

基于文献研究的淮南煤矿区土壤重金属空间分布与污染评价

邢雅珍¹, 陈孝杨^{1*}, 许正刚², 胡智勇¹, 张凌霄¹

(1. 安徽理工大学地球与环境学院, 安徽淮南 232001; 2. 淮南创大实业有限责任公司, 安徽淮南 232052)

摘要 [目的]探究淮南矿区重金属污染整体情况,为矿区土壤修复提供参考依据。[方法]查阅国内外数据库中关于淮南煤矿区近10年土壤重金属文献,分析了新庄孜矿、顾桥矿、潘一矿和大通矿 Hg、Cd、Pb、Cr、As、Zn、Cu、Ni 的空间分布,并运用地累积指数法评价其重金属污染状况。[结果]淮南土壤中 Cd 和 As 的含量均超过土壤背景值,分别为 0.124~2.060 和 18.57~71.69 mg/kg;开采时间对矿区土壤重金属含量影响较大,潘一矿和新庄孜矿土壤中重金属含量均高于顾桥矿(除了 Hg);同一矿区内农田中 Zn、Pb、Cu、Cd 含量低于生态修复区;土壤 Cd、As 的地累积指数表明: Cd 属于中度污染至极强污染,As 属于轻度污染至强度污染。[结论]重金属 As 和 Cd 对淮南矿区土壤修复有重要影响。

关键词 煤矿区;土壤重金属;文献研究;空间分布;污染评价

中图分类号 S183.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)05-0077-04

The Spatial Distribution and Pollution Assessment of Soil Heavy Metals Based on Literature Research from Coal Mining Areas in Huainan

XING Ya-zhen¹, CHEN Xiao-yang¹, XU Zheng-gang² et al (1. School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001; 2. Huainan Chuangda Industrial Limited Liability Company, Huainan, Anhui 232052)

Abstract [Objective] To analyze overall situation of Huainan mining area, which provides the reference for the soil restoration. [Method] In the domestic and foreign databases, 351 published papers about soil heavy metal were screened from 2007 to 2017 using key words. Based on these papers, the spatial distribution of heavy metals were analyzed at coal mining areas of Xinzhuangzi, Guqiao, Panyi and Datong, including Hg, Cd, Pb, Cr, As, Zn, Cu, Ni. Soil contamination level of the heavy metals were assessed using the geo-accumulation index. [Result] The average contents of Cd, As in the soil were 0.124-2.060 mg/kg and 18.57-71.69 mg/kg, which were all above the soil background value of Huainan. The concentration of soil heavy metals at coal mining areas of Panyi and Xinzhuangzi was higher than that of Guqiao mining area (except for Hg), which showed that coal mining time has great influence on the content of heavy metals in soil in mining area. In the same mining area, The content of Zn, Pb and Cu and Cd were lower than that of ecological restoration. The geo-accumulation index value of Cd and As indicated that the Cd was moderately polluted to highly polluted and As was mild pollution to strength pollution. [Conclusion] Heavy metals As and Cd have important effects on soil remediation in Huainan mining area.

Key words Coal mining area; Soil heavy metals; Literature research; Spatial distribution; Pollution assessment

两淮矿区作为我国 14 个大型煤炭基地之一,其在满足构建国家能源安全体系、区域经济和国家经济健康发展需要的同时也带来了一系列生态环境问题,其中最突出的环境问题是土壤重金属污染。据大量学者研究发现,淮南矿区存在不同程度的污染。李洪伟等^[1]研究发现,新集矿区土壤重金属 Co、Cr、Cu、Pb、Zn 均未超过土壤环境质量标准国家二级标准。黄静等^[2]研究表明,土壤受到 Hg、Pb、Cr、Ni、Zn、Cu、Cd 不同程度的污染,其中 Cd 污染最严重。各文献所研究矿区和重金属均有所异同,且均未对淮南矿区整体情况进行分析和评估。该研究基于文献研究,对淮南矿区整体情况进行分析,初步探讨淮南矿区土壤重金属 Hg、Cd、Pb、Cr、As、Zn、Cu、Ni 的空间分布与污染评价,以期对矿区土壤修复提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 淮南矿区位于淮河中游(116°21'21"~117°11'59" E, 32°32'45"~33°0'24" N),自 1903 年开矿,含有潘集、新集、定远等七大矿区,拥有大、中型矿井不少于 40 座,是安徽省重要煤电一体化基地和国家煤炭资源开采与利用的重大工程建设区^[3]。该研究所选取的 4 个矿区分别为

