

物理实验室

“电池电动势和内阻的测量”系统误差 分析方法评析与创新

方 晨 (江苏省清江中学 江苏 223001)

摘要 “电池电动势和内阻的测量”是高中物理学生分组实验,由于电表不理想而引起的系统误差分析是该实验的重要研究内容,已有的误差分析方法有优点也存在不足。本文提出一种新的系统误差分析方法,独辟蹊径,推导计算简单、结果定量精确,学生很容易理解。

关键词 误差分析 测量值 真实值 评析 电动势 内阻

文章编号 1002-0748(2022)8-0021

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

在新、旧物理课程标准(2017年版、2003年版)中,“电池电动势和内阻的测量”一直被列为高中物理学生分组实验,典型的测量电路如图1所示(对电源而言,可以称为电流表的外接法),由于电表不理想而引起的系统误差分析是该实验的重要研究内容及电路设计、器材选择的依据。

1 误差分析常用方法与评析

1.1 方程解析法

在人教版普通高中教科书教师教学用书物理必修第三册第122—123页^[1],针对图1测量电路进行误差分析时,推导如下:

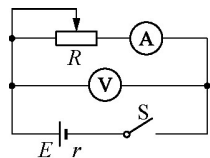


图1

根据闭合电路欧姆定律 $E = U + Ir$, 两次测量的方程为

$$E_{\text{测}} = U_1 + I_1 r_{\text{测}}, E_{\text{测}} = U_2 + I_2 r_{\text{测}}$$

$$\text{解得: } E_{\text{测}} = \frac{I_2 U_1 - I_1 U_2}{I_2 - I_1}, r_{\text{测}} = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1}。$$

设电源电动势和内阻的真实值分别为 $E_{\text{真}}$ 、 $r_{\text{真}}$, R_V 表示电压表内阻,考虑到电压表的分流,方程组变为

$$E_{\text{真}} = U_1 + \left(I_1 + \frac{U_1}{R_V}\right)r_{\text{真}}, E_{\text{真}} = U_2 + \left(I_2 + \frac{U_2}{R_V}\right)r_{\text{真}}$$

$$\text{解得: } E_{\text{真}} = \frac{I_2 U_1 - I_1 U_2}{(I_2 - I_1) - \frac{U_1 - U_2}{R_V}}, r_{\text{真}} =$$

$$\frac{U_1 - U_2}{(I_2 - I_1) - \frac{U_1 - U_2}{R_V}}。$$

比较得: $E_{\text{测}} < E_{\text{真}}, r_{\text{测}} < r_{\text{真}}$ 。

评析 上面的误差分析中, $E_{\text{真}}$ 、 $r_{\text{真}}$ 的推导过程及表达式比较繁琐,学生很难掌握,而且从推导出的测量值与真实值的表达式看,测量值与真实值两者差别似乎还与 I 、 U 有关,掩盖了问题的本质,其实系统误差产生的原因只是由于电压表分流而导致电流表测得的电流与流过电源的电流有差别引起的,因而这种分析方法切入的角度并不好。

1.2 $U-I$ 图象法

在理论上准确的表达式应该是 $E = U + (I_V + I_A)r$, 其中电压表示数 U 就是电源两端的电压, I_V 为流过电压表的电流, I_A 为流过电流表的电流,也就是电流表测得的值,即 $I_{\text{测}} = I_A$, 流过电源的电流 $I_{\text{真}} = I_{\text{测}} + I_V$ 。因为实验中忽略了通过电压表的电流 I_V 而形成了系统误差,而且电压表示数越大, I_V 越大。当电压表示数为零

时, $I_V = 0$, 短路电流真实值 = 电流表测量值。据此分析,在 $U-I$ 坐标系中画出的对应测量值与真实值的两条图线如图2所示,根据截距和斜率的物理意义容易得 $E_{\text{测}} < E_{\text{真}}, r_{\text{测}} < r_{\text{真}}$ 。

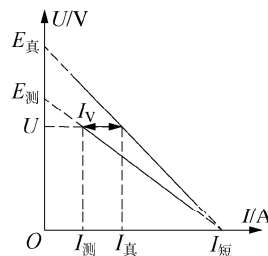


图2

评析 在教师引导下让学生正确画出 $U-I$ 图象存在一定困难,尽管依据画出的 $U-I$ 图象进行误差分析直观形象、一目了然,但也只能进行定性的误差分析,不能得出测量值与真实值之间的定量关

系,存在很大的局限性。

1.3 等效电源法

将图 3 中虚线框内作为等效电源,则电压表和电流表测得的值就是等效电源的路端电压和流过等效电源的电流,因此电动势和内阻的测量值就等于等效电源的电动势和内阻。根据等效电源电动势和等效内阻($E_{\text{测}}$ 和 $r_{\text{测}}$)的计算方法,可得 $E_{\text{测}} =$

$$\frac{R_V}{R_V + r_{\text{真}}} E_{\text{真}} < E_{\text{真}}, r_{\text{测}} = \frac{R_V}{R_V + r_{\text{真}}} r_{\text{真}} < r_{\text{真}}。$$

