

# 成品油储存过程中挥发性有机物排放控制策略分析

石辉革（国家管网集团广西公司，广西 南宁 530000）

**摘要：**成品油储存过程中的 VOCs 排放问题日益突出，主要源于油品自然挥发和储罐呼吸，现存问题包括储存设备密封性能不佳和缺乏有效的油气回收系统。为控制 VOCs 排放，提出了技术和管理两方面的策略：技术控制策略包括提升储存设备密封性能、引入先进油气回收技术和实施智能化监控与管理，而管理控制策略则涵盖完善管理制度、加强人员培训以及强化监管与考核。通过综合应用这些策略，可有效减少成品油储存过程中的 VOCs 排放，降低经济损失，改善大气环境质量，保护人体健康。

**关键词：**成品油储存；VOCs 排放；储存密封性；储存油气回收

## 0 引言

成品油作为现代社会不可或缺的能源之一，其储存过程中的挥发性有机物（Volatile Organic Compounds, VOCs）排放问题日益受到关注，这些 VOCs 不仅对环境造成污染，还对人体健康构成威胁。因此，有效控制成品油储存过程中的 VOCs 排放，对于保护环境、促进能源行业的可持续发展具有重要意义。

## 1 成品油储存过程中 VOCs 排放的现状与问题

### 1.1 VOCs 排放现状

成品油储存过程中的 VOCs 排放现状值得深入关注，储存过程中，油品自然挥发是导致 VOCs 排放的主要因素之一。不同种类的成品油具有不同的挥发特性，如汽油的挥发性较高，而柴油则相对较低；温度变化对挥发过程影响深远，高温天气会加剧 VOCs 的排放。罐体呼吸是另一个重要的排放来源：固定顶罐在油品进出时会产生工作呼吸，而昼夜温差变化则会引起小呼吸，这两种呼吸都会造成 VOCs 的排放；浮顶罐虽然能在一定程度上减少呼吸损耗，但密封圈处仍会有 VOCs 泄漏。

当前，许多石油储存企业对 VOCs 排放控制的重视程度仍然不足，缺乏有效的监测和管理措施，随着环保要求的日益严格，亟需加强对成品油储存过程中 VOCs 排放的控制和管理，以减少能源浪费，改善大气环境质量。

### 1.2 存在的问题

#### 1.2.1 储存设备密封性能不佳

成品油储存设备的密封性能不佳是导致 VOCs 排放的关键问题，在储存过程中，浮顶储罐的密封圈常因长期储存作业而出现磨损，导致储罐密封不严，而固定顶储罐的呼吸阀也可能因腐蚀或机械故障而失

效，造成储存油品的油气泄漏。不规范的储存管理行为也会影响储存设备的密封性能，例如储存作业中未及时关闭储罐阀门、未正确安装储罐密封圈等操作失误，都可能导致储存油品的油气泄漏，此外，储存环境温度变化引起的储罐膨胀收缩会对储罐密封结构造成额外压力，进一步加剧储存设备密封性能下降。储存设备的密封问题不仅存在于储罐本体，储存系统中的连接管道、阀门等辅助储存设备的密封性能同样值得关注，这些储存部件的密封圈、垫片等易损件如未及时更换，也会成为储存油品油气泄漏的潜在来源。

#### 1.2.2 缺乏有效的油气回收系统

在成品油储存过程中，缺乏有效的油气回收系统是另一个亟需解决的问题，部分成品油储存设施由于建设年代较早，在储存设计之初并未考虑安装油气回收系统，这些储存设施在运营过程中产生的油气直接排放到大气中，造成严重的 VOCs 污染。即便部分储存设施配备了油气回收系统，其运行效率也往往不尽如人意，一些储存用油气回收系统设计不合理，无法适应不同储存工况下的油气回收需求，导致回收效率低下。

储存设备维护不到位也是影响回收效率的重要因素，如储存设施中的活性炭吸附装置未及时再生或更换，会大大降低储存过程中的油气回收效果，而油气回收系统的运行成本较高，一些储存企业出于经济考虑，可能会降低系统的运行频率或完全停用，致使大量储存油品的油气未经处理直接排放。此外，缺乏有效的储存监管和考核机制，使得一些储存企业对油气回收系统的重视程度不够，未能在储存过程中充分发挥系统的作用，储存设施中油气回收系统的缺失或低效运行，不仅导致了大量 VOCs 的排放，还造成了可观的经济损失。

