

# 《物理实验》注意事项

■上课期间，不得使用手机(ipad、笔记本电脑等)以及任何自带资料，违者第一次扣10分，第二次本次实验计0分。

■手机静音或关机后放在书包里，书包和水杯按要求统一放置在指定位置。

■每次课3小时，不得迟到，不得早退。

■按要求独立完成实验内容，规范记录实验数据。

■实验结束，整理仪器及配件，保持整洁。

■实验完成后1周内提交报告。

桌上仅放：

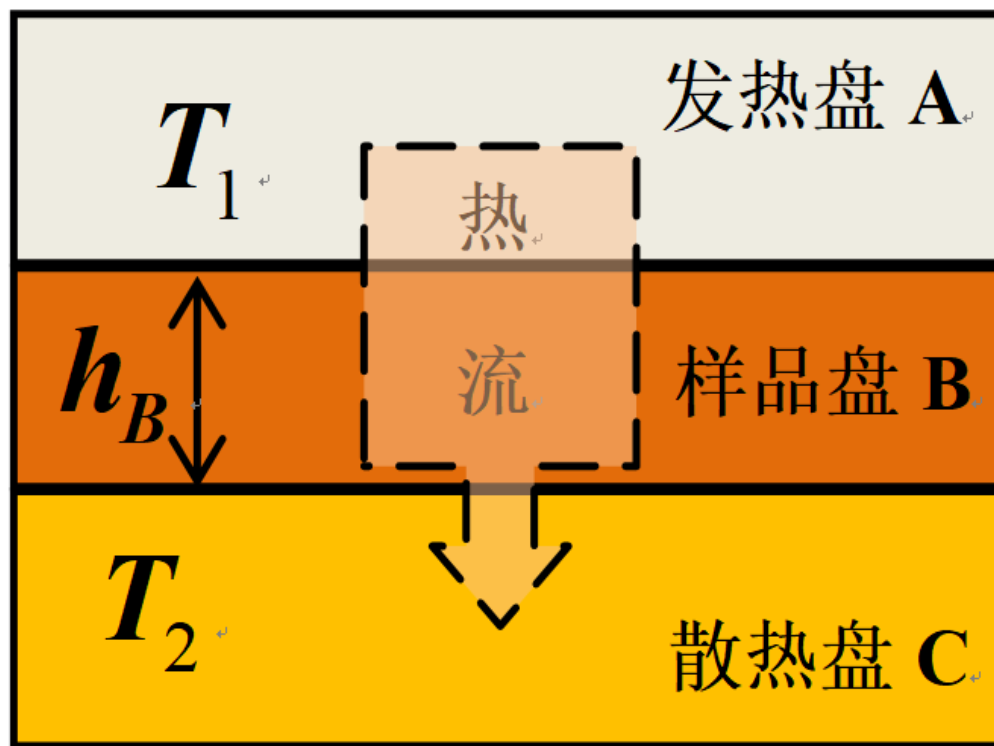
预习报告

空白数据记录纸

必要文具或计算器

**注意：实验桌上打印的讲义和ppt，均不得带走。**

# 稳态法测固体的导热系数



华中科技大学国家级物理实验示范中心

- 一、实验目的**
- 二、实验背景**
- 三、实验原理**
- 四、实验仪器**
- 五、实验内容**
- 六、注意事项**
- 七、数据处理**

# 一、实验目的

1. 了解**热传导**现象的物理过程。
2. 了解物体**散热速率**和**传热速率**的关系。
3. 学习**稳态法**测量**不良导热材料**的导热系数 $\lambda$ 。
4. 学会用**铂电阻型传感器**测定温度。

## 二、实验背景

- 热量传递的基本形式：热传导、热对流、热辐射
- 热传导：物体各部分之间不发生相对宏观位移情况下由于温差引起的热量传递过程
- 微观：自由电子或晶格振动波作为载体进行热量交换的过程
- 宏观：物体内部存在温度梯度，发生从高温部分向低温部分传递热量的过程
- 热传导现象的普遍存在
- 导热体 绝热体 不良导热体及其应用

