

电学基础知识

王义民 编著

上册



本书参照《中学物理教学大纲》，系统地讲述了电学基础知识。全书共九章，分上下册出版。前四章为上册，内容包括：静电学，直流电，液体、气体和真空中的电流，电流的磁场；后五章为下册，内容包括：电磁感应，单相交流电，三相交流电，电子技术基础，电磁振荡和电磁波，总复习题。

本书收集的习题比较丰富，全书共收各种类型的思考题和习题六百多道。每册书后还附录了习题答案、提示或略解。本书可作为在校学生的课外读物，也可供知识青年自学参考。

电 学 基 础 知 识

上

*

王义民 编著

安徽人民出版社出版

安徽省新华书店发行

安徽新华印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/32 印张：12.75 字数：284,000

1979年11月第1版 1979年11月第1次印刷

印数1—45,000

统一书号13102·40 定价1.00元

目 录

引 言	1
-----------	---

第一章 静 电 学

§1 基本电现象	3
§2 电子论初步知识	5
§3 库仑定律	9
§4 电场 电场强度	20
§5 电势	35
§6 基本电荷的测定	48
§7 电场中的导体	57
§8 电场中的绝缘体	64
§9 静电的应用	68
§10 电容器 电容	73
本章内容提要	90
本章解题要点	95
本章复习题	97

第二章 直 流 电

§1 电流	103
§2 导体的电阻	110
§3 部分电路的欧姆定律	119
§4 电阻的联接	122
§5 扩大电表量程	136
§6 电流的功和功率	147

§7 电动势 全电路欧姆定律	157
§8 惠斯登电桥 电位差计	176
本章内容提要	187
本章解题要点	193
本章复习题	199

第三章 液体、气体和真空中的电流

§1 液体的导电现象	207
§2 电流的化学效应	210
§3 法拉第电解定律	214
§4 干电池和蓄电池	218
§5 气体中的电流	224
§6 真空中的电流	234
本章内容提要	238
本章复习题	240

第四章 电流的磁场

§1 基本磁现象	242
§2 磁场和磁力线	246
§3 磁感强度	252
§4 几种通电导线的磁场	262
§5 电磁铁及其应用	266
§6 磁场对通电线圈的作用	269
§7 洛伦兹力	280
本章内容提要	293
本章解题要点	297
本章复习题	300
答案和题解	304

引 言

电现象和磁现象(统称电磁现象)是客观世界中一种十分普遍的自然现象。根据有关记载,人类在二、三千年前就发现了电磁现象,有了电与磁的原始知识。例如,人们早就发现某些物体(如琥珀和毛皮)相互摩擦后能吸引纸屑、头发等轻微的物体,这就是所谓摩擦起电。在我国春秋战国末期,就发现了铁矿石吸铁的现象。后来指南针的发明,则是我国古代劳动人民对磁现象实际应用的创举。随着人类对电磁现象规律的认识不断加深,逐渐形成了一门内容丰富的物理学科:**电学和磁学**,简称**电磁学**。

电运动(即通常所说的电)是比机械运动较为高级的一种物质运动形式;而磁运动则是电运动的另一种存在形式。因此,电和磁的关系十分密切,在一定条件下二者可以相互转化。它们是同一物理过程的两种表现形式。

现在,我们在日常生活和生产实际中,越来越广泛地应用到电,象电灯、电话、收音机、电视机、电炉、电风扇和电动机等,都是我们熟悉的电器。在工厂,电被用来运转机器或熔炼金属;在农村,电被用来灌溉、排水,或加工农副产品;在医疗卫生、科学研究和国防建设上,电更是必不可少的东西。

电为什么得到这样广泛的应用呢?这是由于它具有如下一些突出的优点:第一,电能很容易转变为机械能、热能、

光能等其它形式的能量，因而用电作为能源，最为简便；第二，人们可以在瞬息之间将功率强大的电能通过输电线远距离输送到任何用电的地方，而且所用设备简单，能量损失小；第三，电能还可以电磁波的形式在空间传播，能够在极短时间内把信号传送到遥远的地方，以便通讯联系和遥控；第四，电能便于用高灵敏度的仪表来测量、调节和自动控制。

