

电子工业工人初级技术教材(六)

电 工

电子工业工人技术教材编写组 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书共分十章：一、电场、电场中的物质；二、简单直流电路；三、复杂直流电路；四、电容器；五、磁场和电磁感应；六、正弦交流电的基本概念；七、正弦交流电路；八、三相交流电；九、变压器和电机；十、简单电工仪表。每章均有习题，书末还附有安全用电知识。

本书是电子工业青、壮年工人培训用教材，也可供具有初中文化水平的干部、工人自学参考。

电子工业工人初级技术教材(六)

电 工

电子工业工人技术教材编写组 编

责任编辑 何美莲

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092¹/₃₂ 印张12 256千字

1987年8月第一版 1987年8月第一次印刷 印数：00,001—13,000册

统一书号：15034·2641 定价1.85元

目 录

第一章	电场、电场中的物质	1
第一节	物质的电结构	1
第二节	库仑定律	4
第三节	电场、电场强度	8
第四节	电位和电位差	12
第五节	电场中的物质	16
第二章	简单直流电路	24
第一节	电路	24
第二节	导体的电阻和电导	29
第三节	欧姆定律	34
第四节	电功和电功率	41
第五节	电阻的联接	47
第六节	常用电阻器	67
第三章	复杂直流电路	78
第一节	基尔霍夫定律	78
第二节	支路电流法和回路电流法	80
第三节	电阻的星形和三角形联接	88
第四节	电桥电路	92
第五节	代文宁定理	97
第六节	电源的联接	102
第七节	电压源、电流源及其等效变换	104
第四章	电容器	119
第一节	电容器、电容	119

第二节	电容器的联接	121
第三节	电容器的充放电	124
第四节	常用电容器	129
第五章	磁场和电磁感应	135
第一节	磁现象和磁场	135
第二节	磁感应强度、导磁系数、磁场强度	140
第三节	铁磁性材料	144
第四节	磁场对电流的作用	151
第五节	电磁感应	157
第六节	自感、互感	166
第七节	线圈的联接	172
第八节	磁路	186
第九节	电磁铁、继电器	189
第六章	正弦交流电的基本概念	199
第一节	正弦交流电	199
第二节	正弦电势的产生	200
第三节	正弦交流电的几个基本物理量	202
第四节	正弦交流电的有效值和平均值	209
第五节	正弦交流电的表示法	210
第六节	正弦量的加减法	215
第七章	正弦交流电路	223
第一节	纯电阻电路	223
第二节	纯电容电路	228
第三节	纯电感电路	234
第四节	电阻、电感、电容串联电路	239
第五节	电阻、电感、电容并联电路	251
第六节	交流电路的功率	258
第七节	交流电路中的实际元件	268
第八节	符号法	270

第八章 三相交流电	294
第一节 三相电势的产生	294
第二节 三相电源的联接	295
第三节 三相负载的联接	300
第四节 三相电路的功率	306
第九章 变压器和电机	311
第一节 变压器的基本结构与原理	311
第二节 几种变压器的简介	319
第三节 电机	323
第十章 简单电工仪表	346
第一节 表头	347
第二节 电压表、电流表	352
第三节 万用表	358
第四节 电度表	369
第五节 兆欧表	370
附录 安全用电知识	375

第一章 电场、电场中的物质

第一节 物质的电结构

一、物质的基本结构

物质是由分子组成，分子是由原子组成，原子虽有许多不同的类型，但都是由原子核和绕核高速运动的电子所组成。原子核由不带电的中子和带正电荷的质子等组成。电是实物的一种属性，由质子、电子的存在所决定。

