



高等职业教育“十一五”规划教材
高职高专机电类教材系列

电机及拖动基础

张晓娟/主 编

王振和/主 审



科学出版社

www.sciencep.com

● 高等职业教育“十一五”规划教材

高职高专机电类教材系列

电机及拖动基础

张晓娟 主编

卢恩贵 王宜健 杨勇 副主编

王卓 杨天明

王振和 主审

科学出版社

北京

ISBN 7-03-020073-4

www.sciencep.com

科学出版社

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是根据高职高专教育的现状和发展趋势,按照高职自动化类“电机及拖动基础”教学大纲编写的。本书主要讲述直流电机、变压器和三相异步电动机的运行原理和工作特性;着重分析直流电动机和三相异步电动机的机械特性及其启动、制动和调速的方法、原理、特点及应用,其中还介绍了三相异步电动机的新技术——软启动;简要分析单相异步电动机、直线异步电动机、同步电动机的工作原理及应用;简要分析常用控制电机的结构特点、工作原理和特性;简要介绍电动机的选择、使用、维护等应用知识。

本书在总体框架上体现了高职高专教学改革的特点,突出理论知识的应用和实践能力的培养,以“必需、够用”为度,以“应用”为目的,加强实用性;在阐述方法上深入浅出、通俗易懂,降低了理论的难度。

本书可作为高职高专类院校的电气自动化技术、机电一体化技术、自动控制电气类专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机及拖动基础/张晓娟主编. —北京:科学出版社, 2008
(高等职业教育“十一五”规划教材·高职高专机电类教材系列)
ISBN 978-7-03-020979-5

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. TM3 TM921

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第011138号

责任编辑:何舒民 徐建其/责任校对:耿 耘
责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏志印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年2月第一版 开本:787×1092 1/16
2008年2月第一次印刷 印张:21 1/2
印数:1—3000 字数:490000

定价:30.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137154 (VT03)

前 言

本书是根据高等职业教育要“淡化理论，够用为度，培养技能，重在应用”的原则，在编写思路力图体现高职高专培养生产一线高技能人才的要求，力争做到重点突出、概念清楚、层次清晰、深入浅出、学用一致。

除绪论外，全书共分8章。内容包括：直流电机；直流电动机的电力拖动；变压器；三相异步电动机；三相异步电动机的电力拖动；其他交流电动机；控制电机；电动机的应用知识。

在编写本书过程中，根据专业教学的要求，从实用的角度出发，在内容上简化了一些与生产实际应用关系不大的理论分析和计算，并兼顾当前电机及拖动技术的发展，以更好地为专业培养目标服务；在问题的阐述上侧重基本知识和基本概念的阐述，并强调基本理论的实际应用。在编写时，编者充分考虑到学生现有的自学能力和基础知识，鼓励学生主动学习，勤于思考，掌握分析问题的方法，提高解决问题的能力。每章列有知识点以及需要了解和掌握的内容，便于学生掌握重点；章末有小结，有助于学生复习总结。书中画“*”章节可根据需要选学。

本书结构合理、通俗易懂，既可作为高职高专院校的电气自动化技术、机电一体化技术等相关专业的教材，亦可供电气专业人员参考。

本书由张晓娟担任主编，卢恩贵、王宜健、杨勇、王卓、杨天明担任副主编共同编写。具体分工为：第1、2章由卢恩贵编写，第3章由王宜健编写，绪论、第4章、第5章由张晓娟编写，第6章由杨天明编写，第7章由杨勇编写，第8章由王卓编写。全书由张晓娟统稿，北华大学的王振和教授以高度负责的态度审阅全书，提出了许多宝贵意见，在此表示由衷感谢。在编写本书的过程中，作者参考了多位同行的编著和文献，在此也向他们真诚致谢。

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。

目 录

前言

| | |
|------------------------|----|
| 绪论 | 1 |
| 0.1 电机及电力拖动系统概述 | 1 |
| 0.1.1 电机 | 1 |
| 0.1.2 电力拖动系统 | 2 |
| 0.1.3 电机及电力拖动在国民经济中的作用 | 3 |
| 0.2 本课程的性质、任务和学习方法 | 3 |
| 第1章 直流电机 | 5 |
| 1.1 直流电机的基本工作原理 | 6 |
| 1.1.1 直流发电机的基本工作原理 | 6 |
| 1.1.2 直流电动机的工作原理 | 7 |
| 1.2 直流电机的基本结构与铭牌 | 9 |
| 1.2.1 直流电机的基本结构 | 9 |
| 1.2.2 直流电机的铭牌及额定值 | 12 |
| 1.2.3 直流电机的主要系列简介 | 14 |
| 1.3 直流电机的电枢绕组 | 14 |
| 1.3.1 直流电枢绕组基本知识 | 14 |
| 1.3.2 单叠绕组 | 17 |
| 1.3.3 单波绕组 | 20 |
| 1.4 直流电机的磁场 | 22 |
| 1.4.1 直流电机的励磁方式 | 22 |
| 1.4.2 磁路与磁路定律 | 23 |
| 1.4.3 直流电机的空载磁场和磁化曲线 | 24 |
| 1.4.4 直流电机的负载磁场和电枢反应 | 26 |
| 1.5 直流电机的基本公式 | 27 |
| 1.5.1 直流电机的电枢电动势 | 28 |
| 1.5.2 直流电机的电磁转矩 | 28 |
| 1.5.3 直流电机的电磁功率 | 29 |
| 1.6 直流发电机 | 30 |
| 1.6.1 直流发电机的基本方程式 | 30 |
| 1.6.2 直流发电机的运行特性 | 32 |

| | |
|-----------------------------|-----------|
| 1.7 直流电动机 | 34 |
| 1.7.1 直流电动机的基本方程式 | 34 |
| 1.7.2 直流电动机的工作特性 | 37 |
| 1.8* 直流电机的换向 | 39 |
| 1.8.1 直流电机的换向过程 | 39 |
| 1.8.2 影响换向的电磁原因 | 40 |
| 1.8.3 改善换向的方法 | 41 |
| 小结 | 42 |
| 思考题与习题 | 44 |
| 第2章 直流电动机的电力拖动 | 46 |
| 2.1 电力拖动系统的动力学基础 | 47 |
| 2.1.1 电力拖动系统的运动方程式 | 47 |
| 2.1.2 电力拖动系统的运动状态分析 | 49 |
| 2.2 生产机械的负载转矩特性 | 49 |
| 2.2.1 恒转矩负载特性 | 50 |
| 2.2.2 恒功率负载转矩特性 | 51 |
| 2.2.3 风机、泵类负载转矩特性 | 51 |
| 2.3 他励直流电动机的机械特性 | 51 |
| 2.3.1 机械特性方程式 | 52 |
| 2.3.2 固有机械特性 | 53 |
| 2.3.3 人为机械特性 | 54 |
| 2.3.4* 机械特性曲线的绘制 | 55 |
| 2.3.5 电力拖动系统稳定运行的条件 | 59 |
| 2.4 他励直流电动机的启动和反转 | 61 |
| 2.4.1 他励直流电动机的启动 | 61 |
| 2.4.2 他励直流电动机的反转 | 64 |
| 2.5 他励直流电动机的制动 | 64 |
| 2.5.1 能耗制动 | 65 |
| 2.5.2 反接制动 | 67 |
| 2.5.3 回馈制动 | 70 |
| 2.5.4 他励直流电动机的四象限运行 | 71 |
| 2.6 他励直流电动机的调速 | 73 |
| 2.6.1 调速的性能指标 | 73 |
| 2.6.2 他励直流电动机的调速方法 | 75 |
| 小结 | 79 |
| 思考题与习题 | 81 |

| | |
|----------------------------------|-----|
| 第3章 变压器 | 83 |
| 3.1 变压器的基本工作原理和结构 | 84 |
| 3.1.1 变压器的用途和分类 | 84 |
| 3.1.2 变压器的基本工作原理 | 85 |
| 3.1.3 变压器的基本结构 | 86 |
| 3.1.4 变压器的铭牌与主要系列 | 90 |
| 3.2 单相变压器的空载运行 | 92 |
| 3.2.1 变压器空载运行时的电磁关系 | 92 |
| 3.2.2 变压器空载时的感应电动势 | 93 |
| 3.2.3 变压器的空载电流和空载损耗 | 94 |
| 3.2.4 变压器空载时的电动势平衡方程式和等效电路 | 95 |
| 3.2.5 空载运行时的相量图 | 96 |
| 3.3 单相变压器的负载运行 | 97 |
| 3.3.1 负载运行时的电磁关系 | 97 |
| 3.3.2 负载运行时的基本方程 | 98 |
| 3.3.3 负载运行时的等效电路 | 99 |
| 3.4 变压器参数的测定 | 103 |
| 3.4.1 空载试验 | 103 |
| 3.4.2 短路试验 | 104 |
| 3.5 变压器的运行特性 | 107 |
| 3.5.1 变压器的外特性和电压变化率 | 107 |
| 3.5.2 变压器的损耗和效率特性 | 108 |
| 3.6 三相变压器 | 111 |
| 3.6.1 三相变压器的磁路系统 | 111 |
| 3.6.2 三相变压器的电路系统——连接组别 | 112 |
| 3.7 其他常用变压器 | 116 |
| 3.7.1 自耦变压器 | 117 |
| 3.7.2 仪用互感器 | 119 |
| 3.7.3 电焊变压器 | 121 |
| 3.8* 电力变压器的运行维护 | 122 |
| 3.8.1 电力变压器的容量选择 | 122 |
| 3.8.2 电力变压器的运行标准 | 122 |
| 3.8.3 变压器的维护 | 123 |
| 3.8.4 变压器的异常运行及处理 | 123 |
| 小结 | 124 |
| 思考题与习题 | 124 |
| 第4章 三相异步电动机 | 127 |
| 4.1 三相异步电动机的基本工作原理 | 128 |

| | | |
|------------|---------------------|------------|
| 4.1.1 | 三相定子绕组的旋转磁场 | 128 |
| 4.1.2 | 三相异步电动机的基本工作原理 | 131 |
| 4.2 | 三相异步电动机的基本结构和铭牌 | 134 |
| 4.2.1 | 三相异步电动机的基本结构 | 134 |
| 4.2.2 | 异步电动机的铭牌 | 139 |
| 4.2.3 | 三相异步电动机的主要系列简介 | 140 |
| 4.3 | 三相异步电动机的定子绕组和感应电动势 | 141 |
| 4.3.1 | 交流绕组的基本知识 | 142 |
| 4.3.2 | 交流绕组的排列和连接 | 144 |
| 4.3.3 | 交流电机绕组的感应电动势 | 148 |
| 4.4 | 三相异步电动机的空载运行 | 149 |
| 4.4.1 | 空载运行时的电磁关系 | 149 |
| 4.4.2 | 空载时电压平衡方程式和等效电路 | 150 |
| 4.5 | 三相异步电动机的负载运行 | 151 |
| 4.5.1 | 负载运行时的物理情况 | 151 |
| 4.5.2 | 转子绕组各电磁量 | 152 |
| 4.5.3 | 负载运行时的基本方程式 | 154 |
| 4.5.4 | 三相异步电动机负载运行时的等效电路 | 155 |
| 4.6 | 三相异步电动机的功率平衡和转矩平衡 | 159 |
| 4.6.1 | 功率平衡方程 | 159 |
| 4.6.2 | 转矩平衡方程 | 161 |
| 4.7 | 三相异步电动机的工作特性 | 163 |
| 4.7.1 | 转速特性 | 163 |
| 4.7.2 | 定子电流特性 | 163 |
| 4.7.3 | 功率因数特性 | 164 |
| 4.7.4 | 转矩特性 | 164 |
| 4.7.5 | 效率特性 | 164 |
| 4.8 | 三相异步电动机的参数测定 | 165 |
| 4.8.1 | 空载试验 | 165 |
| 4.8.2 | 短路试验与短路参数的测定 | 167 |
| | 小结 | 168 |
| | 思考题与习题 | 170 |
| 第5章 | 三相异步电动机的电力拖动 | 172 |
| 5.1 | 三相异步电动机的机械特性 | 173 |
| 5.1.1 | 电磁转矩的三种表达式 | 173 |
| 5.1.2 | 固有机械特性 | 176 |
| 5.1.3 | 人为机械特性 | 177 |
| 5.2 | 三相异步电动机的启动 | 179 |

| | |
|-------------------------|------------|
| 5.2.1 三相笼型异步电动机的启动 | 179 |
| 5.2.2 三相绕线转子异步电动机的启动 | 187 |
| 5.3 三相异步电动机的制动 | 191 |
| 5.3.1 能耗制动 | 191 |
| 5.3.2 反接制动 | 192 |
| 5.3.3 回馈制动 | 195 |
| 5.4 三相异步电动机的调速 | 197 |
| 5.4.1 变极调速 | 197 |
| 5.4.2 变频调速 | 201 |
| 5.4.3 变转差率调速 | 203 |
| 5.4.4 电磁调速异步电动机 | 207 |
| 小结 | 209 |
| 思考题与习题 | 210 |
| 第6章 其他交流电动机 | 213 |
| 6.1 单相异步电动机 | 214 |
| 6.1.1 单相异步电动机的基本结构 | 214 |
| 6.1.2 单相异步电动机的工作原理 | 214 |
| 6.1.3 单相异步电动机的主要类型及启动方法 | 216 |
| 6.1.4 单相异步电动机的应用 | 218 |
| 6.2 直线异步电动机 | 219 |
| 6.2.1 直线异步电动机的分类和结构 | 219 |
| 6.2.2 直线异步电动机的工作原理 | 221 |
| 6.2.3 直线电动机的特点 | 222 |
| 6.2.4 直线异步电动机的应用 | 222 |
| 6.3 同步电动机 | 223 |
| 6.3.1 同步电动机的基本结构及工作原理 | 223 |
| 6.3.2 同步电动机的电动势方程和相量图 | 224 |
| 6.3.3 同步电动机的功率平衡和转矩角特性 | 226 |
| 6.3.4 同步电动机功率因数的调节和V形曲线 | 229 |
| 6.3.5 同步电动机的启动 | 232 |
| 6.4* 微型同步电动机 | 232 |
| 6.4.1 永磁式微型同步电动机 | 233 |
| 6.4.2 反应式微型同步电动机 | 234 |
| 6.4.3 磁滞式微型同步电动机 | 235 |
| 6.5 交直流两用电动机 | 238 |
| 小结 | 240 |
| 思考题与习题 | 241 |

| | |
|----------------------------|-----|
| 第7章 控制电机 | 242 |
| 7.1 概述 | 243 |
| 7.1.1 控制电机的基本用途和分类 | 243 |
| 7.1.2 对控制电机的基本要求 | 243 |
| 7.2 伺服电机 | 244 |
| 7.2.1 直流伺服电机 | 245 |
| 7.2.2 交流伺服电机 | 249 |
| 7.3 步进电机 | 254 |
| 7.3.1 三相反应式步进电机的结构 | 255 |
| 7.3.2 三相反应式步进电机的工作原理 | 255 |
| 7.3.3 步进电机的运行特性 | 259 |
| 7.3.4 驱动电源 | 262 |
| 7.3.5 步进电机的应用 | 263 |
| 7.4 测速发电机 | 263 |
| 7.4.1 直流测速发电机 | 264 |
| 7.4.2 交流测速发电机 | 266 |
| 7.5 自整角机 | 269 |
| 7.5.1 力矩式自整角机 | 269 |
| 7.5.2 控制式自整角机 | 271 |
| 7.6 旋转变压器 | 273 |
| 7.6.1 正余弦旋转变压器 | 273 |
| 7.6.2 线性旋转变压器 | 276 |
| 小结 | 278 |
| 思考题与习题 | 279 |
| 第8章 电动机应用知识 | 280 |
| 8.1 电力拖动系统中电动机选择 | 281 |
| 8.1.1 电动机选择的一般概念 | 281 |
| 8.1.2 电动机容量选择的基本知识 | 283 |
| 8.1.3 电动机容量的选择方法 | 288 |
| 8.2 电动机的使用和维护 | 291 |
| 8.2.1 电动机启动前的检查 | 291 |
| 8.2.2 电动机启动后的检查 | 292 |
| 8.2.3 电动机运行中的检查 | 293 |
| 8.2.4 电动机的维护和保养 | 294 |
| 8.3* 电动机试验 | 295 |
| 8.3.1 试验前的检查 | 295 |
| 8.3.2 绝缘电阻的测量 | 295 |
| 8.3.3 空载运转试验 | 296 |

| | |
|----------------------------|-----|
| 8.3.4 温升试验 | 297 |
| 8.3.5 超速试验 | 298 |
| 8.3.6 绝缘耐压试验 | 298 |
| 8.4 直流电动机的运行维护与故障处理 | 300 |
| 8.4.1 直流电动机的保养 | 300 |
| 8.4.2 直流电动机的运行与维护 | 302 |
| 8.4.3 直流电动机的故障检查 | 304 |
| 8.4.4 直流电动机常见故障及处理 | 309 |
| 8.5 三相异步电动机常见故障分析与处理 | 310 |
| 8.5.1 三相异步电动机带载启动故障 | 310 |
| 8.5.2 三相异步电动机负载运行故障 | 314 |
| 8.5.3 电动机故障停车 | 317 |
| 8.5.4 滚动轴承故障 | 317 |
| 8.5.5 绕组绝缘不良 | 318 |
| 8.5.6 绕组接地 | 319 |
| 8.5.7 绕组短路故障 | 320 |
| 8.5.8 绕组断路故障 | 323 |
| 8.5.9 绕组连接错误 | 325 |
| 小结 | 327 |
| 思考题与习题 | 328 |
| 参考文献 | 329 |

绪 论

0.1 电机及电力拖动系统概述

众所周知，电能在现代化工农业生产及国民经济的各个领域获得了极为广泛的应用，而电机是生产、传输、分配及应用电能的主要设备。在现代化生产过程中，电力拖动系统是为了实现各种生产工艺过程所必不可少的传动系统，是生产过程电气化、自动化的重要前提。

0.1.1 电机

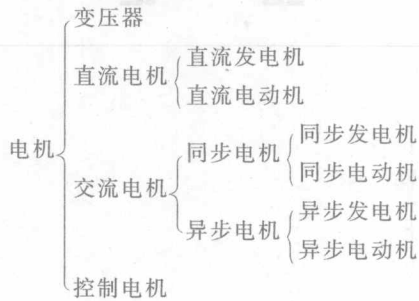
电机是利用电磁感应原理进行能量转换的机械装置，应用广泛，种类繁多，性能各异，分类方法也很多。电机常用的分类方法主要有以下两种。

一种分类方法是按功能用途分，可分为发电机、电动机、变压器和控制电机四大类。发电机的功能是将机械能转换为电能。电动机的功能则是将电能转换为机械能，它可以作为拖动各种生产机械的动力，是国民经济各部门应用最多的动力机械，也是最主要的用电设备。变压器的作用是将一种电压等级的电能转换为同频率另一种电压等级的电能。控制电机主要用于完成信号的变换与传递，通常用于自动控制系统中，作检测、校正及执行元件使用，如国防工业、数控机床、计算机外围设备、机器人和音像设备等均大量使用控制电机。

另一种分类方法是按照电机的结构或转速分类，可分为变压器和旋转电机。变压器为静止不旋转电机。根据电源电流的不同旋转电机又分为直流电机和交流电机两大类。交流电机又可分为异步电机和同步电机两大类，他们的工作原理和运行特性有很大差别。同步电机运行时转子转速始终与所接电网的频率之间存在着严格不变的关系，

不随负载的大小而变化，电力系统中的发电机几乎都是同步电机。异步电机处于电动机状态运行时转速低于同步转速，当处于发电机运行状态时转速高于同步转速。异步电机主要用作电动机。

综合以上两种分类方法，可归纳如下：



0.1.2 电力拖动系统

用电动机作为原动机来拖动生产机械运行的系统，称为电力拖动系统。电力拖动系统一般由电动机、生产机械的工作机构、传动机构、控制设备及电源五个部分组成。其中电动机把电能转换成机械能，通过传动机构（或直接）驱动生产机械工作；生产机械是执行某一生产任务的机械，是电力拖动的对象；控制设备由各种控制电器元件、工业控制计算机、可编程控制器等组成，用来控制电动机的运动，对生产机械的运动实现自动控制；电源为电动机和控制设备提供电能，是不可缺少的部分。

按照电动机的种类不同，电力拖动系统分为直流电力拖动系统和交流电力拖动系统两大类。

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，所处的地位也有所不同，随着工业技术的发展，在相互竞争、相互促进中发生着深刻的变革。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，对电力拖动在启动、制动、正反转以及调速精度与范围等静态特性和动态响应方面提出了新的、更高的要求。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20世纪以来，在可逆、可调速与高精度的拖动领域中，在相当长一个时期内几乎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，但是由于它具有电刷与换向器，使得它的故障率较高，电动机的使用环境受到限制，其电压等级、额定转速、单机容量的发展也受到限制。所以在20世纪60年代以后，随着电力电子技术的发展，交流调速的不断进步和完善，在调速性能方面由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，交流调速将完全取代直流调速，

可以说这是一种必然的发展趋势。

0.1.3 电机及电力拖动在国民经济中的作用

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,电机是机电一体化中机和电的结合部位,是机电一体化的一个很重要的基础,电机可称为电气化的心脏。电机对国民经济的发展起着重要的作用,并随着国民经济和科学技术的发展而不断发展。

电机的发展又与电能的发展紧密联系在一起。电能是现代社会一种最主要的能源,这主要是由于它的生产和变换比较经济,传输和分配比较容易,使用和控制比较方便,而要实现电能的生产、变换、传输、分配、使用和控制都离不开电机。

在电力工业中,发电机和变压器是电站和变电所的主要设备。在电站,利用发电机可将原始能源(如水力、风力、热力、化学能、太阳能、核能等)转换为电能。在变电所,电能在远距离传输前,利用升压变压器把发电机发出的低压交流电变换成高压交流电,而电能在供给用户使用前,利用降压变压器把来自高压电网的高电压变换成低电压后才能安全使用。在机械、冶金、化工等工业企业中,大量应用电动机把电能转换为机械能,去拖动机床、起重机、轧钢机、电铲、抽水机、鼓风机等各种生产机械。在现代化农业生产中,电力排灌、播种、收割等农用机械都需要规格不同的电动机去拖动。在交通运输业中,电车、地铁、电梯、飞机、轮船等也需要各种电动机。在医疗器械及家用电器中也离不开功能各异的小功率电动机。

在现代工业生产中,为了实现生产工艺过程的各种要求,需要广泛采用各种各样的生产机械。拖动各种生产机械运转,可以采用气动、液压传动和电力拖动。由于电力拖动具有控制简单,调节性能好、损耗小、经济、能实现远距离控制和自动控制等一系列优点,因此电力拖动已成为现代工农业中最广泛的拖动方式。而且随着近代电力电子技术和计算机技术的发展以及自动控制理论的应用,电力拖动控制装置的特性品质正在得到不断的提高,从而可提高生产机械运转的准确性、可靠性、快速性和生产过程的自动化程度,便于提高劳动生产率和产品质量,所以电力拖动也是实现工业电气自动化的基础,在国民经济发展中发挥着越来越重要的作用。

0.2 本课程的性质、任务和学习方法

本课程是电气自动化技术、供用电技术、机电一体化技术等专业的一门重要的专业基础课,既有基础性又有专业性。

本课程的任务是使学生掌握变压器、交直流电机及控制电机的基本结构和工作原理,以及电力拖动系统的运行性能、分析计算、电机选择及实验方法,为学习后续课程奠定必要的基础,为学生参加工作后能尽快适应岗位要求打下良好的基础。

“电机及拖动基础”是“电机原理”和“电力拖动基础”两门课程内容的有机结合，主要分析研究直流电机、变压器、三相异步电动机的基本理论及其电力拖动的基本规律，简单介绍常用交流电机、常用控制电机的原理及应用和电力拖动系统电动机容量的选择问题。

本课程是一门理论性和实践性都很强的技术基础课，涉及的基础理论和实际知识面广。在本课程中，不仅有理论的分析推导、磁场的抽象描述，而且还要用基本理论去分析研究比较复杂的带有机、电、磁综合性的工程实际问题。在掌握基本理论的同时，还要注意培养实验操作技能和计算能力，这是本课程的特点，也是学习的难点。因此，必须要有一个良好的学习方法，才能学好本课程。这里提供以下学习方法供大家参考：

