

# 浙江大学

# 物理实验报告

实验名称: \_\_\_\_\_万用表的设计\_\_\_\_\_

实验桌号: \_\_\_\_\_

指导教师: \_\_\_\_\_居乐乐\_\_\_\_\_

班级: \_\_\_\_\_

姓名: \_\_\_\_\_

学号: \_\_\_\_\_

实验日期: 2025 年 10 月 27 日 星期二上午

(此处填实验选课系统内日期)

浙江大学物理实验教学中心

如有实验补做, 补做日期:

情况说明:

# 一、预习报告（10 分）

（注：将已经写好的“物理实验预习报告”内容拷贝过来）

## 1. 实验综述（5 分）

### （1）实验原理

万用表的核心部件是一个灵敏的磁电式电流计，通过外接不同形式和阻值的电阻，可以将其改装成能够测量电流、电压和电阻的多种功能的仪表。

磁电式电流计本身只能测量非常微弱的电流，其所能承受的最大电流被称为满偏电流，用  $I_g$  表示，电流计线圈有一定的电阻称为电流计的内阻，用  $R_g$  表示。

### 1、电流表的改装

为了测量远大于  $I_g$  的电流，需要将大部分电流分流，在电表表头两端并联一个分流电阻，分流电阻阻值为  $R = \frac{R_g \cdot I_g}{I - I_g}$ 。

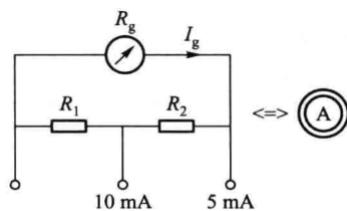


图 1 电流表的改装

### 2、电压表的改装

在电表表头串联一个分压电阻，分压电阻阻值为  $R = \frac{U}{I} - R_g$ 。

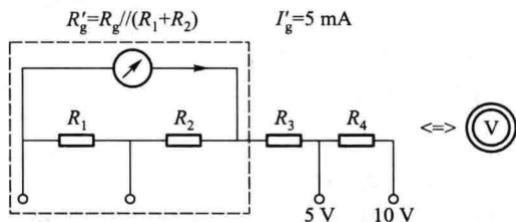
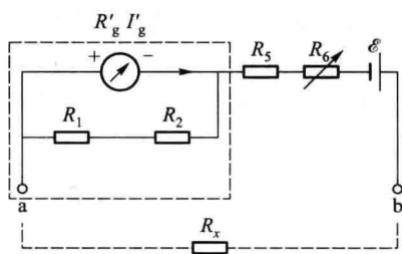


图 2 电压表的改装

### 3、欧姆表的改装

欧姆表的内部包含一个电源，短接电路两端，调节  $R$  使电流表满刻度，此时  $I_0 = \frac{E}{R_0 + R}$ 。

当待测电阻  $R_x$  接入回路， $I_x = \frac{E}{R_0 + R + R_x}$ 。



### 图 3 欧姆表的改装

#### (2) 实验内容

- 1、设计多量程电流表并校准；
- 2、设计多量程电压表并校准；
- 3、设计欧姆表并制作欧姆挡刻度曲线。

## 2. 实验重点

- (1) 了解指针式万用表测量电压、电流以及电阻的基本原理；
- (2) 掌握多量程电流表、电压表和万用表的设计方法。

## 3. 实验难点

- (1) 设计并校准多量程电流表、电压表；
- (2) 设计欧姆表。

## 二、原始数据 (20 分)

(将有老师签名的“自备数据记录草稿纸”的扫描或手机拍摄图粘贴在下方，完整保留姓名，学号，教师签字和日期。)

### 三、结果与分析 (60 分)

#### 1. 数据处理与结果 (30 分)

(列出数据表格、选择适合的数据处理方法、写出测量或计算结果。)

表头参数:  $I_g = 1mA$   $R_g = 239\Omega$

##### 1、电流表的改装

5mA 量程并联电阻的理论值计算:

$$R_1 = \frac{R_g \cdot I_g}{I - I_g} = \frac{R_g}{4} = 59.75\Omega \approx 60\Omega$$