革命导师列宁有句名言：“共产主义等于苏维埃政权加全国电气化”。可见，学习电磁学的知识和掌握电磁运动规律，对于我们建设社会主义现代化强国和将来实现共产主义都有着很大的作用。

第一章 静 电 学

电既然是物质的一种运动形式，因而自然界中就没有静止不动的电。但是，电运动是不是具有特定的方向，这从根本上确定了电运动的不同规律。通常把具有特定运动方向的电称为**动电**，把没有特定运动方向的电称为**静电**。当电没有特定运动方向时，电的运动是一种杂乱无章的运动，它在任意一个方向上都不显示出超过其它方向的运动优势。因此，这时电运动的对外影响，就同电处于静止状态时的对外影响一样。我们把电运动没有特定方向时所产生的现象称为**静电现象**，有关静电现象的这一方面的知识叫做**静电学**。

静电学是整个电磁学的基础。本章首先用电子论的初步知识来说明各种基本电现象；而后从库仑定律引出静电所产生的静电场的概念，重点阐述描写电场的两个物理量：电场强度和电势；最后介绍导体和绝缘体在电场中的行为，以及储存静电的电容器的基本特性。

§1 基本电现象

被毛皮摩擦过的琥珀(即植物树脂的化石)或胶木棒，被丝绸摩擦过的玻璃棒，都能够吸引羽毛、头发和小纸片等轻微的物体。此外，火漆、硫黄、水晶、有机玻璃等物体被呢

绒或丝绸摩擦后，钢笔杆在头发上摩擦多次后，也能产生这种现象。我们把这种不同材料的物体经摩擦后能吸引轻微物体的现象叫做**带电现象**。物体有了这种吸引轻微物体的本领，我们就说物体带了电，或者说有了**电荷**。带电的物体就叫做**带电体**。用摩擦的方法使物体带电叫做**摩擦起电**。

大量实验证明，自然界中的电荷只有两种。一种与丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷相同，人们规定这种电荷为**正电荷**(+)；另一种与毛皮摩擦过的胶木棒所带的电荷相同，人们规定这种电荷为**负电荷**(-)。实验还证明：**同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引**。

一个物体是否带电，是带正电还是带负电，可以用验电器来检验。图 1—1 所示是一种金箔验电器，图中 C 是金属球，它和金属杆 D 相连接， D 的下端装有两片金箔，利用不导电的橡皮塞 B 把金属杆固定在一个有玻璃窗的金属盒内。若要检验物体是否带电，只需把待检物体与 C 球接触一下，如果物体是带电的，则接触时就有一部分电荷沿金属杆传到两片金箔上，这两片金箔由于带了同一种电荷而排斥张开；如果物体不带电，则金箔不张开。

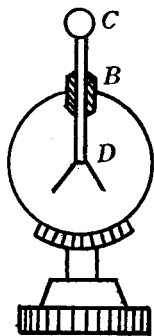


图 1—1

若要识别带电体究竟带何种电荷，只要先把这个带电体与 C 球接触，使金箔因带有与带电体相同的电荷而张开一定角度。然后用已知带正电的玻璃棒慢慢接近 C 球，但不与它接触。如果金箔张开的角度逐渐减小，表明金箔(亦即原待检的带电体)所带电荷与玻璃棒相反，带负电，

这是因为金箔上的部分负电荷被带正电的玻璃棒所吸引，使金箔所带负电荷减少，张角变小。如果金箔张开的角度逐渐加大，表明金箔(亦即原待检的带电体)所带电荷与玻璃棒相同，带正电；这是因为C球上的正电荷被带正电的玻璃棒所排斥，使金箔所带正电荷增多，张角变大。

