

高等职业技术学院教材

电机

及

拖动基础

刘子林 主编

Dianji Ji Tuodong Jichu



武汉理工大学出版社

前 言

《电机及拖动基础》一书是根据电气自动化专业的教学计划和“电机及拖动基础”课程大纲编写的。

全书力图使电机及电力拖动基础两部分内容有机地结合起来,基础理论以必须够用为度,减少不必要的数理论证和数学推导,加强针对性,增强实践,突出实用,强化学生的工程意识,培养学生解决实际问题的能力。

本书的绪论、第一、二、六、七、八章由刘子林编写;第三、四章由王建民编写;第五章由宋永兴编写;第九、十、十一、十二、十三、十五章由龙望南编写;第十四章由张焕丽编写。全书由刘子林任主编,龙望南任副主编。

在编写过程中参考了大量的兄弟院校的有关教材和书籍,对此表示衷心地感谢。

由于编者水平有限,书中有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

1999年4月

目 录

绪论	(1)
----------	-----

第一篇 直流电机及拖动基础

第一章 直流电机的基本原理	(5)
第一节 直流电机的基本工作原理	(5)
第二节 直流电机的基本结构和额定值	(8)
第三节 直流电机的电枢绕组	(12)
第四节 电枢绕组的感应电势和电磁转矩	(18)
小结	(19)
习题	(20)
第二章 直流电机的磁场和换向	(21)
第一节 直流电机的磁场	(21)
* 第二节 直流电机的换向	(25)
小结	(31)
习题	(31)
第三章 直流发电机	(33)
第一节 直流发电机的基本方程式	(33)
第二节 他励发电机的运行特性	(37)
第三节 并励发电机的运行特性	(39)
第四节 复励发电机的运行特性	(42)
小结	(43)
习题	(43)
第四章 直流电动机	(44)
第一节 直流电动机的基本方程式	(44)
第二节 并励直流电动机的工作特性	(47)
第三节 直流并励电动机的机械特性	(49)
第四节 直流串励电动机和复励电动机	(55)
* 第五节 运动方程	(57)
第六节 直流电动机的正、反转和电力拖动稳定运行的条件	(59)
小结	(62)
习题	(63)
第五章 直流并(他)励电动机的启动、调速和制动	(64)
第一节 直流电动机的启动	(64)
第二节 直流并(他)励电动机的调速	(69)
第三节 直流并(他)励电动机的制动	(75)
小结	(81)
习题	(82)

第二篇 变压器

第六章 变压器的结构和基本原理	(84)
第一节 变压器的用途、分类和结构	(84)
第二节 单相变压器的空载运行	(92)
第三节 变压器的负载运行	(99)
第四节 变压器负载运行时的等值电路和相量图	(101)
第五节 变压器参数的测定	(106)
第六节 标么值	(109)
第七节 变压器的运行特性	(111)
小结	(116)
习题	(117)
第七章 三相变压器	(119)
第一节 三相变压器的磁路系统	(119)
第二节 三相变压器的电路系统——联接组	(120)
* 第三节 三相变压器联接组和磁路系统对电势波形的影响	(129)
第四节 变压器的并联运行	(132)
小结	(136)
习题	(137)
第八章 其它用途的变压器	(138)
第一节 自耦变压器	(138)
第二节 仪用互感器	(141)
第三节 电焊变压器(交流弧焊机)	(144)
小结	(146)
习题	(146)

第三篇 交流电机及拖动基础

第九章 三相异步电动机的基本原理和结构	(147)
第一节 三相异步电动机的基本结构	(147)
第二节 三相异步电动机的工作原理	(151)
第三节 交流电机的绕组	(157)
第四节 交流绕组的感应电势	(170)
小结	(175)
习题	(176)
第十章 三相异步电动机的运行原理和机械特性	(177)
第一节 三相异步电动机的空载运行	(177)
第二节 三相异步电动机的负载运行	(180)
第三节 三相异步电动机的等值电路和相量图	(183)
第四节 异步电动机参数的测定	(190)
第五节 三相异步电动机的功率和转矩平衡方程式	(194)
第六节 三相异步电动机的电磁转矩	(196)
第七节 三相异步电动机的机械特性和工作特性	(201)

小结	(205)
习题	(206)
第十一章 异步电动机的电力拖动基础	(208)
第一节 三相鼠笼式异步电动机的启动	(208)
第二节 三相绕线式异步电动机的启动	(216)
第三节 三相异步电动机的调速	(222)
第四节 三相异步电动机的制动	(234)
小结	(240)
习题	(240)
第十二章 单相异步电动机	(242)
第一节 单相异步电动机的工作原理和特性	(242)
第二节 单相串励电动机的结构、工作原理和特性	(254)
本章小结	(257)
习题	(257)
第四篇 同步电动机、控制电机和电动机的选择及维护	
第十三章 同步电动机	(258)
第一节 三相同步电动机的类型和结构	(258)
第二节 同步电动机的运行原理	(260)
小结	(271)
习题	(271)
第十四章 控制电机	(272)
第一节 伺服电动机	(272)
第二节 测速发电机	(276)
习题	(279)
第十五章 电动机的选择及维护	(280)
* 第一节 电机的发热和冷却及工作方式	(280)
第二节 电动机的选择	(282)
第三节 电动机常见故障及维护	(284)
小结	(288)
习题	(289)
参考文献	(290)

