

21世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材



电机应用技术

主 编 郭宝宁

- 8个拓展阅读传达最新生产动态
- 11个实训项目奠定学生实操能力
- 104道思考题帮助学生巩固考证知识



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材

电机应用技术

主 编 郭宝宁

副主编 周 涛

参 编 陈晓琴 蔡 亮 秦玉华

葛君山 姚苏华 刘占线

主 审 张作化



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书主要讲述了变压器的原理与运行特性、仪用互感器；三相异步电动机结构、工作原理及运行特性；常用低压电器；三相异步电动机的机械特性、启动调速制动原理以及实际控制电路分析；单相异步电动机工作原理、分类及应用；同步电动机、同步发电机工作原理及应用；直流电机的结构、工作原理、直流电机的外特性、直流电机的机械特性；几种常用特殊电动机的原理及运行特性；电动机的应用。本书每章均有思考题，附有实验实训项目，以帮助学生对所学知识的理解、巩固及应用。

本书围绕高职高专是以培养“高素质劳动者和应用型专门人才”为目标这一主题，本着“必需、够用”为度的原则，对课程的知识结构作了一定的整合，调整了部分知识点的引入顺序，淡化了理论推导，简化了单纯的数据计算，结合生产实例以应用为主，力求语言推理浅显易懂。

本书可作为高等职业学院电气自动化技术相关专业的教学用书，以及从事电工技术工程工作人员培训或参考用书，也可作为从事电类专业教学的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电机应用技术/郭宝宁主编. —北京:北京大学出版社, 2011. 5

(21 世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材)

ISBN 978-7-301-18770-8

I. ①电… II. ①郭… III. ①电机学—高等职业教育—教材 IV. ①TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 063749 号

书 名: 电机应用技术

著作责任者: 郭宝宁 主编

策 划 编 辑: 赖 青 张永见

责 任 编 辑: 李 辉

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-18770-8/TH·0236

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787mm×1092mm 16 开本 17.25 印张 394 千字

2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 33.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

“电机应用技术”是电气相关各专业的一门非常重要的专业基础理论课。本书适用于高职高专教材改革的需要,主要依据教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”和“高职高专教育专业人才培养目标及规格”,并且参照了有关行业的职业技能鉴定规范,充分汲取了高职高专教育多年来的教改成果,听取了生产一线相关技术人员的意见,突出了应用性和实践性。

本书保留了高职高专类教材理论实用够用的特点,理顺了相关知识点的前后联系,增加了与交通运输类职业院校专业结构相关的教学内容,如同步发电机、直流串励电机、复励电机、交磁放大机等船舶电工实用及考证必需的知识点;并且在每一章节后附有实训实验课题,符合高职高专院校培养高技能型人才的目标和要求;同时又将“电机及拖动基础”、“维修电工”和“电机控制技术”相关课程内容进行了有机的结合,突出了理论知识的应用,改单纯理论实验为实训实验相结合,为开展项目式教学提供了教材基础。

本书可作为高等职业学院电气自动化技术专业相关的教学用书,以及从事电气技术工程工作人员培训或参考用书,也可作为从事电类专业教学的教学参考用书。

本书除绪论外共分9章,内容包括:变压器的原理与运行特性、仪用互感器;三相异步电动机结构、工作原理及运行特性;常用低压电器;三相异步电动机的机械特性、启动调速制动原理以及实际控制电路分析;单相异步电动机工作原理、分类及应用;同步电动机、同步发电机工作原理及应用;直流电机的结构、工作原理、直流电机的外特性、直流电机的机械特性;几种常用特殊电动机的原理及运行特性;电动机的应用。

本书由江苏海事职业技术学院郭宝宁主编,周涛副主编,张作化主审。书中绪论、第1章、第7章由郭宝宁编写;第2章、第4章由周涛、陈晓琴、秦玉华(南京港口机械厂)编写;第3章由刘占线(陕西职业技术学院)编写;第5章、第6章由蔡亮编写;第8章由葛君山编写;第9章由葛君山、姚苏华编写。

本书在编写过程中参阅了大量的相关书籍和文献,得到了南京港口机械厂及江苏海事职业技术学院电气工程系的大力支持。在此向相关文献作者以及所提及的单位一并致谢。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请使用本书的师生和读者批评指正。

编 者

2010年10月

绪 论

0.1 电机及电力拖动系统概述

自从 1820 年奥斯特、安培和法拉第相继发现电流在磁场中产生机械力，并提出了电磁感应定律后，就出现了电动机和发电机的雏形。经济发展的需要使电机得到了迅速的发展。从 19 世纪末期，电动机就逐渐代替蒸汽机和水轮机作为拖动工作机械的原动机，这种以电动机来拖动生产机械的拖动方式就称为电力拖动。

