

# 油品储运过程中油气挥发问题与处理技术

王凯丽 (山东裕龙石化有限公司, 山东 龙口 265715)

**摘要:** 面对油品储运环节油气挥发量大、时空差异大以及较难有效控制的问题, 本文首先全面论述了油品储存运输中的挥发性有机物治理的重要意义; 并从机理层面剖析因呼吸阀损坏引起的无组织排放、灌装操作速率过高引发的紊流挥发、管道腐蚀穿孔造成的挥发扩散范围增加以及站场温度差异较大造成的大气昼夜呼吸等四种典型问题; 最后提出相关的技术治理策略, 实现了对挥发源点有针对性管理、对挥发过程进行实时监控、对挥发排放有明显削减的效果。

**关键词:** 油品储运; 油气挥发问题; 处理

中图分类号: TE88

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2026) 011-0087-03

## Oil and Gas Volatilization Problems and Treatment Technologies in Oil Storage and Transportation

Wang Kaili (Shandong Yulong Petrochemical Co., Ltd., Longkou Shandong 265715, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of large oil and gas volatilization, significant temporal and spatial differences, and difficult effective control in the oil storage and transportation process, this paper first expounds the important significance of volatile organic compound (VOCs) treatment in oil storage and transportation in a comprehensive manner. It then analyzes four typical problems from the mechanism perspective: unorganized emission caused by breathing valve damage, turbulent volatilization induced by excessively high filling operation rate, expanded volatilization and diffusion range due to pipeline corrosion and perforation, and diurnal atmospheric breathing of storage tanks resulting from large temperature differences at stations and yards. Finally, relevant technical treatment strategies are proposed, which achieve targeted management of volatilization sources, real-time control of the volatilization process, and a significant reduction effect on volatilization emissions.

**Keywords:** oil storage and transportation; oil and gas volatilization problems; treatment

当前油储运正朝着大规模、高强度、智能化的方向前进, 储罐容积不断增大, 收发频率明显提高, 罐区分布越发集中, 在带来效益提升的同时, 油气挥发风险敞口也呈几何式上升。传统的经验型管理模式及被动式防止逸散措施, 逐渐难以满足精准化、少排放的行业发展新需求, 而且在复杂的工况条件和变动环境中, 挥发过程间的动态耦合特征对监控技术和控制技术的要求也在逐渐提高。从技术角度出发, 开展系统性的研究分析油气挥发的发生机制和发展演变路径, 建立全生命周期的精细化管理体系是确保储运安全、节约利用资源和向绿色环保低碳转变的迫切需要, 也可进一步为有针对性的技术研发工作提供现实依据。

### 1 油品储运过程中油气挥发问题处理的重要性

随着世界能源结构的深刻变化, 生态环保压力加剧。油品储存运输处于产业链中游衔接环节, 其运行效率关乎资源耗费与环境保护成效。现阶段产业朝大型化发展、集中度提高, 储输管网规模庞大、点位众多, 挥发行为具备连续性与隐匿性的特点, 一旦失去控制, 则可能在整体层面上放大危害后果。油气不仅是不可再生的珍贵化石能源, 同时又是重要的 VOCs 来源,

其在挥发的同时会造成经济损失, 还会因发生光化学反应产生  $O_3$  与 PM2.5 污染, 有损大气环境。另外挥发物自身具有可燃性, 容易在密闭或者半密闭场所形成爆炸性气体氛围, 存在安全隐患。在“双碳”目标指引下, 减少挥发即是削减碳排放量以及减少大气污染物排放, 也是展现企业的社会责任担当及守法能力水平的关键, 所以正确认识和解决好油气挥发问题是确保储存运输高质量、安全地低能耗运作的战略抓手, 亦是产业转型升级的必由之路。

