

油品装车过程油气回收工艺研究

丁玉林（国家能源集团宁夏煤业公司煤制油分公司，宁夏 银川 750000）

摘要：本文分析了油品装车油气回收现状与风险，系统梳理吸收法、冷凝法、吸附法、膜分离法四种主流技术的原理与操作流程，结合某企业集成工艺案例，深入探究组合工艺的工作原理、结构功能及应用效果。结果表明，我国油气回收行业虽历经多年发展，但受管理、技术、规模等因素制约仍有较大的发展空间，油品装车油气回收需结合实际工况采用多技术集成组合模式，才能有效解决资源浪费、环境污染与安全风险问题，推动油气回收行业向高效、经济、环保方向发展。

关键词：油品装车；油气回收；工艺技术

中图分类号：TE89

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）031-0087-03

Research on Oil and Gas Recovery Technology during Oil Loading Process

Ding Yulin (National Energy Group Ningxia Coal Industry Company Coal to Oil Branch, Yinchuan Ningxia 750000, China)

Abstract: This article analyzes the current situation and risks of oil and gas recovery during oil loading. It systematically sorts out the principles and operating procedures of four mainstream technologies: absorption, condensation, adsorption, and membrane separation. Combined with an integrated process case of a certain enterprise, it deeply explores the working principle, structural function, and application effect of the combined process. The results indicate that although China's oil and gas recovery industry has developed for many years, there is still significant room for development due to factors such as management, technology, and scale. The oil and gas recovery of oil loaded vehicles needs to adopt a multi-technology integrated combination mode based on actual working conditions in order to effectively solve the problems of resource waste, environmental pollution, and safety risks, and promote the development of the oil and gas recovery industry towards high efficiency, economy, and environmental protection.

Keywords: oil product loading; Oil and gas recovery; Process Technology

1 油品装车过程油气回收现状及风险

1.1 油气回收现状分析

汽油作为石油的轻质馏分，其轻组分在常温下具有较高的蒸气压，因而极易挥发。在汽油的生产、销售及使用过程中，这些轻组分不可避免地会以挥发损耗的形式逸散到大气中。油品蒸发不仅导致油品数量减少、资源浪费、品质降低，还存在火灾风险和人身安全威胁。

更严重的是，大量油气进入大气层，严重污染环境，同时带来重大安全隐患。我国从“十一五”时期开始，陆续通过应用鼓励、试点推动、标准完善等工作，推动油品码头油气回收，后续各地陆续大力推进加油站、油库及油品码头的油气回收改造工作^[1]。

目前多数加油站已完成一次、二次油气回收改造，如桂林地区，年销售量达5000t（含）以上的加油站已实现24h油气回收联网监测。而部分码头完成了油气回收系统建设，如大连港石化有限公司的码头油气回收装置通过试运行，经检测，汽油、石脑油装车作业尾气非甲烷总烃排放浓度小于10g/m³，油气回收设施处理效率大于95%，符合国家标准要求。

然而，油气回收行业虽然历经了三十年的历程，由于油气回收行业管理落实难度较大、技术改革进展

慢、规模效应形成迟缓等原因，该行业至今仍然有较大的发展空间，整体回收优化工作推进进程依然缓慢。

1.2 存在风险

油品装车是将储油罐中的汽油、柴油等油品，通过特定设备转移至油罐车、火车槽车等运输载体的过程。在这一过程中，一般会做好流速控制、静电接地、设备检查等常规安全控制措施。但因设备老化、操作不规范等因素，依然存在几个主要风险点。

一是火灾爆炸风险。汽油油气密度通常在2.2~3.1kg/m³，远超空气标准密度1.1kg/m³，容易贴近地面聚集。在装车过程中，如果油气挥发积聚，遇到明火、静电火花或高温等点火源，极易引发火灾甚至爆炸。

