

044-8C₁

电的基本概念



电的基本概念

—电場、电势、电容

盧 山

科学普及出版社

1958年·北京

目 次

电的初步知識	1
电 場	18
电 势	50
电 容	85
电流及其性質	110

电的初步知識

一九五八年夏季，明程同志参加了一个关于电学的講座会。

台上的主講人正在講着：“……大家知道，由于在19世紀蒸汽动力在生产上被广泛的使用，所以19世紀被称做‘蒸汽时代’”。

但是在近几十年內，人类对电的認識及使用上有了惊人的进展，使得科学和技术水平飞速地高漲。由于电力在控制上簡單方便，在輸送上迅速节省，并且功率强大，所以在过去利用蒸汽动力的地方，現在多被电力代替了。电已經成为20世紀在生产技术上使用的主要能量了。不但如此，除去我們日常生活上所常見到的各种利用电能的裝置如电灯、电话、無線电收音机、电视机以外，更往自动化和远距离控制的方向發展了。許多复杂龐大的机器，只要搬动几个电鈕就可以管理了。另外如大家已經听到的电子计算机，人造地球衛星和正在研究中的星际交通等，帶有标志性的科学成就，不都是人类在使用电力这方面已經有的或是就要有的偉大成就嗎？大家知道，就是对原子能的研究和使用上，也是完全离不开电的。正由于人类在20世紀的前五十年代中，对电的認識及使用上，無論在宽度方面或是深度方面有了这样大的成就，所以人們才把20世紀叫做‘电的时代’。电力給人类开辟了一条寬广的征服自然界的道路。通过它將把人們的生活推向更高的水平。

不过人类从發現电的現象起，到能够掌握电的知識并且能够利用它，却經過相当長的时间。早在公元前 500 多年，人們就發現：用毛皮摩擦过的琥珀，能够吸引一些輕小的物体，如，細小的絲毛、紙屑、头髮等。不过当时人們只感到这是一种非常奇怪而有趣味的現象罢了。差不多过了兩千年，直到公元 1600 年左右，一位医生吉伯才把这种現象推广了，他發現并不只是被毛皮摩擦过的琥珀，才能吸引輕小的物体，其它的物体經過摩擦后，也同样可以吸引輕小的物体。例如玻璃、硫磺、火漆、橡膠等都可以在摩擦后吸引輕小的物体。他把处于这种状态中的物体，称为帶了电的物体。这种現象叫做电的現象。不过当时吉伯观察到一般金屬棒或是潮湿的物体，虽然經過摩擦，却不能吸引輕小的物体。

圖 1，就是一个被毛皮摩擦过的梳子帶了电，可以看到它吸引着許多小紙屑。这就是电的現象。

在吉伯以后約有 100 年，人們發現了几件重要的現象。

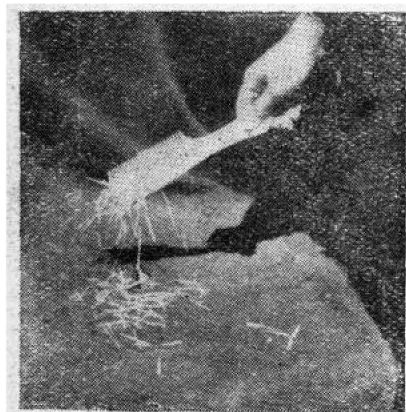


圖 1

第一件：一般的金屬只要給它安上一个絕緣柄，也同样可以經過摩擦而帶电。吉伯觀察时，因为沒有給金屬棒安上絕緣柄，所以他沒有能够發現金屬經過摩擦后也能帶电的現象。

第二件：任何兩個同种类的物体，与某种其它物体摩擦而帶电后，這兩個同种类的帶电体都互相

推斥而不是吸引。但是用絲綢摩擦過而帶電的玻璃棒，與用毛皮摩擦過而帶電的火漆棒，彼此都互相吸引。並且還發現，一切帶電體凡是與上面所談的火漆棒相吸引的，都與上述的帶電的玻璃棒相推斥；凡是與上述的帶電的玻璃棒相吸引的，都與上述的帶電的火漆棒相推斥。根據這些重要的現象，當時人們就總結出一個重要的結論：用絲綢摩擦過的玻璃棒上的電，與用毛皮摩擦過的火漆棒上的電是不相同的。並且與火漆棒上不同的電，都與玻璃棒上的電相同。所以說電只有兩種。一種是用絲綢摩擦過的玻璃棒上所帶的那一類型的電，另一種是用毛皮摩擦過的火漆棒上所帶的那一類型的電。因此，我們可以把前面所介紹的現象總結為：同種類的電互相推斥，異種類的電互相吸引。

