

五元系数法改进熵权法在水质评价中的应用

宋丽婧, 魏琛, 宋玲梅

(贵州大学 土木工程学院, 贵阳 550025)

摘要: 为了使水质监测值和水体划类标准值之间关系更紧密, 利用五元联系数方法建立了各水质评价指标与评价标准的五元联系数; 同时在传统熵权计算的基础上, 采用秩比法设定偏好校正系数, 得到改进的熵权重; 最后将五元联系数 u_i 和改进的熵权重 WR_i 相结合获得五元综合联系度, 据此对水质进行评价, 这是一种主客观结合的、符合实际情况的水质评价新方法。以贵州贵阳市河流断面监测数据为例, 评定样本点所在河段水质等级, 分析了该河流水质变化趋势, 验证了五元系数法改进熵权法水质评价方法的实用性。

关键词: 改进熵权法; 五元联系数; 水质评价; 因子分析; 水质变化趋势

中图分类号: X824 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)02-0268-06

Application of five element connection number method-improved entropy method in water quality evaluation

SONG Li jing, WEI Chen, SONG Ling mei

(College of Civil Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: To tight the relationship between the water quality monitoring value and water classified standard, the five element connection number method was used to establish the five element connection numbers of the evaluation criteria for various indicators of water quality evaluation. On the basis of traditional entropy weight calculation, the rank method was used to set the preference correction coefficients and then to obtain the improved entropy weights. The five element connection number u_i was combined with the improved entropy weight WR_i to obtain the comprehensive five element connection for water quality evaluation. This is a newly combined objective and subjective method for water quality evaluation. The method was applied to evaluate water quality grade and analyze the variation trend of water quality in a river of Guiyang City of Guizhou Province based on the monitoring data of a cross section, which verified the applicability of the five element connection number method-improved entropy method in water quality evaluation.

Key words: improved entropy method; five element connection number; water quality evaluation; factor analysis; variation trend of water quality

水质评价作为水域系统分析的后阶段, 准确地反映当前的水体质量和污染状况, 弄清水体质量变化发展的规律, 找出流域的主要污染问题^[1], 对下一步提出水域治理方案的决策起到承上启下的作用, 水质评价的理论方法的合理性、科学性、有效性以及可靠性对量化的研究水资源的可持续利用有着重要的意义。

目前, 我国常用的评价方法^[1-7]为: 单因子分析法、综合指数法、灰色聚类法、BP神经网络评价法、物元分析法、集对分析法等。单因子分析法主要应用于建设项目的环境影响评价, 分析水环境单因子的超标倍数, 方法简单、速度快、结果直观, 但评价结论模糊, 评价尺度严格, 难以描述清楚水质

变化程度。综合指数法是基于先确定污染指标权重后评价的方法, 将评价指标分类、水质分级后提高了评价的客观性, 但评价尺度偏严, 对超过分级界限的不同水体, 可比性不强。灰色聚类法是对不同对象利用白化权函数描述水质分级界限的方法, 消除各水质指标浓度值量级差异的影响, 适用于定量处理信息模糊的情况, 其缺点是忽略了不相邻等级的影响, 不能反映各指标相同级别的变化幅度。BP神经网络评价法通过模拟生物神经系统单元组成, 通过训练后的自适应评价, 无需确定权重, 适用于区域评价, 精度高, 计算原理、过程复杂。物元分析法是基于各指标不相容性提出的定量化方法, 它增加了实测数据与标准限值间的联系度, 可靠性增

收稿日期: 2014-04-26 修回日期: 2014-12-01 网络出版时间: 2014-03-20

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150320.1629.005.html>

基金项目: 贵州省科技计划课题“贵州省城市典型饮用水源地地面源污染及自动监测设施智能运维系统研究与示范”(黔科合SY字[2014]3045号); 贵州大学研究生创新基金项目(研理工2014603)

作者简介: 宋丽婧(1989-), 女, 贵州贵定人, 主要从事给排水科学与工程、水污染控制技术方面的研究。E-mail: 672346171@qq.com

强,适用于多因子评价。集对分析法是一种处理不确定性问题的方法,复合了决策和统计学理论,适用于水域环境管理,它比前几种方法的可靠性更强、精度高,更能反映水质的实际情况,但方法相对复杂。以上各种评价法各有优劣,应依据实际的评价水域特点、评价目的、实际样本灵活运用和选择。为了使水质监测值和水体划类标准值之间关系更紧密,本文基于五元联系数和改进熵权法,建立了新的水质评价模型,并以贵州贵阳市河流断面监测数据为例,对该方法进行验证。

