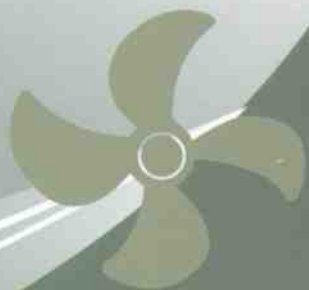


航海类专业精品系列教材

船舶电气设备与系统

赵殿礼 主编

张春来 副主编



大连海事大学出版社

航海类专业精品系列教材

- 船舶柴油机★
- 船舶辅机★
- 船舶动力装置技术管理★
- 轮机自动化★
- 船舶电气设备与系统
- 轮机维护与修理
- 轮机英语★
- 船舶防污染技术★
- 轮机概论



★普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5632-2250-6



定价：45.00元

航海类专业精品系列教材

船舶电气设计(第2版)

船舶电气设备与系统

赵殿礼(主编) 张春来(副主编)

赵殿礼 主编

张春来 副主编

大连海事大学出版社

大连海事大学出版社

©赵殿礼 2009

图书在版编目(CIP)数据

船舶电气设备与系统 / 赵殿礼主编. —大连: 大连海事大学出版社, 2008. 11
(航海类专业精品系列教材)
ISBN 978-7-5632-2250-6

I. 船… II. 赵… III. 船用电气设备—高等学校—教材 IV. U665

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 175098 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路 1 号 邮政编码:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连力佳印务有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:26.5

字数:655 千 印数:1 ~ 3000 册

责任编辑:李雪芳 封面设计:王 艳

ISBN 978-7-5632-2250-6 定价:45.00 元

前 言

海上运输是交通运输的重要组成部分,在促进外贸运输发展和推动对外贸易增长等方面以其他运输方式不可比拟的优势发挥出越来越重要的作用。

大连海事大学作为我国唯一的国家重点航海类专业院校,多年来为我国乃至国际海上运输业培养了大量的航海类专业高级人才,对促进航运业的发展起到了重要作用。近年来,随着科学技术的进步和交通运输业的发展,学校针对航海类专业的鲜明特色,在人才培养方案、教学内容及课程体系改革等方面进行了一系列的研究和实践。在此基础上,我校组织编写出一套与新的培养方案、教学内容及课程体系相适应的航海类专业精品系列教材,旨在加强航海类专业建设,提高航海类人才培养的质量和水平,进一步推动高等航海教育的发展。

为了保证航海类专业精品系列教材顺利出版,学校在人力、物力和财力等方面予以充分保证。组织校内航海类专业的资深专家、骨干教师和管理干部做了大量工作,从筹备、调研、编写、评审直至正式出版,历时三载有余。2005年5月,学校先后组织召开了两次航海类专业教学改革研讨会,来自交通部海事局、辽宁海事局、中国远洋运输(集团)总公司、中国海运(集团)总公司、中国船级社等单位的专家为教材编写的筹备工作提出了中肯的意见和建议。2006年初,教材编写工作正式启动,确定重新编写航海类专业教材22种,其中航海技术专业教材13种、轮机工程专业教材9种。教材编写大纲先后征求了中国远洋运输(集团)总公司、中国海运(集团)总公司及大连海事大学等单位10多位专家的意见。学校组织教材主要编写人员分赴北京、天津、青岛、上海、广州、武汉及厦门等多家航运企事业单位进行调研,收集了大量的最新技术资料,同时听取了有关领导和专家的意见。2007年我校先后召开了五次评审会,来自交通部海事局、驻英大使馆海事处、中国海事服务中心考试中心、辽宁海事局、山东海事局、中国远洋运输(集团)总公司、中国海运(集团)总公司、大连港引航站、上海海事大学、海军大连舰艇学院、大连水产学院、集美大学、青岛远洋船员学院及大连海事大学等单位的多位专家对22种教材的初稿就内容、文字及体例等方面逐一评审,反复推敲,几易其稿,逐步完善,反复审核,最终正式出版。该套教材中共有16种教材入选普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

这套航海类专业精品系列教材以履行修订后的STCW公约为前提,结合海上运输业发展的国际性和信息性等特点,以更新教学内容为重点,对原有教材做了大量的增删与修改,注重理论基础及内容阐述的逻辑性和准确性,力求反映国内外航海科技领域的新成就与新知识,适应21世纪海上运输业对航海类人才的知识、能力和素质结构的要求,兼顾各教材内容之间的衔接与整合,避免重复与遗漏。我衷心的希望,通过全体编写人员的不懈努力,这套精品系列教材,能够进一步加强我校航海类专业的建设,为国内兄弟院校航海类专业的发展提供有益的借鉴,为我国高等航海教育发展尽微薄之力。

