

油气回收系统中罐区挥发性有机物控制技术分析

张延辉（西安海图工程设计有限公司，陕西 西安 710082）

摘要：在油气回收系统中，挥发性有机物（VOCs）对环境与健康构成显著威胁。有效的控制技术不仅能减少 VOCs 的排放，还能提高资源回收效率。本文探讨了多种挥发性有机物控制技术，包括吸附、冷凝和生物降解等方法，并评估了其在实际应用中的效果和经济效益。同时，分析了不同技术的适用场景和操作条件，为油气行业在环保和经济效益之间找到平衡提供了指导。研究表明，综合利用多种控制技术能够达到最佳的 VOCs 减排效果，并促进可持续发展。因此，选择合适的技术将是实现油气回收系统环保目标的关键。

关键词：挥发性有机物；控制技术；油气回收；资源利用；环境保护

0 引言

挥发性有机物（VOCs）作为油气行业的主要污染物之一，其控制和减排问题日益受到关注。VOCs 不仅对空气质量造成影响，还可能引发严重的健康问题，因此，探索高效的控制技术显得尤为重要。在当前全球环保形势日趋严峻的背景下，油气回收系统的优化和改进成为了实现资源可持续利用的重要课题。多种控制技术的出现为解决这一问题提供了新的思路与方法。本文将深入探讨这些技术在实际应用中的表现，揭示其在资源回收与环境保护之间的重要角色，推动行业内的技术进步和政策制定。通过系统的分析与评估，旨在为油气行业提供一条可行的环保之路。

1 挥发性有机物的排放标准

根据《石油化学工业污染物排放标准》(GB 31571-2015) 第 5.2.2 条、5.2.3 条的要求，对石油化工企业罐区 VOCs 排放限值提出了以下的要求：

5.2.2 储存真实蒸气压 ≥ 76.6 kPa 的挥发性有机液体应采用压力储罐；

5.2.3 储存真实蒸气压 ≥ 5.2 kPa 但 < 27.62 kPa 的设计容积 $\geq 150\text{m}^3$ 的挥发性有机液体储罐，以及储存真实蒸气压 ≥ 27.6 kPa 但 < 76.6 kPa 的设计容积 $\geq 75\text{m}^3$ 的挥发性有机液体储罐应符合如下规定之一：

①采用内浮顶罐：内浮顶罐的浮盘与罐壁之间应采用液体镶嵌式、机械式鞋形、双封式等高效密封形式。

②采用外浮顶罐：外浮顶罐的浮盘与罐壁之间应采用双封式密封，且初级密封采用液体镶嵌式、机械式鞋形、等高效密封方式。

③采用固定顶罐：应安装密闭排气系统至有机废气回收处理装置。大气污染物排放应符合标准（本文引用部分值，见表 1）的规定。

2 油气回收方法简介

在油气回收系统中，挥发性有机物的控制成为关键环节，技术选择的科学性和有效性直接影响减排效果。目前常规方法为冷凝法、膜分离法、吸收法及吸附法。有些是两种或者几种方法的综合利用。

表 1 VOCs 排放限值

序号	污染物项目	排放限值	执行标准
1	苯	$4\text{mg}/\text{m}^3$	GB31571-2015
2	甲苯	$15\text{mg}/\text{m}^3$	GB31571-2015
3	二甲苯	$20\text{mg}/\text{m}^3$	GB31571-2015
4	乙苯	$100\text{mg}/\text{m}^3$	GB31571-2015
5	苯乙烯	$50\text{mg}/\text{m}^3$	GB31571-2015

冷凝法工作原理：即把油气中的热量吸收出来，温度降低到一定值，油品就从汽态变为液态进入罐体，可以回收在利用。首先将油气的温度降到 3 至 5℃，使得油气中的水分凝结被除掉；接着油气离开预冷器后进入浅冷级，油气温度冷却到 -30℃ 至 -40℃，这时可以回收接近一半的油气；剩余油气在进行中级冷凝，当油气温度在 -60 摄氏度至 -75 摄氏度时，可以回收大部分的油气，当冷凝温度达到 -100 摄氏度时，可以彻底的回收油气。

膜分离法工作原理：膜法气体分离的基本原理就是根据混合气中各组分在压力的推动下透过膜的传递速率不同，从而达到分离目的。油蒸气 / 空气混合物在膜两侧压差推动下，遵循溶解扩散机理，使得混合气中的油蒸气优先透过膜得以富集回收，而空气则被选择性地截留，从而在膜的截留侧得到脱除油气的洁净空气，而在膜的透过侧得到富集的油气，达到油蒸气 / 空气分离的目的。

