

浙江大学

物理实验报告

实验名称： 万用表的设计

实验桌号： 8

指导教师： 谭艾林老师

班级： -

姓名： -

学号： -

实验日期： 2025 年 11 月 10 日 星期 一 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）

（自述实验现象、实验原理和实验方法，包括必要的光路图、电路图、公式等。不超过 500 字。）

万用表的设计实验旨在通过改装电流计，使其成为具有多种量程的电流表、电压表和欧姆表，并了解其工作原理和设计方法。万用表是常用的测量工具，主要是由直流电流计及若干电阻构成。由于万用表具有多用途及使用方便等优点，它有着广泛的应用。本实验主要学会多量程电流表、电压表和万用表的设计及校正。

实验现象：

在实验中，通过在电流计两端并联或串联不同阻值的电阻，我们可以观察到电流计的量程发生变化，从而实现多量程电流表和电压表的功能。改装欧姆表时，通过调节电阻，可以观察到电流计指针的偏转与被测电阻之间的非线性关系。校准过程中，通过与标准电表的比较，可以发现改装后的电表存在误差，并可以通过调整电阻进行校正。

实验原理：

万用表主要由磁电式电流计和一系列电阻构成。电流计的两个重要参数是量程 I_g 和内阻 R_g 。 R_g 可以用替代法或者中值法获得。

1. 改装多量程电流表

将磁电式电流计改装成量程为 I 的电流表，需在电表表头两端并联一个分流电阻 R_s 。分流电阻阻值按以下公式计算：

$$R_s = \frac{R_g I_g}{I - I_g}$$

通过并联不同的分流电阻，可以构成不同量程的电流表。例如，设计 5mA 和 10mA 两个量程的电流表，其电路图如下：

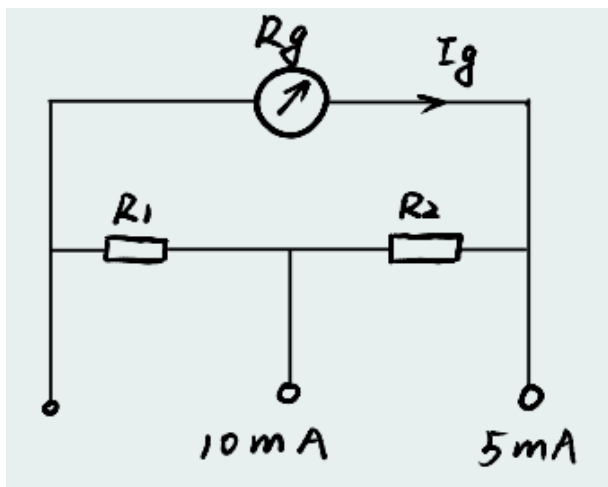


图 1: 多量程电流表改装电路

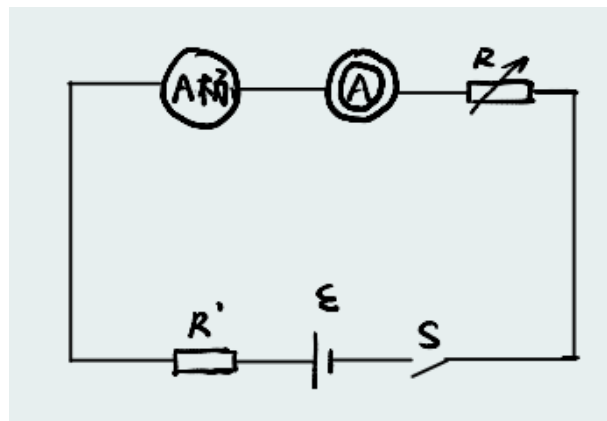


图 2: 多量程电流表校正电路

计算 R_1 和 R_2 值的公式为：

$$\begin{cases} (5 - I_g)(R_1 + R_2) = I_g R_g \\ I_g(R_2 + R_g) = (10 - I_g)R_1 \end{cases}$$

