

高职高专“十二五”规划教材

电机与拖动

项目化教程

DIANJI YU TUODONG XIANGMUHUA JIAOCHENG

主 编◎李庭贵 梁 杰



合肥工业大学出版社

HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

高职高专“十二五”规划教材

电机与拖动项目化教程

主 编 李庭贵 梁 杰
副主编 唐学鑫 王 攀 刘 辉

合肥工业大学出版社

内容提要

本书将“电机学”与“电力拖动基础”两门课程的主要内容进行了有机组合。在内容组织上,本书以项目为导向,以任务来驱动,将“教”、“学”、“做”融为一体。本书主要内容有:电机的基础知识,变压器,三相异步电动机的基本原理和运行分析,三相异步电动机的启动、调速和制动,直流电机的基本原理和运行分析,直流电动机的电力拖动,其他驱动与控制电机及其应用,电动机的选择,等等。

本书为高职高专院校机电类、电气自动化类、电子信息类等专业的技术基础课教材,还可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动项目化教程/李庭贵,梁杰主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2013. 5

ISBN 978-7-5650-1304-1

I. ①电… II. ①李…②…梁 III. ①电机—高等为校—教材②电力传动—高等学校—教材
IV. ①TM3②TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 084254 号

电机与拖动项目化教程

李庭贵 梁 杰 主编

责任编辑 马成勋

出 版 合肥工业大学出版社

地 址 合肥市屯溪路 193 号

邮 编 230009

电 话 理工编辑部:0551—62903200

市场营销部:0551—62903198

网 址 www.hfutpress.com.cn

E-mail hfutpress@163.com

版 次 2013 年 5 月第 1 版

印 次 2013 年 5 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 15

字 数 346 千字

印 刷 安徽江淮印务有限责任公司

发 行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-1304-1

定价: 32.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换。



前 言

高职教育强调“以能力为本位，以职业实践为主线，努力做到把理论知识嵌入实践教学中”。

在机电类、电气自动化类、电子信息类专业中，《电机与拖动技术》是一门十分重要的专业技术基础课。本书根据高职高专人才培养目标，结合专业教育教学改革与实践经验，针对工程应用型教学改革和就业的需要，对现有的课程进行有机整合后编写而成。本书的编写内容以必需、够用为度，减少了原有课程教学内容中重复的部分，力图适应机电类、电气自动化类、电子信息类专业的需要，突出机电结合、电为机用的特点，体现理论先导、理论联系实际和精练实用的原则，在内容上偏重于电机及其拖动的定性分析和应用，降低理论深度，减少定量计算内容，并且适当反映近年来电机和电力拖动学科领域的新发展与新成就。另外，还注意到与“电工技术”及“电子技术”课程的衔接，并尽量避免或减少内容上的重复。

本教材充分体现了项目引领、任务驱动的课程体系设计思想，以理论与实践相结合为主线，适应“教、学、做”一体化的特色教学，以机电类、电气自动化类、电子信息类专业工作岗位的技术和技能需求为依据，在各项目中均引入工程应用实训案例，并配有相关目标考核，突出技术应用性，强化实践能力培养，使学生学习之后能够轻松地掌握电机与拖动技术，具有鲜明的高职教材特色。在编写过程中，既注重基础理论的学习，又结合工程实际，逐渐地培养学生的工程观点，掌握工程问题的处理方法，注重学生实际动手能力的培养。

本书以“项目化”形式编写，全书共8个项目模块，每个项目由相应的驱动任务组成，每个任务包括“任务要求”、“相关知识”、“应用实施”、“操作与技能考评”等部分，在任务驱动教学中包含了“电机与拖动技术课程标准”规定应掌握的所有知识点。项目一为“电机的基础知识”，包含任务“认识电机”、“熟悉电机中应用的基本物理量”。项目二为“变压器”，包含任务“认识变压器任务”、“变压器的运行分析和参数测定任务”、“三相变压器任务”、“特殊变压器的应用”。项目三为“三相异步电动机的基本原理和运行分析”，包含任务“三相异步电动机的结构和工作原理”、“三相异步电动机的运行分析及参数测定”、“三相异步电动机的机械特性分析”。项目四为“三相异步电动机的启动、调速和制动”，包含任务“认识负载”、“三相鼠笼式异步电动机的启动方法及应