吸收法工作原理：吸收法是一种重要的混合物分离方法，吸收过程是有机化合物进入液体吸收剂后所发生的传质过程。主要是利用吸收剂与油气中各组分的亲和力不同，使油气中的烃类组分被吸收剂吸收，从而实现油气回收。通常选用对烃类有良好吸收性能的有机溶剂作为吸收剂。

吸附法工作原理：吸附法主要是利用吸附剂对油气中不同组分的选择性吸附作用来实现油气回收。当含有油气的混合气通过吸附剂时，油气中的烃类等挥发性有机化合物（VOCs）被吸附剂表面吸附。吸附剂通常具有较大的比表面积和丰富的微孔结构，能够提供大量的吸附位点。常见的吸附剂有活性炭、分子筛等。活性炭具有较高的吸附容量和良好的吸附选择性，对油气中的烃类物质有较强的吸附能力。分子筛则可以根据分子大小和极性进行选择性的吸附。在吸附过程中，随着吸附剂表面吸附的油气分子增多，吸附逐渐达到饱和状态。

此时，需要对吸附剂进行再生。再生的方法通常有加热解吸、降压解吸或用惰性气体吹扫等。通过升高温度、降低压力或用惰性气体置换等方式，使吸附在吸附剂上的油气分子脱附出来，从而使吸附剂恢复吸附能力，脱附出来的高浓度油气可以进一步进行处理或回收利用。

3 罐区油气回收工艺设计分析

根据罐区油气特点，本次油气回收设施采用的是

冷凝 + 吸附的复合处理工艺。原料油气进入油气回收装置后先经前置冷凝工艺处理，油气中 85%~95% 的有机物被以液体形式回收下来，由于冷凝工艺处理后的尾气难以达到尾气排放标准，或达到尾气排放标准的能耗过高。因此在冷凝工艺部分之后设置了吸附法工艺。前置工艺部分排出的尾气进入吸附法工艺部分的吸附床进行吸附处理，不易被吸附的主要成分是空气的尾气直排大气，吸附床达到一定吸附饱和度后，切换操作，用真空泵对吸附床进行抽真空再生，将吸附在吸附剂上的有机物脱附下来，得到有机物浓度更高的脱附气返回前置冷凝工艺部分循环处理。

同时罐区油气回收设计要点如下：

储罐采取罐顶气相平衡线、罐顶涂敷隔热涂料等措施减少 VOCs 的排放；

经计算选取的油气收集系统满足同一系统内同时运行的不同介质储罐的小时最大排气量的要求；

针对废气处理装置异常和事故时 VOCs 的控制和处理，建立应急处理机制和措施；

各储罐 VOCs 气相支线应靠近储罐位置、废气处理装置入口设置阻爆轰型阻火器，材质应选用不锈钢；

对于本次多个罐组共用一套油气回收装置，设计了收集总管，方便 VOCs 的集中处理；同时对管道进行压力平衡计算，确定油气回收主管管径选取 DN250。以此保证总管中的 VOCs 能够稳定安全地输送至处理设施；

同时为 VOCs 回收装置设计了防雷防静电设计。

4 综合技术的应用策略

在油气回收系统中，综合技术的应用策略是实现挥发性有机物（VOCs）有效控制的重要方法。由于单一技术在处理不同类型 VOCs 时的局限性，采用多种技术的结合可以发挥各自的优势，优化整体处理效果。

膜分离技术也可以与其他技术进行有效整合。在处理含有多种 VOCs 的复杂气体时，膜分离技术能够通过选择性透过性将主要成分分离出来，随后再利用吸附或生物降解法对分离出的 VOCs 进行深度处理。这种策略不仅提高了整体去除率，还能延长后续处理设备的使用寿命，因为对特定成分的预处理可以降低后续技术的工作负荷。

因此，在综合应用中，需进行充分的前期测试，以确保不同技术之间的协同作用能够有效提升处理效率。生物降解法的引入为综合技术应用增添了新的维度。在某些情况下，将生物降解技术与物理化学方法

相结合,可以实现更高效的 VOCs 去除。例如,在处理低浓度废气时,可以先采用吸附法捕集 VOCs,随后再通过生物降解法将捕集的 VOCs 进一步转化为无害物质。为了实现这一策略,需关注生物反应器的设计,包括气体流量、营养物质供给和反应器内温湿度等参数,以创造最佳的微生物生存环境。

