

# 可视化视角深度探究滑动变阻器接法中的两个疑点

谢钊洋 皮飞鹏\* 陈自强 陈 泽 (广州大学物理与材料科学学院 广东 510006)  
陈 欣 (广州市番禺区象贤中学 广东 511483)

**摘 要** 在高中物理教学中,滑动变阻器的接法选择是一个较为复杂的问题,仅通过电路图的拆解和分析很难深入理解其物理内涵和规律,这给教学带来困扰。文章从教学中学生容易产生的两个疑点出发,利用 Mathematica 9.0 和 GeoGebra 图形计算器分别对这两个疑点进行了可视化分析,期望帮助学生直观、深入地理解这一物理问题的本质。

**关键词** 可视化 滑动变阻器的接法 Mathematica GeoGebra 图形计算器

**文章编号** 1002-0748(2023)9-0017

**中图分类号** G633·7

**文献标识码** B

## 1 问题的提出

滑动变阻器的接法是高中物理电学部分教学的重难点。滑动变阻器的接法分为“限流式”和“分压式”两种接法,学生早在初中就已经接触过“限流式”接法,通常是以“一上一下”的形式接入电路,电路结构简单,因此学生对“限流式接法”更为熟悉且理解深刻。然而在“分压式接法”接法中,由于电路形式变成了“一上两下”,滑片左右两侧的电路同时参与分压控制,电路较为复杂,学生往往难以理解。

通常教师在讲解“限流式”“分压式”的接法选取时,会告诉学生一个较为笼统的规则:当滑动变阻器总阻值小于负载电阻的阻值时选择分压式电路,此时滑动变阻器总阻值越小越好;当滑动变阻器总阻值大于或近似等于负载电阻的阻值,且电流、电压不要求从零调起时可选择限流式电路;在分压式和限流式接法都可以的情况下,优先选择限流式接法<sup>[1]</sup>。学生这时常常会产生疑惑,主要集中在如下两点:

(1) 为什么分压法的滑动变阻器总阻值越小越好? 大了会产生什么后果?

(2) 为什么限流法和分压法都可以采纳的时候,要优先选用限流式接法?

由于以上问题具有一定抽象性,难以通过单纯的定性分析予以解答,教师往往会让学生机械记忆结论:当滑动变阻器总阻值太大时,分压效果不好;所有仪器都相同的情况下限流法比分压法能耗低。

但传统教学中学生无法直接观察到两种连接方式的电压控制效果和能耗大小,因此他们难以真正理解这些结论背后的原因,时常做出错误的选择。

## 2 可视化教学与释疑思路

可视化教学是一种通过图表、影像、实物等形式对知识及其内在联系加以显现和说明,以便更加简明直观地呈现知识的内在逻辑,引导学生深度理解和应用知识的教学方式<sup>[2]</sup>。在传统的物理教学中,学生的学习方式单一,只能依靠记忆策略解决某些抽象的物理问题。随着信息技术的发展,各种计算机程序以其逼真、准确、交互性强等特点,可以将抽象的知识具体化、可视化,帮助学生达成快速学习、理解新知识的目的<sup>[3]</sup>。当前,可视化教学已经受到了广泛重视,例如,洪哲新等<sup>[4]</sup>将 NOBOOK 及 PhET 等软件应用于高中运动学教学,曲浩等<sup>[5]</sup>运用 Mathematica 软件研究四电荷系统,罗宇晴等<sup>[6]</sup>通过 GeoGebra 动态绘图软件动态演示双缝干涉和光栅衍射现象,但是关于滑动变阻器接法问题的可视化研究还很少。

本文基于可视化视角,利用 Mathematica 9.0 和 GeoGebra 图形计算器两个软件对滑动变阻器的接法问题进行探究,通过计算、模拟仿真等方式帮助学生比较“限流式”与“分压式”两种连接方法,促进学生的深度理解。首先,从电路图出发,推导出分压法和限流法中负载电阻的电压表达式,以及电路消耗功率的表达式。其次,使用 Mathematica 9.0 实

