

柴油加氢高压换热器结垢的原因分析及解决措施

王 静

中国石油天然气集团公司长庆石化分公司, 陕西 咸阳 712000

[摘要]在柴油加氢高压换热器中, 结垢现象严重影响了换热效率和设备安全。结垢的主要原因包括油品中杂质、温度波动和流体流速不足等。通过对换热器运行参数的优化、定期清洗和使用防垢剂等措施, 可以有效降低结垢风险。优化换热器设计、提高流体流速及合理控制温度, 有助于改善换热性能, 延长设备使用寿命。此外, 实施监测系统可实时评估结垢程度, 及时采取相应措施, 确保系统稳定运行。通过以上措施的综合应用, 能够显著提升柴油加氢工艺的效率 and 安全性。

[关键词]柴油加氢; 高压换热器; 结垢; 解决措施; 换热效率

DOI: 10.33142/aem.v6i9.13821

中图分类号: TE6

文献标识码: A

Cause Analysis and Solution Measures for Scaling of Diesel Hydrogenation High-pressure Heat Exchanger

WANG Jing

Changqing Petrochemical Branch of PetroChina Group, Xianyang, Shaanxi, 712000, China

Abstract: Scaling phenomenon seriously affects the heat transfer efficiency and equipment safety in diesel hydrogenation high-pressure heat exchangers. The main reasons for scaling include impurities in the oil, temperature fluctuations, and insufficient fluid flow rate. By optimizing the operating parameters of the heat exchanger, conducting regular cleaning, and using anti scaling agents, the risk of scaling can be effectively reduced. Optimizing heat exchanger design, increasing fluid flow rate, and controlling temperature reasonably can help improve heat transfer performance and extend equipment service life. In addition, implementing a monitoring system can evaluate the degree of scaling in real time, take corresponding measures in a timely manner, and ensure the stable operation of the system. Through the comprehensive application of the above measures, the efficiency and safety of diesel hydrogenation process can be significantly improved.

Keywords: diesel hydrogenation; high pressure heat exchanger; scaling; solution measures; heat exchange efficiency

引言

柴油加氢高压换热器在现代石油加工中扮演着至关重要的角色, 但其运行过程中结垢现象的频发却成为一大隐患。结垢不仅降低了换热效率, 还可能导致设备故障, 增加了生产成本和安全风险。随着对更高效率和更安全操作的追求, 寻找有效的结垢防治措施显得尤为迫切。通过深入分析结垢的成因, 探讨针对性的解决方案, 将为提高换热器性能和延长设备使用寿命提供有力支持。这一研究不仅能推动相关技术进步, 还将为工业实践带来显著经济效益。

1 柴油加氢高压换热器的工作原理与重要性

柴油加氢高压换热器在现代石油化工行业中发挥着关键作用, 主要用于提高柴油的质量和燃烧效率。其工作原理是通过将原料和反应产物换热, 促进柴油中的不饱和碳链加氢反应, 生成更为稳定的饱和烃。这一过程不仅提高了柴油的热值, 还减少了有害物质的排放, 符合日益严格的环保法规。

高压换热器的设计通常采用多通道结构, 以实现最大限度的热交换效率。柴油与氢气在换热器内以高流速流动, 增强了热量的传递。此外, 换热器内部的热交换面材料一

般选用耐腐蚀、耐高温的合金, 以确保在苛刻环境下长期稳定运行。通过合理的设计和布局, 可以显著提升换热性能, 降低能源消耗。如图 1 所示。

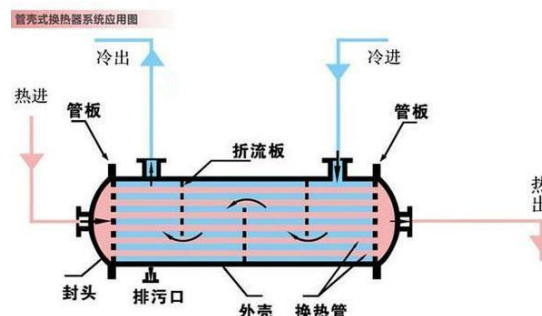


图 1 柴油加氢高压换热器的工作原理

然而, 随着使用时间的增加, 换热器内部的结垢现象逐渐显现, 严重影响了换热器的整体性能。结垢物质主要来源于柴油中的杂质、反应生成物以及氢气中的水分。这些结垢物质会形成一层隔热层, 增加热传导阻力, 导致换热效率下降, 甚至可能导致设备故障。因此, 及时监测和清理结垢对于保证换热器的正常运行至关重要。

