

印刷电气系统



第一章 电动机的性能和使用

——美籍华裔科学家钱学森先生为我国发出了号召：加强出版事业，尽快改变目前书刊品种少，出版周期长，印刷技术落后的状况。

党的第十一次全国代表大会和第五届全国人民代表大会，规定了我国人民在社会主义革命和社会主义建设的新的发展时期的总任务，这就是：坚决贯彻执行党的十一大路线，坚持无产阶级专政下的继续革命，深入开展阶级斗争、生产斗争和科学实验三大革命运动，在本世纪内把我国建设成为农业、工业、国防和科学技术现代化的伟大的社会主义强国。

我国的印刷工业是社会主义工业的一部分。书刊印刷工业作为党的宣传工具，作为社会主义文化事业的一个组成部分，在实现新时期总任务的斗争中，它肩负着为宣传马列主义、毛泽东思想，为极大地提高整个中华民族的科学文化水平，为丰富人民群众的精神文化生活，为配合尽早实现四个现代化而更多更快地印刷好各种出版物的艰巨重任。书刊印刷工业的性质和它肩负的任务决定了它必须尽快实现印刷技术现代化，力争本世纪内赶上和超过国际先进水平。

印刷技术现代化的特征之一是印刷机械自动化。实现了自动化，繁重的手工操作才能摆脱，印制质量才能提高，印制速度才能大幅度加快，印刷成本才可大大降低。总之，广泛实现印刷机械自动化和进一步提高自动化程度，已成为实现印刷工业现代化的主要措施之一。

遵循伟大领袖毛主席关于：“自然科学是人们争取自由的一种武装。”“人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然界得到自由。”的教导，编写这本《印刷机械电气传动》，着重于帮助读者了解现有印刷机械自动化的一般原理和作用，对现有的这类印刷机械能够应用它，维修它，使之正常生产，并在熟练它的基础上，进而改革它，为创造自动化程度更高的新颖印刷机械而贡献力量。

本书内容，大体上分为“电气传动基础知识”和“印刷机械电气传动”两大部分。

本章属于基础知识之一，对印刷工业中常用的各种电动机的特性、起动、调速、制动等方面作必要的叙述。

第一节 电动机的机械特性

电动机习称马达，它的功能是将电能转变成机械能。

电动机的种类很多，本书主要介绍并激直流电动机、异步电动机和交流整流子式电动机，因为这些电动机在印刷工业中广泛应用。另外，对电磁调速异步电动机（习称滑差电动机）也将作必要叙述，因为在印刷工业中正在推广使用。

一、电动机的工作情况

并激直流电机的电动势和转矩公式如下:

$$E = C_e \phi n \quad (1-1-1)$$

$$M = C_m \phi I \quad (1-1-2)$$

式中 E ——电动势或反电动势;

M ——转矩;

I ——电枢电流;

n ——电机轴的转速;

ϕ ——磁极磁通;

C_e 和 C_m ——电机常数。

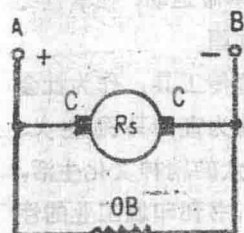


图 1-1-1

图 1-1-1 是直流并激电机的线路图, 图中符号: R_s ——电机的电枢, C ——电刷, OB ——激磁绕组, 由它产生磁通。A 和 B——电源的接线柱。如果将 A 和 B 接通直流电源, 它就作为电动机而运行。此时通电的电枢导线在磁极磁场中就受到电磁力的作用, 力的方向可由左手定则来确定。这些力使电枢产生一电磁转矩, 于是电动机就按一定的方向转动起来。

当电动机转动后, 电枢导线因切割磁力线而产生感应电动势, 由右手定则可知, 此电动势方向恰好与电枢电流方向相反, 故为一反电动势。由式(1-1-1)得

$$E_R = C_e \phi n. \quad (1-1-3)$$

由于电枢绕组中具有反电动势, 故加在电枢绕组的端电压应分为两部分: 其一用来平衡反电动势; 其二为电枢绕组的电压降。因此直流电动机的电压平衡方程式为

$$U = E_R + I_s R_s. \quad (1-1-4)$$

由此式, 求得电动机的电枢电流为

$$I_s = \frac{U - E_R}{R_s}. \quad (1-1-5)$$

如果电枢产生的电磁转矩 $M = C_m \phi I_s$ 与作用在电枢轴上的反抗转矩 M_R 相等, 则电枢以等速旋转; 如果电动机的负载增大(即 M_R 增大), 即电磁转矩小于反抗转矩 ($M < M_R$), 电动机就减速。随着转速 n 的下降, 电枢绕组的反电动势 E_R 减小, 由式(1-1-5)看出, 电流 I_s 逐渐增加, 电磁转矩也渐增大。最后, 当 $M = M_R$ 时电动机就不再减速, 而就以这较低的转速作等速转动。由此可见, 当电动机输出的机械功率增大时, 电动机消耗的电流和电功率随着增大, 但转速要下降。

如果电动机的负载减小, 即 $M_R < M$, 则转速 n 上升, 它的过程与上述情况相反。

由此可见, 直流电动机转速的变化与轴上的负载变动有关。

图 1-1-2 为可逆直流电动机的接线图。如果电动机的磁场方向不变, 要改变电动机的旋转方向, 只要改变电枢电流的方向就可以

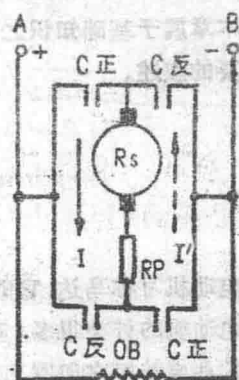


图 1-1-2

了。在图 1-1-2 中,在触头 $C_{\pm}$ 合上时,电流为 I ,方向如图中实线所示。换向时, $C_{\pm}$ 断开, $C_{\mp}$ 合上,电流为 I' ,方向如图中虚线所示。这时,负载和电动机的转子由于惯性的缘故,还是以原来方向旋转着。而磁极方向没有变,故它产生的电动势 E 仍没有变,这时电动势 E 就和外加电压方向相同,电动机在作发电机情况下运行。它将机械能转变为轴承间摩擦热能和输向电网的电能。它的电压方程为:

$$U + E = I'(R_i + R_p) \quad (1-1-6)$$

式中 R_i 为电枢的内电阻, R_p 为附加电阻,这时的电流 I' 将比工作电流 I 大好几倍。附加电阻 R_p 就是用来限制反向起动电流。由于电流 I' 和磁通 ϕ 所产生的转矩 $M = C_m \phi I'$ 与转动方向相反,故这时为一制动转矩。它将使电机和负载迅速减速一直到零。之后,再以相反的方向继续运转。在很多场合下,我们用反接电源的方法对电动机进行制动。

