

物理实验



线胀系数的视频在线光干涉法测量研究

王青 王君 戴怡乐 戴剑锋 李维学

(兰州理工大学物理系, 甘肃 兰州 730050)

摘要 实验室测量金属的线胀系数普遍采用的是光杠杆法, 经实验证明光杠杆法存在偶然误差大、测量精度低、占地空间大等问题, 通过利用劈尖的等厚干涉法能够很好地解决光杠杆法存在的问题. 新方法具有温升范围小、加热功率低、测量精度高、操作简单直观、占地空间小等优点, 便于实际教学中教师的讲解、示教和演示, 有利于学生综合应用知识, 提高综合设计实验的能力.

关键词 线胀系数; 等厚干涉; CCD 显示

STUDY ON THE MEASURING METHOD OF EQUAL THICKNESS INTERFERENCE IN EXPERIMENT OF LINEAR EXPANSION COEFFICIENT

Wang Qing Wang Jun Dai Yile Dai Jianfeng Li Weixue

(Department of Physics, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, Gansu 730050)

Abstract Optical lever method is commonly used to measure the linear expansion coefficient of metal in laboratory. Experiments have proved it has a lot of disadvantages such as the inevitable accidental error, the low precision of measurement, and the large space needed. These problems can be solved through the method of equal thickness interference of a wedge. This new method has many advantages such as small range of temperature growing, low heating power, high measuring accuracy, easy operation, small space occupation, and so on. It is convenient for teachers to explain, teach, and display in practical teaching. And it is good for students to apply their knowledge comprehensively, and improve their ability of comprehensive experiment design.

Key words coefficient of linear expansion; equal thickness interference; display of charge coupled device

金属的线胀系数是工程结构设计、精密仪器制造、材料加工中必须考虑的重要参数之一. 对于金属的线胀系数的测量, 通常情况下实验室采用的是光杠杆法^[1], 但是由于金属热膨胀是一个动态过程, 故此法存在偶然误差大、测量精度低、占地空间大等问题. 虽然人们对该实验的改进进行了一定的研究^[2-5], 但仍存在一定的问题. 本文将介绍一种利用劈尖的等厚干涉并借助光学显微镜及 CCD 显示系统在线测量金属线胀系数的新方法. 新方法具有温升范围小、加热功率低、测量精

度高、操作简单直观、占地空间小等优点, 便于实际教学中教师的讲解、示教和演示, 有利于学生综合应用知识, 提高综合设计实验的能力.

收稿日期: 2013-08-28

基金项目: “教育部国家大学生创新性实验计划”项目资助.

作者简介: 王青, 女, 教授, 主要从事物理教学和科研工作, 研究方向为纳米材料、氧化物半导体材料的光学性质研究. 电子邮箱地址: wangqing@lut.cn

1 光杠杆法简述

1.1 基本原理

实验室采用的光杠杆法测量金属线胀系数的装置如图 1 所示. 通常将金属因受热膨胀而使其长度产生变化的现象叫金属的线性膨胀, 将金属由于受热膨胀而引起的在一维方向上的单位长度变化称为金属的线膨胀系数.

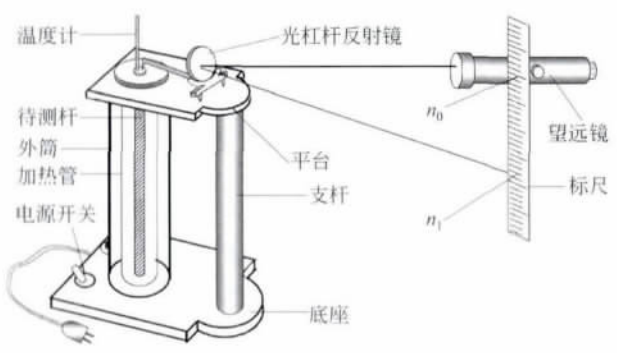


图 1 光杠杆法实验原理示意图

在常温下, 当金属温升范围不大时, 其线胀系数 α 可表示为

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L \Delta t} \quad (1)$$

式中, Δt 为 $t_2 - t_1$, 表示温度差; L 表示金属在温度 t 时的长度; ΔL 表示金属在经过温度差 Δt 后的微小伸长量.

