

几种水质评价方法在地表水评价中的应用及比较研究

周默

(辽宁省鞍山水文局, 辽宁 鞍山 114000)

【摘要】 基于2021年鞍山市境内的地表水国家重要水质站的监测数据,采用单因子评价法、内梅罗指数法、灰色聚类法和综合水质标识指数法进行水质评价,了解综合水质情况的同时对比分析了4种评价方法的评价效果及适用条件。结果表明,单因子评价法的评价结果表现为过保护,其他3种评价方法更适合应用于综合水质评价,4种评价方法各有优劣,需根据实际情况选择合适的评价方法。

【关键词】 水环境评价;单因子评价法;内梅罗指数法;灰色聚类法;综合水质标识指数法

中图分类号: X824

文献标志码: B

文章编号: 2096-0131(2022)09-050-06

Application and comparative study of several evaluation methods for water quality in surface water evaluation

ZHOU Mo

(Liaoning Anshan Hydrology Bureau, Anshan 114000, China)

Abstract: Based on the monitoring data of the surface water of national important water quality stations in Anshan in 2021, this paper adopts the single factor evaluation method, Nemerow index method, gray clustering method and comprehensive water quality identification index method to evaluate the water quality. While understanding the comprehensive water quality situation, the evaluation effect and applicable conditions of the four evaluation methods are compared and analyzed. The results show that the evaluation result of single factor evaluation method tends to be over-protection and the other three evaluation methods are more suitable for comprehensive water quality evaluation. Each of the four evaluation methods has its advantages and disadvantages, and the appropriate evaluation method should be selected according to the actual situation.

Key words: water environment evaluation; single factor evaluation method; Nemerow index method; gray clustering method; comprehensive water quality identification index method

水环境现状评价是水质调查的继续^[1]。自20世纪60年代以来,国内外学者已研究出几十种评价方法,包括单因子评价法^[2]、污染指数法^[3]、模糊数学评价法^[4]、灰色系统评价法^[5]、水质标识指数评价法^[6]

等。由于影响水质评价的因素众多且复杂,选取不同的评价方法可能得到不同的评价结果。因此,如何选择合适的评价方法尤为重要。本文以鞍山市境内的地表水国家重要水质站2021年的监测数据为例,利用单

收稿日期: 2022-03-22

作者简介: 周默(1988—),女,工程师,学士,主要从事水质检测及评价工作。

因子评价法、改进的内梅罗指数法、灰色聚类法以及水质标识指数法进行水质评价,比较不同的评价方法在实际应用中的优缺点。

1 基本理论与方法

1.1 单因子评价法

单因子评价法是将所有参评指标与《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)标准限值进行比对,选择水质最差的单项指标所属类别作为该水域综合水质类别^[7-8]。

1.2 改进的内梅罗指数法

综合污染指数法的核心思想是将所有参评水质指标的单项污染指数通过各种数学方法得到一个综合指数,从而得到综合水质评价结果^[8]。改进的内梅罗指数法是同时将最大污染因子及权重最高污染因子的污染指数引入公式的一种较为常用的综合污染指数法。其计算公式如下:

a. 综合污染指数的计算:

$$WQI = \sqrt{\max(I'_i)^2 + \text{avg}(I_i)^2} \quad (1)$$

$$\max(I'_i) = \frac{\max(I_i) + I_w}{2} \quad (2)$$

式中:WQI为改进的内梅罗污染指数; $\max(I_i)$ 为污染指数的最大值; $\text{avg}(I_i)$ 为污染指数的算数平均值; I_w 为权重最大的某项水质指标的污染指数。

b. 各项污染因子的权重计算^[9]:

$$r_i = \frac{S_{\max}}{S_i} \quad (3)$$

$$w_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^n r_i} \quad (4)$$

式中: r_i 为污染因子的相关性比值; S_{\max} 为污染因子标准值的最大值; S_i 为污染因子对应的标准值; w_i 为污染因子的权重值。

1.3 灰色聚类法

灰色聚类法^[8,10]通过将评价样本和标准的归一化处理,计算归一化样本在不同水质类别之间的聚类系数,并根据聚类系数的大小来判断评价样本所属的综

合水质类别。计算公式如下:

a. 数据的标准化处理:

$$x_{ki} = \frac{C_{ki}}{S_{0i}} \quad (5)$$

$$r_{ij} = \frac{S_{ij}}{S_{0i}} \quad (6)$$

式中: x_{ki} 为第 k 个样本第 i 项指标的标准化值; r_{ij} 为第 i 项指标第 j 个灰类的标准化处理值; C_{ki} 为第 k 个样本第 i 项指标的实测值; S_{0i} 为第 i 项指标的参考标准; S_{ij} 为灰类值。

b. 确定白化函数。

①非溶解氧指标的白化函数:

