

导流片结构对物流分配性能影响的实验研究

张 哲, 厉彦忠, 许 箐

(西安交通大学 能动学院, 陕西 西安 710049)

摘 要: 通过板翅式换热器物流分配问题的实验研究发现, 不合理的导流片结构造成板翅式换热器内部物流分配不均匀, 以及在横向与纵向上物流分配不均匀的程度也不相同。同时提出了具有补液腔的新型导流片结构, 并定义了新型导流片的结构参数。实验结果表明, 采用新型的导流片可以有有效的改进换热器内部物流分配不均匀的问题, 同时还发现在实验的条件下结构参数为 0.2 的导流片具有最佳的导流性能, 通过实验研究得到了不同导流片结构的物流分配不均匀特性与流体雷诺数之间的关系式。

关 键 词: 板翅式换热器; 物流分析; 导流片

中图分类号: TK172 文献标识码: A

1 引 言

板翅式换热器是热力过程中的关键设备, 广泛应用于能源、动力、化工、冶金、机械、交通、航空与航天等领域。在一般的板翅式换热器换热和流阻分析中, 都认为流体在板束中均匀分配, 但是实际上, 由于板翅式换热器入口结构设计的不当, 很难做到均匀分配^[1], 物流分配的不均匀性是引起其效能下降的主要因素^[2]。国内外学者对这一问题进行了广泛的研究, 普遍认为引起分配不均匀的主要因素是封头以及导流片的结构不合理所致, 其中导流片结构对流分配的不均匀性影响较大。对板翅式换热器的研究发现^[3]: 由于物流分配的不均匀, 可导致逆流换热器、冷凝器的整体效能相差 7%; 而对错流式换热器效能的影响高达 25%。

在对板翅式换热器导流片导流性能的研究过程中, 部分重要结论已经得到^[4~6], 但也仅局限在对目前工业设计中常用导流角度 ($\alpha=90^\circ$) 导流性能的研究上, 而对不同结构的导流片导流性能研究进行的较少, 而且以前的研究物流分配的工质多采用液态

的水, 与现实工业采用的气态有很大的差别。本文针对板翅式换热器的导流片结构对其内部物流分配不均匀性的影响进行深入研究并改进导流片的结构, 从而达到从整体上改善板翅式换热器内部物流分配不均匀的目的。

2 实验系统

实验系统如图 1 所示, 主要由气体通路系统和数据采集处理系统组成, 本文研究的工质是气体。气体通路循环由如下环节组成: 空气经压缩机压缩后通过冷却器、稳压器、流量调节阀、过滤器、涡轮流量变送器进入试件, 后流经转换开关箱, 单股引出进行相应的测量。数据采集处理系统由硬件和软件两部分组成, 其中硬件部分由计算机、压力传感器、压差传感器、温度传感器、流量变送器以及放大电路和数据采集板组成; 软件系统由采集初始化程序、采集程序以及数据处理程序组成。

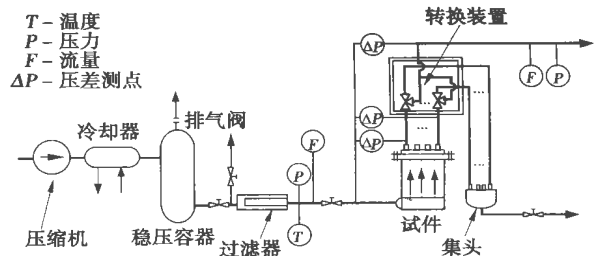


图 1 实验系统原理图

本文的研究对象是根据目前空分系统中广泛使用的换热器结构尺寸模化设计而来的导流体, 结构尺寸如图 2 所示。为对小流量的精确测量和进行相关的实验研究, 将试件的流体流动通路截面平

收稿日期: 2003-02-28; 修订日期: 2003-05-06

基金项目: 西安交通大学博士学位论文基金资助项目 (DFXJTU2002-12); 全国首届优秀博士学位论文作者专项基金资助项目 (199933)

作者简介: 张 哲 (1975-) 男, 天津人, 西安交通大学博士生。

均划分为 30 个小区, 将每一个小区作为一个通道进行测量, 通道布置如图 3 所示。

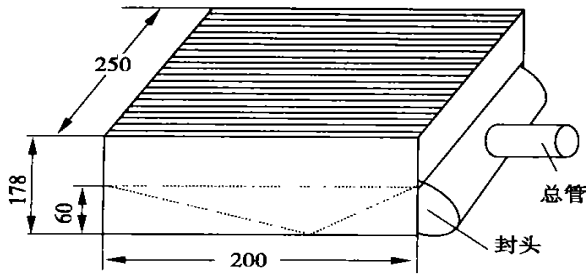


图 2 模化的导流体结构示意图(单位:mm)

