

# Study on Low Temperature Corrosion of Conventional and Vacuum Distillation for Low Quality Crude Oil and System Control Strategy

Dewei Tan

China Petrochemical Co., Ltd. Jinling Branch, Nanjing, Jiangsu, 210033, China

## Abstract

As the crude oil processed by refineries becomes increasingly high in sulfur and acidity, the low-temperature corrosion problem in atmospheric and vacuum distillation units has become more prominent during operation. In particular, the HCl-H<sub>2</sub>S-H<sub>2</sub>O-type corrosion caused by the combined effects of hydrogen chloride, hydrogen sulfide, and water vapor in the tower top system has become a key factor affecting the long-term safe operation of the unit. This paper combines practical operational cases with standards such as the "China Petrochemical Refining Process Anti-Corrosion Management Measures" to analyze the mechanisms, influencing factors, and typical issues of low-temperature corrosion in atmospheric and vacuum distillation units under conditions of processing inferior crude oil. The study shows that insufficient efficiency of the electro-deionization system, improper control of the tower top temperature, structural defects in the tower top condensation system, and ammonium salt deposition can all lead to aggravated corrosion. To address these issues, multidimensional prevention and control strategies such as process optimization, material corrosion protection, online monitoring, and chemical injection are proposed to establish a systematic anti-corrosion system, providing technical support for the stable operation of refining units.

## Keywords

inferior crude oil; atmospheric and vacuum distillation; low-temperature corrosion; corrosion protection system; process optimization

## 面向劣质原油的常减压蒸馏低温腐蚀问题与系统防控策略研究

谈德伟

中国石油化工股份有限公司金陵分公司, 中国·江苏·南京 210033

## 摘要

随着炼油企业加工的原油向高硫、高酸化发展,常减压蒸馏装置在运行过程中低温腐蚀问题愈加突出,尤其是塔顶系统的氯化氢、硫化氢与水汽共同作用下的HCl-H<sub>2</sub>S-H<sub>2</sub>O型腐蚀已成为影响装置长周期安全运行的关键因素。本文结合实际运行案例与《中国石化炼油工艺防腐蚀管理办法》等标准,分析了劣质原油加工条件下常减压蒸馏装置低温腐蚀的机理、影响因素及典型问题。研究表明,电脱盐系统效率不足、塔顶温度控制不当、塔顶冷凝系统结构缺陷及铵盐沉积均会导致腐蚀加剧。针对这些问题,提出工艺优化、材料防腐、在线监测及药剂注入等多维防控策略,构建系统性防腐蚀体系,为炼油装置的稳定运行提供技术支持。

## 关键词

劣质原油;常减压蒸馏;低温腐蚀;防腐体系;工艺优化

## 1 引言

常减压蒸馏装置作为炼油流程的首要工段,直接关系到全厂生产的稳定性与安全性。随着高酸、高硫、含氯原油加工比例不断上升,设备腐蚀特别是低温部位的腐蚀问题成为制约装置长周期运行的核心难题。低温腐蚀往往集中在初馏塔、常压塔及减压塔的塔顶和挥发线系统,由氯化氢、硫

化氢与水汽形成的酸性冷凝液引起。长期运行中,腐蚀造成的泄漏、结垢与堵塞不仅威胁设备安全,还直接影响产品质量与经济效益。本文基于现行防腐蚀管理规范与典型装置运行数据,系统研究低温腐蚀的形成机理与控制思路,提出一套针对劣质原油特性的综合防控策略,以指导炼厂的技术改造与运维实践。

