

石化企业储运系统油气回收处理技术应用探讨

李冉冉（山东鲁健安全技术有限公司，山东 济南 250000）

续文振（山东天力能源股份有限公司，山东 济南 250000）

摘要：石化企业储运系统是石化生产的重要组成部分，在原油和成品油的储存、装卸、运输过程中不可避免地产生一定量的油气泄漏，油气泄漏不仅造成资源浪费，还会污染环境，危害人体健康，加强储运系统油气回收处理技术的应用是实现节能减排、绿色发展的必然要求。本文分析了石化企业储运系统油气回收的重要意义，阐述了储运系统主要环节的油气排放特点，对比了几种主要的油气回收处理技术，并结合案例分析，为石化企业储运系统油气回收处理技术的应用提供参考。

关键词：石化企业；储运系统；油气回收；VOCs 治理；绿色发展

中图分类号：TE88

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）024-0109-03

Discussion on the Application of Oil and Gas Recovery Treatment Technology in the Storage and Transportation System of Petrochemical Enterprises

Li Ranran (Shandong Lujian Safety Technology Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, Chian)

Xu Wenzhen (Shandong Tianli Energy Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, Chian)

Abstract: The storage and transportation system of petrochemical enterprises is an important part of petrochemical production. During the storage, loading, unloading and transportation of crude oil and refined oil, a certain amount of oil and gas leakage will inevitably occur. Oil and gas leakage not only leads to resource waste, but also pollutes the environment and endangers human health. Strengthening the application of oil and gas recovery treatment technology in the storage and transportation system is an inevitable requirement for achieving energy conservation, emission reduction and green development. This paper analyzes the significance of oil and gas recovery in the storage and transportation system of petrochemical enterprises, expounds the characteristics of oil and gas emissions in the main links of the storage and transportation system, compares several main oil and gas recovery treatment technologies, and provides a reference for the application of oil and gas recovery treatment technology in the storage and transportation system of petrochemical enterprises through case analysis.

Keywords: Petrochemical Enterprises; Storage and Transportation System; Oil and Gas Recovery; VOCs Governance; Green Development

石油化工是国民经济的重要支柱产业，在推动工业化、现代化进程中发挥着不可替代的作用，然而，石化生产过程中产生的 VOCs（挥发性有机物）排放也日益引起社会的广泛关注。储运系统作为石化生产的重要组成部分，油品在储存、装卸、运输等环节都会不同程度地释放油气，不仅造成资源浪费，还会污染环境，危害人体健康。

1 石化企业储运系统油气回收的意义

1.1 减少油气泄漏，节约资源

储运系统是石化企业油品周转的枢纽，在原油和成品油的储存、装卸、运输等环节，都不可避免地伴随着不同程度的油气泄漏，据测算，一个 5 万 m³ 的内浮顶储罐，每年约有 120t 油品因泄漏而损失，而在油品装卸车过程中，每装卸一吨汽油就有 1.5kg 左右的油气泄漏，储运过程的跑冒滴漏现象普遍存在，油品损耗严重。随着国内成品油需求持续增长，油品周转量不断攀升，再加上国际油价居高不下，储运系统

的油气泄漏造成的资源浪费问题日益突出，亟待引起重视，积极采用先进的油气回收处理技术，对储罐、装卸设施等逸散的油气进行收集处理，变废为宝，可大幅降低油品损耗，节约宝贵的石化资源。

1.2 降低环境污染，履行社会责任

储运系统泄漏的油气主要成分为 VOCs，包括烷烃、烯烃、芳香烃等，是形成光化学烟雾和 PM2.5 的重要前体物，具有较强的光化学反应活性，据生态环境部的测算，在石化行业 VOCs 排放中，储运环节的无组织排放占比高达 60% 以上，一旦泄漏的油气扩散到环境中，会危害大气环境质量，产生臭氧和二次有机气溶胶，加剧城市“烟霾”污染。同时，这些有机污染物大都有毒有害，对人体健康构成威胁，长期接触高浓度的油气，会刺激皮肤黏膜，严重者还会危及神经系统。

