

化工企业 VOCs 废气治理技术现状及改进措施

杨金才

宁夏一帆生物科技有限公司

DOI:10.32629/bd.v9i8.4608

[摘要] 随着环保政策的不断收紧和化工行业的绿色转型,VOCs作为化工企业主要大气污染物,其废气治理已成为行业可持续发展的关键课题。本文结合化工企业VOCs排放特征,系统分析当前主流治理技术的应用现状,深入剖析技术、经济、管理层面存在的突出问题。在此基础上,从源头控制、过程管控、末端治理、管理与政策四个维度,提出针对性的改进措施,通过工艺优化、设备升级、组合工艺研发、管理体系完善及政策引导等手段,破解现有治理困境,旨在实现VOCs废气高效、低碳、长效治理,为化工行业绿色高质量发展提供技术支撑与实践参考。

[关键词] 化工企业; VOCs废气治理技术; 现状; 改进措施

中图分类号: X78 文献标识码: A

Current Status and Improvement Measures of VOCs Waste Gas Treatment Technologies in Chemical Enterprises

Jincai Yang

Ningxia Yifan Biotechnology Co., Ltd.

[Abstract] With increasingly stringent environmental protection policies and the green transformation of the chemical industry, VOCs, as one of the major air pollutants emitted by chemical enterprises, have made waste gas treatment a key issue for the sustainable development of the industry. Based on the emission characteristics of VOCs from chemical enterprises, this paper systematically analyzes the current application status of mainstream treatment technologies and examines the prominent technical, economic, and management-related problems in depth. On this basis, targeted improvement measures are proposed from four dimensions: source control, process management, end-of-pipe treatment, and management and policy. Through process optimization, equipment upgrades, the development of combined treatment technologies, improvement of management systems, and policy guidance, the existing challenges in VOCs treatment can be addressed. The aim is to achieve efficient, low-carbon, and long-term treatment of VOCs waste gas and provide technical support and practical references for the green and high-quality development of the chemical industry.

[Key words] chemical enterprises; VOCs waste gas treatment technology; current status; improvement measures

引言

近年来,国家不断完善VOCs治理相关政策,强化对化工企业VOCs排放的管控力度,推动企业加快废气治理进程。目前,化工企业VOCs废气治理已取得一定成效,但仍面临诸多挑战,现有治理技术存在适配性差、处理效率不稳定、二次污染风险等问题,同时企业治理意识薄弱、运维不规范,政策支持与行业协同不足等因素,进一步影响治理成效。随着我国环保法规日益严格和公众环保意识的不断提高,化工行业VOCs治理已成为亟待解决的重要课题。

1 化工企业VOCs废气治理技术现状分析

1.1 现有主流治理技术及应用情况

(1) 吸附法是化工企业VOCs废气治理中应用最广泛的技术之一,其核心原理是利用吸附剂自身的多孔结构和表面作用力,将废气中的VOCs分子吸附在吸附剂表面,从而实现废气净化。常用的吸附剂主要有活性炭、树脂、沸石分子筛、活性氧化铝、高锰酸钾氧化剂等,其中活性炭因吸附容量大、成本适中、适用性广,成为多数中小型化工企业的首选。(2) 吸收法主要依靠吸收剂与VOCs废气的物理或化学作用,将废气中的有害组分溶解或反应吸收,进而达到净化目的。其工艺流程大致分为废气收集、吸收接触、吸收液处理三个环节,废气通过吸收塔与吸收剂充分接触后,VOCs被有效去除^[1]。(3) 催化燃烧法分为热催化燃烧和光催化燃烧两种,核心原理都是在催化剂作用下,将VOCs氧

化分解为无害的二氧化碳和水, 无需高温焚烧即可实现高效净化。热催化燃烧常用的催化剂有贵金属催化剂和非贵金属催化剂, 贵金属催化剂催化效率高, 但成本昂贵、易中毒失活; 非贵金属催化剂成本较低, 稳定性好, 但催化活性相对不足。光催化燃烧则利用光催化剂在光照条件下产生的活性自由基, 降解VOCs分子, 反应条件温和。(4) 热力燃烧法: 将VOCs废气加热到足够高的温度, 使VOCs与氧气发生氧化反应, 生成CO₂和H₂O。该方法处理范围广、效率高, 但能耗大, 运行成本较高, 适用于高浓度VOCs废气处理。(5) 冷凝法是通过降低废气温度或提高废气压力, 使VOCs组分达到饱和状态并冷凝成液态, 从而实现分离回收。该技术的适用范围具有明显针对性, 更适合高浓度、高沸点的VOCs废气处理, 浓度越高, 冷凝回收效果越好。(6) 膜分离法利用特殊高分子膜对VOCs的选择性渗透作用, 将VOCs与其他气体分离。该方法分离效率高、能耗低、操作简单, 适用于高浓度、清洁的VOCs废气回收。但膜的成本较高, 且易受废气中杂质的污染和损坏。(7) 生物处理法利用微生物的代谢作用, 将VOCs分解为无害的无机物。该方法设备简单、运行成本低、二次污染少, 适用于低浓度、易生物降解的VOCs废气处理。但处理效率受温度、湿度、pH值等环境因素影响较大, 且对难降解VOCs处理效果不佳。(8) 组合治理技术, 由于单一治理技术往往难以满足复杂化工VOCs废气的治理要求, 组合治理技术得到了越来越广泛的应用。例如, “吸附浓缩+催化燃烧/热力燃烧”组合技术, 可有效处理大风量、低浓度VOCs废气; “冷凝+吸附”组合技术, 适用于高浓度、有回收价值的VOCs废气; “预处理+生物处理”组合技术, 可提高生物处理法对复杂废气的适应性。

