

班级		学号		姓名		教师签字	
实验日期	2024.11.4 T5805			预习成绩	总成绩		

实验名称 准稳态法测不良导体的比热容和导热系数

一、预习

1. 请结合一维无限大平板导热模型，利用傅里叶热传导定律，给出导热系数的推导过程？
2. 在本实验中，如何判断系统进入准稳态？

答：1. 考虑一厚度为 $2R$ 的无限大不良导体平板，其初始温度为 t_0 ，现在在平板两侧同时施加均匀的指向中心面的热流密度 q_c ，则平板各处温度 $t(x, \tau)$ 将随着加热时间 τ 变化，关系为

$$\begin{cases} \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2} \\ \frac{\partial t(R, \tau)}{\partial x} = \frac{q_c}{\lambda}, \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = 0 \\ t(x, 0) = t_0 \end{cases}$$

其中 $a = \frac{\lambda}{\rho c}$ ， λ 为材料导热系数， ρ 为材料密度， c 为材料比热， a 为导热系数(热扩散率)。此方程组的解为

$$t(x, \tau) = t_0 + \frac{q_c}{\lambda} \left(\frac{a}{R} \tau + \frac{1}{2R} x^2 - \frac{R}{6} + \frac{2R}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n^2} \cos \frac{n\pi x}{R} e^{-\frac{a n^2 \pi^2}{R^2} \tau} \right)$$

其中级数求和项由于指数衰减，会随着加热时间增大而逐渐变小，直至可忽略不计。当 $\frac{a\tau}{R^2} > 0.5$ 后，该级数求和项可忽略，上式变为

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

在试件中心处，有 $x=0$ ，故有

$$t(0, \tau) = t_0 + \frac{q_c}{\lambda} \left(\frac{a}{R} \tau - \frac{R}{6} \right)$$

在试件加热面处，有 $x=R$ ，故有

$$t(R, \tau) = t_0 + \frac{q_c}{\lambda} \left(\frac{a}{R} \tau + \frac{R}{3} \right)$$

因此，当 $\frac{a\tau}{R^2} > 0.5$ 时，试件中心面和加热面处温度和加热时间成线性关系，温升速率为 $\frac{aq_c}{\lambda R}$ ，此时加热面与中心面温差为

$$\Delta t = t(R, \tau) - t(0, \tau) = \frac{q_c R}{2\lambda}$$

所以此时加热面与中心面温差 Δt 与加热时间 τ 无直接关系，为定值，则系统各处温度与时间为线性关系，温升速率也相同，称此种状态为准稳态。此时，由上式可得

$$\lambda = \frac{q_c R}{2\Delta t}$$

可通过此式求得导热系数 λ 的值。

2. 当加热面与中心面的热电偶电势差保持恒定或基本不变时(即加热面与中心面的温差保持恒定)，或者当中心面与室温温差呈线性增长时，系统进入了准稳态。

二、原始数据记录

表1 导热系数及比热测定

样品：有机玻璃

加热电压 $V=18.0$ (V)，加热膜电阻 $r=108.45$ (Ω)，试样厚度 $R=0.010$ (m)

记录点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
时间 τ (min)	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5
加热面热电势 S_1 (mV)	0.103	0.114	0.125	0.137	0.149	0.160	0.171	0.183	0.195	0.207
中心面热电势 S_2 (mV)	0.325	0.336	0.348	0.360	0.371	0.383	0.394	0.406	0.418	0.430
两面热电势之差 V_1 (mV)	0.222	0.222	0.223	0.223	0.222	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223
5 分钟热电势升高 $\Delta V_n=$ $S_1(\tau_n)-S_1(\tau_n-10)$ (mV)										

