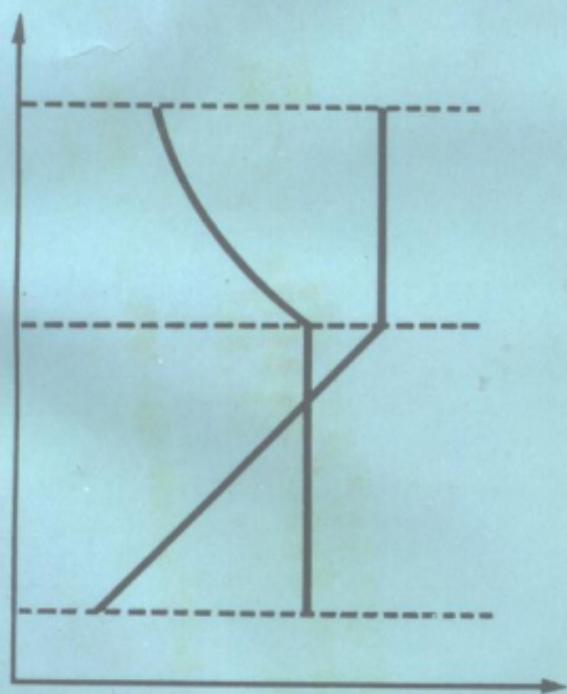


电机应用技术

主编 李家启 刘振闻



大连海事大学出版社

TM3

L26

413459

电机应用技术

DIANJI YINGYONG JISHU

李家启 刘振闻 编

大连海事大学出版社

(辽)新登字 11 号

内 容 简 介

《电机应用技术》共十章,包括直流电机基础、直流电机应用技术,变压器原理及应用,交流电机基础、交流电机应用技术,特种交流电机及应用,控制电机及应用,多电动机拖动技术,拖动电动机的选择及电机在拖动和控制系统中的应用等。书中还附有磁路、小型单相变压器的设计和对称分量法三个附录、各章附有一定数量的思考题和习题。

本书力求理论联系实际,在注意电机基本原理和物理概念阐述的同时,着重介绍了应用技术性能及电机应用的工程计算方法和控制方法等实例。在部分章节中介绍了作者一段时间以来所从事的港口机械电气控制的一些科研成果。

本书为高等院校电气、机械、自动控制和计算机应用等专业的教材,亦可供从事电气传动、自动控制、起重运输和工程机械机务管理等工程技术人员参考。

电机应用技术

主 编:李家启 刘振闻

责任编辑:刘宗德 吴 军

封面设计:肖小平

※

大连海事大学出版社出版、发行

武汉市长江印刷厂印装

※

开本:787×1092 1/16 印张:20.25 字数:504千

1994年9月第1版 1994年9月第1次印刷

印数:0001-2000 定价:13.70元

ISBN 7-5632-0849-6/TM·3

前 言

随着近代电子技术和电子计算技术的发展以及现代控制理论的应用,电力拖动系统自动化已成为各类专业人员所共同研究的课题。为了配合这方面的科研、教学和应用开发等工作的开展,我们根据近年来从事的教学和科研工作的一些经验,结合有关资料,在过去编写并多次使用的《电机及应用》讲义的基础上,编写了这本书。

全书共分十章,内容包括交、直流电机基础和应用技术,变压器、特种交流电机和控制电机的原理及应用,多电动机拖动技术,拖动电动机的选择及电机在拖动和控制系统中的应用等。

该书为电气、机械、计算机应用和自动控制等专业的教科书及有关工程技术人员的参考用书。根据专业对电机的选择、使用和控制的要求出发,在交、直流电机基础,变压器、特种交流电机和控制电机等原理的编写,主要是从电机与电力拖动及控制系统相互配合的角度,阐述它们的基本原理和物理概念。而在交、直流电机应用技术,多电动机拖动技术和拖动电动机选择等章节中重点分析了电机与生产机械组成的电力拖动系统的运行性能和计算方法。在变压器、特种交流电机和控制电机的应用等章节中主要介绍了这些电机的运行原理、正确选用和使用方法。在电机在拖动和控制系统中应用一章中,介绍了起重机械电力拖动的几种典型的工程计算方法和反映当今本学科的新技术和新方法的电力拖动自动控制系统的一些实例,从而使电机原理、运行性能及其与工程实际应用有机地结合。书中的一些工程计算方法。是我们从实际工作中总结出来,并经过在实践中反复检验的,对港口起重机械电气控制的研究具有一定的应用价值。本书资料丰富,内容适中,叙述清楚。

本书系武汉交通科技大学和长沙交通学院编写。由李家启、刘振闻主编。第一章由刘传芳编写,第二、四、六章由刘振闻编写,第三、八、九、十章,绪论和附录由李家启编写,第五章由陈蕴基编写,第七章由杨果德编写,全书由李家启、刘振闻统稿。武汉交通科技大学胡行定教授主审、水新阳副教授也参加了审阅工作并提出了许多宝贵的意见。在编写和出版的过程中还得到了吴杰清、姚国生、刘明等同志的大力支持和帮助,编者谨向他们表示衷心的感谢。

