

淮南采煤沉陷水体中氮磷的分布特征及环境意义

刘响响¹, 程桦¹, 郑刘根¹, 姜春露¹, 李超¹, 陈永春², 安士凯²

(1. 安徽大学资源与环境工程学院, 矿山环境修复与湿地生态安全协同创新中心, 安徽合肥 230601;

2. 煤矿生态环境保护国家工程实验室, 安徽淮南 232001)

摘要:煤炭资源的大规模开采, 导致高潜水位采煤沉陷区积水面积迅速扩展. 以淮南市7个矿区典型的采煤沉陷水体为研究对象, 测试分析了水体中氮、磷等水质指标并进行了水质评价. 结果表明: ①研究区沉陷水塘的总氮(TN)、氨氮(NH_4^+-N)、硝态氮(NO_3^--N)与总磷(TP)的平均值分别是3.04, 0.61, 0.61和0.16 mg/L, 水体的氮磷负荷较为严重; ②沉陷区水体中TN分布为新庄孜矿(5.58 mg/L) > 潘一矿(4.07 mg/L) > 顾桥矿(2.77 mg/L) > 潘三矿(1.79 mg/L) > 朱集和潘北矿(1.47 mg/L) > 潘二矿(1.17 mg/L), TP分布为潘三矿(0.29 mg/L) > 新庄孜和朱集矿(0.20 mg/L) > 顾桥矿(0.17 mg/L) > 潘北矿(0.14 mg/L) > 潘一矿(0.11 mg/L) > 潘二矿(0.05 mg/L), TN分布与沉陷时间具有良好相关性, 而TP分布没有明显规律; ③沉陷区的TN和TP相关性不显著, TN和 NH_4^+-N 具有良好的正相关, 温度、溶解氧、pH与氮磷指标具有一定的相关性, 综合水质标识法评价结果显示, 研究区水体中的氮磷水平基本处于Ⅲ类或者超过Ⅲ类水, 水体中最主要的超标和污染因子是TN, 其次是 NH_4^+-N .

关键词:淮南; 采煤沉陷水体; 氮磷; 分布特征; 综合水质标识指数法; 环境意义

中图分类号: X524 **文献标识码:** A doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2014.11.007

引用格式: Liu Xiangxiang, Cheng Hua, Zheng Liugen, et al. Distribution characteristics and environmental significance of nitrogen and phosphorus in the Huainan coal mining subsidence area[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2014, 44(11): 926-932.

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.

Distribution characteristics and environmental significance of nitrogen and phosphorus in the Huainan coal mining subsidence area

LIU Xiangxiang¹, CHENG Hua¹, ZHENG Liugen¹, JIANG Chunlu¹,
LI Chao¹, CHEN Yongchun², AN Shikai²

(1. School of Resource and Environment Engineering, Collaborative Innovation Center for Mines Environmental Remediation and Wetland Ecological Security, Anhui University, Hefei 230601, China;

2. National Engineering Laboratory of Coal Mine Ecological Environment Protection, Huainan 232001, China)

Abstract: With extensive coal mining, the water coverage of coal mining subsidence areas tends to expand

收稿日期: 2014-05-22; 修回日期: 2014-08-26

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划(2012BAC10B02), 国家自然科学基金(41373108), 煤矿生态环境保护国家工程实验室科技攻关项目(HKKY-JT-JS2012), 安徽省自然科学基金(1208085ME66), 安徽省教育厅重点基金(KJ2012A022)资助.

