

文章编号: 1672 - 6952(2007) 01 - 0090 - 03

电压补偿伏安法测量电阻

符时民

(渤海大学物理系, 辽宁锦州 121013)

摘 要: 指出传统伏安法测量中值电阻时, 由于电流表的内接法或外接法会给测量结果带来系统误差。介绍了用电压补偿伏安法测量电阻的原理, 给出了内接法、外接法及补偿伏安法测量电阻的相对标准不确定度的计算公式, 并对其不确定度进行比较, 对测量数据进行了处理, 给出待测电阻的测量结果和不确定度及误差的计算结果。

关键词: 补偿法; 伏安法; 电压; 电阻; 不确定度

中图分类号: TM934.12 **文献标识码:** A

Resistance Measurement With Voltage Compensation

FU Shi - min

(Department of Physics, Bohai University, Jinzhou Liaoning 121013, P. R. China)

Received 2 October 2006; revised 20 December 2006; accepted 25 December 2006

Abstract While measuring central value resistance with traditional voltammetry, either the internal connecting method or external connecting method of an ammeter brings system errors of measurement results. A new method of measuring resistance with the voltage compensation voltammetry principle was described. A formula of relative standard uncertainty was given, which measured resistance with internal connecting method, external method and voltage compensation voltammetry. With comparing the uncertainty, the measurement data were processed. The measurement results of resistance, uncertainty and computing results of errors were provided.

Key words: Compensation method; Voltammetry; Voltage; Resistance; Uncertainty

Corresponding author. Tel.: +86 - 416 - 3131701; fax: +86 - 416 - 3131701; e - mail: jzfushimin@163.com

用伏安法测量中值电阻^[1-2], 分电流表内接和外接两种接法。不少院校在大学物理实验中用伏安法测线性和非线性电阻。第一种方法是完全不计电压表、电流表内阻 R_V, R_A 的影响, 电阻值 R 取两表示值之比 $R = U/I$ 。第二种做法是仍用 $R = U/I$ 求 R_x , 但要选择线路接法。当 $R \gg R_A$ 时用电流表内接法, $R \ll R_V$ 时用电流表外接法。第三种方法在大学物理实验中采用较普遍, 先对测量结果进行(已定)系统误差修正:

$$R = U/I - R_A \text{ (电流表内接)} \tag{1}$$

$$1/R = 1/U - 1/R_V \text{ (电流表外接)} \tag{2}$$

再计算 R 的总不确定度为:

$$u(R)/R = [(u(U)/U)^2 + (u(I)/I)^2]^{1/2} \tag{3}$$

式中, $u(R)$ 为待测电阻 R 的标准不确定度; $u(U)$, $u(I)$ 分别为电压表、电流表的标准不确定度; 这种方

法比前两种(第一、第二种)做法先进了一些, 初步估算了不确定度, 但电表的内阻也成了被测量的对象^[3], 增加了测量的不确定度。为了消除电表内阻的影响, 提高测量的准确度, 本文给出了用电压补偿伏安法测量电阻的原理和方法。

1 实验部分

1.1 测量原理

如图 1 所示, 由稳压电源 E_1 和滑线变阻器 R_0, R_1 连成一个分压电路(放置 R_1 的目的是为了进一步的微调), 所分得的电压用电压表测出^[4-5]。由稳压电源 E_2 、待测电阻 R 和电流表组成一闭合回路。当 R 两端电压与分压器分得的电压相等时, 检流计指零。此时电压达到补偿, 电压表示数就等于 R 两端电压。此时的电压表既能测出 R 两端的电压, 又不会从 $E_2 \rightarrow K_2 \rightarrow \text{Ⓐ} \rightarrow R \rightarrow E_2$ 回路中分得电流。因为最后电压表读数时, 检流计是指零的, 所以此时的电压表相当于内阻为无穷大的电压表。而电流表测

