



普通高等教育应用技术型“十三五”规划系列教材

电机与拖动基础

DIANJI YU TUODONG JICHU

主编◎陈 媛 主审◎陈三宝



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

普通高等教育应用技术型“十三五”规划系列教材

电机与拖动基础

主 编 陈 媛

副主编 韩彩霞 蔡晓燕 张晓丹 刘 静

主 审 陈三宝

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 简 介

本书主要包括直流电机、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、同步电动机和电动机的选择等内容。每章安排有例题与习题,书后附有相关习题的参考答案,供读者学习和复习用。

本书可作为应用型普通高等学校自动化、电气自动化、机电一体化等专业的教材或参考书,也可作为相关工程技术人员的参考书。本书除适合全日制高等院校学生使用外,还适合各类成人学校和函授学校学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动基础/陈媛主编. —武汉:华中科技大学出版社,2015.1

ISBN 978-7-5680-0580-7

I. ①电… II. ①陈… III. ①电机 ②电力传动 IV. ①TM3 ②TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 022580 号

电机与拖动基础

陈 媛 主 编

策划编辑:范 莹

责任编辑:谢 婧

封面设计:刘 卉

责任校对:张 琳

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉楚海文化传播有限公司

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:10.5

字 数:264千字

版 次:2015年3月第1版第1次印刷

定 价:24.80元



华中大版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换

全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务

版权所有 侵权必究

前 言

随着我国高等教育规模的不断扩大,高等教育由精英教育逐步向大众教育方向转变。教育对象的特点发生了较大的变化,应用型人才的培养已经成为一批院校的培养目标。为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展的需要,满足社会对高校应用型人才的需求,全面提高应用型人才培养的质量,编写适应应用型人才需要的专业教材,有其积极的作用和使用价值。

“电机与拖动基础”是自动化专业领域内各专业方向的一门重要的专业基础课。为适应应用型人才需要,专业理论课的学时数大幅缩减,课程内容与学时之间的矛盾更显突出,这就要求课程的教材在篇幅上作必要精简、在内容上作必要调整。目前适用于应用型人才的本门课程的教材较少,大部分国家级教材面向普通高等院校,这类教材对于培养应用型人才院校来说,起点较高、难度较大、内容较多,难以适应教学需要。

本书正是出于上述考虑而编写的。根据应用型人才培养目标和教学要求,基本理论够用即可,重点突出基础理论的实际应用。在本书的编写过程中,编者对相关内容做了删减与调整,比如对于电机原理部分,遵循“少而精”的原则,适当删减部分理论性强又较为抽象的内容,增强教学内容的针对性和实用性;对于拖动基础部分,重点突出电动机的机械特性以及启动、调速和制动,结合工程实际,分析其原理及特点。

本书由陈三宝教授主审,武汉科技大学城市学院陈媛老师主编。陈媛老师负责全书的结构设计、统稿、修改和定稿工作。武汉科技大学城市学院的蔡晓燕、华中科技大学文华学院的张晓丹老师、江汉大学文理学院的韩彩霞老师、武昌工学院刘静老师任副主编,参与了本书的编写工作。

本书参考了国内相关院校的教材和专著,在此谨向有关作者致以衷心的感谢!

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免有错误和疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2014 年 10 月

目 录

第 0 章 绪论	(1)
0.1 电机及电力拖动系统概述	(1)
0.2 本课程的性质和任务	(2)
0.3 常用基本电磁量和电磁定律	(2)
第 1 章 直流电机	(6)
1.1 直流电机的工作原理和结构	(6)
1.2 直流电机的电枢绕组基本知识	(12)
1.3 直流电机的励磁方式及磁场	(14)
1.4 直流电机的电枢电动势和电磁转矩	(18)
1.5 直流电动机	(20)
1.6 直流发电机	(23)
思考题与习题	(27)
第 2 章 直流电动机的电力拖动	(28)
2.1 电力拖动系统的运动方程式和负载转矩特性	(28)
2.2 他励直流电动机的机械特性	(31)
2.3 他励直流电动机的启动	(34)
2.4 他励直流电动机的调速	(38)
2.5 他励直流电动机的制动	(44)
思考题与习题	(52)
第 3 章 变压器	(54)
3.1 变压器的工作原理和结构	(54)
3.2 单相变压器的空载运行	(59)
3.3 单相变压器的负载运行	(63)
3.4 变压器参数的测定	(69)
3.5 三相变压器	(73)
3.6 自耦变压器	(77)
思考题与习题	(80)
第 4 章 三相异步电动机	(82)
4.1 三相异步电动机的工作原理与基本结构	(82)
4.2 交流电机的绕组	(90)
4.3 交流电机绕组的感应电动势	(94)
4.4 交流电机绕组的磁动势	(97)

