



陈景涵 編 著

电 工 学 自 学 讀 本 (一)

静 电 学



內 容 提 要

本書是電工學自學讀本小叢書的第一本，書中很通俗地講解了電的基本概念，導體和絕緣體的性質，靜電場的概念，以及靜電概念在電信工程中的實際應用問題。書中說理淺顯易懂，適于具有初中或高小文化程度的電信工人和業余電信愛好者們閱讀。

靜 電 學

(電工學自學讀本之一)

編著者：	陳景新
出版者：	人民郵電出版社
	北京東四六條13號
	(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號)
印刷者：	北京市印刷一廠
發行者：	新華書店

開本 787×1092 1/32
印張 22/32 或裝33
印刷字數 49,000 字
印數 1—30,500 冊

1958年11月北京第一版
1958年11月北京第一次印刷
統一書號：15046·8867—有167
定價：(9)0.22元

第一章 电的概念	1
1.1 引言	1
1.2 摩擦生电	2
1.3 电荷和它的特征	4
1.4 电子学說	5
1.5 摩擦生电的原因	7
1.6 导体和絕緣体	8
1.7 半导体	10
1.8 电流	12
第二章 靜电場	13
2.1 电場的概念	13
2.2 电力綫	15
2.3 量度單位	16
2.4 力的概念	20
2.5 絕對实用电磁單位制	23
2.6 庫侖定律	24
2.7 电場强度	25
2.8 电位和电位差	26
2.9 絕緣材料的介电强度	27
第三章 电容器	29
3.1 电容和电容的單位	29
3.2 平板电容器的电容	31
3.3 固定电容器	33
3.4 电容器的額定电压	36
3.5 电解質电容器	36
3.6 可变电容器	37

3.7 分佈電容量	39
3.8 電容器并聯	39
3.9 電容器串聯	40
3.10 電容器混聯	42
3.11 電容器儲蓄的能量	42
第四章 靜電概念在電信技術上的應用	44
4.1 靜電屏蔽	44
4.2 電信綫路間靜電感應的影響	47
4.3 絕緣保險放電隙	50
4.4 避雷器	51
附錄 代數法	54
1. 代數符號	54
2. 代數加法	54
3. 代數減法	55
4. 代數乘法	56
5. 代數除法	57
6. 不等式	58
7. 因式分解	59
8. 分式	60
9. 通分	62
10. 一元一次方程式	63

第一章 电的概念

1.1 引言

在现代社会中，生产和生活都离不开电，因而电工技术的发展，对人民物质和文化生活水平的提高，有着非常密切的关系。在工厂中，电是供给原动力最方便而且最经济的一种方式。一切自动化机械设备，都要依赖电来控制。冶金工业和化学工业，亦需要大量应用电力。农业生产中用电的机会亦很多，电动水泵可以灌溉和排水，电动拖拉机可以耕种收割，农产品的加工，饲养场的生产，都可以采用电气化来大大减轻工人的劳动强度，提高劳动生产率。交通运输工具则有电气铁道、电车、电梯等。在邮电事业中，有线和无线报话通信，则更是利用电气最频繁的部分了。

革命导师列宁曾说过“共产主义就是苏维埃政权加上全国电气化”，由此便可知道电的重要意义了。邮电工作者是要经常和电气接触的，为了更好地为人民服务，为社会主义建设事业服务，掌握和通晓电工学的基础知识，就成为每个邮电人员的必要条件之一。静电学是学习电工学的开端，亦是电工学的基础。这本小册子仅限于讨论静电产生的原因和各种现象，度量电气的各种基本单位，静电概念的实际应用等。由于在学习电工时不可避免地要接触一些计算问题，因此一定程度的数学基础是必要的。为了帮助还没有学过代数的读者阅读本书，在本书附录中简单地介绍了初等代数的一些基本概念。应该说明一下，学习静电学的目的，是了解电气的基本观念，为以后具体学习直流电路、交流电路和其它电工技术问题打下基础。就静

电学本身而言，并不意味着要很多的来討論它的实际工程应用問題。它是初步建立电气这一概念的桥梁，如果没有很好的建立起明确的关于电現象本質的概念，則进一步研究电工技术問題亦是不可能的。

