

基于模糊综合评价法的淮河水质现状研究及治理建议

李 勇

(安徽财经大学统计与应用数学学院,安徽 蚌埠 233030)

摘 要:原水水质状况的优劣对城市供水系统具有重要影响,对水进行精准评价有助于水质监控与治理。选取2016年淮河干流安徽段4个监测点的水质数据,采用基于熵权法的模糊综合评价法来评价水质。按6级水质标准确定水质隶属度,利用熵权法在时间和空间两种不同的原则下计算权重,根据最大隶属度原则判定不同准则下的淮河水质级别,得出各监测点的水质情况。同时引入级别特征值,以确定不同时间段与监测点的超标因子。最后,综合两种方法对水质进行评价分析,得出4个监测点中王家坝污染最严重和淮河干流安徽段丰水期有机物污染严重的结论,并且根据评价结果给出了加强区域联动协调治理和采用多种方法分解超标有机物的建议。

关键词:模糊综合评价法;熵值法;级别特征值;水质评价;淮河

中图分类号:X824

文献标志码:A

引 言

水资源是人类生存和社会发展的基础性自然资源,在人类生产和生活中有着不可替代的重要性。随着城镇化比率的进一步提高,城市用水量也将随着增加,就需要更多高质量的水源来保障城市运转^[1]。淮河地处我国东部,其人口密度位居我国七大流域之首,供养着我国约1/7的人口,近年来其水体污染已有加重趋势^[2],因此,研究淮河水质现状,进而制定水污染防治方案和策略,保障水源质量就显得尤为重要。

传统的水质评价方法有单因子评价法、综合污染指数法、物元分析法、灰色系统评价法等^[3]。随着评价方法的发展与丰富,目前对其的研究主要集中在两个方面。一方面,部分学者认为水环境是一个复杂的系统,

受到多种因素的共同作用。由于水质等级划分在评价过程中存在中间阶段或过渡状态,内部各因子之间也不孤立,所以水污染程度和水质等级之间存在一定的模糊性。叶俊等利用模糊综合评价法,将边界不清的因素定量化,通过最大隶属度原则确定水质类别^[4-5]。徐建等在传统模糊综合评价法的基础上,对确定权重的方式或者水质分类标准进行改进,得出的评价结果相比传统方法更加精确^[6-8]。杜军凯利用主成分分析方法对众多的水质指标进行降维,提取主要指标,然后利用传统的模糊综合评价法对水质进行判别,建立了模糊-主成分分析综合评价法的地下水水质耦合评价模型^[9]。另一方面,部分学者没有基于模糊数学理论,而是利用其他方法建立了水质评价模型。罗芳在传统单因子评价法的基础上,引入内梅罗污染指数,提出利用内梅罗污染指数法

收稿日期:2018-06-01

基金项目:国家自然科学基金(11601001);国家大学生创新创业训练计划(201610378265)

作者简介:李勇(1963-),男,安徽蚌埠人,副教授,主要从事信息与计算机科学方面的研究,(E-mail)984103501@qq.com

和单因子评价法^[10]。肖丹在对洞庭湖区浅层水质的评价时,利用集对分析法进行了评价^[11]。

水质分类具有明确的等级,基于模糊数学的研究方法能够合理地在水质进行分类,但前人针对其的改进一类集中在水质精准判别上,一类集中在水中超标因子识别上,并没有对两者进行综合改进。而未基于模糊数学理论的方法对于静态水水质判别具有较好的效果,但对流动水水质判别不具有一般性。

因此,本文在前人研究的基础上,对传统的模糊综合评价方法进行改进,采用6级隶属函数,利用不同原则计算熵权值得出评价结果,并引进级别特征值来反映超标因子的存在,能够在保证水质分类更加精确的基础上对超标因子进行精准判断,为淮河水质级别做出更加客观全面的评价,并根据评价结果,给出污染防治的相关措施和建议。

1 模糊综合评价法原理及步骤

1.1 确定评价指标和评价集

选取参与评价的 n 个指标,记为 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$; 确定 m 个评价集,记为 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 。

1.2 建立隶属度函数和模糊矩阵

隶属度函数有矩形分布、正态分布、梯形分布等函数形式。在水质评价中,评价域的标准值为实数且水质的隶属度呈线性分布,故采用梯形分布函数。对于成本型指标,采用降半梯形分布函数;对于效益型指标,采用升半梯形函数^[12],下面介绍前者,后者计算方法类似。