【作者简介】谈德伟(1997-),男,中国安徽马鞍山人,本科,助理工程师,从事石油化工工艺研究。

## 2 劣质原油加工条件下常减压装置低温腐蚀机理分析

### 2.1 腐蚀的化学机制与工艺特征

常减压蒸馏装置的低温腐蚀过程具有明显的化学、电化学的复合特性，其核心机理源于氯化氢、硫化氢与水蒸气在塔顶系统中的协同作用。 $\text{HCl-H}_2\text{S-H}_2\text{O}$ 型腐蚀通常发生在冷凝温度区间内，当高温蒸汽中氯化氢气体冷凝为酸液时，会在金属表面形成高浓度的氯离子环境，造成强烈的电化学腐蚀。硫化氢的溶解会进一步降低溶液 pH 并生成弱电解质，加剧金属离子迁移，使局部腐蚀加速。 $\text{Cl}^-$ 离子对金属晶界的穿透作用尤为显著，易诱发晶间腐蚀及应力腐蚀裂纹，造成结构性破坏。此外，塔顶区常因温差较大而产生 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 等盐类结晶，这些盐类吸湿性强，在表面形成酸性液膜后导致垢下腐蚀。该类腐蚀呈点蚀与缝隙蚀交互特征，往往发展迅速且隐蔽性高，对塔盘、回流管及空冷器弯头等部位威胁最大。

### 2.2 劣质原油特性与腐蚀风险增强

近年来炼油行业加工的原油逐渐向高酸、高硫方向转变，劣质原油的复杂组分为低温腐蚀频发的重要诱因。此类原油中含有较高比例的无机氯化物、有机酸及硫化物，在常减压加热和分馏过程中易生成 $\text{HCl}$ 与 $\text{H}_2\text{S}$ 。若前端脱盐不彻底，残留的氯化钠和氯化镁在高温下水解为氯化氢气体并随蒸汽进入塔顶系统，当遇冷凝后形成酸液，从而加速金属腐蚀，对含残余应力的奥氏体不锈钢还会诱发应力腐蚀开裂。有研究与实测数据表明，脱盐后原油含盐量若超过 $5\text{mgNaCl/L}$ ，塔顶部位的腐蚀速率将成倍提升。

## 3 常减压系统中典型低温腐蚀问题分析

### 3.1 电脱盐效率不足导致盐分积聚

常减压蒸馏系统中，电脱盐单元是防控低温腐蚀的关键前端环节，其运行效率直接决定了进入塔系的原油含盐量。电脱盐的核心在于通过电场促使油水分离，从而去除原油中的氯化钠、氯化镁等无机盐及杂质。然而在长期运行中，因原油黏度增加、油泥沉积与电极老化等因素，常出现油水界面漂移、送电差、排水带油、脱水不彻底等现象，导致脱盐效果下降。某常减压装置运行后期，脱盐罐频繁跳闸，排水带油，检修发现油泥堆积至人孔，有效容积与水滴沉降时间不足设计值 50%，脱后原油盐含量多次超标。含盐原油进入初馏、常压单元后，会在高温蒸馏过程中生成 $\text{HCl}$ ，冷凝至塔顶形成酸液，加剧设备腐蚀。油泥层厚度过高，会削弱电场强度，进一步影响脱盐性能。因此，必须定期执行脱盐罐反冲洗操作，清理脱盐罐油泥，保证脱盐罐的有效容积及原油在电场中停留的时间，确保脱盐后原油含盐量低于 $3\text{mgNaCl/L}$ ，从源头抑制塔顶低温腐蚀。

### 3.2 塔顶系统铵盐结晶与堵塞

常压塔顶系统中普遍存在铵盐沉积现象，尤其是

$\text{NH}_4\text{Cl}$ 和 $\text{NH}_4\text{HS}$ 在冷凝段和空冷入口处的结晶堵塞问题最为严重。此类盐类在冷凝过程中易在弯头、回流管及冷却器内壁形成结垢层，当气流通过受阻时会引发压降升高及流体偏流，进一步加剧局部腐蚀。铵盐具有较强的吸湿性，其在吸水后会生成高浓度酸性液体，腐蚀速度显著高于干盐沉积状态。实践表明，塔顶结盐不仅缩小气相通道，还导致流体分布不均，从而出现塔顶温差异常及回流液局部富酸现象。部分炼厂通过新增塔顶注水系统与雾化喷头装置，改善了盐类沉积分布，使铵盐得以稀释和冲洗，显著降低垢下腐蚀发生率。优化中和剂和缓蚀剂的注入位置与浓度，可进一步稳定塔顶 pH 环境，实现防腐与防堵协同控制。



