

# 用半偏法测电表内阻的实验研究

梁宏燕

(中科院上海实验学校 上海 201800)

冯杰

(上海师范大学数理学院 上海 200234)

(收稿日期:2020-12-06)

**摘要:**对于半偏法测电表内阻存在方案误差,可通过加控制电表改进.本文分析了半偏法的测量原理,进行了理论计算,探究了误差来源,提出了改进方案.最后结合高考真题解析,使得理论计算和误差分析与实际应用相结合,来深入认识半偏法的科学思想.因此,在物理实验教学中,对根据实验目的选择实验器材,设计实验原理和操作步骤,进行数据处理和误差分析,反思实验结果,提出改进的措施,让学生经历这样的学习过程也是物理学科核心素养教学“落地”的有效方式.

**关键词:**半偏法 误差分析 实验验证 考题分析 核心素养

半偏法测电阻实质上属于“电表的改装”知识,主要考查对欧姆定律、串并联电路规律的综合灵活应用情况,通过增加试题的开放性,可以考查学生的创新意识,因此,该实验是高考的热点.在2017版《高中物理课程标准》中提出注重学生物理学科核心素养的培养,《考试大纲》中提出了“一核四层四翼”命题要求的背景下,2019年高考全国卷I第23题重温了电表改装这一经典实验,提醒教师注重教材中的学生实验.本文以半偏法测电阻实验为例,介绍了半偏法以及改进方案的实验原理,从定性和定量两个方面对实验误差进行了分析,并用实验结果证明了理论误差的推导是正确的.最后,通过对2015和2019年实验题的分析,展示了在高考中正在落实物理核心素养,在科学探究中要求学生具备一定的注重实验过程的能力、分析综合能力以及反思的能力.

根据控制电路滑动变阻器的连接方式不同,半偏法可分为限流式半偏法和分压式半偏法.

## 1 限流式半偏法

### 1.1 实验原理

如图1所示, $R_p$ 是滑动变阻器, $R'$ 是电阻箱,闭合开关 $S_1$ ,调节滑动变阻器,使电流表指针偏转到满刻度(不得超过满刻度),记为 $I_g$ .然后,保持滑动

变阻器数值不变,再闭合开关 $S_2$ ,调整电阻箱 $R'$ 的阻值,使电流表指针正好到满刻度的一半 $\frac{I_g}{2}$ .当 $R_p$ 远大于 $r_g$ 时,认为干路中电流基本保持不变,可以认为电流表的内阻等于电阻箱的示数 $R'$ ,电源内阻忽略不计.

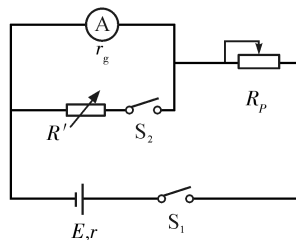


图1 限流式半偏法原理图

### 1.1.1 误差的定性分析

保持滑动变阻器阻值不变,闭合 $S_2$ ,电流表与电阻箱并联,并联电阻小于 $r_g$ ,使总电流增大,通过电阻箱的电流大于 $\frac{I_g}{2}$ ,电阻箱的读数小于电流表的内阻,即测量值小于真实值.

### 1.1.2 误差的定量分析

要准确表征测量值与真实值之间的偏差,需对误差进行计算.

闭合开关 $S_1$ ,断开开关 $S_2$ ,电流表指针偏转到满刻度时,其示数记为 $I_1$ ,有

$$I_1 = \frac{E}{R_p + r_g} \quad (1)$$

开关  $S_1$  和  $S_2$  都闭合时, 电流表指针偏转到满刻度的一半, 示数记为  $I'_1$ , 有

$$I'_1 = \frac{E}{R_p + \frac{R'r_g}{R'+r_g}} \frac{R'}{R'+r_g} \quad (2)$$

联立式(1)、(2)得, 电表内阻  $r_g$  为

$$r_g = \frac{(I_1 - I'_1)R_p R'}{I'_1(R_p + R') - I_1 R'} \quad (3)$$

由于  $I_1 = I_g$ ,  $I'_1 = \frac{1}{2}I_g$ , 以此代入式(3)可得

$$r_g = \frac{R_p}{R_p - R'} R' > R' \quad (4)$$

则实际值大于测量值。因此, 当干路中的滑动变阻器阻值非常大时, 得出下式

$$r_g = R' \quad (5)$$

## 1.2 误差的主要来源

误差一般包括随机误差和系统误差, 前者可通过多次测量减小, 系统误差的来源主要有方案设计、仪器精度、测量环境和测量人员。本文只定量分析方案设计和仪器精度所产生的系统误差(分别简称为方案误差和仪器误差), 通过计算其相对误差来确定实验误差的主要来源。