自然界中只存在两种性质的电荷：一种是电子所带的负电荷，另一种是质子所带的正电荷。

物体所带电荷的多少叫做电量，常用符号 Q 或 q 表示。在国际单位制中，电量的单位是库仑，简称为库，用 C 表示。

电子是最早发现的基本粒子，带负电，电量为 1.602189×10^{-19} 库仑，是电量的最小单元。可记作

$$1 \text{ 电子电量} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ 库仑}$$

$$1 \text{ 库仑} = 6.25 \times 10^{18} \text{ 电子电量}$$

电子常用符号 e 表示，则上述电量关系又可记作

$$e = 1.60 \times 10^{-19} (C)$$

一个质子所带的正电量与一个电子所带的负电量相等。在通常的情况下，原子核内质子的数目与绕核运动的电子数

目相等。这样，整个原子对外并不显示出带电性。物体怎样会显示出带电性呢？如果使物体带有电荷，它便会显示出带电性。使物体带电荷的过程叫做起电。人们早就知道摩擦起电。用丝绸摩擦玻璃棒，玻璃棒会失掉大量的电子，使玻璃棒显示出带正电的特性；或者用毛皮摩擦硬橡胶棒，能使硬橡胶棒获得大量电子，硬橡胶棒就带负电荷。物体带电的过程，就是物体的电子重新分配的过程。

二、物质的导电性

一切物质按其传导电荷的性能来分，可分为导体、绝缘体和半导体三类。

1. 导体

导电性能良好的物体，也就是说电荷很容易通过它转移的物体称为导体。这类物体又可分为第一类导体和第二类导体。

(1) 第一类导体 金属导体和碳，属于第一类导体。在这类导体中，原子有规则地排列成晶体的格式，简称晶格或点阵。在晶体点阵的结点上，排列的是原子核以及与原子核结合较强的内层电子。原子最外层的电子，与原子核结合较弱，容易在晶格间自由移动，这些电子叫做自由电子。在金属导体内部，具有大量的自由电子，如每一立方厘米的铜里，存在大约 8×10^{22} 个自由电子，这就是金属导体容易导电的原因。

由于电子的质量远小于质子及中子，而所有构成不同物质的元素的电子都相同，所以电子移动时，并不引起任何化学变化，也不显示出质量的变化。

(2) 第二类导体 酸、碱、盐溶液统称为电解质。在电解质溶液中存在着正、负离子和中性分子（正离子也称为阳离子，负离子也称为阴离子）。因为正、负离子分别带有正、负电荷，这些离子的移动，也就是电荷在移动，这是第二类导体导电的原因。

不同离子的质量和组成（化学成分）都不相同，所以第二类导体在导电的同时，就有显著的质量变化，并有化学变化。

2. 绝缘体

很难导电或者几乎不能传导电荷的物体叫绝缘体，也叫做电介质，简称为介质[●]。好的绝缘体可以认为实际上是不导电的物体，如玻璃、云母、陶瓷、干燥的空气、石蜡、丝绸、硬橡胶以及多种塑料等。

绝缘体的原子结构有一个特点，就是所有外层电子与原子核都结合得较紧密，在一般情况下，这类物质中的自由电子极少。绝缘性好的介质中，每一立方厘米只有一百个左右的自由电子，所以介质极难导电或者几乎不能导电。如果介质的某一部分由于外界的作用而获得了（或者失去了）一些电子，这些电子几乎不能传到其它部分（或者是其它部分的电子几乎不能传来“补缺”）。因此，介质只能局部带电。

从上述对导体和绝缘体结构的分析可知，它们的导电性能不同，主要在于自由电子多少的不同（第二类导体导电性能不同，主要在于离子的多少），而自由电荷的多少，往往

● 在外界条件相同的情况下，电解质与电介质的导电性能是截然不同的，“解质”与“介质”必须严格区分。

与温度、湿度等客观条件有关。导体与绝缘体之间不存在截然的界限，绝对不导电的物体，实际上是不存在的。

3. 半导体

导电性能介于导体与绝缘体之间的物体称作半导体。常见的半导体有锗、硅、硒、硼及氧化铜等。半导体内自由电子的数目介于导体与绝缘体之间，如每立方厘米锗约有 10^{18} 个自由电子。

