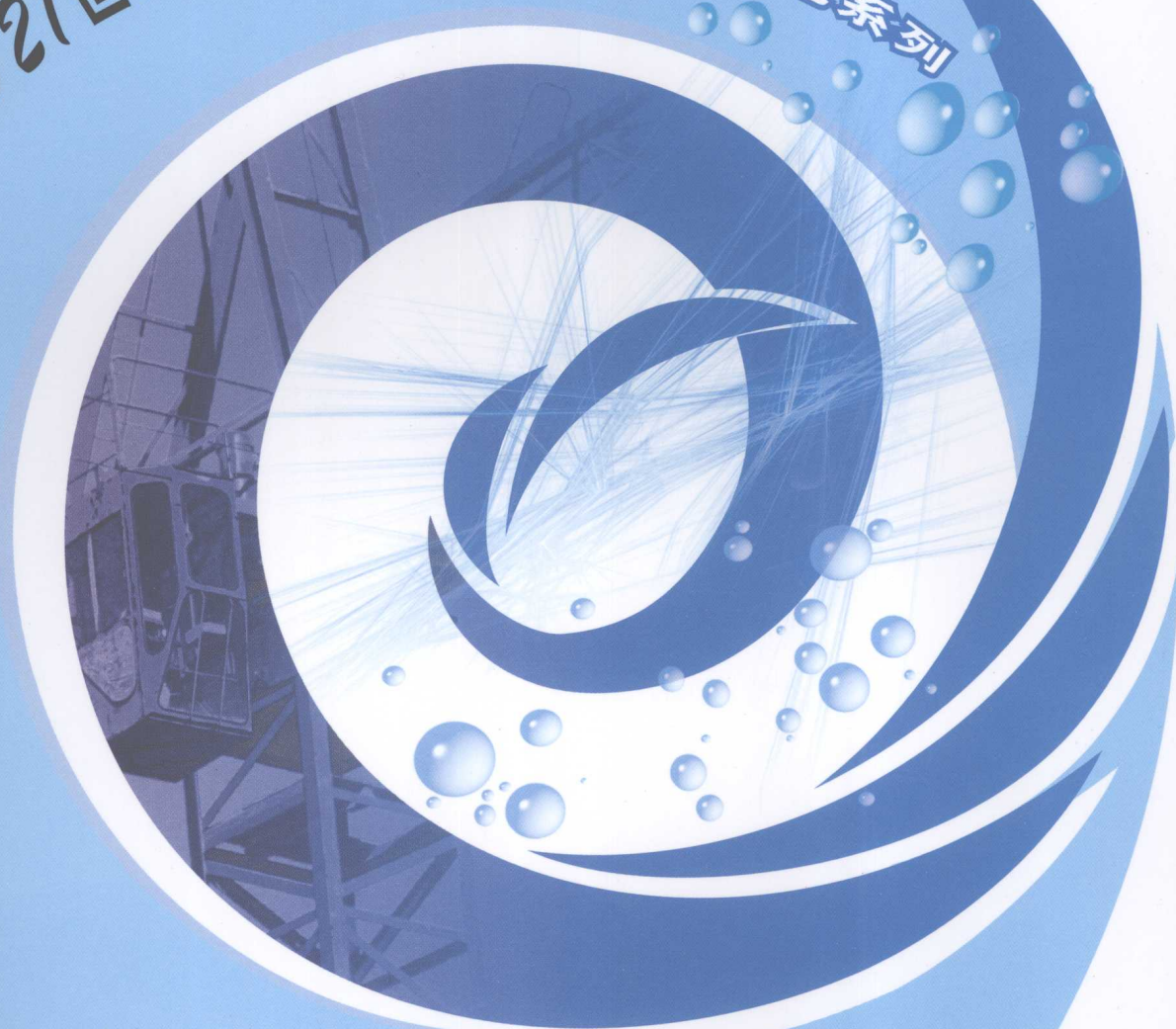




21世纪高职高专规划教材·机电系列



电机与拖动

牛永奎 张 晶 主编



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

21 世纪高职高专规划教材·机电系列

电机与拖动

牛永奎 张 晶 主编

清华大学出版社
北京交通大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是为适应我国高职教育的发展需要,参照教育部对高职教育的要求,按“必需”、“够用”的原则进行编写的。以常用电机的结构和工作原理为基础,突出实际应用。

