

# 国控断面水质变化趋势分析预测研究

汪浩, 杨君, 陈盈

台州市生态环境局温岭分局监测站, 浙江 台州

收稿日期: 2024年4月2日; 录用日期: 2024年5月20日; 发布日期: 2024年5月27日

## 摘要

温峤下山头桥是温岭市的国控断面。以2018年为例, 采用每月总磷、高锰酸盐指数、氨氮、化学需氧量等数据, 运用灰色聚类法和内梅罗污染指数综合评价河道水质, 并将溶解氧变化和灰类变化结合起来获取连续时段的水质变化趋势, 进而预测水质灰类。深入剖析了降雨量与总磷、高锰酸盐指数、氨氮、化学需氧量等污染因子月变化的联系, 找出可能影响断面稳定达标的主要因素。

## 关键词

国控断面, 综合评价, 溶解氧, 灰类, 降雨量, 达标因素

# Analysis and Prediction of Water Quality Change Trend of National Control Section

Hao Wang, Jun Yang, Ying Chen

Environmental Monitor Station, Wenling Branch of Taizhou Ecological Environment Bureau, Taizhou Zhejiang

Received: Apr. 2<sup>nd</sup>, 2024; accepted: May. 20<sup>th</sup>, 2024; published: May. 27<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Wenqiao Xiashantou Bridge is the national control section of Wenling City. Take 2018 as an example, the monthly data of total phosphorus, permanganate index, ammonia nitrogen, chemical oxygen demand were used, and comprehensive evaluation of river water quality by grey clustering method and Nemerow pollution index were made. The change trend of water quality was obtained by combining the change of dissolved oxygen and grey category, and furthermore the grey class of water quality was predicted. The relationship between rainfall and monthly variation of total phosphorus, permanganate index, ammonia nitrogen and chemical oxygen demand was analyzed in order to find out the main compliance factors that might affect the stability of section.

## Keywords

National Control Section, Comprehensive Evaluation, Dissolved Oxygen, Grey Category, Rainfall, Compliance Factors

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来, 国家高度重视对水资源的保护, 提高了水质断面考核的要求。在这样的背景下, 要求能够准确预判水质变化, 及时采取污染控制措施。国内学者针对水质预测开展了大量的研究, 比如胡晴晖等[1]分别构建 DO、COD<sub>Mn</sub> 和 TP 的 SSA-MIC-SMBO-ESN 的水质预测模型, 对莆田市东圳水库水质预测结果较好; 李余隆等[2]构建了基于时空维度的水质模型 GCN-LSTM, 对钱塘江南源流域内 15 个监测点的 pH 值、DO、COD<sub>Mn</sub> 进行预测研究; 李秋瑶[3]利用水质自动监测数据, 建立多元线性回归模型能较准确地预测溶解氧浓度, 可以用作预警的辅助手段; 陈树龙等[4]建立了基于 TCN-LSTM-QR 的地表水预测模型, 总磷、总氮的预测值和实际值可以极好地拟合, 对于地表水水体富营养化预警有很大的意义; 李顺勇等[5]建立了基于哈里斯鹰优化算法(HHO)的时空水质预测模型(WT-CNN-LSTM-HHO), 运用上游 DO、总磷、总氮数据对下游监测点 DO、氮、磷含量进行了预测, 结果较好。目前对水质的预测多集中于运用多元线性回归以及人工神经网络等。

温峤下山头桥水质监测断面是温岭市 3 个交接断面之一, 也是国控断面, 水质考核参照地表水环境质量标准(GB 3838-2002)中的 III 类标准。今选用温峤国控断面 2018 年 1 至 12 月的总磷、高锰酸盐指数、氨氮、化学需氧量等数据, 采用内梅罗污染指数法评价河道水质, 并对每个月的水质进行灰色聚类分析。采用将溶解氧变化和灰类变化结合起来的办法分析水质变化趋势, 继而进行预测分析研究。详细剖析了降雨量与总磷、高锰酸盐指数、氨氮、化学需氧量等污染因子月变化的联系, 并进行了灰色关联分析。

