



移动扫码阅读

王铎,吴权佳,董佳甜,等. 沛北采煤塌陷区水质特征及风险评价[J]. 能源环境保护, 2022, 36(6): 159-165.
WANG Duo, WU Quanjia, DONG Jiatian, et al. Water quality characteristics and risk evaluation of coal mining subsidence area in northern Peixian County[J]. Energy Environmental Protection, 2022, 36(6): 159-165.

沛北采煤塌陷区水质特征及风险评价

王铎, 吴权佳, 董佳甜, 李向东*

(中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116)

摘要:以沛县北部采煤塌陷区为研究对象,分析了丰水期和枯水期的水质指标,采用单因子评价法、综合污染指数法、分级评价法和综合水质标识指数法对水体进行综合评价。结果表明:丰水期和枯水期的水体综合水质标识指数均值分别为4.204和3.477,大部分为IV、V类水质,夏季丰水期水体污染更为严重;受生活污水、工业废水和农业废水等污染源及气候特征的影响,塌陷区水体主要污染物为COD、TN和TP,最高浓度分别为64.71、3.320、0.640 mg/L,劣于V类标准。

关键词:塌陷区;地表水;水质评价

中图分类号:X52

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2022)06-0159-07

Water quality characteristics and risk evaluation of coal mining subsidence area in northern Peixian County

WANG Duo, WU Quanjia, DONG Jiatian, LI Xiangdong*

(School of Environmental Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Taking a coal mining subsidence area in northern Peixian County as the research object, the water quality indexes during the wet and dry seasons were analyzed. The water body was comprehensively evaluated by single factor evaluation method, comprehensive pollution index method, graded evaluation method and comprehensive water quality identification index method. The results show that the average values of comprehensive water quality identification indexes during the wet and dry seasons are 4.204 and 3.477, respectively. In most periods, the water body meets the Class IV and V standards. The water pollution is more serious in the summer wet season. Due to climatic characteristics and pollution sources such as domestic sewage, industrial wastewater and agricultural wastewater, the main pollutants in the water body of the subsidence area are COD, TN and TP, with the maximum concentrations of 64.71, 3.320 and 0.640 mg/L, respectively, which are inferior to the Class V standard.

Key Words: Subsidence area; Surface water; Water quality evaluation

0 引言

煤炭资源是经济社会发展的重要基石,为我国经济的发展做出了重要贡献,由于煤矿资源的持续开采,导致矿区地表沉降,形成塌陷区,在降水以及浅层地下水的作用下,塌陷区会形成塌陷湖泊^[1]。全国因煤炭开发使用造成的土地塌陷面

积累计已超过110万 hm^2 ^[2],形成大面积的积水区域,造成水土流失、破坏植被、耕地减少以及损坏交通道路和线路管道等危害,给经济社会以及环境带来巨大损失^[3]。对塌陷区的治理以及对塌陷湖泊的开发利用成为亟待解决的问题。本文以沛北采煤塌陷区作为研究对象,采用单因子评价法、综合污染指数法、分级评价法以及综合水质标

收稿日期:2022-08-10;责任编辑:蒋雯婷

第一作者简介:王铎(1997—),男,江苏徐州人,硕士研究生,从事环境污染与修复。E-mail:1663927297@qq.com

通讯作者简介:李向东(1973—),男,安徽桐城人,博士,副教授,主要从事矿山生态环境保护。E-mail:xdli123@126.com

识指数法对塌陷区水体进行综合评价,充分认识塌陷区水体,准确识别这类区域的污染特征,为采煤塌陷区的污染防治、综合利用以及生态恢复提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

沛县位于江苏省西北部,地势西高东低,地表水系属淮河流域泗水水系,境内河道纵横,水资源充沛。东、西走向的主要河道有杨屯河、沿河、鹿口河等,南、北流向的主要河道有大沙河、姚楼河、苏北堤河、顺堤河等,由西南向东北流入昭阳、微山两湖。京杭运河、苏北堤河、徐沛运河、八段河等调度河贯穿南北,构成河网^[4]。沛县煤炭资源丰富,是中国煤炭基地之一,煤矿主要分布在沛县北部,位于龙固镇、安国镇、大屯街道和沛城街道等地,保有资源量 16.33 亿 t、累计查明资源量 21.22 亿 t,占江苏省总储煤量的 40% 以上,自 1977 年以来,已累计开采原煤 2.3 亿 t^[5]。

