

# 课程安排

---

- “运动控制系统” 课堂教学（40课时）

杨旻 东二楼-156

[yyang@mail.xjtu.edu.cn](mailto:yyang@mail.xjtu.edu.cn)

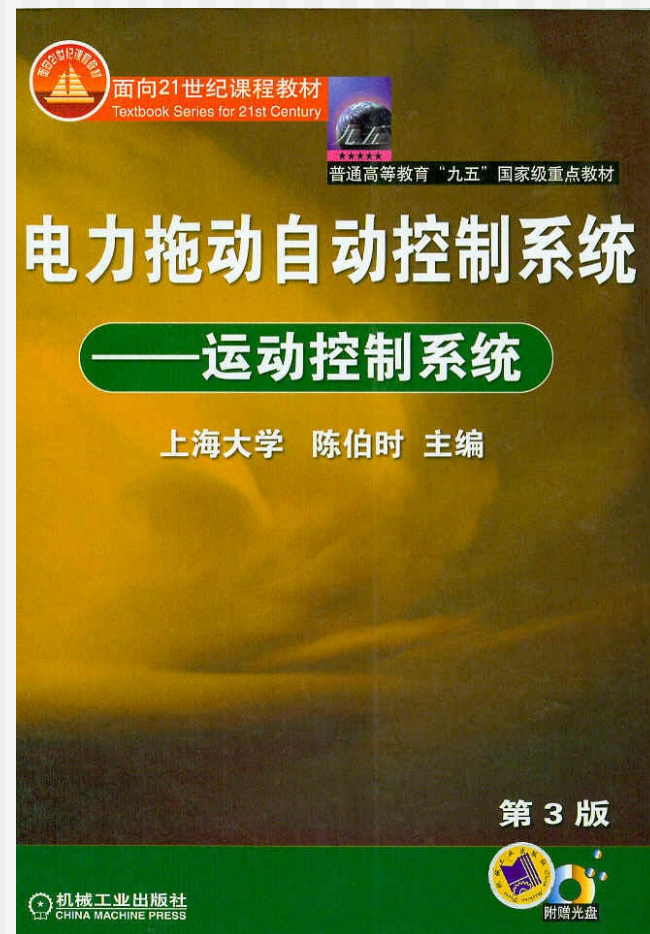
# 本课程教材

## 《电力拖动自动控制系统 ——运动控制系统》

陈伯时 主编

(第3版)

