

基于 LabVIEW 的不良导体导热系数测量系统

李锋, 邓刚锋

(第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025)

摘要: 在改进传统稳态测量方法的基础上, 开发了一套基于 LabVIEW 图形化编程语言的虚拟测试系统, 利用 PC 机强大的数据处理能力对采集的数据进行实时处理并直观地显示处理结果, 极大地简化了测量设备和操作步骤。将此系统应用于某实验材料导热系数的测定, 达到了比传统测量仪器更高的精度和更快的速度。

关键词: 导热系数测定; 虚拟仪器; 稳态测量法

中图分类号: O551.3 **文献标识码:** A

A measuring system of thermal conductivity of poor conductor based on LabVIEW

LI Feng, DENG Gang Feng

(The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

Abstract: In this paper, a virtual measuring system based on LabVIEW is designed after improving the traditional steady-state method, the sampled data are real-time processed and the result is displayed visually by utilizing the powerful ability of data processing of the PC, then the measuring equipment and the operation process are predigested. When this system is applied to measuring the thermal conductivity of an experimental material, it gains higher precision and faster speed than the traditional measuring instruments.

Key words: thermal conductivity measuring; virtual instrument; steady-state method

当前很多工业、建筑领域都在研究和生产具有各种传热性能的材料。导热系数是衡量材料热传导性质的重要物理量, 它取决于诸多因素。目前实验室中测量不良导体的导热系数普遍采用稳态法, 但是传统稳态法的测量存在测试时间长、精度低、不利于误差分析、对实验装置要求高等缺点。

虚拟仪器技术是当今仪器技术发展的方向, 它最显著的特点就是对硬件的要求相对较低, 仪器特点主要体现在软件设计上。将传统的稳态测量方法适当改进并与虚拟仪器技术相结合, 可以极大地缩短测量时间、提高测量精度并减少对硬件设备的依赖度。

1 导热系数测量原理

1.1 导热系数

根据傅立叶建立的热传导理论, 当材料内部有温

度梯度存在时, 热量就会从高温处向低温处传递。这时, 在 dt 时间内通过 dS 面积的热量 dQ 正比于物体内的温度梯度, 即:

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda \frac{dT}{dZ} dS \quad (1)$$

式中: dQ/dt 为传热速率; dt/dZ 为与面积 dS 相垂直方向上的温度梯度; λ 为导热系数; 负号表示温度从高温处传向低温处。

1.2 稳态平板法测导热系数原理

稳态平板法测导热系数的原理如图 1 所示, 样品 B 为一平板, 当上下平面维持稳定的 T_1 和 T_2 , 即稳态时 (连续 5min 温度无较大变化则认为达到稳态), 通过样品的传热速率为:

$$\frac{dQ}{dt} = \lambda \frac{T_1 - T_2}{h_b} S_B \quad (2)$$

式(2)中： h_B 为样品厚度， $S_B = \pi R_B^2$ 为上表面面积。在稳定导热的条件下，认为通过待测样品B盘的传热速率与A向环境散热的速率相等。因此可以通过散热盘A在稳定温度 T_2 时的散热速率来求出样品的传热速率 dQ/dt ，进而求出 λ 。

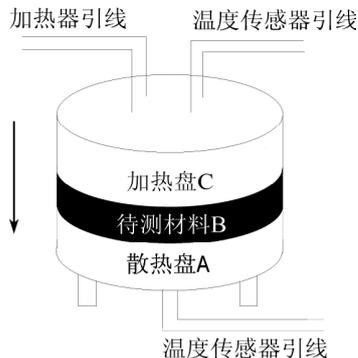


图1 稳态平板法原理图

加热A盘使之温度上升至比 T_2 高 10°C 左右，然后让A盘直接向环境散热，作它的温度—时间曲线（ T_A-t 曲线）如图2所示，过曲线上的点 (t_2, T_2) 做切线，其斜率就是A盘在 T_2 时的冷却速率 $dT/dt(T=T_2)$ 。根据热容的定义，A盘在 T_2 时的散热速率为：

