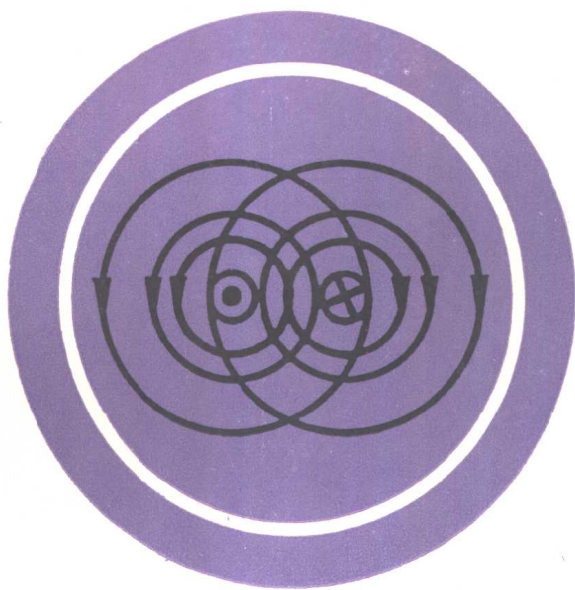




高级电工培训教材

电机原理与维修

劳动部培训司组织编写

中国劳动出版社

高级电工培训教材

电机原理与维修

劳动部培训司组织编写

中国劳动出版社

(京)新登字114号

电机原理与维修

劳动部培训司组织编写

责任编辑：张秉淑

中国劳动出版社出版

(北京市惠新东街1号)

北京顺义县兴华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

787×1092毫米 16开本 14.25印张 351千字

1992年4月北京第1版 1993年7月北京第3次印刷

印数：3000册

ISBN 7-5045-0951-5/1M·055(课)

定价：6.00 元

内 容 简 介

本书主要阐述了各种电机的原理、结构、特性、运行及维修、试验方法,其中包括交、直流电机和常用的若干特种电机,主要有交流和直流伺服电机、测速发电机、旋转变压器、自整角机、步进电机、换向器电动机、电磁调速异步电动机,并对直线电机、盘式电机等新型电机作了介绍。

本书主要用作高级维修电工的培训教材,也可供有关专业的技术人员和大专院校师生参考。

本书由凌德麟、王璋宇编写,凌德麟主编,赵承获主审。

前 言

随着科技进步与经济发展,电气设备使用广泛,特别是自动控制技术的应用推广,一些新型复杂的机电设备日益增多。对这些设备的安装、调试与维修任务越来越大,需要合格的高级电工越来越多。为使培训高级电工的工作逐步规范化,我们会同有关部门和地方组织编写了这套高级电工培训教材。

这套教材的编写是从企业生产实际出发,主要依据《工人技术等级标准》,既考虑到工人的实际技术状况,又适当兼顾今后生产发展的需要,使其不仅满足目前各行业培训高级电工的需要,又为培训对象进一步掌握新知识、新技能奠定基础。本套教材具有工人培训教材的讲求实际、实用、实效的特点。在内容上,努力做到理论与实践紧密结合,操作技能方面以培养工人掌握复杂操作的技能技巧和增强分析、判断、排除各种复杂故障的能力为重点;理论知识方面力求突出针对性、实用性,与技能训练紧密配合。文字叙述尽量做到深入浅出、通俗易懂,可供培训高级电工使用,也可供工人自学使用。

此套教材计有:《电气管理知识》、《微机原理与应用》、《电工基础》、《电子技术》、《电气测量》、《电机原理与维修》、《工厂电气控制技术》、《液压传动》、《工厂变配电技术》、《电气安装技术》、《高级维修电工技能训练》、《高级电工技能训练》等共12种。

教材的编写得到了航空航天部、建设部、轻工部、天津市机械局、上海、江苏、湖南、辽宁、河南、山东省(市)劳动厅(局)的支持。

由于高级工人培训教材的编写,目前尚无成熟经验可循,教学思想、教学内容、教学方法的改革都在研究探讨之中,书中存在一些缺点和不足在所难免。恳切希望广大读者提出宝贵意见,以便在适当的时候进行修订,使之更加完善。

劳动部培训司

目 录

绪论	1
第一章 直流电机	3
§ 1—1 直流电机结构与原理	3
§ 1—2 直流电机的绕组	9
§ 1—3 直流电机的感应电势和电磁转矩	19
§ 1—4 直流电动机的机械特性	22
§ 1—5 直流电动机的调速	26
§ 1—6 直流电动机的电枢反应	31
§ 1—7 直流电机的换向	34
习题	42
第二章 交流电机	43
§ 2—1 交流电机的三相绕组	43
§ 2—2 三相异步电动机的工作原理	55
§ 2—3 异步电动机运行时的电磁关系	57
§ 2—4 异步电动机的功率和转矩	65
§ 2—5 异步电动机的机械特性	67
§ 2—6 异步电动机的运行及起动与调速	73
§ 2—7 多速异步电动机的定子绕组	80
§ 2—8 三相同步发电机的结构	83
§ 2—9 同步发电机功率调整	87
§ 2—10 同步电动机的电枢反应	90
§ 2—11 同步电动机的功角特性和矩角特性	93
§ 2—12 同步电动机运行特性	97
§ 2—13 同步电动机的起动	98
习题	101
第三章 特种电机	103
§ 3—1 交流换向器电动机	103
§ 3—2 电磁调速异步电动机	108
§ 3—3 伺服电动机	113
§ 3—4 步进电动机	120
§ 3—5 测速发电机	128
§ 3—6 旋转变压器	132
§ 3—7 自整角机	135
§ 3—8 直线电机	139