### 2 油品储运过程中油气挥发问题分析

#### 2.1 储罐呼吸阀失效导致无控挥发

储存运输系统中的储罐是对油气进行暂时存放的重要部分, 它内部的气体空间同外界环境之间是通过呼吸作用相互联系的, 而呼吸阀就是控制压力差的主要设备。目前大规模使用的浮顶罐以及内浮顶罐均是储存几万方的油品, 气相中烃类含量高达几十克每立方, 一旦呼吸阀出现密封不良, 阀盘失灵或标定不准等问题的时候就会使得内部的正压或者负压得不到有效的释放, 从而使得油气无组织地从罐体顶部或者是薄弱位置进行挥发。结合行业实践经验, 呼吸阀失效后会使得单个油罐每天蒸发损耗增加 3-8 倍, 每年的损

耗率从正常情况下的 0.05%，升到 0.4% 以上，一个万吨级储罐一年便要损失数吨原油<sup>[1]</sup>。

### 2.2 装卸作业流速超标引起湍流挥发

装卸阶段为储运链过程中排放强度较大动态工序包括泵输、管线输送以及进入罐车或船舱，流体动能转变为界面波动和喷溅效应。当流速大于 3 ~ 4.5m/s 时液体从层流变为湍流界面剪切力急剧增大引起油品微粒和油气迅速逸出。现场测量表明，汽油等轻质油品当流速达到 5m/s 时，装卸油口附近瞬时挥发速度比静止状态下低流速高出将近 4 倍，一次装卸周期内 VOCs 挥发量占整个工艺过程排放量的 20% ~ 35%。而且高速流动还会加大产电概率，与挥发共同作用提高了危险性。由于作业时间较短，工况变化频繁，工作人员无法立即准确调速经常造成流速超限，在高峰时段较为普遍，是一类阶段性排放强度较高的污染源头。

### 2.3 管线腐蚀泄漏扩大挥发面积

长输和站内管线密布交叉，其输送介质中的硫化物、水以及各种机械污物等会在管道内表面产生电化学腐蚀条件，对于地下或潮湿地带，年腐蚀速度达到 0.1 ~ 0.3mm。一旦壁厚降至阈值以下，便会出现细小针眼甚至裂缝，造成不间断渗漏，泄漏部位虽然较小但与空气接触面积较大，形成了稳定的挥发界面。结合行业实践经验，未做防腐处理管道运行十年后泄漏概率增大为 3% ~ 5%，每千米每年出现可检测泄漏 0.2 ~ 0.5 次。而且由于泄漏往往存在一定的隐蔽性，油气会向土壤或者管沟中渗透蔓延，挥发过程也得以延续，导致局部浓度场突破安全界限，进而在产生污染扩散的同时加大了燃烧爆炸风险。

### 2.4 罐区温差大促使昼夜呼吸挥发

敞开式罐区直接受到太阳照射及大气温度变化的影响，罐内的气体空间温度波动相应出现，导致热胀冷缩所引起的罐体呼吸作用增强。一般温差幅度为 10 ~ 30℃ 时引起罐内气体体积变化率为 5% ~ 12%，会产生大量的进、排气过程。在夏季较大温差幅度的情况下，对于一个罐，其因温度导致的日呼吸挥发率可达该罐总挥发量的 40% ~ 60%，而且年温差累积损耗可达到静态储存期数倍之巨。热力学机制控制下的呼吸现象具有规律性和人为不可干预性，同时在低风速条件下更易于在邻近储罐区上方聚集起高浓度气云。

## 3 油品储运过程中油气挥发问题的处理对策

### 3.1 升级智能呼吸阀控压，减少无控挥发量

储罐呼吸阀失灵导致罐内气压失衡造成油气逸散失控，则必须用智能化手段代替传统的机械恒压方法，从而达到对整个呼吸过程的有效控制的目的。

使用集压力检测、信号采集以及可编程控制器于一体的智能化呼吸阀取代旧式的机械阀（如图 1），在阀体进气道和排气道均安装有压阻式压力变送器，测量范围从 -0.5 到 +2.0kPa，采样周期为实时。压力变送器将信号经过隔离放大后传输给内部集成的嵌入式 PLC 控制器，其内部预先设定有上限值与下限值，当油罐内的压力超过上下限值则由嵌入式 PLC 控制器发出指令通过控制步进电机调整阀盘行程进行分级泄放及线性调节压力，防止完全打开阀门后带来的瞬时大量泄漏。

