

• 中等专业学校教学用书 •



电机拖动基础

(修订版)

冶金工业出版社

ZHONGDENG ZHUANYE
XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU

中等专业学校教学用书

电机拖动基础

(修订版)

吉林电气化专科学校 杨宗豹 主编

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街重仪院北巷33号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张23 1/2 字数 557千字

1979年12月第一版 1979年12月第一次印刷

1989年11月第二版 1989年11月第五次印刷

印数61,801~76,800册

ISBN 7-5024-0570-4

TP·27(课) 定价4.15元

再版前言

本书是1979年初版的中等专业学校教学用书《电机及电力拖动》的修订再版。《电机及电力拖动》自79年初版发行以来，经四次印刷，深受广大读者欢迎。为使教材更适合于当前的教学需要，本书在内容上进行了更新、增删和修改，以弥补不足之处。

此次教材的修改本是依据1986年在吉林市召开的冶金和有色两系统所属中专电气自动化专业教材会议所制定的《电机及拖动基础》课程教学大纲而编写的。适用于冶金、有色中专电气自动化专业招收初中生学制为四年的《电机及拖动基础》课程教学要求。根据教学计划的规定，将原《电机及电力拖动》改名为《电机拖动基础》。

全书分为四篇十四章，主要包括：直流电机及拖动、变压器、交流电动机及拖动、控制电机和电动机容量的选择等四大部分。本书的任务是介绍各种常用电机的主要结构、工作原理和运行特性，较深入地分析交直流电动机的机械特性，起制动和调速过程以及有关计算，最后扼要地介绍电动机容量选择的基本知识和控制用微电机的工作原理等。为便于学生复习和自学，每章节末附有思考题和习题以及参考答案。

考虑到工厂和矿山各部门对本课程具体要求并不完全相同，因此除教学大纲规定编写的基本内容外，还增添了少量供选学的内容，这部分内容用标题上加“*”表示。

本书适于中等专业学校电气自动化专业教学使用，亦可供职工大学、技工学校和从事电气传动、自动控制等工作的工程技术人员和工人参考。

本书仍由吉林电气专科学校杨宗豹同志主编。其中第一章至第七章由杨宗豹改编，第八章至第十一章由廖贤润同志改编，第十二章至第十四章由鞍山钢铁学校姜守信同志改编。由于编者水平所限，书中缺点和错误在所难免。热忱欢迎读者批评指正

编者

1987年12月

目 录

绪论.....	1
第一篇 直流电机及拖动	
第一章 直流电机基本原理.....	3
第一节 直流电机的工作原理及结构.....	3
第二节 电枢绕组.....	9
第三节 直流电机的磁场.....	16
第四节 直流电机电枢绕组感应电动势和电磁转矩.....	22
第五节 小结.....	25
习题.....	26
第二章 直流电机运行特性.....	27
第一节 直流电机的损耗.....	27
第二节 直流电机的基本方程.....	28
第三节 直流发电机的运行特性.....	33
第四节 直流电动机的工作特性.....	37
第五节 直流电机的换向.....	44
习题.....	52
第三章 直流电机电力拖动基础.....	55
第一节 电力拖动系统的运动方程式.....	55
第二节 他励电动机的机械特性.....	61
第三节 生产机械的机械特性与系统稳定运行.....	68
习题.....	72
第四章 他励电动机起动和制动.....	75
第一节 他励电动机的起动.....	75
第二节 他励电动机的制动.....	82
第三节 各种制动方法的比较.....	90
习题.....	92
第五章 他励电动机的调速.....	93
第一节 调速的要求和调速方法.....	93
第二节 改变电枢串联电阻调速.....	94
第三节 改变电枢供电电压调速.....	96
第四节 改变电动机的磁通调速.....	97
第五节 电动机调速时的容许输出.....	100
第六节 发电机—电动机组.....	102
习题.....	106
第六章 电力拖动的过渡过程.....	108
第一节 他励电动机过渡过程的数学分析.....	108

第二节 他励电动机起动过渡过程	110
第三节 他励电动机能耗制动的过渡过程	115
第四节 他励电动机电源反接制动的过渡过程	117
第五节 $F-D$ 系统励磁过渡过程	119
习题	122

第二篇 变 压 器

第七章 变压器	123
第一节 变压器工作原理及结构	123
第二节 变压器空载运行	130
第三节 变压器有载运行分析	138
第四节 变压器参数的测定	147
第五节 变压器的运行特性	152
第六节 单相变压器运行小结	157
习题	159
第七节 三相变压器	161
第八节 变压器的并联运行	172
第九节 特殊变压器	175
第十节 小型整流变压器的计算	184
习题	190