绪 论

毫无疑问,电能的生产、输送、应用已作为现代文明社会的主要标志之一。在机械、电子、冶金、化工、军工、纺织、轻工部门的生产、控制设备中,运输机械、计算机系统、家用电器以及农业生产等方面,电机的应用越来越广泛。这当然与电能的转换、输送、控制简便高效有关,也与电机的品种、规格、性能的多样化、系列化有关,更与生产过程自动化程度的不断提高有关。随着电子技术、新型永磁材料的应用,电机技术有了明显的进步。四化建设的各行各业都离不开电机。作为高级维修电工,应该懂得种类繁多的电机。

根据劳动人事部培训司所拟高级维修电工培训教学计划,《电机原理与维修》列为主要专业课程。

在掌握了中级维修电工有关知识的基础上,本课程主要内容为交流电机、直流电机及常用特种电机的原理、构造、特性、运行方式和维修、试验方法。除一般原理外,较多介绍了特种电机和电机的维修及试验。

在电学和磁学分别发展的基础上,出现了电动机的雏型。印刷工人出身的科学家法拉第发现了载流导体在磁场内受力的现象,从此时一直到1882年,早期直流电机经过励磁、绕组、电枢结构上的不断完善及理论上不断完善的发展过程。即励磁绕组由永磁改为电流励磁,他励改为自励。电枢由凸极改为环形,发展到鼓形,后又改进为叠片铁心。绕组由集中到环形分布,又发展到鼓形电枢绕组。大约在同一时期(1832年)交流电机也出现了。但是直到1870年,因为直流输变电困难和直流电机的换向火花问题变得越来越突出,才促使交流电机有所发展。不同于直流电机发展过程的是,交流电机的发展与旋转磁场理论的发展是同步进行的。到1891年,和现代三相电力系统(由电机及变压器等组成)很相近的应用实例已制成。此后,交流三相制在电力工业中,逐步占了主导地位,交流电机的理论、材料、工艺及性能发展异常迅猛,与此有关的电力工业(发电、输电、配电等)及机械加工工业、电镀电解、电焊等技术及自动化仪表、自控技术、通讯技术等等相继获得迅速发展。

20世纪以来,由于工业、军工的需要和对电机内部电磁、发热等过程理论研究的深入,加上电机新原理、新材料、新工艺不断涌现,电机在性能、种类、标准化、可靠性等方面均有较大发展。如80年代超导技术突破后不久,超导电机即问世。

我国解放前,电机工业残缺不全,以修配为主,电机制造十分落后。建国四十年来,电机工业发展很快,生产厂家已达900多家,交流电动机年产量达3877万千瓦(1947年仅68000马力),发电机单机容量已达60万千瓦(1947年单台不大于200千瓦),仅中小发电机,现已有200多个系列,1100多个品种,近万个规格,交流小型通用电动机已研制出符合国际标准(IP44)Y系列新型电机,形成了完整的电机制造工业体系,基本满足了国内社会主义建设的需求,而且,有相当数量的产品打入国际市场。今后,我国电机制造及理论方面的研究,将有更快的发展。

本课程理论性和实践性均较强,考虑到学员已有一定的理论和实践知识,本教材注意以工程观点,从使用与维修角度叙述,注重物理概念,掌握电磁关系,机电能量转换关系,不

涉及过多过深的数学推导。

本教材除供作培训高级维修电工使用外，可供高校电机专业及相关专业学生和从事电气设备的使用维护、维修人员参考。

第一章 直流电机

直流电机是最早发展起来的一种电能和机械能相互转换的机器，目前，虽不如交流电机使用广泛，但由于其调速和起动性能好，尽管它有结构复杂、成本高等缺点，仍然获得广泛的应用。