新庄孜矿、顾桥矿、潘一矿、大通矿。新庄孜矿位于淮南矿区的东南部,淮河两侧,地势平坦,建于 1947 年;潘一矿位于淮南矿区的北部,建于 1983 年;顾桥矿位于淮南矿区的中西部,建于 2007 年;大通矿煤矿废弃地位于淮南市南部大通区的九龙岗与洞山之间,开采于 1911 年,闭坑于 1978 年^[4]。

1.2 文献研究与统计方法 文献检索在中国知网及维普期刊网中进行,以“淮南”和“重金属”为主题词(中英文),检索时间为 2007 年 1—7 月,根据标题和摘要筛选后将文献归类为试验研究和综述 2 类,待文献收集完成后运用 Excel 2007 进行数据整理与统计分析。根据文献统计结果,并针对不同开采年份,将矿区设置 A(已闭坑的大通矿)、B(开采 15 年以上的潘一矿和新庄孜矿)、C(开采 15 年以下的顾桥矿)3 个分组。文献数据整理见表 1^[4-14]。

1.3 评价方法 评价方法利用地累积指数法,其污染级别可以划分 7 个等级(表 2),该方法只适用于分析某研究对象中单独的重金属元素污染程度,不能评价多种重金属元素的综合污染指数或某一种重金属元素的综合污染指数^[15]。其表达公式如下:

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / (1.5 \times BEn)] \quad (1)$$

式中, C_n 为样品中元素 n 的平均浓度; BEn 为淮南土壤环境背景值; 1.5 为常数。

2 结果与分析

2.1 矿区开采时间对土壤重金属含量的影响 由图 1 可

基金项目 国家自然科学基金项目(41572333, 51274013)。
作者简介 邢雅珍(1994—),女,安徽芜湖人,硕士研究生,研究方向:矿区农田重金属污染与修复。*通讯作者,教授,博士,从事矿山生态环境修复与土地复垦研究。
收稿日期 2017-12-07

表 1 矿区重金属平均含量

Table 1 The average content of heavy metals in mining area			mg/kg							
序号 No.	研究区 Research area	分组 Group	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Hg	As
1	新庄孜 1	B	40.03	14.19	0.124	21.890	—	—	—	—
2	新庄孜 2	B	—	—	0.145	—	—	—	—	71.69
3	新庄孜复垦 1	B	88.08	37.48	1.400	59.420	211.67	39.38	0.040	—
4	新庄孜复垦 2	B	88.72	20.01	2.060	32.430	55.39	—	0.023	—
5	大通废弃地	A	—	0.15	1.971	0.048	0.34	—	0.253	—
6	大通复垦 1	A	—	26.86	0.180	28.430	58.55	32.98	—	18.57
7	大通复垦 2	A	—	26.86	—	—	58.55	32.98	—	—
8	顾桥 1	C	31.40	10.00	0.195	17.500	44.56	19.53	—	—
9	顾桥 2	C	—	—	0.650	—	—	—	—	23.80
10	潘一	B	—	—	0.155	—	—	—	—	38.31
11	潘一复垦	B	—	54.78	0.800	39.610	—	37.98	0.112	6.40
淮南土壤背景值 Soil background value in Huainan			80.81	30.47	0.06	24.16	64.93	25.74	0.02	10.05
国家土壤标准一级 National soil standard 1			100.00	35	0.2	35	90	40	0.15	15
国家土壤标准二级 National soil standard 2			250.00	300	0.3	100	200	50	0.5	25
国家土壤标准三级 National soil standard 3			500.00	500	1	400	300	200	1.5	30

