

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.12.046

# 微通道换热器内分流板流量分配特性\*

刘巍 朱春玲

(南京航空航天大学航空宇航学院, 南京 210016)

**【摘要】** 以水为工质,以微通道平行流蒸发器为模型,试验研究了1孔、5孔、12孔3种不同结构分流板的流量分配特性,并与无分流板时作了比较。结果表明:集流管的入口雷诺数小于3 000时,无分流板和1孔分流板的流量分配受雷诺数的影响很大,均匀性和稳定性均较差,但无分流板时的均匀性好于1孔分流板,当入口雷诺数大于3 000时,无分流板时的均匀性最差,1孔分流板的均匀性和稳定性变好;在入口雷诺数小于4 000时,5孔分流板的流量分配均匀性和稳定性均较好,当雷诺数大于4 000时,均匀性和稳定性变差;12孔分流板的流量分配均匀性和稳定性始终最好,均匀性随着雷诺数增大而略有提高。

**关键词:** 微通道换热器 分流板 流量分配 试验

**中图分类号:** TK124 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)12-0257-05

## Flow Distribution Characteristics of Deflector in Micro Channel Heat Exchanger

Liu Wei Zhu Chunling

(College of Aerospace Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

### Abstract

Four different test samples (no deflector, deflector with one hole, deflector with five holes, and deflector with twelve holes in the manifold) of micro-channel evaporator with parallel flow were processed. Flow distribution characteristics of deflectors were experimentally studied with water as the working fluid. The results showed that when the entrance Reynolds number was less than 3 000, the influence of which on the flow distribution characteristics of both the samples without deflector and with the deflector with one hole was apparent, and the flow distribution uniformity and stability of the two test samples were poor, but the sample without deflector was better than the deflector with one hole. After the entrance Reynolds number was more than 3 000, the uniformity and stability of the deflector with one hole was becoming better, but the uniformity of the sample without deflector was the worst in four of the test samples. The deflector with five holes had the good and stable flow distribution uniformity when the Reynolds number was less than 4 000. As the Reynolds number was more than 4 000, the flow distribution uniformity was worse. In comparison, the flow distribution uniformity and stability of the deflector with twelve holes were always the best in all the test samples, and as the entrance Reynolds number increased, the uniformity of flow distribution was improved slightly.

**Key words** Micro-channel heat exchanger, Deflector, Flow distribution, Experiment

收稿日期: 2012-06-29 修回日期: 2012-07-04

\* 国家自然科学基金资助项目(10972106)

作者简介: 刘巍, 博士生, 主要从事强化传热研究, E-mail: liuwei20050901@163.com

通讯作者: 朱春玲, 教授, 博士生导师, 主要从事飞机防除冰、环境控制研究, E-mail: clzhu@nuaa.edu.cn

## 引言

微通道换热器的设计难点之一是流量分配不均,导致微通道换热器内的流体流量分配不均匀的因素很多,国内外学者对此进行了较为深入的研究,包括对集流管和支管的结构尺寸、支管的插入深度、两相流的入流方向、含气率及流速<sup>[1-8]</sup>等,得到了一些重要的结论,对微通道换热器的优化设计具有重要意义。

现有报道中,常见的微通道蒸发器是24通道2流程的结构形式<sup>[9-10]</sup>。由于微通道平行流蒸发器的结构特点,制冷剂经集流管、进入扁管时,一个进口同时对应多个出口,会产生流量分配不均的现象,导致温度场分布不均匀,蒸发器的整体换热性能下降<sup>[11]</sup>。只有让制冷剂的流量分配尽可能均匀,才能充分利用换热面积,发挥微通道蒸发器的优势。Shi等<sup>[9]</sup>提出了在微通道蒸发器内安装分流板的方法来改善微通道蒸发器内的流量分配均匀性,并试验验证了结构合理的分流板能提高蒸发器的换热效率。文献[10]根据蒸发器的性能试验结果,分析了不同分流板结构对蒸发器性能的影响。

目前对分流板的研究工作还较欠缺,关于分流板的部分结论,主要是间接得出<sup>[9-10]</sup>。关于分流板的流量分配特性的研究工作,尚未见文献报道。本文以文献[10]中24通道的平行流蒸发器为模型,以水为工质对不同分流板的流量分配特性进行对比,为分流板的设计和应用提供依据。

