

朱仙庄煤矿塌陷水域水文地球化学特征及污染评价

陈蜜蜜¹,任加国¹,程琛²,陈光旭³

(1.山东科技大学地球科学与工程学院,山东 青岛 266510;2.宿州学院资源与土木工程学院,安徽 宿州 234000;3.东华理工大学地球科学学院,江西 南昌 330000)

摘要:煤矿塌陷导致的环境问题日益显现,尤其是塌陷水域的水环境问题直接影响到矿区水资源利用。通过对朱仙庄塌陷塘常规离子(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-)及重金属离子(Cd^{2+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} , Pb^{2+})的测定来分析塌陷塘水文化学特征,并利用单因子评价法、内梅罗指数法对水域重金属离子做出污染评价。结果表明,塌陷塘水化学类型为:I,II,III塘均为 HCO_3^-Na 型;IV塘 HCO_3^-Ca 型。重金属含量均符合《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)II类水质标准。单因子评价法与内梅罗指数法评价结果显示,塌陷塘水质良好,基本无污染。

关键词:水文地球化学;内梅罗指数;塌陷塘;朱仙庄煤矿;淮北煤田

中图分类号:X824

文献标识码:B

引文格式:陈蜜蜜,任加国,程琛,等.朱仙庄煤矿塌陷水域水文地球化学特征及污染评价[J].山东国土资源,2016,32(11):44-48.CHEN Mimi, REN Jianguo, CHENG Chen, etc. Hydrochemistry Characteristics and Pollution Evolution In Zhuxianzhuang Subsidence Ponds[J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(11): 44-48.

0 引言

煤矿开采所导致的地表沉降是矿区最为重要的地质灾害之一^[1],塌陷给周边环境土壤^[2]、生态系统^[3]以及环境水体^[4]带来一系列影响。煤矿塌陷导致的环境问题日益显现,尤其是塌陷水域的水环境问题直接影响到矿区水资源利用。对煤矿塌陷区水域的开发利用已经成为矿区水资源综合利用管理的重要部分,近年来受到政府部门和诸多学者的广泛关注。

但是对于塌陷水域的研究多集中于土地复垦、生态系统恢复、水质综合评价^[5-7]等,对水文地球化学特征及重金属污染评价^[8-10]不是很多。如李君泮^[11]等介绍华东地区煤矿塌陷区生态环境的治理时,简述了两淮矿区塌陷区现状及取得的一些成效,提出建立新功能生态矿区。桂和荣^[12]等选择淮南矿区3个不同年限的塌陷塘为对象,研究水体对塌

陷塘浮游动植物的影响,利用生物监测评价塌陷塘水质。黄平华^[13]等通过地球化学定量模拟技术对焦作矿区地下水水文化学特征进行了研究。薛喜成^[14]等研究了秦岭安河矿区地表水重金属的形态,实现了重金属污染程度评价工作。该文以朱仙庄塌陷区为研究对象,通过对塌陷水体常规离子水文化学特征及重金属离子污染进行分析,了解水质特征及污染现状,分析成因并提出综合治理意见,趋利避害地开发利用塌陷水域,为矿区生态环境保护、塌陷区污染防治以及合理开发利用提供依据。

1 研究区概况

朱仙庄煤矿是淮北煤田的重要组成部分,位于宿东向斜北翼,轴部为二叠系,两翼由石炭系和二叠系组成,总体呈SN向。区内地层有奥陶系、石炭系、二叠系、侏罗系、新近系和第四系。朱仙庄煤矿含水层由新生界松散含水层、侏罗系含水层、二叠纪

收稿日期:2016-05-09;修订日期:2016-06-12;编辑:陶卫卫

基金项目:国家级大学生创新创业训练计划项目(201310379004)

作者简介:陈蜜蜜(1992—),女,安徽宿州人,硕士研究生,主要研究方向:水文地质与环境地质;E-mail:ahcmm28@163.com

砂岩含水层、太灰含水层以及奥灰含水层组成,由于第四纪含水层的特殊位置,造成其是矿井水的主要来源,也是塌陷区域水来源。该地气候温和,属温带半湿润气候。

2 材料与方法

2.1 样品采集

结合研究区具体地理位置,共布设水域采样点 24 个(I 塘 6 个,II 塘 9 个,III 塘 3 个,IV 塘 6 个采样点),采样时需记录采样点的经纬度,绘制采样点分布图(图 1)。由于测试需要,现场采集的水样必须 24 h 进行预处理,所选研究区域距离安徽省煤矿勘探工程技术研究中心很近以保证所采水样能够及时被处理保存。

