

# 淮南师范学院实验报告

学院： 电子工程学院 专业： 物理学 班级： 请输入

学号： 请输入 姓名： 请输入 日期： 请输入

## 一、实验名称：固体导热系数的测量

## 二、实验目的：

- 了解准稳态法测量不良导体导热系数和比热容的基本原理。
- 学习铜—康铜热电偶测量温度差的方法，掌握热电势与温度差之间的换算关系。
- 通过逐差法和最小二乘法求取试样中心面的温升速率，并分析实验结果及主要误差来源。

## 三、实验原理：

### （一）准稳态导热原理

在试样受热过程中，当加热面与中心面之间的温度差近似保持不变，同时试样整体以近似恒定速率升温时，可认为系统进入准稳态。在该状态下，穿过试样的热流密度近似恒定。两片并联加热器的加热电压为  $U$ ，每片加热器的电阻为  $r$ ，边缘修正后的加热面积为  $F$ ，则热流密度为：

$$q_c=\frac{U^2}{2Fr}$$

其中：

$$F=A\times0.09\times0.09$$

式中， $A=0.85$  为加热面积修正系数。

### （二）热电偶测温原理

铜—康铜热电偶的热电常数为  $z_T=0.04\text{ mV/K}$ 。若加热面与中心面的温差热电势为  $V_t$ ，则两面温度差为：

$$\Delta t=\frac{V_t}{z_T}$$

### （三）导热系数计算

设每片试样厚度为  $R$ ，由准稳态传热关系可得：

$$\lambda=\frac{q_cR}{2\Delta t}$$

式中， $\lambda$  的单位为  $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

### （四）中心面温升速率和比热容

若中心面热电势为  $V_c$ ，则中心面温升速率为：

$$v=\frac{\text{d}t}{\text{d}\tau}=\frac{1}{z_T}\frac{\text{d}V_c}{\text{d}\tau}$$

实验中可采用逐差法或最小二乘法求得  $v$ 。试样比热容为：

$$c=\frac{q_c}{\rho Rv}$$

其中， $\rho$  为试样密度。

## 四、主要仪器设备：数显准稳态法比热导热系数实验仪、有机玻璃试样、加热膜、铜—康铜热电偶、保温杯及配套连接导线。

## 五、实验步骤：

### （一）安装试样并连接线路

- 将冷却至室温的中心面试样和加热面试样放入样品架，使中心面热电偶位于四块试样的中心位置。
- 转动螺杆旋钮，使加热膜、热电偶、待测试样和隔热层紧密接触，但不得过度压紧。
- 按实验讲义要求连接加热面、中心面和保温杯各接线端，检查极性无误后接通仪器。

### （二）加热和记录数据

- 调节加热电压至约  $18\text{ V}$ ，本次实测加热电压为  $18.02\text{ V}$ 。
- 启动加热，每隔  $1\text{ min}$  记录一次中心面热电势  $V_c$  和加热面热电势  $V_h$ 。
- 观察两面热电势差和中心面热电势升高速率，选择最接近准稳态的连续  $16\text{ min}$  数据进行处理。
- 根据所选数据计算温差、导热系数、温升速率和比热容，并绘制相应变化曲线。

六、原始数据记录：

实验条件如下表。

| 项目      | 符号  | 数值    | 单位    | 说明      |
|---------|-----|-------|-------|---------|
| 待测样品    | —   | 有机玻璃  | —     | 不良导体试样  |
| 试样密度    | ρ   | 1124  | kg/m³ | 实验讲义给出  |
| 试样厚度    | R   | 0.010 | m     | 实验讲义给出  |
| 加热电压    | U   | 18.02 | V     | 仪器显示值   |
| 加热膜电阻   | r   | 约 110 | Ω     | 取讲义近似值  |
| 热电偶热电常数 | z_T | 0.04  | mV/K  | 铜—康铜热电偶 |
| 面积修正系数  | A   | 0.85  | —     | 实验讲义给出  |