## 1 试验内容及装置

### 1.1 平行流蒸发器结构和参数

微通道平行流蒸发器的结构如图1所示,蒸发器的主要部件有集流管、扁管、百叶窗翅片、分流板1和分流板2。平行流蒸发器有2个流程,每个流程有24排扁管。流程图如图1a所示,制冷剂首先从入口处(入口截面为圆形)流入右上侧集流管内,经过分流板1分流后,流入对应的24排扁管,而后再在图中左上侧的集流管内汇合,完成第1个流程;左侧两集流管的顶端用盖帽连接,使得制冷剂从上侧集流管的顶部首先流进分流板2所在的左下侧,然后经分流板2分流后流入相应的24排扁管,再进入右下侧集流管汇合,最后从蒸发器出口处流出,完成第2个流程。

蒸发器的几何参数如表1所示。

集流管的结构如图2所示。分流板平行于流体的入流方向安插在集流管内,其上布置有节流孔,通过改变孔的尺寸和位置可以调制冷剂的流量分

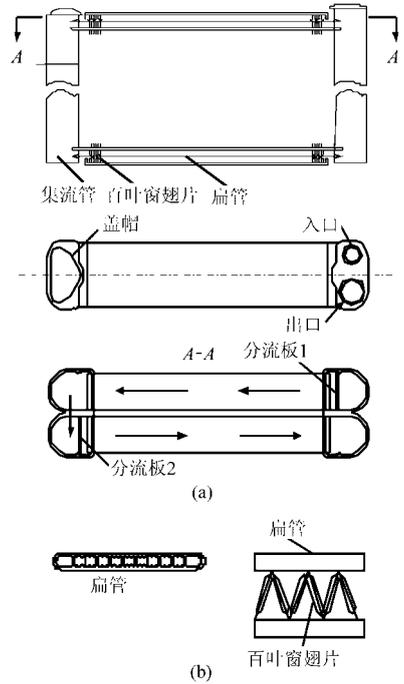


图1 平行流蒸发器原理图

Fig. 1 Diagram of evaporator with parallel flow

表1 蒸发器几何参数

Tab. 1 Detailed geometry parameters of evaporator

参数	数值
总体尺寸/mm × mm × mm	200 × 240 × 40
扁管尺寸/mm × mm	17 × 1.4
扁管数量/排	24 × 2
扁管间距/mm	9.4
分流板1尺寸/mm × mm	239 × 18.7
分流板2尺寸/mm × mm	231 × 18.7
翅片尺寸/mm × mm × mm	156 × 38 × 8
翅片间距/mm	1.3
百叶窗角度/(°)	38

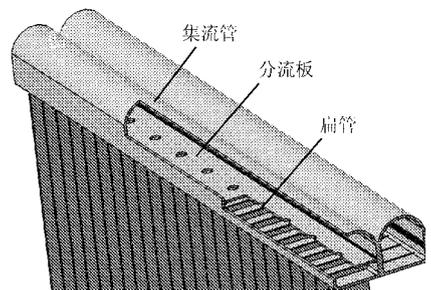


图2 集流管结构图

Fig. 2 Structure of manifold

配。为了改善制冷剂的流量分配均匀性,应当控制扁管插入集流管的深度,本文的插入深度为4.5 mm,扁管上端面距离分流板1 mm。分流板厚1 mm。

### 1.2 试验件设计

本文只研究分流板1的流量分配特性。根据文

献[10]设计了 1 孔、5 孔及 12 孔 3 种分流板。扁管在分流板上的投影及分流板的结构如图 3 所示。

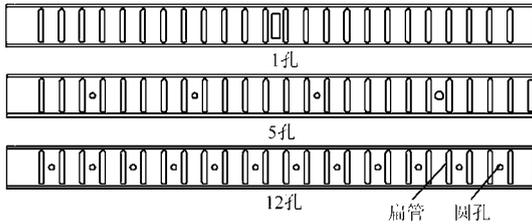


图 3 分流板结构图

Fig. 3 Diagram of deflector structures

3 种分流板的开孔面积基本相同, 保证流量分配的均匀性不受开孔面积变化的影响。

(1) 1 孔分流板。按照文献[1]的结论: 将流体的入口位置布置在集流管中间有利于流量分配均匀, 于是设计了 1 孔分流板, 分流板上只开一个矩形孔。矩形孔两侧的扁管数量是相同的, 这样就等于将入口位置布置在了中间。