1.3 提高经济效益，实现绿色发展

加强储运系统油气回收治理，不仅仅是社会责任

和环保要求,更蕴藏着巨大的经济效益。一方面,通过油气回收再利用,可大幅降低油品损耗,节约原辅料成本,据统计,炼油企业的原料损耗率每下降1个百分点,就可为企业创造上千万元的经济效益。另一方面,油气回收产生的凝析油、稳定轻烃等产品附加值高,经深加工转化可生产出更多高附加值产品,带来可观的经济回报,主动开展油气回收,可减轻环保压力,降低环保处罚风险,避免因环境违法造成的经济损失,伴随“碳达峰、碳中和”目标的提出,工业领域节能减排进入新阶段。

2 储运系统油气回收主要环节及排放特征

2.1 储罐类型和存储过程油气排放特点

储罐是石化企业储运系统的核心设施,主要有固定顶储罐、外浮顶储罐、内浮顶储罐等类型,不同类型的储罐油气排放特点各异。储存期间,随着昼夜温差变化引起的“大小呼吸”现象,是储罐排放油气的主要原因,固定顶储罐密闭性好,但顶部无气体导出装置,小呼吸损失严重,浮顶罐采用浮顶随液面升降,罐体与浮盘间采取密封措施,大小呼吸损失较小,但不可避免地存在片式密封点、支腿和导向装置处的泄漏^[1]。

2.2 装卸车过程油气排放特点

装车 and 卸车过程是油气排放的又一个重要环节,装车过程中,随着液位的下降,罐车和储罐内形成真空,大量含油蒸气被“呼”入罐内,装车结束后挥发的油气又随“呼”吸阀排空,造成大量油气泄漏,据测算,每运送1吨汽油,约有1.5千克油气泄漏。卸车过程与装车类似,储罐内压力变化将引起大量油气从压力真空阀排入大气,由于装卸过程油气浓度高、压力大,泄漏量远高于储存阶段,且作业点分散,逸散速度快,给回收带来挑战,同时,装卸鹤管、快速接头等连接点也是跑冒滴漏的易发部位,存在一定火灾爆炸风险,装车油气排放具有瞬时性强、流量大、浓度高的特点,需引起高度重视^[2]。

2.3 管线输送过程跑冒滴漏风险分析

管线输送是储运系统的重要组成部分,输送过程也不可避免存在跑冒滴漏风险,由于管道密闭,正常情况下管线输送的泄漏量较小,但一旦发生泄漏,后果严重,危害巨大。管道接口、法兰、阀门等连接部位容易老化破损,形成跑冒滴漏点,管道表面的腐蚀减薄、磨损等也可导致泄漏。施工作业不慎、人为破坏等意外因素也会引发管线泄漏事故,泄漏油气具有流动性强、方向多变、扩散迅速的特点,不易及时发现和处置,极易引发次生事故,加之石化企业管道多数设于地下,泄漏点不易被发现,存在较大安全隐患。

3 油气回收处理技术的分类与特点

3.1 冷凝吸附法

冷凝吸附法是目前石化行业应用最为广泛和成熟的油气回收技术之一,其基本原理是利用活性炭等多孔性吸附剂材料对油气中的烃类进行吸附富集,再通过解吸、冷凝等过程实现油气的回收和循环利用,典型的冷凝吸附装置由吸附器、冷凝器、真空泵等关键设备构成。油气回收过程中,含烃油气首先进入预冷器进行降温,重质烃类物质被冷凝分离,轻质油气则进入活性炭吸附器,在常温常压条件下被活性炭等吸附剂捕集,当吸附剂达到饱和状态后,再通过真空解吸、冷凝过程,将附着在吸附剂上的烃类物质脱附、冷凝,实现油气的收集和吸附剂的再生循环,冷凝吸附法具有净化效率高、工艺流程简单、系统运行稳定可靠等显著优点,采用活性炭吸附工艺可回收85%以上的油气,经冷凝后可回收80%以上的液态烃类产品。同时,该工艺能耗相对较低,设备投资省,运行成本低,因而深受石化企业的青睐,但该技术也存在一些不足之处,主要是活性炭吸附剂使用寿命较短,需要频繁更换,导致运行费用较高,活性炭吸附剂再生过程中易产生一定的二次污染问题,需要引起重视^[3]。

