

文章编号:0253-9993(2008)08-0892-06

淮南矿区煤矸石中微量元素的研究

蔡 峰^{1,2}, 刘泽功^{1,2}, 林柏泉³, 李 玮⁴, 吕 洲³

(1. 安徽理工大学 经济与管理学院, 安徽 淮南 232001; 2. 煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室, 安徽 淮南 232001; 3. 中国矿业大学 安全学院, 江苏 徐州 221100; 4. 太原市罗克佳华工业有限公司, 山西 太原 030032)

摘 要: 通过对淮南矿区按煤层和岩性特征系统采样, 运用 INNA, ICP-MS 分析煤矸石中微量元素、冷原子吸收法分析 Hg、选择性电极法分析 F、化学法分析常量元素, 并研究经过科学筛选出的 11 种重金属元素: Cd, Cu, Ni, Sn, Hg, Mn, As, Cr, Pb, Zn 和非金属元素 F, 初步探讨了这些元素对矿区环境的危害, 其中 Cd, Cu, Ni, Sn, Hg 超过淮南土壤背景值、中国土壤背景值、世界土壤背景值等. Cd 含量是淮南土壤的 40 倍、世界土壤的 7 倍; Cu 含量是淮南土壤的约 2 倍、世界土壤约 1.5 倍; Ni 含量是淮南土壤的 8 倍、世界土壤的 4 倍; Sn 含量是淮南土壤的 3 倍、世界土壤约 2 倍; 样品中 Hg 含量是淮南土壤的 3 602 倍、世界土壤的 1 381 倍, 并指出这种危害是具累积性的.

关键词: 淮南矿区; 煤矸石; 微量元素; 累积性; 危害

中图分类号: TD849.5 **文献标识码:** A

Study on trace elements in gangue in Huainan mining area

CAI Feng^{1,2}, LIU Ze-gong^{1,2}, LIN Bo-quan³, LI Wei⁴, LÜ Zhou³

(1. School of Economics & Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; 2. Key Lab. of Mining Coal Safety and Efficiently Constructed by Anhui Province and Ministry of Education, Huainan 232001, China; 3. School of Safety Engineering, China University of Mining and Technology 221100, China; 4. Taiyuan Rockcontrol Industry Co. Ltd., Taiyuan 030032, China)

Abstract: According to coal seam and rocks of lithological types, 46 samples were gathered systematically. In these samples, trace elements were analyzed by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS), instrumental neutron activation analysis (INAA), Hg by cold-vapor atomic absorption spectrometry (CVAAS), F by ion-selective electrode (ISE), major elements by chemical methods. Eleven trace elements (Cd, Cu, Ni, Sn, Hg, Mn, As, Cr, Pb, Zn, F) were selected as focal point of study, and five of them, such as Cd, Cu, Ni, Sn, Hg, are more than background soil level (BSL) of Huainan City, China and World. Respectively: Cd is 40 and 7 times of BSL of Huainan City, world separately; Cu is about 2 and 1.5 times of BSL of Huainan City, world separately; Ni is 8 and 7 times of BSL of Huainan City, world separately; Sn is 3 and 2 times of BSL of Huainan City, world separately; Hg is 3 602 and 1 381 times of BSL of Huainan City, world separately. Their hazards for environment of mining area are explored primarily and thought that their hazards may be accumulative.

Key words: Huainan mining area; gangue; trace element; accumulation; hazard

煤矸石是煤矿排放量最大的固体废物, 也是我国工业固体废物中产生量、累计量、占地面积最大的工

收稿日期: 2007-07-16 责任编辑: 韩晋平

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973) 基金资助项目 (2006CB708408); 国家自然科学基金重点资助项目 (50534090); 安徽省优秀青年基金资助项目 (2006jq1059); 安徽省高校科技创新团队计划资助项目 (2006KJ005TD); 安徽省自然科学基金资助项目 (050440403); 国家科技支撑计划资助项目 (2007BAK28B01); 国家科技支撑计划资助项目 (2007BAK29B06)

