

# 【实验目的】

1. 了解指针式万用表测量电流、电压以及电阻的基本原理。
2. 掌握多量程电流表、电压表和万用表设计方法。

# 【实验原理】（电学、光学画出原理图）

磁电式电流计 ①：量程  $I_g$ ，内阻  $R_g$ 。  $R_g$  可用替代法或中值法获得。

## 1. 改装为量程电流表

由于电流表量程通常远大于  $I_g$ ，因此我们需要给检流计并联上分流电阻。

如右图，有关系：

(1) 接量程  $I_1$  时，电流计与  $R_2$  串联，然后与  $R_1$  并联，即：

$$(R_g + R_2) I_g = R_1 (I_1 - I_g)$$

(2) 接量程  $I_2$  时， $R_1$  与  $R_2$  串联，然后与电流计并联，即：

$$(R_1 + R_2) (I_2 - I_g) = R_g I_g$$

计算出  $R_1$ 、 $R_2$  后，即可设计出多量程电流表。

然后，用右图所示电路校正，并分析误差。

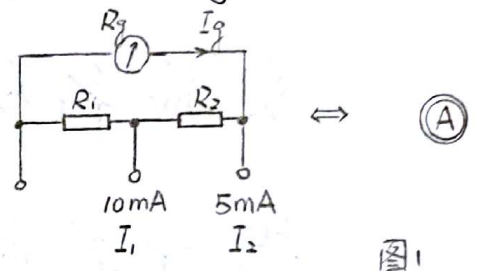


图1

①

②

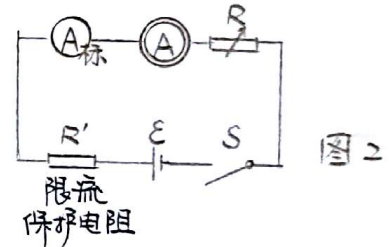


图2

## 2. 改装为量程电压表

同样，由于电压表量程通常远大于  $I_g R_g$ ，因此我们给检流计串联上分压电阻。有关系：（如图3）

$$I'_g (R'_g + R_3) = U_1 \quad \text{③}$$

$$I'_g (R'_g + R_3 + R_4) = U_2 \quad \text{④}$$

$$R'_g = \frac{R_g (R_1 + R_2)}{R_g + R_1 + R_2}, \quad I'_g = I_2 = 5\text{mA} \quad \text{⑤} \sim \text{⑥}$$

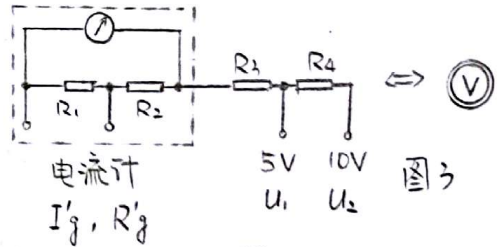


图3

同样进行计算、设计和校正，分析误差（图4）

## 3. 改装欧姆表

原理图如图5：

（下转实验内容）

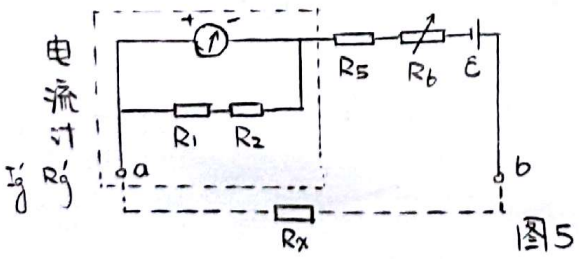


图5

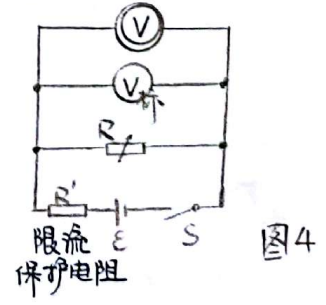


图4

## 【实验内容】（重点说明）

### 0. 替代法测电流计内阻：

先将电流计与标准电流表同时串接在测量回路中，调节可变电阻使回路电流为合适大小  $I_0$ ，再用电阻箱将电流计换下，改变电阻箱阻值使回路电流为  $I_0$ ，此时电阻箱的阻值即为电流计的内阻。