1 基于五元联系数改进熵权法组合的水质评价模型

1.1 模型建立的思路

基于五元联系数一改进熵权法组合的水质评价模型是一种新的水质评价方法,模型建立思路如下:首先,选择反馈信息丰富的评价指标,减少无谓计算量,降低各指标间的线性补偿^[7-8],特别是要选择对水质影响较大的指标;其次,以集对理论确定监测样本与评价等级的五元联系数,且对五元联系数计算区间进行改进;再次,对传统的熵权法进行改进。讨论污染指标在给水处理工程中处理的成本和处理的难易程度,并优先选择能代表该水域污染特征^[9-10]的指标,通过对样本指标主观上设置偏好修正系数 r_i ,消除样本的评价指标中某些特定的超标极值对评价的影响,并增大某些评价指标在水质评价中的作用,从而确定各评价指标修正权重系数;最后,将联系数与改进的权重系数有机的结合在一起,对

水质各个指标进行加权处理,获得综合联系度,据此进行水质评价。这种方法由于加入了评价者的主观思想,因此是一种主客观结合的评价方法。

1.2 评价模型基本原理

1.2.1 五元联系数法

五元联系数法来源于改进的集对分析法。把具有同异反关系的集合,进一步按照“同一”、“偏同”、“差异”、“偏反”、“对立”五种类别划分,并用数学方法引入联系度,分别用 a, b, c, d, e 作为联系分量系数表示上述五种类别的相关性大小,且具有优先顺序。即当联系数 $N=3$ 时,建立的五元联系度为^[11-12]:

$$U_s = a_s + b_s l_1 + c_s l_2 + d_s l_3 + e_s q \quad (1)$$

式中: $a \sim e$ 是联系分量系数,代表事物的重要性,由优先到次要进行排列。 S 代表不同等级的标准(在水质评价中,代表5类水体对应的标准), $s = 1, 2 \dots 5$ 。 l, q 作为五种类别对应的标记, $q = -1$ 。

对于 n 个评价指标、 m 个样本来说, x_{ij} 为第 j 个样本的 i 指标浓度值。定义评价指标与等级标准限值的关系: $S=1$ 的下限为 0 ,上限为 \bar{N} 类水体限值 s_1 ; $S=2$ 的下限为 s_1 ,上限为 $\bar{0}$ 类水体限值 s_2 ; \dots ; $S=5$ 下限为 $\bar{0}$ 类水体限值 s_4 ,上限为 $\bar{0}$ 类水体限值 s_5 。当等级上下限值相同时,该等级上限取上一等级的上限值。根据各评价指标的等级标准与标准限值的关系,改进了五元联系数表达式的取值区间,例如 $S=1$ 级五元联系数计算表达式见表1。

表1 对 $S=1$ 级五元联系数计算表达式

Tab.1 Computation Expression for $S=1$ Five Element Connection Number

系数	区间				
	$(0, s_1]$	$(s_1, (s_2 + s_3)/2]$ 或 $(0, (s_2 + s_3)/2]$	$((s_2 + s_3)/2, (s_3 + s_4)/2]$	$((s_3 + s_4)/2, s_4]$	$[s_4, +\infty]$
a	1	$(s_2 + s_3) - 2x_{ij} / [(s_2 + s_3) - 2s_1]$	0	0	0
b	0	$(2x_{ij} - 2s_1) / (s_2 + s_3) - 2s_1$	$(s_3 + s_4) - 2x_{ij} / (s_4 - 2s_2)$	0	0
c	0	0	$2x_{ij} - (s_3 + s_2) / (s_4 - 2s_2)$	$(2s_1 - 2x_{ij}) / (s_4 - s_3)$	0
d	0	0	0	$(2x_{ij} - s_3 - s_4) / (s_4 - s_3)$	0
e	0	0	0	0	1

