

Research on the Fault Maintenance of Heat Exchanger Sealing Leakage in Chemical Equipment

Shengchang Hu Bozhong Hao Hong Lu

Zhejiang Dingsheng Petrochemical Engineering Co., Ltd., Zhoushan, Zhejiang, 316200, China

Abstract

Heat exchangers in chemical plants are subjected to long-term pressure, temperature, corrosive media, and frequent start-stop cycles. Sealing leakage is not an isolated defect but a field manifestation resulting from the combined effects of gasket aging, sealing surface damage, bolt preload decay, tube sheet connection slackness, and local structural instability. In China's oil refining, coal chemical, and fine chemical plants, leaks frequently occur at flanges of tube boxes, floating head ends, tube sheet connection areas, and gasket grooves of plate heat exchangers. If only surface plugging or simple retightening is performed during troubleshooting, leaks often reappear within a short period. This article, based on common working conditions in China's chemical equipment maintenance field, systematically analyzes the mechanisms, hazards, and maintenance practices of heat exchanger sealing leaks. The article focuses on five key aspects: disassembly and leak detection, gasket replacement, sealing surface repair, bolt retightening, and special structure treatment.

Keywords

chemical equipment; heat exchanger; sealing leakage fault; maintenance; research

关于化工设备换热器密封泄漏故障检修研究

胡盛昌 郝波众 陆宏

浙江鼎盛石化工程有限公司, 中国·浙江 舟山 316200

摘要

化工装置中的换热器长期处在压力、温度、腐蚀介质和频繁启停交替作用下, 密封泄漏并不是孤立缺陷, 而是垫片老化、密封面损伤、螺栓预紧力衰减、管板连接松弛及局部结构失稳共同作用后的现场表现。中国炼油、煤化工和精细化工装置中, 泄漏多发于管箱法兰、浮头端、管板连接区以及板式换热器垫片槽部, 若处置时只做表面堵漏或单纯复紧, 往往会在短周期内再次出现。本文结合中国化工设备检修现场常见工况, 对换热器密封泄漏的机理、危害和检修做法进行梳理。文章重点从拆检判漏、垫片更换、密封面修整、螺栓复紧和特殊结构处置五个环节展开。

关键词

化工设备; 换热器; 密封泄漏故障; 检修; 研究

1 引言

换热器是化工装置中数量最多、运行最连续的静设备之一, 其密封状态直接影响介质隔离、能量利用和装置长周期运行。同时换热器作为化工生产中至关重要的设备之一, 它在控制过程温度、传递热能等方面发挥着核心作用, 然而换热器的密封泄漏问题一直是制约其性能的主要因素之一。现行国家标准已明确将热交换器纳入专门标准体系, 压力容器技术规范也把法兰密封面、垫片完好性和必要的泄漏试验列为重点内容^[1]。对于处理易燃、易爆、有毒介质的化工企业来说, 密封泄漏不仅意味着设备故障, 还会叠加火灾、中

毒、停工和环保风险, 因此检修工作必须从失效本体出发, 而不能停留在经验性补漏层面。

2 化工设备换热器密封泄漏故障概述

化工设备换热器密封泄漏故障, 是指换热器在管程、壳程或两者连接边界上, 本应保持隔离的介质因密封结构失效而出现外漏或内漏的异常状态。现场最常见的部位不是单一焊缝, 而是管箱法兰、浮头端法兰、管板与换热管连接区、板式换热器垫片槽以及隔板密封处。其产生原因通常具有叠加性。第一, 垫片受温度、压力和介质作用后发生老化、腐蚀、压溃或回弹不足。第二, 法兰密封面出现划伤、凹坑、错口和刚性不足, 组对后不能形成均匀比压。第三, 螺栓在高温波动、腐蚀或多次拆装后出现伸长、松动和预紧力衰减。第四, 管板胀接区、浮头密封环等特殊部位受热冲击、振动或局部腐蚀影响而失去密封。该类故障的直接危害不仅是物

