中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

移动扫码阅读

王德高,李江涛,梁文勖.采煤塌陷区周边土壤典型重金属元素调查与评价[J].煤炭科学技术,2019,47(2):194-202.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.02.032

WANG Degao,LI Jiangtao,LIANG Wenxu.Investigation and evaluation of typical heavy metal elements in soil around mining subsidence area [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47 (2): 194 - 202. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2019.02.032

采煤塌陷区周边土壤典型重金属元素调查与评价

王德高[1],李江涛[2],梁文勖[2]

(1.安徽工业经济职业技术学院,安徽 合肥 230051;2.煤科集团沈阳研究院有限公司,辽宁 沈阳 113122)

摘 要:为了查清毛集试验区采煤塌陷区周边农田土壤重金属元素 Cu、Zn、Ni、Cd、Cr 和 Pb 含量与污染水平,选择新集一矿 3 处(A、B、C 处)典型采煤塌陷区周边土壤为研究对象,通过系统采集 23 个土壤样品,利用火焰原子吸收分光光度法测定 6 种元素含量,并采用单项污染指数法和综合污染指数法开展重金属污染评价。结果表明:基于元素含量的空间分布规律,得出 Cu 与 Zn、Pb 与 Cd、Ni 与 Cr 具有相似污染源;土壤重金属二级超标率测定结果表明 Cu、Pb、Ni、Cr 未超标,而 Cd 和 Zn 普遍超标;元素的单项污染指数结果表明 Ni 含量达到警戒线,Zn 达到轻度污染,而 Cd 达到重度污染;A、B、C 处周边农田土壤的综合污染指数高低顺序为 A>C>B。研究结果为毛集试验区内开展农用地重金属污染防控与修复提供了技术参考。

关键词:采煤沉陷区;重金属元素;重金属污染评价;土壤;毛集试验区

中图分类号:TD88 **文献标志码**:A **文章编号**:0253-2336(2019)02-0194-09

Investigation and evaluation of typical heavy metal elements in soil around mining subsidence area

WANG Degao[1], LI Jiangtao[2], LIANG Wenxu[2]

(1.*Anhui Technical College of Industry and Economy, Hefei* 230051, *China*; 2.*CCTEG Shenyang Research Institute, Shenyang* 113122, *China*)

Abstract: In order to find out the contents and pollution levels of heavy metal elements (Cu, Zn, Ni, Cd, Cr and Pb) in farmland soils around coal mining subsidence areas in Maoji experimental area, three typical coal mining subsidence areas (A, B, C) around Xinji No.1 Mine were selected as research objects, 23 soil samples were systematically collected, the contents of six kinds of elements were determined by flame atomic absorption spectrophotometry, and the single pollution index method and comprehensive pollution index method were used to carry out heavy metal pollution evaluation. The results show that based on the spatial distribution of element content, Cu and Zn, Pb and Cd, Ni and Cr have similar pollution sources; the two-level exceeding rate of soil metal elements shows that Cu, Pb, Ni and Cr do not exceed the standard, while Cd and Zn generally exceed the standard; the results of single pollution index of elements showed that Ni content reach the warning line, Zn reached slight pollution, and Cd reach severe pollution; the order of comprehensive pollution index of farmland soil around A, B and C is A>C>B. The results of this study will be beneficial to the prevention and remediation of heavy metal pollution in agricultural land in the region.

Key words: mining subsidence area; heavy metal elements; evaluation of heavy metal pollution; soil; Maoji experimental area

0 引 言

淮南市毛集试验区作为安徽省唯一的国家级可持续发展先进示范区,其生态环境建设与地方经济发展是否能够协同发展,有效兼容,关系到区内绿色矿山可持续开采的战略部署。近些年来,毛集试验

收稿日期:2018-09-01;**责任编辑**:代艳玲

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2016ZX05045-004-001);安徽省高校自然科学研究资助项目(KJ2017A643);安徽省高校优秀青年人才支持计划资助项目(gxyqZD2018126)

作者简介:王德高(1985—),男,江苏徐州人,讲师。E-mail:157752495@qq.com

通信作者:李江涛(1980—),男,山东安丘人,副研究员。Tel:024-24117758,E-mail:syccri@163.com

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

区经济增速显著,主要经济指标实现平稳增长,为加快建设“滨湖小城市、生态大湿地”夯实了坚实经济基础。然而,区内经济的快速增长是以煤矿开采为主要经济增长极,造成区内土地生态系统严重破坏,具体有 2 种主要破坏类型:①煤炭资源开采造成地表移动与变形,形成大面积采煤沉陷区,使得地表农田快速消失,冲击农业生产[1-2];②采煤塌陷区常年积水,水质污染严重,水中含有的重金属在未经处理下经渗透作用进入周边农用地,造成土壤中具有生物毒性显著的重金属含量超过区域背景值,形成重金属污染[3-6]。农用地一旦被重金属污染后,往往难以自身恢复,通过食物链作用,对人体产生一定程度的损伤[7-10]。

近年来,国内外学者针对土壤中重金属污染现象开展了广泛而深入的研究,研究成果主要集中在土壤重金属污染调查与评价[10-12]、污染源特征[13]和污染治理与修复[14]等方面。贺玉晓等[10]以焦作矿区韩王煤矿采煤沉陷区为例,重点查明了采煤沉陷区周边土壤中重金属元素含量,探讨了重金属含量对土壤酶活性的影响。程静霞[11]查明了焦作矿区采煤沉陷区周边土壤养分元素(碳、氮和磷)的空间变化规律,获得了矿区周边土壤与粮食作物复合土地整治过程中的有机碳转化规律。王兴明等[12]发现随土壤深度增加,重金属元素在土壤中的含量未有显著变化;熊鸿斌等[13]查明了淮南地区采煤塌陷区周边土壤中 As、Cd、Pb、Zn 空间分布规律,指明了上述 4 种元素的主要污染源类型。蔡峰等[14]综合调查了淮南矿区煤矸石的理化特征,提出了矸石作为污染源的元素特征。国内学者主要采用主成分分析、地统计分析、加权平均综合污染评价等方法开展了土壤重金属污染及潜在生态风险评价[15-18]。BENHADYA 等[19]利用 GIS 技术研究了阿尔及利亚表层土壤重金属污染空间分布特征。GRAMATICA 等[20]采用多元空间分析方法评价了西西里苔藓和土壤重金属含量的分布规律。前人的研究成果更多的是关注矿区土壤重金属元素的含量、赋存形态在单一影响因素(采矿活动、农耕作业、煤矸石山、沉陷水体等)下的变化规律,而较少考虑多因素的影响,本次研究以毛集试验区新集一矿为例,探讨了 3 个大型塌陷区旁土壤重金属元素含量在煤矸石堆放、工业生产、居民日常生活、气体尾气排放等因素的影响下的空间分布情况。

