

实用电工

北京第七机床厂编



机械工业出版社

实 用 电 工

北京第七机床厂编

本书包括电工基本理论知识，常用电气设备的基本结构、原理和使用维护方法，简单的电气控制线路及安全用电等内容。本书内容通俗易懂，讲述基本原理和实际应用相结合，可供具有初中水平的电工阅读。

本书是1963年出版的。这次再版由北京第七机床厂对内容作了较全面的修改和补充。

实 用 电 工

北京第七机床厂编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₃₂·印张 10³/₄·字数237千字

1963年中国工业出版社第一版

1974年4月北京新二版·1981年3月北京第七次印刷

印数 1,000,001—1,145,000·定价0.68元

*

统一书号：15033·3614

目 次

第一章 静电	1
§ 1-1 物质结构的电子理论	1
§ 1-2 电场 电场强度	4
§ 1-3 电位 电位差	8
第二章 直流电路	11
§ 2-1 电流的概念	11
§ 2-2 直流电路	13
§ 2-3 电阻	15
§ 2-4 部分电路的欧姆定律	21
§ 2-5 电阻的串联	23
§ 2-6 电阻的并联	26
§ 2-7 电阻的混联	30
§ 2-8 电源的电动势 全电路的欧姆定律	34
§ 2-9 电池组	39
§ 2-10 电流的功和功率	42
§ 2-11 电流的热效应 楞次-焦耳定律	45
§ 2-12 短路	46
§ 2-13 保险丝的选择	48
§ 2-14 导线截面积的选择	53
第三章 电容器	56
§ 3-1 电容器	56
§ 3-2 电容器充电	63
§ 3-3 电容器放电	65

36009

第四章 磁与电磁	68
§4-1 磁的基本现象	68
§4-2 电流的磁场	71
§4-3 磁感应强度 导磁系数	75
§4-4 铁磁物质的磁化	77
§4-5 在磁场里的通电导体	79
第五章 电磁感应	85
§5-1 感应电势的产生	85
§5-2 感应电势的方向 楞次定律	89
§5-3 感应电势的大小	93
§5-4 发电机工作原理	96
§5-5 自感 互感 涡流	98
第六章 单相交流电路	104
§6-1 交流电的概念	104
§6-2 单相交流电的产生	105
§6-3 交流电的相位和相位差	108
§6-4 交流电的有效值	111
§6-5 正弦量的表示法	112
§6-6 交流电路的概念	116
§6-7 纯电阻电路	117
§6-8 纯电感电路	119
§6-9 纯电容电路	125
§6-10 具有电阻与电感串联的交流电路	129
§6-11 电阻、电感与电容串联的交流电路	133
§6-12 电阻、电感串联后和电容并联的交流电路	136
§6-13 提高功率因数的意义及其方法	139
第七章 三相交流电路	146
§7-1 概述	146
§7-2 三相交流电的产生	146

§7-3 发电机绕组的星形连接	149
§7-4 发电机绕组的三角形连接	152
§7-5 负载的连接法	154
§7-6 负载的星形连接和中线的作用	155
§7-7 负载的三角形连接	164
§7-8 三相电功率	169
第八章 变压器	171
§8-1 变压器的作用	171
§8-2 变压器的构造	172
§8-3 变压器的工作原理	176
§8-4 三相变压器	180
§8-5 自耦变压器	181
§8-6 小容量变压器的设计	182
第九章 感应电动机	186
§9-1 感应电动机的构造	186
§9-2 旋转磁场的产生	189
§9-3 感应电动机的工作原理	193
§9-4 三相感应电动机的定子绕组	196
§9-5 感应电动机的起动	202
§9-6 感应电动机的反向和制动	207
第十章 直流电机	211
§10-1 概述	211
§10-2 直流电机的结构	212
§10-3 直流电机的基本原理	215
§10-4 直流电机的电枢绕组	217
§10-5 直流电机的电枢反应	224
§10-6 电流的换向	226
§10-7 直流发电机的分类	230
§10-8 并激发电机	232

