外秦淮河综合水质状况,方法合理。
- b. 从 2009 年的数据来看,外秦淮河 6 个观测断面的水质均达不到水功能区要求,除七桥瓮断面可达到 V 类水以外,其他 5 个断面均处于劣 V 类的水平。
- c. 造成各断面水质达不到水功能区要求的原因是,NH₃-N 和 TP 全线严重超标。NH₃-N 平均超标 2.05 倍,TP 平均超标 1.35 倍,其他 3 个指标均可达到 V 类水水质标准。

参考文献:

[1] 刘成,袁琳,余明星,等. 河流水质评价方法综述[J]. 吉林农业,2012(7):226-227. (LIU Cheng, YUAN lin, YU Mingxing, et al. Evaluation methods of river water quality [J]. Jilin Agriculture,2012(7):226-227. (in Chinese))
[2] 胡海英,包为民,余德华,等. 资水流域益阳段水质现状分析与评价[J]. 中国农村水利水电,2008(2):41-44. (HU Haiying, BAO Weimin, YU Dehua, et al. Water quality assessment in the Yiyang Reach of the Zishui Basin[J]. China Rural Water and Hydropower,2008(2):

- 41-44. (in Chinese))
- [3] 蒋火华,朱建平,梁德华,等. 综合污染指数评价与水质类别判定的关系[J]. 中国环境监测,1999,15(6):46-48. (JIANG Huohua,ZHU Jianping,LIANG Dehua,et al. The relationship between comprehensive pollution index assessment and water quality type distinguishing[J]. Environmental Monitoring in China,1999,15(6):46-48. (in Chinese))
- [4] 孙靖南,邹志红,任广平. 模糊综合评价在天然水体水质评价中的应用研究[J]. 环境污染治理技术与设备,2005,6(2):45-48. (SUN Jingnan,ZOU Zhiping,REN Guangping. Study on the fuzzy synthetic evaluation for natural water quality[J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control,2005,6(2):45-48. (in Chinese))
- [5] 赵志坚. 灰色聚类法在水环境质量评价中的应用[J]. 四川环境,1997,16(3):49-51. (ZHAO Zhijian. Application of grey method to water environmental quality assessment[J]. Sichuan Environment,1997,16(3):49-51. (in Chinese))
- [6] 陈德明,李祚泳. 大气环境质量的物元分析评价法[J]. 环境科学研究,1994,7(2):24-28. (CHEN Deming,LI Zuoyong. The assessment of atmospheric environmental quality based on matter element analysis[J]. Research of Environmental Science,1994,7(2):24-28. (in Chinese))
- [7] 邓新民,李祚泳. 层次分析法用于水环境质量评价[J]. 成都气象学院学报,1990(2/3):70-75. (DENG Xinmin,LI Zuoyong. Application of analytic hierarchy process (AHP) in assessment of water environmental quality[J]. Journal of Chengdu Institute of Meteorology,1990(2/3):70-75. (in Chinese))
- [8] 秦天玲,侯佑泽,郝彩莲,等. 基于主成分分析的武烈河流域水质评价研究[J]. 环境保护科学,2011,37(6):102-105. (QIN Tianling,HOU Youze,HAO Cailian,et al. Study on water quality evaluation of Wulie River Basin based on the method of PCA[J]. Environmental Protection Science,2011,37(6):102-105. (in Chinese))
- [9] 胡成,苏丹. 综合水质标识指数法在浑河水质评价中的应用[J]. 生态环境学报,2011,20(1):186-192. (HU Cheng,SU Dan. Application of comprehensive water quality identification index in water quality assessment of Hun River[J]. Ecology and Environmental Sciences,2011,20(1):186-192. (in Chinese))
- [10] 尹静章,傅静,谢营,等. 改进的模糊数学评价法在德州市地下水水质评价中的应用[J]. 治淮,2010(12):22-25. (YIN Jingzhang,FU Jing,XIE Ying,et al. Application of improved fuzzy evaluation method in Dezhou City groundwater quality evaluation[J]. Zhihuai,2010(12):22-25. (in Chinese))
- [11] 朱冬楠,李畅游,孙标,等. 改进模糊物元模型在湖泊水质评价中的应用[J]. 人民黄河,2010,32(12):127-130. (ZHU Dongnan,LI Changyou,SUN Biao,et al. Improved fuzzy matter-element model in lake water quality assessment[J]. Yellow River,2010,32(12):127-130. (in Chinese))
- (收稿日期:2014-03-10 编辑:徐娟)

(上接第17页)

- [6] 都金康,谢顺平,许有鹏,等. 分布式降雨径流物理模型的建立和应用[J]. 水科学进展,2006,17(5):637-644. (DU Jinkang,XIE Shunping,XU Youpeng,et al. Development and application of a physically-based distributed rainfall-runoff model[J]. Advances in Water Science,2006,17(5):637-644. (in Chinese))
- [7] 刘新仁,费永法. 汾泉河平原水文综合模型[J]. 河海大学学报:自然科学版,1993,21(6):10-16. (LIU Xinren,FEI Yongfa. Fenquanhe plain area comprehensive hydrologic model[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences,1993,21(6):10-16. (in Chinese))
- [8] 王井泉. 淮北坡水区概念性流域水文模型[J]. 水文,1989(3):25-29. (WANG Jingquan. Conceptual hydrological model of Huaiibeipo aera[J]. Hydrology,1989(3):25-29. (in Chinese))
- [9] 唐柏林,费永法. 汾泉河平原水文模型在防洪除涝水文计算及水资源评价方面的应用[J]. 治淮,1996(3):29-30. (TANG Bolin,FEI Yongfa. Application of Fenquanhe plain hydrological model in hydrology flood control waterlogging calculation and evaluation of water resources[J]. Zhihuai,1996(3):29-30. (in Chinese))
- [10] 路伟亭,王玉山. 淮北地区除涝水文计算办法探讨[J]. 治淮,2012(5):15-16. (LU Weiting,WANG Yushan. Discussion in Huabei area hydrology waterlogging calculation method[J]. Zhihuai,2012(5):15-16. (in Chinese))
- [11] 杨传国,余钟波,郝振纯,等. 淮河流域典型洪水年流量空间分布的季节特征[J]. 河海大学学报:自然科学版,2012,40(1):33-36. (YANG Chuanguo,YU Zhongbo,HAO Zhenchun,et al. Seasonal characteristics of spatial distribution of streamflow in a typical flood year in Huaihe Basin[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences,2012,40(1):33-36. (in Chinese))
- [12] 张建新,惠士博,谢森传. 利用降雨入渗产流分析原理和 Nash 单位线汇流方法进行排涝模数计算的研究[J]. 水文,2002,22(3):1-4. (ZHANG Jianxin,HUI Shibo,XIE Senchuan. Study on drainage modulus in plain watersheds by using infiltration-runoff math-theoretical analysis and Nash's instantaneous unit curve method[J]. Hydrology,2002,22(3):1-4. (in Chinese))
- [13] 陈鸣,孙以三. 水库实时水情预报调度系统开发及应用[J]. 中国水利,2005(23):41-42. (CHEN Ming,SUN Yishan. Real-time forecast and regulation system of water conditions in reservoirs and its applications[J]. China Water Resources,2005(23):41-42. (in Chinese))
- (收稿日期:2014-04-01 编辑:高渭文)