

# 铜冶炼企业土壤污染防治方法的应用

杨红明

易门铜业有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i8.2774

**[摘要]** 本文聚焦铜冶炼企业土壤污染防治,从源头预防、过程控制、末端治理及后期监测管理四个关键环节,系统阐述了科学合理的防治方法。在源头预防方面,通过优化生产工艺、严格筛选原料品质、规范原料与固废存储管理,减少污染物产生与输入;在过程控制环节,加强生产环节的污染管控、规范厂区地面与设备维护,降低污染物扩散风险;末端治理则针对已污染土壤,依据污染情况选择物理、化学、生物等修复技术进行治理;后期通过定期评估防治效果、建立长期监测与管理机制,确保土壤环境质量持续稳定达标。这些综合防治措施的实施,可有效保护和修复铜冶炼企业土壤环境。

**[关键词]** 土壤污染防治; 源头预防; 过程控制

中图分类号: X131.3 文献标识码: A

## Application of Soil Pollution Prevention and Control Methods in Copper Smelting Enterprises

Hongming Yang

Yimen Copper Industry Co., Ltd

**[Abstract]** This article focuses on the prevention and control of soil pollution in copper smelting enterprises, systematically elaborating on scientific and reasonable prevention and control methods from four key links: source prevention, process control, end of pipe treatment, and later monitoring and management. In terms of source prevention, optimizing production processes, strictly screening raw material quality, standardizing raw material and solid waste storage management can reduce the generation and input of pollutants; In the process control stage, strengthen pollution control in the production stage, standardize the maintenance of factory floors and equipment, and reduce the risk of pollutant diffusion; End of pipe treatment targets polluted soil and selects physical, chemical, biological and other remediation technologies based on the pollution situation for treatment; In the later stage, regular evaluation of prevention and control effects, establishment of long-term monitoring and management mechanisms will be carried out to ensure the continuous and stable compliance of soil environmental quality. The implementation of these comprehensive prevention and control measures can effectively protect and restore the soil environment of copper smelting enterprises.

**[Key words]** Soil pollution prevention and control; Source prevention; process control

## 前言

铜冶炼企业在生产过程中,由于原料运输、冶炼加工、废弃物处理等环节的操作不当,容易导致重金属(如铜、铅、锌、镉等)和酸性物质进入土壤,造成土壤污染。为有效控制和治理铜冶炼企业的土壤污染问题,需从源头预防、过程控制、末端治理及后期监测等多个环节入手,应用科学合理的防治方法,实现土壤环境的保护与修复。

### 1 源头预防: 减少污染物产生与输入

源头预防是铜冶炼企业土壤污染防治的核心环节,通过优化生产工艺、规范原料管理、加强设备维护等措施,从根本上减少污染物进入土壤的总量,降低土壤污染风险。

#### 1.1 优化生产工艺与原料选择

采用清洁冶炼技术: 传统铜冶炼工艺能耗高、污染物排放量大,易产生大量含重金属的烟尘和废渣,进而污染土壤。企业可引入先进的清洁冶炼技术,如闪速熔炼、艾萨熔炼、富氧底吹熔池熔炼(炉内分离)等,这些技术具有冶炼效率高、污染物排放少的特点,能大幅减少重金属向环境中的释放。例如,闪速熔炼通过将铜精矿与氧气充分混合燃烧,使冶炼过程更高效,产生的烟尘量仅为传统工艺的1/3-1/2,且烟尘中重金属的富集度更高,便于后续回收处理,减少了重金属进入土壤的可能性。

严格筛选原料品质: 铜精矿作为铜冶炼的主要原料,其杂质含量直接影响土壤污染风险。企业建立严格的原料准入制度,

优先选择杂质含量低、品质稳定的铜精矿,从源头控制有害元素的输入。同时,对采购的铜精矿进行全面检测,若发现杂质含量超标,需及时与供应商沟通协商,或采取预处理措施降低杂质含量后再投入生产,避免因原料问题导致土壤污染。

