

用线阵 CCD 测量固体材料的杨氏模量

魏淑芳¹, 夏湘芳², 彭柯铭², 王国友², 陈光伟²

(1. 肇庆市高级技工学校, 广东 肇庆 526020; 2. 湖南工业大学, 湖南 株洲 412008)

摘要: 介绍了一种用线阵 CCD 测量固体材料杨氏模量的方法, 使学生了解和掌握一种微小位移的非电量电测方法, 扩大了学生的知识面, 有利于学生综合素质的培养。

关键词: 线阵 CCD; 杨氏模量; 激光光杠杆

中图分类号: G642.423, O4-33

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2009)04-0065-03

Measuring Young's Modulus of Solid Material with Line Scan CCD

Guo Shufang, Xia Xiangfang, Peng Keming, Wang Guoyou, Chen Guangwei

(1. High Technical School of Zhaoqing City, Zhaoqing Guangdong 526020;

2. Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008)

Abstract: Introduces a new method of measuring Young's modulus of solid material with line scan CCD. Makes students understand and master a non-electric measurement way to measure min-displacement, which not only expands students' knowledge but also has advantages in cultivating students' overall qualities.

Keywords: line scan CCD; Young's modulus; laser light lever

弯梁法测量固体材料杨氏模量是大学物理实验中一个十分重要的实验项目, 其关键是测量微小位移量。传统实验中采用光杠杆和尺度望远镜放大的方法测量微小位移量, 随着科学技术的发展, 微小位移量的测量技术愈来愈先进, 本文介绍采用线阵 CCD 的视频输出信号, 通过示波器读数测量微小位移量的方法, 这有利于联系科研和生产实际, 使学生了解和掌握微小位移的非电量电测新方法。

1 实验原理

1.1 杨氏模量

物体在受到外力作用时, 形状与体积会发生或大或小的改变, 这统称为形变。当外力不太大, 引起的形变也不太大时, 撤掉外力, 形变就会消失, 这种形变称之为弹性形变。将厚度为 δ 、宽为 b 的金属板放在相距为 l 的 2 刀刃上 (图 1), 在板上 2 刀刃的中点处

挂上质量为 m 的砝码, 板被压弯。设挂砝码处下降 λ , 称此 λ 为弛垂度, 这时板材的杨氏模量 E 等于^[1]:

$$E = \frac{mgl^3}{4\delta^3 b\lambda} \quad (1)$$

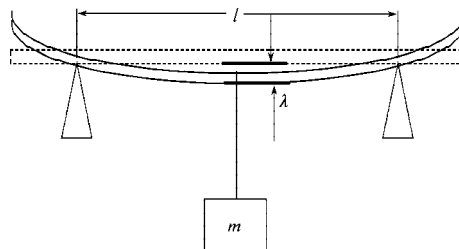


图 1 金属板受力弯曲示意图

Fig. 1 The bending diagram of metal plate

1.2 激光光杠杆

在平板 P 下面固定 3 个尖足 a 、 b 、 c , 在平板上 a

收稿日期: 2009-04-20

作者简介: 魏淑芳 (1965-), 女, 湖南衡阳人, 肇庆市高级技工学校讲师, 主要从事电工电子和实验技术的研究,

E-mail: qjgsf@yahoo.com.cn

足与 b 、 c 足连线垂直的方向安装 1 个“一字形”的半导体激光器，这样就组成了激光光杠杆（图 2）。 a 足到 b 、 c 足连线的垂直距离为 d_1 ，当半导体激光器工作时，半导体激光器可发出 1 束“一字形”的红色激光束 G 照在离 b 、 c 足距离 d_2 的屏幕上 f 处（图 3）。如果这时 a 足由 g 处降低 λ 到 h 处，激光束照在屏幕上的位置就上升了 x 到 e 处，那么有：

