

# 良导热体铜、铝热导率的测量

热导率的动态测量在国际上已很普遍，方法也有多种。本实验采用热波法。其特点是当热量在样品中传播时，样品各点的温度不像稳态法那样保持恒定。只要给定适当的边界条件，就可以使得样品上的各点温度均可随时间作简谐变化，利用这种变化可计算出样品的热导率。

### 【实验目的】

1. 了解动态法的特点和其优越性
2. 认识热波，加强对波动理论的理解
3. 掌握一种测量热导率的方法

### 【实验原理】

令热量沿一维传播，故将样品制成棒状，周边隔热，取一小段样品讨论如图 1 所示。

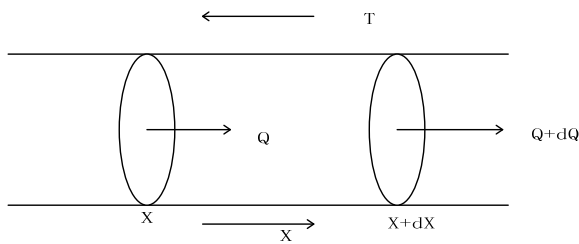


图 1

根据热传导定律，单位时间内流过任一垂直于传播方向面积  $A$  的热量，即热流为

$$Q = -KA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

其中  $K$  为待测材料的热导率， $\frac{dT}{dx}$  是温度对坐标  $x$  的梯度。

将 (1) 式两边对坐标取微分有

$$dQ = -KA \frac{d^2T}{dx^2} dx$$

根据能量守恒定律，任一时刻棒元的热平衡方程为

$$C\rho A dx \frac{dT}{dt} = dQ = -KA \frac{d^2T}{dx^2} dx \quad (2)$$

其中  $C$ ， $\rho$  分别为材料的比热容和密度，于是可得热流方程为

$$\frac{dT}{dt} = D \frac{d^2T}{dx^2} \quad (3)$$

其中  $D = \frac{K}{C\rho}$ ，称为热扩散系数。

(3) 式的解可把各点的温度随时间的变化表示出来，具体形式取决于边界条件。

若令热端的温度按简谐变化，即

$$T = T_0 + T_m \sin \omega t \quad (4)$$

另一端用冷水冷却，保持恒定的低温 $T_0$ ，则（3）式的解也就是棒中各点的温度。为

$$T = T_0 - \alpha x + T_m e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2D}}x} \sin(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2D}}x) \quad (5)$$

其中 $T_0$ 是直流成分， $\alpha$ 是线性成分的斜率。从上式得出：

（1）热端（ $x=0$ ）处温度按简谐方式变化时，这种变化将以衰减的形式在棒内向冷端传播，称为热波，或温度波。

$$(2) \text{ 热波的波速: } V = \sqrt{2D\omega} \quad (6)$$

$$(3) \text{ 热波的波长: } V = 2\pi\sqrt{\frac{2D}{\omega}} \quad (7)$$

因此在热端温度变化的角频率 $\omega$ 以知的情况下，只要测出波速或波长就可计算出 $D$ ，而后再

有 $D = \frac{K}{C\rho}$ 计算出材料的热导率 $K$ 。本实验采用（6）式可得

$$V^2 = 2\frac{K}{C\rho}\omega \quad \text{则} \quad K = \frac{V^2 C\rho}{4\pi f} = \frac{V^2 C\rho}{4\pi} T \quad (8)$$

其中， $f$ 、 $T$ 分别为热端温度按简谐变化的频率和周期。

从上述原理可知实现热导率测量的关键是：

- （1） 如何实现热量的一维传播；
- （2） 如何实现热端温度随时间按简谐形式变化的边界条件；

### 【实验仪器】

#### 1. RB-1 型热导率动态测量仪

工作方式：“手动”和“程控”两种；

热源功率：500W×2

脉动周期：手动方式：180±1（秒）；程控方式：任意

样品温度有效范围：10℃~100℃

温度分辨率：±0.5℃

#### 2. 微型计算机（P5 以上，RAM>16M）

软件环境：Windows98

数据格式：标准文本格式

显示方式：动态实时显示测量曲线和数据

#### 3. 样品中的测量点分布及编号

从样品热端至冷端，沿轴样品轴线，每隔 20mm 分布 1 个热电偶传感器

“铜”样品有 12 个传感器，编号依次为 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12

“铝”样品有 8 个传感器，编号依次为 1、2、3、4、5、6、7、8

#### 4. 有关参数

铜的密度:  $8.9\text{g/cm}^3$   
 铝的密度:  $2.7\text{g/cm}^3$   
 铜的比热:  $0.38\text{J/g} \cdot \text{K}$   
 铜的比热:  $0.90\text{J/g} \cdot \text{K}$

