

# 油库挥发性有机物 (VOCs) 排放管控机制研究

纪 凯 李欣潼

中国石油天然气股份有限公司天津销售分公司 天津 300101

**摘要:** 油库是石油产品储存中转关键节点,也是挥发性有机物(VOCs)重要排放源。VOCs会威胁区域大气环境质量,部分组分还危害人体健康。随着生态文明建设推进和“双碳”目标提出,对VOCs精细化、科学化管控成为大气污染防治重点。本文系统梳理油库VOCs主要排放环节与特征,剖析我国油库VOCs排放管控体系在法规标准、技术路径、监管模式、经济激励等方面的现实困境。从健全法规标准、强化技术防控、创新监管模式、完善经济机制、构建多元共治格局五个维度,提出油库VOCs排放管控机制优化路径,为提升治理水平、改善空气质量、实现减污降碳协同增效提供理论与实践参考。

**关键词:** 油库;挥发性有机物(VOCs);排放管控;油气回收;智慧监管;协同治理

## 引言

全球面临气候变化与环境污染双重挑战,大气污染防治成各国政府核心议程。我国复合型大气污染问题突出,挥发性有机物(VOCs)作为臭氧和细颗粒物污染关键前体物,减排工作至关重要。生态环境部数据显示,工业源是我国人为源VOCs排放最大贡献者,石化等行业是重点管控领域。油库作为石油产品流转枢纽,在接收、储存等过程中,因储罐“小呼吸”“大呼吸”及装卸车/船等产生大量VOCs排放,中型油库年排放量可达数百吨,既浪费资源,又威胁周边环境和居民健康。因此,构建完善科学、高效、可持续的油库VOCs排放管控机制,对打赢蓝天保卫战、推动绿色低碳发展、保障公众健康意义重大、价值深远。

## 1 油库VOCs排放特征与主要来源

准确识别和量化VOCs排放源是有效管控的前提。油库VOCs排放具有点多、面广、动态性强的特点,主要可归纳为以下几类:

### 1.1 储罐呼吸损耗

这是油库最主要的VOCs排放源,可分为两类:(1)“小呼吸”损耗:由昼夜或季节性温差引起。白天温度升高,罐内油气混合物膨胀,压力超过呼吸阀设定值后排出;夜晚温度降低,罐内形成负压,吸入空气,导致新一轮蒸发。此过程周而复始,持续排放。(2)“大呼吸”损耗:发生在向储罐注入或抽出油品时<sup>[1]</sup>。进油时,液面上升,油气被挤出;出油时,液面下降,罐内形成负压,吸入空气,随后油品蒸发补充空间。装卸作业越频繁,损耗越大。储罐类型(固定顶罐、内浮顶罐、外浮顶罐)对呼吸损耗影响巨大。固定顶罐损耗最大,内/外浮顶罐通过减少气相空间可大幅降低损耗。

### 1.2 装卸作业逸散

油品通过公路、铁路或水路向外发运时,在鹤管与槽车/船舱接口处会产生VOCs逸散。尽管现代油库普遍采用底部密闭装车,但若未配套油气回收系统(Vapor Recovery Unit,VRU),或接口密封不严,仍会造成显著排放。此外,初期灌装阶段和末期拔管阶段是逸散的高峰期。

### 1.3 设备动静密封点泄漏

油库内遍布着大量的阀门、法兰、泵、压缩机等设备,其动静密封点在长期运行中可能因老化、腐蚀或安装不当而发生微小泄漏,即“无组织排放”。虽然单点泄漏量小,但累积效应不容忽视。LDAR是管控此类排放的有效手段。

### 1.4 废水集输与处理系统逸散

含油污水在收集、输送及处理过程中,由于水中溶解或夹带的轻组分VOCs会不断挥发,成为另一个不可忽视的排放源。

## 2 我国油库VOCs排放管控现状与困境分析

### 2.1 法规标准体系尚不健全

我国已出台《大气污染防治法》、《挥发性有机物无组织排放控制标准》(GB37822-2019)、《储油库大气污染物排放标准》(GB20950-2020)等一系列法规标准,为油库VOCs管控提供了基本遵循。然而,仍存在短板:(1)标准限值有待加严:相较于欧美,部分排放限值(如油气处理装置的排放浓度、非甲烷总烃去除效率)仍显宽松,且对特征污染物(如苯系物)的管控不足。(2)覆盖范围不全面:现有标准主要针对大型油库,对中小型油库、军用油库等的适用性和约束力较弱。(3)执行细则缺失:在LDAR的实施频次、方法、修复时限等方面缺

