

“软件蓝领”系列教材

电子电路基础

广东省教学教材研究室 编



广东教育出版社

前 言

中共广东省九届代表会议报告提出,要“推动信息技术在国民经济各行各业各领域的广泛应用,以信息带动工业化,促进现代化,实现生产力的跨越式发展”,要推动信息技术的应用,不仅需要高层次的计算机人才,而且需要大量的“蓝领”人才。2001年上半年,中共广东省委书记李长春提出职业教育要根据市场需求,培养“软件蓝领”。

根据建设信息强省的需要和李长春书记的指示,广东省教育厅于2002年4月颁布了《广东省中等职业学校计算机软件(“软件蓝领”方向)专业课程设置(试行)》。这套“软件蓝领”系列教材是依据该《课程》要求编写的,其中包括《电子电路基础》、《计算机应用基础》、《软件界面设计技术》、《软件开发工具——Visual Basic教程》、《软件开发工具——Delphi教程》、《程序设计基础》、《软件开发工具——Active Server Page教程》、《软件工程技术》、《软件过程管理》、《SQL Server教程》、《Oracle教程》、《实践与案例分析(数据库方向)》、《VC++程序设计》、《JAVA及构件技术》、《实践与案例分析(中间件方向)》、《Lotus Domino/Notes教程》、《MS Exchange教程》、《实践与案例分析(群件方向)》、《软件技术英语(上)》、《软件技术英语(下)》等系列教材。

在本系列教材编写中我们努力做到:

一、以软件企业先进的科技力量为依托,注意与国际接轨,充分适应职业学校推行的学业证书和职业资格证书或国际认证的“双证”制度,突出教材的实用性、先进性、科学性和趣味性。

二、教材力求以“任务驱动”方式去编写,体现计算机软件新版本与实用技术,便于学生学习掌握。

三、注意渗透实践性学习、互助性学习和自主性学习,充分调动学生学习积极性,把能力和技能培养贯穿于始终。

四、专业教材分成多个不同方向,突出“模块”特点,为不同学校根据自己的师资力量与学生就业取向,灵活选择不同专业方向提供方便。

“软件蓝领”系列教材由罗笑南、李冠英任主编。《电子电路基础》由黄经武、赖万松编著。

在教材编写和评审过程中得到中山大学、华南师范大学、广州电子信息学校等院校教授、教师和工程技术人员大力支持,广州中成软件技术培训学院为组织教材的编写和评审做了大量的工作,华南理工大学、暨南大学等院校的教授为本教材出版提供了宝贵的意见,广东教育出版社为本教材的出版做了大量的工作,特此表示感谢。

这次编写“软件蓝领”系列教材毕竟是一个新的尝试,有不完善之处,敬请提出宝贵意见。

编 者

编写说明

计算机的应用使各行各业迅速提高生产效率,促进社会进步,应用计算机的关键是软件,它成为竞争和发展的重要资源。社会对高质量的计算机软件提出了迫切的要求,软件生产需要各层次的软件人才,其中大量的是软件初级技术员(“软件蓝领”)。

计算机软件技术人员必须具备一定的硬件知识,掌握计算机最基本的工作原理,才能更好地使用软件开发计算机的应用功能,而电子电路知识是学习计算机硬、软件不可缺的基础。本书根据广东省教育厅2002年颁布的《广东省中等职业学校计算机软件(“软件蓝领”方向)专业课程设置(试行)》的要求而编写,主要内容为计算机软件初级技术人员在电子电路方面应掌握的基础知识,包括电磁、电路的基础知识,模拟电路的基本知识和数字电路的基本知识。考虑到学习者的实际情况,以低起点开始叙述,并以宽面、浅述以及为后继学习、工作所用所需的原则编写,以利于教与学,使学生切实掌握一些最基本的知识。

本书编写时,注意内容编排循序渐进,文字叙述力求通俗易懂,每章均附有习题和实验,有助于学生掌握该章主要的内容,培养学生动手能力和基本技术,掌握基本的仪器、仪表的使用方法。

本书由中山大学罗笑南教授和华南师范大学李冠英教授任主编,由黄经武、赖万松编写,其中黄经武负责第二、三、四、五章的编写,赖万松负责第一、六、七、八、九章的编写。在教材的编写过程中,广州电子信息学校等院校多位有经验的教师提出宝贵的意见,广州中成软件技术培训学院做了大量工作,在此深表感谢。

本书可作为中等职业技术学校计算机软件专业或相关专业的教材,也可供需要学习电子电路基础知识的技术人员阅读。由于编写时间仓促,作者水平所限,不当之处,恳请批评指正。

编 者

目录

第一章 电磁的基本知识	(1)
§1.1 电场	(1)
§1.2 磁场与磁场对电流的作用	(6)
§1.3 电磁感应	(9)
习题	(11)
实验	(14)
第二章 直流电路	(16)
§2.1 电流 电压	(16)
§2.2 欧姆定律 电阻定律	(19)
§2.3 电功率 焦耳定律	(22)
§2.4 闭合电路欧姆定律	(24)
§2.5 简单电路及其计算	(28)
习题	(33)
实验	(35)
第三章 交流电路	(41)
§3.1 正弦交流电	(41)
§3.2 简单交流电路	(44)
§3.3 三相交流电路	(50)
§3.4 变压器	(53)
§3.5 简单照明电路	(56)
习题	(58)
实验	(60)
第四章 半导体二极管及三极管	(63)
§4.1 半导体二极管	(63)
§4.2 整流电路	(66)