3.2 膜分离法

膜分离技术是近年来兴起的一种新型油气回收方法,其核心原理是利用特殊高分子材料制成的膜,对油气中的烃类和非烃类组分进行选择性的渗透分离,从而实现油气的高效分离和富集。在膜分离油气回收过程中,含烃油气首先经过预处理装置去除一些固体杂质和颗粒物,再进入膜分离器进行分离,在压力差的作用下,油气中的小分子烃类物质优先透过膜孔,排出得到富集的烃类油气,而氮气等非烃类杂质则被膜截留,最终实现烃类和非烃类的高效分离,与传统的油气回收工艺相比,膜分离油气回收装置集成度高,设备体积小,占地面积少,自动化控制水平高,运行管理相对容易,且膜分离过程无需额外的二次能源输入,可在较宽范围的操作压力和温度条件下连续稳定运行,膜组件使用寿命较长^[4]。

3.3 吸收法

吸收法是一种传统的油气回收方法,其原理是利用吸收剂与油气混合,使油气中的烃类被选择性吸收,再经解吸、冷凝实现油气的分离,吸收剂的选择至关重要,要求吸收容量大、选择性强、化学性质稳定、价格低廉。常用的吸收剂有煤油、柴油等有机溶剂和聚乙二醇等含氧有机化合物,吸收装置主要由吸收塔、解吸塔、热交换器等构成,油气自塔底进入吸收塔,与塔顶喷淋而下的吸收油逆流接触,轻烃被吸收,塔

顶排出不凝气,富油再经解吸塔加热、闪蒸,轻烃从塔顶排出,经冷凝回收。该工艺技术成熟,工艺简单,运行维护方便,吸收法可回收 90% 左右的油气,回收率较高,但其缺点是能耗大,吸收油易老化变质,需定期更换,运行成本高,且解吸再生过程易产生废液、废气等二次污染^[5]。

3.4 蒸汽喷射真空法

蒸汽喷射真空法是利用高压蒸汽喷射产生负压,抽吸储罐或装车过程排出的油气至真空系统,实现油气的快速抽除和收集,该方法工艺简单,设备投资省,运行维护方便,其主要设备为蒸汽喷射器,利用高压蒸汽在喷嘴处产生高速射流,形成负压区,油气在负压作用下被抽入喷射器,再经冷凝器冷凝、气液分离,轻烃液化回收。蒸汽喷射真空装置能快速抽空系统,使罐内保持微负压状态,显著降低了储罐和装车过程的油气泄漏量,该装置启动迅速,可实现油气的连续抽吸和回收,运行稳定可靠,但能耗较高,蒸汽消耗量大,真空度难以保证,回收效率略低于其他方法。

4 石化企业储运系统油气回收技术应用案例

案例一: A 石化公司成品油罐区油气回收治理

A 石化公司是国内大型炼化一体化企业,拥有 500 万吨/年炼油能力,其成品油罐区内共有 20 座内浮顶储罐和 5 座固定顶罐,存储汽油、柴油、航煤等产品。储罐呼吸、装车灌注等过程油气泄漏量大,VOCs 在线监测频频报警,成为企业的环保“顽疾”,为有效控制储运油气排放,提升企业绿色竞争力,公司决定全面实施油气回收治理。

