

# Analysis of the Causes of Corrosion in the Intercooler of the Ethylene Plant Cracked Gas Compressor

Chaohui You Zhangbin Luo Yongmeng Sun Kun Zhang

Sinopec Zhongyuan Petrochemical Co., Ltd., Puyang, Henan, 457000, China

## Abstract

As a critical component of the ethylene plant cracking gas compressor, interstage coolers play a key role in enhancing equipment stability, efficiency, and safety. This article focuses on the characteristics of ethylene processes and industrial features, comprehensively analyzing corrosion-inducing factors such as process media, equipment design, and operating conditions. Emphasizing the importance of addressing interstage cooler corrosion, it clarifies the underlying logic of anti-corrosion measures. By implementing effective strategies in areas such as media treatment, operational optimization, and monitoring systems, the article proposes establishing a robust framework to address corrosion issues in cracking gas compressor interstage coolers, resolving problems like equipment leakage and declining heat transfer efficiency, thereby promoting the transformation and upgrading of ethylene production systems.

## Keywords

ethylene production; cracking gas; compressor; interstage cooler; causes of corrosion

## 乙烯装置裂解气压缩机段间冷却器腐蚀原因分析

尤朝辉 罗涨宾 孙永猛 张坤

中国石化中原石油化工有限公司, 中国·河南 濮阳 457000

## 摘要

段间冷却器作为乙烯装置裂解气压缩机的重要组成部分,在提升设备运行的稳定性、高效性与安全性等方面发挥着关键性作用,文章着眼乙烯工艺特点与产业特性,综合介质、设备、工况等段间冷却器腐蚀诱发原因,着眼冷却器腐蚀处理的重要性,廓清防腐处理的底层逻辑,从介质处理、工况优化、监测体系等层面出发,采取有效举措,建立健全裂解气压缩机段间冷却器腐蚀问题应对体系,解决设备泄漏、换热效率下降等问题,助推乙烯生产体系的转型升级。

## 关键词

乙烯制备;裂解气;压缩机;段间冷却器;腐蚀原因

## 1 引言

间段冷却器由核心传热组件、支撑固定组件、密封连接组件等组成,依托合理的结构布局实现高温裂解气的快速冷却,为压缩机高效平稳运转提供有力支撑。在高温、高压等系列因素影响下,间段冷却器极易出现腐蚀问题,技术人员在总结过往有益经验的前提下,针对间段冷却器腐蚀诱因,创新防腐体系,健全应对路径,强化相关模块组件维护与管理效能。

## 2 乙烯装置裂解气压缩机段间冷却器腐蚀诱发原因

### 2.1 介质因素

裂解气中含有的  $H_2S$ 、 $CO_2$  等酸性组分,在冷却器运行

过程中与管程冷却水发生反应,生成酸性水溶液,破坏冷却器金属表面的钝化膜,引发均匀腐蚀与点蚀,其中  $H_2S$  的腐蚀作用具有隐蔽性强、发展速度快的特点,易在换热管内壁形成腐蚀坑,逐步导致管壁减薄、泄漏失效<sup>[1]</sup>。同时,裂解气中携带的微量  $Cl^-$ 、 $F^-$  等卤素离子,会穿透金属钝化膜的薄弱区域,引发应力腐蚀开裂,尤其在冷却器管板与换热管连接的焊缝处,卤素离子的富集会加剧腐蚀速率,形成局部腐蚀失效点。裂解气中含有没有完全分离的重质油组分、焦粉等杂质,会在冷却器内壁沉积,形成污垢层。污垢层在很大程度上会阻碍热量传递,导致局部温度升高,加剧介质的腐蚀活性。

### 2.2 设备因素

部分乙烯装置选用普通碳钢或低合金钢材作为冷却器换热管与管板材质,此类材质的耐酸性、耐点蚀性能较差,无法适应裂解气与冷却水的复合腐蚀环境,尤其在高温高压工况下,材质的腐蚀疲劳强度大幅下降,容易出现腐蚀开裂。

