

螺纹锁紧环结构在高压换热器中的应用

李 颀

安徽华东医药工程有限责任公司上海分公司 上海 201315

摘 要：本文介绍分析了加氢装置中螺纹锁紧环式换热器的结构设计、材料选用的特点。

关键词：螺纹锁紧环式换热器；加氢裂化；内圈螺栓；外圈螺栓

1 前言

螺纹锁紧环换热器在炼油厂的加氢精制、加氢脱硫以及加氢裂化等工艺过程中扮演着非常重要的角色，它是石油化工行业中的重要核心设备之一，这种装置大多被应用到高温高压的工作环境中，它的技术理念起源于20世纪60年代美国Chevron公司同日本千代田公司^[1]所共同研发的设计方案，其目的是为了应对当时炼油和化工行业中对高效、可靠且易于维护的换热设备的需求。螺纹锁紧环换热器结合了双方的技术优势，特别针对高温高压工况下的密封性和耐久性进行了优化。螺纹锁紧环换热器不仅增强了设备的机械强度，还简化了装配和拆卸过程，提高了现场维护和操作的灵活性，成为了处理苛刻工况条件下的首选换热器方案之一。

2 高压换热器设计参数及材料选择

本文结合某地炼加氢装置的一台二段反应流出物/二段混合进料换热器(E2301C)高压换热器来探讨该类设备的特点。这台换热器直径为700mm，壳程介质为混合进料，设计温度415摄氏度，设计压力20.37兆帕，管程介质为反应流出物，设计温度425摄氏度，设计压力19.64兆帕。按照美国石油协会API941的高温高压氢环境下设备材料选用曲线（即纳尔逊曲线）根据高压换热器管程及壳程的氢分压以及工作温度，并且在工作温度以及管程和壳程的氢分压的基础上增加一定的裕量之后，壳程基层材料可以选用铬钼钢板材——12Cr2Mo1R，管程基层材料可以选用铬钼钢锻件——12Cr2Mo1；由于管程及壳程介质同时含有氢气以及硫化氢气体并且温度较高，形成了高温硫化氢加氢气腐蚀环境，管程和壳程都采用内壁堆焊不锈钢的结构，过渡层采用E309L材质，厚度为3mm，复层采用E347材质，厚度为3.5mm。换热管采用具有良好耐腐蚀性的奥氏体不锈钢S32168材质。

3 高压换热器型式选择

对于上述高压换热器，可以选择钢垫圈金属环密封结构的高压换热器，即，管板两侧密封垫片采用八角垫

或椭圆垫；或者选择采用焊接垫片型式的高压换热器；螺纹锁紧环式高压换热器亦可作为选择。

3.1 钢垫圈金属环密封结构

本换热器可采用钢垫圈金属环（八角垫）密封结构，换热器管板和管箱法兰之间，管板和壳程法兰之间均采用八角垫密封，该结构利用了八角垫的径向自紧密封特性^[1]。管程侧法兰与壳程侧法兰的螺栓载荷要综合考量两种关键作用力，第一种是流体压力造成的总轴向力，第二种是保证垫片和密封面完全贴合所必要的压紧力，这样就能维持密封性能并杜绝介质泄漏。按照理论分析得知，这个换热器密封性能的达成主要依靠这些关键参数，法兰外径达到1282mm，螺栓孔圆直径高达1112mm，八角垫片金属环内径为850mm，法兰厚度为260mm，而且采用20根M90全螺纹螺柱来完成高强度的紧固连接。鉴于M90螺栓直径较大，其拧紧操作需采用专用工具并严格控制扭矩以确保预紧力均匀，上紧较为困难。密封可靠性较差，一旦在运行过程中发现泄露，不能带压紧固全螺纹螺柱，很难排除泄露。

3.2 焊接垫片密封结构

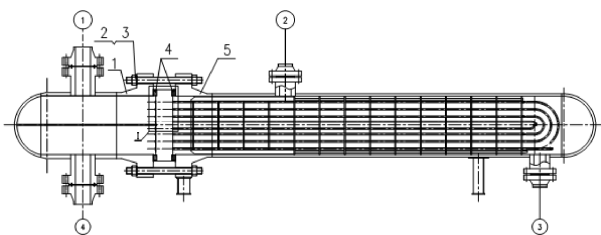
该换热器也可以采用焊接垫片的结构形式，本文将卵形空腔式焊接垫片作为研究对象，并参考国家标准HG/T20582《钢制化工容器强度计算规范》进行理论分析及计算验证。管程中焊接垫片嵌入管板与管箱法兰之间实现密封；壳程中焊接垫片将管板与壳体法兰焊接在一起实现密封。结构示意图1：件号1为管箱法兰，件号2、3为全螺纹螺柱及配套螺母，件号4为卵形空腔式焊接垫片，件号5为壳程法兰。管箱法兰、焊接垫片及壳程法兰的焊接连接详图示于图2。该卵形空腔式焊接垫片换热器的密封性，依赖垫片间、垫片与法兰及管板间的焊接保证。鉴于法兰与管板刚度较高，卵形空腔轴向变形能力强，故密封性能可靠。