### 1.2.1 方案误差

误差公式

$$\delta_1 = \left| \frac{R' - r_g}{r_g} \right|$$

将式(4)代入  $\delta_1$  的表达式, 得

$$\delta_1 = \frac{R'}{R_p} \left( \approx \frac{r_g}{R_p} \right) \quad (6)$$

由于  $R_p$  远大于  $r_g$ , 则方案误差非常小。

### 1.2.2 仪器误差

在式(3)中, 考虑到实验所满足的条件:  $R_p \gg R'$  ( $r$  可以略去不计), 可将式(3)近似为

$$r_g = \frac{I_1 - I'_1}{I'_1} R' \quad (7)$$

根据误差公式(绝对值和法)可得

$$\delta_2 = \frac{|\Delta I'_1|}{I'_1} + \frac{2|\Delta I_1|}{I_1 - I'_1} + \frac{|\Delta R'|}{R'} \quad (8)$$

仪器的精度由其准确度等级表示, 仪表的准确度等级用基本误差百分数的数值来表示, 数值越小, 精度越高。设电流表的准确度等级为  $k$  级, 则  $\Delta I = I \cdot k\%$ ; 若电阻箱的准确等级为  $a$  级, 则  $\Delta R = R \cdot a\% + b$ ,  $b$  为常数, 单位是欧姆。  $I_1 = 2I'_1$  代入式(8)得

$$\delta_2 = 6 \cdot k\% + a\% + \frac{b}{R'} \quad (9)$$

若  $k=0.5$ ,  $a=0.1$ ,  $b=0.01 \Omega$ , 则  $\delta_2 = 3\% + 0.1\%$ , 仪器误差约占  $3\%$ 。由此可见, 仪器的精确度是造成限流式半偏法误差的主要原因, 方案误差占比很小。

## 1.3 实验测量结果

实验中, 电流表选择量程为  $20 \text{ mA}$  的数字毫安表, 准确等级  $0.1$ , 干路中的滑动变阻器用电阻箱代替, 其准确等级为  $0.1$ 。电流表内阻的真实值由式(3)计算得出, 电路连接如图 1 所示, 测试结果详见表 1。

表 1 半偏法测电流表内阻数据记录表

电源电动势 $E/\text{V}$	2	4	6	8	10	12	14	16
滑动变阻器阻值 $R_p/\Omega$	105	193	280	370	460	550	639	736
测量值 $R_{\text{测}}/\Omega$	10.4	10.7	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.2
满偏电流 $I_1/\text{mA}$	19.98	19.87	19.97	19.97	19.98	19.98	19.98	19.98
半偏电流 $I'_1/\text{mA}$	9.93	10.05	9.97	9.94	9.93	9.95	9.99	10.00
真实值 $/\Omega$								
$R_{\text{真}} = \left  \frac{(I_1 - I'_1)R_{\text{测}} R_p}{I'_1(R_p + R_{\text{测}}) - I_1 R_{\text{测}}} \right $	11.53	11.34	11.45	11.33	11.27	11.22	11.19	11.37
相对误差 $\% / \%$								
$\delta = \frac{ R_{\text{测}} - R_{\text{真}} }{R_{\text{真}}}$	9.78	5.67	3.92	2.95	2.36	1.98	1.72	1.53

实验表明, 滑动变阻器接入电路中的阻值越大, 其误差越小, 当滑动变阻器阻值超过电流表内阻

的 50 倍时, 其相对误差约为  $2\%$ 。可见, 该方案从理论上推导的实验误差是正确的。

### 1.4 限流式半偏法的改进方案

若要消除方案误差,可在干路中串联一只电流表  $A_0$ ,保持干路电流不变,如图 2 所示.先接通  $S_1$ ,调节滑动变阻器  $R_P$ ,使两电流表都满偏,示数记为  $I_g$ ;再合上  $S_2$  后,可调节  $R'$  和  $R_P$ ,使电流表  $A_0$  满偏,电流表 A 半偏.由  $r_g I'_1 = R'(I_g - I'_1)$ ,可得

$$r_g = R' \quad (10)$$

虽然这一方案理论上不存在方案误差,但仪器增加了,误差是否一定减小呢.为了验证这一猜想,用数字毫安表代替指针毫安表,电阻箱代替滑动变阻器.电路连接如图 2,电流表内阻的真实值表达式

$$r_g = \frac{I_2 R_1 - I_1 R_P}{I_1 - I_3}$$

实验测量结果如表 2 所示.从表中数据可知相对误差不足 1%,此改进方案可以减少误差.

