

XINBIANDIANLIQIYEBANZUZHANGYEWUSUCHASHOUCE

新编电力企业班组长业务

速查手册



中国电力科技出版社

新编电力企业班组长 业务速查手册

主编 刘 鹏

(下)

中国电力科技出版社

第二章 电动机与附属装置

第一节 电动机基础

一、电动机分类

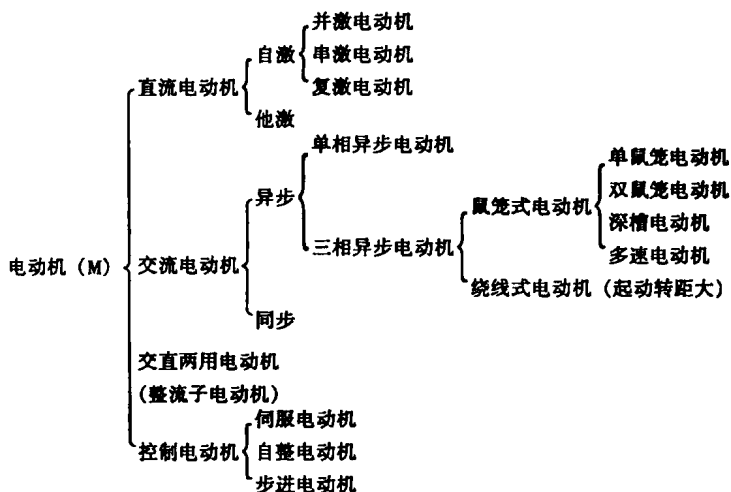
电机品种大汇总，交流直流分两类，交流可分单三相，三相又分同异步。异步鼠笼绕线式，单鼠双鼠和深槽，防护密封防爆式，Y 系列 IP23IP44。

说明：

把电能转换成机械能的设备叫电动机。

电动机按构造分开启式、防护式、封闭式、密封式、潜水式、防爆式（YB 系列）。其类组代号规定 YX 为差率电机，YF 为化工防腐电机、YH 为船用电机、YD 为多速电机。电动机还分连续工作制、短时工作制和继续工作制，时间有 10、30、60、90min 不等。IP23 和 IP44 是防护等级，IP23（相当于传统的防护型电机）和 IP44（相当于传统的封闭型电机）等，第一位数字表示防接触和防异物等级，第二位数字表示防水等级。

电动机按工作原理可分如下类别：



二、电动机性能

Y 系电机么性能，规格型号讲的清，中心高度讲毫米，大中微小数区分。

M 表示机座号，极数多少摆后边，类组代号有哪些，详细数据下表列。

说明：

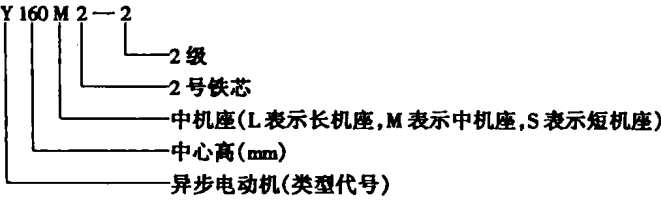
电动机广泛应用在各行各业，是生产加工的动力。在农村中广泛、大量、常用的是单相鼠箱式和三相异步电动机（又称感应电动机）。

电动机规格型号很多，按电动机轴中心高度（h）和定子铁芯外径（D）的大小分几类：①大型电动机，h > 630mm 或 D > 100mm 之间，或机座号为 16 号及以上者；②中型电动机，h 约在 355 ~ 630mm，或 D 约在 500 ~ 100mm，或机座号在 11 ~ 16 号者；③小型电动机，h 在 89 ~ 315mm，或 D 约在 100 ~ 250mm，或机座号在 10 号及以上者；④微型电动机，h 在 71mm 及以下，或 D 约在 100mm 以下者。三相交流微型电动机，主要用于小型机床、医疗器械、家用电器等设备上。目前常用电动机功率有 1.1、1.5、2.2、3.4、5.5、7.5、11、15、18.5、22、30、37、45、55、75、90kW 等，型号有 Y 系列 YQB 系列和 YB 系列几种。

三相异步电动机的分类如下表。

转子绕组型式	鼠笼型绕线型		
电机尺寸	大型	中型	小型
中心高 H（mm）定子 铁芯外径 D（mm）	> 630	355 ~ 630	80 ~ 315
	> 1000	500 ~ 1000	120 ~ 500
外壳防护型式	开启式（IP11）防护式（IP23，IP22）封闭式（IP44）		
冷却方式	自 冷 自扇冷式 他扇冷式 管道通风式		
结构及安装型式	卧 式 立 式 带 底 脚 带 凸 缘		
绝缘等级	E B F H C		
使用方式（定额）	连 续 短 时 周期工作制		

