

实验 3.8 稳态法测量不良导体的导热系数

导热系数是表征物质热传导性质的物理量。材料结构的变化与所含杂质的不同对材料导热系数数值都有明显的影响，因此材料的导热系数常常需要由实验去具体测定。

测量导热系数的实验方法一般分为稳态法和动态法两类。在稳态法中，先利用热源对样品加热，样品内部的温差使热量从高温向低温处传导，样品内部各点的温度将随加热快慢和传热快慢的影响而变动；当适当控制实验条件和实验参数使加热和传热的过程达到平衡状态，则待测样品内部形成稳定的温度分布，根据这一温度分布就可以计算出导热系数。而在动态法中，最终在样品内部所形成的温度分布是随时间变化的，如呈周期性的变化，变化的周期和幅度亦受实验条件和加热快慢的影响，与导热系数的大小有关。

我们把导热系数大、导热性能较好的材料称为良导体，而把导热系数小、导热性能较差的材料称为不良导体。一般说来，金属的导热系数比非金属的大，固体的导热系数比液体的大，气体的导热系数最小。

本实验采用稳态法测量不良导体(橡皮样品)的导热系数，学习用物体散热速率求传导速率的实验方法。

【实验目的】

1. 掌握稳态法测量不良导体的导热系数的方法；
2. 了解物体散热速率和传热速率的关系。

【实验仪器】

TC-3B 型导热系数测定仪、待测样品、天平、游标卡尺。

【实验原理】

1898 年 C. H. Lees 首先使用平板法测量不良导体的导热系数，这是一种稳态法，实验中，样品制成平板状，其上端面与一个稳定的均匀发热体充分接触，下端面与一均匀散热体相接触。由于平板样品的侧面积比平板平面小很多，可以认为热量只沿着上下方向垂直传递，横向由侧面散去的热量可以忽略不计，即可以认为，样品内只有在垂直样品平面的方向上有温度梯度，在同一平面内，各处的温度相同。

设稳态时，样品的上下平面温度分别为 T_1 、 T_2 ，根据傅立叶传导方程，在 Δt 时间内通过样品的热量 ΔQ 满足下式：

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \frac{T_1 - T_2}{h_B} S \quad (3.8-1)$$

式中 $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ 为热流量（又称传热速率）， h_B 为样品的厚度， S 为样品的平面面积， λ 为样品的导热系数（亦称为热导率）， λ 是表示物质热传导性能的物理量，其在数值上等于相距单位长度的平行平面上，当温度相差一个单位时，在单位时间内，垂直通过单位面积所流过的热量。其 SI 单位是瓦特每米每开尔文，单位符号是 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 。

实验中样品为圆盘状，设圆盘样品的直径为 d_B ，则由 (3.8-1) 式得：

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \frac{T_1 - T_2}{4h_B} \pi d_B^2 \quad (3.8-2)$$

本实验 TC-3B 型导热系数测定仪装置如图 3.8-1 所示，它由电加热器、铝加热盘 C ，橡皮样品圆盘 B ，铜散热盘 P 、支架及调节螺丝、温度传感器以及控温与测温器组成。固定于底座的三个支架上，支撑着一个铜散热盘 P ，散热盘 P 可以借助底座内的风扇，达到稳定有效地散热。散热盘上安放面积相同的圆盘样品 B ，样品 B 上放置一个圆盘状铝加热盘 C ，其面积也与样品 B 的面积相同，铝加热盘 C 是由单片机控制的自适应电加热，可以设定加热盘的温度。



图 3.8-1 (a)

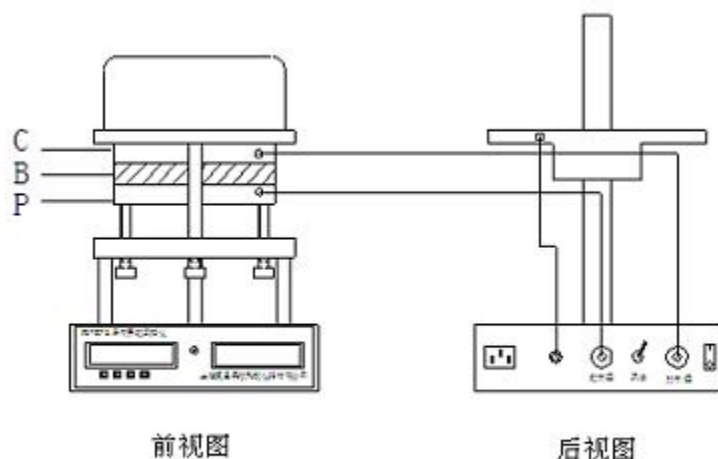


图 3.8-1(b)

