

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzh.2024.12.017

李导玉, 王娥, 李淑萍, 等. 某矿周边典型重金属污染特征及管控对策研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(12): 180-188.

某矿周边典型重金属污染特征及管控对策研究

李导玉¹, 王娥², 李淑萍³, 孔令军⁴1. 河源市生态环境监测监控中心, 广东 河源 517000; 2. 广东省核工业地质局二九三大队, 广州 518000;
3. 广州市生态环境局花都分局, 广州 518001; 4. 广州大学 环境科学与工程学院, 广州 510006

摘要: 矿业开采和选冶容易给生态环境带来污染风险, 尤其是对周边土壤环境造成污染。以某矿业股份有限公司开矿和选矿场周边地块为研究对象, 对该场地周边土壤、地下水和地表水重金属污染情况进行调查, 并通过污染指数模型进行分析, 探明周边土壤重金属主要污染源和污染原因, 并针对污染原因提出管控措施建议。调查结果显示, 该地块受到一定程度的污染, 重金属检出率为 83%, 主要特征污染物为砷、镉、锌、铜、铅 5 种重金属, 超出筛选值样本率为 37%, 未发现超出管控值, 其中以砷和镉的污染风险影响最为明显。该地块中污染程度明显的是选矿场和运输通道, 且对下游地下水和地表水造成一定的污染, 选矿场生产和运输是导致重金属污染环境的主要原因, 随河流表面水体扩散是重金属污染迁移扩散的主要方式。因此, 建议加强生产和运输过程特征重金属污染环境的管控, 并加强周边尤其是下游地下水和地表水的监测, 对污染土壤进行生态修复。

关键词: 矿业; 重金属; 土壤; 污染指数

中图分类号: X83

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2024)12-0180-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on the Characteristics and Control Strategies of Typical Heavy Metal Pollution Around a Key Mining Area

LI Daoyu¹, WANG E², LI Shuping³, KONG Lingjun⁴1. Ecological and Environment Monitoring Center of Heyuan, Heyuan Guangdong 517000, China;
2. 293 Corps of Guangdong Nuclear Industry Geology Bureau, Guangzhou 518000, China;
3. Huadu Branch of Ecological Environment Bureau of Guangzhou, Guangzhou 518001, China;
4. School of Environmental Science and Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China

Abstract: Non-compliant mining and metallurgical activities have posed pollution risks to the ecological environment, particularly causing damage to the surrounding soil environment. A mining and ore processing

收稿日期: 2024-02-18

基金项目: 广东省自然科学基金项目(2019A1515011543); 广东省科技计划项目(2021A0505030076)。

作者简介: 李导玉, 高级工程师, 主要从事土壤污染调查与修复研究。

通信作者: 孔令军, 教授, 硕士研究生导师。

site of a mining corporation was used as the research object in this study. The heavy metal pollution status of nearby soil, groundwater, and surface water was investigated and further analysed with the pollution index model to determine the pollution sources, and control measurements were recommended. The investigation results reveal that the site has experienced a certain level of contamination. The detection rate of heavy metals was 83% in the area, and main characteristic pollutants were arsenic, cadmium, zinc, copper and lead. Among these, arsenic and cadmium exhibited the most significant pollution risks. The sample rate exceeding the screening values was 37%, although exceeding the control values were not observed. The most notable contamination was found in the transportation routes and the ore processing facility, which caused a certain pollution risk to downstream groundwater and surface water. Production and transportation within the ore processing facility were identified as the primary causes of heavy metal pollution in the environment. Therefore, it is required to monitor and control the heavy metal pollution during production and transportation processes. Particularly, more attentions should be paid to monitor the heavy metal in the downstream groundwater and surface water. Ecological measurements were recommended to restore the contaminated soil.