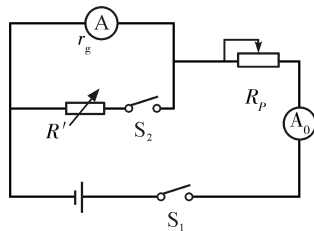


图 2 限流式半偏法的改进方案

表 2 半偏法测电流表内阻改进方案的数据记录表

电源电动势 $E/V$	2	4	6	8	10	12	14	16
只闭合 $S_1$ 时的满偏电流 $I_1/mA$	19.99	19.98	19.99	19.98	19.99	19.99	19.96	19.98
滑动变阻器阻值 $R_P/\Omega$	89	181	272	363	456	551	636	736
开关都闭合时满偏电流 $I_2/mA$	19.98	19.97	19.99	19.98	19.95	19.99	19.96	19.98
半偏电流 $I_3/mA$	9.98	9.98	9.99	9.95	9.93	9.95	9.96	9.98
滑动变阻器阻值 $R_1/\Omega$	95	187	278	369	463	557	642	742
测量值 $R'/\Omega$	12	12	12	12	12	12	12	12
真实值 $/\Omega$								
$R_{真} = \left  \frac{I_2 R_1 - I_1 R_P}{I_1 - I_3} \right $	11.89	11.80	11.99	11.95	12.07	11.95	11.98	11.99
相对误差 %								
$\delta = \frac{ R_{测} - R_{真} }{R_{真}}$	0.95	1.69	0.05	0.40	0.57	0.45	0.20	0.10

### 1.5 实验方案改进前后数据处理

利用 Origin 软件对表 1 与表 2 中的数据进行处理,绘制散点图,然后进行非线性拟合,如图 3 所示.结果显示,实验测量值与理论值吻合.

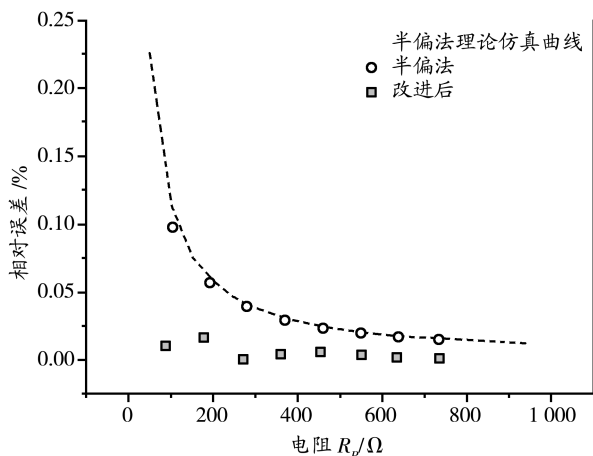


图 3 对电流表内阻的测量值拟合

由图 3 可知,当满足滑动变阻器阻值远大于电流表内阻时,原方案(电路图 1)相对误差已经非常小,与改进方案相比,它们的相对误差非常接近,且原方案(电路图 1)所用器材少,操作方便.因此,目前多数学校仍采用电路图 1 方案测电流表的内阻.

## 2 分压式半偏法

### 2.1 实验原理

如图 4 所示,断开开关,滑动变阻器  $R_P$  滑到最左端,电阻箱  $R_2$  调到最大;闭合  $S_1$  和  $S_2$ ,调节滑动变阻器  $R_P$ ,使电压表示数达到最大  $U_0$ ;断开  $S_2$ ,滑动变阻器滑片不动,调节电阻箱  $R_2$ ,使电压表示数为  $\frac{U_0}{2}$ .假设总电阻不变,则此时电阻箱的示数  $R_2$  等于电压表的内阻  $R_V$ ,即  $R_V = R_2$ .

