

用 ✓ 符号选择一类	
教 学	✓
科 研	
编号 (由专家组填写)	

第九届全国高校物理实验教学研讨会  
本科学生物理实验论文评比表

学生姓名: 叶天明、周颖东

申报学校: 同济大学

联系方式: 电话: 18501638675

传真: 021-65986071

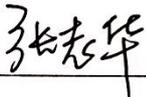
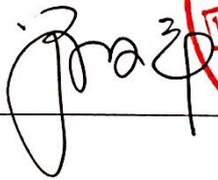
E-mail: 11tianming@tongji.edu.cn

填表日期: 2016年5月19日

第九届全国高校物理实验教学研讨会组委会制

二〇一六年一月

学 生 情 况 及 发 表 有 关 物 理 实 验 论 文 情 况	姓名	叶天明	性别	男	出生年月	1992年11月
	学校名称	同济大学				
	入学时间	2011.9	毕业时间	2015.6		
	学号	1154266				
	<p>本科期间发表与物理实验有关论文情况： 共发表 1 篇论文                  论文题目 杂志名称（卷、页、年）                  1. 用光纤传感器测量金属丝的杨氏模量，物理实验，（35、36-38、2015）</p> <p>列出全部作者排序* 引用情况                  1. 叶天明,周颖东,潘宁,张志华#,方恺#,赫丽#,杜艾#,王晓栋# 0</p> <p>* 如有教师，请在教师名字后用#标出。</p> <p>代表性论文学术价值及应用价值</p> <p>金属丝杨氏模量的测量是大学物理实验中一个重要的实验，通常采用光杠杆镜尺法来测量金属丝的杨氏模量，但是这种方法操作复杂且误差较大。本文对实验方法进行改进，采用光纤传感器代替光杠杆，通过测量发射-接收探头与平面镜之间的距离来测得已知加载情况下金属丝的微小伸长，从而得到金属丝的杨氏模量。此方法相对于光杠杆镜尺法操作简便且误差较小，具有较高的可行性。</p>					

	指导教师姓名	张志华	职称	副教授
指导教师评语	<p>对学生发表论文评语及论文情况说明：</p> <p>叶天明同学想到用光纤传感器来代替光杠杆，来测量金属丝的杨氏模量，即：先对金属丝进行测量，然后用光纤传感器法和光杠杆镜尺法分别测量金属丝的杨氏弹性模量，并对两种方法进行误差和不确定度的比较。由于光纤具有对距离变化的敏感，这种方法相对于光杠杆镜尺法来说操作简便且误差较小，具有较高的可行度。同时数字化仪器的使用使得读数更加精确，减小了实验的误差。本研究拓展了近代物理实验的实验内容，并培养了学生的创新能力和综合能力。同意推荐！</p> <p>指导教师（签名）：  2016年5月18日</p>			
学校推荐意见	<p>本论文数据翔实，该拓展实验培养了学生的独立思考能力和创新能力。同意推荐！</p> <p>负责人（签名）：   2016年5月18日</p>			
大会学术组专家意见	<p>专家组组长（签名）： _____ 年 月 日</p>			
评比结果	<p>大会主席（签名） _____ 年 月 日</p>			

## 用光纤传感器测量金属丝的杨氏模量

叶天明,周颖东,潘 宁,张志华,方 恺,赫 丽,杜 艾,王晓栋

(同济大学 物理科学与工程学院,上海 200092)

摘 要:对测量金属丝的杨氏模量实验进行改进,采用光纤传感器来代替光杠杆,通过测量发射-接收探头与平面镜之间的距离测量已知加载情况下金属丝的微小伸长,从而得到金属丝的杨氏模量.

