

电容器带电荷量与电压关系演示仪的设计与制作

王习元

(淮安市钦工中学 江苏 淮安 223200)

张洪明

(宁波北仑明港高级中学 浙江 宁波 315800)

(收稿日期:2018-08-06)

摘要: 主要介绍一款自制教学仪器,用来演示电容器充放电时电流大小和方向,以及探究电容器的带电荷量与电压之间的关系并介绍了仪器的制作过程和使用方法. 电容器的带电荷量没有直接的测量仪器而无法定量研究电容器带电荷量与电压之间的关系,巧妙运用“均分法”给予解决.

关键词: 电容器 电容 充电与放电 均分法 数字万用表

1 提出问题

人教版《物理·选修3-1》第一章静电场第8节“电容器的电容”如图1所示,为电容器充电放电示意图,由于电容器的充电与放电过程是暂态过程,充电与放电时间非常短,电流也非常小,不容易观察到实验现象. 同时电容器两极板的带电荷量 Q 与两极板之间电压 U 的关系,教材中是直接给出 $C=\frac{Q}{U}$. 笔者设计制作了如图2所示实验电路来定性观察电流变化和定量探究 $Q-U$ 的关系,很好地解决了这两个教学难点.

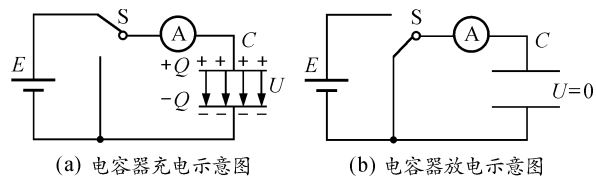


图1 电容器充放电示意图

2 实验原理

如图2所示电路,仿照库仑研究库仑定律的方法,两个完全相同的金属小球一个不带电,一个带电,接触后,每个小球所带电荷量为总电荷量的一半,把带电小球的电荷量 Q 分为 $\frac{Q}{2}, \frac{Q}{4}, \frac{Q}{8}$. 这种方法也称为“均分法”. 如果两个小球带电荷量分别为 Q_1

和 Q_2 ,两球如果带同种电荷相接触则每个小球带 $\frac{Q_1+Q_2}{2}$,两球如果是带异种电荷相接触则每个小

球带电荷量为 $|\frac{Q_1-Q_2}{2}|$. 两个完全相同的电容器

两极板直接接触,也满足以上规律. 演示充电过程中电流变化和方向,将开关 S_0 连接到1处,白色发光二极管发光由强到弱,蜂鸣器发声由大到小. 电容器 C_1 被充电,充电过程3 s左右. S_0 连接到2处电容器 C_1 放电,红色二极管发光由亮变暗,反接蜂鸣器发声由强到弱. 说明充电时电流从正极出发,电流大小由强变弱. 电容器上极板带正电荷. 放电时电流从电容器上极板从右向左流过红色二极管,电流由强到弱. 电容器充电与放电过程中利用二极管(单向导电性)可以直接看到光强的变化,利用蜂鸣器声音变化可以从听觉上直接感受到声音变化也就是电流强弱的变化. 再利用智能手机录音软件将声音的变化播放出来显示了电流变化的可视化观察. 然后将 C_1 充电后(设带电荷量为 $2Q$)依次将 S_1 闭合到3,4, S_2 闭合到6, S_3 闭合到8,可以获得电荷量为 $Q, \frac{Q}{2}, \frac{Q}{4}, \frac{Q}{8}$,此时用数字万用表测出对应的电压为 U_1, U_2, U_3, U_4 ,然后再将 S_1 闭合到3, C_1, C_2 电荷量均分为 $\frac{3Q}{4}$,再测出对应电荷量的电压 U_5 . 同理将开关 S 统

一闭合到右侧进行第二组电容器测量. 然后利用电子表格进行数据处理.

