

文章编号: 1006-7329(1999)03-0016-04

# 新型高效低阻外翅管的研究

12  
61-64

TU831.2

龙天渝<sup>1</sup>, 何川<sup>2</sup>

(1. 重庆建筑大学 城市建设学院 400045; 2. 重庆大学 工程热物理研究所 400044)

**摘要** 通过对外翅管绕流阻力及绕流谱的分析, 提出利用翅片的外伸作用对基管进行近体扰流增效减阻的方法。单管的实验研究证实, 选用合理的斜条扰流结构, 可使环翅管的绕流阻力降低40%, 换热增强10%。

**关键词** 流体力学; 换热器; 减阻 外翅管

**中图分类号** TU832.21

**文献标识码** A

外翅管是能源、化工、环保等行业换热设备的重要元器件。外翅管由圆管(基管)外壁上加装翅片构成。翅片大幅度地增加了管外换热表面积, 使外翅管具有外热阻低的特点。现代紧凑式气-液换热器大都采用外翅管作为基本换热元件。在翅型研究中, 人们习惯于从工艺条件和有效降低热阻的角度去寻求优化结构, 所研制出的外翅管大都具有绕流阻力大的特点, 使运行能耗处于较高的水平<sup>[1][2][3]</sup>。近年来, 由于热管技术的成熟、普及及管内肋化水平的提高, 外翅管有向片距密集化发展的趋势, 降低流阻已成为外翅技术发展及推广应用的迫切需要。本文从分析外翅管绕流阻力构成因素及绕流谱入手, 提出利用翅片的外伸作用对基管进行近体扰流, 以改善绕流谱、降低绕流阻力, 同时强化换热的方法, 并介绍了就等截面环翅管的扰流方案及扰流工艺参数所开展的实验研究。

## 1 近体扰流减阻思想

外翅管绕流阻力可分为沿翅片的摩擦阻力、绕基管的摩擦阻力、绕基管的压差阻力及绕翅片与基管结合部所形成的附加阻力等四个部分。沿翅片的摩擦阻力在很大程度上可按纵绕平板考虑, 其数值约占总阻力的20%~30%; 绕基管的摩擦阻力很小, 约占总阻力的1%; 基管属非流线形物体, 横绕基管的流动必然在其后部分离, 形成压差阻力, 其大小和分离点的位置密切相关。若以基管外径作为特征尺度, 以基管迎流平均流速作为特征速度定义雷诺数, 则在亚临界雷诺数下绕基管的流谱如图1(a)所示<sup>[4]</sup>, 此时基管前部的绕流边界层呈层流态, 分离点约在距前缘 $\theta = 80 \sim 85^\circ$ 范围, 分离区域宽, 对应的压差阻力大, 其数值约占外翅管绕流总阻力的60%~70%; 超临界雷诺数下, 基管前部的绕流边界层转换为紊流态, 因紊流具有强烈的横向掺混作用, 使流动分离点后移至 $\theta = 110 \sim 135^\circ$ , 形成的绕流谱如图1(b)所示<sup>[4]</sup>。因其分离区变窄, 压差阻力相应下降。绕基管流动的总阻力(包括摩擦阻力和压差阻力两部分)如图2实线所示<sup>[4]</sup>, 亚临界雷诺数下阻力系数约为1.2, 超临界雷诺数时却降至0.4, 可见边界层内流态变化对基管绕流阻力的影响是明显的。临界雷诺数约为 $2 \times 10^5$ 。大多数工业气流雷诺数仅为 $10^3 \sim 10^4$ 数量级, 属亚临界雷诺数范围。然而, 气流的受扰强度对临界雷诺数可产生强烈的影响<sup>[5]</sup>。当气流受到一定强度的扰动时, 基管前部的绕流边界层将在较低雷诺数下转换为紊流, 其阻力曲线如图2虚线所示。在稀片距外翅管束绕流中, 深层管因

