

# 油气储运中油气回收技术的应用分析

滕孔先（国家石油天然气管网集团有限公司工程技术创新公司，天津 300450）

张凤桐（中国石油天然气管道工程有限公司天津分公司，天津 300450）

**摘要：**我国作为全球主要的传统能源生产与消费国，石油与天然气仍然占据着能源消费结构的重头地位。然而，在油气的储存与运输过程中，油品泄漏与挥发成为了避免不了的问题，需要大力应用油气回收技术来减少在油气储运中发生的能源损失问题，同时降低对环境的危害，实现能源的高效与绿色利用。本文从收发、运输以及储油环节详细探讨了油气储运环节中油气出现损耗的因素，并借助实际案例对油气回收技术的具体应用类型和优化措施进行了分析，发现油气回收技术的持续优化和应用能明显提高能源的利用效率，减少环境污染，还能为油气行业带来可观的经济效益。

**关键词：**油气储运；油气回收；技术应用

油气回收技术在我国的发展经历了从初步认识到高效实用的完善阶段，从2000年开始我国正式启动并实施了一系列环保法规，明确要求石油行业必须采用油气回收技术以减少环境污染，二次油气回收技术开始得到应用，主要通过物理方法捕集油气，稍有改进但仍旧效率不是很高。2008年随着技术进步和环保要求的提升，三次油气回收技术开始在国内外得到研究和推广。这一技术通过冷凝法、吸附法和膜分离法等更高级的技术手段，显著提高了油气回收的效率，并开始在部分先进地区和大型加油站得到应用。2013年我国开始实施《大气污染防治行动计划》，对油气回收技术提出了更高的标准，要求全国范围内的加油站都必须安装效率更高的油气回收系统。至此，三次油气回收技术开始普及，新建加油站和改造加油站都必须按照新的环保标准进行油气回收系统的配置。

## 1 油气储运中油气损耗源头及成因

油气在储存与运输过程中的损耗是一个普遍存在的问题，这种损耗主要出现在几个关键阶段：

### 1.1 收发环节

成品油由于其独特的理化特性，特别是较低的液体密度，使表面分子容易摆脱液体内的分子吸引力，并转变为蒸汽态分子逸散到空气中，会出现蒸发损失，造成油气的质量减少。装卸油气时，连接管道和接口的密封不严、操作失误或设备故障都可能导致油气泄漏。例如，快速装卸系统中的快速连接器如果未能正确闭合，或是在卸油过程中油罐车与储罐之间的压力差调节不当，均可能引发油气外泄，油品在接收储罐中因波动产生的溅射也会造成部分挥发性物质的损

失。通常来说，低密度油品的表面分子更容易变为蒸汽，而快速的操作过程增加了这种转化的机会，当油品的密度较低且其收发过程较快时，其油气损耗量也相对更大。

### 1.2 运输环节

油品在运输过程中，尤其是长距离的管道或船运输中，由于环境温度的变化和压力波动，易发生油气的自然挥发，而且油轮、油罐车或管道的接口密封不严都可能导致油气泄漏。此外，装卸过程中频繁的连接和断开也是油气泄漏的高风险点，尤其是在没有采用高效回收系统的情况下，这类现象会更加明显<sup>[1]</sup>。

### 1.3 储油环节

其损耗主要源于自然挥发和设备缺陷这两个方面，储油设施中的油品，特别是挥发性高的轻质油，容易因温度升高或压力变化而发生自然挥发。这种自然挥发主要由油品的理化性质决定，并受储罐设计和环境条件如温度和压力的影响。储罐的老化、损坏或设计不当（如顶部通气孔的过大或密封不良）均可能导致油气泄漏，阀门和接口处的磨损或操作不当同样会引起油气损失问题。

## 2 案例概况

### 2.1 项目介绍

佛山市顺德区某燃料公司主要经营汽油、柴油、重油及其他燃料产品，公司建立了完善和科学的质量管理体系，年度汽油销售总量达到大约30万吨，该公司主要需要解决的是在装车过程中存在油气挥发所引起的环境污染问题。该公司于2020年4月安装并启用了一台具有600立方米每小时处理能力的油气回

收系统，自投入使用以来已稳定运行四年，表现出优良的机组性能和运行状态。这套设备不仅有效地解决了装车过程中的油气挥发问题，而且通过油气回收再利用，公司还实现了显著的经济收益。

## 2.2 工艺流程

冷凝单元通过压缩机进行机械制冷，实现油气的分级温度降低，使不同化学组分依次凝结成液态，油气经过彻底的冷凝处理，随后低浓度的尾气在通过预冷器进行热交换后，被输送到吸附单元进行进一步的处理。在吸附单元内，两个吸附罐轮流进行吸附、脱附及吹扫操作，处理后的尾气符合排放标准并被安全释放，而从脱附步骤回收的油气则重新送入冷凝单元进行进一步处理。处理完毕的冷凝液最后被收集到专门的回收储罐中<sup>[2]</sup>。

