



工 人 普 及 读 物

电 工 学 基 础

《电 工 学 基 础》编 写 组 编

国 防 工 业 出 版 社

TM/049

工人普及读物

1334433

电 工 学 基 础

《电工学基础》编写组 编

国防工业出版社

1974

目 录

第一章 电的基本知识	5
第一节 静电	5
第二节 直流电路	13
第三节 磁场及电磁感应	41
第四节 交流电路	72
第五节 三相交流电路	123
第二章 电工仪表	147
第一节 电工测量的基本知识	147
第二节 常用电工仪表原理及应用	154
第三章 电工材料	196
第一节 导电材料	196
第二节 绝缘材料	219
第三节 磁性材料	226
第四章 电机	231
第一节 变压器的结构和工作原理	231
第二节 变压器的联接和试验	240
第三节 小功率变压器的简易计算	252
第四节 变压器运行中的常见故障	256
第五节 感应电动机的结构和原理	257
第六节 感应电动机绕组的联接	269
第七节 感应电动机的测试方法	280
第八节 感应电动机旧壳体新绕组的简易计算	282
第九节 直流发电机	285
第十节 直流电动机	299
第十一节 交流发电机概述	301
第十二节 自动装置用的电机	303

出版说明

随着我国社会主义革命和社会主义建设事业的发展，近年来各机械制造部门吸收了不少新工人。对这批新生力量进行基础技术知识教育，是当前一项重要任务。为此，有关部门组织一些工厂、学校和研究单位的同志，组成《车工技术》、《铣工技术》、《刨工技术》、《磨工技术》、《钳工技术》、《锻工技术》、《铸工技术》、《焊接技术》、《热处理实践》、《表面处理》、《钣金技术》、《机械工人识图》、《公差配合与技术测量》、《电工学基础》等十四个编写组为新工人编写基础技术读物。各编写组在主编单位党委的领导下，总结了生产实践经验，多次征求工人、技术人员和有关同志的意见，进行反复的修改补充，写成了这一批读物。我们希望广大新工人在老师傅指导下，通过这批技术读物的学习，能基本掌握一般专业技术知识，结合生产实践不断提高生产技能，为社会主义建设贡献自己的力量。

《电工学基础》是北京电子管厂主编的，参加编写的单位有：国营曙光电机厂、内蒙第二机械厂、渤海造船厂等。

由于时间仓猝，调查研究、征求意见的工作还不够广泛，书中难免存在一些缺点和错误，热诚地希望广大读者提出宝贵意见。

第一章 电的基本知识

第一节 静 电

一 物质结构与电荷的产生

宇宙中所有的物质都是由很小的粒子（分子、原子等）组成的。分子是由原子组成，而原子是由电子和原子核组成的，原子核又是由中子和质子组成的（氢原子除外）。原子由带正电荷的原子核及一些比原子核更小的带负电的电子所组成的。中子不带电，质子带有正电荷，如图 1.1-1 所示。电



图 1.1-1 物质组成示意图

子围绕着原子核按一定的轨道运动，如图 1.1-2 为氢原子和铜原子的结构示意图。在正常情况下，正电荷量与负电荷量相等，所以物体不呈现出电现象，叫做物体不带电。当物体

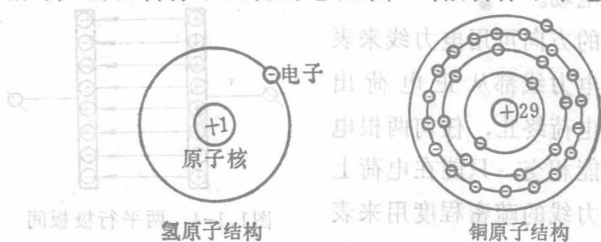


图 1.1-2 原子结构示意图

因某种原因（如摩擦等）失掉电子或得到电子时，物体内正负电荷就不相等了，所以物体就呈现带电现象，这种物体叫带电体。失掉电子的物体带正电，获得多余电子的物体带负电。

欲使物体带电的最简单方法是摩擦起电或感应起电，如拿一块绸子和一根玻璃棒相互摩擦，如图 1.1-3 (a) 所示，经摩擦后，玻璃棒失掉了电子，而绸子获得了多余电子，当它们分开后，玻璃棒带正电荷，绸子就带负电荷，如图 1.1-3 (b) 所示。

