

北京邮电大学

物理实验报告

电阻应变片直流电桥压力传感器特性及应用.

实验名称: 近距转镜法测量杨氏模量

学 院: 信息与通信工程学院

班 级: 2018211128

姓 名: 吴辉强

学 号: 2018213487

任课教师: 王鑫老师

实验日期: 2019.10.11

成 绩: 95

3.7, 实验目的

1. 掌握数字毫伏表的使用方法 2. 了解非电量测量的一般原理和测量方法。

3. 掌握电阻应变片直流电桥的构造, 原理及特性 4. 掌握利用非平衡电桥的原理测量压力的方法。

3.8. 1. 学会测量杨氏弹性模量的一种方法。

2. 掌握光杠杆放大法测量微小长度的原理。

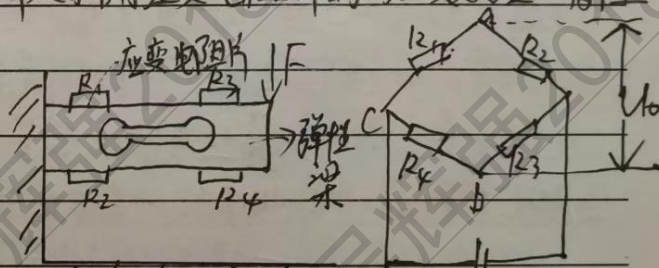
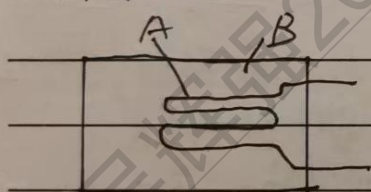
实验仪器名称 [型号、主要参数]

3.7. 电阻应变片直流电桥, 平衡指示仪, 直流稳压电源, 万用表, 砝码。

3.8 杨氏模量实验架, 望远镜, 光杠杆, 螺旋测微计, 钢卷尺

实验原理和操作步骤 [基本物理思想、设计原理、主要公式及其意义、电路图或光路图等; 操作步骤]

3.7. 实验原理. 电阻应变片直流电桥是利用应变电阻片的“应变效应”特性制成的。应变电阻片如图1



1. 电阻应变片的结构。

2. 电阻应变片直流电桥

3. 原理图

图1是压力传感器, 弹性梁受到压力作用后而弯曲, 上表面受拉力, R_1, R_3 受拉力电阻增大; 下表面受压力作用, R_2, R_4 电阻减小, 这样外力的作用通过梁的改变而使四个电阻片的电阻值发生变化, 这就是压力传感器的原理。由于电阻变化很小, 要测出微小的电阻变化, 一般采用电桥电路如图3所示, c, d 两端接稳压电源, a, b 两端为电压输出端。

$$V_0 = E \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \quad \text{① 自然状态下, } R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R. \quad \text{②}$$

$$\text{则 } V_0 = 0, \quad R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4.$$

当外力作用时, R_1, R_3 增大为 $R_1 + \Delta R_1, R_3 + \Delta R_3, R_2, R_4$ 减小为 $R_2 - \Delta R_2, R_4 - \Delta R_4$ 此时 V_0 不为 0. 有: $V_0 = E \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_2 - \Delta R_2} - \frac{R_4 - \Delta R_4}{R_3 + \Delta R_3 + R_4 - \Delta R_4} \right) \quad \text{③}$

$$\text{假设 } \Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4 = \Delta R \quad \text{④}$$

$$\text{将 ②, ④ 代入 ③} \Rightarrow V_0 = E \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad \text{⑤} \Rightarrow \text{不平衡电压 } V_0 \text{ 与 } \Delta R \text{ 成正比, 测 } V_0$$

可应 F 的大小.

压力传感器灵敏度 S : $S = \frac{\Delta U_0}{\Delta F}$ (毫伏/牛顿) 加在压力传感器上的单位外力引起不平衡电压的变化量定义为压力传感器的灵敏度.

