

# 南昌大学物理实验报告

课程名称： 普通物理实验（2）

实验名称： 用直流双臂电桥测低值电阻

学院： 理学院 专业班级： 应用物理学 152 班

学生姓名： 马文青 学号： 5502215035

实验地点： 基础实验大楼 B613 座位号： 21

实验时间： 第 10 周 星期五 下午一点五十分开始

## 一、实验目的：

- 1、掌握用双臂电桥测低值电阻的原理。
- 2、学会用双臂电桥测低值电阻的方法。
- 3、了解测低值电阻时接线电阻和接触电阻的影响及其避免的方法。

## 二、实验原理：

用单臂电桥测量电阻时，其所测电阻值一般可以达到四位有效数字，最高阻值可测到  $10^6 \Omega$ ，最低阻值为  $1 \Omega$ 。当被测电阻的阻值低于  $1 \Omega$  时(称为低值电阻)单臂电桥测量到的电阻的有效数字将减小，其测量误差也将显著增大。其原因是因为被测电阻接入测量线路中，连接用的导线本身具有电阻（称为接线电阻），被测电阻与导线的接头处亦有附加电阻（称为接触电阻）。接线电阻和接触电阻的阻值约为  $10^{-2} \sim 10^{-5} \Omega$ 。接触电阻虽然可以用清洁接触点等措施使之减小，但不可能完全消除。当被测电阻仅为  $10^{-3} \sim 10^{-6} \Omega$  时，其接线电阻及接触电阻值都已超过或大大超过被测电阻的阻值，这样会造成很大误差，甚至完全无法得出测量结果。所以，必须在测量线路上采取措施，避免接线电阻和接触电阻对低值电阻测量的影响。

精确测定低值电阻的关键，在于消除接线电阻和接触电阻的影响。

用安培表和毫伏表按欧姆定律  $R=U/I$  测量电阻  $R$ ，设  $R$  在  $1 \Omega$  以下，按一般接线方法用如图 1（a）所示的电路。由图 1（a）可见，如果把接线电阻和接触电阻考虑在内，并设想把它们用普通导体电阻的符号表示，其等效电路如图 1（b）所示。

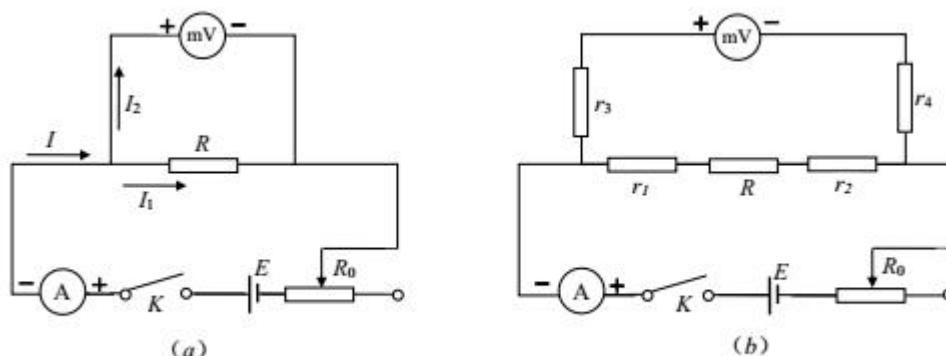


图 1

其中  $r_1$ 、 $r_2$  分别是连接安培表及变阻器用的两根导线与被测电阻两端接头处的接触电阻及导线本身的接线电阻， $r_3$ 、 $r_4$  是毫伏表和安培表、滑线变阻器接头处的接触电阻和接线电阻。通过安培表的电流  $I$  在接头处分为  $I_1$ 、 $I_2$  两支， $I_1$  流经安培表和  $R$  间的接触电阻再流入  $R$ ， $I_2$  流经安培表和毫伏表接头处的接触电阻再流入毫伏表。因此， $r_1$ 、 $r_2$  应算作与  $R$  串联； $r_3$ 、 $r_4$  应算作与毫伏表串联。由于  $r_1$ 、 $r_2$  的电阻与  $R$  具有相同的数量级，甚至有的比  $R$  大几个数量级，故毫伏表指示的电位差不代表  $R$  两端的电位差，即如果利用毫伏表和安培表此时所指示的值来计算电阻的话，不会给出准确的结果。

