

# 一种新型金属丝杨氏模量测量装置

刘泓麟 周 围 (通讯作者)

(佳木斯大学 黑龙江佳木斯 154007)

**摘要:** 本文将“光杠杆法”测量金属丝杨氏模量与“千分表法”测量金属丝杨氏模量进行多方面对比, 针对“光杠杆法”测定金属丝杨氏模量实验中待测物理量多、实验调节过程复杂、操作涉及实验仪器繁多等问题, 设计了一种用“千分表法”测定金属丝杨氏模量的实验装置, 该装置对金属丝微小伸长量的测量更为简便、精确。经实验研究发现, 本装置相比于常用的“光杠杆法”, 既降低实验的系统误差、提高测量精度, 又减少了待测物理量数目, 同时, 提高了实验操作空间利用率, 降低实验成本。

**关键词:** 杨氏模量; 千分表法; 光杠杆法; 微小伸长量

## 1 光杠杆法测量金属丝杨氏模量

现阶段大学物理实验教学中测量金属丝杨氏模量的实验仪器为用“光杠杆法”测量金属丝杨氏模量, 用望远镜、光杠杆和标尺组合测量金属丝微小形变量<sup>[1-5]</sup>。

光杠杆法测量系统包括: 望远镜、标尺、光杠杆、倾角调节架。实验时, 先将光杠杆固定在杨氏模量测定仪上, 光杠杆后足尖需放在待测金属丝的方框夹头上方。当金属丝受力时, 产生微小伸长量, 光杠杆后足尖和方框夹头一起做细微移动, 带动光杠杆反射镜移动一定的角度, 使得标尺的像在不同反射镜之间进行折射, 把这一微小角度位移放大成更大的线位移<sup>[6]</sup>。

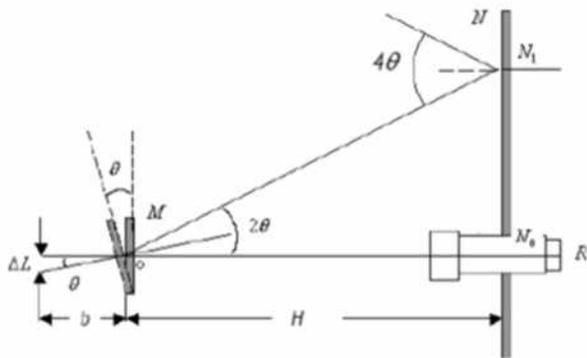


图1 “光杠杆法”光线原理图

如图1所示, 当金属丝的长度发生微小形变, 光杠杆的角度也会随之发生一定改变。那么两次不同的镜面角度会产生一个角度差, 用 $\theta$ 表示这个角度差。从图1我们可以看出:

$$\Delta L = b \cdot \tan \theta \approx b \theta \quad (1)$$

其中, 公式(1)中 $b$ 为光杠杆前后足尖距离, 称为光杠杆常数。

假设开始时在望远镜中所读到的标尺数为 $l_0$ , 偏转后读到的标尺数为 $l_1$ , 那么放大后的金属丝伸长量为

$$C = l - l_0 \quad (2)$$

由图1中几何关系有:

$$2\theta \approx \tan 2\theta = \frac{C/2}{H} \quad (3)$$

$$\theta = \frac{C}{4H} \quad (4)$$

由, 上式得到:

$$\Delta L = \frac{bc}{4H} \quad (5)$$

代入计算式, 即可得下式:

$$E = \frac{16FLH}{\pi d^2 bc} \quad (6)$$

公式(6)为本实验所依据的公式<sup>[7]</sup>。

根据光杠杆法测量金属丝杨氏模量实验步骤进行准确操作得出如下数据:

