

石化企业VOCs废气的有效治理措施解析

王稳策¹ 程宏亮² 胡蝶³ 欧阳璐^{4*}

1. 浙江省环科环境认证中心有限公司 浙江 杭州 311100

2. 杭州绿洁科技股份有限公司 浙江 杭州 311100

3. 浙江省环科环境认证中心有限公司 浙江 杭州 311100

4. 浙江百能科技有限公司 浙江 杭州 311100

摘要:石化企业VOCs废气来源广泛,成分复杂、排放浓度波动大且排放量大。有效治理需多管齐下,源头控制上优化原料、改进工艺、加强设备密封;过程管理中建立监测体系、强化生产控制、实施LDAR技术;末端治理采用吸附、吸收、冷凝、燃烧、生物等多种方法。未来优化方向为应用组合治理技术,发挥协同效应;开发智能化治理系统,实现远程监控与故障诊断;加强行业监管与标准制定,提高违法成本,设定明确治理目标,推动石化行业绿色发展。

关键词:石化企业; VOCs废气; 有效治理措施

引言

石化行业作为国民经济支柱产业,在生产运营中会排放大量VOCs废气,对空气质量和生态环境造成严重影响。随着环保要求的日益严格,石化企业VOCs废气的有效治理成为亟待解决的关键问题。本文深入剖析石化企业VOCs废气的来源与特点,详细阐述源头控制、过程管理、末端治理等多方面的有效治理措施,并探讨未来治理措施的优化方向。

1 石化企业 VOCs 废气的来源与特点

1.1 VOCs废气的来源

石化企业VOCs废气来源多样且广泛。储存环节是重要源头之一。石化产品多储存于储罐,在储存时,因呼吸作用和泄漏会产生VOCs挥发排放。像原油、汽油等轻质油品储罐,存在“大小呼吸”损失现象。“大呼吸”是油罐收发油时,罐内液面变化导致气体空间改变,油气排出;“小呼吸”则是由于昼夜温差,罐内气体膨胀或收缩,使油气逸出,这些都是VOCs排放的关键因素^[1]。运输环节也不容忽视。油品装卸与输送过程中,汽车罐车、火车罐车装卸作业时,若操作不当或设备密封不佳,会有VOCs泄漏;管道输送时,因管道老化、破损等问题,同样会造成VOCs逸散到空气中。生产环节中,石化生产复杂,涵盖众多化学反应与分离操作。在反应、蒸馏、吸收、吸附等单元操作里,都会有VOCs逸出。催化裂化、延迟焦化等炼油工艺,以及乙烯、丙烯等化工产品生产过程,都会产生大量VOCs废气。废水处理

环节也有VOCs排放。石化企业产生的废水含有一定量VOCs,在废水处理的曝气、沉淀等环节,VOCs会从中挥发进入大气环境,对空气质量造成影响。

1.2 VOCs废气的特点

石化企业产生的VOCs废气有着鲜明且需重视的特点。其成分极为复杂,涵盖了烷烃、烯烃、芳香烃以及含氧有机物等多种有机化合物。不同生产装置和工艺所排放的VOCs成分存在显著差异,这使得对废气成分的精准分析难度增加,也要求治理技术和设备需具备更广泛的适应性。排放浓度波动大也是显著特征。石化生产过程具有不连续性,工艺条件也时常波动,这就导致VOCs废气排放浓度变化明显。时而排放浓度较高,时而较低,这种不稳定的排放状况,给后续的治理工作带来了较大挑战,治理设备需具备良好的调节能力以应对浓度变化。石化企业规模庞大,生产过程中涉及大量物料,这就使得VOCs的排放量相当可观。大量的废气排放不仅对局部空气质量造成严重影响,还可能在更大范围内扩散,影响区域生态环境。

2 石化企业 VOCs 废气的有效治理措施

2.1 源头控制措施

源头控制是减少石化企业VOCs废气排放的关键环节,可从优化原料选择、改进生产工艺以及加强设备密封管理等方面入手。优化原料选择是源头减量的基础。选择低挥发性原料能从根源上降低VOCs产生。在涂料、油墨等行业,水性涂料和水性油墨等低VOCs含量原料逐渐取代传统溶剂型产品。水性原料以水为溶剂,挥发性有机物含量大幅降低,在生产和使用过程中可显著减少VOCs排放。在石化生产里,优化原油加工方案意义