作者简介: 蔡 峰 (1979—), 男, 江苏铜山人, 博士. E-mail: phoncai@163.com

业固体废物, 约占全国工业固体废物的 20% 以上。据不完全统计, 全国历年累计堆放量约 40 亿 t^[1], 年平均排放煤矸石近 1.5 亿 t。至 2000 年, 仅国有大中型煤矿就有 1 500 余座矸石山, 占地近 1.33 万 hm², 而煤矸石利用率仅约为 30%, 且大多数是用于填充材料、筑路基料和煤矸石绿化。我国煤矸石排放量主要集中在北方, 年排放量超过 400 万 t 的就有安徽。

这些大大小小的煤矸石山长期裸露于与其地下环境很相异的地表环境后, 势必会给矿区生态带来了污染: 大气飘尘、重金属对水体(含地表水、地下水)及土壤的污染等。在煤矸石风化作用(物理、化学和生物)中, 大量的有害元素和强致癌物质多环芳烃(PAHs)会释放出来, 进入水体和土壤, 造成污染。目前, 我国尚未对一个煤矿区主要环境介质做系统调查, 只有少量研究。如冯启言^[2]等对兖州煤田矸石中的微量元素研究认为: As, Cr, Hg, Cd, Pb, Cu 等超过该区土壤背景值。余永波等^[3]分析了山东泰安、新汶、莱芜等地的 4 个煤矸石堆对水环境的影响, 指出: 煤矸石中大量的常量元素 S, Al, Fe, Ca, Mg 及微量元素 As, Cd, Pb, Mn 等和多种多环芳烃都可导致水环境污染。而这些污染有个重要的也是需特别关注的特性——长期累积性污染。

1 研究区简介

淮南矿区煤矸石排放量约占煤炭产量的 20% (地下开采)。据统计^[4], 淮南市煤矸石 34 处, 堆体占地面积 1.604 km², 体积为 9 319 383 m³, 占淮南固体废弃物总面积的 46.7%。主要分布在市区西部八公山至赖山集一带, 沿孔集、李嘴孜、毕家岗、新庄孜、谢家集及李郢孜周围分布。仅 2000 年, 煤矸石产生量就产生 285.4 万 t。本区属暖温带和亚热带的过渡气候带、半湿润气候地区, 气候温和, 季节明显, 降水充沛, 日照充足, 无霜期较长。区内年平均气温为 15.2 °C (温度变化范围为 41.4 ~ -21.7 °C)。年均降水量为 897.8 mm, 蒸发量为 1 780.2 mm, 相对湿度 74.0%。年平均风速 3.3 m/s, 风速在各月的分布以春季三四月份为最大。

淮南是煤炭开采历史(在 20—100 a)较长的城市之一, 但目前对淮南矿区危害的研究几乎为空白, 已形成的潜在危害尚不为人知。据杨晓勇等^[4]研究淮南矿区时发现, 在煤矿集中的地段(蔡家岗区和大通一九龙岗区)土壤受到了严重污染, Sn, Zn, Co, Hg, Pb, Cu, Mn, F, Ba 的含量都大于区域背景值。崔龙鹏^[5]初步研究表明, 淮南矿区煤矸石淋溶水中的一些重金属含量高, 有超过国家污染水质排放标准最高允许排放浓度现象。至今从未开展对淮南矿区各环境介质(大气、土壤、地下水、地表水、植物等)系统采样分析。可见, 对淮南矿区进行煤矸石对当地环境的污染研究意义重大。

2 采样方案及样品处理

煤矸石经地下开采进入地表, 各个煤层、各种岩性的煤矸石相堆积一处, 随着时间的推移, 煤矸石发生风化等物理化学变化, 这为采选有代表性的样品带来难度。本文采用的方案: 因淮南的开采煤层为 13 煤到 1 煤之间的几乎所有煤层, 故选择典型的煤矿和进入矿井按煤层采井下新鲜样与在新老矿区采地表风化样相结合, 并考察淮南煤矸石的主要岩性特征。选择了淮南矿区有代表性的 3 座煤矿作为采样点: ①老矿区谢家集区第一矿、二矿, 共采 29 件样品, 为 13 煤到 3 煤及 1 煤顶底板矸石样, 岩性分别为泥岩、砂岩、炭质泥岩、页岩; ②新矿区潘集区第三矿, 共采 15 件样品, 为 13 煤、11 煤顶底板及其夹矸, 及此矿洗煤厂手选矸和机选矸各 1 件, 岩性分别为泥岩、细砂岩。总计 46 件新鲜样。