作者简介: 刘响响, 男, 1989年生, 硕士生. 研究方向: 环境科学与工程. E-mail: xxliu86@163.com

通讯作者: 郑刘根, 博士/副教授. E-mail: lgzheng@ustc.edu.cn

rapidly. Seven typical subsidence water areas in Huainan mining area were selected. Then their water quality indicators were measured, which included total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), ammonia nitrogen (NH_4^+-N), nitrate nitrogen (NO_3^--N), etc., and the water quality was assessed. The results show that: ① the mean contents of TN, NH_4^+-N , NO_3^--N and TP are 3.04, 0.61, 0.61 and 0.16 mg/L, respectively. The nitrogen and phosphorus load was serious in the studied area. ② The distributions of TN in Huainan coal mining subsidence area are: Xinzhuangzi (5.58 mg/L) > Panyi (4.07 mg/L) > Guqiao (2.77 mg/L) > Pansan (1.79 mg/L) > Zhuji and Panbei (1.47 mg/L) > Paner (1.17 mg/L). The distributions of TP are: Pansan (0.29 mg/L) > Xinzhuangzi and Zhuji (0.20 mg/L) > Guqiao (0.17 mg/L) > Panbei (0.14 mg/L) > Panyi (0.11 mg/L) > Paner (0.05 mg/L). The distribution of TN and subsidence time show good positive correlation, while there is no obvious regularity in the distribution of TP. ③ Data analysis indicates that TN and NH_4^+-N have good positive correlation. Temperature, dissolved oxygen, pH have some correlation with nitrogen and phosphorus, respectively. The evaluation results of the comprehensive water quality identification method show that the concentration of nitrogen and phosphorus is basically at level III or below in the water quality standards, and the most important pollution factor is TN, followed by NH_4^+-N .

Key words: Huainan; coalmine subsidence water; nitrogen and phosphorus; spatial distribution; comprehensive water quality identification index; environmental significance

0 引言

煤炭是一次性能源,作为我国的基础能源和化工原料,煤炭在给我们带来巨大经济和社会效益的同时,在开采和利用过程中也会带来一系列的生态和环境问题,其中采煤导致的地表沉陷是最重要的生态环境问题之一^[1-2]. 研究结果显示,我国采煤区沉陷所造成的土地破坏总量目前已达到 400 万 hm^2 ,并且仍以每年 3.3 ~ 4.7 万 hm^2 的速度增加^[3].

淮南市是我国 14 个亿吨煤生产基地之一,而且是典型的高潜水位、煤层群开采矿区,多年的煤炭开采和利用,使全市形成了许多大小不一、年限不同的沉陷水塘,并且沉陷面积也在逐年增加,2010 年采煤沉陷面积为 108 km^2 ,预计 2030 年可达到 340 km^2 . 采煤沉陷水体作为一种新型水体,土地使用原先以农田利用为主,沉陷后在雨水和地表径流的影响下,大量的氮磷营养物质进入水体,并且在以后的开发利用中会继续增加^[4-5]. 近年来,一些学者对采煤沉陷区水体的氮磷营养盐进行过不同程度的关注. 如谢凯等^[6]对淮南潘一矿沉陷区沉积物磷的赋存特征进行过研究,发现磷的形态主要以无机磷为主,自表层而下,各形态磷含量呈逐渐减少的趋势;孟庆俊^[7]对潘北沉陷区的研究发现,沉陷区水体中的氮磷具有明显的季节变化规律;曲喜杰等^[8]对两

淮主要沉陷区营养盐的研究发现,水体中的氮磷含量总体较大,外源输入是导致水域中氮素过高的主要原因. 目前的研究大多选择某一封闭沉陷单元水体中的氮或者磷作为研究对象,缺乏对整个采煤沉陷区水体中氮磷空间分布特征,以及沉陷区水体中氮磷和沉陷时间、水体不同程度的开发利用之间的相关性的探讨. 本次研究针对以上不足,选取淮南沉陷区不同沉陷积水特点的 7 个典型沉陷水体,在现场调查的基础上,通过系统的采样及测试,探讨该区域沉陷水体中氮磷的空间分布,以及氮磷和沉陷时间、水体开发利用之间的关系,揭示其环境意义,为高潜水位、煤层群开采沉陷区水体综合治理和开发利用提供理论支撑.

1 研究区概况

淮南市位于淮河中游,煤矿区分布在淮河南北两岸. 淮河以南为老矿区,主要包括新庄孜矿、谢一矿、李嘴孜矿、李一矿;淮河以北为新矿区,从西到东,分布了谢桥矿、张集矿、顾北矿、顾桥矿、丁集矿、朱集矿、潘四矿、潘三矿、潘一矿、潘二矿和后备资源区. 由于淮南市地跨淮河两岸,河网众多,再加上高潜水位,采煤所形成的沉陷坑很容易长期积水成为沉陷水塘.

