

# 定量探究电阻定律的自制实验仪

刘健智 曾 心

(湖南师范大学物理与电子科学学院, 湖南 长沙 410081)

**摘 要:** 人教版高中物理“导体的电阻”一节介绍了“探究导体电阻与其影响因素的定量关系”实验方案, 尽管探究思路可行, 但利用测量所获得的数据并不能定量得出电阻定律. 基于此, 笔者设计了一个自制实验仪, 介绍了该实验仪器的选材、制作及操作过程. 该自制实验装置能够有效地解决教材实验和其他教师所使用实验的缺陷, 利用它定量探究电阻定律, 增加了科学探究的严谨性, 发展了学生的科学思维, 落实了物理学科核心素养目标.

**关键词:** 导体电阻; 电阻定律; 导电纸; 定量探究; 自制实验

在高中物理课程中, 教师应当重视学生的科学探究, 通过实验探究出物理规律, 学习物理知识, 不得因为实验的操作困难或不能真正探究出物理规律就直接将结果灌输给学生. 实验探究过程, 有利于学生物理观念、科学思维、科学探究、科学态度和责任这四个维度物理核心素养的落实. 如果没有现成的实验仪器, 在保证物理实验科学性、直观性、可行性和安全性的前提下, 教师也应该开发自制实验教具, 保证学生尽量多地通过实验探究出物理知识和规律.

“导体的电阻”是一节物理规律实验课, 正如《普通高中物理课程标准(实验)》所要求的: “通过实验, 探究决定导线电阻的因素, 知道电阻定律”.<sup>[1]</sup> 人教版教材“导体的电阻”一节<sup>[2]</sup> 基本上落实了课程标准的上述要求, 但按照教材的实验方案, 只能定性探究导体电阻与导线长度和横截面积的关系. 可能基于定量探究, 《普通高中物理课程标准(2017 年版)》则要求: “通过实验, 探究并了解金属导体的电阻与材料、长度和横截面积的定量关系. 会测量金属导体的电阻率.”<sup>[3]</sup> 我们对教材以及其它教学设计进行分析后, 对教材实验进行了改进, 设计并制作了新的实验仪器. 自制的实验仪器能够定量探究电阻定律, 很好地落实了 2017 版课程标准的内容要求.

## 1 现有实验设计及不足

### 1.1 人教版教材中的实验

人教版教材中, 探究电阻定律采用的是实验探究. 通过将四条不同的金属导体串联在电路中,

由于电流相同, 测量电压进而比较电阻与长度、横截面积与材料三个方面的因素之间的关系. 如图 1 所示,  $b$ 、 $c$ 、 $d$  与  $a$  相比, 通过控制变量, 分别只改变一个因素:  $b$  与  $a$  的长度;  $c$  与  $a$  的横截面积;  $d$  与  $a$  的材料. 上述探究方案在理论上是可行的, 但是实验操作过程中会出现以下问题: ① 实验常用铜丝做金属导体接入电路, 铜丝的电阻率极低, 通常用作导线, 测量时两端的电压示数几乎为零, 即便是加上了滑动变阻器也只是起到了防止电路短路的作用; ② 金属导体接入电路后, 不能长直接通, 因为它容易引起发热现象, 所以电压值会时刻在改变, 无法准确地测量比值关系; ③ 实验通过比较  $b$  与  $a$  两端的电压, 始终只能得到一组电阻之比, 即便改变滑动变阻器阻值, 理论上数据也不会改变, 仅得到一组数据并不能完全证明导体与电阻成正比, 同理  $c$  与  $a$ 、 $d$  与  $a$  的比较也存在该问题; ④ 整体来说, 实验通过测量电压只能简单探究出电阻与导线长度、横截面积的比例关系, 并没有测量出导线的电阻率大小, 因而无法定量得出电阻定律, 这也许是课程标准没有明确要求定量探究出电阻定律所造成的.