以手工方式敲碎块状样品后, 用玻璃研磨磨碎, 过 200 目筛子筛漏, 称取筛下物 100 g, 分别装送下面所述各仪器分析, 剩下样品保存, 以备样品重复性分析化验。

3 样品和数据分析

3.1 数据采集

总量法是预测和评估固体废物及重金属危害的依据之一, 对系列煤矸石样品采用中国地质大学的 ICP

-MS (电感耦合等离子体质谱仪, 产地: 英国质谱公司, 型号: Platform ICP-HEX-MS)、INNA (高纯锗多道 γ 能谱仪, 产地: 美国 EG&G DRTEC; 型号: DSPEC-D63) 法分析微量元素、中国地质科学院 562 队的冷原子吸收法分析 Hg 和选择性电极法分析 F、淮南矿业集团煤质分析化验室化学分析法分析常量元素。选择 ICP-MS, INNA 分析煤矸石中微量元素的原因, 主要考虑样品本身所含微量元素量偏低, 而对淮南矿区煤层矸石的系统研究还未进行, 为确保数据的准确性, 在考虑各仪器本身测定范围和对所测微量元素中个别元素效果差的基础上, 采用的数据部分为 ICP-MS 所测, 部分为 INNA 所测 (表 1, 2)。

表 1 常量元素数据分析

Table 1 Major element of studied mine waste samples

%

样品数	指 标	$w(\text{Al}_2\text{O}_3)$	$w(\text{CaO})$	$w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$	$w(\text{K}_2\text{O})$	$w(\text{MgO})$	$w(\text{Na}_2\text{O})$	$w(\text{P}_2\text{O}_5)$	$w(\text{S}_{i,nd})$	$w(\text{SiO}_2)$	$w(\text{TiO}_2)$
31 个样的均值	总算术均值	19.38	0.65	9.36	1.47	0.77	0.47	0.08	0.07	49.09	0.77
	算术均值偏差	5.79	0.55	7.94	0.46	0.48	0.38	0.04	0.04	8.91	0.22
	总几何均值	18.29	0.43	6.59	1.40	0.58	0.39	0.07	0.06	48.19	0.72
	几何均值偏差	1.35	0.74	6.62	0.61	0.46	0.34	0.03	0.51	10.85	0.18
31 个样最大及 最小值	min.	8.93	0.12	2.28	0.91	0.14	0.20	0.04	0.02	32.64	0.31
	max.	26.49	1.57	24.40	2.16	1.40	1.86	0.15	0.20	64.28	0.94

表 2 微量元素数据分析

Table 2 Trace elements of studied mine waste samples

 10^{-6}

指 标	As	Au(10^{-9}) [*]	B	Ba	Be	Co [*]	Cd	Cr	Cs	Cu	Dy	F	Ga
总算术均值	2.47	3.645	106.56	377.36	12.48	10.47	2.42	50.66	4.21	42.05	2.89	242.57	28.20
算术均值偏差	1.22	1.380	67.32	135.48	7.02	5.07	1.24	13.82	2.82	21.15	0.64	202.87	6.71
总几何均值	1.71	3.175	101.83	356.24	8.92	9.17	1.65	46.40	2.67	6.80	2.72	176.12	27.11
几何均值偏差	1.79	1.480	64.63	135.60	8.64	4.61	1.79	18.80	3.34	67.07	1.01	179.86	7.66
min.	0.07	0.380	20.37	193.76	1.00	2.27	0.07	10.29	0.01	0.12	0.91	0	10.69
max.	6.67	6.180	284.00	856.95	37.00	20.97	6.67	92.28	11.26	236.88	6.18	700.00	51.53
指 标	Gd	Hf	Hg(10^{-9})	Ho	Mn	Mo [*]	Nb	Ni	Pb	Rb [*]	Sb [*]	Se [*]	Sm
总算术均值	2.84	4.41	82.86	0.48	736.68	2.09	9.12	211.11	32.22	72.42	0.43	1.12	2.01
算术均值偏差	0.62	0.70	50.86	0.10	962.93	0.55	7.81	160.54	11.17	34.81	0.51	0.48	0.97
总几何均值	2.72	3.85	64.07	0.46	147.73	1.85	5.92	141.08	30.73	63.91	0.33	1.01	1.54
几何均值偏差	0.86	3.44	70.70	0.14	196.62	1.54	8.37	184.72	10.45	34.94	0.58	0.46	1.34
min.	1.58	1.64	15.33	0.18	2.00	0.68	0.63	13.50	13.63	13.02	0.12	0.48	0.19
max.	5.94	24.90	282.79	0.74	498.78	9.51	27.74	630.05	76.08	178.00	3.44	2.68	5.74
指 标	Sn	Sr	Ta	Tb	Th [*]	Tm [*]	U [*]	V	W	Zn [*]	Zr [*]	Y	Yb
总算术均值	7.51	152.62	1.06	1.07	16.16	0.54	3.38	75.27	2.56	58.48	276.87	11.43	1.31
算术均值偏差	6.09	81.21	0.41	0.21	3.09	0.20	0.81	20.92	0.55	29.18	79.42	2.61	0.41
总几何均值	4.69	135.67	0.97	1.01	15.65	0.51	3.26	68.23	2.27	52.00	256.94	10.88	1.20
几何均值偏差	6.79	81.22	0.46	0.37	4.36	0.18	0.82	28.52	1.34	27.51	127.63	3.49	0.54
min.	0.12	54.19	0.33	0.36	8.52	0.24	1.38	13.26	0.79	24.38	135.00	3.83	0.39
max.	21.81	440.75	2.96	2.54	32.5	0.91	4.9	138.74	7.54	122.00	794.00	18.19	2.97

