

装卸储运系统中油气回收技术运用分析

刘云飞 (大连欧科膜技术工程有限公司, 辽宁 大连 116041)

摘要: 作为重要战略资源, 石油资源不仅可为生产装备提供动力能源, 而且还可广泛应用于化工制造等领域。然而, 在石油行业规模持续扩大的今天, 石油装卸储运工程安全环保短板日益凸显, 其中油气挥发问题尤为突出。鉴于此, 为持续提升石油装卸储运工程环保性、安全性, 为行业健康发展铸魂。本文首先将对油气挥发的机理与特性进行分析, 并总结油气挥发环境影响。随后, 系统分析可靠油气回收技术方法, 并评估技术应用综合效益。最终, 详细剖析当前存在的问题, 希望通过本文研究, 保障油气回收技术的持续优化应用工作落地。

关键词: 装卸储运系统; 油气挥发; 油气回收; 技术效益

中图分类号: TE89 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 036-0094-03

Analysis of Vapour Recovery Technology Application in Loading, Unloading, Storage and Transportation System

Liu Yunfei (DALIAN EUROFILM INDUSTRIAL LTD, Dalian Liaoning 116041, China)

Abstract: As an important strategic resource, petroleum resources can not only provide power energy for production equipment, but also be widely used in fields such as chemical manufacturing. However, as the scale of the petroleum industry continues to expand, the safety and environmental protection shortcomings of petroleum loading, unloading, storage and transportation engineering are becoming increasingly prominent, with vapour volatilization being particularly prominent. In view of this, in order to continuously improve the environmental protection and safety of petroleum loading, unloading, storage and transportation engineering, and to forge the soul for the healthy development of the industry. This article will first analyze the mechanism and characteristics of vapour volatilization, and summarize the environmental impact of vapour volatilization. Subsequently, the system analyzed reliable vapour recovery technology methods and evaluated the comprehensive benefits of technology application. Finally, a detailed analysis of the current problems is conducted, with the hope of ensuring the continuous optimization and application of oil and gas recovery technology through this study.

Keywords: loading and unloading storage and transportation system; vapour evaporation; vapour recovery; technical benefits

油气挥发会造成能源浪费的同时, 更易引发环境污染。随着我国环保法规管控持续收紧以及企业对绿色化发展转型期待, 油气回收技术价值愈发凸显, 已由初期辅助环保措施逐渐转变为装卸储运系统中不可或缺的关键组成因子。由此可见, 深入研究和分析油气回收技术, 对于资源、能源保护均十分有益。

1 油气挥发的机理与特性

油气挥发产生机理与装卸储运系统各环节操作模式密切相关。同时, 受自身组分与特性的影响, 挥发规律和危害程度也存在十分显著的差异^[1]。

1.1 装卸储运系统各环节油气产生的机理

装卸储运系统广泛涵盖装卸车、船、储罐储存、管道输送等多个环节, 每个独立环节油气产生机理大有不同。其中, 装卸车环节, 普遍情况下多采用顶部喷溅装卸或底部装卸。前者, 油液会由高处垂直落下与内在空气混合。而后, 持续对原有空气进行挤压, 致使油气被强制性排出。后者虽可最大程度减少喷溅扰动, 但油液进入罐内也会促使液面客观上升。同时, 罐内压力也将持续升高, 一旦高于呼吸阀设定阈值,

油气自然而然将会逸出; 船与装卸车类似, 但不容忽视的是, 由于船舶罐容积更大、装卸时间战线更长, 所以油气挥发量也更为庞大。

储罐储存环节则属于油气持续缓慢挥发的重要场所。储罐的油气挥发存在两种形式, 即大呼吸和小呼吸。其中小呼吸是指在环境温度或大气压力昼夜变化影响下, 储罐内油气的温度也会发生明显波动。白天受温度升高的影响, 油气会膨胀致使压力增大。此时, 若高于呼吸阀开启压力时油气便会排出。夜间气温转凉, 受温度降低影响, 油气会收缩, 为外部空气腾出空间。第二日温度持续升高时, 被吸入的空气在与油气顺利混合后, 会二次被排出, 形成恶性呼吸损耗, 促使挥发损失持续不断; 大呼吸是指储罐进行收发油作业时, 因罐内液面快速升降, 导致油气空间体积急剧变化, 引发的大规模油气逸散或空气吸入现象, 其油气损耗量通常远大于小呼吸。

管道输送环节较其他上述环节相比, 油气挥发明显较少。不容小觑的是在管道启停、压力动态调节以及管道检修等过程中, 管道内残留油气也会受压力变

更的影响而被排出，最终导致油气缓慢的挥发^[2]。

1.2 油气组分与物理化学特性

受储存和输送产品种类不同的影响，挥发的油气组分也十分复杂。例如，汽油挥发油气中，主要成分包括：C3-C5 烷烃、烯烃以及少量苯；航煤挥发的油气组分则主要是以 C4-C6 烃类为主；但无论是何种油气组分，立足于物理化学特性分析视角来看，这些油气组分却普遍具有蒸气压高、沸点低等特征，为挥发问题的发生埋下了便利条件。例如，汽油中丁烷蒸气压在 15℃ -30℃ 常温下，其饱和蒸气压普遍介于 170kPa-270kPa 区间，而在夏季超高温 40℃ 左右时，具体数值更能明显攀升至 370kPa 以上，受此影响，势必会促使液态更易转化为气态。

