

宽流道全焊接板式换热器开发及应用分析

李金栋

(河北华北石油迪威尔石化装备工程技术有限公司 河北 任丘 062550)

摘要: 宽流道板式换热器在固体、晶体、纤维、浆料和高粘性液体的废热回收中得到了广泛的应用。传统的宽流道板式换热器的耐温、耐压性能受垫片特性的限制,其适用范围非常有限。近年来,随着技术进步和结构型的不断优化,整体焊接板式换热器的综合性能得到了极大地改善。其特点是:效率高、传热系数高、压力损失小、结构紧凑、结构简单、维护方便。

关键词: 宽流道; 全焊接; 板式换热器

0 引言

板式换热器在石化、其他工业领域得到了广泛的应用,一般分为可拆式、半焊式和全焊式。随着工业技术的不断提升,宽流道可移动板式热交换器在矿物纤维、浆料、高粘度颗粒介质等方面存在很大的困难,急需开发一种新型全焊接宽流道的板式换热器。

1 概述

可拆卸板式换热器因其承压低、耐温低、介质流路中多处波形接触而易堵塞,故研制一种宽流道全焊板式换热器是非常有必要的。宽流道板式换热器是一种具有热媒流道和冷媒流道的新型板式换热器,但是冷媒流道采用了高效的平板式定距柱或凹槽结构,从而使宽流道一侧的热介质无接触点及其他支撑。在氧化铝种子的分解过程中,采用宽流道的全焊板式换热器也获得了许多成功的经验。

2 全焊接板式换热器的构造特点

和传统的板式换热器比较,采用全焊板型换热器,既具有良好的耐高温、承压性能,又具有较高的热传导性能。全焊板式换热器的问世,极大地拓展了板式换热器的应用范围,填补了板式换热器在应用中的空白,并且其耐高温、耐高压、耐腐蚀等特性,保证了它可以成功地替代一大部分传统的管壳换热器。

2.1 具有良好的耐温和抗压性能

全焊接板式换热器采用了焊接密封的方式从而代替了传统的密封件,有效地改善了其耐热性能,使其在高温下的工作性能优于一般的板式换热器。而独特的波浪形换热器结构,其自身的机械强度也很高。在安装时,

换热板与换热板之间交叉 90° 重叠,使上下两层的换热板波峰可以互相接触,从而使换热板间的支撑部位更多,而且在换热板上还加工了很多小的加强筋,这些都可以有效地提高整个全焊接板式换热器的耐压能力。

2.2 终端温度较低

一端液体的进口温度和液体的出口温度之间的差异叫做终端温差。全焊接板式换热器中,冷热两种流体的流动是彼此独立的,并且与换热面平行,与常规板型换热器不同,由于其没有旁流通道,而且其自身的厚度也比较薄,因此可以有效地减小传热过程中的热阻,达到了极小的端差。水-水换热器可以在 1°C 以下,而管壳式换热器一般在 5°C 左右。

2.3 构造紧密

表面积是指换热器在单位容积中的换热面积,它反映了换热器的小型化。更大的比表面积,也就是更紧密的换热器。常规的管壳式换热器的比表面积一般在 $50 \sim 100\text{m}^2/\text{m}^3$ 之间,带鳍片的管壳式换热器的比表面积在 $200 \sim 300\text{m}^2/\text{m}^3$ 左右,而采用完全焊接的板状换热器具有大约 $400 \sim 800\text{m}^2/\text{m}^3$ 的比表面积。尽管具有同样的表面积,但由于传热管的厚度一般在 $2.0 \sim 2.5\text{mm}$,换热器的外壳仍然很重,而全焊接板式换热器的换热板是用厚度只有 $0.6 \sim 1.2\text{mm}$ 的薄板制成,因而它的质量要更好。与传统的管壳式换热器相比,采用全焊接板型换热器,其安装地点无需特别加强,维修时无需占用多余空间。

3 全焊接板式换热器焊接分析

3.1 全焊接板式换热器的整体焊接连接板的设计

薄板的厚度可以提高传热效率,但厚度过薄会造成生产工艺上的难度,特别是在焊接过程中,薄板的对接

焊缝容易被烧坏,导致不能成形。这种问题在全焊接板式换热器中普遍存在。在全焊接板型换热器中,由于管端采用0Cr18Ni9型钢板,管侧端板为 $\delta = 20\text{mm}$,而换热器板厚度只有 $0.4 \sim 1.0\text{mm}$,所以当焊管端板母材的焊接温度达到熔点时,传热板片已经融化了一大块,因此不能再进行焊接。根据板的端板厚度增加 1.2mm 或更大,上述问题就不存在了,但为达到较好的传热效果,决定不改变板的厚度,而是在管侧端板和板束之间加焊一块 $\delta = 3 \sim 4\text{mm}$ 的连接板来解决,具体做法:根据板束翼端部的实际形状制作一块 $\delta = 3 \sim 4\text{mm}$ 的连接板,首先将连接板和板束的端部吻合部分用脉冲氩弧焊成两面,并对煤油进行渗流测试,确保不漏水。