## 2.3 污染防治效果和达标情况

油气回收系统的处理效率达到了 99.2%，这一效率远高于国家规定的最低标准 95%。同时，汽油尾气的排放浓度仅为 4.28 克每立方米，远低于国家允许的上限 25 克每立方米。这表明该回收系统不仅高效完成油气回收任务，而且其尾气排放水平也优越地符合了国家环保标准。

## 3 油气回收技术具体应用方式

### 3.1 冷凝法

冷凝法是一种常用的三次油气回收技术，主要通过降低气体温度使挥发性有机化合物（VOCs）从气相转变为液相实现油气的有效回收。排放的油气被导入到由冷凝器和冷却系统组成的冷凝装置中，冷凝器内部装填有高效率的换热材料，能增加油气与冷面的接触面积提升冷凝效率，在这一过程中油气中的温度急剧下降，轻质的 VOCs 成分因无法维持气态而转化为液态被集中收集。为了提高冷凝效果，系统中常配备有温度控制装置，能精确调节冷却介质的温度，让油气在最佳的温度范围内冷凝。

### 3.2 吸附法

吸附法在油气回收中的应用主要有吸附和解吸两个过程，从导入待处理的油气开始，油气通过管道传输至含有吸附剂的吸附塔中。常用的吸附剂有活性炭、沸石、硅胶等，这些材料具有多孔的结构，能提供大量的表面积以促进 VOCs 的吸附。当油气与吸附剂接触时，VOCs 分子被吸附剂的表面吸附，从气相中分离出来。随着吸附过程的进行，吸附剂会逐渐饱和，此时需要进行解吸步骤以再生吸附剂，解吸通常通过加热或减压的方式实施，能使吸附在吸附剂上的

VOCs 重新释放到气相中，恢复吸附剂的吸附能力。释放的 VOCs 可以被收集并压缩处理，转化为液态燃料或安全排放<sup>[3]</sup>。

### 3.3 膜分离法

该方法基于不同物质分子通过特定膜材料的透过速率差异，实现气体的分离与提纯，进行膜分离时首先要去除油气中的尘埃和水分，以防止这些杂质对膜的性能产生影响。处理后的油气在压力驱动下送入膜分离装置。膜通常配置在模块中，形式可能为平板、中空纤维或螺旋卷等。油气混合物在进入膜分离系统后，由于分子大小、溶解度和扩散速率的差异，小分子如甲烷或氮气等可能迅速通过膜，而较大的 VOCs 分子则被截留。通过调节操作条件如压力、温度以及流速，可以优化分离效果和提高回收率。膜材料的选择是膜分离法的核心，通常包括聚合物膜和无机膜等类型，它们在化学稳定性、机械强度和分离性能方面各有特点。聚合物膜具有成本低、加工简便的优点，而无机膜则因其优越的耐温性和耐化学性能而在高要求应用中更受青睐。

### 3.4 燃烧法

#### 3.4.1 装置加热炉燃烧

此设备是采用直接加热炉燃烧的方法进行作业，可以有效处理废气和废液，还可以使用天然气、柴油等辅助燃料，该设备的成本相对较低，是处理油气废弃物的经济有效方案。为了避免混合气体在进入加热炉时达到爆炸极限，引发闪爆或其他更为严重的安全事故，必须严格控制进入炉内的混合气体的总烃含量与氧气含量<sup>[4]</sup>。

#### 3.4.2 超低排放燃烧

这项技术主要利用先进的燃烧控制系统和优化的燃烧器设计，实现对油气中挥发性有机化合物的高效处理，极大地减少了污染物的排放。超低排放燃烧利用精确控制的空燃比并改进了燃烧温度管理系统，让燃烧过程中产生的 NO<sub>x</sub> 和 CO 等有害气体排放量达到极低水平。同时，配备的反馈控制系统可以实时监测燃烧状态，自动调整参数以保持最佳燃烧效果，使用高效的后处理设备如选择性催化还原装置或氧化催化剂进一步清除燃烧后残余的有害物质。

### 3.5 吸收法

该技术是利用液体吸收剂捕获油气中的挥发性有机化合物，油气与吸收剂在吸收塔内进行充分接触，吸收剂通过物理或化学作用将 VOCs 从气相转移到液相。此过程通常在填料塔或喷雾塔中进行，塔内装填

有大量的填料，能增加气液之间的接触面积达到提高吸收效率的效果。该技术的具体操作步骤为：未处理的油气被引入吸收塔的底部，而吸收剂则从塔顶加入，与油气在塔内逆流而下，过程中吸收剂不断捕捉油气中的 VOCs。随着油气上升和吸收剂下降，油气中的 VOCs 逐渐被吸收清除。清洁后的气体从塔顶排出，而富含 VOCs 的吸收剂则从塔底流出，进入再生系统恢复其吸收能力并循环使用。

