

工业固废与土壤污染协同治理技术体系构建与应用研究

邵喆羽 何超峰 宋家欢 余雅萍

绍兴市环保科技服务中心

DOI:10.12238/eep.v8i1.2450

[摘要] 随着工业化进程的加速,工业固废产生量日益增加,土壤污染问题也愈发严峻。本文聚焦工业固废与土壤污染协同治理,剖析构建技术体系的关键要素,结合实际应用案例阐述其成效,并借助数据表格直观呈现相关数据,为推动工业固废资源化利用和土壤污染有效治理提供理论与实践支撑,助力实现生态环境的可持续发展。

[关键词] 工业固废; 土壤污染; 协同治理; 技术体系

中图分类号: X131.3 **文献标识码:** A

Research on the construction and application of the collaborative treatment technology system of industrial solid waste and soil pollution

Zheyu Shao Chaofeng He Jiahuan Song Yaping Yu

Shaoxing Environmental protection science and technology Service Center

[Abstract] With the acceleration of industrialization process, the production of industrial solid waste is increasing day by day, and the problem of soil pollution is becoming more and more serious. This paper focuses on industrial solid waste and soil pollution collaborative governance, analyze the key elements of building technology system, combined with the practical application case of its results, and with the help of data form intuitive present related data, to promote industrial solid waste resource utilization and effective treatment of soil pollution to provide theoretical and practical support, help realize the sustainable development of the ecological environment.

[Key words] industrial solid waste; soil pollution; collaborative treatment and technical system

引言

工业固废是指在工业生产活动中产生的固体废物,如尾矿、煤矸石、冶炼废渣等。据统计,我国每年工业固废产生量已超30亿吨,且呈逐年上升趋势。大量工业固废的堆放不仅占用土地资源,还通过渗滤液、扬尘等途径污染土壤、水体和大气环境。与此同时,土壤污染问题也不容忽视,全国土壤污染状况调查公报显示,部分地区土壤污染较重,耕地土壤环境质量堪忧。工业固废与土壤污染相互关联,协同治理势在必行。构建有效的协同治理技术体系,既能实现工业固废的资源化利用,又能改善土壤质量,具有重要的现实意义。

1 工业固废与土壤污染现状分析

1.1 工业固废产生与处置现状

我国工业固废产生种类繁多,分布广泛。以2023年为例,尾矿产生量约占工业固废总量的35%,煤矸石约占20%,冶炼废渣约占15%。在处置方式上,综合利用率约为55%,仍有大量工业固废未得到有效处理,以填埋、堆放等方式留存,对周边环境造成潜在威胁^[1]。具体数据如表1所示:

表1 工业固废产生与处置现状

工业固废种类	产生量(亿吨)	占比	综合利用率
尾矿	10.5	35%	50%
煤矸石	6	20%	60%
冶炼废渣	4.5	15%	70%
其他	9	30%	50%

1.2 土壤污染现状及危害

土壤污染主要来源于工业废水废气排放、工业固废堆放、农业面源污染等。目前,我国受污染耕地面积达一定规模,部分工业场地土壤污染严重,污染物包括重金属(如镉、汞、铅等)、有机污染物(如多环芳烃、农药残留等)。土壤污染不仅影响农作物生长,导致农产品质量下降,还可能通过食物链进入人体,危害人体健康^[2]。

2 协同治理技术体系构建原则

2.1 资源化利用原则

将工业固废视为潜在资源,探索多元化转化路径。以尾矿为例,我国尾矿中常含有多种有价金属,如铁、铜、铅、锌等。利用先进的选矿技术,如重选、浮选、磁选联合工艺,可从尾矿中高效回收这些金属,实现资源的二次利用。据统计,在一些技术成熟的矿山企业,通过尾矿再选,金属回收率可提高10%~20%^[3]。此外,尾矿还可用于制备建筑材料,如尾矿砂可替代天然砂用于混凝土生产,尾矿渣可烧制砖、瓦等墙体材料。不仅减少工业固废的堆放量,还降低了对自然资源的开采,缓解资源短缺压力。