## 2 成品油储存过程中 VOCs 排放的控制策略

### 2.1 技术控制策略

#### 2.1.1 提升储存设备密封性能

提升储存设备密封性能是控制成品油储存过程中 VOCs 排放的关键技术策略，高性能密封材料的应用是提高储存密封效果的重要手段。新型聚四氟乙烯（PTFE）储存密封材料具有优异的耐腐蚀性和化学稳定性，可有效减少储存油气渗透，而储存用弹性体复合材料则兼具良好的弹性和密封性，能够适应储罐的微小变形，保持持续的储存密封效果。先进的储存密封技术同样不可或缺：双重机械密封技术通过在储罐主密封圈外增加辅助密封圈，形成双重保护，大幅降低储存油气泄漏风险；液压式储存密封系统利用液压原理，随储罐内压力变化自动调节密封压力，实现储存动态密封；磁性流体储存密封技术则利用磁场控制特殊流体，在储存密封面形成稳定的液体屏障，有效阻止储存油气逸散。浮顶储罐的密封改进尤为重要，采用柔性二次密封技术，在储罐主密封圈外增加柔性密封层，可适应储罐壁不规则性，显著提高储存密封效果，而储罐浮盘边缘采用液压式衬套，能够随储存油位变化自动调节，保持持续密封。固定顶储罐的呼吸阀优化也是提升储存密封性能的重点：新型储存压力真空阀采用精密平衡机构，可在极小的压力差下快速开启和关闭，减少储存不必要的呼吸损失；智能储存呼吸阀则能根据储罐内外压力差自动调节开启压力，进一步降低储存呼吸损失。针对储存系统的管道和阀门等辅助设备，采用高性能储存垫片和密封圈，如石墨复合垫片、金属缠绕垫片等，可显著提高储存连接处的密封性能，而无泄漏储存阀门的应用，如波纹管密封阀，能够从根本上消除传统储存阀门的外部泄漏。

#### 2.1.2 引入油气回收技术

引入先进的油气回收技术是有效控制储存 VOCs 排放的重要手段，冷凝法是常用的储存油气回收技术之一，通过降低储存油气温度使其凝结成液体，储存深冷技术可将油气冷却至极低温度，实现高效回收。多级梯度冷凝系统则可根据不同储存油品组分的冷凝温度逐级回收，提高回收率和纯度，吸附法是另一种广泛应用的储存回收技术。活性炭吸附是最常见的储存方式，利用活性炭大比表面积的特性吸附储存油气，新型储存吸附材料如分子筛、活性氧化铝等，具有更高的储存油气吸附容量和选择性。压力交替吸附（PSA）

技术通过压力变化控制储存油气的吸附和解吸过程，实现连续高效回收，膜分离法是近年来发展迅速的储存油气回收技术。选择性渗透膜可根据分子大小和极性差异分离储存油气，多级膜分离系统能够逐步提高回收储存油气的纯度，新型复合膜材料的开发，如聚醚嵌段酰胺（PEBA）膜，在提高储存油气分离效率的同时，还具有良好的耐化学性和机械强度。除上述主要技术外，吸收法也是一种有效的储存回收方式，利用特定溶剂吸收储存油气，如低温甲醇洗涤技术，可高效回收轻质储存油气，生物法回收技术则利用微生物降解储存油气，具有环境友好的特点。

#### 2.1.3 智能化监控与管理

智能化监控与管理是实现成品油储存过程中 VOCs 排放精细化控制的重要手段，而物联网技术的应用为全面监控储存设施奠定了基础。通过在储罐、储存管道、储存阀门等关键位置安装各类传感器，可实时采集储存油气浓度、温度、压力等关键参数，这些储存传感器通过无线通信网络与中央控制系统连接，形成了一个全面的储存数据采集网络。先进的储存传感器技术极大提高了监测的精度和可靠性：光学传感器利用不同波长光的吸收特性，可准确测量储存油气浓度；半导体气体传感器具有响应速度快、灵敏度高的特点，适合实时监测储存环境；微机电系统（MEMS）技术的应用，使得储存传感器更加小型化、集成化，可安装在更多储存位置，提供更全面的储存监测数据。

大数据分析和人工智能技术的引入，使得储存监控系统不仅能采集数据，还能进行深度分析和预测，通过建立数学模型，系统可以根据历史数据和当前参数预测未来的储存排放趋势。机器学习算法能够不断优化储存预测模型，提高储存预警的准确性，这种预测性维护可以主动识别储存潜在的问题，如储存密封性能下降、储存回收系统效率降低等，从而及时采取预防措施。智能化管理系统能够实现储存设备的自动化控制：根据监测数据，系统可自动调节储罐压力、控制储存呼吸阀开关、启动或调整储存油气回收系统等，这种精细化控制不仅能够最大限度地减少储存 VOCs 排放，还能优化储存设备运行，提高储存能源效率。