(2) 5 孔分流板。5 孔分流板是微通道蒸发器产品上现有的结构。其中有 3 个直径为 2.18 mm 的圆孔, 1 个直径为 4.4 mm 的圆孔, 1 个长为 16.2 mm、宽为 1.2 mm 的矩形孔。

(3) 12 孔分流板。文献[10]中设计了 12 孔分流板, 并证明其能提高换热器的性能。其上有 12 个圆孔, 开孔数量为扁管数的一半, 圆孔与相邻两扁管在分流板上投影的距离相等。

3 种分流板的尺寸如表 2 所示, 表中  $d$  代表分流板的开孔直径。

表 2 分流板尺寸

Tab. 2 Size of deflectors

分流板	形状	尺寸/mm	开孔面积/mm <sup>2</sup>
1 孔	矩形	16 × 3	48
5 孔	圆	$d = 2.18, 4.4$	46
	矩形	1.2 × 16.2	
12 孔	圆	$d = 2.2$	46

图 4 为本试验中的样件, 其为微通道平行流蒸发器的第 1 流程部分, 因为只研究分流板 1 的流量分配规律, 故由分流板 1、集流管和 24 根扁管组成。将上述 3 种分流板安装在图 2 所示的集流管内, 并与扁管焊接起来, 便得到如图 4 所示的测试样件, 试验件的材料和加工工艺均与生产实际一致。

为了与无分流板时的情形相比较, 试验中还制作了无分流板的试验样件。集流管内的分流板分别采用图 3 中的 3 种结构, 再加上无分流板的结构, 共有外形和尺寸均相同的 4 种试验件。

### 1.3 试验装置

试验系统如图 5 所示, 试验工质为水。主要装

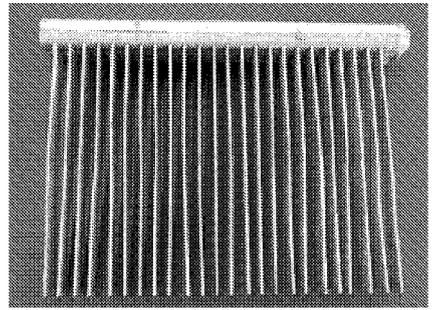


图 4 试验件

Fig. 4 Test sample

置有水箱、水泵、流量计、压力传感器、试验件和量筒。水箱中的水经水泵先后输送至涡轮流量计、压力传感器及试验件, 水的输出流量通过流量调节阀进行调节。量筒共有 24 个, 与扁管一一对应, 对扁管的流量进行测量。涡轮流量计、压力传感器通过数据模块与采集程序连接。

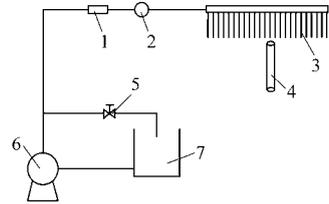


图 5 水的流量分配试验系统图

Fig. 5 Schematic diagram of water flow distribution

1. 涡轮流量计 2. 压力传感器 3. 试验件 4. 量筒 5. 流量调节阀 6. 水泵 7. 水箱

流量计采用 LWGY4 型涡轮流量计, 测量范围为 30 ~ 250 L/h, 精度为  $\pm 0.5\%$ 。压力传感器采用 SIEMENS/7MF1563 型, 精度  $\pm 2.5\%$ 。量筒的满量程为 500 mL, 最小刻度为 5 mL。试验中水的温度在 17 ~ 18℃ 之间, 波动范围很小, 粘度的变化对试验结果的影响可忽略。

## 2 试验结果及分析

为了评估分流板的流量分配不均匀性, 引入数理统计中相对标准方差  $S$ , 相对方差  $S$  表示换热器流量分配不均匀程度, 即各扁管的流量与平均流量的离散程度表示为<sup>[3]</sup>

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left( \frac{G_i}{G_{ave}} - 1 \right)^2} \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

式中  $N$ ——扁管总数, 取 24

$G_i$ ——各扁管内水的体积流量

$G_{ave}$ ——各扁管内的平均体积流量

不均匀度  $S$  越小, 表明流量分配越均匀, 反之, 则流量分配越不均匀。

换热(如空调)系统一般是变负荷运行, 系统的

热负荷发生变化时,换热工质的流量也会发生变化。要使换热器始终维持较高的换热效率,在保证工质流量分配较均匀的同时,均匀性还不受流量变化的影响,所以分流板的流量分配还必须要有足够的稳定性,即随着工质流量的变化,不均匀度  $S$  的变化幅度很小。