最后用标准安培表对改装后的电流表进行校正，并分析误差，校正电路见上图。

2. 改装多量程电压表

将电流计改装成量程为 U 的电压表，需串联一个分压电阻 R_v 。分压电阻阻值按以下公式计算：

$$R_v = \frac{U}{I'_g} - R'_g$$

其中 R'_g 为电流计等效内阻， I'_g 为电流计等效量程（采用改装后的电流表参数）。通过串联不同的分压电阻，可以得到不同量程的电压表。例如，设计 5V 和 10V 两个量程的电压表，其电路图如下：

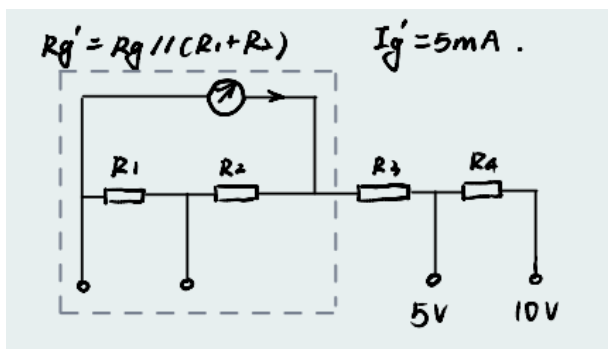


图 3: 多量程电压表改装电路

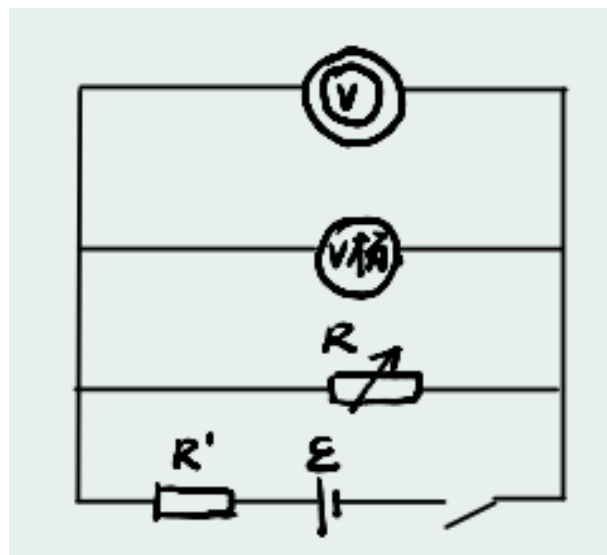


图 4: 多量程电压表校正电路

计算 R_3 和 R_4 值的公式为：

$$\begin{cases} R_3 = \frac{5V - I'_g R'_g}{I'_g} \\ R_4 = \frac{10V - 5V}{I'_g} \\ R'_g = \frac{R_g(R_1 + R_2)}{R_g + R_1 + R_2} \\ I'_g = 5mA \end{cases}$$