操作步骤: 1. 连接线路, 并通调平衡电位器使电桥处于初始平衡状态; 2. 电源输出电压保持在 $10.0V$, 测量压力 F 与电桥输出电压的稳.

3. 电源输出电压 E 保持在 $15.0V$, 重复步骤 2;

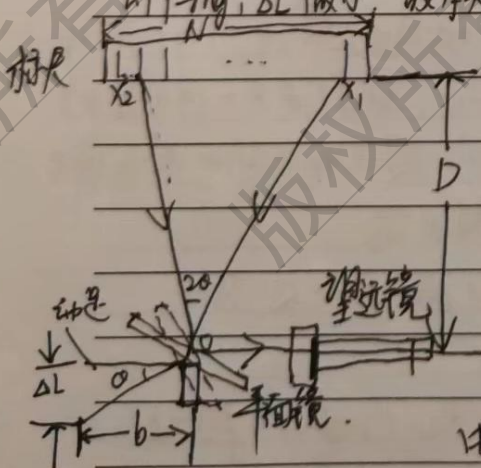
4. 用电阻应变片直流电桥压力传感器测量任意物体的重量.

3.8 实验原理

1. 杨氏模量. 是工程材料重要参数, 反映了材料弹性形变与应力的关系, 它只与材料性质有关. 设金属丝原长为 L , 横截面积为 S , 沿长度方向施力 F 后, 其长度改变 ΔL , 则金属丝单位面积上受到的垂直作用力 $\sigma = F/S$ 称为正应力, 相对伸长量 $\epsilon = \Delta L/L$ 称为线应变. 在弹性范围内, 由胡克定律 $\sigma = E \cdot \epsilon$ ① 或 $\frac{F}{S} = E \cdot \frac{\Delta L}{L}$ ② 比例系数 E 即为金属丝的杨氏模量 (单位: Pa 或 N/m^2), 它表征材料本身性质, E 越大, 要使它发生一定的相对形变所需要的单位横截面积上的作用力也越大.

$$\text{由②} \Rightarrow E = \frac{FL}{S \Delta L} \quad \text{③} \quad \text{直径为 } d \text{ 的金属丝: } E = \frac{FL}{\frac{\pi d^2}{4} \Delta L} = \frac{4mgL}{\pi d^2 \Delta L} \quad \text{④}$$

L 可由米尺测量, d 可用螺旋测微器测量, F 可由拉力传感器输出的 m 求出, 即 $F=mg$, ΔL 微小, 故本实验利用光杠杆的光学放大作用对 ΔL 间接测量.



2. 光杠杆及光杠杆放大原理. 如图为光杠杆结构, b 是尖 A 与固定前支点 B 连线的距离叫做光杠杆常数. 开始时, 平面镜法线与水平方向成夹角, 望远镜中恰能看见标尺刻度 x_1 的象, 金属受力后, 动触点随下头尖端面微小位移, 带动平面镜转动 θ , 由光的反射定律出射光线则入射光线转动了 2θ , 对应 x_2 . $\because b \gg \Delta L \therefore \theta, 2\theta$ 都很小.

$$\text{由图 } \Delta x_2 \approx D \text{ 且 } 2\theta \text{ 很小时, } \Delta L \approx b\theta, N = x_2 - x_1 \approx D \cdot 2\theta, N = \frac{2D}{b} \Delta L \quad \text{⑤}$$

$$2D/b \text{ 为光杠杆放大倍数. } D \gg b, \text{ 也放大作用由式④} \Rightarrow E = \frac{8mgLb}{\pi d^2 N} \quad \text{⑥}$$

故, 所通过测⑥式各参量得到被测金属丝的杨氏模量.

3. 操作步骤. 1. 光杠杆和望远镜的调整. 2. 利用光杠杆测量钢丝的杨氏模量.