图 1-1-3 是另一种电动机工作于发电机状态下的情况接线图。当接触器 C 的常开触头切断电源时,由于惯性,它将继续转动。由于磁场的存在和电枢的转动,在电枢的导体内就产生电动势。因为这时常闭触头 C 已经闭合,它就在附加电阻 R_p 所构成的回路内产生电流。它的方向与电动势 E 一致,也就是与原来电流方向相反。这样,就产生了与转动方向相反的转矩。因此,电机就能很快地进行制动。它的电流大小为:

$$I = \frac{E}{R_i + R_p} \quad (1-1-7)$$

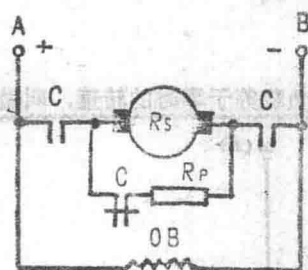


图 1-1-3

异步电动机接通到电网上去的是三相定子绕组。滑环式电动机的转子绕组可以接到外面的变阻器上去,而鼠笼式电动机是不能这样做的。异步电动机具有和并激直流电动机同样的工作特性。上述两种异步电动机,它们的激磁电流都是流过定子绕组,并且也就是负载电流。当然,在绕组中并没有流过两种不同的电流,但是其一部分是激磁电流,而另一部分就是工作电流。激磁电流建立了旋转磁场。异步电动机的转子在电动机转动时,滞后于旋转磁场,其转速小于磁场转速。在发电机工作状态下,并且联接到电网中去时,其转子转速将大于磁场转速。这时的电动势 E 与外电压同方向。这时流过电动机的电流将是很大的。故这时一定要在定子电路中接入附加电阻,以限制过大的电流。任意转换三相中的二相,就可使异步电动机反转。象直流并激电动机一样,在反接制动的过程中,系统的动能将转变成电能,所以电动机将处于发电机情况下工作。

如果在绕线式电动机的转子电路中,附加电阻比转子电阻大得多,那么,逆转开始时,附加电阻两端的电压大概将大于转子在静止时转子电压的两倍。

当异步电动机从电网切断处于发电机工作状态时,立即将定子绕组接到直流电源上去,这样,就建立了激发磁通。这时转子在磁场中旋转,它的导体将产生电动势。其实,它就是一台同步发电机。

二、并激直流电动机的机械特性

所谓电动机的机械特性,就是速度与转矩之间的函数关系 $n=f(M)$ 。

在电动机运转情况下,按式 (1-1-3) $E_{\text{反}} = C_e \phi n$ 、式 (1-1-4) $U = E_{\text{反}} + I_s R_s$ 和式 (1-1-2)

$M = C_m \phi I$ 得:

$$n = \frac{U - I_s R_s}{C_e \phi} = \frac{U}{C_e \phi} - \frac{R_1 + R_p}{C_e \phi C_m \psi} M \quad (1-1-8)$$

由上式可以看出, 速度和电流或转矩之间是线性函数的关系。在特性曲线的图上是一条直线。它可由两点来决定:

若 $M=0$,

$$n = n_0 = \frac{U}{C_e \phi} \quad (1-1-9)$$

又若 $n=0$, $R_p=0$,

$$M_0 = \frac{C_m \phi U}{R_1} \quad (1-1-10)$$

负载等于零时的转速, 叫做理想空载转速。当然, 事实上负载转矩不可能等于零, 真正的

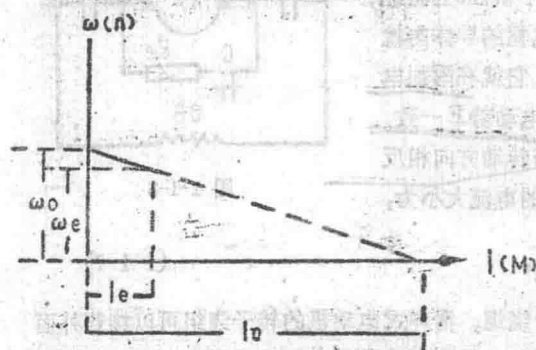


图 1-1-4 速度和电流(转矩)的关系

这种状态, 只是电动机在理想的运转情况。速度为零时的电流, 通常叫做短路电流。但是, 只有在转子电路内没有接入附加电阻 ($R_s = R_1$) 时才有这种情况。否则, 这个电流通常称作起动电流 (I_0)。

图 1-1-4 就是速度和电流或转矩之间的函数关系。图上直线的虚线部分, 实际上是虚构的。电枢本身的电阻 R_1 是很小的, 所以短路电流将大于额定电流 I_e 的 10~20 倍。所以起动时必须加入附加

电阻 R_p , 以减小起动电流。图 1-1-4 上额定电流 I_e 的部分是电动机的工作范围。这样导出的电动机的机械特性曲线是不精确的, 因为没有考虑到电枢反应和由于电流的变化而使过渡电阻改变等等的因素。但是, 在一般情况下, 这样的机械特性曲线, 已经足够准确了。

图 1-1-5 是附加电阻 R_p 在不同情况时的特性曲线。 R_p 越大, 曲线愈斜。 $R_p=0$ 时的特性曲线, 称为自然特性曲线; 其他则称为人为特性曲线。越斜, 我们称之特性曲线越软; 反之越硬。特性曲线软时, 由于电动机的负载变化, 将引起较大的转速变化。在印刷机的调速传动系统中, 为了保证工作的稳定, 我们力求减小因负载的变化而引起的转速波动, 因此要求电动机有较硬的机械特性。

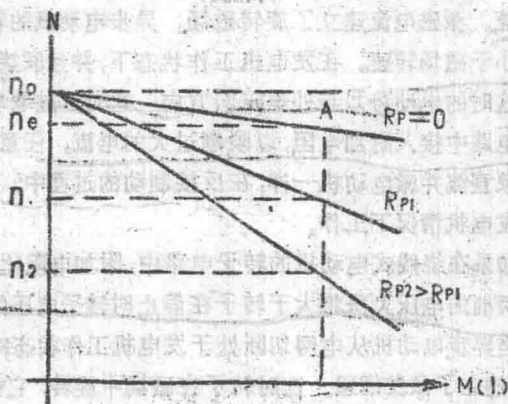


图 1-1-5 电枢电阻改变后的特性

三、异步电动机的机械特性

为了导出异步电动机的机械特性, 我们先来研究一下转差率及转子各量与转差率的关系。

同步转速 n_1 与转子转速 n_2 的差 $n_1 - n_2$, 称为相对转速。相对转速与同步转速之比, 称为异步电动机的转差率, 用 S 表示, 即:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (1-1-11)$$

转差率是分析异步电动机运转特性的一个重要数据。如果定子绕组接入电网, 旋转磁场立刻旋转, 而转子尚未转动, 此时 $n_2 = 0$, $S = 1$; 然后转子转动, 并且转速愈来愈快, 最后达到异步转速(这仅是理想的情况), 即 $n_2 = n_1$, 则 $S = 0$ 。由此可见, 转差率的变化范围是在 $0-1$ 之间。转子的转速愈高, 则转差率愈小。

三相异步电动机在额定负载时, 其转差率很小, 约为 $0.02 \sim 0.06$ 。

例: $S = 4\%$, $n_1 = 1500$ 转/分, 求异步转速 $n_2 = ?$

解: 由 $S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$, 得 $n_2 = n_1(1 - S)$ 。 (1-1-12)

