

热阻测量及肋片传热特性实验指导书



上海交通大学机械与动力工程学院

基础实验与创新实践教学中心

2025 年

热阻测量及肋片传热特性实验

热阻是传热过程中非常重要的概念，也是传热过程控制的主要对象，对其深入理解有利于实际传热问题的正确分析和热设计。延展体导热是增大传热量的一种非常常用的手段，其对传热过程的影响与热阻密不可分。

一、实验目的及要求

- (1) 深入理解导热热阻、对流传热热阻。
- (2) 计算得到有无延展体时的总热阻。
- (3) 将热阻的概念应用于被加热表面和它所处的环境，并研究延展体表面对传热过程的影响。

二、基本原理

一个被电加热片加热的均热板，平板下部和边界均被很好地绝热，暴露的上表面被抛光。从风洞的气流吹过被加热板的上表面，风的速度 u 和温度 t_f 。图 1 中给出了实验对象示意图。

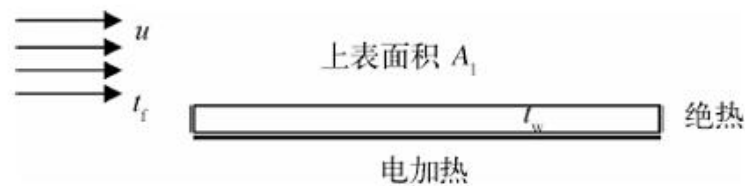


图 1 无延展体时实验示意图

整个装置处于稳态且不考虑表面热辐射的情况下，电加热量、平板导热量、平板上表面对流换热量三者相等，即 $Q_{电加热} = Q_{导} = Q_{对}$ 。下面分 3 种情况进行讨论。

1. 无延展体时

$$Q_{电加热} = Q_{导} = Q_{对}$$

$$Q_{电加热} = U \times I$$

$$Q_{导} = -\lambda A_1 \frac{dt}{dx}$$

$$Q_{对} = -hA_1(t_w - t_f)$$

$$R_{导} = \frac{\delta}{\lambda A_1}$$

$$R_{对} = \frac{1}{hA_1}$$

$$R_{tot} = R_{导} + R_{对}$$

式中， U 电加热电压（本实验中设置小于 15V）； I 电加热电流； λ 真空腔均热板导热系数， $12000\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ； δ 为均热板厚度 1.5mm ； A_1 均热板上表面面积； h 对流换热系数； t_w 均热板上表面温度； t_f 空气流体温度。

当均热板上无圆柱棒延展体且装置处于稳态时，计算出总热阻。

2. 有延展体时（假设 h 相等）

当上表面加 1 根和多根圆柱棒的延展体后（如图 2 所示）。假设圆柱表面的换热系数和没有圆柱棒情况下的上表面换热系数相等，均为 h ，则根据等截面针肋的肋效率公式可以得到总热阻。

$$\eta_f = \frac{th(mH')}{mH'}$$

$$m = \sqrt{\frac{4h}{\lambda_{\text{柱}}d}}$$

$$\eta_o = \frac{A_b + \eta_f \cdot N \cdot A_f}{A_o}$$

$$A_o = A_b + N \cdot A_f$$

$$R_{tot} = R_{\text{导}} + R_{\text{对}} = \frac{\delta}{\lambda A_1} + \frac{1}{h\eta_o A_o}$$

式中， η_f 圆柱肋效率； $\lambda_{\text{柱}}$ 延展圆柱体导热系数（参数查教材附录 2）； d 为圆柱直径； A_b 均热板上表面减去延展体的接触端面积； η_o 整个表面肋面效率； A_f 为单个圆柱体表面积减去接触端面积； N 为延展体个数； A_o 为整个表面总面积。

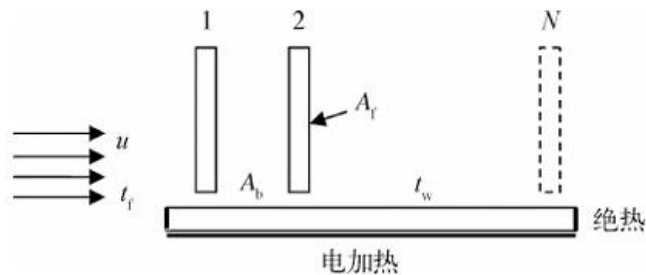


图 2 带有延展体的实验示意图

3. 有延展体时（假设 h 不等）

当上表面加 1 根和多根圆柱棒的延展体后（如图 2 所示）。假设圆柱表面的换热系数和没有圆柱棒情况下的上表面换热系数不等，利用流体外掠等温圆柱的公式可以计算出圆柱表面的对流换热系数 $h_{\text{柱对}}$ ，进而计算出总热阻。

（陶文铨等，传热学，第五版，相关参数查表 6-4、附录 5）

$$Re = \frac{ud}{\nu}$$

$$Nu = CRe^n Pr^{1/3}$$

$$h_{柱对} = Nu \frac{\lambda_{空气}}{d}$$

$$R_{对} = \frac{1}{NA_f h_{柱对} \eta_f + hA_b}$$

$$R_{tot} = R_{导} + R_{对}$$

式中， ν 为定性温度下的空气运动粘度； $\lambda_{空气}$ 为空气导热系数； $h_{柱对}$ 为延展体表面换热系数。

三、实验平台介绍

该实验平台为模块化设计，实验装置主要包括风源系统、加热系统、数据采集系统三大模块，实验对象为平板 1 块、针肋 N 个。风源系统为一个具有一定整流功能的风洞，可以提供速度小于 10m/s 的气流。加热系统主要为自制真空腔均热台，均热台通过直流稳压电源提供输入功率。数据采集系统包括温度传感器（学生自制并经过校验的热电偶）、NI 数据采集仪、LabView 软件。建议 2-3 人为一个小组，学生需要根据实验要求和内容自行设计并搭建实验系统。具体装置如图 3 所示。

