

机电系统故障 分析与维护

蔡廷文 张冰蔚 编 ●



化学工业出版社
教材出版中心

机电系统故障分析与维护

蔡廷文 张冰蔚 编
陆一心 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

机电系统故障分析与维护/蔡廷文, 张冰蔚编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 11
ISBN 7-5025-7883-8

I. 机… II. ①蔡…②张… III. ①机电系统-故障诊断
②机电系统-故障修复 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 133983 号

机电系统故障分析与维护

蔡廷文 张冰蔚 编

陆一心 主审

责任编辑: 陈 丽 刘俊之

文字编辑: 宋 薇

责任校对: 王素芹

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 18 1/4 字数 357 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7883-8

定 价: 33.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

电气设备与液压设备是生产过程自动化最有效的手段之一。今天,机电液混合控制系统已广泛应用于工业的各个领域,越来越多的工程技术人员和管理人员需要了解和掌握这类设备的安装、操作、调试、维修和故障诊断方面的知识。本书旨在给机电液系统的使用人员提供这方面的参考资料。

书中所用材料以实用为主,把理论叙述及数学推导压缩到最低限度,着重直观教法。全书尽量多用实物照片、结构图、原理图、方框图及表格,使一些抽象概念变为直感物体,深入浅出说明系统与元件的工作原理、损坏状况以及故障的因果关系。这样,初学者或基础理论薄弱的读者也能理解与掌握本书内容。对常见故障,本书提供了作者收集到的经实践证明了的有效解决办法或措施。尽管许多生产厂家设计生产的产品是同类的元件、系统或设备,在外貌及某些局部结构上也有所不同,但主体结构及工作原理是相同或相似的。因此,本书提供的有关机电设备的安装、操作、调试、维修和故障诊断及处理方面的知识,具有普遍意义。也是基于这种认识,本书大多选取处于先进地位的德、美、日生产的产品作为典型元件来介绍,这对于处于更新换代阶段的机电产品使用者来说是很有意义的。

本书编写内容与分工如下:第一章介绍交直流电动机的安装使用与故障处理,由马继先编写;第二、三章介绍机电系统传感与测试技术和数控机床的调试与故障诊断,由张冰蔚编写;第四、五章介绍液压系统常见故障分析与处理方法,由蔡廷文和蔡立编写。全书由蔡廷文负责组织编写和汇总统稿工作。书稿编成后,江苏大学陆一心教授担任本书的审稿工作,提出了许多宝贵的修改意见。特此一并表示衷心感谢。

由于水平限制及时间短促,书中难免存在着不少缺点和不足之处,欢迎专家学者和广大读者不吝指正。最后向本书所参阅的有关资料的作者及产家表示感谢。

编者

2005年10月

内 容 提 要

本书围绕数控机床和注塑机等典型机电设备，全面介绍了机电系统安装、使用、调试和维修的基本概念、基本知识和基本方法，系统地总结了机电设备常见故障分析和处理的有用经验。

全书内容侧重于工程应用，淡化理论，通俗易懂，特别适合于中、高级的机电设备使用和维修人员参考使用，也可供机电控制、液压技术、机械工程和机电一体化专业的大、中专学校师生学习和参考。

目 录

第一章 交直流电动机的安装使用与故障处理	1
第一节 三相异步电动机	1
一、三相异步电动机的构造	1
二、三相异步电动机的工作原理	2
三、三相异步电动机的机械特性	5
四、三相异步电动机的型号和额定值	6
第二节 直流电动机	7
一、直流电动机的构造	7
二、直流电动机的工作原理	8
三、直流电动机的分类	8
四、直流电动机的机械特性	9
第三节 其他用途的电动机	12
一、同步电动机	12
二、单相异步电动机	13
第四节 电动机的选择、安装和维护	15
一、电动机的选择	15
二、电动机的安装	18
三、电动机的维护	19
四、电动机常见故障及处理	20
第二章 机电系统传感与测试技术	21
第一节 传感器技术概述	21
一、传感器的定义、组成及分类	21
二、传感器的转换原理	22
三、几种常用传感器的工作原理	25
四、应用实例	27
第二节 常用机械量检测传感器	29
一、位置检测传感器	29
二、位移与角度检测传感器	34
三、速度与角速度的测量	46
四、加速度传感器	48

