

教育技术应用

# 利用智能手机外设传感器可视化测量导热系数

张宇庭 丁益民 曹诗琴 徐钱欣 刘志强

(湖北大学物理与电子科学学院 湖北 武汉 430062)

(收稿日期:2022-01-25)

**摘要:**基于传统导热系数的测量方法,将集成式温度传感器换为测温更加灵敏且能通过蓝牙与智能手机连接实现可视化测温的探针温度传感器,利用其配套软件导出实验数据至手机 Excel 并直接利用手机 Excel 拟合出“温度-时间”曲线,计算待测物体的导热系数.研究表明,与传统方法相比探针法测得的实验结果相对误差更小、不确定度也 smaller.利用智能手机外设传感器进行可视化测量,不仅可以扩充智能手机的物理测量范围,还可以发挥智能手机的计算功能,从而在一部手机上完成物理测量和数据处理的全过程,方便开展居家实验,为今后创新性实验研究开创新的思路.

**关键词:**导热系数 稳态法 智能手机 探针温度传感器 手机办公

随着工业技术的飞速发展,各种新兴产品对一些材料的热力学性质都有很高的要求,导热系数作为热传导过程中描述材料传热性能的一个重要参数,小到电子元器件领域,大到航空飞机的设计等方面都需要考虑材料的导热系数这个参数<sup>[1~4]</sup>.

材料的导热系数常常需要通过实验来具体测定.测量导热系数的方法可以归并为两类基本方法:一类是稳态法,另一类是瞬态法.稳态法测量固体导热系数时先用热源对测试样品进行加热,待样品内部形成稳定的温度分布后,测量出热流大小和温度梯度并计算材料的导热系数.常见的稳态法有平板法、保护热流计法、圆管法.瞬态法测量是根据待测样品中的温度与时间的变化关系,再结合加热功率推算出材料的导热系数,不需要待测样品达到热平衡,相较于稳态法测量更为便捷,但准确度也没有前者高.常见的瞬态法有闪光法、热线法、热探针法.本文将采用稳态法中的平板法来测量导热系数<sup>[1]</sup>.

## 1 实验原理及装置

### 1.1 实验原理

根据热力学第二定律,当温度不同的两物体接触或物体内部温度不均匀时,就会发生热传递现象,物体的热传递满足傅里叶导热方程.此时在物体内部

部,取两个垂直于热传导方向,彼此间相距为  $h$ ,温度分别为  $T_1$  和  $T_2$  的平行平面(设  $T_1 > T_2$ ),若平面面积均为  $S$ ,在  $\Delta t$  时间内通过面积  $S$  的热量  $\Delta Q$  满足下述表达式

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

式中,  $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$  为热流量;  $\lambda$  即物体的导热系数(又称作热导率),  $\lambda$  在数值上等于相距单位长度的两个平面的温度相差一个单位时,单位时间内通过单位面积的热量,其单位是  $W/(m \cdot K)$ .

实验采用 TC-3B 型固体导热系数测定仪(图 1).

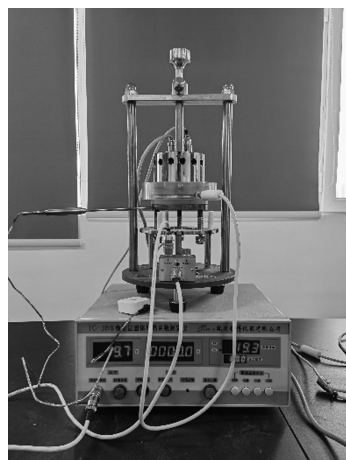


图 1 实验装置

在支架上先放上散热盘 P, 在散热盘 P 的上面放上橡胶盘 B, 再把发热盘 A 压在橡胶盘 B 上, 形成如图 2 所示的热传递过程. 由于盘 A 和 P 都是良导体, 其温度分别可代表盘 B 上下表面的温度  $T_1$  和  $T_2$ . 由式(1)可知单位时间内通过待测样品 B 任一圆截面的热流量为

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

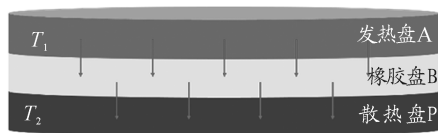


图2 热传递示意图

$R_B$  为样品的半径,  $h_B$  为样品的厚度. 样品达到稳态时, 散热速率与热流量相等即

$$mc \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (3)$$

$m$  为铜制散热盘 P 的质量,  $c$  为材料的比热容, 经过面积修正以后得到

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = mc \frac{\Delta T(\pi R_P^2 + 2\pi R_P h_P)}{\Delta t(2\pi R_P^2 + 2\pi R_P h_P)} \quad (4)$$

将式(4)代入式(2)中得

$$\lambda = mc \frac{\Delta T}{\Delta t} \frac{(R_P + 2h_P)h_B}{(2R_P + 2h_P)(T_1 - T_2)} \frac{1}{\pi R_B^2} \quad (5)$$

## 1.2 实验装置

针对传统实验数据收集困难且温度变化趋势不直观等缺陷, 笔者在实验中引用某品牌探针温度传感器(图3)代替 TC-3B 型测定仪的集成温度传感器.



