

创设科学真实实验情境 命制高质有效高考试题*

——以两道高考电学实验题为例

姜付锦

(武汉市黄陂一中试题研究中心 湖北 武汉 430300)

张保雷

(中国人民大学附属中学三亚学校 海南 三亚 572000)

(收稿日期:2023-02-20)

摘要:通过对两道高考电学实验题的理论分析,发现高考实验试题的数据或图像也会出现不合理的地方,这些不合理往往是没有完全尊重“真实”实验造成的,基于此我们提出3点实验试题命制的建议.

关键词:实验试题情境;系统误差;理论分析;数据自洽;命题建议

高考评价体系规定了高考的考查载体——情境,以此承载考查内容,实现考查要求.高考评价体系中所谓的“情境”即“问题情境”,指的是真实的问题背景,是以问题或任务为中心构成的活动场域.“真实”是高考试题情境的基本要求,高考以真实的生活实践问题情境或学习探索问题情境为载体,回归人类知识生产过程的本源,还原知识应用的实际过程,符合人类知识再生产过程的规律,为解决在当今知识爆炸时代,如何通过考试引领教育回归到培养人、培养学生形成改造世界的实践能力这一重大问题提供了可行的路径.

1 “半偏电压法”测量电阻电路

“半偏法”是一种常见的测量电表电阻的实验方法,其电路简单、操作方便,精度较高,是测量电表电阻的简单有效方法,也是高中物理教学和考试的重要内容.本文根据误差理论,通过误差的具体计算,来探寻“半偏电压法”测量电表电阻实验系统误差的来源.

如图1所示,先将变阻器的滑片调到最左边,然

后把开关 S_1 、 S_2 都闭合并调节滑动变阻器的阻值使电压表满偏,最后再断开开关 S_1 并调节电阻箱的阻值使电压表半偏,记下电阻箱的阻值 R' ,认为此时电压表的内阻就等于 R' .

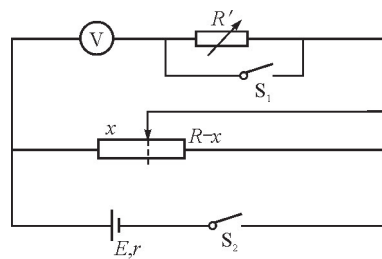


图1 “半偏电压法”测量电阻电路图

现在考察图1的电路,“半偏电压法”电路中要求电阻箱 R' 值远大于变阻器 R 值,才能认为电阻箱的值 R' 与电压表的内阻 R_V 近似相等.但实际上,电阻箱在接入电路后,这一支路电阻变大,并联电阻变大分压变大.当电压表半偏时,电阻箱上的分压是大于 $\frac{U_V}{2}$,所以电阻箱的值大于 R_V ,用 R' 代替 R_V 结果偏大.

1.1 系统误差计算

为了提高实验的精度,可以改变两次的偏角大

* 2021年武汉市教育科学规划重点课题“基于新课标的高中情境化命题实践研究”,课题编号:2021A051;2022年度海南省教育科学规划一般课题“基于项目式学习的高中物理自制教具研发与应用研究”,课题编号:QJY20221030;文山学院“创新与引领——中学物理创新思维课程教学团队”项目研究成果之一.

作者简介:姜付锦(1978-),男,中教高级,《物理通报》第十一届编委,主要从事中学物理教学及试题研究.

小关系.如图1所示,设电压表第一次是满偏,第二次的偏角是第一次的 n 倍($0 < n < 1$),电源电动势为 E ,滑动变阻器滑片左侧电阻为 x ,则有以下表达式

关 S ;

$$U_V = \frac{\frac{R_V x}{R_V + x}}{\frac{R_V x}{R_V + x} + R + r - x} E$$

$$nU_V = \frac{\frac{(R_V + R')x}{R_V + R' + x}}{\frac{(R_V + R')x}{R_V + R' + x} + R + r - x} \frac{R_V}{R_V + R'} E \quad (1)$$

式(1)可化简为

$$R_V = \frac{n}{1-n} R' - \frac{x(R+r-x)}{R+r} \quad (2)$$

式(2)中 $\frac{x(R+r-x)}{R+r}$ 是这种测量方法的系统误差,可见该测量方法的系统误差与电表偏转角度无关,电源与滑动变阻器选定后,该测量方法的系统误差就确定了.