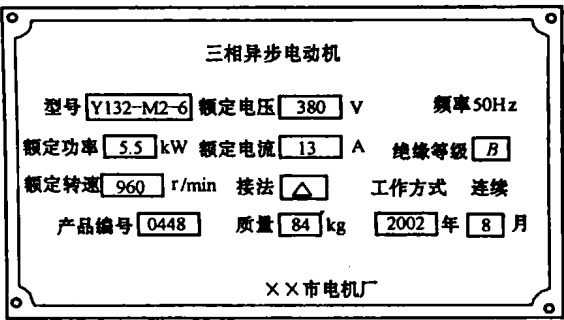
型号举例：



三、电气设备铭牌及额定值

厂家产品有铭牌，额定数据标出来，电压电流和功率，技术参数须了解。
温升绝缘易损坏，心中有数不奇怪，按照额定不过我，对号入座安全在。
说明：

为了电气设备安全长寿运行，制造厂家对自己的产品都规定了额定值，即长期运行的安全数据，如额定电压、额定电流、转速等，在交流电量产品上还标明频率（Hz）、效率（ η ）和功率因数 $\cos\varphi$ ，这些值大都与绝缘性能和强度有关，电压超过额定值时，绝缘会击穿造成设备损坏。当电压过低时，电灯不亮，电动机转速变慢。例如白炽灯标有“220V/100W”等字样，表明是额定值，在使用时要接到220V 电压上使用，这时消耗功率为100W。



三相异步电动机			
型号 Y132S4		出厂编号	
功率 5.5kW		电流 11.6A	
电压 380V	转速 1440r/min		噪声 LW78dB
接法 Δ	防护等级 IP44	频率 50Hz	质量 68kg
标准编号	工作制 S1	绝缘等级 B 级	年 月
× × 电机厂			

四、电动机原理

电动机，为何转，定子通电磁旋转，笼条感应流循环，相对切磁便旋转。
要知电机转速速，极与转速有常数，每极分钟六千求，异步小于同步数。

说明：

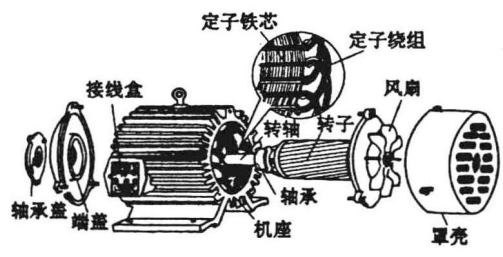
电动机原理同开式变压器原理一样，不过它不是静止的。当电动机绕组通入三相交流电时，就会在定子绕组中产生一个旋转磁场，由于转子绕组处在这个旋转的磁场内，根据电磁感应原理，转子绕组并切割磁力线产生感应电流，而这个电流又和定子绕组的旋转磁场相对作用，使之产生电磁力，当我们摇动永久磁铁时，转轴受力的作用后就会转动起来，转轴的旋转方向和放置磁场的旋转方向一致。

我们知道旋转磁场的转速是同步转速，它与电流的频率成正比，与电动机的磁极对数 p 成反比，即 $n = 60f/P$ 。由于我国标准频率 f （工频）为 50Hz，所以旋转磁场 n 的大小与 p 有很大关系，一对磁极数为 3000r/min、两对极为 1500r/min、三对极为 1000r/min、四对极为 750r/min、五对极为 400r/min。一对极磁场是两个极，所以每极分钟按 6000 计算，即 $n_1 = 6000/2 = 3000r$ （这与一对极的转速是一样的），因此我们把 6000 作为一个常数。

定子绕组通入三相交流电后，产生的旋转速度称为同步转速，用 n_1 表示，对于异步电动机来讲，感应使电动机转轴旋转的转速为异步转速，用 n_2 表示，由于同步转速是带动异步的，加上传递中的损耗，这样异步转速总会小于同步转速，这一关系，用转差率 S 表示： $S = (n_1 - n_2) / n_1 \times \% = \Delta n / n_1 \times \%$ ，电动机的转速是选配机械设备的一个重要依据。在定子里放一钢珠可以看磁场旋转转速现象。

$$n_1 = \frac{3000}{P} \quad (P \text{ 为磁极对数})$$

$$n_1 = \frac{3000}{P} \quad (P \text{ 为磁极对数})$$



电动机结构



电动机原理

五、绝缘与温度关系

电机绝缘怎么分，关系温度与温升，温减环温 40 度，即为电机的温升。

绝缘温升可统一，A 级 55，E 加 10，70B、85F、105H，超温 8℃ 寿减半。

说明：

温升指电动机在运行时，绕组高出周围环境温度的允许值，A 级绝缘 55℃，E 级绝缘 65℃，B 级绝缘 70℃，F 级绝缘 85℃，H 级绝缘 105℃。环境温度规定标准为 40℃，如果标出温升 75℃，其允许温度 = $75 + 40 = 115$ (℃)，这种电机绝缘等级为 H 级，表示能承受温升 75℃，允许温度为 115℃。当温升每超过 8℃ 时，电机使用寿命将减少一半。

