

无短路区新型螺旋折流板换热器 换热性能的实验研究

王斯民, 文键

(西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

摘要: 为了消除目前在工业过程中大量使用的螺旋折流板换热器壳程的三角区漏流, 首次采用折面折流板代替平面折流板, 对其进行了结构改进. 通过采用折面折流板, 封闭了相邻两块平面折流板在搭接处产生的三角形豁口, 消除了由于豁口导致的壳程短路流动, 从而改进了换热器壳侧的流场. 实验结果表明, 用折面折流板代替平面折流板后, 换热器的总传热系数增加了 7.9%~9.7%, 有效地提高了换热器的换热性能. 虽然换热器壳程的阻力损失有所增加, 但泵耗功率的增量小于 2 W, 相对于换热量的增加可以忽略不计. 此项研究对于换热器的节能优化设计具有重要的指导意义.

关键词: 螺旋折流板换热器; 折面折流板; 流场优化; 节能

中图分类号: TK124 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2012)09-0012-04

Experiment on Heat Transfer Performance of Helical Baffled Heat Exchanger Without Short Circuit Flow

WANG Simin, WEN Jian

(School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: In order to eliminate the shell-side leakage flow in triangle zones, the configuration of helical baffled heat exchanger widely used in industrial processes was improved by using fold baffles. The triangle leakage zone near the joint point between two plain baffles is blocked by the fold baffles, which eliminates the short circuit flow and improves the flow field. The experimental results show that the overall heat transfer coefficient of the heat exchanger increases by 7.9%-9.7%, which effectively improves the heat transfer performance of the helical baffled heat exchanger. Although the shell-side pressure drop correspondingly increases, the increment of the pump power consumption is less than 2 W, which can be ignored compared with the increment of heat exchange. The results of the investigation are valuable to the energy saving optimum design of helical baffled heat exchangers.

Keywords: helical baffled heat exchanger; fold baffle; flow field improvement; energy saving

螺旋折流板换热器与传统的弓形折流板换热器比较, 具有壳程阻力低、壳程介质不易积垢、可实现高效率长周期运行等优点, 其设计制造技术在国内

已很成熟, 在石油、化工、电力、冶金等行业得到了广泛应用^[1-3]. 目前, 螺旋折流板换热器使用的折流板均为约 1/4 圆的扇形平面折流板, 但在使用过程中

收稿日期: 2012-03-31. 作者简介: 王斯民(1977—), 男, 讲师; 文键(通信作者), 女, 副教授. 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51106119); 教育部博士点基金资助项目(20110201120052); 教育部留学回国基金资助项目(09 回国基金 08); 中央高校基本科研业务费专项基金资助项目.

网络出版时间: 2012-06-19

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20120619.2223.009.html>

发现,原始螺旋折流板换热器的总传热系数提高并不明显,尤其在工艺设计不理想的情况下,甚至会出现设备运行初期时总传热系数低于弓形折流板换热器的现象。Stehlik 等^[4]利用 Bell2Delaware 方法对弓型和螺旋折流板换热器的换热及压降修正系数进行了比较分析,将影响螺旋折流板换热器性能的各种因素进行了归纳,并且总结了相关的无因次准则曲线。邓斌等^[5]采用多孔介质模型对螺旋折流板换热器壳侧的流动进行了三维数值模拟,研究了螺旋角等参数对流体流动及压降的影响。从流动和传热的理论分析发现,使用平面折流板的管束结构上存在缺陷,在两平面扇形板的搭接处会出现三角区短路现象,此短路分流了主螺旋流道介质流量,使壳程主流体流速降低,严重削弱了壳程膜传热效率^[6]。高晓东等^[7]提出采用双螺旋结构,在单螺旋结构的基础上,在螺旋流道中间再加入一块螺旋折流板,从而减少三角区漏流流体的份额。宋义鑫等^[8]提出采用加中芯管的方法,实现连续型折流板的加工,并进行了相应的 CFD 数值模拟。虽然以上的两种结构改进方法均能取得一定的改进效果,但其结构复杂,从而导致加工难度大。Wang 等^[9-10]提出在换热器的管束外围增加密封圈的方法来减少其短路漏流量,但并未对螺旋折流板换热器的三角区漏流提出改进方法。本文提出使用折面折流板代替平面折流板,以封闭现有换热器相邻两平面折流板搭接处形成的豁口,从而消除三角区局部短路现象,以提高换热器的传热性能。