全书共分13章,主要内容有直流电机、直流电机的电力拖动、变压器、三相异步电动机、三相异步电动机的电力拖动、单相异步电动机、同步电机、步进电动机、伺服电动机、测速发电机、直线电动机、电动机的选择和实验。

本书可作为高职电气自动化技术、供用电技术、机械制造及自动化技术等专业的一门基础课教材,还可作为成人教育及函授培训教材,也可供有关教师和工程技术人员及广大读者参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动/牛永奎,张晶主编. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2007.4
(21世纪高职高专规划教材·机电系列)

ISBN 978-7-81082-966-3

I. 电… II. ①牛… ②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. TM3

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第038742号

责任编辑:韩 乐 特邀编辑:李晓敏

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京瑞达方舟印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:15.5 字数:397千字

版 次:2007年8月第1版 2007年8月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-81082-966-3/TM·15

印 数:1~4000册 定价:24.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

21 世纪高职高专规划教材·机电系列

编审委员会成员名单

主任委员 李兰友 边奠英

副主任委员 周学毛 崔世钢 王学彬 丁桂芝 赵 伟
韩瑞功 汪志达

委 员 (按姓名笔画排序)

马春荣	马 辉	万志平	万振凯	王一曙
王永平	王建明	尤晓晔	丰继林	尹绍宏
左文忠	叶 华	叶 伟	叶建波	付晓光
付慧生	冯平安	江 中	佟立本	刘 炜
刘建民	刘 晶	刘 颖	曲建民	孙培民
邢素萍	华铨平	吕新平	陈国震	陈小东
陈月波	陈跃安	李长明	李 可	李志奎
李 琳	李源生	李群明	李静东	邱希春
沈才梁	宋维堂	汪 繁	吴学毅	张文明
张宝忠	张家超	张 琦	金忠伟	林长春
林文信	罗春红	苗长云	竺士蒙	周智仁
孟德欣	柏万里	宫国顺	柳 炜	钮 静
胡敬佩	姚 策	赵英杰	高福成	贾建军
徐建俊	殷兆麟	唐 健	黄 斌	章春军
曹豫莪	程 琪	韩广峰	韩其睿	韩 劼
裘旭光	童爱红	谢 婷	曾瑶辉	管致锦
熊锡义	潘玫玫	薛永三	操静涛	鞠洪尧

出版说明

高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分,它的根本任务是培养生产、建设、管理和服务第一线需要的德、智、体、美全面发展的高等技术应用型专门人才,所培养的学生在掌握必要的基础理论和专业知识的基础上,应重点掌握从事本专业领域实际工作的基本知识和职业技能,因而与其对应的教材也必须有自己的体系和特色。

为了适应我国高职高专教育发展及其对教学改革和教材建设的需要,在教育部的指导下,我们在全中国范围内组织并成立了“21 世纪高职高专教育教材研究与编审委员会”(以下简称“教材研究与编审委员会”)。“教材研究与编审委员会”的成员单位皆为教学改革成效较大、办学特色鲜明、办学实力强的高等专科学校、高等职业学校、成人高等学校及高等院校主办的二级职业技术学院,其中一些学校是国家重点建设的示范性职业技术学院。

为了保证规划教材的出版质量,“教材研究与编审委员会”在全国范围内选聘“21 世纪高职高专规划教材编审委员会”(以下简称“教材编审委员会”)成员和征集教材,并要求“教材编审委员会”成员和规划教材的编著者必须是从事高职高专教学第一线的优秀教师或生产第一线的专家。“教材编审委员会”组织各专业的专家、教授对所征集的教材进行评选,对列选教材进行审定。

目前,“教材研究与编审委员会”计划用 2~3 年的时间出版各类高职高专教材 200 种,范围覆盖计算机应用、电子电气、财会与管理、商务英语等专业的主要课程。此次规划教材全部按教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”编写,其中部分教材是教育部《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》的研究成果。此次规划教材编写按照突出应用性、实践性和针对性的原则编写并重组系列课程教材结构,力求反映高职高专课程和教学内容体系改革方向;反映当前教学的新内容,突出基础理论知识的应用和实践技能的培养;适应“实践的要求和岗位的需要”,不依照“学科”体系,即贴近岗位群,淡化学科;在兼顾理论和实践内容的同时,避免“全”而“深”的面面俱到,基础理论以应用为目的,以必需、够用为度;尽量体现新知识、新技术、新工艺、新方法,以利于学生综合素质的形成和科学思维方式与创新能力的培养。

此外,为了使规划教材更具广泛性、科学性、先进性和代表性,我们希望全国从事高职高专教育的院校能够积极加入到“教材研究与编审委员会”中来,推荐“教材编审委员会”成员和有特色、有创新的教材。同时,希望将教学实践中的意见与建议及时反馈给我们,以便对已出版的教材不断修订、完善,不断提高教材质量,完善教材体系,为社会奉献更多更新的与高职高专教育配套的高质量教材。

此次所有规划教材由全国重点大学出版社——清华大学出版社与北京交通大学出版社联合出版,适合于各类高等专科学校、高等职业学校、成人高等学校及高等院校主办的二级职业技术学院使用。

21 世纪高职高专教育教材研究与编审委员会
2007 年 7 月

前 言

本书从高职教育的实际情况出发,注重理论联系实际;力求通俗易懂、深入浅出,突出实际应用环节。紧扣高职办学新理念,结合高职教学的基本要求,以理论深度够用为度,紧密结合生产实践,注重学生的实践应用能力的培养,力求基本概念清晰明确,用实例强化概念的应用;理论推导简化,易于掌握,具有实用性。通过本教材的学习,对于各种电机,力求使学生达到:懂结构和原理、会选择和使用、能维护和修理。

本书在编写过程中力求突出以下几个特点。

1. 理论分析难度适中,注重结果应用而对分析方法仅做定向阐述,不做理论证明。
2. 本书的章首都有知识目标、能力目标和学习方法。章末都附有思考题与习题并配有部分习题答案,有利于学生的预习和复习。
3. 本书以常用电机的结构和工作原理为基础,力求理论够用,突出实际应用。
4. 增加新技术,对控制电机部分的内容适当加强。
5. 实验项目多,每个实验内容少而精。适合于分组进行实验。
6. 附录部分介绍常用的三相异步电动机的检修知识,便于学生维修电机。

全书共分 13 章,主要内容有直流电机、直流电机的电力拖动、变压器、三相异步电动机、三相异步电动机的电力拖动、单相异步电动机、同步电机、步进电动机、伺服电动机、测速发电机、直线电动机、电动机的选择和电机与拖动实验。

本书可作为高职电气自动化技术专业、供用电技术专业、机械制造及自动化技术等专业的一门专业基础课教材,还可作为成人教育及函授培训教材,也可供有关教师和工程技术人员及广大读者参考。

本书由大连水产学院职业技术学院牛永奎副教授和张晶副教授任主编,牛永奎编写第 1、2、6、7、10、11、12 章。张晶编写第 3、4、5、8、9、13 章和附录。何首贤教授审阅了全书并提出了许多宝贵的意见和建议。在此表示感谢!

由于编者的学术水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请师生和读者批评指正。

编 者
2007 年 7 月

目 录

第 1 章 直流电机	1
1.1 直流电机的结构与工作原理	1
1.1.1 直流电机的结构	1
1.1.2 直流电机的基本原理	4
1.2 直流电机的电枢绕组	5
1.2.1 概述	5
1.2.2 电枢绕组的节距	6
1.2.3 单叠绕组	7
1.2.4 单波绕组	8
1.3 直流电机的铭牌数据及主要系列	10
1.3.1 直流电机的铭牌数据	10
1.3.2 直流电机的主要系列	11
1.4 直流电机的电枢反应	12
1.4.1 直流电机的空载磁场	12
1.4.2 直流电机的负载磁场	13
1.4.3 直流电机的电枢反应	14
1.5 直流电机的电枢电动势和电磁转矩	14
1.5.1 直流电机的电枢电动势	14
1.5.2 直流电机的电磁转矩	15
1.6 直流电机的换向	16
1.6.1 直流电机的换向过程	16
1.6.2 影响换向的电磁原因	16
1.6.3 改善换向的方法	17
1.7 直流电机的基本方程式	18
1.7.1 直流电机的励磁方式	18
1.7.2 直流电机的损耗	18
1.7.3 直流发电机的基本方程式	19
1.7.4 直流电动机的基本方程式	20
1.8 直流发电机的运行特性	22
1.8.1 直流发电机的空载特性	22
1.8.2 直流发电机的外特性	24
1.8.3 直流发电机的调节特性	25
1.9 直流电动机的工作特性	25

1.9.1 他励(并励)直流电动机的工作特性	25
1.9.2 串励直流电动机工作特性	26
思考题与习题	27
第2章 直流电机的电力拖动	29
2.1 电力拖动系统的运动方程式	29
2.1.1 运动方程式	29
2.1.2 运动方程式中转矩方向的确定	30
2.2 生产机械的负载特性	30
2.2.1 恒转矩负载特性	31
2.2.2 恒功率负载特性	31
2.2.3 通风机电类负载特性	32
2.3 直流电动机的机械特性	32
2.3.1 直流电动机机械特性的表达式	32
2.3.2 固有机械特性	33
2.3.3 人为机械特性	33
2.4 电力拖动系统的稳定运行条件	35
2.4.1 电力拖动系统的稳定运行	35
2.4.2 电力拖动系统的稳定运行条件	36
2.5 他励直流电动机的启动和反转	37
2.5.1 他励直流电动机的启动	37
2.5.2 他励直流电动机的反转	39
2.6 他励直流电动机的调速	39
2.6.1 调速指标	39
2.6.2 他励直流电动机电枢电路串电阻调速	41
2.6.3 他励直流电动机降低电枢电压调速	41
2.6.4 弱磁调速	42
2.7 他励直流电动机的制动	43
2.7.1 能耗制动	44
2.7.2 回馈制动	44
2.7.3 反接制动	45
思考题与习题	47
第3章 变压器	49
3.1 变压器的工作原理和基本结构	49
3.1.1 变压器的作用和分类	49
3.1.2 变压器的工作原理	49
3.1.3 变压器的基本结构	50
3.1.4 变压器的铭牌	52
3.2 单相变压器的运行分析	53
3.2.1 单相变压器的空载运行	53

3.2.2 单相变压器的负载运行	55
3.2.3 变压器的运行特性	61
3.3 三相变压器	63
3.3.1 三相变压器的磁路系统	63
3.3.2 三相变压器的电路系统(连接组别)	64
3.4 变压器的应用	68
3.4.1 自耦变压器	68
3.4.2 仪用互感器	69
3.4.3 电焊变压器	70
思考题与习题	71
第4章 三相异步电动机	73
4.1 三相异步电动机的结构和工作原理	73
4.1.1 三相异步电动机的结构	73
4.1.2 三相异步电动机的定子绕组	76
4.1.3 三相异步电动机的工作原理	80
4.1.4 三相异步电动机的额定值及主要系列	82
4.2 三相异步电动机的运行分析	83
4.2.1 三相异步电动机的空载运行分析	83
4.2.2 三相异步电动机负载运行分析	84
4.2.3 三相异步电动机的等效电路	85
4.3 三相异步电动机的功率和转矩	88
4.3.1 三相异步电动机的功率平衡	88
4.3.2 三相异步电动机的转矩平衡	89
4.4 三相异步电动机的参数测定	90
4.4.1 空载试验	91
4.4.2 短路试验	92
4.5 三相异步电动机的工作特性	92
4.5.1 转速特性 $n = f(P_2)$	92
4.5.2 定子电流特性 $I_1 = f(P_2)$	93
4.5.3 电磁转矩特性 $T_{em} = f(P_2)$	93
4.5.4 功率因数特性 $\cos\varphi_1 = f(P_2)$	93
4.5.5 效率特性 $\eta = f(P_2)$	93
思考题与习题	94
第5章 三相异步电动机的电力拖动	96
5.1 三相异步电动机的机械特性	96
5.1.1 三相异步电动机机械特性的三种表达式	96
5.1.2 三相异步电动机的机械特性	99
5.1.3 三相异步电动机的稳定运行	101
5.2 三相异步电动机的启动	101

5.2.1	三相笼式异步电动机的启动	102
5.2.2	三相绕线式异步电动机的启动	108
5.3	三相异步电动机的调速	110
5.3.1	变极调速	110
5.3.2	变频调速	112
5.3.3	改变转差率调速	112
5.3.4	采用电磁转差离合器调速	116
5.4	三相异步电动机的电磁制动	117
5.4.1	能耗制动	117
5.4.2	回馈制动	118
5.4.3	反接制动	119
5.5	三相异步电动机节电运行	121
5.5.1	三相异步电动机目前存在的问题	122
5.5.2	电动机在轻(空)载运行时的降压节电原理分析	122
5.5.3	几种节电技术	122
	思考题与习题	124
第6章	单相异步电动机	127
6.1	单相异步电动机工作原理	127
6.1.1	单相异步电动机的磁场	127
6.1.2	单相异步电动机的工作原理	128
6.2	单相异步电动机的启动方法	128
6.2.1	分相启动	128
6.2.2	罩极启动	129
6.3	单相异步电动机的应用	130
6.3.1	电冰箱中的应用	130
6.3.2	家用电风扇中的应用	130
6.3.3	洗衣机中的应用	131
	思考题与习题	131
第7章	同步电机	132
7.1	同步电机的结构与基本原理	132
7.1.1	同步电机的结构与分类	132
7.1.2	同步电机的工作原理	133
7.1.3	三相同步电机的铭牌数据	134
7.2	同步发电机	135
7.2.1	同步发电机的励磁方式	135
7.2.2	同步发电机的运行特性	137
7.2.3	同步发电机的并联运行	139
7.3	同步电动机	142
7.3.1	同步电动机的基本方程式和相量图	142

7.3.2	同步电动机的功角特性和机械特性	144
7.3.3	同步电动机的工作特性和“V”形曲线	147
7.3.4	同步电动机的启动方法	149
	思考题与习题	150
第 8 章	步进电动机	151
8.1	概述	151
8.2	反应式步进电动机	152
8.2.1	反应式步进电动机的结构	152
8.2.2	反应式步进电动机工作原理	152
8.3	其他类型的步进电动机	154
8.3.1	永磁式步进电动机	154
8.3.2	感应子式步进电动机	155
8.4	步进电动机的主要性能指标和控制	156
8.4.1	步进电动机的主要性能指标	156
8.4.2	步进电动机的控制	157
	思考题与习题	159
第 9 章	伺服电动机	160
9.1	直流伺服电动机	160
9.1.1	直流伺服电动机的分类	160
9.1.2	直流伺服电动机的控制方法与静态特性	162
9.2	交流伺服电动机	164
9.2.1	同步交流伺服电动机	164
9.2.2	异步交流伺服电动机	165
9.3	交、直流伺服电动机的性能比较	167
9.4	交流伺服电动机与步进电动机的性能比较	167
9.5	伺服电动机的应用	169
9.5.1	在电子电位差计中的应用	169
9.5.2	在家用录像机中的应用	169
	思考题与习题	170
第 10 章	测速发电机	171
10.1	直流测速发电机	171
10.2	交流测速发电机	173
10.2.1	交流测速发电机的结构	173
10.2.2	交流测速发电机的原理	173
10.2.3	交流测速发电机的误差	174
10.2.4	直流测速发电机与交流测速发电机的比较	175
10.3	测速发电机的应用	175