电动机的绝缘等级与温升的关系

绝缘等级		A	E	B	F	H
温升,℃	电阻法	60	75	80	100	125
	温度计法	55	65	70	85	105

固体绝缘材料的绝缘等级

等级标准	极限温度 (℃)	材料组成
0 级 (90 级)	90	非浸渍的纤维、棉、绸、纸等
A 级 (105 级)	105	用浸渍过的或浸在液体介质中的棉纱、丝、纸等材料或其组成物所组成的绝缘结构
E 级 (102 级)	120	合成有机薄膜，合成有机瓷漆等材料或其组成物所组成的绝缘结构
B 级 (130 级)	130	用合适的树脂粘合或浸渍，涂覆后的云母、玻璃纤维、石棉等及其他无机材料、合适的有机材料或其组合物组成的绝缘结构
F 级 (155 级)	155	用合适的树脂粘合或浸渍，涂覆后的云母、玻璃纤维、石棉等及其他无机材料、合适的有机材料或其组合物组成的绝缘结构
H 级 (180 级)	180	用合适的树脂（如硅有机树脂）粘合或浸渍、涂覆后的云母、玻璃纤维、石棉等材料或其组合物组成的绝缘结构
C 级 (220 级)	220	用合适的树脂粘合或浸渍、涂覆后的云母、玻璃纤维等以及未经浸渍处理的云母、陶瓷、石英等材料或其组合物组成的绝缘结构

六、马力 (Hp) 千瓦 (kW) 换算

电功率，配机械，千瓦马力换算来，代号马力用 Hp，功率 kW 来算计。

倘若马力换千瓦，四分之三电功率，千瓦若换马力数，加大 1/3 是马力。

说明：

因千瓦比马力大，当已知 Hp 数时，把它乘上 3/4 或 0.75 便是相应的 kW 数。如一套柴油发电机为 20Hp，按 3/4kW 算得为 $20 \times 0.75 = 15$ (kW)。要把 kW 数换成 Hp，则把 1kW 的 1 加大 1/3 或 1 又 1/3 (约 1.33)，用已知的 kW 数乘上 1.33 便是相应的 Hp 数。

如一台 7kW 的电动机，按加大 1/3 算得出相当的机械功率 (P)，即 $7 \times 1.33 \approx 9.3$ (Hp)。

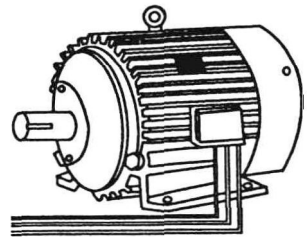
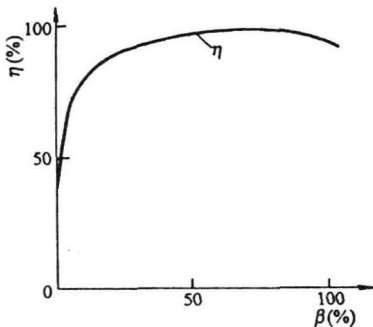
七、效率 (η)

功率又分出和入，转换之中有损失。效率究竟是个啥，代表符号用 “ η ”。

功率输出与输入，两比之数为效率，要想输出功率高，减少损耗增效率。

说明：

输出功率输入功率之比叫效率，用 η 表示，如电动机从电源吸收有功功率，称为电动机的输入功率 (P_{IN})，而电动机转轴上功率称输出功率 (P_{OUT})。而电动机在运转中，总要消耗一些功率，如摩擦发热等，即 $\eta = P_{OUT}/P_{IN} \times 100\%$ ，其电动机内部损耗越小，效率就越高。