### 2.2 管理控制策略

#### 2.2.1 完善管理制度

完善成品油储存过程中的 VOCs 排放管理制度是

有效控制排放的基础，建立健全的管理制度需要从多个层面入手。在组织架构方面，应明确设立专门的环保管理部门，负责 VOCs 排放控制的整体规划和管理，同时制定详细的岗位职责说明，明确各级人员在排放控制中的具体职责和权限，确保责任到人。制定全面的 VOCs 排放管理规程是关键，这些规程应涵盖储油设施的日常运行、维护保养、应急处理等各个环节；对于储罐操作、油品转运、设备检修等高风险环节，需制定专门的操作规程，详细规定每个步骤的操作要求和注意事项，并建立严格的操作记录制度，要求操作人员详细记录每次操作的时间、内容和参数，以便后续分析和追溯。

建立健全的检查制度也很重要，包括制定定期检查计划，对储油设施的密封性能、油气回收系统的运行效率等关键指标进行常规检查，同时建立不定期抽查机制，增加检查的随机性和覆盖面；检查结果应及时反馈，并建立问题整改跟踪机制，确保发现的问题得到及时有效的解决。

### 2.2.2 加强人员培训

加强人员培训是提高 VOCs 排放控制效果的关键措施，培训内容应全面涵盖环保意识和专业技能两大方面。在环保意识培训中，重点讲解 VOCs 排放对环境和健康的危害，使员工充分认识到控制排放的重要性，同时结合国家和地方的环保政策法规，让员工了解企业所承担的环保责任和可能面临的法律风险。专业技能培训应针对不同岗位的具体需求进行设计：对于操作人员，重点培训储油设施的正确操作方法、油气回收系统的使用和维护技能、VOCs 检测设备的使用方法等；对于管理人员，则侧重培训 VOCs 排放管理的策略和方法、数据分析和决策技能、应急管理能力等。

培训方式应当多样化，既包括理论讲授，也要安排实际操作演练，可以采用案例分析的方法，结合实际发生的 VOCs 排放事故或优秀管控案例进行讨论，提高培训的针对性和实效性。引入模拟训练系统，通过虚拟现实技术模拟各种操作场景和突发情况，让员工在安全环境中积累经验。

### 2.2.3 强化监管与考核

强化监管与考核是确保 VOCs 排放控制措施有效实施的重要保障，建立全面的监测体系是基础，包括安装自动监测设备、定期进行人工采样检测，实现对储油设施 VOCs 排放的全方位监控。制定详细的监

测计划，明确监测点位、频次和方法，确保监测数据的准确性和代表性，同时建立数据分析和报告制度，定期对监测数据进行统计分析，评估 VOCs 排放控制措施的效果。通过趋势分析，及时发现排放异常情况，采取相应的改进措施，并编制月度、季度和年度 VOCs 排放报告，全面反映排放控制的成效和存在的问题。

实施严格的考核机制是强化监管的关键，制定科学合理的考核指标体系，包括 VOCs 排放浓度、排放总量、设备运行效率等量化指标，以及管理制度执行情况、应急响应能力等定性指标，将考核结果与部门和个人绩效挂钩，形成激励和约束机制。引入第三方评估机制，定期邀请专业机构对 VOCs 排放控制情况进行独立评估，确保评估结果的客观公正，建立评估结果公示制度，接受员工和社会的监督，不断改进排放控制工作。

## 3 结论

成品油储存过程中 VOCs 排放控制是一项复杂的系统工程，需要技术和管理措施的有机结合，其中提升储存设备密封性能和引入先进油气回收技术是控制排放的关键技术手段，而智能化监控与管理系统的应用为精细化控制提供了有力支持。在管理层面，完善的制度体系、全面的人员培训和严格的监管考核机制共同构成了排放控制的坚实基础，这些措施的有效实施不仅能显著减少 VOCs 排放，还能带来可观的经济效益。随着环保要求的日益严格，石油储存企业需要不断创新技术、优化管理方法，持续提高 VOCs 排放控制水平，为改善大气环境质量做出积极贡献。

### 参考文献：

- [1] 何少林, 陈辉, 齐志斌, 等. 石油石化挥发性有机液体装载源项 VOCs 排放管控现状及减排策略建议 [J]. 环境工程学报, 2022, 16(10):3367-3373.
- [2] 曹冬冬, 李兴春, 翁艺斌, 等. 某石化企业三类成品油装载环节的有机污染物排放特征、环境影响及控制措施 [J]. 环境工程学报, 2022, 16(8):2630-2639.
- [3] 王燕军, 吉喆, 谢琼, 等. 汽油存储过程 VOCs 排放影响因素研究 [J]. 环境工程技术学报, 2021, 11(3):523-529.

### 作者简介：

石辉革 (1973-)，男，壮族，广西河池市南丹县人，大学专科，助理工程师，研究方向：油气储运、管道工程管理等。