

苯酐冷凝器失效分析与修复

任 鹏¹ 冯 齐²

(1. 中国石化齐鲁分公司烯烃厂, 山东淄博, 255411; 2. 天津科技大学, 天津, 300222)

摘要 针对苯酐冷凝器出现的裂纹, 从工艺、材料、受力、维修等方面进行了分析, 找出了裂纹产生的原因并进行了处理, 效果良好。

关键词 冷凝器 焊接 腐蚀 应力 疲劳

中图分类号: TQ051.6 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-9859(2010)04-0333-03

1 概述

中国石化齐鲁分公司烯烃厂苯酐装置氧化单元的冷凝器(W105/A~E), 1989年从德国GEA公司引进, 该设备属U形管翅片式换热器, 换热管截面为椭圆形, 主体材料为WSE35.5, 换热管及管板为RST35.8, 为优质碳素钢, 对高温强度及抗高温蠕变有一定要求。2001—2003年对苯酐冷凝器进行了国产化更新, 其性能参数列于表1。

表1 苯酐冷凝器性能参数

项目	管程	壳程
设计压力/MPa	0.60	0.05
试验压力/MPa	0.78	0.055
设计温度/℃	250	220
操作温度/℃	冷凝 50/60, 热融 150/200	
介质	狄菲尔油	苯酐气
材质	20 G	10 G

近年该设备翅片管与管板连接处曾多次发生泄漏, 导致停车检修。裂纹主要发生在翅片管与管板连接的椭圆形焊缝上, 有的是初次开裂, 有的是修补后再次开裂。裂纹在椭圆的小圆弧与大圆弧交界处, 走向与椭圆形长轴同向并沿椭圆弧线分布, 都经过椭圆的长轴端点, 均为穿透性裂纹, 一般主裂纹没有分岔。

2 失效原因分析

2.1 腐蚀性介质

(1) 该设备运行时因意外有酸液进入, 检修时进行了碱洗, 可能在某些部位有遗留的酸液或

碱液, 对设备局部有腐蚀性的破坏。

(2) 氯离子的腐蚀作用。换热器壳程介质为苯酐气, 但换热器中的蒸汽与冷凝水含有对金属材料具有强腐蚀性的氯离子, 换热器的两端管板处本身就存在制造时留下的低凹处, 氯离子在该处浓缩, 金属表面发生电化学腐蚀, 使金属表面形成的钝化膜遭到破坏。阳极: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$, 使金属溶解, 氯离子吸附在金属表面形成氯化亚铁, 遇水后发生水解: $\text{FeCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{HCl}$, 生成的盐酸具有较强的腐蚀性^[1]。氯离子与铁离子导致孔蚀和缝蚀。孔蚀主要是氯离子对钝化膜的局部破坏造成的; 缝蚀则是腐蚀性介质侵入构件缝隙之中, 使缝内金属发生加速腐蚀, 两者可相互促进。为降低腐蚀破坏, 除选择适宜的缓蚀剂外, 可考虑采用电化学保护方法, 尽量预防和减缓腐蚀的发生。

(3) 结垢导致的破坏。从现场可见到, 管板上有一层黑黄色的结垢, 为水中的钙、镁离子等沉淀所成, 结垢会使传热效果变差, 从而导致局部温度升高, 使钝化膜遭到破坏; 结垢中的某些金属离子还能增加腐蚀速度。

(4) 来自原料或蒸汽的硫离子的腐蚀作用。

(5) 析氢腐蚀和吸氧腐蚀。析氢腐蚀是指电化学腐蚀过程中阴极发生了析氢反应而导致的, 即 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 \uparrow$; 吸氧腐蚀则是由于阴极上发

收稿日期: 2010-10-19; 修回日期: 2010-11-09。

作者简介: 任 鹏(1973-), 男, 工程师。1995年毕业于哈尔滨工业大学威海分校焊接工艺与设备专业。现在中国石化齐鲁分公司烯烃厂机修车间工作。电话: 0533-7521389。