电动机的特性曲线

η —效率曲线； β —负荷率

第二节 三相鼠笼式异步电动机

一、三相异步电动机的构造

三相交流异步电动机主要由定子、转子及其他一些部件组成，其结构图如图 2-1 所示。

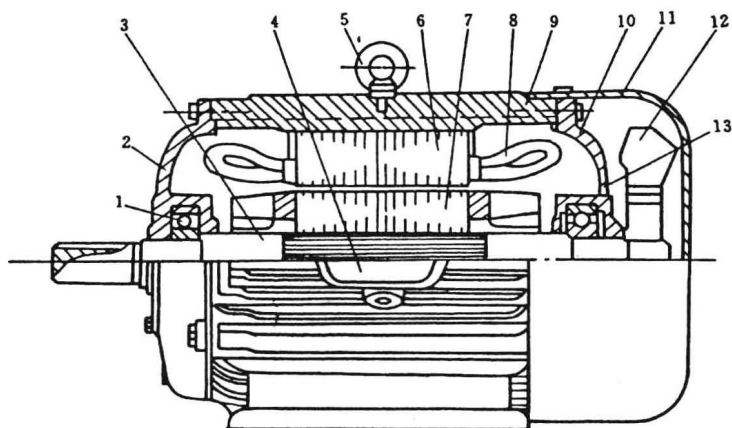


图 2-1 三相鼠笼式异步电动机结构图

- 1—轴承；2—后端盖；3—转轴；4—接线盒；5—吊环；6—定子铁芯；
7—转子；8—定子绕组；9—机座；10—前端盖；11—风罩；12—风扇；
13—内轴承盖

(1) 定子。定子主要由机座、定子铁芯、定子绕组组成。

定子铁芯由硅钢片冲制叠装而成，定子铁芯镶入机座内，是构成电机主磁路的一部分。在定子铁芯槽内嵌入三相定子绕组，构成定子电路部分。三相定子绕组的六个头在机座的接线盒中引出，绕组首端三个接线头用 U_1 、 V_1 、 W_1 表示；末端用 U_2 、 V_2 、 W_2 表示（过去用 D_1 、 D_2 、 D_3 及 D_4 、 D_5 、 D_6 表示六个接线端）。定子三相绕组可以有两种接法，即星形接法和三角形接法，如图 2-2 所示。

(2) 转子。将转子铁芯叠片压入转子轴上就组成了转子的铁芯，用以嵌放转子绕组，并成电机主磁路的另一部分，如图 2-3 所示。在转子铁芯槽内压入铸铝，加工成转子绕组，构成转子的电路部分。因转子绕组形状象西方人装松鼠的笼子，

故称鼠笼式转子绕组。这种结构的电动机称鼠笼式电动机。

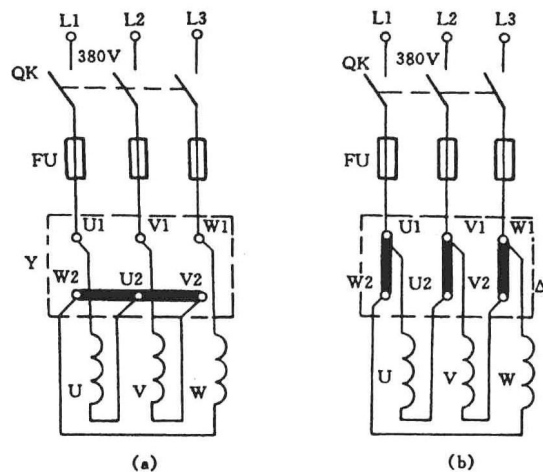


图 2-2 定子三相绕组的两种接法

(a) 星形连接; (b) 三角形连接

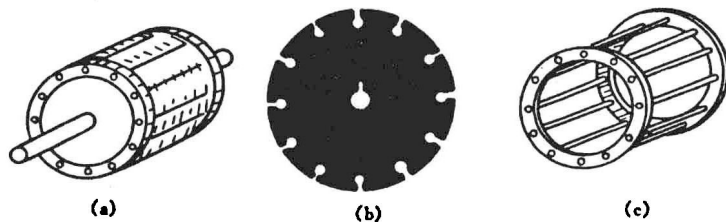


图 2-3 鼠笼式转子

(a) 鼠笼式转子; (b) 转子铁芯用硅钢片; (c) 鼠笼式转子绕组

若在转子铁芯中镶入三相绕组, 各相绕组一端分别焊接铜环, 另一端相连, 就构成星形接法的绕线式转子绕组, 如图 2-4 所示。这种电动机称绕线式电动机。再装上轴承、风扇、端盖、电刷架、电刷、风扇罩、接线盒等, 就组成了三相绕线式异步电动机。

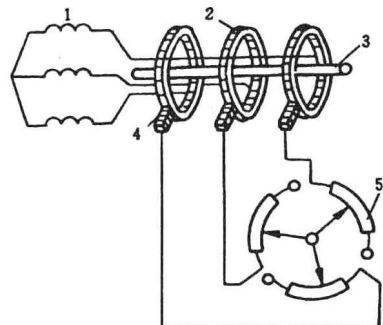


图 2-4 绕线式转子的线路连接

1—绕组; 2—滑环; 3—轴;