**导热系数 (热导率)  $\lambda$ :** 表征物体传导热能力的物理量, 在数值上等于每单位长度温度降低一个单位时, 单位时间内通过单位面积的热量, 其单位是  $W/(m \cdot K)$ 。

### **测量方法:**

**稳态法:** 先用热源对待测样品进行加热, 使样品内部形成稳定的温度分布, 然后进行测量。

**暂态法:** 在测量过程中样品内部的温度分布随时间是变化的, 测量这种变化, 得到热扩散率, 再利用物体已知的密度和比热, 求得导热系数。

**要得到准确的测量值, 必须根据物体的导热系数范围和样品特征, 合理选择测量方法。**



法国科学家**傅里叶**根据实验得到热传导基本关系，1822年提出了**热传导定律**：导热热流密度（单位时间通过单位面积的热量）和温度梯度成正比

$$q = -\lambda \text{grad}(T) \quad \text{傅里叶热传导定律}$$

物体的导热系数不仅与构成物体的物质种类密切相关，还与它的微观结构、温度、压力、湿度及杂质含量相联系。一般说来，金属的导热系数比非金属的要大；固体的导热系数比液体的要大；气体的导热系数最小。

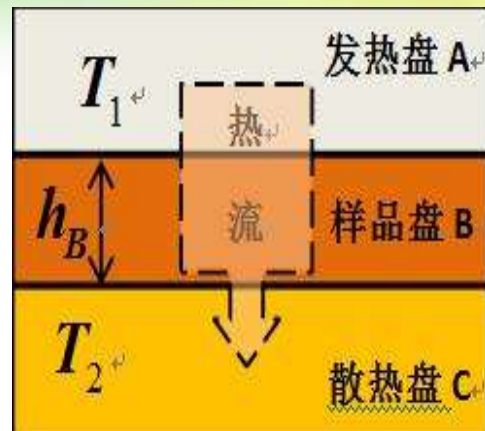
### 三、实验原理

**热传导达到稳定状态：**通过样品盘B的传热速率和散热盘C(侧面+下面)的散热速率相同

$$\left( \frac{\Delta Q}{\Delta t} \right)_{B \text{ 稳态}} = \left( \frac{\Delta Q}{\Delta t} \right)_{C \text{ 散热}}$$

**传热速率：**

$$\left. \frac{\Delta Q}{\Delta t} \right|_{B \text{ 稳态}} = \lambda \cdot S \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{h_B}$$



**物体的散热速率与冷却速率间的关系：**

$$\left( \frac{\Delta Q}{\Delta t} \right)_{C \text{ 散热}} = mc \left( \frac{\Delta T}{\Delta t} \right)$$

$m$  : 散热盘质量       $C$  : 散热盘比热容

$R_C$  : 散热盘半径       $h_C$  : 散热盘厚度

**修正：**C盘上表面被B盘覆盖，通过B盘的传热速率=C盘向(侧面+下底)散热速率

$$= mc \left( \frac{\Delta T}{\Delta t} \right)_{T=T_2} \frac{(\pi R_C^2 + 2\pi R_C h_C)}{(2\pi R_C^2 + 2\pi R_C h_C)}$$

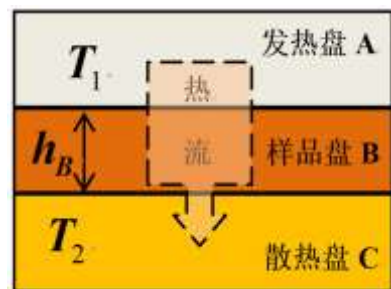
**导热系数：**

$$\lambda = mc \left( \frac{\Delta T}{\Delta t} \right)_{T_2} \frac{(R_C + 2h_C)h_B}{(2R_C + 2h_C)(T_1 - T_2)} \frac{1}{\pi R_B^2}$$

