

高效特型管换热器在石油化工中的应用

董平凡 (福建省石油化学工业设计院有限公司, 福建 福州 350001)

摘要: 作为世界能耗大国的中国, 由于能源使用效率偏低, 在一定程度上阻碍了国民经济的发展。现阶段, 钢铁、水泥以及石化等相关行业, 其产品的单位产出平均能耗, 和国际水平相比高出约 40%, 因此石油化工等相关行业属于重点的工业节能对象。对此, 本文基于高效换热器的设计经验, 简述石油化工领域使用换热器的节能优势及其具体应用。

关键词: 化工; 石油; 特型管换热器; 应用分析

0 引言

石油化工等相关领域, 无论是物料蒸发还是加热、冷凝等环节均在广泛运用管壳式换热器。针对普通型的换热器, 存在着体积大、传热性能差的不足。至于换热管, 便是依据光滑管, 通过在内部与外部表面加进行螺旋纹、翅片等相关几何形状的加工实现传热性能的提高, 大大增加传热系数, 特别是在传热场合 (变相) 能够超过 10 倍。将其取替以往的光滑管, 一方面换热器能显著提升传热效率, 另一方面还可以减小设备质量, 同时达到减少成本支出与节约能源的效果。另外, 在促进传热效率提高的基础上, 其上面特殊的几何形状能实现自清洗, 进而将运作周期延长。

1 设备优势分析

此类换热器明显特征之一, 便是特型管能够显著提升流体膜原本的传热系数, 当换热面积相同时, 相比光滑管拥有更高的传热能力。在当前的石油化工领域中, 此类换热器的重要应用优势如下:

①针对石化等相关行业, 出于达到节能降耗的目的, 一般会通过热物流进行冷物流预热或者是回收余热, 比如通过精馏塔实现进料物流的预热, 此时使用此类换热器能够更多地使用或者是回收热量, 通过蒸汽加热设备提高进料物流温度, 可以得到显著的节能效果;

②针对某个换热任务, 一般平均温差与传热速率给定, 取代光管的特型管能够显著减少换热面积, 降低设备投资和安装等费用。由于此类换热器采用的管数较少, 减小设备直径, 从而降低壳体与管板的质量。针对铜、不锈钢等材料, 可以节约十分可观的设备成本。除此之外, 直径较小能加快壳程流速, 这样能提高其传热系数。例如一些乙烯工程, 因为要求较大换热量, 较小温差, 加之换热面积很大, 一些单元中的独立换热设备能让换热面积达到 15000m^2 。如果采取高效换热器, 则会减小设备尺寸;

③针对旧厂改造扩能而言, 通常会受限于场地因素, 使用此类换热器能够减少设备尺寸, 减少设备并联或者是串联数量。同样在新厂设计过程中, 也会首先场地因素的限制, 但是选用此类换热器便能将问题顺利解决;

④扩能改造过程中, 通过依据原本换热器提高热

负荷约 20% 至 30%, 使用换热面积相同的高效换热便能达成该项目的;

⑤部分特型管, 因为几何形状特殊所以具备自清洗的功能, 换热表面的结垢可能性较低, 在延长其运行周期的同时, 降低停机清洗支出。除此之外, 传热系数提高能降低壁面温度, 减缓生成污垢的速度。

2 简析常见的新型高效换热器

2.1 折流杆式

这种换热器是 ROYAL PHILIPS 公司推出研发的, 因为传统换热器中天然气会出现流动振动现象, 所以为处理该问题需要改进换热器, 折流板的更换, 形成提个杆式支持结构。依据有关数据表明, 一方面换热器拥有良好的防振性能, 另一方面传热系数也相对较高。在石油化工领域中应用此类换热器, 主要是对单项冷凝与沸腾工况而言的。为了能将性能改进, 针对换热器开展反复改进。通过进行相关的改进, 传统换热器挡板能有效消除不活跃的传热区域, 设备会提高单位体积的传热效率。与此同时, 研究人员也改进了换热器自身的支撑结构, 从而研制出直扁钢条等相关支撑结构, 通过新型支撑结构, 在增加换热面积的同时限制管子振动。

