

物 理 实 验 报 告

姓名 刘若涵 学号 2020011126 班级 自 05 组号 单三晚 M 座位号 9

1.实验名称

准稳态法测不良导体的导热系数和比热

2.实验目的

1. 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。
2. 掌握使用热电偶测量温度的方法。

3.数据处理（数据整理、计算、作图、不确定度分析、实验结果等）

1. 万用表使用练习

测量任务	测量值	万用表量程	精度（%读数+%量程）	不确定度	完整测量结果
电阻 R	10.9704k Ω	20k Ω	0.020+0.004	$10.9704k \times 0.020\% + 20k \times 0.004\% = 3.0\Omega$	(10.9704 \pm 0.0030)k Ω
电容 C	0.936 μ F	2 μ F	1+0.5	$0.936\mu \times 1\% + 2\mu \times 0.5\% = 0.019\mu$ F	(0.936 \pm 0.019) μ F
交流电压 U	0.37643V	2V	0.2+0.05	$0.37643 \times 0.2\% + 2 \times 0.05\% = 1.8mV$	(0.3764 \pm 0.0018)V
交流信号 f	1.000kHz	20Hz-2k Hz	0.01+0.003	$1.000k \times 0.01\% + 2 \times 0.003\% = 16Hz$	(1.000 \pm 0.016)kHz
二极管导通电压	0.5684V				

2. 实验准备、器件检查

（1）热电偶检查

中心面热电偶阻值= 3.435 Ω

加热面热电偶阻值= 3.082 Ω

中心面冷端热电偶阻值= 3.430 Ω

加热面冷端热电偶阻值= 3.470 Ω

均小于 10 Ω ，热电偶完好。

（2）两个相同电加热薄膜并联后的阻值= 55.090 Ω

约等于 55 Ω ，加热器完好。

（3）冷端水温 $t_c = 20.1^\circ\text{C}$

（4）直流电源电压

加热前：17.9947V

加热后：17.9953V

3. 数据整理

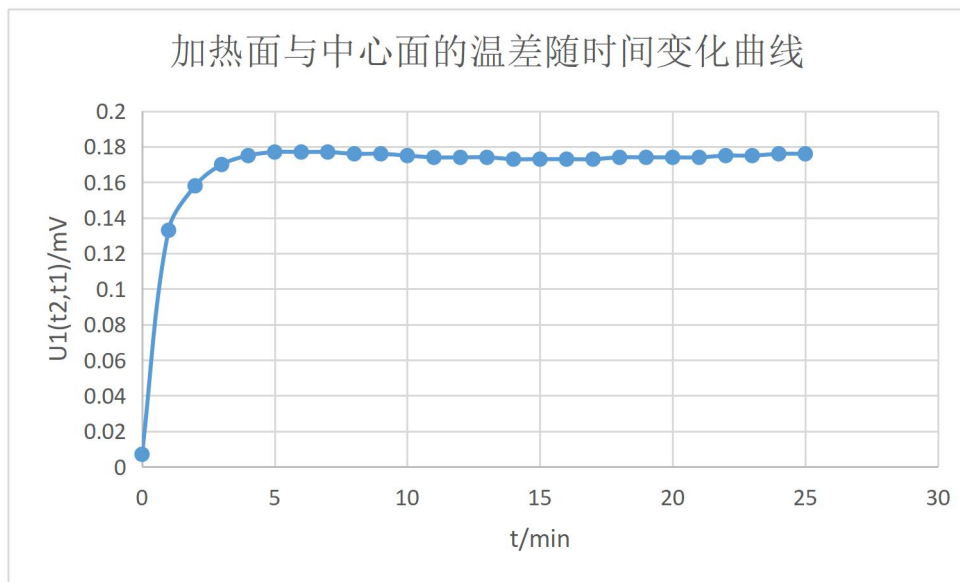
τ /分钟	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_2(t_1, t_c)$ /mV	0.011	0.012	0.021	0.038	0.059	0.083	0.108	0.133	0.159