习 题

1-1 两根玻璃棒，一根带电，一根不带电。如果不用验电器，能不能判断哪根带电，哪根不带电？

1-2 当一根带负电的胶木棒慢慢接近验电器的C球时，如果金箔原来的张开角度逐渐变小或是逐渐加大，问验电器原来分别带何种电荷？

1-3 当带正电的玻璃棒逐渐接近验电器时，如果金箔原来的张角先闭合而后再张开，问验电器原来带何种电荷？

1-4 若把一根带电的玻璃棒放在小通草球附近，将会看到小球先被吸引，与棒接触后又被排斥开。这是为什么？

1-5 晴天用干燥的塑料梳子梳干净的头发时，常常可以看到头发随梳子飘起来。试解释这种现象。

§2 电子论初步知识

实验表明，若干物质在摩擦之后带正负电的顺序如下：

+ 毛皮 玻璃 云母 丝绸 棉布 木材 琥珀 树脂
金属 硫磺 -。在这个顺序中任何两种物质互相摩擦时，总是前一种带正电，后一种带负电。摩擦起电的原因要从物质本

身的结构中去寻找。

我们知道，任何气态、液态或固态的物质都是由分子组成的，而分子又是由原子组成的。原子并不是不能再分的最小物质单元，它本身也有结构。原子结构是由一个带正电的原子核和若干带负电的电子所组成。电子按照一定的规则分层分布在原子核周围，并且不停地一面自转一面绕原子核公转。在正常的原子中，核外电子所带负电荷的总和与原子核所带的正电荷相等，因此整个原子显中性。例如最轻的氢原子，核外只有一个运动着的电子，带有一个负电荷，原子核带有一个相等的正电荷，因而整个氢原子显中性。又如结构很复杂的铀原子，核外有92个负电子分层绕铀核旋转，而铀核本身有92个相等的正电荷，因此正常的铀原子也是中性的。

当原子在外界因素作用下失去一个或几个电子时，整个原子将因失去负电荷而显示出带正电；原子失去电子后形成的带正电的粒子叫做**正离子**。反之，当原子获得额外的电子时，就显示出带负电；原子获得电子后形成的带负电的粒子叫做**负离子**。无论是用摩擦的方法还是由其它的方法使物体带电，本质上都是使物体中原有的正、负电荷发生分离和转移。由此可见，正负电荷是物体固有的，它既不能被创造，也不能被消灭，而只能从一个物体转移到另一个物体，或者在一个物体内部移动，这个原理叫做**电荷守恒定律**。

用丝绸摩擦玻璃棒时，玻璃棒上就有一些电子转移到丝绸上去，因而玻璃棒带正电，丝绸因获得电子而带负电荷。用毛皮摩擦胶木棒时，毛皮上就有一些电子转移到胶木棒上去，因而胶木棒带负电，毛皮因失去电子而带正电荷。总之，物体在相互摩擦时，一方失去多少电子，另一方就得到多少

电子。因此，它们总是同时带电的，而且所带电荷的数量也相等。

通常我们把带电体所带电荷的多少叫做**电量**。在国际单位制中，电量的单位是**库仑**。

在自然界的所有各种带电体中，已经知道电子的质量和它所带的电量都为最小。近代的精密实验测知，电子的质量 $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ 公斤，即约为氢原子核质量的 $1/1836$ ；电子的电量 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ 库仑，或者说 1 库仑等于电子电量的 6.25×10^{18} 倍。我们把电子的电荷称为**基本电荷**^{*}。

以上是关于物质电子论的初步知识，有些书上也称之为物质的电结构概要。

大家会问，从物质的电结构观点看，任何物体摩擦后都可能带电，那么在摩擦起电的实验中为什么只用玻璃棒或胶木棒而不用金属棒呢？这是因为有些物体（如金属棒）能够把转移来的电荷迅速传播到其它地方，因而不显示带电现象；有些物体（如玻璃棒或胶木棒）则很难发生这种电荷的传播过程，因而一旦带电之后，被转移来的电荷只能停留在局部的地方，从而显示出较强的带电现象。

根据物质传播电荷的难易程度（或称导电能力的大小），可将所有物体分成导体、绝缘体和半导体三类。

1. 导体

导电能力很强的物体叫导体；各种金属，酸、碱和盐的溶液，人体，大地等都是良好的导体。为什么导体的导电能

^{*}理论和实验都证明，自然界中有可能存在电量比基本电荷还小的分数电荷。

力很强呢？以金属为例，在金属的原子中，原子的最外层电子受原子核的引力很小；在其它原子的影响下，电子很容易挣脱原子核引力的束缚而在各原子之间作不规则的自由运动，这种电子称为**自由电子**。自由电子的存在是金属导电能力强的根本原因。在酸、碱和盐的溶液中，存在可以自由移动的正、负离子，因此它们也是导体。