教材在编写和出版过程中,得到了方方面面领导、专家和同仁的大力支持和热心帮助(具体名单附后)。我谨代表大连海事大学及教材编写全体成员对以上单位和个人致以最诚挚的谢意。各位专家和同仁渊博的专业知识、严谨的治学态度、精益求精的学术风范以及细致入微

的工作作风为教材的顺利出版作出了卓越的贡献,在很大程度上可以说,这套教材的成功出版,是全体编写人员,各港航企事业单位的领导、专家和同仁共同努力的成果。

航海类专业精品系列教材的编写是一项繁重而复杂的工作,鉴于时间和人力等方面的因素,这套教材在某些方面还不是十分完善,缺点和不妥之处在所难免,希望同行专家不吝指正。同时,希望以此为契机,吸引更多航海技术领域的专家、学者参与到这项工作中来,为我国航海教育献计献策,为我国乃至国际海上运输事业培养出大量高素质的航海类专业人才。

大连海事大学校长



2008年3月

对教材出版给予大力支持和帮助的单位及个人如下:(以姓氏笔画为序)

于晓利	教授	大连水产学院
于智民	高级船长、高工	中远散货运输有限公司
马文华	高工	大连远洋运输公司
方伟江	轮机长	中海国际船舶管理有限公司上海分公司
王 阳	高工	中海国际船舶管理有限公司大连分公司
王 健	高工、高级引航员	大连港引航站
王国荣	高级轮机长	中远散货运输有限公司
王征祥	船长	中远集装箱运输有限公司
王新全	高工、总轮机长	中国远洋运输(集团)总公司
车 毅	船长	大连远洋运输公司
叶依群	高级船长	中远散货运输有限公司
田喜林	高工	中海国际船舶管理有限公司大连分公司
石爱国	教授	海军大连舰艇学院
任辰西	高级船长	中远散货运输有限公司
刘 屹	高工	大连远洋运输公司
刘世长	船长	日照海事局
孙 广	高工	辽宁海事局
安 彬	高级船长	大连远洋运输公司
邢 钺	高工	中远散货运输有限公司
吴 恒	教授、博导	大连海事大学
吴万千	副教授	青岛远洋船员学院
张仁平	教授	驻英大使馆海事处
张文浩	高工	中远散货运输有限公司
张均东	教授、博导	大连海事大学
张秋荣	教授	上海海事大学
李 录	高级轮机长	广州远洋船员管理公司

李志华	副教授	大连海事大学
李忠华	高工	珠海海事局
李恩洪	船长、高工	交通部海事局
李新江	副教授	大连海事大学
杜荣铭	教授	大连海事大学
杨君浩	轮机长	中海国际船舶管理有限公司上海分公司
沈毅	工程师	辽宁海事局
邱文昌	教授	上海海事大学
邱铁卫	高级轮机长	大连远洋运输公司
邵哲平	教授、船长	集美大学
邹文生	高级轮机长	大连远洋运输公司
陈志强	高级轮机长	中远集装箱运输有限公司
陈建锋	高工、高级船长	中远散货运输有限公司
周邱克	高工、高级船长	中海客轮有限公司
房世珍	大副	青岛远洋对外劳务合作有限公司
易金华	指导船长、高级船长	中海国际船舶管理有限公司广州分公司
林长川	教授	集美大学
金松	教授级高工	中国船级社大连分社
金义松	船长、高工	中海国际船舶管理有限公司
姚杰	教授	大连水产学院
姜勇	教授级高工	山东海事局
洪碧光	教授、船长	大连海事大学
赵金文	高工、轮机长	大连远洋运输公司
赵晓玲	副教授	青岛远洋船员学院
赵爱屯	高级船长	中海国际船舶管理有限公司大连分公司
夏国忠	教授	大连海事大学
徐波	高工	中远集装箱运输有限公司
敖金山	高级船长	枫叶海运有限公司
殷传安	高级轮机长	中海国际船舶管理有限公司大连分公司
郭子瑞	教授	辽宁海事局
郭文生	高级船长	广州远洋船员管理公司
顾剑文	高工	大连国际船员培训中心
崔保东	船长	青岛远洋对外劳务合作有限公司
黄党和	轮机长	中国海事服务中心
蔡振雄	教授	集美大学
魏茂苏	轮机长	青岛远洋对外劳务合作有限公司