4.5	三相异步电动机的空载运行	(100)
4.6	三相异步电动机的负载运行	(102)
4.7	三相异步电动机的功率和转矩	(107)
4.8	三相异步电动机的工作特性	(111)
	思考题与习题	(112)
第5章	三相异步电动机的电力拖动	(113)
5.1	三相异步电动机的机械特性	(113)
5.2	三相异步电动机的启动	(120)
5.3	三相异步电动机的调速	(127)
5.4	三相异步电动机的制动	(130)
	思考题与习题	(133)
第6章	同步电动机	(135)
6.1	同步电动机的基本结构与工作原理	(135)
6.2	同步电动机的电磁关系	(137)
6.3	同步电动机的功率关系及功角特性与矩角特性	(140)
6.4	同步电动机的功率因数调节	(143)
	思考题与习题	(145)
第7章	电动机的选择	(146)
7.1	电动机的发热和冷却	(146)
7.2	电动机的工作制	(148)
7.3	电动机类型、电压和转速的选择	(150)
7.4	电动机额定功率的选择	(152)
	思考题与习题	(157)
部分习题参考答案	.....	(158)
参考文献	.....	(160)
(92)	.....	
(93)	.....	
(94)	.....	
(95)	.....	
(96)	.....	
(97)	.....	
(98)	.....	
(99)	.....	
(100)	.....	
(101)	.....	
(102)	.....	
(103)	.....	
(104)	.....	
(105)	.....	
(106)	.....	
(107)	.....	
(108)	.....	
(109)	.....	
(110)	.....	
(111)	.....	
(112)	.....	
(113)	.....	
(114)	.....	
(115)	.....	
(116)	.....	
(117)	.....	
(118)	.....	
(119)	.....	
(120)	.....	
(121)	.....	
(122)	.....	
(123)	.....	
(124)	.....	
(125)	.....	
(126)	.....	
(127)	.....	
(128)	.....	
(129)	.....	
(130)	.....	
(131)	.....	
(132)	.....	
(133)	.....	
(134)	.....	
(135)	.....	
(136)	.....	
(137)	.....	
(138)	.....	
(139)	.....	
(140)	.....	
(141)	.....	
(142)	.....	
(143)	.....	
(144)	.....	
(145)	.....	
(146)	.....	
(147)	.....	
(148)	.....	
(149)	.....	
(150)	.....	
(151)	.....	
(152)	.....	
(153)	.....	
(154)	.....	
(155)	.....	
(156)	.....	
(157)	.....	
(158)	.....	
(159)	.....	
(160)	.....	

第 0 章 绪 论

本章主要介绍电机的定义及分类、电力拖动系统的组成、本课程的性质与任务,以及回顾学习本课程所必需的基本电磁量和电磁定律知识,为后续学习打好基础。

0.1 电机及电力拖动系统概述

人类的生存和社会的发展都离不开能源。能源有多种形式,如热能、光能、化学能、机械能、电能和原子能等。其中,电能是最重要的能源之一,它易于转换、传输、分配和控制,在工农业生产、交通运输、科学技术研究、信息传输、国防建设以及日常生活等各个领域获得了极为广泛的应用。

电机是以电磁感应和电磁力定律为基本工作原理进行电能传递或机电能量转换的机械装置,它用途广泛,种类繁多。常用的分类方法主要有三种:①从能量转换的角度,电机可分为发电机、电动机、变压器和控制电机等四大类。发电机的功能是将机械能转换为电能;电动机的功能是将电能转换为机械能,是国民经济各部门应用最多的动力机械;变压器的作用是将一种电压等级的电能转换为另一种电压等级的电能;控制电机是一种在自动控制、自动调节、随动系统、远距离测量及计算装置中作为执行元件、检测元件的小型电机,主要用于信号的变换与传递。②从旋转与否的角度,电机可分为旋转电机和静止电机等两类。发电机和电动机均为旋转电机,变压器为静止电机。③从电能的性质,电机可分为直流电机和交流电机等两类。

电力拖动系统是指以各种电动机为原动机,拖动各种生产机械(如起重机的大车和小车、龙门刨床的工作台等)完成一定生产任务的系统。简单的电力拖动系统由电源、电动机、传动机构、生产机械和自动控制装置等部分组成,如图 0-1 所示。电源提供电动机和自动控制装置所需的电能;电动机完成电能向机械能的转换;传动机构把电动机的运动经过中间变速或变换运动方式后,再传给生产机械以拖动其工作(有些情况下,电动机直接拖动生产机械,而不需要传动机构);自动控制装置则控制电动机拖动生产机械按照设定的工作方式运行,完成规定的生产任务。

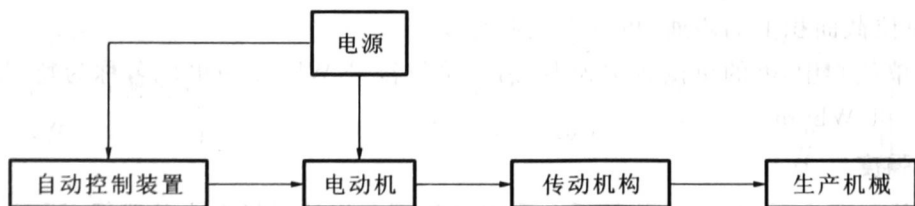


图 0-1 电力拖动系统的组成

0.2 本课程的性质和任务

本课程是工业自动化、电气工程及其自动化等专业的一门重要的专业基础课或技术基础课,在整个专业教学计划中起着承前启后的作用,是后续“自动控制原理”“电力电子技术”“电力拖动自动控制系统”等课程的重要基础。它主要研究电机拖动系统的基本理论,分析研究直流电动机、变压器、异步电动机和同步电动机的简单结构、原理、基本电磁关系和运行特性;并联系生产实际,从生产机械工作的要求出发,重点介绍交直流拖动系统的动静态运行特性。因此,该课程既具有较强的基础性,又兼具专业性。

