

3.连接线

五、其它:

1.配套工具: 8mm 内六角扳手

螺丝刀

毛 刷

2.备用螺钉、手钉

3.备用钢丝

4.产品使用说明书

5.产品出厂装箱单

6.铝合金仪器附件箱

12 根

1 把

1 把

1 把

1 袋

1 根

1 份

1 份

2 件



CCY-UDG 型

力电光综合实验仪

开放与综合设计性实验

说明书

吉林大学物理实验中心

长春市长城教学仪器有限公司

地址:长春市二道区乐群街一条 40 号

电话: (0431) 84863570 84843410

邮编:130031

网址: <http://www.ccjy1988.com>

电子信箱: ccjy4843410@163.com

一、实验目的:

CCY-LDG 型《力电光综合实验仪》为普通物理开放与综合设计性实验。通过学生自行设计实验方案和实验步骤,独立完成以下 2 个方面的实验测量,达到着重培养学生力、电、光相结合的多种实验方法综合运用能力和提高学生完成相对复杂、具有一定难度的综合设计实验能力的目的。

- 1、光学测量系统中各光学参数的测量。
- 2、细钢丝材料的杨氏模量 E 和电导率 ρ 的测量。

二、实验器具:

为保证实验的综合性、设计性和开放性,体现由易到难的阶梯式递进的实验教学理念,特提供两个不同类型实验平台:基本型实验和提高型实验。考虑到实验时间长短的限制和难易程度的搭配,在基本型实验中可给定一些参数:如天花板顶棚的测量目标和大小 y 、细钢丝的线径 d 和细钢丝样品 1 的 $\frac{L}{S}$ 数值。提高型实验除样品 1 的长度 L_1 以外,不提供任何已知参数和条件,实验者需自行通过实验测量方法得到。

- 1、基本型实验仪器配置:1.5 米光导轨一根、二维可调滑座 5 个、激光光源 1 个、空屏 1 个、透镜一块、8mm 量程测微目镜 1 个、角度可调平面反射镜 1 个、杨氏模量仪 1 台、自组式双臂电桥测量系统 1 套。
- 2、提高型实验仪器配置:在上述仪器配置基础上,增加带有激光的二维透射衍射光栅 1 个、双棱镜 1 个、用于测量细钢丝线径 D 的样品 2 及夹具一个、中性减光片 1 个。

三、实验要求:

- 1、杨氏模量仪上的光杠杆平面镜已固定在 45 度,已指向天花板上的测量目标,如不需要不作调整。
- 2、不要使用实验现场提供仪器以外的器材进行测量。
- 3、激光光源的高度已固定,不要调整;方位角可调。
- 4、双臂电桥测量系统需自行连接组成。
- 5、如有多种实验方案,通过对系统测量精度的论证,给出最佳的实验方案。
- 6、请在实验报告中写出详细的实验原理和方法、实验操作步骤,画出实验原理图、测量光路图、测量电路图和实验装置图,记录完整的实验原始数据(5 次测量)和数据处理结果(图、表),并进行系统测量误差的分析,给出系统测量的可靠程度。
- 7、实验报告以科学小论文的形式写出。

四、实验内容:

1、光学测量系统各参数的测量:

- 1) 透镜焦距 f 的测量。
- 2) 透镜曲率半径 R 的测量(提高型);
- 3) 折射率 n 的测量(提高型)。
- 4) 激光波长 λ 的测量(提高型)
- 5) 双棱镜楔角 α 的测量(提高型)
- 6) 光轴到天花板顶棚距离 H 的测量。(基本型提供目标和大小)
- 7) 光栅常数 d 的测量(提高型)。
- 8) 光轴到顶棚距离 H 的测量。(提高型:目标营造和大小测量)

2、细钢丝材料参数的测量:

- 9) 细钢丝线径 D 的测量(提高型)。
- 10) 细钢丝电阻率 ρ 的测量。
- 11) 细钢丝长度 L ;
- 12) 细钢丝杨氏模量 E 的测量。

五、注意事项:

正式实验操作前,应仔细阅读以下注意事项,认真遵守以下要求,确保实验的正常进行!