$\therefore n_2 = 1500(1 - 0.04) = 1440$ 转/分。

为了进一步了解异步电动机的工作特性, 需要先来分析转子各量与转差率的关系。

(一) 转子绕组的电动势 E_2 当转子不动时(例如在起动的一瞬间), $n_2 = 0$, 转子与旋转磁场的相对转速就是 n_1 , 转子的导体就是以 n_1 的相对转速切割磁场。这时转子绕组中所产生的感应电动势 E_2 为最大, 用 E_{20} 来表示。如果转子以 n_2 的转速旋转, 则转子就以 $n_1 - n_2 = Sn_1$ 的相对转速切割磁场, 此时它的感应电动势 E_2 就是 E_{20} 的 S 倍, 即:

$$E_2 = SE_{20} \quad (1-1-13)$$

转子转得愈快, S 就愈小, E_2 也就愈小。

(二) 转子绕组中的电流频率 f_2 当转子不动时, 转子绕组就以每秒 $n_1/60$ 的相对转速切割磁场。如果旋转磁场具有 P 对磁极, 则转子的感生电动势和电流的交变频率均为

$$f_{20} = \frac{n_1}{60} P = f_1 \quad (1-1-14)$$

此式说明, 当转子不动时, 转子绕组中的电流频率与定子绕组中的电流频率相等。

如果转子以转速 n_2 旋转, 则转子绕组以每秒 $(n_1 - n_2)/60 = Sn_1/60$ 的相对转速切割磁场, 此时转子绕组中的电流频率为

$$f_2 = \frac{Sn_1}{60} P = Sf_1 \quad (1-1-15)$$

由此可见, 转子转速愈快, f_2 就愈低。

(三) 转子绕组的感抗 X_2 转子绕组不仅有电阻, 而且有感抗。转子绕组的电阻是不变的, 但感抗 X_2 随 f_2 而变, 亦即随 S 而变。当转子不动时, f_2 最高, 此时感抗最大, 用 X_{20} 表示, 即

$$X_{20} = 2\pi f_{20} L_2 = 2\pi f_1 L_2 \quad (1-1-16)$$

而转子转动后的感抗为

$$X_2 = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi S f_1 L_2 = S X_{20} \quad (1-1-17)$$

由此可见, 转子旋转得愈快, 则转子感抗愈小。

(四) 转子电流 I_2 转子电路既有电阻 R_2 , 又有感抗 X_2 , 故其阻抗为

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + (S X_{20})^2} \quad (1-1-18)$$

而转子电流为

$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{SE_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (SX_{20})^2}} \quad (1-1-19)$$

上式表明, 转子电流 I_2 随 S 的增大而增加。

(五) 转子电路的功率因数 在电阻电感电路中, 电流 I_2 要比电动势 E_2 滞后 φ_2 角, 因此, 转子电路的功率因数为

$$\cos\varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_{20})^2}} \quad (1-1-20)$$

上式表明, 转子电路的功率因数 $\cos\varphi_2$ 随 S 的增大而下降。

异步电动机的电磁转矩 M 与旋转磁场的磁通 ϕ 和转子电流的有功分量 $I_2\cos\varphi_2$ 的乘积成正比, 即

$$M = C_m \phi I_2 \cos\varphi_2 \quad (1-1-21)$$

其中 C_m 为转矩常数, 它取决于电动机本身的结构。当电源电压恒定时, 磁通 ϕ 为恒值。故异步电动机的转矩由转子电流 I_2 和转子电路的功率因数 $\cos\varphi_2$ 来决定。但 I_2 将随着 S 增大而增加, $\cos\varphi_2$ 则随着 S 的增大而下降。至于转矩 M 究竟是增大还是减, 则须分别看 I_2 和 $\cos\varphi_2$ 的增减程度而定。

为了进一步了解转矩与转差率的关系, 将式(1-1-19)和(1-1-20)代入(1-1-21)中, 即得

$$M = C_m \phi \frac{SE_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (SX_{20})^2}} \cdot \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_{20})^2}}$$

$$M = C_m \phi E_{20} \frac{SR_2}{R_2^2 + (SX_{20})^2} \quad (1-1-22)$$

由前所述, 若定子电路的电源电压 U_1 及其频率为定值, 则 ϕ 、 E_{20} 及 X_{20} 都是常数。在 R_2 不变的情况下, 电磁转矩 M 仅随转差率 S 的变化而变。因为 S 在 $0 \sim 1$ 的范围内变化, 我们用 S 不同的值代入式(1-1-22), 经过运算, 就可得出异步电动机的转矩曲线, 如图 1-1-6 所示。

整个转矩曲线包含这样两个部分。

一是 OA 部分, 二是 AB 部分。其中 M_0 为起动转矩, $M_{\max}$ 为最大转矩, M_e 为额定转矩。产生最大转矩时的转差率称为临界转差率, 用 S_L 表示。对一般异步电动机而言, S_L 约在 0.04 (大型电机) 到 0.14 (小型电机) 之间, 故 OA 部分是很陡的。现在, 我们来讨论 OA 和 AB 这两部分转矩 M 随着 S 变化的情况。

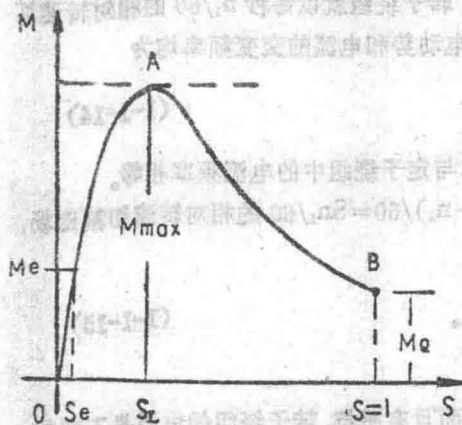


图 1-1-6 转矩特性

在 OA 部分, S 值比较小, 式(1-1-22)分母中的 $(SX_{20})^2$ 项可忽略, M 的值随着 S 的增大而增大。在 AB 部分, S 值就比较大, 分母中的 R_2^2 可忽略, 随着 S 的增大而电磁转矩却逐行地下降。

电动机在接通电源被起动的瞬间, $n_2 = 0$, $S = 1$, 这时的转矩称为起动转矩 M_0 。只要负载的反转矩 $M_x < M_0$, 则转子就转动起来, 并且逐渐加速。电动机的电磁转矩沿着 $M = f(s)$ 曲线 A 部分上升, 经过最大转矩 A 点后, 当 $M = M_x$ 时, 电机就以某一转速等速旋转。由此可见,

异步电动机一经转动之后，它就立即进入转矩曲线的OA部分稳定运行。我们称OA部分为电动机的稳定工作区域。因为当负载增大时，电动机就减速，S增大，电磁转矩就增大，一直到与负载取得平衡，电机就以一较慢的转速恒速运转。反之，就以一较快的转速转动。如果负载增加到超过了最大转矩，则电动机的转速就急剧下降，直到停转。这种情况是不允许的，因为时间一长电动机将被烧坏。因此，电动机的工作区域仅限于曲线的OA部分。

