

# 煤炭型城市城区河流水体水质现状评价与分析 ——以宿州新汴河为例

余铭明, 李致春\*, 李前伟, 孟祥嵩, 成开锋, 冯迎辰

(宿州学院环境与测绘工程学院, 安徽 宿州 234000)

**摘要:**随着煤炭产业的快速发展,煤炭型城市河流水体污染问题与城市持续发展、居民健康生活的矛盾日益突出。本研究以宿州市(煤炭型城市)城区河流新汴河为研究对象,于2019年8月对新汴河20个样点进行采样,测定水体总氮(TN)、总磷(TP)、化学需氧量(COD<sub>Cr</sub>)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、叶绿素a(Chl-a)等指标,基于水质标识法和综合污染指数法对汴河水体进行水质评价。结果表明,主要污染因子中TP、NH<sub>3</sub>-N浓度指标优于Ⅲ类水。COD质量浓度为33.48 mg/L,处于Ⅲ类水—劣Ⅴ类之间。TN质量浓度为4.823 mg/L,整体处于劣Ⅴ类。新汴河综合水质总体处于Ⅳ类水,水质整体呈污染状态。X8、X9、X10、X19、X20号样点污染指数较高,需引起相关部门重视。新汴河水质总体虽未达富营养化状态,但仍存在向富营养化转变的可能。

**关键词:**煤炭型城市;水体污染;水质评价;富营养化;水质标识法

**中图分类号:**X52;X824      **文献标志码:**A      **文章编号:**1673-1891(2020)02-0055-07

## Evaluation and Analysis of Water Quality in Urban Rivers of Coal Cities: a Case Study of Xinbianhe River in Suzhou City

YU Mingming, LI Zhichun, LI Qianwei, MENG Xiangsong, CHENG Kaifeng, FENG Yingchen

(School of Environment and Surveying Engineering, Suzhou University, Suzhou, Anhui 234000, China)

**Abstract:** With the rapid development of coal industry, contradictions between water pollution of coal cities and sustainable development of cities and health of residents become increasingly prominent. In this paper we study Xinbianhe River, an urban river in Suzhou, a coal city in Anhui Province. Twenty water samples were collected from this river in August 2019. The total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), chemical oxygen demand (COD), ammonia nitrogen (NH<sub>3</sub>-N) and Chlorophyll-a (Chl-a) of these samples were detected, and water quality identification method and comprehensive pollution index were adopted to assess the water quality of Xinbianhe River. The results showed that, among major pollution factors, the concentration indexes of TP and NH<sub>3</sub>-N are better than those of Level III water; the average concentration of COD is 33.48 mg/L, ranging between Level III and inferior Level V categories; the average concentration of TN is 4.823 mg/L, belonging to inferior Level V category; and the overall water quality of Xinbianhe River belongs to Level IV category. Particularly, the pollution indexes of sampling sites X8, X9, X10, X19 and X20 are higher, which need attentions from relevant government agencies. The overall water quality of Xinbianhe doesn't reach an eutrophication level, but it is likely to reach eutrophication in the future.

**Keywords:** coal city; water pollution; water quality evaluation; eutrophication; identification index method of water quality

河流是全球水资源循环重要环节之一,河流水质状况除受多种自然条件影响外,还主要受到大量人为因素干扰<sup>[1]</sup>。特别是城市河流,水体污染源复杂且对社会发展、居民生活影响深远。目前,学者

对一般大城市河流水体污染研究较多,对于城区河流水质评价,国内外已建立了系统的评价方法如污染指数法<sup>[2-4]</sup>、模糊评价法<sup>[5]</sup>、综合指数法<sup>[6]</sup>等。然而,对煤炭型河流污染问题关注尚需加强。煤炭产业

**收稿日期:**2019-11-19

**基金项目:**国家级大学生创新创业训练计划项目(201910379035);安徽省高校自然科学研究重点项目(KJ2019A0667);宿州学院大学生科研项目(KYLXYBXM19-080)。

**作者简介:**余铭明(1999—),女,安徽六安人,本科,研究方向:地理科学。\*通信作者:李致春(1986—),男,山西大同人,讲师,博士,研究方向:水域生态学。

发展过程中的酸性矿井水、洗煤水、岩溶水、煤矸石淋溶水等矿井水以及农业用水、生活化工生产污水或废水中氮磷浓度较高,这些污、废水处理不当或未处理排入城市河道,增加了城市河流的氮磷负荷<sup>[7]</sup>。同时,煤炭燃烧过程中产生的大气污染物,在雨水冲刷的作用下进入地表径流,最终流入城市河道,继而引起水体污染。氮磷等水体污染元素,既是河流水体评价的重要指标,影响着地表水环境的评价等级,又是多种藻类异常繁殖的重要环境因子,易引发水体富营养化、破坏水体原有的平衡<sup>[8]</sup>。因此,本研究基于宿州市城区河流新汴河污染的系统调查,测定水体总氮 TN、TP、COD、NH<sub>3</sub>-N、Chl-a 等指标,选用水质标识指数法对水体进行水质评价,以期为当地政府对城区污染河流的综合防治提供科学参考依据,加强人们对煤炭型城市水体污染的关注度。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

宿州市位于安徽省最北部,地处淮北平原东北部,总面积 9 787 km<sup>2</sup>,全市常住人口 568.14 万人,全市的水资源总量相对匮乏,约 34.8 亿 m<sup>3</sup>。宿州市煤炭资源丰富,已探明 9 处矿产储量达 60 亿 t,是国家规划的 13 个大型煤炭基地之一。