## 2. 方法

### 2.1. 内梅罗污染指数评价法[6] [7]

选用总磷、高锰酸盐指数、氨氮、化学需氧量等数据, 根据公式(1)和(2):

$$P_{\text{综}} = \sqrt{(P^2 + P_{\text{max}}^2) \div 2} \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i / S_i \quad (2)$$

计算内梅罗污染指数( $P_{\text{综}}$ )。式中:  $n = 4$ ;  $C_i$  为第  $i$  个污染物实测浓度;  $S_i$  为第  $i$  个污染物对应的《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)的 III 类标准限值;  $P_{\text{max}}$  为  $C_i/S_i$  中取最大值。内梅罗污染指数法的局限性可能在于过于突出超标最严重指标的影响, 而忽略了其他指标的综合影响。

### 2.2. 灰色聚类[8] [9]和灰色关联分析

根据评价标准中的第 2、3、4、5 类水质标准将地表水分为 4 个灰类, 将总磷、高锰酸盐指数、氨氮、化学需氧量等聚类指标按均值化法进行标准化处理[10], 以 2018 年 1 至 12 月作为聚类对象, 进行灰色聚

类分析,具体的灰色聚类分析计算方法可见文献[11]。将每个月的降雨量记为参考数列  $X_0$ , 每个月总磷、高锰酸盐指数、氨氮、化学需氧量浓度记为比较数列  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 。根据多数文献[12] [13] [14]的计算办法计算降雨量与总磷、高锰酸盐指数、氨氮、化学需氧量的灰色关联度, 分辨系数  $\zeta$  取值为 0.5。

### 2.3. 水质预测方法

以溶解氧上升, 灰类下降或持平, 判定水质变好; 以溶解氧下降, 灰类上升或持平, 判定水质变差; 以溶解氧和灰类同时升高, 或者同时降低的趋同变化判定水质是持平的。选用连续 5 个月的数据, 将 4 次变化进行集成分析, 如果有 2 次或以上变好, 则认为水质总体变好, 如果第 5 个月的水质是 3 类, 则预测第 6 个月的水质 2 类; 如果有 2 次或以上持平, 则认为水质持平, 如果第 5 个月的水质是 3 类, 则预测第 6 个月的水质 3 类; 如果有 2 次或以上变差, 则认为水质变差, 如果第 5 个月的水质是 3 类, 则预测第 6 个月的水质 4 类。预测水质变好或变差仅跨一级进行预测。

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 水质灰色聚类以及内梅罗污染指数法评价结果

内梅罗污染指数法评价结果见表 1, 内梅罗污染指数评价法中的水质级别划分见表 2。可见 2018 年温峤国控断面重污染出现在 3 月, 之后几个月断面水质逐步好转, 从 5 至 8 月看基本保持在轻度污染的水平, 然后到 9 月、10 月达到清洁水平。11 月、12 月水质污染情况有所反弹, 回到中度污染的水平。

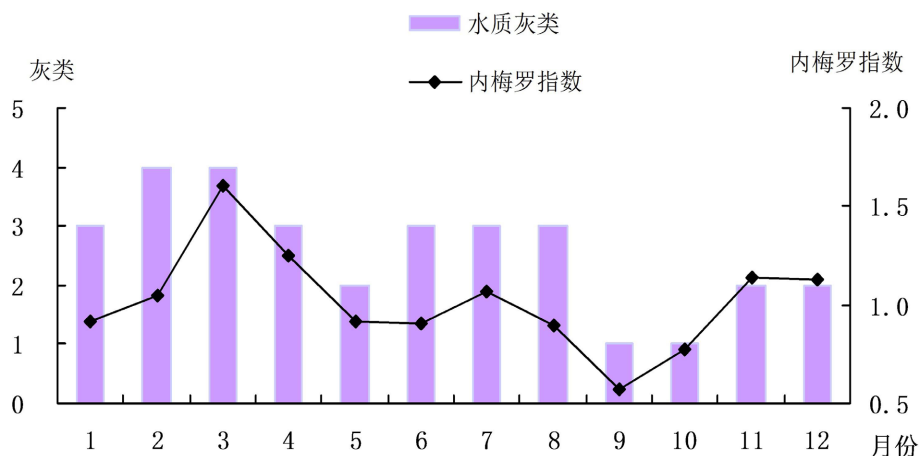
**Table 1.** Evaluation results of the Nemero pollution index method of the Wenqiao national control section