1) 学习之前，必须理解和掌握电和磁的基本概念，熟练运用电磁感应定律、电磁力定律、电路和磁路定律和力学等已学过的知识。

2) 为了提高课堂学习效果，建议课前预习，对将要学习的内容有所了解，便于有的放矢地听课；课后应及时复习和小结，并选做适当的思考练习题，以巩固所学的理论知识，提高理解和应用能力。

3) 学习过程中，对于电机结构，要弄清各主要部件的组成和作用；对于有关公式，要从物理概念上去理解和记忆，不要死记硬背；本课程涉及电机的类型较多，要注意各种电机结构的异同点、电磁关系和能量转换关系的异同点、拖动问题的异同等，运用总结对比的方法融会贯通，加深理解；分析实际问题时，要运用工程的观点和方法，突出主要矛盾，忽略次要矛盾，从而简化实际问题的分析和计算。

4) 学习时要理论联系实际，进行必要的实验和实习，一是对基本理论进行验证，二是培养和提高学生的实验操作技能和工作能力。

第 1 章

直流电机

❖ 知识点

1. 直流电机的工作原理
2. 直流电机的基本方程式
3. 直流电机的工作特性

❖ 要求

掌握：

1. 直流电机的基本工作原理
2. 直流电机的感应电动势、电磁转矩、电磁功率等基本公式
3. 直流电动机运行时的基本方程式、工作特性

了解：

1. 直流电机的基本结构
2. 铭牌数据的含义
3. 直流电机的换向

直流电机是一种通过磁场的耦合作用实现机械能与直流电能相互转换的旋转式机械。直流电机包括直流电动机和直流发电机。将机械能转变成直流电能的电机称为直流发电机，反之，将直流电能转变成机械能的电机称为直流电动机。直流电机具有可逆性，一台直流电机工作在发电机状态，还是工作在电动机状态，取决于电机的运行条件。

直流电机的主要优点是具有良好的起动性能和平滑的调速特性，过载能力大，易于控制，经济性好。这对有些生产机械的拖动来说是十分重要的，例如大型可逆式轧钢机、矿井卷扬机、电力机车、大型机床和大型起重机等生产机械，大部分都由直流电动机拖动。

直流电机的主要缺点是制造工艺复杂，消耗有色金属较多，生产成本低，运行可靠性较差，维护较困难，且有换向问题。随着电力电子技术的迅速发展，在很多领域，直流发电机已逐步被整流电源所取代，直流电动机也已被交流调速系统所取代，但是直流电动机仍以其良好的调速性能在许多场合继续发挥着重要作用。

本章主要介绍直流电机的基本工作原理、结构和运行特性。

1.1 直流电机的基本工作原理

1.1.1 直流发电机的基本工作原理

直流发电机的工作原理基于电磁感应定律。电磁感应定律指出，在均匀磁场中，当导体切割磁感应线时，导体中就有感应电动势产生。若磁感应线、导体及其运动方向三者相互垂直，则导体中产生的感应电动势 e 的大小为

$$e = Blv \quad (1.1)$$

式中， B 为磁感应强度或磁通密度 (T 或 Wb/m^2)； l 为导体切割磁感应线的有效长度 (m)； v 为导体与磁场的相对切割速度 (m/s)； e 为导体上的感应电动势 (V)。

由式 (1.1) 可知，对于长度一定的导体来说，导体中感应电动势的大小由导体所在处的磁感应强度和导体切割磁场的速度所决定，而感应电动势的方向可由右手定则来确定。

图 1.1 是一台最简单的直流发电机的物理模型。N 和 S 是一对固定的磁极，磁极固定不动，称为定子。两磁极之间有一个可以旋转的导磁圆柱体，在其表面的槽内放置了一个线圈，线圈连同导磁圆柱体是直流电动机可转动部分，称为电机转子（或电枢）。线圈由导体 ab 和 cd 构成，线圈的两端分别接到相互绝缘的两个圆弧形铜片（称为换向片）上，由换向片构成的圆柱体称为换向器，换向片分别与固定不动的电刷 A 和 B 保持滑动接触，这样，线圈 $abcd$ 可以通过换向片和电刷与外电路接通。电枢在原动机拖动下转动，把机械能转变为电能供给接在两电刷间的负载。