3.2 全焊接板式换热器的焊接

全焊接板式换热器是将所有板片用焊接方式连接在一起,代替了传统板式换热器中的橡胶密封垫圈,避免了由于温度过高导致的衬垫变形,从而导致介质的渗漏。所以,在整个板式换热器的焊接过程中,焊接工艺既是关键,又是难点。一般采用气焊、氩弧焊和微束等离子焊。其中,气焊虽然造价低廉,但是焊接后焊接的焊缝,由于其耐蚀性较差,难以达到石油化工的要求,只能用于不受腐蚀的环境。微束等离子焊接具有良好的焊接性能,可以完全达到焊接的要求,但其生产成本较高,且操作调试较为繁琐。采用氩弧焊接工艺,既能保证焊接质量,又能降低生产成本,是一种非常理想的焊接工艺。所以选择了氩弧焊。由于不锈钢薄板的散热速度较慢,所以在机翼两侧进行两两的正、反向焊接,容易发生氧化。所以,在焊接的过程中,要在后面的焊缝处安装氩气槽,注入少量的氩气,这样可以极大地改善保护效果,并防止了后面的严重氧化,使得焊缝的前后表面都呈现出金色,从而达到了单面焊双面成型的目的。全焊接型换热器芯部采用全自动电芯氩弧焊。如果焊接速度过快,则气体防护作用较差,易造成焊缝金属的氧化;如果焊接速度过慢,则会产生烧蚀等问题。所以,在焊接时,必须保证电弧的长度,保证焊速的均一,这样才能保证上下钢板的良好融合。在熄弧时,要在电弧中加入少量的焊丝,这样就能防止电弧产生裂纹。由于板束角度焊缝与管侧端板的焊接是不能进行焊接的,若采用搭接焊接,则焊枪不能插入根部,根部焊接不牢固,造成密封困难。由于采用了适当的焊接顺序和正确的焊接方法,使得焊缝的变形不显著。虽然有局部的小面积的鼓包,但通过锤击的方法可以满足产品的质量要求。

4 管控措施

4.1 控制原料硫、氯化物含量

通过控制原油中的硫、氯含量,达到设计要求,减少了装置中硫、氯的腐蚀;控制污染油比例,可以减少结垢,减少结垢。换热器有阻塞、结垢,在大检修前,装置在后期的常规降压设备必须提高到 980t/h ,但是由于发现闪底泵的出口阀是打开的,不能提高处理量,随后启动了主流路上的闪底油/减三板板换热器的闪底侧次线阀,以提高处理能力。

4.2 板式换热器的清洗后的保养

化学清洗可以通过循环、浸渍等方法将设备内的杂质除去,然后再进行入水、除油,确保水的含氯浓度不大于 100ppm 。通过化学清洗,可以清除板状换热器的板束表面的油污、硫化亚铁、氧化剂等,新鲜的奥氏体不锈钢在水和氯化物中会快速的腐蚀,在处理的同时,在装置的内壁上形成一层钝化薄膜,再用脱盐水进行清洗,完成后进行烘干和氮化保护。

5 应用项目案例

5.1 项目背景

目前,某油田用于原油换热设备多为板式换热器,具有传热系数高,压力损失小、能更换换热板片等优点,但因为其自身结构的限制性,其在工作时的压力不大于 1.6MPa ,工作时温度不高于 150°C ,装配面积最大不能超过 2000m^2 ,而且橡胶密封环在高温下或者某些介质中应用很容易发生故障等,这些问题也没有得到很好地解决。结合该油田的实际工况,研制一种新产品全焊接式宽流道板式换热器,使其具有结构独特创新,适用于高压、高温以及含油大量固体颗粒、纤维悬浮物以及粘稠状流体等工况,同时介质流道内流动性好、传热性高、易机械清洗等特点,这样广泛适用于该油田的换热器就显得十分必要。

5.2 设计优化

5.2.1 流速的合理选择

流速的选取直接影响到产品的传热、阻力损失以及耐磨腐蚀等性能,而在宽流道一侧,介质流速通常是在 $0.9 \sim 1.3\text{m/s}$,更符合原油换热工艺(包括固体微粒)的需要,较高的流速会使含固体微粒的浆体在板面上流动,而不会产生淤渣和堵塞。