由於這兩種電的作用恰恰相反，所以我們可以照着它們的這種性質稱呼它們。一種稱做正電（陽電），另一種稱做負電（陰電）。本來，稱哪種電是正電，哪種電是負電，這完全是隨意的。在1747年富蘭克林把被絲綢摩擦過玻璃棒上帶的電稱做正電；把被毛皮摩擦後火漆棒上帶的電，稱做負電。這種命名一直使用到現在。

圖2，是兩個被細絲綫懸挂著的小紙筒。當它們上面帶有與中間的玻璃棒上相同的電以後，可以



圖 2

看到它們与玻璃棒之間互相排斥。

圖 3，是兩個被細絲綫悬挂着的小紙筒。其中一個帶有正電，另一個帶有負電。我們可以看出它們有互相吸引的現象。

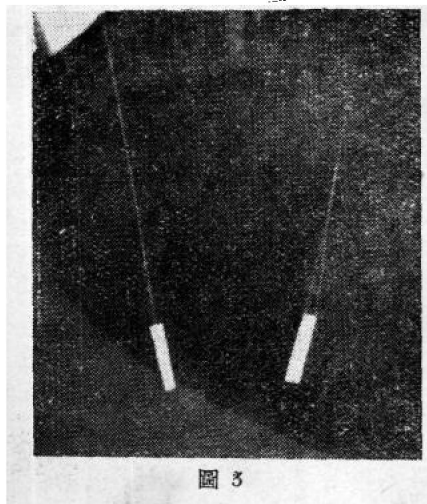


圖 3

第三件。人們還發現，如果用毛皮摩擦火漆棒，使火漆棒帶了負電時，則毛皮本身也同時帶了同樣數量的正電。用其它物體互相摩擦時，都發現如果一個物體帶了正電，則另一個物體就同時帶了同樣數量的負電。也就是說，兩個互相摩擦的物體，同時帶了同樣數量的性質相反的電荷。用摩擦方法，不能只得到一種

電。

從這時候起以後的 200 年內，人們對電的其它現象認識的就更多了。對電現象材料的搜集漸漸豐富了。例如，庫倫通過實驗觀察，發現了電荷之間互相吸引和排斥力的大小，和哪些因素有關的現象，伏打發現了電原和電池，B. B. 彼得洛夫發現了電流通過炭極時發生電弧的現象，歐姆發現了電流的一些重要性質，法拉第和楞次發現了電磁感应的現象，雅可比發現了電鍍的現象等等。由於人們對電的材料掌握得比較多了，人們就能從這些材料中，進一步去認識電的本質。所以，根據這些現象，人們對電的現象及規律提出不少理論性

的認識。但是因为当时人們对电現象的材料掌握得还不够多，所以提出的一些理論，有时帶有極大程度的片面性。又經過对更多的电現象的發現，結合着許多現象，对一些理論又做了一定的修改，有一部分理論甚至給推翻了。就这样漸漸地發展成为今日我們所掌握的电学理論和实用技术。

下面我想向大家介紹一些电在最近科学技术和生产上的一些具体的应用情况……。主講者繼續地向听众講述着。

明程对于这些电学知識非常感兴趣。但在那次講演会上，只談到了人类最初認識电的一些基本現象，对于更系統的电的現象和理論談的不多。因此，明程就去請教他的朋友白道，系統地談談关于电的問題。特別是电的本質問題。