图 2 某常减压装置空冷入口管线铵盐结晶情况

### 3.3 塔体与管线结构性腐蚀隐患

常减压塔体及其相关管线因长期处于复杂热应力与腐蚀介质环境中，极易发生结构性腐蚀失效。现场检测表明，常压塔缩径段及顶部焊缝区域多出现晶间腐蚀、减薄及局部穿孔，其根本原因在于冷凝酸液沿焊缝聚集并滞留，形成高浓度腐蚀环境。塔顶换热器和空冷器的弯头处为流体冲刷与相变频繁区域，局部湍流强化腐蚀速率，腐蚀速率较直管段更高。为降低风险，应在高应力区采用耐蚀复合材料或双相钢，加强热应力消除处理，并建立周期性超声测厚与红外检测制度。

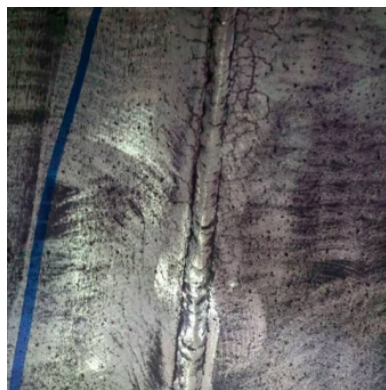


图 3 某常压塔上部低温段塔壁腐蚀情况

## 4 低温腐蚀的综合防控设计与技术路径

### 4.1 工艺流程优化与操作参数控制

常减压蒸馏塔顶系统的防腐核心在于优化工艺流程与精准控制操作参数。针对 HCl-H<sub>2</sub>S-H<sub>2</sub>O 体系形成的低温腐蚀,应从热力学和流体力学角度重构塔顶冷凝回流结构。采用两段冷凝、分级回流的设计,可将第一段返塔温度稳定在 90℃ 左右,从而减少酸性冷凝液的生成,避免塔盘及塔壁处的局部冷凝腐蚀。同时,通过优化常顶循环抽取与返回层位,如由 44/46 层调整为 53/55 层,可有效提升塔顶操作温度,使系统整体处于高于酸露点的区间,显著减缓氯化氢的冷凝腐蚀。增设塔顶注水系统,可起到对塔顶冷凝系统中铵盐的冲洗、稀释作用,有效减轻垢下腐蚀。同时注水及注剂系统的喷射应采用雾化形式,保证水雾均匀分布并避免直接冲击管壁,以维持稳定的稀释环境。

### 4.2 材料选择与结构设计优化

在加工高硫、高酸原油条件下,材料的合理选择与结构设计直接决定装置的防腐效果。在常压塔 46 层塔盘以上的低温区域,宜应采用 S31254+Q245R 复合板作为塔体主材质,配套 316L 不锈钢作为支撑件。复层 S31254 耐腐蚀能力远优于常规不锈钢,可直接承受常压塔中上部低温环境下 HCl-H<sub>2</sub>S-H<sub>2</sub>O 型腐蚀;基材 Q245R 则为塔体提供承压所需的机械强度。316L 支撑件因含 Mo 元素具备基础抗 Cl<sup>-</sup>、H<sub>2</sub>S 腐蚀能力,适配非核心腐蚀区的工况需求,且加工焊接性能与经济性更优。

### 4.3 在线除盐与监测系统建设

塔顶冷却系统的防腐防控需依赖连续的监测技术支撑。通过增设在线 PH 值监测系统,实时监测塔顶含硫污水 PH 值,可精准反应塔顶防腐工况,及时对注氨量进行调整,将塔顶 PH 值控制在 7~9 之间;跟踪监测三顶水铁离子含量变化,能够直观判断金属基体的腐蚀程度。搭配腐蚀探针在线监测,可直接获取设备实际腐蚀情况,精准捕捉局部腐蚀风险。监测数据可传输至 DCS 平台,实现腐蚀趋势分析与预警响应,形成“检测—评估—防护”闭环。此类智能化监测体系的建立,为常减压蒸馏装置的长周期安全运行提供了可靠的技术保障与决策依据。

