



21 世纪高等院校电气信息类系列教材

Electrical Information •
Science and Technology

电机与拖动

刘 玫 孙雨萍 编著



附赠电子教案

[http:// www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

电 机 与 拖 动

刘 玫 孙雨萍 编 著



机 械 工 业 出 版 社

本书共 9 章, 包括电机理论中常用的基本知识和基本定律、直流电机、直流电动机的电力拖动、变压器、异步电动机、三相异步电动机的电力拖动、三相同步电机、控制电机、电动机容量的选择等内容。书中简要介绍了“电机与拖动”课程中常用的基本知识和基本定律, 着重讲述了各类电机和变压器的基本结构、基本工作原理、内部电磁关系及工作特性等; 重点讨论了电力拖动系统的起动、调速及制动时的运行性能与相关问题, 并对电动机的容量选择进行了一般介绍。

本书各章均有思考题与练习题, 并有《电机与拖动习题解答》一书与本书配套。

本书可作为自动化、电气工程及其自动化、机电一体化等相关专业的本科教材, 也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电机与拖动/刘玫, 孙雨萍编著. —北京: 机械工业出版社, 2009. 9

(21 世纪高等院校电气信息类系列教材)

ISBN 978-7-111-27718-7

I. 电… II. ①刘… ②孙… III. ①电机—高等学校—教材
②电力传动—高等学校—教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 117823 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 时 静 责任编辑: 郝建伟 版式设计: 霍永明

责任校对: 陈延翔 责任印制: 洪汉军

北京市朝阳区展望印刷厂印刷

2009 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·24 印张·611 千字

0001—3500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-27718-7

定价: 38.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010)68326294

购书热线电话: (010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010)88379753 88379739

封面无防伪标均为盗版

出版说明

随着科学技术的不断进步，整个国家自动化水平和信息化水平的长足发展，社会对电气信息类人才的需求日益迫切、要求也更加严格。在教育部分布的“普通高等学校本科专业目录”中，电气信息类（Electrical and Information Science and Technology）包括电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程等子专业。这些子专业的人才培养对社会需求、经济发展都有着非常重要的意义。

在电气信息类专业及学科迅速发展的同时，也给高等教育工作带来了许多新课题和新任务。在此情况下，只有将新知识、新技术、新领域逐渐融合到教学、实践环节中去，才能培养出优秀的科技人才。为了配合高等院校教学的需要，机械工业出版社组织了这套“21世纪高等院校电气信息类系列教材”。

本套教材是在对电气信息类专业教育情况和教材情况调研与分析的基础上组织编写的，期间，与高等院校相关课程的主讲老师进行了广泛的交流和探讨，旨在构建体系完善、内容全面新颖、适合教学的专业材料。

本套教材涵盖多层面专业课程，定位准确，注重理论与实践、教学与教辅的结合，在语言描述上力求准确、清晰，适合各高等院校电气信息类专业学生使用。

机械工业出版社

前 言

根据自动化类专业的特点与现阶段教学改革的要求,结合作者多年来在“电机学”及“电力拖动”课程的教学实践中所积累的教学研究成果,编写了本教材。力图做到教材内容由浅入深,通俗易懂,理论联系实际,将经典内容与最新成果结合起来,使学生既能掌握经典内容,又能了解电力拖动领域的最新研究动态和成果。

本书共9章,主要包括4大部分:电机学;电力拖动;控制电机;电力拖动系统中电动机的选择。主要内容有:直流电机、变压器、交流电机、同步电机及控制电机的基本结构、基本工作原理、内部电磁关系、基本方程式、工作特性等。着重分析了各种电动机带上负载后的起动、制动与调速时的运行性能及相关问题,并通过实验和仿真以加深对相关内容的理解。另外,对于电力拖动系统中电动机容量的正确选择进行了一般介绍。

本书的主要特点有:

1) 将“电机学”与“电力拖动”课程有机地结合为一个整体,论述完每一种类型电机的原理性问题后,接着论述该类电机拖动负载的运行性能,较好地进行了内容衔接,使学生接受内容顺畅,且节省授课时间。

2) 侧重于基本理论知识、计算方法及分析方法的阐述,并注意将上述三种基本知识应用到实际的电力拖动系统中。

3) 采用了参考国外教材和国内教材相结合的方式。吸收了国外教材中先进的思想和内容,但国外教材存在着和国内的教学体系中前后课程衔接不是很好的问题,结合我国教学体系的具体情况,参考了国内教材的体系结构,使得本书既保持内容的先进性又符合国内的教学体系。

4) 本书加强工程实际背景,在有关章节中列出了工程实例,使基础理论和工程实践相结合,以培养学生的工程素质。

5) 本书引进本学科领域的先进成果。如三相笼型异步机的软起动、无刷直流电机、直线电机等内容,使学生能了解电力拖动领域的最新研究动态和成果。

6) 本书增加用MATLAB仿真的实例,以简化复杂的计算,使学生把注意力集中在概念上和对所得结果的检查分析上,而不是繁杂的数学计算上。

7) 本书每一章单独安排了内容提要、本章重点、本章难点、本章小结、思考题、练习题等内容,使学生有的放矢地学习,方便复习和练习。

本书配有多媒体课件,为了方便教师教学和学生自学,还配备了《习题解答》一书。

本书是在作者原讲稿的基础上编写出来的,参考了国内外许多优秀教材,汲取了其中的精华,在此向所有参考文献的作者表示衷心的感谢。

本书绪论及第1、2、3、6、7、9章由刘玫教授编写,第4、5、8章由孙雨萍副教授编

写。研究生张婧宇进行了部分绘图和排版工作，研究生李凤鸣、陈燕、衣文凤进行了部分文稿的录入工作，在此一并表示感谢。

本书的定位是自动化、电气工程及自动化、机电一体化等相关专业的本科学生；同时，对于长期从事运动控制领域的工程技术人员，本教材也有一定的参考价值。

由于作者水平所限，书中难免有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

作 者

2009 年 1 月

目 录

出版说明

前言

绪论	1
0.1 电机与电力拖动系统	1
0.2 电机与电力拖动系统在国民经济中的作用与发展趋势	1
0.2.1 电机与电力拖动系统在国民经济中的作用	1
0.2.2 电机与电力拖动技术的发展概况	2
0.3 本课程的性质、内容和任务	3
0.4 本课程的学习方法	5
第1章 电机理论中常用的基本知识和基本定律	6
1.1 磁场的基本知识	6
1.1.1 电流的磁效应	6
1.1.2 磁路的几个基本物理量	7
1.2 安培环路定律——电生磁	7
1.3 磁路的欧姆定律	8
1.4 电磁感应定律——磁变生电	9
1.5 电磁力定律——电磁生力	10
1.6 电路定律	11
1.7 常用的铁磁材料及其特性	11
1.7.1 铁磁材料的磁化特性	11
1.7.2 铁磁材料的损耗	13
本章小结	15
思考题	16
练习题	16
第2章 直流电机	18
2.1 直流电机的工作原理	18
2.1.1 直流电动机的工作原理	18
2.1.2 直流发电机的工作原理	20
2.1.3 直流电机的可逆原理	20
2.2 直流电机的结构、额定值及主要系列	21
2.2.1 直流电机的结构	21
2.2.2 直流电机的额定值	23
2.2.3 国产直流电机的主要系列	24
2.3 直流电机的电枢绕组	24
2.3.1 电枢绕组的一般知识	24

2.3.2 单叠绕组	26
2.3.3 单波绕组	28
2.4 直流电机的磁场	30
2.4.1 直流电机的励磁方式	30
2.4.2 直流电机的空载磁场	31
2.4.3 直流电机的电枢反应和负载磁场	32
2.5 直流电机的电枢感应电动势和电磁转矩	34
2.5.1 直流电机的电枢感应电动势	35
2.5.2 直流电机的电磁转矩	36
2.6 直流电动机的运行原理	37
2.6.1 直流电动机的基本方程式	38
2.6.2 并励直流电动机的工作特性	41
2.6.3 他励直流电动机的机械特性	42
2.6.4 串励直流电动机的机械特性	51
2.6.5 复励直流电动机的机械特性	52
2.7 直流发电机的运行原理	53
2.7.1 直流发电机的基本方程式	53
2.7.2 直流发电机的工作特性	55
2.7.3 并励直流发电机的自励过程和自励条件	57
2.8 直流电机的换向	58
2.8.1 直流电机换向过程的物理现象	59
2.8.2 改善换向的方法	61
2.8.3 环火与补偿绕组	62
本章小结	62
思考题	65
练习题	65
第3章 直流电动机的电力拖动	67
3.1 电力拖动系统的动力学基础	67
3.1.1 单轴电力拖动系统的运动方程式	67
3.1.2 多轴电力拖动系统的运动方程式	69
3.2 各类生产机械的负载转矩特性	74
3.2.1 恒转矩负载特性	74
3.2.2 通风机负载特性	75
3.2.3 恒功率负载特性	75
3.2.4 实际的负载特性	76
3.3 电力拖动系统稳定运行的条件	76
3.3.1 电力拖动系统平衡运转的概念	76
3.3.2 电力拖动系统稳定运行的概念	77
3.3.3 电力拖动系统稳定运行的条件	78
3.4 直流电力拖动系统的动态分析	79
3.4.1 电力拖动系统的机械过渡过程	79
3.4.2 电力拖动系统的机械-电磁过渡过程	83

3.5	他励直流电动机的起动	86
3.5.1	他励直流电动机直接起动时存在的问题	86
3.5.2	他励直流电动机的起动方法	86
3.6	他励直流电动机的调速	90
3.6.1	调速的性能指标	91
3.6.2	调速方法	93
3.6.3	调速方式与负载类型的配合	97
3.7	他励直流电动机的制动	103
3.7.1	他励直流电动机的能耗制动	104
3.7.2	他励直流电动机的反接制动	107
3.7.3	回馈制动	112
3.7.4	制动状态小结	114
3.8	工程中的实例分析	116
	本章小结	118
	思考题	120
	练习题	122
第4章	变压器	125
4.1	变压器的基本工作原理和结构	125
4.1.1	变压器的基本结构	125
4.1.2	变压器的基本工作原理	127
4.1.3	变压器的额定值及分类	128
4.2	单相变压器的空载运行	129
4.2.1	变压器空载运行时的电磁关系	129
4.2.2	空载运行时的电压方程式、等效电路及相量图	132
4.3	单相变压器的负载运行	133
4.3.1	变压器负载运行的电磁关系	133
4.3.2	变压器负载运行的基本方程式	134
4.3.3	变压器负载运行的等效电路及相量图	135
4.4	变压器的参数测定	138
4.4.1	空载试验	138
4.4.2	短路试验	139
4.5	标么值	140
4.5.1	标么值的概念	140
4.5.2	基值的选取及标么值的计算	141
4.6	变压器的运行性能和特性	143
4.6.1	变压器的电压变化率及外特性	143
4.6.2	变压器的效率特性	145
4.7	三相变压器	147
4.7.1	三相变压器的磁路系统	148
4.7.2	三相变压器电路系统——联结组	148
4.7.3	三相变压器电路系统及磁路系统对电动势波形的影响	151
4.8	变压器的并联运行	153

4.8.1 变压器并联运行的条件	153
4.8.2 对并联运行条件的分析	154
4.9 其他用途的变压器	156
4.9.1 自耦变压器	156
4.9.2 仪用互感器	157
本章小结	158
思考题	159
练习题	160
第5章 异步电动机	162
5.1 三相异步电动机的结构及额定值	162
5.1.1 三相异步电动机的结构	162
5.1.2 三相异步电动机额定值及主要系列	164
5.2 异步电动机的定子绕组	165
5.2.1 交流绕组的构成原则及分类	165
5.2.2 交流绕组的基本知识	165
5.2.3 三相双层绕组	166
5.2.4 三相单层绕组	170
5.3 三相异步电动机的定子磁动势与磁场	172
5.3.1 单相绕组的磁动势	172
5.3.2 三相绕组的合成磁动势	177
5.4 三相异步电动机定子绕组的感应电动势	180
5.4.1 导体的感应电动势	180
5.4.2 整距线圈的感应电动势	181
5.4.3 短距线圈的感应电动势	182
5.4.4 线圈组的电动势	182
5.4.5 相电动势和线电动势	184
5.5 三相异步电动机的工作原理及运行状态	185
5.5.1 三相异步电动机的基本工作原理	185
5.5.2 三相异步电机的转差率与三种运行状态	185
5.6 三相异步电动机的电磁关系	186
5.6.1 三相异步电动机空载运行电磁关系	186
5.6.2 三相异步电动机负载运行电磁关系	188
5.6.3 转子静止时的三相异步电动机	189
5.6.4 转子转动时的三相异步电动机	189
5.7 三相异步电动机的基本方程式、等效电路和相量图	190
5.7.1 三相异步电动机的基本方程式	190
5.7.2 异步电动机的等效电路	191
5.7.3 异步电动机的相量图	194
5.8 三相异步电动机的功率与转矩	195
5.8.1 三相异步电动机的功率流程图及功率平衡方程式	195
5.8.2 三相异步电动机的转矩平衡方程式	197
5.9 三相异步电动机的参数测定	198

5.9.1 空载试验	198
5.9.2 短路试验	199
5.10 三相异步电动机的工作特性	200
5.10.1 三相异步电动机的工作特性	200
5.10.2 用直接负载法计算工作特性	201
5.11 单相异步电动机	203
5.11.1 单相异步电动机的工作原理	203
5.11.2 等效电路	204
5.11.3 起动方法	205
本章小结	206
思考题	207
练习题	208
第6章 三相异步电动机的电力拖动	209
6.1 三相异步电动机的机械特性	209
6.1.1 三相异步电动机机械特性的三种表达式	209
6.1.2 三相异步电动机的固有机械特性与人为机械特性	214
6.2 三相异步电动机的起动	217
6.2.1 三相异步电动机的固有起动特性	217
6.2.2 三相异步电动机的直接起动	218
6.2.3 三相笼型异步电动机的减压起动	219
6.2.4 三相笼型异步电动机的软起动	226
6.2.5 高起动性能的三相笼型异步电动机	228
6.2.6 三相绕线转子异步电动机的起动	230
6.3 三相异步电动机的调速	235
6.3.1 变极调速	236
6.3.2 变频调速	240
6.3.3 改变定子电压调速	247
6.3.4 绕线转子异步电动机转子串电阻调速	249
6.3.5 绕线转子异步电动机双馈调速及串级调速	250
6.3.6 利用电磁转差离合器调速(滑差电动机)	256
6.4 三相异步电动机的制动状态	257
6.4.1 反接制动	258
6.4.2 回馈制动	260
6.4.3 能耗制动	262
6.4.4 三相异步电动机制动状态小结	266
6.5 绕线转子电动机进行调速和制动时其电阻和转速的计算	266
本章小结	273
思考题	275
练习题	276
第7章 三相同步电机	278
7.1 三相同步电机的结构、工作原理及额定数据	278
7.1.1 三相同步电机的结构	278

7.1.2	三相同步电机的工作原理	280
7.1.3	三相同步电机的额定数据	281
7.1.4	三相同步电动机的型号	282
7.2	三相同步电动机的电枢反应	282
7.2.1	三相同步电动机空载时的磁场	282
7.2.2	三相同步电动机负载时的电枢反应	283
7.3	三相同步电动机的电动势平衡方程式、等效电路与相量图	287
7.3.1	三相隐极式同步电动机的电动势平衡方程式、等效电路与相量图	287
7.3.2	三相凸极式同步电动机的电动势平衡方程式、等效电路与相量图	289
7.4	三相同步发电机的电动势平衡方程式、等效电路与相量图	291
7.4.1	三相隐极式同步发电机的电动势平衡方程式、等效电路与相量图	291
7.4.2	三相凸极式同步发电机的电动势平衡方程式与相量图	292
7.5	三相同步电动机的矩角特性	293
7.5.1	功率和转矩关系	293
7.5.2	功角特性和矩角特性	293
7.5.3	同步电动机的稳定运行区与过载能力	296
7.6	三相同步电动机的功率因数调节与 V 形曲线	298
7.6.1	功率因数的调节	298
7.6.2	同步电动机的 V 形曲线	299
7.7	三相同步电动机的起动	301
7.7.1	异步起动法	301
7.7.2	辅助电动机起动法	302
7.7.3	变频起动法	302
	本章小结	302
	思考题	304
	练习题	304
第 8 章	控制电机	306
8.1	伺服电动机	306
8.1.1	直流伺服电动机	306
8.1.2	交流伺服电动机	308
8.1.3	交流伺服电动机与直流伺服电动机的性能比较	312
8.2	测速发电机	313
8.2.1	直流测速发电机	313
8.2.2	交流测速发电机	314
8.3	无刷直流电动机	317
8.3.1	无刷直流电动机的基本结构	317
8.3.2	无刷直流电动机的工作原理	317
8.3.3	无刷直流电动机的电磁转矩和运行特性	320
8.3.4	无刷直流电动机的 PWM 控制方式	321
8.4	步进电动机	323
8.4.1	反应式步进电动机的基本结构和工作原理	324
8.4.2	步进电动机的运行特性	326

8.5	自整角机	329
8.5.1	自整角机的结构及分类	329
8.5.2	力矩式自整角机的工作原理	330
8.5.3	控制式自整角机的工作原理	332
8.5.4	自整角机的应用举例	334
8.6	旋转变压器	334
8.6.1	旋转变压器的结构及分类	334
8.6.2	正余弦旋转变压器	335
8.6.3	线性旋转变压器	340
8.7	直线电动机	341
8.7.1	直线异步电动机	341
8.7.2	直线直流电动机	342
	本章小结	343
	思考题与练习题	345
第9章	电动机容量的选择	347
9.1	概述	347
9.2	电动机的发热与冷却规律	348
9.2.1	电动机的热平衡方程式	348
9.2.2	电动机的发热过程	349
9.2.3	电动机的冷却过程	350
9.2.4	电动机的工作方式	350
9.3	连续工作制电动机容量的选择	352
9.3.1	连续恒定负载下电动机容量的选择	352
9.3.2	连续周期变化负载时电动机容量的选择	353
9.4	短时工作制电动机容量的选择	358
9.4.1	选用连续工作制电动机	358
9.4.2	选用专为短时工作方式而设计的电动机	359
9.5	断续周期工作制电动机容量的选择	360
9.6	电动机容量选择的工程方法	364
9.6.1	用统计法选择电动机容量	364
9.6.2	用类比法选择电动机容量	365
9.7	电动机种类、额定电压、额定转速和型式的选择	365
9.7.1	电动机种类的选择	365
9.7.2	电动机额定电压的选择	365
9.7.3	电动机额定转速的选择	366
9.7.4	电动机型式的选择	366
	本章小结	366
	思考题	367
	练习题	368
	参考文献	372

绪 论

0.1 电机与电力拖动系统

电机是一种机电能量转换装置。以电磁场作为媒介将电能转换为机械能拖动机械负载，实现旋转或直线运动，这种类型的电机称为电动机；将机械能转变为电能，给用电负载供电，这种类型的电机称为发电机。

电机的类型很多，图 0-1 所示为按其功能和用途进行的分类。

用电动机拖动生产机械的拖动方式称为电力拖动，也称为电气拖动。由电动机、生产机械及相关元件组成的系统称为电力拖动系统，其组成原理如图 0-2 所示。电力拖动系统一般由电动机、生产机械、传动机构、控制装置和电源等 5 部分组成。电动机的作用是将电能转换为机械能，为生产机械提供动力，

是生产机械的原动机；生产机械是直接进行工作的装置，在电动机的带动下完成生产任务；传动机构的作用是在电动机和生产机械之间实现功率传递及速度与运动方式的配合，有时也可以不通过传动机构，将电动机直接与生产机械连结（如图 0-2 中虚线所示）；控制装置的作用是根据生产工艺要求控制电动机的运行，从而控制生产机械的运行；电源是向电动机和控制装置提供电能的设备。

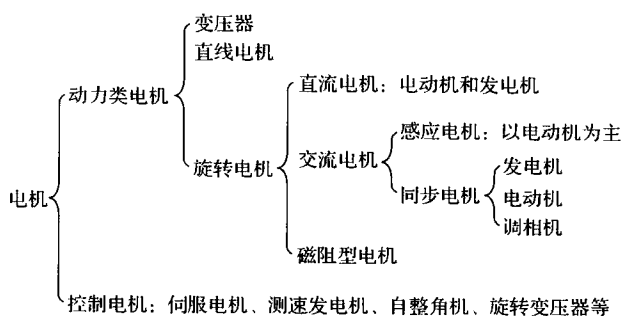


图 0-1 电机类型

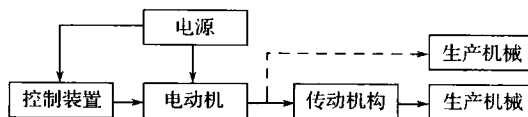


图 0-2 电力拖动系统

0.2 电机与电力拖动系统在国民经济中的作用与发展趋势

0.2.1 电机与电力拖动系统在国民经济中的作用

在工农业生产、国防事业和人们的日常生活中，电能是最重要的能源之一。与其他能源相比，电能具有转换经济、传输和分配容易、使用和控制方便等优点外。

自然界中不存在可以直接使用的电能，电能通常是由其他形式的能量转换而来的。其中将机械能转换为电能的装置就是发电机。

电能的传输和分配离不开变压器。发电厂发出的电能通过电力网能够实现远距离传输，一般发电机输出的电压为 10~20kV，为了实现电能的远距离传输、减少传输损耗，常用变压器将发电机发出的电压升高至 110kV、220kV、330kV、500kV，甚至更高。电能被

输送到用电地区后，要经过变压器将电压降至用户能够承受的数值，才能供用户使用，如 220V、380V、6kV 和 10kV 等。通过电力网和变压器的升压及降压作用，能够很方便地实现电能的传输和分配。

电能的利用就是将电能转换为其他形式的能量。利用电动机将电能转换为机械能，拖动生产机械工作是电能利用的一个重要方面。用电动机拖动生产机械所组成的系统称作电力拖动系统，电力拖动系统具有如下的优点：传动效率高、运行经济；电动机种类和规格繁多，具有良好的特性，能满足不同生产机械的需要；电力拖动系统操作和控制方便，能实现自动控制和远距离控制。

在现代工业企业中，几乎所有生产机械都是由电动机拖动的，如各种机床、生产线、风机、水泵等。可以毫不夸张地说，没有电动机、没有电力拖动技术，就没有现代化工业。

迄今为止，世界上几乎所有的电能都是由同步发电机发出的，发电机生产的大部分电能是通过电动机消耗的。因此，电机和电力拖动技术在国民经济中具有极其重要的作用。

0.2.2 电机与电力拖动技术的发展概况

1. 电机的发展概况

电机的问世与电机理论的发展已有一个多世纪的历史。1820 年前后，法拉第（Faraday）发现了电磁感应现象并提出了电磁感应定律，组装了第一台直流电机样机；1829 年亨利（Henry）制造了第一台实用的直流电机；直至 1837 年，直流电机才真正成为商业化产品；1887 年特斯拉（Tesla）发明了三相异步电动机；此后，其他各种类型的电机相继问世。应该讲，各类电机的采用，标志着以煤和石油为主要能源的电气化时代的开始。

我国的电机制造业基本上是解放后才发展起来的，20 世纪 50 年代我国迅速建成了一批大型电机制造骨干企业，如上海电机厂、哈尔滨电机厂、沈阳变压器厂等，到 20 世纪 50 年代末，我国已经能生产出电机容量为 5 万 kW 的汽轮发电机、容量为 7.25 万 kW 的水轮发电机和 12 万 kV·A 的变压器。20 世纪 70 年代，我国已经能生产出单机容量为 30 万 kW 的汽轮发电机和 30.8 万 kW 的水轮发电机。目前，我国已经制造出了单机容量为 60 万 kW 的发电机，变压器的单机容量已达到 55 万 kV·A，电压等级为 330~500kV。目前，美、俄、瑞士等国已经制造出了 115~123 万 kW 的汽轮发电机，美国已经生产出了 70 万 kW 的水轮发电机。与世界先进水平相比，我国的电机制造业尚有一定的差距。

当前，电机制造业的发展主要有如下几大趋势。

1) 单机容量不断提高：随着电力工业的不断发展，发电机和变压器的单机容量不断增大，这是电机制造业的重要趋势。

2) 中、小型电机技术和经济指标不断提高：当前，电机制造厂家已经广泛使用计算机辅助设计和计算，能够在优化设计基础上得到最优设计方案和足够精确的数学模型，使得设计技术不断完善。另外，新工艺、新材料的研制成功，都促进了电机技术和经济指标的不断提高。

3) 应用范围不断扩大：为适应各种不同的工作要求，电机的系列和品种不断增加。除了一般用途的电机之外，还有许多特定用途的电机，如防爆电机、矿用电机、潜水用电机等。

4) 新型电机不断出现：近年来，新型电机的研制成功使得电机制造业的水平大大提高，如无刷直流电机、开关磁阻电机、直线电机等。

随着电力电子技术、控制理论、微处理器技术、电气与机械信号检测技术与数字信号处理技术等方面的迅猛发展,电机理论与控制技术也取得了巨大进展。传统电机采用固定频率、固定电压的供电模式,被多种多样的供电电源和控制方式所替代,大大提高了电力拖动系统的动、静态性能;另外,突破了以符号法(仅处理正弦波)为基础的传统电机理论,建立起各类电机数学模型的电机统一理论。电机理论与控制技术进入了一个崭新的发展阶段。

2. 电力拖动系统的发展概况

从结构上看,电力拖动发展之初,普遍采用的是“成组拖动”,就是单台电动机拖动一组机械,这种拖动方式的传动损耗大、效率低、控制不灵活,无法满足某些生产机械的启动、制动、正反转及调速等方面的要求;后来采用的是“单电动机拖动”,就是单台电动机拖动单台机械;现在广泛使用的是“多电动机拖动”,就是单台设备中采用多台电动机,大大简化了电力拖动系统的结构,每台电动机都可以单独进行控制,能够很好地满足生产工艺的要求。

从系统上看,电力拖动系统最初一般采用断续控制系统,就是继电器-接触器组成的系统。这种系统存在着控制精度低、效率低、维护不方便及工作可靠性差等问题。现在普遍采用连续控制系统,包括由相控变流器或斩波器供电的直流电力拖动系统,以及由变频器或伺服驱动器供电的交流调速系统两大类。交流调速系统包括由绕线转子异步电动机组成的双馈调速系统、由异步与同步电动机组成的变频调速与伺服系统等。

目前,电力拖动系统不仅可以满足生产机械快速起、制动以及正、反转的要求,而且还具有工作精度高、调速范围宽等较高的性能指标。这些性能指标的提高使得设备的生产率和产品质量大大提高。除此之外,由多轴电力拖动系统所控制的许多过去难以解决的复杂问题也得以解决,如曲面的加工,复杂曲轴、机器人、航天器等,复杂空间轨迹的控制与实现等。随着网络化、信息化及智能控制技术在电力拖动系统中的不断应用,电机拖动这门“经典的传统技术”正在现代化生产和生活中焕发出更加璀璨的光采。

0.3 本课程的性质、内容和任务

本课程的性质为自动化及其相关专业的专业基础课。

目前正在使用的控制系统不外乎两大类:一类是运动控制系统,它主要涉及与动作类有关的被控对象,如机器人、机床类生产机械等;另一类是过程控制系统,主要涉及过程类的被控对象,如压力、流量、温度等的控制。电机及其拖动的生产机械,作为运动控制系统的执行元件和控制对象,在运动控制系统中占据着重要地位。只有了解和熟悉电机的特点以及规律,才能合理地设计控制策略,选择恰当的控制回路和电力电子变流器,最终获得优良的系统性能。“电机与拖动”由两门课程所组成:一是“电机学”,内容涉及各种类型电机的结构、内部电磁过程、基本方程式、机械特性及外部特性的分析与计算;二是“电力拖动基础”,内容涉及电动机在拖动不同负载时的启动、制动与调速性能及各种不同类型电机与不同类型负载的配合等问题。其相关的控制理论和闭环控制系统,则不属于本书的讨论范围。

