



# 电机与拖动

黄柏辰 主编



上海科学普及出版社

# 电机与拖动

黄柏辰 主编

上海科学普及出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

电机与拖动/黄柏辰主编:—上海:上海科学普及出版社,  
1996.8(2005.7重印)

ISBN 7-5427-1140-7

I. 电… II. 黄… III. ①电机②电力拖动 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 23276 号

**责任编辑 陈英黔**

中等专业学校教材

**电机与拖动**

黄柏辰 主编

上海科学普及出版社出版发行

(上海中山北路 832 号 邮政编码 200070)

<http://www.pspsh.com>

---

各地新华书店经销 上海译文印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 14 字数 360000

1996 年 8 月第 1 版, 2005 年 7 月第 5 次印刷

印数 14501—16000

---

ISBN 7-5427-1140-7/TK·1 定价:18.00 元

# 绪 论

## 一、电机与电力拖动在现代化生产中的重要作用

电机是一种主要基于电磁感应原理的机电能量转换装置。

电力拖动是指用电动机来拖动生产机械工作的一种拖动方式,以满足人们的生产或生活需要。

电能易于转换、传输、分配和控制,是现代能源的主要形式。电能的生产是由发电机完成的,发电机把机械能转换为电能。而电能的生产集中在火力、水力及原子能发电厂进行,往往远离用户,为了减少输电过程中的能量损失,远距离输电均采用高电压(如几十万伏),然后必须经降压再供给用户,电压的升高与降低都是由变压器完成的。拖动生产机械工作是由电动机来完成的,它把来自电网的电能转换成机械能。

电力拖动较之其它拖动方式有下列无可比拟的优点:

(1)电动机效率高,运转经济;

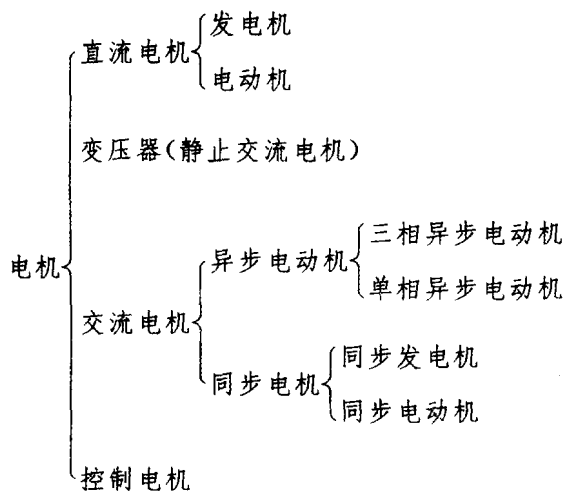
(2)电能便于远距离传输和分配;

(3)电力拖动易于操作和控制,可以实现自动控制和遥控;

(4)电动机种类和规格很多,具有各种良好的特性,能够满足大多数生产机械的不同需要……。因此,在现代化生产中,多数生产机械都采用电力拖动。例如各种生产机床、轧钢机、纺织机械、化工机械、电力机车、起重机、卷扬机、压缩机、水泵、船用机械、电动工具……乃至家用电器等,不胜枚举。在电力拖动自动控制系统中,还大量应用控制电机。控制电机是具有特殊性能,容量很小的电机。

## 二、电机与拖动的分类及本课程的内容

### 1. 按电流种类、能量转换形式与用途等不同,电机种类常可分为



电力拖动是由电动机来拖动生产机械,相应分为

- { 直流电动机的电力拖动
- { 交流电动机的电力拖动

## 2. 本课程的内容

- { 直流电机及其拖动
- { 交流电机及其拖动
- { 变压器
- { 控制电机
- { 电动机的选择
- { 电机维护及常见故障分析

## 三、本课程的性质、特点与学习方法

电机与拖动是电气化专业最主要的技术基础课。具有三个重要特性:

1. 综合性。电机与拖动是一个整体,电、磁、力、热等各种因素综合在一个整体中,很多规律同时起作用,相互影响或循环影响,比较复杂,因而要学会全面辩证地看问题;
2. 实用性。电机与拖动是一个生产实际中实实在在的拖动系统,要注意实际条件;而实际条件往往是复杂的,因而要学会抓住主要矛盾分析问题的方法,重视理论与实践的结合;
3. 基础性。本课程仍然是电气化或电气自动化专业的主要基础课程,因而要注重基础理论、基本方法的学习,为学习自动控制、工厂电气设备、工厂供电、可控硅技术等专业课打下坚实基础。