1.2 当前治理技术存在的问题

(1) 源头控制不足, 目前化工行业VOCs治理仍较多依赖末端治理技术, 对生产工艺优化、清洁生产技术推广、低VOCs原料替代等源头控制措施重视不够、投入不足。许多企业仍沿用传统的高挥发性原料和落后生产工艺, 导致VOCs产生量居高不下。(2) 技术选择与匹配度不高, 部分企业在选择VOCs治理技术时, 缺乏对自身废气性质、排放特点的深入分析, 导致治理设施与实际需求不匹配, 处理效率低下, 运行成本高昂。(3) 治理设施运行维护管理水平低, 部分企业在VOCs治理设施建成后, 缺乏专业的运行管理团队和完善的维护保养制度。设备长期超负荷运行、关键部件老化失修、药剂或吸附剂更换不及时等问题普遍存在, 导致治理设施“建而不用”、“用而不优”, 无法稳定达标排放。(4) 无组织排放控制难度大, 化工企业VOCs无组织排放源点多面广, 包括设备动静密封点泄漏、物料储存与装卸损失、工艺过程无组织逸散等。由于无组织排放具有隐蔽性强、排放强度波动大、收集困难等特点, 其治理一直是行业难题。(5) 经济层面的问题成为制约企业推进VOCs治理的重要瓶颈, VOCs治理设备初始投资较高, 尤其是催化燃烧、膜分离等高效技术, 设备购置、安装成本远超部分中小企业的承受能力, 导致许多企业虽有治理意愿, 却因资金不足无法采用先进治理技术^[2]。(6) 管理层面的短板进一步加剧了VOCs治理的困境, 部分化工企业治理意识薄弱,

过度追求生产效益, 对VOCs治理的重视程度不足, 错误认为治理工作只是应付环保检查的手段, 缺乏主动治理、长效治理的理念, 忽视了VOCs排放对环境和人体健康的危害。如在运维管理方面, 缺乏规范的操作流程和专业的运维团队, 部分操作人员未经过系统培训, 对设备的运行原理、维护方法掌握不熟练, 导致设备故障频发。

2 化工企业VOCs废气治理技术改进措施

2.1 源头控制改进措施

(1) 原料替代是工艺优化的基础, 应逐步摒弃高VOCs含量的原料, 选择低VOCs或无VOCs的环保替代原料, 从源头减少VOCs的产生, 并兼顾原料的适用性和生产效率, 避免因原料替代影响产品质量, 实现环保与生产的协同推进。(2) 生产工艺的改进要结合企业自身生产特点, 对现有生产流程进行优化提供, 简化生产环节, 减少VOCs的产生和逸散。通过优化反应条件, 如降低反应温度、压力等, 从而降低生产过程中VOCs的挥发量, 再采用密闭化生产方式, 以减少生产过程中废气的无组织排放。(3) 减少无组织排放是工艺优化的重要补充, 需梳理生产全流程中可能产生无组织排放的节点, 采取针对性的管控措施, 定期开展动静密封点检测LDAR; 更换密封方式, 加强各类设备设施的密封; 对无组织散发点开展有效收集。加强生产车间的通风换气管理, 合理设置通风系统, 及时排出车间内挥发的VOCs, 同时避免废气直接排放至外界环境^[3]。(4) 设备升级是源头控制的重要保障, 应重点围绕密封技术改进和泄漏检测与修复体系完善展开。密封技术的改进主要针对生产设备的密封点位, 更换老化、破损的密封部件, 采用高效、耐用的密封材料, 提升设备的密封性能, 减少设备运行过程中VOCs的泄漏。

2.2 过程管控改进措施

(1) 储存环节的管控需聚焦物料储存过程中的VOCs挥发, 加强储存设备的密封性能, 对各类VOCs物料储存容器进行全面排查和维护, 及时更换密封性能不足的设备, 防止物料在储存过程中因密封不严导致挥发泄漏。并且, 配套相应的回收装置, 对储存过程中挥发的VOCs进行收集回收, 实现资源的循环利用, 减少呼吸损耗和无组织泄漏, 杜绝废气直接排放。(2) 运输环节的管控需贯穿物料运输的全过程, 优化运输方式, 采用密闭式运输设备, 避免物料在运输过程中与空气接触产生挥发。加强对运输设备的日常检查和维护, 确保运输过程中无泄漏、无挥发, 并规范运输过程中的操作流程, 减少物料转运过程中的挥发损耗, 从运输环节堵住VOCs排放漏洞。(3) 装卸环节的管控需注重操作的规范性和密闭性, 采用密闭式装卸设备, 实现物料装卸的全程密闭, 减少装卸过程中VOCs的逸散。在装卸作业过程中, 同步开启回收装置, 对装卸过程中挥发的VOCs进行收集处理, 避免废气直接排放至环境中。(4) 建立全流程监测体系是过程管控的重要支撑, 能够实时掌握VOCs排放情况, 为管控措施的优化提供依据。在线监测设备的安装需覆盖VOCs排放的关键节点, 确保监测范围全面无死角, 选用精度高、稳定性强的监测设备, 保障监测数据的准确性。

