

中等职业教育规划教材

电工基础

毛路江 陆丽华 陈雷 等编著



化学工业出版社

中等职业教育规划教材

电工基础

毛路江 陆丽华 陈雷 等编著

I. 电... II. 毛... III. 电工学-专业学校-教材

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第097400号

责任编辑：袁晓云
封面设计：关美

责任编辑：袁晓云
封面设计：关美

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）

印 刷：北京云信印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张8 字数190千字 2008年9月北京第1次印刷



化学工业出版社

· 北京 ·

凡购买本书，如有质量问题，本社营销中心负责调换。

为了适应中等职业学校学生基础课的学习课时少的实际情况,本教材以电工基础为主,将物理课和电工基础知识结合起来进行讲解,使物理知识与电工知识相互衔接和渗透。本书内容浅显易懂,适应当今电工电子技术的发展,内容包括电场和磁场、电路的基本概念和基本定律、直流电阻电路、电容与电感、正弦交流电路、变压器、三相交流电路、瞬态过程,同时还适度引入反映电工技术方面比较成熟的新知识、新方法、新工艺和新技术。编写时采用突出弱电、兼顾强电、强弱电知识合一的体系,每章后均有小结和习题,整理本章知识,帮助学生复习巩固所学知识,建立比较完整的知识结构。

本教材主要针对中等职业学校学生编写,可供中等职业学校三年制电子电气、电工类、机电类及其他相关专业使用,也可作为电工技术岗位培训教材。

电工基础

曹淑琴 雷 莉 李丽娟 王 飞

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/毛路江等编著. —北京:化学工业出版社,

2008.7

中等职业教育规划教材

ISBN 978-7-122-03341-3

I. 电… II. 毛… III. 电工学-专业学校-教材

IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第097400号

责任编辑:王听讲 袁俊红

文字编辑:陈 喆

责任校对:顾淑云

装帧设计:关 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张8 字数190千字 2008年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:15.00元

版权所有 违者必究

前 言

该教材紧密结合中等职业教育的特点,主动适应社会实际需要,突出应用性、针对性,加强实践能力的培养。内容叙述力求深入浅出,将知识点和能力点有机结合,注重培养学生的工程应用能力和解决实际问题的能力;内容编排力求简洁、形式新颖、目标明确,利于促进学生的求知欲和学习的主动性。

本教材共分为八章,其主要内容有:电场和磁场、电路的基本概念和基本定律、直流电阻电路、电容与电感、正弦交流电路、变压器、三相交流电路、瞬态过程。

本书在编写过程中,充分考虑中等职业教育层次学生文化基础的实际情况,按照理论联系实际、循序渐进、便于自学和教学的原则编写;教材内容的取舍严格按照“必需”、“够用”、“实用”的原则进行,力求文字叙述简练,通俗易懂,概念清晰;举例结合实际并具有典型性,例题、习题安排合理,以便于学生自学和教师教学。

本书由毛路江担任主编和负责全书的统稿工作,并编写第一、三章;陆丽华编写第六章;陈雷编写第四、七章;陆云云编写第二章;徐云华编写第五章;臧千秋编写第八章。

由于时间仓促,书中难免有不足之处,欢迎广大读者提出宝贵意见。

编 者

2008年6月

第一节 电源与电源电动势	18
一、电源	18
二、电源的电动势	19
第二节 欧姆定律	19
一、电阻与电阻定律	19
二、电阻与温度的关系	21
三、部分电路欧姆定律	21
四、全电路欧姆定律	23
五、电源的外特性	23
六、电阻元件上消耗的功率与功率	24
七、负载获得最大功率的条件	25
第三节 欧姆定律	27
本章小结	28
习题	29
第三章 直流电阻电路	31

目 录

第一章 电场和磁场	1
第一节 电场	1
一、电荷 电荷守恒定律	1
二、库仑定律	1
三、电场 电场强度 电场线	3
第二节 磁场	5
一、磁场 磁感应线	5
二、电流的磁场 安培定则	6
三、磁感应强度 磁通量	7
本章小结	9
习题一	10
第二章 电路的基本概念和基本定律	12
第一节 电路及电路的基本物理量	12
一、电路的基本组成与功能	12
二、电路模型	12
三、电路的工作状态	13
四、电流	13
五、电压	15
六、电位	16
七、电能、电功率	17
第二节 电源与电源电动势	18
一、电源	18
二、电源的电动势	19
第三节 欧姆定律	19
一、电阻与电阻定律	19
二、电阻与温度的关系	21
三、部分电路欧姆定律	21
四、全电路欧姆定律	23
五、电源的外特性	23
六、电阻元件上消耗的能量与功率	24
七、负载获得最大功率的条件	25
第四节 焦耳-楞次定律	27
本章小结	28
习题二	29
第三章 直流电阻电路	31