\* 通讯作者:皮飞鹏。

现滑动变阻器两种接法的压控效果可视化,采用 GeoGebra 图形计算器实现限流法和分压法的能耗大小对比的可视化,从而突破教学中学生遇到的两个疑点问题。

### 3 滑阻大小对电压控制效果的可视化分析

#### 3.1 分压式接法压控效果的可视化

图 1 所示是典型的滑动变阻器分压式接法示意图。该电路通过滑动变阻器(阻值为  $0 \Omega \sim R_L$ )控制负载电阻  $R_x$  两端的电压,从而在实验中获取数据并绘制  $R_x$  的伏安曲线。在这个电路中,总长度为  $L$  的滑动变阻器被分为两段:长度为  $l$  的滑片左侧,它与上端由  $R_x$ 、

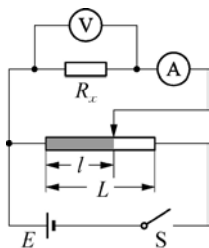


图 1 分压式接法电路图

安培表、电压表构成的支路构成并联关系;长度为  $L-l$  的滑片右侧,它与上述并联电路构成串联关系。

在电表都为理想电表的情况下,经过简单推导可以得到图中滑片左侧并联部分的电压为

$$U_{\text{left}} = \frac{E}{\left(1 - \frac{l}{L}\right) \frac{R_L}{R_x} + \frac{l}{L}} \quad (1)$$

这里可以看到  $U_{\text{left}}$  的特殊性,如果函数中  $\frac{l}{L}$  (设为  $u$ )

和  $\frac{R_L}{R_x}$  (设为  $v$ ) 都是未知量,这意味着  $U_{\text{left}}$  受到两个变量—— $l$  以及  $R_L$  (或  $u$ 、 $v$ ) 的影响,  $U_{\text{left}}$  为二元函数

$$U_{\text{left}}(u, v) = \frac{E}{(1-u)v + \frac{1}{u}} \quad (2)$$

我们可以使用各种软件将②式绘制到三维直角坐标系中实现可视化,本文选用 Mathematica 9.0。电源电动势的大小根据实验室中学生电源的电压大小设置,一般不超过 12 V;自变量  $u$  的取值范围为  $0 \sim 1$ ,而自变量  $v$  应大于 0。

以电动势  $E = 10 \text{ V}$  为例绘制出图 2。这个三维图象的  $u$  轴对应滑动变阻器滑片所在的位置比例,  $v$  轴对应滑动变阻器的阻值与负载电阻的相对大小。图 2 显示,随着  $\frac{R_L}{R_x}$  的比值增大(即所选择的滑动变阻器阻值越大),滑片左侧部分的分压在随着滑片向右移动的过程中线性程度逐渐下降,  $U_{\text{left}} - u$  曲线由

直线 ( $v = 0$  处)演变成弯曲的曲线 ( $v > 0$  处)。

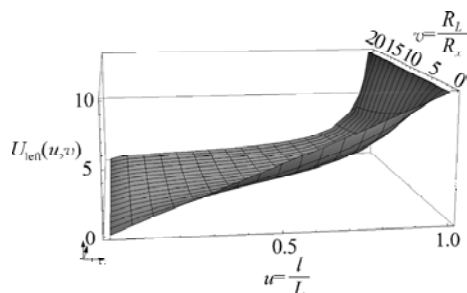


图 2 函数  $U_{\text{left}}(u, v)$  的可视化图象

为了更好地理解图 2 的意义,将其分为两个二维图象观察:  $U_{\text{left}} - u$  图和  $U_{\text{left}} - v$  图。在作二维图象时,电源电压及自变量的定义域与三维图象一致,控制另一个变量,给予其有梯度的赋值从而使二维图象呈现规律性的变化,实现清晰的、有对比性的函数可视化效果。

$U_{\text{left}} - u$  图象图 3(a) 的物理意义是:滑阻总阻值与负载电阻值之比  $\frac{R_L}{R_x}$  不同时,滑阻滑片左侧分压  $U_{\text{left}}$  随着滑片左侧长度  $l$  的变化情况。该图象有两个特点:

(1) 随着  $\frac{R_L}{R_x}$  增大,曲线的下凹程度增加。具体来说,当  $\frac{R_L}{R_x} \leq 1$  时,曲线的线性程度较高,这意味着当我们滑动滑阻的滑片时,滑阻左侧分压的变化较为均匀;

