

电子技术培训教材

磁 学 知 识

电子元器件专业技术培训教材编写组



电子工业出版社

内 容 简 介

本书简要地介绍了磁学的基本知识,并利用这些基本知识讨论了如何改善和提高磁性材料的性能。最后介绍了各类磁性材料及器件的应用与展望。

全书包括铁磁性的来源、铁氧体、铁磁物质的技术磁化、软磁材料、永磁体、磁损耗、旋磁性与微波铁氧体器件、矩磁性与磁泡和各类磁性材料的应用等内容。共分十五章,每章后附有思考题。

本书可作为从事磁性材料与器件生产工人的磁学入门书,也可作各级领导了解本行业技术问题的参考书。

磁 学 知 识

电子元器件专业技术培训教材编写组

责任编辑 边 际

*

电子工业出版社发行 (北京市万寿路)
山东电子工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 9 字数: 202千字

1984年8月第1版 1984年10月第1次印刷

印数: 4700册 定价: 1.40元

统一书号: 15290·32

出版说明

为了更好地落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，提高电子工业职工技术素质，按照电子工业部的统一分工，参照部颁《电子工业元器件、机机组件、电表专业工人初级技术理论教学计划、教学大纲》并考虑到企业管理现代化对管理干部的要求，由电子工业部元器件工业管理局组织有关单位编写了《磁学知识》、《铁氧体工艺》、《永磁合金工艺》、《磁性材料及器件测量》、《实用电子陶瓷》（上、下册）、《电阻器与电位器》、《微电机原理及工艺》（上、下册）、《电声器件》、《电子敏感元件》、《继电器技术基础》、《接插件工艺学》、《电容器》、《压电石英晶体及元器件》、《化学电源》（上、下册）和《物理电源》共十八册专业技术培训统编教材。这套教材可作为电子工业工人的技术培训和管理人员的业务进修用书，也可作为技工学校、职业高中的教材和中等专业学校的参考书。

这套教材由董元昌、王乃增、陈兴信、刘联宝、杨臣华、张熙、池玉清、展发详、张志远、丁光未、焦桐顺、王志易等同志组成编委会，负责组稿和技术协调。董元昌同志任主任，王乃增、张志远、丁光未同志任副主任。在编写过程中，我们力求在内容上适合电子工业工人技术培训的需要，文字叙述上简明扼要，通俗易懂。但由于电子元器件和机机组件门类杂，专业多，涉及科学技术知识十分广泛，加之时间仓促，书中难免有不足之处，恳切希望广大读者提出宝贵

意见。

《磁学知识》由西南应用磁学研究所《磁学知识》编写组编写，阚敏同志担任主编，林博、吴安国、何水校参加编写。金宁无线电器材厂岳崇亨同志担任主审。

电子工业部元器件工业管理局
技术培训教材编委会

一九八四年三月

教学说明

编写本书的目的是为从事磁性材料与器件生产的企业提供一本职工技术培训和业务进修用专业基础教材。全书主要阐述铁磁性的基本规律和磁性材料应用的基本原理,既使读者对一些与生产密切相关的基本理论有一个初步的、较为全面的了解,以用于生产实践;又为读者进一步学习专业技术知识,提高专业技术水平打下一个必须具备的理论基础。

在编写过程中,考虑到读者的现有文化水平,而铁磁学本身比较深奥、抽象,因此,力求避免数学推导,只给出一些定性的结果,指出磁性材料的主要性能与哪些因素有关,而不着重于定量分析。有的地方给出一些数据,使读者有一个数量的基本概念。

第一章是电磁学的基本内容,在中学已学过,这里只是复习一下。从第二章到第八章是铁磁学的基本内容,先介绍了磁性的来源和铁磁物质的宏观磁现象,然后引入了四种能量和畴结构理论,再用能量最小原理去讨论技术磁化、反磁化问题,并着重讨论了几个主要磁性参量(磁导率、矫顽力、剩磁等)与磁性物质的基本量(饱和磁化强度、磁晶各向异性常数、磁致伸缩系数等)之间的关系。关于复数磁导率和张量磁导率,超越了初中教学范围,但是如果删去不讲,反而不容易把物质在交变磁场中的磁化及旋磁性讲明白,故仍保留在书中,读者学习时不必纠缠在数学公式上,应着重理解其物理意义。

