

气-液式翅片管换热器实验指导书



机械与动力工程学院
基础实验与创新实践教学中心
2025年

气-液式翅片管换热器实验

气-液式翅片管换热器是一种高效、紧凑的换热设备，广泛应用于各种工业和生产领域中。其核心原理是通过将管束插入到气液两相流体中，利用翅片增大换热面积，实现 2 种流体之间的高效热量传递。

一、实验目的和要求

1. 掌握翅片管束管外放热系数和阻力的实验研究方法；
2. 掌握实验中测量温度、流量、压力等的方法。

二、实验内容

1. 学习正确使用测温度、测压差、测流速等仪表；
2. 测取管外放热和阻力的有关实验数据；
3. 用威尔逊方法整理实验数据，求得管外放热系数的无因次关联式，同时，也将阻力数据整理成无因次关联式的形式；
4. 对实验设备，实验原理，实验方案和实验结果进行分析和讨论。

三、实验原理

根据相似理论，流体受迫外掠物体时的管外放热系数 h 与流速、物体几何形状及尺寸、流体物性间的关系可用下列准则方程式描述：

$$Nu = f(Re, Pr)$$

实验研究表明，流体掠过翅片换热器表面时，一般可将上式整理成具体的指数形式：

$$Nu_m = C Re_m^n \cdot Pr_m^n$$

式中： C ， n 均为常数，由实验确定。准则角码 m 表示用流体边界层平均温度

$t_m = \frac{1}{2}(t_w + t_\infty)$ 作定性温度。

努塞尔准则：

$$Nu_m = \frac{hd}{\lambda_m}$$

雷诺准则：

$$Re_m = \frac{ud}{\nu_m}$$

普朗特准则：

$$Pr_m = \frac{\nu_n}{\alpha_m}$$

上述各表达式中 d —— 特征尺寸, 近似为翅片管换热器基管外径 (0.01m);

u —— 流体平均温度下, 管间最大流速, m/s;

λ —— 流体空气导热系数, $W/(m \cdot K)$;

α —— 流体导温系数, m^2/s ;

ν —— 流体运动粘度, m^2/s ;

h —— 壁面平均对流传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;

$$h = \frac{Q}{F(t_w - t_\infty)}$$

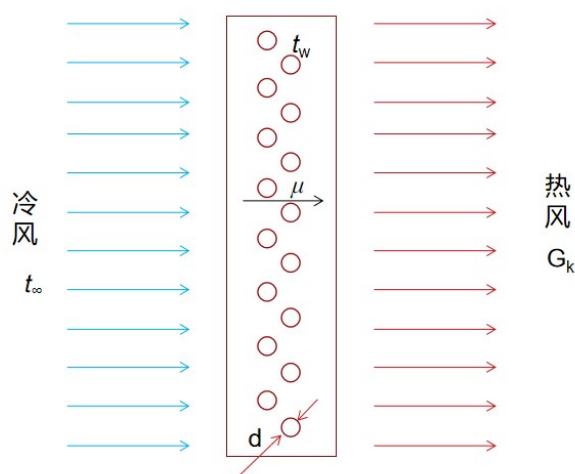
t_w —— 换热管表面平均温度, $^{\circ}C$

t_∞ —— 空气来流温度, $^{\circ}C$

鉴于实验中流体为空气, $Pr_m = 0.7$, 故准则式可化成:

$$Nu_m = C Re_m^n$$

本实验的任务在于确定 C 与 n 的数值, 首先使空气流速一定, 然后测定 Nu 和 Re 准则中有关的数据: 流体流量、进出风温度、进出热水温度、空气环境温度 t_f , 孔板压差 Δp 。至于表面平均对流传热系数 h 和流体空气流过实验管外最窄面处流速 μ 在实验中无法直接测得, 可通过计算求得, 而物性参数可在有关书中查得。得到一组数据后, 可得一组 Re 、 Nu 值, 改变空气流速, 又得到一组数据, 再得一组 Re 、 Nu 值, 改变几次空气流速, 就可得到一系列的实验数据, 从而建立准则方程式。



