

伏安法测电阻如何减小系统误差的分析

张 巍

(南京市第十三中学, 江苏 南京 210008)

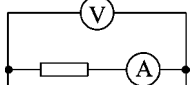
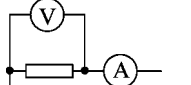
摘 要: 伏安法测电阻实验是中学物理实验中比较重要的电学实验, 本文就实验中如何减小系统误差进行了分析.

关键词: 内接法; 外接法; 伏安法; 补偿法

“电阻的测量”实验是中学物理实验中比较重要的电学实验, 在众多的“电阻的测量”实验中, “伏安法测电阻”是最基本的方法之一, 伏安法测电阻的基本原理是利用欧姆定律, 只要测出电阻两端的电压和通过电阻的电流即可得到电阻 $R = \frac{U}{I}$.

伏安法测电阻时, 电路分电流表内接法与外接法两种, 由于电表内阻的影响, 会给测量带来误差, 但合理地选择内接法或外接法有利于减小误差. (见表 1)

表 1

方法	内接法	外接法
电路图		
测量值	$R = \frac{U}{I} = R_X + R_A$	$R = \frac{U}{I} = \frac{R_X R_V}{R_X + R_V}$
真实值	$R_X = \frac{U - U_A}{I}$	$R_X = \frac{U}{I - I_V}$
产生误差原因	电流表的分压	电压表的分流
适用于测量	大电阻	小电阻

(1) 电流表内接法中由于电流表的分压作用, 使得测量值为被测电阻的真实值和电流表内阻的串联值, 将大于真实值.

(2) 电流表外接法中由于电压表分流作用, 使得测量值为被测电阻的真实值和电压表内阻的并联值, 将小于真实值.

一般地说, 在 $\frac{R_V}{R_{测}} > \frac{R_{测}}{R_A}$ 时, 即测量阻值较小时, 电压表的分流作用较小, 采用电流表外接法; 而在 $\frac{R_V}{R_{测}} < \frac{R_{测}}{R_A}$ 时, 即测量阻值较大时, 电流表的分压作用较小, 采用电流表内接法; 而当 $\frac{R_V}{R_{测}} = \frac{R_{测}}{R_A}$ 时, 两种方法均可. 在实际中, 我们往往通过求出临界电阻 $R = \sqrt{R_A R_V}$, 并将待测电阻与之比较, 采用小外大内的简捷结论进行处理.

用伏安法测电阻时, 有外接法、内接法两种接线方法, 但不论哪一种, 由于电流表和电压表在测试电路中不可避免地要分压分流, 从而改变了被测电路的状态, 产生了系统误差. 由上面的分析可以看出, 若要获得被测电阻的真实值, 方法之一必须知道电流表和电压表的内阻 (电流表和电压表的电阻可以用半偏法近似测得, 这里不再赘述), 根据推导式 $R = \frac{U}{I} = R_X + R_A$ 或 $R = \frac{U}{I} = \frac{R_X R_V}{R_V + R_X}$ 求出真实值, 方法之二是想办法改进电路来减少电流表和电压表对测试电路的影响.

下面主要谈谈通过改进电路, 来减少电流表和电压表对测试电路的影响.

1 附加电阻的方法

在原电路中附加一个电阻, 通过这种附加电阻的方法来消除电流表的分压和电压表的分流对测量结果的影响.

1.1 内接法

当测量大电阻时采用电流表内接法, 此时, 由于电流表的分压, 电压表测出的电压值要比待测电阻两端的电压高, 所以此法测得的电阻值较真实值偏大. 如果再取一个较大的电阻 R 与待测电阻 R_X 串联, 同时取开关 S 与 R_X 并联 (图 1), 然后按以下步骤操作.

断开开关 S , 读出电压表读数 U_1 和电流表读数 I_1 , 则

$$\text{此时 } \frac{U_1}{I_1} = R_A + R + R_X. \quad (1)$$

将开关 S 合上, 读出电压表读数 U_2 和电流表读数 I_2 , 则此时

$$\frac{U_2}{I_2} = R_A + R. \quad (2)$$

$$(1) \text{ 式减 } (2) \text{ 式得 } R_X = \frac{U_1}{I_1} - \frac{U_2}{I_2}.$$

1.2 外接法

当测量小电阻时采用电流表外接法, 此时, 由于电压表的分流, 电流

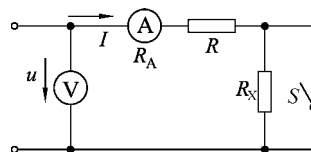


图 1

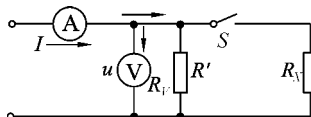


图 2

电压表上刻上用来读取质量的刻度是均匀的.

(收稿日期: 2011-10-13)

$$R_x = k'm, U_x = \frac{k'm}{R_0 + r} E.$$

可见, 电压读数 U_x 与被测质量 m 成线性关系, 所以在

表测出的电流值要比流过待测电阻上的电流大,所以此法测得的电阻值较真实值偏小.如果再取一个较小的电阻 R' 与待测电阻 R_X 并联,同时取开关 S 与 R_X 串联(图 2).然后按以下步骤操作:

断开开关 S , 读出电压表读数 U_3 和电流表读数 I_3 , 则此时 $\frac{U_3}{I_3} = R_V // R'$. (3)

合上开关 S , 读出电压表读数 U_4 和电流表读数 I_4 , 则此时 $\frac{U_4}{I_4} = R_V // R' // R_X = \frac{(R_V // R')R_X}{(R_V // R') + R_X}$. (4)

将(3)式代入(4)式整理得 $R_X = \frac{\frac{U_4}{I_4} \times \frac{U_3}{I_3}}{\frac{U_3}{I_3} - \frac{U_4}{I_4}}$.

