

加氢脱硫反应器的设计

彭霞 宋志红 (长岭炼化岳阳工程设计有限公司, 湖南 岳阳 414000)

摘要: 介绍了催化重汽油选择性加氢脱硫装置加氢反应器的材料选择和结构设计。在材料选择方面, 根据工艺专业提供的氢分压及工作温度, 考虑到由于 H_2 的存在加速了介质中 H_2S 的腐蚀, 在 $240^\circ C$ 以上形成高温 H_2S+H_2 腐蚀环境, 按最新版本的 Nelson 曲线图确定加氢脱硫反应器的基体材料为 15CrMoR 抗氢钢。当装置运行期间遭受 S 的腐蚀, 在设备表面生成硫化物, 装置停工期间有氧 (空气) 和水进入时, 与设备表面生成的硫化物反应生成连多硫酸 ($H_2S_xO_6$), 在连多硫酸和拉伸应力的共同作用下, 就有可能发生连多硫酸应力腐蚀开裂 (SCC), 考虑介质中氢和硫化物在开停工时生成的连多硫酸腐蚀, 应在基体材料内壁衬 S32168。在结构设计方面, 进行了新旧结构设计比较, 采用了最先进、合理、经济和适用的结构。

关键词: 加氢脱硫反应器; 材料选择; 结构设计

加氢脱硫反应器是催化重汽油选择性加氢脱硫装置的关键设备, 处在高温中压临氢及 H_2S 腐蚀的介质中操作, 其安全运行与否关系到整个装置的正常生产, 因此它的设计制造要求很严。加氢脱硫反应器从使用状态下反应器内部的高温介质是否直接与器壁接触, 可以分为冷壁反应器和热壁反应器。冷壁反应器是在设备内壁设置非金属隔热层, 并在隔热层内壁衬不锈钢套, 由于冷壁反应器的隔热层占据较大空间, 施工及维修费较高, 且由于施工质量、施工工艺及运行周期的影响使隔热层产生裂纹、冲刷孔洞甚至脱落等损坏, 使反应器局部超温, 出现“热点”, 影响了反应器的安全操作。随着材料工业的发展, 目前国际上普遍采用热壁反应器。热壁反应器虽然制造较难, 一次性投资较大, 但可以保证长周期安全运行。

1 设计参数及简介

加氢脱硫反应器设计参数: 设计压力 2.4MPa; 设计温度 $360^\circ C$; 工作介质为汽油、 H_2S 、 H_2 。介质中氢分压为 1.7MPa。容器内径为 $\phi 1800mm$, 筒体长 7800mm。

反应器一共有两个催化剂床层, 床层中间有冷氢管、冷氢盘, 可通冷氢, 控制下一个床层温度。床层上部有分配盘, 使物料分配均匀。整个反应器使用两种催化剂, 分别起不同作用。

2 设计规范

按照 GB/T150《压力容器》及《固定式压力容器安全技术监察规程》的有关规定进行设计。

3 材料选择

众所周知, 加氢反应器是在高温高压临氢的状态下操作, 在不含 H_2S 或 H_2S 含量很少的环境下, 我们只考虑高温高压下 H_2 引起的腐蚀及材质劣化, 选用一种合适的抗氢钢作为反应器的材质, 这种反应器没有复层及堆焊层。在介质中如果含有 H_2S 气体, 我们必须同时考虑 H_2 及 H_2S 引起的腐蚀及材质劣化, 这种情况下国内外普遍采用堆焊式的反应器, 即在壳体内壁堆焊超低碳不锈钢进行防腐。或直接采用不锈钢复合钢板作为壳体材质抗 H_2 及 H_2S 腐蚀的反应器, 但这种反应器的温度不能超过 $400^\circ C$, 壁厚不能太厚, 不能频繁地开停工, 否则复合板的质量难以保证。复合板作为加氢反应器的材质在国内外都使用过。

3.1 基体材料

加氢反应器内壁虽然有堆焊层或复层, 但高温高压的

氢气仍能渗透而进入基体, 只是氢分压有所降低而已, 因此基体材料仍需采用抗氢钢。制造加氢反应器的常用基体材料一般为 Cr-Mo 钢系。因为这些钢材既具有优良的抗高温氢腐蚀性能, 又有良好的短时和长时高温力学性能。根据不同的操作温度和压力, 在加氢反应器上一般都选用: 1Cr-0.5Mo、1.25Cr-0.5Mo、2.25Cr-1Mo、2.25Cr-1Mo-0.3V 和 3Cr-1Mo-0.25V 钢。前三种钢材分别相当与国内的 15CrMo、15CrMoR、12Cr2Mo1R, 后两种钢材为国外开发成功的改进型钢种, 改进型钢种分别在强度、抗高温氢腐蚀、抗氢脆、抗回火脆化以及抗氢致剥离裂纹等方面具有显著的优越性。

