

# 测量电阻的 DIS 实验方法比较研究

郭强友 倪敏 杨阳 杜晓贺

(上海师范大学数理学院 上海 200234)

(收稿日期:2019-06-05)

**摘要:**普通高中物理课程标准(2017版)中指出培养学生核心素养的重要性.文章中以电学中测定值电阻阻值的探究实验为基础,对实验进行拓展,补充伏安法、补偿法、等效法、电桥法等测量电阻的方法,对同一电阻进行测量,让学生在实验进程中体会科学探究的过程,增强提出问题、列举证据等能力;培养学生对实验结果合理质疑等科学态度与责任;从各方面培养学生物理学科核心素养.

**关键词:**DIS 实验 伏安法 补偿法 等效法 电桥法 物理实验教学

物理实验是中学物理教学的重要组成部分.物理实验不仅考查学生的物理基础知识,同时也是对学生动手能力、科学探究能力的综合考查.在学生动手操作的过程中,能够锻炼学生发现问题、解决问题的能力<sup>[1]</sup>.

本文选取电学实验中测量电阻的实验,用伏安法、等效法、补偿法、电桥法4种实验方法对同一待测电阻的阻值进行测量,得到实验数据,并从实验原理、实验步骤、测量误差等不同方面比较不同方法测电阻的优缺点,并对实验方法进行改进与拓展.

## 1 理论基础

测量电阻阻值的主要原理是欧姆定律与电路中不同连接方式的元件之间的电流电压关系.在中学物理实验教学中,考虑到中学生的知识水平、动手能力等限制,在设计实验方案时应做到实验原理简单、实验器材为实验室中常用器材、实验操作简明等特点.

## 2 实验原理

### 2.1 伏安法

伏安法测电阻的实验原理是

$$R = \frac{U}{I}$$

在实验操作中伏安法有两种不同的电路连接方法,即电流表的内接法和电流表的外接法.计算待测电阻的阻值时,也有两种常用的方法:一是可以采用多次测量,求平均值;二是通过作图的方式求电阻,利用测量的数据作出  $U-I$  图像,得到电阻的伏安特性曲线,其斜率即为待测电阻的阻值.

#### 2.1.1 内接法

电流表的内接法电路图如图1所示.

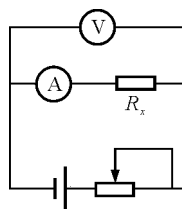


图1 内接法实验原理图

内接法系统误差的来源是电流表的内阻分压.用  $R'$  表示实验中得到的待测电阻的阻值,理论上可得

$$R' = \frac{U_x + U_A}{I}$$

由此可知  $R' > R_x$ . 即实验所得到的待测电阻的值应大于待测电阻的真实电阻值.

作者简介:郭强友(1994-),男,在读硕士研究生,研究方向为学科教学物理.

通讯作者:倪敏(1960-),女,副教授,硕士生导师,主要从事物理教育和物理实验研究.

## 2.1.2 外接法

电流表的外接法电路图如图2所示.

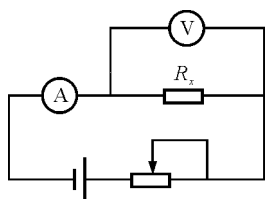


图2 外接法实验原理图

外接法系统误差来自电压表的分流. 同样, 用  $R'$  表示实验中得到的待测电阻的阻值, 则

$$R' = \frac{U}{I_x + I_V}$$

与待测电阻的真实值  $I = \frac{U}{R}$  相比较, 可以知道  $R' < R_x$ . 即实验所得的电阻小于待测电阻的真实值.

## 2.2 补偿法

补偿法在物理实验中应用的范围比较广, 如在光学实验中可以用光程补偿法来测量薄膜的厚度. 在物理实验中合理地运用补偿法可以消除一些非对称因素对实验造成的影响.

伏安法测量电阻时, 内接法电流表的分压使通过待测电阻电流的损失, 可以用电流补偿法进行改进; 外接法电压表的分流使待测电阻两端电压损失, 可以用电压补偿法进行改进.

## 2.2.1 电压补偿法

电压补偿法的电路图如图3所示.  $R_x$  为待测电阻,  $E$  和  $E'$  为电源,  $R_1$  和  $R_2$  为滑动变阻器.