五、力与压力传感器	49
第三章 数控机床调试与故障诊断	52
第一节 数控机床及其特点	52
一、数控机床的组成	52
二、数控机床机械结构的主要特点	53
三、数控机床的主要评定指标	58
四、数控机床的发展趋势	64
第二节 数控机床的安装与调试	66
一、数控机床的安装	67
二、数控机床的调试	69
三、数控机床的检测与验收	72
第三节 数控机床的使用维护及故障诊断技术	80
一、数控机床的使用与保养	80
二、数控机床的故障诊断概述	85
三、数控机床故障诊断与维修方法	93
四、常用数控系统简介	105
第四节 数控机床的故障诊断与维修	107
一、数控机床机械结构故障诊断	108
二、进给伺服系统故障及其诊断	111
三、主轴伺服的故障及诊断	119
四、检测装置的故障及诊断	120
五、其他故障	122
第五节 数控机床故障诊断典型实例	123
一、NC 系统故障维修实例	123
二、机械系统故障维修实例	128
三、伺服系统故障维修实例	134
四、主轴系统故障维修实例	138
五、位置检测元件的故障维修实例	142
六、机床回参考点故障维修实例	145
第四章 机电设备中液压系统的维护、故障诊断与处理	148
第一节 液压泵的维护、故障诊断与处理	148
一、液压泵使用管理中的一般原则	148
二、叶片泵常见故障及排除方法	148
三、齿轮泵常见故障及排除方法	153
四、柱塞液压泵常见故障及排除方法	156

第二节 执行元件的维护、故障诊断与处理	166
一、液压马达	166
二、液压缸	169
第三节 液压控制阀的维护、故障诊断与处理	174
一、溢流阀	174
二、减压阀	177
三、顺序阀	178
四、节流阀	180
五、流量控制阀	181
六、电磁换向阀	183
七、电液换向阀	185
八、液控单向阀	187
九、压力继电器	188
第四节 液压系统的安装	189
一、液压管路的安装	189
二、液压阀类元件的安装	191
三、液压泵的安装	192
四、液压缸的安装	192
五、液压系统辅件的安装	193
六、液压系统在安装运行之前的清洗	194
七、液压系统试压	196
第五节 液压系统的运转调试	196
一、液压设备运转调试前的准备	197
二、液压系统调试	197
第六节 液压系统的日常维护	199
一、概述	199
二、液压系统日常维护的一般原则	199
附录 液压气动图形符号 (摘自 GB 786.1—1993)	203
第五章 典型液压设备的使用与维修	208
第一节 XS-ZY-500C ₃ 型塑料注射成型机的使用与维修	208
一、XS-ZY-500C ₃ 成型机概述	208
二、XS-ZY-500C ₃ 成型机的组成部分及其作用	209
三、XS-ZY-500C ₃ 液压系统的工作原理与结构特点	217
四、XS-ZY-500C ₃ 成型机液压系统的日常维护检修和故障排除	224
五、XS-ZY-500C ₃ 成型机液压系统的安装调试	226

六、XS-ZY-500C ₃ 成型机的规定动作程序	227
第二节 TT1-925/210 型全自动螺丝直射注塑机的使用与维修	229
一、机器特性	230
二、机器的安装	230
三、电器控制系统	232
四、液压系统	240
五、机器的操作要求	244
六、机-电-液三重安全保险装置	246
七、塑料注射成形质量与机器调整的关系	247
八、机器的维修和保养	247
第三节 BZZ 型全液压转向器的使用与检修	250
一、BZZ 型液压转向器结构、工作原理与安装使用要求	250
二、液压转向器故障与检修	254
三、单路稳定分流阀的安装使用要求	256
第四节 M7120A 型平面磨床液压系统的故障诊断与排除	259
一、M7120A 型平面磨床液压系统的特点	259
二、M7120A 型平面磨床液压系统的工作原理	260
三、M7120A 型平面磨床液压系统的故障现象、产生原因和排除方法	264
第五节 组合机床液压系统的故障诊断与排除	265
一、组合机床液压系统的特点	265
二、组合机床液压系统的工作原理	266
三、组合机床液压系统的故障现象、产生原因和排除方法	267
第六节 外圆磨床液压系统的故障诊断与排除	269
一、外圆磨床的作业范围和动作要求	269
二、外圆磨床液压系统的主要回路	269
三、M1432A 型万能外圆磨床液压系统的工作原理及特点	271
四、外圆磨床液压系统的故障分析与排除	274
主要参考文献	281