出的电流就是通过 R 的电流。这样很容易由欧姆定律的公式求出 R 值。即

$$R = U / I \tag{4}$$

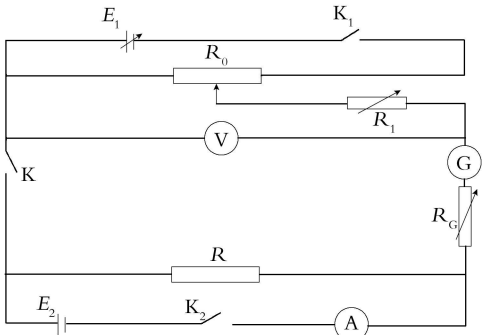


图 1 补偿法测电阻电路

1.2 实验方法

电压补偿伏安法测量电阻的方法是：① E_1, E_2 的初值均为零， R_G 的初值放最大， K, K_1, K_2 都放置在断开状态。②按图 1 联接电路，把滑线变阻器的滑动端放在安全端（即图 1 中左端），调 E_1, E_2 为适当值，闭合开关 K_1, K_2 。③根据 R 两端的电压估计值，调变阻器的滑动端及微调电阻 R_1 使电压表示数约为估计值。④闭合开关 K ，调变阻器的滑动端和 R_1 使检流计为零，逐渐减小 R_G 值直至为零，记下此时的 U 和 I 即可。为了减小测量的不确定度，可测多组数据。

2 标准不确定度公式的比较

设 $u(U), u(I)$ 分别为电压表、电流表的标准不确定度； R_V, R_A 分别是电压表、电流表的内阻； $u(R_V), u(R_A)$ 分别为其内阻的标准不确定度； $u(R)$ 为待测电阻 R_x 的标准不确定度。则普通伏安法与电压补偿伏安法测电阻在计算 R_x 的标准不确定度公式上有显著的不同。

2.1 内接法和外接法测电阻的标准不确定度公式

由 (1), (2) 两式根据间接测量结果标准不确定度传递公式^[9]：

$$u(f) = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} u(x) \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} u(y) \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z} u(z) \right)^2 + \Delta \right]^{1/2} \tag{5}$$

可得内接法和外接法相对标准不确定度公式。内接法：

$$\frac{u(R)}{R} = \left[\left(\frac{u(U)}{U} \right)^2 + \left(\frac{u(I)}{I} \right)^2 + \left(\frac{u(R_A)}{R_A} \right)^2 \right]^{1/2} \left[1 - \frac{R_A}{U/I} \right] \tag{6}$$

利用 (1) 式，可化为：

$$\frac{u(R)}{R} = \left\{ \left[\left(\frac{u(U)}{U} \right)^2 + \left(\frac{u(I)}{I} \right)^2 \right] \left[1 + \frac{R_A}{R} \right]^2 + \left(\frac{u(R_V)}{R_V} \right)^2 \left(\frac{R}{R_V} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

外接法：

$$\frac{u(R)}{R} = \left[\left(\frac{u(U)}{U} \right)^2 + \left(\frac{u(I)}{I} \right)^2 + \left(\frac{u(R_V)}{R_V} \right)^2 \right]^{1/2} \left[1 - \frac{U/I}{R_V} \right] \tag{8}$$

利用 (2) 式，可化为：

$$\frac{u(R)}{R} = \left\{ \left[\left(\frac{u(U)}{U} \right)^2 + \left(\frac{u(I)}{I} \right)^2 \right] \left[1 + \frac{R}{R_V} \right]^2 + \left(\frac{u(R_V)}{R_V} \right)^2 \left(\frac{R}{R_V} \right)^2 \right\}^{1/2} \tag{9}$$

2.2 补偿法测电阻的标准不确定度公式

由 (4) 式很容易直接得出补偿法计算 R 的相对标准不确定度公式：

$$\frac{u(R)}{R} = \left[\left(\frac{u(U)}{U} \right)^2 + \left(\frac{u(I)}{I} \right)^2 \right]^{1/2} \tag{10}$$

由此可见，在相同测量条件下，由于 (7), (9) 式与 R_A, R_V 有关，故 (7), (9) 式的 $u(R)/R$ 较大；而 (10) 式与 R_A, R_V 无关，故 (8) 式的 $u(R)/R$ 较小。