$$\lambda = \frac{d_1 x}{d_2} \quad (2)$$

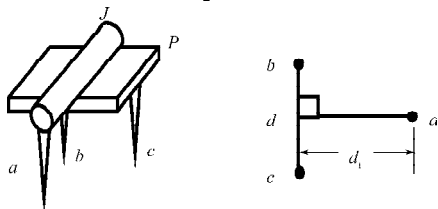


图 2 激光光杠杆结构图

Fig. 2 The structural chart of laser light lever

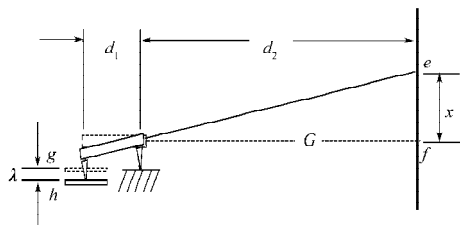


图 3 激光光杠杆工作示意图

Fig. 3 The working diagram of laser light lever

1.3 线阵 CCD

CCD (charge coupled device, 即电荷耦合器件) 是一种新型的固体成像器件，在非接触测量方面有着广泛的应用^[2-6]。LM601S 型 CCD 光强分布测量仪就是利用线阵 CCD 器件作探测器，通过自动扫描，实现对连续变化的光强信号波形的采集。该测量仪使照射到其采光窗上的光强分布，从按空间位置变化的函数转换为按时间变化的函数，并变成与光强成线性关系的模拟视频信号输出。LM601S 型 CCD 光强分布测量仪有 2 700 个光敏元，相邻光敏元中心间距为 $11 \mu\text{m}$ ，故光敏元线阵有效长度为 $11 \times 2 700 \mu\text{m}$ ；其输出的视频信号波形可输入示波器，以显示光强分布的波形曲线（图 4），从而方便进行测量。示波器显示的 2 同步信号间隔为 CCD 线阵的有效扫描时间 t ，对应第 1 个光敏元到第 2 700 个光敏元的有效长度 $11 \times 2 700 \mu\text{m}$ ；信号中心到前一个同步信号的间隔为示波器上显示的第 1 个光敏元到信号中心所处的光敏元有效扫描时间 t_x ，对应第 1 个光敏元到信号中心所处光敏元的有效长度为 x ，则：

$$x = \frac{11 \times 2 700 \times t_x}{t} \quad (3)$$

实验时，根据 CCD 光强分布测量仪输出的视频信号在示波器上显示的波形曲线，测出 t_x 的值，由式 (3)

算出“一字形”激光在 CCD 面上的位置 x 及其变化量，再由式 (2) 算出激光光杠杆 a 足下降的位移，即金属板在质量为 m 的砝码作用下的弛垂度 λ ，最后由式 (1) 求出金属板的杨氏模量。

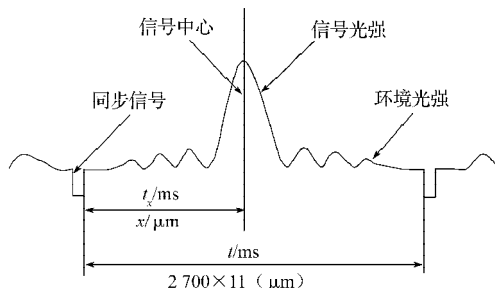


图 4 视频信号波形示意图

Fig. 4 The waveform diagram of video signals

2 实验内容

2.1 实验装置

实验装置如图 5 所示，在 2 支架上设置互相平行的钢制刀刃，其上放置待测板和辅助板，在待测板上 2 刀刃间的中点处，挂上有刀刃的挂钩和砝码盘，在辅助板和挂钩上安放激光光杠杆， b 、 c 足安放在辅助板上， a 足安放在挂钩的中央，在激光器的前方一定距离（约 50 cm）处，放置 1 个 LM601S 型 CCD 光强分布测量仪，让激光光杠杆发出的“一字形”的红色激光束垂直照在线阵 CCD 的下方，CCD 光强分布测量仪输出的视频信号接入示波器的输入口。往砝码盘上加砝码时待测板被压弯，激光光杠杆发出的“一字形”的红色激光束照在线阵 CCD 上的位置往上移动，通过示波器显示的光强分布波形曲线的变化情况，从而求出待测板的杨氏模量。

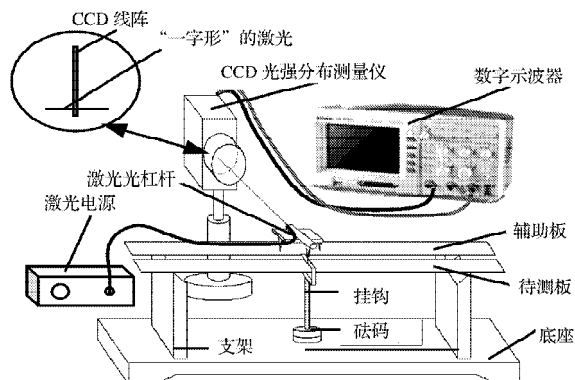


图 5 实验装置

Fig. 5 The schematic of experimental device

2.2 实验方法及步骤

1) 将激光光杠杆在平的白纸上轻轻压出 a 、 b 、 c 3 个足尖痕，用游标卡尺测量 a 到 b 、 c 连线的垂直距离 d_1 ，用直尺测量 l ，千分尺测量 δ ，游标卡尺测量 b 。

2) 如图5所示安装好实验装置, 打开激光电源、CCD 光强分布测量仪、数字示波器的电源开关, 调节示波器使显示屏上可稳定的显示一个完整周期的扫描信号, 调节激光功率使 CCD 光强分布测量仪输出的视频信号波形如图 6, 用光标手动模式测出 2 同步信号间的扫描时间 t 和信号中心到前一个同步信号的扫描时间 t_0 。