关键词:光纤传感器;杨氏模量;光杠杆

中图分类号:O436.1;O313.3

文献标识码:A

文章编号:1005-4642(2015)12-0036-03

杨氏弹性模量是材料弹性性质的一个主要特征量. 实验室测量物体杨氏模量的方法有很多,如迈克耳逊干涉法、光的衍射法、双缝干涉法<sup>[1]</sup>等,一般实验教学中采用光杠杆镜尺法<sup>[2]</sup>,该方法操作不易且通过望远镜读数比较麻烦,同时必须小心操作,否则容易产生较大误差. 因此,已经有不少文章对已知的实验方法进行改进或提出新的实验方法<sup>[3-6]</sup>. 由于光纤对距离变化敏感,本文采用光纤传感器精确测量金属丝的伸长量,从而准确测量金属的杨氏模量.

### 1 实验原理

物体在弹性限度内,应力与应变的比例系数称为杨氏模量. 在已知载荷的情况下,通过测量金属丝的长度、横截面积和微小伸长量就能得出金属丝的杨氏模量.

光杠杆镜尺法实验装置如图 1 所示. 在“T”形横架上装一小镜,在镜前适当距离处,竖与长度变化方向相平行的标尺,尺旁边放望远镜,从望远镜中看清由小镜子反射的标尺. 光杠杆的作用在于将长度的微小变化量转变为角度的微小变化量,同时再经望远镜和标尺将它转变为较大的标尺读数变化量.

比值  $\beta = \frac{2D}{K}$  为光杠杆镜尺的放大倍数. 因此光杠杆镜尺法测量金属丝杨氏模量的公式为:

$$E = \frac{2DLg}{SK} \frac{m}{\Delta x}, \quad (1)$$

其中  $S$  为金属丝横截面面积,  $L$  为金属丝的长度.

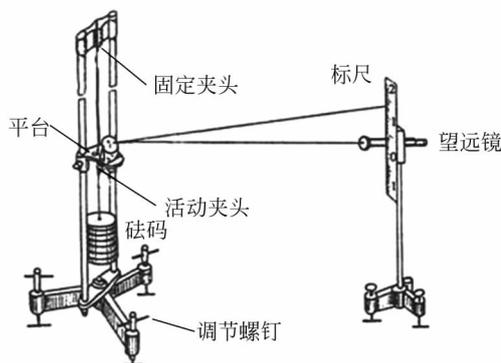


图 1 光杠杆镜尺法实验装置图

已知加载情况下金属丝的微小伸长也可以通过光纤传感实验仪来测量. 反射接收光纤构造如图 2 所示,由发射光纤和接收光纤组成. 由光纤传感实验仪发射光纤发出的光照射到反射面上,经反射面形成反射锥体,当接收光纤在反射锥体内,便能接收到反射光,因此一部分反射光由接收光纤传回到光纤传感实验仪的探测器上,经过光电转换元件将接收到的光信号转化为电信号,因此通过检测反射光的强度变化,就能测出反射体的位移<sup>[7]</sup>. 因此光纤传感器测定金属杨氏模量的公式为:

收稿日期:2015-04-27;修改日期:2015-11-04

资助项目:同济大学教学改革研究与建设项目;同济大学精品实验项目

作者简介:叶天明(1992-),男,同济大学物理科学与工程学院应用物理专业 2011 级本科生.

指导教师:张志华(1977-),女,同济大学物理科学与工程学院副教授,博士,主要从事凝聚态物理方面研究和大学物理教学工作.

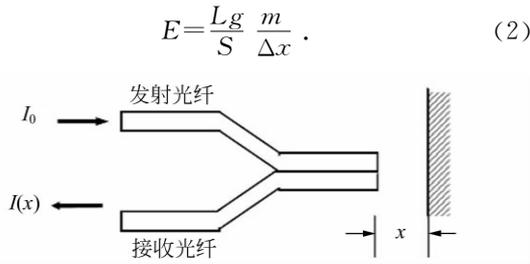


图 2 反射接收光纤测量微小位移原理

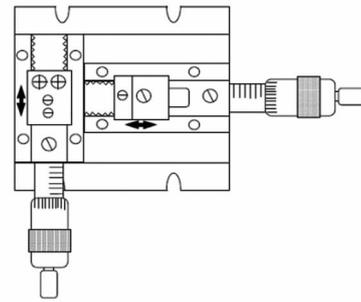


图 6 二维调节架

## 2 实验仪器

实验装置由悬挂待测钢丝的支架、光纤传感器和反射接收光纤 3 部分组成,如图 3 所示. 光纤传感器采用 FOS-III 型光纤传感实验仪,其前面板如图 4 所示. 仪器采用 LED 光源(中心波长为  $0.89 \mu\text{m}$ ), 光纤采用反射接收光纤,如图 5 所示.