把直流电能转换为机械能的电机称为直流电动机，反之，把机械能变成直流电能的电机称为直流发电机。

直流电机尽管结构比较复杂，但理论上相对比较简单。

§ 1—1 直流电机结构与原理

一、直流电机的结构

图1—1为Z₂直流电机结构图。

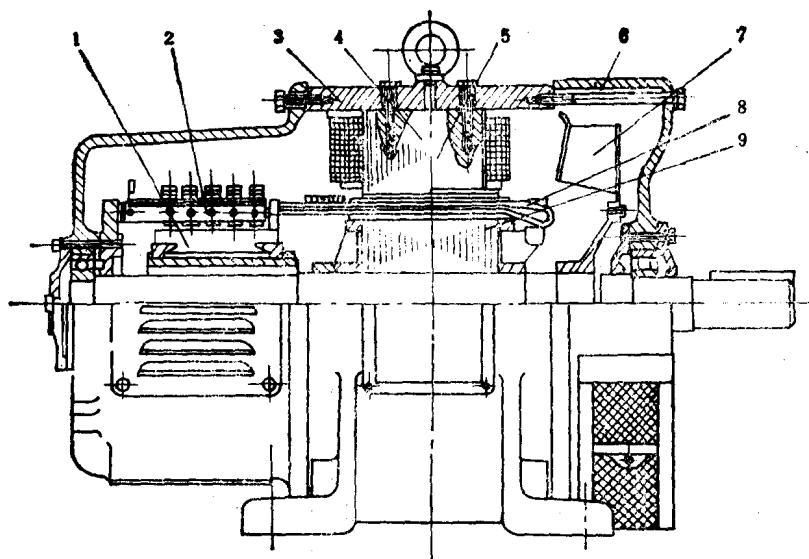


图 1—1 Z₂-92型直流电机剖面图

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

由图可见，直流电机与其它电机一样，由固定不动的定子、可以旋转的转子及定、转子之间的气隙组成。

1. 定子

它由机座、主磁极、换向极、电刷装置、端盖等组成。

(1) 机座

外形如图1—2(a)所示。主磁极和换向极都用螺栓固定在机座的内壁，两端固定端盖。

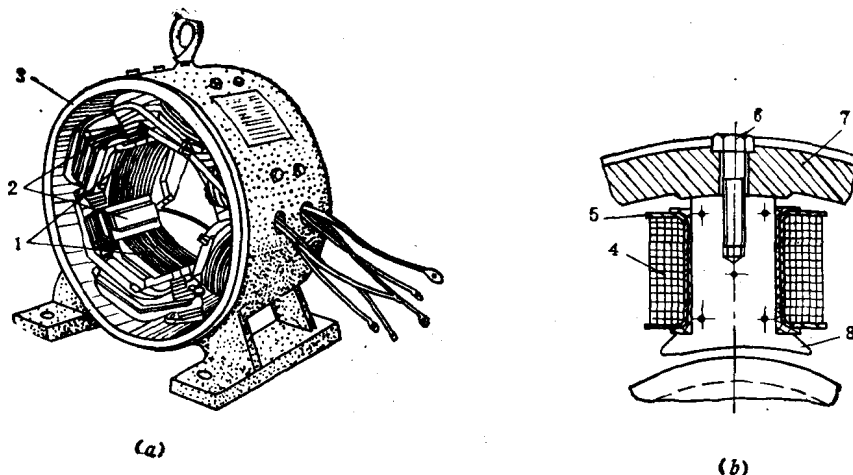


图 1—2 直流电机定子

(a) 机座轴测图 (b) 主磁极

1—主磁极 2—换向极 3—机座 4—励磁绕组 5—绝缘框架 6—螺栓 7—机座 8—主磁极铁心

可见，机座起机械支撑作用，机座的底脚把电机固定在基础上，另一方面，机座构成直流电机磁路的一部分，亦称定子磁轭。因此，机座通常用导磁性能较好的铸钢制成或用厚钢板焊成。

(2) 主磁极

外形如图1—2 (b) 所示。由主磁极铁心和套在铁心上的励磁绕组两部分组成。绕组所套部分称为极身，靠近电枢的较宽部分称为极靴。大多数直流电机的主磁极不用永久磁铁，而是由励磁绕组通以直流电来建立磁场，改变励磁电流方向，就可以改变磁场方向。极靴可以支撑励磁绕组，同时可减小气隙磁阻，并使气隙磁密沿电枢圆周分布更合理。电枢旋转时，在极靴下面，由于齿和槽的影响，使气隙磁阻发生变化，引起磁极表面磁密变化，在极靴表面产生涡流损耗。为了降低涡流损耗，主磁极铁心用0.5~3mm厚的低碳钢板冲成，然后叠压在一起，用铆钉铆紧，片间有氧化膜绝缘。绕组套好后，整个螺接在机座内表面上。

套在主磁极铁心上的励磁线圈有两种。一种称并励绕组，它的匝数多，导线细；另一种称串励绕组，它的匝数少，导线粗。各个主磁极上的励磁线圈组成励磁绕组，常以串联方式联接，以保证每个极上励磁电流相等。串联时，相邻主极线圈中电流环绕的方向相反，以保证主极极性沿圆周是N、S交替排列，且主极总是成双出现的。

(3) 换向极

外形图如图1—3所示。为了改善直流电机的换向，容量大于1千瓦的直流电机在相邻主极间有一小极，称为换向极。它由换向极铁心和换向极绕组组成。换向极铁心常用整块钢板加刨削而成。换向极上装有换向极绕组，它总是与电枢绕组串联的。一般由粗扁铜线绕成，匝数少。换向有关问题将在本章第七节中详叙。