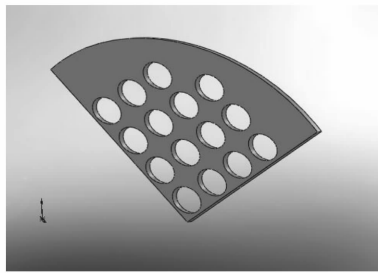
1 螺旋折流板换热器壳程结构的改进

在螺旋折流板换热器的管束中,用折面折流板代替平面折流板安装在管束上,从而改进板换热器的壳程结构。平面折流板和折面折流板结构如图 1 所示。

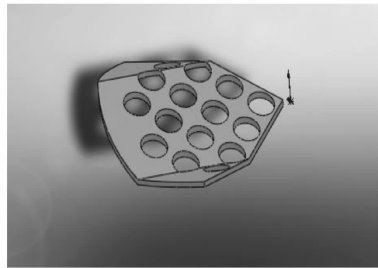
1.1 平面折流板换热器的管束结构

如图 2 所示,将平面折流板沿着管束轴线方向按照近似螺旋线方式依次进行搭接排列,就形成了一个近似的螺旋槽;将换热管穿入相应折流板中,就制成了螺旋折流板换热器管束。

壳程流体在折流板形成的近似螺旋槽的流道内流动。由于流体不断地和换热管碰撞,激起漩涡、二次流动等,所以壳程中的流动状态是非常复杂的,但其整体流动方式可认为是一种沿着螺旋槽流动的螺旋流。除大部分流体为螺旋流动外,还有一股流体依次通过由相邻两块折流板搭接形成的豁口,从换热



(a)平面折流板



(b)折面折流板

图 1 折流板结构示意图

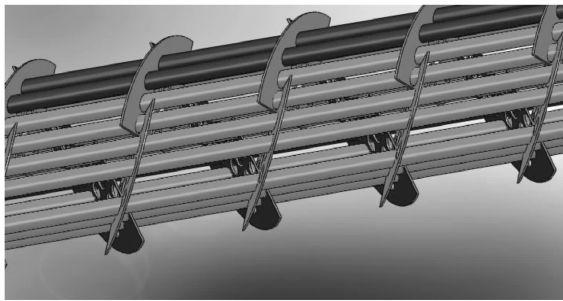


图 2 平面折流板换热器装配图

器的一端流向另一端,形成一条快速流道。这个快速流可以看做螺距为管束螺距 4 倍的一股螺旋流。搭接度越大,这股流体的量就越大。

1.2 折面折流板换热器的管束结构

用折面折流板代替平面折流板,组装成的管束见图 3。流体在壳程中的流动状态与用平面折流板

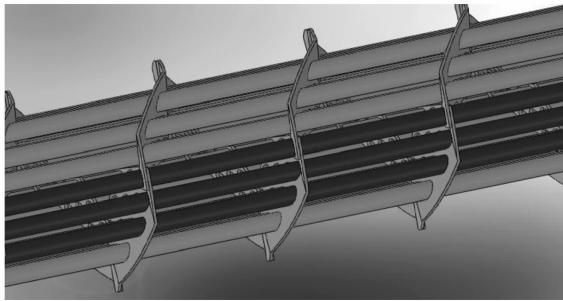


图 3 折面折流板换热器装配图

组装的螺旋折流板换热器相似,也是一种近似螺旋流,但采用折面折流板后,使相邻两块平面折流板在搭接时形成的夹角被合拢,即漏流三角区被封闭.对于此改进的折流板结构,壳程流体只有一种螺旋流的流动,不存在轴向短路流动,所有流体都通过由折流板组成的螺旋槽,螺旋流量增大,特别是管束中靠近轴线区域流速将增大,有利于传热.