评析 等效电源法尽管能得出误差分析的定量结果,但是对中学生而言,对等效电源的电动势的理解和计算难度较大,教学实践表明,运用此方法,不少“好学生”通常也是似懂非懂。

2 误差分析创新方法与应用

根据闭合电路欧姆定律,结合恒等式对应项系数应该相等的数学知识,容易得到误差分析的定量结果,分析如下。

用 U 、 I 分别表示电路在某一状态下电压表、电流表的示数,他们随着滑动变阻器接入电路阻值的变化在一定范围内变化。

计算测量值的方程为: $E_{\text{测}} = U + Ir_{\text{测}}$, 移项得: $U = E_{\text{测}} - Ir_{\text{测}}$ 。

计算真实值的方程为: $E_{\text{真}} = U + \left(I + \frac{U}{R_V}\right)r_{\text{真}}$,

$$\text{整理得: } U = \frac{R_V}{R_V + r_{\text{真}}} E_{\text{真}} - I \frac{R_V}{R_V + r_{\text{真}}} r_{\text{真}}。$$

显然两个 U 表达式的右边应该相等,注意到 I 是变量,根据恒等式对应项系数应该相等的数学知识得, I 的一次项系数及常数项应分别相等,因此得到

(上接第 10 页)

识应用等不同角度设置作业难度,根据“双减”政策规定,应以体现核心素养、面向全体学生的基础性作业为主,辅以适量一定难度的作业,以满足不同学生的学习发展需求;四是合理调控作业量,避免机械训练、简单重复,切实减轻学生的课业负担。此外,教师还应注重作业的批改、分析和讲评辅导,注重评价学生的学习态度和学习成果,以充分发挥作业的育人功能。

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 年版)

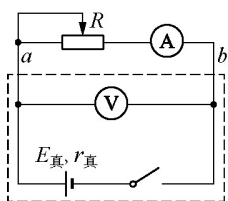


图 3

$$E_{\text{测}} = \frac{R_V}{R_V + r_{\text{真}}} E_{\text{真}} < E_{\text{真}}, r_{\text{测}} = \frac{R_V}{R_V + r_{\text{真}}} r_{\text{真}} < r_{\text{真}}$$

由此可以清楚地反映出电动势和内阻的测量值与真实值的关系,以及影响误差大小的相关因素。与前面常用方法相比,该分析方法学生容易理解、推导计算简单、结果又定量精确。

运用该方法分析如图 4 所示的测量电路(对电源而言,可以称为电流表的内接法),由于电表不理想引起的实验系统误差,电流表内阻用 R_A 表示。

计算测量值的方程为: $E_{\text{测}} = U + Ir_{\text{测}}$, 移项得: $U = E_{\text{测}} - Ir_{\text{测}}$ 。

计算真实值的方程为: $E_{\text{真}} = U + I(r_{\text{真}} + R_A)$, 移项得: $U = E_{\text{真}} - I(r_{\text{真}} + R_A)$ 。

所以 $E_{\text{测}} - Ir_{\text{测}} = E_{\text{真}} - I(r_{\text{真}} + R_A)$ 。

根据变量 I 的一次项系数及常数项应分别相等,得

$$E_{\text{测}} = E_{\text{真}}, r_{\text{测}} = r_{\text{真}} + R_A$$

测量干电池电动势和内阻时,因为在通常情况下,电压表内阻 R_V 比干电池内阻 r 大很多,而干电池内阻 r 与电流表内阻 R_A 相差不大,如果用图 4 所示电路测量,内阻测量将有较大误差,所以应该用图 1 所示电路测量。而测量水果

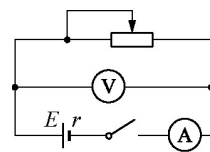


图 4

电池电动势和内阻时,由于其内阻 r 可以达到几千欧,远大于电流表内阻 R_A ,所以用图 4 所示电路测量系统误差较小。

参考文献

[1] 人民教育出版社课程教材研究所物理课程教材研究开发中心. 普通高中教科书教师教学用书·物理(必修第三册)[M]. 北京:人民教育出版社,2019:122—123.

[S]. 北京:人民教育出版社,2018.

[2] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2011 年版)[S]. 北京:人民教育出版社,2012.

[3] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2022 年版)[S]. 北京:北京师范大学出版社,2022.

[4] 成尚荣. 为“双减”政策深入实施提供课程依据和专业支撑[EB/OL]. http://www.moe.gov.cn/fbh/live/2022/54382/zjwz/202204/t20220421_620115.html.

[5] 刘月霞. 指向“深度学习”的教学改进:让学习真实发生[J]. 中小学管理,2021(5):13—17.

[6] 中华人民共和国教育部. 义务教育课程方案(2022 年版)[M]. 北京:北京师范大学出版社,2022.