§10-9 直流电动机	234
第十一章 整流电路	245
§11-1 整流二极管	245
§11-2 单相整流电路	253
§11-3 三相整流电路	259
第十二章 电力拖动	265
§12-1 电力拖动的一般概念	265
§12-2 选择电动机的一般原则	266
§12-3 手动控制电器	271
§12-4 自动控制电器	275
§12-5 电阻器	282
§12-6 其他电器	283
§12-7 电力拖动自动控制线路	287
第十三章 电气照明	312
§13-1 照明概念	312
§13-2 瓷瓶、瓷夹、木板槽配线	319
第十四章 安全用电	323
§14-1 触电的原因	323
§14-2 保护接地	325
§14-3 保护接中线(又叫保护接零)	329
§14-4 保护用具	331
§14-5 触电解救法	332
§14-6 紧急救护法的运用	333
§14-7 紧急救护中的要则	334
§14-8 人工呼吸法	335

第一章 静 电

§ 1-1 物质结构的电子理论

自然界一切物质,都是由分子组成,分子是由原子组成,而原子又是由带正电的原子核和带负电的电子组成,原子核内包含有带正电的质子和不带电的中子。电子、质子和中子不是组成物质的最小粒子。实验证明,它们是由其他粒子组成更复杂的体系,同时它们具有复杂的相互关系。正如列宁指出的:“电子和原子一样,也是不可穷尽的;自然界是无限的,而且它无限地存在着。”随着科学的发展,人们可以逐步加深对它们的认识。电子在原子核的外面按层分布,并以每秒几十万米的高速围绕原子核不断运动。每个电子所带的负电荷为 1.6×10^{-19} 库仑,每个质子所带的正电荷也是 1.6×10^{-19} 库仑。为了更明确起见,下面研究几种物质在正常状态下的原子结构。

铜原子(图 1-1)。核内有二十九个质子和一定数目的中子,核外有与质子数目相等的二十九个电子。电子作四层分布在原子核的周围:第一层有两个电子,第二层有八个电子,第三层有十八个电子,离原子核最远的第四层只有一个电子。

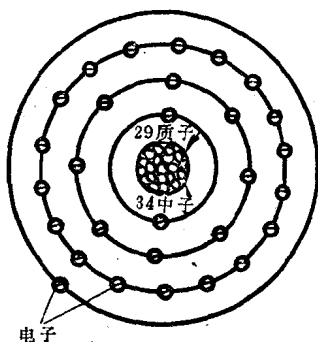


图 1-1 铜原子结构示意图

铝原子(图 1-2)。核内有十三个质子和一定数目的中子,核外有与质子数目相等的十三个电子。电子作三层分布在原子核的周围:第一层有两个电子,第二层有八个电子,远离原子核的第三层只有三个电子。

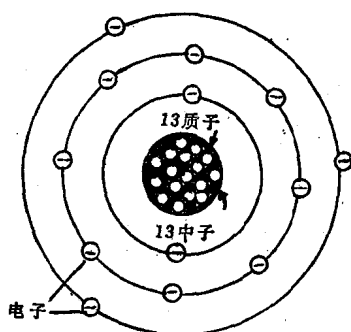


图 1-2 铝原子结构示意图

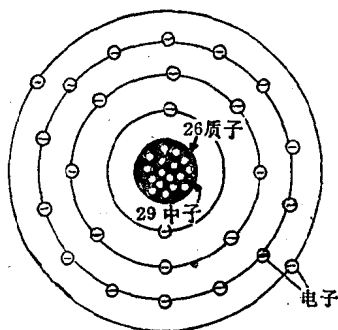


图 1-3 铁原子结构示意图

铁原子(图 1-3)。核内有二十六个质子和一定数目的中子,核外有与质子数目相等的二十六个电子。电子作四层分布在原子核的周围:第一层有两个电子,第二层有八个电子,第三层有十四个电子,离原子核最远的第四层只有两个电子。

在一般情况下,质子的数目等于电子的数目,因此,质子所带正电荷的总和与电子所带负电荷的总和相等,作用也就互相抵消,正负电荷这对矛盾暂时处于平衡状态,物体不显示带电性。这种状态,叫做电的中和。

电荷之间有相互作用力。原子核对靠近的电子吸引力较大,对远离的电子吸引力较小,对最外层的电子吸引力最小。这样,最外层的电子在外因作用下就容易破坏中和状态,脱离自己的原子,进入其他原子。这种可以自由移动的电子叫做自由电子。

两个物体相互摩擦时，一个物体因有一部分原子失去电子；另一个物体得到多余的电子，这两个物体都带电。失去了电子的物体，因正电荷比负电荷多，物体带正电；得到多余电子的物体，因负电荷比正电荷多，物体带负电。

