

# 乙烯装置超高压蒸汽排凝弯头开裂失效分析

李军业<sup>1</sup> 余江海<sup>1</sup> 何 昊<sup>2</sup>

(1. 中化泉州石化有限公司 福建泉州 362000; 2. 天华化工机械及自动化研究设计院有限公司 甘肃兰州 730000)

**摘要:** 通过宏观检查、化学成分分析、金相检验、扫描电镜及能谱分析、沉淀物分析等方法找出了裂解炉排凝弯头开裂的原因。结果表明排凝弯头开裂原因为环境应力腐蚀开裂 (SCC), 其中 F 元素和 I 元素对 SCC 起促进作用。

**关键词:** 排凝弯头; 应力腐蚀开裂

某石化公司乙烯装置投产 1 年, 人员巡检发现 2#乙炔裂解炉 VHS-12018 线中 5 号导凝管有声音, 拆开保温检查确认排凝弯头母材开裂泄漏, 设备自 2020 年 9 月运行以来, 未进行排凝操作。

## 1. 排凝弯头主要技术参数

排凝弯头位于裂解装置高压蒸汽导凝管与蒸汽管母道的连接部位。蒸汽管母管材质为 304H, 运行温度为 492℃, 压力 9.3MPa, 导凝管位于水平母管底部, 通过弯头连接。弯头材质为 WP304H, 管道直径 2 英寸。主管路材质为 304H。排凝管终端为盲端, 弯头距离盲板约 0.5m, 为悬臂结构。设备停车后需要排凝时, 手动打开两个阀门将冷凝水排出。

## 2. 检测结果及分析

### 2.1 宏观检查

排凝弯头外壁宏观形貌可见弯头安装位置的 9 点方向侧弯存在一条轴向裂纹, 裂纹主要位于弯头母材, 尖端略微进入焊缝, 无明显分叉, 略曲折; 裂纹附近外壁呈红褐色锈蚀状, 且有以裂纹为中心的椭圆形痕迹。弯头沿轴向剖开形貌, 可见母材裂纹处有明显的环向沉积物, 部分呈灰白色, 且以环向沉积物为界, 上游区域内壁无明显沉积物, 下游区域内壁存在土黄色积灰, 考虑到弯头的排凝功能, 认为环向沉积物处为气液界面, 弯头下游存在积水现象; 断口表面呈黑色, 无明显塑性变形, 右侧一半的裂纹尖端隐约可辨裂纹自内壁向外壁扩展的特征。

### 2.2 化学成分分析

排凝弯头化学成分分析结果 (见表 1) 表明, 弯头化学成分满足 ASME BPV VII A 2019 对 WP304H 的要求。

表 1 化学成分分析结果 wt%

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
弯头	0.0484	0.656	1.093	0.0233	0.0020	18.28	8.18
ASME BPV VII A 2019	0.04-0.10	1.00	2.00	0.045	0.030	18.0-20.0	8.0-11.0

### 2.3 金相分析和硬度分析

沿垂直于轴向横剖的环形截面进行金相观察如图 3、图 4 所示, 可以看到两条沿径向分布的裂纹, 裂纹曲折分布, 局部有分叉和重叠。接近内外壁时, 裂纹较单一; 1/2 壁厚处裂纹呈多条且略显弥散。局部放大后, 可观察到裂纹主要为沿晶分布, 局部呈穿晶分布。沿垂直于径向的纵剖截面进行金相观察如图 5 所示, 可以观察到同样的沿晶与穿晶混合的特征, 且裂纹呈树枝状扩展。