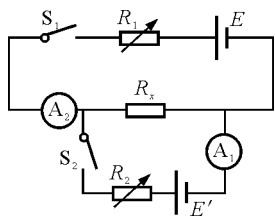


图3 电压补偿法实验原理图

实验时, 调节滑动变阻器  $R_1$  使电流传感器  $A_1$  的示数为零, 电流表的示数就是通过待测电阻的电流. 待测电阻的阻值  $R_x = \frac{E'}{I_2}$  [2].

## 2.2.2 电流补偿法

电流补偿法的实验原理如图4所示.  $E$  和  $E'$  分别为两电源,  $E'$  为补偿电源. 实验时调节滑动变阻

器使电流传感器  $A_2$  的示数为零, 则待测电阻的阻值

$$R_x = \frac{U}{I_1}.$$

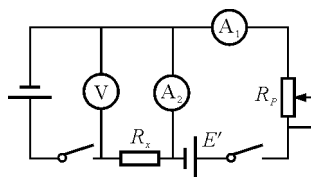


图4 电流补偿法实验原理图

## 2.3 等效法

等效法是物理实验中较常用的一种科学方法. 在探究力的合成平行四边形法则时同样用到了等效的方法. 合理地运用等效的方法, 可以使实验操作更加简单, 使实验更为直观.

## 2.3.1 电流等效法

电流等效法的电路图如图5所示.  $R_x$  为待测电阻,  $R_1$  为电阻箱, 电流表  $A_1$  和  $A_2$  分别测待测电阻和电阻箱所在支路电流, 当两电流表  $A_1$  和  $A_2$  的示数相等时, 由欧姆定律  $I = \frac{U}{R}$  可以导出此时  $R_1 = R_x$  [3].

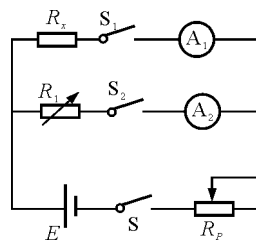


图5 电流等效法实验原理图

## 2.3.2 电压等效法

电压等效法的电路图如图6所示, 由串联电路的分压规律可以推导出, 当电压表的示数相同时, 电路的状态相同, 有  $R_1 = R_x$ .

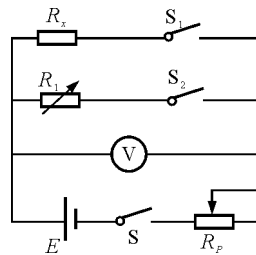


图6 电压等效法实验原理图

## 2.4 惠斯通电桥法

电桥法的实验原理如图7所示.  $R_1$  和  $R_2$  为电桥

比例臂,  $R_s$  为电桥比较臂,  $R_x$  为待测电阻,  $A$  为电流传感器. 当  $BD$  两点电势相等时, 桥路  $BD$  之间无电流通过, 此时电桥达到平衡状态. 平衡时电路中电阻的关系为<sup>[4]</sup>

$$\frac{R_x}{R_s} = \frac{R_1}{R_2}$$

则

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s$$

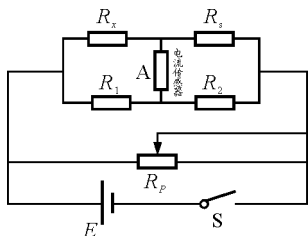


图7 电桥法实验原理图

### 3 实验过程及测量结果

实验之前用数字万用表对待测电阻的阻值进行测量. 在《普通高中物理课程标准(2017年版)》中, “用多用电表测量电学中的物理量”是必修3课本中, 学生的必做实验之一.

数字万用表测得待测电阻值为  $200 \Omega$ , 将其作为待测电阻的标准值.

#### 3.1 伏安法

(1) 根据实验原理图连接实验器材, 将传感器正确连入电路中, 并对传感器进行调零.

(2) 移动滑动变阻器的滑片, 待电流、电压传感器的示数稳定后, 记下各组电流电压值.

(3) 单击“绘图”, 绘出  $U-I$  图像并单击“拟合”, 选择“线性拟合”, 得到拟合方程.

实验得到内接法实验数据及  $U-I$  图像分别如表1和图8所示.

表1 内接法实验数据表

| $I_1/A$ | $U_2/V$ |
|---------|---------|
| 0.02    | 4.03    |
| 0.03    | 5.95    |
| 0.04    | 8.08    |
| 0.05    | 10.06   |
| 0.06    | 12.08   |
| 0.07    | 14.07   |

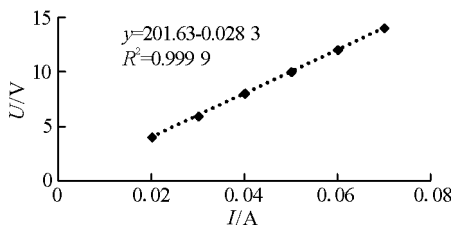


图8 内接法  $U-I$  图像

通过拟合直线可知: 待测电阻阻值为  $201.6 \Omega$ , 相对误差  $\eta = 0.8\%$ .