(4) 电刷装置

结构如图1—4所示。电刷的作用一方面是将旋转电枢与外电路相接，作为电流的通路，另一方面是与换向器配合，起整流作用。电刷装置由电刷、刷握、刷辫、弹簧机构等构成。

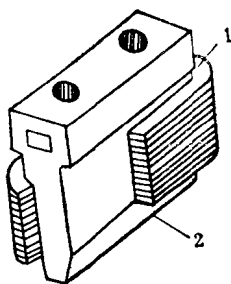


图 1—3 换向极

1—换向极绕组 2—换向极铁心

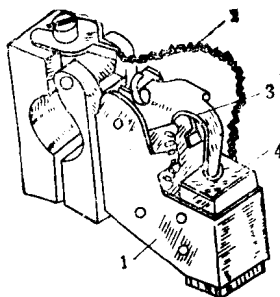


图 1—4 电刷及刷握

1—刷握 2—铜丝辫 3—压紧弹簧 4—电刷

电刷是由主要成分为石墨制成的导电块，放在刷握内，用弹簧以一定的压力压在换向器表面上。电刷后面的刷辫供电流出入。刷握装于刷杆支臂上，根据电流大小，每个刷杆支臂上装有一个或一组关联的电刷。同极性刷杆上的电流汇集一起，经接线板与电机外电路联接。弹簧压力可以调节，以保证电刷与换向器表面良好的接触。电刷与刷握的配合应良好，防止过紧与太松。一般电刷组数目等于主极数，各电刷组在换向器表面应均匀分布。各电刷组经刷杆支臂装在一个可以调整位置的座圈上，如图 1—5 所示。转动座圈时，可调整电刷杆在换向器表面上的相对位置。座圈套在端盖或轴承盖凸出部位上，由把紧螺钉紧固。

(5) 端盖

机座两侧各有一个端盖。端盖的中心装有轴承，中小电机一般用滚动轴承，大型电机用滑动轴承，且通常由座或轴承座直接支撑在底板上。

2. 转子

它由电枢铁心、电枢绕组、换向器、风扇、转轴和支架等组成。机电能量转换的感应电势和电磁转矩都在转子绕组中产生，是电机重要部件，故转子又称电枢。如图 1—6 (a) 所示。

(1) 电枢铁心

由如图 1—6 (b) 所示的电枢铁心冲片叠成，并固定在转子支架或转轴上。铁心作为磁路的一部分，并在其上安放电枢绕组。

当转子在主磁场旋转时，铁心中磁通方向是不断变化的，故有涡流及磁滞损耗。通常用 0.35~0.5 毫米厚涂绝缘漆的低硅硅钢片或冷轧硅钢片叠压而成，以减小损耗。冲片上有转子槽形，以嵌放电枢绕组，容量稍大的直流电机冲片中还有轴向通风孔，以形成轴向风路。对较大容量的电机，为加强冷却，常把电枢沿轴向分成若干段，各段间留出 10 毫米左右的间