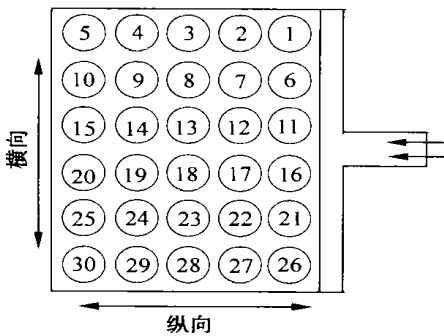


图 3 板束单元体通道划分布置图

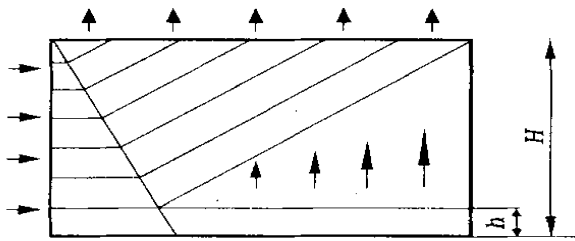


图 4 h/H 导流片结构示意图

首次提出了导流片结构参数 h/H 的概念, 导流片结构参数 h/H 的定义见图 4, 该结构设计的思路的主要是根据不同导流角度导流片导流性能的研究结果, 结合导流片翅片打孔的结构特点, 利用翅片的打孔在相邻不同压力通道之间会产生流体的再分配, 来改善物流分配的不均匀。为了研究结构参数 h/H 对导流片导流性能的影响, 分别设计了 h/H 为 0、0.1、0.2、0.3 的四种改进型导流片, 其中 h/H 为零的导流片是目前传统工业所采用的结构型式(见图 5 所示), 同时还设计了导流角度为 30° 、 45° 、 60° 的

传统导流片结构。通过对上述各种结构参数的导流片进行研究以期获得不同的导流角度和导流片结构参数 h/H 对板翅式换热器物流分配的影响。

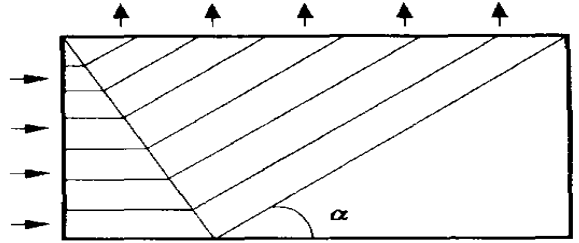


图 5 导流片的不同入口角度结构示意图

3 实验结果的分析与讨论

3.1 不同导流角度导流片导流性能的研究

为了详细考察换热器出口截面物流分配不均匀的情况, 分别对换热器出口截面进行横向与纵向通道划分。将其各通道流速取平均值作为在该位置的流速, 例如位置为 20 mm 时, 物流量值为 $(g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5)/5$; 位置为 60 mm 时, 物流量值为 $(g_6 + g_7 + g_8 + g_9 + g_{10})/5$; 依此类推, 并对不同导流片结构的分配情况进行对比。图 6 和图 7 分别是不同导流角度的传统导流片在雷诺数 $Re = 1132$ 时, 换热器出口截面横向与纵向的物流分布图。从图中可以看出: 在换热器出口截面横向与纵向的方向上, 都存在着物流分配的不均匀。但通过改变导流片的导流角度可以有效地改善其内部的物流分配情况, 从图中可以看出在导流角度为 45° 时, 其导流性能相对的比其它导流角度好, 表现为无论在换热器出口截面横向与纵向的方向上都得到了一定的改善。