沛县采煤塌陷区主要位于沛县北部矿区,该地区地处北纬 34°37′~35°6′、东经 116°41′~117°09′,东至微山湖湖西大堤,西达丰沛边界,南至丰沛路,北到龙固镇,东西跨度 34 km,南北长度 41 km 左右。目前矿区内塌陷区面积超过 10 000 hm²,主要包括龙固镇、张双镇、安国镇、杨屯镇和大屯镇等镇和街道。随着煤炭资源的继续开采,塌陷区域将继续扩大,预计至 2030 年,沛北矿区内塌陷区域达到 15 000 hm²^[6]。

沛北矿区毗邻南水北调东线,塌陷区的水经大沙河、沿河和徐沛运河等河道流入南四湖,南四湖是南水北调东线重要的输水通道,其水环境状况对淮河流域乃至整个南水北调东线工程调水水质都有很大影响。

1.2 采样点布设

为了掌握沛县煤矿塌陷区的水质情况及其特征,根据塌陷区地理位置以及水体污染来源和塌陷区的修复利用情况,将沛北矿区内的采煤塌陷区分为 5 个区域,分别为 A 徐庄煤矿塌陷区(1#、2#)、B 龙东煤矿塌陷区(3#、4#、5#)、C 龙固煤矿塌陷区(6#、7#)、D 三河尖煤矿塌陷区(8#)和 E 张双楼煤矿塌陷区(9#)。

采样过程中的布点、采样、保存参照《水质采样技术指导》(GB 12998—91),采样位置避开死水区、回水区以及排污口处,尽量选择顺直河段、

河床平稳、水流平稳处。本研究共设置了 9 个采样点,塌陷区现状以及采样点位置见表 1 和图 1 所示,分别在丰水期和枯水期各采取一次水样,对水体中的总氮(TN)、总磷(TP)、pH、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、化学需氧量(COD)、溶解氧(DO)等指标进行取样监测。在采样过程中,选择水位平稳时将采样瓶压制沉入水中 10~20 cm 深度处取样,并避免晃动水体。采样完成后,立即盖紧瓶盖,防止水体发生氧化反应,并密封避光保存。

表 1 采样点分布与采煤塌陷区现状

Table 1 Distribution of sampling points and status of coal mining subsidence area

采样点序号	煤矿	塌陷区面积/hm ²	现状
1#、2#	徐庄煤矿	1 066.63	渔业养殖、农业生产
3#、4#、5#	龙东煤矿	739.33	莲藕种植、渔业养殖
6#、7#	龙固煤矿	562.61	工业生产
8#	三河尖煤矿	2 441.94	农业生产
9#	张双楼煤矿	2 330.65	湿地公园

1#和 2#采样点位于徐庄煤矿塌陷区的河流,煤矿塌陷区被修复用于农田种植和渔业养殖。3#、4#和 5#采样点位于龙东煤矿塌陷区,现被广泛应用于养鱼和莲藕种植,5#采样点附近有一生态农庄。6#和 7#采样点位于龙固煤矿塌陷区内工业园区附近,周边有化工企业、氯碱企业以及新材料公司等工业企业。8#采样点位于三河尖煤矿塌陷区。9#采样点位于安国湖湿地公园,湿地公园西部与龙口河相接,南部流入徐沛河,北部则通过左尧大沟京杭运河和微山湖。湿地公园于 2012 年建立,2015 年 12 月被国家林业局批准为国家级湿地公园试点。

1.3 水质评价方法

常用的水质评价方法有单因子评价法^[7]、综合污染指数法^[8]、分级评价法^[9]以及综合水质标识指数法^[10]。本文利用这 4 种水质评价方法,对煤矿塌陷区的水质污染状况进行综合评价^[11]。

1.3.1 单因子评价法

单因子评价法是《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的水质评价方法,是通过实测水质指标与标准值相对比,选取水质最差的因子作为最终评价结果。