最后用标准伏特表对改装后的电压表进行校正，并分析误差，校正电路见上图。

3. 改装欧姆表

欧姆表改装原理是利用电流计的偏转与被测电阻之间的关系。电路图如下：

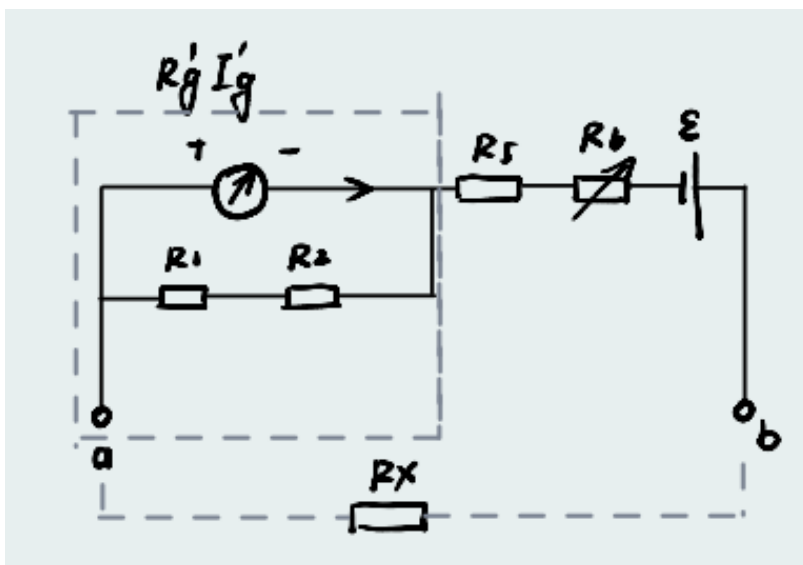


图 5: 改装欧姆表设计电路

短接 a、b 两端，调节电阻 R 使电流计满刻度，此时 $I_0 = \frac{\epsilon}{R'_g + R'}$ 。当接入待测电阻 R_x 后，回路电流为 $I_x = \frac{\epsilon}{R'_g + R' + R_x}$ 。由于 I_x 与 R_x 呈非线性关系，因此欧姆表的刻度是非均匀的。

实验装置与方法：

实验器材包括电流计、滑动变阻器、电源、旋钮电阻箱、保护电阻、标准安培表、标准伏特表和面包板等。

1. **电流表改装：**根据公式计算分流电阻值，通过旋钮电阻箱设置相应电阻，并联到电流计两端，构成多量程电流表。
2. **电压表改装：**根据公式计算分压电阻值，通过旋钮电阻箱设置相应电阻，串联到电流计回路中，构成多量程电压表。
3. **欧姆表改装：**搭建欧姆表电路，通过调节可调电阻进行调零，然后接入不同阻值的电阻，记录电流计读数，绘制 $I_x \sim R_x$ 曲线。
4. **校准与误差分析：**使用标准安培表和标准伏特表对改装后的电流表和电压表进行校准，记录数据并进行误差分析。

2. 实验重点（3 分）

（简述本实验的学习重点，不超过 100 字。）

1. 理解多量程电流表、电压表、欧姆表的设计原理和改装方法。
2. 掌握并联分流和串联分压在电表改装中的应用。
3. 学会万用表的校准方法和误差分析方法。

3. 实验难点（2 分）

（简述本实验的实现难点，不超过 100 字。）

本实验的难点在于精确计算和选择合适的电阻值，以保证改装后电表的准确性。同时，在面包板上正确搭建复杂电路并进行精细调节，以及进行严谨的校准和误差分析，也是实验成功的关键挑战。

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。)

一. 实验一: 测量电流计内阻

$I_1 = 1.00 \text{ mA}$ $\Rightarrow I' = 0.5 \text{ mA}$ 此时 $R_g = 235 \Omega$

又 $I_g = 1 \text{ mA}$

二. 改装

二. 改装电流表, 量程 5 mA .

$R(I_2 - I_g) = R_g I_g$, 计算得 $R \approx 59 \Omega$

实验序号	1	2	3	4	5
标准电流表读数 $I_{0.1}(\text{mA})$	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
改装电流表读数	1.06	2.05	3.04	3.95	5.00
校准后的并 联电阻 R_2			59 Ω		

三. 改装电压表

1	2	3	4	5
1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
1.11	2.12	3.10	4.05	5.00
		943 Ω		

四. 改装欧姆表

调零

I_x	0.5	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.
R_x	00	30.2	60.2	96.2	140.2	200.1	260.1	361.1	501.1	701.1	1101.1	1801.1	2643.1	

图 6: original data

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。）

预实验：测量电流计内阻

在本次实验中，我们使用中值法来测量电流计的内阻 R_g 。调整标准电流计示数至 1.00mA，此时调整可变电阻的阻值至电流计的示数 $I' = 0.5mA$ ，记录此时可变电阻的阻值 $R' = 235\Omega$ 。因此我们可以知道，电流计的内阻等于此时可变电阻的阻值，即 $R_g = 235\Omega$ 。