2.2 螺旋折流板式

其属于一种管壳式换热器, 而且是 ABB 公司开发的, 设备主要原理为: 拟螺旋折流系统中安装特制板, 而且每个折流板于横剖面中占据的比例是 25%, 针对倾角设计应指其轴线, 同时保证换热器与倾角彼此间存在必要的倾斜度。然后衔接邻近的折流板且与外圆位置现成连续螺旋的形状。因为每个折流板均与流动的壳程流体方向维持一定角度, 这样壳程流体便可以实施螺旋运动, 采取这一方式可以减小壳体、管板彼此间的死角, 促进换热效率的提升。据相关研究表明, 该换热器在“气——水”换热条件下, 可以提升换热效率, 在进行相同热量传递的过程中, 传热面积可以下降约 40%, 避免材料浪费。与此同时, 换热器还拥有以下几点优势: 相比以往采用的弓形折流板, 这一折流板不会发生返混问题, 一方面提高传热温差, 另一方面不会产生诱导振动; 如果在流速一致时, 能让壳程流动具有较小压降比; 如果在低雷诺数情况下, 在 $Re < 1000$ 时便拥有更理想的传热

效果。

2.3 纵流管束式

针对换热器而言,纵向流动是流体的最佳流动。以往的换热器,发挥支撑作用的弓形折流板能让流体进行横向流动,让其变为纵向流动可以减少滞留死区的范围,所以从横向转变成纵向流动逐渐变成一个研究重点,最近也出现不同结构的折流板,例如梅花孔以及矩形孔等,通过上述特殊结构可以让折流板,一方面拥有管子支撑性能,另一方面能将管子结垢清除。结合以上研究,GRIMMA 公司开发一种新型换热器,关于换热性能方面,此类换热器拥有更大优势。其结构特征为在折流板上有一定数量的横排管孔,而且通过管孔将管桥铣通,对于管桥位置让壳侧流体实现纵向流动,将因为流体转折产生的滞留区消除,从而提升传热效率。除此之外,相关研究人员通过针翅管,在将传热面效果作用增大的同时,流体会出现较强扰动,这样在强化传热的同时具有较小压降,不仅换热器性能优良而且支撑板材应用量较少。

2.4 空心环管壳式

此类换热器属于我国研发的一种新式换热器。针对空心环而言,将直径较小钢管锯成短节之后,换热管之间相同截面上将其均匀分布,以线性方式进行接触,然后使用螺栓将管束牢牢固定,在发挥管束支撑作用的基础上辅助流体扰动。空心环在具体使用过程中,一般会组合使用强化管,将其组合后便其具如下优势:①壳程流阻较低,因为壳程轴向拥有 80% 左右的流道孔隙率,所以针对纵向流体不会出现较大阻力;②因为此类换热器体现的结构特征,传热管原有性能会更好地发挥,传热管通过,纵向流体可以提高传热层面中的滞流层实际湍流度,进而获得相对理想的传热膜系数。

3 简析高效特型管换热器的应用

针对特型换热管,常见的类型有螺纹管与波纹管等。刨除螺纹管是依据外表面积扩大而强化传热,无论是波纹管还是其他类型,则是增大针对壁面边界扰动实现传热强化的,图 1 为波纹管简图。

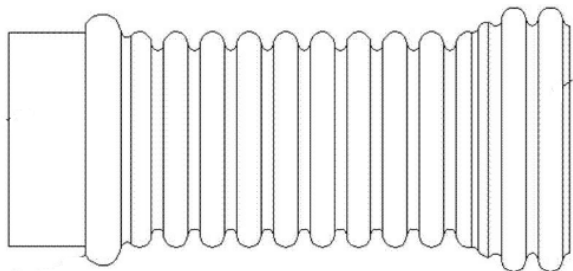


图 1 波纹管简图

关于波纹管主要划分为,薄壁以及厚壁波纹管。对于薄壁管来讲,其是在薄壁光滑管由其内部胀扩加工制作的,管道壁厚为 0.5~1.2mm。针对厚壁管则是基于光滑管,通过滚轧方式进行加工,通常情况下壁厚是