1.3.2 综合污染指数法

综合污染指数法是在单因子评价的基础上,将各个水质指标的评价结果运用数学统计方法综合计算,得到污染综合指数,计算公式如(1)所示^[12]。

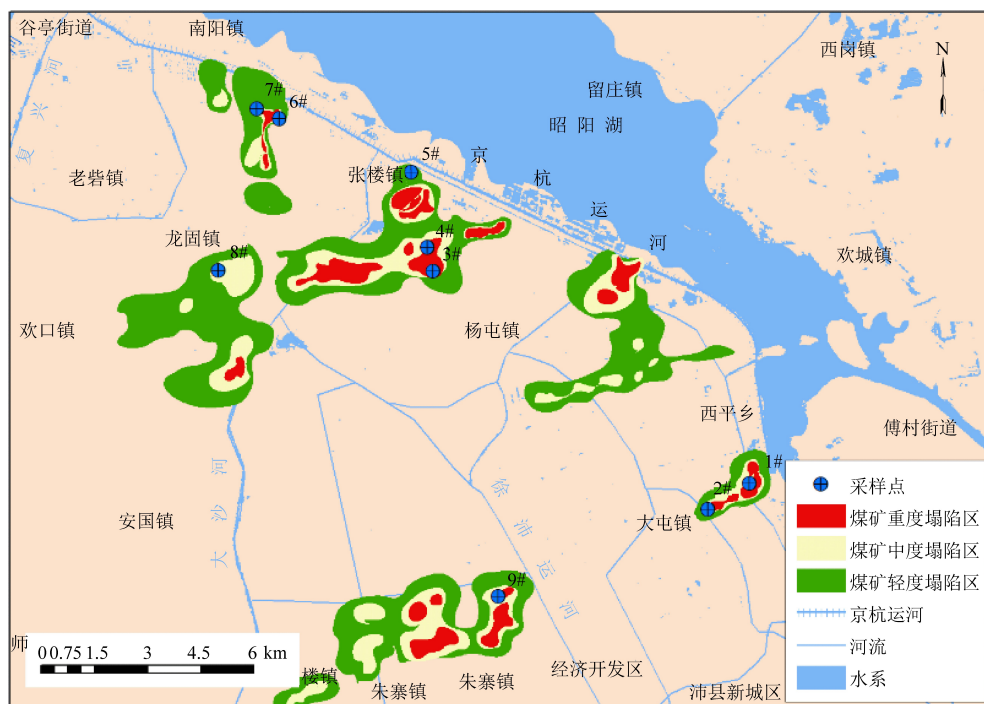


图 1 采样点分布示意图

Fig.1 Schematic diagram of sampling point distribution

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_0} \quad (1)$$

式(1)中, C_i 为第 i 项污染物实测值, C_0 为所选取参考标准的评价限值。水质评价标准见表 2。

表 2 综合污染指数法评价标准

Table 2 Evaluation criteria of comprehensive pollution index method

分级标准	水质级别
$P \leq 0.20$	清洁
$0.20 < P \leq 0.40$	尚清洁
$0.40 < P \leq 1.00$	轻污染
$1.00 < P \leq 2.00$	重污染
$P > 2.00$	严重污染

1.3.3 分级评价法

此方法根据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)对 I、II、III、IV、V、劣 V 类水质赋予分值,分别为 10、8、6、4、2、0 分,计算各项水质指标的算数平均值^[13],计算公式如(2)所示。

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2)$$

式(2)中, X_i 为各项水质指标的评分值。

1.3.4 综合水质标识指数法

综合水质标识指数的表达式为:

$$I = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 \quad (3)$$

式(3)中, X_1 为综合水质类别, X_2 为综合水质在水质变化区间内所处的位置, X_3 为参与水质评价的指标中低于功能区的指标的数量, X_4 为综合水质类别与水环境功能区的比较结果^[14]。

X_1 、 X_2 的计算公式为:

$$X_1 \cdot X_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_1 + P_2 + \dots + P_m) \quad (4)$$

式(4)中, P 为是指水质评价因子中单因子水质标识指数的取值, m 为参加水质评价的水质指标的个数。根据综合水质标识指数的大小可将水质类别分为 7 类,具体评价标准^[15]见表 3。

