

加氢装置中不同工况下三种脱硫化氢塔的设计探讨

冯帆

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: 加氢装置中有三种常用的脱硫化氢塔。他们的操作条件各不相同,设备的腐蚀机理也不同。根据不同的操作条件,本文分别对工艺选型、材料选择、结构设计以及制造要求等方面进行分析,并提出针对性的设计方案,以满足工艺使用要求,保证设备安全可靠运行。

关键词: 板式塔; 硫化氢腐蚀; 焊接接头; 无损检测

Discussion on the design of three kinds of desulfide towers under different working conditions in hydrogenation unit

Feng Fan

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

Abstract: There are three kinds of desulfide towers commonly used in hydrogenation units. Their operating conditions are different, and the corrosion mechanism of the equipment is different. According to different operating conditions, this paper analyzes the process selection, material selection, structural design and manufacturing requirements, and puts forward specific design schemes to meet the requirements of process use and ensure the safe and reliable operation of equipment.

Keywords: plate tower; Hydrogen sulfide corrosion; Welding joint; Nondestructive testing

1. 引言

加氢过程是炼油工业中非常重要的一个环节,既可以用于加氢裂化,使重质油发生裂化反应,转化为气体、汽油、喷气燃料、柴油等,也可以用于加氢精制,以脱除油品中存在的含氧、硫、氮等杂质,并使烃类饱和,提高油品的质量。加氢装置原料中的硫在加氢反应后转变为硫化氢,大部分以气相的形式存在于循环氢中,少部分溶解在油品中^[1]。为了保证加氢反应的稳定进行和产出合格的产品,就需要对产生的硫化氢进行脱除。

在加氢装置中主要有三种常用的脱硫化氢塔,分别是循环氢脱硫塔,脱硫化氢汽提塔和低分气脱硫塔。虽然它们都是用于硫化氢的脱除,但是它们的操作温度,压力,以及介质等设计条件各不相同。在压力容器设计的各环节中需要根据不同工况提出差异化的设计方案和针对性的技术要求,才能在满足良好的脱除硫化氢效果的前提下,既保证安全可靠,又兼顾经济成本。

表 1 塔器设计参数表

设备名称	设备内径	操作压力	操作温度	操作介质	内件形式
循环氢脱硫塔	1200mm	12.2MPa	50℃	氢气,硫化氢	15层塔盘
脱硫化氢汽提塔	1200mm	0.85MPa	280℃	加氢生成油,硫化氢	30层塔盘
低分气脱硫塔	600mm	2.8MPa	50℃	低分气,硫化氢	3段填料

下面以一套柴油加氢装置为例,从工艺选型,材料选择,

结构设计和制造要求等几个方面进行对比分析。三种塔的设计参数见表 1。

2. 塔器选型分析

2.1 工艺方案

循环氢脱硫塔和低分气脱硫塔均是脱除气体介质中的硫化氢,通常采用工艺技术成熟的 MDEA 法脱硫。MDEA 溶液对硫化氢有很强的选择性吸收能力和稳定性,并且对碳钢材料没有腐蚀。可以将混合气体中的硫化氢很好的脱除^[2]。气体从设备底部进入, MDEA 溶液从塔器顶部流入,在塔盘或填料上充分接触, MDEA 溶液将混合气体中的硫化氢吸收带走,从塔底排出。净化后的原料气从塔器顶部引出。脱硫化氢汽提塔则是用于脱除加氢生成油中混入的硫化氢,属于气液分离。通常采用蒸汽汽提的方法,通过降低油气分压,将加氢生成油中的轻组分从塔顶分离。

2.2 塔器选型

通常用于传质分离的设备有板式塔和填料塔两种,他们各有特点,对于具体的分离任务,需要正确选择合适的塔型,才能同时保证分离效果和性价比。对于小直径塔,填料塔因结构简单,可以降低造价,而板式塔则不好制作安装。而对于大直径塔,采用填料塔需要较多的填料,导致费用上升很大,板式塔则更合适,造价更低。因而对于直径 600 的低分气脱硫塔,选用填料塔形式,而对于处理量大,操作弹性大的脱硫化氢汽提塔,则采用板式塔的形式。另外对于操作压