(2) 当  $\frac{R_L}{R_x} > 1$  时,曲线弯曲程度逐步增大,尤其是在  $\frac{l}{L} \geq 0.8$  处曲线斜率陡增,这意味着在滑片向右滑动的过程中,电路会先经历分压效果不佳 ( $\frac{l}{L} < 0.8$ , 也就是前 80% 的滑动路程),再经历分压效果突增(后 20% 的滑动路程)而可能导致电压表和电流表示数突然快速变大,出现“超量程”现象。例如,当滑动变阻器的最大阻值是待测电阻的八倍时 ( $\frac{R_L}{R_x} = 8$ ),滑片在滑动最后 20% 阶段的分压有 65% 的变化,而在前 80% 阶段的分压仅仅只有 35% 的变化。这说明  $\frac{R_L}{R_x}$  越大的分压电路,越难通过控制滑动变阻器来做到均匀而精准的分压调控。

$U_{\text{left}} - v$  图象[见图 3(b)]的物理意义是:滑动变阻器的滑片所处位置的长度百分比固定时,改变滑

动变阻器规格(改变  $\frac{R_L}{R_x}$ ), 滑阻左侧分压的变化情况。该图象有如下特征:

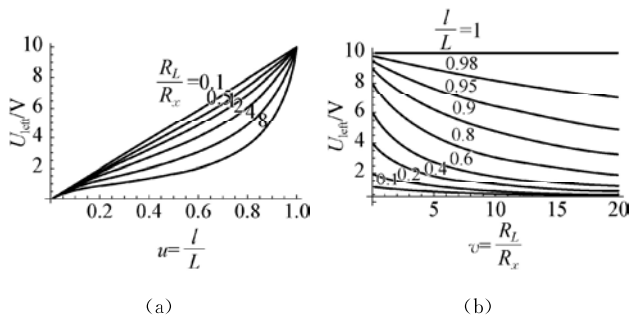


图 3 (a)  $v$  为特定值的  $U_{\text{left}}-u$  曲线图, (b)  $u$  为特定值的  $U_{\text{left}}-v$  曲线图

(1) 除  $\frac{l}{L} = 0, 1$  外, 分压随  $R_L$  的增大而逐渐降低。这与学生的前概念存在冲突: 不是电阻越大, 分到的电压就会更大, 因为滑阻滑片左侧的电路并联, 而滑阻右侧电路是串联在电路中, 尽管左侧的并联电阻和右侧串联电阻同时随  $R_L$  的增大而增大, 但两者的比值反而变小, 左侧分压反而竞争不过右侧。通过可视化教学, 能够帮助学生直接观察到分得电压与电阻的关系, 有利于学生的深度理解;

(2) 在  $\frac{l}{L} = 0, 1$  两种特殊情况下, 分压  $U_{\text{left}}(v)$  是常数, 不随滑动变阻器规格变化;

(3) 在  $\frac{l}{L} \leq 0.2$  和  $\frac{l}{L} \geq 0.95$  的情况下, 分压与滑阻总阻值成近乎线性的关系; 在  $0.2 < \frac{l}{L} < 0.95$

