

自动化 专业本科系列教材

Dianji Ji Tuodong Jichu

电机及拖动基础

詹跃东 主编

李山 巨永峰 副主编

重庆大学出版社

电机及拖动基础

詹跃东 主 编
李 山 巨永锋 副主编

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书主要叙述了直流电机、变压器、三相异步电动机、同步电动机的工作原理、结构特点及其电磁关系,主要分析他励直流电动机和三相异步电动机的机械特性以及它们起动、制动和调速的原理和相关计算;分析了控制电机、部分新型电机的工作原理、运行特性和结构特点;简要介绍了电动机的容量选择等相关的基本知识和方法;本书为便于自学和复习,每章均有摘要和小结,章末附有思考题与习题。

本书适宜于自动化专业,电气工程及其自动化专业,机械工程及其自动化专业,化工装备及控制工程专业做本科生教材和教师参考书,也可供有关研究生和工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电机及拖动基础/詹跃东主编. —重庆:重庆大学出版社,2002.12

自动化专业本科系列教材

ISBN 7-5624-2724-0

I. 电... II. 詹... III. ①电机—高等学校—教材②电力传动—高等学校—教材
IV. ①TM3②TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 065284 号

电机及拖动基础

詹跃东 主编

李 山 巨永锋 副主编

责任编辑:谭 敏 版式设计:谭 敏

责任校对:任卓惠 责任印制:张永洋

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400044

电话:(023)65102378 65105781

传真:(023)65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(市场营销部)

全国新华书店经销

自贡新华印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:16.5 字数:411千

2002年9月第1版 2002年12月第1次印刷

印数:1—5000

ISBN 7-5624-2724-0/TM·84 定价:19.50元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

前言

本书编者结合了自动化专业本科生的培养目标和要求,基于基本理论联系生产和应用的原则,集中了多年来的教学经验,力求内容精炼、深入浅出、层次清楚、通俗易懂。

本书是自动化专业本科的一门专业基础课教学用书,也可作为相关专业的教学用书,担负着多门后续课程的坚实基础的任

务。
全书按 72 学时编写,各院校可根据实际教学计划和要求酌情删增。

本书共分 9 章,内容包括:直流电机的原理、运行特性与拖动;变压器的原理与运行特性;三相异步电动机的原理、运行特性与拖动;同步电动机、控制电机及新型电动机的原理与运行特性;电动机的选择等。本书每章均有摘要和小结,并附有复习思考题与习题。

本书由詹跃东主编,李山和巨永锋担任副主编。巨永锋编写了第 1 章,晏康编写了第 2 章,林景栋编写了第 3 章,李山编写了第 4 章,詹跃东编写了绪论和第 5 章,陈伦铭编写了第 6 章,诸葛致编写了第 7 章,张勇编写了第 8 章,邵宗凯编写了第 9 章。

本书在编写过程中参阅了相关书籍和文献,昆明理工大学的张怀宁教授、杨承志教授对本书给予了关注和支持,程强硕士、陈虎硕士、王琨硕士对各章节稿件进行了文字录入、修改和整理工作。在此,谨表示衷心地感谢!

由于编者水平有限,书中的不足和错误在所难免,恳请使用本书的师生和读者批评指正。

编者

2002 年 6 月

目 录

绪 论	1
0.1 本课程的内容和性质	2
0.2 本课程的任务和学习方法	2
0.3 本课程常用的物理概念和定理	3
第1章 直流电机原理	7
1.1 直流电机的基本工作原理	7
1.2 直流电机的主要结构及用途	9
1.3 直流电机的电枢绕组	13
1.4 直流电机的磁场	20
1.5 直流电机的换向	25
小 结	27
思考题	28
习 题	29
第2章 直流电机的运行和拖动	30
2.1 直流电机的运行原理和特性	30
2.2 他励直流电动机的机械特性	41
2.3 他励直流电动机的起动	47
2.4 他励直流电动机的调速	53
2.5 他励直流电动机的电动与制动运行	60
小 结	67
思考题	69
习 题	70
第3章 变压器	74
3.1 变压器的基本工作原理和结构	74
3.2 单相变压器的空载运行	77
3.3 单相变压器的负载运行	81
3.4 变压器参数的确定	86
3.5 变压器的运行特性	87
3.6 三相变压器	89
3.7 自耦变压器	93