图3 某品牌探针温度传感器

图3所示探针温度传感器具有蓝牙功能, 与智能手机上配套软件使用可以实现一秒测一次的高灵

敏度温度测量并将其实时地传输到手机上, 手机软件可以自动拟合出如图4所示的温度-时间图像.

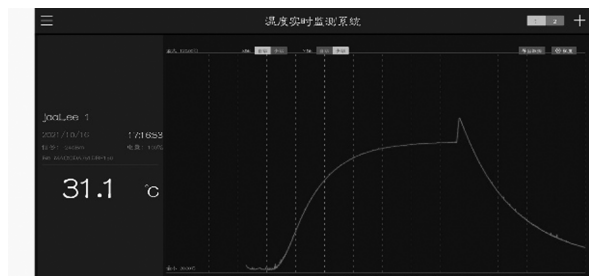


图4 软件实际显示画面

在最终的数据处理阶段, 软件可以直接将其记录的数据导出为 Excel 格式的文件, 方便学生对实验数据进行二次处理.

## 2 实验步骤

### 2.1 传统实验过程

(1) 实验时, 先将待测样品(橡胶盘 B) 放在散热盘 P 上面, 然后将发热盘 A 放在样品橡胶盘 B 上方, 并用固定螺母固定在机架上, 再调节 3 个螺旋头, 使样品橡胶盘的上下两个表面与发热盘和散热盘紧密接触.

(2) 将两个集成温度传感器分别插入发热盘 A 和散热盘 P 侧面的小孔中, 其示数分别对应仪器面板的传感器 I 和 II 的温度. 拨动单刀开关可切换显示发热盘和散热盘对应的示数.

(3) 接通电源, 在“温度控制”仪表上设置加温的上限温度.

(4) 加热约 45 min 后, 待发热盘 A、散热盘 P 的温度不再上升时, 说明系统已达到稳态, 这时每间隔 5 min 测量并记录  $T_1$  和  $T_2$  的值.

(5) 测量散热盘在稳态值  $T_2$  附近的散热速率  $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ , 移开发热盘 A, 取下橡胶盘 B, 并将发热盘 A 的底面与散热盘 P 直接接触, 当散热盘 P 的温度上升到高于稳态值  $T_2$  若干摄氏度后, 再将发热盘 A 移开, 让散热盘 P 自然冷却, 这时候每隔 30 s 记录此时的  $T_2$  值. 根据测量值可以计算出散热速率.

### 2.2 手机外接传感器进行实验

(1) 如上述组装实验仪器, 但将插入散热盘 P 的

集成温度传感器换为探针温度传感器,此时探针测温器所测温度即为  $T_2$ ,同时使 TC-3B 型测定仪左侧的传感器测温显示为发热盘 A 的温度  $T_1$ 。

(2) 接通电源,在“温度控制”仪表上设置加温的上限温度。

(3) 观察软件显示的图像,当温度-时间曲线与  $x$  轴平行大约 5 min 后,记录此时  $T_1$  和  $T_2$  的值。

(4) 移开发热盘 A,取下橡胶盘 B,并将发热盘 A 的底面与散热盘 P 直接接触,当散热盘 P 的温度上升到高于稳态值  $T_2$  值约  $10\text{ }^\circ\text{C}$  后,再将发热盘 A 移开,让散热盘 P 自然冷却,最后将软件记录的数据导出为 Excel 文件进行处理计算出散热速率。

### 3 数据收集及处理

用直尺和螺旋测微器分别测量散热盘 P 的直径  $D_P$ 、厚度  $h_P$  和橡胶盘 B 的直径  $D_B$  和厚度  $h_B$ ,测量 5 次取平均值,结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 散热盘 P 的直径和厚度

$n$	$D_P/\text{cm}$	$h_P/\text{mm}$
1	9.95	9.801
2	9.96	9.801
3	9.96	9.795
4	9.95	9.809
5	9.95	9.803
AVG	9.954	9.799

表 2 橡胶盘 B 的直径和厚度

$n$	$D_B/\text{cm}$	$h_B/\text{mm}$
1	9.94	8.801
2	9.98	8.780
3	9.95	8.761
4	9.97	8.778
5	9.94	8.807
AVG	9.956	8.785