电力拖动系统的构成方式是随着电机工业的发展，而逐步发展起来的。电动机最初作为原动机代替蒸汽机和水轮机等来拖动工作机械。常用的方式是通过所谓的“天轴”实现的，一台电动机通过装在房顶的公共传动轴即“天轴”来带动一起工作的一组生产设备，这种拖动方式称为“成组拖动”。成组拖动时，只能靠机械的方法实现从电动机到各工作机械的能量传递和能量分配。这种方式无法实现自动控制，且其能量损耗大、生产安全得不到保证，容易发生人身、设备事故。如有故障，则被拖动的所有生产设备都将一起停车。随着工作机械运行要求的不断提高，这种落后的电力拖动系统已跟不上需要而被淘汰。从 19 世纪 20 年代起，广泛采用由一台电动机拖动一台工作机械的这种“单电动机拖动系统”。这样使每台生产设备既可独立工作，实现电气调速，又省去了大量的中间传动机构，使机械结构简化，提高了传动效率。由于电机与工作机械在结构上配合密切，为工作机械自动化打下了基础。目前先进复杂的生产设备通常都采用多电动机拖动方式，例如一台有一个主轴和三个进给轴的常用机床。仍由单台电动机拖动，则生产设备内部的传动机构就会变得非常的复杂，而采用生产设备中的每一个工作机构分别由一台电动机驱动的多电动机方式拖动；不仅可使机械结构大为简化，而且可使生产设备实现自动控制直至计算机控制。

电力拖动系统的控制方式也经历了由简单到复杂，由低级到高级的过程。最初电动机采用的是继电器—接触器控制系统，由于继电器—接触器的控制开关都是触点，又称作有触点系统。这种有触点系统的致命缺点是触点的接触不良带来的系统工作的不可靠。因而出现了以数字电路为主的无触点系统，与前者相比可靠性大为提高。

电力拖动系统主要由电动机、传动机构和控制设备(包括反馈装置)3 个基本环节所组成，三者关系如图 0.1 所示。

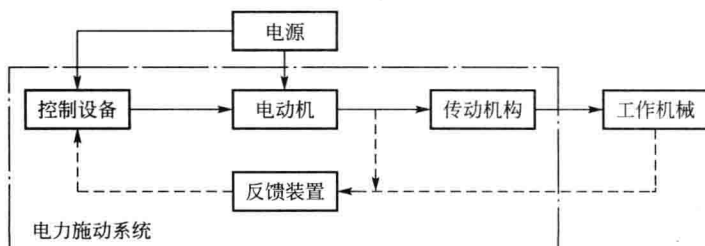


图 0.1 电力拖动系统

由于开环的电力拖动系统不需要反馈装置,只有闭环系统中才使用反馈装置,所以图中反馈装置及其控制方向箭头均用虚线表示。反馈装置往往也使用控制电机来实现反馈功能,例如可用测速发电机检测电动机的转速,旋转变压器检测电动机的角位移,感应同步器检测工作机械的位移等。关于控制设备等问题将在控制技术及自动控制系统等课程中给予研究,本课程将只研究有关各种电机及电动机与负载(包括传动机构和工作机械)的关系。

0.2 电机的主要类型

电机是一种通过电磁感应实现能量转换、能量传递和信号转换的装置。电机的类型很多,按其功能可分为以下几种。

- (1) 发电机。将机械能转换成电能的装置,包括直流发电机和交流发电机。
- (2) 电动机。将电能转换成机械能的装置,包括直流电动机和交流电动机。
- (3) 变压器。将一种电压等级的交流电能变换为另一种电压等级的交流电能的装置。
- (4) 控制电机。在自动控制系统中作为检测、校正及执行元件的特种电机。它包括交、直流伺服电动机,步进电动机,交、直流测速发电机,感应同步器及旋转变压器等。

发电机和电动机只不过是电机的两种运行方式,它们本身是可逆的。根据电力拖动需要,学习的重点应放在电动机上。

0.3 本课程的任务和学习方法

本课程主要分析研究电机与电力拖动的基本规律,同时从工作机械的运行控制要求出发,分析研究电动机运行的基本规律、基本控制电路、常见故障分析、常用控制电机的应用和拖动电动机容量的选择等问题。课程基本任务是:要熟悉常用的交、直流电机,变压器和控制电机的基本结构、运行原理及运行特性;掌握交、直流电动机的机械特性,调速原理及起、制动方法;具备选择电力拖动系统中使用的电动机所必需的基本知识以及基本控制电路分析运用能力;了解电机与电力拖动今后发展的方向。为学习“自动控制系统”、“工厂电气控制技术”、“PLC控制”和“工厂供电”等课程准备必要的基础知识。