§4.3	滤波电路	(70)
§4.4	晶体三极管 场效应管	(72)
§4.5	三极管基本放大电路	(77)
习题		(83)
实验		(85)
第五章	晶体管放大器	(89)
§5.1	晶体管放大器的基本参数	(89)
§5.2	多级放大器	(91)
§5.3	晶体管直流放大器	(95)
§5.4	运算放大器	(97)
习题		(101)
实验		(103)
第六章	正弦波振荡器	(105)
§6.1	LC 并联电路的选频特性	(105)
§6.2	自激振荡	(106)
§6.3	LC 振荡器的组成与工作原理	(107)
§6.4	RC 串并联网络振荡器	(111)
§6.5	石英晶体振荡器	(113)
习题		(115)
实验		(116)
第七章	基本逻辑电路	(118)
§7.1	数制与二进制数的算术运算	(118)
§7.2	逻辑运算	(121)
§7.3	逻辑函数及其化简法	(123)
§7.4	晶体管基本逻辑电路	(131)
§7.5	TTL 集成门电路	(135)
§7.6	基本时序逻辑电路	(139)
习题		(146)
实验		(148)
第八章	组合逻辑电路	(150)
§8.1	组合逻辑电路的分析与设计	(150)
§8.2	二进加法器	(153)

§8.3 二进制数编码器	(155)
习题	(159)
实验	(159)
第九章 数码寄存器与半导体存储器	(161)
§9.1 数码寄存器	(161)
§9.2 只读存储器 (ROM)	(163)
§9.3 随机存储器 (RAM)	(166)
习题	(168)
实验	(168)
参考文献	(169)

第一章 电磁的基本知识

§1.1 电 场

人类很早就认识了电现象和磁现象。我国在二千多年前就发现了磁铁矿吸引铁的现象，在东汉初期就有带电的琥珀能吸引轻小物体的记载。但是，人类对于电磁现象的系统研究，却是在 16 世纪欧洲文艺复兴时期才逐渐开展起来的，并直到 19 世纪才建立了完整的电磁学理论。

电磁学的发展和应用，对社会生产力和人类进步起到了极大的促进作用。电的生产和利用，是历史上的一次技术革命，使人类进入了电气化时代。近几十年来，微电子学的迅速发展，使人类社会进入了更巨大的变革。电已被广泛应用于工农业生产、交通、通讯、国防、科学研究和日常生活的各个领域，极大地影响着人类的生活。

一、电荷与电荷间的相互作用

1. 电荷

自然界的电荷只有两种：正电荷和负电荷。用毛皮摩擦过的硬橡胶棒所带的电荷是负电荷；用绸布摩擦过的玻璃棒所带的电荷是正电荷。物体的带电过程是电荷的转移过程。分别带有等量的正电荷和负电荷的两个物体相互接触，又会各自恢复到不带电的状态，这叫做电的中和。大量的事实表明：电荷不能创生，也不能消灭，它只能从一个物体转移到另一个物体，或者从物体的一部分转移到另一部分，这个结论叫做电荷守恒定律。它是物理学中重要的基本定律之一。

2. 电荷间的相互作用

电荷之间有相互作用力，同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。然而，这种电荷间的作用力的大小与什么因素有关呢？下面我们就通过实验来研究这个问题。

先把一带正电的物体放在 D 处，然后把一个挂在小木条下端的带电的小球，先后放在 A 、 B 、 C 等位置。如图 1-1 所示。带电小球受到的力的大小，可以通过丝线对竖直方向的偏角大小显示出来。实验表明，带正电小球在 A 、 B 、 C 各点所受到的力依次减小。所以，电荷间的作用力随着电荷间距离的增大而减小。

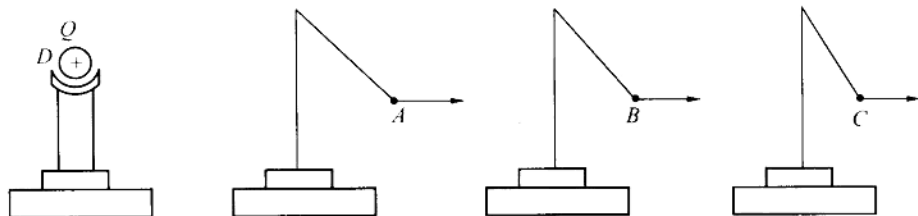


图 1-1

当增大丝线下端带电小球的电量,在同一位置,小球受到的力也增大。所以,电荷间的作用力还随着电荷电量的增大而增大。

一般来说,两个带电体间的作用力的大小,不仅与上述两个因素有关,而且跟带电体的形状和大小都有关系。但是,当带电体间的距离远大于它们自身的尺寸,以致于带电体的形状和大小对相互作用力的影响可以忽略不计时,这样的带电体就可以看成是点电荷。

