

《准稳态法测量不良导体的导热系数和比热》实验报告

无88 刘子源 2018010895

一、实验目的

- 学习使用万用表。
- 了解准稳态法测量不良导体的导热系数和比热原理，并通过快速测量学习掌握该方法。
- 掌握使用热电偶测量温度的方法。

二、数据处理

1、数字万用表的使用

测量任务	测量值	量程	精度	不确定度	完整测量结果
交流电压有效值	0.35048V	2V	0.2+0.05	0.002V	$(0.350 \pm 0.002)V$
交流信号频率	0.99997kHz	2kHz	0.01+0.003	0.00016Hz	$(0.99997 \pm 0.00016)kHz$
欧姆档测电阻	10.9119kΩ	20kΩ	0.020+0.004	0.003kΩ	$(10.912 \pm 0.003)kΩ$
测电容	0.922μF	2μF	1+0.5	0.019μF	$(0.922 \pm 0.019)μF$
二极管正向导通压降	0.5337V	2V	0.06+0.020	0.0007V	$(0.5337 \pm 0.0007)V$

计算不确定度时， Δx 取两位有效数字，首位 ≥ 3 时可取一位，例如欧姆档测量电阻时，测量值为10.9119kΩ，对应量程为20kΩ，精度为0.020+0.004，则有不确定度

$$\Delta R = 0.020\% \times 10.9119 + 0.004\% \times 20 = 0.003k\Omega$$

完整测量结果为

$$R = (10.912 \pm 0.003)k\Omega$$

2、测量有机玻璃的热导率和比热

安装实验装置，检查仪器，测量相关参数。

材料

有机玻璃

密度 ρ	$1196kg/m^3$
厚度R	10mm
面积F	$90mm \times 90mm$
初始加热电压	17.9890V
结束加热电压	17.9790V
平均加热电压	17.9840V
热电偶1电阻(中心面热端)	3.340Ω
热电偶2电阻(加热面热端)	2.300Ω
热电偶3电阻(中心面冷端)	3.875Ω
热电偶4电阻(加热面冷端)	4.735Ω
室温 t_0	$24.1^{\circ}C$
加热器并联电阻 $\frac{r}{2}$	55.131Ω
单个加热器电阻r	110.262Ω

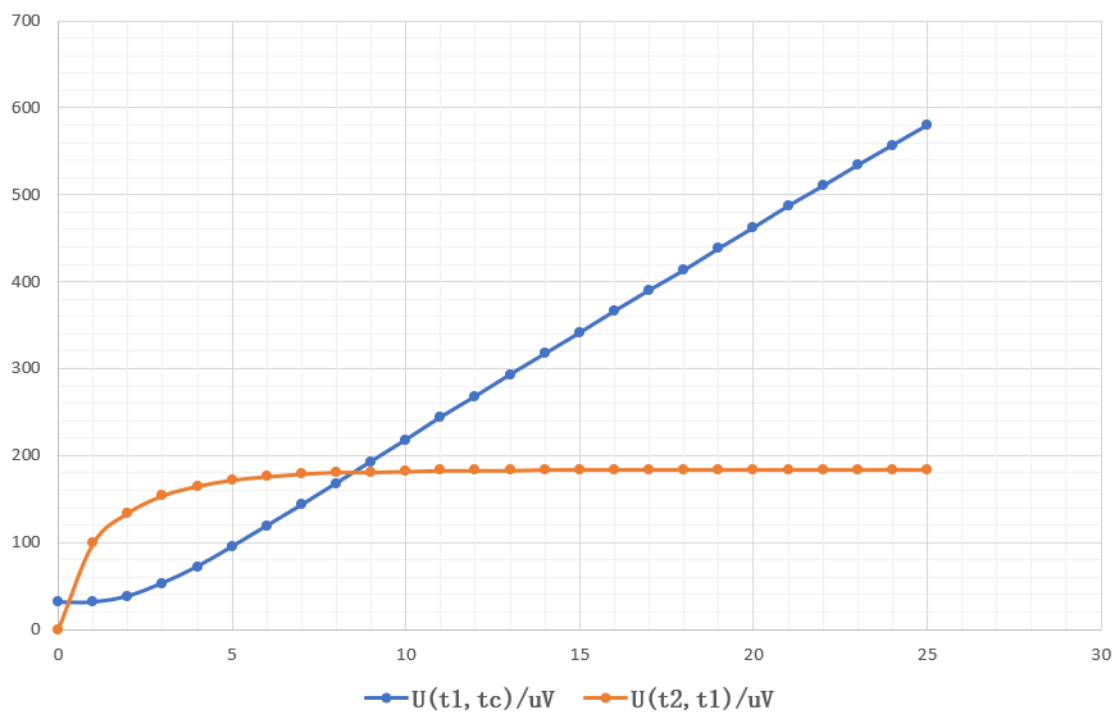
测量初始温差后开始加热，每隔1min测量样品中心和恒温水槽的温差电动势及加热面和中心面的温差电动势。