4—电刷; 5—变阻器

二、三相异步电动机的工作原理

1. 旋转磁场

当对称的三相交流电通入对称的三相定子绕组后,便产生一个旋转的磁场,如图 2-5 所示。

假定电流的正方向是由绕组的始端进、末端出。以两极电动机为例,选择几个瞬时来分析三相交流所产生的合成磁场。

当 $t=0$ 时, $i_u=0$, U 相绕组内没有电流; i_v 为负值, V 相绕组内电流由 V2 进, V1 出; i_w 是正值, W 相绕组内电流由 W1 进, W2 出。运用右手螺旋定则,可以判定这一瞬间的合成磁场方向如图 2-5 (c) 所示。

当 $t=T/6$ 时, i_u 为正, 电流由 U1 进, 从 U2 出; i_v 仍是负值; $i_w=0$ 。此时合成磁场如图 2-5 (d) 所示。此时合成磁场的方向在空间按顺时针方向旋转了 60° 。

当 $t=T/3$ 时, i_u 为正; $i_v=0$; i_w 是负值。此时合成磁场又旋转了 60° , 如图 2-5 (e) 所示。

当 $t=T/2$ 时, 其合成磁场与 $t=0$ 时相比, 旋转了 180° 。

由以上分析可知, 合成磁场随时间的延长在空间不断地旋转。旋转磁场的旋转速度 n_1 与定子绕组通入交流电流的频率 f 以及绕组的磁极对数之间存在如下关系

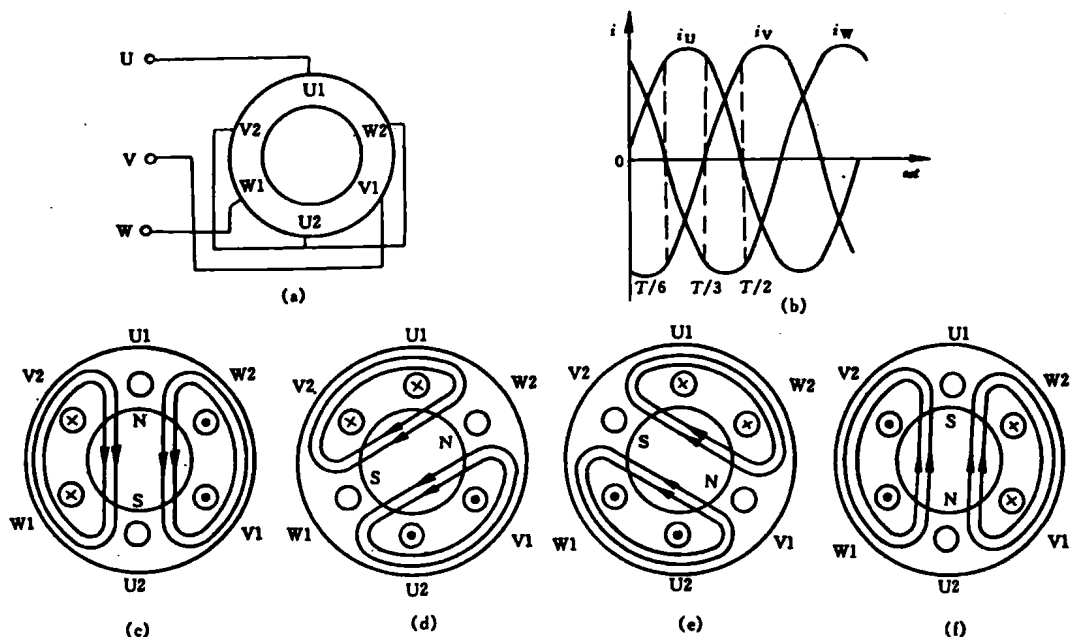


图 2-5 旋转磁场的产生

(a) 对称定子绕组; (b) 对称三相电流; (c) $t=0$ 时的定子合成磁场;

(d) $t=\frac{T}{6}$ 时的定子合成磁场; (e) $t=\frac{T}{3}$ 时的定子合成磁场; (f) $t=\frac{T}{2}$ 时的定子合成磁场

$$n_1 = \frac{60f}{P} \quad (2-1)$$

式中 n_1 ——旋转磁场的同步转速, r/min;

f ——交流电频率, Hz;

P ——磁极对数。

旋转磁场的旋转方向决定于通入三相电流的相序, 总是顺着三相绕组中电流的正相序方向旋转。

2. 工作原理

异步电动机的工作原理如图 2-6 所示, 旋转磁场的磁力线通过定子和转子铁芯构成闭合回路, 按电磁感应原理可知, 当磁场旋转时将在转子导体中产生感应电动势。根据右手定则可判断转子上半部导体的感生电动势方向是出来的, 下半部是进去的。由于转子导体 (或转子三相绕组) 是短路的, 故有感生电流通过转子导体。此感生电流在定子磁场中会受到电磁力 F 作用, 其方向用左手定则判断。作用于转子各导体上的电磁力 F 对转轴形成电磁力矩 M , 从而使转轴按旋转磁场的方向以 n 的转速转动起来。