注:当 $s_2 = s_1$ 时,区间由 $[s_1, s_2]$ 换为 $[0, s_2]$,且表达式中 $s_1 = 0$; 2.当 $S > 1$ 级, $x_{ij} \in S-1$ 级时,且不属于 S 级, $(s_{i-1}, s_i) \cdot (s_i, s_{i+1})$ 分别为 $S-1$ 的上限值、 S 级下限值,则 $U = 1 - (s_i - x_{ij}) / (s_i - s_{i-1}) + [1 - (x_{ij} - s_{i-1}) / (s_i - s_{i-1})]$; 当 $x_{ij} \in S-2$ 级,且不属于 $S-1$ 级,或 $x_{ij} \in S-3$ 级,则 $u = -1$ 。

x_{ij} 与 S 评价级别越接近,则 a, d, e 越大, b 越小;同理可推出对不同级别的五元联系数 U 。

当评价指标权重为 w_i 时,对单指标五元联系数加权处理,可获得第 j 个样本综合联系度为

$$U_{js} = \sum_{i=1}^n a_{is} w_i + \sum_{i=1}^n b_{is} w_i l_1 + \sum_{i=1}^n c_{is} w_i l_2 + \sum_{i=1}^n d_{is} w_i l_3 + \sum_{i=1}^n e_{is} w_i q \quad (2)$$

1.2.2 传统熵权法

熵权法来源于信息论和统计力学中 Shannon 的信息熵,是把各个评价样本信息进行量化和综合的方法。指标携带信息量的大小决定了指标的效用权重。依据评价性质可分为成本型、效益性评价^[12-14]。熵权法确定评价因子权重的基本方法:假设有 n 个评价指标,共有 m 个评价样本,建立 $X = (X_{ij})_{n \times m}$ 评价矩阵。将 X 矩阵进行标准化处理为

$$Y = (Y_{ij})_{n \times m}, Y_{ij} = \frac{X_{\max} - X_{ij}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3)$$

式中: X_{\max}, X_{\min} 分别表示同一指标的最大值和最小值。

则评价指标的熵集合用 $H = (h_1, h_2, h_3, \dots, h_n)$ 表示,其中,

$$h_i = \frac{1}{\ln^m} \sum_{j=1}^m f_{ij} \ln(f_{ij}), f_{ij} = - \frac{Y_{ij}}{\sum_{j=1}^m Y_{ij}} \quad (4)$$

式中: h_i 为第 i 个评价指标的熵。

则评价指标的熵权集合用 $W = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$ 表示,

其中,

$$w_i = \frac{1 - h_i}{n - \sum_{i=1}^n h_i} \quad w_i \in [0, 1], \text{且} \sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (5)$$

1.2.3 改进的熵权法

秩比法^[15]广泛应用于食品安全、生产安全的评价中,将选取的评价指标按照优至劣编秩,通过校正系数可消除某些异常极值的干扰,能显示出指标的微小变动,适用于各种评价对象。在综合考量给水处理经济成本和技术复杂程度的基础上,分别将各项指标由优至劣排序赋值 r_i ,给水处理成本越低,处理技术越容易,则该指标性能越优,反之,越劣。最优指标将赋值为1,次优指标赋值为2, ..., 次劣指标赋值为 $n-1$,最劣指标赋值为 n ; 则赋值后 i 指标偏好校正系数为

$$R_i = \frac{r_i}{n} \quad (6)$$

考量水域所属地理环境和水域污染物输入情况,对特异项指标增加权重倍数。确定权重的方法有许多,本文采用污染超标赋权法,并综合参考多指标优化决策的组合赋权方法^[15],增加特异项指标的重要性。则 i 指标的改进熵权重为

$$WR_i = \frac{w_i R_i}{\sum_i w_i R_i} \quad (7)$$

1.3 具体评价步骤

(1) 对 m 个评价样本评价因子的筛选,确定 n 个评价指标,建立水质评价矩阵 X 。

(2) 构造了五元联系数来评价水质,并把水质评价依据 S 等级来划分。依据表 1 获得了某个样本对 S 等级下单指标的系数 u 。

(3) 按照上述改进熵权法,由式(4)至式(7)计算出修正的评价指标权重 WR_i 。

(4) 将修正评价指标权重 WR_i 代入由公式(2)计算,获得样本综合联系度。

(5) 水质级别的判定,是通过比较同一样本对不同的 S 级评价的综合联系度 U_{js} 中 a, e 大小关系,选择 U_{js} 中 a 最大,而 e 值相对小的一项对应的 S 级作为样本点的最终评价等级。

2 水质评价实例

2.1 评价区概况及水质监测结果

贵州省贵阳市南明河地处云贵高原东北部,属于乌江水系。该河流穿过贵阳城,其上游(干流)是贵阳市重要的饮用水源。河流上游主要为村寨、居民区、公园、农田,少量军工企业距离较远,生态环境较好。随着经济发展,河流中下游分布有工业企业,污水处理厂,对河流水质造成一定影响。