白道：“你問的这个問題很重要，这是关于电的根本問題。不过這個問題能够得到圓滿地解决，也只有 在 20 世紀才可能。关于电是什么？过去的人們，在已有对电現象認識的基础上，就已經提出了他們的看法。但是因为那时候对于电的現象掌握的还不够多，那些看法並沒有能够揭穿‘电的本質’。差不多在十九世紀的末期，人們还把电看成是一种沒有重量的液体呢。漸漸地人們对自然界的認識越来越多了，对物質的構成有了新的認識，建立了現在大家所熟習的分子和原子的物質構成理論。直到 20 世紀初，結合着大量的对原子的实验，对原子的構成有了进一步的認識以后，电的本質的問題才得到解决。

在公元 1911 年，盧瑟福提出了原子結構的学說。这个学說的大致內容是：

原子主要由兩部分組成。一部分几乎集有原子的全部質量。另外一部分是由一个或多个極微小的物質微粒組成。这些微粒都圍繞着前面所說的那部分轉动。所以便把前面的一

部分叫做原子核。圖 4 就是一个原子構造的示意圖。可以看出，在中心有一个原子核，而在原子核的四圍，有一定數目的微粒圍繞着原子核轉動。這些微粒轉動時所佔有的空間（虛綫所圈的這部分空間）就是原子的體積。

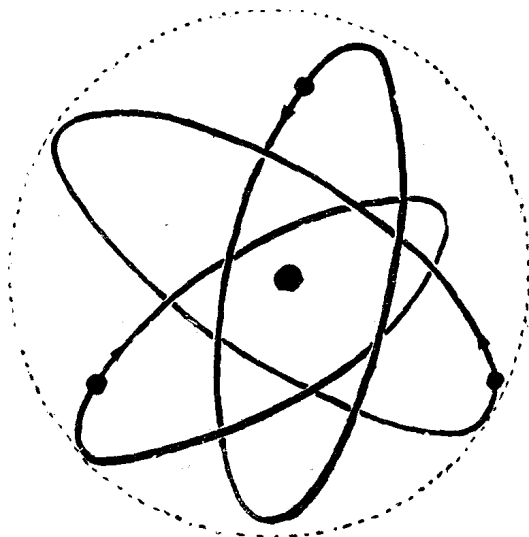


圖 4 原子構造示意圖，原子的中心有一个原子核，帶有正電，它四圍有許多電子圍繞着轉動。

这个原子核上帶有正電，外面轉動的這些微粒上帶有負電。所以，我們把這些微粒叫做電子。這樣可以說原子是由帶正電的原子核，及圍繞原子核轉動的一定數量的電子組成。整個原子的體積，就是這些轉動的電子所佔的最大的空間。

應該注意的是：原子雖然是由許多微粒組成的，但是這些微粒並不是一個挨着一個的擠在一起，電子與原子核間的距離，比起它們的大小來說，要大得多。如果把原子看成是

一个球体时，原子的直徑約是一亿分之几厘米，而原子核的直徑却只有一万亿分之几厘米。所以，原子核的体积是相当微小的。原子的結構情形和我們的太陽系的情形有些相似，原子核好像太陽，而电子就像繞着太陽轉动的地球等行星。

也許你会感到：既然在原子上帶有正負电荷，而且物体又都是由原子組成的。那么，所有物体都該有电的表現了。但为什么一般物体並沒有帶电的表現呢？又为什么兩種不同的物体摩擦时，就有电的現象呢？

原来科学家們还發現，一般正常的原子的原子核上所帶的正电的总量和繞原子核轉动的全部电子上的負电的总量相等。換句話說，就是原子核上的正电量(电量即电荷的多少)与核外电子上的負电量的总和相等。而且原子是十分微小的，縱使我們用目前放大倍数最高的显微鏡，也不能觀察到。原子又在不断地作着热运动，所以这些正負电荷便混杂在一起，它們的作用互相平衡，对外便表現不出电性了。所以，一般物体都不显电性。

但是当一种物体与另外一种物体摩擦时，由于不同物質的結構不同，所以比較起来，一种物体的原子外圍的电子容易失掉。結果，容易失掉电子的物体，摩擦后便失掉若干个电子，以致于这个物体上的正电荷，便不能全部被負电荷平衡(正負电的互相平衡現象，叫做电的中和現象)。所以，这个物体就显示出正电性，也就是說帶了正电。这样物体就显示出电的現象了。利用摩擦的方法使物体帶电，便叫做摩擦起电。这样可以看出，任何兩类不同的物体互相摩擦时都应有电的現象。

