

电机拖动 37讲

吉林大学

通信工程学院自动控制教研室

- 1.掌握三相异步电动机机械特性的三种表达式（物理表达式、参数表达式、实用表达式）；
- 2.掌握三相异步电动机起动、制动、调速的不同方法及特点；
- 3.通过实例了解三相异步电动机电力拖动在实际中的应用。

实用表达式在工程中的应用:

- (1)三相异步电动机能否直接起动的判断及启动电抗器、启动电阻的计算;**
- (2)三相异步电动机的制动方式、制动电阻的计算;**
- (3)三相异步电动机的调速方式及特点。**

三相异步电动机的机械特性

机械特性的物理表达式

$$T = C_T \Phi_m I_2' \cos \varphi_2' \quad (6-1)$$

$\cos \varphi_2'$ —— 三相异步电动机的转矩系数；

C_T —— 三相异步电动机气隙每极磁通量；

Φ_m —— 转子电流折算值；

I_2' —— 转子电路的功率因数；

电动机的电磁转矩与气隙磁通和转子电流有功分量的乘积成正比，这一表达式又称为三相异步电动机的物理表达式。该表达式适用于对三相异步电动机运行进行定性分析。

三相异步电动机的机械特性

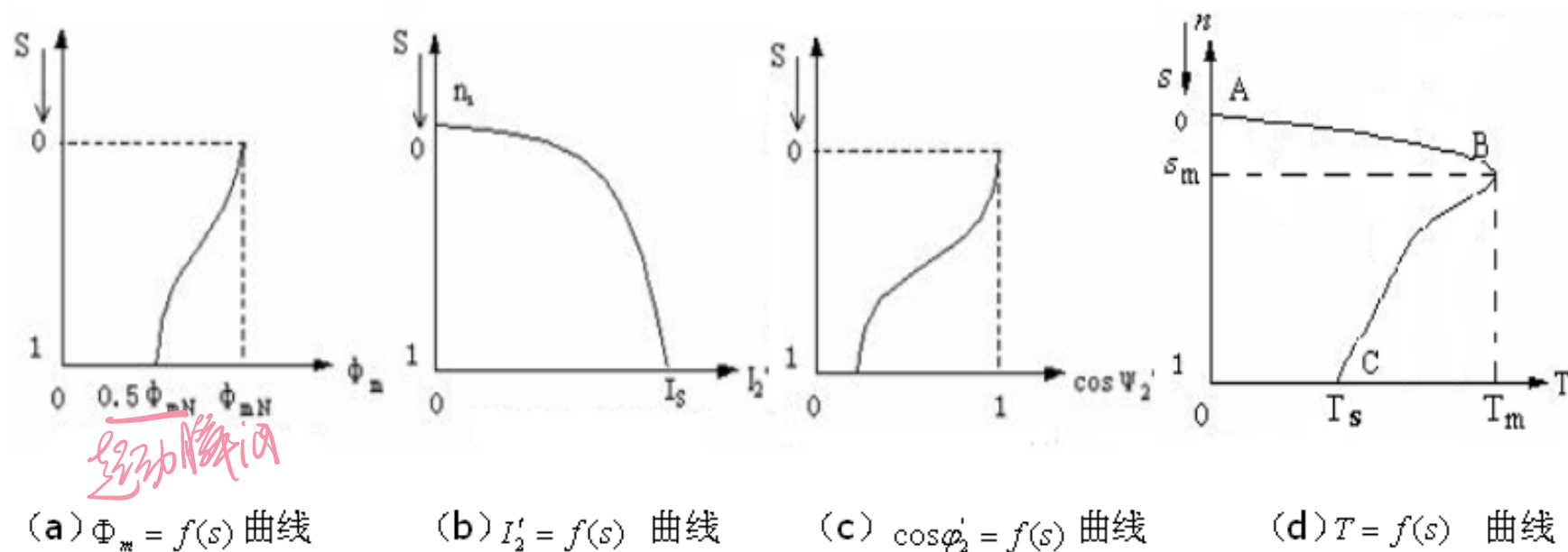


图6-1 由物理表达式绘制异步电动机机械特性曲线

n

机械特性的参数表达式

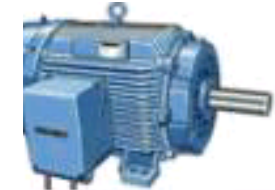
1. 参数表达式的推导

$$P_{em} = 3I_2'^2 \frac{r_2'}{s} \quad (6-2)$$

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (6-3)$$

参数表达式

$$T = \frac{P_{em}}{\Omega_1} = \frac{3I_2'^2 r_2' / s}{\frac{2\pi f_1}{p}} = \frac{3pU_1^2 r_2' / s}{2\pi f_1 [(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]} \quad (6-4)$$