并对阀瓣密封面进行聚四氟乙烯改性复合材料喷涂处理，同时在弹簧预紧装置上采用双重冗余弹性体，保证密封比压始终稳定在某个区间内，减少由于震动或者腐蚀产生的泄漏风险<sup>[2]</sup>。同时，配置现场指示和远传接口功能，能够即时传送压力曲线、阀位信息以及故障提示至控制室，方便运行管理人员根据过往工况校正阈值指标，进而不断削减逸散的发生频率及程度。

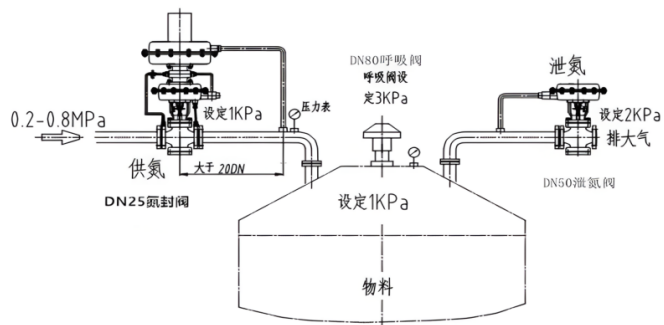


图 1 智能呼吸阀

### 3.2 优化装卸流态稳速，抑制湍流挥发强度

充装过程中流速过大容易产生湍流及液面飞溅而加速挥发，所以应在流体运输的过程中设置流速上限及流态整流装置。

在卸料臂端部加装多孔分流稳流器，主要结构形式是圆形腔室，在其周围均匀开设直径 8mm 导流孔 12—16 个，将进入槽车内的单相射流束切割成多个小流速的支流。根据经典的流量计算公式：

$$Q=A \times v \quad (1)$$

式(1)中：Q 指流量，它的单位是立方米 / 秒 (m<sup>3</sup> / s)；A 指流过的横断面的面积，单位是平方米 (m<sup>2</sup>)；v 是指流体在此横断面上的平均速度，它的单位是米 / 秒 (m/s)。

装车主管道流速需符合式(1)。在线质量流量计在线采集 Q 的数据，v 设定最大值为 3.0m/s，倒推出所需 A 的数值，然后改变电动调节阀开度使其实际流速不会超过 3.0m/s，在控制程序内部植入 PID 算法，

表1 测试数据示例

监测位置编号	腐蚀速率 /mm 每年	可燃气体浓度 / 百万分之一	温度 /℃
P01	0.08	0.0005	28
P02	0.12	0.0012	31
P03	0.05	0.0003	26
P04	0.18	0.0025	34
P05	0.09	0.0007	29

对流速误差进行 ms 级别的调整,保持流动平稳。

在装卸臂进口处加装整流格网,格网间隙取管道内径百分之一,材料用抗腐蚀不锈钢,减少来流紊乱程度。结合地面急停联锁,在检测到流速出现大幅波动超过  $\pm 0.2\text{m/s}$  即刻停泵,防止瞬间流速超高造成大量挥发。经过以上硬件优化及控制闭环,可确保物料在整个装载过程中处于层流或者微涡流中,进而抑制两相界面搅动及雾化现象产生。

### 3.3 敷设防腐监测管网,控制泄漏挥发源头

管道腐蚀会产生孔洞不断泄漏增大挥发面积,所以要建立防腐与实时监控相结合的安全系统,尽早地探测并阻止泄漏。沿线输送管道每隔 50m 固定安装防腐及检测装置。首先对管道表面喷砂除锈到 Sa2.5 级后,依次喷涂环氧底漆、中间环氧云铁漆以及聚烯烃外涂层,干膜总厚度达到  $300\mu\text{m}$  以上。构成三层复合防腐体系,同时采用外加电流阴极保护法。恒电位仪供电电压为  $-1.2 \sim -1.5\text{V}$  相对硫酸铜参比电极,参比电极间隔不超过 200m,使保护电压分布均匀<sup>[1]</sup>。设置包括腐蚀速率、可燃气体浓度、温度在内的在线监控系统,采用的传感器种类及其检测值如表 1 所示。