#### 4 优化油气回收技术应用方式的措施

##### 4.1 采用多种技术的组合工艺

在实际生产过程中，根据具体的操作条件和环境需求，采取多种技术的组合应用成为了油气处理技术发展的趋势。

###### 4.1.1 冷凝+吸附法

冷凝+吸附法是一种结合物理和化学过程的油气回收技术，用于有效回收油气中的挥发性有机化合物（VOCs）。冷凝过程通过降低油气温度使其部分组分由气态转变为液态，分离出较易凝结的重组分，含 VOCs 的油气首先被导入冷凝器，冷凝器内部通过冷却介质（如冷水或冷却液）大幅降低油气温度，使部分油气凝结成液体并通过重力分离。

###### 4.1.2 吸收+吸附法

吸收法利用液体吸收剂（如油基或水基溶液）直接与油气接触，通过物理或化学作用，将油气中的较易溶解的 VOCs 分子吸收到液体中，油气从塔底进入，与从塔顶流下的吸收剂在塔内进行充分接触，处理吸收后仍未被去除的轻组分 VOCs。

##### 4.2 加大对油气回收装置研究的力度

现阶段的油气回收装置主要包含了冷凝法、吸附法、吸收法以及膜分离技术等，虽已在多个行业都得到广泛应用，但其技术效率、适应性以及成本效益等方面的不足使现有技术难以完全满足更严格的环保法规和经济效益的双重要求。鉴于此就需要加大油气回收装置研究的力度，增加研究投入可以促进新技术的开发，通过纳米技术改善吸附材料的性能，或开发新型高效能膜材料，提高分离效率而降低能耗。并研究可以优化现有设备的设计，改进冷凝系统的热交换效率，或通过智能控制系统精细调控操作过程，提升系统的整体稳定性和自动化水平。具体的可开展以下措施：一是设立专项研发基金，支持油气回收技术的基础研究和应用开发，鼓励高校、研究机构与企业之间的合作，形成创新联盟；二是推动跨学科的技术研究，如材料科学、化学工程与环境科学的交叉融合，开发

出适应不同油气条件的定制化解决方案；三是加强实验室到实际应用的转化努力，通过建立示范项目和试点，进行大规模的实地测试，确保新技术的实用性和可靠性；四是倡导政策支持，如税收优惠、技术补贴等，降低企业采纳新技术的经济负担，加快技术推广速度。通过这些措施，可以有效推动油气回收技术的进步，能满足环保要求，提升油气行业的竞争力，为企业带来更大的经济效益和社会价值。

##### 4.3 建立油库内部环境监测网络平台

该平台整合了传感技术、数据分析、云计算和物联网技术，形成高效、智能的环境监控系统。首先，在油库关键区域部署多种类型的传感器，如 VOCs 检测器、温湿度传感器、压力传感器等，这些传感器能够实时采集油气的浓度、存储环境的温度和湿度、油罐的压力等数据。收集到的数据通过无线网络传输至中央监控系统，实现数据的即时更新和远程监控。其次，中央监控系统利用先进的数据分析技术，对收集的数据进行深入分析，及时发现泄漏点、预测隐藏的环境风险，并对油气回收系统的运行状态进行优化建议。此外，该监控平台还配备有环境预警系统，当油气浓度超过安全阈值或其他环境参数异常时，系统将自动触发警报，并通过短信、电邮或应用程序通知维护人员和管理者。

#### 5 结束语

总而言之，油气回收技术是实施国家和地方大气污染防治战略的核心技术，对此石油化工行业必须高度重视，企业应严格执行油气储运过程中的油气回收技术，要让储运环节能够达到环境保护的标准。

##### 参考文献：

- [1] 郑飞, 牛宇虹, 储广峰, 张广成, 胡芷源, 韩江. 膜分离技术在油气回收上的应用研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(12): 128-130+133.
- [2] 许文博, 王金鑫, 刘鑫. 加油站油气回收系统应用现状与检测问题概述 [J]. 信息系统工程, 2022(12): 55-58.
- [3] 苏鲁书, 刘兆春, 李建军, 李强, 李阳. 油气回收工艺系统运行异常的分析及处理 [J]. 炼油与化工, 2022, 33(06): 45-48.
- [4] 邓超, 李文正, 王国强. 油气储运系统中油气回收技术的应用 [J]. 山东化工, 2022, 51(22): 160-161+164.

##### 作者简介：

滕孔先(1985-), 男, 汉族, 河南周口人, 中级工程师, 本科, 研究方向: 岩土工程。