

引用格式:罗创钰,许志伟,杨海堂,等. 冷凝液汽提塔塔盘腐蚀失效机理研究[J]. 北京化工大学学报(自然科学版),2026,53(4):25-31.

LUO ChuangYu, XU ZhiWei, YANG HaiTang, et al. Research on the mechanism of corrosion failure in trays of a condensate stripping tower[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2026, 53(4): 25-31.

冷凝液汽提塔塔盘腐蚀失效机理研究

罗创钰 许志伟 杨海堂* 王 毅 陈华林

(广西壮族自治区特种设备检验研究院, 南宁 530299)

摘 要: 冷凝液汽提塔作为煤化工酸性水处理系统的核心设备,其运行稳定性直接关系到装置安全与资源回收效率。针对某冷凝液汽提塔运行 1 年后出现的塔盘与筒体严重腐蚀问题,采用宏观和微观形貌观察、化学成分分析、物相组成测试等方法对腐蚀产物进行了表征,同时结合汽提塔回流液的物性参数,分析了塔盘腐蚀失效机理。结果表明:回流液中腐蚀介质高度富集,氰根离子浓度为 1.78 mmol/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度高达 1 408 mmol/L;塔盘存在大面积蚀穿和密集腐蚀坑,金属表面呈现典型的冲刷沟槽形貌;腐蚀产物主要呈蓝绿色,主要组成为亚铁氰化铁($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$)。塔盘腐蚀失效的主要机理为:回流系统引起的酸性介质富集导致电化学腐蚀,同时塔内高速气液两相流对金属表面造成持续冲刷,两者的协同作用导致设备在短期内发生严重失效。基于上述结果,从工艺调控与材料防护两方面提出了针对性的防护措施,研究结果可为同类设备的防腐设计提供参考。

关键词: 冷凝液汽提塔; 塔盘; 酸性气体; 氰根; 电化学腐蚀; 冲刷腐蚀

中图分类号: TQ050.9 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2026.04.003

引 言

在煤化工生产过程中,伴随产生的酸性废水(含 H_2S 、 NH_3 等成分)需经过严格处理以满足环保要求^[1-2]。汽提工艺作为废水处理系统的核心,利用 H_2S 、 NH_3 易挥发的特性,通过蒸汽加热脱除并回收有害组分,兼具水质净化与资源回收的功能^[3-4]。然而,在高温、多相流及复杂介质的耦合作用下,汽提塔塔盘及筒体常发生严重腐蚀,导致设备过早失效,这已成为相关行业普遍关注的工程问题。

近年来,国内外学者围绕汽提塔腐蚀机理开展了大量研究^[5-7]。人们普遍认为汽提塔失效是电化学腐蚀、冲刷腐蚀与特定介质下的局部腐蚀

共同作用的结果^[8-10]。电化学腐蚀主要源于酸性气体在液相中的溶解与电离,破坏不锈钢表面钝化膜^[8]。冲刷腐蚀则与塔内高速气液两相流动密切相关,流动不仅加速传质过程,而且对表面腐蚀产物层产生机械剥离,促进活性表面持续暴露^[9]。此外,在特定介质下汽提塔会发生局部腐蚀,特别是在含氰环境中,氰根与金属离子形成的络合物可显著促进金属溶解,形成特征性腐蚀产物,如亚铁氰化铁($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$)^[10]。

尽管人们对汽提塔腐蚀机理进行了较多研究,但现有成果多侧重于单一腐蚀机制研究或者在实验室条件下进行模拟,而对实际工业环境中多机制协同作用的系统性分析仍显不足,尤其在回流系统导致的腐蚀介质循环富集、高温碱性含氰体系等特定工况下的失效案例与防护策略方面,尚缺乏充分的数据支撑与机理阐释。为此,本研究针对某煤化工企业冷凝液汽提塔投运 1 年后出现的塔盘与筒体严重腐蚀问题,采用多种检测手段分析了腐蚀产物及腐蚀机制,并提出针对性的工艺优化与防腐方案,研究结果可为同类设备的长周期安全稳定运行提供理论依据和实践参考。

收稿日期:2025-12-08

基金项目:“赋能”行动计划(广西重点研发计划)(桂科 FN2600640137)

