

# 小管径三排管开缝翅片传热特性的 实验与数值研究

吴志根 戴艳俊 陶文铨

(西安交通大学动力工程多相流国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

**摘要** 本文对应用于二氧化碳跨临界空凋制冷循环的三排管小管径开缝翅片管换热器空气侧的传热及阻力性能进行了实验与数值研究, 数值模拟结果与实验值的最大偏差仅为 10%。此外, 通过四种途径研究了倾角对换热的影响, 发现倾角有利于换热强化但换热量的增加不及压降的增加。

**关键词** 开缝翅片; 实验研究; 数值模拟

**中图分类号:** TK124 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2009)11-1910-03

## EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY ON HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF THREE-ROW SLOTTED FINS WITH SMALL DIAMETERS

WU Zhi-Gen DAI Yan-Jun TAO Wen-Quan

(State Key Laboratory of Multiphase Flow in Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract** Heat transfer and fluid flow characteristics on the air side in three-row slotted fin-and-tube heat transfer surfaces with small diameters applied in a trans-critical CO<sub>2</sub> air-conditioning or refrigeration cycle are studied experimentally and numerically. All the numerical results are in agreement with the related test data within 10% deviation. Besides, influences of a slotted inclination angle on heat transfer are analyzed with four different methods. It is found that the slotted inclination angle could enhance heat transfer with more evident pressure drop.

**Key words** strip fin surface; experimental investigation; numerical simulation

## 0 引言

开缝翅片管翅式换热器广泛应用于供热, 通风, 空调, 制冷行业中。对开缝翅片空气侧换热与阻力特性已经进行了不少的研究, 文献 [1] 中给出了 9 个单向开缝翅片管换热器的传热及阻力性能实验关联式。文献 [2] 对部分单向及双向开缝翅片给出了实验关联式。但由于开缝翅片结构复杂, 诸多因素如翅片节距、缝长、缝高、开缝数及缝的分布等都不同程度地影响其流动和换热 [3], 因此翅片传热与阻力特性的计算也因此变得复杂, 且至今尚无完全统一的公式可循, 用于分析开缝翅片流动和传热机理的数值模拟则更少。本文采用实验研究及数值模拟相结合的方法, 对应用于跨临界二氧化碳试验台上的小管径三排管开缝片进行传热及阻力性能的实验与数值研究及分析。此外, 通过四种途径研究了开缝倾角对换热的影响。

## 1 实验装置

实验在一个吸风式风洞上进行, 限于篇幅, 实验系统及测量方法参见文献 [4]。实验对一种三排翅片管换热器进行, 其中管径为 7.3 mm, 翅片材料为铝, 基管材料为铜。开缝片的几何结构如图 1 所示。

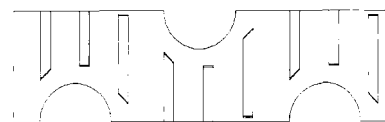


图 1 三排管开缝翅片结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of three-row slotted fins

## 2 数据处理

在实验工况下, 蒸汽凝结换热热阻只占传热过程总热阻的 5%~10%, 采用热阻分离法将空气侧换热系数从总传热系数中分离出来, 总热阻与分热阻

收稿日期: 2008-12-31; 修订日期: 2009-10-16

基金项目: 国家 973 项目 (No.G2007BC206602)

作者简介: 吴志根 (1979-), 男, 浙江衢州人, 博士, 主要从事强化换热、新型制冷工质循环及相变材料蓄热技术研究。

的关系式参见文献 [5], 在给定热流密度情形下管内蒸汽凝结换热系数参见文献 [6]。

### 3 实验结果与数值模拟

#### 3.1 实验结果

根据实验测量结果, 利用最小二乘法拟合得到三排管开缝翅片的换热和阻力性能的关联式:

$$Nu = 1.02Re^{0.469} \quad (1)$$

适用范围:  $500 < Re < 3200$ , 换热关联式 100% 的数据拟合偏差在  $\pm 5.0\%$  以内, 最大拟合偏差  $+4.54\%$ ,  $-4.64\%$ 。

$$f = 25.274Re^{-0.591} \quad (2)$$

适用范围:  $700 < Re < 3200$ , 阻力关联式 92% 的数据拟合误差在  $5.2\%$  以内, 最大拟合偏差  $+5.21\%$ ,  $-10.7\%$ 。

