

# “电容器的电容”创新实验设计

林鑫 姚珩

(闽南师范大学物理与信息工程学院 福建漳州 363000)

(收稿日期:2020-11-20)

**摘要:**利用放电时的电容器启动石英钟,以秒针走动的时间将电容器所带电荷量可视化,设计探究电容器储存电荷量  $Q$  与充电电压  $U$  关系的实验装置,引导学生在实验中深刻体会电容概念,拓宽学生实验的科学方法与视野.

**关键词:**电容 电荷 创新实验

电学是高中课程中的必修内容,也是近代科技发展的重要基础,将基本的电学知识融合高中物理新课程标准,通过创设学生积极参与、乐于探究、善于实验、勤于思考的学习情境,以多样化的教学方式,利用现代信息技术,引导学生形成科学思维习惯,增强科学探究能力和解决实际问题的能力<sup>[1]</sup>,是本篇实验教学设计的目标.

## 1 实验设计理念

对于学生而言,电荷既“看不到”也“摸不着”,不易通过实验直观地感受到电荷量的变化.因此,电容器以及电容对学生而言是十分抽象的概念,难以轻易的纳入认知结构中,成为学习路上的一大绊脚石<sup>[2,3]</sup>.那么如何使电荷可视化,呈现直观清晰的实验现象,让学生产生深刻的感性认知,将绊脚石变成踏脚石,是本实验教学需要解决的问题.在此要求下,我们设计出了“探究电容器所带电荷量与两端电压关系演示仪”,能够让学生清楚感受到电容器的放电过程,将抽象事物转化为具体现象,再加以信息转换的量化分析.在实验操作中,学习到良好的思维方法与探究能力.

## 2 设计基础

### 2.1 实验装置使用器材

可调直流稳压电源模块(DCDC)、KT电路板、石英钟(内阻约为  $5\text{ k}\Omega$ )、 $2\ 200\ \mu\text{F}$  与  $3\ 300\ \mu\text{F}$  电解电容器、单刀双掷开关、导线若干.实验装置如图1所示.



图1 自制探究电容器两端电压与带电荷量关系演示仪

### 2.2 实验装置设计的原理

本实验利用时钟走动,创设可以测量出电容器在不同电压下储存电荷量的学习情境,间接实现电荷量可视化.基本的实验原理如下:

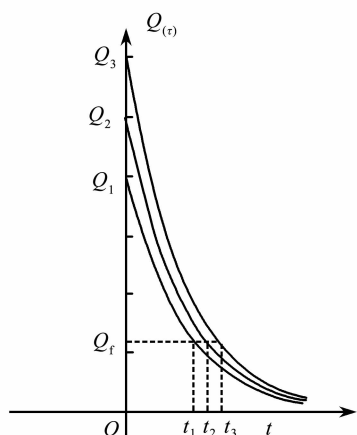
若电容为  $C$  的电容器最初储存的电荷量为  $Q_0$ ,经过阻值为  $R$  的电阻开始放电,  $t$  秒后,电容器上电荷量为<sup>[4]</sup>

$$Q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}} = Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1)$$

其中时间常数  $\tau = RC$ ,以泰勒级数展开可近似写成

$$Q(t) = Q_0 \left(1 - \frac{1}{\tau}t\right) \quad (2)$$

对同一个电容器,分别以不同电压充电到电荷量为  $Q_1, Q_2$  和  $Q_3$ ,此情况下让它们开始放电,到最后电荷量同为  $Q_f$  时,所用时间分别为  $t_1, t_2$  和  $t_3$ ,其放电曲线遵循式(1),如图2所示.当  $Q_1, Q_2$  和  $Q_3$  很接近时,由式(2)可知3条放电曲线的斜率将近似相同,其放电图形可近似为图3,将3条放电曲线视为直线处理.

图2 电容器放电至  $Q_f$  时的曲线图

由图3相似三角形可知  $\Delta Q_1 O t_1 \sim \Delta Q_2 O t_2 \sim \Delta Q_3 O t_3$ , 因此由对应边成比例可得

$$Q_1 : Q_2 : Q_3 = t_1 : t_2 : t_3 \quad (3)$$

即储存在电容器的最初电荷量正比于电容器放电完成所需时间. 如此学生可通过观察放电完成的时间, 来感受电容器最初所带电荷量, 甚至仿佛可以“看到”电荷量的存在与消失.