第一章 交直流电动机的安装使用与故障处理

在机电系统中大量使用的是交流电动机。特别是三相异步电动机广泛地应用于驱动各种金属切削机床、起重机、锻压机、铸造设备、输送设备以及功率不大的通风机和泵等。只有在需要均匀调速的生成机械上，如龙门刨床、轧钢机和某些重型机床的主传动系统以及某些电力牵引和起重设备上才使用直流电动机。同步电动机主要应用于功率较大、不需要调速、长期工作的各种生产机械，如压缩机、水泵、通风机等。

第一节 三相异步电动机

一、三相异步电动机的构造

三相异步电动机在结构上可以分为定子（静止不转动部分）和转子（旋转部分）两个基本部分。

定子包括由机座和装在机座内的圆筒形定子铁心以及其中的三相定子绕组组成。机座用铸铁和铸钢制成。定子铁心由相互绝缘的硅钢片叠压而成，是电动机主磁路的一部分，铁心的内圆周表面冲有凹槽，用以嵌放三相绕组。定子绕组常用漆包铜线绕制成线圈后嵌入定子槽内，是定子的电路部分，用以建立旋转磁场实现能量转换。三相绕组六个出现端引至机座上的接线盒内与六个接线柱相连，根据使用可以要求接成星形和三角形，如图 1-1 (a) 和图 1-1 (b) 所示。

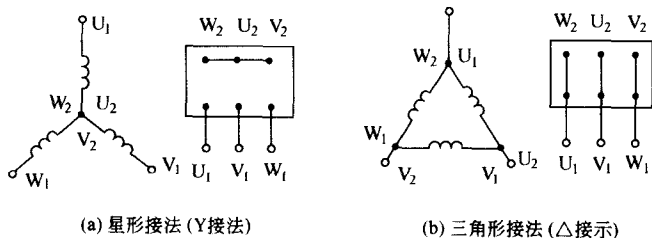


图 1-1 星形接法和三角形接法

转子由转子铁心、转子绕组等组成。圆柱状转子铁心也是用硅钢片叠压而成的，是电动机磁路的另一部分，铁心表面冲有嵌放转子绕组的槽。转子绕组是转子的电路部分，用以产生电动势和转矩。根据转子绕组构造上的不同，三相异步电动机可以分为鼠笼式和绕线式两种形式。

鼠笼式的转子绕组做成鼠笼状，就是在铁心槽中放置铜条并将其两端用端环连接。中小型鼠笼式电动机的转子常采用铸铝，在转子槽内浇注铝液将导条和端环一次成型。鼠笼式异步电动机用于驱动一般机械设备。

绕线式的转子绕组与定子绕组类似，用漆包铜线绕制成线圈后嵌入转子槽内。绕组连成星形，每相的始端连接到固定在转轴上的三个相互绝缘的铜制滑环（称为集电环），再经过用弹簧压在滑环上的三组碳质电刷与外电路相连。绕线式异步电动机用于要求启动转矩高、启动电流小或小范围调速的机械设备。

二、三相异步电动机的工作原理

鼠笼式和绕线式异步电动机只是在转子的构造上有所不同，它们的工作原理是一样的。

在三相异步电动机的定子铁心中放置有三相对称绕组，当绕组中通入三相对称电流时，它们共同产生的合成磁场随电流的交变而在空间形成旋转磁场。旋转磁场切割转子导体（铜或铝）时，就在导体中感应出电动势和电流，而转子电流与旋转磁场相互作用所产生的电磁转矩就使转子（电动机）做旋转运动。

1. 旋转磁场

(1) 旋转磁场的产生

旋转磁场产生的条件是三相对称绕组通以三相对称电流。设定子铁心中放置的三相对称绕组（三相绕组线圈数、匝数、线径分别相同，且在空间按互差 120° 电角度排列）连接成星形如图 1-2 所示，三相首端分别为 U_1 、 V_1 、 W_1 ，末端分别为 U_2 、 V_2 、 W_2 。

