

有色金属矿尾矿库和废石场土壤安全评价及复垦措施 ——以郴州市宜章长城岭铅锌多金属矿为例

余光辉, 张勇, 张卓, 李振国

(湖南科技大学 资源环境与城乡规划管理系, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 根据郴州市有色金属矿土地复垦的现状, 选取宜章县长城岭铅锌多金属矿尾矿库和废石场作为对象, 进行土壤污染评价和土地复垦研究。主要对宜章县长城岭铅锌多金属矿区尾矿库和废石场环境的污染现状进行评价, 结果表明, 矿区废石 Cd 严重超标, 污染程度为警戒级; 土壤中 As 和 Cd 这 2 种元素均严重超标, 为警戒级污染。并根据评价结果, 提出了重金属污染矿区服务期内和服务期满后的复垦建议。

关键词: 郴州市; 铅锌矿; 尾矿库; 废石场; 复垦

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)03-0233-04

中图分类号: X53

Soil Safe Assessment and Reclamation Management of Storehouse and Wasted Area in Nonferrous Metal Mine

— A Case Study of Changcheng Mountains Lead-zinc Polymetallic Mine in Yizhang of Chenzhou City

YU Guang-hui, ZHANG Yong, ZHANG Zhuo, LI Zhen-guo

(Department of Resource Environment & Planning Management County of Urban/Rural Areas,
Hunan Science and Technology University, Xiangtan, Hunan 411201, China)

Abstract: Based on the current reclamation conditions in Chenzhou City, we located storehouse and wasted area at Changcheng Mountains lead-zinc polymetallic mine in Yizhang County and carried out a series of researches on soil pollution and its reclamation. Evaluation on the current pollution situation of the storehouse and wasted area in the mine was mainly made. Results showed that the pollution of mullock and soils in the mining area was serious. The main pollutants were As in mullock and As and Cd in soils. Based on the evaluation results, some suggestions were proposed for the reclamation of seriously polluted mining area during the service time and the end of service time.

Keywords: Chenzhou City; lead-zinc mine; storehouse; wasted area; reclamation

自 1988 年《土地复垦规定》颁布以来, 我国的土地复垦事业有了长足的发展, 这一成就对削减耕地赤字, 遏制耕地锐减势头和缓解我国人地矛盾发挥了重要的作用。目前矿区土地复垦根据其用途可分为农业复垦、林业复垦、渔业复垦、自然保护复垦、水资源复垦和工业复垦等, 其中发达国家农业复垦和林业复垦最普遍。如英国复垦的重点是污染土地修复和矿山废弃地复垦, 其复垦目的不仅是保护环境和恢复土地利用, 更重要的是解决环境安全问题。在我国由于耕地面积有限, 目前复垦的核心便是恢复耕地^[1-3]。湖南省郴州市矿产资源比较丰富, 具有种类多、储量大、分布广和质量好等特点, 素有“煤田”和“有色金属之乡”美称, 其矿产资源主要分布在市域中部、西南

部、南部和东部边境。宜章长城岭铅锌多金属矿位于郴州市宜章县城东北部, 隶属于赤石乡。已开采矿区总面积为 0.631 2 km², 是一个小型铅锌多金属矿, 主要有铅、锌、锑等金属矿产, 已探明量约为 564 361 t, 其中 Pb 2.66%, Zn 1.41%, Sb 1.05%。郴州矿区的开采给周围的环境带来了很大的影响, 矿区周围的土壤、空气和水体环境均受到了不同程度的污染^[4,5], 矿区生态环境与土地复垦问题已经成为当地政府、群众与研究者共同关注的热点问题。

本文通过分析郴州市宜章矿区土壤重金属污染情况, 提出矿山复垦相应的对策和建议。旨在为解决矿区周围居民的生活环境安全提供理论依据, 并为同类矿区土地复垦提供科学指导。