实验一：改装多量程电流表

首先，根据公式：

$$R_s = \frac{R_g I_g}{I - I_g}$$

计算出 5mA 量程所需的分流电阻值为： $R = 59\Omega$

表 1: 改装多量程电流表

实验次数	1	2	3	4	5
$I_{\text{标准}}/mA$	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
$I_{\text{改装}}/mA$	1.06	2.05	3.04	3.95	5.00
$\Delta I/mA$	0.06	0.05	0.04	-0.05	0
校准后的并联电阻 R_2	59 Ω				

用 matplotlib 绘制改装电流表与标准电流表的对比图以及 ΔI 变化曲线如下：

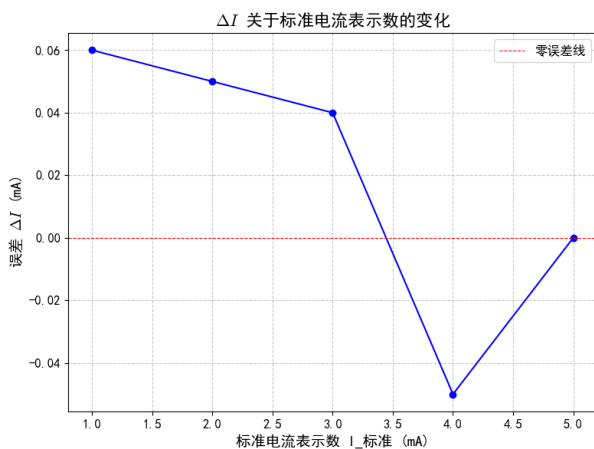


图 7: ΔI 变化曲线

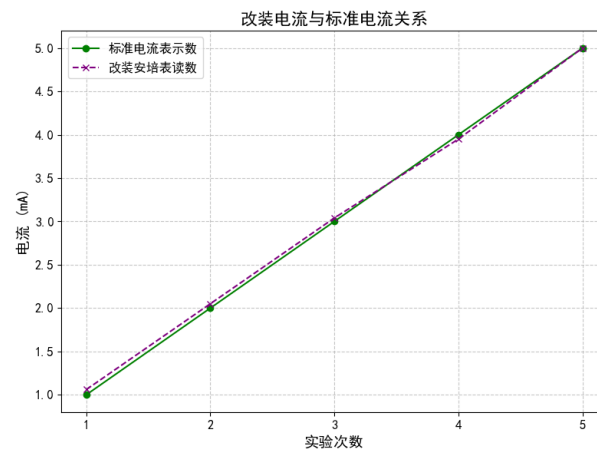


图 8: 测量电流与标准电流对比图

我的改装电流表等级为：

$$\text{电流表等级} = \frac{\text{最大绝对误差}}{\text{量程}} \times 100\% = \frac{0.06mA}{5mA} \times 100\% = 1.2\%$$

实验二：改装多量程电压表

首先，根据公式：

$$R_v = \frac{U}{I'_g} - R'_g$$

计算出 5V 量程所需的分压电阻值为： $R = 953\Omega$ 。

表 2: 改装多量程电压表

实验次数	1	2	3	4	5
$U_{\text{标准}}/mA$	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
$U_{\text{改装}}/mA$	1.11	2.12	3.10	4.05	5.00
$\Delta U/mA$	0.11	0.12	0.10	0.05	0
校准后的串联电阻 R_2	943 Ω				