记录点	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均
时间 τ (min)	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	
加热面热电势 S_1 (mV)	0.219	0.231	0.242	0.254	0.266	0.277	0.289	0.300	0.312	0.324	
中心面热电势 S_2 (mV)	0.441	0.453	0.464	0.475	0.487	0.498	0.509	0.520	0.532	0.543	
两面热电势之差 V_1 (mV)	0.222	0.222	0.222	0.221	0.221	0.221	0.220	0.220	0.220	0.219	0.222
5 分钟热电势升高 $\Delta V_n=$ $S_1(\tau_n)-S_1(\tau_n-10)$ (mV)	0.116	0.117	0.117	0.116	0.117	0.116	0.117	0.116	0.116	0.115	0.116



教师	姓名
签字	

三、数据处理

1. 在坐标纸上分别画出 ΔT - τ 及 T - τ 曲线, 从图上判断何时进入准稳态, 并求出 ΔT 及 $dT/d\tau$;
2. 计算有机玻璃样品或橡胶样品的导热系数和比热容。

答: 1. 利用 Excel 绘图如下:

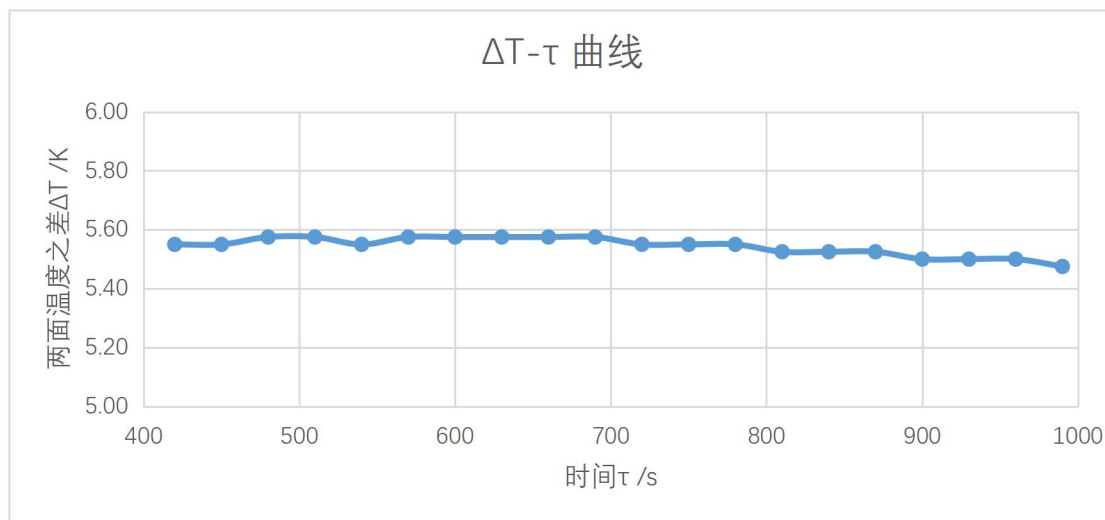


图 1 有机玻璃样品 ΔT - τ 曲线

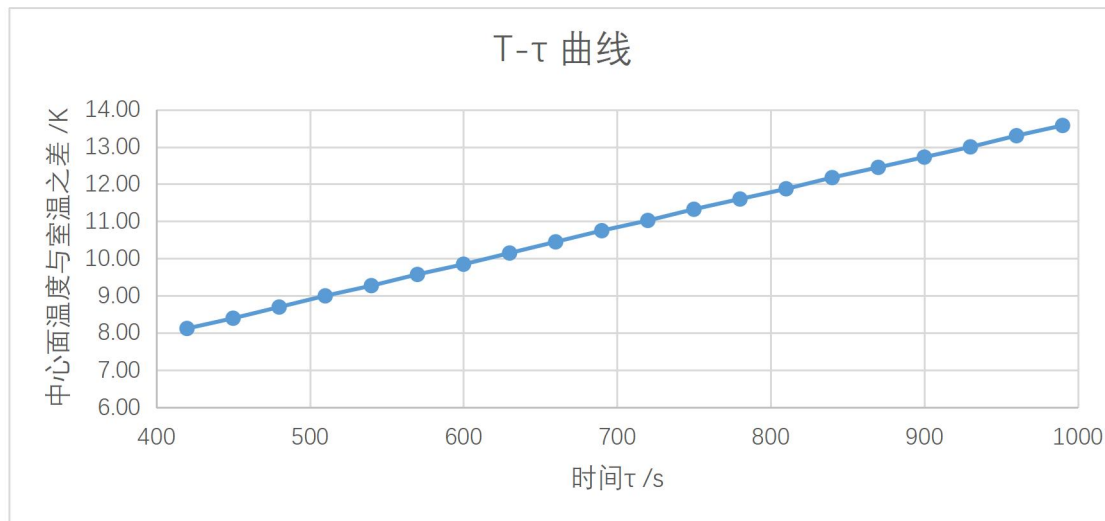


图 2 有机玻璃样品 T - τ 曲线

从图上可看出, 加热时间 τ 达到 400s 以后, 两样品的加热面和中心面的温差基本保持不变, 且中心面和室温的温差近似呈线性变化 (室温近似不变), 可视为达到了准稳态。

根据实验数据计算有机玻璃样品的 ΔT 及 $dT/d\tau$:

取进入准稳态后的 20 个 V_1 (从 7 分钟到 16.5 分钟), 取平均值得

$$\overline{V_t} = 0.222(\text{mV})$$

因此有（热电常数 S 的值已知，为 0.040mV/K ）

$$\Delta T = \frac{\overline{V_t}}{S} = \frac{0.222}{0.040} = 5.550(\text{K})$$

而在这 5 分钟的时间间隔里，有

$$\overline{\Delta V_h} = 0.116(\text{mV})$$

因此有

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{\overline{\Delta V_h}}{5 \times 60 \times 0.040} = \frac{0.116}{5 \times 60 \times 0.040} = 0.00967(\text{K/s})$$