1.2 摩擦生电

把干燥的玻璃棒和干燥的絲綢互相摩擦时，可以發現玻璃棒能够吸引輕微的紙屑，这是因为玻璃棒上已經帶电了。火漆棒和毛皮互相摩擦，火漆棒亦能吸引紙屑或其他輕微的物体，此时亦是由于火漆棒上帶电的緣故。將自来水笔的电木桿，用干燥的毛料衣服輕輕摩擦，亦有同样帶电現象。在冬季用干燥的手撫摸貓身，可以看到貓毛豎立，有时并可听到細小的噝噝声，这是由于手和貓皮摩擦后二者都帶了电。因为貓皮上所帶的电，和人手上所帶的电的性質不同而引起吸力，以致把貓毛吸成豎立，而且导致人手和貓毛上二种不同的电的放电現象，發出細小声音。經驗証明兩種不同物体互相摩擦时，該兩物体便各帶有数量相等而性質不同的电气。我們把一种性質的电叫做正电，以（+）作記号，而把另一种性質的电則叫做負电以（-）作記号。用絲綢和玻璃棒相擦时，玻璃棒上产生正电。正电亦叫做陽电。用火漆和毛皮相擦时，火漆上产生負电。負电亦叫做陰电。絲綢和玻璃棒相擦，玻璃棒上帶的正电量一定和絲綢上同时产生的負电量相等。同样現象，火漆和毛皮相擦时，火漆上产生的負电量亦必和毛皮上所帶的正电量相等。二种不同物体相摩擦时，究竟那一个物体帶正电，那一个物体帶負电，完全决定于構成該物体的物質的性質。下面列出摩擦次序表，可以断定几种物体的帶电性質。

摩擦次序表

1.畜类毛皮	5.玻 璃	9.人 手
2.絨 布	6.紙	10.橡 膠
3.洋 干 漆	7.絲 綢	11.硫 黃
4.火 漆	8.毛 玻 璃	12.硬 橡 膠

凡摩擦次序表中，任何一种次序在前面的物体，和任何一种次序在后面的物体互相摩擦时，则前面的带正电而后面的带负电。上面所提到的玻璃和絲綢相擦，玻璃的次序在絲綢前面，所以玻璃就带正电，而絲綢就带负电了。火漆和毛皮相擦，火漆的摩擦次序在毛皮的后面，所以火漆带负电，而毛皮必带正电。当人手抚摸猫毛时，根据摩擦次序，可断定人手必带负电。两种物体的摩擦次序相离愈远，则摩擦生电的现象愈显明，亦就是说产生的电量愈多。应该特别注意，在作摩擦生电的试验时，所用摩擦物体要选十分干燥的，因为潮湿的物体容易漏电。由于用摩擦生电的方法所产生的电量是很少的，稍微有些漏电，带电现象就不易表现出来了。圖 1.1 表示玻璃棒和絲綢摩擦后，玻璃棒上带正电，而絲綢上带负电的情形。圖 1.2 表示带电玻璃棒吸引纸屑的情形。



圖 1.1 摩擦生电



圖 1.2 帶電体吸引紙屑

1.3 电荷和它的特征

物体上所带的电叫做电荷。电荷的存在与否不能用目力直接看到,因为电是无形的东西。电荷有数量的多少,亦有正负的区别,它具备着一些特殊的特征,现在把电荷的特征写在下面。

(1)有正电荷和负电荷之分 如同上节所述,带电体上的电荷分为正负二种。正电荷的性质和负电荷的性质不同。

(2)有同性电荷相排斥,异性电荷相吸引的特性 电荷和电荷之间,表现有力的关系。正电荷和正电荷间,表现有互相排斥的力。负电荷和负电荷间,亦同样表现有互相排斥的力。这一特征叫做同性相斥。相反的现象为正电荷和负电荷之间,表现有互相吸引的力。这一特征叫做异性相吸。图 1.3 表示带有正电荷的通草球,和带有正电荷的玻璃棒,互相排斥的情形。因为通草球(或软木球)重量很轻,用细丝线吊悬空中,极易看出球受力作用而改变位置。图 1.4 则表示带有负电荷的通草球,和带有正电荷的玻璃棒,互相吸引而靠近的情形。

