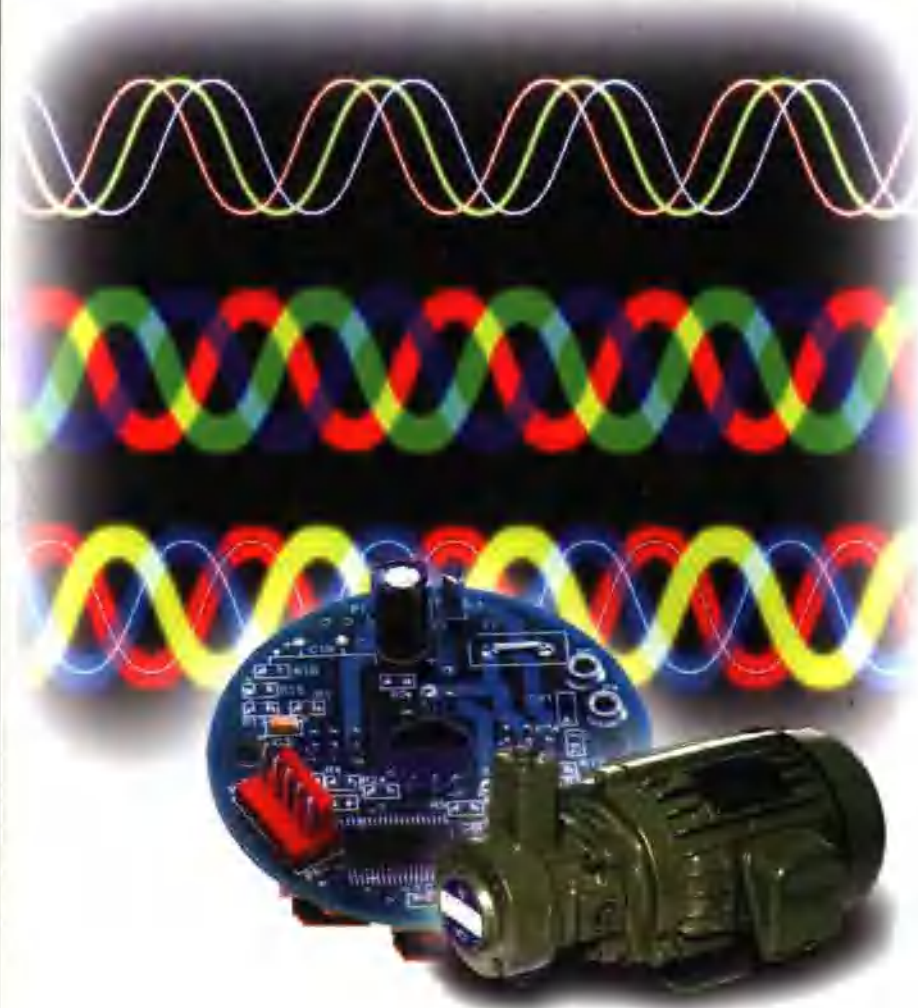


中等专业学校教材

电机与电气控制

程周 主编

DIANJI YU DIANQI KONGZHI



中国轻工业出版社

中等专业学校教材

电机与电气控制

程 周 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制 / 程周主编. —北京:中国轻工业出版社,2006.9

中等专业学校教材

ISBN 7-5019-2449-X

I. 电… II. 程… III. ①电动机-专业学校-教材 ②电气控制-专业学校-教材
IV. TM32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 18439 号

责任编辑:王 淳

策划编辑:孟寿萱 责任终审:滕炎福 封面设计:赵小云

版式设计:赵益东 责任校对:燕 杰 责任监印:吴京一

*

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街6号,邮编:100740)

印 刷:天津市蓟县宏图印务有限公司

经 销:各地新华书店

版 次:2006年9月第1版第5次印刷

开 本:787×1092 1/16 印张:18

字 数:438千字

书 号:ISBN 7-5019-2449-X/TP·057 定价:32.00元

读者服务部邮购热线电话:010-65241695 85111729 传真:85111730

发行电话:010-85119817 65128898 传真:85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email:Club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

60802J4C105ZBW

前 言

为了配合“机电技术应用”专业教材改革和专业建设的需要,由国家轻工局机电技术应用教学指导委员会和全国轻工中专机电技术应用学会组织编写该专业系列教材,本书为该系列教材之一。该教材充分考虑到机电技术应用专业对电机和电气控制内容的要求,力求突出针对性、实用性和先进性,在叙述方法上由简到繁,深入浅出,主次分明,详略得当,并尽可能体现系列教材的特色。

本书介绍了电机、电气控制两部分既有联系,又相对独立的内容。它包括直流电动机、变压器、交流电动机、控制电机、常用低压电器、基本电气控制环节、三相异步电动机控制线路、直流电动机控制线路、常用机床控制线路和电气线路设计等内容,重点分析该内容的技术与应用问题,注重对分析问题和解决问题的能力培养,强调基本原理的分析,使读者能通过阅读掌握基本方法,学会基本技能。本教材的参考学时数为 90~130,可根据具体情况增删相关内容。

本书适用于工科中专机电技术应用专业、工业企业电气化专业、电子技术与应用专业、电器与仪表类专业及相关专业使用。对于中等职业教育同类专业也适用。同时对于工程技术人员来说也是一本很好的自学教材和参考书。

