

油气储运中油气回收技术的发展与应用

韩旭 (中海油惠州石化有限公司, 广东 惠州 516086)

摘要: 能源需求可持续发展的背景下, 油气作为重要的能源资源, 其储运过程中易发生挥发与泄露等问题, 这不仅会导致能源浪费, 会出现较大的经济损失。针对该现状, 当前有更多回收技术类型应用于实际储运工作中。本文探讨了油气储运中油气回收技术的发展现状、常用技术以及优化调整措施, 旨在通过探究, 能够为推动油气回收技术的进一步发展和应用提供参考。

关键词: 油气储运; 油气回收技术; 发展; 应用

中图分类号: TE83 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 006-0136-03

Development and Application of Oil and Gas Recovery Technology in Oil and Gas Storage and Transportation

Han Xu (CNOOC Huizhou Petrochemical Co., Ltd., Huizhou Guangdong 516086, China)

Abstract: Against the backdrop of sustainable growth in energy demand, oil and gas, as crucial energy resources, are prone to issues such as volatilization and leakage during storage and transportation. This not only leads to energy waste but also results in significant economic losses. In response to this situation, a greater variety of recovery technologies are now being applied in practical storage and transportation operations. This paper explores the current development status, common techniques, and optimization measures for oil and gas recovery in storage and transportation, aiming to provide references for further advancing and applying oil and gas recovery technologies through research.

Keywords: oil and gas storage and transportation; Oil and gas recovery technology; development application

油气资源储运过程中的安全、高效与环保问题当前受到更多人们的关注。在常规的油气储运过程中, 存在一定比例的油气蒸发和挥发损失, 若能将这些损失的油气有效回收并加以利用, 在庞大的油气市场中将会产生可观的经济效益。此外, 挥发的油气中含有多种有害物质, 其排放后容易威胁空气质量并对人体健康造成不利影响, 严重时会出现安全事故。所以, 当前应重视对油气回收技术的运用, 以更好解决油气储运过程中能源浪费、环境污染和安全隐患等问题。

1 储运中油气回收技术发展现状

在油气储运过程中, 油气主要损耗来源于气态烃类物质的挥发与蒸发。所以油气回收的核心目标在于利用物理或化学手段, 将挥发至空气中的油气从混合气体中进行有效分离, 并实现其冷凝液化甚至固化, 从而完成资源的回收与再利用。常规的油气运输和储存环节中, 虽然封闭式输送系统相对密闭, 但仍存在约 0.3% 的油气因微小泄漏或呼吸作用而发生蒸发损失; 而在油品加工、装卸作业、储罐倒装及车辆加注等开放性操作过程中, 挥发性损失更大。若能对这部分油气展开高效的回收和利用, 能够创造较高的经济价值与节能减排效益。

欧美、日本等发达国家在油气回收技术领域的起步较早, 政策法规完善且配套设备成熟。现阶段这些国家已在加油站、炼油厂以及储油库等关键节点广泛

部署了油气回收装置, 整体普及率超过 90%。依托先进的工艺流程、控制设备以及系统化的运行管理机制, 其油气综合损耗率已控制在 5% 以下。近年来, 我国在推动油气回收技术应用方面取得了较大的进展。当前国内多家大型石油企业已逐步推进油气回收系统的建设与改造。回收的油气总数不断增很多, 且所回收的油气中仍有高达 95% 的组分具备再次利用的价值, 这体现出油气回收在资源节约和环境治理方面的双重潜力^[1]。

从整体上来看, 我国在油气回收技术推广方面已初见成效, 但在技术覆盖率、系统运行效率及能耗控制等方面仍有较大的提升空间。未来应进一步借鉴先进的技术经验, 并持续优化技术路径, 从而构建起高效智能与低碳的现代化油气回收体系, 高效的展开油气回收工作。

2 常用油气回收技术分析

2.1 吸收法

吸收法作为一种基于物质在液相中溶解度差异的分离技术, 其基本原理是利用特定吸收剂对油气中烃类组分的选择性溶解能力, 将混合气体中的油从空气中提取出来。通过气-液两相接触, 可以使高挥发性有机物被富集于吸收介质中, 而未被吸收的氮气、氧气等惰性气体则经净化后排入大气。传统的吸收工艺多采用轻质油或专用有机溶剂作为吸收剂, 在常温常

压条件下运行,其整体回收效率一般介于60%~80%之间。近年来,随着低温强化吸收技术的发展和运用,通过降低操作温度来提高烃类在吸收剂中的溶解度,大大提升了传质效率与回收率,且该回收技术适用于中小型加油站及装车栈台等排放源的治理场景中^[2]。

