

螺旋折流板换热器在石油化工行业中的应用

郝振良, 许国文, 罗 冀

(上海森松压力容器有限公司, 上海 201323)

摘 要: 通过实验对比分析弓形折流板和螺旋折流板换热器的壳程传热与流动特性, 得出单位压降条件下螺旋折流板换热器壳程对流传热系数均高于弓形折流板换热器; 当壳程流量相同时螺旋折流板换热器壳程压降远低于弓形折流板换热器, 随着流量的增加二者相差越大。结果表明螺旋折流板具有单位压降条件传热系数高、流动阻力小, 能有效防止管束振动和适用范围广的优点, 在石油化工领域是冷换设备较为理想的选择。

关键词: 换热器; 螺旋折流板; 传热系数; 管束; 压力降

管壳式换热器因具有结构简单、造价低、清洗方便等优点, 被广泛应用于石油化工等领域。由于壳程流体流动方向改变频繁, 且存在漏流等现象, 因此壳程流动与换热是这种换热器的瓶颈所在^[1]。普通管壳式换热器大多采用弓形折流板结构, 其缺点是壳程流动阻力大、易结垢, 而且易引发换热管束振动, 极大地限制了其应用。20 世纪 90 年代, 捷克科学家 Lutchá、Stehlik 和 Newcansky 等^[2-4]从折流板布置方式的角度出发提出了螺旋折流板的想法, 较好地解决了弓形折流板换热器存在的上述缺点, 其研究成果一经推出即被美国 ABB 公司(现该技术已转让给 CB&I 公司)买断, 据 ABB Lummus Heat Transfer 公司公布的数据, 自 1994~2007 年 3 月该公司共完成了 349 个项目共计 1350 台(套)螺旋折流板换热器的设计和制造。但是, 在国内螺旋折流板换热器的研究应用仍处于起步阶段, 大多进行的都是实验方面的研究工作, 没有形成一套系统的工艺设计和产品结构优化理论。为此, 上海森松集团与西安交通大学热流研究中心共同进行了螺旋折流板换热器项目开发, 对森松公司制造的不同倾角的螺旋折流板换热器和弓形折流板换热器进行流动与传热实验, 在此基础上, 综合现有资料并采用弓形折流板换热器的设计思想, 进一步完善传热工艺计算的设计方法, 编制了相应的工艺设计计算软件, 这一研究成果在国内属领先水平。

1 结构特点及性能

1.1 结构特点

螺旋折流板换热器是将一系列扇形折流平板连续或交错搭接布置成近似螺旋面(如图 1 所示), 使换热器壳程流体呈连续或近似螺旋状流动, 以实现有效降低壳程流动阻力和强化传热的目的。壳程流

体的螺旋流动, 消除了弓形折流板换热器“Z”形折返流产生的流动滞止区和在折流板边缘产生的流动分离(如图 2 所示), 降低了由于漩涡分离产生的压力降过大的影响。

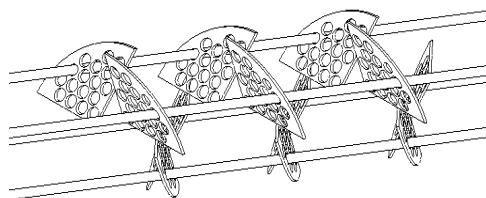


图 1 中间搭接螺旋折流板示意图

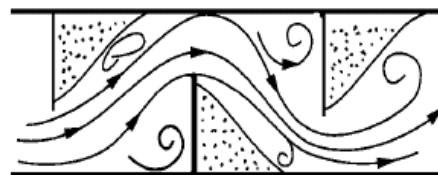


图 2 弓形折流板流动示意图

1.2 流动特性

弓形折流板垂直于换热管束, 流体在其间流动横向冲刷管束, 且在折流板边缘处产生漩涡分离, 导致壳程压力损失大。图 3 给出了不同倾角的螺旋折流板换热器和弓形折流板换热器壳程压降随流量