本课程的任务是使学生掌握电机的基本理论、基本知识,以及电力拖动系统的运行性能、分析计算、电动机选择及实验方法,为学习后续专业课准备必要的基础知识,从而提高学生分析问题和解决问题的能力,也为今后从事自动化及电气工程等技术等相关工作奠定初步基础。

0.3 常用基本电磁量和电磁定律

由于电机是利用电磁感应和电磁力原理来进行能量传递和转换的,因此有必要复习几个常用基本电磁量和电磁定律的相关概念。

0.3.1 常用基本电磁量

1. 磁感应强度

描述磁场强弱及方向的物理量是磁感应强度 B 。磁场通常采用磁力线来形象地描绘,磁感应强度 B 的大小可用磁力线的疏密程度来体现,磁感应强度 B 的方向即为磁力线在磁场中某点的切线方向。磁场是由电流产生的,磁感应强度 B 与产生它的电流之间的关系用毕奥-萨伐尔定律描述,磁力线方向与产生该磁场的电流方向满足右手螺旋关系。

2. 磁通量

磁通量简称磁通,用 Φ 表示,它是指穿过某一截面 A 的磁感应强度 B 的通量,通常用穿过某截面 A 的磁力线的数目来表示磁通的大小。其磁通与磁感应强度之间的关系可用下式表示

$$\Phi = \int_A B \cdot dA \quad (0-1)$$

若磁场均匀,且截面与磁力线方向垂直,则上式可简化为

$$\Phi = B \cdot A \quad (0-2)$$

式中: B 为单位面积上的磁通,也称为磁通密度。

在国际单位制中, Φ 的单位名称为韦[伯],单位符号 Wb; B 的单位名称为特[斯拉],单位符号 T, $1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$ 。

3. 磁场强度

在充满均匀磁介质的情况下,包括介质因磁化而产生的磁场在内的磁场,用磁感应强度 B 表示;单独由电流或者运动电荷所引起的磁场(不包括介质磁化而产生的磁场时),则用磁场强

度 H 表示,它与 B 的关系为

$$B = \mu H \quad (0-3)$$

式中: μ 为导磁物质的磁导率。

磁导率 μ 越大的介质,其导磁性能越好。真空的磁导率为 μ_0 ,国际单位制中, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$,铁磁材料的磁导率 $\mu_{Fe} \gg \mu_0$,例如,各种硅钢片的磁导率为 μ_0 的 6000~7000 倍。在国际单位制中,磁场强度 H 的单位为 A/m (安[培]每米)。

0.3.2 磁路的概念

如同电流的路径称为电路一样,磁通所通过的路径称为磁路。不同的是磁通的路径可以是铁磁物质,也可以是非磁体。图 0-2 所示的为两种常见的磁路。

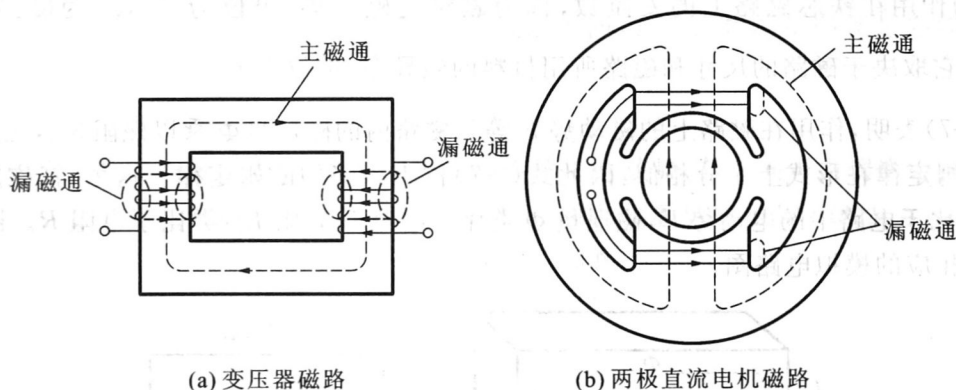


图 0-2 两种常见的磁路

在电机和变压器里,常把线圈套装在铁芯上,当有电流通过线圈时,在线圈周围的空间里(包括铁芯内、外)就会形成磁场。由于铁芯的导磁性能比空气要强得多,所以绝大部分磁通将在铁芯内通过,这部分磁通称为主磁通,用来进行能量转换或传递。围绕载流线圈,在部分铁芯和铁芯周围的空间,还存在少量分散的磁通,这部分磁通称为漏磁通,漏磁通不参加能量转换或传递。主磁通和漏磁通所通过的路径分别构成主磁路和漏磁路。