翅片管换热器

图 1 翅片管换热器流速示意图

四、实验装置

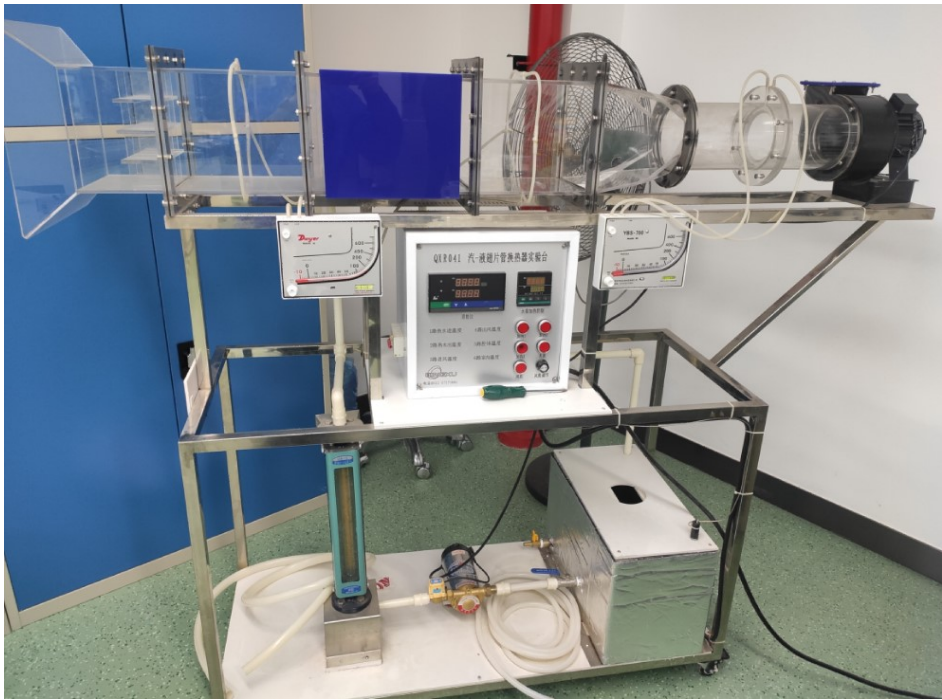
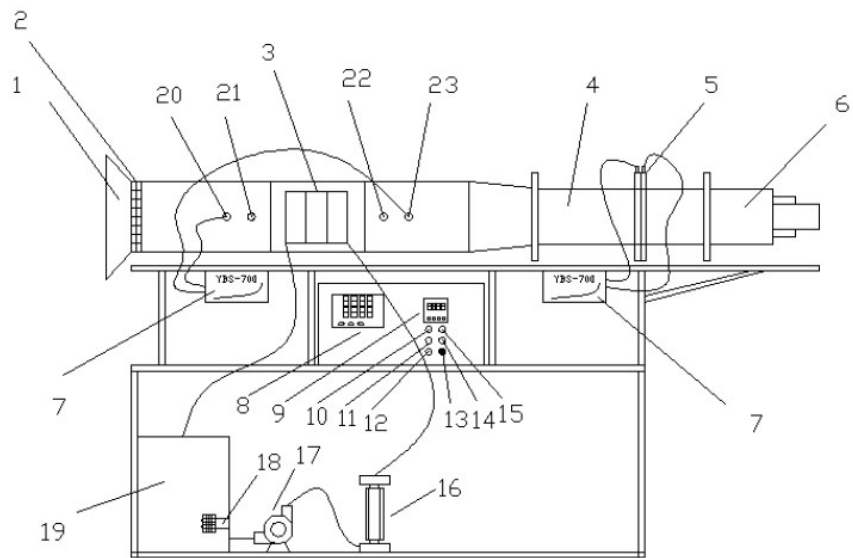


图2 汽-液式翅片管换热器试验台



1. 吸入段 2. 整流栅 3. 表冷器 4. 流量测试段 5. 孔板 6. 引风机 7. 红油压差计 8. 巡检仪 9. 水箱加热控制 10. 加热 1 按钮 11. 加热 3 按钮 12. 风机按钮 13. 风机调节旋钮 14. 水泵按钮 15. 加热 2 按钮 16. 转子流量计 17. 循环水泵 18. 不锈钢加热装置 19. 水箱 20. 表冷器前静压 21. 加热前空气温度 22. 加热后空气温度 23. 表冷器后静压

图3 实验装置示意图

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2、图3、图4、图5、图6所示。试验由有机玻璃风洞，加热管件、风机、测试仪表等部分组成。

