

典型矿区尾矿库特征污染物识别研究

任鸿飞^{1,2}, 杨家林¹, 马彤祯¹

(1.河南省有色金属地质矿产局第六地质大队,河南 郑州 450000; 2.河南省有色金属矿产探测工程技术研究中心,河南 郑州 450000)

摘要:通过对典型尾矿库土壤样品分析,利用重金属超标率、植物体 BCF、污染因子的权重值筛选等进行典型污染物识别,并提出相应的土壤污染修复措施,为开展尾矿库污染治理工作提供依据。

关键词:典型矿区;尾矿库;特征污染物识别

中图分类号:TD926.4;X751 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)10-0115-04

Identification of Characteristic Pollutants at Tailings Reservoirs in Typical Mining Areas/REN Hong-fei^{1,2}, YANG Jia-lin¹, MA Tong-zhen¹(1.The 6th Geological Brigade of Henan Province Bureau of Non-ferrous Metal Geology and Mineral Resources, Zhengzhou Henan 450000, China; 2.Henan Province Non-ferrous Metal Mineral Exploration Engineering Technology Research Center, Zhengzhou Henan 450000, China)

Abstract: Through analysis of soil samples from typical tailings reservoirs, the heavy metal over-limit rate and the plant body BCF are used together with screening of weighted values of the pollution factors to identify typical pollutants, and the corresponding measures are proposed for soil pollution restoration, providing a basis for the pollution control of tailings reservoirs.

Key words: typical mining area; tailings reservoir; identification of characteristic pollutants

目前,我省正处于中原经济区建设的关键时期,省委、省政府强调大力推进生态河南建设,促进经济建设与生态环境的协调可持续发展。加强省内尾矿库区重金属污染情况普查与治理工作,降低污染土壤对下游水源、土源的二次污染,提高环境承载力,契合我省生态建设的发展实际。

1 样品采集

本次选择嵩县牛头沟金矿尾矿库作为研究对象,通过收集分析典型矿区尾矿库的自然地理背景、区域地质环境条件、矿产资源及其开发状况、矿业活动对生态环境的影响、矿山生态环境恢复治理等资料,并对尾矿库实地踏勘,初步查明了尾矿库周边地质情况及尾矿库现状;该尾矿库三面环山,下游为农田,尾矿库闭坑后表层土壤逐渐干燥,形成山谷型小沙漠,尤其到了冬春季节,风起尾矿弥漫,给周围环境带来了极其恶劣的影响。引起这一系列问题的主要原因就是由于土壤重金属污染严重,因此在嵩县牛头沟金矿尾矿库进行了现场取样分析。为了保证尾矿库土壤取样点的代表性,利用网格法采集尾矿库土壤样品 9 组用于相关特征污染物识别与分析,采样点示意图如图 1 所示。

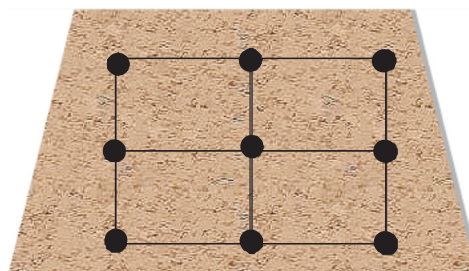


图 1 尾矿库现场采样点示意图

除此之外,为了进一步研究土壤重金属的迁移特点,另外采集了尾矿库周围生长的 5 种植物,用于植物体内重金属含量的检测,以确定重金属在植物体内的富集情况,综合土壤和植物中重金属含量确定尾矿库的主要污染物,为开展治理工作提供依据。

2 特征污染物的筛选

所谓特征污染物是指项目排放的污染物中除常规污染物以外能够反映某种行业所排放污染物中有代表的部分,主要指项目实施后可能导致潜在污染或对周边环境保护目标产生影响的特有污染物。该类污染物能够显示此行业的污染程度,一般可以从量上理解成排放较多的污染物的特有污染物。其所

收稿日期:2018-05-28; 修回日期:2018-08-13

作者简介:任鸿飞,男,汉族,1971 年生,高级工程师,水文地质工程地质专业,从事岩土工程勘察、设计与施工及矿山水文地质、工程地质、地质灾害工作,河南省郑州市郑东新区金水东路 16 号鑫地大厦, rhf710107@126.com。