# 前 言

本书是中等职业学校电气类专业“电机与拖动”课程的教材。它是根据国家教委提出的培养应用型中等职业技术人才的要求、为适应电气技术发展及各中职校教学改革的需要而编写的。在编写过程中,认真总结了多年来的教学实验,对原有替代教材进行了较大的改革,使本书体现“精、实、新”,填补了“电机与拖动”中职教材的空白。本书有下列特点:

1. 删繁就简。删去了较为繁琐的数学推导;删去了动力学及过渡过程部分内容;精简了电机内部电磁关系的分析计算;划出了电机与拖动的实验(已由黄柏辰主编出版),较大程度地压缩了全书的篇幅。

2. 知识更新。随着电气技术的发展,对某些已显陈旧或被淘汰的内容,作了删减和调整;对当前电机拖动方面的新发展——交流调速技术,如三相异步电动机的串级调速与变频调速等,则作了充实更新,体现了一定的先进性。

3. 注重应用。全书着重于电机的电力拖动系统中的应用,并把电机、电力拖动与系统维护及故障排除合为一体,使本书更具应用性。

4. 书中图形、文字符号及电机产品型号均采用了新的国家标准,以便与国际接轨。

本书由上海市公用事业学校黄柏辰高级讲师主编,上海市电机制造技术专科学校郭环球、上海市宝钢工业技术学校侯庆海高级讲师、上海市纺织机电工业学校丁莉敏、上海港湾学校崔知进高级讲师、上海市轻工业学校郑国才、上海市航空工业学校陈欢以及上海市农工商中等专业学校郭遐岭、周爱国等参编。本书第三、四、五、八、九、十、十一章系黄柏辰编写,第一、十三章系郭环球编写,第二章系侯庆海编写,第六章系丁莉敏编写,第七章系陈欢编写,第十四章系崔知进编写,第十二章系郑国才编写,第十五章系郭遐岭、周爱国编写。由上海交通大学李仁定教授、上海港湾学校陆智良高级讲师主审。

编写过程中,得到了上海市教委唐德杲高级讲师、上海市公用事业学校王一宓高级讲师、上海市轻工业学校张延英高级讲师的指导与热情支持,并得到上海市石化中专刘永明高级讲师、嘉定工业学校王兴元高级讲师以及上海市电气专业同仁的大力支持与帮助,提出过很多宝贵的建议,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平及本书篇幅所限,难免有疏漏与不当之处,敬请指正。

编 者

1999年3月

## 内 容 简 介

本书主要包括:直流电机原理;他励直流电动机的起动、调速及各种运行状态;变压器的原理及联结组别;三相异步电动机的原理及起动、调速和各种运行状态;单相异步电动机及几种常见控制电机的原理与型式;同步电动机的原理及起动与调速方法;电动机的选择;最后还介绍了电机的维护及故障分析。

电机与拖动的实验内容,请参阅本书的配套教材——黄柏辰主编的《电机与拖动实验》,本书未予编入。

本书适合于中等职业学校电气类专业作为教材使用,也可作为高等职业学校电气类专业的教材,并可供有关技术人员参考。

# 目 录

绪论 .....	I
<b>第一章 直流电机的结构及基本原理</b> .....	1
第一节 直流电机的基本工作原理 .....	1
第二节 直流电机的结构及铭牌 .....	3
第三节 直流电机的电枢绕组 .....	6
第四节 电枢绕组的感应电势与电磁转矩 .....	13
第五节 直流电机的电枢反应 .....	15
<b>第二章 直流电机的运行特性</b> .....	17
第一节 直流电动机的基本方程 .....	18
第二节 直流电动机的工作特性 .....	22
第三节 直流发电机 .....	23
第四节 直流电机的换向 .....	27
<b>第三章 直流电机电力拖动基础</b> .....	30
第一节 电力拖动系统组成及运动方程 .....	30
第二节 负载的转矩特性 .....	31
第三节 他励直流电动机的机械特性 .....	32
第四节 他励直流电动机机械特性的绘制 .....	35
第五节 电力拖动系统稳定运行的条件 .....	38
第六节 串励直流电动机的机械特性 .....	39
<b>第四章 他励直流电动机的起动和调速</b> .....	41
第一节 直流电动机的起动要求 .....	41
第二节 他励直流电动机的起动方法 .....	42
第三节 他励直流电动机的调速方法 .....	45
第四节 调速的性能指标 .....	48
<b>第五章 他励直流电动机的各种运行状态</b> .....	54
第一节 他励直流电动机的电动运行 .....	54
第二节 他励直流电动机的能耗制动 .....	55
第三节 他励直流电动机的反接制动 .....	57
第四节 他励直流电动机的回馈制动及各种运行状态小结 .....	60
<b>第六章 变压器</b> .....	65
第一节 变压器的结构 .....	65
第二节 变压器的工作原理 .....	68
第三节 变压器参数的测定 .....	74
第四节 变压器的运行特性 .....	76



