

浅析高温化工设备的结构设计

徐亚东
(安徽丰原化工装备有限公司 安徽 蚌埠 233010)

摘要: 本文概述了金属材料在高温下的性能特点, 提出了高温设备设计时, 应选择性地设计合适结构, 确保高温设备设计合理、使用安全、经济实用, 希望籍此为相关设备设计提供参考。
关键词: 化工设备; 压力容器; 高温; 结构设计

0 引言

化工生产实际中高温设备的应用越来越多。高温设备是指高温下运行的设备, 原则上是指超过设备金属材料蠕变起始温度下运行的设备。一般认为, 在碳素钢材料的温度高于 300 ~ 350℃、低合金钢材料高于 400℃、低合金铬钼钢材料高于 450℃、奥氏体不锈钢材料高于 550℃时, 就需要考虑设备材料的蠕变问题。

1 金属材料在高温下的性能特点

高温容器设计时材料的选择很重要, 在不同操作温度、操作压力和操作介质下应选择不同的材料。金属材料在高温下所表现出来的力学性能与室温时有很大的不同, 因为金属材料在高温长期应力作用下, 其内部组织会发生显著变化, 因而其性能也会改变, 因此钢材的室温力学性能是不能代替其高温力学性能的。由于高温金属材料长期在高温、甚至在压力或是有腐蚀性的介质下工作, 因此要求材料需要具备长期耐热性能和耐腐蚀性能。钢材长期在高温和压力作用下要求具备抵抗变形和断裂能力, 其基本判据是蠕变极限和持久强度; 对于有腐蚀性的介质还应增加材料耐腐蚀性要求; 对于紧固件而言, 以材料的松弛稳定性作为其重要判据之一。

2 高温化工设备常见结构设计

鉴于高温容器的材料具有上述特点, 因而在高温设备设计时, 可选择性地考虑采取下述结构, 以确保高温设备设计合理、使用安全、经济实用。

2.1 高温化工设备主体结构设计

在高温容器设计时, 当要求选择的材料耐温能力有限、或所选材料在相应的温度下承载能力有限、或所选材料在相应的高温下抗腐蚀性能较差时, 设备内部采用绝热材料作衬里能有效降低承压壳体或元件的使用温度, 提高设备高温下的承载能力或抗腐蚀性能。绝热材料作衬里常分为完全非金属衬里和金属(不锈钢)+非金属衬里两种。在金属(不锈钢)作为最里层衬里时, 设计时, 要充分考虑金属(不锈钢)衬里与承压壳体的因膨胀系数不同而产生的应力, 金属衬里内可设膨胀节, 金属衬里安装前需做好气密性试验, 安装时要使衬里与绝热层保持充分接触, 衬里最后一道对接环缝可考虑在其上面覆盖一层环形盖板焊接并采用真空箱法检漏, 以保证衬里的密封性能, 如图 1 所示。必要时, 高温设备本体上适当位置应当设置泄露信号指示孔。

2.2 高温设备法兰连接设计

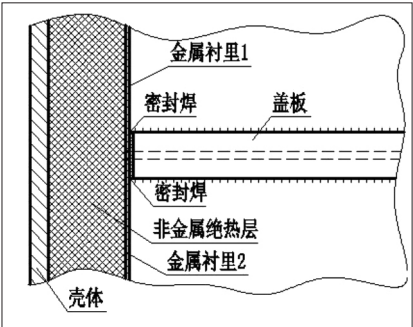


图 1 高温设备金属衬里对接结构

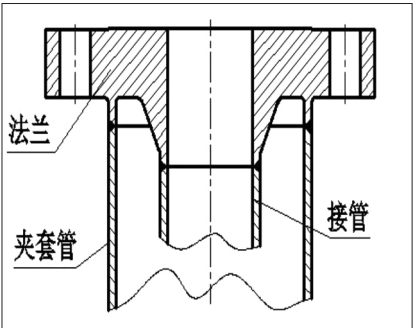


图 2 夹套式法兰结构图

法兰连接是设备设计中的常用结构。高温设备设计时, 根据工艺设计实际工况, 法兰可采用以下结构: 松套式法兰、夹套式法兰、绝热衬里法兰等, 松套式法兰由于接管或设备筒体与法兰本体非刚性连接, 管壁或容器壳壁热应力不直接传递到法兰上, 法兰的热应力也不会对接管等产生直接影响, 因而保证了法兰连接的稳定性。使用时应注意, 松套式法兰不适用于剧烈循环工况。在剧烈循环工况下, 应选用带颈对焊法兰或整体法兰。当高温容器内工艺介质允许采用降温措施时, 可采用夹套法兰。在夹套内通入冷却水等低温介质能有效降低法兰热应力, 确保法兰连接的可靠性, 如图 2。法兰采用绝热衬里可使高温介质与法兰隔离, 有效提高法兰材料的在高温下的承载能力, 保证法兰连接的密封性能。

应当注意的是, 高温化工设备中接管与筒体的连接应采用整体补强、锻件补强或补强管补强等结构。

2.3 高温设备法兰连接中的紧固件设计

高温设备的法兰连接紧固件应尽可能采用全螺纹螺栓结构, 材质的耐温性能应不低于高温设备的设计温度。

螺栓上采用套筒加长结构, 其原理是紧固件避开与高

温法兰直接接触，降低紧固件工作温度，使紧固件处在较低的温度下因而可承受高温法兰由于膨胀位移产生的附加应力。在套筒上对开开孔可增加空气的流动性，对进一步降低紧固件温度应当是有益的，如图 3、4 所示。