2.3 末端治理技术改进措施

(1) 吸附剂改性是吸附法优化的核心方向, 通过物理或化学改性手段, 优化吸附剂的孔径结构、表面活性, 提升吸附容量和选择性, 延长吸附剂使用寿命, 同时降低脱附再生难度, 减少再生过程中的VOCs二次泄漏, 解决传统吸附剂易饱和、再生效率低的问题, 让吸附法更适配复杂组分的VOCs废气处理。而催化剂性能提升则需聚焦催化燃烧法的核心痛点, 通过优化催化剂制备工艺、掺杂活性组分, 增强催化剂的活性和稳定性, 降低催化剂中毒风险, 减少预热能耗, 让催化燃烧法在低浓度VOCs处理中更具优势, 同时降低运行成本。(2) 组合工艺研发与应用是突破单一技术局限的关键路径, 核心是根据不同VOCs废气的组分、浓度特点, 将不同治理技术的优势结合, 实现优势互补^[4]。通过合理搭配工艺顺序, 弥补单一技术适配性差、处理效率不稳定的短板, 提升末端治理的整体效果和稳定性。不同组合工艺可适配不同工况, 既能高效处理高浓度、复杂组分的VOCs废气, 也能兼顾低浓度废气的节能处理, 实现治理效果与能耗成本的平衡, 逐步替代单一治理技术, 成为末端治理的主流方向。(3) 新型治理技术探索是推动末端治理升级的重要支撑, 聚焦高效、节能、环保的技术方向, 对低温等离子体、膜分离技术等新型技术进行应用优化。针对新型技术在实际应用中存在的能耗高、处理效率不稳定、设备维护复杂等问题, 通过技术改进和工艺优化, 提升技术的适用性和经济性, 降低企业应用门槛。但是, 新型治理技术的探索不是一蹴而就, 重点是逐步完善技术体系, 以推动其与传统技术互补应用。

2.4 管理与政策层面改进措施

(1) 建立专项治理机制是企业内部管理优化的核心, 需打破传统管理模式的局限, 将VOCs治理纳入企业生产经营的全过程, 明确各部门、各岗位的治理职责, 形成权责清晰、分工明确、协同推进的治理体系。(2) 政策引导与扶持是推动企业主动开展VOCs治理的重要保障, 通过完善政策体系、强化政策支持, 破解企业治理过程中的资金、技术难题。完善标准体系, 结合化工行

业发展实际, 细化VOCs排放限值和治理要求, 明确治理技术导向, 让企业有章可循、有标可依, 同时强化执法监管力度, 倒逼企业落实治理责任, 杜绝违法排放行为。(3) 行业协同治理是提升整体治理效能的重要路径, 打破企业之间的技术壁垒和信息壁垒, 推动行业内资源共享、优势互补。搭建技术交流平台, 为企业提供技术探讨、经验分享渠道, 促进治理技术的交流与融合, 推动治理技术的创新升级^[5]。

3 结语

综上所述, VOCs废气治理并非单一技术的应用, 而是需要技术升级、管理优化与政策引导的协同发力, 只有从源头减少VOCs产生, 强化过程精细化管理, 优化末端治理技术, 完善管理体系与政策支撑, 才能实现VOCs高效治理与资源化利用的双重目标。未来, 可进一步聚焦低温等离子体、膜分离等新型技术的优化升级, 结合不同化工工艺的排放特点, 研发更具适配性的组合治理技术, 为化工行业VOCs废气治理提供更完善的解决方案, 助力行业实现绿色低碳高质量发展。

【参考文献】

- [1] 常振, 吴尽. 化工废气中VOC废气治理技术分析[J]. 清洗世界, 2025, 41(8): 95-97.
- [2] 王伟江, 卢晓锋, 丁强. 浅谈化工行业VOC废气综合治理的有效措施[J]. 当代化工研究, 2023, (7): 94-96.
- [3] 杨世明. 化工园区VOCs污染综合治理技术研究[J]. 新型工业化, 2021, 11(3): 20-22.
- [4] 屠秉坤, 陆海杰, 陆宜航, 等. 探究化工园区VOCs污染综合治理技术[J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(15): 29-31+38.
- [5] 陈育坤. 蓄热式热氧化(RTO)工艺在VOCs治理中的应用与优化[J]. 化工安全与环境, 2025, 38(7): 41-44.

作者简介:

杨金才(1993--), 男, 汉族, 甘肃人, 本科, 高级工程师, 注册安全工程师, 研究方向: 安全环保管理。