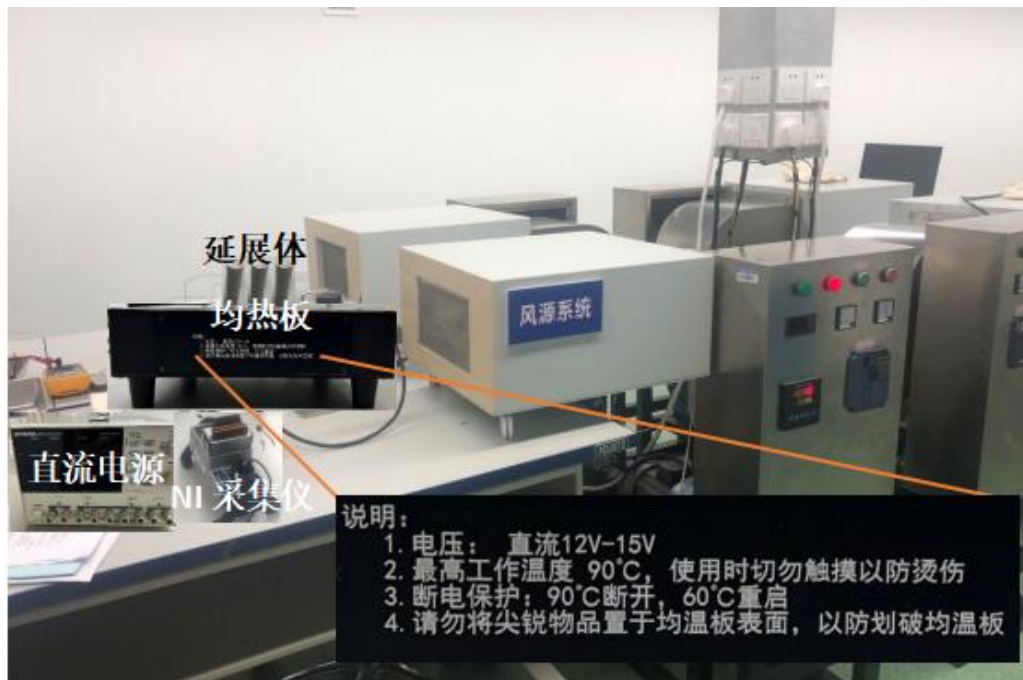


图 3 实验装置图

均热板的下部与电加热片紧密贴合且四周绝热，均热板表面温度通过热电偶测量，对流空气速度和温度 t_f 可由风速仪读出。均热板尺寸及针肋尺寸通过直尺及游标卡尺测量得到。数据记录均应在稳态条件下（利用数据采集系统判断是否达到了稳态）。

四、注意事项

- (1) 均热板易受损。切勿用力、用重物、尖锐物等破坏均热板。
- (2) 均热板最高电压不超过 15V，最高温度不超过 85 °C。
- (3) 注意防烫伤，必要时佩戴隔热手套。

五、实验步骤

- (1) 打开计算机。
- (2) 将均热板连接到直流电源 CH1 通道。调节直流电源电压 14~15V，电流 2.9~3.2A。
- (3) 均热板上粘贴热电偶。
- (4) 热电偶连接到 NI 数据采集仪。
- (5) 运行测试程序，选择 T 型热电偶，开始采集数据。
- (6) 加热均热板，均热板最高温度不超过 85 °C。
- (7) 将均热板放置于风源前，按风洞控制箱变频器上的 RUN，调节频率至 20~25Hz，风洞控制箱风速为 1.5~2m/s，风的温度和速度通过风速仪测量。
- (8) 通过测量软件监测温度，待系统达到热平衡后，记录此时的输入电压、输入电流，以及相关温度等参数。
- (9) 将一个小圆柱安装于薄板上表面，建议圆柱底部涂抹硅脂，以减小与薄板之间的接触热阻。待温度稳定后，记录电压、电流、风速、相关温度等参数。
- (10) 将多个小圆柱安装于薄板上表面，待温度稳定后，记录电压值、电流值、风速、相关温度等参数。

六、实验数据的计算与整理

表 1 实验数据记录表

参数	测试数据 (无肋)	测试数据 (1 肋)	测试数据 (N 个相同材质肋)
电压 (14~15V)			
电流 (2.9~3.2A)			
风速			
空气温度			
均热板上表面温度			
圆柱上端面温度			

均热板厚度	1.5mm
均热板长度	
均热板宽度	
圆柱直径	
圆柱长度	
圆柱材质	

计算得到有无延展体时的总热阻。

七、实验报告要求

- (1) 记录实验中所有测量参数的总结表。
- (2) 计算无延展体时的总热阻。
- (3) 假设圆柱表面的换热系数和没有圆柱棒情况下的上表面换热系数相等，计算有一个延展体及有 N 个延展体的总热阻。
- (4) 圆柱表面的换热系数和没有圆柱棒情况下的上表面换热系数不等时，计算有一个延展体及有 N 个延展体的总热阻。
- (5) 讨论伸展体热物性是如何影响总热阻大小的；
- (6) 给出热平衡分析；
- (7) 讨论误差来源以及这些误差是如何影响结果的。

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 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>