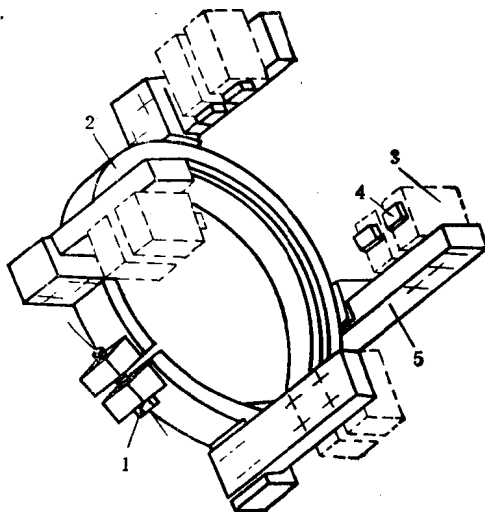


图 1—5 座圈装置

1—把紧螺钉 2—座圈 3—刷握装配 4—电刷
5—绝缘刷杆

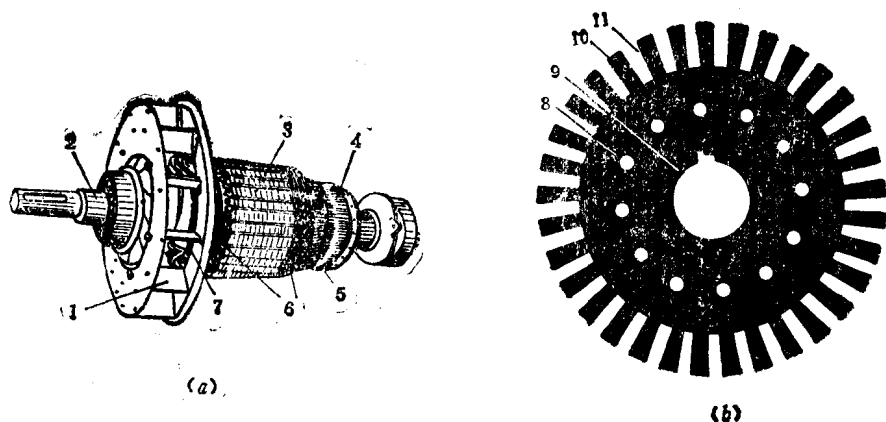


图 1—6 直流电机的转子

(a) 转子主体 (b) 电枢冲片

1—风扇 2—转轴 3—电枢铁心 4—换向器 5—电枢绕组 6—镀锌钢丝 7—电枢绕组
8—轴向通风孔 9—轴孔 10—齿 11—槽

隙，称为径向通风沟。这些电机运转时，可形成径向风路，降低绕组及铁心的温升。

(2) 电枢绕组

电枢绕组的作用是产生感应电势和通过电流，使电机实现机电能量转换。它由许多形状完全相同的线圈按一定的规律联接到相应换向片上，形成一个整体，线圈用绝缘导线绕制。分上、下二层嵌入铁心槽内，层间及线圈与槽间均加绝缘。形状一致的线圈称为元件，嵌放在槽内部分为有效部分，称为元件边，槽外两端起联接作用的部分，称为端接部分。

绕组导线截面取决于其通过电流的大小。几千瓦以下的电机常用带绝缘漆的圆导线，容量较大的电机，一般用矩形截面的导线。元件可为一匝，也可多匝。一个电枢槽内可以只放一个上、下元件边，也可以放多个上、下边。电枢槽口应注意加槽绝缘并用槽楔将绕组压紧在铁心槽内，以免电机转动时，元件因受离心力而甩出。容量较大的直流电机电枢绕组端接部分应用非磁性钢丝或无纬玻璃丝带捆紧，以保持绕组形状。

(3) 换向器

换向器是直流电动机中最重要的部件之一。它由许多上宽下窄的冷拉梯形铜排（或银、镉、锆等合金梯排）叠成圆筒形，片间用0.6~0.16mm的云母绝缘。为了将换向器叠成圆筒形，以便与电刷接触良好，常用钢质套筒或塑料紧固。常见有拱形塑料紧圈式和绑环式换向器，见图1—7。其直径一般为电枢直径的0.65~0.9倍，由较多的换向片组成，因换向器外径小于电枢外径，故换向器尾端有一升高部分（称升高片），电枢绕组首末端即接至升高片。

按换向器承受最大离心力的大小，即最高圆周速度来选用合适的结构。

小型电机多用塑料换向器，其结构工艺简单、省料。用云母板绝缘，再用酚醛玻璃纤维热压成一个整体。见图1—7 (a)，大中型电机常用套筒式的拱式换向器，片间以云母片绝缘，下部为燕尾形，V形环和V形套筒的截面形状与换向片的燕尾截面相同，并用压圈与V形套筒的轴向力使之成为一体。

(4) 风扇、转轴、支架

风扇为自冷式电机中冷却气流的主要来源，防止温升过高。转轴是电枢主要支撑件，它

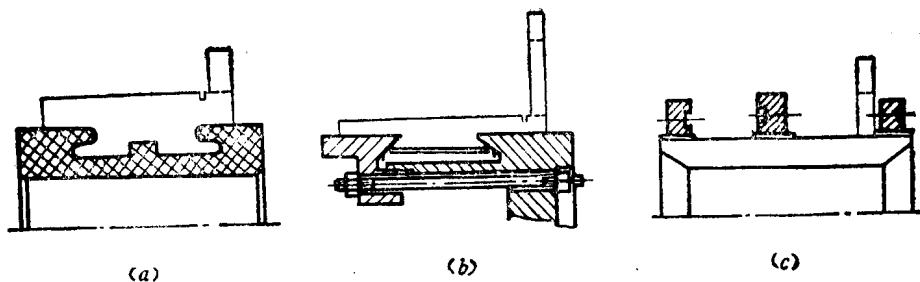


图 1—7 直流电机常见的换向器结构
(a) 塑料换向器 (b) 拱形换向器 (c) 绑环式换向器

传送扭矩、承受重量及各种电磁力，应有足够的强度、刚度及疲劳寿命。中小型电机多为实心台阶轴。支架是大中型电机电枢或转子组件的支撑件，有利于通风和减轻重量。

在主磁极与电枢之间有一气隙。气隙虽小，因空气磁阻较大，在电机的磁路系统中有重要的作用。其大小、形状对电机性能影响显著。小型电机气隙约为1~3mm，大型电机气隙约为10~12mm。

二、直流电机基本工作原理

直流电机的定子磁轭、主极铁心、气隙和电枢铁心构成磁路。励磁绕组和电枢绕组的合成磁势在气隙内形成气隙磁场，电枢绕组相对气隙磁场旋转感应电枢电势；载流电枢绕组和气隙磁场相互作用产生电磁转矩。这就是直流电机的基本工作原理。