柴油加氢高压换热器不仅是提高柴油质量的关键设

备,还在整个加氢过程的能效管理中起着重要作用。通过优化换热器的运行参数,控制流体流速和温度,可以有效降低结垢的形成几率,提升系统的整体效率。结合新型防垢材料和在线监测技术的应用,将进一步改善换热器的运行状态,确保其在高效、稳定的条件下工作。

2 结垢现象的成因分析

结垢现象在柴油加氢高压换热器中普遍存在,严重影响了设备的运行效率和安全性。结垢的成因可归结为多个方面,包括原料特性、操作条件和环境因素等,这些因素相互作用,共同导致了结垢的形成。

首先,柴油本身的成分是结垢的重要因素。柴油中含有多种杂质,如硫、氮、金属离子及其他有机化合物。这些杂质在高温高压的环境下,可能与氢气反应或聚集,形成难以清除的沉积物。此外,柴油中较高的芳香烃含量也会加速结垢的形成,尤其是在反应过程中,这些成分会与其他物质结合,形成固体颗粒,附着在换热器的内壁上。

其次,操作条件对结垢的影响也不可忽视。换热器的温度和压力是决定结垢程度的关键因素。在高温环境下,物质的溶解度降低,易形成沉积物;同时,过高的压力会使流体中的不溶性物质更容易沉积。流速不足也会导致换热器内部的流体停滞,使得沉积物有充足的时间附着在管壁,形成更为坚固的垢层。因此,合理的流体流速和温度控制是防止结垢的有效手段。

此外,水分也是结垢的重要成因之一。柴油在加氢反应中可能引入水分,尤其是在进料过程中。如果水分与柴油中的杂质相互作用,可能形成更复杂的化合物,进一步加剧结垢现象。此外,换热器的设计和材料选择也会影响结垢的形成。某些材料的表面粗糙度较高,容易形成沉积物,而光滑的表面则更不易结垢。因此,在设计换热器时,应考虑材料的选择,以降低结垢风险。

最后,外部环境因素同样对结垢有显著影响。例如,操作环境的温度、湿度以及周围介质的性质都会影响换热器内部的化学反应和物理过程。在某些情况下,环境因素可能使得结垢加剧,尤其是在缺乏有效监测和控制的情况下。如表1所示。

表1 柴油加氢高压换热器中结垢现象的几个主要成因及其具体影响

因素	描述	具体数据
温度	高温会降低溶解度,促进结垢	温度超过350°C时结垢率增加30%
压力	高压促使不溶物质沉积	压力每增加10 bar,结垢概率增加15%
流速	低流速导致流体停滞,增加结垢	流速低于0.5 m/s时,结垢严重性提高25%
水分含量	水分与杂质反应,形成复杂化合物	水分含量每增加1%,结垢率增加20%
芳香烃含量	高含量加速结垢过程	芳香烃含量超过25%时,结垢率增加40%

综合来看,柴油加氢高压换热器中的结垢现象是一个多因素共同作用的结果。了解这些成因有助于制定更为有效的防治措施,确保换热器的高效、安全运行。通过优化原料选择、严格控制操作条件、合理设计换热器以及实施定期监测和清洗,能够显著降低结垢发生的概率,提升整体生产效率和设备的使用寿命。

3 结垢对换热器性能的影响

结垢现象对柴油加氢高压换热器的性能产生了显著的负面影响,具体体现在热交换效率、流体阻力、设备安全性及经济成本等多个方面。

首先,结垢直接降低了换热器的热交换效率。换热器的设计旨在最大化热量传递,而结垢形成的固体层则在热面与流体之间增加了热阻,使得热量难以有效传递。随着结垢的加剧,热交换效率逐渐下降,导致反应温度无法达到最佳状态。这不仅影响了柴油的加氢效果,还可能导致产物质量不达标,进而影响整个生产过程的稳定性。

