

电工无綫电基础

(初 稿)

中国人民
解放軍高射炮兵学校訓練部編印

一九六〇年十月

目 录

緒 論

第一章 直流电路

一、电场基本概念	1
物質的原子結構 电荷 导体和电介質 电场 电位	
靜电场中的导体 靜电场中的介質	
二、电流	10
电流的形成及方向 电流强度及单位 电流的种类	
电流密度 电流的測量	
三、电动势	12
电动势 电动势和电压的区别	
四、电阻	13
电阻 电导 电阻器 电阻的測量	
五、欧姆定律	20
电路 部分电路的欧姆定律 全部电路的欧姆定律	
电压降 电压及电动势的測量 欧姆表	
六、电功、电功率	24
电功 电功率 最大功率輸出条件 电流热效应	
七、克希荷夫定律	30
第一定律 第二定律	
八、电路中电阻的联結	31
电阻串联 电阻并联 电阻混联 惠斯登电桥	
九、复杂电路的計算	37
克希荷夫定律解法 重迭定理解法 伏維南定理解法	

十、电容器	43
概述 电容器的充放电 电容量及其单位 电容器的耐压	
电容器的种类 电容器的联接 电场中的能量	

第二章 电磁现象

一、磁的基本概念	56
概述 磁铁 磁分子学说 磁场及磁力线	
磁通 磁通密度	
二、电流的磁场	64
通电导体周围的磁场 通电线圈周围的磁场 电磁铁	
三、磁性物质的磁化	66
磁性物质的磁化过程 剩磁 磁滞	
四、磁场对载流导体的作用力	68
通电导体在磁场中的作用力 均匀磁场作用在载流线圈上的力矩 磁电式电表(永磁式电表)	
五、电磁感应	75
感应电势 楞次定律 法拉第定律 自感现象	
互感现象 磁场的能量	
六、直流电机	87
直流电机的构造及分类 直流电机的电动势 直流电机的转矩 直流发电机 直流电动机	

第三章 交流电路

一、交流电概述	98
交流电的概念 正弦交流电势的产生 相位及相位差	
交流电的平均值和有效值 正弦交流电的矢量表示法	
正弦交流电的加减	
二、简单交流电路	112
交流电路的理想元件 纯电阻电路 纯电感电路	
趋肤效应 纯电容电路	

三、电阻、电感、电容串联电路.....	123
电阻电感串联电路 电阻、电容串联电路 电阻、电感、 电容串联电路	
四、电阻、电感、电容并联电路.....	134
两个线圈组成的并联电路 线圈与纯电容组成的并联 电路	
五、符号法.....	140
符号法的基本概念 复数的运算 正弦交流电的符号表 示法 符号法在交流电路中的应用 简单交流电路的 计算	
六、交流电路中的谐振现象.....	151
串联谐振 并联谐振	
七、非正弦交流电.....	159
非正弦波的概念 非正弦波的分析 非正弦交流电的计算 电路参数对非正弦波形的影响	
八、三相交流电.....	170
三相交流电的概念 三相交流电的星形联接法 三相交流电的三角形联接法 三相交流电的功率	
九、三相感应电动机.....	177
构造 工作原理	
十、两相感应电动机.....	181
两相旋转磁场的产生 裂相原理	
十一、变压器.....	183
变压器的用途及构造 变压器的变压原理 变压器接负载后的情况 变压器的等效电路 各种变压器	