当传热达到稳定状态时，样品上下表面的温度 T_1 和 T_2 不变，这时可以认为铝加热盘 C 通过样品传递的热流量与散热盘 P 向周围环境散热量（即散热速率）相等。因此可以通过散热盘 P 在稳定温度 T_2 时的散热速率来求出热流量 $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ 。

实验时，当测得稳态时的样品上下表面温度 T_1 和 T_2 后，将样品 B 抽去，让铝加热盘 C 与散热盘 P 接触，当散热盘的温度上升到高于稳态时的 T_2 值 10°C 或者 10°C 以上后，移开加热盘，让散热盘在电扇作用下自然冷却，观察散热盘温度 T 随时间 t 的变化情况，

求出散热盘在 T_2 时的冷却速率 $\left. \frac{\Delta T}{\Delta t} \right|_{T=T_2}$ ，则散热盘 P 在 T_2 时的散热速率为：

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = mc \left. \frac{\Delta T}{\Delta t} \right|_{T=T_2} \quad (3.8-3)$$

其中 m 为散热盘 P 的质量， c 为其比热容。

但要注意，式 (3.8-3) 中的冷却速率 $\left. \frac{\Delta T}{\Delta t} \right|_{T=T_2}$ 是散热盘 P 的全部表面暴露于空气中

的冷却速率，其散热表面积是 $2\pi R_p^2 + 2\pi R_p h_p$ （其中 R_p 与 h_p 分别为散热紫铜盘 P 的半径与厚度）。然而，在观察测试样品达到稳态的过程中，散热盘 P 的上表面是被样品覆盖着的，并未暴露在空气中，根据物体的冷却速率与它的散热表面积成正比的原理，散热盘上表面的面积在计算时应予以扣除。为此，稳态时散热铜盘 P 的散热速率的表达式应作面积修正为：

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = mc \left. \frac{\Delta T}{\Delta t} \right|_{T=T_2} \frac{(\pi R_p^2 + 2\pi R_p h_p)}{(2\pi R_p^2 + 2\pi R_p h_p)} \quad (3.8-4)$$

由 (3.8-2) 式和 (3.8-4) 式可得：

$$\lambda \frac{T_1 - T_2}{4h_B} \pi d_B^2 = mc \left. \frac{\Delta T}{\Delta t} \right|_{T=T_2} \frac{(\pi R_p^2 + 2\pi R_p h_p)}{(2\pi R_p^2 + 2\pi R_p h_p)} \quad (3.8-5)$$

所以样品的导热系数 λ 为：

$$\lambda = mc \left. \frac{\Delta T}{\Delta t} \right|_{T=T_2} \frac{(R_p + 2h_p)}{(2R_p + 2h_p)} \frac{4h_B}{(T_1 - T_2)} \frac{1}{\pi d_B^2} \quad (3.8-6)$$

【实验内容及步骤】

1. 用游标卡尺分别测量散热盘和待测橡皮样品的厚度和直径各测 6 次，然后取平均值，数据记录见表格 3.8-1。用天平测出散热盘的质量。
2. 取下固定螺丝，将橡皮样品放在加热盘与散热盘中间，橡皮样品要求与加热盘、散热盘完全对准；要求上下绝热薄板对准加热盘和散热盘。调节底部的三个微调螺丝，使样品与加热盘、散热盘接触良好，但注意不宜过紧或过松。
3. 安装实验装置。将集成温度传感器插入散热盘侧面的小孔中，并将集成温度传感器接线连接到仪器面板的传感器插座。用专用导线将仪器机箱后部插座与加热组建圆铝板上的插座加以连接。为了保证温度测量的准确性，采用同一个温

度传感器测温，在需要测量发热盘和散热盘温度时，采取手动变换操作，变换温度传感器的测温对象。盒子的上端两插座可分别插入两支温度传感器，温度传感器的另一端（带不锈钢护套管）分别插入加热盘 C 和散热盘 P ，要求传感器完全插入小孔中，并在传感器上抹一些硅油或者导热硅脂，以确保传感器与加热盘和散热盘接触良好。在安放加热盘和散热盘时，还应注意使放置传感器的小孔上下对齐。盒子前端的插座用专用导线与测试仪表连接，要测量加热盘 C 和散热盘 P 的温度时可用盒子上的开关切换分别测量（因为每个温度传感器的误差不同，因此仪器出厂时已由厂方配对，使用时不要随意与其它片子调换，如须调换也要成对调换）。