例如胶木棒与毛皮摩擦时，毛皮上的自由电子传给了胶木棒，因而毛皮缺少了电子而带正电，胶木棒有了多余的电子而带负电。

把摩擦后的胶木棒与验电器接触，验电器的锡箔张开，这表明胶木棒带电，如图 1-4 所示。

用手拿着铜棒与其他物体摩擦后同验电器接触，锡箔并不张开，这表明铜棒不带电。

为什么锡箔不张开？这是因为摩擦铜棒时，电荷很快就传到整个铜棒，然后进入人体或经过人体到地上去了。如果铜棒装上玻璃柄再



图 1-4 检验胶木棒带电

摩擦，铜棒就会带电。胶木棒由摩擦而产生的电荷只能停留在发生的地方，不会传到整个胶木棒。

当物体的某一部分得到多余的电子时，这些电子就以自由电子的状态传到其他部分去；当它失去电子时，其他部分的自由电子又跑来补充。这种现象叫做导电现象，这类物体叫做导体，简称导体。溶液和气体是利用正离子和负离子导电。各种金属、酸类和盐类的水溶液、大地和人体都是导体。

有些物体离原子核最远的那层的电子不容易脱离原子核的引力范围，因此，自由电子很少，导电能力很差，这类物体叫做绝缘体。如胶木、玻璃、瓷器、棉纱、丝绸、橡皮、云母等都是绝缘体。

还有些物体，自由电子比导体少得多，但比绝缘体又多一些，或在平常温度下虽不多，但能随着温度升高而增加，导电能力介乎导体和绝缘体之间，这样的物体叫做半导体。如硒、硅、锗、氧化亚铜等都是半导体。

导体、半导体和绝缘体，只能是相对的，不是绝对的，因此，它们之间，没有明显的界限，只是在导电能力上有着大小的差别。

§ 1-2 电场 电场强度



图 1-5 电荷周围的电场

将通草球挂在丝线上，使它带正电或负电，再使具有绝缘柄的金属球也带上同种电荷。把金属球移近通草球，就会发现通草球被推开，如图 1-5 所示。

这个实验说明：带电体周围的空间对电荷有电力作用。在带电体周围具有电力作用的空间称为电场。

电场是电荷形成的。任何电荷周围的空间都存在着电场。

正电荷形成的电场叫正电场。负电荷形成的电场叫负电场。带电体对电场里电荷的作用，不是带电体上的电荷与电场里的电荷的直接作用，而是带电体上的电荷形成的电场对电荷形成的电场相互作用的结果。所以说电场是一种特殊的物质。

电荷在电场里因受电场力的作用而运动的事实，说明电场对电荷作了功。所以说，电场又具有作功的本领。总之，电场有力和能两种性质，这里先谈电场力的性质，下一节再谈电场能的性质。

为了进一步讨论电场中各点的特性，我们做如下的实验（图1-6）： A 球带有正电，在其周围形成电场，在此电场里，放 a 、 b 、 c 、 d 、 e 五个带等量正电荷的小球。首先，在 A 周围移动 b 、 c ，不论它们在 A 的前后还是左右，只要和 A 的距离保持相等，就能看到 b 和 c 的张开角度总是相等的。这现象说明在 A 周围距离相等的各点上，所受电场力的作用是相等的。同理，在稍远一些的地方用 a 、 d 再作试验，可以看出只要 a 、 d 和 A 的距离相等，小球张开的角度，也就相等。但是比较一下 c 、 d 、 e ，却可发现各球的张开角度并不相等，这是因为它们到 A 的距离并不相等。其中 c 球距离 A 最近，所受电场力的作用最大，所以张开角度最大； e 球距离 A 最远，所受电场力的作用最小，所以张开角度最小。这实验说明，电场中各点的性质是并不相同的。当小球所带电量相等时，受作用力大的那些点，电场较强；受作用力小的那些点，电场较弱。

