

VOCs 废气治理工程的优化技术方案

刘铭

青岛市生态环境局莱西分局

摘要: 本文分析了 VOCs 的定义、来源及其对环境的影响,探讨了现有的废气治理技术,如吸附法、催化燃烧法、光催化氧化法和生物治理法,并提出了针对 VOCs 废气治理工程的优化技术方案,通过优化工艺流程、设备选型和自动化控制系统,提升了废气治理的效率和经济性。

关键词: 废气治理;催化燃烧法;光催化氧化法;节能减排

本文主要研究了 VOCs 废气治理的现状 & 优化技术方案,分析了目前常用的治理技术,包括吸附法、催化燃烧法、光催化氧化法和生物治理法,探讨了各技术的优势和适用范围。在此基础上,提出了如何通过优化工艺流程、设备选型、能源利用和自动化控制来提高废气治理效率,降低运行成本,从而实现环保与经济效益的双赢。

1 VOCs 废气治理的理论基础

1.1 VOCs 的定义与分类

VOCs (挥发性有机化合物) 是指在常温常压下易挥发的有机化合物,广泛存在于空气中。它们的分子结构通常包括碳、氢及氧元素。根据其化学特性,VOCs 可分为烃类(如甲烷、乙烯)和含氧化合物(如醇、酮) [1]。

1.2 VOCs 的来源与排放现状

VOCs 的来源主要包括工业排放、交通尾气、农业活动及日常生活产品(如涂料、清洁剂)。工业排放中的 VOCs 主要来源于石油化工、制药等行业。VOCs 的排放量在全球范围内呈上升趋势,尤其是在快速发展的城市及工业区,导致空气质量恶化、臭氧浓度升高,并加剧了温室效应。

1.3 废气治理的基本原理

废气治理的基本原理包括污染物

的捕集、转化和去除。治理过程主要通过物理、化学和生物方法来降低 VOCs 的浓度,减少其对环境的污染 [2]。物理方法如吸附法依赖于吸附剂捕获 VOCs 分子,化学方法如催化燃烧通过化学反应将 VOCs 氧化为无害气体,生物方法则利用微生物代谢降解 VOCs。这些方法通常结合使用,以提高治理效率。

2 VOCs 废气治理技术现状分析

2.1 吸附法

吸附法是一种通过吸附剂(如活性炭、分子筛等)将 VOCs 从气流中去除的物理方法。该方法具有操作简单、成本低等优点,特别适用于低浓度、大流量废气的处理。吸附过程中,VOCs 分子被吸附在固体表面,吸附剂的选择和再生技术决定了其处理效果。虽然吸附

VOCs 或需要长时间运行的场合,可能需要定期更换吸附剂。

2.2 催化燃烧法

催化燃烧法通过催化剂的作用,在低温下将 VOCs 氧化成二氧化碳和水,达到净化废气的效果。该方法能有效降低 VOCs 的排放浓度,适用于中高浓度的废气处理。其优点是燃烧温度较低,能耗较少;但催化剂的选择和催化反应的稳定性对处理效果有重要影响,且催化剂的寿命有限,需要定期更换。

如图 1 所示,为催化燃烧法 VOCs 火炬燃烧系统,将收集好的尾气进入 VOCs 管道,至火炬系统燃烧。催化燃烧法 VOCs (挥发性有机化合物) 火炬燃烧系统是一种高效、环保的废气处理技术,通过在催化剂作用下将 VOCs 废气在较低温度下转化为无害的二氧化碳

