

塔底泵排气线返塔接管泄漏失效分析

胡佳

宁波镇海炼化利安德巴赛尔新材料有限公司, 浙江 宁波 315200

摘 要 : 对某公司乙苯装置某塔系统底部回流泄漏问题, 利用光谱、理化、晶相等方法研究此系统腐蚀机理, 从而改进工艺包, 指导操作运行。

关 键 词 : 乙苯塔底部系统; 金相分析; 氯化物腐蚀^[1]

Failure Analysis Of Leakage In The Return Pipe Of The Exhaust Line Of The Tower Bottom Pump

Hu Jia

Ningbo Zhenhai Refining and Chemical Liande Basel New Materials Co., Ltd, Zhejiang, Ningbo 315200

Abstract : Using spectroscopic, physicochemical, and crystallographic methods to study the corrosion mechanism of the bottom reflux leakage problem in a tower system of a certain company's ethylbenzene unit, in order to improve the process package and guide operational operation

Keywords : ethylbenzene tower bottom system; metallographic analysis; chloride corrosion^[1]

公司乙苯装置的脱非芳塔回流罐有明显减薄现象, 因此加强对罐的腐蚀机理及腐蚀影响因素的研究, 将具有重大的理论意义、社会意义和经济效益, 并能为今后找出合理的防护方法、工艺防腐蚀控制提供重要的理论依据。

回流罐 D101 处于 T101 脱非芳塔的塔顶系统中, D101 为 1 进 3 出回流罐。T101 塔顶 100℃、0.12MpaG 输出 211 号物流, 15684kg/h, 经塔顶空冷器 E101 空冷, 输出 218 号物流, 经塔冷水冷器 E101 水冷后进入 D101。D101 分 3 路送出, 顶部 212 号物流: 不凝气, 18.5kg/h 到 D101; 底部 216 号物流: 污水, 30.4kg/h 到 D101; 下部 219 号物流, 1 分为 2: 一路经 P101A/B, 物流号 213 返回到 T101; 另一路经 P102, 物流号 214: 非芳烃, 去界区外。

D101 为脱非芳塔回流罐, 材质为 16MnR 材质, 操作温度 40℃, 操作压力 (表压) 0.095MpaG, 企业测得 D101 水相氯离子为 146 mg/kg, pH 为 5.42, 电导率为 531 uS/cm。

公司脱非芳塔底泵排气线返塔接管发生泄漏, 管路系统中的两处泄漏位置如图 1.1 红色圈所示。这两处接管材料为 316/316L, 介质为苯, 工作温度 108℃, 压力约为 1.2MPa。接管外径约 27mm, 壁厚约 8mm。正常情况下水相不走塔底系统, 两处接管内的介质不流动。

为了弄清失效的原因, 将泄漏的两个接管从管路中取出, 开展宏观、断口扫描电镜与能谱、金相和管材化学成分分析。系统分析研究存在的腐蚀机理, 从而改进工艺包, 指导操作运行。

一、泄漏点部位分析

(一) 管道宏观分析

图 1 为泄漏管道外壁形貌, 接管外壁刷有油漆, 接管 1 较短, 管路中取出的材料只包含一个焊接接头, 接管 2 包含两个焊接接头。两根接管分别发现一处泄漏, 接管 1 泄漏位置离焊缝的距离较短, 接管 2 泄漏的位置位于远离焊缝的母材上。两个接管的外壁都没有发现肉眼可见裂纹。

两个接管剖开后内壁的形貌, 内壁较为干净, 没有明显残留物质以及塑性变形, 未观察到腐蚀减薄现象, 可以肉眼看到接管内壁的裂纹。为了进一步清楚地观察裂纹的分布情况, 对接管进行着色探伤。接管内壁有一条明显的环向裂纹, 该裂纹可能与轴