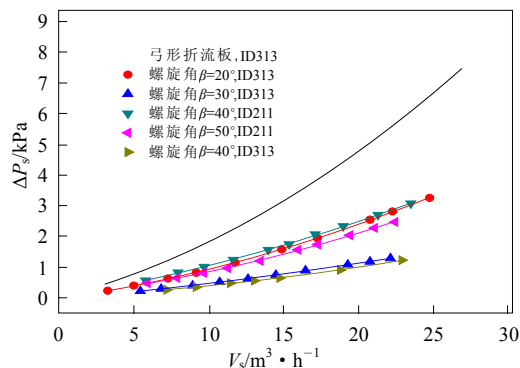


图 3 壳程压降随流量的变化

的变化关系,从图中可以看出当壳程介质流量为 $3 \sim 30 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,相同壳径和流量条件下,螺旋折流板换热器壳侧压降随螺旋角 β 的增大而减小,且均小于弓形折流板换热器。随着流量的增大,螺旋折流板换热器壳侧压降与弓形折流板换热器相比降低得更加明显。

1.3 传热特性

传热系数是衡量换热器换热性能的重要指标,它的大小表征换热器传热效率的高低。换热器壳程对流传热系数随着流速的增加而增大,弓形折流板换热器由于流体垂直冲刷换热管束不存在沿管束轴向的速度分量,在相同流速条件下弓形折流板换热器壳侧对流传热系数高于螺旋折流板换热器(如图4所示),但这是在消耗更大的动力以克服较高流动阻力的条件下实现的。

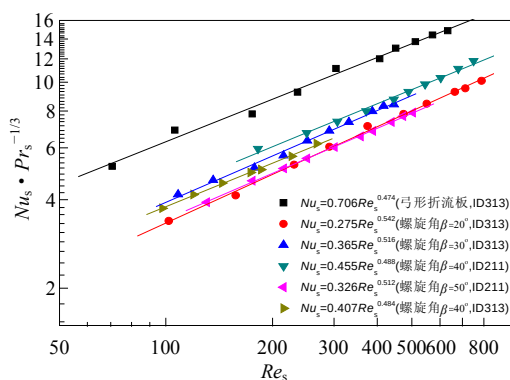


图4 壳程对流传热 Nu 数与 Re 数的变化

对于同壳径、同螺旋周期数的螺旋折流板换热器, 30° 螺旋角时壳侧对流传热系数大于 20° , 40° 螺旋角时壳侧对流传热系数大于 50° ,即壳侧对流传热系数随螺旋角的增大,先增加后减小,这是因为螺旋角的存在破坏了流体冲刷换热管的对称性,流体不对称地从换热管两边分离,减薄了边界层的厚度并增强对边界层的扰动,从而强化了传热。根据 Lutch 和 Nemcansky 的实验结果,当螺旋角 β 在 $25^\circ \sim 40^\circ$ 时,壳侧传热系数随着 β 的增加而增大,当 $\beta=40^\circ$ 时,边界层流动达到充分发展,产生最佳的换热效果。随着 β 的进一步增大,流动的轴向分量会使边界层急剧增厚,导致传热效果会迅速恶化^[1-2]。

衡量一台换热器的优劣不能单从传热系数的高低来考虑,还应该考查换热器在满足换热要求条件下的动力消耗情况,故引入单位压降条件的传热系数作为评价换热器的综合性能的依据。图5是壳程侧单位压降条件的传热系数与流量的变化关系。