指在同一行业中由于生产工艺、产品有所不同也是可以不同的,如制药行业中 COD、BOD、乙醇、丙酮等,再如汽车尾气特征污染物为碳氢化合物、NO_x等。

《尾矿库环境风险评价技术导则》中特征污染物的定义为:尾矿成分和尾矿水成分中,能够反映对周边环境影响特征的典型污染物。因此对于对尾矿库来说,重金属即为该区域的特征污染物。根据所查阅金尾矿相关资料,结合牛头沟尾矿库的地质特征,对所采集尾矿库土壤进行以下几种重金属的检测,不同采样点土壤中重金属的含量如表 1 所示。

表 1 不同采样点土壤中重金属含量

编号	重金属含量/(mg·kg ⁻¹)							
	Hg	As	Cr	Ni	Cu	Cd	Pb	Mn
1	0.020	6.88	106	30.10	36.10	1.05	274	1429
2	0.019	7.88	100	29.50	35.20	1.00	265	1356
3	0.020	8.88	110	30.60	36.90	1.12	281	1440
4	0.018	9.88	103	31.20	34.70	2.99	506	1438
5	0.018	9.55	99	29.80	33.90	2.75	489	1420
6	0.019	10.00	105	31.80	35.40	3.04	512	1456
7	0.021	20.70	112	27.50	36.50	4.17	818	1611
8	0.020	20.01	108	26.70	35.40	4.01	801	1594
9	0.021	21.20	115	28.20	37.80	4.32	825	1630

从表 1 分析数据可以看出,以土壤中重金属含量分析,本次研究区域牛头沟尾矿库存在的特征污染物以 Hg、As、Cr、Ni、Cu、Cd、Pb 和 Mn 等重金属为主,各类重金属离子在土壤中的分布含量差异较大,需要结合国家相关标准,筛选确定首要污染物的种类。

2.1 根据重金属超标率筛选

根据所检测的土壤重金属含量,可以看出并非所有重金属含量均超过相关国家标准及毗邻地区背景值,因此需要筛选出适宜和典型的重金属种类,即选出该区域的特征重金属,进行重点研究和分析。本项目通过对检测数据与国家二级标准对比得出各个采样点重金属的超标率和超标倍数,并以此为据筛选出所检测数据中的重金属特征污染物。根据土壤环境质量 II 级标准,各类重金属的超标率如表 2、图 2 所示。

表 2 尾砂重金属含量及污染超标率

元素	平均值/(mg·kg ⁻¹)	pH>7.5 菜地标准	土壤环境质量 II 级标准 (GB 15618—2008)	
			超标倍数	超标率/%
Hg	0.019	0.8		0
As	12.78	20	0.0005~0.06	33.33
Cr	106	250		0
Ni	29.49	90		0
Cu	35.77	100		0
Cd	2.72	0.6	0.67~6.20	100
Pb	530	50	4.30~15.50	100

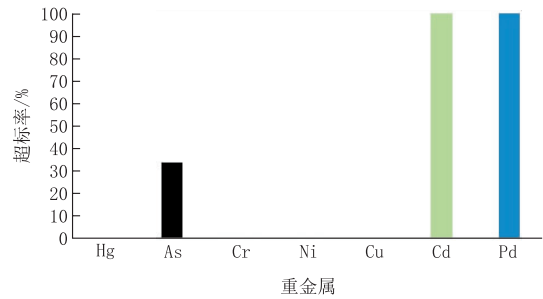


图 2 土壤中重金属超标率

由表 2 和图 2 数据可看出,所检测的几种重金属中,As、Cd、Pb 均有所超标,其中土壤中 As 含量超标率为 33.33%,Cd、Pb 超标率达到 100%,因此可初步选定该三类重金属作为尾矿库的特征重金属污染物。