表 2 污染级别划分标准

等级 Grade	地质累积指数 Geological accumulation index	污染等级 Class of pollution
0	$I_{geo} < 0$	无污染
1	$0 \leq I_{geo} < 1$	无污染—轻污染
2	$1 \leq I_{geo} < 2$	中污染
3	$2 \leq I_{geo} < 3$	中污染—强污染
4	$3 \leq I_{geo} < 4$	强污染
5	$4 \leq I_{geo} < 5$	强污染—极强污染
6	$5 \leq I_{geo} < 6$	极强污染

知,已闭坑的大通煤矿区(A组)土壤中的Ni、As、Cd、Hg、Mn的平均含量均超过淮南土壤背景值,其中Cd严重超标。开采15年以上的潘一矿和新庄孜矿(B组)土壤中Cr、Cu、Ni、Cd、As、Hg、Mn的平均含量均超过淮南土壤背景值。开采15年以下的顾桥矿(C组)土壤中仅Cd、As平均含量超过淮南土壤背景值。开采15年以上的潘一矿和新庄孜矿区B组土壤中Zn、Pb、Cu、Ni、Cr、Cd、As的平均含量明显超过开采15年以下的顾桥矿(C组)。已闭坑的大通煤矿区(A组)土壤中Cd、Hg、Mn的含量最大,Cu、As、Cr的含量最小。总体来看,矿区开采时间越早土壤重金属污染越严重。