由式(2)得:当 n 越小时,电表偏转角度越大,电表读数的相对误差越小,其测量精度会提高;当 $n = \frac{1}{2}$ 时

$$R_V = R' - \frac{x(R+r-x)}{R+r} \quad (3)$$

认为 $R_V = R'$,其测量值是偏大的;当 $R' \gg R$ 时

$$R_V = \frac{n}{1-n} R' \quad (4)$$

实际上测量值偏大.

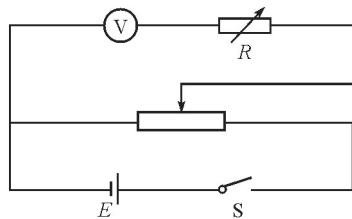
1.2 真题再现

【例1】(2016年高考全国新课标卷Ⅱ第23题)某同学利用图2(a)所示电路测量量程为2.5 V的电压表的内阻(内阻为数千欧姆),可供选择的器材有:电阻箱 R (最大阻值99 999.9 Ω),滑动变阻器 R_1 (最大阻值50 Ω),滑动变阻器 R_2 (最大阻值5 k Ω),直流电源 E (电动势3 V),开关1个,导线若干.

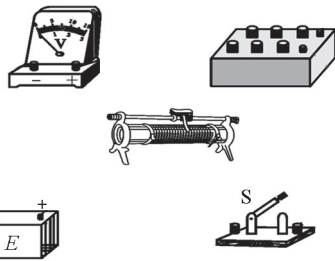
实验步骤如下:

(1)按电路原理图2(a)连接线路;

(2)将电阻箱阻值调节为零,将滑动变阻器的滑片移到与图2(a)中最左端所对应的位置,闭合开



(a)



(b)

图2 例1题图

(3)调节滑动变阻器使电压表满偏;

(4)保持滑动变阻器的滑片位置不变,调节电阻箱阻值,使电压表的示数为2.00 V,记下电阻箱的阻值.

回答下列问题:

(1)实验中应选择滑动变阻器_____ (填“ R_1 ”或“ R_2 ”).

(2)根据图2(a)所示电路将图2(b)中实物图连线.

(3)实验步骤(4)中记录的电阻箱阻值为630.0 Ω ,若认为调节电阻箱时滑动变阻器上的分压不变,计算可得电压表的内阻为_____ Ω (结果保留到个位).

(4)如果此电压表是由一个表头和电阻串联构成的,可推断该表头的满刻度电流为_____ (填正确答案标号).

- A. 100 μ A B. 250 μ A
C. 500 μ A D. 1 mA

【参考答案】

(1) R_1 ; (2) 连线略; (3) 2 520; (4) D.

1.3 对实验数据的质疑

由于直流蓄电池的内阻通常情况下很小,一般情况下是以毫欧为单位,本实验中可以忽略电源内阻,利用式(2)得

$$R_V = \frac{n}{1-n} R' - \frac{x(R-x)}{R} \quad (5)$$

式中 n 是电压表第二次偏转的角度是满偏的倍数, 在本题中

$$n = \frac{2.00}{2.50} = \frac{4}{5} \quad (6)$$

R' 是电阻箱的阻值, R 是滑动变阻器的总阻值, x 是滑动变阻器左边部分的电阻值, 则该实验的系统误差为

$$\Delta R_V = \frac{x(R-x)}{R} \quad (7)$$

该实验电源电动势为 $E = 3 \text{ V}$, 电表的满偏电压为 $U_V = 2.5 \text{ V}$, 滑动变阻器的最大阻值为 50Ω , 滑动变阻器左边部分的电阻

$$x \approx \frac{U_V}{E} R = \frac{2.5 \text{ V}}{3 \text{ V}} \times 50 \Omega = 41.67 \Omega \quad (8)$$

该实验系统误差为

$$\Delta R_V = \frac{x(R-x)}{R} = \frac{41.67 \times (50 - 41.67)}{50} \Omega \approx 6.94 \Omega \quad (9)$$

由本题第(4)问结果可得电压表的电阻为

$$R_V = \frac{U_V}{I_V} = \frac{2.5}{1 \times 10^{-3}} \Omega = 2500 \Omega \quad (10)$$

结合第(3)问可得该实验的误差为

$$2520 \Omega - 2500 \Omega = 20 \Omega$$

相比该实验误差的理论值 6.94Ω 过大了, 不符合实际情况.

