

第 1 章

三相异步电动机及其控制电路

任务 1 三相异步电动机概述

任务描述: 了解三相异步电动机的结构;

掌握三相异步电动机的转动原理;

熟悉三相异步电动机的机械特性曲线;

掌握额定转矩、最大转矩和启动转矩的概念。

任务分析: 实现电能与机械能相互转换的电工设备统称为电机。把机械能转换成电能和设备称为发电机,而把电能转换成机械能的设备称为电动机。

在生产中主要用交流电动机,特别是三相异步电动机,这是因为它具有结构简单、坚固耐用、运行可靠、价格低廉、维护方便等优点。它被广泛地用来驱动各种金属切削机床、起重机、锻压机、传送带、铸造机械、功率不大的通风机及水泵等。本任务主要介绍三相异步电动机的结构、工作原理和机械特性等内容。

阶段 1 三相异步电动机的结构与工作原理

1. 三相异步电动机的结构

三相异步电动机的两个基本组成部分为定子(固定部分)和转子(旋转部分),此外还有端盖、风扇等附属部分,如图 1-1 所示。

(1) 定子。三相异步电动机的定子由以下 3 部分组成:

① 定子铁芯。定子铁芯由厚度为 0.5mm、相互绝缘的硅钢片叠成,硅钢片内圆上有均匀分布的槽,其作用是嵌放定子三相绕组。

② 定子绕组。定子绕组是指 3 组用漆包线绕制好并对称地嵌入定子铁芯槽内的相同的

线圈。三相绕组共有 6 个接线端, 分别用 U_1 、 V_1 、 W_1 表示 3 个绕组的首端, 用 U_2 、 V_2 、 W_2 表示对应的末端。根据电动机的额定电压和电源电压, 将三相定子绕组连接成星形或三角形(见图 1-2)。

③机座。机座用铸铁或铸钢制成, 其作用是固定铁芯和绕组。

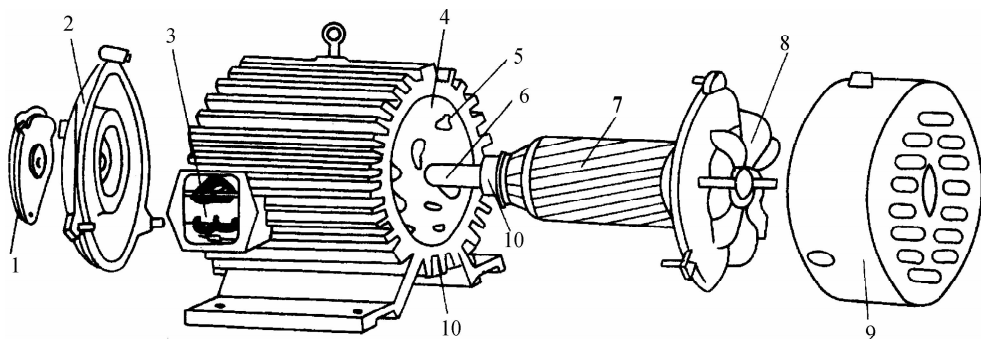


图 1-1 三相异步电动机的构造

1—轴承盖; 2—端盖; 3—接线盒; 4—定子铁芯; 5—定子绕组; 6—转轴;
7—转子; 8—风扇; 9—罩笼; 10—机座

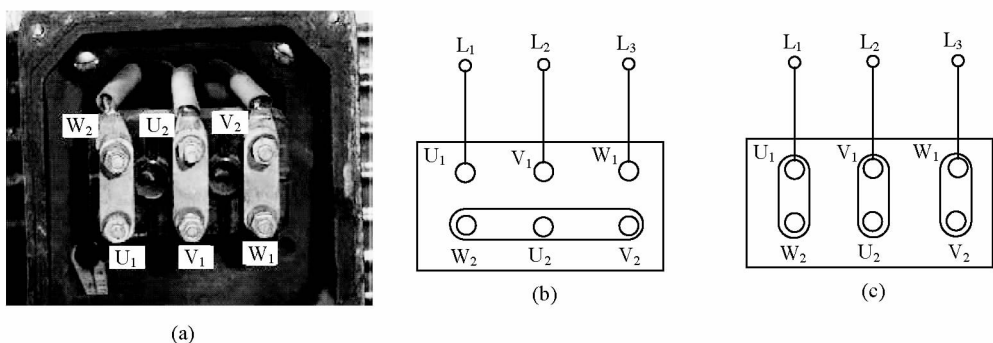


图 1-2 三相定子绕组的接法

(2)转子。三相异步电动机的转子由以下 3 部分组成:

①转子铁芯。转子铁芯由厚度为 0.5mm、相互绝缘的硅钢片叠成, 硅钢片外圆上有均匀分布的槽, 其作用是嵌放转子三相绕组。

②转子绕组。转子绕组有两种形式, 即鼠笼式与绕线式, 分别如图 1-3、图 1-4 所示。采用鼠笼式转子绕组的鼠笼式电动机由于构造简单, 价格低廉, 工作可靠, 使用方便, 成为了生产上应用得最广泛的一种电动机。

