

能力构成较大挑战。

5 工况变化对活性炭运行稳定性与使用寿命的影响

5.1 温湿度波动对吸附性能衰减的影响

运行过程中,废气温度由25℃升高至45℃时,活性炭表面吸附平衡发生变化,部分已吸附有机物出现解吸趋势,单位质量吸附容量明显下降。湿度条件由30%提升至70%后,水蒸气在孔隙中的占位效应增强,对极性较强的有机组分形成竞争吸附,床层有效吸附区缩短。长期温湿度波动作用下,活性炭吸附性能衰减速度加快,运行稳定期明显缩短,处理效率随环境条件变化呈现出周期性波动特征^[1]。

5.2 浓度冲击工况下运行稳定性变化

在生产负荷突变条件下,废气浓度短时间内由200 mg/m³升高至600 mg/m³,对活性炭床层形成明显冲击。高浓度有机物快速占据表层孔隙,使吸附前沿迅速前移,出口浓度在数小时内出现明显升高。频繁浓度冲击会导致床层内部吸附状态反复调整,压降波动幅度由正常运行的200 Pa扩大至500 Pa以上,系统运行稳定性受到削弱,处理效果难以长期保持在较高水平。

5.3 不同工况条件下活性炭更换周期特征

在低负荷稳定工况下,活性炭更换周期可维持在50~60 d范围内,吸附性能衰减过程相对缓慢。中等负荷条件下,更换周期缩短至35~45 d,床层饱和速度明显加快。高负荷及浓度波动频繁条件下,活性炭有效使用周期进一步压缩至25~30 d。不同工况下更换周期差异表明,运行负荷与环境条件是决定活性炭使用寿命的重要因素,对运行管理与成本控制具有直接影响。

6 不同工况条件下活性炭处理有机废气的运行效果综合评价

6.1 多工况条件下处理效率对比评价

在不同运行工况条件下,活性炭对有机废气的处理效率呈现出显著差异。低负荷条件下,进气浓度处于80~150 mg/m³区间,床层内吸附传质过程充分,出口浓度长期维持在10 mg/m³以内,整体去除率稳定在90%以上,处理效果具有持续性特征。中等负荷运行时,进气浓度提升至250~350 mg/m³,风速与空速同步增加,床层有效吸附区缩短,去除率下降至80%~85%,但仍可满足连续运行需求。高负荷工况下,进气浓度超过500 mg/m³,停留时间压缩至1.5 s以内,出口浓度迅速升高至50 mg/m³以上,去除率波动范围扩大至65%~75%。不同工况对比表明,处理效率随污染负荷升高呈现递减趋势,运行参数的匹配程度

对效率保持具有决定性影响,低负荷工况表现出最优的综合处理效果。

6.2 运行稳定性与吸附效率综合分析

运行稳定性与吸附效率之间存在明显关联关系。低负荷工况下,床层压降变化幅度控制在200 Pa以内,吸附前沿推进速度缓慢,活性炭孔隙利用过程均衡,吸附效率衰减速率较低。中等负荷条件下,压降逐步上升至300~400 Pa区间,吸附区缩减导致床层内部传质状态发生调整,吸附效率随运行时间呈线性下降趋势。高负荷运行时,压降波动可达500 Pa以上,局部通道化现象加剧,吸附过程不稳定性显著增强,效率衰减速度明显加快。综合分析可见,稳定运行环境有助于延缓活性炭吸附性能衰减,而高强度运行负荷则易引发系统不稳定,对吸附效率形成持续制约。

6.3 典型工况条件下运行效果适宜性判定

结合处理效率、运行稳定性及使用寿命等指标,对典型工况条件下活性炭处理有机废气的运行效果进行综合判定。低负荷稳定工况下,系统可实现长期连续运行,更换周期可维持在50 d以上,适宜作为常态化运行模式。中等负荷条件下,处理效果虽有所下降,但通过合理控制风速与空速,可将运行周期稳定在35~45 d范围内,具备较好的工程适用性。高负荷及浓度冲击频繁工况下,处理效率和稳定性同步下降,更换周期压缩至30 d以内,运行成本明显增加,仅适宜作为短期或应急运行状态。综合评价表明,不同工况条件下活性炭处理有机废气的适宜性存在明显差异,运行管理需结合实际负荷水平进行动态调整,以确保处理效果与运行经济性的协调。

总结:综合不同工况条件下的运行表现可以看出,活性炭处理有机废气的效果受废气负荷、运行参数及环境条件等多因素共同影响。低负荷稳定工况下,吸附过程充分,运行效果与稳定性保持在较高水平,体现出活性炭技术在常规有机废气治理中的适用优势。随着工况负荷逐步提高,吸附效率下降、运行波动加剧,活性炭使用寿命明显缩短,对运行管理提出更高要求。通过系统评估不同工况下的处理效果与运行特征,有助于明确活性炭吸附技术的适宜运行区间,为优化运行参数、合理安排更换周期及提升有机废气治理整体效果提供科学依据。

参考文献

- [1] 黄晓萍.环保工程中活性炭吸附工艺在工业有机废气治理中的应用研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(16):131-133.
- [2] 张明健.橡胶制品生产过程排放的有机废气处理技术探究[J].中国轮胎资源综合利用,2025,(08):121-123.
- [3] 蒋鑫.有机废气污染现状及处理技术分析[J].清洗世界,2024,40(08):67-69.