本次研究针对淮南矿区不同沉陷积水区特点,分别选择沉陷时间不同的新庄孜矿、顾桥矿、潘一

矿、潘二矿、潘三矿、潘北矿和朱集矿采煤沉陷区水体为研究对象,研究区采样点分布如图 1 所示。

2 样品的采集和测试

参照《水和废水监测分析方法》(第四版)^[9],于 2013 年 10 月对 7 个矿区的沉陷水体进行了现场调研和采样,不同矿区沉陷水域的情况介绍见表 1。采样点在沉陷水域内均匀布设,根据沉陷塘的面积和实际情况,每个沉陷水域的水样数在 3 到 13 个不等,共采集 61 个样品,利用 GPS 进行定位记录。水样装入聚乙烯瓶中,加硫酸酸化至 $\text{pH} < 2$,运回实验室低温保存、及时检测。

现场采样过程中测试了水温($T/^{\circ}\text{C}$)、溶解氧(DO)和 pH 值;样品中总氮(TN)、氨氮($\text{NH}_4^{+}-\text{N}$)、硝态氮($\text{NO}_3^{-}-\text{N}$)和总磷(TP)指标在实验室室

内测试,具体方法参考国家标准^[9]。

3 结果和讨论

3.1 氮磷等指标的含量

表 2 是对所选取的 7 个矿区沉陷水域的氮磷理化指标的测试结果。统计结果表明:①采煤沉陷区各矿区水体的 pH 值均大于 7,平均值为 8.40,偏碱性,在国家标准(6.5~8.5)的正常范围内。②水体中的溶解氧平均值 9.60 mg/L,较为丰富,其中新庄孜和潘北沉陷塘中 DO 均值较低,分别为 8.51 mg/L 和 8.12 mg/L,主要原因是沉陷水塘的渔业开发,过度的鱼类养殖会大量消耗水中的溶解氧,导致沉陷水体中溶解氧较低^[5]。③研究区水体中 TN 平均含量为 3.04 mg/L,超过《地表水环境水质标准》中规定的 V 类水(2.0 mg/L)52%,TP 平均含量为 0.16

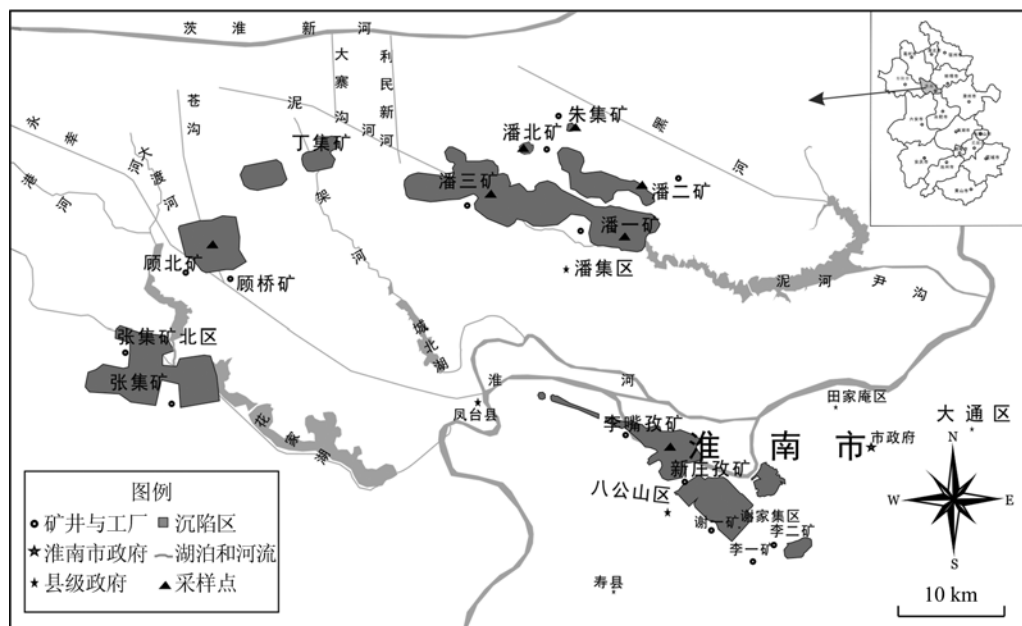


图 1 研究区采样点示意图

Fig. 1 Map of the sampling site in the studied area

表 1 采样矿区沉陷水体的基本情况

Tab. 1 The basic information of sampling waters in the coal mining subsidence

采样地	投产时间/a	沉陷时间/a	沉陷面积/ km^2	最大下沉/m	水塘周围环境	用途
新庄孜	1947	50 多	0.24	13	养猪、牛、鸡等;土地复垦用地	矿业和生活污水排放、养鱼
顾桥矿	2007	5	3.00	6	农田、房舍	养鱼、灌溉
潘一矿	1983	23	18.82	3	临近农田、煤矸石山	养鱼、灌溉、污水排放
潘二矿	1989	10 多	9.21	6	农田	养鱼、灌溉
潘三矿	1992	10 多	21.87	4	农田	养鱼、灌溉
潘北矿	2008	5	0.86	3	农田	养鱼
朱集矿	2012	1	0.20	3	农田	灌溉、污水排放