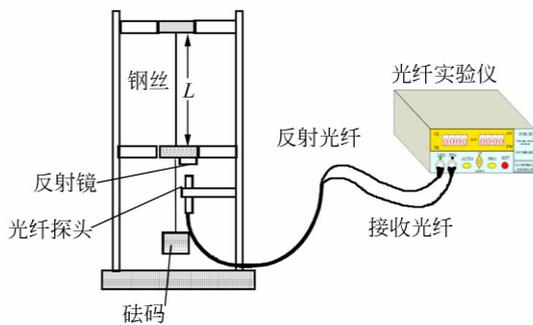


图 3 光纤法测量装置

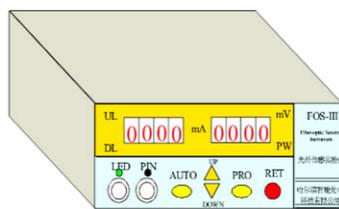


图 4 光纤实验仪

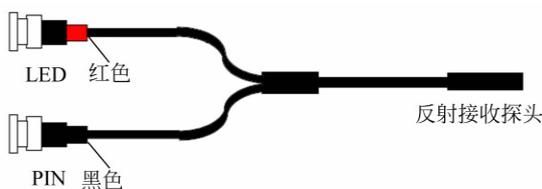


图 5 反射接收光纤

光纤传感器输出电压与距离变化的标定采用带有螺旋测微计的二维调节架,如图 6 所示.

## 3 实验测量与结果分析

用光纤传感器测量金属丝的杨氏模量的实验步骤为:

1) 光纤传感器实验仪标定: 由于光纤实验仪输出的是电压值, 而实验需要的是位移变化量, 因此在测量之前先要得到输出电压与位移变化之间的关系. 采用螺旋测微器对光纤传感实验仪进行标定, 将发射-接收光纤探头推至与反射镜相接触, 调整螺旋测微器, 使光纤探头缓慢远离反射镜, 在此过程中每隔固定距离记录实验仪的输出电压数值, 作出光纤探头和反射镜间距离与输出电压的特性曲线. 找出变化相对平缓的曲线段作为标定曲线, 取驱动电流为  $15 \text{ mA}$  进行标定, 如图 7 所示.

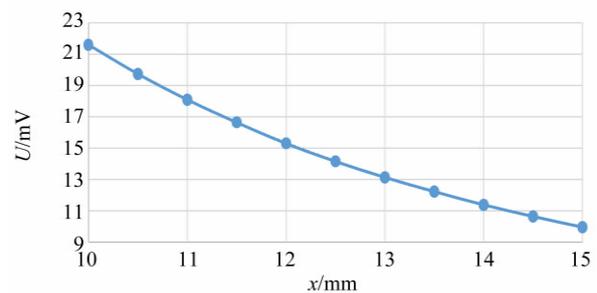


图 7 光纤传感位移测量标定曲线

拟合函数转换成电压输出和位移的函数关系  $x = -0.002y^3 + 0.1126y^2 - 2.4419y + 30.147$ , 式中  $y$  为数字电压表的示值,  $x$  为钢丝伸长的相对位移.

2) 在金属丝下端挂若干砝码, 使金属丝完全伸直.

3) 用带有卡具的米尺量出金属丝上、下夹头之间的钢丝长度  $L = (65.2 \pm 0.2) \text{ cm}$ .

4) 用螺旋测微器在金属丝的不同位置测量直

径 10 次, 并取平均值, 得到直径  $d = (0.490 \pm 0.003)$  mm.

