

用 Desmos 作图探究在限流和分压接法中滑动变阻器的选取^{*}

金惠吉 冯洁 蒋建早 刘燕春 陈东

(云南师范大学物理与电子信息学院 云南昆明 650500)

(收稿日期:2019-11-07)

摘要 在电学实验中,滑动变阻器阻值大小的选取,一直是教学的难点.文章用手机软件 Desmos 作图,通过动态图像,直观展示在滑动变阻器最大阻值不同的情况下,待测电阻两端电压随着滑片移动的变化规律,从而让学生理解滑动变阻器的选取方法.最后用一个习题体现了该方法的普适性.

关键词 滑动变阻器 限流式接法 分压式接法 Desmos 软件

1 引言

滑动变阻器在电路能安全工作的状况下,其阻值选取原则上往往是在使用分压法时,取最大阻值小于或接近待测电阻阻值,限流法时取最大阻值比待测电阻阻值大一些或相接近的滑动变阻器.这些原则的来由很多学者已经在这方面做了研究^[1~3],如用 Excel 讨论了在电阻测量中滑动变阻器的选取原则^[1].但这些研究结果还是不好在课堂上方快捷地演示给学生^[2,3],而且考虑到实验条件和课堂教学的有效性,让学生动手实验较困难.因此,本文通过一定的定量分析,结合手机 Desmos 软件作图,力图在最短的时间内让学生理解滑动变阻器的选取方法.

Desmos 图形计算器全称 Desmos Graphing Calculator,拥有快速强大的数学引擎,可立刻绘制出许多公式的图形,操作简单,占据内存小,安卓系统和 ios 系统都可下载,能轻松得到动图.还有不需要下载即可使用的网页版^[4].

2 滑动变阻器在限流和分压接法的取值分析

2.1 限流式接法滑动变阻器的取值分析

如图 1 所示^[5],不计电源内阻,设电源电动势为

E .由于定值电阻 R_1 和滑动变阻器 R_2 串联,由串联分压规律

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{U_1}{E}$$

得 R_1 两端的分压

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E$$

由此式可知当 $R_1 \gg R_2$ 时,无论滑动变阻器 R_2 如何调节, U_1 始终约等于 E ,即 R_1 上的分压调节范围太小.出于分压调节范围的考虑,可以理解限流式接法中滑动变阻器 R_2 的最大阻值不能比定值电阻 R_1 小.但为什么也不能大太多呢?通常给学生的解释是不便于调节,但学生没有亲自做过实验,并不是很清楚原因所在,下面通过一定的定量分析结合 Desmos 软件作图来解决这个问题.

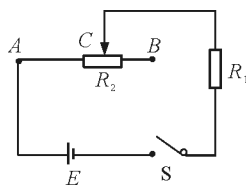


图 1 限流接法电路图

为方便用函数表达随着滑动变阻器最大阻值不同的情况下,待测电阻两端电压随着滑片移动的变化规律,不妨设图 1 中滑动变阻器 R_2 的滑片左端接

^{*} 国家教育部高等学校本科“物理学专业综合改革试点”项目资助,项目编号:ZG489

作者简介:金惠吉(1999-),男,在读本科生,物理教育专业.

通讯作者:冯洁(1975-),女,教授,硕士研究生导师,研究方向为物理学科教学、光学工程.

入串联电路中的电阻丝长度为 x , 滑动变阻器 R_2 电阻丝的总长度为 l , 并令滑动变阻器 R_2 的最大阻值为 $R_{2\max}$, 则有


$$R_2 = \frac{x}{l} R_{2\max}$$

再令

$$R_{2\max} = kR_1$$

则 R_1 上的分压可表达为

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E = \frac{R_1 E}{R_1 + \frac{x}{l} k R_1} = \frac{E}{1 + \frac{x}{l} k}$$

若令 E 的大小为 3 V , $l=0.1\text{ m}$, 则可由 Desmos 软件作图. 软件中点击  则 k 值会自动变化, 显示出图像的动态过程, 如图 2 所示.