在编写的过程中,参考了许多兄弟院校教材和一些厂、所的文献资料,并得到了许多同志的帮助和支持,在此,编者向他们表示深切的谢意。

由于编写时间仓促以及限于编者水平,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1994年4月于武汉

目 录

绪论	(1)
第一章 直流电机基础	(4)
§ 1-1 直流电机的原理及结构	(4)
§ 1-2 直流电机铭牌数据和主要系列	(9)
§ 1-3 直流电机的绕组	(10)
§ 1-4 直流电机的空载磁势和电枢反应	(18)
§ 1-5 直流发电机的运行原理	(22)
§ 1-6 直流电动机的运行特性	(28)
§ 1-7 直流电机的换向	(34)
思考题与习题	(38)
第二章 直流电机应用技术	(39)
§ 2-1 电力拖动系统的动力学	(39)
§ 2-2 生产机械的负载转矩特性	(51)
§ 2-3 他励直流电动机的机械特性	(52)
§ 2-4 他励直流电动机的基本控制	(56)
§ 2-5 他励直流电动机的调速	(66)
§ 2-6 串励直流电动机的电力拖动	(72)
思考题与习题	(75)
第三章 变压器原理及应用	(78)
§ 3-1 变压器的工作原理、分类及结构	(78)
§ 3-2 单相变压器的运行原理	(82)
§ 3-3 等值电路参数的测定	(90)
§ 3-4 变压器的运行特性	(92)
§ 3-5 三相变压器	(94)
§ 3-6 变压器的并联运行	(98)
§ 3-7 自耦变压器和仪用互感器	(100)
§ 3-8 特殊变压器	(103)
思考题与习题	(109)
第四章 三相交流电机基础	(110)
§ 4-1 三相异步电动机的工作原理和构造	(110)
§ 4-2 三相异步电动机定子绕组	(114)
§ 4-3 三相异步电动机的运行特性	(120)
§ 4-4 三相异步电动机的功率和电磁转矩	(128)
§ 4-5 三相异步电动机的工作特性	(131)
§ 4-6 三相异步电动机的参数测定	(132)

思考题与习题	(134)
第五章 交流电机应用技术	(136)
§ 5-1 三相异步电动机的机械特性	(136)
§ 5-2 三相异步电动机的人为机械特性	(138)
§ 5-3 三相异步电动机的启动方法	(141)
§ 5-4 三相绕线式异步电动机启动电阻计算	(146)
§ 5-5 三相异步电动机的制动状态	(150)
§ 5-6 三相异步电动机的调速	(157)
§ 5-7 三相异步电动机启、制动时间的计算	(163)
§ 5-8 三相异步电动机过渡过程能量损耗	(164)
思考题与习题	(166)
第六章 特种交流电机及应用	(169)
§ 6-1 同步电机	(169)
§ 6-2 小型同步电动机	(174)
§ 6-3 单相异步电动机	(178)
§ 6-4 直线异步电动机	(181)
§ 6-5 中频发电机	(185)
思考题与习题	(186)
第七章 控制电机及应用	(188)
§ 7-1 伺服电动机	(189)
§ 7-2 测速发电机	(201)
§ 7-3 自整角机	(208)
§ 7-4 旋转变压器	(214)
§ 7-5 感应同步器	(219)
§ 7-6 步进电动机	(225)
思考题与习题	(236)
第八章 多电机拖动技术	(237)
§ 8-1 刚性联接的双电动机拖动系统	(237)
§ 8-2 同步旋转系统	(239)
思考题与习题	(244)
第九章 拖动电动机的选择	(246)
§ 9-1 选择电动机额定功率的依据	(246)
§ 9-2 电动机额定功率的选择	(250)
§ 9-3 笼型三相异步电动机允许小时接通次数	(255)
§ 9-4 选择电动机功率的统计法和类比法	(256)
§ 9-5 电动机种类、额定电压、额定转速和型式的选择	(257)
思考题与习题	(259)
第十章 电机在拖动和自控系统中的应用	(261)
§ 10-1 异步电动机的参数计算	(261)

§ 10-2	桥式起重机起升机构拖动电机的单相制动、反接制动和回馈制动	(262)
§ 10-3	门式起重机起升机构拖动电机的能耗制动和回馈制动	(267)
§ 10-4	塔式起重机起升机构拖动电机的涡流制动器控制	(271)
§ 10-5	机床上的主运动和进给运动的变频调速系统	(274)
§ 10-6	可编程控制器控制机械手的自动往复运动	(277)
§ 10-7	RC51-I 机床单片机控制系统	(283)
§ 10-8	雷达天线控制系统	(288)
§ 10-9	船舶柴油发电机组自启动的微机控制	(289)
§ 10-10	DT006 直流无级调速系统	(293)
	思考题与习题	(298)
	附录一 磁路	(299)
	附录二 小型单相变压器的设计	(307)
	附录三 对称分量法	(314)
	参考文献	(316)

绪 论

一、电能与电机

电能是现代社会应用最广的一种能量形式。电能的生产和变换较经济,容易传输和分配,使用控制方便。因此电能已成为国民经济各部门中的主要动力源。

电能的生产、变换、传输、分配、使用和控制都必须利用电机这种进行能量变换或讯号变换的电磁装置。在电力工业中,发电机和变压器是发电站和变电所中的主要设备。在工业企业中,大量应用电动机作为原动机拖动各种生产机械。在自动控制技术中,各式各样的小巧灵敏的控制电机广泛地作为检测、放大、执行和解算元件。

