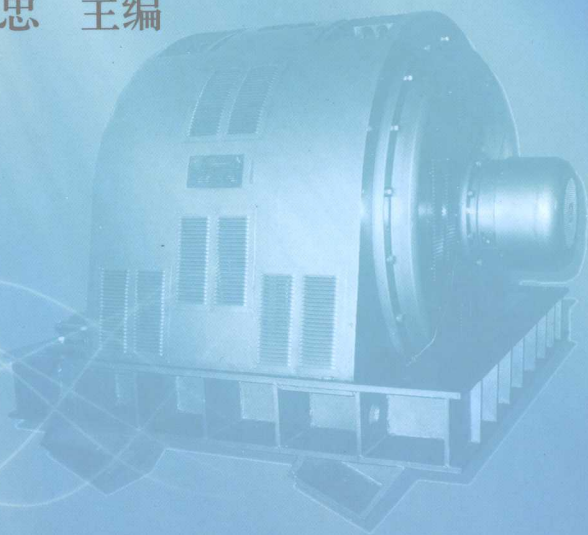


高职高专机电类专业统编教材
全国水利水电高职教研会组编

DIANJI YU TUODONG

电机与拖动

王晓敏 段正忠 主编



黄河水利出版社

高职高专机电类专业统编教材
全国水利水电高职教研会组编

电机与拖动

主 编	王晓敏	段正忠
副主编	滕颖辉	戴 崇
主 审	章世清	

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是高职高专机电类专业统编教材,是根据全国水利水电高职教研会制定的《电机与拖动》课程教学大纲编写完成的。教材中共包含电机原理、电力拖动两部分,主要内容有:直流电机、变压器、异步电机、微特电机的基本结构及理论,直流电动机、三相异步电动机的电力拖动,各类电机的常见故障分析,常用低压电器及基本控制,直流电动机、异步电动机的电力拖动实验。本书层次分明,条理清晰,结构合理,重点突出,概念阐述清楚、准确,内容深入浅出,通俗易懂。

本书实用性强,可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校机电一体化、机械制造、数控加工、模具技术等专业的教学用书,也可作为相关专业培训教材或相关工程技术人员的学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动/王晓敏,段正忠主编. —郑州:黄河水利出版社,2008.8

高职高专机电类专业统编教材

ISBN 978 - 7 - 80734 - 437 - 7

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 123891 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:16.25

字数:375 千字

印数:1—4 100

版次:2008 年 8 月第 1 版

印次:2008 年 8 月第 1 次印刷

定价:30.00 元

前言

本书是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》等文件精神,以及由全国水利水电高职教研会拟订的教材编写规划,报水利部批准,由全国水利水电高职教研会组织编写的机电类专业统编教材。

我国的高等职业技术教育目前进入了新的发展时期,各高职高专院校把培养适应生产、管理、服务第一线需要的高级职业技术应用型人才作为办校的根本目标,因此编写适用于职业技术教育特点,突出科学性、实用性、综合性的高职教材已成为一项极具重要意义的工作。

科学技术发展到现在,随着现代化进程的不断加快,电机的应用越来越广泛,达到了无所不在的境界,掌握电机技术已是电气工程技术人员的本领。本书是高职高专机电类专业电机与拖动课程的教材,它根据高等职业技术教育的特点,为适应机电应用专业职业教育和发展的需要而编写。编写过程中,教材突出了加强基础、突出应用、着重培养学生独立思考与动手能力的指导思想,以求达到改革高职高专机电应用学科的教学目的。

本书编写遵循以下原则:

(1)注重教材内容的实用性。本书内容的编排是根据机电设备应用的需要和发展现状确定的,适应培养企业实用性人才的需要。本书从实用性的原则出发,确定了以了解实际电机与拖动控制为目的,使电机与拖动控制技术的内容精练、易懂,为读者学好本课程奠定基础。

(2)注重教材内容的理论联系实际。本书中突出了应用基础理论解决实际问题的训练,通过对典型设备故障的诊断和维修实例进行分析,使课程学习与生产实际有机地结合起来。例如本书的机电设备系统维修内容,不但体现了机电系统故障诊断与维修的特点以及机电结合的故障诊断与维修技术的综合性和先进性,而且详细介绍了故障分析和排除的方法,对设备维修人员有较大的参考价值。