**表 1.** 温峤国控断面内梅罗污染指数法评价结果

	2018 年	
	$P_{综}$	污染程度
1 月	0.92	轻污染
2 月	1.05	中度污染
3 月	1.60	重污染
4 月	1.25	中度污染
5 月	0.92	轻污染
6 月	0.91	轻污染
7 月	1.07	中度污染
8 月	0.90	轻污染
9 月	0.57	清洁
10 月	0.77	清洁
11 月	1.14	中度污染
12 月	1.13	中度污染

如果把内梅罗指数和灰类月变化结合起来看, 从图 1 可见, 灰类几乎呈现与内梅罗指数一致的变化趋势。从 3 月到 5 月, 当灰类逐级下降, 内梅罗指数也逐渐降低, 当 6 月到 8 月的灰类一直维持在 3 类,

内梅罗指数则呈现很小幅度的震荡, 9月和10月内梅罗指数法评判水质处于清洁水平, 而这两个月的灰类均是最低的1类。这些都说明运用灰色聚类法评判水质可以取得和内梅罗指数评价法几乎一致的结果, 也提示运用灰色聚类法评判水质是可行的。



**Figure 1.** Nemero index and monthly changes of gray category of the Wenqiao national control section during 2018

**图 1.** 2018 年温峤国控断面内梅罗指数、灰类月变化

**Table 2.** The classification of water quality levels in the Nemero pollution index evaluation method

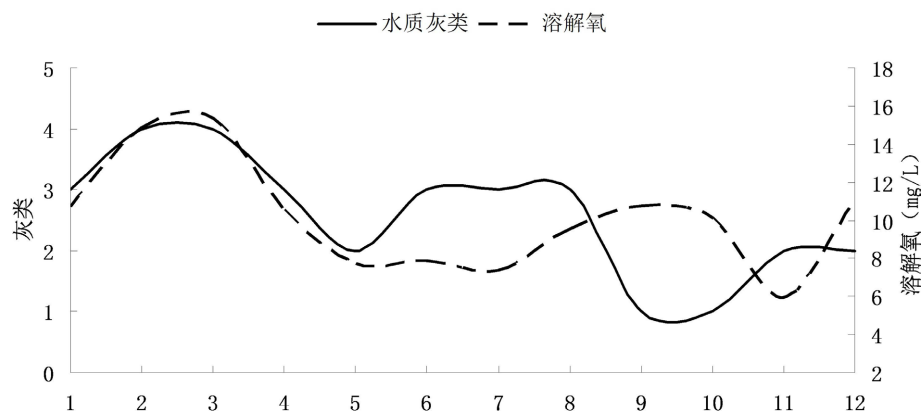
**表 2.** 内梅罗污染指数评价法中的水质级别划分

	$P_{综}$	污染程度
I 类	<0.79	清洁
II 类	0.79~<0.87	较清洁
III 类	0.87~<1.00	轻污染
IV 类	1.00~<1.61	中度污染
V 类	$\geq 1.61$	重污染

### 3.2. 水质预测

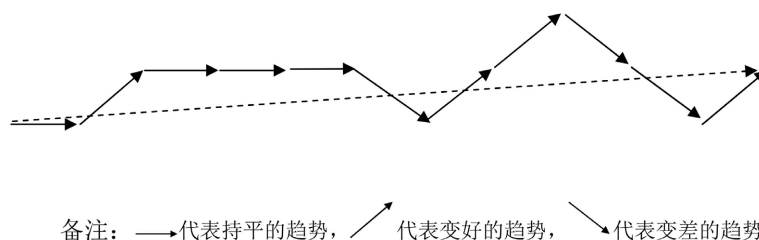
根据本文的分析方法, 按月来看(见图 2), 2018 年温峤国控断面水质变化情况应该是: 持平 - 变好 - 持平 - 持平 - 持平 - 变差 - 变好 - 变好 - 变差 - 变差 - 变好, 水质灰类分别是 3 类、4 类、4 类、3 类、2 类、3 类、3 类、3 类、1 类、1 类、2 类、2 类。如果将全年整个水质变化情况绘制成图形(见图 3), 可见从年初到年末得到一斜向上的虚线的箭头, 这个就代表整个水质变化趋势, 说明 2018 年水质是变好的一个趋势。

