

关于电机传动控制

第1章 概述

- 机电传动，又称电气传动、电力传动、电力拖动。
- 机电传动控制：以电动机驱动的生产机械为研究对象，研究各类电动机及其控制方法。
- 课程内容：
 - 拖动电机与控制电机
 - 接触器与开关式控制系统
 - 晶闸管与数字式控制系统

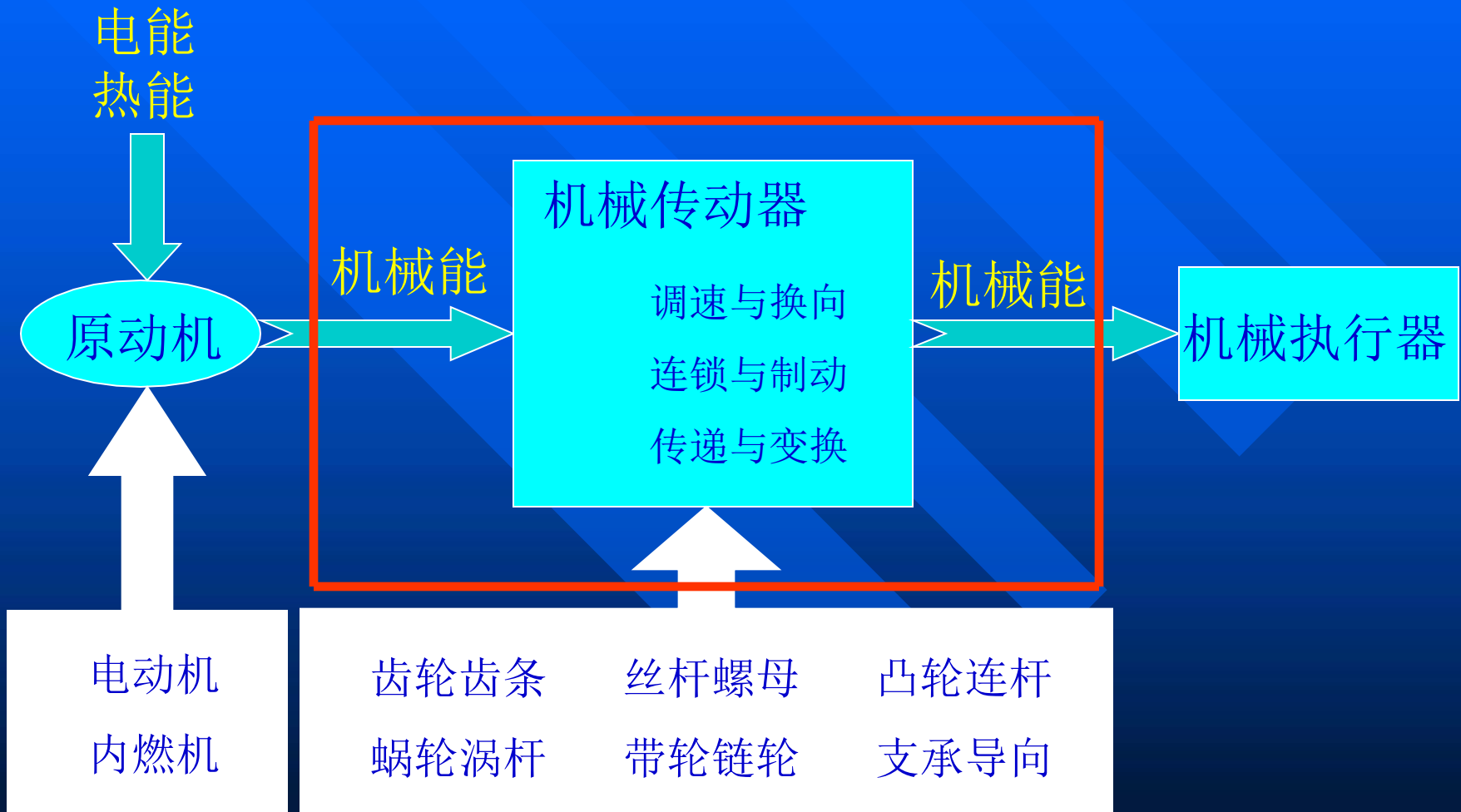
机械化——机械技术

通过对原动力的传递与控制，获取所需的运动(位移、速度、加速度)和动力(力、力矩)，实现机械做功的技术。

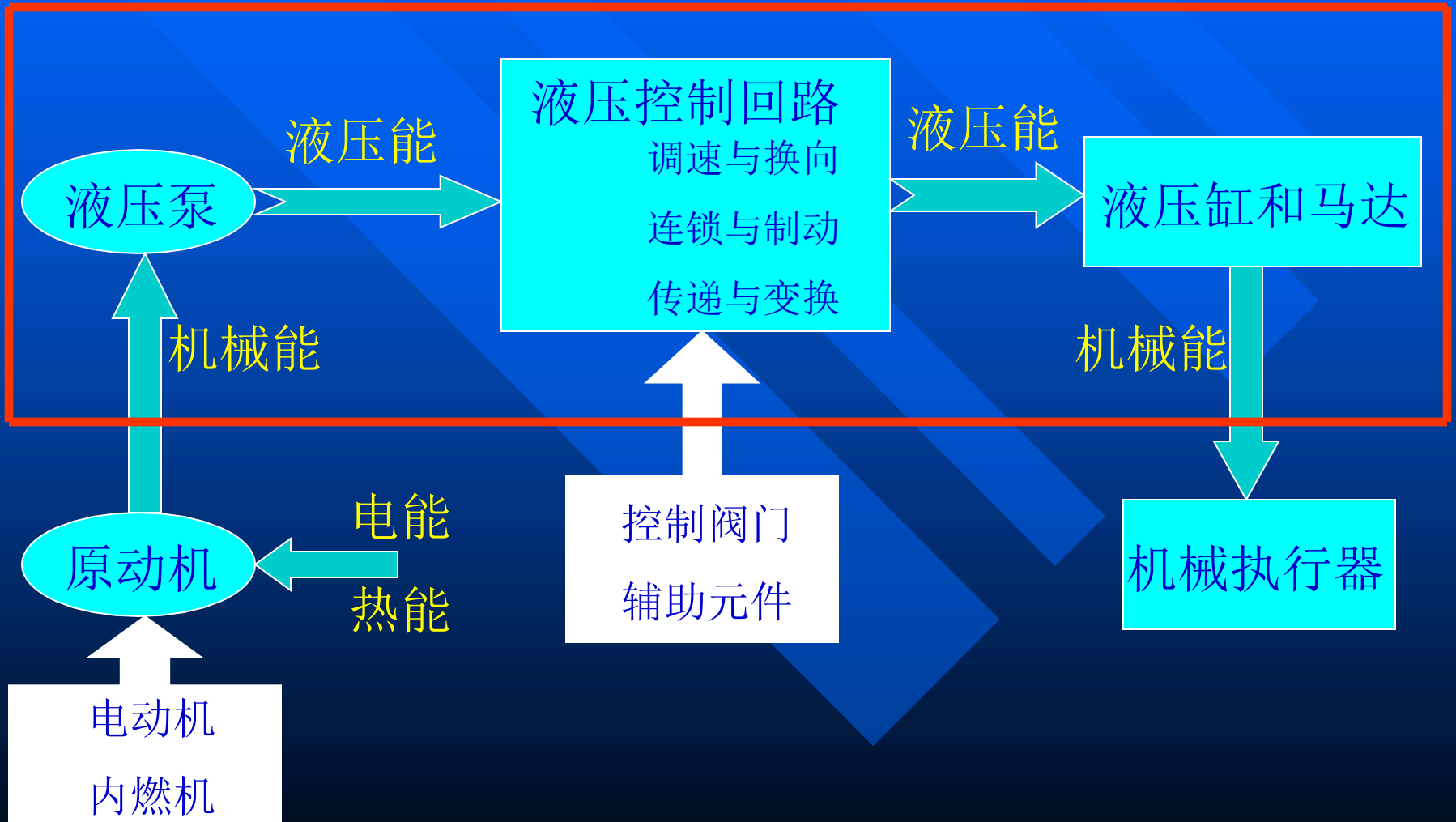
现代传动技术的三大形式：

- 机械传动
- 流体传动
- 电气传动

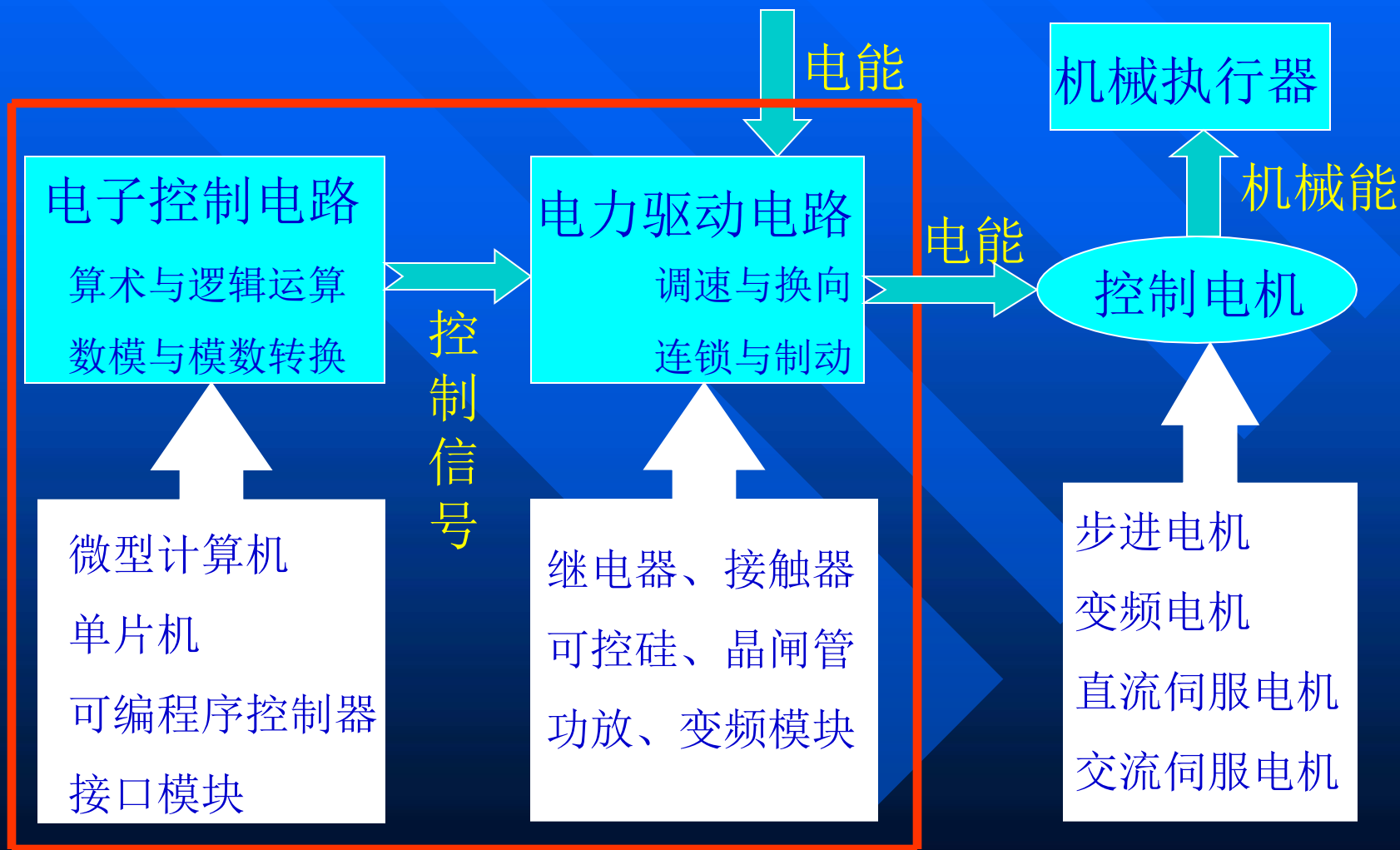
机械传动的技术特征



液压传动的技术特征



电气传动的技术特征



机电传动控制技术发展概况

- 拖动方式:

成组拖动——单电机拖动——多电机拖动

- 控制方式:

开关量——模拟量——数字量

- 元件:

接触器——电机放大机——晶闸管、功率晶体管

- 在机电一体化系统中的应用:

CNC、MC、ROBOT、FMS、CAD/CAM、CIMS

课程结构

一、机电传动系统的动力学基础

二、常用电机的工作原理及其特性：

- 1、拖动电机（直流电机、交流电机）
- 2、控制电机（控制信号的传递与转换）

三、开关量（接触器）控制系统

- 1、继电器
- 2、可编程序控制器

四、模拟量控制系统

五、数字量（晶闸管）控制系统

- 1、电子电力技术与晶闸管电路
- 2、直流传动控制系统
- 3、交流传动控制系统
- 4、步进电机传动控制系统

第2章 电机传动系统的动力学基础

■ 机电传动系统的运动方程

$$T_M - T_L = J \frac{d\omega}{dt}$$

T_L 为负载折算到电机输出轴上的负载转矩；

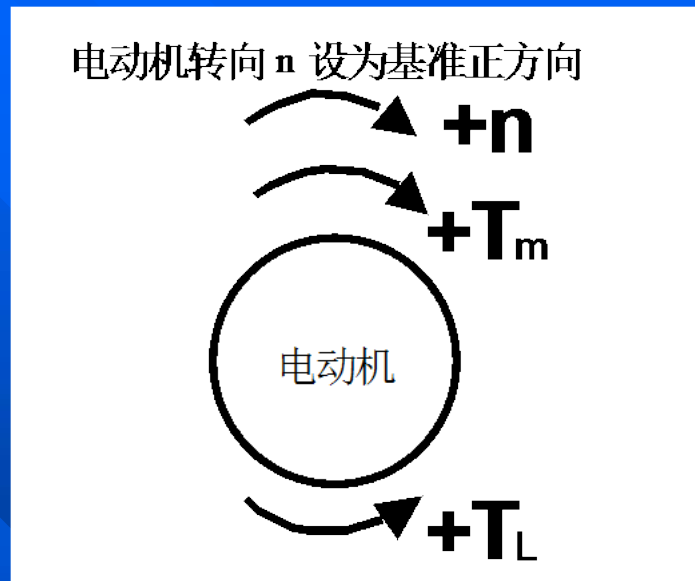
T_M 为电机的输出转矩；

J 为整个传动装置折算到电机输出轴上的转动惯量；

ω 为电机的输出转速。

T_M 使转速增加为正，称拖动转矩；使转速下降为负，称制动转矩；

T_L 使转速增加为负，称拖动转矩；使转速下降为正，称制动转矩；



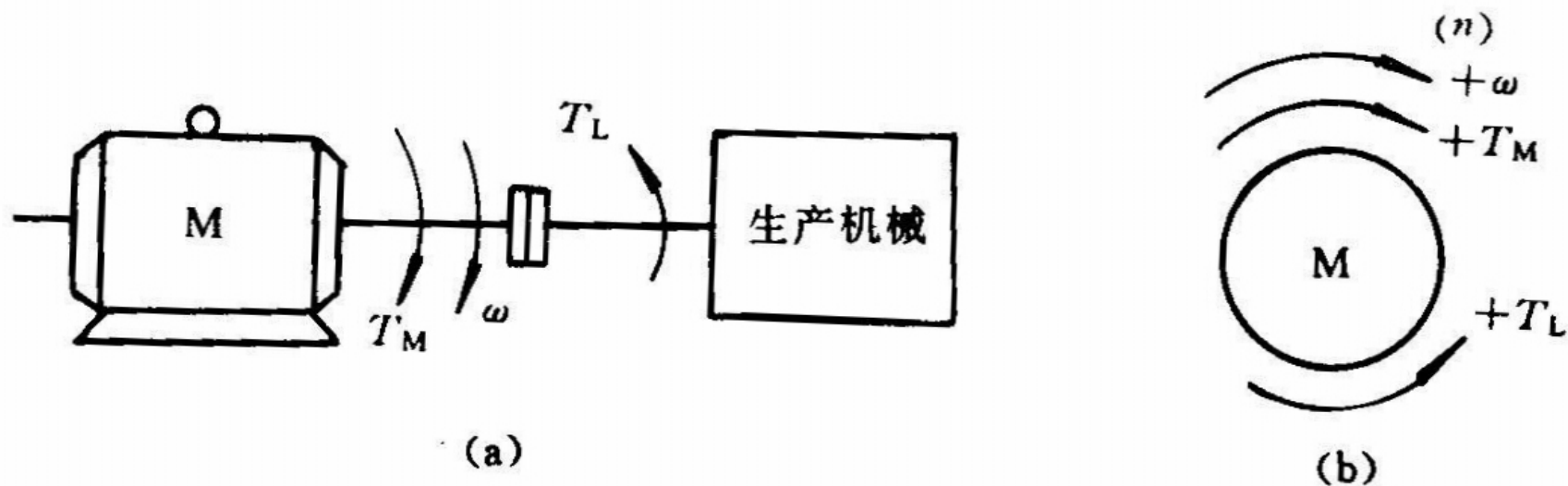


图 2.1 单轴拖动系统

(a) 传动系统图

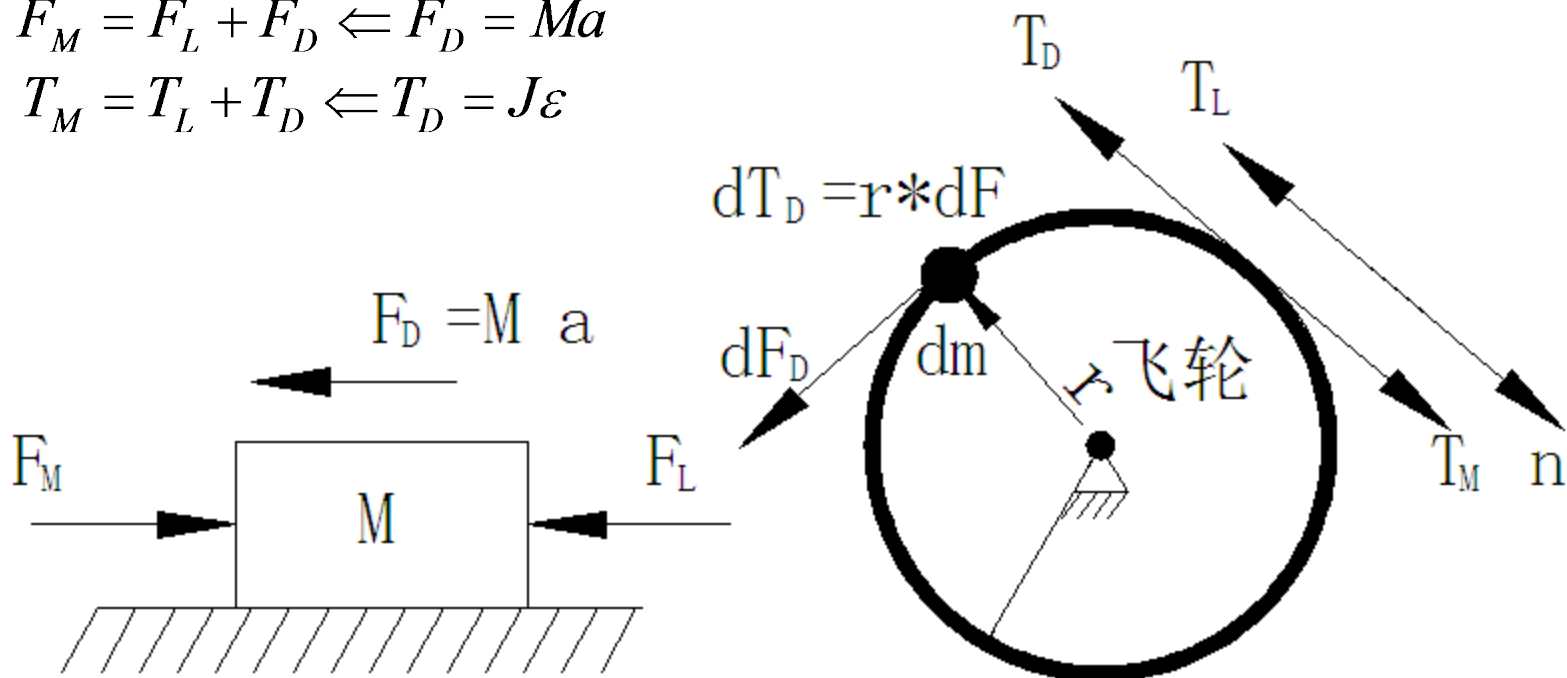
(b) 转矩、转速的正方向

$$T_{M\text{电动机}} = T_{L\text{负载}} + T_{d\text{动态}}$$

转动惯量与飞轮

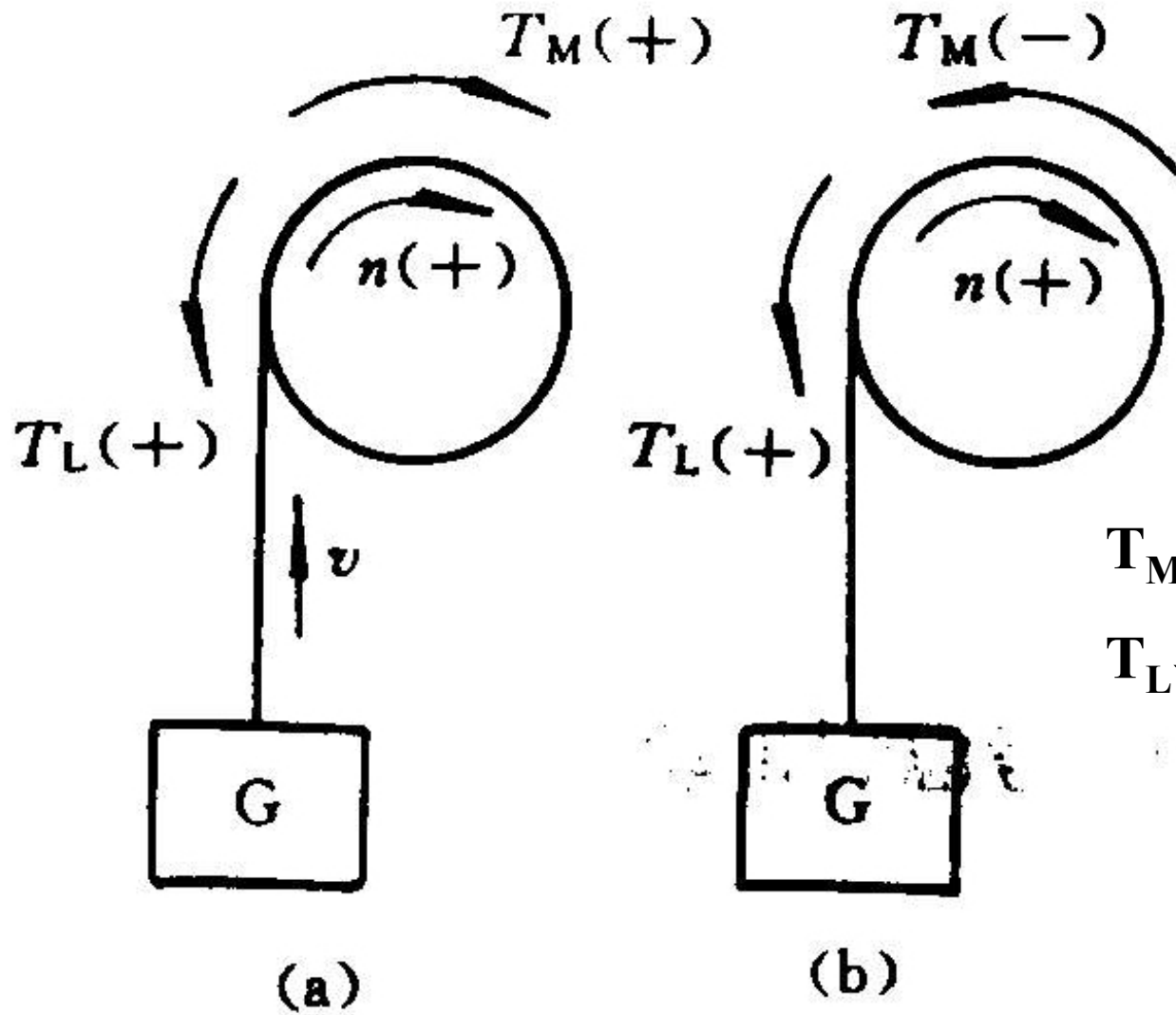
$$F_M = F_L + F_D \Leftarrow F_D = Ma$$

$$T_M = T_L + T_D \Leftarrow T_D = J\varepsilon$$



旋转运动: $T_D = \sum r dF_D = \sum r \cdot r \varepsilon \cdot dm$

$$T_D = \sum r^2 \varepsilon \cdot dm = Mr^2 \varepsilon = J\varepsilon \Leftarrow J = Mr^2$$