用电子秤测出散热盘质量

$$m_P = 675\text{ g}$$

传统实验在稳态温度附近每隔 30 s 记录一次降

温数据,分别设加热温度为  $T_1 = 120\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = 110\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_3 = 100\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_4 = 90\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_5 = 80\text{ }^\circ\text{C}$ ,重复 5 次实验,结果如表 3 所示。

表 3 传统法测量的降温数据

单位:  $^\circ\text{C}$

时间 /s	$n$				
	1	2	3	4	5
0	80.8	79.5	69.0	63.7	58.1
30	79.5	77.6	67.8	62.7	57.3
60	78.2	76.0	66.8	61.4	56.5
90	77.1	74.2	65.8	60.4	55.7
120	75.7	72.7	64.3	59.5	54.9
150	74.4	71.4	63.2	58.7	53.9
180	73.4	70.1	61.6	58.0	53.4
210	72.4	69.8	60.4	56.3	52.6

传统逐差法求出此方法的温度变化值  $\frac{\Delta T}{\Delta t}$  和导热系数  $\lambda$  的值见表 4。

表 4 传统法测导热系数的数值

$n$	$\frac{\Delta T}{\Delta t}/(^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1})$	$\lambda/(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
1	0.041 0	0.165
2	0.050 4	0.243
3	0.041 4	0.209
4	0.032 7	0.191
5	0.026 7	0.191

对于采用探针温度传感器进行测温的实验数据,将其导出为 Excel 文件并对其进行处理,绘制成图 5。

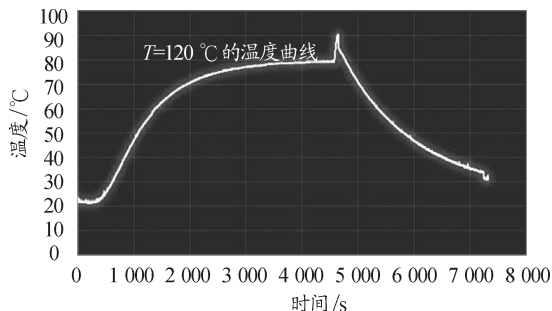


图 5 散热盘的温度变化趋势

图5可以直观地看到散热盘在整个加热和散热过程中的降温曲线,加强学生对此实验的感性认识.为获得更为精准实验数据并最终计算出导热系数,笔者取降温过程中稳态温度附近的250个数据点在手机中的Excel进行线性拟合,得到如下的数据见图6.

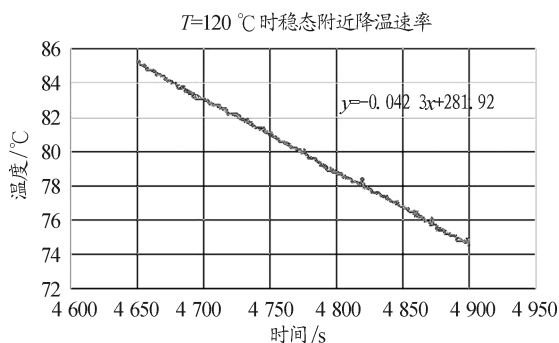


图6  $T_1 = 120\text{ }^\circ\text{C}$  时散热盘的降温速率拟合

由图6直接得出在加热温度  $T_1 = 120\text{ }^\circ\text{C}$  时稳态附近的降温速率

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = 0.0423\text{ }^\circ\text{C/s}$$

算出此时导热系数

$$\lambda_1 = 0.198\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

运用探针测温计重复进行4次实验,共得到5组降温曲线速率整合到表5中.

表5 探针法测导热系数的数值

$n$	$\frac{\Delta T}{\Delta t}/(^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1})$	$\lambda/(\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$
1	0.0423	0.198
2	0.0429	0.236
3	0.0397	0.201
4	0.0342	0.200
5	0.0269	0.192

#### 4 误差分析

查资料可知橡胶盘导热系数标准值

$$\lambda_{\text{标}} = 0.200\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

传统法测得导热系数平均值及其不确定度

$$\lambda_{\text{传}} = 0.212 \pm 0.007\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

计算可得传统方法的相对误差

$$\delta_{\text{传}} = 6.0\%$$

而探针法测得平均值及其不确定度

$$\lambda_{\text{探}} = (0.205 \pm 0.003)\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

相对误差

$$\delta_{\text{探}} = 2.5\%$$

结果对比曲线如图7所示.