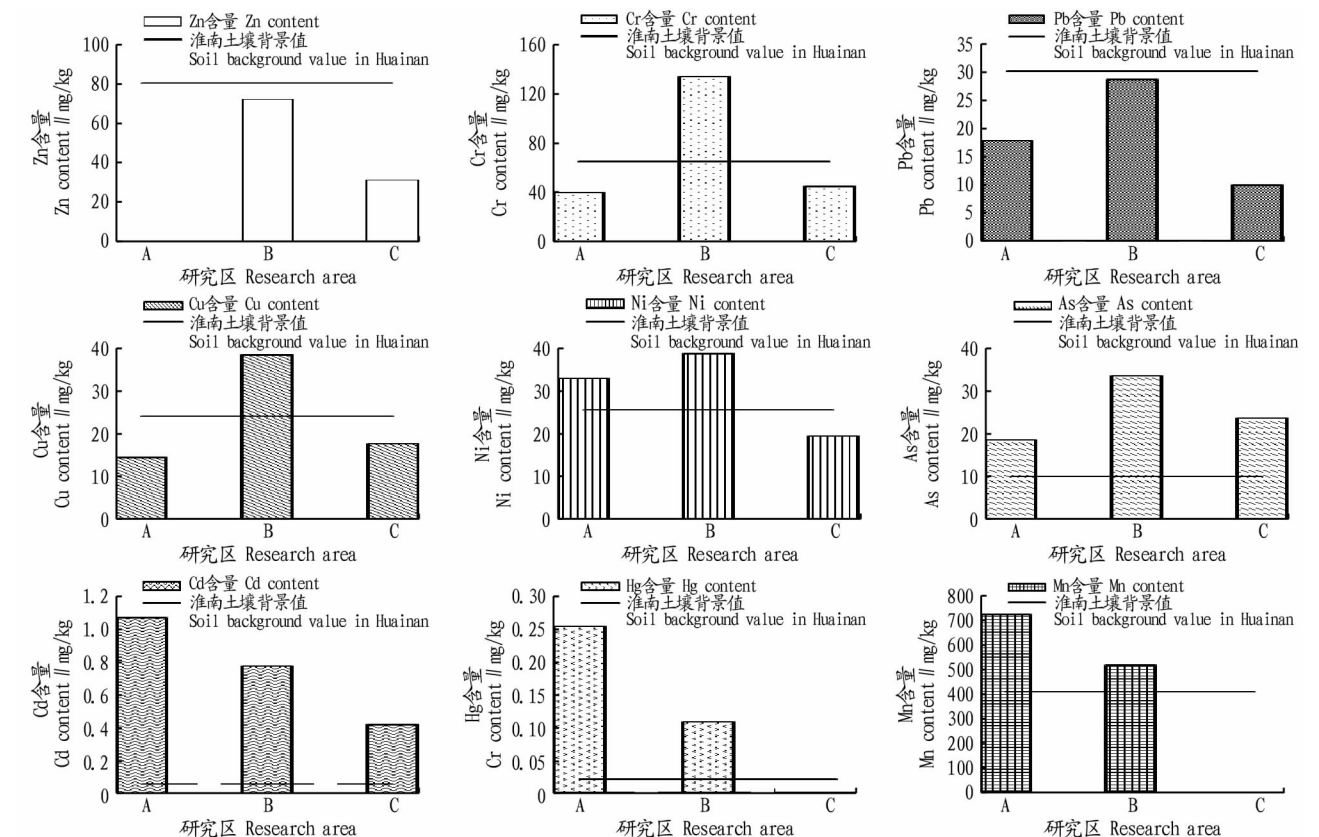


图 1 不同开采时间下土壤重金属含量对比

Fig.1 Comparison of heavy metals content in soil under different mining time

2.2 矿区农田和生态修复区的差异 从图2可以看出,新庄孜矿区农田土壤中 Zn、Pb、Cu 含量均低于淮南土壤背景值,新庄孜复垦区中 Pb、Cu 含量低于淮南土壤背景值,仅 Zn 的含量高于淮南土壤背景值。总体来看,新庄孜矿区农田土

壤中 Zn、Pb 含量均低于其生态修复区;潘一矿和新庄孜矿农田土壤中 Cd 含量均小于其在生态修复区中的含量,此外,这2种矿区农田土壤中 Cd 含量均超过淮南土壤背景值。