对于成本型指标隶属度 r_{ij} : 当 $x_i < s_{i1}$ 时, $r_{i1} = 1$, 其他等级的隶属度均为0; 当 $s_{ij} \leq x_i \leq s_{i(j+1)}$ 时, $r_{i(j+1)} = (x_i - s_{ij}) / (s_{i(j+1)} - s_{ij})$, $r_{ij} = 1 - r_{i(j+1)}$, 其他等级的隶属度均为0; 当 $x_i > s_{i(\max j)}$ 时, $r_{i(\max j)} = 1$, 其他等级的隶属度均为0。其中, x_i 为第 i 个评价因子质量浓度实测值, s_{ij} 为第 i 个评价因子第 j 类水质的标准中间值。

根据得到的评价因子隶属度值,建立模糊关系矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1j} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \cdots & r_{ij} \end{bmatrix}$$

式中: i 代表评价指标数, j 代表水质评价类别。

1.3 确定评价因子的权重

传统的模糊评价法多采用“超标法”来计算因子的权重,此时仅考虑了单个因子的特征,而忽略了因子之间的联系。信息熵是系统混乱程度的度量,水质由优变劣,是水体内部物质熵值增加的过程。某项指标的变异程度越大,信息熵就越小,该指标提供的信息量就越大,该指标的权重也就越大。利用熵值法确定权重,能够克服传统单因子评价的不足^[13]。权重计算的具体步骤如下:

(1) 将各指标无量纲化,计算第 j 项指标下第 i 个方案指标值的比重 p_{ij} :

$$p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}$$

(2) 计算第 j 项指标的熵值 e_j :

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}$$

式中: $k > 0$, $e_j \geq 0$ 。

(3) 计算第 j 项指标的差异性系数 g_j :

$$g_j = 1 - e_j$$

(4) 对差异性系数进行归一化,计算出权重 w_j :

$$w_j = g_j / \sum_{k=1}^m g_k (j = 1, 2, \dots, m)$$

1.4 建立模糊综合评价模型

综合评价模型主要有主因素突出型、主因素决定型、不均衡平均型和加权平均型四种,前两种中的最大污染因子会夸大评价结果,第三种忽略了最大污染因子的影响,因此本文采用加权平均模型。利用该模型求解综合隶属度矩阵: $B = A \cdot R$, 根据最大隶属度原则即可得出评价方案所属的水质等级。

加权平均模型会削弱主要污染因子的作用,因此,引入级别特征值 J 作为超标因子存在性判定和水体水质优劣程度比较的依据。其计算公式为:

$$J = \sum_{j=1}^k b_j$$

式中: j 为级别变量,分为 k 级; b_j 为综合隶属度。当 J 值大于2时,说明水体中存在超标因子,且 J 值越大则水体质量越差。

2 淮河水质综合评价

本文选取了2016年12个月份的淮河干流安徽段四

个水质监测点(安徽段阜南王家坝、淮南石头埠、蚌埠蚌埠闸和滁州小柳巷)的月度水质数据进行综合评价,分别得出淮河水质在时间和空间上的变化情况。下面以2016年1月份四个监测点的水质评价进行演示,具体水质数据见表1。其余月份的评价过程同理。

表1 2016年1月四个监测点水质数据(单位:mg/L)

	溶解氧	高锰酸盐	化学需氧量	五日生化需氧量	氨氮	总磷
阜南王家坝	9.99	4.84	7.80	2.84	0.74	0.28
淮南石头埠	9.13	4.60	12.64	2.41	0.42	0.17
蚌埠蚌埠闸	9.57	3.92	14.37	1.33	0.58	0.16
滁州小柳巷	11.88	2.92	12.76	1.30	0.39	0.19