表 3 综合水质评价标准

Table 3 Comprehensive water quality evaluation criteria

分级标准	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,且黑臭

2 结果与讨论

2.1 塌陷区水质指标特征

根据《地表水环境质量标准》(GB 3838—

2002) III类标准,分别在丰水期和枯水期对采煤塌陷区的水体各取一次样进行检测,各采样点的水质指标统计结果见表 4。

表 4 水质指标统计结果

Table 4 Statistical results of water quality indexes

pH 为无量纲,其他为 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

采样点	时期	pH	COD	总氮	总磷	氨氮	DO	TDS	COD _{Mn}	
A	1#	丰水期	8.7	21.07	0.632	0.026	0.428	6.6	1 091	2.24
		枯水期	8.9	13.21	0.702	0.036	0.388	9.4	965	1.03
	2#	丰水期	7.6	30.10	1.532	0.102	0.530	6.1	1 205	4.78
		枯水期	8.2	21.36	1.459	0.159	0.326	8.5	1 298	1.95
B	3#	丰水期	7.7	25.58	1.638	0.037	0.620	6.2	1 044	6.02
		枯水期	8.4	19.56	1.451	0.098	0.485	8.6	1 201	5.86
	4#	丰水期	8.3	30.10	1.238	0.640	0.824	7.2	981	6.72
		枯水期	8.4	28.11	1.495	0.354	0.598	8.2	1 104	2.57
	5#	丰水期	7.3	31.60	1.449	0.386	1.034	6.7	1 126	4.68
		枯水期	7.9	25.31	1.365	0.105	0.916	8.1	1 032	5.26
C	6#	丰水期	7.2	64.71	3.320	0.268	2.460	3.9	1 589	9.65
		枯水期	7.5	50.14	2.158	0.056	1.168	6.9	1 269	5.56
	7#	丰水期	7.3	51.17	2.145	0.198	1.286	3.1	1 654	7.54
		枯水期	7.7	42.38	2.341	0.069	1.023	7.2	1 555	7.69
D	8#	丰水期	8.0	37.62	0.861	0.021	0.542	5.2	1 195	3.91
		枯水期	8.6	33.32	1.022	0.036	0.598	6.3	1 036	1.58
E	9#	丰水期	8.0	49.66	0.908	0.026	0.686	4.6	1 012	5.90
		枯水期	8.2	25.36	1.145	0.031	0.665	6.2	956	2.94
《地表水环境质量标准》 (GB 3838—2002)	III类	6~9	20	1.0	0.2	1.0	5	/	6	

由表 4 可知,塌陷区水体的 pH 为 7.2~8.9,均值为 8.0,属偏碱性水。TDS 浓度随季节变化不大,在丰水期和枯水期的平均值分别为 1 211 mg/L 和 1 157 mg/L ,属于高矿度化水,说明水中溶解性无机盐含量较大,可能是塌陷区周围工业废水和生活污水的排放导致水中 TDS 含量增加。在 5 个采煤塌陷区水体的 DO 含量较高,各采样点的水体在丰水期和枯水期的均值分别为 5.5 mg/L 和 7.7 mg/L ,总体呈现出丰水期低于枯水期的趋势,且大部分达到 I、II类水质,仅 6#、7#在丰水期时 DO 含量为 3.9 mg/L 和 3.1 mg/L ,为 IV类级别。水中的氧气主要来源是大气中的氧和水中浮游植物的光合作用,受周围环境的影响较大,夏季丰水期温度较高,气压降低,水中饱和溶解氧浓度越低^[16];此外,夏季浮游植物大量繁殖,生物的新陈代谢加速了氧气的消耗,同时大量残体被微生物分解,使水体溶解氧浓度降低。

塌陷区水体的 TN、TP 和氨氮浓度分别为 0.6~3.4 mg/L 、0.02~0.65 mg/L 和 0.3~2.5 mg/L ,从季节变化来看,TN 浓度没有明显变化,而 TP 和氨氮的浓度在夏季丰水期超过冬季枯水期。仅个别采样点在枯水期达到 II、III类级别,其他大部分采样点的水质超过 IV类标准,6#采样点在丰水期的水质最差,达到了劣 V类标准。可能是塌陷地周围居民生活污水、工业废水以及化肥的施用使水体中氮磷含量增加^[17]。TN 和 TP 是评价湖泊富营养化的重要指标,氮磷元素的超标,说明塌陷区水体可能面临富营养化的风险。