在长期持续工作的条件下，电动机轴上输出转矩的最大容许值，称为该电动机的额定转矩 M_e 。电动机的额定转矩 M_e 应小于它的最大转矩 M_{max} 。如把额定转矩规定得与最大转矩靠得很近，则电动机稍一过载，就立即停转。这就表明，电动机必须要有一定的过载能力。所谓过载能力，就是最大转矩与额定转矩的比值，用外文表示，即

$$\lambda = \frac{M_{max}}{M_e} \quad (1-1-23)$$

对异步电动机而言， λ 值一般为 1.8~3。

对于绕线式异步电动机来说，我们用增加转子电路的电阻来增加起动转矩、改变转子电路的电阻来进行调速。为了说明这些道理，我们来看转矩公式(1-1-22)。若在转子电路中接入附加电阻 R_p ，则 $R'_2 = R_2 + R_p$ 。则式(1-1-22)为

$$M = C_m \phi E_{20} \frac{S(R_2 + R_p)}{(R_2 + R_p)^2 + (SX_{20})^2} \quad (1-1-24)$$

这条曲线的最大值 M_{max} 的A点将向右移。并且用数学方法可求出，当 $S = (R_2 + R_p)/X_{20}$ 时， $M = M_{max}$ 。由图 1-1-7 的曲线可以看出，当 $R_p = R_{pA}$ 时，电动机有最大的起动转矩 $M_Q = M_{max}$ 。不过我们为了增大起动转矩，又要减小起动电流，我们一般选 $R_p = R_{pA}$ 。由图 1-1-7 还可以看出，在一定的负载转矩下，改变附加电阻 R_p 之值，就有不同的转速。由此可见，我们只要适当地选择附加电阻就能得到较大的起动转矩与较小的起动电流。适当地改变附加电阻 R_p ，就能在一定转矩下而调节转速。

在电力拖动中，为了便于分析，通常把 $M = f(s)$ 曲线改画成 $n_2 = f(M)$ 曲线，即机械特性曲线

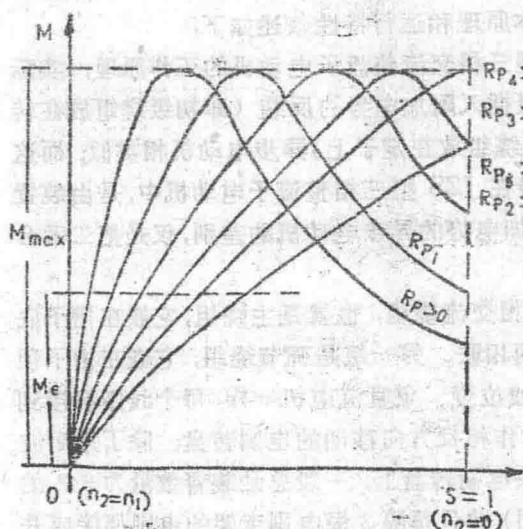


图 1-1-7 电阻改变后的转矩特性

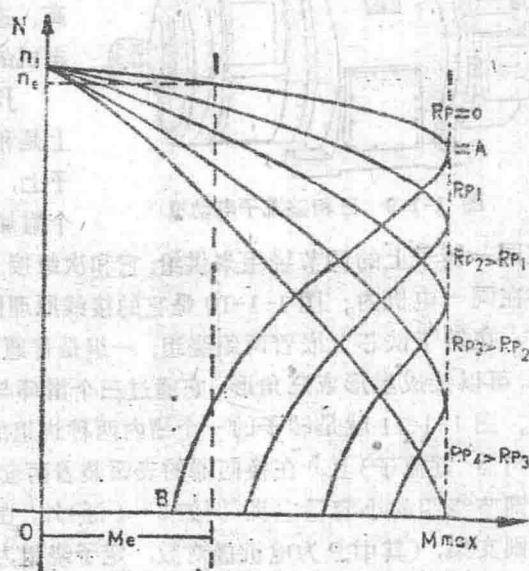


图 1-1-8 机械特性曲线

线。如果把 $M=f(s)$ 曲线中的 S 坐标换成 n_2 坐标, 并以顺时针转过 90° , 就得到机械特性曲线, 如图 1-1-8。

如前所述, 电动机仅工作在 OA 部分。在 $M=f(s)$ 曲线中, OA 部分是很陡的, 而在 $n_2=f(M)$ 曲线上来说是很平的, 也就是说, 从空载到满载时, 电动机的转速下降很少。这种机械特性, 称为硬特性。印刷机以及其他需要稳定运转的机床就要这种硬特性的电动机来拖动。

由式 1-1-22 可以看出, 当 S 一定时, M 正比于 ϕ 和 E_{20} 的乘积; 而 $\phi \propto U_1$, $E_{20} \propto U_1$, 所以 $M \propto U_1^2$ 。由此可见, 外加电压的变动对异步电动机转矩的影响较大。

综上所述, 可得如下的结论:

- (一) 异步电动机具有硬的机械特性, 即随着负载的增大而转速下降很少。
- (二) 异步电动机具有较大的过载能力。
- (三) 外加电源电压的变动对异步电动机转矩的影响较大。
- (四) 绕线式异步电动机只要在转子电路中接入适当的附加电阻, 就可增加起动转矩并减小起动电流。

(五) 对绕线式电动机来说, 随着转子电路电阻的增大。由图 1-1-8, 机械特性将愈变愈软。

四、三相交流整流子电动机的机械特性

在印刷厂中三相整流子式电动机越来越得到广泛的应用。特别是近几年由上海人民机器厂及北京人民机器厂制造的胶印机、铅印机、轮转机和凹印机的主拖动电机, 均采用上海先锋电机厂生产的 JZS 系列的三相异步整流子式变速电动机。它的外形如图 1-1-9, 这种电动机为转子馈电式, 它能在恒定转矩和规定的调速范围内作均匀的连续无级调速。它与调节电枢电压的直流变速电动机、绕线式异步电动机相比较, 不但调速范围较广, 而且具有起动性能良好、负载效率和功率因数较高、速度调节精密和安装地位经济等等优点。兹将本电机的基本原理和运行特性叙述如下:

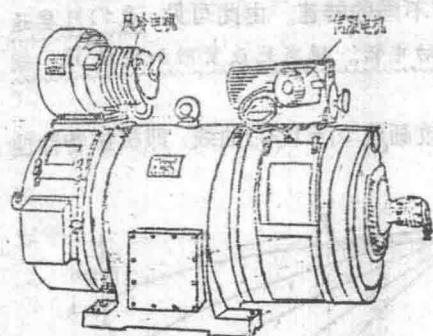


图 1-1-9 三相整流子电动机

机为转子馈电式, 它能在恒定转矩和规定的调速范围内作均匀的连续无级调速。它与调节电枢电压的直流变速电动机、绕线式异步电动机相比较, 不但调速范围较广, 而且具有起动性能良好、负载效率和功率因数较高、速度调节精密和安装地位经济等等优点。兹将本电机的基本原理和运行特性叙述如下:

JZS 型三相交流整流子电动机的工作原理, 实际上是和次级插入附加电势的反装 (即初级绕组放在转子上, 次级绕组放在定子上) 异步电动机相类似; 而这个附加电势在 JZS 型三相整流子电动机中, 是由装置

在同一转子上的调节绕组来供给; 它和次级接入附加电势的异步电动机的差别, 仅是把二者合并并在同一电机内。图 1-1-10 是它的接线原理图。

在转子铁芯上嵌着两组绕组: 一组是普通的三相交流绕组, 也就是主绕组, 它嵌在槽子底部, 可以接成星形或三角形; 它通过三个滑环与电网相联。另一组是调节绕组, 它嵌在槽子顶部。图 1-1-11 就是转子的一个槽内两种绕组的嵌线位置。象直流电机一样, 每个线圈都接到换向器 (整流子) 上。在换向器的表面装着两套可以作相反方向移动的电刷转盘; 除了采用波形调节绕组的小容量电机 (例如 3~1 瓩) 外, 在每块电刷转盘上, 一般总是装着数量为 $3P$ 的电刷支架, (其中 P 为电机极对数, 定子绕组为三相) 并且每隔 3 根电刷支架的电刷都接成并联。因此, 同一电刷盘上, 两相邻电刷支架间的夹角为 $360/3 = 120^\circ$ 的电角。至于装在每个

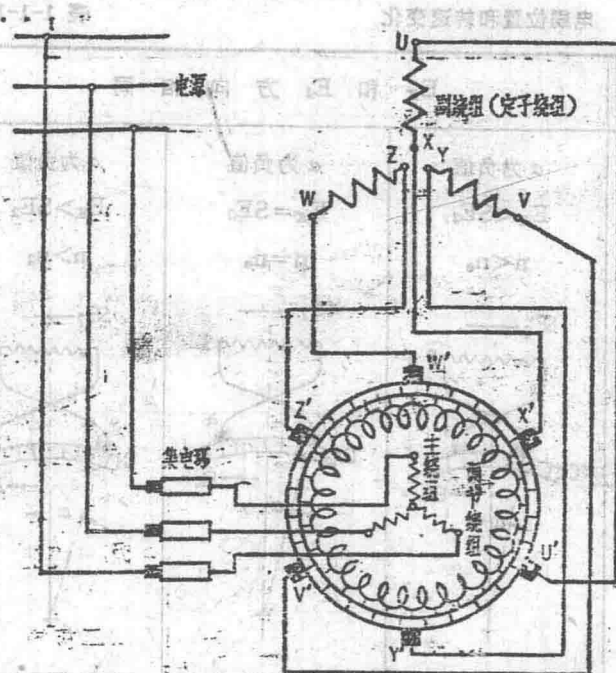


图 1-1-10 接线原理图

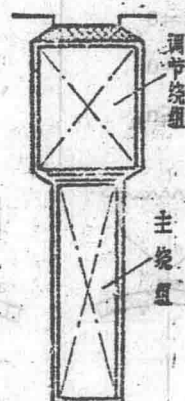


图 1-1-11 转子中的绕组

电刷支架上的电刷块数，是决定于次级绕组的每相电流，可以用一块、或二块、甚至于更多些。如图1-1-10所示的二极电机，次级相数为3，所以每块电刷转盘上装有三根电刷支架，即电刷u'、v'、w'是装在一块电刷转盘上，x'、y'、z'是装在另一块电刷转盘上。同一电刷转盘上两相邻电刷支架间的夹角是 $360^\circ/3=120^\circ$ 电角。

在定子铁芯上，只有一套普通的多相绕组S，它是电机的次级。因为这组绕组内的感应电势是由旋转磁场所感应出来的次级电压，所以它的相数可以根据电机的容量作任意的选择，有相次级绕组的首末两端，都分别接到两块电刷转盘的相应电刷支架上。这时，定子绕组的磁极轴线应和相联电刷间的调节绕组之磁极轴线相重合（在有功率因数补偿的电机中，二者间可有一个很小的偏移角）。

当二块电刷转盘上的同相电刷处于同一换向片上时，也就是同相电刷u'和x'、v'和y'、w'和z'间夹角的一半 $\alpha=0$ 时（见表1-1-1），它是一台普通的反接异步电动机，它以比同步转速稍低的转速运转。

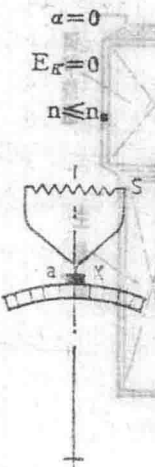
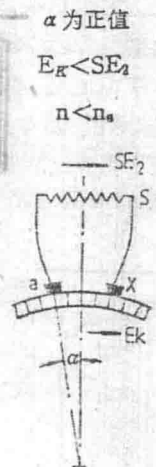
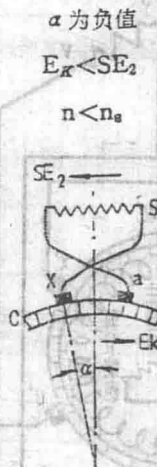
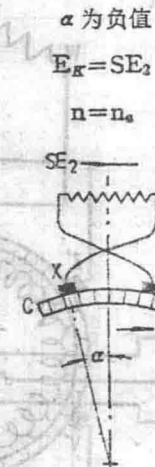
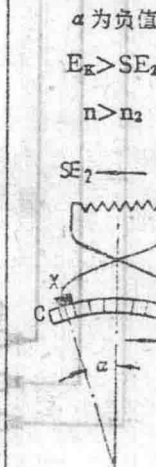
当二块电刷转盘上的同相电刷移开 α 角时，同相电刷间就有感应电势 $E_K = E_r \sin \alpha$ 出现（ E_r 是同相电刷间的最大电压）。它经过电刷和换向器换向作用后，便具有和次级电势 E_2 相同的转差频率。如果这个电势 E_K 的方向和次级绕组的电势 E_2 方向相反，则电机的转速便降低，运行在同步转速以下；当 $\alpha=90^\circ$ 时，电机的转速为最低。相反，在 E_K 和 E_2 的方向相同时，电机速度便逐渐上升，超过同步转速而运行在同步转速以上。当 $\alpha=-90^\circ$ 时，电机的转速最高。对于电刷位置和转速变化的示意图，可见表1-1-1所示。

在不考虑功率因数补偿时，电机的空载转速可用下式计算：

$$n_0 = \frac{E_2 - E_K}{E_2} n_s = \frac{E_2 - E_r \sin \alpha}{E_2} n_s \text{ 转/分} \quad (1-1-25)$$

电刷位置和转速变化

表 1-1-1

同相电刷处在同一换向片上	E_K 和 E_2 方向相反	E_K 和 E_2 方向相同		
$\alpha = 0$ $E_K = 0$ $n \leq n_s$ 	α 为正值 $E_K < SE_2$ $n < n_s$ 	α 为负值 $E_K < SE_2$ $n < n_s$ 	α 为负值 $E_K = SE_2$ $n = n_s$ 	α 为负值 $E_K > SE_2$ $n > n_s$ 
运行在比同步速度稍低的转速上	运行在同步速度以下。	运行在同步以下。	运行在同步速度。	运行在同步速度以上。
		但速度稍高于 $E_K = 0$		