水质监测数据来源于贵阳市发布的 2013 年南明河各断面水质监测结果。文章分别选取河流上游(干流)1 断面和下游 2 断面、右(流出)支流 3 断面、左(汇入)支流 4 断面、下游 5 断面数据作为水质评价对象,各断面 2013 年丰水期(6 月-8 月)水质监测结果见表 2。

根据《贵阳市地面水水域环境功能划类规定》(筑府发(1996)37 号),干流(1 断面以上)河段为 II 级水体;中游(2 断面)河段为 0 级水体;右支流(3 断面)为 0 级水体;左支流(4 断面)为 II 级水体;下游(5 断面)0 级水体。

2.2 评价因子分析

依据多属性决策方法^[9, 16 17, 19 21]对水质评价指标进行筛选:样本中 pH 指标对评价意义不大;为简化计算,舍去评价指标中越大越好型指标 DO;锌指标数值差异性相对小;

表 2 贵阳市河流各断面 2013 年丰水期水质监测结果
Tab. 2 Water Quality Monitoring Results of Each Cross Section of the River in Guiyang in Wet Season in 2013

指标	监测断面				
	1	2	3	4	5
pH	7.85	7.89	7.76	7.91	7.89
DO/(mg·L ⁻¹)	7.2	6.7	6.6	6.2	7.0
COD/(mg·L ⁻¹)	19	21	23	18	34
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	2	5	6	4	13
NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)	0.31	0.329	3.26	1.1	10.30
总磷/(mg·L ⁻¹)	0.07	0.35	0.38	0.06	0.83
总氮/(mg·L ⁻¹)	2.1	2.55	4.68	1.86	13.80
锌/(mg·L ⁻¹)	0.014	0.021	0.03	0.027	0.031
氟化物/(mg·L ⁻¹)	0.30	0.43	0.43	0.037	0.62
挥发酚	0.000 3	0.001 5	0.004 4	0.003 1	0.003 8
石油类	0.02L	0.14	0.02L	0.54	0.16
粪大肠菌群数/(个·L ⁻¹)	24 000	92 000	14 000	4 600	240 000

注: pH 无量纲。通过样本指标数据对比,表中仅列出样本中指标获得值不同的项。

NH₃-N 和总氮指标存在相关性较大^[18](地表水氨氮和总氮相关系数季平均值为 0.38),仅取其一作评价因子;石油类有两项均低于检测线,无法对因子进行权重的判断,均不计入;河流中下游附近经济发展较快,分布有矿厂、化肥厂、机电厂、医院、粮油批发市场、锅炉厂等,曾发生过污水未进入截污沟,污染的情况,因此,总磷、NH₃-N、挥发酚指标是评价该河流的重要因子。

最终,选取的评价因子包括:COD、BOD₅、NH₃-N、总磷、挥发酚。样本个数 $m=5$,每个样本有 $n=5$ 个评价因子(按以上顺序标号)。依据《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002),各污染物等级浓度的限值列于表 3。

表 3 各污染物等级浓度限值
Tab. 3 Concentration Limit Table of Various Pollutants

等级	指标				
	COD /(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N /(mg·L ⁻¹)	总磷 /(mg·L ⁻¹)	挥发 酚
Ⅲ类(s_1)	15	3.00	0.15	0.02	0.002
Ⅱ类(s_2)	15	3.00	0.50	0.10	0.002
Ⅰ类(s_3)	20	4.00	1.00	0.20	0.005
Ⅱ类(s_4)	30	6.00	1.50	0.30	0.010
Ⅲ类(s_5)	40	10.00	2.00	0.40	0.100

2.3 五元联系数计算结果

依据表 1 及式(2)-式(4)计算得出:各样本不同评价指标对 $S=1$ 等级五元联系数 U ,见表 4。

表 4 各样本不同评价指标对 $S=1$ 等级五元联系数 U

Tab. 4 Five element connection number U for $S=1$ of different evaluation indicators of all samples

指标	对 1 级联系数 u_{ij}				
	1	2	3	4	5
COD	$0.8l_1 + 0.2l_2$	$0.2l_1 + 0.8l_2$	$0.4l_1 + 0.6l_2$	$0.93l_1 + 0.07l_2$	$1q$
BOD ₅	1	$1l_3$	$1l_3$	$0.63l_1 + 0.37l_2$	$1q$
NH ₃ -N	$0.65 + 0.35l_1$	$0.63 + 0.37l_1$	$1q$	$0.3l_1 + 0.7l_2$	$1q$
总磷	$0.62 + 0.38l_1$	$1q$	$1q$	$0.69 + 0.31l_1$	$1q$
挥发酚	1	1	$0.78l_1 + 0.23l_2$	$0.27 + 0.73l_1$	$0.92l_1 + 0.08l_2$