第四章 电子管

一、电子管概说.....	195
电子管的结构 电子管的分类 电子管的应用	

二、电子发射.....	197
金属电子的逸出功 电子发射的几种方式	
三、热阴极.....	199
热阴极的结构 热阴极的参数 热阴极的运用	
热阴极的类型	
四、二极管.....	201
二极管的构造及符号 二极管的工作 电子管的屏极损耗	
五、三极管.....	204
三极管的构造与栅极的控制作用 三极管的特性曲线	
三极管的参数	
六、三极管放大器.....	210
三极管放大器的基本工作原理 放大器工作图解	
放大器的栅极偏压 放大器工作时屏压栅压和屏流变化的相位关系 放大器的等效电路及放大量的计算	
七、四极管.....	217
三极管的主要缺点 四极管的构造及帘栅极的屏蔽作用	
四极管的特性曲线	
八、五极管和集射管.....	220
五极管 集射管	
九、多栅管及复合管.....	222
多栅管 复合管 调谐指示管	
十、超高频电子管.....	225
十一、气体放电.....	227
十二、充气管.....	228
冷阴极充气二极管——辉光管 热阴极充气二极管	
热阴极充气三极管	
十三、半导体电子管介绍.....	231
概说 电子导电和空穴导电 电子——空穴阻挡层及其整流原理 晶体二极管 晶体三极管	

十四、电子管测试器.....236

概述 ИЛ-14型电子管测试器介绍 ИЛ-14电子管测试器的
使用方法

第五章 整 流 器

一、整流器概述.....	244
整流器的用途及组成 整流器的质量指标	
二、半波整流器.....	246
三、全波整流器.....	247
四、桥式整流器.....	249
五、三相桥式整流器.....	250
六、倍压整流器.....	252
七、滤波器.....	253
电容滤波器 电感电容滤波器 电阻电容滤波器	
八、电压调整器（稳压电路）.....	256
辉管电压调整器 电子管电压调整器	
九、半导体整流器.....	259
半导体整流元件的结构 半导体整流片的单向导电特性	

第六章 放 大 器

一、基本概念.....	263
放大器的用途 放大器的分类 放大器的参数	
二、低频电压放大器.....	268
RC耦合放大器 变压器耦合放大器	
三、负回输放大器.....	278
回输系数与放大量的关系 电压负回输放大器	
电流负回输放大器 阴随器（阴极输出器）	
四、直流放大器.....	284
直流放大器放大直流的物理过程 推挽式直流放大器	

五、低頻功率放大器.....	287
單管電路 雙管推挽電路	
六、互感耦合電路.....	290
互感耦合電路的一般分析 次級無調諧的互感耦合電路	
次級調諧初級無調諧的互感耦合電路 雙調諧互感耦合電路	
七、調諧放大器.....	297
單調諧直接耦合放大器 單調諧互感耦合放大器	
柵地式調諧放大器	
八、頻帶放大器.....	301
頻帶放大器概說 互感耦合頻帶放大器分析	
九、真空管電壓表.....	304
概述 BKC-7B型真空管電壓表	

第七章 振蕩電路

一、自由振蕩.....	311
無損耗振蕩回路中的自由振蕩 自由振蕩的頻率、周期及回路的特性阻抗 回路的品質常數 (Q 值)	
二、回輸式振蕩器.....	315
回輸式振蕩器的基本原理 回輸式振蕩器的電路 (三點電路)	
三、電子管振蕩器和晶體振蕩器.....	324
電子耦合振蕩器 晶體振蕩器	
四、負阻振蕩器.....	326
負阻振蕩器的基本原理 負阻振蕩器	
五、信號發生器.....	328
音頻信號發生器 訊-31型射頻信號發生器	
599型高頻訊號發生器介紹	

緒 論

“电工无綫电基础”，包括电工基础和无綫电基础两部分。

根据“少而精、短而少”的教学方針，本教材在內容的安排上，基本上按照雷达兵器原理所需要的基础理論尽可能学深学透，对于一般的电工无綫电学的理論則作了取舍。全书共分七章。电工部分包括直流电路、电磁现象、交流电路三章。无綫电基础包括电子管、整流器、放大器、振荡器四章，这样安排基本上保证了理論的系統性和严密性。在內容的闡述方式上，是以讲清物理概念为主，但也不忽略必要的数学分析。而数学分析，又正是为了加深物理概念的理解。通过本教材的学习，就可以使我們系統的掌握有关直流电路、交流电路和电磁现象的基本概念和定律，以及电子管、放大器……等无綫电的基础理論知識，为学习雷达兵器原理打下必要的理論基础。