实验数据处理与讨论 [实验数据计算、不确定度公式推导与计算、结果表示与讨论等]

3.7 (压力传感器)

1. ① 直流电桥压力传感器的灵敏度 S 的测量; $E = 10V$. $S = \frac{\Delta V_0}{\Delta F}$ (mV/N)

如图为 $V_0 - m$ 图象. 斜率 $k = \tan \theta = \frac{V_0}{mg}$

$$k = \frac{1.74 \text{ mV}}{1.1 \text{ kg}} \quad S = \frac{k}{g} = \frac{1.74 \text{ mV}}{1.1 \times 9.8 \text{ N}} \approx 0.1614 \text{ mV/N}$$

② 直流电桥压力传感器的灵敏度 S 的测量. $E = 15V$. $S = \frac{\Delta V_0}{\Delta F}$ (mV/N)

如图 2 为 $V_0 - m$ 图象.

$$k' = \frac{2.67 \text{ mV}}{1.1 \text{ kg}} \quad S' = \frac{k'}{g} = \frac{2.67 \text{ mV}}{1.1 \times 9.8 \text{ N}} \approx 0.2477 \text{ mV/N}$$

2. $E = 15V$, $V_0 = 0.46 \text{ mV}$. 则由 1. ② 得 $S' = 0.2477 \text{ mV/N}$.

$$S' = \frac{V_0}{F} \Rightarrow F = \frac{V_0}{S'} = \frac{0.46}{0.2477} \text{ N} \approx 1.85709 \text{ N}$$

$$\text{则 } m = \frac{F}{g} = \frac{1.85709}{9.8} \text{ kg} \approx 0.1895 \text{ kg}$$

3. 提高电源电压 E , 将增大电阻应变片直流电桥压力传感器的灵敏度 S , 即 S 与 E 成正比.

3.8 (逐差法测量杨氏模量)

1. 计算钢丝直径 d , 不确定度 $u(d)$ 及 $U_r = \frac{u(d)}{d} \times 100\%$.

$$s(d) = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \quad u_a(d) = t_p \cdot s(d) = t_p \cdot \frac{s(d)}{\sqrt{n}}$$

当 $n=6$ 时, $t_{0.95/\sqrt{6}} \approx 1$, $u_a(d) \approx s(d)$.

$$d = \bar{d} = (0.642 + 0.641 + 0.639 + 0.643 + 0.641 + 0.641) / 6 \approx 0.641 \text{ mm}$$

$$s(d) = \sqrt{\frac{\sum (d_i - 0.641)^2}{5}} \approx 1.34 \times 10^{-3} \quad \therefore u_a(d) \approx 1.34 \times 10^{-3}$$

$$\text{又 } u_b(d) = \Delta d = 0.004 \quad \therefore u(d) = \sqrt{u_a^2(d) + u_b^2(d)} \approx 0.0042 \quad 4.22 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$U_r = \frac{u(d)}{d} \times 100\% = \frac{4.22 \times 10^{-3}}{0.641} \times 100\% \approx 0.66\%$$

则完整的结果表达式为 $\left\{ \begin{array}{l} d = 0.641 \pm 0.004 \text{ mm} \\ U_r = 0.66\% \end{array} \right.$

(大于 4 保留位有效数字).

2. 用逐差法处理数据, 求出杨氏模量 E .

北京邮电大学物理实验报告

	质量(kg)	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
N	标尺读数(cm)	1.00	1.19	1.33	1.51	1.71	1.89
	质量(kg)	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50
N	标尺读数(cm)	2.05	2.23	2.45	2.61	2.80	3.03

由 $E = \frac{8mgLD}{\pi d^2 b \Delta l} \Rightarrow$ 得 $\frac{8gLD}{\pi d^2 b} = \frac{N}{m}$

