



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电机与拖动基础

(第二版)

供用电技术专业

主编 刘景峰



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电机与拖动基础

(第二版)

供用电技术专业

主 编 刘景峰
责任主审 宋秀生
审 稿 杨学勤 王存恩



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书是中等职业教育国家规划教材。

本书是根据中等职业技术学校供用电技术专业《电机与拖动基础》教学大纲编写的。全书分为五篇十六章，主要内容为直流电机、变压器、异步电机、同步电机、控制电机的基本结构、工作原理、运行分析及运行特性，交、直流电动机的电力拖动及使用。为了便于教学使用，在本书各章前面提出了教学要求，章后附有小结和思考题与习题，各篇后附有阶段测验题。

本书可作为中等职业技术学校供用电技术专业的教材，也可作为工业企业自动化等电气类专业的教材，还可供电气工程技术人员等参考学习。

图书在版编目 (CIP) 数据

电机与拖动基础/刘景峰主编. —2版. —北京: 中国电力出版社, 2006

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5083-4212-7

I. 电... II. 刘... III. ①电机-专业学校-教材
②电力传动-专业学校-教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 028006 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2002 年 1 月第一版

2006 年 5 月第二版 2006 年 5 月北京第八次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.75 印张 348 千字

印数 26001—30000 册 定价 19.80 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

电力中等职业教育国家规划教材

编委会

主 任 张成杰

副主任 杨昌元 宗 健 朱良镭

秘书长 尚锦山 马家斌

委 员 丁 雁 王玉清 王宝贵 李志丽 杨卫民

杨元峰 何定焕 宋文复 林 东 欧晓东

胡亚东 柏吉宽 侯林军 袁建文 涂建华

梁宏蕴

中等职业教育国家规划教材

出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

前 言

本书是中等职业技术学校供用电技术专业《电机与拖动基础》教材的第二版，是在第一版教学使用的基础上，经过征求广大师生的意见，进行修改、补充后编写而成的。

与第一版比较，第二版内容进行了部分调整和补充。一是根据教学内容的衔接要求，将直流电机编排到第一篇讲授；二是增加了工业自动控制系统中常用控制电机的内容，作为第五篇，以满足学生参加中级维修电工技能鉴定考核的需要；三是按新国标要求对全书的文字和图形符号进行了统一修改。

本书第二版由保定电力职业技术学院刘景峰副教授主编。书中第一篇和第十二章由上海电力工业学校顾义其高级讲师编写，第三篇由四川电力职业技术学院肖兰副教授编写，其余部分均由刘景峰编写。本书第二版由保定天威集团天威保变电气公司宋秀生高级工程师主审。

本书虽然是在第一版的基础上通过总结、修改和补充而完成的，但由于编者水平有限，编写时间仓促，书中的缺点和不足在所难免，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

2005 年 12 月

第一版前言

《电机与拖动基础》是供用电技术专业的一门主干课程，是根据中等职业技术学校供用电技术专业《电机与拖动基础》教学大纲编写的。

全书分为变压器、异步电机、同步电机、直流电机四个部分，共 13 个单元。其主要内容有变压器和交、直流电机的基本结构、工作原理、运行分析及运行特性，交、直流电动机的电力拖动及使用。为了便于教学使用，在本书各单元前面提出了教学要求，单元后附有小结和习题，各模块后还附有阶段测验题。

本书由保定电力学校刘景峰高级讲师主编。其中，异步电机部分由四川电力职业技术学院肖兰高级讲师编写，第九单元和直流电机部分由上海火力发电专业职业技能鉴定站顾义其高级讲师编写，其余部分均由刘景峰编写。本书由武汉电力学校魏涤非高级讲师主审。

由于水平有限，编写时间仓促，书中的缺点和不足在所难免，恳切希望广大读者批评指正。

编者

2001 年 8 月



中等职业教育国家规划教材出版说明

前言

第一版前言

绪论

第一篇 直 流 电 机

第一章 直流电机的工作原理和基本结构	3
第一节 直流电机的工作原理	3
第二节 直流电机的基本结构	5
第三节 直流电枢绕组	8
第四节 直流电机的励磁方式	13
第五节 直流电机的铭牌	14
小结	15
思考题与习题	16
第二章 直流电动机的运行分析	17
第一节 直流电机的电枢电动势	17
第二节 直流电机的电磁转矩	18
第三节 直流电机的电枢反应	20
第四节 直流电机的换向	23
第五节 直流电动机的基本方程式	25
第六节 直流电动机的机械特性	27
小结	30
思考题与习题	30
第三章 直流电动机的电力拖动	32
第一节 直流电动机的起动	32
第二节 直流电动机的调速	34