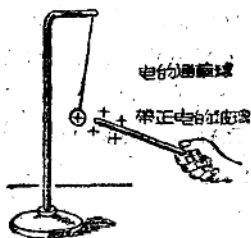


图 1.3 同性相斥



图 1.4 异性相吸

(3)正电荷遇到负电荷则中和抵消 正电荷和负电荷直接接触时,如遇二个电荷的数量相等,则正负电荷即结合在一起,对外不表现带电现象。正负电荷互相抵消的现象叫做中和。当

二个电荷不相等时，则中和其中相等部分的电荷，而残余下多出的电荷。

(4) 静电感应现象 当一个不带电的物体，移近一个带有电荷的物体时，则二者虽不直接接触，原来不带电的物体上，因为受到带电体电荷的影响，亦产生带电现象。这种由于一个电荷引起另一物体带电的现象，叫做静电感应。图 1.5 表示一个原来不带电的装在硬橡胶架上的金属球 B ，和带有负电荷的金属球 A 相靠近但不接触时，金属球 B 上左右二端分别感应出负电荷和正电荷的情形。由于 B 上感应出的正负二种电荷数量相等，所以一将 B 球移开 A 球，则 B 球上正负电荷即刻自行中和，而不再表现有带电现象。所以感应现象只能出现在物体附近有某种电荷存在时。被感应物体接近带电荷物体的一端，一定感应出和带电荷物体性质相反的电荷，而被感应物体的另一端，一定感应出和带电荷物体性质相同的电荷。

(5) 导电现象 各种金属有导电作用，即电荷能很容易地经过金属，从一个物体传向另一个物体。有一些物体如玻璃、丝线、橡胶等则不导电。但不导电的物质如受潮后，也能导电。我们把导电的各种物质，叫做导体，把不导电的物质叫做绝缘体。在以后的章节中，我们还要进一步详细研究这个问题。

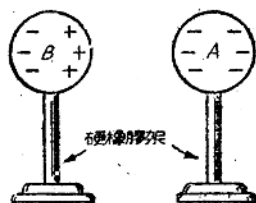


图 1.5 静电感应

1.4 电子学说

电现象的本质究竟怎样呢？应用电子学说可以得到完满的解释。根据电子学说，世界上任何一种物质，归根结底都由电

子、質子和中子等極小的基本微粒所構成。

物質的最小粒子，而仍具有該物質的特殊性質未變的起碼單元，叫做分子。分子是一種物質所能分開的最小極限。每種物質都不可能有比分子更小，而仍保持該物質特性的微粒了。但是物質的分子還可以分化成更小的原子。不過原子的性質，就和原來的分子不同。例如水的一個分子，就由二個氫原子和一個氧原子化合而成，把水分成氫原子和氧原子後，不論是氫原子或是氧原子，都不再有水的性質了。原子雖比分子更小，但仍具有極複雜的構造。近代科學證明，原子的構造有如太陽體系相類似。各種元素的原子，有它的特殊構造形式。但總的說來，它是以原子核為中心，和繞核運動着的若干帶負電荷的电子所構成。原子核由帶正電荷的質子，及不帶電荷的中子所形成。原子核好像太陽，而圍繞其週圍運動着的电子則好像是行星。每個电子的大小和電荷量，都是相等的，每個电子所帶的負電荷，和每個質子所帶的正電荷，在數量上也是相同的，但質子或中子的重量則比电子重1840倍。原子核週圍運動着的电子，都按照一定軌道旋轉。电子的數目和原子核中質子的數目

相等。因此，就整個原子來說，它所有的負電荷和正電荷相等，對外界不表現帶電現象。原子核中的中子數目，一般是和質子數目相等，但亦有例外。最簡單的原子

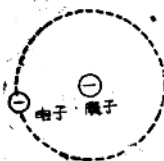


圖 1.6 (氫原子)

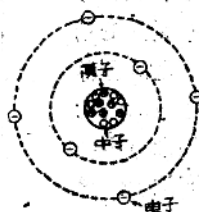


圖 1.7 (炭原子)