宿州新汴河位于豫皖苏 3 省交界的一条人工河流。全长 127.2 km,流域面积达 6 562 km<sup>2</sup>。新汴河自宿州西北的七岭子起,上承沱河上游(包括新北沱河上游)来水,经灵璧泗县、泗洪县后,在洪泽湖西缘注入溧河洼。是宿州人民生活、生产的重要水源。随着近几年宿州市煤炭产业发展和工农业生产,使河流原有的水文环境发生了改变,引起了多种水污染问题。

### 1.2 样品采集与分析

2019 年 8 月在汴河宿州城区段沿岸按排污口类型和河流水文分布特点布点 20 个(图 1, X1~X20),根据《地表水环境质量标准》<sup>[9]</sup>规定方法,用采样装置采集水样,并利用手持 GPS 经纬度定位仪器记录样点经纬度。在现场用便携式水质测定仪测出各样点 PH(酸碱度)、TDS(总溶解固体)、COND(电导率)、ORP(氧化还原电位)等指标。采集的样品存于用河水润洗两遍的 2.5 L 聚乙烯水桶中并快速运往实验室在 24 h 内完场实验分析工作。

### 1.3 样品测试及分析方法

基于紫外分光光度<sup>[4]</sup>法利用上海连华科技

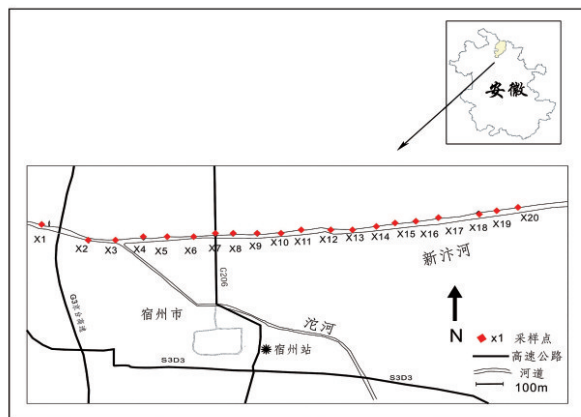


图1 研究区样点分布情况

5B-6C 型(v8)四参数水质测定仪测定样品中总磷、化学需氧量(COD<sub>Cr</sub>)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、浊度(TUB)浓度。LH-3BN 型总氮测定仪测量样品中总氮浓度。根据张野、李爽等某城市淮河水 COD<sub>Mn</sub>、BOD<sub>5</sub> 与 COD<sub>Cr</sub> 的相关性分析<sup>[10]</sup>,由 COD<sub>Cr</sub> 的数据计算高锰酸钾指数(COD<sub>Mn</sub>)的数据。

叶绿素 a 用分光光度法测量,取 300 mL 水样,用 0.45 μm 醋酸纤维膜过滤,避光超声清洗后用无水乙醇萃取,离心后过滤至比色皿,在 665 nm 及 750 nm 下直接分光,记为 B665、B750。读取后再加 3 滴 1 mol/L HCl 溶液,待稳定后再次读取分光数值。记为 A665、A750,计算公式如下:

$$\text{Chla} = 27.9 \times [(B665 - B750) - (A665 - A750)] \times V_{\text{乙醇}} / V_{\text{水样}}$$

### 1.4 样品的评价方法

#### 1.4.1 水质标识指数法

水质标识指数是一种较为综合的河流水体评价方法<sup>[11-13]</sup>。不仅可以对单因子的水质类别进行具体评价,还可以定性、定量评价水体综合水质状况,减少个别较高污染指标对综合水质评价的影响。本研究采用综合水质标识指数法对宿州汴河 20 个样点水质进行综合评价。具体过程如下:

首先确定各项指标的单因子标识指数 P,由一位整数、小数点后面 2 位或 3 位有效数字组成,表示为:

$$P = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (1)$$

式(1)中, X<sub>1</sub> 表示第 i 项水质指标的水质类别; X<sub>2</sub> 表示监测数据在 X<sub>1</sub> 类水质变化区间中所处的位置,公式按四舍五入原则进行计算; X<sub>3</sub> 表示水质类别与功能区划设定类别的比较结果,表示评价指标的污染程度。

在计算出水质参数的单因子标识指数后,再确定其综合水质标识指数 I。

综合水质标识指数 I 由整数位和三位或四位小

数组成,其结构为式(2)。

$$I=X_1\cdot X_2\cdot X_3\cdot X_4$$
 (2)

式(2)式中, $X_1\cdot X_2$ 是由各单因子标识指数计算的算术平均值四舍五入后得到的, $X_i$ 表示第*i*项综合水质指标的水质类别,1到5对应I类到V类水,大于5表示水质为劣V类水,数值越大样点水质水质污染越严重; $X_2$ 表示监测数据在 $X_1$ 类水质变化区间中所处的位置,数字越大,表示在同一类别的水质中监测指标的污染越严重。 $X_3$ 表示参与综合水质评价的水质指标中,劣于水环境功能区目标的单项指标个数。 $X_4$ 表示为综合水质类别与水体功能区类别的比较结果,视综合水质的污染程度,是一位或两位有效数字。具体评价标准见表1、表2。