同样的实验步骤得到外接法实验数据及  $U-I$  图像分别如表2和图9所示.

表2 外接法实验数据表

| $I_1/A$ | $U_2/V$ |
|---------|---------|
| 0.02    | 4.03    |
| 0.03    | 5.97    |
| 0.04    | 8.04    |
| 0.05    | 9.92    |
| 0.06    | 12.20   |

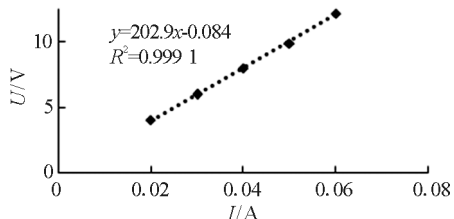


图9 外接法  $U-I$  图像

通过拟合直线可知: 待测电阻阻值为  $204.1 \Omega$ , 相对误差  $\eta = 2.0\%$ .

#### 3.2 补偿法

##### 3.2.1 电压补偿法

(1) 按照实验原理图正确连接实验器材, 并确保使电源电动势  $E$  足够大 ( $E > E'$ ).

(2) 先后闭合开关  $S_1$  和  $S_2$ , 调节滑动变阻器  $R_1$  使电流传感器  $A_1$  的示数  $I_1$  减小为零.

(3) 单击“点击记录”记录电流传感器示数  $I_2$ ; 单击“添加变量”添加  $E'$ , 为补偿电源电压. 单击“添加公式”, 添加公式:  $R_x = \frac{E'}{I_2}$ , 计算电阻值, 多次测量求平均值.

实验得到电压补偿法实验数据如表3所示。

表3 电压补偿法实验数据表

| $I_1/A$ | $I_2/A$ | $U_3/V$ | $R = \frac{U_3}{I_2}/\Omega$ |
|---------|---------|---------|------------------------------|
| 0.00    | 0.05    | 10.03   | 200.600 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.03   | 200.600 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.00   | 200.000 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.03   | 200.600 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.01   | 200.200 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.01   | 200.200 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.01   | 200.200 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.01   | 200.200 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.04   | 200.800 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.03   | 200.600 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.03   | 200.600 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.03   | 200.600 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.01   | 200.200 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.01   | 200.200 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.04   | 200.800 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.03   | 200.600 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.03   | 200.600 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.01   | 200.200 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.03   | 200.600 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.03   | 200.600 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.01   | 200.200 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.03   | 200.600 0                    |
| 0.00    | 0.05    | 10.03   | 200.600 0                    |

由表3得电压补偿法测得阻值为  $200.5 \Omega$ ，相对误差  $\eta = 0.2\%$ 。

### 3.2.2 电流补偿法

(1) 按照实验原理图正确连接实验器材，并注意使滑动变阻器的阻值较大，以保护电路。

(2) 先后闭合开关  $S_1$  和  $S_2$ ，调节滑动变阻器  $R_P$  使电流传感器  $A_2$  的示数  $I_2$  减小为零。

(3) 记录电压、电流传感器示数；单击“添加公式”，计算阻值。多次测量求平均值。

实验得到电流补偿法实验数据如表4所示。

表4 电流补偿法实验数据表

| $I_1/A$ | $I_2/A$ | $U_3/V$ | $R = \frac{U_3}{I_1}/\Omega$ |
|---------|---------|---------|------------------------------|
| 0.07    | 0.00    | 14.44   | 206.285 7                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.41   | 206.857 1                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.41   | 206.857 1                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.45   | 206.428 6                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.41   | 206.857 1                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.39   | 206.571 4                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.39   | 206.571 4                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.41   | 206.857 1                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.44   | 206.285 7                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.44   | 206.285 7                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.41   | 206.857 1                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.41   | 206.857 1                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.44   | 206.285 7                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.44   | 206.285 7                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.41   | 206.857 1                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.41   | 206.857 1                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.44   | 206.285 7                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.42   | 206.000 0                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.44   | 206.285 7                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.42   | 206.000 0                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.39   | 206.571 4                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.41   | 206.857 1                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.44   | 206.285 7                    |
| 0.07    | 0.00    | 14.42   | 206.000 0                    |

