



移动扫码阅读

王锦,谢毫,范佳民.济河对谢桥煤矿采煤沉陷水域的影响研究[J].能源环境保护,2021,35(3):89-98.

WANG Jin, XIE Hao, FAN Jiamin. Study on the influence of Jihe River on mining subsidence waters in Xieqiao Coal Mine[J]. Energy Environmental Protection, 2021, 35(3): 89-98.

济河对谢桥煤矿采煤沉陷水域的影响研究

王 锦¹, 谢 毫², 范佳民³

(1. 淮河能源集团安环部, 安徽 淮南 232001; 2. 煤矿生态环境保护国家工程实验室, 安徽 淮南 232001; 3. 安徽大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230601)

摘要:选取氮、磷、铅、铬、铜为分析指标,采用综合水质标识指数评价模型评价了济河与沉陷水域水质。结果表明:济河和沉陷水域的氮磷主要受周边的面源影响;在2019年10月~2020年6月期间, TN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量随时间均呈现上升趋势;雨季时,沉陷区和济河的 TN 最大值分别为 5.55 mg/L 和 6.33 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 最大值分别为 1.27 mg/L 和 1.42 mg/L;沉陷水域中 Cu、Zn、Pb 含量均高于济河,济河水的流动对沉陷区水质改善起到正向促进作用;受济河水体交换及降水的影响,沉陷水域水质在雨季的波动较大;济河和沉陷区水体水质满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类要求。

关键词:济河;沉陷水域;营养盐;重金属;综合水质评价

中图分类号:X522

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2021)03-0089-10

Study on the influence of Jihe River on mining subsidence waters in Xieqiao Coal Mine

WANG Jin¹, XIE Hao², FAN Jiamin³(1. Safety and Environmental Protection Department, Huaihe Energy Group, Huainan 232001, China;
2. National Engineering Laboratory of Coal Mine Ecological Environment Protection, Huainan 232001, China;
3. School of Resources and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei 230601, China)

Abstract: Taking nitrogen, phosphorus, lead, chromium and copper as analysis indexes, the water quality of Jihe River and subsidence water was evaluated with the comprehensive water quality identification index evaluation model. The results showed that nitrogen and phosphorus in Jihe River and subsidence waters were mainly affected by the surrounding non-point source. From October 2019 to June 2020, the contents of TN and $\text{NH}_3\text{-N}$ increased with time. In the rainy season, the maximum values of TN in subsidence waters and Jihe River were 5.55 mg/L and 6.33 mg/L, respectively, and the maximum values of $\text{NH}_3\text{-N}$ were 1.27 mg/L and 1.42 mg/L, respectively. The contents of Cu, Zn and Pb in the subsidence waters were higher than those in Jihe River. The flow of Jihe River improved the water quality of the subsidence waters. Affected by precipitation and the water exchange with Jihe river, the water quality of the subsidence waters fluctuated greatly in rainy season. The water quality of Jihe River and subsidence waters meets the requirements of class IV in environmental quality standards for surface water (GB 3838—2002).

Key Words: Jihe River; Subsidence waters; Nutrients; Heavy metals; Comprehensive water quality evaluation

0 引言

谢桥煤矿位于淮北平原西南部的安徽省颍上县境内,横跨颍上县和淮南市凤台县,区内水系发达,东部有淮河、西淝河,矿区内有济河穿过。济河为西淝河右支流,自西向东横贯井田中部,系人工河,上接颍河永安闸,向东汇入西淝河,属排洪浇灌农田的季节性河流。随着矿井的现代化开采,沉陷面积和程度不断加大,由开采引起的沉陷区域已达 3.1 万亩,其中积水面积 1.4 万亩,并形成积水水面与济河贯通。因此,对济河与沉陷水域开展水质调查和评价,科学客观评价其在不同时期的水质状况以及济河对沉陷水域水体影响的范围与程度,是科学规划沉陷区及沉陷水域治理方案的重要技术支撑和科学依据。水质综合评价实际是一种依据水质标准进行水质等级划分的典型识别模式。

目前,常见的水质综合评价方法包括模糊评价法、人工神经网络法、灰色聚类法、综合水质标识指数法等^[1-3]。其中,模糊评价法通过精确的数字手段处理模糊的评价对象,能对蕴藏信息呈现模糊性的资料作出比较科学、合理、贴近实际的量化评价,但是计算复杂,对指标权重矢量的确定主观性较强;人工神经网络法具有自我学习和自适应能力,无需人为干预和较强容错能力,其评价结果客观,计算便捷、可操作性强,但存在评价过程中极易陷入局部极小点而无法得到全局最优解,同时训练样本少也会对评价结果带来影响;灰色聚类法信息利用率高、精度高,注意到水质评价中的模糊性和不确定性,可以通过隶属函数来反应该函数并加以量化,但存在当污染物浓度过于离

散时,可能损失较多有用信息等问题;由于综合水质标识指数法^[4-5]能够更为全面地刻画出评价对象整体水质状况,且可以灵活应用在某一流域的不同断面监测点,也可以应用在不同流域,分别分析出水质状况,故本文采用综合水质标识指数法对研究区进行分析评价^[6]。

1 技术方法

1.1 指标选定依据

根据济河与沉陷水域历史水质状况,参照国家地表水质量标准和行业标准,选定易造成水体富营养化的总磷(TP)、总氮(TN)和氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)等营养盐指标,以及具有富集性、难降解等特性的铜(Cu)、锌(Zn)、铅(Pb)、镉(Cd)和汞(Hg)等重金属指标。

1.2 布点及样品采集

分别于 2019 年 11 月、2020 年 4 月和 2020 年 6 月开展了谢桥矿沉陷水域及相邻济河段的水样采集工作,各采样点位图详见图 1~图 3。

由图 1 可知,2019 年 11 月设置了 12 个采样点。其中,济河闸上游与下游各 1 个采样点(J1 和 J2),公路桥桥下 2 个采样点(J3 和 J4),主体沉陷区 3 个采样点(C1、C2 和 C3),铁路桥桥下 2 个采样点(C4 和 C5),对照区为公路桥西边封闭沉陷区,采集 3 个采样点(D1、D2 和 D3),共计 24 个水样。