第三篇 交流电动机及拖动

第八章 三相异步电动机的基本原理	193
第一节 三相异步电动机旋转原理及基本结构	193
第二节 单层绕组	200
第三节 双层绕组	204
第四节 单相交流绕组磁势	210
第五节 三相交流绕组磁势	216
第六节 交流绕组电动势	220
第七节 异步电动机重绕简易计算	224
习题	229
第九章 三相异步电动机的运行分析	231
第一节 三相异步电动机负载运行时的物理情况	231
第二节 三相异步电动机的等值电路及相量图	236
第三节 三相异步电动机的功率和转矩	242
第四节 三相异步电动机的机械特性	251
第五节 三相异步电动机的参数测定	255
习题	258
第十章 三相异步电动机的起动和制动	260
第一节 异步电动机的起动性能和笼型电动机的起动方法	260
第二节 绕线型电动机的起动方法	268
第三节 深槽及双鼠笼电动机	275
第四节 三相异步电动机的制动	278

第五节	三相异步电动机起、制动过程的能量损耗	289
第六节	小 结	290
	习 题	292
第十一章	异步电动机的调速	295
第一节	绕线式电动机转子电路串接电阻调速	295
第二节	绕线式电动机转子电路引入附加电动势调速 (串级调速)	297
第三节	改变定子电源频率调速	299
第四节	鼠笼式电动机变极调速	302
第五节	利用电磁离合器调速	304
	习 题	306
第十二章	异步机单相运行及其它交流电动机	307
第一节	单相异步电动机	307
第二节	三相电动机转子不对称运行	311
第三节	同步电动机	313
	习 题	324
第四节	三相并励换向器式电动机	324
• 第五节	无换向器电动机	327
第四篇 控制电机和电机容量选择		
第十三章	控制电机	331
第一节	伺服电动机	331
第二节	测速发电机	336
第三节	自整角机	341
• 第四节	步进电动机	344
第十四章	电动机容量选择	348
第一节	电动机的发热和冷却及工作方式	348
第二节	连续工作制电动机容量选择	352
第三节	短时及断续周期工作制电机容量选择	357
第四节	鼠笼式电动机允许小时合闸次数	361
	习 题	363

绪 论

在现代社会中,电能已成为工农业生产中最主要的能量形式。在电能的生产、变换、传输、分配、使用等环节中,各种电机和变压器,担负着主要任务。在电力工业中,发电机和变压器是电站和变电所中的主要设备,发电机和变压器承担电能的生产、变换、传输和分配的任务;在工业企业中,大量应用电动机作为原动机去拖动各种生产机械。如机械工业、冶金工业、化学工业以及其它工业、农业领域中,机床、电铲、轧钢机、吊车、抽水机、鼓风机等各种工作机械都要用大大小小的电动机作为原动机去拖动。在人们家庭生活中如洗衣机、电冰箱、电风扇等家用电器也需要小型电动机拖动。在自动控制技术中,各式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。

电机拖动(又称电力拖动)的根本任务是将电能转换成各种生产机械所需要的机械能,它已成为现代工业企业中最广泛采用的拖动方式。它具有许多其它拖动方式(蒸汽机、内燃机、柴油机等)无法比拟的优点,主要有:

- (1) 电机拖动效率高,与生产机械连接方便;
- (2) 电动机的种类和型号多,具有各种各样的运行特性,可以满足不同类型生产机械的要求;
- (3) 电机拖动装置参数的检测、信号的变换与传送比较方便,易于组成完善的反馈控制系统,易于实现最优控制;
- (4) 可以实行远距离测量和控制,便于集中管理,便于实现生产过程自动化。

随着科学技术的发展,现代电力拖动系统已和由各种控制元件组成的自动控制系统紧密地联系在一起。如自动起动、制动、调速,在负载和外部条件变化的情况下自动保持电动机转速恒定,按事先给定的程序或外部条件自动改变运行速度等。电子计算机的应用更进一步赋予电力拖动系统自寻最佳运行规律、自动适应运行条件变化的能力。然而,不论现代自动电力拖动系统的结构如何复杂,拖动生产机械的各类电动机仍然是电力拖动系统完成机电能量转换的主要元件,是控制的对象。

《电机拖动基础》包括电机学原理及电力拖动原理两部分,它是工业电气自动化专业的一门主要的专业基础课,它具有电机学中最基本的内容,同时又是电机学基本理论的进一步应用。它包括直流电机及拖动基础、变压器、交流电机及拖动基础、控制用微电机和电动机容量选择等部分。本课程的任务是使学生从运行的观点了解各类电机的基本结构、工作原理和运行特性,进而掌握正确使用和维护电机正常运行的基本技能;熟练掌握电动机在各种运行状态下能量关系的计算,起制动和调速的计算;了解电力拖动系统过渡过程的基本特征,改善过渡过程的途径,选择拖动系统电动机的基本原则等。为进一步学习后续专业课程打好基础。

本课程既带有基础课性质,又兼有专业课特点。它是一门运用基础电工理论来解决实际工程问题的课程。因此,在学习过程中,要联系物理学和电工基础课程中有关的电磁理论和电路基本理论,弄清各种定义、定律和公式的含义,它们所表达的实际电磁过程和机电过程。必须在学习过程中养成自学和独立思考的习惯,逐步掌握分析问题的方法。因此