注: ① * 为 INNA 测定, 没有注明的元素均为 ICP-MS 测定; ② INNA 分析为 31 件样品, ICP-MS 分析为 46 件样品。

表 1 为 31 个样品测得的常量元素含量, 煤矸石中主要成分是 SiO_2 和 Al_2O_3 , 二者约占 68.47%。含硫量平均为 0.07%, 属于含硫量比较低的类。表 2 只表示了 ICP-MS 分析的 46 个样品的均值、INNA 分析的 31 个样品的均值, 虽然样品是按照淮南煤层的分布特征采集的, 但是各个煤层之间元素测值除 Mn 变化较明显外, 其余考察的元素测值相差不大 (图 1), 所以, 选择了表示各个元素的测值均值。

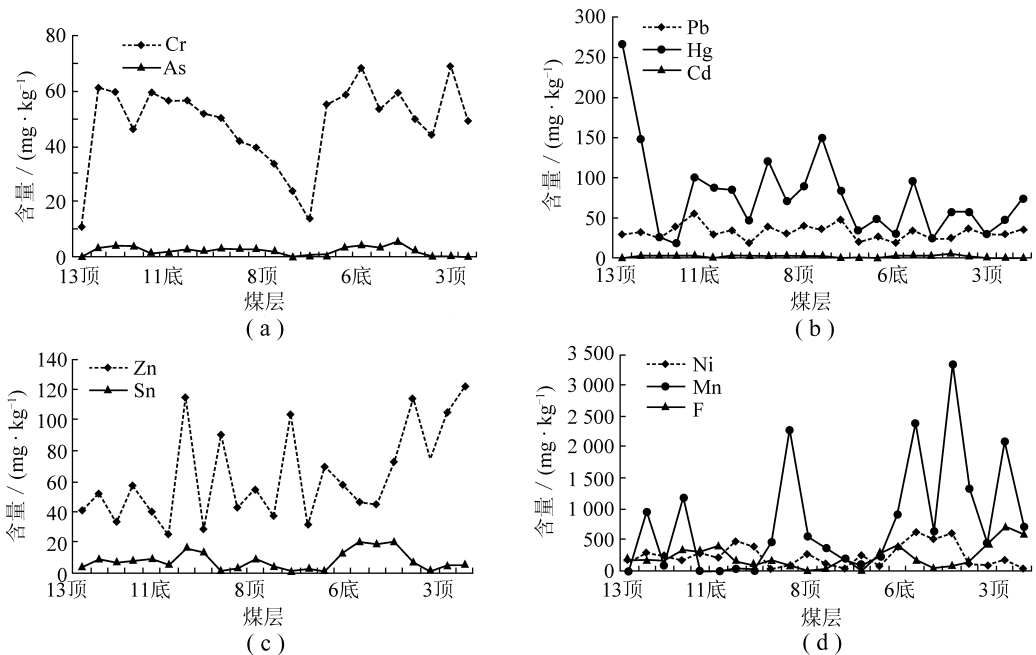


图 1 淮南煤矸石中微量元素含量按煤层变化曲线

Fig. 1 The trace elements content curves with different coal seam

3.2 数据分析

在环境中不是所有的元素都是有毒的。研究微量元素的权威 D. J. Swaine^[6] 基于个人的研究认为，对环境有危害意义的元素有 26 种：Ⅰ——As, Cd, Cr, Hg, Pb, Se；Ⅱ——B, Cl, F, Mn, Mo, Ni, Be, Cu, P, Th, U, V, Zn；Ⅲ——Ba, Co, I, Ra, Sb, Sn, Tl。这些元素对环境危害的重要性从左向右递减。而 Wood^[7]，Förstner^[8] 等把对环境有意义的元素分为：① 非关键性元素（如 Na, K, Mg, Ca, Fe, Rb, Sr, Br, Al, Si, Li, P, N, O, 等）；② 有毒但非常难溶或非常稀少的元素（如 REEs, Ti, Zr, W, Ta, Re, Ba, Ru, Ir, Rh, Os, Ga, 等）；③ 非常有毒和相当易获得的元素（如 Cu, Se, Hg, Ni, Pd, Pb, Ag, Zn, Cd, Sb, Sn, 等）。Förstner 等还认为，分类②，③中的元素作为催化剂使用时，涉及好几个生物化学反应的电子转化，当它们最终嵌入人类蛋白质时，它们的存在代表着严重的健康危害。