力高的情况,经验发现填料塔的效率会明显下降,因而操作压力 12.2Mpa 的循环氢脱硫塔,选用板式塔更合理。

为了防止填料塔壁流效应,导致液体分布不均,效率下降,将低分气脱硫塔的填料分成三段,每段三米高,中间增加液体分布器,以保证每层填料段的气液充分接触。脱硫化氢汽提塔由于塔底部流量大,为了保证一定的停留时间,采用变径塔形式,将塔底部直径扩大。这样也可以降低风载荷和地震载荷对塔底部和裙座产生的弯曲应力,方便地脚螺栓的布置。

3 材料选择

3.1 硫化氢腐蚀机理

硫化氢对金属材料的腐蚀主要有两种,湿硫化氢应力腐蚀和高温硫化物腐蚀。当温度不高于 120℃,在含水和硫化氢环境中,碳钢和低合金钢会发生环境开裂损伤,包括氢鼓泡,氢致开裂,应力导向氢致开裂,和硫化物应力腐蚀开裂四种形式。而当处于高温(大于 240℃)含硫油环境时,压力容器用钢材会和硫化物发生如下反应造成腐蚀: $Fe+RS \rightarrow FeS+R$ 。高温硫化物腐蚀多为均匀腐蚀。如果同时有氢气存在会加速腐蚀^[3]。

3.2 选材分析

根据操作条件,可以判断循环氢脱硫塔和低分气脱硫塔处于湿硫化氢腐蚀环境,而脱硫化氢汽提塔处于高温硫化物腐蚀环境。

湿硫化氢腐蚀环境下主要发生的是应力腐蚀开裂,钢材屈服强度或钢材硬度的提高,均会导致钢材对硫化物腐蚀破裂敏感性增强。对于一般的湿硫化氢腐蚀环境,采用强度较低的 Q245R 钢板,配合相应的制造技术要求就可以满足要求。但材料需要以正火状态供货并且对于厚度大于等于 12mm 的钢板,需要进行 100%超声检测, I 级合格。而对于操作压力 12.2Mpa 的循环氢脱硫塔,采用强度较低的 Q245R 钢板,会导致设备壁厚太厚。这样不仅不经济,而且会增加制造难度,过厚的焊接接头厚度也会影响焊接质量,导致更大的焊接残余应力,这些都对抵抗应力腐蚀开裂很不利。因此循环氢脱硫塔采用强度更高的 Q345R 材料,计算厚度可以比 Q245R 减少 30%。但为了保证安全,通常采用抗 HIC 钢板,即按相应标准规定进行抗 SSC 试验和抗氢致开裂 HIC 腐蚀试验。

脱硫化氢汽提塔最高操作温度达到 280℃,在硫化氢环境下会发生高温硫化物腐蚀。查相关腐蚀曲线可知碳钢在该环境下腐蚀速率较大,而一般塔设备的设计寿命都在 15-20

年,选用碳钢不合适。而不锈钢可以大大减缓该环境下的腐蚀速率,因而综合考虑设备的运行稳定性和经济性,选用不锈钢-碳钢复合板材料,来抵抗这种腐蚀。另外由于塔底油中的硫化氢已经被汽提脱除,因而会发生高温硫化物腐蚀的塔段位于汽提蒸汽口以上部分。从而对该塔的选材进行分段考虑,汽提蒸汽口以上部分采用 S32168+Q245R 的复合板材料,而塔底部分采用普通 Q245R 材料。

4 结构设计

高压和低压设备通常在封头形式,人孔设置以及开口方式上有所不同。

压力容器的封头通常采用标准椭圆形封头,椭圆形封头深度较小,易于加工制造。而球形封头加工要困难一点,但其受力更好,可以减薄壳体厚度,节省成本。因而对于循环氢脱硫塔这种高压设备,选用球形封头更合理,而低压塔选用椭圆形封头即可。球形封头由于壁厚比筒体薄,二者的连接处应该采取局部加厚球壳的方法,以达到平缓过渡的要求。不可以采用削薄筒体的做法,这样会导致圆筒端部的应力超过许用值^[4]。

人孔的数量和设置既要考虑操作需要也要考虑开设难易程度。高压设备上的人孔,通常都是开设在受力更好的球形封头上,如果开在壳体上,为了满足补强要求,需要增加壳体厚度,非常不经济。循环氢脱硫塔塔盘数量较少,塔顶部开设一个人孔即可以满足操作要求。为了减少封头上的开口和焊缝数量,塔顶气体出口从顶部人孔法兰盖引出。检修时只需要通过吊耳将人孔法兰盖和气体出口法兰整体吊开,就可以方便人员进出操作。