第三节 直流电动机的反转和制动 38
 第四节 直流电动机的使用、维护及常见故障的处理方法 42
 小结 46
 思考题与习题 47
 阶段测验题 48

第二篇 变 压 器

第四章 变压器的工作原理和基本结构 50
 第一节 变压器的基本工作原理 50
 第二节 变压器的分类 51
 第三节 变压器的基本结构 52
 第四节 变压器的铭牌 57
 小结 58
 思考题与习题 58

 第五章 单相变压器的运行分析 59
 第一节 单相变压器的空载运行 59
 第二节 单相变压器的负载运行 64
 第三节 变压器参数的测定 69
 第四节 变压器的运行特性 75
 小结 76
 思考题与习题 77

 第六章 三相变压器及其并联运行 79
 第一节 三相变压器的磁路系统 79
 第二节 三相变压器的联结组别 80
 第三节 三相变压器的并联运行 85
 第四节 三相变压器的使用、维护及常见故障处理方法 88
 小结 91
 思考题与习题 92

 第七章 其他变压器 93
 第一节 三绕组变压器 93
 第二节 自耦变压器 96
 第三节 电压互感器 98
 第四节 电流互感器 100

第五节 电焊变压器	103
小结	104
思考题与习题	105
阶段测验题	105

第三篇 异 步 电 机

第八章 三相异步电动机的基本结构和工作原理	108
第一节 异步电动机的用途和分类	108
第二节 异步电动机的基本结构	108
第三节 三相交流绕组	111
第四节 三相旋转磁动势	116
第五节 异步电动机的工作原理	119
第六节 异步电动机的铭牌	121
小结	124
思考题与习题	125
第九章 异步电动机的运行分析	126
第一节 异步电动机的空载运行	126
第二节 异步电动机的负载运行	128
第三节 异步电动机的电磁转矩	131
第四节 异步电动机的机械特性	134
第五节 异步电动机的工作特性	136
小结	138
思考题与习题	139
第十章 异步电动机的电力拖动	141
第一节 异步电动机的起动概述	141
第二节 鼠笼式异步电动机的起动	142
第三节 绕线式异步电动机的起动	148
第四节 深槽式和双鼠笼式异步电动机	150
第五节 异步电动机的调速	152
第六节 异步电动机的反转与制动	159
第七节 异步电动机的使用、维护及常见故障处理方法	162
小结	167
思考题与习题	168

第十一章 单相异步电动机	170
第一节 单相异步电动机的基本结构和工作原理	170
第二节 单相异步电动机的起动、反转及调速	172
第三节 单相异步电动机的常见故障处理方法	176
小结	177
思考题与习题	178
阶段测验题	179

第四篇 同 步 电 机

第十二章 同步发电机	181
第一节 同步电机的分类及应用	181
第二节 同步发电机的基本结构	182
第三节 同步发电机的工作原理	184
第四节 同步发电机的励磁方式	185
第五节 同步发电机的并列运行	187
小结	191
思考题与习题	191

第十三章 同步电动机	192
第一节 同步电动机的工作原理	192
第二节 同步电动机的起动和制动	195
第三节 同步电动机的使用、维护及常见故障处理方法	197
小结	199
思考题与习题	200
阶段测验题	200

第五篇 控 制 电 机

第十四章 伺服电动机	203
第一节 直流伺服电动机	204
第二节 交流伺服电动机	206
小结	210
思考题与习题	210

第十五章 测速发电机	212
第一节 直流测速发电机	212

第二节 交流测速发电机	214
小结	218
思考题与习题	218
第十六章 其他常用控制电机	219
第一节 自整角机	219
第二节 旋转变压器	224
第三节 步进电动机	227
小结	233
思考题与习题	234
阶段测验题	234
参考文献	237

