



机电专业“十二五”规划教材

# 电机及电力拖动

## DIANJI JI DIANLI TUODONG

主编 张兴福 王雁 滕颖辉 肖剑



机电专业“十二五”规划教材

# 电机及电力拖动

主编 张兴福 王雁 滕颖辉 肖剑

 江苏大学出版社  
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇 江

## 内 容 简 介

本书是按照“以就业为导向，以服务为宗旨”的高职教育理念，根据使学生毕业后成为具有良好职业道德和职业素质的高技能型人才培养目标的要求编写的。

本书内容采用项目式教学方法编排，共分 8 个项目，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、同步电机、其他用途电机、电动机的选择。

本书可作为高等职业院校机电一体化、数控技术、城市轨道交通、电气自动化、机械电子等电类专业的教材，中等职业学校如开设本课程也可选用本书作为教材。本书还可供从事电机及电力拖动技术工作的工程技术人员参考。

## 图书在版编目 (C I P) 数据

电机及电力拖动 / 张兴福等主编. — 镇江 : 江苏  
大学出版社, 2015. 12 (2017. 8 重印)

ISBN 978-7-5684-0139-5

I. ①电… II. ①张… III. ①电机②电力传动 IV. ①TM3②TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 314743 号

### 电机及电力拖动

Dianji Ji Dianli Tuodong

主 编 / 张兴福 王 雁 滕颖辉 肖 剑

责任编辑 / 郑晨晖

出版发行 / 江苏大学出版社

地 址 / 江苏省镇江市梦溪园巷 30 号 (邮编: 212003)

电 话 / 0511-84446464 (传真)

网 址 / <http://press.ujs.edu.cn>

排 版 / 北京金企鹅文化发展中心

印 刷 / 三河市祥达印刷包装有限公司

开 本 / 787 mm × 1 092 mm 1/16

印 张 / 19.75

字 数 / 456 千字

版 次 / 2015 年 12 月第 1 版 2017 年 8 月第 3 次印刷

书 号 / ISBN 978-7-5684-0139-5

定 价 / 45.00 元

# 前 言

课程建设与课程改革是提高教学质量的核心，也是教学改革的重点和难点。高职院校应积极与企业合作开发课程，根据技术领域和职业岗位（群）的任职要求，参照相关的职业资格标准，改革课程体系和教学内容，建立突出职业能力培养的课程标准。为此，我们紧扣高职高专的教学目标，编写了本书。

本书将“电机学”“电力拖动系统”“控制电机”等课程有机地结合在一起。在编写过程中，始终坚持“淡化理论，拓展知识，培养技能，重在应用”的原则，将编写重点放在使用较多的电动机上。

本书内容采用项目式教学方法编排，共分8个项目，每个项目又分解成若干教学任务，每个教学任务都有任务实施。坚持“学中做，做中学”的教学原则，让学生认真完成每个任务，使其在动手操作的过程中学习并掌握相关专业知识或操作技能。

本书的特点如下。

（1）在内容叙述上，强调电动机的结构、基本工作原理、主要性能和实际应用的意义，在理论的叙述上采用淡化的手段，在阐述物理意义的基础上给出公式，而不是通过理论推导得出。

（2）在文字编写上，尽量采用通俗易懂的语言，层次清晰、概念准确，克服学生对理论知识知难而退的心理障碍。

（3）在版面编排上，采用图文并茂的形式，提高内容的直观性和形象性，便于学生理解和掌握相关知识，同时也为学生的自主学习创造了条件。

（4）在结构安排上，每个项目开头设有项目导读、知识目标和技能目标，便于学生学习主要知识；每个任务结束设有任务实施和任务学习效果测试，每个项目结束设有项目小结和项目学习效果综合测试，以查漏补缺，巩固所学知识；相关项目设有实验，加深学生对理论知识的理解和掌握，并掌握相关技能。