仪器显示屏热电势单位为 μV。

| 序号 | 时间 t/min | 中心面 Vc/μV | 加热面 Vh/μV | 热电势差 Vt/μV | 每分钟温升ΔVi/μV | 每 8 分钟温升ΔUi/μV |
|----|----------|-----------|-----------|------------|-------------|----------------|
| 1  | 13       | 238       | 403       | 165        | 24          | 189            |
| 2  | 14       | 262       | 428       | 166        | 24          | 187            |
| 3  | 15       | 286       | 454       | 168        | 24          | 186            |
| 4  | 16       | 310       | 479       | 169        | 24          | 183            |
| 5  | 17       | 334       | 504       | 170        | 23          | 181            |
| 6  | 18       | 357       | 528       | 171        | 24          | 180            |
| 7  | 19       | 381       | 553       | 172        | 22          | 178            |
| 8  | 20       | 403       | 577       | 174        | 24          | 177            |
| 9  | 21       | 427       | 601       | 174        | 22          | —              |
| 10 | 22       | 449       | 625       | 176        | 23          | —              |
| 11 | 23       | 472       | 649       | 177        | 21          | —              |
| 12 | 24       | 493       | 672       | 179        | 22          | —              |
| 13 | 25       | 515       | 696       | 181        | 22          | —              |
| 14 | 26       | 537       | 719       | 182        | 22          | —              |
| 15 | 27       | 559       | 742       | 183        | 21          | —              |
| 16 | 28       | 580       | 764       | 184        | —           | —              |

其中：

$$V_t=V_h-V_c$$

$$\Delta V_i=V_{c,i+1}-V_{c,i}$$

$$\Delta U_i=V_{c,i+8}-V_{c,i}$$

七、数据处理：

（一）加热面积和热流密度

边缘修正后的加热面积为：

$$F=0.85\times0.09\times0.09=6.885\times10^{-3}\text{ m}^2$$

按  $r=110\text{ }\Omega$  计算热流密度：

$$q_c=\frac{18.02^2}{2\times6.885\times10^{-3}\times110}=214.38\text{ W/m}^2$$

（二）温度差和导热系数

在所选数据末端， $V_t=184\text{ }\mu\text{V}=0.184\text{ mV}$ ，故：

$$\Delta t=\frac{0.184}{0.04}=4.60\text{ K}$$

导热系数为：

$$\lambda=\frac{214.38\times0.010}{2\times4.60}=0.233\text{ W/（m}\cdot\text{ K）}$$

若采用 16 组数据的平均热电势差  $\overline{V_t}=174.44\text{ }\mu\text{V}$ ，可得  $\lambda=0.246\text{ W/（m}\cdot\text{ K）}$ 。两种取值均位于有机玻璃导热系数  $0.14\sim0.25\text{ W/（m}\cdot\text{ K）}$  的参考范围内，后续以末端准稳态值  $0.233\text{ W/（m}\cdot\text{ K）}$  作为实验结果。

（三）逐差法计算温升速率

8 组每 8 分钟温升热电势依次为：189、187、186、183、181、180、178、177 $\mu\text{V}$ ，其平均值为：

$$\overline{\Delta U}=\frac{1}{8}\sum_{i=1}^8\Delta U_i=182.625\text{ }\mu\text{V}=0.182625\text{ mV}$$

因此：

$$v_1=\frac{\overline{\Delta U}}{z_T\times8\times60}=\frac{0.182625}{0.04\times480}=9.51\times10^{-3}\text{ K/s}$$

（四）最小二乘法计算温升速率及不确定度

对  $V_c-t$  数据进行最小二乘直线拟合，得到：

$$V_c=(22.813t-54.984)\text{ }\mu\text{V}$$

拟合斜率及其标准不确定度为：

$$k=(22.813\pm0.122)\mu\text{V}/\text{min}$$

拟合决定系数为：

$$R^2=0.99960$$

温升速率及其标准不确定度为：

$$v_2=\frac{k}{z_T}=9.506\times10^{-3}\text{ K/s}$$

$$u_v=5.07\times10^{-5}\text{ K/s}$$

$$u_r(v)=\frac{u_v}{v_2}\times100\%=0.534\%$$

故最小二乘法结果可表示为：

$$v_2=(9.506\pm0.051)\times10^{-3}\text{ K/s}$$

逐差法和最小二乘法结果基本一致，说明所选时间段内中心面升温速率较稳定。

### （五）比热容计算

采用最小二乘法得到的温升速率：

$$c=\frac{214.38}{1124\times0.010\times9.506\times10^{-3}}=2.01\times10^3\text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{ K})$$

