

10 64-67

旋流器与旗形插入件的联合强化传热研究*

Study of Combined Heat Transfer Enhancement
with Swirl Flow Generator and Flag-Type Inserts

陈 礼
Chen Li

向 东
Xiang Dong

TK124

(重庆大学热力工程系, 重庆, 630044; 第一作者 51岁, 男, 博士, 教授)

A 摘要 实验研究了管内同时设置旋流器和旗形动态插入件时油类介质的换热及流阻特性。旋流器为长 100 mm、丝径 1.5 mm、节距 4 mm 的螺旋线圈。旗形件数目为 1~3 片。实验表明, 上述复合强化手段集中了两种元件的优点: 换热系数高而阻力损失不大, 且在层流区和紊流区都得到了强化。实验范围内综合判据之值高达 2.76。

关键词 强化传热; 旋流器; 旗形件; 实验

中国图书资料分类法分类号 TK124

ABSTRACT Experimental study of convection heat transfer in a horizontal circular tube with both swirl flow generator and flag-type inserts is performed. A piece of spring with the length of 100 mm, the wire diameter of 1.5 mm and the pitch of 4 mm is used to be the swirl flow generator. The number of flag-type inserts is 1~3. This combined method shows the advantages of both components, heat transfer can be greatly enhanced in laminar and turbulent region with small flag drag. The criteria to evaluate the effect of heat transfer and flow resistance can be as high as 2.76.

KEYWORDS heat transfer enhancement; swirl flow generator; flag-type inserts; experiment

0 引 言

在管内装设强化元件使对流换热得到强化的方法已被广泛采用。文献[1~3]指出螺旋线圈是一种有效的强化传热元件, 当雷诺数增大时在低雷诺数下 h/h_0 逐渐上升, 但在高雷诺数下却有所下降。此外, 流动阻力的增长率总是超过换热系数的增长率。旗形动态插入件是一种新型强化传热元件, 依靠自激摆动所造成的扰动强化传热, 换热系数的增长率远高于流阻的增长率, 且在高雷诺数下 h/h_0 呈上升趋势。强化效果尤为显著。文献[4]对后掠矩形及梯形元件作了比较性研究; 文献[5, 6]以 30° 透平油作工质研究了后掠梯形插入件后掠角及宽度的影响; 文献[7]在此基础上研究了采用多片旗形件时的传热及流动规律。上述研究证

* 收文日期 1995-09-04

四川省应用基础研究基金支持项目

明了旗形插入件在强化传热方面的优越性。其不足之处在于单片旗形件的强化倍数 h/h_0 有限。这两种元件显然各有其优缺点,若将其组合在一起可能充分发挥各自的优点;既获得很高的换热系数又使流阻不致过高,同时使 h/h_0 在层流和紊流区都呈增长态势。笔者目的即在于研究上述组合方式的传热及流阻规律,探索强化传热的一条新的途径。实验装置与文献[5]相同,工质仍为30°透平油。管入口设置一段螺旋线圈作为旋流器造成强烈的扰动,螺旋线圈之后一定距离处设置一片或多片旗形件。选择螺旋线圈几何尺寸的要求是强化效果较好而流阻不大,因此确定为长100 mm、丝径1.5 mm、节距4 mm。根据文献[5,6]的优选结果,旗形件确定为后掠梯形、后掠角为76(°)、长10 mm、宽22 mm、厚度为0.3 mm。旗形件铰接在 $\varphi 1.0$ mm的立柱上。

实验前作了光管试验,测定的换热系数和流阻与已知关系式吻合得很好。热平衡误差也小于5%。

1 实验结果及讨论

首先研究了单片旗形件放置在旋流器后不同位置的综合传热效果,以确定最佳位置。实验证明 h/h_0 与 $\Delta P/\Delta P_0$ 均随旗形件在旋流器后距离的增加而下降,但当相距100 mm时 h/h_0 下降不大而 $\Delta P/\Delta P_0$ 下降显著。因此单片旗形件及多片旗形件的第一片位置定在旋流器后100 mm处,第二和第三片则在其后均匀布置。

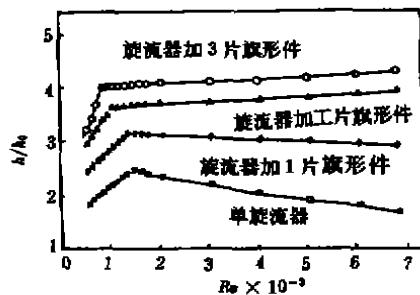


图1 旋流器加0~3片旗形件时雷诺数对强化倍数的影响($T_w = 80^\circ\text{C}$, $q = 8644 \text{ W/m}^2$)