由图 2 可知,2020 年 4 月设置了 13 个采样点。除在对照区新增编号为 D0 采样点外,其余与 2019 年 11 月点位相同,共计 26 个水样。

由图 3 可知,2020 年 6 月设置了 14 个采样点。增加了 1 个沉陷区采样点,其中主沉陷水域 4

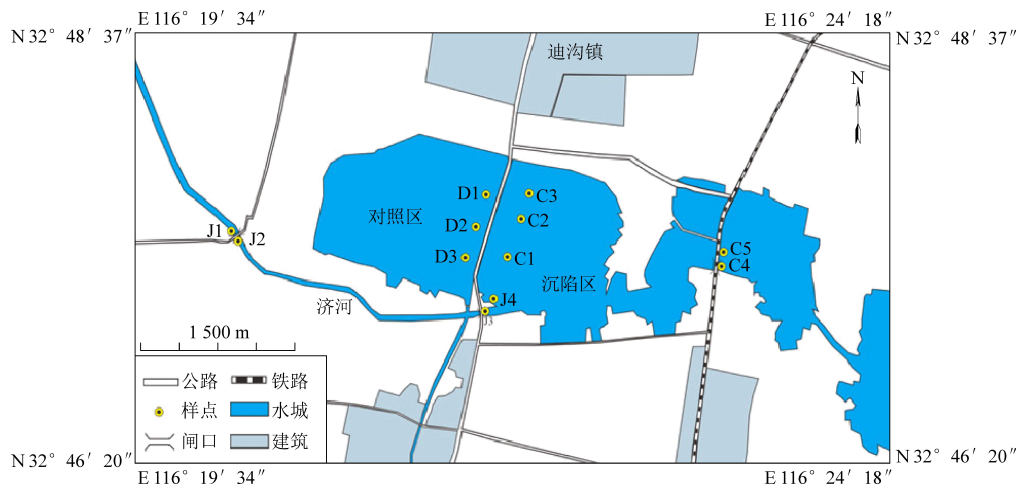


图 1 2019 年 11 月采样点位图

Fig.1 Sampling points in November 2019

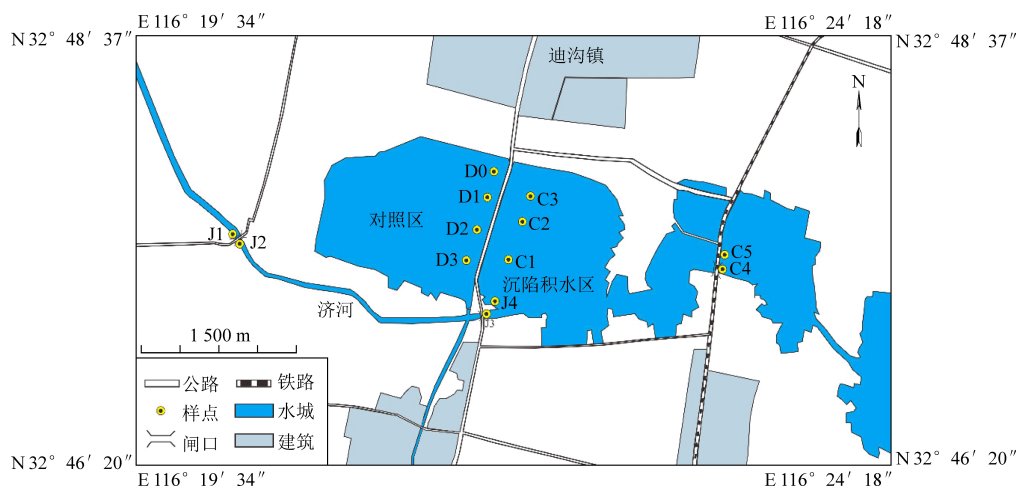


图 2 2020 年 4 月采样点位图

Fig.2 Sampling points in April 2020

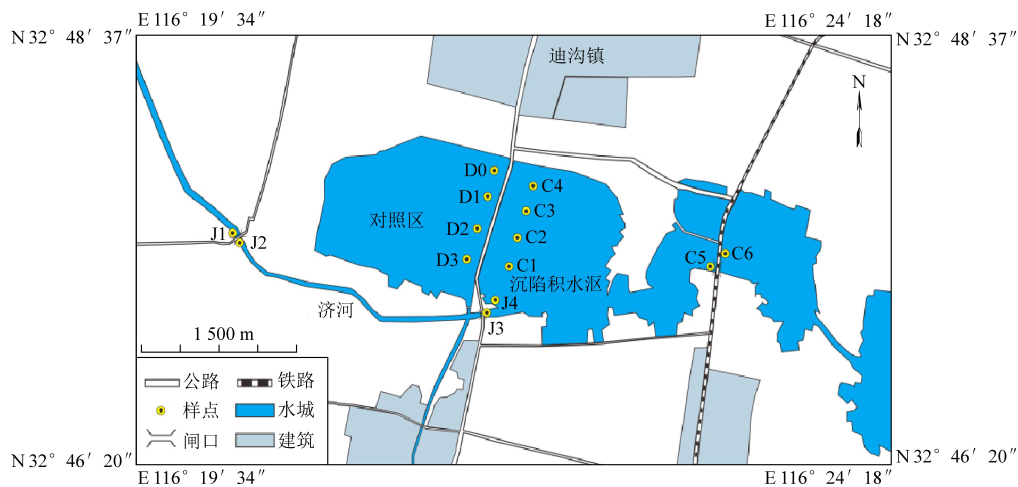


图 3 2020 年 6 月采样点位图

Fig.3 Sampling points in June 2020

个采样点(C1、C2、C3 和 C4),铁路桥桥下 2 个采样点(C5 和 C6),其余点位与 2020 年 4 月点位相同,共计 28 个水样。

1.3 分析方法

研究区水样利用有机玻璃水样采集器进行采集后装入聚乙烯塑料瓶中。氮磷指标测试样品加硫酸酸化至 $\text{pH} < 2$,重金属测试样品每升水加入 10 ml (1+1) 硝酸酸化,运回实验室低温保存并及时检测,样品测试方法均选用国标、行标等规范性标准,其中 Cu、Zn、Pb、Cd 采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS,美国安捷伦)测试,Hg 采用原子荧光(LC-AFS9800,北京海光)和 DMA-80 直接测汞仪完成测试,具体方法参见国家标准^[7]。