Key words: mining; heavy metal; soil; pollution index

过去几十年,我国工业发展迅猛,其中矿业开发为我国工业的发展带来宝贵资源,有力促进了工业经济发展,但是过去矿业采冶和堆存,对周边的水土造成不同程度污染^[1]。土壤是万物之源,也是农业之本,是保障粮食安全的根基。近年来,土壤污染问题日趋严重,被污染的土壤生产出的农产品,可通过食物链,最终进入人体,对人体健康造成严重危害^[2-3]。2014 年《全国土壤污染状况调查公报》显示,我国土壤重金属超标率高达 16.1%,其中重污染企业及周边土壤重金属超标位点比例为 36.3%,主要集中于铜、镉、铅、锌、镍和砷等重金属^[4-5]。党中央切实关心民生问题,重视生态环境安全,为保障我国土壤生态环境安全,相关部门出台《土壤污染防治行动计划》,摸清我国土壤污染状况,以保障土地利用安全。

国内外研究及相关经验表明,土壤污染主要采取源头控制、风险管控、治理修复的防控策略。一方面,源头控制、风险管控、治理修复的成本投入约为 1:10:100,因此,通过加强土壤污染源头管控,可以显著降低土壤污染防控成本^[6]。另一方面,通过源头控制,可以有效对土壤进行分类管理和利用。为此,全国各地开展了重点行业企业土壤污染调查。金属矿业开采和选冶是重金属污染的主要源头,过去几十年,金属矿采冶、运输和堆存给周边土地带来污染风险,周边土壤重金属污染空间分布差异明显^[7],为今后的土地利用和土壤污染风险防范带来一定的挑战。本研究拟对某县某重点矿业股份有限公司采矿场和选矿厂周边土壤污染情况进行调查,确定土壤特征污染物种类、源头、污染程度,分析污染成因和环境风险,为有效评价矿冶污染环境风险、探索矿冶污染土壤环境防控措施提供重要的科学依据。

1 材料与方法

1.1 场地概括与周边重点影响区分析

某矿业股份有限公司于 1994 年开始开采铁矿,运行时间约 30 年,开采矿种为铁矿、锌矿、锡矿,采用露天开采的采矿方式,年开采铁矿(氧化矿)300 万 t,开采深度 781 m 至 460 m。为大型矿山,矿山未发生过尾矿库崩坝事故,所在地区多年平均降水量 1 923 mm,年平均风速 1.4 m/s,主导风向为东北风。矿区最近的河流为山间小河,为某江支流,流量 $<15\text{ m}^3/\text{s}$,位于矿区西部下游,不涉及农田灌溉。根据《关于印发〈农用地土壤污染状况详查点位布设技术规范〉的通知》《土壤重点污染源影响范围》,广东某矿业股份有限公司土壤重点污染源周边尾矿库、露天采场和选矿厂、运输道路、地表产流影像区范围分别为 1.5, 0.5, 0.1, 2.0 km。某矿业股份有限公司尾矿库、露天采场、选矿厂及地表产流影响区域如图 1 所示。



审图号：GS(2011)6020 号

BT-1：河流下游监测点，ST-1：露天采矿监测点，ST-2：运输公路监测点，ST-3：选矿厂监测点，ST-4 和 ST-5：地下水监测点。

图 1 某矿业股份有限公司重金属污染特征采样点布图

根据某矿业股份有限公司生产作业的内容和方式，产生的污染物主要来源于尾矿库、污水处理区、选矿区、露天采矿区、矿石堆场、采矿区、废石堆场等，特征污染物为石油烃、氟化物、汞、铅、镉、铜、锌、镍、砷、锰、六价铬，各区域特征污染物及污染源如表 1 所示。