注：表中的 n 为电机转速， n_s 为电机的同步速度， s 为电机的转差，在同步速度以下为正值，在同步速度以上为负值。

如果在同步速度以下要得到功率因数的补偿，那末二块转盘需要逆着电机旋转方向移过一个角度，使电刷电压 E_K 在相位上比 E_2 滞后一个相应的角度，这个角度通常在 $6 \sim 8^\circ$ ($\leq 10^\circ$) 范围内。必须指出，在功率因数补偿的情况下，电机的最低转速将有所提高，一般要比上式计算值高 $30 \sim 50$ 转/分左右。

在同步转速以上时，由于电机的转差率为负值，因此，绕组的总阻抗便将有所降低，使负载功率因数相应提高。这样，就不再需要用偏移电刷来补偿它的功率因数了。

JZS 型三相交流整流子电动机在额定电压、额定频率和任意电刷位置下都是具有并激电机的特性。其机械特性的硬度是介于直流并激电动机和异步电动机之间，自空载到额定负载范围内的变化率，在最高额定转速的电刷位置时，约为同步转速的 $5 \sim 10\%$ ；在最低额定速度的电刷位置时，约为 $8 \sim 12\%$ 。

调速范围为 $3:1$ 的整流子电动机，在最低额定转速电刷位置时，常有大于 1.4 倍额定转矩的起动转矩，而起动电流小于额定电流的 3 倍，即 $M_0 > 1.4M_e$ ， $I_0 < 3I_e$ 。对于 6 极小容量电动机， $M_0 > 2.5M_e$ 。在整个起动过程中，一般都不出现最小转矩。

整流子电动机在任何电刷位置下的机械特性曲线和异步电动机完全相似。惟在最低额定转速的电刷位置下，常因次级回路内具有较大的电阻，最大转矩常发生在起动位置。

图 1-1-12 是三相整流子交流电动机的机械特性曲线族，它们依赖于电刷的位置。当电刷的位置在同一个换向片时，它的机械特性就是普通异步电动机的机械特性(曲线 1)。

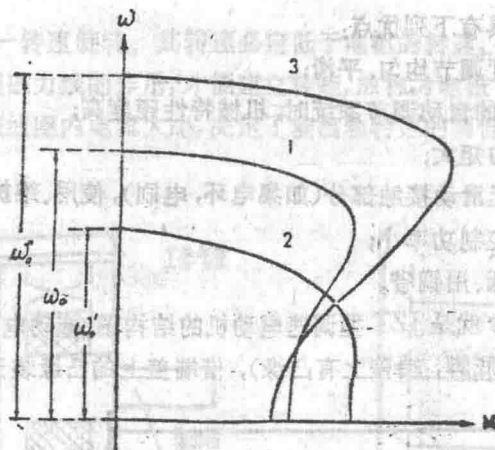


图 1-1-12 整流子电动机的机械特性

这时,理想空载转速为

$$n_0 = \frac{60f}{p}$$

式中 f ——电源的频率;
 p ——磁极对数。

当电刷的移开角 α 为正时,就能得到理想空载转速 n_0' 。当移开角为负时,则空载转速为 n_0'' 。

当电刷在最大转速相当的位置时,也就是 $\alpha = -90^\circ$ 时,电机的起动转矩不大而起动电流很大(曲线 3)。当电刷在最小速度相当的位置时,就有较大的起动转矩(曲线 2),而起动电流反比较小。故不论是胶印机、二回转机还是轮转机用整流子电机作为主电动机时,总是用低速起动的,因为笨重的印刷机总是需要较大的起动转矩来起动。

由于电机在同步转速以下采用了功率因数补偿,所以在最低额定转速下,它的功率因数可达 0.6 以上。而在最高额定速度下,不需要任何补偿,它的功率因数已在 0.98~1.0 左右了。

由于这种电动机必须自转子侧供电,所以它只能制成和运行在线路电压低于 500 伏的交流电网上。目前用于印刷机的这种电动机,一般功率均小于 10 瓩,故低于 500 伏的网路电压是足够使用了。

五、电磁调速异步电动机的机械特性

电磁调速异步电动机是最近几年新出现的电机,它也称作滑差电机。由于它具有优良的调速性能,目前已广泛地使用于国民经济各个部门里。目前印刷、印染等行业,也越来越多地用它来实现恒转矩交流无级调速。如烘版机采用这种电机调速后就能有效地控制胶膜厚度及操作方便等优点。无粉腐蚀机采用这种电机调速,可因版面的要求、药水的稠度而调节电机的速度而提高制版质量。骑马订书联动机采用这种电动机调速,可因加工书刊的要求而相应地调节转速而提高书刊装订质量。印刷机用这种电机调速,就更符合印刷工艺要求。

由上海先锋电机厂生产的 JZT 型电磁调速异步电动机是一种恒转矩的交流无级变速电动机。它由普通鼠笼式异步电动机(作为原动机)、电磁转差离合器(以下简称离合器)和电气控

制装置三部分组成。其具有下列优点:

1. 调速范围广,速度调节均匀、平滑;
2. 当有速度负反馈的自动调节系统时,机械特性硬度高;
3. 起动平滑,起动力矩大;
4. 结构简单可靠,无滑动接触部分(如集电环,电刷),使用、维护方便;
5. 控制系统简单,控制功率小;
6. 制造方便、成本低、用铜省。

1. 结构 图 1-1-13 就是 JZT 型调速电动机的结构图。拖动电动机为 JO2 型(或 JO3 型) 4 极、 T_2 结构(机座不带底脚,端盖上有凸缘),借端盖上的凸缘装于离合器机座上而成一体。

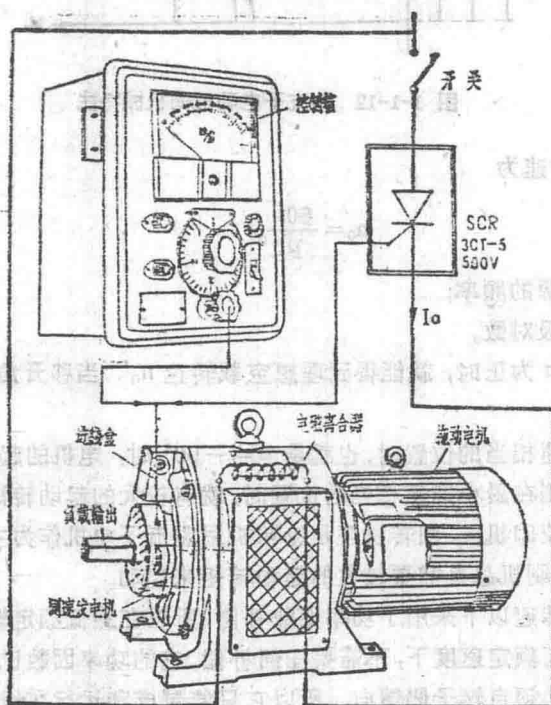


图 1-1-13 JZT 型调速电机结构图

这种型式的结构,称为组合式结构。其中电枢固定在拖动电动机的转子上,系实心圆筒形结构,电枢外表面设有散热片。它是离合器的主动转子。磁极为爪式结构,两个磁极均有若干个齿极组成数对磁极,借放在中间的隔磁环(铜质)用铆钉铆牢,成为一个整体,它与输出轴硬联接。它是离合器的从动转子。托架是圆环形结构,固定于端盖上,借两个气隙把它与磁极转子分开,用以支持激磁线圈,并作为磁路的一部分。测速发电机是一个三相交流永磁式测速发电机,其定子为三相分布绕组,转子由永久磁钢和小爪极组成。其额定数据为:功率 5 瓦,转速 1500 转/分时电压约为 50 伏,频率为 200 周/秒。