(3)注重教材内容的先进性。本书编入了电机与拖动控制技术领域中的一些新理论、新技术和新工艺,为在生产中应用这些先进技术提供了参考。

(4)注重教材内容的可用性。力求通俗易懂、详略得当,力图培养学生对电机与拖动控制技术能用、会用、会修的实际动手能力。

本书编写分工如下:绪论和第八章由三峡电力职业学院王晓敏编写,第一章由重庆水利电力职业技术学院段正忠编写,第二章由云南农业大学水利水电职业技术学院曾谊萍编写,第三章由四川水利职业技术学院宋杰编写,第四章由湖北第二师范学院刘建新编写,第五章由河北工程技术高等专科学校王志勇编写,第六章由沈阳农业大学高等职业技术学院滕颖辉编写,第七章由安徽水利水电职业技术学院戴崇编写。全书由王晓敏、段正忠担任主编,王晓敏负责全书统稿,滕颖辉、戴崇担任副主编,三峡电力职业学院章世清担

任主审。

在本书编写过程中,得到许多同志的支持和帮助;编写中还参考了一些电机、电器、拖动控制等方面文献资料,在此对文献资料的作者一并表示诚挚的谢意。

由于作者的水平有限,时间仓促,书中错误不妥及疏漏之处在所难免,恳切希望专家学者和读者不吝指教。

编者

2008年5月

目 录

前 言	
绪 论	(1)
第一节 电机及电力拖动的作用	(1)
第二节 电机的基本电磁定律	(2)
第三节 电机铁磁材料的特性	(5)
第四节 本课程的任务和特点	(8)
第一章 直流电机	(10)
第一节 直流电机结构及工作原理	(10)
第二节 直流电机的铭牌和绕组	(15)
第三节 直流电机的基本特性	(22)
第四节 直流电动机的电力拖动	(34)
第五节 直流电机的故障分析及维护	(45)
第六节 直流电动机的拖动实验	(49)
小 结	(54)
思考与练习	(55)
第二章 变压器	(57)
第一节 变压器结构及工作原理	(57)
第二节 单相变压器	(64)
第三节 三相变压器	(79)
小 结	(90)
思考与练习	(91)
第三章 异步电机	(93)
第一节 交流绕组	(93)
第二节 三相异步电动机结构及工作原理	(102)
第三节 三相异步电动机的运行	(107)
第四节 三相异步电动机的工作特性	(114)
第五节 单相异步电动机	(122)
小 结	(128)
思考与练习	(130)
第四章 同步电机	(132)
第一节 同步电机的基本功能及用途	(132)
第二节 同步电机结构及工作原理	(134)

第三节	同步发电机的运行特性及功率调节	(144)
第四节	同步电动机及无功功率的调节	(151)
第五节	同步电动机的起动	(153)
小 结	.....	(155)
思考与练习	.....	(155)
第五章 微特电机	.....	(157)
第一节	伺服电动机	(157)
第二节	测速发电机	(164)
第三节	步进电动机	(167)
第四节	自整角机	(172)
第五节	小功率同步电动机	(177)
小 结	.....	(180)
思考与练习	.....	(182)
第六章 三相异步电动机电力拖动	.....	(183)
第一节	三相笼形异步电动机的起动	(183)
第二节	三相绕线式异步电动机的起动	(188)
第三节	三相异步电动机的调速	(190)
第四节	三相异步电动机的反转与制动	(195)
小 结	.....	(199)
思考与练习	.....	(200)
第七章 电力拖动控制系统	.....	(201)
第一节	常用低压电器	(201)
第二节	电气控制系统图	(215)
第三节	三相异步电动机起动控制电路	(217)
第四节	三相异步电动机电气制动控制电路	(231)
第五节	三相异步电动机的调速控制电路	(235)
小 结	.....	(237)
思考与练习	.....	(238)
第八章 异步电动机的运行维修及控制实验	.....	(240)
第一节	异步电动机的运行管理	(240)
第二节	异步电动机维修及故障排除	(242)
第三节	异步电动机起动和制动控制实验	(244)
第四节	异步电动机的正反转控制实验	(247)
第五节	生产机械的限位控制实验	(250)
小 结	.....	(252)
思考与练习	.....	(253)
参考文献	.....	(254)

