# 第十章 4 电容器的电容

## 问题

水可以用容器储存起来，电荷也可以用一个“容器”储存起来。图中的元件就是这样的“容器”——电容器。那么，它内部的构造是怎样的？它是怎样“装进”和“倒出”电荷的呢？



## 电容器

**电容器**（capacitor）是一种重要的电学元件。在两个相距很近的平行金属板中间夹上一层绝缘物质——电介质（空气也是一种电介质），就组成一个最简单的电容器，叫作平行板电容器。这两个金属板叫作电容器的极板。实际上，任何两个彼此绝缘又相距很近的导体，都可以看成一个电容器。

### 实验

**观察电容器的充、放电现象**

把直流电源、电阻、电容器、电流表、电压表以及单刀双掷开关组装成实验电路（图 10.4-1）。

S

*C*

A

V

1

2

*E*

*R*

图 10.4-1 电容器的充、放电

把开关S接1，此时电源给电容器充电。在充电过程中，可以看到电压表示数迅速增大，随后逐渐稳定在某一数值，表示电容器两极板具有一定的电势差。通过观察电流表可以知道，充电时电流由电源的正极流向电容器的正极板。同时，电流从电容器的负极板流向电源的负极。随着两极板之间电势差的增大，充电电流逐渐减小至 0，此时电容器两极板带有一定的等量异种电荷。即使断开电源，两极板上的电荷由于相互吸引而仍然被保存在电容器中。

把开关S接2，电容器对电阻*R*放电。观察电流表可以知道，放电电流由电容器的正极板经过电阻*R*流向电容器的负极板，正负电荷中和。此时两极板所带的电荷量减小，电势差减小，放电电流也减小，最后两极板电势差以及放电电流都等于0。

电容器充电的过程中，两极板的电荷量增加，极板间的电场强度增大，电源的能量不断储存在电容器中；放电的过程中，电容器把储存的能量通过电流做功转化为电路中其他形式的能。

### 拓展学习

**用传感器观察电容器的放电过程**

电流传感器可以像电流表一样测量电流。不同的是，它的反应非常快，可以捕捉到瞬间的电流变化。此外，由于它与计算机相连，还能显示出电流随时间变化的 *I*-*t* 图像。

照图 10.4-2 甲连接电路。电源用直流 8 V左右，电容器可选几十微法的电解电容器。先使开关 S 与 1 端相连，电源向电容器充电，这个过程可在短时间内完成。然后把开关 S 掷向 2 端，电容器通过电阻 R 放电，传感器将电流信息传入计算机，屏幕上显示出电流随时间变化的 *I*-*t* 图像（图 10.4-2 乙）。

一位同学得到的 *I*-*t* 图像如图 10.4-3 所示，电源电压是 8 V。

*R*

接计算机

2

1

S

*C*

*E*

电 流

传感器

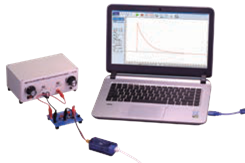


图 10.4-2 用传感器在计算机上观察电容器的放电

甲 观察电容器放电的电路图

乙 实验装置

2

1

0

0.1

2

4

6

8

*t* / s

*I* / mA

图 10.4-3 一个电容器放电的 *I*-*t* 图像

（1）在图中画一个竖立的狭长矩形（在图 10.4-3的最左边），它的面积的物理意义是什么？

（2）怎样根据 *I*-*t* 图像估算电容器在全部放电过程中释放的电荷量？试着算一算。

如果要测绘充电时的*I*-*t* 图像，应该怎样连接电路？怎样进行测量？得到的 *I*-*t* 图像可能是什么形状的？

## 电容

在图 10.4-1 电容器充电的实验中，我们看到，电容器两极板之间的电势差增大时，电流表的示数不为 0，这表明电容器所带的电荷量也在增加。那么，电容器所带的电荷量跟两极板间的电势差是否存在某种定量关系？

### 实验

**探究电容器两极板间电势差跟所带电荷量的关系**

实验电路图如图 10.4 -4 所示。取一个电容器 A 和数字电压表相连，把开关S 1 接1，用几节干电池串联后给A充电，可以看到 A 充电后两极板具有一定的电压。

V

A

B

S2

*E*

2

1

S1

图 10.4-4 实验电路图

把开关 S1 接 2，使另一个相同的但不带电的电容器 B 跟A并联（注意不要让手或其他导体跟电容器的两极板接触，以免所带电荷漏失），可以看到电压表示数变为原来的一半；断开开关 S1 ，闭合开关 S2 ，让 B 的两极板完全放电，随后再断开开关 S2 ，把 B 和 A 并联，电压表示数再次减少一半。