尝试运用连续 4 次变化研判水质变化趋势, 以第 5 个月的水质灰类为基础预测第 6 个月的水质灰类, 结果见表 3。从 7 次预测结果看, 符合的有 4 次, 比例为 57.1%, 相差 1 级的有 2 次, 比例为 28.6%, 相差 2 级的有 1 次, 比例为 14.3%。预测准确的比例较高, 提示本文的水质变化趋势评价方法可以运用于水质预测实践。



**Figure 2.** Trend of water quality changes of the Wenqiao national control section from January to December 2018

**图 2.** 温峤国控断面 2018 年 1 至 12 月份水质变化趋势



**Figure 3.** Diagram of water quality changes in Wenqiao national control section in 2018

**图 3.** 温峤国控断面 2018 年 1 至 12 月份水质变化趋势

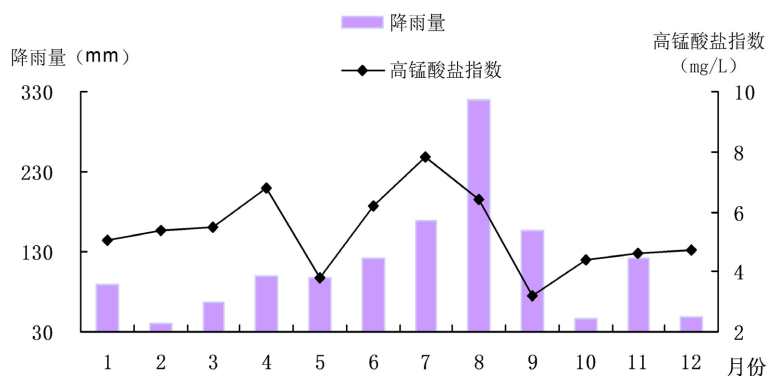
**Table 3.** Water quality prediction results

**表 3.** 水质预测结果

水质变化集成	预测分析		实际结果	预测与实际结果比对
	趋势研判及预测	结果		
持平 - 变好 - 持平 - 持平	持平 → 灰类不变	2 类	3 类	相差 1 级
变好 - 持平 - 持平 - 持平	持平 → 灰类不变	3 类	3 类	符合
持平 - 持平 - 持平 - 变差	持平 → 灰类不变	3 类	3 类	符合
持平 - 持平 - 变差 - 变好	持平 → 灰类不变	3 类	1 类	相差 2 级
持平 - 变差 - 变好 - 变好	变好 → 灰类下降	1 类	1 类	符合
变差 - 变好 - 变好 - 变差	持平 → 灰类不变	1 类	2 类	相差 1 级
变好 - 变好 - 变差 - 变差	持平 → 灰类不变	2 类	2 类	符合