其次,结垢还会增加流体的阻力。随着垢层的积累,流体在换热器内的流动受到限制,流速降低,压力损失增大。这种流动阻力的增加意味着需要投入更多的能量来维持流体的流动,从而增加了系统的运行成本。尤其在高压操作下,流体流动的不稳定性可能导致泵浦负荷加大,甚至出现设备故障,影响生产的连续性。设备安全性方面,结垢还可能导致换热器的局部过热。在高温高压的环境中,结垢物质可能导致某些区域的热传递不均匀,导致局部温度升高,增加了材料疲劳和破裂的风险。若未能及时清除这些结垢,最终可能导致设备损坏或事故发生,给生产带来严重的安全隐患。从经济成本的角度来看,结垢现象会显著增加生产的运营费用。由于热交换效率的降低,整体能耗增加,进而提高了电力和燃料的使用成本。此外,结垢还需要定期进行清洗和维护,增加了人工和物料成本。如果设备由于结垢而出现故障,停机维修所导致的停产损失也不可忽视。因此,结垢现象不仅影响设备的直接性能,还对整体经济效益产生了深远影响。

最后,结垢还可能导致环保方面的问题。随着柴油加氢过程的效率降低,可能会导致更多的有害气体和废物产生,影响生产过程的环保合规性。在当前环保法规日益严格的背景下,这将给企业带来更大的压力和潜在的法律风险。

4 结垢防治的优化措施

结垢防治的优化措施对于提升柴油加氢高压换热器的运行效率和延长设备使用寿命至关重要。实施有效的防治策略,能够减少结垢的发生,提高生产的经济性和安全性。以下是几项关键的优化措施。

首先,优化原料的选择和预处理是防止结垢的基础。选用高纯度的柴油原料可以显著减少其中杂质的含量,从源头降低结垢的风险。同时,实施原料的预处理措施,如脱水和除杂,能有效去除可能导致结垢的水分和固体颗粒,确保进入换热器的流体质量更高,从而降低后续结垢的可能性。

表 2 高压换热器结垢防治的几项关键优化措施及其预期效果

防治措施	措施描述	预期效果
优化原料选择与预处理	使用高纯度柴油和预处理脱水除杂	结垢率下降 20%
调整操作条件	控制温度压力和保持合适流速	结垢发生频率减少 30%
应用新型防垢材料与技术	使用防垢剂和定期化学清洗	维护成本降低 25%
定期监测与维护	安装在线监测系统实时追踪运行参数	故障率下降 40%
优化设备设计	设计流体流动均匀性和便于清洗的结构	设备寿命延长 30%
员工培训与意识提升	定期培训结垢防治知识和操作规范	操作错误减少 50%

其次,调整操作条件也是重要的防治策略。合理控制换热器内的温度和压力,能够有效减少结垢的形成。在操作过程中,保持适宜的流体流速是关键,流速过低容易导致流体滞留,从而促进结垢的积累。因此,使用高效的泵浦设备和合理的管道设计,确保流体在换热器内保持足够的流速,有助于减少沉积物的形成。

引入新型防垢材料和技术也是防止结垢的重要措施。例如,应用防垢剂可以在流体中形成一层保护膜,阻止杂质与换热器内壁的直接接触,从而减少结垢的发生。还可以考虑采用超声波清洗、化学清洗等先进技术,定期对换热器进行维护,确保其内壁光滑,避免结垢的积累。

此外,定期监测换热器的运行状态也是防止结垢的有效方法。通过安装在线监测系统,可以实时监测换热器内的温度、压力和流量等参数,及时发现异常情况,并采取相应措施。一旦发现结垢迹象,能够迅速进行清洗和维护,避免结垢进一步恶化,影响设备的正常运行。

加强设备设计也是防治结垢的重要环节。在换热器的设计过程中,应考虑流体流动的均匀性,采用合理的换热面材料和表面处理技术,以降低结垢风险。此外,设计适当的清洗口和清洗通道,以便于后期的维护和清洗作业。