还可以继续这样操作……

以上实验表明，电容器的电荷量变为原来的一半时，其两极板间的电势差也变为原来的一半。

精确的实验表明，一个电容器所带的电荷量*Q*与两极板之间的电势差*U*之比是不变的。不同的电容器，这个比一般是不同的，可见电荷量*Q*与电势差*U*之比表征了电容器储存电荷的特性。

这里说的“电容器所带的电荷量*Q*”，是指一个极板所带电荷量的绝对值。

电容器所带的电荷量 *Q* 与电容器两极板之间的电势差 *U* 之比，叫作电容器的电容（capacitance）。用 *C* 表示，则有

*C* =

上式表示，电容器的电容在数值上等于使两极板间的电势差为 1 V 时电容器需要带的电荷量，电荷量越多，表示电容器的电容越大。这类似于用不同的容器装水。如图 10.4-5，要使容器中的水深都为 1 cm，横截面积大的容器需要的水多。

1 cm

1 cm

图 10.4-5

你觉得用 和 定义电容，哪个更好？

在国际单位制中，电容的单位是**法拉**（farad），简称**法**，符号是 F。如果一个电容器带 1 C 的电荷量时，两极板之间的电势差是 1 V，这个电容器的电容就是 1 F。

实际中常用的单位还有**微法**（µF）和**皮法**（pF），它们与法拉的关系是

1 µF = 10-6 F

1 pF = 10-12 F

加在电容器两极板上的电压不能超过某一限度，超过这个限度，电介质将被击穿，电容器损坏。这个极限电压叫作击穿电压。电容器外壳上标的是工作电压，或称额定电压，这个数值比击穿电压低。

### 拓展学习

**平行板电容器的电容**

平行板电容器是最简单的，也是最基本的电容器。几乎所有电容器都是平行板电容器的变形。平行板电容器的电容是由哪些因素决定的呢？我们通过以下实验来研究。

如图 10.4-6，用静电计[[1]](#footnote-1)测量已经充电的平行板电容器两极板之间的电势差 *U*。

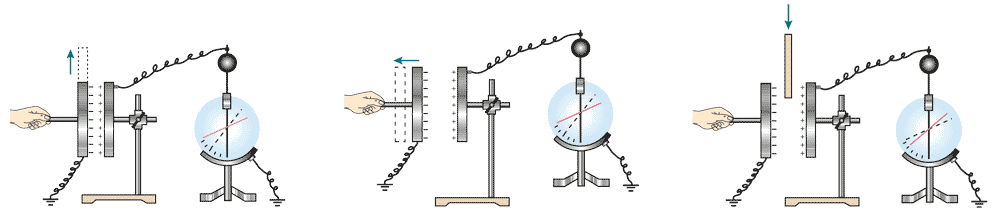


图 10.4-6 研究影响平行板电容器电容大小的因素

甲 正对面积 *S* 对电容 *C* 的影响

乙 两板间的距离 *d* 对电容 *C* 的影响

丙 电介质对电容 *C* 的影响

1．保持极板上的电荷量 *Q* 不变，两极板间的距离 *d* 也不变，改变两极板的正对面积 *S*，通过静电计指针的变化得到两极板之间电势差的变化。根据电容的定义式 *C* = ，由电势差的变化判断电容的变化，从而得到正对面积 *S* 对电容 *C* 的影响（图 10.4-6 甲）。

2．保持极板上的电荷量 *Q* 不变，两极板的正对面积 *S* 也不变，改变两极板间的距离 *d*，通过静电计指针的变化得到两极板之间电势差的变化。同上所述，由电势差的变化判断电容的变化，从而得到两极板之间的距离 *d* 对电容 *C* 的影响（图 10.4-6 乙）。

3．保持 *Q*、*S*、*d* 都不变，在两极板间插入电介质，例如有机玻璃板。通过静电计指针的变化得知两极板间电势差的变化。同上所述，由电势差的变化判断电容的变化，从而得到两极板之间电介质的存在对电容 *C* 的影响（图 10.4-6 丙）。

通过实验可以得出如下结论：减小平行板电容器两极板的正对面积、增大两极板之间的距离都能减小平行板电容器的电容；而在两极板之间插入电介质，却能增大平行板电容器的电容。反之亦然。

理论分析表明，当平行板电容器的两极板之间是真空时，电容 *C* 与极板的正对面积 *S*、极板间的距离 *d* 的关系为

*C* =

式中 *k* 为静电力常量。

当两极板之间充满同一种介质时，电容变大为真空时的 *ε*r 倍，即

*C* =

*ε*r 是一个常数，与电介质的性质有关，叫作电介质的相对介电常数。

## 常用电容器

常用的电容器，从构造上看，可以分为固定电容器和可变电容器两类。固定电容器的电容是固定不变的。常用的有聚苯乙烯电容器和电解电容器。

以聚苯乙烯薄膜为电介质，把两层铝箔隔开，卷起来，就制成了聚苯乙烯电容器（图10.4-7 甲）。改变铝箔的面积和薄膜的厚度，可以制成不同电容的聚苯乙烯电容器。以陶瓷为电介质的固定电容器也很多。