有机玻璃风洞由带整流隔栅的入口段，平稳段、前测量段、工作段、后测量段、收缩段、测速段等组成。换热器内为热水，外侧为空气的换热。

翅片管为市面上常见的内部为铜管，外部串铝片类型的翅片管。测量翅片管换热器的进、出水温度。简图如下：

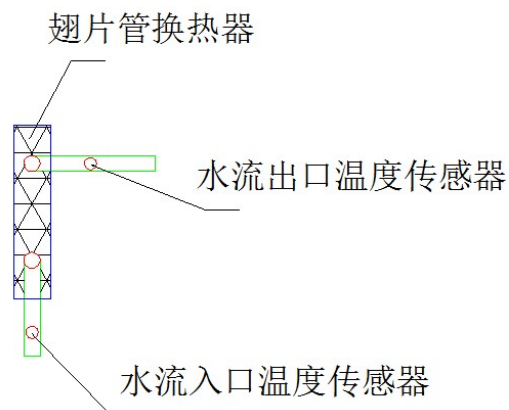


图 4 翅片管换热器试件简图

空气流的进出口温度由 PT100 进行测量，实验段进出口各装一支，以考虑出口截面上气流温度的不均匀性。空气流经翅片管束的压力降由红油压差计测量，管束前后的静压孔都是 4 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在收缩段上的孔板和红油压差计测量。



图 5 红油压差计



图 6 电箱面板示意图

装置参数信息：

换热器尺寸：20cm×17.7cm×4.2cm

换热器热水管道尺寸：外径 $d=1.0\text{cm}$ ，长度 $L=21\text{cm}$

管道根数： $n=16$ 根

换热器散热面积 $F=1.3\text{m}^2$

孔板前管道内径： $D=12.8\text{cm}$

孔板流量计：孔板直径： $d=10\text{cm}$ ，流出系数： $C\approx 0.6$ ，可膨胀性系数 $\epsilon\approx 0.993$ ，参考《GB_T2624.2-2006》。

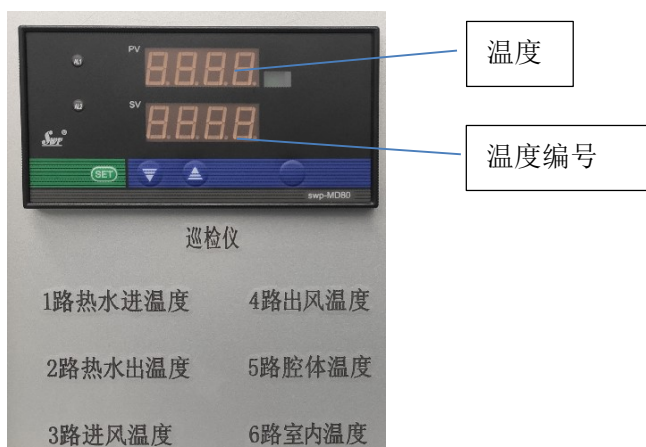
五、实验操作

1、实验前准备

- (1) 熟悉实验装置的工作原理和性能；
- (2) 将试验装置移动到合适位置，并固定好；
- (3) 检查墙壁继电保护器是否开启；
- (4) 检查墙壁 380V 插头是否牢靠插在墙壁电源插座上
- (5) 检查红油压差计初始油标位置是否位于零点，如不在零点，请旋转 Zero SET，直至油标位于零点。
- (6) 检查电热水箱内水净高是否位于大约 3/4 处。

2、操作步骤

(1) 开启电箱旁边的继电器保护器开关记录屏幕初始温度。



(2) 设定水箱加热温度



建议设定范围为 40℃-60℃，不得超过 80℃

(3) 点击加热启动按钮（每个加热功率为 1.5kW），初始水温较低情况下，可以同时启动 3 个加热器。

(4) 点击水泵启动按钮，缓慢调节水泵出口阀门，观察热水流量变化，建议初始流量设定在 300L/h。

(5) 在风量旋钮旋至最小时开启风机，然后旋转风机调节旋钮调节空气流量，观察右侧孔板红油压差计的读数变化，建议初始压差设定在 100Pa。

(6) 观察水箱温度变化，待水箱温度接近或者达到设定温度时，可以关闭两个加热器，只保留 1 个加热器开启状态，方便维持温度的稳定。

(7) 在固定热水流量，改变空气流速的工况下，进行一组实验（5 个以上工况，推荐固定热水流量 200L/h，空气流速设定（根据孔板压差）20Pa, 40Pa, 100Pa, 200Pa, 300Pa）。