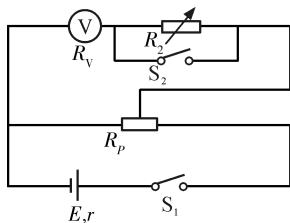


图4 分压式半偏法

### 2.1.1 误差的定性分析

断开开关  $S_2$  时,滑动变阻器滑片保持不动,而电压表支路因串联  $R_2$ ,使电路的总电阻增大,并联支路两端电压大于  $U_0$ ,则电阻箱两端的电压大于  $\frac{U_0}{2}$ ,电阻箱的读数大于电压表的内阻,即测量值大于真实值。

### 2.1.2 误差的定量分析

要准确表征测量值与真实值之间的数值关系,需要进行计算.现设定滑片左边的电阻记为  $R_{p1}$ ,右边的电阻记为  $R_{p2}$ ,滑动变阻器的总阻值记为  $R_p$ ,有电源内阻忽略不计.闭合  $S_1$  和  $S_2$  时,电压表示数记为  $U_0$ .有

$$E = U_0 + \left( \frac{U_0}{R_V} + \frac{U_0}{R_{p1}} \right) R_{p2} \quad (11)$$

只断开  $S_2$ ,滑动变阻器保持不变,调节电阻箱,使电压表示数记为  $U'$ .则

$$E = \frac{U'}{R_V} (R_V + R_2) + \left[ \frac{U'}{R_V R_{p1}} (R_V + R_2) + \frac{U'}{R_V} \right] R_{p2} \quad (12)$$

由式(11)、(12)得

$$R_V = \frac{U' R_2}{U_0 - U'} - \frac{1}{\frac{1}{R_{p1}} + \frac{1}{R_{p2}}} \quad (13)$$

由于

$$U' = \frac{U_0}{2}$$

表3 半偏法测电压表内阻数据记录表( $E=4\text{ V}$ )

滑动变阻器阻值 $R_p/\text{k}\Omega$	11.2	20	40.4	71	82	149	300	428	679.9	810	1 190	1 620	2 820
$R_{测}/\text{k}\Omega$	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.7
$R_{p1}/\Omega$	9	15.9	30	52	60.1	109	210	310	499.9	600	890	1 220	2 220
$n$	0.80	0.79	0.74	0.73	0.73	0.73	0.70	0.72	0.74	0.74	0.75	0.75	0.79
$R_{p2}/\Omega$	3.2	4.1	10.4	19	21.9	40	90	118	180	210	300	400	600

代入式(13),得

$$R_V = R_2 - \frac{R_{p1} R_{p2}}{R_p} \quad (14)$$

电压表内阻的测量值  $R_2$  大于真实值  $R_V$ .要减小误差,滑动变阻器的阻值越小越好。

## 2.2 误差的主要来源

### 2.2.1 方案误差

误差公式

$$\delta'_1 = \frac{|R_2 - R_V|}{R_V}$$

把式(14)代入得

$$\delta'_1 = \frac{R_{p1} R_{p2}}{R_p R_V}$$

另

$$R_{p1} = n R_p$$

$$R_{p2} = (1 - n) R_p$$

式中  $0 < n < 1$ ,则

$$\delta'_1 = \frac{n(1 - n) R_p}{R_V} \quad (15)$$

由于电压表的内阻  $R_V$  远大于滑动变阻器的阻值  $R$ ,一般为  $R_V = 100R$ .这样,  $\delta'_1$  最大值为 0.25%,由此可见,分压式半偏法的方案误差很小。

### 2.2.2 仪器误差

从式(14)可知,根据相对误差公式(绝对值和法),可得

$$\delta'_2 = \left| \frac{\Delta R_V}{R_V} \right| + \left| \frac{\Delta R_p}{R_p} \right| \quad (16)$$

经计算,  $\delta'_2$  的值约为 0.2%,由此可见,分压式半偏法的误差主要取决于滑动变阻器和电阻箱的精度。

## 2.3 实验测量结果与实验数据处理

实验中,干路中的滑动变阻器用电阻箱代替,其准确等级为 0.1.电压表内阻的真实值由式(14)计算得出,电路连接如图 4 所示,测得的数据如表 3 所示。

续表 3

真实值 /k $\Omega$													
$R_{真} = R_{测} - \frac{R_{P1}R_{P2}}{R_P}$	3.20	3.20	3.19	3.19	3.18	3.17	3.14	3.11	3.17	3.24	3.18	3.20	3.23
相对误差 /%													
$\delta = \frac{ R_{测} - R_{真} }{R_{真}}$	0.08	0.10	0.24	0.44	0.50	0.92	2.01	2.74	4.18	4.79	7.06	9.42	14.63

实验表明,随着滑动变阻器阻值的增大,误差也随之增大,与理论推理一致.因此,用半偏法测电压表内阻时,滑动变阻器阻值越小越好.