2 油气挥发的环境影响

2.1 环境影响

油气中的烯烃（如丙烯、丁烯）和芳香烃（如甲苯、二甲苯）是典型的光化学氧化剂前体物，在夏季强日照条件下，会与大气中的氮氧化物（NO_x）发生复杂的光化学反应，生成臭氧（O₃）等强氧化性污染物，形成光化学烟雾。臭氧浓度超标会刺激人体呼吸道，但对环境而言，高浓度臭氧会损伤植物叶片、加速材料老化。光化学烟雾会降低大气能见度，影响区域空气质量，是城市和工业区“灰霾”的重要诱因之一。

温室效应方面，油气中的甲烷、乙烷以及光化学反应生成的一定产物，均具有十分典型的温室效应潜能。单位质量温室效应强度普遍大于二氧化碳，甚至是其的数倍乃至数十倍，长期大量排放，势必会明显加剧全球气候变暖发展趋势。有毒有害污染物方面，油气中含有的苯是 I 类致癌物，挥发后会长期存在于大气中，不仅危害人体健康，还会随大气沉降进入生态系统，造成长期累积污染；少量硫化氢、硫醇等硫化物随油气逸散，会产生刺激性异味，且可转化为二氧化硫（SO₂），间接加剧酸雨风险。亦不能忽视的是，挥发性有机物不慎流入水体，也会对水质水源造成污染，既影响人们饮水安全，亦会对水生态系统造成毁灭性破坏。此外，油类物质与水还会受不相容作用的影响，形成全方位覆盖油膜，断绝水中氧气交换路径，使得生物种群受到不可逆破坏。

2.2 国家及地方环保法规

为更有效地实现油气挥发污染控制，我国大到国家层面、小到地方层面，均出台了针对性标准和规范。国家层面《石油炼制工业污染物排放标准》、《储油库大气污染物排放标准》、《加油站大气污染物排放标准》等专项标准，对石油炼制企业、储油库、加油站、装卸车各环节油气排放浓度指标均作出了严格规定，

为相关企业提供了实践标准。地方层面，各地方也积极作为，充分结合当地产业发展实际，出台了可操作性强的实施细则如北京的《储油库油气排放控制和限值》，上海的《加油站大气污染物排放标准》。除此之外，还要求企业充分发挥主观能动性，自觉落实油气回收主体责任，在大力推动油气回收技术全面普及方面发挥了重要作用^[3]。

3 油气回收技术原理与主要方法

3.1 吸收法

此方法主要是充分利用油气中各组分在吸收剂中溶解度的差异化特征，通过强化气液两相的接触，促使混合气中烃类组分优先溶解，最终顺利实现油气回收目标。细化来讲，技术核心工艺设备主要包括吸收塔，其属于气液接触关键单元，可通过板式塔或填料塔结构设计，助力气液接触路径以及时间延长，保障烃类组分溶解效率客观提升。

3.2 冷凝法

此方法主要是充分结合油气组分蒸气压随温度动态波动的物理特性，通过逐级降低油气混合气温度等措施，快速助力油气内烃类组分变为液化状态，从而顺利达到理想的分离回收效果。其中，冷凝机组属于技术核心“大脑”，常规情况下，会通过多级冷凝方式，助力温度持续降低，甚至最终降至 -40℃ 下，以便提高油气回收率。此技术所回收的油品纯度较高可直接回输至生产系统。但也存在一定的不足，能耗长居高位状态，尤其是在深度冷凝环节中，更是需要消耗诸多电能。

3.3 膜分离法

膜分离法的基本原理是利用了特殊的高分子膜对油气中烃类分子的优先透过性的特点，让油气 / 空气的混合气在一定的压差推动下，经选择性透过膜，使混合气中的油气优先透过膜得以富集回收，而空气则被选择性的截留。

3.4 吸附法

吸附法顾名思义，主要是充分依托吸附剂对油气组分强吸附效用快速完成油气混合气内烃类组分吸附，持续累积，直到吸附剂达到指定饱和状态后，便会借助脱附过程将油气组分完全解析。

3.5 组合工艺技术

目前单一油气回收技术应用局限性愈发明显，以上文所提到的多种技术为例，吸收法效率普遍较低，膜分离法膜的分离性能会随时间衰减且对轻质组分回收效果受限，吸附法吸附剂则极易处于饱和状态。因此，为更有效地突破单一技术工作短板，助力油气回收率肉眼可见提升，组合工艺技术的应用成为大势所