通常所说的电机,是指那些利用电磁感应原理设计制造而成,用于实现能量(或信号)传递与变换的电磁机械的统称。按电机的功能来分类,电机可分为

发电机——把机械能转变成电能的装置;

电动机——把电能转变成机械能的装置;

变压器、变频器、变流机、移相等,分别用于改变电压、频率、电流及相位。即调整变换电能品质参数的装置;

控制电机——应用于各种自动控制系统中的检测和控制元件。

上述的各种电机中,有些是静止的,如变压器,有些是旋转的,如各种类型的发电机和电动机,按电流的类型及工作原理的某些差异,旋转电机又可分为直流电机、交流异步电机、交流同步电机及各种具有专门用途的控制电机等。本书中我们将对各种电机的工作原理、运行状态与特性进行详细分析。

二、电机应用的发展概况

电机是随着生产的发展而产生和发展的,电机的发展,反过来,又促进社会生产力的不断提高。二十世纪以前,电机的发展处在它的初级阶段,完成了由诞生到在工业上的初步应用;各种电机初步定型,电机理论和电机设计计算方法的建立和发展这样一些基本任务。二十世紀的特征是由电气化时代逐步转向计算机及自动化时代,不仅在性能良好,运行可靠,单位容量的重量轻、体积小等方面对电机提出了愈来愈高的要求,而且随着自动控制系统和计算装置的发展,在旋转电机理论的基础上,研制出多种高可靠性、高精度、快速响应的控制电机,成为电机学科的一个独立分支。同时由于功率电子学等先进学科的渗透,使电机这一古老学科得到新的发展。

当前科学技术突飞猛进,使动力电机的制造也向着大型、巨型发展,而专用电机却向着高精度、长寿命、微型化方向发展。在应用上由于计算技术迅速发展,将会出现的机器人工作的无人工厂,以及计算机作为这些工厂的“中枢神经”,实现无人化的控制。在理论上,由于电机中应用了控制技术,使电机具有良好的特性,使各类电机成为各种机电系统中一个极为重要的元件。因之将会发展一门把电子学、电机学和控制论结合起来的新的学科。

最初,电力拖动代替了蒸汽或水力的拖动。当时由一台电动机经天轴(或地轴)由皮带传动

驱动一组生产机械,称为“成组拖动”。由于这种方式存在有传动路线长、效率低,结构复杂等缺点,早已被淘汰。为此生产机械上广泛采用一种“单机拖动”,即一台生产机械用一台单独的电动机拖动。这样,进一步简化了机械结构,又提高了传动效率,易于实现生产机械运转的全部自动化。

但是,如果用一台电动机拖动具有多个工作机构的生产机械时,则机械内部仍将保留着复杂的机械传动机构,因此,自30年代起,广泛采取了“多电动机拖动系统”,即每一个工作机构用单独的电动机拖动,这样生产机械的机械结构大为简化。例如龙门铣床用三台电动机分别拖动三个主轴的运动。必须指出,在只有一个工作机构的生产机械上有时也采用多电动机拖动系统。例如,链式输送机的工作机构是一条长的链式运输带,它往往采用多台电机拖动。

在多电动机拖动系统中,各台电动机可在机械上采用刚性联接或摩擦联接等,很多情况下,也可以采用电轴系统,以实现多台电动机的同步运转,以满足生产机械提出的要求。

随着生产的发展,现代工业的电力拖动,一般都要求局部或全部的自动化,因此必然要与各种控制元件组成的自动控制系统联系起来。在这一系统中可对生产机械进行自动控制,如实现自动控制起动、制动、调速、同步、自动维持转速,转矩和功率为恒定值,按给定程序或事先不知道的规律改变速度,改变转向和工作机构的位置及使工作循环化等。随着电机及电器制造业及各种自动化元件的发展,自动电力拖系统已得到不断的更新和发展。

最初采用的自动控制系统是继电器—接触器自动控制系统,属于有触点逻辑控制系统。30年代初,出现了发电机—电动机组,使调速性能优于直流电动机且得到了广泛的应用。在直流电动机的拖动系统中,由于电机、电器、自动化元件及功率电子器件的不断更新与发展,在上述发电机—电动机组的基础上,发展成为采用交磁放大机、磁放大器,可控离子变流器及晶闸管等组成的自动化直流电力拖动系统。目前晶闸管直流自动电力拖动系统已得到了广泛的应用,并正在向大容量的方向发展。在自动化元件方面已有整套标准化控制单元,控制装置集成化,小型化,微型化,做到结构上安装积木化,微型化的自动化装置可直接装于电动机的机座上,做到与电动机的一体化,节省专用的控制柜。设备可靠性高,维护简便。

与直流电动机相比,交流电动机具有结构简单、价格便宜、维护方便、惯性小等一系列优点、单机功率比直流电动机高很多(目前直流电机的单机容量最大只有14000kW),电压可容易做成10000V以上(直流电动机只有1000V左右),还能实现高速拖动(每分钟几万到几十万转),而直流电机一般只达到3000r/min。