第九章到第十五章是讲各种磁性材料的应用,由于种类繁多,本书不可能面面俱到,只择要叙述利用磁性材料的原理、方法,使读者了解磁性材料应用的概貌。包括永磁、软磁、微波铁氧体材料与器件、磁性存储器、压磁、磁记录等。最后展望了磁性材料的新应用。

书中有些章节,在目录中加注了“*”号,只要求读者理解其结论,也可以不学。

本书采用国际单位制(SI)规定的电磁单位 MKSA 制,有些地方也同时用了 cgs 制,书未附有两种单位制中的磁学公式、磁学量数值的对照表,以便读者查对。

本书由西南应用磁学研究所负责编写。其中林博编写第一章;吴安国编写第二、三、四、五、六、七、八各章;何水校编写第九、十、十一、十二、十三、十四、十五各章;阙敏通读审定了全文。本书由国营八九八厂岳崇亭进行了审核。由于编者水平有限,肯定有不少缺点和错误,敬请各有关生产、科研、教学单位的读者批评、指正。

《磁学知识》编写组

1983.11.于西南应用磁学研究所

目 录

教学说明

第一章 电磁现象与电磁感应	1
第一节 基本磁现象	1
第二节 磁铁的磁场与电流的磁场	2
第三节 磁铁与电流间的相互作用	5
第四节 运动带电粒子在磁场中所受的力——洛伦兹力	7
第五节 “无限长”载流直导线附近的磁场	10
第六节 磁环流, 安培环路定理	11
第七节 安培环路定理的应用	14
第八节 磁介质的磁化	16
第九节 磁场强度	18
第十节 电磁感应现象	19
第十一节 电磁感应定律	22
第十二节 自感应	25
第十三节 环形线圈电感的计算	27
思考题	28
第二章 磁性来源, 铁磁物质磁化的宏观规律	29
第一节 原子的磁性	29
第二节 铁磁性的来源	37
第三节 铁氧体的晶体结构	40
第四节 铁氧体的磁性	44
第五节 复合铁氧体	45
第六节 铁磁物质的磁化, B 、 H 、 M 之间的关系	48
第七节 磁化曲线和磁化率、磁导率	50

第八节 磁路定理.....	53
思考题.....	57
第三章 铁磁物质内的几种能量、磁畴结构.....	59
第一节 磁场对磁矩的作用.....	59
第二节 磁晶各向异性.....	61
第三节 磁致伸缩和磁弹性能.....	65
第四节 原子间的交换作用及交换能.....	67
第五节 磁畴和畴壁.....	68
第六节 各种磁畴.....	72
第七节 单畴颗粒.....	77
思考题.....	78
第四章 技术磁化.....	79
第一节 技术磁化的两个基本过程.....	79
第二节 磁滞, 磁滞回线.....	80
第三节 可逆磁化过程与起始磁导率.....	81
第四节 提高软磁材料 μ_r 的方法.....	83
第五节 不可逆磁化过程, 临界场、最大磁导率.....	86
第六节 反磁化过程, 矫顽力.....	89
第七节 剩余磁化强度和剩磁比.....	92
第八节 磁性体的感生各向异性.....	93
思考题.....	94
第五章 软磁材料在交变磁场中的磁化.....	95
第一节 复数磁导率.....	95
第二节 软磁材料的交变特性.....	97
第三节 软磁材料中的磁损耗.....	98
第四节 剩余损耗、磁后效.....	100
第五节 减小磁损耗的方法.....	103
第六节 磁谱与截止频率 f_c	104
第七节 畴壁共振与自然共振.....	107