本课程具有承前启后的作用,承前是指学习本门课程需要掌握像“数学”、“电路”、“电磁学”、“力学”等基础知识;启后是指它要为后续课程如“运动控制系统”(包括交、直流调速系统以及位置伺服系统)等打下基础,不了解和掌握本门课程的内容,很难学好后续课程,因此它是自动化及其相关专业的重要课程。

本课程的内容：

第1章 作为预备知识，对有关电路和磁路的基本知识作了简要复习。介绍了磁场的基本物理量，磁路和电路的基本定律，即安培环路定律、电磁感应定律、电磁力定律及电路定律；最后对铁磁材料的基本特性和损耗进行了详细的分析。

第2章 主要介绍了直流电机的工作原理、结构及额定数据，分析了电机电枢绕组的组成和磁路系统的特点，推导了直流电机的基本方程式。对于直流发电机，重点介绍了其工作特性和并励直流发电机的自励条件；对于直流电动机，重点介绍了其工作特性和机械特性；最后对直流电机的换向问题进行了简要的说明。

第3章 首先介绍了电力拖动系统的动力学基础，内容包括单轴电力拖动系统的运动方程式、多轴系统的折算；然后讨论了各类典型负载的负载转矩特性及电力拖动系统的稳定性问题，针对电力拖动系统的动态运行状态进行了一般分析；最后重点讨论了他励直流电动机的起动、调速和制动方法与性能，并举例分析了直流电力拖动系统在工程实践中的应用。

第4章 首先介绍了变压器的基本结构及额定值；然后以双绕组单相变压器为例分析变压器的工作原理，以及空载和负载运行时变压器内部的电磁关系，并在此基础上推导出变压器的基本方程式、等效电路和相量图；给出了变压器参数的测定方法，对变压器的运行特性进行了分析。对于三相变压器，仅对其特有的问题即变压器的磁路系统、电路系统及对电动势波形的影响进行了分析，最后分析了变压器的并联运行及其他用途的变压器。

第5章 首先介绍了三相异步电动机的基本结构，进而对其核心部件三相异步电动机的定子绕组及交流绕组的连接规律进行分析，然后对交流绕组产生的单相磁势和三相磁势的性质及计算进行分析，并给出了在正弦分布的旋转磁场作用下交流绕组感应电动势的分析方法。在此基础上分析了三相异步电动机的工作原理及运行状态，重点对三相异步电动机的基本电磁关系进行分析，从而推导出三相异步电动机的基本方程式、等效电路和相量图，最后对异步电动机的参数测定和工作特性进行分析，并简要介绍单相异步电动机。

第6章 首先分析了三相异步电动机的机械特性。然后讨论了由三相异步电动机组成的电力拖动系统的运行性能和相关问题，如三相异步电动机的各种起动、调速和制动方法，重点分析了其运行原理、机械特性、运行性能等相关问题。

第7章 首先介绍了三相同步电机的结构、工作原理与额定数据。然后详细地分析了三相同步电动机的内部电磁关系及方程式，如电枢反应、电势平衡方程式、等效电路与相量图。对三相同步电动机的两条重要特性，即三相同步电动机的矩角特性和V形曲线进行了重点讨论。最后针对三相同步电动机不能自行起动的问题，简要介绍了三相同步电动机的起动方法。

第8章 介绍几种在控制系统中常用的控制电机，主要对这些电机的结构、工作原理及运行特性进行分析，了解其应用场合以便在控制系统中正确地使用这类控制元件。

第9章 主要介绍了电力拖动系统中电动机的容量选择。首先分析了电动机的发热和冷却过程，着重讨论了按发热观点的平均损耗法与等效法的原理，在此基础上分别介绍了连续工作制、短时工作制及断续周期工作制电动机容量的选择问题。从工程应用出发，介绍了选择电动机功率的工程方法（统计法或类比法）。最后简要介绍了电动机的种类、结构形式、额定电压与额定转速的选择方法等有关内容。

通过本课程的学习，应该掌握以下方法：理论分析方法、计算方法、试验方法、工程分析和计算方法，并能够用基本理论和方法解决实际问题。