二是泄漏风险。鹤管、阀门、管道等装车设备，长期使用会出现老化、腐蚀、磨损现象，密封性能下降，从而导致油品泄漏。此外，装卸接头未连接牢固、超压充装等操作不当的措施也易引发泄漏^[2]。

三是氧含量超标风险。油气回收入口混合气体氧含量应不大于8%，并需配置氮气惰化设施。实际中，因装油罐车内部原有空气、罐车密封性不足等因素，多数油气回收装置存在在油气爆炸极限范围内运行的情况，安全风险高。

2 油气回收类型

目前国内外油气回收技术从原理上大致可分为吸收法、冷凝法、吸附法及膜分离 4 种类型。

2.1 吸收法

由于油气主要成分是烃类物质，在化学结构上与吸收剂同属非极性分子类型，分子间易形成范德华力，因此油气在吸收剂中的溶解度要明显强于空气。在油品装车中使用吸收法，需要先在油罐车装车鹤管处设置集气罩或密封接头，将装车时挥发的油气通过负压风机吸入吸收塔。随后，油气进入吸收塔内与自上而下喷淋的吸收剂充分接触，在填料层的作用下，油气与吸收剂形成巨大接触面积，油气中的烃类分子快速溶解到吸收剂中，而空气因溶解度低从吸收塔顶部排出。吸收了油气的富油吸收剂则进入解吸单元，通过加热、减压或气提等方式，使溶解的油气从吸收剂中分离出来，分离后的油气可进一步冷凝为液态油品回收利用，再生后的贫油吸收剂则通过循环泵重新输送至吸收塔，实现吸收剂的重复使用^[3]。

2.2 冷凝法

其工艺原理是利用烃类物质与空气成分在不同温度下饱和蒸气压存在差异的特性，采取逐步降温、加压的方式，使油气中的烃类分子处于过于饱和的状态，进而逐步实现油气从气态到液态的相变分离。冷凝法能够直接将装车过程中挥发的油气转化为液态油品，有效减少油气排放造成的资源浪费与环境影响，且回收产物纯度较高，可直接回用于生产或销售。不过，冷凝法要达到理想的回收效率，需要采取多级冷凝工艺，适用于高浓度、低温、小风量废气处理，需配合冷冻设备使用。冷凝方式有直接冷凝和压缩冷凝两种。为了提升冷凝的效果，直接冷凝往往采用多级连续降温的模式，以此降低挥发性废气的温度，促使废气凝结为液体形态并完成分离工作，这类回收设备便是运用冷凝法设计而成的，一般其冷凝温会根据预冷、机械制冷、液氮制冷等环节来进行调控。而冷凝设备出口处挥发气的温度数值，需按照挥发气的成分、预期回收率以及排放至大气的尾气许可含量来判定^[4]。

2.3 吸附法

利用多孔性固体吸附剂对油气中烃类物质的选择性吸附能力，实现油气与空气分离，基于吸附剂的表面物理吸附作用。吸附剂内部存在大量微孔与介孔结构，形成巨大的比表面积，油气中的烃类分子因分子间引力被吸附在吸附剂表面，而空气分子因吸附力较弱可直接穿透吸附剂床层。操作时要在油罐车装车鹤管处设置密封集气罩，通过引风机将装车时挥发的油气混合物引入吸附塔。油气进入吸附塔后通过填充有吸附剂的床层，烃类物质被吸附剂捕获，净化后的空

气经塔顶排放。当吸附剂达到饱和状态时，系统自动切换至另一座备用吸附塔继续吸附，同时对饱和吸附塔进行脱附再生，通过通入热氮气加热吸附剂，使吸附的烃类分子脱附解析，形成高浓度油气。解析出的高浓度油气随后进入冷凝单元，经降温冷凝转化为液态油品，收集后回输至储油罐。脱附再生后的吸附剂冷却至常温，等待下一周期的吸附操作，持续实现油品装车过程中的油气回收^[5]。