即：

$$c=2007\text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{ K})$$

该结果高于有机玻璃比热容 1424~ 1549 J/(kg· K) 的参考范围，说明比热容测量受到系统误差的影响较明显。

### （六）实验曲线

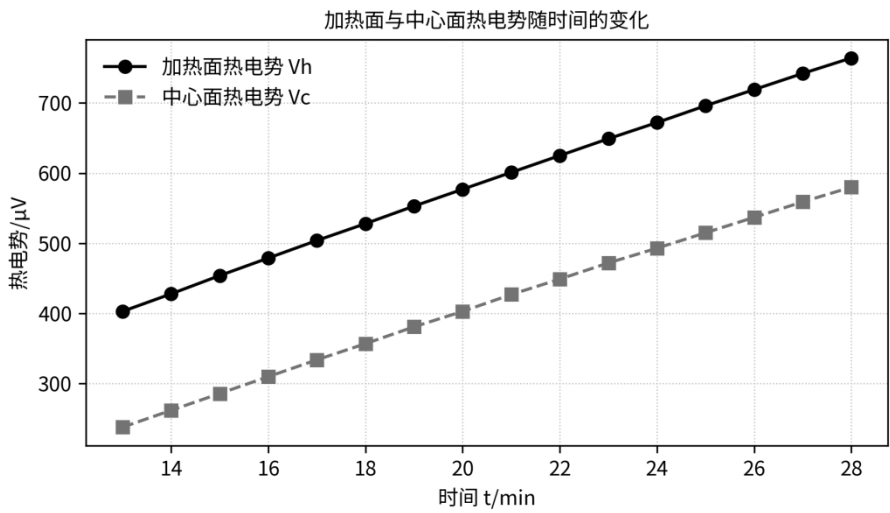


图 1 加热面与中心面热电势随时间的变化

图 1 显示，加热面和中心面热电势均随时间近似线性升高，加热面热电势始终高于中心面。

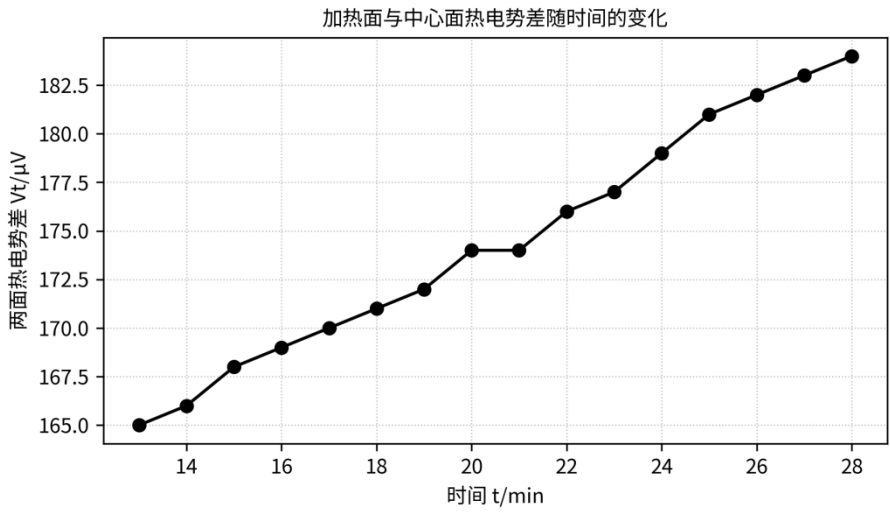


图 2 两面热电势差随时间的变化

图 2 显示，两面热电势差由 165 μV 缓慢增大到 184 μV，后期变化趋缓，但并未完全恒定。

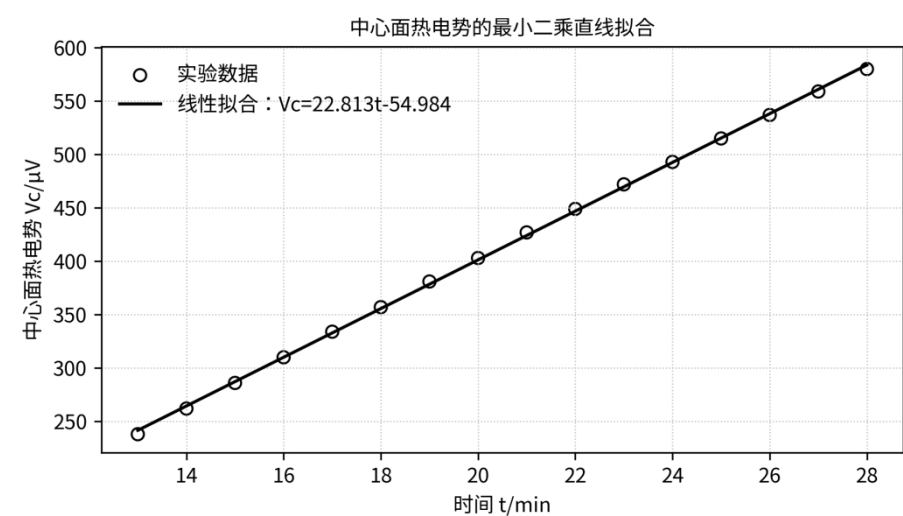


图 3 中心面热电势的最小二乘直线拟合

图 3 表明中心面热电势与时间具有良好的线性关系， $R^2=0.99960$ ，符合准稳态条件下升温速率近似恒定的要求。

### （七）主要计算结果汇总

| 物理量              | 计算结果                                 | 参考范围或说明                 |
|------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 热流密度 $q_c$       | 214.38 W/m <sup>2</sup>              | 按 $r=110\ \Omega$ 计算    |
| 末端温度差 $\Delta t$ | 4.60 K                               | 由 184 $\mu\text{V}$ 换算  |
| 导热系数 $\lambda$   | 0.233 W/(m·K)                        | 参考范围 0.14~0.25 W/(m·K)  |
| 逐差法升温速率 $v_1$    | $9.51\times 10^{-3}$ K/s             | —                       |
| 拟合升温速率 $v_2$     | $(9.506\pm 0.051)\times 10^{-3}$ K/s | 相对标准不确定度 0.534%         |
| 比热容 $c$          | 2007 J/(kg·K)                        | 参考范围 1424~1549 J/(kg·K) |

## 八、实验结果与讨论:

### （一）关于准稳态的判定

在  $t=13\sim 28\ \text{min}$  内，中心面热电势由  $238\ \mu\text{V}$  增大到  $580\ \mu\text{V}$ ，加热面热电势由  $403\ \mu\text{V}$  增大到  $764\ \mu\text{V}$ 。中心面热电势的线性拟合决定系数达到 0.99960，表明中心面升温速率基本恒定。两面热电势差由  $165\ \mu\text{V}$  增至  $184\ \mu\text{V}$ ，后期增幅减小但仍有缓慢上升。因此，该时间段基本满足准稳态条件，但尚未达到严格意义上的完全稳定状态。