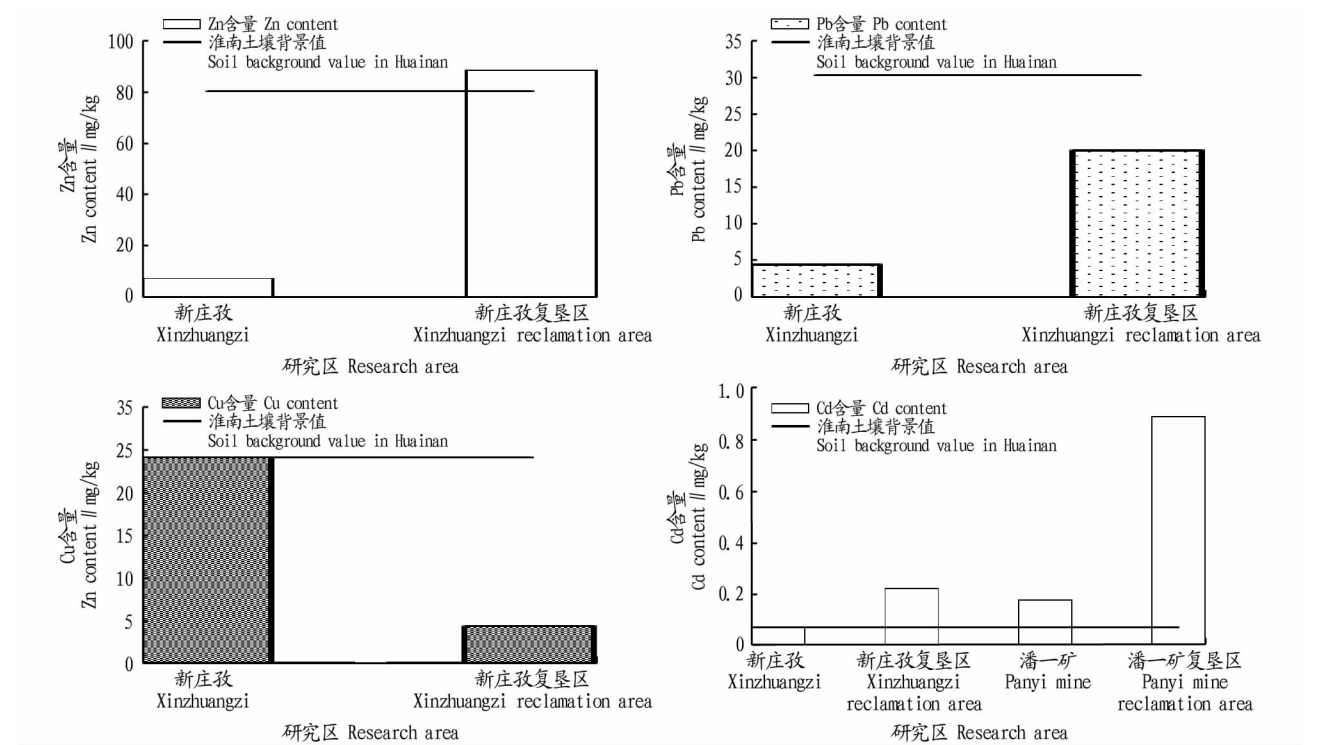


图2 矿区农田和生态修复区土壤重金属含量对比

Fig.2 Comparison of heavy metals content in soils of farmland and ecological restoration area in mining area

同一研究区生态修复区土壤中重金属 Zn、Pb 和 Cd 含量均高于周边矿区农田,分别高出 10.9、3.4 和 35.8 倍。这可能是由于生态修复区中煤矸石堆通过水、大气等途径进入土壤,也可能是修复区填充基质(煤矸石或粉煤灰)释放所致。

2.3 矿业及非矿业城市土壤重金属比较 对比徐州(矿业城市)、淮南(矿业城市)、合肥(非矿业城市)的 As 与 Cd 污染程度(表3)可知,3 个城市的 Cd 含量均远高于当地土壤背景值,表明 Cd 污染不仅受矿业活动的影响,也会由其他影响

因素导致,其中合肥 Cd 的变化范围最小,徐州和淮南 Cd 的变化范围较大。相对来说,矿业城市对 As 富集较明显。徐州、淮南 As 含量明显高于当地背景值,合肥 As 含量略高于土壤背景值,说明金属 As 污染受矿业活动影响较大。此外,徐州 As 含量的变化范围最小,淮南和合肥 As 含量的变化范围较大,由此可见,重金属 As 污染程度并不随着是否开采矿区呈明显的示范规律性。

表3 周边城市土壤 As、Cd 含量比较

Table 3 Comparison of soil As and Cd content in surrounding cities

地区 Region	As 含量 As content//mg/kg			Cd 含量 Cd content//mg/kg			文献来源 Source of literature
	平均值 Average	变化范围 Change range	土壤背景值 Soil background value	平均值 Average	变化范围 Change range	土壤背景值 Soil background value	
徐州 Xuzhou	14.576	12.670 ~ 16.070	11.20	3.692	2.430 ~ 5.220	0.29	[16]
淮南 Huainan	18.570	6.703 ~ 48.400	10.05	0.180	0.070 ~ 0.400	0.06	[11]
合肥 Hefei	10.151	4.935 ~ 23.730	10.00	0.226	0.045 ~ 1.478	0.09	[17]

2.4 土壤重金属风险评价 根据地累积指数法污染级别标准(表4),淮南煤矿各复垦区域土壤中均未受到 Zn、Pb、Cu、Cr、Ni 等重金属的污染($I_{geo} < 0$),所调研区域仅大通闭坑区受3级 Hg 金属污染,其地累积指数为 2.970。总体上看,所有研究区域土壤均受到不同程度的 Cd 和 As 污染,其中 Cd 的地质累积指数变化范围为 0.462 ~ 4.517,污染级别为 1 ~ 5 级;As 的地质累积指数变化范围为 0.300 ~ 2.250,污染级别

为 1 ~ 3 级。Cd 污染在新庄孜复垦区及大通闭坑区较为严重,其他地区均处于中度 Cd 污染;新庄孜矿和潘一矿区 As 污染较严重,其他矿区属中度 As 污染。

3 结论

(1)除了 Zn 和 Pb 外,开采 15 年以上的潘一矿和新庄孜矿的土壤重金属含量均超过土壤背景值,已闭坑的大通煤矿区、开采15年以上的潘一矿和新庄孜矿的部分重金属含量

