

# 储罐区 VOCs 无组织排放主要泄漏点识别与管控措施

时晓杰 钟京涛 (山东齐鲁石化工程有限公司, 山东 淄博 255400)

**摘要:** 为防控储罐区 VOCs 无组织排放, 系统识别储罐本体结构、附件及连接部位、操作过程三大类核心泄漏点, 分析各泄漏点形成机理与排放特征。本文梳理行业通用技术要求、专项排放标准及实践指南等管控依据, 阐述常规监测、智能化监测及数据应用构成的监测技术体系, 提出结构优化改造、泄漏监测运维、末端治理协同的全链条管控措施, 结合实际改造案例验证措施有效性。研究成果为储罐区 VOCs 无组织排放管控提供技术支撑与实践参考, 对推动石化行业绿色低碳发展具有重要意义。

**关键词:** 储罐区; VOCs; 无组织排放; 泄漏识别; 管控措施

**中图分类号:** TE6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 007-0145-03

## Identification and Control Measures for Unorganized VOC Emissions from Storage Tank Areas

Shi Xiaojie, Zhong Jingtao (Shandong Qilu Petrochemical Engineering Co., Ltd., Zibo Shandong 255400, China)

**Abstract:** To prevent and control unorganized VOC emissions from storage tank areas, this study systematically identifies the core leakage points of the tank body structure, accessories and connection parts, as well as the operation process. It analyzes the formation mechanism and emission characteristics of each leakage point. This paper reviews the common technical requirements, special emission standards and practical guidelines in the industry as the control basis. It elaborates on the monitoring technology system composed of routine monitoring, intelligent monitoring and data application, and proposes the full-chain control measures of structural optimization and renovation, leakage monitoring and operation maintenance, and end-point treatment collaboration. The effectiveness of the measures is verified through actual renovation cases. The research results provide technical support and practical references for the control of unorganized VOC emissions from storage tank areas, and are of great significance for promoting the green and low-carbon development of the petrochemical industry.

**Keywords:** Storage Tank Area; VOCs; Unorganized Emissions; Leakage Identification; Control Measures

### 1 储罐区 VOCs 无组织排放主要泄漏点识别

#### 1.1 储罐本体结构相关泄漏点

储罐本体结构是 VOCs 无组织排放泄漏源头之一, 浮盘与液面及罐壁密封关联部位问题突出。江苏省常州市中石化、中石油两大油库 24 个汽油储罐采用铝浮筒盘, 浮盘板间采用铆接, 运行日久缝隙渐大, 浮筒与浮盘板间气相空间内的油气从缝隙大量逸出, 成为 VOCs 无组织排放主要通道。改造前检测数据显示, 中石油油库无组织 VOCs 排放量达 379.5 t/a, 中石化油库高达 527.3 t/a, 单个 8000m<sup>3</sup> 储罐年无组织排放量就达 69t, 远超行业 VOCs 控制目标<sup>[1]</sup>。浮筒式浮盘结构强度弱、稳定性差, 长期受进出料波动影响易变形损坏, 加剧泄漏; 传统浮盘采用的填料式环向边缘密封由填充海绵的密封包袋构成, 浮盘与罐壁环向间隙不均匀且超过规定补偿范围时, 间隙较小处密封包袋会因剪切作用破损进油, 间隙较大处无法完全覆盖油面, 橡胶材料长期使用后老化、龟裂、变形, 导致密封失效, 油气从边缘密封处持续挥发泄漏。浮盘结构连接设计存在缺陷, 蒙皮搭接处不紧密, 浮盘上各类开口未设置有效密封, 致使浮盘零部件及附件存在