5) 将反射镜固定在下夹头的下表面, 再将光纤探头固定在反射镜正下方某一位置处. 采用每

次增加(减少)砝码的方法进行测量.

使用光纤传感器对金属丝进行测量, 测量数据见表 1, 由表 1 得出  $\overline{x_{l+5} - x_l} = 0.490 0$  mm,  $\sum v_i^2 = 1.97 \times 10^{-4}$  mm<sup>2</sup>.

表 1 光纤传感器测量数据

$i$	$m_i/\text{kg}$	$y_i'/\text{mV}$	$y_i''/\text{mV}$	$y_i = \frac{1}{2}(y_i' + y_i'')/\text{mV}$	$x_i/\text{mm}$	$x_{i+5} - x_i/\text{mm}$	$v_i^2/\text{mm}^2$
0	0	16.02	15.90	15.96	11.725 2	0.415 72	$2.07 \times 10^{-4}$
1	0.500	15.79	15.76	15.78	11.795 4	0.442 96	$1.66 \times 10^{-4}$
2	1.000	15.53	15.56	15.55	11.884 3	0.429 85	$5.97 \times 10^{-8}$
3	1.500	15.33	15.36	15.35	11.963 3	0.430 48	$1.53 \times 10^{-7}$
4	2.000	15.11	15.17	15.14	12.046 0	0.431 45	$1.84 \times 10^{-6}$
5	2.500	14.89	14.93	14.91	12.140 9		
6	3.000	14.65	14.71	14.68	12.238 3		
7	3.500	14.48	14.53	14.51	12.314 2		
8	4.000	14.33	14.32	14.33	12.393 8		
9	4.500	14.16	14.12	14.14	12.477 4		

使用逐差法进行计算得  $m/\Delta x = 5.81$  kg/mm, 取  $g = 9.794$  m/s<sup>2</sup>, 可知  $L$  和  $d$  的值, 进而由 (2) 式求得  $E_1 = 1.97 \times 10^{11}$  N/m<sup>2</sup>.

误差分析如下:

不确定度 A 类分量

$$U_{ad} = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n(n-1)}} = 4.32 \times 10^{-3} \text{ mm},$$

不确定度 B 类分量

$$U_{bd} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-3} \text{ mm},$$

伸长量的不确定度

$$U_d = \sqrt{U_{ad}^2 + U_{bd}^2} = 0.007 \text{ mm}.$$

根据不确定度的传递公式, 杨氏模量的不确定度为

$$U_{E_1} = 0.04 \times 10^{11} \text{ N/m}^2,$$

由光杠杆镜尺法测量杨氏弹性模量可知

$$E_2 = (1.97 \pm 0.07) \times 10^{11} \text{ N/m}^2,$$

通过比较 2 种杨氏弹性模量的测量方法可知: 光纤传感器测得的不确定度为  $0.04 \times 10^{11}$  N/m<sup>2</sup>, 而光杠杆法测量的不确定度为  $0.07 \times 10^{11}$  N/m<sup>2</sup>, 光纤法在测量精度上更为准确, 这也体现了光纤传感器测量金属丝杨氏模量优势.

#### 4 结束语

光纤传感器测量金属丝的杨氏模量这种方法

相对于光杠杆镜尺法测量金属丝的杨氏模量来说具有更高的精确度, 并且实验的过程更加简单, 方便. 同时数字化仪器的使用使得读数更加精确, 减小了实验的误差.