本书由安徽省轻工业学校程周主编,并编写第 5、6、7、8、9 章;常州轻工业学校姚庆文编写第 1 章;安徽省轻工业学校李治国编写第 2、4 章;安徽纺织工业学校张栩编写第 3 章;天津市第一轻工业学校袁春杰编写第 10 章。张栩参与电机内容的统稿,全书由程周统稿。常州轻工业学校张涛任电机部分主审,广州市第二轻工业学校李乃夫任电气控制部分主审,二位主审对书稿提出了许多中肯和建设性的意见。参加审稿的还有广州轻工业学校陈景谦,广州市第二轻工业学校周伟贤,北京市第一轻工业学校范晶彦,辽宁省轻工业学校姜洪深,上海机械工业学校汪海卫、阎庆华。中国轻工业出版社孟寿萱参加并指导了审稿工作。审稿会议给予本教材充分的肯定,并提出许多宝贵的意见,在此一并表示衷心感谢。

真挚地欢迎广大教师和读者对本教材提出宝贵意见。

编者

1999.3.

目 录

1 直流电机	(1)
1.1 直流电机的工作原理及结构	(1)
1.2 直流电机的电枢绕组	(7)
1.3 直流电机的磁场、转矩及基本方程	(9)
1.4 直流电动机的工作特性	(15)
1.5 直流电动机的机械特性	(17)
1.6 他励直流电动机的起动	(21)
1.7 他励直流电动机的调速	(22)
1.8 他励直流电动机的电气制动	(24)
2 变压器	(28)
2.1 变压器的类型和基本结构	(28)
2.2 变压器的基本原理	(31)
2.3 三相变压器	(42)
2.4 其他用途的变压器	(46)
3 交流电动机	(51)
3.1 异步电动机的原理、类型和基本结构	(51)
3.2 三相异步电动机运行原理	(58)
3.3 异步电动机的运行特性	(67)
3.4 异步电动机的起动	(71)
3.5 三相异步电动机的调速	(77)
3.6 异步电动机的制动	(80)
3.7 单相异步电动机	(84)
4 控制电机	(90)
4.1 测速发电机	(90)
4.2 伺服电动机	(93)
4.3 直流力矩电动机	(96)
4.4 交磁放大机	(98)
4.5 自整角机	(99)
4.6 步进电动机	(102)
4.7 旋转变压器	(105)
5 常用低压电器	(108)
5.1 概述	(108)

5.2	刀开关	(110)
5.3	熔断器	(122)
5.4	按钮开关	(124)
5.5	接触器	(126)
5.6	继电器	(134)
5.7	行程开关	(153)
5.8	自动开关	(155)
6	三相异步电动机的基本控制线路	(159)
6.1	概述	(159)
6.2	电气图中的图形符号和文字符号	(159)
6.3	电气图的分类与作用	(161)
6.4	点动与长动控制	(162)
6.5	正反转控制	(167)
6.6	位置控制	(170)
6.7	顺序和多点控制	(174)
6.8	时间控制	(175)
7	三相异步电动机的起动、制动和调速	(178)
7.1	概述	(178)
7.2	笼型电动机起动控制	(178)
7.3	绕线式异步电动机的起动控制	(191)
7.4	异步电动机制动控制	(195)
7.5	异步电动机调速控制	(202)
8	直流电动机的电气控制	(208)
8.1	概述	(208)
8.2	他励直流电动机起动控制	(208)
8.3	他励直流电动机正反转控制	(209)
8.4	直流电动机制动控制	(212)
8.5	直流电动机的保护	(213)
9	常用机床的电气控制	(215)
9.1	概述	(215)
9.2	普通车床电气控制	(215)
9.3	磨床的电气控制	(224)
9.4	摇臂钻床的电气控制	(236)
9.5	卧式镗床的电气控制	(242)
9.6	铣床的电气控制	(248)
10	生产机械电气控制设计	(257)
10.1	概述	(257)

10.2 电动机的选择	(258)
10.3 常用低压电器的选择	(262)
10.4 电气控制线路的设计	(265)
参考书目	(270)
附录 新旧电气图常用图形符号和文字符号对照表	(271)

1 直流电机

电机是电动机和发电机的统称,是一种实现机电能量转换的电磁装置。把电能变换为机械能的称为电动机,把机械能变换为电能的称为发电机。由于电源有交流、直流之分,所以电机也就分为交流电机和直流电机两大类。

直流电机包括直流电动机和直流发电机。直流电动机的主要优点是速度调节范围宽广,而且平滑性、经济性较好,起动转矩也较大。但是直流电机也有明显的缺点,它结构复杂、价格昂贵、维护不方便,尤其是电刷与换向器之间容易产生火花,因而运行可靠性较差。目前主要应用于电力拖动性能要求较高的场合,如起重机械、内燃机车和龙门刨床等生产机械中。

直流发电机过去是工业用直流电的主要电源之一,广泛地应用在电解、电镀、充电等设备中,也可作为同步电机的励磁机和直流电动机的电源。近年来由于晶闸管变流技术的应用日益广泛,它已逐步被取代。

