

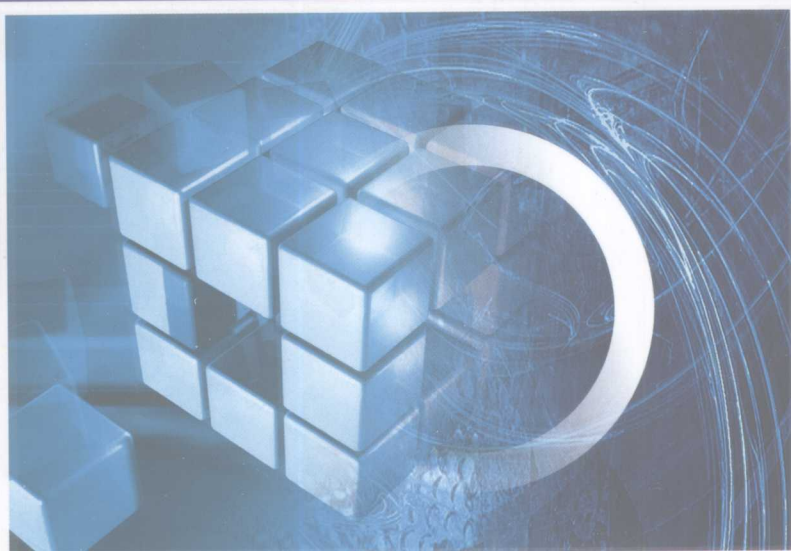


21世纪全国高等教育应用型精品课规划教材

电力拖动及其控制

dianli tuodong ji qi kongzhi

■ 主编 赵虎城 冯送京



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪全国高等教育应用型精品课规划教材

电力拖动及其控制

主 任 蔡红专
副主任 吴松林 王小博
主 编 赵虎城 冯送京

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书主要介绍电动机原理和电力拖动控制,共 11 章。其主要内容有电动机总论、变压器、直流电动机、三相交流异步电动机、同步电动机、驱动用微电动机、控制电动机、电动机的安装、控制、运行和维护及常见故障的排除、电动机的节能、电动机电源和电动机及拖动课的实验。

本书可作为高等院校机电一体化技术、电气自动化技术、自动化技术、供用电技术等专业电动机及拖动技术课程的教材,也可作为成人教育、职业培训教材,还可供有关工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电力拖动及其控制/赵虎城,冯送京主编. —北京:北京理工大学出版社,2009. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2758 - 2

I .电… II .①赵…②冯… III .电力传动-自动控制系统 IV .TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 150709 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京飞达印刷有限责任公司

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 15.25

字 数 / 286 千字

版 次 / 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1~4000 册

定 价 / 28.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

出版说明

21 世纪是科技全面创新和社会高速发展的时代,面临这个难得的机遇和挑战,本着“科教兴国”的基本战略,我国已着力对高等学校进行了教学改革。为顺应国家对于培养应用型人才的要求,满足社会对高校毕业生的技能需要,北京理工大学出版社特邀一批知名专家、学者进行了本系列规划教材的编写,以期能为广大读者提供良好的学习平台。

本系列规划教材贴合实践。作者在编写之际,广泛考察了各校应用型学生的学习实际,本着“实用、适用、先进”的编写原则和“通俗、精炼、可操作”的编写风格,以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,力求提高学生的实际运用能力,使学生更好地适应社会需求。

一、教材定位

- ✚ 以就业为导向,培养学生的实际运用能力,以达到学以致用目的。
- ✚ 以科学性、实用性、通用性为原则,以使教材符合课程体系设置。
- ✚ 以提高学生综合素质为基础,充分考虑对学生个人能力的提高。
- ✚ 以内容为核心,注重形式的灵活性,以便学生易于接受。

二、编写原则

- ✚ 定位明确。为培养应用型人才,本系列教材所列案例均贴合工作实际,以满足广大企业对于应用型人才实际操作能力的需求,增强学生在就业过程中的竞争力。
- ✚ 注重培养学生职业能力。根据专业实践性要求,在完成基础课的前提下,使学生掌握先进的相关操作软件,培养学生的实际动手能力,提高学生迅速适应工作岗位的能力。

三、丛书特色

- ✚ 系统性强。丛书各教材之间联系密切,符合各个学校的课程体系设置,为学生构建牢固的知识体系。

- ✚ 层次性强。各教材的编写严格按照由浅及深，循序渐进的原则，重点、难点突出，以提高学生的学习效率。
- ✚ 先进性强。吸收最新的研究成果和企业的实际案例，使学生对当前专业发展方向有明确的了解，并提高创新能力。
- ✚ 操作性强。教材重点培养学生的实际操作能力，以使理论来源于实践，并最大限度运用于实践。

北京理工大学出版社

前 言

《电力拖动及其控制》是高等院校机电类电动机及拖动技术课程的教材，在编写过程中，编者从高等教育的特点出发，注重理论联系实际，突出应用能力的培养，力求通俗易懂、深入浅出。编者编入了大量在实际工作中应用的实例，这些实例能起到抛砖引玉的作用。

全书分为直流电动机、变压器、交流电动机和控制电动机 4 个主要部分。主要介绍交、直流电动机和变压器的基本结构、工作原理、运行分析及运行特性；对控制电动机的基本种类、结构和原理也进行了介绍；作为实用内容，电动机的安装、控制、运行和维护及常见故障的排除占了一定比重。本书特别增加了电动机节能的章节，介绍节能方面的技术和原理，对电动机电源也单列章节进行介绍。

本教材由赵虎城、冯送京主编。王宁、冀敏、殷兴光、王介文、李永强、米易参与了本书的编写工作。全书各章执笔人如下：绪论、第 4 章，赵虎城；第 1、5 章，冯送京；第 2 章及附录，冀敏；第 3、11 章，王宁；第 6 章，王介文；第 7 章，殷兴光；第 8 章，李永强；第 9、10 章，米易。

本教材由宋元鹤教授主审。

由于我们的水平有限，编写时间仓促，书中疏漏和不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

绪论	1
第 1 章 电动机总论	4
1.1 电动机概述	4
1.2 电动机的分类	4
1.3 电动机的基本结构和工作机理	5
1.4 电动机制造和运行所用的材料	6
1.5 电动机的铭牌数据和技术参数	11
1.6 电动机的选型方法和步骤	14
1.7 电力拖动的基本问题	16
1.7.1 电力拖动系统的基本组成	16
1.7.2 常用控制电器的基本知识	17
1.7.3 常用的控制电器	19
1.7.4 电力拖动的基本概念	19
1.7.5 生产机械的负载转矩特性	22
第 2 章 变压器	25
2.1 变压器的工作原理	25
2.2 变压器的分类和基本结构	26
2.2.1 变压器的分类	26
2.2.2 变压器的基本结构	26
2.3 变压器的铭牌	31
2.3.1 变压器型号	31
2.3.2 额定值	32
2.4 变压器的运行分析	33
2.4.1 空载运行	33
2.4.2 变压器的负载运行	36
2.5 变压器参数的测定	40
2.5.1 空载试验	40

2.5.2 短路试验	41
2.6 电力工程计算中的标么值方法	44
2.6.1 基值的选择和应用	44
2.6.2 标么值的优缺点	45
2.7 三相变压器	46
2.7.1 磁路系统和接线组别	47
2.7.2 变压器并列运行	53
2.8 特种变压器	54
2.8.1 仪用变压器	54
2.8.2 电焊变压器	56
2.8.3 自耦变压器	57
思考练习题	59
第3章 直流电动机	62
3.1 直流电动机的工作原理、结构和特点	62
3.1.1 直流电动机的工作原理	62
3.1.2 直流电动机的基本结构	64
3.2 直流电枢绕组的基本知识	68
3.2.1 电枢绕组的结构	68
3.2.2 电枢绕组的节距	69
3.2.3 直流电动机电枢绕组的基本形式	71
3.2.4 直流电动机的励磁方式	75
3.3 直流电动机的运行分析	77
3.4 直流电动机的换向	83
3.4.1 换向的物理过程	83
3.4.2 换向元件中的电动势	84
3.4.3 改善换向的方法	85
3.5 直流电动机的平衡方程式和机械特性	86
3.5.1 直流电动机的平衡方程式	86
3.5.2 直流电动机的机械特性	89
3.5.3 直流电动机的工作特性	92
3.6 直流电动机的启动	93
3.6.1 全压启动	93

3.6.2 减压启动	94
3.6.3 电枢回路串接电阻器启动	94
3.7 直流电动机的制动	95
3.8 直流电动机的调速	97
思考练习题	99
第4章 三相异步电动机	100
4.1 三相异步电动机的基本结构	100
4.2 三相交流绕组	103
4.2.1 交流绕组的基本知识	103
4.2.2 三相单层绕组	106
4.3 三相旋转磁动势	108
4.4 三相异步电动机的工作原理	112
4.5 三相异步电动机的三种运行状态	113
4.6 三相异步电动机的机电特性和平衡方程式	114
4.7 三相交流异步电动机的启动	121
4.8 三相异步电动机的制动	131
4.9 三相异步电动机的调速	134
思考练习题	138
第5章 同步电动机	141
5.1 同步电动机的分类和结构	141
5.2 同步电动机的特性	142
5.3 同步电动机的启动	147
5.4 同步电动机的使用、维护及常见故障的处理方法	149
思考练习题	150
第6章* 驱动用微电动机	152
6.1 驱动用微型电动机的结构和分类	152
6.1.1 驱动用微电动机的结构	152
6.1.2 驱动用微电动机的分类	152
6.2 单相异步电动机	153
6.2.1 单相异步电动机的类型	153
6.2.2 单相异步电动机主要性能、参数的计算	155
6.2.3 单相异步电动机的运行	156
6.3 开关磁阻电动机	157
6.4 直线电动机	158

6.4.1	直线电动机的结构和分类	158
6.4.2	直线电动机的优点	158
6.4.3	直线感应电动机绕组结构的特点	158
6.4.4	直线电动机的应用	159
第7章	控制用微电动机	161
7.1	直流伺服电动机	162
7.2	交流伺服电动机	164
7.3	力矩电动机	166
7.4	测速发电机	167
第8章	电动机的运行和维护及常见故障的处理	170
8.1	电动机的控制和接线	170
8.1.1	电动机运行的控制	170
8.1.2	电动机的接线图	170
8.2	电动机安装注意事项	174
8.3	通电和试运转	175
8.4	电动机的保护和试验	176
8.4.1	电动机的保护种类及试验	176
8.4.2	测试	177
8.5	电动机的运行及故障排除	179
8.5.1	电动机启动困难、堵转故障的排除	179
8.5.2	温升、噪声等故障的排除	180
	思考练习题	184
第9章	电动机的节能	185
9.1	提高供电系统和电动机的功率因数	185
9.2	电动机节电的技术措施	187
9.2.1	绕线式异步电动机同步化运行	187
9.2.2	电动机的经济运行	191
第10章*	电动机电源	206
10.1	电力网标准的三相电源	206
10.2	直流电源	207
10.3	专用电源	208
第11章	电动机及拖动的典型实验	211
11.1	直流电动机及拖动实验	211
11.1.1	并励直流电动机的启动、调速和反转	211
11.1.2	他励直流电动机在各种运行状态下的机械特性	214

11.2 变压器实验.....	216
11.3 交流异步电动机及拖动实验.....	220
附录	224
附录 1 交流电路的基本常识	224
附录 2 电工常用简易估算法	226
附录 3 有关电磁现象的基本定律	227
参考文献	230

绪 论

1. 电动机与电力拖动在国民经济中的地位和作用

电力拖动及其控制课程包括电动机和电力拖动技术两部分内容。电能是现代最主要的能源。电动机是实现电能生产、传输、分配和使用的主要电气设备。电动机包括发电机、电动机。发电机的作用是把机械能转换为电能;电动机的作用是把电能转换为机械能,拖动各种生产机械运转,实现生产过程的机械化、自动化;控制用电动机是用于控制领域的电动机,大量应用在航空航天、机器人和自动化设备中。

电动机从功能方面来说,具有两大基本功能;首先是其能量转换功能,即电能和机械能的相互转换,通过发电机或电动机来实现;其次,电动机还有按照控制信号的要求来改变输出量的功能,也就是说,电动机通过控制装置进行调速、反转、改变转矩等来实现生产设备的各种控制目标。另外,随着现代电力电子技术的发展,数字控制技术和电动机控制紧密结合,电力电子器件(晶闸管,IGBT)等新型半导体器件已经和电动机组合为一体的成套装置,传统电动机的控制发生了根本改变。例如,直线电动机、电磁离合器调速电动机、开关磁阻电动机、数字控制的伺服电动机等,在结构上我们已经很难区分哪些部件、元件属于电动机还是控制装置。今后的发展方向是将它们当作一个整体来对待,称为一个系统,如串级调速系统、变频调速系统、电磁调速系统等。

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。

在现代工农业和交通运输中,为了实现各种生产工艺过程,需要使用各种各样的生产机械。拖动生产机械运转的方法有3种,即气动、液压拖动和电力拖动。由于电力拖动控制简单、调节性能良好、损耗小、经济、能实现远距离控制和自动调节,因此它在大多数生产机械中获得广泛应用。所谓电力拖动就是用电动机拖动各种生产机械运转,以实现工农业生产过程的机械化和自动化,从而提高产品质量、改善工人劳动条件、提高生产效率和经济效益。

电动机和人们的生产和生活的关系已经密不可分,它分布和渗透到各个领域,从植入人体内的心脏起搏器、人工呼吸器、助听器到形形色色的家用电器,从高度智能化的机器人,到浩大雄伟的工程机械无不应用着各种电动机,人们的生产、生活须臾离不开电动机。

综上所述,电动机与电力拖动在我国建设中起着十分重要的作用,与国民经济

及科学技术的发展有着密切的关系。其控制技术的发展一直是热门课题。

2. 电动机的发展概况

自从 1820 年奥斯特发现了由安培总结的电流在磁场中受到机械力作用的定律之后,各种电动机的雏形即出现在实验室中。1831 年法拉第电磁感应定律的发现,促成了发电机的实验装置的出现。1881 年费拉里斯造出两相电动机,1888 年多利沃·多波罗沃尔斯基提出了三相和三相电异步机,1891 年第一台工业用的三相电动机问世并立即得到迅速发展。

解放前,我国电动机制造工业非常落后,生产的发电机单机容量在 200kW 以下,电动机容量不超过 132kW,变压器容量不超过 2000kV·A。

解放后,我国电动机制造工业迅速发展。1955 年制成 10000kW 水轮发电机,1956 年制成 12000kW 汽轮发电机,1960 年制成 72500kW 水轮发电机和 50000kW 氢冷、100000kW 氢内冷汽轮发电机,1969 年制成 125000kW 双水内冷水轮发电机,1972 年制成 300000kW 双水内冷汽轮发电机和水轮发电机,还制成了电压为 330kV、容量为 360000kV·A 的变压器。

目前已能制造 320000kW 水轮发电机、600000kW 汽轮发电机和电压等级为 500kV、容量为 550000kV·A 的变压器。各种电动机都有系列产品,并大量采用新材料、新工艺、新技术,电动机制造工业正向着高电压、大容量的方向发展。

3. 本书的特点

有关电动机的书籍是非常多的,但是,都是从理论、设计或一般理论来阐述的,本教材则从电动机的使用角度出发,以大量的工作实例来解释电动机的理论问题,力图从实际使用方面给读者提供参考经验。

4. 学习本课程的方法

1) 要理论联系实际

在学习电动机结构及基本原理的过程中,应十分重视到生产厂实习和做电动机试验,加强对电动机的感性认识,并用课堂上学到的理论分析解决实际问题。

2) 要善于抓主要矛盾,使问题简化

在讨论电动机某一问题时,有时先忽略次要因素,抓住主要矛盾,运用电磁理论加以分析,从中得出虽是近似但能反映客观规律的结论,使问题的分析简化。

3) 要掌握重点内容

尽管电动机种类很多,它们的结构差别很大,运行中的问题也多种多样,但各类电动机的基本电磁规律是相似的。因此,要牢固掌握各类电动机的基本结构、基

本原理、基本电磁规律以及各物理量之间的相互关系。书中带 * 的内容,可以设为自修内容。

4) 要注意培养综合分析问题的能力

学习本课程时,要善于对各类电动机的结构、原理、性能进行比较,辨别异同,进行综合分析,以加深理解,帮助记忆。

第 1 章 电动机总论

1.1 电动机概述

电动机是一个笼统的概念,可以理解为,与电能有关的机械装置都称为电动机。但人们一般理解的电动机只包括发电机和电动机,即实现电能和机械能相互转换的装置。而变压器则是用以改变电压适应不同用电设备的要求,升高电压是为了降低输电线路的损耗,所以在电动机学中都把变压器包括在内。

电动机的基本功能包括两个方面:

转换能量。发电机将其他形式的能量(热能、水的势能、风能、原子能等)转换为电能;电动机将外部输入的电能通过电动机转换为机械能的旋转,即以轴的旋转带动生产机械工作;而变压器则是使电能实现不同电压和频率之间的变换。

按照控制信号改变输出量。采用控制技术改变转速、转矩和位移等输出状态。

电动机的功能图如图 1-1 所示。

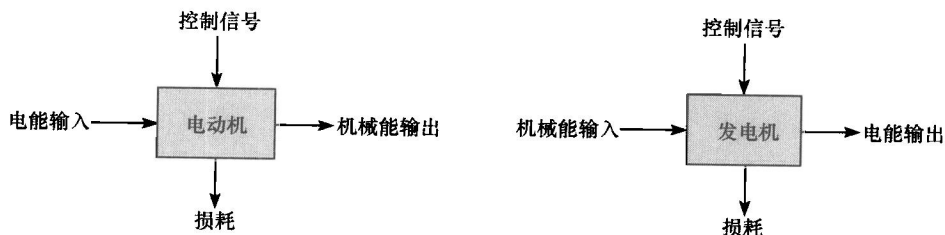


图 1-1 电动机的功能图

图 1-1 中的损耗指电动机在实现能量转换过程中不可避免的自身消耗;输出的机械能也包括机械位移,如直线电动机和电磁铁。

1.2 电动机的分类

- (1) 按照运行的机械特点分为:旋转电动机和静止电动机。
- (2) 按照所用电源分类:可分为交流电动机和直流电动机两大类。而交流电动机又分为异步(感应)电动机和同步电动机,异步机有鼠笼式和绕线式(滑环式)

两种,同步机分为异步启动和准同步启动两种。

(3) 直流电动机按照激磁方式分为:串激式、并激式、它激式、积复激和差复激。

(4) 交流电动机按电源的相数分为:单相和三相。单相电动机功率一般不超过 1000W,多用于家用电器和移动电动工具。

(5) 按照外壳形式可分为:开启式和封闭式两种。

(6) 按照冷却通风方式分为:自理通风和外力强迫通风两种。

(7) 按照防护方式分为:开放式、封闭式、防滴式、防爆式等。

图 1-2 所示为一种常见的分类。

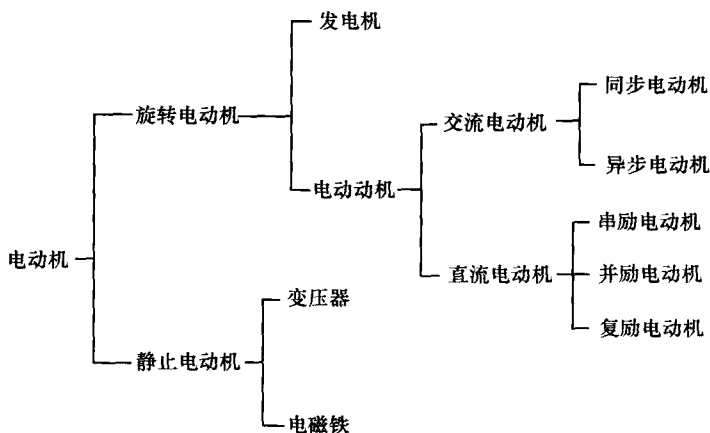


图 1-2 电动机的分类

1.3 电动机的基本结构和工作机理

1. 基本结构

所有电动机的基本结构都分为两大部分,即固定在基础上不产生运动的定子部分和在运行中不断旋转的转子部分。这两大部分分别包括了绕组(用绝缘导线绕制的线圈)、铁心、绝缘物、支撑装置等部件。电源、导线和绕组构成了电动机的电路部分,铁心、空气隙、机座、外壳构成了电动机的磁路部分。

2. 工作机理

按照安培定律和电磁感应定律,电路和磁路相互作用产生机械力作用,使电动机产生机械运动(旋转或直线运动)。