大量泄漏点, 油气为实现浮盘上下压力平衡, 通过这些密封不良处持续泄漏。

#### 1.2 储罐附件及连接部位泄漏点

储罐附件及连接部位密封完整性不足是 VOCs 无组织排放诱因<sup>[2]</sup>。呼吸阀作为储罐压力调节部件, 呼出控制压力设定与密封性能直接影响排放情况, 2021 年国内某大型石化央企 66 台重质油储罐改造前, 呼吸阀 VOCs 泄漏检测值高达 1000-8000ppm (即 1000-8000 μmol/mol), 远超行业采用的 2000 μmol/mol 泄漏认定浓度限值, 成为“大呼吸”排放泄漏路径之一。部分储罐配备氮封系统, 仍因呼吸阀等附件密封性能不佳导致油气损耗明显, 氮封系统与其他附件协同密封效果未充分发挥。人孔、量油孔、导向柱等附件与浮盘或罐体连接部位, 密封措施不到位时, 如人孔盖板密封垫老化、量油孔关闭不严密, 会形成持续泄漏通道; 储罐与外部管线连接法兰、阀门等部位, 因垫片选型不当、螺栓预紧力不足或部件腐蚀损坏, VOCs 从连接处渗漏, 成为无组织排放补充泄漏点。

#### 1.3 操作过程相关泄漏点

储罐操作工况变化与操作不当, 诱发 VOCs 无组

织排放泄漏。“小呼吸”排放与环境温度变化相关，气温升高时罐内液气体积膨胀，VOCs 被挤压排出；气温降低则储罐吸入空气，稀释罐内气体浓度并加剧液面蒸发，下次升温再次形成高浓度排放。“大呼吸”排放与储罐收发料操作直接相关，进料时液体进入罐体使液位升高，挤压罐内空间引发压力骤升，超过呼吸阀控制阈值时，大量 VOCs 快速排放；发料过程储罐吸入空气，同样加速油品蒸发，为后续排放积累 VOCs。储罐清罐、检修前物料置换不彻底，罐内残留高浓度 VOCs 会在作业中直接扩散至大气；取样、脱水等日常操作中，阀门开关过快、排放口未及时封堵，会造成瞬时高浓度 VOCs 泄漏，这类操作相关泄漏点具有突发性和不确定性，对局部环境影响显著。

## 2 储罐区 VOCs 无组织排放管控技术标准与行业共识

### 2.1 行业通用技术控制要求

石化行业长期实践，形成储罐区 VOCs 无组织排放管控通用技术控制体系，围绕减污降碳与 VOCs 协同治理，明确储罐设计、运行、维护全环节技术要求。储罐选型上，针对不同蒸气压挥发性有机液体，形成差异化储存设备选择规范，高挥发性液体优先采用密闭性更强的压力储罐或高效密封浮顶罐；运行管控中，优化操作流程、强化设备维护，降低“大小呼吸”排放强度，建立 VOCs 泄漏隐患排查机制，确保及时发现处置密封失效等问题。风险防控理念推动 VOCs 管控融入生产全流程，技术创新实现从末端治理向源头控制转变，形成绿色低碳生产运营共识。

### 2.2 行业专项排放标准规范

石油化工行业技术标准对储罐区 VOCs 无组织排放提出量化控制要求。《石油化学工业污染物排放标准》(GB 31571-2015)规定，储存实际蒸气压  $\geq 76.6\text{kPa}$  的挥发性有机液体应采用压力储罐；特定蒸气压范围和容积的挥发性有机液体储存内浮顶罐，浮盘与罐壁间需采用液体镶嵌式、机械式鞋形、双封式等高效密封方式，罐上开口、缝隙及浮盘与罐壁的密闭设施工作状态下必须保持密闭，同时设定排放气非甲烷总烃含量不大于  $120\text{mg}/\text{m}^3$  的限值要求，为储罐排放控制提供技术指标。技术标准经行业实践持续优化完善，形成“定性要求 + 定量指标”的管控体系，成为企业 VOCs 治理的核心技术依据。

### 2.3 泄漏控制技术实践指南

储罐区 VOCs 泄漏控制环节，行业技术攻关与实践总结形成技术实践指南。涉苯、甲苯等危险化学品内浮顶罐，采用安装油气回收装置等处理设施的管控方案，齐鲁石化等企业苯储罐治理已成功验证，形成

可复制推广经验<sup>[3]</sup>。储罐密封强化上，实际蒸汽压大于  $2.8\text{kPa}$ 、储量大于  $100\text{m}^3$  的有机液体储罐，需优先采用高效密封浮顶罐或安装顶空连通置换油气回收装置，结构优化削减源头泄漏量。技术实践指南源于企业实际治理经验，决定储罐选型、改造及末端治理设施配置方向，为行业同类企业泄漏控制提供操作参考。常州市中石化、中石油油库储罐改造工程，借鉴行业技术实践经验，实现 VOCs 排放量大幅削减。