毛集试验区位于淮南东部新集矿区内,由于煤炭资源长期开采,在井田周边形成了数个积水塌陷区及堆放了一定规模的煤矸石山,造成了井田周边农用地土壤污染;井田周边的生活区和工业区也在一定程度上加重了重金属在土壤中的富集。但至今尚未针对毛集试验区煤矿采煤塌陷区周边土壤中重金属元素调查与评价的研究。基于此,经现场实际踏勘,结合区内高标准农田地球化学调查,笔者以毛集试验区内新集一矿采煤塌陷区周边土壤为研究对象,重点关注土壤中 6 种典型重金属元素铜(Cu)、锌(Zn)、镍(Ni)、镉(Cd)、铬(Cr)、铅(Pb)背景含量的空间分布特征,采用单项污染指数和综合污染指数评价方法,查清上述 6 种重金属元素的污染水平,为采煤沉陷区周边土壤改良和适宜农作物选取提供基础理论依据。

1 研究区概况

毛集试验区内主要煤矿企业有生产矿井花家湖煤矿、关停矿井新集一矿和关闭矿井新集三矿,开采方式主要为长壁开采。区内含煤地层形成于晚古生代,煤种以气煤为主,次为 1/3 焦煤。区内主体构造形迹呈近北西西向展布的大型复式向斜,多断裂带,主要由煤、泥岩、砂岩和黏土层组成。研究区区周边建有加油站、冶金、电镀等小型工厂。区地处淮南市西南部,东接八公山麓,南与寿县古城隔淮河相望,西、北两面与颍上县、凤台县毗邻,南北长 18.5 km,东西宽 15.5 km,总面积约为 201 km^2。区内交通发达,合淮阜高速公路、102 省道、阜合铁路穿境而过。

研究区内土壤类型主要以砂质湿潮土为主,主要农用地类型为水田、旱地和林地,多种植小麦、水稻、玉米、油菜和花生。研究区属北亚热带季风气候,年平均降水量为 905 mm。鉴于区内新集一矿开采年限最长,矿井周边形成的采煤塌陷区范围最为典型,因此选取新集一矿采煤塌陷区周边土壤作为本次研究对象。

2 土壤样品采集与测试分析

2.1 土壤样品采集

在对新集一矿采煤沉陷区实地踏勘的基础上,采集现已形成规模的 3 个主要塌陷区(依次标定为 A、B、C)周边土壤样品。由于土壤样品仅代表一个小的区域,其特性容易随着成土因素(母质、水源及其他影响因素)的变化而变化,为了达到土壤重金属元素背景值调查与评价之目的,土壤样品的采集必须遵守如下原则:

1)参照 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》、2008 年《全国土壤污染状况评价技术规定》、2016

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

年《安徽省市县级 1∶5 万土地质量地球化学调查评价技术指南(试行)》《耕地土壤重金属污染评价技术规程》等相关规程规范,根据采煤塌陷区周边土地利用类型(主要为水田),以“图斑+网格”为控制边界,采集宗地中心点位置的土壤样品为代表性样品。

2)为了查清采煤沉陷区周边土壤重金属元素背景含量,采集到的土壤样品垂向深度为 10~20 cm,土壤类型主要为砂质土。依据上述原则,在新集一矿 3 个典型采煤沉陷区周边共采集 23 个土壤样品(图 1),23 个土壤样品的采集位置信息和采样深度,以及总磷、总氮的含量见表 1。

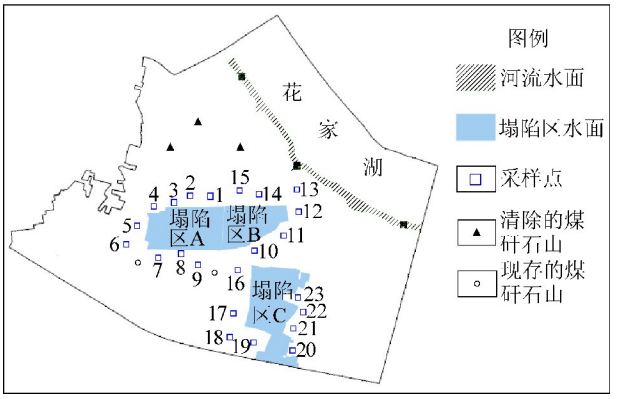


图 1　采煤沉陷区周边土壤样品采集位置

Fig.1　Location of soil samples collection around mining subsidence area

表 1　采煤沉陷区周边土壤样品基础信息与重金属元素含量测定结果

Table 1　Soil sample basic information heavy metal element cotents around mining subsidence area