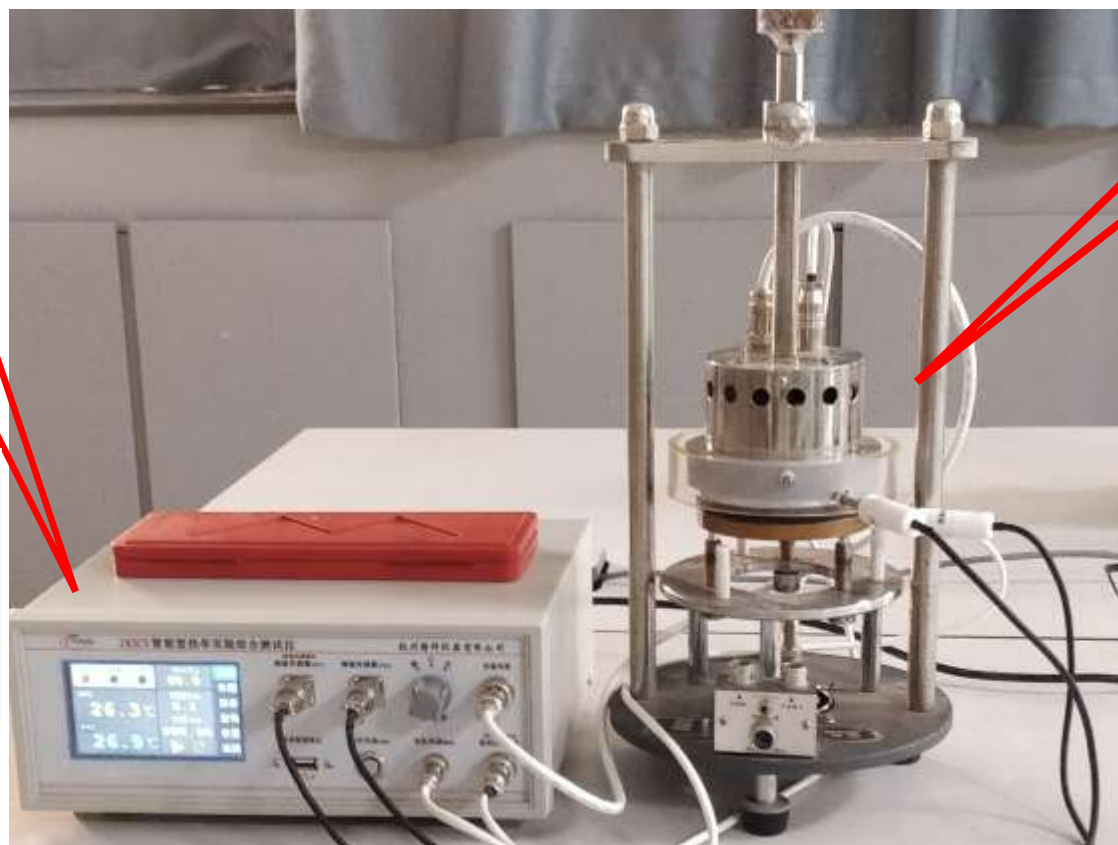
# 三、实验仪器

## TC-3 型稳态法固体导热系数测定仪

测试仪表



测试架



待测样品：  
环氧树脂  
硅橡胶

## 四、实验内容

1. 测量样品盘和散热盘的直径、厚度-5组数据；记录散热盘质量 $m$ 。
2. 安装待测样品：调节3个螺栓，发热盘A/样品盘B/散热盘C**密切接触**。
3. 温度传感器：记录两传感器空气中接触时的初始温度。传感器I和II分别插入发热铝盘、散热铜盘的小孔中。
4. 温度设置：加温上限为 $60^{\circ}\text{C}$ 。（液晶屏右上角“**SV**”设置）
5. 测量升温曲线和稳态温度：加热电流选择“**低**”档→液晶屏右上角按下“**启动**”→“**计时键**”，加热，每隔2分钟记下发热铝盘和散热铜盘的温度。铜盘温度基本稳定（10分钟内变化范围 $0.3\text{-}0.5^{\circ}\text{C}$ ）→继续记录5组发热盘和散热盘的温度，其平均值为稳态温度 $T_1$ 、 $T_2$ 。
6. 测量冷却曲线：移去样品盘，发热铝盘与散热铜盘直接接触。铜盘温度上升到高于 $T_2$ 若干摄氏度（ $\sim 4^{\circ}\text{C}$ ），移开发热铝盘，关闭加热，散热铜盘在空气中自然冷却。记录温度 $T$ 随时间 $t$ 降低的数据（每30秒），温度降到 $T_2$ 附近后，继续记录5-6个数据。

