

低压气乙烷回收工艺优选及其经济性分析

段梦超 (中国石油化工股份有限公司中原油田分公司天然气处理厂, 河南 温县 457162)

摘要: 乙烷作为一种主要碳氢化合物, 广泛应用于化工、能源、材料领域。随着能源需求不断增加, 对乙烷高效回收变得尤为重要。低压气体中乙烷回收不仅可减少资源浪费, 还能提高工业过程的经济效益。为提高低压气体中乙烷回收率并降低能耗, 本研究采用了综合评价方法, 对物理吸收法、化学吸收法、吸附技术及冷凝分离技术四种主要乙烷回收技术进行了全面比较分析。通过对每种技术工艺流程、能耗、回收率及经济性等关键指标系统评估, 旨在识别出最适合于低压气乙烷回收工艺路线。

关键词: 乙烷回收; 吸附技术; 冷凝分离; 经济性

在石油和化工产业中, 乙烷回收是提高能源利用率、促进经济效益增长、实现环境保护的关键环节。随着对能源需求不断上升与对环境保护认识加深, 如何在低压条件下高效且经济地回收乙烷, 已成为业界关注焦点。乙烷回收技术的发展, 经历了由简到繁、由单一到综合的演变过程。物理吸收法、化学吸收法、吸附技术、冷凝分离技术等各有特点, 它们在乙烷回收效率、能耗、经济投入上差异显著。考虑到企业运营成本效益, 本文将深入比较这些技术的经济性, 目标是筛选出最适合低压气体乙烷回收的技术路径。通过建立一个综合评价体系, 本研究不仅对比分析了各技术的直接成本。还考量了间接成本。旨在为低压气体中乙烷的高效回收提供一条明晰的指引, 帮助业界选择和优化最合适的回收工艺, 从而在确保经济效益的同时, 推进技术革新与环境保护。

1 低压气乙烷回收技术概述

1.1 物理吸收法

物理吸收法广泛应用于低压气乙烷回收技术, 核心原理基于乙烷分子在吸收剂中物理溶解过程。该方法使用一种或多种具有较高溶解能力吸收剂, 如轻烃、芳烃或特定溶剂混合物, 以实现乙烷有效回收。在物理吸收过程中, 含乙烷低压气体与吸收剂直接接触, 乙烷分子因在吸收剂中较高溶解度被有效捕获, 从而实现从气体混合物分离, 通过降低压力、升高温度或使用脱附剂等方式, 可从吸收剂中再生乙烷, 使吸收剂循环使用。物理吸收法主要优点是操作条件温和、设备要求简单、能耗相对较低, 适用于含乙烷浓度较高气体混合物。但该技术回收效率受限于乙烷在吸收剂中溶解度与选用吸收剂性能, 需要通过优化吸收剂选择、工艺参数来提高乙烷回收率。物理吸收法在处理含有大量惰性气体或乙烷浓度较低气体时效率较

低, 且对吸收剂纯度与选择性有较高要求, 以避免二次污染或吸收剂过度消耗。

1.2 化学吸收法

化学吸收法利用化学反应原理实现低压气体中乙烷有效回收, 区别于物理吸收法, 它依赖于乙烷与吸收剂之间发生化学反应来捕获乙烷分子。该技术选用具有特定活性的化学吸收剂, 如含胺或胺类化合物, 与乙烷发生可逆化学反应, 形成稳定的化合物。在化学吸收过程中, 含乙烷低压气体通过吸收塔, 与流动化学吸收剂充分接触, 乙烷分子被吸收剂捕获。通过控制吸收塔操作条件, 如温度、压力、吸收剂流速, 可优化乙烷吸收效率。化学吸收法主要优势是对乙烷高选择性与较高回收率, 在乙烷浓度较低或含有大量惰性气体情况下表现突出。乙烷从吸收剂的再生通常通过加热或压力降低实现, 导致化学反应逆转, 释放出乙烷, 并恢复吸收剂活性以供再次使用^[1]。化学吸收法操作成本相对较高, 主要由于需要消耗能量来实现吸收剂再生和维持化学反应所需特定条件。化学吸收剂选择、反应副产物处理与长期稳定性也是该技术需要考虑关键因素。