电磁转矩的参数表达式

电磁转矩的参数表达式:

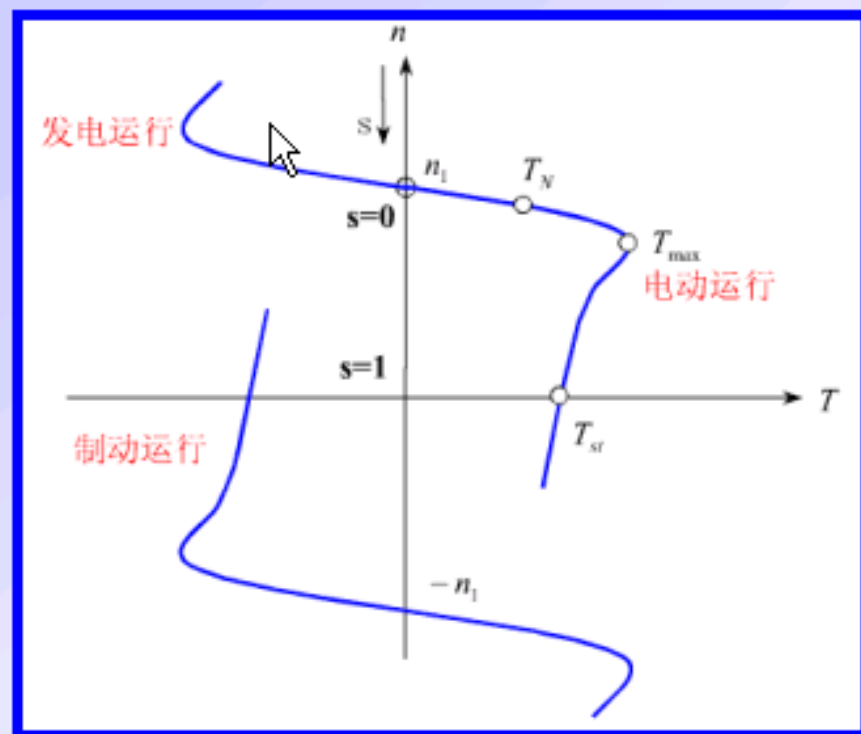
$$T = \frac{1}{2\pi f_1} \cdot \frac{m_1 p U_1^2 \frac{R'_2}{S}}{\left(R_1 + \frac{R'_2}{S}\right)^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2}$$

•电磁转矩与转速之间的关系曲线，是电动机的**机械特性**。

•几个关键点:

- 起动点
- 最大转矩点
- 额定工作点

•电动，发电，制动三种运行状态

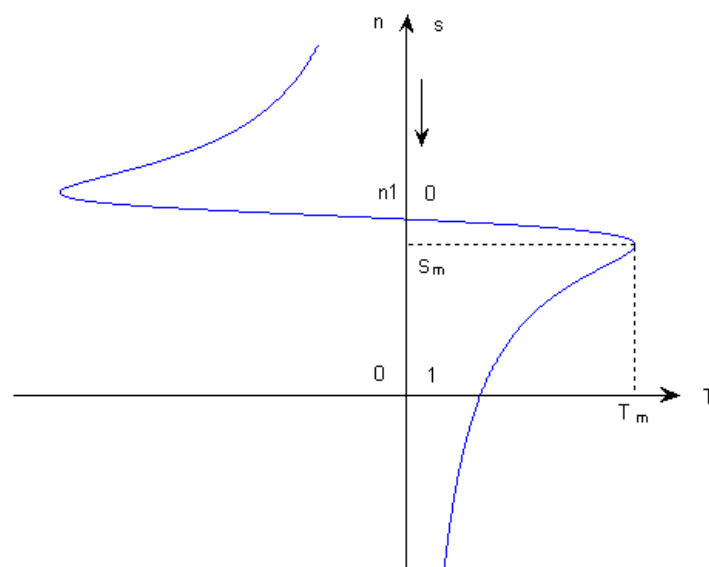


电机拖动 38讲

吉林大学

通信工程学院自动控制教研室

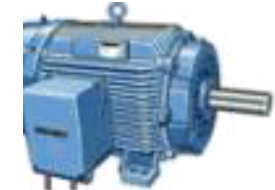
三相异步电动机的机械特性



由参数表达式绘制三相异步电动机机械特性曲线

表6-1 机械特性分析

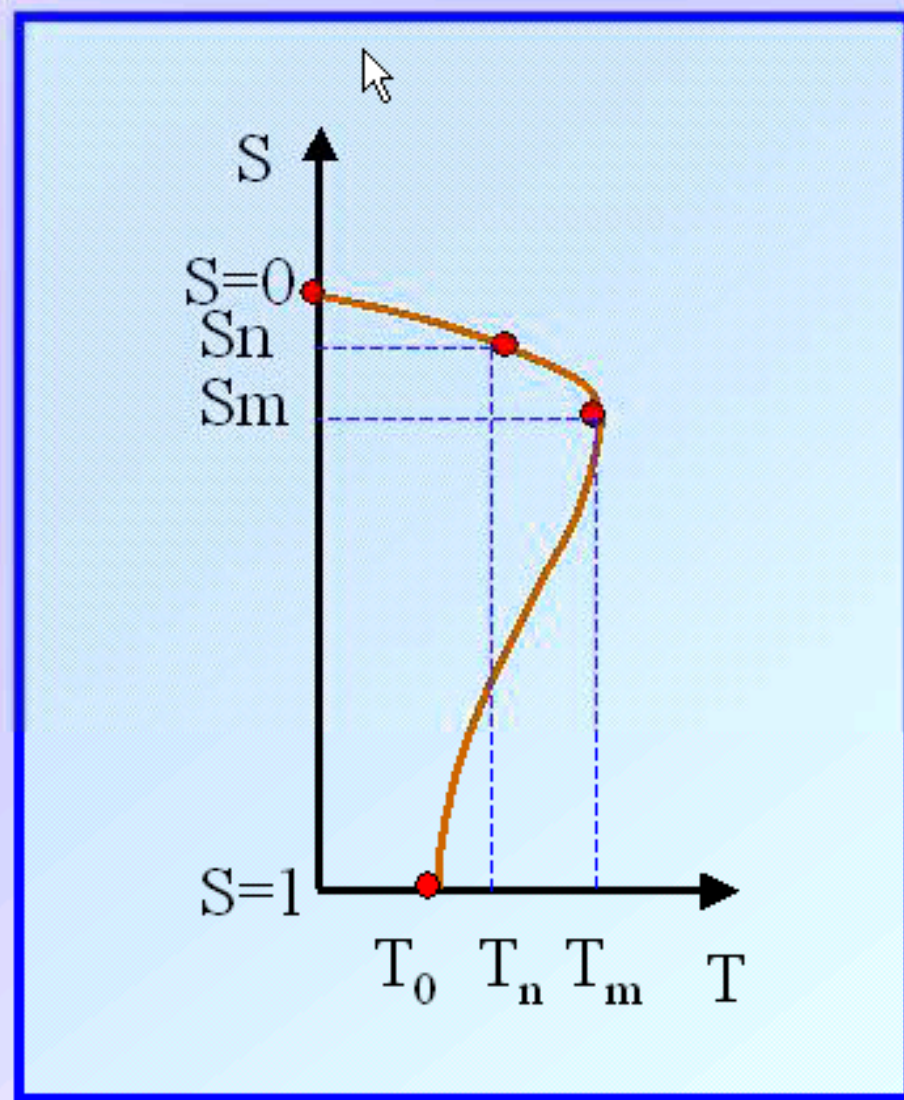
s	n <small>电动机转速</small>	T	象限	P_M	工作状态
$s < 0$	$n > n_1$	-	II	-	发电运行状态
$s > 1$	$0 \leq n < n_1$	+	I	+	电动运行状态
$0 \leq s < 1$	$n < 0$	+	IV	+	制动运行状态

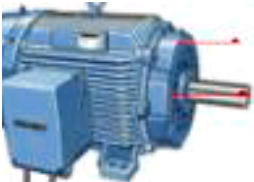


机械特性的特殊点

固有机械特性的特殊点:

1. 起动点A: 该点 $S=1$;
2. 临界点B: 该点 $S=S_m$;
3. 额定点C: 该点 $S=S_n$;
4. 同步点D: 该点 $S=0$,
又称理想空载点;