根据检测结果来看,塌陷区水体 COD 和 COD_{Mn}含量的平均值分别为 33.35 mg/L 和 4.77 mg/L ,污染较为严重且季节变化明显,呈现出夏季丰水期高冬季枯水期低的趋势。夏季丰水期水生植物的大量衰败,使大量的有机物溶解,塌陷区水域内的有机物浓度迅速提高。此外,夏季塌陷

湖泊周边的农田退水、生活污水及畜牧养殖废水随雨水径流汇入湖泊,也是造成塌陷区水体 COD 升高的原因。其中 6#和 7#采样点的水体可能受到周边化工厂在生产过程中排放的高浓度 COD 废水的影响,水体 COD 异常升高^[18],为劣 V 水质。

表 5 多方法水质评价结果

Table 5 Water quality evaluation results of each method

采样点	时期	单因子评价	综合污染指数	分级评价	综合水质标识指数	
A	1#	丰水期	IV	轻污染(0.53)	III(7.33)	II(2.810)
		枯水期	III	轻污染(0.44)	II(8.67)	II(2.200)
	2#	丰水期	V	轻污染(0.92)	IV(5.33)	III(3.820)
		枯水期	IV	轻污染(0.75)	III(7.00)	III(3.120)
B	3#	丰水期	V	轻污染(0.89)	IV(5.67)	III(3.730)
		枯水期	IV	轻污染(0.83)	III(7.33)	III(3.410)
	4#	丰水期	劣 V	重污染(1.43)	IV(4.00)	IV(4.441)
		枯水期	V	重污染(1.05)	IV(5.67)	III(3.830)
5#	丰水期	V	重污染(1.24)	IV(4.67)	IV(4.341)	
	枯水期	IV	轻污染(0.93)	III(6.00)	III(3.620)	
C	6#	丰水期	劣 V	严重污染(2.14)	V(2.33)	V(5.662)
		枯水期	劣 V	重污染(1.28)	IV(4.67)	IV(4.231)
	7#	丰水期	劣 V	重污染(1.51)	V(3.67)	V(5.051)
		枯水期	劣 V	重污染(1.29)	IV(4.33)	IV(4.341)
D	8#	丰水期	V	轻污染(0.79)	III(6.33)	III(3.610)
		枯水期	V	轻污染(0.72)	III(6.67)	III(3.220)
E	9#	丰水期	劣 V	轻污染(0.99)	IV(5.67)	III(3.920)
		枯水期	IV	轻污染(0.72)	III(6.67)	III(3.320)

由表 5 可知,单因子评价法显示龙固煤矿塌陷区(6#、7#)水质最差,在丰水期和枯水期水质均为劣 V 类。因其评价结果由污染最为严重的指标参数决定,所以评价结果具有一定的片面性。根据综合污染指数法,徐庄煤矿塌陷区(1#、2#)、龙东煤矿塌陷区(3#、4#、5#)、三河尖煤矿塌陷区(8#)和张双楼煤矿塌陷区(9#)属于轻污染,龙固煤矿塌陷区(6#、7#)属于重污染。分级评价法和综合水质标识指数法得出的水质评价结果类似,即徐庄煤矿塌陷区水质较好,龙固煤矿塌陷区水质较差。

徐庄煤矿塌陷区,除接受部分农田排水、生活污水和雨水外,基本不受其它污染源的影响,因此与其它塌陷区相比,污染指数较低,水质较好;龙东煤矿塌陷区主要用来养鱼和种植莲藕,因动植物残体的分解以及动物排泄物导致水体氮磷含量增加。此外,在鱼塘和渠水停留时间较长的情况下,水体中沉积物底质中异养菌分解含氮有机物

2.2 地表水水质评价

按照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) III 类标准,研究选取 COD、TN、TP、氨氮、高锰酸盐指数和 DO 共 6 项指标进行水质评价。不同方法的评价结果见表 5。