2 济河与沉陷水域水质特征分析

2.1 氮、磷等营养盐含量及空间分布特征

2019 年 11 月研究区的氮磷空间分布如图 4

所示。

从图 4 中可以看出,济河 TN 的范围为 0.44~0.74 mg/L,平均值为 0.59 mg/L,沉陷区 TN 的范围为 0.29~0.38 mg/L,平均值为 0.34 mg/L;济河 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的范围为 0.16~0.55 mg/L,平均值为 0.34 mg/L,沉陷区 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的范围为 0.19~0.32 mg/L,平均值为 0.26 mg/L;济河 TP 的范围为 0.04~0.09 mg/L,平均值为 0.07 mg/L,沉陷区 TP 的范围为 0.05~0.10 mg/L,平均值为 0.07 mg/L。济河与沉陷区水体的总氮、总磷和氨氮的含量均满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) III 类标准限值^[8],其中总磷的含量可以达到 II 类标准限值。从各采样点的氮磷含量对比分析,沉陷区和济河水体的总磷和氨氮的含量差异不大,济河总氮的含量也只是略高于沉陷区水体。从 C1、C2、C3、J3、J4 各点氮磷分布情况来看,TN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 出现距离济河越近,含量越低,说明沉陷水域中 TN 和

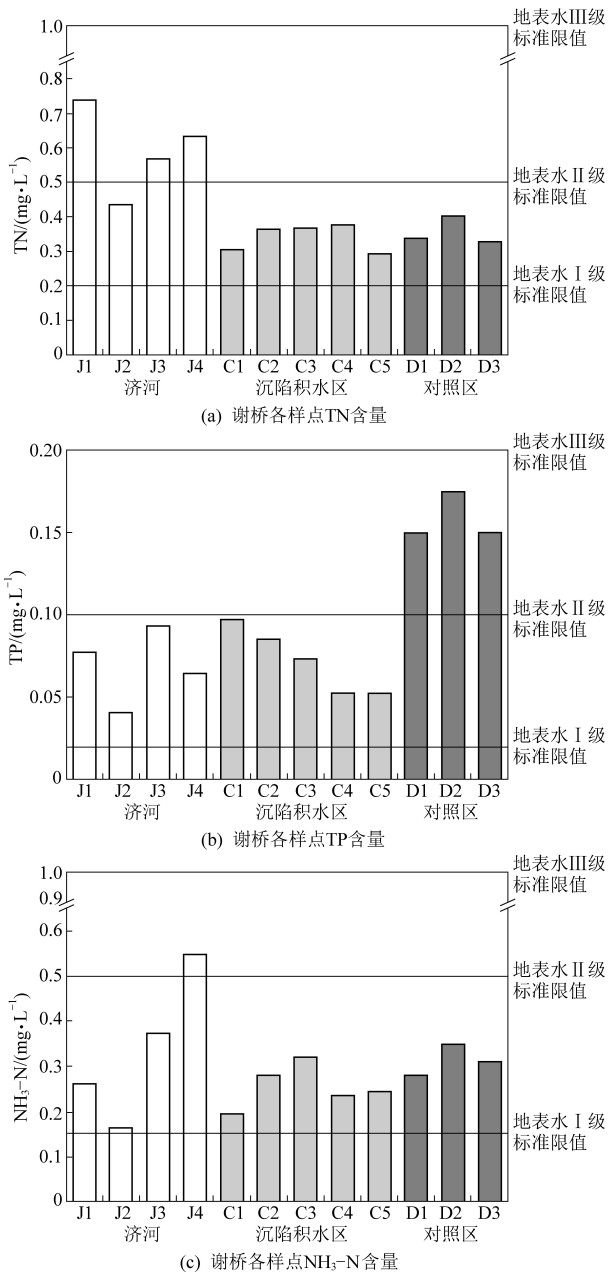


图4 2019年11月研究区氮磷的空间分布

Fig.4 Spatial distribution of nitrogen and phosphorus in the study areas in November 2019

NH₃-N 的主要受周边的面源影响。郑刘根等^[5]对淮南后湖采煤沉陷区的研究也发现,靠近农田的沉陷区水体表现出 TN、NH₃-N 含量高于其他沉陷区域,而济河与沉陷水域的贯通,对沉陷水域的 TN 和 NH₃-N 具有一定的降解净化作用。而 TP 表现为离济河越近、含量越高,但数值之间差异不大,说明济河对沉陷水域中的 TP 增大存在一定的影响,但影响有限;同时对比对照区 D1、D2、D3 发现,对照区中的 TP 含量要远高于济河和沉陷水域,说明 TP 更易在封闭水域中积累,虽然济河会给沉陷水域中带来一定 TP,但通过水体交换也会

带走沉陷水域中的 TP,从而避免 TP 在沉陷水体中的富集。

2020年4月研究区的氮磷空间分布如图5所示。

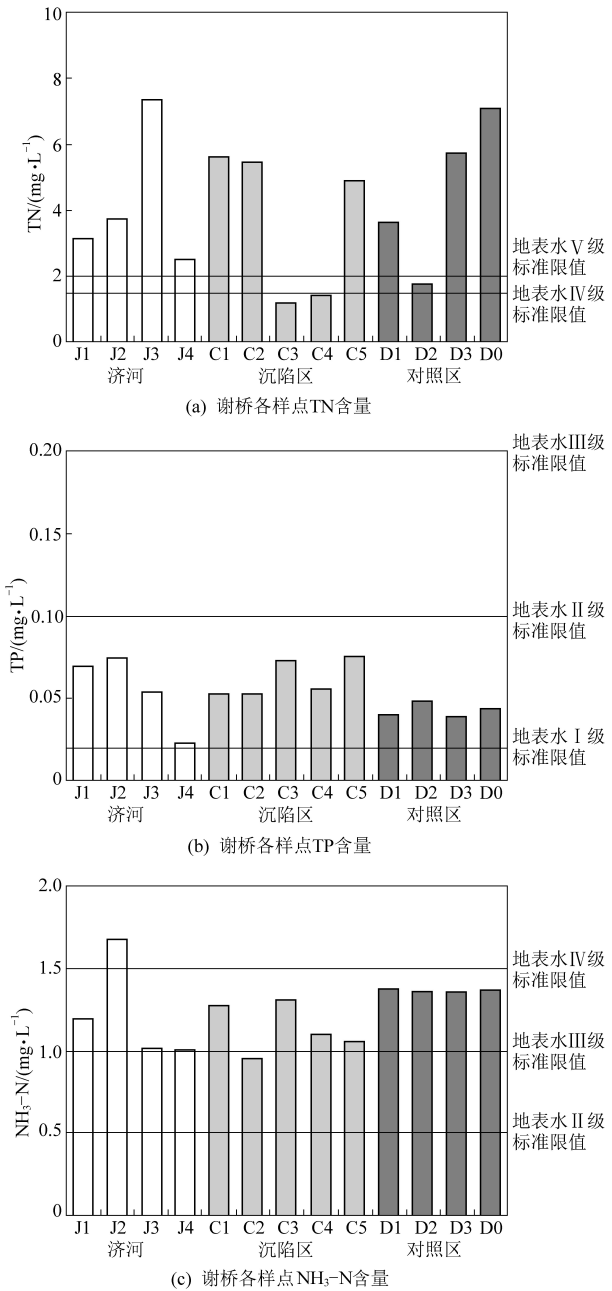


图5 2020年4月研究区氮磷的空间分布

Fig.5 Spatial distribution of nitrogen and phosphorus in the study areas in April 2020