用”、“三相异步电动机的调速方法及应用”、“三相异步电动机的电磁制动及应用”。项目五为“直流电动机的基本原理和运行分析”，包含任务“直流电动机结构和工作原理分析”、“直流电机的运行分析”、“他励直流电动机的机械特性分析”。项目六为“直流电动机的电力拖动”，包含任务“他励直流电动机的启动”、“他励直流电动机的调速”、“他励直流电动机的电磁制动”。项目七为“其他驱动与控制电机及其应用”，包含任务“单相异步电动机”、“三相同步电动机”、“控制电机”。项目八为“电动机的选择”，包含任务“电动机额定数据的选择方法”、“电动机额定功率的选择”。

本书可作为高职高专机电类、电气自动化类、电子信息类等专业的教材，或作为职业技术培训教材，也可作为从事机电、自动化技术的工程技术人员参考用书。

本书由泸州职业技术学院教师李庭贵、梁杰担任主编，泸州职业技术学院教师唐学鑫、王攀与安徽广播电视大学教师刘辉担任副主编。其中李庭贵编写了项目三、项目四、项目六；梁杰编写了项目一、项目二；唐学鑫编写了项目七；王攀编写了项目五；刘辉编写了项目八。李庭贵负责本书的策划、统稿及初审工作。

在编写本书的过程中，编者参考了许多文献资料（参见书后的参考文献），在此向各文献资料的作者表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免会有错误与不妥之处，敬请使用本书的读者批评指正，并恳请将本书的使用情况及各种意见、建议及时反馈给我们（505161446@qq.com），以便我们在今后的工作中不断改进和完善。

作 者

2013年5月



目 录

项目一 电机的基础知识	(1)
任务 1.1 认识电机	(1)
任务 1.2 熟悉电机中应用的基本物理量	(3)
项目小结	(11)
思考与练习	(11)
项目二 变压器	(13)
任务 2.1 认识变压器	(13)
任务 2.2 变压器的运行分析和参数测定	(19)
任务 2.3 三相变压器	(33)
任务 2.4 特殊变压器的应用	(43)
项目小结	(47)
思考与练习	(48)
项目三 三相异步电动机的基本原理和运行分析	(50)
任务 3.1 三相异步电动机的结构和工作原理	(50)
任务 3.2 三相异步电动机的运行分析及参数测定	(71)
任务 3.3 三相异步电动机的机械特性分析	(86)
项目小结	(95)
思考与练习	(96)
项目四 三相异步电动机的启动、调速和制动	(98)
任务 4.1 认识负载	(98)
任务 4.2 三相鼠笼式异步电动机的启动方法及应用	(103)
任务 4.3 三相异步电动机的调速方法及应用	(112)
任务 4.4 三相异步电动机的电磁制动及应用	(124)
项目小结	(130)
思考与练习	(131)



项目五 直流电机的基本原理和运行分析	(133)
任务 5.1 直流电动机结构和工作原理分析	(133)
任务 5.2 直流电机的运行分析	(146)
任务 5.3 他励直流电动机的机械特性分析	(153)
项目小结	(159)
思考与练习	(160)
项目六 直流电动机的电力拖动	(161)
任务 6.1 他励直流电动机的启动	(161)
任务 6.2 他励直流电动机的调速	(166)
任务 6.3 他励直流电动机的电磁制动	(171)
项目小结	(178)
思考与练习	(178)
项目七 其他驱动与控制电机及其应用	(180)
任务 7.1 单相异步电动机	(180)
任务 7.2 三相同步电动机	(188)
任务 7.3 控制电机	(193)
项目小结	(208)
思考与练习	(209)
项目八 电动机的选择	(211)
任务 8.1 电动机额定数据的选择方法	(211)
任务 8.2 电动机额定功率的选择	(219)
项目小结	(229)
思考与练习	(231)
参考文献	(233)