目 录

第一章 电与磁	(1)
第一节 磁场的基本概念和基本物理量	(1)
第二节 铁磁材料的磁性能	(3)
第三节 磁路的基本概念	(6)
第四节 电磁感应	(10)
本章小结	(17)
第二章 变压器	(19)
第一节 变压器的用途及分类	(19)
第二节 变压器的基本结构和铭牌	(20)
第三节 变压器的工作原理及运行特性	(22)
第四节 三相变压器的磁路系统	(34)
第五节 变压器的连接组及三相变压器的运行问题	(35)
第六节 自耦变压器及仪用互感器	(40)
本章小结	(43)
第三章 直流电机	(46)
第一节 直流电机的工作原理与结构	(46)
第二节 电枢绕组的感应电势和电磁转矩	(51)
第三节 直流发电机的运行特性	(53)
第四节 直流电动机的运行特性	(56)
第五节 无刷直流电动机	(59)
本章小结	(62)
第四章 异步电动机	(64)
第一节 三相异步电动机的结构与铭牌数据	(64)
第二节 异步电动机的旋转磁场与工作原理	(67)
第三节 异步电动机的定子与转子电路	(71)
第四节 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	(76)
第五节 三相异步电动机的工作特性与选择	(82)
第六节 单相异步电动机	(84)
本章小结	(87)
第五章 船舶同步电机	(90)
第一节 三相同步发电机的基本类型和结构	(90)
第二节 同步发电机的电枢反应	(92)
第三节 同步发电机的电势方程和相量图	(98)
第四节 同步发电机的运行特性	(100)

第五节 同步电动机	(105)
本章小结	(109)
第六章 控制电机	(112)
第一节 伺服电动机	(112)
第二节 测速发电机	(115)
第三节 自整角机	(117)
本章小结	(120)
第七章 电力拖动基础	(121)
第一节 电力拖动系统运行的基本概念	(121)
第二节 三相异步电动机的起动、制动与调速	(124)
第三节 直流电动机的起动、制动与调速	(135)
本章小结	(138)
第八章 电力拖动控制电路及系统	(140)
第一节 常用控制电器	(140)
第二节 电动机的基本保护环节	(149)
第三节 控制电路的控制环节	(151)
第四节 异步电机的典型控制电路	(155)
第五节 电动机的智能控制	(164)
第六节 可编程序控制器	(170)
本章小结	(182)
第九章 船舶甲板机械电力拖动及其电气控制	(184)
第一节 船舶甲板机械的特点及驱动与控制方法	(184)
第二节 起货机的电力拖动与控制的基本要求	(186)
第三节 起货机的电力拖动控制线路分析	(190)
第四节 锚机和系缆设备的电力拖动与控制	(199)
本章小结	(203)
第十章 船舶舵机的电力拖动与控制	(204)
第一节 舵机电力拖动与控制的基本要求	(204)
第二节 单动舵	(205)
第三节 随动舵	(206)
第四节 自动舵	(209)
第五节 船舶艏侧推装置	(220)
本章小结	(221)
第十一章 舱室辅助机械的电气控制	(223)
第一节 泵组自动切换控制电路分析	(223)
第二节 空压机控制电路分析	(224)
第三节 船舶辅锅炉的电气自动控制	(227)
本章小结	(241)