1.5~3mm,波谷是 1~2mm,波距是 5~20mm,相比薄壁管波谷比较浅,而且传热系数与压降偏低。下图是光滑管和波纹管的对比分析图。

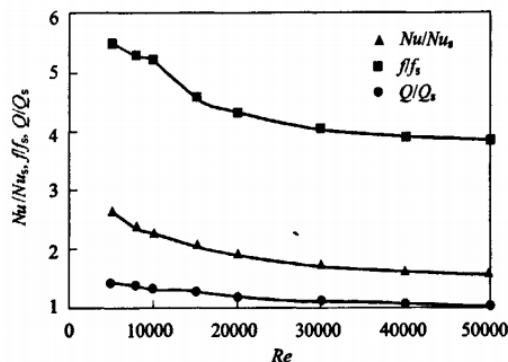


图 2 光滑管和波纹管：对比分析图

由分析图可知,雷诺数为 5000~50000 时,波纹管内部的传热系数能够达到光滑管的 1.6~2.6 倍,阻力系数达到 3.9~5.2 倍,而且两个比值都会伴随增加的雷诺数降低。因为流速相同时,波纹管增加的压降倍数相比增加的传热系数会更多,因为波纹管在被泵功、面积相同情况下,相比光滑管换热量的增加水平会高出增加的传热系数程度,伴随增加的雷诺数降低。在 5000~20000 的情况下,泵功与面积相同的波纹管,换热量能够达到光滑管 1.18~1.5 倍。如果雷诺数高出 50000,在泵功与面积相等时,波纹管和光滑管之间的换热量较为接近。关于波纹管,当雷诺数低于 20000 时相对有利,不然会导致更多泵功被消耗。例如厚壁波纹管,相比光滑管其管外部传热系数会高出 1.5~1.9 倍,至于压降能达到光滑管 1.2~1.4 倍。

有关内波外螺纹管,其加工工艺和厚壁波纹管较为相似,主要加工工艺为滚轧,其管内壁呈现出波纹状,而外壁则呈现螺纹状(具体如下图所示)。



图 3 螺纹管概图

此种螺纹管对比波纹以及管内波纹管,无论是波谷还是波距均会相应减小,波距是 1~6mm、内波纹高达到 0.5~1mm。雷诺数在 5000~50000 情况下,内部换热系数能够达到光滑管 1.8~2.8 倍,相比波纹管略高,同时压降达到光滑管 3.3~4.1 倍,对比波纹管压降更低,而且压降与外传热系数略微低于波纹管。传热整体强化效果近似于波纹管。但是更易于加工的是内波外螺纹管。针对其管外螺纹相比一般的螺纹管,不仅槽浅而且槽宽,

此类螺纹结构拥有更强的抗结垢能力,突破传统螺纹管经常阻塞、容易结垢的不足。此种螺纹结构有助于管外冷凝情况下在槽中将冷凝液排出,避免冷凝液过度滞留于螺纹槽内,这样不仅冷凝液膜会相对较薄,而且维持良好的传热系数。另外,其也属于换热管。类似于波纹管,内部凸出的波纹表面能够在边界层内部出现旋涡,借助漩涡边界层内部流体能不断和边界层之外的流体相互混合,从而大幅度提高其内部传热系数。因为边界层出现扰动,能避免在壁面上产生污垢,体现出良好的自清洗作用。

现阶段,高效特型换热器在很多企业中被大范围使用,而且通过使用效果证实热负荷能够提升30%~50%,在增加运行周期的同时提高节能效益。针对单相换热而言,无论是内波外螺纹管还是波纹管通常运用在“油——水”以及“油——油”等换热。因为气体没有较大的普朗特数,依据边界层破坏增强传热远远不够,最理想的方式便是将换热面积增大。因此,针对气体传热来讲,翅化相比大型翅片管得到更理想的效果。有关换热管,将换热系数增大的同时会加大压降增,尤其是管程。在具体设计环节,通过调整换热器相关结构充分满足允许压降需求。通常情况下,能通过管程数减少实现管内流速的降低,这样内部压降会低于允许压降。增加不大的壳程压降,将切口高度增加或者将其变成双弓形实现压降减小。若想得到更小的壳程压降,可以将其转变为折流杆或者是螺旋折流板。