小 结	94
思考题	97
习 题	98
第4章 三相异步电动机原理	99
4.1 异步电动机的基本工作原理	99
4.2 异步电动机的结构及用途	101
4.3 异步电动机的定子绕组	104
4.4 三相异步电动机的电磁关系	106
4.5 三相异步电动机的功率与转矩	122
4.6 三相异步电动机的工作特性	124
4.7 三相异步电动机参数的测定	126
小 结	128
思考题	129
习 题	129
第5章 三相异步电动机的运行与拖动	131
5.1 三相异步电动机的运行特性	131
5.2 三相异步电动机的起动	140
5.3 三相异步电动机的制动	151
5.4 三相异步电动机的调速	160
小 结	172
思考题	175
习 题	177
第6章 同步电动机	179
6.1 同步电动机的基本工作原理	179
6.2 同步电动机的主要结构及用途	180
6.3 同步电动机的电磁关系	182
6.4 同步电动机的功率及转矩	185
6.5 同步电动机功率因数的调节	190
6.6 同步电动机的起动	192
小 结	193
思考题	193
习 题	194
第7章 控制电机	195
7.1 伺服电动机	195
7.2 步进电动机	202
7.3 测速发电机	209
7.4 自整角机	213
7.5 旋转变压器	220
小 结	226

思考题	226
第8章 新型电动机	227
8.1 无刷直流电动机.....	227
8.2 力矩电动机.....	230
8.3 直线电动机.....	232
8.4 单相异步电动机.....	233
8.5 单相串励电动机.....	239
小 结	241
思考题	242
第9章 电动机的选择	243
9.1 电动机的发热与冷却.....	243
9.2 电动机的绝缘材料与允许温升.....	245
9.3 电动机的工作方式.....	246
9.4 电动机的负载功率计算.....	247
9.5 电动机的容量选择.....	248
小 结	252
思考题	252
参考文献	254

绪 论

“电机及拖动基础”课程是电子信息类学科自动化专业和非电机学专业的技术基础理论课,它是“电机学”和“电力拖动基础”两门课程的有机结合。

电机主要包括发电机、变压器和电动机等类型。电动机将电能转换为机械能,用来驱动各种用途的生产机械,并广泛应用于机械制造、冶金、煤炭、石油、轻纺、化学等工业中。发电机可把机械能转换为电能,主要用于生产电能的发电厂。变压器是输送交流电时所使用的一种变电压和变电流的设备。发电机发出的电压一般为 $10.5\sim 20\text{kV}$,为了减少远距离输电的能量损失,需用变压器将发电机输出电压升高至 100kV 、 220kV 、 330kV 、 500kV 或更高,通过高压输电线将电能输送到各个用电区。由于各种用电设备如电动机、电炉、电灯等需要不同的低电压,例如 6kV 、 1kV 、 380V 、 220V ,因此再由变压器把高压降为所需要的低电压。图 0.1 为简单的电力系统示意图。

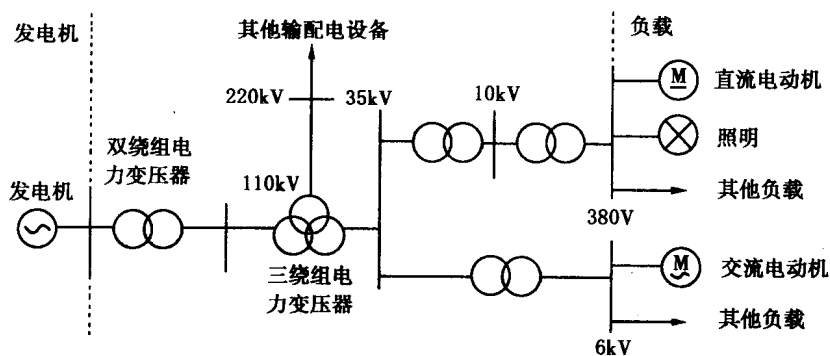


图 0.1 简单电力系统示意图

电力拖动又称为电气拖动,就是用电动机做原动机,去拖动各种生产机械的工作机构运动,以实现各种生产工艺的要求,例如用电动机拖动各种机床、轧钢机、电铲、卷扬机、纺织机、造纸机、搅拌机、压缩机、鼓风机等。