第一节	电阻串联电路	31
一、	电阻串联电路的特点	31
二、	电阻串联的实际应用	32
第二节	电阻并联电路	33
一、	电阻并联电路的特点	33
二、	电阻并联的实际应用	34
第三节	电阻混联电路	35
第四节	电池的连接	36
一、	相同电池的串联	36
二、	相同电池的并联	36
第五节	电路中各点电位的计算	37
一、	参考点的选择	37
二、	电位的计算	37
第六节	基尔霍夫定律	38
一、	电路结构中的几个名词	38
二、	基尔霍夫电流定律	39
三、	基尔霍夫电压定律	40
第七节	支路电流法	42
一、	支路电流法分析	42
二、	支路电流法解题步骤	43
第八节	电压源与电流源的等效变换	44
一、	电压源	44
二、	电流源	45
三、	电压源与电流源的等效转换	46
第九节	戴维南定理	48
一、	叠加定理	48
二、	二端网络	49
三、	戴维南定理	49
	本章小结	52
	习题三	53
第四章	电容与电感	55
第一节	电容及电容器的基本特征	55
一、	电容器	55
二、	电容	55
三、	电容器的充、放电现象	56
四、	电容元件的伏安关系	57
五、	电容器中的电场能量	57
第二节	电容器的连接方式	58
一、	电容器的串联	58
二、	电容器的并联	60
第三节	电磁感应	61

10	一、电磁感应现象	61
20	二、感应电流的方向及楞次定律	62
30	三、法拉第电磁感应定律	62
30	第四节 电感元件	65
30	一、电感器及其电感	65
30	二、自感现象及自感电动势	66
30	三、电感元件的伏安特性	67
30	四、电感线圈中的磁场能量	68
30	本章小结	69
30	习题四	70
	第五章 正弦交流电路	72
30	第一节 正弦交流电的基本概念	72
101	一、正弦交流电的产生	72
101	二、表征交流电的物理量	73
101	三、交流电的表示方法	76
30	第二节 正弦交流电路及特点	77
101	一、纯电阻电路	78
101	二、纯电感电路	79
101	三、纯电容电路	81
30	第三节 RLC 连接电路	83
111	一、RL 串联电路	83
111	二、RC 串联电路	84
111	三、RLC 串联电路	84
111	四、串联谐振电路	86
30	本章小结	87
30	习题五	88
	第六章 变压器	90
30	第一节 变压器的构造	90
111	一、变压器的作用和用途	90
111	二、变压器的类别	90
111	三、变压器的基本结构	90
30	第二节 变压器的工作原理	91
111	一、变压器变换电压	92
111	二、变压器变换电流	92
111	三、变压器变换阻抗	92
30	第三节 变压器的功率与效率	93
111	一、变压器的功率	93
111	二、变压器的效率	93
30	第四节 几种常见的变压器	94
111	一、自耦变压器	94
111	二、小型电源变压器	94

18	三、电压互感器和电流互感器	94
20	本章小结	95
20	习题六	96
	第七章 三相交流电路	98
21	第一节 三相交流电源	98
22	一、三相交流电的产生	98
28	二、三相对称正弦量	98
28	三、相序	99
29	第二节 三相电源的连接	99
37	一、三相电源的星形连接	99
37	二、三相电源的三角形连接	101
37	第三节 三相负载的连接	102
37	一、三相负载的星形连接	102
37	二、三相负载的三角形连接	103
37	第四节 三相电路的功率	105
37	第五节 安全用电	106
38	本章小结	108
38	习题七	108
	第八章 瞬态过程	110
38	第一节 瞬态过程的基本概念和换路定律	110
38	一、瞬态过程	110
38	二、换路定律	110
38	第二节 RC 电路的瞬态过程	112
38	一、RC 电路的充电过程	112
38	二、RC 电路的放电过程	113
38	第三节 RL 电路的充电过程的瞬态过程	114
39	一、RL 电路接通直流电源	114
39	二、RL 电路切断电源	115
39	第四节 一阶电路的分析	116
39	本章小结	117
39	习题八	118
	参考文献	119
20	.....	55
20	.....	55
20	.....	56
20	.....	57
20	.....	57
20	.....	58
20	.....	58
20	.....	59
20	.....	59
20	.....	60
20	.....	61

第一章 电场和磁场

静电场是静止的电荷在其周围激发的电场。在生活中我们都有过如摩擦起电这样的经验；也有磁铁能吸引铁制的小刀等。本章的内容就是要对这些物理现象进行讨论分析，阐述有关静电场和磁场的基本性质及规律等，为我们今后电工基础的学习打下基础。

第一节 电 场

一、电荷 电荷守恒定律

电荷 自然界中存在两种电荷：正电荷和负电荷。摩擦起电时，用丝绸摩擦过的玻璃棒带正电，用毛皮摩擦过的橡胶棒带负电。电荷之间，同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。验电器就是根据电荷间的这种相互作用而制成的。

电量 物体所带电荷的多少称为电量。电量以符号 Q 或 q 表示。在国际单位制中，电量的单位是库仑，用符号 C 来表示。质子带正电、电子带负电，其电量都是 $1.60 \times 10^{-19} C$ ，这是迄今为止发现的电量最少的电荷，称为基本电荷，又称原电荷，以 e 表示。

