

# 改装电表实验报告

2411545 邱凯锐

2025. 3. 10

## 1 实验目的

1. 掌握微电流表性能参数的测量方法。
2. 掌握直流指针式电流表和电压表的改装原理、校准曲线测量和刻度方法。
3. 掌握欧姆表的改装原理、调零方法和刻度方法。
4. 掌握仪表的校准测量方法，以及使用最大示值误差法确定仪表等级。

## 2 实验原理

### 2.1 测量微电流表的性能参数：

微电流表的线圈有一定内阻，用  $R_g$  表示；微电流表允许通过的最大电流称为满度电流，用  $I_g$  表示；微电流表的准确度等级用  $Q_g$  表示。微电流表的内阻  $R_g$ 、满度电流  $I_g$  和准确度等级  $Q_g$  是表示其特性的三个重要参数。

#### 1. 测量微电流表内阻 $R_g$ 和满度电流 $I_g$ 常用方法有：

##### 替代法、中值法（半电流法）

替代法测量原理见 Figure 1，中值法测量原理见 Figure 2。图中  $E$  为直流电源电压， $R_2$ 、 $R_w$  为阻值可以调节的电阻箱。

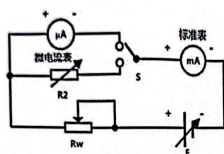


Figure 1: 替代法原理图

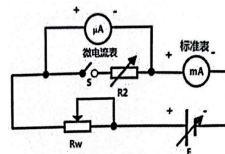


Figure 2: 中值法原理图

#### 2. 仪表准确度等级：

仪表的准确度等级有 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 七个等级。用最大示值误差的绝对值除以仪表量程的百分比，即为仪表的准确度等级。

$$Q\% = \frac{\Delta X_m}{X_m} \times 100\%$$

仪表的准确度等级可以由其校准曲线获得。

## 2.2 将微电流表改装成大量程电流表：

Figure 3 为改装电流表的原理图。这种由微电流表和并联电路  $R_2$  组成的整体（图中虚线框住的部分）就是改装后的电流表。如需将量程扩大为原来的  $n$  倍，则不难得出：

$$R_2 = R_g / (n - 1)$$

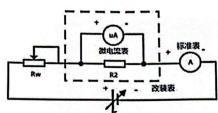


Figure 3: 改装电流表实验线路图

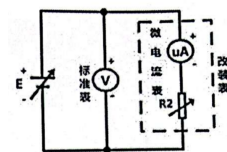


Figure 4: 改装电压表实验线路图

## 2.3 将微电流表改装成电压表：

Figure 4 为改装电压表原理图。这种由微电流表和串联电阻  $R_2$  组成的整体就是改装电压表。选取不同大小的  $R_2$ ，就可以得到不同量程的电压表。如果改装电压表的量程为  $U$ ，通过微电流表的最大电流为  $I_g$ ，改装电压表的内阻为  $U/I_g$ ，因此需要串联的分压电阻  $R_2$  的阻值为：

$$R_2 = \frac{U}{I_g} - R_g$$

## 2.4 将微电流表改装成欧姆表：

用来测量电阻大小的电表称为欧姆表。根据调零方式的不同，可分为串联分压式和并联分流式两种。其原理电路如 Figure 5 所示。 Figure 5 中  $E$

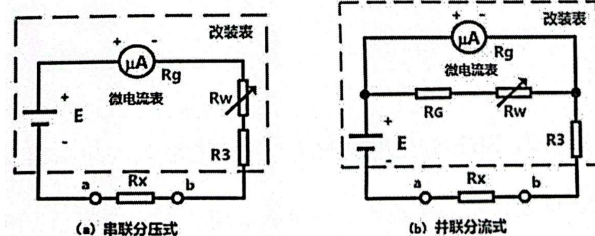


Figure 5: 欧姆表改装原理图

为电源电压， $R_3$  为限流电阻， $R_W$  为调“零”电阻， $R_X$  为待测电阻， $R_g$  为

微电流表内阻。在 Figure 5(a) 中, 当 a、b 端接入被测电阻  $R_X$  后, 电路中的电流为:

$$I = \frac{E}{R_g + R_W + R_3 + R_X}$$

当电源端电压  $E$  保持不变时, 被测电阻和电流值有一一对应的关系。 $R_X$  越大, 电流  $I$  越小。短路 a、b 两端, 即  $R_X = 0$  时:

$$I = \frac{E}{R_g + R_W + R_3} = I_g$$

当  $R_X = R_g + R_W + R_3$  时:

$$I = \frac{E}{R_g + R_W + R_X + R_3} = \frac{1}{2}I_g$$

这是指针在微电流表的中间位置, 对应的阻值为中值电阻, 显然  $R_{\text{中}} = R_g + R_w + R_3$ 。

当  $R_X = \infty$  时,  $I = 0$ , 即指针在微电流表的机械零位。

综上所述, 欧姆表的标度尺为反向刻度, 且刻度是不均匀的。

### 3 实验设备

实验用设备为 FB308 型电表改装和校准实验仪 (杭州经科仪器有限公司), 如 Figure 6 所示。



Figure 6: 仪器设备版面图

1. 直流电压源: 电压源有  $0 \sim 2\text{V}$ 、 $0 \sim 10\text{V}$  两档, 输出电压可连续调节。
2. 微电流表: 量程约  $100 \mu\text{A}$ , 内阻约  $1.6\text{k}\Omega$ , 准确度等级为 1.5 级。
3. 标准电压表: 量程  $20\text{V}$ , 四位半数字式电压表, 准确度等级为 0.1 级。
4. 标准电流表: 三个量程:  $200 \mu\text{A}$ ,  $2\text{mA}$ ,  $20\text{mA}$ , 准确度等级为 0.1 级。
5. 电阻箱 R:  $0 \sim 11111\Omega$ , 分辨率  $0.1\Omega$
6. 外电源: AC  $220\text{V} \pm 10\%$ ,  $50\text{Hz}$ 。

## 4 实验内容

### 4.1 测量微电流表相关参数

#### 1. 测量微电流表满度电流 $I_g$

- (1) 按照电路图，依次串联电源、滑动变阻器  $R_W$ 、微安表和标准表。
- (2) 将电源电压调至 0.5 V。调节滑动变阻器  $R_W$ ，使微安表满偏（指针指最大量程），读取标准表读数，即为微安表满度电流  $I_g$ 。

#### 2. 用替代法测量微电流表内阻 $R_{g1}$

- (1) 按照电路图连接电路，将电源电压调至 0.5 V。开关断开  $R_2$ ，接入微电流表，调节滑动变阻器  $R_W$  使微电流表满偏，记录标准表读数。
- (2) 保持  $R_W$  不变，开关断开微电流表，连接电阻箱  $R_2$ ，调节  $R_2$  阻值，使标准表读数与步骤 (1) 中相等。此时  $R_2$  阻值等于微电流表的内阻  $R_{g1}$ 。

#### 3. 用中值法测量微电流表内阻 $R_{g2}$

- (1) 按照电路图连接电路，将电源电压调至 0.5 V。开关断开  $R_2$ ，调节滑动变阻器  $R_W$  使得微电流表满度，记录此时标准表的读数。
- (2) 开关闭合，将电阻箱  $R_2$  接入电路，通过调节滑动变阻器  $R_W$  和电阻箱  $R_2$  的阻值，同时满足标准表读数和步骤 (1) 中相等、微电流表指针指中值。此时电阻箱  $R_2$  的阻值大小等于微电流表的内阻  $R_{g2}$ 。计算  $R_{g2}$  相对于  $R_{g1}$  的误差。

### 4.2 改装成 1 mA 量程的改装电流表

#### 1. 根据电路参数计算出分流电阻阻值。

#### 2. 用标准电流表改装电流表并且记下标准电流表相应的读数。

- (1) 按照电路图连接电路，调节电源电压至 0.5 V。将电阻箱阻值设置为分流电阻阻值。
- (2) 调节滑动变阻器  $R_W$ ，使改装电流表的指针分别指 0.2 mA、0.4 mA、0.6 mA、0.8 mA、1.0 mA。读取并记录相应的标准电流表读数。
3. 根据数据，绘制改装电表的校准曲线，确定改装电流表的准确度等级。

### 4.3 改装成 1.5 V 量程的改装电压表

#### 1. 根据电路参数计算扩程电阻阻值。

#### 2. 用标准电流表改装电压表并且记下标准电压表相应的读数。

- (1) 按照电路图连接电路，调节电源电压至 1.5 V。将电阻箱阻值设置为扩程电阻阻值。
- (2) 调节电源电压，使改装电压表的示数分别指 0.3 V、0.6 V、0.9 V、1.2 V、1.5 V。读取并记录相应的标准电压表读数。
3. 根据数据，绘制改装电表的校准曲线，确定改装电压表的准确度等级。