第五节	变压器的联结组别 .....	80
第六节	变压器的并联运行 .....	84
<b>第七章</b>	<b>三相异步电动机的原理和结构 .....</b>	<b>88</b>
第一节	三相异步电动机的基本原理 .....	88
第二节	三相异步电动机的结构和铭牌 .....	91
第三节	交流电机的定子绕组 .....	94
第四节	交流绕组的感应电势 .....	97
第五节	三相异步电动机运行时的电磁关系 .....	98
<b>第八章</b>	<b>三相异步电动机的机械特性 .....</b>	<b>102</b>
第一节	三相异步电动机的功率和转矩关系 .....	102
第二节	三相异步电动机的电磁转矩 .....	103
第三节	三相异步电动机的固有机械特性 .....	104
第四节	三相异步电动机机械特性的点绘 .....	106
第五节	三相异步电动机的人为机械特性 .....	108
第六节	三相异步电动机的工作特性 .....	110
<b>第九章</b>	<b>三相异步电动机的起动 .....</b>	<b>113</b>
第一节	概述 .....	113
第二节	三相鼠笼式异步电动机的降压起动 .....	114
第三节	三相绕线式异步电动机的起动 .....	119
<b>第十章</b>	<b>三相异步电动机的调速 .....</b>	<b>125</b>
第一节	改变磁极对数调速 .....	125
第二节	降低电源电压调速 .....	127
第三节	绕线式异步电动机转子回路串电阻调速 .....	129
第四节	绕线式异步电动机串级调速 .....	131
第五节	改变电源频率调速 .....	135
<b>第十一章</b>	<b>三相异步电动机的各种运行状态 .....</b>	<b>142</b>
第一节	三相异步电动机的电动运行和能耗制动 .....	142
第二节	三相异步电动机的反接制动 .....	144
第三节	三相异步电动机的回馈制动及各种运行状态小结 .....	147
<b>第十二章</b>	<b>其他交流电动机 .....</b>	<b>152</b>
第一节	单相异步电动机的工作原理 .....	152
第二节	单相异步电动机的常见类型 .....	154
第三节	三相同步电动机的结构和原理 .....	158
第四节	同步电动机的功率因数调节 .....	159
第五节	同步电动机的起动和调速 .....	161
<b>第十三章</b>	<b>控制电机 .....</b>	<b>163</b>
第一节	测速发电机 .....	163
第二节	伺服电动机 .....	165
第三节	自整角机 .....	169

第四节	步进电动机·····	171
<b>第十四章</b>	<b>电动机的选择·····</b>	<b>175</b>
第一节	电动机选择的主要内容·····	175
第二节	电动机的发热和冷却·····	177
第三节	电动机的额定功率·····	179
第四节	电动机额定功率的选择·····	181
<b>第十五章</b>	<b>电机维护及故障分析·····</b>	<b>191</b>
第一节	直流电动机的维护及故障分析·····	191
第二节	三相异步电动机的维护及故障分析·····	196
第三节	变压器的维护及故障分析·····	204

# 第一章 直流电机的结构及基本原理

直流电机是一种实现直流电能和机械能之间互相转换的电磁装置。把机械能转换为直流电能的称为直流发电机；把直流电能转换成机械能的则称为直流电动机。

直流电动机具有良好的起动性能和调速性能，所以被广泛应用于电力牵引、轧钢机械、矿产设备等对起动、调速性能要求较高的场合，在自动控制系统中，小容量直流电动机的应用也很广泛。

与交流电机相比，直流电机的结构复杂，运行维护的工作量大，加之存在换向问题，限制了它的极限容量。因此，目前由晶闸管整流元件组成的直流电源设备正逐步取代直流发电机。但直流电动机由于其性能优越，迄今为止，在电力拖动系统中，仍占很重要的地位。