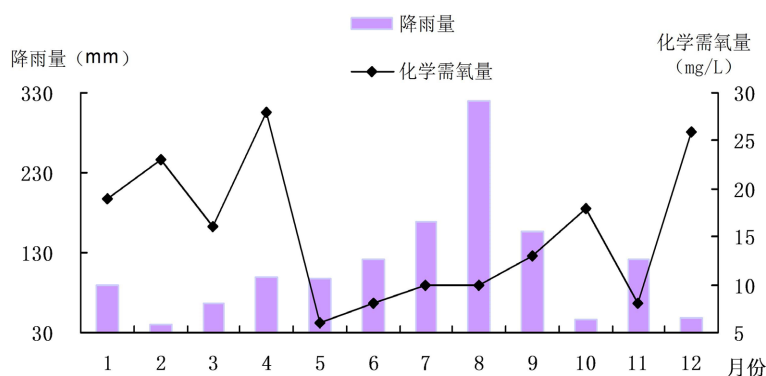
### 3.3. 降雨对污染因子浓度变化的影响

从图 4 可见，在 1、2、3 月雨量较小的时候，在 4 月监测时高锰酸盐指数浓度出现一阶段峰值，然后当 5 月、6 月、7 月雨量逐月增大，高锰酸盐指数浓度与雨量呈现近似正比的线性关系，在 7 月出现另一阶段峰值后(全年最高)，8 月高锰酸盐指数浓度下降，在 8 月出现较强降雨后，9 月出现全年最低值，10 月、11 月、12 月雨量较少，高锰酸盐指数浓度呈现缓慢升高的趋势。



**Figure 4.** Monthly variation of rainfall and permanganate index in Wenqiao national control section in 2018

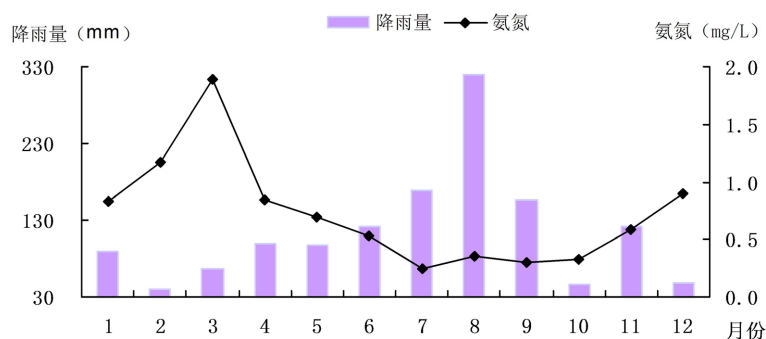
**图 4.** 2018 年温峤国控断面降雨量、高锰酸盐指数月变化



**Figure 5.** Monthly changes in rainfall and chemical oxygen demand in Wenqiao national control section in 2018

**图 5.** 2018 年温峤国控断面降雨量、化学需氧量月变化

从图 5 可见，同高锰酸盐指数一样，由于 1、2、3 月雨量较小，在 4 月出现一个化学需氧量的阶段峰值，可能也是全年最高值，5~7 月，化学需氧量浓度也与雨量呈现正相关的线性关系，8 月的浓度与 7 月浓度基本持平，然后 8 月出现强降雨，但 9 月化学需氧量浓度却是上升的，一直到 10 月出现一阶段峰值，当 10 月雨量陡然下降后，在 11 月化学需氧量浓度也大幅下降，11 月降雨增多时，12 月化学需氧量浓度也很快上升。



**Figure 6.** Monthly changes in rainfall and ammonia nitrogen in Wenqiao national control section in 2018

**图 6.** 2018 年温峤国控断面降雨量、氨氮月变化

从图 6 可见, 在降雨较少的 1~3 月, 氨氮浓度的阶段峰值出现在 3 月, 也是全年的最高值, 在 5~7 月, 氨氮浓度与雨量呈现近似反比的线性关系, 在 8 月强降雨之后, 9 月氨氮浓度小幅下降, 在雨量较少的 10~12 月, 氨氮浓度呈现逐步上升的趋势。

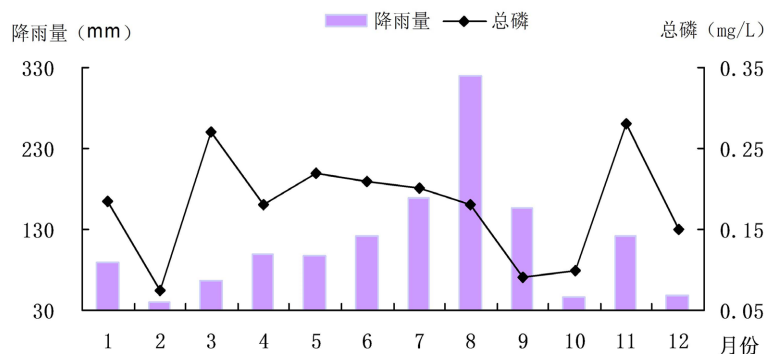


Figure 7. Monthly changes in rainfall and total phosphorus in Wenqiao national control section in 2018