2.2 根据植物体 BCF 筛选

除了重金属的超标率以外,植物体内的重金属含量及富集程度也可以作为判断特征污染物的指标之一。重金属富集系数(BCF)又称生物浓缩系数、生物浓缩率、生物积累率、生物积累倍数、生物吸收系数等。植物从沉积物中吸收、富集的重金属,可以用富集系数来反映植物对重金属富集程度的高低或富集能力的强弱。重金属富集系数是指植物某一部位的元素含量与土壤中相应元素含量之比,它在一定程度上反映着沉积物,植物系统中元素迁移的难易程度,说明重金属在植物体内的富集情况。5 种植物体内重金属含量及 BCF 如表 3 和图 3 所示。

表 3 植物体重金属含量

送样号	检测结果 ω(B)/10 ⁻⁶							
	Pb	Cd	Cu	Cr	Mn	Ni	As	Hg
植物 1	25.3	1.77	10.20	5.11	102	1.64	1.33	0.006
植物 2	34.8	0.71	9.35	8.99	367	2.46	1.39	0.008
植物 3	55.2	0.88	26.20	20.10	276	4.22	2.08	0.023
植物 4	37.6	1.07	67.60	7.02	1017	3.25	1.96	0.055
植物 5	22.0	9.09	15.70	2.65	130	0.96	1.12	0.006

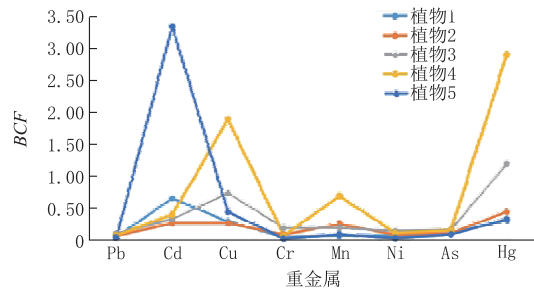


图 3 各类植物对重金属的富集指数

由图 3 可以看出,5 种植物对 Cd、Cu、Hg 的富集程度高于其他几类重金属,表明这几类重金属在

植物体内更易迁移。此外,富集程度越高,表明该类重金属更易被植物体吸收,更易从土壤中去。另一方面,Pb、As 等重金属的富集系数相对较低,表明该类重金属在土壤中的存在较为稳定,不易被植物体吸收,容易留存在土壤中不断迁移富集,造成更为严重的污染,更应引起相关重视。

综合上述研究结果,可以得出:本次研究的尾矿库的 Cd、Hg、Cu 等三类重金属,在植物体内富集迁移容易,易于通过栽种植物等方式降低其在土壤中的含量;Pb、As 等两类重金属在土壤中较长时间存在,容易造成污染物富集,污染影响范围广,需要采取相应的措施予以治理。

2.3 根据污染因子的权重值 W_i 筛选

各种污染物对环境及人体的危害程度有很大差别。一般的,某种污染因子的危害性与该污染因子的相关标准基本上呈反比例的内在关系。所以对参评重金属的国家二级土壤标准进行大小排列,则数值最大的那项指标含量超标对土壤的影响能力相对最小,数值最小的那项指标的 含量超标对土壤的影响能力相对最大。

首先将各种参评的重金属的土壤标准 s_i 由小到大的顺序排列 $s_1、s_2、\dots、s_n$,并将其最大值 s_{\max} 与 s_i 比较,并令 r_i 表示第 i 种重金属的相关性比值,则:

$$r_i = s_{\max} / s_i$$

$$W_i = r_i / (\sum_{i=1}^n r_i)$$

式中: s_i ——各种污染因子对应的标准值; s_{\max} ——各污染因子标准值的最大值; W_i ——各种污染因子的权重值。

本项目中各类重金属的权重值如图 4 所示,从图中可以看出权重大小顺序为: Cd > Hg > As > Pb > Ni > Cu > Cr。说明 Cd、Hg、As、Pb 的危害性相较于其他重金属更高,故而在各种重金属污染物中更具有代表性。