表1 基于综合水质标识指数的综合水质级别判定

| $X_1\cdot X_2$ 数值范围            | 水质类别    |
|--------------------------------|---------|
| $1.0\leq X_1\cdot X_2\leq 2.0$ | I类      |
| $2.0<X_1\cdot X_2\leq 3.0$     | II类     |
| $3.0<X_1\cdot X_2\leq 4.0$     | III类    |
| $4.0<X_1\cdot X_2\leq 5.0$     | IV类     |
| $5.0<X_1\cdot X_2\leq 6.0$     | V类      |
| $6.0<X_1\cdot X_2\leq 7.0$     | 劣V类但不黑臭 |
| $7.0<X_1\cdot X_2$             | 劣V类且黑臭  |

表2 地表水环境水质质量标准限值 mg/L

|        | COD <sub>Cr</sub> | TN  | TP   | NH <sub>3</sub> -N |
|--------|-------------------|-----|------|--------------------|
| I类 ≤   | 15                | 0.2 | 0.02 | 0.15               |
| II类 ≤  | 20                | 0.5 | 0.1  | 0.50               |
| III类 ≤ | 20                | 1.0 | 0.2  | 1.00               |
| IV类 ≤  | 30                | 1.5 | 0.3  | 0.50               |
| IV类 ≤  | 40                | 2.0 | 0.4  | 2.00               |

1.4.2 综合污染指数法

本项目根据汴河污染实际情况,采用综合污染指数法<sup>[14-16]</sup>对宿州汴河水体进行水体污染状况评价。综合污染指数法水环境质量评价的重要方法,是对水体各类指标的相对污染指数的统计,得出代表水体污染程度数值。该方法可以确定目标水体的污染程度。其计算公式为式(3)。

$$P=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^m P_i$$
 (3)

式(3)中, $P$ 为样点的相对污染指数, $P_i$ 为*i*项污染物的污染指数, $m$ 为参与评价的污染指标总数。综合水质标识指数法的判别标准见表3。

1.4.3 营养状态指数法

根据检测结果,运用营养状态指数法<sup>[17-20]</sup>,选取总氮(TN),总磷(TP),叶绿素a(Chla),高锰酸钾指

表3 综合污染指标评价分级

| $P$                 | 级别   | 水质现状阐述               |
|---------------------|------|----------------------|
| $P<0.8$             | 合格   | 多数项目未检出,个别检出也在标准内    |
| $0.8\leq P\leq 1.0$ | 基本合格 | 个别项目检出值超标            |
| $1.0<P\leq 2.0$     | 污染   | 相当一部分项目检出值超过标准       |
| $P>2.0$             | 重污染  | 相当一部分项目检出值超过标准数倍或几十倍 |

数COD<sub>Mn</sub>,透明度(SD)参与富营养状态评价。营养状态指数公式为式(4)。

$$EI=\sum_{n=1}^N En/N$$
 (4)

式中, $EI$ 为营养状态指数; $En$ 为评价指标赋分值; $N$ 表示参与评价指标个数。其相应的营养状态分级标准如表4所示。

表4 各指标营养状态分级标准

| 营养状态              | 评价项目 | 总磷/<br>分级( <i>EI</i> ) | 总氮/<br>赋值 <i>En</i> | 叶绿素/<br>( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) | 高锰酸钾<br>指数/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) | 透明度/<br><i>m</i> |
|-------------------|------|------------------------|---------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|
| 贫营养               | 10   | 0.001                  | 0.02                | 0.000 5                                   | 0.15                                         | 10.00            |
| $0\leq EI\leq 20$ | 20   | 0.004                  | 0.05                | 0.001 0                                   | 0.40                                         | 5.00             |
| 中营养               | 30   | 0.010                  | 0.10                | 0.002 0                                   | 1.00                                         | 3.00             |
| $20<EI\leq 50$    | 40   | 0.025                  | 0.30                | 0.004 0                                   | 2.00                                         | 1.50             |
| 轻富营养              | 50   | 0.050                  | 0.50                | 0.010 0                                   | 4.00                                         | 1.00             |
| $50<EI\leq 60$    | 60   | 0.100                  | 1.00                | 0.026 0                                   | 8.00                                         | 0.50             |
| 中富营养              | 70   | 0.200                  | 2.00                | 0.064 0                                   | 10.00                                        | 0.40             |
| $60<EI\leq 80$    | 80   | 0.600                  | 6.00                | 0.160 0                                   | 25.00                                        | 0.30             |
| 重富营养              | 90   | 0.900                  | 9.00                | 0.400 0                                   | 40.00                                        | 0.20             |
| $80<EI$           | 100  | 1.300                  | 16.00               | 1.000 0                                   | 60.00                                        | 0.12             |

2 结果与讨论

2.1 水体理化特征分析

新汴河现场测得理化指标如表5所示。根据表5,汴河水体pH为8.47~8.76,偏碱性。按《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)<sup>[21]</sup>规定,电导率( $E_c$ )可粗略估算为总溶解固体(TDS)的2倍,标准TDS值应小于1 000 mg/L,所以 $E_c$ 值应小于2 000  $\mu s/cm$ 。新汴河水体TDS值为682~953 mg/L,平均值为813.45 mg/L。 $E_c$ 值为1 375~1 910  $\mu s/cm$ ,平均值为1 645.75  $\mu s/cm$ 。所以新汴河TDS、 $E_c$ 值总体符合这一标准。汴河水体TDS变差系数为0.089, $E_c$ 变差系数为0.086。变差系数表示的是数据的波动大小。所以汴河水体总体TDS、 $E_c$ 值较为稳定。新汴河浊度(TUB)9.3~138.1,平均值为36.947,总体偏高,变差系数达0.77,不同样点间数值波动大,表明受局部污染点影响较大且新汴河污染集中点分布较为分散。其中18号(草王家庄附近)、19号(朱家附近)采样点达到峰值,样点水体黑