参考文献:

- [1] 方运良, 崔娟, 朱伟玲. 双缝干涉法测量金属的杨氏模量[J]. 物理实验, 2014, 34(1): 37-39.
- [2] 陆延济, 胡德敬, 陈铭南. 物理实验教程[M]. 上海: 同济大学出版社, 2000.
- [3] 徐嘉彬, 袁海甘, 吴鸿斌, 等. 弯曲共振法测量材料的杨氏模量实验改进[J]. 物理实验, 2011, 31(11): 43-46.
- [4] 余观夏, 张爱珍, 阮锡根. 用共振法测定动态杨氏模量实验装置的改进[J]. 物理实验, 2004, 24(2): 41-42.
- [5] 麻福厚. 用惠斯通电桥测定杨氏模量[J]. 物理实验, 1998, 18(5): 6-8.
- [6] 陈水波, 乐雄军. 测量杨氏模量的智能光电系统[J]. 物理实验, 2001, 21(11): 24-25.
- [7] 任金坤. 反射式强度调制光纤位移传感器的输出特性研究[D]. 长沙理工大学, 2009.

(下转第 42 页)

品的布儒斯特角  $i_B \approx 56^\circ$  及样品玻璃的折射率  $n = 1.48$ .

对不同  $\alpha$  角条件下反射线偏振光的光强随入射角的变化曲线的实验研究、理论分析与模拟的过程, 不仅有利于学生深入理解光的偏振的概念, 而且有利于学生理解不同偏振态的入射光照射样品时, 其反射光强的变化曲线具有不同规律, 尤其是对为什么在测量布儒斯特角之前, 必须先调节入射光的偏振态 (即  $\alpha = 0^\circ$ ) 问题的深入理解. 对于学有余力的同学, 补充这样的教学内容, 更能锻炼学生的动手能力, 对于培养学生的科研思维、探索精神及创新能力更加有益.

感谢实验研究中傅申成老师、王庆勇老师和

高旭老师给予的帮助和有益讨论.

#### 参考文献:

- [1] 姚启钧. 光学教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998: 43-45.
- [2] 廖廷彪. 偏振光学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 28-30.
- [3] 于国萍, 魏正和. 偏振光的特性研究及其检测综合实验简介[J]. 物理实验, 2002, 23(2): 36-37.
- [4] 郭中华. 关于自然光在两种介质分界面上反射和折射时的偏振特性讨论[J]. 物理与工程, 2013, 23(4): 10-13.
- [5] 张萍. 振动合成与反射率. 大学物理, 2000, 19(5): 46-47.

## Intensity of linearly polarized light reflected from glass surface

ZHU Chang-liang<sup>1</sup>, XU Jia-qi<sup>1</sup>, ZHAO Rong<sup>1</sup>, QU Sheng-yan<sup>2</sup>,  
SUN Feng-rong<sup>3</sup>, ZHOU Zi-lin<sup>1</sup>, DAI Rui<sup>1</sup>, JIA Yan<sup>1</sup>

(1. Department of Physcis, Northeast Normal University, Changchun 130024, China;  
2. Jingyue Campus, High School attached to Northeast Normal University, Changchun 130117, China;  
3. No. 1 middle School of Dunhua, Dunhua 133700, China)

**Abstract:** The dependence of the intensity of linearly polarized light reflected from glass surface on the incidence angle and the orientation of the electrical field was investigated. When the incident light was linearly polarized, the light reflected from a uniform glass surface was also linearly polarized. The reflectivity depended on the incidence angle and the orientation of the electrical field, which was studied based on both Fresnel equations and polarization experiments. The theoretical analyses agreed well with the experimental results. In addition, Brewster angle and refractive index of sample glass were measured by the relationship between the reflectivity and the incidence angle when the incident light was p-polarized.

**Key words:** linearly polarized light; Brewster angle; refractive index [责任编辑: 郭 伟]

(上接第 38 页)

## Measuring Young modulus of wire with optical fiber sensor

YE Tian-ming, ZHOU Ying-dong, PAN Ning, ZHANG Zhi-hua, FANG Kai,  
HE Li, DU Ai, WANG Xiao-dong

(School of Physical Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** The traditional experiment device to measure Young modulus of wire was improved by replacing the optical lever with an optical fiber sensor. By measuring the distance between the light emitter-receiver and the mirror, the slight elongation of the wire under a known loading could be obtained and then the Young Modulus of the wire could be calculated.

**Key words:** optical fiber sensor; Young modulus [责任编辑: 郭 伟]