4. 接上导热系数测定仪的电源，开启电源后，设定加热温度为 $65^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ ，然后按加热开关，打开风扇。加热盘即开始加热。
5. 当加热盘的温度上升到设定温度值时，开始观察散热盘的温度，待在 10 分钟或更长的时间内加热盘和散热盘的温度值基本不变，可以认为系统已经达到稳定状态了。记录稳态时加热盘和散热盘的温度 T_1 和 T_2 的值。
6. 停止加热，移开发热铝盘，取走样品，调节三个螺栓使加热盘和散热盘接触良好，再设定温度到 65°C ，加快散热盘的温度上升，使散热盘温度上升到高于稳态时的 T_2 值 10°C 左右即可。
7. 移开加热盘，停止加热，让散热圆盘在风扇作用下冷却，待散热盘温度降到 $(T_2 + 5)^{\circ}\text{C}$ 左右时，每隔 20 秒记录一次散热盘的温度示值，记录在表格 3.8-2 中。由临近 T_2 值的温度数据中计算冷却速率 $\left. \frac{\Delta T}{\Delta t} \right|_{T=T_2}$ 。也可以根据记录数据做冷却曲线，用镜尺法作曲线在 T_2 点的切线，根据切线斜率计算冷却速率。
8. 根据测量得到的稳态时的温度值 T_1 和 T_2 ，以及在温度 T_2 时的冷却速率，由公式

$$\lambda = mc \left. \frac{\Delta T}{\Delta t} \right|_{T=T_2} \frac{(R_p + 2h_p)}{(2R_p + 2h_p)} \frac{4h_B}{(T_1 - T_2)} \frac{1}{\pi d_B^2} \text{ 计算不良导体样品的导热系数。}$$

【数据处理】

样品：橡皮；

室温：_____ °C；

散热盘比热容（紫铜）： $c = 385 J / (Kg \cdot K)$ ；

散热盘质量： $m =$ _____ g

表 3.8-1

测 试 次序 测试项目		1	2	3	4	5	6	平均值
		样品 <i>B</i>	厚度 h_B / mm					
直径 d_B / mm								
散热 铜盘 <i>P</i>	厚度 h_P / mm							
	直径 D_P / mm							$R_p = \overline{D_p} / 2$ =

稳态时(10分钟内温度基本保持不变)，样品上表面的温度示值 $T_1 =$ _____ °C，

样品下表面温度示值 $T_2 =$ _____ °C；

表 3.8-2

测量次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
温度值 (°C)										
测量次序	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
温度值 (°C)										

根据散热盘冷却数据作冷却曲线，取临近 T_2 温度的测量数据用作图法作曲线在 T_2 点的

切线，根据切线斜率求出冷却速率 $\left. \frac{\Delta T}{\Delta t} \right|_{T=T_2} =$ _____ °C/S。

将以上数据代入公式 (3.8-6) 计算得到不良导体的导热系数为：

$$\lambda = mc \frac{\Delta T}{\Delta t} \bigg|_{T=T_2} \frac{(R_p + 2h_p)}{(2R_p + 2h_p)} \frac{4h_B}{(T_1 - T_2)} \frac{1}{\pi d_B^2} = \text{—————} W / m \cdot K。$$

【注意事项】

1. 为了准确测定加热盘和散热盘的温度，实验中应该在两个温度传感器上涂些导热硅脂或者硅油，以使传感器和加热盘、散热盘充分接触，避免因传感器接触不良，造成温度测量不准。
2. 加热橡皮样品的时候，为达到稳定的传热，调节底部的三个微调螺丝，使样品与加热盘、散热盘紧密接触，注意不要中间有空气隙；也不要将螺丝旋太紧，以影响样品的厚度。
3. 实验中，抽出被测样品时，应先旋松加热圆筒上端的固定螺钉。样品取出后，小心将加热圆筒降下，使发热铝盘与散热铜盘接触，重新拧紧固定螺钉。
4. 导热系数测定仪铜盘下方的风扇做强迫对流换热用，减小样品侧面与底面的放热比，增加样品内部的温度梯度，从而减小实验误差，所以实验过程中，风扇一定要打开。
5. 实验操作过程中要注意防止高温烫伤。

【思考题】

1. 应用稳态法是否可以测量良导体的导热系数？如可以，对实验样品有什么要求？实验方法与测不良导体有什么区别？
2. 测量散热盘冷却速率时为什么要在稳态温度 T_2 附近选值？
3. 实验时如何判定导热已处于稳定状态？
4. 待测圆盘是厚一点好，还是薄一点好？为什么？
5. 实验过程中，环境温度的变化对实验有无影响？为什么？
6. 什么是传热速率、散热速率、冷却速率？三者之间的关系是什么？
7. 样品的导热系数大小与温度有何关系？如何测同一试样在不同温度下的导热系数？
8. 样品几何尺寸的测量应在实验前还是在实验后进行？