1.2 ΔL 的测定

ΔL 是一个微小变化量, 不能用普通量具直接测量, 实验室常采用光杠杆放大法, 其放大原理为

$$\Delta L = \frac{b}{2D}(n_1 - n_0) \quad (2)$$

其放大倍数 $\beta = \frac{\Delta n}{\Delta L} = \frac{2D}{b}$. 式中, b 为光杠杆的臂长; D 为光杠杆反射镜到游标卡尺的距离; n_0 和 n_1 分别是温度为 t_0 和 t 时望远镜标尺中的读数.

将公式(2)代入公式(1), 得到采用光杠杆法测量金属线胀系数的公式为

$$\alpha = \frac{1}{L \Delta t} \frac{b}{2D}(n_1 - n_0) \quad (3)$$

1.3 存在的问题

以铜棒为待测材料, 可查得 $\alpha = 1.71 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$. 取 $L = 500 \text{mm}$, $\Delta t = 5^\circ \text{C}$, $D = 2000 \text{mm}$, $b = 80 \text{mm}$. 由公式(1)、(3)可求得 $\Delta L = 0.0425 \text{mm}$, 由此可以看出铜棒伸长量很小, 难以

测量, 偶然误差大; 若光杠杆放大倍数 ($\beta = \frac{2D}{b}$) 不够大, 则测量结果准确度不高; 如要提高光杠杆放大倍数, 则要求 D 尽可能大, b 尽可能小, 于是又导致占用实验场地较大的问题.

2 CCD 等厚干涉法在线测量

2.1 基本原理

如图 2 所示, 取两片光学玻璃, 上片固定在水平位置上; 下片一端 (a 端) 与上片一端对齐并令其可绕此端自由活动, 另一端 (b 端) 放置在被测样品上, 此时两片光学玻璃便形成了一个夹角为 θ_1 的劈尖.

若被测样品因加热膨胀伸长了 ΔL , 使下片 b 端发生微小位移 ΔL , 设此时劈尖夹角为 θ_2 , 则有

$$\Delta L \approx (\theta_1 - \theta_2) \cdot D = \Delta \theta \cdot D \quad (4)$$

式中, D 为下片长度.

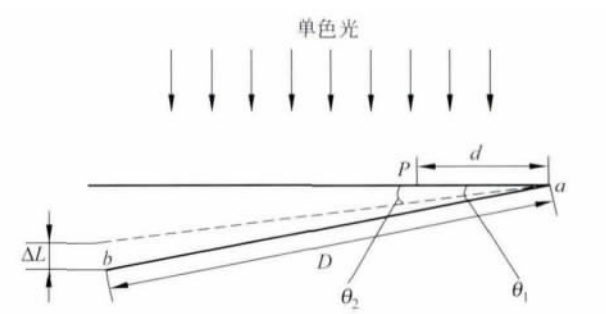


图 2 干涉法实验原理示意图

若以波长为 λ 的单色光垂直入射此劈尖, 则经此空气劈尖上下表面反射的两束光相遇后发生干涉, 产生干涉条纹. 根据干涉条件有

$$\Delta n = 2e + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & (\text{明条纹}) \\ (2k+1) \frac{\lambda}{2} & (\text{暗条纹}) \end{cases}$$

式中, Δn 为光程差; e 为空气薄膜厚度.

当从 P 点观察暗条纹时, P 点所在处空气薄膜厚度的变化应为 $\Delta e = \Delta k \frac{\lambda}{2}$, 且有 $\Delta e \approx \Delta \theta \cdot d$, 于是有

$$\Delta k \frac{\lambda}{2} = \Delta \theta \cdot d \quad (5)$$

式中, Δk 为从 P 点移过的暗条纹的数目; d 为 P 点到棱边的距离.