同理可求,各样本对2级、3级、4级的联系数计算表。

2.4 改进熵权法计算结果

2.4.1 偏好指标赋值及偏好校正系数

水体受到附近工业企业影响较大的因素是NH₃-N、总磷,由表1可知,5个断面总氮超标较为严重,河流的氮污染物输入量相对大,因此对NH₃-N、总磷两项评价因子应更为重视。参考目前该河流1断面附近水厂工艺技术和该水厂技术专家对指标性能的评分顺序,采用食品安全、生产安全的评价中秩比法^[15],将选取的评价指标按照优至劣编秩,按式(6)计算。经统计可知,NH₃-N指标超标次数最多,参照污染超标赋权法,以及多指标决策模型计算^{[15][9]},该指标主观赋值倍数为1.5。偏好指标赋值及偏好校正系数表,见表5。

表5 偏好指标赋值及偏好校正系数

Tab.5 Preference Indicator Assignment and Preference Correction Coefficient Table

指标	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	总磷	挥发酚
偏好指标赋值 r_i	1	2	5	4	3
偏好校正系数 R_i	0.2	0.4	1.5	0.8	0.6

注: NH₃-N 指标偏好校正系数是经加重权重倍数后的值。

2.4.2 评价指标权重

评价矩阵 $X = (X_{ij})_{n \times m}$ 。

$$X = \begin{bmatrix} 19 & 21 & 23 & 18 & 34 \\ 2 & 5 & 6 & 4 & 13 \\ 0.31 & 0.329 & 3.26 & 1.1 & 10.3 \\ 0.07 & 0.35 & 0.38 & 0.06 & 0.83 \\ 0.0003 & 0.0015 & 0.0044 & 0.0031 & 0.0038 \end{bmatrix}$$

按式(4)–(7)处理后,评价指标熵值及权重结果见表6。

表6 评价指标熵值及权重

Tab.6 Evaluation indicator entropy and weight

指标	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	总磷	挥发酚
指标熵值 h_i	0.855	0.341	0.855	0.842	0.788
无偏权重 w_i	0.11	0.50	0.11	0.12	0.16

2.4.3 修正的评价指标权重

按式(7)计算修正的权重为

$$WR_i = (WR_1, WR_2, WR_i, \dots, WR_n) = (0.04, 0.34, 0.28, 0.17, 0.17)$$

2.5 样本综合联系度计算结果

将修正的权重 WR_i 代入式(2),求 $S=1$ 级的样本综合联系度 u_{j1} ,结果见表7。同理可求,5个样本对不同等级的综合联系度 U 。

表7 $S=1$ 级的样本综合联系度 u_{j1}

Tab.7 Comprehensive correlative degree u_{j1} for $S=1$

样本	综合联系度 u_{j1}
1	$u = 0.797 + 0.195l_1 + 0.008l_2$
2	$u = 0.346 + 0.112l_1 + 0.032l_2 + 0.34l_3 + 0.17q$
3	$u = 0.148l_1 + 0.063l_2 + 0.339l_3 + 0.449q$
4	$u = 0.164 + 0.513l_1 + 0.323l_2$
5	$u = 0.156l_1 + 0.014l_2 + 0.83q$

3 水质评价结果与讨论

样本对不同等级的综合联系度 U 值中 a 越大, e 越小,表明样本点与该评价等级越接近,反之表示对立; b, c, d 的大小反映了样本点与相邻评价等级之间的接近程度,该值说明河流水质转换成其他等级的可能性大小。

各样本最大综合联系度与评价等级见表8,可以看出,1断面、4断面对应的评价等级 $S=2, S=3$ 关系非常紧密, $a > 0.5$,说明该河段水质变化成为其他等级水质的可能性并不大;而2断面、3断面、5断面对应评价等级为 $S=2, S=4, S=5$,且 $a < 0.5$,说明该河段水质不稳定,有向相邻水质等级变化的可能,水质变化的趋势需要参考样本点与相邻等级综合联系度值来确定。

表8 各样本最大综合联系度与评价等级

Tab.8 Maximum comprehensive correlative degree and evaluation grade of all samples

样本	最大综合联系度 u_{js}	评价等级
1	$u = 0.984 + 0.016l_1$	$S=2$
2	$u = 0.466 + 0.024l_1 + 0.34l_2 + 0.17q$	$S=2$
3	$u = 0.414 + 0.136l_1 + 0.068l_2 + 0.102l_3 + 0.28q$	$S=4$
4	$u = 0.859 + 0.141l_1$	$S=3$
5	$u = 0.21 + 0.79q$	$S=5$

