

空气横掠翅片管束管外放热系数实验

一、实验目的

- 1.了解热工实验的基本方法和特点;
- 2.学会翅片管束管外放热和阻力的实验研究方法;
- 3.巩固和运用传热学课堂讲授的基本概念和基本知识;
- 4.培养学生独立进行科研实验的能力;

二、实验内容

- 1.熟练实验原理和实验装置,学习正确使用测温度、测压差、测流速、测热量等仪表。
- 2.正确安排实验,测取管外放热和阻力的有关实验数据。
- 3.对实验设备,实验原理,实验放案和实验结果进行分析和讨论。

三、实验原理

1.翅片管是换热器中常用的一种传热元件,由于扩展了管外传热面积,故可使光管的传热热阻大大下降,特别使用于气体侧换热的场合。

2.空气(气体)横向流过翅片管束时的对流放热系数除了与空气流速及物性有关以外,还与翅片管束的一系列几何因素有关,其无因次函数系数可表示如下:

$$N_u = f(R_e, P_r, \frac{H}{D_o}, \frac{\delta}{D_o}, \frac{B}{D_o}, \frac{P_1}{D_o}, \frac{P_2}{D_o}, N)$$

式中: $N_u = \frac{\alpha \cdot D_o}{\gamma}$ 为 Nusselt 数;

$$R_e = \frac{D_o \cdot U_m}{\gamma} = \frac{D_o \cdot G_m}{\eta} \text{ 为 Renolds 数;}$$

$$P_r = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{C \cdot \mu}{\lambda} \text{ 为 Prandtl 数}$$

H、 δ 、B 分别为翅片高度、厚度和翅片间距;

P、 P_1 为翅片管的横向管间距和纵向管间距; N 为流动方向的管排数;

D_o 为光管外径, U_m 、 G_m 为最窄流通截面处的空气流速 (m/s) 和质量流速。
($\text{kg}/\text{m}^2 \text{ s}$) 且 $G_m = U_m \cdot \rho$

λ 、 ρ 、 μ 、 γ 、 α 为气体的特性值。

此外,放热系数还与管束的排列方式有关,有两种排列方式,顺排和叉排,由于在叉排管束中流体的絮流度较大,故其管外放热系数会高于顺流的情况。

对于特定的翅片管束,其几何因素都是固定不变的,这时,式(1)可简化为:

$$N_u = f(R_e, P_r) \quad (2)$$

对于空气, P_r 数可看作常数,故

$$N_u = f(R_e) \quad (3)$$

式(3)可表示成指数方程的形式

$$N_u = C R_e^n \quad (4)$$

式中, C、n 为实验关联式的系数和指数。这一形式的公式只适用于特定几何条件下的管束,为了在实验公式中能反映翅片管和翅片管束的几何变量的影响,需要分别改变几何参

数进行实验并对实验数据进行综合整理。

四、实验设备

实验的翅片管束安装在一台低速风洞中——实验装置和测试仪表如图 1 所示。试验由有机玻璃风洞，加热管件、风机支架、测试仪表等六部分组成。

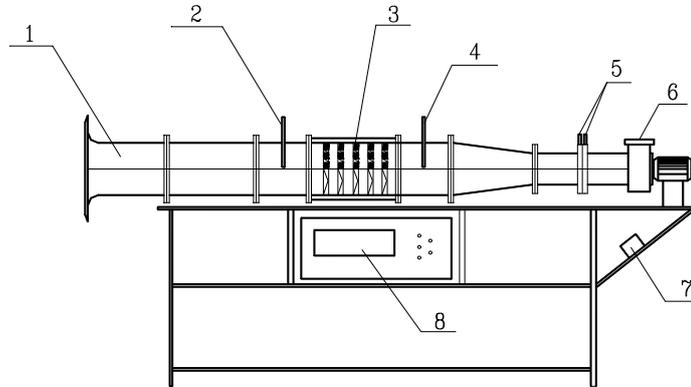


图 1 实验装置

- 1 吸入管 2 管束前测压管 3 实验管段 4 管束后测压管 5 测压管 6 风机
7 风机控制盒 8 控制箱

有机玻璃风洞由带整流隔栅的入口段，整流丝网、平稳段、前测量段、工作段、后测量段、收缩段、测速段、扩压段等组成。工作段和前后测量段的内部横截面积为 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 工作段的管束及固定管板可自由更换。翅片管束的几何特点如表 1 所示。

表 1

翅片管 内径	翅片管 外径	翅片 高度	翅片 厚度	翅片 间距	横向管 间距	纵向管 间距	管排数
D_i	D_o	H	δ	B	P_t	P_l	N
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
16	20	9.7	0.2	2.7	50	50	5

4 根试验热管组成一个横排，可以放在任何一排的位置上进行实验。一般放在第 3 排的位置上，因为实验数据表明，自第 3 排以后，各排的放热系数基本保持不变了。所以，这样测求的放热指数代表第 3 排及以后各排管的平均放热系数。