2.2 冷凝法

冷凝法是目前应用最为广泛且技术相对成熟的油气回收方法类型,由于大多数碳氢化合物具有较高的饱和蒸气压和相对较高的液化温度,而空气的主要成分 N_2 、 O_2 等则需在极低温度下才能液化。所以可通过逐步降温的方法处理混合气体,当温度降至油气露点但高于空气露点时,烃类蒸气即可优先冷凝为液态,并与不凝气体进行有效分离。典型的冷凝法工艺通常采用多级制冷系统,以逐级降温至 $-70^{\circ}C$ 以下,以确保对低浓度油气的高效捕集。

该技术无需添加化学试剂,运行过程绿色环保,适合处理大流量、高浓度的油气混合物,尤其常见于炼厂、油库及大型装卸码头。但由于其能耗相对较高,前期投资大,且对于极低浓度油气的回收效率有限,所以在使用时可以同其他技术类型进行联用以保证处理效果。

2.3 吸附法

吸附法是利用固体吸附材料对不同气体分子间吸附亲和力的差异,实现油气中烃类物质的选择性富集。实际操作中,含有油气的混合气体通过装有活性炭、硅胶、分子筛等高效吸附剂的固定床层,其中的烃类分子因较强的范德华力或微孔填充效应被截留在吸附剂表面,而空气组分则顺利通过并排放。待吸附剂饱和后,可通过减压脱附或升温再生的方式释放所捕获的高浓度油气,并将其送入后续回收单元进行冷凝收集。相较于吸收法,吸附法的稳定性更强,运行时压降较小,能量消耗比较低,且不易产生二次污染。如活性炭真空变压吸附(VPSA)技术的运用,大幅提高了再生效率和循环使用寿命,技术方法的应用优势明显,适用于城市加油站、地下储罐呼吸气处理等分散式排放源的治理。

2.4 膜分离法

膜分离法在运用时可使用具有选择透过性的高分子复合膜材料,这类膜材料的微孔结构允许氮气、氧气等小分子气体快速透过,而对尺寸较大的烷烃、芳烃等烃类分子则存在较强的阻隔作用,即可以将气相混合物中的油气实现浓缩与分离。该技术具有结构紧凑、自动化程度高、无相变损耗等优势,且维护相对简便,特别适合与其他回收技术集成形成组合工艺。尽管单一膜分离过程的回收率受限于进气浓度和膜面

积,但其作为前端预浓缩单元,可以有效提升后续处理单元的负荷效率和经济性。随着高性能疏水性聚合物膜和纳米改性膜材料的研发进展,膜分离技术逐步朝着高效化、低成本化方向迈进^[3]。

3 优化调整油气回收技术的措施

3.1 采用多种技术的组合工艺

技术在使用时,将两种或多种油气回收技术有机结合,不仅有助于提高总体回收率,还能有效缓解单一设备的运行压力,延长关键组件的使用寿命,并显著降低系统能耗。如冷凝+吸附联合工艺的运用,即可以发挥两种技术的优势,提高尤其回收的质量。操作时首先可将含有挥发性烃类的混合气体送入多级制冷系统进行逐级降温,使大部分可凝组分冷凝为液体并被分离;随后,未完全冷凝的残余低浓度油气则进入后续的活性炭吸附单元,在低温环境下进一步富集残留烃类。

技术应用时前置冷凝可大幅减少进入吸附床的负荷,能够避免吸附材料因高浓度油气冲击而过早饱和。由于前段已实现深度冷却,吸附过程在较低温度下进行即有利于增强吸附剂对微量油气的亲和力,同时有效规避高温对活性炭结构的热老化影响,从而延长其再生周期和使用寿命。此外,冷凝阶段承担了主要的回收任务,显著降低了吸附系统的运行频率和真空脱附能耗,整体能效优于独立运行。

吸收+吸附集成工艺适用于加油站、装车栈桥及储罐区等间歇性排放源的治理场景。操作时首先可利用吸收塔对高瞬时浓度的油气进行初步捕集,再通过吸附单元完成尾气的深度净化。实际运行中,油气混合物在引风机作用下自下而上进入吸收塔,与此同时,专用吸收剂从塔顶喷淋而下,二者逆向接触即可以实现气液传质过程。在此过程中,大部分易溶于吸收剂的烃类成分被溶解带走,形成富油溶液,可供回炼或回收利用。

经过吸收处理后的尾气中仍含有一定量低浓度油气,直接排放难以满足现行排放标准。因此,需将其导入后续的吸附系统进行二次净化。通常采用固定床活性炭吸附装置,对剩余VOCs进行选择性的吸附。待吸附剂饱和后,借助真空解吸技术将吸附的烃类脱附出来,可生成高浓度解析气,最终经冷凝回收为液态油品。

针对油气排放浓度波动大、流量不稳定的工况特点,可以对“膜分离+吸附协同工艺”进行应用。在处理时,原始油气首先进入膜分离单元,在一定压力驱动下,空气等小分子气体优先透过选择性高分子膜,而烃类大分子则被截留并富集形成高浓度渗透侧气

