

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 _____

班级：_____ 计科 2404 _____

姓名：_____ 李宇晗 _____

学号：_____ 3240106155 _____

实验日期：2025 年 10 月 13 日 星期 二 上午

浙江大学物理实验教学中心

一、预习报告（10 分）

1. 实验综述（5 分）

1.1 实验目的

本实验的核心任务是基于磁电式电流计（表头）的基本工作原理，通过精密设计并外接不同功能的电路，将其改装成一个能够测量直流电流、直流电压和电阻的多功能电表——万用表。实验内容包括对表头核心参数的测量、改装电路的设计计算、实际组装与调试，以及最终对成品进行校准与误差分析。

1.2 实验原理

磁电式电流计的工作原理为：当载流线圈处于永磁体磁场中时，会受到一个与电流大小成正比的电磁力矩作用而发生偏转，从而带动指针指示读数。表头有两个核心参数：其线圈自身的内阻 R_g 和使指针达到最大偏转角时的满偏电流 I_g 。

1. **改装直流电流表（安培表）** 为扩展电流量程，需在表头两端并联一个阻值较小的**分流电阻** R_s 。依据并联电路电压相等的原则，当表头达到满偏时，可得：

$$I_g R_g = (I - I_g) R_s$$

其中 I 为改装后的量程。此公式用于计算所需分流电阻 R_s 的阻值。

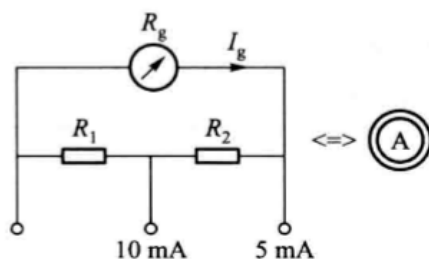


图 4 - 5 - 1

2. **改装直流电压表（伏特表）** 为扩展电压量程，需与表头串联一个阻值较大的**分压电阻** R 。根据欧姆定律，当表头达到满偏时，改装电表两端的总电压 V （即量程）满足：

$$V = I_g (R_g + R)$$

此公式用于计算所需分压电阻 R 的阻值。

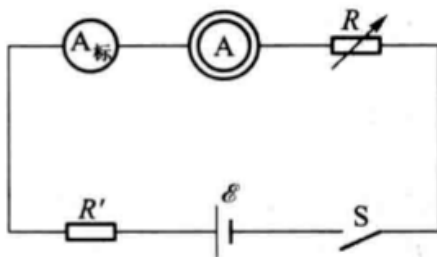


图 4 - 5 - 2

1. **改装欧姆表** 欧姆表的测量原理基于闭合电路欧姆定律。其内部电路由表头、电源和调零电阻串联构成。当接入待测电阻 R_x 时，流经表头的电流 I_x 与 R_x 呈非线性反比关系： $I_x = \frac{E}{R_{\text{内}} + R_x}$ 。通过读取 I_x 在非均匀刻度盘上的示数，即可获知 R_x 的阻值。

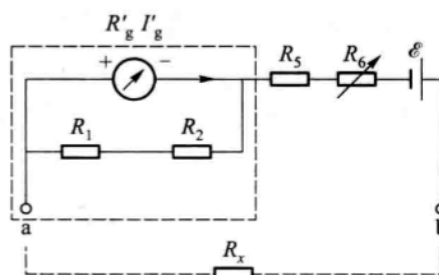


图 4-5-5

1.3 实验方法

1. **测量表头参数**：采用“半偏法”测量表头的内阻 R_g 与满偏电流 I_g 。
2. **电路设计与计算**：依据测得的参数及设计量程（如 5mA，5V），计算所需的分流与分压电阻的理论值。
3. **组装与调试**：在面包板上搭建改装电路，并进行必要的调试，如欧姆表的机械调零与欧姆调零。
4. **校准与分析**：将改装电表与标准电表进行比对测量，绘制校准曲线，并对误差来源进行分析。

