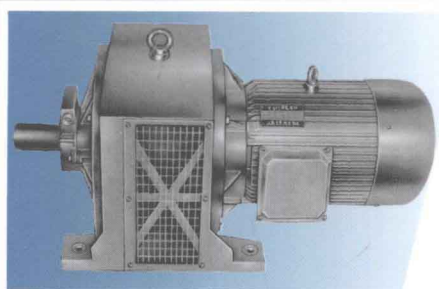




高职高专“十一五”规划教材

DIANJI YU TUODONG JICHU

电机与拖动基础



■ 王秀丽 主编



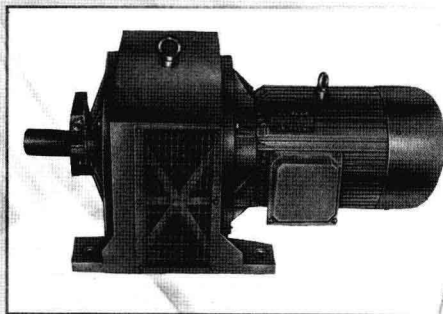
化学工业出版社



高职高专“十一五”规划教材

DIANJI YU TUODONG JICHU

电机与拖动基础



■ 王秀丽 主编



化学工业出版社
· 北京 ·

本书按照高职自动化类“电机与拖动基础”教学大纲进行编写,体现了高职高专教学改革的特点,突出理论知识的应用和实践能力的培养,加强了实用性,降低了理论难度。

本书主要介绍了变压器、三相异步电动机、直流电动机的结构特点和基本工作原理,着重分析了三相异步电动机和直流电动机的启动、制动、调速性能及相关的计算,简要介绍了单相异步电动机、同步电机和控制电机的结构特点和基本工作原理、电动机容量选择的基本知识及电机、变压器的使用与维护知识,并且还介绍了与基本理论相关的电机与拖动实验。为加深对基础知识的理解,各章都有精心挑选的例题、思考题和习题以及为便于学生自检、教师测评的自我评估题。

本书适于高职高专电气自动化技术、电力系统自动化技术、生产过程自动化技术、机电一体化技术、自动控制电气类专业使用,也可供各级电工考证人员对电机与拖动基础知识的备考复习之用,还可供有关电气工程技术人員学习参考或作为培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动基础/王秀丽主编. —北京:化学工业出版社,
2010.1

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-07321-1

I. 电… II. 王… III. ①电机-高等学校:技术学院-教材
②电力传动-高等学校:技术学院-教材 IV. TM3

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第001855号

责任编辑:刘哲

文字编辑:鲍晓娟

责任校对:宋玮

装帧设计:杨北

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:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张12 $\frac{3}{4}$ 字数315千字 2010年2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:25.00元

版权所有 违者必究

前 言

本书在编写过程中,严格按照教育部高职高专规划教材的要求,遵循以应用为目的,以必需、够用为度的教学原则,突出高职高专培养应用型高技能人才的特色。

本书着重体现如下特色。

1. 在内容选取上,重视基本概念、基本定律、基本分析方法的介绍,与传统教材相比,降低了理论难度,淡化了复杂的理论分析,力求由浅入深,循序渐进,保留了教材内容的连贯性,同时也增加了一些新技术内容。

2. 在内容叙述上,力求简明扼要,通俗易懂,可读性强,使学生对基本理论能系统、深入地理解,为今后的学习奠定基础;同时注重分析问题、解决问题能力的培养。

3. 从培养应用型人才的角度出发,教材注重实用性,在侧重基本原理、基本概念阐述的同时,强调基本理论的实际应用,如电动机的应用知识,介绍了电动机的选择及电机、变压器的使用与维护知识。

4. 从注重培养学生实践动手能力的角度,结合基础知识,配有实验教学内容。

全书共分九章。内容包括:变压器、三相异步电动机、三相异步电动机的电力拖动、其他交流电动机、直流电机、直流电机的电力拖动、控制电机、电动机应用知识和电机与拖动基础实验。书中的知识扩展章节可根据需要选学。每章列有学习目标,介绍每章需要了解和掌握的内容,便于指导学生自学。为便于学生对基础知识的掌握,书中配有大量的例题、思考题与习题,同时每章还附有自我评估题,易于学生自检,也便于教师对学生测评。本书习题与自我评估题答案可在 www.cipedu.com.cn 上免费下载。