0.3.3 常用基本电磁定律

1. 全电流定律

在磁场中,沿任意一个闭合有向回路的磁场强度的线积分等于该回路所包围的所有电流的代数和,即

$$\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \sum i \quad (0-4)$$

式(0-4)也称为安培环路定律。一般情况下,如果电流的参考方向与回路方向满足右手螺旋关系,则电流前取正号,否则取负号。例如,在图 0-3 所示电路中, i_2 取正号, i_1 和 i_3 取负号,则有 $\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = -i_1 + i_2 - i_3$ 。

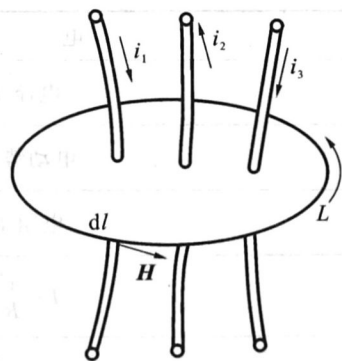


图 0-3 全电流定律的应用

若沿着回线 L ,磁场强度的大小 H 处处相等(均匀磁场),

且闭合回线所包围的总电流是由通有电流 i 的 N 匝线圈所提供的, 则式(0-4)可简写成

$$Hl = Ni \quad (0-5)$$

2. 磁路的欧姆定律

图 0-4(a)所示的是一个等截面无分支的铁芯磁路, 铁芯上有励磁线圈 N 匝, 线圈中通有电流 i ; 铁芯截面积为 A , 磁路的平均长度为 l , μ 为材料的磁导率。若不计漏磁通, 并认为各截面上磁通密度均匀, 且垂直于各截面, 则式(0-5)可改写为

$$Ni = Hl = \frac{lB}{\mu} = \frac{l\Phi}{\mu A} = R_m \Phi \quad (0-6)$$

或

$$F = Ni = R_m \Phi \quad (0-7)$$

式中: F 为作用在铁芯磁路上的安匝数, 称为磁路的磁动势, 单位为 A; R_m 为磁路的磁阻, $R_m = \frac{l}{\mu A}$, 它取决于磁路的尺寸和磁路所用材料的磁导率, 单位为 H^{-1} 。

式(0-7)表明, 作用在磁路上的磁动势 F 等于磁路内的磁通量 Φ 乘以磁阻 R_m , 此关系与电路中的欧姆定律在形式上十分相似, 因此式(0-7)称为磁路的欧姆定律。这里, 把磁路中的磁动势 F 类比于电路中的电动势 E , 磁通量 Φ 类比于电流 I , 磁阻 R_m 类比于电阻 R 。图 0-4(b)所示的为相应的模拟电路图。

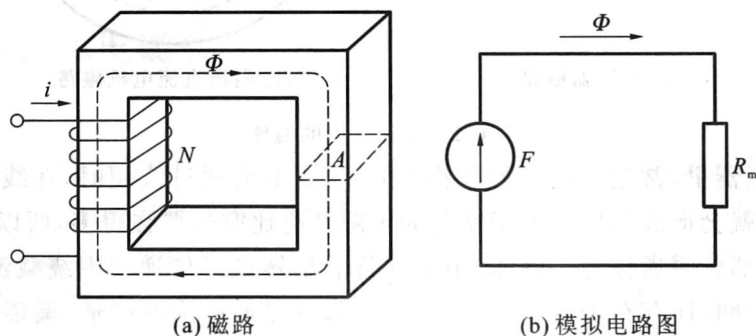


图 0-4 无分支铁芯磁路

为了便于理解和记忆, 列出电路与磁路的基本物理量的对应关系, 如表 0-1 所示。

表 0-1 电路与磁路基本物理量对照表

电 路	磁 路
电流 I	磁通 Φ
电动势 E	磁动势 F
电阻 R	磁阻 R_m
$I = \frac{E}{R}$	$\Phi = \frac{F}{R_m}$
$R = \rho \frac{l}{s}$	$R_m = \frac{l}{\mu A}$

3. 电磁感应定律

变化的磁场会产生电场,使导体中产生感应电动势,这就是电磁感应现象。在电机中电磁感应现象有两种形式:①导体与磁场有相对运动,导体切割磁力线时,导体内产生感应电势,称为切割电动势;②交链线圈的磁通发生变化时,线圈内产生感应电动势,称为变压器电动势。

1) 切割电动势

若长度为 l 的导体与磁场有相对运动,其切割磁力线的速度为 v ,导体所在处的磁感应强度为 B ,且导体、磁感应强度 B 和相对切割速度 v 三者之间互相垂直,则导体中感应电动势 e 为

$$e = Blv \quad (0-8)$$

习惯上用右手定则来判定电动势 e 的方向,即伸开右手手掌,大拇指与其他四指垂直成 90° ,磁力线指向手心,大拇指指向导体切割磁力线的方向,其他四指的指向就是导体中感应电动势的方向。

2) 变压器电动势

与线圈交链的磁通发生变化时,线圈内将产生感应电动势,其方向可由楞次定律判定。若感应电动势的正方向与磁通的正方向符合右手螺旋定则,则感应电动势 e 的表达式为

$$e = -\frac{d\Psi}{dt} = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (0-9)$$