最后一个数据, 表头比电流源先达到满偏值, 故电流源的读数  $I_{\text{准}}$  不是整数。

图 4  $\Delta I - I_{\text{准}}$  关系图

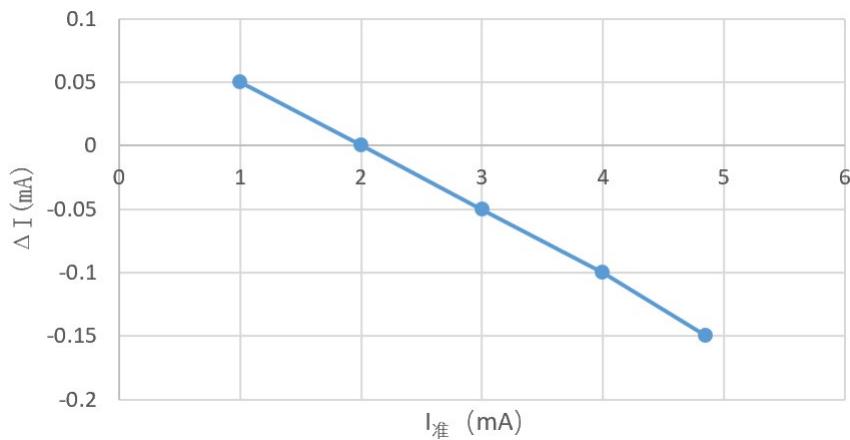


表 1 改装电流表实验数据

$I_{\text{准}} (\text{mA})$	1.00	2.00	3.00	4.00	4.85
$I_{\text{改}} (\text{mA})$	0.95	2.00	3.05	4.10	5.00
$\Delta I (\text{mA})$	0.05	0.00	-0.05	-0.10	-0.15

##### 2、电压表的改装

5V 量程串联电阻的理论值计算:

$$R'_g = 239\Omega // 60\Omega = 47.95\Omega$$

$$I'_g = 5mA$$
$$R_3 = \frac{(5 - R'_g I'_g)V}{5mA} = 952.2\Omega$$

同样，最后一个数据，表头比电压源先达到满偏值，故电压源的读数 $U_{\text{准}}$ 不是整数。

图 5  $\Delta U - U_{\text{准}}$ 关系图

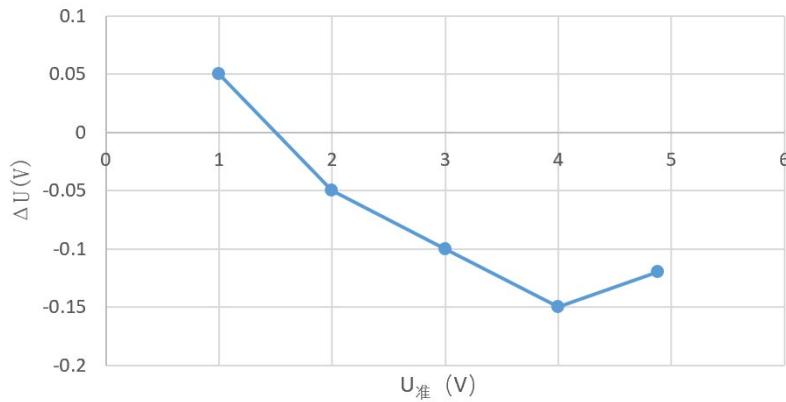


表 2 改装电压表实验数据

$U_{\text{准}} (\text{V})$	1.00	2.00	3.00	4.00	4.88
$U_{\text{改}} (\text{V})$	0.95	2.05	3.10	4.15	5.00
$\Delta U (\text{V})$	0.05	-0.05	-0.10	-0.15	-0.12