以3断面为例,评价等级为 $S=4$,而相邻的 $S=3$ 等级综合联系度 $U = 0.198 + 0.352l_1 + 0.45q$, $S=5$ 的 $U = 0.352 + 0.368l_1 + 0.28q$,其中: $a_3 < a_5$,说明3断面与 $S=5$ 等级关系更密切,表现出了同一性; $e_3 = 0.45 > e_5 = 0.28$,说明3断面与 $S=3$ 等级的对立性更明显。因此,3断面所在河段水质有变差的危险。

同理可推断,2断面所在河段水质有变好与变坏的可能性几乎均等;5断面水质与 $S=5$ 等级同一性小,而对立性大,水质状况较差,河段环境功能难以恢复。

综上所述,贵阳市水环境状况总体较好,与贵阳市水域环境功能划类结果比较,样本1断面评价结果与划类结果相同,2断面水质偏优,3断面、4断面受到沿河的污染水质有变差的趋势,5断面水质较差,远超过了划类等级,需要相关部门重点管理。

分析上述结果产生的主要原因:(1)在河流的中上游自然生态环境较好,无工业企业等点源污染源分布,而且水流流速较快,河流自身的净化作用强,因此,1、2断面水质良好;(2)河流中下游处,分布有污染型企业,沿河附近有较多居民区,河流接纳了面源污染物和污水处理厂排放的生活污水,对水质造成一定影响,3断面、4断面有水质变差的趋势;(3)5断面河流水质较差,与河流附近的工业环境有很大关系,目前,政府已对该区域进行整治,企业进行了搬迁,现阶段污染物排入较少,水质污染主要来源于历史积累的河流底泥逐渐释放的污染物;(4)监测断面的挥发酚指标监测值远小于Ⅲ级标准限值,对评价结果仍然有一定的线性补偿作用。

4 结论

(1)五元联系数计算,使得水质监测样本与各级标准关

系密切,解决了评价因子标准限值间的划界问题。传统的五元联系数计算方法,仅以水质标准中等级限值作为计算的界限,忽略了某些指标存在不同等级限值区间一致的问题。考虑到水质标准中有较多评价因子 \bar{N} 、 $\bar{0}$ 级指标限值一致,或者 \bar{N} 、 $\bar{0}$ 级指标限值较为接近,本文改进了五元联系数法的计算区间,使得算法更加合理。

(2)改进的熵权法结合了该水域污染物输入、附近水厂给水工艺技术环境因素,提出了利用秩比法确定偏好权重,得到一种新的混合权重方法,更加符合实际情况。

(3)基于五元联系数—改进熵权法组合的水质评价方法,对贵阳市南明河进行了水质评价,利用各样本最大综合联系度确定了所在河段水质等级,结果显示样本 1、2 断面水质评级为 2 级,4 断面为 3 级,3 断面为 4 级,5 断面为 5 级。

(4)利用各样本对不同等级综合联系度相关关系,可以分析样本断面所在河段水质变化的趋势。实例计算表明:样本 1 水质条件较好,水质变化相对稳定,样本 2 评价结果比环境功能划类结果高一等级,水质偏优,样本 3、4 受到沿河的污染评价结果低于环境功能划类结果,而且水质有变差的趋势,5 断面水质较差,低于评价等级,应加强环境管理。

本文提出的方法是一种新的研究方法,分析结果为当地水域环境管理提供了参考。但是,该方法仍然存在无法证实偏好权重值的有效性,另外,水质评价结果的合理性很大取决于水质样本点的全面性和指标的代表性,本文的评价实例中共有 25 个样本数据,评价指标大多是有机物指标,缺乏毒理学指标,因此,评价结果存在一定的片面性。因此,解决评价方法有效性问题是未来研究的关键点。

参考文献(References):

[1] 李茜,张建辉,林兰钰,等.水环境质量评价方法综述[J].资源与环境科学,2011,3(19):285-290.(LI Xi,ZHANG Jianhui,LIN Lanyu,et al.Review on methods of water environmental quality assessment[J].Resources & Environment Science,2011,3(19):285-290.(in Chinese))