通讯作者简介: 欧阳璐, 1995年3月,女,瑶族,湖南省永州市、本科学历、中级工程师、浙江百能科技有限公司,研究方向是三废处置、化工、能源。

重大。选择含硫量低、轻质油品含量高的原油，这类原油在后续加工中，由于自身特性，产生的中间产物和副产物相对较少，进而减少VOCs的生成。改进生产工艺是重要手段。先进的工艺和技术可提升生产密闭性与自动化程度，减少物料泄漏和挥发。采用密闭式生产设备，如密闭反应釜和蒸馏塔，可有效阻止VOCs逸出到环境中^[2]。管道化输送物料能减少中间罐使用，降低物料储存和转运环节的VOCs排放。同时，催化氧化、加氢精制等清洁生产工艺的应用，不仅能提高产品质量，还能减少副产物生成，从生产过程控制VOCs产生。加强设备密封管理不容忽视。石化企业设备密封不良是VOCs泄漏的常见原因。定期对设备、管道、阀门等进行密封性能检测，能及时发现并修复泄漏点，防止VOCs持续泄漏。采用新型密封材料和技术，可提高设备密封可靠性，降低泄漏风险。建立完善的设备密封管理制度，明确密封检查、维护和更换的周期与标准，确保设备始终处于良好密封状态，从设备层面减少VOCs排放。

2.2 过程管理措施

在石化企业VOCs废气治理中，过程管理起着关键作用，可从建立监测体系、强化生产过程控制以及实施LDAR技术等方面开展工作。建立完善的VOCs监测体系是治理基础。在生产装置、储罐、废水处理设施等关键部位安装在线监测设备，能实时掌握VOCs排放浓度与排放量。同时，定期对企业边界及周边环境空气中的VOCs进行监测，以此评估企业排放对周边环境的影响。依据监测结果，企业可及时调整生产工艺和治理措施，确保VOCs排放符合标准。强化生产过程控制能有效减少VOCs排放。一方面，优化生产操作参数至关重要。通过建立生产过程模型，对温度、压力、流量等关键参数进行精准优化控制，可提高反应效率和产品收率，减少副产物生成。另一方面，加强生产调度管理也不容忽视。合理安排生产计划，避免生产装置频繁开停车，能降低非正常工况下的VOCs排放。实施LDAR（泄漏检测与修复）技术是控制设备与管线组件泄漏的有效手段。对企业内所有可能泄漏VOCs的设备与管线组件进行定期检测，建立详细清单，制定科学检测计划，使用专业仪器检测并记录结果。一旦发现泄漏点，及时修复并复测。

2.3 末端治理措施

2.3.1 吸附法

吸附法是利用吸附剂（如活性炭、分子筛等）对VOCs的吸附作用，将废气中的VOCs吸附在吸附剂表面，从而达到净化废气的目的。吸附法具有处理效率高、操作简单、能耗低等优点，适用于处理低浓度、大

风量的VOCs废气。当吸附剂达到饱和后，需要进行再生处理，常用的再生方法有热再生、蒸汽再生、溶剂再生等。在石化企业的储罐区废气治理中，常采用活性炭吸附装置对废气进行处理，能够有效去除废气中的苯、甲苯、二甲苯等有机污染物。

2.3.2 吸收法

吸收法是利用吸收剂（如水、有机溶剂等）对VOCs的溶解作用，将废气中的VOCs转移到吸收剂中，从而实现废气的净化。吸收法适用于处理高浓度、低风量的VOCs废气，具有设备简单、投资少、操作方便等优点。常用的吸收剂有柴油、煤油、洗油等有机溶剂，以及水、碱液等无机吸收剂。在石化企业的含硫废气治理中，可采用碱液吸收法去除废气中的硫化氢等酸性气体。

2.3.3 冷凝法

冷凝法是利用物质在不同温度下具有不同饱和蒸气压的特性，通过降低废气温度，使VOCs冷凝成液态而从废气中分离出来。冷凝法适用于处理高浓度、高沸点的VOCs废气，具有回收纯度高、工艺成熟等优点^[3]。但冷凝法需要消耗大量的冷量，运行成本较高，一般常与其他治理方法联合使用。在石化企业的轻烃回收装置中，常采用冷凝法回收废气中的轻烃组分。

2.3.4 燃烧法

燃烧法是将废气中的VOCs在高温下氧化分解为二氧化碳和水，从而达到净化废气的目的。燃烧法可分为直接燃烧法和催化燃烧法两种。直接燃烧法适用于处理高浓度、可燃性强的VOCs废气，具有处理效率高、净化彻底等优点，但需要消耗大量的燃料，运行成本较高；催化燃烧法是在催化剂的作用下，使VOCs在较低的温度下发生氧化反应，具有起燃温度低、能耗小、无二次污染等优点，适用于处理中低浓度的VOCs废气。在石化企业的有机废气治理中，催化燃烧法得到了广泛应用。