为确保焊接垫片间焊缝在服役期间维持密封可靠性、避免开裂，必须确保密封面有效贴合，并使卵形空

腔式焊接垫片处于轴向压缩状态或处于自由状态, 严格禁止焊接垫片承受轴向拉伸载荷。因此, 卵形空腔式焊接垫片并非不需要预紧力或者没有预紧力存在。HG/T20582规范规定, 螺栓载荷按操作状态螺栓力的1.1倍系数计算。这一螺栓力也可以作为预紧螺栓力而在实际上紧螺栓中加以考虑。此类法兰的螺栓载荷显著低于采用非焊接垫片的法兰, 故其法兰厚度相应也要薄些。

基于上述考量, 按HG/T20582规范计算, 满足本换热器密封要求的关键法兰尺寸为: 法兰外径1230毫米, 螺栓圆直径1080毫米, 法兰有效厚度仅需215毫米, 同时, 需配置二十四套M76全螺纹螺柱进行紧固。相较于钢垫圈金属环密封结构, 卵形空腔式法兰盘外径较小, 法兰盘有效厚度略薄, 同时所用螺栓直径也较小。

当换热器直径较大时, 卵形空腔式密封环的对中难度增大, 焊接密封性较难保障。为确保卵形空腔焊接垫片的焊接质量, 垫片焊于法兰密封面及管板时, 应至少分两次施焊, 且焊接接头需进行无损检测。此外, 卵形空腔式垫片间的对接焊缝亦需打磨坡口并分两层施焊, 每层焊后均应对接头进行无损检测。换热器水压试验后, 卵形空腔内容易积水。此时, 需在环上、下部位各钻一排净孔, 彻底排空并吹干垫片腔内积水, 随后将排净孔焊死。补焊完成后, 应对该区域实施无损检测。



主密封系统的主要功能由主要密封垫片(编号9)来完成,它的密封性取决于外圈螺栓(编号3)所产生的压紧力,这个力经过外圈压环(编号4)和密封盘(编号18),传达到主密封垫片上。当出现外部泄漏的时候,可以通过调节外圈螺栓的紧固程度来进行修复,外圈螺栓所承受的载荷包含两个部分,第一部分是为保证主密封垫片正常运行而设置的预紧力,第二部分是管程介质压力对内圈压环产生的附加效应。根据最大载荷、材料强度极限、安装空间等多种因素进行综合考量之后,最后决定采用规格为M36的螺栓作为固定元件,并且把数量定为40根。

3.4 型式选择

综合比较三种高压换热器,螺纹锁紧环式高压换热器的螺栓明显小于钢垫圈金属环(八角垫)或者卵形空腔式密封结构高压换热器,螺纹锁紧环式高压换热器采用的M36的螺栓便于上紧,密封可靠,能够在高压换热器运行过程中发生泄漏时带压紧固,现场操作具有很大的灵活性。

螺纹锁紧环式换热器凭借自身独特的结构特点,在管程与壳程之间摒弃了传统的法兰连接方式,而是采用管箱与壳体之间的焊接方式来实现密封,以此彻底解

决管箱或壳体与设备法兰部位的介质泄漏问题。这种创新设计不仅消除了设备法兰的使用,而且带来了诸多好处,在检修时,不需要移动壳体就可以对管束进行拆装作业;可以直接将壳程介质进出口接管与管道进行焊接连接,大幅度减少了泄漏的可能性;介质进出口接管的位置可以更靠近管板区域,使换热管的排列更加合理,提高了整体的换热效率,同时也避免了增设导流筒装置所带来的成本和复杂性。

综上所述,最终确定采用螺纹锁紧环式换热器。

4 螺纹锁紧环式换热器结构设计

螺纹锁紧环式高压换热器的分程箱结构如下图4所示,其中分程箱的可拆卸盖板应位于分程箱上部,并用螺栓固定于支承环上。采取此种布置是为了将管程介质中较热侧的工艺流体介质引入或者引出管程,并使得管箱中的分合环,内部螺栓等部件接触较冷侧的工艺流体。同时,此种布置还有利于工艺流体的排放,不需要在分程箱套筒上额外设置排液孔。分程箱上部的填料,填料压环以及限位环构成的分隔组件用于确保将较热的工艺介质引入或引出分程箱,以防止管程流体介质短路^[3]。

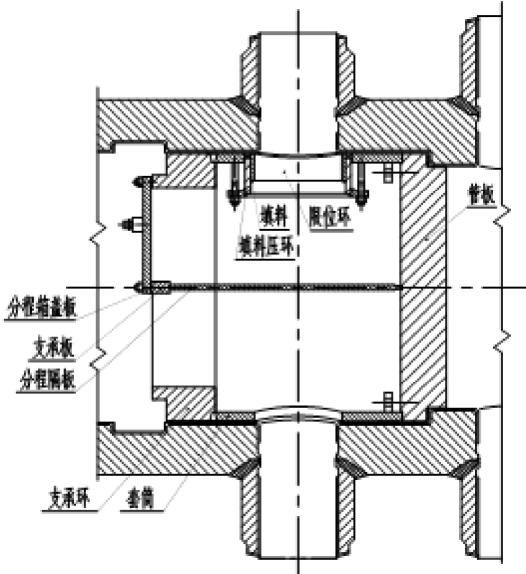


图4 螺纹锁紧环式换热器分程箱结构示意图

5 总结

从以上看,螺纹锁紧环式换热器是一种高效的换热器,在本次的地炼加氢装置中选用螺纹锁紧环式换热器密封可靠,操作灵活。

参考文献

[1]GB/T 150-2024 压力容器 国家质量监督总局
[2] 换热器技术实用手册 兰州石油机械研究所
[3] GB/T 151-2014 热交换器 国家质量监督总局