表 1 特征污染物分析表

序号	疑似污染区域	识别依据	特征污染物
1	尾矿库	废尾矿库废水在洪水季节会通过排洪隧洞流入回水池，部分排入新丰江。风引起尾矿库粉尘污染。	氟化物、汞、铅、镉、铜、锌、镍、砷、锰、六价铬
2	污水处理区	污水处理区是采用絮凝沉淀法处理选矿废水的，处理过程中可能会对土壤和地下水产生污染。	石油烃、氟化物、汞、铅、镉、铜、锌、镍、砷、锰、六价铬
3	选矿区	破碎、干选过程产生粉尘。粉尘含有矿石中的多种重金属元素，通过大气沉降的方式迁移到土壤和地下水中；废水排放过程泄露可能造成污染。生产线使用的机械较多，机械使用的润滑油等跑冒滴漏可能造成污染。	石油烃、氟化物、汞、铅、镉、铜、锌、镍、砷、锰、六价铬
4	露天采矿区	堆场地面未硬化，铁矿露天堆放，经雨水冲刷淋溶，污染物可能泄露至土壤和地下水中。	氟化物、汞、铅、镉、铜、锌、镍、砷、锰、六价铬
5	矿石堆场	矿石堆场地面未硬化，堆放过程中被雨水冲刷，污染物会淋溶下渗污染土壤和地下水。	氟化物、汞、铅、镉、铜、锌、镍、砷、锰、六价铬
6	采矿区	采矿区使用的大型设备需要使用润滑油等，跑冒滴漏可能造成污染。原矿装卸运输过程掉落地面可能产生污染。	石油烃、氟化物、汞、铅、镉、铜、锌、镍、砷、锰、六价铬
7	废石堆场	废石堆场地面未硬化，废石露天堆放，经雨水冲刷淋溶，污染物泄露至土壤和地下水中。	氟化物、汞、铅、镉、铜、锌、镍、砷、锰、六价铬

1.2 土壤污染布点方案场地概括与周边重点影响区分析

根据《建设用地土壤污染状况调查技术导则》《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》《建设用地土壤环境调查评估技术指南》《2020 年广东省重点监管企业和工业园区周边土壤监测工作计划》和现场踏勘要求，进一步结合点位布设总体规则，影响范围相互叠加的企业作为一个地块，整体布点^[8-10]。根

据某矿业股份有限公司污染影响范围,并依据优先选择农用地与公园绿地等对人体健康关系密切位置的原则,确定布设 6 个土壤采样点位.其中 BT-1 布置在最近河流的下游河漫滩,监控地表水流影响区,ST-1 监控露天采坑影响区,ST-2 监控运输通道影响区,ST-3 监控选厂影响区,ST-4 和 ST-5 在地下水下游区域,监控地下水污染特征,如图 1 所示.其中 BT 为表层土壤采样点,ST 为多层土壤采样点.本次布点基本监控了影响区内没有农田区域,没有公园绿地.通过现场手持 GPS 确认预设采样点坐标,观察确认坐标点所在位置符合土壤采样的代表性要求,多点组合采样坐标以中心点为准.在人为干扰较大的陡坡地、低洼积水地、住宅、道路、沟渠以及粪堆附近等处不宜设为采样点,应在周边 30 m 范围内另设采样点,对于有垅的农田,在垅间采样.

根据《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 36600—2018)中所要求控制的污染物,结合各区域特征污染物及污染源,确定本次土壤污染监测项目为石油烃、氟化物、汞、铅、镉、铜、锌、镍、砷、锰、六价铬.本研究主要探索土壤重金属污染情况,因此,本次场地污染监测重点考察重金属污染特征.

1.3 采样方法

土壤样品的采集根据《土壤样品采集技术规定》规定,采样前制定采样计划,做好任务分工和采样记录.主要包括采样前准备、采样点确认、样品采集和采样拍照等.表层土采样深度 0~20 cm,为单独取样.先用铁铲三面切割一个大于取土量的 20 cm 高的土方立面,取适量土壤,尽可能做到取样量上下一致,不斜向切割.