【作者简介】胡盛昌(1989-), 男, 中国江西九江人, 本科, 工程师, 从事炼化装置维保工作和装置技改项目及工程建设项目研究。

料跑损和换热效率下降,更严重的是易燃、有毒介质可能外逸,造成着火、中毒、停工及次生设备损伤,高低压两侧介质窜漏时还可能打乱整套装置的压力与温度平衡,并增加后续检修中的吹扫、隔离和置换难度。在连续化生产装置中,这类故障往往还具有重复发生、停机窗口短和检修判断压力大的特点^[2]。

3 化工设备换热器密封泄漏故障检修

3.1 泄漏部位拆检与失效判别

就化工设备热交换器密封泄漏检修这一环节而言,拆检工作的着力点不是尽快打开设备,而是先把泄漏证据和失效路径固定下来。第一,停工后应先完成隔离、泄压、排净和置换,壳程、管程压力表回零后再开排气点破除残余真空,高危介质设备严禁带压松动紧固件;拆前把法兰下方挂液、结晶条带、腐蚀色差、冲刷纹和保温层浸湿边界逐点编号,必要时回看运行期压差、温差与泄漏量变化,避免清洗后失去判别依据。第二,判漏时必须区分外漏与内漏,外漏多落在法兰密封面、接管短节、浮头盖配合面及螺孔窜介质部位,内漏则要警惕高压侧向低压侧串液,循环水被工艺介质污染并不意味着单根管穿孔,隔板槽失封、浮头密封失稳和板片裂纹同样会形成跨侧窜流;对管板连接区还要看胀口周边是否有黑线、拉痕和潮湿扇面。第三,设备解体后不要先急于除垢,应先查密封面压痕是否连续、垫片压缩宽度是否一致、螺栓螺母是否有个别松弛和偏载,法兰密封面有无蚀沟、局部凹坑和压痕中断,并把拆出顺序、垫片朝向和异常螺栓位置同步记录,随后按管程、壳程或板片区域分区封堵,实施单侧充压查漏,把疑点收缩到具体腔室或部位。第四,对毒性高或设计上不允许微漏的换热器,复装后应按图样选做气密、氨检漏、卤素检漏或氦检漏;单侧试压时另一侧应处于无压状态,压力表量程宜取试验压力的1.5至3倍,表盘直径不小于100mm,达到规定压力后保压一般不少于30min,检查期间不得带压补拧紧固件,再根据检漏结果确认是否消缺到位。

3.2 密封垫片拆换与材质匹配

在化工设备热交换器密封泄漏检修中,密封垫片拆换的关键不在单纯换新,而在于把失效判断、材质匹配和复装控制一次做实。第一,旧垫片拆出后应先用软质工具和相容清洗剂清除残留,再结合压痕是否连续、局部是否焦化、边缘是否冲蚀、是否存在单侧压扁和介质浸润发黑来分清是材料失配还是受力失衡;若同一圈垫片出现偏压,检修人员还要继续追查法兰翘曲、螺栓预紧不均和压紧板平行度偏差,避免只换垫片不处理受力问题。第二,垫片选型必须把介质、温度、压力和密封面型式同时核对,缠绕垫在HG/T20610对应的PN16至PN160法兰上应用较多,板式换热器还要核对铭牌和图样对应的垫片最高工作温度,公开手册给出的常见范围中,NBR约至140℃、EPDM约至170℃,设计温

度超过垫片允许值时不能代用^[3]。第三,新垫片上线前应逐件复核内外径、厚度、加强环或缠绕带完整性,板式换热器要把密封槽内旧胶、铁锈和焦粉清净,并确认垫片准确落槽;对库存件还要补查受潮、分层、边口碰伤和表面污染,清洗后也不能让清洁剂长时间滞留在胶垫表面。第四,复装时应把垫片居中放正,严禁拉伸就位、局部补边和双层叠装,螺栓宜按对角线顺序分轮均匀压紧;对已拆开受压的金属缠绕垫,以及已硬化失弹或出现永久压缩变形的橡胶垫,现场通常不再回用,复装后再做保压复查。