### 1. 设计多量程电流表（5mA 和 10mA）并校准（填表 1.2）

步骤见【实验原理】，下同。

### 2. 设计多量程电压表（5V 和 10V）并校准（填表 3.4）

### 3. 设计欧姆表并制作欧姆挡刻度曲线（填表 5）

（上接【实验原理】）

如图 5 所示，首先短接 a, b，调节  $R_6$  使电流计满偏，此时有

$$I_0 = I_g = \frac{\mathcal{E}}{R_g + R'} \quad \text{⑦}$$

其中  $R'$  为回路中其他电阻（ $R_5$ 、 $R_6$ 、电源内阻等）之和

当  $R_x$  接入回路中，有

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_g + R' + R_x} \quad \text{⑧}$$

当  $R_x = R_g + R'$  时， $I = \frac{I_0}{2}$ ，此时  $R_x$  称为欧姆表的中值电阻。可以此法在电流计面板上刻上刻度以显示不同阻值。

## 【实验器材及注意事项】

实验器材：标准电流表、电阻箱、滑动变阻器、保护电阻、电源、导线、面包板等。

- 注意事项：
1. 接通电路时，尤其是改装欧姆表时短接电路以调节滑动变阻器使电流计满偏时，应首先试触，如果发现电表已超过满偏则应立即断开，以防损坏电流表
  2. 应注意面包板上自带的连线，防止出现连线与预期不符的情况
  3. 应注意电源的状态，防止电源短路。

## 【数据处理与结果】

### 1. 改装 5mA 量程的电流表并校准:

经计算,  $R_1 = R_2 = 30\Omega$ 。由于改装后每一小格表示  $\frac{5\text{mA}}{5 \times 5} = 0.2\text{mA}$ , 因此估读到 0.1mA:

实验次数	1	2	3	4	5
$I_{\text{改装}}/\text{mA}$	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
$I_{\text{标准}}/\text{mA}$	0.90	1.76	2.64	3.60	4.65
$\Delta I/\text{mA}$	-0.1	-0.2	-0.4	-0.4	-0.4

$$\Delta I = I_{\text{标准}} - I_{\text{改装}}$$

校准曲线见附图1。

### 2. 改装 5V 量程的电压表并校准

经计算,  $R_3 = 952\Omega$ 。与 1. 中同样的原因, 此处读数精确到 0.1V。

实验次数	1	2	3	4	5
$U_{\text{改装}}/\text{V}$	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
$U_{\text{标准}}/\text{V}$	0.94	1.85	2.79	3.74	4.71
$\Delta U/\text{V}$	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3

$$\Delta U = U_{\text{标准}} - U_{\text{改装}}$$

校准曲线见附图2。

### 3. 改装为欧姆表

中值电阻为 304.4 $\Omega$

刻度对应关系:

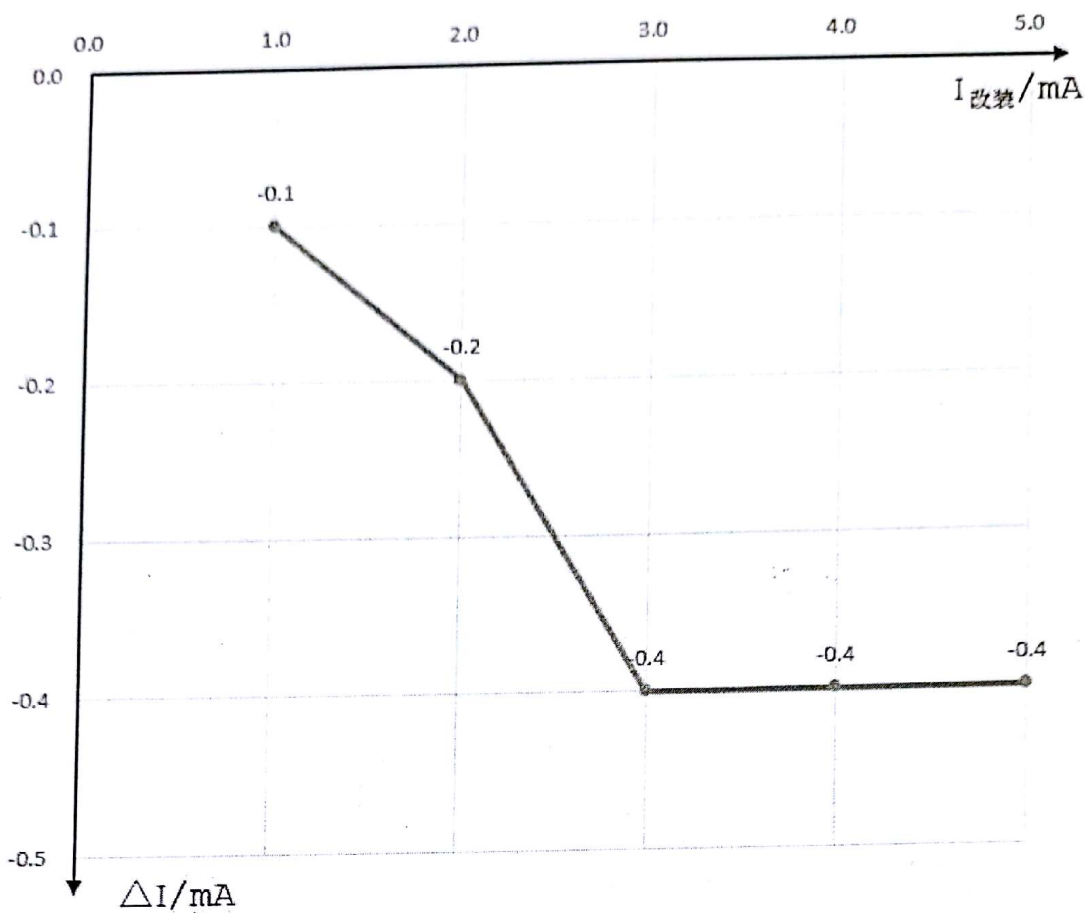
$R_x/\Omega$	0.0	34.4	65.9	105.7	154.1	212.6	290.1	396.1	544.0	779.0	1197.0	2067.0	3206.0	6316.0
$I_x/\text{mA}$	5.0	4.6	4.2	3.8	3.4	3.0	2.6	2.2	1.8	1.4	1.0	0.6	0.4	0.2

对应曲线见附图3

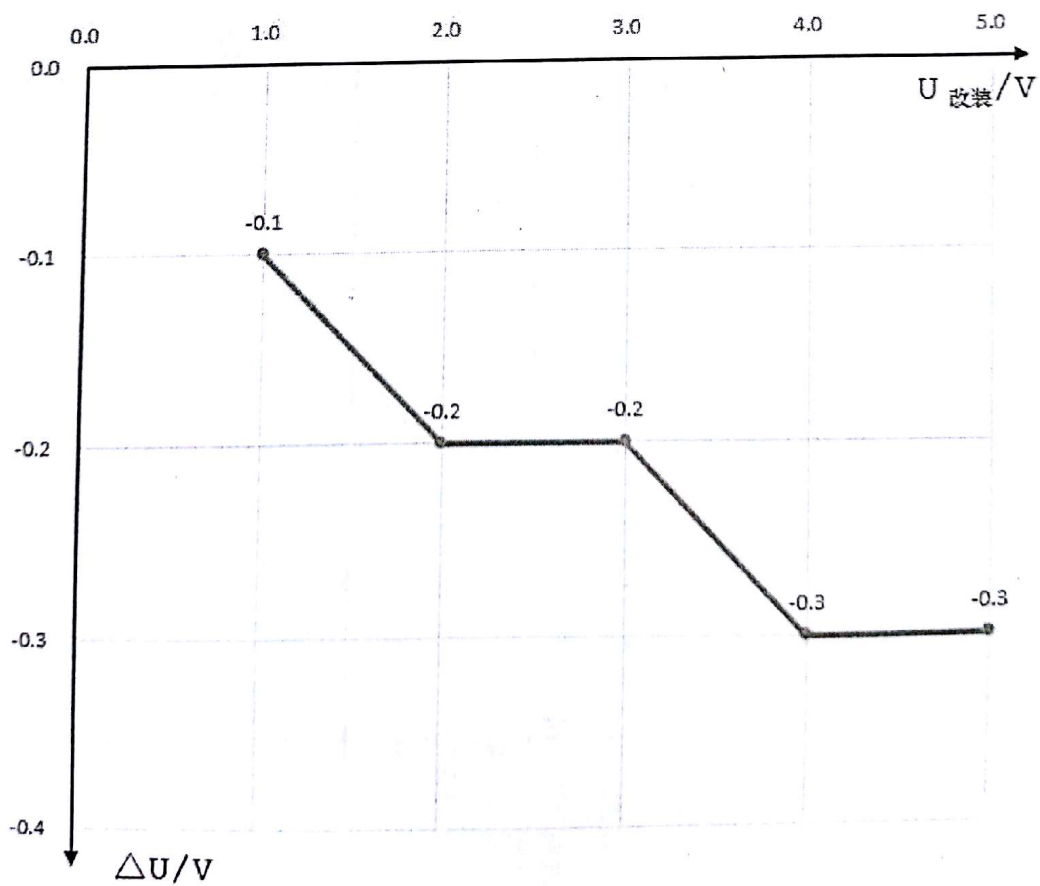
总体而言, 我们实现了用标准电流表改装成电流表 (5mA)、电压表 (5V) 和欧姆表。但由于方法和设备原因, 我们的实现存在较大误差。