治理思路:本着“源头削减、过程控制、末端治理”的原则,采取全过程、系统化治理,储存环节,在内浮顶罐顶部加装高效密封装置,替代原密封结构;对固定顶罐改造为内浮顶罐,并配套氮封装置,装车环节,汽油、航煤罐车全部安装油气回收鹤管,并连锁装车栓,油气收集后,采用“冷凝+活性炭吸附”工艺进行回收处理,冷凝部分送往气柜回用,尾气经活性炭吸附后达标排放。同时,在罐区和装车栈台安装 VOCs 在线监测预警系统,实现泄漏的早发现、早处置。

治理成效:油气回收系统运行两年来,VOCs 去除率稳定在 95% 以上,经第三方检测,罐区非甲烷总烃周界浓度由 $8.6\text{mg}/\text{m}^3$ 降至 $0.7\text{mg}/\text{m}^3$ 以下,远低于国家标准限值 $4.0\text{mg}/\text{m}^3$ 。储罐呼吸损耗降低 90%,装车油气回收率达 97% 以上,项目年减少 VOCs 排放 300 余吨,回收汽油 200 余吨,经济效益与环境效益显著,实现了污染防治、节能减排、绿色发展的多赢目标。

案例二: B 石化公司原油装卸油气回收利用

B 石化公司位于环渤海湾,原油主要通过海上输

送,码头年吞吐量超过 2000 万吨,日均周转量 5 万余吨。伴随装卸作业产生的大量含烃气体,若任其排空,不仅污染环境,而且极易引发火灾爆炸事故,为加强 VOCs 污染防治,消除装卸作业安全隐患,公司对原油装卸系统实施油气回收治理。

治理思路:在装船和卸船码头分别建设油气回收装置,对原油装卸过程逸散的含烃气体进行收集处理,油气收集管网与原油管道并行敷设,在装卸鹤管和油船舱口加装油气回收快速接头。油气经预冷器冷凝后进入油气分离罐,凝析油回用,剩余气体进入活性炭纤维吸附装置进一步净化,最终通过真空泵增压输送至制氢装置,吸附剂定期采用蒸汽解吸再生,整套油气回收装置实现全密闭、自动化运行。

治理成效:该项目油气回收率达 98% 以上,年回收油气 150 万 m^3 ,日回收凝析油近 30t,同时实现油气就地利用,日产氢气 3 万 m^3 ,替代了原有的重整制氢工艺。经环保部门检测,非甲烷总烃排放浓度由 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 以上降至 $3\text{mg}/\text{m}^3$ 以下,远优于国家标准,项目有效削减了 VOCs 排放,大幅提高了资源利用效率,取得了显著的环境效益和经济效益。

5 结语

当前,石化行业正处于转型升级的关键时期,面对日益严格的节能减排形势,石化企业肩负着绿色发展的时代重任,油品储运作为 VOCs 控制的重点领域,强化储运油气回收治理势在必行,这不仅是企业履行环保责任的需要,更是实现减量化、再利用、资源化的内在要求。石化企业应立足自身实际,遵循技术可行、经济合理、便于操作的原则,选择适宜的油气回收处理工艺,并优化工艺路线、改进设备设施,不断提高油气回收率和资源化利用水平。多管齐下、标本兼治,能真正把储运油气排放降到最低,以实际行动书写石化工业绿色发展的崭新篇章。

参考文献:

- [1] 张姝婉. 装车系统油气回收治理技术的应用探讨 [J]. 当代化工, 2022, 51(10): 2496-2499.
- [2] 刘晴, 赵得强, 李京, 等. 油气储运中油气回收技术的发展与应用探讨 [J]. 化工安全与环境, 2023, 36(11): 56-58.
- [3] 郭玮, 李钊. 油气回收系统在石油库的应用研究 [J]. 油气储运, 2024(4): 256-258.
- [4] 王冠鹏. 油气储运中油气回收技术的应用 [J]. 石油石化物资采购, 2024(14): 133-135.
- [5] 刘大巍. 新建加油站工艺及三次油气系统工艺的应用探讨 [J]. 电脑采购, 2023(4): 157-159.