3.3 密封面修整与组对校正

在化工换热器密封泄漏返修中,密封面修整与组对校正必须作为垫片更换前的先行工序统筹实施。第一,设备解体后检修人员应先用直尺、塞尺、着色和样板对法兰面、隔板槽及压紧带逐圈复核,把刀痕、点蚀坑、冲蚀沟、局部塌边与外漏痕迹对应标记,不只看缺陷深浅,还要判断缺陷是否落在有效密封带内;对受入口侧高速冲刷的部位,要重点检查偏磨和单边失压,必要时结合运行期温差、压差和渗漏方向倒查受力异常位置,避免把组对偏斜误判成垫片失效。第二,对浅表划伤和轻微压痕,可采用细磨、研磨或小切削量机加工修复,但修整前必须先核对原密封面型式,不能把凸面、全平面、凹凸面和榫槽面混改,修后密封宽度、槽深及接触带必须回到图样允许范围,边缘不得削成薄口,隔板槽转角不得留出台阶,高压换热器新加工区现场多按图样控制粗糙度,常见做法为Ra3.2左右。第三,发现法兰错口、翘曲或连接短节带应力时,应先处理接管方位和组对尺寸,再做空载找正,不允许借螺栓强拉硬压消除偏差;现场安装复测时,换热器与外部管线应在不受外力状态下连接,法兰面倾斜量通常控制在毫米级,小口径接口宜不大于1.5mm,中等口径宜不大于2.5mm,并复测平行度、同轴度和螺栓跨距一致性,防止压紧后出现单侧吃力。第四,对腐蚀减薄、刚度不足或多次补修后仍难形成均匀比压的密封面,应停止表面性补救并直接更换零部件;高压结构经补焊或切削后,还要复查新加工面保护情况和表面开口缺陷,工程上已有做法对密封面实施100%PT检查后再复装,复装前宜用洁净软质覆盖物保护密封带,严禁在损伤面大量涂胶后带缺陷回用。

3.4 螺栓紧固恢复与预紧力重建

针对化工设备换热器的螺栓紧固恢复不是简单回装,而是把残余预紧力重新做到垫片受压体系中。第一,拆检时要把每根螺柱按位置编号复查螺纹啮合、杆部腐蚀、局部拉毛和自由长度变化,对拆卸发涩、螺母偏斜或外露扣数异常的部位,现场应同步核对该点法兰压痕、垫片压溃带和外漏方向;对蒸汽侧、高温油侧常用合金钢螺柱,若已出现滑扣、弯曲、明显颈缩或可见伸长,不再混装回用,必要时抽查硬度和材质标识,防止旧件强度衰减后继续承担主载荷。第二,换装时螺柱、螺母和垫圈必须与设计等级一致,长度

以紧固后露出螺母 1 至 2 扣为宜, 螺纹先清污除锈, 再在螺纹及支承面薄涂润滑剂, 减少扭矩损失; 检修中同规格螺栓若干摩擦上紧, 实测预紧力常会发散, 后续极易出现一圈紧、一圈松, 法兰局部比压掉得很快。第三, 终紧必须按对角分级推进, 通常先上到目标值的 30% 至 40%, 再升至 70% 至 80%, 最后整圈复核, 紧固过程中持续量四周间隙, 控制法兰不偏口; 对管箱、浮头端这类大直径连接, 还要把每轮扳手走位、终紧圈次和实测间隙记入检修记录, 发现单侧间隙收敛过快时立即退回重分配载荷。对于 M24 以上螺柱较多的连接, 现场常配合力矩扳手或液压拉伸器执行, 目的不是追求数值好看, 而是把周向载荷差压到可控范围, 避免垫片一侧先被压死, 并复测螺母外露扣数是否一致^[4]。第四, 开车升温后在温度稳定条件下复核螺柱松弛和热伸长影响, 必要时按规程热紧, 但对有毒、可燃介质连接不得在喷漏状态下冒险强拧, 高参数管道热态紧固时内压通常还需压到 0.3~0.5MPa 以下后再均匀处理, 复紧时仍按对称顺序小步进行调整, 不能只补泄漏点附近几根。