绕组中通入波形如图 1-3 所示的三相对称电流。

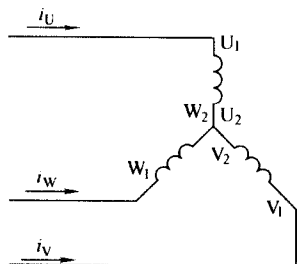


图 1-2 连接成星形电路

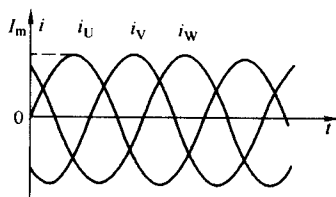


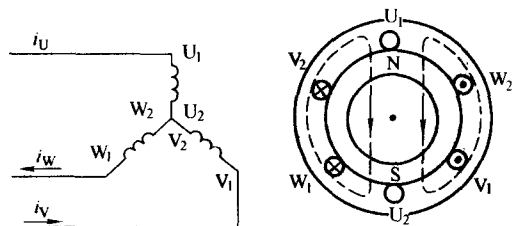
图 1-3 绕组中三相对称电流波形

$$\begin{aligned} i_U &= I_m \sin \omega t \\ i_V &= I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_W &= I_m \sin(\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \quad (1-1)$$

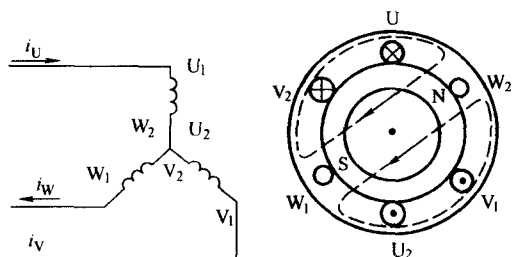
考虑几个不同瞬时电流的方向及其产生的磁场。规定各相电流为正时是首进尾出，反之则为尾进首出。

在 $\omega t = 0^\circ$ 的瞬间, $i_U = 0$ 、 $i_V < 0$ 、 $i_W > 0$, 定子绕组中电流方向如图 1-4 (a) 所示。将每相电流所产生的磁场相加得到三相电流的合成磁场, 图 1-4 (a) 中合成磁场的轴线方向是自上而下的。在 $\omega t = 60^\circ$ 的瞬间, $i_U > 0$ 、 $i_V > 0$ 、 $i_W = 0$, 如图 1-4 (b) 所示, 合成磁场已在空间转过了 60° 。同理可得 $\omega t = 90^\circ$ 的瞬间合成磁场如图 1-4 (c) 所示, 它与 $\omega t = 60^\circ$ 时的合成磁场相比在空间又转过了 30° 。

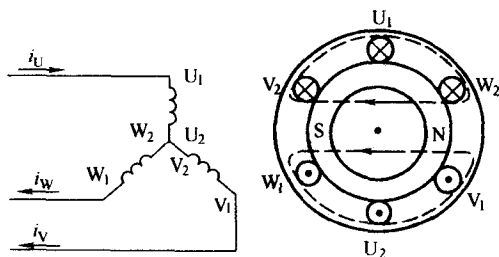
由此可见, 当定子绕组通入三相电流后, 合成磁场随电流的交变在空间旋转而形成旋转磁场。



(a) $\omega t = 0^\circ$ 时定子绕组中电流方向及合成磁场的轴线方向



(b) $\omega t = 60^\circ$ 时定子绕组中电流方向及合成磁场的轴线方向



(c) $\omega t = 90^\circ$ 时定子绕组中电流方向及合成磁场的轴线方向

图 1-4 $\omega t = 0^\circ$ 、 $\omega t = 60^\circ$ 、 $\omega t = 90^\circ$ 时定子绕组中电流方向及合成磁场的轴线方向

(2) 旋转磁场的转向和转速

如图 1-4 (c) 所示, 合成磁场的轴线总是与电流达到最大值的那一相绕组的轴线相重合。所以合成磁场的转向取决于三相电流的相序。由于这里三相电流中电流出现正幅值的顺序为 $U \rightarrow V \rightarrow W$, 因此磁场的旋转方向与这一顺序一致。

如果改变三相电流的相序，例如绕组 U_1U_2 和 V_1V_2 与三相电源的连接对调，则旋转磁场反转。

在如上所示每相绕组只有一个线圈的情况下，绕组的始端之间相差 120° 空间角，这时产生的旋转磁场具有一对极，即 $p=1$ (p 是磁极对数)。当三相电流变化一个周期、即 ωt 变化 360° 时，旋转磁场在空间也转过了 360° (一周)。设电流的频率为 f_1 (赫兹)，则旋转磁场的转速为 $n_0=60f_1$ ，单位为转每分 (r/min)。