## 第一节 直流电机的基本工作原理

### 一、直流发电机的工作原理

图 1-1 是一台直流发电机的工作原理图。图中 N、S 是一对固定不动的主磁极。 $abcd$  是一个可绕轴线转动的线圈，又称为电枢元件，装在圆柱形的电枢（即转子）上。线圈的两端分别接到两片相对放置的半圆形换向片上，这两片铜质换向片形成换向器随电枢一起旋转。在两换向片上放有固定不动的电刷 A、B。当原动机拖动电枢以恒定的转速在磁场中逆时针方向旋转时，线圈的两条有效边  $ab$ 、 $cd$  将随之做切割磁场运动。根据电磁感应原理，线圈中将有感应电势产生，感应电势的方向由右手定则确定。在图 1-1 所示瞬间，线圈的  $ab$  边所产生的感应电势方向是从  $b$  指向  $a$ ；线圈的  $cd$  边所产生的感应电势方向是从  $d$  指向  $c$ 。从整个线圈来看，电势的方向是从  $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ 。此时，电刷 A 和与  $ab$  边相连的换向片接触，其极性为正极；电刷 B 和与  $cd$  边相连的换向片接触，其极性为负极。当电枢从图示位置转过  $180^\circ$  后，线圈的  $ab$  边和  $cd$  边互换了位置，因此每条边的感应电势方向也发生了改变。由此而导致了整个线圈的感应电势方向发生了改变，即此时线圈中感应电势方向是从  $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ 。但是，由于电刷 A、B 的位置是固定的，电枢转过  $180^\circ$  以后，电刷 A 与  $cd$  边相连的换向片接触，其极性仍然为正极，电刷 B 与  $ab$  边相连的换向片接触，其极性仍然为负极。就这样，不论电枢处在什么位置，电刷 A、B 的极性是不变的，即电刷 A、B 间得到的是直流电势。这就是最简单的直流发电机模型。

综上所述，尽管在直流发电机电枢线圈中产生的感应电势是交变的，但是由于电刷与换向器的作用，使得电刷 A 始终与转到 N 极下的导体相联，电刷 B 始终与转到 S 极下的导体相联，电刷 A、B 间的电势总是直流电势。这就是直流发电机中换向器把交流电整流为直流电的原理。

假设沿电枢圆周的磁感应强度按正弦规律分布，电枢线圈旋转一周所产生的感应电势也将按正弦规律变化，如图 1-2 中虚线所示。而电刷 A、B 间的电势波形则如图 1-2 中实线所示，是脉动波。从图中可以看出，当电枢线圈只有一个时，所得到的直流电势波形脉动太大，

在实际电机中是通过增加电枢线圈数和相应的换向片数以减小电势波形的脉动程度,改善电势波形。通常每极下大于 8 个电枢线圈时,电刷两端感应电势波动值就小于其平均值的 1%,基本上可消除脉动现象。

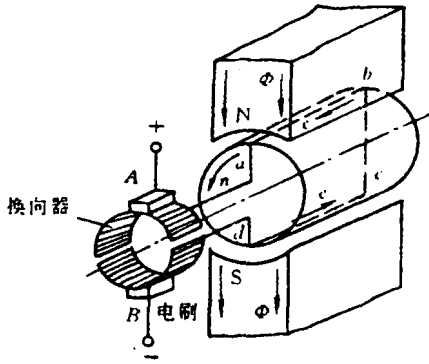


图 1-1 直流发电机的工作原理图

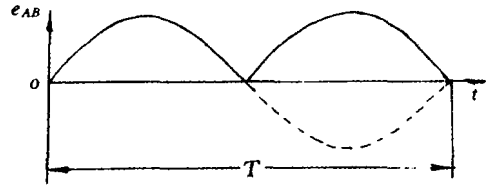


图 1-2 电刷两端感应电势的波形图

## 二、直流电动机的工作原理

在直流电机中,直流发电机和直流电动机的结构是基本相同的,当直流电机被原动机驱动,即输入机械功率时,电机输出电功率,充当发电机运行;反之,当直流电机输入电功率,而输出机械功率时,则充当电动机运行。因此,从理论上说,一台直流电机既可充当发电机,又可充当电动机,在一定条件下可互相转换。这就是直流电机的可逆性。下面就来分析直流电动机的基本工作原理。