由表4得电流补偿法测得阻值为  $205.9 \Omega$ ，相对误差  $\eta = 2.9\%$ 。

## 3.3 等效法

### 3.3.1 电流等效法

(1) 按照实验原理图正确连接实验器材，将电流传感器接入电脑输入端，并进行调零。

(2) 调节变阻器至合适位置，单击“点击记录”记录电流传感器  $A_1$  读数  $I_1$ 。

(3) 断开  $S_1$  并闭合  $S_2$ ，调节电阻箱  $R_1$  阻值，使得电流传感器  $A_2$  的读数  $I_2$  与电流传感器  $A_1$  的示数  $I_1$  相等，单击“点击记录”记录下电流传感器  $A_2$  的读数  $I_2$ 。

(4) 单击“添加变量”添加变量  $R$  为电阻箱阻值，并记录。多次实验，求其平均值。

实验得到电流等效法实验数据如表5所示。

表5 电流等效法测电阻实验数据表

| $I_1/\text{A}$ | $I_2/\text{A}$ | $R/\Omega$ |
|----------------|----------------|------------|
| 0.01           | 0.01           | 201.2      |
| 0.02           | 0.02           | 201.2      |
| 0.03           | 0.03           | 201.0      |
| 0.04           | 0.04           | 201.0      |
| 0.05           | 0.05           | 201.1      |
| 0.06           | 0.06           | 201.1      |
| 0.07           | 0.07           | 201.2      |

由表5得电流等效法测得阻值为201.1  $\Omega$ , 相对误差  $\eta = 0.5\%$ .

### 3.3.2 电压等效法

(1) 按照实验原理电路图连接电路图, 将电压传感器接入电脑输入端并进行“调零”.

(2) 调节滑动变阻器至合适位置, 单击“点击记录”记录电压传感器示数  $U_1$ .

(3) 断开开关  $S_1$ , 闭合开关  $S_2$ , 调节电阻箱  $R_1$  的阻值, 使电压传感器的示数仍为  $U_1$ .

(4) 单击“变量”, 添加变量  $R$  为电阻箱  $R_1$  的阻值并记录, 多次实验, 记录多组数据.

实验得到电压等效法实验数据如表6所示.

表6 电压等效法测电阻实验数据表

| $U_1/\text{V}$ | $U_2/\text{V}$ | $R/\Omega$ |
|----------------|----------------|------------|
| 2.50           | 2.50           | 204.2      |
| 3.01           | 3.01           | 204.0      |
| 3.50           | 3.50           | 204.2      |
| 4.01           | 4.01           | 204.0      |
| 4.50           | 4.50           | 204.0      |
| 5.02           | 5.02           | 204.0      |
| 5.54           | 5.53           | 204.0      |
| 6.01           | 6.01           | 204.4      |
| 6.50           | 6.50           | 204.2      |
| 7.01           | 7.01           | 204.0      |
| 7.51           | 7.53           | 204.0      |
| 8.01           | 8.00           | 204.0      |
| 8.50           | 8.49           | 204.0      |
| 9.07           | 9.07           | 204.0      |

由表6得电压等效法测得阻值为204.7  $\Omega$ , 相对误差  $\eta = 2.0\%$ .

### 3.4 电桥法

(1) 正确连接实验器材, 将电流传感器接入数据采集器并进行“调零”.

(2) 调节滑动变阻器  $R_P$  至合适位置, 并调节电阻  $R_s$  的阻值使电流传感器示数为零.

(3) 分别添加变量  $R_1, R_2, R_s$  与公式  $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s$ , 计算电阻阻值, 重复实验取平均值.

以上实验步骤得到的实验数据如表7所示.

表7 电桥法实验数据表

| $I_1/\text{A}$ | $R_1/\Omega$ | $R_2/\Omega$ | $R_s/\Omega$ | $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s/\Omega$ |
|----------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------|
| 0.00           | 16.5         | 16.2         | 201          | 204.722 2                          |
| 0.00           | 14.4         | 14.1         | 202          | 206.297 9                          |
| 0.00           | 15.8         | 15.7         | 201          | 202.280 3                          |
| 0.00           | 20.7         | 20.9         | 202          | 200.067 0                          |
| 0.00           | 15.2         | 14.9         | 201          | 205.047 0                          |
| 0.00           | 17.0         | 16.6         | 201          | 205.843 4                          |
| 0.00           | 14.7         | 14.5         | 201          | 203.772 4                          |
| 0.00           | 14.6         | 14.2         | 201          | 206.662 0                          |
| 0.00           | 17.0         | 16.7         | 201          | 204.610 8                          |
| 0.00           | 15.5         | 15.2         | 202          | 205.986 8                          |
| 0.00           | 10.8         | 10.5         | 201          | 206.742 9                          |
| 0.00           | 15.4         | 15.0         | 201          | 206.360 0                          |
| 0.00           | 17.9         | 17.8         | 201          | 202.129 2                          |
| 0.00           | 15.4         | 15.2         | 201          | 203.644 7                          |
| 0.00           | 18.0         | 17.8         | 201          | 203.258 4                          |
| 0.00           | 15.0         | 14.8         | 201          | 203.716 2                          |