1.1 直流电机的工作原理及结构

1.1.1 直流电机的工作原理

1.1.1.1 直流发电机的工作原理

直流发电机的工作原理如图 1-1 所示。当励磁绕组通以直流电时,产生固定不变的

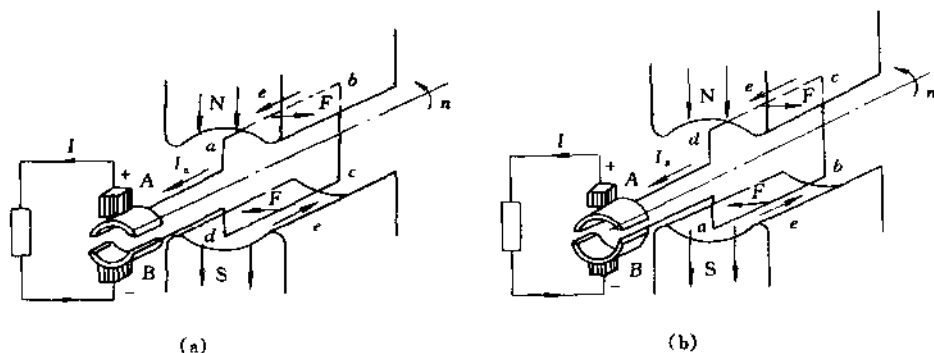


图 1-1 直流发电机的工作原理

N 极 S 极。当原动机拖电枢转动时,电枢导体切割磁力线,产生感应电动势 e , 方向可以用右手定则来判断,以 $a-b$ 导体为例,在 N 极下时,产生的感应电动势 e 的方向由 b 向 a , 当转到 S 极下时, e 的方向变为由 a 向 b , 可见同一根导体在不同 N 极和 S 极下运行时,产生的感应电动势方向不同,若直接将导体中的感应电动势输出,只能得到交流电。但是我

们从另一方面分析可知,不论是导体 $a-b$ 还是 $c-d$,只要转到 N 极下,感应电动势 e 的方向总是相同的,同样在 S 极下, e 的方向也相同,因此,在同一个磁极下,导体中产生的感应电动势的方向总是固定不变的。如果 A 电刷总是与 N 极下导体相连, B 电刷总是与 S 极下导体相连,结果从 A、B 电刷间引出的电动势将是一个极性不变的直流电动势。换向器的作用就是将发电机中电枢绕组内的交变电动势变换为电刷间的直流电动势。

另一方面,当发电机有电流输出时,电枢导体中将有电流流过,这时通电导体和磁场间将产生电磁力,其方向由左手定则判定,如图 1-1 所示,从而形成了一个力图阻止线圈旋转的电磁转矩,发电机必须输入足够的机械力矩来抵消它的影响,才能维持电机继续旋转,这样发电机就把机械能转换为电能。

1.1.1.2 直流电动机的工作原理

图 1-2 是直流电动机的工作示意图。当励磁绕组中通入直流电时,同样在磁极中也将产生 N 极和 S 极。当电刷间通入直流电时,将有电流通过电刷流入电枢导体。图 1-2 (a) 中,导体 $a-b$ 中电流 I_a 的方向由 a 向 b ,根据左手定则,将受到如图所示的电磁力 F 的作用,使导体逆时针方向旋转,由于 A 电刷总与 N 极下的导体相连, B 电刷总与 S 极下的导体相连,当导体转过 180° ,如图(b)所示时,导体 $a-b$ 中 I_a 的方向及时改变为由 b 向 a ,所受的电磁力仍然使导体按原旋转方向转动。

另一方面,当电枢沿一定方向转动时,电枢导体切割磁力线,产生感应电动势 e ,极据右手定则判知,感应电动势 e 的方向始终与导体中的电流方向相反,称为反电动势。电源必须克服这一反电动势才能向电动机输送电能。可见电动机从电源吸取了电功率,向负载输出机械功率,从而将电能转换为机械能。

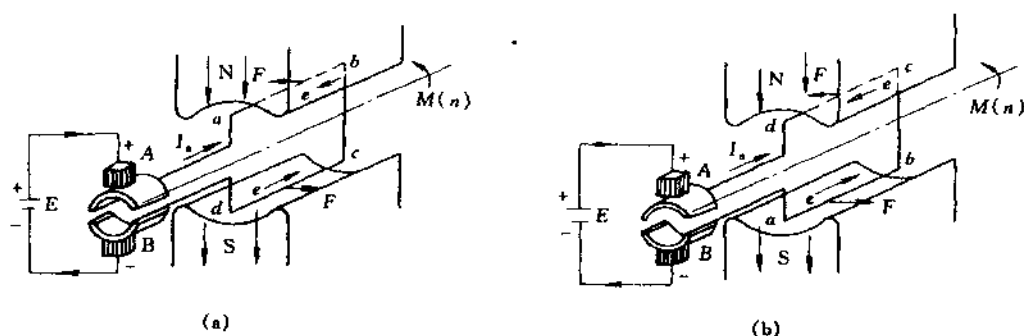


图 1-2 直流电动机原理图

1.1.1.3 直流电机的可逆运行原理

从上述直流电机的工作原理来看,一台直流电动机若在电刷两端加上直流电压输入电能,可拖动生产机械旋转,输出机械能而成为电动机;反之若用原动机带动电枢旋转,输入机械能,就可在电刷两端得到一个直流电动势作为电源,输出电能成为发电机。这种同一台电机既可作电动机又可作发电机运行的原理,称为电机的可逆运行原理。这个原理同样也适用于交流电机。

1.1.2 直流电机的基本结构

直流电机由静止的定子和可以转动的转子两大部分组成。在定子和转子之间存在一个间隙,称作气隙。定子的作用是产生磁场和支撑电机,转子的作用是用来产生感应电动势和电磁转矩,实现机电能量的转换,通常也被称作电枢,定子和转子各部件见图 1-3 所示。