2. 根据实验数据计算有机玻璃样品的导热系数和比热容：

热流密度

$$q_c = \frac{AV^2}{2Fr} = \frac{0.85 \times 18.0^2}{2 \times 0.090 \times 0.090 \times 108.45} = 156.75(\text{W/m}^2)$$

则可计算出有机玻璃样品的导热系数

$$\lambda = \frac{q_c R}{2\Delta T} = \frac{156.75 \times 0.010}{2 \times 5.550} = 0.141(\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}))$$

同时计算出有机玻璃样品的比热容

$$c = \frac{q_c}{\rho R \frac{dT}{d\tau}} = \frac{156.75}{1196 \times 0.010 \times 0.00967} = 1355.27(\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K}))$$

四、实验现象分析及结论

实验结论：有机玻璃样品的导热系数

$$\lambda = 0.141(\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}))$$

有机玻璃样品的比热容

$$c = 1355.27(\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K}))$$

五、讨论题

1. 本实验中我们采取在样品两端加热的方式根据加热面与中心面的温差及端面温升速率求出导热系数和比热。实验中为何使用四块样品？
2. 本实验中判断系统进入准稳态的条件是什么？
3. 本实验中准稳态会无限保持下去吗？是否时间越长实验数据越好？

答：1. 计算导热系数和比热容需要使用热流密度 q_c ，而 q_c 通过加热膜的电功率确定。加热膜发出的热量是向两面传导的，如果只使用两块样品，加热膜向两侧发出的热量不相等，会导致难以计算热流密度 q_c 。实验中将四块样品对称地放置，这样的对称结构可以保证向样品传导的热流占加热器电功率的一半，可以简便地算得向样品传导的热流密度。

2. （1）加热面与中心面的热电偶电势差保持稳定（基本不变）（即说明加热面与中心面的温差保持稳定）；（2）中心面与室温的温差呈线性增长（ $dT/d\tau$ 为一定值）（由于室温可近似视为不变）。

3. 本实验中准稳态并不会无限保持下去：由于实验条件不能完全满足理想模型，如边缘效应随试样温度升高而加剧等，试样温度不可能一直保持理想的准稳态。并不是时间越长实验数据越好：由于试样温度不可能一直保持理想的准稳态，故延长测量时间也无益，实验一般最多持续 35 分钟为宜。