为了解决上述问题，试把连接方式改为如图 2（a）所示的式样。同样用电流流经路线的分析方法可知，虽然接触电阻  $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$  和  $r_4$  仍然存在，但由于其所处位置不同，构成的等效电路改变为图 2（b）。由于毫伏表的内阻大于  $r_3$ 、 $r_4$ 、 $R$ ，故毫伏表和安培表的示数能准确地反映电阻  $R$  上的电位差和通过的电流。利用欧姆定律可以算出  $R$  的正确值。

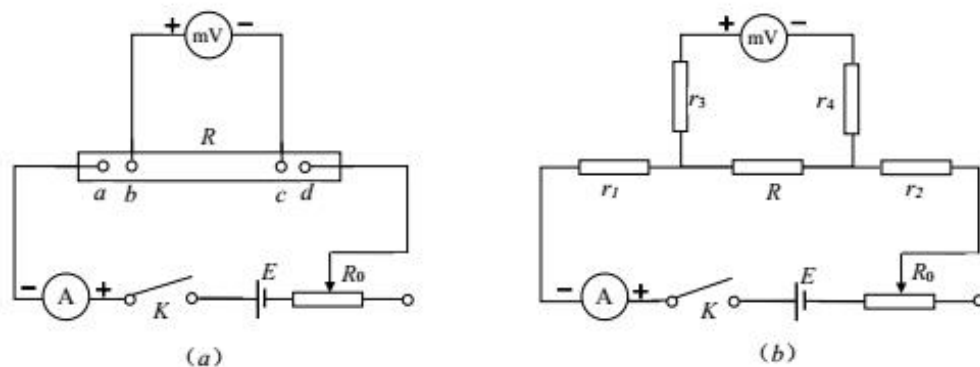


图 2

由此可见，测量电阻时，将通电流的接头（电流接头）a、d 和测量电位差的接头（电压接头）b、c 分开，并且把电压接头放在里面，可以避免接触电阻和接线电阻对测量低值电阻的影响。

这结论用到惠斯通电桥的情况如果仍用单臂电桥测低值电阻  $R_x$ ，则比较臂  $R_b$  也应是低值电阻，这样才能在支路电流增大时，从而使  $R_x$  的电势差可以跟  $R_1$  上的电势差相等。设  $R_1$  和  $R_2$  都是  $10\ \Omega$  以上的电阻，则与之有关的接触电阻和接线电阻的影响可以忽略不计。消除影响的只是跟  $R_x$ 、 $R_b$  有关的接触电阻和接线电阻。可以这样设想，如图 3 所示。应用上面的结论在  $R_x$  的 A 点处分别接电流接头  $A_1$  和电压接头  $A_2$ ；在  $R_b$  的 D 点处分别接电流接头  $D_1$  和电压接头  $D_2$ 。则 A 点对  $R_x$  和 D 点对  $R_b$  的影响都已消除。关于 C 点邻近的接线电阻和接触电阻同  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_g$  相比可以略去不计。但  $B_1$ 、 $B_3$  的接触电阻和其间的接线电阻对  $R_x$ 、 $R_b$  的影响还无法消除。为了消除这些电阻的影响，我们把检流计同低值电阻的接头也接成电压接头  $B_2$ 、 $B_4$ 。为了使  $B_2$ 、 $B_4$  的接触电阻等不受影响，也像  $R_1$ 、 $R_2$  支路一样，分别接上电阻  $R_3$ 、 $R_4$  譬如  $10\ \Omega$ ，则这两支路的接触电阻等同  $R_3$ 、 $R_4$  相比较可略去。这样就在单电桥基础上增加两个电阻  $R_3$ 、 $R_4$ ，从而构成一个双臂电桥。但是  $B_1$ 、 $B_3$  的接触电阻和  $B_1$ 、 $B_3$  间的接线电阻无处归并，仍有可能影响测量结果。下面我们来证明，在一定条件下， $r$  的存在并不影响测量结果。