表 4 土壤重金属风险评价结果
Table 4 Assessment of the risk of heavy metals in soil

研究区 Research area	地累积指数 Geo-accumulation index							
	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Hg	As
新庄孜 Xinzhuangzi	-1.598	-1.687	0.462	-0.727	—	—	—	2.250
顾桥 Guqiao	-1.948	-2.192	1.115	-1.050	-1.128	-0.983	—	0.659
新庄孜复垦区 Xinzhuangzi reclamation area	-0.450	-1.192	4.517	-0.160	-0.814	—	-0.383	—
大通闭坑 Datong closed pit	—	-8.251	4.453	-9.560	-8.162	—	2.970	—
大通复垦区 Datong reclamation area	—	-0.767	1.000	-0.350	-0.734	-0.227	—	0.300
潘一 Panyi	—	—	0.784	—	—	—	—	1.346

超过背景值。重金属 As、Cd 的含量在已闭坑的大通煤矿区、开采 15 年以上的潘一矿和新庄孜矿和开采 15 年以下的顾桥矿均出现超标现象。这说明区开采时间对区域土壤重金属含量影响较大。

(2) 同一研究区生态修复区土壤中重金属 Zn、Pb 和 Cd 含量均高于周边矿区农田,分别高出 10.9、3.4 和 35.8 倍。这可能是由于生态修复区中煤矸石堆通过水、大气、土壤等途径进入土壤,也可能是修复区填充基质(煤矸石或粉煤灰)释放所致。

(3) 矿业城市(徐州和淮南)和非矿业城市(合肥)相比,矿业城市 As 富集较明显,受污染影响严重。而 Cd 在矿业城市和非矿业城市中均出现较明显污染,其含量均超过土壤背景值。说明矿区土壤中 As 含量部分是由于煤炭开采和加工,而 Cd 的含量大部分来源于交通、生活垃圾和污水等人类活动。

(4) 地累积指数法研究表明,Pb、Cu、Cr、Ni 在该研究区域属于无污染级别。所有研究区域均受到不同程度的 Cd、As 污染。Cd 属于中度污染至极强污染,As 属轻度污染至重度污染。此外,大通闭坑的 Hg 受到中度污染至强度污染。

参考文献

[1] 李洪伟,颜事龙,崔龙鹏. 淮南新集矿区土壤重金属污染评价[J]. 矿业安全与环保,2008,35(1):36-37.
[2] 黄静,高良敏,冯娜娜,等. 煤矿复垦区土壤重金属分布特征与质量评价[J]. 环境污染与防治,2012,34(2):68-71.
[3] 刘本乐,陈孝杨,陈敏,等. 煤炭资源型城市碳足迹与碳承载力的动态

变化研究[J]. 煤炭工程,2017,49(2):124-127.
[4] 孙贤斌,李玉成. 淮南大通煤矿废弃地土壤重金属空间分布及变异特征[J]. 地理科学,2013,33(10):1238-1244.
[5] 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.
[6] 卢岚岚,刘桂建,王兴明,等. 淮南顾桥矿土壤环境中微量元素的分布及其生态风险评价[J]. 中国科学技术大学学报,2014,44(2):119-127.
[7] 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源研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2015(5):686-693.
[8] 郑刘根,李超,程桦,等. 采煤沉陷复垦区重金属分布特征及生态风险评价[J]. 水土保持学报,2014,28(4):247-251.
[9] 江培龙,方凤满,张杰琼,等. 淮南煤矿复垦区土壤重金属含量分布及潜在生态风险评价[J]. 水土保持通报,2013,33(6):161-165.
[10] 黄肖萌,刘诗敏,杨茗,等. 淮南谢桥塌陷区表层土壤重金属污染分布特征与现状评价研究[J]. 山东工业技术,2017(2):133-134.
[11] 江培龙,方凤满,张杰琼,等. 淮南煤矿复垦区土壤重金属形态分布及污染评价[J]. 水土保持学报,2013,27(5):178-182.
[12] 王晓辉,杨晨. 基于 GIS 和统计学的淮南矿区土壤重金属含量与空间分布研究[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(S1):60-65.
[13] 黄静,高良敏,冯娜娜,等. 煤矿复垦区土壤重金属分布特征与质量评价[J]. 环境污染与防治,2012,34(2):68-71.
[14] 郑永红,张治国,姚多喜,等. 煤矿复垦区土壤重金属含量时空分布及富集特征研究[J]. 煤炭学报,2013,38(8):1476-1483.
[15] PAN H Y, LU X W, LEI K. A comprehensive analysis of heavy metals in urban road dust of Xi'an, China: Contamination, source apportionment and spatial distribution[J]. Science of the total environment, 2017, 609: 1361-1369.
[16] 王莹,董零红. 徐州矿区充填复垦地重金属污染的潜在生态风险评价[J]. 煤炭学报,2009(5):650-655.
[17] 李湘凌,张颖慧,杨善谋,等. 合肥大兴地区土壤重金属含量的空间分布特征[J]. 土壤通报,2011,42(1):179-184.

