

文章编号:1007-2934(2014)03-0047-03

## 伏安法与补偿法测电阻的实验研究

敬晓丹 李 义

(辽宁工业大学 辽宁 锦州 121001)

**摘 要:** 文章用补偿法测量中电阻,并用 Matlab 计算软件处理了数据。数据结果显示,补偿法能很好地消除伏安法测电阻的系统误差,并且经过 Matlab 计算软件进行线性回归处理的结果相对误差要比未经处理的单组数据低一个数量级。

**关 键 词:** 伏安法;补偿法;线性回归

中图分类号: O4-43

文献标志码: A

文章首先针对伏安法中“内接”和“外接”两种形式测量电阻的准确度进行了系统的研究<sup>[1-6]</sup>,然后又用补偿法测量了中电阻,并用 Matlab 计算软件处理了数据<sup>[7-8]</sup>,研究了补偿法消除伏安法测电阻系统误差的可靠性及测量结果的准确性。

## 1 伏安法测电阻

所采用的仪器:WYK-303B2 直流稳压稳流电源,PA91b 型直流数字电流表,FR28b 型直流数字电压表,滑动变阻器 ZX21 直流多值十进电阻箱,AC5/4 型直流指针式检流计,DT9203 型万用表。首先,利用万用表粗略测量所用电压表和电流表的内阻,得到电压表在量程  $0 \sim 20 \text{ V}$  时内阻  $R_V$  约为  $1 \times 10^7 \text{ W}$ ,电流表在量程  $0 \sim 2 \text{ mA}$  时内阻  $R_A$  约为  $1 \times 10^2 \text{ W}$ ,则  $\sqrt{R_A R_V} \approx 3 \times 10^4 \text{ W}$ 。由此给出大( $R_X > \sqrt{R_A R_V}$ )、中( $R_X \approx \sqrt{R_A R_V}$ )、小( $R_X < \sqrt{R_A R_V}$ )三个级别的阻值来研究内接和外接两种方式的准确度。这里大、中、小电阻阻值分别取  $9 \times 10^4 \text{ W}$ 、 $3 \times 10^4 \text{ W}$  和  $2 \times 10^3 \text{ W}$ 。

分别应用伏安法测电阻的内接和外接两种方式测量大、中、小电阻  $R_X$  两端的电压和对应的电流,并利用欧姆定律计算出电阻的阻值  $R_{\text{测}}$  以及测量结果的相对误差  $E = (|R_X - R_{\text{测}}| / R_X) \times 100\%$ 。测量过程中,为了增加测量的准确度,电阻  $R_X$  两端电压尽量接近电压表量程的上限  $20 \text{ V}$ ,这样可以保证流过较高阻值电阻  $R_X$  内的电流值在

所选的电流表量程  $0 \sim 2 \text{ mA}$  内。本实验选用的电流表  $2 \text{ mA}$  以下的量程为  $0 \sim 200 \text{ mA}$ ,所以要让流过电阻  $R_X$  的电流高于  $200 \mu\text{A}$ 。

测量大、中、小电阻的数据见表 1 ~ 表 3。通过上面实验数据很明显可以看出,测量较大电阻时内接方式相对更准确,内接的相对误差只有  $0.13\%$ ,而外接则为  $0.85\%$ ;测量较小电阻时外接方式的系统误差表现得很弱,其测量结果相对误差仅  $0.05\%$ ,而内接方式达到了  $4.98\%$ ;测量中电阻时,内接和外接的相对误差差不多,此时无法通过连接方式的选择来减弱系统误差的表现。因此,在测量阻值在  $R_X = \sqrt{R_A R_V}$  附近的电阻时,如果测量精度要求较高,无论是内接还是外接都无法获得较为精确的结果。

表 1 测量大电阻数据

	$U/\text{V}$	$I/\text{mA}$	$R_{\text{测}}/\Omega$	$E/\%$
内接	19.429	0.215 6	90 115.96	0.13
外接	19.783	0.221 7	89 233.20	0.85

表 2 测量中电阻数据

	$U/\text{V}$	$I/\text{mA}$	$R_{\text{测}}/\Omega$	$E/\%$
内接	19.621	0.652 1	30 088.94	0.30
外接	19.682	0.658 3	29 898.22	0.34

表 3 测量小电阻数据

	$U/\text{V}$	$I/\text{mA}$	$R_{\text{测}}/\Omega$	$E/\%$
内接	3.791	1.805 6	2 099.58	4.98
外接	3.610	1.805 9	1 999.00	0.05