### 2.3 实验创新之处

(1) 利用钟表的秒针转动实现电荷量可视化

本实验落实上述设计原理, 利用电容器放电时驱动石英钟走动, 实现电荷可视化, 突破了电荷量无法测量这一难点. 将抽象的“电荷”转化为日常生活中常见的石英钟秒针走动这一具体现象, 拉近了学生与“电荷”的关系. 使学生在形成知识的最初阶段能够借助于感官知觉, 先把对事物的观察和接触转化为具体的感性认识, 再把感性认识转化为普遍性的认知知识.

(2) 利用可调直流稳压电源模块(DCDC)代替干电池充电

由于石英钟额定电压为 1.5 V, 因此电容器的充电电压受到限制, 有些设计者使用干电池, 即 1.5 V 电压与 3 V 电压给电容器充电<sup>[5]</sup>, 此举使得实验数据只有两组, 不利于得出较充分完整的结论. 且当充电电压为 3 V 时, 我们发现钟表秒针会出现卡顿现象, 仅当充电电压介于 1.0~2.0 V 之间, 实验现象最为稳定明显. 因此, 我们设计出以 DCDC 电源(如图4)取代干电池对电容器充电, 如此不仅可以从小液晶显示屏直接准确读出充电电压, 还可通过旋钮精准快捷地改变电容器的充电电压, 在 0.5~

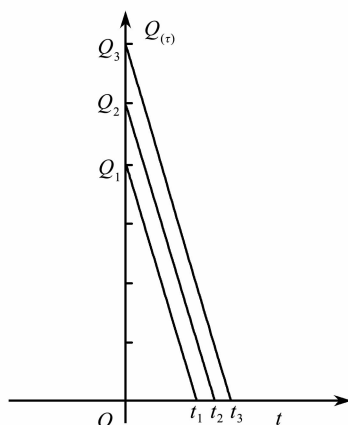


图3 电容器放电时的近似直线图

15 V 之间任意选取, 其准确值可达百分位.



图4 可调直流稳压电源模块(DCDC)

## 3 自制实验装置探究过程

### 3.1 实验操作过程

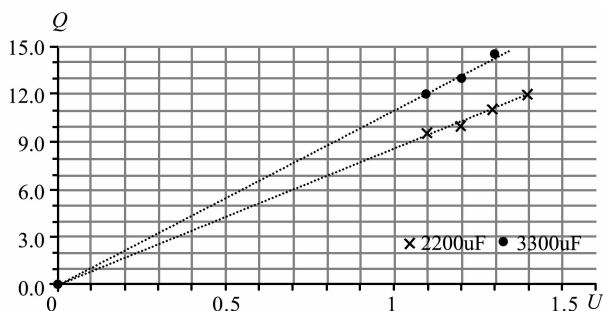
在课堂时间有限的情形下, 进行实验时选取 1.1~1.4 V 之间 4 个彼此接近的电压值, 如此也可满足图3成立的近似条件.

(1) 将电源电压调至 1.1 V, 开关拨至 A 端, 对 2 200  $\mu\text{F}$  的电容器进行充电(图1), 观察 DCDC 电源上电流示数, 当电流减为零时, 充电完毕. 此时, 电容器两端电压等于电源电压, 直接将读数填入 Excel 表格中.

(2) 石英钟秒针拨向 12 点位置调零, 将开关拨至 B 端, 利用电容器中所存储电荷可使石英钟的秒针走动, 当秒针停止时即代表放电结束. 记录秒针所走的格数, 填入 Excel 表格中(如表1).

(3) 依次改变充电电压为 1.2 V, 1.3 V, 1.4 V, 重复上述实验, 得到多组数据, 填入 Excel 表格中.

(4) 以横轴为放电时的最初电压, 纵轴为放电完成时间(或秒针停止走动的时间), 也对应于放电前电容器所储存的电荷量, 将实验所得数据作出  $Q-U$  关系图(如图5).