注:数据来源于天元数据网。

2.1 选取评价指标和评价集

通过对淮河流域的水质情况调查和相关专家访谈,并结合监测数据,选取溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、化学需氧量(COD)、五日生化需氧量(BOD₅)、氨氮(NH₃-N)和总磷(TP)6项指标作为评价指标集,即

$$U = \{DO, COD_{Mn}, COD, BOD_5, NH_3-N, TP\}$$

根据GB 3832-2002《地表水环境质量标准》,地表水被分成5类水质标准,本文中针对指标过度超标的情况,在原有5类的基础上,增加劣V类等级,评价集即

$$V = \{I, II, III, IV, V, 劣V\}$$

2.2 根据隶属度函数计算模糊矩阵

在计算6级隶属度函数值时, $B = [B_1 \ B_2 \ B_3 \ B_4]^T$ 为原有5级标准上下限值的中间值。以计算COD_{Mn}隶属度为例,现行的5类水质分类区间为(0,2]、(2,4]、(4,6]、(6,10]、(10,15];在6级隶属度计算时,得到I至劣V类的6个区间为(0,1]、(1,3]、(3,5]、(5,8]、(8,12.5]、(12.5,15],求得矩阵:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.08 & 0.92 & 0 & 0 & 0 \\ 0.63 & 0.37 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.66 & 0.34 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.02 & 0.98 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0.3 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.972 & 0.028 & 0 & 0 & 0 \\ 0.06 & 0.94 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.656 & 0.344 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.54 & 0.46 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.626 & 0.374 & 0 & 0 & 0 \\ 0.78 & 0.22 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.332 & 0.668 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.04 & 0.96 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.948 & 0.052 & 0 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.716 & 0.284 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2.3 根据隶属度函数计算模糊矩阵

选取2016年1月份4个监测点的6项指标数据,通过熵值法求解,归一化后求得6项指标的权重为: $A = [0.0315, 0.1063, 0.1402, 0.3559, 0.2056, 0.1605]$

2.4 求解综合隶属度并判断水质级别

将上文中求解的隶属度矩阵和权重矩阵利用加权平均模型进行计算,得出四个监测点的综合隶属度矩阵: $B = [B_1 \ B_2 \ B_3 \ B_4]^T$, 即

$$B = \begin{bmatrix} 0.1194 & 0.2999 & 0.4203 & 0.1123 & 0.0481 & 0 \\ 0.0529 & 0.6270 & 0.2881 & 0.0321 & 0 & 0 \\ 0.3091 & 0.2917 & 0.3831 & 0.0160 & 0 & 0 \\ 0.3205 & 0.4534 & 0.1620 & 0.0642 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

从综合隶属度矩阵中可知,2016年1月阜南王家坝、淮南石头埠、蚌埠蚌埠闸和滁州小柳巷的水质级别分别为III类、II类、III类和II类。4个监测点的J值分别为2.67、2.30、2.11、1.97,从J值可知,前3个监测点中存在超标因子。

2.5 求解综合隶属度并判断水质级别

对4个监测点,分别根据每个监测点的12个月份的数据求得四组权重,此时权重针对每个监测点考虑了

不同时间上的差异,下称地点原则;对 12 个月份,分别根据每个月份中 4 个监测点的数据求得 12 组权重,此时权重针对每个月份考虑了不同地区间的差异,下称月份原则。下面以阜南王家坝为例,将以上两种评价原则和中国环境监测总站的评价结果^[11]进行对比,见表 2。

表 2 阜南王家坝两种原则与环境监测站评价结果对比

月份	地点原则		月份原则		环境监测站
	评价结果	J 值	评价结果	J 值	
1	III	2.8	III	2.7	IV
2	III	2.6	III	2.7	III
3	III	2.8	IV	3.3	IV
4	III	2.6	II	2.4	III
5	III	2.6	III	2.7	III
6	IV	2.9	IV	3.6	III
7	劣 V	4.1	劣 V	4	劣 V
8	III	2.9	IV	3.3	V
9	II	2.45	IV	3.1	V
10	II	2.2	II	2.4	III
11	II	2.2	II	2.3	IV
12	V	3.6	V	4.6	V

从表 2 可知,基于熵权法的模糊综合评价法综合考虑了各个因子对评价结果的影响,削弱了主要污染因子的影响,评价结果相比于监测站公布的更优,结合级别特征值 J,既能综合反映水体水质的现状,又能反映超标因子的存在,根据 J 值的大小也能反映出水质的优劣程度。此外,对比两种原则下的综合评价,表明月份原则的评价更加接近监测站的评价结果。