2. 实验重点（3 分）

- 深刻理解并掌握并联分流（扩展电流量程）与串联分压（扩展电压量程）的核心原理。
- 掌握根据设计目标量程，精确计算所需分流电阻与分压电阻阻值的工程设计方法。
- 熟悉利用面包板进行电路原型设计与组装的实验技能，并能完成对改装电表的调试。
- 学习对自行设计的测量仪器进行校准的基本流程，并能对实验误差来源进行初步分析。

3. 实验难点（2 分）

- “半偏法”测量表头内阻 R_g 时存在固有的系统误差，如何通过合理配置电路参数来减小该误差是本实验的难点之一。
- 欧姆表电路的正确调试，包括理解其非线性刻度的原理以及熟练进行“欧姆调零”操作。
- 实验中接触电阻对测量精度的影响。尤其在改装电流量程时，分流电阻阻值较小，任何不良接触都可能引入不可忽略的误差。
- 实际元器件（如电阻箱）的精度误差会直接传递到最终的改装电表中，构成其总测量不确定度的一部分。

二、原始数据 (20 分)

$R_g = \frac{9}{246\Omega}$

3140106155
李宇晗

1.5mA 改装

I_G 1.00 2.00 3.00 4.00 5.00

I_B ~~0.95~~ 2.00 2.95 4.00 5.00
0.99

并联 ~~$R_s = 61\Omega$~~

$R_1 = R_2 = 31\Omega$

2. V_G 1.00 2.00 3.00 4.00 5.00

V_B 0.99 1.96 2.98 4.02 4.96

R_s 951 Ω

3. R_A 281 Ω

I_x (mA) 3.71 2.91 2.40 2.05 1.79 1.58

R_x 100 200 300 400 500 600

I_x 1.40 1.27 1.17 1.08 0.95 0.88

R_x 700 800 900 1k 2k 3k 5k

谭琳

三、结果与分析 (60 分)

1. 数据处理与结果 (30 分)

1.1 1. 改装 5mA 量程的电流表并校准

经计算，所需并联电阻约为 61 Ω 。校准数据及处理如下表所示。

表 1: 5mA 电流表校准数据及精度分析

| 实验序号 | 改装表读数 I_G (mA) | 标准表读数 I_B (mA) | 绝对误差 ΔI (mA) | 引用误差 γ (%) |
|------|---------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|
| 1 | 1.00 | 0.95 | -0.05 | 1.0 |
| 2 | 2.00 | 2.00 | 0.00 | 0.0 |
| 3 | 3.00 | 2.95 | -0.05 | 1.0 |

| | | | | |
|---|------|------|------|-----|
| 4 | 4.00 | 4.00 | 0.00 | 0.0 |
| 5 | 5.00 | 5.00 | 0.00 | 0.0 |