二、异步电动机的稳定运行区

稳定运行：指机组在受到暂时外界扰动之后，能自行恢复到原来稳定状态。

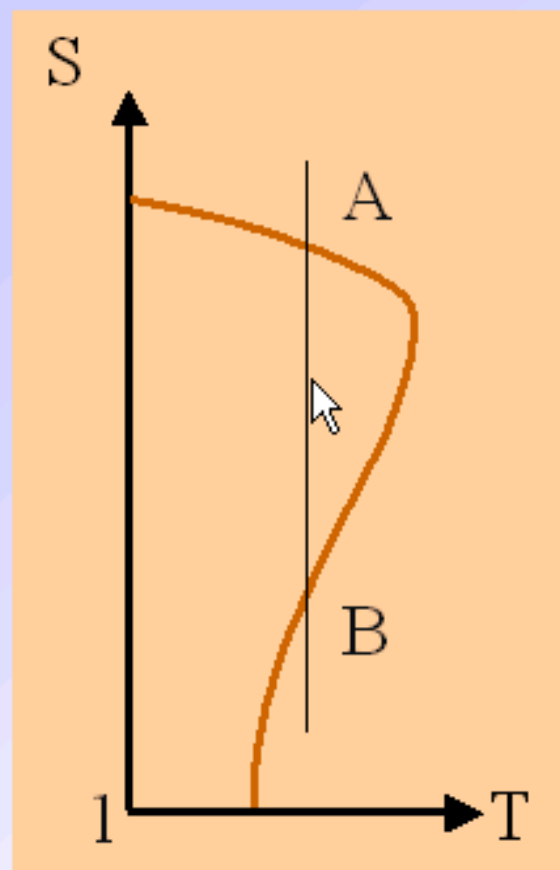
为了使机组能稳定运行，必须要求电动机的机械特性与负载的机械特性有正确的匹配。

对于恒转矩负载：

$$\frac{dM_{em}}{dn} < 0 \quad \text{是稳定的；}$$

$$\frac{dM_{em}}{dn} > 0 \quad \text{是不稳定的；}$$

$$\text{稳定的条件：} \quad \frac{dM_{em}}{dn} < \frac{dM_c}{dn}$$





最大转矩，过载能力

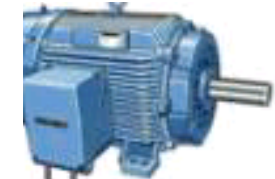
- 异步电动机的T-s曲线上有一个最高点；
- 最大转矩可以根据高等数学中求极值的方法求得。

$$\text{令: } \frac{dT}{dS} = 0 \Rightarrow S_m = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2}}$$

代入转矩公式，得

$$T_{\max} = \frac{1}{\Omega_1} \frac{m_1 U_1^2}{2 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2} \right]}$$

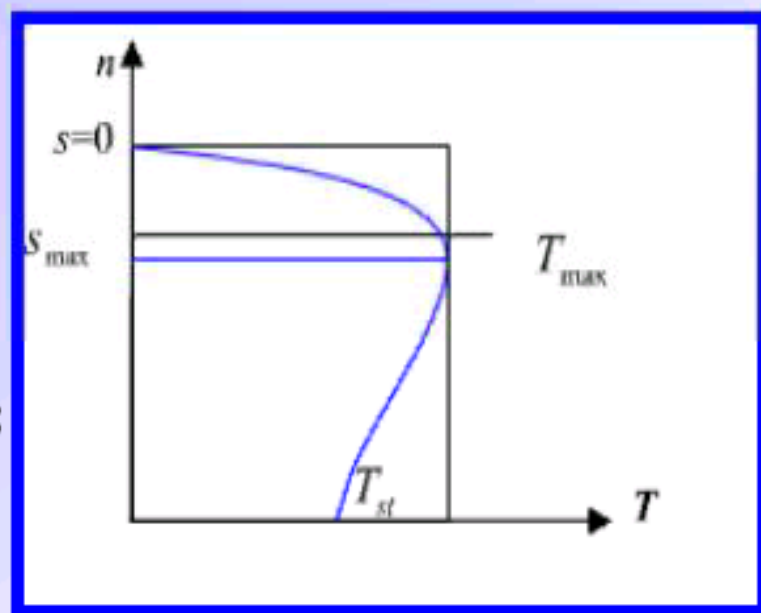
- 过载能力：最大转矩与额定转矩之比： $\lambda_m = \frac{T_{\max}}{T_N}$
(1.6~2.2)



关于最大转矩的几个重要结论

$$T_{\max} = \frac{1}{\Omega_1} \cdot \frac{m_1 U_1^2}{2 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2} \right]}$$

- 最大转矩与电网电压的平方成正比；
- 最大转矩近似与漏电抗成反比；
- 最大转矩的位置可以由转子电阻的大小来调整；
- 最大转矩的值与转子电阻值没有关系；
- 异步电动机调节转子电阻时机械特性的变化。





起动电流、起动转矩

- 起动电流指起动瞬间电机从电网吸收的电流；从等效电路求出起动电流：

$$I_{st} \approx I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2}}$$

- 起动转矩，即起动瞬间电动机的电磁转矩

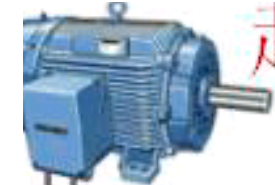
$$T_{st} = \frac{1}{\Omega_1} \frac{m_1 U_1^2 R'_2}{(R_1 + R'_2)^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2}$$

- 若令 $S_m = 1$ $R'_2 = \sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2}$

起动转矩等于最大转矩。

对于绕线式转子可通过外串电阻达到。

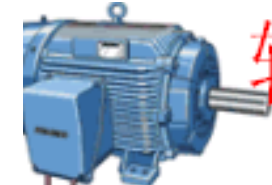




起动转矩的几个重要结论

$$T_{st} = \frac{1}{\Omega_1} \frac{m_1 U_1^2 R'_2}{(R_1 + R'_2)^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2}$$

- 异步电动机的起动转矩与电压的平方成正比；
- 总漏抗越大，起动转矩越小；
- 绕线式异步电动机可以在转子回路串入适当的电阻可以增大起动转矩；
- 当 $R'_2 = \sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2}$ 时，起动转矩最大。



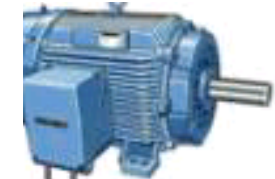
转矩的实用计算公式

通过铭牌数据求取电动机转矩的方法。

$$\frac{T}{T_{\max}} = \frac{2R'_2 \left[\pm R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2} \right]}{\pm S \left[(R_1 + \frac{R'_2}{S})^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2 \right]}$$
$$\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2} = \pm \frac{R'_2}{S_m}$$

$$\frac{T}{T_{\max}} = \frac{2}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}}$$

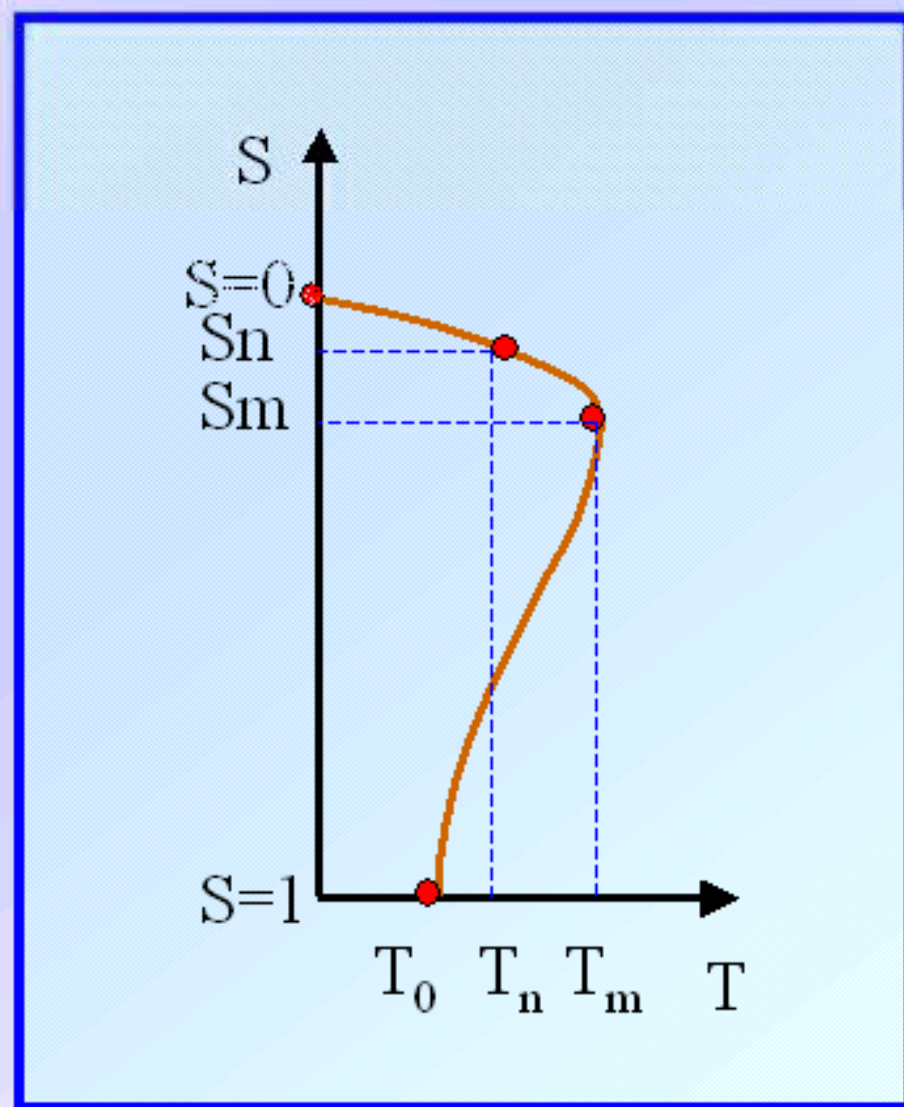
$$S_m = S_N \left(\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1} \right)$$