收稿日期:2014-01-27

基金项目:辽宁工业大学教师科研启动基金(X201320)伏安法与补偿法测电阻的实验研究

## 2 补偿法测电阻

电压补偿法测电阻的基本原理见图 1。

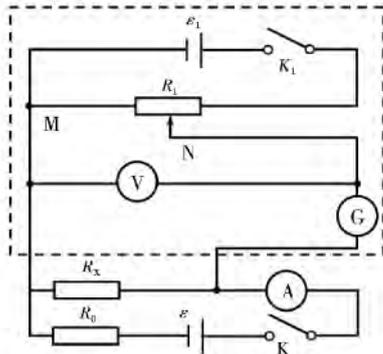


图1 电压补偿法测电阻

其中,虚线框内为补偿电路  $\varepsilon_1$  为补偿电源。当工作回路中电阻  $R_0$  和电源  $\varepsilon$  一定时,流经待测电阻  $R_x$  的电流一定,此时其两端电势差一定。调节补偿回路中滑动变阻器  $R_1$  上 MN 间的电势差,使灵敏电流计指示为 0,则电压表两端电压与  $R_x$  两端电压相等,同时电流表示数就是流经待测电阻的电流值。这样就避免了由于电流流经电压表而引进的系统误差。

电流补偿法测电阻的基本原理见图 2。

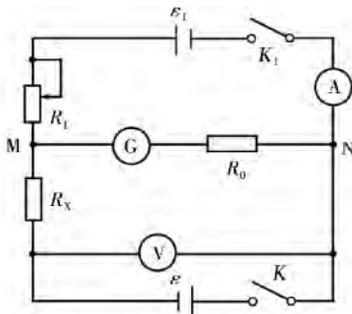


图2 电流补偿法测电阻

其中,  $\varepsilon$  为工作电源  $\varepsilon_1$  为补偿电源。在 MN 支路中,由工作电源  $\varepsilon$  产生的电流由 N 流向 M,而由补偿电源  $\varepsilon_1$  产生的电流方向相反,由 M 流向 N。当工作电源  $\varepsilon$  一定时,其产生的由 N 流向 M 的电流大小一定。适当调节补偿电源  $\varepsilon_1$  的电压和滑动变阻器  $R_1$  的阻值,使灵敏电流计的示数为 0,即 M、N 两点间电势差为 0。此时,电流表示数就是流经待测电阻的电流值,同时电压表两端电压与  $R_x$  两端电压也相等。这样就避免了由于电流表分压而引进的系统误差。

文章以中电阻为例,利用电压和电流补偿法对伏安法的系统误差进行修正。电压补偿法测量

中电阻所得数据见表 4。

表 4 电压补偿法测量数据

$U/V$	$I/mA$	$R_{测}/\Omega$	$E/\%$
4.908	0.163 5	30 018.35	0.061
5.838	0.194 6	30 007.71	0.051
6.828	0.227 4	30 026.39	0.088
7.790	0.259 4	30 030.84	0.103
8.741	0.291 2	30 017.17	0.057
9.759	0.325 2	30 009.23	0.031
10.744	0.358 1	30 002.79	0.009
11.677	0.389 1	30 010.28	0.034
12.658	0.421 8	30 011.14	0.032
13.559	0.451 8	30 011.07	0.037

通常利用作图法做出电流、电压曲线可以得出更为准确的电阻值,但如果用手工绘图方式,势必会带来不必要的人为因素造成的误差。因此,本文利用 Matlab 软件编程绘制电流、电压的线性回归曲线,即通过最小二乘法计算得出测量数据的最优线性关系<sup>[8]</sup>。

图 3 给出了电压补偿法测得数据的线性回归曲线。同时,还计算得出了电压与对应的电流数据的相关系数达到了 0.999 999 78,这证明了本实验数据的可靠性和准确性。计算得出线性回归方程为

$$U = 29\,998.39I + 0.004\,696 \quad (1)$$

即待测电阻的阻值为 29 998.39  $\Omega$ 。由此可以算出电压补偿法测量结果的相对误差仅为 0.005 4%,这远低于伏安法内接的 0.30% 和外接的 0.34%。

由表 4 给出的数据还可以看到,测得的 10 组数据中只有一组相对误差最小为 0.009%,其余均在 0.03% 以上,最高达到了 0.103%。而经过线性回归计算得到的阻值相对误差仅为 0.005 4%。可见,利用 Matlab 软件经过线性回归计算,可以使测得的实验数据达到较为理想的处理结果。