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

其他任何带电体所带电量总是基本电荷的整数倍，即

$$q = ne \tag{1-1}$$

式中， n 是正的或负的整数，当物体带正电时 n 取正值，带负电时 n 取负值。

电荷守恒定律 物质由分子、原子组成，原子又由带正电的原子核和带负电的电子组成。一般情况下，原子核所带的正电荷与电子所带的负电荷数量相等，物体对外不显电性。当物体间由于摩擦等原因发生电荷转移时，失去电子的物体就显正电，得到电子的物体就显负电。由此可知，物体的带电过程实际上是电子转移的过程，必须注意到，电子仅仅是发生了转移，并没有产生或消失。

大量事实说明：电荷既不能被创造，也不能被消灭，只能从一个物体转移到另一个物体，或者从一个物体的一部分转移到另一部分，在转移的过程中，电荷的总量不变。这个结论称为电荷守恒定律。这是自然界的重要规律之一。

二、库仑定律

点电荷 一般带电体之间的相互作用比较复杂，它与带电体所带电量、带电体的形状大小、带电体之间的距离以及带电体周围的状况都有关系，本书只讨论点电荷之间的作用规律。

所谓点电荷，就是带电体本身的大小与带电体之间的距离相比可以忽略不计时，可以把带电体看作是一个电量集中于一点的电荷，这样的电荷称为点电荷。

库仑定律 现在我们来研究两个点电荷之间相互作用力的规律。先观察下面的实验，把一个带正电的小球 1 放在 A 处，再把一个挂在丝线下端的带正电的小球 2 先后放在 P_1 , P_2 , ..., P_n 等位置，如图 1-1 所示。球 2 所受电力的大小可通过丝线对竖直方向的偏角的大小显示出来。实验表明，球 2 在 P_1 , P_2 , ..., P_n 各点所受电力依次减小，即电力随电荷间距离的增大而减小。在同一位置改变球 2 的电量，可以看出，电荷间的作用力随电量的增大而增大。

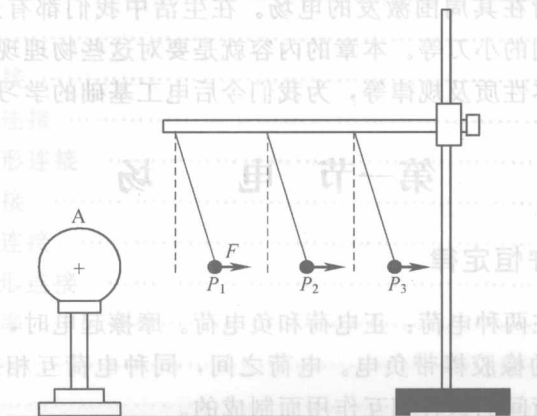


图 1-1 定性讨论库仑定律

法国物理学家库仑，通过精确的实验得到这样的结论：在真空中，两个点电荷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，与它们之间距离的二次方成反比，作用力的方向在两个点电荷的连线上。这就是库仑定律。

如果用 q_1 、 q_2 表示两个点电荷的电量， r 表示它们之间的距离，如图 1-2 所示。

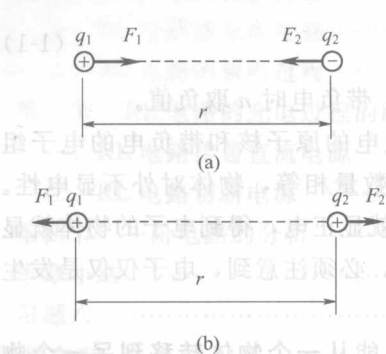


图 1-2 电荷的作用力

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1-2)$$

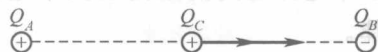
式中， k 是一个比例恒量，称为静电力恒量，它的数值决定于 r 、 q 和 F 所用的单位，在国际单位制中，它们的单位分别是 m (米)、C (库仑) 和 N (牛顿)， k 等于 $9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ 。图 1-2(a) 表示两个异种电荷之间的作用力为吸引力；图 1-2(b) 表示两个同种电荷之间的作用力为排斥力。

在应用式(1-2)时，可以用电量的绝对值代入进行计算，求出力的大小后，再根据电荷的正负来确定力的方向。如果一点电荷同时受几个点电荷的作用，那么它所受到的作用力就等于这几个点电荷分别对它作用的力的矢量和。

【例 1-1】 如图 1-3 所示，真空中两点电荷相距 4cm，带电量分别为 $Q_A = 2.0 \times 10^{-10} \text{ C}$ ， $Q_B = -8.0 \times 10^{-10} \text{ C}$ 。试求：

(1) 两点电荷之间的作用力；

(2) 在两点电荷连线中点处放一电量为 $4.0 \times 10^{-10} \text{ C}$ 的点电荷 Q_C ，求 Q_C 所受到的作用力。



解：已知 $Q_A = 2.0 \times 10^{-10} \text{ C}$ ， $Q_B = -8.0 \times 10^{-10} \text{ C}$ ，图 1-3 真空中的点电荷

$Q_C = 4.0 \times 10^{-10}$, $r_{AB} = 4\text{cm} = 4.0 \times 10^{-2}\text{m}$ 。