图 2 给出了管径为 7.3 mm 时开缝翅片的换热和阻力性能。从图中可以看出, 随  $Re$  增大,  $Nu$  增大,  $f$  减小。

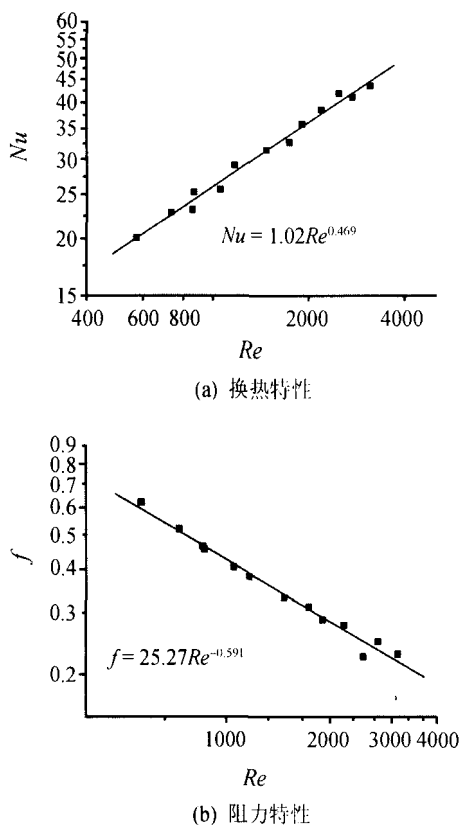


图 2 7.3 mm 管径三排管开缝翅片的换热和阻力特性  
Fig. 2 Heat transfer and fluid flow characteristics of 7.3 mm three-row slotted fins

#### 3.2 数值模拟

我们采用商业软件 Fluent 对所测试的空气翅片管传热与阻力特性进行了数值模拟。由于椭圆型的

控制方程, 在各边界上均需给出求解变量的边界条件。假设进口来流速度  $u$  为常量,  $v = w = 0$ , 温度  $T_{in}$  为常量。出口边界条件采用 Outflow。前后边界 ( $y$  方向) 除管子外为对称边界条件。上下边界 ( $z$  方向) 为周期性边界条件。为增加所设定的边界条件的适用性, 进出口分别延长 2 倍, 5 倍肋片长度。速度、温度场控制方程的对流项采用一阶迎风格式离散, 压力与速度的耦合计算采用 SIMPLE<sup>[8]</sup> 算法。

计算中与计算边界相邻的固体区, 黏度设为无穷大<sup>[7]</sup>, 同时计算网格中圆管采用阶梯型边界法逼近<sup>[8]</sup>。为保证界面热流连续, 固体与流体区中的导热系数采取各自的导热系数, 但固体区的比热容则采取与流体区比热容相同的值<sup>[8]</sup>。

计算结果与实验数据比较如图 3 所示。从图中可以看出两者符合很好, 最大偏差仅为 10%。

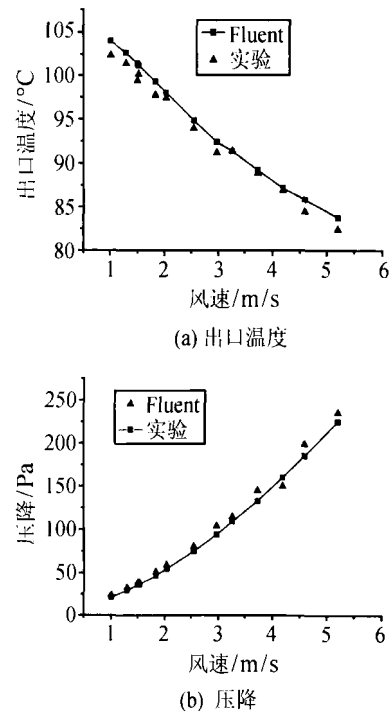


图 3 实验数据与 Fluent 计算结果比较  
Fig. 3 Comparison of experiment data and fluent computational results