浊藻丰富,可能和附近农田过度施肥导致藻类生长过度有关。透明度(SD)在0.1~0.43 m之间,数值总体较小变差系数较大,表明新汴河水中杂质偏多。氧化还原电位(ORP)值为84~106 mV 总体偏低,表明其氧化性偏弱,水中的污染物质较多,反硝化能力较强。

表 5 理化指标数据分布表

| 编号     | TDS/(mg·L <sup>-1</sup> ) | Ec/(μs·cm <sup>-1</sup> ) | ORP/mV | TUB    | pH    | SD/m  |
|--------|---------------------------|---------------------------|--------|--------|-------|-------|
| 1      | 953                       | 1 910                     | 84     | 13.95  | 8.76  | 0.30  |
| 2      | 929                       | 1 833                     | 96     | 9.30   | 8.52  | 0.43  |
| 3      | 921                       | 1 848                     | 95     | 23.25  | 8.58  | 0.19  |
| 4      | 891                       | 1 818                     | 95     | 26.97  | 8.61  | 0.15  |
| 5      | 875                       | 1 788                     | 95     | 29.29  | 8.57  | 0.15  |
| 6      | 862                       | 1 752                     | 95     | 26.50  | 8.63  | 0.15  |
| 7      | 845                       | 1 724                     | 100    | 20.46  | 8.57  | 0.20  |
| 8      | 832                       | 1 674                     | 96     | 21.85  | 8.67  | 0.18  |
| 9      | 819                       | 1 646                     | 96     | 35.34  | 8.62  | 0.15  |
| 10     | 810                       | 1 634                     | 106    | 32.08  | 8.72  | 0.16  |
| 11     | 795                       | 1 600                     | 85     | 53.01  | 8.75  | 0.11  |
| 12     | 780                       | 1 614                     | 95     | 35.80  | 8.60  | 0.16  |
| 13     | 776                       | 1 576                     | 93     | 41.85  | 8.60  | 0.16  |
| 14     | 766                       | 1 549                     | 101    | 38.13  | 8.56  | 0.17  |
| 15     | 771                       | 1 579                     | 101    | 43.24  | 8.65  | 0.13  |
| 16     | 732                       | 1 437                     | 96     | 26.50  | 8.69  | 0.17  |
| 17     | 682                       | 1 375                     | 96     | 17.67  | 8.76  | 0.30  |
| 18     | 745                       | 1 530                     | 95     | 86.59  | 8.57  | 0.12  |
| 19     | 747                       | 1 522                     | 98     | 138.10 | 8.76  | 0.10  |
| 20     | 738                       | 1 506                     | 96     | 19.06  | 8.47  | 0.30  |
| 最大值    | 953                       | 1 910                     | 106    | 138.10 | 8.76  | 0.43  |
| 最小值    | 682                       | 1 375                     | 84     | 9.30   | 8.47  | 0.10  |
| 平均值    | 813.45                    | 1 645.75                  | 95.7   | 36.947 | 8.633 | 0.189 |
| 变差系数/% | 8.85                      | 8.60                      | 4.95   | 76.78  | 0.96  | 42.16 |

2.2 水体污染因子指标分析

根据《安徽省水环境功能区规划》<sup>[22]</sup>,新汴河的水环境功能为Ⅲ类。通过图2汴河污染指标数据分析、表6汴河污染指标数据分析,可得汴河水中TP质量浓度在0.086~0.183 mg/L之间,数据整体位于Ⅲ类水,平均值为0.167 mg/L。符合新汴河水环境功能分类。由下COD<sub>Cr</sub>质量浓度在15.05~54.18 mg/L之间,最大值在X11(港口北路)点位,处在Ⅲ类水~劣Ⅴ类水之间,平均值为33.48 mg/L,属于Ⅳ类水,劣于新汴河水环境功能一个类别。NH<sub>3</sub>-N浓度在0.285~0.541 mg/L之间,平均值为0.407 mg/L,变差系数较小,数据波动较小,整体处于Ⅱ类水~Ⅲ类水之间,符合新汴河水环境功能分类。TN质量浓度在1.604~19.17 mg/L之间,平均

值为4.823 mg/L,整体处于劣Ⅴ类水,劣于新汴河水环境功能三个类别。变差系数为0.948,表明TN质量浓度数据波动较大,浓度峰值出现在了X8号点(083乡道和G206交界处)。可能与周围的工业废水排放有关。Chl-a质量浓度在0.015~0.087 μg/L之间,平均值为0.063 μg/L,变差系数较小,处于营养状态法叶绿素评价的贫营养水平,其原因可能是因为近年新汴河污染治理状况较好,水中的藻类未爆发繁殖。