由于“电机及应用技术”课程包含的内容多,而我们的课堂学习的时数不可能很多,因此必须有一个良好的学习方法,才能学好这门课。这里我们提供几点学习方法供大家参考。

1. 掌握分析问题的方法

在本课程中,所涉及的电机的类型较多,电力拖动也有直流拖动和交流拖动之分。如果将每一种电机,每一种拖动系统都作为一个独立的,新的内容来学,就会感觉到学习任务太重。如果我们在学习过程中能够掌握研究问题的方法,找出各类电机及各种拖动系统的共性及个性,就会学得轻松、应用自如。如三相异步电动机的原理和变压器的原理有很多共同的部分;变压器可以看作是静止不动的电机等,只要掌握了分析问题的方法,就可比较容易地掌握这两部分的内容。

2. 要理解公式所表达的物理概念

本课程的公式较多,如果孤立地、单独地去记忆不同公式所表达各物理量之间的数



量关系不是易事，必须理解公式所表达的物理概念。如直流电机的感应电动势公式 $E_a = C_e \Phi n$ ，电磁转矩公式 $T = C_T \Phi I_a$ ，这两个公式看起来很简单，暂时记忆也比较容易，而时间长了，很容易出错。如果理解了公式所表示的物理意义：感应电动势是导体在磁场中切割磁力线所产生的，必然与磁场和切割速度成正比；电磁转矩是因载流导体在磁场的作用下所产生的，其大小必须与磁场的强弱和电流的大小成正比。这样就很容易记住公式各物理量之间的相互关系了。

3. 要掌握重点

对工业电气自动化、电气工程及机电一体化等专业的同学来说，学习本课程的目的为了正确地使用控制电机。因此在学习过程中，要从应用电机的角度出发，着眼于电机运行的特性：将重点放在电动机的机械特性与负载的转矩特性配合上；放在电动机启动、制动及调速的方法及原理上；放在能为电力拖动系统选择合适的电机上，为今后分析和使用电力拖动系统打下良好基础，而对电机的工作原理以能应用为度，对电机内部结构只要一般了解就行了。

学习“电机及应用技术”也要注意课程的技术基础课的特点：既有基础理论的内容，又有结合工程实际综合应用。只有结合工程实际综合应用基础理论才能真正学好本课程。

0.4 基本概念和基本定律

电机(电动机、变压器和发电机等)的结构及工作原理，虽然它们的种类繁多，而且各有其个性和特点，但也有其共性和规律性。特别是在电磁规律方面，它们都遵循电磁感应定律和电磁力定律，并以磁场作为媒介来实现机电能量的转换或信号的传递与变换。因此，为学习本课程，有必要先复习磁路分析中的基本概念和基本定律。

1. 基本概念

1) 磁感应强度(或磁通密度) B

在磁铁周围，有一个磁力能起作用的空间叫做磁场。电流通过导体时，在导体的周围就会产生磁场，叫做电流磁场。形象的表示磁场的强弱、方向和分布情况的曲线叫做磁感应线，也称为磁力线。磁力线是无头无尾的闭合曲线。磁力线的方向与电流的方向满足右手螺旋关系。

描述磁场的强弱、方向和分布情况的物理量是磁感应强度。它与产生它的电流之间的关系用毕奥—萨伐尔定律描述，即载流导体在磁场中所受到的力 F ，与导体中的电流 I ，导体长度 l 的乘积的比值，叫做磁感应强度，用 B 表示，即

$$B = \frac{F}{I \times l}$$

2) 磁感应通量(或磁通) Φ

穿过某一截面 S 的磁感应强度 B 的通量，即穿过截面 S 的磁力线根数，叫做磁感应通量，简称磁通，用 Φ 表示，即

$$\Phi = \int_S B \cdot dS$$

在均匀磁场中，如果截面 S 与 B 垂直，则上式变为

$$\Phi = BS \quad \text{或} \quad B = \frac{\Phi}{S}$$

B 为单位面积上的磁通又叫做磁通密度, 简称为磁密。在电机和变压器中常采用磁密的概念。在国际单位制中, Φ 的单位符号是 Wb ; 单位名称为韦 [伯]; B 的单位名称是特 [斯拉], 单位符号是 T , $1\text{T} = 1\text{Wb}/\text{m}^2$ 。

3) 磁场强度 H

磁场中某点的磁感应强度 B 与磁性材料的导磁率 μ 的比值, 叫做该点的磁场强度, 用 H 表示, 即

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

式中: μ 为磁性材料的磁导率, H 的单位名称是安 [培] 每米, 单位符号是 A/m 。

4) 磁导率 μ 和磁化曲线

用来衡量磁性材料导磁性能好坏的一个物理量叫做磁导率。不同的磁性材料具有不同的磁导率。描述磁性材料的磁导率有真空磁导率 μ_0 、初始磁导率 μ_i 和有效磁导率 μ_e 等。磁导率 μ 的单位名称为特米每安, 单位符号是 $\text{T} \cdot \text{m}/\text{A}$ 。