绪 论

第一节 电机及电力拖动的作用

任何机械都是能量转换装置,电机是根据电磁感应原理实现机电能量转换的电力机械设备。

工业企业中的各种生产机械,在完成生产的过程时,普遍采用各种类型的电动机来拖动生产机械。这种以电动机为动力拖动生产机械的拖动方式叫做电力拖动,或称为电机拖动、电气传动等。

一、电机的主要用途及分类

电机的用途极为广泛。在发电厂,由原动机带动发电机旋转,发电机可以输出交流电功率;在输配电系统中,为了节省材料并减少输电线路损耗,必须采用升压变压器,使交流发电机出口端的电压等级升高,将电能进行远距离传输后,再采用降压变压器降低电压等级,供用户使用;在用户端,电动机将电能转换成机械能,为生产机械提供动力。在电气传动控制系统中,广泛采用各种控制电机实现指示、随动、反馈等控制。

根据电机的用途及结构特点,电机可分成以下各类:

- (1) 变压器(静止的电机)。
- (2) 交流电机:包括同步电机、异步电机。
- (3) 直流电机:包括直流发电机、直流电动机。
- (4) 控制电机:包括测速发电机、伺服电机、自整角机、步进电机等。

二、电力拖动的作用及组成

电力拖动的根本任务,在于通过电机将电能转换成生产机械所需的机械能,以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。因此,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,例如:

(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、反向和调速等控制简便,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,半导体器件的大量采用,以及数控技术和电子计算机技术的发展,电力拖动装置的运行特性品质大大提高了,它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,提高生产机械运转时的准确性、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。因此,电力拖动,特别是自动化的电力拖动,成了现代工业生产电气化与自动化的基础与核心。

电力拖动装置一般由电动机、传动机构、生产机械、控制设备和电源等基本环节所组成,如图 0-1 所示。其中:

(1) 电动机:如异步电动机、直流电动机、同步电动机等。

(2) 传动机构:如齿轮传动、皮带传动、联轴器传动、卷筒—钢绳传动等。

(3) 生产机械:如泵与风机的叶轮、机床主轴、轧钢机轧辊、卷扬机、电力机车等。

(4) 控制设备:包括电气控制设备、控制电机等。

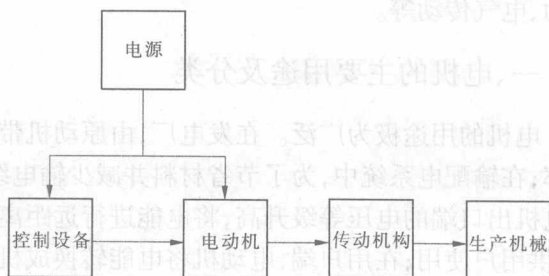


图 0-1 电力拖动装置方框图

电动机是一个机电能量转换元件,它把从电源输出的电能转换为生产机械所需要的机械能。

传动机构则是用以传递动力,实现速度和运动方式的变换。不同的传动方式,其使用场合不同、传动效率不同、工作原理不同。

电力拖动装置中的生产机械作为电动机的负载,靠传动机构将电动机轴上输出的机械功率传递给工作机构,它是实现电力拖动能量传递的主体对象。

控制设备的主要作用是,应用电力电子技术和计算机控制技术,从对电动机的控制入手,实现对生产机械运行特性的控制。控制系统的设计直接关系到电力拖动装置运行的可靠性和生产过程的自动化水平。

第二节 电机的基本电磁定律

自然界中存在着许许多多的客观规律,在电机理论中常用的基本电磁定律就是描述客观电磁规律的。

电机是通过电磁感应实现能量转换的机械设备。发电机将机械能转换成电能,电动机将电能转换成为机械能,变压器则是将一种电压的电能转换成另一种电压的电能。但无论是发电机还是电动机或变压器,其工作原理都是建立在电磁感应定律、电路磁路定律