在选择抗氢钢材料时, 一定要根据设备的操作条件选择一种合适的材料, 我们一般考虑以下几个方面的因素: 高温蠕变与疲劳破坏; 回火脆性; 应力腐蚀性; 抗氢脆性能; 母材的氢诱发裂纹; 钢材的化学成分对其性能的影响。一般来说, 在上述各种钢中铬钼含量越高, 抗 H_2 性能越好, 但制造难度越大, 例如焊前预热及焊后热处理的温度越高, 长期操作后的回火脆性现象越严重。钢材的化学成分中含碳量低于 0.1% 时, 其强度随含碳量的增加而明显提高。Mn、Si、V 是对钢材性能基本有利元素, S、P、N、O 为不利元素。应严格控制其含量。以前, 曾出现过由于选材不合适造成投资大幅度提高的现象, 一些操作条件不太苛刻的加氢反应器, 按其操作条件可以选择 15CrMoR, 有的也选用了 2.25Cr-1Mo, 制造难度加大了, 回火脆性明显反而易出问题。

3.2 本次设计选材

由于加氢脱硫反应器运行中所处的苛刻条件, 因此要求制造反应器的材料既能抵抗高温环境中的氢腐蚀, 又能抵抗 H_2S 及其化合物的腐蚀。查最新版本的 Nelson 曲线图, 取氢分压 1.7MPa, 取温度为 $360^\circ C$ 。选择 1.0Cr-0.5Mo 即 15CrMoR 作为反应器基体材料。考虑介质中氢和硫化物在开停工时生成的连多硫酸腐蚀, 因此, 应在基体材料内壁衬 S32168。S32168 属于稳定型的奥氏体不锈钢, 这种材料在任何温度及氢分压条件下不产生脱碳, 且耐氢腐蚀, 并且含有稳定元素 Ti, 碳含量较低, 对抗连多硫酸腐蚀有利。因此这种材料能满足反应条件, 安全可靠。加氢脱硫反应器主体材质即选用 15CrMoR+ S32168 复合钢板。

基层钢板用电炉或氧气转炉加真空精炼或其他高质量

冶炼方法冶炼的本质细晶粒镇静钢, 15CrMoR 钢板的化学成分除符合 GB/T713《锅炉和压力容器用钢板》的规定外, 还应符合 GB/T35012《临氢设备用铬钼合金钢钢板》的规定。

4 结构设计

4.1 筒体结构

加氢反应器筒体结构的特征可分为两大类: 一是单层结构, 二是多层结构。单层结构中又有钢板卷焊结构和锻焊结构两种; 多层结构用于加氢反应器上的一般有绕带式、热套式等多种形式。相比之下, 单层结构中钢板卷焊式结构简单, 是最普遍采用的型式。加氢脱硫反应器即选用这种型式, 筒体上有一条纵焊缝。

4.2 法兰密封结构

一般, 反应器上的接管法兰多采用环形八角形金属垫片密封。由于原先设计上有不完善之处, 且螺栓载荷又较大, 曾在法兰密封槽内产生过裂纹, 为了避免或尽可能减少这种损伤的发生, 原来的法兰密封面梯形槽堆焊层都是在焊后热处理前堆焊好, 现在改进结构后将法兰密封面梯形槽堆焊层表面 TP347 改为焊后热处理后堆焊。改进后的结构保证了法兰密封面的质量。

4.3 催化剂支承结构

承受重载荷的催化剂支持圈的拐角处是应力集中的高应力区, 容易发生脆性损伤。支持圈(与母材相同材质)与壳体母材相焊后, 表面堆焊过渡层(E309)及表层(E347), 设备焊后整体热处理。

4.4 内件

加氢反应器的主要内件有入口分配器、冷氢箱、催化剂支撑件、积垢篮、出口收集器等, 其材料全部选用 S32168。采用目前国内外成熟的先进结构, 在结构上充分考虑了拆卸、安装的方便。