由实验测定, 真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{T} \cdot \text{m}/\text{A}$, 且为常数。铁、钴、镍 3 种铁磁性元素是构成磁性材料的基本组元。磁性材料是由铁磁性物质或亚铁磁性物质组成的, 在外加磁场强度 H 的作用下, 必有相应的磁感应强度 B , 它们随磁场强度 H 变化的曲线叫磁化曲线, 或者 $B-H$ 曲线, 如图 0.2 所示。

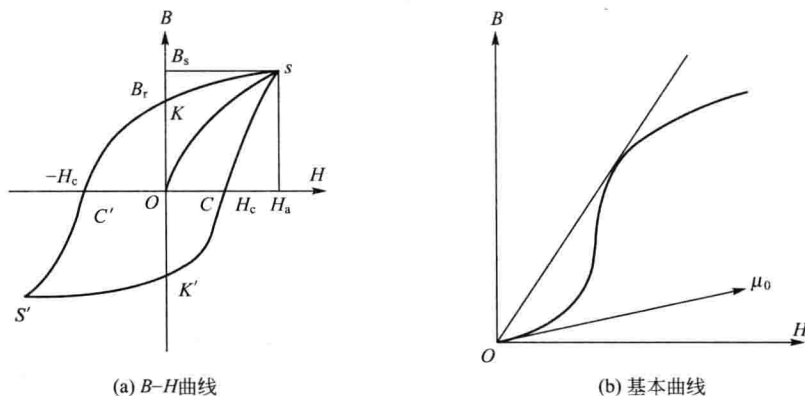


图 0.2 磁性材料磁化曲线

一般来说, 磁化曲线具有两个特点: 磁饱和现象与磁滞现象。即当磁场强度 H 足够大时, 磁感应强度 B 达到一个确定的饱和值 B_s , 继续增大 H , B_s 保持不变; 以及当材料的 B 值达到饱和后, 外加磁场强度 H 降为 0 时, B 并不恢复为 0, 而是沿着 $B_s B_r$ 曲线变化, 这说明 B 的变化始终是滞后于 H 的变化的。

磁性材料的工作状态相当于曲线上的某一点, 该点常称为工作点。

各种磁性材料材质外形虽然相似, 但磁性能可能有较大差异。电机和变压器的铁心, 要求磁导率较高、磁滞回线包围面积小和磁滞损耗小的铁磁材料, 如硅钢片、铁镍合金、铸铁等。这些铁磁材料属于软磁材料。

5) 磁通势 F_m

磁通所通过的路径叫做磁路。

在磁路中,磁路的磁场强度 H 与磁路的长度 l 的乘积叫做磁通势,用符号 F_m 表示,其单位名称为安 [培],单位符号是 A。

$$F_m = Hl$$

6) 磁阻 R_m

表示磁路对磁通所起的阻碍作用,它只与磁路的尺寸及磁路材料的磁导率有关。对于均匀的磁路,设磁路长度为 l ,截面积为 S ,用 R_m 表示磁阻,则有

$$R_m = \frac{l}{\mu S}$$

2. 基本定律

1) 安培环路定律(全电流定律)

在磁场中,沿任意一个闭合磁回路的磁场强度 H 的线积分等于该回路所环链的所有电流的代数和,即

$$\oint H \cdot dl = \sum I$$

其中该磁路所包围的电流为全电流,因此这个定律也叫做全电流定律。

工程应用中遇到的磁路,其几何形状是比较复杂的,直接利用安培环路的积分形式进行计算有一定的难度。通常是采用简化的办法,首先把磁路分为几段,几何形状比较规则的为一段;其次找出它们的平均磁场强度;再次采用这段磁路的平均长度,求得磁压降(也可以理解为一段磁路所消耗的磁通势);最后把各段磁压降加起来,就等于总磁通势,即

$$F_m = \sum_{k=1}^n H_k l_k = \sum I = IN$$

式中: H_k ——磁路中第 k 段磁路的磁场强度(A/m);

l_k ——第 k 段磁路的平均长度(m);

F_m ——作用在整个磁路上的磁通势,即全电流数(安匝);

N ——励磁线圈的匝数。

上式可以理解为:消耗在任意闭合路上的磁通势,等于该磁回路所包围的全电流。

如图 0.3 所示是一个最简单磁路,它是由铁磁材料和空气两部分串联而成的。铁心上绕了匝数为 N 的线圈,线圈电流为 I 。进行磁路计算时,把这个磁路按材料及形状分成两段,一段是截面积为 S 的铁心,长度为 l ,磁场强度为 H ;另一段为空气,长度为 δ ,磁场强度为 H_δ 。根据安培环路定律,即

$$Hl + H_\delta \delta = IN$$

在电机和变压器里的磁路计算时,已知的是磁路里各段的磁通 Φ 以及各段磁路的几何尺寸(即磁路长度 l 和截面积 S),先算出各段磁路中对应的磁通密度 B ($B = \Phi/S$),然后根据算出的磁通密度 B