并且由于重金属长期在水和颗粒物之间循环，与有机或微生物污染相比，重金属污染更严重^[9]。基于这个建议，结合 EPA 和中国优先污染物监测“黑名单”（重金属类）^[10]、许多学者研究重金属危害的论文^[10-15] 及淮南矿区的实际，筛选出 As, Hg, Cd, Cr, Pb, Cu, Zn, F, Ni, Mn, Sn 等 11 种作为有可能产生环境危害的元素为研究对象。为评价这些元素对环境的意义，采用淮南页岩（即煤矸石）与淮南煤、华北煤^[13]、华北页岩^[13]、淮南土壤^[14]、中国土壤^[15]、世界土壤^[11-15]（土壤中含量均是背景值）、地壳丰度^[11-15] 等因子相比较（表 3），以探讨淮南矿区煤矸石中微量元素含量的意义。由表 3 可知：

- (1) As, 淮南煤矸石含量比地壳丰度稍高，低于其它比较因子中的含量；
- (2) Cr, 淮南煤矸石含量高于煤中含量，但低于土壤背景值及地壳丰度；
- (3) Mn, 淮南煤矸石含量约为华北煤的 18 倍，与土壤背景值地壳丰度基本持平；
- (4) Pb, 淮南煤矸石含量大于华北煤、页岩及其土壤，是华北地壳丰度的 2 倍，与淮南土壤、世界土壤基本持平；
- (5) Zn, 除淮南煤含量偏高外，淮南煤矸石稍低于土壤背景值，于地壳丰度持平；
- (6) F, 淮南煤矸石含量稍高于华北煤及世界土壤，但低于其它比较因子含量。淮南地区已发现了因氟引起的少量地方病病例，杨晓勇等的研究结果显示，淮南部分地区土壤中 F 含量高于地区土壤背景值。
- (7) 淮南煤矸石中超过淮南煤、华北煤、华北页岩、淮南土壤、中国土壤、世界土壤、地壳丰度的

微量元素有 Cd, Cu, Ni, Sn. 因某些元素易在煤中赋存, 如 Hg, 很易与煤中硫铁矿相富集, 所以, 煤中 Hg 含量常常大于一般矿物岩石中的含量. 扣除这种淮南煤中 Hg 含量高的特殊现象, Hg 也是超过其余比较因子的. 淮南煤矸石中 Cd 含量是淮南土壤的 40 倍、世界土壤的 7 倍; Cu 含量约是淮南土壤的 2 倍、世界土壤的 1.5 倍; Ni 含量是淮南土壤的 8 倍、世界土壤的 4 倍; Sn 含量是淮南土壤的 3 倍, 约为世界土壤的 2 倍; Hg 含量是淮南土壤的 3 602 倍, 约为世界土壤的 1 381 倍.