第十二章	船舶电力系统概述	(242)
第一节	船舶电力系统	(242)
第二节	船舶电站容量和发电机组台数的选择	(245)
第三节	船舶配电装置	(248)
第四节	船舶电力网	(259)
第五节	船舶电力系统的继电保护	(264)
第六节	船舶轴带发电机系统	(275)
第七节	船舶中压电力系统	(281)
本章小结	.....	(285)
第十三章	船舶同步发电机的并联运行	(286)
第一节	概述	(286)
第二节	发电机并联运行的特点	(286)
第三节	船舶同步发电机的并联运行条件分析	(287)
第四节	船舶同步发电机手动并联运行分析	(289)
第五节	模拟式船舶同步发电机自动并车装置的基本原理	(293)
本章小结	.....	(296)
第十四章	船舶同步发电机电压及无功功率自动调整	(297)
第一节	概述	(297)
第二节	不可控相复励自励恒压励磁系统	(300)
第三节	电流叠加相复励自励恒压装置	(303)
第四节	电磁叠加的相复励自励恒压装置	(305)
第五节	带电压曲折绕组的相复励系统	(306)
第六节	晶闸管自励恒压励磁系统	(307)
第七节	可控相复励自励恒压励磁系统	(310)
第八节	无刷发电机励磁系统	(312)
第九节	船舶同步发电机组间无功功率自动分配	(312)
本章小结	.....	(315)
第十五章	船舶电力系统频率及有功功率自动调整	(317)
第一节	船舶电力系统有功功率自动调整基础知识	(317)
第二节	发电机并联运行的有功功率分配	(321)
第三节	有功功率的转移操作	(322)
第四节	自动调频调载装置基本原理	(322)
第五节	自动分级卸载	(329)
第六节	同步发电机的短路与振荡	(330)
本章小结	.....	(332)
第十六章	船舶电站自动控制	(334)
第一节	船舶电站自动控制系统概述	(334)
第二节	柴油机自动起停控制	(335)
第三节	船舶电站自动控制	(337)

第四节	电站自动控制装置	(342)
第五节	GAC-16M 船舶电站管理系统的运行与控制功能	(343)
本章小结	.....	(351)
第十七章	船舶照明系统及信号灯系统的管理	(352)
第一节	船舶照明系统管理	(352)
第二节	船舶常用灯具与控制线路	(354)
第三节	灯光信号设备	(357)
第四节	船舶照明系统的维护保养	(361)
第五节	船舶照明系统的常见故障检查	(362)
本章小结	.....	(363)
第十八章	船舶内部通信及信号装置	(365)
第一节	船内电话通信系统	(365)
第二节	船舶操纵信号设备	(367)
第三节	电气信号装置	(374)
第四节	船用广播系统	(381)
本章小结	.....	(383)
第十九章	船舶电气安全管理与维护	(384)
第一节	船舶安全用电	(384)
第二节	船舶电气设备防火、防爆和防静电	(387)
第三节	油船电气设备的安全管理	(389)
第四节	船舶主要电气设备调试实例	(391)
本章小结	.....	(398)
第二十章	船舶电气管理人员职责	(400)
第一节	船舶修理时的职责	(400)
第二节	监造新船时的职责	(401)
第三节	船舶航行期间的职责	(407)
第四节	船员交接班时的职责	(408)
本章小结	.....	(408)
参考文献	.....	(409)

第一章 电与磁

电工设备中发生的物理过程通常同时包含“电”和“磁”这两个紧密相联的现象,即电生磁,磁生电。例如在电路原理课程中讨论交流电路时所考虑的感应电动势,就是线圈中所链磁通随时间变化而引起的;不过当时我们用一个线性的电路参数“电感”来表达这个作用,仅从电路概念加以分析。实际上在许多电工设备中(例如各种电机、变压器、电气仪表、传感器等)只用电路概念研究是远远不够的,必须分析其中磁通与电流的关系。这是电工学和电路分析中具有同等重要意义的又一基本问题。

本章重点阐述磁场基本概念和基本物理量,分析磁性材料的磁性能和磁路计算的基本定律。

第一节 磁场的基本概念和基本物理量

一、磁场的基本概念

1. 磁场与磁力线

在物理学中,我们知道,当小磁针靠近永久磁铁时会发生偏转现象,这表明在永久磁铁的周围有一种物质存在,这一物质称为磁场。磁场的分布情况用闭合磁力线来描述。在磁铁的外部,磁力线从N极出发,经外部空间进入S极;再由S极经磁铁内部回到N极而组成闭合回线,即磁力线是闭合的。磁力线上任何一点的切线方向代表该点的磁场方向,如图1-1所示, l_1 曲线上 a 点磁场方向即为 a 点切线 l_2 的方向,而磁力线的疏密则反映了磁场各处磁性的强弱程度:靠近磁铁两端的磁力线密,磁场就强;远离磁铁两端的磁力线疏,磁场就弱。

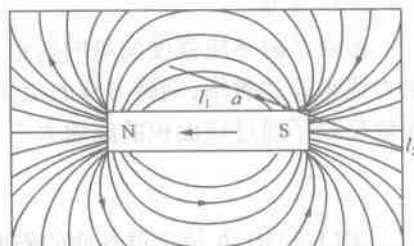


图1-1 条形磁铁的磁场

2. 电流的磁效应

除了永久磁铁周围存在磁场外,当小磁针靠近通电导线(或通电导线绕成的螺旋管线圈)时,小磁针会发生偏转,这说明通电导线的周围和磁铁一样也存在着磁场,这种现象,称为电流的磁效应。