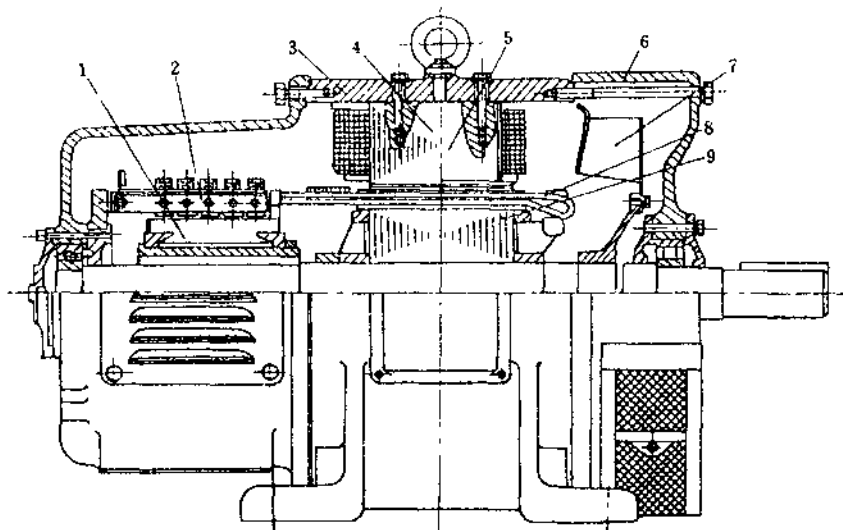


图 1-3 直流电机的结构

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

A. 主磁极 主磁极的作用是产生主磁通,它由铁心和励磁绕组所组成,见图 1-4 所示。主磁极铁心包括极身和极掌两部分,铁心用低碳钢片叠压而成,小电机也有用整块铸钢磁极的。主极上的励磁绕组是用绝缘铜线绕制而成的集中绕组,与铁心相绝缘,各主磁极上的线圈一般都是串联连接。主磁极总是成对的,相邻磁极的极性按 N 极和 S 极交替排列。

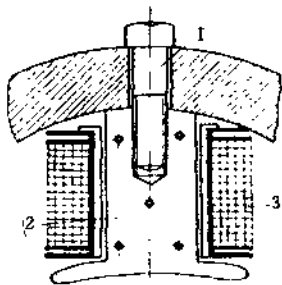


图 1-4 直流电机的主磁极

1—固定主极铁心的螺钉 2—主极铁心 3—励磁绕组

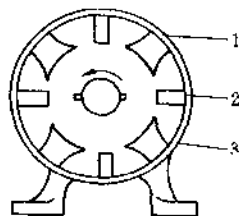


图 1-5 换向磁极的位置

1—主磁极 2—换向极 3—机座

B. 换向磁极 换向磁极的作用是产生附加磁场,用以改善电机的换向性能。通常铁心由整块钢做成,换向极的绕组应与电枢绕组串联,换向磁极装在两个主磁极之间,如图 1-5 所示。其极性,当作为发电机运行时,应与在它下面的电枢导体将要进入的主磁极极性相同,当作为电动机运行时,则应与在它下面的电枢导体刚离开的主磁极极性相同。

C. 机座 机座一方面用来固定主磁极、换向极和端盖等,另一方面作为电机磁路的一部分。其导磁部分叫磁轭,磁轭下部的支撑部分叫底脚。机座一般用铸钢或钢板焊接制成。

D. 电枢铁心 电枢铁心的作用是通过磁通和安放绕组。当电枢在磁场中旋转时,由于电枢导体中的电流是交变的,铁心将产生涡流和磁滞损耗。为了减少损耗,提高效率,电枢铁心一般用硅钢片冲叠而成,为了加强冷却,电枢铁心具有轴向通风孔,如图 1-6 所示。铁心外圆周上,均匀分布着槽,用以嵌放电枢绕组。

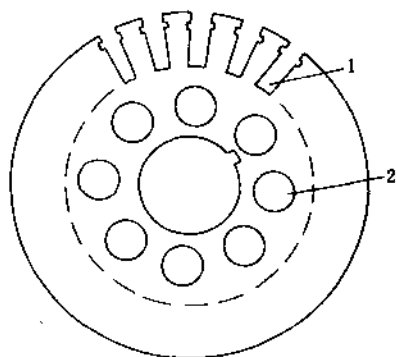


图 1-6 电枢冲片
1—槽 2—轴向通风孔

E. 电枢绕组 电枢绕组的作用是产生感应电动势和通过电流产生电磁转矩,实现机电能量变换。它是直流电机的重要部分。绕组通常用漆包线绕制而成,嵌入电枢铁心的槽内,并按一定的规则连接起来。绕组嵌入槽内后,用槽楔压紧,线圈伸出槽外的端换部分用无纬玻璃丝带扎紧。

F. 换向器 换向器又叫整流子,它的作用是把电枢绕组内部的交流电动势变为直流电动势,结构如图 1-7 所示。它是由许多带有鸽尾形的换向片叠成一个圆筒,片与片之间用云母片绝缘,两端用 V 形钢环借金属套筒和螺纹压圈拧紧成一个整体。每一换向片上有一小槽,以便焊接绕组元件的引出线。小容量电机广泛采用塑料换向器,换向片组成的圆筒用塑料浇铸在一起,既简化了工艺,又节省了材料。