Analysis of Soil Pollution Control Technology and Farmland Environmental Protection Strategy

Weihua Liu¹ Ciping Na² Li Liu²

1. Yunnan Xintuo Environmental Technology Co., Ltd., Baoshan, Yunnan, 678000, China

2. Yunnan Tianqi Environmental Engineering Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

The farmland environment serves as a critical foundation for agricultural production and product quality safety, directly impacting sustainable agricultural development and ecological balance. The scientific application of soil pollution remediation technologies is a vital approach to addressing farmland contamination and maintaining ecological stability. By integrating regional pollution characteristics, we should optimize the combination of physical, chemical, and biological technologies to achieve efficient soil remediation. Furthermore, establishing a farmland environmental protection system characterized by "strict source prevention, rigorous process management, and institutional safeguards" will provide solid support for the green and sustainable development of agriculture.

Keywords

Soil pollution; Remediation technology; Farmland environmental protection; Sustainable development

试析土壤污染治理技术与农田环境保护策略

刘卫华¹ 纳慈萍² 刘丽²

1. 云南欣拓环境科技有限公司, 中国·云南保山 678000

2. 云南天启环境工程有限公司, 中国·云南昆明 650000

摘要

农田环境是保障农业生产、产品质量安全的关键载体, 直接关系到农业可持续发展与生态平衡。科学应用土壤污染治理技术, 是解决农田污染、维护生态稳定的重要途径。应结合区域污染特征, 优化物理、化学、生物技术组合, 实现土壤高效修复, 并构建“源头严防、过程严管、制度保障”的农田环境保护体系, 为农业绿色可持续发展提供坚实支撑。

关键词

土壤污染; 治理技术; 农田环境保护; 可持续发展

1 引言

土壤是农业生产的核心载体, 承担粮食产出、养分循环等关键功能, 是保障国家粮食与生态安全的基石。受工农业发展及农村生产生活方式转变影响, 我国农田土壤污染日益突出, 呈现类型复杂、范围广、程度重的特点。土壤污染会造成农作物减产降质、经济损失, 还会通过食物链富集、地下水渗透等多种途径危害人体健康、引发生态失衡与民生问题, 因此研究土壤污染治理技术、完善农田环保策略, 对保障粮食生态安全、推动农业绿色发展、助力生态文明建设具有重要的理论与实践意义。

2 农田土壤污染现状

现阶段, 我国农田土壤污染以重金属污染、农药化肥

残留污染、有机物污染为主, 区域差异显著, 成因呈现“工业排放、农业自身、生活污染”多元叠加态势。工业厂区、矿区周边及污水灌溉区域, 镉、铅、汞、铬等重金属超标突出, 此类污染隐蔽性强、累积性高、难降解、治理难, 短期内难以彻底修复; 农业集约化种植区, 长期过量施用氮磷化肥、低效高残留农药, 加之施肥方式不科学, 导致农药化肥残留普遍, 破坏土壤生物群落、降低肥力、恶化理化性质; 此外, 工业废水违规排放、畜禽养殖废弃物渗漏、农业废弃物不当处置及秸秆露天焚烧, 进一步增加土壤中挥发性有机物、多环芳烃等污染物, 加剧污染复杂性, 给治理与保护带来严峻挑战。

3 土壤污染治理技术

3.1 物理治理技术

物理治理技术借助物理手段分离土壤污染物, 操作简便、见效快, 广泛应用于中轻度土壤污染治理, 核心是快速分离污染物、短期改善土壤质量。常见技术有客土法、土壤

【作者简介】刘卫华(1989—), 男, 中国云南保山人, 本科, 工程师, 从事环境影响评价、生态环境评估咨询研究。

淋洗法等,需结合污染类型、程度及区域条件选用。

客土法通过更换表层污染土壤、填充洁净土壤治理,适用于重金属、持久性有机物造成的重度污染,效果显著,但成本高,需妥善处置剥离污染土壤避免二次污染,同时填充土壤需符合农田质量标准。

土壤淋洗法向土壤喷洒专用淋洗剂,使污染物溶解后收集净化,适用于可溶性重金属、小分子有机物污染,成本适中、效率高,需选用适配淋洗剂,确保充分渗透,收集后需净化排放或循环利用。

