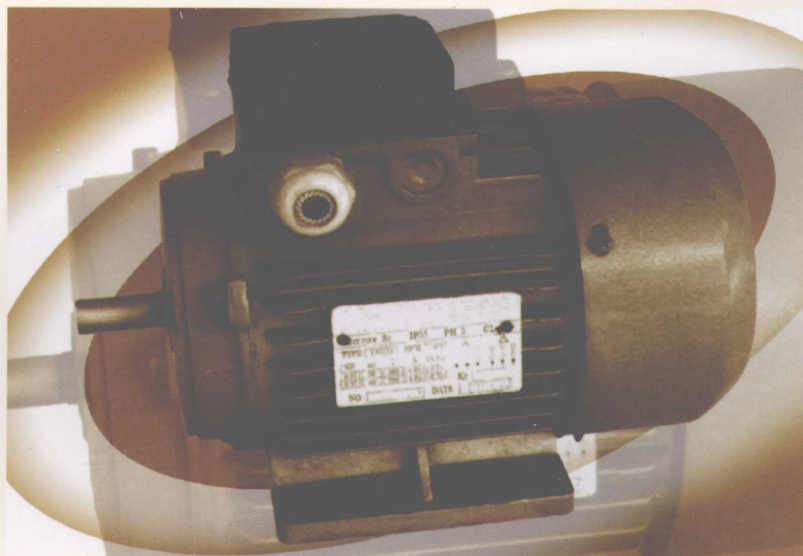


21 世纪高等职业技术教育规划教材

电机及电力拖动

Dianji ji Dianli Tuodong (第二版)



曲素荣 索娜 ◆ 主编



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪高等职业技术教育规划教材

电机及电力拖动

(第二版)

曲素荣 索娜 主编

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内 容 简 介

本书是 21 世纪高等职业技术教育规划教材之一, 作者紧密结合了我国高等职业教育电气类专业培养目标和培养规格要求编写。书中充分体现了理论与实际相结合的原则, 注重专业基本技能和职业综合能力的培养。全书共分九章, 系统地阐述了直流电机的原理、直流电动机的电力拖动、变压器、三相异步电动机的原理、三相异步电动机的电力拖动、控制电机、电动机容量的选择及其他电动机、电机实测等内容。

本书可作为高职高专学校、成人高校电机电器、供用电技术、城市轨道交通、机电一体化、机械电子、电气运行与控制、铁道供电、电气自动化等电类专业的教材, 中等职业学校如开办本课程也可选用本书作为教材。本书对从事电机及电力技术工作的工程技术人员也有一定的参考价值。

图书在版编目 (C I P) 数据

电机及电力拖动 / 曲素荣, 索娜主编. —2 版. —成都: 西南交通大学出版社, 2007.4 (2008.2 重印)
21 世纪高等职业技术教育规划教材
ISBN 978-7-81104-549-9

I. 电... II. ①曲...②索... 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 (2007) 第 040247 号

21 世纪高等职业技术教育规划教材

电 机 及 电 力 拖 动

(第二版)

曲素荣 索娜 主编

*

责任编辑 张华敏

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

新华书店 经销

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm · 印张: 17.875

字数: 445 千字 印数: 7 001—10 000 册

2007 年 4 月第 2 版 2008 年 2 月第 3 次印刷

ISBN 978-7-81104-549-9

定价: 24.00 元

图书如有印装问题, 本社负责退换

版权所有, 盗版必究, 举报电话: (028) 87600562

前 言

《电机及电力拖动》课程是高职高专学校和部分成人高等学校工业电气自动化、电气技术、电机电器、供用电技术、城市轨道交通、机电一体化等专业学生的一门必修课程。它是将“电机学”、“电力拖动”和“控制电机”等课程有机结合而成的一门新课。

本书侧重于基本原理和基本概念的阐述和实际应用。有些内容采用提出问题、分析问题、解决问题，最后总结出概念并推广到一般的方式，便于理解和掌握。本书体现了高等职业教育理念，强调基本理论和知识的实际应用，利用图解分析，减少了繁琐的数学推导，简化了一些复杂的运算，着眼于培养学生的技术应用能力。为了加深理解和掌握相关的基本知识，书中配有大量的例题和习题。教学内容模块化，各模块教学的目标明确，具有组合性和选择性，便于不同专业选用。

本书共分九章，全书由郑州铁路职业技术学院曲素荣、索娜统稿并担任主编。其中绪论、第五章、第九章由曲素荣编写；第三章、第四章由索娜编写；第七章、第八章由张君霞编写；第一章由王睿编写；第二章由刘海燕编写；第六章由徐彦编写。