知道了什么是导体，对于摩擦起电不用金属棒的理由就更明确了。因为若金属棒由于摩擦而得到电子带负电时，这些多出的自由电子将被排斥而通过金属棒和人体跑入大地；如果金属棒因摩擦而失去电子带正电时，大地中的自由电子将被吸引而通过人体跑到金属棒上去补充。在这两种情况下，都使金属棒不显示带电现象。

2. 绝缘体

不导电或者导电能力极弱的物体叫做绝缘体，也叫**电介质**（注意，不是电解质）；橡胶、塑料、玻璃、陶瓷、云母、丝绸、毛皮、干燥的木材和空气等，都是绝缘体。在绝缘体的原子中，电子和原子核之间的引力是很大的，这种引力使电子不能够自动地离开原子核。如果绝缘体的某一部分，由于外界作用（例如摩擦）而获得电子，电子就被这部分的原子核吸引住，使绝缘体局部地带了负电。如果绝缘体的某一部分，由于外界作用而失去电子，则该绝缘体上其它部分的电子也不能传到这里来补充，这样，绝缘体就局部地带了正电。因此，摩擦起电要用属于绝缘体的玻璃棒或胶木棒等来演示。

3. 半导体

导电能力介于导体和绝缘体之间的物体叫做半导体；硅、锗、硒、氧化亚铜、硫化铅等，都是半导体。必须指出，在

导体、半导体和绝缘体之间并没有一个严格的界限，它们只是在导电能力上有着强弱的差别。一种物质的导电能力，尤其是半导体的导电能力，往往随着外界条件的不同而变化。

习 题

1-6 发电厂的任务是制造正负电荷还是分离正负电荷？火力发电厂发电时为什么要烧煤或石油？

1-7 试用物质的电结构知识来说明导体、半导体和绝缘体的导电能力为什么不同？

1-8 一个物体不带电，是否表明该物体上没有电荷？

1-9 为什么不管带什么电的物体只要与大地一接触就显不出电性来？

§3 库仑定律

我们已经知道同种电荷之间存在着排斥力，异种电荷之间存在着吸引力。电荷之间的这种排斥力和吸引力统称为**静电力**。那么，静电力的大小与什么因素有关呢？这就是我们所要讨论的内容。

由于实际存在的带电体，其大小和形状是多种多样的，因而探求静电力时，最简单也是最基本的情况是研究两个**点电荷**之间的静电相互作用。所谓点电荷是指这样一些带电体，它们的大小同它们之间的距离相比时，小得可以不必考虑；也就是说可以把这种带电体所带的电荷看成是集中在一点上。下面我们把点电荷之间的静电相互作用分成在真空中和

在电介质中两种情况来讨论。

一、在真空中

点电荷之间的相互作用规律是通过实验得到的。实验证明，在真空中，两个点电荷之间的静电相互作用力，其大小与它们的电量 Q 和 q 的乘积成正比，而与它们之间距离 r 的平方成反比，作用力的方向沿着它们的连线方向，如图 1—2 所示。这个结论叫做库仑定律。

用数学式子表示为

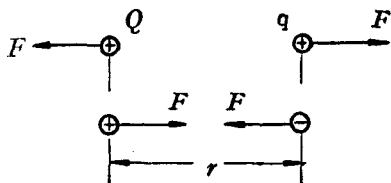


图 1—2

$$F = K \frac{Qq}{r^2} \quad (1-1)$$

式中 K 是比例系数，它的数值和单位决定于式中其它量的单位。在国际单位制中，力、电量和距离的单位已分别规定为牛顿、库仑和米，所以此式中的比例系数 K 不能随意令它等于 1，必须由实验来测定。实验测得

$$K = 9 \times 10^9 \text{ 牛顿} \cdot \text{米}^2 / \text{库仑}^2$$

但是，在实际问题中，经常碰到的不是点电荷而是任意形状的带电体，因此，很少直接用到描述点电荷作用规律的公式(1—1)，而往往应用由这个公式推导出来的其它公式。为了使推导出来的其它公式中不包含 4π 因子(从而使公式的形式简单，便于计算)，习惯上将公式(1—1)中的 K 换成另一个形式，即令