- 1、杨氏模量 E 测量时,初始拉力 $m_0=2\text{kg}$,以后逐次递增 1kg,直至 7kg;然后逐次递减至 2kg。
- 2、选择实验方法时,应充分考虑该实验方法对测量精度的影响程度,以确定是否为最佳方案。
- 3、光路共轴不好将影响成像质量和测量的准确性。
- 4、接通电源前,应进行电路安全性检查,确保电路连接正确,以免损害仪器。
- 5、考虑到细钢丝阻值较小(1 欧姆量级),必须充分重视热效应对测量的影响和对样品的危害,测量时不可长直接接通电路,应采取跃接方式进行测量。
- 6、测量电回路已进行必要的绝缘处理,实验时注意检查绝缘情况是否良好,以避免短路对测量的影响。

六、实验参数:

- 1、重力加速度 $g = 9.804 \text{ g/m} \cdot \text{s}^{-2}$
- 2、样品 1 的 $L/S =$ L 为线长, S 为细钢丝截面积(提高型实验不提供该数据)。
- 3、天花板顶棚目标大小 $y =$ y 。(提高型实验不提供该数据)

光学与力学测量系统实验装置图:

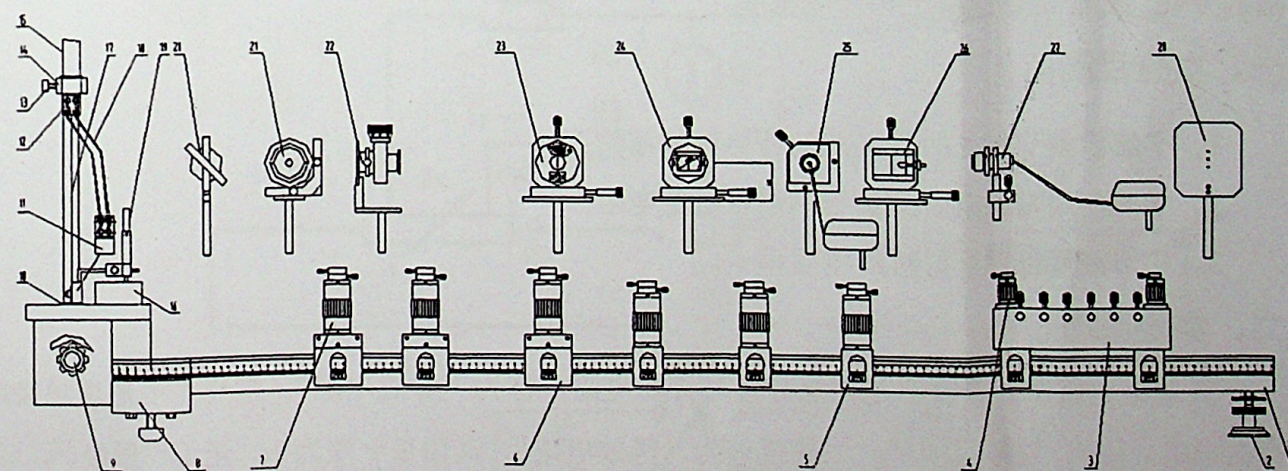


图 5 光学与力学测量系统装置图

- 1、光导轨; 2、光导轨支角; 3、微调平台; 4、平台专用滑座; 5、一维滑座; 6、二维可调滑座; 7、滑座高度调节旋钮; 8、反射镜位置标尺; 9、杨氏模量加力旋钮; 10、绝缘套管; 11、四端接线与细丝卡线装置 1;
- 12、四端接线与细丝卡线装置 2; 13、上横梁锁紧钉; 14、上横梁; 15、立杆; 16、光杠杆可调整工作台;

17、金属细丝；18、导线；19、反射镜；20、角度可调平面反射镜；21、带有光栏的透镜；22、测微目镜；23、蜗轮式钢丝夹具装置；23、双棱镜；25、半导体激光 1；26、可调狭缝；27、半导体激光 2；28、组合孔屏；使用说明：