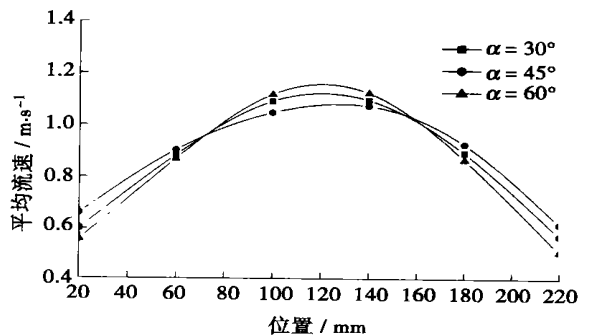


图 6 换热器截面横向物流分配的情况

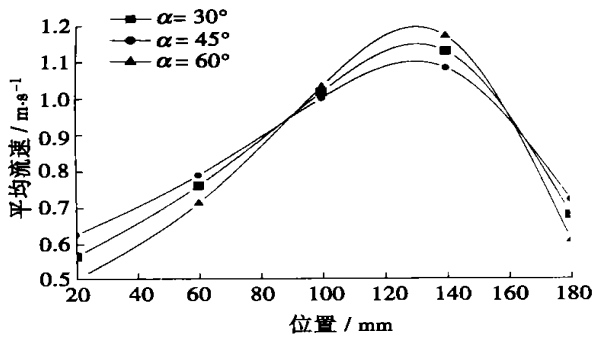


图 7 换热器截面纵向物流分配的情况

3.2 结构参数 h/H 对导流片导流性能的影响

图 8 是雷诺数为 1 132 左右时板束单元体截面横向通道平均流速分布图, 从图中可以看出在该方向上物流分配表现出共同的分配规律及变化趋势, 流体是以入口管轴线为对称轴, 成对称分布。但比较而言当结构参数 $h/H = 0$ 时, 物流分配最不均匀, 而 $h/H = 0.2$ 时物流分配较其它导流片更为均匀一些。平均流速的最大值与最小值之比分别为: $1.734(h/H = 0)$ 、 $1.486(h/H = 0.1)$ 、 $1.326(h/H = 0.2)$ 、 $1.514(h/H = 0.3)$, 可以看出导流片结构参数 h/H 对该方向上物流分配不均匀性的影响规律。

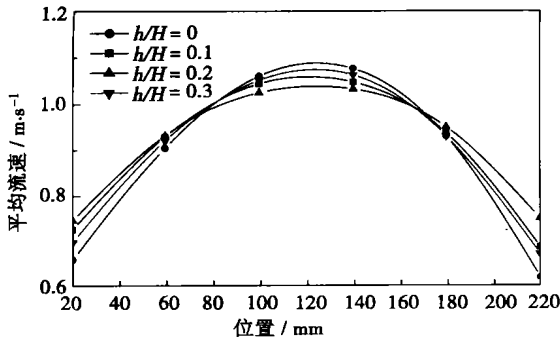


图 8 换热器截面横向物流分配的情况

图 9 是雷诺数为 1 132 左右时板束单元体截面纵向通道平均流速分布图, 从图中可以看出: 改变导流片的结构参数 h/H 对板束单元体在截面纵向方向上物流分配的影响更大; 但表现出不同特点: $h/H = 0$ 时, 其流速最大值与最小值相差最大, 说明在导流体内不进行补液时, 导流体内存在流体偏流现象; 而 $h/H = 0.3$ 时通道最大峰值向前偏移, 说明补液量过大, 但分配效果比 $h/H = 0$ 结构的导流片改善

很多。当 $h/H = 0.1$ 和 0.2 时, 通道流量分配值较 $h/H = 0$ 以及 0.3 时均匀, 但 $h/H = 0.2$ 时速度分布较其它导流片的物流分配更为均匀。

从图 8 ~ 图 9 的分析研究中可以得到如下结论: 通过改变导流片的结构参数 h/H 的值, 可以有效地改善换热器内部的流体流场分布情况, 尤其是板束单元体截面纵向方向上, 物流分配可以得到很好的改善; 分析认为通过改变 h/H 的值, 在导流片内部形成一个补液腔, 通过导流片的孔, 在导流片不同压力通道之间流体进行了的二次分配, 对流量小、压力低的通道进行补液, 使得物流在该方向上分配更加均匀; 在这一过程中, 对板束单元体截面横向方向的物流分配也起到了一定的改善, 但其影响相对于板束单元体截面纵向方向而言要小一些。

3.3 不同结构参数对导流片导流性能影响的综合评价

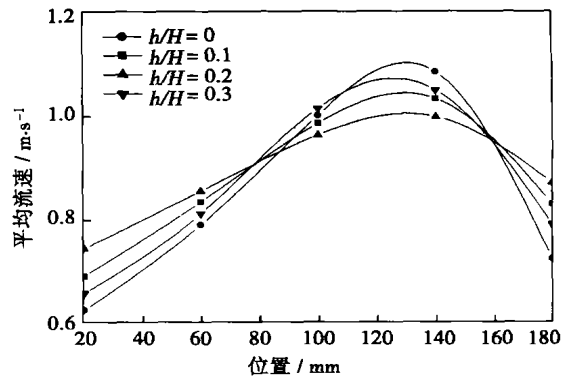


图 9 换热器截面纵向物流分配的情况

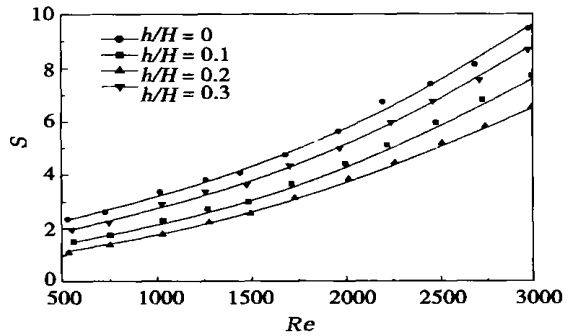


图 10 不同导流片结构的 S 与 Re 关系曲线图

图 10 表示的是不同导流片结构的不均匀特性参数 S 与 Re 关系曲线图^[7], 从图中可以看到了随着 Re 的增加四种导流片结构物流 (下转第 638 页)