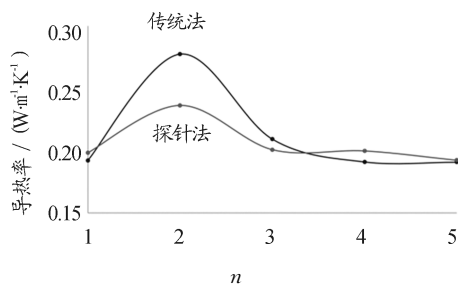


图7 传统法与探针法结果比较

综上所述,探针法所测得的实验结果相较于传统法而言,相对误差更小,实验结果的不确定度也 smaller,所得的结果更具有可信度.

#### 5 结论

本实验引入高灵敏度探针温度传感器代替传统的集成温度传感器,针对传统实验数据采集数据阶梯性缺失以及降温过程不直观等问题,导出Excel文件并直接在智能手机上进行数据处理,既提高了实验的精度,又可以使学生直观地感受到热力学实验中最重要温度变化过程,加强了学生对大学物理实验的感性认识,激发学生学习物理的热情.同时,本实验中采用的外设传感器与智能手机的结合丰富了智能手机的物理测量功能,为开展居家实验和探究性实验开创新的思路.

#### 参考文献

- 张涛. 低温保护热板法测量绝热材料导热系数研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2015
- 张广斌,鲍军委,董大兴. 稳态法导热系数测量的误差分析及改进方案[J]. 大学物理实验,2013,26(5):94~96
- 易志俊,陈伟,李娜,等. 基于DISLab温度传感器的导热系数的测定[J]. 大学物理实验,2014,27(4):94~96
- 徐钱欣,丁益民,范兵,等. 利用智能手机测物体转动惯量的居家DIY实验[J]. 物理与工程,2020,30(6):95~99

(下转第139页)

命题视角指向大学基础课程内容.由此,可窥视一下高考改革的导向或高考试题的命题走向.

高考命题逐步凸显范围宽广、背景新颖、形式灵活3大特征,一些试题很具前瞻性,主要呈现出能很好地与大学基础课程内容接轨.这在近十多年来的上海卷和北京卷有着明显的体现.高考的形式及其命题思路都在变化,未来的高考命题应该是一些具有选择性、开放性、灵活性的而不可能是死记硬背的

试题.试卷的“传统难度”将被“形式难度”所取代.这是由于试卷中出现新题型,考生不熟悉,尽管考查的知识点并不难,但考生容易发懵.如何让莘莘学子适应高考形式和命题思路的变化,教师的教学观念和学校育人管理观念的改变就显得极其重要.

#### 参考文献

- 1 漆安慎,杜婵英.普通物理教程力学[M].北京:高等教育出版社,2012.372~402

## In Depth Research on Physics Question 14th of the 2020 General College Entrance Examination in Beijing

Peng Li

(Guizhou Province Qianxi No. 1 Middle School, Bijie, Guizhou 551500)

Huang Shaoshu

(Experimental High School, Bijie, Guizhou 551500)

**Abstract:** According to Bernoulli's principle, it conducts an in-depth analysis of the physics question 14 of the 2020 Beijing General College Entrance Examination, and uses Bernoulli's equation to analyze in detail the essential reason why the falling trajectory of basketball deviates from the vertical direction due to the principle of aerodynamics. And try to see the direction of the reform of the college entrance examination or the trend of the proposition of the college entrance examination questions from the perspective of the proposition of the test questions.

**Key words:** Magnus effect; Bernoulli principle; Bernoulli equation; aerodynamics

(上接第133页)

## Visualization Measurement of Thermal Conductivity Using Smart Phone Peripheral Sensors

Zhang Yuting Ding Yimin Cao Shiqin Xu Qianxin Liu Zhiqiang

(Faculty of Physics and Electronic Technology, Hubei University, Wuhan, Hubei 430062)

**Abstract:** Based on the traditional measurement method of thermal conductivity, the integrated temperature sensor is replaced with a probe temperature sensor that is more sensitive in temperature measurement and can be connected to a smartphone through Bluetooth to realize visual temperature measurement. Use its supporting software to export the experimental data to the mobile phone Excel and use it directly. The "temperature  $^{\circ}\text{C}$ -time  $t$ " curve is fitted by the mobile phone Excel to calculate the thermal conductivity of the object to be measured. The research results show that the experimental results measured by the probe method have smaller relative errors and smaller uncertainties than the traditional method. Using smart phone peripheral sensors for visual measurement can not only expand the physical measurement range of the smart phone, but also play the computing function of the smart phone, so as to complete the whole process of physical measurement and data processing on a mobile phone, which is convenient for home experiments, to open up new ideas for future innovative experimental research.

**Key words:** thermal conductivity; steady-state method; smart phone; probe temperature sensor; mobile office