本书由张兴福担任第一主编，王雁担任第二主编，滕颖辉担任第三主编，肖剑担任第四主编，唐尧华、熊黎明、杨金芳、陈小国、朱运晓、姚非非、王玥、巴宝莲、王峰、胡爱辉、刘亚磊、蒋丽贞担任副主编。书中参考了大量相关专业书籍，在此对相关作者深表感谢！

由于编者水平有限，教材中仍可能存在缺漏及不当之处，恳请各教学单位和读者批评指正，以便下次修订时改进。

另外，本书配有丰富的教学资源包，读者可以登录北京金企鹅文化发展中心网站（[www.bjjqe.com](http://www.bjjqe.com)）下载。

编者

2017年7月

## 本书编委会

主 编 张兴福 王 雁 滕颖辉 肖 剑

副主编 唐尧华 熊黎明 杨金芳 陈小国

朱运晓 姚非非 王 玥 巴宝莲

王 峰 胡爱辉 刘亚磊 蒋丽贞

# 目 录

## 绪 论

- 任务一 认识电机及电力拖动概貌..... 1
- 任务二 了解本课程的性质、内容、任务和要求..... 3

## 项目一 直流电机

当你踏上跑步机,挥洒汗水、体会健身的魅力时;当你开启空调机,驱走炎热、感受清风的轻抚时;当你打开电冰箱,取出美食、享受舌尖的幸福时……你有没有想过,是什么支撑这些电器的运行?现在便让我们一起来探究它们的灵魂——直流电机。

- 任务一 认识直流电机的结构,了解其工作原理..... 6
- 任务二 了解直流电机的电枢绕组..... 16
- 任务三 了解直流电机的电枢反应、电枢电动势与电磁转矩..... 24
- 任务四 掌握直流电机的换向过程及改善方法..... 29
- 任务五 了解直流电动机的种类、基本方程式和工作特性..... 33
- 任务六 认识常见直流发电机..... 37
- 项目小结..... 43
- 项目综合测试..... 44

## 项目二 直流电动机的电力拖动

当地铁、磁悬浮列车停止前进;当电风扇、洗衣机不再运行;当电梯、起重机无法升降……当这些需要电力拖动的设备退出我们生活的舞台时,你是否会感到惊慌?现在,让我们开启直流电机的电力拖动的探索之旅,为解决这些问题做准备。

- 任务一 认识电力拖动系统..... 48
- 任务二 掌握生产机械的负载转矩特性和他励直流电动机的机械特性..... 58
- 任务三 掌握他励直流电动机的启动方法..... 66
- 任务四 掌握他励直流电动机的调速方法..... 70

任务五 掌握他励直流电动机的制动与反转方法	74
任务六 了解串励直流电动机的电力拖动	82
项目实验 直流电动机实验	86
项目小结	93
项目综合测试	94

### 项目三 变压器

发电厂发出的几百千伏的电压输送至我们身边后,竟变为 220(380)伏;而 220 伏的用电在充至我们的手机时,竟变为 5 伏。这是什么神奇的魔法?下面让我们来一探究竟。

任务一 了解变压器的基本知识	98
任务二 了解变压器的空载运行	105
任务三 了解变压器的负载运行	110
任务四 掌握变压器参数的测定方法	116
任务五 掌握变压器的运行特性	123
任务六 认识三相变压器	126
任务七 认识其他用途变压器	136
项目实验 三相变压器绕组极性及其联结组的测定	142
项目小结	146
项目综合测试	147

### 项目四 三相异步电动机

一排排的金属工件被切削机床加工,一袋袋的矿石被破碎机粉碎,一批批的钢管被轧钢机轧制……三相异步电动机,驱动这些繁重且杂乱的工作有条不紊地进行。

任务一 了解三相异步电动机的基本结构及铭牌数据	152
任务二 掌握三相异步电动机的工作原理	159
任务三 了解三相异步电动机定子绕组	163
任务四 掌握三相异步电动机的运行特性	173
任务五 测定三相异步电动机的参数	180
项目小结	184
项目综合测试	185

### 项目五 三相异步电动机的电力拖动

如果有一天,水泵无法启动;鼓风机不允许调速;磨煤机不能制动……不要悲伤、不用着急,让三相异步电动机的电力拖动来拯救你!