3.5 特殊密封结构分项处置

针对化工设备换热器常规法兰复位后仍反复渗漏时, 检修就不能再按统一换垫片思路处理, 而应把特殊密封结构逐段拆开、逐处定性、逐项复验, 避免把局部问题继续按通用工序覆盖过去。第一, 管壳式换热器管板连接区先分清胀口回松、密封焊裂开还是管端腐蚀减薄, 再决定重胀、补焊或堵管; 现场采用液压重胀时, 检修人员通常先修整管口圆度和伸出量, 清净胀接区氧化皮与沉积物, 再按同排、对称、分段顺序逐孔控制扩径复核, 根据设备手册以及实际情况来看液压胀接压力多在 150~290MPa、保压约 5~8s, 补胀后还要复测相邻孔和管板表面状态, 防止局部加力把原有微裂纹继续顶开。第二, 浮头端、隔板槽及高压密封环泄漏, 重点不在补胶堵漏, 而在查槽面压伤、焊缝线性缺陷和配合间隙是否失稳; 对已出现反复热紧、反复补焊仍返漏的 Ω 环结构, 应结合介质危险性、开停工频次和历史泄漏位置评估改

型, 已有高压溶剂换热器将 Ω 环改为金属波齿垫的做法, 处理时还要同步复核端部刚度和螺栓受力均匀性^[5]。第三, 板式换热器外漏通常与垫片脱槽、板片变形及夹紧尺寸失准并发出现, 检修时应逐片清槽、透光查裂, 再在无压状态下按厂家尺寸均匀回装, 各处压紧偏差宜受控, 压紧板平行度也要同步校正, 外漏排查时各处尺寸偏差不宜大于 3mm, 重新夹紧后两压紧板平行度宜保持在 2mm 以内, 不能靠过度压紧消除渗漏。第四, 特殊部位处理后要分型式复验, 管壳式优先做耐压后再查泄漏点, 必要时对盲板口、浮头端和管板周边分段保压, 板式则在恢复原始压紧尺寸后复做保压检查, 确认干燥面无渗痕、盲板口和连接口无返湿后, 方可恢复保温和联管。

4 结语

化工设备换热器密封泄漏检修的核心, 不在于临时止漏, 而在于把泄漏部位、失效机理和受力状态逐项还原后再实施针对性处理。结合中国化工装置的实际经验, 只有把拆检判漏、垫片匹配、密封面修整、螺栓预紧和特殊结构处置五个环节连续做实, 才能避免同一漏点在短周期内重复出现。今后的检修工作仍应严格以现行标准、设计文件和设备实际工况为依据, 减少经验性返工, 稳定换热器密封运行边界。

参考文献

- [1] 鲍占周. 炼油化工设备换热器的密封泄漏问题及处理措施探析[J]. 当代化工研究, 2024(9):160-162.
- [2] 周俊, 杨文军. 化工换热器在酸性介质环境下的腐蚀特性及防护措施[J]. 2025(11):87-101.
- [3] 王宏伟. 炼油厂高压隔膜式换热器泄漏原因分析及检修方案[J]. 设备管理与维修, 2023(16):84-85.
- [4] 胡瀚元. 石油化工装置换热器的密封泄漏问题及处理措施[J]. 中国科技期刊数据库 工业C, 2018(4):00139-00139.
- [5] 关庆贺, 付丽军, 李崇勇. 换热器管箱侧法兰密封泄漏与安装紧固力矩[J]. 特种设备安全技术, 2020(2):3.