

材料科学基础实验预习报告

实验名称： 使用热流计法和平面热源法测量材料的热导率

学 号： 22301077 姓 名： 张蕴东 班 级： 22高分子

合作者： 桌 号：

指导教师： 艾斌

实验日期：

1 实验目的

- 了解稳态热流计法测量材料的热导率（或导热系数）和样品的热阻的原理；
- 学会使用稳态热流计法测量不同材料的热导率和样品的热阻；
- 了解准稳态平面热源法测量材料的热导率和比热的原理；
- 学会用准稳态平面热源法测量材料的热导率和比热。

2 实验原理

2.1 热传导理论中的一些基本概念

傅立叶热传导定律:

$$q_c = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

式中, q_c 是热传导的速率 (单位: W), 它常常也被简称为热流, A 是热量流经的横截面积 (单位: m^2), dT/dx 是温度的梯度 (单位: K m^{-1}), 比例系数 k 是材料的热导率或导热系数 (单位: $\text{W m}^{-1} \text{K}$)。负号表示热量总是从温度高的位置流向温度低的位置。需要说明的是, 傅立叶定律适用于一维稳态热传导问题。根据式 (1), 材料的热导率可写作:

$$k = \frac{q_c}{A \left| \frac{dT}{dx} \right|} \quad (2)$$

为了引入热阻的概念, 已知一块长方体匀质材料左侧的温度为 T_1 , 右侧的温度为 T_2 , 且 $T_1 > T_2$, 两个侧面相距 L , 热传导的横截面积为 A , 假设单位时间从左侧传递到右侧的热量 (即热传导的速率) 为 q_c , 则材料的热阻为:

$$R_t = \frac{T_1 - T_2}{q_c} = \frac{1}{k} \cdot \frac{L}{A} \quad (3)$$

2.2 测量材料热导率的方法简介

有多种测量材料热导率的方法, 这些方法大致可分为两类: 稳态法和瞬态法。稳态法是在样品处于稳态热传导的条件下 (样品内部的温度分布不随时间变化) 进行测量的方法。稳态法包括保护平板法 (测量范围 $0.001 \sim 2 \text{ W m}^{-1} \text{K}$)、热流计法 (测量范围 $0.001 \sim 20 \text{ W m}^{-1} \text{K}$) 和保护热流计法 (测量范围 $0.01 \sim 400 \text{ W m}^{-1} \text{K}$)。稳态法的优点是利用傅立叶热传导定律计算热导率, 计算过程简单, 缺点是要求材料达到稳定热传导的状态, 测试时间长等。瞬态测量方法是在样品处于非稳态热传导条件下进行测量的方法。瞬态法包括热线法 (测量范围 $0.01 \sim 20 \text{ W m}^{-1} \text{K}$)、瞬态平面热源法 (测量范围 $0.01 \sim 20 \text{ W m}^{-1} \text{K}$) 和激光闪光法 (测量范围 $0.1 \sim 2000 \text{ W m}^{-1} \text{K}$)。准稳态法的优点是测量速度快、测量范围宽, 缺点是设备较为复杂和昂贵。

2.2.1 热流计法测量材料热导率的原理

图 1 给出了热流计法测量材料热导率的原理示意图。如图所示, 加热面 A 将热量经待测样品 B 传导到散热面 C (室温)。由于加热面 A 和散热面 C 都是由热的良导体铜板制作, 且与待测样品 B 紧密接触, 当达到稳态时可认为其温度就是样品上、下表面的温度 T_1 和 T_2 , 且 $T_1 > T_2$ 。对于

样品 B，假设其导热方向的厚度为 L ，面积为 A ，当达到稳态热传导时，只要准确测量出样品的厚度 L 和面积 A 、上下表面的温度 T_1 和 T_2 ，以及流经样品的热流 q_c ，就可以利用式 (3) 计算材料的热导率和热阻。

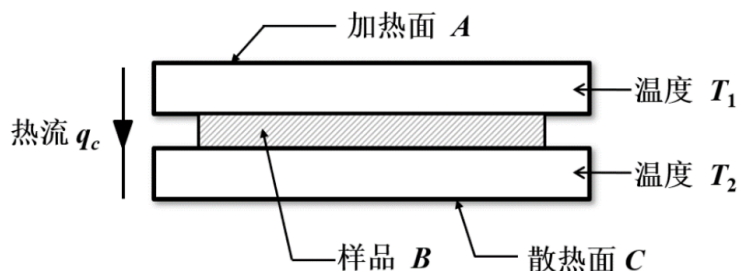


图 1: 热流计法测量材料热导率的原理示意图

2.2.2 平面热源法测量材料热导率的原理

如图 2 所示，考虑一无穷大导热平板的一维热传导问题。假设该平板的面积为无限大、厚度为 $2d$ ，初始温度为 T_0 。现从平板的两侧同时向中心面施加均匀的热流密度（单位时间通过单位截面积的热量，也被称为热通量） q_f (W m^{-2})，则平板上各点的温度 $T(x, t)$ 将随加热时间 t 而变化。

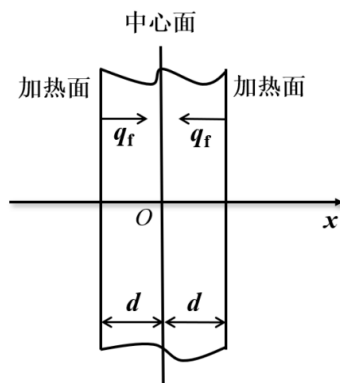


图 2: 厚度为 $2d$ 的无穷大导热平板的一维热传导模型示意图

以样品中心面上的一点为坐标原点 O ，以样品厚度方向为 x 轴方向，如图 2 所示，则平板上各处的温度 $T(x, t)$ 随位置 x 和加热时间 t 的分布可通过求解下面的偏微分方程得到：

$$\begin{cases} \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} \\ \frac{\partial T(d, t)}{\partial x} = \frac{q_f}{k}, \quad \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = 0 \\ T(x, 0) = T_0 \end{cases} \quad (4)$$

该偏微分方程的解说明了当热流密度 q_c 恒定时，此时加热面和中心面之间的温度差 ΔT 保持恒定，与加热时间 t 无关，我们称这种状态为准稳态。当体系到达准稳态时：

$$\begin{aligned} k &= \frac{q_f d}{2\Delta T} \\ c &= \frac{q_f}{\rho d \frac{\partial T}{\partial t}} \end{aligned} \quad (5)$$

3 实验仪器

DRPL-I热导率测试仪，计算机，ZKY-BRDR 型准稳态法热导率、比热测试仪，样品（石英、白橡胶、铝合金、黑橡胶、有机玻璃）。

4 实验过程

4.1 使用稳态法（热流计法）测量样品的热阻和材料的热导率

4.1.1 测量方块状白橡胶样品的热阻和白橡胶的热导率

4.1.2 测量圆柱形石英样品的热阻和石英的热导率

4.1.3 测量圆柱形铝合金样品的热阻和铝合金的热导率

4.2 使用准稳态法（平面热源法）测量有机玻璃和黑橡胶的热导率和比热

4.2.1 测量有机玻璃的热导率和比热

4.2.2 测量黑橡胶的热导率和比热

5 实验数据

表格随附