本书适用于高职高专电气自动化技术、电力系统自动化技术、生产过程自动化技术、机电一体化技术、自动控制电气类专业使用,也可供各级电工考证人员对电机与拖动基础知识的备考复习之用,还可供有关电气工程技术人員学习参考或作为培训教材。

本书的前言、绪论及第1、2、3、5章由辽宁石化职业技术学院王秀丽编写;第4章由沈阳农业大学高等职业技术学院武银龙编写;第7章由辽宁石化职业技术学院张浩编写;第6、8章由辽宁科技学院陈亚光编写,第9章由锦州师范高等专科学校李刚编写。全书由王秀丽统稿并担任主编。

由于编者学识及水平有限,书中的不足及疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2009年11月

目 录

绪论	1
第 1 章 变压器	7
【学习目标】	7
1.1 变压器的基本工作原理、用途及结构	7
1.1.1 变压器的基本工作原理	7
1.1.2 变压器的用途	7
1.1.3 变压器的分类	8
1.1.4 变压器的基本结构	8
1.1.5 变压器的铭牌及额定值	10
1.2 单相变压器的空载运行	12
1.2.1 空载运行时的电磁关系	12
1.2.2 空载电流与漏磁电动势	13
1.2.3 空载变压器的电压平衡方程和等效电路以及相量图	14
1.3 变压器的负载运行	16
1.3.1 变压器负载运行时的电磁关系	16
1.3.2 基本方程	16
1.3.3 变压器的折算	18
1.3.4 变压器的等效电路及相量图	19
1.4 变压器的参数测定	21
1.4.1 空载实验	21
1.4.2 短路实验	22
1.5 变压器的运行特性	24
1.5.1 电压变化率	24
1.5.2 变压器的效率	25
1.6 三相变压器	27
1.6.1 三相变压器的磁路系统	27
1.6.2 三相变压器的电路——连接组别	28
【知识扩展】	31
1.7 变压器的并联运行	31
1.7.1 并联运行的条件	31
1.7.2 并联运行条件不满足时的运行分析	32
1.8 其他变压器简介	33
1.8.1 自耦变压器	33
1.8.2 仪用互感器	35

1.8.3 电焊机变压器	37
【本章小结】	38
【思考题与习题】	38
【自我评估】	40
第2章 三相异步电动机	44
【学习目标】	44
2.1 概述	44
2.1.1 异步电动机的分类	44
2.1.2 异步电动机的主要用途	44
2.2 三相异步电动机的旋转原理	45
2.2.1 旋转磁场的产生	45
2.2.2 三相异步电动机的旋转原理	45
2.3 三相异步电动机的结构、铭牌及主要系列	47
2.3.1 三相异步电动机的结构	47
2.3.2 三相异步电动机的铭牌数据	49
2.3.3 三相异步电动机的主要系列简介	50
2.4 三相异步电动机的定子绕组	51
2.4.1 交流绕组的基本知识	51
2.4.2 单层绕组	52
2.4.3 双层绕组	54
2.5 三相异步电动机的运行分析	54
2.5.1 空载运行分析	55
2.5.2 负载运行分析	56
2.6 三相异步电动机的功率和电磁转矩	58
2.6.1 功率关系	58
2.6.2 转矩关系	58
2.7 三相异步电动机的工作特性	59
【知识扩展】	61
2.8 三相异步电动机的参数测定	61
【本章小结】	62
【思考题与习题】	63
【自我评估】	64
第3章 三相异步电动机的电力拖动	67
【学习目标】	67
3.1 三相异步电动机的机械特性	67
3.1.1 机械特性的物理表达式	67
3.1.2 机械特性的参数表达式	67
3.1.3 机械特性的实用表达式	69
3.1.4 三相异步电动机的固有机机械特性	70
3.1.5 三相异步电动机的人为机械特性	71