按照电动机的种类不同,电力拖动分为直流拖动和交流拖动两类。实现电力拖动的装置称为电力拖动系统。

电力拖动系统中拖动生产机械运行的驱动电机,包括直流电动机和交流电动机两大类,交流电动机又有异步电动机和同步电动机两种。电动机的主要种类如表 0.1 所列,表 0.1 中同时列出控制电机。控制电机是在普通旋转电机的基础上发展起来的一种特殊用途的微型电机和控制电机,其在自动控制系统中主要作为执行元件和检测信号元件。

表 0.1 电动机主要种类

直 流 电 动 机	他励直流电动机 并励直流电动机 串励直流电动机 复励直流电动机			
交 流 电 动 机	异 步 电 动 机	三 相 异 步 电 动 机	鼠 笼 式	普通鼠笼式 高起动转矩式 多速电动机
			绕线式	
	单 相 异 步 电 动 机			
	同 步 电 动 机	单 相 同 步 电 动 机		
三 相 同 步 电 动 机				
控 制 电 机	伺服电动机 力矩电动机 直线电动机 步进电动机 测速发电机 自整角机 旋转变压器等			

0.1 本课程的内容和性质

本课程的内容包括:直流电机原理及拖动,变压器,三相异步电动机原理及拖动,同步电动机、控制电机及新型电机的原理及特性,电动机的选择等。

本课程以电力拖动系统中采用最广泛的电机及拖动基础为重点,对电机原理与特性,以及在生产实践中的基础应用进行了阐述,具有很强的基础性,又有一定的实践性,注重理论与实践的密切结合。

0.2 本课程的任务和学习方法

本课程的任务是使学生掌握常用电机的基本结构、工作原理、内部电磁过程、运行特性、起动方法、制动方法、调速方法以及分析计算和实验操作的基本方法和基本技能。为后续“电力

拖动自动控制系统”等专业课程打下基础,同时为从事电气自动化工程技术工作和科学研究奠定初步基础。

本课程的学习方法是首先要了解问题是如何提出的,特别要注意对基本物理概念、基本工作原理、基本电磁关系、基本公式的理解和掌握,学会分析问题的思路和方法,注意各章节和各部分内容之间的联系,使认识和理论进一步深化;然后去做教材中有关的思考题和习题,借以检验所学内容的掌握程度。对于以自学为主的读者,必须合理安排时间,按计划阅读教材,按时完成指定的作业,提高学习效率。

0.3 本课程常用的物理概念和定理

根据电机(电动机、变压器和发电机等)的结构及工作原理,虽然它们的种类繁多,而且各有其个性和特点,但也有其共性和规律性。特别在电磁规律方面,它们都遵循电磁感应定律和电磁力定律,并以磁场作为媒介来实现机电能量的转换或信号的传递与变换。因此,为学习本课程,有必要先复习磁路分析中的基本概念和基本规律。

0.3.1 基本概念

(1)磁感应强度(或磁通密度) B

在磁铁周围,有一个磁力能起作用的空间,叫做磁场。电流通过导体时,在导体的周围就会产生磁场,这叫做电流磁场。形象的表示磁场的强弱、方向和分布情况的曲线,叫做磁感应线,也称磁力线。磁力线是无头无尾的闭合曲线。磁力线的方向与电流的方向满足右手螺旋关系。

描述磁场的强弱、方向和分布情况的物理量是磁感应强度,它与产生它的电流之间的关系用毕奥-萨伐尔定律描述,即载流导体在磁场中所受到的力 F ,与导体中的电流 I ,导体长度 l 的乘积的比值,叫做磁感应强度,用 B 表示,即 $B = \frac{F}{I \cdot l}$ 。

(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,叫做磁感应通量,简称磁通,用 Φ 表示,即

$$\Phi = \int_S B \cdot dS$$

在均匀磁场中,如果截面 S 与 B 垂直,则上式变为

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

B 为单位面积上的磁通,又叫做磁通密度,简称磁密。在电机和变压器中常采用磁密的概念。在国际单位制中, Φ 的单位符号是Wb,单位名称为韦[伯]; B 的单位名称是特[斯拉],单位符号是T,1 T=1 Wb/m²。

(3)磁场强度 H

磁场中某点的磁感应强度 B 与磁性材料的导磁率 μ 的比值,叫做该点的磁场强度,用 H 表示,即

$$H = \frac{B}{\mu} \quad \text{或} \quad \mu = \frac{B}{H}$$

式中, μ 为磁性材料的磁导率, H 的单位名称是安[培]每米, 单位符号是 A/m。

(4) 磁导率 μ 和磁化曲线

用来衡量磁性材料导磁性能好坏的一个物理量, 叫做磁导率。不同的磁性材料具有不同的磁导率。描述磁性材料的磁导率有真空磁导率 μ_0 、初始磁导率 μ_i 和有效磁导率 μ_e 等。磁导率 μ 的单位名称为特米每安, 单位符号是 T·m/A。

由实验测定, 真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$, 且为一常数。铁、钴、镍三种铁磁性元素是构成磁性材料的基本组元。磁性材料是由铁磁性物质或亚铁磁性物质组成的, 在外加磁场强度 H 的作用下, 必有相同的磁感应强度 B , 它们随磁场强度 H 变化的曲线, 叫磁化曲线(或 B - H 曲线), 如图 0.2 所示。

一般说来, 磁化曲线具有两个特点: 磁饱和现象及磁滞现象。即当磁场强度 H 足够大时, 磁感应强度 B 达到一个确定的饱和值 B_s , 继续增大 H , B_s 保持不变; 以及当材料的 B 值达到饱和后, 外加磁场强度 H 降为零时, B 并不恢复为零, 而是沿着 $B_s B_r$ 曲线变化, 这说明 B 的变化始终是滞后于 H 的变化的。

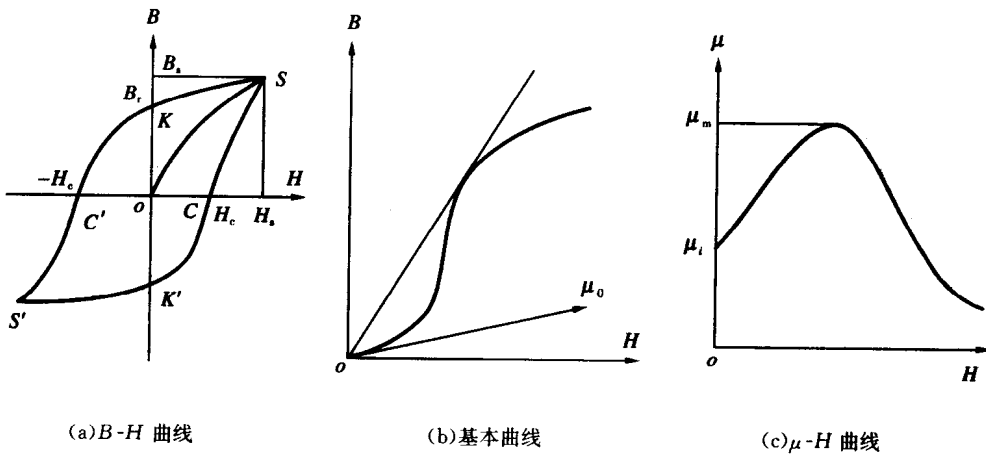


图 0.2 磁性材料的磁化特性

磁性材料的工作状态相当于 B - H 曲线上的某一点, 该点常称为工作点。

图 0.2 磁性材料的常用磁性参数为: 饱和磁感应强度 B_s 、剩余磁感应强度 B_r 、矫顽力 H_c 、初始磁导率 μ_i 和最大磁导率 μ_m 。各种磁性材料材质外形虽然相似, 但磁性能可能有较大差异。电机和变压器的铁心, 要求磁导率较高、磁滞回线包围面积小、磁滞损耗小的铁磁材料, 如硅钢片、铁镍合金、铸铁等。这些铁磁材料属于软磁材料。

(5) 磁通势 F_m

磁通所通过的路径, 叫做磁路。

在磁路中, 磁路的磁场强度 H 与磁路的长度的乘积, 叫做磁通势, 用符号 F_m 表示, 其单位名称为安[培], 单位符号是 A。

(6) 磁阻 R_m

R_m 表示磁路对磁通所起的阻碍作用, 它只与磁路的尺寸及磁路材料的磁导率有关。对于均匀的磁路, 设磁路长度为 l , 截面积为 S , 用 R_m 表示磁阻, 则有

$$R_m = \frac{l}{\mu S}$$

0.3.2 基本规律

(1) 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 H 线积分等于该回路所环链的所有电流的代数和,即

$$\oint H \cdot dl = \sum I$$

式中, $\sum I$ 就是该磁路所包围的全电流,因此这个定律也叫做全电流定律。

工程应用中遇到的磁路,其几何形状是比较复杂的,直接利用安培环路定律的积分形式进行计算有一定的困难。通常的办法是采取简化的办法,即把磁路分成几段,几何形状比较规则的为一段,并找出它的平均磁场强度,再采用这段磁路的平均长度,求得磁压降(也可以理解为一段磁路所消耗的磁通势),最后把各段磁压降加起来,就等于总磁通势,即

$$\sum_1^n H_k l_k = \sum I = IN$$

式中, H_k 为磁路中第 k 段磁路的磁场强度(A/m); l_k 为第 k 段磁路的平均长度(m);

IN 为作用在整个磁路上的磁通势,即全电流数(安匝); N 为励磁线圈的匝数。

上式可以理解为:消耗在任意闭合磁回路上的磁通势,等于该磁回路所包围的全电流。

图 0.3 是一个最简单的磁路,它是由铁磁材料和空气两部分串联而成的。铁心上绕了匝数为 N 的线圈,叫做励磁线圈,线圈电流为 I 。进行磁路计算时,把这个磁路按材料及形状分成两段,一段是截面积为 S 的铁心,长度为 l ,磁场强度为 H ;另一段为空气,长度为 δ ,磁场强度为 H_0 。根据安培环路定律,有

$$Hl + H_0\delta = IN$$

在电机和变压器里的磁路计算时,已知的是磁路里各段的磁通 Φ 以及各段磁路的几何尺寸(即磁路长度 l 和截面积 S),先算出各段磁路中对应的磁通密度 $B(B = \frac{\Phi}{S})$,然后根据算出的磁通密度 B 求出磁场强度 $H(H = \frac{B}{\mu})$,最后求出所需要的总磁通势 IN 。

如果是铁磁材料,可以根据其磁化特性查出磁场强度 H 。

(2) 电磁感应定律(法拉第定律)

当导线(或线圈)在磁场中发生相对运动,导线切割磁力线,或者当穿过导线(线圈)的磁通发生变化时,在导线中就要产生感应电动势,这个现象叫做电磁感应现象。导线(或线圈)在磁场中发生相对运动,导线切割磁力线时产生的感应电动势称为切割电动势,即

$$e = Blv$$

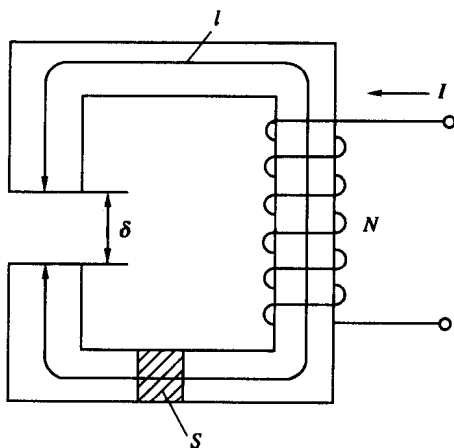


图 0.3 简单磁路

式中, B 为导体(线圈)所在处的磁通磁密(Wb/m^2); l 为导线(线圈)在磁场中长度(m); v 为导线(线圈)相对于磁力线的运动速度(m/s)。

切割电动势主要表现于电动机和发电机中,其方向按右手定则确定。

当穿过导线(线圈)的磁通发生变化时,产生的电动势为变压器电动势,即

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

式中, N 为导线(线圈)匝数,磁通的正方向和感应电动势的正方向按右手螺旋定则确定。变压器电动势主要表现在变压器中。

(3) 电磁力定律(毕奥-萨伐尔定律)