根据换热器内流体换热和流动的特点,进行数值模拟所依据的计算模型主要采用了如下限制条件:

(1) 重力和密度差异所引起的浮力影响忽略不计;

(2) 鉴于热交换器中的流速很小, 因此, 在液体流动过程中, 粘滞损耗对热的影响可以忽略不计;

(3) 流体的进口速度假设已知, 出口压力假设恒定, 进口压力和出口速度为自由边界条件;

(4) 除了进/出口外, 换热器板片、通道周边与外界均无质或热的交换。

5.2.2 换热器模型的控制方程

流体的质量守恒方程:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

式中: u — X 方向上的流动速度分量 (m/s);

v — Y 方向上的流动速度分量 (m/s);

w — Z 方向上的流动速度分量 (m/s)。

流体的动量守恒方程:

$$u \frac{\partial u_i}{\partial x} + \frac{\partial u_i}{\partial y} + \frac{\partial u_i}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial z^2} \right)$$

式中: ρ —流体密度 (kg/m^3);

p —压力 (Pa);

ν —运动粘度 (m^2/s);

U_i — x 、 y 、 z 三个方向上的速度分量 (m/s)。

流体的能量守恒方程:

$$\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) = 0$$

式中: α —热扩散系数 (m^2/s)。

换热板片内部导热微分方程:

$$u \frac{\partial t}{\partial x} + v \frac{\partial t}{\partial y} + w \frac{\partial t}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right)$$

当用以上方程来描述湍流流动时, u 、 p 、 t 等参数都是瞬时的数值。当采用 $k-\varepsilon$ 模型时, 还要增加 k 方程和 ε 方程, RNG 模型的 k 方程和 ε 方程为:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k U_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\alpha_k \mu_{\text{eff}} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k - \rho \varepsilon + S_k$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon U_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + G_{1\varepsilon} G_k \frac{\varepsilon}{k} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon$$

式中: G_k —由平均速度而产生的湍流动能;

$G_{1\varepsilon}$ —模型常量, 根据实验经验取 1.42;

$C_{2\varepsilon}$ —模型常量, 根据实验经验取 1.68;

α_k — k 方程的湍流普朗特数, 是无量纲参数;

α_ε — ε 方程的湍流普朗特数, 是无量纲参数;

S_k — k 方程的补偿系数, 根据由用户根据具体条件定义, 是无量纲参数;

S_ε — ε 方程的补偿系数, 根据由用户根据具体条件定义, 是无量纲参数。

ε 方程中的附加项 R_ε 是 RNG $k-\varepsilon$ 模型和标准

$k-\varepsilon$ 模型的主要区别:

$$R_\varepsilon = \frac{C_\mu \rho \eta^3 (1-\eta/\eta_0) \varepsilon^2}{1+\beta \eta^3} \frac{\varepsilon^2}{k}$$

式中:

$$\eta = \frac{S_k}{\varepsilon}$$

并且 $\eta=4.38$, $\beta=0.012$, 因此这一项的影响可以由以下整理式看出:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon U_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + G_{1\varepsilon} G_k \frac{\varepsilon}{k} - C_{2\varepsilon}^* \rho \frac{\varepsilon^2}{k}$$

式中:

$$C_{2\varepsilon}^* = C_{2\varepsilon} + \frac{C_\mu \rho \eta^3 (1-\eta/\eta_0)}{1+\beta \eta^3}$$

上述结果表明, RNG $k-\varepsilon$ 模式在处理流线弯曲、漩涡和旋涡等问题比标准 $k-\varepsilon$ 模型对瞬变流和流线弯曲的影响时具有更好的响应能力。

5.2.3 通道结构

该通道采用高效率的平板定距柱或凹槽, 在宽槽一侧没有接触和其他支承, 确保介质在板面上流动平稳、无死区、不易产生沉积、堵塞等现象。同时, 由于邻近的通道中存在大量的接触, 所以在经过冷却介质时, 会产生紊流, 从而获得良好的换热效果。两种介质的流动达到了纯粹的逆流, 从而改善了传热效率。弧度根据 Fluent & Gambit 的测试结果, 流道内并没有残留的液体, 流道内的所有液体都被吸收, 流道内几乎没有死角。