在本教材的编写过程中，得到了郑州铁路职业技术学院电气工程系柯志敏、智强、马全广、张桂香等老师的帮助，并为本书的编写提供了大量的资料，在此表示衷心感谢。另外，编者还参考了国内同行的有关文献与资料，引用了其中的一些内容和实例，在此向所有原作者表示感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2004 年 5 月

目 录

绪 论	1
第一章 直流电机的原理	6
第一节 直流电机的工作原理	6
第二节 直流电机的结构	9
第三节 直流电机的励磁方式、铭牌数据及主要系列	15
第四节 直流电机的电枢绕组	18
第五节 直流电机的磁场	25
第六节 直流发电机的运行原理	31
第七节 直流电动机的运行原理	37
第八节 直流电机的换向	40
本章小结	44
思考题与习题	45
第二章 直流电动机的电力拖动	47
第一节 电力拖动系统的运动方程式	47
第二节 生产机械的负载转矩特性	50
第三节 他励直流电动机的机械特性	52
第四节 他励直流电动机的启动和反转	59
第五节 他励直流电动机的制动	63
第六节 他励直流电动机的调速	72
本章小结	77
思考题与习题	78
第三章 变压器	81
第一节 变压器的工作原理和结构	81
第二节 变压器的空载运行	88
第三节 变压器的负载运行	94
第四节 变压器等效电路参数的测定	99
第五节 变压器的运行特性	104
第六节 三相变压器	109
第七节 其他用途的变压器	118
本章小结	123
思考题与习题	124
第四章 三相异步电动机的原理	127
第一节 交流电机的绕组	127
第二节 交流绕组的感应电势	134

第三节 交流绕组的磁势	138
第四节 三相异步电动机的结构与工作原理	145
第五节 三相异步电动机的空载运行	151
第六节 三相异步电动机的负载运行	153
第七节 三相异步电动机的参数测定	160
第八节 三相异步电动机的功率和转矩平衡方程式	163
第九节 三相异步电动机的工作特性	166
本章小结	167
思考题与习题	168
第五章 三相异步电动机的电力拖动	171
第一节 三相异步电动机的电磁转矩	171
第二节 三相异步电动机的机械特性	177
第三节 三相异步电动机的启动	181
第四节 三相异步电动机的制动	194
第五节 三相异步电动机的调速	202
本章小结	211
思考题与习题	212
第六章 其他用途的电动机	215
第一节 单相异步电动机	215
第二节 三相同步电动机	219
第三节 其他电动机	226
本章小结	232
思考题与习题	232
第七章 控制电机	234
第一节 概述	234
第二节 伺服电动机	234
第三节 测速发电机	240
第四节 步进电动机	243
第五节 自整角机	251
本章小结	254
思考题与习题	255
第八章 电动机的选择	256
第一节 电动机的一般选择	256
第二节 电动机的发热与温升	259
第三节 电动机额定功率的选择	262
本章小结	269
思考题与习题	270
第九章 电机实训	271
参考文献	279

绪 论

一、电机及电力拖动在国民经济中的作用及发展概况

电能是现代最常用的一种能源。和其他能源相比,无论是生产、变换、输送、分配、使用,还是控制,电能都是最经济、最方便的能源。要实现电能的生产、变换和使用等都离不开电机。电机是根据电磁感应原理实现能量转换或传递的电气装置。

在电力系统中,电能的生产主要依靠发电机;电能的变换、输送和分配都离不开变压器;工业、农业、交通运输、医疗等各行各业以及日常生活中的各种家用电器都需要用电动机来拖动;航天、航空和国防科学等领域的自动控制系统中,需要各种各样的控制电机作为检测、随动、执行和解算元件。因此,电机及电力拖动在国民经济的各个领域起着重要的作用。

电机工业的发展是同国民经济和科学技术的发展密切相关的。20 世纪以前,电机的发展过程是由诞生到工业上的初步应用,再到各种电机的初步定型以及电机理论和电机设计计算的建立和发展。进入 20 世纪以后,人们在降低电机成本、减小电机尺寸、提高电机性能、选用新型电磁材料、改进电机生产工艺等方面进行了大量的工作,所以现代电机已得到了很大的发展。

我国早在 1965 年就研制成功世界上第一台 125 kW 双水内冷汽轮发电机,显示了我国电机工业的迅速崛起。近些年来,随着对电机新材料的研究,并在电机设计、制造工艺中利用计算机技术,使得普通电机的性能更好、运行更可靠;而控制电机的高可靠性、高精度、快速响应使控制系统可以完成各种人工无法完成的快速复杂的精巧运动。目前,我国电机工业的学者和工程技术人员正在对电机的新理论、新结构、新系列、新工艺、新材料、新的运行方式和调速方法进行更多的探索、研究和试验工作,并取得了可喜的成绩。