磁场是由电流产生的,磁场的强弱及方向由通过导线的电流决定。通过实验可以证明,当载流导线中的电流方向改变时,磁场方向也随着改变,且对于通电直导线,磁场的方向总是与电流的方向相垂直,两者之间的关系可用右手螺旋定则来确定。如图1-2(a)所示,用右手握住直导体,把右手拇指指向电流方向,则弯曲的四指的指向就表示磁场的方向。又如图1-2(b)所示,对于通电的螺旋管线圈,用右手握住线圈,弯曲的四指指向电流方向,则大拇指的指向就表示螺旋管内部磁场的方向。

二、磁场的基本物理量

1. 磁感应强度 B

磁场作用于运动电荷的力称为洛仑兹力(f),且 f 与电荷所带的电量 q 成正比,与电荷运动的速度 v 成正比,而且其大小与电荷运动方向有关,还与电荷所在的位置有关。更奇怪的是,洛仑兹力总是和电荷运动的方向相垂直。因此,表示磁场某点特性的基本物理量是一种矢量。这种矢量叫磁感应强度,常用 B 表示。 B 由式(1-1)给以定义, B 的单位是特斯拉(T)。

$$f = q(v \times B) \quad (1-1)$$

如果磁场中各点的磁感应强度大小相等,方向一致,则这种磁场叫做均匀磁场。均匀磁场可用疏密均匀、方向相同的磁力线来表示(本书若没有特别说明,都指均匀磁场)。均匀磁场中,式(1-1)可由下式(1-2)表示:

$$B = \frac{f}{Il} \quad (1-2)$$

式(1-2)中, f 为电磁力,单位为牛顿(N); l 为导体长度;单位为米(m); I 为通入导体的电流,单位为安培(A)。

2. 磁通 Φ

磁通是磁感应强度矢量的通量,是磁感应强度与垂直于磁场方向的面积的乘积。如果用磁力线来描述磁场,则磁力线的疏密就反映了磁感应强度的大小,而通过某一面积的磁力线总数就反映了通过该面积的磁通大小。磁通用字母 Φ 来表示,即:

$$\Phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (1-3)$$

式(1-3)中 Φ 是穿过 S 面的磁通,单位为伏·秒,通常称为韦伯(Wb); S 为垂直于磁通方向的面积,单位为平方米(m^2); B 的单位为特斯拉(T)。

假如磁场是均匀的, B 的量值和方向处处一致,并取 S 面为垂直于 B 的平面,则式(1-3)可写成:

$$\Phi = BS \text{ 或 } B = \frac{\Phi}{S} \quad (1-4)$$

由式(1-3)和式(1-4)可见磁感应强度 B 在数值上可以看成是与磁场垂直的单位面积元上的磁通,故又称为磁通密度(简称磁密)。

磁通的连续性是磁场的一个基本性质。所谓磁通的连续性即是任意闭合曲面上的磁通恒为零,其数学表达式为:

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0 \quad (1-5)$$

式(1-5)说明,穿进某一闭合曲面的磁通,恒等于穿出此曲面的磁通。这就是磁通连续性定理。

由于磁通的连续性,磁力线一定是闭合的空间曲线,如图 1-1 和图 1-2 所示。

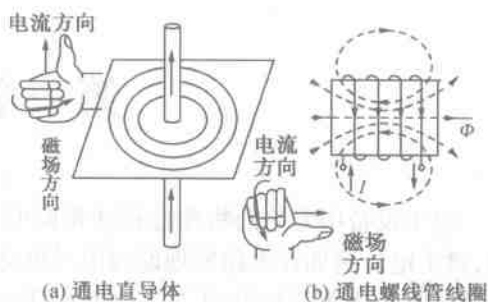


图 1-2 磁场与电流的方向

3. 磁场强度

在物理学中我们已经知道,为了分析磁场和电流之间的依存关系,引入磁场强度矢量 H 这一物理量是方便的。它与磁感应强度 B 之间存在如下关系:

$$B = \mu H \quad (1-6)$$

式(1-6)中的 μ 是一个衡量物质对磁场所呈现性质的系数,叫做导磁系数或称为磁导率。磁场强度和电流以安培环路定律相联系,其表达式为:

$$\oint_L H dl = \sum I \quad (1-7)$$

式(1-7)是计算磁路的基本公式,它说明,磁场强度矢量沿某封闭迴线 l 的线积分等于贯穿迴线所围成的面的电流的代数和。式(1-7)中电流的正负是这样规定的:任意选定一个闭合回线的绕行方向,电流方向凡是与闭合回线的绕行方向之间满足右手螺旋定则的电流为正,反之则为负。上述结论反映了磁场的另一个基本性质。磁场强度 H 的单位为安每米(A/m)。