必须重视及时完成必要的思考题和作业题。

学习本课程要坚持理论与实践相结合的原则，必须进行必要的实验和生产实习。通过实验，对交直流电动机的工作特性及机械特性的性质，基本原理和理论计算加以验证；进行独立的实验操作，学会测定各种电机的工作特性，电力拖动的机械特性及电机参数的方法，掌握正确操作电机运行的方法。实验前要预习实验指导书和课程有关理论，明确实验目的要求、操作步骤、实验线路及仪表正确使用方法等，实验过程中，要注意观察、分析及判断。要认真完成实验报告，通过操作，逐步提高实验技能和熟练程度。通过实验密切理论与实践相结合，培养严谨，求实的科学工作作风。

第一篇 直流电机及拖动

第一章 直流电机基本原理

直流电机包括直流电动机和直流发电机。直流电动机和交流电动机相比，它的主要优点是速度调节范围宽广，而且平滑性、经济性较好；其次是它的起动转矩较大。这种性能对有些生产机械的拖动来说是十分重要的。例如大型可逆式轧钢机、矿井卷扬机、电力机车、大型电铲、大型车床和大型起重设备等生产机械中，大都采用直流电动机拖动。

直流电机也有它显著的缺点：一是制造工艺复杂，消耗有色金属较多，生产成本低；二是直流电机在运行时由于电刷与换向器之间容易产生火花，因而运行可靠性较差，维护比较困难。人们曾做过很多研究工作来改善交流电动机的特性，虽然取得了一些成绩，但是还不能够全部用交流拖动来代替直流拖动。因此，在某些生产机械的拖动中，应用直流电动机还是比较普遍的。

直流发电机过去是工业上用直流电的主要电源之一，广泛地用在电解、电镀、充电等设备中，也用作同步电机的励磁机和直流电动机的电源。近年来由于可控硅的应用日益广泛，它有可能逐步代替直流发电机。

第一节 直流电机的工作原理及结构

一、直流发电机的工作原理

在电工基础课程中，我们已经知道在磁场中运动的导体，将产生感应电动势的客观规律——电磁感应定律。交流和直流发电机就是这个规律的实际应用的例子。

图1-1表示一台两极交流发电机的工作原理简图。固定部分简称定子，主要由两个磁极组成，由它产生磁场；转动部分简称转子，在它的上面绕有线圈 $abcd$ 。线圈的两端和固定于转轴上的两个滑环相连接，滑环与静止的电刷 AB 滑动接触，通过电刷与外电路的负载接通。

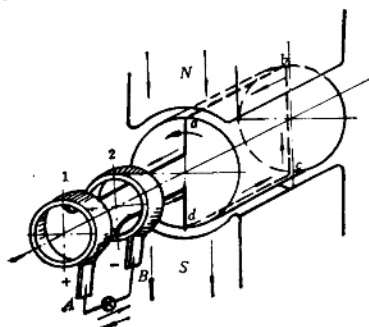


图 1-1 交流电机工作原理

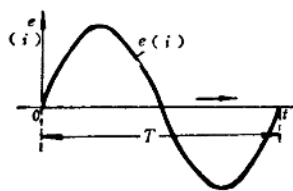


图 1-2 线圈中电动势的波形

如果电机被原动机拖动，逆时针方向以恒定速度旋转，用右手定则可以判定，导线 ab 切割磁力线而产生的感应电动势的方向是由 b 到 a ，而导线 cd 中电动势的方向则由 d 到 c 。这样外电路的电流应从滑环1经电刷 A 流出，而后再经电刷 B 流入滑环2。电流流出的电刷 A 具有正极性，用“+”号表示；电流流入的电刷 B 则具有负极性，以“-”号表示。

当电枢旋转 180° 后， ab 与 cd 位置互换，由于导线所处磁场极性已改变，所以导线中电动势的方向也跟着改变，又因为电刷 A 经过滑环1始终和 ab 相连，而电刷 B 经过滑环2始终和 cd 相连，所以电刷的极性 & 外电路电流的方向也就随着改变了。这种发出交流电的发电机叫做交流发电机。假若沿电枢圆周磁感应强度是按正弦规律分布的，则电枢旋转一周时，感应电动势随时间变化的规律如图1-2所示。

怎样把交流电变成直流呢？我们知道线圈的感应电动势总是交变的，要想在外电路得到固定方向的直流电流，必须在导线电动势方向要改变的瞬间，及时改变导线和外电路的连接。图1-3所示的换向器，就是根据这个设想而装置的。线圈 $abcd$ 的两端接到换向器的两个半圆形铜片1和2上，这两个铜片叫换向片。

在图1-3所示的位置，和换向片1接触的电刷 A 为正极性（因为此时和电刷 A 接触的导线 ab 处在 N 极下），同时电刷 B 为负极性。电枢旋转 180° 后，电刷 A 不再经过换向片1与导线 ab 相连，而是经过换向片2和已转到 N 极下的导线 cd 相连了，所以电刷 A 仍为正极性，同样电刷 B 仍为负极性。这样虽然导线中的电动势是交变的，但是通过换向器的作用，及时改变导线与电刷（即外电路）的连接，使得电刷 A 不再固定的和导线 ab 相接触，而是固定的和 N 极下的导线相接触。因为在一定的磁极下，导线中电动势方向是一定的，所以，电刷 A 和 B 的极性也就是一定的了。这就是通过换向器将交流变为直流的原理。这时电刷两端电压波形如图1-4所示。由图可见，电动势的方向虽然不变，但它的大小却在零和最大值之间脉动，这种简单的直流发电机电压波动太大，而且电压也很低。为此实际的直流电机线圈数和换向片都是很多的，关于电枢绕组的连接规律在第二章再详细讨论。

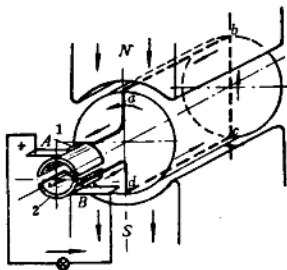


图 1-3 直流发电机工作原理

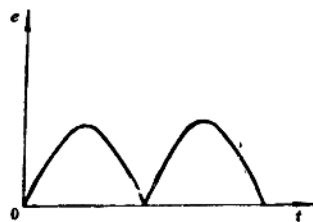


图 1-4 一个线圈的脉动电动势

二、直流电动机的工作原理

在电工基础中，已经知道通过电流的导体在磁场中会受到作用力这个客观规律——电磁力定律。直流电动机就是这个规律的实际应用的一个例子。

如图1-5所示的直流电动机，接到直流电源上，电刷 A 接到电源的正端，电刷 B 接到电源的负端。这时电流从电刷 A 流入电枢的线圈中，从电刷 B 流出。在图1-5所示的位置

时，在 N 极下导线的电流是由 a 到 b ，根据左手定则可知导线 ab 受力的方向向左；而导线 cd 受力的方向是向右的，两个电磁力所构成的电磁转矩是使电动机逆时针旋转。

当线圈转过 180° ，导线 ab 转到 S 极下，导线 cd 则转到 N 极下，由于这时导线的电流方向是由 d 到 c ，和 b 到 a 。因此电磁转矩的方向仍然是逆时针的，这样就使得电机一直旋转下去。和发电机一样，直流电动机通过换向器作用，使正电刷 A 始终和 N 极下导线相连，负电刷 B 则和 S 极下导线相连。由于在一定的磁极下的导线电流方向始终保持不变，所以电机的转矩和旋转方向保持不变。

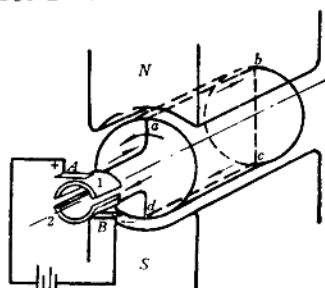


图 1-5 直流电动机工作原理

三、直流电机的结构

我们讨论电机结构的主要目的，是要了解电机各主要部件的名称、作用、形状、使用的材料以及怎样组装起来的。电机的结构是由以下几方面的要求来确定的。首先是电磁方面的要求：使电机产生足够的磁场，感应出一定的电动势，通过一定的电流，产生一定的电磁转矩，并要求有一定的绝缘强度。其次是机械方面的要求：电机能传递一定的转矩并保持机械上坚固、稳定。此外，电机的结构要满足冷却的要求，保证温升不过高。最后还要考虑节约材料，制造工艺简单，便于检修，性能好和运行可靠等。

直流电动机和发电机在结构上没有什么差别。只是由于外部条件不同，得到相反的能量转换过程：发电机是将机械能转换为电能，电动机则是将电能转变为机械能。

直流电机是由静止的定子和旋转的转子（又称电枢）两大部分组成，在定子和转子之间的间隙叫做空气隙。定子的作用是产生磁场和作为电机机械的支撑。它由主磁极、换向极、机座、端盖和轴承等组成，电刷装置也固定在定子上。电枢是用来产生电动势和电磁转矩，实现能量转换的。它由电枢铁心、电枢绕组、换向器和转轴等组成；用以加强电机通风冷却的风扇也装在电机轴上。直流电机的结构剖面示意图如图1-6和1-7所示，它的结构实际剖面图如图1-8所示。