【作者简介】尤朝辉(1986-),男,中国河南登封人,本科,工程师,从事于乙烯装置裂解气压缩机操作与维护研究。

在结构设计层面,冷却器管板与换热管的连接方式、折流板的布置间距等设计不合理,会导致壳程裂解气流动产生涡流,形成局部负压区与介质滞留区,加剧介质的局部富集与腐蚀。密封结构设计存在缺陷,如垫片选型不当、法兰密封面加工精度不足,会导致冷却水与裂解气交叉泄漏,两种介质混合后形成更强腐蚀性的混合体系,加速冷却器的腐蚀失效。设备制造过程中的焊接缺陷、表面处理不彻底等问题,会导致金属表面存在微观裂纹、氧化皮等缺陷,这些缺陷成为腐蚀介质的侵入点,降低设备的腐蚀防护能力,诱发局部腐蚀失效,导致腐蚀隐患长期积累。

### 2.3 工况因素

裂解气压缩机在负荷调整、启停操作等过程中,段间冷却器的运行温度、压力会发生剧烈波动,导致金属材料产生热应力与机械应力,应力集中现象会破坏金属表面的钝化膜,形成应力腐蚀开裂的敏感区域,尤其在设备启停频繁的工况下,应力腐蚀的累积效应会大幅缩短冷却器的使用寿命。冷却水 pH 值偏低、硬度超标、微生物含量过高,会加剧冷却器管程的腐蚀与结垢,其中 pH 值过低会增强冷却水的酸性,加速金属腐蚀<sup>[2]</sup>。硬度超标会导致水垢沉积,引发垢下腐蚀;微生物繁殖会产生代谢产物,形成生物膜,与腐蚀介质协同作用,加剧设备腐蚀。裂解气酸性组分含量突然升高、杂质含量超标,会导致冷却器的腐蚀环境急剧恶化,超出设备的腐蚀承受能力,引发突发性腐蚀失效。

## 3 乙烯装置裂解气压缩机段间冷却器腐蚀处理的重要性

### 3.1 保持设备运行的稳定性

段间冷却器发生腐蚀后会导致换热管内壁减薄、泄漏,进而影响裂解气的冷却效果,导致压缩机入口温度超标,引发压缩机负荷波动、振动加剧等问题,严重时会导致压缩机非计划停机,中断乙烯生产流程。通过科学的腐蚀处理,可有效降低冷却器的腐蚀速率,修复腐蚀缺陷,维持设备的结构完整性与换热效能,确保冷却器能够持续稳定地发挥冷却作用,为裂解气压缩机的平稳运行提供保障。同时,腐蚀处理可减少设备的故障频次,降低设备运维成本,避免因腐蚀失效导致的生产中断,保障乙烯生产的连续性,对于大型乙烯装置而言,能够有效提升生产计划的执行力,减少因设备故障带来的产能损失,推动乙烯生产体系的稳定运行。

### 3.2 提升设备运行的安全性

段间冷却器腐蚀泄漏后,裂解气中含有的易燃易爆、有毒有害组分可能会与冷却水混合,引发泄漏、爆炸、中毒等事故,威胁操作人员的人身安全与设备的安全运行<sup>[3]</sup>。腐蚀导致的设备结构强度下降,在高温高压工况下可能会引发设备破裂,造成严重的安全事故。通过有效的腐蚀处理,

及时发现并消除冷却器的腐蚀隐患,强化设备的腐蚀防护能力,避免腐蚀失效引发的安全事故,保障生产现场的安全稳定。腐蚀处理过程中,同步完善设备的安全防护体系,优化腐蚀监测与预警机制,提升设备运维的安全性与规范性,实现对腐蚀风险的精准管控,为乙烯装置的安全生产提供坚实保障。