绪 论

一、电机及拖动在国民经济中的重要作用

电能是我国国民经济各部门中动力的主要能源,而电能的生产、变换、传输、分配、使用和控制都必须通过电机来完成。

在电力工业中,发电机和变压器是发电厂和变电所的主要设备。在工业企业中,如机械、冶金、化工、建材等工业中的机床、电铲、轧钢机、吊车、卷扬机、搅拌机、鼓风机等各种工作机械均广泛地采用各种规格的电动机去拖动。电动机的作用是将电能转换成机械能,带动生产机械运行,因而它是生产机械的原动机。在一个现代化工厂中需要几百至几万台电机。在交通运输业中,如城市交通运输和电气化的铁道,需要各种具有良好启动和调速性能的牵引电机。在航运和航空事业中又需要各种特殊的电机。在农业中,如电力排灌、脱粒、碾米、榨油、粉碎等农业机械也广泛地采用电动机拖动。在现代家庭生活中,如洗衣机、电冰箱、空调、电风扇、吸尘器家用电器,需要各种小型电动机来拖动。在自动控制技术中,各种各样的微型控制电机广泛地作为检测、放大、执行和解算元件。

凡以电动机来拖动生产机械的方式,称为电力拖动。它是现代工业企业最广泛、最重要的拖动方式,是工业生产高度电气化、自动化的基础和核心,而实现工业企业的电气化和自动化,对提高产品质量,改善工人的劳动条件,增加工作可靠性和提高劳动生产率,都具有重要意义。由此可见,在一个独立的国家里,国民经济的发展是离不开电机工业的发展的,电机可称得上是电气化的心脏。

二、电机工业的发展简况

1. 电机的发展简史

电机工业的发展,同国民经济和科学技术的发展密切相关。随着生产力的发展,由于蒸汽动力在输送和管理上的不便,它已不能满足进一步发展的需要,这就迫使人们寻找新的能源和动力,这时电能得到了兴起和发展。1820年,奥斯特发现了电流的磁效应,从而揭开了研究电磁本质的序幕。1821年,法拉第进行了通电导体在磁场中产生电磁力的实验以后,便出现了电动机的雏形。1831年,法拉第提出了电磁感应定律,随后便出现了各种各样的原始型的发电机。直到1880年,美国人爱迪生使直流电机得到了完善。与此同期,1824年,阿拉果发现了旋转磁场现象,这对三相交流电机的产生奠定了基础。1889年,多里沃-多勃罗·沃尔斯基提出了采用三相制的建议,又设计和制造了三相变压器和三相异步电动机。到了1891年,三相制开始使用,从而开拓了电能应用的新局面,工业上的动力机械很快被电动机所代替,人类从繁重的体力劳动中解放出来,并完成了过去不易完成的生产任务,大大提高了劳动生产力,同时也为生产过程自动化创造了有利条件。

随着科学技术水平的提高,电力工业的不断发展,发电机和变压器单机容量不断增大,中、小型电动机应用范围的不断扩大,电机性能指标和经济效益不断提高,这是电机制造工

业发展的重要趋势。到1940年,发达资本主义国家生产的同步电机达20万kW。目前为150万kW。

2. 我国电机工业的发展

19世纪后半叶,正是电机工业在世界上迅猛发展时期,而中国已逐步沦为半封建、半殖民地国家,电机工业的发展受到了严重的束缚。直到解放前夕,全国仅沿海几个大城市有几家规模小、技术落后的电机厂,主要从事电机的修理与装配,生产的电机容量很小,发电机单机容量不超过200kW,电动机不超过134kW,变压器不超过2000kV·A。

解放后,电机工业得到了迅速发展。1953年进行了中小型电机全国统一设计;1957年的电机年产量达145.5万kW,是1949年的23倍,电机自给率达到了75%;1958年制造了在国际上属首创的 12×10^3 kW双水内冷汽轮发电机,震动了国际电工界。1972年创造了 3×10^5 kW双水内冷汽轮发电机和 3×10^5 kW双水内冷水轮发电机。1987年制成了 6×10^5 kW定子水内冷、转子氢内冷大型汽轮发电机。现正在设计和试制 1×10^6 kW的水轮发电机组,目前已能生产 8×10^3 kW的三相异步电动机。并于1985年规定停止生产J2、J02系列,代之以新的是按国际电工委员会(IEC)标准自行设计的Y系列中小型异步电动机,现正在研制Y系列异步电机的派生YX系列节能电机。

在变压器方面,1955年制成了154kV、 2×10^4 kV·A的三相变压器。1970年可生产出330kV、 36×10^4 kV·A的三相变压器。现已能生产500kV、 36×10^4 kV·A及以下的各类变压器,规格达千余种。1985年规定生产和采用低损耗变压器S7和S9,并代替目前在供电线路上运行的一般电力变压器。

随着国民经济的发展,我国电机制造工业将与世界先进水平愈来愈接近。

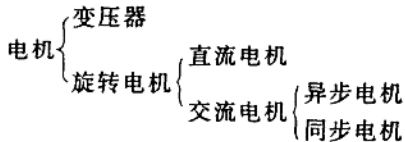
三、电机的类型及所用的材料

1. 电机的分类

电机品种规格繁多,按功能可分为:

- (1)发电机——将机械能转换成电能。
- (2)电动机——将电能转换成机械能。
- (3)变压器、变频器——分别用来改变电压和频率。
- (4)特种电机——用于自动控制系统中,完成信息的某种处理。

根据运行状况又可按以下分类:



2. 电机所用材料

电机的共同特点是,其工作原理都基于电磁感应定律和电磁力定律,并以能量转换和输出为目的。因此,电机有磁路和电路,二者之间或导体之间都需要绝缘物质隔开,另外,还需要使电机构成整体的结构材料。

(1)导电材料:是电机中的电路部分,为减小电阻损耗,必须采用电阻率小、导电性能良好的材料,常用铜线或铝线制成。

(2)导磁材料:是电机的磁路部分,为增大导磁系数,常用硅钢片、钢板和铸钢制成。

(3)绝缘材料:要求介电强度高,耐热性能好。根据其耐热能力,绝缘材料可分为六个等级,其极限允许温度见表 0-1。

表 0-1

绝缘等级	A	E	B	F	H	C
极限允许温度(C)	105	120	130	155	180	180 以上

(4)结构材料:要求机械强度好,用以支撑和连接其它机械,使电机成为整体,常用铸铁、铸钢和钢板,小型的用铝合金和工程塑料。

3. 铁磁材料的特点及损耗

(1)磁滞现象和损耗 铁磁材料包括铁、钴、镍以及它们的合金,这些材料的导磁系数 μ_{Fe} 是非导磁材料的导磁系数 μ_0 的 2000~6000 倍,故同样大小的激磁电流,铁芯线圈产生的磁通比空心线圈产生的磁通大许多。

电机的磁路是铁磁材料制成的,必然出现磁滞现象,如图 0-1 所示。

根据电工原理可知,铁磁材料在交变磁场作用下而反复磁化过程中,磁畴之间不停地相互摩擦,必然引起损耗,这种损耗称为磁滞损耗 P_h ,其大小与磁通密度 B_m 有关。实验表明:磁滞损耗与磁通交变的频率 f 成正比,与磁通密度的幅值 B_m 成正比,即:

$$P_h \propto f B_m^2 \quad (0-1)$$

常用硅钢片,当 $B_m=1.0\sim 1.6T$ 时, $\alpha=2$ 。硅钢片磁滞面积较小,故电机和变压器常用硅钢片叠成。

(2)涡流损耗 P_w 如图 0-2 所示,当交变的磁通 Φ 穿过铁芯时,在铁芯中必然产生电势 E_w 和电流 I_w , I_w 在铁芯中呈涡流状流动,称为涡流。涡流在铁芯中必然产生损耗,称为涡流损耗 P_w ,即:

$$P_w = I_w^2 r_w = I_w r_w \frac{E_w}{r_w} = \frac{E_w^2}{r_w} \quad (0-2)$$

由于电势 E_w 与频率和交变磁通成正比 ($E_w \propto f \Phi_m$),而磁通又与磁通密度成正比 ($\Phi_m \propto B_m$),因此可得:

$$P_w \propto \frac{f^2 B_m^2}{r_w} \quad (0-3)$$

实验表明,电工钢片的涡流损耗还与钢片厚度 d^2 成正比,所以:

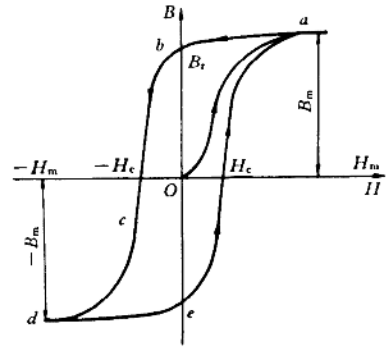


图 0-1 铁磁材料的磁滞回线

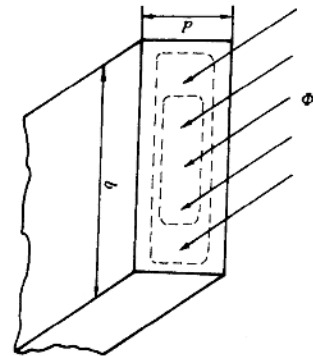


图 0-2 一片硅钢片中的涡流

$$P_w \propto \frac{f^2 B_m^2 d^2}{r_w} \quad (0-4)$$

式中： r_w ——涡流回路等效电阻。

可见，为了减小涡流损耗，钢片采用 0.35~0.5mm 厚，并在钢片中加入 4% 左右的硅，以提高电阻率，故称为硅钢片。

常将磁滞损耗 P_h 与涡流损耗 P_w 合在一起，称为铁耗 P_{Fe} ，即：

$$P_{Fe} = P_h + P_w \quad (0-5)$$

四、电机及拖动基础的主要内容、任务及学习方法

“电机及拖动基础”是工业企业电气自动化和电气装备专业的一门重要技术基础课。内容包括电机学原理和电力拖动原理两部分，即直流电机及拖动、变压器、异步电机及拖动、同步电机、电机容量的选择和控制电机。它具有电机学中最基本的内容，同时又有电机学基本理论的进一步应用。

