



高职高专“十一五”规划教材

电机与电力拖动



张水利 主编

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

高职高专“十一五”规划教材·机电类

电机与电力拖动

主 编 张水利
副主编 董德明 郭贵中 杜诗超
张钦军 张贵贤 刘 星
主 审 肖庆荣

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书包括电机原理、电力拖动、控制电机等方面的内容,详细介绍了直流电机、变压器、异步电机、同步电机的基本结构、工作原理及应用知识,对控制电机、进行电机选择等方面的内容也做了简单论述。

作为高等职业院校的规划教材,编写时力求突出高等职业教育的特色,淡化了电机部分的电磁理论,突出了电机的实际应用。减少了各种理论公式的推导,简化了电动机与电力拖动的原理分析,加强了电力拖动及控制电路的实践讲解,并专门增加了实训课题。

本书可作为高等职业院校机电类专业的教材,也可供高等专科学校、中等职业学校、电大、夜大师生阅读使用,还可作为工程技术人员的参考资料。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电机与电力拖动/张水利主编. —北京:北京理工大学出版社, 2007.8
高职高专“十一五”规划教材.机电类
ISBN 978-7-5640-1203-8

I.电… II.张… 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.TM3TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 130601 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 / 北京市业和印务有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 17.75

字 数 / 398 千字

版 次 / 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

责任校对 / 陈玉梅

定 价 / 32.00 元

责任印制 / 母长新

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

电机与电力拖动从专业课设计的角度看,课程并不单纯是学习电机技术,而重点是在于电机的应用与实践。另外,一般高职院校的学生本身在理论学习方面同本科学生有一定差距,因此,新编教材将在指导思想、编写内容和编写方法上进行改革创新,突出高职教学的特点,以满足高职学生学习和就业的需要。

在编写过程中,本教材主要考虑突出以下几个方面的特点:

- (1) 教材以人的认知规律为主线,以课程结构为辅线。
- (2) 突出应用技能培养,弱化理论推理和论述。
- (3) 突出实用性和兴趣性,适合高职教学模式。

(4) 注重学生专业发展和就业需求,教材内容充分反映新知识、新技术、新工艺和新方法,特别是适当加大控制电机部分的篇幅,具有一定的前瞻性。

本课程是机电类专业的一门重要专业基础课,既有一定的理论性,又有很强的实践性。因此,在机电类专业的课程体系中,本教材十分重视教材内容的基础性和工具性。其先修课程是《高等数学》和《电路》,后续课程则包括《工厂电气控制技术》、《PLC 原理与应用》、《机电一体化系统》等课程。

本书主要内容包括直流电机、变压器、交流电机、控制电机四大部分。通过学习,可掌握常用交、直流电机、变压器的基本结构和工作原理,电力拖动系统的基本理论与计算方法,同时掌握电机及拖动系统中基本的实验方法和操作技能以及常用电工仪器仪表的使用方法。完成本课程教学需要 70~80 学时,条件允许的情况下也可增加两周左右的集中实习。

本书可作为高等职业院校机电类专业的教材,也可供高等专科学校、中等职业学校、电大、业大师生使用,还可作为工程技术人员的参考资料。

本书由张水利担任主编,由董德明、郭贵中、杜诗超、张钦军、张忠贤、刘星担任副主编。杨爱新、罗鱼燕、许学江、王连飞、张传兴、彭爱玲参编。本书由张水利提供大纲并统稿,最后由肖庆荣教授主审。

由于编者水平有限,教材中难免有差错、疏漏之处,敬请同行专家及广大读者批评指正。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议,恳请向编者(bjzhangxf@126.com)提出宝贵意见。

编 者

目 录

绪论.....	1	1.8 实训——直流电机的拆装.....	39
第1章 直流电机.....	5	习题.....	41
1.1 直流电机概述.....	5	第2章 直流电动机的电力拖动.....	43
1.1.1 基本工作原理.....	5	2.1 电力拖动系统的基本概念.....	43
1.1.2 基本结构.....	7	2.1.1 电力拖动系统的运动方程式... 43	
1.1.3 额定值和主要系列.....	10	2.1.2 生产机械的负载转矩特性.....	44
1.2 直流电机的电枢绕组.....	11	2.2 他励直流电动机的机械特性.....	46
1.2.1 电枢绕组的基本知识.....	11	2.2.1 机械特性方程式.....	46
1.2.2 单叠绕组.....	13	2.2.2 固有机械特性与人为机械特性.. 47	
1.2.3 单波绕组.....	15	2.2.3 机械特性的绘制.....	49
1.3 直流电机的电枢反应.....	17	2.2.4 电力拖动系统稳定运行的条件.. 50	
1.3.1 直流电机的励磁方式.....	17	2.3 他励直流电动机的起动.....	51
1.3.2 直流电机的空载磁场.....	18	2.3.1 对电动机起动的要求.....	51
1.3.3 直流电机的电枢反应.....	20	2.3.2 电枢回路电阻起动.....	51
1.4 感应电动势和电磁转矩.....	23	2.3.3 降压起动.....	54
1.4.1 电枢绕组的感应电动势.....	23	2.4 他励直流电动机的调速.....	54
1.4.2 电枢绕组的电磁转矩.....	24	2.4.1 调速指标.....	54
1.5 直流电动机.....	24	2.4.2 调速方法.....	56
1.5.1 直流电动机的基本方程式.....	25	2.4.3 调速方式与负载类型的配合... 58	
1.5.2 他励(并励)直流电动机的工作特性.....	26	2.5 他励直流电动机的制动.....	59
1.5.3 串励直流电动机的工作特性... 28		2.5.1 能耗制动.....	59
1.6 直流发电机.....	29	2.5.2 反接制动.....	60
1.6.1 直流发电机的基本方程式.....	29	2.5.3 回馈制动.....	62
1.6.2 他励直流发电机的运行特性... 31		2.6 串励及复励直流电动机的电力拖动... 63	
1.6.3 并励直流发电机的自励.....	32	2.6.1 串励电动机的机械特性.....	63
1.6.4 并励直流发电机的运行特性... 33		2.6.2 串励电动机的电力拖动.....	66
1.7 直流电机的换向.....	34	2.6.3 复励直流电动机.....	66
1.7.1 换向的基本概念.....	34	2.7 实训.....	67
1.7.2 换向的种类与电磁性火花.....	35	2.7.1 直流电动机的起动和反转.....	67
1.7.3 产生火花的其他原因.....	37	2.7.2 直流电动机的调速.....	68
1.7.4 改善换向的方法.....	38	习题.....	69
1.7.5 环火与补偿绕组.....	39	第3章 变压器.....	72

3.1 变压器概述	72	4.3.2 三相双层叠绕组	126
3.1.1 变压器的应用及分类	72	4.4 交流绕组的感应电动势	129
3.1.2 变压器的工作原理	73	4.4.1 整距集中绕组的感应电动势 ...	129
3.1.3 变压器的基本结构	74	4.4.2 整距分布绕组的电动势	131
3.1.4 变压器的铭牌	77	4.4.3 短距集中绕组的电动势	132
3.2 单相变压器的运行原理	78	4.4.4 感应电动势的一般公式	133
3.2.1 变压器的空载运行	78	4.4.5 感应电动势中的高次谐波	134
3.2.2 负载运行	82	4.5 交流绕组的磁势	135
3.2.3 标么值	88	4.5.1 交流电机的磁路	135
3.3 变压器的参数测定	89	4.5.2 单相脉振磁势	136
3.3.1 变压器的空载试验	90	4.5.3 圆形旋转磁势	137
3.3.2 变压器的短路试验	91	4.6 实训	139
3.4 变压器的运行特性	92	4.6.1 定子绕组接地故障的检修	139
3.4.1 外特性	93	4.6.2 定子绕组短路故障的检修	142
3.4.2 效率特性	93	4.6.3 定子绕组断路故障的检修	147
3.5 三相变压器	96	习题	150
3.5.1 三相变压器的磁路系统	96	第 5 章 三相异步电动机	151
3.5.2 变压器的连接方式和连接组别 ..	97	5.1 三相异步电动机概述	151
3.6 变压器的并联运行	101	5.1.1 基本工作原理	151
3.6.1 并联运行的定义	101	5.1.2 旋转磁场	152
3.6.2 并联运行的理想情况和条件 ..	102	5.1.3 基本结构	154
3.6.3 不能满足并联条件时的		5.1.4 分类和铭牌数据	157
运行情况	102	5.2 三相异步电动机的运行分析	158
3.7 特殊变压器	104	5.2.1 空载运行	158
3.7.1 自耦变压器	104	5.2.2 负载运行	159
3.7.2 仪用互感器	107	5.3 三相异步电动机的等效电路	161
3.8 实训——小型变压器的拆装与维护 ..	110	5.3.1 负载运行时的电磁关系	161
习题	115	5.3.2 频率折算	162
第 4 章 交流电机的绕组	118	5.3.3 绕组折算	164
4.1 交流绕组的基本知识	118	5.3.4 等效电路和相量图	165
4.1.1 基本概念	118	5.4 三相异步电动机的功率转换	166
4.1.2 基本术语	118	5.4.1 功率转换过程和方程式	166
4.2 三相单层绕组	120	5.4.2 转矩关系	168
4.2.1 链式绕组	120	5.5 三相异步电动机的运行特性	169
4.2.2 同心式绕组	122	5.5.1 三相异步电动机的机械特性 ...	170
4.2.3 交叉式绕组	124	5.5.2 三相异步电动机的工作特性 ...	179
4.3 三相双层绕组	125	5.6 空载试验和短路试验	181
4.3.1 双层绕组简介	125	5.6.1 空载试验	181

5.6.2 短路试验	183	习题	229
5.7 实训	184	第 8 章 同步电机	230
5.7.1 三相异步电动机的拆装	184	8.1 同步电机的结构及原理	230
5.7.2 三相异步电动机的参数测定	185	8.1.1 同步电机的基本结构	230
习题	186	8.1.2 同步电机的工作原理	232
第 6 章 三相异步电动机的电力拖动	189	8.1.3 同步电机的励磁方式	233
6.1 三相异步电动机的起动	189	8.1.4 同步电机的铭牌参数	234
6.1.1 直接起动	189	8.2 同步电动机的运行分析	235
6.1.2 降压起动	189	8.2.1 电路分析	235
6.2 三相异步电动机的调速	195	8.2.2 同步电动机的功角特性	236
6.2.1 调速方法概述	195	8.2.3 同步电动机的功率因数调节	239
6.2.2 降压调速	196	8.3 同步电动机的起动	240
6.2.3 转子回路串电阻调速	197	8.3.1 起动中存在的问题	240
6.2.4 电磁转差离合器调速	198	8.3.2 起动方法	241
6.2.5 变极调速	199	8.4 同步调相机	243
6.2.6 串级调速	202	8.4.1 结构与工作原理	243
6.2.7 变频调速	205	8.4.2 主要用途	244
6.3 三相异步电动机的制动和反转	207	习题	244
6.3.1 能耗制动	207	第 9 章 控制电机	245
6.3.2 反接制动	210	9.1 伺服电动机	245
6.3.3 回馈制动	212	9.1.1 交流伺服电动机	245
6.3.4 三相异步电动机的运行状态	213	9.1.2 直流伺服电动机	247
6.3.5 三相异步电动机的反转	216	9.2 自整角机	247
6.4 实训	217	9.2.1 自整角机概述	247
6.4.1 三相异步电动机的起动	217	9.2.2 力矩式自整角机	248
6.4.2 三相异步电动机的调速	218	9.2.3 控制式自整角机	250
习题	220	9.3 旋转变压器	252
第 7 章 其他异步电机	221	9.3.1 旋转变压器的结构	252
7.1 单相异步电动机	221	9.3.2 旋转变压器的工作原理	253
7.1.1 分相式单相异步电动机	221	9.3.3 旋转变压器的应用	254
7.1.2 罩极式单相异步电动机	225	9.4 步进电动机	255
7.2 移相器	226	9.4.1 步进电动机概述	255
7.2.1 移相器简介	226	9.4.2 步进电动机的工作原理	255
7.2.2 移相器的工作原理	227	9.5 开关磁阻电动机	257
7.3 感应调压器	228	9.5.1 开关磁阻电动机概述	257
7.3.1 感应调压器简介	228	9.5.2 SRD 系统的组成及原理	258
7.3.2 感应调压器的工作原理	228	9.5.3 SRD 系统的特点	259

9.6 其他控制电机	260	10.3 电动机容量选择的计算法	270
9.6.1 测速发电机	260	10.3.1 连续工作制情况	270
9.6.2 交直流两用电动机	262	10.3.2 短时工作制情况	271
9.6.3 直线电动机	263	10.3.3 周期断续工作制情况	272
习题	265	10.4 电动机其他参数的选择	272
第 10 章 电动机的选择	266	10.4.1 电动机种类的选择	273
10.1 电动机的发热和冷却	266	10.4.2 电动机电压的选择	273
10.1.1 电动机的发热过程	266	10.4.3 电动机转速的选择	274
10.1.2 电动机的冷却过程	267	10.4.4 电动机结构形式的选择	274
10.2 电动机的工作制及容量选择	268	习题	275
10.2.1 电动机的工作制	268	参考文献	276
10.2.2 电动机容量的选择	269		

绪 论

1. 电机与电力拖动的定义

一提到电机，大家马上想到的是电动机和发电机，事实上，早期的电机也主要是指电动机和发电机。电动机是利用电磁感应现象将电能转换为机械能的装置，发电机则正好相反，是将机械能转换为电能的装置。因此，早期电机的定义是“实现机电能量转换的电磁机械装置”。后来，随着电能的应用越来越广泛，发电设备与负载逐渐分离，电力网络随之出现，输电距离越来越远。为降低电能输送过程中的损耗，变压器应运而生，并在电力系统中得到了广泛的应用。所谓变压器，是利用电磁感应现象将一种形式的电能转换为另一种形式电能的装置。在转换过程中，电压等级发生了变化，以适应系统升压或降压的需要。从本质上看，变压器、电动机、发电机的工作原理是一致的，都是利用电磁感应现象实现电能与机械能或电能间的相互转换，因而都属于电机的范畴。

进入 20 世纪后半叶，随着自动控制系统的发展，各种控制电机不断涌现，极大地扩展了电机的应用范围。比如，步进电动机是将电脉冲信号转换为机械能的装置；电机放大器是实现电信号放大的装置；测速发电机是将速度信号转换为电信号的装置；旋转变压器则是可以完成运算的装置……控制电机与常规的电动机、发电机、变压器不同，是利用电磁感应现象实现电信号与其他信号相互转换的装置，其主要性能指标是信号转换的精度及响应时间，而对转换过程中的能量损失和效率要求较低。现代的电机主要包括电动机、发电机、变压器、控制电机四大类，是一种“实现电能或信号变换的电磁机械装置”，其基本工作原理是通过磁场实现电能或信号的变换，主要基于电磁学中的电磁感应定律和电磁力定律。

至于电力拖动系统，则是指驱使机器工作、机构运动的电气机械装置，它通常为机器设备的一部分，其系统组成如图 0-1 所示。

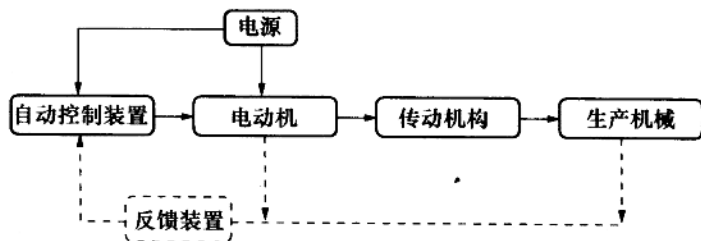


图 0-1 电力拖动系统组成示意图

图 0-1 中各个组成部分的作用如下：

(1) 电动机。在电力拖动系统中，电动机一般有两种运行状态。在电动状态下，产生原动力，把电能转换为机械能；在制动状态下，产生制动力，把机械能转换为电能或热能。所以说，电动机是用来实现电能与机械能相互转换的装置。

(2) 传动机构。用来传递动力，实现速度和运动方式的变换。如减速箱、皮带、联轴器、联轴节等。

(3) 自动控制装置。控制电动机运转的设备，由各种控制电机、电器、自动化元件及工业控制计算机等组成。

(4) 电源。向电动机及控制设备供电的装置。

(5) 反馈装置。将电动机、生产机械的工作状态信号反馈给自动控制装置，实现闭环控制。图 0-1 中虚线表示可有可无，若包括反馈装置称作闭环控制系统，反之即为开环控制系统。

在现代工业、农业、交通运输的各个部门中，广泛采用各种各样的生产机械，其中一部分生产机械采用气动或液压拖动，而大多数生产机械都采用电动机拖动，电力已成为主要动力。电力拖动工作机械有许多优点：电能的生产、变换、传输、分配都比较经济，使用和控制比较方便；电力拖动比以蒸汽、水力、压缩空气等为动力的拖动效率要高，且电动机与被拖动机械的连接简便；电动机的类型很多，可适应不同生产机械的需要，还可借助于控制设备，实现局部工作或整个过程的自动化。因此，电力拖动对于实现工业自动化、改善工人劳动条件、简化机器结构、改善产品质量和提高生产效率发挥了重要作用。

2. 电机与电力拖动的分类

电机应用广泛，种类繁多，性能各异，分类方法也有很多，以下为常见的三种分类方式。

(1) 根据功能及用途，电机可分为发电机、电动机、变压器和控制电机四大类，各自功能如前所述。

(2) 根据电源的不同，电机可分为直流电机和交流电机两大类。再根据电机的转速与磁场的关系，交流电机又可分为同步电机和异步电机两种。

(3) 根据电机的结构，电机可分为变压器和旋转电机两大类，其中旋转电机又包括电动机和发电机两种。

电力拖动系统的分类方式同样很多，常用的也有三种。

(1) 根据机组连接方式的不同，工业上应用的电力拖动经历了成组电力拖动、单机电力拖动和多机电力拖动三个阶段。19 世纪末，电动机逐渐代替蒸汽机，但当时电动机的成本还比较高，常应用成组电力拖动，即由一台电动机拖动天轴，再经过皮带或绳索来分别拖动许多工作机械，这种拖动方式能量损失大，效率低，且不安全，一般已不使用。20 世纪 20 年代以后，开始采用单机电力拖动，即由一台电动机拖动一台工作机械，减少了中间传动机构，提高了效率，可充分利用电动机的调速性能，满足生产机械的需要。随着生产的发展和产品质量的提高，加工工艺越来越复杂，需制造出各种大量复杂机器设备，一台机器上有许多运动机构，如用一台电动机拖动，传动机构就很复杂。20 世纪 30 年代开始采用多机电力拖动，即用多台电动机分别拖动复杂机械的各个工作机构，在这种拖动系统中容易实现自动化，提高劳动生产率。

(2) 根据控制系统的不同，主要有断续控制系统和连续控制系统两大类。其中断续控制系统采用的元件主要是继电器、接触器，所以又称为“继电器-接触器”控制系统，控制不连续，但系统组成比较简单，目前在工厂中应用仍比较广泛；连续控制系统采用的元

件有电机放大机、测速发电机、电子放大器等，控制连续，可获得较好的静态和动态特性，通常加入各种反馈环节，故又称为反馈控制系统。

(3) 根据驱动电源的不同，电力拖动有直流电力拖动、交流电力拖动两种方式。

3. 电机与电力拖动的应用

在国民经济生产中，电机工业是机械工业的一个重要组成部分，是机电一体化中机和电的结合点，是工业企业电气化的心脏，对国民经济的发展有着重要的作用。

电机是电力工业的主要设备之一。在发电厂，发电机将原始能源(如热能、水能、化学能、核能、太阳能等)转换为生产和生活中可使用的电能。变电站的作用是经济地传输和分配电能，升压变压器把大型发电机发出的低压电转换成高压电，输送到高压电网上进行远距离传输，而在供给用户使用前，再把来自高压输电网的电能经过降压变压器降压。可见，在电能的生产、传输和分配过程中，发电机和变压器起着重要的作用。

在电能的应用中，电动机起着重要的作用。在机械工业、冶金工业、化学工业、交通运输及日常生活等各个方面，电动机将电能转换成机械能，为各种工作机械提供动力。随着新型电机、大功率半导体器件、大规模集成电路的发展和计算机技术的应用，电力拖动系统的品种、质量和性能都有了进一步的提高，带动了数控机床、工业机器人、交通运输、航空航天及家用电器等机电一体化高科技产品的迅速发展。随着科学技术的进步，工业、农业、国防等各部门都要求有性能更好的新型电机及电力拖动系统，以满足各方面的不同需求，电机与电力拖动系统也必将在国民经济发展中发挥越来越重要的作用。

4. 电机与电力拖动的发展

进入 20 世纪以后，人们在降低电机成本、减小电机尺寸、提高电机性能、选用新型电磁材料、改进电机生产工艺等方面进行了大量工作。因此，现代电机与初期电机在结构上已有了很大差别。

纵观电力拖动的发展过程，交、直流两种拖动方式并存于各个生产领域。各个时期科学技术的发展水平不同，交、直流两种拖动所处的地位也有所不同。在交流电出现以前，直流电力拖动是唯一的一种电力拖动方式。19 世纪末期，由于研制出了经济实用的交流电动机，使交流电力拖动在工业中得到了广泛的应用。但是随着生产技术的发展，特别是精密机械加工与冶金工业生产过程的进步，对电力拖动在起动、制动、正反转以及调速精度与范围等方面提出了更高的要求，而由于交流电力拖动比直流电力拖动在技术上难以实现这些要求，所以在可逆、可调速及高精度的拖动领域中，在相当长的一个时期内都是采用直流电力拖动，而交流电力拖动则主要用于恒转速系统。虽然直流电动机具有调速性能优异这一突出优点，但是由于它的结构中装有电刷与换向器，使得它的故障率较高，同时要求使用环境中不能有太多的污物及粉尘，其电压等级、额定转速、单机容量的发展也因此受到限制。20 世纪 60 年代以后，随着电力电子技术的发展，交流调速不断进步和完善，在调速性能方面由原来的落后状态发展到可与直流调速媲美。今天，交流调速在很多场合已取代直流调速，在不远的将来，交流调速甚至可能完全取代直流调速。

5. 课程的性质、任务及学习方法

本课程是机电类各专业的一门重要专业基础课。内容上包括电机原理、电力拖动、控

制电机等部分内容,也有部分院校将这些内容分成两门课甚至三门课分别讲授。本课程的任务是使学生学习变压器、直流电机、交流电机及控制电机的基本结构和工作原理,掌握电力拖动系统的运行性能、分析计算以及电动机的选择方法,为学习后续课程和参加今后的工作准备必要的基础知识,同时培养学生在电机及电力拖动方面分析和解决问题的能力。

本课程既是一门理论性很强的专业基础课,又具有专业课的性质,涉及的基础理论很多,而且牵扯的实际知识面很广,是电学、磁学、动力学、热力学等学科知识的综合。初学者在学习过程中,应注意以下几个方面的问题。

(1) 要掌握分析问题的方法。在本课程中,涉及的电机类型较多,拖动方式各异,如果将每一种电机、每一种拖动系统都作为一个独立内容来学,不仅时间紧张,而且不利于理解与掌握所学的知识。如果我们在学习过程中能够掌握研究问题的方法,注意找出各类电机及拖动系统的异同点,就会学得轻松自如。比如,三相异步电动机和变压器的原理有很多共同部分,最后的数学模型也非常类似,只要掌握了分析问题的方法,就可较容易地掌握这两部分的内容。同样,控制电机实际上是各种交、直流电机的变种,学习时也要注意前后对照。

(2) 要注意基本物理概念的理解。本课程的公式较多,如果孤立地去记忆不同公式所表达的各物理量之间的数量关系不是易事,因此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和电磁转矩公式,如果理解了公式中各量所表示的物理意义,知道了感应电动势是导体在磁场中切割磁力线所产生的,必然与磁场的强弱和切割速度成正比;而电磁转矩是因载流导体在磁场的作用下所产生的,其大小必然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中各物理量之间的相互关系了。

(3) 要注意学习重点。对机电类各专业的高职学生来说,学习本课程的目的是为了正确地使用电机,为使用电力拖动系统服务。因此,在学习过程中,要从应用电机的角度出发,着眼于电机的运行特性,将学习重点放在电动机的机械特性分析上,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。而对电机的工作原理分析及各种公式,以能够正确应用为度,对电机内部结构只要一般了解即可。

(4) 要特别重视实训。在完成理论教学的同时,必须做一些实验,条件允许的情况下最好安排两周左右的实习。通过实训,学习各种电机的拆装及检修,各种拖动控制线路的安装及调试,掌握各种控制电器及仪表的使用方法,提高工程实践技能,同时对理论知识的学习也是一种促进。

第1章 直流电机

电机是利用电磁感应原理进行机电能量转换的电磁机械装置。电机根据电源的不同可分为直流电机和交流电机。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。

直流电动机具有起动和调速性能好、过载能力大、容易控制等优点。因此，广泛应用于对起动和调速性能要求较高的生产机械，如大型机床、电力机车、轧钢机、船舶机械、造纸机和纺织机等设备都广泛采用直流电动机作为原动机。直流发电机主要作为直流电动机、电解、电镀等设备的直流电源。

由于直流电动机结构复杂、有色金属用量多、生产工艺复杂、运行可靠性差等原因，同时随着电力电子学和微电子学的迅速发展，直流电动机将逐步被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，在今后相当长的时期内，直流电机仍将在许多场合继续应用。

1.1 直流电机概述

1.1.1 基本工作原理

1. 直流电动机的基本工作原理

图 1-1 是一台简单的两极直流电动机的模型。在图 1-1 中，N 和 S 为一对固定的磁极，磁极之间有一个可以旋转的铁质圆柱体，称为电枢铁心。铁心表面固定一个用绝缘导体构成的电枢线圈 $abcd$ ，线圈的两端分别接到两个相互绝缘的弧形铜片上，弧形铜片称为换向片，换向片组合在一起称为换向器。在换向器上放置固定不动而与换向片滑动接触的电刷 A 和 B，线圈 $abcd$ 通过换向器和电刷接通外电路。电枢铁心、电枢线圈和换向器组合在一起称为电枢。

将直流电源加于电刷 A 和 B 上，电源正极加于电刷 A，电源负极加于电刷 B，则线圈 $abcd$ 中流过电流，根据电磁力定律，导体 ab 和 cd 受到电磁力的作用，如图 1-1 所示，电磁力的方向用左手定则确定。电磁力在电枢上产生一个转矩，称为电磁转矩。在图 1-1 (a)、(b) 中，电磁转矩的方向均为逆时针方向，使整个电枢逆时针方向旋转。

由此可见，加于直流电动机的直流电源，借助于换向器和电刷的作用，使直流电动机电枢线圈中流过电流，电流的方向是交变的，使电枢产生的电磁转矩的方向恒定不变，确保直流电动机朝着确定的方向连续旋转。这就是直流电动机的基本工作原理。

实际上的直流电动机，电枢圆周上均匀地嵌放着许多线圈，相应地换向器也是由许多换向片组成，使电枢线圈所产生的总电磁转矩足够大并且比较均匀，电动机的转速也就比较均匀。

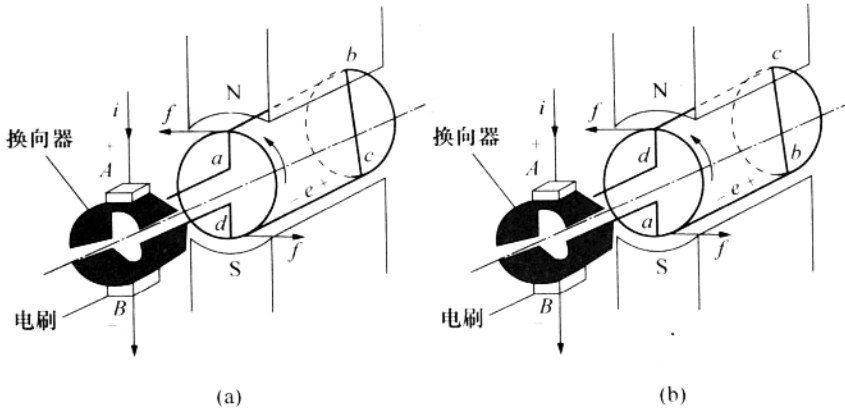


图 1-1 直流电动机模型

2. 直流发电机的基本工作原理

图 1-2 是一台直流发电机的模型。直流发电机的模型与直流电动机相同，不同的是电刷上不加直流电压，而是用原动机拖动电枢朝某一方方向旋转。例如原动机拖动电枢逆时针方向旋转，如图 1-2 所示。这时线圈 ab 和 cd 边分别切割磁极向下的磁力线，产生感应电动势，感应电动势的方向可用右手定则确定。在图 1-2(a) 中，线圈 ab 边中电动势的方向由 b 指向 a ，线圈边 cd 中电动势的方向由 d 指向 c ，所以电刷 A 为正极性，电刷 B 为负极性。电枢旋转 180° 时，线圈 cd 边转至 N 极下，感应电动势的方向由 c 指向 d ，电刷 A 这时与 d 所连换向片接触，仍为正极性，线圈 ab 边转至 S 极下，感应电动势的方向变为 a 指向 b ，电刷 B 与 a 所连换向片接触，仍为负极性，如图 1-2(b) 所示。可见，直流发电机电枢线圈中的感应电动势的方向是交变的，而通过换向器和电刷的作用，在电刷 A 、 B 两端输出的电动势是方向不变的直流电动势。若在电刷 A 、 B 之间接上负载，发电机就能向负载供给直流电能，这就是直流发电机的基本工作原理。

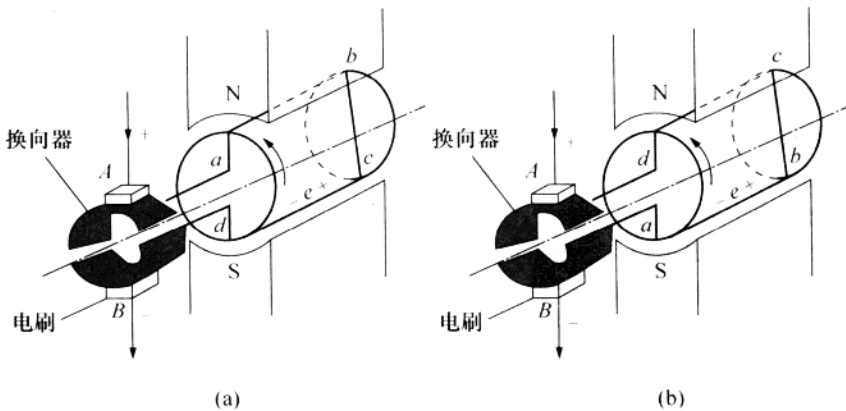


图 1-2 直流发电机模型

由此可以看出：一台直流电机原则上既能作电动机运行，也可作发电机运行。将直流

电源加于电刷，向电枢内输入电能，电机将电能转换为机械能，拖动生产机械旋转，电机作电动机运行；如用原动机拖动直流电机的电枢旋转，输入机械能，电机将机械能转换为直流电能，从电刷上引出直流电动势，电机作发电机运行。同一台电机，既能作电动机运行，又能作发电机运行的原理，称为电机的可逆原理。

1.1.2 基本结构

直流电机作为旋转电机，必须具备静止和转动两大部分，静止部分称为定子，转动部分称为转子，在定子和转子之间存在着空气隙。静止部分主要包括主磁极、换向极、电刷装置、机座和端盖等部分；转动部分又称电枢，主要包括电枢绕组、电枢铁心、换向器、转轴等部分，如图 1-3 所示，剖图如图 1-4 所示。

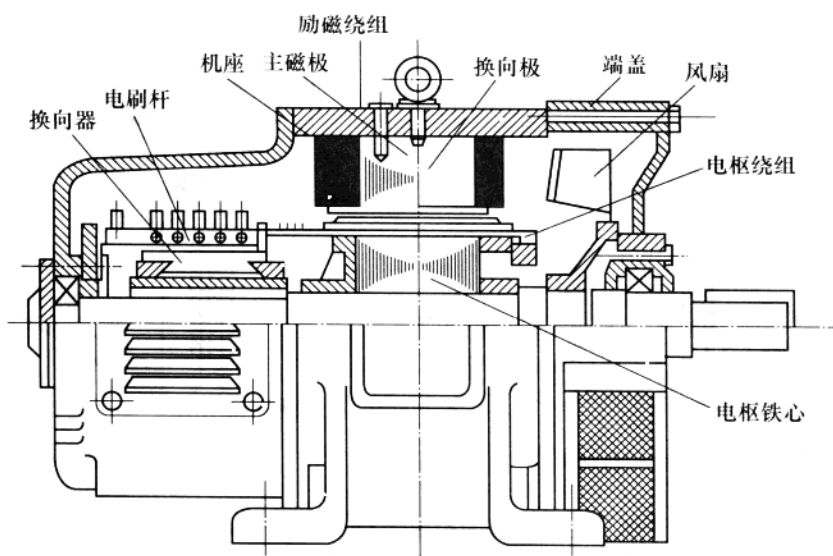


图 1-3 小型直流电机的结构示意图

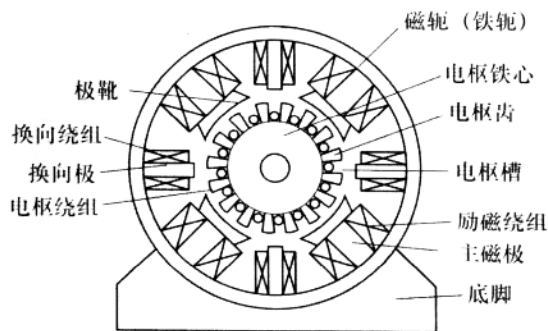


图 1-4 小型直流电机的剖面图

1. 定子部分

(1) 主磁极。主磁极的作用是产生气隙磁场。主磁极由主磁极铁心和励磁绕组两部分组成，如图 1-5 所示。铁心由钢板冲片叠压而成，套有励磁绕组的这部分称为极身，底部扩宽的部分称为极靴，极靴宽于极身，可以使气隙中磁场分布比较理想，同时又起到固定励磁绕组的作用。励磁绕组用绝缘铜线绕制而成，励磁绕组套在极身上，整个主磁极固定在机座上。

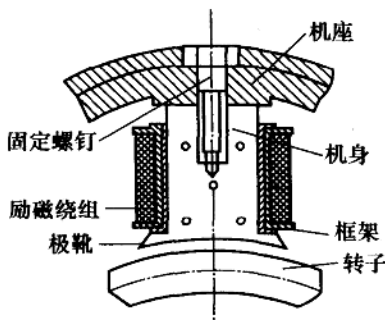


图 1-5 主磁极结构

(2) 换向极。两相邻主磁极之间的小磁极叫换向极。换向极的作用是用来改善换向，减小电机运行时电刷与换向器之间可能产生的火花。换向极由换向极铁心和换向极绕组组成，如图 1-6 所示。换向极铁心一般用整块钢制成，对换向性能要求较高的直流电机，换向极铁心可用钢板冲制叠压而成。换向极绕组用绝缘导线绕制而成，套在换向极铁心上。换向极固定在机座上，换向极的数目与主磁极相等。

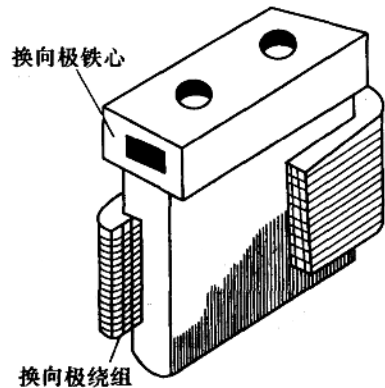


图 1-6 换向极结构

(3) 机座。电机定子部分的外壳称为机座，机座用来固定主磁极、换向极和端盖，起到整个电机的支撑和固定作用，同时机座也是电机磁路的一部分，借以构成磁极之间磁的通路，磁通通过的部分称为磁轭（又称铁轭）。为保证机座具有足够的机械强度和良好的导磁性能，一般为铸钢件或由钢板焊接而成。

(4) 电刷装置。电刷装置用以引入或引出直流电压和直流电流。电刷装置由电刷、刷握、刷杆和刷杆座等部分组成，如图 1-7 所示。电刷放在刷握内，用弹簧压紧，使电刷与换向器之间有良好的滑动接触。刷握固定在刷杆上，刷杆装在圆环形的刷杆座上，相互之间必须绝缘。刷杆座装在端盖或轴承内盖上，圆周位置可以调整，调好以后加以固定。

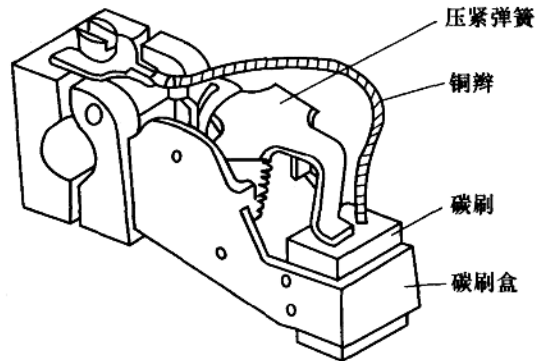


图 1-7 电刷结构

2. 转子(电枢)部分

(1) 电枢铁心: 电枢铁心是电机主磁路的主要组成部分, 同时用以嵌放电枢绕组。为减少电机运行时电枢铁心中的涡流损耗和磁滞损耗, 电枢铁心用硅钢片冲片叠压而成, 冲片的形状如图 1-8 所示。叠成的铁心固定在转轴或转子支架上。铁心的外圆开有电枢槽, 槽内嵌放电枢绕组。

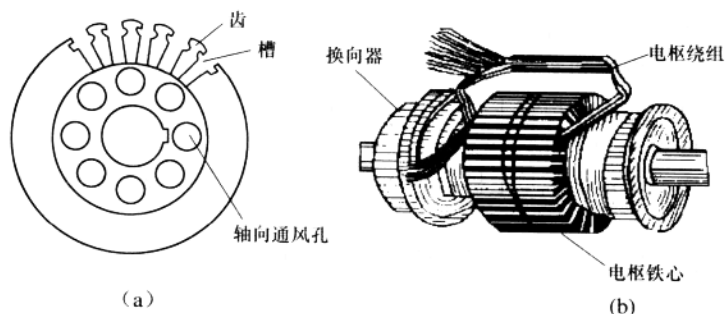


图 1-8 电枢冲片和电枢铁心

(a) 电枢冲片; (b) 电枢铁心

(2) 电枢绕组: 电枢绕组的作用是产生电磁转矩和感应电动势, 是直流电机进行机电能量转换的关键部件。它由许多线圈按一定规律连接而成, 线圈用高强度漆包线或玻璃丝包扁铜线绕成。不同线圈的线圈边分上下两层嵌放在电枢槽中, 线圈与铁心之间和上、下两层线圈边之间都必须妥善绝缘, 为防止离心力将线圈边甩出槽外, 槽口用槽楔固定, 线圈伸出槽外的端接部分用热固性无纬玻璃带进行绑扎。

(3) 换向器: 在直流电动机中, 换向器配以电刷, 将外加直流电流转换为电枢线圈中的交变电流, 使电磁转矩的方向恒定不变; 在直流发电机中, 换向器配以电刷, 将电枢线圈中感应产生的交变电动势转换为正、负电刷上引出的直流电动势。换向器是由许多换向片组成的圆柱体, 换向片之间用云母片绝缘, 如图 1-9 所示。换向片的下部做成燕尾形, 两端用钢制 V 形套筒和 V 形云母环固定, 再用螺母锁紧。对于小型直流电机, 可以采用塑料换向器, 将换向片和片间云母片叠成圆柱体后用酚醛玻璃纤维热压成形, 既节省材料, 又简化工艺。

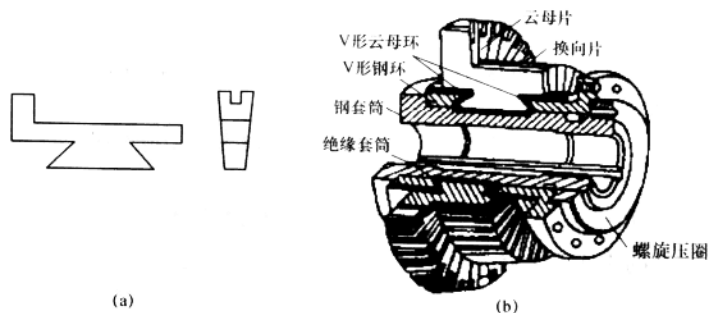


图 1-9 换向器的结构

(a) 换向片; (b) 换向器