混合样品采用区域内多点取土,采集方法包括对角线法、双对角线法、棋盘式法和蛇形法等.采样点确定后,一般设定 20 m×20 m 采样区,在设定区域内,按混合采样法采集分点样品,分点取土法与单独取土法相同,采用聚乙烯盆与竹片等工具等量混合后合成一份混合样,采用四分法弃去多余土壤,采样量不少于 2 000 g.拍照记录土壤采样过程的采样工具、采集位置、土壤装样过程、样品瓶编号、盛放柱状样的岩芯箱、现场检测仪器使用、样品保存等关键信息,每个关键信息至少 1 张照片,以备质量监控.

1.4 样品分析与质量控制

1.4.1 重金属含量分析

土壤样品采集好后,严格按照流转计划进行运输,并对样品做好适当的减震隔离,防止破损、混淆或沾污.样品收集后,将土壤研磨并过 2 mm 的筛.按照《合格评定化学分析方法确认和验证指南》《环境监测分析方法标准制订技术导则》等要求,具体分析方法按照 GB 36600—2018 执行,各指标方法如表 2 所示,分析土壤样品中典型重金属的含量.

表 2 土壤样品的分析及依据

序号	监测项目	分析方法	标准编号
1	汞、砷	原子荧光光度计	HJ 680—2013
2	镉、铅	石墨炉原子吸收分光光度计	GB/T 17141—1997
3	铜、锌、镍、锰	火焰原子吸收分光光度计	HJ 491—2019
4	六价铬	火焰原子吸收分光光度计	HJ 1082—2019

在样品检测前,对分析仪器进行定量校准.检测时,每批不超过 20 个样品,分析测试 1 次标准曲线中间浓度点或土壤有证标准样品,确保校准曲线未发生显著变化.在校准过程,测试项目的相对偏差在 10% 以内.在分析过程,随机抽取不少于 5% 的样品进行平行样分析.

1.4.2 质量控制

每批次样品必须做准确度监控.对于有证标准样品,应在每批次样品中同步插入至少 1 个有证标准样品进行分析测试,插入样品应与待测样品污染物含量水平相当,基质尽量相近,有证标准样品分析测试合格率应达到 100%.

1.4.3 试验结果分析

通过单因子指数法、地累积指数法、多因子指数加和法、多因子指数算术平均法、均方根法、内梅罗指数法^[11-12]，对该矿业公司周边的土壤样品进行分析。

1) 单因子指数法

单因子指数是一种无量纲指数，该法为我国土壤重金属污染环境质量评价的常用方法，能够简单明了地对环境质量进行评价，具有很好的可比性，是其他环境质量指数和质量分级评价的基础。

$$P_i = C_i / S_i \tag{1}$$

式中： P_i 为土壤污染物 i 的单因子污染指数； C_i 为土壤污染物 i 的实测含量(mg/kg)； S_i 为土壤污染物 i 的评价标准值(mg/kg)。

2) 地累积指数法

由于土壤的形成受岩石作用影响显著，在评价重金属污染时，应考虑自然成岩作用引起的背景值影响^[13]，综合考虑人为污染因素和自然成岩作用对背景值的影响，直观评价重金属污染级别，具有较好的科学价值。地累积指数(I_{geo})计算公式如式(2)所示。

$$I_{geo} = \log_2 (C_i / KB_i) \tag{2}$$

式中： I_{geo} 为土壤污染物地累积指数； B_i 为地壳中该元素的含量(mg/kg)； K 为考虑各地岩石差异可能引起背景值的变动系数(一般取 1.5)。

3) 多因子指数加和法

多因子指数加和法是对单因子污染指数的加和，具有操作简单的优点，但易掩盖某单个污染物的问题，评价结果不具可比性。

$$P' = \sum C_i / S_i \tag{3}$$

式中： P' 为参评各土壤污染物污染指数之和。

4) 多因子指数算数平均法

多因子指数算数平均法是对参评单因子污染指数的算数平均，优缺点与多因子指数加和法相同。

$$\overline{P} = \frac{1}{n} \sum \frac{C_i}{S_i} \tag{4}$$

式中： $\overline{P}$ 为参评各土壤污染物污染指数之和； n 为参评污染物的数量。

5) 均方根法

均方根法是对参评单因子进行均方根计算。

$$P_{均方根} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum \left(\frac{C_i}{S_i} \right)^2} \tag{5}$$