均温度相对较高;而在燃气预热到 800 °C 时,炉内最高温度相对较低,并且炉内温度分布不均匀性系数 R_{in} 较小。

表 3 炉内温度分布计算结构

工况	炉内最高温度 T_{max}/K	炉内平均温度/K	最高温度与平均温度之差 $\Delta T/K$	R_{in}/K
原均热炉	2 086	1 606	480	33. 18
1	2 192	1 925	267	29. 68
2	2 185	1 962	223	24. 41
3	2 157	1 959	198	20. 77
4	2 181	1 938	243	19. 28

4 结 论

(1) 现有均热炉燃气和助燃空气的预热温度较低,燃料利用率较低;

(2) 如果采用高温空气燃烧技术改造现有均热炉燃烧系统,当助燃空气温度为 1 000 °C、燃气预热温度分别为 400 °C、600 °C、800 °C、1 000 °C 时,燃气节约率分别可达 12. 41%、14. 54%、16. 67%、

18. 85%;

(3) 由于改造后炉内高温烟气流动将周期性交换方向,炉内温度分布均匀性提高,温度分布不均匀性指数 R_{in} 由 33. 18 降到了 20 左右;

(4) 由于模拟工况 3 的峰值温度相对较高、炉内平均温度相对较低,炉内温度分布不均匀性系数最小,建议采用燃气预热至 800 °C、空气预热至 1 000 °C 的方案进行改造。

参考文献:

[1] 朱 彤,刘敏飞,张毅勳. 低 NO_x 高温空气燃烧技术[J]. 热能动力工程, 2001, 16(3): 328—330.
 [2] MICHAEL FLAMME. Low NO_x combustion technologies for high temperature applications[J]. **Energy Conversion and Management**, 2001, 42: 1919—1935.
 [3] GYUNG MIN CHOI, MASASHI KATSUKI. Advanced low NO_x combustion using highly preheated air[J]. **Energy Conversion and Management** 2001, 42: 639—652

(何静芳 编辑)

(上接第 614 页)

分配不均匀度都随之增加,在高 Re 区其不均匀度增加的幅度要大于低 Re 区,而且还可以看到 $h/H = 0.2$ 的分配效果始终优于其它三种结构.为便于计算机编程或工程计算使用方便,将图中 $S-Re$ 关系进行线性拟合,得到了不同封头结构的关系式:

当 $h/H = 0$ 时:

$$S = -1.78236 + 3.28288e^{Re/2408.139} \quad (1)$$

当 $h/H = 0.1$ 时:

$$S = -1.59475 + 2.78559e^{Re/2267.825} \quad (2)$$

当 $h/H = 0.2$ 时:

$$S = -1.45 + 2.27071e^{Re/2169.452} \quad (3)$$

当 $h/H = 0.3$ 时:

$$S = -2.14003 + 2.66034e^{Re/2538.863} \quad (4)$$

以上拟合误差不大于 5%。

4 结 论

(1) 首次定义了导流片的结构参数 h/H , 并研究了结构参数 h/H 对导流片导流性能的影响.研究发现:导流片的 h/H 值对板束单元体内部流动速度分布的不均匀性有较大影响,并且其影响主要表现在板束单元体截面纵向方向上。

(2) 通过优化导流片的 h/H 值可有效地改善换热

器内部流动速度分布的不均匀性.通过实验研究发现在实验的条件下结构参数为 0.2 的导流片具有最佳的导流性能,此结果为进一步的研究打下了基础。

(3) 导流片的导流角度对导流片的导流性能具有较大影响,导流角度为 45° 的导流片具有良好的分配特性。

参考文献:

