

金属矿山土壤重金属污染现状及修复治理分析

王侃

中煤科工重庆设计研究院(集团)有限公司甘肃分院

DOI:10.12238/eep.v6i3.1756

[摘要] 随着我国经济发展对资源需求的增长,开发利用金属矿山的数量和规模不断扩大。在金属矿山的开采中,废石、尾矿等暴露在环境中的堆放,不仅会占用土地资源,造成粉尘污染,其含有的重金属等有害元素会随着沉降或酸性废水渗透至土壤中,造成周边土壤、地下水环境污染。由于重金属在土壤中的留滞性强、移动性差,难以被微生物分解,并可通过食物链影响人类健康,因此采取有效的修复治理措施,降低、消除土壤重金属污染,就显得尤为必要。

[关键词] 金属矿山; 重金属; 土壤污染; 富集; 修复; 治理

中图分类号: X53 文献标识码: A

Analysis on the Current Situation and Remediation of Heavy Metal Pollution in Soil of Metal Mines

Kan Wang

Gansu Branch of CCTEG Chongqing Research Institute

[Abstract] With the increasing demand for resources in China's economic development, the number and scale of metal mines being developed and utilized continue to expand. In the mining of metal mines, the stacking of waste rocks, tailings, and other materials exposed to the environment not only occupies land resources, causing dust pollution, but also contains harmful elements such as heavy metals that migrate into the soil along with sedimentation or acidic wastewater, resulting in environmental pollution of surrounding soil and groundwater. Due to the strong retention and poor mobility of heavy metals in soil, they are difficult to be decomposed by microorganisms, and can affect human health through the food chain. Therefore, it is particularly necessary to take effective remediation measures to reduce and eliminate soil heavy metal pollution.

[Key words] metal mines; heavy metals; soil pollution; enrichment; remediation; treatment

前言

金属矿产一般可分为5种:黑色金属矿产(铁、锰、铬、钒、钛等)、有色金属矿产(铜、锡、锌、镍、钴、钨、钼、汞等)、贵金属矿产(铂、铑、金、银等)、轻金属矿产(铝、镁等)、稀有金属矿产(锂、铍、稀土等)。我国建成的大中型金属矿山已达9000余座,金属矿石年产量约 4×10^8 t,采矿侵占土地面积已接近 4×10^4 km²。

依据《全国土壤污染状况调查公报》,全国土壤环境状况总体不容乐观,工矿业废弃地土壤环境问题突出。全国土壤总的点位超标率为16.1%,土壤污染类型以无机型(重金属)为主,占全部超标点位的82.8%。从污染物超标情况看,镉、汞、砷、铜、铅、铬、锌、镍8种无机污染物点位超标率分别为7.0%、1.6%、2.7%、2.1%、1.5%、1.1%、0.9%、4.8%。虽然近年来土壤污染问题较前些年有所改善,但是重金属污染问题依然严峻。

我国作为矿产资源丰富的国家,在金属矿山大力开发利用的同时,也带来了较为严峻的环境问题,其中矿山土壤重金属污

染尤为突出。当土壤环境中的重金属元素超标则会引起多种环境问题,如土地退化、水资源污染等,并最终通过土壤-植物系统、食物链富集,危害人类健康^[1]。因此,加强对金属矿山土壤重金属污染的研究,并采取有效的修复治理措施,十分必要。

1 金属矿山土壤重金属污染概述

1.1 金属矿山土壤重金属污染来源

金属矿山重金属土壤污染来源包括大气沉降、矿石采选矿中产生废水漫流进入土壤、固体废物(废石和尾矿)堆放引发的重金属渗入土壤等。

(1) 矿山开采中,粉尘污染问题十分突出,涵盖了钻孔、爆破、破碎、筛选、运输、堆放等全过程,各类含有重金属的粉尘最终在重力和风力的作用降落地面,进入土壤环境,随着时间的推移,逐步的累积、富集,最终对土壤环境造成污染。(2) 金属矿山采选工程中会产生大量废水,矿坑涌水是金属矿山开采中废水的主要来源,在选矿过程中会产生大量洗选废水,尾矿湿排或降雨进入尾矿库容易产生大量的含重金属废水。结合废水的形

成过程,该类废水中含有的重金属浓度较高,废水主要为酸性水,有毒有害,处理不当、不能达标排放或者发生渗漏都会对周围土壤环境造成严重污染^[2]。(3)矿山固体废物的主要来源是采矿废石和尾矿,我国矿山开采产生的剥离废石量惊人,且矿山开采的采剥比大,冶金矿山的采剥比为1:(2~4),我国矿山每年废石排放量超过 6×10^8 t,仅露天铁矿山每年剥离废石就达 4×10^8 t。

矿山在选矿过程中选出目的精矿后,剩余的含有目的金属量很少的矿渣称为尾矿;通常每处理1t矿石可产生0.5~0.95t尾砂。近年来,我国的金属矿山每年排出的尾砂达 1×10^8 t左右。