### 1.2 规范原料与固废存储管理

铜精矿、煤等原料在存储过程中,若遇到雨水冲刷,易产生含重金属的淋溶水,渗入土壤造成污染。因此,企业建设符合环保标准的原料存储仓库或堆场,地面采用水泥硬化处理,并铺设高密度聚乙烯(HDPE)防渗膜,防止淋溶水渗入土壤。同时,在堆场周围设置排水沟和集水池,收集雨水和淋溶水,经处理达标后回用,避免污水外溢污染土壤。

铜冶炼过程中会产生大量固体废弃物,如冶炼废渣、烟灰、污泥等,这些废弃物中含有较高浓度的重金属,若随意堆放或处置不当,极易造成土壤污染。企业按照“减量化、资源化、无害化”的原则,对固体废弃物进行分类处理,规范建设暂存库及集中处置点。对于具有回收价值的冶炼废渣,可通过选矿工艺回收其中的铜、铅、锌等金属,提高资源利用率;对于无回收价值的废弃物,运输至建有符合国家标准的危险废物处置点“刚性填埋场”,采用安全填埋或固化/稳定化处理技术,防止重金属泄漏污染土壤。

## 2 过程控制:降低污染物扩散风险

在铜冶炼生产过程中,通过加强生产环节的管控、完善污染防治设施、规范操作流程等措施,减少污染物的无组织排放,降低污染物扩散至土壤的风险。

### 2.1 加强生产环节的污染管控

铜冶炼过程中产生的烟尘中含有大量重金属,若烟尘收集不彻底,会通过大气沉降的方式进入土壤,造成土壤污染。企业优化烟尘收集系统,在冶炼炉、转炉、精炼炉等产尘设备上方安装高效集气罩,确保烟尘收集率达到95%以上,并配套建设逸散烟气收集处理系统,对收集不完全的烟气二次回收净化处理,确保烟尘回收率100%收集。同时,选用高效的除尘设备,如电除尘器、袋式除尘器等,对收集的烟尘进行净化处理,使烟尘排放浓度符合国家标准。

铜冶炼企业的生产废水中含有重金属和酸性物质,若废水处理设施不完善或管道破损,会导致废水渗漏进入土壤,造成土壤污染和酸化。企业建设完善的生产废水处理系统,根据废水的水质特点,采用中和、沉淀、吸附、离子交换等工艺对废水进行处理,确保废水处理达标后回用。同时,对废水处理设施和输送管道进行定期检查和维护,采用防腐、防渗漏材料对管道进行处理,避免管道破损导致废水渗漏。

### 2.2 规范厂区地面与设备维护

铜冶炼厂区的生产车间、原料运输通道、废水处理站等区域,是土壤污染的高风险区域。企业对这些区域的地面进行严格的防渗处理,除采用水泥硬化和铺设防渗膜外,并在地面涂刷防腐防渗涂料,提高地面的防渗性能。对于容易产生泄漏的设备(如储罐、反应釜、管道接口等),设置围堰和集液槽,防止泄漏

的液体扩散至土壤中。同时,定期对厂区地面进行检查和维护,发现地面破损或防渗层损坏时,及时进行修补,确保地面防渗效果。

生产设备的跑、冒、滴、漏是造成土壤污染的重要原因之一。企业建立设备定期维护检修制度,加强对冶炼设备、管道、阀门等的日常检查和维护,及时发现并修复设备的泄漏问题。例如,对输送酸性溶液的管道,定期检查其腐蚀情况,更换老化的管道和阀门;对储罐的密封性能进行定期检测,防止储罐内的液体泄漏。

## 3 末端治理:修复已污染土壤

对于历史遗留问题已经受到污染的土壤,铜冶炼企业需根据土壤污染的程度、范围、污染物种类以及场地的使用功能,选择合适的土壤修复技术进行治理,恢复土壤的生态功能和使用价值。