### 3.3 确保设备运行的高效性

段间冷却器发生腐蚀后,换热管内壁会形成腐蚀产物与污垢沉积,导致换热系数下降,冷却效果变差,为了维持压缩机的正常运行,需要消耗更多的能源来提升冷却效果,导致生产能耗攀升,腐蚀导致的设备泄漏,会造成裂解气的损耗,降低乙烯产品的产能与收率,影响生产效益。通过科学的腐蚀处理,可清除换热管内壁的腐蚀产物与污垢,修复腐蚀缺陷,恢复冷却器的换热效能,降低生产能耗,延长冷却器的使用寿命,减少设备更换成本,提升设备的运行效率与利用效率。腐蚀处理过程中,结合设备运行实际,优化冷却器的运行参数与维护方案,提升设备的换热效率,推动乙烯生产朝着节能、高效、低碳的方向发展。

## 4 乙烯装置裂解气压缩机段间冷却器腐蚀问题应对策略

### 4.1 健全完善介质处理工艺

针对介质因素引发的腐蚀问题,技术人员应当立足乙烯工艺特点,健全完善介质预处理与净化工艺,从源头降低腐蚀介质的危害,构建全流程介质腐蚀防控体系。在裂解气预处理环节,优化脱硫、脱碳工艺,采用高效脱硫剂与脱碳剂,精准控制裂解气中 H<sub>2</sub>S、CO<sub>2</sub> 等酸性组分的含量,将其控制在设备腐蚀承受范围内。增设精密过滤装置,有效去除裂解气中携带的焦粉、重质油等杂质,减少杂质沉积引发的垢下腐蚀<sup>[4]</sup>。在冷却水处理环节,构建智能化水质调控体系,实时监测冷却水的 pH 值、硬度、微生物含量等参数,通过添加缓蚀剂、阻垢剂、杀菌剂等药剂,调节冷却水水质,抑制冷却水的腐蚀与结垢。采用循环水旁滤处理技术,去除循环水中的悬浮物与杂质,提升冷却水的洁净度,减少腐蚀介质的积累。建立介质组分实时监测机制,及时预警介质组分波动引发的腐蚀风险,实现对介质腐蚀的精准防控,推动介质处理工艺朝着精细化、智能化方向升级。

### 4.2 优化调整防腐技术方案

结合设备腐蚀特点与运行工况,优化调整防腐技术方案,强化设备的腐蚀防护能力,实现腐蚀防护的针对性与长效性,突破传统防腐技术的局限性。在材质优化方面,结合冷却器的腐蚀环境,选用双相不锈钢、钛合金等耐酸性、耐点蚀、耐应力腐蚀性能优异的特种钢材,替代传统普通碳钢与低合金钢材,提升设备的抗腐蚀能力,如表 1 所示:

表1 双相不锈钢、钛合金参数统计表

材质类型	具体牌号/类型	耐酸性参数 (25℃, 腐蚀速率)	耐点蚀参数 (PREN值/临界点蚀温度)	耐应力腐蚀性能
双相不锈钢	B2101 (氮合金化经济型)	3.0-4.0 g/m <sup>2</sup> ·h (酸性介质); 在H <sub>2</sub> S、CO <sub>2</sub> 混合酸性环境中腐蚀速率≤0.1mm/a	PREN值≥24; 临界点蚀温度≈45℃	耐Cl <sup>-</sup> 应力腐蚀开裂, 腐蚀疲劳性能优良, 屈服强度是300系列不锈钢的2倍
钛合金	钛钯合金(Ti-Pd)	硫酸(<5%): 常温下腐蚀速率≤0.01mm/a; 强酸性混合介质中腐蚀速率≤0.03mm/a	临界点蚀温度>120℃, 完全耐受高浓度Cl <sup>-</sup> 环境, 无点蚀风险	耐应力腐蚀性能优于纯钛, 可承受高温高压工况下的应力冲击, 不易开裂

针对于换热管等组件, 工作人员按照技术规范, 通过防腐层喷涂等处理方式, 进行组件表面的防腐处理, 强化设备的防腐能力, 延长设备使用寿命, 降低故障发生概率。同步, 做好冷却器结构做好必要的优化处理, 对管板、换热管的连接方式进行调整, 考虑到连接区域的结构强度与耐久性, 工作人员可以采用胀焊结合工艺, 确保连接区域的物理性能、力学性能符合预期。

