

# 自然对流与强制对流换热特性测量

## 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

2024年

# 自然对流与强制对流换热特性测量实验

## 一、实验目的及要求

本实验的主要目的是学习横置圆柱与周围空气之间的自然对流、强制对流换热特性，理解对流换热系数的计算和非稳态导热过程的特点。重点考察如下问题：

- (1) 计算平均对流换热系数
- (2) 了解非稳态能量平衡，考察集中参数法是否适用于实验条件下的非稳态导热
- (3) 测试风速对平均对流换热系数的影响
- (4) 计算强制对流换热的无量纲参数表征

## 二、基本原理

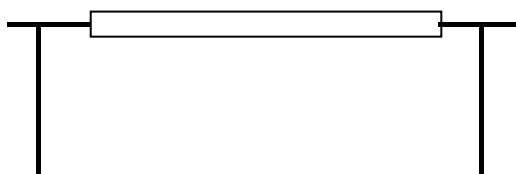


图 1 实验示意图

采用非稳态法进行对流换热系数的测量，在  $B_i < 0.1$  时可以从集中参数法得到：

$$hA(t - t_{\infty}) = -\rho CV \frac{dt}{d\tau} \quad (1)$$

式中：

$h$ ：为换热系数，如果考虑辐射损失，需要计算辐射等效换热系数  $\bar{h}_{\text{rad}} [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$ 。

$A$ ：圆柱表面积

$t_{\infty}$ ：为环境温度

$\rho$ ：圆柱密度

$C$ ：圆柱比热

$V$ ：为圆柱体积

可以得到圆柱温度随时间的变化规律：

$$\frac{\theta}{\theta_0} = \left( \frac{t - t_\infty}{t_0 - t_\infty} \right) = e^{-\frac{hA}{\rho CV} \tau} \quad (2)$$

通过记录壁面温度的变化，就可以根据上式计算得到表面的换热系数。

加热圆柱在外部静止空气下进行自然对流冷却，根据自然对流的换热系数参考以下公式计算得到（其中 C 和 n 见教材表 6-9）：

$$Nu_m = C(Gr Pr)_m^n \quad (3)$$

在强制对流时根据下式进行计算（式中的 C 和 m 值见教材表 6-5）：

$$\overline{Nu}_D \approx \frac{\bar{h}D}{k} = C Re_D^m Pr^{1/3} \quad (4)$$

### 三、实验装置及测量系统

具体实验装置见实验室。实验室准备了多种尺寸和材料（铝或不锈钢）的圆柱。

铝棒和不锈钢棒的表面都被抛光。每个圆柱将在电加热炉里进行加热，然后放置在固定支架上，与周围空气进行强制对流冷却。在圆柱冷却过程中，根据圆柱的固定方式可以忽略导热的影响。圆柱与空气采用叉流方式，试验中需改变气流速度重复实验（气流速度以实测为准）。在每个圆柱上安装热电偶，记录热电偶指示温度随时间的变化关系，平均对流换热系数即可确定。

圆柱在外部空气的自然对流或强制对流作用下进行冷却，温度由 70°C 左右降到 50°C 左右，保证 20°C 的温降范围即可。外部空气的温度  $t_\infty$  为环境实测温度。 $\bar{h}_{total}[W/m^2 \cdot K]$  的值为多少？辐射传热在其中占的百分比为多少？验证集中参数法模型是否适用？

### 四、注意事项\*

- （1）加热炉温度需控制在 100°C 以下，以免烫伤；
- （2）取放圆柱需佩戴隔热手套；
- （3）试件放好后，应先连接和打开数据采集系统，然后再开启风洞。

### 五、实验步骤

每个小组只测量一种圆柱（同材料同尺寸）的数据。降温过程只需 20K 左右即可。跟前面“准备工作”里面类似，物性参数可依据中间温度进行选取。在表面温度  $t_w$  变化只有  $\pm 10K$  的条件下，可认为平均换热系数  $\bar{h}$  的值为一定值。每个小组计算相关的无量纲参数（ $\overline{Nu}_D$ ,  $Gr_D$  和  $Re_D$ ）。具体的实验过程如下：

- （1）连接热电偶，打开数据采集系统；
- （2）将你所选用的加热后的圆柱安放到支架上；
- （3）将热电偶用耐热透明胶布粘贴在圆柱表面；

- (4) 对于强制对流换热，利用叶轮式风速仪，将风洞的速度分别设置约为 6 和 4 m/s（以实测为准）；
- (5) 观察圆柱的温度降到 50°C 以下，保存实验数据；
- (6) 利用工具（直尺、游标卡尺）测量你所选用的试验后已经冷却的圆柱直径和长度，自行判断或向实验室老师询问你所选圆柱的材料；

## 六、实验数据的计算与整理

记录  $\frac{\theta}{\theta_0} = \left(\frac{t - t_\infty}{t_0 - t_\infty}\right)$  随时间变化曲线，及  $\ln \frac{\theta}{\theta_0}$  随时间变化的曲线。计算得到的数据整理成无量纲量，并和经验公式进行对比。

## 七、实验报告要求

利用测得的温度数据，计算准备工作部分里的各项计算参数，以及其他你认为比较重要的参数。实验报告需包含以下内容：

- (1) 详细描述根据温度数据得到平均换热系数  $\bar{h}$  的计算过程。
- (2) 画图表示圆柱温度随时间的变化关系。
- (3) 讨论实验过程中观察到的几个重要现象。比如，对比强制对流气流对圆柱温度变化速率  $dt/d\tau$  有何影响？
- (4) 根据流体横掠单管的实验关联式（见公式 3、4）分别计算自然对流和强制对流换热中的  $\overline{Nu}_D$ ，进而得到  $\bar{h}_{conv}$  值，与实验值进行比较和分析。
- (5) 分析实验中的误差来源以及它们对实验结果的影响。

## 八、思考问题

- (1) 分析讨论实验过程中的热平衡；
- (2) 计算分析在实验数据处理中忽略热辐射的原因（公式可以自行查阅教材）；
- (3) 验证集中参数法模型是否适用；
- (4) 附加题：运用 Simdroid 等软件对本实验进行模拟计算分析，封装成 APP，在 [www.simapps.com](http://www.simapps.com) 中进入用户中心“APP 管理”，上传 APP。

软件下载：<https://www.simapps.com/page/flow.html>

软件激活：<https://www.simapps.com/v/29572.html>

APP 上传：<https://www.simapps.com/v/29863.html>

学习帮助：软件中“帮助”或 <https://www.simapps.com/l/268.html>