第一作者:男,1996年生,工程师

*通信联系人

E-mail: yanghtdd@163.com

1 冷凝液汽提塔概况

1.1 工艺流程及工艺参数

冷凝液汽提塔的工艺流程如图1所示。经除氧处理的锅炉水产生的闪蒸汽由N6口进入塔内,低压饱和蒸汽从N1口输入,与自塔顶N2口进入的冷凝液形成气液两相逆流接触。在高温蒸汽作用下,冷凝液中的 NH_3 和 H_2S 被汽提析出,形成的气相混合物从塔顶N3口排出,经冷却分离后,不凝汽送火炬处理,净化冷凝液由塔底N4回收。分离器中的含氨液体经N5泵送回塔内进行进一步汽提,形成循环回路。该汽提塔的工艺参数如表1所示。低温冷凝液与低压蒸汽的实际流量均高于设计值,这可能会对设备腐蚀进程产生潜在影响。

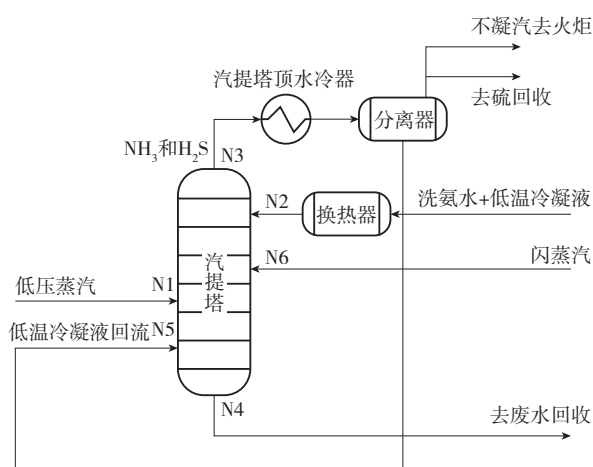


图1 冷凝液汽提塔工艺流程

Fig. 1 Process flow of the condensate stripping tower

表1 冷凝液汽提塔工艺参数

Table 1 Process parameters of the condensate stripping tower

项目	温度/ $^{\circ}\text{C}$		压力/MPa		流量/ $(\text{t}\cdot\text{h}^{-1})$	
	设计值	实际值	设计值	实际值	设计值	实际值
低温冷凝液	45	46	0.30	0.30	30	35
低压蒸汽	150	146	0.60	0.44	80	90
塔顶气相	120	118	0.23	0.23		

1.2 回流液物性参数

表2为汽提塔回流液的物性参数。表2显示,该回流液具有显著的碱性特征,并且总溶解固体含量较高,反映出介质中盐类组分有明显累积。在关键的腐蚀性离子中, CN^- 浓度高达 1.78 mmol/L , $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度高达 $1\,408\text{ mmol/L}$,显著高于典型运行工况下的浓度。极高的氨氮浓度与高pH环境共同作用,使 CN^- 能够以稳定离子形态存在于液相中,避免

了向挥发性HCN的转化。这可能会导致 CN^- 在系统内持续富集,整个汽提塔的腐蚀风险显著升高且难以控制。

表2 汽提塔回流液的物性参数

Table 2 Physical property parameters of the reflux liquid in the stripping tower

物性参数	数值
pH	10.03
电导率/ $(\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1})$	110.5
S^{2-} 浓度/ $(\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1})$	0.43
CN^- 浓度/ $(\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1})$	1.78
Cl^- 浓度/ $(\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1})$	0.44
$\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度/ $(\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1})$	1 408

1.3 汽提塔结构参数及总体腐蚀情况

冷凝液汽提塔的内径为 $2\,000\text{ mm}$,高度为 $21\,550\text{ mm}$,承压筒体厚度为 $12/10\text{ mm}$,塔盘厚度为 4 mm 。塔盘和筒体材质均为不锈钢 $00\text{Cr}17\text{Ni}14\text{Mo}2$ (即S31603),设计工作压力 0.6 MPa ,工作温度为 $110\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

两套同型号冷凝液汽提塔在投运1年后均出现相似的腐蚀特征,塔体上部区域频繁发生泄漏,处理效率显著降低。18层塔盘自上而下均存在不同程度的腐蚀,上部腐蚀最为严重,向下依次递减(图2(a))。除塔盘严重腐蚀外,作为承压部件的塔壁也存在较为严重的腐蚀,腐蚀情况与塔盘类似,其表面分布有密集的腐蚀凹坑,局部连通的孔洞共同构成蜂窝状形貌(图2(b))。与腐蚀相伴的还有冷凝液汽提塔流量计法兰接口泄漏(图2(c))、气相出口放空手阀泄漏(图2(d))等情况。