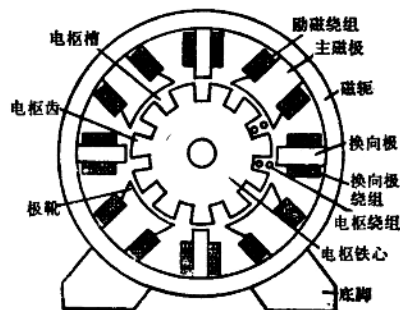


图 1-6 直流电机径向剖面

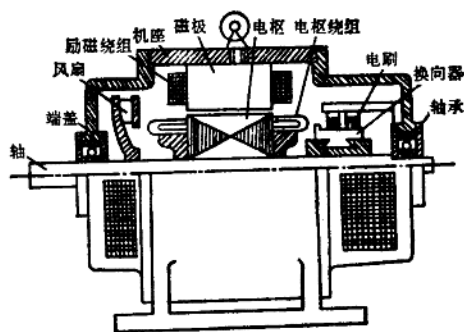


图 1-7 直流电机轴向剖面

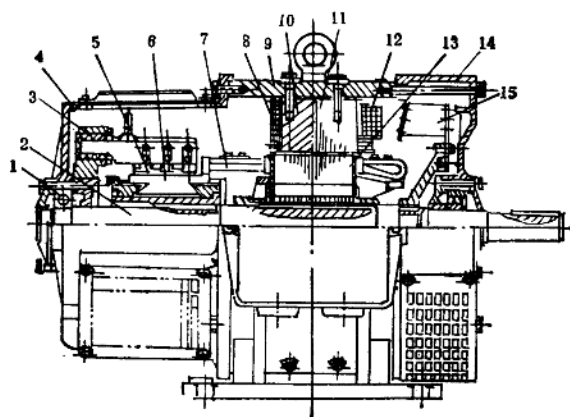


图 1-8 直流电机的剖面图

1—轴承；2—轴；3—刷架；4—前端盖；5—电刷；6—换向器；7—电枢绕组；8—换向极绕组；9—机座；10—换向极铁心；11—主极铁心；12—主极绕组；13—电枢铁心；14—后端盖；15—风扇

下面介绍几个主要部件的构造和作用。

1. 主磁极 主磁极用以产生气隙主磁通，以便电枢绕组在此磁场中转动而感应电动势。主磁极由铁心和励磁绕组所组成。主磁极铁心包括极身和极掌（又叫极靴）两部分。如图1-9所示。主磁极铁心一般用1~1.5毫米厚的低碳钢板冲片迭压而成，并用铆钉把迭片紧固成一体，然后用螺钉固定在磁轭上。为了减小气隙中有效磁通的磁阻，改善气隙磁密的分布，磁极下的极掌较极身宽，这样还可使励磁绕组牢固地套在磁极上。励磁绕组用绝缘铜线绕成，绕组和磁极间用绝缘纸和腊布或云母绝缘起来。各主极上的绕组线圈一般都是串联起来的，联接时要能保证励磁绕组通以电流时相邻磁极的极性按N极和S极交替排列。

2. 换向磁极 在两个相邻的主磁极之间的几何中性线上有一个小的磁极，构造和主磁极相似，叫做换向磁极，它的作用是为了改善换向，在以后将专门讨论。

3. 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。其导磁部分叫做磁轭，磁轭下部的支撑部分叫做底脚。机座一般由铸钢铸成，或用钢板弯成筒形焊接而成。对于换向要求较高的电机，也可采用薄钢板冲片迭成的机座。

4. 电枢铁心 电枢铁心用作电机磁路和安放电枢绕组。当电枢在磁场中旋转时，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0.5毫米厚的硅钢冲片迭成。每片冲片上冲有嵌放绕组的矩形槽或梨形槽和一些通风孔，如图1-10所示。较大容量的电机沿轴向还分成若干段，段与段间空出8~10毫米作为径向通风道。

5. 电枢绕组 电枢绕组用以感应电动势和通过电流并产生电磁转矩，实现机电能量转换的。它由许多用绝缘导线绕成的线圈组成，各线圈绕成后，分别嵌入电枢铁心槽中。线圈与铁心之间及上下层线圈之间必须妥善绝缘。为了防止电枢旋转时产生的离心力使绕组甩出来，绕组在槽内部分用槽楔锁住，伸出槽外端接部分用无纬玻璃丝带绑扎在绕组支

架上。绕组线圈的端接头按一定的规律焊在各换向片上。电枢绕组的连接方法将在本章第二节专门讨论。

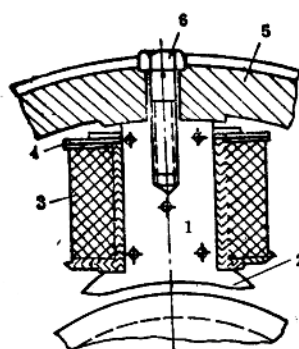


图 1-9 主磁极
1—主磁极铁心；2—极掌；3—励磁绕组；
4—绕组绝缘；5—机座；6—螺杆

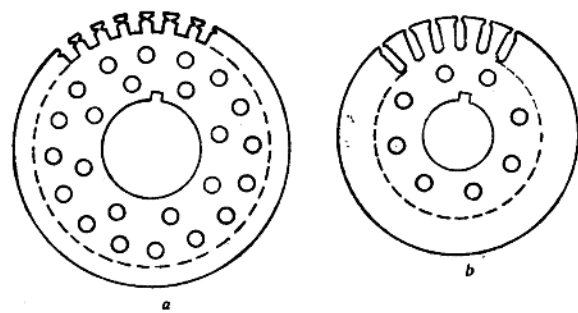


图 1-10 电枢铁心冲片
a—矩形槽；b—梨形槽

6. 换向器 换向器的作用如前面所述，在发电机中，换向器能使绕组线圈中的交变电动势变换为电刷间直流电动势；在电动机中，它能使外加直流电流变为线圈中的交流电流，产生恒定方向的转矩。简单来说起到机械整流的作用。换向器的结构如图1-11所示，它是由许多带有鸽尾形的梯形铜片（换向片）组成的一个圆筒。换向片与片间都垫有0.6~1毫米厚的云母片。在整个圆筒的两端用两个V形截面的环紧紧夹住，在V形环和换向片组成的圆筒之间垫以V形的云母绝缘垫圈。每一换向片上有一小槽或有一凸出的一铜片以便焊接绕组各线圈的引出线。小容量的电机可用塑料换向器，换向片组成的圆筒用塑料浇铸在一起，如图1-12所示。

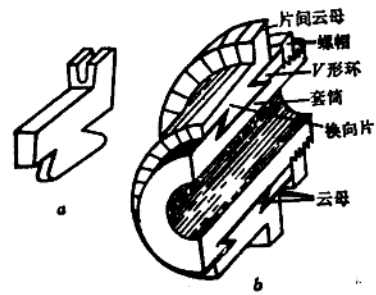


图 1-11 换向片和换向器
a—换向片；b—换向器

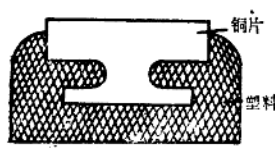


图 1-12 塑料换向器

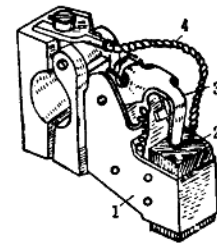


图 1-13 刷握和电刷
1—刷盒；2—电刷；3—加压弹簧；4—导出绞线

7. 电刷装置 在直流电机中, 为了使电枢绕组和外电路连接, 必须装设固定的电刷装置, 它由电刷、刷握、刷杆和刷杆座组成。

电刷主要是用碳-石墨做成的导电块, 它放在刷握(图1-13)中的刷盒内, 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。根据电流的大小, 每一刷杆可有几个刷握组成的电刷组。电刷组数即刷杆数一般等于主磁极的数目。刷杆装在刷杆座上, 它们彼此是绝缘的, 同极性的各刷杆上的导线用汇流条接在一起。中小容量电机的刷杆座装在端盖上, 大容量的电机则装在机座上。

四、直流电机的铭牌数据及主要系列

1. 铭牌及额定值

为了保证电机安全而有效地运行, 电机制造厂按照国家标准, 根据电机的设计和试验数据而规定了它的正常运行状态和条件, 称为电机的额定运行情况。表征电机额定运行情况的各种数据叫做额定值。这些数据都列在电机的铭牌上如表1-1所示。

表 1-1 电 机 的 铭 牌

直 流 电 动 机			
型 号	Z ₂ -42	励磁方式	他 励
功 率	4kW	励磁电压	220V
电 压	220V	励磁电流	0.63A
电 流	22.7A	定 额	连 续
转 速	1500r/min	温 升	80°C
出品号数	× × × ×	出厂日期	年 月

铭牌上标出的型号: Z₂-42中Z₂为防护式直流电机第二次设计的系列。引号后第一个数字“4”表示机座号, 第二个数字“2”表示铁心长度。即第4号机座2号铁心长。

铭牌上标出的功率是指电机在额定运行时输出功率, 又称为额定容量。对发电机来说, 额定容量 P_e 是指出线端输出的电功率, 它等于额定电压 U_e 和额定电流 I_e 的乘积, 即 $P_e = U_e I_e$ 。对电动机来说: 额定容量是指轴上输出的机械功率, 它等于额定电压和电流的乘积再乘上该电机的效率, 即 $P_e = \eta_e U_e I_e$ 。

在实际运行时, 一台电机不一定恰好在额定情况下运行。如果电机的输出为额定值, 即流过电机的电流为额定值, 则称为满载运行; 如果电机的电流超过额定值, 则称为过载运行; 反之则为欠载运行。长期过载运行将使电机过热而缩短电机的寿命; 长期欠载运行则电机的容量不能充分利用。两种情况都将降低电机的效率, 因而都是不经济的。在选择电机时, 应该根据负载的要求, 尽可能使它等于接近于额定情况下运行。

2. 国产直流电机主要系列

为了满足各行各业中对电机的不同要求, 将电机制成不同型号的系列。所谓系列就是指结构和形状基本相似, 而容量按一定比例递增的一系列电机。它们的电压、转速、机座号和铁心长都有一定的等级。电机的系列化不仅为了满足用户的要求, 而且在制造时能简化工艺降低成本。使电机产品标准化和通用化。