“电机及拖动基础”这门课的主要任务，是使学生掌握交流电机、直流电机、变压器、控制电机的结构与基本工作原理和分析方法。掌握电力拖动的基本知识，具有使用和维护电机的一般技能，培养学生独立分析问题和解决问题的能力，同时又为后续课程奠定基础。

学习“电机及拖动基础”的方法：

(1) 电机比较复杂，学习结构时应结合实物弄清各部件的组成和作用，以增强感性认识，这是学习和使用电机的前提。

(2) 电机及拖动基础的理论性较强，一定要认真复习全电流定律、电磁感应定律、电磁力定律、电路定律，以便应用这些定律分析电机及拖动问题，这是学习电机的基础。

(3) 学习基本理论，弄清电磁关系及各物理量的概念等内容。

(4) 注意各电机的共同点和不同点，以及不同电机间的联系，要善于进行归纳总结，加深理解。

(5) 要注意理论联系实际，在电机及拖动基础实验、实习、电机课程设计及实施中多动脑动手，把课堂上所学的理论用来分析电机故障和检修等实际问题。

第一篇 直流电机及拖动基础

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机械称为直流发电机,将直流电能转换成机械能的机械称为直流电动机。这种能量的变换过程是可逆的。

直流电动机的主要优点是,调速范围宽广,平滑性、经济性较好,且具有较大的启动转矩,因此,在调速要求比较高的场合,如轧钢机、卷扬机、电力机车、大型机床和水泥厂的旋转窑等生产机械中,广泛采用直流电动机拖动。直流发电机主要用作直流电源,但近年来,随着电力、电子技术的发展,直流发电机正在被晶闸管整流装置所取代。本篇主要分析直流电机的基本工作原理、结构和运行特性。

第一章 直流电机的基本原理

第一节 直流电机的基本工作原理

一、直流电机的模型结构

为了简单明了,首先从一台简单模型电机开始讨论直流电机的工作原理。

图 1-1 表示一台直流电机模型图。N、S 为定子上固定不动的两主磁极,它可以是永久磁铁,也可以是电磁铁,在电磁铁外面套有一励磁线圈,通以单方向的直流电流,便形成一定极性的磁极。

在两主磁极 N、S 之间装有一个可以转动的、由铁磁材料制成的圆柱体,圆柱体表面嵌有一线圈 $abcd$,线圈首末两端分别连接到两弧形的铜片(称为换向片)上,换向片之间用绝缘材料构成一整体,称为换向器,它固定在转轴上(但与转轴绝缘),随转轴一起转动,整个转动部分称为电枢。为了接通电枢内电路和外电路,在定子上装有两个固定不动的电刷 A 和 B,并压在换向器上,使其转动接触。

二、直流发电机工作原理

1. 感应电势的产生

当直流发电机电枢被原动机拖动,并以恒速 v 逆时针方向运动,如图 1-1(a)所示,线圈两有效边 ab 和 cd 将被磁力线切割,而产生感应电势 e 。其方向由右手定则确定,导体 ab 位于 N 极下, cd 位于 S 极下,产生的电势方向分别为 $b \rightarrow a, d \rightarrow c$ 。若接通外电路,电流从换向片 1 \rightarrow A \rightarrow 负载 \rightarrow B \rightarrow 换向片 2,电流从电刷 A 流出,具有正极性,用“+”表示;从电刷 B 流入,具有负极性,用“-”表示。

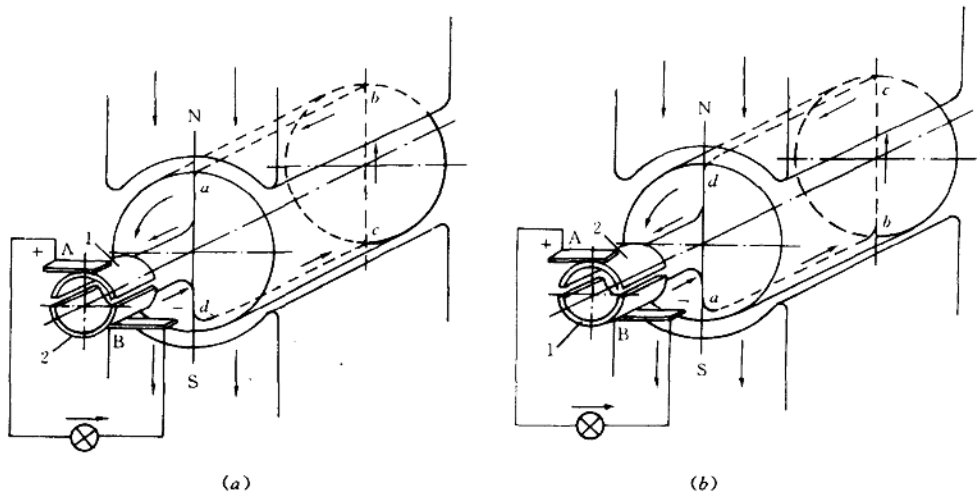


图 1-1 直流发电机的工作原理

当电枢转过 90° 时,线圈有效边 ab 和 cd 转到 N、S 极之间的几何中性线上,此处磁密 $B_r = 0$,故这一瞬时 $e = 0$ 。

当电枢转过 180° 时,导体 ab 和 cd 及换向片 1、2 位置互换,如图 1-1(b) 所示。 ab 位于 S 极下, cd 位于 N 极下,线圈两有效边产生的感应电势方向为 $a \rightarrow b, c \rightarrow d$,电势方向恰与开始瞬时相反。外电路中流过的电流从换向片 2 \rightarrow A \rightarrow 负载 \rightarrow B \rightarrow 换向片 1。可见,电刷 A 始终与转到 N 极下的有效边所连接的换向片接触,故电刷的极性始终不变,A 为“+”,B 为“-”。