流；该富集气流随后进入吸附床进一步提纯，最终实现油气的高效回收^[4]。

3.2 加大对油气回收装置研究的力度

3.2.1 降低系统综合能耗，提升能源利用效率

新时期应持续加大科研投入力度，以推动油气回收装置朝着高效化、节能化和智能化的方向发展，这是实现油气资源可持续管理的重要路径。能耗水平是评估油气回收工艺经济性与环境友好性的核心参数之一。以低温冷凝法为代表的主流技术虽具备较高的回收率，但其多级制冷过程依赖压缩机制冷循环，导致电力消耗显著，长期运行成本较高，严重制约了该技术在中小型站点的大规模推广。为此，必须从系统层面入手，优化能量传递路径，减少不必要的能量损耗。

首先，可加强对热交换过程中的保温隔热措施，重点对冷媒输送管道、蒸发器及低温反应腔体等关键部位实施高效绝热处理，可采用新型纳米气凝胶、聚氨酯发泡材料或真空隔热板等高性能保温结构，最大限度减少冷量散失，提高制冷系统的热力学效率。可以积极引入自然冷却理念，在设备散热单元设计中融合被动式风冷机制。例如，在冷凝机组的冷凝段加装导流风道与自然对流散热片，充分利用环境空气流动实现热量排放，替代部分机械风机强制散热功能，从而降低辅助设备的电耗，提升整体能效比（COP）。此外，还可探索将回收过程中释放的余热用于厂区供暖或预热进气，进一步实现能源梯级利用。

3.2.2 构建智能化控制系统，增强系统响应能力

为提升油气回收系统的运行效率与自动化水平，还应建立一套完整、高效的集成化控制体系。通过引入传感网络、PLC 可编程逻辑控制器及远程监控平台，实现对整个回收流程的闭环管理与动态调节。例如，在发油作业结束后，系统可通过压力变送器实时采集回气管线的压力变化信号，自动触发油气回收风机启动，无需人工干预即可完成气相平衡调节，确保卸油与回气过程同步协调。同时，针对驱动电机这一主要耗能部件，宜优先选用高效率节能型电动机，并配套安装变频调速装置（VFD）。根据实际工况需求来控制系统可动态调整风机、泵体等执行机构的转速，实现按需供能、精准调控的目标。

3.2.3 推进关键功能材料的研发与创新

当前亟需开展高性能吸附材料的改性研究，开发兼具强吸附能力、高选择性和良好循环稳定性的新型炭基或多孔材料。例如，通过表面化学修饰、金属掺杂或复合结构设计，提升其对 C4 ~ C8 烃类的选择性吸附容量；同时优化孔径分布，增强微孔填充效应，从而在较低浓度条件下仍保持优异的捕集效率。与此

同时，应加大对气体分离膜材料的基础研究和技术攻关。重点聚焦于开发具有高渗透通量、高选择性及良好耐温抗污性能的复合膜体系，以改善膜的机械强度与分离性能^[5]。

3.3 建立油库内部环境监测网络平台

为实现油品储运全过程的精细化管理和风险预警，有必要建设覆盖全库区的智能化环境监测网络系统。该平台应集成物联网感知层、数据传输层与上位机分析系统，围绕卸油操作、油罐储存及收发油作业三大关键环节，部署多类型传感器节点，以形成全方位、全天候的环境质量监控体系^[6]。

4 结语

综上所述，油气回收技术在油气储运领域具有至关重要的地位，其不仅关乎能源的高效利用与企业的经济效益，同环境保护和社会安全紧密相连。通过对油气回收技术发展现状的分析，能够看到虽然我国在油气回收技术普及方面取得了一定成果，但与发达国家相比仍存在一定差距，还应在新时期持续加强技术的探究和运用，以进一步提升油气回收技术水平。同时，常用的吸收法、冷凝法、吸附法和膜分离法等油气回收技术各有优劣，单一技术往往难以满足日益严格的排放标准和实际生产需求，所以在新时期应灵活运用多种技术的组合工艺以做好回收工作，并加大对油气回收装置的研究力度，积极建立油库内部环境监测网络平台，实现对关键环节的实时监测和预警。以从整体上提升油气回收系统的整体性能和安全性，为实现能源的可持续利用和环境保护起到积极促进作用。

参考文献：

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 崇钊. 油气储运中油气回收技术的应用分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(20): 176-178.
- [5] 刘晴. 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.
- [6] 季节. 油气回收技术研究及在某成品油库改造中的应用 [J]. 广州化工, 2023, 51(12): 35-37+41.

作者简介：

韩旭（1991-），男，辽宁阜新人，专科，初级职称，研究方向：油气储运。