2.2 无害化处理原则

一方面,从工业生产源头入手,采用清洁生产技术,减少工业固废中污染物的产生。在冶炼行业,优化冶炼工艺,采用先进的除杂技术,可降低冶炼废渣中重金属的含量。同时,改进生产设备,提高生产过程的自动化程度,减少生产过程中的跑冒滴漏,降低污染物的无组织排放。以某大型钢铁企业为例,实施清洁生产技术改造,其冶炼废渣中重金属含量降低了30%,废气、废水排放量也大幅减少;另一方面,对于已经产生的工业固废和受污染土壤,采用有效的末端治理技术,降低污染物的毒性和环境风险。在工业固废处理方面,采用固化/稳定化技术,将重金属等污染物固定在固化体中,降低其浸出毒性。如采用水泥固化法处理含重金属的冶炼废渣,使废渣中的重金属被包裹在水泥固化体中,有效减少了重金属向环境中的迁移。在土壤污染修复中,采取化学淋洗技术,利用化学试剂将土壤中的污染物溶解并洗脱出来,降低土壤中污染物的含量,使其达到环境安全标准^[4]。

2.3 因地制宜原则

不同地区的工业固废特性和土壤污染类型存在显著差异。在北方煤炭资源丰富地区,煤矸石产生量大,而南方有色金属矿产丰富地区,尾矿和冶炼废渣较多。同时,土壤污染类型也因地区而异,如长三角、珠三角等经济发达地区,土壤有机污染较为突出,而一些矿业城市周边土壤则以重金属污染为主。因此,在选择治理技术时,必须充分考虑地域差异。在煤矸石大量堆积的山西地区,可优先发展煤矸石发电、煤矸石制备建筑材料等技术;在土壤重金属污染严重的湖南郴州地区,可采用超富集植物修复技术结合化学改良剂进行土壤修复。

3 协同治理技术体系关键技术构成

3.1 工业固废预处理技术

3.1.1 物理分离技术

破碎、筛分、磁选、浮选等物理分离技术是工业固废预处理的基础,破碎技术可将大块的工业固废破碎成较小颗粒,便于后续处理。颚式破碎机、圆锥破碎机等常用于尾矿、煤矸石的破碎。筛分技术则根据颗粒大小对工业固废进行分级,以便进一步分选。磁选技术利用不同物质的磁性差异,从工业固废中分离出磁性物质,如从冶炼废渣中回收铁。浮选技术通过添加浮选药剂,使目的矿物与脉石矿物分离,可有效回收尾矿中的有

价金属。在某铜矿尾矿处理中,采用浮选技术,铜回收率达到85%以上。

3.1.2 化学预处理技术

对于一些难以通过物理方法分离的工业固废,可采用化学预处理技术。例如,酸浸法可用于处理含重金属的工业固废,通过酸与固废中的金属发生化学反应,使金属溶解进入溶液,再通过后续的沉淀、萃取等方法回收金属。碱熔法可用于处理某些特殊的工业固废,如粉煤灰中的氧化铝,通过碱熔使氧化铝转化为可溶性的铝酸盐,便于提取。化学预处理技术能提高工业固废中有效成分的提取率,为后续资源化利用奠定基础。

3.2 土壤污染修复技术

3.2.1 物理修复技术

客土法是一种常见的物理修复技术,添加未污染的土壤覆盖在污染土壤表面,稀释污染物浓度,改善土壤质量。例如,在某轻度污染的农田中,采用客土法,添加20厘米厚的未污染土壤,使土壤中污染物含量降低到安全水平,农作物生长恢复正常。热解吸技术则利用加热使土壤中的有机污染物挥发、分解,从而达到修复目的。在处理多环芳烃污染的土壤时,热解吸技术可将土壤中的多环芳烃去除率提高到90%以上。

3.2.2 化学修复技术

化学淋洗技术利用化学试剂与土壤中的污染物发生化学反应,形成可溶于水的物质,通过淋洗将污染物从土壤中去。常用的淋洗剂有酸、碱、螯合剂等。在处理重金属污染土壤时,采用乙二胺四乙酸(EDTA)作为淋洗剂,可有效去除土壤中的镉、铅等重金属。化学氧化还原技术通过向土壤中添加氧化剂或还原剂,使污染物发生氧化或还原反应,降低其毒性和迁移性。如在处理含六价铬污染的土壤时,采用硫酸亚铁作为还原剂,将六价铬还原为毒性较低的三价铬,降低土壤污染风险。