5.2.4 板片间的连接方式

板片之间采用了球型焊接结构, 具有良好的受力方式, 而非单纯的“V”字形焊接, 球形结构可以有效地阻止材料的聚集, 并具有较强的承压性能。

5.2.5 提高耐腐蚀性能

为有效改善耐磨腐蚀性, 主要部件(板管横向焊缝, 也就是材料的冲刷), 先用激光焊接, 再用氩弧焊进行焊接, 然后用两层防护措施, 也就是利用两道防线保护机制, 即便第一道防线有磨蚀的问题出现, 后面还有第二道防线可以保护。

5.3 项目成果

根据前期调研和所掌握的资料, 结合国内外换热器的发展现状和趋势, 课题组所提出设备属于“新产品”。“新产品”在内部结构、功能特点、工艺装备等都是新颖高效的, 在结构、材质、工艺等多方面有所突破, 显著提高了产品性能, 通过结构优化和性能提升, 集成创新了该油田首款新型换热器。通过对全焊接式宽流道

板式换热器结构进行创新研究,该设备现具有适应较大颗粒物或粘度较高等特殊工况、适应高温高压、具有传热性高、流动性以及易于机械清洗的能力。现已形成板束角焊缝和管侧端板连接技术和低雷诺数下湍流形成技术等两项技术。采用高效的板式定距柱或凹槽结构,使介质在板面上流畅地流动,并在邻近的沟槽中布置了大量的接触,在低雷诺数下形成,达到了良好的换热效果。两种介质的流动达到了纯粹的逆流,从而改善了传热效率。

6 结语

根据上文所述,宽流道全焊接板式换热器是一种新型的换热设备,是一种集板式和管壳式换热为一体的新型换热设备。宽流道全焊板式换热器在固体、晶体、纤维、浆状物质和高粘性介质等领域中都能得到广泛

地应用,在某些具体的热交换工艺中,取代了传统的易结垢的管壳和螺旋扁管换热器。

参考文献:

- [1] 张晋红,吴凤林.宽间隙板式换热器在挤压造粒单元中的应用[J].石油化工设备,2009,38(6):83-86.
- [2] 杨德生,缪正华.全焊接宽流道板式换热器设计与应用[J].价值工程,2017(4):65-66.
- [3] 徐耀康.新一代大面积焊接板壳式换热器[J].炼油设计,2017(2):35-38.
- [4] 栾志坚.新型板式换热器内高黏性流体传热与流动特性研究[D].济南:山东大学,2017.
- [5] 张曼丽,王新燕.宽流道板式换热器在氧化铝生产种子分解过程中的应用[J].中国有色冶金,2016(1):52-54.

严正声明

近期,本刊编辑部收到作者反映,一些不法分子盗用我刊名义,自建非法网站或钓鱼网页(<http://www.zgjxzz.cn>、<http://mach-china.toug.com.cn>等),或以《中国机械》杂志社编辑部“编辑”“责任编辑”等名义,向广大作者征收稿件,并收取所谓的“版面费”、“审稿费”等,严重侵犯、影响了我刊声誉和广大作者的权益。在此,我刊严正声明如下:

1.《中国机械》杂志社于1982年创刊,是国家新闻出版署批准登记的国家级机械工程类学术期刊(旬刊),目前尚未创建独立的“官方网站”,浏览本刊电子版需从中国工业新闻网(<http://www.cinn.cn>)下方链接进入,链接地址http://www.cinn.cn/zgjxzz/index_348.shtml,或通过万方数据知识服务平台(<https://www.wanfangdata.com.cn/>)的官方网站搜索本刊进行查询,链接地址<https://sns.wanfangdata.com.cn/perio/zgjx>查询全文;

2.《中国机械》杂志为旬刊,请广大作者认准,凡标记“半月刊”“月刊”的网络征稿平台,均为非法网站,欢迎联系本刊编辑部进行举报;

3.《中国机械》杂志社唯一投稿邮箱:jxzzs@cinn.cn;

4.《中国机械》杂志社《录用通知书》加盖“中国机械编辑部”公章,凡加盖“《中国机械》杂志社编辑部”或使用已作废公章(防伪码为1101081749266的总编室公章、防伪码为1101081491290的原编辑部公章),均为假冒录用通知书;

5.《中国机械》杂志社从未委托任何机构、网站或个人代理本刊的组稿、审稿等相关事宜,编辑部一直严格遵守“三审三校”规定,追求杂志整体质量的提升,将期刊的社会效益放在首位,对于盗用《中国机械》杂志社名义发布虚假信息、实施非法征稿等行为,本刊将依法追究其法律责任;

6.本刊编辑部唯一联系电话:010-67410664。

敬请广大作者和读者注意辨别,提高警惕,谨防上当!

《中国机械》杂志社
2022年7月