从这里我們又可以看出，平常我們說某物体帶了正电，按照上面講的道理，意思便是这个物体的原子上的电子失掉

了若干个以致显出正电性。我們說某物体帶有負电荷，就是說这个物体上的电子，比正常时多了若干个，以致显了負电性。所以，物体的帶电現象，都是由于物体上电子的或多或少而引起的。所以，我們可以看出，靠摩擦的方法，並沒有創造出新的电荷来，而是把电子重新分配了，以致正、負电不能中和。这样物体就显示出帶电的現象了。由此，我們又可以看出为什么用摩擦方法，不可能只得到一种电的根本原因了。”

明程：“我們平常說銅絲、鉄絲都能傳电，而一般的玻璃、木棒等都不能傳电，这是为什么呢？为什么有的物体傳电，有的又不傳电呢？”

白道：“我們把能傳电的物体叫做电的导体。例如，一般的金屬、酸、鹼、鹽的溶液、人的身体、地球等都是电的导体。在一般情况下不能傳电的物体，叫做电的絕緣体，也叫电介質。一般干燥的木头、布疋、玻璃、橡膠、油等都是电的絕緣体。为什么有的物体能傳电，有的物体不能傳电呢？想把这些問題弄清楚，还得从电的本質去理解。

我們已經知道任何物体，都是該种物体的原子，按照一定的組織結構結合成的。因为固体具有一定的形狀和体积，所以組成这些物体的原子是不能任意移动的。它們只能以原有的位置为中心，向四方杂乱地做着热振动。液体就不同，液体的原子可以任意移动，所以液体不具有固定的形狀。既然固体的原子不能任意移动，那末其中的原子核也就不能任意移动。但是，全部正电荷是在原子核上的，所以正电荷在固体中是不能任意移动的。因此，正电荷在固体中不可能是电荷的直接傳导者。

科学家們發現在固态导体上，有一部分电子能够自由地在各个原子間移动，我們把这部分电子叫做自由电子。导

体能够傳电，就是依靠这些自由电子进行的。

例如，导体的某处正电荷特别多，这就表明該处缺少了电子。由于異性电相吸的性質，結果导体別处的自由电子就有可能来到該处补缺。这样，导体內就出現了电的傳导。

剛才說到，固体导体的傳电，是依靠导体上的自由电子进行的。至于液体傳电的情形，以后有机会再談。

絕緣体原子外的电子，不能任意移动。只能固定在原子核外。所以絕緣体上沒有自由电子。当絕緣体某处帶正电后，因为沒有自由电子来补充，所以正电荷不能被中和，絕緣体就不能傳电。不过，絕緣体在一定条件的影響下也能变成导体。例如干燥的木头本来是电的絕緣体，但当木头潮湿以后，就变成电的导体了。因此在潮湿的季节里，要特別注意安全用电。下雨天也極易触电，就是因为雨水中溶有一些鹽类或酸类成为导体了。結果沾有雨水的絕緣体也就变成导体了。”

明程：“那么电荷間的作用力究竟有多大呢？电荷間的作用力都相等嗎？”

白道：“如果电荷的体积很小，它的大小在討論問題中可以忽略不計，这个电荷我們叫做点电荷。我們現在討論一下点电荷間的作用力吧！”

庫倫从实验觀察的結果，發現点电荷間的作用力的方向，是在这两个点电荷連接綫的方向上。并且它們間作用的力都相等。这一点也正是第三运动定律的表現（作用力和反作用力，量值相等，方向相反）。

