

“伏安法”测电阻的程式解读

徐正海 许 婕

(当涂第一中学 安徽 马鞍山 243100)

(收稿日期:2016-11-20)

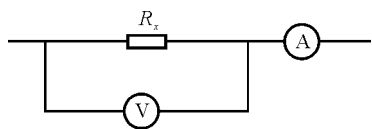
摘要:“伏安法”测电阻通常是电流表的“外接法”和“内接法”的选择问题,目前流行于中学生习题集中涉及这方面的问题,笔者就几个问题做了归纳、解读.

关键词:伏安法 外接法 内接法

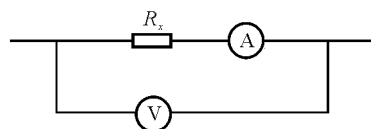
在中学物理“伏安法”测电阻的实验中,电流表的“外接法”与“内接法”的选择是问题的核心,而孰优孰劣,从原理和方法上来讲都是缘于对系统误差的分析.换言之,造成系统误差来源是“磁电式电表”内阻的影响,即“电流表”小内阻有分压作用和“电压表”大内阻有分流作用,这才引起所测量结果出现所谓“失真”.目前,流行于中学生物理习题集里的诸多问题归纳起来就是下面几种程式,笔者逐一尝试解读.

1 电表内阻均为模糊值

对于电压表和电流表的内阻均给出一个近似值时,被测电阻 R_x 当然未知,也是一个估计值.这时,我们确定测量方案需要进行误差分析.如图 1(a) 和 (b) 分别俗称为电流表的“外接法”和“内接法”.



(a) 电流表的“外接法”



(b) 电流表的“内接法”

图 1

记电阻的真实值为 R_0 , 测量值为 R_x , 电压表内阻为 R_V , 电流表内阻为 R_A . 在图 1(a)“外接法”中

$$R_x = \frac{U}{I} = \frac{R_0 R_V}{R_0 + R_V}$$

绝对误差

$$\Delta_{\text{外}} = R_0 - R_x = \frac{R_0^2}{R_0 + R_V}$$

相对误差

$$\delta_{\text{外}} = \frac{R_0}{R_0 + R_V}$$

相应地图 1(b)“内接法”中

$$R_x = \frac{U}{I} = R_0 + R_A$$

绝对误差

$$\Delta_{\text{内}} = R_A$$

相对误差

$$\delta_{\text{内}} = \frac{R_A}{R_0}$$

于是当 $\delta_{\text{外}} < \delta_{\text{内}}$ 时, 导出 $R_0 < \frac{R_A + \sqrt{R_A^2 + 4R_A R_V}}{2}$

条件下选择“外接法”测量较为精确; 当 $\delta_{\text{外}} > \delta_{\text{内}}$

时, 导出 $R_0 > \frac{R_A + \sqrt{R_A^2 + 4R_A R_V}}{2}$ 条件下选择“内

接法”测量较为精确. 考虑到一般情况下 $R_A \ll R_V$ 的事实, 可将上述判断式右边部分简化为 $\sqrt{R_A R_V}$, 这样一来, 动用数学上的模糊逻辑理论: 当 $R_x < \sqrt{R_A R_V}$ 时, 选“外接法”好; 当 $R_x > \sqrt{R_A R_V}$ 时, 选“内接法”好.

2 电表内阻只知其一

(1) 已知电压表内阻 R_V 的准确值, 而电流表内

阻 R_A 完全未知.

在这种情况下,由于电压表能测量到自身的电压,那么它在测量中引起的分流作用完全可知,因此采用图 1(a)“外接法”就能测出没有系统误差的结果,即

$$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}}$$

(2) 已知电流表内阻 R_A 的准确值,而电压表内阻 R_V 完全未知.

在这种情况下,由于电流表能测量到自身的电流,那么它在测量中引起的分压作用完全可知,因此采用图 1(b)“内接法”就能测出没有系统误差的结果,即

$$R_x = \frac{U}{I} - R_A$$

3 电表内阻一概未知

如图 2 所示,将单刀双掷开关在 a 与 b 两点间试测,通过两次测量值 U_a, I_a 和 U_b, I_b 的数据分析,我们可以找到测量较为准确的方案.这一方法常被称为“试触法”.

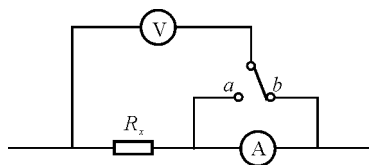


图 1 电表内阻未知时采用“试触法”

记测量电路两端电压恒为 U , 开关接 a 时, 两电表示数分别为 U_a, I_a ; 开关接 b 时, 两电表示数分别为 U_b, I_b . 通过计算有

$$U_a = \frac{R_0 R_V}{R_0 R_V + R_0 R_A + R_A R_V} U$$

$$I_a = \frac{R_0 + R_V}{R_0 R_V + R_0 R_A + R_A R_V} U$$

$$U_b = U \quad I_b = \frac{U}{R_0 + R_A}$$

则电压变化百分比

$$\frac{\Delta U}{U_b} = \frac{U_b - U_a}{U_b} = \frac{R_A (R_0 + R_V)}{R_0 R_V + R_0 R_A + R_A R_V}$$

电流变化百分比

$$\frac{\Delta I}{I_b} = \frac{I_a - I_b}{I_b} = \frac{R_0^2}{R_0 R_V + R_0 R_A + R_A R_V}$$

讨论:

(1) 若 $\frac{\Delta U}{U_b} > \frac{\Delta I}{I_b}$, 则

$$R_0^2 < R_A (R_0 + R_V)$$

这与上面在 $\delta_{\text{外}} < \delta_{\text{内}}$ 条件下, 得出的结果完全一样, 故选择“外接法”测量;

(2) 若 $\frac{\Delta U}{U_b} < \frac{\Delta I}{I_b}$, 则

$$R_0^2 > R_A (R_0 + R_V)$$

这与上面在 $\delta_{\text{外}} > \delta_{\text{内}}$ 条件下, 得出的结果也完全一样, 故选择“内接法”测量.

由此可见,“试触法”是通过两次测量的电表示数, 只比较两个百分比大小, 就可以“扔掉”电表内阻的羁绊, 从而找到较为精确的测量方案. 这比上面的模糊判断法要优越些.

4 并非题外话

值得注意的是, 上面误差分析谈论的都是实验的“理论性”来源, 即实验原理和实验方法不完善所引起的误差. 但在具体实验操作时, 比如电表的“读数误差”, 它与电表准确度的等级相关, 中学实验所用磁电式电表一般都是 2.5 级, 就是说电表指针在任何位置的示值与真实值之差与满刻度的百分比都不超过 2.5% 的误差. 其次, 电阻箱的“计数误差”, 一般来说, 中学物理实验用的电阻箱的准确度等级为 0.1 级, 这表示电阻箱的电阻不确定度为

$$\Delta R = 0.1\% R + 0.005(N + 1) \Omega$$

式中 R 为实际取用的电阻, N 为实际使用的十进电阻盘个数. “伏安法”测电阻几乎都逃不掉这两项误差. 也可以说, 尽管实验的“理论性”误差我们可以遴选较小的方案, 但如果“读数与计数”的等级误差控制不好的话, 其测量结果也不是我们想要的. 甚至于, 即便有时在实验原理和方法上不够完善, 但在其他方面的误差(如“等级误差”等)可以控制得很好的话, 其实验也能测量到一个可接受的结果.