第 i 项指标的灰类 1 的白化函数为

$$f_{i1}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq r_{i1} \\ \frac{r_{i2} - x}{r_{i2} - r_{i1}} & r_{i1} < x < r_{i2} \\ 0 & x \geq r_{i2} \end{cases} \quad (7)$$

第 i 项指标的灰类 ($j=2,3,4$) 的白化函数为

$$f_{ij}(x) = \begin{cases} 0, x \leq r_{i,j-1} & x \geq r_{i,j+1} \\ \frac{x - r_{i,j-1}}{r_{i,j} - r_{i,j-1}} & r_{i,j-1} < x \leq r_{i,j} \\ \frac{r_{i,j+1} - x}{r_{i,j+1} - r_{i,j}} & r_{i,j} < x < r_{i,j+1} \end{cases} \quad (8)$$

第 i 项指标的灰类 5 的白化函数为

$$f_{i5}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq r_{i,4} \\ \frac{x - r_{i,4}}{r_{i,5} - r_{i,4}} & r_{i,4} < x < r_{i,5} \\ 1 & x \geq r_{i,5} \end{cases} \quad (9)$$

②溶解氧指标的白化函数

灰类 1 的白化函数为

$$f_{1,DO}(x) = \begin{cases} 1 & x \geq r_{DO,1} \\ \frac{x - r_{DO,2}}{r_{DO,1} - r_{DO,2}} & r_{DO,1} > x > r_{DO,2} \\ 0 & x \leq r_{DO,2} \end{cases} \quad (10)$$

灰类 $j(j=2,3,4)$ 的白化函数为

$$f_{j,DO}(x) = \begin{cases} \frac{r_{DO,j-1} - x}{r_{DO,j} - r_{DO,j-1}} & r_{DO,j-1} > x \geq r_{DO,j} \\ \frac{x - r_{DO,j+1}}{r_{DO,j} - r_{DO,j+1}} & r_{DO,j} > x > r_{DO,j+1} \\ 0 & x \geq r_{DO,j-1}, x \leq r_{DO,j+1} \end{cases} \quad (11)$$

灰类5的白化函数为

$$f_{5,DO}(x) = \begin{cases} 0 & x \geq r_{DO,4} \\ \frac{r_{DO,4} - x}{r_{DO,4} - r_{DO,5}} & r_{DO,4} > x > r_{DO,5} \\ 1 & x \leq r_{DO,5} \end{cases} \quad (12)$$

c. 聚类系数的计算:

$$\eta_{ij} = \frac{\omega_{ij}}{\sum_{i=1}^n \omega_{ij}} \quad (13)$$

$$\varepsilon_{kj} = \sum_{i=1}^n f_{ij}(x_{ki}) \eta_{ij} \quad (14)$$

式中: η_{ij} 为某监测断面第*i*项指标第*j*个灰类的聚类权; ω_{ij} 为各污染指标各灰类权重; $f_{ij}(x_{ki})$ 为样本值 x_{ki} 的白化函数值; ε_{kj} 为第*k*个监测断面关于第*j*个灰类的聚类系数。

1.4 综合水质标识指数法

综合水质标识指数法是借助一组数字,定性或定量地判定综合水质类别与污染程度,并标识水环境功能的达标情况。综合水质标识指数结构为

$$WQI = X_1 X_2 X_3 X_4 \quad (15)$$

式中: X_1 为综合水质类别; X_2 为综合水质在 X_1 类水质变化区间内所处的位置; X_3 为参评指标中劣于水环境功能区目标的水质指标个数; X_4 为综合水质类别劣于水环境功能区类别个数^[8]。

2 评价结果与讨论

2.1 评价区域概况

本文选取了2021年岫岩、小偏岭、文家街、红土岭、太平沟5个鞍山市境内的地表水国家重要水质站的溶解氧、五日生化需氧量、高锰酸盐指数、氨氮、总磷5项主要污染指标进行比较分析。其中,岫岩与小偏岭位于鞍山市岫岩县境内,处于大洋河干流;文家街位于大洋河支流哨子河;红土岭位于鞍山市海城市,处于太子河支流海城河;太平沟位于鞍山市境内,处于太子河支流杨柳河。5个监测断面的水质目标均为地表水Ⅱ类。