結構是氫原子，它僅由一個电子圍繞於一個質子而成，即氫原子核僅有一個質子而無中子。圖 1.6 表示氫原子的構造。圖

1.7 則为炭原子的構造。炭原子有六个电子，它的原子核则由六个質子和六个中子構成。六个电子分佈在二層軌道上运动。

从上面的說明可以知道，物質的种类虽極为繁多，而它的基本構成仍不外电子、質子和中子三者。原子核中的質子和中子間，具有極大的吸引力，因而使原子核团結成为極穩固的核心。原子核的体积是很小的。电子在原子核外运动时产生离心力，而同时电子又和原子核的質子因正負电荷关系而产生吸引力，电子受到这二种力的作用而成平衡状态，所以保持在一定軌道內旋轉。但是，如受到外界的影响时，电子的一部分就可能脫出正常軌道跑出軌外。基于上述，可將电子学說的要点总结归納如后：

(1) 一切物質，均由电子、質子和中子構成。

(2) 电子帶負电荷，質子帶正电荷，中子不帶电荷。

(3) 电子的負电荷，和質子的正电荷数量相同。

(4) 質子和中子，較电子重 1840 倍。

(5) 所有的电子，其大小、重量及电荷量都是相等的。

(6) 在原子中，电子的数目和質子的数目相同。

(7) 电子圍繞于原子核週圍，按一定軌道运动。

(8) 当原子中的电子受外力影响时，可能脫离軌道而被吸走。

(9) 各种物質元素的性質之所以不同，乃是由于原子構造中电子数目不同。

(10) 在原子核中，中子和質子間有強大吸引力，使原子核成为稳定堅固的核心。

1.5 摩擦生电的原因

根据电子学說理論，可以很明白地解釋摩擦生电的現象。

由1.4节已知，原子中的电子，在原子核週圍，按一定軌道运动。电子作圆周运动时，根据力学原則，一定要产生离心力，但是电子却不会因有离心力而飞出原子的范围，这是因为原子核中的質子对电子有吸引力，可以保持力的平衡，讓电子繼續不断循原軌道运行。这和月亮繞地球运转时所产生的离心力，和地球对月亮所起的地心引力相平衡是同道理。但是当电子受到外力影响时，这种平衡状态是可以被破坏的。原子最外层电子和原子核的距离較远，相互間的吸力較弱，因而更容易被外力吸出軌道。当二种不同的物体互相摩擦时，其中有一种物体的原子的外层电子如比較容易离开軌道，則摩擦力可使这种物体原子中的电子跑到另外一种物体上去。这样就使失去电子的物体，由于正电荷多于負电荷而帶正电。得到电子的物体，則因負电荷多于正电荷而帶負电。凡物質的原子，其原子核对外层电子的吸引力較大者，就容易取得其他物質的电子而帶負电。反过来说，凡是原子核对外层电子的吸引力較小，团結不坚强的物質，就容易失去电子而帶正电。根据这个推理，可知在摩擦次序表中，列在前面的物質，是原子核和外层电子結合比較松散的。次序愈在后面，則原子核和电子的結合就愈为紧密。

1.6 导体和絕緣体

有一些物質，能讓电荷經過它傳送到別处，这种物質名为导体各种金屬都具有导电性質，而銀、銅、鋁等导电性能最好，故为良导体，被采用于电气工程上，作傳送电力之用。化学鹽类、鹼类和酸类的水溶液，亦有导电性能。另外有一些物質如电木、瓷器、橡膠、綢、布、玻璃及大理石等，則不能讓电荷經過它傳到別处，这些物質就名为絕緣体。絕緣体在电气工業上亦有極大用处，因为导体和导体之間，全靠絕緣体隔开，否則电气

这种东西，就將無法控制了。根据电子学說，可以解釋导体和絕緣体的構成原因。凡原子核和外層軌道电子間的結合力很小的物質，原子外層的电子得不到原子核吸引力的約束，而成自由状态，可以在各个原子間自由遊蕩，这种有自由电子的物質就是导体。当外界有正电荷加在导体上时，导体中的自由电子即要趋向于正电荷，和它發生中和。当外界有負电荷加在导体上时，导体上的自由电子即要被同性相斥的作用，排斥向另一方向移动。上述二种現象，都引起电子的移动，而表现为导电現象。