电力拖动的发展经历了从最初的“成组拖动”(即由一台电动机拖动一组生产机械),到 20 世纪 20 年代以来广泛采用的“单电动机拖动系统”(即由一台电动机拖动一台生产机械),以及 20 世纪 30 年代广泛使用的“多电动机拖动系统”(即由多台电动机拖动一台生产机械)的过程。随着生产的发展,对上述单电动机拖动系统及多电动机拖动系统提出了更高的要求,例如,要求提高加工精度与工作速度,要求快速启动、制动及反转,实现在很宽范围内调速及整个生产过程自动化,等等。要完成这些任务,除了电动机外,必须要有自动控制设备,组成自动化的电力拖动系统。而这些高要求的拖动系统随着自动控制理论不断发展、半导体器件和电力电子技术的采用,以及数控技术和计算机技术的发展与采用,正在不断地完善和提高。

综上所述, 电力拖动技术发展至今, 已具有许多其他拖动方式无法比拟的优点。在启动、制动、反转和调速方面的控制简单方便、快速性好且效率高, 并且电动机的类型很多, 具有各种不同的运行特性, 可以满足各种类型的生产机械的要求。由于电力拖动系统各参数的检测、信号的变换与传送较方便, 易于实现最优控制。因此, 电力拖动成为现代工农业电气自动化的基础。

二、电机及电力拖动系统的分类

1. 电机的分类

电机的种类繁多, 性能各异, 应用广泛, 按照功能可分为:

直流电机——实现机械能和直流电能之间的转换, 包括直流发电机、直流电动机。

交流电机——实现机械能和交流电能之间的转换, 包括同步电机、异步电机。

变压器——进行交流电能的传递。

控制电机——在自动控制系统中起控制作用。

2. 电力拖动的分类

按照电动机的种类不同, 电力拖动可分为直流电力拖动和交流电力拖动。

三、本课程的性质、任务及学习方法

本课程是电机电器、供用电技术、电气自动化、城市轨道交通、机电一体化等电类专业的一门专业基础课。

本课程的任务是使学生掌握直流电机、变压器、三相异步电动机的基本结构、工作原理及基本理论; 掌握直流电动机、三相异步电动机的机械特性及各种运转状态的基本理论和启动、调速、制动、反转的基本理论, 掌握电动机启动、制动和调速电阻的计算方法, 具备选择电力拖动方案所需的基础知识, 了解单相异步电动机、同步电动机等几种常见电动机、控制电机的原理、特点、运行性能和用途; 掌握电机试验的基本方法和技能, 达到能选择、使用和维护与电机实验相关的仪器设备; 为学习后续课程和今后的工作准备必要的基础知识, 同时也要培养学生在电力拖动技术方面分析和解决问题的能力。

电机及电力拖动是一门理论性很强的技术基础课, 它具有专业课的性质, 涉及的基础理论和实际知识面广, 是电学、磁学、动力学、热力学等学科知识的综合。因此要学好本课程, 必须具有扎实的基础理论知识和丰富的空间想象、思维能力, 并且在学习的过程中注重理论联系实际, 在掌握基本理论的同时, 还要加强实践动手能力的培养。

四、本课程常用的物理概念和定律

1. 磁感应强度 (或磁通密度) B

磁场是由电流产生的, 为了形象地描绘磁场, 采用磁力线的形式来表示, 磁力线是无头无尾的闭合曲线。图 1 中画出了直线电流、圆电流及螺线管电流产生的磁力线。

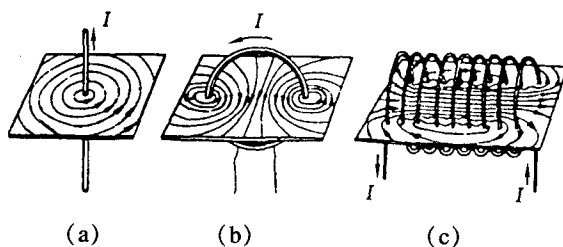


图 1 电流磁场中的磁力线

磁感应强度 B 是描述磁场强弱及方向的物理量。磁力线的方向与电流方向之间满足右手螺旋关系，如图 2 所示。

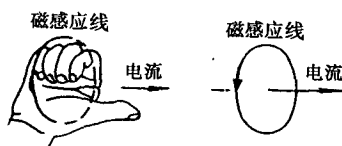


图 2 磁力线与电流的右手螺旋关系

2. 磁感应通量 (或磁通) Φ

穿过某一截面 S 的磁感应强度 B 的通量，即穿过截面 S 的磁力线根数，称为磁感应通量，简称磁通，用 Φ 表示，即

$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

在均匀磁场中，如果截面 S 与 B 垂直，如图 3 所示，则上式变为

$$\Phi = BS \quad \text{或} \quad B = \Phi / S$$

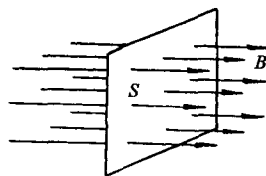


图 3 均匀磁场中的磁通

式中 B ——单位面积上的磁通，称为磁通密度，简称磁密，在电机和变压器中常采用磁密。

3. 磁场强度 H

计算导磁物质中的磁场时，引入辅助物理量——磁场强度 H ，它与磁密 B 的关系为

$$B = \mu H$$

式中 μ ——导磁物质的磁导率。真空的磁导率为 μ_0 。铁磁材料的 $\mu \gg \mu_0$ ，例如，铸钢的 μ 约为 μ_0 的 1 000 倍，各种硅钢片的 μ 约为 μ_0 的 6 000~7 000 倍。

4. 安培环路定律 (全电流定律)

在磁场中，沿任意一个闭合磁回路的磁场强度的线积分等于该回路所环绕的所有电流的代数和，即

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \sum I$$

式中，电流方向与闭合回路方向符合右手螺旋关系时为正，反之为负，如图 4 所示。

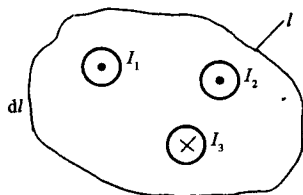


图 4 安培环路定律

5. 磁路的欧姆定律

设一段磁路的长度为 l ，截面积为 S ，由磁导率为 μ 的材料制成，则该段磁路的磁势

$$F = Hl = \frac{B}{\mu} l = \Phi \frac{l}{\mu S} = \Phi R_m$$

式中 $R_m = \frac{l}{\mu S}$ ——这段磁路的磁阻，它的表达形式与一段导线的电阻相似。

6. 左手定律（判定电磁力的方向）

载流导线处于磁场中受到的力称为电磁力。

在均匀磁场中，若载流直导线与 B 方向垂直，长度为 l ，流过的电流为 i ，载流导线所受的力为 f ，则

$$f = Bil$$

在电机学中，习惯上用左手定则确定 f 的方向，即把左手伸开，大拇指与其他四指成 90° ，如图 5 所示，磁力线指向手心，其他四指指向导线中电流的方向，则大拇指指向就是导线受力的方向。

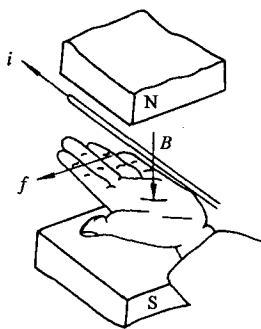


图 5 电磁力方向的判定

7. 电磁感应现象

变化的磁场会产生电场，使导体中产生感应电势，这就是电磁感应现象。在电机中，电磁感应现象主要表现在两个方面：一方面是导线与磁场有相对运动，导线切割磁场时，导线内产生感应电势；另一方面是交链线圈的磁通变化时，线圈内产生感应电势。下面分析两种电势的大小、方向的判定。

(1) 导线中的感应电势

若磁场均匀，磁感应强度为 B ，直导线长 l ，导线相对磁场的运动速度为 v ，三者互相垂

直，则导线中感应电势为

$$e = Blv$$

在电机学中，习惯上用右手定则确定电势 e 的方向，即把右手手掌伸开，大拇指与其他四指成 90° ，如图 6 所示，如果让磁力线指向手心，大拇指指向导线切割磁场的方向，其他四指的指向就是导线中感应电势的方向。

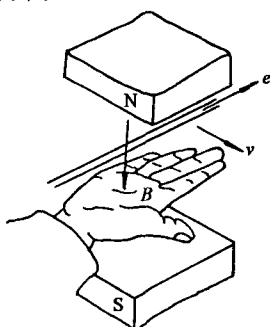


图 6 确定导线中的感应电势方向的右手定则

(2) 线圈中的感应电势

如图 7 所示，当变化的磁场 (Φ) 交链一线圈 (匝数为 N)，线圈中的感应电势

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

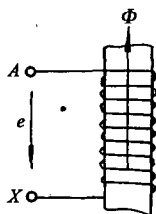


图 7 确定线圈中的感应电势方向的右手定则

在电机学中，习惯上用右手定则确定电势 e 的方向，即用右手握住线圈，大拇指指向磁场的方向，则四指环绕的方向就是线圈中感应电势的方向。

8. 基尔霍夫电压定律

在一闭合电回路中，各元件的电压降的代数和恒等于零。数学表达式为

$$\sum u = 0$$

第一章 直流电机的原理

直流电机是根据电磁感应原理实现机械能和直流电能相互转换的旋转电机。直流电机包括直流发电机和直流电动机。将机械能转换成直流电能的电机称为直流发电机。将直流电能转换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电动机状态，取决于电机的运行条件。

本章主要分析直流电机的工作原理、结构和运行特性。

第一节 直流电机的工作原理

一、直流电机的用途

直流电机与交流电机相比，结构复杂，成本高，运行维护较困难。但是直流电动机具有良好的调速性能、较大的启动转矩和过载能力。在启动和调速性能要求较高的生产机械中，如电力机车、内燃机车、工矿机车、城市电车、电梯、金属切削机床、轧钢机、卷扬机、起重机、造纸及纺织行业等机械中得到广泛的应用。直流发电机可作为各种直流电源，如直流电动机的电源、同步电机的励磁电源、电镀和电解用的低压大电流直流电源等。

二、直流电机的模型

直流电机的工作原理可用一个简单的模型说明，如图 1-1 所示。在空间固定的一对主磁极 N、S 之间放置一个开有凹槽的圆柱形铁芯（电枢铁芯），在电枢铁芯的两个凹槽中安放一个线圈 acb （电枢线圈），线圈的两个出线端 a 、 b 分别焊接在两个互相绝缘的半圆形铜质圆环（换向器）上，换向器和电枢铁芯压装在同一转轴上。换向器上放置有两个静止不动的电刷 A 和 B ，它们分别与外电路相连接。

实际电机的电枢铁芯上开有很多个槽，放置按一定规律连接的由多个线圈构成的电枢绕组。电机工作时，转轴、电枢铁芯、电枢绕组及换向器是旋转的，这些可旋转的部件称为转子（也叫电枢）；主磁极、电刷在空间固定不动，

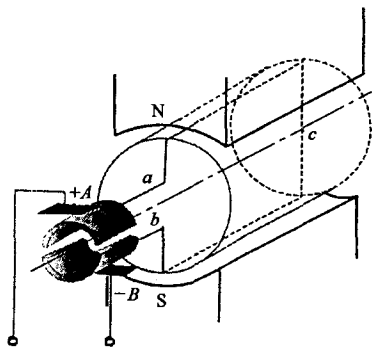


图 1-1 直流电机的模型

这些固定不动的部件称为定子；在电枢旋转的过程中电刷和换向器之间保持滑动接触。

三、直流发电机的工作原理

如图 1-2 所示，电机作为发电机运行时，电枢由同轴连接的原动机拖动，以一定的转速 n 逆时针方向旋转，由于导体切割了磁力线，因而导体内产生感应电势，其方向可用右手定则确定，在图 1-2 (a) 所示的瞬间，导体 a 处于 N 极下，其电势方向为 $\odot$ ，导体 b 处于 S 极下，其电势方向为 $\oplus$ 。整个线圈的电势为两个导体电势之和，方向为 $b \rightarrow a$ 。在图 1-2 (b) 所示的瞬间，线圈转过 180° ，则 a 与 b 导体的电势方向均发生改变，线圈电势的方向为 $a \rightarrow b$ ，可见线圈中的电势为交变电势。但由于换向器的作用，电刷 A 只与处于 N 极下的导体相接触，所以极性总为“+”，电刷 B 只与处于 S 极下的导体相接触，极性总为“-”，故电刷 A、B 之间向负载输出的电势为方向恒定的直流电势。

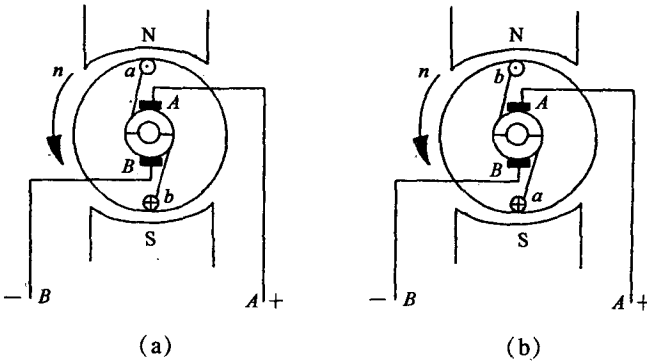
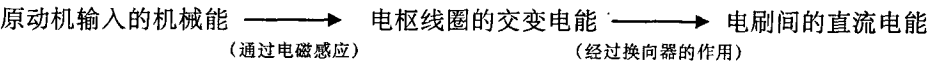


图 1-2 直流发电机的工作原理

综上所述，直流发电机能量转换过程如下：



例 1-1 试分析并画出图 1-2 中电枢线圈的感应电势波形及电刷 A、B 间的电势波形。

解 因为电枢的旋转速度不变，所以导体电势随时间变化的规律与磁极下磁密的空间分布规律相同。直流电机中，磁极下气隙磁密是按梯形波分布的，设 N 极下磁密为负值，S 极下磁密为正值，因此线圈的电势随时间变化为梯形交变电势，如图 1-3 所示。由于换向器的作用，电刷 A、B 间的电势为方向不变的直流电势，如图 1-4 所示。

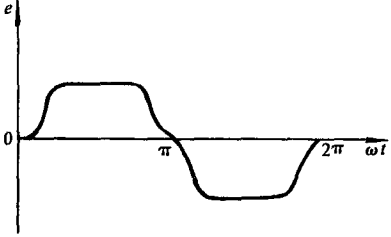


图 1-3 电枢线圈的电势波形

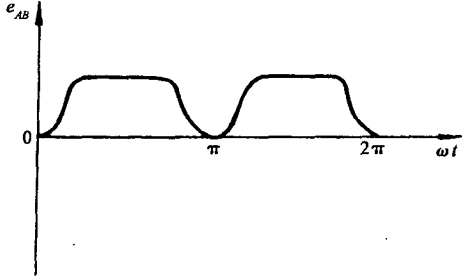


图 1-4 电刷 A、B 间的电势波形

四、直流电动机的工作原理

直流电动机和直流发电机的模型相同，但直流电动机的电刷两端外加直流电源，转子上同轴连接机械负载。

如图 1-5 所示，电机作为电动机运行时，由直流电源把直流电能经电刷 A、B 引入电机，在图 1-5 (a) 所示的瞬间，导体 *a* 的电流方向为 $\odot$ ，导体 *b* 的电流方向为 $\otimes$ ，载流导体在磁场中受到电磁力作用，方向由左手定则确定，*a*、*b* 导体所受的电磁力对轴形成一个顺时针方向的转矩（电磁转矩），当电磁转矩大于阻力矩时，电枢沿顺时针方向旋转。在图 1-5 (b) 所示的瞬间，线圈转过 180° ，由于换向器的作用，电刷 A 只与处于 N 极下的导体相接触，电刷 B 只与处于 S 极下的导体相接触，导体 *a* 的电流方向为 $\otimes$ ，导体 *b* 的电流方向为 $\odot$ ，可见引入线圈中的电流是交变的，在导体位置对换的同时，导体中电流的方向也同时改变，而所产生的电磁转矩方向不会改变，始终为顺时针方向，从而保证电机沿一个方向转动。

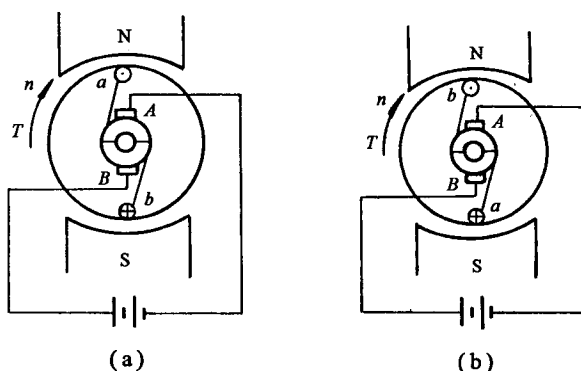


图 1-5 直流电动机的工作原理

综上所述，直流电动机的能量转换过程如下：

外加直流电源输入直流电能 $\longrightarrow$ 电枢线圈的交变电能 $\longrightarrow$ 转子的机械能
(经过换向器的作用) (通过电磁感应)

实际直流电机的电枢绕组是根据实际情况，由多个线圈构成，线圈平均分布于电枢铁芯表面的不同位置的槽中，并按照一定的规律连接。磁极也是根据需要，N、S 极交替放置多对。

五、直流电机的可逆原理

直流发电机和直流电动机的结构完全相同，每一台直流电机既可以作为发电机运行，也可以作为电动机运行，这一性质称为直流电机的可逆原理。直流电机的实际运行方式由外施条件决定：如果在直流电机轴上施加外力，使电枢转动，那么直流电机可以把输入的机械能转换为直流电能输出，直流电机作为发电机运行；如果在电枢绕组两端施加直流电源，输入直流电能，那么直流电机可以把输入的直流电能转换为机械能输出，直流电机作为电动机运