T_M 与转向相同为正；
 T_L 与转向相反为正。

图 2.2 T_M 、 T_L 符号的判定

(a) 启动时 (b) 制动时

$$T_M - T_L = J \frac{d\omega}{dt}$$

$$J = mD^2 / 4 \quad G = mg \quad \omega = \frac{2\pi}{60} n$$

飞轮转矩 $\{GD^2\}_{N \cdot m^2} = 4g_{m/s^2} J_{kg \cdot m^2}$

$$\{T_M\}_{N \cdot m} - \{T_L\}_{N \cdot m} = \frac{\{GD^2\}_{N \cdot m^2}}{375} \frac{d\{n\}_{r/min}}{d\{t\}_s}$$

多轴传动简化为单轴传动模型

将驱动力、动态惯性力、负载折算到一根轴上

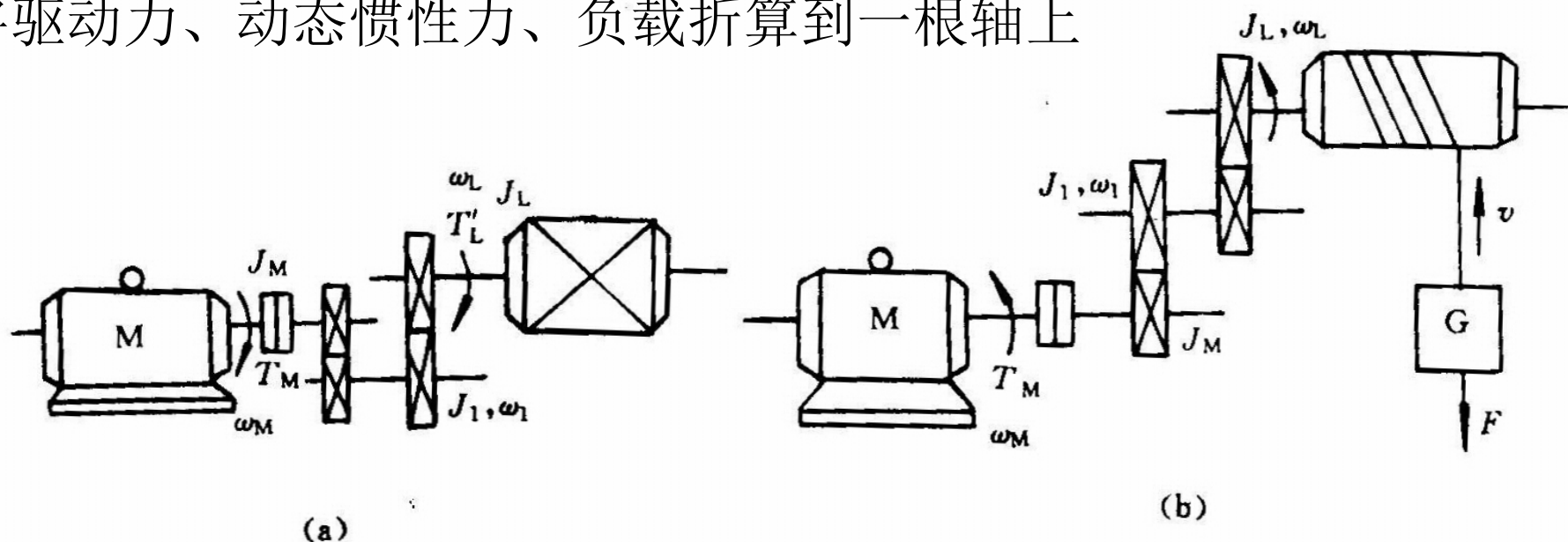


图 2.3 多轴拖动系统

(a) 旋转运动 (b) 直线运动

驱动力矩、负载力矩的折算可按杠杆原理、虚位移原理、静态下的能量守恒原理等方法折算。

动态惯性力的折算可按动能守恒原则折算。

负载转矩 T_L 的折算

- 在静态下；
- 按功率守恒。

$$T_{Z0} \cdot n_M = F_L \cdot V_L$$

$$T_{Z0} \cdot n_M = T_L \cdot n_L$$

$$j = n_M / V_L \text{ 或 } j = n_M / n_L$$

j 为传动比

$$T_{Z0} = F_L / j$$

$$T_{Z0} = T_L / j$$



考虑传动效率 η

$$\text{拖动时: } T_z = T_{Z0} / \eta$$

$$\text{制动时: } T_z = T_{Z0} \cdot \eta$$

转动惯量J的折算

按动能守恒折算

可以折算到任意一个传动环节

$$\frac{1}{2} J_Z * \omega_M^2 = \sum \frac{1}{2} J_i * \omega_i^2 + \sum \frac{1}{2} M_i v_i^2$$

$$J_Z = \sum \frac{J_i}{i_i^2} + \sum \frac{M_i}{i_{iv}^2}$$

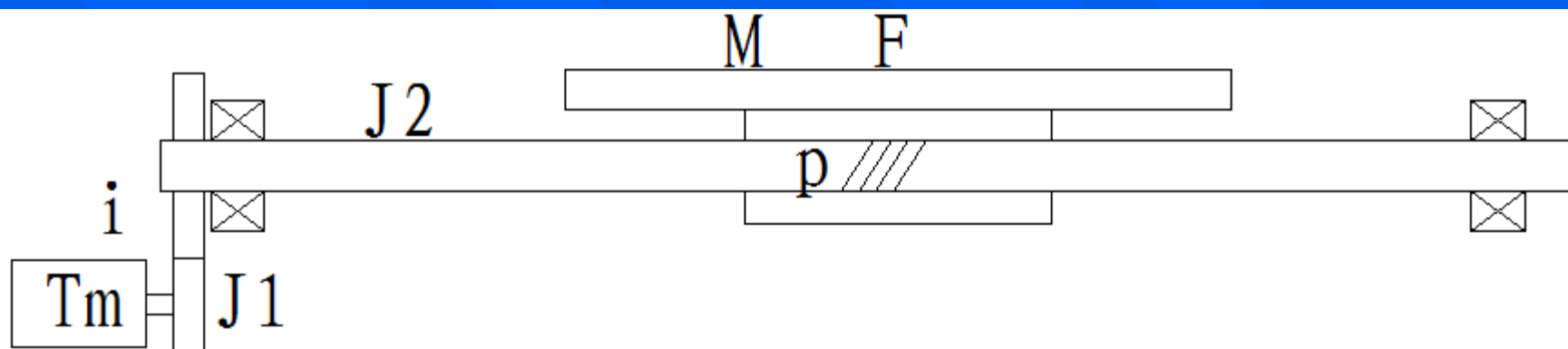
J_i 为传动装置中的各个旋转零件的转动惯量
 M_i 为传动装置中的各个直线运动零件的质量

机电传动系统的运动方程

$$T_M - T_L = J \frac{d\omega}{dt}$$

$$\{T_M\}_{N \cdot m} - \{T_L\}_{N \cdot m} = \frac{\{GD^2\}_{N \cdot m^2}}{375} \frac{d\{n\}_{r/\min}}{d\{t\}_s}$$