由以上分析可知,线圈内部为一交变电势,但电刷引出的电势方向始终不变,即为单方向的直流电。

2. 电势的波形

根据电磁感应定律,每根导体产生的感应电势为:

$$e = B_r L v_a \quad (1-1)$$

式中: B_r —— 导体所在位置的磁通密度(T);

L —— 导体切割磁力线的有效长度(m);

v_a —— 导体线速度(m/s)。

要想知道电势的波形,先得找出磁密的波形,前已假设电枢以恒速 v_a 旋转, $v_a = \text{常数}$, L 在成品电机中是不变的,那么 $e \propto B_r$,即导体电势随时间的变化规律与气隙磁密的分布规律相同。我们设想,将电枢从外圆某一点沿轴切开,把圆周拉成一直线作横坐标,纵坐标表示磁密,而绘出 B_r 的分布曲线如图 1-2 所示,为一梯形波。N 极下磁密为正值,S 极下磁密为负值。由于 $e \propto B_r$,电势波形与磁密波形可用同一曲线表示,只需换一坐标即可得线圈内部交变电势波形。

通过电刷和换向器的作用,及时地将线圈内的交变电势变换成电刷两端单方向的直流电势,如图 1-3 所示,但它的大小却在零和最大值之间脉动。

由于电枢上只嵌放了一个线圈,不仅感应电势小,而且电势波动大,为了减小电势脉动,

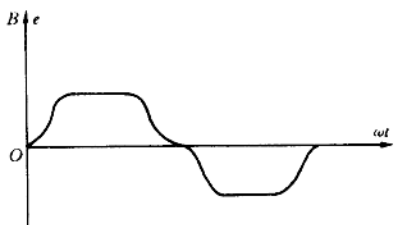


图 1-2 线圈内电势的波形

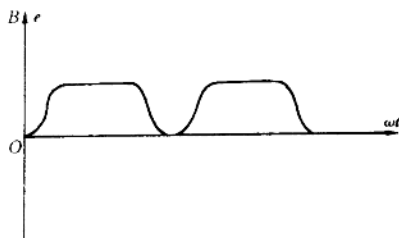


图 1-3 电刷两端的电势波形

在实际电机中,电枢是由许多线圈组成电枢绕组,这些线圈均匀地分布于电枢表面,并按一定规律连接起来。图 1-4 表示一台两极直流电机,电枢上嵌有在空间上互差 90° 的两个线圈产生的电势波形,可见,其脉动程度大大减小了。实践表明,若每极下线圈边数大于 8,电势脉动幅值将小于 1%,基本上为一直流电势,如图 1-5 所示。

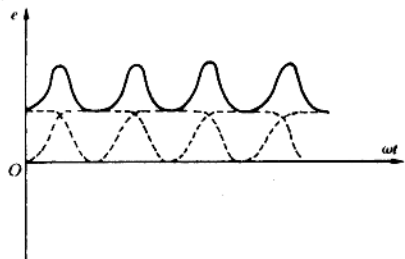


图 1-4 两个线圈换向后的电势波形

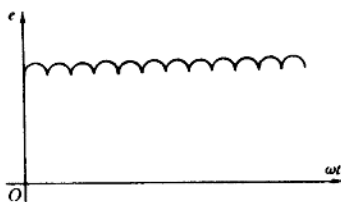


图 1-5 多个线圈电刷两端的电势波形

3. 直流发电机产生的电磁转矩

当发电机电刷两端获得直流电势后,若接上负载,便有一电流流过线圈,电流 i 与电势 e 方向相同。同时载流导体在磁场中必然产生一电磁力 f ,形成一转矩 T , T 的方向用左手定则判断可知, T 与电枢旋转方向刚好相反而起阻碍作用,故称为阻转矩。电机要维持发电状态,原动机就必须克服电磁转矩 T ,正是这种不断克服,从而实现了将机械能转换成电能。

三、直流电动机工作原理

图 1-6 为两极直流电动机工作原理图。直流电动机结构与直流发电机相同,不同的是电刷 A、B 外接一直流电源。图示瞬时电流的流向为 $+\rightarrow A \rightarrow$ 换向片 $1 \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow$ 换向片 $2 \rightarrow B \rightarrow -$ 。根据电磁力定律,载流导体 ab 、 cd 都将受到电磁力 f 的作用,其大小为:

$$f = B_x Li \quad (1-2)$$

式中: B_x ——导体所在位置的磁密(T);