式中: Ψ 为磁通链; Φ 为磁通; N 为线圈匝数。

4. 电磁力定律

通电导体受到的磁场对它的作用力称为电磁力,也称安培力。若长度为 l 的导体中流过的电流为 i ,其所在的磁场为均匀磁场,磁感应强度为 B ,且导体与磁感应强度 B 的方向垂直,则导体受到的电磁力 f 为

$$f = Bli \quad (0-10)$$

式中: f 为电磁力,其方向由左手定则来判定,即把左手伸开,大拇指与其他四指垂直成 90° ,磁力线指向手心,其他四指指向导体中电流的方向,大拇指所指方向就是导体所受电磁力的方向。

第1章 直流电机

直流电机是一种能进行机电能量转换的电磁装置,将直流电能转换为机械能的称为直流电动机,将机械能转换为直流电能的称为直流发电机。

直流电动机的主要优点是,启动性能和调速性能好、过载能力强、易于控制,因此常应用于对启动和调速性能要求较高的生产机械,如电力机车、轧钢机、矿井卷扬机、纺织机械等都广泛采用直流电动机作为原动机。直流发电机主要用做直流电源,为直流电动机、电解、电镀等提供所需的直流电能。

本章主要分析直流电机的原理、结构和特性。

1.1 直流电机的工作原理和结构

1.1.1 直流电机的工作原理

1. 直流电机的模型结构

图 1-1 所示的为直流电机的物理模型。图中 N 和 S 是一对固定的磁极(一般是电磁铁,也可以是永久磁铁)。磁极之间有一个可以转动的铁质圆柱体,称为电枢铁芯。铁芯表面固定一个用绝缘导体构成的电枢线圈 abcd,线圈的两端分别接到相互绝缘的两个半圆形的弧形铜片上,弧形铜片称为换向片,由两个弧形铜片构成的组合体称为换向器。在换向器上放置固定不动而与换向片滑动接触的电刷 A 和 B,线圈 abcd 通过换向器和电刷接通外电路。电枢铁芯、电枢线圈和换向器构成的整体称为电枢。磁极和电枢间有间隙存在,称为空气气隙,简称气隙。

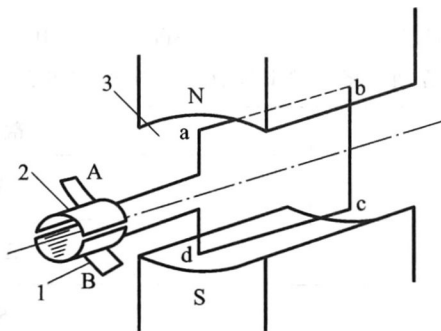


图 1-1 直流电机的物理模型

1—电刷;2—换向器;3—气隙

2. 直流电动机的工作原理

直流电机的物理模型作为直流电动机运行时,可将电源正极接电刷 A,电源负极接电刷

B, 则线圈 $abcd$ 中流过电流 I_a 。在导体 ab 中, 电流由 a 流向 b , 在导体 cd 中, 电流由 c 流向 d , 如图 1-2(a) 所示。载流导体 ab 和 cd 均处于 N 极和 S 极之间的磁场当中, 受到电磁力的作用。电磁力的方向由左手定则确定, 载流导体 ab 受到的电磁力 f 的方向向左, 载流导体 cd 受到的电磁力 f 的方向向右, 这一对电磁力形成一个转矩, 称为电磁转矩, 其方向为逆时针方向, 使整个电枢逆时针方向旋转。当电枢旋转 180° 时, 导体 ab 和 cd 交换位置, 如图 1-2(b) 所示。由于电流仍从电刷 A 流入, 使 cd 中的电流变为由 d 流向 c , 而 ab 中的电流由 b 流向 a , 再从电刷 B 流出。用左手定则判别可知, 电磁转矩的方向仍是逆时针方向, 使电枢继续沿逆时针方向旋转。

由此可见, 加于直流电动机的直流电流, 由于换向器和电刷的作用, 变为导体中的交变电流, 但 N 极下的导体受力方向和 S 极下导体的受力方向并未发生变化, 因此电枢产生的电磁转矩方向始终是不变的, 从而确保直流电动机朝确定的方向连续旋转。这就是直流电动机的工作原理。

同时应该注意到, 一旦电枢旋转起来, 电枢导体就会切割磁力线, 产生感应电动势。在图 1-2(a) 所示时刻, 根据右手定则可判断出导体 ab 中的感应电动势方向由 b 指向 a , 而此时导体 ab 中电流由 a 流向 b , 因此, 直流电动机导体中的电流与感应电动势方向相反。