传动比与执行机构的加速度



$$F_z = T_m * (6.28 i / p) = C * T_m * i$$

$$M_z = M + J_1 (6.28 i / p)^2 + J_2 (6.28 / p)^2$$

$$= M + J_1 * (C * i)^2 + J_2 * C^2$$

$$a = (F_z - F) / M_z$$

$$F = 0 \quad a = F_z / M_z = C * T_m / [(M + J_2 * C^2) / i + (C^2 * i)]$$

$$(M + J_2 * C^2) / i = C^2 * i \quad i = (M / C^2) + J_2 \quad a_{\text{最大}}$$

生产机械的机械特性

■ 负载转矩与转速之间的函数关系

1、恒转矩机械特性：负载转矩恒定。

反抗转矩（摩擦转矩）：由摩擦、非弹性体的压缩、拉伸、扭转等产生，例如切削力，其方向与运动方向 n 相反；

位能转矩：由物体的重力、弹性体的压缩、拉伸、扭转等产生，例如吊重物，其方向与运动方向 n 无关。

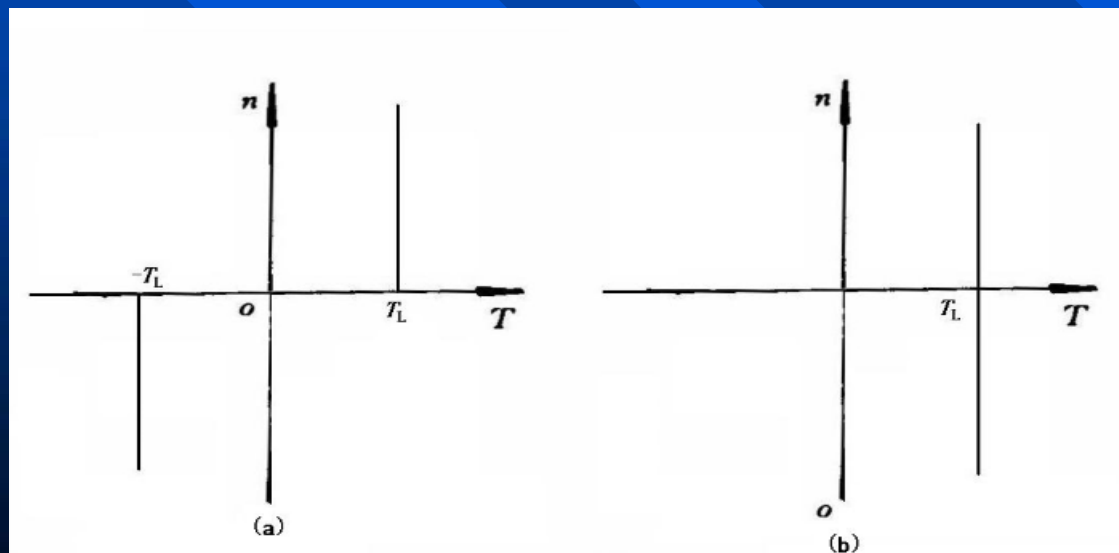


图2.4 两种恒转矩型机械特性

(a) 反抗转矩 (b) 位能转矩

生产机械的机械特性

2、离心式通风机型机械特性：

负载转矩与转速的平方成正比。

3、直线型机械特性：负载转矩与转速成正比。

4、恒功率机械特性：负载转矩与转速成反比。

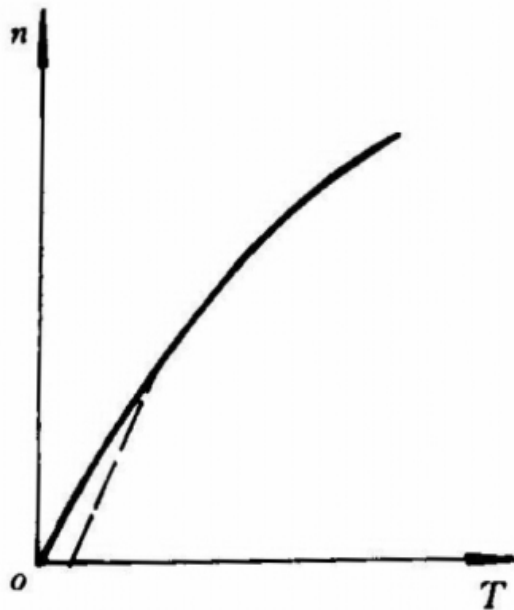


图 2.5 离心式通风机型机械特性

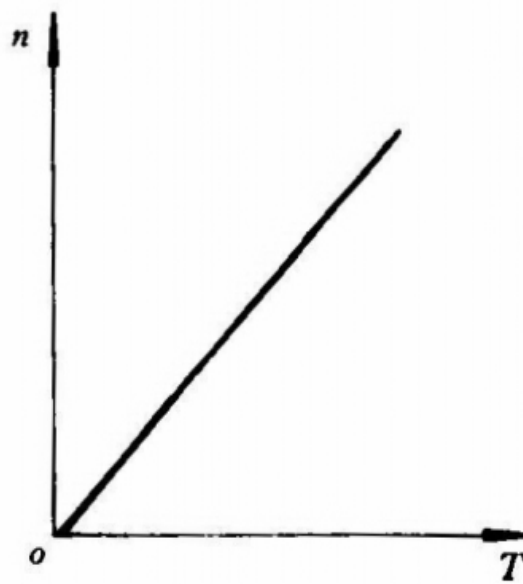


图 2.6 直线型机械特性



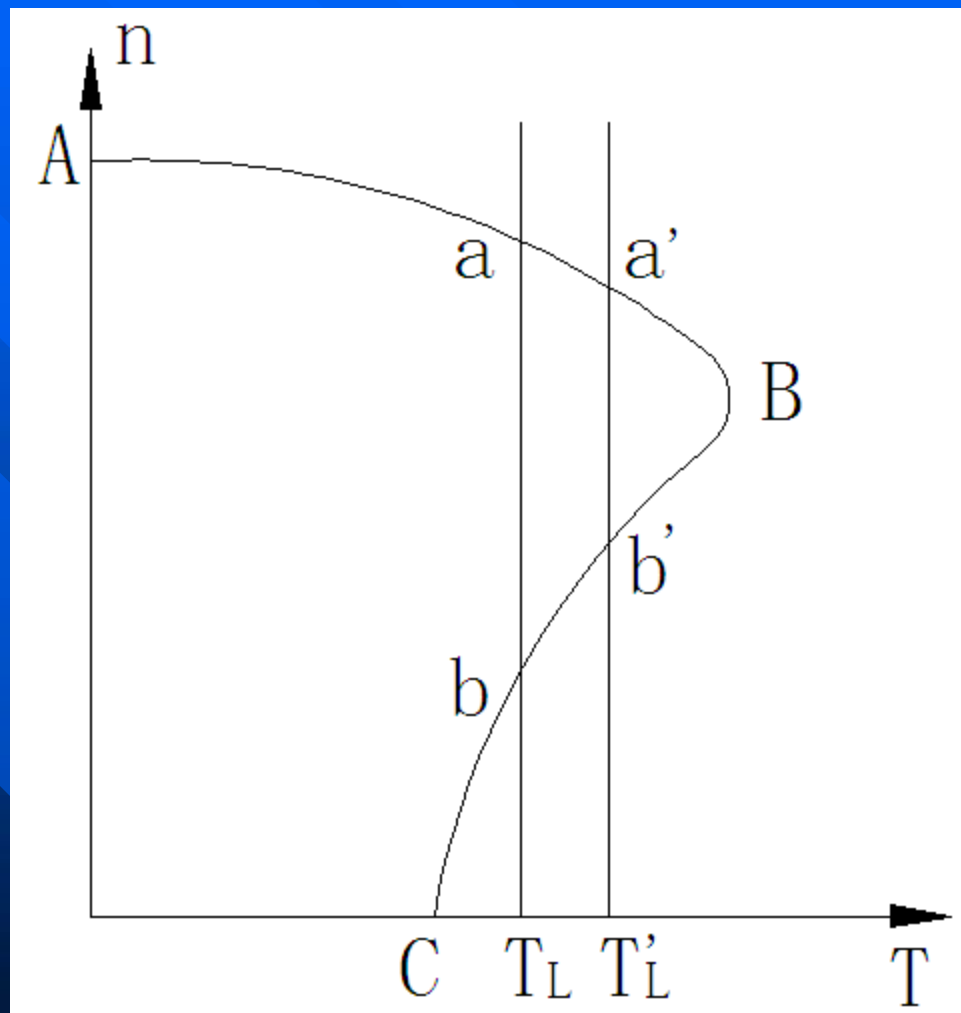
图 2.7 恒功率型机械特性

机电传动系统稳定运行的条件

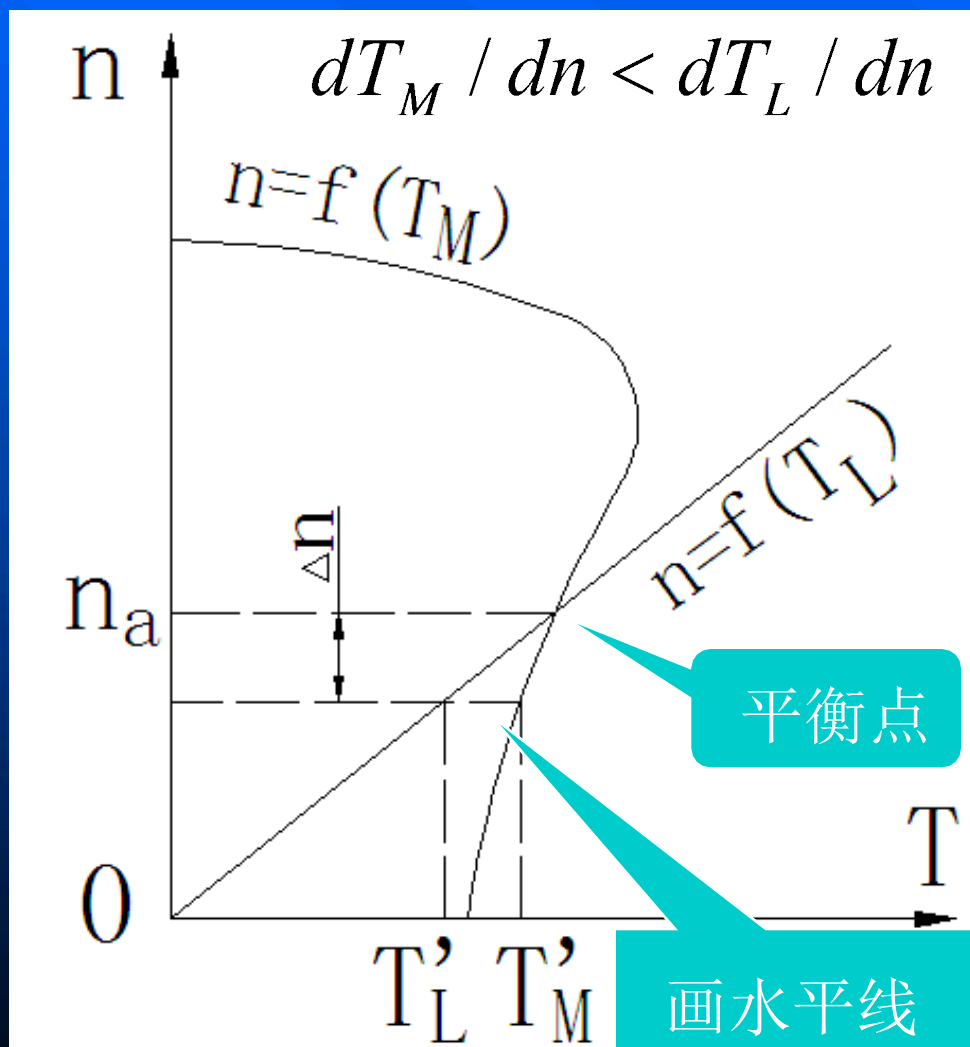
- 1、电动机和生产机械特性曲线有交点（平衡点）；
- 2、干扰负载的出现，必然造成平衡点的改变，但在干扰负载消失后，要求运行状态要返回原平衡点。

$$\text{令： } \beta = dT / dn$$

$$\beta_M - \beta_L < 0$$



机电传动系统稳定运行判断



n 干扰使转速上升，应有 $T_M < T_L$ ；

n 干扰使转速下降，应有 $T_M > T_L$ 。

作业

- 2.7、2.8、2.11

电机及拖动基础知识范畴

第3章 直流电动机的工作原理及特性

第4章 交流电动机的工作原理及特性

机电传动系统的过渡过程

第5章 控制电机

交直流伺服控制电动机、力矩电动机

微型同步电动机、测速发电机/自整角机

步进电机、直线电动机

机电传动控制系统中电动机的选择

第3章 直流电机的工作原理及特性

直流电机既可用作电动机，也可用作发电机。直流电机的构造较复杂，价格也比交流电动机昂贵，维护维修也较困难。

近年来，由于变频调速技术的发展，在中小功率的电动机调速领域中，交流电动机正逐步取代直流电动机。尽管如此，由于直流电动机具有转速稳定、便于大范围平滑调速、起动转矩较大等优点，因此，广泛用于要求进行平滑、稳定、大范围的调速或需灵活控制起动、制动的生产机械。

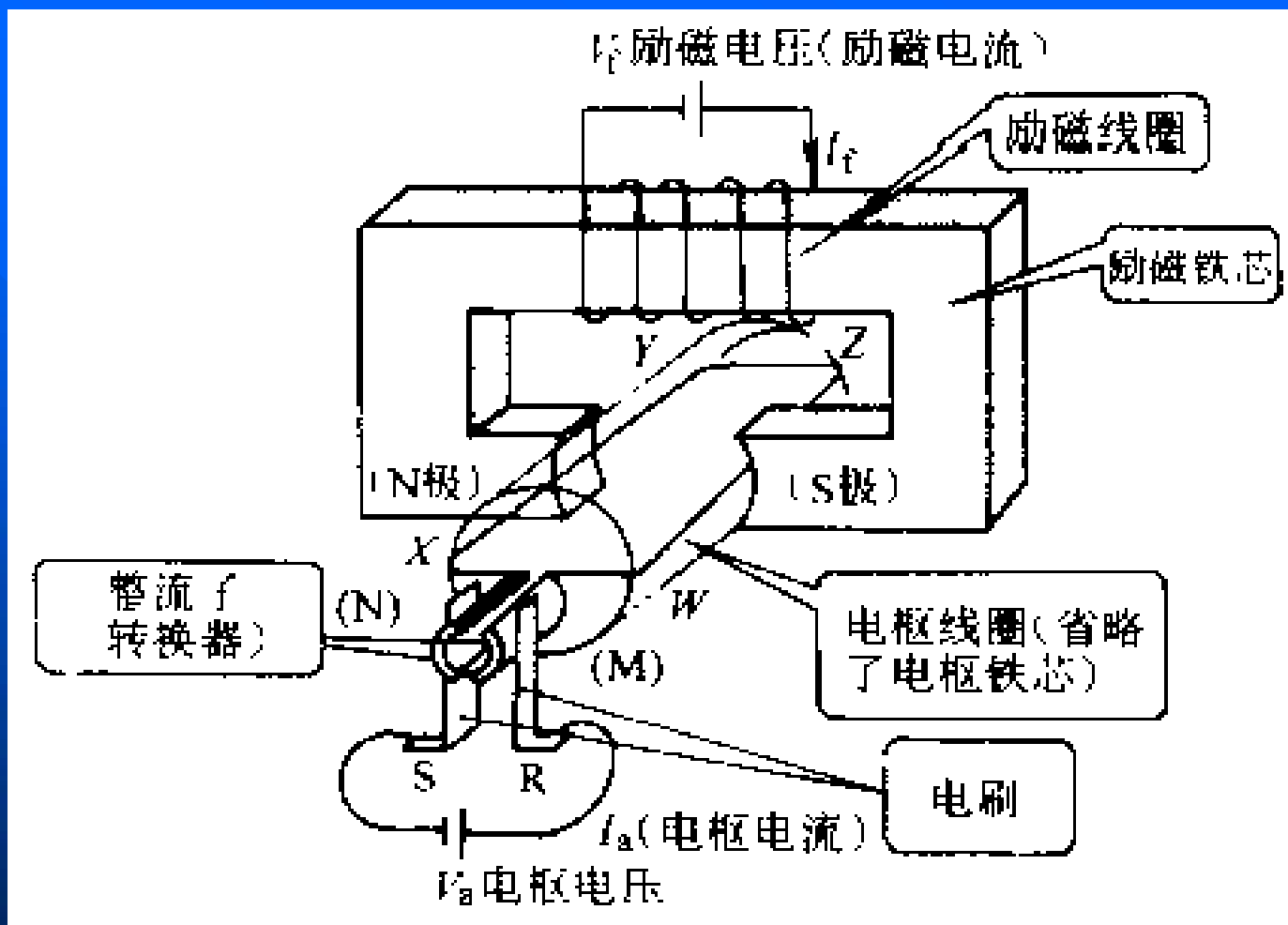
直流发电机主要用于直流电源，随着晶闸管等整流设备的广泛应用，直流发电机已逐渐被取代，但从电源的质量与可靠性来看，直流发电机仍有其优点。

直流电机的基本结构和工作原理

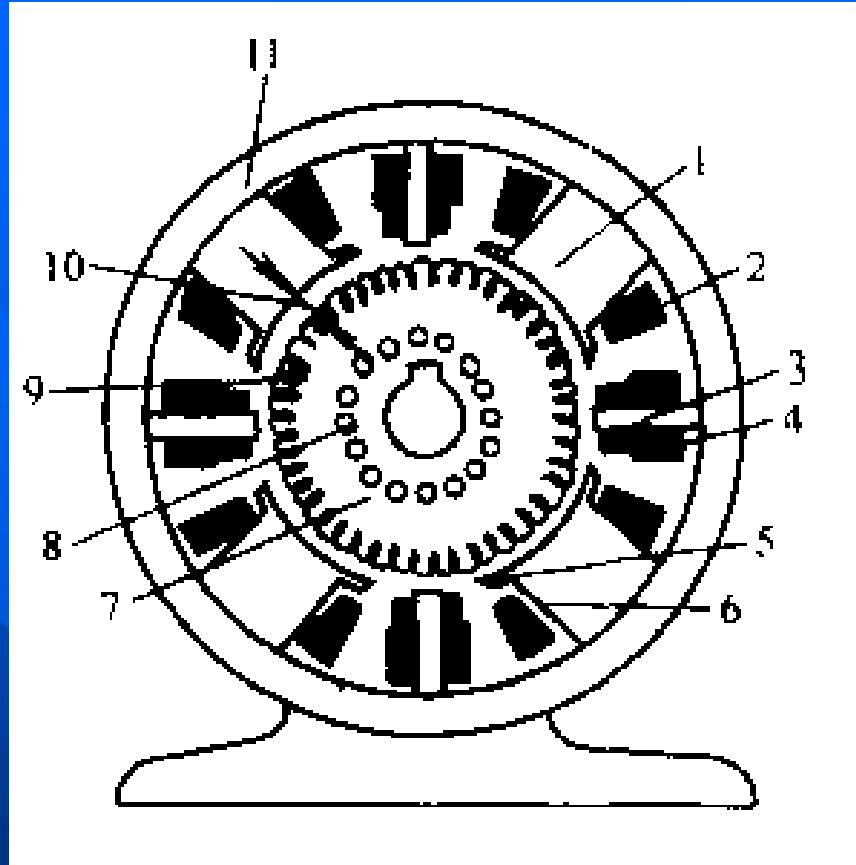
直流电机的基本工作原理是建立在电磁感应和电磁力的基础上的。见直流电机的基本构成图。