求: (1) F ; (2) F_C 。

(1) 由库仑定律有

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

所以 $F = 9.0 \times 10^9 \times \frac{2.0 \times 10^{-10} \times 8.0 \times 10^{-10}}{(4.0 \times 10^{-2})^2} = 9.0 \times 10^{-7} (\text{N})$

F 的方向: 沿两点电荷连线相互吸引。

(2) Q_C 分别受到 Q_A 和 Q_B 的作用力 F_A 和 F_B , 此二力方向相同, 故

$$F_C = F_A + F_B = 9.0 \times 10^9 \times \frac{(2.0 + 8.0) \times 10^{-10} \times 4.0 \times 10^{-10}}{(2.0 \times 10^{-2})^2} = 9.0 \times 10^{-6} (\text{N})$$

F_C 方向: 沿两点电荷连线指向 Q_B 。

答: Q_A 和 Q_B 的吸引力为 $9.0 \times 10^{-7}\text{N}$, Q_C 所受 Q_A 和 Q_B 的合力是 $9.0 \times 10^{-6}\text{N}$ 。

三、电场 电场强度 电场线

电场 电荷间的相互作用并不需要相互的接触, 它们是怎样产生的呢? 通过长期的研究, 人们认识到电荷间存在着一种特殊的物质, 称为电场。电荷间的相互作用就是通过电场产生的。例如: 甲电荷对乙电荷的作用, 就是甲电荷产生的电场对乙电荷的作用; 同样, 乙电荷对甲电荷的作用, 是乙电荷产生的电场对甲电荷的作用。

电场对电荷的作用力称为电场力。本节只讨论静止的电荷产生的电场, 称为静电场。

电场强度 电场最基本的性质就是对放入其中的电荷有作用力。把一个正的检验电荷 q (即电量极小的点电荷) 先后放入正电荷 Q 在真空中形成的电场中的 a 、 b 、 c 、 d 各点, 如图 1-4 所示, 由库仑定律可知, $F = k \frac{Qq}{r^2}$, 检验电荷 q 在电场中不同位置, 受到的电场力大小、方向各不相同。电场力大, 说明那点的电场强; 电场力小, 说明那点的电场弱。

如何表示电场的强弱呢? 把正检验电荷 q 放在电场中 a 点, 它受到的电场力 $F_a = k \frac{Qq}{r^2}$ 。同样将正检验电荷 q' 放在 a 点, 它受到的电场力 $F'_a = k \frac{Qq'}{r^2}$ 。考察检验电荷所受电场力与检验电荷电量的比值, 发现 $\frac{F_a}{q} = \frac{F'_a}{q'} = k \frac{Q}{r^2}$ 。也就是说, 对电场中同一点,

电荷所受电场力大小与电量的比值是一个与放入该点的电荷无关的恒量。对于电场中的不同点, 如 b 、 c 、 d 各点, 该比值的大小一般不同。比值越大的位置, 单位电荷受到的电场力就越大, 电场也就越强。这个结论不仅对正电荷 Q 产生的电场适用, 而且对任何电场都适用。因此, 用上述比值可以表示电场的强弱, 我们定义它为电场强度。