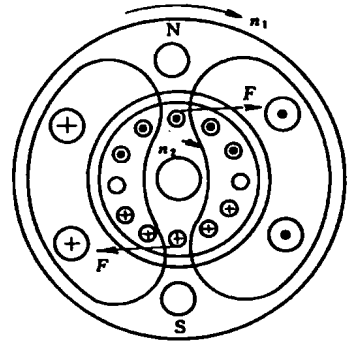


图 2-6 异步电动机工作原理示意图

如改变通入定子绕组电流的相序, 从而改变了旋转磁场的转向, 则转子的旋转方向也随之而改变。

由于电动机转子中的电流是由定子旋转磁场通过电磁感应而产生的, 故又叫感应电动机。不难看出, 为了使转子绕组与旋转磁场之间有相对运动, 即能切割磁力线, 所以转子实际转速 n 应不等于定子旋转磁场的转速 n_1 , 故称为异步电动机。

3. 转差率

转速差与旋转磁场转速之比称为转差率, 转差率表示电动机转速异步的大小程度, 即

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (2-2)$$

式中 s ——转差率, %;

n_1 ——旋转磁场转速, r/min;

n ——电动机的实际转速, r/min。

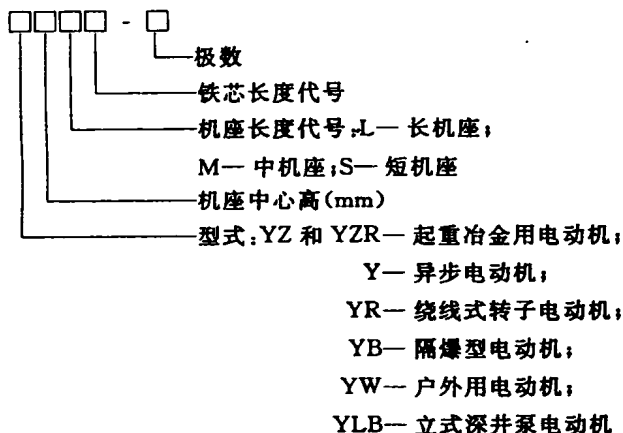
异步电动机转差率的变化范围在 0 ~ 1 之间。通电后转子尚未转动时 (如电动

机起动的初瞬), $s=1$; 转子转速越高, s 越小, 额定状态下, 转差率一般为 $2\% \sim 5\%$ 。

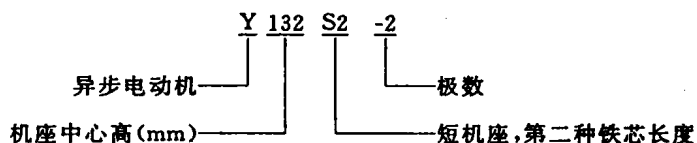
三、三相异步电动机的型号参数

1. 型号意义

电动机的型号意义如下:



例如:



2. 参数

电动机的主要额定参数有:

1) 额定容量 (P_N)。表示电动机在额定条件下运行时, 机轴上所输出的机械功率, 又叫额定功率, 单位为 kW。

2) 额定电压 (U_N)。表示电动机定子绕组所承受的线电压值, 单位为 V。

3) 额定频率 (f)。表示通入电动机交流电的频率, 单位为 Hz。我国交流电的频率为 50Hz。

4) 额定电流 (I_N)。表示电动机在额定电压和额定频率下, 其负载达到额定功率时的线电流, 单位为 A。

5) 接法。表示电动机在正常运行时, 三相定子绕组的连接方法。采取何种接

法，应按电源电压和电动机绕组的额定电压而定；电源电压是 380V，若定子各相绕组的额定电压是 220V，则应作星形（Y）连接；若定于各相绕组的额定电压为 380V，则应接成三角形（ Δ ）。必须按电动机铭牌规定的接法进行连接。

6) 额定转速（ n_N ）。表示在额定电压、额定频率和额定功率情况下，转子每分钟的转数，单位为 r/min。

7) 绝缘等级。表示电动机所使用绝缘材料耐热性能的等级，分为 A、B、E、F、H5 个等级。

8) 温升。表示铁芯和绕组高于环境温度的允许温度差。其允许温度应等于温升和额定的环境温度之和。

9) 定额（工作方式）。表示电动机正常使用时，容许连续运转的时间。一般分为连续、短时与断续三种。

3. 技术指标

表示电动机运行性能的主要技术指标有：

1) 效率（ η ）。指电动机输出功率与输入功率之比，用百分数表示。效率越高则电动机损耗越小，越省电。

2) 功率因数（ $\cos\varphi$ ）。电动机在额定条件下运行输入的有功功率和视在功率的比值。一般在 0.75 ~ 0.9 间。满载时，功率因数大；轻载时，功率因数小。