从图5中可以看出,济河 TN 的范围为 1.43~7.33 mg/L,平均值为 3.83 mg/L,沉陷区 TN 的范围为 1.19~5.58 mg/L,平均值为 4.07 mg/L;济河 NH₃-N 的范围为 1.01~1.67 mg/L,平均值为 1.17 mg/L,沉陷区 NH₃-N 的范围为 0.95~1.31 mg/L,平均值为 1.18 mg/L;济河 TP 的范围为 0.02~0.08

mg/L, 平均值为 0.05 mg/L, 沉陷区 TP 的范围为 0.05~0.09 mg/L, 平均值为 0.07 mg/L。济河与沉陷区水体的总氮、总磷和氨氮的含量基本处于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) II~V 类标准限值^[8], 其中总磷的含量可以达到 II 类标准限值。对各采样点的氮磷含量进行对比分析, 沉陷区中总氮、总磷和氨氮的含量对济河中的含量占比分别为 1.06、1.40、1.01, 沉陷区和济河水体总氮、总磷和氨氮的含量差异均不大。从 C1、C2、C3、J3、J4 各点氮磷分布情况来看, 此时段沉陷水域和济河水质变化波动较小, 氮磷含量较为稳定, TN、TP、NH₃-N 的含量与

离济河的距离并未呈现出明显的变化关系, 说明济河和沉陷水域的氮磷主要还是受周边的面源影响^[10], 济河对沉陷水域水体的影响有限。

2020 年 6 月研究区的氮磷空间分布如图 6 所示。

从图 6 中可以看出, 济河 TN 的范围为 3.43~6.33 mg/L, 平均值为 4.68 mg/L, 沉陷区 TN 的范围为 2.46~5.55 mg/L, 平均值为 4.31 mg/L; 济河 NH₃-N 的范围为 1.27~1.42 mg/L, 平均值为 1.36 mg/L, 沉陷区 NH₃-N 的范围为 1.15~1.26 mg/L, 平均值为 1.20 mg/L; 济河 TP 的范围为 0.03~0.08 mg/L, 平均值为 0.06 mg/L, 沉陷区 TP 的范围为 0.04~0.08 mg/L, 平均值为 0.05 mg/L。济河与沉陷区水体的总磷和氨氮的含量基本满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) III~IV 类标准限值^[8], 但总氮含量已达到 V 类标准限值。对各采样点的氮磷含量进行对比分析, 沉陷区中总氮、总磷和氨氮的含量对济河中的含量占比分别为 0.92、0.83、0.88, 沉陷区和济河水体总氮、总磷和氨氮的含量差异均不大。从 C1、C2、C3、J3、J4 各点氮磷分布情况来看, TN、TP、NH₃-N 含量与离济河的距离也未呈现出明显的变化关系。考虑到此时已进入了汛期, 济河与沉陷水域均会受到周边面源较大影响, 同时济河与沉陷水域较前一时段水位已有较大提升, 济河与沉陷水域水体已产生较大程度的交换, 但从数值上来看其水质情况相对良好, TP、NH₃-N 均在《地表水环境质量标准》IV 类水标准^[8]范围内。

2.2 重金属含量及空间分布特征

2019 年 11 月研究区重金属的空间分布情况如图 7 所示。

从图 7 中可以看出, 济河水体中的重金属含量基本是小于沉陷区, 这与王国强等^[11]对两淮采煤沉陷区煤矸石充填危害研究成果相一致, 其研究指出矸石淋溶液中的重金属 Pb、Cu、Zn 等会对周围接纳水体产生污染, 从而导致沉陷水域重金属含量要高于一般地表径流。从数值上来看, 济河与沉陷区水体中 Cu 含量范围分别为 11.40~14.10 μg/L、10.80~25.72 μg/L, 平均值分别为 12.36 μg/L、18.01 μg/L, Zn 含量范围分别为 0.87~0.95 mg/L、0.90~1.19 mg/L, 平均值分别为 0.93 mg/L、1.06 mg/L, Pb 含量范围分别为 5.44~11.10 μg/L、8.62~48.65 μg/L, 平均值分别为 8.13 μg/L、23.80 μg/L, Cd 含量范围分别为 0.41~0.90 μg/L、0.45~

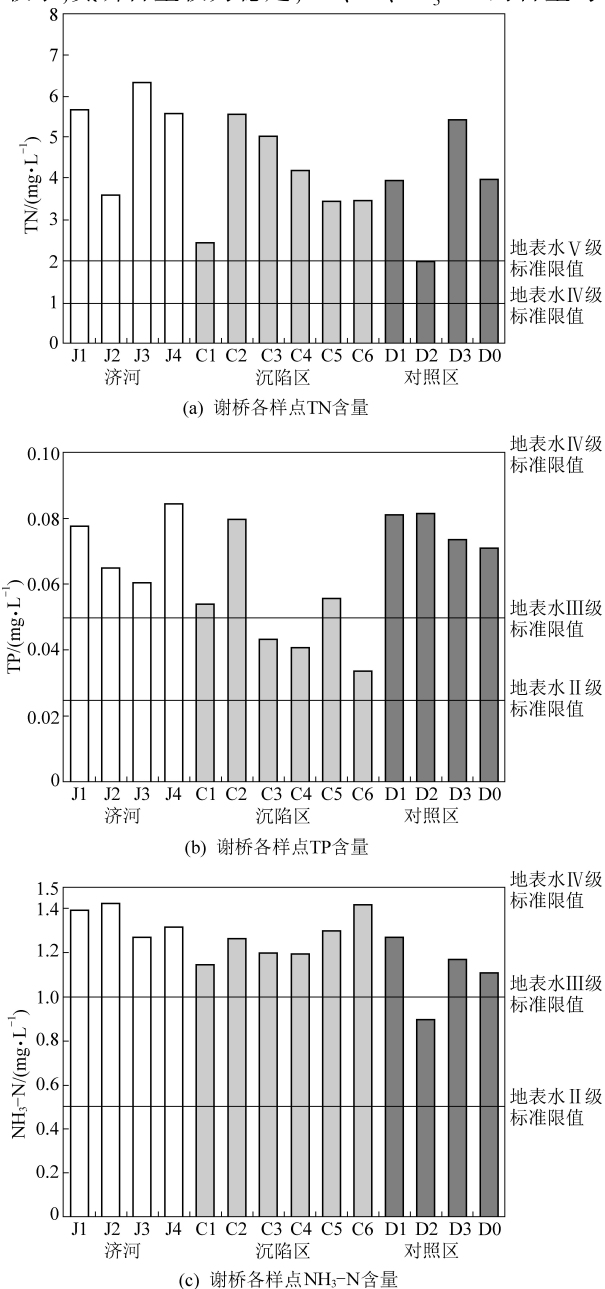


图 6 2020 年 6 月研究区氮磷的空间分布

Fig.6 Spatial distribution of nitrogen and phosphorus in the study areas in June 2020

