

生物除臭技术在中小型垃圾压缩站的应用可行性探讨

张晶晶 张东艳

陕西西咸新区环境集团有限公司, 陕西 西安 710000

[摘要]生物除臭技术凭借其运维成本低、环境友好、除臭效果稳定等特点, 广泛应用于小型垃圾压缩站中, 通过微生物对恶臭气体中的污染物进行分解转化, 从而实现除臭的目的。文中研究将深入探讨生物除臭技术在中小型垃圾压缩站的应用可行性, 明确其在中小型垃圾压缩站推广的优势, 以供参考。

[关键词]生物除臭; 中小型垃圾压缩站; 恶臭治理; 可行性分析; 微生物降解

DOI: 10.33142/nsr.v3i2.20003

中图分类号: X703

文献标识码: A

Feasibility Study on the Application of Biological Deodorization Technology in Small and Medium sized Garbage Compression Stations

ZHANG Jingjing, ZHANG Dongyan

Shaanxi Xixian New Area Environmental Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract: Biological deodorization technology is widely used in small garbage compression stations due to its low operation and maintenance costs, environmental friendliness, and stable deodorization effect. By decomposing and transforming pollutants in odorous gases through microorganisms, the purpose of deodorization is achieved. The research in the article will delve into the feasibility of applying biological deodorization technology in small and medium-sized garbage compression stations, clarify its advantages for promotion in small and medium-sized garbage compression stations, and provide reference.

Keywords: biological deodorization; small and medium-sized garbage compression stations; odor control; feasibility analysis; microbial degradation

引言

伴随着人们生活水平的日益提高, 生活垃圾的产量也随之增加。在城镇垃圾收运体系中, 中小型垃圾压缩站是保障生活垃圾处理与转运的重要设施, 具有分布广、数量多等特点, 垃圾处理流程主要包括垃圾收集、运输、处理处置, 但是, 在此过程中垃圾中的有机体会发生厌氧分解反应, 释放硫化氢 (H_2S)、氨气 (NH_3)、甲硫醇、挥发性脂肪酸 (VFA) 等恶臭气体, 对人体的神经系统与呼吸系统有很大的危害, 长期暴露于这种环境下, 可能存在致癌风险, 甚至还会腐蚀设备设施。目前中小型垃圾压缩站常用的化学洗涤、活性炭吸附、植物液喷淋等传统除臭技术虽然能够达到除臭的目的, 但是存在二次污染的风险, 并且植物液喷淋技术长期使用的成本较高, 难以适配中小型垃圾压缩站长期稳定的治理需求。生物除臭技术其核心在于通过利用微生物将恶臭物质作为营养质进行降解与转化, 并且对环境友好, 不会产生二次污染, 近年来在市政环卫领域逐步推广。基于此, 本文将重点探讨生物除臭

技术在中小型垃圾压缩站的应用可行性, 助力城镇环卫设施环保升级, 减少对周边居民生活的环境影响。

1 中小型垃圾压缩站恶臭污染特征

中小型垃圾压缩站的恶臭问题对周边环境质量造成了严重的影响, 甚至降低了居民的生活体验。首先是垃圾的堆放与暂存, 生活垃圾成分繁杂, 具有高含水量、高有机物含量的特点, 在常温环境下, 果蔬废弃物、餐厨垃圾等易腐有机物处于厌氧状态, 从而释放出硫化氢、氨气等具有强烈刺激性气味的恶臭气体。其次, 在垃圾被压缩设备进行压缩处理的过程中, 气味会瞬间释放出来, 导致恶臭气体瞬时浓度激增。最后, 在垃圾的装卸与转运环节中, 表层的恶臭气体直接向周围空气中扩散, 加剧了周边的空气污染。中小型垃圾压缩站恶臭成分复杂, 以含硫化合物、含氮化合物、挥发性有机物 (VOCs) 为主, 具体见表 1。

2 生物除臭技术原理与核心工艺

2.1 技术核心原理

生物除臭技术作为一种高效绿色环保的恶臭治理手

段,其原理是通过将恶臭气体中的可生物降解污染物作为碳源与能源,微生物通过自身的代谢作用,分解为无害物质的过程,从而实现去除恶臭气体的目的。核心分为三个阶段:首先是气液/固相传质阶段,收集后的恶臭气体会被输送至预处理单元,通过喷淋加湿的方式,将污染物转移至液相或填料表面的水膜内。