#### 4.3 科学规范设备运行参数

工作人员坚持问题导向, 综合分析设备工况环境, 对设备运行参数做出必要的调整, 对设备操作流程进行优化, 形成科学、规范的设备运行管控模式, 通过这种方式, 避免操作不当引发冷却器腐蚀问题, 确保设备模块始终处于良性区间。

建立健全裂解气压缩机、段间冷却器协同管理机制, 运用大数据技术、人工智能技术, 掌握压缩机负荷参数, 通过发掘核心数据, 制定压缩机负荷调控方案, 针对性地优化温度、压力等指标, 确保压缩机运行的平稳性, 有效释放热应力, 减少机械应力的积累, 保证应力腐蚀的应对能力<sup>[9]</sup>。工作人员还需要做好冷却水温度、流量、水体质量的监控, 根据监控结果, 即时介入, 确保冷却水的冷却效果, 避免引发冷却器温度异常升高等问题, 降低设备腐蚀的发生概率。在此基础上, 常态化做好冷却水系统的维护, 对污垢、腐蚀产物按照行业有关规定进行清理, 同时, 做好设备启停、负荷调整等常规性设备维护工作, 根据维护工作的要求, 针对性做好专业化、主题化培训, 借助这种方式, 增强人员对冷却器的管护能力。

#### 4.4 建立设备腐蚀监测体系

工作人员要结合实际, 打造全周期腐蚀检测机制, 对冷却器腐蚀问题进行实时监测、科学预警以及精准介入, 实现腐蚀问题的超前应对, 补齐过往冷却器腐蚀问题的处理短板。具体来看, 工作人员遵循冷却器腐蚀规律, 结合结构特点与工况环境, 合理设置腐蚀监测点, 依托超声波检测、红

外线成像检测等技术方案, 实时、精准获取换热管、管板等关键性区域的腐蚀速度、腐蚀程度, 判定腐蚀缺陷, 实现冷却器腐蚀问题的定向分析, 增强腐蚀问题处置的针对性与有效性。

完善腐蚀数据分析评估平台, 借助大数据技术以及人工神经网络, 对获取的腐蚀监测数据进行采集、分析、存储、共享以及应用, 绘制冷却器腐蚀问题发展曲线, 归纳腐蚀问题发展规律, 对腐蚀严重程度、危害性进行分析。同时, 考虑到冷却器工况环境的复杂性以及防腐处理要求的严格性, 工作人员在做好上述的过程基础上, 还应当结合乙烯生产工艺特点, 建立健全冷却器腐蚀风险评估模型, 引入数学算法, 结合实时检测数据, 做好冷却器的腐蚀风险的定期评估, 工作人员依据分析结果, 明确腐蚀防控的重点环节与措施, 制定针对性的冷却器腐蚀问题处理方案。

## 5 结语

文章系统剖析段间冷却器腐蚀的诱发原因, 从介质处理、防腐技术、运行参数、监测体系四个维度, 提出了具有创新性与针对性的应对策略, 构建了全流程、多维度的腐蚀防控体系, 有效填补了传统防腐工作中针对性不足、长效性欠缺的短板。

### 参考文献

- [1] 马红杰, 周尖, 丁少辉等. 乙烯装置裂解气压缩机段间冷却器腐蚀原因分析[J]. 炼油技术与工程, 2024(6): 38-42.
- [2] 王哲, 杨华栋, 杨彦红等. 探究原料重质化趋势下裂解气压缩机结垢腐蚀处理对策[J]. 粘接, 2026(1): 177-180.
- [3] 张志飞, 薛新超, 董亚龙等. 乙烯装置裂解气压缩机“5年1修”的探索实践[J]. 乙烯工业, 2025(4): 23-26.
- [4] 李景平, 贾立翔, 赵明辉. 基于能效监测的裂解气压缩机组效率提升对策[J]. 石油石化节能与计算, 2025(7): 93-94.
- [5] 贾会平. 乙烯装置裂解气压缩机系统的设计研究[J]. 化工设计, 2025(2): 6-10.