第二节 库 仑 定 律

一、带电体的相互作用

物体带电，如果电荷固定在物体上而不移动，叫做静止电荷，或称静电。

从大量的静电现象和实验可以归纳出一个静电学的基本定律：带同种电荷的物体相互排斥，带异种电荷的物体相互吸引。

二、库 仑 定 律

从实验知道，两个带电体之间相互作用的力，与它们所带的电量和它们之间的距离有关，还与电荷周围的介质有关。

法国物理学家库仑总结出点电荷●相互作用力的具体数量关系，这个关系叫做库仑定律，它的具体内容如下：

● 当任意两个带电体的体积与它们之间的距离相比，尺寸要小得多时，可以认为带电体上的电荷集中在一个点上，这样的带电体称为点电荷。

两个点电荷之间的相互作用力的大小与两个点电荷的电量的乘积成正比，与它们之间的距离的平方成反比，作用力的方向在这两个点电荷的连线上。如图 1-1 所示。

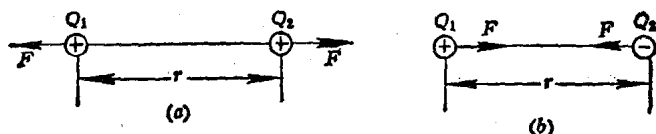


图 1-1

(a) 两个符号相同点电荷之间的作用；(b) 两个符号相反点电荷之间的作用。

如果用 F 表示这两个点电荷之间作用力的大小， Q_1 、 Q_2 分别表示每个点电荷的电量， r 表示它们之间的距离，那么库仑定律可以用数学关系式写成

$$F \propto \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

或

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (1-1)$$

式中“ $\propto$ ”是数学符号“正比于”，式中的 K 是一个比例常量， $K = \frac{1}{4\pi\epsilon}$ ，它的数值决定于所用单位制和电荷周围电介质的性质， ϵ 是电介质的介电系数。在国际单位制中，力的单位是牛顿（用 N 表示），电量的单位是库仑，距离的单位是米，选定了这些单位以后，在真空中这个比例常量为

$$K = 8.98755 \times 10^9 \text{ 牛} \cdot \text{米}^2 / \text{库}^2 \approx 9.0 \times 10^9 \text{ 牛} \cdot \text{米}^2 / \text{库}^2$$

若点电荷在空气中， K 为 $8.93 \times 10^9 \text{ 牛} \cdot \text{米}^2 / \text{库}^2$ 。

如果 Q_1 、 Q_2 带有表示电荷正、负性质的符号，则电荷符号相同时， F 为正值，表示排斥力；电荷符号相反时， F

为负值，表示吸引力。

由库仑定律得出的点电荷之间的相互作用力称为库仑力或静电力，因为这是相对静止的点电荷间的作用力。

如果相互作用的点电荷有两个以上，则每两个点电荷都可以用库仑定律求出它们之间的作用力，任何一个点电荷所受到的合力，等于其它各个点电荷对它的作用力的矢量和。可以利用力的合成法求出。

例 1-1 有两个各带 0.01 库仑正电的点电荷，它们在真空中相距 10 米，求每个点电荷所受的作用力。

解 根据库仑定律：

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{0.01 \times 0.01}{10^2} = 9 \times 10^3 (\text{牛})$$

因计算结果为正值，故 F 是排斥力。

例 1-2 有两个带负电的点电荷， A 电荷的电量是 B 电荷电量的 4 倍。这两个点电荷相距 0.3 米，在它们的连线上放一个电量为 $+q$ 的点电荷，问应该把这个点电荷放在什么位置才能使它获得平衡？

解 因为 A 、 B 两点电荷都是负电荷，点电荷 $+q$ 同时受到它们的引力作用，要使 $+q$ 这个点电荷处于平衡状态，应放在 A 、 B 两点电荷间连线上距 B 电荷 x 米处，如图 1-2 所示。

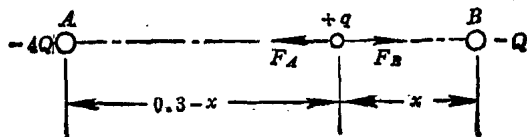


图 1-2

设 B 所带电量为 Q ，则 A 所带电量为 $4Q$ 。根据库仑定

律，点电荷 + q 所受到的作用力大小为

$$F_A = K \frac{4Qq}{(0.3-x)^2}$$

$$F_B = K \frac{Qq}{x^2}$$

要使点电荷 + q 得以平衡，则必须

$$F_A = F_B$$

即

$$K \frac{4Qq}{(0.3-x)^2} = K \frac{Qq}{x^2}$$

整理得

$$4x^2 = (0.3-x)^2$$

解得

$$x = 0.1 \text{ (米)} \quad (x' = -0.3 \text{ 米不合题意})$$

所以点电荷 + q 应在 A 、 B 间连线上距 A 为 0.2 米、距 B 为 0.1 米的位置。只要 A 、 B 电荷同号， q 无论为正或为负，所得结果都相同。