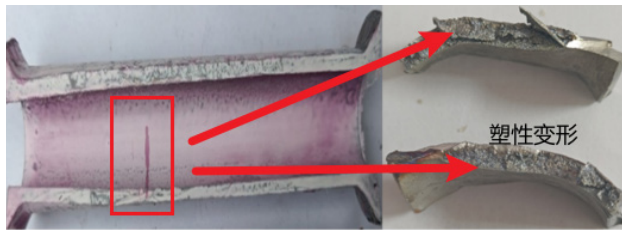
> 图 1 泄漏接管外壁

向应力有关。为了进一步清楚地观察裂纹的分布情况，对接管进行着色探伤，如图 1 所示。接管 1 内壁有一条明显的环向裂纹这可能与焊接位置残余应力有关^[5]。



> 图2管道泄漏处着色探伤

将接管 1 环向裂纹人为掰开后（见图 3），可以发现除人为掰开位置有塑性变形痕迹外，断口其它位置没有塑性变形。图 3 中靠近外壁，较光亮的区域为掰断的形貌，内壁断口为服役过程中产生的，可以表明裂纹起源于内壁，同时断口内壁有多条平行于断口的裂纹（图 3）。



> 图3断口内壁宏观形貌

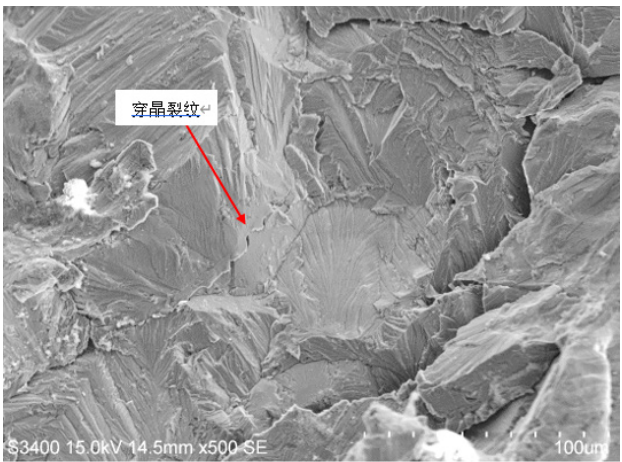
（二）扫描电镜分析

为了弄清裂纹产生的机制，对图 1 中的断口进行扫描电镜分析。图 2 为不同倍数下断口扫描电镜下的形貌，未发现明显塑性变形，对靠近内壁的区域进行高倍数下观察可以发现该断口为穿晶形式的，断裂机制为解理断裂

图 4 显示为断口更靠近内壁的扫描电镜形貌，高倍数下可以观察到明显的解理断裂特征，同时也存在类似于二次裂纹的穿晶裂纹。

（三）能谱分析

所谓的断口就是材料断裂处的端面，对断口的分析也就是对

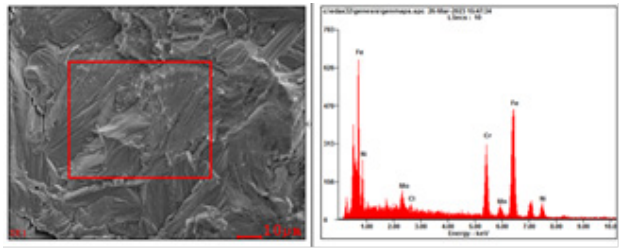


> 图4泄漏处断口 SEM 形貌（500x）

端面的形貌进行分析，同时也包括端面结构和成分的分析。断口分析技术主要是利用现代仪器设备对断口的宏观和微观形貌特征进行表征。

金属材料的断口上忠实地记录了金属断裂的全过程，即裂纹的产生、扩展直至开裂：外部因素对裂纹萌生的影响及材料本身的缺陷对裂纹萌生的促进作用；同时也记录着裂纹扩展的途径、扩展过程及内外因素对裂纹扩展的影响。对材料的断口分析是金属材料失效分析的重要技术手段。