### 3.1 物理修复技术的应用

土壤淋洗技术是通过向污染土壤中注入淋洗剂(如清水、化学试剂溶液),利用淋洗剂与土壤中污染物的物理化学作用,将污染物从土壤颗粒表面洗脱下来,然后通过收集淋洗液进行处理,实现土壤净化的目的。该技术适用于污染程度较重、污染物主要存在于土壤表层的情况,尤其对重金属污染的土壤具有较好的修复效果。在铜冶炼企业土壤修复中,可根据土壤中重金属的种类和性质,选择合适的淋洗剂,如柠檬酸、EDTA(乙二胺四乙酸)等。

土壤异位填埋技术是将污染土壤挖掘出来,运输至符合国家标准的危险废物填埋场进行安全填埋处理,防止污染物进一步扩散。在填埋过程中,需对污染土壤进行预处理,如破碎、筛分等,去除土壤中的大块杂质,然后采用防渗膜、膨润土等材料对填埋场进行防渗处理,确保填埋场周边土壤和地下水不受污染。同时,在填埋场上方设置覆盖层,种植植被,恢复生态环境。

### 3.2 化学修复技术的应用

固化/稳定化技术是通过向污染土壤中添加固化剂或稳定剂(如水泥、石灰、粉煤灰、磷酸盐等),利用化学作用将土壤中的重金属转化为稳定的化合物,降低重金属的生物有效性和迁移性,从而减少重金属对土壤生态环境和人体健康的危害。该技术适用于重金属污染土壤的修复,尤其对镉、铅、铜等重金属具有较好的稳定效果。在铜冶炼企业土壤修复中,可根据土壤的性质和重金属种类选择合适的固化剂或稳定剂。固化/稳定化技术操作简单、成本较低,且对土壤结构破坏较小,是目前铜冶炼企业污染土壤修复中应用较为广泛的技术之一。

化学还原技术是利用还原剂(如硫酸亚铁、亚硫酸钠、零价铁等)将土壤中的高价重金属离子(如六价铬)还原为低价态重金属离子,降低重金属的毒性和迁移性。该技术适用于含有高价重金属离子的污染土壤,如铜冶炼过程中可能产生的铬污染土壤。例如,向铬污染土壤中添加硫酸亚铁,硫酸亚铁中的二价铁离子能将六价铬还原为三价铬,三价铬在中性或碱性条件下会形成氢氧化铬沉淀,从而固定在土壤中,减少铬的迁移和扩散。

### 3.3 生物修复技术的应用

植物修复技术是利用植物对土壤中污染物的吸收、积累、降解或固定作用,去除土壤中的污染物,实现土壤净化的目的。该技术具有成本低、环境友好、不破坏土壤结构等优点,适用于中轻度重金属污染土壤的修复。在铜冶炼企业土壤修复中,可选择对铜、铅、锌等重金属具有较强富集能力的超积累植物,如东南景天、蜈蚣草、遏蓝菜等。

微生物修复技术是利用微生物(如细菌、真菌、放线菌等)的代谢活动,将土壤中的污染物转化为无害或低毒的物质,从而实现土壤修复的目的。该技术适用于重金属污染土壤的修复,微生物可通过吸附、沉淀、氧化还原等作用降低重金属的生物有效性。例如,某些细菌可产生有机酸,与土壤中的重金属离子形成络合物,促进重金属的溶解和迁移,便于植物吸收;某些真菌可通过细胞壁的吸附作用固定重金属离子,减少重金属的扩散。在应用微生物修复技术时,需筛选合适的微生物菌株,并优化修复条件(如温度、pH值、湿度等),提高修复效率。