1 研究区域概括

1.1 尾矿库和废石场概况

矿区尾矿库位于宜章县赤石乡塘被村,最高海拔标高为 609.9 m,最低海拔标高为 490 m,尾矿库占地面积为 21 000 m²,总库容量约 156 554 m³,地貌为剥蚀丘陵地貌,沟谷开阔,周围除少量菜地外,植被主要以灌木草丛为主。土地以林草地为主,占 64.4%,荒山坡地 19.3%,耕地 6.6%,尾矿库 0.27%,其它为水域、生产用地及废弃用地。

废石场位于矿井旁的坡地,占地面积为 2 000 m²,容积为 8 000 m³。废石场由于建设较早,建设不规范,边坡未设防护墙,下游也未设挡渣墙,废石堆放不太稳定,容易形成泥石流。

1.2 环境概况

矿区所在地土壤主要为侵蚀土和壤土 2 种类型,土壤层厚度 10—30 cm 不等。由于矿区开采多年,局部地表植被已遭到破坏。本区地处亚热带季风湿润气候区,四季分明,多年平均气温为 19.6 ℃,降雨充沛,年平均降水量为 1 504 mm。

在进行矿山开采和矿产品加工过程中,矿石中的重金属元素会迁移扩散到矿区和作业区,采矿过程中产生的尾砂和废石全堆放在尾矿库和废石场,水土流失造成重金属污染迁移扩散。由于长城岭矿山开采与选矿企业对地表水的长期污染,地表水灌溉造成农田土壤中的重金属和其它化学污染物增加,土壤 pH 值降低,物理性质恶化,农作物生长受到抑制,粮食存在重金属含量高的风险。

2 矿区土壤环境污染

2.1 分析与评价方法

2.1.1 采样与分析 根据研究区地形条件、土壤分布及其利用状况、土壤肥力差异、离污染源的距离远近等,在研究区内选择具有代表性的 5 个采样点,每个采样点采集 5 个土样。选取的土样为矿区废石堆放场,尾矿库周围荒草地表土样,尾矿库周围荒草地剖土样,下塘背村农田表土样,下塘背村农田剖土样。

土壤重金属元素全量测试方法按照国家标准方法测定 (GB/T 15555.2-1995)。

2.1.2 评价方法 按国家标准并结合该区实际,选取在该区影响较大的 5 种重金属元素 (Pb, Zn, Cu, Cd 和 As) 作为土壤环境质量评价因子。根据国家土壤环境质量标准 (GB 15618-1995) 和研究区域土壤背景值,采用指数法来评价土壤环境质量和污染状况。土壤环境质量分为 3 个等级,其中一级标准针对区域土壤诸元素背景值评价,二级标准评价区域是否受到污染,而三级标准则是土壤临界值评价。本文主要是评价该区域是否受到污染,受到污染的程度,因此选用二级标准。综合污染指数全面反映了各污染物对土壤污染的不同程度,同时又突出高浓度对土壤环境质量的影响,因此用综合污染指数评定和划分土壤质量等级更加客观。

首先用公式 (1) 计算单项污染指数,然后根据单项污染指数,采用内梅罗 (N. L. Nemerow) 法分别计算各个元素的综合污染指数及土壤的综合污染指数 [公式 (2)]^[6]。

$$P_i = C_i / S_i \quad (1)$$

式中: P_i ——土壤中 i 元素的污染指数; C_i ——土壤中某元素 i 的实测值; S_i ——土壤中某元素 i 的评价标准值。

$$P_N = \frac{\sqrt{\text{avr}(P_i)^2 + \max(P_i)^2}}{2} \quad (2)$$

式中: P_N ——内梅罗综合指数; $\text{avr}(p_i)$ ——平均值; $\max(p_i)$ ——所有元素污染指数中的最大值。

2.2 结果分析

样本测试结果与环境土壤标准值见表 1, 矿区土壤重金属污染评价结果见表 2。从表 1 中可以看出, 矿区废石 Cd 严重超标, 其它因子尚未超标; 尾矿库 270 m 外的下塘背村农田土壤 As 严重超标, 其作物已经开始受到污染; 而尾矿库周围的荒草地已经受到了中度污染, 其 As 和 Cd 均超标。由表 2 可以看出, 长城岭矿废石属于严重污染, 污染等级达到警戒线; 下塘背村农田土壤为轻污染, 其它土壤为中污染。在所有测试的土壤中, As 和 Cd 这 2 种元素在所有测试土壤中均严重超标, 达到警戒级污染。