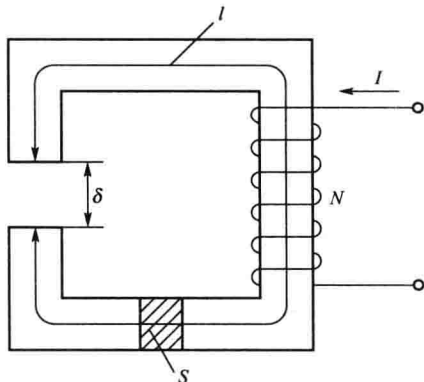


图 0.3 简单磁路

求出磁场强度 H ($H=B/\mu$)，最后求出所需要的总磁通势 IN 。如果是铁磁材料，可以根据其磁化特性查出磁场强度 H 。

2) 电磁感应定律 (法拉第定律)

当导线(或线圈)在磁场中发生相对运动，导线切割磁力线，或者当穿过导线(线圈)的磁通发生变化时，在导线中就产生感应电动势，这个现象就叫做电磁感应现象。由此而产生的感应电动势称为切割电动势，即

$$e=Blv$$

式中： B ——导体(线圈)所在处的磁通磁密(Wb/m^2)；

l ——导线(线圈)在磁场中长度(m)；

v ——导线(线圈)相对于磁力线的运动速度(m/s)。

切割电动势主要表现于电动机和发电机中，其方向按右手定则确定。

当穿过导线(线圈)的磁通发生变化时，产生的电动势为变压器电动势，即

$$e=-N \frac{\text{d}\Phi}{\text{d}t}$$

式中： N ——导线(线圈)匝数，磁通的正方向和感应电动势的正方向按右手螺旋定则确定。变压器电动势主要表现在变压器中。

3) 电磁力定律(毕奥—萨伐尔定律)

在均匀磁场中，若载流直导线(线圈)与磁通密度 B 方向垂直，长度为 l ，流过的电流为 I ，磁场对载流导线(线圈)产生的力称为安培力，用 f 表示，即

$$f=BlI$$

在电机学中，习惯上用左手定则确定 f 的方向。

电磁感应定律和电磁力定律是电机中的重要定律，是电机实现能量转换的基础。

4) 磁路的欧姆定律

磁路中通过的磁通 Φ 等于磁路中的磁通势 F_m 除以磁路的磁阻 R_m ，即

$$\Phi=\frac{F_m}{R_m}$$

目 录

绪论	1
0.1 电机及电力拖动系统概述	1
0.2 电机的主要类型	2
0.3 本课程的任务和学习方法	2
0.4 基本概念和基本定律	3
第 1 章 变压器	7
1.1 变压器的工作原理、用途及分类	8
1.2 变压器的基本结构	10
1.3 单相变压器的运行原理	18
1.4 变压器的空载试验和短路试验	26
1.5 变压器的运行特性	28
1.6 变压器的极性及三相变压器的联结组	31
1.7 三相变压器的并联运行	35
1.8 其他用途变压器	37
1.9 变压器常见故障及维护	43
实训项目 1 变压器的参数测定	44
实训项目 2 三相变压器极性判别及绕组联结组判别	46
本章小结	50
思考题	51
第 2 章 三相异步电动机	52
2.1 概述	53
2.2 三相异步电动机的工作原理	53
2.3 三相异步电动机的结构	59
2.4 三相异步电动机的运行原理与工作特性	66
2.5 常见故障及排除方法	71
实训项目 3 用日光灯法测三相异步电动机转差率	72
本章小结	74
思考题	74
第 3 章 常用低压电器基础	75
3.1 低压电器的基本知识	76
3.2 熔断器	76
3.3 手控开关及主令电器	78

3.4 接触器	80
3.5 继电器	82
实训项目 4 常用低压电器的认识	87
本章小结	88
思考题	88
第 4 章 三相异步电动机的电力拖动	90
4.1 电力拖动的基本知识	91
4.2 三相异步电动机的机械特性	93
4.3 三相异步电动机的启动	96
4.4 三相异步电动机的调速	105
4.5 三相异步电动机的制动	115
4.6 三相异步电动机的四相限运行(应用实例)	119
实训项目 5 三相异步电动机的启动与调速	122
实训项目 6 笼型电动机 Y-D 启动电路的安装	125
本章小结	125
思考题	126
第 5 章 单相异步电动机	127
5.1 单相异步电动机的结构和工作原理	128
5.2 电容分相单相异步电动机	131
5.3 电阻分相单相异步电动机	133
5.4 单相罩极电动机	134
5.5 单相异步电动机的调速及反转	135
5.6 常见故障及排除方法	138
实训项目 7 单相异步电动机的控制电路和检修实训	140
本章小结	142
思考题	143
第 6 章 同步电机	144
6.1 同步电机的工作原理、用途及分类	145
6.2 同步电机的基本结构及铭牌	146
6.3 同步电动机的功率	148
6.4 同步电动机 V 形曲线及功率因数调节	151
6.5 同步电动机的启动	153
6.6 同步发电机的基本特性	155
6.7 不同系列船用发电机的简介	157
6.8 同步发电机的常见故障分析与处理	158
实训项目 8 三相同步电动机	160
本章小结	163