2 实验部分

2.1 实验样品

为探究冷凝液汽提塔的失效机理,选取腐蚀程度最为严重的塔盘区域作为研究对象,截取具有代表性的腐蚀样品。

2.2 测试与表征

采用直读光谱仪(GS1000-11型,德国OBLF公司)测定塔盘板基体的化学元素组成,测试前将塔盘板表面打磨干净;采用光学显微镜(Axio Scope ALM型,德国蔡司公司)观察塔盘板基体的微观形貌,分别对塔盘板平面方向(塔板面方向)和纵向方向(厚度方向)腐蚀严重的区域取样,经镶嵌、打磨、

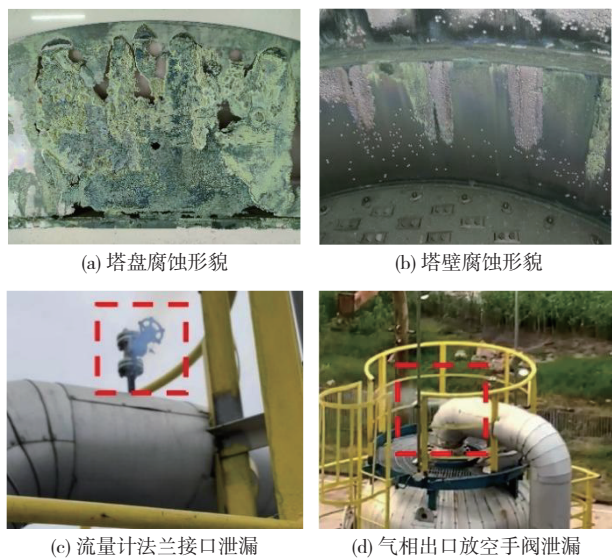


图2 汽提塔的腐蚀及泄漏情况

Fig. 2 Corrosion and leakage conditions of the stripping tower

王水侵蚀等处理后进行测试;采用扫描电子显微镜(SEM)(EVO 18型,德国蔡司公司)观察塔盘板表面的微观腐蚀形貌;采用SEM自带的能谱仪(EDS)分析腐蚀产物的化学成分;采用X射线衍射仪(XRD)(XRD-6100型,日本岛津公司)分析腐蚀产物的物相组成,从典型腐蚀区域刮取足量沉积物,经研磨制备成均匀粉末样品进行测试。

3 结果与讨论

3.1 塔盘板基体的化学成分及微观形貌

采用直读光谱仪测定塔盘板基体的化学元素组成,并将测试结果与国家标准 GB/T 24511—2017《承压设备用不锈钢和耐热钢钢板和钢带》^[11]进行对比,结果如表3所示。根据检测结果可以推断,失效塔板所用材料(S31603)的元素含量基本符合标准要求,但Mo元素含量略低于标准值,这会降低材料在酸性介质中的局部腐蚀抵抗力^[12]。

采用光学显微镜观察塔盘板基体的微观形貌,结果见图3。图3显示,该板材主要由奥氏体基体构成,组织中可见较为明显的带状分布特征,未观察到晶粒异常长大、有害相析出以及其他与材料劣化相关的结构异常。

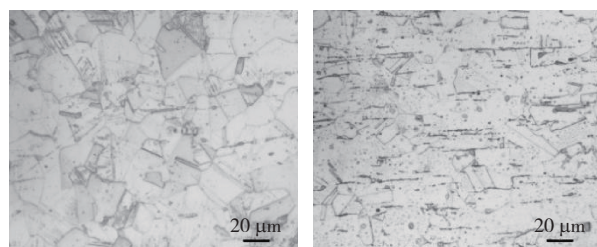
3.2 受液盘的宏观腐蚀形貌

图4为受液盘的宏观腐蚀形貌。由图4(a)可以看出样品表面遭受了不同程度的腐蚀,两个筋板之间布满腐蚀产物,伴随大面积的蚀穿和腐蚀坑,腐蚀包括均匀腐蚀和点蚀等,无固定规律。受液盘最厚位置的厚度为2.29 mm,而已蚀穿部位的周边金