图 7. 2018 年温峤国控断面降雨量、总磷月变化

从图 7 可见, 与氨氮一样, 氨氮浓度的阶段峰值出现在 3 月, 在 5~7 月, 总磷浓度也与雨量呈现近似反比的线性关系, 在 8 月强降雨之后, 总磷浓度明显下降,

然后令人感兴趣的是, 10 月雨量较少, 11 月总磷浓度呈现上升趋势, 11 月降雨增多时, 12 月总磷浓度陡然下降, 这个变好趋势恰恰和化学需氧量相反。

综上所述, 2018 年雨量与污染物浓度关系可分四段, 第一段是 1~4 月, 第二段 5~7 月, 第三段 8~9 月, 第 4 段 10~12 月, 综合比较分析见表 4。

Table 4. Comprehensive comparison of the impact of rainfall on the concentration of various pollutants

表 4. 雨量对各污染物浓度影响综合比较

	降雨量			
	1~4 月	5~7 月	8~9 月	10~12 月
化学需氧量	4 月出现峰值	正比线性	浓度上升	先下降后上升
高锰酸盐指数	4 月出现峰值	正比线性	浓度下降	逐步上升
氨氮	3 月出现峰值	反比线性	浓度下降	逐步上升
总磷	3 月出现峰值	反比线性	浓度下降	先上升后下降

从表 4 可见, 在降雨较少的 1~4 月, 一方面对污染物的稀释作用降低, 此外径流量低会导致污染物逐渐积聚, 因此各污染物分别在 3 月、4 月出现阶段性的峰值, 有的甚至是全年最高值; 在 5~7 月, 降雨量变大, 且逐月上升, 通常说较大的降雨会稀释污染物的浓度, 但也会将很多地表污染物带入河流, 然后我们看到了氨氮、总磷在这段时间浓度是逐月下降的, 但化学需氧量和高锰酸盐指数浓度却是逐月上升, 表明了这段时间降雨冲刷入河流的污染物以化学需氧量和高锰酸盐指数为主; 8 月出现了强降雨, 这时候会对污染物有较大的稀释, 可以看到 9 月总磷和高锰酸盐指数浓度下降很多, 氨氮浓度也是下降的, 然而化学需氧量浓度却是上升的, 说明大雨将大量的以化学需氧量为主的污染物冲刷入河流; 10~12 月, 降雨明显减少了, 可见氨氮、高锰酸盐指数浓度在 9 月达到一个谷值后逐步积聚回升, 然后化学需



氧量和总磷浓度呈现相反的变化趋势,当 10 月降雨量小的时候,11 月化学需氧量浓度是下降的,而总磷浓度是上升的,在 11 月降雨量明显增大时,12 月化学需氧量浓度迅速上升,而总磷浓度下降。这个再次提示化学需氧量很可能因降雨由地表径流等带入河道。总磷浓度因雨量大小而变化体现降雨对污染物的稀释作用。再对降雨量与高锰酸盐指数、化学需氧量、氨氮、总磷进行灰色关联分析,结果显示以上各个污染因子与降雨量的关联度依次分别是:0.7775、0.6866、0.6962、0.8111。可见总磷的关联度最高,化学需氧量的关联度最低,说明降雨量在很大程度上会直接影响总磷浓度,而对化学需氧量浓度的影响可能更偏向于间接的。温峤下山头桥是重要的国控断面,达标考核要求比较高,以上分析一再提示化学需氧量很可能是因降雨从不同途径冲刷入河道,因此对于河道化学需氧量的外源输入开展调查非常重要。

#### 4. 结论

1) 从灰色聚类法和内梅罗污染指数法评价结果看,2018 年温峤国控断面重污染出现在 3 月,污染最轻的在 9 月,其次是 10 月,这两个月水质均处于清洁水平,其余月份基本保持在中度或者轻度污染的水平。根据本文的分析方法,2018 年温峤国控断面水质是变好趋势。