若沿着回线 l ,磁场强度 H 处处相等(均匀磁场),且闭合回线所包围的总电流 I 是由通有电流的 N 匝线圈所提供,则式(1-7)可简写成:

$$Hl = NI \quad (1-8)$$

NI 为电流与线圈匝数的乘积,称为磁动势,简称为磁势,用字母 F 表示,即:

$$F = NI \quad (1-9)$$

磁势的单位是安培(A)。

在电路中,由于有电动势,才能形成电流。同理,在磁路中,有磁势才能有磁场、磁通。

4. 磁导率(导磁系数)和相对磁导率

放置在磁场中的任何物质,或多或少会影响磁场的强弱,而影响程度则与该物质的导磁性能有关。一般用磁导率 μ 这一物理量来衡量物质的导磁性能,它等于磁感应强度与磁场强度的比值。即:

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (1-10)$$

磁导率的单位是亨/米(H/m)。经实验测定,真空的磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 亨/米, μ_0 为常数。自然界中大多数物质对磁场强弱的影响都很小,其磁导率近似地等于真空的磁导率 μ_0 ,称为非磁性物质;而铁、钴、镍及其合金的 μ 值都很大,为 $(10^3 \sim 10^4)\mu_0$,称为铁磁性物质。

物质的相对磁导率 μ_r 是指该物质的磁导率与真空的磁导率的比值,即 $\mu_r = \mu/\mu_0$,从该表达式可知,它是一个没有单位的纯数,因此真空的相对磁导率 $\mu_r = 1$,而非磁性物质的相对磁导率 $\mu_r \approx 1$,铁磁性物质的相对磁导率 $\mu_r \approx (10^3 \sim 10^4)$ 。故常用高磁导率的硅钢片来制造电气设备。

第二节 铁磁材料的磁性能

为了在一定的磁势作用下能激励较强的磁场,以使电机和变压器等电器设备尺寸缩小、重量减轻、性能改善,必须增加磁路的磁导率。所以电机和变压器的铁芯常用磁导率较高的铁磁材料制成,下面对常用的铁磁材料及其性质作简要说明。

1. 高导磁性

铁磁材料的磁导率很高,这是由于在磁性物质内部能分成许多小区间;在这些小区间内由于磁性物质的分子间有一种特殊的作用力而使区间内的分子磁铁都排列整齐,显示磁性,这些小区间称为磁畴。宏观而言,磁畴是一个分子电流形成的一对小磁极。如图 1-3(a)所示,在没有外磁场作用时,各个磁畴排列混乱,磁效应互相抵消,对外不显示磁性。在外磁场作用下,

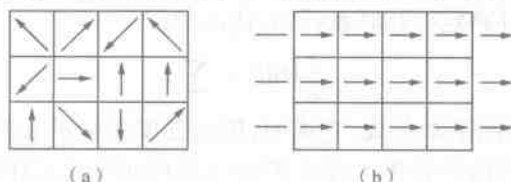


图 1-3 磁性材料的磁化

如图 1-3(b)所示,磁畴顺外磁场方向转向,呈现出磁性来。随着外磁场的增强,磁畴就逐渐转到与外磁场相同的方向上。这样,便产生了一个很强的与外磁场同方向的磁化磁场,而使磁性物质内的磁感应强度大大增加,这一过程称为磁化。铁磁材料具有被强烈磁化的性质,称为高导磁性。铁磁物质的磁性质使磁导率 μ 很大,而且 μ 常常与所在磁场的强弱有关,也就是说对一定的物质而言,它并不是一个常量。而且铁磁物质被磁化所产生的磁化磁场不会随着外磁场的增强而无限地增强。

为了表示这类物质对磁场的性质,一般采用曲线描述。以纵坐标表示磁感应强度 B ,横坐标表示磁场强度 H ,这样作出的曲线称为该物质的磁化曲线或者称为 $B-H$ 曲线,如图 1-4 所示。