对于 $\frac{N}{m}$ 我们由表结合逐差法求解。

$$\frac{N}{m} = \frac{(N_7 + N_8 + N_9 + N_{10} + N_{11} + N_{12}) - (N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6)}{6m} \cdot \frac{1}{b}$$

$$= \frac{(5.50 + 6.00 + 6.50 + 7.00 + 7.50) - (2.00 + 2.50 + 3.00)}{(2.05 + 2.23 + 2.45 + 2.61 + 2.80 + 3.03) - (1.00 + 1.19 + 1.33 + 1.51 + 1.71 + 1.89)} \times \frac{1}{6} \text{ cm/kg}$$

$$\approx 0.363 \text{ cm/kg}$$

$$\therefore E = \frac{8gLD}{\pi d^2 b} \frac{1}{(\frac{N}{m})} = \frac{8 \times 9.8 \times 73.8 \times 10^{-2} \times 68.2 \times 10^{-2}}{\pi (0.641 \times 10^{-3})^2 \times 4.9 \times 10^{-2} \times 0.363 \times 10^{-2}} \text{ Pa}$$

$$\approx 1.7240 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

$$\therefore \text{杨氏模量 } E \approx 1.7240 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

回答问题与实验总结

3.8. 1. 不变。

2. 测量时, 先杠杆的动足尖自由放置在下夹头的平滑表面上, 随下夹头上下微小抖动。

3. 因为各被测量的长度不同, 根据误差等分配已的原则, 各测量量的误差应基本相同。如间接测量量 $F = f(x_1, x_2, \dots) = x_1^a \cdot x_2^b \cdot \dots \cdot x_n^p$

$$\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 = \left(a \frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(b \frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2 + \dots + \left(p \frac{\Delta x_n}{x_n}\right)^2$$

若要求 $\frac{\Delta F}{F} \leq E$, 则希望将 E 平均分配给各项直接测量, 即:

$$\left|a \frac{\Delta x_1}{x_1}\right| = \left|b \frac{\Delta x_2}{x_2}\right| = \dots = \left|p \frac{\Delta x_n}{x_n}\right| \leq \frac{1}{\sqrt{n}} E, \quad x_1, x_2, \dots, x_n \text{ 各值已知}$$

时, 即可确定仪器精度, 而此时, 便需要有各种不同精度的仪器。

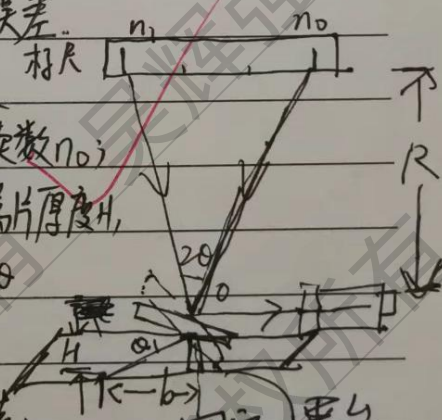
4. 由 $N = \frac{2D}{b} \Delta L$, $E = \frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta \Delta L}{\Delta L} \cdot \frac{b}{2D}$ 知, b 应满足 $b \ll D$, 从而把微小位移 ΔL 放大成易测量 N , b 的设计原理源于光杠杆放大原理, 若 b 的够小, 则影响放大, 从而影响读数, 引起较大实验误差。

5. 能。首先把光杠杆放在固定的平台上, 而不是

圆柱体上, 两前脚位置不变, 调节系统后望远镜读数 n_0 ;再把薄金属片放在后脚下, 这时再读 n_1 , 设金属片厚度 H ,前后脚垂直距离为 b : θ 很小: $H = b\theta$, $n_1 - n_0 = R \cdot 2\theta$

$$\text{消去 } \theta \Rightarrow H = \frac{b(n_1 - n_0)}{2R}$$

实验总结: 通过本次实验, 我学会了用光放大法测量的一种方法,

任课教师指导意见 对此物理思想感慨颇深, 3.7 中调电桥平衡 $V_0 = 0$ 更锻炼了仪器操作能力, 在数据处理与分析中, 能深刻各种物理量的意义也体会了误差法等技巧之妙, 收获良多!

