

炼化设备冲刷腐蚀失效分析及控制策略

段永锋¹, 于凤昌¹, 崔新安¹, 孙亮², 侯艳宏²

(1. 中石化炼化工程集团洛阳技术研发中心, 河南 洛阳 471003;

2. 中海石油炼化有限责任公司惠州炼化分公司, 广东 惠州 516086)

摘要: 目的 冲刷腐蚀失效是制约炼油装置安全运行的重大隐患, 通过分析炼化设备系统中典型冲刷腐蚀失效的机理和影响因素, 提出石油炼制过程中冲刷腐蚀的控制策略。方法 基于炼油装置的工艺流程、设备和管道的结构设计、腐蚀介质和材质等, 分别针对减压转油线防冲板、硫酸烷基化装置反应流出物注碱口管线、酸性水汽提塔顶富氨气系统, 以及焦化分馏塔进料段塔壁腐蚀问题进行失效分析。结果 通过将材质升级为 316L, 避免了减压转油线防冲板因环烷酸冲刷腐蚀而减薄。通过改进碱注入方式和优化操作工艺方式, 减缓了硫酸烷基化装置反应流出物注碱口管线的硫酸腐蚀。通过将空冷器管束材质升级为 316L, 及增加管道直径的措施, 防治了酸性水汽提塔顶富氨气系统酸性水冲刷腐蚀。通过更换进料分配器解决了焦化分馏塔进料段塔壁腐蚀泄漏的难题。结论 炼化设备冲刷腐蚀的控制策略: 依据主动防腐的观念, 在遵循炼化设备选材导则进行合理选材的基础上, 充分考虑设备、管道的实际工艺操作情况, 针对具体部位进行腐蚀评估, 发现薄弱部位并及时调整相关操作(操作工艺、工艺防腐和腐蚀监测等), 从而保证了炼化装置的安全稳定运行。

关键词: 炼化设备; 冲刷腐蚀; 环烷酸腐蚀; 酸性水腐蚀; 失效分析; 控制措施

中图分类号: TG171 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2016)10-0173-07

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2016.10.027

Failure Analysis and Controlling Strategy on Erosion-Corrosion of Petrochemical Equipment

DUAN Yong-feng¹, YU Feng-chang¹, CUI Xin-an¹, SUN Liang², HOU Yan-Hong²

(1. Luoyang R&D Center of Technology of Sinopec Engineering Co., Ltd, Luoyang 471003, China;

2. CNOOC Huizhou Refining & Chemical Company, Huizhou 516086, China)

ABSTRACT: The work aims to put forward the strategies to control the erosion and corrosion in the process of petroleum refining by analyzing the mechanism and influence factors of typical corrosion-erosion failures in refining equipment and system as the said failures are main potential troubles to the safe and stable operation of the refining units. Based on technological process of oil refining equipment, structural design of equipment and pipes, corrosive medium and materials, etc., the corrosion failures of impingement baffle in vacuum transfer line, reactor effluent pipeline at injection inlet of sulfuric acid alkylation unit, rich ammonium system in the top of sour water stripping tower, and tower wall in feeding zone of coking fractional column were respectively analyzed. The thinning of impingement baffle in vacuum transfer line eroded and corroded by naphthenic acid

收稿日期: 2016-03-26; 修订日期: 2016-07-03

Received: 2016-03-26; Revised: 2016-07-03

基金项目: 中国石化科研项目(313070); 中海油炼化公司项目(LH00FW 2013-1094)

Fund: Supported by SINOPEC Research Program (313070); CNOOC Refinery Co., Ltd Research Program (LH00FW 2013-1094)

作者简介: 段永锋(1979—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事石化装置腐蚀与防护研究。

Biography: DUAN Yong-feng (1979—), Male, Master, Senior engineer, Research focus: corrosion and protection of petrochemical equipments.

corrosion was avoided by the material upgraded to 317L. The sour water corrosion in rich ammonium system in the top of sour water stripping tower was prevented by the material upgraded to 316L and increasing the diameter of pipeline. The corrosion and leakage problem of tower wall in feeding zone of coking fractional column was solved by replacing the feeding distributor. The strategies to control the corrosion-erosion of the refining equipment: based on the concept of active anti-corrosion and selecting material by following the material selection guidelines, the possibility of corrosion in specific region should be evaluated by fully taking into account the actual technological operations of the equipment and pipelines. Once the major corrosion regions are found, relevant operation should be timely adjusted (operation processes, process anti-corrosion and corrosion monitoring, etc.), so as to ensure the safe and stable operation of the refining device.