法国物理学家库仑(1736~1806)通过精确的实验,得到了静止的点电荷间的相互作用力规律——库仑定律。该定律可以表述为:在真空中两个点电荷间的作用力跟它们的电量的乘积成正比,跟它们间的距离的平方成反比,作用力的方向在它们的连线上。电荷间的这种作用力叫做静电力,又叫做库仑力。实验还表明:空气中电荷间的作用力,跟真空中的近似相等。

如果用 Q_1 、 Q_2 表示两个点电荷的电荷量,用 r 表示它们间的距离,用 F 表示它们间的静电力,库仑定律可写成下面公式:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (1-1)$$

式中 k 为比例常量,又叫做静电力常量。

在国际单位制中,电荷量的单位是库仑,简称库,符号是 C。力的单位是用牛(N),距离的单位用米(m),由实验得出

$$k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

一个电子与一个质子所带电荷量的绝对值相等。一个电子所带的电荷量叫做元电荷,用符号 e 表示。

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

任何带电的粒子所带电荷量,或者等于电子或质子的电荷量,或者是它们的电荷量的整数倍。因此,科学家在研究基本粒子时,为方便起见,常用元电荷作为电荷量的单位。

例 1-1 两个电子在真空中相距 10^{-10} m , 电子间的静电力是多大?

解: Q_1 、 Q_2 都取绝对值,根据库仑定律得

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 1.6 \times 10^{-19}}{(10^{-10})^2} \text{ N} = 2.3 \times 10^{-8} \text{ N}$$

电子间的静电力为斥力,是 $2.3 \times 10^{-8} \text{ N}$ 。

二、电场强度与电场线

1. 电场强度

宇航员乘坐宇宙飞船遨游太空,当飞船飞离地球重力场时,宇航员就会失重,可见地球对宇航员的重力作用是通过重力场来实现的。A 电荷对 B 电荷的作用,也是通过特殊的物质构成的场来实现的,这种场叫做电场。只要有电荷存在,在电荷周围就存在着电场。其他电荷所受到的电场力是由电场给予的,这种作用可表示如下:

$$A \text{ 电荷} \longleftrightarrow \text{电场} \longleftrightarrow B \text{ 电荷}$$

假设有一个正电荷 Q 产生的电场,如图 1-2 所示。现利用正的检验电荷 q 对该电场进行研究。检验电荷 q 足够小且所带电荷量和体积也很小,因此可以把检验电荷 q 当做点电荷。当把正的检验电荷 q 先后放在离 Q 远近不同 A 点和 B 点时, q 在这两个点受到的电场力 F_A 和 F_B 不同,这是因为电场中不同点处电场的强弱不同。如果检验电荷 q 在 A 点受到的电场力为 F ,当检验电荷的电荷量增加一倍为 $2q$ 时,检验电荷受到的电场力也增加一倍为 $2F$ 。而电场力的大小与电荷量之比,即 F/q 是个定值,也就是说这个比值跟放入电场中检验电荷的电荷量大小无关,只取决于电场本身。在不同的场中或同一电场中的不同地方,这个比值大小一般是不同的,这个比值反映了电场的强弱,我们给它个名叫电场强度。

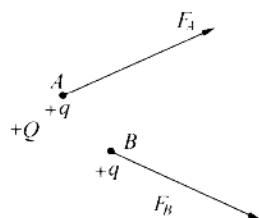


图 1-2

放入电场中某一点的检验电荷受到的电场力与它的电荷量的比值,叫做这一点的电场强度,简称场强,用符号 E 表示,即有

$$E = F/q \quad (1-2)$$

场强是个矢量。我们规定,正电荷在电场中每一点所受到的电场力的方向,就是这一点的电场强度的方向。

在国际单位制中,场强单位是 N/C ,如果 $1 C$ 电荷在电场中某一点所受的电场力是 $1 N$,那么这一点的场强就是 $1 N/C$ 。

由 (1-2) 式可得电荷 q 在电场中所受力可表示为:

$$F = q \cdot E \quad (1-3)$$

根据库仑定律,对于点电荷 Q 的电场,距离点电荷 Q 为 r 的点的场强 E 的大小可表示为

$$E = \frac{kQ}{r^2} \quad (1-4)$$

2. 电场线

为了形象地描述电场中各点场强的强弱和方向,我们引入了电场线的概念,在电场中画出一系列的从正电荷出发到负电荷终止的曲线,使曲线上每一点的切线方向都跟该点的场强方向一致,这些曲线就叫做电场线。

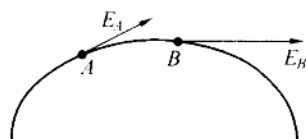


图 1-3

图 1-3 是一条电场线,它上面的 A 、 B 点处的场强 E_A 、 E_B 在各该点的切线上,方向如图中箭头所示。

电场线的形状可以用实验来模拟。把奎宁的针状结晶体悬浮在蓖麻油里,再放入电场中,就可以看到微屑按照场强的方向排列起来,形成电场线。应指出的是,虽然可用实验来模拟电场线,但电场线并不是真实存在的线,而是使电场形象化而假想的线。