试验热管的加热段由专门的点加热器进行加热，点加热器的电功率由电流、电压表进行测量。每一支热管的内部插入一支进口高精度温度传感器用以测量热管内温度

空气流的进出口温度由温度传感器如口处安装四个，出口处可安装四个，以考虑出口截面上流温度的不均匀性。空气流经翅片管束的压力降由高灵敏度压差传感器测量，管束前后的静压侧孔都是四个，均布在前后测量段的壁面上。空气流的速度和流量由安装测速段孔板测量。

五、实验步骤

- 1、熟悉实验原理，实验设备
- 2、调试检查测温、测速、测热等各仪表，使其处于良好工作状态；
- 3、接通电加热器电源，将电压控制在 10v ，予热 $5\sim 10$ 分钟后，开动引风机，注意到引风机需在空载或很小的开度下启动；
- 4、调整引风机，来控制实验工况的空气流速，一般，空气风速应从小到大逐渐增加，实验中，根据毕托管压差读值，可改变 $6\sim 7$ 个风速值，这样，就有 $6\sim 7$ 个实验工况；

5、测量的记录，将测量的量整齐地记收予先准备好的数据记录表格中。

6、进行实验数据的计算和整理，将结果逐项记入数据整理表格中。在整理数据时，可以用手算程序，也可以用予先安排好的计算机程序。

7、对实验结果进行分析和讨论。

应注意，当所有工况的测量结束以后，应先切断电加热器电源，待 10 分钟后，再关停引风机。

六、数据整理

数据的整理可按下述步骤进行：

1、算风速和风量（本机已计算好）

测量截积的风速

$$U_{\text{测}} = \sqrt{\frac{2g\Delta h}{\rho}} \quad (8)$$

其中：压差 Δh mm 水柱或 kgf/m²

空气密度 ρ kg/m³

$$\text{单位换算系数 } g=9.8 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{kgf} \cdot \text{s}^2}$$

故得出速度的单位为 m/s

$$\text{风量： } M_a = U_{\text{测}} \times F_{\text{测}} \times \rho_{\text{测}}$$

其中：测量截面积 $F_{\text{测}}=3 \times 0.075^2 \text{ m}^2$ ，测量截面处的密度由出口空气温度 T_{n2} 确定。

2、空气侧吸热量：

$$Q_1 = M_a \times C_{pa} \times (T_{a2} - T_{a1})$$

3、电加热器功率

$$Q_2 = I \times V$$

4、加热器箱体温度很低，散热量小，可由自然对流计算

$$Q_3 = \alpha_c \times F_b \times (T_{\omega} - T_o)$$

此处， α_c 为自然对流散热系数，可近似取 $\alpha_c = 5 \text{ w/m}^2 \cdot \text{°C}$ 进行计算； F_b 箱为箱体散热面

积， T_{ω} 箱体温度， T_o 为环境温度。

5、计算热平衡误差

$$\frac{DQ}{Q} = \frac{Q_1 - (Q_2 - Q_3)}{Q_1} \quad (10)$$

6、计算翅片管束最窄流通截面处的流速和质量流速

$$U_m = \frac{U_{\text{测}} \times F_{\text{测}}}{F_{\text{窄}}} \quad \text{m/s}$$

$$G_m = U_m \times \rho \quad \text{kg/m}^2 \times \text{s}$$

7、计算 Re 数

$$Re = \frac{D_o G_m}{\mu} \quad (11)$$

8、翅片管束放热系数

$$a = \frac{Q_1}{A \cdot (T_v - T_a)} \quad w/m^2 \cdot ^\circ C \quad (12)$$

A _____ 翅片管束换热面积, m^2 ;

T_v _____ 管壁平均温度, $^\circ C$;

T_a _____ 翅片管前后流体的平均温度, $^\circ C$ 。

9、计算 $Nu = \frac{aD_i}{\lambda}$

10、将计算出来的各实验点的 Re 和 Nu 数标绘在双对数坐标图上, 由图可以直观地看出实验点的分布规律, 用最小二乘法确定式 (4) 中的系数 C 和 n , 根据 C 和 n 将代表线描绘在双对数坐标图上, 并与实验点进行比较。

11、空气流过管束的阻力 ΔP 一般随 Re 数的增加而急剧增加, 同时, 与流动方向上的管排数成正比, 一般用下式表示

$$\Delta P = f \cdot \frac{NG_m^2}{2g\rho} \quad (13)$$

七、讨论

- (一) 测求的管外放热系数 α 包括了几部分热阻?
- (二) 所求实验公式的应用条件和范围是什末?
- (三) 每支实验热管的管内温度 T_v 不尽相同, 这对放热系数 α 的精确性有何影响?
- (四) 分析实验误差原因和改进措施。
- (五) 通过实验, 掌握了哪些实验技能? 巩固了那些基本概念?

$$Nu = C Re^n$$

$$\ln C = \frac{\sum_{i=1}^n \ln Re_i \sum_{i=1}^n (\ln Re_i \ln Nu_i) - \sum_{i=1}^n (\ln Re_i)^2 \sum_{i=1}^n \ln Nu_i}{\left(\sum_{i=1}^n \ln Re_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n (\ln Re_i)^2}$$

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n \ln Re_i \sum_{i=1}^n \ln Nu_i - n \sum_{i=1}^n (\ln Re_i \ln Nu_i)}{\left(\sum_{i=1}^n \ln Re_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n (\ln Re_i)^2}$$