电工技术是在19世紀才迅速发展起来的，无綫电学則更是一門年輕的科学，从伟大的俄国科学家波波夫于1895年发明无綫电到现在只不过六十多年的历史，但电工无綫电技术的应用，却已遍及人类社会的各个方面，它对于发展社会生产力，提高人民的物質文化生活，以及人們进一步征服宇宙都作出了重要的貢獻，尤其是在现代化的軍事技术中，电工无綫电技术更是成为一种不可缺少的工具。如无綫电报話机、探照灯、雷达、导弹都是利用电能来完成战斗任务的，电工无綫电技术其所以发展这样快，应用这样广，这是因为电能与自然界其它各种能源相比較，它具有許多特殊的优越性。如：

- 1、电能很容易以其它形态的能量（如机械能、化学能、光能、热能、原子能等）轉換而来，同时也很容易轉变成其它形态的能量。

- 2、电能可以通过較简单的设备，迅速的以发电的地方送到很远的地方去，特别是无綫电技术的发展和應用，电能通过电磁波的形式可以将能

量传播到整个宇宙空间。

3、电能的控制容易，使用方便，更是其它各种能源所难以比拟的。生产的自动化、远距离的自动控制（如火箭导弹等）都是通过简便的操纵发挥电能的作用而办到的。

在解放前，我国的电工和无线电技术发展很慢。从1882——1936年，全国发电设备容量仅有104万千瓦，而且多数由帝国主义控制。解放后我国的电力、电讯工业得到了迅速的发展，仅拿发电量来说，1949年为43亿度，1959年就达到415亿度。在电器制造方面，各种大型的水轮发电机、汽轮机、电动机、变压器，以及各种高级、精密的电气器材都能自己生产了。与此同时无线电技术也得到迅速发展，许多的尖端技术也已经掌握。可以预料到在党和毛主席的英明领导下，在总路线的光辉照耀下，不久的将来，我国的电力和电讯工业也将和其它工业一样，很快的赶上和超过世界的先进水平。在这方面我们是有着许多优异条件的，除有党的领导，群众的干劲和智慧外，我国的电力资源十分丰富，如水力发电资源占世界第二位（仅次于苏联），根据现有材料，长江、黄河、黑龙江三大河流可利用的水力就能发电三亿千瓦，随着社会主义建设的发展，这些宝贵的资源，将逐步被开发利用，以满足全国电气化的需要。

第一章 直流电路

第一节 电场基本概念

一、物質的原子結構

一切物質都是由很小的微粒——分子組成，分子又是由更小的微粒——原子組成，原子是化學元素的最小單位，它包含兩部分：一個原子核和若干個電子。原子核中又含有帶正電的質子和帶電的中子，質子和中子被“核力”緊密的束縛在一起，組成巩固的原子核。電子帶負電，它受帶正電的原子核吸引，沿不同軌道以每秒 6×10^{15} 轉，快速的圍繞原子核旋轉，并繞着自身軸作自轉。物質的不同，就在於組成它的最小微粒——原子的結構不一樣，即不同的原子，它的原子核的組成、和電子的數目也各不相同。如圖1—1所示。