塌陷区编号	土壤样品编号	总磷含量/10^{-6}	总氮含量/10^{-6}	含量/(mg·L^{-1})					
				Cu	Zn	Pb	Ni	Cd	Cr
A	X1	503.99	955.41	30.78	437.51	14.56	49.19	5.71	78.92
	X2	277.91	860.98	36.90	423.30	30.87	62.66	5.43	71.00
	X3	450.83	709.83	28.23	372.93	15.10	44.69	5.02	86.33
	X4	306.08	811.68	31.73	397.47	26.82	55.61	5.65	78.75
	X5	450.40	475.15	34.41	574.68	15.34	53.34	5.58	98.65
	X6	353.20	690.78	24.26	344.96	24.26	38.81	5.40	82.73
	X7	382.39	815.38	28.13	419.20	17.95	51.94	5.08	45.74
	X8	572.54	847.21	31.07	477.11	46.24	45.95	5.11	161.94
	X9	618.90	1 223.28	31.10	511.81	37.06	53.04	5.17	58.86
B	X10	453.01	1 057.42	24.93	347.58	31.07	42.43	5.16	108.95
	X11	462.65	1 241.92	29.71	378.27	15.35	45.32	5.25	21.82
	X12	338.61	909.88	30.98	417.82	28.96	63.36	5.80	91.52
	X13	414.01	484.95	18.93	342.71	23.24	40.08	5.58	54.54
	X14	455.79	1 088.10	23.47	341.20	16.77	41.62	5.18	80.53
	X15	475.39	999.32	35.30	488.97	32.04	57.72	5.29	77.99
C	X16	465.08	632.18	31.95	512.99	25.23	57.27	5.11	65.55
	X17	401.84	636.79	38.10	426.71	25.05	56.22	5.16	110.25
	X18	341.23	645.49	32.51	491.76	32.84	61.43	5.25	100.35
	X19	477.24	753.34	31.30	455.05	21.15	60.06	5.32	59.21
	X20	389.68	650.86	31.05	445.88	25.07	61.70	5.42	42.85
	X21	294.83	547.24	30.34	440.75	23.25	50.05	5.82	65.82
	X22	278.22	677.88	26.36	412.75	21.34	43.74	5.68	78.20
	X23	426.41	610.16	15.34	281.37	13.12	35.58	6.69	11.49

2.2　土壤样品测试分析

已有研究表明[12],淮南地区采煤沉陷区多毗邻煤矸石堆积场,后者在雨水淋滤、自然风化过程中,易会析出重金属元素,其中 Cu、Zn、Ni、Cd、Cr、Pb 元素因其对人体健康具有潜在危险而被广泛关注。因此,本次研究重点关注上述 6 种重金属在采煤沉陷

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

区周边土壤中的背景含量。23 个土壤样品经悬挂、平摊晾晒、自然风干后,用橡木槌对其进行反复敲打,满足土壤颗粒粒级达自然粒级状态,最后过 0.074 mm(200 目)筛。采用硝酸消解法处理过筛后的粉末状土壤样品,所有样品测试在中国科学院南京土壤所完成,具体测试方法见表 2。

表 2　土壤样品 6 种重金属元素检测方法

Table 2　Test methods of six heavy metal elements in soil samples

检测元素	分析方法	最低检出限质量浓度/(mg·L^{-1})	检测方法
Cu	火焰原子吸收分光光度法	0.01	GB/T 17138—1997《土壤质量铜、锌的测定》
Zn		0.005	
Ni		0.05	GB/T 17139—1997《土壤质量镍的测定》
Cd		0.000 5	GB/T 17140—1997《土壤质量镉、铅的测定》
Pb		0.001	
Cr		0.05	HJ 491—2009《土壤质量总铬的测定》

2.3　土壤重金属含量评价标准

国内学者通常采用 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》评价土壤中重金属的富集程度。该标准划分了 3 个土壤环境质量等级。需要指出的是,土壤环境质量二级标准(表 3)反映了人体健康的土壤临界值。即当测试土壤样品中重金属含量超过了二级标准,意味着其已经对农业生产和人类健康造成潜在威胁,需要采取下一步防控措施。淮南矿区土壤呈碱性[12],因此选取二级标准(pH>7.5)作为本次研究的评价标准。土壤重金属二级超标率表示所采集到的土壤样品重金属含量超过所选评价标准限定值的样品比例。

表 3　土壤环境质量标准

Table 3　Soil environmental quality standard

测试元素	二级标准(10^{-6},烘干土重)		
	pH<6.5	pH=6.5~7.5	pH>7.5
Cu	50.0	100.0	100.0
Zn	200.0	250.0	300.0
Ni	40.0	50.0	60.0
Cd	0.30	0.30	0.60
Cr	150.0	200.0	250.0
Pb	250.0	300.0	350.0

2.4　土壤重金属含量评价方法

土壤重金属含量评价的常用方法有单项污染指数法、内梅罗综合污染指数法、地累积指数法等。黄绍文等[6]研究表明,土壤重金属污染既有可能是单一元素作用的结果,也有可能是多种元素共同作用的结果。参照已有研究成果,结合相关规程规范,本次研究采用 2 种典型土壤重金属含量评价方法(单项污染指数法和内梅罗综合污染指数法)开展 A、B、C 三处周边土壤 6 种重金属元素污染现状。

1)单项污染指数法。重金属元素 i 的污染指数 P_i 为

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \tag{1}$$

式中:C_i 为重金属元素 i 污染物实测浓度,mg/L;S_i 为重金属元素 i 污染物限量标准值(二级标准),mg/L。

2)内梅罗综合污染指数法。土壤重金属污染综合评价依据内梅罗综合污染指数法,其定义为

$$P_Z = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} P_i\right)^2 + P_{i,\max}^2}{2}} \tag{2}$$

式中:P_Z 为采样点的综合污染指数;$P_{i,\max}$ 为重金属污染指数中的最大值;n 为采样点数量。

土壤重金属单项、综合污染评价分级标准见表 4。

表 4　土壤重金属单项、综合污染评价的分级标准

Table 4　Classification criterion of soil heavy metal based on individual and comprehensive pollution assessment

P_i	污染等级	污染水平
$P_i \leqslant 0.5$	安全	无
$0.5 < P_i \leqslant 1$	警戒级	有污染痕迹
$1 < P_i \leqslant 2$	轻污染	土壤轻污染,农作物开始受污染
$2 < P_i \leqslant 3$	中污染	土壤、农作物均受中度污染
$P_i > 3$	重污染	土壤、农作物已严重受污染