表 1 矿区不同土壤重金属含量

采样点	mg / kg				
	As	Pb	Cd	Cu	Zn
长城岭矿废石	22.2	101.9	1.05	47.1	49.7
下塘背村农田表土样	90.0	82.8	0.03	32.0	102.6
下塘背村农田剖土样	116.3	57.1	0.03	22.1	70.0
尾矿库周围荒草地表土样	162.2	179.1	2.02	63.2	176.4
尾矿库周围荒草地剖土样	148.5	101.9	0.83	35.9	134.7
研究区土壤背景值	50.0	51.0	0.20	30.1	74.3
GB15618-1995 二级标准	25(旱地 30)	300.0	0.60	100.0	250.0

表2 矿区土壤重金属污染评价结果

采样点土样	单因子污染指数					综合污染 指数	污染 等级
	As	Pb	Cd	Cu	Zn		
长城岭矿废石	0.800	0.337	1.750	0.470	0.196	0.757	警戒级
下塘背村农田表土样	1.796	0.276	0.041	0.320	0.410	1.332	轻污染
下塘背村农田剖土样	2.321	0.190	0.041	0.221	0.280	1.702	轻污染
尾矿库周围荒草地表土样	3.236	0.597	3.366	0.632	0.705	2.580	中污染
尾矿库周围荒草地剖土样	2.962	0.339	1.391	0.359	0.538	2.380	中污染
综合污染指数	2.151	0.348	1.318	0.400	0.426	1.650	轻污染

这些污染对周围植被的生长造成了很大威胁,对周围的生物和居民带来很大的健康风险。因此,急需对尾矿库及废石场周围的受污染土壤进行污染治理和复垦,并改善库区的工程设备更好的控制污染源。

3 复垦措施

就矿山复垦工作而言,不能单一偏重一面,应该根据具体情况,使矿山生产与环境保护协调发展,常用的复垦技术有工程复垦和生物复垦^[7-8]。由于尾矿库和采石场的服务年限均未满,从经济效益和污染风险角度考虑不适宜进行覆土复垦,所以可以先对尾矿库和采石场进行更有保障的生态修复,对土壤进行改良,再于服务期满后统一进行覆土复垦。如果生态修复效果显著,则可进行耕地复垦工程。

3.1 服务期

3.1.1 工程复垦技术 场地稳定技术^[9-10]。主要包括尾矿库坝墙、排土场堆稳定性评估、加固设计和库面排水,尾矿库的排水系统。由于研究区的废石场建设较早,建设不规范,边坡未设防护墙,下游也未设挡渣墙,废石堆放不太稳定,所以研究区必须采取场地稳定措施,对废石场的边坡设撒洪沟,坡面干砌石护坡,建立防护墙,以稳定废石堆。

污染防治技术^[9-10]。加强尾矿库溢流水对纳污水体水质的影响防治,由表1可以看出,下塘背村的农田剖土As已超标3.65倍,这很大程度是由于尾矿库的溢水以及矿区水土流失,将重金属冲刷到小溪,而农田再由小溪灌溉而致,所以必须对尾矿库的坝体进行修复。研究区以山区地形为主,容易形成泥石流等地质灾害,所以在生产过程中,采取的污染防治技术主要以预防为主。在尾矿库和废石场上游及两侧修建引水渠,将雨水引至堆场外,力求减少流经矿区范围的地表径流,通过减缓流速来削减形成泥石流的水源和动力;在尾矿库和废石场的下游均修建格栅坝和桩林等工程,以便拦截水流中的石砾等固体物质。

3.1.2 生物复垦技术 由于矿区土地主要存在重金属As和Cd污染,所以可以选取植物修复技术,即利用部分植被能忍耐和超量累积某些重金属的特性,通

过植物的提取作用、挥发作用、稳定化作用与根际过滤作用来原位清除、稳定污染土壤中的重金属。通过种植重金属富集性植物,固定土壤中的重金属,经过几季收割后,降低土壤中的重金属含量,并逐步减轻重金属污染。

