

新编实用电工

林虔 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

新 编 实 用 电 工

林 虔 编著

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书是根据我国目前电力的发展以及广大电工和青年学习的需要而编写的。书中除讲解电工和电子技术基础知识外,还分别介绍了常用电工仪表、配电变压器及配电装置、配电线路、低压地埋线路、低压绝缘布线、异步电动机、用电管理和安全用电等方面的基本技术知识。

本书可供具有初中文化水平的电工和电气技术人员阅读,也可供电力技术学校教学参考,还可作为相关专业的培训教材。

新 编 实 用 电 工

林 虔 编著

*

中国水利水电出版社 出版、发行
(原水利电力出版社)

(北京市三里河路6号 100044)

各地新华书店经售

北京金剑照排厂照排

北京密云红光印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 17.875印张 475千字

1994年11月第一版 2001年4月北京第四次印刷

印数 16131—19230册

ISBN 7-80124-268-8/TM·39

(原 ISBN 7-120-02106-0/TM·571)

定价 26.00元

前 言

本书是为了适应电工和广大读者自学电工知识而编写的。本书重于实用，所涉及的内容比较广泛。为了帮助读者理解和掌握电工知识，除力求文字叙述通谷易懂外，书中还列有大量的例题，并附有复习题及答案。

作者特请沈阳农业大学丁毓山教授审阅了本书，提出了许多宝贵的修改意见，在此谨致衷心的感谢。编者还要感谢王鸿琴、孙成宝同志在整理书稿中所作的贡献。

作 者

2001 年 4 月

目 录

前 言

第一章 电路基础知识	1
第一节 电荷	1
第二节 电场	2
第三节 电路的组成和作用	7
第四节 电流、电位、电压和电势	9
复习题	21
第二章 电路的计算	24
第一节 欧姆定律	24
第二节 电路的连接	36
第三节 基尔霍夫定律	46
第四节 电流源、电压源及其变换	54
第五节 等效发电机原理	58
复习题	62
第三章 电与磁	68
第一节 磁场	68
第二节 磁性物质的磁化与磁化曲线	72
第三节 电磁力	76
第四节 电磁感应	79
复习题	90
第四章 单相正弦交流电路	94
第一节 正弦交流电势的产生和表示法	94
第二节 单一参数交流电路	110
第三节 串、并联电路的计算	127
复习题	143
第五章 三相交流电路	150
第一节 三相电势的产生和三相电路的连接	150

第二节	不对称三相电路的概念和三相电路的功率	158
复习题		164
第六章	电子技术基础	168
第一节	常用半导体器件	168
第二节	基本放大电路	191
第三节	各种放大电路与振荡电路	206
第四节	整流电路与稳压电路	222
复习题		231
第七章	常用电工仪表	242
第一节	仪用互感器和钳形表	242
第二节	交流电流和电压的测量	249
第三节	电度表	255
第四节	电功率和功率因数的测量	269
第五节	几种常用的磁电式仪表	274
复习题		288
第八章	配电变压器及配电装置	290
第一节	概述	290
第二节	变压器的构造	292
第三节	变压器的工作原理	299
第四节	变压器的接线方式	302
第五节	变压器容量的选择和安装位置的确定	305
第六节	变压器台	309
第七节	配电变压器的保护	314
第八节	低压配电室及配电装置	323
第九节	变压器的运行	341
第十节	交流电焊变压器	346
复习题		347
第九章	配电线路	349
第一节	架空配电线路概述	349
第二节	电杆的杆型及杆顶结构	350
第三节	架空导线	361
第四节	横担、绝缘子及金具	369