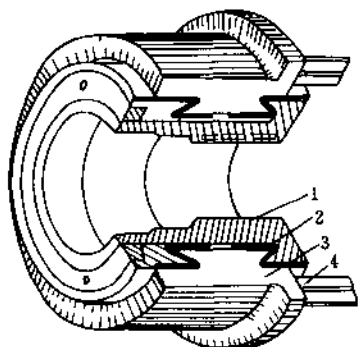


图 1-7 拱型换向器
1—V 形套筒 2—云母片 3—换向片 4—连接片

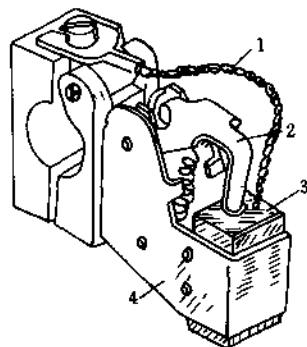


图 1-8 电刷与刷握
1—铜丝辫 2—压紧弹簧 3—电刷 4—刷盒

G. 电刷装置 在直流电机中,为了使电枢绕组和外电路连接起来,必须装设固定的电刷装置,它是由电刷、刷握和刷杆座所组成,见图 1-8。电刷是用石墨等做成的导电块,它放在刷握的刷盒内,用弹簧将它压在换向器上。刷握用螺钉夹紧在刷杆上,用铜丝编成

的绞线将电刷和刷杆连接。刷杆装在刷座上,它们彼此绝缘,中小容量的电机刷杆座装在端盖上,大容量的电机则装在机座上。

1.1.3 直流电机的励磁方式

直流电机的励磁方式是指电机励磁电流的供给方式,根据励磁支路和电枢支路的相互关系,可以分为他励、并励、串励和复励四种方式。

直流发电机的各种励磁方式接线图表示在图 1-9 中。

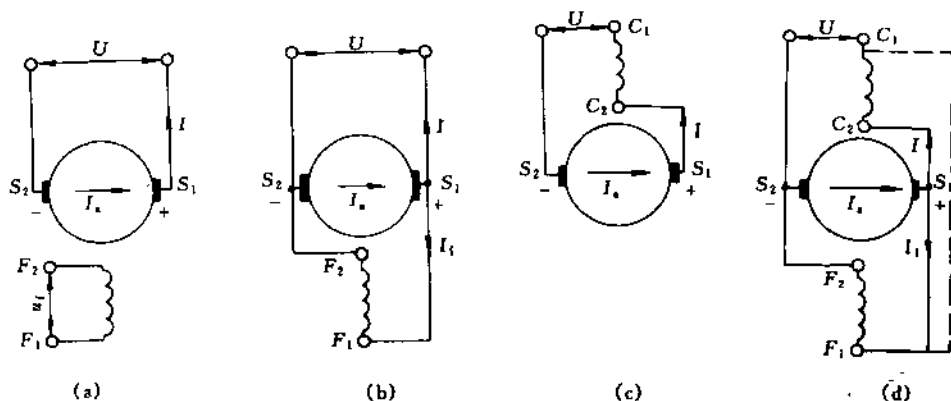


图 1-9 直流发电机按励磁分类接线图

(a)他励 (b)并励 (c)串励 (d)复励

直流电动机的各种励磁方式接线图如图 1-10 所示。

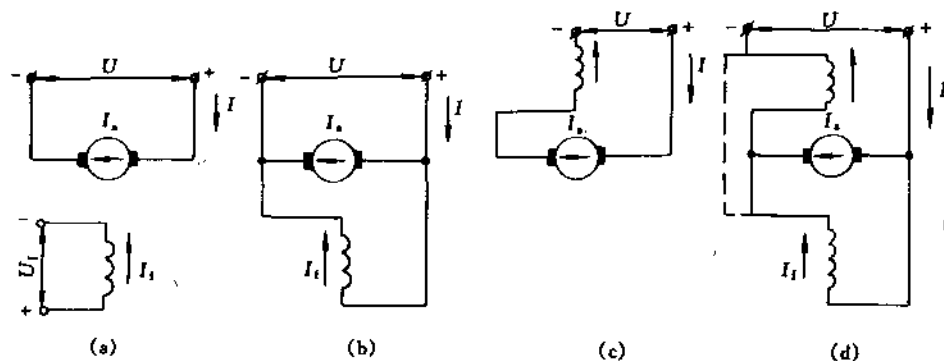


图 1-10 直流电动机按励磁分类接线图

(a)他励 (b)并励 (c)串励 (d)复励

1.1.3.1 他励方式

电枢绕组和励磁绕组相互独立,电枢电压 U 与励磁电压 U_f 彼此无关,电枢电流 I_a 与励磁电流 I_f 也无关,如图 1-9(a)和图 1-10(a)所示。

1.1.3.2 并励方式

电枢绕组和励磁绕组是并联关系,如图 1-9(b)和图 1-10(b)所示,在并励发电机中:

$$I_a = I + I_f \quad (1-1)$$

而在并励电动机中:

$$I_a = I - I_f \quad (1-2)$$

对于他励和并励电机,通常 I_f 仅为电机额定电流 I_N 的 1% ~ 5%。

1.1.3.3 串励方式

此时电枢绕组与励磁绕组串联,无论是发电机还是电动机,均满足下列等式:

$$I_a = I = I_f \quad (1-3)$$

由于励磁电流等于电机电流,所以串励绕组通常线径较粗,而且匝数较少。

1.1.3.4 复励方式

复励电机的主磁极上有两个励磁绕组,见图 1-9(d)和图 1-10(d),其中一个与电枢绕组并联,而另一个与电枢串联。当两个励磁绕组产生的磁通方向相同时,称为积复励,反之称为差复励。