### 4.4 改装欧姆表并标定表面刻度：

#### 1. 按照串联分压式电路图连接电路，调节电源电压至 1.5 V。

#### 2. 将欧姆表进行调零。

- (1) 对于欧姆表来说，最大刻度对应电路的断路，也就是待测电阻无穷大，

这时微安表上没有电流流过；零刻度对应待测的短路，电阻无穷小，这时需要调节控制使微安表满度，即为调零。

(2) 操作上，将待测电阻  $R_x$  短路，调节滑动变阻器  $R_w$ ，使微安表满度，此时电路中电流等于欧姆表电流，电路中电阻等于欧姆表的内阻。

### 3. 测量改装成的欧姆表的中值电阻 $R_{中}$ 。

将  $R_x$  接入电路，调节  $R_x$  阻值，当  $R_x$  的阻值等于欧姆表内阻时，电路中的电流等于被该表满度电流的一半，此时  $R_x$  的阻值称为中值电阻。

### 4. 绘制出改装成欧姆表的标度盘。

分别将中值电阻、中值电阻的  $1/2$ 、 $1/3$ 、 $1/4$ 、 $1/5$ 、 $2$ 、 $3$ 、 $4$ 、 $5$  倍接入电路，读取电流表指针偏离中间刻度的格数（估读一位），以此为基础，绘制表盘刻度。

### 5. 确定改装成的欧姆表的电源电压使用范围。

欧姆表电源电压的使用范围，就是欧姆表的可调零范围。操作中，将  $R_x$  短路，分别将  $R_w$  的阻值调至最小和最大值，对应可以使被改表满偏的电源电压范围，即为电源电压的可用范围。

## 5 实验数据

### 5.1 微电流表相关参数

Table 1: 微电流表相关参数

满度电流 $I_g(\mu A)$	替代法 $R_{g1}(\Omega)$	中值法 $R_{g2}(\Omega)$	$ R_{g1} - R_{g2} $
99.87	1955.0	1958.4	3.4

### 5.2 改装成 1 mA 电流表

Table 2: 改装电流表校准数据

改装表读数 $I$ (mA)	标准表读数 $I_s$ (mA)			误差 $\Delta I$ (mA)
	递减时	递增时	平均值	
0.2	0.2004	0.2032	0.2018	0.0018
0.4	0.3996	0.3994	0.3995	0.0005
0.6	0.5989	0.5989	0.5989	0.0011
0.8	0.7989	0.8025	0.8007	0.0007
1.0	1.0070	0.9996	1.0033	0.0033

计算可得， $Q = 0.33$ ，从而确定准确度等级为 0.5，校准曲线如 Figure 7 所示。

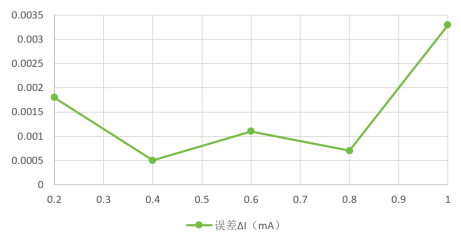


Figure 7: 改装电流表校准曲线

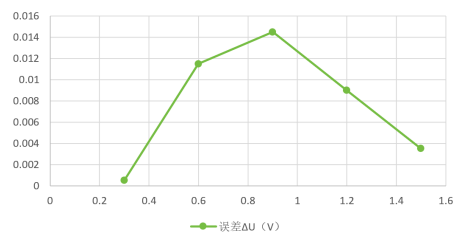


Figure 8: 改装电压表校准曲线

### 5.3 改装成 1.5 V 量程的改装电压表

Table 3: 改装电压表校准数据

改装表读数 $U$ (V)	标准表读数 $U_s$ (V)			误差 $\Delta U$ (V)
	递减时	递增时	平均值	
0.3	0.298	0.301	0.2995	0.0005
0.6	0.587	0.590	0.5885	0.0115
0.9	0.882	0.889	0.8855	0.0145
0.12	1.191	1.191	1.191	0.0090
0.15	1.496	1.497	1.4965	0.0035

计算可得:  $Q = 0.97$ , 从而确定的准确度等级为 1.0, 校准曲线如 Figure 8 所示。

### 5.4 改装欧姆表并标定表面刻度

中值电阻 $R_{\text{中}}(\Omega)$	电源电压可用范围 $E(\text{V})$	
	$E_{\min}$	$E_{\max}$
15550.5	1.180	1.695

Table 4: 欧姆表改装数据

$R_{X_i}(\Omega)$	$\frac{1}{5}R_{\text{中}}$	$\frac{1}{4}R_{\text{中}}$	$\frac{1}{3}R_{\text{中}}$	$\frac{1}{2}R_{\text{中}}$	$R_{\text{中}}$	$2R_{\text{中}}$	$3R_{\text{中}}$	$4R_{\text{中}}$	$5R_{\text{中}}$
偏转格数 (div)	33.1	29.9	25.1	16.8	0	-17	-25.2	-30.5	-34

<sup>1</sup> The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog.