

焊接垫片高压换热器泄漏分析及改造

李结平

安徽华东化工医药工程有限责任公司上海分公司 上海 201315

摘要: 加氢装置中的高压换热器由于其结构特殊、制造成本高,是仅次于加氢反应器等核心设备的重要设备。本文主要以某炼油厂加氢装置中一焊接垫片结构高压换热器泄漏为例,对泄漏原因和焊接垫片结构进行了分析,并对换热器采取了相应改进措施,解决了泄漏问题,保证了装置的平稳运行。

关键词: 高压换热器; 焊接垫片; 泄漏; 改进措施

Leakage analysis and modification of welding gasket high pressure heat exchanger

Li Jiping

Anhui Huadong Chemical and Pharmaceutical Engineering Co., LTD. Shanghai Branch, Shanghai 201315

Abstract: High pressure heat exchanger in hydrogenation unit is second only to hydrogenation reactor and other core equipment because of its special structure and high manufacturing cost. In this paper, the leakage of high pressure heat exchanger with welding gasket structure in hydrogenation unit of a refinery is taken as an example. The leakage causes and welding gasket structure are analyzed, and corresponding improvement measures are taken to the heat exchanger to solve the leakage problem and ensure the smooth operation of the device.

Keywords: high pressure heat exchanger; Welding gasket; Leakage; Improvement measures

加氢工艺在炼油行业中是一种比较常见的工艺路线,不同组分的原料油经过加氢工艺,可以生产出不同的产品,以满足不同的需求。高温高压的操作条件是在加氢工艺中处理原料油加氢反应所必须的条件,这也使得处于反应区的设备对压力容器选材、设计、制造等均具有很高的要求。反应器作为加氢装置的核心设备,其重要性毋庸置疑,而加氢反应器前、后的换热器在整个装置中也是极其重要的,其操作条件与反应器相当,均存在高温高压,而且换热效率高及其稳定运行对反应器内化学反应以及下游油品分离有着很大的影响,同时高压换热器的造价及制造难度在整个装置的压力容器中也是仅次于反应器等核心设备。

加氢装置中直径超过 DN500 的高压 U 型管换热器,往往采用螺纹锁紧环结构,而直径在 DN500 及以下的高压 U 型管换热器,由于设备偏小,不宜采用螺纹锁紧环这一复杂的结构,而采用焊接垫片结构为主^[1]。

某炼油厂一加氢装置在进行开工前系统气密性试验时,一高压换热器在焊接垫片处发生泄漏,本文就现场情况,换热器结构以及改进措施等方面进行分析^[2]。

1 泄漏情况描述

发生泄漏的换热器为热高分气/混合氢换热器,直径 DN500 的 U 型管换热器,管程介质为混合氢,壳程介质热高分气,管、壳程设计条件见表 1,管程主体材质为 14Cr1Mo,壳程主体材质为 14Cr1Mo+堆焊,管板和换热管材质为

S32168。管板与管、壳程侧连接型式见图 1。

表 1 管、壳程设计条件

	设计温度(°C)	设计压力(MPaG)
管程	210	19.6
壳程	350	17.1

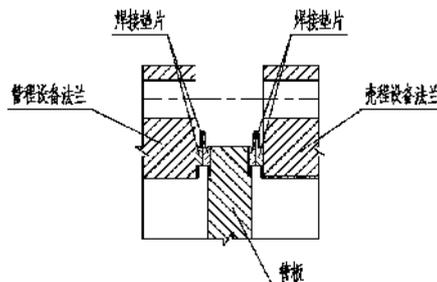


图 1 管板与管、壳程侧连接结构示意图

发生泄漏处为管板与管程连接处两焊接垫片的外侧焊缝处,在现场将换热器管箱侧焊接垫片割开,并将管箱拆卸下来观察垫片情况后有以下主要发现:

- 1.1 泄漏处对应的设备法兰螺母未拧紧,拆卸比较轻松;
- 1.2 管箱分程隔板未按图纸制造,端部未加工出厚度减薄处(见图 2);
- 1.3 分程隔板与管板处垫片未安装;
- 1.4 焊接垫片密封表面存在大量肉眼可见的划痕和凹坑,且表面附着有不少生锈的金属渣;

