

81-86

第33卷第1期

机械工 程 学 报

Vol.33 No.1

1997年2月

CHINESE JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

Feb. 1997

整体式翅片管换热器传热和阻力性能的研究*

李 妩 陶文铨[✓] 康海军 李惠珍 辛荣昌

(西安交通大学能源与动力工程学院 710049)

摘要 通过对我国空调行业常用的4种整体式翅片管换热器系统的试验研究, 得出了工业应用 R_e 范围内($R_e < 5000$)换热和阻力的综合关联式。并对翅片表面性能作了综合性评价, 为优化设计提供了科学依据。

关键词: 翅片管 换热器 翅片间距 管排数

中图分类号: TK172

0 前言

整体式翅片管在空调、制冷、化工等工业领域有着广泛的应用。为了节省能源, 常在平直板翅片表面开设槽缝或采用波纹形板以强化传热。例如, 我国空调工业目前常用的翅片形式有: 平直翅片、开缝翅片、三角形波纹翅片和正弦波纹翅片等, 但均缺乏其传热和阻力特性。对我国OAK生产线生产的4种整体式翅片管束, 在3种管排数和翅片间距下的36个试件进行了较系统的传热和阻力特性试验, 得出了传热和阻力的综合关联式, 并对4种翅片表面性能进行综合评价, 为优化设计整体式翅片管换热器提供科学依据。

1 试验研究方法

采用整体模拟法测定在一定管排数下, 翅片管束的平均换热系数。试验系统采用空气-蒸汽凝结系统。试验装置、测量系统和翅片形式参见文献[1~4]。翅片管的结构参数为: 基管内径 $d_1 = 9.33$ mm; 基管外径 $d_2 = 10.15$ mm; 翅根直径 $d_3 = 10.55$ mm; 翅片厚度 $\delta = 0.2$ mm; 翅片间距 s 分别为2.0、2.6、3.2 mm; 基管材料为紫铜; 翅片材料为铝合金。

管束的排列方式为叉排。横向管间距 $s_1 = 25$ mm; 纵向管间距 $s_2 = 21.65$ mm。管排数 N 分别为2、3、4排。试件编码中, 第1位数字表示管排数, 第2位用字符表示翅片形式—以P表示平直翅片、K表示开缝翅片、S表示三角形波纹翅片、Z表示正弦波纹翅片, 第3位数字表示翅片间距。

试验数据均在工况稳定后测定, 包括阻力数据和换热数据, 热平衡偏差在 $\pm 5\%$ 以内。

* 机械工业部科学技术基金资助课题。19940815收到初稿

空气侧换热系数 α_a 采用热阻分离法, 从总传热热阻中分离出来^[1~4]。翅片与基管间的接触热阻包括在空气侧换热系数中。

努谢尔特数 Nu 、传热因子 j 、雷诺数 Re 、阻力系数 f 取如下定义

$$Nu = \frac{\alpha_a d_3}{\lambda} \quad j = \frac{Nu}{Re Pr^{1/3}}$$

$$Re = \frac{u_{\max} d_3}{\nu} \quad f = \frac{2\Delta p}{\rho u_{\max}^2 L / d_3}$$

式中 u_{\max} ——最窄截面处空气的流速
 Δp ——气流沿流程长度的总压降
 L ——沿流动方向翅片长度

2 试验结果的分析

翅片管换热器的换热和阻力特性, 除与 Re 有关外, 还与翅片的表面结构形式、翅片的几何参数、翅片管束的布置等因素有关。试验结果表明, 对同一种翅片形式及管束布置, Re 对换热的影响最强, 其次是翅片间距和管排数。而翅片间距对阻力的影响比 Re 大。

2.1 Re 的影响

整体式翅片管换热器翅片侧的流动情况很复杂。 Re 较小时, 主要是边界层流动。随着 Re 的增大, 气流速度加快, 管子诱发产生的涡流强度加大, 旋涡数量增多, 局部换热系数 α_a 分布图上的峰值从一个增加到了两个或更多, 流动粘滞力减小, 流体旋涡受到的阻尼变弱, 并在翅片尾部区出现局部换热系数的峰值^[5]。因而, Re 增加时换热强度增大。

阻力系数 f 随 Re 的增大而逐渐降低。翅片管束中, 每排管对横向气流的流动阻力主要取决于换热表面的扩展程度, 以及沿主流方向上相邻管和翅片之间所形成的容积大小, 因而 Re 对阻力系数 f 的影响程度比翅片间距要小。