[2] 陈仁杰,钱海雷,袁东,等.改良综合数法及其在上海市水源水质评价中的应用[J].环境科学学报,2010,30(2):421-437.(CHEN Renjie,QIAN Hairlei,YUAN Dong,et al.Improved comprehensive index method and its application to evaluation of source water quality in Shanghai[J].Acta Scientiae Circumstantiae,2010,30(2):421-437.(in Chinese))

[3] 张小君,徐中民,宋晓谕,等.几种水环境质量评价方法在青海湖入湖河流中的应用[J].环境工程,2013,31(1):117-121.(ZHANG Xiaojun,XU Zhongmin,SONG Xiaoyu,et al.Application and study of several water quality evaluation method in Rivers flowing into Qinghai Lake[J].Environmental Engineering,2013,31(1):117-121.(in Chinese))

[4] Tang Tao,Zhai Yujia,Huang Kai.Water Quality Analysis and Recommendations through Comprehensive Pollution Index Method[J].Management Science and Engineering,2011,5(2):95-100.

[5] 孟宪萌,胡和平.基于熵圈的集对分析模型在水质综合评价中的应用[J].水利学报,2009,3(6):257-262.(MENG Xianmeng,HU Heiping.Application of set pair analysis model

based on entropy weight to comprehensive evaluation of water quality[J].Journal of Hydraulic Engineering,2009,3(6):257-262.(in Chinese))

[6] 陈娟,陈涛,马志鹏.基于改进的物元模型在水质评价中的应用[J].水电能源科学,2014,32(3):50-52.(CHEN Juan,CHEN Tao,MA Zhipeng.Application of improved matter element model in water quality evaluation[J].Water Resource and Power,2014,32(3):50-52.(in Chinese))

[7] 安乐生,赵全升,刘贵群,等.代表性水质评价方法的比较研究[J].中国环境监测,2010,26(5):47-51.(AN Lesheng,ZHAO Quansheng,LIU Guiqun,et al.The research for comparative method of representative water quality evaluation[J].Environmental Monitoring in China,2010,26(5):47-51.(in Chinese))

[8] 叶斌.基于改进熵值法的内河水运评价研究[D].成都:成都理工大学,2012:18-20.(YE Bin.Research of river transportation evaluation based on improved entropy method[D].Chengdu:Chendu University of Technology,2012:18-20.(in Chinese))

[9] 郑丙辉,刘琰.饮用水源地水环境质量标准问题与建议[J].环境保护,2007(2):26-30.(ZHENG Binghui,LIU Yan.Question and the suggestion of drinking water for water environment quality standard[J].Environmental Protection,2007(2):26-30.(in Chinese))

[10] 张国宁,江梅,魏玉霞,等.环境质量标准制订中的关键技术问题[J].环境科学研究,2011,24(9):1074-1081.(ZHANG Guoning,JIANG Mei,WEI Yuxia,et al.Study on key technical issues in the development of environmental quality standards[J].Research of Environmental Sciences,2011,24(9):1074-1081.(in Chinese))

[11] 王慧,毛晓敏,尚松浩.五元联系数在黄河健康评价中的应用[J].水资源与水工程学报,2010,21(1):1-4.(Wang Hui,MAO Xiaomin,SHANG Songhao.Application of five element connection number to health evaluation of the Yellow River[J].Journal of Water Resources & Water Engineering,2010,21(1):1-4.(in Chinese))

[12] 李文宾,姚阿漫.基于熵权的五元联系数在地下水水质评价中的应用[J].水资源与水工程学报,2013,24(2):118-120.(LI Wenbin,YAO Aman.Application of five element connection number in evaluation of groundwater quality based on entropy[J].Journal of Water Resources & Water Engineering,2013,24(2):118-120.(in Chinese))

[13] 徐晨光,艾尼瓦尔·艾提,杜青辉.基于 SPA 和信息熵的可变模糊集水质评价方法[J].人民黄河,2013,35(6):56-58.(XU Chenguang,Ainiar Aimaiti,DU Qinghui.Set pair analysis method and information entropy based variable fuzzy set assessment for groundwater quality[J].Yellow River,2013,35(6):56-58.(in Chinese))

[14] 马禄义,李加军,孙宝年,等.基于物元可拓法和偏好熵权的饮用水源水质评价—以天津市大港区为例[J].环境科学与技术,2010,33(8):177-183.(MA Luyi,LI Jiajun,SUN Baonian,et al.Water quality evaluation of drinking water sources based on matter element extension and partial entropy weight—A case study of Dagang,Tianjin[J].Environmental Science & Technology,2010,33(8):177-183.(in Chinese))