它主要定子上的**主磁极**、换向极、机座、端盖、轴承等，以及转子上的**电枢**（**电枢铁心+电枢绕组**）、**电刷及换向器**(又称**整流子或转换器**)、风扇等构成。

主磁极用于产生主磁场。在永磁式直流电机中(一般为小功率的直流电机)，磁极采用永磁材料制成。充磁后即可产生恒定磁场。在他励式直流电机中，磁极由冲压的硅钢片迭加而成，外绕励磁线圈，由外加励磁电流才能产生磁场。**电枢绕组**是产生感应电势和电磁转矩的关键部件。电枢绕组在**换向器**的配合下获得或输出极性不变的直流电源。



直流电动机的基本构成



直流电动机的截面图

1-主极； 2-励磁绕组； 3-附加极； 4-附加极绕组；
5-极掌； 6-极心； 7-电枢； 8-通份槽；
9-电枢绕组； 10-空气隙； 11-轭

电磁感应与电磁转矩

- 电磁感应：导体在磁场中运动时，导体两端将会产生感应电势 E 。（方向由右手定则确定）

$$E = K_e \Phi n$$

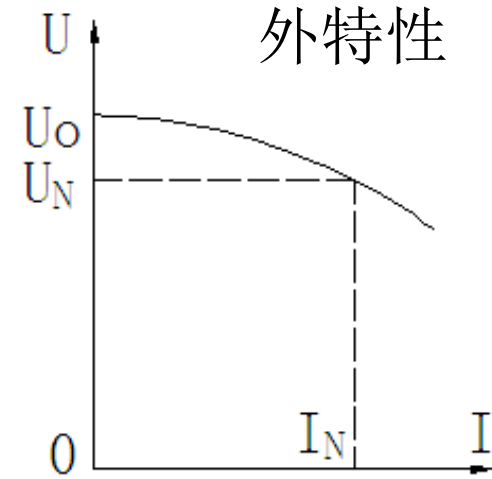
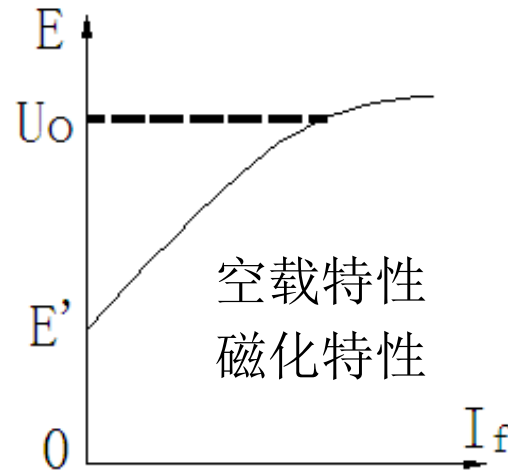
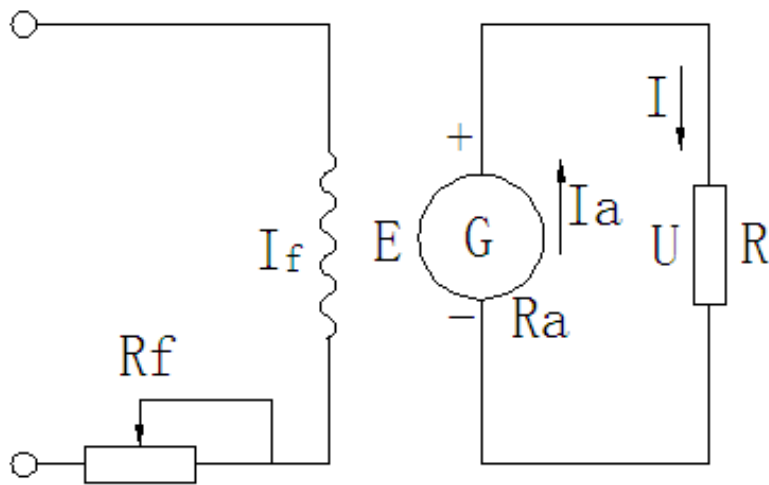
- 电磁转矩：通以电流的导体在磁场中将会受到电磁力 T 的驱动。（方向由左手定则确定）

$$T = K_t \Phi I_a$$

$$K_t = 9.55 K_e$$

直流发电机

- 直流发电机按励磁方式分为：他励、自励发电机，自励发电机分为并励、串励、复励发电机。
- 他励发电机：



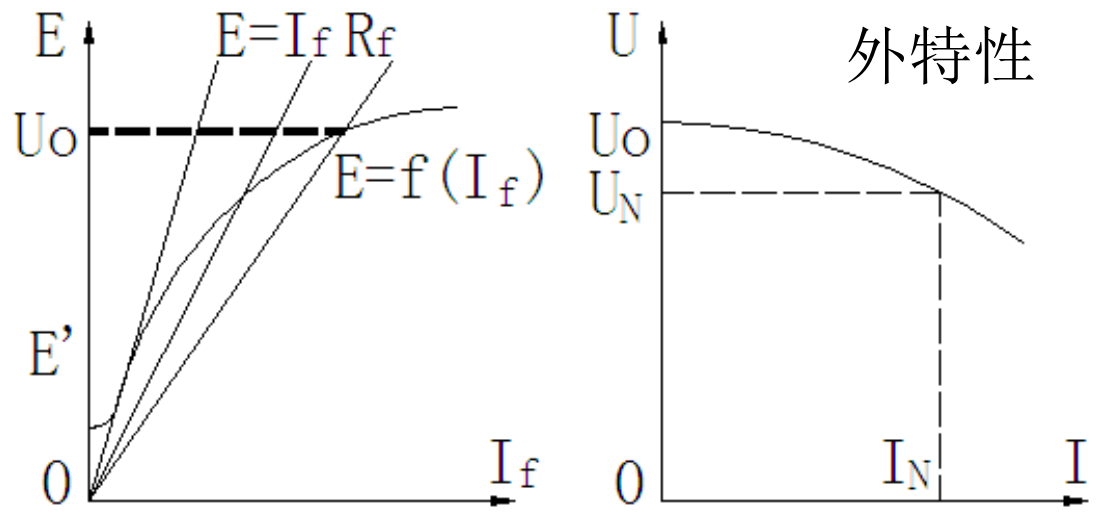
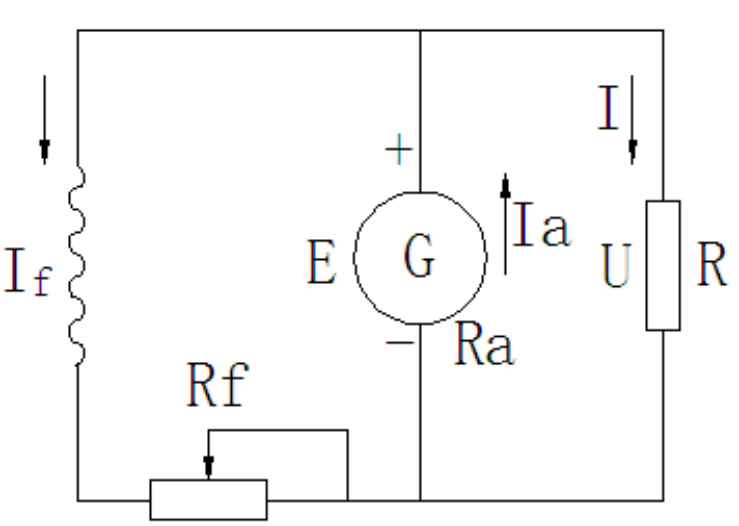
$$U = IR = E - I_a R_a \quad (I = I_a)$$

$$U_o = E = K_e \Phi n$$

改变励磁电流可
获得所需电压。

励磁电流与转速不
变， I 与 U 的关系。

■ 并励发电机:



$$U = E - I_a R_a$$

$$I_f = U / R_f \quad I = U / R$$

$$R_f \gg R_a \quad I_f \ll I_a$$

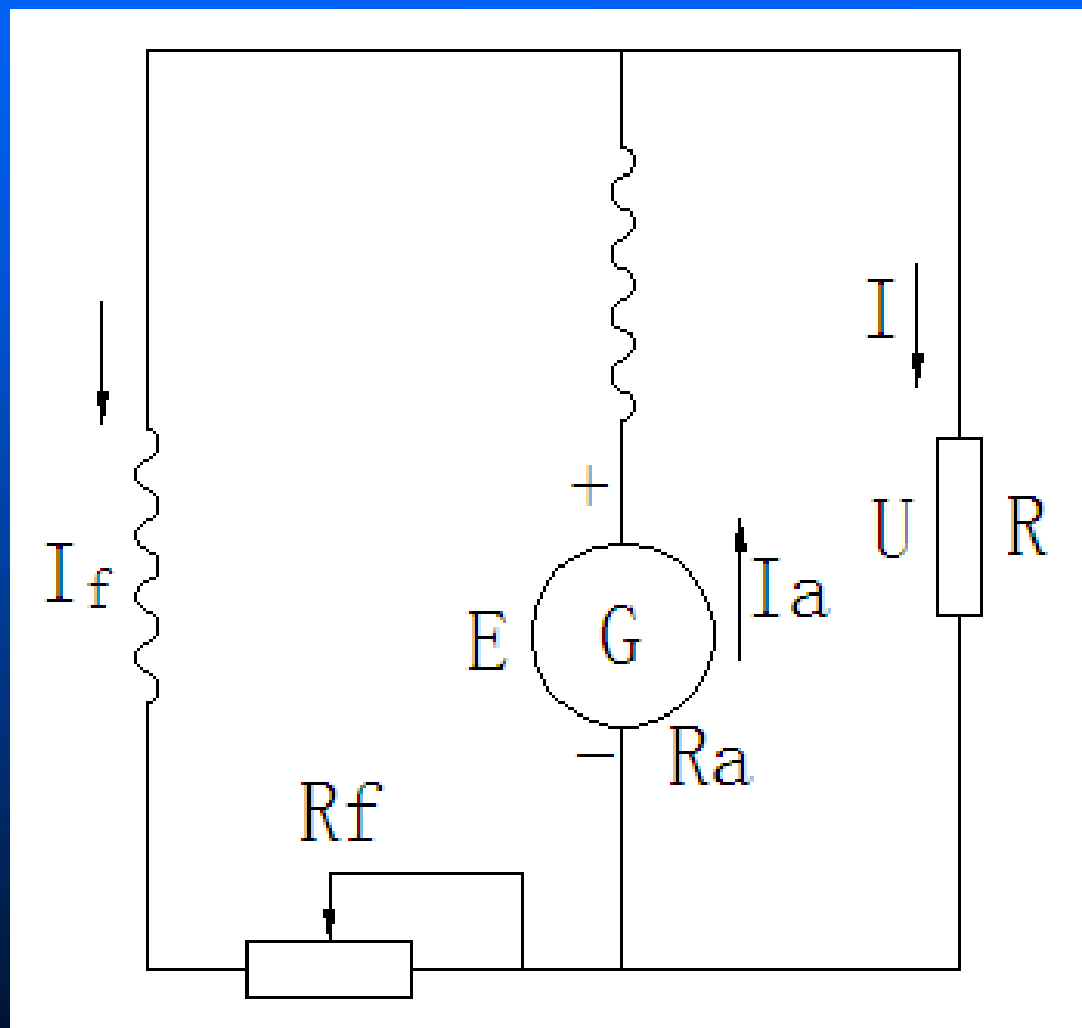
$$I_a = I + I_f \approx I$$

电压的建立

- 1、磁极有剩磁；
- 2、励磁方向与剩磁方向一致；
- 3、磁化曲线与感应电势的电路特性有交点。

励磁电流与转速不变，I与U的关系。

■ 复励发电机:



并励发电机中，端电压随着负载电流的增加而下降。复励发电机中，串励绕组能自动增加磁通，一补偿电压的下降。所以，复励发电机在其正常的运行范围内，其端电压变化小。

直流电动机的机械特性

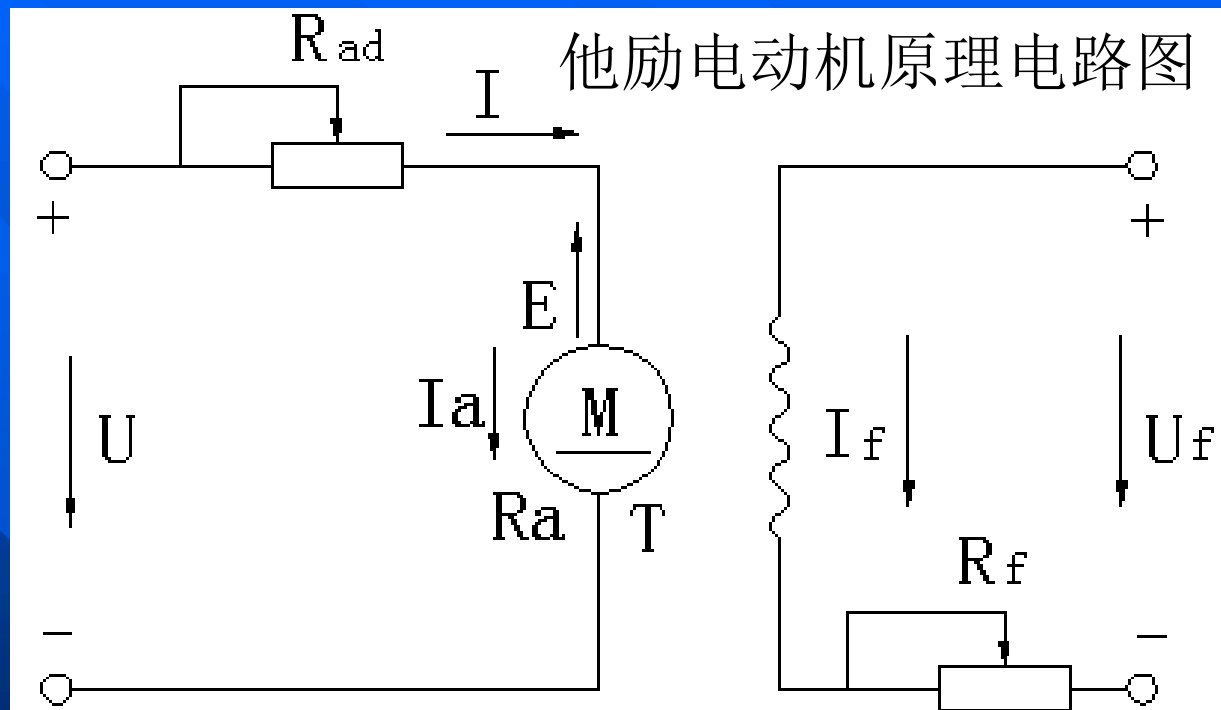
■ 他励电动机的机械特性

$$U = E + I_a R_a$$

$$E = K_e \Phi n$$

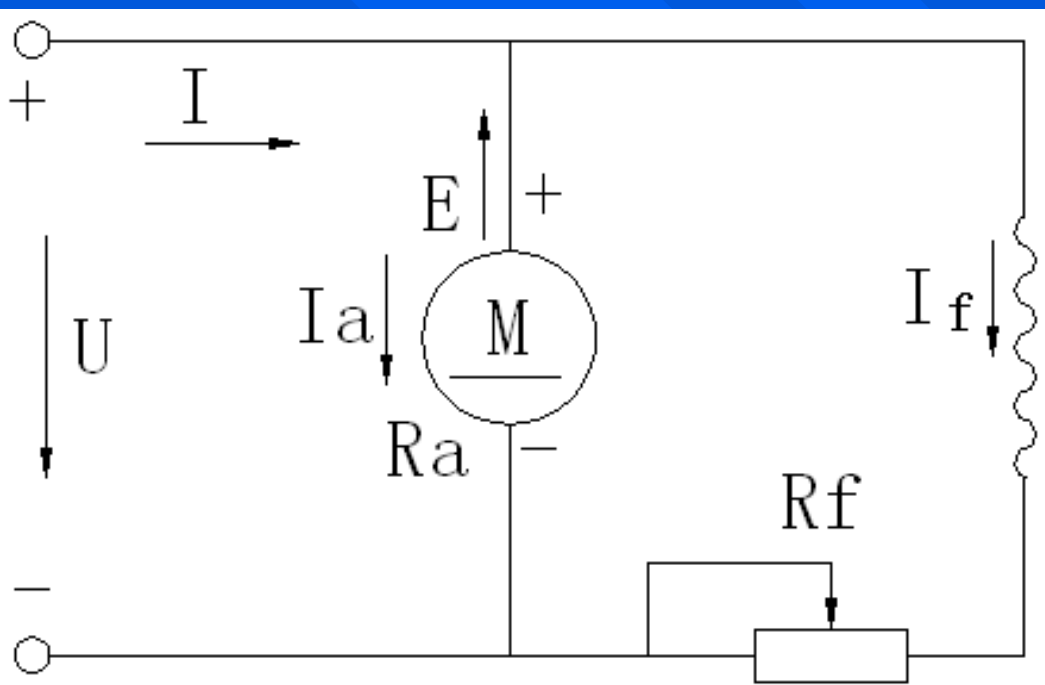
$$n = \frac{U}{K_e \Phi} - \frac{R_a}{K_e \Phi} I_a$$

$$I_a = \frac{T}{K_t \Phi}$$

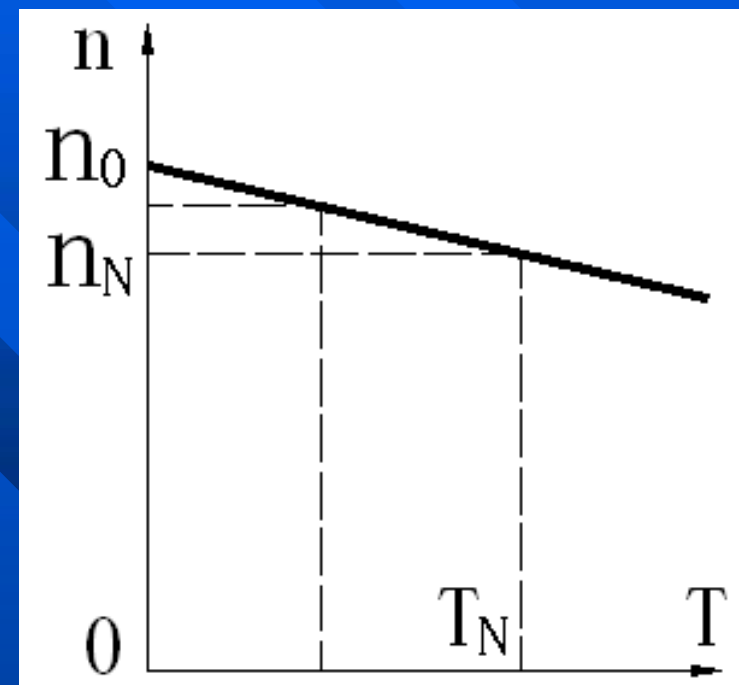


$$n = \frac{U}{K_e \Phi} - \frac{R_a}{K_e K_t \Phi^2} T = n_0 - \Delta n$$

由于 U 与 U_f 同属一个电源，且不考虑电源的内阻时，并励电动机与他励电动机的励磁电流（或磁通）与电枢电流无关，所以他们的机械特性是一样的。



并励电动机原理电路图



他励/并励电动机的机械特性

机械特性硬度

$$\beta = \frac{dT}{dn} = \frac{\Delta T}{\Delta n} \times 100\%$$

β 无穷大：绝对硬度，如交流同步电动机的机械特性

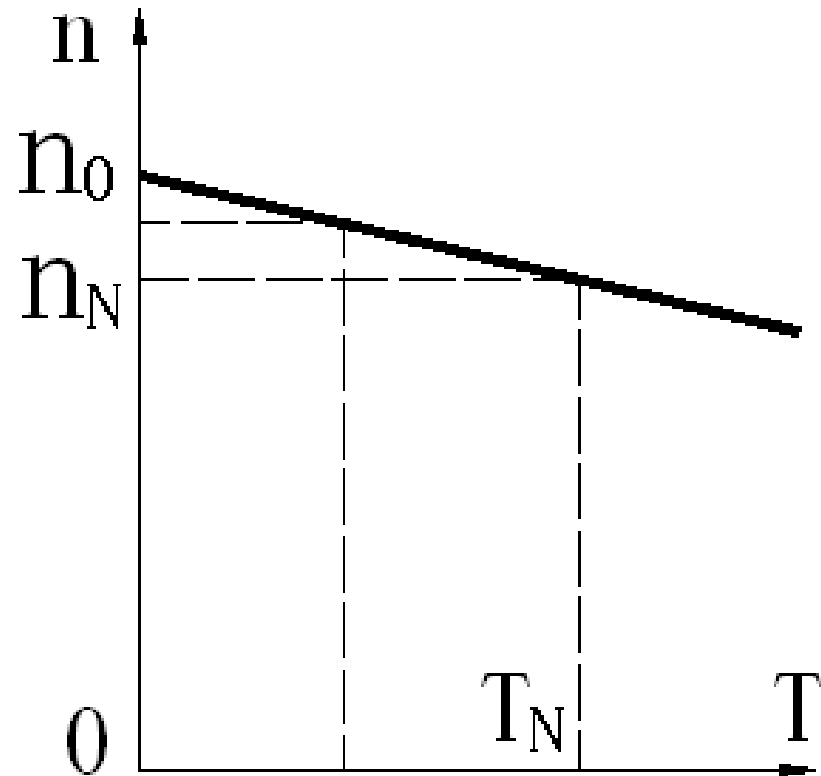
$\beta > 10$ ：硬特性，如直流他励、交流异步电动机的机械特性

$\beta < 10$ ：软特性，如直流串励、直流积复励电动机的机械特性

电动机的固有机械特性

$$n = \frac{U}{K_e \Phi} - \frac{R_a}{K_e K_t \Phi^2} T = n_0 - \Delta n$$

已知： P_N 、 U_N 、 I_N 、 n_N ，即可求得他励电动机的机械特性。该特性为一条直线，过 $(0, n_0)$ 和 (T_N, n_N) 两点。



$$E_N = K_e \Phi_N n_N = U_N - I_N R_a$$

$$K_e \Phi_N = (U_N - I_N R_a) / n_N$$

$$n_0 = U_N / (K_e \Phi_N)$$

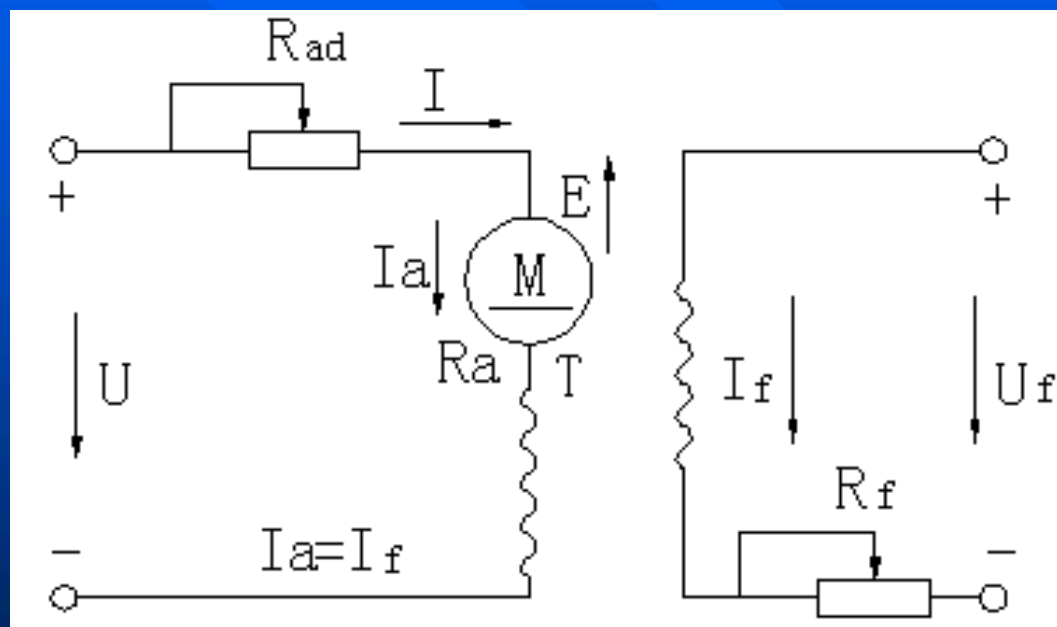
$$T_N = 60 P_N / 2\pi n_N$$

$$R_a = \left(\frac{1}{2} \sim \frac{3}{4} \right) \left(1 - \frac{P_N}{U_N I_N} \right) \frac{U_N}{I_N}$$