2.2 样品测试

水样预处理步骤如下:①用 0.45 μm 的滤膜进行抽滤;②抽滤后的水样保留部分进行常规测定和滴定;③剩余抽滤后水样用稀 HNO_3 酸化保存待测重金属。 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} 测定采用离子色谱法; HCO_3^- 测定采用传统酸碱滴定法; Cd , Cr , Mn , Pb 测定采用原子吸收石墨炉法。

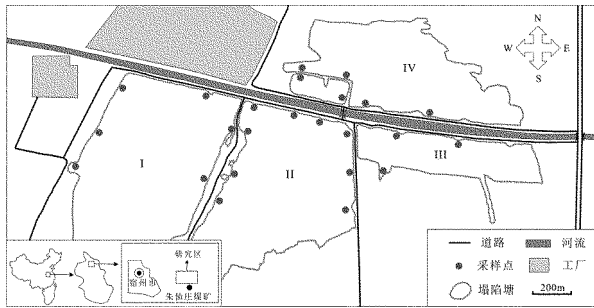


图 1 采样点分布图

3 水文地球化学特征

由表 1 可以看出,朱煤矿塌陷水域阳离子含量依次为: $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$,阴离子含量依次为: $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ 。变异系数是衡量各观测量变异程度的一个统计量,它可以消除单位或平均数对观测量的影响,可以衡量各常规离子的离散性。变异系数大小依次为: $\text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^+ > \text{HCO}_3^- > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^-$ 。 K^+ , Ca^{2+} 的变异系数明显大于其他常规离子,说明 K^+ , Ca^{2+} 离子受外界环境或人为活动影响较

大。

piper 三线图显示(图 2),阳离子分布比较集中,而阴离子分布分散。塌陷区域 I,II,III 塘水均属于 HCO_3^- -Na 型;IV 塘水与其他塘存在明显差异属 HCO_3^- -Ca 型。由于 Ca^{2+} 受外界环境影响导致变异系数较大,通过对采样区周围调查,可知 IV 塘周边有一水泥厂,由此推测研究区 Ca^{2+} 受水泥厂影响,IV 塘最为明显。

表 1 常规离子测试数据(mg/L)

离子	最大值	最小值	平均值	标准偏差	变异系数
Na^+	257	81	191	60	0.315
K^+	13	1.5	7.0	3.8	0.530
Mg^{2+}	44	24	30	6	0.194
Ca^{2+}	141	20	38	27	0.705
Cl^-	177	92	130	24	0.188
SO_4^{2-}	422	88	67	74	0.440
HCO_3^-	84	25	64	19	0.298

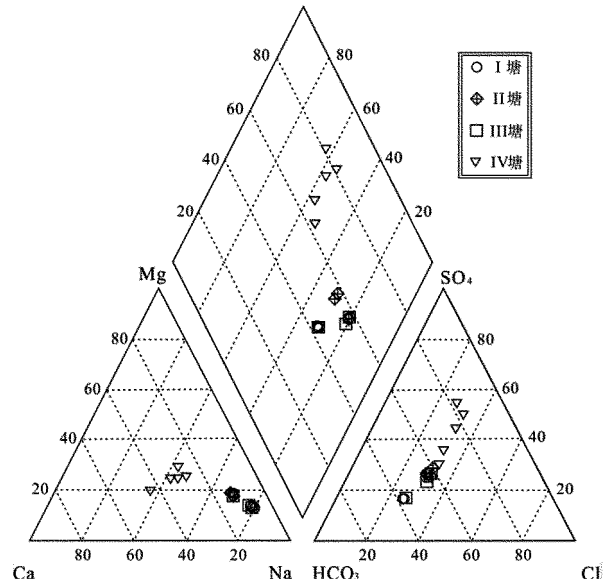


图 2 塌陷水域 piper 三线图

4 重金属污染评价

所测 5 种重金属浓度含量见表 2,从表中可以看出,重金属离子含量 $\text{Mn} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Cd}$ 。所测水样中 4 种重金属含量均符合《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)II 类水质标准; Cd 相对 Cr , Mn , Pb 而言污染较严重。标准偏差和方差均可表明重金属离子浓度的平均值分散程度的一种度量,并且两者