乏统一、细化的操作指南，导致各地执行尺度不一。

## 2.2 技术路径存在局限性

目前主流的油气回收技术包括吸收法、吸附法、冷凝法、膜分离法及其组合工艺。(1) 技术选择困境：不同技术各有优劣。例如，活性炭吸附成本低但存在饱和和更换和二次污染风险；冷凝法能耗高；膜分离法对高浓度油气效率高但投资大。油库在选择时往往面临技术经济性的权衡难题<sup>[2]</sup>。(2) 运维管理薄弱：许多油库虽安装了VRU，但因缺乏专业运维人员、监测手段落后，导致设备长期处于低效甚至失效状态，“建而不用、用而不灵”现象普遍存在。(3) 新技术应用滞后：如基于物联网(IoT)的智能监测、人工智能(AI)驱动的预测性维护等先进技术在油库VOCs管控中的应用尚处于试点阶段，未形成规模化推广。

## 2.3 监管模式效能不足

传统的“人防”式监管依赖定期现场检查，存在人力成本高、覆盖面窄、时效性差、易受人为因素干扰等问题。(1) 信息不对称：监管部门难以实时、全面掌握油库的运行状态和排放数据，执法存在滞后性。(2) 数据孤岛：企业内部的DCS(分布式控制系统)、环保在线监测系统数据未有效整合，也未与政府监管平台打通，无法形成监管合力。(3) 信用惩戒不足：对违法排污企业的处罚力度和公开曝光程度不够，未能形成有效的震慑效应。

## 2.4 经济激励与约束机制缺位

VOCs治理设施的建设和运维需要大量资金投入，但目前缺乏有效的经济杠杆来引导企业主动减排。(1) 正向激励不足：缺少针对VOCs减排成效显著企业的税收减免、绿色信贷、补贴等优惠政策。(2) 负向约束乏力：VOCs排污收费(或环境保护税)标准偏低，远低于治理成本，企业宁愿缴纳罚款也不愿投资治理。(3) 市场机制缺失：VOCs排放权交易等市场化手段尚未建立，无法通过市场信号引导资源优化配置。

# 3 油库VOCs排放管控机制的优化路径

## 3.1 健全法规标准体系，夯实依法治理根基

首要任务是加严并细化排放标准，通过适时修订《储油库大气污染物排放标准》(GB20950)等核心法规，对标国际先进水平，进一步收紧排放限值，并将苯、甲苯等有毒有害VOCs纳入强制管控清单。同时，应制定覆盖所有规模油库的差异化、分级分类管控标准，确保监管无死角。其次，亟需完善配套法规与操作指南，可考虑出台专门的《油库VOCs排放管控条例》，以法律形式固化各方权责，并发布详尽的LDAR、VRU运维等技术指南

和最佳实践手册，为基层执法和企业守法提供清晰、统一的行动纲领。最后，必须强化法律责任，大幅提高违法成本，对偷排、漏排、治理设施不正常运行等恶意违法行为，实施按日计罚、限产停产整顿，直至追究相关责任人的刑事责任，真正让法律法规长出“牙齿”。

## 3.2 强化全过程技术防控，提升源头治理能力

未来应大力推广最佳可行技术(BAT)，通过法规强制新建和改建油库采用内浮顶罐等低损耗储罐，并鼓励现有固定顶罐进行浮盘改造，从源头上压缩VOCs产生的空间。在油气回收环节，应摒弃“一刀切”的做法，引导企业根据不同油品特性、作业工况和经济承受能力，科学选配高效、可靠的组合工艺，如“冷凝+吸附”、“膜分离+吸附”等，以实现治理效果与经济效益的最佳平衡<sup>[3]</sup>。在此基础上，需要构建起覆盖“预防-控制-修复”全链条的技术防控体系：在预防端，通过优化操作规程，减少不必要的装卸频次；在控制端，确保VRU始终处于稳定高效运行状态；在修复端，则要严格执行LDAR计划，利用红外成像(OGI)、氢火焰离子化检测(FID)等先进仪器进行定期巡检，确保泄漏点得到及时、彻底的修复。尤为重要的是，要全力推动油库的数字化与智能化转型，通过部署基于物联网(IoT)的传感器网络，对储罐压力、温度、液位、VRU进出口浓度等关键参数进行全天候实时监控，并利用大数据分析和人工智能(AI)算法，对设备健康状态进行预测性诊断，从而将被动的售后维修转变为主动的事前预防，从根本上提升治理效能。