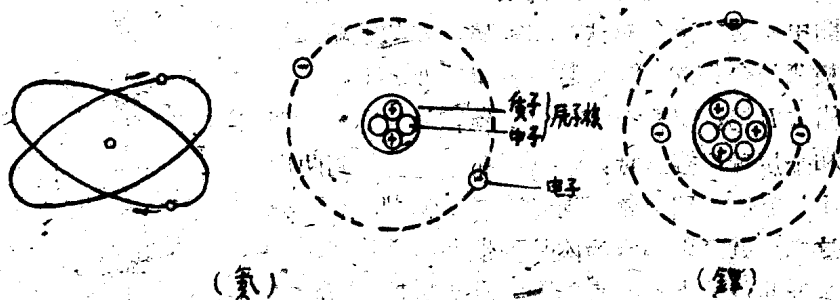


圖1—1 原子結構

質子和電子所帶的電荷是異性的，兩者電量相等。平時質子和電子個數相等，因此正負電荷對外作用相抵消，所以在正常情況下，物體對外不顯出帶電現象，我們稱它為中和狀態。

由於外層電子與原子核距離較遠，所以在外界的影響下（如摩擦等），容易離開本原子系而跑到其它原子系中去，我們稱這種電子叫自由

电子。由于自由电子的出现，使某些失掉电子的物体带正电，得到电子的物体带负电。

由此看来，电荷是不能创造也不能消灭的，而物体带电的根本原因是电子的迁移，使物体内部正负电荷不相等的结果。同时也可以看出，任何带电现象，都是两种电荷分离的结果，电荷分离时，需要外界某种形式的能量去克服正负电荷的吸引力而做功，在分离过程中，这种能量转变为电能。相反地，两种电荷互相中和时，电能又转变为其它形式的能量，这种能量的相互转换是符合于能量守恒和转换定律的。

二、电荷

两个不同质料的物体，例如毛织物和琥珀互相摩擦后，能够吸引纸片等某些轻微的物体，处于这种状态的物体称为带电体，用以量度物体带电程度的量，称为电荷或电量（以 Q 表示）。电量的单位叫库伦，1库伦 $=6.29 \times 10^{18}$ 个电子所带的电量。

实验表明，物体所带的电荷不外两种，一种带正电“+”，一种带负电“-”，带同号电的物体互相排斥，带异号电的物体互相吸引。根据带电体相互间的作用力，我们就能确定物体带电的程度。一种最简单的测量电荷的仪器称为验电器，构造如图1—2所示。

图中 C 是一个金属球，和金属杆 D 相连接。把两片极薄的金箔 E_1 和 E_2 装在金属杆 D 的下端，再用绝缘体 B 把金属杆固定在一块金属盒子里。当带电体和金属球 C 接触时，就有一部分电荷传到两片金箔上，它们就因为带了同号电，互相排斥而分离。这样，就可以确定物体是否带电，并且可以从金箔张开角度的大小，来判断带电体所带电荷的多少。

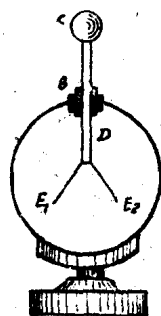


图1—2 验电器

三、导体和电介质

实验表明，各种物质传导电荷的性能是不一样的，根据导电性能的不同，我们把物质分为导体、绝缘体和半导体三大类。

1、导体：导电性能良好的物质叫做导体。一般导体中具有较多的自由电子或离子（带电的原子）所以电荷容易在导体中移动。金属和碳等称

为第一类导体；酸、碱、盐的水溶液称为第二类导体。

2、絕緣体：不容易导电的物体叫絕緣体（也叫电介質）。絕緣体具有很少的自由电子，如玻璃、橡胶、云母、瓷器等。

3、半导体：导电性能介于导体与絕緣体之間，即具有微弱导电性能的物体叫半导体，如氧化銅、硒、鎢等。近年来，半导体的应用日益增多，它已成为一門新兴的科学技术，并正在迅速的发展中。

四、电場

1、电场：凡是有电力作用的空間，就存在着电場。任何电荷周围总是有电场存在，任何放进电场的带电体都会受到电力的作用，作用力的大小决定于带电体所带电荷的多少及电场的強弱。