## 3 储罐区 VOCs 无组织排放泄漏监测技术体系

### 3.1 常规泄漏监测技术应用

常规泄漏监测技术依托现场检测与定期核查，为储罐区 VOCs 无组织排放泄漏识别提供数据支撑。储罐顶气、密封间隙等关键部位，采用便携式气相色谱仪、非甲烷总烃检测仪等设备现场采样分析，获取 VOCs 浓度数据。常州市中石油、中石化油库改造前期排查，用红外探测仪识别储罐顶部 VOCs 逸散情况，后续委托专业机构以便携式检测设备测定非甲烷总烃浓度，为改造方案制定提供数据支撑。浮盘密封、附件连接等泄漏部位，采用目视检查与仪器检测结合方式，核查密封件老化、破损情况，以及法兰、阀门等连接处密封完整性，发现泄漏点。排放源强度统计方法可核算储运过程 VOCs 无组织排放量占总排放量比例，判断储罐区泄漏管控整体成效。国内某大型石化央企储罐改造前后，核算呼吸阀泄漏量占比评估改造效果，为常规监测提供补充。

### 3.2 智能化监测系统构建

智能化监测系统集成技术，实现泄漏监测实时化、自动化，提升管控效能。储罐顶气排放口、浮盘密封间隙、附件连接法兰等关键泄漏点布设在线监测传感器，实时采集 VOCs 浓度数据，经数据传输网络同步监测结果至控制中心，实现泄漏实时预警。常州市中石化、中石油油库储罐改造后，在边缘通气孔、中央通气孔布设监测点位，检测一个月保障改造效果稳定。物联网技术整合储罐区 VOCs 监测网络，汇集温度、压力等环境参数与 VOCs 浓度数据，分析“小呼吸”“大呼吸”排放规律，预判泄漏风险，实现从“被动检测”向“主动预警”的转变。大型石化企业重质油储罐区应用该系统，整合呼吸阀泄漏数据与环境参数，实现泄漏风险预判。

### 3.3 监测数据溯源与应用

监测数据规范溯源与深度应用，提升泄漏管控效能。监测数据采集遵循行业技术标准，保障采样点位布设、检测方法合规，便携式仪器定期校准，第三方检测机构具备资质，保障数据准确。常州市中石化、中石油油库改造项目中，依托专业机构检测数据，核

算改造前后 VOCs 减排量,为项目成效评估提供权威支撑。对比监测数据与行业技术标准限值要求,判断泄漏是否超标,国内某大型石化央企将呼吸阀泄漏检测数据与超低泄漏标准对比,验证改造后泄漏量是否达到  $0.003\text{m}^3/\text{h}$  以下要求;分析治理前后监测数据变化,评估结构改造、末端治理等管控措施有效性;长期积累监测数据,梳理储罐运行年限、操作工况与泄漏量关联规律,为设备维护周期制定、管控策略优化提供数据支持,形成“监测-评估-优化”闭环管理。

## 4 储罐区 VOCs 无组织排放针对性管控措施

### 4.1 结构优化与设备改造管控

结构优化与设备改造从源头控制储罐区 VOCs 无组织排放泄漏。汽油等轻质油储罐采用全接液式浮盘替代传统浮筒式浮盘,常州市中石化、中石油油库 24 个汽油储罐改造采用全接液浮盘搭配大补偿气密性密封与二次舌型刮板构成的双重密封系统,降低油气挥发<sup>[4]</sup>。改造成效显著,单个  $8000\text{m}^3$  储罐年无组织排放量从 69t 降至 27t,中石油油库 VOCs (非甲烷总烃)排放量较改造前削减 68.1%,中石化油库削减 59.3%,检测数据低于行业  $2000\mu\text{mol}/\text{mol}$  泄漏认定浓度限值。