2.4 膜分离法

膜分离法是利用高分子膜对油气中烃类物质与空气的选择性渗透差异，实现二者分离的新型回收技术。基于膜对油气中的烃类分子渗透速率远高于空气分子的效应，当油气混合物在压力差驱动下通过膜组件时，烃类分子快速穿透膜层进入渗透侧，空气分子则因渗透阻力大被截留于截留侧，从而完成油气与空气的分离。膜分离法无需添加吸收剂或吸附剂，避免了二次污染与耗材更换成本，且设备模块化程度高、占地面积小，能适应油品装车时油气浓度动态变化的需求，同时运行过程无高温或高压风险，安全性较高。油品装车时在油罐车装车鹤管处安装密闭集气装置，通过压缩机将挥发的油气混合物加压至 0.3~0.8MPa，同时经前置过滤器去除油气中的粉尘、水分与重质油雾，防止膜组件堵塞或损坏。加压后的油气混合物进入膜分离单元，通过由数百根中空纤维膜组成的膜组件，烃类分子穿透膜壁进入渗透侧，形成高浓度油气，截留侧的洁净空气则经压力调节后达标排放。

3 案例分析

上述四种油气回收技术各有特点，当下油品装车对回收效率、环保标准、运行成本的综合需求不断提升，单一的油气回收工艺和方法无法满足复杂工况下的高效、经济、达标要求，结合实际生产工况进行多种技术的集成组合，才是未来油气回收的主流发展方向。根据生产现场装车系统所存在的油气泄漏情况，某家企业采取了上装鹤管气动锁紧式密封升级的方法，利用气动装置对密封组件与罐车进料口进行自动压紧密封，大幅减少装车初期的油气挥发。同时增设“脱硫+冷凝+吸附”技术组合的油气回收系统，先经脱硫单元去除油气中腐蚀性杂质，再通过冷凝单元将高浓度油气初步液化回收，最后用吸附单元处理剩余低浓度油气，使整体油气回收率大幅提升，排放浓度符合国家最新环保标准^[6]。

3.1 工作原理

该系统主要有油气收集、脱硫、冷凝、凝析油回送、吸附以及机组自控等 6 部分，经由密闭装车鹤管对油罐车装车口进行密封，使装车时挥发的油气被完全收集，随后油气经管道进入分离罐，初步分离出可

能夹带的少量液滴,油气进入脱硫罐,通过内部填料与脱硫剂充分接触,脱除其中含有的硫化氢等腐蚀性硫化物。完成脱硫后引风机将油气送入多级冷凝系统。前置级冷凝器先把油气冷却至 10°C ,使部分高沸点烃类冷凝成液态;未冷凝的油气继续进入一级冷凝器,在 -35°C 环境下更多中沸点烃类被冷凝,剩余油气进入二级冷凝器,在 -70°C 的深冷条件下,低沸点烃类也大量冷凝为液态,这些冷凝得到的液态烃类汇集到储液罐,最终被送去回收利用。经过多级冷凝后,仍有少量未冷凝的油气进入吸附单元。吸附单元包含A1、A2、B1、B2四个吸附罐,内部填充有高效吸附剂。油气通过吸附罐时,其中残留的烃类分子被吸附剂表面的微孔捕获,而空气等不易被吸附的组分则穿过吸附罐。当吸附罐内吸附剂接近饱和时,通过真空泵进行抽真空脱附,使被吸附的烃类解吸出来,解吸后的高浓度油气可再次返回冷凝系统处理,实现吸附剂的再生与循环利用。