由表7得电桥法测得电阻阻值平均值为204.4  $\Omega$ , 相对误差  $\eta = 2.2\%$ .

## 4 测量结果分析与讨论

对以上几种不同的实验方法的比较如表8所示.

伏安法测电阻利用的是课本内的基本原理欧姆

定律,将理论与实验相结合在巩固学生基本理论的同时,可以锻炼学生的基本实验技能,熟悉基本实验器材的操作方法,明确实验的一般规范.在学生刚接触实验时可以主要采用此方法.

等效法、补偿法、电桥法等实验方法可作为开设

拓展性实验课的理论依据,在普通高中物理课程标准(2017版)中更加注重对学生科学探究能力与科学思维的培养,因此可以借助等效法、补偿法、电桥法等测电阻的方法,让学生理解体会“等效”“补偿”和“平衡”等思想在实验中的实际应用.

表8 定值电阻DIS实验测定方法的比较表格

| 实验方法 |       | 实验原理              | 实验仪器                           | 测量结果 / $\Omega$ | 相对误差 $\eta/\%$ | 误差来源                             |
|------|-------|-------------------|--------------------------------|-----------------|----------------|----------------------------------|
| 万用表法 |       | —                 | 万用表                            | 200.0           | 标准值            | —                                |
| 伏安法  | 内接法   | $R = \frac{U}{I}$ | 电流传感器、电压传感器、待测电阻、学生电源等         | 201.6           | 0.8            | 导线、开关的电阻等                        |
|      | 外接法   | $R = \frac{U}{I}$ |                                | 204.1           | 2.0            | 导线、开关的电阻等                        |
| 补偿法  | 电压补偿法 | 电压补偿              | 电流传感器、电压传感器、待测电阻、学生电源(2个)、干电池等 | 200.5           | 0.2            | 导线、开关的电阻等                        |
|      | 电流补偿法 | 电流补偿              |                                | 205.9           | 2.9            | 干电池的电压不稳定、补偿电压过大等                |
| 等效法  | 电流等效法 | 电流相等              | 电流传感器、电压传感器、电阻箱、待测电阻、学生电源等     | 201.1           | 0.5            | 电阻箱读数、导线、开关的电阻等                  |
|      | 电压等效法 | 电压相等              |                                | 204.7           | 2.0            |                                  |
| 电桥法  |       | 电桥平衡              | 电流传感器、待测电阻、电阻箱、学生电源等           | 204.4           | 2.2            | $R_x$ 电阻箱读数、 $R_1$ 及 $R_2$ 电阻测量值 |

## 5 总结

在中学物理教学中,物理实验是必不可少的一部分内容,而DIS实验相比传统的实验方法有很多优点,能够让学生在实验过程中更加专注于实验本身的原理、实验过程等<sup>[5]</sup>.

以电阻的测量为例,让学生在测量待测电阻的实验进程中学会基本物理实验仪器的操作方法,明确物理实验的一般规范,体会科学探究的过程,提高提出问题、列举证据、解释交流等能力;在处理实验数据时初步学会误差理论的应用,并强调实事求是、严谨认真的精神,培养学生对实验结果合理质疑等科学态度与责任;使实验各环节均能彰显物理学科

的育人价值.

## 参考文献

- 1 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017版)[M].北京:人民教育出版社,2018.19,43
- 2 沈志霞.“补偿法”在电阻测量中的特殊作用[J].中学物理教学参考,2006,35(8):28~28
- 3 魏廷智.浅议伏安法测量导体电阻的拓展和延伸——以近几年高考电学实验为例归纳分析测量电阻的其他常见方法[J].物理教师,2016,37(2):78~80
- 4 董琳,倪敏,韩唯伟,等.惠斯通电桥实验误差分析与研究[J].物理通报,2018(04):85~88
- 5 倪敏,陈舟.重力加速度三种DIS实验设计方法比较研究[J].物理教师,2019,40(3):1~5