2、电场強度：要檢驗任何一点有沒有电场存在，可将試驗电荷（小到不致影响原电场特性的微小电荷）放到該点，如它受到电力的作用，就說明这一点有电场存在。将試驗电荷放在电场中不同的位置时，所受力的方向及大小都不一样，这說明电场中的每一点有每一点的特性，为了表示电场中各点的这种特性，我們引出一个新的物理量——电场強度（简称场強）。单位正电荷在电场中的某一点所受的力，叫做这一点的电场強度。电场強度可用下式表示：

$$\text{电场強度}(E) = \frac{\text{受力}(F)}{\text{电量}(Q)}$$

电场強度是个矢量，因为它不仅表示大小，而且有方向。所謂电场中各点电场強度的方向，就是正电荷在那一点所受力的方向（电场強度的定义中，所以要规定单位正电荷，就是为了确定方向）。

3、电力綫：为了使电场形象化，我們引用一个輔助概念——电力綫。所謂电力綫，是用来表示电场中各点电场強度方向的直綫或曲綫，电力綫上任一点的切綫方向就是該点电场強度的方向。图（1—3）、（1—4）、（1—5）表示不同电荷所形成的电力綫。

綜合上述，电力綫有下列特性：

1、因为靜电场中的电力綫，表示电场強度的方向，所以靜电场中的任何一条电力綫，都是起自正电荷，而止于負电荷，如图1—4所示。

2、因为靜电场中的任何一点上，只有一个场強方向，所以任何两条

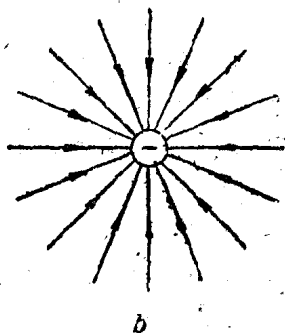
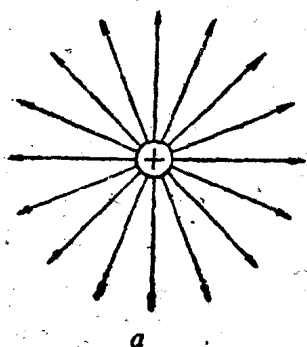


图1—3

1. 正、负电荷形成的电场。

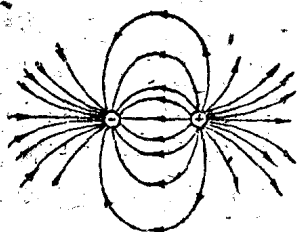


图1—4

2. 两异性电荷形成的电场。

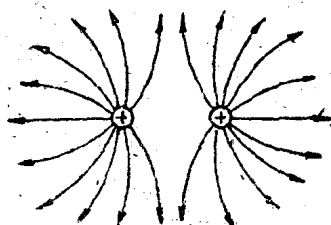


图1—5

3. 两同性电荷形成的电场。

电力线不可能相交。

3. 电场中电力线的稀、密，可以表示电场中各处电场强度的数值，电力线稀的电场弱，电力线密的电场强。

4. 电力线有尽量缩短的性质，异性电荷互相吸引，就可以认为是电力线缩短的结果。

五、电位

1. 电位：在电场中的某一点放一个电荷，由于受电力的作用，电荷要移动而做功，这说明电场中的任何一点都具有一定的能量。但是同一电荷在电场中的不同位置，它受力后移动到电场外所作功的多少是不同的，这说明电荷在电场中的某一点所具有能量的大小与位置有关系，我们可以用电位来表示电场的这一特性。

单位正电荷从电场中的某点移到电场外（理論上是无限远）所作的功，叫做这点的电位。电位用字母 U 表示。

电位的单位是伏特。如果从电场中的某一点移动一庫伦电量到电场外所作的功为一焦耳的话，则这一点的电位规定为一伏特。“伏特”用 V 表示。

2、电位差：电场中任何两点间的电位之差，叫做这两点间的电位差（也叫电压）。如 A 点的电位为 U_A ， B 点的电位为 U_B ，则 A 、 B 两点的电位差为 $U_{AB} = U_A - U_B$ 。电位差也用 U 表示，电位差的单位也是伏特。很明显，电位差（ U ）也就是表示单位正电荷（ q ）从电场中的某点移到另一点，电场力所做的功。即： $U = \frac{A}{q}$ 。或 $A = Uq$ 。