表 2 沉陷水体理化测试结果

Tab. 2 Monitoring results of water samples from the coal mining subsidence

项目	采样数 /个	T/℃	DO /(mg·L ⁻¹)	pH	TN /(mg·L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N /(mg·L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N /(mg·L ⁻¹)	TP /(mg·L ⁻¹)	N/P
新庄孜	13	17.48	8.51	8.38	5.58	0.39	0.02	0.20	27.90
顾桥矿	20	18.11	9.68	8.15	2.77	0.54	1.00	0.17	16.29
潘一矿	7	15.11	11.27	8.79	4.07	1.04	2.32	0.11	37.00
潘二矿	9	15.83	10.40	8.77	1.17	0.29	0.10	0.05	23.40
潘三矿	4	17.95	9.70	8.04	1.79	0.55	—	0.29	6.17
潘北矿	5	19.24	8.12	8.57	1.47	1.10	0.06	0.14	10.50
朱集矿	3	16.87	9.62	8.23	1.47	1.38	—	0.20	7.35
最小值		14.50	2.93	7.57	0.98	—	—	—	
最大值		23.00	13.55	8.96	27.20	2.78	2.67	0.56	48.57
平均值		17.31	9.60	8.40	3.04	0.61	0.61	0.16	19.00
标准差		1.84	2.20	0.36	3.39	0.50	0.77	0.14	
变异系数		10.63%	22.92%	4.29%	111.51%	81.97%	126.23%	87.60%	

【注】 “—”表示未检出

mg/L,属于Ⅲ类水标准.一般认为 TN 含量为 0.2 mg/L,TP 含量为 0.02 mg/L 是湖泊富营养化的发生浓度^[10-11].Steiberg 和许海等学者^[12-13]认为氮磷比例与蓝藻的爆发有着紧密的联系,根据藻类的分子式,一般认为 N/P 原子比 16 : 1 是藻类最适宜的氮磷生长比例,过高或过低都会导致磷或者氮成为限制因子.研究区的 TN 和 TP 的平均含量严重超过富营养化的发生浓度,且 N/P 平均为 19 : 1,说明研究区水质有富营养化风险且磷为水体的富营养化限制因子.④研究区水体中氮磷指标变异系数很大,分别是 TN 为 111.51%,NH₄⁺-N 为 81.97%,NO₃⁻-N 为 126.23%和 TP 为 87.60%,说明氮磷在研究区的分布存在很大的差异.

3.2 氮磷分布特征

从图 2 和表 2 可以看出,沉陷区水体的 TN 范围在 0.98~27.20 mg/L,7 个矿区沉陷水塘 TN 含量的大小顺序为新庄孜矿(5.58 mg/L)>潘一矿(4.07 mg/L)>顾桥矿(2.77 mg/L)>潘三矿(1.79 mg/L)>朱集和潘北矿(1.47 mg/L)>潘二矿(1.17 mg/L);TP 范围在 0~0.56 mg/L,从大到小顺序为潘三矿(0.29 mg/L)>新庄孜和朱集矿(0.20 mg/L)>顾桥矿(0.17 mg/L)>潘北矿(0.14 mg/L)>潘一矿(0.11 mg/L)>潘二矿(0.05 mg/L).

结合沉陷水塘实地调查情况,淮南矿区沉陷水体氮磷分布主要有以下特点:①根据表 1 和表 2,新庄孜和潘一矿沉陷时间长,水体开发利用程度广,周边环境复杂,水体中的氮磷明显高于沉陷时间较短的潘二、潘三和潘北矿沉陷区.从图 3 也可以看出沉