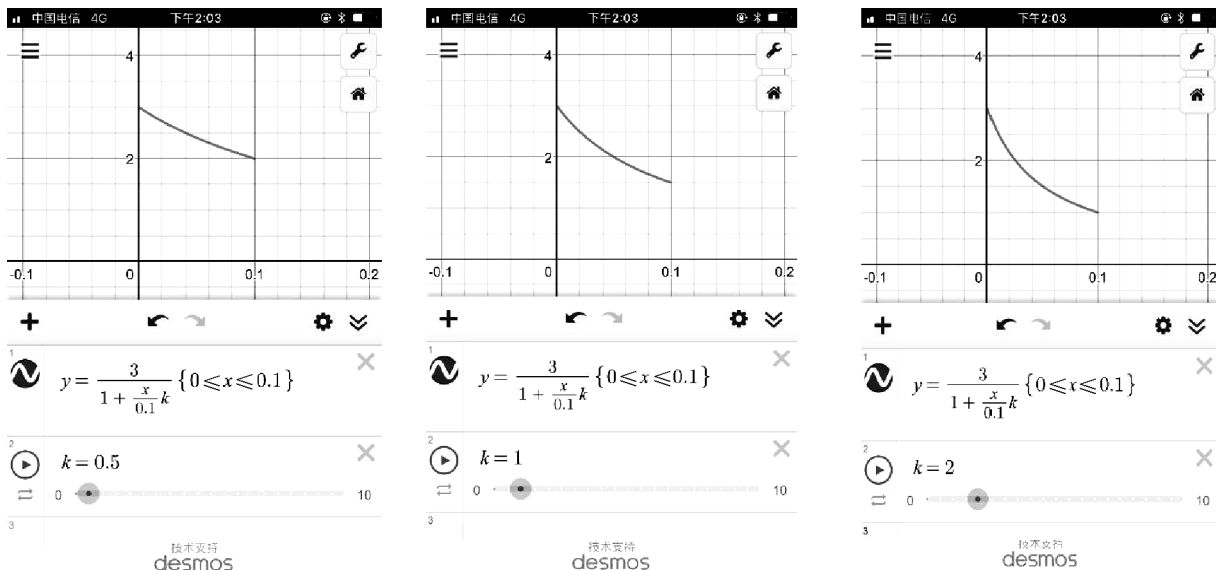


图 2 限流式接法下, 随着 k 值的变化, 函数所对应的图像

由图像可以看出, 当 k 小于 1, 即滑动变阻器 R_2 的最大阻值比待测阻值小时, 待测电阻两端的分压范围较小, 与之前通过观察 R_1 的分压函数所得出的结论一致, 另外我们还可以看出当 k 大于 1, 即滑动变阻器 R_2 的最大阻值比待测阻值大时, 随着 R_2 的增大, 线性关系将会越来越不好, 即滑动变阻器只移动一点可能会引起电压表指针的大幅度摆动, 不利于读数, 故用限流式时, 在电路安全的前提下最好选与待测电阻阻值相接近的滑动变阻器.

2.2 分压式接法滑动变阻器的取值分析

如图 3 所示^[5], 设滑动变阻器 R_3 的划片以下部分接入并联电路中的电阻丝长度为 x , 电阻为 R_x , 滑动变阻器总阻值为 R_3 , 总长 l 为 0.1 m , 电源电动势为 3 V , 不计内阻. 并令

$$R_3 = kR_1$$

$$R_x = \frac{x}{l} R_3$$

则待测电阻 R_1 两端的分压可表示为

$$U_2 = \frac{\frac{R_1 R_x}{R_1 + R_x} E}{\frac{R_4 R_x}{R_4 + R_x} + (R_3 - R_x)}$$

代入数据得

$$U_2 = \frac{E}{-\frac{k}{l}x + \frac{l}{x} + k} = \frac{3}{-\frac{k}{0.1}x + \frac{0.1}{x} + k}$$

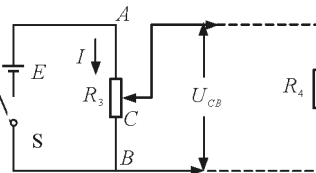


图 3 分压式接法电路图

用 Desoms 软件作图如图 4 所示.