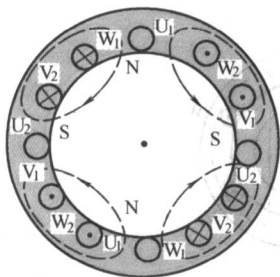


图 1-5 三相对称电流产生的两对极

三相异步电动机旋转磁场的转速与电动机的极数，即旋转磁场的极数有关，旋转磁场的极数则取决于三相绕组的分布。若每相绕组有两个线圈串联，且按 $1/4$ 圆周排列，如图 1-5 所示，则通以三相对称电流产生两对极，即 $p=2$ 。当三相电流变化一个周期，即 ωt 变化 360° 时，旋转磁场在空间刚好转过了 180° (半周)，即旋转磁场的转速为

$$n_0 = \frac{60f_1}{2} (\text{r/min}) \quad p=2$$

同理，若电动机的极对数为 p ，当三相电流变化一个周期时，旋转磁场在空间只转过 $1/p$ 周，由此可得出旋转磁场的转速为

$$n_0 = \frac{60f_1}{p} (\text{r/min}) \quad (1-2)$$

2. 电动机的转动原理

设定子绕组通以三相对称电流后产生的旋转磁场以转速 n_0 顺时针方向旋转，旋转磁场的磁通切割转子导条，转子导条中感应出电动势。电动势的方向可由右手定则确定，如图 1-6 所示。在感应电动势的作用下，通过端环短接而闭合的转子导条内产生感应电流。该电流与旋转磁场相互作用产生电磁力，其方向可由左手定则确定。电磁力产生的电磁转矩使得电动机顺时针方向旋转。当旋转磁场反转时，电动机也随着反转。

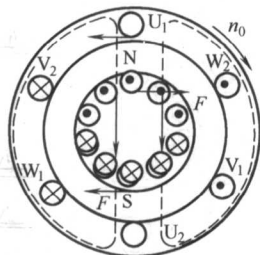


图 1-6 根据右手定则确定电动势的方向

3. 转差率

由电动机的转动原理可知，在没有其他外力作用的情况下。转子的转速 n 总是小于旋转磁场的转速 n_0 。如果两者相等，则转子导条与旋转磁场之间没有相对运动，磁通不再切割转子导条，转子导条中感应电动势、感应电流也不再存在，电磁转矩消失，转子转速减慢。因此转子转速与旋转磁场转速之间总是存在差异 (这也是异步电动机名称的由

来)。旋转磁场的转速 n_0 常称为同步转速。

异步电动机转子转速与同步转速相差的程度用转差率 s 表示

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad (1-3)$$

转差率是异步电动机一个重要的物理量，根据转差率的大小可以判断电动机的不同工作状态。

在异步电动机接上电源瞬间， $n=0$ ， $s=1$ 。在额定运行时，额定转速 n_N 与同步转速相近， $s=0.015\sim0.05$ 。空载时，电动机转速接近同步转速， $s=0.0005\sim0.005$ 。

三、三相异步电动机的机械特性

当电动机稳定运行时，电动机的电磁转矩与负载转矩处于平衡状态。当负载发生变化时，则要求电磁转矩随之改变，以达到新的平衡关系。电动机的机械特性是指电动机稳定允许时，电动机的转速与转矩的关系，它是分析电动机启动、制动、调速和运行的基础。

异步电动机的转矩是由旋转磁场的磁通与转子感应电流相互作用而产生的，显然，转矩 T 与定子电压以及电动机的结构有关。在一定的电源电压和转子电阻之下，转矩与转差率的关系曲线 $T=f(s)$ 和转速与转矩的关系曲线 $n=f(T)$ 即为电动机的机械特性曲线。三相异步电动机的关系曲线 $T=f(s)$ 如图 1-7 所示，将其顺时针旋转 90° 后将横轴下移，即可得到关系曲线 $n=f(T)$ 。

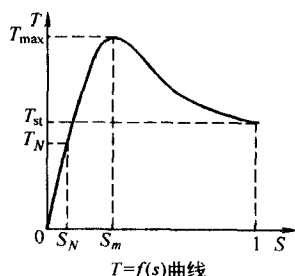


图 1-7 $T=f(s)$ 关系曲线

1. 额定转矩 T_N

额定转矩是电动机在额定负载下的转矩，可以根据电动机的额定功率和额定转速得到。

$$T_N (\text{N} \cdot \text{m}) = 9550 \frac{P_N (\text{kW})}{n_N (\text{r/min})} \quad (1-4)$$

