

硫磺冷凝器壳程圆筒开裂失效原因分析

赵明明^{1,2} 叶富铭³ 苏畅^{1,2} 权秋月⁴ 刘聪⁵

(1 甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司 甘肃 兰州 730070; 2 上海蓝滨石化设备有限责任公司 上海 201518;

3 中石油西南油气田公司重庆气矿 重庆 400021; 4 重庆凯源石油天然气有限责任公司 重庆 400000;

5 国家管网集团西南管道有限责任公司重庆输油气分公司 重庆 400000)

摘要: 某硫磺回收装置2台同工位硫磺冷凝器在使用过程中发生圆筒开裂失效, 通过对失效部位打磨和检查, 对失效原因进行分析。分析表明, 2台设备共发生的四处开裂, 为局部结构高应力引起的机械疲劳断裂。针对失效原因, 提出了建议与改进措施。

关键词: 硫磺回收装置; 圆筒开裂; 冷凝器

0 引言

近年来, 我国西南地区天然气开采、净化与集输产业发展迅猛, 工艺系统与关键技术取得了长足进步。但由于系统运行与过程数据积累深度尚不充分, 导致部分关键设备的设计与使用经验有所缺失, 发生了设备损伤、失效等现象, 轻则导致装置停工, 重则发生燃爆事故, 影响企业健康发展。本文通过对某天然气净化厂硫磺装置2台在役硫磺冷凝器圆筒开裂失效事故进行分析, 对该类型设备的设计与使用管理提出了改进建议与措施, 供同行借鉴。

1 开裂设备简介

1.1 设备概况

某天然气净化厂硫磺单元两条系列的2台硫磺冷凝器(以下简称“设备1”与“设备2”)于2015年投入使用, 是该装置的关键设备。其管程以 Claus 工艺反应过程气为原料, 壳程以锅炉补水为冷源, 在管/壳程间壁换热作用下, 管程过程气中的硫蒸气冷凝并在出口收集, 实现单质硫回收。设备规格为 $\text{Ø}1800\text{ mm} \times 12000\text{ mm}$ 。

1.2 设备结构

设备采用固定管板结构, 按壳体不带膨胀节的拉撑管板(以下简称“管板”)设计, 详见图1。2020年7月发生壳程圆筒本体开裂, 蒸汽泄漏, 装置被迫停工。2台设备开裂部位类同, 且各有两处, 均位于前管板与壳程圆筒顶部连接处附近, 分别标记为 F1 和 F2, 详见图1。

2 开裂设备检查

2.1 宏观检查

经过宏观检查, 管板与壳体焊接处未见裂纹, 裂纹 F1 和 F2 均位于圆筒顶部母材区域, 距管板焊缝约 250mm, 裂纹与壳体环向焊缝平行。

经检查判断, 裂纹不属于韧性断裂, 主要考虑: 筒体韧性破裂一般宏观表现为局部鼓胀等塑性变形, 在充分鼓胀后撕开裂缝, 与筒体受内压作用最大主应力方向垂直, 即筒体韧性断裂裂纹应沿筒体轴线方向。而现场裂纹与筒体受内压最大主应力方向平行, 沿筒体周向, 且未见明显塑性变形, 故韧性断裂可能性小。

2.2 裂纹检查

现场对壳程圆筒的裂纹进行打磨, 裂纹贯穿筒体, 可见壳程内部拉筋, 且拉筋位于裂纹 1/2 处。

3 设备开裂原因分析

3.1 设备材料

经检查材料质量证明书, 筒体母材为 Q245R 正火板, 且进行逐张超声检测, 钢板无分层等缺陷, 排除材料原始缺陷。

3.2 设计计算

3.2.1 壳程圆筒

按设备结构尺寸与设计参数, 根据 GB/T 150 圆筒计算公式, 且考虑 GB/T151 推荐不可抽管壳式换热器壳程圆筒最小厚度, 圆筒壁厚不应小于 13mm, 圆筒实际取用厚度为 18mm, 满足设计要求。