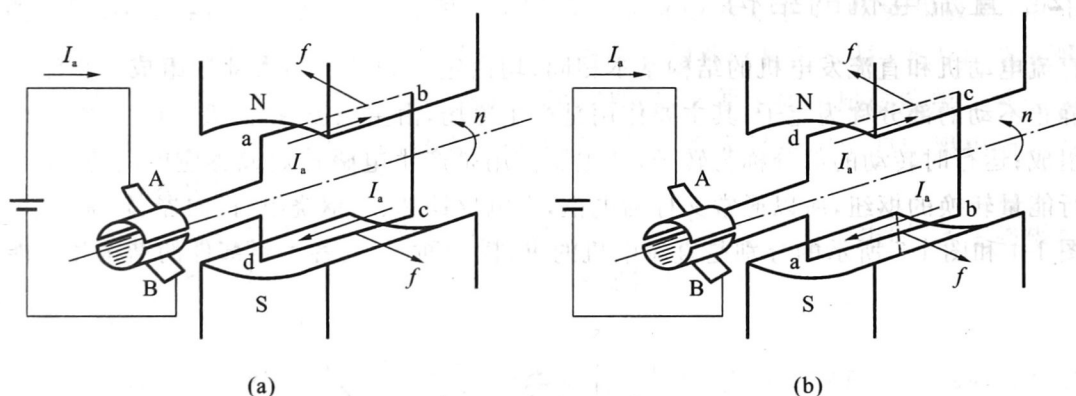


图 1-2 直流电动机的工作原理

实际使用的直流电动机的电枢上均匀地嵌放了许多线圈, 相应的换向器由许多换向片组成, 使电枢线圈产生总的电磁转矩足够大并且比较均匀, 电动机的转速也比较均匀。

3. 直流发电机的工作原理

直流发电机的模型与直流电动机的相同, 不同的是电刷上不加直流电压, 而是利用原动机拖动电枢朝某一方向如逆时针方向旋转, 如图 1-3 所示。这时导体 ab 和 cd 分别切割 N 极和 S 极下的磁力线, 产生感应电动势, 电动势的方向用右手定则确定。在图 1-3 所示情况下, 导体 ab 中感应电动势的方向由 b 指向 a , 导体 cd 中感应电动势的方向由 d 指向 c , 所以电刷 A 的电极性为正极性, 电刷 B 的电极性为负极性。当电枢旋转

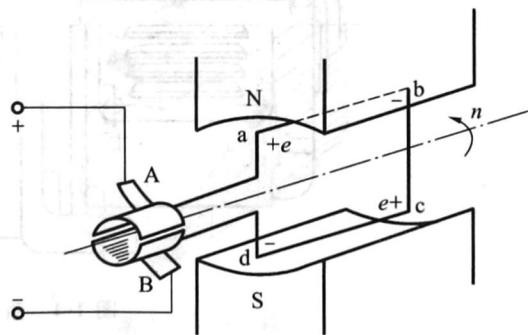


图 1-3 直流发电机的工作原理

180°时,导体 cd 转至 N 极下,感应电动势的方向由 c 指向 d,电刷 A 与 d 所连的换向片接触,仍为正极性;导体 ab 转至 S 极上,感应电动势的方向变为由 a 指向 b,电刷 B 与 a 所连的换向片接触,仍为负极性。由此可见,直流发电机电枢线圈中的感应电动势的方向是交变的,而通过换向器和电刷的作用,电刷 A 和 B 两端输出的电动势是方向不变的直流电动势。若在电刷 A 和 B 之间接上负载,发电机就能向负载供给直流电能。这就是直流发电机的基本工作原理。

同时也应该注意到,电刷两端接上负载后,电枢导体成为载流导体,导体中的电流方向与感应电动势的方向相同,利用左手定则还可判断出载流导体在磁场中所受的电磁力对应的电磁转矩方向与其运动方向相反,起制动作用。

从以上分析可知,一台直流电机原则上既可以作为电动机运行,也可以作为发电机运行,这取决于不同的外界条件。将直流电源外加于电刷,输入电能,直流电机能将电能转换为机械能,从而拖动生产机械运转,其作为电动机运行;如用原动机拖动直流电机的电枢旋转,输入机械能,直流电机能将机械能转换为直流电能,从电刷上引出直流电动势,其作为发电机运行。同一台电机既能作为电动机运行又能作为发电机运行的原理,称为可逆原理。

1.1.2 直流电机的结构

直流电动机和直流发电机的结构基本相同,均由定子和转子两大部分组成。直流电机运行时静止不动的部分称为定子,其主要作用是产生磁场,由主磁极、换向极、机座、端盖、电刷装置等组成;运行时转动的部分称为转子,其主要作用是产生电磁转矩或感应电动势,是直流电机进行能量转换的枢纽,所以通常又称为电枢,由电枢铁芯、电枢绕组、换向器、转轴、风扇等组成。图 1-4 和图 1-5 所示的分别是直流电机的纵、横剖面图,其各主要部件的结构和功能介绍如下。