$$\frac{dQ_A}{dt} = m_A c_A \left. \frac{dT}{dt} \right|_{T=T_2} \quad (3)$$

式中： m_A 为散热盘A的质量， c_A 为其比热容。

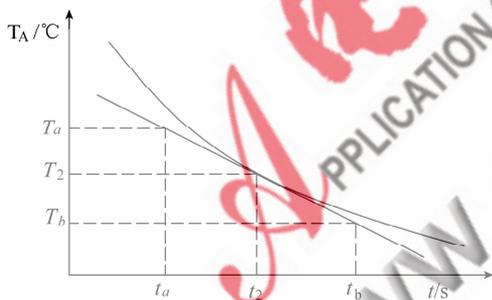


图2 散热盘温度—时间曲线

考虑A盘加热前后两次散热面积不同，所以修正样品的传热速率为：

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\pi R_A(R_A + 2h_A)}{2\pi R_A(R_A + h_A)} \times \frac{dQ_A}{dt} = \frac{R_A + 2h_A}{2R_A + 2h_A} \times m_A c_A \left. \frac{dT}{dt} \right|_{T=T_2} \quad (4)$$

式(4)中： R_A 和 h_A 分别为A盘的半径和厚度。

比较式(4)和(2)，即得出导热系数的计算公式：

$$\lambda = \frac{m_A c_A h_B (R_A + 2h_A)}{2\pi R_B^2 (T_1 - T_2) (R_A + h_A)} \times \left. \frac{dT}{dt} \right|_{T=T_2} \quad (5)$$

m_A 、 c_A 、 R_B 、 h_A 、 T_1 和 T_2 都可以由实验测量出准确值，求出 $dT/dt(T=T_2)$ 后，即可求出导热系数 λ [1]。

1.3 改进稳态测量法

传统的稳态测量法存在测量时间过长的缺点，而且 T_A-t 曲线需手工绘制，不仅费时且误差较大。为了减少测量时间、提高精度并充分利用虚拟仪器强大的数据处理能力，采取以下改进方法：

(1) 使用LabVIEW程序设计绘制 T_A-t 曲线，并自动计算出在 T_2 处的斜率。

(2) 在测量A的散热速率时，将A盘的上升温度从原来的高于 T_2 10°C 左右减少为高于 T_2 1°C 左右。利用计算机绘图精确性减少了对时间跨度的要求，从而只需得到 T_2 附近的曲线即可。

(3) 除输入各常数和转换采集方式之外的所有操作（包括各中间量的计算与保存）均由仪器自动完成，进一步简化了操作、减少了计算量。

2 虚拟测试系统的实现

2.1 硬件设计

本测试系统的硬件部分包括加热器、加热盘、散热盘、热电偶、信号调理模块、数据采集卡和PC机。硬件设计原理如图3所示。3个热电偶分别用来采集环境温度、样品上表面温度和样品下表面温度，采集到的电压信号经信号调理模块滤波、放大后，送入数据采集卡，数据采集卡先对信号进行再次放大（放大倍数由软件控制），然后利用多路开关循环采集各路通道并将其数字化，数字信号通过USB串行总线输入PC机。为了尽量减少硬件，散热盘冷却时，温度采集与样品下表面温度采集共用一个热电偶，当需要绘制散热盘温度—时间曲线时，使用软件转换。系统采用美国国家仪器公司（NI公司）的USB-6008数据采集卡，可即插即用，方便用户使用。

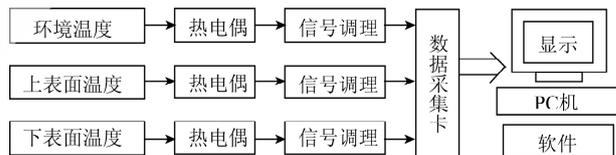


图3 硬件原理图

2.2 软件设计

测试系统采用NI公司的LabVIEW8.0图形化语言编程软件作为开发平台。程序流程图如图4所示。

2.2.1 数据采集

数据采集是程序设计中的重要环节。数据采集前必须先进行相关参数设置，首先设置设备号、采集通道号、各通道采样数和扫描速率。由于系统从非稳态进入稳态时间较长（即频率较低），而测量散热盘散热速率时所需时间较短（即频率较高），所以在设置采样数和扫描速率时应以满足频率较高者为准。其次设置转换

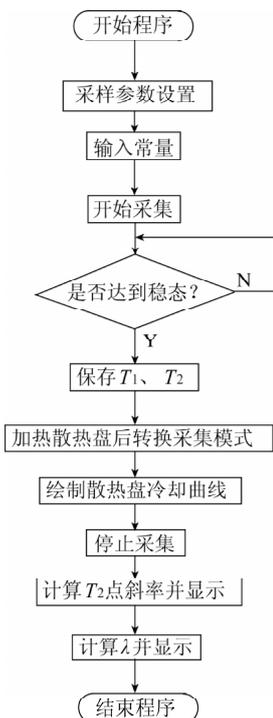


图 4 程序流程图

公式，热电偶输出的是电压信号，而显示的是温度值，需将电压值转换为温度值。由于热电偶输出的电压值与其对应的温度值呈非线性关系，所以各通道转换公式各不相同^[2-3]。