物理实验报告

姓名 刘若涵 学号 2020011126 班级 自 05 组号 单三晚 M 座位号 9

$U_1(t_2, t_1)/\text{mV}$	0.007	0.133	0.158	0.170	0.175	0.177	0.177	0.177	0.176
$\tau/\text{分钟}$	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$U_2(t_1, t_c)/\text{mV}$	0.185	0.210	0.236	0.263	0.288	0.313	0.339	0.363	0.388
$U_1(t_2, t_1)/\text{mV}$	0.176	0.175	0.174	0.174	0.174	0.173	0.173	0.173	0.173
$\tau/\text{分钟}$	18	19	20	21	22	23	24	25	
$U_2(t_1, t_c)/\text{mV}$	0.412	0.437	0.461	0.486	0.510	0.532	0.555	0.578	
$U_1(t_2, t_1)/\text{mV}$	0.174	0.174	0.174	0.174	0.175	0.175	0.176	0.176	

4. 曲线分析



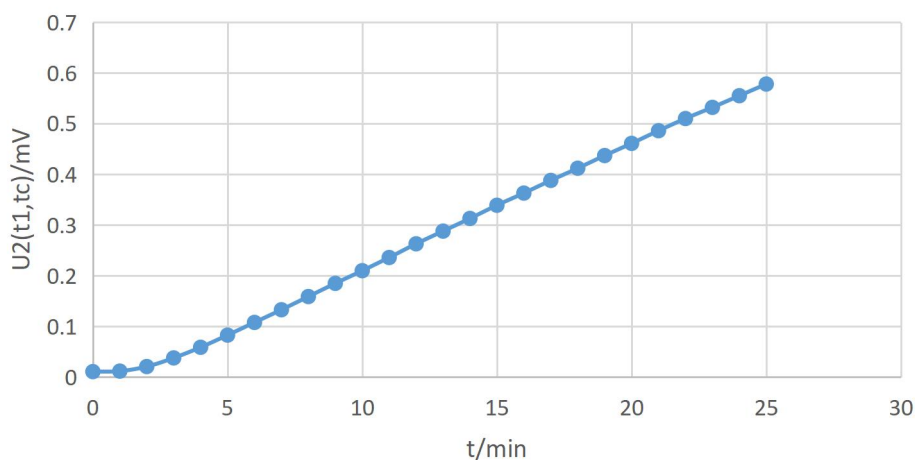
记加热面与中心面温差为 $\Delta_{t1} = t_2 - t_1$ ，则 $U_1 = K_1 \Delta_{t1}$ ，其中 $K_1 = 40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。由 $U_1(t_2, t_1) \sim \tau$ 曲线可知，起始时样品加热面与中心面的温差约等于 0，当 $\tau < 5\text{min}$ 时，温差随时间的增加而快速增加，未进入准稳态，5min 之后，温差基本保持不变，维持稳定，进入准稳态，此时 $U_1=0.177\text{mV}$ ， $\Delta_{t1} = \frac{U_1}{K_1} = \frac{0.177\text{mV}}{40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}} = 4.425^\circ\text{C}$ ，考虑到 $\tau = 0$ 时， $U_1=0.007\text{mV}$ ， $\Delta_{t1} = 0.175^\circ\text{C}$ ，将其当作系统误差对结果进行修订，则 $\Delta_{t1} = 4.425 - 0.175 = 4.250^\circ\text{C}$ 。

仔细观察后发现，进入准稳态后，温差仍有微小的变化，7~14min 内 U_1 下降了 0.004mV，17~25min 又上升了 0.003mV，由于变化较小，可以忽略，考虑是室温变化或是仪器保温效果欠佳造成的影响。