图5 电容器放电前储存电荷量  $Q$  与电压  $U$  的关系

(5)用电容为  $3\ 300\ \mu\text{F}$  的电容器让学生进行实验,重复(1)~(4)的步骤(如表2)。学生们试着分析实验结果,与  $2\ 200\ \mu\text{F}$  数据进行比较。

表1 电容器  $Q$  与  $U$  关系实验数据( $2\ 200\ \mu\text{F}$ )

实验次序	电压 $U/\text{V}$	$t \propto Q$	$\frac{t}{U} \propto \frac{Q}{U}$
1	1.10	9.5	8.64
2	1.20	10.0	8.33
3	1.30	11.0	8.46
4	1.40	12.0	8.57

表2 电容器  $Q$  与  $U$  关系实验数据( $3\ 300\ \mu\text{F}$ )

实验次序	电压 $U/\text{V}$	$t \propto Q$	$\frac{t}{U} \propto \frac{Q}{U}$
1	1.10	12.0	10.91
2	1.20	13.0	10.83
3	1.30	14.5	11.15
4	1.40	15.5	11.08

### 3.2 实验数据讨论分析

实验完成后,教师带领学生,对实验数据进行分析,找出规律、形成结论。

教师:同学们观察电容器放电前所带电荷量  $Q$  与两端电压  $U$  的图像,说说你有什么发现?

学生甲:当电容器充电电压  $U$  增大时,电容器放电前所带电荷量  $Q$  也随之增大。

学生乙: $Q$  和  $U$  都在变化时,它们的比值大致不变。

学生丙: $Q-U$  图像显示  $Q$  与  $U$  成线性关系。

教师:同学们发现了对于这个电容器来说,充电电压增大,带电荷量也随之增大,并且  $\frac{Q}{U}$  的比值是相同的。那其他的电容器,  $\frac{Q}{U}$  的比值也是相同的吗?

教师展示  $2\ 200\ \mu\text{F}$  与  $3\ 300\ \mu\text{F}$  两实验组的数

据,如图5所示。

教师:对于这两个不同的电容器,哪个电容器储存电荷量的本领比较强?你是如何判断的?

学生丁:圆点直线代表的电容器本领比较强,因为在相同的电压下,可以储存更多的电荷。

学生戊:圆点直线代表的电容器本领比较强,因为储存同样的电荷,需要的电压更小一些。

教师:同学们的判断都很对,也就是说斜率越大,电容器存储电荷的本领越强。直线斜率的大小就等于  $\frac{Q}{U}$ ,因此这个比值就能够反映出电容器储存电荷的本领,我们就将它定义为电容器的电容,这个新概念常用符号  $C$  来代表,单位为法拉,符号为  $\text{F}$ 。

**设计意图:**在操作实验的过程中,培养学生实验探究,获取证据的能力,并使用正确方法分析、处理信息,运用证据对研究问题进行描述、解释和预测。

### 4 实验误差分析

由图5的实验结果,分析两条关系线的斜率  $\frac{Q}{U} = \frac{11.0}{8.5} \approx 1.3$ ,可预测得到未知电容值  $C = 2\ 200 \times 1.3\ \mu\text{F} = 2\ 860\ \mu\text{F}$ 。与实际电容值  $3\ 300\ \mu\text{F}$  比较,相差约13%,差距在一定范围内。

此误差主要由以下两个原因造成:

(1)电容器的放电曲线实际为指数衰减曲线(图2),而非图3中的近似斜线。当实验所选取的几个充电电压尽可能接近时,电容器最初的储存电荷量就越接近,曲线的斜率将近似相等,则  $Q_1 : Q_2 : Q_3 = t_1 : t_2 : t_3$  的比值就越一致。

(2)由于秒针与刻度之间存在一定距离,因此在秒针调零开始读数时,会存在人为读取的误差。这也是为何表1与表2中,小数点后的秒数读取值都是以0或5表示,这限制了实验的精确度。

### 5 结束语

本研究以自制“探究电容器所带电荷量与两端电压关系演示仪”,通过多元化的教学设计,引起学生观察与描述自然现象的乐趣,让学生在脑中形成直观的物理图景。通过引导学生观察思考实验数据与图像,培养学生基于证据,分析数据,得出结论,作出解释等各种基本的科学探究能力。

(下转第117页)

### (3) 金属极板电场分布

如图5所示,用两个金属圆盘组成平行板电容器,极板内部粘贴细小丝线.启动飞行棒靠近左侧的极板,右手接触另一个极板.左侧极板外表面出现负电荷,内表面出现正电荷,细小丝线飘动起来,显示指向右侧接地极板的静电场分布.