### 3、欧姆表的改装

调整 $R_3$ 使得表头满偏时， $R'_3 = 277.4 \Omega$

内阻理论值计算：

$$R_g' = R'_3 + R_g' = 325.35 \Omega$$

半偏时，测得内阻： $R_3' = 319.9 \Omega$

图 6 自制欧姆表刻度盘

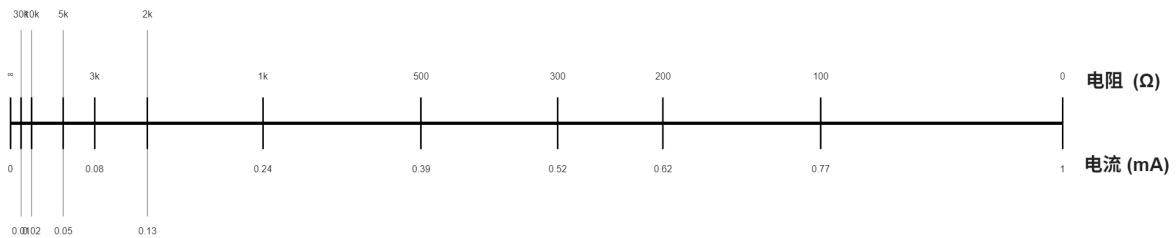


表 3 改装欧姆表实验数据

变阻箱 $R (\Omega)$	0	319.9	100	200	300	500	1k	2k	3k	5k	10k	30k	$\infty$
电流 $I (\text{mA})$	1.00	0.51	0.77	0.62	0.52	0.39	0.24	0.13	0.08	0.05	0.02	0.01	0

## 2. 误差分析 (20 分)

(运用测量误差、相对误差或不确定度等分析实验结果，写出完整的结果表达式，并分析误差原因。)

### 1、电流表的改装

根据实验数据，改装电流表的最大绝对误差出现在标准电流为 4.85mA 时， $E_r = \frac{|\Delta I_{max}|}{量程} \times 100\% = 3\%$ 。

从  $\Delta I - I_{\text{准}}$  关系图和数据表可以看出，误差  $\Delta I$  随  $I_{\text{准}}$  的增大而系统性地增减小，呈现出明显的线性趋势，而如果是随机误差，那么应该正负跳变；这表明实验中存在显著的系统误差。主要原因分析如下：

$R_1$  的阻值误差：理论计算所需的分流电阻为  $R_1=59.75\Omega$ ，而实验中使用的电阻箱最小调节精度为  $1\Omega$ ，实际取值为  $60\Omega$ 。实际使用的分流电阻值  $R_1'$  大于理论值  $R_1$ 。根据分流公式，当  $R_1'$  偏大时，流过表头的电流  $I_g'$  占总电流的比例会偏大，导致改装后的电表读数系统性地大于标准值，且总电流越大，这个绝对误差也越大。这与实验数据的趋势较为吻合。

表头参数误差：理论计算基于表头内阻和满偏电流。这两个参数本身可能存在测量误差，导致理论计算出的分流电阻值  $R_1$  并非理想值，从而引入系统误差。

随机误差：主要来源于指针的估读误差。在每个测量点进行读数时，都存在一定的人为视觉误差，但这属于随机误差，不会导致误差随电流呈单向线性变化。

### 2、电压表的改装

根据实验数据，改装电压表的最大绝对误差出现在标准电压为 4.00V 时  $E_r = \frac{|\Delta U_{max}|}{量程} \times 100\% = 3\%$ 。

从  $\Delta U - U_{\text{准}}$  关系图和数据表可以看出，误差  $\Delta U$  随  $U_{\text{准}}$  的增大而系统性地增减小，同样表现出明显的系统误差。主要原因分析如下：

$R_3$  的阻值误差：理论计算所需的分压电阻为  $R_3=952.2\Omega$ 。实验中实际使用的电阻值很可能小于此理论值。根据串联分压原理。当实际总内阻小于理论值时，对于同一个待测电压，流过表头的实际电流总会大于理论电流，从而使电压表指针偏转角度过大，导致读数系统性地偏大。这与实验数据观察到的趋势较为一致。