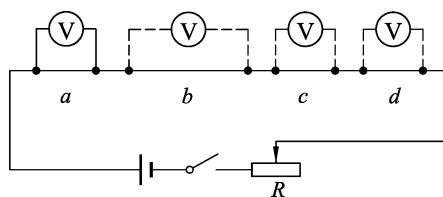


图 1 教材上定量探究的实验原理图

基金项目: 本文系湖南省普通高等学校教学改革课题“STEM 教育融入中学物理教学的教师行动研究”(湘教通[2018]436 号); 湖南省学位与研究生教育教学改革课题“基于卓越研究生培养的学科教学论研究生课程教学改革的实践与探索”(JG2018B039); 湖南师范大学首批教师行动研究基地项目“STEM 教师行动研究”.

### 1.2 中学教师的改进实验

针对该节课的内容,知网上有不少的文章也进行了相关的实验改进,比如王贤勇自制教具。<sup>[4]</sup>如图 2,该教具通过演示小灯泡亮度的变化情况定性判断电阻与影响因素的关系:当材料和横截面积不变时,电阻的长度增大,小灯泡的亮度减小,说明长度越大,电阻越大;当材料和长度不变时,增大电阻的横截面积,灯泡的亮度越亮,说明横截面积越大,则电阻越小;当长度和横截面积相同时,接铜丝时灯泡的亮度比接镍铬丝的亮,说明铜丝的电阻比镍铬丝的电阻小。该实验虽然比较完整地探究了电阻与三个因素之间的关系,但仍存在以下不足:①小灯泡的亮暗程度若差别不大,则无法通过感官判断,学生眼睛一直盯着灯泡亮度变化也会有损视力;②若使用的灯泡电阻较大,而导体电阻太小,就会使得在改变导体电阻的长度或者横截面积的时候,其中所测量的电流变化不明显,从而导致测量误差的增加;<sup>[5]</sup>③该实验利用灯泡的亮度大小体现电阻的大小,该解释是存在原理性错误的,灯泡亮度所体现的是实际电功率大小,不等同于电阻值。

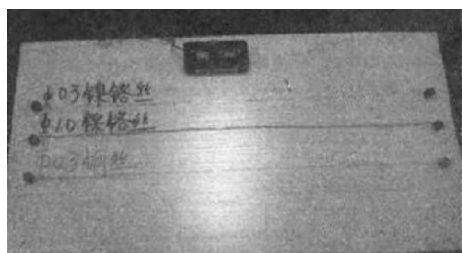


图 2 利用灯泡亮度比较电阻影响因素的实验仪器

除了以上定性探究的实验改进之外,同样也有中学教师进行了定量实验的改进,比如牛有朋设计的定量演示实验。<sup>[6]</sup>如图 3 所示,通过改变铜板位置改变长

度,通过改变盐水的高度改变横截面积,从而利用欧姆表的读数定量得出导体电阻与长度、横截面积的关系。该实验虽然比较新颖,能够激发学生学习的乐趣,但是也仍然下列不足:①实验过程中长度的调节范围较小,只能在水槽容器内部调节;

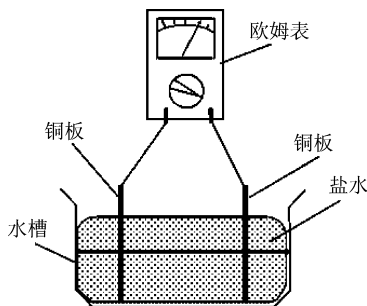


图 3 自制水溶液导体的实验装置

②铜板在盐水池中久泡会受到腐蚀,影响实验测量值;③盐水的浓度需要不断调试,不能确保所加入的盐水浓度始终保持一致;④该实验装置每次演示时都需要重新更换盐水,会造成材料的浪费。

### 1.3 现有实验难定量测量

以上实验设计有利有弊,但存在的主要和根本问题是:在实际实验操作过程中,难以真正地进行定量测量,从而得出电阻定律。

为了更好地达到定量探究效果,避免让学生按教师或教材的既定步骤进行虚假“探究”,在处理信息时,应让学生依照物理事实运用逻辑推理确立物理量之间的关系,培养学生的科学态度和科学精神。<sup>[3]</sup>为此,笔者设计并制作了一款新的实验仪器,该实验仪器在 2019 年的第十一届“格致杯”物理师范生教学技能交流展示活动中获得了教具组的一等奖,利用该实验仪器进行的《导体的电阻》说课加片断教学同时获得了教学技能一等奖。