项目一 电机的基础知识

本项目分两个任务模块,分别阐述电机的基本概念、分类和其在生产中的重要作用,同时介绍了在电机中应用的一些基本物理量。

任务 1.1 认识电机

任务要求

- (1)掌握电机的基本概念和分类。
- (2)了解目前常用电机的外形。
- (3)了解电机在国民生产中的应用。

相关知识

电能易于转换、传输、分配和控制,是现代能源的主要形式。电能的生产是由发电机完成的,电能转换为机械能主要由电动机完成,电动机拖动生产机械运转称为电力拖动。电动机效率高,运转经济;电动机种类和规格很多,具有各种良好的特性,能较好地满足大多数生产机械的不同需要;电力拖动易于操作和控制,可以实现自动控制和远距离控制。因此,在现代化生产中多数生产机械都采用电力拖动。

一、电机的基本概念

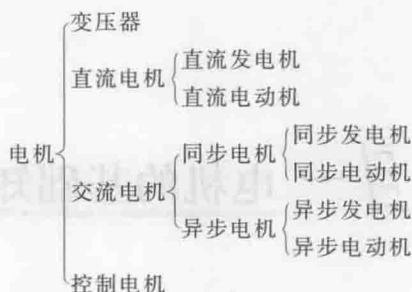
电机是以电磁感应原理和电磁力定律为基本工作原理制成的一种旋转电器,能将电能转换成机械能或将其他形式的能转换成电能。

二、电机的分类

电机常用的分类方式有两种:

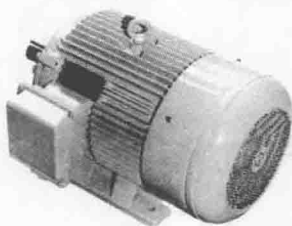
- (1)按功能分,有发电机、电动机、变压器和控制电机四大类;
- (2)按电机结构或转速分,有变压器和旋转电机。

两种分类方式归纳如下:

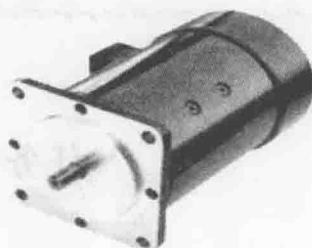


应用实施

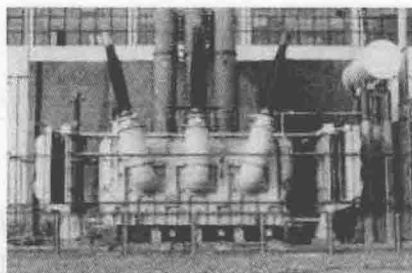
一、电机的分类产品图片



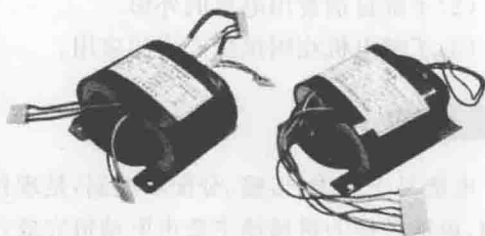
三相异步电机



伺服电机



电力变压器



电源变压器

二、电机在国民生产中的应用

现代工业、农业、交通运输、科学技术、邮电通讯和日常生活等各个方面广泛应用的电能,几乎全部是由火电厂或水电站的交流发电机所发出的交流电能。电动机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,各种电动机所消耗的电能占全国总发电量的60%以上。变压器是将一种电压的交流电能转换为另一种电压的交流电能的装置。由于发电机发出的电压受绝缘材料和结构的限制,最高只能是27 kV左右,进行远距离输电时,输电线路上将产生较大的电压降落和能量损耗,输电质量和经济性都无法保证。为此,在电厂或电站,需用变压器将电压升高,使在输送功率不变的情况下输电线路中的电流明显减小,以提高输电的效率,在用电中心和用电单位,再用变压器将电压降低到用电设备所需的电压等级,以保证用电的安全。控制电机主要用于信号的变换与传递,在自动控制系统中