绪 论

一、电机与电力拖动在国民经济中的地位和作用

《电机与拖动基础》课程包括电机原理和电力拖动基础两部分内容。

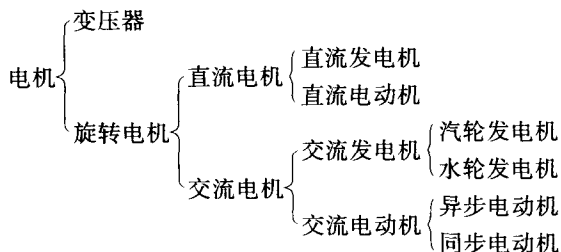
电能是现代最主要的能源。电机是实现电能生产、传输、分配和使用的主要电气设备。电机包括发电机、电动机和变压器三部分。发电机的作用是把机械能转换为电能；电动机的作用是把电能转换为机械能，拖动各种生产机械运转，实现生产过程的机械化、自动化；变压器的作用是升高电压或降低电压，升高电压是为了减小输电线路的电能损耗，实现大容量、远距离、经济地输电，降低电压是为了安全用电。

在现代工、农业和交通运输中，为了实现各种生产工艺过程，需要使用各种各样的生产机械。拖动生产机械运转的方法有三种，即气动、液压拖动和电力拖动。由于电力拖动控制简单、调节性能良好、损耗小、经济、能实现远距离控制和自动调节，因此在大多数生产机械中获得广泛应用。所谓电力拖动就是用电动机拖动各种生产机械运转，以实现工农业生产过程的机械化和自动化，从而提高产品质量、改善工人劳动条件、提高生产效率和经济效益。

综上所述，电机与电力拖动在我国四化建设中起着十分重要的作用，与国民经济及科学技术的发展有着密切的关系。

二、电机的分类

电机的分类方法很多，可归纳如下：



三、电机的发展概况

解放前，我国电机制造工业非常落后，生产的发电机单机容量在 200kW 以下，电动机容量不超过 132kW，变压器容量不超过 2000kV · A。

解放后，我国电机制造工业迅速发展。1955 年制成 10000kW 水轮发电机，1956 年制成 12000kW 汽轮发电机，1960 年制成 72500kW 水轮发电机和 50000kW 氢冷、100000kW 氢内冷汽轮发电机，1969 年制成 125000kW 双水内冷水轮发电机，1972 年制成 300000kW 双水内冷汽轮发电机和水轮发电机，还制成了电压为 330kV、容量为 360000kV · A 的变压器。目前已能制造 320000kW 水轮发电机、600000kW 汽轮发电机和电压等级为 500kV、容量为 550000kV · A 变压器。各种电机都有系列产品，并大量采用新材料、新工艺、新技术，电机制造工业正向着高电压、大容量的方向发展。

四、本课程的特点

电机与拖动基础既是一门理论性很强的技术基础课，又具有专业课性质。与电机联系

最密切的理论基础课是数学和电工基础。研究电机问题时,经常用到的基本定律有:法拉第电磁感应定律、安培全电流定律、毕奥—萨伐尔电磁力定律、基尔霍夫定律、能量守恒定律等。

电机与拖动基础课要讨论的问题,既有单相的又有三相的、既有电的又有磁的、既有时间的又有空间的、既有正弦的又有非正弦的、既有对称的又有不对称的、既有饱和的又有不饱和的、既有静止的又有旋转的等等。因而在分析电机问题时往往采用由简到繁、由特殊到一般的分析方法。为了突出主要矛盾,也经常采用忽略次要因素,做某些假定的处理方法,使思路更加清晰、物理概念更加明确。

五、学习本课程的方法

1. 要理论联系实际

在学习电机结构及基本原理的过程中,应十分重视到生产厂实习和做电机试验,加强对电机的感性认识,并用课堂上学到的理论分析解决实际中遇到的问题。

2. 要善于抓主要矛盾,使问题简化

在讨论电机某一问题时,有时先忽略次要因素,抓住主要矛盾,运用电磁理论加以分析,从中得出虽是近似但能反映客观规律的结论,使问题的分析简化。

3. 要掌握重点内容

尽管电机种类很多,它们的结构差别很大,运行中的问题也多种多样,但各类电机的基本电磁规律是相似的。因此,要牢固掌握各类电机的基本结构、基本原理、基本电磁规律以及各物理量之间的相互关系。

4. 要注意培养综合分析问题的能力

学习本课程时,要善于对各类电机的结构、原理、性能进行比较,辨别异同,进行综合分析,以加深理解,帮助记忆。

直流电机

把机械能转换为直流电能的电机是直流发电机，而把直流电能转换为机械能的电机是直流电动机。直流电动机起动性能和调速性能十分良好，且易于控制，可靠性较高。因此直流电动机多用于对调速要求较高的生产机械上，如轧钢机、电车、电气铁道牵引、挖掘机械、纺织机械等。直流发电机则作为电源设备用于充电、励磁、汽车、拖拉机及电解、电镀工业等方面。