从圖 6 中，我們可以看到不同种类的电荷間，彼此都受到对方吸引的力量。同种类的电荷間，彼此都受到对方排斥的力量。不过作用力的方向，永远在两个点电荷的連綫上。

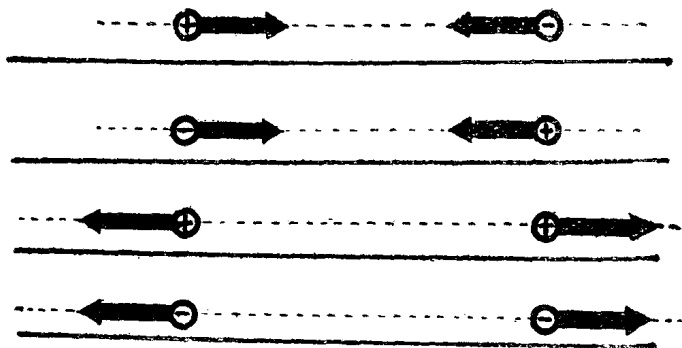


圖 5 点电荷間有力的作用。同种电荷間有排斥力作用，異种电荷間有吸引力的作用，电荷間的作用力的方向是在二点电荷的连接綫上，而且量值相等。

在 1785 年法国物理学家庫侖从实验上發現，两个点电荷間的作用力的大小，与这两个电荷間的电量和它們間的距离都有关系。具体的关系是，两个点电荷間作用力的大小，与两个点电荷的电量的乘积成正比，与两个点电荷間的距离的平方成反比(見圖 6)。

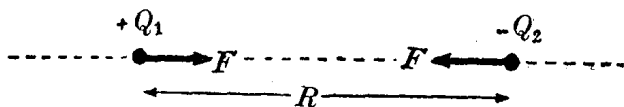


圖 6 两个点电荷間的作用力的量值，与两个点电荷的电量的乘积成正比，与它們間的距离成反比。

圖 7，假設甲点电荷的电量是 Q_1 ，乙点电荷的电量是 Q_2 。并且甲、乙电荷間的距离是 R 。那么，他們間的作用力 F ，与它們的电量及距离的关系便是

$$F \propto Q_1 \cdot Q_2; \quad F \propto \frac{1}{R^2}$$

这两个关系合写成一个关系式时，便是

$F \propto \frac{Q_1 \cdot Q_2}{R^2}$ 如果将这关系用等式表达出来时，则照代数的法则是

$$F = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{R^2}$$

这就是说，二点电荷间的作用力 F ，等于一个常数 K 乘以 $\frac{Q_1 \cdot Q_2}{R^2}$ 。这个关系，就是静电学中的库仑定律。”

明程：“为什么一个正比的式子，改写成等式时，便需要乘一个常数呢？”

白道：“我给你举个例子就明白了。买苹果时，你该付的钱数与什么有关系呢？不是与所买苹果的斤数有关系吗？你买苹果的斤数改变多少倍，你该付的钱也就变化多少倍。这就是说，所该付的钱数是与所买的斤数成正比的。如果以 M 代表所付的钱数，用 W 代表所买的斤数，那么。

$$M \propto W$$

具体的说，买 W_1 斤时该付给多少钱呢？依照我们普通的常识知道，

$$[\text{所付钱数}] = [\text{一斤钱数}] \times [\text{所买的斤数 } W_1]$$

若用 K 代表一斤的钱数时，则

$$M = KW_1$$

这个式中的 K ，就是由正比的式子 $M \propto W$ 写成等式时 $M = KW$ 所必然出现的一个常数。这就是说，两个量成正比的关系时，它们数量间的具体关系，就由这个常数 K 代表出来了。在上例中，常数 K 就表示‘每买一斤（一个单位）时所该付的钱数’。

同样的道理，库仑发现两个点电荷间的作用力 F 与

$\frac{Q_1 \cdot Q_2}{R^2}$ 成正比。那么把这个关系写成等式时，所出現的比例常数 K ，就表示兩個單位電量的点电荷，在相距是單位距离时，它們間的作用力是 K 。这一点，我們也可以从庫倫定律中看出来。

当兩個点电荷的电量都是一个單位时，則

$Q_1 = Q_2 = 1$ 个單位电量。它們相距一个單位距离时，則 $r = 1$ 个單位距离。这时它們間的作用力 F ，依庫倫定律可以計算出来，

$$F = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{R^2} = K \frac{1 \cdot 1}{1^2} = K."$$

明程：“我明白比例常数的意义了。但是你方才所說的‘單位电量’是多少电呢？常数 K 又等于多少呢？”