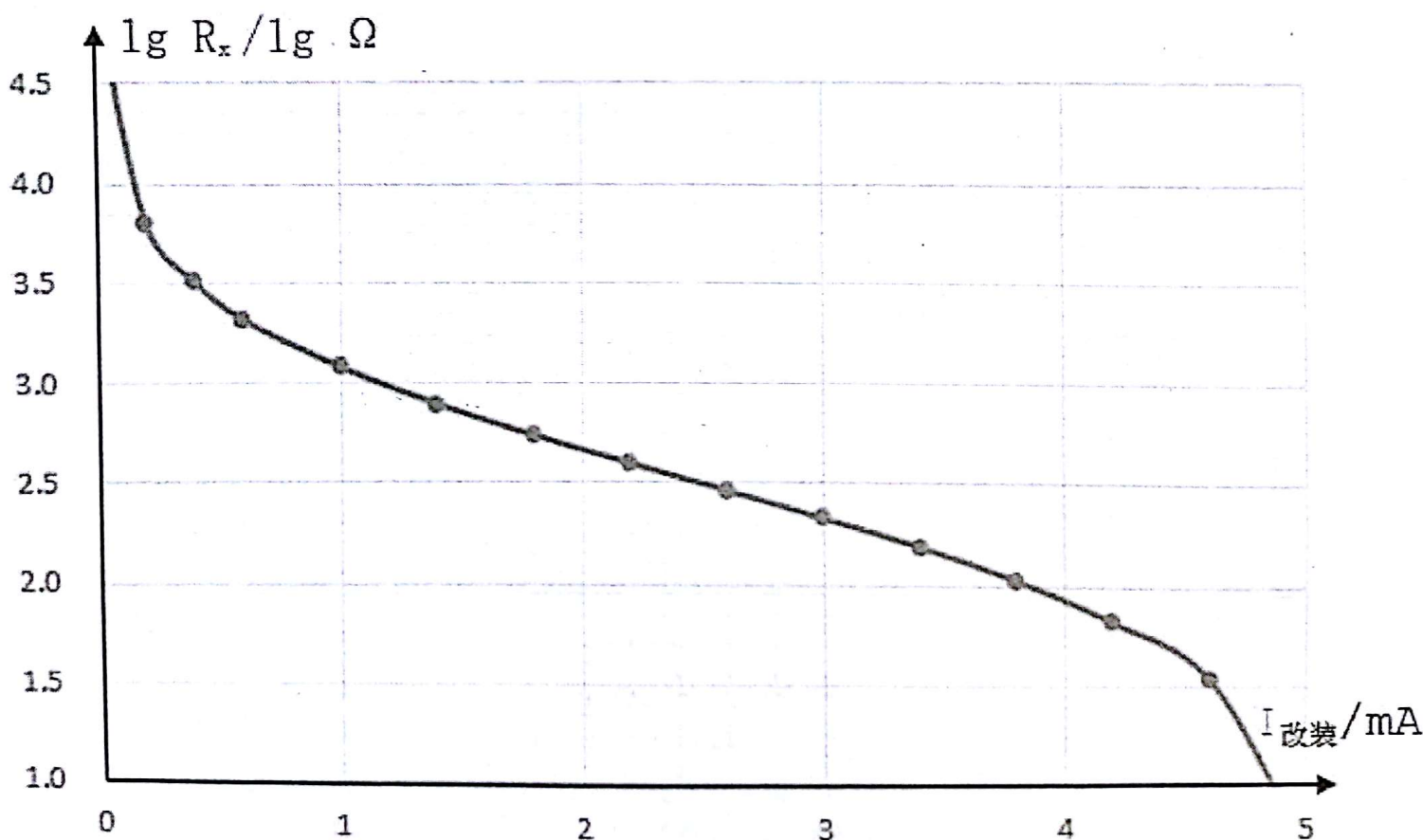