③转轴。转轴用于承受机械负载。为了保证转子能够自由旋转, 在定子与转子之间必须留有一定的空气隙, 中小型电动机的空气隙约为 0.2~1.0mm。

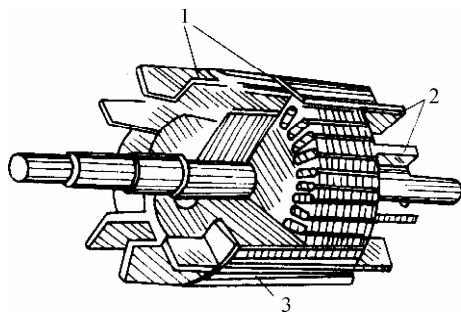


图 1-3 笼形转子图

1—铸铝条;2—风叶;3—转子铁芯

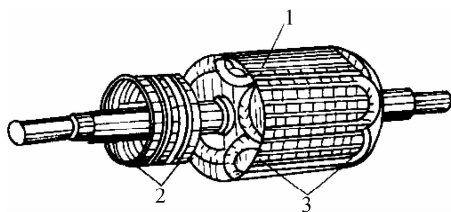


图 1-4 绕线转子

1—铁芯;2—集电环;3—转子绕组

2. 三相异步电动机的转动原理

为了说明三相异步电动机的工作原理,进行如下演示实验:如图 1-5 所示,在装有手柄的蹄形磁铁的两极间放置一个闭合导体,当转动手柄带动蹄形磁铁旋转时,将发现导体也跟着旋转;若改变磁铁的转向,则导体的转向也跟着改变。

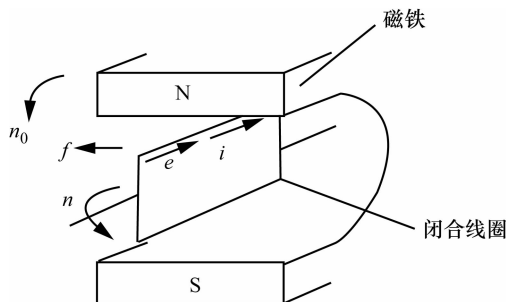


图 1-5 三相异步电动机工作原理

当磁铁旋转时,磁铁与闭合的导体发生相对运动,鼠笼式导体切割磁力线而在其内部产生感应电动势和感应电流。感应电流又使导体受到一个电磁力的作用,于是导体就沿磁铁的旋转方向转动起来,转子转动的方向和磁极旋转的方向相同,这就是异步电动机的基本原理。

由上述分析得到如下结论:欲使异步电动机旋转,必须有旋转的磁场和闭合的转子绕组。

(1) 旋转磁场。

① 旋转磁场的产生。图 1-6 为最简单的三相定子绕组 AX、BY、CZ,它们在空间按互差 120° 的规律对称排列,并接成星形,与三相电源 U、V、W 相连。

$$\begin{cases} i_U = I_m \sin \omega t \\ i_V = I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_W = I_m \sin(\omega t + 120^\circ) \end{cases}$$

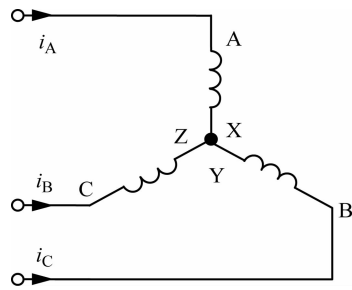


图 1-6 三相异步电动机定子接线

三相定子绕组便通过三相对称电流,随着电流在定子绕组中通过,在三相定子绕组中就会产生旋转磁场,如图 1-7 所示。

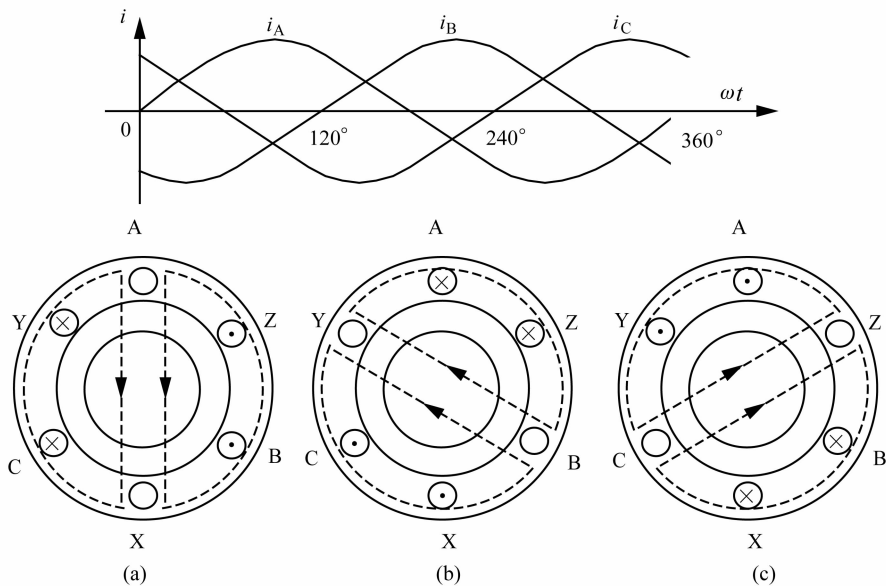


图 1-7 旋转磁场的形成
(a) $\omega t = 0^\circ$; (b) $\omega t = 120^\circ$; (c) $\omega t = 240^\circ$

当 $\omega t = 0^\circ$ 时, $i_A = 0$, AX 绕组中无电流; i_B 为负, BY 绕组中的电流从 Y 流入, B₁ 流出; i_C 为正, CZ 绕组中的电流从 C 流入, Z 流出; 由右手螺旋定则可得合成磁场的方向如图 1-7(a) 所示。

当 $\omega t = 120^\circ$ 时, $i_B = 0$, BY 绕组中无电流; i_A 为正, AX 绕组中的电流从 A 流入, X 流出; i_C 为负, CZ 绕组中的电流从 Z 流入, C 流出; 由右手螺旋定则可得合成磁场的方向如图 1-7(b) 所示。

当 $\omega t = 240^\circ$ 时, $i_C = 0$, CZ 绕组中无电流; i_A 为负, AX 绕组中的电流从 X 流入, A 流出; i_B 为正, BY 绕组中的电流从 B 流入, Y 流出; 由右手螺旋定则可得合成磁场的方向如图 1-7