趋、目前较为常见的组合工艺技术主要包括冷凝+吸附,吸收+膜等。

冷凝+吸附组合工作时,油气混合气首先会进入冷凝装置,作多级冷凝处理。此时绝大部分油气组分会顺利凝结,并实现液态回收。至于未顺利凝结的油气,再依次进入吸附塔内,最大程度利用吸附剂,以此为“介”,快速将剩余烃类组分吸附,从根本上保障尾气排放浓度更为可控;吸收+膜工艺,则主要提倡分段式处理。一方面,主要是利用吸收法快速对浓度较高的油气进行处理。另一方面,则充分利用膜分离法对浓度相对较低的油气进行高效分离。此工艺在油气浓度波动较大场景十分适用,可切实保证处理效率处于理想状态^[4]。

4 油气回收技术效益

4.1 环境效益

油气回收技术最为突出的核心效益,便是有利于环境的改善。在技术的加持下,能从源头上削减油气挥发量的同时,亦能合理降低烃类污染物向大气环境的具体排放强度,并减少次生环境问题(如:光化学烟雾、臭氧污染)发生概率。总而言之,在助力石油行业可持续发展方面有着现实意义。

4.2 经济效益

石油产品本身就具有极高的经济价值,而在油气回收技术的有效应用下,便能够大程度减少挥发量,快速将挥发油气逐渐转换为液态油品,直接回输至生产系统或销售系统,为企业增添更多油品产量,助力经济效益更为可观。除此之外,在技术的顺利落地下,还可直观降低企业环保处罚风险,从根本上避免受油气持续超标排放影响,而产生的具体罚款支出。

4.3 社会效益

随着绿色化、环保化发展理念的日益深入,企业环保表现已逐渐成为社会各界的关注焦点。而在油气回收技术的有效应用下,便能够通过油气挥发污染的主动性控制措施落实,直观彰显企业环保担当意识,真正助力企业社会公信力以及对外形象提升,为企业长远可持续发展奠基。

5 目前存在的问题

5.1 技术问题:设备可靠性、能耗

一方面,设备可靠性问题属于技术落地应用不可小觑的关键技术问题代表。部分油气回收设备在长期投入使用后,将极易受油气杂质影响,而出现故障。如冷凝法中换热器极易被油污堵塞,致使换热效率长期处于低位状态。又如膜分离法膜组件,极易受污染而致使渗透性能大打折扣。总而言之,一旦设备出现故障,除了会对油气回收系统正常运行效率造成影响

的同时,也会在一定程度上致使设备维修成本不可控增加。另一方面,能耗过高也属于突出性技术问题。冷凝法更是如此,为保障深冷效果理想,不得不消耗诸多电能,在一定程度上致使运作成本居高不下。

5.2 经济问题:投资高、经济回报率低

其中,设备投资成本高属于制约技术普及应用的关键经济因素。无论是单一技术还是组合技术,设备购置、安装调试等工作前期投资均较大,这对于中小型企业而言,极易因很难承受高额投资,而致使技术应用受阻。此外经济回报率低也属于另一较为典型的经济现象。通常情况下油气回收系统经济收益多依赖于回收油品的具体价值。但整体的价值却极易受油气浓度、流量以及设备具体性能等影响,而发生波动。

5.3 管理问题:运行维护要求

油气回收系统运维要求严苛,需要专业且成熟的技术人员及完备管理体系支撑。但结合目前管理现状来看,就存在诸多不足。不仅缺乏专业运维人员,而且管理体系也较不完善,缺乏常态化运行监测机制。长久以往受重安装、轻运行等模式制约,势必会使得技术效果发挥大打折扣。

6 结论与展望

综上所述,装卸储运系统中的油气挥发问题对现实影响严重,会导致大气污染、加剧温室效应同时,亦会危害人体和生态环境“健康”。而此时,国家及地方出台的相关环保法规,则为油气回收技术应用提供了坚实保障。实践证明,吸收法、冷凝法、膜分离法等技术,实用优势明显,能实现油气有效回收,并带来显著的环境、经济、社会效益。但不容忽视的是,技术在应用过程中仍面临一定问题。因此,未来阶段,为保障主流油气回收技术落地见效,大力从技术、经济、管理等维度出发,以问题有效解决为工作主线,制定针对性强的技术应用优化方案势在必行。相信随着问题的有效解决,多元油气回收技术势必会在行业内顺利实现规模化普及,真正助推油气回收率再提升一个高度。

参考文献:

- [1] 杜佳明. 油气回收新路径——储罐连通技术的实践与风险应对 [J]. 中国石油和化工, 2025(3):72-74.
- [2] 邱豪. 油气回收技术在油气储运中的高效应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025,45(10):152-154.
- [3] 张芸聪. 油气储运中油气回收技术的应用分析 [J]. 中国设备工程, 2025(07):216-218.
- [4] 王轩滨. 油气储运中油气回收技术的发展与应用初探 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024,44(24):163-165.