表3 塔盘板基体的化学成分

Table 3 Chemical composition of the base material of the tray plate

元素	含量(质量分数)/%	
	实测值	标准值 ^[11]
C	0.017	0.030
Si	0.914	0.750
Mn	1.344	2.000
P	0.029	0.035
S	0.002	0.015
Cr	17.360	16.00~18.00
Ni	10.130	10.00~14.00
Mo	1.874	2.00~3.00

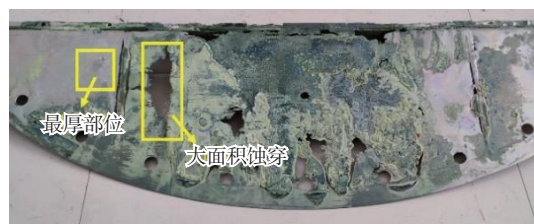


(a) 塔板面方向

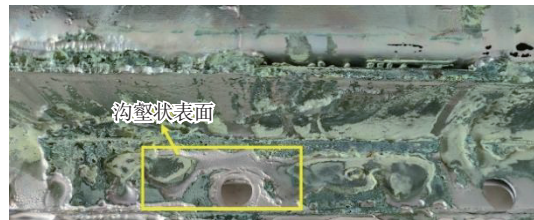
(b) 厚度方向

图3 塔盘板基体的光学显微镜照片

Fig. 3 Optical microscope images of the base material of the tray plate



(a) 蚀穿表面



(b) 沟壑状表面

图4 受液盘表面的腐蚀情况

Fig. 4 Corrosion on the surface of the liquid receiving pan

属部分非常薄,最薄处仅0.38 mm,塔板加工成型时的横向纹路清晰可见。塔盘表面的腐蚀产物分为两种状态:一种为聚集态黄绿色粉末,成簇聚集在部件的转角处以及两块钢板的间隙位置;另一种为

蓝绿色膜状,紧附在不锈钢金属外表面,用刀片可轻易刮掉。图4(b)显示,腐蚀坑为洁净的哑光银色金属本体,露出的金属本体表面纹理清晰,呈冲刷状壑沟。结合上述分析,可以初步推断塔板在单相流或多相流以及腐蚀介质的作用下发生了冲刷腐蚀和电化学腐蚀。

3.3 塔盘板的微观腐蚀形貌

采用SEM观察塔盘板的微观腐蚀形貌,结果如图5所示。图5显示,样品表面分布有大量形状不规则、尺寸各异的腐蚀凹坑,所有凹坑均呈现流线形轮廓(图5(a)),表明其形成与工艺介质的持续冲刷密切相关。部分凹坑内部可见腐蚀产物堆积,并呈现典型的多层“树皮状”结构,层间结合疏松,存在明显缝隙,并且表面存在多个上宽下窄的贯穿性孔洞(图5(b))。除腐蚀坑外,其余基体表面相对平整,但可见因流体作用导致的腐蚀产物不均匀分布痕迹,这与王凯等^[13]观察到的现象一致。

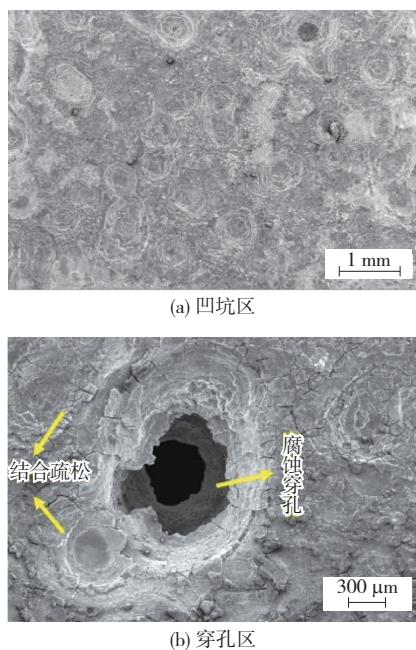


图5 塔盘板的SEM照片

Fig. 5 SEM images of the tray plate

3.4 腐蚀产物的化学成分及物相组成

对图5(a)中已发生腐蚀的区域进行EDS半定量分析,结果见表4。腐蚀产物中除检测出基体元素Fe、Cr和Mn外,还检测出含量较高的O、N与S元素,可以推测电化学腐蚀是导致设备失效的原因之一^[14]。