1.1.4 直流电机的铭牌数据及系列

1.1.4.1 直流电机铭牌数据

电机制造厂按照国家标准,根据电机的设计和试验数据,规定了电机的正常运行状态和条件,通常称之为额定运行情况。凡表征电机额定运行情况的各种数据称为额定值,额定值一般都标注在电机铭牌上,它是正确合理使用电机的依据。直流电机的额定值主要有以下几项:

A. 额定容量(额定功率) P_N 是指电机的输出功率。对发电机而言,是指出线端输出的电功率,对电动机是指转轴上输出的机械功率。

B. 额定电压 U_N 和额定电流 I_N 它们不同于电机的电枢电压 U_a 和电枢电流 I_a 。

对发电机有:

$$P_N = U_N I_N \quad (1-4)$$

对电动机有:

$$P_N = U_N I_N \eta_N \quad (1-5)$$

式中 η_N 是电机的额定效率。

C. 额定转速 n_N 单位为 r/min。

电机在实际应用时,是否处于额定运行情况,要由负载大小决定,一般不允许电机超过额定值运行,因为这样会降低电机的使用寿命,甚至损坏电机。但也不能让电机长期轻载运行,这样不能充分利用设备,运行效率降低,所以应该根据负载大小合理选择电机。

1.1.4.2 直流电机系列

我国目前生产的直流电机主要有以下系列:

A. Z_3 系列 为一般用途的小型直流电机系列。“Z”表示直流,“3”表示第三次改进设计。系列容量为 0.4 ~ 200kW,电动机电压为 110V、220V,发电机电压为 115V、230V,通风形式为防护式。

B. ZF 和 ZD 系列 为一般用途的中型直流电机系列。“F”表示发电机,“D”表示电动

机。系列容量自 55kW 到 1450kW。

C. ZZJ 系列 为起重、冶金用直流电机系列。电压有 220V、440V 两种。工作方式有连续、短时和断续三种,基本形式为全封闭自冷式。

此外还有 ZQ 直流牵引电动机系列及 Z-H 和 ZF-H 船用电机系列等。

1.2 直流电机的电枢绕组

1.2.1 电枢绕组的一般介绍

绕组是由元件构成的,一个元件由两条元件边和端接线组成。元件边放在槽内,能切割磁力线而产生感应电动势,叫“有效边”,端接线放在槽外,不切割磁力线,仅作为连接线用。为便于嵌线,每个元件的一个元件边放在某一个槽的上层(称为上层边),另一个元件边则放在另一个槽的下层(称为下层边),如图 1-11 所示。

1.2.2 电枢绕组的常用术语

1.2.2.1 实槽与虚槽

电机电枢上实际开出的槽叫实槽。电机往往有较多的元件来构成电枢绕组,但由于制造工艺等原因,电枢铁心开的槽数不能够太多。通常在每个槽的上、下层各放置若干个元件边,见图 1-12。为了明确说明每个元件边所处的位置,引入“虚槽”概念。所谓“虚槽”,即单元槽。设槽内每层有 μ 个元件边,则把每个实槽看作包含有 μ 个虚槽,每个虚槽的上、下层各有一个元件边。图中所示情况 $\mu = 3$ 。若实槽数为 Z ,虚槽数为 Z_i ,则:

$$Z_i = \mu Z \quad (1-6)$$

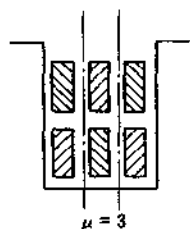
以后在说明元件的空间分布情况时,用虚槽作为计算单位。

1.2.2.2 元件数、换向片数与虚槽数

因为每个元件有两个元件边,而每一换向片连接两个元件边,又因为每个虚槽里包含两个元件边,所以一般来讲,绕组的元件数 S 、换向片数 K 和虚槽数 Z_i 三者应相等,即:

$$S = K = Z_i = \mu Z \quad (1-7)$$

图 1-12 实槽与虚槽



1.2.2.3 极距

极距就是沿电枢表面圆周上相邻两磁极间的距离,用长度表示为:

$$\tau = \frac{\pi D_a}{2p} \quad (1-8)$$

若用虚槽数表示为:

$$\tau = \frac{Z_i}{2p} \quad (1-9)$$

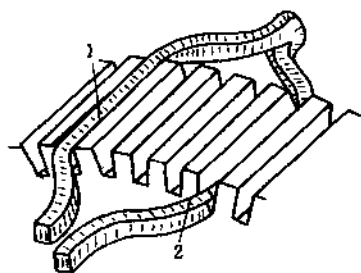


图 1-11 绕组元件在槽内的放置
1—上层边 2—下层边

式中 D_a 为电枢外径, p 为磁极对数。

1.2.2.4 绕组节距

绕组节距通常都用虚槽数或换向片数表示, 见图 1-13。

A. 第一节距 y_1 同一个元件的两个有效边之间的距离称为第一节距。在电机中为了获得较大的感应电动势, y_1 应等于或接近于一个极距, 由于极距不一定是整数, 而 y_1 又必须是整数, 所以应使

$$y_1 = \frac{Z_i}{2p} + \epsilon = \text{整数} \quad (1-10)$$

式中若 $\epsilon = 0$, 则 $y_1 = \tau$, 称为整距绕组; 若 $\epsilon \neq 0$, 当 $y_1 > \tau$ 时, 称为长距绕组; 当 $y_1 < \tau$ 时, 称为短距绕组。