作为多种控制元件使用,除国防工业应用较多以外,新兴的数控机床、计算机外围设备、机器人和音像设备等均需应用大量控制电机,例如金属切削机床、轧钢机、风机、水泵、起重机械和电力机车等。采用电力拖动使得生产率和产品质量进一步提高,为生产过程自动化提供了十分有利的条件。

电能是应用最为广泛的能源,而电能的产生、传输、分配和使用等各个环节都依赖于各种各样的电机,电力拖动是国民经济各部门中采用最多最普遍的拖动方式,是生产过程电气化、自动化的重要前提。由此可见,电机及电力拖动在国民经济中起着极其重要的作用。

操作与技能考评

序号	主要内容	考核标准	评分标准	配分	扣分	得分
1	电机的基础知识	(1)能够简述电机的基本概念; (2)能够看图认识电机的种类; (3)能够简述电机的应用	叙述不清、不达重点均不给分;(2)和(3)回答5种以内加1分,5种以上加2分	20		
2	电机实训台各单元的认识	能够识别8个单元的名称和作用	叙述不清、不达重点均不给分;答对1个单元给5分	40		
3	电机实训台各单元的使用方式和调节方式	(1)能够使用电源和调节可变电源; (2)能够测量和调节电压和电流大小; (3)能够调节可变电阻大小	调节成功1个单元给5分	40		

任务 1.2 熟悉电机中应用的基本物理量

任务要求

- (1)掌握电机中常用的定律内容。
- (2)掌握电机中应用的基本物理量的符号表示、单位表示及公式。
- (3)学会运用定律、公式计算。

相关知识

一、电路定律

各种电机、变压器内部均有电路,电路中各物理量之间的关系符合欧姆定律和基尔霍夫



第一定律、第二定律。

1. 欧姆定律

流过电阻 R 的电流 I 的大小与加于电阻两端的电压 U 成正比,与电阻 R 的大小成反比。对直流电路的公式为

$$U=IR$$

对于正弦交流电路,电阻 R 改为阻抗 Z ,电压与电流用复数有效值表示。

$$\dot{U}=iZ$$

2. 基尔霍夫第一定律(电流定律)

对电路中任意一个节点,电流的代数和等于零。

对于直流电路,公式为

$$\sum I=0$$

对于正弦交流电路,公式为

$$\sum i=0 \quad \text{或} \quad \sum \dot{I}=0$$

如设流入节点的电流为正,则流出节点的电流为负。

3. 基尔霍夫第二定律(电压定律)

对于电路中的任一闭合回路,所有电压降的代数和等于所有电动势的代数和。

对于直流电路,公式为

$$\sum U=\sum E$$

对于正弦交流电路,公式为

$$\sum u=\sum e \quad \text{或} \quad \sum \dot{U}=\sum \dot{E}$$

式中各个电压和电动势,凡是正方向与所取回路巡行方向相同者为正,相反者为负。

二、全电流定律

1. 电流的磁效应

电流会在其周围产生磁场,这就是电流的磁效应,即所谓“电生磁”。例如电流通过一根直的导体,在导体周围产生的磁场用磁力线描述时,磁力线为以导体为轴线的同心圆,磁力线的方向可根据电流的方向由右手螺旋定则确定,即将右手四指轻握作螺旋状,大拇指伸直,当大拇指指向电流方向,则弯曲的四指所指方向即为磁力线方向,如图 1-2-1a 所示。如果是电流通过导体绕成的线圈,产生的磁场的磁力线方向仍可用右手螺旋定则确定,这时,使弯曲的四指方向与电流方向一致,则大拇指的方向即为线圈内磁力线的方向,如图 1-2-1b 所示。