下页图 1-4 是几种常见电场的电场线图。从图 (a)、(b)、(c)、(d) 中可以看出,在离产生电场的电荷越近的地方,也就是场强越大的地方,电场线越密。所以,用电场线来表示电场时,场强越大的地方电场线越密,场强越小的地方电场线越稀。

在电场的某一区域里,如果各点的场强的大小和方向相同,这个区域的电场就叫做

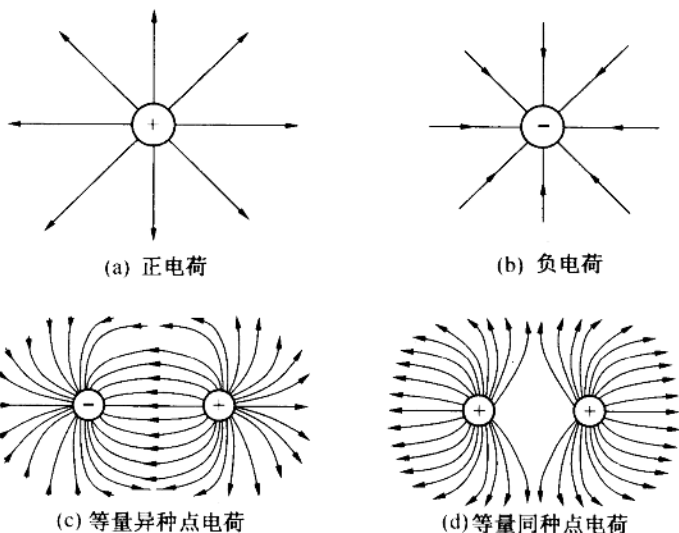


图 1-4

匀强电场。在匀强电场里，既然各点的场强方向都相同，电场线就一定是互相平行的直线；既然各点的场强的大小相同，电力线的疏密程度也一定处处一样。两块靠近的、大小相等的、互相正对且互相平行的金属板，在分别带等量的正电荷和负电荷时，它们间的电场除边缘附近外，就是匀强电场，如图 1-5 所示。

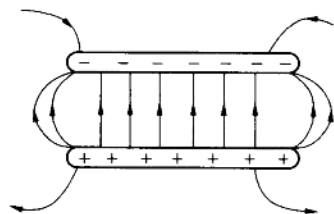


图 1-5

三、电势能、电势差和电势

1. 电势能

凡是地球上的物体都具有重力势能。物体在重力的作用下，从高处落到低处，重力做了功，使物体的重力势能减少，重力所做功的大小等于该物体重力势能的减少量。相反，外力使物体从低处搬到高处时，外力克服重力做功，使物体的重力势能增加。相类似地，电荷在电场中也具有电势能。在图 1-2 中，正的检验电荷 q 在电场力的作用下，会由近到较远处移动，此时，我们说电场力对 q 做了功，使 q 的电势能减少。相反，外力克服电场力做功，使电势能增加。进一步还可推得，检验电荷在任何电场中移动时，电场力所做的功，仅与检验电荷的电荷量大小以及路径的起点和终点的位置有关，而与路径无关。由此可得知，当检验电荷在电场中转一圈回到原出发点，电场力做功为零，检验电荷的电势能也没改变。

2. 电势差（电压）

由上文可知，电场力作用的大小与检验电荷的电荷量有关，且成正比。但是，对于一定的电场中的两点， q 在这两点移动时，电场力所做的功 W ，与 q 电量之比是个确定不变的值，这个不变值，叫做这两点间的电势差 U （又叫电位差），即有 $W/q=U$ 。这个电势差，就是初中学过的电压，在电路中更常叫电压，其单位是伏特（V）。

3. 电势 (电位)

上面讲的电势差,它只能说明两点间的电势差多少及某点电势高,另一点电势低的问题,若电路对很多点进行比较,则用电势差就很不方便了,为此引进了零电势参考点。在电场中常取无穷远或地,在电路里常取机器底板或地作为零电势参考点。电路中某点的电势(又叫电位)等于该点与零电势(电位)参考点之间的电势差(即电位),其单位也是用V表示。

四、电容器和电容

1. 电容器

电容器能够容纳电荷、储存电能,是电气设备中的一种重要元件,在电子技术和电工技术中有很重要的应用。

在两块金属板间夹上一层绝缘物质(也叫做电介质)就是一个最简单的电容器。这两块金属板就是电容器的两个极板。使电容器带电叫做充电,这时总是使它的一个极板带一定量的正电荷,另一个极板带等量的负电荷。把电容器的一个极板接电池正极,另一个极板接电池负极,两个极板就分别带上了等量的异种电荷。电容器的一个极板上所带电荷量的绝对值,叫做电容器的带电量。充了电的电容的两个极板之间有电场,也就是存储有电场能。使充电后的电容器失去电荷叫做放电。用一根导线把电容的两个极板接通,两个极板上的电荷互相中和,电容器就不带电了。放电后的电容器的极板间电场随之消失,电场能也不再存在。