由图 4 可见, 分压式接法中当滑动变阻器最大阻值小于待测电阻阻值时即 $k < 1$ 时线性关系较好, 而随着 k 增大, 线性关系也会越来越差, 即滑动变阻器只移动一点可能会引起电压表指针的大幅度摆动, 不利于读数, 故用分压式时, 在电路安全的前

提下最好选比待测电阻阻值小的滑动变阻器。

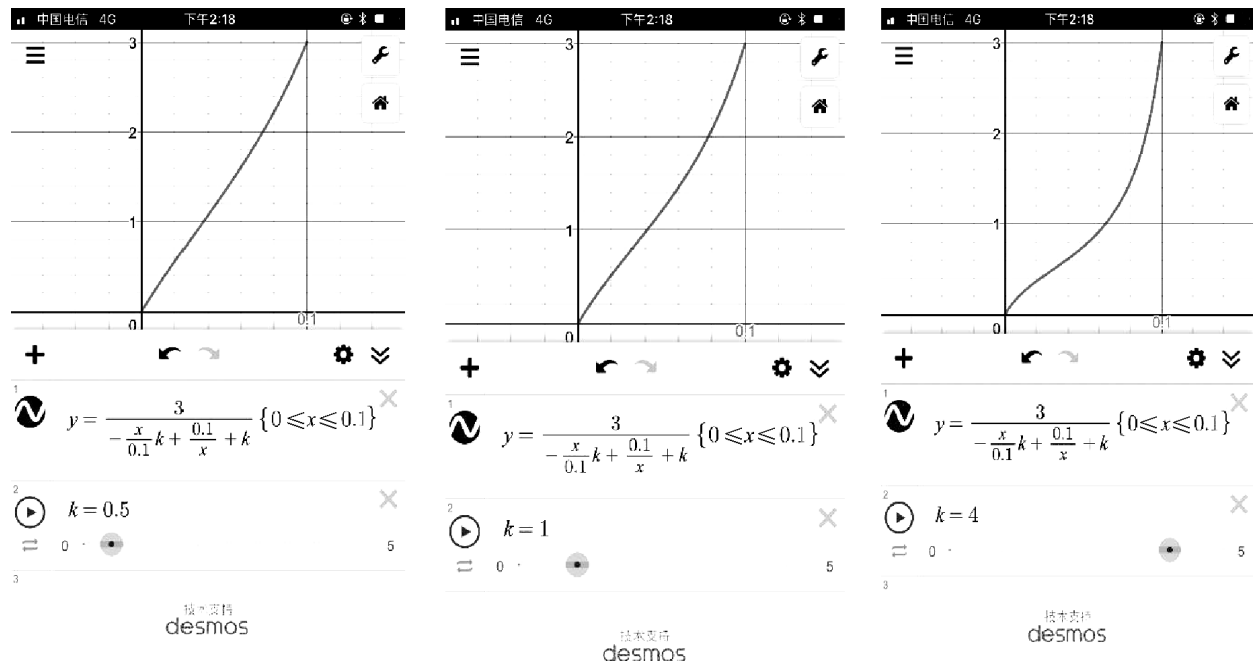


图4 分压式接法下,随着k值的变化,函数所对应的图像

3 一道电学实验题的模拟分析

【例题】为了测量某待测电阻 R_x 的阻值(约为

$30\ \Omega$),有以下一些器材可供选择^[6]。

- 电流表 A_1 (量程 $0 \sim 50\ \text{mA}$,内阻约 $10\ \Omega$);
- 电流表 A_2 (量程 $0 \sim 3\ \text{A}$,内阻约 $0.12\ \Omega$);
- 电压表 V_1 (量程 $0 \sim 3\ \text{V}$,内阻很大);
- 电压表 V_2 (量程 $0 \sim 15\ \text{V}$,内阻很大);
- 电源 E (电动势约为 $3\ \text{V}$,内阻约为 $0.2\ \Omega$);
- 定值电阻 $R(20\ \Omega, \text{允许最大电流 } 1.0\ \text{A})$;
- 滑动变阻器 $R_1(0 \sim 10\ \Omega, \text{允许最大电流 } 2.0\ \text{A})$;
- 滑动变阻器 $R_2(0 \sim 1\ \text{k}\Omega, \text{允许最大电流 } 0.5\ \text{A})$;
- 单刀单掷开关 S 一个,导线若干。

- (1) 电流表应选_____,电压表应选_____,滑动变阻器应选_____。(填字母代号)
- (2) 请在下面的虚线框内画出测量电阻 R_x 的实验电路图。(要求所测量范围尽可能大)
- (3) 某次测量中,电压表示数为 U 时,电流表示数为 I ,则计算待测电阻阻值的表达式为 $R_x =$