思考题	110
第六章 永磁体	112
第一节 永磁性及有关参量	112
第二节 永磁材料	115
第三节 理想磁路的设计	116
第四节 实际磁路设计的近似计算	118
思考题	120
第七章 铁磁物质的旋磁性	121
第一节 自旋磁矩的一致进动	121
第二节 张量磁导率	123
第三节 铁磁共振线宽 ΔH	126
第四节 旋磁性与微波铁氧体器件	128
第五节 微波铁氧体材料	134
思考题	139
第八章 铁磁物质的矩磁性	141
第一节 二进制与磁滞回线	141
第二节 记忆磁芯的性能指标	143
第三节 矩形磁滞回线	145
第四节 开关时间	147
第五节 矩磁铁氧体材料	148
第六节 磁泡存储器	149
思考题	153
第九章 永磁材料的应用	154
第一节 永磁材料应用概况	154
第二节 永磁磁路的设计	155
第三节 电声器件中的永磁体	159
第四节 仪器设备中的永磁体	161
第五节 永磁材料在微波器件中的应用	164
第六节 永磁材料在各类电动机中的应用	165

第七节	塑料(永)磁体和橡胶(永)磁体	167
第八节	永磁材料的稳定性	169
思考题		173
第十章	软磁材料的应用	174
第一节	软磁材料应用概况	174
第二节	金属软磁材料的用途	175
第三节	磁介质	180
第四节	软磁铁氧体材料的用途	183
思考题		185
第十一章	微波铁氧体材料及器件的应用	186
第一节	概况	186
第二节	微波多晶铁氧体器件的应用	189
第三节	微波单晶铁氧体器件的应用	194
第四节	组合件及微波集成电路	198
思考题		200
第十二章	矩磁材料的应用	201
第一节	磁芯存储器	201
第二节	多孔板存储器	203
第三节	磁膜存储器 and 磁镀线存储器	205
第四节	金属矩磁材料	207
思考题		208
第十三章	压磁材料的应用	209
第一节	压磁材料的性能参数	209
第二节	声纳和电声换能器	211
第三节	超声波发生器及其应用	213
第四节	超声波聚能器及其应用	214
第五节	机械滤波器	215
第六节	常见的压磁材料	217
思考题		219

第十四章 磁记录材料及器件	220
第一节 磁性录放原理	220
第二节 磁头及磁头材料	224
第三节 磁带	228
第四节 磁鼓和磁盘	232
第五节 磁记录介质	236
思考题	237
第十五章 磁性材料的新应用 *	239
第一节 磁泡与磁光存贮器	239
第二节 磁性流体及其应用	241
第三节 高梯度磁分离技术	247
第四节 磁场疗法与生物磁学	251
思考题	254
附 录	255
一 常用物理常数表	255
二 磁学量换算表	255
三 磁学基本公式	256
四 各类磁性材料的性能	258

第一章 电磁现象与电磁感应

为了更好地掌握“磁学知识”，首先对电磁现象和电磁感应要有较全面的了解。许多人在少年时代就曾对马蹄形磁铁吸引铁屑的现象发生过强烈的兴趣。在这一章中，我们将说明磁力和磁场的概念，揭示电与磁之间的关系。

第一节 基本磁现象

磁现象很早就被人们所发现。公元前约 600 年，古希腊人和中国人就发现一种天然磁石(磁铁矿)能吸铁的现象；中国春秋时期（公元前 770~221 年），中国人发明了世界上最古老的指南针“司南”；十一世纪，我国大科学家沈括就知道利用天然磁体进行人工磁化；1600 年英国人威廉·吉尔伯特提出地球本身就是一个大磁体的概念。

实验发现，磁针两端吸引铁屑的能力特别强，而磁针的中间区域则几乎不吸引铁屑，磁针两端磁性特别强的区域称磁极。如果磁针能够围绕垂直轴自由转动的话，那么，磁针就会指向一定的方向，即地球磁场的方向。指北的一端称为北极，通常用 N 表示；指南的一端称为南极，通常用 S 表示。