KEY WORDS: petrochemical equipment; erosion-corrosion; naphthenic acid corrosion; sour water corrosion; failure analysis; control strategies

目前,世界范围内的原油资源劣质化趋势日益严重。据 Hart 公司预计,2005 年至 2020 年,世界原油平均比重指数 API 度将从 32.8 下降到 32.3,硫含量将从 1.17% (质量分数,下同) 上升到 1.35%^[1-4]。劣质原油加工将成为炼油企业共同面临的问题,提高劣质原油加工能力的技术关键之一就是控制原油在加工过程中对炼油设备的腐蚀。近年来,我国炼化企业在石油加工过程中的腐蚀控制方面已取得了长足进步,特别是高硫原油、高酸原油加工装置选材导则的颁布与实施,基本上消除了由于材料选择导致的腐蚀问题。但是炼化企业在生产过程中仍然不断发生各种各样的腐蚀问题,尤其是多相流动过程中腐蚀介质对炼化设备的冲蚀/腐蚀失效问题最为显著,已成为制约炼油装置安全稳定运行的重大隐患^[5-8]。

冲刷腐蚀是腐蚀与力学共同作用下形成的一种金属损伤类型,是由于腐蚀流体和金属表面的相对运动而引起金属的加速破坏和腐蚀。冲刷腐蚀失效具有明显的局部性和突发性,可以在很短时间内造成局部严重腐蚀,形成蚀坑、凹槽或凹谷状形貌,且具有一定的方向性^[9-10]。本文针对发生在炼化设备系统中典型冲刷腐蚀失效案例,分析不同工况下冲刷腐蚀失效机理及影响因素,分别采取针对性的防腐措施,并提出石油炼制过程中冲刷腐蚀的腐蚀控制策略,保证炼油装置的安全稳定运行。

1 减压转油线防冲板腐蚀失效

1.1 腐蚀概述

某炼化企业的 1200 万吨/年常减压装置主要加

工高酸原油(酸值 3.28 mg KOH/g,硫含量 0.29%),装置运行三年后,在停工检修期间发现减压转油线防冲板局部破损严重,大片防冲板被腐蚀殆尽(见图 1)。减压转油线材质为碳钢+317L (3 mm),为了减少油气冲刷腐蚀,再转油线集合处两侧增加了 317L (3 mm) 防冲板,单侧覆盖面积为 11 m×4 m。现场经手提式合金分析仪检测发现,腐蚀严重的防冲板的材质为 304L,腐蚀不明显的防冲板的材质为 317L (图 2),防冲板用材及破损区域见图 3。



a 防冲板左侧



b 防冲板右侧

图 1 减压转油线防冲板腐蚀形貌

Fig.1 Corrosion appearance of impingement baffle in vacuum transfer line: a) the left of impingement baffle; b) the right of impingement baffle

1.2 失效原因分析

减压转油线介质温度 385 °C, 绝对压力 30 kPa,

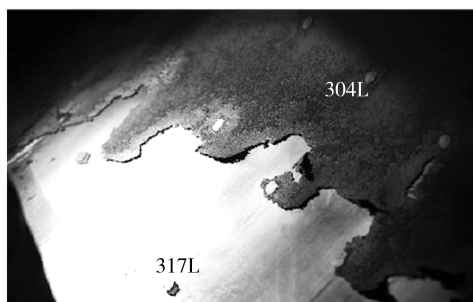


图 2 减压转油线防冲板的材质及腐蚀形貌(部分)

Fig.2 Corrosion and material of impingement baffle in vacuum transfer line (partial)

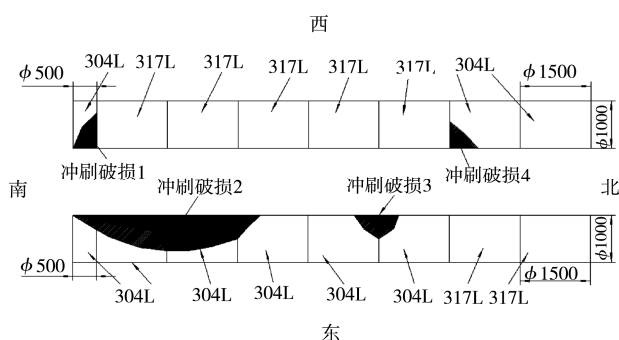


图 3 防冲板用材及冲刷破损区域示意

Fig.3 Materials and corrosion-erosion zone of impingement baffle in vacuum transfer line