思考题	163
第7章 直流电机	164
7.1 直流电机的工作原理	165
7.2 直流电机的基本结构分类及用途	167
7.3 直流电机的磁场	173
7.4 直流电机的换向问题	176
7.5 直流电机的基本方程	178
7.6 直流电动机的工作特性	181
7.7 直流电动机的机械特性	184
7.8 直流电动机的启动	188
7.9 直流电动机的调速	191
7.10 直流电动机的制动	196
7.11 复励直流电动机的机械特性	202
7.12 直流电动机常见故障与处理方法	202
实训项目9 分析电路定性绘出直流电动机起制动特性曲线	204
本章小结	206
思考题	207
第8章 特种电机	208
8.1 伺服电动机	209
8.2 步进电动机	215
8.3 测速发电机	220
8.4 自整角机	223
8.5 旋转变压器	228
8.6 电机扩大机	232
实训项目10 力矩式自整角机实验	239
本章小结	241
思考题	241
第9章 电动机应用知识	243
9.1 电动机的选择	244
9.2 电动机的运行维护	251
9.3 电动机试验	253
9.4 电动机的拆装	258
实训项目11 笼型异步电动机的拆装	261
本章小结	261
思考题	262
参考文献	263



绪 论

0.1 电机及电力拖动系统概述

自从 1820 年奥斯特、安培和法拉第相继发现电流在磁场中产生机械力，并提出了电磁感应定律后，就出现了电动机和发电机的雏形。经济发展的需要使电机得到了迅速的发展。从 19 世纪末期，电动机就逐渐代替蒸汽机和水轮机作为拖动工作机械的原动机，这种以电动机来拖动生产机械的拖动方式就称为电力拖动。

电力拖动系统的构成方式是随着电机工业的发展，而逐步发展起来的。电动机最初作为原动机代替蒸汽机和水轮机等来拖动工作机械。常用的方式是通过所谓的“天轴”实现的，一台电动机通过装在房顶的公共传动轴即“天轴”来带动一起工作的一组生产设备，这种拖动方式称为“成组拖动”。成组拖动时，只能靠机械的方法实现从电动机到各工作机械的能量传递和能量分配。这种方式无法实现自动控制，且其能量损耗大、生产安全得不到保证，容易发生人身、设备事故。如有故障，则被拖动的所有生产设备都将一起停车。随着工作机械运行要求的不断提高，这种落后的电力拖动系统已跟不上需要而被淘汰。从 19 世纪 20 年代起，广泛采用由一台电动机拖动一台工作机械的这种“单电动机拖动系统”。这样使每台生产设备既可独立工作，实现电气调速，又省去了大量的中间传动机构，使机械结构简化，提高了传动效率。由于电机与工作机械在结构上配合密切，为工作机械自动化打下了基础。目前先进复杂的生产设备通常都采用多电动机拖动方式，例如一台有一个主轴和三个进给轴的常用机床。仍由单台电动机拖动，则生产设备内部的传动机构就会变得非常的复杂，而采用生产设备中的每一个工作机构分别由一台电动机驱动的多电动机方式拖动；不仅可使机械结构大为简化，而且可使生产设备实现自动控制直至计算机控制。

电力拖动系统的控制方式也经历了由简单到复杂，由低级到高级的过程。最初电动机采用的是继电器—接触器控制系统，由于继电器—接触器的控制开关都是触点，又称作有触点系统。这种有触点系统的致命缺点是触点的接触不良带来的系统工作的不可靠。因而出现了以数字电路为主的无触点系统，与前者相比可靠性大为提高。

电力拖动系统主要由电动机、传动机构和控制设备(包括反馈装置)3 个基本环节所组成，三者关系如图 0.1 所示。

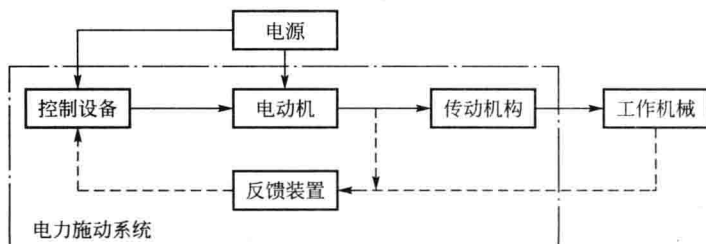


图 0.1 电力拖动系统

由于开环的电力拖动系统不需要反馈装置,只有闭环系统中才使用反馈装置,所以图中反馈装置及其控制方向箭头均用虚线表示。反馈装置往往也使用控制电机来实现反馈功能,例如可用测速发电机检测电动机的转速,旋转变压器检测电动机的角位移,感应同步器检测工作机械的位移等。关于控制设备等问题将在控制技术及自动控制系统等课程中给予研究,本课程将只研究有关各种电机及电动机与负载(包括传动机构和工作机械)的关系。