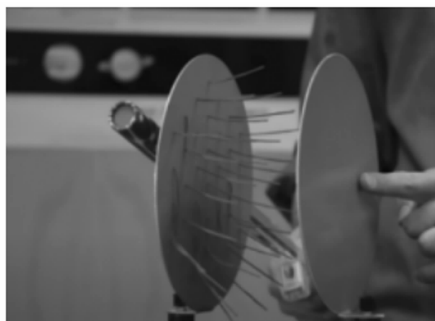


图5 金属极板电场分布

### (4) 法拉第笼实验

利用飞行棒和金属箔片,可以快速制作一个法拉第笼实验.如图6所示,用金属箔围成一个闭合圆环,分别在金属箔内侧和外侧粘贴细小丝线.启动飞行棒靠近金属圆环,发现外侧的丝线飘动起来,但是内部的丝线静止不动,表示圆环内部电场为零.



图6 法拉第笼实验

### (5) 富兰克林钟

富兰克林钟是著名科学家本杰明·富兰克林(Benjamin Franklin)最先设计的,实验原理如图7

所示.他为了研究闪电的性质,在家里吊起两个钟,中间挂一个金属球.一个钟连接房子上的引雷针,另一个钟连接地面<sup>[1]</sup>.

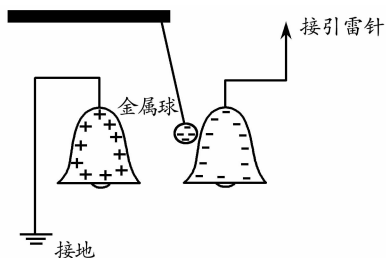


图7 富兰克林钟原理图

如图8所示,在2个清洁干燥的易拉罐表面放置一根不导电的塑料吸管,吸管中间用绝缘丝线悬挂易拉罐的金属环,金属环和2个易拉罐保持一定的距离.启动飞行棒并接触右侧的易拉罐,用手指触摸左侧的易拉罐.当飞行棒接触易拉罐时,表面的正电荷转移到易拉罐表面,吸引轻质的金属环,金属环获得正电荷后被排斥,向接地的易拉罐运动并释放电荷,变为电中性后重新回到原来的位置.如此循环往复,金属环将以非常高的速度来回反弹,发出类似敲钟的声音.

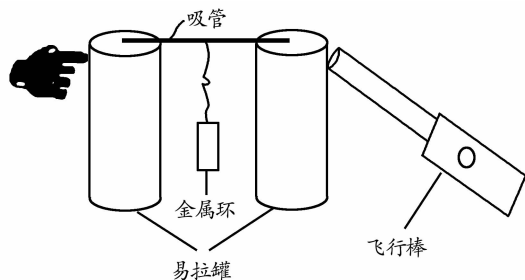


图8 富兰克林钟实验

### 参考文献

- 1 申先甲. 物理学史简编[M]. 济南: 山东教育出版社, 1985

(上接第114页)

高中生正处于从具体运算阶段迈向形式运算阶段的发展过程,本实验装置通过借助学生耳濡目染的具体事物,创设真实有趣的物理情境,使“电荷量”可视化,努力降低认知的台阶,激起学生的感性认识,获得生动的表象,建立对新知识较广阔且深刻的理解基础.

### 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(2017年版)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2018

- 2 夏良英. 注重科学探究自主创新实验——自制教具优化教学的探索与实践[J]. 物理教师, 2019, 40(4): 44~46
- 3 施坚. 核心素养导向下的学生实践意识提升的案例分析与思考——以人教版3-1“电容器的电容”为例[J]. 物理教师, 2017, 38(10): 9~14
- 4 马文蔚. 物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014. 236~237
- 5 吴玉琴, 施国富. 《电容器的电容》教学中的几个实验设计[J]. 实验方法与实验设计, 2012(4): 12~14