下面分别就 4 个不同监测点采用两种不同原则的评价结果与监测站的结果进行对比,如图 1 所示。

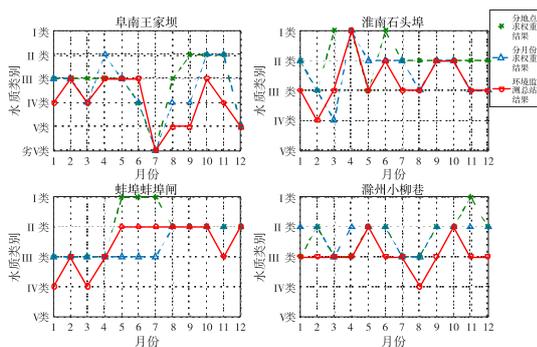


图 1 各监测点三种评价结果对比

从图 1 可知,两种原则下求得熵值权重用于综合评价,得出的评价结果与环保监测总站评价结果相近,说

明该评价方法能够客观的反映水质变化情况。其中,月份原则下的评价结果更为接近。

下面使用月份原则下确定的权重对淮河 4 个监测点 2016 年 12 个月份的水质进行评价,结果如图 2 所示,并求得级别特征值,结果见表 3。

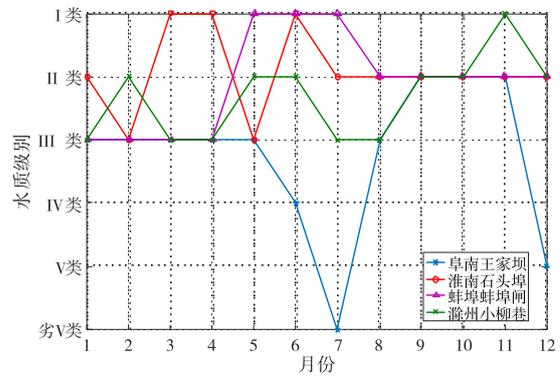


图 2 2016 年 4 个监测点水质评价等级

表 3 2016 年 4 个监测点水质评价 J 值

月份	王家坝	石头埠	蚌埠闸	小柳巷
1	2.67	2.3	2.11	1.97
2	2.67	3.04	2.67	1.93
3	3.33	1.36	2.85	2.55
4	2.4	1.9	2.57	2.27
5	2.67	2.3	2.11	1.97
6	3.58	2.16	2.52	2.07
7	4.04	2.64	2.54	3.01
8	3.33	2.9	1.98	2.68
9	3.13	2.46	2.08	2.2
10	2.37	2.02	2.09	1.91
11	2.34	2.79	2.01	2.23
12	4.55	2.24	2.19	1.92

从图 2 和表 3 中可知:在空间上,4 个监测点中,石头埠和蚌埠闸两个监测点水质最好,其 II 类及以上的百分比分别达到了 83.3% 和 66.6%,小柳巷水质均在 III 类及以上。从 J 值来看,这 3 个监测点在大多数月份都存在超标因子,但从 J 值大小来看,均介于 1.5 与 3 之间,说明水质较好,与评价结果相吻合。王家坝在 6、7 和 12 月份出现了较严重的污染现象,甚至出现了劣 V 类水质。通过调查了解,该监测点曾在不同时期出现氨氮、总磷、溶解氧、生化需氧量超标现象。从 J 值来看,

该监测点一年中有6个月份 J 值超过3,说明其水质污染常年较为严重。在时间上,淮河干流安徽段平水期水质整体最好,枯水期次之,丰水期最差。

3 结论与建议

选取2016年淮河干流安徽段4个监测点的水质数据,采用基于熵权法的模糊综合评价法来评价水质,结论与建议如下:

(1) 水质评价方法的优越性

(a) 相比于传统方法下的评价集,本文采用的级评价方案扩大了评价范围且对水质分类更加精细,对于重度污染水判别更加准确。(b) 在熵权法基础上,创新性的应用时间和空间准则来求解权重,削弱了主要污染因子的影响,能够更加综合地反映各因子对水质级别的影响,两种准则下的判别结果进行对比,验证了方法的稳定性与结果的可靠性。(c) 引入了级别特征值 J 作为超标因子存在性和水质优劣程度的判断依据,弥补了基于熵值法的模糊综合评价在水质等级判别上的不足,能够对劣质水中超标因子进行判别,便于后期针对性水质治理。