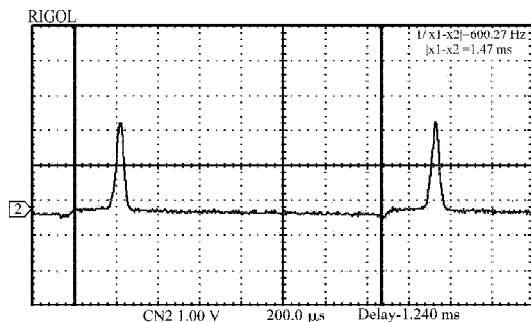


图 6 初始状态视频信号波形

Fig. 6 The initial video signal waveform

3) 在挂钩上增加 1 个 20 g 的砝码, 激光光杠杆发出的“一字形”红色激光束照在线阵 CCD 上的位置往上移动, 示波器显示的信号中心位置发生相应的移动, 用光标手动模式测出此时的信号中心到前一个同步信号的扫描时间 t_1 , 如图 7。

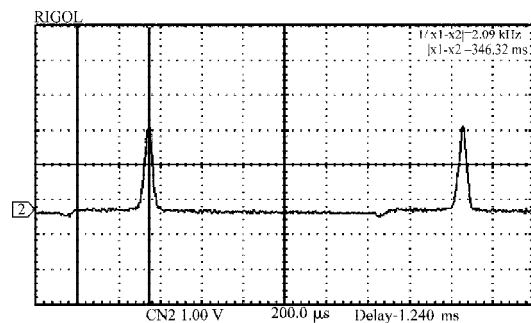


图 7 变化后视频信号波形

Fig. 7 The changed video signal waveform

4) 逐次增加砝码, 测出对应的 t_2 、 t_3 、 $t_4 \cdots t_8$ 。

5) 用逐差法处理实验数据, 算待测板杨氏模量。

3 实验数据及处理

实验中测得不锈钢杨氏模量的各项数据如下:

$\delta = 0.860 \text{ mm}$, $l = 23.78 \text{ mm}$, $b = 23.72 \text{ cm}$, $d_1 = 46.38 \text{ mm}$, $d_2 = 55.18 \text{ cm}$, $t = 1.47 \text{ ms}$, 反应不锈钢形变的实验观测数据见表 1。

用逐差法求得每增加 1 g 砝码时, 引起光敏元位置 x 的变化量为 0.129 mm , 则不锈钢梁产生的弛垂度为 0.0108 mm , 由式(1)可算得 $Y_{\text{不锈钢}} = 20.1 \times 10^2 \text{ N/m}^2$, 与标准值 $19.7 \times 10^2 \text{ N/m}^2$ 的误差为 2.03% 。

表 1 不锈钢杨氏模量的测量数据

Table 1 The Young's modulus data of stainless steel

m/g	$t_i/\mu\text{s}$	x_i/mm	m/g	$t_i/\mu\text{s}$	x_i/mm
0	219.21	4.43	100	854.64	17.30
20	346.32	7.00	120	981.96	19.80
40	473.64	9.57	140	1 110.00	22.40
60	600.50	12.10	160	1 240.00	25.00
80	727.42	14.70	180	1 370.05	27.70

4 结语

对测量固体材料杨氏模量的实验装置和方法进行了改进, 在保留原有实验教学内容的基础上, 增加了采用线阵 CCD 的视频输出信号, 通过示波器观察用于测量微小位移量的方法, 将先进科技成果应用到教学实践中, 扩大了学生的知识面, 有利于学生综合素质的培养。

参考文献:

- [1] 杨述武. 普通物理实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 92-96.
Yang Shuwu. General Physics Experiments[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 92-96.
- [2] 王庆有. 图像传感器应用技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
Wang Qingyou. Application Technology of Image Sensors[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003.
- [3] 达争尚, 施浣芳. 线阵 CCD 尺寸测量信号的提取[J]. 西安工业学院学报, 2000, 20(1): 35-38.
Da Zhengshang, Shi Huanfang. Signal Extraction of Line Scan CCD Used in Dimension Measurement[J]. Journal of Xi'an Institute of Technology, 2000, 20(1): 35-38.
- [4] 谈新权, 许胜辉, 梅晓英. CCD 图像传感器的高分辨率技术[J]. 半导体光电, 1999, 20(3): 189-192.
Tan Xinquan, Xu Shenghui, Mei Xiaoying. High Resolution Technology of CCD Image Sensor[J]. Semiconductor Optoelectronics, 1999, 20(3): 189-192.
- [5] 孙学珠, 付维乔, 刘庆, 等. 高精度 CCD 尺寸自动检测系统的光学系统设计[J]. 光学技术, 1995(5): 4-6.
Sun Xuezhu, Fu Weiqiao, Liu Qing, et al. The Design of Optical System for High Precision CCD Automatic Size Control[J]. Optical Technology, 1995(5): 4-6.
- [6] 安志勇, 张国玉, 宋路, 等. 高分辨率 CCD 光电尺寸自动检测仪的研究[J]. 光学技术, 1997(3): 35-36.
An Zhiyong, Zhang Guoyu, Song Lu, et al. Research on High Resolution CCD Photoelectric Automatic Measuring Instrument for Size[J]. Optical Technology, 1997(3): 35-36.

(责任编辑: 李玉珍)