

Analysis on the design and efficiency improvement of VOC waste gas collection system in chemical industry

Jie Liu

Lansheng Biological Technology Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 052263, China

Abstract

The chemical industry releases substantial amounts of volatile organic compounds (VOCs) during production processes, posing potential threats to environmental air quality and human health. Establishing efficient VOC exhaust collection systems has become a crucial approach for source control of pollutants. This paper systematically examines the characteristics of VOC emissions in the chemical industry, analyzes the structural composition and design considerations of mainstream collection systems, and investigates operational efficiency factors from multiple perspectives including hood configurations, pipeline layouts, and airflow regulation. Based on these findings, optimized collection system approaches and integrated strategies are proposed for different operational scenarios. By enhancing system airtightness, improving dynamic control mechanisms, and elevating operational management standards, these measures aim to boost overall VOC collection efficiency, providing technical support for the industry's green transformation and environmental governance.

Keywords

VOC exhaust; chemical industry; collection system; efficiency enhancement; system optimization

化工行业 VOC 废气收集系统设计及效率提升分析

刘杰

兰升生物科技集团股份有限公司, 中国·河北 石家庄 052263

摘要

化工行业在生产过程中释放出大量挥发性有机化合物 (VOC), 对环境空气质量和人员健康构成潜在威胁。科学构建高效的 VOC 废气收集系统是实现污染物源头控制的重要手段。本文围绕化工行业 VOC 废气排放的特点, 系统梳理了当前主流收集系统的组成结构与设计关键点, 并从收集罩型式、管道布置、风量调节等多个角度出发, 分析系统运行效率的影响因素。在此基础上, 提出针对不同工况下的收集系统优化路径与集成策略, 通过强化系统密闭性、完善动态调控机制及提升运维管理水平, 提升整体 VOC 收集效率, 为化工行业绿色转型与环保治理提供技术支撑。

关键词

VOC 废气; 化工行业; 收集系统; 效率提升; 系统优化

1 引言

随着环境治理政策的不断加严, 化工行业 VOC 废气排放控制成为大气污染治理中的重要环节。VOC 具有易挥发、易反应、对人体有害等特性, 其在排放过程中往往伴随不稳定工况与多点源分布, 增加了有效收集的复杂性。收集系统作为废气治理的首要环节, 其设计水平直接决定后续处理设备的负荷与处理效果。传统收集系统普遍存在罩体选型不合理、风量分配失衡、密闭性差等问题, 造成 VOC 逸散率较高, 影响整体治理成效。为提升 VOC 控制的系统效率, 需要从源头布局优化、动态运行匹配及过程控制机制等方面入手, 建立起兼具技术可行性与经济合理性的收集体系。本

文从化工行业工艺特征出发, 对 VOC 废气收集系统的构成逻辑、优化方向与效率提升策略展开深入分析, 以期对相关行业提供理论支持与工程指导。

2 化工行业 VOC 废气排放特点

化工行业生产过程中产生的 VOC 废气成分复杂, 常见组分包括苯系物、醇类、酮类、醚类和脂肪族碳氢化合物。这些挥发性组分主要来源于原料储存、溶剂使用、反应釜排气、产品装卸、清洗环节以及废水池体逸散等多个生产与辅助工序环节。不同类型装置因物料性质和操作条件差异, 会导致 VOC 的组成及释放方式呈现多样化特征。例如, 有机合成装置中以苯类和酮类为主, 涂装类装置则醇类和醚类比例更高。工艺流程中密闭性、温度、压力以及物料挥发速率均对 VOC 逸散强度产生直接影响, 需结合具体作业工艺对废气组成进行系统性分析, 以支撑后续收集方案的科学设计。

【作者简介】刘杰 (1985-), 男, 中国河北衡水人, 本科, 工程师, 从事化工废气治理、废水处理研究。

3 VOC 废气收集系统的构成与关键设计参数分析

3.1 收集罩型式选择与布局合理性要求

收集罩作为 VOC 废气控制系统的前端核心，其结构类型与布局方式直接决定污染物捕集效率。常见罩型包括敞口罩、外抽罩、槽型罩和封闭罩等，需依据排放源位置、释放方向和气流特征合理选型。罩体开口面积、进风流速、罩口与排放源距离等参数对收集效果影响显著，开口过大或布置过远会导致无效风量增加，进而降低系统效率。布局时需结合操作空间、人员活动范围及设备布置，确保罩体既能最大限度靠近排放区域，又不妨碍工艺操作与维护。多点源集中分布时，应优先考虑组合式罩体与导流结构，以实现局部高效控制与整体风场均衡。合理的罩体设计不仅提升废气捕集能力，也有助于降低系统能耗与维护成本。

3.2 管道系统阻力控制与风量平衡技术

管道系统作为连接罩体与处理装置的重要通路，其结构布置对整个系统运行阻力与风量分配效果具有决定性影响。管道截面积设计需匹配系统总风量，并考虑压损控制要求，避免因管径过小造成风速过高引发噪声和振动问题。