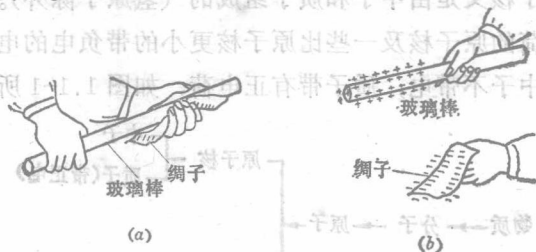


图 1.1-3 摩擦起电

二 电场和电场强度

带电体周围具有电力作用的空间叫电场。有电荷存在的地方，电荷周围就有电场。不随时间而变化的，静止电荷的电场叫静电场。

电场的方向可用电力线来表示，每根电力线都从正电荷出发，到负电荷终止，任何两根电力线不可能相交，只能在电荷上相交，电力线的疏密程度用来表示电场的强弱。图 1.1-4 为两平

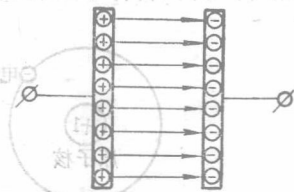


图 1.1-4 两平行极板间的电场

行极板间的电场，电力线是从带正电荷极板出发终止在带负电荷极板上的一组平行直线，电场内各点上电力线的密度和方向都相同，这种电场叫均匀电场。如图1.1-5表示带有等量正电荷的电场和带有等量异性电荷的电场。

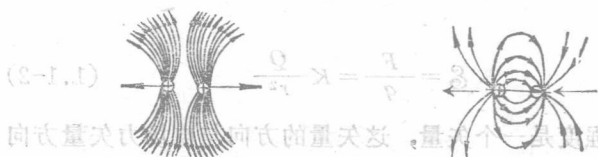


图1.1-5 带有等量正电荷和带有等量异性电荷的电场

如在带电体 Q 附近放进另一带电体 q ，那么 q 就会受到电场的作用力。如果它们带的电荷是同性的（即同时为正或同时为负），那么就有相互排斥的趋向，这说明同性电荷相斥。如果是异性质的电荷，那么就相互吸引，这说明异性电荷互相吸引，如图1.1-6所示。

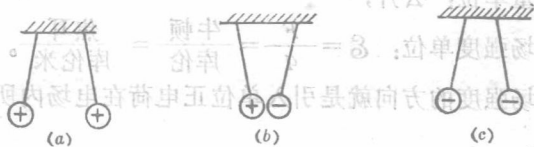


图 1.1-6

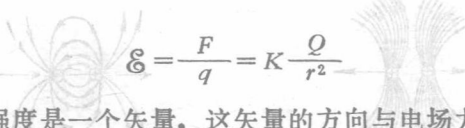
(a) (c) 同性电荷相斥；(b) 异性电荷相吸。

实验证明：在均匀的介质中，将两个点电荷 Q 、 q 放在同一电场里则作用在这两个点电荷上的力 F 与这两个点电荷所带电量的乘积成正比；与这两个点电荷的距离 r 的平方成反比。这就是库伦定律。用公式表示则：

$$F = K \frac{Q \cdot q}{r^2} \quad (1.1-1)$$

式中 K 是一个比例常数，与点电荷 Q 、 q 周围的介质及距离 r 所取的单位有关。

由此可知，电场中一点的电场强度就是用单位电荷在该点所受力的大小来表示的一个物理量，因此电场强度 \mathcal{E} 表达如下：



$$\mathcal{E} = \frac{F}{q} = K \frac{Q}{r^2} \quad (1.1-2)$$

电场强度是一个矢量，这矢量的方向与电场力矢量方向相重合。

上面的式子通常采用实用单位制，表达如下：

力的单位：牛顿（公斤·米/秒²）；

长度单位：米；

电量单位：库伦（安培·秒）；

时间单位：秒；

功的单位：焦耳（牛顿·米）；

质量单位：公斤；

电场强度单位： $\mathcal{E} = \frac{F}{q} = \frac{\text{牛顿}}{\text{库伦}} = \frac{\text{焦耳}}{\text{库伦米}}$ 。