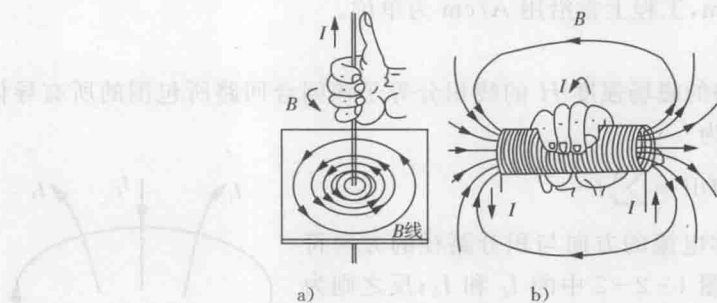


图 1-2-1 磁感应强度的方向与电流间的关系(右手螺旋定则)

2. 磁路的几个基本物理量

(1) 磁感应强度 B

磁场中任意一点的磁感应强度 B 的方向,即过该点磁力线的切线方向,磁感应强度 B 的大小为通过该点与 B 垂直的单位面积上的磁力线的数目。磁感应强度 B 的单位为特斯拉(T)。

(2) 磁通量 Φ

穿过某一截面 S 的磁感应强度 B 的通量,即穿过某截面 S 的磁力线的数目称为磁感应通量,简称磁通量,即

$$\Phi = \int B \cdot dS$$

设磁场均匀,且磁场与截面垂直时,上式可简化为

$$\Phi = BS$$

磁通量的单位为韦伯(Wb);面积单位为 m^2 。

由上式可知,磁场均匀,且磁场与截面垂直时,磁感应强度的大小可用下式表示:

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

因此,磁感应强度又称为磁通密度。

(3) 磁场强度 H

磁场强度 H 是为建立电流与由其产生的磁场之间的数量关系而引入的物理量,其方向与 B 相同,其大小与 B 之间相差一个导磁介质的磁导率 μ ,即

$$H = \frac{B}{\mu} \quad \text{或} \quad B = \mu H$$

磁导率 μ 是反映导磁介质导磁性能的物理量,磁导率 μ 越大的介质,其导磁性能越好。磁导率的单位是 H/m。真空中的磁导率为

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

其他导磁介质的磁导率通常用 μ_0 的倍数来表示,即

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

式中: μ_r ——导磁介质的相对磁导率。

铁磁性材料(如铁、钴、镍及其合金)的相对磁导率 $\mu_r = 2000 \sim 6000$,但不是常数;非铁磁性材料(如铜、铝、塑料等)的相对磁导率 $\mu_r \approx 1$,且为常数。



磁场强度的单位为 A/m,工程上常沿用 A/cm 为单位。

3. 全电流定律

磁场中沿任一闭合回路的磁场强度 H 的线积分等于该闭合回路所包围的所有导体电流的代数和,其数学表达式为

$$\oint_L H dl = \sum I$$

这就是全电流定律。当导体电流的方向与积分路径的方向符合右手螺旋关系时为正,如图 1-2-2 中的 I_1 和 I_3 ;反之则为负,如图 1-2-2 中的 I_2 。

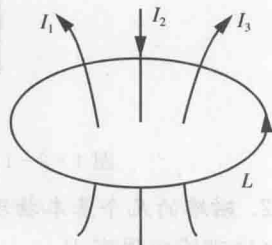


图 1-2-2 全电流定律

在电机和变压器中,常把整个磁路分成若干段,每一段磁路内的磁场强度 H 、导磁材料及导磁面积 S 相同,如图 1-2-3 所示,则全电流定律简化为

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3 + H_4 l_4 + H_5 l_5 + H_\delta \delta = NI$$

即

$$\sum H_k l_k = NI = F$$

式中: H_k ——第 k 段的磁场强度;

l_k ——第 k 段的磁路长度;

F ——作用在整个磁路上的磁动势;

N ——线圈匝数;

$H_k l_k$ ——第 k 段磁路上的磁压降。

上式表明,作用在整个磁路上的总磁动势等于各段磁路的磁压降之和。第 k 段磁路的磁压降可以写成

$$H_k l_k = \frac{B_k}{\mu_k} l_k = \frac{1}{\mu_k} \cdot \frac{\Phi}{S_k} l_k = \Phi R_{mk}$$