在均匀磁场中,若载流直导线(线圈)与磁通密度 B 方向垂直,长度为 l ,流过的电流为 I ,磁场对载流导线(线圈)施加的力称为安培力,用 f 表示,即

$$f = Bli$$

式中, B 为导体(线圈)所在处的磁通磁密(Wb/m^2); l 为导体(线圈)的有效长度(m); i 为导体(线圈)中的电流(A)。

在电机学中,习惯上用左手定则确定 f 的方向。

电磁感应定律和电磁力定律是电机中的重要电磁定律,是电机实现能量转换的基础。

(4) 磁路的欧姆定律

磁路中通过的磁通 Φ 等于磁路中的磁通势 F_m 除以磁路的磁阻 R_m ,即

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m}$$

第 1 章

直流电机原理

摘要:本章分析直流电机的工作原理、结构、电路、磁路及换向等问题,为电力拖动自动控制系统提供元件的基本知识。

1.1 直流电机的基本工作原理

1.1.1 直流发电机的工作原理

直流发电机的工作原理就是把电枢线圈中感应的交变电动势,靠换向器配合电刷的换向作用,使之从电刷端引出时变为直流电动势的原理。

图 1.1 是一台交流发电机的原理模型。图中, N、S 为一对固定的磁极(一般是电磁铁,也可以是永久磁铁), $abcd$ 是装在可以转动的圆柱体表面上的一个线圈,把线圈的两端分别接到两个圆环(称为滑环)上(以后把这个可以转动的装有线圈的圆柱体称为电枢)。在滑环上分别放上两个固定不动的由石墨制成的电刷 A 和 B。通过电刷 A 和 B 把旋转着的电路与外部电路相连接。

当原动机拖动电枢以恒速 n 逆时针方向转动时,根据电磁感应定律可知,在线圈边(即导体) ab 和 cd 中有感应电动势产生。感应电动势 e 的大小为

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

式中, B 为导体所在处的磁密(Wb/m^2);

l 为导体 ab 或 cd 的长度(m);

v 为导体 ab 或 cd 与 B 之间的相对线速度(m/s)。

感应电动势的方向按右手定则确定。在图 1.1 所示瞬间,导体 ab 、 cd 的感应电动势方向分别由 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。当图 1.1 中电枢逆

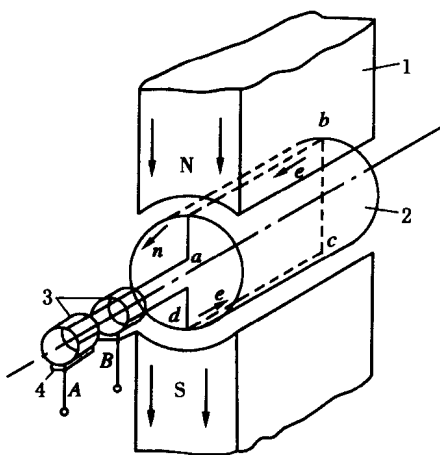


图 1.1 交流发电机原理模型

1—磁极;2—电枢;3—滑环;4—电刷

时针方向转过 180° 时,导体 ab 与 cd 互换了位置,用右手定则判断,此时导体 ab 、 cd 中的感应电动势方向都与图 1.1 所示瞬间的相反。这时电刷 A 呈低电位,电刷 B 呈高电位。如果电枢继续逆时针方向旋转 180° ,导体 ab 、 cd 又转到图 1.1 所示位置,则电刷 A 又呈高电位,电刷 B 又呈低电位。由此可见,图 1.1 中电枢每转一周,线圈 $abcd$ 中感应电动势方向交替一次,因此线圈内的感应电动势是一种交变电动势,这是最简单的交流发电机的原理。

如果想要得到直流电动势,那么必须把上述线圈 $abcd$ 感应的电动势进行整流,实现整流的装置称为换向器。

图 1.2 是直流发电机的原理模型,它由两个铜质换向片代替图 1.1 中的两个滑环。换向片之间用绝缘材料隔开,线圈 $abcd$ 出线端分别与两个换向片相连,电刷 A 、 B 与换向片相接触并固定不动,这就是最简单的换向器。有了换向器,在电刷 A 、 B 之间感应电动势就和图 1.1 中电刷 A 、 B 间的电动势大不一样了。例如,在图 1.2 所示瞬间,线圈 $abcd$ 中感应电动势的方向如图中所示,这时电刷 A 呈正极性,电刷 B 呈负极性。当线圈逆时针方向旋转 180° 时,导体 cd 位于 N 极下,导体 ab 位于 S 极下,各导体中电动势都分别改变了方向。但是,由于换向片随着线圈一同旋转,本来与电刷 B 相接触的那个换向片,现在却与电刷 A 接触了;与电刷 A 相接触的换向片则与电刷 B 接触了,显然这时电刷 A 仍呈正极性,电刷 B 呈负极性。从图 1.2 看出,和电刷 A 接触的导体永远位于 N 极下,同样,和电刷 B 接触的导体永远位于 S 极下。因此,电刷 A 始终有正极性,电刷 B 始终有负极性,所以电刷端能引出方向不变,但大小变化的脉振电动势。如果电枢上线圈数增多,并按照一定的规律把它们连接起来,就可使脉振程度减小,获得直流电动势。这就是直流发电机的工作原理。同时也说明了直流发电机实质上是带有换向器的交流发电机。