- 1) 半导体激光 1 用途：用于光路共轴调整、光路校准、提供光学测量基准、透镜焦距和曲率半径测量、波长测量、细丝线径测量等参数测量。
- 2) 半导体激光 2 用途：用于给激光测距实验项目提供目标和测量光栅常数。
- 3) 测微目镜用途：用于测量光学成像大小、条纹和衍射花样大小等。
- 4) 细钢丝样品架：用于测量细丝线直径。
- 5) 微调小平台：在光学导轨上用于光学器件的位置微调测量及功能扩展。
- 6) 杨氏模量仪：用于测量材料的力学参数杨氏模量 E 。工作方式：旋钮连续加力模式；3 位半数显方式；施力范围：0~8kg。
- 7) 光学测量系统：透镜、孔屏、平面镜、双棱镜、狭缝、测微目镜等组合使用测定实验要求的各项光学参数。

力电光双臂电桥测量低电阻使用说明

(CY6150 组装式双臂电桥实验仪使用说明)

本实验引入了四端引线法，组成了双臂电桥（又称为开尔文电桥），是一种常用的测量低电阻的方法，已广泛的应用于科技测量中。

一、实验目的：

- 1、了解四端引线法的意义及双臂电桥的结构；
- 2、学习使用双臂电桥测量细钢丝材料低电阻；
- 3、学习测量细钢丝材料的电阻率 ρ 。

二、实验原理

在实际电路中，导线不是理想导体，存在电阻，称为“导线电阻”；接线点不是理想接触，存在电阻，称为“接触电阻”；二者统称为“等效电阻”，其阻值一般为 10^{-2} 至 10^{-5} 量级。

用单臂电桥（又称惠斯顿电桥）测量中等电阻时，忽略了等效电阻的影响。但在测量 1Ω 以下的低电阻时，等效电阻相对被测电阻来说不可忽略。为避免等效电阻的影响，引入了四端引线法，组成了双臂电桥（又称开尔文电桥），是一种常用的测量低电阻的方法。

1、四端引线法：

测量中等阻值的电阻，伏安法是比较容易的方法，惠斯顿电桥法是一种精密的测量方法，但在测量低电阻时因为等效电阻的存在都出现了很大误差。

图 1 为伏安法测电阻的线路图，待测电阻 R_x 两侧接触电阻和导线电阻等效为等效电阻 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 。通常电压表内阻较大， r_1 和 r_4 对测量的影响不大，而 r_2 和 r_3 与 R_x 串联在一起，被测电阻为 $r_2 + R_x + r_3$ 。若 r_2 和 r_3 数值与 R_x 相近数量级，或超过 R_x ，显然不能用此电路来测量 R_x 。

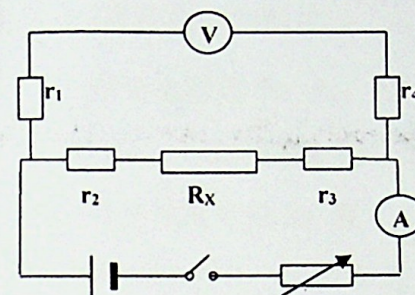


图 1 伏安法测

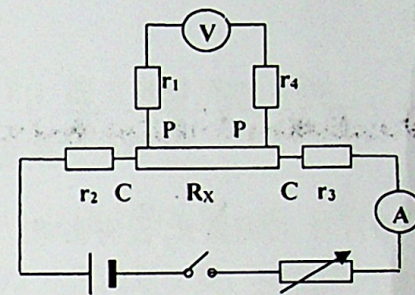


图 2 四端引线法测电阻

若在测量电路的设计上改为如图 2 所示的电路，将待测低电阻 R_x 两侧的接点分为两个电流接点 C-C 和两个电压接点 P-P，C-C 在 P-P 的外侧。显然电压表测量的是低电阻 P-P 两端之间一段（称有效长度）的电压，消除了 r_2 、 r_3 对 R_x 测量的影响。这种测量低电阻或低电阻两端电压的方法叫做四端引线法。低值标准电阻也是为了减小接触电阻和接线电阻而设有四个端钮。