第五节	电杆长度的确定	374
第六节	电杆的拉线	381
第七节	架空线路的施工	385
第八节	两线一地制供电线路	407
第九节	低压配电线路的运行、维护与检修	412
第十节	低压地埋线路	416
复习题		418
第十章	低压绝缘布线	420
第一节	照明、动力线路的组成	420
第二节	绝缘导线的种类及选择	421
第三节	绝缘导线的连接	429
第四节	布线施工	432
第五节	常用照明设备	439
第六节	照明线路的常见故障	445
复习题		446
第十一章	异步电动机	448
第一节	电动机的铭牌	448
第二节	电动机的构造	456
第三节	电动机的工作原理	458
第四节	电动机的起动	466
第五节	电动机常用的控制电路	472
第六节	电动机的安装校正	476
第七节	电动机的起动和运行中的监视	480
第八节	电动机的检修	485
第九节	电动机的定子绕组	491
第十节	电动机绕组的检修	503
复习题		515
第十二章	用电管理	517
第一节	计划用电	517
第二节	营业管理	519
第三节	电价和电费管理	524
第四节	抄、核、收工作与违章用电	530
第五节	营业统计及分析	537

复习题	538
第十三章 安全用电	539
第一节 触电和触电伤害	539
第二节 发生触电事故的原因和预防措施	544
第三节 人身触电紧急救护法	555
复习题	562

第一章 电路基础知识

第一节 电 荷

很早以前人们就发现了摩擦生电这个物理现象。例如,用毛皮摩擦硬橡皮,它们都能吸引很轻的小纸片,这个现象说明这些物体带了电或者说带上了电荷。这种带电的物体叫做带电体。人们经过长期实践了解到,自然界存在着两种性质不同的电荷,即正电荷和负电荷。并且正电荷和负电荷互相吸引,同种的电荷互相排斥。物体摩擦所产生的电,积聚在物体表面静止不动,这种电叫做静电。物体为什么会带电呢?要说明这个问题,必须从物质结构谈起。

实验证明,自然界里的一切物质都是由分子微粒构成的;分子是由更小的原子微粒组成的。而原子是由带正电的原子核(原子核由一些带正电的质子和不带电的中子组成)和带负电的电子所组成。图 1-1 表示铝原子的电结构。“+”号表示正电;“-”号表示负电。原子核带正电,电子带负电,所以电子受原子核的吸引,这种引力就象看不见的带子把电子和原子核连接起来,让电子围绕原子核运行。银、铜或铝等金属的原子最外层的电子和原子核吸得不紧,比较容易脱离原来的运行轨道,在金属的分子或原子之间自由运动,这些电子叫做自由电子。

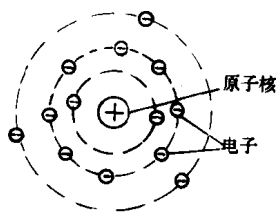


图 1-1 铝原子的电结构
(核外有 13 个电子)

在通常情况下,原子核所带正电的总量,等于核外电子所带负电的总量,物体对外不呈现电的性质(或者说是中性的),这种状态叫做中和。但是,中性物体受外力影响,失去或得到电子时,物体对外界就会呈现出电的性质。物体失去电子时,物体中的正电就会多

于负电,物体对外显示带正电。当物体得到电子时,物体中的负电就会多于正电,对外就显示带负电。毛皮和硬橡皮摩擦后,它们的温度升高,分子和原子的热运动增强,毛皮失去电子,所以带正电;硬橡皮得到电子,所以带负电。

正、负电荷是固有的物质,既不能被创造,也不能被消灭,只能在一定条件下从一个物体转移到另一个物体,这叫做电荷守恒定律。

除了摩擦之外,其它作用也能使物体的正、负电荷分离而带电。例如,干电池借助于化学作用在两个电极上分别聚集正、负电荷。

物体所带的电荷多少叫做电量,电量的单位是库仑,电量用英文字母 Q 表示。电子带有最小的负电荷,质子带有最小的正电荷,它们的电量的绝对值是相等的,测量电子电量的实验指出,一个电子的电量等于 $1.60 \times 10^{-19} \text{C}$ (库[仑])。一库仑约等于 6.24×10^{18} (即 624 亿亿)个电子所带的电量。