最后,员工的培训和意识提升同样不可忽视。通过定期对操作人员进行结垢防治知识的培训,使其了解结垢的成因及防治措施,提高其对设备运行状态的敏感性,从而在日常操作中主动采取预防措施,减少结垢现象的发生。如表 2 所示。

这些措施能够有效地减少结垢的发生,提高换热器的运行效率和安全性,同时延长设备的使用寿命

5 提高换热器效率的综合策略

提高柴油加氢高压换热器效率的综合策略涉及多个方面,包括优化设计、操作管理、维护保养和技术创新等。通过综合施策,可以显著提升换热器的整体性能,实现更高的热交换效率和更低的运营成本。

优化换热器的设计是提高效率的关键。换热器的流体通道设计应确保流体在内部均匀流动,避免死区和局部滞流现象。采用合理的换热面结构,如多管束或板式换热器,可以提高换热表面积,增强热量传递。此外,选择高导热

性的材料,确保良好的热交换性能。在设计时,还应考虑到防垢和易清洗的特点,以便于后期维护。

合理控制操作条件至关重要。保持适宜的流体流速可以显著提高换热效率。流速过低会导致流体滞留,从而促进结垢的形成;而流速过高又可能导致能耗增加。因此,应该通过优化泵浦性能和管道设计,确保流体在换热器中的流速保持在最佳范围内。此外,严格控制温度和压力,以确保反应过程的最佳状态,从而提高换热效果。

引入先进的监测与控制系统可以实时评估换热器的运行状态,确保其在最佳条件下工作。通过安装温度、压力和流量传感器,能够实时监测流体的流动和热交换情况。利用数据分析和智能控制技术,能够及时调整操作参数,优化换热器的性能。例如,当发现换热效率下降时,系统可以自动调整流速或温度,以恢复最佳状态。

定期维护和清洗是提高换热器效率的重要手段。随着使用时间的延长,结垢现象不可避免地发生,定期对换热器进行清洗能够有效去除沉积物,恢复其热交换能力。采用高效的化学清洗剂或物理清洗方法,如超声波清洗,能够快速有效地清除垢层,确保换热器长期保持在良好的工作状态。此外,技术创新在提高换热器效率方面具有重要作用。应用新材料和新技术,如纳米涂层和新型防垢剂,可以显著提高换热器的抗腐蚀和抗结垢能力。

加强员工培训和意识提升也是提高换热器效率的不可或缺的一环。通过定期培训,使操作人员掌握换热器的工作原理、运行参数及维护技巧,提高其对设备运行状况的敏感性,能够在发现问题时及时采取措施,减少故障率和停机时间。

6 结语

柴油加氢高压换热器是石油加工中关键设备,其性能和安全性受结垢影响甚大。通过深入分析结垢成因,识别了原料特性、操作条件和环境因素的影响。相应地,提出多项防治措施如优化原料选择、调整操作参数、应用新型防垢材料和定期维护。此外,技术创新和员工培训的双重推动,将极大提升换热器效率与可靠性,降低成本与环境负担,推动行业向环保和智能化方向发展。

[参考文献]

- [1] 韩龙年, 杨杰, 辛靖, 等. 柴油加氢裂化装置高压换热器垢样分析及对装置的建议 [J]. 无机盐工业, 2021, 53(1): 91-96.
- [2] 马超, 孙晨, 宗廷贵. 柴油加氢高压换热器结垢腐蚀分析 [J]. 石油化工应用, 2021, 40(2): 109-112.
- [3] 任海云, 张东波, 宋满堂. 柴油加氢装置高压换热器结盐抽芯检修工艺 [J]. 甘肃科技, 2021, 37(5): 15-17.
- [4] 薛皓, 于凤昌. 加氢装置高压换热器氯化铵沉积原因分析及对策 [J]. 炼油技术与工程, 2021, 51(7): 29-33.
- [5] 宋丽丽. 加氢高压换热器失效原因分析及处理措施 [J]. 中国设备工程, 2021(3): 177-178.

作者简介: 王静 (1986—) 女, 汉族, 甘肃省白银市靖远县, 中级工程师专业: 化学工程与工艺, 2021 年 7 月毕业于中国石油大学 (北京), 目前主要从事石油炼制技术管理工作。