## 2 自制实验仪器的介绍

### 2.1 实验仪器的选材

在进行实验操作前,首先要确定导体的材料,这是最关键的一步。最初实验选用的是金属导体,比如铜丝、镍铬丝等,但是由于金属电阻率低,并且容易随温度变化而改变导致实验结果不准确。于是笔者选择了另外一种导体材料,即石墨制成的铅笔芯,但经过实验操作后发现仍有缺陷:铅笔芯在加工制造过程中,由于工厂生产设计不同,铅笔芯的石墨分布并不均匀,因此测量时也存在很大误差。最终笔者经过多重筛选后,将实验材料定为导电纸。导电纸是一种重要的功能纸品种,在电子产品领域起着重要作用,它的导电原料采用导电性好、耐高温、耐腐蚀、抗氧化性能好的碳纤维,在碳纤维纸中加入导电粒子——炭黑,可以提高纸页的导电性。<sup>[7]</sup>不同导电剂掺杂入导电纸后的电阻率是不相同的,石墨材料作为导电剂掺杂在导电纸中的导电性明显不如炭黑材料。<sup>[8]</sup>在此,笔者选用炭黑材料与导电胶材料。

因此,整个实验仪器共需要用到以下器材:干电池、导电纸、导电胶、电流传感器、电压传感器、采集器、数据线、铜棒、导线若干、亚克力板、可粘贴刻度尺。

注意:①相对于导电纸来说,铜棒的电阻率极小,可忽略不计,因此实验中选用铜棒作导线,在实验前可以用磨砂纸进行打磨,使其导电性更

好; ② 可选择多量程电流传感器, 在实验操作时, 根据不同的电流大小可以替换不同的量程使得读数更精准.

### 2.2 实验仪器的制作

首先, 裁剪好导电纸的规格大小. 在探究导体电阻与长度的关系时, 裁剪一张总长度为 26 cm, 宽度为 12 cm 的炭黑材料导电纸; 在探究导体电阻与横截面积的关系时, 裁剪长度相同, 宽度不同的导电纸, 为了方便, 长度都选择 26 cm, 宽度选择 3 cm、6 cm 和 12 cm; 在探究导体电阻与材料的关系时, 选取与炭黑材料导电纸大小一致的碳纤维材料导电纸, 长度为 26 cm, 宽度为 3 cm. 将导电银胶均匀地涂抹在上面, 如图 4 所示, 涂抹时需要速度快, 银胶与空气接触后会快速凝固.

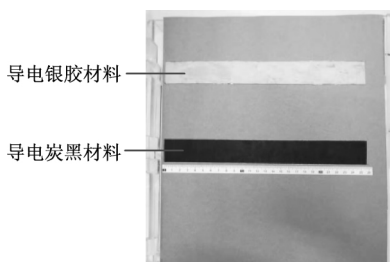


图 4 导电银胶和导电炭黑材料的导电纸规格

将全部裁剪好的导电纸粘贴在绝缘纸上, 在绝缘纸底端部分粘贴一张测量尺, 便于长度的测量. 然后直接将绝缘纸放入亚克力板留白的位置, 由于亚克力板的可塑性强, 因此将此作为底座通过打磨可以放置导电纸与铜棒, 亚克力板作为底座设计如图 5 所示, 分别在亚克力板两端增加了一层卡槽, 便于绝缘纸的放置, 在左端还打磨好适合铜棒放置的形状, 板子的背面制作了两个大小适当的用于放置传感器的凹槽.