生氧的去极化反应,而使阳极金属溶解的腐蚀,只要介质中的氧存在就有发生吸氧腐蚀的可能^[1]。

2.2 热应力

苯酐冷凝器运行时,冷热温差可达 150 ℃,从苯酐气冷凝到热融,切换 1 个周期约 210 min,若设备运行以 10 a 计,约为 24 000 次冷热循环。温度变化使材料热胀冷缩,产生循环热应力,换热管口为全封闭的焊接结构,结构的拘束度较大,因而由约束产生较大的热应力。若热应力超过材料高温下的弹性极限时,将发生局部塑性变形,经过一定的循环次数后,就可能引发疲劳破坏,属于低周疲劳破坏。

$$\Delta\sigma = -E\alpha\Delta T^{[2]}$$

式中: E ——弹性模数;

α ——线膨胀系数;

ΔT ——温度变化量。

对苯酐冷凝器来说, $\alpha = 12.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, $\Delta T = 150^{\circ}\text{C}$, $E = 210\,000\text{ MPa}$, 则 $\Delta\sigma = -210\,000 \times 12.5 \times 10^{-6} \times 150 = 390\text{ MPa}$, 200°C 时 $\sigma_B = 150\text{ MPa}$, 即 $\Delta\sigma > \sigma_B$, 因此,在热应力作用下足以产生疲劳破坏。

2.3 焊接应力

换热管的截面为椭圆形,焊接时由于焊缝周围受热不均匀而产生内应力,降温后工件中仍存在一定的焊接残余应力。沿椭圆形的焊缝有纵向残余应力,垂直于焊缝的为横向应力 σ_y , 其中横向应力的分布及其对接头的影响比较复杂。横向应力 σ_y 又由 σ'_y 、 σ''_y 两部分叠加而成,其中 σ'_y 是由焊缝的纵向收缩所引起的,其分布在两端的为压应力、中间为拉应力,如图 1 所示^[3]。而 σ''_y 是因焊接顺序不同而产生的,其分布与焊接次序有关。

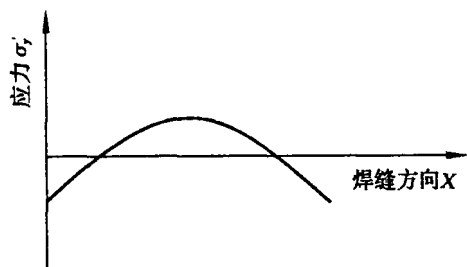


图 1 换热管焊缝横向应力 σ'_y 分布

实际上椭圆形的焊缝收缩时要受到周围管板

的限制,产生反作用拉应力 σ_t , σ_t 对结构的疲劳强度有影响。它始终作用于应力循环中,使应力值偏离 σ_t 从而使应力循环提高,平均应力增加,而极限应力幅值降低,结构的疲劳强度降低。

2.4 应力集中

焊接结构中,接头部位有不同的应力集中,对接头的疲劳强度的不利影响也不同。管板连接处的焊缝比较平的,可视为对接焊缝;管口突出明显的,可视为丁字接头角焊缝。对接焊缝由于形状变化不大,它的应力集中比较小,但是焊缝余高过大和母材与焊缝金属间过渡角 θ 过大都会增加应力集中,使接头的疲劳强度下降。若有焊接缺陷,如:未焊透,则其缺陷处或焊缝根部应力集中要比焊缝表面的应力集中严重的多。丁字接头角焊缝,由于焊缝向基体母材金属过渡处有明显的截面变化,其应力集中系数要比对接接头的应力集中系数高,因此其接头的疲劳强度远低于对接接头。要提高其疲劳强度,可开坡口焊接或加工焊缝过渡区使之圆滑过渡。另外,换热管的截面为近似的椭圆形,椭圆的小圆弧与大圆弧过渡不是很圆滑,结构上的不连续也会产生应力集中,使长轴两端点附近的应力增大。

热应力、焊接残余应力及应力集中导致的附加应力叠加,使椭圆形焊缝的长轴两端点附近最容易出问题,现场的裂纹也大都产生在长轴端点附近。

管板处于腐蚀性介质中,受腐蚀和应力的作用,在几乎不发生塑性变形的情况下发生脆性断裂,发生断裂时的应力比其单独作用时要小的多。受拉应力作用,即使结构中的裂纹尺寸小于断裂的临界尺寸,也会慢慢扩展导致断裂,即应力腐蚀。应力腐蚀的全过程可分 3 步:①由腐蚀产生裂纹,裂纹也可能是其他原因产生的;②在腐蚀性介质和应力共同作用下,裂纹逐渐扩展;③裂纹扩展到一定程度材料迅速断裂。如果使焊接结构中的拉应力转化为压应力,则可大大延缓应力腐蚀的发生。