该题(2)的答案如图5所示。

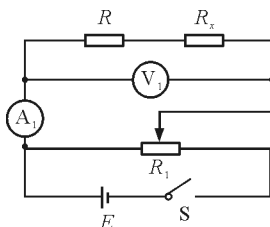


图5 例题(2)答图

于是题(3)有表达式

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

此题有不少学生会问能不能把 R 也放在电压表 V_1 外面,像图6这样,此时题(3)有表达式: $R_x = \frac{U}{I}$,看起来也更加简单直接了。

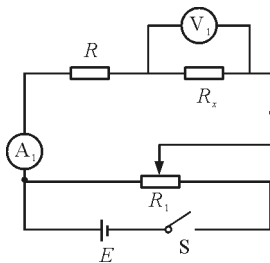


图6 电压表置于 R_x 外

实际上是不可以的,原因如下:

类比我们前面的分析方法,我们不妨设 R_1 左边接入并联部分的电阻为 x ,设图 5 图 6 中的电压表 V_1 示数分别为 y, y' ,已知电流表内阻为 $r_{A_1} = 10 \Omega$,电源内阻 $r_E = 0.2 \Omega, R = 20 \Omega, R_1 = 10 \Omega, R_x \approx 30 \Omega$.探究随着滑动变阻器的调节,电压表的变化.对图 5 有电压表示数为

$$y = \frac{R_{\text{并}}}{R_{\text{总}}} E = \frac{R_{\text{并}}}{R_{\text{并}} + R_1 - x + r_E} E$$

又因为 $R_{\text{并}} = \frac{(R + R_x + r_{A_1})x}{(R + R_x + r_{A_1}) + x}$,代入数据得

$$y = \frac{(20 + 30 + 10)x}{20 + 30 + 10 + x} \times 3 \text{ V} = \frac{(20 + 30 + 10)x}{20 + 30 + 10 + x} + 10 - x + 0.2$$

$$\frac{60x}{60 + x} \times 3 \quad (1)$$

$$\frac{60x}{60 + x} + 10 - x + 0.2$$

对图 6 有电压表示数为

$$y' = y \frac{R}{R + R_x} = \frac{60x}{60 + x} \times 3 \times \frac{3}{5}$$

$$\frac{60x}{60 + x} + 10 - x + 0.2 \quad (2)$$

用手机软件 Desmos 将(1)、(2)式作图如图 7 所示,其中实线部分为式(1),虚线部分为式(2).

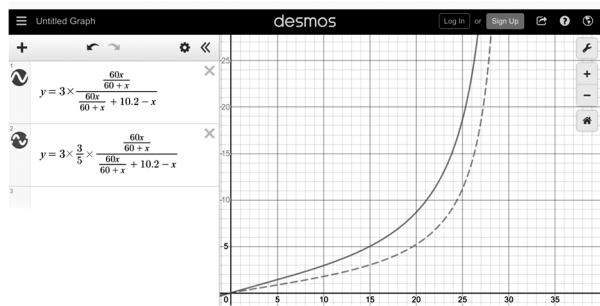


图 7 Desmos 作图

由图像可以看出,图 7 中的实线部分分压范围大且线性关系好,故题(2)选择图 5 的图而不是图 6.

另外,图 5 和图 6 虽然滑动变阻器最大阻值相同,但图 5 中电压表所测的电阻较大,于是滑动变阻器相对的阻值则较小,这同样可以验证我们前面得到的结论:分压式接法中当滑动变阻器最大阻值小

于待测电阻阻值时即 $k < 1$ 时线性关系较好,而随着 k 增大,线性关系也会越来越差.故用分压式时,在电路安全的前提下最好选比待测电阻阻值小的滑动变阻器,或者让待测电阻“变大”(如本题中电压表测量 $R + R_x$ 而不是仅测 R_x),让滑动变阻器电阻相对而言更小也可以.

4 小结

在电学实验的教学中,由于时间和条件上的限制,往往难以让学生亲自动手实验,于是,如何在最短时间内高效直观地让学生理解一些结论背后的道理就显得尤为重要.而化抽象为形象的方式之一便是用软件模拟,但在能实现目标的基础上,软件的获得和可操作性上一定要是越简单越好,而无论是用 Excel 还是几何画板软件都不如 Desmos 软件简单,因此推荐使用这个软件探究滑动变阻器最大阻值选取的依据.另外,在这个基础之上,使用该思想方法还可以进一步模拟探究各种此类题型的电压随着滑动变阻器的调节所对应的实际变化图像,这给我们分析各种疑难电学实验题提供了快捷直观的分析方法.

