

准稳态法测不良导体的导热系数和比热

实验报告

实验者姓名： 李昭阳 学号： 2021013445 实验日期： 2022/10/27 实验台号： 15

实验目的

- 1、理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；
- 2、掌握使用热电偶测量温度的方法；
- 3、学习使用数字万用表。

实验仪器

- (1) $90mm \times 90mm \times 10mm$ 的有机玻璃样品
- (2) 薄膜加热器
- (3) 铜-康铜热电偶
- (4) 泡沫绝热体
- (5) 函数信号发生器
- (6) 数字万用表
- (7) 直流稳压电源
- (8) 保温杯（恒温冷端）
- (9) 双向闸刀开关
- (10) 电容、电阻、二极管
- (11) 秒表

数据处理及结果

准稳态法测不良导体的导热系数和比热

实验前准备：

中心面热电偶阻值 = 4.406Ω

加热面热电偶阻值 = 3.121Ω

中心面冷端热电偶阻值 = 3.443Ω

加热面冷端热电偶阻值 = 3.571Ω

两个相同电加热薄膜并联后的阻值 = 55.159Ω

冷端水温 = 22.2 ℃

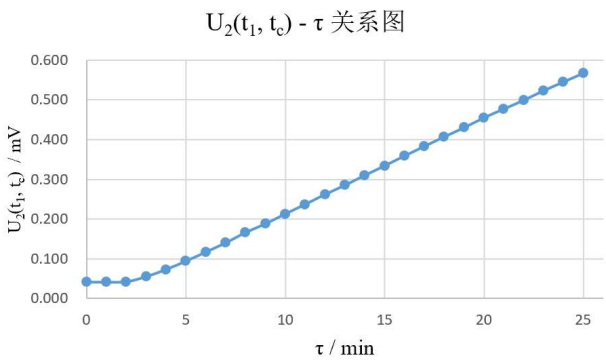
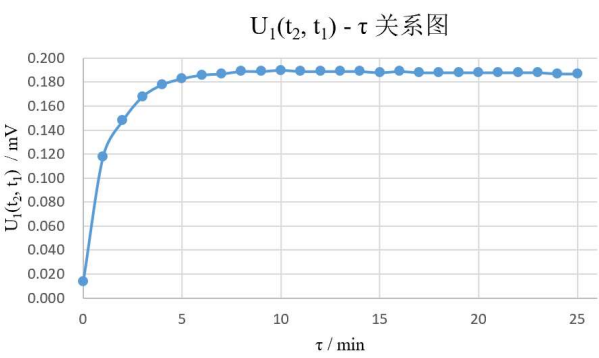
直流电源加热电压： $U_{前} = 18.0020V$

实验记录数据：

$\tau(\text{min})$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_2(t_1, t_c)$	0.041	0.041	0.042	0.055	0.073	0.094	0.117	0.140	0.166
$U_1(t_2, t_1)$	0.014	0.118	0.148	0.168	0.178	0.183	0.186	0.187	0.189
$\tau(\text{min})$	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$U_2(t_1, t_c)$	0.188	0.213	0.237	0.262	0.285	0.310	0.334	0.359	0.383
$U_1(t_2, t_1)$	0.189	0.190	0.189	0.189	0.189	0.189	0.188	0.189	0.188
$\tau(\text{min})$	18	19	20	21	22	23	24	25	
$U_2(t_1, t_c)$	0.407	0.430	0.455	0.477	0.499	0.523	0.545	0.567	
$U_1(t_2, t_1)$	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.187	0.187	