## 5 系统性防腐管理与运行保障

### 5.1 防腐管理体系建设

常减压蒸馏装置的防腐管理应以系统化、制度化为核心,建立覆盖原油采购、工艺设计、设备管理、药剂控制及运行监督的多部门协同网络。依据《中国石化炼油工艺防腐管理》要求,各炼油企业应形成以工艺技术部门为牵头、设备与运行部门协作的责任体系,实现防腐措施从设计源头到运行过程的全周期监管。管理体系需明确各装置的腐蚀重点部位与监测参数,制定详细的控制指标及分析频率,并将监测结果纳入绩效考核体系。通过工艺防腐、材料防腐、操作防腐三位一体的综合机制,可实现对低温腐蚀的

实时控制和趋势预判。企业还应建立信息化防腐数据库,定期汇总腐蚀监测数据与药剂使用情况,为后续工艺优化与设备更新提供科学依据,确保防腐工作制度化、数据化、持续化推进。

### 5.2 药剂注入与运行监测控制

针对常减压蒸馏塔顶系统的 HCl-H<sub>2</sub>S-H<sub>2</sub>O 型低温腐蚀,应科学配置“三注”系统以实现动态防护。中和剂的注入量应根据塔顶介质酸性成分与露点温度匹配,确保 pH 处于中性至弱碱性范围,确保缓蚀剂能够发挥作用;缓蚀剂应具备良好的分散性与高温稳定性,以在金属表面形成致密保护膜;注水则需保证 25% 以上液态比例以稀释酸性腐蚀产物。运行中应强化排水 pH 值与铁离子浓度的动态检测,合格率需保持在 95% 以上。通过 DCS 系统建立“药剂流量—腐蚀速率—设备状态”的闭环控制模型,实现对药剂投加效果的智能评估与预警,确保药剂注入科学化、精准化与长期稳定化,形成低温防腐的动态平衡机制。

### 5.3 运行数据与风险预警机制

低温腐蚀的监测与预警是防控体系的重要环节,应依托数字化仪控技术构建智能化腐蚀监测平台。关键运行数据如塔顶温度、介质酸露点、腐蚀速率及壁厚变化应实时采集并与工艺参数联动分析。设备管理部门需定期组织红外成像与厚度复测,形成点一线一面的综合监控网络。通过构建“实时监测—数据分析—风险响应”的闭环体系,可提前发现潜在泄漏隐患,防止局部微裂纹扩展为穿孔事故,实现常减压装置运行的预测性维护与安全保障。

## 6 结语

常减压蒸馏装置低温腐蚀问题是炼厂面对原油劣质化加工过程中不可忽视的风险。防腐防控需从原料管理、工艺设计、材料选型、运行监测等多方面综合施策。通过建立科学的工艺防腐体系、强化在线监测与动态调控,可显著提升装置运行的安全性与经济性。研究表明,只有在设计阶段实施防腐综合策略,才能实现“全过程防控、全周期管理、全系统优化”的防腐目标。

### 参考文献

- [1] 张继辉,杨析宗.第四常减压蒸馏装置加工劣质原油常顶的腐蚀与防护[J].齐鲁石油化工,2018,46(01):32-36.
- [2] 徐晓山.劣质原油常减压蒸馏工艺技术探讨与实践[J].石化技术,2021,28(12):162-163.
- [3] 姚泓池.常压塔塔顶低温露点腐蚀风险预测及腐蚀机理研究[D].浙江理工大学,2023.
- [4] 张继辉,杨析宗.第四常减压蒸馏装置加工劣质原油常顶的腐蚀与防护[J].齐鲁石油化工,2018,46(01):32-36.
- [5] 袁毅夫,尹文,王亚彪.劣质原油常减压蒸馏工艺技术探讨与实践[J].炼油技术与工程,2014,44(05):15-21.
- [6] 曹忠军.常减压蒸馏装置加工高酸高硫原油防腐综述[J].石油化工腐蚀与防护,2009,26(4):1-4.