

实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-11-26

实验题目：不良导体导热系数的测量

实验目的：了解热传导现象的物理过程，学习用稳态平板法测量不良导体的导热系数并利用作图法求冷却速率。

实验原理：1、导热系数

导热系数是反映材料热性能的重要物理量。目前对导热系数的测量均建立在傅立叶热传导定律的基础上。本实验采用稳态平板法。

根据热传导理论，当物体内部存在温度梯度时，热量从高温向低温传导：

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda \frac{dT}{dx} \cdot dx$$

其中 λ 就是导热系数。

2、不良导体导热系数的测量

样品为一平板，当上下表面温度稳定在 T_1 、 T_2 ，以 h_B 表示样品高度， S_B 表样品底面积：

$$\frac{dQ}{dt} = \lambda \frac{T_1 - T_2}{h_B} \cdot S_B$$

由于温差稳定，那么可以用 A 在 T_2 附近的 dT/dt （冷却速率）求出 dQ/dt 。

根据散热速率与散热面积成正比，则

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\pi R_A (R_A + 2h_A)}{2\pi R_A (R_A + h_A)} \cdot \frac{dQ_P}{dt} = \frac{R_A + 2h_A}{R_A + h_A} \cdot \frac{dQ_P}{dt}$$

又根据

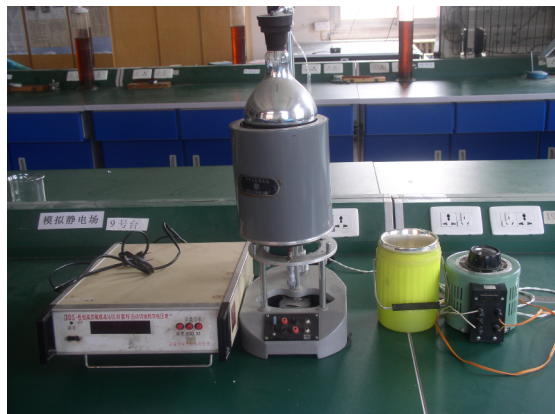
$$\frac{dQ_P}{dt} = mc \cdot \frac{dT}{dt}$$

有

$$\lambda = \frac{mch_B (R_A + 2h_A)}{2\pi R_B^2 (T_1 - T_2) (R_A + h_A)} \cdot \frac{dT}{dt}$$

从而通过测量以上表达式中的量得到导热系数。

实验装置：如图



实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-11-26

- 实验内容：
- 1、用游标卡尺测量 A、B 两板的直径、厚度（每个物理量测量 3 次）；
 - 2、正确组装仪器后，打开加热装置，将电压调至 250V 左右进行加热至一定温度（对应 T_1 电压值大约在 3.20-3.40mV）；
 - 3、将电压调至 125V 左右，寻找稳定的温度（电压），使得板上下面的温度（电压）10 分钟内的变化不超过 0.03mV，记录稳定的两个电压值；
 - 4、直接加热 A 板，使得其温度相对于 T_2 上升 10 度左右；
 - 5、每隔 30s 记录一个温度（电压）值，取相对 T_2 最近的上下各 6 个数据正式记录下来；
 - 6、整理仪器；数据处理。

实验数据：

几何尺寸测量：

序号	直径 (mm)			厚度 (mm)		
	1	2	3	1	2	3
A 板	130.04	129.72	129.90	7.02	6.90	6.92
B 板	129.42	129.44	129.52	8.02	7.92	8.00

表一：A、B 板的几何尺寸测量结果

A 质量 $m=806g$ ，比热容 $c=0.793kJ/kgK$ 。

稳定温度（实际是电压值）： $T_1: 3.09mV$ $T_2: 2.73mV$

A 盘自由散热过程中：

	1	2	3	4	5	6
T(用电压, mV)	2.98	2.93	2.88	2.83	2.78	2.73
	7	8	9	10	11	12
T(用电压, mV)	2.68	2.64	2.59	2.55	2.51	2.47

表二：自由散热温度（最接近 T_2 的 12 个）

数据处理：

将导热系数的公式变形为

$$\lambda = \frac{2mch_B(D_A + 4h_A)}{\pi D_B^2(V_1 - V_2)(D_A + 2h_A)} \cdot \frac{dV}{dt}$$

A 盘直径的平均值

$$\overline{D_A} = \frac{D_{A1} + D_{A2} + D_{A3}}{3} = \frac{130.04 + 129.72 + 129.90}{3} mm = 129.89mm$$

B 盘直径的平均值

$$\overline{D_B} = \frac{D_{B1} + D_{B2} + D_{B3}}{3} = \frac{129.42 + 129.44 + 129.52}{3} mm = 129.46mm$$

A 盘厚度的平均值

$$\overline{h_A} = \frac{h_{A1} + h_{A2} + h_{A3}}{3} = \frac{7.02 + 6.90 + 6.92}{3} mm = 6.95mm$$