思考题与习题	176
第 11 章 直线电动机	177
11.1 直流直线电动机	177
11.2 交流直线异步电动机	178
11.3 直线步进电动机	178
第 12 章 电动机的选择	180
12.1 概述	180
12.1.1 电动机选择的一般原则	180
12.1.2 电动机选择的主要步骤	180
12.1.3 电动机工作方式的分类	180
12.2 电动机种类、结构型式、电压、转速的选择	181
12.2.1 电动机种类的选择	181
12.2.2 电动机结构型式的选择	182
12.2.3 电动机额定电压的选择	182
12.2.4 电动机额定转速的选择	182
12.3 电动机额定功率的选择	183
12.3.1 连续工作制电动机额定功率的选择	183
12.3.2 短时工作制下电动机功率的选择	187
12.3.3 断续周期工作制下电动机功率的选择	188
思考题和习题	188
第 13 章 电机与拖动实验	190
13.1 直流电机认识实验	190
13.1.1 实验目的	190
13.1.2 实验仪器、设备	190
13.1.3 实验原理	190
13.1.4 实验步骤	190
13.1.5 实验结论	191
13.1.6 注意事项	191
13.2 直流电动机的启动、反转实验	192
13.2.1 实验目的	192
13.2.2 实验仪器	192
13.2.3 实验原理	192
13.2.4 实验步骤	192
13.2.5 实验结论	192
13.2.6 分析讨论	193
13.2.7 注意事项	193
13.3 并励直流电动机的调速实验	193
13.3.1 实验目的	193

13.3.2	实验仪器、设备	193
13.3.3	实验原理	193
13.3.4	实验步骤	194
13.3.5	实验结论	195
13.3.6	注意事项	195
13.4	直流发电机的空载实验	195
13.4.1	实验目的	195
13.4.2	实验仪器、设备	195
13.4.3	实验原理	195
13.4.4	实验步骤	195
13.4.5	实验结论	197
13.4.6	分析讨论	197
13.4.7	注意事项	197
13.5	直流发电机的负载实验	197
13.5.1	实验目的	197
13.5.2	实验仪器、设备	197
13.5.3	实验原理	198
13.5.4	实验步骤	198
13.5.5	实验结论	199
13.5.6	分析讨论	199
13.5.7	注意事项	199
13.6	直流电机电刷位置的调整	199
13.6.1	实验目的	199
13.6.2	实验仪器、设备	199
13.6.3	实验原理	199
13.6.4	实验步骤	200
13.6.5	分析讨论	200
13.6.6	注意事项	200
13.7	变压器空载参数的测定实验	200
13.7.1	实验目的	200
13.7.2	实验仪器、设备	200
13.7.3	实验原理	200
13.7.4	实验步骤	201
13.7.5	计算及结论	201
13.7.6	分析讨论	201
13.7.7	注意事项	202
13.8	变压器短路参数的测定实验	202
13.8.1	实验目的	202
13.8.2	实验仪器、设备	202

13.8.3	实验原理	202
13.8.4	实验步骤	202
13.8.5	计算及结论	203
13.8.6	分析讨论	203
13.8.7	注意事项	203
13.9	变压器同名端的测定实验	203
13.9.1	实验目的	203
13.9.2	实验仪器、设备	203
13.9.3	实验原理	204
13.9.4	实验步骤	204
13.9.5	实验结论	204
13.9.6	分析讨论	205
13.9.7	注意事项	205
13.10	三相异步电动机的理相实验	205
13.10.1	实验目的	205
13.10.2	实验仪器、设备	205
13.10.3	实验原理	205
13.10.4	实验步骤	205
13.10.5	实验结论	206
13.10.6	分析讨论	206
13.10.7	注意事项	206
13.11	三相异步电动机的参数测定实验	206
13.11.1	实验目的	206
13.11.2	实验仪器、设备	206
13.11.3	实验原理	206
13.11.4	实验步骤	207
13.11.5	实验结论	208
13.12	三相笼式异步电动机的启动实验	209
13.12.1	实验目的	209
13.12.2	实验仪器、设备	209
13.12.3	实验原理	209
13.12.4	实验步骤	209
13.12.5	分析讨论	210
13.12.6	注意事项	210
13.13	三相异步电动机的反转与制动实验	210
13.13.1	实验目的	210
13.13.2	实验仪器、设备	210
13.13.3	实验原理	211
13.13.4	实验步骤	211