转变成 NH_4^+-N 通过扩散作用进入水体中。因此,该塌陷湖泊主要污染物为氮磷元素;由于龙固煤矿塌陷区周边存在工业园区,水体污染较为严重;三河尖煤矿塌陷区境内有大沙河、徐沛运河经过,夏季丰水期水流量大,水体自净能力强,夏季水质较好,冬季河流流量减小,受生活污水的影响,水质相对较差;张双楼煤矿塌陷区的采样点位于安国湖湿地公园,湿地公园具有完整的湿地植物群落和水体过滤净化系统,提高了湿地的生态修复能力,上游排放的污染物经过湿地以及植物的过滤与吸收而得到一定的净化,水质相对较好。

3 结 论

(1)水质综合评价结果表明:沛北采煤塌陷区的水体污染较为严重,综合水质标识指数在丰水期和枯水期的均值分别为 4.204 和 3.477,大部分时期为 IV、V 类水质标准,主要污染物 COD、TN、TP 浓度最高分别达到 64.71、3.320、0.640 mg/L;

塌陷区水体在夏季丰水期污染更为严重, COD、TP、氨氮等污染物含量呈现出夏季高于冬季的趋势;

(2) 沛北采煤塌陷区的水质主要受生活污水、工业废水和农业废水等污染源以及气候特征的影响, 且工业废水对塌陷湖泊水质的影响较大, 造成COD、TP、氨氮等污染物含量升高, 可能会给南四湖的水质甚至南水北调东线的调水水质带来不利影响;

(3) 沛北采煤塌陷湖泊中 COD、TN 和 TP 应重点治理, 在综合考虑塌陷湖泊的环境容量和环境目标, 特征污染物的自净能力以及湖泊水力学特征, 建立适合的水质模型对各种治理措施进行评估, 确定可行性并提出优化策略, 增强区域生态保护以提高高质量发展的保障。