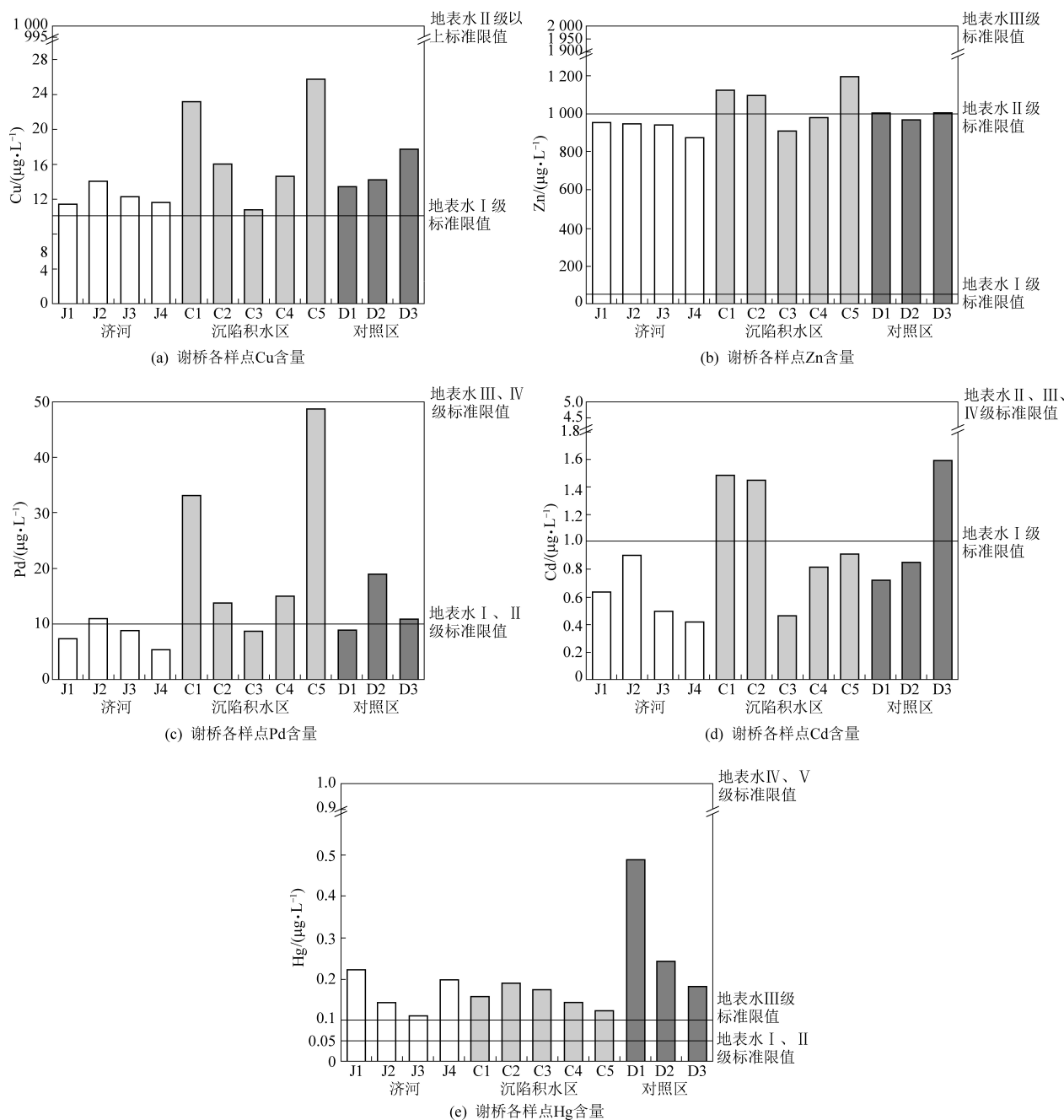


图 7 2019 年 11 月研究区重金属的空间分布

Fig.7 Spatial distribution of heavy metals in the study areas in November 2019

1.44 $\mu\text{g/L}$, 平均值分别为 0.61 $\mu\text{g/L}$ 、0.82 $\mu\text{g/L}$, Hg 含量范围分别为 0.11~0.22 $\mu\text{g/L}$ 、0.12~0.19 $\mu\text{g/L}$, 平均值分别为 0.17 $\mu\text{g/L}$ 、0.16 $\mu\text{g/L}$ 。研究区中 Hg 含量满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类^[8]水质要求, Cu 和 Cd 含量满足 II 类水质要求, Zn 和 Pb 的含量满足 III 类水质要求。结合 C1、C2、C3、J3、J4 各点重金属分布情况来看, Cd 和 Hg 在济河和沉陷水域中的含量基本相当, 没有表现出明显的差异, 但 Cu、Zn 和 Pb 的含量均是济河小于沉陷水域, 济河水汇入沉陷水

域可稀释降低沉陷水域中重金属的含量, 对沉陷区水质改善起到正向促进作用。

2020 年 4 月研究区重金属的空间分布情况如图 8 所示。

从图 8 中可以看出, 济河与沉陷区水体中 Cu 含量范围分别为 5.84~15.81 $\mu\text{g/L}$ 、10.63~13.90 $\mu\text{g/L}$, 平均值分别为 9.68 $\mu\text{g/L}$ 、12.09 $\mu\text{g/L}$, Zn 含量范围分别为 0.14~1.97 mg/L、0.31~1.35 mg/L, 平均值分别为 0.59 mg/L、0.92 mg/L, Pb 含量范围分别为 4.67~7.39 $\mu\text{g/L}$ 、5.02~9.63 $\mu\text{g/L}$, 平均值