2. 电容

电容器带电的情形与直筒容器装水的情形类似。直筒容器装水的高度随着它所装的水量的增加而增加,并且水量跟水的高度成正比,它们的比值是一个恒量。不同的容器,这个比值一般是不同的。这个比值越大,表示容器储水的本领越大。

电容器带电的时候,它的两个极板之间存在着电势差。对同一个电容器来说,两个极板间的电势差都随着极板所带电荷量的增加而增加,并且电荷量跟电势差成正比,它们的比值也是个常量。不同的电容器,这个比值一般是不同的。为反映这一特性,我们把电容器所带的电荷量跟它的两个极板间的电势差的比值,叫做电容器的电容,用 C 表示。设电容器所带的电荷量为 Q ,它的两个极板间的电压为 U ,那么,电容器的电容

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1-5)$$

在国际单位制里,电容的单位是法拉,简称法,符号是F。一个电容器,如果带1C电荷量时,两个极板间的电压是1V,这个电容器的电容就是1F。1F=1C/V。

法这个单位太大,实际上常用的单位是微法(μF)和皮法(pF)。它们间的换算关系是:

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF} \quad (1-6)$$

在电子产品中,常用电容器的电容从几皮法到几百几千微法的都有。

3. 常用电容器

由实验可知,电容器的电容跟两个极板的正对面积、两个极板的距离以及两个极板

间的电介质有关。增大两个极板的正对面积，电容就增大；减小两个极板间的距离，电容也增大。我们知道了影响电容大小的因素，就可以根据需要制成各种不同的电容器。其实，不一定是两个极板，就是两条导线间也存在电容，不过这个电容量很小罢了。从电容器的构造上看，常用的电容器可分为固定电容器和可变电容器两大类。

可变电容器的电容是可变的，如图 1-6 所示的可变电容器是由两组铝片组成的。固定不变的一组铝片叫做定片，可以转动的一组铝片叫做动片。转动动片，两组铝片的正对面积发生变化，电容也随着改变。

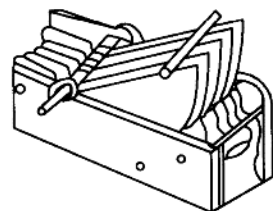


图 1-6

根据所用电介质不同，电容器又可以分为云母电容器、纸质电容器、涤纶电容器、电解质电容器和油质电容器等，如图 1-7 所示。

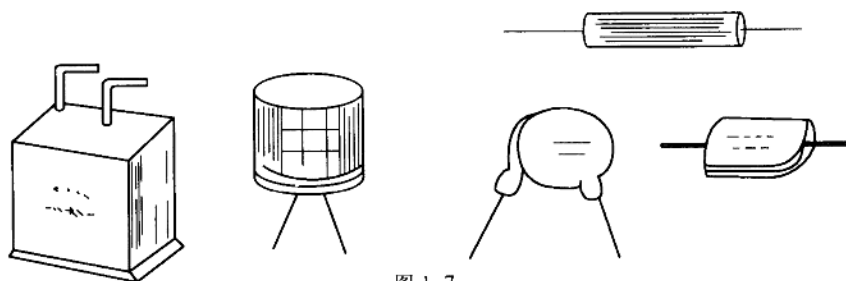


图 1-7

如图 1-8 所示是几种常用的电容器的符号。



图 1-8

加在电容器两极板上的电压不能超过某一限度，超过这个限度，电介质将被击穿，于是电容器损坏，这个极限电压叫做击穿电压。电容器上一般都标明了电容和工作电压值。工作电压比击穿电压要低些。

§1.2 磁场与磁场对电流的作用

一、磁场的基本知识

1. 磁体的磁场

我国劳动人民在二千多年前就发现了某些铁矿石有吸引铁制物体的性质，这种铁矿叫做磁铁矿，又叫做天然磁体。除天然磁体外，条形磁铁、马蹄形磁铁等也是磁体。

一块条形磁铁会吸引许多铁屑，而且磁铁两端吸附的铁屑最多。我们把磁铁具有吸

引铁磁材料的性质叫做磁性。实验表明，任何一块磁铁，不论其大小如何，它的两端磁性最强。磁性最强的两端被称为磁极，一个叫 N 极，另一个叫 S 极。实验还表明，两个磁体互相接近时，它们之间就会相互作用：同名磁极互相排斥，异名磁极互相吸引。此外，磁铁能吸引铁屑等铁磁材料，这些都说明了磁极之间有相互作用力，这种作用力叫做磁力。磁极之间的相互作用是怎样产生的呢？在前面已讲过，在电荷（或带电体）周围的空間存在着一种特殊物质——电场，电荷之间的相互作用是通过电场发生的。同样，磁体的周围也存在着一种特殊物质，这种物质被称为磁场。把任何一个磁体置于磁场中都会受到磁场的作用力，磁体之间的相互作用是磁场对磁体的作用。