固体废物在露天环境下堆放,在风化、淋溶等作用下,形成酸性环境,借助降雨含重金属污染物快速向周围土壤扩散,导致土壤重金属污染。

1.2 金属矿山土壤重金属污染的特点

较其他污染类型不同,金属矿山土壤重金属污染来源更多,其主要特点为:

(1)具有隐蔽性、滞后性的特点,无法直观观测,通常需要对污染土壤样品,或者吸收了重金属元素的土壤进行监测,才能确定。(2)重金属在土壤中的积累较为容易并且快速,很容易超标,具有极强的积累性。(3)土壤重金属污染很难借助自然力量降解,并无法完全通过稀释、自净等作用消除,一旦发生重金属污染,则难以治理,具有不可逆性,对土壤结构和功能的破坏不易恢复。

1.3 金属矿山土壤重金属污染的危害

(1)破坏土壤的结构及生态功能,重金属进入土壤后,会对土壤的理化性质、生物特性和微生物群落结构产生明显不利影响,从而破坏土壤的酸碱度,降低土壤微生物量和活性细菌数量,减少土壤系统中的生物多样性,严重损害土壤生态结构和功能。(2)土壤重金属含量过高就会抑制植物、农作物的正常生长,会对植物根部生长发育产生抑制作用,影响植物对营养元素的吸收和运输,干扰植物的新陈代谢,影响植物的生长发育。(3)危害人体健康,重金属可以通过“土壤-植物-人体”食物链进入人体,由于重金属不能为土壤微生物所分解,且易于富集,转化为毒性更大的甲基化合物,严重危害人体健康^[3]。

2 金属矿山土壤重金属污染修复治理措施

2.1 物理修复技术

物理修复是指借助物理手段,将土壤中的重金属污染物进行去除。目前,我国采用的物理修复方法主要有工程措施、热处理等。

工程措施最常见的为换土法,将受重金属污染严重的土壤清理干净后,再将未受污染的土壤回填。通常,物理修复成本高,还容易造成扬尘污染以及土壤结构的破坏。

电热修复,是通过高频电压产生的热能将土壤中的重金属快速分离并吸出来,从而修复土壤的破坏层。

不同的修复方法所针对的主要重金属污染元素不同,应合理选择修复方法。例如:针对汞污染,技术人员可采取热处理方法,效果显著,但其也存在一定弊端,如工作量大、能源消耗多、

容易破坏土壤有机质和土壤水。

2.2 化学修复技术

化学修复是指在土壤中添加一定剂量的化学修复剂,使其与污染物发生化学反应,从而降低重金属元素的迁移性,降解污染物,或者降低、去除污染物中的毒性。

使用土壤化学法修复时要注意试剂的配比,尽量做到科学合理,否则,土壤重金属污染问题虽然得到有效抑制,但是又出现新的土壤或环境的污染。

2.3 生物修复技术

生物修复主要包括两类,植物修复和微生物修复,植物修复技术主要是借助植物吸收、固定、挥发机理。

植物吸收又称植物积累,污染物通过植物根系的过度积累以及污染物在茎叶组织中的储存是植物修复方法去除污染物的机理,收获时污染物会随着植物一起从环境中去除。据统计,对重金属污染有修复效果的植物有750种,其中400多种植物已被证实对重金属有超累积能力。例如:油菜和德国鸢尾对Cd有超累积作用,商陆对Mn有超累积作用,绿叶苋菜和香根草对Pb有超累积作用,海州香薷、三叶草和紫穗槐对Cu有超累积作用,向日葵可以积累Pd和Cd,杨桃和伴矿景天可以积累Cd、Zn。

研究发现,有些植物能够降低环境中污染物的生物利用度,从而抑制其向食物链的迁移。例如:红色羊茅,在被重金属污染的土壤中具有植物稳定作用,可有效减少了土壤中重金属Pb、Zn和Cd的浓度。

植物通过根部吸收挥发性化合物,并将该化合物直接转出或转化为代谢物,这些代谢物能够通过植物的叶子转出植物体,挥发到大气中。该技术主要应用于Hg和Se等易挥发污染元素的修复,挥发后的重金属存留在大气中。

微生物修复技术是利用本地微生物或遗传工程微生物(细菌、真菌、放线菌等),通过生物累积、氧化还原、重金属溶解及沉淀、生物降解等作用来修复受损土壤。研究发现,木霉菌属、青霉菌属、曲霉菌属等真菌细胞壁具有良好的重金属结合性。^[5]有研究表明,当土壤中Cd的质量分数分别为1、10、100mg/kg时,接种菌根真菌植物对Cd的吸收分别比普通植物高90%、127%、131%。