酸值 3.56 mg KOH/g, 硫含量 0.34%, 该工况为典型的环烷酸腐蚀环境。高温环烷酸腐蚀是一个极其复杂的变化过程, 目前仍没有完全了解环烷酸腐蚀的机理及影响因素, 通常认为环烷酸腐蚀通常发生在 220~400 °C 的温度范围, 影响环烷酸腐蚀的因素较为复杂, 包括温度、环烷酸种类及其分布、硫化物及其含量、流速流态和材质等^[11-13]。

中国石化防腐研究中心通过高温动态腐蚀评价装置模拟现场环境, 评价不同高酸值原油在 200~400 °C 范围对不同材质腐蚀性能的基础上, 采用数理统计方法拟合不同材质与温度的关系曲线, 如图 4 所示, 该曲线适用范围为原油酸值为 2~4 mg KOH/g, 硫含量小于 0.3%, 温度 200~400 °C^[14]。由图 4 可知, 0Cr13 和 300SS 不锈钢 (不含 Mo) 均在 290 °C 左右存在拐点, 超过此温度, 腐蚀速率增加幅度明显加大。316L 不锈钢在实验范围内的腐蚀速率随温度变化很小, 基本维持一条水平线。现场实际生产情况显示, 含钼的奥氏体不锈钢 (317L) 的耐高温环烷酸腐蚀性能显著高于非含钼的奥氏体不锈钢 (304L)。

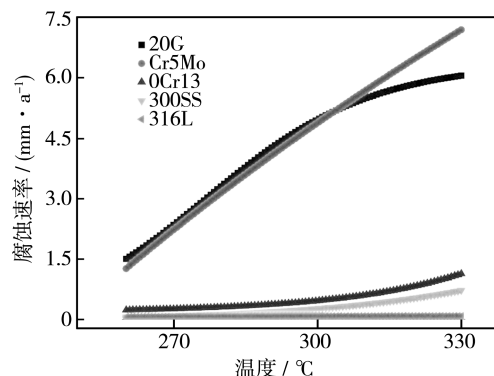


图 4 不同材料的高温环烷酸腐蚀的腐蚀速率曲线

Fig.4 Naphthenic acid corrosion rate curves of different materials

1.3 腐蚀控制措施

针对减压转油线防冲板的材质进行全面确认, 将非含钼的奥氏体不锈钢 (304L) 防冲板更换为含钼的奥氏体不锈钢 (317L)。

2 硫酸烷基化碱洗罐入口管段冲蚀穿孔

2.1 腐蚀概述

某炼化企业的 16 万吨/年硫酸烷基化装置运行不到半年, 在反应流出物处理单元酸洗流出管线发生腐蚀泄露。腐蚀穿孔部位在碱液注入点的结合处, 管线被冲刷出沟槽并减薄至穿孔 (见图 5)。在碱液注入点后两种介质混合处, 形成一道明显的腐蚀边界, 边界的一边 (注入点之前) 基本完好, 边界另一边 (注入点之后) 冲刷腐蚀非常严重。

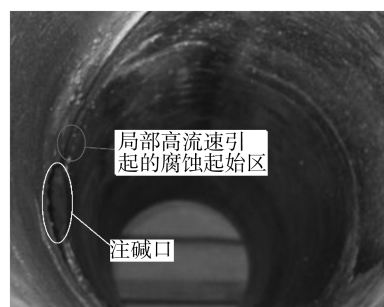


图 5 酸洗流出物管线的冲刷腐蚀形貌

Fig.5 Corrosion-erosion appearance of effluent pipeline after pickling

管线内介质为含浓硫酸的反应流出物和循环碱液, 注碱前, 介质温度为 31 °C。注碱支管内为 12% 苛性碱液, 循环碱液温度为 71 °C。主管线和

支管线的材质为 Alloy20 (20 合金), 在正常操作条件下, 注碱前的介质流速为 1.53 m/s, 注碱后的介质流速为 2.07 m/s。

2.2 失效原因分析

反应流出物主要为 C4 组分 (70%左右), 同时含有微量浓硫酸。在正常操作条件下, 注碱之前的流速为 1.53 m/s, 注碱后的流速为 2.07 m/s, 介质温度 60 ℃, 压力 1.0~1.1 MPa。C4 组分在不同压力下的沸点见图 6^[15], 正常工况下 C4 组分为液态, 没有气体生成, 微量的浓硫酸不能造成 Alloy20 的严重腐蚀。但是, 反应流出物和热碱水混合后, 硫酸和苛性碱为放热反应, 同时混合过程中如果产生局部的低压区, 必将造成 C4 组分的蒸发, 大大加