(c)所示。

可见,当定子绕组中的电流变化一个周期时,合成磁场也按电流的相序方向在空间旋转一周。随着定子绕组中的三相电流不断地做周期性变化,产生的合成磁场也不断地旋转,因此称为旋转磁场。

②旋转磁场的方向。旋转磁场的方向是由三相绕组中的电流相序确定的,若想改变旋转磁场的方向,只要改变通入定子绕组的电流相序,即将三根电源线中的任意两根对调。这时,转子的旋转方向也跟着改变。

(2)三相异步电动机的极数与转速。

①极数(磁极对数 p)。三相异步电动机的极数就是旋转磁场的极数,旋转磁场的极数和三相绕组的形式有关。

当每相绕组只有一个线圈,绕组的始端之间相差 120° 空间角时,产生的旋转磁场具有一对极,即 $p=1$ 。

当每相绕组为两个线圈串联,绕组的始端之间相差 60° 空间角时,产生的旋转磁场具有两对极,即 $p=2$ 。

同理,如果要产生 3 对极,即 $p=3$ 的旋转磁场,则每相绕组必须有均匀安排在空间的串联的 3 个线圈,绕组的始端之间相差 $40^\circ(\frac{120^\circ}{p})$ 空间角。极数 p 与绕组的始端之间的空间角 θ 的关系为

$$\theta = \frac{120^\circ}{p}$$

②旋转磁场转速 n_0 。三相异步电动机旋转磁场的转速 n_0 与电动机磁极对数 p 有关,它们的关系为

$$n_0 = \frac{60f_1}{p} \quad (1-1)$$

由式(1-1)可知,旋转磁场的转速 n_0 取决于电流频率 f_1 和磁场的极数 p 。对某一异步电动机而言, f_1 和 p 通常是一定的,所以磁场转速 n_0 为常数。

在我国,工频 $f_1=50\text{Hz}$,因此,对应于不同极对数 p 的旋转磁场转速 n_0 ,见表 1-1。

表 1-1 不同级对数 p 的旋转磁场转速 n_0

p	1	2	3	4	5	6
n_0	3 000	1 500	1 000	750	600	500

③转差率 s 。电动机转子的转动方向与磁场旋转的方向相同,但转子的转速 n 不可能与旋转磁场的转速 n_0 相等,否则转子与旋转磁场之间就没有相对运动,因而磁力线就不切割转子导体,转子电动势、转子电流以及转矩也就都不存在。也就是说,旋转磁场与转子之间存在转速差,因此这种电动机称为异步电动机,又因为这种电动机的转动原理是建立在电磁感应基础上的,故又称为感应电动机。旋转磁场的转速 n_0 常称为同步转速。

转差率 s 是用来表示转子转速 n 与磁场转速 n_0 相差程度的物理量,即

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

转差率是异步电动机的一个重要的物理量。

当旋转磁场以同步转速 n_0 开始旋转时,转子则由于机械惯性而尚未转动,转子的瞬间转速 $n=0$,这时转差率 $s=1$ 。转子转动起来之后, $n>0$, n_0-n 的值减小,电动机的转差率 $s<1$ 。如果转轴上的转矩加大,则转子转速 n 降低,即异步程度加大,这样才能产生足够大的感应电动势和电流,产生足够大的电磁转矩,这时的转差率 s 增大。反之, s 减小。异步电动机运行时,转速与同步转速一般很接近,转差率很小。在额定工作状态下约为 $1.5\% \sim 6\%$ 。

根据式(1-2),可以得到电动机的转速常用公式为

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

【例 1-1】 有一台三相异步电动机,其额定转速 $n=975\text{r/min}$,电源频率 $f=50\text{Hz}$,求电动机的极数和额定负载时的转差率 s 。

解 由于电动机的额定转速接近而略小于同步转速,而同步转速对应于不同的极对数有一系列固定的数值。显然,与 975r/min 最相近的同步转速为 $n_0=1\,000\text{r/min}$,与此相应的磁极对数 $p=3$ 。因此,额定负载时的转差率为

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \times 100\% = \frac{1\,000 - 975}{1\,000} \times 100\% = 2.5\%$$

(3)三相异步电动机的定子电路与转子电路。三相异步电动机中的电磁关系同变压器类似,定子绕组相当于变压器的原绕组,转子绕组(一般是短接的)相当于副绕组。给定子绕组接上三相电源电压,则定子中就有三相电流通过,此三相电流产生旋转磁场,其磁力线通过定子和转子铁芯而闭合,这个磁场在转子和定子的每相绕组中都会感应出电动势。

阶段 2 三相异步电机的转矩特性与机械特性

1. 电磁转矩(简称转矩)

异步电动机的转矩 T 是由旋转磁场的每极磁通 Φ 与转子电流 I_2 相互作用而产生的。电磁转矩的大小与转子绕组中的电流 I 及旋转磁场的强弱有关。

经理论证明,它们的关系为

$$T = K_T \Phi I_2 \cos\varphi_2 \quad (1-4)$$

式中 K_T ——与电机结构有关的常数;

Φ ——旋转磁场每个极的磁通量;

I_2 ——转子绕组电流的有效值;

φ_2 ——转子电流滞后于转子电势的相位角。

若考虑电源电压及电机的一些参数与电磁转矩的关系,式(1-4)可写为

$$T = K_T' \frac{sR_2 U_1^2}{R_2^2 + (sX_{20})^2} \quad (1-5)$$

式中 K_T' ——常数;

U_1 ——定子绕组的相电压；

s ——转差率；

R_2 ——转子每相绕组的电阻；

X_{20} ——转子静止时每相绕组的感抗。

由式(1-5)可知,转矩 T 还与定子每相电压 U_1 的平方成正比,所以电源电压的变动对转矩的影响很大。此外,转矩 T 还受转子电阻 R_2 的影响。

2. 机械特性曲线

在一定的电源电压 U_1 和转子电阻 R_2 作用下,电动机的转矩 T 与转差率 s 之间的关系曲线 $T=f(s)$ 或转速 n 与转矩 T 的关系曲线 $n=f(T)$ 称为电动机的机械特性曲线,它可根据式(5-4)得出,如图 1-8 所示。在机械特性曲线上主要讨论以下 3 个转矩。