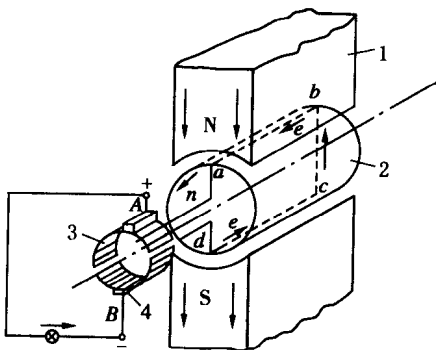


图 1.2 直流发电机的原理模型
1—磁极;2—电枢;3—换向器;4—电刷

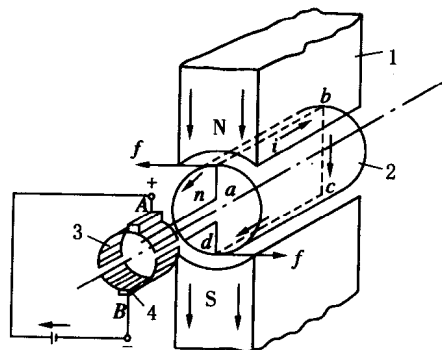


图 1.3 直流电动机的原理模型
1—磁极;2—电枢;3—换向器;4—电刷

1.1.2 直流电动机的工作原理

图 1.3 所示为直流电动机的原理模型。与图 1.2 不同的是,线圈不被原动机拖动;电刷 A 、 B 接上直流电源。于是在线圈 $abcd$ 中有电流流过,电流的方向如图 1.3 所示。根据电磁力定律可知,载流导体 ab 、 cd 上受到的电磁力 f 为

$$f = Bli \tag{1.2}$$

式中, B 为导体所处的气隙磁密 (Wb/m^2);

l 为导体 ab 或 cd 的长度(m);

i 为导体中的电流(A)。

导体受力的方向用左手定则确定,导体 ab 的受力方向是从右向左,导体 cd 的受力方向是从左向右,如图 1.3 所示。这一对电磁力形成了作用于电枢的一个力矩,这个力矩在旋转电机里称为电磁转矩,转矩的方向是逆时针方向,企图使电枢逆时针方向转动。如果此电磁转矩能够克服电枢上的阻转矩(例如由摩擦引起的阻转矩以及其他负载转矩),电枢就能按逆时针方向旋转起来。当电枢转了 180° 后,导体 cd 转到 N 极下,导体 ab 转到 S 极下时,由于直流电源供给的电流方向不变,仍从电刷 A 流入,经导体 cd 、 ab 后,从电刷 B 流出。这时导体 cd 的受力方向变为从右向左,导体 ab 的受力方向是从左向右,产生的电磁转矩的方向仍为逆时针方向。因此,电枢一经转动,由于换向器配合电刷对电流的换向作用,直流电流交替地由导体 ab 和 cd 流入,使线圈边只要处于 N 极下,其中通过电流的方向就总是由电刷 A 流入的方向,而在 S 极下时,总是从电刷 B 流出的方向。这就保证了每个极下线圈边中的电流始终是一个方向,从而形成一种方向不变的转矩,使电动机能连续地旋转。这就是直流电动机的工作原理。

从上述基本电磁情况来看,一台直流电机原则上既可以作为发电机运行,也可以作为电动机运行,只是其输入输出的条件不同而已。如用原动机拖动直流电机的电枢,将机械能从电机轴上输入,而电刷上不加直流电压,则从电刷端可以引出直流电动势作为直流电源,可输出电能,电机将机械能转换成电能而成为发电机;如在电刷上加直流电压,将电能输入电枢,则从电机轴上输出机械能,拖动生产机械,将电能转换成机械能而成为电动机。这种同一台电机,既能作为发电机又能作为电动机运行的原理,在电机学理论中称为电机的可逆原理。