2. 磁饱和性

如图 1-4 所示,曲线可分为三段:

铁磁物质从完全去磁(没有剩磁)的状态进行磁化,磁场强度 H 由零开始逐渐增加,开始有极短的一段,其磁感应强度 B 增加较慢,如图 1-4 中的 oa 段;继而 B 迅速上升,如 ab 段;再以后,则因达到磁的饱和, B 上升缓慢,如 bc 段;到极度饱和状态 c 点以后, B 几乎不再上升了。说明铁磁物质被磁化所产生的磁场不会随着外磁场的增强而无限地增加。铁磁物质达到饱和以后,磁化曲线基本上为与非铁磁材料的 $B = \mu_0 H$ 特性相平行的一条直线。磁化曲线开始拐弯的 b 点,称为膝点或饱和点。

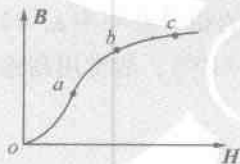


图 1-4 磁化曲线

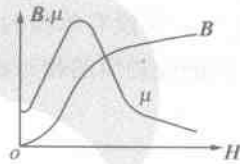


图 1-5 B, μ 与 H 的关系

由于铁磁物质的磁化曲线不是一条直线,所以铁磁物质的磁导率 $\mu = B/H$ 也不是常数,随 H 而变,如图 1-5 所示。进入饱和区以后, μ 急剧下降,若 H 再增大, μ 继续减小,直至趋近于 μ_0 。

各种电机、变压器的主磁路中,为了获得较大的磁通量,又不过分增大磁势,通常把铁芯内的工作点磁通密度选择在膝点附近。

3. 磁滞性

当铁芯线圈中通有交变电流(大小和方向都随时间变化)时,铁芯会受到反复磁化。电流变化一个周期,磁感应强度 B 随磁场强度 H 变化的关系如图 1-6 所示。由图可见,当线圈中电流从正向最大减到零值(即对应的 $H=0$)时,铁芯在磁化时所获得的磁性还未完全消失。这时铁芯中所保留的磁感应强度称为剩磁感应强度 B_r (剩磁)。铁磁物质所具有的这种磁感应强度 B 的变化滞后于磁场强度 H 变化的现象,叫做磁滞现象。呈现磁滞现象的 $B-H$ 闭合回线,称为磁滞回线。要使 B 值从 B_r 减小到零,必须加上相应的反向外磁场。此反向外磁场强度称为矫顽力,用 H_c 表示。

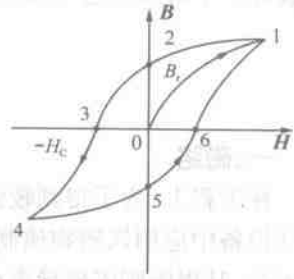
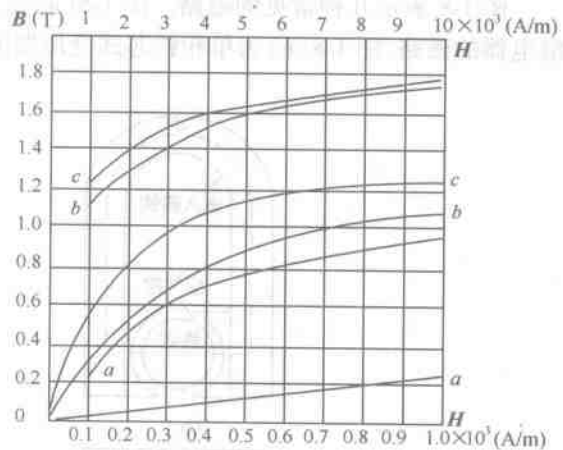


图 1-6 磁滞回线

对自励直流发电机和自励交流同步发电机,要求其磁极必须具有剩磁,发电机才能够建立起正常电压;但对于轴带发电机来讲,当其脱离电网后,需消磁,即要通入反方向去磁电流,即改变磁场强度 H 的方向来进行反向磁化。这种操作称为去磁。

由实验可知,铁磁材料不同,其磁滞回线和磁化曲线也不同。图 1-7 中示出了几种铁磁材料的磁化曲线。按磁性物质的磁性能,磁性材料可以分成三种类型:软磁材料、永磁材料、矩磁材料。



a-铸铁;b-铸钢;c-硅钢片

图 1-7 磁化曲线

(1) 软磁材料

具有较小的矫顽磁力,磁滞回线较窄。一般用来制造电机、电器及变压器等的铁芯。常用的有铸铁、硅钢、坡莫合金及铁氧体等。铁氧体在电子技术中应用也很广泛,例如可做计算机的磁芯、磁鼓以及录音机的磁带、磁头。