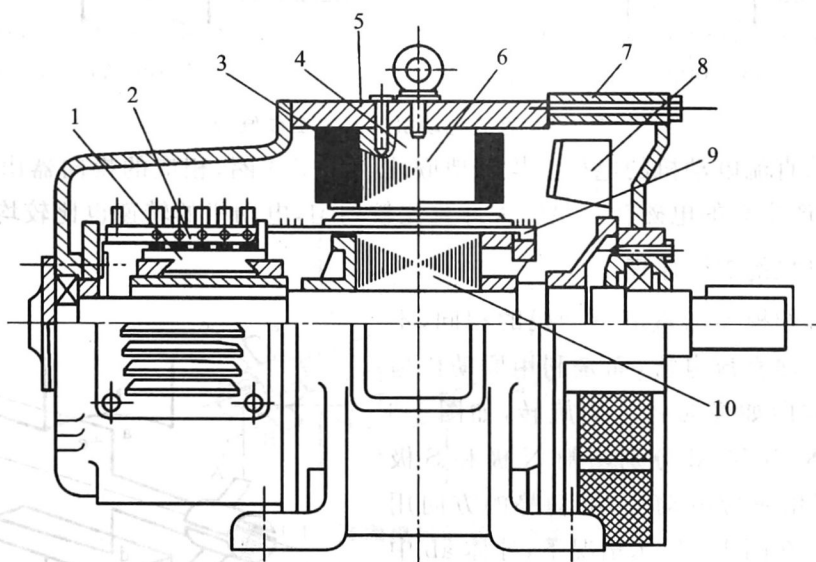


图 1-4 直流电机的纵剖面图

- 1—换向器;2—电刷杆;3—机座;4—主磁极;5—励磁绕组;
6—换向极;7—端盖;8—风扇;9—电枢绕组;10—电枢铁芯

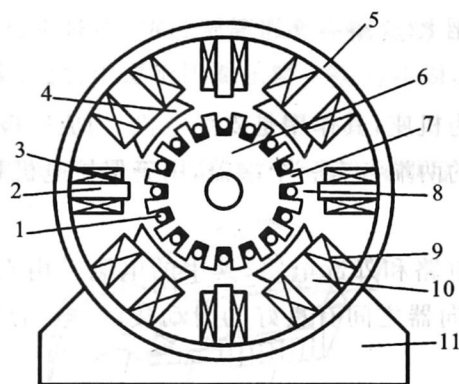


图 1-5 直流电机的横剖面图

1—电枢绕组；2—换向极；3—换向绕组；4—极靴；5—铁轭；6—电枢铁芯；

7—电枢齿；8—电枢槽；9—励磁绕组；10—主磁极；11—底脚

1. 定子部分

1) 主磁极

主磁极的作用是在定子和转子之间的气隙中产生一定形状分布的气隙磁场。主磁极由主磁极铁芯和励磁绕组两部分组成，如图 1-6 所示。主磁极铁芯包括极身和极靴，由 1.0~1.5 mm 厚的硅钢板冲片叠压铆紧而成，上方套励磁绕组的部分称为极身，下方扩宽的部分称为极靴，极靴比极身宽，既可使气隙中磁场分布比较理想，又便于固定励磁绕组。励磁绕组用绝缘铜线绕制而成，套在极身上。励磁绕组和铁芯之间用绝缘材料制成的框架相隔。整个主磁极用螺钉固定在机座上。

绝大多数直流电机的主磁极由直流电流来励磁，当励磁绕组通直流电时，各主磁极均产生一定极性的磁通密度，相邻两主磁极的极性是 N、S 交替变换的。

2) 换向极

两相邻主磁极之间的小磁极称为换向极，也称为附加极，其作用是减少电机运行时电刷与换向器之间可能产生的火花。换向极由换向极铁芯和换向极绕组组成，如图 1-7 所示。换向极铁芯一般由整块钢材制成，在其上放置换向极绕组。换向极的数目与主磁极的数目相等。

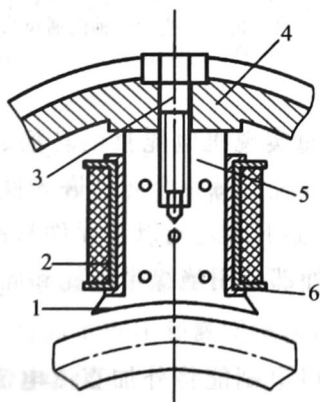


图 1-6 主磁极

1—极靴；2—励磁绕组；3—固定螺钉；

4—机座；5—机身；6—框架

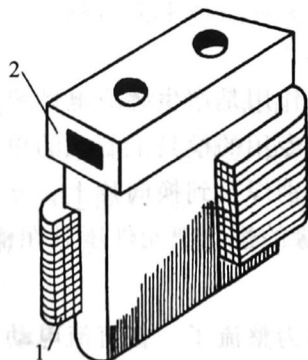


图 1-7 换向极

1—换向极绕组；2—换向极铁芯

整个换向极用螺钉固定于机座上。

3) 机座和端盖

电机定子部分的外壳称为机座,其作用是支撑电机、构成磁极之间的通路。机座一般由铸钢或厚钢板焊接而成。机座的两端各有一个端盖,用于保护电机和防止触电。

4) 电刷装置

电刷装置用来连接电枢电路和外部电路,其中的电刷是由石墨制成的导电块,放在刷握内,用弹簧压紧,使电刷与换向器之间有良好的滑动接触,电刷后面镶有铜丝辫,以便引出电流,如图 1-8 所示。

2. 转子部分

1) 电枢铁芯

电枢铁芯是主磁通磁路的主要部分,用于嵌放电枢绕组。为了降低铁芯损耗,电枢铁芯常用 0.35 mm 或 0.5 mm 厚、冲有齿和槽的硅钢片叠压而成,冲片的形状如图 1-9 所示。冲片叠成的铁芯固定在转轴上,铁芯的外圆开有电枢槽,槽内嵌放电枢绕组。为了加强散热能力,在铁芯的轴向留有通风口。