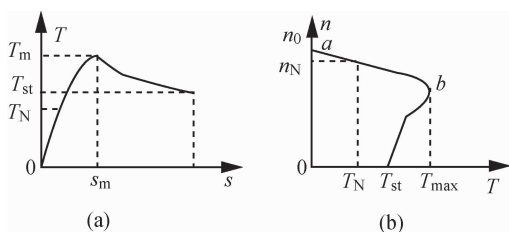


图 1-8 三相异步电动机的机械特性曲线

(a) $T=f(s)$ 曲线; (b) $n=f(T)$ 曲线

(1) 额定转矩 T_N 。额定转矩 T_N 是指异步电动机带额定负载时转轴上的输出转矩,其计算式为

$$T_N = 9\,550 \frac{P_2}{n} \quad (1-6)$$

式中 P_2 ——电动机轴上输出的机械功率,单位为 kW;

n ——转子转速,单位为 r/min;

T_N ——额定转矩,单位为 N·m。

当忽略电动机本身机械摩擦转矩 T_0 时,阻转矩近似为负载转矩 T_L ,电动机做等速旋转时,电磁转矩 T 必与阻转矩相等,即 $T=T_L$ 。额定负载时,则有 $T_N=T_L$ 。

(2) 最大转矩 T_m 。 T_m 又称为临界转矩,是电动机可能产生的最大电磁转矩。它反映了电动机的过载能力。最大转矩时对应的转差率为 s_m ,此时的 s_m 称为临界转差率,如图 1-8 (a) 所示。

最大转矩 T_m 与额定转矩 T_N 之比称为电动机的过载系数 λ ,即

$$\lambda = \frac{T_m}{T_N}$$

三相异步的过载系数一般为 1.8~2.2。

在选用电动机时,必须考虑可能出现的最大负载转矩,而后根据所选电动机的过载系数算出电动机的最大转矩,它必须大于最大负载转矩。否则,应重选电动机。

(3)启动转矩 T_{st} 。 T_{st} 为电动机启动初始瞬间的转矩,即 $n=0, s=1$ 时的转矩。

为确保电动机能够带额定负载启动,必须满足 $T_{st} > T_N$,一般的三相异步电动机有 $T_{st}/T_N=1\sim 2.2$ 。

3. 电动机的自适应负载能力

电动机在工作时,它所产生的电磁转矩 T 的大小能够在一定的范围内自动调整以适应负载的变化,这种特性称为自适应负载能力。

当 T_L 增加时, n 减小, s 增加,从而 I_2 增加, T 相应地增加至新的平衡。此过程中, I_2 增加时, I_1 增加,电源提供的功率也自动增加。

任务2 常用电压电器及三相异步电动机的选用方法

任务描述: 掌握常见手动电器和自动电器的特点及电路符号;

了解三相异步电动机的主要技术数据;

掌握三相异步电动机的选用方法。

任务分析: 本任务主要介绍用于电机控制的低压电器、电机的选用方法等,作为学习三相异步电动机启动、调速、制动等内容的基础。

阶段1 常用低压电器

电动机或其他电气设备电路的接通或断开,目前普遍采用按钮、开关、接触器、继电器等控制电器来组成控制系统进行控制,这种控制系统一般称为继电—接触器控制系统。

任何复杂的控制电路,都是由一些基本的单元电路组成的。因此,本阶段主要讨论继电—接触器控制系统中的一些基本电压电器。

电器的种类繁多,可分为手动的和自动的两类。手动电器是由工作人员手动操纵的,如刀开关、点火开关等。而自动电器则是按照指令、信号或某个物理量的变化而自动动作的,如各种继电器、接触器、电磁阀等。

1. 手动电器

(1)刀开关。刀开关又称为闸刀开关,一般用于不频繁操作的低压电路中,主要用于接通和切断电源,有时也用来控制小容量电动机的直接启动与停机,其电路符号如图 1-9 所示。

刀开关由闸刀(动触点)、静插座(静触点)、手柄和绝缘底板等组成。

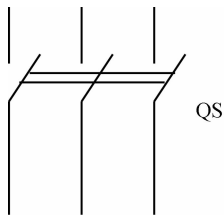


图 1-9 刀开关的电路符号

刀开关的种类很多,按极数(刀片数)不同可分为单极刀开关、双极刀开关和三极刀开关,按结构不同可分为平板式刀开关和条架式刀开关,按操作方式不同可分为直接手柄操作式刀开关、杠杆操作机构式刀开关和电动操作机构式刀开关,按转换方向不同可分为单投刀开关和双投刀开关。

刀开关一般与熔断器串联使用,以便在短路或过负荷时熔断器熔断而自动切断电路。刀开关的额定电压通常为 250V 和 500V,额定电流在 1 500A 以下。

考虑到电机较大的启动电流,刀闸的额定电流值应为异步电机额定电流的 3~5 倍。

(2)按钮。按钮常用于接通、断开控制电路,一般有常开按钮、常闭按钮和复合按钮 3 种类型,其电路符号如图 1-10 所示。其中,复合按钮即常开按钮与常闭按钮做在一起。