采集采用循环模式，以实现信号较长时间的采集。当达到稳态时记录稳态温度，然后手动加热散热盘；当散热盘温度升至高于 T_2 1℃时，将采集模式从稳态采集转为散热盘冷却采集。此时，在界面的 Waveform Graph 控件中即开始绘制散热盘温度—时间曲线。

在 LabVIEW 8.0 中，数据采集子程序主要使用 Data Acquisition 子模板中的函数设计。

2.2.2 数据处理

数据处理前在前面板中输入 m_A 、 C_A 、 R_B 、 h_A 、 h_B 等常量，以便参与最终计算。

经转换公式转换后得到的温度值在进行相应处理前使用滤波函数进行再滤波，使信号更平滑，然后分别在界面上显示为环境温度、样品上表面温度和样品下表面温度。进入稳态后保存稳态温度值 T_1 、 T_2 至数据存储文件（TDM 文件），加热散热盘，此时界面显示为散热盘温度。加热至高于 T_2 1℃，转换采集模式为散热盘冷却过程采集，绘制温度—时间曲线。曲线绘制完毕后，使用求导函数求出曲线上 T_2 处的导数（斜率），并将值显示在前面板。最后，利用输入的常数、保存在文件中的中间量 T_1 、 T_2 和计算出的斜率，使用数值计算函数按照公式（5）算出导热系数 λ 。

在 LabVIEW 8.0 中，这部分程序设计主要使用了

Numeric 子模版中的函数、Calculus 子模版中的 Differentiation 函数、Waveform Conditioning 中的 Filter 函数和 File I/O 子模版中的函数^[4]。

3 实例验证

使用本系统测量实验用橡皮的导热系数，据相关资料，该橡皮材料在 20℃时的导热系数为 $0.13 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \sim 0.14 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。在前面板中输入各常量后开始采集，达到稳态后保存 T_1 、 T_2 。存储文件中表明上表面温度 T_1 为 81.001 3℃（精度取六位有效数，下同），下表面温度 T_2 为 45.087 1℃。转换采集模式，45s 后散热盘温度—时间曲线绘制完毕，如图 5 所示。停止采集后，求出 T_2 处的斜率为 0.440 239，继而计算出导热系数为 $0.137 902 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ，室温显示为 21.214 9℃，结果符合资料所示范围。

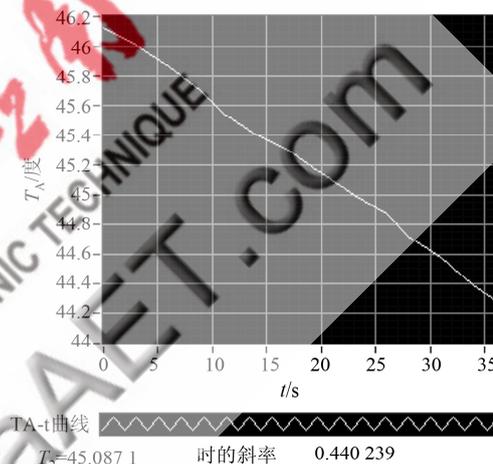


图 5 散热盘温度—时间曲线

将传统稳态法与虚拟仪器技术结合起来，使得本测量系统在测量不良导体的导热系数时具有操作简单、精度高、成本低的优点，能满足多数基于稳态法测量导热系数场合的需要，非常适合在传统测量仪器缺乏的材料研究单位和教学科研单位使用，也可以替代传统测量仪器。

参考文献

- [1] 张亚萍, 阎向宏. 计算机辅助测量不良导体的导热系数[J]. 物理实验, 2003, 23(7): 17-19.
- [2] 刘伟, 申焱华, 黄夏旭. 基于虚拟仪器的热电偶温度测试与分析系统[J]. 自动化仪表, 2007, 28(3): 65-69.
- [3] 马俊, 苏冬云. 温度数据采集测试系统设计[J]. 机电工程技术, 2005, 34(10): 17-20.
- [4] 燕延, 马增强, 杨明. 基于 LabVIEW 的数据采集与处理软件编程技巧[J]. 微计算机信息, 2005, 21(5): 23-25.

(收稿日期: 2009-02-18)