2、双臂电桥测量低电阻

众所周知，双臂电桥测量电阻较伏安法测量电阻误差更小，尤其测量极小电阻时更具有极大优势。双臂电桥测量低电阻电路见图 3。图中 r 是等效电阻。

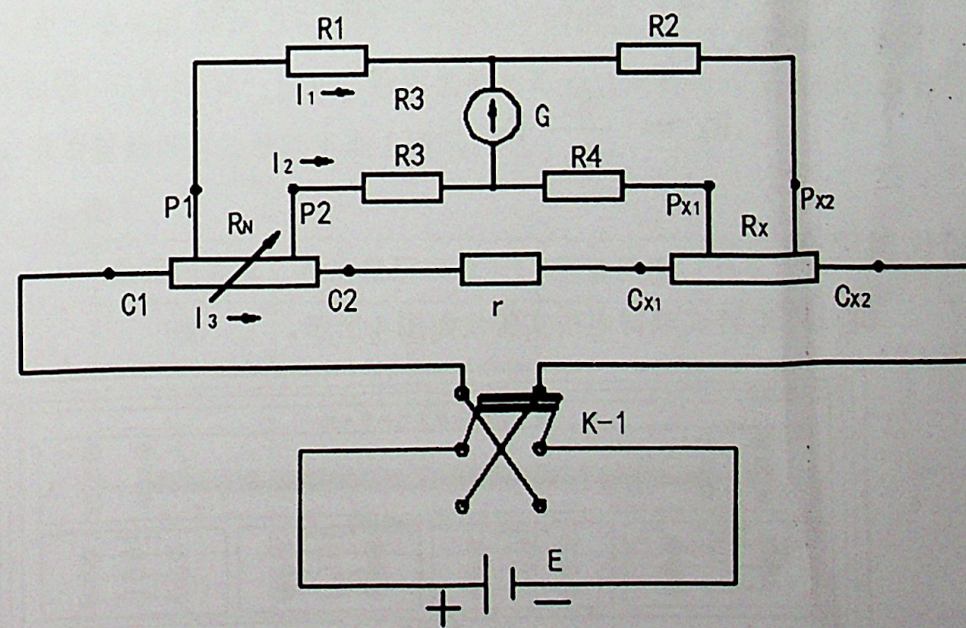


图 3 双臂电桥测量低电阻电路原理图

双臂电桥原理图如图 3 所示。电流方向标定如图 3 所示。当电桥平衡时， $I_G = 0$ ，根据基尔霍夫定律可得

$$I_1 R_1 = I_3 R_N + I_2 R_3$$

$$I_1 R_2 = I_2 R_4 + I_3 R_x$$

(1)

$$(I_3 - I_2)r = I_2(R_3 + R_4)$$

联立求解, 得

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_N - \frac{r R_4}{R_3 + R_4 + r} \left(\frac{R_2}{R_1} - \frac{R_4}{R_3} \right) \quad (2)$$

$$\text{当 } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \text{ 时, } r \text{ 对测量 } R_x \text{ 没有影响。} \quad (3)$$

由此可见, 用双臂电桥测电阻, R_x 的结果由等式右边的两项来决定, 其中第一项与单臂电桥相同, 第二项称为更正项。为了方便测量和计算, 使双臂电桥求 R_x 的公式与单臂电桥相同, 所以实验中可设法使更正项尽可能做到为零。在双臂电桥测量时, 通常可采用同步调解法, 令 $R_3/R_1 = R_4/R_2$, 使得更正项能接近零。在实际的使用中, 通常使 $R_1 = R_2$, $R_3 = R_4$ 则上式变为

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_N$$

在这里必须指出, 在实际的双臂电桥中, 很难做到 R_2/R_1 与 R_3/R_4 完全相等, 所以 R_x 和 R_N 电流接点间的导线应使用较粗的、导电性良好的导线, 以使 r 值尽可能小, 这样, 即使 R_2/R_1 与 R_3/R_4 两项不严格相等, 但由于 r 值很小, 更正项仍能趋近于零。

则得 R_x 的最简式为

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_N \quad (4)$$

三、实验仪器简介:

CY6150 组装式双臂电桥实验仪如图 4 所示。

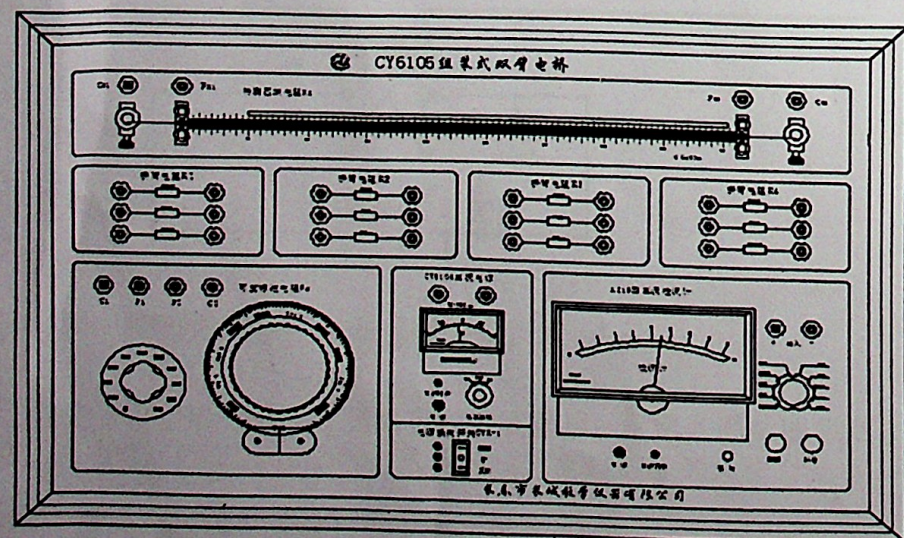


图 4 实验仪器面板图

CY6150 组装式双臂电桥实验仪组成: 桥臂电阻箱 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 ; 可变标准电阻 R_N ; CY6105 直流电源 E; AZ19 直流检流计 G; 电源换向开关 K-1; 连接线若干; 待测四端电阻 R_x (本实验中为钢丝)。

- 1)、桥臂电阻四个: R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 , 阻值可分别取 100Ω 、 1000Ω 、 10000Ω , 精度: 0.1% , 可根据需要用来改变测量量程倍率 M 。
- 2)、可变标准电阻 R_N : 有 C_1 、 C_2 、 P_1 、 P_2 四个引出端, 由 $10 \times 0.01\Omega + 10 \times 0.001\Omega$ 组成。其中 $0.001\Omega \sim 0.01\Omega$ 是一个 100 分度的划线盘, 可以旋转来改变阻值。
- 3)、CY6150 直流电源: $1.5V$ 分高中低三档输出, 电流随负载阻抗的变化而不同, 最大电流 $1.5A$, 由指针式 $2A$ 电流表指示输出电流大小。独立电源开关。
- 4)、电流换向开关 K-1: 具有正向接通、反向接通、断开三档功能; 并且有指示灯指示。
- 5)、AZ19 检流计: 用于指示电桥是否平衡, 灵敏度可调。在测量 $0.01 \sim 11\Omega$ 范围内, 在规定的电压下, 当被测量电阻变化允许一个极限误差时, 指零仪的偏转大于等于一个分格, 就能满足测量准确度的要求。灵敏度不要过高, 否则不易平衡, 导致测量时间过长。独立电源开关。
- 6)、待测四端电阻 R_x : 本实验中为本仪器自带钢丝, 并带有长度指示。在力电光综合实验中, 待测四端电阻 R_x 是力电光综合实验仪中的钢丝, 使用方法一样。
- 7) 总有效量程: $0.0001\Omega \sim 11\Omega$, 量程倍率 M 可通过两桥臂电阻根据需要设置从而改变量程。典型整数倍有效量程于表 1 所示:

表 1

量程倍率 M	有效量程 (Ω)	测量精度 (%)
100	1~11	0.2
10	0.1~1.1	0.2
1	0.01~0.11	0.5
0.1	0.001~0.011	1
0.01	0.0001~0.0011	5

三、实验要求:

- 1、测量双臂电桥上标准细钢丝 L_1 的电阻 R_{x1}

1)、如图 5 所示接线。将被测电阻 R_x 及可调标准电阻 R_N 按四端连接法, 与 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 连接, 注意之间要用粗连接线。

2)、电流换向开关 K-1 自动置于中间“断”状态，打开直流电源，打开检流计电源。预热 5 分钟。

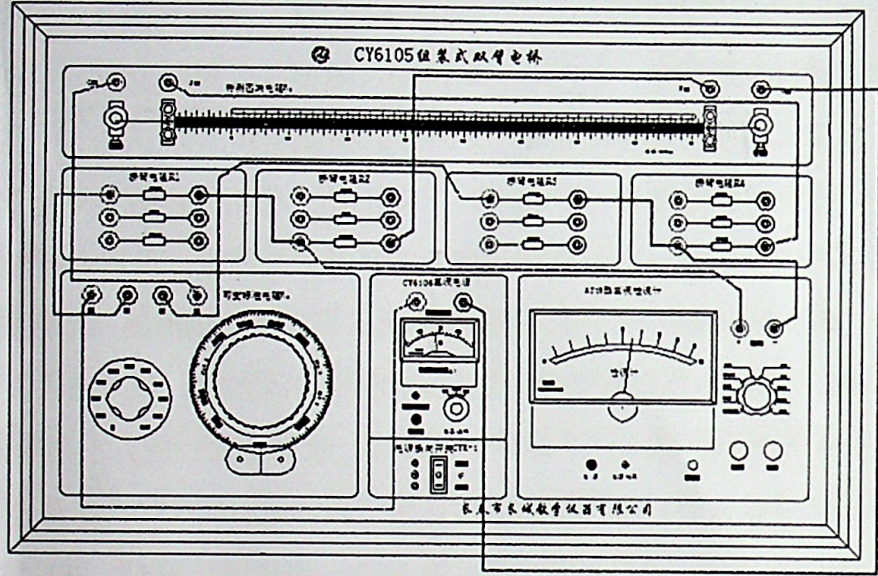


图 5

- 3)、调零：检流计量程开关打到“调零”档，旋转“调零”旋钮，使检流计指针指零。
- 4)、补偿：检流计量程开关打到“补偿”档，旋转“补偿”旋钮，使检流计指针指零。
- 5)、检流计灵敏度选择：各档灵敏度从低到高依次为“非线性”、“10mv”、“3mv”、“1mv”、“300 μ v”、“100 μ v”、“30 μ v”；为保护检流计指针不被打坏，检流计的灵敏度首先选择最低档“非线性”，待电桥初步平衡后再逐步增加灵敏度。
- 6)、在改变检流计灵敏度或环境等因素变化时，有时会引起检流计指针偏离原位。因此在每次读数之前，都应调节“调零”旋钮和“补偿”旋钮，使检流计指零。
- 7)、旋转标准电阻 R_N 读数盘，使读数盘值为测量估计值；
- 8)、将电流换向开关 K-1 按向“正向接通”，观察检流计指针是否指零（注意：测量低阻时，工作电流较大，由于存在热效应，会引起被测电阻的变化。所以电源应该采用“跃接”法，电源开关接通时间应尽量短，能看清指针“动”或“不动”即可，一般不超过 1 秒钟。每次通电后，要断电使被测电阻冷却 1 分钟，再进行下次测量）。
- 9)、检流计指针若不指零，则回到步骤 7 至 8 重复进行，直至指针指零；
- 10)、增加检流计灵敏度，重复步骤 6 至 9，直至灵敏度档位在“300 μ v”或“100 μ v”时，检流计指针指零。
- 11)、保持测量精度不变，将电流换向开关 K-1 按向“反向接通”，重新旋转标准电阻 R_N

读数盘，微调划线读数盘，使检流计指针重新指在零位上，可视为电桥平衡。这样做的目的是消减接触电势和热电势对测量的影响。

- 12)、记录 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 和 R_N 值及灵敏度于表 2 中；
- 13)、实验完毕，把检流计量程开关打到“表头保护”档，关闭检流计电源，关直流电源。