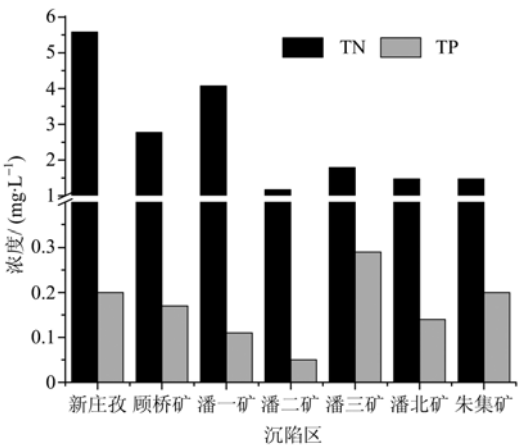


图 2 淮南沉陷区总氮与总磷分布图

Fig. 2 The distribution of TN and TP in Huainan mining subsidence area

陷区水体中的 TN 含量与沉陷时间具有良好的正相关,TP 含量与沉陷时间相关性不明显,说明沉陷塘中的氮素在时间上具有累积性.刘劲松等^[14]和计承富等^[15]在前期的研究中也发现不同矿区沉陷水体中氮、磷的营养指标含量受沉陷积水时间和周边环境的影响明显.②顾桥、潘二、潘三、潘北和朱集各矿区水域沉陷时间较短,处于非稳沉状态,周围是农耕地,这些沉陷时间较短的水体也有明显的富营养化趋势,如表 2 所示.一些研究表明^[16-17],农业非点源污染是导致地表水富营养化的最重要的原因,研究区水体中氮、磷主要是农田施肥和土地径流流失进入水体造成,而指标的差异性可能是作物的种植类型和施肥习惯造成.③沉陷区水体渔业养殖的开发导致水体富营养化严重.研究区除朱集矿沉陷区外,

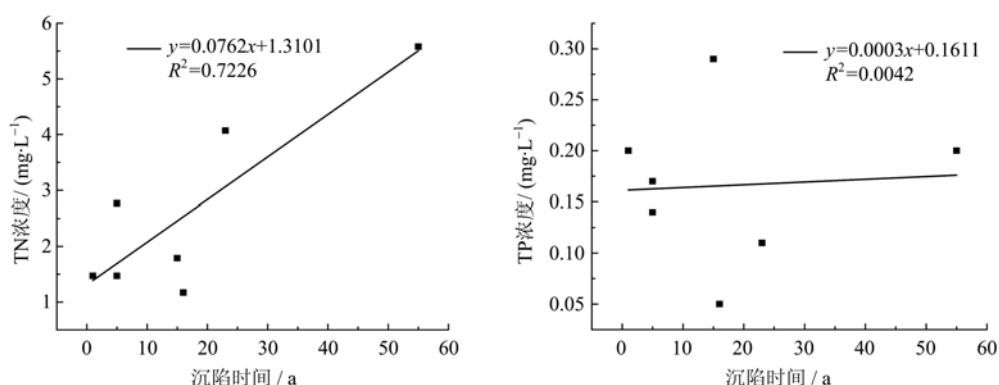


图 3 水体中的氮磷与沉陷时间的关系

Fig. 3 The relationship between concentrations TN and TP in the water and the time of land surface collapse

其他沉陷水体均存在不同程度的渔业养殖开发(表 1). 由于养殖水体投放的饵料真正被水产动物吸收的只占很少一部分,很大一部分会随粪便进入水体从而提高养殖水体的氮磷含量^[18],因此导致采煤沉陷水体中氮磷负荷的增加. 朱集矿 2012 年开始沉陷积水,沉陷时间最短,水体中氮磷及其相关指标也出现高值(其中 TN 为 1.47 mg/L, TP 为 0.20 mg/L, NH_4^+-N 为 1.38 mg/L),实地调查发现该矿沉陷水塘有污水的排入,这可能是导致朱集矿水体短期内氮、磷含量过高的主要原因.

3.3 水体指标相关性分析

通过 spss18.0 分析软件对测得的理化指标进行 Pearson 相关性分析,结果如表 3 所示. 从中可以看出:①温度与溶解氧在 0.01 水平显著负相关,相关系数为 -0.578. 刘春光等^[19]和莫美仙等^[20]认为温度的适当升高会使水生植物光合作用加快,吸收更多的 CO_2 ,从而导致 pH 的升高. 本次研究结果相反,可能是由于矿区沉陷水体受燃煤、生活、生产污水以及周围煤矸石的充填淋滤等影响,导致水体 pH 值的异常,从而使温度与 pH 值呈负相关关系. 溶解氧与 pH 值为显著正相关,相关系数为 0.634.

②总氮与氨氮具有良好的相关性,在 0.01 水平上相关系数为 0.518. 硝态氮与溶解氧显著正相关,当水中氧气提高时就会促使水体中发生更多的硝化反应,生成更多的硝态氮. ③总磷与 pH 呈显著负相关,相关系数为 -0.35. 高丽等^[21]的研究结果表明, pH 的适当改变会使底泥中的铁磷和铝磷更多地释放出磷,水体中磷的含量与 pH 值有着很好的响应.