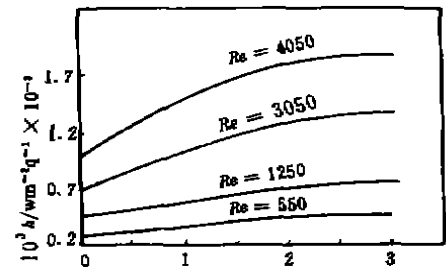


图2 旋流器后旗形件片数对换热的影

1.1 传热规律

图1表示旋流器与0~3片旗形件组合时雷诺数对 h/h_0 的影响。仅设置旋流器时 h/h_0 首先随 Re 的增加而上升,在 $Re = 1000$ 时达到最大值,然后缓慢下降,最后降到比曲线起始雷诺数对应的 h/h_0 还低的水平。尽管整条曲线的强化倍数较高但高 Re 数下的缺点亦十分明显。随着 Re 的升高流体自身不规则运动增强,依靠旋流器对边界层的破坏作用相对减弱,造成 h/h_0 的下降。加入一片旗形件后 h/h_0 的水平即大为改善,最高点由2.5上升到3.2,且转折点之后的下降趋势变得平缓。随着旗形件片数的增加 h/h_0 急剧上升,加入3片后 h/h_0 最高可达4.4;转折点 Re 逐渐提前;转折点之后的下降段逐渐平缓,在加入2片时变为上升,加入3片时该段上升趋势更加明显,从而弥补了旋流器的不足。图2表明旋流器后旗形件由单片增加到两片时换热系数增长很快,在高 Re 数下增长更快。由2片增加到3片时 h 的增长略小一

些。当前片的扰动还很大时后片的动作只能在前片扰动的基础上叠加一个不大的扰动,换热的增强不大。

综合实验数据,得到如下传热关系式: $Nu = 1.95 \cdot Re^{0.10} \cdot Pr^{0.87} \cdot (s/d)^{-0.93}$ (1)
适用范围: $500 \leq Re \leq 6857; 146 \leq Pr \leq 206; 8.3 \leq s/d \leq 12.5$ 。

定性温度为流体平均温度,管壁温度亦取平均值,特性尺度为管内径, s 为旗形件间距, s/d 即反映出旗形片片数的影响。图 3 系实验值与预测值的比较,偏差范围为 $\pm 10\%$ 。

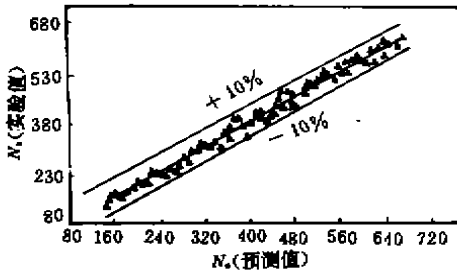


图 3 Nu 实验值与预测值的比较

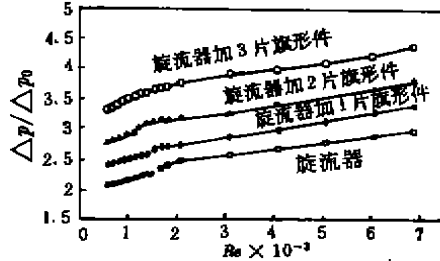


图 4 强化后压降之比与 Re 的关系 ($T_p = 80^\circ C$)

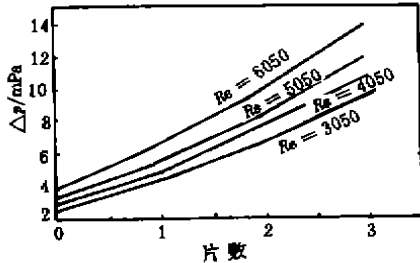


图 5 旋流器后设置旗形片数与流阻的关系

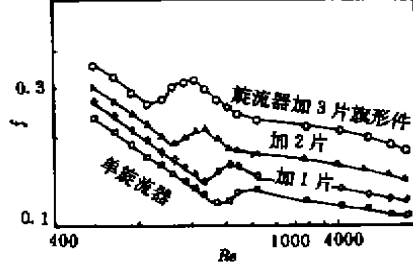


图 6 流阻系数 f 与 Re 的关系

1.2 流阻特性

图 4 表示组合强化前后压降之比与 Re 的变化关系。低 Re 下 $\Delta p/\Delta p_0$ 增长较为平缓,高 Re 数下增加稍快;旗形件为 1 和 2 片时 $\Delta p/\Delta p_0$ 的增长与只设置旋流器时相比增加不大,旗形件为 3 片时 $\Delta p/\Delta p_0$ 增长相对较大。总体说来 $\Delta p/\Delta p_0$ 增长不大,旗形件为 3 片时, $\Delta p/\Delta p_0$ 最大为 4.5,此时 h/h_0 亦为最大值 4.4,二者十分接近。仅设置旋流器时在 h/h_0 曲线的最高点 2.5 对应的 $\Delta p/\Delta p_0$ 约为 2.3;但在最大 Re 对应的 h/h_0 为 1.7 时, $\Delta p/\Delta p_0$ 却高达 2.9。旋流器在高 Re 下的明显缺陷已被组合方式所完全克服。图 5 显示的规律与此相同。