0.2 电机的主要类型

电机是一种通过电磁感应实现能量转换、能量传递和信号转换的装置。电机的类型很多,按其功能可分为以下几种。

- (1) 发电机。将机械能转换成电能的装置,包括直流发电机和交流发电机。
- (2) 电动机。将电能转换成机械能的装置,包括直流电动机和交流电动机。
- (3) 变压器。将一种电压等级的交流电能变换为另一种电压等级的交流电能的装置。
- (4) 控制电机。在自动控制系统中作为检测、校正及执行元件的特种电机。它包括交、直流伺服电动机,步进电动机,交、直流测速发电机,感应同步器及旋转变压器等。

发电机和电动机只不过是电机的两种运行方式,它们本身是可逆的。根据电力拖动需要,学习的重点应放在电动机上。

0.3 本课程的任务和学习方法

本课程主要分析研究电机与电力拖动的基本规律,同时从工作机械的运行控制要求出发,分析研究电动机运行的基本规律、基本控制电路、常见故障分析、常用控制电机的应用和拖动电动机容量的选择等问题。课程基本任务是:要熟悉常用的交、直流电机,变压器和控制电机的基本结构、运行原理及运行特性;掌握交、直流电动机的机械特性,调速原理及起、制动方法;具备选择电力拖动系统中使用的电动机所必需的基本知识以及基本控制电路分析运用能力;了解电机与电力拖动今后发展的方向。为学习“自动控制系统”、“工厂电气控制技术”、“PLC控制”和“工厂供电”等课程准备必要的基础知识。

由于“电机及应用技术”课程包含的内容多,而我们的课堂学习的时数不可能很多,因此必须有一个良好的学习方法,才能学好这门课。这里我们提供几点学习方法供大家参考。

1. 掌握分析问题的方法

在本课程中,所涉及的电机的类型较多,电力拖动也有直流拖动和交流拖动之分。如果将每一种电机,每一种拖动系统都作为一个独立的,新的内容来学,就会感觉到学习任务太重。如果我们在学习过程中能够掌握研究问题的方法,找出各类电机及各种拖动系统的共性及个性,就会学得轻松、应用自如。如三相异步电动机的原理和变压器的原理有很多共同的部分;变压器可以看作是静止不动的电机等,只要掌握了分析问题的方法,就可比较容易地掌握这两部分的内容。

2. 要理解公式所表达的物理概念

本课程的公式较多,如果孤立地、单独地去记忆不同公式所表达各物理量之间的数



量关系不是易事，必须理解公式所表达的物理概念。如直流电机的感应电动势公式 $E_a = C_e \Phi n$ ，电磁转矩公式 $T = C_T \Phi I_a$ ，这两个公式看起来很简单，暂时记忆也比较容易，而时间长了，很容易出错。如果理解了公式所表示的物理意义：感应电动势是导体在磁场中切割磁力线所产生的，必然与磁场和切割速度成正比；电磁转矩是因载流导体在磁场的作用下所产生的，其大小必须与磁场的强弱和电流的大小成正比。这样就很容易记住公式各物理量之间的相互关系了。

3. 要掌握重点

对工业电气自动化、电气工程及机电一体化等专业的同学来说，学习本课程的目的为了正确地使用控制电机。因此在学习过程中，要从应用电机的角度出发，着眼于电机运行的特性：将重点放在电动机的机械特性与负载的转矩特性配合上；放在电动机启动、制动及调速的方法及原理上；放在能为电力拖动系统选择合适的电机上，为今后分析和使用电力拖动系统打下良好基础，而对电机的工作原理以能应用为度，对电机内部结构只要一般了解就行了。

学习“电机及应用技术”也要注意课程的技术基础课的特点：既有基础理论的内容，又有结合工程实际综合应用。只有结合工程实际综合应用基础理论才能真正学好本课程。

0.4 基本概念和基本定律

电机(电动机、变压器和发电机等)的结构及工作原理，虽然它们的种类繁多，而且各有其个性和特点，但也有其共性和规律性。特别是在电磁规律方面，它们都遵循电磁感应定律和电磁力定律，并以磁场作为媒介来实现机电能量的转换或信号的传递与变换。因此，为学习本课程，有必要先复习磁路分析中的基本概念和基本定律。