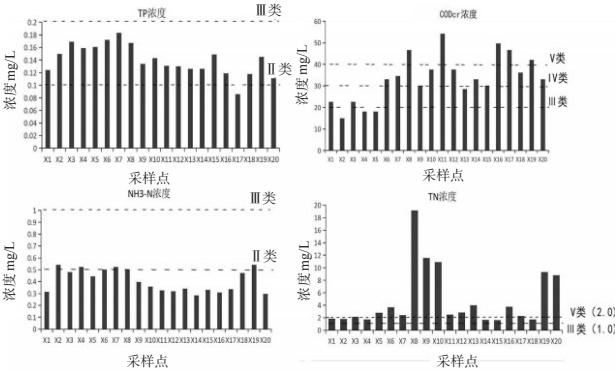


图 2 各项测试指标浓度及单因子评价指数

表 6 汴河污染指标数据分析

|      | TP/(mg·L <sup>-1</sup> ) | COD <sub>Cr</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> ) | NH <sub>3</sub> -N/(mg·L <sup>-1</sup> ) | TN/(mg·L <sup>-1</sup> ) | Chl-a/(μg/L <sup>-1</sup> ) |
|------|--------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 最大值  | 0.183                    | 54.180                                   | 0.541                                    | 19.170                   | 0.087                       |
| 最小值  | 0.086                    | 15.050                                   | 0.285                                    | 1.604                    | 0.015                       |
| 平均值  | 0.140                    | 33.480                                   | 0.407                                    | 4.823                    | 0.063                       |
| 变差系数 | 0.167                    | 0.317                                    | 0.226                                    | 0.948                    | 0.292                       |

2.3 水质评价单因子结果分析

对在新汴河设置的20个样点的总氮、总磷、COD<sub>Cr</sub>、氨氮分别采用水质标识法和综合污染指数法进行计算(图3、表7)。以TP、NH<sub>3</sub>-N作为污染物指标进行评价时为Ⅱ~Ⅲ类水,结果符合新汴河水环境功能规划。以TN作为评价指标时,水质总体处于劣Ⅴ类,平均检测数据是Ⅴ类浓度上限的2.5倍,劣于新汴河水环境功能区目标值三个类别。以COD<sub>Cr</sub>作为评价指标时,水质总体处于Ⅴ类水,平均检测数据位于Ⅴ类水区间中距下限值30%的位置,劣于水环境功能区目标值两个类别。

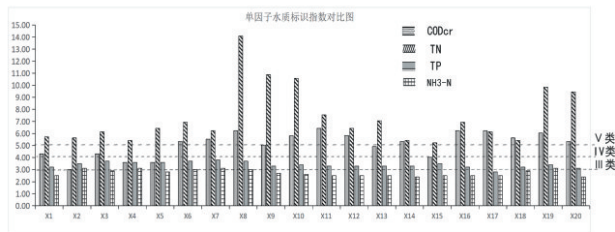


图 3 单因子水质标识指数对比

表7 新汴河各指标单因子水质标识指数数据分析表

|     | COD <sub>Cr</sub> | TN    | TP   | NH <sub>3</sub> -N |
|-----|-------------------|-------|------|--------------------|
| 最大值 | 6.43              | 14.09 | 3.80 | 3.10               |
| 最小值 | 3.00              | 5.22  | 2.80 | 2.40               |
| 平均数 | 5.32              | 7.54  | 3.30 | 2.70               |

这可能是由于宿州是煤炭型城市,在煤炭产业发展过程中的酸性矿井水、洗煤水、岩溶水、煤矸石淋溶水等矿井水或废水中氮磷质量浓度较高,这些物质通过湿沉降、废水排放等途径进入河流,最终造成了汴河河流水体的TN、COD<sub>Cr</sub>总体含量超标,部分样点污染量过高的现象。

2.4 水质评价综合污染状况分析

图4是新汴河综合水质标识指数评价结果图,由图得新汴河水水质较差,总体不符合其水环境功能分类Ⅲ类水。在选取的20个样点中,X8号(083乡道和G206交界处)样点的水质最差,综合水质标识指数达到了6.723,综合水质为劣Ⅴ类,但水体尚未黑臭,参与评价的指标中劣于水环境功能区水质类别的有两个,劣于目标水质三个水质类别。且与之相邻的综合水质标识指数X9(赵凤)为5.522、X10(杨圩孜村)为5.622,都偏高、附近水质都较差。这几个样点周围有制药工厂、铁路轨道、农田等。其总氮、COD<sub>Cr</sub>大量超标可能是工业废水的排放和铁路运输过程中的基础排污及农业过度施肥造成的。

新汴河综合水质只有20%的样点水质达标(图5),总体水况为Ⅳ类,平均检测值在Ⅳ类水质量浓度区间中位于距下限值80%的位置,劣于目标水质一个水质类别。

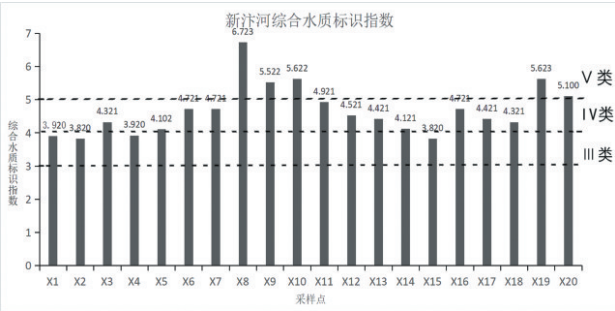


图4 样点综合因子标识指数

图6、表8是基于综合污染指数法做出的新汴河样点污染分布图和单因子、综合污染指数法评价结果表。得出在新汴河抽取的样点水体中40%处于污染状态,25%处于重污染状态,仅有15%合格,20%基本合格。说明新汴河水体总体呈污染状态。其中除了X8、X9、X10号点是重污染程度外,X19(朱家)、X20(二王家)也处于重污染状态。这两个点周围村庄农田聚集,结合水质评价结果综合分析,新汴