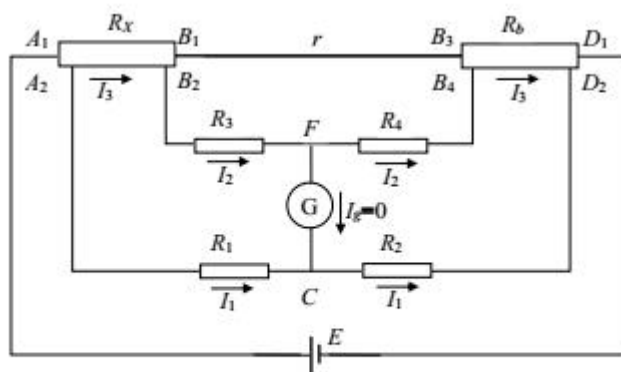


图 3

在使用电桥时，调节电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  和  $R_b$  的值，使检流计中没有电流通过（ $I_g=0$ ），则 F、C 两点电势相等。于是通过  $R_1$ 、 $R_2$  的电流均为  $I_1$ ，而通过  $R_3$ 、 $R_4$  的电流均为  $I_2$ ，通过  $R_x$ 、 $R_b$  的电流为  $I_3$ ，而通过  $r$  的电流为  $I_3 - I_2$ 。根据欧姆定律可得：

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

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

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

把上面三式联解，并消去  $I_1$ 、 $I_2$  和  $I_3$  可得

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

上式就是双臂电桥的平衡条件，可见  $r$  对测量结果是有影响的。为了使被测电阻  $R_x$  的值便于计算及消除  $r$  对测量结果的影响，可以设法使第二项为零。通常把双臂电桥做成一种特殊的结构，使得在调整平衡时  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  和  $R_4$  同时改变，而始终保持成比例。即

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

在此情况下，不管  $r$  多大，第二项总为零。于是平衡条件简化为

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

或

$$\frac{R_x}{R_b} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

从上面的推导看出，双臂电桥的平衡条件和单臂电桥的平衡条件形式上一致，而电阻  $r$  根本不出现在平衡条件中，因此  $r$  的大小并不影响测量结果，这是双臂电桥的特点。正因为这样它可以用来测量低值电阻。

### 三、实验仪器：

四端电阻、待测电阻棒（铜、铝、铁）、直流电源、电流表、电压表、电阻箱等。

### 四、实验内容和步骤：

实验注意事项：

- 1、电源电压调整在 5V。
- 2、电阻箱阻值调整到 25Ω 左右。
- 3、每种金属棒都要测 6 次，并记录数据。
- 4、必须先连接电路并检查连接无误后再加电。

实验内容：

- 1、根据图 2 介绍的连接方法测量  $R_x$ 。
- 2、计算铜、铝、铁的电阻率，并做数据处理。

### 五、实验数据与处理：

1、铜

	$l/\text{mm}$	$i/\text{A}$	$U/\text{mV}$	$R/\Omega$	$\rho (=US/IL)/\Omega \cdot \text{m}$
1	70.0	0.3918	0.07	$1.78 \times 10^{-4}$	$1.28 \times 10^{-8}$
2	140.0	0.3918	0.14	$3.57 \times 10^{-4}$	$1.28 \times 10^{-8}$
3	210.0	0.3919	0.21	$5.35 \times 10^{-4}$	$1.28 \times 10^{-8}$

4	280.0	0.3920	0.30	$7.65 \times 10^{-4}$	$1.37 \times 10^{-8}$
5	350.0	0.3920	0.38	$9.69 \times 10^{-4}$	$1.39 \times 10^{-8}$
6	420.0	0.3920	0.46	$1.17 \times 10^{-3}$	$1.40 \times 10^{-8}$

所以有  $\bar{\rho} = 1.33 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

$$\text{不确定度 } \Delta_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (\rho_i - \bar{\rho})^2}{5}} = 0.13 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

$$\Delta_B = 0.01 \times 10^{-8}$$

$$u = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = 0.13 \times 10^{-8}$$