六、静电场中的导体

1、静电感应 根据实验，假如把带电体靠近与外界絕緣的导体时，将引起导体的两端出现两种电荷：靠近带电体的一端为异性电荷，而远离带电体的一端为同性电荷，这种现象叫做静电感应。如图1—6，如果把不带

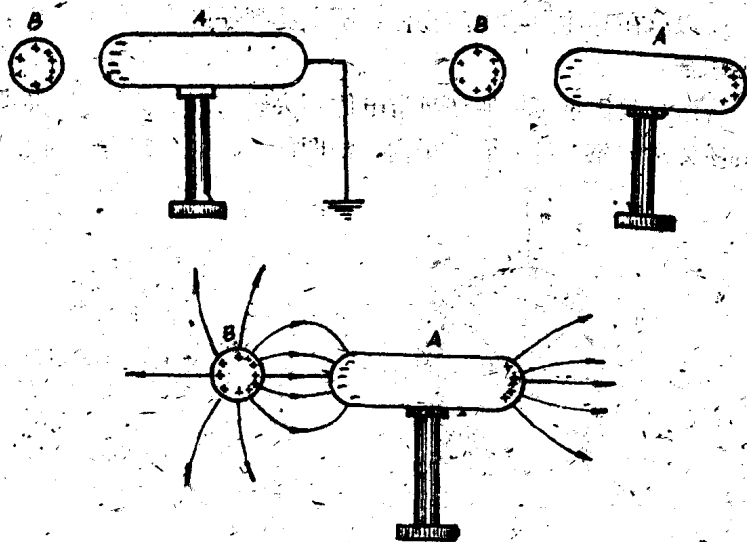
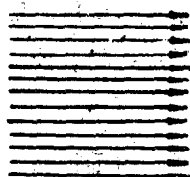


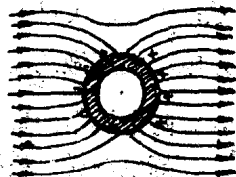
图1—6 静电感应

电的导体B靠近带正电的物体A，由于带正电的物体要吸引导体B中的电子，使B中的自由电子发生位移，从而靠近A的一端带了负电，而远离A的一端带了正电。很明显，静电感应是由于导体引入电场后，其电荷发生重新分布的结果。如图1—6，如果把A球拿开，则导体B中的正负电荷将中和而还原为非带电体了。如果在带电体A移开以前使导体B和地相接，则地面上的电子就要流向导体B，和B上的正电荷中和，结果使B也成了带负电的带电体了，这种起电的方法叫做感应起电。

2、静电屏蔽：把任何空心的导体放在电场中时，电力线将终止于导体的外表面而不进入内腔，如图1—7。这是因为当导体放进电场后，由于感应作用，导体外表面将产生两种电荷，它们