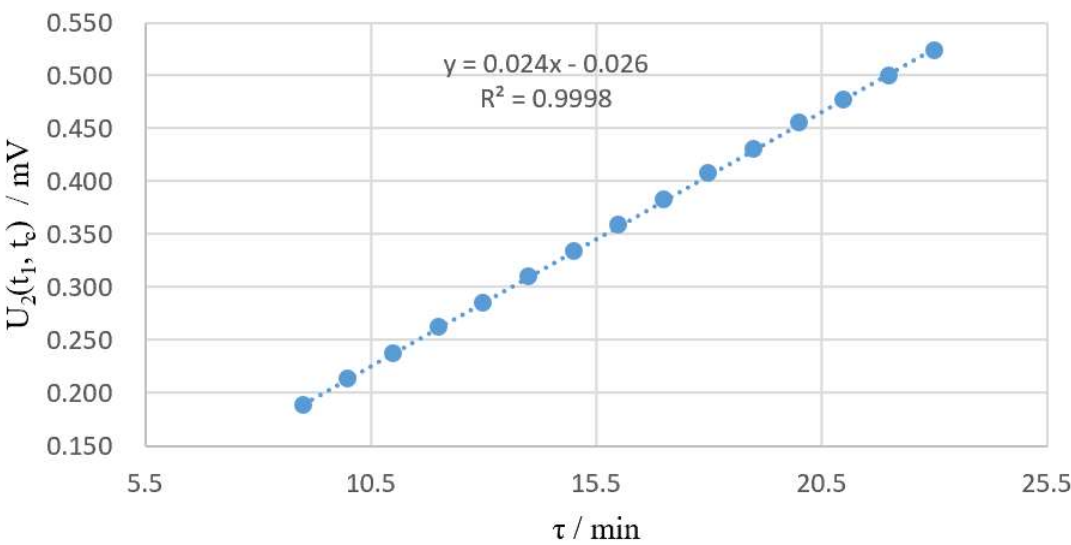
数据处理：

作出 $U_1(t_2, t_1) - \tau$ 曲线和 $U_2(t_1, t_c) - \tau$ 曲线



从图中可知，当 $9min < \tau < 23min$ 时， $U_1(t_2, t_1)$ 的变化幅度较小，可认为系统达到准稳态，对此后的点进行拟合，得

准稳态期间 $U_2(t_1, t_c) - \tau$ 关系图



在准稳态下，计算加热面与中心面的温差，得

$$\Delta t = \frac{U_1(t_2, t_1)}{k} = \frac{188 - 14\mu V}{40\mu V/^\circ C} = 4.35K$$

其拟合方程为

$$U_2(t_1, t_c) = 0.024\tau - 0.026$$

$R^2 = 0.9998$ ，则可认为

$$\frac{dU}{d\tau} = 0.024 \text{ mV/min}$$

故可知升温速率为

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{dU}{d\tau} \div k = 24 \div 40 \div 60 = 1 \times 10^{-2} \text{ K/s}$$

由于玻璃长宽均为 $0.09m$ ，加热器电阻 $R = 2 \times 55.159 = 110.318\Omega$ ，加热电压 $U = 18.0020V$ ，则热流密度为

$$q_c = \frac{U^2}{2FR} = \frac{18.0020^2}{2 \times 0.09 \times 0.09 \times 110.318} = 181.334 \text{ W/m}^2$$

厚度 $L = 0.01m$ ，则导热系数为

$$\lambda = \frac{q_c L}{2\Delta t} = \frac{181.334 \times 0.01}{2 \times 4.35} = 0.208 \text{ W/(m} \cdot K)$$

密度 $\rho = 1196kg/m^3$ ，则比热为

$$c = \frac{q_c}{\rho L \frac{dt}{d\tau}} = \frac{181.334}{1196 \times 0.01 \times 1 \times 10^{-2}} = 1516.17 \text{ J/(kg} \cdot K)$$

修正：

考虑薄膜加热器的热容、边缘绝热条件没满足等，热流密度按电功率的85%来修正，重新计算热流密度、导热系数与比热：

$$\dot{q}_c = q_c \times 85$$

$$\dot{\lambda} = \frac{q_c \times 85}{2\Delta t} = 0.177 \text{ W/(m} \cdot K)$$

$$\dot{c} = \frac{q_c \times 85}{\rho L \frac{dt}{d\tau}} = \frac{181.334}{1196 \times 0.01 \times 1 \times 10^{-2}} = 1288.75 \text{ J/(kg} \cdot K)$$

数字万用表的使用

数据表格如下

测量任务	测量值	万用表量程	不确定度计算公式及计算结果	完整测量结果
电阻R	10.9273kΩ	20kΩ	$0.02\% \times 10.9273k + 0.004\% \times 20k = 2.9855\Omega$	$(10.9273 \pm 2.9855 \times 10^{-3})k\Omega$
电容C	1.040μF	2μF	$1\% \times 1.040 + 0.5\% \times 2 = 0.0204\mu F$	$(1.040 \pm 0.0204)\mu F$
交流电压U	4.2123V	20V	$0.2\% \times 4.2123 + 0.05\% \times 20 = 0.0184V$	$(4.2123 \pm 0.0184)V$
交流信号f	1.1999kHz	20HZ - 20kHz	$0.01\% \times 1.1999k + 0.003\% \times 20k = 0.7199HZ$	$(1.1999 \pm 7.1999 \times 10^{-4})kHz$
二极管导通电压	0.5703			