用 matplotlib 绘制改装电压表与标准电压表的对比图以及 ΔU 变化曲线如下：

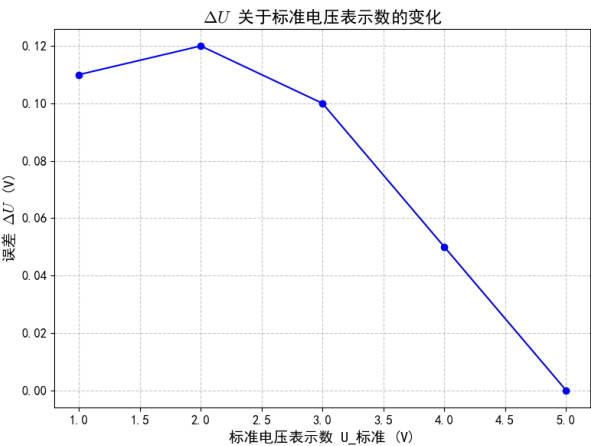


图 9: ΔU 变化曲线

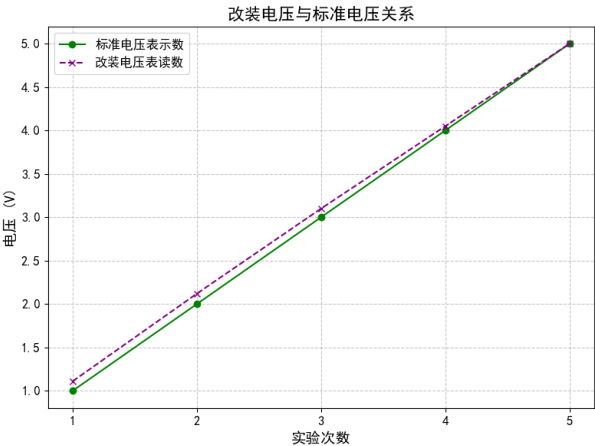


图 10: 测量电压与标准电压对比图

我的改装电压表等级为：

$$\text{电压表等级} = \frac{\text{最大绝对误差}}{\text{量程}} \times 100\% = \frac{0.12V}{5V} \times 100\% = 2.4\%$$

串联电阻的相对误差为：

$$\text{相对误差} = \frac{953\Omega - 943\Omega}{953\Omega} \times 100\% \approx 1.05\%$$

实验三：改装欧姆表

表 3: 改装欧姆表

I_x/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
R_x/Ω	0	30.2	60.2	96.2	140.2	200.1	260.1	361.1	501.1	701.1	1101.1	1801.1	2643.1	4443.1

右图是对电阻值取对数后的曲线，从两张曲线图中我们可以看出，在电流较大的区域（低电阻区），电阻刻度比较稀疏；而在电流较小的区域（高电阻区），电阻刻度则非常密集。总体来说，欧姆表刻度盘上的电阻值刻度是非均匀的。