基于以上方法,得出的水质评价结果相比传统方法在全面性和准确度上更优,更具有参考价值。

(2) 淮河干流安徽段4个监测点的水质评价结果与建议

(a) 在选择的4个监测点中,位于豫皖交界处的王家坝水质综合表现最差,其他三个监测点水质较好,说明安徽段对境内水质治理控制较好,而交界地带成了管理盲区,相关部门应加强立法执法,区域间联动协调共同治理^[14-15]。(b) 在2016年全年中,4个监测点均在丰水期均不同程度出现了水质下降的现象。据调查,淮河两岸现仍分布着生产和治污设备落后的小型工厂,丰水期时雨水将大量污染物带入淮河,水质急剧下降。环保部门应加强对小型排污企业的监督检查,相关部门也应促进众多产能低、排污多的小企业合并转型,鼓励利用新能源进行生产^[16]。(c) 淮河干流安徽段在2016年中不同程度地出现了氨氮、总磷、溶解氧和生化需氧量超标的情况,河水有机物污染严重。在严把污染源的同时,对污染严重的河水可采取曝气法、投菌法和生物膜

法等方法^[17]来分解有机物,改善水质。

参考文献:

- [1] 高秀清.我国水资源现状及高效节水型农业发展对策[J].南方农业,2016,10(6):233,236.
- [2] 严辉.淮河流域水质现状及对策研究[J].北方环境,2013,29(4):118-119.
- [3] 杨静.改进的模糊综合评价法在水质评价中的应用[D].重庆:重庆大学,2014.
- [4] 叶俊,阚思洋,杨岩,等.水质评价模型[J].四川理工学院学报:自然科学版,2007,20(2):25-29.
- [5] 徐晓云,陈效民,等.模糊综合评价法用于京杭运河扬州段的水质评价[J].中国给水排水,2008,24(24):107-110.
- [6] 徐健,吴玮,黄天寅,等.改进的模糊综合评价法在同里古镇水质评价中的应用[J].河海大学学报:自然科学版,2014,42(2):143-149.
- [7] 韩晓刚,黄廷林,陈秀珍.改进的模糊综合评价法及在给水厂原水水质评价中的应用[J].环境科学学报,2013,33(5):1513-1518.
- [8] 席文娟,金婧,钱会.改进模糊综合评价法在水质评价中的应用[J].水资源与水工程学报,2012,23(3):25-29.
- [9] 杜军凯,傅尧,李晓星.模糊-主成分分析综合评价法在地下水水质评价中的应用[J].中国环境监测,2015,31(4):75-81.
- [10] 罗芳,伍国荣,王冲,等.内梅罗污染指数法和单因子评价法在水质评价中的应用[J].环境与可持续发展,2016,41(5):87-89.
- [11] 肖丹,肖江,王士党.集对分析法在洞庭湖区浅层水质评价中的应用[J].四川理工学院学报:自然科学版,2013,26(2):94-97.
- [12] 杨桂元.数学建模[M].上海:上海财经大学出版社,2014:128-129.
- [13] 王涛,魏亚妮,钱会.权重对水质模糊综合评价的影响[J].南水北调与水利科技,2010,8(2):87-90.

- [14] 徐艳.淮河流域水污染治理政策研究[D].安徽:安徽大学,2012.
- [15] 方芳.跨域水污染治理中的地方政府协作研究[D].南京:南京农业大学,2014.
- [16] 闫云侠,李柏年.淮河流域水污染及其治理[J].水利发展研究,2005(3):17-19.
- [17] 温东晖,李璐.以有机污染为主的河流治理技术研究进展[J].生态环境,2007,16(5):1539-1545.

Study and Suggestion on Water Quality of the Huaihe River Based on the Fuzzy Synthetic Evaluation Method

LI Yong

(School of Statistics and Applied Mathematics, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu 233030, China)

Abstract: Accurate evaluation of water quality plays an important role in monitoring and controlling water quality because the quality of raw water has an important impact on the urban water supply system. The water quality data of 4 monitoring points in the Anhui section of the Huaihe River main stream in 2016 are selected and the degree of the water quality is determined by the 6 grade water quality standard. The entropy weight method is used to calculate the weight of the water quality under the two different principles of time and space. According to the maximum membership degree principle, the water quality level of Huaihe under the different criteria is determined, and the water quality of different monitoring points is obtained. At the same time, the grade eigenvalues are introduced to determine the over standard factors of different periods and monitoring points. Finally, the water quality is evaluated by two methods. The conclusion is drawn that the pollution of Wangjiaba is the most serious in 4 monitoring points and the pollution of organic matter in the flood season of the Huaihe River main stream is serious, at the same time, the suggestion of strengthening regional coordinated control and using various methods to decompose the excess organic is given.

Key words: fuzzy synthetic evaluation method; entropy method; level eigenvalue; water quality evaluation; the Huaihe River