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

这样，在公式(1-1)中预先引入了 4π 因子，就可使得其它许多电磁学公式中不出现 4π 因子。于是公式(1-1)变为

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Qq}{r^2} \quad (1-2)$$

ϵ_0 称为**真空的介电系数**，它是电学中的一个基本恒量，它的大小和单位为

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi K} = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} = 8.85 \times 10^{-12} \text{库仑}^2/\text{牛顿} \cdot \text{米}^2$$

如果相互作用的带电体不是点电荷，就不能直接应用库仑定律。在这种情况下，必须把整个带电体分成很多微小部分来考虑。每一个微小部分所带的电荷可以看成是一个点电荷，而整个带电体所带的电荷则可以看成是这许多点电荷的总和。在计算时，先应用库仑定律求出各个点电荷之间的相互作用力，然后再用求合力的方法求出两个带电体之间的相互作用力。

如果带电体是一个圆球，而且所带的电荷在球面上均匀分布，则理论证明，在计算它和别的带电体之间的相互作用时，可以认为它的全部电荷都集中在球心上。因此，在计算两个均匀带电球体之间的相互作用时，我们可以把它们看做是两个位置在球心的点电荷，并且可以直接应用库仑定律公式来进行计算。在这种情况下，公式里的 r 就是两个球心之间的距离。

电荷之间的静电作用力，是根据库仑定律求出的，故静电力又叫做**库仑力**。

例 1 如果两个点电荷各带 1 库仑的电量，在真空中彼此相距 1 米，求相互间的库仑力。

解 由公式(1-2)或(1-1)得知，此库仑力为

$$F = 9 \times 10^9 \cdot \frac{1 \times 1}{1^2} = 9 \times 10^9 \text{ 牛顿} \approx 100 \text{ 万吨}$$

如此巨大的静电作用力说明什么问题呢？它告诉我们，1 库仑是一个非常巨大的电量，实际上任何点电荷或带电体都不能够带有 1 库仑的电量，而只能带 1 库仑的极小百分比。

二、在电介质中

上面研究了在真空中点电荷间的相互作用关系，若将点电荷放在电介质(即绝缘体)中，情况又如何呢？

实验证明，在电量 Q 和 q 以及距离 r 都相同的情况下，如果把两个点电荷放在电介质(例如煤油)里，它们之间的相互作用力总比在真空中小一些，至于小多少，那就要依电介质的性质来决定。设电介质中的库仑力只有真空中库仑力的 ϵ_r 分之一，则电介质中的库仑定律公式可写成

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{Qq}{r^2} \quad (1-3)$$

通常我们把 ϵ_r 称为电介质的**相对介电系数**，或省去“相对”二字简称为电介质的**介电系数**。介电系数 ϵ_r 是一个大于 1 但没有单位的数值。下表列出几种常用电介质的介电系数：

表 1—1

空 气	1.0006	硬 橡 胶	4
煤 油	2~4	瓷 器	6
纯 水	81	云 母	6~8
石 蜡	2	玻 璃	4~7

例 2 现有两个均匀带电球，它们分别带有电量0.0025库仑和0.0024库仑。(1)如果把它们放在空气里，彼此相距3米，问它们之间的库仑力多大？(2)若放在纯水中，其它条件不变，问库仑力变为多少？

解 已知 $Q=2.5 \times 10^{-3}$ 库仑， $q=2.4 \times 10^{-3}$ 库仑， $r=3$ 米，求 $F_{\text{空气}}$ 和 $F_{\text{水}}$ 。

(1) 由表 1—1 可知，空气的 ϵ_r 接近于1，故

$$\begin{aligned}
 F_{\text{空气}} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{Qq}{r^2} \\
 &= 9 \times 10^9 \cdot \frac{2.5 \times 10^{-3} \times 2.4 \times 10^{-3}}{3^2} \\
 &= 6 \cdot 10^3 \text{ 牛顿}
 \end{aligned}$$

(2) 由于纯水的介电系数 $\epsilon_r=81$ ，故当其它条件不变时，库仑力要减小到真空中库仑力的 $\frac{1}{81}$ ，即

$$\begin{aligned}
 F_{\text{水}} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{Qq}{r^2} \\
 &= \frac{9 \times 10^9}{81} \cdot \frac{2.5 \times 10^{-3} \times 2.4 \times 10^{-3}}{3^2} \\
 &= \frac{6 \cdot 10^3}{81} = 74 \text{ 牛顿}
 \end{aligned}$$