腐蚀速率可以经由光纤光栅应变传感器计算得出,可燃气体浓度使用催化燃烧式传感器,温度以 PT100 型热电阻采集。数据采集模块每隔 10s 进行记录,无线方式回传到中央服务器,设置腐蚀速率大于  $0.1\text{mm/年}$  或浓度超过  $0.0001\%$  即触发声光警报并显示位置。同时在软件平台上搭建管道健康评价系统,基于历史变化判断预计残余寿命,对危险性高的区段提前规划非破坏检查和局部加固,保证管道在整个生命周期中都保持完全密闭状态杜绝新泄漏点的出现。

### 3.4 应用隔热调温系统,避免昼夜呼吸波动

日夜温差会造成储罐气相热胀冷缩产生呼吸损耗,需要通过保温及热能调节使得罐体温度变化幅度降至最低。

储罐外部全面包裹纳米气凝胶毡,裁剪长度符合罐体弧度,接口使用高温铝箔胶带封贴,毡层厚度热工核算定值为  $50\text{mm}$ ,热传导系数在  $0.02\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  以内;外部复合反射性聚酯膜,反照率在 0.85 以上,减少太阳短波辐照直射吸收。顶部增覆相同材料组合层,呼吸阀附近进行局部加固,避免产生热斑点<sup>[4-5]</sup>。

在罐区科学布置相变储热设备,箱体采用不锈钢密闭罐,内填充石蜡类相变材料,相变温度设置为  $25\text{℃}$ ,相变潜热不低于  $180\text{kJ/kg}$ ,装置以盘管形式与罐壁结合,日间吸收罐壁传递过来的热能使石蜡融化储存能量,晚间环境温度降低放出潜热减慢罐体降温的速度。同时设置分布式温度探测器,密度按照每万方储罐体积大于等于 8 个布置,实时监控罐壁及气相层温度。

根据温控信号对相变设备以及可选配的辅助加热装置输出功率进行调控,保证储罐气相空间全天候温差不超过  $\pm 5\text{℃}$ ;在罐区内安装小型变频循环风扇,当环境风力低于  $1\text{m/s}$  的情况下低转速运行以加强罐体表面空气流通,防止逆温带停留聚集高浓度油蒸气。以上结构设计及运行方案能够减少温度带来的压差波动,进而减轻热呼吸引起的油气挥发次数及程度。

## 4 结论

油气储存运输的挥发管控不仅关系到节能减排、环保以及安全生产,而且还可以在保证经济效益的同时大幅减少 VOCs 排放量并消除易燃易爆隐患。本文建议升级改造智能呼吸阀控压装置、优化装卸流程、降低装油流速、铺设防腐检测管路、采用保温降温措施等一系列控制方案可以明显改善无组织排放、湍动排放、泄漏排放、昼夜波动的呼吸排放等多种排放情形。未来,相关人员应进一步加强传感、控制、材料等领域的交叉研究,开发完善实时监测、闭环控制系统,注重全流程联控减排和全生命周期管理,从而实现油气储存运输行业的超净排放。

### 参考文献:

- [1] 王超,朱宜生.油品储运过程中油气挥发问题的探讨[J].中国设备工程,2023(20):238-240.
- [2] 赵发高.油品储运作业中的损耗分析与降耗措施[J].化工设计通讯,2023,49(03):32-34.
- [3] 许春茂.油品储运常见损耗原因及降耗对策研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(01):37-39.
- [4] 李宪威.油品储运过程中油气蒸发损耗分析[J].化学工程与装备,2022(07):50-52.
- [5] 孙志强,杨帆.油品装卸过程中油气挥发机理与减排技术[J].油气储运,2022,41(8):101-108.