式中： $P_{均方根}$ 为土壤中各参评污染物污染指数均方根。

6) 内梅罗指数法

内梅罗指数法兼顾最高单因子指数和平均单因子指数的影响，强调最高分指数的影响，但易掩盖污染物种类的影响。

$$P_N = \sqrt{\frac{P_{i均}^2 + P_{i最大}^2}{2}} \tag{6}$$

式中： P_N 为内梅罗指数； $P_{i均}$ 和 $P_{i最大}$ 分别为单项污染指数平均值和最大值。

2 结果与分析

2.1 矿区周边重金属污染位点分析

调查结果显示，在选取的 6 个区域中，所涉及的重金属污染物检出率为 83%，六价铬未检出，根据《土

壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)^[14-16], 涉及超出筛选值的重金属有砷、铅、锌、铜、镉, 如表 3 所示. 每个采样点均有单项污染物超出筛选值, 其中在采矿区西部, 超出筛选值的重金属为砷、铅、锌, 但均未超出管控值, 表明在选矿区周边的污染主要由铁矿伴生的砷、铅、锌等引起, 但未对周边造成显著污染, 其中砷超出土壤环境质量三级标准, 对土壤造成一定的污染, 不宜于农作物种植和其他植物正常生长, 建议该地块不宜用作农用地. 在选矿厂周边, 砷、铜、锌、镉重金属超出筛选值, 与采矿区西部比, 铜和镉的含量升高, 但是铅的含量降低, 砷、锌、镉超出土壤环境质量三级标准, 同样表明选矿厂南部周边土壤受到污染, 不宜于农作物和其他植物生长. 在运输通道周边, 砷、铜、锌、镉超出筛选值, 且砷、锌、镉超出土壤环境质量三级标准, 污染程度和类型与前述位点类似, 这可能是由于含重金属废料在运输过程的洒落, 长期以往造成区域的环境污染^[17]. 进一步对矿区下游地下水中重金属进行监测, 在两个监测地下水位点中, 一个地下水位点中砷、锌、镉超出筛选值, 而在另一个地下水位点, 只有铜略超过筛选值. 在河流下游河漫滩, 砷、铅、锌、铜、镉的检测结果均超出筛选值, 表明该矿区周边表面水体受影响较大, 但在管控值范围之内, 无需进行额外修复. 可能原因是该矿业生产和堆存过程中, 受雨水淋滤影响较大, 从而造成重金属的迁移扩散, 对下游水体造成污染.

表 3 各超标点位超筛选值污染物检测结果及污染指数

超标点位	区域	检测项目	检测结果/ (mg · kg ⁻¹)	pH 值	筛选值/ (mg · kg ⁻¹)	管控值/ (mg · kg ⁻¹)
ST-1	采坑区西部	砷	108.0	6.87	30.0	120
		铅	189.0	6.87	120.0	700
		锌	439.0	6.87	250.0	/
ST-2	运输通道	砷	89.5	7.52	25.0	100
		铜	112.0	7.52	100.0	/
		锌	867.0	7.52	300.0	/
		镉	1.5	7.52	0.6	4
ST-3	选矿厂南部	砷	111.0	7.01	30.0	120
		铜	129.0	7.01	100.0	/
		锌	2 256.0	7.01	250.0	/
		镉	1.3	7.01	0.6	4
ST-4	地下水下游	砷	107.0	6.82	30.0	120
		锌	1 326.0	6.82	250.0	/
		镉	0.5	6.82	0.3	3
ST-5	地下水下游	铜	118.0	5.97	50.0	/
BT-1	河流下游河漫滩	铅	147.0	6.51	120.0	700
		砷	116.0	6.51	30.0	120
		铜	175.0	6.51	100.0	/
		锌	290.0	6.51	250.0	/
		镉	1.4	6.51	0.3	3