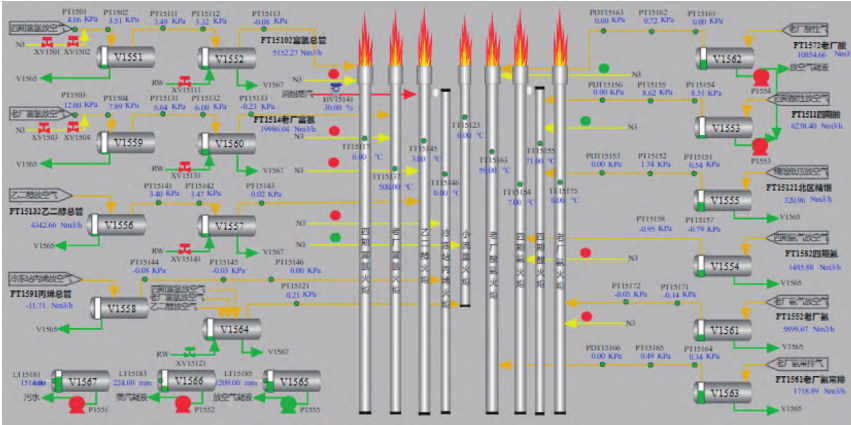


图 1 催化燃烧法 VOCs 火炬燃烧系统

和水，有效减少污染物排放，同时降低能耗。系统由催化燃烧器、火炬燃烧器、传感器、管道与阀门以及安全装置等组成，其中催化燃烧器用于高效分解 VOCs，火炬燃烧器进一步处理未完全反应的废气，而传感器和控制设备实时监测流量、压力与温度，保障系统安全运行。该技术具备高效处理（去除效率达 95% 以上）、节能环保及安全性强等特点，广泛应用于化工、喷涂、制药及电子行业的 VOCs 废气治理。

2.3 光催化氧化法

光催化氧化法通过紫外线照射下的光催化剂（如 TiO₂）激发氧化反应，将 VOCs 分解为无害物质。此方法的优势在于低能耗和高效的污染物降解能力，适用于处理低浓度 VOCs。其缺点是反应速度受光源强度和催化剂活性的影响较大，且需要高效的光催化剂来提升处理效果。随着技术的进步，光催化法的应用前景逐渐扩大。

2.4 生物治理法

生物治理法利用微生物（如细菌、真菌等）对 VOCs 进行降解。微生物通过代谢作用，将 VOCs 转化为无害物质（如水、二氧化碳）。该方法适用于处理浓度较低且生物可降解的 VOCs 废气，具有操作简单、环保等优点。其不足之处在于需要较长的反应时间和适宜的环境条件，且对于高浓度 VOCs 的处理能力有限。

3 VOCs 废气治理工程的优化技术方案设计

3.1 优化目标与原则

VOCs 废气治理工程的优化目标是最大限度地降低 VOCs 排放，同时提高治理效率和减少能源消耗。优化原则确保经济性和环境友好性，采用节能、低成本的设备。

3.2 工艺流程优化

工艺流程优化主要通过调整各处理单元的顺序和操作条件来提升整体处理

效率。例如，结合吸附法和催化燃烧法，首先通过吸附去除大部分 VOCs，再用催化燃烧法处理剩余部分，这样可以显著降低能耗，提高处理能力。工艺优化还应考虑操作的稳定性、灵活性和适应性，确保废气治理设备的长时间稳定运行。

3.3 设备选型优化

设备选型优化是确保废气治理工程效果的关键。选择适合特定 VOCs 类型和排放浓度的设备至关重要。对于低浓度废气，可以选用高效吸附设备；对于中高浓度废气，则可选用催化燃烧设备。设备的能耗、处理效率、维护成本以及对环境的影响应作为优化选型的重要依据，保证设备在实际运行中的高效性和经济性。

3.4 自动控制与监测系统设计

自动控制与监测系统设计旨在实现废气治理过程的实时监控与调节，提高系统的自动化和智能化水平。通过安装气体传感器、流量计、温度控制器等设备，实时监测废气浓度、温度、流量等参数，根据监测数据调节设备运行状态，确保系统始终处于最佳运行状态。此举不仅提高了治理效率，还减少了人工干预和运行成本。

4 工程案例

4.1 案例选择与介绍

本章选择了一家化工厂废气治理工程作为案例，介绍该项目中 VOCs 排放的特点、废气处理的需求及优化设计。该工程涉及多种废气治理技术的应用，

具有代表性。项目背景包括该企业所在行业的 VOCs 排放标准、法规要求，以及其具体面临的环境挑战。

4.2 优化技术方案的应用

在 VOCs 废气治理过程中，优化技术方案通过整合多种处理方法，提升了治理效果，显著降低了运行成本和排放浓度。以下是优化前后在治理效率、设备投资成本以及 VOCs 排放浓度等关键指标上的对比结果。从图 2 可以看出，通过优化工艺流程和技术配置，治理效率由优化前的 85% 提升至 100%，实现了完全达标排放。设备投资成本尽管增加了 11.8%，但改善幅度大幅提升至 200%，展现了治理技术经济性的显著提高。VOCs 的排放浓度由优化前的 500 ppm 降低到 100 ppm 以下，大幅削减了环境污染负荷。