图6为腐蚀产物的XRD谱图。图6显示腐蚀产物的结晶度较高,其特征峰位与 $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ 的特

表4 腐蚀产物的化学成分

Table 4 Chemical composition of the corrosion products

元素	质量分数/%	元素	质量分数/%
O	32.70	Fe	12.78
C	10.18	S	16.67
N	10.73	Mn	3.09
Cr	13.85		

征峰($2\theta=17.49^\circ$ 、 24.83° 和 35.41°)基本相吻合,此外样品中还存在 FeS ($2\theta=43.25^\circ$)和 Fe_2O_3 ($2\theta=35.69^\circ$)的特征峰。 $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ 的检出从物相层面证实 CN^- 在腐蚀过程中的关键作用。 CN^- 与溶出的 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 形成稳定络合物,并进一步沉积为具有典型普鲁士蓝颜色的腐蚀产物,该现象与塔盘及筒体表面广泛分布的蓝绿色区域相对应^[15]。 FeS 的存在反映 H_2S 参与了电化学腐蚀路径,而 Fe_2O_3 的存在表明腐蚀环境中存在氧化性条件。

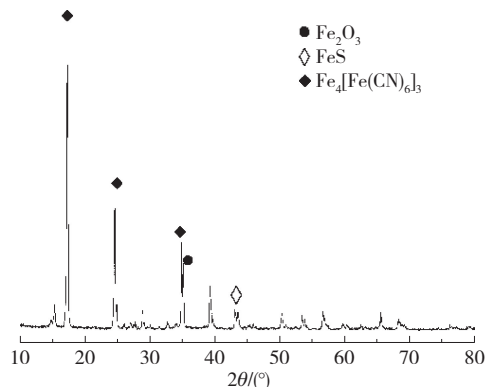


图6 腐蚀产物的XRD谱图

Fig. 6 XRD pattern of the corrosion products

3.5 腐蚀机理分析

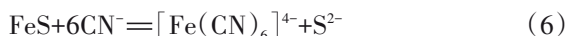
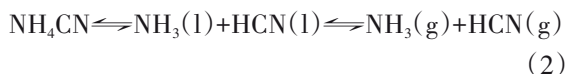
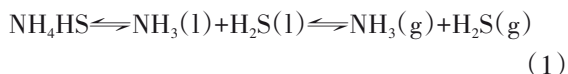
3.5.1 腐蚀介质富集与局部化学环境

汽提塔内工艺过程表现为典型的气液逆流接触:酸性冷凝液在重力作用下沿塔壁或填料表面向下流动,而高温蒸汽持续向上逆向流动,从而形成强烈的气液双相湍动体系。在此过程中,两相之间发生持续的传热与传质,致使挥发性酸性组分不断向塔顶气相富集,塔体上部区域成为腐蚀性介质浓度最高的区域,所以上部腐蚀最严重。在高速上升气流的剪切与携带作用下,塔体上段的液相往往以离散的液滴或液膜形态存在。酸性气体溶解于其中,形成局部高浓度的腐蚀性电解液。当它们附着或飞溅至金属表面时,不仅直接引发电化学腐蚀,还可能在局部形成浓差电池或缝隙腐蚀环境^[16-17]。

此外,工艺回流系统导致酸性气体不能有效脱除,反而在氨的存在下由回流系统重新泵入返回塔内形成持续的循环累积。尽管室温下回流液呈碱性,但在高温区域(>100 °C)铵盐易发生热解离释放出 H^+ ,使介质对不锈钢基体呈现显著的腐蚀倾向。这种整体碱性与局部酸性微区并存的化学环境,为腐蚀发生创造了必要条件。

3.5.2 钝化膜破坏与络合促溶

腐蚀性介质中游离的氰根离子对不锈钢表面的钝化膜具有直接破坏作用^[18],可促使保护膜局部破损脱落,暴露出新鲜金属基体,从而加速腐蚀进程。腐蚀反应释放出的 Fe^{2+}/Fe^{3+} 与 CN^- 发生络合反应,生成可溶性的铁氰络合物(如 $[Fe(CN)_6]^{4-}$),其反应路径包括酸性气体溶解解离、硫化物与铁离子反应以及最终络合物生成,相关反应见式(1)~(8)。这些可溶性络合物不仅阻碍具有保护性的腐蚀产物膜的形成与稳定,还会促使表面钝化膜发生进一步溶解。