1. 直流发电机工作原理

我们将电机定子假定为仅一对极的定子，且转子上仅有一匝线圈的一个元件，那么前述电机如图1—8所示。

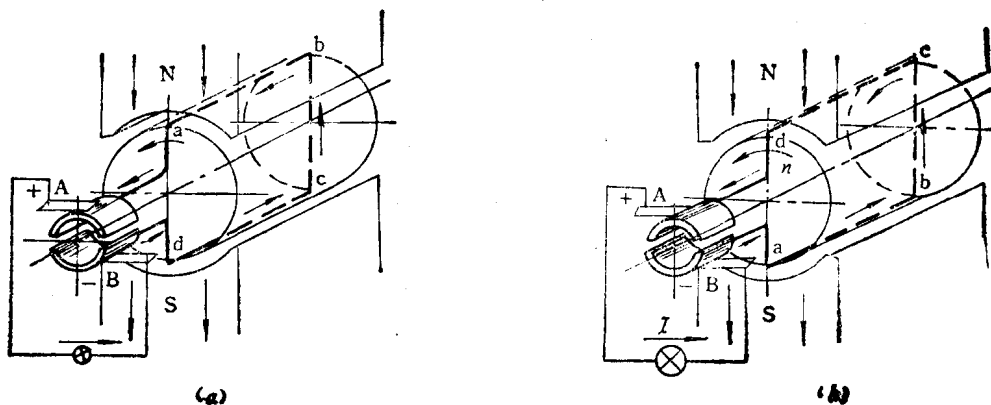


图 1—8 直流发电机工作原理

在原动机驱动下，转子以逆时针方向匀速转动，据电磁感应定律和右手定则，线圈abcd中产生感生电势，其方向如图中所示，大小为：

$$e = B_r l v \quad (\text{V}) \quad (1-1)$$

式中 B_r ——导体处磁密， Wb/m^2 ；

l ——磁极下，能切割磁力线导线的有效长度，m；

v ——线圈转动的线速度, m/s。

由于元件边ab、cd上电势方向相反, 所以线圈电势为导体电势的两倍。即

$$e_{abcd} = 2e = 2B_x l v \quad (\text{V}) \quad (1-2)$$

当转子转过 180° 时, 元件边电势反向, 则线圈电势必然反向。

可见线圈电势是交变的。由于电刷A、B的位置是固定的, 所以, 当转过 180° 后, 虽然元件边电流方向反向了, 但对于电刷而言, 经过换向器引到电刷的电位, 仍然是A电刷的电位高于B电刷电位。即电刷A、B间电位是在零和最大幅值间的脉动直流。为减低脉动并提高电势幅值, 在实际电机中, 电机表面均匀分布许多线圈, 且按一定规律联接。图1—9分别示出, 一对极下有一个线圈(a), 四个线圈(b)和多个线圈(c)的电势波形图。可以证明, 每极下导体数大于8时, 电势脉动幅度将小于平均电势的1%, 可以认为是恒定电势了。

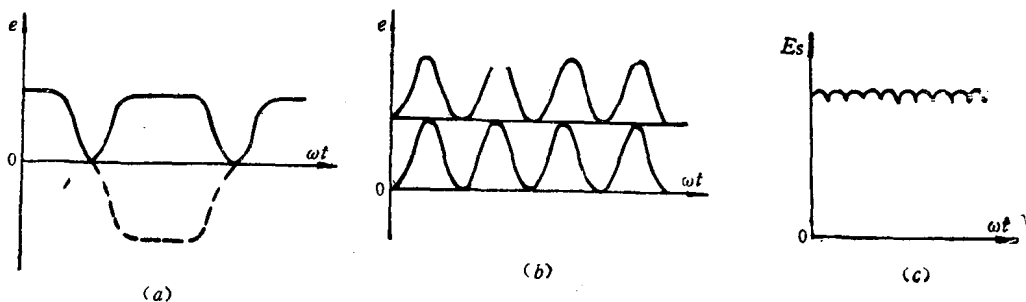


图 1—9 电刷A、B间的电势
(a) 一个线圈 (b) 四个线圈 (c) 多个线圈

由此可见, 虽然线圈边交替处于N、S极下, 线圈边和线圈上的电势是交变的, 但由于电刷通过换向器仅与在一定磁极下的线圈边相接触, 而在同一磁极下, 线圈边电势方向是不变的, 因此, 线圈内部是交流电而在电刷上得到的却是直流电。

2. 直流电动机的工作原理

在图1—8中, 如果撤掉原动机, 并将电刷两端改接至直流电源E上, 如图1—10所示。

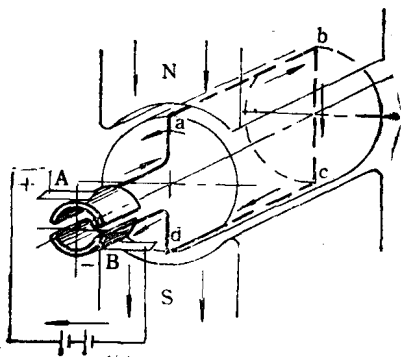


图 1—10 直流电动机工作原理示意图

由图可知, A刷为正, B刷为负, 则电流从A刷经线圈ab边流入并沿cd边从B刷流出。根据电磁力定律, 导体与磁场相互垂直的情况下, 磁场中带电导体所受电磁力 f 大小为:

$$f_x = B_x l i \quad (\text{N}) \quad (1-3)$$

式中 B_x ——导体处磁密, Wb/m^2 ;

l ——导体有效长度, m;

i ——导体中电流, A。

电磁力方向可用左手定则判断。如图所示为逆时针方向的电磁转矩, 转子逆时针转动。

当旋转 180° 时, 电刷位置固定, 由于换向器作用, 线圈中电流改变方向, 从而保持线圈所受的电磁力和电磁转矩的方向不变, 使电机能沿逆时针方向连续转动。

§ 1—2 直流电机的绕组

直流电机绕组有励磁绕组（并励、串励）、电枢绕组、换向极绕组、补偿绕组和均压连接。

电枢绕组是直流电机重要的部件，由上节可知，感应电势和电磁转矩均在电枢绕组中产生，转子线圈是直流电机实现机电能量变换的电枢，故称转子为电枢，转子绕组为电枢绕组。

在分析电机工作原理时，我们知道，为提高输出幅值和降低电压的脉动，应有多个线圈组成绕组。按照不同规律，电枢绕组可以联接为单叠绕组、单波绕组、复叠绕组、复波绕组和蛙绕组五种型式。其中单叠、单波是基本型。它们分别是由两端分别接在两个换向片上的绕组元件，即叠绕组元件和波绕组元件联接而成，见图1—11。

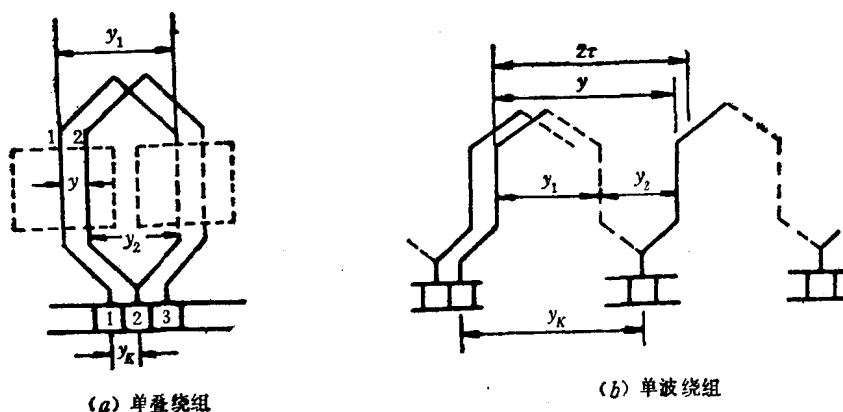


图 1—11 绕组节距

电枢绕组结构和工艺复杂，运行中易发生故障，且电机的铜和绝缘材料大多用在绕组上。故对电枢绕组的要求是：在产生足够的感应电势及电磁转矩和允许通过规定电流的前提下，要尽量节约有色金属和绝缘材料，减少或消除电枢电流和电势的脉动，且结构应简单，便于制作及维修、运行可靠等。

一、电枢绕组组成原则及绕组节距

1. 原则

由上可知，组成绕组的原则应如下：

(1) 为获得尽可能大的电势，绕组元件的二个边相距应等于或略小于极距 τ ，二个元件边相距 τ 时，即任何时刻二个元件边均处于不同极下的对应位置，二个元件边中感应电势永远是相加的。极距 τ 是沿电枢表面相邻两个主极轴线间的弧长。即

$$\tau = \frac{\pi D_a}{2p} \quad (1-4a)$$

式中 D_a ——电枢直径，

p ——极对数。

另一表达式常用于绕组嵌线时，以相邻两极轴线所跨的槽数来表示。

即

$$\tau = \frac{Z}{2p} \quad (1-4b)$$

式中 Z ——电枢上的槽数。

有时,为了减少端接长度,以便省铜和改善换向,也使二元件边相距略小于 τ 。

(2) 每个绕组元件的两端要连在两个换向片上,且所有元件都要通过换向片串联构成闭合回路,这样可以增大直流发电机电刷上电势幅值,减小脉动;对直流电动机可增大输出转矩,并降低转矩脉动,使电枢绕组上所有元件在电枢转动时能充分利用。

(3) 从制造工艺考虑,电枢绕组应为双层绕组。元件一个边放在一个槽的上层,而另一个边放在另一个的下层。每个槽放了二个不同元件的边。这样可使电枢端部匀称布置,不会交叉重叠,所有元件形状相同,生产工艺方便。

由上可知,换向片片数 K 等于元件数 S ,元件数 S 等于虚槽数 Z_u 。即 $K=S=Z_u=Z_u$, Z 为虚槽数, u 为槽内单层元件数。

因机械强度的限制,电枢铁心的实槽数往往小于理论上槽数,则需在同一槽内放置若干元件边。如图1—12所示:

由图中(b)、(c)可见,一个实槽相当于上下层只放一个元件边的 u 个“虚槽”,一般情况下,实际槽数 Z 与虚槽数 Z_1 的关系为:

$$Z_1 = uZ \quad (1-5)$$

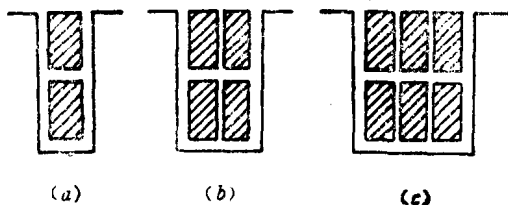


图 1—12 实槽和虚槽

2. 绕组节距

绕组元件在槽内安放位置及其与换向片之间的连接规律,由以下五种节距确定:

(1) 槽节距 y_r

y_r 是一个元件两个边所在槽的相隔槽数,即

$$y_r = \frac{Z}{2p} \mp \varepsilon_r \quad (1-6)$$

当 $\varepsilon_r=0$,为整距绕组;当 $\varepsilon_r \leq 1$,取“-”号时,为短距绕组;当 ε_r 前取“+”号时,为长距绕组。通常用短距绕组。理论叙述多用以下几种节距。

(2) 第一节距 y_1

y_1 是一个元件的两个边在电枢圆周上的跨距。

$$y_1 = u \left(\frac{Z}{2p} \mp \varepsilon_r \right) = \frac{K}{2p} \mp \varepsilon_k \quad (1-7)$$

即 y_1 可用槽数表示,亦可用换向片数表示。

(3) 换向器节距 y_k

y_k 是一个元件的起端与终端之间相隔的换向片数。

(4) 第二节距 y_2

y_2 是接在同一换向片上两个元件边在电枢圆周上的跨距,用换向片数表示。

(5) 合成节距 y

y 是两个串联元件的对应边在电枢圆周上的跨距,用换向片数表示。从图1—11可知:

$$y = y_k \quad (1-8)$$

对叠绕组

$$y = y_1 - y_2$$

(4-9)

对波绕组

$$y = y_1 + y_2$$

(4-10)

二、叠绕组

叠绕组分单叠绕组和复叠绕组。它们因其端部依次重叠排列而称为叠绕组。研究绕组主要是研究其联接次序规律,通常以绕组展开图为主要方式。绕组展开图是将电枢从某齿中间沿轴向切开,展开成平面由圆周向圆心看去的一种绕组联接图。图中要标出换向片号及与之相接元件的虚槽号,通常将虚槽画成沿电枢表面均布,且实线表示上层边,虚线代表下层边,元件边上下斜线表示端接线。图中换向器周长放大到与电枢圆周长相同。由于电枢旋转,磁极相对位置是在变动的,但其间距为 τ ,且均布,极宽相等,约为 0.7τ ,我们要将磁极选定在一对称位置上,且规定磁极是在电枢的上面,N、S极交替排列,N极磁力线在气隙中方向是进入纸面,而S极是穿出纸面。

1. 单叠绕组

单叠绕组是将 $y = y_k = \pm 1$ 的相邻元件相互串联而成绕组。因后一个元件的端部紧叠在前一个元件端部而称叠绕组。 $y_k = \pm 1$ 为单叠, $y_k = +1$,每联接一个元件右行一个槽而称为右行绕组,同样 $y_k = -1$ 则称为左行绕组,下面举例说明单叠绕组的联接方法和特点。

例 1—1 一台直流发电机, $2p=4$, $S=K=Z=16$, $y=y_k=1$,整距,绘出绕组展开图。

解: (1) 节距计算

$$y_1 = \frac{K}{2p} \mp e_k = \frac{16}{4} = 4$$

$$y_k = 1 \quad \text{右行}$$

$$\therefore y_2 = y_1 - y = 4 - 1 = 3$$

(2) 画槽、换向片并编号

等距画出16个槽,从左至右以虚槽顺序编号,以上下层两个元件边代表一个槽。与1号元件上层边相接的是1号换向片,以1槽与 $y_1 + 1 = 5$ 槽的中心线为基准,将换向器16等分,在中心线左侧一片即为1号换向片。

(3) 联成闭合绕组

按照 $y_k = 1$,相邻元件依次串联的规律进行。从1号换向片出发,接到1号元件上层边,再联接到 $1 + y_1 = 1 + 4 = 5$ 号虚槽的下层边,再回到 $1 + y_k = 2$ 的2号片,形成第一个元件,其两端接到第1和第2个换向片,第二个元件的上层边应在距第一个元件下层边 y_2 处, $y_2 = 3$,所以第二号元件上层边在二号虚槽处,依次类推,从左至右依次把各元件联起来,直到回到片1而闭合。

画出的展开图见图1—13。

(4) 放磁极,并判断感应电势方向

以1号元件对称线为中心,将1—16槽均分为 $2p$ 份,且第一个磁极放在1号元件对称线上,假定外力驱动电枢向左旋转,则可用右手定则判断出感应电势方向。如图,槽1、5、9、13处于几何中性线上,磁密为零,故无感应电势。

(5) 放置电刷

电刷放置的原则是使电刷间电势最大。不论电刷实际宽度如何,常画成一个换向片宽。由