## 3.3 创新智慧化监管模式，实现精准高效执法

应着力构建“天地车一体化”的立体化监控网络，将卫星遥感的大范围筛查、走航监测的移动追踪、无人机巡查的灵活机动、固定站点在线监测的连续稳定以及企业自测数据的有效补充等多种手段深度融合，形成一张精准锁定高排放区域和可疑企业的天罗地网。在此基础上，打造一个统一、权威的智慧监管平台至关重要。该平台应强制要求重点油库将关键运行和排放数据实时上传，并具备强大的数据汇聚、智能分析、超标自动预警、远程非现场核查以及电子证据固化等功能，真正实现从“人防”到“技防”、从“被动响应”到“主动预警”的转变。与此同时，应全面推行信用监管与分级分类管理模式，建立科学的油库环保信用评价体系，将VOCs管控表现作为核心指标。对信用记录优良的企业，可大幅减少现场检查频次，并在政策扶持上予以倾斜；反之，对失信企业则要加大抽查力度，并实施跨部门、跨领域的联合惩戒，让守信者一路绿灯，失信者寸步难行。

## 3.4 完善经济激励与约束机制，激发内生减排动力

在正向激励方面,政府应设立VOCs治理专项资金,对采用国际领先技术、完成深度治理并取得显著成效的油库给予直接补贴或绩效奖励。同时,应积极引导金融机构开发“VOCs减排贷”、“绿色债券”等专属金融产品,为治污企业提供优惠利率和便捷通道。在负向约束方面,必须深化环境税费改革,合理、科学地提高VOCs环境保护税的税率,使其能够真实反映污染物排放所造成的环境损害成本,从而形成强有力的倒逼机制。长远来看,应积极探索建立VOCs排放权有偿使用和交易制度,通过市场这只“看不见的手”,引导减排成本低的企业多减排,并将富余的排放权出售给减排成本高的企业,从而以最低的社会总成本实现区域总量控制目标<sup>[4]</sup>。此外,还应大力探索VOCs的资源化利用路径,鼓励企业将回收的油气作为燃料回用或作为化工原料进行深加工,变废为宝,创造直接的经济效益,形成“治理-收益-再投入”的良性循环。

### 3.5 构建多元共治格局,凝聚社会监督合力

首先,必须牢牢压实企业的主体责任,明确油库运营单位是VOCs排放控制的第一责任人,要求其建立健全内部环保管理制度,保障治理设施的正常稳定运行,并依法、及时、准确地向社会公开其排放信息,接受公众监督。其次,政府内部需要强化统筹协调,生态环境、发展改革、工业和信息化、应急管理等多个相关部门应打破壁垒,加强信息共享与行动协同,形成从项目立项审批、工程建设、生产运行到最终退役的全生命周期闭环管理链条。最后,要充分引导和动员社会力量参与监督。通过畅通“12369”等环保举报渠道,鼓励公众、媒体和环保公益组织对油库的VOCs排放行为进行常态化监

督。政府部门应定期发布油库环境绩效“红黑榜”,将优秀典范和反面案例公之于众,利用强大的舆论压力促进企业自律,营造全社会共同关心、支持和参与大气污染防治的良好氛围。

## 4 结语

油库VOCs排放管控是复杂系统工程,涉及多层面。当前我国油库VOCs管控有阶段性成果,但在法规标准、技术路径、监管模式、经济杠杆及社会共治等方面仍面临挑战。未来优化管控机制需坚持系统思维与创新驱动,一方面完善“硬约束”,健全法规标准、强化智慧监管、加大经济惩罚;另一方面构建“软激励”,给予财税金融支持、引导市场机制、推动资源化利用,激发企业绿色转型动力。最终政府、企业、社会协同构建现代化治理体系。展望“十四五”及更长时期,随“减污降碳”战略深入,油库VOCs管控有新内涵,要探索与碳减排协同路径,注重污染物与温室气体协同控制,为建设美丽中国和实现“双碳”目标贡献力量。

## 参考文献

- [1]张家铭,吴少林,夏瑜杰.储油库油气回收与VOCs排放效果分析[J].中国资源综合利用,2025,43(12):152-154.
- [2]曲建军,纪瑞军.储油库VOCs治理技术分析和选择[J].石油石化节能与计量,2024,14(12):45-48+54.
- [3]刘超,许小龙,李佳,等.某储油库储罐VOCs监测分析研究[J].油气田环境保护,2022,32(06):64-67.
- [4]冯雨钦.基于TDLAS的储油库油气回收系统VOCs浓度检测方法研究[D].河南大学,2023.DOI:10.27114/d.cnki.ghnau.2023.001147.