B 盘厚度的平均值

实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

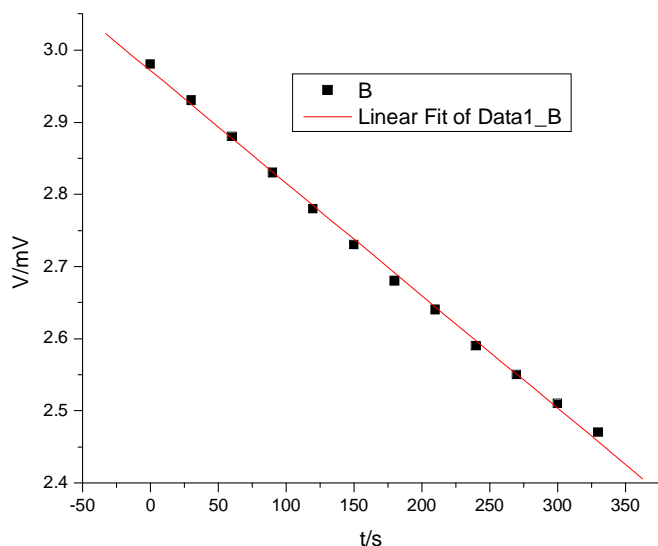
学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-11-26

$$\overline{h_B} = \frac{h_{B1} + h_{B2} + h_{B3}}{3} = \frac{8.02 + 7.92 + 8.00}{3} \text{ mm} = 7.98 \text{ mm}$$

利用 ORIGIN 作图得到 dV/dt ：



图一：A 盘散热过程线形拟合图

Linear Regression for Data1_B:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error
-----------	-------	-------

A	2.97128	0.00413
---	---------	---------

B	-0.00156	2.12215E-5
---	----------	------------

R	SD	N	P
---	----	---	---

-0.99907	0.00761	12	<0.0001
----------	---------	----	---------

从中得到 $dV/dt = 1.56 \times 10^{-3} \text{ mV/s}$

于是计算有：

$$\begin{aligned} \overline{\lambda} &= \frac{2m\overline{ch_B}(\overline{D_A} + 4\overline{h_A})}{\pi\overline{D_B}^2(V_1 - V_2)(\overline{D_A} + 2\overline{h_A})} \cdot \frac{dV}{dt} \\ &= \frac{2 \times 0.806 \times 0.389 \times 10^3 \times 7.98 \times 10^{-3} \times (0.12989 + 4 \times 6.95 \times 10^{-3}) \times 1.56 \times 10^{-3}}{3.14 \times 0.12946^2 \times (3.09 - 2.73) \times (0.12989 + 2 \times 6.95 \times 10^{-3})} \text{ W/(m} \cdot \text{K)} \\ &= 0.45 \text{ W/(m} \cdot \text{K)} \end{aligned}$$

测量列 D_A 的标准差为

实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-11-26

$$\sigma(D_A) = \sqrt{\frac{\sum_i (\bar{D}_A - D_{Ai})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(129.89-130.04)^2 + (129.89-129.72)^2 + (129.89-129.90)^2}{3-1}} \text{mm} = 0.16 \text{mm}$$

取 $P=0.68$ ，查表得 t 因子 $t_p=1.32$ ，那么测量列 D_A 的不确定度的 A 类评定为

$$t_p \frac{\sigma(D_A)}{\sqrt{n}} = 1.32 \times \frac{0.16}{\sqrt{3}} \text{mm} = 0.12 \text{mm}$$

仪器（游标卡尺）的最大允差 $\Delta_{\text{仪}}=0.02\text{mm}$ ，人读数的估计误差可取为 $\Delta_{\text{估}}=0.02\text{mm}$ （一格），于是有

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{\text{yi}}^2 + \Delta_{\text{gu}}^2} = \sqrt{0.02^2 + 0.02^2} \text{mm} = 0.03 \text{mm}$$

游标卡尺为均匀分布，取 $P=0.68$ ，故 D_A 的不确定度的 B 类评定为

$$u_B(D_A) = \frac{\Delta}{C} = \frac{0.03}{\sqrt{3}} \text{mm} = 0.02 \text{mm}$$

于是合成不确定度

$$U(D_A) = \sqrt{\left[t_p \frac{\sigma(D_A)}{\sqrt{3}}\right]^2 + [k_p u_B(D_A)]^2} = \sqrt{0.12^2 + (1 \times 0.02)^2} \text{mm} = 0.12 \text{mm}, P = 0.68$$

类似可以计算得（ P 均为 0.68）： $U(D_B)=0.04\text{mm}$ ， $U(h_A)=0.05\text{mm}$ ， $U(h_B)=0.04\text{mm}$ 。

对于电压 V 的测量，由于在 10min 内允许 0.03mV 的波动，那么就认为 $U(V_1)=U(V_2)=0.03\text{mV}/3=0.01\text{mV}$ （均匀分布）。