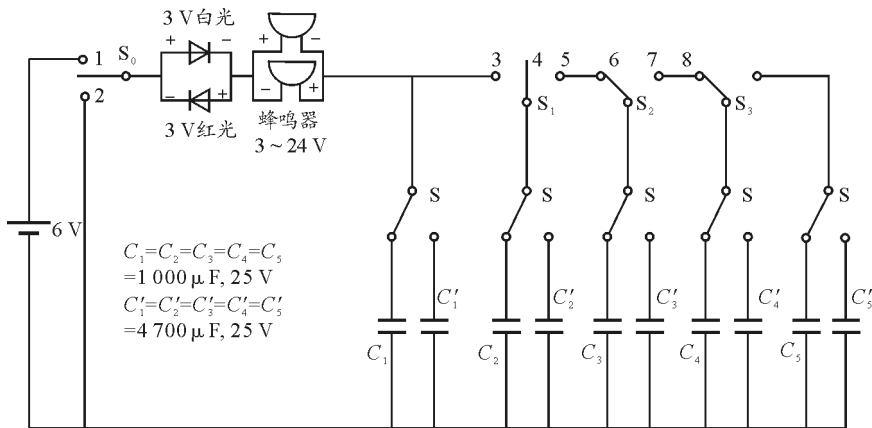


图 2 定性观察电流变化和定量探究 $Q-U$ 关系的实验电路图

3 实验材料

固定用长方形木板一块,长 75 cm,宽 45 cm 左右,底座木板,长 80 cm,宽 19 cm,干电池盒和 4 节 1.5 V 新的干电池,9 个单刀双掷开关,25 V,1 000 μ F 电解电容器 5 个,25V,4 700 μ F 电解电容器 5 个,小灯泡的灯座 11 个,直流长鸣蜂鸣器 3 ~ 25 V 2 个,3 V 白光发光二极管 1 个,红光发光二极管 3 V 1 个,红色蓝色黑色导线若干,固定用螺丝若干.

4 制作过程

- (1) 准备好制作材料,先画好电路图.
- (2) 将小灯泡底座侧面用电钻钻出合适的小孔. 然后将底座中间的固定铜圈去掉,将发光二极管和电容器的两个引脚(长正短负) 分别接到接线柱的红黑端铜片上,如图 3(a),(b) 所示.

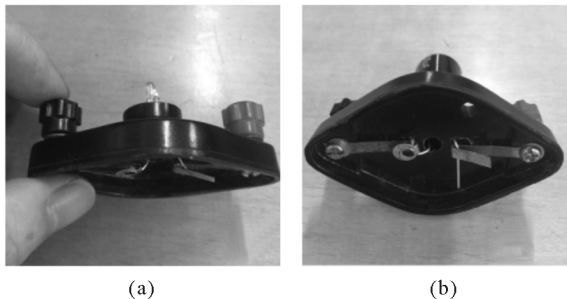


图 3 发光二极管和电容器的两个引脚与接线柱的连接

- (3) 将已经固定在小灯泡底座上的 10 个电容器先摆放在固定板上,同时放好 9 个单刀双掷开关. 调整合适的间距. 然后在固定板上用铅笔画好连线位置.
- (4) 用十字螺丝刀固定好 10 个电容器和单刀双掷开关.

- (5) 用导线连接好开关和电容器,再向左固定两个蜂鸣器,如图 4 所示. 将直流蜂鸣器的红黑接线正反并联对接,然后向左连接到两个固定在小灯泡底座上的白色和红色发光二极管,注意二极管的正负极.

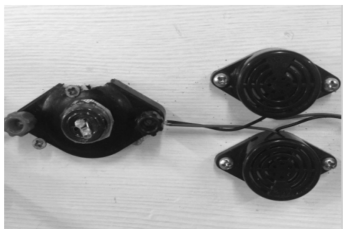


图 4 固定两个蜂鸣器

- (6) 在固定板的左侧固定一个单刀双掷开关,用来给电容器充电和放电时使用. 最左侧固定好电池组 4 节干电池,最大电压 6 V. 在固定面板中间合适位置固定好两根长螺丝用来放手机录音充电和放电时的声音变化(手机的听筒位置靠近蜂鸣器).
- (7) 最后用直角固定件,固定竖直固定板和底座木板. 制作完成后如图 5 所示.

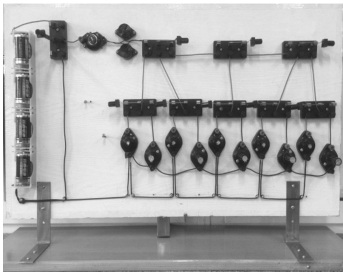


图 5 完成后的实验电路实物图

5 实验操作

- (1) 根据图 2 闭合开关 S_0 到 1 位置,电流从左向

右通过二极管(发白光),蜂鸣器发出从强到弱的声音.声音大小与充电电流大小成正比,可以用智能手机录下声音,观察声音振幅变化,声音振幅变化反映出电容器充电时电流大小变化.