物理实验报告

姓名 刘若涵 学号 2020011126 班级 自 05 组号 单三晚 M 座位号 9

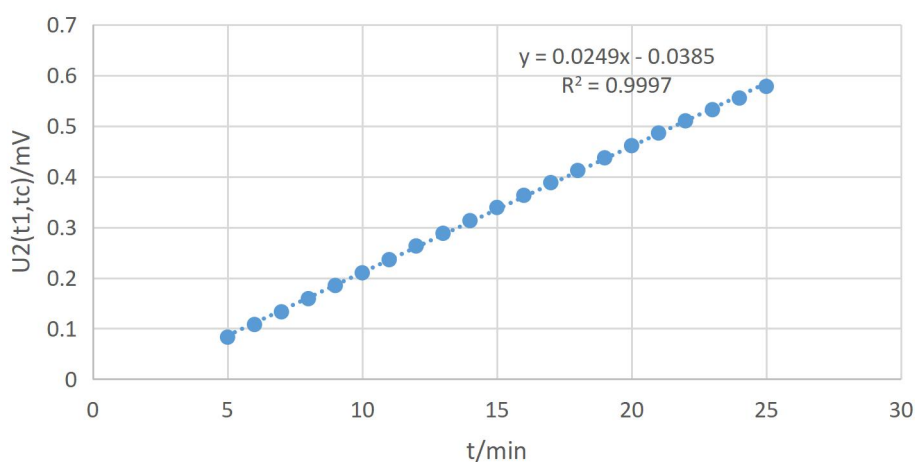
中心面与冷端的温差随时间变化曲线



记中心面与冷端的温差为 $\Delta_{t2} = t_1 - t_c$ ，则 $\Delta_{t2} = \frac{U_2}{K_1}$ 。观察 $U_2(t_1, t_c) \sim \tau$ 曲线可知，起始时样品加热面与中心面的温差约等于 0， $\tau < 5\text{min}$ 时，中心面与冷端的温差随时间缓慢上升，但与时间不成线性关系，表明此时系统未进入准稳态。5min 之后，温差随时间近似线性增长，可视为系统进入准稳态。起始时 $U_2=0.011\text{mV}$ ，约 5min 处，进入准稳态时， $U_2=0.083\text{mV}$ ， $\Delta_{t2} = \frac{(0.083-0.011)\text{mV}}{40\mu\text{V}/^\circ\text{C}} = 1.8^\circ\text{C}$ ，中心面温度 $t_1 = \Delta_{t2} + t_c = 21.9^\circ\text{C}$ 。

为求得准稳态下的温升速率，取 5min 之后的点进行线性拟合，得到如下曲线：

$U_2(t_1, t_c) \sim t$ 线性拟合曲线



由线性拟合结果得，直线斜率 $b=0.0249$ ，截距 $a=-0.0385$ ，拟合系数 $R=0.9998$ ，拟合度很高，5min 后 $U_2(t_1, t_c)$ 对 τ 呈线性变化， $U_2 = 0.0249\tau - 0.0385$ ，其中 U_2 单位为 mV， τ 的单位为 min，则 $\Delta_{t2} = \frac{U_2}{K_1} = \frac{0.0249}{60 \times 0.040} \tau - \frac{0.0385}{0.040} = 0.01037\tau - 0.9625$ ，其中 Δ_{t2} 的单位为 $^\circ\text{C}$ ， τ 的单位为 s。因此，温升速率 $\frac{dt}{d\tau} = 0.01037^\circ\text{C}/\text{s}$ 。

物理实验报告

姓名 刘若涵 学号 2020011126 班级 自 05 组号 单三晚 M 座位号 9

5. 导热数据的计算

$$\text{加热电压 } U = \frac{U_{\text{前}} - U_{\text{后}}}{2} = 17.9950 \text{ V}$$

$$\text{单个加热器电阻 } r = 55.090 \times 2 = 110.180 \Omega$$

$$\text{平板面积 } F = 0.09^2 = 0.0081 \text{ m}^2$$

$$\text{平板厚度的一半 } R = 0.010 \text{ m}$$

$$\text{有机玻璃密度 } \rho = 1196 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{温差 } \Delta t_1 = 4.250^\circ\text{C}$$

$$\text{温升速率 } \frac{dt}{d\tau} = 0.01037^\circ\text{C/s}$$

$$\text{则热流密度 } q_c = \frac{U^2}{2Fr} = 181.420 \text{ J/m}^2$$

$$\text{导热系数 } \lambda = \frac{q_c R}{2\Delta t_1} = 0.2134 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$$

$$\text{比热 } c = \frac{q_c}{\rho R \frac{dt}{d\tau}} = 1463 \text{ J/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$$

如果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，重新计算该条件下的导热系数与比热得

$$\text{热流密度 } q_c' = 85\% q_c = 154.21 \text{ J/m}^2$$

$$\text{导热系数 } \lambda' = 85\% \lambda = 0.1814 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$$

$$\text{比热 } c' = 85\% c = 1244 \text{ J/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$$

4. 实验小结（据实分析，不写虚）

本次实验我学会了用数字万用表测量电容、电阻、电压、频率等参数的方法，熟悉了根据技术指标给出完整测量结果的过程。了解了准稳态法测量不良导体的导热系数和比热原理，掌握了热电偶测量温度的方法，熟练了样品台装置、直流稳压电源、数字万用表、双刀双掷开关等仪器的搭接与使用。

思考题：

1. 本实验中准稳态会无限保持下去吗？

答：不会。在进入准稳态一段时间后，系统会脱离准稳态而进入稳态。随着温度的升高，由于系统绝热不完全，各处散热不均匀的现象会导致样品各处的温升速率发生变化，打破准稳态。