对半偏法测电压表内阻实验,测量数据时,不仅测量了电源电动势为 4 V 时的情况,还测量了 8 V 和 12 V 的实验数据,利用 Origin 软件对这 3 种不同电源电压的数据进行处理,如图 5 所示.

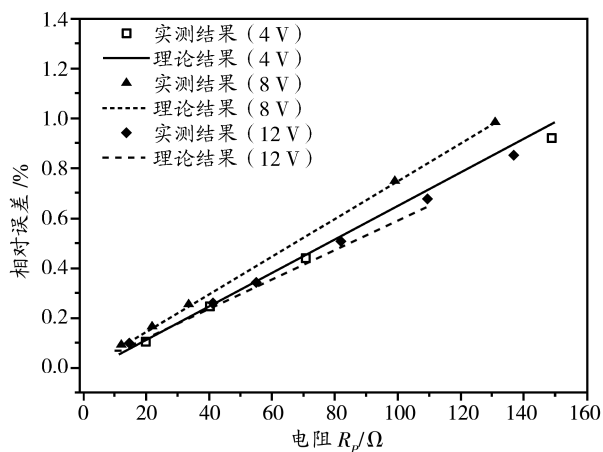


图 5 3 种电压下测电压表内阻测量值拟合

表 4 半偏法测电压表内阻改进方案的数据记录表( $E = 4\text{ V}$ )

滑动变阻器阻值 $R_P/\Omega$	11.2	20	40.4	71	82	149	340	445	740	910	1 500	2 360
$R_{测}/\text{k}\Omega$	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.4
$R_{P1}/\Omega$	9	15.9	30	52	60.1	109	250	327	560	700	1 200	1 960
$R_{P2}/\Omega$	3.2	4.1	10.4	19	21.9	40	90	118	180	210	300	400
$S_2$ 断开后 $U_1'/\text{V}$	3	3	3	3	3	3	3	3	> 3	> 3	> 3	> 3
$S_2$ 断开后 $U_2'/\text{V}$	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
真实值 /k $\Omega$	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1				

实验结果表明,对于增加控制电压表的改进方案,当滑动变阻器阻值超过电压表内阻的  $\frac{1}{7}$  时,两电压表指针将不再满足满偏和半偏关系,也就是说,在改进方案中依然要满足控制电路中的滑动变阻器阻值越小越好.

实验结果显示,测量值与理论值相符.

## 2.4 分压式半偏法的改进方案

要消除方案误差,需在电压表和变阻箱所在的支路两端加控制电压表  $V_1$ ,如图 6 所示,闭合开关  $S_1$  和  $S_2$ ,调节滑动变阻器使两电压表都满偏,再断开  $S_2$ ,调节变阻箱,可以电压表  $V_1$  满偏,电压表  $V$  半偏,则电压表内阻等于电阻箱的示数,即  $R_V = R'$ .在实验过程中,为了方便记录数据,滑动变阻器用电阻箱代替.实验数据如表 4 所示.

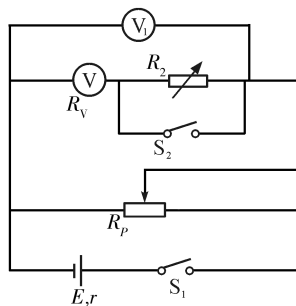


图 6 分压式半偏法改进方案

## 3 考题应用

**【例 1】**(2015 年高考全国卷 II) 电压表满偏时通过该表的电流是半偏时通过该表电流的 2 倍.某同学利用这一事实测量电压表的内阻(半偏法),实验室提供的器材如下:待测电压表 V(量程 3 V,内

阻约  $3\ 000\ \Omega$ ),电阻箱(最大阻值  $99\ 999.9\ \Omega$ ),滑动变阻器(最大阻值  $100\ \Omega$ ,额定电流  $2\ \text{A}$ ),电源  $E$ (电动势  $6\ \text{V}$ ,内阻不计),开关两个,导线若干.