凡原子核和其外層电子有强大吸引力，电子受到严格約束，不能輕易在各原子間自由移动的物質，就是在和外界电荷相接触时，电子亦不能被吸引力或排斥力所輕易移动，这种原子核和电子間有强大約束力的物質，就是絕緣体。

从以上的說明，可知导体和絕緣体的区别，是由于原子構造中，电子和原子核間結合程度的不同而定。但是并不是所有的导体物質，都有同等导电程度。亦不是所有絕緣体物質，都有同等不导电程度。原子結構的状态，是跟物質的不同而不同的，每种物質都有其独特的性能。所以各种金屬的导电性能，亦有程度的差別。前面提到的銀、銅、鋁等金屬，自由电子数目極多，故成为良导体，其他金屬則导电性能就較差。炭虽不是金屬，但亦是导体，不过，炭的导电性能比銅就差多了。各种絕緣体的隔电性能，亦是各不相同的。千百种物質，就有千百种不同的导电程度，因此實質上导体或絕緣体是否算是良好，應該用相对的眼光去評價，并無截然的界限。举例來說，普通的电木开关，在 220 伏特电灯电源上应用时，电木是良好的絕緣体，故人們使用这种电木开关是很安全的。但是在数万伏特的高压电路上，普通的电木就不算良好的絕緣体了，它要發生严重的漏电以至燒坏，因此普通电木不能用在高压电路

上，而要另外找其他的絕緣物質來代替。現將導体和絕緣体的特点歸納如下：（1）導体的原子核，對外層電子吸引力弱，以致有自由電子在各個原子間自由遊蕩，引起對外界電荷的導電現象。（2）絕緣体的原子核，對外層電子吸引力強，原子構造堅固，不存在自由電子，故對外界電荷不起傳導作用。（3）導体和絕緣体的性能是否良好，是相對比較的。

1.7 半導體

有許多物質的導電性能，介於導体和絕緣体之間。這種物質，既不能算作導体，亦不能算作絕緣体，因此叫做半導體。用作無線電矿石檢波器的矿石結晶体，如自然銅、方鉛矿、輝銅矿等等，就是半導體。半導體的特点，為其導電程度隨著溫度升高而增加。用半導體晶体制成的二極管、三極管和四極管，可以代替真空電子管，用在電信設備上。晶體管的主要優點為省電，壽命長，體積小。鍍晶體是制造晶體管的主要材料。硅晶體和鎢晶體亦在電子工業中有重大用途。下面我們討論半導體晶體導電原理的要點。

（1）晶體的結構 1.4 節中已說明，任何物質的原子，都由帶負電荷的電子和帶正電荷的原子核所組成。晶體中各個相鄰原子間距離很近，故其電荷互相吸引，使若干個原子結合成為不易分離的穩定結構，這種穩定結構，使晶體不表現導電性能。

（2）電子導電和空穴導電 當晶體的溫度升高時，由於原子的能量增加，故其中電子運動的速度亦加快，因之，有可能使個別電子越出軌道，成為自由電子。在晶體結構中，失去一個電子所空出的位置，叫做空穴。空穴是由於原子中失去一個電子所造成，所以空穴就相當於正電荷。晶體中有自由電子時，按照 1.6 節所說的理由，就可以導電。由於自由電子而使

晶体导电的现象,叫作电子导电。晶体中一个原子的空穴,要吸引相鄰原子中的电子,来填补空位,而使相鄰原子产生新的空穴。空穴在晶体中,因互相替换而移动。移动的空穴亦就是移动的正电荷,这样就使晶体成为空穴导电。在晶体不受外界电荷的作用时,晶体中自由电子和空穴二种电荷的内部交换,其效果互相抵消,所以对外不表现有导电现象。可以在單純的晶体中加入杂质,使自由电子数和空穴数不相等,则晶体就变成导电了。例如在純淨的鍺晶体中加入少量砷,则晶体中的自由电子多于空穴,因而成为电子导电。电子导电半导体,亦叫做 n 型半导体。在純淨的鍺晶体中加入少量鋅,则晶体中的空穴多于自由电子,因而成为空穴导电半导体。空穴导电半导体,亦叫做 P 型半导体。