通常三相异步电动机都工作在曲线 $T=f(s)$ 的 ab 段。当负载转矩增大时，开始瞬间转速开始下降。但是，随着转速的下降，电动机的转矩增大，最后运行在一个新的、转速较低的平衡状态。由于特性曲线 ab 段比较平坦，当负载在空载和额定值之间变化时，电动机的转速变化不大。这种特性称为硬的机械特性。三相异步电动机的这一硬特性非常适合于一般的金属切削机床。

2. 最大转矩 $T_{\max}$

从机械特性曲线可见，转矩有一个最大值 $T_{\max}$ ，称为最大转矩或临界转矩。对应的转差率 s_m 称为临界转差率。

当负载转矩超过最大转矩时，电机将发生停转事故。这时电流将升高六七倍，电动机会严重过热，以致烧坏。另一方面，特性曲线也表明电动机的最大过载可以

接近最大转矩，只要过载时间较短，电动机不至于立即过热，是可以允许的。通常用过载系数 λ 表示电动机的过载能力

$$\lambda = \frac{T_{\max}}{T_N} \tag{1-5}$$

一般用途电动机 $\lambda = 1.9 \sim 2.3$ ，其中起重电动机 $\lambda = 2.0 \sim 2.8$ 。

3. 启动转矩 T_s

电动机刚启动 ($n=0, s=1$) 时的转矩称为启动转矩。启动转矩与额定转矩之比称为启动转矩倍数 λ_s ，即

$$\lambda_s = \frac{T_s}{T_N} \tag{1-6}$$

在实际应用中，可以根据电机手册和产品目录提供的数据额定转速 n_N 、额定功率 P_N 、过载系数 λ ，并利用以下近似公式估算电动机的转矩

$$T = \frac{2T_{\max}}{\frac{s_m}{s} + \frac{s}{s_m}} \tag{1-7}$$

先由 n_N 计算出额定转差率 s_N ，再由 P_N 和 λ 分别计算出额定转矩 T_N 和最大转矩 $T_{\max}$ ，然后利用上式计算出临界转差率 s_m ，最后将 $T_{\max}$ 和 s_m 代入上式，便可估算不同转差率 s 时的转矩值。

四、三相异步电动机的型号和额定值

三相异步电动机机座上的铭牌标注有电动机的信号和主要技术数据，供正确选择和使用电动机参考（见表 1-1）。

表 1-1 一台三相异步电动机的铭牌

三相异步电动机			
型号 Y2-200L-4	功率 30kW	电流 57.63A	电压 380V
频率 50Hz	接法 Δ	转速 1470r/min	LW79dB/A
防护等级 IP54	工作制 S1	F 级绝缘	质量 270kg
××电机厂			

1. 型号

我国的电机产品型号采用汉语拼音字母和阿拉伯数字表示。

Y2 系列电动机是一种作为一般用途的全封闭、自扇冷式鼠笼式三相异步电动机。与 Y 系列电动机相比较，Y2 系列具有效率高、启动转矩大、噪声低、结构合理等特点，绝缘等级提高到 F 级，温升按 B 级考核。Y2 系列的安装尺寸和功率等级符合 IEC（国际电工委员会）标准，外壳等级为 IP54（防尘防喷水），冷却方法为 IC411，连续工作制（SI），3kW 及以下为 Y 连接，3kW 以上为 Δ 连接。

2. 额定值

电动机的额定值是根据国家标准要求设计和测试所得到的一组反映电动机性能

的主要数据。

额定功率 P_N (kW): 在电动机额定工作状态下, 电动机轴上输出的机械功率。

$$P_N = \sqrt{3} U_N I_N \eta_N \cos \varphi_N \quad (1-8)$$

式中 $\cos \varphi_N$ ——电动机在额定工作状态下的功率因素;

U_N ——额定电压, 在电动机额定工作状态下, 电源施加于定子绕组上的线电压, V;

I_N ——额定电流, 在电动机额定工作状态下, 电源供给定子绕组的线电流, A;

n_N ——额定转速, 在电动机额定工作状态下, 转轴的 (每分钟) 转速, r/min;

f_N ——额定频率, 电动机所接交流电源的频率, Hz。

额定工作制: 电动机在额定工作状态下可以持续运转的时间和顺序, 可以分为连续定额 S1、短时定额 S2、断续定额 S3 三种情况。

第二节 直流电动机

与三相异步电动机相比, 直流电动机虽然结构复杂且维修不便, 但是它具有较宽的平滑调速性能和较大的启动转矩。因此, 调速要求较高的生产设备 (如龙门刨床、镗床等) 或者需要较大启动转矩的设备 (如起重机械等) 往往采用直流电动机驱动。