式中: $R_{mk} = \frac{l_k}{\mu_k S_k}$ 称为第 k 段磁路的磁阻,则对于图 1-2-3 所示的无分支磁回路可以写成

$$F = NI = \sum H_k l_k = \sum \Phi \cdot R_{mk} = \Phi \cdot \sum R_{mk}$$

或

$$\Phi = \frac{F}{\sum R_{mk}}$$

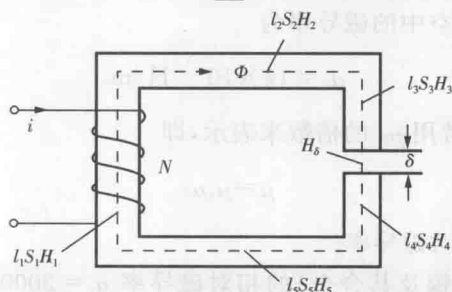


图 1-2-3 无分支磁路



三、电磁感应定律

设匝数为 N 的线圈处在磁场中,它所交链的磁链为 $\Psi = N\Phi$,则不论由于什么原因,当该线圈所交链的磁链发生变化时,在线圈内就有一感应电动势产生,这种现象称为电磁感应。感应电动势的大小和该线圈所交链的磁链变化率成正比;感应电动势的方向可以这样确定,电动势在线圈内产生电流(即感应电流,与感应电动势方向相同),使之所建立的磁通用来阻碍线圈中磁通的变化。如果感应电动势的正方向与磁通的正方向符合右手螺旋关系,则电磁感应定律可用下式表示:

$$e = -\frac{d\Psi}{dt} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

线圈中磁链的变化可能由两个原因所引起:

(1)线圈与磁场相对静止,但是穿过线圈的磁通本身(大小或方向)发生变化。这种情况如同变压器一样,所以这种感应电动势称为变压器电动势。

以图 1-2-4 为例,设线圈 N_1 通入随时间而变的电流 i_1 而线圈 N_2 开路。这时由 i_1 所建立的磁通也随时间而变,使与线圈 N_1 和 N_2 所交链的磁链也随时间而变化,从而在线圈 N_1 和 N_2 中分别产生感应电动势 e_1 和 e_2 。感应电动势的正方向如图 1-2-4 所示,其表达式为

$$e_1 = -\frac{d\Psi_1}{dt} = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$e_2 = -\frac{d\Psi_2}{dt} = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

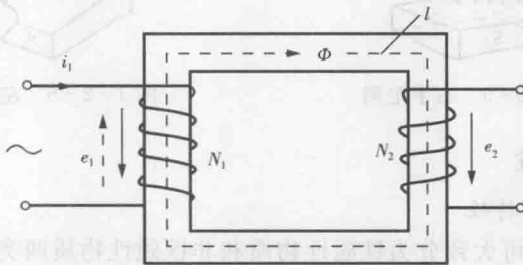


图 1-2-4 感应电动势的正方向

在此例中,由线圈 N_1 中电流 i_1 变化在自身线圈中产生的感应电动势 e_1 ,称为自感电动势,而由 i_1 的变化在另一线圈 N_2 内感应的电动势 e_2 ,称为互感电动势。

(2)磁场的大小及方向不变,而线圈与磁场之间有相对运动,使得线圈中的磁链发生变化。这种情况一般发生在旋转电机中,所以称之为旋转电动势或速率电动势。

①当导体在恒定磁场中运动时,若导体、磁力线和运动方向三者互相垂直,则导体内的感应电动势为

$$e = Blv$$



式中: B ——导体所处的磁通密度, 单位为 T ;

l ——切割磁力线的导体有效长度, 单位为 m ;

v ——导体相对于磁场的运动线速度, 单位为 m/s ;

e ——导体中的感应电动势, 单位为 V 。

②旋转电动势的方向可以由图 1-2-5 所示的右手定则确定: 右手大拇指与其余四指互相垂直, 让磁力线穿过手心, 大拇指指向导体相对于磁场的运动方向, 则四指所指的方向即为旋转电动势的方向。