2 两种类型折流板的螺旋折流板换热器性能实验及结果分析

2.1 实验方法

实验主要针对不同的折流板换热器板束,在相同换热器结构参数和操作工况下,对两台螺旋折流板换热器进行传热实验,比较折流板结构对换热器传热性能和压降的影响.

实验流程布置如图4所示.实验系统分别由水路循环和油路循环组成.实验中水为冷流体,走管程;20号导热油为热流体,走壳程.油罐容量为 1 m^3 ,且内设电加热器对导热油加热,水罐容量为 40 m^3 .实验系统中有型号为YB80-60-150的离心泵两台,型号为LC-E DN8的椭圆齿轮流量计一台,型号为LZB-80的浮子流量计一台,其基本误差分别为 1.0% 和 2.0% .实验用螺旋折流板换热器型号为LBES250-2.5-9-2.5/19-2,用平面折流板和折面折流板各做一个管束.

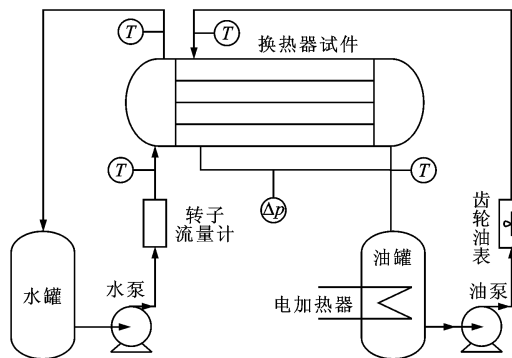


图4 实验系统示意图

实验过程中管程流量固定为 $0.005\text{ m}^3/\text{s}$,改变壳程导热油进口流量,针对多个工况点进行数据采集.实验中采集的数据包括管程水的进出口温度和流量、壳程导热油的进出口温度和流量、壳程进出口的压差.实验中采用铜康铜热电偶进行温度的采集,其误差小于 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$;采用罗斯蒙特3051压差变送器进行压差测量,其误差小于 0.04% .在实验范围内,总

传热系数 K 的绝对误差为 $10.2\sim 19.6\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.在实验过程中,每改变一次壳程进口流量,均维持运行一段时间,待流动换热稳定后开始采集数据.

2.2 实验结果分析

2.2.1 换热器总传热系数对比和分析 图5所示为换热器总传热系数与壳程流量 q_v 之间的关系曲线.从图中可以看出,两种折流板的总传热系数均随着壳程流量的增加而增大,但在相同壳程流量下,折面折流板换热器的总传热系数均大于平面折流板,且随着壳程导热油进口流量的增加,换热器总传热系数的差值也随之增大.当壳程进口流量由 $0.0014\text{ m}^3/\text{s}$ 增大至 $0.0062\text{ m}^3/\text{s}$ 时,相对于平面折流板,折面折流板换热器的总传热系数分别增加了 $16.7\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 和 $34.7\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.由于消除了不利于传热的快速流道,因此在整个实验范围内,折面折流板换热器的总传热系数增加了 $7.9\%\sim 9.7\%$,平均增大 8.7% .