图 1-3 是一台直流电动机的工作原理图。电机的结构与图 1-1 完全相同,将电刷 A 接到电源的正极,电刷 B 接到电源的负极。在图示瞬间,电流从电源正极流出,经过电刷 A 与换向片流入电动机线圈,线圈中的电流方向为  $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ 。然后再经过换向片与电刷 B 流回电源负极。根据电磁力定律,线圈边  $ab$  与  $cd$  将受到电磁力的作用,电磁力的方向由左手定则确定,如图中所示。这两个电磁力形成的电磁转矩将使线圈绕轴线逆时针方向旋转。

当线圈转过  $180^\circ$  后,电枢线圈的  $ab$  边转到了 S 极下,  $cd$  边转到了 N 极下。同时,两换向片也交换了位置,使与  $cd$  边相连的换向片与电刷 A 接触,与  $ab$  边相连的换向片与电刷 B 接触。此时,电枢线圈中的电流方向变为  $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ ,根据左手定则判断,电磁力产生的电磁转矩的方向仍然是逆时针方向的,电枢仍将逆时针方向转动。这就是最简单的直流电动机模型。

综上所述,不论是直流发电机还是直流电动机,换向器的作用可使正电刷 A 始终与 N 极下的导体相联,负电刷 B 始终与 S 极下的导体相联。所以电刷 A、B 之间的电势总是直流电,尽管电枢线圈内部的电流是交变的。因此,可以说换向器是直流电机中最关键的部件。

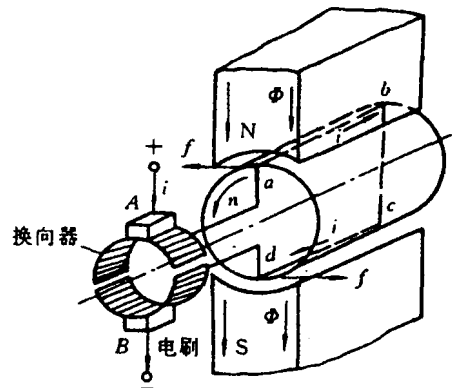


图 1-3 直流电动机的工作原理图

## 第二节 直流电机的结构及铭牌

直流电机根据不同的用途和产品系列,其结构也是多种多样的。下面简述它的主要结构。

### 一、结构

图 1-4 是一台常用的小型直流电机的结构图。直流电机的所有部件都可分为固定的和旋转的两大部分,固定的部分构成定子,旋转的部分构成转子。定子、转子间因有相对运动,故留有一定的空气隙,气隙大小与电机容量有关。

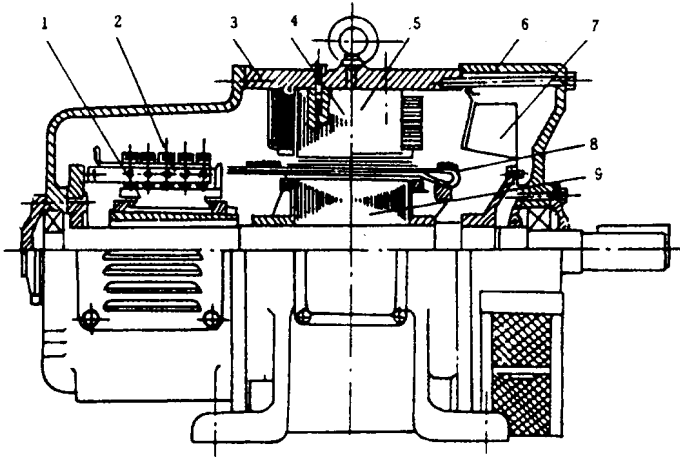


图 1-4 小型直流电机的结构

1—换向器； 2—电刷杆； 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

#### (一) 定子

直流电机定子主要由机座、主磁极、换向极及电刷装置等部件构成。

1. 机座 直流电机机座既用来固定主磁极、换向极和端盖,起支撑、保护作用,也作为磁轭,构成主磁路的闭合路径。机座通常由铸钢或钢板焊接而成,目前由薄钢板或硅钢片制成的叠片机座应用也相当广泛。

2. 主磁极 主磁极的作用是在电机气隙中产生一定形状分布的气隙磁密。绝大多数直流电机的主磁极是由直流电流来励磁的,所以主磁极上还装有励磁绕组。

图 1-5 是主磁极的装配图。

3. 换向极 换向极的作用是改善电机的换向性能。换向极由换向极铁心和换向极绕组构成,如图 1-6 所示。中小型电机的换向极由整块钢制成,而大型电机则做成钢板叠片磁极。换向极应装在电机两主极间的几何中性线上。换向极绕组应与电枢绕组串联。