2.2 评价结果

各方法的评价结果见表1~表4和图1。

表1 单因子评价法评价结果

时间	太平沟	红土岭	小偏岭	文家街	岫岩
	水质类别(超标因子)	水质类别(超标因子)	水质类别(超标因子)	水质类别(超标因子)	水质类别(超标因子)
1月	I	I	I	I	I
2月	II	II	I	I	I
3月	IV(COD _{Mn} 、BOD ₅)	II	I	II	II
4月	II	I	I	II	II
5月	II	I	I	II	III(COD _{Mn})
6月	II	I	I	II	III(COD _{Mn})
7月	I	II	I	I	V(DO、COD _{Mn} 、BOD ₅ 、NH ₃ -N、TP)
8月	III(COD _{Mn})	III(COD _{Mn})	II	II	IV(COD _{Mn} 、NH ₃ -N、TP)
9月	II	II	I	I	III(COD _{Mn})
10月	II	II	II	II	II
11月	II	I	I	I	II
12月	II	III(NH ₃ -N、TP)	I	II	V(COD _{Mn} 、NH ₃ -N、TP)
年均	II	II	I	I	II

表 2 改进的内梅罗指数法评价结果

时间	太平沟		红土岭		小偏岭		文家街		岫岩	
	类别	WQI	类别	WQI	类别	WQI	类别	WQI	类别	WQI
1月	I	0.17	I	0.09	I	0.18	I	0.11	I	0.15
2月	I	0.40	I	0.35	I	0.26	I	0.17	I	0.23
3月	II	0.96	II	0.73	I	0.23	I	0.29	I	0.35
4月	I	0.33	I	0.23	I	0.16	I	0.17	I	0.23
5月	I	0.38	I	0.19	I	0.17	I	0.19	I	0.54
6月	I	0.48	I	0.29	I	0.22	I	0.31	II	0.61
7月	I	0.24	I	0.63	I	0.14	I	0.12	IV	3.41
8月	II	0.60	II	0.71	I	0.34	I	0.28	III	1.76
9月	I	0.33	II	0.82	I	0.30	I	0.28	II	0.68
10月	II	0.72	II	0.70	I	0.32	I	0.33	II	0.68
11月	I	0.32	I	0.26	I	0.18	I	0.16	I	0.54
12月	I	0.48	III	1.29	I	0.17	I	0.27	III	1.72
年均	I	0.42	I	0.44	I	0.21	I	0.19	II	0.69

表 3 灰色聚类法评价结果

时间	太平沟		红土岭		小偏岭		文家街		岫岩	
	类别	$\max(\varepsilon_{kj})$	类别	$\max(\varepsilon_{kj})$	类别	$\max(\varepsilon_{kj})$	类别	$\max(\varepsilon_{kj})$	类别	$\max(\varepsilon_{kj})$
1月	I	1.000	I	1.000	I	1.000	I	1.000	I	1.000
2月	I	0.995	I	0.995	I	1.000	I	1.000	I	1.000
3月	I	0.680	I	0.967	I	1.000	I	0.995	I	0.995
4月	I	0.940	I	1.000	I	1.000	I	1.000	I	1.000
5月	I	0.965	I	1.000	I	1.000	I	1.000	I	0.899
6月	I	0.920	I	0.985	I	1.000	I	0.995	I	0.895
7月	I	1.000	I	0.972	I	1.000	I	1.000	III	0.449
8月	I	0.894	I	0.887	I	0.991	I	0.980	I	0.769
9月	I	0.975	I	0.929	I	1.000	I	1.000	I	0.899
10月	I	0.938	I	0.963	I	0.995	I	0.991	I	0.902
11月	I	0.965	I	1.000	I	1.000	I	1.000	I	0.918
12月	I	0.961	I	0.884	I	1.000	I	0.995	I	0.809
年均	I	0.954	I	0.981	I	1.000	I	1.000	I	0.861

表 4 综合水质标识指数法评价结果

时间	太平沟		红土岭		小偏岭		文家街		岫岩	
	类别	WQI	类别	WQI	类别	WQI	类别	WQI	类别	WQI
1月	I	1.200	I	1.100	I	1.200	I	1.200	I	1.300
2月	I	1.700	I	1.700	I	1.300	I	1.200	I	1.400
3月	II	2.820	I	1.900	I	1.200	I	1.400	I	1.700
4月	I	1.400	I	1.300	I	1.200	I	1.200	I	1.300
5月	I	1.600	I	1.200	I	1.200	I	1.200	I	1.610