和电磁力定律等基础之上的。为了掌握电机的运行原理和特性,复习一下这些基本电磁定律是很有必要的。下面简要地介绍这些定律的内容。

一、电路定律

(一)基尔霍夫第一定律

在电路的节点上,电流瞬时值的代数和等于零,即

$$\sum i = 0 \quad (0-1)$$

列电流方程时,先确定电流的正方向。对于正弦交流电路,电流用复数 $\dot{I}$ 表示。

(二)基尔霍夫第二定律

在闭合电路中,沿着回路的巡行方向,电压降的代数和等于电动势的代数和,即

$$\sum u = \sum e \quad (0-2)$$

如果把电压看成负的电动势,则回路中的电动势的总和等于零。列回路方程时,先规定电流、电压降、电动势的正方向,再选定回路的巡行方向。凡电动势和电压降与巡行方向一致时取正号;反之取负号。对于正弦交流电路,其电流、电压降、电动势分别用复数 $\dot{I}$ 、 $\dot{U}$ 、 $\dot{E}$ 表示。

二、磁路定律

(一)磁路欧姆定律

磁路中的磁通 Φ 等于作用在磁路上的磁动势 F 与磁导 λ_m 的乘积,磁导 λ_m 与磁阻 R_m 互为倒数,所以磁路中的磁通 Φ 等于作用在磁路上的磁动势 F 除以磁路的磁阻 R_m ,这就是磁路的欧姆定律。即

$$\Phi = F \lambda_m = \frac{F}{R_m} \quad (0-3)$$

电机的主磁路为分段磁路,由于各部分的材料、磁路长度不同,因而磁导不同,用 λ_{mk} 表示第 k 段磁路的磁导,单位为 H,磁导与磁导率成正比,与磁路长度成反比,式 (0-3) 还可以写成

$$\Phi = F \sum_{k=1}^n \lambda_{mk} \quad (0-4)$$

由于磁阻 $R_m = \frac{1}{\mu} \frac{L}{A}$, 所以磁路的磁阻取决于磁路的几何尺寸和所用材料的磁导率 μ 。磁路的平均长度 L 越长,截面积 A 越小,磁阻就越大。材料的磁导率越大,磁阻就越小。所以,电机的磁路大都采用铁磁材料。

(二)磁路基尔霍夫定律

在磁路节点上,磁通的代数和等于零,即

$$\sum \Phi = 0 \quad (0-5)$$

式 (0-5) 表明,进入闭合面的磁通等于离开闭合面的磁通。如果磁通均按正弦规律变化,可用复数 Φ 表示。

(三) 安培环路定律

闭合磁路中, 磁场强度矢量的线积分等于该闭合回路所包围的各电流的代数和, 即

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{L} = \sum i \quad (0-6)$$

式中: 电流的方向与磁场强度的方向符合右手螺旋定则。

如图 0-2 所示, i_1 、 i_3 取正值, i_2 取负值。安培环路定律表明, 载流导体周围必然存在着磁场。

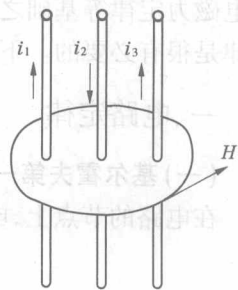


图 0-2 安培环路定律

三、电磁感应定律

假设有一线圈位于磁场中, 则将有磁力线穿过该线圈而和它键链。当线圈的磁链发生变化时, 会在线圈中感生电动势, 单位为 V。线圈磁链的变化又分为两种情况。

(1) 线圈和磁场相对静止, 而线圈中的磁通本身随时间交变, 此时, 在线圈中感生变压器电动势 e , e 的大小正比于磁链的变化率, 即

$$e = -\frac{d\psi}{dt} = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (0-7)$$

式中: N 为线圈的匝数; ψ 为线圈的磁链, $\psi = N\phi$; 负号表明感应电动势的方向总是企图产生一个阻止磁链变化的电流, 当磁链增加时, $\frac{d\phi}{dt} > 0$, $e < 0$, 与指定正方向相反, 产生去磁电流, 当磁链减少时, $\frac{d\phi}{dt} < 0$, $e > 0$, 与指定正方向相同, 产生助磁电流, 如图 0-3 所示。