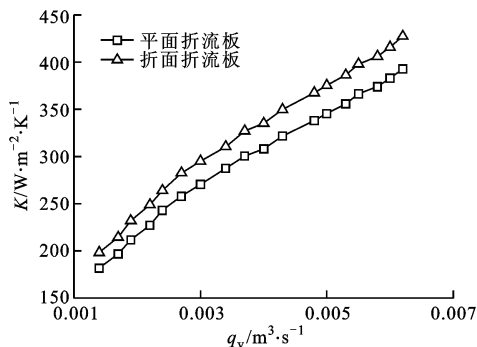


图5 总传热系数与壳程流量的关系

快速流道中流动的流体可看作为螺距为管束螺距4倍的一种螺旋流,螺距大使得螺旋角加大,流体的轴向速度加大,这部分流体近似沿着换热管外壁的轴向流动,所以不利于传热.而且,快速通道是处于管束外围,由于离心力作用使此处流体的轴向速度和切向速度都很大.同时,由于列管式管壳换热器结构的要求,管板在此区域换热管布管密度比中心区域布管密度小,所以流体在此处流动阻力小,这是导致此处流速大的第2个原因.快速通道区域流体流速大,有大量流体流入此区域,但在此区域流体仅跟每根换热管 $1/4$ 的表面相接触,有效传热面积很小,影响换热器综合的传热效果,而折面折流板消除了壳侧的快速流道,让原来从快速流道流走的流体向管束内部流动,使得靠近管束轴线区域流体流速明显增大,此处换热管的换热面积得到充分利用,从而提高了换热器的整体传热性能.

2.2.2 换热器壳程压降对比和分析 图6所示为壳程流量和壳程压降 Δp 的关系曲线。从图中可以看出,两种换热器的壳程压降均随着壳程流量的增加而增大,但在相同壳程流量下,折面折流板换热器的壳程压降大于平面折流板换热器。当壳程流量由 $0.0014 \text{ m}^3/\text{s}$ 增大至 $0.0062 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,相对于平面折流板,折面折流板换热器的壳程压降分别增加了 26.7 Pa 和 200 Pa 。在整个实验范围内,折面折流板换热器的壳程压降增加了 $2.9\% \sim 8.0\%$,平均增大 5.2% 。压降增加的主要原因为快速流道被消除,原来从快速流道流走的流体流向管束内部,使靠近管束轴线区域管束中的流体流速明显增大,且原来从快速流道流走的这部分流体与此处换热管充分接触和碰撞,在产生增强换热效果的同时也使得压降稍有增加。

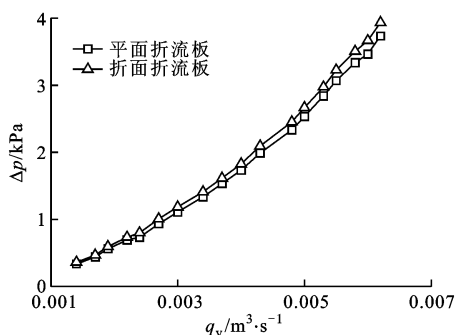


图6 壳程压降与壳程流量的关系

2.2.3 折面折流板换热器换热量增量和泵耗功率的关系 在相同的冷热流体进口工况下,用折面折流板代替平面折流板后换热器的总传热系数增大,将使得管程冷流体水的出口温度上升,而壳程热流体导热油的出口温度降低,最终通过换热器所传输的热量 Q 增加。但是,壳程压降的增加会使得泵耗功率增大。泵耗功率增量的计算式如下

$$\Delta P_e = \Delta p q_v \quad (1)$$

图7所示为折面折流板代替平面折流板后,壳程流量与输出的换热量增量及泵耗功率增量的关系图。选取壳程导热油的进口流量最大点 $0.0062 \text{ m}^3/\text{s}$,即壳程压降增加最大的实验点,对换热器的泵耗功率增量进行计算。折面折流板换热器在此实验点输出热量的增量为 10.9 kW ,而泵耗功率的增量仅为 1.25 W ,两值相差近4个数量级,所以用折面折流板代替平面折流板后,相对于换热量的增量,换热器壳程压降的增加对泵输出功率的损耗增量可以忽略不计。

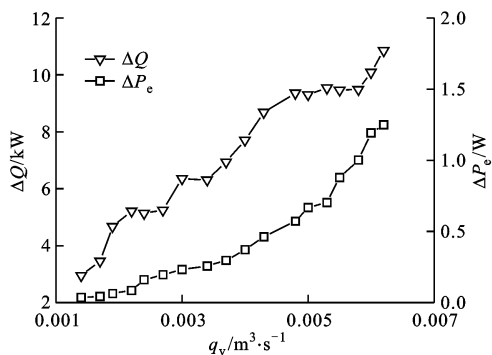


图7 泵耗功率增量及换热量增量与壳程流量的关系

3 结论

(1)用折面折流板代替平面折流板改变了螺旋折流板换热器壳流体流动模式,消除了两平面折流板搭接形成豁口所产生的快速流道,使得靠近管束轴线区域的壳程流体流速明显增大,流体能够充分与换热管接触,从而强化了传热。