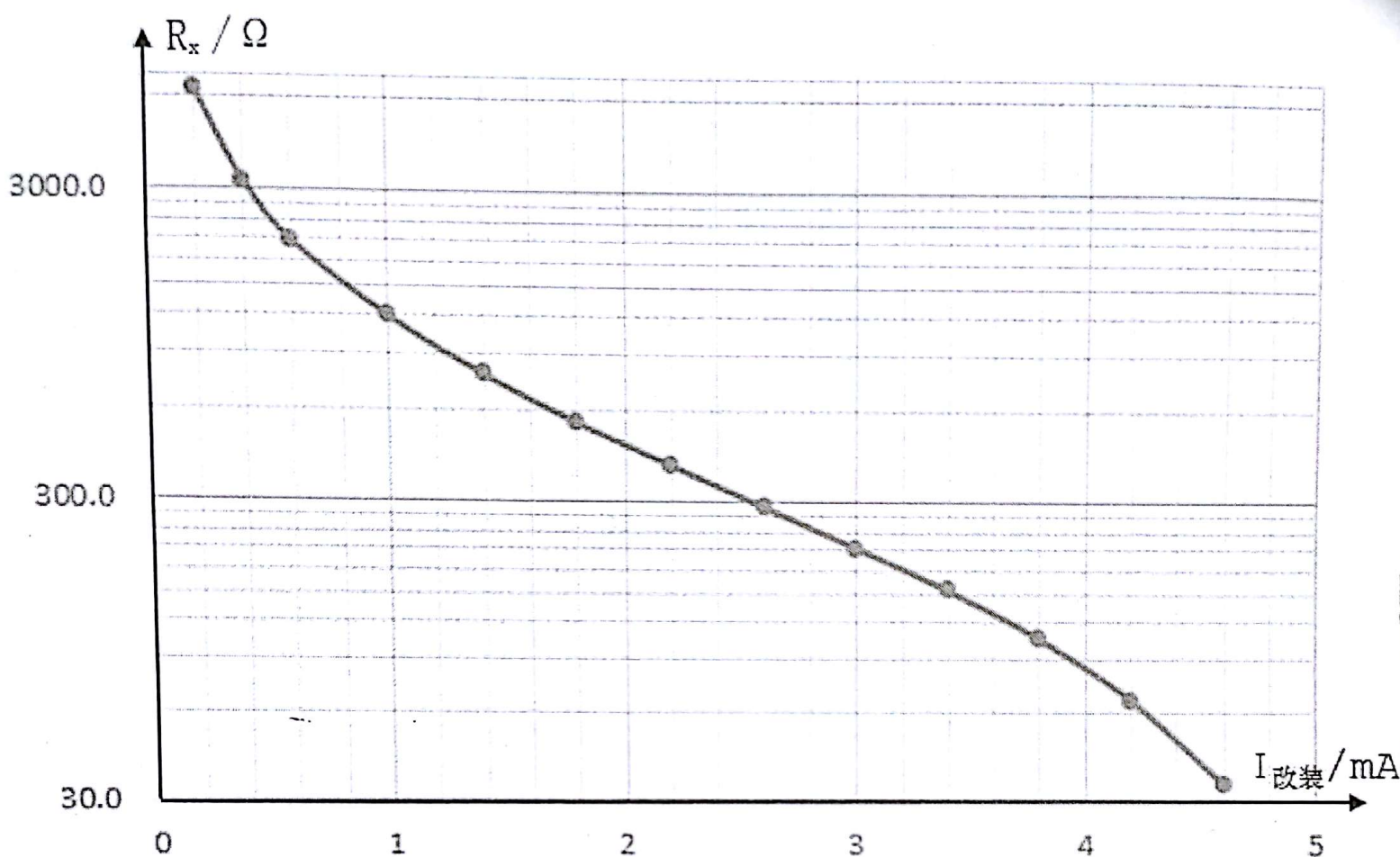
附图1 5mA 量程电流表的校准曲线