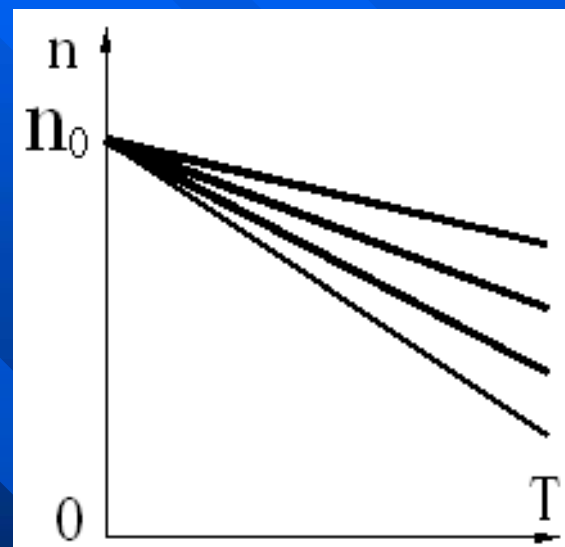
铜耗为总损耗的50%~75%

电动机的人为机械特性

- 人为机械特性：供电电枢电压或磁通不是额定值、电枢电路内接外加电阻时的机械特性。



电枢电路内接外加电阻

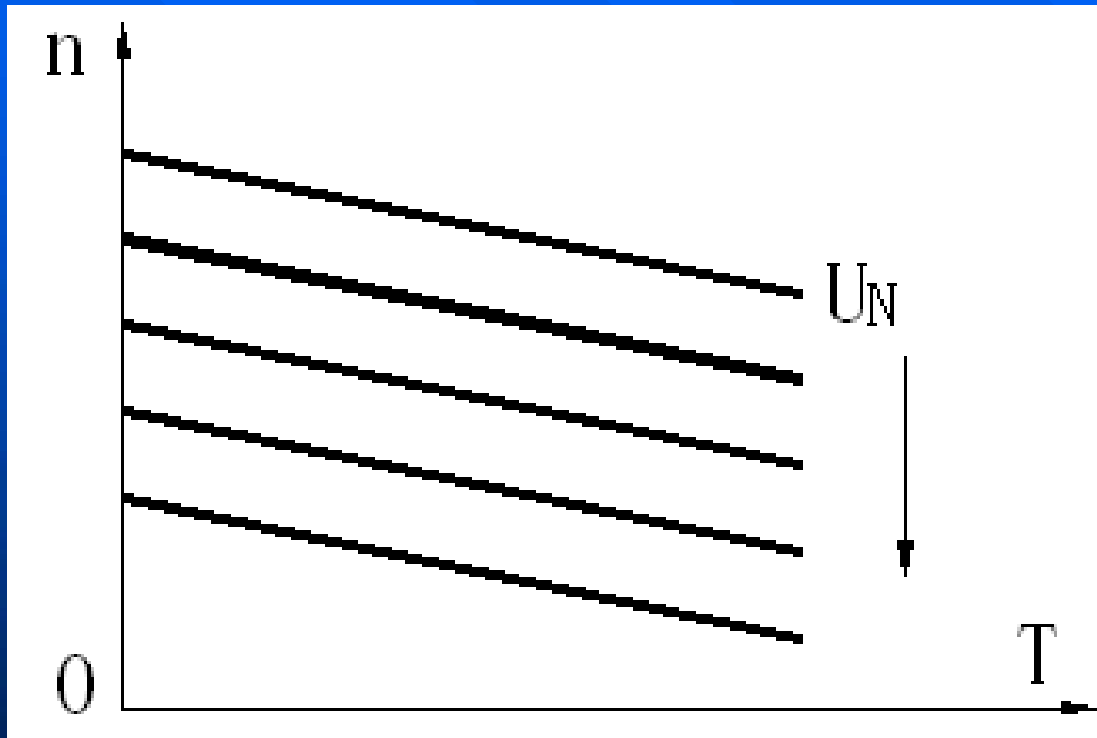


外加电阻越大，特性越软。

$$n = \frac{U}{K_e \Phi} - \frac{R_{ad} + R_a}{K_e K_t \Phi^2} T = n_0 - \Delta n$$