呈正相关。各金属质量浓度离散程度依次为: Mn>Pb>Cd>Cr, 且 Mn 和 Pb 离散程度排前两位, 从下文水质评价中也可看出不同塌陷区 Mn 和 Pb 污染程度也有一定差异。

表2 重金属离子测试数据(mg/L)

元素	最大值	最小值	平均值	标准偏差	方差
Cd	9.38	0.27	2.89	2.52	6.36
Cr	9.04	1.79	4.12	2.04	4.17
Mn	60.2	1.51	9.37	16.5	273
Pb	24.8	0.67	8.81	8.46	71.6

4.1 评价方法

4.1.1 单因子评价法

单因子评价法是我国国标规定的水质评价方法, 在《地表水环境质量标准》(GB3838—2002) 中规定, 地表水环境质量评价应根据实现的水域功能类别, 选取相应类别标准进行单因子评价, 评价结果应说明水质达标情况, 由于单因子污染指数法能够较直观地反应环境中各项污染指标的情况。

单因子评价法计算公式:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中: P_i 为地表水中 i 元素的污染指数; C_i 为重金属元素的实测浓度; S_i 为水样重金属元素环境背景值。

4.1.2 内梅罗指数法

内梅罗综合污染指数法建立在单因子指数法的基础上, 污染指数平均值和最大值的利用更能全面、客观地反映重金属环境污染状况, 是重金属污染评价的重要方法之一。内梅罗指数计算公式:

$$F = \sqrt{\frac{F_i^2 + (F_i)_{\max}^2}{2}} = \sqrt{\frac{(\frac{C_i}{CO_i})_{\max}^2 + (\frac{1}{n} \sum_i^n \frac{C_i}{CO_i})^2}{2}}$$

式中: C_i 为水质指标的实测值; CO_i 为水质指标 i 的评价标准值; n 为水质指标的个数; F 为内梅罗指数; F_i 为各项污染指数的平均值; $(F_i)_{\max}^2$ 为各项污染指数中的最大值。

4.2 评价结果

4.2.1 单因子评价结果

测定的重金属数据采用单因子指数法进行水体污染评价, 由于单因子计算中 S_i 重金属环境背景值获取困难, 采用《地表水环境质量标准》(GB3838—

2002) 中 III 类标准限值作为标准。

根据各塌陷水域重金属质量浓度均值以及重金属环境背景值, 利用单因子污染评价法得出各个含水层的 P 值, 其计算结果与单因子评价法标准(表3)进行对比得出评价结果(表4)。根据表4可以看出, I 塘污染指数值 Cd>Pb>Mn>Cr, 清洁; II 塘污染指数值 Cd>Pb>Cr>Mn, 清洁; III 塘污染指数值 Cd>Mn>Pb>Cr, Cd 污染指数大于 0.7, 达到轻污染程度; IV 塘污染指数值 Cd>Pb>Mn>Cr, 清洁。Cd, Pb 相对于其他 2 种元素在 4 个塘中单因子指数值均较大, 污染较严重, 且 III 塘 Cd 单因子指数值达到 1.02, 属轻度污染状态。总体而言塌陷水域 4 个部分各重金属元素的污染程度差异较小, 污染指数值均小于 1, 属于非污染。利用单因子评价法可以得出: 朱仙庄塌陷塘水体重金属基本无污染, 已达到较清洁水平。

表3 单因子水体重金属污染指数等级划分标准

等级	I	II	III	IV	V
单因子指数(P)	≤ 0.7	0.7~1.0	1.0~2.0	2.0~3.0	>3.0
污染等级	清洁	较清洁	轻污染	中污染	重污染