任务一 掌握三相异步电动机的平衡方程及工作特性	188
任务二 掌握三相异步电动机的机械特性	195
任务三 掌握三相异步电动机的启动方法	199
任务四 掌握三相异步电动机的调速方法	208
任务五 掌握三相异步电动机的制动与反转操作性能	214
项目实验 三相异步电动机的启动、反转与调速	221
项目小结	225
项目综合测试	226

## 项目六 同步电机

还在为所用电动机消耗电能太大而烦恼吗？还在为所用电动机效率太低而担忧吗？还在为一批批的电动机设备老化而伤心吗？现在让我们来体会同步电机的神奇魔力。

任务一 了解同步电机的分类与基本结构	230
任务二 掌握同步电机的工作原理和运行特性	234
任务三 掌握同步电动机的启动方法	239
任务四 认识同步补偿机	242
项目小结	244
项目综合测试	245

## 项目七 其他用途电机

送料机说：“我需要高精度定位、无累积误差”；速度、位置控制系统说：“我需要测量速度、解答计算”；水文测量缆道说：“我需要传输记录水深和起点距离”……现在，让我们来揭开其他电机的神秘面纱，来满足它们的需求。

任务一 认识单相异步电动机	248
任务二 认识步进电机	256
任务三 认识伺服电动机	261
任务四 认识测速发电机	267
任务五 认识自整角机	271
任务六 认识旋转变压器	276
任务七 认识直线电动机	279
项目小结	282
项目综合测试	283

## 项目八 电动机的选择

YB2 系列高压隔爆型三相异步电动机、Y 系列低压三相异步电动机、SY100 永磁直流电动机、Y290LC6 交流异步电动机、无接触式自整角机……如此眼花缭乱的产品目录，我们该如何选择？

任务一 选择电动机的额定功率 .....	286
任务二 选择电动机的额定数据 .....	299
项目小结 .....	302
项目综合测试 .....	303

## 绪 论

### 任务一 认识电机及电力拖动概貌

电力拖动系统主要由电机、传动机构、生产机械、控制设备等组成。

#### 一、电机在国民经济中的作用

电能是现代能源中应用最广的二次能源，它的生产、变换、传送、分配、使用和控制都既方便又经济，而要实现电能的生产、变换和使用等都离不开电机。

电机是利用电磁感应原理和电磁定律，将能量或信号进行转换或变换的电磁机械装置。它的应用广泛，种类繁多，性能各异，分类方法也很多。

##### 1. 电机的分类

电机的种类较多，并且有不同的分类方法。

###### 1) 按能量传递及用途分类

按照能量传递及用途的不同，电机可分为发电机、电动机、变压器和控制电机。发电机可以将机械能转换为电能；电动机可以将电能转换为机械能；变压器可以将一种电能变换为不同等级的电能；控制电机作为自动控制系统的控制元件，可以完成相应的功能。

###### 2) 按电机的结构特点及电源性质分类

按电机的结构或转速不同，电机可分为静止变压器和旋转电机两大类。而旋转电机按照电源的不同，又分为直流电机和交流电机。交流电机因结构的不同又分为同步电机和异步电机。同步电机运行中的转速恒为同步转速，电力系统中的发电机都是同步电机；异步电机运行中的转速不为同步转速，主要用于电动机。

##### 2. 电机在国民经济中的作用

在电力工业中，产生电能的发电机和对电能进行变换、传输与分配的变压器是发电站

和变电所的主要设备。

在机械制造、冶金、纺织、石油、煤炭、化工、印刷及其他工业企业中，人们利用电动机把电能转换成机械能，去拖动机床、轧钢机、纺织机、钻探机、电铲机、起重机、传输带等各种生产机械，从而满足生产工艺过程的要求。

在交通运输业中，需要大量的牵引电动机和船用、航空电机。

随着农业机械化的发展，在电力排灌、播种、收割等农用机械中，都需要不同规格的电动机。

在伺服传动、机器人传动、航天航空和国防科学等领域的自动控制技术中，各种各样的控制电机作为检测、定位、随动、执行和解算元件。

在日益走进百姓家庭的小轿车中，其内装备的各类微特电机一般已超过 60 台。

在医疗仪器、电动工具、家用电器、办公自动化设备和计算机外部设备中，也离不开功能各异的小功率电动机和特种电机。

综上所述，电机在一切工农业生产、交通运输、国防、科技、文教领域及人们日常生活中，早已成为提高生产效率和科技水平及提高生活质量的主要载体之一，因此电机在国民经济的各个领域起着重要的作用。

## 二、电力拖动技术在国民经济中的作用

### 1. 电力拖动的特点

同样，以电动机为动力拖动生产机械的拖动方式——电力拖动，具有许多其他拖动方式（如蒸汽机、内燃机、水轮机等）无法比拟的特点。

① 方便经济：电能的生产、变换、传输都比较经济，分配、检测和使用比较方便。

② 效率高：电力拖动比蒸汽、压缩空气的效率要高，且传动机构简单。

③ 调节性能好：由于电机的类型很多，具有各种运行特性，可适应不同生产机械的需要，且电力拖动系统的启动、制动、调速、反转等控制简便、迅速，能实现较理想的控制目的。

④ 易于实现生产过程的自动化：由于电力拖动可以实现远距离控制与自动调节，且各种非电量（如位移、速度、温度等）都可以通过传感器转变为电量作用于拖动系统，因而能实现生产过程的自动化。

### 2. 电力拖动的发展过程

按电力拖动系统中电机的组合量来分，电力拖动的发展经历了成组拖动、单机拖动和多机拖动 3 个阶段。

最初，电机拖动生产机械的方式是通过天轴来实现的，就是用一台电动机通过天轴及

机械传动系统带动整个车间的生产机械，这种拖动方式成为“成组拖动”。它的能量损耗大、生产率低、劳动条件差，而且容易出事故。一旦电动机发生故障，成组的生产机械将停车，甚至整个车间的生产将停止。这种陈旧、落后的生产技术现已被淘汰。

从20世纪20年代起，开始采用由一台电动机拖动一台生产机械的系统，称为“单机拖动系统”。与成组拖动相比，它减少了大量的中间传动机构，使机械结构大大简化，提高了传动效率，增强了灵活性。由于电机与生产机械在结构上配合密切，可以更好地满足生产机械的要求。

20世纪30年代，随着生产技术和生产规模的扩大，各种大型的复杂的机械设备被制造出来，在一台生产机械上就有多个工作机构，同时运动的形式也相应增多，这时，如果仍由一台电动机拖动，则生产机械内部的传动机构就会变得异常复杂。因此，出现了一台生产机械中的每一个工作机构分别由一台电动机拖动的方式，称为“多机拖动”。这种拖动简化了生产机械的传动机构，提高了传动效率，且容易实现自动控制，提高劳动生产率。目前，常用的生产机械大多采用这种拖动方式。

随着生产的发展，对拖动系统提出了更高的要求，如要求提高加工精度和工作速度，要求快速启动、制动和逆转，实现很宽范围内的调速及整个生产过程的自动化等，这就需要有一整套自动控制设备组成“自动化的电力拖动系统”。

随着电机及电器制造工业及各种自动化元件的发展，自动化拖动系统也得到了不断地更新和发展。

最初采用的控制系统是继电器-接触器型的，称为有触点控制系统。随着电子技术的迅速发展，无触点系统已被大量采用，从采用分立元件到集成电路，一直发展到近几年出现的微处理机控系统。但是有触点控制系统由于有它本身的优点，目前仍被广泛采用。

建国以来，我国电力拖动自动化技术有了很大的发展，已经建立了一些自动化水平较高的工厂，自行设计和制造了一批有一定水平的自动生产线，而且随着科学技术的发展，在这方面的发展也必将取得更大的成就。