1.5 管箱内部存在大量焊渣。

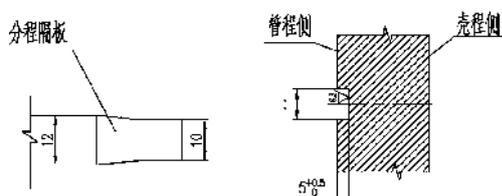


图 2 管箱分程隔板及管板隔板槽

2 焊接垫片密封法兰结构

此换热器与常规的 U 型管换热器相比，除了承受较高的压力外，主要结构上的区别在于管板与设备法兰之间的密封垫片的不同，常规的 U 型管换热器垫片拆卸方便，而本换热器采用的是焊接垫片密封结构，垫片与法兰和管板均是焊接连接，且垫片之间也需要焊接，拆卸比较麻烦。

焊接垫片密封法兰常用的结构主要有圆形空腔式无垫片法兰、焊环式无垫片法兰和卵形空腔式无垫片法兰(见图 3)，本设备采用的是焊环式无垫片法兰结构。

焊接垫片密封法兰结构密封的原因是垫片在螺栓载荷作用下密封面之间形成了密封圆，故必须保证有足够的螺栓载荷。根据 HG/T 20582《钢制化工容器强度计算规定》第 9 节焊接环形垫片密封法兰的设计和计算可以看出，对于焊接垫片密封法兰计算时，垫片系数 m 取 0，故所需螺栓面积 A_1 为

$$A_1 = \frac{F + F_p}{[\sigma]_t} = \frac{1.1 \times \frac{\pi}{4} D_L^2 \times p + 6.28 D_G b m p}{[\sigma]_t} = \frac{1.1 \times \frac{\pi}{4} D_L^2 \times p}{[\sigma]_t} \quad \text{式 1}$$

而普通垫片密封在操作状态下需要的螺栓面积 A_2 由 GB/T 150.3 可知为

$$A_2 = \frac{F + F_p}{[\sigma]_t} = \frac{0.785 D_G^2 \times p + 6.28 D_G b m p}{[\sigma]_t} \quad \text{式 2}$$

式 1、2 中：

P ——计算压力；

$[\sigma]_t$ ——螺栓材料在设计温度下的许用应力；

D_L ——受内压部分的最大内直径；

D_G ——垫片压紧力作用中心圆直径；

b ——垫片有效密封宽度；

m ——垫片系数。

由式 1 和 2 可以看出，在相同的设计条件下，相同规格的法兰采用焊接垫片时所需的螺栓面积比采用普通垫片时要少很多，在本设备设计条件下，采用焊接垫片结构相比采用八角垫密封，可以大大减小设备法兰尺寸。

焊接垫片的主要缺点在于制造成本比较高，而且检修拆

卸后往往无法再次使用，需要更换新的焊接垫片，相比普通垫片，更换难度也比较大。

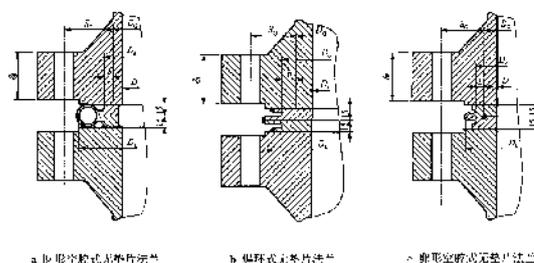


图 3 焊接垫片密封法兰结构(摘自 HG/T 20582)

图 3 所示三种焊接垫片密封法兰结构中，焊环式无垫片法兰(图 3b)结构最简单，制造也相对比较简单，密封必须依靠密封面之间能形成完整的密封圆，垫片之间不允许有微量泄漏。圆形空腔式无垫片法兰(图 3a)垫片密封面外侧有一圆形空腔，即使垫片密封面之间有微量泄漏，圆形空腔可以形成二次保护，空腔可以看作很小的管子，由于直径很小，很薄的壁厚就能承载很高的压力，相比焊环式无垫片法兰，结构更加安全可靠，但其制造难度要高很多，机加工量比较大，且由于圆形空腔壁厚比较薄，对接精度要求高，焊接难度也比较大^[3]。卵形空腔式无垫片法兰(图 3c)与圆形空腔式无垫片法兰类似，卵形空腔也可以形成二次保护，卵形空腔相比圆形空腔，空腔更小，二次承载能力也更强，空腔的刚性也会更大，而且卵形空腔结构，密封面处还增加了一个圆形垫圈，等于又增加了一道密封，安全性更高。