新汴河水水质等级分布图

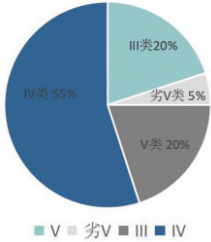


图5 样点水质等级分布

河污染指数超标除了和煤炭型城市的工业发展、废水排放有关,还受农业生产中的不当施肥和居民生活污水排放的影响。这说明煤炭型城市的水源污染治理需要综合多方面治理污染源的排放。

新汴河污染样点分布图

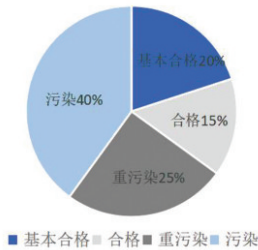


图6 新汴河采样点整体污染程度分布情况

表8 新汴河水水质单因子及综合污染指数法评价结果

| 编号  | 单因子污染指数           |      |       |                    | 综合污染指数 | 污染程度 |
|-----|-------------------|------|-------|--------------------|--------|------|
|     | COD <sub>Cr</sub> | TP   | TN    | NH <sub>3</sub> -N |        |      |
| 1   | 1.13              | 0.41 | 1.23  | 0.21               | 0.74   | 合格   |
| 2   | 0.75              | 0.50 | 1.20  | 0.36               | 0.70   | 合格   |
| 3   | 1.13              | 0.56 | 1.43  | 0.32               | 1.29   | 污染   |
| 4   | 0.90              | 0.53 | 1.15  | 0.35               | 0.73   | 合格   |
| 5   | 0.90              | 0.54 | 1.85  | 0.30               | 0.90   | 基本合格 |
| 6   | 1.66              | 0.57 | 2.47  | 0.33               | 1.26   | 污染   |
| 7   | 1.73              | 0.61 | 1.61  | 0.35               | 1.08   | 污染   |
| 8   | 2.33              | 0.56 | 12.78 | 0.33               | 4.00   | 重污染  |
| 9   | 1.51              | 0.45 | 7.71  | 0.27               | 2.48   | 重污染  |
| 10  | 1.88              | 0.48 | 7.28  | 0.24               | 2.47   | 重污染  |
| 11  | 2.71              | 0.44 | 1.67  | 0.22               | 1.26   | 污染   |
| 12  | 1.88              | 0.43 | 1.88  | 0.21               | 1.10   | 污染   |
| 13  | 1.43              | 0.42 | 2.67  | 0.23               | 1.19   | 污染   |
| 14  | 1.66              | 0.42 | 1.12  | 0.19               | 0.85   | 基本合格 |
| 15  | 1.51              | 0.50 | 1.07  | 0.22               | 0.82   | 基本合格 |
| 16  | 2.48              | 0.40 | 2.50  | 0.21               | 1.40   | 污染   |
| 17  | 2.33              | 0.29 | 1.51  | 0.22               | 1.09   | 污染   |
| 18  | 1.81              | 0.39 | 1.14  | 0.32               | 0.91   | 基本合格 |
| 19  | 2.11              | 0.48 | 6.21  | 0.36               | 2.29   | 重污染  |
| 20  | 1.66              | 0.37 | 5.86  | 0.20               | 2.02   | 重污染  |
| 平均值 | 1.67              | 0.47 | 3.22  | 0.27               | 1.43   | 污染   |

2.5 富营养化评价结果分析

基于营养状态法,根据监测统计结果选取 TN、

TP、COD<sub>Mn</sub>、SD 和 Chl-a 质量浓度为评价指标,新汴河 COD<sub>Cr</sub>与 COD<sub>Mn</sub>转换数值详情见表 9。对宿州新汴河水体富营养化评价结果见表 10。可得新汴河样点水质的营养状态指数集中在 54~68 之间,总体属于轻富营养状态到中富营养状态之间。观察可得水体中氮元素和磷元素总体已达中富营养水平,COD<sub>Mn</sub>总体处于轻富营养状态,SD 处于重富营养状态,水体杂质较多。Chl-a 却仍保持正常水平。说明新汴河水体中浮游植物密度较小,这可能和近几年来宿州城区对河道的清理工作有关,但仍需要保持警惕,氮磷含量过高,水体依旧存在富营养化爆发潜力。氮元素质量浓度在 X8、X9、X10、X19 号采样点时浓度过高,原因可能是这几个采样点附近设有制药工厂和铁路,致使工业废水排放量集中,污染输出较高。

| 表 9 新汴河 COD <sub>Cr</sub> 与 COD <sub>Mn</sub> 转换数值详情 mg/L |                   |                   |     |                   |                   |
|-----------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-----|-------------------|-------------------|
| 采样点                                                       | COD <sub>Cr</sub> | COD <sub>Mn</sub> | 采样点 | COD <sub>Cr</sub> | COD <sub>Mn</sub> |
| 1                                                         | 22.57             | 3.80              | 11  | 54.18             | 8.31              |
| 2                                                         | 15.05             | 2.72              | 12  | 37.62             | 5.95              |
| 3                                                         | 22.57             | 3.80              | 13  | 28.59             | 4.66              |
| 4                                                         | 18.06             | 3.15              | 14  | 33.11             | 5.30              |
| 5                                                         | 18.06             | 3.15              | 15  | 30.10             | 4.87              |
| 6                                                         | 33.11             | 5.30              | 16  | 49.66             | 7.67              |
| 7                                                         | 34.61             | 5.52              | 17  | 46.65             | 7.24              |
| 8                                                         | 46.65             | 7.24              | 18  | 36.12             | 5.73              |
| 9                                                         | 30.10             | 4.87              | 19  | 42.14             | 6.59              |
| 10                                                        | 37.62             | 5.95              | 20  | 33.11             | 5.30              |