参考文献

- [1] 颜荣. 淮北矿区采煤塌陷湖及周边河流水质特征评价 [J]. 安徽农学通报, 2022, 28 (7): 123-126.
YAN Rong. Assessment of water quality in collapsed lake and their surrounding rivers in the Huaibei mining area [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2022, 28 (7): 123-126.
- [2] 金悦, 陆兆华, 檀菲菲, 等. 典型资源型城市生态承载力评价——以唐山市为例 [J]. 生态学报, 2015, 35 (14): 4852-4859.
JIN Yue, LU Zhaohua, TAN Feifei, et al. Assessment of ecological carrying capacity on the typical resources-based cities: A case study of Tangshan City [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35 (14): 4852-4859.
- [3] 刘沁萍, 李欢, 田洪阵, 等. 1973~2020年淮北市采煤塌陷区时空变化及其影响研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31 (6): 1370-1380.
LIU Qiping, LI Huan, TIAN Hongzhen, et al. Spatio-temporal changes in coal mining subsidence and their impacts in Huaibei from 1973 to 2020 [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31 (6): 1370-1380.
- [4] 朱兴沛, 张亮, 朱乾坤, 等. 采煤塌陷新生湿地生态保护与修复措施研究: 以沛县安国湖国家湿地公园为例 [J]. 通化师范学院学报, 2022, 43 (4): 6-14.
ZHU Xingpei, ZHANG Liang, ZHU Qiankun, et al. Study on ecological protection and restoration measures of coal mining subsidence nascent wetland: Taking Anguo Lake National Wetland Park in Peixian County as an example [J]. Journal of Tonghua Normal University, 2022, 43 (4): 6-14.
- [5] 董丽丽, 丁忠义, 刘一玮, 等. 基于TOPSIS模型的煤矿区土地生态质量评价 [J]. 江苏农业科学, 2014, 42 (9): 300-303.
DONG Lili, DING Zhongyi, LIU Yiwei, et al. Evaluation of ecological quality of land in coal mining areas based on TOPSIS model [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2014, 42 (9): 300-303.
- [6] 李贞, 黄元仿, 张世文, 等. 基于ANP-SWOT模型的平原高潜水位采煤塌陷区土地复垦战略研究 [J]. 中国矿业, 2021, 30 (6): 82-88.
LI Zhen, HUANG Yuanfang, ZHANG Shiwen, et al. Study on land reclamation strategy of coal mining subsidence area with high groundwater level in plain based on ANP-SWOT model [J]. China Mining Magazine, 2021, 30 (6): 82-88.
- [7] 张静, 文婷, 高娜, 等. 地表水环境质量评价方法研究 [J]. 中国资源综合利用, 2022, 40 (5): 132-134.
ZHANG Jing, WEN Ting, GAO Na, et al. Study on the evaluation method of surface water environmental quality [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2022, 40 (5): 132-134.
- [8] 毕业亮, 王华彩, 夏兵, 等. 雨源型城市河流污水污染特征及水质联合评价: 以深圳龙岗河为例 [J]. 环境科学, 2022, 43 (2): 782-794.
BI Yeliang, WANG Huacai, XIA Bing, et al. Pollution characterization and comprehensive water quality assessment of rain-source river: A case study of the Longgang River in Shenzhen [J]. Environmental Science, 2022, 43 (2): 782-794.
- [9] 刘杰, 易齐涛, 严家平. 淮北濉萧矿区采煤塌陷区水污染特征及评价 [J]. 中国煤炭地质, 2018, 30 (5): 53-60+71.
LIU Jie, YI Qitao, YAN Jiaping, et al. Coalmining subsided area water pollution features and assessment in Suixi-Xiaoxian mining area, Huaibei coalfield [J]. Coal Geology of China, 2018, 30 (5): 53-60+71.
- [10] 苗得雨, 衣鹏. 2013—2018年我国地表水水质变化趋势分析 [J]. 水电能源科学, 2021, 39 (12): 62-64+16.
MIAO Deyu, YI Peng. Trends of surface water quality in China from 2013 to 2018 [J]. Water Resources and Power, 2021, 39 (12): 62-64+16.
- [11] Fan C Z, Liu Y B, Liu C H, et al. Water quality characteristics, sources, and assessment of surface water in an industrial mining city, southwest of China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2022, 194 (4): 259-259.
- [12] 杜书栋, 关亚楠, 李欣, 等. 基于熵权法改进的综合污染指数的水质评价——以白云湖为例 [J]. 环境科学学报, 2022, 42 (1): 205-212.
DU Shudong, GUAN Yanan, LI Xin, et al. Water quality evaluation with improved comprehensive pollution index based on entropy weight method: A case study of Baiyun Lake [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2022, 42 (1): 205-212.
- [13] 李雷明, 武君, 徐娟, 等. 格尔木河水水质现状及生态风险评估 [J]. 盐湖研究, 2019, 27 (1): 89-98.
LI Leiming, WU Jun, XU Juan, et al. Evaluation on water quality and ecological risks of Golmud River [J]. Journal of Salt Lake Research, 2019, 27 (1): 89-98.
- [14] Wang K K, Men B H, Xing Y L. Water quality evaluation and spatiotemporal variation characteristics of Wenyu River based on comprehensive water quality identification index

- method [J]. *Nature Environment and Pollution Technology*, 2022, 21 (2): 711-719.
- [15] 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 (4): 482-488.
XU Zuxin. Comprehensive water quality identification index for environmental quality assessment of surface water [J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2005 (4): 482-488.
- [16] 王话翔, 初晓冶, 陈莹, 等. 特大城市地表水环境溶解氧时空分布特征探究 [J]. *华东师范大学学报 (自然科学版)*, 2020 (6): 154-163.
WANG Huaxiang, CHU Xiaozhi, CHEN Ying, et al. A study on temporal and spatial distribution characteristics of dissolved oxygen in surface water of megacities [J]. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2020 (6): 154-163.
- [17] 陈雯, 吴亚, 张宏鑫, 等. 北海冯家江流域地表水体中氮磷营养盐的时空分布特征 [J]. *安全与环境工程*, 2022, 29 (1): 169-175+188.
CHEN Wen, WU Ya, ZHANG Hongxin, et al. Spatial and temporal distribution of nitrogen and phosphorus nutrients in surface water of Fengjiajiang River watershed, Beihai [J]. *Safety and Environmental Engineering*, 2022, 29 (1): 169-175+188.
- [18] 张翔, 李榛. 基于主成分分析的北洛河水质时空分布特征及污染源解析 [J]. *水土保持通报*, 2022, 42 (4): 153-160+171.
ZHANG Xiang, LI Su. Spatial and temporal distribution characteristics of water quality in Beiluo River and pollution sources based on principal component analysis [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2022, 42 (4): 153-160+171.