表 2、 测量金属丝 L_1 的电阻 R_{X1} 单位： Ω

次数	R_1 和 R_3	R_2 和 R_4	$M = R_1/R_2$	R_5	电阻 R_{X1}	灵敏度 (量程档)	平衡时检流计的读数
1	10000	100	100	0.01199	1.199	100 μ V	0
2	10000	100	100	0.01198	1.198	100 μ V	0
3	10000	100	100	0.01199	1.199	100 μ V	0
均值				0.011987	1.1987		

$R_{X1} = 1.1987 \Omega$

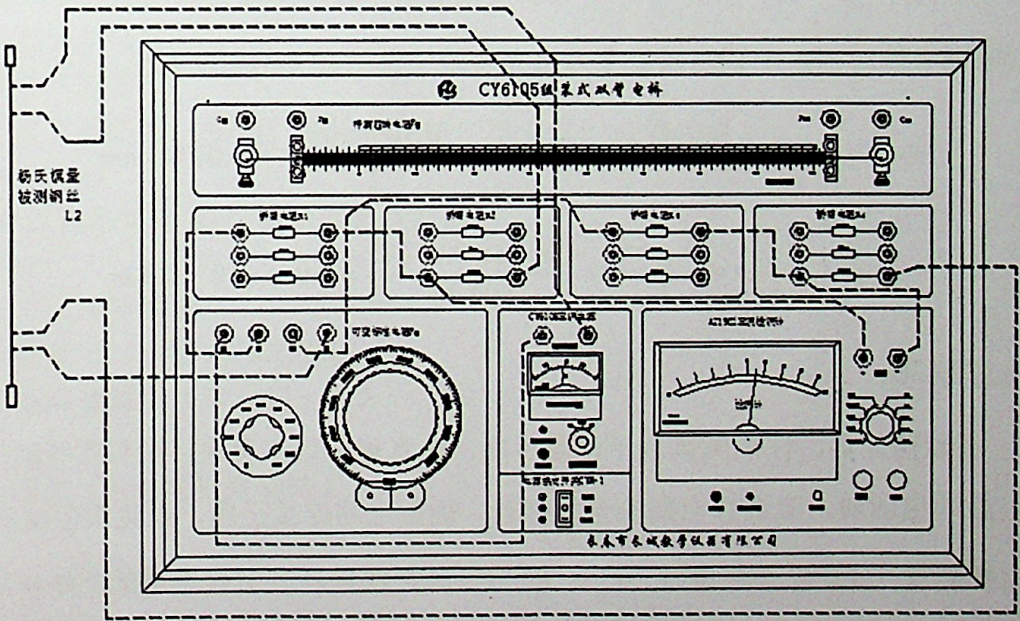


图 6

2. 测量杨氏模量仪铁架上的待测金属丝 L_2 的电阻值 R_{X2} ，

接线如图 6 所示，实验步骤同上 1)~13)。

表 3、测 L_2 的电阻 R_{X2} 单位： Ω

次数	R_1 和 R_3	R_2 和 R_4	$M = R_1/R_2$	R_5	电阻 R_{X2}	灵敏度 (量程档)	平衡时检流计的读数

1	10000	100	100	0.01838	1.838	100 μ V	0
2	10000	100	100	0.01837	1.837	100 μ V	0
3	10000	100	100	0.01837	1.837	100 μ V	0
均值				0.01837	1.8373		

$$R_{x2} = 1.8373\Omega$$

3. 计算细钢丝 L_2 的长度值 L_2 :

$$\text{由 } R_{x1} = \rho \frac{L_1}{S}, R_{x2} = \rho \frac{L_2}{S}; \text{ 得 } L_2 = \frac{R_{x2}}{R_{x1}} L_1 \quad (5)$$

$$L_2 = \frac{1.8373}{1.1987} \times 453.0 = 694.3\text{mm}$$

4. 细钢丝电阻率 ρ 计算:

$$\rho = \frac{R_{x2} \times S}{L_2}$$

S 为细钢丝截面积, 细钢丝线径在力电光实验中已用激光衍射法测出: $d=0.3058\text{mm}$,

$$S = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 3.14159 \times \left(\frac{0.3058\text{mm}}{2}\right)^2 = 0.07345\text{mm}^2$$

$$\rho = \frac{R_{x2} \times S}{L_2} = \frac{1.8373 \times 0.07345}{694.33} = 1.944 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$$

四、注意事项:

实验操作前, 仔细阅读以下注意事项, 认真遵守以下要求, 确保实验的正常进行!