随着腐蚀持续,含氰络合物在塔顶回流液中不断累积,并与高浓度的氨等碱性组分共同构成高腐蚀性介质,形成自催化的“腐蚀-络合-再腐蚀”循环,显著加剧材料劣化。XRD检测到腐蚀产物的主要组成为 $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$,从物相层面直接证实了氰根络合机制在腐蚀过程中的关键角色。

3.5.3 冲蚀-腐蚀协同作用

高速流动的气液两相介质对设备内表面产生持续的冲刷效应。在气相裹挟下,液相获得较高动能,对壁面形成连续的动态冲击^[19]。机械冲刷作用与上述化学腐蚀机制的强烈耦合,共同构建了一个加速腐蚀发展的协同环境。

在冷凝液汽提塔长期运行中,塔盘表面形成的腐蚀产物膜可减缓腐蚀^[20],但在强烈的冲刷作用下产物膜被破坏。一方面,流动不均使腐蚀产物膜分布失衡、表面粗糙化;另一方面,冲刷加速了表层腐蚀产物的剥离与更新,促使基体铁持续转化为腐蚀

产物,造成塔盘大面积均匀减薄。同时,塔壁表面分布有大量腐蚀坑(图2(b)),其形成与多相流作用下腐蚀产物膜的非同步剥离密切相关。剥离通常始于膜层中的结构缺陷或薄弱区域,这些区域首先形成微型气孔,而气孔内流动滞止区延长了介质作用时间并诱发涡流,微孔不断扩展并与邻近孔洞相互连通,最终演变为宏观腐蚀孔^[21]。综合而言,冲刷作用不仅加速材料流失,而且通过改变表面形貌与局部流体状态,促进了多种腐蚀形态的萌生与扩展。

3.6 防护措施

为了从根本上控制冷凝液汽提塔因回流系统和流体高速冲刷引发的酸性气体腐蚀问题,本研究从工艺调控与材料优化两个维度提出防护措施。

(1)工艺调控方面,对现有回流工艺进行优化改造,可采用部分回流以及塔顶冷凝液部分外排的措施,降低酸性气体在塔内的循环累积。这些措施可显著改善塔内运行环境的稳定性,避免形成局部高腐蚀强度区域,从而从整体上降低设备的腐蚀风险。

(2)材料优化方面,由于传统铁基材料在复杂腐蚀介质与高速流体的协同作用下耐蚀性明显不足,因此可以选用耐蚀性更好的双相不锈钢(如S32205)或镍基合金(如Hastelloy C-276)作为替代材料。研究证实,这类材料在含有 Cl^- 、 H_2S 、 CN^- 等成分的复杂腐蚀环境中表现出优异的抗点蚀、抗缝隙腐蚀及抗冲刷腐蚀能力^[22-23]。

4 结论

(1)冷凝液汽提塔内部出现系统性的全面腐蚀,塔壁和塔盘等多个部件均遭受严重的腐蚀损伤,腐蚀表面遍布流线形轮廓的凹坑。物相分析结果证实腐蚀产物的主要组成为 $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ 。

(2)工艺回流系统导致塔内 H_2S 和 HCN 等酸性气体富集浓缩,引起电化学腐蚀,此外高速气液两相流持续冲击金属表面,冲蚀-腐蚀协同作用导致设备在短期内发生严重失效。

参考文献:

- [1] 王昊,杜增智. 基于NSGA-II的脱酸气吸收剂回收系统多目标优化[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2025, 52(3): 26-33.
WANG H, DU Z Z. Multi-objective optimization of a deacidification gas absorbent recovery system based on NSGA-II[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2025, 52(3): 26-33.