3.2 笼型异步电动机的启动	73
3.2.1 三相异步电动机对启动性能的要求	73
3.2.2 三相笼型异步电动机的启动	73
3.3 三相绕线型异步电动机的启动	78
3.3.1 转子串电阻启动	78
3.3.2 转子串频敏变阻器启动	79
【知识扩展】	80
3.3.3 高启动转矩三相笼型异步电动机	80
3.4 三相异步电动机的制动	82
3.4.1 能耗制动	82
3.4.2 反接制动	83
3.4.3 回馈制动	85
3.5 三相异步电动机的调速	86
3.5.1 变极调速	87
3.5.2 变频调速	89
3.5.3 变转差率调速	91
【本章小结】	94
【思考题与习题】	95
【自我评估】	96
第4章 其他交流电动机	100
【学习目标】	100
4.1 单相异步电动机	100
4.1.1 基本结构与铭牌数据	100
4.1.2 单相异步电动机的工作原理	101
4.1.3 主要类型	102
4.1.4 单相异步电动机反转控制	104
4.2 同步电动机	104
4.2.1 同步电机的分类	104
4.2.2 同步电动机的基本结构	105
4.2.3 同步电动机的基本工作原理及其额定值	106
4.2.4 V形曲线和功率因数调节	107
4.2.5 同步电动机的启动	108
【知识扩展】	110
4.3 电磁调速异步电动机	110
4.3.1 电磁滑差离合器的结构	110
4.3.2 电磁滑差离合器的工作原理	110
4.3.3 电磁调速异步电动机的应用及特点	111
【本章小结】	112
【思考题与习题】	113
【自我评估】	113

第5章 直流电机	116
【学习目标】	116
5.1 直流电机的工作原理	116
5.1.1 直流发电机的基本原理	116
5.1.2 直流电动机的基本原理	117
5.2 直流电机的基本结构、铭牌及主要系列	117
5.2.1 基本结构	117
5.2.2 铭牌数据及主要系列	119
5.3 直流电机的电磁转矩与电枢电动势	120
5.3.1 直流电机的励磁方式	120
5.3.2 直流电机的磁场和电枢反应	121
5.3.3 电枢绕组感应电动势与电磁转矩	122
5.3.4 他励直流电动机反转	123
5.4 直流电机的运行原理	124
5.4.1 直流电动机的基本方程	124
5.4.2 直流发电机的基本方程	125
5.5 直流电机的换向	127
5.5.1 换向过程	127
5.5.2 换向元件中的电动势	128
5.5.3 改善换向的方法	128
【本章小结】	129
【思考题与习题】	129
【自我评估】	130
第6章 直流电动机的电力拖动	132
【学习目标】	132
6.1 电力拖动系统的运动方程及负载转矩特性	132
6.1.1 电力拖动系统的运动方程式	132
6.1.2 负载转矩特性	134
6.2 他励直流电动机的机械特性	135
6.2.1 他励直流电动机的固有机机械特性	135
6.2.2 他励直流电动机的人为机械特性	136
6.2.3 他励直流电动机机械特性的求取	137
6.3 他励直流电动机的启动	139
6.3.1 启动概述	139
6.3.2 降低电源电压启动	139
6.3.3 电枢串电阻启动	140
6.4 他励直流电动机调速	141
6.4.1 调速的性能指标	142
6.4.2 调速方法	143
【知识扩展】	145

6.4.3 容许输出和充分利用	145
6.5 他励直流电动机的制动	147
6.5.1 能耗制动	147
6.5.2 反接制动	148
6.5.3 回馈制动	150
【本章小结】	151
【思考题与习题】	152
【自我评估】	153
第7章 控制电机	156
【学习目标】	156
7.1 伺服电动机	156
7.1.1 交流伺服电动机	156
7.1.2 直流伺服电动机	158
7.2 步进电动机	159
7.2.1 反应式步进电动机的工作原理	159
7.2.2 步进电机的应用举例	161
7.3 测速发电机	161
7.3.1 交流测速发电机	162
7.3.2 直流测速发电机	163
7.3.3 测速发电机的应用举例	163
【本章小结】	164
【思考题与习题】	165
【自我评估】	165
第8章 电动机应用知识	167
【学习目标】	167
8.1 电力拖动系统中电动机的选择	167
8.1.1 电动机发热与冷却	167
8.1.2 电动机的工作方式(工作制)	169
8.1.3 电动机种类、型式、额定电压与额定转速的选择	170
8.1.4 电动机额定功率的选择	171
8.2 直流电动机常见故障及处理	174
8.3 三相异步电动机常见故障及处理	175
8.4 变压器运行常见故障及处理	176
【本章小结】	177
【思考题与习题】	177
【自我评估】	178
第9章 电机与拖动基础实验	179
【学习目标】	179
9.1 单相变压器空载及短路试验	179
9.1.1 实验目的	179