2. 热电偶冷端温度对实验的影响是怎样的？

答：从理论上讲，由于后续计算只需要用到温升速率 $\frac{dt}{d\tau} = \frac{d(t_2 - t_c)}{d\tau}$ ，冷端温度作为常数会被消去，冷端温度的大小对实验结果并没有影响。但是需要注意的是，冷端温度在实验过程中必须保持不变，如果冷端温度改变会造成对 Δt_2 的测量不准确，进而导致导致温升速率 $\frac{dt}{d\tau}$ 不准确，最终使得计算结果与真实值之间存在较大误差。

3. 对准稳态曲线走势进行分析。

答：由 $U_1(t_2, t_1) \sim \tau$ 曲线可知，当 $\tau < 5\text{min}$ 时，加热面与中心面温差随时间的增加而快速增加，5min 之后，温差基本保持不变，维持稳定。由 $U_2(t_1, t_c) \sim \tau$ 曲线可知， $\tau < 5\text{min}$ 时，中心面与冷端的温差随时间缓慢上升，但与时间不成线性关系。5min 之后，温差随时间近似线性增长。

物理实验报告

姓名 刘若涵 学号 2020011126 班级 自 05 组号 单三晚 M 座位号 9

这是由于当加热时间 τ 使得 $F_0 = \frac{\alpha\tau}{R^2} > 0.5$ 后, $t(x, \tau) - t_0 = \frac{q_c R}{\lambda} (\frac{\alpha\tau}{R^2} + \frac{x^2}{2R^2} - \frac{1}{6})$, 任一时刻样品各点温度随 x 按抛物线变化, 样品内各点的温升速率相同并保持不变, 样品内两点间温差恒定, 进入准稳态。但仔细观察后发现, 进入准稳态后, $U_1(t_2, t_1) \sim \tau$ 曲线仍有微小的变化, 7~14min 时 U_1 下降了 0.004mV, 17~25min 又上升了 0.003mV, 由于变化较小, 可以忽略, 考虑是室温变化或是仪器保温效果欠佳造成的影响。 $U_2(t_1, t_c) \sim \tau$ 曲线拟合系数 $R=0.9998$, 不为 1, U_2 与 τ 的线性关系有微小偏差, 但同样可以忽略, 考虑是室温变化或是冷槽水温变化造成的影响。

附原始数据记录 (有教师签字) 图表等

准稳态法测量不良导体的导热系数和比热
班级 自 05 姓名 刘若涵 学号 2020011126 组号 单三晚 M 座位号 9

零、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	10.9704k Ω	20k Ω		
电容 C	0.936 μ F	2 μ F		
交流电压 U	0.37643V	2V		
交流信号 f	1.000kHz	20Hz-2kHz		
二极管导通电压	0.5684 V			

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=3.435 Ω (应小于 10 欧)

加热面热电偶阻值=3.082 Ω (应小于 10 欧)

中心面冷端热电偶阻值=3.431 Ω (应小于 10 欧)

加热面冷端热电偶阻值=3.470 Ω (应小于 10 欧)

徐 8/12

2、两个相同电加热薄膜并联后的阻值= 55.090 Ω

3、冷端水温 (近似以室温替代) $t_c = 20.1^\circ\text{C}$

4、直流电源设定加热电压 (15~20V), 并测量 (加热前后各测一次): 17.9947 V 17.9953 V

二、实验接线, 通电前记录 $\tau=0$ 时的数据 (U_1 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
$U_2(t_1, t_c)$	0.011	0.012	0.021	0.038	0.039	0.083	0.108	0.133	0.159
$U_1(t_2, t_1)$	0.007	0.133	0.158	0.170	0.175	0.177	0.177	0.177	0.176
τ (分钟)	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$U_2(t_1, t_c)$	0.185	0.210	0.236	0.263	0.288	0.313	0.339	0.363	0.388
$U_1(t_2, t_1)$	0.176	0.175	0.174	0.174	0.174	0.173	0.173	0.173	0.173
τ (分钟)	18	19	20	21	22	23	24	25	
$U_2(t_1, t_c)$	0.412	0.437	0.461	0.486	0.510	0.532	0.555	0.578	
$U_1(t_2, t_1)$	0.174	0.174	0.174	0.174	0.175	0.175	0.176	0.176	