## 实验数据记录表格 (供参考)

**表 1: 散热盘和样品盘的几何参数 (散热盘 C 质量  $m =$  \_\_\_\_\_ g)**

测量次数		1	2	3	4	5	平均值
散热盘 C	$D_C(\text{cm})$						
	$h_C(\text{cm})$						
样品盘 B	$D_B(\text{cm})$						
	$h_B(\text{cm})$						

表 2: 观测升温过程并记录 A 盘和 C 盘温度 (每隔 2 分钟)。稳态后 (10 分钟内, C 盘变化  $0.2\text{--}0.3^{\circ}\text{C}$  以内), 每隔 5 分钟记录, 记录 5 组。

测量次数												...												
时间 $t(s)$												...												
A 盘 $T(^{\circ}C)$												...												
C 盘 $T(^{\circ}C)$												...												

升温过程
稳态
稳态后

稳态温度记录 ( $\bar{T}_1 = \underline{\hspace{2cm}}^{\circ}\text{C}$ ,  $\bar{T}_2 = \underline{\hspace{2cm}}^{\circ}\text{C}$ )

**表 3: 散热盘冷却速率测量 (每隔 30 秒测一次)**

[illegible]

# 五、数据处理

- 一、作图：1. 发热盘A和散热盘C的升温曲线，解释热传导规律  
2. 散热盘C温度随时间变化的冷却曲线

♣ 图名/横竖坐标/单位/坐标范围及比例/数据点.....

- 二、计算：1. 选择 $T_2$ 上下各5组，**逐差法**计算C盘的冷却速率  
2. 计算样品B盘的导热系数 $\lambda$ 及**不确定度**  $U(\lambda)$

♣ 只考虑冷却速率的误差（忽略尺寸、质量测量误差）

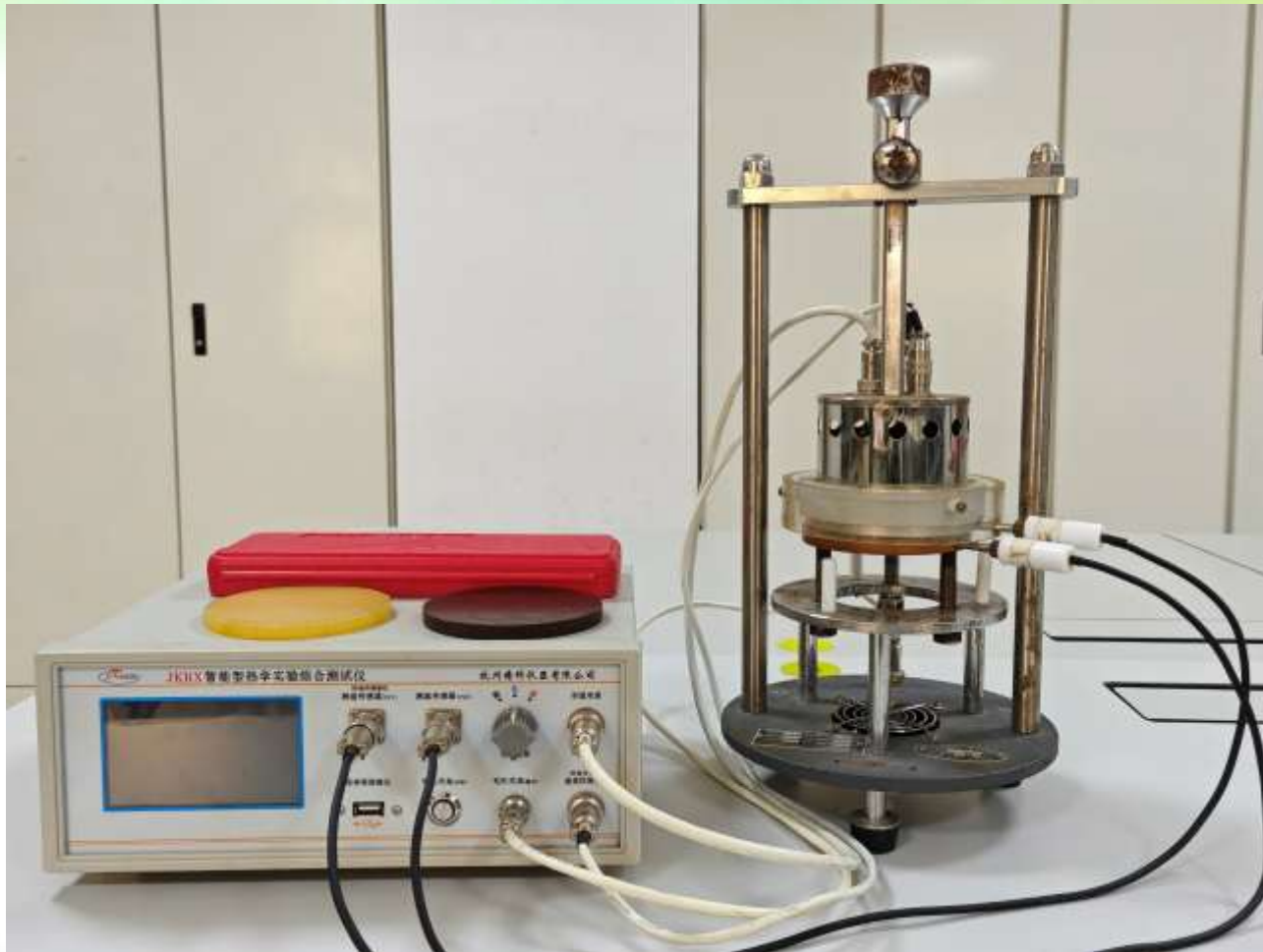
$$\lambda = mc \left( \frac{\Delta T}{\Delta t} \right)_{T_2} \frac{(R_C + 2h_C)h_B}{(2R_C + 2h_C)(T_1 - T_2)} \frac{1}{\pi R_B^2}$$