根据已有研究<sup>[23-29]</sup>,控制氮磷质量浓度可以有效控制水体富营养化,水体中藻类正常代谢需要的 N/P 值约为 7,当 N/P 值>7 时,磷是控制水体恶化的限制性元素,当 N/P 值<7 时,氮是控制水体恶化的限制性元素。图 7 是宿州新汴河的 TN/TP 分布图,数值在 10~114 之间远>7。所以对新汴河水体而言,磷元素可能是限制浮游植物生长控制水体富营养恶化的因子。对煤炭型城市而言,控制磷元素主要应该处理好煤化工的废水,提高对污染物质量浓度高废水的脱磷净化技术。同时控制煤炭生产过程中含有大量二氧化硫的废气排放,降低居民生活中含磷洗衣剂和农业生产中化肥农药的使用,严格控制水体磷元素引入,防止水体进一步富营养化<sup>[30]</sup>。

4 结论

1)对新汴河 20 个样点的水样分析后,新汴河水质总体偏碱性,EC 和 TDS 总体符合《生活饮用水卫生标准》,TUB 较高,样点受局部地区污染影响大,

| 表 10 新汴河水质富营养化评定结果 |       |    |     |                   |     |    |
|--------------------|-------|----|-----|-------------------|-----|----|
| 样点                 | Chl-a | TP | TN  | COD <sub>Mn</sub> | SD  | EI |
| 1                  | 10    | 70 | 70  | 50                | 80  | 56 |
| 2                  | 10    | 70 | 70  | 50                | 70  | 54 |
| 3                  | 10    | 70 | 80  | 50                | 90  | 60 |
| 4                  | 10    | 70 | 70  | 50                | 90  | 58 |
| 5                  | 10    | 70 | 80  | 50                | 90  | 60 |
| 6                  | 10    | 70 | 80  | 60                | 90  | 62 |
| 7                  | 10    | 70 | 80  | 60                | 80  | 60 |
| 8                  | 10    | 70 | 100 | 60                | 90  | 66 |
| 9                  | 10    | 70 | 100 | 60                | 90  | 66 |
| 10                 | 10    | 70 | 100 | 60                | 90  | 66 |
| 11                 | 10    | 70 | 80  | 70                | 100 | 66 |
| 12                 | 10    | 70 | 80  | 60                | 90  | 62 |
| 13                 | 10    | 70 | 80  | 60                | 90  | 62 |
| 14                 | 10    | 70 | 70  | 60                | 90  | 60 |
| 15                 | 10    | 70 | 70  | 60                | 90  | 60 |
| 16                 | 10    | 70 | 80  | 60                | 90  | 62 |
| 17                 | 10    | 60 | 80  | 60                | 80  | 58 |
| 18                 | 10    | 70 | 70  | 60                | 100 | 62 |
| 19                 | 10    | 70 | 100 | 60                | 100 | 68 |
| 20                 | 10    | 70 | 90  | 60                | 80  | 62 |

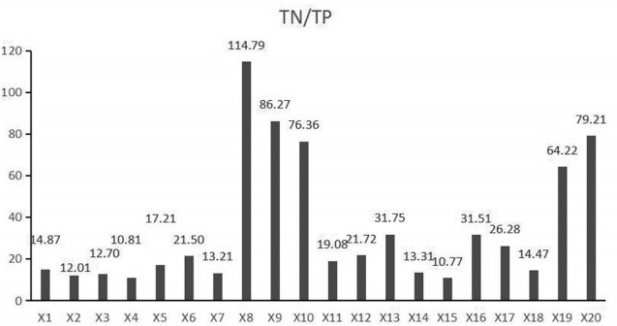


图 7 新汴河 TN/TP 关系图

水中污染物较多,反硝化能力强。TP、NH<sub>3</sub>-N 质量浓度总体符合新汴河水环境功能区规划,COD 质量浓度平均值为 33.48 mg/L,整体处于 IV 类水,劣于新汴河水环境功能一个类别。TN 质量浓度平均值为 4.823 mg/L,整体处于劣 V 类水。劣于新汴河水环境功能三个类别。

2)新汴河水质评价结果数据分析中被测样点中综合水质只有 20%达标,水体环境整体呈 IV 类,未达到其功能区划类别标准。且总体上有 65%的样点处于污染或重污染状态。其中 X8、X9、X10、X19、X20 综合水质标识指数和综合污染指数都偏高,这可能和当地长久以来煤炭产业的发展与过度农业施肥、不合理的居民生活废水排放有关。且 X8 样点达到了最大值,周围存在村庄烟囱铁路农田等。X8 号点应引起相关部门的重视。

3)宿州新汴河水体环境整体未达严重富营养化,单个评价因子的营养状态指数TN、TP、SD偏高,总体上Chl-a偏小,这可能和宿州市近年来河道治理工作有关。但新汴河水体仍存在富营养化爆发的潜力。新汴河TN/TP数值偏大,推测应加强控制水体磷元素引入,防止水体进一步富营养化。