表4 单因子评价结果

位置	元素	均值	环境标准值	水质分类	单因子指数值	污染水平
I 塘	Cd	0.0008	0.005	I类	0.16	清洁
	Cr	0.003	0.05	I类	0.05	清洁
	Mn	0.126	0.1	II类	0.13	清洁
	Pb	0.003	0.05	I类	0.16	清洁
II 塘	Cd	0.003	0.005	II类	0.69	清洁
	Cr	0.005	0.05	I类	0.1	清洁
	Mn	0.003	0.1	I类	0.03	清洁
	Pb	0.014	0.05	II类	0.29	清洁
III 塘	Cd	0.006	0.005	III类	1.02	轻污染
	Cr	0.006	0.05	I类	0.12	清洁
	Mn	0.031	0.1	I类	0.33	清洁
	Pb	0.017	0.05	II类	0.31	清洁
IV 塘	Cd	0.003	0.005	II类	0.66	清洁
	Cr	0.004	0.05	I类	0.07	清洁
	Mn	0.008	0.1	I类	0.08	清洁
	Pb	0.005	0.05	I类	0.09	清洁

4.2.2 内梅罗指数法评价结果

采用内梅罗指数法评价, 内梅罗污染指数评价法等级划分标准如表5所示。

表 5 内梅罗水体重金属污染指数等级划分标准

等级	I	II	III	IV	V
内梅罗指数	≤ 1	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~5.0	>5.0
污染等级	清洁	轻污染	中污染	重污染	严重污染

利用以上计算出的单因子值,根据塌陷水域重金属质量浓度计算出内梅罗指数,通过与内梅罗水体重金属污染指数等级划分标准对比,得出内梅罗指数法评价结果(表 6)。根据表 6 可以看出 I 塘内梅罗污染指数值 $Mn > Cd > Pb > Cr$; II 塘内梅罗污染指数值 $Cd > Pb > Cr > Mn$; III 塘内梅罗污染指数值 $Cd > Pb > Cr > Mn$; IV 塘内梅罗污染指数值 $Cd > Mn > Pb > Cr$ 。Cd 在 II, III, IV 塘中内梅罗指数值均大于 1,达到轻污染状态。Cr, Mn, Pb 三种重金属在整个区域内梅罗指数值均小于 1,属清洁状态。

表 6 内梅罗计算及分析结果

位置	元素	单因子 (平均) 指数值	单因子 最大值	单因子 最小值	内梅罗 指数值	污染 水平
I 塘	Cd	0.16	0.39	0.05	0.30	清洁
	Cr	0.05	0.08	0.04	0.07	清洁
	Mn	0.13	0.51	0.04	0.37	清洁
	Pb	0.16	0.12	0.03	0.09	清洁
II 塘	Cd	0.69	1.30	0.11	1.04	轻污染
	Cr	0.1	0.13	0.05	0.12	清洁
	Mn	0.03	0.04	0.02	0.04	清洁
	Pb	0.29	0.50	0.02	0.41	清洁
III 塘	Cd	1.02	1.07	1.07	1.04	轻污染
	Cr	0.12	0.12	0.12	0.12	清洁
	Mn	0.33	0.03	0.03	0.04	清洁
	Pb	0.31	0.02	0.03	0.40	清洁
IV 塘	Cd	0.66	1.88	0.07	1.41	轻污染
	Cr	0.07	0.18	0.04	0.14	清洁
	Mn	0.08	0.43	0.02	0.31	清洁
	Pb	0.09	0.29	0.01	0.22	清洁

4.3 研究区重金属污染对比分析

单因子评价法和内梅罗指数法比较:由表 4、表 6 可以看出,利用单因子评价法对塌陷水域 4 个塘中 Cd, Cr, Mn, Pb 分别计算出了单因子污染指数值,而内梅罗指数法则在单因子计算结果的基础上计算内梅罗指数值。由计算结果可以看出,利用内梅罗指数法 Cd 的评价与单因子指数法稍有不同,内梅罗指数法表明 Cd 在 II, III, IV 塘以达到轻污染水平,单因子指数法则显示 Cd 仅在 III 塘达到轻污染

水平。

5 结论

(1) 朱仙庄煤矿塌陷水域虽形成后期被认为分割,水文化学特征变化不大。主要属于 HCO_3^-Na 型; IV 塘 HCO_3^-Ca 型。

(2) 重金属含量均符合《地表水环境质量标准》(GB3838—2002) II 类水质标准, Cd 相对 Cr, Mn, Pb 污染较严重,达到轻污染状态。总体而言塌陷水域重金属污染小,水质良好。