3　结果与讨论

3.1　不同重金属元素含量空间分布规律

为了直观、清晰地反映出新集一矿采煤沉陷区周边土壤中 6 种重金属元素含量的空间分布特征,采用 Surfer 9.0 软件,选取克里格插值法,经过数据过滤、网格化交叉确认及网格线素几何学校正后,得到不同元素含量的 3D 空间分布图。

3.1.1　Cu 元素

新集一矿采煤沉陷区周边土壤 Cu 元素含量空间分布如图 2 所示。

从图 2 可以看出,Cu 含量在 X1、X2、X5、X8、X9、X15、X16 和 X17 采样点呈现出较高值,而在 X12、X13、X22 和 X23 采样点呈现出较低值。总体

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

上看,塌陷区 A 西北方向和塌陷区 C 西南方向土壤中 Cu 含量较高,而塌陷区 B 东北方向和塌陷区 C 东北方向土壤中 Cu 含量较低。黄绍文[6]提出有机肥中富含 Cu 元素,过量施肥会造成农田土壤中 Cu 元素累积。结合图 2,认为 X1、X2、X5 和 X15 采样点位于朱家岗、朱岗村、邵郢孜附近,由于地方农田长期耕作常使用含 Cu 元素的有机肥,在土壤与水的一系列物化作用条件下,Cu 元素残留于土壤中;黄绍文[6]提出汽车排放尾气中含有 Cu 元素,X8、X9、X16 和 X17 采样点位于公路附近,车辆长期通行,排放出的尾气颗粒降落并吸附在其周边的农田土壤中,使得土壤中 Cu 含量不同程度地增加。

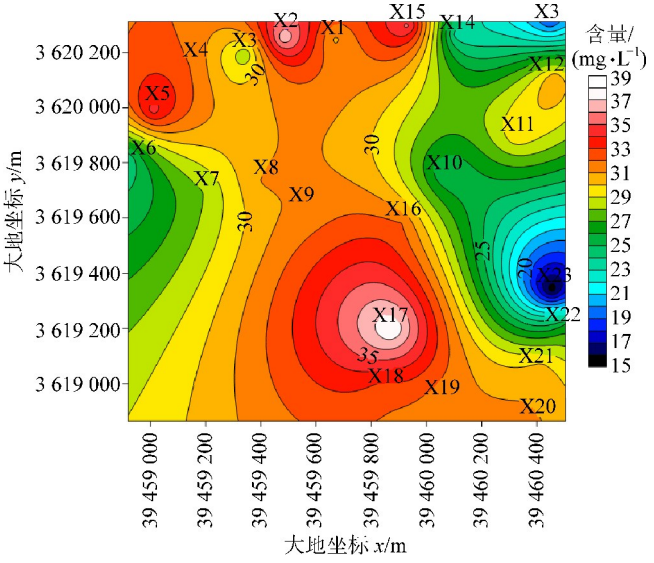


图 2　采煤沉陷区周边土壤中 Cu 元素含量空间分布

Fig.2　Spatial distributions of Cu elements in surrounding soil of mining subsidence area

3.1.2　Zn 元素

新集一矿采煤沉陷区周边土壤 Zn 元素含量空间分布如图 3 所示。

从图 3 可以看出,Zn 含量在 X5、X8、X9、X15、X16、X18 和 X19 采样点呈现出较高值,而在 X10、X13、X22 和 X23 采样点呈现出较低值。总体上看,塌陷区 A 西南和南东方向和塌陷区 C 北西和南西方向 Cu 含量较高,而塌陷区 B 南东和东北方向及塌陷区 C 北东方向 Cu 含量较低。已有研究表明,农药化肥的过度使用和大量生活垃圾堆放会造成土壤中 Zn 含量水平增高。与 Cu 相似,虽然在 X1、X2 和 X4 采样点 Zn 含量未呈现出较高值,但也达到了(400~440)×10^{-6},表明农田土壤中依然残留并富集一定程度的 Zn。针对 X16、X18 和 X19 采样点 Zn 含量较高,认为上述采样点离公路较近,加之周边有一些生活小区,产生了一定数量的生活垃圾,经长期堆放,造成了附近农田土壤中 Zn 含量增高。

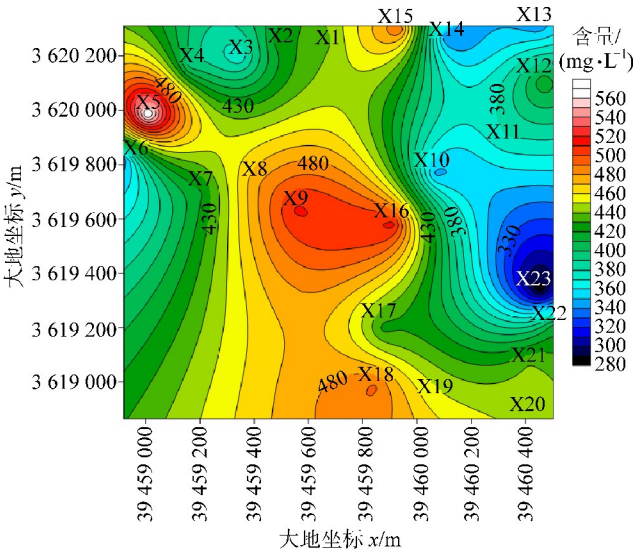


图 3　采煤沉陷区周边土壤中 Zn 元素含量空间分布

Fig.3　Spatial distributions of Zn elements in surrounding soil of mining subsidence area