现将常用的国产直流电机系列简介如下:

Z₂型系列为一般用途的小型发电机、电动机和变速电动机, 通风防护式结构、绝缘分E级、B级和F级三种。适用于少灰尘, 少腐蚀气体及温度低的场所。ZO₂型为封闭式

结构,用途与 Z_2 相同,适用于多灰尘但无腐蚀性气体的场所。 Z_3 型系列是 Z 系列的第三次设计改进的系列,具有 GD^2 小,调速范围广,体积小,重量轻的特点,其他性能也普遍高于 Z_2 型系列。

ZF_2 和 ZD_2 型属于中容量的发电机(F)和电动机(D),发电机做直流电源,电动机主要用于广范围调速和具有较大的过载能力的场所,如高炉卷扬机、轧钢机、电铲、大型机床及矿山竖井中。 ZJF 和 ZJD 为大型直流发电机和电动机。 ZKG 大型电动机是适应于可控硅整流装置供电的新型电机。

ZZ 和 ZZK 型,这两种电机主要用于起重和冶金机械中的直流电动机。型号中第二个字母 Z 代表起重、 K 代表高速。此外还有 ZQ 、 ZQD 、 ZQF 直流牵引电机等。

思 考 题

- 1-1 直流电机有那些主要部件?并有什么作用?一般用什么材料制成?
- 1-2 直流电机的换向器在发电机和电动机中各起到什么作用?为什么它能起到这些作用?
- 1-3 图1-3的直流发电机,当电刷两端接上负载,线圈流过电流时,问这时导体 ab 与 cd 是否受到电磁力作用?如果有的话,此电磁力的作用方向如何?
- 1-4 图1-5所示的直流电动机旋转起来后,导体 ab 和 cd 是否会产生感应电动势?如果有的话,此电动势的方向如何?
- 1-5 一台发电机和一台电动机的额定容量相同,如果额定电压相同,这两台电机的额定电流是否相同?为什么?

第二节 电 枢 绕 组

电枢绕组是直流电机主要的部件。感应电动势、电流和电磁转矩的产生,机械能与电能的转换都发生在这里。电枢绕组的结构对电机最基本的参数和性能都有影响。电枢绕组也是比较容易出现故障的地方,它将直接影响到电机的正常运行。因此,对从事电机维护与检修人员来说,对电枢绕组的结构应有比较清楚的了解。

决定电枢绕组结构的基本要求是:(1)满足电性能的需要,即要感应出规定的电动势,能够承受规定的电流;(2)线圈材料要得到充分的利用,尽可能节省有色金属和绝缘材料;(3)力求结构简单,运行时安全可靠等。由于直流电机的容量和电压等级不同,绕组的形式有多种,但最基本的有两种,即单迭绕组和单波绕组。本节只介绍这两种绕组。直流电机电枢绕组虽较复杂,但只要从简单的,具体的问题入手,从中找出规律性的东西,就不难掌握它。

当我们仔细观察直流电机的电枢绕组时,可以发现它由许多个完全相同的线圈所组成。这些线圈是组成绕组的单元,叫做绕组元件。绕组元件由一匝或多匝绝缘导线绕成,它的两端各接到不同的换向片上如图1-14所示。电流较小的电机采用圆导线,电流较大的则采用矩形截面的扁导线。每个元件的两个边均嵌在电枢槽内如图1-15所示。处在槽内能切割磁通感应电动势的直线部分叫做有效边,在槽外两端不感应电动势,仅起连接作用称为端接部分。

为了工艺的方便,直流电机电枢绕组多采用双层绕组。每个元件的一边放在一个槽的上层,另一边则放在另一槽的下层。相邻的槽内将同样放着另一绕组元件,依次排列下

去，直到填满所有的槽为止。

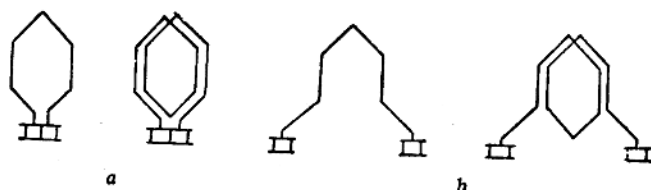


图 1-14 电枢绕组的绕组元件

a—单迭绕组元件；b—单波绕组元件

最后让我们来观察绕组元件数、槽数和换向片数的关系：因为直流电机都采用双层绕组。在有些电机中，每槽上下层各放一个元件的有效边，这样每槽就有两个有效边，而每一元件也有两个有效边，所以在这些电机中，元件总数等于槽的总数。但在大多数电机中，每槽有4个、6个或更多的元件边如图1-16所示。设每槽每层元件边数为 u ，为了计算和作图编号方便，我们把 $u=1$ 的槽作为单元槽，叫做虚槽。每个实槽有 u 个虚槽，设 Z_x 为虚槽数， Z 为实槽数，则有