1.4 改进措施

该实验的系统误差是 $\Delta R_V = 6.94 \Omega$, 我们可以取 $\Delta R_V = 4 \Omega$, 原题中的数据可设置成“电阻箱阻值为 626.0Ω ”, 则电压表内阻的测量值为 2504Ω .

2 “V-A法”测量电阻电路

【例2】(2020年高考全国卷 I 第22题) 某同学用伏安法测量一阻值为几十欧姆的电阻 R_x , 所用电压表的内阻为 $1 \text{ k}\Omega$, 电流表内阻为 0.5Ω . 该同学采用两种测量方案, 一种是将电压表跨接在图 3(a) 所示电路的 O, P 两点之间, 另一种是跨接在 O, Q 两点之间. 测量得到如图 3(b) 所示的两条 $U-I$ 图线, 其中 U 与 I 分别为电压表和电流表的示数.

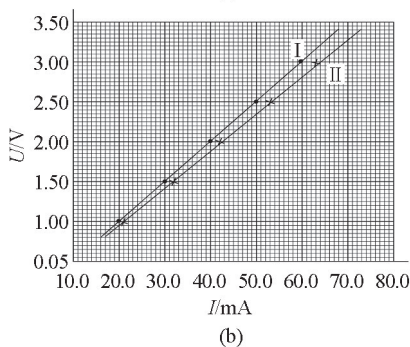
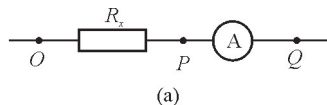


图3 例2题图

回答下列问题:

(1) 图 3(b) 中标记为 II 的图线是采用电压表跨接在_____ (填“ O, P ”或“ O, Q ”) 两点的方案测量得到的.

(2) 根据所用实验器材和图 3(b) 可判断, 由图线_____ (填“I”或“II”) 得到的结果更接近待测电阻的真实值, 结果为_____ Ω (保留 1 位小数).

(3) 考虑到实验中电表内阻的影响, 需对(2)中得到的结果进行修正, 修正后待测电阻的阻值为_____ Ω (保留 1 位小数).

2.1 第(2)问解析

由题图 3(b) 可得到图线 I 测得电阻阻值

$$R_I = \frac{3.00 - 1.00}{(59.6 - 20.0) \times 10^{-3}} \Omega \approx 50.5 \Omega \quad (11)$$

图 3(b) 中线 II 测得电阻阻值

$$R_{II} = \frac{3.00 - 0.95}{(64.0 - 20.0) \times 10^{-3}} \Omega \approx 46.6 \Omega \quad (12)$$

待测电阻阻值约为 50Ω , 有

$$\frac{R_V}{R_x} = \frac{1000 \Omega}{50 \Omega} = 20 \quad \frac{R_x}{R_A} = \frac{50 \Omega}{0.5 \Omega} = 100 \quad (13)$$

$$\text{因为} \quad \frac{R_V}{R_x} < \frac{R_x}{R_A} \quad (14)$$

电流表采用内接法更接近待测电阻的真实值, 电压表跨接在 O, Q 两点, 故图 3(b) 中线 I 得到的结果更接近待测电阻的真实值, 测量结果为 50.5Ω . 电压表跨接在 O, Q 之间, 测得的阻值为电阻与电流表内阻之和, 则

$$R = R_I - R_A = (50.5 - 0.5) \Omega = 50.0 \Omega \quad (15)$$

2.2 对实验数据的质疑

当电压表跨接在 O 、 P 两点时, 电流表外接得 $R_{\parallel} \approx 46.6 \Omega$, 此接法测量结果相当于被测电阻与电压表并联后的值, 有

$$\frac{1}{R_{\parallel}} = \frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_V} \quad (16)$$

取内接法测量结果减去电流表电阻的结果 50.0Ω 为真实值, 可以求得电压表电阻 R_V , 这与试题所给电压表的内阻为 $1 \text{ k}\Omega$ 相去甚远.