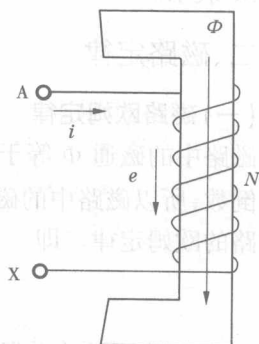


图 0-3 感应电动势的方向

(2) 恒定的磁场在空间按一定规律分布, 导体以匀速运动切割磁力线时, 在导体中感生速率电动势 e , e 的大小正比于磁通密度和导体的切割速度, 即

$$e = BLv \quad (0-8)$$

式中: B 为导体所在处的磁通密度; L 为导体的有效长度; v 为导体相对磁场运动的线速度。

速率电动势的方向符合右手发电机定则(简称右手定则), 如图 0-4 所示。伸开右手掌, 拇指与其余四指相互垂直, 掌心迎着磁力线, 拇指为导体运动方向, 四指所指的方向为速率电动势的方向。

四、电磁力定律

电磁力定律说明, 载流的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 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; L 为导体的有效长度; i 为导体中的电流。

电磁力的方向符合左手电动机定则(简称左手定则),如图 0-5 所示。伸开左手掌,拇指与其余四指相互垂直,掌心迎着磁力线,四指指向电流方向,拇指所指的方向为电磁力的方向。或者是根据右手螺旋定则画出电流产生的磁力线,把这种磁力线与导体所在处的外磁场磁力线叠加,这样将使导体一边的磁力线增加,另一边减少,电磁力的方向是从磁力线密的一边指向磁力线疏的一边,如图 0-6 所示。

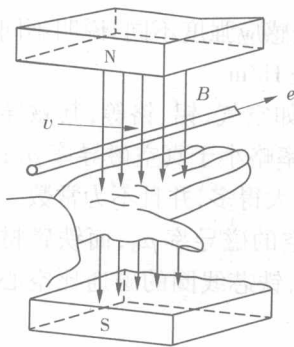


图 0-4 右手发电机定则

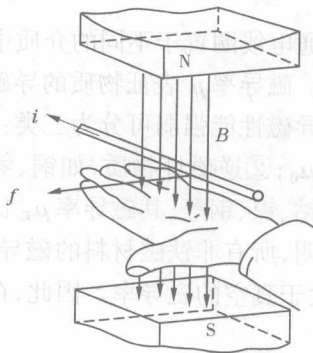


图 0-5 左手电动机定则

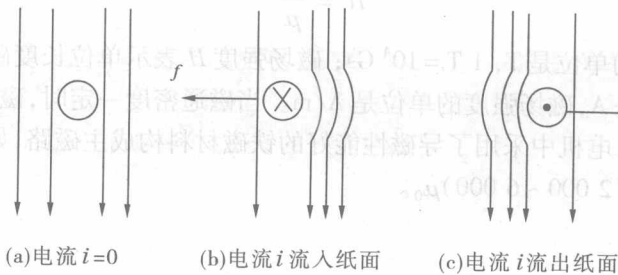


图 0-6 电磁力的方向确定

五、能量转换规律

电磁感应定律和电磁力定律合在一起,是电机实现机电能量转换的理论基础。旋转电机中,导体的感应电动势 $e = BLv$, 其电功率瞬时值 $p = ei = BLvi$, 机械功率 $p = fv = BLiv$, 显然,由速率电动势所产生的电功率恰好等于电磁力所产生的机械功率。电功率和机械功率同时存在,电机的运行状态不同,则功率方向不同。发电机中, e 和 i 同方向,输出电功率; f 和 v 反方向,吸取机械功率。电动机中, f 和 v 同方向,输出机械功率; e 和 i 反方向,吸取电功率。

第三节 电机铁磁材料的特性

电机是依据电磁感应原理实现能量转换的,其内部要构成完整的磁路、独立的电路,带电导体之间要相互绝缘,还要有构成电机整体的结构部分。因此,制造电机要用到以下四种材料:①电阻率低的导电材料;②导磁性能高的铁磁材料;③介电强度高、耐热性好的

绝缘材料;④机械强度高的结构材料。

本节仅讨论铁磁材料的特性。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。

一、磁导率及磁场强度

将一个通电线圈置于不同的介质中,可以发现其磁感应强度不同,说明不同介质的导磁性能不同。磁导率 μ 表征物质的导磁性能,其单位是 H/m。

物质按导磁性能强弱可分为三类:①顺磁性物质,如空气、铝、铬等,其磁导率略大于真空磁导率 μ_0 ;②逆磁性物质,如铜、氢、铅等,其磁导率略小于真空磁导率 μ_0 ;③铁磁性物质,如铁、钴、镍、钢等,其磁导率 μ_{Fe} 比真空磁导率 μ_0 大得多,并且不为常数。