研究表明,湖南柿竹园矿区土壤重金属含量及植物吸收特征分析认为蜈蚣草(*Pteris vittata* L.)羽叶砷含量达2298 mg/kg,根部砷含量达1582 mg/kg,证明蜈蚣草是砷的超富集植物,具有很强的修复砷污染土壤的能力^[11-12]。此外,蜈蚣草对镉、铅和锌也具有很高的耐性,在柿竹园矿选厂被高浓度镉、铅、锌污染的土壤上蜈蚣草也有分布。可见,蜈蚣草可用于修复砷、镉、铅、锌等重金属复合污染土壤。另苕麻(*Urtica nivea* L.)对砷也具有极强的耐性和富集能力,高砷区苕麻叶、茎、根中的砷含量分别为536, 103和69 mg/kg^[13],苕麻还具有很强的富集镉的能力^[14],在含镉10 mg/kg的污染农田土壤上,其地上部含量能达到15 mg/kg。此外,香根草(*Vetiveria zizanioides*)具有很发达的根系,可以有效控制和防止土壤侵蚀和滑坡。该植物对土壤盐度、钠、酸性、铝、锰和其他多种重金属也有很高的耐受能力,适合于重金属污染土壤的复垦和土地填埋区渗出液的处理,依据植被覆盖率和生物量计算,香根草是在南中国铅锌矿复垦中最有效的植物^[7]。有研究表明芒草(*Isicium lanceolatum* A. C. Smith)能囤积大量的Pb和Zn,但根据调查发现湖南黄沙坪铅锌矿在尾矿库上种植芒草完全失败^[11],可见芒草并不一定适合于尾矿库复垦。根据矿区的气候、土壤类型与污染特征,可以选择蜈蚣草、苕麻和香根草等植物来修复矿区重金属污染。

因为尾矿库土壤出现土地沙化和肥力退化严重,不能为植物提供必要的养料、水和矿物质,所以必须根据复垦植物所需营养进行土壤基质改良。研究表明采用生活垃圾和无机肥对种植香根草的基质进行改良,可以使香根草生长最好,并减少重金属向草食动物迁移,且可回用废物^[15];另外如种植抗重金属植物,或进行菜地复垦,可用尾矿与污泥进行等量混合,可增加植物生长所需营养,同时还可采用猪粪和石灰

等改善基质的 pH 值, 为植物生长提供有利条件。根据复垦植物的选择, 复垦区的土壤基质可用生活垃圾和无机肥进行改良, 生活垃圾可直接从下塘背村运出。

3.2 服务期满后复垦建议

3.2.1 废石场的复垦 由于废石场不能用于直接种植植被, 因此, 应先对废石堆场进行整治, 覆土 0.5 m 以上, 边坡缓在 35° 以下, 再进行植被种植。可以考虑先种植草本植物, 待土质熟化后再种植竹林、马尾松和油茶等适应性强的林木。

3.2.2 尾矿库复垦 由于尾矿凝聚能力差, 透气和容气性能低, 属于不符合植物生长的土壤结构; 尾矿中富集重金属, 可能对植物根系产生伤害或通过食物链转移; 而且尾矿中缺乏植物生长的营养物质, 土壤细菌及微生物无法生存, 因此尾矿复垦前应做如下处理: (1) 挖松干涸硬化的表面层, 平整尾矿库表面; (2) 在挖松表层中撒铺碎粒(粒径不大于 6mm); (3) 在尾矿库表面铺盖 15~25 cm 厚的土层; (4) 种植前用中和药剂处理播种苗床, 并施加足够的肥料^[10]。做好以上处理后, 即可先种植草本植物, 待土质熟化后再种植用材林木。应选择生长快, 抗逆境能力强, 生物化学活跃的树种营造人工林, 同时考虑不同植物群落和品种植物的搭配, 本地和外地植物品种结合, 以及有固氮作用的作物种植方案。但是不可在尾矿坝边坡处种植根深乔木, 以免破坏坝基的稳定, 适宜种植低矮匍匐型根浅草种。