磁针之间有相互作用力，就象磁针与地球这个大磁体之间的相互作用一样，相同极性的磁极(N 对 N 或者 S 对 S)相互排斥，不同极性的磁极(N 对 S)相互吸引。在磁体的周围

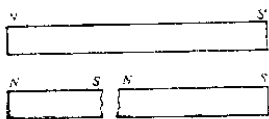


图 1-1 一块磁铁被切断后，两个磁端
分别具有相反的磁极

存在着磁场，磁体之间的相互作用是通过磁场实现的。

当把磁铁一分为二时，每块仍然是一个磁铁，具有两个不同的极，如图 1-1 所示。以往的

研究表明，将磁铁分割不能得到单独存在的磁极。

第二节 磁铁的磁场与电流的磁场

人们常用磁针来检查某一区域内是否有磁场存在。当磁针在某区域受到作用力并取一定的方向时，我们就说该区域内有磁场存在，磁场的方向就是磁针南极至北极的方向。图 1-2 表示一块条形磁铁所产生的磁场以及用磁针判别磁场方向的情形。

磁铁并不是磁场的唯一来源，1819 年丹麦的奥斯特发现在载流导线的周围也有磁场存在。让我们来观察以下的实验：将一段长导线联接一个电键和一个直流电源的两极，如图 1-3 所示。当电键断开时，我们将导线放置在磁针上方，并使导线与磁针平行。然后合上电键，若

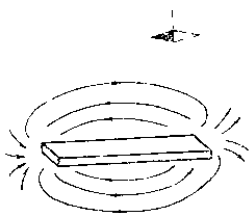


图 1-2 条形磁铁所产生的磁场
及磁场方向

导线中的电流足够强，我们可以看到磁针会偏转到与导线

垂直的方向，箭头向上。当把电源的接线方向改变时，即导线中的电流方向改变了。这时，磁针箭头向下偏转，仍与导线垂直。这说明载流导线周围的磁场方向与电流方向有关。

我们可以用画出磁力线的方法来描绘磁场。将小磁针放在磁场内的一些不同位置上，就可以确定磁场的方向，如图 1-4 所示。然后就可以画出磁力线，并用箭头表示磁场方向，如图 1-5 所示。图 1-6 和图 1-7 分别表示圆电流和螺线管电流的磁力线。

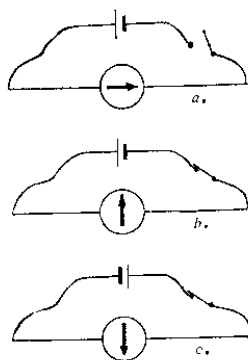


图 1-3 载流导线的磁场方向与电流方向的关系

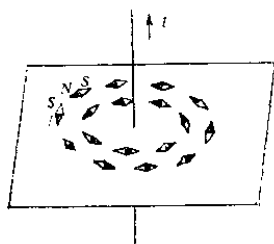


图 1-4 小磁针在直流磁场中的排列状态

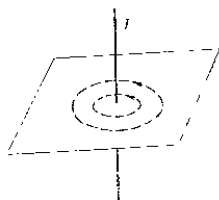


图 1-5 载流长直导线附近的磁力线

从以上的例子说明，磁场的方向与电流方向之间存在着一定的关系，可以用右手螺旋法则来描述它们之间的关系。

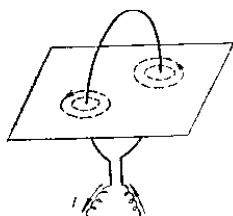


图 1-6 圆电流的磁力线

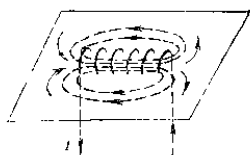


图 1-7 螺线管电流的磁力线

即将右手姆指指向电流方向，其余四指自然弯曲所指的方向就是磁场方向(图1-8)。同时，右手螺旋法则也可以判断圆形导线的电流所产生的磁场方向，即将右手四指弯曲，与圆形导线的电流方向相同，则拇指所指的方向就是磁场方向(图1-9)。右手螺旋法则是由法国物理学家安培提出来的，所以也称为安培法则。