1.3 吸附技术

吸附技术是一种利用固体吸附剂表面物理或化学性质来从气体混合物中分离特定组分方法, 广泛应用于低压气体中乙烷回收。该技术核心是选择具有高选择性和吸附容量吸附剂, 如沸石、活性炭或金属有机框架 (MOFs), 这些材料能在其表面或孔隙中有效捕获乙烷分子。在吸附过程中, 含乙烷的低压气体通过装填有吸附剂的吸附塔, 乙烷分子被吸附剂表面物理吸引力或化学键力捕获, 从而实现与其他气体成分分离。通过降低压力或升高温度, 可实现乙烷解吸, 从而再生吸附剂并释放纯净的乙烷。吸附技术优点包括

1.4 冷凝分离技术

2 低压气乙烷回收技术对比分析

物理吸收和化学吸收各自具有独特工艺选择标准与应用实践。物理吸收依赖于乙烷在吸收剂中物理溶解,适用于含乙烷浓度较高气体流,因为它不涉及化学反应,从而简化了操作过程,减少能耗。物理吸收效率受到吸收剂选择、温度、压力、气液接触效率的影响,常用吸收剂包括轻烃和特定溶剂,如甲苯或乙二醇。物理吸收法主要优点是能耗低、操作简便,但需要较大吸收塔和较高吸收剂循环率来实现高回收效率。化学吸收利用乙烷与吸收剂间化学反应来实现分离,适合处理低乙烷浓度和高惰性气体含量气体流。

2.2 吸附技术与膜分离：技术优势对比

2.3 冷凝分离与其他技术：能耗与回收率对比

冷凝分离技术在低压气乙烷回收中通过降低气体混合物的温度至乙烷凝固点以下进行分离，特点是能耗主要集中在冷却过程。与物理吸收、化学吸收、吸附技术及膜分离相比，冷凝分离在特定条件下能提供较高乙烷回收率，在处理高乙烷浓度气体时。能耗方面，冷凝分离相对较高，因为需要大量能量来维持低温条件，可通过多级冷凝和热回收技术优化。物理吸收和化学吸收能耗较低，主要因为不需大量能量进行温度

表 1 吸附技术与膜分离技术对比

指标	吸附技术	膜分离技术
选择性	高，特定吸附剂可针对乙烷优化设计	中到高，依赖于膜材料的选择性
适应性	强，能处理含复杂组分的气体流	一般，效率可能受到气体组成和膜性能的限制
能耗	低到中，吸附剂再生需要额外能量	低，因为膜分离过程本身不需要大量能量
操作简便性	一般，需要周期性的吸附 - 解吸循环	高，可以连续操作，无需复杂的循环过程
设备占地	一般，吸附塔和再生设备可能占用较大空间	较小，膜系统紧凑，易于集成到现有流程中
运行成本	中到高，取决于吸附剂的耗材和再生能耗	低到中，主要成本在于膜的更换和维护
长期稳定性	中，吸附剂可能受到污染或失活	中到高，取决于膜材料的抗污染能力和物理稳定性
回收效率	高，通过优化吸附剂和操作条件可实现高回收率	中到高，依赖于膜的选择性和处理条件

调节化学吸收在吸收剂再生过程中能耗增加。吸附技术和膜分离则因其操作过程相对温和，通常展现出较低能耗特性。回收率方面，冷凝分离在理想条件下可实现接近 100% 乙烷回收，超过了物理吸收、化学吸收回收率。吸附技术和膜分离回收率则受限于吸附剂选择性或膜的透过性，但提供了操作灵活性和适用于低乙烷浓度气体可能性。总体而言，冷凝分离在高乙烷浓度场合下以其高回收率优势显著，但需权衡较高能耗成本。