四、电磁力定律

载流导体在磁场中受到力的作用, 这种力是磁场与电流相互作用产生的, 故称为电磁力。若磁场与导体相互垂直, 则作用在导体上的电磁力为

$$f = BIl$$

式中: B ——导体所处的磁通密度, 单位为 T ;

I ——导体中的电流, 单位为 A ;

l ——导体在磁场中的有效长度, 单位为 m ;

f ——作用在导体上的电磁力, 单位为 N 。

电磁力的方向可由图 1-2-6 所示的左手定则确定: 左手大拇指与其余四指互相垂直, 让磁力线穿过手心, 四指指向电流的方向, 则大拇指所指的方向即为电磁力的方向。

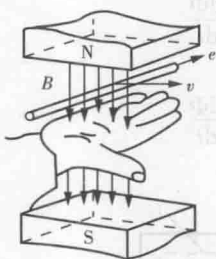


图 1-2-5 右手定则

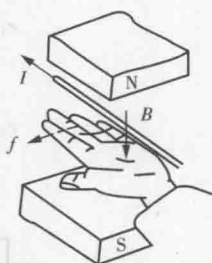


图 1-2-6 左手定则

五、铁磁材料的特性

1. 铁磁材料的磁化特性

物质按其磁化效应可大致分为铁磁性物质和非铁磁性物质两类。铁、钴、镍等强磁性物质称为铁磁材料。铁磁材料在外磁场的作用下能产生很强的附加磁场, 称为铁磁物质的磁化, 外磁场停止作用后, 仍能保持其磁化状态。

将一块尚未磁化的铁磁材料进行磁化, 当磁场强度 H 由零逐渐增大时, 磁感应强度 B 将随之增大, 曲线 $B = f(H)$ 就称为起始磁化曲线, 如图 1-2-7 所示。

当 H 从零开始, 此时 $B = H = 0$, 然后逐渐增大电流, 随着 H 的增大 B 也逐渐增大, 至 a 点后, 铁芯中的 B 不再显著增加, 介质的磁化达到饱和, 即磁饱和。当铁磁材料达到饱和状态后, 缓慢地减小 H , 铁磁材料中的 B 并不按原来的曲线减小, 并且 $H = 0$ 时, B 不等于 0, 而具有一定值, 这种现象称为剩磁。要完全消除剩磁, 必须加反向磁场, 当反向磁场继续增加, 铁磁材料的磁化达到反向饱和。不断地正向或反向缓慢改变磁场, 磁化曲线为一闭合曲线——磁滞回线, 如图



1-2-8所示。按照磁滞回线形状的不同,铁磁材料可大致分为软磁材料和硬磁材料两类。

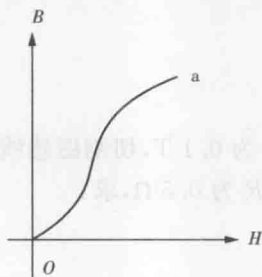


图 1-2-7 铁磁材料的起始磁化曲线

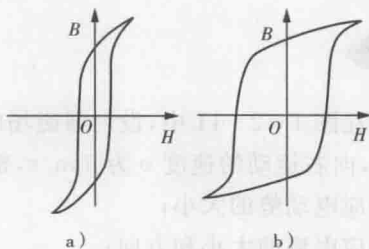


图 1-2-8 磁滞回线

a) 软磁材料; b) 硬磁材料

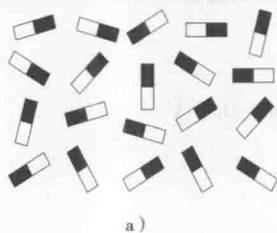
软磁材料磁滞回线窄,磁导率高。如硅钢片、铸铁、铸钢等做电器设备的铁芯。硬磁材料磁滞回线宽,如铁氧体、铝镍钴等做永久磁铁。