表1 “光杠杆法”原始数据及结果

i	mi (kg)	加砝码 $\Delta l_i$ ( $\times 10^{-2}$ m)	减砝码 $\Delta l_i$ ( $\times 10^{-2}$ m)	平均值 $\bar{\Delta l}_i$ ( $\times 10^{-2}$ m)	$\bar{A} = \bar{A}_{+i} - \bar{A}_{-i}$ ( $\times 10^{-2}$ m)	不确定度
0	0.000	0.00	0.00	0.00	1.58	$\Delta \bar{A} = 0.06 \times 10^{-2}$ m
1	1.000	0.45	0.41	0.43	1.56	
2	2.000	0.87	0.89	0.88	1.54	
3	3.000	1.33	1.27	1.30	1.60	
4	4.000	1.57	1.59	1.58	$A = \bar{A} \pm \Delta \bar{A} = (1.57 \pm 0.06) \times 10^{-2}$ m	
5	5.000	2.03	1.95	1.99		
6	6.000	2.41	2.43	2.42		
7	7.000	2.90	2.90	2.90		
直径		未加载( $\times 10^{-2}$ m)	加满载( $\times 10^{-2}$ m)	平均值 $\bar{d} = 0.500 \times 10^{-2}$ m		
d上		0.501	0.499	不确定度 $\Delta \bar{d} = 0.597 \times 10^{-5}$ m		
d中		0.500	0.500	d = $\bar{d} \pm \Delta \bar{d} = (5 \pm 0.0579) \times 10^{-4}$ m		
d下		0.502	0.498			
其他	螺旋测微器零点读数 $0.000 \times 10^{-2}$ m; 游标卡尺零点读数 $0.00 \times 10^{-2}$ m					
数据	$d1 = (6.35 \pm 0.057) \times 10^{-2}$ m					
	$d2 = (1.26 \pm 0.000577)$ m					
	$L = (0.4 \pm 0.000577)$ m					

根据实验操作和表1数据进行思考研究总结该方法具有以下缺点: (1) 光杠杆装置繁杂, 占地面积大, 涉及实验仪器较多, 为得到足够的放大倍数, 反射镜和望远镜之间的距离要达到两米左右。(2) 光路调节费时繁琐, 在望远镜中通过调节反射镜反射看到镜中标尺的对准过程费时, 反射镜到望远镜距离较远, 要在望远镜中调标尺的清晰刻度就变得更加困难, 需要考虑高度、长度以及方位是否合适。(3) 测量精度较低, 标尺的最小刻度只能精确到1毫米。(4) 测量量较多, 增加了计算量, 以及不确定度, 造成较大的误差。根据所遇到的问题考虑手动设计一种新型金属丝杨氏模量测量装置, 能实现减少占地面积, 精简实验仪器, 操作简单便捷, 提高测量精度, 减少待测物理量的效果。考虑到用“光杠杆法”的目的是测出

金属丝微小伸长量, 根据以往实验接触到的千分表具有能测出微小长度这一性质, 于是考虑将千分表与杨氏模量拉伸仪结合, 通过 3D 打印做出千分表支架将千分表固定在杨氏模量拉伸仪上, 达到所预期的效果。

### 2 千分表法测量金属丝杨氏模量

传统的杨氏模量测量实验中采用光杠杆法测量, 现用千分表改进测量装置, 测量伸长量时, 用自制的千分表支架将千分表固定在杨氏模量拉伸仪中方框夹头的底部, 使千分表的测微端与方框夹头垂直接触并产生微小示数。当金属丝受到施加砝码所产生的外力时, 金属丝会产生伸长量, 夹在金属丝上的方框夹头会随之移动。金属丝的伸长量与千分表压缩量相同, 千分表呈现的示数就是金属丝的微小伸长量。根据计算可得出, 则杨氏模量的公式变为<sup>[8]</sup>

$$E = \frac{4FL}{\pi \cdot \Delta L \cdot d^2} \quad (7)$$

根据正确的实验操作步骤, 用“千分表法”测量金属丝杨氏模量测得如下数据:

表 2 “千分表法”原始数据及结果

i	mi (kg)	加砝码 L1 (× 10 <sup>-3</sup> m)	减砝码 L2 (× 10 <sup>-3</sup> m)	平均值 $\frac{L1+L2}{2}$ (× 10 <sup>-3</sup> m)	$\Delta L_i = \frac{L1-L2}{2}$ (× 10 <sup>-3</sup> m)	不确定度
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.095	$\Delta L = 0.99939 \times 10^{-6} m$
1	1.000	0.025	0.025	0.025	0.094	
2	2.000	0.047	0.049	0.048	0.094	
3	3.000	0.072	0.072	0.072	0.093	
4	4.000	0.094	0.096	0.095		
5	5.000	0.118	0.120	0.119		
6	6.000	0.142	0.142	0.142		
7	7.000	0.164	0.166	0.165		
直径	未加载(× 10 <sup>-3</sup> m)		加载(× 10 <sup>-3</sup> m)		平均值 $\bar{d} = 0.500 \times 10^{-3} m$	
d 上	0.501		0.499		$\Delta d = \Delta \bar{d} = (94 \pm 0.99939) \times 10^{-6} m$	
d 中	0.500		0.500			
d 下	0.502		0.498			
其他数据	螺旋测微器零点读数 $0.000 \times 10^{-3} m$					
	$L = (0.4000 \pm 0.000577) m$					