13.13.5	分析讨论	211
13.13.6	注意事项	211
13.14	三相绕线式异步电动机的启动、调速	212
13.14.1	实验目的	212
13.14.2	实验仪器、设备	212
13.14.3	实验接线	212
13.14.4	实验步骤	212
13.14.5	分析讨论	213
13.14.6	注意事项	213
13.15	三相同步发电机的并联运行	213
13.15.1	实验目的	213
13.15.2	实验仪器、设备	213
13.15.3	实验原理	213
13.15.4	实验步骤	214
13.15.5	实验结论	215
13.15.6	分析讨论	215
13.15.7	注意事项	215
13.16	同步电动机实验	215
13.16.1	实验目的	215
13.16.2	实验仪器、设备	215
13.16.3	实验原理	215
13.16.4	实验步骤	216
13.16.5	实验结论	217
13.16.6	分析讨论	217
13.16.7	注意事项	217
13.17	直流伺服电动机实验	217
13.17.1	实验目的	217
13.17.2	实验仪器、设备	217
13.17.3	实验原理	217
13.17.4	实验步骤	218
13.17.5	实验结论	219
13.17.6	分析讨论	219
13.17.7	注意事项	220
13.18	交流伺服电动机实验	220
13.18.1	实验目的	220
13.18.2	实验仪器、设备	220
13.18.3	实验原理	220
13.18.4	实验步骤	220
13.18.5	实验结论	223

13.18.6 分析讨论	223
13.18.7 注意事项	223
附录 A 部分习题参考答案	224
附录 B 三相异步电动机的检修及常见故障处理	226
参考文献	229

第 1 章 直流电机

【知识目标】 掌握直流电机的基本结构、直流发电机和直流电动机的基本原理、电枢绕组的节距和单叠、单波绕组的排列规律与特点,以及直流电机的运行特性。

【能力目标】 学习直流电机的拆卸、接线方法;会计算电枢绕组的各种节距;能绘制单叠、单波绕组的展开图,并根据铭牌数据计算其他相关未知量,为使用和维修直流电机打好基础。

【学习方法】 结合实物和实验进行学习。

1.1 直流电机的结构与工作原理

直流电机有直流发电机和直流电动机两种类型。将机械能转化为电能的直流电机是直流发电机,将电能转化为机械能的直流电机是直流电动机。与交流电机相比,直流电机结构复杂,成本高,维护麻烦。但直流电机具有良好的调速性能、较大的启动转矩和较强的过载能力等优点,一般应用于对启动和调速有较高要求的场合,如金属切削机床、轧钢机、电力机车、起重机械、造纸及纺织机械等。

1.1.1 直流电机的结构

直流发电机和直流电动机的结构相同,主要由定子和转子两大部分组成。定子和转子之间存在着气隙。

1. 定子

定子是电机固定不动的部分,主要用来产生磁场。它包括以下几部分。

(1) 主磁极

主磁极由铁芯和励磁绕组两部分组成。当励磁绕组中通入直流电流后,铁芯中即产生励磁磁通,并在气隙中建立励磁磁场。励磁绕组通常用圆形或矩形的绝缘导线制成一个集中的线圈,套在磁极铁芯外面。主磁极铁芯一般用 1~1.5 mm 厚的低碳钢板冲片叠压铆接而成,主磁极铁芯柱体部分称为极身,靠近气隙一端较宽的部分称为极靴,极靴与极身交接处形成一个突出的肩部,用以支撑励磁绕组。极靴沿气隙表面成弧形,使磁极下气隙磁通密度分布更合理。整个主磁极用螺杆固定在机座上。直流电机的结构如图 1-1 所示,其正剖面图如图 1-2 所示。

主磁极总是 N、S 两极成对出现。各主磁极的励磁绕组通常是相互串联连接,连接时要能保证相邻磁极的极性按 N、S 交替排列。

(2) 换向极

换向极也由铁芯和绕组构成,其结构如图 1-3 所示。中小容量直流电机的换向极铁芯是用整块钢制成的,大容量直流电机和换向要求高的电机,换向极铁芯用薄钢片叠成。换向极绕组与电枢绕组串联,因通过的电流大,导线截面较大,匝数较少。换向极装在主磁极之间,换向