40年代末到50年代,对串级及离子变频的交流调速系统进行了一些研究,并提出了无换向器电动机的原理。其后,由于逆变技术的出现和晶闸管及高压大功率晶体管的问世,80年代以来交流电动机无级调速系统有了迅速的发展,它利用改变交流电的频率等来实现电动机转速的无级调速,其控制系统已制成了以微机为核心的变频器,并在工业中得到了广泛地应用。这种以微型计算机为工具实现系统控制,不仅能简化硬件电路,提高可靠性,而且可使拖动系统性能最优化,这将会进一步扩大交流调速系统发展的前景。

由于微电子技术和微计算机的发展,自然促进了有触点逻辑控制系统的发展。60年代末,又出现了具有运算功能和较大功率输出能力的可编程控制器,用它代替大量的继电器,使硬件软化,要改变控制功能只需改变程序即可。实际上它是一台开关量输入的工业控制用微型计算机,在工业上得到了极其广泛的应用。

随着近代电子技术和电子计算技术的发展以及现代控制理论的应用,自动化电力拖动正

向着计算机控制的生产过程自动化的方向迈进。在一些现代化的工厂里,从原料进厂到产品出厂都是自动化和半自动化的,而且达到高速、优质、高效率地生产。在我国,一些工厂企业的生产过程正从单机、局部自动化发展到全盘,综合自动化,一大批自动生产线,一些自动化车间和自动化工厂已在我国出现。

因此,电力拖动自动化的有关知识,就成为各类专业人员所应该掌握、应用和研究的问题了。本书就是为此目的而编写。希望读者学习时应注意对基本概念、基本理论及基本方法的掌握,联系实际,完成必要的实践环节。

第一章 直流电机基础

电机是一种实现电能和机械能互相变换的电磁装置。将电能转换为机械能者称为电动机；将机械能转换为电能者称为发电机。由于电流有交流和直流之分，故电机也有直流电机和交流电机两大类。

直流电机在近代工业生产中起着重要作用。直流电机包括电动机和发电机。直流电动机将直流电能转换为机械能，用以拖动生产机械；直流发电机将机械能转换为直流电能供给用电负载。

直流电动机具有平滑的调速特性，宽广的调速范围，较高的过载能力和较大的起动转矩等优点，特别是调速特性，这是交流电动机不可及的，故适用于对起动转矩和调速特性要求高的生产机械上，如轧钢机用的电动机对起动、制动和调速要求较高，而电车上牵引用的直流电动机则要求起动转矩较高。但是，直流电动机与交流电动机相比具有制造工艺复杂，成本高、维护困难、可靠性差等缺点，因而限制了其广泛的使用。

直流发电机主要作为直流电源。如直流电动机的电源，同步机的励磁和化学工业中的电解、电镀所需的低电压大电流的直流电源。可是直流发电机也与直流电动机具有相同的缺点。随着可控硅的应用，可控硅整流设备将取代直流发电机。已成为一种趋势。

§ 1-1 直流电机的原理及结构

一、直流电机的工作原理

1. 直流电动机的工作原理

直流电动机的工作原理是建立在电磁力(物理学称安培力)的基础上，我们回顾一下物理学安培定律：

根据实验可知，若磁场与载流导体互相垂直，如图 1-1(a)所示，则作用在导体上的电磁力(安培力)为：

$$f = Bil$$

式中： B ——磁场的磁感应强度， Wb/m^2 或 T ；

i ——导体中的电流， A ；

l ——导体的有效长度， m ；

f ——电磁力(安培力)， N 。

力的方向由左手定则确定，如图 1-1(b)所示。

由于绝大多数的电动机须作连续运行，因此必须使载流导体在磁场中所受的电磁力，形成一种方向不变的力矩，我们先观察一下图 1-2 所示的一种最简单的电磁装置，它能否使导体所受的电磁力形成一种方向不变的转矩？

图 1-2 中, N、S 为一对固定的磁极, 两磁极间装着一个可以转动的铁质圆柱体, 圆柱体的表面上固定一个铜线圈, 上线圈边为 a , 下线圈边为 x 。当在线圈中通入直流电流时 a 、 x 边所示电磁力的方向如图 1-2 所示。这对电磁力形成一个电磁转矩, 转矩方向是逆时针的。随着圆柱体的转动, 线圈的 a 和 x 位置互换, 而线圈中通过的仍为直流电流, 这时电磁力产生的转矩方向却变为顺时针方向, 因此圆柱体受到一种方向交变的电磁转矩。这种交变的电磁转矩只能使圆柱体来回摇摆, 显然, 要得到一个方向不变的转矩, 关键在于当线圈边在不同磁极下时, 如何将流过线圈的电流方向及时加以变换, 即进行所谓“换向”。图 1-3 为一台两个磁极的直流电动机原理图, 图中 N、S 为两个固定的磁极