4. 电刷装置 电刷的作用前面已作介绍。电刷装置就是安装、固定电刷的机构,如图 1-7 所示。电刷装置通常固定在电机的端盖、轴承内盖或者机座上。

#### (二) 转子

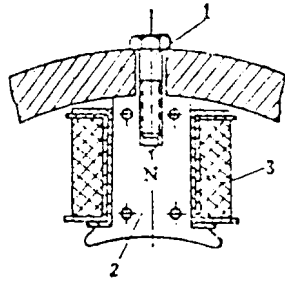


图 1-5 主磁极

1—固定主磁极螺丝；2—主磁极铁心；3—励磁绕组

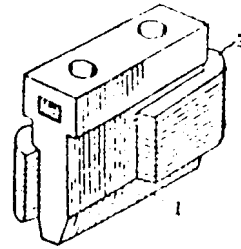


图 1-6 换向极

1—铁心；2—换向极绕组

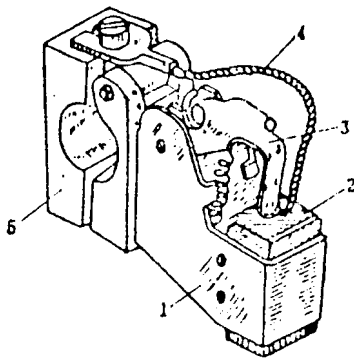


图 1-7 刷握与电刷

1—刷盒；2—电刷；3—压紧弹簧；4—铜丝软线；  
5—刷握

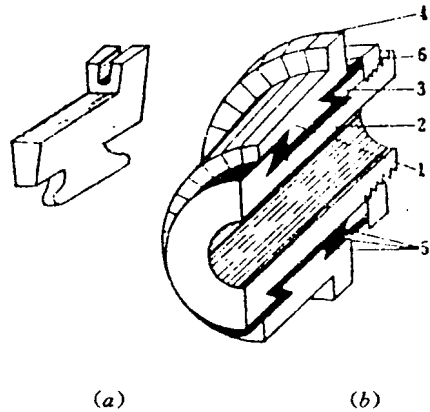


图 1-8 换向器的结构

a—换向片；b—换向器  
1—换向片；2—套筒；3—V形环；4—片间云母；  
5—云母；6—螺帽

直流电机转子常称为电枢，主要由电枢铁心，电枢绕组，换向器和转轴等部件构成。

1. 电枢铁心 电枢铁心一方面用来嵌放电枢绕组，另一方面构成主磁路闭合路径。当电枢旋转时，铁心中磁通方向发生变化，会产生涡流与磁滞损耗。为了减少这部分损耗，通常用 0.5mm 厚的硅钢片经冲剪叠压而制成电枢铁心。电枢铁心外圆上有均匀分布的槽，以嵌放电枢绕组。

2. 电枢绕组 电枢绕组的作用是产生感应电势和电磁转矩，从而实现机电能量转换。它是直流电机的重要部件。电枢绕组由许多用绝缘导线绕制而成的电枢线圈组成，各电枢线圈分别嵌在不同的电枢铁心槽内，两端按一定的规律通过换向片构成闭合回路。

3. 换向器 换向器是直流电机的关键部件，它与电刷配合，在发电机中，能使电枢线圈中的交变电势转换成电刷间的直流电势；在电动机中将外面通入电刷的直流电流转换成电枢线圈中所需的交变电流。换向器的种类很多，这主要与电机的容量与转速有关。在中小型直流电机中最常用的是拱形换向器，其结构如图 1-8 所示。它主要由许多燕尾形的铜质换向片与片间云母片排列成形，再由套筒、螺帽等紧固而成。

4. 转轴、支架和风扇 对于小容量直流电机，电枢铁心就装在转轴上。对于大容量直流

电机,为减少硅钢片的消耗和转子重量,轴上装有金属支架,电枢铁心装在支架上。此外,在轴上还装有风扇,以加强对电机的冷却。

整个直流电机转子结构如图 1-9 所示。

## 二、电机的铭牌

电机的铭牌上标明了电机的型号及额定数据,供用户选择和使用电机时参考。

### 1. 铭牌数据

根据国家标准,直流电机的额定数据有:

- (1) 额定容量(功率)  $P_N(\text{kW})$ ;
- (2) 额定电压  $U_N(\text{V})$ ;
- (3) 额定电流  $I_N(\text{A})$ ;
- (4) 额定转速  $n_N(\text{r/min})$ ;
- (5) 励磁方式和额定励磁电流  $I_{fN}(\text{A})$ 。

有些物理量虽然不标在电机的铭牌上,但它也是额定值,例如在额定运行状态下的转矩、效率分别称为额定转矩和额定效率等。这些额定数据也叫铭牌数据。

关于额定容量,对直流发电机而言,是指发电机带额定负载时,电刷端输出的电功率;对直流电动机而言,是指电动机带额定负载时,转轴上输出的机械功率。因此,直流发电机的额定容量应为

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

而直流电动机的额定容量应为

$$P_N = U_N I_N \eta_N \quad (1-2)$$

式中,  $\eta_N$  是直流电动机的额定效率。它是直流电动机带额定负载运行时,输出的机械功率与输入的电功率之比。

电动机轴上输出的额定转矩用  $T_N$  表示,其大小应该是输出的额定机械功率除以转子的额定角速度,即

$$T_N = \frac{P_N}{\Omega_N} = \frac{P_N}{\frac{2\pi n_N}{60}} = 9.55 \frac{P_N}{n_N} \quad (1-3)$$

其中,  $P_N$  的单位为 W。  $n_N$  的单位为 r/min,  $T_N$  的单位为 N·m。此式在交流电动机中同样适用。由于直流电动机额定容量的单位常用 kW 表示,此时,式(1-3)则改为

$$T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} \quad (1-4)$$

直流电机运行时,若各个物理量都为额定值,就称为额定运行状态。由于电机是根据额定值设计的,因此,在额定运行状态下工作,电机能可靠地运行,并具有良好的性能。

实际运行中,电机不可能总是工作在额定运行状态的。如果运行时电机的负载小于额定容量,称为欠载运行;而运行时电机的负载超过额定容量,称为过载运行。长期的过载或欠载运行都不好。长期过载有可能因过热而损坏电机,长期欠载则运行效率不高,浪费能量。为此,在选择电机时,应根据负载的要求,尽量让电机工作在额定状态。

例题 1-1 一台直流电动机,其额定功率  $P_N = 160 \text{ kW}$ , 额定电压  $U_N = 220 \text{ V}$ , 额定效

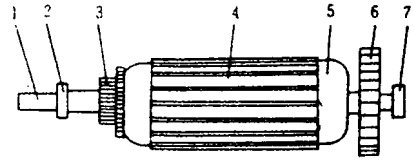


图 1-9 直流电机转子结构  
1—转轴;2—轴承;3—换向器;4—电枢铁心;  
5—电枢绕组;6—风扇;7—轴承

率  $\eta_N = 90\%$  , 额定转速  $n_N = 1500 \text{ r/min}$  , 求该电动机额定运行状态时的输入功率、额定电流及额定转矩各是多少?

解

额定输入功率

$$P_1 = \frac{P_N}{\eta_N} = \frac{160}{0.9} = 177.8 \text{ kW}$$

额定电流

$$I_N = \frac{P_1}{U_N} = \frac{177.8 \times 10^3}{220} = 808.1 \text{ A}$$

或

$$I_N = \frac{P_N}{U_N \eta_N} = \frac{160 \times 10^3}{220 \times 0.9} = 808.1 \text{ A}$$

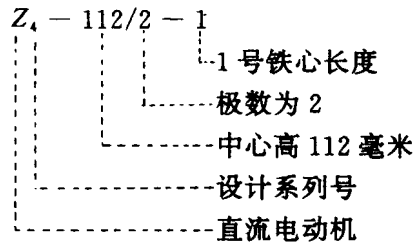
额定转矩

$$T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{160}{1500} = 1018.7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

## 2. 国产直流电机产品的型号

为了满足各行各业的不同要求,电机制造成不同型号的系列产品。所谓同系列电机,就是指电机的用途基本相同,结构和形状基本相似,技术要求基本相同,功率、电压、转速、中心高、铁心长度和安装尺寸等都有一定的标准等级的电机。其中使用范围广、产量大的一般用途电机作为基本系列。为满足某些特殊用途的要求,在基本系列的基础上作部分改动则形成派生系列电机。