B. 合成节距 y 相串联的两个元件的对应边之间的节距称为合成节距。它表示每串联一个元件后, 绕组在电枢表面前进或后退了多少个虚槽, 是反映不同形式绕组的一个重要标志。

C. 换向器节距 y_k 一个元件的两个出线端所连接的换向片之间的距离称为换向器节距。由于元件数等于换向片数, 因此元件边在电枢表面前进或后退多少个虚槽, 其出线端在换向上也必然前进或后退多少个换向片, 所以换向器节距等于合成节距, 即

$$y = y_k \quad (1-11)$$

D. 第二节距 y_2 它表示相串联的两个元件中, 第一个元件的下层边与第二个元件的上层边之间的距离。

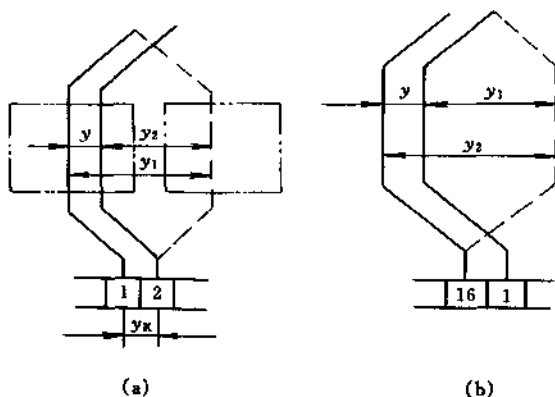


图 1-13 单叠绕组的节距

(a) 右行 (b) 左行

1.2.3 电枢绕组的基本形式

直流电枢绕组的构成原则是: 每个元件的末端(下层边)按照一定的规律和另一个元件的首端(上层边)相连, 接到一个换向片上, 所有元件依次串联, 最后使整个电枢绕组通过换向片连成一个闭合电路。

1.2.3.1 单叠绕组

单叠绕组的连接特点就是每个元件的首端和末端分别接到相邻的两个换向片上, 依次串联, 每串一个元件, 在电枢表面就要移动一个虚槽。因为左行绕组有交叉, 不便制造, 所以一般单叠绕组采用右行绕组, 见图 1-13。此时, 合成节距 $y = 1$ 。从图中看出单叠绕组

$$y_2 = y_1 - y \quad (1-12)$$

另外, 进一步分析可知, 单叠绕组的并联支路数 $2a$ 等于磁极数, 即

$$2a = 2p \quad (1-13)$$

1.2.3.2 单波绕组

单波绕组是直流电枢绕组的另一种基本形式, 其连接特点是每个元件与相距约两个

极距的元件相连,如图 1-14 所示。由于连接后的形状似波浪,而且绕完一周以后,第 p 个元件的末端将落到与起始换向片相邻的换向片上,故由此得名为单波绕组。

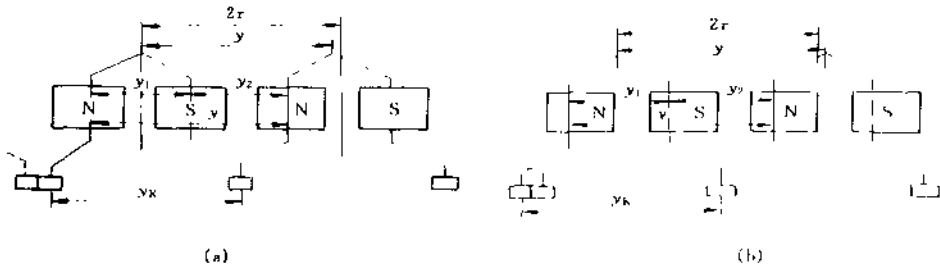


图 1-14 单波绕组元件
(a)左行绕组 (b)右行绕组

1.2.3.3 复叠、复波绕组

A. 复叠绕组 它的连接方式与单叠绕组相似,只是每串联一个元件就移动 m 个虚槽,故 $y = y_K = \pm m$,其中 m 为大于 1 的整数, $m = 2$ 称为双叠绕组, $m = 3$ 称为 3 叠绕组……。采用最多的是双叠绕组,它的连接示意图见图 1-15。双叠绕组实际上可以看成是由单号元件与双号元件构成两个“单叠绕组”,然后通过电刷把它们并联起来。

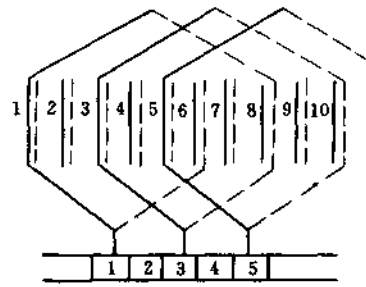


图 1-15 双叠绕组连接示意图

B. 复波绕组 复波绕组与单波绕组的区别在于 p 个元件串联后,不是回到与起始换向片相邻的换向片上,而是回到与起始换向片相距 m 片的换向片上。单叠绕组并联支路数较多,适合电流较大的电机;单波绕组并联支路数较少,但每个支路中元件数较多,适合电压较高的电机;而复式绕组则适合大中型电机。