3.2 结构功能

鹤管密封装置作为系统密封的关键部件,由密封罩、垂管、锁舌机构、锁紧构件及弹性密封垫构成。当垂管探入油罐车的进料口时,会带动密封罩随垂管同步下移,此时密封罩内的锁舌机构受力状态发生改变,在弹簧弹力的作用下,锁舌会快速弹出并卡紧油罐车进料口边缘,产生初步密封效果,防止油气从进料口与垂管的间隙泄漏。同时锁紧构件随之张开,并对密封罩内侧的弹性密封垫进行均匀施压,在压力作用力趋势下,弹性密封垫会发生弹性形变,紧密贴合油罐车进料口的外壁与垂管的外壁,进而推动密封界面形成无间隙的密封状态,彻底阻断油气泄漏的通道。待锁紧构件完成收缩的过程后,会与罐车口内壁逐渐脱离,之前所产生的夹紧力也随即消失,密封装置与罐车口也就自然分开。这时作为垂管部分的密封装备可从罐口抽出,操作人员再将鹤管恢复到原来的位置。

3.3 工艺应用效果

改造后的油气回收系统,能够很好的解决传统工艺油气泄漏多、回收效率低的问题,实现装车过程油气的高效收集与净化处理。高浓度油气始终在密闭管道与设备内流转处理,整个过程处于低温、低压状态,不会与空气过度混合形成可燃混合气,更不会产生高温燃烧的现象。活性炭吸附系统一直处于常温运行状态,整个处理过程中油气组分始终不接触氧气、明火等助燃物质,从源头规避了火灾爆炸风险,整体安全性能显著提升。该系统的节能效果同样突出,采用“冷凝+吸附”组合工艺,能够很好的发挥两种技术的互补优势:利用冷凝单元先对高浓度油气进行初步液化

回收,减少后续吸附单元的处理负荷,同时将冷凝过程中产生的多余冷量通过换热装置回收利用,用于预冷待处理的油气,有效解决了传统冷凝工艺冷量浪费的问题,降低了制冷系统的能耗损耗。此外,系统控制精度高,通过智能传感器实时监测油气浓度、温度、压力等关键参数,自动调节冷凝温度、吸附单元切换频率及密封装置压力,确保各环节运行参数稳定在最优区间,避免因参数波动导致回收效率下降或能耗增加;且设备使用寿命长,其中制冷系统采用高效压缩机与耐腐蚀换热器,设计使用寿命为20a以上,活性炭吸附单元选用高强度、高吸附容量的颗粒活性炭,经定期再生维护后使用寿命可达5a以上,大幅减少了设备更换频率与运维成本^[7-8]。

4 结语

综上所述,油品装车过程油气回收工艺的研究明确了四种主流回收技术的特性,且通过企业案例验证了多技术集成组合的优势。随着环保与安全标准的持续提升,油品装车油气回收工艺需进一步优化技术集成模式,加强智能化管控技术应用。通过不断完善工艺细节、降低运维成本,油气回收工艺将更好地平衡环保、安全与经济效益,为我国能源行业绿色可持续发展提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 滕欣,李阳,刘晨曦,管浩然.油气储运系统中的油气回收技术[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(11):157-159.
- [2] 廖昌建,王晶,任增辉,刘世达,谢娜,王海波.油品装车期间排气治理技术研究[J].石油炼制与化工,2022,53(07):99-104.
- [3] 颜夕仁.仓储罐区油品装车油气回收工艺探讨[J].合成技术及应用,2022,37(01):21-23+29.
- [4] 赵锋,张芯,郭洪涛,黄聪.关于油品装车油气回收运行安全性的研究[J].当代化工研究,2021,(20):33-34.
- [5] 苏鲁书,周正阳,宫吉超.新型油气回收技术在油品装车中的应用[J].炼油与化工,2021,32(03):36-40.
- [6] 郝丽娜,孙志刚,王亮.油气回收吸收法工艺技术研究进展与经济性分析[J].化工环保,2023,43(02):156-161.
- [7] 刘洋,陈建军,李强.基于冷凝与吸附组合的油气回收工艺优化研究[J].环境工程,2022,40(S1):145-149.
- [8] 张宏伟,王涛,魏明.油品装车油气回收系统安全风险评价及管控措施[J].安全与环境学报,2021,21(04):140-147.

作者简介:

丁玉林(1983-),男,回族,宁夏吴忠人,本科,中级工程师,研究方向:化工工艺安全。