实验表明,所有非铁磁材料的磁导率都接近于真空的磁导率 μ_0 ,而铁磁材料的磁导率 μ_{Fe} 远远大于真空的磁导率。因此,在同样的电流下,铁芯线圈的磁通比空心线圈的磁通大得多。

磁场强度用符号 H 表示,其定义为

$$H = \frac{B}{\mu} \quad (0-10)$$

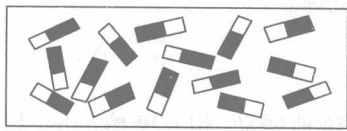
其中,磁通密度 B 的单位是 T, $1\text{ T} = 10^4\text{ Gs}$; 磁场强度 H 表示单位长度磁路上作用的磁动势,磁动势的单位是 A, 磁场强度的单位是 A/m。当磁通密度一定时,磁导率越大,所需的磁动势越小。为此,电机中采用了导磁性能好的铁磁材料构成主磁路,如硅钢片、钢板、铸钢,其磁导率 $\mu_{Fe} \approx (2\,000 \sim 6\,000)\mu_0$ 。

二、磁化曲线

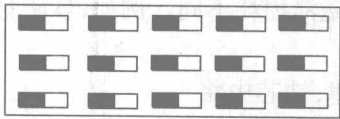
铁磁物质的磁导率之所以很大,是由于铁磁物质内部存在着许多天然磁畴,未被磁化时,各磁畴杂乱无章地排列着,对外不显磁性,如图 0-7(a) 所示。当铁磁物质放入磁场后,在外界磁场的作用下,各磁畴逐渐转向,形成附加磁场,与外磁场方向一致,使外磁场增强,如图 0-7(b) 所示。这种现象称为磁化。

在磁化过程中,磁通密度 B 随磁场强度 H 变化的关系曲线称为磁化曲线。铁磁材料的磁化曲线 $B = f(H)$ 为非线性关系,如图 0-8 所示。曲线大致分为两段:第一段 Oa 为线性段,磁通密度较低,当外磁场由零开始增加时,能引起相应数量的磁畴开始转向与外磁场方向一致,使磁场增强,因此磁通密度随磁场强度几乎成正比上升,即 $B = \mu H$, $\mu =$ 常数;第二段 ab 为饱和段,磁通密度较高,由于大部分磁畴已与外磁场方向渐趋一致,当外磁场继续增加时,可转向的磁畴越来越少,因此磁通密度已不再随磁场强度成正比增加,这种现象称为磁饱和。此时,磁化曲线的斜率逐渐变得平缓,磁导率 μ 逐渐减小。 b 点称为饱和点。 b 点以后,所有的磁畴几乎都已与外磁场方向一致, B 随 H 的增加变得非常缓慢,铁磁材料的磁导率 μ 进一步减小。

在设计电机时,为了充分利用铁磁材料,磁通密度不能选得太低,而为了减小励磁安匝数,应使磁导率较高,磁通密度又不能选得太高,综合考虑,通常把磁通密度 B 值选择



(a)



(b)

图 0-7 铁磁物质的磁畴

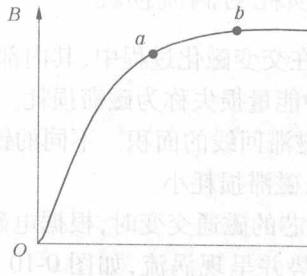


图 0-8 铁磁材料的磁化曲线

在 a 点 (称为膝点) 附近。

三、磁滞回线

由实验可以证明,对铁磁材料进行交变磁化时,其内部的磁畴在随外磁场转向、排列的过程中,相互之间要产生摩擦,因此磁通密度 B 的变化总是滞后于磁场强度 H 的变化,称为磁滞现象,如图 0-9 所示。由图可见:

(1) 当增加励磁电流,使磁场强度 H 由零上升到最大值 H_m 时,磁通密度 B 沿 OP_2 曲线变化, P_2 点为 (H_m, B_m) 。

(2) 当励磁电流逐渐减小到零并反方向增加时,磁场强度由 H_m 向 $-H_m$ 变化,磁化曲线的轨迹为 $P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_5$ 。 P_3 点为 $(0, B_r)$, 磁场强度已减小到零,但磁通密度 $B_r > 0$, B_r 称为剩磁。虽然外磁场消失,但磁畴未能全部恢复原状,顺外磁场排列的部分磁畴被保留下来,使 $B_r = OP_3$ 。 P_4 点为 $(-H_c, 0)$, 磁场强度变化到 $-H_c$ 时,磁通密度才减小到零,显然 H_c 是消除剩磁所需的反向磁场强度,称为矫顽力 ($H_c = P_4O$)。

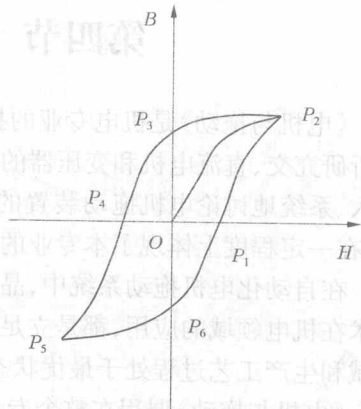


图 0-9 铁磁材料的磁滞曲线

(3) 当磁场强度由 $-H_m$ 向 H_m 变化时,磁化曲线的轨迹为 $P_5 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2$, 分析方法同(2)。

由于磁滞现象,磁化曲线的上升曲线和下降曲线不重合,二者围成对称于原点的闭合曲线 $P_1P_2P_3P_4P_5P_6P_1$, 称为磁滞回线。对同一种材料取不同的 H_m 值可测得若干磁滞回线,过原点将所有磁滞回线的顶点连接起来,就可得到一条工程上常用的基本磁化曲线。

不同的铁磁材料,其磁滞回线形状各不相同,可大致分为两类:①软磁材料,如铸铁、铸钢、硅钢片等,其磁滞回线的面积较窄, B_r 及 H_c 均较小, μ_{Fe} 较大,用来制造普通电机和变压器的铁芯;②硬磁材料,如铝、镍、钴、铁的合金和稀土合金等,其磁滞回线的面积较

宽, B_r 及 H_c 均较大, 可用来制造永久磁铁、磁滞电机等。

四、磁滞损耗与涡流损耗

铁磁材料在交变磁化过程中, 其内部磁畴在不停地转动、相互摩擦的同时, 将消耗一定的能量, 这种能量损失称为磁滞损耗。可以证明, 单位体积内的磁滞损耗正比于磁场交变的频率 f 和磁滞回线的面积。不同的铁磁材料, 磁滞损耗不同。例如, 软磁材料的磁滞回线面积较窄, 磁滞损耗小。

当通过铁芯的磁通交变时, 根据电磁感应定律, 铁芯中将产生感应电动势并呈现涡流, 如图 0-10 所示。涡流在铁芯中引起的损耗称为涡流损耗。为了减小涡流损耗, 在钢中加入 4% 左右的硅以增大铁芯的电阻率, 并将整块铁芯分割成相互绝缘的钢片以加长涡流的路径。因此, 电机和变压器的铁芯都用 0.35 mm 或 0.5 mm 厚的硅钢片叠制而成。

通常把磁滞损耗和涡流损耗合在一起, 统称为铁耗, 用 p_{Fe} 表示。对于某一种材料, 铁耗的大小与铁芯中磁通交变频率 f 及磁通密度 B_m 有关, 即

$$p_{Fe} \propto f^a B_m^2 \quad (0-11)$$

式中: $1 < a < 2$, 对于硅钢片, $a = 1.2 \sim 1.6$ 。

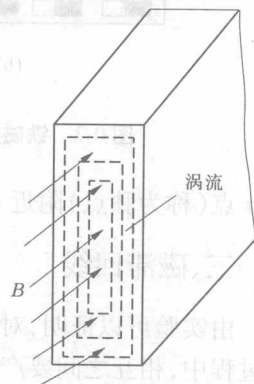


图 0-10 铁芯中的涡流

第四节 本课程的任务和特点

《电机与拖动》是机电专业的技术基础课之一。它主要从电机拖动系统的要求出发, 分析研究交、直流电机和变压器的基本结构、工作原理、基本电磁关系和运行特性, 特别是深入、系统地讨论电机拖动装置的静态和动态特性, 它所研究的电机拖动装置的基本理论, 在一定程度上体现了本专业的性质和基本任务。