2.2 翅片间距的影响

在 $Re < 5\,000$ 时, 对 4 种翅片表面, 3 种管排数在不同翅片间距下的实验结果表明^[1~4]; 随着翅片间距 s 的增加, 单位管长的换热量是降低的, 对平直翅片和三角形波纹翅片, 其翅片间距对换热的影响相对较小。这是因为 Re 较小时, 边界层流动起主导作用, 而当翅片间距减小时, 在同一通道中两翅片表面上的边界层将产生一定的相互干扰, 从而使换热增强。

Re 相同时, 翅片间距越小, 阻力系数 f 越大。这由于沿流动方向的相邻管与翅片之间所形成的容积减小, 在相同的平均流速下, 速度梯度增大, 流体的粘性力大, 因而流动阻力增加。

2.3 管排数的影响

$Re < 5\,000$ 时, 对 4 种翅片表面, 3 种翅片间距在不同管排数下的实验结果表明: 随着管排数的增加, 换热性能降低。 Re 较低时, 沿第一排管绕流的边界层发展是影响换热的主要因素, 流体旋涡所起的作用较小。对于第二排管, 由于受来自上游流体的影响, 流体的旋涡作用成为影响换热的主要因素, 旋涡区的强度比第一排管相对削弱。因而随管排数增加,

换热性能将下降。

翅片间距相同时，不同管排数的阻力系数相当接近。这是由于流体在叉排布置的翅片管束中的流动是一种复杂的周期性流动，在流体流过第一排翅片管以后，可认为已进入充分发展阶段，从第二排起流过每排管的压降是相同的。所以，本文给出的阻力系数是折算到每排管子的值。

2.4 换热和阻力的综合关联式

对 4 种整体式翅片管换热器，共 36 个试件的试验数据拟合得出了换热和阻力的综合关联式，见表 1 和表 2，并被图示成图 1 和图 2。

表 1 换热综合关联式

翅片形式	换热关联式	雷诺数 Re	最大拟合偏差 $\Delta/\%$	均方根误差 $\delta_{rms}/\%$
平直形	$Nu = 0.982Re^{0.424} \left(\frac{s}{d_3}\right)^{-0.0887} \left(\frac{N \cdot s_2}{d_3}\right)^{-0.1590}$	700~5 000	+9.9 -8.5	2.34
开缝形	$Nu = 0.772Re^{0.477} \left(\frac{s}{d_3}\right)^{-0.3630} \left(\frac{N \cdot s_2}{d_3}\right)^{-0.2170}$	500~5 000	+11.3 -11.2	4.45
三角形 波纹形	$Nu = 0.687Re^{0.518} \left(\frac{s}{d_3}\right)^{-0.0935} \left(\frac{N \cdot s_2}{d_3}\right)^{-0.1990}$	580~5 000	+11.9 -10.0	3.88
正弦 波纹形	$Nu = 0.274Re^{0.556} \left(\frac{s}{d_3}\right)^{-0.2020} \left(\frac{N \cdot s_2}{d_3}\right)^{-0.0372}$	700~5 000	+10.9 -10.0	2.40

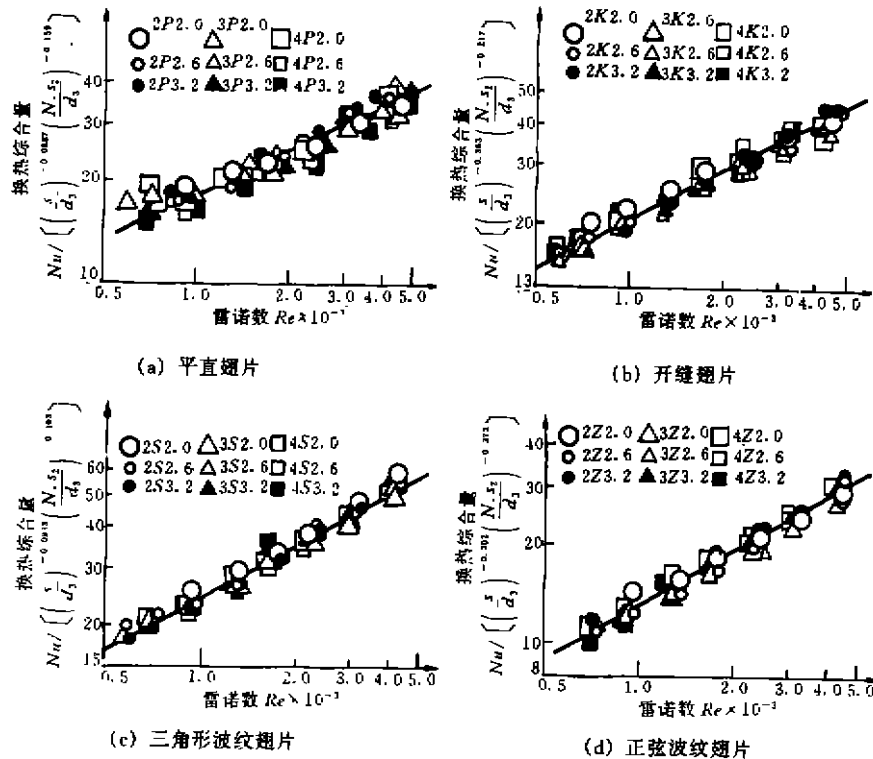
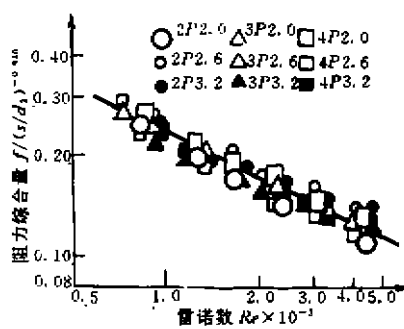