2) 尝试将溶解氧变化和灰类变化结合起来预测水质,通过对连续 4 次变化进行集成分析预测水质,判定方法是基于比如有 2 次或以上某种变化,那么认为水质总体有向该种方向变化的趋势,结果显示预测灰类级别的准确率较高,说明本文的方法可以运用于水质预测实践,但可能需要更多的时间段的预测结果来验证。目前国内水质预测运用较多的多元线性回归或是神经网络实质是通过建模,然后预测单一因子的浓度,但没有报导预测水质类别的方法。本文的方法是通过多个污染因子数据点的综合分析,来确定水质的总体趋势,并基于该趋势对未来的水质进行预测。这种方法考虑了水质的变化情况,以及当前的水质状况,以提供对未来水质的估计。

3) 本文深入剖析了降雨对各个污染因子的影响,从 2018 年的温峤国控断面的数据来看,降雨会对高锰酸盐指数、氨氮、总磷的浓度有稀释作用,结合灰色关联分析结果看,以对总磷的影响最为明显,降雨对于化学需氧量的影响可能更偏向于间接的,结合全年 4 个时间段降雨对污染物浓度影响分析以及灰色关联分析结果,化学需氧量很可能是因降雨从不同途径冲刷入河道,在今后国控河道监测断面考核要求会越来越高的背景下,这会成为影响断面达标的重要因素,因此对于周边污染源以及地表径流等开展调查非常重要。

#### 参考文献

- [1] 胡晴晖,宋金玲,黄达,等. 基于 SSA-MIC-SMBO-ESN 的水质预测模型[J]. 工业用水与废水, 2023, 54(2): 45-51.
- [2] 李余隆,张兰,李立. 基于 GCN-LSTM 的钱塘江南源水质预测研究[J]. 人民黄河, 2023, 45(12): 83-87, 95.
- [3] 李秋瑶. 多元线性回归模型在河流水质预测中的应用[J]. 信息系统工程, 2023(7): 79-82.
- [4] 陈树龙,黎志伟,黄祖安,麦文杰. 基于 TCN-LSTM-QR 的地表水水质预测模型[J]. 广东化学, 2023, 50(10): 182-184,199.
- [5] 李顺勇,张睿轩,谭红叶. 基于 HHO 优化的时空水质预测模型[J]. 现代电子技术, 2024, 47(2): 176-182.
- [6] 李亚松,张兆吉,费宇红,王昭. 内梅罗指数评价法的修正及其应用[J]. 水资源保护, 2009, 25(6): 48-50.
- [7] 徐彬,林灿尧,毛新伟. 内梅罗水污染指数法在太湖水质评价中的适用性分析[J]. 水资源保护, 2014, 30(2): 38-40.
- [8] 赵光影,华德尊. 灰色聚类法在地表水环境质量评价中的应用[J]. 北方环境, 2005, 30(2): 84-86.
- [9] 朱庆峰,廖秀丽,陈新庚,等. 用灰色聚类法对荔湾湖水水质富营养化程度的评价[J]. 中国环境监测, 2003, 20(2): 47-50.



- [10] 江敏, 刘金金, 卢柳, 等. 灰色聚类法综合评价滴水湖水系环境质量[J]. 生态环境学报, 2012, 21(2): 346-352.
- [11] 汪浩, 瞿素莲, 朱罗罗. 一种新的河道监测断面水质分析方法[J]. 能源与环境, 2020(4): 94-97.
- [12] 李灵敏, 谢振园, 甄江红. 基于灰色关联分析的呼和浩特市城市化与生态环境耦合协调发展研究[J]. 内蒙古师范大学学报: 自然科学汉文版, 2015, 44(3): 406-411.
- [13] 周宾. 灰色关联分析法在淮河流域水环境质量综合评价中的应用[J]. 广州环境科学, 2007, 22(3): 39-43.
- [14] 张富昌, 狄凌峰, 戴素芬. 灰色系统理论在大气环境质量分析和预断评价中的应用[J]. 化工环保, 1994, 14(6): 362-365.