VOCs 废气治理炉体是一种集成化的废气处理系统，通过高效的热能回收与燃烧技术，将工业生产中排放的 VOCs 废气进行净化和处理。系统由预处理装置、换热器、燃烧室、废气回收塔以及管道与控制设备组成。首先，废气经过预处理和初步冷凝以分离可回收成分，随后进入换热器进行热量交换，提升系统整体能效。废气通过多级处理塔（如吸附或分解塔）进行深度净化，利用高温催化燃烧或热氧化技术将 VOCs 分解为二氧化碳和水。燃烧后的热能通过管道循环回锅炉系统或其他设备，进一步提高能源利用率，减少热损失。整个系统通过温度、压力、流量等

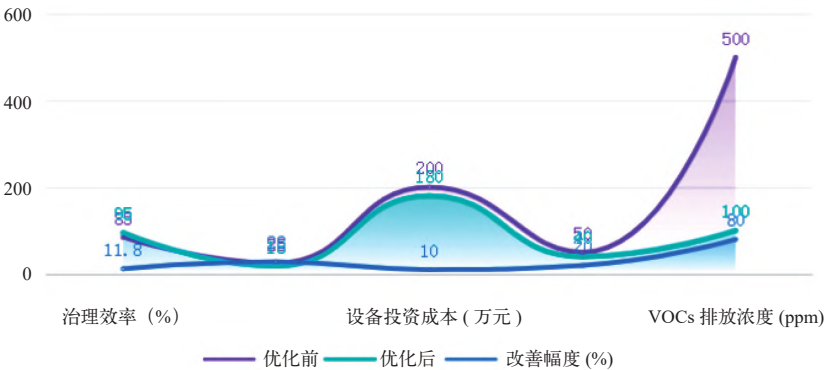


图 2 VOCs 废气治理工艺优化前后比较

多项传感器和自动控制装置实现精准监测和安全运行。

如图 3 所示，VOCs 废气治理锅炉烟风系统是通过烟气与风流的协同处理，实现工业废气净化和能量回收的一体化系统。该系统主要由炉体、引风机、送风机、换热装置、烟气脱硝设备及多级净化装置组成。废气通过炉体燃烧处理后，烟气温度显著升高并携带部分未净化的 VOCs。经过高效换热器，烟气的余热被回收并用于预热送风，提高系统整体能效。烟气随后进入脱硝装置和多级过滤系统，进行有害气体（如 NO_x 和残余 VOCs）的分解和吸附处理。引风机和送风机协同工作，确保废气和净化空气在各处理单元之间的稳定流动，同时保持烟气处理压力和流量的平衡。系统配备温度、压力、流量等传感器，实现对烟风流动和燃烧过程的实时监控和精确控制。该烟风系统具有高效净化、余热回收和稳定运行的特点。

如图 4 所示，VOCs 废气治理燃烧系统是一种通过高温燃烧技术对挥发性 VOCs 废气进行高效处理的系统，其核心功能是将废气中的有害有机物通过燃烧分解为无害的二氧化碳和水，从而实现废气净化和环保排放。该系统主要由燃烧器、燃料供应管道、热交换装置以及控制系统组成。废气在进入燃烧器前被预处理以调节温度和压力，确保燃烧过程的稳定性。燃烧室内多组燃烧器分布均匀，通过高温燃烧实现废气分解，同时配合余热回收装置提高能量利用效率。系统通过传感器实时监测燃烧温度、压力及气体流量，配合阀门及控制模块对燃料和空气比例进行精准调节，以优化燃烧效率并减少二次污染的产生。该燃烧系统具有高效、安全、稳定的特点。