例 1-3 真空中三个电量都等于 2×10^{-8} 库仑的正电荷，位于边长是 10 厘米的等边三角形的三个顶点上。求每个点电荷所受的作用力是多少。

解 设这三个点电荷为 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 ，点电荷 Q_1 、 Q_2 之间的作用力为

$$\begin{aligned} F_{12} &= K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-8} \times 2 \times 10^{-8}}{(0.1)^2} \\ &= 36 \times 10^{-5} \text{ (牛)} \end{aligned}$$

同理 $F_{13} = 36 \times 10^{-5} \text{ (牛)}$ 。

F_{12} 和 F_{13} 的方向如图 1-3 所示，由图可知点电荷 Q_1 所受合力 F_1 和分力的夹角 $\theta = 30^\circ$ ，所以合力

$$\begin{aligned} F_1 &= F_{12} \cos \theta + F_{13} \cos \theta = 36 \times 10^{-5} \cos 30^\circ \\ &\quad + 36 \times 10^{-5} \cos 30^\circ \approx 62 \times 10^{-5} \text{ (牛)} \end{aligned}$$

同理可求得 F_2 、 F_3 。

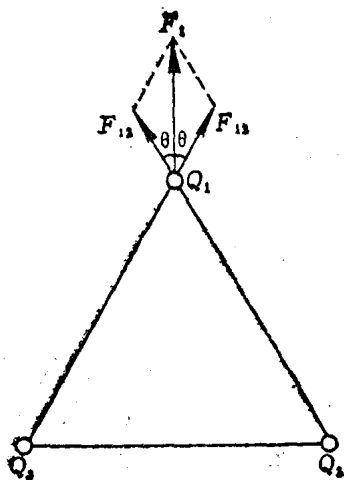


图 1-3

第三节 电场、电场强度

一、电 场

电荷周围存在着一种传递电荷相互作用的物理场，叫做电场。电场对在场中的电荷有力的作用，还能使电荷在场中移动，即电场能够对电荷做功。所以说电场具有能量。虽然电荷周围存在的电场是一种并非由分子、原子组成的特殊物质，但从它所表现的特性来看，说明电场这种物质是客观存在的。观察者与电荷相对静止时，观察到的电场称为“静电场”。

二、电 场 强 度

电场对于场中的电荷有力的作用，为了具体研究电场的这一性质，可以把试验电荷●放入电场中，考察它在不同位置上的受力情况。

设把试验电荷 q 放入正电荷 Q 的电场中，距 Q 为 r 处的一点 A ，如图 1-4 所示，则试验电荷所受的力为

$$F = K \frac{Qq}{r^2}$$

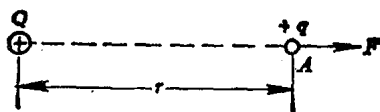


图 1-4

虽然

$$F \propto q$$

但力 F 的大小与试验电荷电量 q 的比

$$\frac{F}{q} = K \frac{Q}{r^2}$$

却是与 q 无关的量，它只取决于形成这一电场的电荷 Q 本身和 A 点在电场中的位置。所以， F/q 可以反映电场中这点的力的性质，称为该点的电场强度，简称为场强，用符号 E 表示

$$E = \frac{F}{q}$$

-
- ① 带有很小正电量的点电荷叫做试验电荷。之所以要点电荷，是因为当把它放入电场中某点而受力时，这个力可以看作是电场中这一点的电场作用力，而试验电荷所带的电量也应该尽量地少，以使得所研究的电场不致于因放入试验电荷而发生显著的变化。