附图2 5V 量程电压表的校准曲线



附图 3 欧姆表的刻度对应关系



## 【误差分析】

1. 在前2个实验校准改装电流(压)表时, 表头上读出的改装电表示数只保留一位小数, 但用于校准的标准安培(伏特)表的结果有2位小数, 因此得出的 $\Delta I$ 和 $\Delta U$ 只有1位小数, 结果精度低。
2. 注意到校准电压表时标准电压表和表头指针都十分不稳定, 这说明装置存在较大的不稳定性, 因此实验2结果存在较大偏差。
3. 实验读数过程中存在视差。尤其是实验3对应刻度关系时, 很难找到确切使得电表指针指向刻度时的电阻。这会导致测得的 $R_x$ 有误差。

## 【实验心得及思考题】

思考题1. 测量值会大于真实值, 说明如下:

$$\text{由式⑦, ⑧, 新电池测量时} \begin{cases} I_g = \frac{\mathcal{E}}{R_g + R'} & \text{⑦} \\ I_x = \frac{\mathcal{E}}{R_g + R' + R_x} & \text{⑧} \end{cases} \quad \text{故 } R_x = \frac{\mathcal{E}}{I_x} - \frac{\mathcal{E}}{I_g} \quad \text{⑨}$$

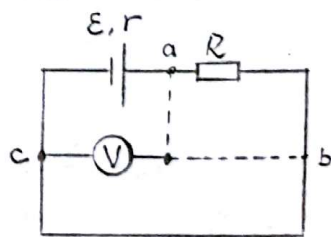
$$\text{旧电池测量时} \begin{cases} I_g'' = \frac{\mathcal{E}''}{R_g + R''} & \text{⑩} \\ I_x'' = \frac{\mathcal{E}''}{R_g + R'' + R_x} & \text{⑪} \end{cases} \quad \text{故 } R_x'' = \frac{\mathcal{E}''}{I_x''} - \frac{\mathcal{E}''}{I_g''} \quad \text{⑫}$$

$$\text{又 } I_g = I_g'' = I_0 \quad \text{⑬} \quad \text{则 } I_x'' = \frac{R_g + R' + R_x}{R_g + R'' + \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}''} R_x} I_x \quad \text{⑭}$$

而电源电动势变小, 因此 $\mathcal{E} > \mathcal{E}''$ , 故由⑭有 $I_x'' < I_x$ , 表头指针偏转变小, 电阻读数偏大。

思考题2. 不能。欧姆表内有电源。

测量方法: 如右图, 串联电源与电阻箱 $R$ , 将 $R$ 的电阻设为合适值, 分别用改装出的电压表测 $ac$ 、 $bc$ 间电压 $U_a = \mathcal{E} \frac{r}{R+r}$ ,  $U_b = \mathcal{E}$ , 则 $r = \frac{U_a}{U_b - U_a} R$ 。



思考题3. 可以。但由于表头量程很小, 因此需要给表头并联一个电阻箱, 调节其阻值使表头不超量程的前提下尽可能接近中值电阻, 读出欧姆表示数, 减去电阻箱阻值即可。

实验心得: 本次实验涉及了大学物理讲解较少的电路部分, 且思考题也有一定难度, 加深了我对这部分知识的认识。