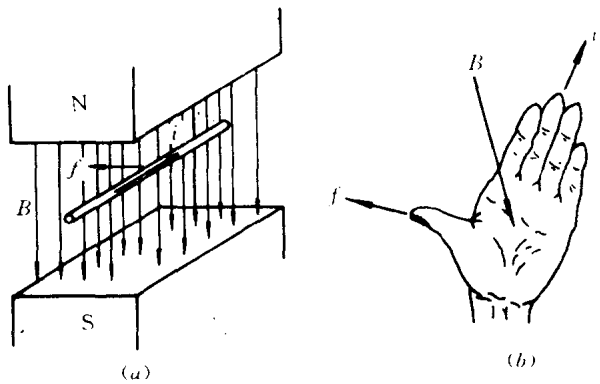


图 1-1 载流导体在磁场内受到的电磁力及左手定则

种方向交变的电磁转矩。这种交变的电磁转矩只能使圆柱体来回摇摆, 显然, 要得到一个方向不变的转矩, 关键在于当线圈边在不同磁极下时, 如何将流过线圈的电流方向及时加以变换, 即进行所谓“换向”。图 1-3 为一台两个磁极的直流电动机原理图, 图中 N、S 为两个固定的磁极

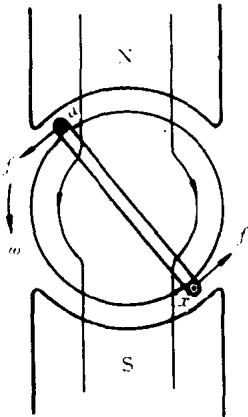


图 1-2 载流线圈在气隙磁场中产生的电磁转矩

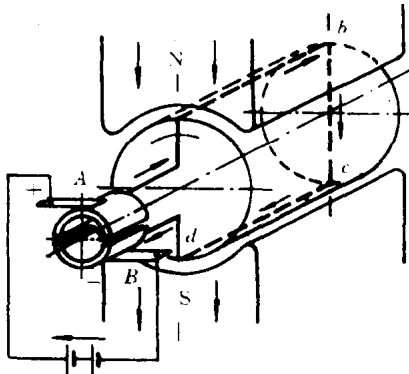


图 1-3 直流电动机工作原理示意图

极(一般是电磁铁, 也可以是永久磁铁), 在两个磁极之间装有一可转动的铁质圆柱体, 在圆柱体表面固定着一个线圈 $abcd$, 圆柱体(又称电枢铁芯)和线圈 $abcd$ (又称电枢绕组)合称电枢。线圈的两端分别接到互相绝缘的两只弧形铜片, 此铜片即为换向片, 它们的组合体称为换向器。换向器装在转轴上, 与转轴互相绝缘, 并与转轴一道旋转, 在换向器上安放静止的电刷 A、B, 线圈 $abcd$ 通过换向片和电刷与直流电源连接, 其中电刷 A 接直流电源的正极, 电刷 B 接直流电源的负极, 这时直流电流将从电源的正极流出, 经过电刷 A、换向片 1, 线圈 $abcd$ 到换向片 2、电刷 B 回到电源的负极。根据电磁力定律(安培定律)载流导体在磁场中受到电磁力的作用, 如图 1-3 所示的瞬间, 根据左手定则导体 ab 受力方向向左; 导体 cd 所受电磁力的方向向右, 从而产生了电磁转矩, 在该转矩作用下, 电动机按逆时针方向旋转。

当线圈转过 180° 时, 这时换向片 1 和 2 分别与电刷 B 和 A 接触, 线圈中又有电流从电源正极出发, 经电刷 A, 换向片 2, 线圈 $dcba$, 换向片 1, 电刷 B 到电源负极。线圈中电流方向改变

了,但此时 dc 在 N 极下,根据左手定则 dc 受力方向向左, ba 边受力方向向右,该电磁力产生的电磁力矩仍然使电枢按逆时针方向旋转,这样,电动机就能一直按同一方向旋转下去,这就是直流电动机的工作原理。

通过上述分析可知:使电枢线圈的电流方向改变而电磁转矩方向不变的关键是换向器的作用,因为不论任何时刻在 N 、 S 极下导线的电流方向是不改变的,即通过 N 极下的导线电流是由电刷 A 流入的方向,而在 S 极下的导线电流是由电刷 B 流出的方向,故换向器在直流电动机中的作用是保证电磁转矩方向不变。