由于按钮的结构特点,按钮只起发出接通和断开信号的作用。

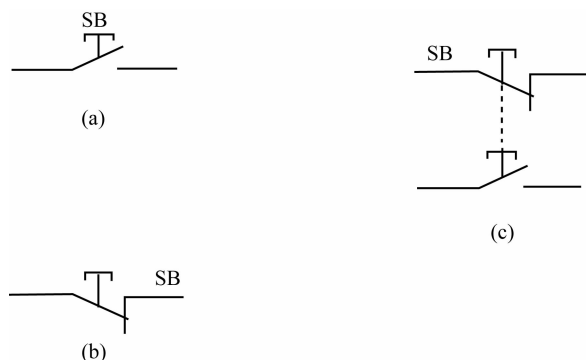


图 1-10 按钮的电路符号

(a)常开按钮;(b)常闭按钮;(c)复合按钮

2. 自动电器

(1)熔断器。熔断器主要用于短路或过载保护,串联在被保护的电路中。电路正常工作时如同一根导线,起通路作用;当电路短路或过载时熔断器熔断,起到保护电路上其他电器设备的作用。其电路符号如图 1-11 所示。

熔断器的结构有管式、磁插式、螺旋式等几种。其核心部分熔体(熔丝或熔片)是用电阻率较高的易熔合金(如铅锡合金)或截面积较小的导体制成的。

熔体额定电流 I_F 的选择如下。

①无冲击电流的场合(如电灯、电炉),其熔体额定电流 I_F 为

$$I_F \geq I_L$$

②一台电动机的场合,其熔体额定电流 I_F 为

$$I_F = \frac{I_{st}}{2.5}$$

如果电动机启动频繁,则

$$I_F = \frac{I_{st}}{2} \sim \frac{I_{st}}{1.6}$$

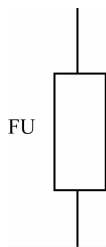


图 1-11 刀开关的电路符号

式中 I_{st} ——电动机的启动电流。

③几台电动机合用的场合中,其熔体额定电流 I_F 为

$$I_F = (1.5 \sim 2.5) I_m' + \sum I_m$$

式中 I_m' ——容量最大电动机的额定电流;

$\sum I_m$ ——其余电动机的额定电流之和。

(2)交流接触器。接触器是一种自动开关,是电力拖动中主要的控制电器之一,它分为直流和交流两类。其中,交流接触器常用来接通和断开电动机或其他设备的主电路。图 1-12 为交流接触器的基本结构图。接触器主要由电磁铁和触头两部分组成,它是利用电磁铁的吸引力而动作的。

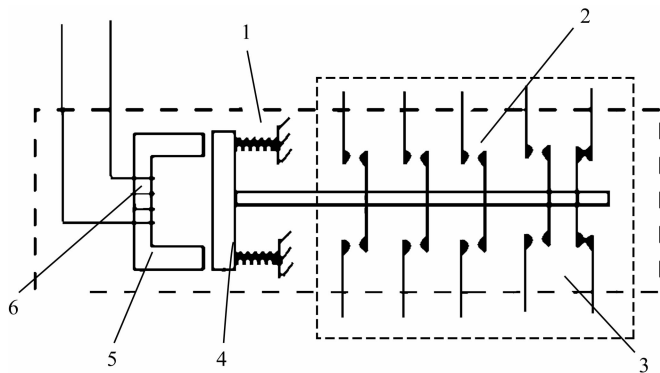


图 1-12 交流接触器的基本结构

1—弹簧;2—主触头;3—辅助触头;4—衔铁;5—铁芯;6—线圈

根据用途不同,接触器的触头分主触头和辅助触头两种。主触头能通过较大电流,常接在电动机的主电路中。例如,CJ10-20 型交流接触器有 3 个常开主触头和 4 个辅助触头(其中两个常开,两个常闭)。

当主触头断开时,其间产生电弧,会烧坏触头,并使电路分断时间拉长,因此,必须采取灭弧措施。通常交流接触器的触头都做成交叉式结构,它有两个断点,以降低触头断开时加在断点上的电压,使电弧容易熄灭,同时各相间装有绝缘隔板,可防止短路。在电流较大的接触器中还专门设有灭弧装置。接触器的电路符号如图 1-13 所示。

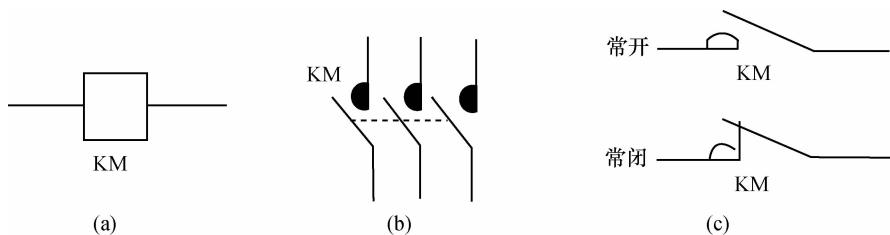


图 1-13 接触器电路符号

(a)接触器线圈;(b)主触头;(c)辅助触头

在选用接触器时,应注意它的额定电流、线圈电压及触头数量等。CJ10 系列接触器的主触头额定电流有 5A、10A、20A、40A、75A、120A 等数种。

(3)中间继电器。中间继电器的结构与接触器基本相同,只是体积较小,触点较多,通常用来传递信号和同时控制多个电路,也可以用来控制小容量的电动机或其他执行元件。

常用的中间继电器有 JZ7 系列,触点的额定电流为 5A,选用时应考虑线圈的电压。

(4)热继电器。热继电器是指用来保护电动机,使其避免由于长期过载而带来危害的继电器。

热继电器是利用电流的热效应而动作的,它的工作原理如图 1-14 所示。图中热元件是一段阻值不大的电阻丝,接在电动机主电路中的双金属片上,由两种具有不同线膨胀系数的金属用压力辗压而成,也可采用冷结合,其中,下层金属的膨胀系数大,上层的小。当主电路中的电流超过容许值时,双金属片受热向上弯曲致使脱扣,扣板在弹簧的拉力下将常闭触头断开。触头是接在电动机的控制电路中的,控制电路断开,使接触器的线圈断电,从而断开电动机的主电路。