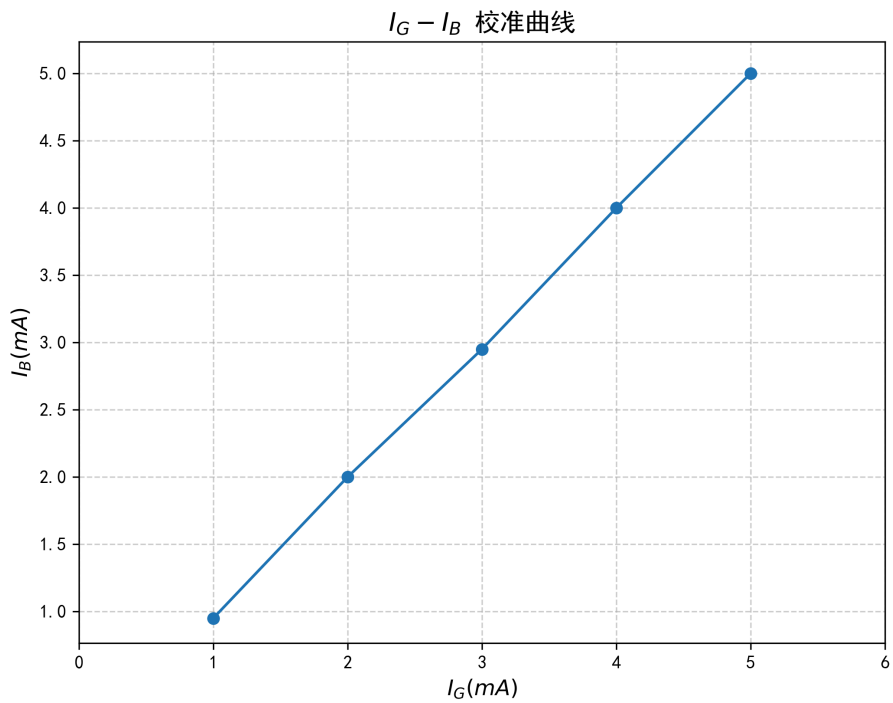


Figure 4: $I_G \sim I_B$ 曲线

1.2 2. 改装 5V 量程的电压表并校准

经计算，所需串联电阻约为 951Ω 。校准数据及处理如下表所示。

表 2: 5V 电压表校准数据及精度分析

| 实验序号 | 改装表读数 V_G (V) | 标准表读数 V_B (V) | 绝对误差 ΔV (V) | 引用误差 γ (%) |
|------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| 