9.1.2	实验设备与仪器	179
9.1.3	实验方法	179
9.1.4	注意事项	180
9.1.5	实验报告	180
9.1.6	思考题	181
9.2	三相变压器极性和连接组别测定	181
9.2.1	实验目的	181
9.2.2	实验设备与仪器	181
9.2.3	实验方法	181
9.2.4	注意事项	183
9.2.5	实验报告	183
9.2.6	思考题	183
9.3	直流电动机认识实验	183
9.3.1	实验目的	183
9.3.2	实验设备与仪器	183
9.3.3	实验方法	183
9.3.4	注意事项	184
9.3.5	实验报告	184
9.4	直流电动机的机械特性	184
9.4.1	实验目的	184
9.4.2	实验设备与仪器	184
9.4.3	实验方法	184
9.4.4	注意事项	186
9.4.5	实验报告	186
9.4.6	思考题	186
9.5	直流电动机的调速	186
9.5.1	实验目的	186
9.5.2	实验设备与仪器	186
9.5.3	实验方法	186
9.5.4	注意事项	187
9.5.5	实验报告	187
9.6	三相绕线型异步电动机的启动与调速	187
9.6.1	实验目的	187
9.6.2	实验设备与仪器	187
9.6.3	实验方法	187
9.6.4	实验报告	188
9.7	三相笼型异步电动机的启动	188
9.7.1	实验目的	188
9.7.2	实验设备与仪器	188
9.7.3	实验方法	188

9.7.4	注意事项	189
9.7.5	实验报告	189
9.8	三相异步电动机的参数测定	189
9.8.1	实验目的	189
9.8.2	实验设备与仪器	189
9.8.3	实验方法	189
9.8.4	注意事项	191
9.8.5	实验报告	191
9.8.6	思考题	191
参考文献		192

绪 论

1 电机与电力拖动

“电机与拖动基础”课程包括电机原理和电力拖动基础两部分内容。

现代社会,电能已成为工农业生产中最主要的能量形式。电能的生产、变换、传送、分配、使用和控制等各个环节都离不开电机。电机是以电磁感应为理论基础进行机电能量转换或信号转换的一种电磁机械装置。电机主要指发电机、电动机和变压器。发电机的作用是把机械能转换成电能。电动机的作用是把电能转换为机械能,作为拖动各种生产机械的动力,是国民经济各部门应用最多的动力机械,也是最主要的用电设备。据统计各种电动机所消耗的电能占全国总发电量的60%~70%。变压器的作用是升高电压或降低电压,升高电压是为了减小输电线路的电能损耗,实现大容量、远距离、经济地输电,降低电压是为了安全用电。

电力拖动就是用电动机拖动各种生产机械运转,以实现生产过程的机械化和自动化,提高产品质量、生产率和经济效益,改善工人的劳动条件。

电力拖动的根本任务在于通过电动机将电能转换成生产机械所需的机械能,以求满足工业企业完成加工工艺和生产过程的要求,这主要是由于电能的生产、变换、传输、分配、使用和控制都比较方便经济。

电力拖动已成为现代工业企业中广泛采用的拖动方式,它具有许多其他拖动方式无法比拟的优点。

① 电力拖动比其他形式的拖动(蒸汽、水力等)效率高,而且电动机与被拖动的生产机械连接简便,由电动机拖动的生产机械可以采用集中传动、单独传动、多电动机传动等方式;

② 异步电动机结构简单、规格齐全、价格低、效率高、便于维护;

③ 电动机的种类和型号多,不同类型的电动机具有不同的运行特性,可以满足不同类型生产机械的要求;

④ 电力拖动具有良好的调速性能,其启动、制动、调速及反转等控制简便,快速性好,易于实现完善的保护;

⑤ 电力拖动装置参数的检测、信号的变换与传送都比较方便,易于组成完善的反馈控制系统,易于实现最优控制;