图6为4种试验件在3个不同入口雷诺数( $Re$ )条件下各扁管内的流量分布图。

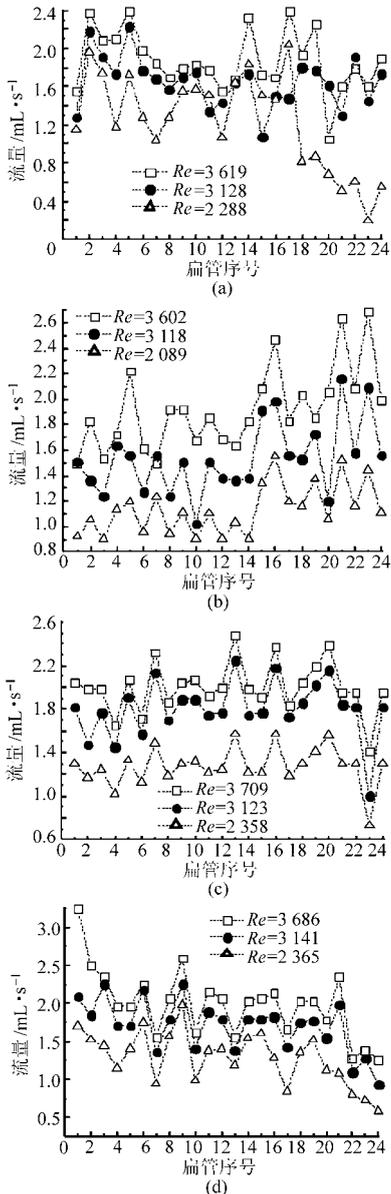


图6 不同分流板各扁管内的流量分布图

Fig.6 Flux distribution of tubes with different deflectors

(a) 1孔分流板 (b) 5孔分流板 (c) 12孔分流板  
(d) 无分流板

图6a为1孔分流板的情况。 $Re=2288$ 时,集流管尾部18~24号扁管的流量很小,整体的流量分配均匀性较差;随着雷诺数的增加,流量分配的均匀性变好。相比之下, $Re=3128$ 时,扁管内的流量变化规律与 $Re=3619$ 时相似,而与 $Re=2288$ 时相差

很大,可见随着雷诺数增加,扁管流量分布规律的重合度也会提高。

图6b为不同雷诺数条件下,5孔分流板时各扁管内的流量分布图。由于分流板尾部圆孔及矩形孔的面积大,所以尾部20~24号扁管的流量普遍较大。随着雷诺数的变化,5孔分流板时各扁管内的流量分配规律相似,重合度要好于1孔分流板。

图6c为采用12孔分流板时,扁管内的流量随雷诺数的变化图。雷诺数变化时,各扁管内的流量分配规律基本上是一致的,重合度最好。

图6d为无分流板时,扁管内的流量随雷诺数变化的规律。可见首尾扁管内流量分配规律的重合度较差,中间部分的扁管内流量分布规律受雷诺数变化的影响很小。

图7为4种试验件的流量分配不均匀度  $S$  随雷诺数的变化图。

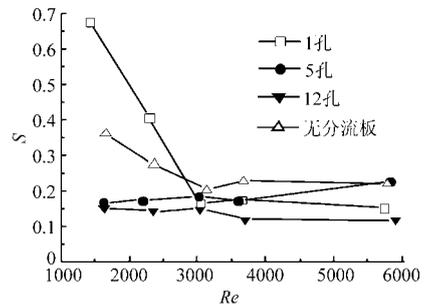


图7 不均匀度随雷诺数的变化曲线

Fig.7 Flux misdistribution vs  $Re$  number

试验件无分流板时, $S$ 随雷诺数的增加先减小后增大。当 $Re$ 小于3000时,流量分配均匀性好于1孔分流板,但比5孔和12孔分流板差;当 $Re$ 大于3000后, $S$ 只是小幅的波动,但流量分配均匀性最差。所以无分流板试验件的流量分配均匀性和稳定性都不好,安装分流板是有必要的。

1孔分流板在 $Re$ 小于3000时,流量分配均匀性是最差的, $S$ 高达0.68;随着入口 $Re$ 的增加, $S$ 先迅速减小到0.16,之后 $S$ 的变化幅度变缓。可见1孔分流板的流量分配稳定性也较差;但当 $Re$ 大于3000时,1孔分流板的流量分配均匀性要比无分流板的好。