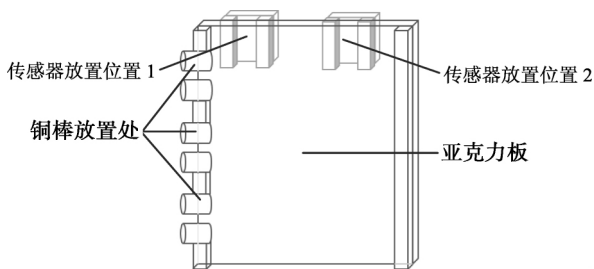


图 5 亚克力板底座设计

最后把导线与铜棒, 传感器、电池连接, 将整个电路接通, 传感器放置位置 1 放上电压传感器, 传感器放置位置 2 放上电流传感器, 整个装置就制作完成. 实物展示如图 6 所示.

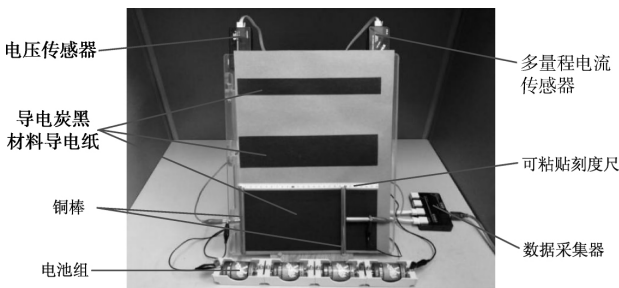


图 6 定量探究电阻定律的自制实验仪

### 2.3 实验仪器的使用

(1) 按照电路图(图 7), 连接各个器件, 多量程电流传感器和电流表接法一致, 都是串联接入电路, 电压传感器和电压表接法一致, 并联接入电路中. 注意这里采用内接法是由于导电纸的电阻值过大.

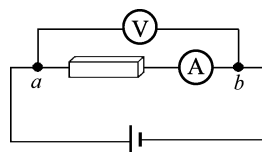


图 7 实验原理

(2) 将两个传感器与数据采集器 1、2 通道连接, 然后将数据采集器与计算机连接, 开启采集器电源, 进入实验专用界面.

(3) 把电压传感器的两个信号输入端的导线分别短接, 对电压传感器进行校零. 把连接 1 通道的电压传感器信号正极接到电路中 a 点(或电源的正极), 同时把它的负极接到电路中 b 点; 然后把 2 通道多量程电流传感器信号的正极与导电纸进行接通, 同时把它的负极接到电源的负极.

(4) 控制变量, 探究长度与电阻的关系. 可以通过铜棒在导电纸上进行滑动, 滑动到不同的位置处记录长度大小, 然后再通过采集器采集该位置处的电压和电流示数.

探究横截面积与电阻的关系. 可以通过将铜棒改变位置, 测量宽度不同的导电纸(因为横截面积是宽度和厚度的乘积, 改变宽度便可改变横截面积), 再次点击数据采集, 同样可以得到其它量恒定时, 横截面积不同的电阻数据. 注意的是导电纸是可以随意裁剪的, 所以可以测量时多测几组数据.

探究材料与电阻的关系时, 可以将导电纸中的导电剂更换, 分别测量长度与横截面积的比值相同情况下, 导电炭黑材料与导电银胶材料的电阻.

(5) 测量结束后, 可以直接利用 Excel 表格进行数据处理.

首先, 将所有的可直接通过刻度尺测量的数

据填入表格,长度和横截面积大小都输进去,再通过实验操作将每个导体相对应测量的电流和电压输进去.

然后,学生进行数据处理的具体操作:<sup>[9]</sup>① 利用欧姆定律  $R = \frac{U}{I}$ ,把每个不同规格大小的导体材料的电阻值计算出来;② 将长度作为变量对长度和电阻值进行绘图,可得图 8,从而得到  $R \propto l$ ;③ 将横截面积作为变量对横截面积倒数和电阻值进行绘图,可得图 9,从而得到  $R \propto \frac{1}{S}$ ;④ 由上述结论可推导  $R \propto \frac{l}{S} \rightarrow R = k \frac{l}{S}$ ,利用Excel表格对导电炭黑材料的比例系数  $k$  进行计算,可得到表 1 的数据,由此可知相同材料的导体,比例系数  $k$  是相同的,导电炭黑材料的电阻定量表达式则可以表达成  $R = k \frac{l}{S}$ ;⑤ 更换不同的材料,使得不同的导电材料在  $\frac{l}{S}$  相同的情况下,进行数据处理,求出电阻  $R$ ,进而求出比例系数  $k'$ ,从表 1 可看出不同材料的导电纸其比例系数是不同的;⑥ 推导比例系数是由材料因素所决定的,由此引入新的物理量——电阻率  $\rho$ ,用该物理量表示电阻值中的比例

系数,推出电阻的定量表达式为  $R = \rho \frac{l}{S}$ .