电场强度 电场中某点的检验电荷所受到的电场力 F 与它的电量 q 的比值, 称为该点的电场强度, 简称场强。场强用 E 表示。

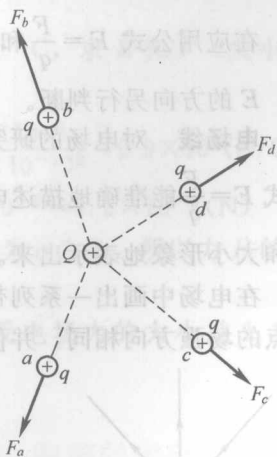


图 1-4 同一检验电荷在电场中不同位置的受力

$$E = \frac{F}{q} \quad (1-3)$$

在国际单位制中，场强的单位是牛顿/库仑，读作牛顿每库仑，符号表示为 N/C。

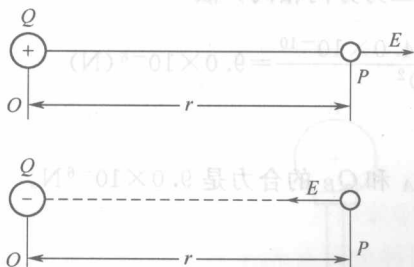
场强是矢量，规定正电荷在某点所受电场力的方向为该点的场强方向。

如果已知某点的场强，可用式(1-4)求得任意电荷在该点受到的电场力大小。

$$F = qE \quad (1-4)$$

根据对场强方向的规定，正电荷在电场中某点受电场力的方向与该点场强方向相同，负电荷受电场力的方向与该点场强方向相反。

点电荷电场的场强 下面由库仑定律和场强定义，推导出点电荷场强的表达式。



场源电荷 Q 置于 O 点，如图 1-5 所示，求距离 Q 为 r 的 P 点的场强。

假设在 P 点放入一个检验电荷 q ，根据库仑定律， q 受电场力大小为 $F = k \frac{Qq}{r^2}$ ，而 P 点的场强为

$$E = \frac{F}{q} = k \frac{Q}{r^2}, \text{ 即}$$

$$E = k \frac{Q}{r^2} \quad (1-5)$$

式(1-5)说明，电场中某点场强 E 与场源电荷 Q 及该点距场源电荷 Q 的距离 r 有关，而与放入该点的电荷无关。

若场源电荷 Q 为正电荷，则 E 的方向沿 OP 连线背离 Q ；若 Q 为负电荷，则 E 的方向沿 OP 连线指向 Q 。

若有几个点电荷同时存在，这时某点的场强就等于各个点电荷单独产生场强的矢量和。

在应用公式 $E = \frac{F}{q}$ 和 $E = k \frac{Q}{r^2}$ 时， Q 、 q 都用绝对值， E 的方向另行判断。

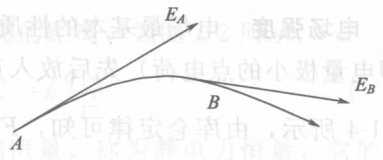


图 1-6 一条电场线

电场线 对电场的研究，重要的是知道电场中各点场强的大小和方向。除了用场强的定义式 $E = \frac{F}{q}$ 能准确地描述电场中各点场强的大小和方向外，还可以用图形将电场中各点的场强和大小形象地表示出来。为此人们引入电场线（或电力线）的概念。

在电场中画出一系列带箭头的曲线，使曲线上每一点处与箭头指向一致的切线方向都和该点的场强方向相同，并使电场中每一点附近曲线的疏密程度都和该点的场强大小成正比，

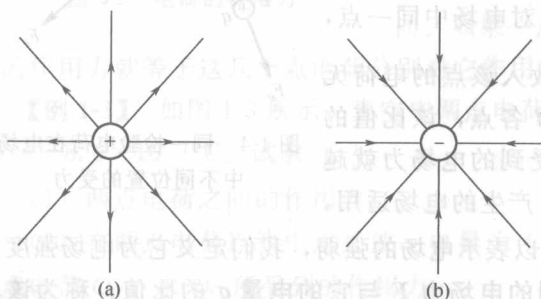


图 1-7 孤立点电荷的电场线

这些曲线称为**电场线**。如图 1-6 所示为电场中的一条电场线。如图 1-7 所示为孤立点电荷的电场线。如图 1-8 所示为等量异种电荷、等量同种电荷的电场线。

由图可知，静电场中的电场线有以下性质：**电场线始于正电荷（或无穷远），终止于负电荷（或无穷远）；它们不闭合、不相交；场强大处电场线密，场强小处电**

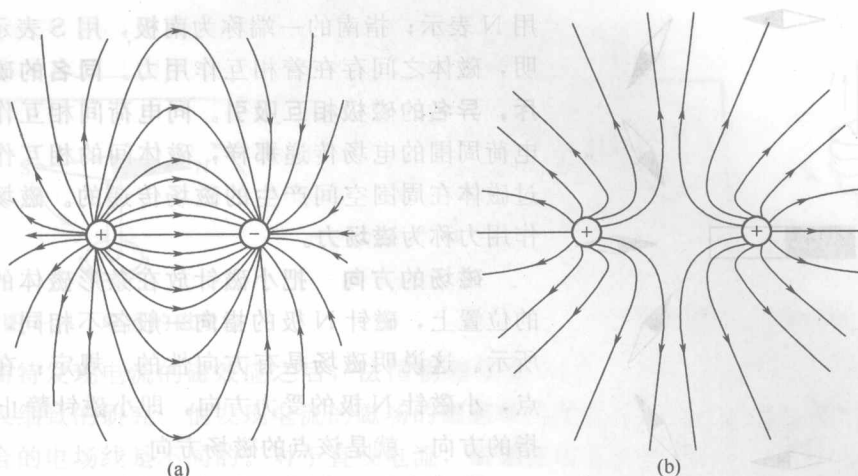


图 1-8 等量异种电荷、等量同种电荷的电场线

场线疏。

匀强电场 在电场的某一区域中，如果各点场强的大小、方向都相同，这个区域的电场就称为匀强电场。匀强电场的电场线是疏密均匀、互相平行的直线。如图 1-9 所示，带等电量异种电荷的平行板之间的电场就是匀强电场，电场线是等距离的平行直线。

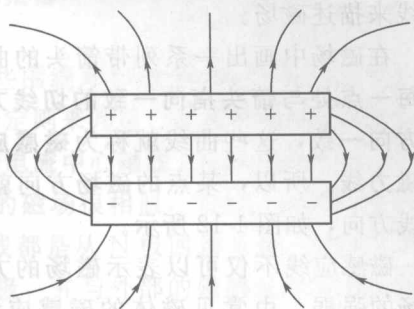


图 1-9 匀强电场

【例 1-2】 在真空中有一点电荷 Q ，所带电量是 $6.6 \times 10^{-9} \text{C}$ ，求距它 10cm 的 P 点的场强。如图 1-10 所示，如果在 P 点放一个电量为 $-2.0 \times 10^{-9} \text{C}$ 的点电荷，求这个点电荷所受电场力的大小和方向。

解： 已知 $Q = 6.6 \times 10^{-9} \text{C}$ ， $r = 1.0 \times 10^{-1} \text{m}$ ， $q = -2.0 \times 10^{-9} \text{C}$ ，求 E 和 F （大小和方向）。