(上接第 76 页)

[24] 许立信,尹进华,刘俊玲,等. 高品质磷石膏生产工艺研究[J]. 化工矿物与加工,2004,33(5):28-30.
[25] 杨校铃,刘荆风,王辛龙,等. 硫磺分解磷石膏制硫化钙工艺研究[J]. 无机盐工业,2015,47(3):45-48.
[26] 刘忠华,唐建华,沈思,等. 磷石膏两步法制备硫酸钾工艺研究[J]. 化学工程师,2015(2):60-62.
[27] 胡德庚,朱云勤,周美姣,等. 基于正交法的钾钙肥制备工艺研究[J]. 无机盐工业,2012,44(10):35-36,48.
[28] 张洪亮,符庆良,俞元铨. 大型磷复肥装置磷石膏湿排干堆工艺与技术剖析[J]. 硫磷设计与粉体工程,2012(5):39-41,52.
[29] 王其林,梁兴荣,王培雄,等. 以磷石膏为主要胶凝材料的免烧砖制备工艺研究[J]. 四川建材,2012,38(6):13-14.
[30] 刘佳,解田,邱树毅,等. 响应曲面法优化磷石膏制备硫酸铵的工艺[J]. 无机盐工业,2009,41(5):42-45.
[31] 马丽萍,宁平,郑少聪,等. 磷石膏循环流化床热分解工艺运行关键技术探讨[J]. 现代化工,2010,30(S2):267-270.
[32] 何玉龙,陈德玉,刘路珍,等. 磷石膏制备高强石膏工艺研究[J]. 非金属矿,2015,38(2):1-4.

[33] 夏举佩,任雪娇,阳超琴,等. 磷石膏、钾长石制备硫酸钾的新工艺初探[J]. 硅酸盐通报,2013,32(3):486-489.
[34] 邓林. 磷石膏两步转化制备硫酸钾工艺研究[J]. 硫磷设计与粉体工程,2015(4):18-22.
[35] 李冰. 磷石膏综合利用改良土壤[J]. 中国非金属矿工业导刊,2011(3):3.
[36] 赵孙会. 磷石膏综合利用改良土壤[J]. 化工矿物与加工,2011,40(4):16.
[37] 吴昊. 磷石膏可做土壤改良剂[J]. 中国粉体工业,2011(1):36-37.
[38] 王兰兰,陆田玉,杨本宏. 固体废弃物磷石膏制备新材料研究进展[J]. 安徽农学通报,2015,21(18):83-86.
[39] 曹诗瑜,郭全恩,车宗贤,等. 磷石膏改良剂对土壤水分扩散率的影响[J]. 干旱区研究,2016,33(3):506-510.
[40] 宋继文. 对用磷石膏生产化肥的探讨[J]. 中国质量技术监督,2007(8):45.
[41] 贾广军,白来汉,史静,等. 菌根对磷石膏利用土壤主要化学性质的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学版),2014,29(5):719-726.
[42] 王晓岑,李淑芹,许景钢. 农业应用磷石膏前景展望[J]. 中国农学通报,2010,26(4):287-294.