试题给出电压表的内阻为 $R_V = 1 \text{ k}\Omega$, 图 3(b) 中线 II 测得电阻阻值

$$R_{\parallel} \approx 46.6 \Omega \quad (17)$$

由式(16)亦可算出没有电压表电阻影响的电阻值

$$R_x = 48.9 \Omega \quad (18)$$

与内接法测量结果明显不一致, 按试题要求“保留 1 位小数”, 此法没有得到正确结果, 从理论上分析两种方法均已排除电表电阻的影响, 测量结果应该一致才对.

3 笔者设计的一道电学实验题

【例3】某实验小组现采用如图 4(a) 所示的电路图测量电流表的内阻 r_g , 可选用器材如下:

电阻箱甲, 最大阻值为 $9\,999.9 \Omega$;

电阻箱乙, 最大阻值为 999.9Ω ;

电源 E , 电动势约为 3 V , 内阻不计;

另外有开关 2 个, 导线若干, 量程为 0.5 mA 的电流表.

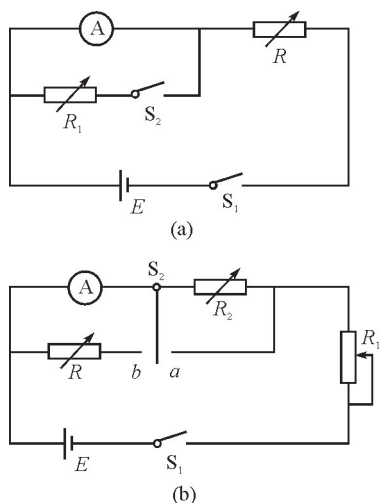


图 4 例 3 题图

实验步骤为:

① 断开 S_1 、 S_2 , 将 R 调到最大;

② 合上 S_1 , 调节 R , 使表 A 满偏;

③ 合上 S_2 , 调节 R_1 , 使表 A 半偏, 则 $r_g = R_1$.

(1) 可变电阻 R_1 应选择 _____ (填“甲”或“乙”), 为使结果尽可能准确, 可变电阻 R 应选择 _____ (填“甲”或“乙”).

(2) 认为内阻 $r_g = R_1$, 此结果与 r_g 的真实值相比 _____ (填“偏大”“偏小”或“相等”).

(3) 某同学根据图 4(a) 设计了图 4(b) 所示的电路, 电源电动势忽略不计. 实验步骤为:

1) S_1 断开, 把 R_1 调到最大;

2) S_1 闭合, S_2 接 a , 调节 R_1 使电流表满偏;

3) 再将 S_2 接 b , 同时调节 R 和 R_2 , 使 $R_2 = \frac{R}{2}$,

且使电流表半偏.

按照以上步骤测量电流表的内阻 $r_g = R$, 此结果与 r_g 的真实值相比 _____ (填“偏大”“偏小”或“相等”).

3.1 参考答案

(1) 乙 甲; (2) 偏小; (3) 相等.

3.2 解析过程

(1) 可变电阻 R_1 应选择小电阻, 所以应该是乙; R 应该选择大电阻, 所以是甲.

(2) 当电路 R_1 接入电路后, 干路中总电阻变小, 电流变大, 当电流表半偏时流过电阻箱的电流是大于电流表中的电流的, 所以用电阻箱的阻值代替电流表阻值是偏小的.

(3) 当图 4(b) 中电流表满偏时, 则

$$I_g = \frac{E}{R_1 + R_A} \quad (19)$$

当图 4(b) 中电流表半偏时, 则

$$\frac{1}{2} I_g = \frac{E}{R_1 + R_2 + \frac{R R_A}{R + R_A}} \cdot \frac{R}{R + R_A} \quad (20)$$

由于

$$R = 2R_2 \quad (21)$$

联立式(19)、(20)、(21) 求得

$$R_A = R \quad (22)$$

(下转第 151 页)

$$v = 2\sqrt{\frac{Eqx}{m}} \quad (14)$$

4 带电粒子出进有界分时段静电场 电场力做功与路径有关

如图5所示,是回旋加速器的示意图.