快流速。另外, 碱液中的水分稀释了反应流出物中夹带的浓硫酸, 使其浓度变低, 从而导致 Alloy20 的严重腐蚀。Alloy20 在不同温度、不同流速以及不同硫酸浓度条件下的腐蚀速率见表 1^[16]。

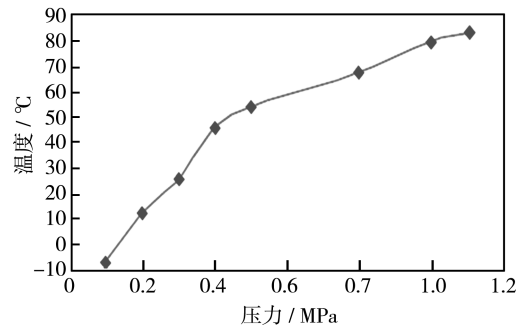


图 6 不同压力条件下 C4 的沸点
Fig.6 Boiling temperature of C4 at different pressures

表 1 不同温度、流速及不同硫酸浓度下 Alloy20 的腐蚀速率
Tab.1 Corrosion rate of Alloy20 in different temperature, velocity and H₂SO₄ concentrations mm/a

硫酸 质量分数/%	腐蚀速率											
	38 ℃			52 ℃			70 ℃			91 ℃		
	0.91 m/s	2.59 m/s	3.05 m/s	0.91 m/s	2.59 m/s	3.05 m/s	0.91 m/s	2.59 m/s	3.05 m/s	0.91 m/s	2.59 m/s	3.05 m/s
98	0.05	0.1	0.15	0.13	0.25	0.38	0.38	0.76	1.14	1.02	2.03	3.05
92.5	0.08	0.15	0.23	0.25	0.51	0.76	0.64	1.27	1.91	1.27	2.54	3.81
85	0.08	0.15	0.23	0.25	0.51	0.76	0.76	1.52	2.29	1.52	3.05	4.57
70	0.08	0.15	0.23	0.38	0.76	1.14	1.27	2.54	3.81	2.54	5.08	7.62
55	0.08	0.15	0.23	0.25	0.51	0.76	0.76	1.52	2.29	1.52	3.05	4.57
45	0.08	0.15	0.23	0.25	0.51	0.76	0.76	1.52	2.29	1.27	2.54	3.81
35	0.08	0.15	0.23	0.25	0.51	0.76	0.64	1.27	1.91	1.02	2.03	3.05
25	0.05	0.1	0.15	0.13	0.25	0.38	0.51	1.02	1.52	1.02	2.03	3.05
15	0.05	0.1	0.15	0.13	0.25	0.38	0.51	1.02	1.52	0.89	1.78	2.67
8	0.05	0.1	0.15	0.08	0.15	0.23	0.13	0.25	0.38	0.64	1.27	1.91
5	0.05	0.1	0.15	0.08	0.15	0.23	0.08	0.15	0.23	0.51	1.02	1.52

由表 1 可知, 在 98%浓硫酸介质中, 随温度和流速的升高, Alloy20 的腐蚀速率均呈上升趋势, 70 ℃、3.05 m/s 的条件下, Alloy20 的腐蚀速率为 1.14 mm/a。同时, 硫酸浓度在 70%以上时, Alloy20 的腐蚀速率随硫酸浓度的降低而上升, 70 ℃、3.05 m/s 的条件下, Alloy20 在 98%和 70%硫酸中的腐蚀速率分别为 1.14 mm/a 和 3.81 mm/a。因此, 随反应流出物温度的升高、流速的增加以及浓硫酸浓度的降低, Alloy20 的腐蚀速率均会明显加快。

2.3 腐蚀控制措施

1) 改进碱注入方式。通过将注碱管线直接插

入主管线并顺流向做一定弯曲的混合注入方式, 在一定程度上避免形成局部低压区, 引起 C4 气化和加快流速对管线造成的冲刷腐蚀。同时, 将注碱点接近静态混和器, 降低在注碱口区域形成湍流的激烈程度, 快速达到很好的温度平衡, 进而降低该部位的腐蚀。