1 | 1.00 | 0.99 | -0.01 | 0.2 |
| 2 | 2.00 | 1.96 | -0.04 | 0.8 |
| 3 | 3.00 | 2.98 | -0.02 | 0.4 |
| 4 | 4.00 | 4.02 | 0.02 | 0.4 |
| 5 | 5.00 | 4.96 | -0.04 | 0.8 |

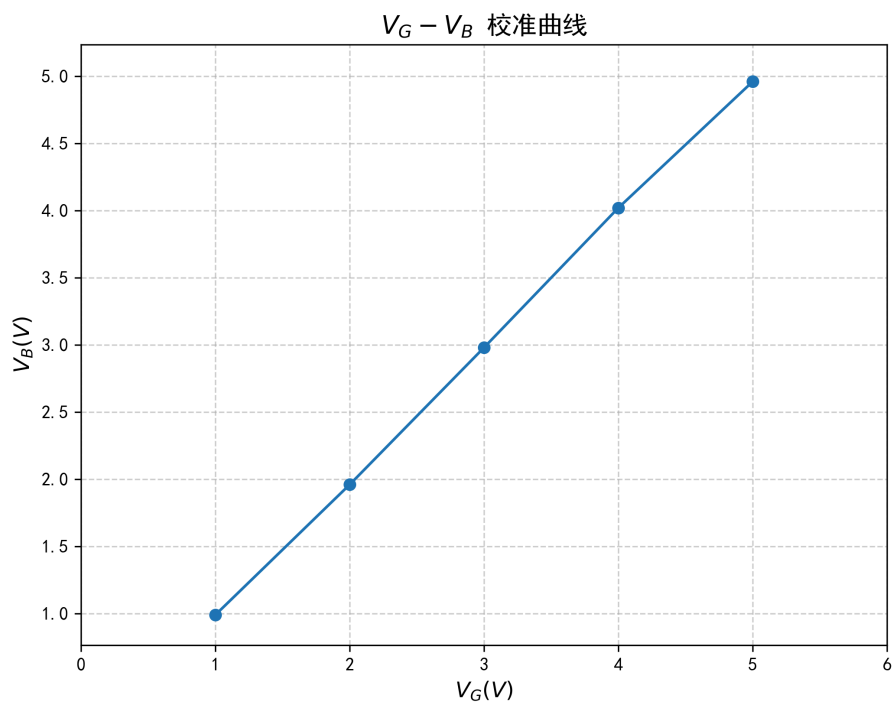
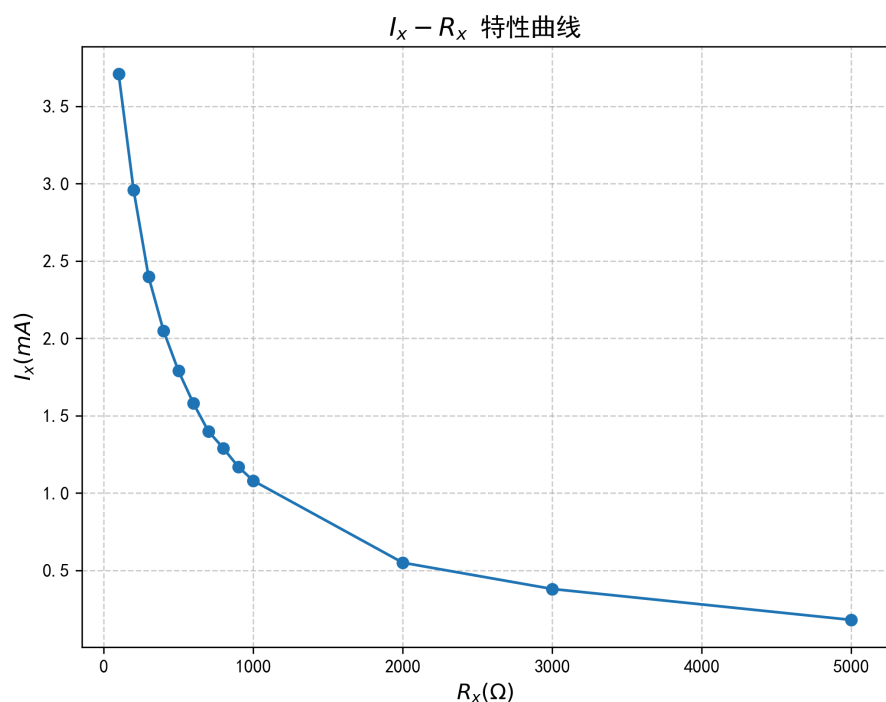