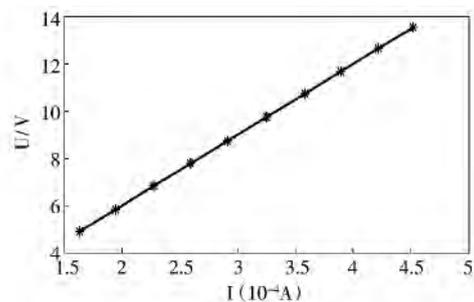


图3 电压补偿法测电阻的线性回归曲线

电流补偿法测量中电阻所得数据,见表 5。

同样利用 Matlab 计算软件编程绘制电流、电压的线性回归曲线。图 4 给出了电流补偿法测得数据的线性回归曲线。计算得出电压与对应的电

流数据的相关系数同样高达 0.999 999 95,证明电流补偿法测得的数据也同样是可靠的、准确的。计算得出线性回归方程为

$$U = 29\,999.60I + 0.004\,740 \quad (2)$$

表 5 电流补偿法测量数据

$U/V$	$I/mA$	$R_{测}/\Omega$	$E/\%$
6.119	0.203 8	30 024.53	0.082
7.093	0.236 3	30 016.93	0.056
8.128	0.270 8	30 014.77	0.049
9.118	0.303 8	30 112.29	0.044
10.131	0.337 5	30 017.78	0.059
11.117	0.370 4	30 013.50	0.045
12.115	0.403 7	30 009.91	0.033
13.047	0.434 7	30 013.80	0.046
14.117	0.470 4	30 010.63	0.035
15.123	0.504 0	30 005.95	0.020

即待测电阻的阻值为 29 999.60  $\Omega$ 。由此可以算出电流补偿法测量结果的相对误差仅为 0.013%,同样远低于伏安法。由表 5 显示的数据也可以看出,利用 Matlab 软件经过线性回归计算,测得的实验数据同样达到较为理想的处理结果。

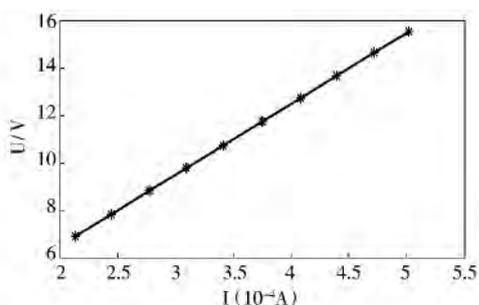


图 4 电流补偿法测电阻的线性回归曲线

### 3 结 论

实验对伏安法内接和外接测电阻的准确度及

电压、电流补偿法测电阻进行了系统的研究,得出结论如下:

(1) 测量大、小电阻时“内接”和“外接”分别可以减弱系统误差表现,但测量中电阻( $R_x \approx \sqrt{R_A R_V}$ )时两种接法的相对误差都在 0.30% 左右,系统误差都表现较为明显,而无法减弱。

(2) 电压补偿法的测量结果相对偏差为 0.0054%,而电流补偿法甚至只有 0.0013%,从而通过实验验证了补偿法消除伏安法测电阻系统误差的可靠性及测量方法的准确性。

(3) 经过 Matlab 计算软件进行线性回归处理的结果相对误差要比未经处理的单组数据低一个数量级。因此,计算软件的应用可以使测得的实验数据达到较为理想的处理效果。

参考文献:

- [1] 严俊. 电阻测量的八种方法[J]. 物理教学探究, 2006.
- [2] 顾焕国,陈昭喜,欧汉彬. 补偿法测电阻实验设计[J]. 大学物理实验, 2007.
- [3] 易德文,盛忠志. 伏安法测电阻时安培表采用内、外接法的判定条件[J]. 大学物理, 2004.
- [4] 王佃彬. 伏安法测电阻的误差分析及消除[J]. 物理教学探讨, 2008.
- [5] 杨帆. 巧设疑问引导学生掌握伏安法测电阻[J]. 物理通报, 2008.
- [6] 王成. 改进“伏安法”测电阻的实验设计[J]. 实验教学与仪器, 2009.
- [7] 李斌,等. MATLAB 在物理应用 CAI 课件中的应用[J]. 大学物理实验, 2013(3):70-72.
- [8] 赵艳,等. MATLAB 对静电场等势线的最小二乘描绘[J]. 大学物理实验, 2013(2):82-84.

## Experimental Study on Resistance Measurement Using Voltammetry and Compensation Method

JING Xiao-dan, LI Yi

(Liaoning University of Technology, Liaoning Jinzhou 121001)

**Abstract:** The compensation method was used to measure resistance, and the data was calculated using Matlab. The data shows that the compensation method can effectively eliminate system error of resistance measurement using voltammetry, and the relative error of results through the Matlab software for linear regression is one order of magnitude lower than a single set of data without processing.

**Key words:** voltammetry; compensation method; linear regression