分别为 $6.01 \mu\text{g/L}$ 、 $7.33 \mu\text{g/L}$ ，Cd 含量范围分别为 $1.11 \sim 7.34 \mu\text{g/L}$ 、 $1.10 \sim 6.96 \mu\text{g/L}$ ，平均值分别为 $3.53 \mu\text{g/L}$ 、 $4.07 \mu\text{g/L}$ ，Hg 含量范围分别为 $0.14 \sim 0.18 \mu\text{g/L}$ 、 $0.16 \sim 0.19 \mu\text{g/L}$ ，平均值分别为 $0.16 \mu\text{g/L}$ 、 $0.17 \mu\text{g/L}$ 。Cu、Zn、Pb 含量基本满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) II 类水质要求，Cd 和 Hg 的含量基本满足《地表水环境质量标准》IV 类^[8]水质要求。结合 C1、C2、C3、J3、J4 各

点重金属分布情况来看，虽然 Pb 和 Hg 没有表现出明显的规律性，但 Cu、Zn 和 Cd 均表现出距离济河越近含量越低的规律，说明济河水的流动对沉陷区水质改善起到正向促进作用，可稀释降低沉陷水域中重金属的含量。

2020 年 4 月研究区重金属的空间分布情况如图 9 所示。

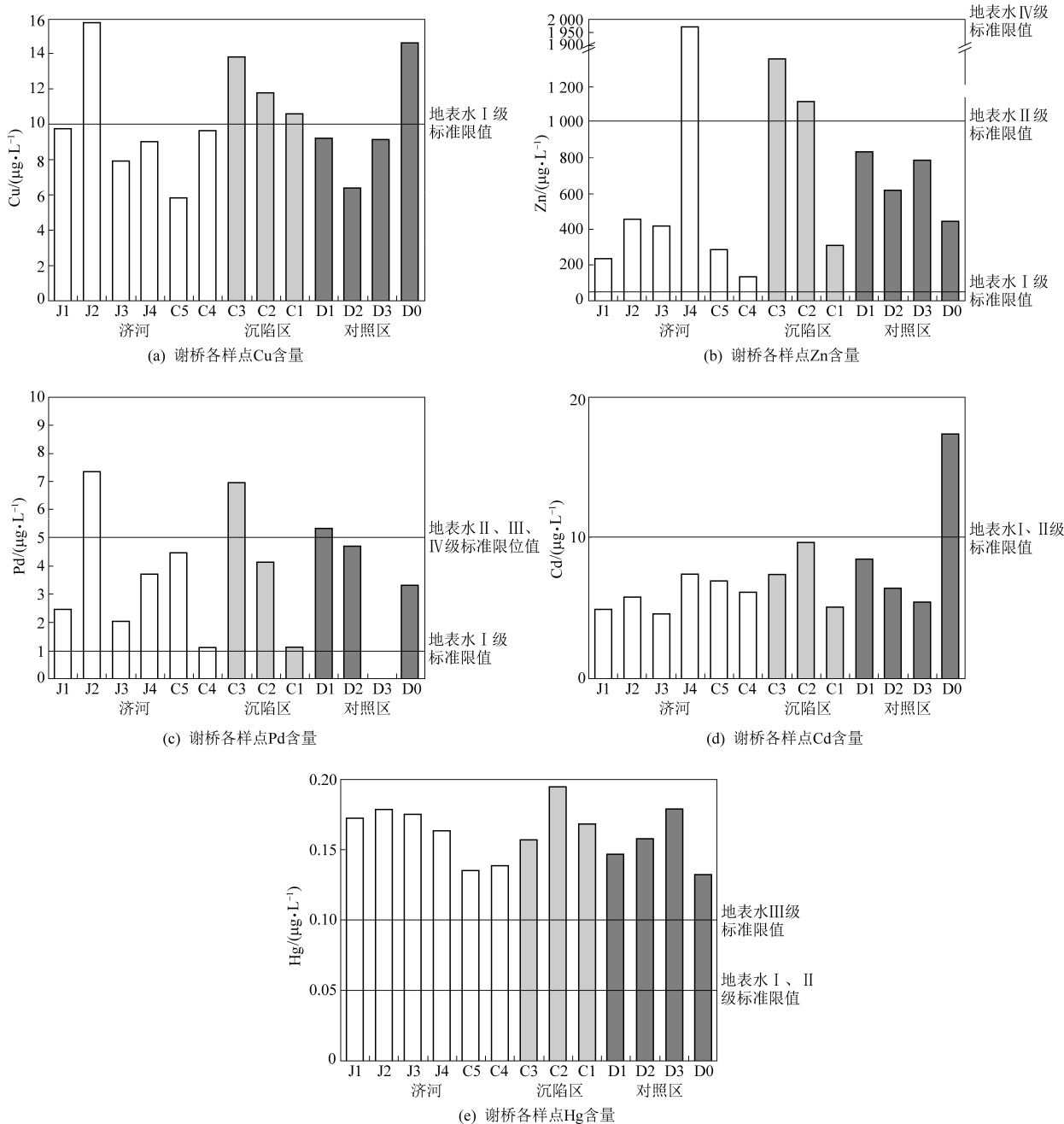


图 8 2020 年 4 月研究区重金属的空间分布

Fig.8 Spatial distribution of heavy metals in the study areas in April 2020

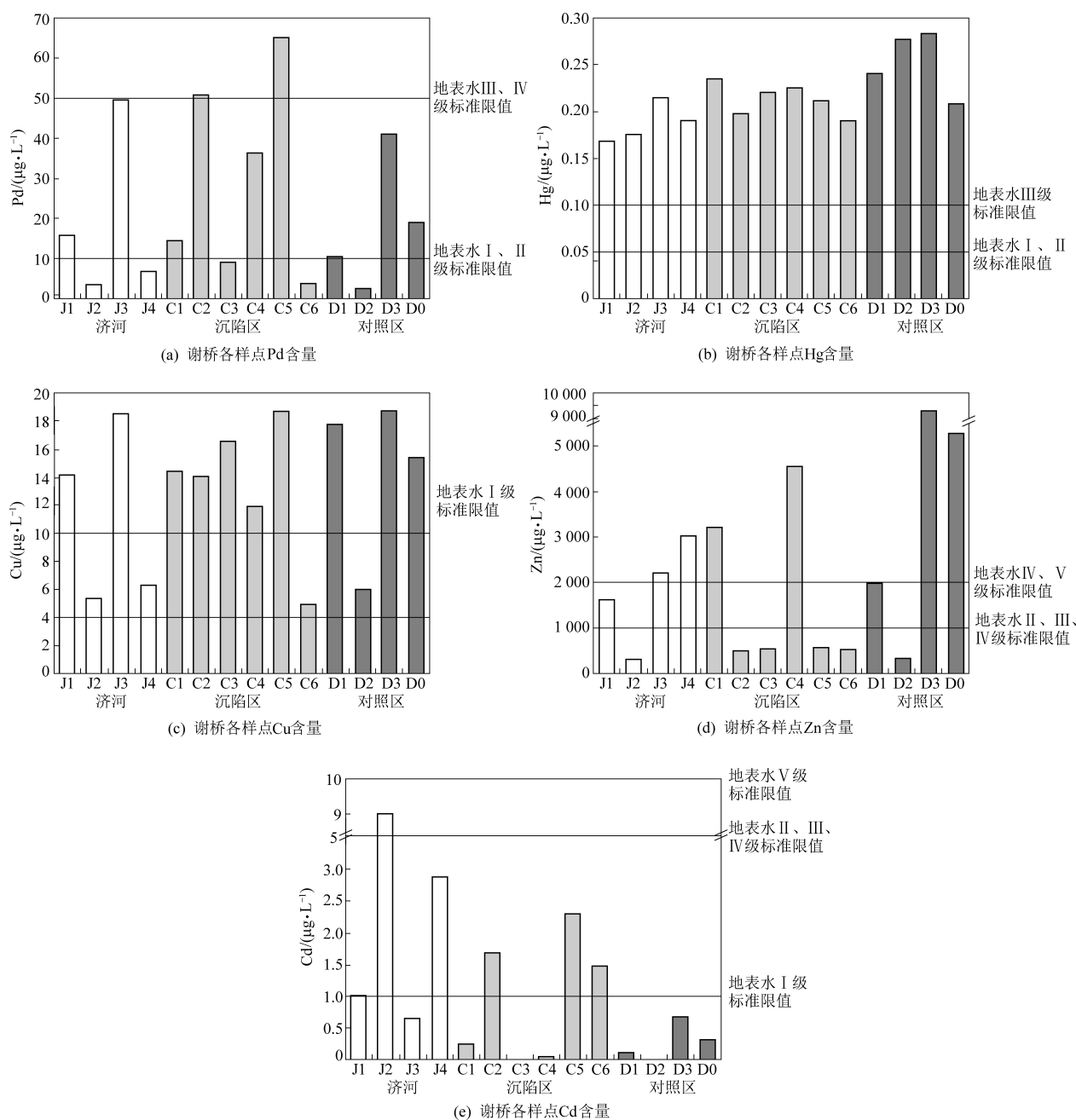


图9 2020年6月研究区重金属的空间分布

Fig.9 Spatial distribution of heavy metals in the study areas in June 2020

从图9中可以看出,济河与沉陷区水体中Cu含量范围分别为4.93~18.68 $\mu\text{g/L}$ 、5.36~16.44 $\mu\text{g/L}$,平均值分别为11.31 $\mu\text{g/L}$ 、14.20 $\mu\text{g/L}$,Zn含量范围分别为0.29~3.00 mg/L 、0.29~4.53 mg/L ,平均值分别为1.37 $\mu\text{g/L}$ 、2.18 mg/L ,Pb含量范围分别为3.45~64.96 $\mu\text{g/L}$ 、3.45~50.64 $\mu\text{g/L}$,平均值分别为24.06 $\mu\text{g/L}$ 、27.52 $\mu\text{g/L}$,Cd含量范围分别为0.66~9.03 $\mu\text{g/L}$ 、0.01~1.69 $\mu\text{g/L}$,平均值分别为2.89 $\mu\text{g/L}$ 、0.50 $\mu\text{g/L}$,Hg含量范围分别为0.17~0.22 $\mu\text{g/L}$ 、0.18~0.24 $\mu\text{g/L}$,平均值分别为0.19 $\mu\text{g/L}$ 、0.22 $\mu\text{g/L}$ 。Cu和Pb含量满足《地表