为了确定断裂是否由其他介质导致，对断口表面处位置开展能谱分析。图 3 中红色框内能谱监测区域，从图 3 波峰图中可以观察到明显 CL 元素的波峰，该元素可能来源于系统中水相的 CL 离子。



> 图5断口处能谱分析

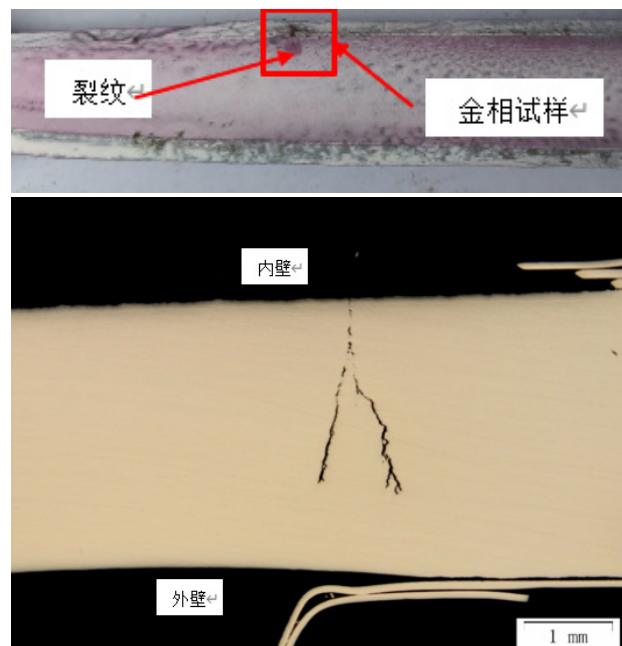
（四）金相分析

“金”指金属和合金，“相”指合金中具有同一晶体结构、同一性质、均匀化学成分并以一定界面相互隔开的组成部分。金相分析是利用金相显微镜在专门制备的试样上放大 100 ~ 1500 倍来研究金属及合金组织的方法。金相是指金属或合金的内部结构，即金属或合金的化学成分以及各种成分在合金内部的物理状态和化学状态。金相组织是反映金属金相的具体形态，如马氏体，奥氏体，铁素体，珠光体等等。广义的金相组织是指两种或两种以上的物质在微观状态下的混合状态以及相互作用状况。所谓“相”就是合金中具有同一化学成分、同一结构和同一原子聚集状态的均匀部分。不同相之间有明显的界面分开。合金的性能一般都是由组成合金的各相本身的结构性能和各相的组合情况决定的。合金中的相结构大致可分为固溶体和化合物两大基本类型。它是研究金属及其合金内部组织及缺陷的主要方法之一，在金属

材料研究领域中占有很重要的地位。

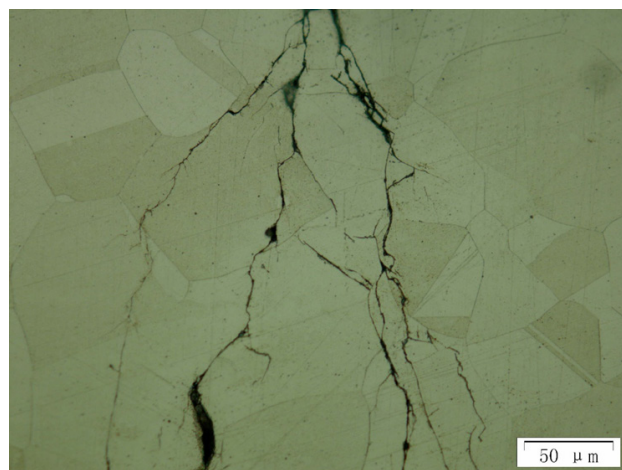
图 6 左中红色区域为金相取样位置，试样位于未贯穿壁厚裂纹的位置，观察面位壁厚方向。

图 6 右为试样抛光态，可以观察到裂纹起源内壁，沿壁厚方向扩展，呈现树枝状。经接管的金相组织，为典型的奥氏体，晶界未见碳化物析出物，表明材料经历过固溶处理，组织正常。