参数传递误差：电压表的改装是在电流表的基础上进行的，其等效内阻和满偏电流的计算都依赖于第一步的参数。因此，电流表改装中存在的系统误差会传递到电压表的设计中，造成误差累积。

随机误差：同样包含对电压表刻度的估读误差。

### 3、欧姆表的改装

测量内阻的相对误差： $\frac{|R_g' - R_3'|}{R_g'} = 1.7\%$

内阻测量误差来源：

理论值计算的误差累积：理论内阻的计算值依赖于前面步骤中使用的  $R_g$ 、 $R_1$ ，这些值本身的不确定性会累积到  $R_{\text{内}}$  的计算中。

**半偏法自身的局限性：**半偏法测量内阻的前提是电路中电源电动势恒定，且认为并联电阻箱后干路电流不变。实际上并联后总电阻减小，干路电流会增大，这会导致测得的内阻值偏小，这与我们观察到的结果相符。

欧姆表刻度误差来源：

**刻度的非线性特征：**欧姆表的电流 $I$ 与待测电阻 $R_x$ 呈非线性反比关系。在 $R_x$ 值很大时（靠近 $\infty$ 端），电流 $I$ 变化非常微小，指针移动极小的距离就代表了巨大的电阻变化，导致该区域的读数误差非常大。

**电源电动势  $E$  的不稳定性：**整个欧姆表的校准和测量都基于一个恒定的电源电动势 $E$ 。若实验过程中电池电压下降，会导致“零点”漂移，使得整个刻度失准，引入显著误差。

### 3. 实验探讨（10 分）

（对实验内容、现象和过程的小结，不超过 100 字。）

本次实验基于灵敏电流计，通过并联分流电阻和串联分压电阻，成功设计了指定量程的电流表和电压表，并利用内置电源制作了欧姆表，绘制出其非线性刻度。校准过程表明，电阻元件的理论与实际值差异是产生系统误差、影响电表精度的主要原因。

## 四、思考题（10 分）

（解答教材或讲义或老师布置的思考题，请先写题干，再作答。）

### 1、为什么不能用万用表欧姆档测量电源电阻？

首先会损坏万用表。欧姆挡利用表内自带的电池作为电源，向待测电阻提供一个微小的电流，通过测量这个电流的大小来换算出电阻值。用欧姆挡测量电源内阻时，会因为外部电源与表内电池直接连接而产生巨大电流，极易烧毁表头。

同时，此时的读数是由两个电源共同作用产生的，失去了物理意义。

### 2、为什么不能用欧姆表测量另一表头内阻？

表头是一种高灵敏度的精密元件，其内部线圈仅能承受毫安级别的微弱电流。而欧姆表在测量低阻值时会输出一个相对可观的电流，会远超被测表头的量程，有可能因为电流过大而烧毁表头线圈。因此，测量表头内阻必须使用能精确控制电流在安全范围内的专用电路，例如半偏法。

### 3、为什么 $I_x$ 与 $R_x$ 为非线性关系？

欧姆表测量电阻时，根据闭合电路欧姆定律，流过表头的电流 $I_x$ 满足： $I_x = \frac{U}{R_x + R_g}$ ，可见 $I_x$ 与 $R_x$ 为反函数形式的非线性关系。这种非线性的数学关系直接决定了欧姆表刻度盘不均匀的分布特征。在电阻值小的一端稀疏，而在电阻值大的一端密集。

**注意事项：**

1. 用 PDF 格式上传“实验报告”，文件名：学生姓名+学号+实验名称+周次。
2. “实验报告”必须递交在“学在浙大”本课程内对应实验项目的“作业”模块内。
3. “实验报告”成绩必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” - “选课系统”内查询。
4. 教学评价必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” - “选课系统”内进行，学生必须进行教学评价，才能看到实验报告成绩，教学评价须在本次实验结束后 3 天内进行。

浙江大学物理实验教学中心制