## 4 效果评估与长期管理

铜冶炼企业土壤污染防治是一项长期的系统工程,在采取防治措施后,需对防治效果进行定期评估,并建立长期的土壤环境监测和管理机制,确保土壤环境质量持续稳定达标。

### 4.1 土壤污染防治效果评估

土壤污染防治效果评估主要围绕土壤中污染物的含量、土壤理化性质、生态环境质量等指标展开。具体评估指标包括土壤重金属(铜、铅、锌、镉等)的含量、pH值、有机质含量、土壤酶活性、植物生长状况、地下水水质等。评估方法采用现场采样监测与实验室分析相结合的方式,按照国家相关标准(如《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管理标准(试行)》(GB36600-2018)、《土壤环境质量农用地土壤污染风险管理标准(试行)》(GB15618-2018))对土壤样品进行采集和分析,对比防治措施实施前后土壤指标的变化情况,评估防治效果。

土壤污染防治效果评估应定期进行,对于污染修复区域,在修复工程完成后,需进行首次效果评估,若评估结果达标,可每1-3年进行一次跟踪评估;对于源头预防和过程控制区域,可每2-5年进行一次土壤环境质量评估。根据评估结果,及时调整防治措施,若发现土壤污染指标反弹或出现新的污染问题,需分析原因,采取针对性的改进措施,确保土壤环境质量得到有效控制。同时,将评估结果纳入企业环境管理档案,为企业后续的土壤污染防治工作提供参考依据。

### 4.2 长期土壤环境监测与管理

铜冶炼企业应根据厂区土壤污染风险分布情况,建立完善的土壤环境监测网络,在原料堆场、生产车间、废水处理站、固废处置区等污染高风险区域以及厂区周边敏感区域设置监测点位。监测点位的设置应遵循代表性、科学性、可行性的原则,确保能够全面反映厂区及周边土壤环境质量状况。监测项目包括土壤重金属含量、pH值、地下水水质等,监测频率根据污染风险程度确定,一般为每季度或每半年监测一次,对于污染修复区域,可适当增加监测频率。

企业应建立健全土壤环境管理责任制,明确各部门和岗位的土壤污染防治职责,将土壤污染防治工作纳入企业日常生产管理体系。加强对员工的环保培训,提高员工的土壤污染防治意识和操作技能,确保各项防治措施得到有效落实。同时,建立土壤环境风险预警机制,根据监测数据及时分析土壤环境质量变化趋势,若发现土壤污染风险超过预警阈值,立即启动应急响应预案,采取应急处理措施,防止污染扩大。

## 5 结语

铜冶炼企业土壤污染防治是一项长期而复杂的系统工程,涉及源头预防、过程控制、末端治理和后期管理等多个环节。只有坚持科学规划、技术引领与制度保障并重,才能实现土壤环境的有效保护与持续改善。通过优化生产工艺、强化污染管控、合理选择修复技术,并建立完善的监测与评估机制,企业不仅能够有效降低土壤污染风险,还能推动绿色转型与可持续发展。未来,应进一步加强政策引导与技术创新,提升企业环保意识与治理能力,实现铜冶炼行业与生态环境的协调共生。

## 参考文献

- [1] 张月.土壤重金属污染的来源、监测方法及防治措施[J].清洗世界,2025,41(08):164-166.
- [2] 闫锡升.试论土壤污染防治及修复方法[J].清洗世界,2024,40(10):172-174.
- [3] 王翠翠,赵鑫,薛春丽.土壤重金属元素的监测方法及优化措施探讨[J].皮革制作与环保科技,2024,5(19):80-82.
- [4] 朱月琪,曾红平.土壤污染修复技术[M].化学工业出版社,2024.02.165.
- [5] 惠越,庞雯霏,胡梦云,等.土壤重金属污染分析方法及防治对策探析[J].浙江化工,2022,53(04):43-49.

## 作者简介:

杨红明(1974--),男,汉族,云南易门人,大专,环境工程师、注册安全工程师,研究方向:铜冶炼企业土壤污染防治。