

# 实验名称：闪光法测定不良导体的导热率

物理学院 李佳明 1400011418 周五下午 10 组 08 号

## 目的要求

1. 了解测定热物性参数——热导率的意义。
2. 了解热学实验中测定材料热导率的原理和方法。
3. 了解实验中是怎样实现, 闪光法测定不良导体热导率的条件的。
4. 通过实验研究, 分析两类误差的来源, 给出实验结果的不确定度估计。

## 仪器用具

酚醛胶布板样品, 瓷砖样品, 闪光法导热仪, 50 分度游标卡尺, 螺旋测微器, 电子天平 (量程 2100g, 最小分度值 10mg)。

## 实验原理

### 1. Fourie 热传导定律

在温度梯度不太大时, 近似有线性的 Fourier 热传导定律:

$$\mathbf{q} = -\lambda \nabla T, \quad (1)$$

其中  $\mathbf{q}$  是热流密度, 表示等温面单位面积上, 沿温度降低方向, 在单位时间内通过的热量;  $\lambda$  是热导率, 表示单位时间内, 在每单位长度上温度降低 1 K 时, 单位面积上通过的热量。热导率单位为  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

利用 (1) 式, 可得到热流方程

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \alpha \nabla^2 T = 0,$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{c\rho}$$

是热扩散率,  $c$  是质量比热,  $\rho$  是密度。

## 2. 热导率的测量方法

材料的导热率测量, 主要有稳态法和非稳态法两类方法。

稳态法利用 (1) 式, 在被测材料达到稳态后测量  $q$  和  $\nabla T$ , 可直接求出  $\lambda$ 。

非稳态法利用 (2) 式, 先确定热扩散率  $\alpha$ , 再利用 (3), 求得热导率  $\lambda$ . 而  $c$  和  $\rho$  需要另行测量。

## 3. 一维热传导问题

考虑一个一维热传导问题. 设温度场为  $T(x, t)$   $0 < x < L$ . 开始时材料处于平衡态,  $t = 0$  时对材料一端均匀传入热量  $Q$ , 且加热时间充分短, 则可写出初值条件:

$$T(x, 0) = \frac{Q}{\rho c} \delta(x) \quad (4)$$

假设过程是绝热的, 则有第二类边界条件:

$$\frac{\partial T}{\partial x}(0, t) = \frac{\partial T}{\partial x}(L, t) = 0 \quad (5)$$

由 (2)(4)(5) 式, 解得:

$$T(x, t) = \frac{Q}{\rho c L} \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{+\infty} \cos \frac{n\pi x}{L} \exp \left( -\frac{n^2 \pi^2}{L^2} \alpha t \right) \right]. \quad (6)$$

在  $x=L$  初, 有:

$$T(L, t) = \frac{Q}{\rho c L} \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{+\infty} (-1)^n \exp \left( -\frac{n^2 \pi^2}{L^2} \alpha t \right) \right] = \frac{Q}{\rho c L} \vartheta_4 \left( 0, e^{-\frac{\pi^2 \alpha t}{L^2}} \right) \quad (7)$$

其中  $\vartheta_4(u, q)$  是一种椭圆  $\vartheta$  函数. 当  $t \rightarrow +\infty$  时,  $T(L, t) \rightarrow T_M = \frac{Q}{\rho c L}$  趋向最大值. 下面我们把它无量纲化. 定义  $\omega = \frac{\pi^2}{L^2} \alpha t$ ,  $V = \frac{T}{T_M}$ , 则

$$V = 1 + 2 \sum_{n=1}^{+\infty} (-1)^n \exp(-n^2 \omega) = \vartheta_4 \left( 0, e^{-\frac{\pi^2 \omega t}{L^2}} \right) \quad (8)$$

数据求解  $V=1/2$ ,  $\omega=1.38$ , 对应时间记为  $t_{1/2}$ , 可得热扩散率:

$$D = 1.38 L^2 / (\pi^2 t_{1/2})$$

热导率:

$$K = 1.38 \rho c L^2 / (\pi^2 t_{1/2})$$

#### 4. 实验条件和散热修正

为了使得热传导问题近似是一维的, 样品面积要远大于厚度, 忽略侧面散热; 加热光还要均匀. 为了满足热传导方程, 样品要均匀各向同性. 为了满足初始条件, 加热时间相对热传导过程很短. 为了满足绝热边条件, 样品温升要很小, 忽略向环境散热. 另外, 热电传感器的热容也要足够小。