3.1.3　Pb 元素

新集一矿采煤沉陷区周边土壤 Pb 元素含量空间分布如图 4 所示。

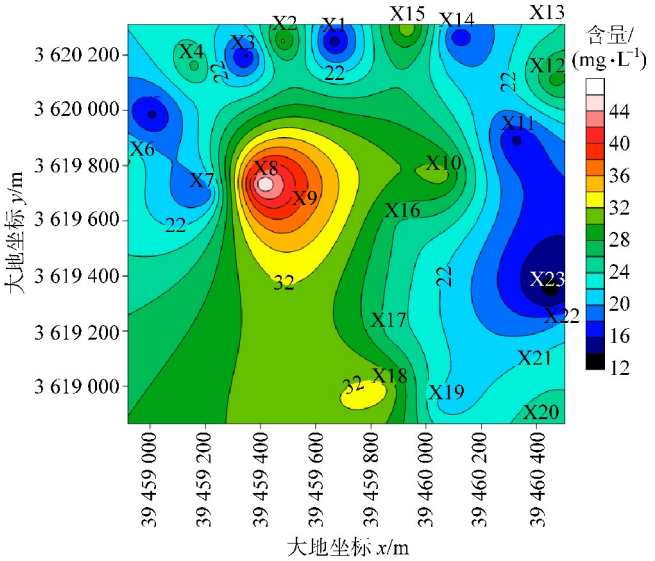


图 4　采煤沉陷区周边土壤中 Pb 元素含量空间分布

Fig.4　Spatial distributions of Pb elements in surrounding soil of mining subsidence area

从图 4 可以看出,Pb 含量在 X8、X9 和 X18 采样点呈现出较高值,而在其他采样点呈现出较低值。总体上看,塌陷区 A 南东方向和塌陷区 C 南西方向 Pb 含量较高,而 3 个塌陷区其余方向 Pb 含量较低。已有研究表明,汽车含铅汽油的燃烧是城市大气中 Pb 含量超标的主要因素。X8、X9 和 X18 采样点位于公路两侧,长期车辆通行,产生大量汽车尾气,当

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

富含 Pb 的尾气颗粒沉降在农田土壤中,使得土壤中 Pb 含量增多。

3.1.4　Ni 元素

新集一矿采煤沉陷区周边土壤 Ni 元素含量空间分布如图 5 所示。

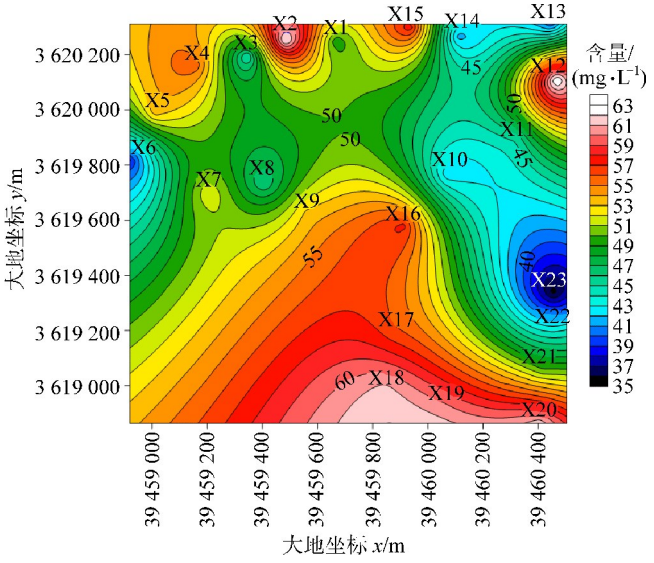


图 5　采煤沉陷区周边土壤中 Ni 元素含量空间分布

Fig. 5　Spatial distributions of Ni elements in surrounding soil of mining subsidence area

从图 5 可以看出,Ni 含量在 X2、X4、X5、X7、X9、X12、X15、X16、X17 和 X18 采样点呈现出较高值,而在 X10、X13 和 X23 采样点呈现出较低值。总体上看,塌陷区 A 西北方向、塌陷区 B 西北、东南方向、塌陷区 C 西北和西南方向 Ni 含量较高,而塌陷区 B 南东方向和塌陷区 C 东北方向 Ni 含量较低。已有研究表明,岩石风化、大气降尘、灌溉用水(包括含镍废水)、农田施肥等方面是土壤中 Ni 污染的主要来源。一方面,X2、X4、X5、X12 和 X15 采样点位于朱家岗、朱岗村、邵郢孜附近,经过走访调研,这些村庄有一些小型的工业作坊,在很长的一段时期,从事 Fe、Pb 等金属加工,产生的工业废水中常含有 Ni,未经处理的工业废水流入至周边农田,使得农田土壤中 Ni 含量增加;此外,农田施肥在某种程度上也会使得上述采样点 Ni 含量增多;另一方面,X9、X16、X17 和 X18 采样点位于公路附近,走访发现在乡村周边有私人加油站,使用含镍的汽油添加剂,因此上述采样点 Ni 含量增多是由于含 Ni 的汽车尾气颗粒经降尘作用后吸附于土壤中所致。

3.1.5　Cd 元素

新集一矿采煤沉陷区周边土壤 Cd 元素含量空间分布如图 6 所示。

从图 6 可以看出,Cd 含量在 X7、X8、X9、X16、X17

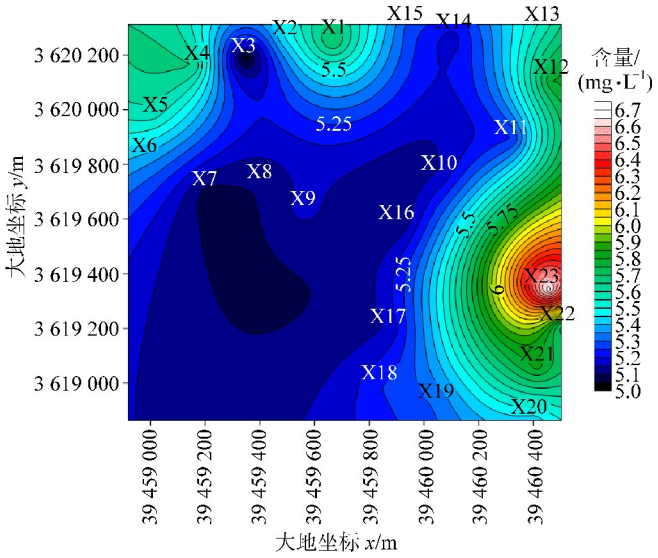


图 6　采煤沉陷区周边土壤中 Cd 元素含量空间分布

Fig.6　Spatial distributions of Cd elements in surrounding soil of mining subsidence area