收稿日期: 1998-09-14

基金资助: 重庆市优秀中青年科技专家基金资助项目

作者简介: 龙天渝, (1960-), 女, 重庆人, 重庆建筑大学博士, 副教授, 主要从事流体力学研究。

受到前排管的尾流涡流的扰动影响,可自动实现这种“扰激低阻”效应。当片距加密时,来自前排管的尾流扰动被外伸翅片平抑,基管处的绕流处于典型的亚临界状态。

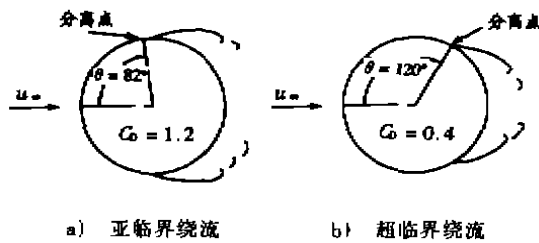


图 1 圆管外绕流图谱

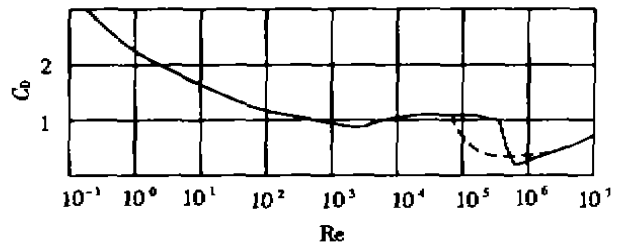


图 2 圆管外绕流阻力系数随雷诺数变化<sup>[4]</sup>

翅片与基管结合区域流速相对较低,翅片具有平抑气流扰动、迫使基管作剪切绕流的作用<sup>[6]</sup>,由此产生的附加阻力约占总阻力的 10%。

笔者认为,在常见工业气流状况及雷诺数范围内,翅片的外伸夹挤既有平抑外来气流扰动、增加摩擦阻力、产生附加阻力的作用,也具备对基管进行近体扰流、以改善其绕流流谱、降低压差阻力的条件。从发掘外翅的这种潜能入手,可望在现有翅型基础上研制出具有较低流阻、适于片距密集化的新型绕流外翅管。

以等截面环翅管为例,可在基管前迎流翅片上装一小矩形绊条作为近体扰流元(工业化生产中可用冲翻工艺实现,不会增加工艺难度),气流经过绊条时,绊条的锐缘将诱发出定点分离涡,使气流受到扰动,该扰动若能有效地影响基管绕流边界层,则可实现图 3 所示的扰流流动图谱,降低绕基管的压差阻力,使总阻力下降。同时,因气流扰动增加,换热亦可相应增强。

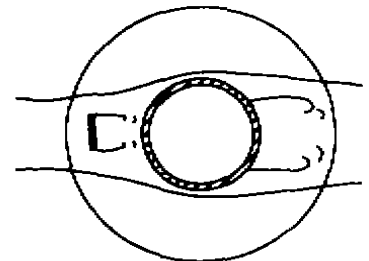


图 3 环翅管近体扰流流动图谱

## 2 实验研究

依据上述近体扰流减阻思想,我们就等截面环翅管加绊条的扰流方案及具体扰流工艺参数进行了实验研究。

实验在立式开路低速风洞中进行。实验元件如图 4 所示。基本元件为常规等截面环形套翅管,扰流元件为迎流翅片上的矩形小绊条。

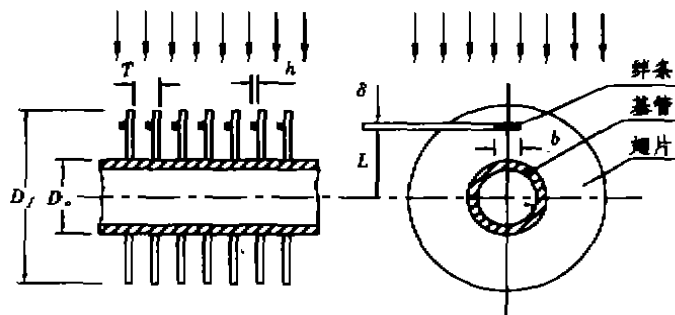


图 4 试验元件结构示意图

实验结果作无因次化处理,各无因次量定义为:

流阻系数  $C_D = F_D / 2\rho U_\infty^2 A$

雷诺数  $Re = U_\infty D_0 / \gamma$

努塞尔数  $Nu = \alpha D_0 / K$

相对高度  $\bar{h} = h / T$

相对厚度  $\bar{\delta} = \delta / (D_0 / 2)$

式中  $\rho$ ——流体密度；

$D_0$ ——基管外径；

$T$ ——翅片间距；

$\alpha$ ——换热系数；

$h$ ——绊条高度；

$b$ ——绊条宽度；

$\delta$ ——绊条厚度。

安装距离  $\bar{L} = L / (D_0 / 2)$

相对宽度  $\bar{b} = b / D_0$

$F_0$ ——绕流总阻力；

$U_\infty$ ——来流断面平均流速；

$\gamma$ ——流体运动粘性系数；

$K$ ——材料导热系数；

$A$ ——环翅管迎流截面积；

$L$ ——绊条安装中心距；

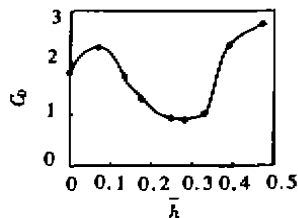
对测量值作如下修正<sup>[6]</sup>：

$$\frac{U_{mc}}{U_\infty} = 1 + \frac{1}{4} C_D \left(\frac{D_0}{H}\right) + \frac{\pi^2}{12} \left(\frac{D_0}{H}\right)^2 \quad (1)$$

$$\frac{C_{DC}}{C_D} = 1 - \frac{1}{2} C_D \left(\frac{D_0}{H}\right) + \frac{\pi^2}{4} \left(\frac{D_0}{H}\right)^2 \quad (2)$$