3.4 水质评价

关于水体的评价模型方法有很多,如综合营养指数法、生物指标参数法、修正的营养指数法、营养度指数法等. 为了对沉陷水体进行主要污染因子的污染程度定量评价,本次评价方法选用综合水质标识指数法^[22-23],使不同因子化为同一量纲进行分析比较.

综合水质标识指数评价法分单因子水质标识指数和综合水质标识指数两步进行,具体计算方法参照文献^[22-23]. 其中单因子水质标识指数 P_i 是由 1 位整数、小数点后 2 位或 3 位小数组成,结构为 $P_i = X_1 X_2 X_3$. 式中, X_1 表示第 i 项水质指标的水质类别; X_2 表示监测数据在 X_1 类水质变化区间中所处的位置; X_3 表示水质类别与功能区划类别的比较结果,为 1 位或 2 位有效数字. 综合水质标识指数由整

表 3 各指标间的相关系数

Tab. 3 Correlation coefficient matrix of various indicators

	T/°C	DO	pH	TN	NH_4^+-N	NO_3^--N	TP
T/°C	1	-0.578**	-0.506**	-0.105	-0.106	-0.231	0.259*
DO		1	0.634**	0.098	0.243	0.282*	-0.217
pH			1	0.044	0.180	0.106	-0.35**
TN				1	0.518**	0.073	0.164
NH_4^+-N					1	0.232	0.048
NO_3^--N						1	-0.092
TP							1

【注】 * 在 0.05 水平上显著相关; ** 在 0.01 水平上显著相关.

数位和 4 位或 5 位小数位组成,其结构为 $I = X_1 X_2 X_3 X_4 X_5$ 。式中, X_1 为水体的综合水质类别; X_2 为综合水质在 X_1 类水质变化区间内所处位置,从而实现在同类水中进行水质优劣比较; X_3 为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 为综合水质类别与水体功能区类别的比较结果,表示综合水质的污染程度, X_4 为 1 位或 2 位有效数字; X_5 为参与评价的因子数量。

依据《地表水环境水质标准(GB3838-2002)》,淮南矿业集团将 7 个矿区沉陷水体进行功能区判定。根据测试结果选取氮磷营养盐指标的 TN, TP 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 共 3 个因子进行单因子评价,如表 4 所示。

表 4 不同沉陷水塘的单因子评价

Tab. 4 Single factor evaluation of different subsidence waters

名称	水体功能区	P_{TN}	P_{TP}	$P_{\text{NH}_4^+ - \text{N}}$
新庄孜	Ⅳ类	7.83	4.00	2.70
顾桥矿	Ⅲ类	6.43	3.70	3.10
潘一矿	Ⅳ类	7.03	3.10	4.10
潘二矿	Ⅲ类	4.31	2.40	4.91
潘三矿	Ⅳ类	5.61	4.90	3.10
潘北矿	Ⅲ类	4.91	3.40	4.21
朱集矿	Ⅲ类	4.91	4.01	4.81

单因子评价结果显示:①每个矿区沉陷塘中 P_{TN} 值均比其他两个指标因子值大,说明 TN 是研究区水体中最主要的污染因子。②朱集矿 P_{TP} 为 4.01,超过它的功能区标准值 4,其余矿区水体中 TP 含量均在目标功能区规定的范围内,但是 P_{TP} 都普遍较大,主要分布在 3 到 4 之间,以Ⅲ和Ⅳ类水为主。而磷作为水体富营养化最重要的限定因子,说明研究区水体有富营养化的风险。③潘二矿、潘北矿和朱集矿的 TN 不仅超标,而且 $P_{\text{NH}_4^+ - \text{N}}$ 值(4.91, 4.21 和 4.81)均超过本矿区水体功能区标准值 4,可以说明氨氮为这几个矿区水体污染的次要因子。

7 个沉陷水塘综合标识指数评价结果显示(表 5):研究区有顾桥矿、潘北矿和朱集矿氮磷未达标,它们的综合指数分别为 4.411, 4.221 3 和 4.631,其余矿区水质氮、磷均达标。其中老矿区的新庄孜综合指数最大,为 4.810 3;沉陷时间最短的朱集矿其综合指数(4.6313)较高,而且未达标数(3)是最多的,分析原因可能是与该沉陷水体污水的排入有关。结合单因子评价的结果得出,研究区水体中未达标的指标项目最多的是 TN,其次是 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$,进一步说明 7 个沉陷水体主要受到氮营养元素的污染。