1.3 直流电机的磁场、转矩及基本方程

1.3.1 直流电机的磁场

直流电机运行时除了主磁极外,若电枢绕组中有电流流过,还将产生电枢磁场。这两个磁场在气隙中相互影响,相互叠加,合成了气隙磁场,它直接影响电枢电动势和电磁转矩的大小。要了解气隙磁场的情况,就要首先了解主磁场和电枢磁场,然后再进行合成。

1.3.1.1 空载时的主磁场

电机的空载是指发电机不输出电功率,电动机不输出机械功率,这时电枢电流很小,电枢磁动势也很小,所以电机空载时的气隙磁场就可以看作是主磁场。

考虑到磁极的对称性,我们只讨论其中一对极的情况。其空载磁场的分布如图 1-16 所示。磁通从 N 极出来,分成两路:一路经过气隙、电枢齿、电枢轭进入 S 极,再经过定于轭回到 N 极形成一个闭合回路,这部分磁通同时和电枢绕组、励磁绕组相匝链,电枢转动

时,能在电枢绕组中产生感应电动势,一旦电枢绕组中有电流流过,能够产生电磁转矩,这部分磁通称为主磁通 Φ 。另一路磁通不经过电枢而直接经过气隙进入磁轭或相邻的磁极,形成闭合回路,它不与电枢绕组匝链,因而不能在电枢绕组中产生感应电动势和电磁转矩,称为漏磁通 Φ_l 。漏磁通回路的气隙与主磁通相比要大出许多,磁导较小,因而漏磁通要比主磁通小得多,一般漏磁通占主磁通的(15~20)%。

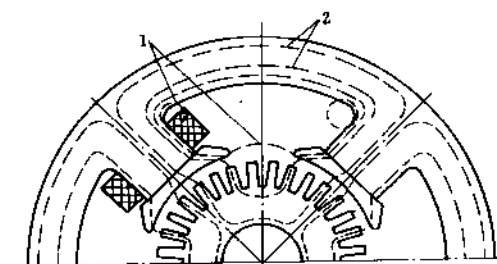


图 1-16 直流电机的磁通及其分布
1—漏磁通 2—主磁通

S极的机械分界线。而把N极与S极磁场为零处的分界线称作为物理中性线。显然空载时,几何中性线处的磁场也为零,即空载时物理中性线与几何中性线重合。

1.3.1.2 负载时的电枢磁场

电机负载运行时,电枢绕组中有电流流过,它将产生一个电枢磁场。电枢磁场的磁力线分布如图 1-18(a)中虚线所示,在磁极轴线处,电枢磁场为零。

若电枢绕组的总导体数为 N ,导体中的电流(即

磁通密度 B 在极靴下分布情况见图 1-17 所示。由图可见,在极靴下气隙小,气隙中各点磁通密度 B 较大,在极靴范围外,气隙逐步增大,因此磁通密度自极尖处开始显著减小,至两极间的几何中性线处磁通密度为零。磁通密度 B 按梯形波分布。

电机磁极的几何中性线是指主磁极 N 极和

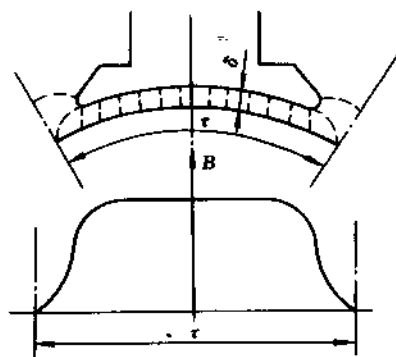


图 1-17 直流电机空载时气隙中的磁通密度分布

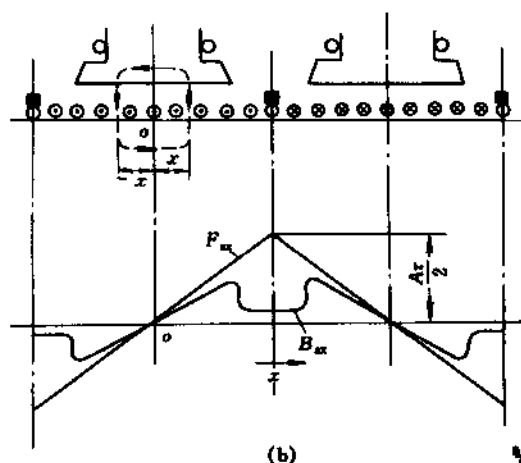
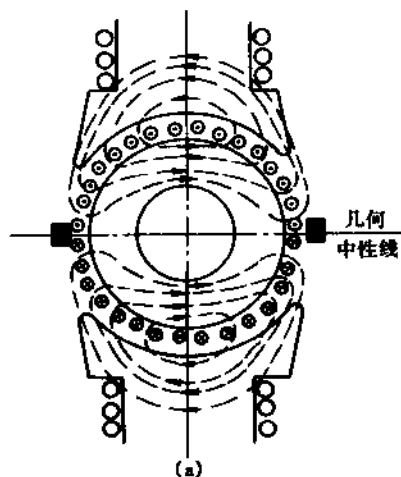


图 1-18 电刷在几何中性线上的电枢磁动势和磁场
(a)电枢磁场 (b)电枢磁动势和磁场的分布

支路电流)为 i_a ,电枢直径为 D_a ,并将图 1-18(a)展开为图 1-18(b),以电枢磁场为零处 O