的情况下, 分压随着  $\frac{R_L}{R_x}$  的变大先是快速下降, 直到

$\frac{R_L}{R_x} = 5$  时开始放缓并逐步接近线性。

### 3.2 限流式接法压控效果的可视化

图 4 所示是滑动变阻器限流式接法的示意图, 理想情况下负载  $R_x$  两端的电压为

$$U_x = \frac{R_x}{R_{L-l} + R_x} E \quad (3)$$

分子分母同时除以  $R_x$ , 可以将③式变为

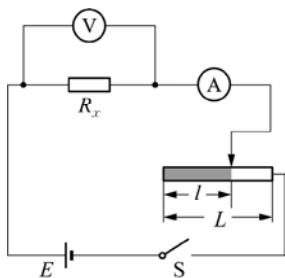


图 4 限流式接法电路图

$$U_x(u, v) = \frac{1}{1 + (1-u)v} E \quad (4)$$

与 3.1 小节的参数设置保持一致, 绘制出如图 5 所示的可视化图形。

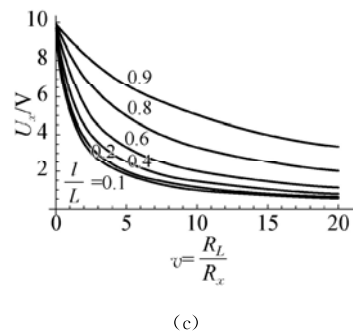
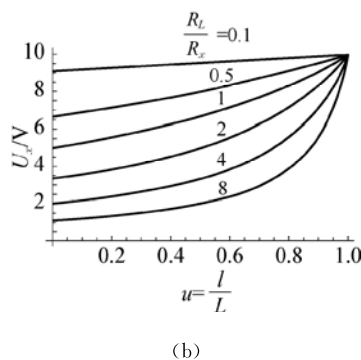
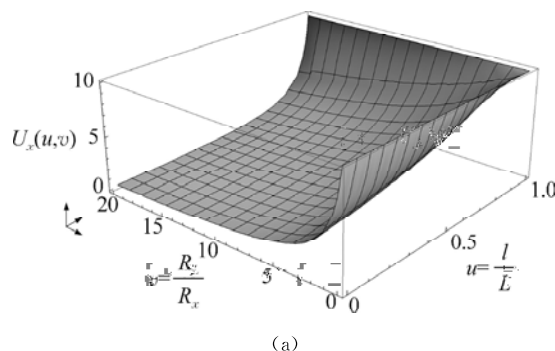


图 5 (a) 限流式接法负载两端电压  $U_x(u, v)$  的可视化图形; (b)  $v$  为特定值的  $U_x-u$  曲线图, (c)  $u$  为特定值的  $U_x-v$  曲线图

从图 5(a) 可以发现, 随着  $\frac{R_L}{R_x}$  的增大,  $U_x-u$  线性程度逐渐下降, 由直线 ( $\frac{R_L}{R_x} = 0$  处) 变成曲线。

进一步将三维图象剖分成二维平面分析, 其中图 5(b) 具有如下特点:

(1) 负载电阻两端一定有电压, 因此伏安曲线无法从  $U = 0$  开始画起;

(2) 当  $\frac{R_L}{R_x} \leq 2$  时, 滑阻能调控的电压范围最多

达到电源电压的 63% 左右;

(3) 随着  $\frac{R_L}{R_x}$  增大,  $U_x - u$  曲线的下凹程度增加, 调压范围增大的同时负载两端电压随滑片移动的变化均匀度下降。当  $\frac{R_L}{R_x} = 8$  时, 滑片滑动的后 40% 路程,  $U_x$  的改变约为电源电压的 80%, 此时显然不方便测量时对电压的均匀调控;

(4) 当  $1 \leq \frac{R_L}{R_x} \leq 4$  时, 负载两端电压随滑片移动变化较为均匀、方便调节, 且可以使取到的电压范围较为合适。

图 5(c) 的物理意义是, 在限流法中固定滑片位置更换滑动变阻器的规格只是相当于改变接入的变阻器阻值。 $\frac{l}{L}$  越小滑阻争夺电压越多, 曲线下凹程度越大;  $\frac{R_L}{R_x}$  越大则滑阻分得电压越多, 因此随着  $\frac{R_L}{R_x}$  变大  $U_x$  减小, 符合感性认知。

### 3.3 接法选择的建议

从以上分析中可总结出滑动变阻器两种接法的选择建议, 如表 1 所示。

表 1 滑动变阻器接法选择的参考建议

接法选择	$\frac{R_L}{R_x}$ 大小建议	电压调控范围
分压法	0~2 为佳; 这个范围内负载电压随滑片移动变化较为均匀; 越小越均匀, 测量时越容易操控	0~E
限流法	1~4 为佳; 这个范围内负载电压随滑片移动变化较为均匀; 越小则电压调控范围越小, 太大则电压随滑片移动变化不均	当 $\frac{R_L}{R_x} = 4, \frac{1}{5}E \sim E$ ; 当 $\frac{R_L}{R_x} = 2, \frac{1}{3}E \sim E$ ; 当 $\frac{R_L}{R_x} = 1, \frac{1}{2}E \sim E$