- 三、分析总结：分析误差来源

## 六、注意事项

- 规范操作，防止高温烫伤
- 实验前标定两测温传感器，若不一致，进行修正
- 测温传感器插到孔洞底部，保证良好接触
- 发热盘A/样品盘B/散热盘C紧密接触
- 实验完毕**请不要拔任何线！** 仪器和实验桌保持整洁

1-4号同学请做卫生！



## 逐差法处理数据及不确定度估算（供参考）

$$\left. \frac{\Delta T}{\Delta t} \right|_{T=T_2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{T_i - T_{i+5}}{t_i - t_{i+5}} \right)$$

$$u_A(\Delta T) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\Delta T_i - \overline{\Delta T})^2} \quad u_A(\Delta t) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\Delta t_i - \overline{\Delta t})^2}$$

$$U(\Delta T) = \sqrt{(t_p u_A(\Delta T))^2 + (u_B(\Delta T))^2} \quad U(\Delta t) = \sqrt{(t_p u_A(\Delta t))^2 + (u_B(\Delta t))^2}$$

$$U_\lambda = \bar{\lambda} \times \frac{U_\lambda}{\bar{\lambda}} = \bar{\lambda} \times \sqrt{\left( \frac{U(\Delta T)}{\bar{\Delta T}} \right)^2 + \left( \frac{U(\Delta t)}{\bar{\Delta t}} \right)^2}$$

$$\lambda = \bar{\lambda} \pm U(\lambda) \quad (\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})) \quad (P = 0.95)$$

## 数据处理常见问题

1.  $U_A(\Delta T)$ ,  $U_A(\Delta t)$  计算过程中, 测量次数 $n=?$
2.  $U_A(\Delta T)$ ,  $U_A(\Delta t)$  计算结果, 单位?
3.  $U_B(\Delta T)$ ,  $U_B(\Delta t)$  计算过程? 单位?
4.  $U_A$ ,  $U_B$  合成过程中 $t_p$ 取多少? (置信概率与测量次数)
5.  $U(\Delta T)$ ,  $U(\Delta t)$  传递给 $U_r(\lambda)$ 时传递函数?
6.  $U(\lambda)$ 与  $U_r(\lambda)$ 关系?  $U(\lambda)$ 单位?  $U(\lambda)$  有效数字?