图 10.4-7 固定电容器

甲 乙

电解电容器（图 10.4-7 乙）是用铝箔作为一个极板，用铝箔上很薄的一层氧化膜为电介质，用浸过电解液的纸作为另一个极板（要靠另一片铝箔与外部引线连接）制成的。由于氧化膜很薄，所以电容较大。

可变电容器由两组铝片组成（图 10.4-8），它的电容是可以改变的。固定的一组铝片叫作定片，可以转动的一组铝片叫作动片。转动动片，使两组铝片的正对面积发生变化，电容就随着改变。



图 10.4-8 可变电容器

超级电容器是 20 世纪 70 年代根据电化学原理研发的一种新型电容器，它的出现使电容器的容量得到了巨大的提升。超级电容器的充电时间短，储存电能多，放电功率大，使用寿命长。这些优点展现了它作为新型动力电源的广阔发展前景。

## 练习与应用

本节共有 4 道习题，习题设置重点突出，主要巩固对平行板电容器充、放电过程和电容定义式的计算，以及对演示实验的理解。题目形式多样，有表格分析、图像分析和计算题等。第 1 题考查平行板电容器充、放电过程。第 2 题通过图像加深对电容定义式和用物理量之比定义物理量的理解。第 3 题巩固电容定义式的理解和应用。第 4 题以心脏除颤器为例，考查电容器电荷量的计算方法。

1．用图 10.4-1 的电路给电容器充、放电。开关 S 接通 1，稳定后改接 2，稳定后又改接1，如此往复。下表记录了充、放电过程中某两个时刻通过电流表的电流方向，试根据该信息，在表格内各空格处填上合理的答案。

**表 充、放电过程中某两个时刻的电路情况**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时刻 | 在此时刻通过图中电流表的电流方向 | 电流表中的电流正在增大还是减小 | 开关 S 当前正在接通 1 还是接通 2 | 电容器两端的电压正在增大还是减小 | 整个电路中的能量正在怎样转化 | 这个时候电容器是在充电还是在放电 |
| *t*1 | 向左 |  |  |  |  |  |
| *t*2 | 向右 |  |  |  |  |  |

**参考解答**：如下表所示

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时刻 | 在此时刻通过图中电流表的电流方向 | 电流表中的电流正在增大还是减小 | 开关S当前正在接通1 还是接通2 | 电容器两端的电压正在增大还是减小 | 整个电路中的能量正在怎样转化 | 这个时候电容器是在充电还是在放电 |
| *t*1 | 向左 | 减小 | 2 | 减小 | 电容器储存的电能转化为其他形式的能 | 放电 |
| *t*2 | 向右 | 减小 | 1 | 增大 | 电源的能量储存在电容器中 | 充电 |

2．有人用图 10.4-9 描述某电容器充电时，其电荷量 *Q*、电压 *U*、电容 *C* 之间的相互关系，请判断它们的正误，并说明理由。

*O*

*C*

*Q*

A

B

C

D

*C*

*U*

*U*

*Q*

*Q*

*C*

*O*

*O*

*O*

图 10.4-9

**参考解答**：只有图 A 是错误的，因为电容器的电容大小是由电容器本身的性质决定的，与电压和其所带电荷量无关。

3．有一个已充电的电容器，两极板之间的电压为 3 V，所带电荷量为 4.5×10-4 C，此电容器的电容是多少？将电容器的电压降为 2 V，电容器的电容是多少？所带电荷量是多少？

**参考解答**：1.5×10−4 F；1.5×10−4 F；3.0×10−4 C

提示：由 *C* = ，可得 *C* = 1.5×10−4 F。

若电压降为 2 V，电容器的电容不会改变。电容器所带电荷量 *Q* = *CU* = 3.0×10−4 C。

4．心室纤颤是一种可能危及生命的疾病。一种叫作心脏除颤器的设备，通过一个充电的电容器对心颤患者皮肤上的两个电极板放电，让一部分电荷通过心脏，使心脏完全停止跳动，再刺激心颤患者的心脏恢复正常跳动。

图10.4-10是一次心脏除颤器的模拟治疗，该心脏除颤器的电容器电容为 15 μF，充电至9.0 kV 电压，如果电容器在 2.0 ms 时间内完成放电，这次放电有多少电荷量通过人体组织？

图 10.4-10



**参考解答**：6.0×10−2 C

提示：*Q* = *CU* = 15×10−6×4.0×103 C = 6.0×10−2 C。

1. 把静电计的金属球与一个导体连接，金属外壳与另一个导体连接（或者金属外壳与另一个导体同时接地），从指针偏转角度的大小可以推知两个导体间电势差的大小。 [↑](#footnote-ref-1)