⑥ 可以实行远距离测量和控制,便于集中管理,便于实现局部生产自动化乃至整个生产过程自动化。

随着自动控制理论的不断进步,电力电子技术、数控技术和计算机技术的发展,电力拖动装置的运行性能大大提高,能更好地满足生产工艺过程的要求。采用电力拖动对提高劳动生产率和产品质量,提高生产机械运行的准确性、可靠性和快速性,改善工人的劳动条件,节省人力,都具有十分重大的意义。

电力拖动系统由电动机、传动机构、生产机械、控制设备和电源五部分组成,它们之间

的关系如图 0-1 所示。

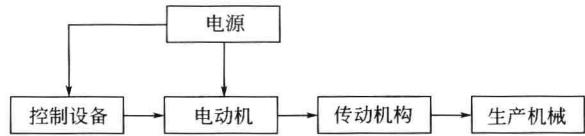
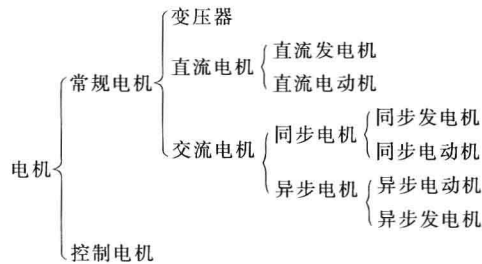


图 0-1 电力拖动系统的组成

电力拖动系统主要有直流和交流拖动系统两大类。直流电动机具有良好的启动、制动及调速性能，适合于在宽广范围内平滑调速。在可逆、可调速与高精度的拖动技术领域广泛应用，但直流电动机由于具有电刷和换向器，使得它的故障率较高，电动机的使用环境也受到限制，其电压等级、额定转速、单机容量的发展也受到限制；而交流电动机结构简单，制造、使用和维护方便，运行可靠，成本低廉，近年来随着电力电子技术、大规模集成电路和计算机控制技术的发展，交流电力拖动系统发展很快，技术日趋成熟，处于扩大应用、系列化的新阶段，在各工业部门中有取代直流拖动的趋势。

电机的分类方法很多，可归纳如下几种。



常规电机的主要任务是完成能量的转换和传递，例如产生电能的发电机，对电能进行变换、传输与分配的变压器，以及拖动各种生产机械运行的电动机。

控制电机的主要任务是完成控制信号的转换和传递，通常用于控制系统中，作为检测、校正及执行元件使用，主要包括伺服电动机、测速发电机、步进电动机、自整角机和旋转变压器等。

2 磁路的基本物理量

(1) 磁感应强度 B 磁感应强度 B 是表示磁场内某点的磁场强弱和方向的物理量。 B 的单位为特斯拉 (T)。磁力线能够形象地表示磁场的强弱、方向和分布情况，是无头无尾的闭合曲线。磁力线越密，磁感应强度越大。磁力线的方向与电流的方向可用右手螺旋定则来确定。磁感应强度 B 的大小可用 $B = \frac{F}{li}$ 来衡量，式中， F 为导体在磁场中所受到的力， l 为导体的有效长度， i 为导体中的电流。

(2) 磁通 Φ 磁感应强度 B (如果不是均匀磁场，则取 B 的平均值) 与垂直于磁场方向的面积 S 的乘积称为通过该面积的磁通 Φ ，即

$$\Phi = BS \text{ 或 } B = \frac{\Phi}{S}, \quad (0-1)$$

所以，磁感应强度又称磁通密度，简称为磁密。磁通 Φ 的单位为韦伯 (Wb)，面积 S 的单位为平方米 (m^2)。

(3) 磁场强度 H 磁场强度 H 是计算磁场时所引用的一个物理量, 通过它来确定磁场与电流之间的关系, $H = \frac{NI}{l}$, 单位为安/米 (A/m), 其方向与磁感应强度 B 相同。

(4) 磁导率 μ 衡量物质导磁能力的物理量, 称为磁导率 μ 。它与磁场强度的乘积就等于磁感应强度, 即 $B = \mu H$, 单位为亨利/米 (H/m)。根据导磁能力来分, 可把材料分为非铁磁材料和铁磁材料。对于非铁磁材料, 如真空, 磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$, 为一常数。把这个磁导率作为基准, 其余材料的磁导率与之相比, 得到相对的磁导率 $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ 。一般说来, 铁磁材料的相对磁导率很大, 例如电机定、转子铁芯的相对磁导率在 6000~7000 左右。