和 X18 采样点呈现出较高值,而在 X10、X11、X14 和 X20 采样点呈现出较低值。总体上看,塌陷区 A 西南方向、塌陷区 C 西北、西南方向 Cd 含量较高,而塌陷区 B 南东方向和塌陷区 C 东北方向 Cd 含量较低。通常而言,土壤中镉的污染源主要有煤奔矸石山酸性废水排放、工业生产、铁路公路两侧废气排放、农药化肥使用及含 Cd 大气颗粒沉降等。由于上述采样点位于公路两侧,长期车辆通行,产生大量汽车尾气,当富含 Cd 的尾气颗粒沉降在农田土壤中,使得土壤中 Cd 含量增多,这与上述采样点富 Pb 来源相似。

3.1.6　Cr 元素

新集一矿采煤沉陷区周边土壤 Cr 元素含量空间分布如图 7 所示。

从图 7 可以看出,除在 X5、X8、X10、X17 和 X18 采样点 Cr 含量较高值外,大多数采样点 Cr 含量较低。总体上看,塌陷区 A 正南方向、塌陷区 B 正南方向、塌陷区 C 西南方向 Cr 含量较高,而塌陷区 B 东南方向和塌陷区 C 东南方向 Cr 含量较低。已有研究表明,针对金属加工、电镀、制革等行业,在工业生产过程中,为了防止循环水对机械设备的腐蚀,通常需要添加一定量的铬酸盐。如果未对含 Cr 废水和废气进行达标排放化处理,将造成 Cr 环境污染。此外,燃煤排放的电厂废气中也含有颗粒形态的 Cr,若未经处理,将沉降于电厂周边土壤中,造成土壤 Cr 污染。由此,农田土壤中 Cr 元素的来源类似于 Ni 元素。

3.2　不同塌陷区土壤重金属污染评价

3.2.1　不同塌陷区周边土壤重金属二级超标率

3 个塌陷区周边土壤样品 6 种重金属元素含量的二级超标率计算结果见表 5。

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

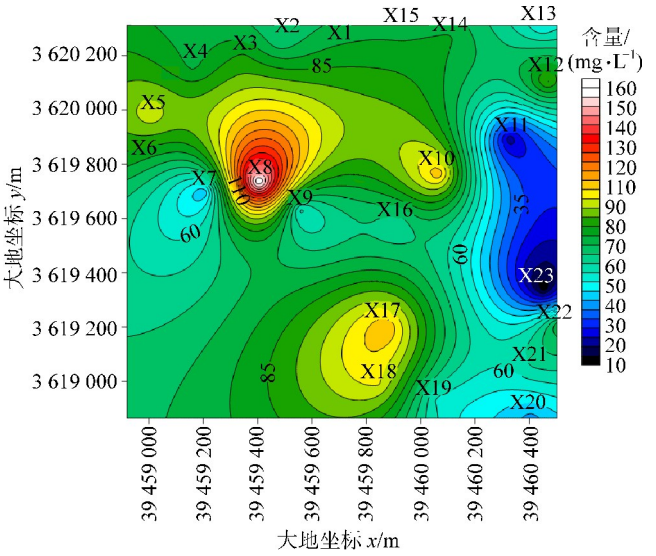


图 7　采煤沉陷区周边土壤中 Cr 元素含量空间分布

Fig.7　Spatial distributions of Cr elements in surrounding soil of mining subsidence area

从表 5 可以看出，3 个塌陷区周边土壤重金属仅有 Cu、Pb 和 Cr 未有超标，在限定值范围内；Zn 在塌陷区 A 和 B 二级超标率达到 100%，其在塌陷区 C 中二级超标率达到 87.5%（除土壤样品 X23）；Ni 在塌陷区 A 中仅 X2 样品超标，其在塌陷区 B 中仅 X12 样品超标，其在塌陷区 C 中 X18、X19 和 X20 样品超标；Cd 在 3 个塌陷区中全部超标。鉴于此，3 个塌陷区周边土壤具有潜在危害的重金属元素是 Zn 和 Cd。建议加强对调查区内农药化肥使用量、生活污水和工业废水排放量及汽车尾气排放量的管理与控制。

表 5　土壤重金属含量二级超标率计算结果

Table 5　Calculation results of second grade exceeding standard rate of soil heavy metal content

塌陷区编号	重金属含量二级超标率/%					
	Cu	Zn	Pb	Ni	Cd	Cr
A	未超标	100	未超标	11.1	100	未超标
B	未超标	100	未超标	16.7	100	未超标
C	未超标	87.5	未超标	37.5	100	未有超标

3.2.2　不同塌陷区周边土壤重金属单项污染指数

塌陷区 A、B 和 C 处周边土壤 6 种重金属元素的单项污染指数计算结果见表 6。由表 6 可知，除 X2、X18、X19 和 X20 样品 Ni 元素达到轻污染外，剩余土壤样品中 Ni 元素均达到警戒线，土壤有被污染潜势，应加强相应的预防措施。此外，所有土壤样品中 Zn 的污染等级均达到轻污染，表明农作物（水稻）具有潜在的 Zn 富集趋势；所有土壤样品中 Cd 的污染等级均达到重污染，表明农作物（水稻）在很大程度上具有 Cd 污染。

表 6　土壤重金属含量单项污染指数计算结果

Table 6　Calculation results of individual pollution index of heavy metal content in soil