2) 优化操作工艺。降低循环碱液的加热温度, 减少上游酸洗罐流出物中携带的硫酸量, 降低碱液循环量, 进而降低硫酸含量、介质温度、流速等引起腐蚀加剧的因素。

3) 加强测厚布点和频次。在碱液注入点后的主管线上多设测厚点, 加强测厚的频次, 及时

对比定点测厚的结果,有针对性地提前采取应对措施。

3 酸性水汽提塔顶空冷器腐蚀

3.1 腐蚀概述

某炼化企业的 150 t/h 酸性水汽提装置采用双塔汽提工艺,自 2009 年开车投产运行后,脱氨塔顶富氨气系统腐蚀较严重,图 7 为富氨气系统流程。脱氨塔顶空冷器 A-101 翅片管发生腐蚀而泄露,富氨气出空冷器之后的管线弯头因腐蚀减薄而泄露(图 8)。空冷器 A-101 管箱材质为 Q245R,

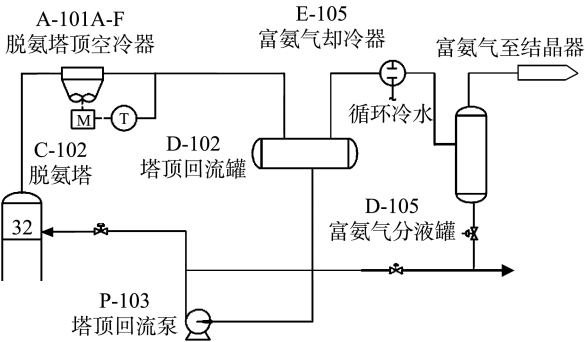


图 7 富氨气系统流程示意
Fig.7 Process flow diagram of rich ammonia system

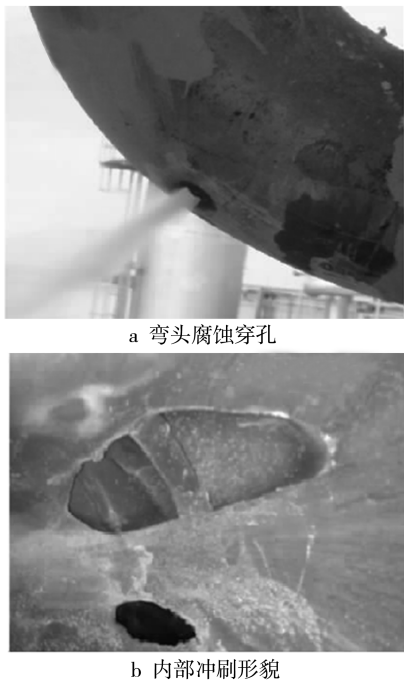


图 8 富氨气系统管线腐蚀泄露
Fig.8 Corrosion leakage of pipeline in rich ammonia system:
a) corrosion perforation of elbow; b) the morphology of erosion-corrosion

管束材质为 10#碳钢,进、出口温度分别为 130、80 ℃,压力为 0.256 MPa。

3.2 失效原因分析

富氨气系统的介质主要由 NH₃、H₂S 和 H₂O 组成,以及含有少量的氢氰根、二氧化碳和氯离子等腐蚀性介质,因此腐蚀类型为含有硫化铵的酸性水冲刷腐蚀。碱式酸性水的腐蚀性能与硫化铵的浓度和介质流速相关,碳钢在不同硫化铵浓度与流速条件下的腐蚀速率见表 2^[16—17]。依据该装置设计条件,塔顶压力 0.26 MPa,塔顶流量 19 059.1 kg/h(水 14 282.7 kg/h,氨 4015.5 kg/h,硫化氢 760.9 kg/h);在 80 ℃的情况下有 14 251.1 kg/h 液态水凝结,溶解氨 3750 kg/h,硫化氢 750 kg/h,因此初步估算冷凝水中硫化铵的质量分数约为 6.0%。富氨气在空冷器内随着温度的降低出现液态水凝结,硫化铵逐渐生成溶解冷凝水,导致介质的腐蚀性增强,如果空冷器管束内的流速为 6 m/s,管束的腐蚀速率约为 1.2 mm/a。