固有机械特性的特殊点

固有机械特性的特殊点：

1. 起动点A：该点 $S=1$ ；
2. 临界点B：该点 $S=S_m$ ；
3. 额定点C：该点 $S=S_n$ ；
4. 同步点D：该点 $S=0$ ，
又称理想空载点；



n

固有机械特性：

三相异步电动机的固有机械特性是指定子额定电压、额定频率下、按规定接线方式接线，定子、转子回路不外接电阻（电容或电感）时，所获得的机械特性曲线。

三相异步电动机的机械特性

$$T_s = \frac{3pU_1^2 r_2'^2}{2\pi f_1 [(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

同步转速点 A

$$n = n_1, s = 0, T = 0$$

额定运行点 B

$$n = n_N, s = s_N, T = T_N$$

最大转矩点 C

$$T = T_m, s = s_m, n = n_1(1 - s_m)$$

起动点 D

$$n = 0, s = 1, T = T_s$$

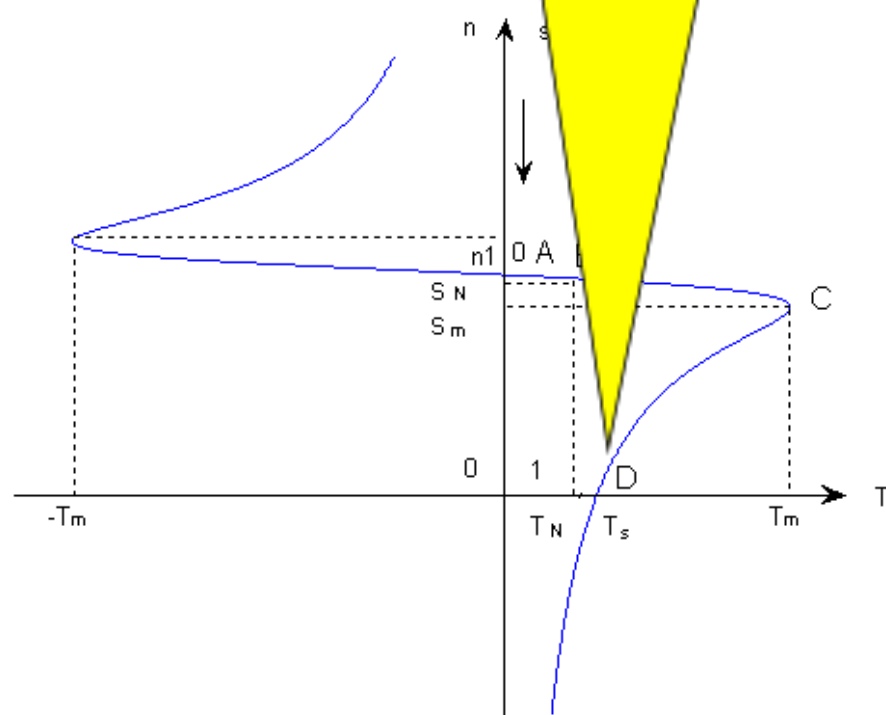


图6-3 三相异步电动机固有机机械特性