图 1-10 P 点的场强

$$E = k \frac{Q}{r^2} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{6.6 \times 10^{-9}}{(1.0 \times 10^{-1})^2} = 5.9 \times 10^3 \text{ (N/C)}$$

$$F = Eq = 5.9 \times 10^3 \times 2.0 \times 10^{-9} = 1.2 \times 10^{-5} \text{ (N)}$$

因为 Q 为正，所以 P 点的场强 E 的方向为由 Q 指向 P 。又因为 q 为负，所以力 F 的方向与场强 E 的方向相反（图 1-10）。

答： P 点的场强大小是 $5.9 \times 10^3 \text{N/C}$ ，点电荷 q 在该点所受电场力的大小是 $1.2 \times 10^{-5} \text{N}$ 。

第二节 磁 场

一、磁场 磁感应线

磁场 磁体能够吸引铁、钴、镍等磁性材料的这一性质称为磁性。在磁体上总有两处的磁性最强，这两处称作磁体的磁极。如果把磁体做成磁针且磁极在磁针的两端并让其可以水平自由转动，那么当磁针静止后，总有一端指向北而另一端指南。指北的一端称为北极，

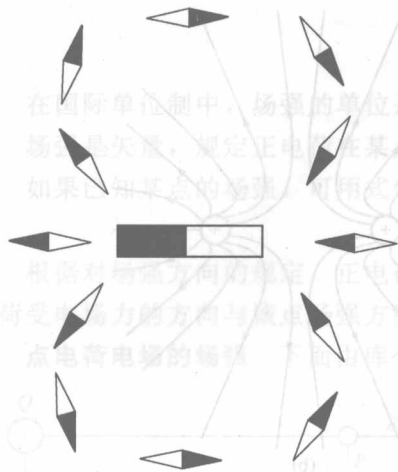


图 1-11 磁场的方向性

磁感应线来描述磁场。

在磁场中画出一系列带箭头的曲线，使这些曲线上每一点处与箭头指向一致的切线方向，与该点的磁场方向一致，这些曲线就称为磁感应线或磁感线，又称磁力线。所以，某点的磁场方向就是该点磁力线的切线方向，如图 1-12 所示。

磁感应线不仅可以表示磁场的方向，还可以表示磁场的强弱。由常见磁体的磁感应线分布（图 1-13）可知：磁极附近磁场强，磁感应线密；距磁极较远处磁场弱，磁感应线疏。在磁体外部，磁感应线是从 N 极指向 S 极；在磁体内部，磁感应线是从 S 极指向 N 极。磁感应线是闭合曲线。此外，磁场中任意两条磁感应线不相交。

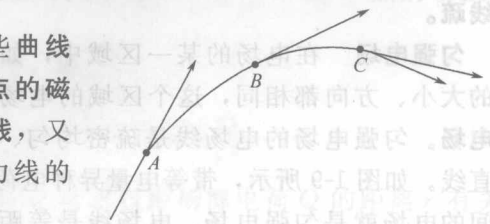
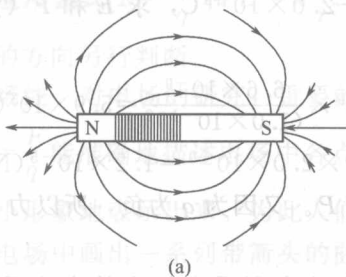


图 1-12 磁感应线

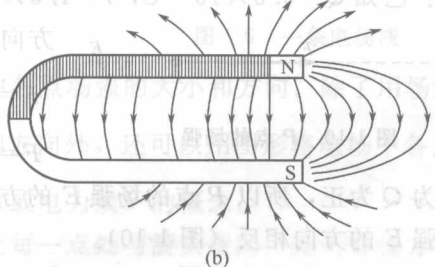


图 1-13 常见磁体的磁感应线分布

二、电流的磁场 安培定则

电流的磁效应 多少年来，人们一直认为电现象和磁现象之间没有什么联系，对物质的磁性本质迷惑不解。1820 年，丹麦物理学家奥斯特（1777~1851 年）给一条水平导线通电时，发现下面的小磁针发生了偏转（图 1-14）。这一偶然的发现，对于长期探索电与磁关系的科学家来说，真是如获至宝。这说明，不仅磁铁可以产生磁场，电流也能产生磁场，电和磁是密切联系的。电流产生磁场的现象称为电流的磁效应。

用 N 表示；指南的一端称为南极，用 S 表示。实验表明，磁体之间存在着相互作用力。同名的磁极相互排斥，异名的磁极相互吸引。同电荷间相互作用是通过电荷周围的电场传递那样，磁体间的相互作用也是通过磁体在周围空间产生的磁场传递的。磁场对磁体的作用力称为磁场力。

磁场的方向 把小磁针放在条形磁体的周围不同的位置上，磁针 N 极的指向一般各不相同，如图 1-11 所示。这说明磁场是有方向性的。规定：在磁场中某点，小磁针 N 极的受力方向，即小磁针静止时 N 极所指的方向，就是该点的磁场方向。