> 图6金相取样点及试样抛光态图

图 7 为裂纹处金相组织，可以观察到多条裂纹，且为穿晶形貌；裂纹尖端有沿晶和穿晶特征^[4]。



> 图7裂纹处金相组织

（五）化学成分分析

依据 GB/T 11170-2008《不锈钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法（常规法）》^[2]对接管化学成分进行检测，化学成分见表 4.1。对比 GB/T13296-2013 锅炉热交换器用不锈钢无缝钢管 - 标准可知，接管化学成分符合 316L 不锈钢标准要求。

二、结论与措施

宏观分析、扫描电镜分析和金相分析发现裂纹由内壁向外

壁扩展；扫描电镜分析表明失效为穿晶断裂^[7]，且不是由延性断裂导致；化学成份分析表明材料符合 316 不锈钢标准，同时金相分析也发现裂纹主要为穿晶扩展，同时裂纹为树枝状，这是典型应力腐蚀裂纹特征；能谱分析发现断口含有 Cl 元素。水相介质检测发现 CL 离子浓度为 180.9ppm，pH 值为 2.73，导电率为 1050 us/cm。

通过综合分析表明接管开裂是由 Cl 离子引起的应力腐蚀开裂，Cl 离子来源于管内介质^[8]。图 5.1 为不同材料发生应力腐蚀的条件，当服役工况（即纵坐标：温度、横坐标：Cl 离子浓度）位于某材料对应曲线右上方时，表明该材料在该工况下有发生应力腐蚀的风险；相反若位于某种材料曲线左下方，则该材料在该工况下安全。本失效接管其介质工作温度为 108℃ 温度，Cl 离子浓度为 180.9ppm，如下图红点所示。红点位于 300 系列不锈钢右上方，说明 300 系列不锈钢在该工况有发生应力腐蚀的风险。同时，pH 值大于 2 的酸性环境和介质不流动也有助于应力腐蚀的发生^[9]。根据下图可以得出，在不改变工况的前提下，目前的材料 316 不锈钢不能抵抗该环境的应力腐蚀开裂，选用抗应力腐蚀能力更强的双相不锈钢作为接管材料。

通过分析表明接管开裂是由 Cl 离子引起的应力腐蚀开裂^[3]，Cl 离子来源于管内介质。在不改变工况的前提下，目前的材料 316 不锈钢不能抵抗该环境的应力腐蚀开裂^[10]，选用抗应力腐蚀能力更强的双相不锈钢作为接管材料^[6]。

参考文献

- [1] GB/T 15970.5-1998 金属和合金的腐蚀。
- [2] GB/T 11170-2008《不锈钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法（常规法）》。
- [3] API 571 影响炼油工业固定设备损伤机理。
- [4] 王志文，徐宏，关凯书等编著. 化工设备失效原理与案例分析 [M]. 上海：华东理工大学出版社. 2010.
- [5] 高英. 长输管线氯离子腐蚀行为研究 [D]. 西安石油大学，2013.
- [6] 双相 - 奥氏体异质不锈钢搅拌摩擦焊机理与工艺研究 [D]. 王文阳. 吉林大学，2021.
- [7] 奥氏体不锈钢切削表面应力腐蚀裂纹萌生的实验分析及预测研究 [D]. 张文谦. 华中科技大学，2018.
- [8] 不锈钢换热管应力腐蚀实例及分析 [A]. 喻杰；胡丽莉. 2006 年中国机械工程学会年会暨中国工程院机械与运载工程学部首届年会，2006.
- [9] 卤离子与温差应力作用不锈钢容器腐蚀与预防研究 [J]. 盛全中；梁重庆；李震；姚楠. 中国设备工程，2024(13).
- [10] 电站锅炉水冷屏上集箱接管弯头爆管原因分析及处理建议 [J]. 温国亮；马世成. 特种设备安全技术，2024(03).