随后进入吸附富集阶段,水膜中所携带的恶臭污染物会被填料表面紧密附着的一层微生物膜吸附并富集起来,接下来是生物降解阶段,微生物借助自身特有的酶催化功能,将污染物分解为 CO_2 、 H_2O 、无机盐及细胞物质,达成了恶臭气体的深度净化,在整个处理环节过程中,不会对周围的环境造成污染。在生物除臭技术中,硝化细菌(降解 NH_3)、硫杆菌(降解 H_2S)、假单胞菌(降解 VOCs)等关键微生物起着至关重要的作用,通过驯化提高对垃圾恶臭的降解效率,在改善环境质量的同时,保障居民的健康。

2.2 主流生物除臭工艺

适配中小型垃圾压缩站的主流工艺包括生物滤池、生物滴滤塔、微生物雾化除臭,如表2所示。

生物滤池的工艺流程主要是恶臭气体经负压收集之后,进入预洗塔进行除尘加湿处理,接下来进入由微生物和填料共同作用的生物滤池进行降解,最后则是达标排放。生物滤池工艺比较成熟,而且设备简单,便于后期维护,

初期的投资成本也比较低,十分适配中小型垃圾压缩站低浓度、大风量的恶臭特性,在具体的应用过程中对 H_2S 、 NH_3 去除效率高。生物滴滤塔的工艺流程是恶臭气体通过集气系统进行收集之后,接下来到喷淋预处理阶段后进入生物滴滤塔进行逆流接触降解,最后尾气净化排放。

由于生活垃圾成分复杂、含水量高,产生的垃圾渗滤液中有有机质含量高,进而产生大量的挥发性有机物(VOCs),这些挥发性有机物也是恶臭的重要来源之一。与无机恶臭组分相比,挥发性有机物组分物化性质复杂、处理难度相对较大,在生物除臭过程中,大量挥发性有机物的存在还容易使微生物产生具有黏性的分泌物,导致填料堵塞等情况的发生。生物滴滤塔工艺的优势在于填料不易堵塞、而且除锈效率十分高,耐冲击负荷强,这种工艺技术比较适用于压缩作业时浓度波动较大的场景之中,但是生物滴滤塔工艺的初期投资成本以及后期的运维成本均比生物滤池高。微生物雾化除臭作为一种实用性创新性的恶臭治理技术,其核心原理在于将微生物菌剂通过高压雾化成 $5\sim 10\mu\text{m}$ 的颗粒,凭借其独特的物理化学性质在空间扩散后吸附分解恶臭分子,从根源上对恶臭的产生与散发起到抑制作用。微生物雾化除臭技术不需要大型的过滤装置、反应塔,加之成本低,尤其适用于中小型垃圾压缩站,可作为辅助除臭工艺,与生物滤池或滴滤塔组合使用,达成“源头抑制+末端治理”的全流程控制。

表1 中小型垃圾压缩站主要恶臭成分及危害

类别	典型成分	浓度范围 (mg/m^3)	气味特征	主要危害
含硫化物	硫化氢 (H_2S)	0.5~50	臭鸡蛋味	腐蚀设备、刺激呼吸道、毒性强
	甲硫醇	0.1~10	烂洋葱味	恶臭强度高、易引发恶心
含氮化合物	氨气 (NH_3)	1~100	刺激性异味	刺激眼鼻喉、影响呼吸系统
VOCs	挥发性脂肪酸	0.5~30	酸腐味	异味持久、易滋生细菌

表2 主流生物除臭工艺技术特性对比

工艺类型	核心结构	填料类型	适用场景	除臭效率	占地面积	运维难度
生物滤池	滤池+填料层+布气系统	有机填料(树皮、堆肥、泥炭)+无机填料(陶粒、火山岩)	低浓度、大风量恶臭,中小型站点主选	85%-95%	中等 ($10\sim 20\text{m}^2$)	低
生物滴滤塔	塔体+填料层+喷淋系统	无机惰性填料(陶瓷环、活性炭)	中高浓度、含一定粉尘恶臭	90%-98%	较小 ($5\sim 15\text{m}^2$)	中
微生物雾化除臭	雾化喷头+菌剂储罐+控制系统	无填料	空间封闭、无组织扩散恶臭,源头抑制	70%-85%	极小 ($<5\text{m}^2$)	极低