应用手机软件 Desmos 分析滑动变阻器取值,教学实践表明效果很好,特别是边疆贫困地区,学生对于手机软件作图有深厚的兴趣.让学生将该内容作为课外实验探究,提高了该实验课堂教学的有效性.

参考文献

- 1 平功远.用 Excel 讨论在电阻测量中滑动变阻器的选取[J].物理通报,2011(02):59~61
- 2 雷广.高中物理电学实验中滑动变阻器的选取[J].物理教学探讨,2008(19):60~62
- 3 徐立海.用图像分析限流和分压接法中滑动变阻器的选取[J].物理实验,2006(02):27~29
- 4 <https://www.desmos.com/calculator.html>
- 5 张皓晶.张雄.郑永刚,等.普通物理实验教程[M].昆明:云南人民出版社,2019.2~5
- 6 <https://www.zujuan.com/question/detail-10856697.shtml>

(下转第 119 页)

度都在增大,扩散到乙物质中的甲物质分子有的又回到甲物质一侧,经过一段时间,当甲物质中的甲物质分子进入乙物质的分子数目等于从乙物质中的甲物质分子回到甲物质的分子数时,乙物质中的甲物质分子数就不会增多.同理对乙物质也发生相似的过程,甲物质与乙物质在接触面间达到动态平衡,即扩散达到稳定状态.由于其他条件不变时,界面两侧两种物质分子浓度不变化了,宏观表现为扩散停止.

扩散过程中大量分子做无规则运动,属于分子运动,是一种微观现象,不能凭人的感觉器官感知,而必须通过仪器间接证明.而扩散是物质之间向平衡状态转化的过程,属于宏观现象,人可以直接感受到,所以扩散不能等同于分子热运动,只能说分子热运动使得物质间向动态平衡方向进行,与蒸发相同,当达到动态平衡时,扩散达到稳定状态,宏观表现为扩散停止,但微观分子还一直在做无规则运动.

3 布朗运动

悬浮微粒无规则运动叫做布朗运动.对微粒来说,悬浮在液体中微粒越小,在某一瞬间与它相撞的液体分子数越少,分子撞击作用力就表现得越不平

衡,布朗运动就越明显,可以通过实验观察;而当悬浮在液体的微粒很大,在某一瞬间,与它相撞的液体分子数越多,各个方向都有撞击力,微粒就趋于平衡,布朗运动就不明显.实验表明,布朗运动微粒直径数量级在 $10^{-7} \sim 10^{-6} \text{ m}$ 之间^[2].

可见,悬浮微粒的无规则运动并不是分子运动,而是分子运动时撞击的结果,由于微粒运动无规则性,间接反映了液体分子运动的无规则性.

4 结束语

微观分子在永不停息地做无规则运动,这点是毋庸置疑的.蒸发和扩散只是一种宏观现象,当分子运动达到动态平衡时,宏观表现为蒸发和扩散停止.布朗运动是悬浮微粒在微观粒子撞击下的无规则运动,也间接反映分子运动的无规则性.

参考文献

- 1 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研发中心.普通高中课程标准实验教科书选修3-3[M].北京:人民教育出版社,2010.3,43
- 2 田杰,罗松平.关于高中热学教学中几个疑点的探析[J].中学物理教学参考,2018(9):37~39

(上接第117页)

Exploring the Selection of Sliding Rheostat in Limiting Current Connection and Separating Voltage Connection by Drawing Using Desmos

Jin Huiji Feng Jie Jiang Jianzao Liu Yanchun Chen Dong

(Yunnan Normal University, Physics and Electronic information College, Kunming, Yunnan 650500)

Abstract: Resistance in the electrical experiments, slide rheostat size selection has always been a difficulty in teaching, this article using a mobile phone software Desmos mapping, through dynamic image, visually show the change law of the voltage at the two ends of the resistance to be measured as the slide moves when the maximum resistance of the sliding rheostat is different, so that the students understand the method of choosing the slide rheostat. Finally, an exercise shows the universality of this method.

Key words: slide rheostat; current limiting connection; partial pressure connection; desmos software