由式(4)、(5)联立可得

$$\Delta L = \frac{D}{d} \Delta k \frac{\lambda}{2} \quad (6)$$

将公式(6)代入公式(1),即得

$$\alpha = \frac{D}{Ld} \frac{\Delta k}{\Delta t} \frac{\lambda}{2} \quad (7)$$

此即为用等厚干涉法测量材料线胀系数的公式。

由公式(7)容易看出,只要测得暗条纹移动的数目 Δk 、温度差 Δt 、 P 点到棱边的距离 d 、被测材料长度 L 和劈尖下片长度 D ,即可得到被测材料的线胀系数 α 。

2.2 实验装置

实验装置如图 3 所示,图中加热炉是用来加热被测样品的,本实验的待测样品为紫铜棒,采用的是水浴加热,加热温度和加热速度易于控制,劈尖为 (135×30) mm 的光学玻璃片,实验所用单色光源为钠光灯,热电偶仪用来测量样品的温度,采用同轴光单筒显微镜捕捉干涉条纹并将干涉条纹放大,并通过 CCD 工业相机将放大后的干涉条纹转换为电信号并传输到显示器,在显示器屏上可清楚地看到随温度变化而移动的干涉条纹,可在线读取干涉条纹移动数目 Δk 。

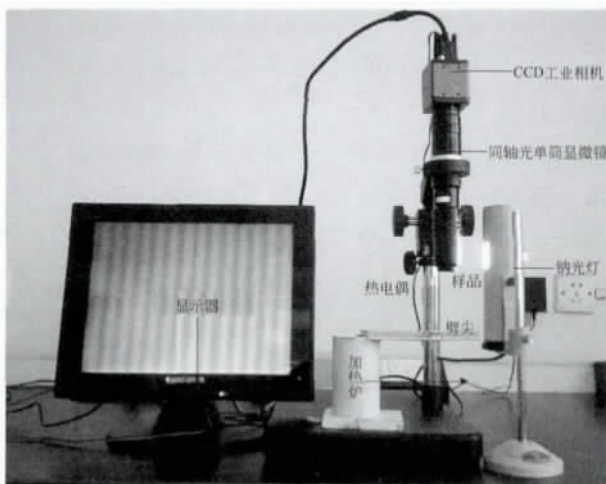


图 3 实验装置照片

2.3 实验方法及步骤

- 1) 按图 3 所示连接好实验装置;
- 2) 打开钠光灯,预热 3 分钟,调节钠光灯位置并观察显示器,直至显示器上出现明亮视场为止;
- 3) 打开加热炉开关,对被测材料进行加热;
- 4) 调节显微镜高度,观察显示器,直至显示器

上出现模糊的干涉条纹;

5) 调节显微镜焦距并微调显微镜高度,直至显示器上出现清晰的干涉条纹;

6) 打开热电偶,开始测温(取 $\Delta t = 5^\circ\text{C}$),读取显示器上干涉条纹的移动数目并记录数据,见表 1。

表 1 实验测量数据

$t/^\circ\text{C}$	20	25	30	35	40	45
$k/\text{条}$	0	11	22	33	43	54

2.4 实验数据及处理

该实验选取紫铜棒为被测样品,以钠光灯为光源.则有 $\lambda = 589.3\text{nm}$, $L = 102\text{mm}$, $D = 135\text{mm}$, $d = 50\text{mm}$ 。

运用公式(7),使用逐差法并取平均值,最后得 $\alpha = 1.716 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ 。

3 结语

综上所述,用干涉法所测得的紫铜棒的线胀系数为 $1.716 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$,此结果与标准值吻合得很好.比较传统实验室所采用的光杠杆法,该方法具有以下优点:温升范围小,加热功率低,金属棒受热均匀、线性度好;所选被测材料(紫铜棒)长度短,实验装置结构紧凑,占用空间小;所需测量的变量少且易于观测,测量精度高;直观性强,便于实际教学中教师的讲解、示教和演示。

参 考 文 献

- [1] 冯旺军,王青,等.大学物理实验教程[M].兰州:甘肃人民出版社,2000.
- [2] 王青,戴剑锋,李维学.测量金属热胀系数的新方法研究[J].大学物理实验,2003,16(3):9-11.
- [3] 王青,戴剑锋.牛顿环干涉实验的改进[J].物理通报,2002,9:10-13.
- [4] 刘传林.利用光的干涉测钢丝杨氏弹性模量的方法[J].大学物理,2000,19(10):15-17.
- [5] 周家颖,赵映辉,苏义民.CCD 测量系统的室内试验[J].西安体育学院学报,2001,18(2):13-15.
- [6] 陈淑清.测量线胀系数的一种新方法[J].物理与工程,2002,12(4):27-29.