富氨气出空冷器后管线直径为 150 mm,依据设计条件计算管内介质流速约为 12 m/s,管道内流速过大,且存在气液两相,导致管线冲刷腐蚀严重,理论腐蚀速率超过 4 mm/a,导致弯头部位腐蚀穿孔。

表 2 碳钢在碱式酸性水中的腐蚀速率
Tab.2 Corrosion rate of carbon steel in sour water

硫化铵质量分数/%	腐蚀速率 mm/a			
	3.05 m/s	4.57 m/s	7.62 m/s	9.14 m/s
2	0.13	0.20	0.25	0.38
5	0.38	0.64	1.27	3.81
14	0.76	1.27	7.62	12.7
20	7.62	12.7	20.32	25.37

3.3 腐蚀控制措施

1) 空冷器碳钢材质管束在该工况下的耐蚀能力有限,因此将原设计材质 10#碳钢升级为 316L 不锈钢。

2) 针对空冷器后富氨气管线的腐蚀,通过适当增加管径来降低碱式酸性水的冲刷腐蚀。经核算将管道直径由 150 mm 增加至 200 mm,管道内介质流速由 12 m/s 降低至 6.7 m/s 左右。

4 焦化分馏塔入口塔壁冲蚀泄露

4.1 腐蚀概述

某炼化企业的 230 万吨/年延迟焦化分馏塔油气线入口处塔壁发生腐蚀泄露,大量油气漏出,泄漏点在油气入口线的右侧靠近补强圈附近(图 9)。焦化原料硫的质量分数为 4.26%,反应油气入分馏塔温度为 415 ℃,油气管线材质为 1Cr5Mo,分馏塔材质为 16MnR (21 mm) + 0Cr13 (3 mm)。

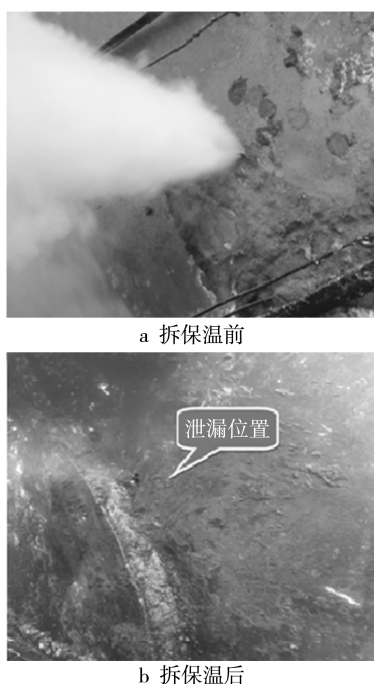


图 9 焦化分馏塔壁腐蚀泄漏(外侧)

Fig.9 Corrosion leakage of coking fractional distillation column (outside): a) before removal of insulation; b) after removal of insulation

4.2 失效原因分析

2013 年 3 月延迟焦化装置停工检修期间,进入分馏塔检查发现:反应油气进入分馏塔的进料分配器入口发生堵塞,导致油气堵塞后回流直接冲刷塔壁,造成塔壁严重冲刷腐蚀至穿孔泄露(见图 10)。

4.3 腐蚀控制措施

装置停工检修期间,针对分馏塔塔壁冲刷腐蚀穿孔及严重的部位进行贴板(0Cr13)处理,并将分馏塔的进料分配器进行更换。



图 10 焦化分馏塔壁冲刷腐蚀形貌

Fig.10 Corrosion-erosion appearance of coking fractional distillation column: a) the side, b) the front

5 结语

冲刷腐蚀破坏具有明显的局部性和突发性,可以在很短的时间内造成局部严重腐蚀,甚至穿孔泄漏导致灾难性后果。如减压转油线因非含钼奥氏体不锈钢的误用导致高温环烷酸冲刷腐蚀,硫酸烷基化装置反应流出物注碱口因注碱温度较高且注入方式不合理引发 Alloy20 的硫酸冲刷腐蚀,酸性水汽提装置塔顶空冷器和管线因流速过高导致硫化铵冲刷腐蚀,焦化分馏塔进料段塔壁因进料分配器堵塞导致严重的高温油气冲刷腐蚀穿孔。因此,石油炼制过程中的腐蚀控制应依据主动防腐观念,在遵循炼化设备选材导则进行合理选材的基础上,充分考虑设备、管道的实际工艺操作情况,利用相关的腐蚀预测工具,对具体的部位进行腐蚀核算及预测,针对薄弱部位,分析腐蚀原因并及时调整相关操作(操作工艺、工艺防腐和腐蚀监测等),才能保证炼化装置的安全稳定运行。