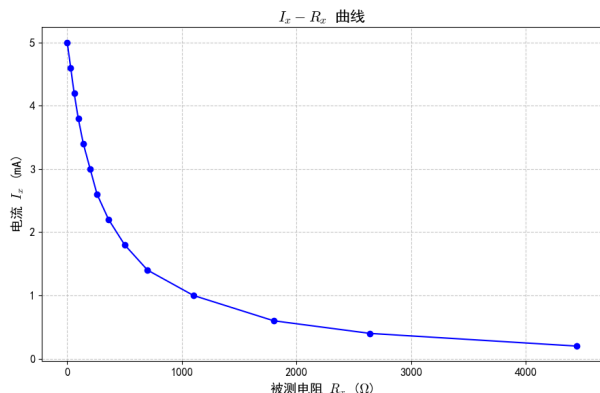


图 11: $I_x - R_x$ 曲线

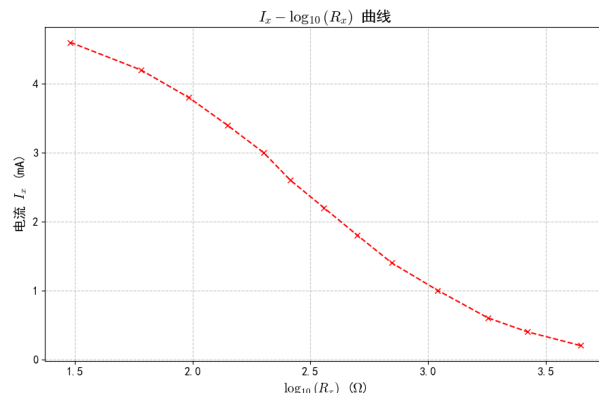


图 12: $I_x - \log(R_x)$ 曲线

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。）

在本实验中，我们通过改装电流计来设计多量程电流表、多量程电压表和欧姆表，并对其进行了校准和误差分析。以下是本次实验中的误差来源分析：

（电表等级分析以及相对误差的计算在实验数据处理部分已经完成）

1. 在对电流计进行读数的时候，我发现电流计的指针有时会出现抖动现象，导致读数不稳定，从而引入了读数误差。

2. 存在视差。电流计的指针在偏转角度较大的时候，并不与刻度完全重合（存在一定的夹角），导致我在读数时存在一定的估读误差。

3. 连接电路的导线也存在电阻，尤其是在小电阻测量时，导线的电阻不可忽略，且不同元件之间接触不良也可能引入额外的接触电阻。

4. 实验中使用的直流电源可能存在电压波动或内阻变化。在改装欧姆表的实验过程中，测量结果直接依赖于电源电压的稳定性。因此在测量过程中，如果电源输出不稳定，会导致测量结果不准确。

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。）

本次万用表的设计实验，旨在根据已有的电流计改装获得电流表电压表以及欧姆表。我们首先基于磁电式电流计，通过理论计算确定并联电阻阻值，改装并校准了 5mA 量程的电流表。接着，通过串联电阻的方法，改装并校准了 5V 量程的电压表。最后，我们搭建了欧姆表电路，观察到电流与电阻之间明显的非线性关系，经过这次实验，我对电表的改装以及量程的扩展有了更加深刻的认识。

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。）

思考题一：为什么不能用万用表欧姆挡测量电源的电阻？

万用表的欧姆挡是通过表内电池向被测电阻供电，并测量由此产生的电流来间接测量电阻值的。当使用欧姆挡测量电源电阻时，被测电源本身也提供电动势。这就会形成两个电动势同时作用的电路。如果被测电源的电压高于欧姆表内电池电压，或者两者方向相反，可能会导致：

1. **损坏欧姆表**：过大的电流可能烧毁欧姆表内部的电流计或精密电阻。

2. **测量结果不准确**：被测电源的电动势会干扰欧姆表内电池产生的电流，使流过电流计的电流不再仅仅由被测电阻决定，从而导致测量值严重偏离实际电阻。

因此，欧姆挡设计用于测量无源电阻（不带电的电阻），测量有源电阻（带电的电源）会带来危险并导致错误结果。

思考题二：为什么不能用欧姆表测量另一表头内阻？

欧姆表测量原理是利用表内电池提供电流，通过测量此电流来推算被测电阻的阻值。当用欧姆表测量另一个电流表（或电压表）的表头内阻时：

1. **欧姆表对表头放电**：欧姆表内电池会向被测表头供电，使表头指针发生偏转，此时流过表头的电流是欧姆表电池驱动的。

2. **表头内阻的特性**：另一个表头本身也是一个精密仪器，其内阻通常比较小。当欧姆表接入时，表头内部可能会产生瞬间过大的冲击电流，特别是对于灵敏度较高的电流表，这可能导致其线圈损坏，或使指针因过流而弯曲甚至烧毁。

因此，为了保护被测表头和确保测量安全，我们不应使用欧姆表来测量另一个表头的内阻。测量表头内阻通常需要采用替代法或中值法等方法。

思考题三：为什么 I_x 与 R_x 为非线性关系？

根据欧姆表的工作原理，当外接被测电阻 R_x 时，回路总电阻为 $R_{\text{total}} + R_x$ ，流过电流计的电流 I_x 为：

$$I_x = \frac{\epsilon_0}{R_{\text{total}} + R_x}$$

其中， ϵ_0 为欧姆表内电池的电动势， R_{total} 是欧姆表内部电路的总电阻（包括电流计内阻、调零电阻、限流电阻等）。

从上述公式可以看出， I_x 与 R_x 之间的关系并不是一个简单的线性正比或反比关系，而是一种非线性反比关系。

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