### 3 两种测量方法对比与分析

根据两种不同方法测得金属丝杨氏模量的关键数据进行对比得出如表 3:

表 3 两种测量方法关键数据对照

金属丝杨氏模量		
	光杠杆法	千分表法
不确定度	$0.0928 \times 10^{11} Pa$	$0.055 \times 10^{11} Pa$
数值	$(2.018 \pm 0.0928) \times 10^{11} Pa$	$(2.12 \pm 0.055) \times 10^{11} Pa$
相对误差	4.06%	0.94%

从表 3 中可以看出“千分表法”与“光杠杆法”相比有以下改进: (1) 减小了不确定度, 实验结果精确可靠; (2) “千分表法”所测得的金属丝杨氏模量值更符合世界公认值[目前金属丝杨氏模量世界公认值为  $(2.01 \sim 2.16) \times Pa$ ]; (3) “千分表法”极大程度地减

小了实验的相对误差。

表 4 两种测量方法仪器性能对比

	光杠杆法	千分表法
测量量	$L_{\text{光杠杆}}, L_{\text{水平}}, L, d, \Delta L$	$L, d, \Delta L$
成本	较高	较低
实验精度	低	高
操作难度	难	易
示数读取	难	易

根据表 4 中“千分表法”和“光杠杆法”仪器性能和各项指标对比得出: “千分表法”与“光杠杆法”在测量数量上减少两个测量量; “千分表法”的测量成本更低, 测量精度更高, 操作起来更加容易, 读取示数更加简便。

### 4 结论

在金属丝杨氏模量测量实验中, “千分表法”比以往的“光杠杆法”很大程度上简化了实验装置, 降低了实验的系统误差, 减少了两个待测物理量, 示数读取更加容易, 提高了测量精度。整个测量过程操作简单, 易被学生接受和掌握; 实验所涉及的仪器减少, 有效降低实验成本, 节约实验空间, 提高了实验室的利用率。

### References (参考文献)

[1] 杨述武, 普通物理实验(一、力学及热学部分)[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2000:88-91.

[2] 吴肖, 陈鸿辉, 陈泽嘉, 吴福根, 朱道云. 利用转动传感器测量金属丝的杨氏模量[J]. 中国现代教育装备, 2022(03):22-23. DOI:10.13492/j.cnki.cmee.2022.03.008.

[3] V.Devender, V.Mahesh, N.Gopikrishna. Evaluation of Young's Modulus and Poisson's Ratio using Bulge Test[J]. Research Journal of Engineering and Technology, 2018, 9(1).

[4] A method of measuring the cross-sectional area of soft connective tissues during mechanical testing [J] Journal of Biomechanics, 1994, 27(5)

[5] 赖学辉, 梁咏棋, 苏文青, 师文庆, 许剑. 利用等厚干涉测量钢丝的杨氏模量[J]. 大学物理实验, 2019, 32(01):50-52+58. DOI:10.14139/j.cnki.cn22-1228.2019.01.012.

[6] 林登清, 王新春, 沈佳旺, 等. 测定钢丝杨氏模量的实验方案研究[J]. 物理通报, 2013(2): 47 - 50.

[7] 方广利. 大学物理实验[M]. 上海: 同济大学出版社, 2006: 29 - 30.

[8] 黄秋萍. 千分表法测定金属丝的杨氏模量[J]. 实验科学与技术, 2014, 12(01):4-5.

基金项目: 黑龙江省大学生创新创业训练计划项目(省级一般项目): “基于 NECN 理论的物理实验装置设计”(S202310222031)。

作者简介: 刘泓麟(2002—), 男, 黑龙江海伦, 本科, 研究方向: 主要从事物理学研究。