(1)虚线框内为该同学设计的测量电压表内阻的电路图(图7)的一部分,将电路图补充完整.

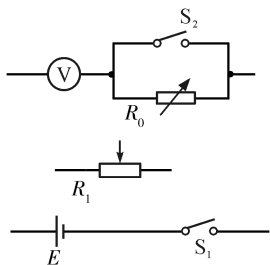


图7 例1题图

(2)根据设计的电路,写出实验步骤:\_\_\_\_\_.

(3)将这种方法测出的电压表内阻记为  $R'_V$ ,与电压表内阻的真实值  $R_V$  相比,  $R'_V$  \_\_\_\_\_  $R_V$  (选填“>”“=”或“<”),主要理由是\_\_\_\_\_.

**解析:**(1)因滑动变阻器阻值与电压表的内阻相比较,其阻值较小,所以选择分压式接法.实验电路连接如图8所示.

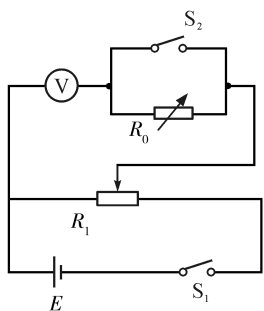


图8 测电压表内阻电路图

(2)移动滑动变阻器滑片,使通电后电压表的示数最小;闭合开关  $S_1$  和  $S_2$ ,调节  $R_1$ ,使电压表的指针满偏;保持滑片位置不动,断开  $S_2$ ,调节电阻箱,使电压表的指针半偏;读取电阻箱的电阻值,即为电压表的内阻.

(3)  $R'_V > R_V$ . 理由:断开开关  $S_2$  时,滑动变阻器滑片保持不动,而电压表支路因串联  $R_0$ ,使电路的总电阻增大,并联支路两端电压增大,则电阻箱两端的电压大于  $\frac{U_0}{2}$ ,电阻箱的读数大于电压表的内阻,即测量值大于真实值.

**点评:**本考题是对分压式半偏法测电压表内阻

的实验原理、操作步骤、误差分析的考查,其实也是对欧姆定律和串、并联电路的综合应用.第(1)问考查了滑动变阻器的连接方式,即分压式和限流式,考生需理解选择分压式连接的条件才能做出正确选择.第(2)问考查的是实验操作步骤,包括电路的保护和半偏法原理的理解,问题设置基于系统化知识,以开放性的形式呈现,能否答好此题,与学生的逻辑思维习惯有密切的联系.第(3)问是对半偏法误差分析的考查,体现了串、并联基础知识的综合应用能力.该题考查了学生对知识互相联系的掌握情况,体现了学生的综合应用能力和素养的综合表现.

**【例2】**(2019年高考全国卷I)某同学要将一量程为  $250\ \mu\text{A}$  的微安表改装为量程为  $20\ \text{mA}$  的电流表.该同学测得微安表内阻为  $1\ 200\ \Omega$ ,经计算后将一阻值为  $R$  的电阻与该微安表连接,进行改装.然后利用一标准毫安表,根据图9(a)所示电路对改装后的电表进行检测(虚线框内是改装后的电表).

(1)根据图9(a)和题给条件,将图9(b)中的实物连接.

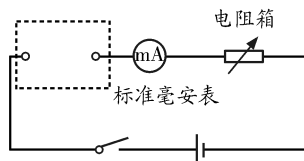
(2)当标准毫安表的示数为  $16.0\ \text{mA}$  时,微安表的指针位置如图9(c)所示,由此可以推测出改装的电表量程不是预期值,而是\_\_\_\_\_.(填正确答案标号)

- A.  $18\ \text{mA}$                       B.  $21\ \text{mA}$   
C.  $25\ \text{mA}$                       D.  $28\ \text{mA}$

(3)产生上述问题的原因可能是\_\_\_\_\_(填正确答案标号)

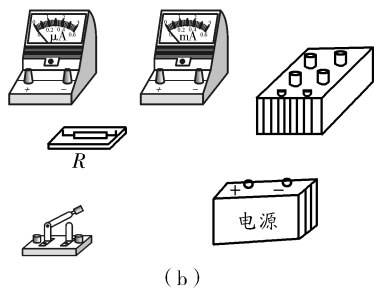
- A. 微安表内阻测量错误,实际内阻大于  $1\ 200\ \Omega$   
B. 微安表内阻测量错误,实际内阻小于  $1\ 200\ \Omega$   
C.  $R$  值计算错误,接入的电阻偏小  
D.  $R$  值计算错误,接入的电阻偏大

(4)要达到预期目的,无论怎样测得的内阻值都是正确,都不必重新测量,只需要将阻值为  $R$  的电阻换为一个阻值为  $kR$  的电阻即可,其中  $k =$ \_\_\_\_\_.