管板受交变载荷作用,发生疲劳损坏的同时,还受到腐蚀性介质的作用,在腐蚀性介质作用下,循环应力小于极限值时就可能发生疲劳损坏,而且循环次数要减少,即腐蚀疲劳。腐蚀疲劳会加速裂纹的形成和扩展。

应力腐蚀的发生对材料和环境组合有一定要

求,碳钢在化工气氛中就极易发生,而腐蚀疲劳可以在大多数水溶性介质中发生。综合以上分析可知,管板产生裂纹主要是应力腐蚀和腐蚀疲劳的作用。

另外制造和维修时留下的砂眼缺陷,或是焊接时乱打弧,留下缺陷,成为裂纹源,经过长时间运行后形成裂纹。

3 焊补时存在的问题

(1) 现场补焊环境较差,油污、化工气氛不断,即使焊前清理了坡口附近的油污,焊接过程中周围的油污等杂质也会向焊口侵蚀,因此要选工艺性比较好、抗杂质比较强的焊接方法与焊接材料。选择钨极氩弧焊,如满足对环境清洁度的要求,焊缝质量要比手工电弧焊好;但现场的杂质比较多,钨极氩弧焊的熔池缺少有效的保护,反而会造成严重的夹渣、气孔等缺陷。因此,选用手工电弧焊,并用带药皮的、工艺性与冶金性比较好的结422焊条,焊接质量会更好。

(2) 以前外单位维修时,用的是铬-镍奥氏体不锈钢焊条。选用不锈钢焊条有如下问题:①不锈钢焊条对环境清洁要求高;②铬-镍不锈钢的缺口敏感性比碳钢要强,一旦产生裂纹,裂纹的扩展速度更快;③焊材和母材不同质,奥氏体不锈钢的线膨胀系数比碳钢大40%^[2],热胀冷缩时会产生较大的内压力。

(3) 有些管板裂纹是修补后再次开裂的。原因如下:修补前只对焊口简单打磨,仅仅消除了表面的裂纹,深处的裂纹仍然存在,设备运行时成为新的裂纹源,使设备很快失效。

4 焊补工艺

①选用 $\phi 2.5$ mm的结422焊条;②割开封头,确定漏点的大体位置,用渗透法找到裂纹;③漏点在换热管内壁上的,按管子截面做好塞子,塞住焊死;如是管板裂纹,首先确定裂纹长度,两端钻止裂孔,将裂纹磨透焊死;④焊前严格清理焊缝坡口,可用火焰烘烤去除油污;⑤焊接时尽量减少线能量,以减少残余应力,可适当增大电流,加快焊接速度,较宽的焊缝可采用多道焊;⑥焊接时严禁乱打弧,避免造成潜在的裂纹源;⑦起弧、收弧时尽量避开椭圆的两个长轴端点,注意消除弧坑裂纹;⑧焊后打磨焊口平滑,以减少应力集中,可用火焰局部加热,消除局部应力;也可用小锤击打焊缝造成表面残余压应力;⑨焊后渗透探伤。

5 结束语

(1) 苯酐冷凝器泄漏的主要原因是应力腐蚀和腐蚀疲劳。

(2) 补焊前要把裂纹源消除干净。

(3) 选用适应性强的焊接方法;注意焊接材料的选择,焊材和母材成分要一致。

(4) 修复后的部位使用至2010年9月没有再次开裂,效果良好,延长了设备使用周期,修复是成功的。

参考文献

- 1 田永奎. 金属腐蚀与防护. 北京:机械工业出版社, 1995
- 2 束德林. 金属力学性能. 北京:机械工业出版社, 1987
- 3 田锡唐. 焊接结构. 北京:机械工业出版社, 1982

FAILURE ANALYSIS AND RENOVATION OF PHTHALIC ANHYDRIDE CONDENSER

Ren Peng¹ and Feng Qi²

(1. Olefin plant of Qilu Branch Company, SINOPEC, Zibo, Shandong, 255411;

2. Tianjin Science and Technology University, Tianjin, 300222)

Abstract This paper analyzed the generate causes of the cracks on phthalic anhydride condenser from process, materials, stress, maintenance and other aspects, found out the causes leading to the generation of the cracks and made treatments, which obtained good effectiveness.

Key words condenser, welding, corrosion, stress, fatigue