4)宿州新汴河采样点总体分析污染因子中TP、NH<sub>3</sub>-N污染指数较低,其来源主要为居民生活用水和农业生产用水。纵观近年来宿州市城市发展战

略,这一现象很有可能和宿州市的城市污水治理政策有关。其中对居民生活污水的集中处理,对农业废水的管制排放都起到了很好的效果。故应继续大力推动污水治理的实施,改善宿州城区的水生态环境。但总体上TN和COD<sub>Cr</sub>的污染指数依旧较高,其来源主要为交通运输业、工业生产废水污染,这和宿州市作为煤炭型城市多年来的煤炭产业发展息息相关。想要彻底治理需促进煤炭型城市的产业转型,解决其产业结构单一、经济增长缓慢等问题从而实现人与自然的和谐发展。

#### 参考文献:

- [1] 甄玉飞.清水河水环境因子变化特征分析及富营养化评价[D].张家口:河北建筑工程学院,2019.
- [2] VIESTURS K. Cumulative impact evaluation in central part of liepaja with cumulative pollution index method and air pollution dispersion modelling[J]. Proceedings of the Latvia University of Agriculture,2015,33(1):2-7.
- [3] 成沔.淀山湖年际水质评价及变化趋势分析[J].环境与发展,2019,31(7):149-150.
- [4] 杨富平,袁鑫,何曼静.微波消解-紫外分光光度法对总氮的测定[J].山东化工,2019,48(10):92-93.
- [5] 潘峰.模糊综合评价在水环境质量综合评价中的应用研究[J].环境工程,2002,20(2):58-61.
- [6] 刘硕.对几种环境质量综合指数评价方法的探讨[J].中国环境监测,1999,5(15):33-37.
- [7] 李云鹏,李致春,余宝宝,等.宿州市沱河沉积物氮磷和有机碳分布及评价[J].环境监测管理与技术,2017,29(5):25-28.
- [8] 王红梅,陈燕.滇池近20a富营养化变化趋势及原因分析[J].环境科学导刊,2009,28(3):57-60.
- [9] 国家环境保护总局.地表水环境质量标准:GB3838-2002[S].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [10] 张野,李爽,付婉霞,等.某城市淮河水COD<sub>(Mn)</sub>、BOD<sub>5</sub>与COD<sub>(Cr)</sub>的相关性分析[J].给排水,2012,48(S1):124-127.
- [11] 徐祖信.我国河流综合水质标识指数评价方法研究[J].同济大学学报:自然科学版,2005,33(4):482-488.
- [12] 陈怡,何成诚,万哲慧.基于综合水质标识指数法的广州港深水航道海域水质评价研究[J].环境科学与管理,2018,43(5):175-179.
- [13] 徐祖信.我国河流单因子水质标识指数评价方法研究[J].同济大学学报:自然科学版,2005,33(3):321-325.
- [14] 段震,张新明,杨丰云.综合污染指数法在大汶河水水质评价中的应用[J].治淮,2019(4):10-11.
- [15] 王益昌,李瑞娇,问思恩,等.用综合污染指数法分析评价黄河陕西段的水环境[J].水产学杂志,2017,30(5):47-50.
- [16] 孙涛,张妙仙,李苗苗,等.基于对应分析法和综合污染指数法的水质评价[J].环境科学与技术,2014,37(4):185-190.
- [17] 张永航,李梅,杜莹.观山湖湿地公园水体中氮、磷分布及富营养评价[J].安徽农业科学,2018,46(2):60-62.
- [18] 王鹤扬.综合营养状态指数法在陶然亭湖富营养化评价中的应用[J].环境科学与管理,2012,37(9):188-194.
- [19] ANITA I,NIKOLINAĆ,ZRINKA K, et al. Trophic status of Blidinje Lake (Bosnia and Herzegovina) based on the determination of the trophic state index (TSI)[J]. Ekoloģia (Bratislava),2018,37(1):1-10.
- [20] MAGDALENA S, AGNIESZKA S, MICHA N. Trophic state indexes and phytoplankton reservoir at an early stage of operation[J]. Journal of Ecological Engineering,2017,18(5):209-215.
- [21] 中华人民共和国卫生部.生活饮用水卫生标准:GB 5749-2006[S].北京:中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所,2006.
- [22] 安徽省环境保护局.安徽省水功能区划[M].北京:中国水利水电出版社,2004.
- [23] 赵超,于宁楼,戴伟,等.银湖夏季叶绿素a与水质因子的相关分析及富营养化评价[J].安徽农业科学,2010,38(32):18252-18254.
- [24] 罗国源,康康,朱亮.水体中TN/TP与藻类产生周期及产生量的关系[J].重庆大学学报(自然科学版),2007,30(1):142-146.
- [25] 秦洁,吴献花,高甜倩,等.普者黑叶绿素a与水质因子相关性分析及富营养化评价[J].玉溪师范学院学报,2012,28(8):12-16.
- [26] 孔范龙,郝敏,徐丽华,等.富营养化水体的营养盐限制性研究综述[J].地球环境学报,2016,7(2):121-129.
- [27] TU L,JAROSCH K A,SCHNEIDER T, et al. Phosphorus fractions in sediments and their relevance for historical lake eutrophication in the Ponte Tresa basin (Lake Lugano, Switzerland) since 1959. [J]. The Science of the Total Environment,2019:806-817.
- [28] 王丽卿,张军毅,王旭晨,等.淀湖水体叶绿素a与水质因子的多元分析[J].上海水产大学学报,2008(1):58-64.
- [29] 葛大兵,吴小玲,朱伟林,等.岳阳南湖叶绿素a及其水质关系分析[J].中国环境监测,2005,21(4):69-71.
- [30] 刘硕勋,王丹.焦作市水资源评价及需水量预测[J].河南水利与南水北调,2013(18):30-31.

(责任编辑:曲继鹏)