第二节 电 场

前面谈到,两个带电体之间有互相排斥或者吸引的作用,它表明两个带电体之间有作用力。可是,两个带电体并没有直接接触,它们之间的作用力是用什么物质作媒介呢?它们之间的相互作用力又是怎么产生的呢?人们在长期实践中认识到,带电体(或电荷)周围存在着一种叫做电场的特殊物质(是一种不依赖于人们的感觉而客观存在的东西),带电体之间的相互作用就是通过电场进行的,电场的最基本的特性是它对放入其中的电荷发生力的作用。例如有甲、乙两个带电体,带电体甲所产生的电场使带电体乙受力,带电体乙所产生的电场使带电体甲受力,于是带电体甲、乙之间产生了作用力。

电场中作用在电荷上的力,叫做电场力。电场力的大小,不仅与带电体所带的电量的多少成正比,而且还与电荷所在处的电场

强弱有关。若电场中某一点的电荷的电量为 Q ，电场施加给它的电场力为 F ，则比值 F/Q 即表示该点电场的强弱。我们把比值 F/Q 叫做电场强度，简称场强，用英文字母 E 表示，即

$$E = \frac{F}{Q} \tag{1-1}$$

电场强度的单位是 N/C 或 V/m 。电场强度既有大小，又有方向（既有大小又有方向的量叫做矢量，也叫向量）。电场强度的方向跟正电荷在该点所受电场力的方向相同，跟负电荷所受电场力的方向相反。

若电场中各点的电场强度的大小和方向都一样，这样的电场叫做均匀电场。

电场是一种看不见的特殊物质，但是我们可以形象地用电力线去描绘它。在电场中从正电荷出发到负电荷终止，可以画出一系列的曲线，若曲线上每一点的切线方向都跟该点的场强方向一致，这些曲线就叫做电力线。电力线上的箭头表示正电荷在该点受的场强的方向。电力线上每一点的切线方向就是该点电场强度的方向。电场强度越大，电力线越密。电场强度越小处，电力线越稀。图 1-2 绘出了几种电场的电力线。图 1-2(a) 是正电

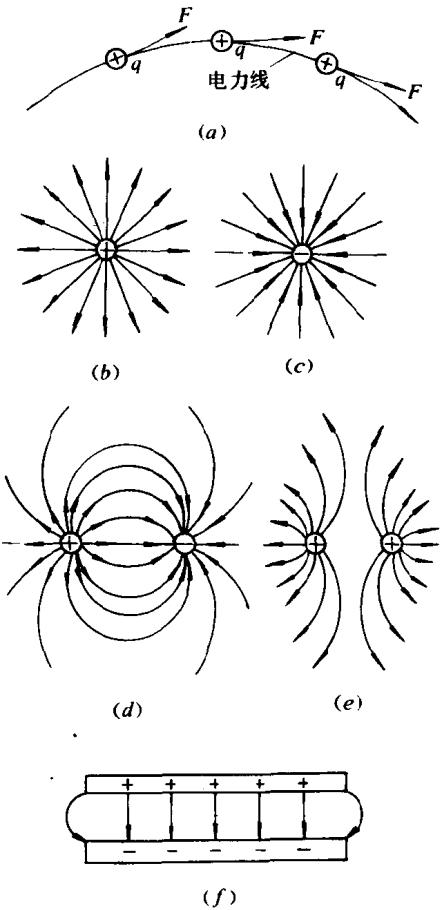


图 1-2 电力线
(a) 电荷受电场力的作用；(b) 正电荷；
(c) 负电荷；(d) 等量异种电荷；
(e) 等量同种电荷；(f) 平行带电板

荷 Q 在电场中受电场力 F 的作用情况, F 的方向是电力线上每一点处的切线方向。图 1-2(b) 是正电荷的电力线, 其方向由电荷向外。图 1-2(c) 是负电荷的电力线, 其方向由外向电荷。图 1-2(d) 是等量异种电荷的电力线, 其方向由正电荷到负电荷。图 1-2(e) 有两个等量正电荷, 电力线由正电荷向外。图 1-2(f) 是两块带异种电荷的平行带电板, 电力线由正电荷到负电荷, 中部电力线是疏密均匀的平行线, 表示这里电场强度的大小和方向相同, 是均匀电场。