脱硫化氢汽提塔的塔盘数量较多,且在壳体上开人孔比较方便,可以每隔 7,8 层塔盘设置一个人孔,方便操作。而低分气脱硫塔由于直径较小,没办法开设大直径的人孔,因而将塔体按填料段的布置分成若干段,采用设备法兰进行连接,这样可以直接将筒体分段拆卸下来进行填料的装填和设备检修,不需要另外开设人孔和卸料口。

对于开口的形式,一般低压设备可采用较简单的补强板补强或者插入式的厚壁接管即可。但这种焊接接头属于角焊缝,只能用磁粉或渗透方法检查焊缝表面,无法检测内部缺陷。因而对于循环氢脱硫塔这种高压设备,由于焊缝较厚,焊接难度较大,需要保证焊缝内部质量的情况不太适用。通常采用带翻边的厚壁管锻件与设备壁对接焊接的结构,这样不但可以采用射线或超声检测来检测内部缺陷,而且可以使焊接残余应力与结构不连续导致的最大应力集中分离,避

免出现应力叠加^[5]。

5 制造要求

湿硫化氢应力腐蚀环境下,在高残余应力区更易造成应力腐蚀,这也是多数压力容器在焊缝及热影响区处出现裂纹的原因。而在压力容器的制造与焊接过程中,不可避免地带来较高的焊接残余应力,因而对于该环境下工作的循环氢脱硫塔和低分气脱硫塔,在制造过程中需要特别注意控制焊接残余应力。

首先焊接前应按标准要求做好焊接工艺评定,同时对于采用 Q345R (HIC) 材料的循环氢脱硫塔,还需要包括焊接接头的抗硫化物应力腐蚀开裂试验。其次焊接时,应对母材进行预热,防止热影响区出现高硬度的显微组织。同时应避免出现未焊透,未熔合,裂纹和咬边等焊接缺陷。最后在焊接完成后需要进行消除应力热处理,保证热处理后所有焊缝的硬度值小于等于 200HBW^[6]。

脱硫化氢汽提塔由于不发生湿硫化氢应力腐蚀,用的又是不锈钢复合板材料,可以不需要进行焊后热处理。

循环氢脱硫塔的焊接接头比较厚,通常会要求将焊缝余高去除,这样不仅可以降低因焊缝表面几何形状不连续产生的局部应力,还有利于无损检测对焊接缺陷的检出效果。通常对于厚壁容器,会采用组合检测,即同时进行射线检测和超声检测,以保证焊接接头的质量。对于 DE 类焊接接头,通常采用灵敏度高,检测成本低,速度快的磁粉检测对其进行表面无损检测。但是磁粉检测只适用于铁磁性材料检测,因而脱硫化氢汽提塔不锈钢部分的焊接接头表面无损检测,

需采用渗透检测方法替代。

6. 总结

在压力容器的设计工作中,针对不同的使用条件(压力、温度、腐蚀介质),设计者需要严格分析设备的工艺要求,选用合适的材料和设备结构,并针对不同的材料和工作条件确定合理的热处理和无损检测等制造要求,才能在满足使用要求的前提下,既保证安全可靠,易于操作,又兼顾经济成本。

参考文献:

- [1]朱胜杰,石昕,邹兵.炼油装置硫化氢分布及腐蚀部位分析[J].安全技术,2013,13(4):15-17.
- [2]谢清.浅论炼油厂气脱硫化氢工艺[J].工业技术,2012,24:85.
- [3]GB/T30579-2014,承压设备损伤模式识别[S].中国标准出版社,2011,26-27,40
- [4]李世玉.压力容器设计工程师培训教程-基础知识零部件[M].北京:新华出版社,2019.215
- [5]李世玉.压力容器设计工程师培训教程-容器建造技术[M].北京:新华出版社,2020.195
- [6]SH/T 3193-2017,石油化工湿硫化氢环境设备设计导则[S].中国石化出版社,2018,4-10.

个人简介:冯帆(1990-),男,本科学历,中级职称,研究方向:压力容器设计。

联系方式 13816897692