在实际操作中,实施综合技术应用策略时,还需考虑技术间的经济性和适用性。例如,在油气开采现场,处理设施的安装和维护成本至关重要,因此,选择性地结合技术可以有效降低初始投资和运营费用。在选择技术组合时,需充分评估各项技术的处理能力、成本效益以及对环境的影响,以实现最佳平衡。为了保证技术的有效实施,定期监测和数据分析也是不可或缺的一部分。通过实时监测系统的运行状态及排放水平,可以及时调整各项技术的工作参数,确保 VOCs 的去除效果始终处于最佳状态。数据的积累与分析为后续的技术改进提供了宝贵的参考,促进了技术的不断创新。

5 实现可持续发展的路径探讨

在技术层面,推动新材料与新工艺的研发是提升油气回收系统效率的关键。通过引入高效吸附剂、膜材料以及生物降解微生物,能够显著提升挥发性有机物(VOCs)的去除效果。尤其是在吸附法和膜分离法的结合应用中,开发出具有更高选择性和更强耐久性的材料,将使得处理系统在多变的操作条件下保持稳定的性能。定期更新和改进技术设备,确保其处于最佳工作状态,将进一步提升资源的回收率和环境保护效果。

在管理方面,优化操作流程与提升管理水平同样至关重要。建立智能化监测系统可以实时跟踪排放数据,帮助企业及时发现潜在问题。通过大数据分析,对油气回收过程中的每个环节进行优化,能够有效降低能耗与物耗,提升整体运营效率。企业内部应加强跨部门协作,整合环保部门与生产部门的工作,确保 VOCs 控制措施落实到位。员工培训也需加强,提升全员环保意识,促进员工在日常操作中主动遵循环保标准,确保工作流程的合规性。政策支持在可持续发展路径中发挥着重要作用。

政府应制定更加明确的环保法规,并给予行业在技术研发和环保措施上的资金支持与税收减免。通过建立环保标准和考核机制,鼓励企业投资绿色技术和清洁生产。对采用高效 VOCs 控制技术的企业给予奖

励,促进行业内良性竞争。应推动行业协会和科研机构的合作,鼓励技术共享与经验交流,推动整体技术水平的提升。

国际合作也是实现可持续发展的重要方面。通过与其他国家的油气企业分享技术和经验,借鉴先进的管理模式和政策,可以更快地推动国内油气行业的转型与升级。参与国际环保项目 and 交流,吸收全球范围内的最佳实践,有助于提升我国油气回收系统的技术水平和环境管理能力。公众参与也不可忽视。提高公众对油气行业环保问题的认识,能够促进社会对可持续发展的关注和支持。通过开展宣传活动,向公众普及环保知识,增强社会各界对油气企业环保措施的监督,将促进企业在环保方面的自觉性。利用社交媒体和社区活动等多种渠道,积极向公众传达企业在环保方面的努力与成效,建立良好的企业形象。

在实现可持续发展的过程中,还需关注资源的循环利用。构建完善的资源回收体系,促进油气行业与其他行业的联动,将有助于实现资源的最大化利用。通过推动废气的再利用和产品的循环经济,减少原材料的消耗,提高整体经济效益。实现资源与环境的和谐发展,不仅是油气行业的责任,也是社会可持续发展的必然要求。

油气行业的可持续发展需要技术、管理、政策和公众参与的多方协同。通过各方的共同努力,推动油气回收系统的技术创新与管理优化,实现环境保护与经济发展的双赢局面,将为全球可持续发展目标的实现贡献重要力量。

6 结语

油气回收系统在控制挥发性有机物(VOCs)方面面临着日益严峻的挑战,通过多种技术的综合应用,能够有效提升资源的回收效率和环境保护效果。技术创新、管理优化及政策支持相辅相成,共同推动油气行业向可持续发展迈进。在此过程中,公众参与与国际合作也显得尤为重要。综合各方力量,确保油气行业在实现环保目标的同时,促进经济的健康发展,势必为全球的可持续发展贡献积极力量。

参考文献:

- [1] 盖涤浩,王永祥,徐强.石化企业挥发性有机物回收及废气综合治理的方案研究[J].山东化工,2024,53(12):253-255+260.
- [2] 梅舟营.油气储运中油气回收技术的应用[J].化工设计通讯,2024,50(03):34-36+59.