电场的功能有很多的表现和应用。如图 1-3 所示, 在带电体电场力的作用下, 会使附近原来中性导体中的自由电子发生移动, 导体表面也会带电; 靠近带电体的一侧带相反符号的电, 远离带电体的一侧带相同符号的电。这种由于带电体的电场的作用使导体的电荷重新分布的现象, 叫做静电感应。在自然界里, 大气中的水点被上升的气流吹动, 分裂成为大小不同的水珠。在快速分离过程中, 大、小水珠会带有不同符号的电(一般大水珠带正电), 并且在不同的地方聚集成为带电的雷云(图 1-4)。由于电荷相互作用的结果, 电荷聚集得越来越多, 电场也越来越强, 这样发展下去, 带正、负电的雷云之间就会发生激烈的放电, 使正、负电荷中和, 这就产生了雷电, 发出强烈的声、光和热。

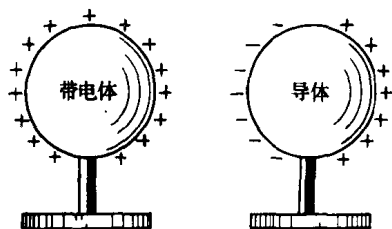


图 1-3 静电感应

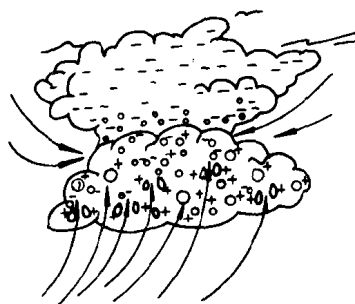


图 1-4 雷云的形成

雷云中聚集的大量的电荷, 它能使地面上的物体感应出大量

异性电荷。如果雷云和地面物体之间的电场太强,就能击穿空气,使正、负电荷中和,形成直接雷击,这种雷叫做直击雷,俗称落雷。雷电的放电时间是极短的,一般只有几十微秒,但它的危害很大。

直击雷具有很大的破坏力,能够损坏建筑物,引起火灾,甚至危害人身安全,因此在变电所、工厂的烟囱和高大建筑物上都安装有避雷针,如图 1-5 所示。为什么安装了避雷针就能避免雷击呢?实验表明,电荷在金属导体表面的分布情况,决定于金属导体表面的形状。由图 1-6 可以看出,金属表面弯曲程度越大的地方,电荷聚集的越密,电场也越强;较平滑的地方,电荷



图 1-5 避雷针

密度较小,附近电场也相应地较弱。

如果金属导体有尖角,在尖端处聚集的电荷密度很大,电场很强,因此尖端附近的空气在强电场的作用下,能分解成为带正负电的微粒(这个现象叫做电离;带正负电的微粒叫做正负离子),发生尖端放电现象。当带电的云层接近避雷针时,避雷针上感应的电荷很多,尖端附近的电场最强,这种电场的畸变,引起雷云对避雷针不断放电(雷云与避雷针的空气间隙被击穿),把雷电引入大地,避雷针附近的电气设备和建筑物才避免了雷击而受到保护。避雷针就是利用金属导

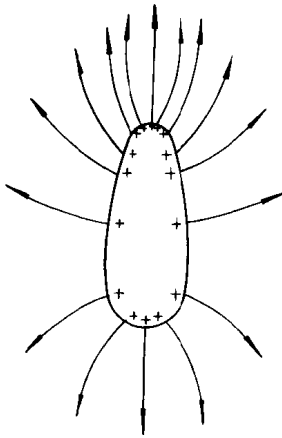


图 1-6 电荷在金属导体表面分布的情况

体尖端放电的原理,实现防雷保护作用的。在高压电气设备的表面如有尖角,也会发生放电现象,因此高压设备的表面都要做得平滑

些,使电场的分布尽可能均匀,防止尖端部分发生放电现象。

我们常看到把一些电器设备尤其是电子仪器放到金属壳内罩起来,有的导线外面还要包一层金属丝网,这样做是为了使内部不受外界电场的干扰,内部的电场不对外界产生影响(这种作用叫做屏蔽作用)。为什么金属能够起静电屏蔽作用呢? 我们知道,金属导体中有比较多的自由电子,它们在电场中受电场力的作用向电场强度的相反方向运动,因而产生附加电场 E_f 。这附加电场与原电场 E_0 方向相反,如图 1-7 所示。当导体内的附加电场与原来电场完全抵消时,此时导体中没有电场了,也没有自由电子的定向移动了,这种现象称为静电平衡。图 1-8 是把一个金属壳放在电场中