L ——导体被磁力线切割的有效长度(m);

i ——导体中流过的电流(A)。

导体所受电磁力的方向用左手定则确定,在此瞬时, ab 位于 N 极下,受力方向从右向

左, cd 位于 S 极下, 受力方向从左向右, 电磁力对转轴便形成一电磁转矩 T 。在 T 的作用下, 电枢便逆时针旋转起来。

当电枢转过 90° , 电刷不与换向片接触, 而与换向片间绝缘物接触, 此时线圈中没有电流流过, $i=0$, 因而电磁转矩 $T=0$ 。但由于机械惯性的作用, 电枢仍能转过一个角度, 电刷 A、B 又将分别与换向片 2、1 接触。线圈中又有了电流 i 流过。此时导体 ab 、 cd 中电流 i 改变了方向, 即为 $b \rightarrow a$, $c \rightarrow d$, 且导体 ab 转到了 S 极下, ab 所受电磁力 f 方向从左向右。导体 cd 转到了 N 极下, cd 所受电磁力 f 方向从右向左。因此, 线圈仍然受到逆时针方向电磁转矩 T 的作用, 电枢始终保持同一方向旋转, 这就是直流电动机的工作原理。

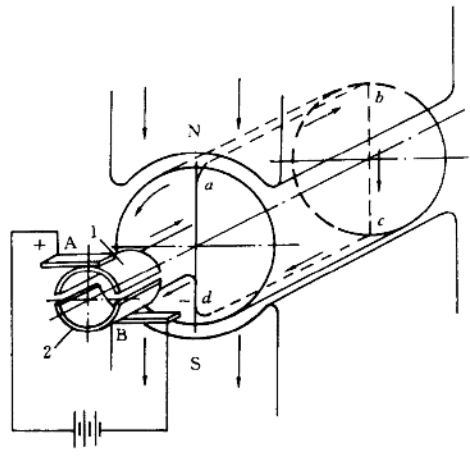


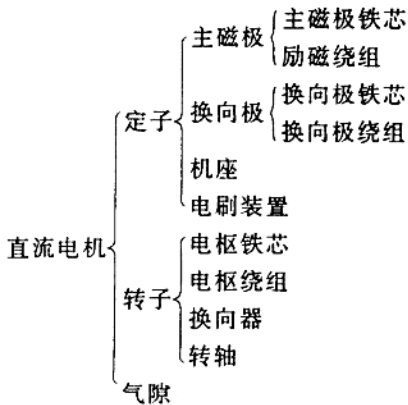
图 1-6 直流电动机工作原理图

在直流电动机中, 电刷两端虽加的是直流电源, 但在电刷和换向器的作用下, 线圈内部却变成了交流电, 从而产生了单方向的电磁转矩, 驱动电机持续旋转。同时, 旋转的线圈中也将产生一电势 e , 其方向与线圈中电流方向相反, 故称反电势。直流电动机若要维持继续旋转, 外加电压就必须高于反电势, 才能不断地克服反电势而流入电流, 正是这种不断克服, 从而实现了将电能转变成机械能。

第二节 直流电机的基本结构和额定值

一、直流电机的结构

直流电机的结构如图 1-7 所示, 它的组成如下:



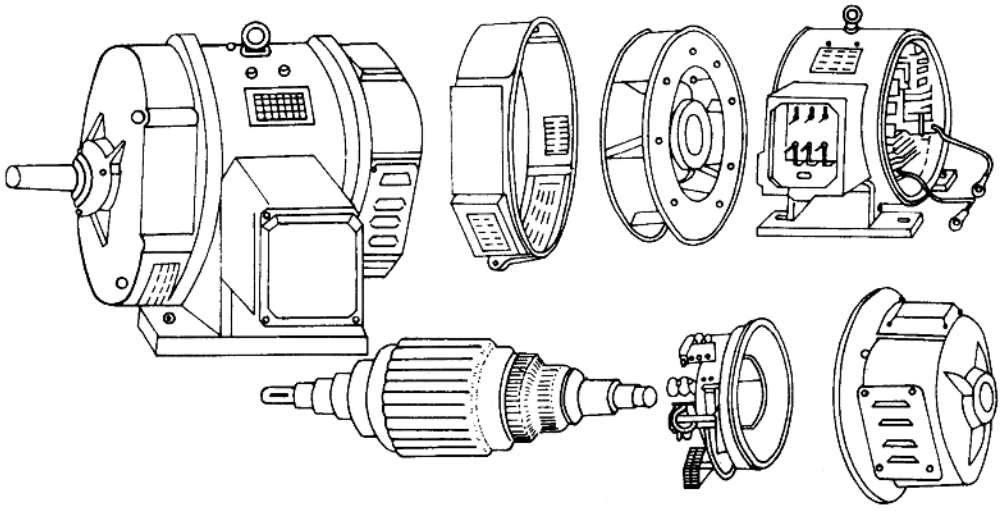


图 1-7 直流电机的结构图

1. 定子(静止部分)

定子的作用是产生磁场和作为电机机械的支撑。它主要由主磁极、换向极、机座和端盖以及电刷装置等组成。

(1)主磁极 是用来产生主磁通 Φ ，它由铁芯和励磁绕组组成，如图 1-8 所示。主极铁芯采用 0.5~1.5mm 厚的低碳钢板冲片叠压铆紧而成。靠近气隙的扩宽部分称为极靴，它既可使气隙磁密分布均匀，又便于固定励磁绕组。励磁绕组用绝缘铜线绕制而成，并经绝缘处理，套在主磁极铁芯上，再将整个主磁极用螺钉均匀地固定在机座上。励磁线圈一般串联起来，通以单方向励磁电流，保证主磁极 N、S 交替分布。