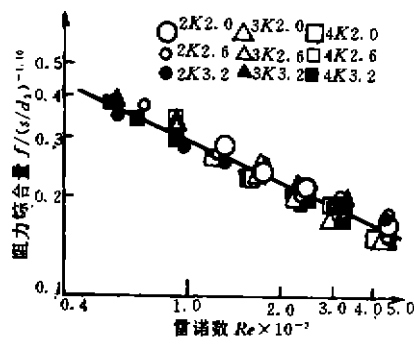
图 1 换热性能综合影响关系曲线

表2 阻力综合关联式

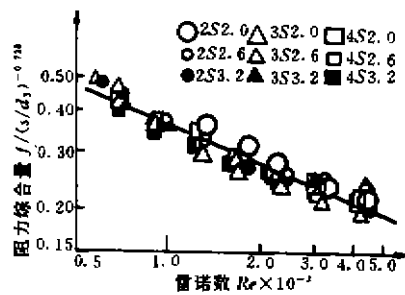
翅片形式	阻力关联式	雷诺数 Re	最大拟合偏差 $\Delta/\%$	均方根误差 $\delta_{rms}/\%$
平直形	$f = 5.504 Re^{-0.454} \left(\frac{s}{d_3}\right)^{-0.840}$	700~5 000	+10.3 -13.1	3.33
开缝形	$f = 5.541 Re^{-0.426} \left(\frac{s}{d_3}\right)^{-1.100}$	500~5 000	+10.8 -10.8	5.12
三角形 波纹形	$f = 5.440 Re^{-0.392} \left(\frac{s}{d_3}\right)^{-0.736}$	580~5 000	+13.1 -12.8	4.30
正弦 波纹形	$f = 3.400 Re^{-0.353} \left(\frac{s}{d_3}\right)^{-0.900}$	700~5 000	+10.9 -9.98	2.24



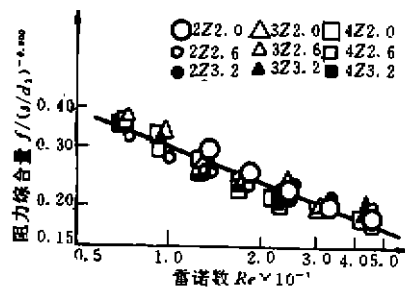
(a) 平直翅片



(b) 开缝翅片



(c) 三角形波纹翅片



(d) 正弦波纹翅片

图2 阻力性能综合影响关系曲线

2.5 翅片管换热器的性能比较

对所研究的4种整体式翅片管换热器,以翅片间距 $s = 2.6 \text{ mm}$ 和管排数 $N = 4$ 时为例,它们的换热和阻力性能的比较见图3。当 $Re = 2\ 000$ 时,从换热性能看:K形翅片最好,且比平直翅片高52.9%,其次是Z形和S形,分别比平直翅片高34.8%和32.3%。阻力系数 f 也是K形最高,比平直翅片高55.8%,其次为Z形和S形,分别比平直翅片高25.9%和

19%。

开缝翅片的换热强度比其他 3 种翅片高，这是由于在翅片表面开设槽缝后，扰动了边界层的发展，不仅使流动紊流增强，而且边界层不再沿流动方向连续发展而增厚，而是在槽缝处被破坏，造成流动边界层的间歇发展。这使开缝翅片的换热强度增大，但开设槽缝又必然会使阻力增加。因此，必须从换热和阻力综合性能来评价换热器的性能。