一、直流电动机的构造

直流电动机在结构上也分为定子和转子两个基本部分。

定子的作用是产生磁场和作为电动机的机械支撑, 主要包括主磁极、换向极、机座以及电刷装置。主磁极用钢片叠成, 分成极心和极靴两部分。极心上放置励磁绕组, 极靴的作用是使电动机气隙中的磁场分布均匀, 同时便于励磁绕组的固定。励磁绕组由绝缘铜线绕制而成。换向极一般采用整块钢或由厚钢板叠成。换向极绕组由较粗绝缘铜线绕成, 安装在两个主磁极之间的中心线位置, 它的作用是改善换向。机座就是外壳, 它既是电动机磁路的一部分, 又用于固定主磁极、换向极、端盖等部件。电刷装置的作用是使旋转的电枢部分与固定不动的外电路相连接, 将直流电流引入。

转子包括电枢铁心、电枢绕组、换向器和转轴。电枢铁心由硅钢片叠压而成, 是磁路的一部分。铁心表面的槽内嵌放由绝缘铜线绕制的电枢绕组。电枢绕组的作用是产生感应电动势和电磁转矩, 从而实现能量转换。

换向器是直流电机中的一种特殊装置, 也是直流电机的构造特征。换向器由许

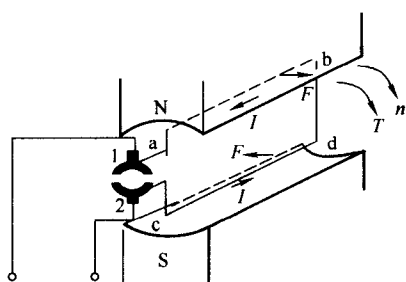


图 1-8 电动机简化模型

多楔形铜片组成，铜片之间用 0.4~1.0mm 的云母片绝缘。换向铜片一端的突出部分用于焊接线圈引出端。换向片的下部做成燕尾形，用 V 形钢制套筒和云母环固定。这种换向器称为金属换向器。现代小型直流电机已广泛采用塑料热压成型固定的换向器，该换向器称为塑料换向器。

二、直流电动机的工作原理

为了便于理解，我们利用图 1-8 所示的电动机简化模型介绍直流电动机的工作原理。模型电动机的定子上只有一对磁极 (N 和 S)，电枢绕组只有一个线圈 (abcd)，线圈两端分别连接到两片换向片 (1 和 2) 上，换向片上压着电刷 (A 和 B)。

电源接在两个电刷之间后，电流流入电枢线圈。如图 1-8 所示瞬间，电枢电流的流向为：

$+\rightarrow A \rightarrow \text{换向片 } 1 \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow \text{换向片 } 2 \rightarrow B \rightarrow -$

根据电磁力定律，线圈边 ab 和 cd 受到方向相反的作用力并形成转矩，使 (电枢) 线圈逆时针旋转。

当转过 90° 时，线圈边 ab 和 cd 转到磁通密度为零的中性线位置，它们受到的电磁力为零，但由于惯性的作用，电枢仍能转过一个角度。

当转到 180° 的位置时，电枢电流的流向为：

$+\rightarrow A \rightarrow \text{换向片 } 2 \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a \rightarrow \text{换向片 } 1 \rightarrow B \rightarrow -$

线圈边 ab 和 cd 中电流流向发生了变化。显然，由于换向器的作用，N 极下和 S 极下线圈边中电流的流向是不变的，因而总是产生逆时针方向的电磁转矩，保持电动机沿着一个方向旋转。

三、直流电动机的分类

直流电动机的运行特性与其励磁方式有关，通常按励磁方式分类。

(1) 他励电动机

他励电动机的励磁绕组和电枢绕组分别由各自单独的电源供电，如图 1-9 (a) 所示。

(2) 并励电动机

并励电动机的励磁绕组与电枢绕组并联，如图 1-9 (b) 所示。

(3) 串励电动机

串励电动机的励磁绕组与电枢绕组并联，如图 1-9 (c) 所示。

(4) 复励电动机

复励电动机的每个主磁极上所套励磁绕组分为两个部分：一部分与电枢绕组并