弯头数量、管道长度及连接方式对压损影响显著，需通过合理布局和减少不必要转弯实现阻力最小化。支管风量平衡是多点收集系统运行稳定的关键，通过安装调节阀、风量均衡器等装置实现各支路风量与源强相匹配。管道材质亦需考虑 VOC 组分的腐蚀性与吸附性，优选耐腐蚀、低吸附材料降低介质损失与安全隐患。整体设计应以风速适宜、流场稳定、压力均衡为目标，构建高效、可靠的传输网络。

3.3 负压调节与系统密闭性的技术指标设定

稳定有效的负压环境是确保 VOC 废气不外逸的重要保障，系统设计中需合理设定负压水平，并通过动态调控手段维持恒定操作状态。风机选型需考虑风压与风量双重匹配，同时预留调节冗余以应对工况波动。自动变频控制系统可根据现场实时风量需求进行精准调节，提升系统响应能力与节能水平。在系统密闭性方面，需重点强化连接部位、检修口与阀门等环节的密封性能，避免泄露路径形成。对储罐、反应釜等大型设备宜采用机械密封或气封技术，同时增设负压监测装置用于密闭性状态的持续评估。密闭结构设计需兼顾材料强度、腐蚀适应性与维护便利性，确保系统在长期运行中保持稳定收集能力，图 1 为负压调节系统的 VOC 废气处理系统解析。

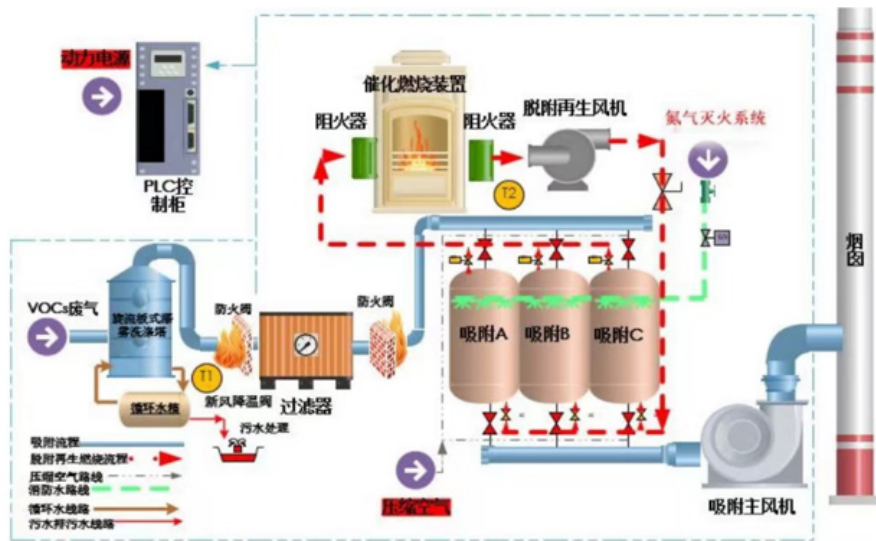


图 1 负压调节系统的 VOC 废气处理系统解析

4 典型 VOC 废气收集系统设计优化路径

4.1 动态工况下收集系统响应能力提升方式

化工企业生产过程中常伴随原料更换、设备启停、反应条件波动等不稳定工况，这些动态变化会引起 VOC 排放强度的瞬时剧烈波动，对废气收集系统的实时响应能力提出更高要求。为适应多变工况，可采用变频风机系统调节风量输出，根据在线监测数据动态调整系统负压水平，保障气流方向持续朝向收集端口。流量传感器与压差控制器的联动控制机制能够实现对风量与风速的精准管理，避免排放高峰期系统吸力不足导致 VOC 逸散。在罩体区域设置可调导流板

与气流隔断结构，使局部风场灵活调整，从而提高对短时排放高点的覆盖效率。结合多点源数据实时汇总分析，可进一步完善系统运行调度逻辑，提升对突发排放行为的自适应能力，增强废气收集系统在复杂工况下的稳定性和响应速度。

4.2 异味控制与吸附介质配合结构设计

部分 VOC 组分具有强烈刺激性或恶臭特征，即使浓度较低仍可能对周边环境及人员造成不良影响，因此在收集系统中需增强异味控制能力并与后续处理单元实现高效衔接。通过在罩体或管道前端设置初级预处理装置，可对大颗粒与湿气进行有效分离，减轻吸附单元负荷。在吸附介质的选择上，应结合 VOC 组分特性选用比表面积大、孔径分布合

理、吸附能力强的复合材料,如改性活性炭、分子筛或新型聚合物吸附剂。将吸附单元与气流路径同步优化,例如设置串并联结构,实现不同吸附材料的功能互补,以增强对多组分VOC的去除率。吸附层厚度、通风面积与停留时间的匹配设计直接影响净化效率与运行周期,需结合模拟计算确定最佳参数组合。整个系统结构需保障气体在进入末端处理装置前已完成初步异味控制,减少对周边环境的负面影响。