2. 工作原理 JZT 型调速电动机的无级变速主要是通过离合器来完成的,其结构原理如图 1-1-14 所示。主动转子(电枢)和从动转子(磁极)之间没有机械上的硬联接。当激磁线圈内有直流电通过时,电枢和磁极间就有磁通相链。当原动机带动电枢旋转时,电枢导体切割磁力线,于是在电枢中产生涡流,这涡流与磁极的磁场相互作用产生转矩。这转矩就拖动磁极转

子依原动机同一方向以某一转速旋转。其转速必定低于电枢的转速，因为只有两个转子的转速有差值时，它们才有切割磁力线的作用，才能建立转矩，故称为电磁“转差”离合器。

在某一负载时，激磁线圈内电流大小，决定了输出轴转速的高低，激磁电流越大，转速越高，反之则小。

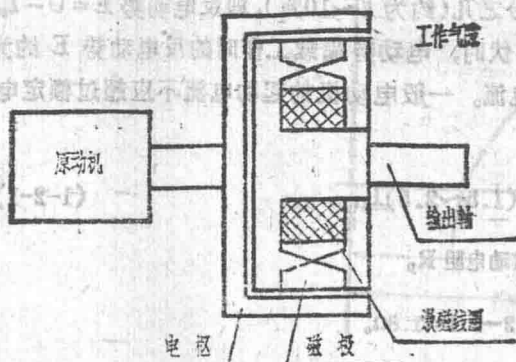


图 1-1-14 转差离合器结构图

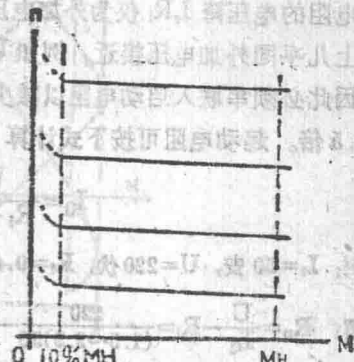


图 1-1-15 调速电机的机械特性

3. 机械特性 配有速度负反馈控制装置的调速电动机，在各种速度下的机械特性如图 1-1-15 所示。用以表示机械特性硬度的指标是转速变化率，其定义为：

$$\text{转速变化率} = \frac{10\% \text{ 负载时转速} - 100\% \text{ 负载时转速}}{100\% \text{ 负载时转速}} \times 100\% \quad (1-1-26)$$

由于摩擦和剩磁的存在，当负载转矩小于 10% 额定转矩时就可能失控。

4. 传递效率 在任何转速下，离合器的传递效率 $\eta = \frac{n_2}{n_1}$ ，

式中： n_2 ——离合器出轴转速，

n_1 ——拖动电机转速。

一般，离合器在高速时的传递效率为 80~85% 左右，故其最大输出功率为拖动电机额定功率的 80~85%。在调速时，随着 n_2 的降低，输出功率亦相应降低，因此这种调速电动机适用于恒转矩负载，不适用于恒功率负载。且最好长期使用在高速。效率比较高。

5. 最大转矩 在高速额定激磁电流时，最大转矩与额定转矩之比为 1.8 倍。即

$$M_{\max}/M_e = 1.8。$$

6. 起动转矩 在拖动电机先转动的情况下，离合器起动力矩与额定力矩之比为 1.8 倍，即 $M_Q/M_e = 1.8$ ；若拖动电机必须带负载起动时，则起动力矩即是拖动电机的起动力矩。

第二节 电动机的起动

所谓电动机的起动，就是将静止的转子转动。在这一节中，我们将研究印刷工业中几种常用电动机起动过程的物理量，也就是起动电流和起动转矩。由于各种电动机结构不同，它们的起动既有其共性，又有各自的特殊性。

直流电动机启动时,电枢电路中必须串联一个启动变阻器。否则,很大的启动电流将使电机烧毁。当电动机刚接上电源的瞬间,转速 $n=0$,反电动势 $E_{\text{反}}$ 也为零;而且电枢的电阻 R_a 是很小的。由式(1-1-5)可以看出,该时电流将比额定电流大好多倍,一般达 $10\sim 20$ 倍。实际上电枢电阻的电压降 $I_a R_a$ 仅为外加电压的百分之几(约为 $5\sim 10\%$),即反电动势 $E=U-I_a R_a$ 在数值上几乎同外加电压接近。例如 $U=220$ 伏时,电动势满载工作时的反电动势 E 约为 210 伏。因此必须串联入启动电阻以减少启动电流。一般电动机的启动电流不应超过额定电流的 $2\sim 2.5$ 倍。启动电阻可按下式计算

$$I_0 = \frac{U}{R_a + R_p} = (1.5 \sim 2.5) I_a \quad (1-2-1)$$

例: $I_a=50$ 安, $U=220$ 伏, $R_a=0.4\Omega$, 求启动电阻 R_p

$$\text{解: } R_p = \frac{U}{I_0} - R_a = \frac{220}{(1.5 \sim 2.5) 50} - 0.4 \approx 2.2 - 0.4 = 1.8\Omega$$

随着电动转速的升高,电动势 $E_{\text{反}}$ 逐渐升高,电枢电流相应地减小。为了保持一定的加速转矩,必须将启动电阻逐渐减小。启动完毕时,启动电阻应全部去掉。因为启动电阻是按短期使用而设计的,故不允许长期串联在电枢电路中,否则,将会发热过度而烧毁。

同时,按照转矩公式 $M_0 = C_m \phi I_0$ 看出,在额定磁通的情况下,若启动电流为额定电流的 $1.5\sim 2.5$ 倍时,启动转矩 M_0 也将增为额定转矩的 $1.5\sim 2.5$ 倍。

二、鼠笼式异步电动机的启动

异步电动机启动时,根据前节分析,启动转矩并不大,而启动电流约为额定电流的 $5\sim 7$ 倍。为了降低启动电流,对功率较大的电动机(大于 10 瓩)来说,必须有降压启动设备。因为象 10 瓩的电动机,额定线电流约为 20 安,那末启动电流就要 $100\sim 140$ 安。电动机再大,它的启动电流将更大,这将引起电网电压的波动。将影响其他用电设备的正常工作。启动时,在定子电路中串入电阻或电感、星—三角形启动和补偿器启动,实质上都是降低启动电压而减小启动电流。对于小功率的鼠笼式异步电动机,短时的启动电流对电网影响并不大,故都采用直接启动,即用闸刀开关或接触器直接启动即可。由于印刷厂用的这类电动机,都是小功率电动机,故我们这里就从略。