1. 接通电源前, 应进行电路安全性检查, 确保电路连接正确, 以免损害仪器。
2. 在测量 0.1Ω 以下阻值时, C_1 、 P_1 、 C_2 、 P_2 接线柱到被测量电阻之间的连接导线电阻为 $0.005\sim 0.01\Omega$, 测量其它阻值时, 联接导线电阻应小于 0.05Ω 。请使用本仪器配置的专用连接线。
3. 考虑到细钢丝阻值较小(欧姆量级), 必须充分重视热效应对测量的影响和对样品的危害, 测量时不可长直接通电路, 应采取点触连接方式进行测量。
4. 测量电回路已绝缘处理, 实验时注意检查绝缘情况是否良好, 以避免短路对测量的影响。
5. 如果仪器长期搁置不用, 在接触处可能产生氧化, 造成接触不良, 使用前应该来回转动 R_N 开关数次。

八、思考题

1. 双臂电桥与惠斯通电桥有哪些异同?
2. 双臂电桥怎样消除附加电阻的影响?
3. 如果待测电阻的两个电压端引线电阻较大, 对测量结果有无影响?
4. 如何提高测量金属丝电阻率的准确度?

实验配置明细表:

一、导轨工作平台部分:

- | | |
|-----------------------------|-----|
| 1. 方形光学专用导轨工作平台 (配嵌入式圆型水准仪) | 1 件 |
| 2. 工作平台底部调整装置 | 1 件 |
| 3. 新型空隙自消除式二维移动滑座 | 3 套 |
| 4. 新型空隙自消除式一维移动滑座 | 3 套 |
| 5. A 型精密微调组 (材质: Ly12) | 6 组 |
| 6. B 型精密金属微调组 (材质: Ly12) | 2 组 |
| 7. 精密节点测试台 | 1 台 |

二、改良式杨氏模量测量装置部分:

- | | |
|--|-----|
| 1. 改良式杨氏模量工作台 (配可拆卸不锈钢双支撑杆) | 1 套 |
| 2. 工作台底部调整装置 | 2 件 |
| 3. 精密加力调节装置 | 1 套 |
| 4. 蜗轮式钢丝夹具装置 (蜗轮、蜗杆、钢丝、横向移动微调组成) | 1 组 |
| 5. 钢丝 ($\Phi 0.3\text{mm}$) | 1 根 |
| 6. 光杠杆 (有效孔径 $\Phi 60\text{mm}$ 带重锤平衡装置) | 1 个 |

三、附件配置部分:

- | | |
|---------------------------------|-----|
| 1. 双棱镜及三维调节架组 | 1 套 |
| 2. 可调狭缝转盘组 (含横向移动微调) | 1 套 |
| 3. 薄透镜三维调节架组 (含透镜) | 1 套 |
| 4. 成像屏组 | 1 组 |
| 5. 平面反射镜组 (360 度刻度旋转) | 1 组 |
| 6. 扩束镜 | 1 套 |
| 7. 新型测微目镜及夹持架组 | 1 套 |
| 8. 中性减光器装置 (半导体激光器、衰减片、二维调节架组成) | 1 套 |
| 9. 光栅测距装置 (半导体激光器、正交光栅、三维调节架组成) | 1 套 |

四、组装式双臂电桥装置:

- | | |
|--------------------------------------|-----|
| 1. 主机 | 1 套 |
| ① AZ19 直流检流计 | |
| ② CY6105 直流电源 (1.5A 1.5V) | |
| ③ 可变标准电阻 R_N | |
| ④ 桥臂电阻 R_1 , R_2 , R_3 , R_4 | |
| ⑤ 待测四端电阻 R_x ($\Phi 0.3$ 钢丝) | |
| 2. 仪器电源线 | 1 根 |