由于热惯性,热继电器不能用于短路保护,因为发生短路事故时,要求电路立即断开,而热继电器是不能立即动作的。但是这个热惯性又是合乎要求的。例如,在电动机启动或短时过载时,由于热惯性热继电器不会动作,这可避免电动机的不必要的停车。如果要热继电器复位,按下复位按钮即可。

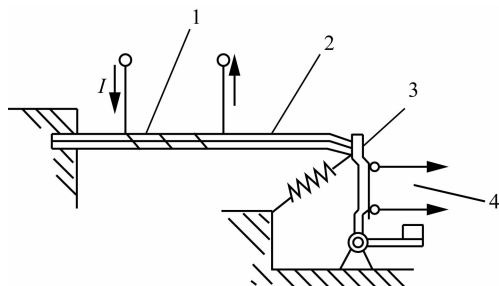


图 1-14 热继电器工作原理图

1—发热元件;2—双金属片;3—扣板;4—常闭触头

常用的热继电器有 JR0、JR10 及 JR16 等系列。热继电器的主要技术数据是整定电流。所谓整定电流,就是热元件通过的电流超过此值的 20% 时,热继电器应当在 20min 内动作。JR0-40 型的整定电流从 0.6~40A 有 9 种规格。选用热继电器时,应使其整定电流与电动机的额定电流基本上一致。

(5)行程开关。如图 1-15 所示,行程开关的结构与按钮类似,但其动作主要由机械撞击完成,主要用于电路的限位保护、行程控制和自动切换等。

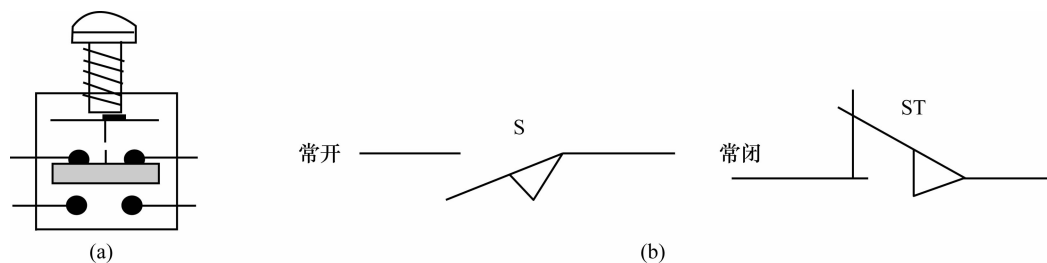


图 1-15 行程开关结构示意图和电路符号
(a)结构示意图;(b)电路符号

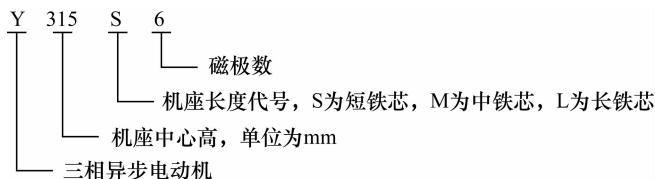
阶段 2 三相异步电动机技术数据及选择

1. 三相异步电动机技术数据

每台电动机的机座上都装有一块铭牌。铭牌上标注了该电动机的主要性能和技术数据。

三相异步电动机		
型 号 Y132M-4	功 率 7.5kW	频 率 50Hz
电 压 380V	电 流 15.4A	接 法 Δ
转 速 1440r/min	绝缘等级 E	工作方式 连续
温 升 80℃	防护等级 IP44	重 量 55kg
年 月 编号	××电机厂	

(1)型号。为不同用途和不同工作环境的需要,电机制造厂把电动机制成各种系列,每个系列的不同电动机用不同的型号表示。例如,Y315S6型电动机各字母、数字代表的意义如下:



(2)接法。接法指电动机三相定子绕组的连接方式。

一般鼠笼式电动机的接线盒中有 6 根引出线, 标有 U_1 、 V_1 、 W_1 、 U_2 、 V_2 、 W_2 , 其中, U_1 、 V_1 、 W_1 是每一相绕组的始端, U_2 、 V_2 、 W_2 是每一相绕组的末端。

三相异步电动机的连接方法有两种, 即星形(Y)连接和三角形(Δ)连接。通常三相异步电动机功率在 4kW 以下者接成星形, 在 4kW(不含)以上者接成三角形。

(3)电压。铭牌上所标的电压值是指电动机在额定运行时定子绕组上应加的线电压值。一般规定电动机的电压不应高于或低于额定值的 5%。

必须注意,在低于额定电压下运行时,最大转矩 T_m 和启动转矩 T_{st} 会显著地降低,这对电动机的运行是不利的。

三相异步电动机的额定电压有 380V、3 000V 及 6 000V 等。

(4) 电流。铭牌上所标的电流值是指电动机在额定运行时定子绕组的最大线电流允许值。

当电动机空载时,转子转速接近旋转磁场的转速,两者之间相对转速很小,所以转子电流近似为零,这时定子电流几乎全为建立旋转磁场的励磁电流。当输出功率增大时,转子电流和定子电流都随着相应增大。

(5) 功率与效率。

① 铭牌上所标的功率值是指电动机在规定的环境温度下,在额定运行时电机轴上输出的机械功率值。输出功率与输入功率不等,其差值等于电动机本身的损耗功率,包括铜损、铁损及机械损耗等。

② 效率 η 是指输出功率与输入功率的比值。一般鼠笼式电动机在额定运行时的效率约为 72%~93%。

(6) 功率因数。因为电动机是电感性负载,定子相电流比相电压滞后一个 φ 角, $\cos\varphi$ 就是电动机的功率因数。三相异步电动机的功率因数较低,在额定负载时约为 0.7~0.9,而在轻载和空载时更低,空载时只有 0.2~0.3。