采用不同的评判准则，可得出不同的结论。下面以 $j/f \sim Re$ 和单位泵功的换热性能 $Nu \sim fRe^3$ 二种方法来评判翅片表面的性能。按第一种方法评判得出：S 形翅片性能最好，其次是 Z 形，K 形翅片性能最差，参看图 4。以 $Re = 2\ 000$ 为例，S 形翅片的 (j/f) 比 K 形高 13.3%，比 P 形高 11.2%。若按第二种方法作为评判准则见图 5，以 K 形翅片最好，其次为 Z 形和 S 形，P 形最差。它们分别比平直翅片高 40%、34% 和 22%。

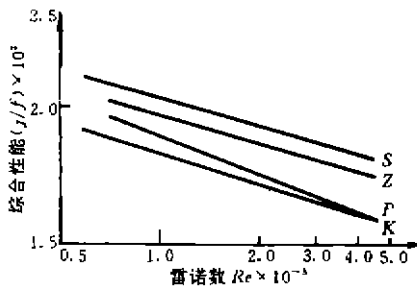


图 4 换热器表面 j/f 性能比较

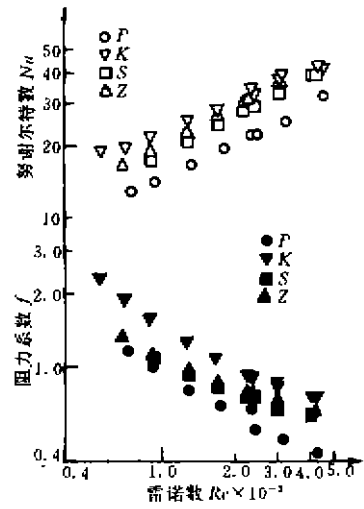


图 3 4 种翅片管换热器性能比较
($s = 2.6\text{ mm}$, $N = 4$)

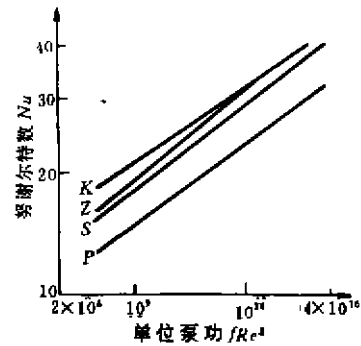


图 5 单位泵功下换热性能比较

3 结论

(1) 揭示出 Re 、翅片间距和管排数对整体式翅片管换热器性能的影响。得出了 $Re < 5\ 000$ 时换热和阻力综合关联式。

(2) 采用 (j/f) 衡量翅片表面性能时，以三角形波纹翅片最好；以单位泵功下的换热性能为评判准则，则开缝翅片最佳。

参 考 文 献

1 康海军、李旣、李惠珍等. 平直翅片管换热器传热与阻力特性的试验研究. 西安交通大学学报, 1994, 28(1): 91~98

- 2 辛荣昌, 李惠珍, 康海军等. 三角形波纹翅片管换热器传热与阻力特性的试验研究. 西安交通大学学报, 1994, 28 (2): 77~83
- 3 李惠珍, 李旻, 辛荣昌等. 正弦波纹翅片管换热器传热和阻力特性的试验研究. 流体工程, 1992, 20 (12): 55~59
- 4 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试验研究. 见: 全国高等学校工程热物理第四届学术会议论文集. 杭州, 1992, 杭州: 浙江大学出版社, 1992: 277~280
- 5 Saboya F E M, Sparrow E M. Local and average heat transfer coefficients for one - row plate fin and tube heat exchanger configurations. J. heat transfer, 1974, 96: 265~272

EXPERIMENTAL STUDY ON HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP CHARACTERISTICS FOR FIN - AND - TUBE HEAT EXCHANGERS

Li Wu Tao Wenquan Kang Haijun Li Huizhen Xin Rongchang
(*Xi'an Jiaotong University*)

Abstract The heat transfer and pressure drop characteristics for four types of plate fin - and - tube heat exchangers widely used in air conditioning industry in China are investigated experimentally. The airside heat transfer and pressure drop correlations are obtained in the Reynolds number range from $5 \times 10^2 \sim 5 \times 10^3$, which is commonly encountered in industrial application. A comprehensive analysis and evaluation of heat transfer performance are performed. It is believed that the correlations and the performance evaluation results presented will be very helpful in the optimum design of heat exchangers.

Key words: Fin tube Heat exchanger Fin spacing Number of tube row

作者简介 李旻, 1937年12月出生, 西安交通大学能源与动力工程学院教授。主要从事传热强化、凝结与沸腾换热和高效换热器等方向科学研究工作, 曾在国内外期刊、学术会议上发表论文30余篇。