(2)换向极 换向极的作用是用来改善直流电机换向。它由铁芯和套在铁芯上的换向极绕组组成，如图 1-9 所示。换向极铁芯通常用整块钢或厚钢板制成。换向极绕组采用绝缘铜

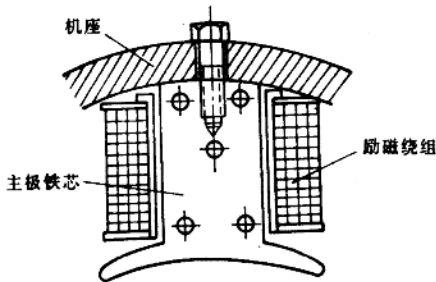


图 1-8 直流电机的主磁极

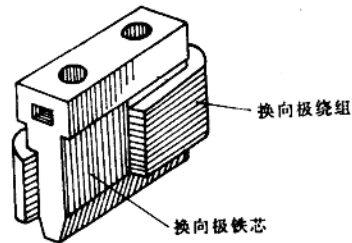


图 1-9 直流电机的换向极

线绕成,匝数较少,且与电枢绕组串联。换向极安装在两主磁极之间的中心线上,并用螺杆固定于机座上。

(3)机座 机座又称电机外壳,它既是电机磁路的一部分,又是用来固定主磁极、换向极、端盖,起支撑固定作用。它具有良好的导磁性能和足够的机械强度,一般用低碳钢或钢板焊接而成。

(4)电刷装置 它的作用是使转动部分的电枢绕组与外电路联接,将直流电流引出或引入电枢绕组。电刷装置由电刷、刷握、刷杆、刷杆座等组成,如图 1-7(f)所示。

2. 转子或称电枢(转动部分)

(1)电枢铁芯 电枢铁芯既是用来嵌放电枢绕组,又是磁路的一部分,常用 0.35mm 或 0.5mm 厚冲有齿和槽的硅钢片叠成。硅钢片两面涂有绝缘漆,以减小涡流损耗。电枢铁芯上还有轴向通风孔,如图 1-10 所示。

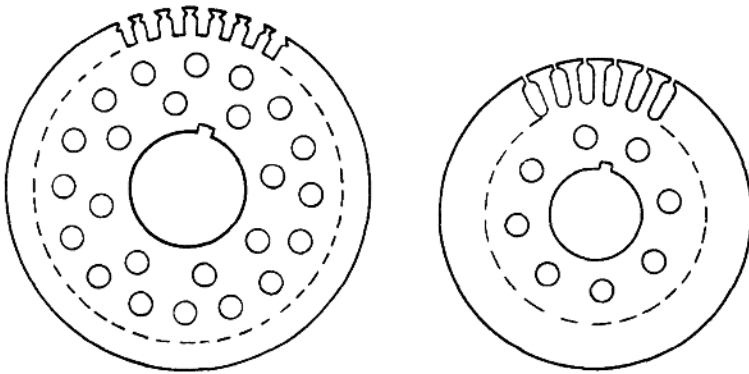


图 1-10 电枢铁芯冲片

(2)电枢绕组 它的作用是产生感应电势和电磁转矩,从而实现能量转换。电枢绕组是由绝缘铜线绕制而成的线圈,嵌放在电枢槽内,按照一定规律与换向片连接。电枢绕组的槽内部分用绝缘槽楔压紧,其端部用无纬玻璃丝带绑扎,如图 1-7(e)所示。

(3)换向器 换向器是直流电机的关键部件。它是由许多楔形铜片组装而成,形如圆柱体,换向片间垫以 0.4~1.0mm 厚的云母绝缘。换向片的下部做成鸽尾形,再用钢制的 V 形套筒和 V 形云母环固定,称为金属换向器,如图 1-11 所示。现代小型直流电动机已广泛采用塑料热压成型固定的换向器,称为塑料换向器。随着电子技术的发展,在无刷直流电动机中还采用电子开关换向器。

3. 气隙 δ

小容量电机,定、转子之间的气隙约为 0.5~4mm,大容量可达到 10~12mm。气隙对电机的运行性能影响很大。

二、直流电机的额定值和主要系列

每一台电机都有一块铭牌,上面标有一些数据,简要地介绍这台电机的型号、规格、性能,作为用户合理地选择和正确使用电机的依据。

1. 电机的额定值

根据国家标准要求设计和试验所得的一组反映电机性能的主要数据,称为电机的额定值。

(1)额定功率 P_N 指电机按规定的工作方式运行时,所能提供的输出功率。作为发电机额定功率是指电枢两出线端输出的电功率, $P_N = U_N I_N$; 作为电动机的额定功率是指电动机轴上输出的机械功率, $P_N = U_N I_N \eta_N$ 。单位为千瓦(kW)。