续表

时间	太平沟		红土岭		小偏岭		文家街		岫岩	
	类别	WQI	类别	WQI	类别	WQI	类别	WQI	类别	WQI
6月	I	1.700	I	1.400	I	1.200	I	1.500	I	1.810
7月	I	1.400	I	1.800	I	1.200	I	1.100	IV	4.552
8月	I	1.810	II	2.210	I	1.500	I	1.300	III	3.030
9月	I	1.400	I	1.900	I	1.200	I	1.200	I	1.810
10月	I	1.900	I	1.700	I	1.400	I	1.500	I	1.900
11月	I	1.500	I	1.500	I	1.200	I	1.300	I	1.800
12月	I	1.900	II	2.420	I	1.200	I	1.500	II	2.930
年均	I	1.700	I	1.800	I	1.300	I	1.300	II	2.200

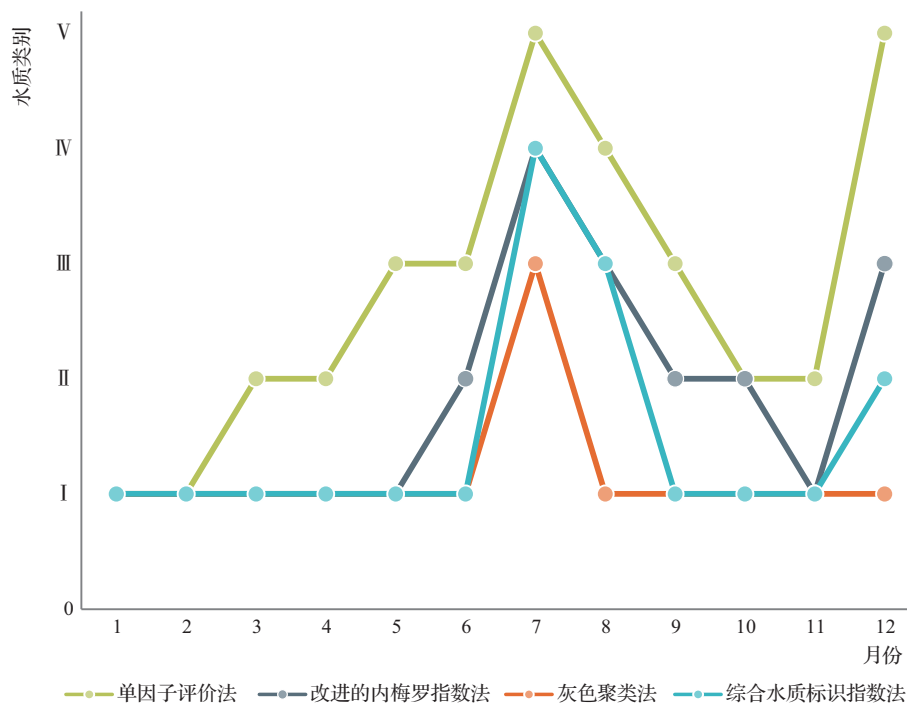


图1 以岫岩断面为例的评价结果差异对比

2.3 讨论

通过比较可以看出,4种评价方法均能在一定程度上反映水体质量情况,但4种评价方法应用于同一监测断面时评价结果会有所差异。

从评价结果来看,单因子评价法的评价结果能够得到水质类别、超标因子,并能够迅速计算出相应的超标倍数,如2021年5月岫岩的评价结果为Ⅲ类水质,超标因子为 COD_{Mn} 。但其无法进行同一类别不同水体间的比较,如2021年1月岫岩与文家街的评价结果均为Ⅰ类水质,但无法继续比较两个监测断面的水质优

劣。同时应当注意的是,就综合水质评价而言,结果表现为过保护,不利于反映水体功能是否能够满足使用要求。改进的内梅罗指数法和灰色聚类法的评价结果能够得到水质类别及相应水质类别的归属程度。如2021年太平沟2月和3月灰色聚类法的评价结果均为Ⅰ类水质,聚类系数分别为0.995和0.680,通过比较聚类系数的大小就能实现同类水质不同水体间的比较。但改进的内梅罗指数法和灰色聚类法的评价结果不能迅速识别超标因子的超标倍数,同时这两种方法也不能对劣Ⅴ类水进行进一步评价和判断其黑臭情

况。综合水质标识指数法的评价结果能够得到水质类别、综合水质在相应水质类别变化区间所处的位置、超标因子的数量以及劣 V 类水是否黑臭(判断标准:当 $6.0 < X_1 X_2 \leq 7.0$ 时,水质劣于 V 类水,但不黑臭;当 $X_1 X_2 > 7.0$ 时,水质劣于 V 类水,并且黑臭^[7]),但不能迅速识别超标倍数。