2. 磁场方向和磁感线

在条形磁铁的周围的不同位置上放置一些小磁针，可以看到这些小磁针静止时，它的北极（ N 极）会偏到一定方向，而且在不同的位置上，小磁针北极（ N 极）所指的方向是不同的。为了说明磁场的方向，我们规定：磁场中某一点的磁场方向，就是放在这一点的小磁针静止时北极所指的方向。为了形象地描绘出磁场的强弱和方向，可以用假想的几何曲线——磁感线来描述。磁感线总是从 N 极出发，经外部空间进入 S 极，再由 S 极经磁体内部回到 N 极的无头无尾的一系列闭合曲线。磁感线上任一点的切线方向代表该点的磁场方向。用磁感线的疏密可以表示磁场的强弱。如图 1-9 所示为条形磁铁和蹄形磁铁的磁感线分布情况。磁感线与电场线都一样，不是真实存在的线。

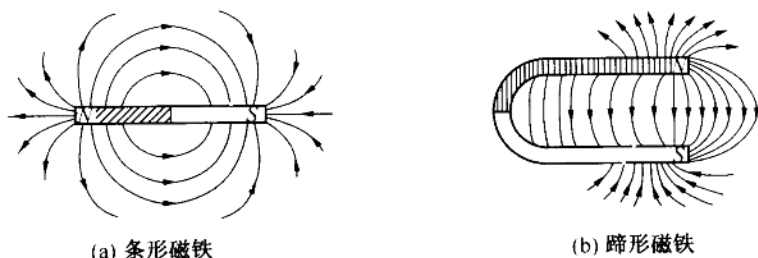


图 1-9

3. 电流的磁场

磁铁并不是磁场的惟一来源。实验证明，在通电的直导线（或通电导线绕成的螺线管）的周围放置小磁针时，小磁针也会受到磁力作用而按一定规律发生偏转。如图 1-10 所示为奥斯特于 1819~1820 年间所做的实验。奥斯特实验可以说具有划时代的意义。此实验的发表改变了人们原来认为电与磁是不相关的观念，并确立了电与磁存在着内在的联系。将直导线

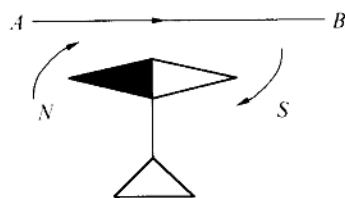


图 1-10

AB 沿南北方向放置，下面放置一个可在水平面内自由转动的小磁针，当导线中没有电流通过时，小磁针在地球磁场的作用下沿南北取向，当导线通过电流的方向是从 $A \rightarrow B$ 时，则从上向下看去，小磁针沿顺时针方向偏转；当电流从 $B \rightarrow A$ 流过时，小磁针沿逆时针方向偏转。这说明通电导线和磁铁一样，其周围也存在着磁场。

载导体周围存在着磁场的现象，叫做电流的磁效应。磁场方向跟电流方向之间的

关系可用安培定则（也叫右手螺旋定则）来判定：用右手握住导线，让伸直的大拇指所指方向跟电流方向一致，那么弯曲的四指所指的方向就是磁场的方向。用磁感线表示时，则是以导线为中心的一组同心圆，如图 1-11 所示。

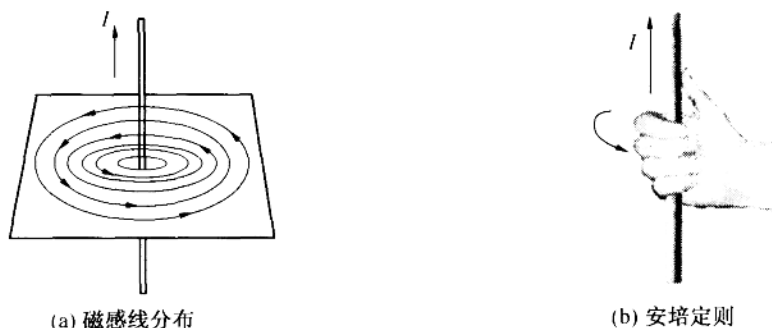


图 1-11

对于通电螺线管表现出来的磁性，很像是一根条形磁铁：一端相当于北极，另一端相当于南极。若改变电流方向，它的南、北极也就对调。其磁场方向跟电流方向之间的关系也可用安培定则来判别，不过与通电直导线的情况相反，此时弯曲的四指指向表示电流方向，而大拇指的指向就表示螺管内部的磁场方向，即螺线管的北极，如图 1-12 所示。

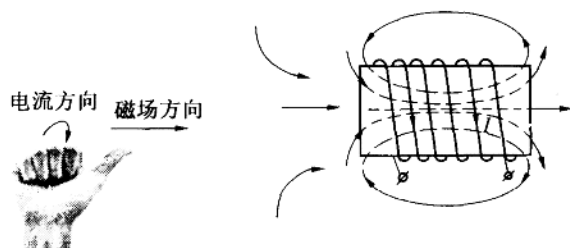


图 1-12

4. 磁通量和磁感应强度

为了能用数量来表示磁场的强弱，我们把通过某一垂直面积为 S 的磁感线数量叫做磁通量，用 Φ 来表示。磁通量的单位是韦伯，简称韦，符号是 Wb 。

表示磁场内各点磁场的强弱和大小的物理量称为磁感应强度，用字母 B 表示。它是个矢量，它的方向就是该点的磁场方向。它的大小可用该点周围垂直通过单位面积中的磁感线根数来表示。若磁场中各点磁感应强度的大小相等、方向一致，则这种磁场叫做匀强磁场。在匀强磁场中