(2)额定电压 U_N 指电机安全工作时,电枢绕组允许输出的最高电压或外加电压。单位为伏(V)。

(3)额定电流 I_N 指电机按照规定的工作方式运行时,电枢绕组允许流过的最大安全电流。单位为安(A)。

(4)额定转速 n_N 是指电机在额定电压、额定电流和额定输出功率时,电机的旋转速度。单位为转/分(r/min)。

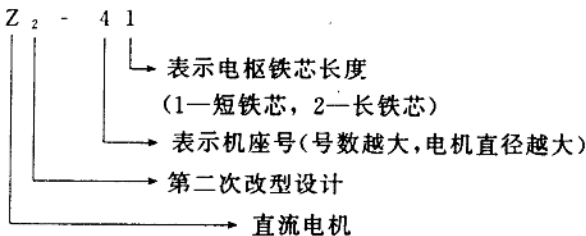
(5)工作方式 指电机在正常使用时持续的时间。一般分为连续、断续、短时三种。

另外,还有励磁方式、额定励磁电压、额定励磁电流、额定温升、额定效率 η_N 等。

2. 直流电机的主要系列

为了满足直流电机对各种生产机械的要求,将电机制造成结构基本相同、用途相似、容量递增的一系列电机。我国目前生产的直流电机主要有以下系列:

(1) Z_2 系列 是一般用途的中小型直流发电机和直流电动机,容量为0.4~200kW,转速为600~3000r/min。例如:



Z_2 系列直流电机是第四次统一设计的小型直流电机,它的体积小,性能好,效率高,可与当今国际先进水平的电机较量,作为国家的标准产品正逐步代替 Z_2 和 Z_3 系列电机产品。

(2)ZF、ZD系列 这是一般用途的大中型直流电机系列。ZF表示直流发电机,ZD表示直流电动机,容量为55~1000kW,转速范围为300~1500r/min。

(3)ZZY系列 冶金用直流电动机,容量为3~30kW,转速为900~1550r/min。

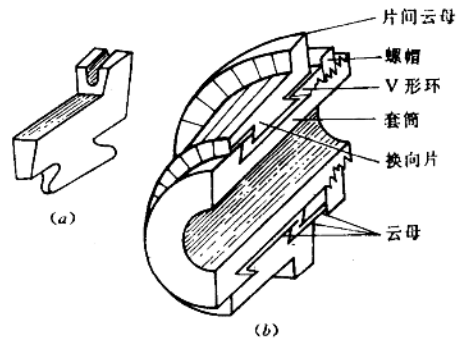


图 1-11 金属套筒式换向器及换向片的结构

(a)换向片;(b)换向器

第三节 直流电机的电枢绕组

一、直流电枢绕组概述

电枢绕组是由许多形状相同的线圈,按一定规律连接起来的总称。它是直流电机产生感应电势和电磁转矩,从而实现机电能量转换的枢纽,是直流电机的核心部分,故将转子称为电枢。

1. 对电枢绕组的要求

对电枢绕组,要求一定的导体数,应产生较大的电势;通过一定大小的电流产生足够大的电磁转矩。同时应尽可能节省有色金属和绝缘材料。并要求结构简单,运行安全可靠。

2. 绕组元件

绕组元件是用绝缘铜导线绕制而成的线圈,这些线圈是组成绕组的基本单元,故称为绕组元件。一个元件有两个有效边,其中一个有效边嵌放在某个槽的上层(称为上元件边),另一个有效边嵌放在另一个槽的下层(称为下元件边),如图 1-12(a)所示。元件的首末端分别接于两换向片上,如图 1-13 所示。在铁芯槽内的部分称为有效部分,槽外两端仅起连接作用,称为端接部分。

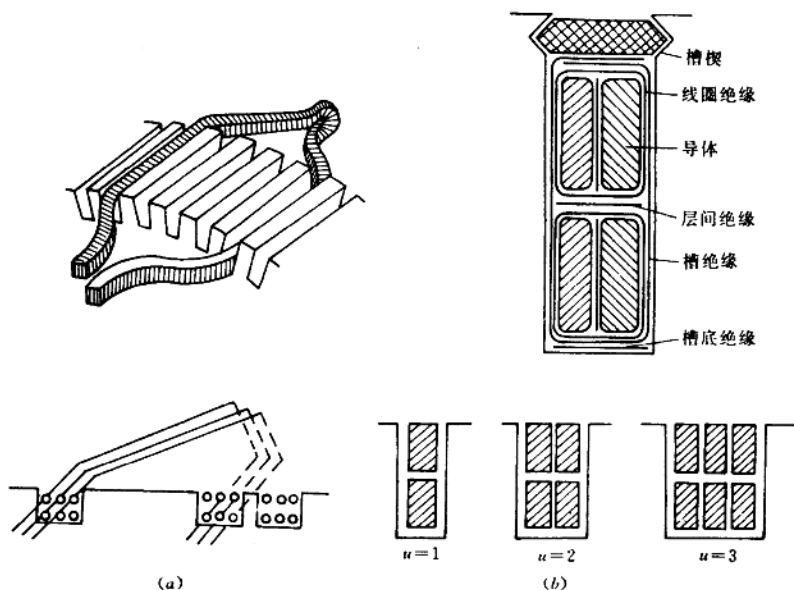


图 1-12 绕组元件在槽中的位置及虚槽与实槽的关系

(a)线圈在槽中的位置;(b)虚槽与实槽

3. 元件数 S 、换向片数 K 、虚槽数 Z_v 之间的关系

每个元件均有首末两端,而每一个换向片总是焊接着一个元件的末端和另一个元件的