电动机的人为机械特性

■ 改变电枢电压的人为机械特性

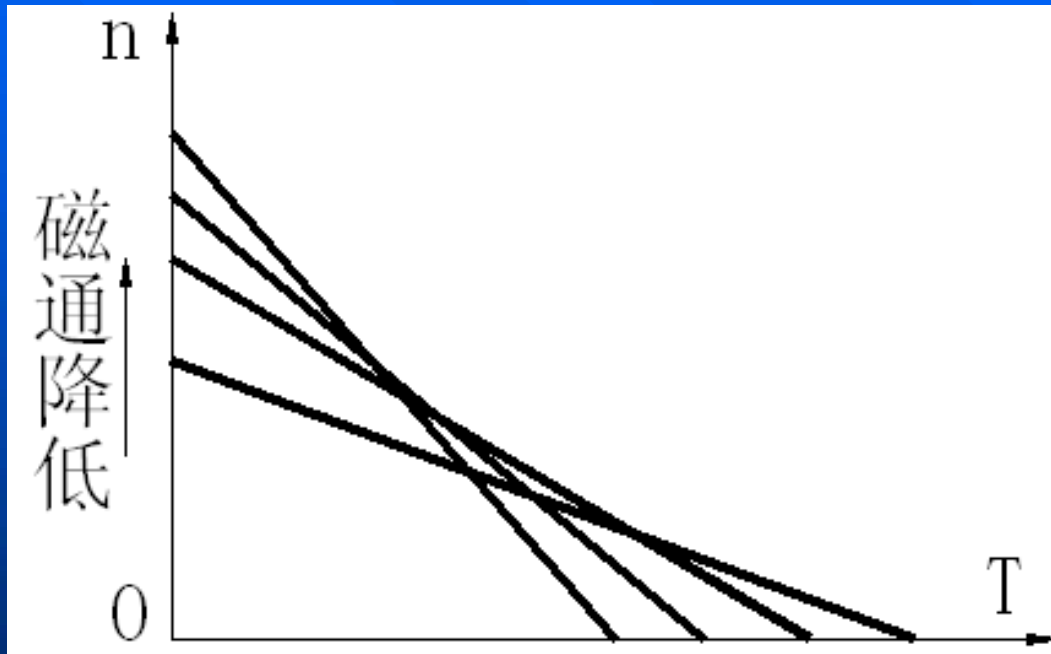


电压降低，空载转速下降，转速差不变。

$$n = \frac{U}{K_e \Phi} - \frac{R_a}{K_e K_t \Phi^2} T = n_0 - \Delta n$$

电动机的人为机械特性

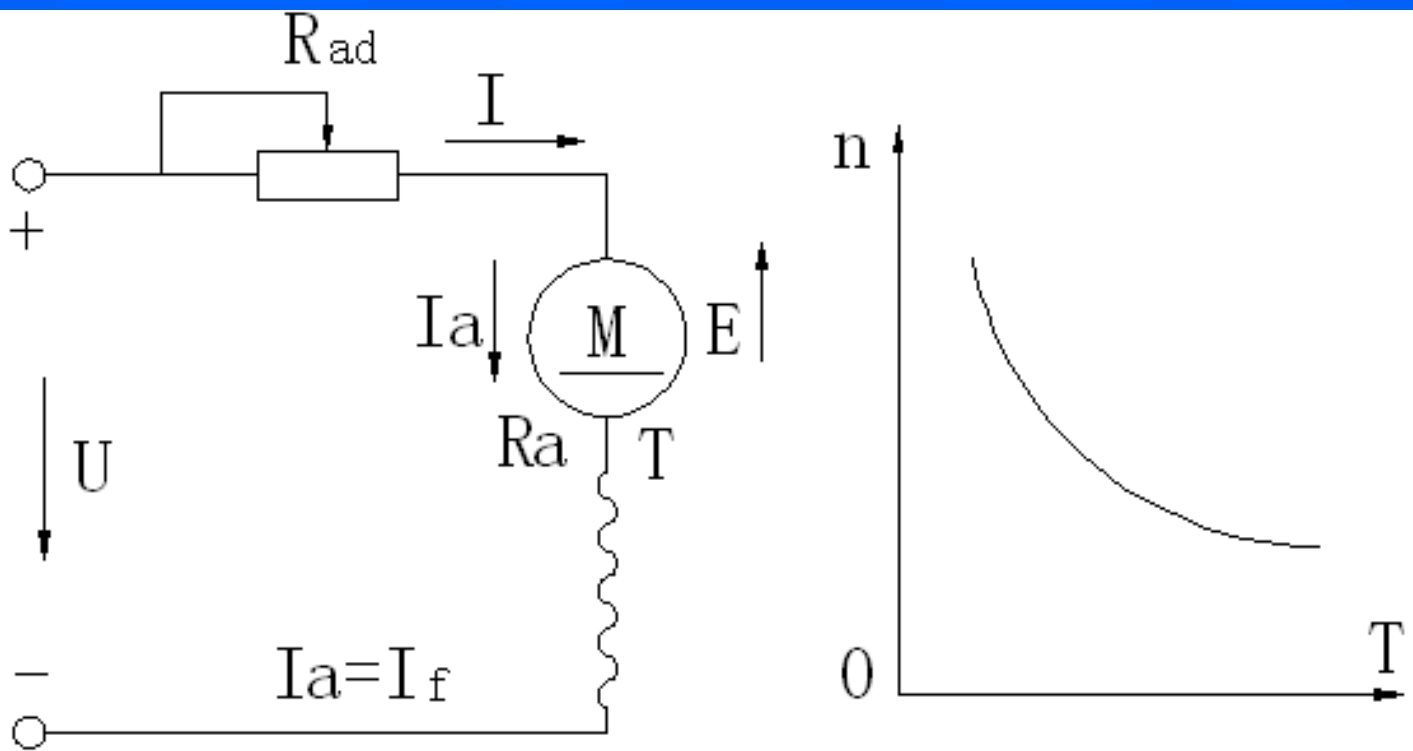
■ 改变磁通的人为机械特性



磁通降低，空载转速与转速差均增大，电磁转矩下降。

$$n = \frac{U}{K_e \Phi} - \frac{R_a}{K_e K_t \Phi^2} T = n_0 - \Delta n$$

串励电动机的机械特性



软特性，启动转矩大，不容许空载。改变电源极性不能换向。换向需改变电枢或绕组接线极性。

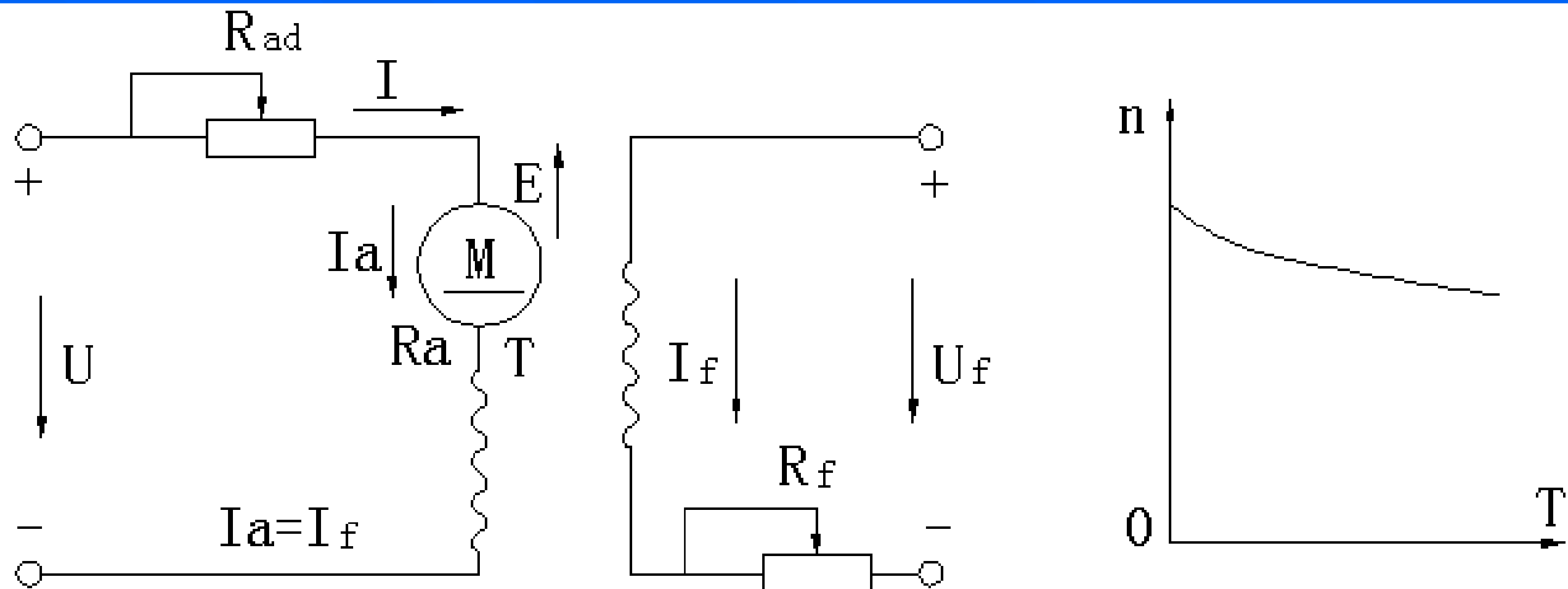
轻载时，磁通与电枢电压成正比。

重载时，磁路饱和、磁为常数，转速随负载增加直线下降。

$$T = K_t \Phi I_a = K_t \Phi^2 / C$$

$$n = \frac{U_N}{K_e \sqrt{CT / K_t}} - \frac{R_a}{K_e}$$

复励电动机的机械特性

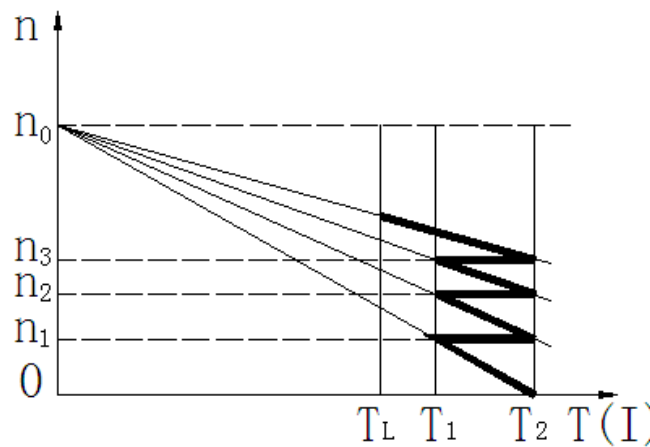
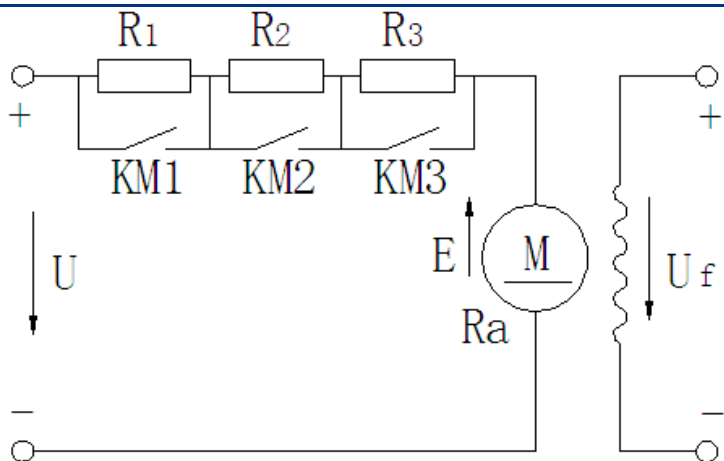
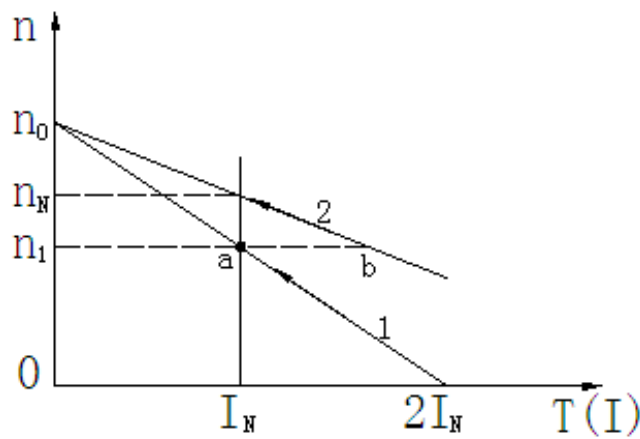
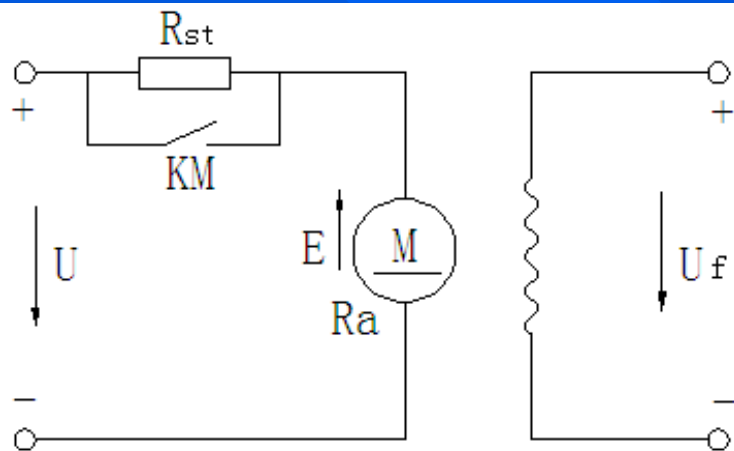


他励绕组与串励绕组（约30%）极性一致，同时具有他励与串励电动机的性质，有确定的空载转速。

直流他励电动机的启动特性

启动时，转速为0，反电动势 $E=0$ ，电机上电瞬间，启动电流大： $I_{st}=U_N/R_a$ ，启动动态转矩大，所以直流电机不允许直接启动，应采取限制启动电流，使其为额定电流的1.5~2倍。

措施：1、降压启动；2、在电枢回路串接外加电阻启动。

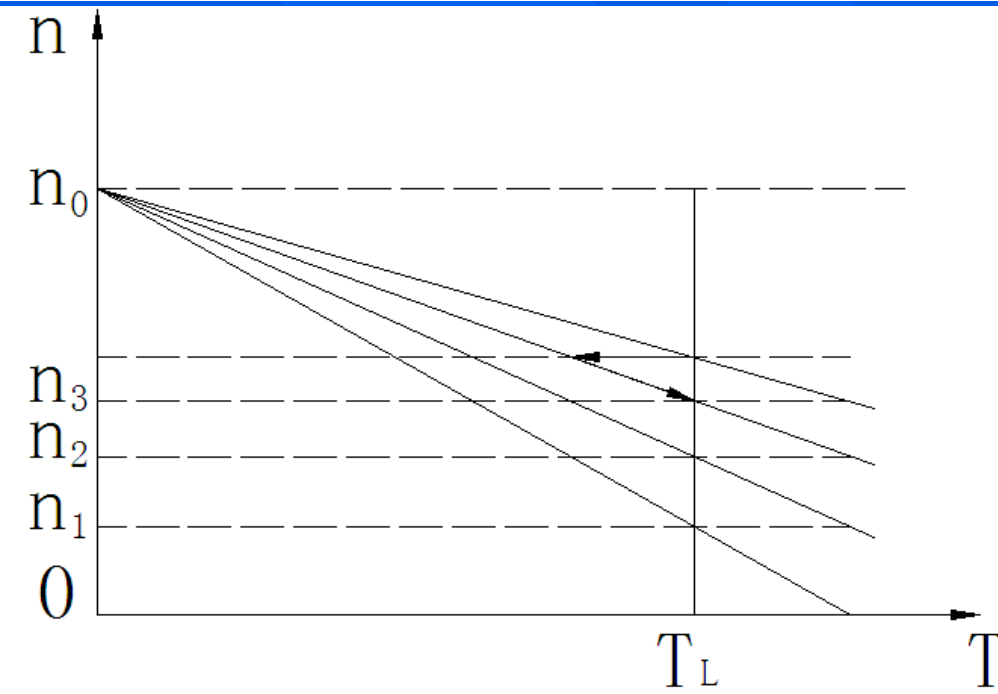


$$T_1=(1.6\sim 2)T_N$$

$$T_2=(1.1\sim 1.2)T_N$$

直流他励电动机的调速特性

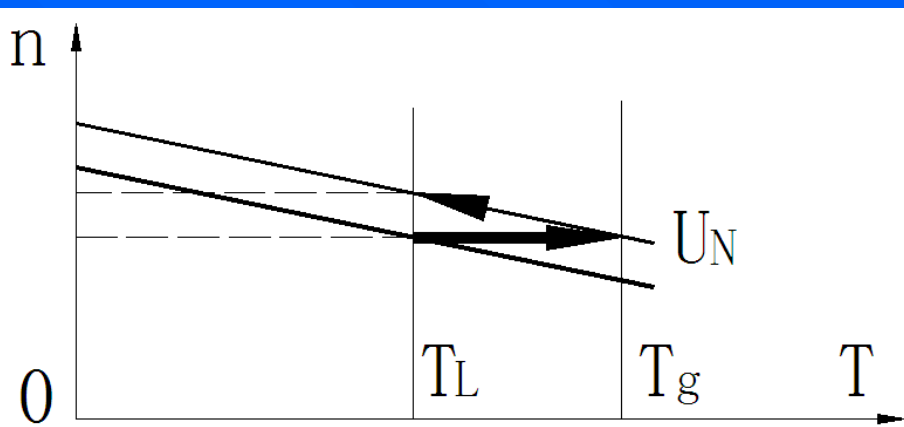
在一定的负载条件下，人为地改变电动机的电路参数，以改变电动机的稳定转速。措施：1、改变电枢回路外串电阻；2、改变电枢电压；3、改变主磁通。



机械特性软，轻载荷下
调速范围小。
调速电阻损耗大。
启动电阻不能当作调速电阻。

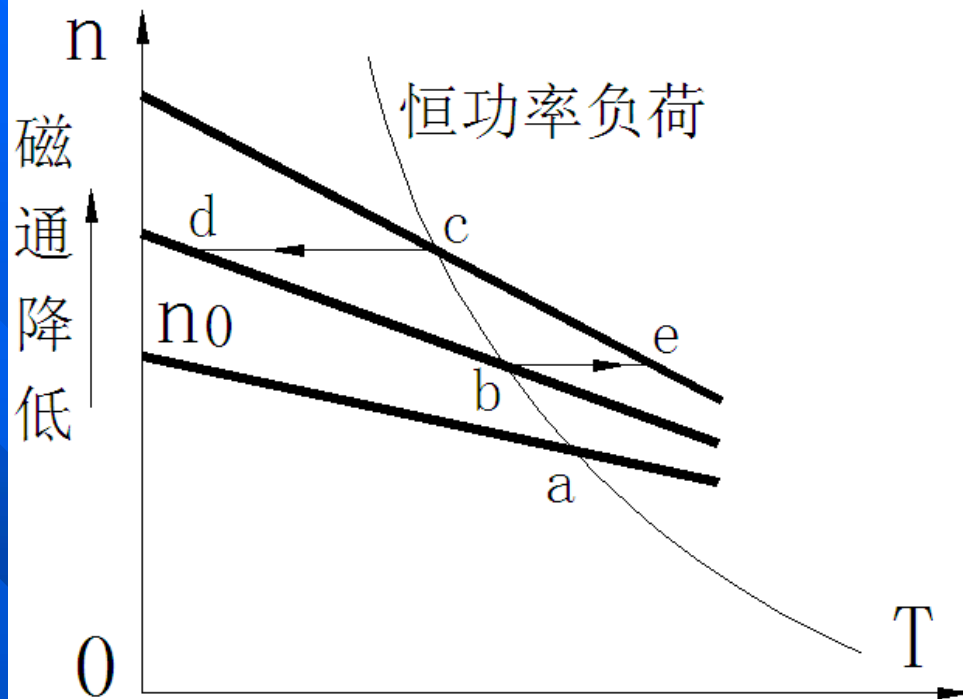
改变电枢回路外串电阻调速特性

直流他励电动机的调速特性



改变电枢供电电压的调速特性

在额定转速以下平滑调节；机械特性硬度不变，调速稳定；调速过程中电动机输出转矩不变，适合恒转矩调速；调压过程可用于启动电机。



改变主磁通的调速特性

在额定转速以上调节；机械特性较软，调速稳定；调速过程中电枢电压与电枢电流不变，适合恒功率调速；输出转矩随主磁通减少而下降。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/018132140111007001>