3.2.3 生物修复技术

植物修复技术利用超富集植物对重金属等污染物的吸收、富集能力,降低土壤中污染物含量。例如,蜈蚣草对砷具有超强的富集能力,在砷污染土壤修复中,种植蜈蚣草可使土壤中砷含量显著降低。微生物修复技术则借助微生物的代谢活动,将土壤中的有机污染物降解为无害物质。如在石油污染土壤修复中,利用石油降解菌,可将土壤中的石油烃类物质分解为二氧化碳和水,实现土壤净化。

3.3 工业固废制备土壤改良剂技术

3.3.1 煤矸石制备土壤改良剂

煤矸石经高温煅烧后,其内部结构发生改变,活性成分增加。再经过研磨等处理,可制成土壤调理剂。这种调理剂能够调节土壤酸碱度,对于酸性土壤,煤矸石调理剂中的碱性物质可中和土壤酸性;对于碱性土壤,其含有的硅、铝等成分可改善土壤结构,降低土壤碱性。同时,煤矸石调理剂还能增加土壤孔隙度,提高土壤保水保肥能力。在某酸性红壤地区,施用煤矸石土壤改良剂后,土壤pH值从4.5提高到5.5,土壤保水率提高了15%,农作物产量显著提高。

3.3.2 粉煤灰制备土壤改良剂

粉煤灰中含有硅、钙、镁等多种营养元素,可作为土壤改良剂的原料。将粉煤灰与有机物料如秸秆、畜禽粪便等混合发酵,制成有机-无机复合土壤改良剂。这种改良剂既能为土壤提供养分,又能改善土壤结构,增加土壤有机质含量。在某贫瘠的砂质土壤中,施用粉煤灰复合土壤改良剂后,土壤有机质含量从1%提高到2%,土壤团聚体稳定性增强,农作物生长状况明显改善。

4 协同治理技术应用分析

4.1 项目概况

某工业聚集区长期存在大量煤矸石堆放和周边土壤重金属污染问题。该区域煤矸石累计堆放量达500万吨,周边农田土壤镉、铅等重金属超标。为解决这一问题,引入工业固废与土壤污染协同治理技术体系。

4.2 技术应用过程

对煤矸石进行预处理,破碎、筛去除杂质,再经高温煅烧活化,使其具备潜在活性;将预处理后的煤矸石与其他添加剂混合,制备成土壤改良剂;在受污染农田中,采用客土法与土壤改良剂相结合的方式修复。先移除部分表层重度污染土壤,再施加土壤改良剂,翻耕均匀,种植对重金属有一定耐受性的农作物,并配合生物修复技术,利用微生物降低土壤中重金属的生物有效性。

表2 协同治理技术应用效果

指标	治理前	治理后	变化情况
煤矸石综合利用率	20%	80%	提高60%
土壤镉含量(mg/kg)	1.5	1.05	降低30%
土壤铅含量(mg/kg)	50	35	降低30%
农作物产量(kg/亩)	400	500	提高25%

4.3 治理效果评估

经过两年的治理,取得显著成效。煤矸石综合利用率达到80%,减少了煤矸石堆放对土地的占用和环境污染。土壤中镉、铅等重金属含量平均降低30%,农作物产量较治理前提高25%,农产品质量符合食品安全标准。具体数据对比见表2:

5 结论

工业固废与土壤污染协同治理技术体系的构建与应用,是解决当前工业固废处置和土壤污染问题的有效途径。遵循资源化利用、无害化处理和因地制宜原则,构建包含预处理、修复和制备土壤改良剂等关键技术的体系,并在实际案例中取得良好效果,实现环境、经济和社会效益的多赢。然而,在推广应用过程中,仍面临技术成本较高、政策支持不足等问题。未来需进一步加强技术研发,降低成本,完善政策法规,加大推广力度,推动工业固废与土壤污染协同治理技术的广泛应用,为我国生态环境保护和可持续发展做出更大贡献。

[参考文献]

- [1]杨斌,陈武权.从两次污普数据看江西省工业固废治理变化情况及建议[J].江西化工,2021,37(5):92-96.
- [2]李秀雷.以数字化改革治理工业固废精密智控[J].公安研究,2023(2):51-54.
- [3]刘欣.工业废渣复合固化重金属污染土及路用性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2019.
- [4]余友林.探究城市固体废物处置现状及对策[J].清洗世界,2023,39(3):76-78.

作者简介:

邵喆羽(1997--),男,汉族,浙江绍兴人,本科,毕业于中国海洋大学,助理工程师,从事土壤与固废污染防治。