从评价过程来看,单因子评价法的评价过程简单直接,通过数据间的比较就能得到参评断面的水质类别;灰色聚类法的评价过程最为复杂,对水质评价工作者有一定的要求;内梅罗污染指数法和综合水质标识指数法计算过程难度适中,相对易于掌握。

3 结 语

本文通过采用 4 种不同的水质评价方法对 5 个鞍山市境内的地表水国家重要水质站 2021 年的综合水质进行评价,得到相应的水质评价结果。结果表明 4 种评价方法都能够一定程度上反映水体质量状况。采用改进的内梅罗指数法、灰色聚类法以及综合水质标识指数法得到的综合水质评价结果更为科学合理,而单因子评价法更适合用于筛选超标因子以及计算超标倍数,可在水质评价工作中同其他方法配合使用。对污染较为严重的水体进行水质评价,4 种方法中能够对劣 V 类水进行进一步评价的综合水质标识指数法

相较于其他评价方法更有优势。◆

参考文献

- [1] 刘志斌,马登军. 环境影响评价[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2007.
 - [2] 兰文辉,安海燕. 环境水质评价方法的分析与探讨[J]. 干旱环境监测,2002,16(3):167-169.
 - [3] 吴蓉,候林丽,郎锋祥,等. 不同水质评价方法在遂川江的应用比较[J]. 江西水利科技,2019,45(6):435-443.
 - [4] 刘路遥,冯民权. 几种水质评价方法在涑水河的应用与比较研究[J]. 黑龙江大学学报,2017,8(3):6-14.
 - [5] 古小超,王云. 水环境质量现状评价方法[J]. 供水技术,2020,14(2):18-21.
 - [6] 张明明,黄琨,华勇. 基于水质标识指数和 ArcGIS 的盐城市地下水评价[J]. 水资源开发与管理,2021(10):26-31,41.
 - [7] 丛铭,阳辉,张晓静,等. 单因子法与可变模糊法在水质评价中的应用[J]. 南水北调与水利科技(中英文),2021,19(4):720-728.
 - [8] 徐祖信,尹海龙. 城市水环境管理中的综合水质分析与评价[M]. 北京:中国水利水电出版社,2012.
 - [9] 宁阳明,尹发能. 基于改进内梅罗污染指数法和灰色聚类法的水质评价[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),2020,54(1):149-155.
 - [10] 邢立文,魏新平,董娟. 基于灰色聚类法的彭州市西河水库水环境质量评价[J]. 水资源开发与管理,2020(1):23-53.
-
- (上接第 61 页)
- [4] 杨付军,徐良金. 临淮岗工程试验性蓄水效果初探[J]. 江淮水利科技,2011(5):41-43.
 - [5] 马奕旺. 淮河临淮岗枢纽控制调度与综合利用的探讨[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2012,35(9):1253-1258.
 - [6] 程志远. 临淮岗洪水控制工程抬高蓄水位影响分析及处理对策[J]. 江淮水利科技,2015(4):11-12.
 - [7] 张永生,余达水,余彦群. 淮河干流王家坝至临淮岗段河道演变分析[J]. 治淮,2018(11):17-19.
 - [8] 杨平. 临淮岗工程运用对润河集水文站流量测验的影响[J]. 治淮,2019(2):11-12.
 - [9] 陈富川. 临淮岗工程综合利用对淮河干流水资源的影响分析[J]. 治淮,2018(4):54-56.
 - [10] 陈乃庚. 临淮岗洪水控制工程 2019 年调度实践与思考[J]. 江淮水利科技,2019(6):39-40.
 - [11] 王向阳,王多梅. 淮河防洪工程蓄水抬升水资源综合效益分析[J]. 治淮,2019(6):10-11.
 - [12] 陈婷,朱秀全,徐艳. 治淮 19 项骨干工程实施回顾和效果评估[J]. 治淮,2020(12):82-84.
 - [13] 季益柱,霍俊波,余生. 临淮岗洪水控制工程在淮河治理中的关键作用[J]. 治淮,2020(12):15-16.
 - [14] 陈富川. 临淮岗工程调度运行效益初步分析[J]. 江淮水利科技,2021(1):17-18.
 - [15] 任辉,李拥军. 浅析南水北调水资源在安阳市的综合利用[J]. 水资源开发与管理,2021(6):5-8,18.