磁感应线 在研究电场的时候，曾用电场线形象地描绘电场。与此类似，在研究磁场时也可以用磁感

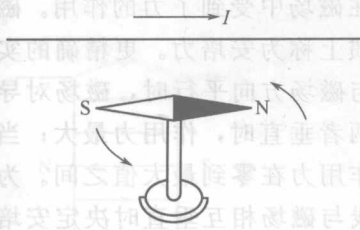


图 1-14 电流的磁效应

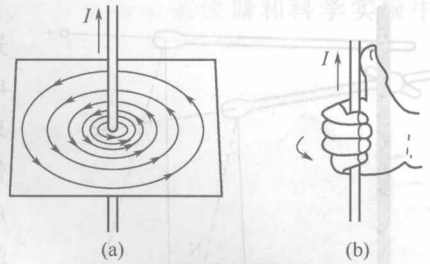


图 1-15 直线电流的磁场

在奥斯特发现电流的磁效应之后，法国物理学家安培（1775~1836年）对电流的磁效应做了深入细致的研究。他发现电流的磁场的磁感应线都是环绕电流的闭合曲线。这与静电场中不闭合的电场线是不同的。对于直线电流，磁感应线在垂直于导线的平面内，是一系列的同心圆 [图 1-15(a)]。电流方向与磁感应线方向服从右手螺旋法则——安培定则。

安培定则 用右手握住导线，使垂直于四指的大拇指指向电流方向，弯曲的四指所指的方向就是磁感应线的方向 [图 1-15 (b)]。

环形电流的磁场如图 1-16 所示，它的磁感线是一些围绕环形导线的闭合曲线。环形电流的方向与它的磁感线方向之间的关系，也可以用安培定则来判定：使右手弯曲的四指指向电流方向，而与四指垂直的拇指所指的方向，就是环形电流中心轴线上磁感应线的方向。

通电螺线管的磁场如图 1-17 所示。它与条形磁体的磁场很相似，它的一端相当于条形磁体的 N 极，另一端相当于 S 极。它们外部的磁感应线都是从 N 极回到 S 极。通电螺线管内部的磁感应线与螺线管平行，方向是由 S 极指向 N 极，并与外部的磁感应线相接，形成闭合曲线。

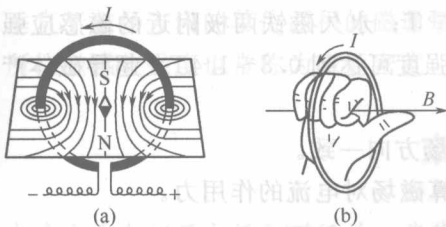


图 1-16 环形电流的磁场



图 1-17 通电螺线管的磁场

通电螺线管的磁感应方向与电流之间的关系，也可以用安培定则来判定：用右手握住螺线管，使弯曲的四指所指的方向与电流的方向一致，那么伸直的大拇指所指的方向，就是螺线管内部磁感应线的方向。

三、磁感应强度 磁通量

磁感应强度 磁场不仅有方向性，而且有强弱的不同。巨大的电磁铁，能够吸引成吨的钢铁。而小磁针只能吸引一些铁屑。那么如何表示磁场的强弱呢？

在研究电场强弱时，我们是从电场对电荷的作用力着手，定义了描述电场强弱的物理量——电场强度。类似地，磁场的主要性质是对电流有力的作用。因此，我们可以根据电流受到的磁场力的情况来表示磁场的强弱。磁场对电流的作用力，可用图 1-18 所示的装置研究。

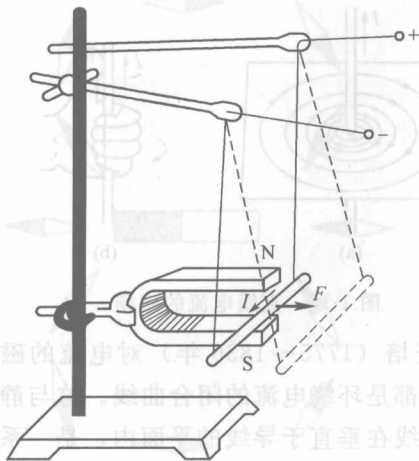


图 1-18 磁场对电流的作用力

实验发现，导线在磁场中通电时发生了运动。这表明通电导线在磁场中受到了力的作用。磁场对电流的作用力习惯上称为安培力。更精确的实验发现，当通电导线与磁场方向平行时，磁场对导线的作用力为零；当两者垂直时，作用力最大；当两者成其他角度时，作用力在零到最大值之间。为简单起见，先研究导线与磁场相互垂直时决定安培力的因素。

实验表明，当导线长度 L 不变时，导线所受安培力 F 与电流强度 I 成正比；当电流强度 I 一定时，导线所受安培力 F 与导线的长度 L 成正比，即通电导线所受安培力 F 与 I 、 L 的乘积成正比，但其比值 F/IL 的大小在磁场的同一位置总是不变的。在不同的