行。直流发电机和直流电动机，不是两种不同的电机，而是同一电机的两种不同的运行方式。图 1-6 是直流电机进行能量转换的示意图，可见，能量的转换是可逆的。

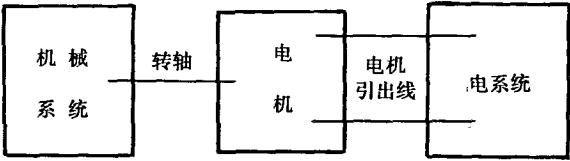


图 1-6 直流电机的能量转换示意图

在直流发电机中，当发电机带负载以后，电枢绕组就与负载构成了闭合回路，回路中就有感应电流流过，电流方向与感应电势方向相同，如图 1-7 (a) 所示。根据左手定则，载流导体 a 和 b 在磁场中会受到电磁力的作用，从而形成电磁转矩，方向为逆时针，与转速方向相反。这意味着，在发电机中，电磁转矩阻碍发电机旋转，是制动转矩。为此，原动机必须用足够大的拖动转矩来克服电磁转矩的制动作用，以维持发电机的稳定运行，此时发电机从原动机吸取机械能，转换成直流电能向负载输出。

在直流电动机中，如图 1-7 (b) 所示，当电动机在动力转矩（电磁转矩）的作用下旋转起来后，导体 a 和 b 切割磁力线，产生感应电势，用右手定则判断出其方向与电枢绕组中的电流方向相反。这意味着，在电动机中，电枢电势是一反电势，它阻碍电枢绕组中电流的流动。所以，直流电动机要正常工作，就必须施加直流电源以克服反电势的阻碍作用，此时电动机从直流电源吸取电能，转换成机械能输出。

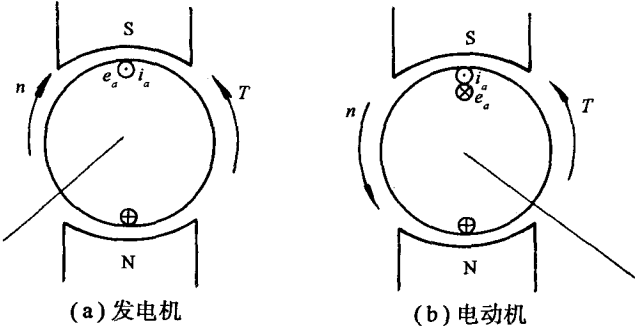


图 1-7 直流电机的感应电势和电磁转矩

综上所述，无论发电机还是电动机，由于电磁的相互作用，感应电势和电磁转矩是同时作用在电机中的。

第二节 直流电机的结构

直流电机是一种旋转机械，从整体上看，主要由两个部分组成，即静止部分（定子）和转动部分（转子）。在定、转子之间有一定的间隙，称为气隙。直流电机的主要构成部件和作用如下：

直流电机的构成 {

- 定子 {
 - 构成：机座、主磁极、换向极、端盖、电刷等装置。
 - 作用：主要用来建立主磁场并起机械支撑作用。
- 转子 {
 - 构成：电枢铁芯、电枢绕组、换向器、转轴、风扇等部件。
 - 作用：是机械能和直流电能相互转换的枢纽。