随着晶闸管技术的发展，尤其是大功率晶闸管整流元件的出现，晶闸管整流装置有逐步取代直流发电机的趋势。而晶闸管整流技术则使直流电动机得到广泛应用。

第一章 直流电机的工作原理和基本结构

教学要求

掌握直流发电机的发电原理和直流电动机的转动原理，理解换向器在直流发电机和直流电动机中的作用；了解直流电机的基本结构，理解直流电枢绕组的基本概念和常用术语，掌握单叠绕组的特点及连接规律，了解单波绕组的特点及连接规律；了解直流电机励磁方式的分类，掌握各种励磁方式的接线及电路特点；理解直流电机型号、额定值的含义。

本章主要讲述直流电机的工作原理、基本结构、直流电枢绕组和励磁方式以及铭牌数据等。

第一节 直流电机的工作原理

一、直流发电机工作原理

图 1-1 是最简单的直流发电机的物理模型。图 1-1 中 N、S 是主磁极，它是固定不动的，也称为定子磁极。abcd 是装在可以转动的圆柱体上的一个线圈，这个可转动的转子称为电枢。线圈的两端分别连接在两个相对放置的导电片上，这种导电片称为换向片。换向片之间用绝缘材料隔开，换向片和电枢固定在同一转轴上。在换向片上分别放置固定不动的电刷 A、B，并固定在定子上，这就是最简单的换向器。换向片和电刷之间可以相对滑动。因此，当电枢旋转时，线圈切割磁场所感应的电动势可以从电刷导出。

当原动机拖动发电机的电枢以恒定转速 n 逆时针方向旋转时，由电磁感应定律可知，在线圈 $abcd$ 中，由于 ab 边和 cd 边切割磁力线而产生感应电动势。感应电动势的大小可由计算式确定为

$$e = Blv \quad (1-1)$$

式中 B ——导体所在处的磁密， Wb/m^2 ；

l ——导体 ab 或 cd 的长度， m ；

v ——导体 ab 或 cd 与磁密 B 之间的相对线速度， m/s 。

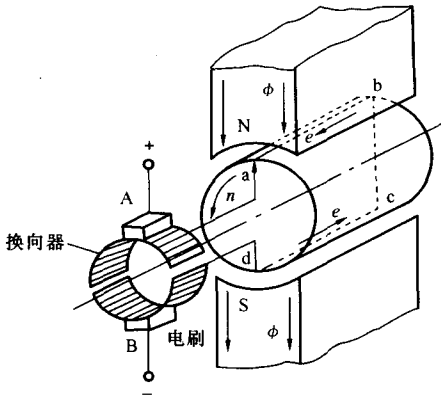


图 1-1 直流发电机的物理模型

感应电动势的方向，由右手定则确定。在图 1-1 所示的瞬间，电枢线圈中，导体 ab 、 cd 的感应电动势的方向分别由 b 指向 a 和由 d 指向 c 。这时电刷 A 呈高电位，电刷 B 呈低电位。当电枢逆时针方向转过 180° 时，电枢线圈导体 cd 位于 N 极下， ab 位于 S 极下，各导体中电动势都分别改变了方向，即导体 ab 、 cd 的感应电动势的方向分别为 a 指向 b 和 c 指向 d 。但是，由于换向片是随线圈一起旋转的，电刷是固定不动的，本来与电刷 B 所接触的那个换向片，在电枢旋转了 180° 以后，却与电刷 A 接触了，本来与电刷 A 接触的换向片

与电刷 B 接触了。显然这时电刷 A 仍呈高电位，电刷 B 仍呈低电位。由以上分析可知，电刷 A 接触的总是位于 N 极下的导体，电刷 B 接触的总是位于 S 极下的导体。电刷 A 总是呈高电位（正极性），电刷 B 总是呈低电位（负极性）。这样在电刷 A 、 B 间可获得直流电动势。实际的直流发电机电枢上不止一个线圈，而是根据需要有許多个线圈分布在电枢铁芯上，相应地有许多换向片和线圈相连，这些线圈按一定规律连接起来构成电枢绕组。