均匀电场的电力分布



空心导体放入后的电力线分布

各占一方，从而形成一个新的电场。所以放在导体内腔中的物体，不会受到任何外电场的影响，这就叫做静电屏蔽。

另一方面，我们也可以使任何带电体不去影响别的物体。例如把一个带正电的物体放在空心的金属盒子内，如图1—8，则金属盒子的内表面上

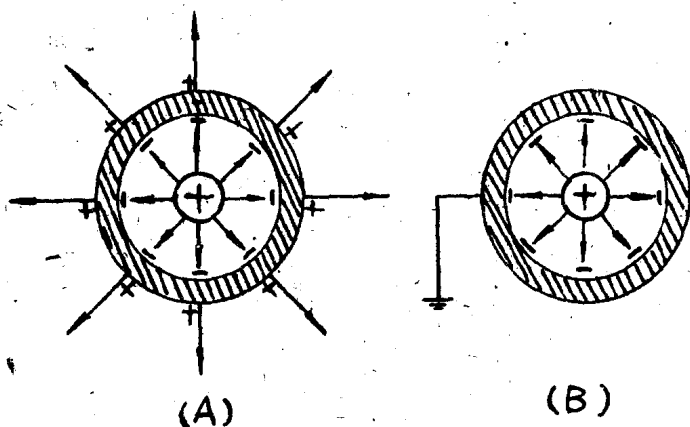


图1—8 空心导体内腔中的带电体不影响外界

将产生感应负电荷，并且和带电体上的正电荷互相吸引着。金属盒子的外表面上产生了等量的感应正电荷，电力线的分布如图1—8（A），如果把金属盒子接地，则盒子外面的正电荷和从地面上来的负电荷中和，盒外的电力线也就消失了。所以接地的空心金属导体可以隔离空腔内的带电体对外界的影响，这也是静电屏蔽的应用之一。

静电屏蔽在无线电方面应用很广，如收音机中频变压器外面，就有金属罩屏蔽，雷达高频部分的传输线也在外面编织一层金属网，来避免相互影响。

七、静电场中的介质 介质极化：

介质中的电子不能脱离轨道自由移动，所以介质在外电场的作用下，不会产生静电感应现象，但是介质在电场中也会发生作用。



图1—9 介质极化

如图1—9在正常状态下原子核是处于电子轨道中心的，但在外电场的作用下整个电子轨道将沿着与电场相反的方向移动一段距离，使原子核不再处于电子轨道中心，这种现象叫介质极化。

电子以非常高的速度围绕原子核旋转电子在轨道上的位置每个瞬间都不同，电子对外面某一电荷的作用平均起来和假定它在轨道中心的作用一样。因此一个原子所有电子的作用，可以用一个在轨道中心代相同的电量的负电荷（可以称负电荷中心）来代替，当负电荷中心和原子核重合时，此原子对外就不显电性。

当把介质放入电场时，负电荷中心不再和原子核重合，因而就产生了内部电场，这个内部电场与外电场方向相反，因此，这种由于极化而产生

的附加电场在事实上是减弱了原有电场，极化作用越大，合成电场越小；如果外电场很强，电子将被拉出来（脱离了原子的束缚）而成为自由电子，这时电介质变成导电的导体了，这叫电介质的击穿，也就是绝缘破坏了。如果电介质放在正负交变的电场中，则电子的位移也是来回交变的，这种交变过程使得原子内部的热运动加剧，因而使电介质发热，电场变化的越快，电介质的发热也越厉害，这种能量损失叫介质损耗。

第二节 电 流

一、电流的形成及方向：平时金属导体中自由电子的运动是很混乱的，所以在任何一个方向都不会发生电量的迁移。

如果在金属导体两端保持一个电位差，这时导体内就建立了电场，在电场力的作用下，这些不规则运动着的电子就会一个挤一个地向一定方向推进。电荷按照一定方向移动就形成电流。

电子流动的方向是从负到正，但习惯上规定是从正到负（因为习惯上认为正的电位高，负的电位低，电流是从高电位流向低电位）。今后我们说到电流方向时，都是指习惯上所规定的方向。

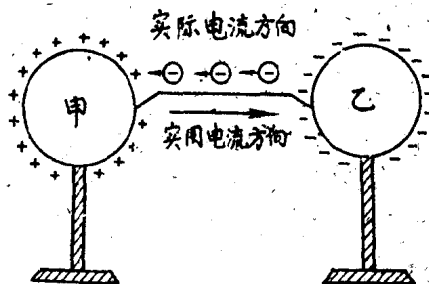


图1-10 电流的方向

二、电流强度及其单位：

电流强度是指每秒内通过导体横截面的电量的多少。如用 Q 表示通过导体横截面的电量， t 表示通过的时间， I 表示电流强度，根据上面定义得到：

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{或} \quad Q = I \cdot t$$

电流强度的单位是安培（代字 A ），一秒钟内通过导体横截面的电量为一库仑时，电流强度就规定为一安培。