3 铁磁材料及其特性

各种电机在通过电磁感应作用而实现能量转换时, 磁场是它的媒介, 因此, 电机中必须具有引导磁通的磁路。为了在一定的励磁电流下产生较强的磁场, 电机和变压器的磁路都采用导磁性能良好的铁磁材料制成。铁磁材料具有以下特性。

(1) 磁化特性 铁磁材料包括铁、镍、钴等以及它们的合金。将这些材料作为磁路的介质, 磁场会显著增强。铁磁材料在外磁场中呈现很强的磁性, 这种现象称为铁磁物质的磁化。

磁性材料的磁导率很高, $\mu_r \gg 1$, 可达数百、数千乃至数万之值, 这就使它们具有被强烈磁化 (呈现磁性) 的特性。

磁性物质能被磁化, 是因为在磁性物质内部存在着许多很小的天然磁化区, 这些小区称为磁畴。在图 0-2 中磁畴用一些小磁铁示意。在没有外磁场作用时, 各个磁畴杂乱无章地排列着, 磁场互相抵消, 对外不显示磁性, 如图 0-2(a) 所示。在外磁场作用下 (例如在铁芯线圈中通入励磁电流产生的磁场作用下), 小磁畴就顺外磁场方向转向, 对外显示出磁性。随着外磁场的增强 (或励磁电流的增大), 磁畴就逐渐转到与外磁场相同的方向上, 如图 0-2(b) 所示, 这样就产生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, 这就说明磁性物质被强烈磁化了。

当磁畴全部沿外磁场方向排列后, 即使外磁场再增加, 铁磁材料内磁场几乎不再增加, 即进入磁饱和状态。

(2) 磁化曲线和磁滞回线 图 0-3 所示即为铁磁物质的磁化曲线。将一块尚未磁化的铁磁材料进行磁化, 磁场强度 H 由零逐渐增大时, 磁通密度 B 将随之增大。在 Oab 段, B 随着 H 的增大而增加, b 点称为膝点。在 bc 段, B 随着 H 的增加速率变慢, 这种现象称为磁路饱和。 c 点以后, B 几乎不随着 H 增大而增大了。设计电机时, 为使主磁路的磁通密度较大而又不过分增大励磁磁动势, 通常把铁芯内的工作磁通密度选择在膝点附近。

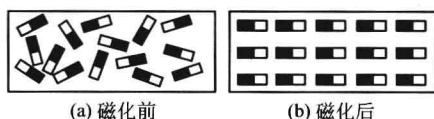


图 0-2 磁畴

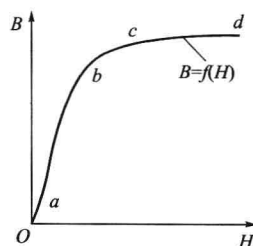


图 0-3 铁磁材料磁化曲线

当铁芯线圈中通有交变电流（大小和方向都变化）时，铁芯就受到交变磁化。在电流变化一次时，磁感应强度 B 随磁场强度 H 而变化的关系如图 0-4 所示。由图 0-4 可知，当 H 已减到零值时， B 并未回到零值。这种磁感应强度 B 滞后于磁场强度 H 变化的性质，称为磁性物质的磁滞性。呈现磁滞现象的 B - H 闭合回线，称为磁滞回线，如图 0-4 中 $abcdefa$ 所示。磁滞现象是铁磁材料的另一个特性。同一铁磁材料在不同的磁场强度 H_m 值下有不同的磁滞回线，如图 0-5 所示。将各磁滞回线的顶点连接起来，所得的 B - H 曲线称为基本磁化曲线。