磁场中，或在同一磁场的不同位置，比值一般不同。比值大处，说明一定长度 L 的导线里的电流所受到的安培力 F 就大，即磁场强；比值小处，表示所受到的安培力小，即磁场弱。所以，这个比值可以表示磁场的强弱。在磁场中，垂直于磁场方向的通电导线所受的安培力 F 与电流强度 I 和导线长度 L 的乘积 IL 的比值，称为导线所在处的磁感应强度，用 B 表示。

$$B = \frac{F}{IL} \quad (1-6)$$

在国际单位制中，此感应强度 B 的单位是特斯拉，简称特，其国标符号为 T。

$$1\text{T} = 1\text{N}/(\text{A} \cdot \text{m})$$

地球磁场在地面附近的磁感应强度约为 $5 \times 10^{-5}\text{T}$ ；永久磁铁两极附近的磁感应强度约为 $0.4 \sim 0.7\text{T}$ ；在变压器和电机的铁芯中，磁感应强度可达到 $0.8 \sim 1.4\text{T}$ ；超导磁体产生的磁场可高达十几个特斯拉。

磁感应强度是矢量，规定它的方向与该点的磁场方向一致。

将式(1-6)变换，可得到安培力公式，它可计算磁场对电流的作用力。

$$F = BIL \quad (1-7)$$

如果电流 I 与磁通密度 B 成任一角度 θ 时，如图 1-19 所示，则有

$$F = BIL \sin\theta \quad (1-8)$$

正如电场线的疏密程度可以表示电场的强弱那样，用磁感应线的疏密程度也可以形象地表示磁场强弱。为此规定：磁感应强度在数值上等于穿过垂直于磁场方向的单位面积的磁感应线条数。这样，在磁感应强度大的地方，磁感应线应该密集些，在磁感应强度弱的地方，磁感应线稀疏一些。

匀强磁场 如果磁场的某一区域，各点磁感应强度的大小和方向都相同，则这个区域的磁场就为匀强磁场。匀强磁场的磁感应线是疏密程度均匀且互相平行的直线。

距离很近的两个平行的异名磁极间的磁场 (图 1-20)、通电

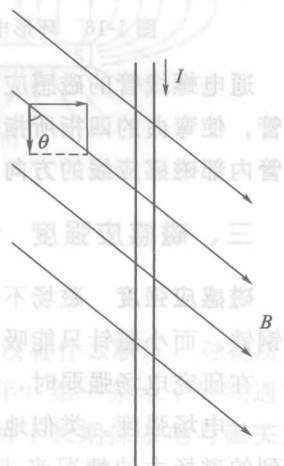


图 1-19 磁通密度的分解

长螺线管内部的磁场，均可视为匀强磁场。匀强磁场在各种电磁仪器和科学实验中常常用到。

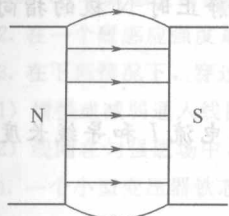


图 1-20 匀强磁场

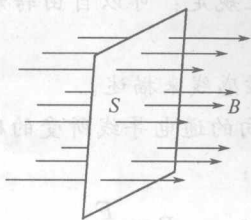


图 1-21 平面与磁场垂直

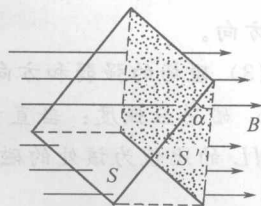


图 1-22 平面与磁场不垂直

磁通量 在电磁学和电工学里，经常要用到磁通量的概念。穿过磁场中某一面积的磁感应线条数，称为穿过该面的磁通量，简称磁通。磁通量常以字母 Φ 表示。

设在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，有一个与磁场方向垂直的平面 S (图 1-21)。因为磁感应强度在数值上等于穿过垂直于磁场方向的单位面积的磁感应线条数，所以穿过面积 S 的磁通量应为

$$\Phi = BS \quad (1-9a)$$

当平面 S 与磁场方向不垂直时 (图 1-22)，穿过面积 S 的磁感应线条数等于穿过该面在垂直于磁场方向上的投影面 S' 的条数。设两个面的夹角为 α ，那么穿过面积 S 的磁通量为：

$$\Phi = BS \cos \alpha \quad (1-9b)$$

如果平面与磁场的方向平行，这时 $\alpha = 90^\circ$ ， $\cos \alpha = 0$ ，穿过该面的磁通量是零。

国际单位制中，磁通量的单位是韦伯，简称韦 (Wb)。

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2$$

垂直于磁场方向的单位面积的磁通量称为磁通密度。因磁感应强度在数值上等于磁通密度，所以磁感应强度也常称为磁通密度，并且用 Wb/m^2 作单位。

本章小结

本章主要介绍了电场和磁场的一些基本概念。

1. 电荷守恒定律：一个与外界无电荷交换的物体系统，内部电荷发生转移时，物体系统总电荷量守恒。

2. 库仑定律：真空中两个点电荷之间相互作用力的大小与它们电量的乘积成正比，与它们之间距离的平方成反比，作用力方向在它们的连线上。其表达式为：

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

3. 电场强度：电场中某点的电场强度等于检验电荷在该点所受电场力与电荷电量的比值。

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

点电荷在电场中某点的场强为：

$$E = k \frac{Q}{r^2}$$