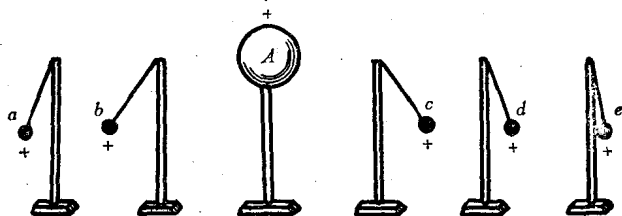


图1-6 电场中各点的电场强度

若把 A 球上的电荷增加1倍、2倍或 n 倍时，各小球所张开的角度，也就分别增加1倍、2倍或 n 倍。这就是说，作用在小球上的电场力也相应地增加了1倍、2倍或 n 倍。为了方便起见，在比较电场中各点的强弱时，就采用使小球上带有单位正电荷在电场中任一点所受的力来判定。显然，单位正电荷所受的力大，表示那个点的电场强，所受的力小，表示那

个点的电场弱。

如果小球所带正电荷的电量为 q (库仑), 在电场的某点上所受的电场力为 F (牛顿), 那么, 单位正电荷在这点所受的电场力 F (牛顿) 与它的电量 q (库仑) 之比叫做电场中某点的电场强度, 简称场强。电场强度用 E 表示。那么

$$E = \frac{F}{q} \text{ (牛顿/库仑)} \quad (1-1)$$

必须指出, 电场强度是表示电场内各点受力性质的一种物理量。它跟小球 a 、 b 、 c 等是否带电荷或带多少电荷没有关系。在上述实验中给小球带了电荷, 是因为这样便于检验或测量电场力的大小。这些小球所带的电荷, 叫做检验电荷。检验电荷必须是电量很小的正电荷, 以免影响原来的电场。

由于电场力是一个矢量, 所以电场强度也是一个矢量。

检验电荷在电场内某点上所受的力的方向就是该点的电场强度的方向。从图 1-7 上看到作用力的矢量 $F_A > F_B > F_C > F_D$, 所以各点的电场强度也是 $E_A > E_B > E_C > E_D$ 。

电场还可以用电力线来表示, 如图 1-8 a 、 b 、 c 、 d 、 e 所示。

电力线是从正电荷出发, 到负电荷终止。它们不相交, 不封闭。

电力线上任意一点的切线方向就是该点的电场强度(或电场)的方向。电场强度的大小是用垂直通过单位面积上的电力线数目来表示,

若垂直通过单位面积上的电力线愈多, 则该点的电场强度愈

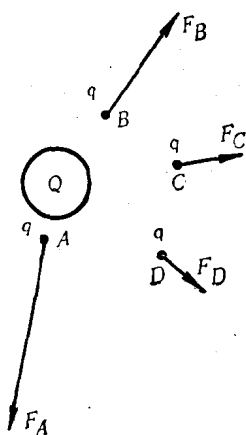


图 1-7 用矢量表示
电场强度

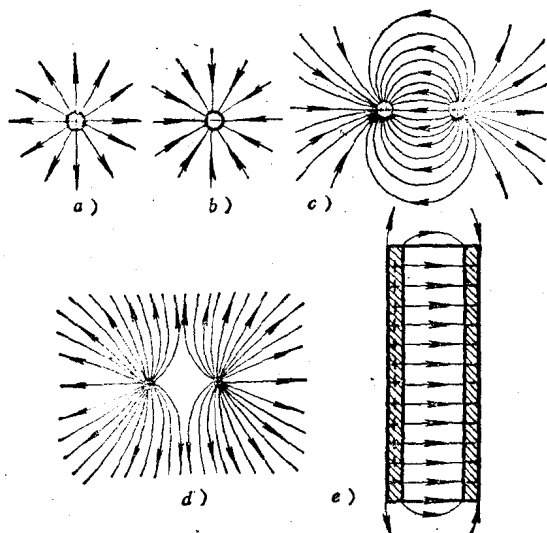


图 1-8 用电力线表示电场

强,反之则越弱。

如果电场中各点的电场强度大小相等方向相同,这样的电场叫做匀强电场,如图 1-8e 所示。在匀强电场中电力线互相平行,而且电力线的密度也到处相等。

利用电力线不仅可以形象地表示出电场中各点的电场强度的方向,还可以表示出电场强度的大小。

电场里的物体,在电场力的作用下,电荷(电子或离子)能自由地在它上面移动,这种物体叫做导体。导体分为两类:利用电子导电的导体叫做第一类导体,如金属;利用离子导电的导体叫做第二类导体,如酸、盐溶液等。