实验中发现, 散热是不可忽略的. 我们近似认为在加热结束后, 散热是线性的, 由此进行散热修正。

### 实验内容

1. 打开微机, 在桌面上双击打开“闪光法热导仪”, 了解和熟悉使用软件。
2. 认识实验装置。
3. 分别对两块样品进行背面温升曲线的测量 (各 2 次)。
4. 测量样品密度。
5. 对测得的温升曲线做散热修正 (用实验软件), 在散热修正曲线上取  $t_{1/2}$ 。任取一条实测曲线, 将做了散热修正与未做散热修正的结果进行比较, 并得出结论。

6. 任取一条实测曲线，利用其散热的线性部分，计算散热速率，与软件给出的结果进行比较，并写出对整个测量曲线进行修正的思路、做法和公式。

## 数据结果与处理

### 1. 样品密度

#### a) 胶布板

|     | 长(mm)  | 宽(mm) | 高(mm) |
|-----|--------|-------|-------|
| 1   | 99.86  | 99.52 | 3.079 |
| 2   | 100.02 | 99.24 | 3.078 |
| 3   | 99.68  | 99.16 | 3.085 |
| 平均值 | 99.85  | 99.31 | 3.080 |

| 体积( $\text{cm}^3$ ) | 质量(g) | 密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) |
|---------------------|-------|------------------------------|
| 30.542              | 41.04 | 1.344                        |

代入不确定度,  $\rho = (1.344 \pm 0.005) \text{ g}/\text{cm}^3$

#### b) 瓷砖

| 单位都为 mm | 长      | 宽      | 高 (凹处) | 高 (凸起) | 凸起宽度 |
|---------|--------|--------|--------|--------|------|
| 1       | 101.62 | 99.78  | 9.177  | 9.702  | 2.26 |
| 2       | 100.20 | 100.38 | 9.168  | 9.688  | 2.24 |
| 3       | 100.42 | 99.68  | 9.178  | 9.712  | 2.26 |
| 平均值     | 100.71 | 99.90  | 9.174  | 9.701  | 2.25 |

| 体积     | 质量     | 密度   |
|--------|--------|------|
| 93.208 | 203.93 | 2.19 |

代入不确定度,  $\rho = (2.196 \pm 0.005) \text{ g}/\text{cm}^3$

2. 温升和散热修正

a) 胶布板

|        | 软件散热修正系数(°/s) | T0     | TM     | T1/2    | t1/2   | 热导率λ  |
|--------|---------------|--------|--------|---------|--------|-------|
| 无散热修正  |               | 0.8146 | 1.2589 | 1.03675 | 7.1745 | 0.243 |
| 散热修正 1 | 0.002187      | 0.8193 | 1.3107 | 1.0650  | 7.4708 | 0.234 |
| 散热修正 2 | 0.001995      | 0.68   | 1.1691 | 0.92455 | 7.3372 | 0.248 |
| 散热修正 3 | 0.002028      | 0.7469 | 1.2345 | 0.9907  | 7.2993 | 0.240 |

平均 λ= 0.24 W/(m·K)

b) 瓷砖

|        | 软件散热修正系数 | T0      | TM      | T1/2    | t1/2   | 热导率λ  |
|--------|----------|---------|---------|---------|--------|-------|
| 无散热修正  |          | -0.1164 | -0.5182 | -0.3173 | 3.9517 | 0.495 |
| 散热修正 1 | 0.001250 | -0.5179 | -0.0891 | -0.3035 | 4.1118 | 0.476 |
| 散热修正 2 | 0.001325 | -0.4171 | 0.0187  | -0.1992 | 4.0766 | 0.480 |
| 散热修正 3 | 0.001172 | -0.3683 | 0.0441  | -0.1621 | 4.1086 | 0.476 |

平均 λ=0.48 W/(m·K)