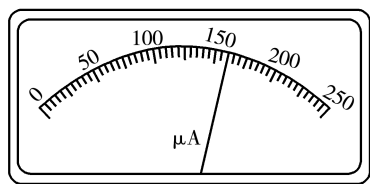


(a)





(b)



(c)

图9 例2题图

**解析:**(1) 电表改装成电流表时,微安表应与定值电阻  $R$  并联,则实物电路连接如图 10 所示。

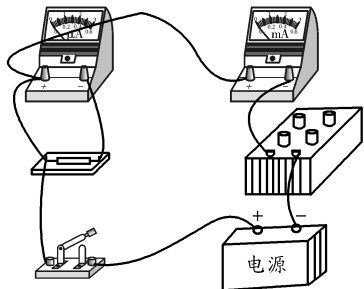


图10 微安表改装成电流表实物连接图

(2) 由标准毫安表读数可知,改装后的电流表,实际量程被扩大的倍数为 100 倍,故当原微安表表盘达到满偏时,实际量程为 25 mA,故选项 C 正确。

(3) 根据  $I_g R_g = (I - I_g)R$ ,得

$$I = \left(1 + \frac{R_g}{R}\right) I_g$$

改装后量程偏大的原因可能是,原微安表内阻真实值  $R_g$  大于  $1\ 200\ \Omega$ ;或定值电阻  $R$  的计算有误,计算值偏大,实际接入的定值电阻  $R$  阻值偏小。故选项 A、C 正确。

(4) 由于接入电阻  $R$  时,改装后的表实际量程为 25 mA,故满足  $I_g R_g = (25 - I_g)R$ ;要想达到预期目的,即将微安表改装为量程为 20 mA 的电流表,应满足  $I_g R_g = (20 - I_g)R$ ,其中  $I_g = 0.25\ \text{mA}$ ,联立解得  $k = \frac{99}{79}$ 。

**点评:**本题是对电表改装基础知识和基本技能

的考查。第(1)问是小量程的电流表改装成大量程的电流表,需并联一定值电阻,本题是从设计电路的角度进行考查。第(2)问考查学生在实验学习中的基本能力,即观察能力。第(3)问考查学生对该实验的误差分析,即反思实验结果,从而提出改进措施的能力。第(4)问在前3问的基础上进行了升华,从该题可以看出,不再拘泥于具体的半偏法测电表内阻,是该方法的推广,指针可以偏转任意角度,考查学生知识的迁移和运用能力。该题注重选材的普遍性,但突出知识体系的完整和联系,体现了核心素养背景下由关注学生学习结果转向关注学习过程的要求,引导学生培育支撑终生发展、适应时代要求的能力和综合素质。

#### 4 结束语

从 2019 年的实验考题来看,全国卷 I 的命题不再迁就中学教学“重知识轻能力,以讲实验代替做实验”的现状,而是坚持以能力和素养考查为主导。这一试题的特征是重新回归到教材重点学习的学生实验,在试题中重视实验设计原理的误差(方案误差)的考查,不注重考虑仪器带来的误差,这是鼓励学校要开展实验,如果能有效利用身边易于获取的资源又能达到实验目的更好,同时提倡充分利用资源,如同一器材能演示多个现象。

综上所述,对实验的设计实验原理、操作步骤、数据处理、误差分析的处理,以及反思实验结果,提出改进措施也是物理教学中落实核心素养的有效教学。

#### 参考文献

- 1 许智博,吴春姬,张剑楠,等.减小半偏法系统误差两法[J].物理教师,2019,40(4):58~59
- 2 陶洪.物理实验论[M].桂林:广西教育出版社,1997
- 3 张宝雷,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,2018,39(12):55~58
- 4 孟卫东,何龙.从 2019 年高考题浅谈物理学科高考与一线教学的关系[J].物理通报,2019(9):2~5
- 5 余志卫.“半偏法”测电表内阻的误差分析及改进[J].实验教学与仪器,2014(5):25~26