水环境质量标准》(GB 3838—2002) I~II类^[8]水质要求,Cd和Hg的含量满足III类水质要求,Zn出现超过V类水标准限值。结合C1、C2、C3、J3、J4各点重金属分布情况来看,济河与沉陷水域均表现出Hg含量较为均匀,Pb、Cd和Zn含量呈现出较大波动,而Cu含量则表现为在沉陷水域分布较均匀、在济河分布呈现较大波动。同时,重金属含量并未在与济河的距离上表现出有明显的规律性,探其原因一是受雨季降水影响,二是受济河与沉陷水域水体交换影响,从而导致济河与沉陷水域水质产生较大波动,但除了Zn元素出现超过

《地表水环境质量标准》V 类的情况外,其他重金属含量均较低,水质状况较好。

3 综合水质标识指数评价分析

综合水质标识指数^[12-13]由四到五位有效数字组成,表示为

$$I_{wq}=X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$$

式中, X_1 表示整体水质类别; X_2 为综合水质在 X_1 类水质区间所处位置; X_3 为劣于功能区目标水质的单因子个数; X_4 为综合水质类别与功能区目标水质的比较结果,为一位或两位有效数字。

本研究各点位数据标准差 S 和变异系数 C_v 的计算方法为:

$$\text{标准差: } S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\text{变异系数: } C_v = \frac{S}{\bar{x}}$$

式中: x_i 为某指标第 i 个样点数值; $\bar{x}$ 为某指标的算术平均值; n 为某指标的样点个数。

通过综合水质标识指数 I_{wq} 的整数位和小数点后第一位 $X_1 \cdot X_2$,可以判定综合水质级别,判断关系见表 1。

表 1 基于综合水质标识指数的综合水质级别判定
Table 1 Comprehensive water quality grade determination based on comprehensive water quality identification index

判断依据	综合水质级别
$1.0 \leq X_1 \cdot X_2 \leq 2.0$	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
$X_1 \cdot X_2 > 7.0$	劣 V 类,并黑臭

通过利用综合水质标识指数法对三期水体数据进行分析,其结果见表 2、表 3 和表 4。

由表 2 可知,2019 年 11 月,济河和沉陷区各采样点的 I_{wq} 均满足《地表水环境质量标准》II 类水质要求,水质良好。济河、沉陷区、对照区的 I_{wq} 满足:济河 (2.230) < 沉陷区 (2.540) < 对照区 (2.640),说明济河水质优于沉陷区水质,济河水对沉陷区的汇入对沉陷区水有正向影响,并未使沉陷区水质出现恶化情况。同时,对照区水质相对较差,可能与对照区受交通和渔业养殖等人类