图 1-8 是一台直流电机的外形图，图 1-9 是直流电机的主要部件图，图 1-10 是直流电机的剖面图。

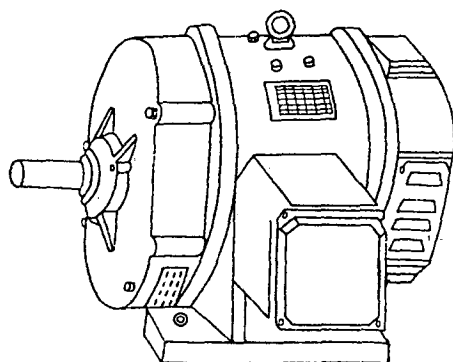


图 1-8 直流电机的外形图

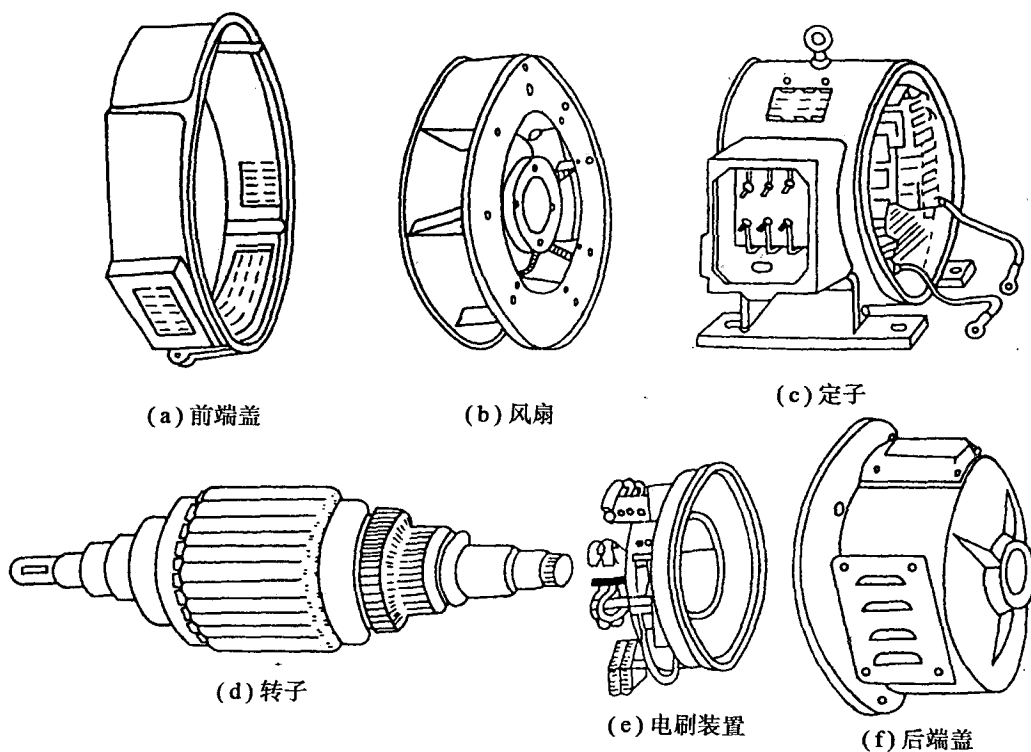


图 1-9 直流电机的主要部件图

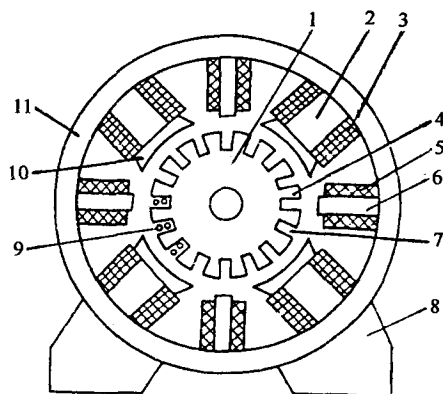


图 1-10 直流电机的剖面图

1—电枢铁芯；2—主磁极；3—励磁绕组；4—电枢齿；5—换向极绕组；6—换向极铁芯；
7—电枢槽；8—底座；9—电枢绕组；10—极掌（极靴）；11—磁轭（机座）

直流电机各主要组成部件的结构、作用及材料简要介绍如下。

一、定子部分

1. 主磁极

主磁极由主磁极铁芯和励磁绕组构成。

主磁极用来建立励磁磁场。当励磁绕组中通入直流电流（即励磁电流）后，主磁极铁芯呈现磁性，并在气隙中建立励磁磁场。

励磁绕组通常是用圆形或矩形的绝缘导线制成的一个集中线圈，套在主磁极铁芯外面。主磁极铁芯一般用 $1 \sim 1.5 \text{ mm}$ 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，极靴与极身交界处形成一个突出的肩部，用以支撑住励磁绕组。极靴沿气隙表面处制成弧形，使极面下气隙磁密分布更合理。整个主磁极用螺杆固定在机座上，如图 1-11 所示。

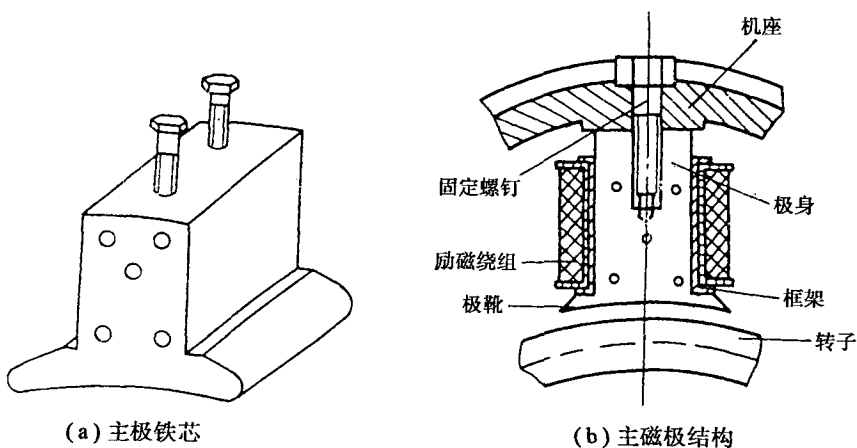


图 1-11 直流电机的主磁极结构