### （二）关于导热系数测量结果

按讲义近似电阻  $r=110\ \Omega$  计算，试样导热系数为  $0.233\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，处于有机玻璃参考范围

$0.14\sim 0.25\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  内。采用末端热电势差与采用 16 组数据平均热电势差得到的结果分别为  $0.233\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  和  $0.246\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，差异较小，说明导热系数结果具有一定稳定性。

### （三）关于比热容测量结果

逐差法和最小二乘法得到的温升速率高度一致，表明数据处理方法本身较为可靠。但计算所得比热容为  $2007\ \text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ，高于参考上限  $1549\ \text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。这一偏差说明比热容计算对加热膜电阻、边缘散热、样品有效厚度和温升速率的系统误差较为敏感。尤其是加热膜实际电阻未从样件标注中确认，直接采用  $110\ \Omega$  近似值可能造成热流密度估计偏差。

### （四）误差分析

1. 加热膜电阻误差。热流密度满足  $q_c\propto 1/r$ ，实际电阻与近似值的差异会同时影响导热系数和比热容。
2. 准稳态选取误差。两面热电势差仍在缓慢变化，说明温度场没有完全稳定，取数时刻会影响温度差和导热系数。
3. 接触热阻。加热膜、热电偶、试样和隔热层之间若接触不均匀，会使实际温度梯度偏离理想模型。
4. 边缘散热。试样会通过空气、支架、导线和固定结构向外散热，面积修正系数不能完全消除所有热损失。
5. 热电偶和仪器误差。热电势仅为数百微伏，仪器零点漂移、分辨率和环境温度变化均会影响读数。

### （五）实验结论

本实验利用准稳态法测量有机玻璃的导热系数和比热容。所选 16 组数据中，中心面热电势与时间具有良好的线性关系，逐差法与最小二乘法得到的温升速率基本一致。按加热膜电阻  $110\ \Omega$  计算，导热系数位于参考范围内，比热容结果偏大，具体结果为：

$$\lambda=0.233\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$$

$$c=2.01\times 10^3\ \text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$