式中，下标  $C$  表示修正后的参数， $H$  为风洞实验段宽度。实验所取雷诺数范围为  $10^3 \sim 2 \times 10^4$ 。

初步实验发现，矩形绊条的高度、宽度、厚度及安装距离均对流阻产生影响。图 5 给出绊条相对高度变化影响流阻的实测值。由图 5 可以看出，在合理的绊条结构作用下，阻力系数由 1.8 降至 0.8，低于相同雷诺数下光管的阻力系数值 1.2，说明近体扰流减阻是可行的。



$\bar{L} = 0.75$     $\bar{b} = 0.5$     $\bar{\delta} = 0.04$

图 5 扰流绊条高度对绕流阻力的影响

表 1 影响因素水平表

因素名称	符号	一	二	三	四	五
安装距离	$\bar{L}$	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90
相对高度	$\bar{h}$	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
相对宽度	$\bar{b}$	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
相对厚度	$\bar{\delta}$	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12

在初步实验的基础上，分别对绊条的相对高度、相对宽度、相对厚度及安装距离等四个影响因素选取五个不同水平(见表 1)，按正交试验方法<sup>[7]</sup>找出在宽广雷诺数范围内具有稳定减阻效果的最佳绊条结构，并按此结构进行了阻力和换热的多次实验验证，实验结果示于图 6、图 7。可以看出，

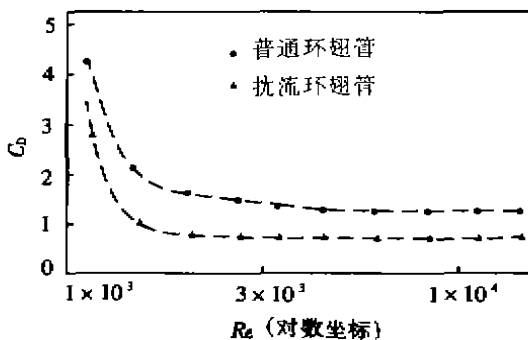


图 6 绕流阻力系数对比关系

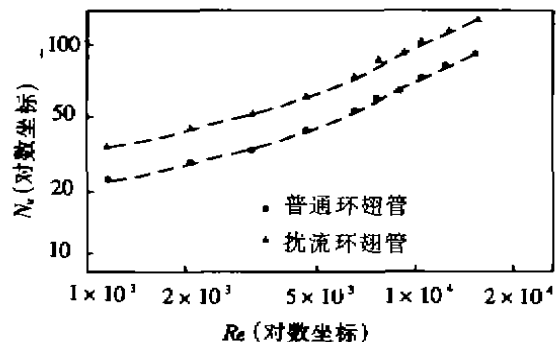


图 7 横绕环翅管换热对比关系

实验范围内的最佳绊条结构可对外翅管产生稳定的近体扰流减阻效果，减阻率可达 40%，换热增

强约 10%。

### 3 结 论

- 1) 提出的近体扰流方法可在常见工业雷诺数范围内降低外翅管的绕流阻力, 减阻效果可达 40%, 同时, 换热可强化 10%。
- 2) 安装的减阻近体扰流元件存在最佳化结构, 扰流减阻效果与该结构密切相关。

#### 参 考 文 献

- [1] (日)尾花英朗编, 徐忠权译. 热交换器设计手册[D]. 北京: 石油工业出版社, 1981
- [2] (苏)A. A. 茹卡乌斯卡斯著, 马昌文等译. 换热器内的对流换热[M]. 北京: 科学出版社, 1986
- [3] 卓 宁, 孙家庆编. 工程对流换热[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982
- [4] H. 史里希廷著, 徐燕侯等译. 边界层理论[M]. 北京: 科学出版社, 1988
- [5] F. N. Frenkiel. Structure of turbulence and drag reduction[J]. Phys. of Fluids. 20(10):1~29, 1977
- [6] U.C. Goldberg. Near-wall model for separated turbulent flows. [J] J. Fluid Eng. 14(4): 691~697, 1992
- [7] 中国科学院数学研究所数理统计组. 正交试验法[M]. 北京: 人民出版社, 1975
- [8] 张远君. 流体力学大全[M]. 北京: 航天航空大学出版社, 1991

## The Study for Reducing Drag of Fluid Flow Past an External Fins Pipe

LONG Tian-yu<sup>1</sup>, HE Chuan<sup>2</sup>

(1. Faculty of Urban Consturction Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045, China; 2. Institute of Engineering Thermophysics, Chongqing University, 400044, China)

**Abstract** This paper proposes a new way to reduce the drag of the fluid flow past a external fins pipe. If a little rectangular leaf is suitably installed upstream of the base pipe of the external fins pipe, not only the drag will be reduced, but also the heat transfer will be enhanced in a suitable range of Reynolds number. An experimental investigation showed that compared with a general external fins pipe, the new way can reduce the drag more than 40% and enhance the heat transfer about 10% meanwhile.

**Key Words** fluid mechanics; heat exchanger; drag reduction