表 3 淮南煤矸石中 11 种元素平均值与各背景值的比较分析

Table 3 The average contents and background level of 11 elements

$\mu\text{g/g}$

项 目	Ni	As	Sn	Hg	Cd	Pb	F	Cr	Cu	Zn	Mn
淮南煤矸石*	211.11	2.47	7.51	52.86	2.42	32.22	242.57	50.66	42.05	58.48	736.68
淮南煤	59.45	3.38	2.12	70.00	0.06	33.10	437.00	33.64	27.00	357.24	659.00
华北煤	18.00	3.00	3.00	22.39	0.50	21.00	130.00	15.00	18.00	30.00	40.00
华北页岩	32.00	5.20	2.60	23.00	0.08	23.00	755.00	68.00	30.00	83.00	520.00
淮南土壤	25.74	10.45	2.58	0.02	0.06	30.47	478.57	64.93	24.60	80.81	415.68
华北土壤	33.32	15.90	2.50	40.00	0.09	23.00	480.00	71.20	24.00	68.00	600.00
世界土壤	50.00	6.00	4.00	0.06	0.35	35.00	200.00	70.00	30.00	90.00	1000.00
华北地壳风度	75.00	9.20	2.32	9.00	0.08	16.00	570.00	100.00	30.00	58.00	600.00

注: *11 种元素平均值, 其余均为背景值.

煤矸石中成土岩石风化, 最终也要变为土壤, 因此煤矸石中所含重金属会毫无例外地转移到土壤中. 因矿区大量的煤矸石长期堆积, 经过地表长期的潮热、冰冻和风吹日晒, 且淮南各矿为减少区内煤矸石飘尘, 通常使用矿区塌陷区水 ($\text{pH}=7.5\sim 9.0$)、地下水 ($\text{pH}=6\sim 9$) 对煤矸石堆不断浇灌, 加上淮南雨水 ($\text{pH}=6.4$) 的不断淋滤, 加速了煤矸石的风化, 这使得其所含的重金属元素也加速进入土壤. 据党志等^[15]研究英国威尔士南部露天采煤矿区, 认为在煤矸石自然风化过程中, 以硫化物矿物形式赋存的微量重金属元素随这些矿物的分解被释放出来, 但在已风化煤矸石表面由于大量有机质和铁的胶体的存在, 这些微量重金属元素没能进入到周围环境中, 而是被吸附在上述有机质和胶体中. 即所谓有可能煤矸石中所含的微量重金属在其风化过程中, 没全部释放出来进入土壤环境. 但如果不断地以弱酸性或弱碱性水对堆置的煤矸石进行冲刷, 这个过程不但使煤矸石堆深部含氧量增高, 加速了硫铁矿发生氧化发热反应, 生成硫酸铁和硫酸, 使水溶液强烈酸化, 从而破解了黄铁矿胶体的大量存在, 使得被这些胶体吸附的重金属元素释放出来, 进而酸性水的存在加速了重金属的碳酸盐和氢氧化物溶解, 及加速了 Hg, Pb, Cu, Zn 等硫化物直接分解, 使得这类重金属呈溶解性盐随溶液而运移, 进入土壤、地下水和地表水.

淮南煤矸石中 Cd, Cu, Ni, Sn, Hg 含量是如此的高出土壤背景值, Mn, Pb, F 也基本与土壤含量相当, 尤其是 Hg 高出土壤背景值约 3 600 倍, 在淮南矿区复杂的环境中, 很容易因淋溶作用进入土壤、地下及地表水源, 杨晓勇等^[5]、崔龙鹏^[6]等的研究已初步论证了淮南矿区土壤中重金属污染是存在的, 并在这些环境介质中长期累积, 最终又被植物、动物、人体吸收, 在食物链中形成长期积累性的危害.

4 结 论

Cd, Cu, Ni, Sn, Hg 均大于土壤背景值; Mn 稍大于土壤背景值; As, Cr, Pb, Zn 均略低于土壤背景值.

淮南矿业集团正在规划对其矿区塌陷区用煤矸石进行充填复垦, 而淮南矿区几乎所有塌陷区中都积满了水 (呈弱碱性), 如果实施煤矸石充填, 那么煤矸石将长期浸泡于水中, 这为煤矸石中所含的重金属元素进入水体、土壤带来便利, 值得引起警惕. 同时, 容易忽略的煤矸石中所含的多环芳烃等致癌性有机物, 将会对矿区带来另一种污染.