(2) 如图 2 所示,闭合开关 S_0 到 2 位置,电流从右向左通过二极管(发红光),蜂鸣器发出从强到弱的声音.可以用智能手机录制下声音,观察声音振幅变化,声音振幅变化反映出放电时电流大小变化,播放录音如图 6 所示,可以直接看出电流的变化情况.

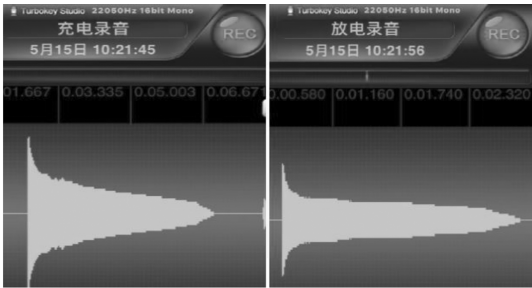


图 6 充放电录音播放时声音振幅变化

(3) 如图 2 所示,再次闭合开关 S_0 到 1 位置,对电容器 C_1 充电,充电完毕后断开开关 S_0 . 设此时电容器 C_1 的带电荷量为 $2Q$.

(4) 如图 2 所示,闭合开关 S_1 到 3 位置,电容器 C_1 与 C_2 之间是并联(二者完全相同),并联后 C_1, C_2 平均分配并联之前的总电荷量 $\frac{2Q+0}{2}$ 均为 Q .

(5) 如图 2 所示,闭合开关 S_1 到 4 位置,电容器 C_2 与 C_3 之间是并联(二者完全相同),并联后所带的

总电荷量平均分配均为 $\frac{Q}{2}$.

(6) 如图 2 所示,闭合开关 S_2 到 6 位置,电容器 C_3 与 C_4 之间是并联,并联后所带的总电荷量平均分配均为 $\frac{Q}{4}$.

(7) 如图 2 所示,闭合开关 S_3 到 8 位置,电容器 C_4 与 C_5 之间是并联,并联后所带的总电荷量平均分配均为 $\frac{Q}{8}$. 然后用数字万用表 20 V 电压档,测量出 $Q, \frac{Q}{2}, \frac{Q}{4}, \frac{Q}{8}$ 所对应的电压分别为 U_1, U_2, U_3, U_4 .

(8) 如图 2 所示,再次闭合开关 S_1 到 3 位置,电容器 C_1 与 C_2 再一次并联,并联之前总电荷量为 $Q + \frac{Q}{2} = \frac{3Q}{2}$ 平均分配后均为 $\frac{3Q}{4}$, 然后测量出 C_1 电压为 U_5 .

(9) 同理,将开关 S 统一闭合到右侧,将第一组电容器 $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = 1\,000\,\mu\text{F}$ 断开,将 $C'_1 = C'_2 = C'_3 = C'_4 = C'_5 = 4\,700\,\mu\text{F}$ 接通,进行第二组电容器带电荷量 Q 与电压 U 的数据测量. 然后将测量得到的数据统一输入到 Excel 表格中.

6 数据处理

实验数据如图 7 所示,开始测量时电容器带电荷量为零时的电压也为零. 将对应读出的数据输入到电子表格当中如表 1 所示.

电荷量 电压	0.125Q	0.250Q	0.500Q	0.750Q	1.000Q
第 1 组电容 (25 V, 1 000 μF) U/V					
第 2 组电容 (25 V, 4 700 μF) U/V					

图 7 实验数据图

选中表 1 中的第 1 列和第 2 列,选择插入——图表——“XY 散点”——“添加趋势线”会得到如图 8 所示关系图,第一组电容器带电荷量 Q_1-U_1 之间函数关系. 同理选择第 3 列与第 4 列数据得到如图 9 所示关系图,第二组电容器带电荷量 Q_2-U_2 之间

函数关系. 从图中可以直接看出电容器的带电荷量与电压之间是成正比关系. 那么 $\frac{Q}{U}$ 的比值反应出什么关系呢? 或者说 $\frac{Q}{U}$ 的比值是由什么因素决定的呢?