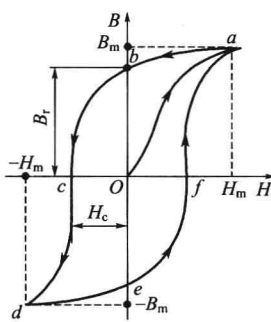


图 0-4 铁磁材料的磁滞回线

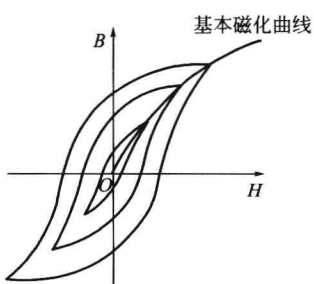


图 0-5 基本磁化曲线

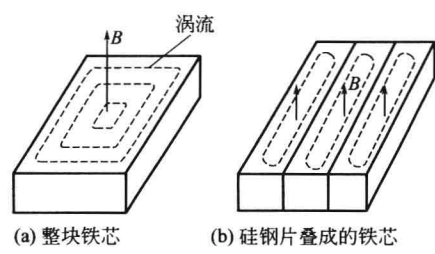


图 0-6 涡流路径

当线圈中的电流减小到零值（即 $H=0$ ）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），如图 0-4 所示。

要使 B 值从 B_r 减小到零，必须加上反向外磁场，此反向磁场强度称为矫顽力，用 H_c 表示。磁滞回线窄、剩磁 B_r 和矫顽力 H_c 都小的材料，称为软磁材料，如铸钢、硅钢、铸铁等，它们容易被磁化，常用来制造电机的铁芯。磁滞回线宽、剩磁 B_r 和矫顽力 H_c 都大的材料，称为硬磁材料，如铝镍钴合金等，常用来制造永久磁铁。

（3）磁滞损耗和涡流损耗 在交流磁路中，磁场强度的大小和方向不断变化，铁磁材料磁化方向反复变化，使磁畴方向也不断来回排列。磁畴彼此之间摩擦引起的损耗，称为磁滞损耗。

电机中的铁芯之所以采用软磁材料——硅钢片，是由于硅钢片的磁滞回线的面积小，能够降低磁滞损耗。

因为铁芯是导电的，所以交变的磁通也能在铁芯中感应电动势，并引起环流。这些环流在铁芯内部围绕磁通做涡流状流动，称为涡流，如图 0-6(a) 所示。涡流在铁芯中引起的损耗，称为涡流损耗。

为了减小涡流，电机的铁芯均采用 0.23~0.5mm 厚、两面涂有绝缘漆的硅钢片叠成，如图 0-6(b) 所示。

磁滞损耗和涡流损耗总称为铁芯损耗。对于一般的电工钢片，在正常的工作磁通范围内 ($1T < B_m < 1.8T$)，铁芯损耗可近似为

$$p_{Fe} \approx C_{Fe} B_m^2 f^{1.3} G \quad (0-2)$$

式中， C_{Fe} 为铁芯损耗系数； G 为铁芯重量。

式(0-2)表明，铁芯损耗与磁通密度 B_m 的平方、交变频率 f 的 1.3 次方及铁芯重量成正比。

4 基本电磁定律

(1) 安培环路定律 在磁场中, 沿任意一个闭合磁回路的磁场强度 H 线积分等于该回路所包含的所有电流的代数和, 即

$$\oint_l H dl = \sum I \quad (0-3)$$

式中, $\sum I$ 就是该磁路所包围的全电流, 因此这个定律也叫做全电流定律。当导体电流与积分路径符合右手螺旋关系时取正, 否则取负。如图 0-7 所示回路, i_1 、 i_2 为正, i_3 为负, 应用全电流定律可写成

$$\oint_l H dl = i_1 + i_2 - i_3$$

在工程应用中, 磁路的几何形状是比较复杂的, 直接利用安培环路定律的积分形式进行计算有一定的困难。

通常把磁路分成若干段, 每段的几何形状比较规则, 并找出每段的平均磁场强度, 再找出每段磁路的平均长度, 求出相应的磁压降, 最后把若干段磁路的磁压降相加得出总磁通势, 即

$$\sum_{k=1}^n H_k l_k = \sum I = NI \quad (0-4)$$

式中, H_k 为磁路中第 k 段磁路的磁场强度, A/m; l_k 为第 k 段磁路的平均长度, m; NI 为作用在整个磁路上的磁通势, 即全电流数, 安匝; N 为励磁线圈的匝数。