## 任务二 了解本课程的性质、内容、任务和要求

电机及电力拖动基础课程把电机学和电力拖动基础两门课程有机结合为一门课程。本课程既具有很强的理论性，又具有一定的实践性，是工业自动化专业的一门重要的技术基础课，在本专业学习中占有重要的地位，为后续学习“半导体变流技术”、“自动控制原理”、“电力拖动自动控制系统”、“近代交流调速”及“计算机控制技术”等课程准备必要的基础知识。

本课程主要研究电机与电力拖动系统的基本理论问题。在电力拖动系统中，电机是其

中的机电能量转换装置。本课程从使用电机观点出发,研究电机的基本结构、工作原理、内部电磁物理过程、功率关系和机械特性等问题,重点放在研究电机启动、制动、调速三大问题上;系统地讨论电机拖动系统的静态和动态特性,为学生掌握本专业知识和学习后续课程打下必要的理论基础。

本课程的任务是使学生掌握常用交、直流电机,控制电机和变压器等的基本结构与工作原理及电力拖动系统的运行性能、分析计算、电机选择与实验方法,为学习后续课程打下必要的理论基础。

在学完本课程之后,应达到下列要求:

- ① 掌握常用交、直流电机及变压器的基本理论(电磁关系、能量关系等)。
- ② 掌握控制电机的工作原理、特性及用途。
- ③ 掌握分析电机机械特性及各种运行状态(启动、反接制动、能耗制动、回馈制动)的基本理论。
- ④ 掌握电力拖动系统中电机参数调速方法的基本原理和技术经济指标。
- ⑤ 掌握电力拖动机械过渡过程的基本方程式及其主要的分析方法。
- ⑥ 掌握选择电机的方法。
- ⑦ 掌握电机与电力拖动系统的基本的实验方法与技能,并具有熟练的运算能力。

# 项目一 直流电机



## 项目导读

直流电机是实现直流电能与机械能相互转换的电力机械，包括直流发电机和直流电动机。其中，将机械能转换为电能的电机为直流发电机，将电能转换为机械能的电机为直流电动机。直流电机最大的特点是拖动性能良好，它是工矿、交通、建筑行业中常见的动力机械。本项目通过6个工作任务，介绍了直流电机的基本结构、工作原理、电枢绕组、工作特性、基本方程式等内容。



## 知识目标

- ◆ 熟悉直流电机的基本结构，掌握直流电机的工作原理和铭牌数据的含义
- ◆ 了解电枢绕组的几个基本概念
- ◆ 了解电枢反应的概念，掌握直流电机的电枢电动势、电磁转矩的基本公式
- ◆ 掌握直流电机的换向过程和改善换向的主要方法
- ◆ 掌握直流电动机的基本方程式和工作特性
- ◆ 了解直流发电机的分类和运行特性