### 4 开缝倾角对换热的影响

作者还采用自编程序对翅片表面的流动与传热特性进行模拟, 模拟中不考虑翅片开缝处的倾角, 用等效长度的直角端面来代替。同时我们也用 Fluent 软件计算了不带倾角的情形, 以便与自编程序结果相比较。计算结果汇总在图 4 中。由图可见翅片开缝的倾角对压降影响较大, 而对换热增强的影响相对较小, 换热量的增加不及压降及泵功消耗的增加更多。对于两种不带倾角的数值计算: Fluent 和自编

程序计算得到的压降和换热量的偏差 不大: 换热量偏差低于 5%, 压降低于 8%。从而验证了自编程序的可靠性。

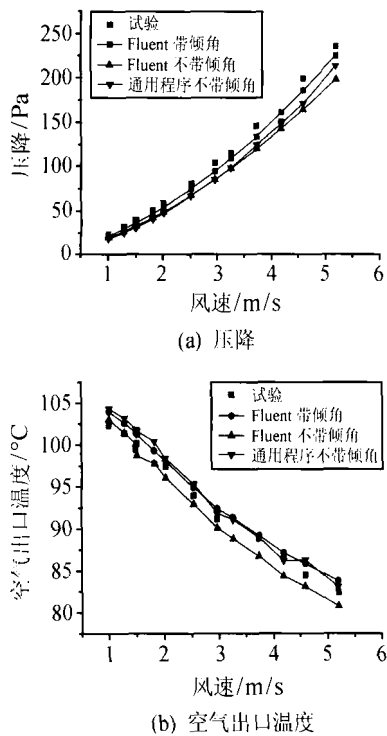


图 4 四种结果比较示意图

Fig. 4 Schematic diagram of four different methods

## 5 结 论

本文实验得出了 7.3 mm 管径的三排管开缝翅片管换热器的传热和阻力性能关联式, 用 Fluent 软件对该翅片管换热器进行了传热与阻力特性的预测, 所得结果与实验测定值相差均在 10% 以下; 同时采用自编程序与 Fluent 软件研究了开缝处倾角的影响, 发现倾角使压降增加的程度明显高于使传热量

增加的程度。

## 参 考 文 献

- [1] 李惠珍, 康海军, 辛荣昌, 等. 开缝翅片管换热器传热和阻力特性实验研究. 见: 全国高等学校工程热物理第四届学术会议论文集. 杭州: 浙江大学出版社, 1992. 277-280  
LI Hui-Zhen, KANG Hai-Jun, XIN Rong-Chang, et al. Experimental Study on Heat Transfer and Pressure Drop for Slotted Fin and Tube Heat Exchanger. In: National Universities Thermal Engineering for the Fourth Session of the Academic Papers. Hangzhou: Zhejiang University Press, 1992. 277-280
- [2] Wang C C, Lee W S, Sheu W J. A Comparative Study of Compact Enhanced Fin-and-Tube Heat Exchangers. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2001, 44(18): 3565-3573
- [3] Yun J Y, Lee K S. Influence of Design Parameters on the Heat Transfer and Flow Friction Characteristics of the Heat Exchanger with Slit Fins. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2000, 43(14): 2529-2539
- [4] 康海军, 李妮, 李惠珍, 等. 平直翅片管换热器传热和阻力特性的实验研究. 西安交通大学学报, 1994, 28(1): 91-98  
KANG Hai-Jun, LI Wu, LI Hui-Zhen, et al. Experimental Study on Heat Transfer and Pressure Drop for Plane Fin and Tube Heat Exchanger. J. of Xian Jiaotong University, 1994, 28(1): 91-98
- [5] 杨世铭, 陶文铨. 传热学. 第三版. 北京: 高等教育出版社, 1998. 313-319  
YANG Shi-Ming, TAO Wen-Quan. Heat Transfer. Third ED. Beijing: Higher Education Press, 1998. 313-319
- [6] Shah RK. Compact Heat Exchanger Surface Selection Methods. Toronto, Canada, 1978. 4: 193-199
- [7] 陶文铨. 数值传热学. 第二版. 西安: 西安交通大学出版社, 2001  
TAO Wen-Quan. Numerical Heat Transfer. Second ED. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2001
- [8] Qu Z G, Tao W Q, He Y L. Three Dimensional Numerical Simulation on Laminar Heat Transfer and Fluid Flow Characteristics of Strip Fin Surfaces with X-Arrangement of Strips. ASME J. Heat Transfer, 2004, 126(4): 697-707