[15] 池雄,单利民,姚敏利,等.秩和比法在食品卫生监督工作质量

- 综合评价中的应用[J]. 中国公共卫生管理, 2006, 22(2): 114-115. (CHI Xiong, SHAN Lirmin, YAO Mirli, et al. Application of evaluate synthetically the work quality of food sanitation supervison[J]. China. J of PHM, APR, 2006, 22(2): 114-115. (in Chinese))
- [16] 周荣喜, 单欣涛, 杨杰, 等. 基于熵权的区间型多属性决策方法在湖泊水质评价中的应用[J]. 环境科学学报, 2013, 33(3): 910-917. (ZHOU Rong-xi, SHAN Xir tao, YANG Jie, et al. Lake water quality assessment using entropy-based interval number multi attribute decision making method[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2013, 33(3): 910-917. (in Chinese))
- [17] Sun Yi. Algorithm of adjusting weights of decision makers and attribute in multi attribute group decision making[M]. 2013.
- [18] 李文杰, 王冰. 地表水中氨氮和总氮的相关性分析[J]. 环境保护科学, 2012, 5(3): 79-81. (LI Wenjie, WANG Bing. Correlation analysis on ammonia nitrogen and total nitrogen in surface water[J]. Environmental Protection Science, 2012, 5(3): 79-81. (in Chinese))
- [19] 周宇峰, 魏法杰. 基于相对熵的多属性决策组合赋权方法[J]. 运筹与管理, 2006, 15(5): 48-53. (ZHOU Yufeng, WEI Farjie. Combination weighting approach in multiple attribute decision making based on relative entropy[J]. Operations Research and Management Science, 2006, 15(5): 48-53. (in Chinese))
- [20] 代雪静, 田卫. 水质模糊评价模型中的赋权方法的选择[J]. 中国科学院研究生学报, 2011, 28(2): 169-176. (DAI Xuejing, TIAN Wei. Choice of determining weights method in fuzzy synthetic evaluating model for water quality[J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2011, 28(2): 169-176. (in Chinese))
- [21] 毛红保, 张凤鸣, 冯卉, 等. 一种基于区间估计的多属性决策组合赋权方法[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 6(6): 86-92. (MAO Hongbao, ZHANG Fengming, FENG Hui, et al. A New Combination Determining Weights Method for Interval Multiattribute Decision making[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2007, 6(6): 86-92. (in Chinese))
- [10] 宫博, 许开立, 李德顺. 基于熵权-属性识别模型的地表水水质评价[J]. 环境科学导报. 2011, 30(6): 74-77. (GONG Bo, XU Karli, LI Deshun. Assessment of the surface water quality based on entropy weight of attribute recognition model[J]. Environment Science Herald. 2011, 30(6): 74-77. (in Chinese))
- [11] 刘燕, 吴文玲, 胡安焱. 基于熵权的属性识别水质评价模型[J]. 人民黄河, 2005, 27(7): 18-19. (LIU Yan, WU Wenling, HU Anyan. Attribute distinction water quality evaluation model based on the entropy weigh[J]. Yellow River, 2005, 27(7): 18-19. (in Chinese))
- [12] 张龙云, 李术才, 杨尚阳. 隧道围岩稳定性评价的改进熵权-属性识别模型[J]. 水电能源科学, 2012, 30(4): 67-69. (ZHANG Longyun, LI Shucai, YANG Shangyang. Improve entropy attribute recognition model of surrounding rock stability in tunnel[J]. Water Resources and Power. 2012, 30(4): 67-69. (in Chinese))
- [13] 郭奇, 曹洪洋. 大气环境质量评价的属性识别法[J]. 环境监测管理与技术, 2004, 16(3): 41-42, 44. (GUO Qi, CAO Hongyang. Attribute recognition method in atmospheric environmental quality assessment[J]. Administration and Technique of Environmental Monitoring. 2004, 16(3): 41-42, 44(in Chinese))
- [14] 广东省水利厅. 广东省水库污染防治综合规划[R]. 广东: 广东省水利厅, 2005-2010. (Guangdong Provincial Water Resources Department. Guangdong Province reservoir pollution control program[R]. Guangdong: Water Conservancy Department of Guangdong Province, 2005-2010. (in Chinese))
- [15] 舒金华. 我国湖泊富营养化程度评价方法的探讨[J]. 环境污染与防治, 1990, 12(5): 2-7. (SHU Jinhua. The assessment methodology for eutrophication level of lakes in China[J]. Environmental Pollution & Control, 1990, 12(5): 2-7. (in Chinese))

(上接第 251 页)