## 技能目标

- ◆ 能够画出绕组展开图
- ◆ 能够分析和计算直流电机的主要参数
- ◆ 能够分析直流电机的运行问题

## 任务一 认识直流电机的结构，了解其工作原理

### 一、直流电机的特点和用途

#### 1. 直流电机的特点

直流电机的优点为：

- ① 调速范围广，易于平滑调速。
- ② 启动、制动和过载转矩大。
- ③ 可靠性较高。

直流电机的缺点为：

- ① 制造工艺复杂，消耗有色金属较多，生产成本低。
- ② 运行时由于电刷与换向器之间容易产生火花，因而可靠性较差，维护比较困难。

#### 2. 直流电机的用途

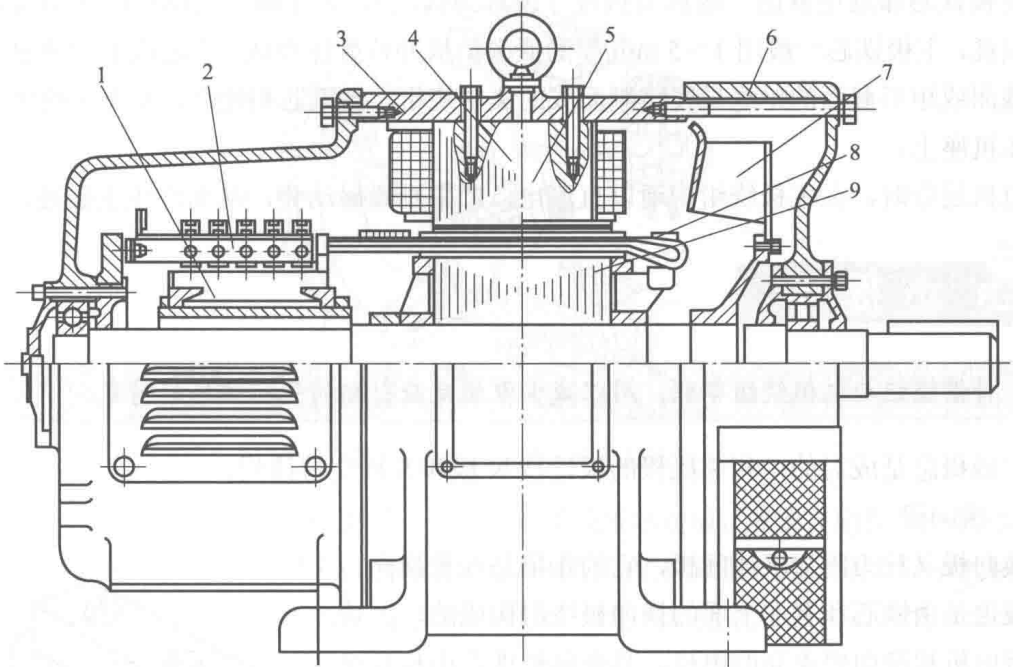
由于直流电动机具有良好的启动和调速性能，常应用于对启动和调速有较高要求的场合，如大型可逆式轧钢机、矿井卷扬机、宾馆高速电梯、龙门刨床、电力机车、内燃机车、城市电车、地铁列车、电动自行车、造纸和印刷机械、船舶机械、大型精密机床和大型起重机等生产机械中。

直流发电机主要用作各种直流电源，如直流电动机电源、化学工业中所需的低电压大电流的直流电源、直流电焊机电源等。

### 二、直流电机的基本结构

直流电机由定子（静止部分）和转子（转动部分）两大部分组成。定子、转子之间有一定的间隙，称为气隙。定子的作用是产生磁场和作电机的机械支撑，它包括主磁极、换向极、机座、电刷装置、端盖和轴承等。转子上用来感应电动势而实现能量转换的部分称为电枢，它包括电枢铁芯和电枢绕组，此外转子上还有换向器、转轴和风扇等，转子的主要作用是传递电磁转矩。图 1-1 所示为直流电机的剖面图。





1—换向器；2—电刷装置；3—机座；4—主磁极；5—换向极；  
6—端盖；7—风扇；8—电枢绕组；9—电枢铁芯

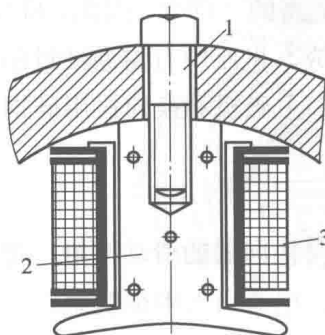
图 1-1 直流电机的剖面图

下面简要介绍直流电机主要零部件的基本结构、作用和材料。

## 1. 定子

### 1) 主磁极

主磁极简称为主极，用来产生主磁通。除个别类型的小型直流电机的主磁极采用永久磁铁外，一般直流电机的主磁极都是采用电磁铁。主磁极包括主极铁芯和套在铁芯上的主极绕组（称为励磁绕组），如图 1-2 所示。



1—固定主极铁芯的螺钉；2—主极铁芯；3—励磁绕组

图 1-2 直流电机的主磁极