重质油储罐采用低超压、低泄漏量的环保型防凝固一体式阻火呼吸阀替代传统呼吸阀,国内某大型石化央企 66 台重质油储罐 (DN250 型 34 台、DN300 型 32 台) 改造后,静止状态无泄压时呼吸阀 VOCs 泄漏检测值由  $798\sim 8105\mu\text{mol}/\text{mol}$  降低至  $500\mu\text{mol}/\text{mol}$  以下,75% 呼吸阀设计开启压力环境下,泄漏量不超过  $0.003\text{m}^3/\text{h}$ ,满足超低泄漏标准要求。浮盘上的人孔、量油孔、导向柱等开口部位,采用 PTFE (聚四氟乙烯) 密封件强化密封,消除盘缝及开孔处泄漏点,提升结构密封性能。

### 4.2 泄漏监测与运维管控

泄漏监测与运维管控建立常态化管理机制,确保结构优化和设备改造效果稳定。制定定期巡检制度,重点核查浮盘密封件、附件密封垫老化破损情况,及时更换失效部件。针对填料式环向边缘密封易老化问题,定期检查密封包袋海绵压缩弹性,发现龟裂、变形及时更换,避免密封失效。规范储罐操作流程,优化进料发料速率,减少“大呼吸”排放强度;控制储罐液位,避免高液位充装导致压力骤升;清罐、取样等作业前制定专项方案,确保物料置换彻底、排放口及时封堵,减少瞬时泄漏。建立设备维护档案,记录浮盘、密封件等关键设备安装、更换、检修信息,根据设备使用寿命和运行状况制定维护计划。浮筒式浮盘按 5 年设计寿命及时更换,全接液式浮盘定期检查

浮力单元密封性能,确保设备长期稳定运行。

### 4.3 末端治理技术应用管控

末端治理技术应用于源头控制无法完全消除的泄漏,实现 VOCs 高效处理。汽油等轻质油品储罐采用吸收法、吸附法、膜分离法等组合技术开展油气回收,减少环境污染同时回收油品实现资源再利用。按 A 类地区汽油总损耗率 1% 估算,2016 年我国汽油表观消费总量 1.2 亿 t,总损失量 120 万 t,油气回收装置可大幅降低这一经济损失<sup>[5]</sup>。北京石油化学工业学院环保多相流高效分离技术团队研发的吸附+吸收烃类 VOCs 污染控制技术,应用于加油站及油库场景,依托多段环型吸附床层设计和自动运行控制,实现油气高效净化回收,解吸形成的高浓度油气/空气混合气返回储罐再利用,规避二次泄漏。

齐鲁石化研发“储罐 VOCs 循环无排放”工艺包,采用“储罐氮封+罐顶连通、气体压缩、净化回收、储气调峰”工艺流程,实现 VOCs 密闭循环零排放,投资规模和运行成本低于传统治理装置。末端治理设施需与前端结构改造、监测运维协同配合,对治理设施进行标定和维护,确保处理效率稳定。常州市中石化、中石油油库采用“结构改造+末端监测”协同模式,实现 VOCs 年减排量约 571.2t,带动周边区域臭氧浓度同比下降 6.2%,构建“源头控制-过程监测-末端治理”全链条管控体系。

## 5 结语

储罐区 VOCs 无组织排放管控是系统性工程,需贯穿“源头-过程-末端”全流程。本文识别泄漏源头、梳理管控标准、构建监测体系并提出协同管控措施,明确精准管控技术路径,实际改造案例验证路径有效性。未来需强化智能化监测技术应用,推动管控措施优化与全链条协同,完善行业技术标准与实践指南。实现储罐区 VOCs 减排增效,助力石化行业践行绿色发展理念,为改善区域大气环境质量提供保障。

### 参考文献:

- [1] 卢伟,周开浪,谢进宜,等. 储罐区 VOCs 排放控制技术综述与展望 [J]. 炼油与化工,2025,36(02):13-17.
- [2] 刘兴龙,宋晓文. 危险化学品企业储罐呼吸废气收集操作技术 [J]. 精细与专用化学品,2024,32(04):46-52.
- [3] 刘文辉. 大型煤化工企业甲醇罐区 VOCs 回收技术应用探讨 [J]. 山东化工,2023,52(11):241-244.
- [4] 王智,安华. 关于甲醇储罐及甲醇精馏 VOCs 综合治理的探索与研究 [J]. 山东化工,2023,52(05):245-247.
- [5] 马志远. 储罐 VOCs 排放监测和源强核算技术研究 [J]. 化工安全与环境,2023,36(02):77-81.