(2) 磁路欧姆定律 若 Φ 为磁路中的磁通, R_m 为磁路的磁阻, l 为磁路的平均长度, μ 为磁路材料的磁导率, S 为磁路的截面积, $F = iN$ 为作用在磁路上的磁动势, 则磁路的欧姆定律为

$$\Phi = \frac{F}{R_m} = \frac{iN}{R_m} \quad (0-5)$$

$$R_m = \frac{l}{\mu S} \quad (0-6)$$

(3) 电磁感应定律 变化的磁场能在导体回路中产生电流, 这种现象称为电磁感应, 所产生的电流叫做感应电流。有电流说明回路中有电动势存在, 这种电动势叫做感应电动势。电磁感应现象分为以下两种情况。

① 直导体中的感应电动势 闭合电路的一部分导体切割磁力线时, 导体中就会产生感应电动势及感应电流。设导体有效长度为 l , 切割磁力线的运动速度为 v , 且磁力线、导体的运动方向及导体本身三者相互垂直时, 感应电动势的大小为

$$e = Blv \quad (0-7)$$

感应电动势及感应电流的方向由右手定则来确定, 如图 0-8 所示。

② 线圈中的感应电动势 一个线圈位于磁场中, 当线圈所交链的磁通发生变化时, 线圈中将感应电动势。若线圈匝数为 N , 则感应电动势为

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (0-8)$$

感应电动势的方向符合楞次定律, 即感应电动势的方向始终与磁通变化的方向相反, 如式(0-8) 负号所示。

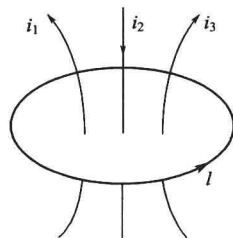
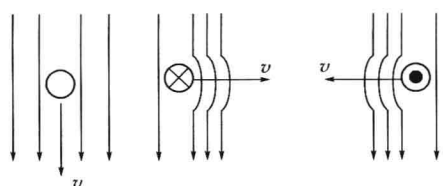
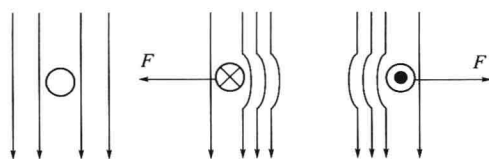


图 0-7 全电流定律的应用



(a) i 为零 (b) i 流入纸面 (c) i 流出纸面

图 0-8 感应电动势 e 及感应电流 i 的方向确定



(a) 电流 $i=0$ (b) 电流 i 流入纸面 (c) 电流 i 流出纸面

图 0-9 电磁力的方向确定

(4) 电磁力定律 电磁力定律的内容是载流导体在磁场中将受到力的作用。由于这种力是磁场和电流相互作用而产生的，故称为电磁力 F ，单位为牛顿 (N)。若磁场与导体相互垂直，则作用在导体上的电磁力为

$$F = Bli \quad (0-9)$$

式中， B 为导体所在处的磁通密度； i 为导体中的电流； l 为导体的有效长度。

电磁力的方向符合左手定则，如图 0-9 所示。

5 本课程的性质与任务

本课程是工业电气自动化、机电一体化、供用电技术、自动控制等专业的专业基础课，它的任务是使学生掌握变压器和各种电机的基本结构、工作原理及主要特性，并掌握电力拖动的基础知识，包括各种电动机启动、调速、制动和反转的各种方法、原理、优缺点和适用场合；培养学生在电机与电力拖动方面分析问题、解决问题的能力，包括必要的计算能力；通过基础实验技能的训练，使学生掌握测试电机、变压器的性能和参数的基本方法，为学习后续课程和今后的工作准备必要的基础知识。

本课程的内容包括变压器、三相异步电动机、三相异步电动机的电力拖动、其他交流电动机及控制电机、直流电机、直流电动机的电力拖动、电力拖动系统电动机的选择及相关实验等。

在学习本课程的过程中，要了解本课程的分析方法，注意分析问题时的前提条件和被研究问题的主要矛盾及所得结论的局限性；必须掌握电和磁的基本概念，分析电机和电力拖动的工作原理要用电学、磁学和动力学的基础理论，理论性较强；而用理论分析电机和电力拖动的实际问题时，要结合电机的具体结构，采用工程观点和工程分析方法，实践性较强。所以，学习本课程必须抓住主要矛盾，抓住重点，注意理论联系实际。