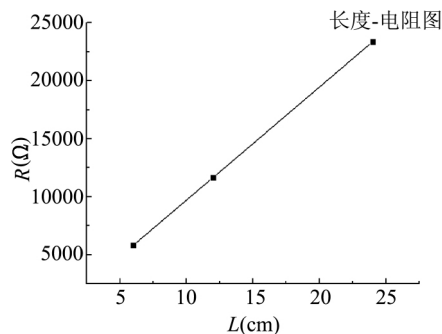


图 8 电阻—长度的图线

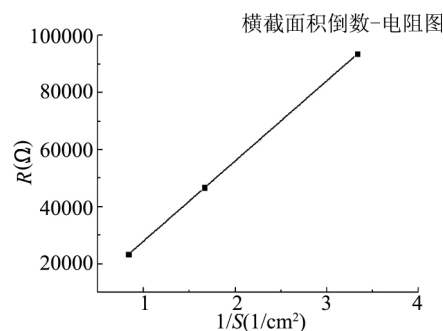


图 9 电阻—横截面积倒数的图线

表 1 探究电阻定律的数据及其处理

变量	次数	$L(\text{cm})$	$S(\text{cm}^2)$	$I(\text{mA})$	$U(\text{V})$	$R = 1000 \times U_4 / I_3 (\Omega)$	$x = L/S \times 100 (1/m)$	$k = R/x$
长度	1	6	0.12	0.96	5.59	5822.92	5000	1.165
	2	12	0.12	0.48	5.6	11666.67	10000	1.167
	3	24	0.12	0.24	5.61	23375.00	20000	1.169
横截面积	1	24	0.12	0.24	5.61	23375.00	20000	1.169
	2	24	0.06	0.12	5.61	46750.00	40000	1.169
	3	24	0.03	0.06	5.61	93500.00	80000	1.169
材料	乙炔炭黑	24	0.03	0.06	5.61	93500.00	80000	1.169
	导电银胶	24	0.03	17.7	3.24	183.05	80000	0.002

### 3 自制仪器的优点与教学价值

#### 3.1 自制仪器的优点

该自制的定量探究电阻定律的实验装置,克服了人教版教材和现行中学教师所制作的实验仪器的不足,具有以下优点.

(1) 实验装置新颖,其中所用到的导电纸是纸质材料,学生可以通过随意裁剪,增加其学习的趣味性以及动手操作能力.

(2) 导电纸可以重复使用,因此可以有效地避免出现盐水实验中浪费的现象.同样导电纸作为

导体具有耐高温性,因此也不用担心电阻会随时间改变而发生变化的问题.

(3) 导电纸在用作电阻时,横截面积变为了宽度与厚度的乘积,而不是学生以前所常见的圆横截面,因此可以更好地开发学生的拓展思维,提高学生的空间想象能力.

(4) 整体实验比较完整,通过探究测量可以得到电阻与长度、横截面积的关系,同样还可以通过对不同材料的电阻的测量以及比例系数的计算出电阻率,成功地推导出电阻的定量表达式.

### 3.2 自制仪器的教学价值

物理课程中,以实验探究为基础的概念课、规律课,是能够向学生较为完整地渗透核心素养的课型.学生只有切身经历科学探究的过程,并最终内化为基础科学素养,才会从真正意义上解决自身学习、生活、工作和社会决策中遇到的问题.<sup>[10]</sup>

该自制的实验仪器能帮助学生一步一步遵循思维逻辑,实践探究出电阻定律,整个阶段需要用到控制变量法,实验装置连接时采用内接法利用伏安法测电阻进行操作,数据处理时则需要用到欧姆定律计算电阻大小,再通过计算电阻的比例系数,从而最终定量得到电阻定律.所有的这些步骤以及物理知识的教授不仅能够帮助学生回顾旧知,还能进一步将新学习的知识整合迁移到一起,让学生在思考、观察、实验的基础上通过科学推理和科学论证得到结论,从而提升学生的科学思维和科学探究能力,增强其物理观念的落实,进一步培养了学生的物理学科核心素养.