热脱附法通过控温加热使挥发性、半挥发性有机物挥发,收集净化挥发气体,适用于挥发性有机物、汞等易挥发

重金属治理,效率高、去除率高,但需控制温度保护土壤结构。

深耕翻土法通过深耕混合表层污染土壤与深层洁净土壤,稀释污染物浓度,适用于轻度重金属、农药化肥残留污染,成本低、操作简便,适合集约化种植区推广,但效果有限,仅作为辅助手段,需合理控制深耕深度。

电动修复法通过施加稳定电场,驱动污染物向电极迁移并收集去除,适用于重金属、小分子有机物污染,适配土壤质地致密、污染物迁移性弱的区域,效果好、成本适中,需控制电场强度并定期清理电极污染物。

常用物理治理技术参数对比详见表1。

表1 常用物理治理技术

技术类型	适用污染物类型	治理成本
客土法	重金属、持久性有机物	高
土壤淋洗法	可溶性重金属、小分子有机物	中
热脱附法	挥发性有机物、汞等易挥发重金属	中高
深耕翻土法	轻度重金属污染、农药化肥残留	低

3.2 化学治理技术

化学治理技术是向受污染土壤中添加化学改良剂、螯合剂、氧化剂等化学药剂,使土壤中污染物发生沉淀、螯合、氧化还原、吸附等化学反应,将污染物转变为无毒或低毒的物质,改变其溶解性、迁移性和生物有效性,通过固定、降解、分离、去除等多种方式来消除污染物质。该技术具有治理效率高、操作难度低、适用范围广等优势,能够快速去除土壤中的污染物,尤其适用于大面积、中重度土壤污染治理,在农田土壤污染治理中应用较为广泛,但应用过程中需严格控制药剂使用,避免引发二次污染。常用的化学治理技术包含化学固定法、化学氧化还原法、化学萃取法、化学中和法等,需结合土壤污染类型、污染物含量科学选用。

化学固定法是向土壤添加固化剂,使污染物固化在土壤中形成稳定沉淀物,降低迁移性和生物有效性,适用于镉、铅、汞等重金属污染。常用固化剂有石灰、膨润土、磷矿粉、生物炭等,可调节土壤pH值、促进重金属沉淀或吸附污染物,

成本适中、操作简便,需控制用量避免恶化土壤理化性质。

化学氧化还原法是向土壤添加氧化剂或还原剂,使污染物分解或还原为低毒态,适用于难降解有机物、高价态重金属污染,治理效率高。常用氧化剂有过氧化氢、高锰酸钾等,还原剂有亚硫酸钠、零价铁等,药剂具有腐蚀性,需做好防护并控制用量。

化学萃取法利用络合剂与土壤中的重金属离子形成稳定络合物,通过萃取分离去除,适用于重金属、疏水性有机物污染,效果好、可彻底去除重金属,但络合剂成本高,需选用可降解类型并净化萃取后的络合物。

化学中和法是通过调节土壤pH值改善土壤理化环境的方式,最大化降低土壤污染所带来的影响。适用于酸碱性污染、重金属复合污染,操作简便、成本低,可改善土壤肥力。酸性土壤添加石灰等碱性调节剂,碱性土壤添加有机肥等酸性调节剂,需科学控制用量避免pH值失衡。

不同化学治理技术核心药剂及适用污染物对比详见表2。

表2 化学治理技术核心药剂及适用污染物类型

技术类型	核心药剂	适用污染物类型
化学固定法	石灰、膨润土、磷矿粉、生物炭	镉、铅、汞等重金属
化学氧化还原法	过氧化氢、亚硫酸钠、零价铁	持久性有机物、六价铬、硝基化合物
化学萃取法	EDTA、柠檬酸、表面活性剂	重金属、疏水性有机物
化学中和法	石膏、有机肥、酸碱调节剂	酸碱性污染、重金属复合污染

3.3 生物治理技术

生物治理技术是利用土壤微生物、植物、动物等生物的代谢活动,使土壤中污染物质吸收、降解和转化。具有治理成本较低,持续性较强,可以改善土壤肥力等优点,可营造生态景观,为农业可持续发展奠定良好的基础和保障,是当前土壤生态修复的主流技术。在生物治理技术应用期间不同治理技术的应用优势和应用要点是存在鲜明差异的^[1]。

微生物修复技术是通过人工接种真菌、细菌、放线菌等功能微生物,借助其代谢活动去除土壤污染物,核心原理是利用微生物的降解、转化作用,将土壤中的有机污染物分解为无毒的二氧化碳、水等物质,将重金属离子转化为低毒、易挥发或稳定的形态。该技术适用于农药残留、石油类有机物、重金属等多种污染物治理,治理成本低,能够彻底降解污染物,且不会破坏土壤结构,适合在农田土壤污染治理中