4.3 空间约束条件下的系统集成与模块化方案

在化工厂区布置紧凑或改扩建项目中,废气收集系统需在有限空间内实现高效运行,这对系统的结构集成度与模块化设计提出新的要求。集成设计可将罩体、管道、调节阀与预处理设备融合于一体,采用一体化风控装置减少连接部位数量,降低泄露风险与维护成本。模块化理念支持将大型系统拆分为若干功能单元,每个模块具备独立运行能力,便于灵活布置与快速安装,并在局部故障时维持整体运行的连续性。在空间布置中可引入立体布局方式,将设备垂直分层布设,利用上方空间放置风机和过滤装置,提升地面操作区的可利用性。在接口设计中采用快速接头与标准化组件,提高现场安装效率与后期改造灵活性。借助可拆卸式结构与轻质材料工艺,也有助于提升系统的移动能力与适应复杂空间条件的部署能力。

5 VOC 废气收集效率提升的系统化策略

5.1 全过程监测反馈机制与智能调控设计

实现VOC废气收集系统的高效运行,需构建覆盖源头、传输与末端各环节的全过程监测反馈机制。通过在关键节点布设气体浓度、风速、温湿度及压力等多参数传感器,获取实时运行数据,系统能够快速识别异常排放行为与设备运行偏差。控制中心应建立数据融合与动态分析模型,对风量分配、管道压损与罩口吸力等参数进行综合运算,并结合排放规律设定自适应调控逻辑。风机频率、导流机构与调节阀联动响应,保障气流持续朝向污染源并形成稳定负压环境。引入边缘计算与分布式控制技术,可提升反馈速度并增强局部决策能力,减少人为干预与调节延迟。监测数据还可形成历史工况档案,用于后续系统优化与能效评估,从而实现收集系统运行的可视化、数字化和高精度调控管理。

5.2 与末端治理系统的协同匹配优化

废气收集系统与末端治理设施的运行状态密切相关,收集效率的提升需要系统整体的协同优化。风量、气体组分、湿度与温度等参数的稳定性对末端处理装置的净化效率和运行寿命具有直接影响。收集系统需依据末端设备的处理

能力进行参数匹配,避免超负荷运行或风量不足造成处理效率下降。在风机设定中应考虑系统整体阻力与末端设备最优运行区间,确保整个气体输送链条保持稳定流速和均匀分布。管道布置需兼顾最短路径原则与末端吸附、冷凝或催化装置的安装空间,减少压损与气体沉积现象。数据系统应实现前后端联动,通过信息共享与负荷预测,实现系统自适应调节与协同控制,保障VOC收集浓度与末端处理能力在动态工况下保持有效匹配,从而提升整个治理系统的综合运行效率。

5.3 标准化建设与精细化运维机制的融合路径

提升VOC收集系统效率需要在设计、施工与运维各阶段推行标准化建设,并在运行管理中融入精细化理念。标准化可通过统一设计图纸、施工规范与设备选型参数,确保系统各部件在不同项目间具备良好兼容性与通用性,降低建设周期与技术协调难度。在运行阶段,需建立覆盖巡检、维修、故障预警与效能评估的精细化运维机制,明确设备运转周期、密封更换频率及清洗保养要求。数字化平台可实现系统运行状态可视化管理,运维人员可实时获取设备健康状况与工况波动情况,并基于预设指标开展预防性维护。对于故障频发点应建立快速响应机制,配合标准化备品备件系统提高应急处理效率。数据驱动的运维管理还可对不同工况下的系统表现进行持续优化,为后续系统改造与升级提供支撑路径。

6 结语

VOC废气的高效收集是化工行业实现清洁生产与环境友好发展的重要基础。系统优化应从源头识别、结构设计、协同控制与运行维护等多层面入手,构建响应及时、控制精准、运行稳定的集成体系。面向复杂工况,需持续推动结构模块化、控制智能化与管理规范化,提升系统适应性与治理深度。通过全过程的数据反馈与策略调整,可实现废气收集效率的动态提升。推动技术创新与标准体系融合,将为行业减排目标实现提供坚实支撑与持续动力。

参考文献

- [1] 李顺平.化工行业有机废气治理技术发展研究[J].广州化工,2025,53(12):137-139+149.
- [2] 孔爱华,李健,程春燕.化工行业VOCs废气综合治理的有效对策分析[J].皮革制作与环保科技,2025,6(04):117-119.
- [3] 肖丽莎,梁富威,何挚邦.化工行业VOCs废气处理工艺参数的优化探究[J].皮革制作与环保科技,2024,5(21):102-104.
- [4] 黄文迪,杨焕.组合废气治理工艺在有机化工行业工程实例[J].山东化工,2023,52(16):230-231+234.