参考文献:

- [1] 马露,高会军. 陕西省主要煤矿区地面塌陷表现形式及其遥感响应[J]. 中国煤炭地质, 2013, 25(7): 32-37.
- [2] 王彬,邓瑞杰,谭松,等. 我国煤矿地面塌陷分析与防治[J]. 陕西煤炭, 2010, (3): 69-70.
- [3] 张冰,严家平,范廷玉,等. 采煤塌陷水域富营养化评价与分析[J]. 煤炭技术, 2012, 31(1): 159-161.
- [4] 吕恒林,黄建恩,常江,等. 徐州九里矿区地表水环境状况与治理策略[J]. 矿业安全与环保, 2011, 38(2): 72-76.
- [5] 王兵,卢茸,郭翠花,等. 煤矿塌陷区复垦地土壤-作物系统中的重金属污染风险评价[J]. 水土保持学报, 2011, 25(3): 117-120.
- [6] 张家兵. 加大矿区生态环境治理强化水源工程(点)保护[J]. 中国水土保持, 2011, (2): 29-31.
- [7] 徐良骥,严家平,高永梅. 煤矿塌陷水域水环境现状分析及综合利用—以淮南矿区潘一煤矿塌陷水域为例[J]. 煤炭学报, 2009, 34(7): 933-937.
- [8] 林曼丽,桂和荣,彭卫华. 安徽北部矿区深层地下水重金属含量特征及水质评价[J]. 安全与环境学报, 2014, 14(6): 266-271.
- [9] 胡云虎,张付海,钮志远,等. 皖北地区集中式深层地下水引用水源水化学特征及水质评价[J]. 中国科学技术大学学报, 2014, 44(11): 913-925.
- [10] 池源. 安徽铜陵地区土壤和河流沉积物重金属分布特征与污染评价[D]. 南京: 南京大学, 2013.
- [11] 李君许,董永观,邱永泉,等. 简述华东地区煤矿塌陷区生态环境的治理[J]. 煤炭经济研究, 2008, (3): 13-15.
- [12] 桂和荣,宋晓梅,王振红,等. 煤矿塌陷塘环境生态学研究[M]. 北京: 地质出版社, 2009.
- [13] 黄平华,陈建生,宁超,等. 焦作矿区地下水水化学特征及其地球化学模拟[J]. 现代地质, 2010, 24(2): 369-376.
- [14] 薛喜成,韩昀. 秦岭安河矿区地表水、沉积物重金属污染研究[J]. 环境保护科学, 2013, 39(1): 1-6.
- [15] 唐蓉,王体健,石春娥,等. 合肥市降水组成成分分析[J]. 气象科学, 2012, 32(4): 459-465.

Hydrochemistry Characteristics and Pollution Evolution In Zhuxianzhuang Subsidence Ponds

CHEN Mimi¹, REN Jiaguo¹, CHENG Chen², CHEN Guangxu³

(1. College of Earth Science and Engineering of Shandong University of Science and Technology, Shandong Qingdao 266510, China; 2. School of Resources and Civil Engineering of Suzhou University, Anhui Suzhou 234000, China; 3. College of Earth Science of East China University of Technology, Jiangxi Nanchang 330013, China)

Abstract: Environmental problems caused by mine subsidence has become increasingly apparent, especially water environment problems happened in collapse mine have directly affect the use of water resources. By determining the content of major ions (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) and heavy metals (Cd^{2+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} , Pb^{2+}), hydro-geochemical characteristics of subsidence ponds have been analyzed. Evaluation of water quality has been carried out by using single factor evaluation method and the Nemerow comprehensive pollution index method. It is showed that hydrochemical types of the subside pool can be subdivided into the following types: I, II and III pond are HCO_3-Na type, while IV pond is HCO_3-Ca type. The concentrations of heavy metal ions are fitted categories II in "Environmental quality standards for surface water" (GB3838-2002). The results of single factor evaluation method and the Nemerow comprehensive pollution index showed that the quality of subsidence pond water is good and has no pollution.

Key words: Hydro-geochemistry; heavy metal; Nemerow comprehensive pollution index; subsidence pool; Zhuxianzhuang coal mine