2.4 综合评价：工艺综合性能比较

在低压气乙烷回收领域，各技术综合性能评价涉及效率、能耗、成本及应用范围等多个维度。物理吸收因低能耗与操作简便性被广泛应用，适合高乙烷浓度场合，但回收率受限于吸收剂性能。化学吸收以高回收率与强选择性在低乙烷浓度应用中表现出色，但较高能耗和操作成本限制其应用。吸附技术提供优异选择性与适应性，能有效处理复杂气体混合物，但需考虑吸附剂再生能耗。膜分离技术因低能耗、简易操作、良好连续处理能力，但受限膜材料选择与长期稳定性。冷凝分离在处理高乙烷浓度气体时能达到几乎完全回收率，但能耗较高，特别是在低温冷凝过程中。综合评价各技术，考虑到成本、效率、能耗及适用性，说明工艺选择需基于具体应用场景、经济性评估、环境因素，以实现最佳乙烷回收效果（见表 2）。

2.5 不同技术的经济性对比分析

在低压气乙烷回收技术的经济性对比分析中，考虑的因素包括初始设备投资、运行和维护成本、能耗、回收效率。物理吸收法因操作简便、设备要求低而具有较低的初始投资与运行成本，但回收效率、能耗受到吸收剂选择限制，需要更高的运行成本来优化回收率。化学吸收法虽提供了较高乙烷回收率、选择性，但需要额外能量来再生吸收剂，导致较高运行成本与能耗。吸附技术在初始设备投资上较高，因为需要特

定吸附剂与复杂的吸附塔，但运行能耗相对较低，特别是在优化吸附剂再生过程情况下。冷凝分离技术在提供高乙烷回收率同时，能耗主要集中在冷却过程，会造成较高的能源消耗，但通过采用多级冷凝和热回收技术可以显著降低能耗。总体而言，每种技术经济性需根据特定应用背景、乙烷含量、预期回收率、能源成本来综合评估。对追求高乙烷回收效率且可承受一定运行成本的场合，化学吸收、冷凝分离技术更为合适，对初期投资和运行成本敏感的应用，物理吸收和吸附技术可能更优选。

3 结语

综合考虑低压气乙烷回收技术比较分析，物理吸收、化学吸收、吸附技术、膜分离以及冷凝分离各有其独特优势与局限，选择最适合回收技术需基于具体的应用需求、气体成分、经济性评估及环境影响等因素进行综合评价。高效乙烷回收不仅能提高资源利用效率，还对环境保护、能源可持续利用具有重要意义。未来研究应着重于开发新型材料、优化工艺参数、降低能耗及成本，以推动低压气乙烷回收技术发展。

参考文献：

[1] 张瑞航, 曹潘, 杨锋等. ZIF-8 纳米流体天然气乙烷回收工艺的产品纯度关键影响因素分析 [J]. 化工学报, 2023, 74(08): 3386-3393.

[2] 张红星, 马亚欣, 解静等. 基于回归正交试验设计的 RSV 乙烷回收工艺能耗优化 [J]. 石油石化节能与计量, 2023, 13(10): 36-40.

[3] 李斐, 杨冬磊. SRX 乙烷回收工艺特性分析 [J]. 能源化工, 2023, 44(06): 32-36.

[4] 李斐, 杨冬磊. 富气乙烷回收工艺改进 [J]. 能源化工, 2023, 44(03): 29-33.

作者简介：

段梦超 (1990-), 男, 汉族, 河南温县人, 学历: 硕研, 职称: 工程师, 研究方向: 天然气处理及轻烃深加工。

表 2 不同工艺综合性能比较结果

技术	效率	能耗	成本	应用范围
物理吸收	中	低	低	高乙烷浓度，简单操作环境
化学吸收	高	高	高	低乙烷浓度，要求高回收率
吸附技术	高	中	中	处理复杂气体混合物，高选择性
膜分离技术	中到高	低	中	连续操作，适用于多变应用环境
冷凝分离	高	高	中到高	高乙烷浓度，追求几乎完全的回收率