(3) n 型和 P 型半导体的結合 n 型半导体和 P 型半导体結合在一起,則其接触面有單方向傳导电荷的特性。这种單方向傳导电荷的作用,被人們利用作整流器,以使交流变換直流。关于交流、直流、整流等名詞的意义,將在其它分册中討論,这里不加詳述。我們仅对二种类型半导体結合的导电原理作一簡單的說明。

將正电荷加在半导体結合的 P 型端,而將負电荷加在 n 型端,則由于正电荷和空穴間,及負电荷和自由电子間的排斥力,使結合面間电子和空穴二种电荷的交換中和加速,因而表現导电。反过来如將正电荷加在 n 型半导体端,而將負电荷加在 P 型半导体端,則 n 型半导体中的自由电子被外界正电荷所吸引,而 P 型半导体中的空穴被外界負电荷所吸引,致使結合面間电子和空穴二种电荷不易交換中和,因而表現不导电。这就是半导体二極管單方向导电的原因。

1.8 电流

把一个带有正电荷的金属球 A ，用一根细金属丝和一个带有负电荷的金属球 B 连接起来，由于正负电荷间的吸引力，二种电荷要经过金属丝发生中和。因为在用电子学解释摩擦生电时，已知失去电子的物体带正电荷，而得到电子的物体带负电荷，所以在二种电荷发生中和作用时，一定是由带负电荷的物体把电子传送给带正电荷的物体，以恢复该物体的原有不带电状态。如图 1.8 所示，电子从 B 移向 A 。这种沿着导体作定向移动的电子群叫做电子流。在习惯上用电流这个概念来代替电子流，并且把电流的流动方向定为和电子流的方向相反。这就是说电流的方向是从正电荷流向负电荷。如果 AB 二个金属

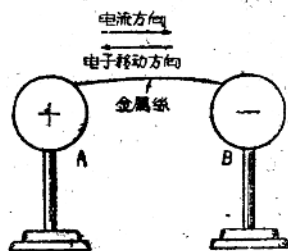


图 1.8

球上的电荷能不断补充，则金属丝上的电流就可以继续不断维持下去。应该声明一下，用静电荷的方法所能得到的电流，往往仅能维持比较短的时间，而且所能得到的电流数值亦是极为有限的。正式产生电流以供实用的方法，要在以后各分册中详细叙述。这里不过把电流

这个名词的概念，先行介绍以作准备而已。

电流在导体上流过的速度是非常快的，和光在空间传播的速度相当，即每秒走三十万公里。

我们常用到的电流有下列四种：

(1) 直流电流 直流电流在导体上流过时，它的方向总是一定不变的。例如于电池上发出的电流就是直流电流。

(2) 交流电流 电流的方向依一定的时间间隔作有规律的。

变化，如城市中供居民用的电流，就是每秒鐘变化 50 週的交流电流。

(3) 高频率电流 每秒鐘內能变化几百万週，甚至几万万週的無綫电流。

(4) 脈冲电流 仅在短時間內發生，而且是不連續的电流，叫做脈冲电流。

复 習 題

- (1.1) 什么是摩擦生电現象？摩擦次序表示什么意义？
- (1.2) 什么是电荷，它有那些特征？
- (1.3) 簡述原子構造的形式。
- (1.4) 解釋摩擦生电的原理。
- (1.5) 导体的原子結構有什么特点？
- (1.6) 絕緣体的原子結構有什么特点？
- (1.7) 什么是半导体？
- (1.8) 什么是电流，它的方向怎样規定？
- (1.9) 什么是靜电感应？其現象怎样？

第二章 靜 电 場

2.1 电場的概念

电荷和电荷之間，有同性相斥異性相吸的現象，已在第一章 1.3 节中談过了。当將一电荷放置在空間时，則电荷周圍的空間，就要因为电荷的存在而具有特殊的性質。存在于电荷周圍的空間叫做靜电场。在靜电场中，电荷要受到作用力。設有一帶电体 A ，它的周圍存在着电场，当另一帶电体 B 置在 A 的电場中时，帶电体 B 就要受到力的作用。因此可以說， A 和 B