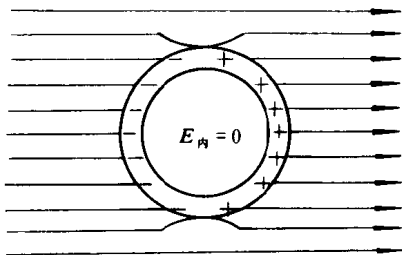
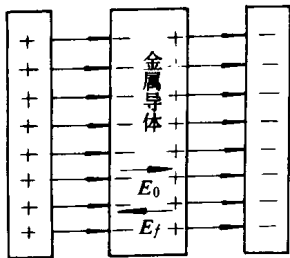


图 1-7 电场中的导体

图 1-8 金属壳内部不受外界电场的干扰

的情况,外电场方向从左向右,金属壳内的电子就要由右向左移动,使金属壳左边带负电荷,右边带同样数量的正电荷。当静电平衡时,壳内没有电场。这个现象就象电力线不能穿到金属壳内部一样,到金属表面就断了,从而起到了屏蔽作用。外电场的电力线不能进入金属壳内,那么金属壳内的电场是不是也不能穿过金属壳影响外面呢? 我们用图 1-9 所示的把带电

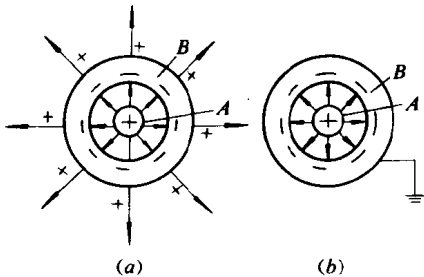


图 1-9 接地的金属壳内的电场对外无影响

(a)金属壳不接地;(b)金属壳接地

体 A 放在金属壳 B 内的两种情况,来作一下具体分析。图 1-9(a) 金属壳不接地,带电体 A 带正电,由于静电感应,金属壳的内外表面都分别带上了正负电荷。外壳表面带有正电荷,壳外就有方向向外的电场,起不到屏蔽作用。如果象图 1-9(b)那样,把金属壳接地,金属壳外表面的电荷和大地的异种电荷经过接地线中和,就能起到屏蔽作用了。可见接地的屏蔽壳可以使外部电场不影响内部,内部电场也不影响外部,实际的屏蔽罩就是这样做的。这种把电场限制在一定区域之外或一定区域之内的措施,称为静电屏蔽。屏蔽罩通常用铝、铜、铁板等金属材料制做。

第三节 电路的组成和作用

引水灌田要有渠道,电流通过要有路径。电流通过的路径称为电路。我们常见的电气设备如电灯、收音机、电动机等,都必须用导线把它们与电源连接起来,构成电路。最简单的电路由一个电源(电池、发电机等)、一个负载(电灯、电动机等)、一个开关以及连通电源与负载的导线四个部分组成。

(1)电源。它是电路中供给电能的设备,它在电路中的作用是将非电能如化学能、光能、机械能等转换为电能。常用的直流电源有干电池、蓄电池、直流发电机等。

(2)负载。用电设备对电源来说就是负载,它在电路中的作用是取用电能,把电能转换成非电能。如电灯是把电能转换成光能,电动机是把电能转换成机械能等。

(3)导线。导线也叫电线,它起着传导电流的作用,把电源的电能输送给负载。常用的导线是用铜和铝做成的。铝线的导电性能不如铜线,机械强度也较差,但铝线的价格较便宜,而且重量仅为铜线的 $1/3$,故铝为目前广泛使用的导线材料。