在仪器有限的特殊情况下, 还要考虑仪器的规格限制具体分析。

## 4 限流式接法和分压式接法能耗的可视化分析

纯电阻电路中, 全部电能转化为电阻的内能, 电路的总功率由公式  $P = \frac{E^2}{R}$  表示, 我们可以用电功率来表征电路消耗能量的快慢。

类似 3.1 中的操作, 令  $u = \frac{l}{L}$ , 可以得到限流式接法和分压式接法电路的功率分别为

$$P_{\text{限流}}(u) = \frac{E^2}{R_x + (1-u)R_L} \quad (5)$$

$$P_{\text{分压}}(u) = \frac{E^2}{\frac{(uR_L)R_x}{(uR_L) + R_x} + (1-u)R_L} \quad (6)$$

前文压控效果可视化是运用 Mathematica 9.0 实现的, 该软件专业性较强、可视化图形视觉效果丰富而生动, 但实际教学时教师需提前完成程序编写, 且学生复现难度较大。为了避开这个问题, 让学生更容易地参与可视化操作和教学互动, 此处以 PC 网页版 GeoGebra 图形计算器作为可视化的软件, 提供一种无需编程、操作简易的可视化思路。

能耗的可视化就是绘出功率函数  $P_{\text{限流}}(u)$  和  $P_{\text{分压}}(u)$  随滑片位置  $u$  的变化曲线。操作如下:

(1) 设定参数: 先设置电源电动势、电阻的大小 (以  $E = 10 \text{ V}$ ,  $R_L = R_x = 1 \Omega$  为例), 注意到自变量  $x$  的定义域为  $0 \sim 1$ , 设置坐标显示范围为 ( $x_{\min} = 0$ ,  $x_{\max} = 1$ ;  $y_{\min} = 0$ ,  $y_{\max} = 200$ );

(2) 将 ⑤ 和 ⑥ 式等号右侧分别拷贝到 GeoGebra 图形计算器的输入界面中, 并把自变量  $u$  改为程序默认的自变量  $x$ ;

(3) 生成曲线, 如图 6 所示。其中  $f(x)$  (实线) 代表  $P_{\text{限流}}(u)$ ,  $g(x)$  (虚线) 代表  $P_{\text{分压}}(u)$ 。

图 6 中的两条曲线分别代表了同样的滑动变阻器、同样的负载、电源电动势为 10 V 时, 分别采用限流法和分压法时电路功率随滑片相对位置  $x = \frac{l}{L}$  变化的情况。图象有如下特点:

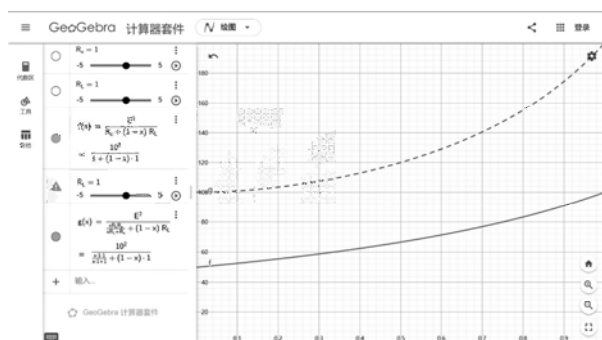


图 6 功率函数可视化图象

(1) 不论滑片在何位置, 分压法的功率消耗均比限流式接法要高, 即功率的差值函数:

$$\begin{aligned} & P_{\text{分压}}(u) - P_{\text{限流}}(u) \\ &= \frac{E^2}{R_x} \frac{1}{v} \frac{1}{1+v(1-u)} \frac{1}{1+uv(1-u)} \geq 0 \end{aligned}$$

(2) 在滑动变阻器的滑片向右滑动的过程中, 两  
(下转第 11 页)

鼓励学生做好物理小制作并进行指导与评比,既可以使学生深化理解、灵活运用物理知识,又发展了学生的实验能力和创新实验能力<sup>[3]</sup>,尤其是使用日常用品、废旧材料改进和开发新实验对学生很有吸引力!制作过程中学生会遇到各种问题,他们要开动脑筋大胆想象、不断尝试、迭代创新,学生在这个过程中收获已远远超越作品本身。