4 结论

通过研究区的污染现状评价认为, 研究区的重金属污染严重, 以 As 和 Cd 为主。其中尾矿库周围的土壤已达到了中度污染, 下塘背村的农田也达到了轻度污染, 废石场废石 Cd 含量超标。

研究区的复垦主要采取生物复垦, 辅助以稳定技术和污染防治技术。服务期运用生活垃圾和无机肥

对土壤进行改良, 选取蜈蚣草、苜蓿和香根草修复土壤。服务期满后, 先改善土壤矿区土壤质量, 再种植草本和乔木植物。

[参 考 文 献]

- [1] 李宗禹. 前苏联的林业土地复垦[J]. 世界林业研究, 1996, 9(5): 37-44.
- [2] 彭建, 蒋一军, 吴健生, 等. 我国矿山开采的生态环境效应及土地复垦典型技术[J]. 地理科学进展, 2005, 24(2): 38-48.
- [3] 马文明. 矿区沉陷地复垦与生态重建研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(1): 135-139.
- [4] 董华斌, 段建南, 黄卫常. 郴州市矿区生态环境状况与土地复垦研究[J]. 热带农业科学, 2005, 25(4): 48-52.
- [5] 许中坚, 吴灿辉, 刘芬, 等. 典型铅锌冶炼厂周边土壤重金属复合污染特征研究[J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2007, 22(1): 111-115.
- [6] 张从. 环境评价教程[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 148-149.
- [7] 黄铭洪, 骆永明. 矿区土地修复与生态恢复[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 161-169.
- [8] 刘国华, 舒洪岚. 矿区废弃地生态恢复研究进展[J]. 江西林业科技, 2003(2): 21-25.
- [9] 周连碧. 矿山复垦与生态恢复[J]. 有色金属工业, 2004(6): 19-21.
- [10] 北京矿冶研究总院. 有色金属矿山尾矿库复垦与生态恢复技术[Z]. 国家科技成果, 2003.
- [11] 安志装, 陈同斌, 雷梅, 等. 蜈蚣草耐铅、铜、锌毒性和修复能力的研究[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2594-2598.
- [12] 雷梅, 岳庆玲, 陈同斌, 等. 湖南柿竹园矿区土壤重金属含量及植物吸收特征[J]. 生态学报, 2005, 15(5): 1146-1151.
- [13] 韦朝阳, 陈同斌. 高砷区植物的生态与化学特征[J]. 植物生态学报, 2002, 26(6): 695-700.
- [14] 代剑平, 揭雨成, 冷鹏, 等. 镉污染环境 中镉在苜蓿植株各部分分布规律的研究[J]. 中国麻业, 2003, 25(6): 279-293.
- [15] 李明顺, 唐绍清, 张杏辉, 等. 金属矿山废弃地的生态恢复实践与对策[J]. 矿业安全与环保, 2005, 32(4): 16-18.
- [9] 汤国安, 杨昕. ARCGIS 地理信息系统空间分析实验[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 263-264.
- [10] 戴西超, 张庆春. 综合评价中权重系数确定方法的比较研究[J]. 煤炭经济研究, 2003, 23(11): 37.
- [11] 白艳芬, 马海洲, 沙占江, 等. 基于熵权法的南水北调西线工程区生态环境综合评价[J]. 盐湖研究, 2008, 16(1): 12-16.
- [12] 杨慧娟, 李宁, 杜子璇, 等. 气候变化对内蒙古牧区白灾的影响: 基于熵权法分析的锡林浩特市案例研究[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 62-66.

(上接第 232 页)

- [5] 赵文晋, 董德明, 龙振永, 等. 战略环境评价指标体系框架构建研究[J]. 地理科学, 2003, 23(6): 751-754.
- [6] 董德明, 赵文晋, 王宪恩, 等. 战略环评若干问题研究[J]. 地理科学, 2002, 22(5): 609-612.
- [7] 畅俊杰, 李万寿. 南水北调西线工程与受水区生态环境问题[J]. 水土保持通报, 2003, 23(3): 6-10.
- [8] 刘文治, 卜红梅, 刘贵华, 等. 丹江口库区湿地植被对南水北调中线工程响应研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(4): 149-152.