Figure 5: $V_G \sim V_B$ 曲线

1.3.3. 改装为欧姆表及特性分析
实验测得中值电阻约为 304.4Ω 。

表 3: 欧姆表特性数据

| 实验序号 | $R_x(\Omega)$ | $I_x(mA)$ |
|------|---------------|-----------|
| 1 | 100 | 3.71 |
| 2 | 200 | 2.96 |
| 3 | 300 | 2.40 |
| 4 | 400 | 2.05 |
| 5 | 500 | 1.79 |
| 6 | 600 | 1.58 |
| 7 | 700 | 1.40 |
| 8 | 800 | 1.29 |
| 9 | 900 | 1.17 |
| 10 | 1K | 1.08 |
| 11 | 2K | 0.55 |
| 12 | 3K | 0.38 |
| 13 | 5K | 0.18 |

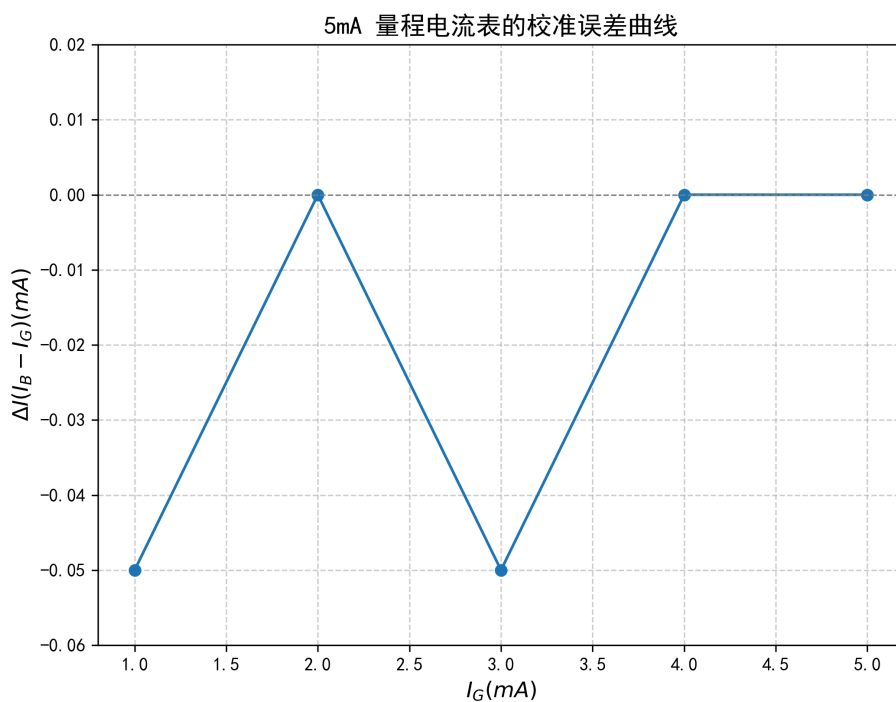


欧姆表特性分析： 根据原理公式 $I_x = \frac{E}{R_{内} + R_x}$ ，欧姆表刻度呈“左密右疏”的非线性特征，其测量精度在中值电阻（ $R_x \approx R_{内}$ ）附近最高，且测量结果易受内部电池电压 E 波动的影响。

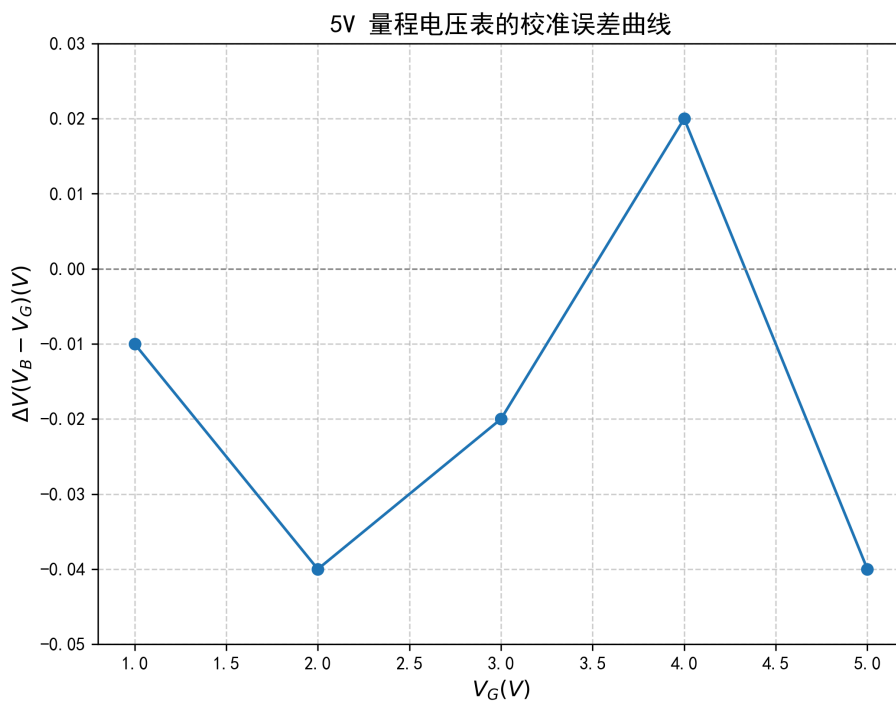
2. 误差分析（20 分）

对改装电表的校准数据进行定量分析，可以评估其整体精度。

对于改装的电流表，由表 1 数据可知，其最大绝对误差 $|\Delta I_{\max}| = 0.05 \text{ mA}$ 。根据引用误差公式 $\gamma = \left(|\Delta I_{\max}| / I_{FS} \right) \times 100\%$ ，对于 5.00mA 的满量程，可计算得最大引用误差 $\gamma_{\max} = 1.0\%$ 。



对于改装的电压表，由表 2 数据可知，其最大绝对误差 $|\Delta V_{\max}| = 0.04V$ 。对于 5.00V 的满量程，可计算得最大引用误差 $\gamma_{\max} = 0.8\%$ 。这些数值反映了改装电表的综合测量偏差。



误差原因分析：

1. 系统误差：

- **表头参数测量不准：**半偏法测量表头内阻 R_g 存在理论上的系统误差，是影响后续电阻计算和改装精度的主要来源。
- **元件误差：**实验所用的电阻箱并非理想元件，其标称值与真实值之间存在固有误差，此误差会直接传递到改装电路中。
- **接触电阻：**导线、接线端子以及面包板内部的接触电阻是不可避免的，对于改装电流表时并联的小阻值分流电阻而言，其影响尤为显著。