3 测量结果与讨论

3.1 测量结果

实验仪器：电压表 0 ~ 2.5 V，0.5 级；电流表 0 ~ 5 mA，0.5 级；待测电阻标称值为 500 Ω，用惠斯通电桥 (0.2 级) 测得值 $R' = 500.9 \Omega$ ， $R_V = 2\,502 \Omega$ ， $R_A = 2.294 \Omega$ 。算得 $u(R_V) = 2.9 \Omega$ ， $u(R_A) = 0.0026 \Omega$ 。测量结果见表 1, 2。

表 1 电压与电流测量结果的比较

U/V			I/mA		
内接法	外接法	补偿法	内接法	外接法	补偿法
1.752	1.455	1.745	3.500	3.500	3.500
1.892	1.570	1.875	3.750	3.750	3.750
2.020	1.672	2.005	4.000	4.000	4.000
2.148	1.778	2.138	4.250	4.250	4.250
2.270	1.882	2.255	4.500	4.500	4.500
2.398	1.995	2.382	4.750	4.750	4.750

由表 1, 2 不难看出：3 种方法的测量相对标准不确定度，外接法最大，补偿法最小^[7]。其中外接法的测量相对标准不确定度是补偿法的 2 倍。外接法的测量相对误差比补偿法高 3 个数量级。其主要原因是电压表的内阻 (R_V) 不可能是无穷大而引入的。内接法的测量相对误差比补偿法高 1 个数量级。其主要原因是 R_A 不是零引入的。 R_A 比 R 小很多，适合于内接法，所以引入的相对误差不是很大。

3.2 补偿法测电阻的优点

- (1) 实验方法简单。不必选择线路接法,也不必对测量结果加以修正, R_V , R_A 不再是被测对象,因而简化了实验方法。
- (2) 电路简单。与电桥伏安法相比^[8-10], 电路简单, 所用仪器少。
- (3) 测量结果准确。由于采用了电压补偿法测

电压, 电压表测电压时没有从 R 所在支路中分流, 所以电流表所测电流就是通过 R 的电流。 R_V 对测量电流 I 毫无影响, 消除了普通伏安法带来的内接法、外接法的方法误差, 故测量结果准确。

(4) 应用广。电压补偿法测电压, 除可用于伏安法测电阻外, 还可直接用于测电压和电源电动势, 用于测二极管伏安特性曲线等实验。

表 2 电阻值与不确定度结果的比较

测量方法	R/Ω	$\Delta R/\Omega$	$\Delta R/R', \%$	$u(U)/V$	$u(I)/mA$	$u(R)/R, \%$
内接法	504.4	3.50	0.70	0.013	0.025	0.58
外接法	415.4	86.00	17.00	0.013	0.025	1.10
补偿法	501.1	0.20	0.04	0.013	0.025	0.55

注: R 是用最小二乘法求得, 内、外接法中的 R 没进行修正。

参 考 文 献

[1] 朱鹤年. 物理实验研究[M] . 北京: 清华大学出版社, 1994: 136 - 139.

[2] 李思普, 邢凯, 曹昌年, 等. 大学物理实验[M] . 北京: 国防工业出版社, 2004: 58 - 62.

[3] 张 昆. 替代法测电阻[J] . 大学物理, 2002, 21(1): 40 - 45.

[4] 杨述武, 杨介信, 陈国英. 普通物理实验[M] . 北京: 高等教育出版社, 2001: 49 - 54.

[5] 吴泳华, 霍剑青, 熊永红. 大学物理实验[M] . 北京: 高等教育出版社, 2001: 86 - 89.

[6] 吕斯骅, 段家祯. 基础物理实验[M] . 北京: 北京大学出版社, 2002: 27 - 28.

[7] 闫德俊, 孙杰. 一种改进的金相图像处理自适应加权均值滤波方法[J] . 辽宁石油化工大学学报, 2005, 25(4): 58 - 61.

[8] 王新生. 电桥伏安法测电阻[J] . 物理实验, 1996, 16(1): 42 - 43.

[9] 李平, 唐曙光, 陆兴中. 大学物理实验[M] . 北京: 高等教育出版社, 2004: 78 - 83.

[10] 成正维, 王玉凤, 李朝荣, 等. 大学物理实验[M] . 北京: 高等教育出版社, 2004: 105 - 111.

(Ed. : ZZH, Z)