表 1 实验数据记录

U_1/V	电荷量 Q_1/Q	U_2/V	电荷量 Q_2/Q
0.00	0.000	0.00	0.000
0.20	0.125	0.18	0.125
0.40	0.250	0.38	0.250
0.82	0.500	0.77	0.500
1.25	0.750	1.17	0.750
1.68	1.000	1.57	1.000

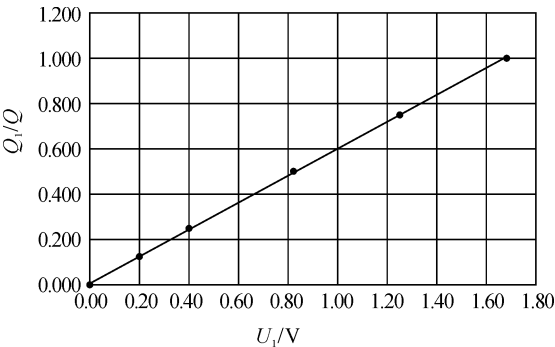


图 8 $U_1 - Q_1$ 关系图

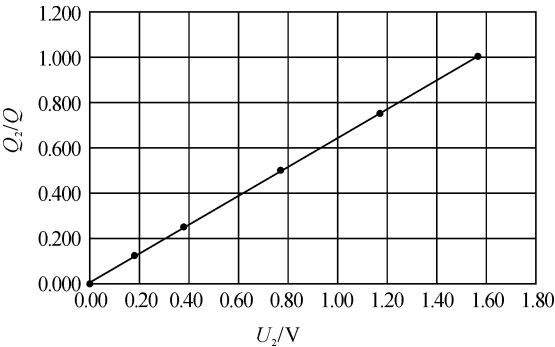


图 9 $U_2 - Q_2$ 关系图

下面将两组函数关系在同一坐标系中做出来, 根据 $C_1=1\,000\,\mu\text{F}$, $C_2=4\,700\,\mu\text{F}$, 在取相同电压时 $Q_2=4.7Q_1$, 将相应的数据输入表 2 中绘图如图 10 所示.

表 2 取相同电压时, Q_1 与 Q_2 数据

U_1/V	电荷量 Q_1/Q	电荷量 Q_2/Q
0.00	0.000	0.00
0.20	0.125	0.59
0.40	0.250	1.18
0.82	0.500	2.35
1.25	0.750	3.53
1.68	1.000	4.70

$Q_2=4.7Q_1, C_1=1\,000\,\mu\text{F}, C_2=4\,700\,\mu\text{F}$

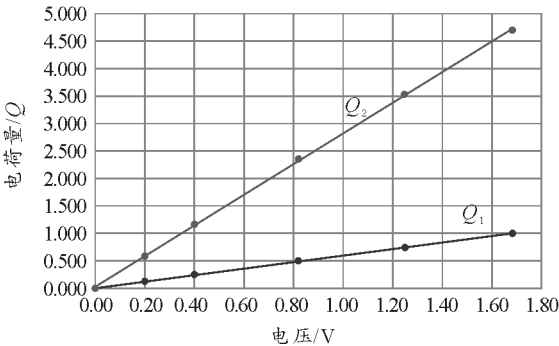


图 10 表 2 数据得到的关系图

从图 10 中可以看出, 取相同电压时第二组电容器的带电荷量比第一组的要多, 所以 $\frac{Q}{U}$ 的比值反映的是电容器容纳电荷本领的物理量, 在物理学中叫做电容器的电容 $C=\frac{Q}{U}$. 从图 11 可以看出第一组电容器明显与第二组电容器大小不同, 也就是电容器电容的大小与电容器本身的结构有关.

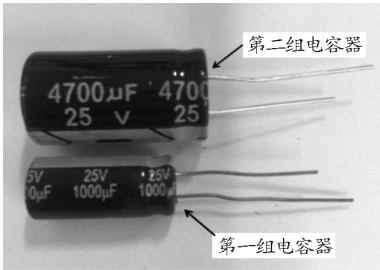


图 11 两组电容器的参数对比

7 仪器优点

- (1) 通过视觉和听觉两种感官定性感受到电容器在充电和放电过程中电流是逐渐减小的, 利用白色和红色二极管演示充电电流和放电电流方向相反. 采用二极管降低了对电容器的电容要求. 如果要想达到使小灯泡发光需要 $180\,000\,\mu\text{F}$ 的电解电容器, 体积非常大, 而且小灯泡无法显示出电流的方向, 而发光二极管恰好可以解决这个问题. 实验中通过智能手机录音软件可以将电流的变化通过声音振幅的变化表现出来, 实现了电流的间接可视化. 用手机做实验体现了用生活物品来做物理实验, 将物理与生活紧密结合.
- (2) 实验中采用了均分法, 用两个完全相同的电容器正负极板对接, 使得电荷量平均分配. 这样巧妙地回避了电容器带电荷量的测量, 这是此实验的