2.3 关键技术参数

生物除臭技术稳定运行需控制核心参数,适配中小型垃圾压缩站的最优参数如表 3 所示。

表 3 生物除臭系统关键运行参数

参数	最优范围	作用
进气温度	25~35℃	微生物代谢最适温度,夏季需降温、冬季需保温
气体湿度	60%~80%	保证微生物膜活性,防止填料干化
停留时间	20~60s	确保恶臭气体与微生物充分接触降解
填料层厚度	1.0~1.5m	平衡降解效率与系统压降
微生物菌剂浓度	10 ⁸ ~10 ⁹ CFU/mL	保证降解活性,定期补充菌剂

3 中小型垃圾压缩站应用可行性综合分析

3.1 技术适配性分析

3.1.1 工况适配

生物除臭技术对低浓度、大风量、成分复杂的垃圾恶臭适配性极强,可有效降解 H₂S、NH₃、VOCs 等典型污染物,除臭效率稳定在 85%~95%,处理后的废气满足《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93) 二级标准 (H₂S ≤ 0.5mg/m³、NH₃ ≤ 2mg/m³)。

模块化设计的生物滤池/滴滤塔,占地面积仅 10~20m²,可灵活布置在站点角落或顶部,适配中小型站点空间受限的特点;微生物雾化除臭设备占地<5m²,可直接安装在卸料区、压缩车间,实现源头除臭。

3.1.2 负荷适配

中小型垃圾压缩站恶臭浓度波动大,生物除臭系统耐冲击负荷强,功能微生物可通过自身调节适应浓度变化,不会因瞬时高浓度导致系统瘫痪;搭配微生物雾化除臭,可在压缩作业时强化处理,应对峰值浓度。

3.1.3 环境适配

生物除臭系统运行温度为 15~40℃,适配我国大部分地区气候条件;夏季高温时通过喷淋加湿降温,冬季低温时采用保温层或伴热装置,可保证微生物活性,实现全年稳定运行。

3.2 经济合理性分析

在恶臭治理方案中,生物除臭系统初期投资成本处于中等水平,与化学洗涤搭配活性炭深度处理的组合工艺相比较,生物除臭系统更加经济实惠。生物除臭系统采用模块化设备,在具体的施工过程中,不需要开展大规模的土建工程,仅能够控制前期的投资成本,而且可以缩短安装周期,只需要在现场进行灵活组装,便能够尽早地发挥出除臭效能。在运维成本方面,生物除臭技术不需要使用价

格昂贵的化学药剂,运行的过程中系统的主要能耗集中在水泵和风机上,可以降低整体的能耗水平。除此之外,系统所采用的填料后续不需要频繁进行更换,在一定程度上可以降低后期的运维成本与人力投入。从长期效益来看,生物除臭技术的除臭效果更加稳定可靠,避免因恶臭问题引发的环保罚款风险,同时也可以减少对周边居民生活造成的影响,完全符合中小型垃圾处理站点的预算要求。

3.3 环保合规性分析

3.3.1 排放标准合规

生物除臭技术处理后废气中 H₂S、NH₃、VOCs 浓度均满足《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93)、《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 要求,同时满足周边居民无投诉的要求,可通过环保验收,规避超标排放风险。

3.3.2 无二次污染

生物除臭过程不产生废水、废渣、有害气体,微生物代谢产物为 CO₂、H₂O、无机盐,可自然降解,无二次污染风险,契合“绿色环保、低碳可持续”的环卫发展理念;对比化学洗涤产生的含盐废水、活性炭吸附产生的危废,环保优势显著。

3.3.3 环境友好性

生物除臭技术可从源头分解恶臭物质,而非“气味遮盖”,长期运行可改善站点周边空气质量,降低对土壤、水体的影响,保护生态环境,有效解决了恶臭污染及周边居民投诉问题;同时,微生物菌剂无毒无害,对工作人员健康无影响。