3 泄漏原因分析

垫片起到密封作用需要有足够的螺栓预紧力，从现场泄漏情况看，垫片焊缝坡口泄漏处正好与螺栓未拧紧处对应，同时此垫片泄漏也不足以使螺栓松动，可见此处原本预紧力就不足，在气密过程中随着压力的逐步升高，该处螺栓预紧力不足以使密封面之间形成密封圆，而造成外部焊缝破裂形成泄漏。

从图 2 可以看出，实际隔板端部未加工出厚度减薄，隔板厚度超过了隔板槽宽度，在制造过程中会出现强力组装，垫片在制造时会出现未完全贴合，影响密封效果。由现场焊接垫片密封表面存在大量肉眼可见的划痕和凹坑，且表面附着有不少生锈的金属渣这一现象也可以推断出制造完毕后垫片并未紧密贴合。垫片在机加工完毕时必然经过严格的检测，密封面不可能存在肉眼可见的缺陷，且粗糙度等要求必然满足图纸要求，但实际的垫片却缺陷比较多，也可以推断出这是垫片与设备法兰及管板焊接完成后才出现的情况，这与隔板问题以及换热器内存在大量焊渣相互印证。由于隔板

无法正确安装致使垫片无法紧密贴合,而焊渣在水压试验、运输、吹扫等情况下部分进入垫片密封面之间,破坏了密封面,从而出现大量划痕和凹坑,且由于无法完全干燥。

从以上情况也可以看出,隔板问题以及泄漏处螺栓预紧力不足是造成换热器泄漏的主要原因。

4 换热器改造与返修

本装置采用此焊接垫片结构的高压换热器共 3 台,产生泄漏的为其中一台,除了对设备进行应有的返修,重新加工隔板等,从设计上也对换热器进行了优化,考虑到可能存在的安全隐患,其余两台未泄漏的换热器也一并返厂拆开进行检查,且一起进行了优化改造^[4]。

优化改造主要体现在更换了焊接垫片结构,即采用了卵形空腔结构,相比原设计,增加了一道保护措施,使密封更加可靠,而且还是采用焊接垫片型式,只是更换了不同的结构,并不影响原法兰所需结构尺寸。

而返修内容除更换垫片外,主要集中在与图纸不符的地方严格按照施工图进行修整,同时将另外两台未发生泄漏的换热器也拆开进行检查,查看是否有与施工图不符的地方,并更换垫片。

返修完成并经过业主验收后,设备重新运往现场安装就位。

5 结束语

一台设备的安全平稳运行与设计、制造及现场操作均息息相关,从本文中的换热器泄漏可以看出,该换热器的制造存在比较大的质量问题,制造厂应严格按照施工图进行制造,把好制造质量这一关。三台相同结构的换热器,其中一台发生了泄漏,现场操作也存在一定的问题,未对紧固件预紧进行检查,装置运行前应严格按照操作规程及设备图纸进行检查和操作。当然,从设计角度分析,虽然满足规范要求,但可以选择更优结构,从而使设备的运行更加安全可靠。

经过此次返修及更换了焊接垫片结构后,该装置已平稳运行多年,且运行效果良好,说明此次改造取得了不错的效果。

参考文献

- [1] 王治刚, 罗永智, 陈体科, 李向前. 高压换热器密封结构介绍及选用[J]. 科技与创新, 2018, 23: 56-58.
- [2] 马文礼, 刘俊生, 王吉民, 肖湘磊, 樊安宁. 高压换热器密封环泄漏分析及改造措施[J]. 炼油与化工, 2020, 31(01): 42-44.
- [3] 黄军锋, 杨俊岭. Ω 环式密封高温临氢换热器的设计[J]. 石油化工设备技术, 2015, 36(04): 5, 16-18, 22.
- [4] 靳华锋, 刘青山. 高压换热器 Ω 密封环更换检修施工工艺研究[J]. 石油化工技术与经济, 2020, 36(02): 50-53.