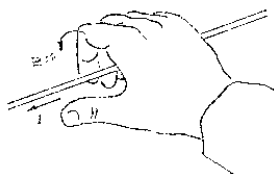


图 1-8 右手螺旋法则：右手拇指指向直导线电流方向，其余四指方向为磁场方向

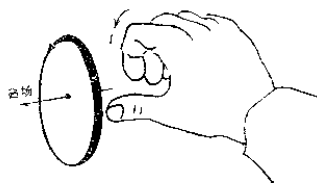


图 1-9 右手螺旋法则：右手四指指向电流方向，则拇指方向为磁场方向

第三节 磁铁与电流间的相互作用

1820 年安培发现放在磁铁附近的载流直导线（或线圈）会受到力的作用而发生运动。如果把一段直导线放在图 1-10 所示的 U 形磁铁的磁极间，当导线中通以电流 I 时，导线将受力 F 的作用，即电流与磁铁之间也存在着作用力。

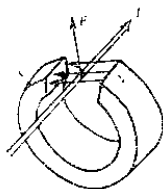


图 1-10 磁铁对电流的作用

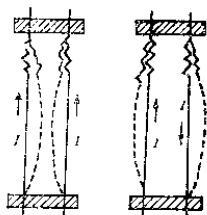


图 1-11 电流间的相互作用

如果把两根导线并列在一起，如图 1-11 所示，当两导线中通以同向的电流时，两导线就相互吸引；若通以反向的电流，则互相排斥。这说明两条载流导线之间也有相互作用力。

根据上述事实，可以说明磁和电之间存在着一定的联系。磁铁和磁铁间的作用力、电流与磁铁间的作用力和电流与电流间的作用力都有同样的性质，这些力都称为磁力。

现在我们来讨论电流在磁场内所受作用力的规律。

磁力、磁场和电流三者相互垂直。有一个左手法则可以确定磁力的方向：伸开左手，使拇指与其余四指垂直，将掌心对着磁场方向，四指指向电流 I 的方向，则拇指的方向就是磁场作用于电流的力 F 的方向，如图 1-12 所示。

实验证明, 磁力 F 的大小与载流导线中的电流强度 I 、导线的长度 l 和导线所处的磁场的强度成正比, 如图 1-13 所示。可以用公式表示为

$$F = (\text{常数}) \cdot I l B \quad (1.1a)$$

此式称为安培定律。

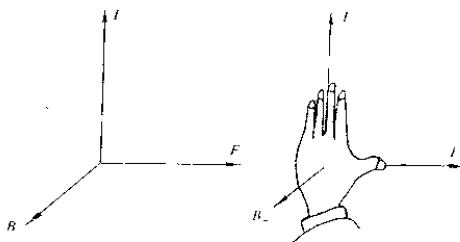


图 1-12 电流在磁场中所受力的左手法则

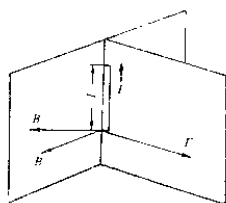


图 1-13 作用于导线上的磁力与 $B_{\perp}$ 成正比, $B_{\perp}$ 是磁感应强度 B 垂直于载流导线的分量

式中的 B 称为磁感应强度, 它表示某处磁场的强弱程度, B 是磁感应强度 B 在垂直于电流 (导线) 方向上的分量。式中的比例常数仅与单位制的选取有关。本书中采用国际单位制 (SI), 其中电磁学部分的单位制是 MKSA 有理制。它是 以米、

千克、秒和安培作为基本单位。现在来确定磁感应强度的单位, 在 MKSA 单位制中, F 的单位为牛顿, I 的单位为安培, l 的单位为米, 比例常数