电场强度的方向就是引入单位正电荷在电场内所受到力的方向。

三 电位与电压

有带电体存在，就有电场存在，而电场具有能量，若将一个正电荷从正电场外无限远的一点移到电场内某一点，外力必须克服电场力作功，我们用外力把单位正电荷从无限远的一点移到电场内某一点，外力克服电场力所做的功，叫该点的电位，也就是单位正电荷在这一点所具有的电位能，用 V 表示。

如图 1.1-7 所示，外力把单位正电荷从电场外移到电场内 a 点，外力克服电场力所做的功为 A ，我们定这点的电位为 $V_a = A$ ，如电荷的电量为 q ，外力克服电场力所做的功为 A ，则 a 点的电位为 $V_a = \frac{A}{q}$ 。

电位是表示电场内能量的一种物理量，实验证明，电位 V 的大小与电量 q 的大小无关，因为电量 q 增加多少倍，外力所作的功 A 同样要增大多少倍。故电位 V 只与电荷移动的前后位置有关。

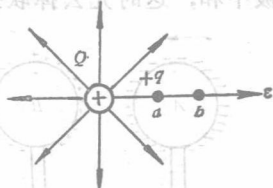


图 1.1-7 点电荷电场的电位

如图 1.1-7 所示，在正电荷 Q 的电场中，要使点电荷 q 从 b 点移到 a 点，就得用外力克服电场力对点电荷 q 做功，才能使正电荷 q 从 b 点移到 a 点。根据能量守恒的原理，外力克服电场力所做的功，就是正电荷 q 增加的电位能。即

$$A = q(V_a - V_b) \quad (1.1-3)$$

式中 $V_a - V_b$ 叫 a 、 b 两点间的电位差，也叫 a 、 b 两点间的电压，用 U 表示，因此电压就是电场内两点的电位差。故上式改写为：

$$A = qU \quad \text{或} \quad U = \frac{A}{q} \quad (1.1-4)$$

实用单位制中，功与能量的单位用焦耳，电压与电位的单位用焦耳/库伦，也叫伏特（或简称伏），因此：

$$1 \text{ 伏特} = 1 \frac{\text{焦耳}}{\text{库伦}}$$

四 电容与电容器

把带负电的圆球导体 A 移近不带电的圆球导体 B ，如图 1.1-8 所示，当两导体接近时（没有接触），球状导体 B 上

就发生电子移动的现象，结果 B 物体两侧就带上等量异性电荷，靠近 A 的半球面带正电，另半面带负电。如用一导线联接物体 B 使其接地，如图 1.1-9 所示，负电荷就移向大地而被中和，这时先去掉联接的导线，然后移开物体 A ，则 B 物

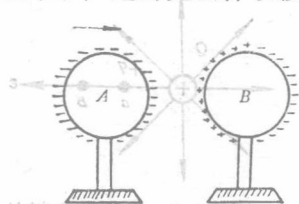


图 1.1-8 静电感应

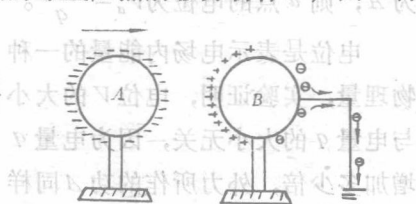


图 1.1-9 感应起电

体就因留下正电荷而带正电，用这种方法使物体带电叫感应起电。

物体在另一带电体的电场力作用下，发生电荷的重新分布叫静电感应，在 B 物体上感应而产生的电荷叫感应电荷，如果移去带电体，物体 B 上感应的电荷就相互中和。

若把电介质放在均匀电场中，在电场力的作用下，电子就要向电场反方向移动，但并不脱离分子，只是电子运动的轨道向着电场反方向移动，使带正电荷的原子核不再处在轨道中心，而与轨道中心之间有些距离，这种现象叫做介质极化。在正常情况下，电介质的导电性能不明显，但当电场强度大到一定数值时，电介质的分子结构遭到破坏，这时电介质的绝缘性能大大下降，几乎成导体，这种现象叫电介质的击穿，这时的电场强度叫击穿电场强度。