(2) 永磁材料

具有较大的矫顽磁力,磁滞回线较宽。一般用来制造永久磁铁。常用的有碳钢、钴钢及铁镍铝钴合金等。

(3) 矩磁材料

具有较小的矫顽力和较大的剩磁,磁滞回线接近矩形,稳定性良好。在计算机系统中可用作记忆元件、开关元件和逻辑元件。常用的有镁锰铁氧体及 1J51 型铁镍合金等。

铁磁物质的磁性是与磁畴结构分不开的。当铁磁物质受到强烈的振动,或在高温下由于剧烈热运动影响,磁畴取向容易混乱。这时与磁畴联系的一系列铁磁物质(如高磁导率、磁滞等),就会全部消失。因此,管理人员在维修和安装电机时,都应注意。

另外,铁磁材料的磁性与温度有很大关系。当磁场强度一定时,温度升高,磁导率减小。每种铁磁材料都有一个温度值,当温度升到该值时,磁导率下降到 μ_0 ,这个温度称为铁磁材料的居里点,如铁的居里点约为 760°C 。当温度高于居里点时,铁磁物质的磁性被剧烈的热运动

所破坏。了解以上这些特点,对于电气管理人员是非常必要的。

第三节 磁路的基本概念

一、磁路

在工程上,为了得到较强的磁场,广泛利用了铁磁物质。在电机、变压器、继电器、仪表等电气设备中应用铁磁物质制成一定的形状,即人为地造成磁通的路径,磁通主要在这部分空间内闭合,其周围则因磁导率小得多而磁通极少。这种磁通的路径称为磁路。

在这种情况下,我们就有可能把漫布在整个空间的磁场计算问题简化为局限在一定范围内的磁场计算问题,即简化为磁路计算问题。这虽是一种近似方法,但大大有助于问题的解决。

图 1-8 表示几种常见的磁路。图 1-8(a)是永磁式(磁电式)仪表的磁路,图 1-8(b)为电磁继电器的磁路,图 1-8(c)为单相铁芯式变压器的磁路,图 1-8(d)为四极转枢式电机的磁路;图

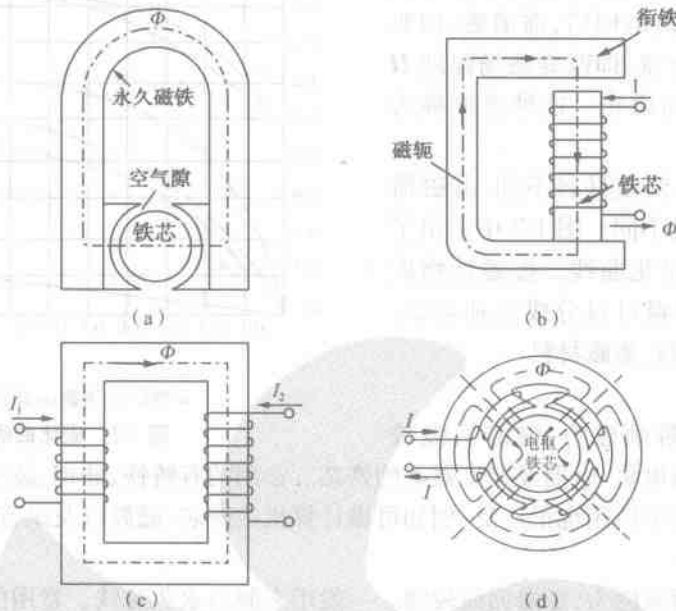


图 1-8 几种常见的磁路

中磁通所经的路线用虚线表示。从图中可以看出磁通的路径中大部分是铁,但也有极短一段空气隙(图 1-8(a)、1-8(b)、1-8(d))。磁通一般由电流产生,后者称为励磁电流;但也有由永久磁铁产生的(图 1-8(a))。磁路有无分支的(图 1-8(a)、1-8(b)和 1-8(c)),也有分支的(图 1-8(d))。

所谓磁路计算也就是要从数量上寻求电流和磁通之间的关系,或者是计算永久磁铁的磁通。由于电和磁的密切联系,绝大部分电机电器和仪表中都离不了磁路,因此它的计算方法在电工方面占有极重要的地位。