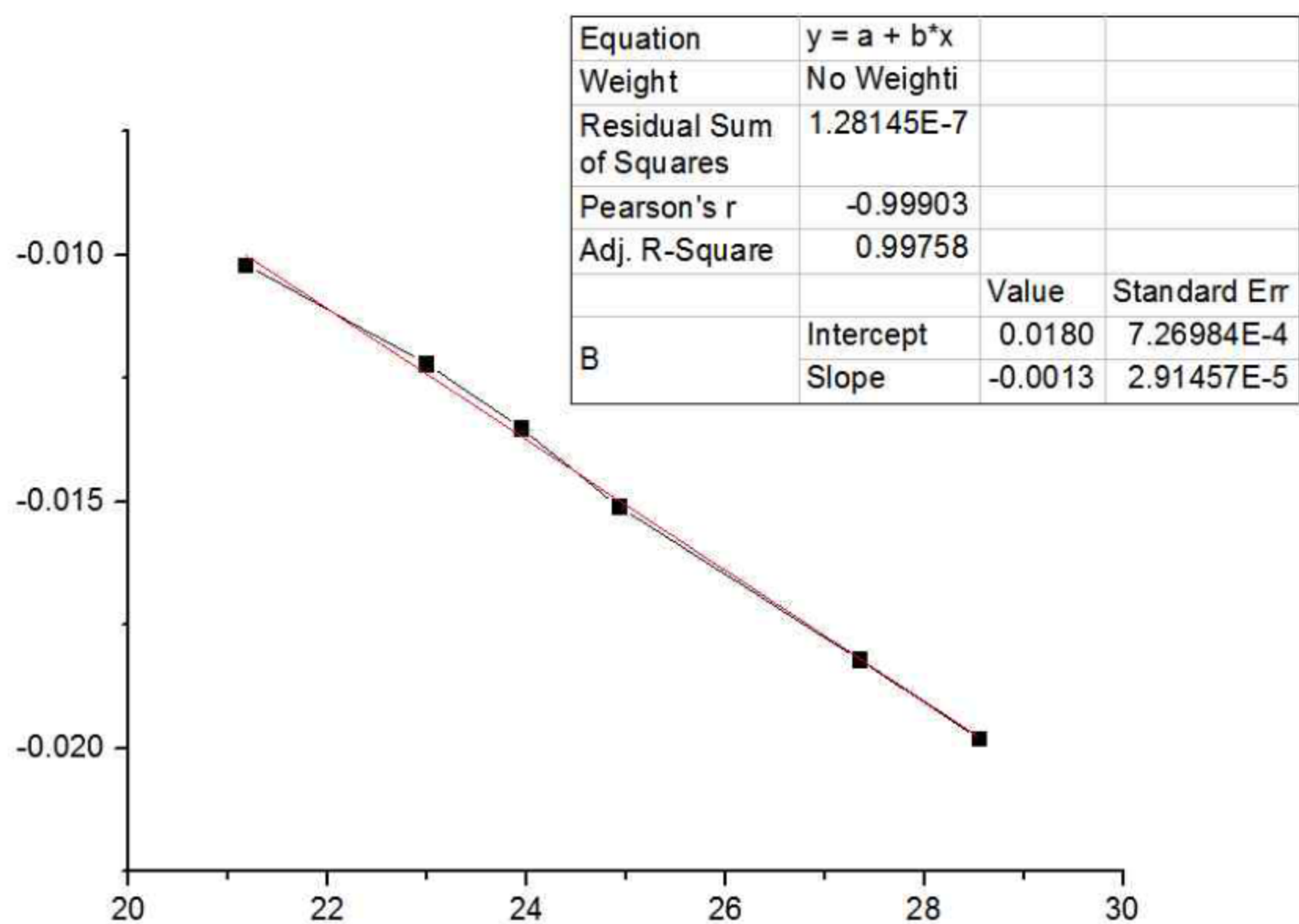
3. 实测曲线与散热速率

瓷砖：

|    |         |         |         |         |         |         |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 时间 | 21.1689 | 22.9856 | 23.9372 | 24.923  | 27.343  | 28.5432 |
| 温度 | -0.0102 | -0.0122 | -0.0135 | -0.0151 | -0.0182 | -0.0198 |

由 OrriginPro 计算出散热修正系数如下：





即为： $-0.0013^{\circ}/s$ ，与实验所用软件相符。

思考题：

1. 答：要满足一维导热。试验中通过采用直径远大于厚度的圆柱形均匀样品和曲面反光罩来实现。
2. 答：为了尽量减少它对实验传热、散热等的影响。
3. 答：为了让材料由于上一次闪光而升高的温度尽量散失，恢复原样，保证样品在测量过程中对环境散热尽量小。
4. 答：可能是 P-N 结传感器未插入或接触不良。重新插入、调整使其电路接触良好。
5. 答： $t_{1/2}$  指样品背面温度从  $T_0$  升温到  $T_{1/2}$  的时间。

$T_0$  取曲线突变后的最低点。