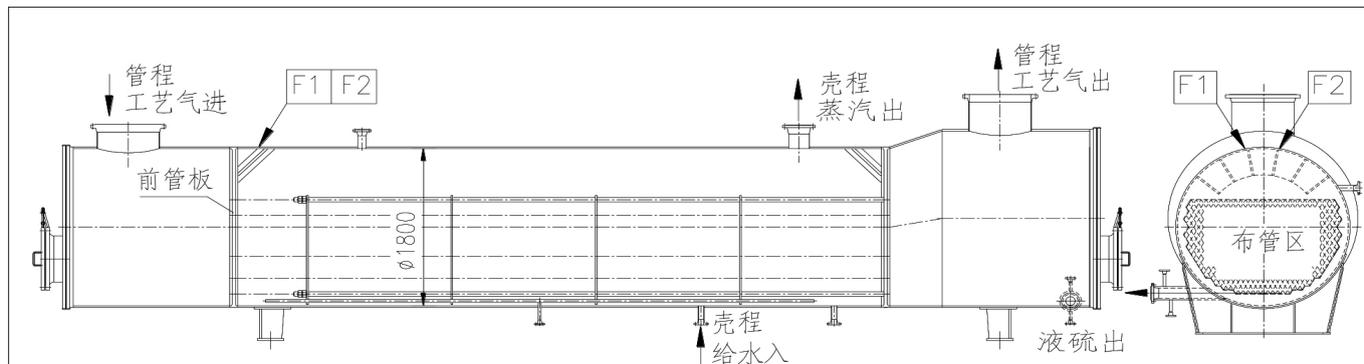


图1 硫磺冷凝器结构简图

3.2.2 拉筋结构

现场实物采用45°斜拉筋结构,通过校核计算,对拉撑面积进行划分,详见图2。

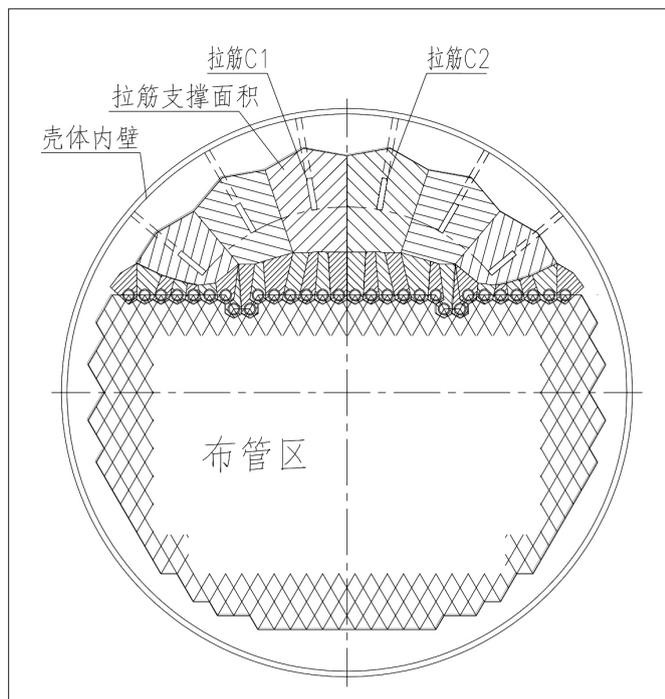


图2 壳程圆筒剖面示意图

3.2.3 拉筋受力分析

拉撑面积划分结果表明,拉撑作用最大面积在筒体中心线两侧拉筋C1、C2处,从图2量取其作用面积A,均为70420mm²,按设计压力引起的拉筋截面计算拉应力为48.4MPa,小于设计温度下拉筋的许用应力128.5MPa,满足强度要求。

拉筋实物与GB/T 16508推荐的布置角度与局部结构差异较大,考虑失效部位与拉筋重合,采用应力分析对结构的应力水平进行计算,评估结构风险。

3.3 应力分析及对比

对设备建立分析模型,模型1为实际结构,模型2为GB/T16508结构,拉筋位置、数量相同,施加相同压力和温度载荷。

分析结果表明,模型1最大应力为240MPa。模型2最大应力为129MPa,仅为模型1采用结构的54%。最大应力位于拉筋尖端,最大应力方向沿设备轴向。

3.4 结论

根据检查与分析结果,裂纹区域与拉筋连接部位重合,

断口方向沿筒体周向,与局部结构应力方向垂直,与拉筋弯曲应力及应力集中相关。前管板位于设备产气量较大区域,上下部存在温差,操作过程存在载荷波动;非对称布管需设置拉撑承受管板的压力及温度载荷;拉撑结构应采用大倾角(不应小于60°)及根部圆滑过渡结构;但实际拉筋倾角过小,导致连接部位在局部高应力作用下,产生初始裂纹并扩展,直至贯穿开裂。

4 使用建议与改进措施

4.1 使用建议

考虑现有结构难以更改,在设备使用过程中的建议如下:

(1) 定期检验:定期对设备高温侧筒体及管板区域进行超声检测扫查。

(2) 运行监测:对高温侧拉撑管板连接的筒体区域进行声发射在线监测。

(3) 操作:开、停工期间控制升降温速率;运行期间减少工艺负荷波动。

4.2 改进措施

(1) 优化结构,降低局部连接部位应力水平,与管板及筒体连接的拉撑元件局部倒圆,避免采用尖锐结构。

(2) 采用多层拉杆布置结构,降低拉撑区域局部应力,改善管板与圆筒受力情况,同时使拉撑元件作用范围趋于均匀。

5 结语

综上所述,局部结构高应力会导致机械疲劳断裂。在明确原因的基础上,可以通过优化结构与采用多层拉杆布置结构的方式来降低局部连接部位应力水平,进而达到预防机械疲劳断裂的情况。

参考文献:

- [1] 肖秋涛. 超级克劳斯(SuperClaus)工艺的工程实践及初步剖析[J]. 天然气与石油, 2005, 23(3): 55-58.
- [2] 张利亚. 硫磺回收超级克劳斯工艺设备常见故障的处理[J]. 天然气与石油, 2012, 31(12): 30-31.
- [3] GB/T 151—2014, 热交换器[S].
- [4] GB/T 30579—2014, 承压设备损伤模式识别[S].
- [5] 单新民. 锅炉后管板及拉撑裂纹的原因分析[J]. 中国锅炉压力容器安全, 1998, 14(2): 40-42.
- [6] GB/T 150—2011, 压力容器[S].

作者简介:赵明明(1987.09-),男,汉族,甘肃兰州人,学士,研究方向:压力容器设计开发,工程师。