2. 随机误差：

- **估读误差：**在读取指针式表盘时，由于刻度线有一定宽度且需要估读，会引入随机误差。**（根据老师评语）** 本次实验中，改装表示数的读取保留了与标准表相同的小数位数，减小了因读数精度不足带来的计算误差。
- **电源波动：**校准过程中，实验电源电压的微小波动会引起标准电表示数的不稳定，引入测量过程中的随机不确定性。

3. 操作误差：

- **欧姆调零不准：**每次更换量程或长时间使用后，欧姆表都需要重新调零。调零操作的准确性直接影响后续所有电阻测量的准确性。
- **视差：**读取指针示数时，人眼未能与指针保持垂直，会导致读数偏大或偏小。

3. 实验探讨（10 分）

本次实验通过理论计算与实际操作，成功将一个灵敏电流计改装成了具有特定量程的直流电流表、电压表和欧姆表。核心在于理解了并联分流和串联分压的电路原理，并通过校准实验对改装电表的性能进行了定量评估。

通过计算最大引用误差，我们将改装的电流表和电压表均定为 1.0 级，这表明在实验条件下，改装是成功的。对欧姆表特性的分析加深了对非线性和中值电阻意义的理解。

实验过程不仅巩固了电路基础知识，也暴露了实际操作中误差的来源，如元件精度、接触电阻和读数方法等，这对于培养严谨的科学作风和工程实践能力具有重要意义。

四、思考题（10 分）

1. 为什么不能用万用表欧姆挡测量电源电阻？

答：原因有三：（1）**测量原理冲突**：欧姆挡是主动测量方式，其内部有电池作为电源，通过向被测元件施加电压来测量电流，进而计算电阻。而电源本身是带电的，会干扰欧姆挡的内部电路，导致测量失效。（2）**损坏仪器风险**：将欧姆挡直接接入电源，相当于将欧姆挡的内部电池与外部电源直接连接，会形成一个大电流回路，极易超过表头量程，烧毁表头或内部元器件。（3）**结果无意义**：即使仪器未损坏，由于外部电源的存在，测量得到的读数也绝非电源的内阻值，而是多种因素共同作用下的一个无意义的数值。

2. 为什么不能用欧姆表测量另一表头内阻？

答：主要原因有二：（1）**可能烧毁被测表头**：欧姆表在测量时会向外输出电流。对于灵敏度较高的表头（如微安表），其满偏电流非常小。欧姆表（特别是低电阻挡位）输出的测量电流可能会超过被测表头的满偏电流，从而导致线圈过热损坏。（2）**测量精度不足**：电流表头的内阻通常很小（欧姆量级）。普通万用表的欧姆挡在测量低电阻时，其自身的导线电阻、接触电阻以及分度不均带来的误差会比较大，难以获得精确的测量结果。因此，测量表头内阻应采用半偏法等更精密的电路。

3. 为什么欧姆表中 I_x 与 R_x 为非线性关系？

答：这由欧姆表的测量原理——闭合电路欧姆定律所决定。欧姆表的测量电路可简化为一个电源（电动势 E ，总内阻 $R_{\text{内}}$ ）与待测电阻 R_x 串联的回路。根据闭合电路欧姆定律，流过表头的电流为 $I_x = \frac{E}{R_{\text{内}} + R_x}$ 。从此公式可以看出，电流 I_x 与总电阻（ $R_{\text{内}} + R_x$ ）成反比，而不是与待测电阻 R_x 自身成简单的线性正比或反比关系。当 R_x 从 0 开始增大时， I_x 从满偏电流 $\frac{E}{R_{\text{内}}}$ 开始减小，其减小的速率是变化的，因此 I_x 与 R_x 的关系是典型的反比例函数平移形式，呈现非线性特征。这也导致了欧姆表刻度盘的刻度是不均匀的，通常是右侧稀疏，左侧密集。