3 石化企业 VOCs 废气的治理措施的优化方向

3.1 组合治理技术的应用

石化企业产生的VOCs废气具有成分复杂、排放浓度波动大等显著特点，这给废气治理带来了极大挑战。单一治理技术由于自身局限性，在应对此类复杂废气时，往往难以达到理想的治理效果。组合治理技术应运而生，成为未来VOCs废气治理的重要发展方向。组合治理技术并非简单地将多种治理方法拼凑在一起，而是通过科学合理的搭配，使不同治理方法之间优势互补，发挥出“1+1 > 2”的协同效应。以吸附法与催化燃烧法相结合为例，吸附法能够凭借吸附剂巨大的比表面积和丰富的孔隙结构，对废气中的VOCs进行高效吸附浓缩，

使低浓度废气转化为高浓度废气,降低后续处理难度和能耗。当吸附剂达到饱和状态后,采用热脱附技术将吸附的VOCs脱附出来,得到高浓度的VOCs气体。此时,将这些高浓度气体引入催化燃烧装置,在催化剂的作用下,VOCs在较低的温度下就能发生氧化分解反应,生成二氧化碳和水等无害物质,实现VOCs的彻底净化。这种组合治理技术不仅提高了治理效率,还实现了资源的回收利用。热脱附过程中释放的热量可以回收用于吸附剂的再生或其他工艺环节,降低了能源消耗。同时,组合治理技术能够适应不同浓度和成分的VOCs废气,具有较强的灵活性和稳定性,为石化企业提供了一种可靠、高效的废气治理解决方案,有助于企业实现达标排放和可持续发展目标。

3.2 智能化治理系统的开发

智能化治理系统具备强大的数据采集能力。借助高精度传感器,能够实时、精准地采集废气排放数据,如VOCs的浓度、流量等,同时获取治理设备的运行参数,像温度、压力、处理风量等。这些海量数据为后续优化控制提供了坚实基础。利用先进的数据分析技术和模型算法,系统可对治理过程进行深度优化。它能根据实时采集的数据,自动分析判断当前治理效果,并据此自动调整治理设备的运行参数。当检测到废气中VOCs浓度升高时,系统会自动增加吸附剂的用量或提高催化燃烧的温度,确保治理效果始终稳定达标,有效避免了因人工操作不及时或不准确导致的治理效果波动。智能化治理系统的远程监控和故障诊断功能也极为实用。通过互联网技术,管理人员可以在任何有网络的地方实时查看治理设备的运行状态,实现对治理过程的远程监控^[4]。一旦设备出现故障,系统能迅速进行诊断,精准定位故障点,并及时发出预警信息。这不仅大大缩短了故障发现和排除的时间,提高了设备的可靠性和运行效率,还减少了因设备故障导致的停机时间,降低了维修成本。

3.3 加强行业监管与标准制定

在石化企业VOCs废气治理进程中,加强行业监管与标准制定是不可或缺的重要环节。政府需进一步强化对石化企业VOCs废气排放的监管力度。当前,部分企业存在侥幸心理,对废气治理不够重视。完善相关法律法规和标准体系迫在眉睫,通过明确严格的排放要求和处罚细则,提高企业的违法成本。一旦企业违规排放,将面临高额罚款、停产整顿等严厉处罚,让企业不敢轻易触碰环保红线,从而促使企业主动采取有效的治理措施,从源头上减少VOCs废气排放。制定更加严格的VOCs排放标准和治理技术规范十分必要。科学合理的排放标准能够为企业设定明确的治理目标,而详细的技术规范则能为企业选择治理技术和设备提供指导。这可以引导企业积极采用先进的治理技术和设备,淘汰落后产能和工艺。鼓励企业使用高效的吸附、催化燃烧等组合治理技术,提高废气治理效率。

结语

综上,石化企业VOCs废气治理是一项长期而艰巨的任务。通过源头控制、过程管理和末端治理等多环节协同发力,可有效减少VOCs排放。未来,组合治理技术、智能化治理系统的应用以及行业监管与标准制定的加强,将为石化企业VOCs废气治理提供更有力的支持,推动行业实现绿色、可持续发展,为改善环境质量、保护公众健康作出积极贡献。

参考文献

- [1]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.
- [2]张凯,刘舒予,向杉,张延斌,陈梦圆.现代煤化工企业VOCs排放源项解析及排放量核算[J].洁净煤技术,2019,25(6):10-18.
- [3]张海军.石化企业VOCs污染源管控与治理分析[J].石油石化物资采购,2020(15):60-60.
- [4]徐刚强,张珂,刘涛.工业废气主要污染物治理措施研究[J].青海环境,2024,34(2):92-95.