1.2 直流电机的主要结构及用途

1.2.1 主要结构

直流电机的工作原理仅仅揭示了如何利用基本电磁规律以实现机电能量转换的道理,但是要将付诸应用,直流电机必须具有能满足电磁和机械两方面要求的合理的结构形式。

直流电机的结构形式是多种多样的,图 1.4 是一台常用的小型直流电机的结构剖面图。直流电机是由静止的定子部分和转动的转子部分构成的,定、转子之间有一定大小的间隙(以后称为气隙)。现对各主要结构部件的基本结构及其作用简述如下。

(1) 定子部分

直流电机定子部分主要由主磁极、换向极、机座和电刷装置等组成。

1) 主磁极 又称主极。在一般大中型直流电机中,主磁极是一种电磁铁。只有个别类型的小型直流电机的主磁极才用永久磁铁,这种电机叫永磁直流电机。主磁极的作用是能够在电枢表面外的气隙空间里产生一定形状分布的气隙磁密。

图 1.5 是主磁极的装配图。主磁极的铁心用 $1\sim 1.5\text{mm}$ 厚的低碳钢板冲片叠压紧固而成。把事先绕制好的励磁绕组套在主极铁心外面,整个主磁极再用螺钉固定在机座的内表面上。各主磁极上的励磁绕组连接必须使通过励磁电流时,相邻磁极的极性呈 N 极和 S 极交替的排列,为了让气隙磁密在沿电枢圆周方向的气隙空间里分布得更加合理,铁心下部(称为极

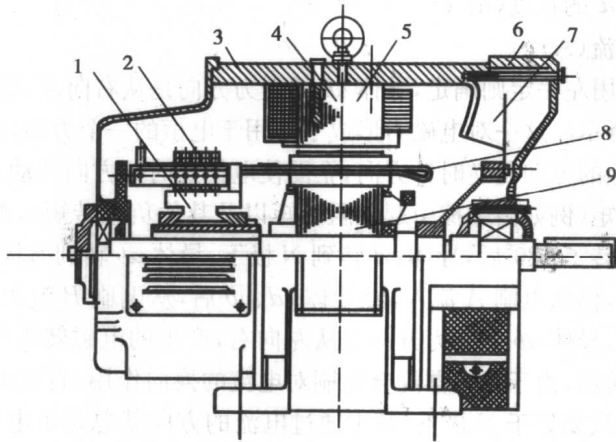


图 1.4 电流电机的结构剖面图

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—电枢铁心

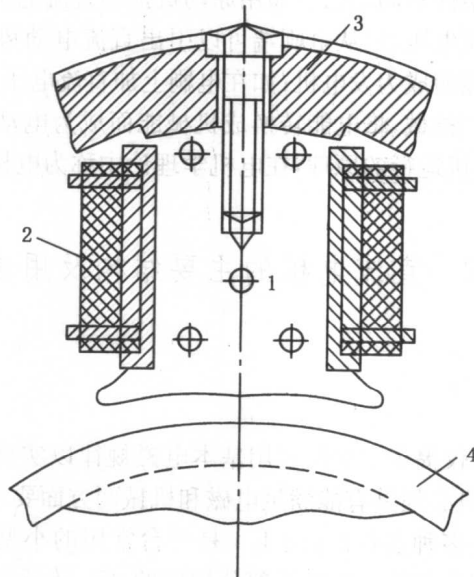


图 1.5 直流电机的主磁极

1—主极铁心;2—励磁绕组;3—机座;4—电枢

靴)比套绕组的部分(称为极身)宽。这样也可使励磁绕组牢固地套在铁心上。

2)换向极 容量在1kW以上的直流电机,在相邻两主磁极之间要装上换向极。换向极又称附加极或间极,其作用是为了改善直流电机的换向,至于如何改善换向的,将在1.5节中介绍。

换向极的形状比主磁极简单,也是由铁心和绕组构成的。铁心一般用整块钢或钢板加工而成。换向极绕组与电枢绕组串联。

3)机座 一般直流电机都用整体机座。所谓整体机座,就是一个机座同时起两方面的作用:一方面起导磁的作用,一方面起机械支撑的作用。由于机座要起导磁的作用,所以它是主