测量不规则固体的一种新方法

杜利英 杨能勋 韩秀昆

(渭南市各店一中 陕西 渭南 714000)

(收稿日期:2018-10-16)

摘要:用硅压阻式力敏传感器测量不规则固体的体积,拓展了力敏传感器的线性关系,并与静力称衡法相结合得出力敏传感系数与体积的关系.该测量方案原理简单,方法可靠,操作方便,从测量结果可知,该方法测量出的固体的体积与常规测量方法的结果相比,其相对误差较小,说明本方案确实可行.

关键词:硅压阻式力敏传感器 体积 测量

1 引言

体积是物体占有多少空间的量,测量不规则固体的方法有多种,排液法是测量不规则固体体积的常用方法之一.该方法是先测出水的体积,然后将物体放入,测出总体积,最后用总体积减去水的体积.测量方法直观,概念清楚,但是误差较大,操作冗杂.随着科学技术的飞快发展,人们开始将一些高科技手段运用于实验研究,硅压阻式力敏传感器的灵敏

度高,在低量程段仍可进行精确测量,且线性优良.它的体积较小、精度较高、重量较轻,动态频响高,整体性能较稳定,有很高的可靠性,温度系数小,可以适应多种介质,安全性好,在工业及设备制造领域可广泛使用,如化工、医学、电力、空调、冶金、汽车制造、金刚石压机等压力测量与控制.为了拓展硅压阻式力敏传感器的实验研究,本文在静力称衡法的基础上,对实验方法进行了综合拓展.下面介绍拓展内容的实验原理和测量方法.

精髓.实验中采用5个电容器,第一次操作后出现 $Q, \frac{Q}{2}, \frac{Q}{4}, \frac{Q}{8}$,4个电荷量,然后将 $Q, \frac{Q}{2}$ 对接电荷量均分为 $\frac{3Q}{4}$,加上零点一共有6个实验数据,实验中只需要两次测量电压,不需要对电容器进行放电,减少了实验操作次数,提高了实验效率.

(3) 实验中设计了两组电容器,在获得实验数据后获得两张 Q_1-U_1 和 Q_2-U_2 关系图,通过电子Excel表格可以将两个图像在同一个坐标系中显示,这样学生可以知道,不同的电容器由于结构不同,导致 $\frac{Q}{U}$ 比值不同,这个比值反应了结构本身的性质,我们顺利得出电容的定义和物理意义.在加相同的电压给电容器充电过程中,第二组电容器充电时间明显比第一组要长(蜂鸣器发出声音时间长,二极管发光时间也长),说明其容纳的电荷量要比第一组电容器要多.

(4) 实验的数据分布十分对称,比较以往倍减

法的实验数据,在后面部分有较大的数据空白区,此实验获得数据非常完美.数字万用表电压档内阻一般为 $10\text{ M}\Omega$ 且不随改变量程而变化,克服了指针式电压表内阻不够大测量电容器电压时电容器放电影响带电荷量变化导致实验误差增大.实验中使用的电源是干电池携带方便,单刀双掷开关是实验室标配,电解电容器淘宝大约5.8元10个包邮,蜂鸣器2.5元1个,二极管10个1包几元钱,实验成本较低具有普遍推广的价值.

参考文献

- 1 张洪明. 改进实验策略 提高实验效率. 物理教师, 2016(11):45~48
- 2 张洪明. 利用实验解决高中物理教学难点分析. 物理教学, 2015(7):25~27
- 3 张洪明. 利用实验突破习题教学中难点的案例赏析. 物理教学, 2015(9):56~58
- 4 张洪明. 自制电动机. 物理教学, 2015(11):78~80
- 5 张洪明. 刘坤. 利用智能手机做物理实验. 物理教学, 2016(3):30~32