τ/min	中心面 $U(t_1, t_c)/uV$	加热面 $U(t_2, t_1)/uV$
0	31	0
1	31	99
2	38	134
3	53	154
4	72	165
5	95	172
6	119	176
7	143	179
8	168	181
9	193	181
10	218	182
11	244	183

12	268	183
13	293	183
14	317	184
15	341	184
16	366	184
17	390	184
18	413	184
19	438	184
20	462	184
21	487	184
22	510	184
23	534	184
24	557	184
25	580	184

用Excel做出电压（温差）随时间的变化关系由于 $\tau = 0min$ 时对应 $U(t_2, t_1) = 0$ ，故数据不用做相关修改，如下：

$U(t_1, t_c), U(t_2, t_1)$ 随时间变化曲线



从表格及图线中看出，大约在 $\tau = 14min$ 以后，加热面与中心面的温差保持不再变化，可以认为进入准稳态，在准稳态下，加热面与中心面的温差大约为

$$\Delta t = \frac{184uF}{40uV/^{\circ}C} = 4.6^{\circ}C$$

热流密度

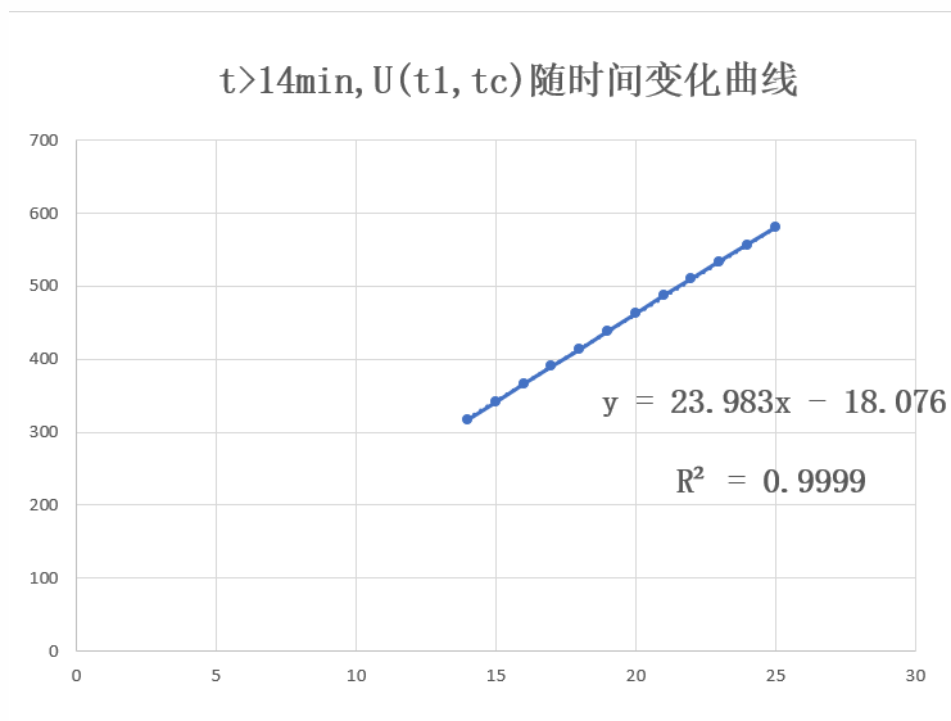
$$q_c = \frac{U_{\text{加热}}^2}{2Fr} = \frac{17.9840^2}{2 \times 110.262 \times 0.09^2} = 181.06W/m^2$$

样品厚度 $R = 10mm$ ，因此导热系数

$$\lambda = \frac{q_c R}{2\Delta t} = 0.197W/(m \cdot K)$$

这里 $U(t_2, t_1)$ 只有3位有效数字，故 λ 也保留3位。

对 $\tau = 14min$ 以后的 $U(t_1, t_c)$ 做线性拟合，得到如下图线：



可知 $\frac{dU(t_1, t_c)}{d\tau} = 23.983uV/min$ ，相关系数 $R^2 = 0.9999$ ，可以认为 $U(t_1, t_c)$ 随时间线性变化，则温度随时间的变化率为：