5 经济与环境效益分析

5.1 投资与运行成本分析

VOCs 废气治理技术的经济效益不仅体现在初期投资成本上，还需要综合

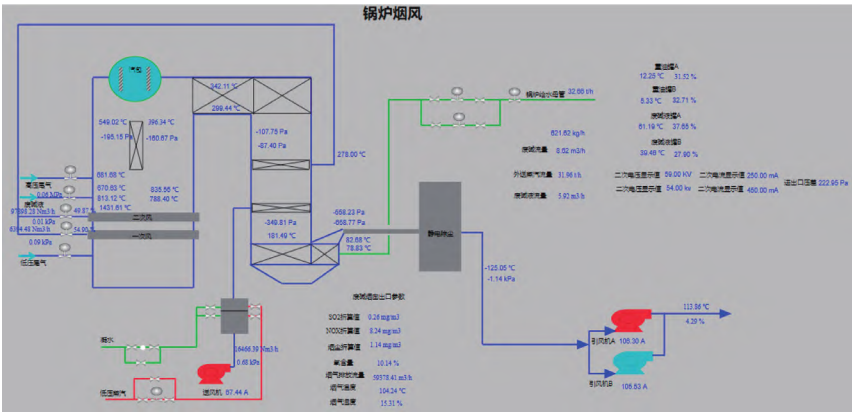


图 3 炉体烟风系统

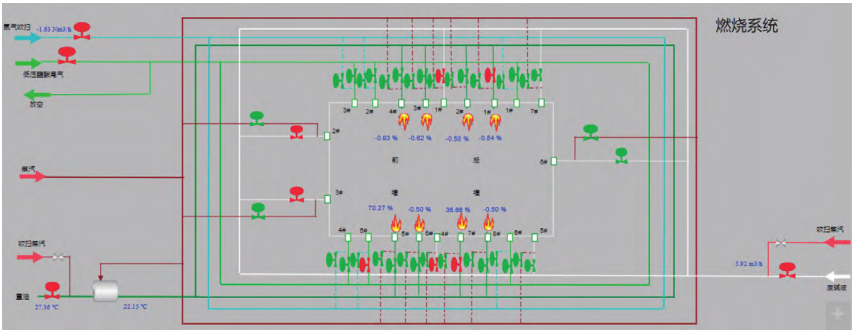


图 4 燃烧系统

考虑运行成本、减排效果以及投资回报周期等多方面因素。

不同浓度的废气 VOCs 对应的处理技术在投资与运行成本上存在显著差异。经研究发现在低浓度区域 ($<1\,000\text{ mg/m}^3$)，吸附技术（如饱和活性炭吸附和蒸汽再生吸附）具有较低的运行成本，尤其适用于处理较大体积的低浓度废气。而在中浓度区域 ($1\,000 \sim 5\,000\text{ mg/m}^3$)，催化燃烧技术在投资与运行成本之间表现出较好的平衡，适用于浓度适中的废气治理。对于高浓度区域 ($>5\,000\text{ mg/m}^3$)，直接燃烧技术由于运行成本低，逐渐成为最佳选择，尽管初期投资较高。此外，生物法和水洗技术仅适用于特定条件下的 VOC 治理，但在适用范围外运行成本较高，因此需综合考虑废气浓度及特性，选择成本与效果最优的技术方案。

5.2 节能减排效益

通过优化治理技术，不仅可以提高 VOCs 的去除效率，还能显著降低能耗。节能减排效益包括废气治理设备运行中

所节约的能源、降低的排放量等。经济与环境双重效益的提升，使得废气治理方案在环保要求日益严格的背景下，具有更强的市场竞争力。

6 结语

本文深入分析了 VOCs 废气治理的现状和技术难题，探讨了多种废气治理方法的优缺点，并提出了优化技术方案，旨在提高 VOCs 废气治理工程的效率和经济性。通过案例分析，验证了优化方案在节能、减排以及降低治理成本方面的实际应用效果。随着环保政策的日益严格以及技术的不断发展，VOCs 废气治理的前景将更加广阔。

参考文献：

[1] 董元霖, 陈任. 化学原料药生产基地废气治理改善探讨 [J]. 流程工业, 2023(12): 36-40.
[2] 王忠. VOC 废气治理工程的优化技术方案 [J]. 化工设计通讯, 2023, 49 (07): 183-185.