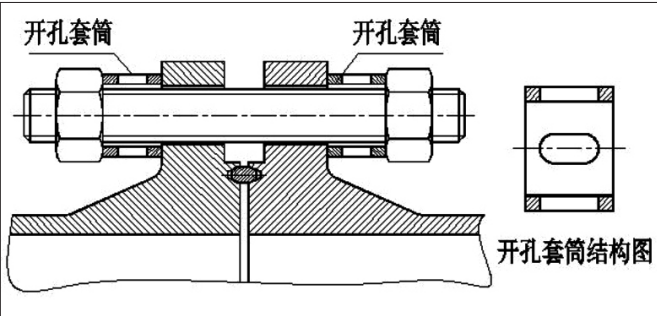


图 3 套筒螺栓连接结构图

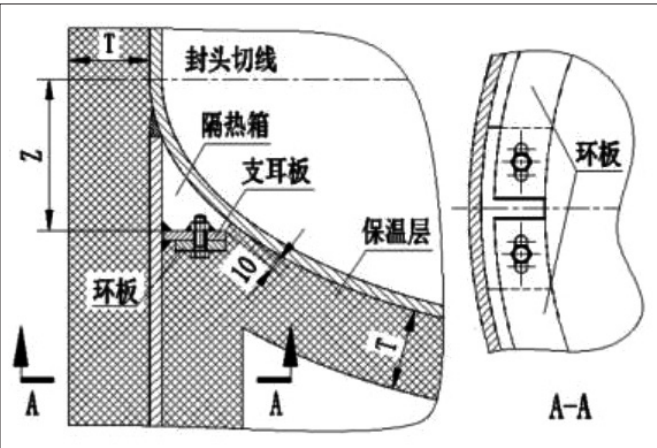


图 4 高温设备裙座隔热箱结构

2.4 高温设备法兰连接中的垫片设计

高温容器的法兰垫片的材质选择也很重要，垫片材质的选择应根据容器的工作压力和最高使用温度来确定。管法兰常用的耐高温垫片见下表：

表 管法兰常用的耐高温垫片参数

垫片型式		公称压力 PN (bar)	公称尺寸 DN (mm)	最高使用 温度 (℃)
非 金属	增强柔性石墨板	10 ~ 63	10 ~ 2000	650(450)
	高温云母复合板			900
半 金属	石墨缠绕垫	16 ~ 160		650(450)
	石墨齿形组合垫			650(450)
金属	金属环垫	63 ~ 160	15 ~ 400	700

注意：1. 当含有柔性石墨材质的垫片用于氧化介质时，垫片的最高使用温度为 450℃。

2. 非金属材料垫片的使用温度和压力的乘积 ($P \times T$) 最大值不应超过 HG/T20606 的规定。

如前所述，由于高温设备上的法兰连接，对材料、结构要求苛刻，不仅造价高，而且其密封也容易因高温而失效

泄漏。因此，高温设备，尤其是高温高压设备，尽可能不采用法兰连接而采用焊接结构，包括不经常拆卸的人孔、手孔（如：每年只打开 1 ~ 2 次）。设计时，筒节可适当放长些，以利于拆卸时的切割磨损。焊接时，应采用气体保护焊打底的全焊透结构。必要时，焊缝可采用 UT 检测。

2.5 高温换热器结构设计

高温设备的换热器应根据工艺需要，可优先考虑 U 形管式、浮头式、填料函式等管壳式热交换器或内盘管式热交换器结构。固定管板式换热器设计时，壳程筒体材质与换热管材质尽可能选择一致，以减少因膨胀系数不同而产生的热应力差。高温固定管板式换热器在膨胀节计算时不应简单地依据温度压力来计算波数，还应考虑实际操作工况的波动性、制造及材料本身的尺寸偏差等不可预见因素的影响，在常规计算结果的基础上，宜适当增加若干个膨胀节波数，以减轻换热管与管板间的拉脱力，提高生产工艺操作的弹性和稳定性。

2.6 高温化工设备支座结构设计要点

裙座支撑是化工设备中立式设备常用结构类型，在其下封头与裙座筒体交接处，由于结构上的几何不连续，在压力、重力、风载等机械载荷作用下，该处会产生应力集中；当设备温度较高时，此处会产生较大的温差热应力；由机械载荷引起的应力集中和温差热应力叠加后，会形成较高的组合应力。因此，高温设备（一般 $\geq 350^{\circ}\text{C}$ ）裙座内应设置隔气圈。设置隔气圈可以较好地最大热应力与机械载荷引起的局部应力集中分离开来，既可降低热应力数值，又可避免组合高应力的形成，可有效减少封头与裙座筒体交接处的应力水平，确保该处在热变形后的稳定性，达到满足强度和刚度安全的需要（如图 4）。

高温立式设备的耳座上螺栓孔的大小应考虑设备的热膨胀影响，基础上除设置地脚螺栓外，在耳座安放的位置还应设置较大的基础钢板并找平。高温卧式容器的滑动鞍座长圆孔应大于设备高温膨胀量的要求，鞍式支座下方应规定安装基础垫板。高温立式设备的耳座以及高温卧式设备安装时严禁将支座与底板焊接。

3 结语

综上所述，高温设备的结构设计应根据温度、压力和工艺介质的特性，结合用户的合理要求，综合考虑各方面因素，经过充分计算，设计出合理的设备结构，以保证其高温设备安全可靠、经济合理，满足用户的需要。

参考文献：

[1] 郑津洋，等. 特殊压力容器 [M]. 北京：化工工业出版社，1997.

[2] 曹文辉. 化工设备中对高温结构的考虑 [J]. 化工设备与管道，2008,45(3).