电机产品的型号一般用大写印刷体的汉语拼音字母和阿拉伯数字表示。其中汉语拼音字母是根据电机的全名称选择有代表意义的汉字,再从该字的拼音中得到。例如,



国产的直流电机种类很多,Z系列是一般用途的小型直流电机,其中Z<sub>2</sub>系列有电动机、发电机和调压发电机。Z<sub>3</sub>系列是在Z<sub>2</sub>系列的基础上发展而成的,用途与Z<sub>2</sub>系列相同,但性能有所改善。Z<sub>4</sub>系列直流电动机是80年代研制的新一代一般用途的小型直流电动机,该机采用八角形全叠片机座,适用于整流电源供电,具有调速范围广、转动惯量小及过载能力大等优点。

此外,还有许多直流电机系列,使用时可查电机产品目录或有关电机手册。

## 第三节 直流电机的电枢绕组

电枢绕组是直流电机中最重要的部件之一,无论是直流发电机还是直流电动机,都是通过电枢绕组感应电势和产生电磁转矩,以实现机电能量的互相转换。



电枢绕组是由许多分布在转子表面槽中的电枢元件(即线圈)按一定规律联接而成的闭合绕组。在同一台直流电机中,电枢元件的形状大小一般是完全相同的,可以是单匝元件,也可以是多匝元件。对于一台直流电机,构成电枢绕组的电枢元件数是恒定的,用  $S$  表示。

所谓单匝元件,就是每个元件的元件边(一个元件有两个元件边)只有一根导体;而多匝元件则每个元件边有两根以上的导体。如果用  $W_y$  代表元件的匝数,多匝元件的元件边有  $W_y$  根导体。图 1-10(a)就是一个多匝元件,其  $W_y=2$ 。一个元件不管它有多少匝,其引出线只有两根,一根叫首端,一根叫尾端。同一个元件的首端和尾端分别接到不同的换向片上,而各个元件之间又是通过换向片彼此联接起来的。这样在同一片换向片上必定联有两个不同元件的首、尾端。如果用  $K$  表示电机的总换向片数,那么它一定和电枢绕组的总元件数  $S$  相等,即  $S = K$ 。

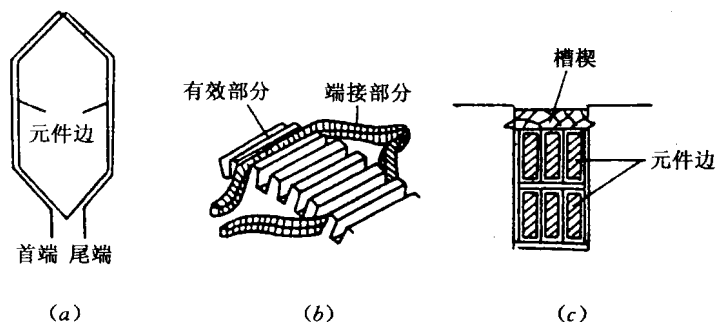


图 1-10 电枢绕组的元件及嵌放方法

电枢元件嵌放在电枢铁心表面槽中的情况如图 1-10(b)所示。从图中可见,一个元件的两条元件边分别嵌放在两个不同的电枢槽内,且每条元件边只占据槽的上半部分或下半部分,而另一半槽将留给其他元件边嵌放,这表明同一电枢槽内至少能嵌放两个元件边。

在实际直流电机中,往往在同一个电枢槽内的上半层(或下半层),并列地嵌放了几个元件的元件边。在图 1-10(c)中,有三个并列的元件边。对此,我们引入虚槽、实槽的概念。所谓虚槽,即由一个元件上层边和一个元件下层边构成的假想槽;而实槽则是电枢上实际存在的槽。因此,一个实槽可以分成多个虚槽。如在图 1-10(c)中,一个实槽分成了三个虚槽。如果用  $u$  表示一个实槽中上层(或下层)并列的元件边数,用  $Z$  表示总的实槽数,则电枢总虚槽数  $Z_c$  的表达式为

$$Z_c = uZ = S = K \quad (1-5)$$

如果用  $N$  表示电枢绕组的总导体数,则有

$$N = 2uW_yZ = 2W_yZ_c \quad (1-6)$$

电枢元件嵌放在槽内的部分能切割气隙磁通,产生感应电势和有效电磁转矩,称为有效部分,其余的是端接部分。

电枢绕组根据联接规律的不同,有不同的绕组型式,单叠绕组和单波绕组是两种最基本的结构型式。下面分别作简要分析。

### 一、单叠绕组

单叠绕组的基本特点是元件的首端和尾端分别接到相邻的两片换向片上,第一个元件