3) 起动转矩（ M_{st} ）。电动机在起动时所产生的电磁力矩，单位为 $N \cdot m$ 。常用它与额定转矩的倍数来表示，说明电动机的起动性能。

4) 起动电流（ I_{st} ）。电动机在起动初瞬间的定子线电流，单位为 A。

5) 最大转矩（ M_{max} ）。电动机所能拖动最大负载而保持稳定转速的电磁力矩，单位为 $N \cdot m$ 。它为额定转矩的倍数称为电动机的过载能力。

第三节 三相异步电动机的起动

一、直接起动

1. 直接起动的要求和条件

电动机转轴从静止状态到稳定运行的过程，称为起动。异步电动机的起动方法可分为直接起动和降压起动两大类。

在定子绕组中直接施加额定电压的起动方法叫直接起动，也叫全压起动。其优点是设备简单、操作便利。

在直接起动的最初瞬间，转子切割磁力线速度最快，感生电流也最大，定子绕组的起动电流可达额定值的 5 ~ 7 倍，这会使电源电压瞬时显著降低，从而影响其他邻近设备的正常工作。为此，应根据电源变压器的容量、容许的电压波动程度、电动机的容量和起动的频繁程度等因素来决定电动机能否直接起动。

在实用中常用下式来估算

$$\frac{I_{st}}{I_N} \leq \frac{3}{4} + \frac{\text{变压器容量 (kVA)}}{\text{电动机额定功率 (kW)}} \tag{2-3}$$

式中 $\frac{I_{st}}{I_N}$ ——起动电流与额定电流的比值，称为起动电流倍数，从电动机产品样本中查取。

如能满足上式要求，则可直接起动。

判定能否直接起动，还可从表 2-1 中查出。若供电变压器容量为 500kVA，给动力和照明混合负载供电。当供电网允许的电压降为 2% 时，其允许直接起动的电动机最大功率为 23kW；当电网允许的电压降为 4% 时，则允许直接起动的电动机最大功率为 47kW。

表 2-1 确定鼠笼式电动机直接起动的经验数据

供电方式	电动机的 起动情况	供电网上允 许的电压降 (%)	供电变压器容量 (kVA)					
			100	160	315	500	800	1000
			直接起动电动机的最大功率 (kW)					
动力与照 明混合	经常起动	2	4.2	7.5	13.3	23	31	42
	不经常起动	4	8.4	15	27	47	62	34
动力专用		10	21	37	66	116	155	210

2. 用铁壳开关实现的手动直接起动

用铁壳开关实现单向运转的直接起动控制线路，如图 2-7 所示。这种起动方法一般用在 10kW 以下电动机作不频繁地手动起动，熔断器用作短路保护。

3. 用接触器实现不可逆磁力起动器的手动直接起动

图 2-8 所示为用接触器实现不可逆磁力起动器控制线路。由组合开关 QK、熔断器 FU、交流接触器 KM、热继电器 FR 的发热元件和电动机 M 组成主电路，用按钮 SB2 和 SB1、接触器线圈 KM、热继电器的动断保持触头 FR 组成控制线路。当按下起动按钮 SB1，接触器线圈 KM 得电，使其三对主触头闭合，接通三相电源使电

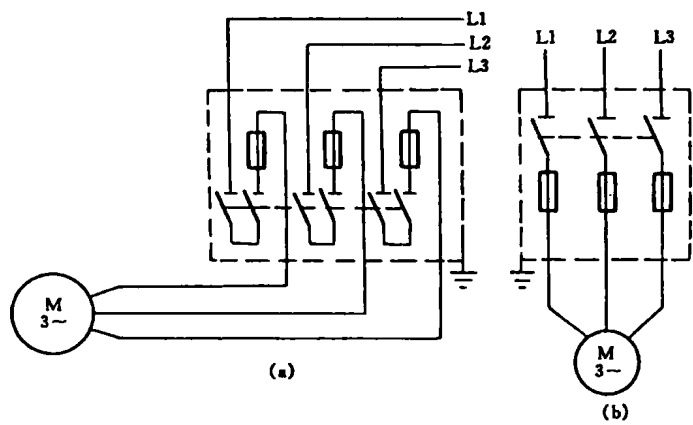


图 2-7 铁壳开关接线示意图

(a) 起动电流为 15 ~ 60A 的接线; (b) 起动电流为 100 ~ 200A 的接线

动机直接起动。此时，与起动按钮并联的接触器 KM 动合辅助触头闭合，因此松开 SB1 时仍能维持 KM 线圈有电，谓之自保。按下停止按钮 SB2，使线圈 KM 失电，主触头打开，电动机停止运转。熔断器具有短路保护作用，热继电器 FR 具有过负荷保护作用，接触器 KM 线圈本身具有欠压、失压的保护作用。