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (1-7)$$

故 B 又被称为磁通密度。 B 的单位是 $\text{韦}/\text{米}^2$ ，即特斯拉，简称特，符号是 T 。磁通量 Φ 是用来描述磁场中某一范围的磁场总体的物理量，磁感应强度 B 则是用来描述磁场中各点的磁场强弱和方向的物理量。

二、磁场对电流的作用

实验表明，通电流的导体在磁场中受到的作用力，称为安培力。通电导体在磁场中所受到的安培力的方向与电流方向和磁场方向有关，三者之间的关系可用左手定则确定，见图 1-13 所示。伸开左手，使大拇指跟其余四指在同一平面内并跟四指垂直，让磁感线垂直穿入手心，使四指指向电流的方向，这时大拇指所指的方向就是通电导线所受安培力的方向。

实验还表明，当通电导线跟磁场方向平行时，磁场对导线的安培力为零。如果通电导线跟磁场方向既不垂直也不平行而是成任一角度，磁场对电流有作用力，但其大小比互相垂直的情形要小些。

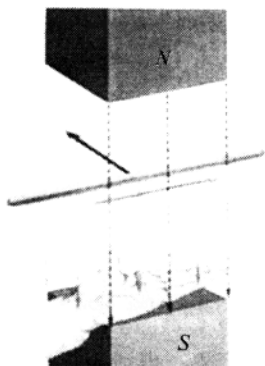


图 1-13 左手定则

§1.3 电磁感应

一、电磁感应现象

奥斯特实验揭示了电流能够产生磁场，反过来，我们是否能利用磁场产生电流呢？不少科学家进行了这方面的探索。英国科学家法拉第经过 10 年坚持不懈的努力，终于在 1831 年发现了利用磁场产生电流的条件。

1. 产生感应电流的条件

如图 1-14 所示，在磁场里悬挂一根直导体 AB ，把导体 AB 的两端分别与电流表的两个接线柱相连接，组成闭合电路。当导体 AB 在磁场中垂直于磁感线的方向向左或向右运动且切割磁感线时，电流表的指针就发生了偏转，这表明电路中产生了电流，这种电流叫做感应电流。当导体 AB 平行于磁感线方向做上、下运动而没切割磁感线时，回路中不会产生感应电流，电流表的指针不偏转。当导体切割磁感线运动时，可说整个闭合回路里磁通量发生了变化（要么增加，要么减小）；当导体不切割磁感线时，闭合回路的磁通量没有发生变化，也没有电流产生。所以上述实验产生感应电流的原因，可归结为闭合回路的磁通量发生了变化。

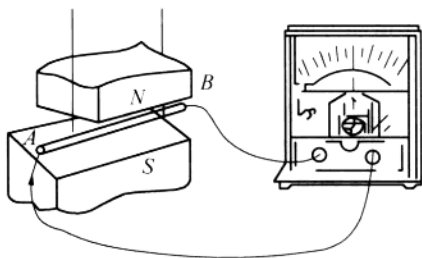


图 1-14

下面再举两个例子也会得出同样的结论。

如下页图 1-15 (a) 所示，在将条形磁铁插入线圈的过程中，磁铁所产生的磁感线在线圈内的条数会增加，即通过线圈的磁通量增加。而当磁铁拔出过程中，线圈内的磁感线条数减少，即穿过线圈的磁通量减少。实验表明，这两种情况下线圈内均有感应电

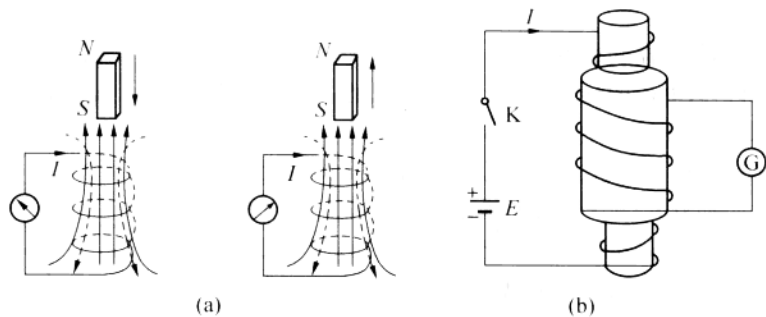


图 1-15

流产生，电流表指针在这两种情况下均会偏转，但转向正好相反。这说明这两种情况下感应电流的方向相反。

如图 1-15 (b) 所示的实验中，当内线圈在通电或断电那一瞬间，在外线圈所组成的闭合回路中会有感应电流产生。当开关 K 合上瞬间，电流从零开始增大，其产生的磁场也自零开始增强，即穿过外线圈的磁通量不断增大；当开关 K 断开瞬间，内线圈的电流突然降低直至零，这时穿过外线圈的磁通量也随之突然变小。可见，只要穿过电路的磁通量发生变化，闭合电路中就会产生感应电流，这就是产生感应电流的条件。