2. 铁磁材料的损耗

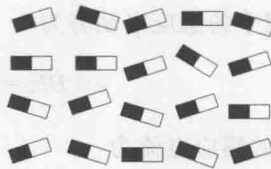
(1) 磁滞损耗

铁磁材料的磁滞效应可导致铁磁材料发热,也就是说磁滞会引起磁滞损耗。

铁磁材料置于交变磁场中时,材料被交变磁场反复磁化,引起磁畴的周期性转动,其转动摩擦引起的损耗就是磁滞损耗,如图 1-2-9 所示。磁滞损耗与磁滞回线包围的面积、磁通交变频率及铁磁材料体积成正比。



a)



b)

图 1-2-9 铁磁材料的磁化

a) 磁化前磁畴杂乱无章运动; b) 磁化后磁畴有序排列运动

(2) 涡流损耗

铁芯内的交变磁通将产生感应电势,进而在铁芯内引起环流。这些环流通常作涡流状流动,称为涡流。涡流引起的损耗,称为涡流损耗。

如何尽量减小涡流损耗呢? 如图 1-2-10 所示,将铁芯切成一块块薄片状,每片放入绝缘漆中,再拿出烘干重新叠成一整块铁芯,由于每片之间是绝缘的,相当于延长了涡流的路径,使有效电阻增加,从而减小了涡流损耗。

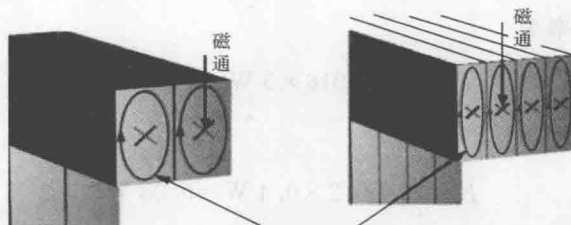


图 1-2-10 产生感应电动势及涡流的等效图



当铁芯中磁通交变时,同时会产生磁滞损耗与涡流损耗。这两部分损耗总称为铁芯损耗,简称铁损。

应用实施

例题:在图 1-2-11 中,设匀强磁场的磁感应强度 B 为 0.1 T ,切割磁感线的导线长度 l 为 40 cm ,向右运动的速度 v 为 5 m/s ,整个线框的电阻 R 为 $0.5\ \Omega$,求:

- (1) 感应电动势的大小;
- (2) 感应电流的大小和方向;
- (3) 使导线向右匀速运动所需的外力;
- (4) 外力做功的功率;
- (5) 感应电流的功率。

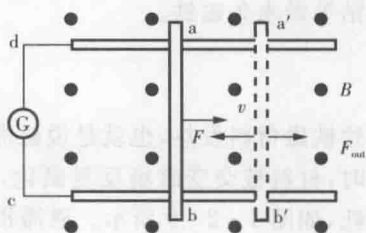


图 1-2-11 导体切割磁感线产生的感应电动势

解:(1) 线圈中的感应电动势为

$$e = Blv = 0.1 \times 0.4 \times 5\text{ V} = 0.2\text{ V}$$

(2) 线圈中的感应电流为

$$I = \frac{e}{R} = \frac{0.2}{0.5}\text{ A} = 0.4\text{ A}$$

由右手定则可判断出感应电流方向为 $abcd$ 。

(3) 由于 ab 中产生了感应电流,电流在磁场中将受到安培力的作用。用左手定律则可判断出 ab 所受安培力方向向左,与速度方向相反,因此,若要保证 ab 以速度 v 匀速向右运动,必须施加一个与安培力大小相等,方向相反的外力。所以,外力大小为

$$f = BIl = 0.1 \times 0.4 \times 0.4\text{ N} = 0.016\text{ N}$$

外力方向向右。

(4) 外力做功的功率为

$$P = fv = 0.016 \times 5\text{ W} = 0.08\text{ W}$$

(5) 感应电流的功率为

$$P' = eI = 0.2 \times 0.4\text{ W} = 0.08\text{ W}$$

可以看到, $P = P'$, 这正是能量守恒定律所要求的。