参考文献

- [1] 侯美生. 加工劣质原油对策讨论[J]. 当代石油石化, 2007, 15(2): 1—6.
HOU Fu-sheng. A Discussion on Countermeasures to

- Process Inferior Curde Oil[J]. Petroleum & Petrochemical Today, 2007, 15(2): 1—6.
- [2] 张德义. 含硫含酸原油加工技术进展 [J]. 炼油技术与工程, 2012, 42(1): 1—13.
ZHANG De-yi. Development of Technologies for Processing Sour Crudes[J]. Petroleum Refinery Engineering, 2012, 42(1): 1—13.
- [3] 袁晴棠. 中国劣质原油加工技术进展与展望[J]. 当代石油石化, 2007, 15(12): 1—6.
YUAN Qing-tang. Technical Advances in China's Bad Crude Oil Processing and Its Prospect[J]. Petroleum & Petrochemical Today, 2007, 15(12): 1—6.
- [4] 于凤昌, 段永锋. 原油高温腐蚀评价及预测技术的研究进展[J]. 材料保护, 2013, 46(6): 55—59.
YU Feng-chang, DUAN Yong-feng. Research Progress in Technology for Assessing and Predicting High Temperature Corrosiveness of Crude Oil[J]. Journal of Materials Protection, 2013, 46(6): 55—59.
- [5] MISHAL S A, FAISAL M A, OLAVO C D. Damage Mechanism and Corrosion Control in Crude Unit Overhead Line[J]. Hydrocarbon Asia, 2003, 4/6: 44—49.
- [6] 李晓光, 钟飞. 管道外防腐卷材自动缠绕机的设计[J]. 包装工程, 2015, 36(1): 89—93.
LI Xiao-guang, ZHONG Fei. Design of Automation Winding Machine for Anti-corrosion Coil on the External Surface of Pipeline[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(1): 89—93.
- [7] 刘小辉. 炼油装置防治腐蚀存在问题及建议[J]. 安全、健康和环境, 2010, 10(6): 12—15.
LIU Xiao-hui. Problems of Corrosion Protection of Refinery Units and Their Advice[J]. Safety Health & Environment, 2010, 10(6): 12—15.
- [8] API RP 571, Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry[S].
- [9] API RP939-C, Guidelines for Avoiding Sulfidation (sulfidic) Corrosion Failures in Oil Refineries[S].
- [10] HAU J. Predicting Sulfidic and Naphthenic Acid Corrosion[J]. Corrosion, 2009, 65(12): 831—844.
- [11] SLAVCHEVA E, SHONE B, TUMBULL A. Factors Controlling Naphthenic Acid Corrosion[J]. Corrosion, 1998, 54(11): 922—930.
- [12] SLAVCHEVA E, SHONE B, TUMBULL A. Review of Naphthenic Acid Corrosion in Oil Refining[J]. British Corrosion Journal, 1999, 34(2): 125—131.
- [13] 许述剑, 刘小辉. 典型炼油化工材料耐环烷酸腐蚀性综述[J]. 腐蚀与防护, 2011, 32(3): 215—219.
XU Shu-jian, LIU Xiao-hui. Naphthenic Acid Corrosion Resistance of Typical Refining and Chemical Materials[J]. Corrosion & Protection, 2011, 32(3): 215—219.
- [14] 于凤昌, 段永锋, 崔新安. 高酸原油腐蚀评价、预测及选材研究[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2014, 31(3): 8—13.
YU Feng-chang, DUAN Yong-feng, CUI Xin-an. Corrosion Evaluation, Prediction and Material Selection for Processing High-TAN Crude Oil[J]. Corrosion & Protection in Petrochemical Industry, 2014, 31(3): 8—13.
- [15] 中国石油化工有限公司职业技能鉴定指导中心. 烷基化装置操作工[M]. 北京: 中国石化出版社, 2006.
Guidance Center of SINOPEC Professional Skills Identification. Alkylation Unit Operators [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2006.
- [16] API RP 581, Risk Based Inspection, Base Resource Document[S].
- [17] API RP 932-B, Design, Materials, Fabrication, Operation, and Inspection Guidelines for Corrosion Control in Hydroprocessing Reactor Effluent Air Cooler (REAC) Systems[S].