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{23.983uV/min}{40uV/^{\circ}C \times 60min} = 9.993K/s$$

又知道 $\rho = 1196kg/m^3$ ， $q_c = 181.06W/m^2$ ，则

$$c = \frac{q_c}{\rho R \frac{dt}{d\tau}} = 1.51 \times 10^3 J/(kg \cdot K)$$

3、估算进入准稳态时中心面的温度，并对曲线走势做出解释

由理论分析，在准稳态下中心面温度满足

$$t(\tau) = \frac{q_c R}{\lambda} \left(\frac{a\tau}{R^2} - \frac{1}{6} \right) + t_0$$

从实验数据看来，在第 $\tau = 14min$ 时进入准稳态，计算此时的傅里叶数，注意要将 min 量纲换算成 s 的量纲：

$$F_0 = \frac{a\tau}{R^2} = \frac{\frac{0.197}{1510 \times 1196} \times 14 \times 60}{0.01^2} = 0.91 > 0.5$$

可以认为此时的热传导状态为准稳态，将 $\tau = 14min$ 代入上述中心面温度计算公式得：

$$t(14min) = \frac{181.06 \times 0.01}{0.197} \times (0.91 - \frac{1}{6}) + 24.1 = 30.9^\circ C$$

注意上述过程无需用修正后的导热系数及比热计算，其修正的系数85%在作比中会消去。

由上述计算可知，刚进入准稳态时中心面的温度为 $30.9^\circ C$ ，进入准稳态后， $U(t_2, t_1)$ 保持不变，因为在准稳态下，样品内部任意两点之间的温差不随时间变化， $U(t_1, t_c)$ 线性增加，因为理论分析可得，样本中心的温升速率 $\frac{\partial t}{\partial \tau}|_{x=0} = \frac{q_c}{c\rho R}$ 保持不变。

4、对热流密度进行修正

设 $q_c = \frac{U_{\text{max}}}{2Fr} \times 85\%$ ，代入公式得

$$\lambda = \frac{q_c R}{2\Delta t} = 0.167 W/(m \cdot K)$$

$$c = \frac{q_c}{\rho R \frac{dt}{d\tau}} = 1.28 \times 10^3 J/(kg \cdot K)$$

与热导实验参考值的相对误差分别为1.8%和2.3%，均在10%范围内。

三、实验小结

本实验主要学习了准稳态法测量不良导体的导热系数和比热的方法，准稳态法的优点在于操作简便，缺点在于精度较低。主要误差的来源包括热流密度的计算误差（塑料泡沫吸收薄膜吸收加热器的能量）、样品的非理想性等。

实验中我在测量时发现随着温度升高热电偶的电阻不断变化，但是考虑到热电偶只提供电压，只要在 $2 \sim 5\Omega$ 合理范围内即可，其变化不带来误差，薄膜加热器的电阻也几乎不变，加热电压在实验前后取平均值后也可一定程度上消除误差。

四、思考题

1、一般量热学实验的测量精度高吗？为什么？

答：一般量热学实验的测量精度比较低。以本实验为例，热学实验有较多的干扰因素，如室温的变化、随着温度升高加热器电阻的变化、实验材料的非理想性质等。

此外，热学实验中用到的公式很多都是近似公式，如 $t(\tau) = \frac{q_c R}{\lambda} (\frac{a\tau}{R^2} - \frac{1}{6}) + t_0$ 以及电压差与温差的正比关系等，本身就有误差，温度的变化过大导致准稳态被破坏还会增大误差。

2、本实验中准稳态会无限保持下去吗？为什么？

答：不能无限保持，当样品持续升温时，对外散热的速率增大，薄膜加热器的电阻变大，非理想因素增多，反而破坏准稳态。如果实验时间过长，一方面准稳态不能保持，另一方面温度过高可能损坏实验仪器。

3、热电偶冷端温度对实验的影响是怎样的？

答：热电偶冷端在实验中起到电压（温度）参考点的作用

- (1) 冷端温度必须保持稳定，所以水槽放在保温杯中。
- (2) 冷端温度不能过高，否则温差电动势较小，会使实验误差变大。
- (3) 冷端温度也不能太低，否则 U 与 Δt 不再近似成线性关系，因此冷端温度应取合适值并保持稳定。