实验 3.7 电阻应变片压力传感器特性及应用

姓名 吴光强 合作者 _____ 班级 20182113487 教师 王金辉 实验时间 2019.10.11 实验组号 17

一、预习要点

- 1、掌握电阻应变片直流电桥的构造，原理及特性；
- 2、掌握利用非平衡电桥的原理测量压力的方法。

二、实验注意事项

1. 所加的外力不可太大，按实验室要求去做。
2. 调节平衡指示仪使电桥应处于初始平衡状态时，需要轻轻调节，以免损坏仪器。

三、实验内容

1. 连接线路，并通过调节平衡指示仪，使电桥应处于初始平衡状态；
2. 电源输出电压保持在 10.0V，测量压力 F 与电桥输出电压的关系；
3. 电桥源电压 E 保持在 15.0V，重复步骤 2；
4. 用电阻应变片直流电桥压力传感器测量任意物体的重量。

四、数据表格

1. 直流电桥压力传感器的灵敏度 S 的测量；E = 10 V $S = \frac{\Delta U_0}{\Delta F}$ (mV/N)

质量 (kg)	0	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500
输出电压 U_0 (V)	0.00000	0.00014	0.00031	0.00048	0.00065	0.00081
质量 (kg)	0.600	0.700	0.800	0.900	1.000	1.100
输出电压 U_0 (V)	0.00094	0.0011	0.00127	0.00143	0.00159	0.00174

2. 直流电桥压力传感器的灵敏度 S 的测量；E = 15 V

质量 (kg)	0	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500
输出电压 U_0 (V)	0.00000	0.00025	0.00051	0.00074	0.00097	0.00123
质量 (kg)	0.600	0.700	0.800	0.900	1.000	1.100
输出电压 U_0 (V)	0.00149	0.00172	0.00196	0.00219	0.00243	0.00267

3. $E = 15$ V 时, 将千分尺放到压力传感器上后, 电压表显示的电压为: 0.00046 V

教师签字: _____

王鑫

五、数据处理要求

1. 利用图解法(要求有图解过程)处理数据, 求直流电桥压力传感器的灵敏度 S 及 S' ;
2. 利用求出的灵敏度计算千分尺的质量;
3. 分析电源 E 对电阻应变片直流电桥压力传感器的灵敏度 S 的影响。

实验 3.8 近距转镜法测量杨氏模量

姓名 吴耀强 合作者 _____ 班级 108211128 教师 王金老师 实验时间 2019.10.11 实验组号 17

一、预习要点

1. 掌握杨氏模量的基本概念;
2. 学会利用光杠杆 (光放大) 测量微小伸长量的基本原理;
3. 预习杨氏模量实验仪的调节和使用方法, 给出调节的基本步骤;
4. 了解数字拉力计的基本结构和工作原理。

二、实验注意事项

1. 光杠杆和望远镜构成的光路在调好后整个测量过程中绝不能再动。
2. 增加拉力时不应过快, 加力停止后拉力的大小会随时间有微小的变化, 0.5—1 分钟压力变化最慢, 最适宜测量。
3. 测量完毕后应将拉力减小至“0.00”附近后, 再关掉数字拉力计的电源。
4. 在实验过程中数字拉力计的“清零”按键不要按

三、实验内容

1. 光杠杆和望远镜的调整;
2. 利用光杠杆测量钢丝的杨氏模量。

四、数据表格

1. 杨氏模量的测量

质量 (kg)	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
标尺读数 (cm)	1.00	1.19	1.33	1.51	1.71	1.89
质量 (kg)	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50
标尺读数 (cm)	2.05	2.23	2.45	2.61	2.80	3.03

2. 钢丝直径的测量 (用螺旋测微仪) (mm)

i	1	2	3	4	5	6
d_i ()	0.642	0.641	0.639	0.643	0.641	0.641

螺旋测微仪的零点误差 $\Delta d_0 = 0.000$ (mm); 螺旋测微仪的仪器误差 $\Delta d = 0.004$ (mm)

3. 其它物理量的测量

用钢卷尺测量钢丝原长 L 以及标尺到平面镜中心的距离 D 。

用直尺测量光杠杆腿长 b ，动足尖到前支点连线的距离。

测量值 (cm)	$L = 743.8$	$D = 68.2$	$b = 4.90$
仪器误差 (cm)	$\Delta L = 0.3$	$\Delta D = 0.3$	$\Delta b = 0.05$