2. 直流发电机的工作原理

直流发电机的工作原理是建立在电磁感应理论上。感应电势的方向由右手定则确定。

图 1-4 为一台两极直流发电机的原理图。由图可知,它的结构与直流电动机的完全一样,

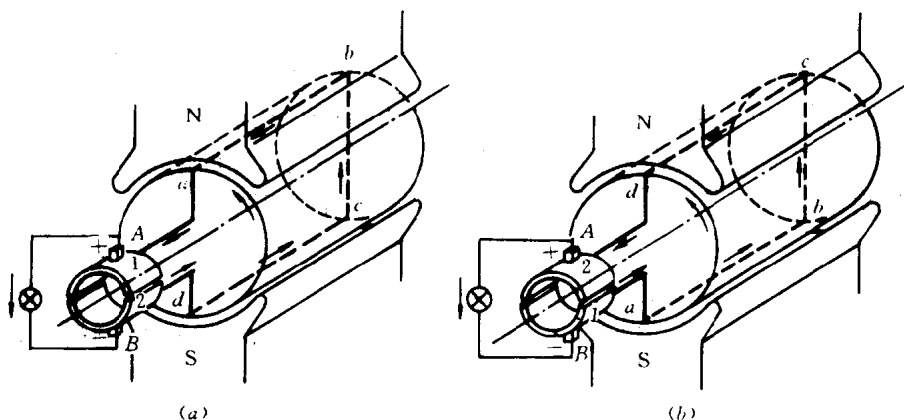


图 1-4 直流发电机原理模型图

(a) 旋转线圈某瞬时的情况 (b) 线圈旋转半周后的情况

所不同的是直流发电机由原动机拖动,电刷 A 、 B 分别与外电路接通,以供给负载直流电能。当发电机的电枢由原动机拖动以恒速逆时针方向旋转时,线圈的两边 ab 和 cd 同时切割磁力线,根据电磁感应定律,这时在线圈中产生感应电动势,其方向由右手定则确定,在图 1-4(a) 所示瞬间,导体 ab 的感应电势方向由 $b \rightarrow a$,而 cd 边的电势方向则由 d 至 c ,这时若电刷 A 、 B 已与外电路接通,则在该电势作用下,将有电流通过换向片 1 由电刷 A 流出,经负载流至电刷 B 和换向片 2,进入线圈。所以,电刷 A 具有正极性,称为直流发电机的正极,电刷 B 具有负极性,称为直流发电机的负极。

当电机旋转 180° 后,如图 1-4(b) 所示,此时导体 ab 和 cd 的位置互换,电刷 A 通过换向片 2 与导体 cd 连接,导线 cd 进入 N 极下旋转;导线 ab 通过换向片 1 与电刷 B 连接进入 S 极下,这时线圈中的感应电势方向是 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$,所以电流仍由电刷 A 流出,由电刷 B 流入,故电刷 A 仍具有正极性,电刷 B 仍具有负极性,这样通过换向片和电刷的作用,及时改变了线圈与外电路的连接,将线圈中的交变电势转变为电刷间方向不变的恒定电势,使外电路电流的方向仍按一定方向流动。由此可知换向器在直流发电机中的作用是将线圈中的交变电势转换为电刷间的直流电势。因此换向器又可称为整流子。

由上述分析可知,一台直流电机既可作电动机运行,又可作发电机运行,只是外界条件不同而已。直流电机是以电磁力和电磁感应为理论基础的。当在直流电机的两电刷上加直流电

压,输入电能,这时载流导体在磁场中产生电磁力,将电能转换为机械能,这就是直流电动机;当直流电机的电枢被原动机拖动以恒速不变的方向旋转时,导体在磁场中切割磁力线,产生感应电势,将机械能转换为电能,这就是直流发电机。这种同一台电机,既能作电动机运行也可作发电机运行的原理,在电机理论中称为可逆原理。

二、直流电机的结构

直流电机要实现机电能量转换,电路和磁路之间必须有相对运动,所以旋转的直流电机具

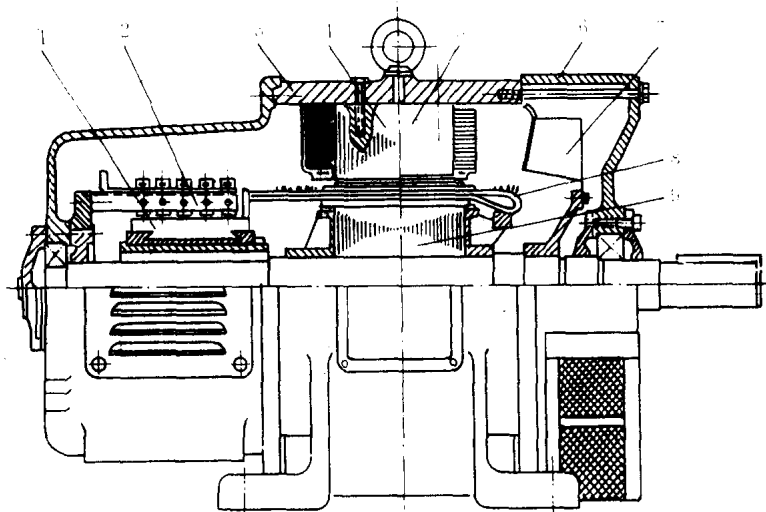


图 1-5 直流电机的剖面图

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
有静止的和转动的两大部分,静止和转动部分之间要有一定大小的间隙(以下称气隙)。直流电机的静止部分称为定子,它的主要作用是产生磁场,由主磁极、换向极、机座和电刷装置等组成。转动部分称为转子,通常称为电枢,它的作用是产生电磁转矩和感应电势,由电枢铁芯、电枢绕组、换向器、轴和风扇等组成。直流电机的剖面图如图 1-5 所示。现对各主要结构部件及其作用简要介绍如下:

1. 定子

(1) 主磁极。主磁极产生直流电机的主磁场,其结构如图 1-6 所示。

在一般中小型电机中,主磁极是一种电磁铁,其铁心由 1~1.5mm 厚的钢板冲片迭压紧固而成。绕制好的线圈套在铁芯外面,整个磁极用螺钉固定在机座上,铁芯靠近电枢的一端称为极靴,它使磁通易于通过空气隙,并使边缘磁通分布均匀。极靴在机械上的作用是使套在铁芯上的励磁绕组更为牢固。