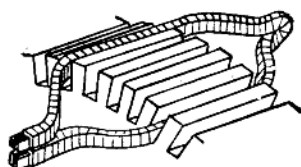


图 1-15 绕组元件在槽中位置

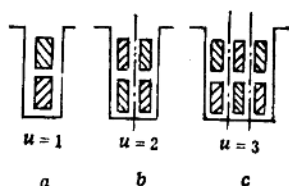


图 1-16 实槽与虚槽

$$Z_x = uZ \quad (1-1)$$

显然一个虚槽对应一个元件，元件总数 S 和虚槽总数相等。我们还注意到每个元件的头尾各接到不同的两个换向片上，而每个换向片上接到不同的两个元件，即前一元件的尾和下一元件的头同接到一个换向片上。这样每对应一个元件就应该有一个换向片。所以换向片数 K 、元件数 S 和虚槽数 Z_x 是相等的。即

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

以下分别讨论单迭绕组和单波绕组的主要特点、绕组节距和作绕组图。

一、单迭绕组

1. 绕法基本特点和绕组节距 现在我们从实际的绕组出发来研究它的规律。图1-17为单迭绕组的一部分放射图，它的展开图如图1-18左所示。展开图是把电枢沿轴向切开并把电枢表面展开在一平面上的绕组图形。由图1-18可知，单迭绕组绕法的基本特点是：每个元件头和尾各接在相邻的两换向片上。图1-18表示的单迭绕组有两种绕法：第一种绕法是相邻的第二元件紧接着第一元件，且在它的右边，而第二种则在左边。前者叫右行绕组或不交叉绕组，后者叫做左行绕组或交叉绕组。通常都采用不交叉绕组，因为它的端接用铜量少。由图1-18所示的展开图可以看出，每个绕组元件都和相邻的元件搭迭在一起，所以取名“迭”绕组。

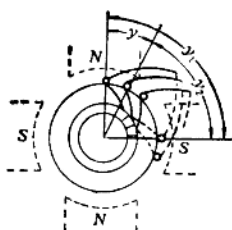


图 1-17 单迭绕组元件放射图

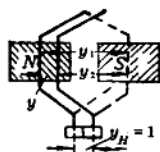


图 1-18 单迭绕组元件展开图

为了正确地把各个元件及相应的换向片按一定规律连接起来，必须求出绕组的节距，绕组的节距包括下列内容：

(1) 换向器节距 y_H 每一元件的头和尾所连接的两个换向片间的距离。用所跨的换向片数表示。

根据单迭绕组的特点，如图1-18所示，单迭绕组换向器节距为

$$y_H = \pm 1 \quad (1-3)$$

式中，正号表示不交叉绕组，负号表示交叉绕组。

(2) 第一节距 y_1 同一元件的两个有效边在电枢表面的距离，以所跨的虚槽数表示。为了使元件的电动势为最大，要求节距 y_1 应等于或接近于一个极距 τ 。当 $y_1 = \tau$ 时（图1-19），叫全节距绕组，当 $y_1 < \tau$ 时，叫短节距绕组，当 $y_1 > \tau$ 时，叫长节距绕组。一般只采用全节距或短节距绕组。因为长节距绕组电动势较全距小，而端接部分较长，用铜量较多，只是在特殊情况下采用。极距 τ 的跨距以虚槽数计算为 $\tau = \frac{Z_s}{2P}$ ，它有时不等于整

数，例如 $Z_s = 18$ ， $2P = 4$ ，则 $\tau = \frac{18}{4} = 4\frac{1}{2}$ 。因为第一节距 y_1 必须是整数，在这种情况下，应取

$$y_1 = \frac{Z_s}{2P} \mp \epsilon = \text{整数} \quad (1-4)$$

式中， ϵ 是用来凑成 y_1 与 $\frac{Z_s}{2P}$ 相接近的整数。负号为短距，正号为长距。

例 1-1 某电机磁极数 $2P = 4$ ，电枢的实槽数 $Z = 33$ ，每槽每层元件边数 $u = 3$ ，求绕组元件第一节距 $y_1 = ?$

解：极距 $\tau = \frac{Z_s}{2P} = \frac{uZ}{2P} = \frac{3 \times 33}{4} = 24\frac{3}{4}$ ，现取 $y_1 = 24$ ，($\epsilon = -\frac{3}{4}$) 比较合理，因为

以实槽计算 $y_1 = \frac{24}{3} = 8$ (整数)，可以做成同槽式元件。即把同槽的三个元件包扎在一起

(见图1-20)，简化下线工艺。

(3) 合成节距 y 紧接相串联两元件的对应有效边在电枢表面上的距离，以所跨的虚槽数计算。因为虚槽总数和换向片总数是相等的，因此每经过一个元件时，在电枢上所越过的虚槽数 (y)，应该和在换向器上跨过的换向片数 (y_H) 是相等的。否则就会发生空