- (in Chinese)
- [2] 苏国庆,李彦,窦站,等. 硫回收装置余热锅炉铵盐结晶腐蚀机理研究[J]. 压力容器,2024,41(6):73-82.
SU G Q, LI Y, DOU Z, et al. Study on the corrosion mechanism of ammonium salt crystallization in waste heat boiler of a sulphur recovery unit [J]. Pressure Vessel Technology, 2024,41(6):73-82. (in Chinese)
- [3] 张洪舟,孙利,黄鑫,等. 煤化工酸性水汽提系统换热器腐蚀行为及规律研究[J]. 压力容器,2025,42(6):44-55.
ZHANG H Z, SUN L, HUANG X, et al. Study on the corrosion behavior and laws of heat exchangers in the sour water stripping system of the coal chemical industry[J]. Pressure Vessel Technology, 2025, 42(6): 44-55. (in Chinese)
- [4] SOARES A D F, PENTEADO E D, DINIZ A A R, et al. Influence of operational parameters in sour water stripping process in effluents treatment[J]. Journal of Water Process Engineering, 2021,41: 102012.
- [5] 陶金福,杨剑锋,付军,等. 典型酸性水汽提装置腐蚀分析与防护建议[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2023, 40(2): 8-14, 39.
TAO J F, YANG J F, FU J, et al. Corrosion analysis and protection suggestions of typical acidic water stripping unit[J]. Corrosion & Protection in Petrochemical Industry, 2023,40(2):8-14,39. (in Chinese)
- [6] 黄新泉. 单塔汽提装置汽提塔腐蚀原因分析[J]. 全面腐蚀控制, 2022,36(8):139-142.
HUANG X Q. Cause analysis of stripper corrosion in single tower stripper[J]. Total Corrosion Control, 2022, 36(8):139-142. (in Chinese)
- [7] HASSAN-BECK H, FIRMANSYAH T, SULEIMAN M I, et al. Failure analysis of an oil refinery sour water stripper overhead piping loop: assessment and mitigation of erosion problems [J]. Engineering Failure Analysis, 2019,96:88-99.
- [8] 廖静雯,杨剑锋,陈良超,等. 典型常减压装置塔类设备腐蚀失效案例统计分析[J]. 北京化工大学学报(自然科学版),2020,47(6):85-91.
LIAO J W, YANG J F, CHEN L C, et al. Statistical analysis of corrosion failure cases in typical atmospheric pressure and vacuum tower equipment[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2020, 47(6): 85-91. (in Chinese)
- [9] 孟庆元,代鹏宇,张瑜,等. 加氢型酸性水汽提装置塔顶空冷腐蚀泄漏分析研究[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2025,45(5):1450-1458.
MENG Q Y, DAI P Y, ZHANG Y, et al. A survey of corrosion leakage for air-cooled tube at tower top of hydrogenated acidic water stripping unit[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2025,45(5):1450-1458. (in Chinese)
- [10] 曹遵炜,陈昇,谢国山. 煤气化变换单元汽提塔塔顶冷凝设备与管线损伤模式识别与分析[J]. 煤化工, 2019,47(5):57-60,80.
CAO L W, CHEN S, XIE G S. Damage mode identification and analysis of condensation equipment and pipeline on stripper top of coal gasification conversion unit[J]. Coal Chemical Industry, 2019,47(5):57-60,80. (in Chinese)
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 承压设备用不锈钢和耐热钢钢板和钢带:GB/T 24511—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Stainless steel and heat resisting steel plate, sheet and strip for pressure equipments: GB/T 24511—2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017. (in Chinese)
- [12] WU X Q, JING H M, ZHENG Y G, et al. Resistance of Mo-bearing stainless steels and Mo-bearing stainless-steel coating to naphthenic acid corrosion and erosion-corrosion [J]. Corrosion Science, 2004,46:1013-1032.
- [13] 王凯,南翠红,卢金玲. 流体动力学过程在流动腐蚀行为中的作用机制[J]. 化工进展,2020,39(S2):8-18.
WANG K, NAN C H, LU J L. Mechanism of hydrodynamic process in flow corrosion behavior [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2020, 39(S2): 8-18. (in Chinese)
- [14] 李晓炜,宋延达,王雪峰,等. 制氢装置酸性水汽提塔壁开裂的原因[J]. 腐蚀与防护, 2023, 44(1): 102-106, 111.
LI X W, SONG Y D, WANG X F, et al. Cracking reason of acid water stripping tower in hydrogen production unit[J]. Corrosion & Protection, 2023, 44(1): 102-106, 111. (in Chinese)
- [15] SILVAO W O, BASSETTO V C, BASTER D, et al. Oxidative print light synthesis thin film deposition of Prussian blue [J]. ACS Applied Electronic Materials, 2020, 2:927-935.
- [16] MAO T, LI L, HUANG H B, et al. Corrosion behaviors of TA2 and TA36 titanium alloys in a high-sulfur environment [J]. International Journal of Electrochemical Science, 2024,19: 100462.
- [17] WANG C B, LU Y, MA J H, et al. Study on the synergistic effect of several sulfur compounds to the corrosion attack of copper in liquefied petroleum gas[J]. Coatings, 2024, 14:1329.
- [18] 王光辉,王文利,郭光辉,等. 焦化氨水介质中0Cr17Ni12Mo2不锈钢电化学腐蚀行为研究[J]. 武汉科技大学学报, 2011,34(2):100-103.