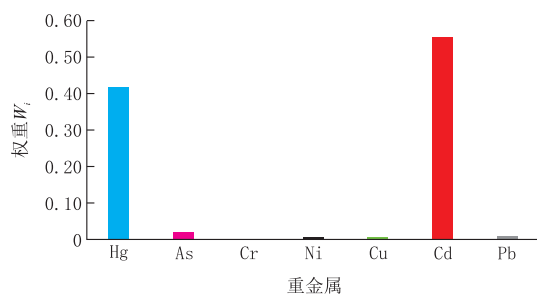


图 4 各类重金属的权重值

2.4 根据 W_i/BCF 筛选

由上面的相关分析可以得到,重金属所占的权重越高,则对于土壤的危害性更大,而植物富集系数越大,则表明该类重金属更易被植物体所吸收,更易从土壤中分离。因此将两种指标相结合,以 W_i/BCF 的值来综合筛选特征重金属的种类, W_i/BCF 越大则表明该类重金属的危害更大,并以此为依据选出特征污染物。

首先根据各类植物的 BCF 计算出 W_i/BCF ,然后取平均值,各类重金属的 W_i/BCF 如图 5 所示。从图中可以看出,各类重金属的 W_i/BCF 的顺位如下: Cd > Hg > As > Pb > Ni > Cr > Cu。由此可以得出,Cd、Hg、As、Pb 四种重金属对于土壤的危害程度更大,因此可以作为特征污染物的备选因子。

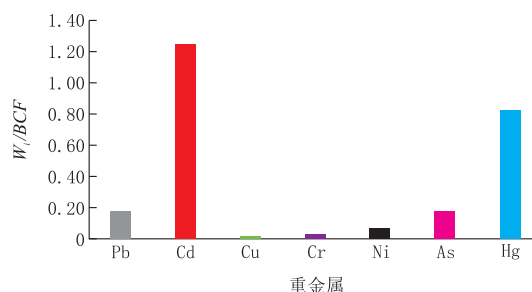


图 5 各类重金属的 W_i/BCF 值

2.5 综合筛选

通过对重金属超标率、BCF、 W_i 、 W_i/BCF 等因素的综合筛选,可以得出 Cd、Pb、As 三种重金属可以选作该地区的特征污染物。此外,土壤中 Hg 的含量虽未超过相关标准,但由于其危害较大,也应引起对其的相关重视;土壤中的 Mn 虽然没有相关的国家标准,但也超过了河南省的背景值,且植物体对 Mn 的富集程度也不高,故而也应加强对其的治理。

3 土壤污染修复措施

土壤是生态系统的核心介质,是人类赖以生存的重要自然资源之一,土壤安全关系到人类自身的健康。尾矿库中的重金属通过迁移、富集作用,逐渐形成了危害生态系统及人类健康的土壤污染,亟待修复治理。针对尾矿库土壤的重金属污染调查得出的结论,针对性地开展修复工作,主要可以从以下几个方面展开。

3.1 地貌重整

由于尾矿库的土壤受到严重的重金属污染,土壤贫瘠,地表剥蚀严重,在进行土壤复垦前,针对尾矿库区域内的地貌特征,应首先使用大型机械对尾矿库附近矿渣进行平整处理,初步翻耕以降低各个

区域重金属污染物分布的差异性,平整场地,以便于后续修复阶段植被的大规模种植及后期修复管理工作的开展。

3.2 土壤基质改良

土壤基质的改良目的是改善土壤理化性质,降低土壤重金属毒性和含量分布,增加土壤中的养分等,从而使得植物能够正常生长。目前土壤基质改良的方式主要有三类,即物理改良、化学改良和有机废弃物改良。

结合本次研究区域的特点,建议采取上述三种方式相结合的改良方式,即首先进行覆土,取新鲜土壤与矿区污染土壤进行翻耕,实现主客土壤的充分混合,分散重金属的分布。同时加入石灰等化学改良剂,对土壤的酸碱性进行调整,并通过土壤酸碱度的改变,影响某些特征重金属的迁移。最后在土壤翻耕过程中,辅以家畜粪便、农作物秸秆、谷壳等生物有机肥深耕,改善土壤的结构,增加土壤中有机质含量,涵养水源,便于其他植物在尾矿库土壤上进行生长,为开展植物修复工作奠定基础。