(4)开关。它是作为接通、切断或作线路转换之用。

另外,有的电路中还装有熔断器(或继电器)作为保护设备。为了随时观察电路的工作情况,还常接入一些电工仪表等。

图 1-10 是手电筒的电路,图 1-10(a)是实物电路图。从图中可以看到:电池的正极(中间炭棒)接电珠灯丝的一端;电珠灯丝的另一端经过电珠螺口和手电筒的铁皮接按钮的一端;电池的负极(底

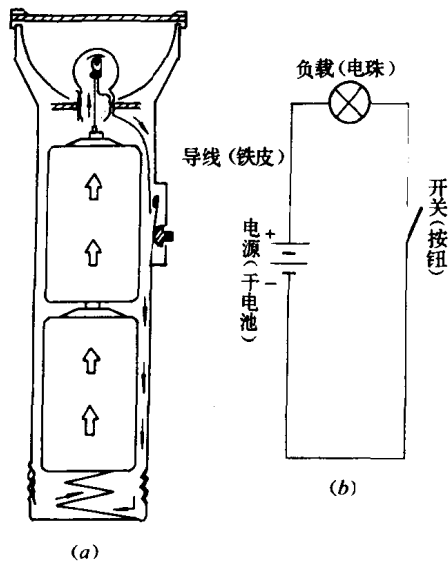


图 1-10 手电筒的电路

(a)实物电路图;(b)电路原理图

部)经过弹簧和铁皮接按钮的另一端。当按下按钮时就构成闭合电路,在干电池的作用下,电流(如图中箭头所示的方向)通过电珠,灯丝就发出光来。这是个简单的直流电路,电流从电源(干电池)的正极出发,经过螺口、导线(铜片和铁皮)、负载(电珠灯丝)、开关(按钮),再回到电源的负极,构成闭合电路,这种电路叫做完全电路。电路已接通的状态叫做闭路或通路;电路未接通的状态叫做开路或断路。通常把电源内的电路叫做内电路,而把导线、开关和负载叫做外电路,外电路中的一部分叫做一段电路。

图 1-10(a)是实物电路图,看起来较清楚,但画起来太麻烦。在工程上为了把电路各个组成部分的电的关系简明突出地表达出来,常把电路的实际结构图简化成电路原理图,用国家规定的电力

系统图形符号表示。图 1-10(b)就是应用电力系统图形符号把图 1-10(a)画成电路原理图的。电路原理图并不反映电路的几何尺寸和各元件的位置形状,但突出表示出电路中各元件的电的关系。根据电路原理图可以很方便地了解电路的连接方法和各元件的作用;便于分析研究问题;便于进行安装、检修和调整工作。

第四节 电流、电位、电压和电势

一、电流的定义和单位

1. 电流的定义

从上述得知:所有原子都是由原子核和电子构成的,每个电子都带有 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 的电量,带有电量的电子称为电荷。电荷在导体中作定向运动称为电流,电流用 I 表示。

要想电子在导体中作定向运动,必须有定向的外力来推动它。

在没有外力作用下,导体 AB 中电子的运动是杂乱无章的,如图 1-11(a)所示。在这种情况下,电子向哪个方向运动的都有,而且向各个方向运动的机会是均等的,流动的作用互相抵消,显现不出电流来。

如果将导体 AB 两侧与直流电源相接,则导体 AB 中的电子受到电源力的作用,促使导体中的电子群向右运动,形成电流。

2. 电流的方向

在导体中电子运动的方向是电流的实际方向,可是在电

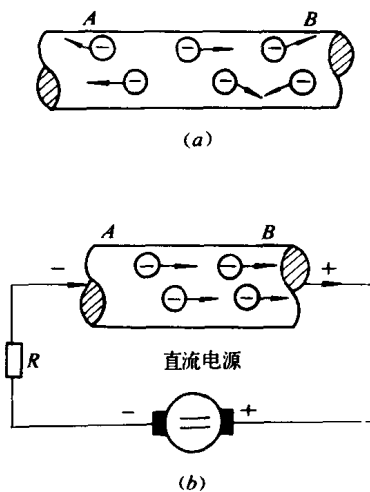


图 1-11

子理论确立之前,工程实际中就已经沿用了正电荷的运动方向为电流方向,如图 1-12 所示。然而,在导体中正电荷是不动的,电子