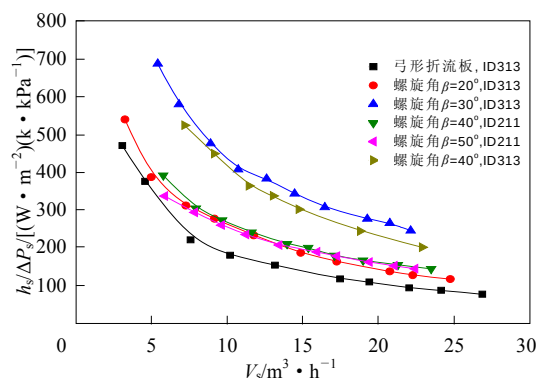


图5 单位压降下壳程对流传热系数随流量的变化

在相同流量下螺旋折流板换热器单位压降壳程对流传热系数均高于弓形折流板换热器。 20° 和 30° 螺旋折流板换热器与弓形折流板换热器壳径相同,周期数相同, 30° 螺旋折流板换热器综合性能大大超过弓形折流板换热器和 20° 螺旋折流板换热器;相同壳径的 40° 螺旋折流板换热器由于周期数多,产生更大的压降,其综合性能稍低于 30° 螺旋折流板换热器。对于小壳径的 40° 及 50° 螺旋折流板换热器, 40° 螺旋折流板换热器的性能稍好于 50° 螺旋折流板换热器。这进一步说明了当螺旋角 β 达到约 40° 时,换热器的综合性能最好。

1.4 抗振性能

螺旋折流板的连续支撑减小了换热管的无支撑跨距,提高了换热管的固有频率,使其能够避开流体流动产生的激振频率,而且壳程流体流动方向与换热管轴向有一定的倾角,减小了流体对管束的直接冲击,从而避免了换热管振动引起的破坏作用,延长了换热器的使用寿命。

此外,螺旋折流板换热器壳程流体的螺旋流动消除了弓形折流板换热器“Z”形折返流产生的流动死区、增加有效换热面积^[5],同时螺旋流动能有效对换热管进行冲刷,减少污垢的沉积,延长换热器的清洗周期,使换热器能较长时间处于高效运行状态。

2 结 语

螺旋折流板换热器与弓形折流板换热器相比,单位压降的壳侧传热系数更高,在保证相同传热性能条件下,螺旋折流板换热器壳程阻力小于弓形折流板换热器,具有更高的综合传热性能,适合设备节能发展的需要。除管外蒸发的场合外,所有能应用弓形折流板管壳式换热器的场合均适合螺旋折流板换热器,而且它特别适合于高黏度流体或流体中

含有杂质的换热情况。

通过对比分析螺旋折流板换热器和弓形折流板换热器壳程流动与传热可以得出以下结论。

(1) 在相同壳体直径和流量条件下,螺旋折流板换热器壳程压降随着螺旋角 β 的增大而减小,但是无论哪种倾角的螺旋折流板壳程压降均小于弓形折流板^[6]。

(2) 相同 Re 数条件下,弓形折流板换热器壳程对流传热系数高于螺旋折流板换热器。

(3) 单位压降条件下,螺旋折流板换热器壳程侧对流传热系数均高于弓形折流板换热器,在螺旋角 β 约为 40° 时,对流传热系数达到最大值,换热器的综合传热性能最高。

螺旋折流板换热器仅是从壳程侧增强了换热能力,还可以将其与强化管程传热技术结合起来,诸如采用螺纹槽换热管、内部肋片换热管和增加管内

插入物等手段进一步提高螺旋折流板换热器的传热性能。

参 考 文 献

- [1] 王秋旺. 螺旋折流板管壳式换热器壳程传热强化研究进展[J]. 西安交通大学学报, 2004, 38(9): 881-886.
- [2] Lutch J, Nemcansky J. Performance improvement of tubular heat exchangers by helical baffles[J]. *Trans. IChemE*, 1990, 68(A): 263-270.
- [3] Stehlik P, Nemcansky J, Kral D. Comparison of correction factors for shell-and-tube heat exchangers with segmental or helical baffles[J]. *Heat Transfer Engineering*, 1994, 15(1): 55-65.
- [4] Kral D, Stelik P, Van Der Ploeg H J, et al. Helical baffles in shell-and-tube heat exchangers, Part One: Experimental verification[J]. *Heat Transfer Engineering*, 1996, 17(1): 93-101.
- [5] 陈世醒, 张克铮, 张强. 螺旋折流板换热器的开发与研究: 高粘度流体下的中试研究[J]. 抚顺石油学院学报, 1998, 18(3): 31-35.
- [6] 蔡志刚, 张国福, 宋天民. 螺旋折流板与弓形折流板换热器的性能比较[J]. 化学工程, 2006, 34(4): 13-15.

第一作者简介: 郝振良 (1975—), 男, 工程师, 硕士研究生, 从事过程装备及设备的研究与开发。