表 5 不同沉陷水塘的综合水质标识指数法评价结果

Tab. 5 The evaluation results of comprehensive water quality identification index of different subsidence waters

名称	水体功能区	综合评价	评价结果	超标项目数	超标项目
新庄孜	Ⅳ类	4.8103	达标	1	总氮
顾桥矿	Ⅲ类	4.4113	未达标	1	总氮
潘一矿	Ⅳ类	4.7103	达标	1	总氮
潘二矿	Ⅲ类	3.9103	达标	1	总氮、氨氮
潘三矿	Ⅳ类	4.5103	达标	1	总氮
潘北矿	Ⅲ类	4.2213	未达标	2	总氮、氨氮
朱集矿	Ⅲ类	4.6313	未达标	3	总氮、总磷、氨氮

4 结论

(Ⅰ) 7 个沉陷水塘因为沉陷时间、周围环境以及用途的不同,氮磷的含量分布差异较大,沉陷区水体的氮磷平均含量均超过水体富营养化的发生浓度,水体中氮磷负荷较为严重。

(Ⅱ) 不合理的开发和污水排入是导致沉陷区水体中氮磷短时间增加的重要原因。根据相关性结果,沉陷水塘的氮磷不具有同源性,水体中氮磷来源复杂,外源性污染严重。

(Ⅲ) 综合标识指数法评价结果显示,研究区的水体的富营养化污染主要受到氮素的影响,结合氮磷比发现磷是沉陷区水体的主控因子,因此磷元素是下阶段淮南沉陷区氮磷营养盐防控的关键。

参考文献 (References)

- [1] Fan Yinggong, Lu Zhaohua, Cheng Jianlong, et al. Major ecological and environmental problems and the ecological reconstruction technologies of the coal mining areas in China[J]. Acta Ecologica, 2003, 23(10): 2 144-2 152.
范英宏, 陆兆华, 程建龙, 等. 中国煤矿区主要生态环境问题及生态重建技术[J]. 生态学报, 2003, 23(10): 2 144-2 152.
- [2] Li Xinju, Hu Zhengqi, Li Jing, et al. Research progress of reclaimed soil quality in mining subsidence area[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(6): 276-280.
李新举, 胡振琪, 李晶, 等. 采煤塌陷地复垦土壤质量研究进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 276-280.
- [3] Hu Zhenqi, Wei Zhongyi, Qin Ping. Concept of and methods for soil reconstruction in mined land reclamation [J]. Soils, 2005, 37(1): 8-12.
胡振琪, 魏忠义, 秦萍. 矿山复垦土壤重构的概念与方法[J]. 土壤, 2005, 37(1): 8-12.
- [4] Chen Xiaoqing, GaoLiangmin, Zhuo Liling. Temporal and spatial distribution of nitrogen and phosphorus of Xieqiao coal mining subsided water area [J].