励磁绕组是将绝缘铜线用模型在绕线机上绕制成型,通入直流电产生磁场。

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 极交替地排列。

(2) 换向极。又称附加极或间极,其作用是用来改善直流电机的换向。换向极装在两个主磁极之间,并用螺杆固定在机座上。它也是由铁心和绕组构成,如图 1-7 所示。铁芯一般用整块钢或钢板加工而成,其线圈是用匝数不多的带状导体绕制而成,它与电枢绕组串联。

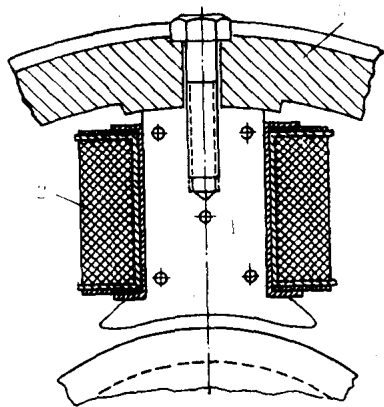


图 1-6 主磁极

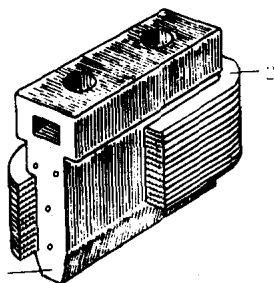


图 1-7 换向极

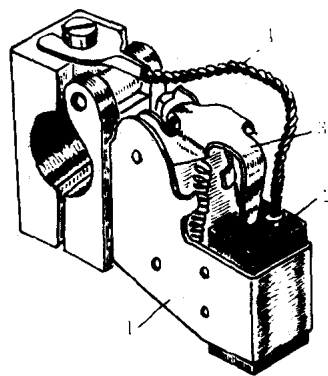


图 1-8 电刷装置

1-主极铁芯 2-励磁绕组 3-机座 1-换向极铁芯 2-换向极绕组 1-刷握 2-电刷 3-压紧弹簧 4-铜丝辫

(3) 机座。机座通常用铸钢或厚钢板焊成。其作用是用来固定主磁极、换向极和端盖；同时也作为磁路的一部分。机座中有磁通经过的部分称为磁轭。

(4) 电刷装置。电刷装置的作用是使固定的电刷和旋转的换向器之间，能保持滑动接触，将电枢绕组发出的电势和电流，引到外电路和负载；或者将直流电引到电枢两端，保证电动机在电磁转矩作用下按一定方向旋转。电刷装置是由刷杆座、刷杆、刷握、电刷和铜丝辫组成。如图 1-8 所示。电刷放在刷握内，用弹簧压紧在换向器上，刷握固定在刷杆上，刷杆固定在刷杆架上、彼此间都绝缘，刷杆座装在端盖上或轴承内盖上，调整好位置后，将它固定。

2. 转子部分

转动部分称为转子，又称为电枢，其作用是产生感应电势和电磁力矩，从而实现能量的转换。它由电枢铁芯和电枢绕组、换向器、转轴等组成。

(1) 电枢铁芯。电枢铁芯是用来嵌放电枢绕组，并作为主磁极和换向极的一部分磁路，为了减少铁芯的铁耗，通常用 0.5mm 的硅钢片冲迭而成，固定在转子支架上，再将转子支架套在转轴上，如图 1-9 所示。

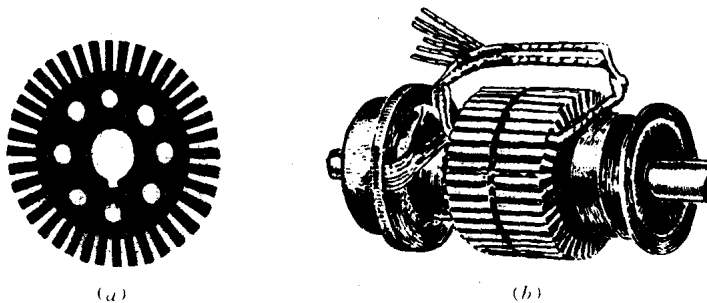


图 1-9 电枢铁芯冲片和铁芯

(a)电枢铁芯冲片 (b)电枢铁芯

(2) 电枢绕组。电枢绕组是由许多按一定规律联接的线圈组成，它是直流电机的电路部分，也是通过电流和产生感应电势，从而实现机电能量变换的关键部件。线圈用带绝缘的圆形和矩形截面导线绕成，嵌放在电枢槽内。

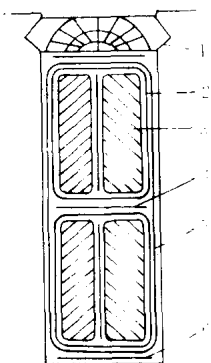


图 1-10 电枢槽内绝缘

1-槽楔 2-线圈绝缘 3-导体
4-层间绝缘 5-槽绝缘 6-槽底绝缘

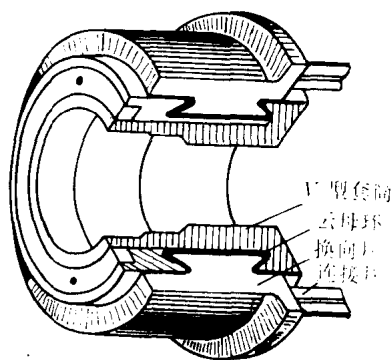


图 1-11 换向器

上下层之间以及线圈与铁芯之间都要妥善地绝缘如图 1-10 所示。然后用槽楔压紧,再用钢丝或玻璃丝带扎紧,以防止离心力将绕组甩出槽外,在大型电机中,绕组伸出槽外的端接部分也应扎紧在支架上。