2 电桥伏安法

如图 3, 此法利用电桥平衡原理, 当调节 r 使电桥平衡时, 电流表示数即为 R_X 中的电流 I , 电压表 U 的读数即为 R_X 两端电压. 所以 $R_X = \frac{U}{I}$.

电桥法虽然克服了测量仪表自身电阻的引入问题, 但

要求: (1) 已知的桥臂电阻要十分准确; (2) 检流计要灵敏^[注] 否则将会引入新的系统误差. 针对这个问题, 下面再介绍一种利用完全补偿法测量电阻的方法.

3 补偿法

补偿法, 就是在测量时采用标准可以正确读数部分代替被测量部分, 从而提高测量精度的一种方法. 完整的补偿测量系统由待测装置、补偿装置、测量装置和指零装置四部分组成. 待测装置要求待测量尽量稳定, 便于补偿; 补偿装置要求补偿量值准确, 达到设计的精度; 测量装置可将待测量与补偿量联系起来进行比较; 指零装置是一个比较系统, 它将显示待测量与补偿量比较的结果. 为了消除系统误差, 提高测量的准确度, 下面谈一下利用电压补偿法来测量电阻的值.

(1) 电压补偿法原理

如图 4(a) 所示, 测量电池的电动势, 若用电压表直接并联在电池两端, 因电池内部存在内阻 r , 电池内部必然存在电压降 Ir , 则电压表测到的是电池的端电压而不是电池的电动势. 如采用图 4(b) 所示的电路, E_x 为被测电动势, E_s 为可调标准电源, 适当调节 E_s 的值, 可使检流计的读数为零, 此时 E_s 与 E_x 大小相等, 方向相反, 电压达到了补偿.

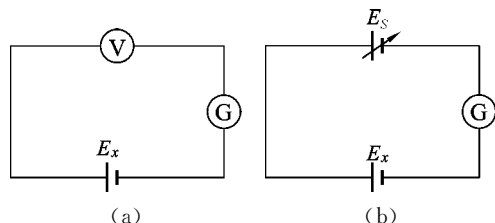


图 4

电压补偿法测电阻电路如图 5 所示. 稳压电源 E_1 、电流表 A 、电阻箱 R_0 和待测电阻 R_X 组成一待测装置, 调节电阻箱 R_0 可实现等精度多次测量. 稳压电源 E_2 、电阻箱 R_1 、滑线变阻器 R_2 和电压表 V 形成分压电路, 组成一补偿装置, 电阻箱 R_1 阻值较大, 用于粗调; 滑线变阻器 R_2 阻值较小, 用于微调. 当 R_X 两端电压与分压器分得电压相等时, 检流计 G 读数为零, 电压达到补偿, 电压表的示数 U 就等于 R_X 两端电压, 电流表测出的电流 I 就是通过 R_X 的电流, 由欧姆定律得 $R_X = \frac{U}{I}$. 测量

步骤如下:

① 闭合 S_1 和 S_2 , 断开 S_3 、 S_4 和 S_5 , 记下电压表示数 U_1 .

② 闭合 S_4 和 S_5 , 断开 S_1 、 S_2 和 S_3 , 调节 R_1 (粗调), 使电压表示数 $U_2 = U_1$.

③ 闭合 S_1 、 S_3 、 S_4 和 S_5 , 断开 S_2 , 调节 R_2 (微调), 使检流计读数为零.

④ 改变 R_0 , 重复以上步骤, 可进行多次等精度测量. 测量结果取其平均值.

(3) 电压补偿法测量电阻的优点

① 电路简单, 实用性强. 电路中的元件和仪表都是常用器件, 并且各滑动变阻器和电阻箱的阻值是否准确均不会影响被测电阻的测量值, 从而对电阻器件的选择降低了要求.

② 调节方便. 电路通过粗调和细调的设计, 既可以提高测量的速度, 又可以保护检流计, 这是电桥法测量电阻时很难做到的.

③ 修正系统误差. 电路中测量仪表自身的电阻与测量结果无关, 从而降低了测量方法引入的系统误差, 这是单纯用伏安法测量电阻时不能做到的.

综上所述, 利用电压补偿法测量电阻, 既发挥了伏安法和电桥法各自的优点, 又克服了各自的缺点, 从而减小了系统误差.

注: 我们是根据检流计的指针有无偏转来判断电桥是否平衡的. 检流计不偏转, 并不说明通过它的电流 I_g 绝对为零, 而只是反映 I_g 小到检流计检测不出来了. 检流计越灵敏, 我们所做判断就能越可靠.

参考文献:

- 周殿清. 大学物理实验. 武汉: 武汉大学出版社, 2003. 76
- 张雄, 王黎智, 马力等. 物理实验设计与研究. 北京: 科学出版社, 2003. 127-130
- 赵正权. 完全补偿法测量电阻及误差分析[J]. 大学物理, 2005 (9): 48
- 杨述武. 普通物理实验. 北京: 高等教育出版社, 1982. 21
- 傅维潭主编. 电磁测量. 北京: 中央广播电视大学出版社出版, 1985.

(收稿日期: 2011-08-17)