表 2 2019 年 11 月研究区综合水质标识指数评价结果
Table 2 Evaluation results of comprehensive water quality identification index in the study areas in November 2019

采样点	综合水质标识指数	采样点	综合水质标识指数
J1	2.320	C5	2.540
J2	2.320	D1	2.530
J3	2.320	D2	2.730
J4	2.550	D3	2.840
C1	2.750	济河	2.230
C2	2.850	沉陷区	2.540
C3	2.430	对照区	2.640
C4	2.430		

活动影响较大有关。在济河与沉陷区交汇水域的水质状况表现为 $J3 (2.320) < J4 (2.550) < C1 (2.750) < C2 (2.850)$,并未出现离济河越近的采样点水质越差,说明随着济河与沉陷区间坝体的沉陷,济河水体并未对沉陷区水体产生恶化影响。

表 3 2020 年 4 月研究区综合水质标识指数评价结果
Table 3 Evaluation results of comprehensive water quality identification index in the study areas in April 2020

采样点	综合水质标识指数	采样点	综合水质标识指数
J1	2.840	C5	3.040
J2	3.760	D1	3.550
J3	2.840	D2	2.830
J4	3.450	D3	3.130
C1	3.040	D0	3.330
C2	3.240	济河	3.450
C3	3.770	沉陷区	3.650
C4	2.740	对照区	3.230

由表 3 可知,2020 年 4 月,济河和沉陷区各采样点的 I_{wq} 均满足《地表水环境质量标准》III 类^[8]水质要求,水质良好。济河、沉陷区、对照区的 I_{wq} 满足:对照区 (3.230) < 济河 (3.450) < 沉陷区 (3.650),表明 2020 年 4 月济河水体整体要略好于沉陷区水体,随着济河水流入沉陷区,并不会引起沉陷区水体出现恶化情况。同时,在济河与沉陷区交汇水域的水质状况表现为 $J3 (2.840) < C1 (3.040) < C2 (3.240) < J4 (3.450) < C3 (3.770)$,也并未出现距离济河越近,水质越差,说明随着济河与沉陷区间坝体的沉陷,济河水体并未对沉陷区水体产生恶化影响,两者水质整体差异不大。

由表 4 可知,2020 年 6 月,济河和沉陷区各采样点的 I_{wq} 均为《地表水环境质量标准》IV 类^[8]水质要求。济河、沉陷区、对照区的 I_{wq} 满足:沉

陷区

表 4 2020 年 6 月研究区综合水质标识指数评价结果

Table 4 Evaluation results of comprehensive water quality identification index in the study areas in June 2020

采样点	综合水质标识指数	采样点	综合水质标识指数
D0	4.471	J2	4.271
D1	3.850	J3	4.381
D2	4.771	J4	4.070
D3	4.571	J5	4.271
C1	3.970	J6	3.550
C2	4.371	对照区	4.471
C3	4.151	沉陷区	4.171
C4	4.161	济河	4.371
J1	4.271		

(4.171)<济河(4.371)<对照区(4.471),整体均处为 IV 类水质。对比三期的水质情况,发现 2020 年 6 月水质整体相对较差,考虑可能与 2020 年 6 月研究区持续降雨,沉陷水域受周边地表雨水汇集影响有关。从个点在济河与沉陷区交汇水域的水质状况表现为 C1(3.970)<J4(4.070)<C2(4.371)<J3(4.381),也并未出现距离济河越近,水质越差。说明随着济河与沉陷区间坝体的沉陷,济河水体并未对沉陷区水体产生影响。

4 结论

通过对济河与谢桥矿沉陷水域水体水质中的氮磷等富营养化指标及铜铅铬等重金属指标的含量特征、时空分布及变化趋势进行分析,得出结论:

(1)济河和沉陷水域的氮磷主要受周边的面源影响,济河对沉陷水域氮磷指标的影响有限;

(2)TN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量随着时间推进,均呈现上升趋势,在雨季时达到最大值,此时沉陷区和济河 TN 分别达 5.55 mg/L 和 6.33 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 分别达 1.27 mg/L 和 1.42 mg/L;

(3)在三期数据中,沉陷水域中 Cu、Zn、Pb 含量均高于济河,说明对于重金属指标沉陷水域是要劣于济河,济河与沉陷水域的水体交换和水力联系对沉陷区水质改善起到正向促进作用,可稀

释降低沉陷水域中重金属的含量;

(4)在雨季沉陷水域水质产生较大波动,主要是受雨季降水和与济河水体进行交换影响;

(5)通过进行综合因子水质指标评价确定:济河和沉陷区水体在 2019 年 11 月、2020 年 4 月均满足《地表水环境质量标准》III 类^[8]水质要求,且济河水质优于沉陷区水质,济河对改善沉陷区水质具有净化的正向影响;在 2020 年 6 月,济河与沉陷水域处于相同水质类别,且均满足地表水 IV 类水质要求。

参考文献

- [1] 郭劲松,龙腾锐,霍国友,等.四种水质综合评价方法的比较[J].重庆建筑大学学报,2000,22(4):6-12.
- [2] 胡成,苏丹.综合水质标识指数法在浑河水质评价中的应用[J].生态环境学报,2011,20(1):186-192.
- [3] 刘彩虹,徐力刚,高海鹰.河流水质评价方法及其研究进展[J].河海大学学报(自然科学版),2010,38(2):290-293.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 陆卫军,张涛.几种河流水质评价方法的比较分析[J].环境科学与管理,2009,34(6):174-176.
- [7] 国家环保总局.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,2002:246-395.
- [8] 国家环境保护总局.地表水环境质量标准:GB 3838—2002[S].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [9] 郑刘根,刘响响,程桦,等.非稳沉采煤沉陷区沉积物-水体界面的氮、磷分布及迁移转化特征[J].湖泊科学,2016,28(1):86-93.
- [10] 刘响响,程桦,郑刘根,等.淮南采煤沉陷水体中氮磷的分布特征及环境意义[J].中国科学技术大学学报,2014,44(11):926-932.
- [11] 王国强,赵华宏,吴道祥,等.两淮矿区煤矸石的卫生填埋与生态恢复[J].煤炭学报,2001,26(4):428-431.
- [12] 君珊,白凯,李魁,等.综合水质标识指数法在海拉尔河水质评价中的应用研究[J].环境科学与管理,2017,42(4):171-176.
- [13] 张欢,纪桂霞.综合水质标识指数法在公园湖泊水质评价中的应用[J].水资源与水工程学报,2012,23(2):146-150.