入口分配器的主要作用是使反应物料在下一层催化剂床层上能均匀分布, 实现与催化剂的充分接触, 改善流动状态, 使气液产生预混合并尽可能扩散到整个反应器截面上, 以便更好地发挥催化剂的作用。入口分配器应根据液体及沉积物量确定长槽孔的大小、数量和位置, 长圆孔侧隙扩散器还可起到积存进料中的一些锈垢的作用。

冷氢箱是加氢反应器内冷热反应物进行热量交换的场所, 其作用是使上床层流下来的热反应物与由冷氢管注入的冷氢进行充分的混合, 以降低反应物温度, 满足下一催化剂床层的反应要求, 保证反应顺利进行。冷氢箱结构由冷氢管、急冷混合器、再分配盘组成。

催化剂支撑件由 T 型梁、格栅、丝网构成。T 型梁采用板焊结构。跨在反应器中的 T 型梁顶部削尖, 以使其影响物料流通的截面积减到最小。

5 结语

加氢脱硫反应器设计时综合考虑了经济性、实用性、可靠性, 选择合适的材料及结构型式。

参考文献:

- [1] 邱百昌. 催化汽油加氢脱硫反应器配管设计与应用 [D]. 大连: 大连理工大学, 2020.

(上接第 21 页) 道内主要通过的是高温蒸汽, 其输送的过程中会产生热损, 也就是热量损失, 进而产生冷凝液, 对流量计量、热量供应等造成影响, 甚至还会产生水锤现象, 对管道形成破坏, 因此必须要对蒸汽管道设置排液设备, 将冷凝液排除才能确保蒸汽管道的正常运行。排液设备包括切断阀和疏水器, 其安装位置通常需要根据管道的实际布局情况来确定, 通常情况下排液设备设置在管道低点, 如上升管道的底部等位置, 此外在管道盲端和设备边界切断阀之前也需要设置排液设备。对于直接走向的蒸汽主管道, 若是蒸汽为饱和蒸汽, 则每 80m 设置一套排液设备, 若是蒸汽为过热蒸汽, 则每 160m 设置一套排液设备。

3 石油化工工艺装置蒸汽管道配管设计注意事项

3.1 弯头设计

在配管设计中, 弯头的使用虽然起到了连接作用, 并且降低了热荷载, 但是若盲目添加弯头会使得蒸汽流动阻力变大, 取得适得其反的效果, 因此就弯头设计而言, 应当对管道整体布局进行合理规划, 合理使用弯头, 减少无效连接, 使得蒸汽管道布局合理性得到有效增强。

3.2 连接设计

蒸汽管道连接部位是非常重要的部位, 在实际使用过程当中, 也是最容易出现问题的部位, 因此应当注意管道之间的连接设计。根据输送蒸汽类型的不同、管道材料的不同, 连接方式也有很大的区别, 若是相互连接管道材质不同, 不宜采用焊接的方式进行连接, 避免产生金属电位

差, 加快管材的腐蚀, 对此可以使用法兰进行连接, 以确保良好的应用效果。

3.3 阀门设计

蒸汽管道阀门设计是配管设计中的关键设计环节, 不同类型的阀门用途不同, 若是设计不合理, 容易引发一定的安全问题, 因此在设计中应当充分掌握不同阀门的特点, 根据实际使用需要, 确定阀门的类型, 并按照既定的安装程序进行安装, 确保阀门连接牢固, 能够满足管道输送控制的要求。

4 结束语

综上所述, 蒸汽管道作为石油化工工艺设备的重要组成部分, 其配管设计工作相对繁琐且复杂, 需要从多个方面进行考虑, 在实际的设计过程当中, 相关人员应当本着安全、稳定的设计原则, 做好管廊蒸汽管道、蒸汽支管配管设计、管道柔性设计、排液设计等几个方面, 并注意弯头设计、连接设计、阀门设计等几个设计误区, 从整体上对蒸汽管道配管设计的科学性和合理性进行把握, 以充分发挥其在石油化工生产中的作用。

参考文献:

- [1] 魏亚鹏, 程永帅, 程伟. 石油化工工艺装置蒸汽管道配管设计要点解析 [J]. 河南化工, 2020, 37(04): 30-31.
- [2] 钱帅丞. 论石油化工工艺装置蒸汽管道配管设计的研究 [J]. 华东纸业, 2020, 50(02): 37-40.