- WANG G H, WANG W L, GUO G H, et al. Electrochemistry corrosion behaviors of 0Cr17Ni12Mo2 stainless steel in residual ammonia water from coke-making [J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology, 2011, 34(2): 100–103. (in Chinese)
- [19] 李彦, 郭红利, 苏国庆, 等. 加氢装置空冷器气液两相流动与冲刷腐蚀问题[J]. 化工学报, 2025, 76(1): 141–150.
- LI Y, GUO H L, SU G Q, et al. Gas-liquid two-phase flow and erosion-corrosion in air cooler of hydrogenation unit[J]. CIESC Journal, 2025, 76(1): 141–150. (in Chinese)
- [20] ZHANG J W, JIANG A G, XIN Y N, et al. Numerical investigation on multiphase erosion-corrosion problem of steel of apparatus at a well outlet in natural gas production [J]. Journal of Fluids Engineering, 2018, 140: 121301.
- [21] WU L Y, ZHANG Y Y, ZHENG Z, et al. Comprehensive corrosion failure analysis of HA177-2 alloy tubes serving in a low temperature multi-effect distillation plant: from feature analysis to corrosion mechanisms [J]. Engineering Failure Analysis, 2024, 163: 108590.
- [22] 赵在鹏, 蔡锐, 陈家雄, 等. 2205双相不锈钢在高温高压含H₂S环境中的应力腐蚀开裂行为[J]. 电镀与涂饰, 2024, 43(7): 76–84.
- ZHAO Z P, CAI R, CHEN J X, et al. Stress corrosion cracking behavior of 2205 duplex stainless steel in high-temperature, high-pressure, and H₂S-containing environment [J]. Electroplating & Finishing, 2024, 43(7): 76–84. (in Chinese)
- [23] 康彦, 许佩敏, 杨延安, 等. 燃煤烟气除尘用哈氏C-276滤材腐蚀行为研究[J]. 热加工工艺, 2017, 46(2): 92–94.
- KANG Y, XU P M, YANG Y A, et al. Study on corrosion behavior of hastelloy C-276 filter in coal-fired flue gas [J]. Hot Working Technology, 2017, 46(2): 92–94. (in Chinese)

Research on the mechanism of corrosion failure in trays of a condensate stripping tower

LUO ChuangYu XU ZhiWei YANG HaiTang* WANG Yi CHEN HuaLin

(Guangxi Special Equipment Inspection and Research Institute, Nanning 530299, China)

Abstract: As the core component of acid water treatment systems in the coal chemical industry, the operation stability of the condensate stripper is directly related to the safety of the device and the efficiency of resource recovery. In light of the serious corrosion problems in the tray and cylinder of a condensate stripper found after only one year of operation, the corrosion products were characterized by macroscopic and microscopic morphological observation, chemical composition analysis and phase composition tests. By combining these results with the physical properties of the reflux liquid of the stripping tower, a mechanism for tray corrosion failure is proposed. The results show that the corrosive medium in the reflux liquid is highly concentrated, with the concentration of cyanide ions being 1.78 mmol/L and the concentration of NH₃-N reaching as high as 1 408 mmol/L. The trays have extensive perforations and dense corrosion pits, and the metal surface exhibits a typical scouring groove morphology. The corrosion products are mainly blue-green in color, and consist mainly of ferric ferrocyanide (Fe₄[Fe(CN)₆]₃). The main steps in the mechanism of tray corrosion failure were identified. The accumulation of an acidic medium caused by the reflux system leads to electrochemical corrosion, while the high-speed gas-liquid two-phase flow inside the tower continuously washes the metal surface. The combined effect of these two factors results in severe failure of the equipment within a short period of time. Based on the above analysis, targeted protective measures were proposed for process control and material protection. This work provides a reference for incorporating anti-corrosion features into similar equipment.

Key words: condensate stripping tower; trays; acidic gases; cyanide ions; electrochemical corrosion; erosion-corrosion

(责任编辑: 于少云)