参考文献:

- [1] 刘桂建, 杨萍玥, 彭子成, 等. 煤矸石中潜在微量元素淋溶析出研究 [J]. 高校地质学报, 2001, 7 (4): 449-457.
Liu Guijian, Yang Pingyue, Peng Zicheng, et al. Study on leaching of potentially hazardous trace elements from coal-waste rocks [J]. Geological Journal of China Universities, 2001, 7 (4): 449-457.
- [2] 余永波, 汤鸣皋, 钟佐桑, 等. 煤矸石堆放对水环境的影响——以山东省一些煤矸石堆为例 [J]. 地学前缘, 2001, 8 (1): 163-169.
Yu Yongbo, Tang Minggao, Zhong Zuoshen, et al. The influence of coal-mining waste piles on hydro-environment in Shandong Province [J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8 (1): 163-169
- [3] 安徽省计划委员会, 安徽地质矿产局. 安徽省国土资源遥感应用研究 [M]. 北京: 地质出版社, 1996: 232-235.
Planing Committee of Anhui Province, Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province. Application study on remote sensing for soil resource in Anhui Province [M]. Beijing: The Geological Publishing House, 1996: 232-23.
- [4] 杨晓勇, 孙立广, 张兆峰. 安徽淮南地区土壤污染综合研究 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1995, 6 (4): 37-43.
Yang Xiaoyong, Sun Liguang, Zhang Zhaofeng. General study on soil pollution in Huainan area, Anhui Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1995, 6 (4): 37-43.
- [5] 崔龙鹏. 淮南煤矿塌陷区煤矸石填充复垦及其对环境的影响 [J]. 安徽地质, 1998, 8 (3): 56-61.
Cui Longpeng. The reclamation by filling the depressions with gangues and its influence on the environment in the Huainan mining area [J]. Geology of Anhui, 1998, 8 (3): 56-61.
- [6] Dalway J Swaine. Why trace elements are important [J]. Fuel processing Technogy, 2000 (65-66): 21-33.
- [7] Wood J M. Biological cycle for toxic elements in the environment [J]. Science, 1974, 183: 1 049-1 053.
- [8] Förstner U, Wittmann GTW. Metal pollution in the aquatic environment [J]. Spinger, Berlin Heidelberg New York, 1981.
- [9] Mascaro I, Benvenuti B, Costagliola P, et al. Mine waste at the polymetallic deposit of fenice capanne (southern Tuscany, Italy), mineralogy, geochemistry and environmental impact [J]. Environmental Geology, 2001, 41: 417-429.
- [10] 阎伍玖, 吕成文, 陈飞星. 芜湖城市郊区土壤重金属污染危害及其对策研究 [J]. 土壤学报, 2000, 37 (1): 136-141.
Yan Wujiu, Lü Chengwen, Chen Feixing. A preliminary study on soil pollution of heavy metals and strategy against its harm in the suburbs of Wuhu City [J]. Acta Pedologica Sinica, 2000, 37 (1): 136-141.
- [11] Finkelman R B, Gross P M K. The types of data needed for assessing the environmental and human impacts of coal [J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 40 (2-3): 91-101.
- [12] Finkelman R B. Trace Elements in Coal. Environmental and health significance [J]. Biological Trace Element Research, 1999, 67 (3): 197-204.
- [13] 中国科学院高能物理研究所中子活化分析实验室. 中子活化分析在环境学、生物学和地学中的应用 [M]. 北京: 原子能出版社, 1992.
Analysis Laboratory of Institute of High Energy Physics of CAS. Application in theory of Environment, biology and geology of neutron activation analysis [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1992.
- [14] 党志. 煤矸石-水相互作用的溶解动力学及其环境地球化学效应研究 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 1997, 16 (4): 259-261.
Dang Zhi. Kinetics of coal mine spoil-water interaction and environmental impact [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry. 1997, 16 (4): 259-261.
- [15] Panov B S. The distribution of heavy metals in an abandoned mining area; a case study of Strauss Pit, the Drake mining area, Australia; Implications for the environmental management of mine sites [J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 40 (2/3): 205-213.