根据 ORIGIN 作图结果有 $U(dV/dt)=2.12 \times 10^{-5} \text{mV/s}$ 。

由计算公式以及不确定度的传递规律，有

$$\left[\frac{U(\lambda)}{\lambda}\right]^2 = \left[\frac{U(h_B)}{h_B}\right]^2 + \left\{\frac{\sqrt{[U(D_A)]^2 + 4[U(h_A)]^2}}{D_A + 4h_A}\right\}^2 + \left[\frac{U(\frac{dV}{dt})}{\frac{dV}{dt}}\right]^2 + 4\left[\frac{U(D_B)}{D_B}\right]^2 + \left\{\frac{\sqrt{[U(V_1)]^2 + [U(V_2)]^2}}{V_1 - V_2}\right\}^2 + \left\{\frac{\sqrt{[U(D_A)]^2 + 2[U(h_A)]^2}}{D_A + 2h_A}\right\}^2$$

整理后就得到（ $P=0.95$ ）

$$\begin{aligned} U(\lambda) &= \bar{\lambda} \sqrt{\left[\frac{U(h_B)}{h_B}\right]^2 + \left\{\frac{\sqrt{[U(D_A)]^2 + 4[U(h_A)]^2}}{D_A + 4h_A}\right\}^2 + \left[\frac{U(\frac{dV}{dt})}{\frac{dV}{dt}}\right]^2 + 4\left[\frac{U(D_B)}{D_B}\right]^2 + \left\{\frac{\sqrt{[U(V_1)]^2 + [U(V_2)]^2}}{V_1 - V_2}\right\}^2 + \left\{\frac{\sqrt{[U(D_A)]^2 + 2[U(h_A)]^2}}{D_A + 2h_A}\right\}^2} \\ &= 0.45 \times \sqrt{\left(\frac{0.04}{7.98}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{0.12^2 + 4 \times 0.05^2}}{129.89 + 4 \times 6.95}\right)^2 + \left(\frac{2.12 \times 10^{-5}}{1.56 \times 10^{-3}}\right)^2 + 4 \times \left(\frac{0.04}{129.46}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{0.01^2 + 0.01^2}}{3.09 - 2.73}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{0.12^2 + 2 \times 0.05^2}}{129.89 + 2 \times 6.95}\right)^2} W / (m \cdot K) \\ &= 0.02 W / (m \cdot K) \end{aligned}$$

于是最终结果表示成

$$\lambda = \bar{\lambda} \pm U(\lambda) = (0.45 \pm 0.02) W / (m \cdot K), P = 0.68$$

误差来源的具体分析见思考题。

实验小结：1、本实验原理比较简单，但是操作过程和数据处理比较复杂；

2、实验操作中应该注意用电安全，注意线路连接的准确性和稳定性（插口是不是接触良好），

实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-11-26

同时在使用热源时也要防止烫伤；

- 3、实验过程中比较关键的步骤是寻找温度（电压）的稳定值点，也就是达到热平衡的点，寻找过程中应注意观察 T_1 、 T_2 的变化情况，根据变化情况适当增大或者减小热源的供热（改变电压）；
- 4、在数据处理中，对 dV/dt 的误差的分析很关键，但是我不知道怎么分析，暂且利用 ORIGIN 中给出的 ERROR 作为不确定度的 A 类评定，且认为 B 类评定相对于 A 类评定可以忽略，但从表达式和测量值的根本出发，比较合理的方式应该是利用回归分析，得到相关系数（不知道 ORIGIN 中给出的 R 是不是就是相关系数？）求解斜率（也就是 dV/dt ）的标准差，同时在考虑不确定度的 B 类评定时，应该对温度和时间分开计算后合成，又或者应该使用逐差法？还是没有完全明白。

思考题：

- 1、试分析实验中产生误差的主要因素。

Sol：一般来讲，热学实验中最大的误差是热量的耗散，这导致了在普通实验条件下对于热量的测定是很不准确的，这是一个很难避免的系统误差。根据实验过程和公式，知道实验中由测量带来的误差会体现在对物体几何尺寸的测量、温度（电压）的测定（此时把材料的质量、比热容作为常量）、时间的测量上。根据最后的误差传递公式，可以知道根号下各项中，数值最大的是关于 V_1 、 V_2 的一项，也就是对平衡温度的测量（其实对于这个量的误差到底是不是这么算的，我也没想明白）；而对时间的测量上，误差其实是很小的，因为降温速率并不快，差几秒去读数，示数基本没变化。

- 2、傅立叶定律中传热速率是不容易测准的量，本实验是如何避开的？

Sol：本实验中利用了热学中一些基本的公式和散热性质，以及热平衡规律，将传热的测量转为散热的测量，并利用比较系数的方法使测量更简单。