(2)在相同的实验工况下,用折面折流板代替平面折流板后,螺旋折流板换热器的总传热系数增加了 $7.9\% \sim 9.7\%$,平均增大 8.7% ,壳程压降随之增大 $2.9\% \sim 8.0\%$,平均增大 5.2% 。

(3)实验结果表明,总传热系数提高所获得的热量流量增量是壳程压降增大带来的泵耗功率增量的近万倍,结构的改进有效地提高了螺旋折流板换热器的节能性能。

(4)折面折流板和平面折流板的制作工艺和成本基本相同,其管束的制作组装难度相当,所以用折面折流板代替平面折流板,不增加螺旋折流板换热器的成本和制造难度,具有重要的实用价值。

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.
WANG Qiawang. Current status and development of shell side heat transfer enhancement of shell and tube heat exchangers with helical baffles[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2004, 38(9): 881-886.
- [2] 王晨, 桑芝富. 不同螺旋折流板换热器壳侧流动的数值研究[J]. 石油机械, 2008, 36(10): 12-15.
WANG Chen, SANG Zhifu. The simulation of flow field in shell-side for different helical baffled heat exchangers[J]. China Petroleum Machinery, 2008, 36(10): 12-15.
- [3] 王良, 罗来勤, 王秋旺, 等. 螺旋折流板换热器中阻流板

- 对换热及沿程压降的影响[J]. 工程热物理学报, 2001, 22(S0): 173-176.
- WANG Liang, LUO Laiqin, WANG Qiuwang, et al. Effect of inserting block plates on pressure drop and heat transfer in shell-and-tube heat exchangers with helical baffles [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2001, 22(S0):173-176.
- [4] 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.
- [5] 邓斌, 吴扬, 陶文铨. 螺旋折流板换热器壳侧流动的数值模拟[J]. 西安交通大学学报, 2004, 38(1):1106-1109.
- DENG Bin, WU Yang, TAO Wenquan. Numerical simulation of flow in shell side of shell and tube heat exchangers with helical baffles[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2004, 38(1):1106-1109.
- [6] 刘娇洋, 江楠. 螺旋折流板换热器的研究进展[J]. 石油化工设备, 2009, 30(2):43-48.
- LIU Jiaoyang, JIANG Nan. Progress in research on helical baffled heat exchanger [J]. Petro-Chemical Equipment Technology, 2009, 30(2):43-48.
- [7] 高晓东, 冯霄. 双螺旋结构螺旋折流板换热器试验研究[J]. 高校化学工程学报, 2007, 21(4):547-549.
- GAO Xiaodong, FENG Xiao. Experimental study of helical baffled heat exchanger with double helical structure[J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2007, 21(4):547-549.
- [8] 宋义鑫, 谭羽非. 连续型螺旋折流板换热器结构及性能研究[J]. 节能技术, 2009, 155(3):229-232.
- SONG Yixin, TAN Yufei. Research of heat exchanger structure and performance with continuous helical shaped baffles[J]. Energy Conservation Technology, 2009, 155(3):229-232.
- [9] WANG Simin, WEN Jian, LI Yanzhong. An experimental investigation of heat transfer enhancement for a shell-and-tube heat exchanger [J]. Applied Thermal Engineering, 2009, 29 (11/12):2433-2438.
- [10] 王斯民, 厉彦忠, 文键, 等. 装有密封器的管壳式换热器的实验研究[J]. 化学工程, 2007, 35(10):12-15.
- WANG Simin, LI Yanzhong, WEN Jian, et al. Experimental investigation of shell-and-tube exchanger with a sealer [J]. Chemical Engineering, 2007, 35 (10):12-15.

(编辑 荆树蓉)