2. 感应电流的方向

导线在磁场中作切割磁感线运动而产生感应电流，其方向与磁场方向、导体运动方向都有关系。它们之间的相互关系可用右手定则来确实，如图 1-16 所示。伸开右手，使大拇指跟其余四指在同一平面内且跟四指垂直，让磁感线垂直穿入手心，使大拇指指向导体运动方向，那么其余四指所指的方向就是感应电流的方向。

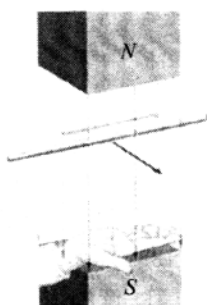


图 1-16 右手定则

二、感应电动势及其大小

在电磁感应现象中，既然闭合电路里有感应电流，那么这个电路中也必定有电动势，这种电动势叫做感应电动势。产生感应电动势的那部分导体就相当于电源。

在电磁感应现象中，不管电路是否闭合，只要穿过电路的磁通量发生变化，电路中就有感应电动势产生。那么，感应电动势的大小跟哪些因素有关呢？

在上述的几个实验中，导体切割磁感线的速度越大，穿过闭合电路的磁通量的变化就越快，感应电动势就越大。条形磁铁在线圈内运动的实验中，条形磁铁运动得越快，穿过螺线管的磁通量的变化就越快，感应电动势越大。在有内、外线圈的实验中，内线圈中的电流变化越快，穿过外线圈的磁通量的变化也越快，产生的感应电动势越大。精确的实验表明：电路中感应电动势的大小，跟穿过这一闭合电路的磁通量的变化率成正比，这就是法拉第电磁感应定律。设 t_1 时刻穿过闭合电路的磁通量为 Φ_1 ， t_2 时刻穿过闭合电路的磁通量为 Φ_2 ，那么，在时间 $\Delta t = t_2 - t_1$ 内磁通量的变化量为 $\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ ，磁通量的变化率为 $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ ，根据法拉第电磁感应定律，闭合电路中的感应电动势大小为

$$\varepsilon = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (1-8)$$

式中的单位, $\Delta \Phi$ 用 Wb, Δt 用 s, ε 用 V。

理论和实践表明, 长度为 l 的导体, 以速度 v 在磁感强度为 B 的匀强磁场中做切割磁感线运动时, 在 B 、 l 、 v 互相垂直的情况下, 如图 1-17 所示。导体中产生的感应电动势的大小为

$$\varepsilon = B \cdot v \cdot l$$

例 1-2 在图 1-17 中, 设匀强磁场的 $B=0.1 \text{ T}$, 导线 AB 的长度 $l=0.4 \text{ m}$, 导线 AB 向右做匀速运动, $v=0.5 \text{ m/s}$, 框架电阻不计, 导体 l 的电阻 $R=0.5 \Omega$, 求:

- (1) 感应电动势的大小和感应电流的大小。
- (2) 感应电流和感应电动势的方向。 (“×” 表示磁感线垂直纸面向里)

解: (1) $\varepsilon = Blv = 0.1 \times 0.4 \times 5 = 0.2 \text{ V}$

$$\text{感应电流 } I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{0.2}{0.5} = 0.4 \text{ A}$$

(2) 由右手定则可知电流沿逆时针方向流动。感应电动势只在导体 AB 中产生, 其方向由 B 指向 A 。 A 端电势 (电位) 高于 B 端。

如图 1-18 所示, 当变化电流通过线圈回路时, 线圈会产生变化的磁通量, 变化的磁通量又穿过线圈本身, 线圈本身也会产生电动势, 这种电动势叫做自感电动势。其大小与电流变化率 $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ 成正比, 与自感系数 L 成正比, 即

$$\varepsilon_L = L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (1-9)$$

式中的单位, L 用 H, Δi 的单位用 A。

自感系数 L 与线圈匝数、线圈体积大小和线圈内的磁介质有关。

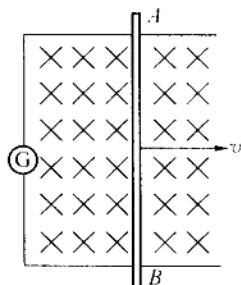


图 1-17

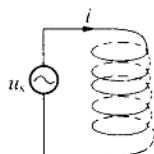


图 1-18



习题

1. 真空中有两个点电荷, 它们间的静电力为 F 。如果保持它们间的距离不变, 将其中之一的电荷量增大为原来的 2 倍, 它们之间作用力的大小等于 ()。

- A. F B. $2F$ C. $\frac{F}{2}$ D. $\frac{F}{4}$

2. 真空中有两个点电荷, 它们间的静电力为 F 。如果保持它们所带的电荷量不变, 将它们之间的距离增大为原来的 2 倍, 它们之间作用力的大小等于 ()。

- A. F B. $2F$ C. $\frac{F}{2}$ D. $\frac{F}{4}$