教师签字：王鑫

五、数据处理要求

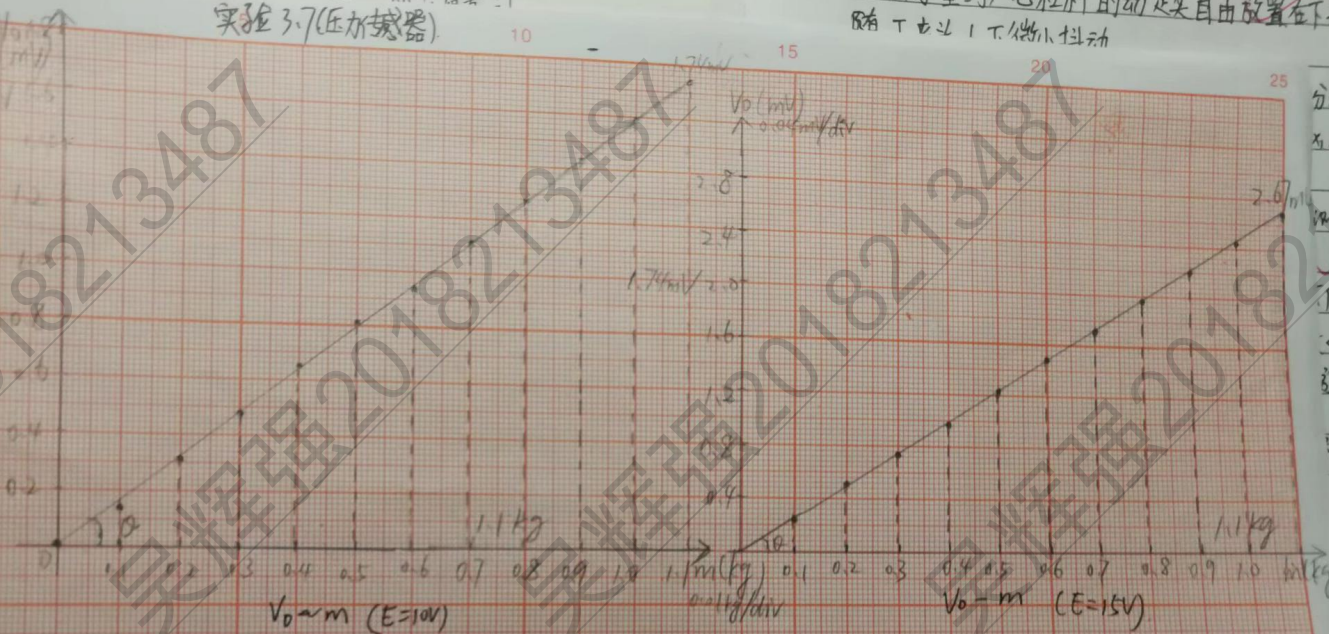
1. 计算钢丝直径 d 、不确定度 $u(d)$ 及相对不确定度 $u_r = \frac{u(d)}{d} \times 100\%$ 。要求写出公式推导过程，并给出完整的结果表达式 $d = d \pm u(d)$ 及 u_r 。
2. 用逐差法处理数据，并求出杨氏模量 E 。

六、思考题

1. 如果实验中钢丝直径加倍，而其它条件不变，杨氏模量将变为原来的几倍？
2. 测量时，光杠杆的动足应放在什么位置？
3. 为什么实验中对不同的物理量采用不同的长度测量仪器来进行测量（可尝试用误差等分配原则进行分析）？
4. 试分析光杠杆腿长 b 对实验的影响。
5. 能否用光杠杆法测量一块薄金属片的厚度？试作图说明。

实验 3.7 (压敏电阻)

2. 测量时, 光杠杆的动足尖自由放置在下夹头
随 T 由 1 T 微小移动



取点

吴辉强
2018211128
2018213487