$Re$ 小于4000时,5孔分流板的 $S$ 波动较小,一直在0.16~0.18之间变化,流量分配均匀性和稳定性好于无分流板和1孔分流板,但随着雷诺数增加到接近6000时, $S$ 增大到0.23,流量分配均匀性变差。可见5孔分流板在高雷诺数时的流量分配不够均匀。

$Re$ 小于3500时,12孔分流板的 $S$ 始终维持在0.15以内,当 $Re$ 大于3500时,不均匀度有所降低,

从0.15降至0.11,随着雷诺数增加,流量分配均匀性变好。相比之下,12孔分流板不均匀度始终最小,流量分配均匀性和稳定性均最好。

综合图6和图7可以看出,扁管内的流量分配规律重合度好时,流量分配的均匀性受雷诺数变化的影响较小,稳定性也好。

文献[10]中对采用1孔和12孔分流板的蒸发器进行了性能对比试验,结论表明:蒸发器采用12孔分流板时的制冷量要比采用1孔分流板时提高9%左右。可见分流板的流量分配均匀性对蒸发器的制冷量产生明显的影响。

### 3 结论

(1)无分流板时,蒸发器内流量分配均匀性和稳定性会随着入口雷诺数的增加而变好,当雷诺数

小于3000时,流量分配稳定性较差,均匀性比1孔分流板好;当 $Re$ 大于3000时,流量分配均匀性是最差的,稳定性变好。

(2)入口雷诺数小于3000时,1孔分流板流量分配均匀性差且极不稳定,受入口雷诺数的影响很大;随着入口雷诺数增加到大于3000后,流量分配均匀性和稳定性都变好。

(3)在雷诺数小于4000时,5孔分流板的流量分配均匀性和稳定性要好于无分流板和1孔分流板,但比12孔分流板差;当雷诺数增加到大于4000后,分流效果很差,与无分流板时相当。

(4)相比之下,12孔分流板的结构最合理,流量分配不均匀度始终是最小的,且随着雷诺数的增加而降低,分流效果和稳定性均最佳。

### 参 考 文 献

- 李夔宁,吴小波,尹亚领.平行流蒸发器内气液两相流分配均匀性实验研究[J].热能动力工程,2009,24(6):759~765.  
Li Kuining, Wu Xiaobo, Yin Yaling. Experimental investigation on uniformity of gas-liquid two phase flow distribution in parallel flow type evaporator[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2009, 24(6): 759~765. (in Chinese)
- Mohammad Ahmad, Georges Berthoud, Pierre Mercier. General characteristics of two-phase flow distribution in a compact heat exchanger[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2009, 52(1~2): 442~450.
- Habib M A, Ben-Mansour R, Said S A M, et al. Evaluation of flow maldistribution in air-cooled heat exchangers[J]. Computers & Fluids, 2009, 38(3): 677~690.
- Jun Kyoung Lee, Sang Yong Lee. Distribution of two-phase annular flow at header-channel junctions[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2004, 28(2~3): 217~222.
- Sooyoun Kim, Eunsoo Choi, Young I Cho. The effect of header shapes on the flow distribution in electronic packaging applications[J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 1995, 22(3): 329~341.
- Sachiyo Horiki, Tomoshige Nakamura, Masahiro Osakabe. Thin flow header to distribute feed water for compact heat exchanger[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2004, 28(2~3): 201~207.
- Tushar Kulkarni, Clark W Bullard, Keumnam Cho. Header design trade-offs in microchannel evaporators[J]. Applied Thermal Engineering, 2004, 24(5~6): 759~776.
- Ralph L Webb, Kilyoan Chung. Two-phase flow distribution to tubes of parallel flow air-cooled heat exchangers[J]. Heat Transfer Engineering, 2005, 26(4): 3~18.
- Shi Junye, Qu Xiaohua, Qi Zhaogang, et al. Investigating performance of microchannel evaporators with different manifold structures[J]. International Journal of Refrigeration, 2011, 34(1): 292~302.
- 刘巍,朱春玲.分流板结构对微通道平行流蒸发器性能的影响[J].化工学报,2012,63(3):761~766.  
Liu Wei, Zhu Chunling. Effects of deflector structure on performance of micro-channel evaporator with parallel flow[J]. CIESC Journal, 2012, 63(3): 761~766. (in Chinese)
- Julio C Pacio, Carlos A Dorao. A study of the effect of flow maldistribution on heat transfer performance in evaporators[J]. Nuclear Engineering and Design, 2010, 240(11): 3868~3877.