(7) 转速。电动机额定运行时的转子转速,单位为 r/min。

不同的磁极数对应有不同的转速等级。最常用的是四极电动机所对应的转速 $n_0 = 1\,500\text{r/min}$ 。

(8) 绝缘等级。绝缘等级是按电动机绕组所用的绝缘材料在使用时容许的极限温度来分级的,见表 1-2。表中,极限允许温度是指电机绝缘结构中最热点的最高容许温度。

表 1-2 电动机的记录等级

绝缘等级	环境温度 40℃ 时的容许温升	极限允许温度
A	65℃	105℃
E	80℃	120℃
B	90℃	130℃

2. 三相异步电动机的选择

(1) 功率的选择。电动机的功率主要应根据负载的情况进行选择,选得过大,虽然能保证正常运行,但是不经济,电动机的效率和功率因数都不高;选得过小,则不能保证电动机和生产机械的正常运行,不能充分发挥生产机械的效能,并使电动机由于过载而损坏。

① 连续运行电动机功率的选择。对连续运行的电动机,应先算出生产机械的功率,所选电动机的额定功率等于或稍大于生产机械的功率即可。

② 短时运行电动机功率的选择。如果没有合适的专门为短时运行设计的电动机,可选用连续运行的电动机。由于发热惯性,所以在短时运行时可以容许过载。工作时间越短,过

载可以越大。但电动机的过载是受到限制的,通常是根_据过载系数来选择短时运行电动机的功率。电动机的额定功率可以是生产机械所要求功率的 1/2。

(2)种类和结构形式的选择。

①种类的选择。选择电动机的种类应从交流或直流、机械特性、调速与启动性能、维护及价格等方面来考虑。

a. 交、直流电动机的选择。如没有特殊要求,一般都应采用交流电动机。

b. 鼠笼式与绕线式的选择。三相鼠笼式异步电动机结构简单,坚固耐用,工作可靠,价格低廉,维护方便,但调速困难,功率因数较低,启动性能较差。因此在要求机械特性较硬而无特殊调速要求的一般生产机械的拖动应尽可能采用鼠笼式电动机。只有在不方便采用鼠笼式异步电动机时才采用绕线式电动机。

②结构形式的选择。电动机常用的结构形式如下:

a. 开启式。在构造上无特殊防护装置,用于干燥无灰尘的场所。通风非常良好。

b. 防护式。在机壳或端盖下面有通风罩,以防止铁屑等杂物掉入。也可将外壳做成挡板状,以防止在一定角度内有雨水滴溅入其中。

c. 封闭式。外壳严密封闭,靠自身风扇或外部风扇冷却,并在外壳带有散热片,常用于灰尘多、潮湿或含有酸性气体的场所。

d. 防爆式。整个电机严密封闭,用于有爆炸性气体的场所。

③安装结构形式的选择。电动机常用的安装结构形式如下:

a. 机座带底脚,端盖无凸缘。

b. 机座不带底脚,端盖有凸缘。

c. 机座带底脚,端盖有凸缘。

④电压和转速的选择。

a. 电压的选择。电动机电压等级要根据电动机类型、功率以及使用地点的电源电压确定。Y 系列鼠笼式电动机的额定电压只有 380V 一个等级,只有大功率异步电动机才采用 3 000V 和 6 000V。

b. 转速的选择。电动机的额定转速是根据生产机械的要求而选定的,但通常转速不低于 500r/min。因为当功率一定时,电动机的转速越低,其尺寸越大,价格越贵,且效率也较低。异步电动机通常采用 4 个极的,即同步转速 $n_0 = 1\,500\text{r/min}$ 。

【例 1-2】 有一 Y225M-4 型三相鼠笼式异步电动机,额定数据见表 1-3,试求额定电流、额定转差率 s_N 、额定转矩 T_N 、最大转矩 T_m 和启动转矩 T_{st} 。

表 1-3 Y225M-4 型异步电动机额定数据

功率	转速	电压	效率	功率因数	I_{st}/I_N	T_{st}/T_N	$T_{max}/T_N(\lambda)$
45kW	1 480r/min	380V	92.3%	0.88	7.0	1.9	2.2

解 4~10kW 电动机通常都采用 380V, Δ 接法。

$$I_N = \frac{P_2}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi_N \eta} = \frac{45 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.88 \times 0.923} = 84.2\text{A}$$

已知电动机是四极的,即 $p=2, n_0=1\ 500\text{r/min}$. 所以

$$s_N = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{1\ 500 - 1\ 480}{1\ 500} = 0.013$$

$$T_N = 9\ 550 \frac{P_N}{n_N} = 9\ 550 \times \frac{45}{1\ 480} = 290.4\text{N} \cdot \text{m}$$

$$T_{st} = \frac{T_{st}}{T_N} T_N = 1.9 \times 290.4 = 551.8\text{N} \cdot \text{m}$$

$$T_m = \lambda T_N = 2.2 \times 290.4 = 638.9\text{N} \cdot \text{m}$$

任务3 三相异步电动机的启动与控制

任务描述: 掌握三相异步电动机启动电流和启动转矩的概念;

掌握三相异步电动机的启动方法;

掌握三相异步电动机的调速与制动方法;

熟悉三相异步电动机的常用控制电路。

任务分析: 现代生产机械的运动部件主要是以各类电动机或其他执行电器来驱动的。为了保证生产过程和加工工艺合乎预定要求,要对电动机进行自动控制。本任务主要介绍三相异步电动机的启动、控制等,并解释了常用的控制电路的用途和原理等。

阶段1 异步电动机的启动与调速分析

1. 启动特性分析

(1)启动电流 I_{st} 。在刚启动时,由于旋转磁场对静止的转子有着很大的相对转速,磁力线切割转子导体的速度很快,因此转子绕组中感应出的电动势和产生的转子电流均很大,同时,定子电流必然也很大。一般中小型鼠笼式电动机定子的启动电流可达额定电流的5~7倍。