2.2 重金属污染指数

表 4 为单因子指数法、地累积指数法、多因子指数加和法、多因子指数算术平均法、均方根法、内梅罗指数法分析计算的重金属污染情况. 首先通过单因子法描述各位点单一重金属的污染情况, 采坑区西部位点受砷污染严重, 其他重金属均未存在明显污染影响, 在选矿区南部位点, 砷、铜、锌、镉污染明显, 且与

运输通道周边污染情况类似,受污染影响程度最高的重金属为砷,经污染负荷指数分析,砷污染为中度污染,其他为轻度污染,但是在选矿区及地下水位点,锌污染为重度污染^[18],这主要是由该铁矿伴生锌所决定.对地下水两个位点重金属污染情况进行分析,离采矿区最近的地下水位点 ST-4,受砷、锌污染较为明显,而在离选矿场最近的地下水位点 ST-5,仅有铜污染,且污染程度为较轻度污染^[18].在河流下游河漫滩,所涉及的几种重金属均存在一定程度污染,结果表明,矿区周边土壤重金属对周边表面水体造成一定污染.由于各分析方法得到结果具有明显差异,单因子指数仅能对单个重金属污染的情况进行分析,有些区域受自然背景值影响较大,易对评价结果造成干扰.场地累积指数法考虑环境地球化学背景因素影响,直观评价重金属污染级别,结果如表 4 所示.在调查的区域中,采矿区周边影响较大的是砷和铅,而在选矿区、地下水和运输通道等,受污染影响程度较为明显的是砷、锌和镉,这可能主要因为在选矿和运输过程,这几种重金属易扩散,从而易对周边造成污染风险^[19].地表水下流河漫滩是评价污染扩散程度最直观的位点,从该点可看出,该矿业公司对周边造成污染风险最大的是砷、镉、铜、铅.今后,该矿区周边污染监控应重点考察上述 4 种重金属污染风险.

表 4 各位点超筛选值污染指数

采样点	重金属	P_i	I_{geo}	P'	$\overline{P}$	$P_{\text{均方根}}$	P_N
ST-1	砷	3.60	2.26	4.86	1.62	2.15	2.79
	铅	0.38	1.85				
	锌	0.88	1.55				
ST-2	砷	2.98	1.99	7.34	1.83	1.96	2.48
	铜	1.12	1.09				
	锌	1.73	2.53				
	镉	1.50	2.32				
ST-3	砷	3.70	2.30	10.83	2.71	3.06	3.72
	铜	1.29	1.29				
	锌	4.51	3.91				
	镉	1.33	2.15				
ST-4	砷	3.57	2.25	6.71	2.24	2.58	2.98
	锌	2.65	3.14				
	镉	0.49	0.71				
ST-5	铜	1.18	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18
BT-1	铅	0.29	1.48	7.84	1.57	2.01	2.95
	砷	3.87	2.37				
	铜	1.75	1.74				
	锌	0.58	0.95				
	镉	1.35	2.17				

由于该矿冶公司的污染不局限于单一重金属,而是多种重金属复合污染,因此,在评价该场地污染风险时,应综合考虑各重金属的复合污染风险.多因子指数加和法是在单因子指数的基础上,对各单因子污染指数进行简单加和,综合评判比较各位点的污染风险.从表 4 看出,选矿区的多因子加和指数最高达 10.83,表明选矿过程最易造成环境污染风险,其次为运输通道和河流下游河漫滩.运输过程的撒落是造成污染风险高的主要原因.在选矿区,超筛选值污染物多因子加和指数反而较低,说明在选矿周边未造成明