反思

准稳态能否无限保持？实验时间是否是越长越好？

准稳态不能无限保持。当样品持续升温时，对外散热的速率会增大，由于散热导致的误差会增大。这会使得温差越来越小，故准稳态无法无限保持下去，所以并不是实验时间越长实验数据越好。

原始数据记录

准稳态法测量不良导体的导热系数和比热

班级 自1 姓名 李敏 学号 2021073445 组号 座位号 15

一、热导实验准备、器件检查：

1、接线前检测热电偶是否完好：

- 中心面热电偶阻值 = 4.406 (应小于 10 欧)
- 加热面热电偶阻值 = 3.121 (应小于 10 欧)
- 中心面冷端热电偶阻值 = 3.443 (应小于 10 欧)
- 加热面冷端热电偶阻值 = 3.571 (应小于 10 欧)

2、两个相同电加热薄膜并联后的阻值 = 35.159Ω

3、冷端水温 (近似以室温替代) $t_c = 22.2^{\circ}C$

4、直流电源设定加热电压 (15~20V)，并测量 (加热前后各测一次)：

U (前) = 18.0020 (V) U (后) = 18.0006 (V)

5、其他已知条件：有机玻璃样品密度 = 1196 (kg/m³)，几何尺寸 = 90.0 × 90.0 × 10.0 (mm³)

热电偶 (铜-康铜) 温度系数 = 40 (μV/C)

三、实验接线，通电前记录 $t=0$ 时的数据 (U₁ 应小于 10 微伏)，通电加热起开始计时、按时记录数据：

τ(分钟)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
U ₂ (t ₂ , t _c)	0.016mV	0.118mV	0.148mV	0.168mV	0.178mV	0.183mV	0.186mV	0.187mV	0.189mV
U ₁ (t ₂ , t ₂)	0.041mV	0.041mV	0.042mV	0.055mV	0.073mV	0.094mV	0.117mV	0.140mV	0.166mV
τ(分钟)	9	10	11	12	13	14	15	16	17
U ₂ (t ₂ , t _c)	0.189mV	0.190mV	0.189mV	0.189mV	0.189mV	0.189mV	0.188mV	0.189mV	0.188mV
U ₁ (t ₂ , t ₂)	0.188mV	0.213mV	0.237mV	0.262mV	0.285mV	0.310mV	0.334mV	0.359mV	0.383mV
τ(分钟)	18	19	20	21	22	23	24	25	
U ₂ (t ₂ , t _c)	0.188mV	0.188mV	0.188mV	0.188mV	0.188mV	0.188mV	0.187mV	0.187mV	
U ₁ (t ₂ , t ₂)	0.407mV	0.430mV	0.455mV	0.477mV	0.499mV	0.523mV	0.545mV	0.567mV	

二、万用表使用练习：

测量任务	测量值	万用表量程	不确定度计算公式及计算结果	完整测量结果
电阻 R	10.9273kΩ	20kΩ	$0.02\% \times 10.9273k + 0.004\% \times 20k = 2.9855\Omega$	$(10.9273 \pm 2.9855 \times 10^{-3})k\Omega$
电容 C	1.040μF	2μF	$1\% \times 1.040 + 0.5\% \times 2 = 0.0204\mu F$	$(1.040 \pm 0.0204)\mu F$
交流电压 U	4.2123V	20V	$0.2\% \times 4.2123 + 0.05\% \times 20 = 0.0184V$	$(4.2123 \pm 0.0184)V$
交流信号 f	1.1999kHz	20Hz - 20kHz	$0.01\% \times 1.1999k + 0.003\% \times 20k = 0.7199HZ$	$(1.1999 \pm 7.1999 \times 10^{-4})kHz$
二极管导通电压	0.5703V		(不需要估计不确定度)	

叶长海 1027