1. 基本概念

1) 磁感应强度(或磁通密度) B

在磁铁周围，有一个磁力能起作用的空间叫做磁场。电流通过导体时，在导体的周围就会产生磁场，叫做电流磁场。形象的表示磁场的强弱、方向和分布情况的曲线叫做磁感应线，也称为磁力线。磁力线是无头无尾的闭合曲线。磁力线的方向与电流的方向满足右手螺旋关系。

描述磁场的强弱、方向和分布情况的物理量是磁感应强度。它与产生它的电流之间的关系用毕奥—萨伐尔定律描述，即载流导体在磁场中所受到的力 F ，与导体中的电流 I ，导体长度 l 的乘积的比值，叫做磁感应强度，用 B 表示，即

$$B = \frac{F}{I \times l}$$

2) 磁感应通量(或磁通) Φ

穿过某一截面 S 的磁感应强度 B 的通量，即穿过截面 S 的磁力线根数，叫做磁感应通量，简称磁通，用 Φ 表示，即

$$\Phi = \int_S B \cdot dS$$

在均匀磁场中，如果截面 S 与 B 垂直，则上式变为

$$\Phi = BS \quad \text{或} \quad B = \frac{\Phi}{S}$$

B 为单位面积上的磁通又叫做磁通密度, 简称为磁密。在电机和变压器中常采用磁密的概念。在国际单位制中, Φ 的单位符号是 Wb ; 单位名称为韦 [伯]; B 的单位名称是特 [斯拉], 单位符号是 T , $1\text{T} = 1\text{Wb}/\text{m}^2$ 。

3) 磁场强度 H

磁场中某点的磁感应强度 B 与磁性材料的导磁率 μ 的比值, 叫做该点的磁场强度, 用 H 表示, 即

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

式中: μ 为磁性材料的磁导率, H 的单位名称是安 [培] 每米, 单位符号是 A/m 。

4) 磁导率 μ 和磁化曲线

用来衡量磁性材料导磁性能好坏的一个物理量叫做磁导率。不同的磁性材料具有不同的磁导率。描述磁性材料的磁导率有真空磁导率 μ_0 、初始磁导率 μ_i 和有效磁导率 μ_e 等。磁导率 μ 的单位名称为特米每安, 单位符号是 $\text{T} \cdot \text{m}/\text{A}$ 。

由实验测定, 真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{T} \cdot \text{m}/\text{A}$, 且为常数。铁、钴、镍 3 种铁磁性元素是构成磁性材料的基本组元。磁性材料是由铁磁性物质或亚铁磁性物质组成的, 在外加磁场强度 H 的作用下, 必有相应的磁感应强度 B , 它们随磁场强度 H 变化的曲线叫磁化曲线, 或者 $B-H$ 曲线, 如图 0.2 所示。

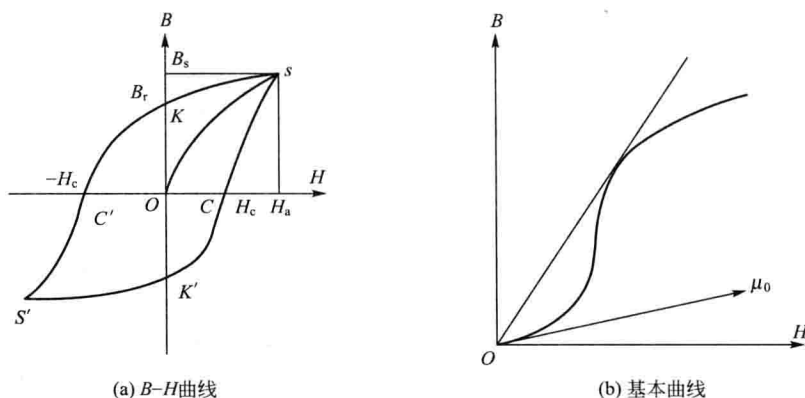


图 0.2 磁性材料磁化曲线

一般来说, 磁化曲线具有两个特点: 磁饱和现象与磁滞现象。即当磁场强度 H 足够大时, 磁感应强度 B 达到一个确定的饱和值 B_s , 继续增大 H , B_s 保持不变; 以及当材料的 B 值达到饱和后, 外加磁场强度 H 降为 0 时, B 并不恢复为 0, 而是沿着 $B_s B_r$ 曲线变化, 这说明 B 的变化始终是滞后于 H 的变化的。

磁性材料的工作状态相当于曲线上的某一点, 该点常称为工作点。

各种磁性材料材质外形虽然相似, 但磁性能可能有较大差异。电机和变压器的铁心, 要求磁导率较高、磁滞回线包围面积小和磁滞损耗小的铁磁材料, 如硅钢片、铁镍合金、铸铁等。这些铁磁材料属于软磁材料。

5) 磁通势 F_m