4 应用实例分析

比如某石化制造厂使用的换热器,其使用的换热管属于外螺纹管,一方面换热能力大幅度提高,另一方面壳程压降相比以往降低约20%。与此同时,此类折流板能够将壳程原有的污垢热阻大幅度降低。接下来,本文将结合某个设计实例,针对换热器优势与设计环节需充分考虑换热器结构。

初馏塔底油通过换热设备的壳程,利用内部减二中油进行加热,管道长度都是6m,而且其名义外径是19mm,依据正方形进行管道排列且管道间距是25mm,碳钢是其主要材料,传热系数与换热面积依据其名义外径进行计算。设计的基础是让其压降与壳程能够近似于普通换热器,而且换热面积的实际余量能达到10%。出于将换热任务出色完成,传统的光滑换热设备应具有管子1009根且保证壳体直径是1000mm。如果改用本文中的波纹管或者是纹管换热器,仅需使用管子811根,壳体直径能缩减到900mm,同时换热整体面积降低约19.6%。出于压降可谓维持和光滑管换热器一致,需要在壳程与2管程方面进行结构调整。可以减少管程到管程,降低内部流速让压降能和光管相近。折流板将其改成折流杆,相比光滑管换热设备,壳程压降大约降低74%,也就是壳侧减低泵功耗74%。因为大幅降低地压降,

每年泵功能够节省电耗约45331kW·h。若是兼顾波纹以及内波外螺纹管所具备的防垢能力,远远高出光管,也会减少一定的污垢热阻,拥有更高水平的可靠性,相对较长的运行周期,最重要的是可以减少清洗费用与开停车费。与此同时,折流杆还可以削弱流动诱导带来的管束振动,从而促进换热器可靠性安全性的提高。有关扩能改造,通常应在换热器原本基础上将热负荷提升20%~50%,这是光管难以达到的。若是对换热器重新进行设计,增加的换热面积会超过20%,壳体如果直径不发生变化,管长则应该增加20%,不然要将壳体直径增大。在一些情况下受限于安装现场因素,不能增加外形尺寸,可是通过换热管便能妥善解决。有关增加流量30%的示例,依然让壳体直径维持在1m,管束转变为内波外螺纹或者是波纹管,不改变换热面积能够满足相应的设计要求,同时管内压降不发生基本改变,降低壳程压降约70%。若是依然使用原来的壳体,仅需进行管束更换即可。

5 节能作用分析

针对石油化工厂采用的换热器,其所体现的传热效率针对综合使用全厂能量和节能效果十分重要。据相关实例证实,高效特型换热管能将整体传热系数大幅度提高。针对热量回收单元,如果能将其高效使用,较低温差以及提高的传热系数能够将能量回收增加。针对原油精馏,其属于全部精馏单元中最大热能消耗的一环,由于进到精馏塔之前的原油要求进行多级预热,由初始的20℃加热至380℃。约有60%~70%热量源于其产品物流,通常会使用换热器16~60台,至于剩下的热量主要通过加热炉供给。若是可以采用管换热器,可以在产品物流当中尽可能多地回收热量,并且提高加入炉当中的原油温度,不仅节约燃料还会避免排放过量的有害气体、温室气体。针对炼油厂炼油能力达到4280kt/a,当入炉温度每提升1℃时,每年便能够节约热量 1.65×10^{13} J,等同于563.6t的标准煤。若是能够在这一单元中选用此类换热器增加8%的回收热量,便能够将原油温度提高28.8℃,换算下来每年能够节省标准煤16232t。将其运行一定时间后,在表面一般会出现垢层而起整体传热系数变小。在某些情况下污垢热阻占据整体50%左右,这导致大量热量被浪费。因为波纹管等类似的换热管相比光管结垢率较低,所以在具体运行中维持相应的传热系数,相比光滑管呈现出更理想的节能效果。

6 结束语

有关节能与传热领域,和普通型相比,高效特型具备巨大优势。高效特型管换热器,拥有更小的尺寸而且压降更低。同时,拥有较强的结垢预防能力、传热系数也相对较高,节约设施投资以及操作费用。因此,在石油石化领域需加大此类换热器的推广应用力度。