用电介质把两个任何形状的金属体分开，就能储存电量，构成电容器，这两个金属体叫电容器的极，电荷量的大小与外加电压成正比，我们叫这比例常数为电容，用 C 表示：

电容 $C = \frac{Q}{U}$ (1.1-5)

式中 C 的单位是法拉(简称法), Q 的单位是库伦(简称库), U 的单位是伏特(简称伏)。

实际使用的单位如下:

1 微法 = 10^{-6} 法或表示为: $1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$

1 微微法 = 10^{-12} 法或表示为: $1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$

一个孤立导体的本身是一个极板, 而大地是另一个极板, 也是一个电容器, 导体的电位就是它和大地间的电压。

电容器的符号如图 1.1-10 所示。



图 1.1-10 电容器符号

用两块相互平行、中间有介质隔开放置的金属板构成的电容器叫平板电容器, 金属板是电容器的极板。如极板间的距离远小于极板尺寸, 那么可以认为极板间的电场是均匀电场, 如图 1.1-11 表示, 平板电容器的电容如下:

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi d} \approx 0.0884 \frac{\epsilon S}{d} \quad (1.1-6)$$

式中 ϵ 为电介质的介电系数;

d 为极板间的距离, 单位为厘米;

S 为极板面积, 单位为平方厘米;

C 为电容量, 单位为微微法。

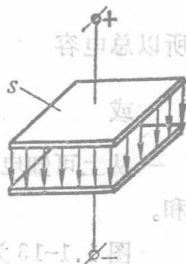


图 1.1-11 平板电容器

由上可知，平板电容器的电容与极板面积成正比，与极板间距离成反比，并且与极板间的介质有关。但电容量的大小与外加电压和电荷量、极板的材料和质量无关。

在实际上，使用电容器有时会遇到容量不够或电压额定值低于所要求，因此必须采用电容器的串联或并联而使用之。

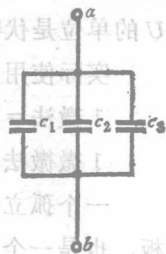


图 1.1-12 为电容器的并联，如 \$a\$、\$b\$ 两端接上直流电压 \$U\$，那么所有电容上电压均为 \$U\$，它们的总电荷等于各电容器电荷的和，如各电容器的电容为：

图 1.1-12 电容器的并联

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{Q_1}{U}, \text{ 即 } Q_1 = C_1 U \\ C_2 &= \frac{Q_2}{U}, \text{ 即 } Q_2 = C_2 U \end{aligned} \right\} \quad (1.1-7)$$

$$C_3 = \frac{Q_3}{U}, \text{ 即 } Q_3 = C_3 U$$

$$\text{则总电量} \quad Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1.1-8)$$

$$\text{所以总电容} \quad C = \frac{Q}{U} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{U} \quad (1.1-9)$$

$$\text{或} \quad C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (1.1-10)$$

从上可知电容器并联时，总电容等于各电容器电容的和。

图 1.1-13 为电容器的串联，当 \$a\$、\$b\$ 两端加直流电压 \$U\$，如果正电荷传给第一个电容器的极板，那么这电容的另一极板上感应出负电荷，而与它连接的第二个电容器的第一个极

板出现正电荷，依次类推，这些极板上出现数值相等而符号相反的电荷，因而从电源得到的电荷只能在电容器电路的最外面的两个极板上，用 Q 表示电源给电容器的电荷量，因此：

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (1.1-11)$$

接成串联的电容器，它们的总电压等于各个电容器的电压之和。

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1.1-12)$$

各电容器的电压与电容器的容量关系如下：

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{Q}{C_2}, \quad U_3 = \frac{Q}{C_3} \quad (1.1-13)$$

所以

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} \quad (1.1-14)$$

总电容

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (1.1-15)$$

从上可知：电容器串联时，总电容的倒数等于各电容器的电容的倒数的和。电容器串联后总电容反而减小，并且比串联电路内的任何一个电容要小。

第二节 直流电路

一 电流

金属导体内的自由电子或电解液内的正负离子，通常都处在不规则的运动状态，因此在任一瞬间通过导体任一截面的电量能相互抵销，即导体内没有电流流过。当导体内的自由电子受电场力的作用后，电子就以一定