塌陷区编号	土壤样品编号	单项污染指数评价结果					
		Cu	Zn	Pb	Ni	Cd	Cr
A	X1	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
	X2	安全	轻污染	安全	轻污染	重污染	安全
	X3	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
	X4	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
	X5	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
	X6	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
	X7	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
	X8	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
	X9	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
B	X10	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
	X11	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
	X12	安全	轻污染	安全	轻污染	重污染	安全
	X13	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
	X14	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
	X15	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
C	X16	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
	X17	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
	X18	安全	轻污染	安全	轻污染	重污染	安全
	X19	安全	轻污染	安全	轻污染	重污染	安全
	X20	安全	轻污染	安全	轻污染	重污染	安全
	X21	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
	X22	安全	轻污染	安全	警戒级	重污染	安全
	X23	安全	警戒级	安全	安全	重污染	安全

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

3.2.3　不同塌陷区周边土壤重金属综合污染指数

塌陷区 A、B 和 C 处周边土壤 6 种重金属元素的综合污染指数计算结果见表 7。

表 7　土壤重金属含量综合污染指数计算结果

Table 7　Calculation results of comprehensive pollution index of soil heavy metal content

塌陷区编号	P_Z	评价结果	修正 P_Z	评价结果
A	6.87	重污染	1.45	轻污染
B	6.97	重污染	1.24	轻污染
C	8.01	重污染	1.31	轻污染

根据式(2)计算得到,3 个塌陷区 6 种重金属综合污染指数大小顺序为 C>B>A,评价结果均为重污染。通过对内梅罗指数计算公式的检验发现,所分析的 23 个土壤样品中 Cd 含量是其二级标准限定值的 9~12 倍,其对 P_Z 的计算结果贡献值最高,即土壤中 Cd 污染指数决定了 P_Z 和评价结果。此外,相对于塌陷区 B、C 而言,塌陷区 A 周边村庄、生活区、农田、公路等污染源较多,其 P_Z 应当最大,但实际计算结果与预期不吻合。为此,采用体操计数法修正内梅罗计算方法,即:不考虑土壤单项污染指数的最大值和最小值,剩余值参照内梅罗计算方法执行。如此得到修正 P_Z 的计算结果和评价结果(表 7)。发现 3 个塌陷区 6 种重金属综合污染指数大小顺序为 A>C>B,这符合客观实际,但其相应的污染等级由重污染降低为轻污染。需要强调的是,在相同的背景条件下(土壤样品采集数量、采集深度及其测试精度等因素),2 种算法得出的评价结果均反映了土壤中 6 种重金属的综合污染水平,轻度污染与重度污染则需要辩证地分析。综上所述认为,与塌陷区 B、C 相比,塌陷区 A 周边土壤重金属综合潜在危险系数最高,具有一定程度的污染,应引起高度重视,需着重治理。

4　结　　论

1)新集矿区 3 处典型的采煤塌陷区周边农用地土壤中 6 种重金属元素(Cu、Zn、Ni、Cd、Cr 和 Pb)污染情况不尽相同,其中 Cu、Pb 和 Cr 未超标,而 Cd 和 Zn 普遍超标。

2)通过对 6 种重金属元素含量空间分布规律的分析,认为人类活动是导致区内部分重金属富集的主要原因,其中 Cu 与 Zn 主要来源于汽车尾气排放与农用肥料;Pb 与 Cd 主要源于煤矸石山酸性废水排放与公路两侧废气排放;Ni 与 Cr 主要源于未经处理的工业废水流入与燃煤排放的电厂废气。此外,6 种重金属元素含量的空间分布规律有着一定的差异,反映出该地区污染源多样化,供给来源复杂。

3)单项污染指数计算结果显示 Ni 含量达到警戒线,Zn 达到轻度污染,而 Cd 达到重度污染;综合污染指数计算结果表明 A、B 和 C 处周边农田污染等级的顺序为 C>B>A;通过对内梅罗指数计算公式的检验,重新获得土壤重金属综合污染指数大小顺序为 A>C>B。基于上述,塌陷区周边农田重金属污染现状较为严重,这对周边村庄居民身体健康形成潜在威胁,因此开展区内重金属污染防控与修复迫在眉睫。

参考文献(References):

[1] 肖　武,陈佳乐,胡振琪,等.高潜水位采煤沉陷地构建平原水库可行性分析与实践[J].煤炭科学技术,2017,45(7):184-189.
XIAO Wu,CHEN Jiale,HU Zhenqi,*et al*.Feasibility analysis and practice of constructing plain reservoirs in high underground water mining subsidence area[J].Coal Science and Technology,2017,45(7):184-189.

[2] 邹　慧,毕银丽,金晶晶,等.采煤沉陷对植被土壤容重和水分入渗规律的影响[J].煤炭科学技术,2013,41(3):125-128.
ZOU Hui,BI Yinli,JIN Jingjing,*et al*.Mining subsidence affected to soil volume-weight and water infiltration law of different vegetation type[J].Coal Science and Technology,2013,41(3):125-128.

[3] 陆青锋,吴士豪,秦身钧,等.贵州盘县矿区煤中伴生元素的地球化学特征[J].煤炭科学技术,2017,45(10):169-175.
LU Qingfeng,WU Shihao,QIN Shenjun,*et al*.Geochemical features of associated elements in coal from Panxian Minefield of Guizhou[J].Coal Science and Technology,2017,45(10):169-175

[4] 金　军,高　为,孙　键,等.黔西松河矿区煤中元素地球化学特征及成煤环境意义[J].煤炭科学技术,2017,45(12):166-173.
JIN Jun,GAO Wei,SUN Jian,*et al*.Geochemistry characteristics and coal formation environmental significances of elements in coal from Songhe Mining Area in western Guizhou[J].Coal Science and Technology,2017,45(12):166-173,204.