显的污染迁移扩散风险,而在下游河漫滩,表面水体冲洗含重金属废料和污染场地后,汇集于河漫滩,从而形成污染累积,同样在下游地下水较近区域,多因子加和指数相对较高,结果表明,沿水流迁移是该矿业公司场地污染扩散的主要方式之一。

由于各位点超筛选值指标数不一,在计算多因子指数加和时,超标数会对评价结果造成明显影响,通过多因子指数算术平均值、均方根值和内梅罗指数对各位点污染情况进行评价,这 3 种方法具有类似的优缺点。选矿区周边和地表水下游河漫滩的污染指数最高,达到中度污染,其他区域污染程度为轻污染,这与前述结果类似,表明选矿及选矿后重金属的扩散是该矿业公司污染的主要形式,应加强对下游河流径流的监控,同时,在运输和选矿时,加强运输和选矿过程粉尘扬撒造成的环境污染防控。

3 讨论与结论

3.1 讨论

通过布点采样,分析某矿业股份有限公司采矿场、选矿场、运输通道等周边土壤典型重金属污染物,其中汞、镍、锰和六价铬检出未超过筛选值,不存在污染风险。而砷、镉、锌、铜、铅为该矿业股份有限公司需重点关注的重金属污染,在不同采样位点出现超出筛选值现象。污染指数分析表明,该地块污染风险主要聚焦于砷、镉、锌、铜、铅,其中砷和镉为中度污染,这主要是由该矿业公司矿场类型决定,砷和镉作为伴生矿物,开采过程易随之暴露于环境,从而形成污染,需重点监控。在所研究的几个位点中,以选矿场和运输通道周边的污染风险最为严重,这主要是过去生产过程含重金属污染物未得到有效管控,开采的矿物暴露于环境,易被风化和雨水淋滤,从而污染周边土壤和水体,同时也易随表面水体扩散迁移,存在一定的污染风险。由于运输过程没有对矿物进行有效装载,易撒落于运输通道,长期累积后,对运输通道周边水土造成污染,导致重金属含量超出筛选值,尤其是锌、镉、砷等重金属,易被风化和淋滤浸出,从而对周边土壤造成污染。采矿区周边重金属砷、铅、锌含量超出筛选值,表明该地块受到一定程度污染,但与运输通道和选矿场相比,污染程度相对较轻,尚无需进行管控。这可能是由于选矿场和运输通道涉及污染的矿物后,粒径变小,从而易造成锌、镉、砷等污染物的淋滤浸出。下游地表水和地下水都受到不同程度的污染,存在一定的生态风险,这主要是由于前述雨水淋滤,加速重金属污染物的浸出,从而易通过地表水径流和地下水迁移,引起重金属污染物的迁移和扩散。因此,在今后的生产过程,建议加强对涉重金属生产和运输过程的管控,避免含重金属废物洒落排出。在重金属排放区域,避免裸露堆存,以防止雨水淋滤造成地表水和地下水污染。同时,在选矿场和采矿场下游,加强地下水和地表水中砷、镉、锌、铜、铅的监测和预警,防止对下游造成环境污染。

由于该矿业股份有限公司地块存在污染风险,如砷、镉、锌超出土壤环境质量三级标准,不宜种植农作物,建议该区域土地利用主要以工业用地为主^[20]。该区域土壤重金属污染整体上无需修复,且修复会显著增加成本,建议该区域的土壤环境管理以监管和预防为主,在有条件的区域,通过种植重金属富集植物,进行生态修复,同时有效阻滞重金属的迁移扩散。

3.2 结论

通过对某矿业股份有限公司周边土壤重金属污染现状调查分析,得到以下主要结论:

- 1) 该矿业企业周边土壤存在不同程度的重金属污染,主要重金属污染物为砷、镉、锌、铜、铅;
- 2) 该场地区域重金属污染存在迁移扩散的风险,易对下游地下水和地表水造成污染,应加强下游地表水和地下水重金属污染的监控;
- 3) 选矿场生产和运输撒落是该矿业企业对周边环境造成污染风险的主要来源,建议加强对生产和运输过程涉重金属环节的重点管理,防止涉重金属污染物释放到环境;
- 4) 该区域土地利用应以工业利用为主,有条件的区域加强生态修复,同时对该场地应加强详细调查和污染风险监控。

参考文献：

[1] 韦萍. 文山州某铅冶炼企业搬迁遗留土壤调查及污染成因分析 [J]. 环境科学导刊, 2021, 40(6): 51-54.