实验仪器操作简单,学生可以通过自己任意裁剪导电纸,手动安装仪器真实地测量并探究得出电阻定律.在这个自主设计、自主实验以及合作交流的学习模式中,学生可以不断增强自己的动手操作能力和实验创新能力,并秉着严谨认真、实事求是的科学态度学习物理,最终能有效地深化科学态度与责任意识.

### 4 结语

本文针对“导体的电阻”一节,通过对教材以及相关的教学设计中实验部分进行比较和分析,自制了一个定量探究电阻定律的实验装置.该装置在之前的众多实验基础上进行了较大的改进,具有原创

性,且整体操作起来简单方便,实验现象明显,实验结果也比较准确.利用该实验装置进行实验探究,可以增强学生的动手操作能力,培养学生的科学探究能力,也能让学生在简单的操作中思考实验仪器的设计理念,感受创新思想,进而有效地激发学生的科学思维,渗透学生的科学态度与责任意识.因此,笔者建议在未来的课堂中可以通过利用此实验装置进行教学,用理论指导实践,用实践论证理论.

#### 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(实验)[M].北京:人民教育出版社,2003.
- 2 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.普通高中课程标准实验教科书·物理(选修3-1)[M].北京:人民教育出版社,2010.
- 3 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017年版)[M].北京:人民教育出版社,2018.
- 4 王贤勇.《导体的电阻》教学设计[J].中学物理教学参考,2019(08):37-39.
- 5 彭夷.指向深度学习的深度备课——以“探究影响导体电阻大小的因素”备课为例[J].物理教学,2017(09):39-42.
- 6 牛有朋.《导体的电阻》教学设计[J].物理教学探讨,2014(03):69-73.
- 7 张美云,钟林新,等.碳纤维导电纸的性能及应用[J].中国造纸,2008(03):13-17.
- 8 聂艳艳,孙晓刚,等.不同导电剂导电纸的电磁屏蔽效能研究[J].化工新型材料,2016(06):246-248.
- 9 刘健智,曾心.《探究导体的电阻》教学设计[J].湖南中学物理,2019(09):43-47.
- 10 于莹,孙宁.浅谈基于核心素养的科学探究教学设计[J].物理教师,2019(07):43-46.

(收稿日期:2020-06-15)

(上接第 58 页)

点的极化电荷数相同.综上所述,对边界②上的负极化电荷总能按上述方法找到与其成对的正极化电荷.以上为二维情况,推广到三维也有类似结论.

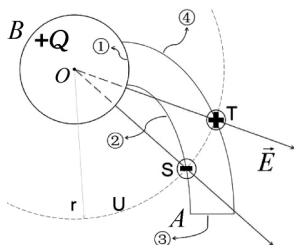


图 5 极化电荷对的对应

通过上面的讨论已经知道,正负极化电荷受

电场力的作用,从而导致 A 整体受到力的作用,此力将使 A 伸直.由于中心的金属球 B 和其产生的电场、以及塑料条的固定方式都有球对称性,因此验电羽的每根塑料条都满足上述结论,即验电羽的塑料条将沿电场线张开.

#### 参考文献:

- 1 辜金星.法拉第圆桶实验的改进[J].教学仪器与实验,2015,31(2):38-39.
- 2 柯木生.简单易行的静电屏蔽实验[J].中学物理教学参考,2006,35(3):20.
- 3 夏志伟.库仑定律的定性演示[J].中小学实验与装备,2012,22(5):7.
- 4 郭硕鸿.电动力学(第3版)[M].北京:高等教育出版社,2008:18-20.

(收稿日期:2020-03-01)