三、绕线式异步电动机的启动

在印刷厂中,绕线式异步电动机应用得较广泛。如前所述,绕线式电动机是用转子电路中串联电阻的方法启动,不仅减小了启动电流,同时还可加大启动转矩。对于启动静力矩较大的印刷机来说,这种电机是能满足要求的。

对于异步电动机,可按方程(1-1-23)接入转子电路各种不同的电阻时,画出它的机械特性,图 1-2-1 就是这种特性。当电阻大小改变时,最大转矩是不变的。

异步电动机的转子电流为:

$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{SE_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (SX_{20})^2}}$$

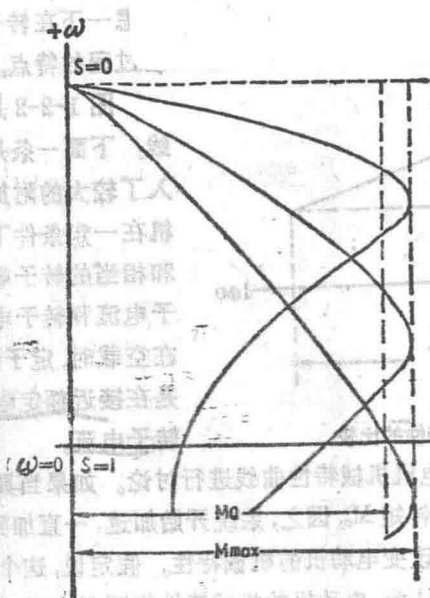


图 1-2-1 异步电机的机械特性

式中 I_2 及 E_2 ——转子每相中的电流和电势；

Z_2 及 S ——转子相阻抗和转差率。

如果分母中当 $R_2 \gg X_{20}$ 的时候，那么它可以用下式表示：

$$I_0 = \frac{E_2}{R_2} = \frac{SE_{20}}{R_2}$$

当电机静止时，滑环上的电压为：

$$U_{20} = \sqrt{3} E_{20}, \text{ (因为铭牌上标出电压为 } U_{20}\text{)}.$$

因而

$$I_{20} \approx \frac{E_{20}}{R_2} \quad (1-2-2)$$

按电机的转矩方程： $M = C_m \phi I_2 \cos \varphi_2$ 。如果阻抗中第二项比第一项小得多，那么 $\cos \varphi_2 \approx 1$ 这时转矩就正比于电流。

转子的起动电流，就是在转差率为 1 时的电流，也就是 $I_2 \approx E_{20}/R_2$ 。当 $\cos \varphi_2 \approx 1$ 时，转矩和起动转矩分别为： $M = C_m \phi I_2$ ； $M_0 = C_m \phi I_{20}$ 。这样，将两式相比：

$$(1-2-1) \quad \frac{M_0}{M} = \frac{I_{20}}{I_2} = \frac{\frac{U_2}{\sqrt{3} R}}{\frac{U_2}{\sqrt{3} R}} = \frac{1}{S}$$

$$\therefore M = SM_0 \quad (1-2-3)$$

当电压和磁通恒定时，上式就具有足够的准确性。

起动电阻可按方程(1-2-2)求出。但是在这个情况下，起动转矩要比最大转矩小一些。这种计算方法，如果不要求最大的起动转矩，是可以采用的。应当指出，为了正确的计算，必须给出较多的电动机的参数。

在求出计算起动电阻的公式以前，我们先来考虑一下在转子电路具有变阻器的电动机起动过程的特点。

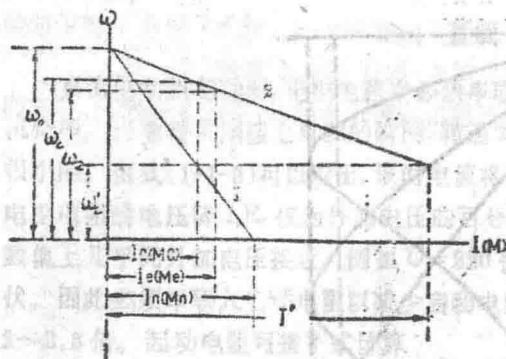


图 1-2-2 起动特性的比较

现在再对图 1-2-2 的电机机械特性曲线进行讨论。如果当具有特性曲线 1 的电动机接通电源时，其起动转矩大于反转矩 M_0 ，因之，系统开始加速，一直加到转速 $n_c'(\omega_c')$ 时为止。然后切断部分或全部电阻，使之改变电动机的机械特性。假定说，这个新的机械特性是直线 2。

当转换变阻器时，可以认为，电动机的机械特性将瞬时改变，但是由于机械系统惯性，转速不能立刻改变，在开始时，电流将是 I' 。电机的电磁转矩重新又大于负载转矩，并且系统的转速最后将达到转速 $n_c(\omega_c)$ 。上面提到的负载转矩不一定是额定转矩。当变阻器转换时，冲击电流 I' 可能达到不容许的程度，那么就必须用增大转子电路电阻的方法来改变其特性曲线 2。图 1-2-3 是电动机加速到转速为 n_c 的曲线图。这个转速可以在完全切除变阻器时得到。在这个情况下，电流 I_1 对电动机来说是允许的。理论和经验都表明，要使电流到 I_c 时再使变阻器转换是没有意义的，所以改变电流应为 I_2 。通常 I_0 大致高于 I_2 的 70%。最后计算的转速应当取电流 I_c 。

如果转矩正比于转差率，电流正比于转矩，那么转子电路中电阻的大小可以由下式来确定：

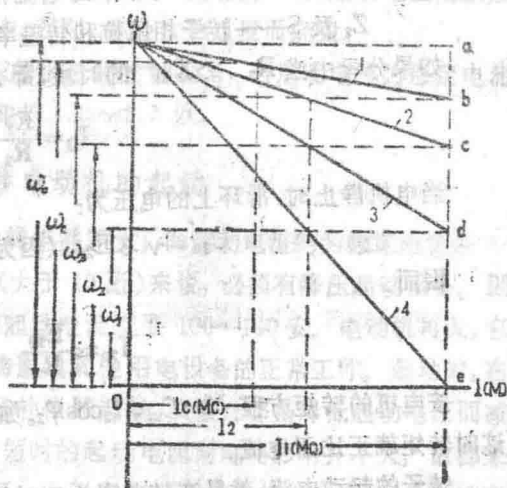


图 1-2-3 电机起动的加速过程

$$R = \frac{SU_2}{\sqrt{3}I_2} \quad (1-2-4)$$

这个式子，对各种情况下的转差率、电流、电阻来说都是正确的，因而它们对确定起动电阻来说也是有用的。

图 1-2-3 上，和机械特性 1~4 相当的电阻是 R_1, R_1, R_2, R_3 。电阻 R_1 是转子电阻，则特性 1 就相当于自然机械特性。

设起动电流对转换电流之比为：

$$I_1/I_2 = \lambda$$

在图 1-2-3 上，如果取两条相邻的机械特性曲线，和下面一条 I_2 相对应的点是上面一条