由于力 F 是矢量，所以场强 E 也是矢量。电场中任意一点的电场强度的方向，就是正电荷在该点受到的电场力的方向，简称为该点的电场方向。

由电场强度的定义可知，一个点电荷 Q 周围某点的电场强度

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

或写成

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r^2} \quad (1-3)$$

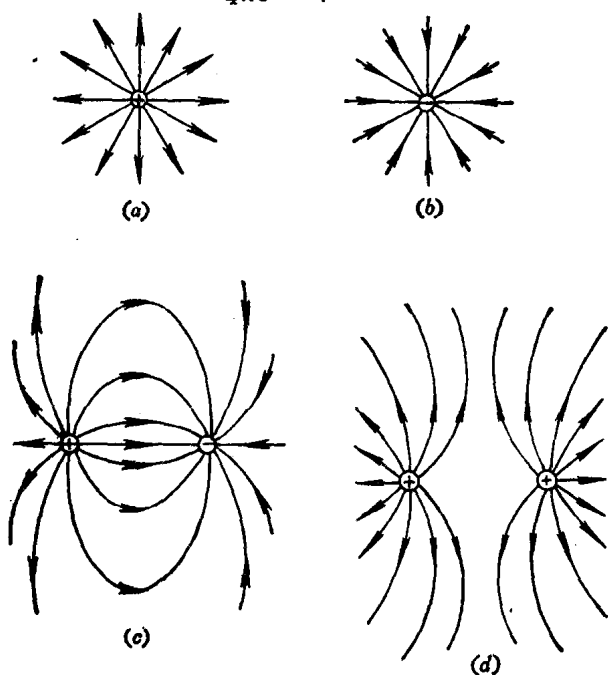


图 1-5

(a) 正电荷的电力线；(b) 负电荷的电力线；(c) 两个等量异性电荷的电力线；(d) 两个等量同性电荷的电力线。

在国际单位制中， F 的单位是牛顿， q 的单位为库仑，因此场强的单位是牛顿/库仑，简写为牛/库（ N/C ）●。

为了研究的方便，可以用假想的电力线形象地描绘电场的分布情况。电力线的疏密表示电场强度的大小，电力线上每一点的切线方向，表示该点的电场强度的方向，图 1-5 表示几种电场的电力线。电力线始于正电荷，终于负电荷；电力线在空间不可能相交，它是不封闭的曲线。

电力线的图形，可以用实验的方法获得。必须注意，电荷周围的电场是立体的，电力线也是空间分布，而不是平面形状的。

三、匀强电场

如果在电场的某一区域里，各点场强的大小和方向都相同，那么在这区域里的电场就叫做匀强电场（也称为均匀电场）。在匀强电场中电力线互相平行，而且电力线的疏密程度也相同。

两块互相平行的金属板，如果带等量异种电荷，而且相距很近，除了边缘部分外，两板之间的电场就是一个匀强电场，如图 1-6 所示。

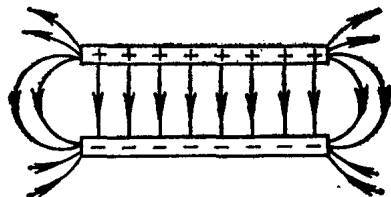


图 1-6

● 场强的实用单位为伏特/米（或毫伏/米，微伏/米）。伏 = 焦/库，将在下节介绍。

第四节 电位和电位差

一、电 位

假设有一个由正点电荷 Q 产生的电场，如图 1-7 所示。

若外力把一个正试验电荷从电场外（理论上是无限远处）移到电场内的任意一点，则外力必须克服电场力而做功，这个功就增加了这个试验电荷在电场中的

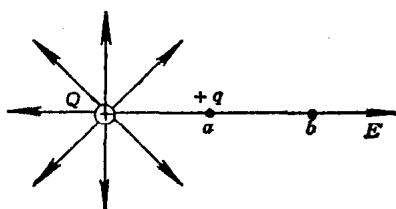


图 1-7

位能。反之，若在电场中某点有一个正试验电荷，则此试验电荷必然受到电场力的作用而移到电场外（如果没有其它阻碍的话），那么电场力对这一试验电荷也一定作了功，试验电荷的位能便要减小。显然，电场力把一个正试验电荷，从电场中某点移到电场外所做的功，外力把同一个正试验电荷，从电场外移到电场内同一点所作的功，这两个功在数值上是一样的。

从理论分析和实验可知：电场力将同一正试验电荷，从电场中不同的点移到电场外所作的功不同；将电量不同的正试验电荷，从电场中同一点移到电场外所作的功，则与试验电荷的电量成正比，并且只与试验电荷的起点和终点有关，而与移动的路径无关。

因此，对于电场中某点来说，电场力将正试验电荷，从这点移到电场外所作的功与试验电荷所带电量之比是一个常