提醒

在实际操作时应尽可能不让电动机频繁启动。例如,在切削加工时,一般只是用摩擦离合器或电磁离合器将主轴与电机轴脱开,而不将电动机停下来。

(2)启动转矩 T_{st} 。电动机启动时,转子电流 I_2 虽然很大,但转子的功率因数 $\cos\varphi_2$ 很低,由公式 $T = C_M \Phi I_2 \cos\varphi_2$ 可知,电动机的启动转矩 T 较小,通常 $\frac{T_{st}}{T_N}$ 为1.1~2.0。

启动转矩小可能会延长启动时间,或不能在满载下启动,因此应设法提高。但启动转矩如果过大,会使传动机构受到冲击而损坏,所以一般机床的主电动机都是空载启动(启动后再切削),对启动转矩不做要求。

综上所述,异步电机的主要缺点是启动电流大而启动转矩小。因此必须采取适当的启动方法,以减小启动电流并保证足够的启动转矩。

2. 三相异步电动机的启动方法

(1)直接启动。直接启动又称为全压启动,就是利用闸刀开关或接触器将电动机的定子绕组直接加到额定电压下启动。

这种方法只用于小容量的电动机或电动机容量远小于供电变压器容量的场合。

(2)降压启动。降压启动是指在启动时降低加在定子绕组上的电压,以减小启动电流,待转速上升到接近额定转速时,再恢复到全压运行。

此方法适用于大中型鼠笼式异步电动机的轻载或空载启动。

①星形—三角形(Y— Δ)换接启动。星形—三角形换接启动是指启动时,将三相定子绕组接成Y形,待转速上升到接近额定转速时,再换成 Δ 。这样,在启动时就把定子每相绕组上的电压降到正常工作电压的 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 。

此方法只能用于正常工作时定子绕组为 Δ 形连接的电动机。

这种换接启动可采用Y— Δ 启动器来实现。Y— Δ 启动器体积小、成本低、寿命长、动作可靠。

②自耦降压启动。自耦降压启动是利用三相自耦变压器将电动机在启动过程中的端电压降低。启动时,先把开关扳到启动位置,当转速接近额定值时,再扳向工作位置,切除自耦变压器。

采用自耦降压启动,也同时能使启动电流和启动转矩减小。

正常运行作Y形连接或容量较大的鼠笼式异步电动机,常用自耦降压启动。

3. 三相异步电动机的调速

调速是指在同一负载下能得到不同的转速,以满足生产过程的要求。

由转差率公式 $s = \frac{n_0 - n}{n_0}$ 可得

$$n = (1 - s)n_0 = (1 - s)\frac{60f}{p}$$

因此,可通过3个途径进行调速,即改变电源频率 f ,改变磁极对数 p ,改变转差率 s 。前两者为鼠笼式电动机的调速方法,后者为绕线式电动机的调速方法。

(1)变频调速。此方法可获得平滑且范围较大的调速效果,且具有硬的机械特性,但须有专门的变频装置——由可控硅整流器和可控硅逆变器组成。变频调速工作精确,应用范围广,是本书的重点。

(2)变极调速。此方法不能实现无极调速,但它简单方便,常用于金属切割机床或其他

生产机械上。

(3) 转子电路串电阻调速。在绕线式异步电动机的转子电路中, 串入一个三相调速变阻器进行调速, 称为转子电路串电阻调速。

此方法能平滑地调节绕线式电动机的转速, 且设备简单、投资少, 但变阻器增加了损耗, 故常用于短时调速或调速范围不太大的场合。

4. 三相异步电动机的制动

制动是给电动机一个与转动方向相反的转矩, 促使它在断开电源后很快地减速或停转。对电动机制动, 也就是要求它的转矩与转子的转动方向相反, 这时的转矩称为制动转矩。

常见的电气制动方法有以下几种。

(1) 反接制动。反接制动是指当电动机快速转动而需停转时, 改变电源相序, 使转子受一个与原转动方向相反的转矩而迅速停转。注意当转子转速接近零时, 应及时切断电源, 以免电机反转。

为了限制电流, 对功率较大的电动机进行制动时必须在定子电路(鼠笼式)或转子电路(绕线式)中接入电阻。

这种方法比较简单, 制动力强, 效果较好, 但制动过程中的冲击也强烈, 易损坏传动器件, 且能量消耗较大, 频繁反接制动会使电机过热。有些中型车床和铣床主轴的制动采用此种方法。

(2) 能耗制动。能耗制动是指电动机脱离三相电源的同时, 给定子绕组接入一直流电源, 使直流电流通入定子绕组, 于是在电动机中产生一方向恒定的磁场, 使转子受到一个与转子转动方向相反的力的作用, 于是产生制动转矩, 实现制动。

直流电流的大小一般为电动机额定电流的 $0.5 \sim 1$ 倍。由于这种方法是消耗转子的动能(转换为电能)来进行制动的, 所以称为能耗制动。这种制动能量消耗小, 制动准确而平稳, 无冲击, 但需要直流电流。

(3) 发电反馈制动。当转子的转速 n 超过旋转磁场的转速 n_0 时, 这时的转矩也是制动的。例如, 当起重机快速下放重物时, 重物拖动转子, 使其转速 $n > n_0$, 重物受到制动而等速下降。

阶段 2 三相异步电动机的控制

1. 直接启动控制电路

直接启动是指启动时把电动机直接接入电网, 加上额定电压。一般来说, 电动机的容量不大于直接供电变压器容量的 $20\% \sim 30\%$ 时, 都可以直接启动。

(1) 点动控制。点动控制的接线与控制原理如图 1-16 所示。