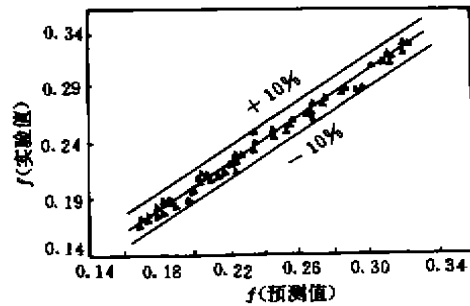


图 7 f 实验值与预测值的比较

图 6 系流阻系数 f 与 Re 的关系。低 Re 数时 f 首先随 Re 的增大而下降,而后又上升,形成一个转折点;在高 Re 数时 f 呈下降趋势。转折意味着流型的改变。几条曲线转折点的雷诺数范围为 $800 \sim 1500$;随旗形片片数的增多转折点不断提前,即临界雷诺数逐步减小。

由实验数据得到了流阻关系式: $f = 0.48 \cdot Re^{-0.181} \cdot Pr^{0.164} \cdot (s/d)^{-0.058}$ (2)
参数范围与式(1)相同, f 实验值与预测值的比较见图 7。

2 强化效果综合分析

根据文献[8],仍采用 $A = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) / \left(\frac{f}{f_0} \right)^{0.29}$ 作为评估强化传热综合效果的判据。本实验中该判据之值为 1.48 ~ 2.76,说明此种组合方式的优越性是明显的。下表系几种强化手段最大判据值 A_m 的比较:

强化手段	单片旗形件	只设置旋流器	3片旗形件	旋流器加3片旗形件
A_m	1.59	1.84	2.37	2.76

上表说明此种组合方式有推广价值。

3 结 论

1) 旋流器和旗形件组合时作到了优势互补,在层流和紊流区都得到很好的强化传热效果,而流阻的增长却不大。

2) 仅设置旋流器时在低 Re 下 h/h_0 随 Re 的增大而上升,高 Re 下却呈下降趋势,旗形件的加入使下降趋势变缓并逐渐变为上升;

3) 随着旗形件片数的增多,临界雷诺数逐渐减小;

4) 本实验的综合判据值在 1.48 ~ 2.76 之间,此组合方式具有明显的优点和应用价值。

符 号 说 明

d ——管内径 m ; ν ——粘度 $N \cdot S/m^2$; f ——流阻系数; Pr ——普朗特数;
 h ——试验段平均对流换热系数 $W/m^2 \cdot ^\circ C$; Nu ——努谢尔特数;
 q ——热流密度 W/m^2 ; n ——旗形件片数; T ——流体出口温度 $^\circ C$;
 Re ——雷诺数; ΔP ——压降 MPa ; S ——旗形件间距。

参 考 文 献

- 1 陈礼,张洪济,童明伟. 内插螺旋线圈时油类介质强化传热及流阻的实验研究. 见:中国高等学校工程热物理研究会主编. 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. 205~208
- 2 陈礼,江求固,雷军民. 螺旋丝径对内插螺旋线圈圆管内油类介质强迫对流的影响. 重庆大学学报, 1993, 16(3): 1~6
- 3 陈礼. 内插螺旋线圈的圆管内油类介质强化传热研究. 见:中国高等学校工程热物理研究会主编. 高等学校工程热物理第五届学术会议论文集. 北京:高等教育出版社, 1994, 556~558
- 4 Fernandez J L and Robert Poulton. Heat Transfer Enhancement by means of Flag-type Insert in Tubes. Int. J. of Heat Mass Transfer. 1987, 13(7): 2603~2608
- 5 向东,陈礼,陈清华. 旗形件后掠角对内插旗形动态件圆管内油类介质对流换热的影响. 重庆大学学报, 1995, 18(2): 68~73
- 6 陈礼,向东,陈清华. 旗形动态插入件宽度对管内油类介质对流换热的影响. 重庆大学学报, 1995, 18(4): 76~80
- 7 陈礼,向东. 多片旗形动态插入件强化传热研究. 重庆大学学报, 1995, 18(6): 57~61
- 8 顾维藻. 强化传热. 北京:科学出版社, 1990