在自动化电机拖动系统中, 晶闸管等新型半导体器件的采用, 数控和电子计算机等新技术在机电领域的应用, 都是立足于改善和提高电机拖动系统的静态和动态品质, 使生产机械和生产工艺过程处于最优状态。

《电机与拖动》课程在整个专业的学习中, 具有承上启下的性质。它是在《电工与电子》等基础课的基础上开出的, 运用《电工与电子》等课程中的基本理论来进行研究和分析, 又为学习《机电控制技术》等后续课程准备必要的基础知识。

《电机与拖动》是一门既有基础性又有专业性的课程, 因而与《电工与电子》等基础课程的性质不相同。在《电工与电子》课程中所要解决的问题, 大都是理想化了的, 因而比较单纯, 系统性比较强, 能用较严密的数学模型予以描述和分析, 从而抓住问题的物理本质, 得出一般性的结论。在《电机与拖动》课程中, 不仅有理论性的推导与分析, 还需要运用基本理论分析和研究某些实际问题, 而实际问题的客观情况往往是比较复杂的且具有综合性的。因此, 在分析时, 有必要运用工程观点和工程方法将问题简化, 找出主要矛盾, 然后运用理论给予解决。这样所得的结果, 已经足够正确地反映客观实际。在工程实践

第一章 直流电机

【本章重点难点提示】 掌握直流发电机和直流电动机的工作原理,了解直流电机的基本结构及各部件的作用,了解电枢绕组的特点和连接方式,了解影响电枢反应性质的因素及电枢反应对机电能量转换的作用。了解换向的物理过程和改善换向的主要方法,了解直流发电机的运行特性和直流电动机的工作特性,熟悉三种典型的生产机械负载特性,熟悉直流电动机的电力拖动过程,了解直流电动机的故障分析和维护方法。

本章难点主要是直流电机电枢反应的性质及电枢反应对机电能量转换的作用。

直流电机是实现直流电能和机械能互相转换的电气设备。其中将直流电能转换为机械能的叫做直流电动机,将机械能转换为直流电能的叫做直流发电机。

直流电动机的主要优点是起动性能和调速性能好,过载能力大,因此应用于对起动和调速性能要求较高的生产机械。例如大型机床、电力机车、内燃机车、城市电车、电梯、轧钢机、矿井卷扬机、船舶机械、造纸机和纺织机等都广泛采用直流电动机作为原动机。

直流电机的主要缺点是存在电流换向问题。由于这个问题的存在,其结构、生产工艺复杂,且使用有色金属多,价格昂贵,运行可靠性差。随着近年电力电子学和微电子学的迅速发展,将来在很多领域内,直流电动机将逐步为交流调速电动机所取代,直流发电机则正在被电力电子器件整流装置所取代。不过在今后一个相当长的时间内,直流电机仍在许多场合继续发挥作用。

第一节 直流电机结构及工作原理

直流电机可以分为直流发电机和直流电动机两大类,其工作原理可以通过直流电机的简化模型进行说明。

一、直流发电机的工作原理

直流发电机的工作原理就是把电枢线圈中感应的交变电势靠换向器的作用,从电刷端引出时成为直流电势。图 1-1 为直流发电机的模型图。在定子主磁极 N、S 之间有一转子铁芯。定子与转子之间的间隙称为气隙。铁芯表面放置线圈 abcd,线圈的引线分别连接到两个换向片上,换向片之间相互绝缘并可随线圈一同转动,整个转动部分称为电枢。转子线圈与外电路的连接,是通过压在换向片上固定不动的电刷 A、B 实现的。

当转子在原动机的拖动下按逆时针方向匀速旋转时,根据电磁感应定律可知,线圈的有效边 ab 和 cd 切割磁力线,线圈中将产生感应电动势。在图 1-1(a)所示时刻,用右手定则可确定电动势方向为 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ 。于是对外电路来说,电刷 A 呈正电位,极性为“+”,电刷 B 呈负电位,极性为“-”。