**【实验内容】**

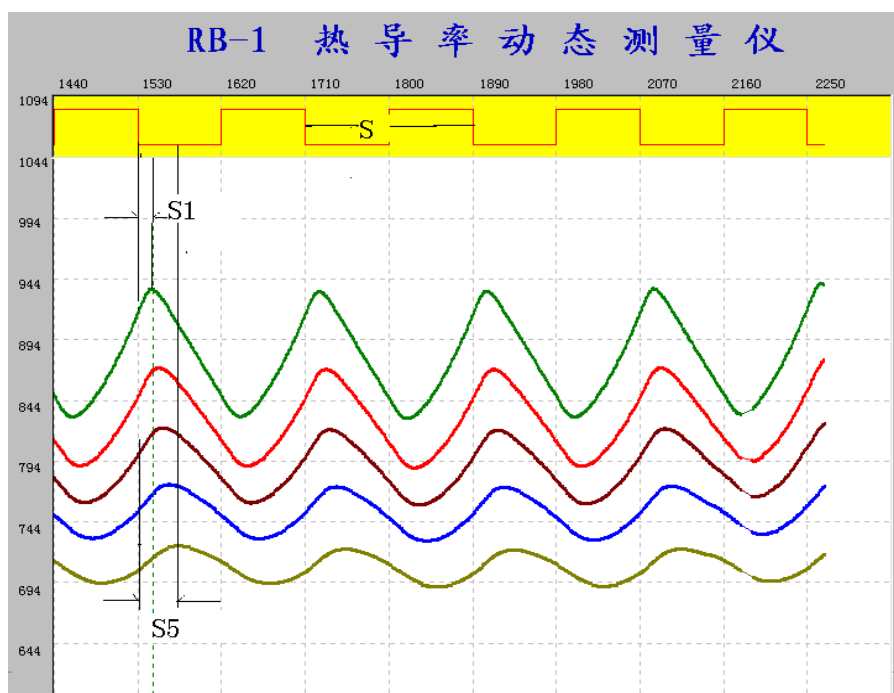
1. 使用“程控”方式
2. 测量“铜”样品(2~7)共6个点,“铝”样品(2~6)共5个点;(先铜后铝)
3. 经过40~60分钟后系统稳定后,在曲线上利用光标键测量出各峰点的相关的数据,并将曲线图复制下来;

**【数据处理】**

方法一:

将  $T \sim t$  曲线图打印出来,选定任意两条曲线,求出这两条正弦曲线与参考方波产生的相位差  $\Delta S = S_i - S_j$ , 以及测量点走过的距离  $\Delta L_i$  和每个周期的长度  $S$ , 可得出  $t_i = (\Delta S_i / S) \times T$ ,  $T$  为方波的周期, 并且设  $V$  为热波在样品中传播的速度, 在走过了  $\Delta L_i$  距离后所需要的时间为  $t_i = \Delta L_i / V$ , 所以传播的速度为  $V = \Delta L_i S / T \Delta S_i$ , 将  $V$  代入(8)式计算热导率  $K = \Delta L_i^2 S^2 C \rho / 4 \pi T \Delta S_i^2$ 。也可用相应各组的  $K$  值取平均。如图2所示。

方法二:



直接在显示屏上读取，求出任意各组的  $K$  值，通过(8)式可得：
$$K = \frac{C\rho T}{4\pi} \frac{(n_i - n_j)^2 l_0^2}{(t_i - t_j)}$$

请利用最小二乘法进行数据处理

**【思考题】**

1. 如果想知道棒上某一时刻棒上的热波，即  $T \sim X$  曲线，将怎么做？画出它的大概形状。
2. 用测出的数据计算热波波长；
3. 为什么较后的测量点的  $T \sim t$  曲线会逐渐平坦而不呈现正弦波形？