白道：“这个問題很重要，因为它牽涉到关于制定某物理量的‘單位’的問題。我們知道，制定任何物理量的單位都是任意的。也就是說，我們以多少的‘某物理量’作为这个物理量的比較标准去衡量該物理量呢？这是任意的。例如，我們可以任意取一長度，作为衡量長度的比較标准。可以取从地球的地極到赤道的弧長的千万分之一，做为長度的單位。这就是現在用的公尺。同样道理，可以任意取一重量如克、公斤、市斤，作为衡量物体重量的标准。所以，我們制定物理量的單位是任意的。不过一般說来，我們在制定單位时，常遵守一个原則。就是：用我們所制定的單位去衡量物理量时，要求在使用上方便、簡單，并能使問題在計算上由复杂变成簡單。

至于說，在正比的关系中，所出現的比例常数 K ，它的数值是多少，这常隨我們所使用的單位的不同而改变。例

如，10 斤苹果 3 元 5 角，20 斤苹果 7 元。在这个正比关系中，比例常数 K 是

$$K = 0.35 \text{ 元/斤. 所以}$$

$$7 \text{ 元} = 0.35 \text{ 元/斤} \times 20 \text{ 斤.}$$

但是重量如果不以斤为單位，而以‘兩’为單位，錢不以‘元’为單位，而以‘角’为單位时，那么，比例常数 K 便是。

$$K = 0.21 \text{ 角/兩. 所以}$$

$$35 \text{ 角} = 0.21 \text{ 角/兩} \times 16 \text{ 兩.}$$

由此可以看出，当使用的單位改变后，比例常数 K 的数值就由

$$K = 0.35 \text{ 元/斤 变成 } K = 0.21 \text{ 角/兩 了.}$$

这样可以知道，在庫侖定律中的比例常数 K 是多少呢？这就要随着我們所用的电量、距离和力的單位的不同而变化了。照我們前面談的，制定單位的原则是使問題簡單化。所以，在庫侖定律中的比例常数 K ，它的数值等于 1 时，計算起来最簡單。这样，我們为达到使 K 的数值等于 1，便特別制定了电量的單位，制定的过程是这样的：

从庫侖定律 $F = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{R^2}$ 中可以看出，若要使 $K = 1$ ，那么，便須使二点电荷，各帶有 1 單位电量时，相距 1 單位距离时，作用力也正是一个單位才可以。即

$$F = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{R^2} \quad 1 = K \frac{1 \cdot 1}{1^2}$$

$$\therefore K = 1.$$

照这样，我們便規定，用电量相等的兩個点电荷，使它們在真空中相距 1 厘米，如果它們間的作用力正好是 1 达因时①，

① 达因是力的一种單位，1 达因的力等于 $\frac{1}{980}$ 克重的力，1 克重的力等于 980 达因的力。

那末，每个点电荷的电量，我們就規定为电量的單位。用这些單位时，庫侖定律中的比例常数 K 就等于 1。

$$1 \text{ 达因} = K \frac{1 \text{ 單位电量} \times 1 \text{ 單位电量}}{1 \text{ 厘米}^2}$$

$$\therefore K = 1.$$

因为在制造以上單位中，力的單位是用达因，距离的單位是用厘米，所以这样制定的电量單位，就叫做厘米、克、秒制靜电系的电量單位。也就是靜电系單位与厘米、克、秒制相结合的單位。

照这样制定的电量單位是非常小的。实际上，我們用的电量單位比这样制定的單位大得多，是厘米、克、秒制靜电系單位电量的 3×10^9 倍。这个实用單位我們叫庫侖。所以，
1 庫侖 = 3×10^9 厘米、克、秒制靜电系單位。

由于适当的選擇了單位， K 便等于 1 了。这样，庫侖定律就简化为

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{R^2} (K = 1)$$

应当注意的是，在使用这个公式时，力的單位必須用达因，距离的單位必須用厘米，电量的單位必須用厘米、克、秒制靜电系單位。否則，各量用其他單位时， K 的数值就不是 1 了。

下面，我們再看几个例題吧！

例一、有两个点电荷，一个电量是正 100 个厘米、克、秒制靜电系單位，另一个电量是正 80 个厘米、克、秒制靜电系單位在真空中它們間的作用力是 2 克重，問它們相距多远？是吸力还是斥力？

解：

$$Q_1 = +100 \text{ 靜电系單位}$$