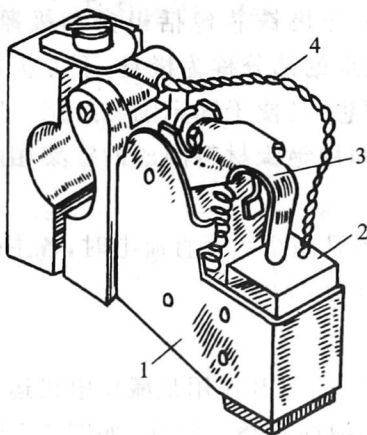


图 1-8 电刷装置图

1—刷握;2—电刷;3—压紧弹簧;4—铜丝辫

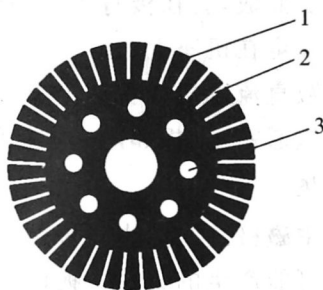


图 1-9 电枢铁芯冲片

1—齿;2—槽;3—轴向通风口

2) 电枢绕组

电枢绕组的作用是产生感应电动势或电磁转矩,从而实现机电能量的转换。电枢绕组是由用绝缘铜线在专用的模具上制成的单独元件组成的,按规定每一个元件嵌入铁芯槽中,其端头按一定规律分别焊接到换向片上。元件在槽内部分的上下层之间以及元件与铁芯之间都必须绝缘,并用绝缘的槽楔把元件压紧在槽中。元件的槽外部分用绝缘带绑扎和固定。

3) 换向器

换向器又称为整流子。在直流电动机中,换向器配以电刷能将外加直流电流转换为电枢线圈中的交变电流,使电磁转矩的方向恒定不变。在直流发电机中,换向器配以电刷能将电枢线圈中感应产生的交变电动势转换为正、负电刷上引出的直流电动势。换向器的结构如图 1-10 所示。换向器是由许多换向片组成的圆柱体。换向片的底部做成燕尾形状,换向片的燕尾

部分嵌在含有云母绝缘的 V 形钢环内,拼成圆筒形套在钢套筒上,相邻的两换向片间以 0.6~1.2 mm 厚的云母片作为绝缘,最后用螺旋压圈压紧。换向器固定在转轴的一端。

4) 转轴

转轴对旋转的转子起支撑作用,需有一定的力学强度和刚度,一般用圆钢加工而成。

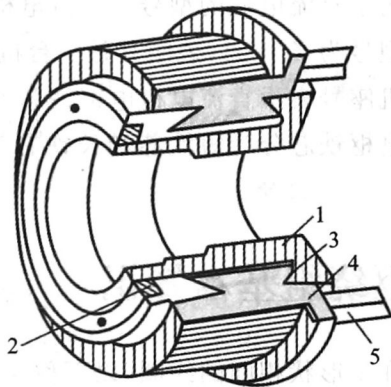


图 1-10 换向器

1—钢套筒;2—V 形钢环;3—云母片;4—换向片;5—连接片

1.1.3 直流电机的额定值

为了正确地使用电机,以便电机在既安全又经济的情况下运行,电机外壳上都装有一个铭牌,上面标有电机的型号和有关物理量的额定值。额定值是由电机制造厂按国家标准的要求,对电机的一些电量或机械量所规定的数值。

直流电机的额定值主要有以下几项。

(1) 额定功率 P_N ,是指电机在额定运行状态时所能提供的输出功率。对电动机而言,是指转轴上输出的机械功率;对发电机而言,是指电刷间输出的电功率。额定功率的单位为 kW (千瓦)。

(2) 额定电压 U_N ,是指在额定运行状态下电机出线端的平均电压。对于电动机是指输入额定电压,对于发电机是指输出额定电压。额定电压单位为 V(伏)。

(3) 额定电流 I_N ,是指电机在额定电压情况下,运行于额定功率时流过电机的线电流,单位为 A(安)。

(4) 额定转速 n_N ,是指电机在额定运行状态时的旋转速度,单位为 r/min(转/分)。

(5) 额定励磁电流 I_{fN} ,是指电机在额定运行状态时励磁绕组中流过的电流。

(6) 励磁方式,是指直流电机的励磁绕组和电枢绕组的连接方式。

此外,电机铭牌上还标有其他数据,如励磁电压、出厂日期、出厂编号等。

额定功率与额定电压和额定电流的关系如下:

$$\text{对于直流电动机,} \quad P_N = U_N I_N \eta_N \times 10^{-3} \text{ kW} \quad (1-1)$$

$$\text{对于直流发电机,} \quad P_N = U_N I_N \times 10^{-3} \text{ kW} \quad (1-2)$$

式中: η_N 是直流电动机的额定效率,不一定标在铭牌上,可在产品说明书中查到。

直流电机运行时,如果各个物理量均为额定值,就称电机工作在额定运行状态,亦称为满