[2] KHAN A, KHAN S, KHAN M A, et al. The Uptake and Bioaccumulation of Heavy Metals by Food Plants, Their Effects on Plants Nutrients, and Associated Health Risk: A Review [J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2015, 22(18): 13772-13799.

[3] WANG L W, RINKLEBE J, TACK F M G, et al. A Review of Green Remediation Strategies for Heavy Metal Contaminated Soil [J]. Soil Use and Management, 2021, 37(4): 936-963.

[4] 陈能场, 郑煜基, 何晓峰, 等. 《全国土壤污染状况调查公报》探析 [J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(9): 1689-1692.

[5] HU H, JIN Q, KAVAN P. A Study of Heavy Metal Pollution in China: Current Status, Pollution-Control Policies and Countermeasures [J]. Sustainability, 2014, 6(9): 5820-5838.

[6] 宋志晓, 魏楠, 崔轩, 等. 中国土壤污染源头管控现状及对策研究 [J]. 环境科学与管理, 2022, 47(12): 5-9.

[7] 冯德坤, 杨雪, 万咏咏, 等. 湖南省有色金属工业场地时空格局及成因分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(9): 144-155.

[8] 刘凡. 珠江三角洲区域地下水酸化机理研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015: 11-12.

[9] 梁颖. 某工业地块环境调查地下水中砷超标原因探究 [J]. 环境保护科学, 2020, 46(5): 138-142.

[10] 冯宪凤, 梁志健. 建设用地土壤污染状况调查中地下水重金属含量与 pH 关系的研究 [J]. 中国资源综合利用, 2023, 41(12): 212-215.

[11] 郑永立, 朱明, 郑彤, 等. 电子垃圾拆解区农田土壤和地表水重金属污染特征和潜在风险评价 [J]. 环境化学, 2023, 42(9): 2946-2960.

[12] 何雪, 刘克, 陆引昱. 基于农作物富集系数的土壤重金属安全阈值研究及环境风险评价 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(8): 146-157.

[13] 胡鹏杰, 詹娟, 刘娟, 等. 土壤重金属地质高背景成因、风险与管控研究进展 [J]. 土壤学报, 2023, 60(5): 1363-1377.

[14] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行): GB 15618—2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.

[15] 肖凯琦, 徐宏根, 甘杰, 等. 湘西地区土壤重金属污染溯源分析及环境质量评价 [J]. 环境科学, 2024, 45(3): 1760-1768.

[16] 李勘之, 姜璐, 王国庆, 等. 不同国家农用地土壤环境标准比较与启示 [J]. 环境科学, 2022, 43(2): 577-585.

[17] 陈芬, 余高, 侯建伟, 等. 矿渣运输道路两侧农田土壤重金属风险评价 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020, 42(11): 9-21.

[18] 吴灿萍, 周罕, 付俊, 等. 铜选冶厂周边农田土壤重金属污染特征及来源解析 [J]. 环境化学, 2024, 43(1): 311-322.

[19] 廖泽源, 李杰芹, 沈智杰, 等. 重庆某铁矿区周边耕地土壤重金属污染评价及来源解析 [J]. 环境科学, 2024, 45(4): 2450-2460.

[20] 汪洁, 朱有为, 杨肖娥, 等. 农用地土壤可持续安全利用的研究与实践——以浙江省镉污染农田为例 [J]. 土壤学报, 2023, 60(6): 1662-1674.

责任编辑 包颖
崔玉洁