图1.1-13 电容器串联

方向，从电位低的一端向电位高的一端移动。在这种情况下，导体的任何截面（在任一瞬间），将有一定的电量通过，也就是说导体内有电流流动。我们规定电流的方向与电子移动的方向是相反的如图 1.2-1 所示。

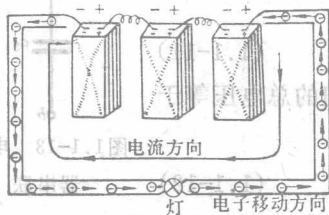


图 1.2-1 导体中电子移动的方向和电流的方向示意图

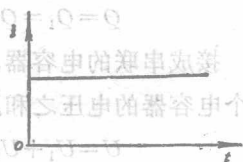


图 1.2-2 直流电流

电流的强弱，用电流强度（简称电流） I 表示。

电流 I 是在单位时间内，通过导体横截面的电量。根据定义：

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.2-1)$$

如果通过导体横截面上电流的方向和大小不随时间的变化而变化，这种电流叫恒定电流，或叫直流电流，如图 1.2-2。

我们规定在 1 秒钟内，通过导体横截面的电量为 1 库伦，则导体内的电流为 1 安培（用字母 A 表示或简称安）。即：

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库伦}}{1 \text{ 秒}}$$

在测量微小电流时，取一安培的千分之一为单位，叫毫安（用字母 mA 表示）。或取一安培的百万分之一为单位，叫微安（用字母 μA 表示）。

流过导线单位截面积的电流叫电流密度。所取的截面积

应与电流方向相垂直。也就是要和导线上的电流强度相垂直。截面积的单位采用平方毫米。

假定电流在导体截面积上分布是均匀的，则：

$$\text{电流密度} = \frac{\text{电流}}{\text{导线截面积}}$$

$$j = \frac{I}{S} \quad (1.2-2)$$

式中 j —— 电流密度，单位为安培/毫米²；
 I —— 导体内电流强度，单位为安培；
 S —— 与导体内电流相垂直的横截面积，单位为平方毫米。

例：在横截面积为 5 平方毫米的导线中，流过电流为 35 安培时，则电流密度为：

$$j = \frac{I}{S} = \frac{35}{5} = 7 \text{ 安培/毫米}^2$$

二 电阻与电导

(一) 电阻

当自由电子在导体中运动时，它们会与导体本身的原子相碰撞，因而损失了一部分能量，也就是说导体内通过电流时，导体对电流有一定的阻力。这阻力叫电阻用符号 R 表示如图 1.2-3 所示。如果电阻的阻值是可变的可变电阻，或电位器，用符号 W 表示。



图 1.2-3 电阻与电位器符号

电阻的单位为欧姆（简称欧），用字母 Ω 表示。当导体两端电压为 1 伏特而导体中的电流为 1 安培时，用

导体的电阻就是 1 欧姆即：

$$1 \text{ 欧姆} = \frac{1 \text{ 伏特}}{1 \text{ 安培}}$$

电阻经常采用两种较大的单位：千欧和兆欧。前者用字母 (KΩ) 表示，后者用字母 (MΩ) 表示。

$$1 \text{ K}\Omega = 10^3 \Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$$

同一种物质对电流的阻力，主要决定于导体的长度和横截面积。如截面积相同时，则导体越长，电阻越大，如长度相同时，则截面积越大，电阻越小。所以电阻与导线长度 L 成正比，而与导线截面积 S 成反比。如图

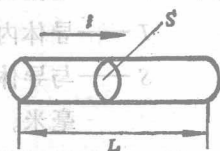


图1.2-4 电阻与长度和截面的关系

1.2-4 所示。即：

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1.2-3)$$

式中 ρ 为电阻系数。

通常给出电阻系数的条件是：

在 +20°C 时，长度为 1 米，横截面积为 1 平方毫米的导线的电阻 ρ 值与材料性质有关，是一个常数。 ρ 的单位：

$$\rho = \frac{\text{欧姆} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$$

(二) 电导

即电阻的倒数。它表示导体通过电流的能力。导体电阻越大，电导越小，说明导体通过电流的能力小。电导的符号用 σ 表示，其单位用 1/欧姆或者叫姆欧。即：