- Environmental Chemistry, 2013, 32(3): 446-450.
- 陈晓晴, 高良敏, 卓利玲, 谢桥采煤塌陷水域氮、磷时空分布特征[J]. 环境化学, 2013, 32(3): 446-450.
- [5] Wang Zhenhong, Gui Herong, Fang Wenghui, et al. Analysis of the influencing factors on the subsidence pools in summer [J]. Energy Environmental Protection, 2005, 19(3): 61-64.
- 王振红, 桂和荣, 方文惠, 等. 夏季采煤塌陷塘水质影响因素分析[J]. 能源环境保护, 2005, 19(3): 61-64.
- [6] Xie Kai, Zhang Yanqiu, Yi Qitao, et al. Phosphorus fractions and migration in the sediments of a subsided water areain Panyi coal mine of Huainan [J]. China Environmental Science, 2012, 32 (10): 1 867-1 874.
- 谢凯, 张雁秋, 易齐涛, 等. 淮南潘一矿塌陷水域沉积物中磷的赋存和迁移转化特征[J]. 中国环境科学, 2012, 32 (10): 1 867-1 874.
- [7] 孟庆俊. 采煤塌陷地氮磷流失规律研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2010.
- [8] Qu Xijie, Yi Qitao, Hu Youbiao, et al. Nutrient spatiotemporal distribution and eutrophication process in subsidence waters of Huainan and Huaibei mining areas, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(11): 3 249-3 258.
- 曲喜杰, 易齐涛, 胡友彪, 等. 两淮采煤沉陷积水区水体营养盐时空分布及富营养化进程[J]. 应用生态学报, 2013, 24(11): 3 249-3 258.
- [9] 国家环保总局. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [10] Chen Shuiyong, Wu Zhenming, Yu Weibo, et al. Formation, harmfulness, prevention, control and treatment of waters eutrophication[J]. Environmental Science and Technology, 1999, 2: 11-15.
- 陈水勇, 吴振明, 俞伟波, 等. 水体富营养化的形成、危害和防治[J]. 环境科学与技术, 1999, 2: 11-15.
- [11] 丰民义. 东湖典型区域沉积物及间隙水中碳氮磷时空分布特征研究[D]. 武汉: 中国科学院, 2007.
- [12] Xu Hai, Zhu Guangwei, Qin Boqiang, et al. Influence of nitrogen-phosphorus ratio on dominance of bloom-forming cyanobacteria [J]. China Environmental Science, 2011, 31(10): 1 676-1 683.
- 许海, 朱广伟, 秦伯强, 等. 氮磷比对水华蓝藻优势形成的影响[J]. 中国环境科学, 2011, 31(10): 1 676-1 683.
- [13] Steiberg C E W, Hartmann H M. Planktonic bloom forming Cyanobacteria and the eutrophication of lake and rivers[J]. Freshwater Biol, 1988, 20: 279-287.
- [14] Liu Jinsong, Yan Jiaping, Xu Liangji, et al. Water environment in different subsidence pools of Huainan coal-mining area: Investigation and evaluation[J]. Environmental Science & Technology, 2009, 32(9): 140-143.
- 刘劲松, 严家平, 徐良骥, 等. 淮南矿区不同塌陷年龄积水区环境效应分析[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(9): 140-143.
- [15] Ji Chengfu, Gui Herong. Investigation and analysis of the water body's main nutrition of the subsidence pool in the mining area[J]. Journal of Harbin institute of technology, 2009, 21(2): 202-204.
- 计承富, 桂和荣. 矿区塌陷塘水体主要营养盐的调查分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 21(2): 202-204.
- [16] Sims J T, Goggin N, McDermott J. Nutrient management for water quality protection: Integrating research into environmental policy[J]. Water Science and Technology, 1999, 39(12): 291-298.
- [17] Cheng Liwei, Xu Hai, Chen Mingda, et al. Review on causes of eutrophication of water body and its control measure[J]. Environmental Protection Science, 2007, 33(1): 18-22.
- 程丽巍, 许海, 陈铭达, 等. 水体富营养化成因及其防治措施研究进展[J]. 环境保护科学, 2007, 33(1): 18-22.
- [18] Foy R H, Rosell R. Loadings of nitrogen and phosphorus from a Northern Ireland fish farm [J]. Aquaculture, 1991, 96: 17-30.
- [19] Liu Chunguang, Jin Xiangcan, Sun Ling, et al. Effects of pH on growth and species changes of algae in freshwater[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2005, 24(2): 294-298.
- 刘春光, 金相灿, 孙凌, 等. pH 值对淡水藻类生长和种类变化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 294-298.
- [20] Mo Meixian, Zhang Shitao, Ye Xuchun, et al. pH characters and influencing factors in Dianchi and Xingyun Lakes of Yunnan Plateau[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26: 269-273.
- 莫美仙, 张世涛, 叶许春, 等. 云南高原湖泊滇池和星云湖 pH 值特征及其影响因素分析[J]. 农业环境科学报, 2007, 26: 269-273.
- [21] Gao Li, Zhou Jianmin. Phosphorus cycle between sediments and water in eutrophic lakes [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(4): 512-515.
- 高丽, 周健民. 磷在富营养化湖泊沉积物-水界面的循环[J]. 土壤通报, 2004, 35(4): 512-515.
- [22] Hu Cheng, Su Dan. Application of comprehensive water quality identification index in water quality assessment of Hun River [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2011, 20(1): 186-192.
- 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.
- [23] Zhang Yuhong, Hu Cheng. Application of mark index method in water quality assessment of Hun River in Fushun City[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(6): 276-279.
- 张宇红, 胡成. 单因子标识指数法在浑河抚顺段水质评价中的应用[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(6): 276-279.