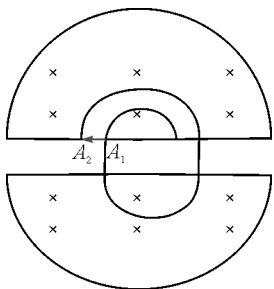


图5 回旋加速器加速示意图

在回旋加速器中,粒子在 A_1 处,电场的方向竖直向下,粒子运动到 A_2 处,电场的方向也是竖直向下,如果认为电场力做功与路径无关,选择如图5所示水平向左的路径,从 A_1 到 A_2 电场力没有做功,所以 A_1 点的速度和 A_2 点的速度一样,从而回

旋加速器不能达到加速的目的.这种理解是错误的,第一,回旋加速器中的静电场为交变电场;第二,带电粒子运动出电场,然后在磁场中运动,再进入电场,所以回旋加速器中粒子运动全程做功与路径有关.设半圆形金属盒的距离为 d ,则由动能定理得

$$Eq \cdot 2d = \frac{1}{2}mv_{A_2}^2 - \frac{1}{2}mv_{A_1}^2 \quad (15)$$

从而在回旋加速器中,粒子的速度越来越大.

5 总结与反思

电场力做功与路径无关的条件是带电粒子在静电场中运动,如果带电粒子运动出静电场的边界,然后从非等势点进入静电场,电场力做功与路径有关.同时静电场特指全过程中电场不是时间的函数,不然带电粒子在变化的电场中,电场力做功也与路径有关.

参考文献

- [1] 陈熙谋. 物理选修3-1[M]. 北京: 教育科学出版社, 2016.

(上接第144页)

4 实验试题命制建议

4.1 表述要严格

试题语言表述精准得当,是对试题的基本要求.实验试题中实验数据、实验仪器往往是试题所特有的,这些真实的东西往往和真实情况有关,又千变万化,规定表述“套路”有时不同,电压表的内阻为 $1\text{ k}\Omega$,还是约为 $1\text{ k}\Omega$,一字之差,实验方案的设计、实验数据的处理、实验结果的计算都相差甚远.

4.2 创新要谨慎

命题者想办法创新是无可厚非的,创新要在自己能把控的范围内,突发奇想把问题引向另一方向时,需要认真论证,多角度思考,有时需要高站位进行思考、讨论或计算,否则可能误入歧途.创新往往需要同行的帮助,需要审题者从学生的角度审视试题,确保试题符合学生的思维习惯和认知水平.

4.3 数据要真实

笔者认为实验试题的命制既要考虑到所要考

查的学生素养,又要考虑到真实的实验情况;既要自圆其说,又要有创新,真是不容易.但是实验试题的命制又有其他试题所没有的优势,那就是实验试题命制的灵感可以来自真实实验,实验过程的各个环节、实验误差分析、实验方案创新等均可作为实验试题创新带来良机.物理研究“真”问题,向学生传递“真”理,实验贵在真实,实验试题无论如何创新均应该以“真”为基础.以真实实验为基础进行实验试题命制,不仅给师生以正确导向,还可以避免不少争议;以真实实验为基础进行实验试题命制,有时可以尝试把真实实验图片作为获得实验数据的素材,这样还可以把实验证据的获得、处理、加工过程还给学生,不仅真实,还可以更好地考查学生的科学探究素养水平.

参考文献

- [1] 张保雷,姜付锦.“半偏法”测电表内阻实验系统误差的理论分析与实验验证[J]. 物理教师, 2018(12): 55-58.
 [2] 张静,许勤. 对半偏法测电压表内阻的系统误差的分析的完善与验证[J]. 中学物理教学参考, 2019(12): 33-36.
 [5] 张保雷,刘大明. 基于时空记录情境下的加速度测量问题的探讨——以2021年普通高等学校招生全国统一考试(全国甲卷)22题为例[J]. 教学考试, 2022(4): 7-9.