由上述可见，电枢绕组中的感应电动势是交变的，经过换向器的机械整流，变成电刷两端输出的直流电动势。所以，换向器在直流发电机中的作用是把电枢绕组中的交流电动势变换为电刷端的直流电动势。

二、直流电动机工作原理

图 1-2 是一个直流电动机的物理模型。电刷 A 、 B 接上直流电源后，在线圈 $abcd$ 中有电流流过。在图 1-2 所示的瞬间，电流的方向由 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ 。

由电磁力定律可知，载流导体上所受的电磁力 f 为

$$f = Bli \quad (1-2)$$

式中 B ——导体所在处的磁密， Wb/m^2 ；

l ——导体 ab 或 cd 的长度， m ；

i ——导体 ab 、 cd 中的电流， A 。

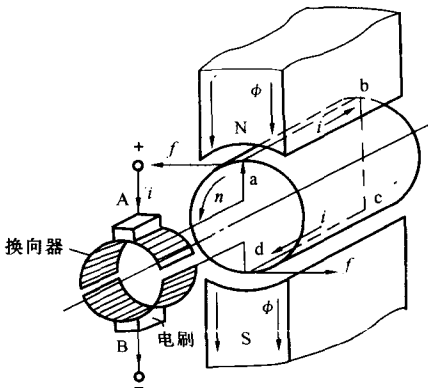


图 1-2 直流电动机的物理模型

导体的受力方向由左手定则确定，导体 ab 的受力方向从右向左，导体 cd 的受力方向从左向右。电磁力 f 乘上转子的半径就是转矩，称为电磁转矩。此时，电磁转矩的作用方向是逆时针方向，电磁转矩若能克服电枢上的摩擦阻转矩，电枢就能在电磁转矩的驱动下，按逆时针方向旋转起来。当电枢旋转了 180° 以后，导体 cd 转到 N 极下，导体 ab 转到 S 极下，由于直流电源产生的电流方向不变，且电刷固定不动，电流仍从电刷 A 流入，经导体 cd、ab 后，从电刷 B 流出。此时，导体 cd 所受的电磁力方向变为从右向左，导体 ab 所受电磁力方向变为从左向右，产生的电磁转矩方向没有改变，仍为逆时针方向。

由此可见，对直流电动机而言，在电刷 A、B 间加的是直流电源，而电枢线圈里的电流方向是交变的，但产生的电磁转矩却是单方向的，这也是由于有换向器的缘故。在这里换向器的作用是，把外加的直流电源变为电枢线圈里的交变电流，从而产生恒定方向转动的电磁转矩。

和直流发电机一样，实际的直流电动机电枢上也有许多线圈，但不管有多少个线圈，所产生的电磁转矩的方向都是一致的。

第二节 直流电机的基本结构

直流发电机和直流电动机从主要结构上看，没有什么差别。图 1-3 是直流电机的结构示意图。

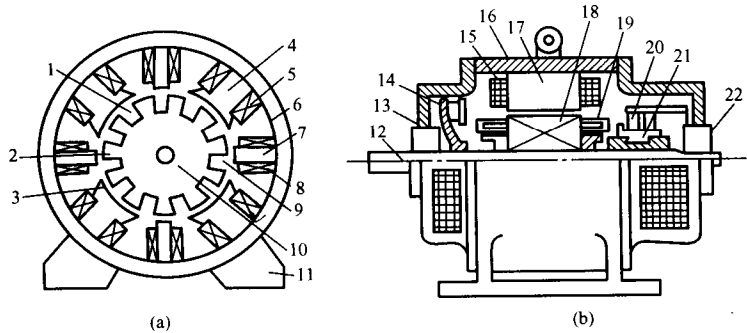


图 1-3 直流电机的结构示意图

- 1—电枢槽；2—电枢齿；3—极身；5、15—励磁绕组；6—定子磁轭；7—换向极；
8—换向极绕组；9、19—电枢绕组；10—电枢磁轭；11—底脚；12—转轴；
13—端盖；14—风扇；16—机座；17—主磁极；18—电枢铁芯；
20—电刷；21—换向片；22—轴承

直流电机主要由定子和转子两大部分组成。由于本课程主要研究电机的运行，而不涉及电机的设计和制造工艺的问题。因此仅对直流电机的主要结构部件作一些简要介绍。

一、定子

定子的作用是产生磁场并作为转子的机械支撑。定子包括主磁极、换向极、机座、端