3.3 植物筛选与种植

考虑到植被修复阶段,受重金属污染的尾矿库土壤贫瘠,养分流失严重,生物链结构破坏严重的缺点,单一的植物难以抗拒极端高污染土壤的影响,不易成活。采用灌木、乔木、草三类植被套种的方式,逐渐在尾矿库上形成局部生态圈,可以增强种植植被的成活率,促进生态修复的效果,大幅度缩短生态修复的周期,加速重金属污染土壤的利用效率。根据对项目研究区域的实际情况的考察,结合本地区现有植物生长状态,我们给出了适合本尾矿库种植植被生态修复的备选植物如下:

针对土壤中 Pb、Cd、As 超标的现状,可以种植蜈蚣草、商陆、土荆芥、大叶井边草、水蓼等植物,对土壤中的重金属进行固定、富集,使重金属逐渐随植物吸收到土壤上部,降低污染程度。树木以吸收 Pb、As 效果明显的夹竹桃、旱柳等为主,与上述草类植物协同,促进土壤中重金属含量的降低,降低受污染土壤的裸露面积,大幅度减弱因污染土壤随风飘散造成的污染源扩大,提高污染土壤生态治理的效果。增加地表植被覆盖,涵养水源,减少矿区水土流失。

4 结论

通过研究人员深入尾矿库区实地调研、取样分

析,综合重金属污染物分布特征与迁移、富集规律,结合土壤修复治理的相关理论基础,取得的结论如下。

(1)通过对尾矿库土壤多点位取样分析,与污染物含量的相应国家标准进行比较,确定了本次研究目标区域内,含量超标的典型污染物为 Pb、Cd、As、Hg、Mn,明确了土壤中的首要污染物,为土壤修复治理奠定了基础,有的放矢,便于后期针对性的开展重金属污染治理工作。

(2)针对上述特征污染物在土壤中的分布富集规律,结合土壤基质修复的基本原理,建议采用物理修复、化学修复和有机质修复相结合的土壤修复方式,缩短受污染土壤修复周期,逐渐提高土壤肥效和生物承载力,降低重金属对土壤微观结构和微生物群落的伤害,增强土壤涵养水源、蓄积养分的作用,为植物修复提供条件。

(3)通过对尾矿库周边典型植物取样分析,确定了植物对重金属富集、固定、转移的基本情况。结合修复植物的生长习性,确定了以修复治理后的土壤为基础,种植蜈蚣草、商陆、土荆芥、大叶井边草、水蓼等植被和夹竹桃、旱柳树种,形成区域内的生态群,借助植物的吸附、富集、迁移作用,逐渐减少土壤中的重金属含量,减弱尾矿库重金属的渗透污染和迁移转化,降低污染影响范围。

参考文献:

- [1] 杨家林,等.典型尾矿库场地环境污染调查与评价报告[R].河南郑州:河南省有色金属地质矿产局第六地质大队,2016.
- [2] 鲁如坤.土壤农业化学分析法[M].北京:中国农业科技出版社,1999.
- [3] 王亚平,鲍征宇,侯书恩.尾矿库周围土壤中重金属存在形态特征研究[J].岩矿测试,2000,19(1):7-13.
- [4] 石平,王恩德,魏忠义,等.辽宁矿区尾矿废弃地及土壤重金属污染评价研究[J].金属矿山,2008,(2):118-121.
- [5] 许超,夏北成,吴海宁.尾矿库尾砂及周边农田土壤重金属形态分布及其生物有效性[J].农业环境科学学报,2009,28(11):2293-2296.
- [6] 王志楼,谢学辉,王慧萍,等.典型铜尾矿库周边土壤重金属复合污染特征[J].生态环境学报,2010,19(1):113-117.
- [7] 赵仁鑫,郭伟,包玉英,等.内蒙古草原白乃庙铜矿区土壤重金属污染特征研究[J].土壤通报,2012,43(2):496-500.
- [8] 汤波,周迎红.陕南某金矿尾矿库周边土壤重金属复合污染特征[J].湖北农业科学,2014,53(19):4564-4567.
- [9] 毛香菊,邹安华,马亚梦,等.南京某铁尾矿库复垦土壤重金属污染评价[J].矿产保护与利用,2015,(1):54-58.
- [10] 贾倩,刘彬彬,於方,等.我国尾矿库突发环境事件统计分析对策建议[J].安全与环境工程,2015,22(2):92-96.