[5] 刘静静,王儒威,刘桂建,等.淮北芦岭矿区土壤中 PAHs 的分布特征及分析[J].中国科学技术大学学报,2010,40(7):661-666.
LIU Jingjing,WANG Ruwei,LIU Guijian,*et al*.Concentrations distributions and source of polycyclic aromatichy drocarbons in soil of Luling Coal Mine in Huaibei [J].Journal of University of Science and Technology of China,2010,40(7):661-666

[6] 黄绍文,金继运,和爱玲,等.农田不同利用方式下土壤重金属区域分异与评价[J].农业环境科学学报,2007(S2):540-548.
HUANG Shaowen,JIN Jixun,HE Ailing,*et al*.Regional difference and status of heavy metals in Rural soils under different patterns land use[J].Journal of Agro-Environment Science,2007(S2):

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

540-548.

[7] 王兴明,王运敏,储昭霞,等.煤矸石对铜尾矿中重金属(Zn,Pb,Cd,Cr 和 Cu)形态及生物有效性的影响[J].煤炭学报,2017,42(10):2688-2697.
WANG Xingming,WANG Yunmin,CHU Zhaoxia,*et al*.Effects of coal gangue addition on the chemical fraction and bioavailability of heavy metals (Zn,Pb,Cd,Cr and Cu) in copper mine tailings[J].Journal of China Coal Society,2017,42(10):2688-2697.

[8] 邵　群.新庄孜矿塌陷区煤矸石中重金属迁移对覆土影响[J].煤田地质与勘探,2007,35(6):34-36.
SHAO Qun.The impact of heavy metals transfer from coal waste rock to soil in Xinzhuangzi subsidence area [J].Coal Geology & Exploration,2007,35(6):37-39.

[9] 白建峰,崔龙鹏,黄文辉,等.煤矸石释放重金属环境效应研究:淮南煤矿塌陷区水体试验场实例调查[J].煤田地质与勘探,2004,32(4):7-10.
BAI Jianfeng, CUI Longpeng, HUANG Wenhui, *et al*. Environmental impact of heavy metal in coal mining spoils:an investigation on water near waste piles in Huainan gob area,Anhui Province, China [J]. Coal Geology & Exploration, 2004, 32(4):7-10.

[10] 贺玉晓,赵同谦,刘刚才,等.采煤沉陷区土壤重金属含量对土壤酶活性的影响[J].水土保持学报,2012,26(1):214-218.
HE Yuxiao, ZHAO Tongqian, LIU Gangcai, *et al*. Influence of heavy metal contents on the activities of soil enzyme in coal mining subsided area[J].Journal of Soil and Water Conservation,2012,26(1):214-218.

[11] 程静霞,聂小军,刘昌华.煤炭开采沉陷区土壤有机碳空间变化[J].煤炭学报,2014,39(12):2495-2500.
CHENG Jingxia,NIE Xiaojun,LIU Changhua.Spatial variation of soil organic carbon in coal-mining subsidence areas[J].Journal of China Coal Society,2014,39(12):2495-2500.

[12] 王兴明,董众兵,刘桂建,等.Zn,Pb,Cd,Cu 在淮南新庄孜煤矿矸石山附近土壤和作物中分布特征[J].中国科学技术大学学报,2012,42(1):17-25.
WANG Xingming,DONG Zhongbing,LIU Guijian,*et al*.Distribution characteristics of Zn,Pb,Cd,Cu in soil and crops around Xinzhuangzi Coal Mine waste rock pile[J].Journal of University of Science and Technology of China,2012,42(1):17-25.

[13] 熊鸿斌,胡海文,王振祥,等.淮南煤矿区土壤重金属污染分布特征及污染溯源研究[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2015(5):686-693.
XIONG Hongbin,HU Haiwen,WANG Zhenxiang,*et al*.Research on distribution characteristics and pollution source of metal pollution in soil in Huainan coal mining area[J].Journal of Hefei University of Technology,2015(5):686-693.

[14] 蔡　峰,刘泽功,林柏泉,等.淮南矿区煤矸石中微量元素的研究[J].煤炭学报,2008,33(8):892-897.
CAI Feng,LIU Zegong,LIN Boquan,*et al*.Study on trace elements in gangue in Huainan Mining Area[J].Journal of China Coal Society,2008,33(8):892-897.

[15] 石占飞,王　力.神木矿区土壤重金属含量特征及潜在风险评价[J].农业环境科学学报,2013,32(6):1150-1158.
SHI Zhanfei,WANG Li.Contents of soil heavy metals and evaluation on the potential pollution risk in Shenmu Mining Area[J].Journal of Agro-Environment Science,2013,32(6):1150-1158.

[16] 吴　洋,杨　军,周小勇,等.广西都安县耕地土壤重金属污染风险评价[J].环境科学,2015(8):2964-2971.
WU Yang,YANG Jun,ZHOU Xiaoyong,*et al*.Risk Assessment of heavy metal contamination in farmland soil in Du'an Autonomous County of Guangxi Zhuang Autonomous Region,China[J].Environmental Science,2015(8):2964-2971.

[17] 李一蒙,马建华,刘德新,等.开封城市土壤重金属污染及潜在生态风险评价[J].环境科学,2015(3):1037-1044.
LI Yimeng,MA Jianhua,LIU Dexin,*et al*.Assessment of heavy metal pollution and potential ecological risks of urban soils in Kaifeng City,China[J].Environmental Science,2015(3):1037-1044.

[18] 雷凌明,喻大松,陈玉鹏,等.陕西泾惠渠灌区土壤重金属空间分布特征及来源[J].农业工程学报,2014,30(6):88-96.
LEI Lingming, YU Dasong, CHEN Yupeng, *et al*. Spatial distribution and sources of heavy metals in soils of Jinghui irrigated area of Shaanxi,China[J].Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2014,30(6):88-96.

[19] BENHADDYA M L,HADJEL M.Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in surface soils of Hassi Messaoud,Algeria[J].Environmental Earth Sciences,2014,71(3):1473-1486.

[20] GRAMATICA P,BATTAINI F,GIANI E,*et al*.Analysis of mosses and soils for quantifying heavy metal concentrations in sicily:a multivariate and spatial analytical approach[J].Environmental Science & Pollution Research International,2006,13(1):28-36.