3.4 运维便捷性分析

生物除臭技术的自动化程度比较高,系统配备了先进的设备,例如智能控制柜、浓度监测仪、温湿度传感仪等,能够实时监测恶臭气体的浓度情况,环境中的温湿度变化,并能够根据传感器反馈的数据,自动控制加湿装置进行加湿操作。与此同时可以根据菌剂的消耗情况,及时自动补充微生物菌剂,从而起到稳定的除臭效果。另外,当设备发生故障之后,能够第一时间预警,以便相关人员及时处理。生物除臭系统的操作相对较简单,工作人员只需进行定期检查设备,并补充菌剂即可。运维工作也相对简便,更换过程不需要借助专业设备,填料的更换周期为 3~5 年。微生物雾化除臭设备结构简单,维护成本低且工作量小,没有易损件。为了防止喷头堵塞影响雾化效果,仅需定期清洗喷头。生物滴滤塔的填料具有良好的抗堵塞性能,确保恶臭气体与微生物充分接触,实现高效降解,日常只需定期进行冲洗。生物除臭系统设备的稳定性也较强,故

障率极低,微生物降解过程是在温和的条件下进行的,不存在强腐蚀,高温高压等恶劣工况,可以有效避免设备因恶劣环境而发生损坏的可能性,减少后期维修以及更换设备的频率,为中小型压缩站的长期稳定运行提供了可靠的保障。

4 结论与展望

中小型垃圾压缩站运营过程中,产臭工艺环节众多,恶臭扰民问题由来已久。本文从技术效能、经济成本、环保效益、运维管理四个关键层面,论证了生物除臭技术在该领域应用的可行性。在技术适配性方面,生物除臭技术能够高效分解中小型垃圾压缩站中常见的各类恶臭污染物,强大的耐冲击负荷能力确保全年稳定运行。在经济成本方面,生物除臭系统的费用比传统的除臭技术低,且可以降低后期的运维成本。环保合规性层面,生物除臭技术不会对周围环境造成二次污染,而且处理后的废气能够严格满足国家排放标准。除此之外,系统操作流程较为简便,具备高度的智能化程度,可以降低后期维护工作的难度。由此可以看出,在中小型垃圾压缩站恶臭治理中,通过应用生物除臭技术,可以取得经济效益、环保效益等多维度的提高,具有极高的推广应用价值。在今后的研究中可深度融合人工智能、物联网等先进的技术手段,从而推进生物除臭系统向智能化、自动化方向发展。借助基因工程、微生物驯化等前沿技术,研发出具备超高效降解能力、能够耐受极端环境且具有广谱降解特性的复合微生物菌剂,提升系统的稳定性和可靠性,进一步提升除臭效率,缩短处理周期,改善居民人居环境,推动城镇环卫设施的环保

升级,助力环卫行业实现绿色可持续发展。

[参考文献]

- [1]赵澈,刘欢,张东,等.生态敏感区公路施工期水污染处理与雨洪管理技术[J].公路交通科技,2022,39(2):319-326.
- [2]张雪.新形势下固废处置现状及处理技术研究[J].清洗世界,2024,40(6):162-164.
- [3]李志峰,孙维成,王如思,等.精细化工废水处理技术与控制策略分析[J].当代化工研究,2024(23):89-91.
- [4]邹平洲,何枝贵,许岩,等.城市垃圾压缩中转站恶臭气体综合防治技术[J].环境保护科学,2018,44(6):106-111.
- [5]芦会杰.生活垃圾转运站环境空气中恶臭成分分析及污染评价[J].环境化学,2020,39(11):3111-3119.
- [6]方晶晶,章骅,吕凡,等.生活垃圾收运过程中恶臭暴露的健康风险评估[J].中国环境科学,2015,35(3):906-916.
- [7]姜丽.垃圾渗滤液恶臭处理中生物除臭技术的应用[J].山西化工,2024,44(4):169-171.
- [8]潘琦.生活垃圾转运站恶臭源强分析及控制措施[J].上海第二工业大学学报,2020,37(2):93-96.
- [9]张建香.生活垃圾压缩站的污染源影响对比及整改建议[J].污染防治技术,2022,35(4):53-56.
- [10]陈玉龙,吴元,单君,胡鑫鑫,孙冬梅,张进锋.餐厨垃圾处理过程气体除臭技术进展[J].环境工程,2023,41(2):475-479.

作者简介:张晶晶(1984—),毕业于西北农林科技大学环境科学专业,当前就职于陕西西咸新区环境集团有限公司,中级工程师。