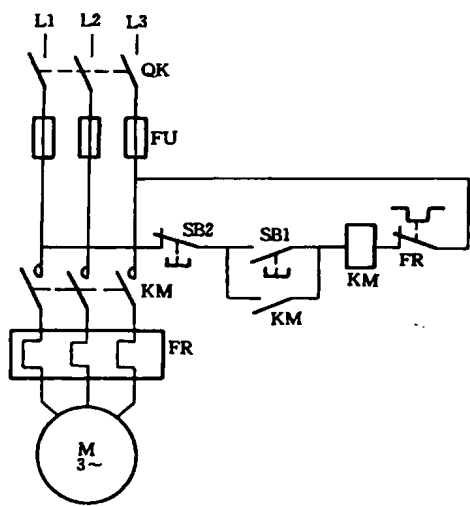


图 2-8 不可逆磁力起动器控制线路

4. 用倒顺开关实现电动机的正反向运转

图 2-9 所示为用倒顺开关实现手动控制正反转的控制原理图，静触头与接线柱相连，涂黑色的动触头是固定在与手柄同转的圆轴的圆周表面上，图 2-9 所示

为展开后的分布状况。当手柄放在“停位”时，动、静触头不接触，电动机不转。当手柄放在“顺位”时，图中上面一排静触头 L1、L2、W1 与上面一排顺向转动的动触头连接，下面一排静触头 U1、V1、L3 与下面一排顺向转动的动触头连接，使 L1—U1、L2—V1、L3—W1 接通，电动机正转。当手柄在“倒位”时，另二排动触头与上下两排静触头连接，使 L1—U1、L2—W1、L3—V1 接通，调换了其中 V1 与 W1 相的相序，电动机反转。该线路只适用于正反转不甚频繁的小功率电动机。

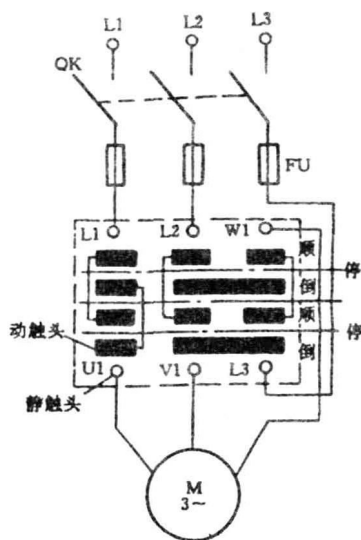


图 2-9 用倒顺开关手动控制电动机正反转的原理图

5. 用接触器触头互锁实现电动机正反向运转

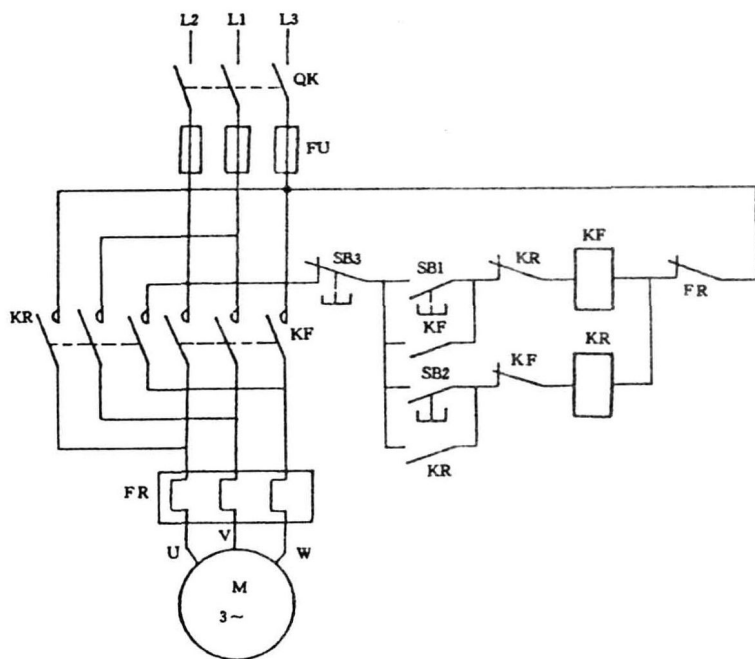


图 2-10 触头互锁的接触器正反转控制线路

图 2-10 所示为用接触器手动控制，并通过触头互锁来实现正反转的线路。接触器 KF 按 U—V—W 相序接线，KR 则调了两相序，按 W—V—U 相序接线，所以当两个接触器分别工作时，电动机旋转方向相反。为保证在同一时间内仅有一个接