较其他治理方法而言,生物修复技术的治理效率低,时效性较长,但是设施简单,资金投入少,也不会产生二次污染。

2.4 其他修复技术

其他常见的土壤修复技术有物理化学修复技术、生物联合修复技术、农业修复技术、动物修复技术等。

物理化学法常见的有电动修复法、土壤淋洗法和玻璃化技术法。电动修复法通过向污染土壤两侧极室中通电,促进重金属的溶解及迁移,再进一步处理后减轻污染土壤中的污染物。土壤淋洗法是指借助有机酸、无机酸磷洗液,将重金属迁移到液相中,再回收、处理含有重金属的废水^[4]。玻璃化法通常使用于部分特殊重金属污染的修复治理中,重金属污染土壤通过电极加热、熔化、冷却,最终形成具有较强稳定性的玻璃态物质。

生物联合修复技术主要有生物电动修复技术、固定化生物吸附修复技术等。生物电动修复技术是先利用微生物将土壤中吸附态的重金属解吸出来,再利用电动方法进行修复。固定化生物吸附是使用生物质/吸附剂从污染样品中去除重金属的快速方法。生物吸附材料对重金属具有高亲和力和选择性,其表面具有化学基团以进行选择性的生物吸附,而生物质通常是从活性污泥或发酵废物中获得的细菌、酵母、真菌和藻类。有研究显示:农杆菌生物质被包裹在含有氧化铁纳米颗粒的藻酸盐中,显示出对Pb的吸附能力为197.02mg/g,并且确认在连续五个循环中有效。

农业生态修复法作为一种新兴技术,能够在结合污染土地实际的基础上,因地制宜,对耕作管理制度进行调整,在有轻微污染的土地选择食物链中较为少见的植物作为种植植物,并施加对土壤重金属污染具有降解能力的化肥,或者可稳固重金属性质的有机肥,避免重金属被植物所吸收,进而抑制其毒害作用。

动物修复技术是利用动物及其携带的微生物来完成土壤的修复工作。目前对于土壤修复动物研究比较多的就是蚯蚓、鼠类等。敬佩等研究发现蚯蚓能对Cd进行较强的吸附,培养时间越长,富集量越大,其富集系数K的范围值为1.6~49.2。俞协治等对污染区域引入蚯蚓后,提取态Cu含量上升,植物富集Cu的能力增强。动物修复也有一定的局限性。

3 金属矿山土壤重金属污染修复治理发展方向

根据相关统计结果,我国重金属污染的问题仍较严重。总体而言,可用于治理金属矿山土壤重金属污染的修复技术多种多样,但也各有利弊,相关技术人员在实际应用中需权衡使用,例如:工程修复技术效果较好,但成本高,仅适用于小规模、污染程度轻的场地,容易破坏土壤结构未退化土壤肥力;生物修复方法的成本,并且还具有一定的生态效益,较为理想,但是也存在时效较长等局限,使用时对自然条件和人为条件的要求较高。

综合各方面因素,需从控源和截污等角度开展土壤和地下

重金属污染的预防。(1)在金属冶炼过程中,推广清洁生产技术,加强管理和宣传,减少含金属废气、废水和废渣的产生,从源头上预防对土壤和地下水的污染^[6]。(2)针对人工表层、人工垫层遭到破坏出现的下渗,以及排水系统破损所出现的泄水出口等开展预防和控制,从而切断金属污染物向地下水的迁移途径,避免其对地下水的污染。(3)灵活应用各类联合土壤修复技术,趋利避害,切合实际选择合适的技术手段治理已污染的土壤。

4 结束语

随着我国金属矿山采选行业的迅速发展,其在带来显著经济效益的同时,也进一步加剧了重金属污染。通过相关普查结果,大部分矿区都存在重金属污染问题,污染土壤面积大,污染严重。目前,可供选择的重金属污染土壤修复技术虽然多种多样,但大多都存在一定局限性,难以达到预期效果。因此,在修复治理金属矿山重金属污染时,需优先考虑成本较低的植物修复技术,然后结合不同矿区条件、污染程度、主要重金属元素,做好对场地评估和土壤污染调查,结合污染调查结果,技术人员需合理选用,或综合使用各种修复技术,取长补短,以达到良好的修复治理效果。

[参考文献]

- [1]郭军康,赵隽隽,李怡凡,等.矿区土壤重金属污染修复技术研究进展[J].农业资源与环境学报,2023,40(2):249-260.
- [2]朱学朋,林海,董颖博,等.有色金属矿山重金属污染土壤修复技术研究进展[J].有色金属(冶炼部分),2023,(01):7-17.
- [3]赵鑫娜,杨忠芳,余涛.矿区土壤重金属污染及修复技术研究进展[J].中国地质,2023,50(1):84-101.
- [4]程小谷,徐开华.轻工业地块基坑土壤重金属污染修复效果评估监测案例分析[J].绿色科技,2022,24(14):121-124.
- [5]李泽.金属矿山重金属污染废弃地土壤修复技术分析[J].世界有色金属,2022,(14):226-228.
- [6]吕飞,贺晓燕,贺光照.金属矿山重金属污染废弃地土壤修复技术研究[J].世界有色金属,2020,(24):127-128.