(8) 在固定空气流速，改变热水流量的工况下，进行一组实验（5 个以上工况，推荐固定空气流速（根据孔板压差）100Pa，热水流量设定 100L/h, 150L/h, 200L/h, 250L/h, 300L/h）。

(9) 每种工况温度稳定后，记录温度巡检仪数据，压差计读数和水流量计读数。

六、数据记录及处理

当用气-液式翅片管换热器处理空气时，处理过程为等湿加热且只是显热的交换过程，主要取决于传热系数的大小。气-液式翅片管换热器的传热系数由下式确定：

1) 空气获热量[W]：

$$Q_1 = c_{pk} \cdot G_k(t_2 - t_1)$$

2) 热水放热量[W]：

$$Q_2 = c_{ps} \cdot G_s(T_1 - T_2)$$

3) 平均换热量[W]：

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$$

4) 热平衡误差：

$$\Delta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q} \times 100\%$$

5) 传热温差[℃]：

$$\Delta t = \frac{(T_2 - t_1) - (T_1 - t_2)}{\ln \frac{T_2 - t_1}{T_1 - t_2}}$$

6) 传热系数[W/m²·℃]：

$$K = \frac{Q}{F \cdot \Delta t}$$

式中：

c_{pk} , c_{ps} 分别为空气和水的定压比热。[J/kg·℃]

G_k , G_s 分别为空气和水的质量流量。[Kg/s]

$$G_k = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_k}, \quad \beta=d/D$$

C 为孔板流量计的流出系数，为不可压缩流体确定的表示通过孔板的实际流量与理论流量之间关系的系数。

ε 为可膨胀性系数，考虑到流体的可压缩性所使用的系数。

ρ_k 为空气密度。[kg/m³]

F 为换热器的散热面积。[m²]

Δp 为孔板压差。[Pa]

1. 数据记录

室温：_____℃，初始水温：_____℃

表 1 改变风速实验数据记录表

序号	进风温度 (°C)	出风温度 (°C)	进水温 度 (°C)	出水温度 (°C)	腔体温度 (°C)	室内温度 (°C)	孔板压 差 (Pa)	沿程阻力 压差 (Pa)	热水流量 L/h
1									
2									
3									
4									
5									

表 2 改变水量实验数据记录表

序号	进风温度 (°C)	出风温度 (°C)	进水温 度 (°C)	出水温度 (°C)	腔体温度 (°C)	室内温度 (°C)	孔板压 差 (Pa)	沿程阻力 压差 (Pa)	热水流量 L/h
1									
2									
3									
4									
5									

2. 数据处理

表 3 改变风速数据处理表

序号	热水放热量 W	空气获热量 W	平均换热量 W	传热温差 °C	空气质量流 量 Kg/s	水的质量流 量 Kg/s	传热系数 W/m ² ·°C
1							
2							
3							
4							
5							

表 4 改变水量数据处理表

序号	热水放热量 W	空气获热量 W	平均换热量 W	传热温差 °C	空气质量 流量 Kg/s	水的质量流 量 Kg/s	传热系数 W/m ² ·°C
1							
2							
3							
4							
5							

3. 性能曲线绘制及分析

- (1) 以传热系数为纵坐标，空气流量为横坐标绘制传热性能曲线；
- (2) 以传热系数为纵坐标，热水流量为横坐标绘制传热性能曲线；
- (3) 以换热器阻力（压差）为纵坐标，空气流量为横坐标绘制换热器阻力性能曲线；
- (4) 根据改变空气流速实验，绘制 Nu 与 Re 关系曲线，通过拟合确定 C 和 n，建立准则方程式。

七、注意事项

- 1、停机时，先关闭全部电加热器开关；10min 后关闭水泵、风机开关，将风机调节旋钮旋至最小，最后切断电源；
- 2、热水温度不能超过 80°C，否则导致水泵因气蚀而不能正常工作。

八、思考题

- 1、分析影响换热系数的因素。
- 2、对结果进行误差分析。
- 3、将阻力数据整理成无因次关联式形式。
- 4、壁面平均对流放热系数 h 与传热系数 k 有什么不同？在本次实验中，是否认为两者可互相代替？

九、心得体会