在电场力作用下,电荷不能自由地在物体上移动,只能停留在发生的地方,这种物体叫做绝缘体(或电介质)。如胶木

棒、玻璃等。电介质的绝缘程度只能在一定的电场强度范围内才能保证,如果电场强度过大,就要发生“击穿”现象,即电介质局部被破坏,失掉绝缘作用。

§1-3 电位 电位差

前节讲过,带电体的周围有电场存在,而电场又具有能量。

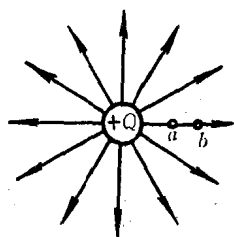


图 1-9 正电荷电场中的电位

如图 1-9 所示,在正电荷 Q 的电场里取 a 、 b 两点,如果要把正电荷 q 从 b 点移到 a 点,就一定要有外力作用到 q 上,来反抗电场力使 q 移动,在 q 移动的过程中,外力所做的功就等于 q 增加的能量。这种能量即位能。

如果电荷 q 在电荷 Q 的电场之外,也就是说电荷 q 距离电荷 Q 为无限远,这时电荷 q 所受电荷 Q 的电场力等于零,我们通常就取这时电荷 q 的位能为零。现在把电荷 q 从电荷 Q 的电场外移到电荷 Q 的电场里的 a 点,这时外力克服电荷 Q 的电场力所作的功就等于电荷 q 在 a 点的位能。

若电荷 q 在 a 点的位能是 A ,那么可以证明,电荷 $2q$ 、 $3q$ 、 $4q$ …… nq 在 a 点的位能分别为 $2A$ 、 $3A$ 、 $4A$ …… nA 。也就是说,放在电荷 Q 电场里 a 点的电荷的位能与电荷的电量之比即

$$\frac{A}{q} = \frac{2A}{2q} = \frac{3A}{3q} = \dots = \frac{nA}{nq}$$

是一个恒量,不随电荷的电量而改变。对于电场中其他各点来说,情形也是这样的。

为了表示电场的这种性质,我们引入电位这个新的物

理量。

放在电场里某点的电荷的位能与它的电量之比，就是电场里那点的电位。

如果用 U 表示电位，用 A 表示电荷 q 的位能，那么

$$U = \frac{A}{q} \quad (1-2)$$

在电场中 a 、 b 两点，设 a 点的电位为 U_a ， b 点的电位为 U_b ，我们把 $U_a - U_b$ 叫做 a 、 b 两点间的电位差，通常也叫做 a 、 b 两点间的电压。

如果用 U 表示 a 、 b 两点间的电位差，就可以写成

$$U = U_a - U_b \quad (1-3)$$

设图 1-9 中， a 点的电位是 U_a ， b 点的电位是 U_b ，电量为 q 库仑的正电荷，在 a 点的位能就是 qU_a ，在 b 点的位能就是 qU_b 。在电场力作用下，电荷 q 从 a 点移到 b 点时，位能的减少是 $q(U_a - U_b)$ ，电场力所作的功是 A 。电场力所作的功应等于电荷 q 减少的位能，即

$$A = q(U_a - U_b) \quad (1-4)$$

由于 $U_a - U_b = U$ ，因此

$$A = qU \quad (1-5)$$

或

$$U = \frac{A}{q} \quad (1-6)$$

在实用单位制中，电位差的单位是伏特。当 1 库仑的电荷，从电场中某点移到另一点，电场力所做的功为 1 焦耳时，这两点间的电位差就是 1 伏特。

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

例 1 正电荷的电量为 0.002 库仑，从电场中的 a 点移

动到 b 点时,所做的功为 0.05 焦耳,试求 a 、 b 两点间的电压。

解 已知 $q=0.002$ 库仑, $A=0.05$ 焦耳,

求 $U=?$

根据公式(1-6)

$$U = \frac{A}{q}$$

所以

$$U = \frac{0.05 \text{ 焦耳}}{0.002 \text{ 库仑}} = 25 \text{ 伏特}$$

答: a 、 b 两点间电压为 25 伏特。

例 2 如果在上题所讲的 a 、 b 两点间移动 0.08 库仑的电荷时,问需作功多少?

解 已知 $q=0.08$ 库仑, $U=25$ 伏特,

求 $A=?$

根据公式(1-5)

$$A = qU$$

所以

$$A = 0.08 \text{ 库仑} \times 25 \text{ 伏特} = 2 \text{ 焦耳}$$

答: 电场作功为 2 焦耳。