所以,  $\rho = \bar{\rho} \pm u = (1.33 \pm 0.13) \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

2、铝

	l/mm	i/A	U/mV	R/Ω	$\rho (=US/IL)/\Omega \cdot m$
1	70.0	0.3909	0.15	$3.83 \times 10^{-4}$	$2.76 \times 10^{-8}$
2	139.5	0.3911	0.30	$7.67 \times 10^{-4}$	$2.75 \times 10^{-8}$
3	210.0	0.3912	0.46	$1.18 \times 10^{-3}$	$2.82 \times 10^{-8}$
4	280.0	0.3913	0.62	$1.58 \times 10^{-3}$	$2.83 \times 10^{-8}$
5	350.0	0.3914	0.78	$1.99 \times 10^{-3}$	$2.85 \times 10^{-8}$
6	419.5	0.3914	0.96	$2.45 \times 10^{-3}$	$2.93 \times 10^{-8}$

所以有  $\bar{\rho} = 2.82 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

$$\text{不确定度 } \Delta_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (\rho_i - \bar{\rho})^2}{5}} = 0.07 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

$$\Delta_B = 0.01 \times 10^{-8}$$

$$u = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = 0.07 \times 10^{-8}$$

所以,  $\rho = \bar{\rho} \pm u = (2.82 \pm 0.07) \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

3、铁

	l/mm	i/A	U/mV	R/Ω	$\rho (=US/IL)/\Omega \cdot m$
1	69.5	0.3918	0.42	$1.07 \times 10^{-3}$	$7.74 \times 10^{-8}$

2	140.0	0.3919	0.84	$2.14 \times 10^{-3}$	$7.68 \times 10^{-8}$
3	210.0	0.3920	1.27	$3.23 \times 10^{-3}$	$7.73 \times 10^{-8}$
4	280.0	0.3920	1.68	$4.28 \times 10^{-3}$	$7.68 \times 10^{-8}$
5	350.0	0.3920	2.10	$5.36 \times 10^{-3}$	$7.69 \times 10^{-8}$
6	420.0	0.3921	2.53	$6.45 \times 10^{-3}$	$7.71 \times 10^{-8}$

所以有  $\bar{\rho} = 7.71 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

不确定度  $\Delta_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (\rho_i - \bar{\rho})^2}{5}} = 0.06 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

$\Delta_B = 0.01 \times 10^{-8}$

$u = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = 0.06 \times 10^{-8}$

所以，  $\rho = \bar{\rho} \pm u = (7.71 \pm 0.06) \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

**六、误差分析：**

- 1、实验仪器本身使用时间过长，存在系统误差。
- 2、电路的多个接触点可能接触不良。
- 3、刻度读数受主观影响，有偶然误差。

## 七、思考题：

1、使用四端电阻解决了什么问题？

答：四端电阻消除了采用等量补偿的方法减小接触电阻和接线电阻的影响，解决了低电阻测量误差大的问题。

2、为什么双臂电桥能够大大减小接线电阻和接触电阻对测量结果的影响？

答：双臂电桥在结构上可以使得在调整平衡时  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  和  $R_4$  同时改变，而始终保持成比例。其引线和接触电阻的影响可以被完全消除，避免出现测量误差。

## 八、附上原始数据：

铝	$l$ / mm	$i$ / A	$u$ / mV	铜	$l$	$i$	$u$
1	70.0	0.3909	0.15	1	70.0	0.3918	0.07
2	139.5	0.3911	0.30	2	140.0	0.3918	0.14
3	210.0	0.3912	0.46	3	210.0	0.3919	0.21
4	280.0	0.3913	0.62	4	280.0	0.3920	0.30
5	350.0	0.3914	0.78	5	350.0	0.3920	0.38
6	419.5	0.3914	0.96	6	420.0	0.3920	0.46

铁	$l$	$i$	$u$
1	69.5	0.3918	0.42
2	140.0	0.3919	0.84
3	210.0	0.3920	1.27
4	280.0	0.3920	1.68
5	350.0	0.3920	2.10
6	420.0	0.3921	2.53