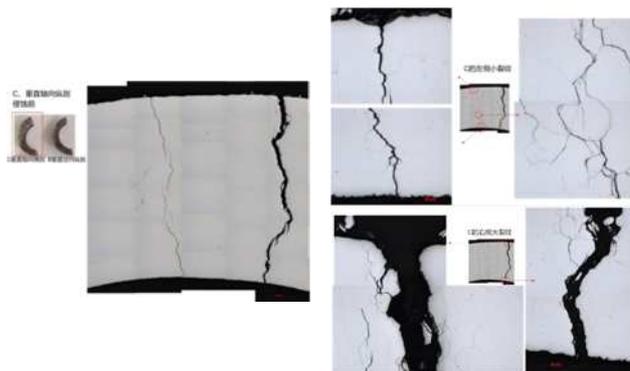
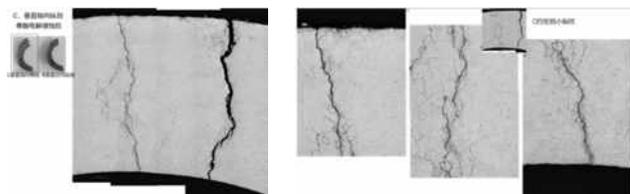


图 3 垂直轴向纵剖截面抛光态形貌



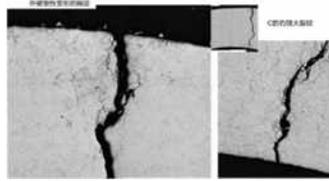


图4 垂直轴向纵剖截面金相形貌



图5 垂直轴向纵剖截面金相形貌

对弯头垂直轴向纵剖样品(B)和垂直轴向横剖样品(C)的裂纹附近进行维氏硬度测试分析,分析结果如表2所示。两个样品的硬度均在 WP304H 常见硬度水平。

表2 维氏硬度分析(HV10)

样品	HV10		
	垂直轴向纵剖样品(B)	176	169
垂直轴向横剖样品(C)	165	157	160

#### 2.4 扫描电镜(SEM)及能谱(EDS)分析

断口表面 SEM 形貌可见断口主要为沿晶分布,断口晶界表面可见腐蚀产物附着;能谱(EDS)分析,表明断口表面主要成分为 O、Mg、Al、Si、K、Ca、Cr、Fe、Ni 等元素,除金属自身元素外,主要为水蒸气中的残余矿物元素。

#### 2.5 内壁环形沉积物分析

内壁环形沉积物能谱(EDS)分析结果,可见沉积物主要含 O、F、Al、Si、Ca、Fe、I 等元素;沉积物 X 射线衍射(XRD)分析结果表明,沉积物主要为 Fe 的磁性氧化物, Ca 的氢氧化物、硫酸盐、F 化物等,主要为水蒸汽中的矿物质。

### 3. 结论

根据以上分析,可以得出如下结论:

- 1、裂纹沿弯头侧弯单侧轴向分布,相对平直,不分叉;
- 2、金相显示材料没有敏化,裂纹呈沿晶为主并伴随穿晶的混合形貌;
- 3、断口显示裂纹自内壁起裂,主要沿晶扩展,裂纹面和尖端可见氧化产物,但因泄漏冲刷原因未见明显的腐蚀性元素,可见少量的 F 和 I 等卤族元素;
- 4、弯头纵剖后呈现下方积液形貌,气液界面可见明显的环向结垢,垢呈白色黑色混合,化学成分主要为四氧化三铁、Ca 的硫酸盐和 CaF<sub>2</sub>;
- 5、材料的化学成分满足 ASME BPVII A 2019 的要求;
- 6、材料硬度未见明显异常;
- 7、由此判断裂纹属于自内壁起裂的环境应力腐蚀开裂(SCC),腐蚀介质来源于水蒸气中的杂质,其中元素 F 和 I 对 SCC 起到促进作用,腐蚀位置发生于积液上方,判断该处处于干湿交替区域。

### 4. 改进措施

- 1、对悬臂结构增加下支撑,缓解弯头应力,避免其它位置出现裂纹;
- 2、考虑在弯头和主管道之间增加向下的直管短节,将弯头及焊缝下移至液面以下,使液面位置远离弯头,或增加电伴随改变液面位置;

经过以上改造,目前已稳定运行 1.5 年。

### 参考文献

- [1]张凌枫.《两种模具堆焊材料抗裂性对比研究》[D].南京:南京航空航天大学,2020
- [2]GB/T 11170.《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)》[S].2008
- [3]GB/T 222.《钢的成品化学成分允许偏差》[S].2006
- [4]GB/T 13298.《金属显微组织检验方法》[S].2015
- [5]GB/T 17359.《微束分析、能谱法定量分析》[S].2012