(3) 参加物理科技竞赛,全面发展创造性思维。

中国青年物理学家竞赛(Chinese Young Physicists' Tournament,简称CYPT)是一项以团队合作、团组对抗为主要形式的物理竞赛。CYPT注重培养参赛学生的科研素养,包括写作能力、表达能力、辩论能力与合作意识等,促进学生的知识、技能与素养全面协调发展<sup>[4]</sup>。我们从2014年就组织学生参加比赛,学生利用周末与寒假开展组队、选题、实验设计与研究、撰写实验报告并制作PPT、模拟展示等准备工作,同学们的参与热情很高,工作状态特别投入,无论从科研作风与科研能力上都有很大的提升。

我们也会鼓励高一和高二学生参加由中国力学学会主办的“中学生趣味力学制作邀请赛”,参赛队要使用主办方提供的特定材料现场制作满足比赛要求的作品。邀请赛追求“做中学”的教育理念,用创意启发教学、引导学生动手做、动脑想,体会物理原理的应用与价值。

(上接第20页)

种接法的电路消耗功率均增大;

在演示过程中,还可以调节各个参数 $E$ 、 $R_L$ 、 $R_x$ 的大小并观察图象,注意, $E$ 应大于0。

### 5 总 结

滑动变阻器的两种接法,是高中物理电学部分教学的重难点。本文从学生学习过程中产生的两个疑点出发,遵循操作简易、可视化效果优化的要求,利用Mathematica 9.0和PC网页版GeoGebra图形计算器进行可视化分析,深入探讨了滑动变阻器总阻值大小对两种接法压控效果的影响,比较了分压法与限流法消耗功率的大小,以期为高中物理滑动变阻器的教学提供一条有意义的新思路。

随着我国创新型人才培养体系的形成与完善,物理科技活动独特的育人价值越显突出,我们应该鼓励与指导学生体验多样的科技活动,“体验本身就是一种过程教育”,寓教于乐!

### 3 结 语

创造性思维的培育离不开宽松民主的学习氛围,创造性思维的发展离不开挑战性问题的与实践活动。在物理教学中,我们应该以物理实验为载体,拓展物理实验研究的内容、形式与时空,使其成为物理学习的重要方式。让每一位学生都能在物理实验中“异想天开”地大胆想象、“小心谨慎”地探索实践、“言之有据”地论证表达,在过程中发现自我、提升自我、实现自我,激发个性化学习、注重多元化发展、实现素养化育人。

#### 参考文献

- [1] 胡卫平. 中学科学教学心理学[M]. 北京:北京教育出版社, 2001:254.
- [2] 叶歆,李春密. 主体性物理探究演示实验教学策略的构建[J]. 课程·教材·教法,2007(8):60—62.
- [3] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017版)[S]. 北京:人民教育出版社,2018:76.
- [4] 房颀,陆建隆. 在研究中开始,在讨论中延续,在经历中提升:国际青年物理学家竞赛(IYPT)及其教育功能[J]. 物理教师, 2012,33(2):4—7.

#### 参考文献

- [1] 陈玉军. 分压电路中滑动变阻器选择的深度讨论[J]. 物理教师,2021,42(1):65—66,69.
- [2] 赵慧臣,王淑艳. 知识可视化应用于学科教学的新观点——访瑞士知识可视化研究开拓者马丁·爱普教授[J]. 开放教育研究,2014,20(02):4—10.
- [3] 房永俊. 科学运用现代实验技术 提高素养培养教学效果[J]. 中学物理,2022,40(24):49—52.
- [4] 洪哲新,梁国瑛,皮飞鹏. 高中物理习题教学中应用虚拟仿真的教学模式探讨[J]. 中学物理,2021,39(13):59—63.
- [5] 曲浩,冯豪,郭芳侠. 利用Mathematica研究四电荷系统的电势与电场强度分布[J]. 物理教师,2023,44(01):76—79.
- [6] 罗宇晴,吴少平. Geogebra软件在波动光学教学中的应用[J]. 物理教学探讨,2022,40(12):62—66.