[1] MUELLER A C, CHIOU J P. Review of various types of flow maldistribution in heat exchangers[J]. **Heat Transfer Engineering**, 1988, 9 (2): 36—50.
 [2] MUELLER A C. Effects of some types of maldistribution on the performance of heat exchangers[J]. **Heat Transfer Engineering**, 1987, 8 (2): 75—86.
 [3] LALOT, FLORENT P, LANG S K. Flow maldistribution in heat exchangers[J]. **Applied Thermal Engineering**, 1999, 19: 847—863.
 [4] 焦安军,陈长青.板翅式换热器导流片导流性能的实验研究[J].低温工程, 1995, 5: 27—32
 [5] 焦安军,厉彦忠,张 瑞.等.导流片导流角度对其导流性能的影响[J].化工学报, 2001, 52(9): 761—765.
 [6] 焦安军,厉彦忠,张 瑞.等.物流分配的不均匀性对紧凑型换热器效能的影响[J].西安交通大学学报, 2001, 35(3): 265—269.
 [7] 张 哲,厉彦忠,焦安军.板翅式换热器封头结构的数值模拟[J].化工学报, 2002, 53(11): 1182—1187.

(渠 源 编辑)

when no self-rotating twisted tapes are used. The tangential velocity component increases with an increase in radius. Meanwhile, there exists a very great radial turbulence. These results explain in a preliminary way the following mechanism of intensified convection heat transfer brought about by the tube with self-rotating spiral twisted tapes. A spiral flow is formed by an overlap of a twisted tape-caused forced rotation flow and an axial parallel flow. The increase in flow speed at the ring-shaped zone near the tube wall not only enhances the perturbation of a boundary layer fluid and the mixing of boundary layer fluid with a main flow fluid, but also leads to a thinning of the boundary layer thickness. This results in an intensified convection heat transfer. The findings of the present experimental study may serve as an experimental basis for the in-depth theoretical study of intensified convection heat transfer mechanism in a tube with self-rotating spiral-twisted tapes. **Key words:** self-rotating spiral-twisted tape, laser Doppler velocimetry, turbulence characteristics, intensified heat transfer, mechanism study, experimental study

导流片结构对物流分配性能影响的实验研究 = Experimental Study of the Impact of Deflector Plate Configuration on the Performance of Material Flow Distribution [刊, 汉] / ZHANG Zhe, LI Yan-zhong, XU Qing (College of Energy & Power Engineering under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(6). — 612 ~ 614, 638

Through a study of the material flow distribution in a plate-fin heat exchanger it was found that an irrational deflector-plate configuration would lead to a very non-uniform material-flow distribution in the heat exchanger and also a different degree of non-uniformity of the flow distribution in the transverse and longitudinal directions. The authors have, for the first time, come up with an innovative deflector-plate construction, which incorporates a liquid replenishment cavity. The construction parameters of the above-mentioned plate are defined. The results of experimental studies indicate that the use of this innovative plate can effectively solve the problem of non-uniform distribution of internal material flow in the heat exchanger. Moreover, it is found that under the present experimental conditions the deflector plate with a construction parameter of 0.2 offers the optimum flow-guide performance. Through experimental investigations a relation has been identified, which exists between the material flow non-uniformity characteristics of different deflector-plate configurations and a fluid Reynolds number. **Key words:** plate-fin heat exchanger, material flow distribution, deflector plate

垂直放置的高温热管翅启动与运行过程的实验研究 = Experimental Research of the Startup and Operating Process of a Vertically Placed High-temperature Heat-pipe Fin [刊, 汉] / ZHAO Wei-lin (College of Materials Science under the Jinan University, Jinan, China, Post Code: 250022), ZHUANG Jun, ZHANG Hong (College of Machinery and Power Engineering under the Nanjing Polytechnic University, Nanjing, China, Post Code: 210046) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(6). — 615 ~ 617

After an experimental study of the startup and operating process of a vertically installed high-temperature heat-pipe fin the temperature distribution curves during the said process were determined for the pipe fin. It was found that with the high-temperature heat-pipe fin being placed vertically the temperature at the bottom of an evaporation section would rise very quickly with time. The temperature at the upper portion of the evaporation section and at a condensation section lagged behind the temperature at the bottom of the evaporation section. The temperature at the evaporation section outlet coincides with that at the middle portion of the condensation section. Concerning the temperature at the end of the condensation section there appeared a phenomenon of temperature pulsation during operation. If the high-temperature heat-pipe fin is placed horizontally for a certain period of time and then tested in its vertical position, the temperature pulsation phenomenon at the condensation section end of the heat-pipe fin will disappear and there emerges instead a good isothermal condition at the condensation section. A further analysis has revealed that the startup and operation of the heat-pipe fin at a higher power rating will yield a higher temperature than that at a lower power rating. During a steady operation a weakening of the temperature pulsation phenomenon at the end portion of the condensation section can be observed. **Key words:** heat pipe, high-temperature heat-pipe fin, startup process, operation process, temperature pulsation