(3) 换向器。换向器也是直流电机的重要部件,在直流电动机中,它的作用是将电刷上的直流电流转换为绕组内的交流电流;在直流发电机中,它将绕组内的交流电势转换为电刷端上的直流电势。换向器由许多换向片组成。换向片之间用云母片绝缘。电枢的每一个线圈两端分别接在两个换向片上。换向器的结构形式如图 1-11 所示。

§ 1-2 直流电机铭牌数据和主要系列

一、直流电机的铭牌数据

每台直流电机的机座上都有一个铭牌。上面标注着型号和一些叫做额定值的铭牌数据。型号——表示直流电机属于哪一类别,它往往用字母与数字组合一起表示,如 Z2—12, Z 表示直流电机,2 表示第二次设计,12 中的 1 表示 1 号机座,2 表示电枢铁芯长度。额定值是电机制造厂对电机正常运行时,对有关的电量或机械量所规定的数值。电机在额定值下运行的情况称为额定工况,该工况下运行可保证电机的可靠工作及优良的性能。直流电机的额定数据有:额定功率 P_N 、额定电压 U_N 、额定电流 I_N 、额定转速 n_N 、额定励磁电压 U_{fN} 、额定励磁电流 I_{fN} 和励磁方式等等。在电机理论中,额定功率是指输出功率,对发电机是指电功率、对电动机是指输出的机械功率。

二、直流电机的主要系列

为了产品的标准化和通用化,电机制造厂生产的产品有很多是系列电机,所谓系列电机就是指在应用范围、结构型式、性能水平、生产工艺方面有共同性,功率按一定比例系数递增,并成批生产的一系列电机,我国直流电机的主要系列简介如下:

(1) Z2 系列。为一般用途的小型直流机系列,Z2 系列的电动机使用于恒速或调速范围不大于 1:4 的电力拖动系统中。Z2 系列的发电机可作照明、动力电源或其他恒压供电之用。系列

容量为 0.2~200kW。电动机电压为 110V、220V、转速为 600、750、1000、1500、3000r/min。发电机电压为 115V、230V，转速为 960、1450、2850r/min。

(2) Z 和 ZF 系列。为一般用途的中大型直流电机系列。“Z”为直流电动机型号，“ZF”为直流发电机型号。本系列中，中型直流电动机用于拖动轧延机床的辅助机构，和其他需变速的中型和大型的金属切削机床、挖土机、造纸机及卷扬机等。本系列中，中型直流发电机适用于无冲击性原动机传动的电源发动机。系列容量为 55~1450kW。电动机电压为 220、230、440、600V，转速为 300、400、500、750、1000r/min。发电机的电压为 230、330、460、660V，转速为 1000、1500r/min。本系列大型电动机分为可逆转、非可逆转及矿井卷扬机电动机等，可逆转电动机的容量为 1000~5320kW，非可逆转电动机的容量为 1000~5380kW；矿井卷扬电动机的容量为 1000~4000kW。发电机作为大容量直流电源。

(3) ZZJ 系列。这个系列是专供起重冶金用的专用直流电动机，它们具有快速启动和承受较大过载倍数的特性。

还有各种其他型号的系列直流电动机。各种型号直流电动机的详细规格，技术指标等可查阅产品目录或电机工程手册。

§ 1-3 直流电机的绕组

一、电枢绕组的一般介绍

电枢绕组是电枢上按一定规律联接起来的所有线圈的总称。每个线圈可以由单匝或多匝导线绕成。它的两端分别接到两片换向片上，构成整个电枢绕组的基本组成部分，称为绕组元件。

电枢绕组是直流电机进行能量转换的部件，机械能转换为电能或电能转换为机械能就在此进行。同时直流电机的感应电势和电磁转矩也在这里产生。此外，电机绕组的结构对电机最基本的参数和性能都有影响。所以，电枢绕组是直流电机的主要部件。在直流电机的生产成本中，电枢绕组也占着比较重要的部分。因此，对电枢绕组的要求：一方面能产生足够的电势，通过一定的电流，产生足够的电磁转矩；另一方面要尽可能节约有色金属和绝缘材料，并要求结构简单，运行安全可靠。

电枢上每个单元槽(或虚槽)内放置两个元件的有效边(上层边和下层边)，而每个绕组元件则有两个有效边放置在不同的槽内，显然，电枢绕组元件数 S 等于单元槽(或虚槽)数 Zu ，即

$$S = Zu = uZ \quad (1-1)$$

式中： Z ——电枢实槽数；

u ——每个实槽内包含的单元槽(或虚槽)数。

同时每个绕组元件的两端分别接到两换向片上，而每一片换向片又联接有两个不同线圈的端部。这样，电枢绕组元件数 S 等于换向器上的换向片数 K ，即

$$S = K \quad (1-2)$$

因此，在直流电机中，电枢绕组元件，换向器上的换向片和单元槽(或虚槽)数相等，即

$$S = K = Z \quad (1-3)$$

在直流电机中，电枢绕组是按一定规律联接起来而形成闭合回路。按照绕组元件联接的规