机械工业出版社



# 本课程主要内容

---

## **1) 直流拖动控制系统（第1, 2章）**

- 单闭环控制的直流调速系统；
- 双闭环控制的直流调速系统及其调节器的工程设计方法；

## **2) 交流调速系统（第5, 6章）**

- 异步电动机变压调速；
- 异步电动机变压变频调速。

# 运动控制系统

## Motion Control System

### 绪论

# 本节内容提要

---

- 运动控制系统及其组成
- 运动控制系统分类
- 运动控制系统的历史与发展

# 1.1 运动控制系统及其组成

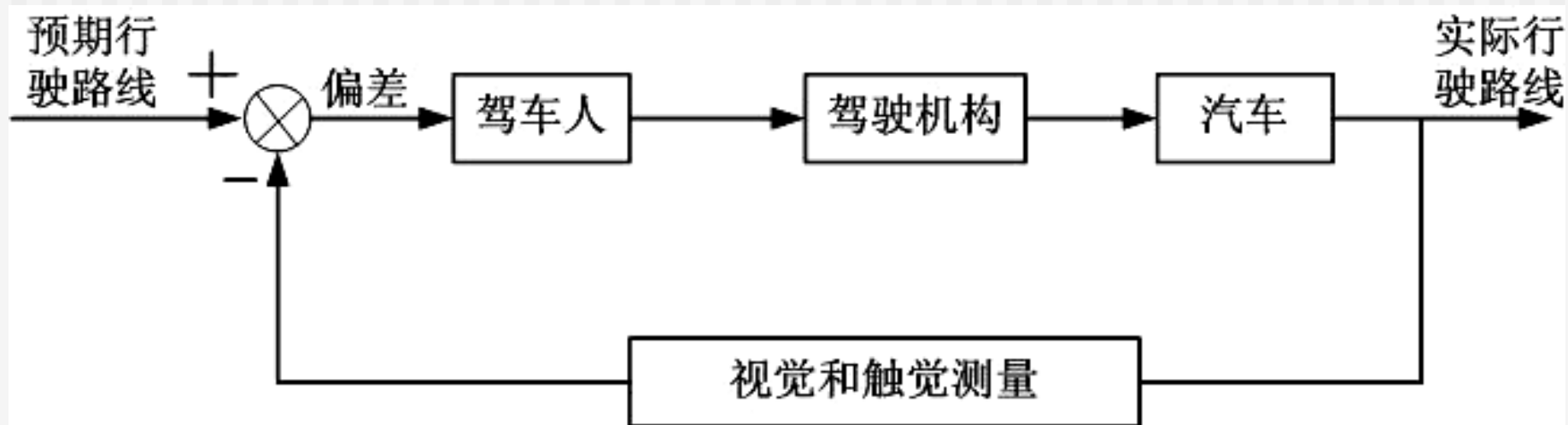


图1-1 汽车驾驶控制系统

# 现代运动控制技术

电机学、电力电子技术、微电子技术、计算机控制技术、控制理论、信号检测与处理技术等交叉的综合性学科。

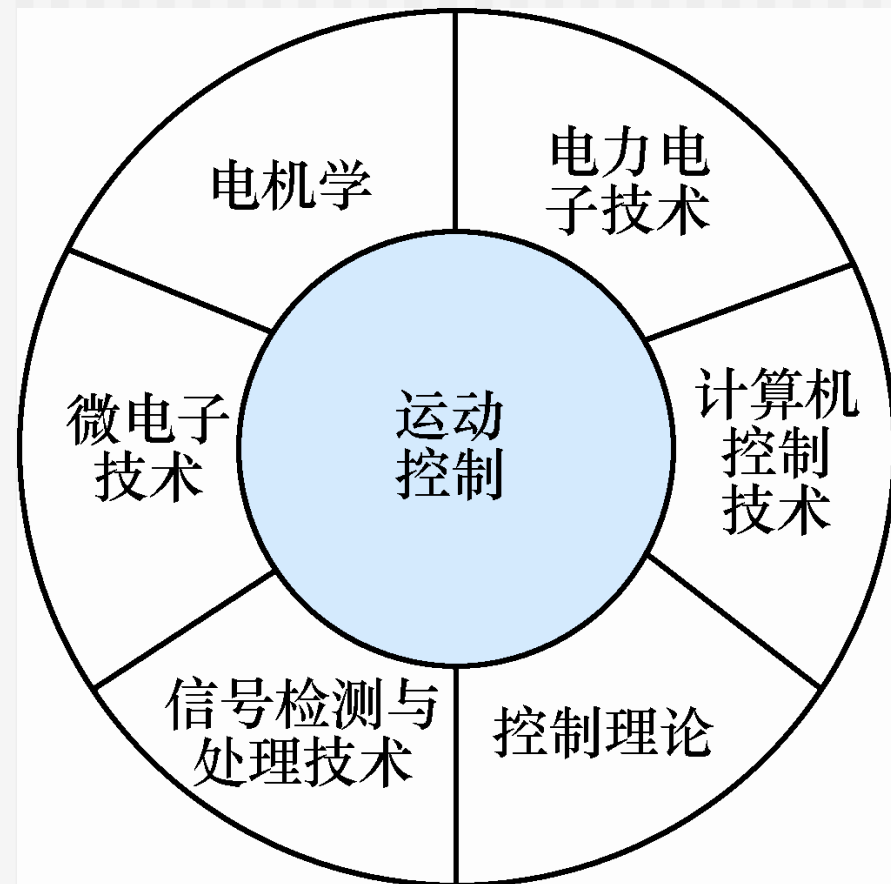


图1-2 运动控制及其相关学科

# 1.1 运动控制系统及其组成

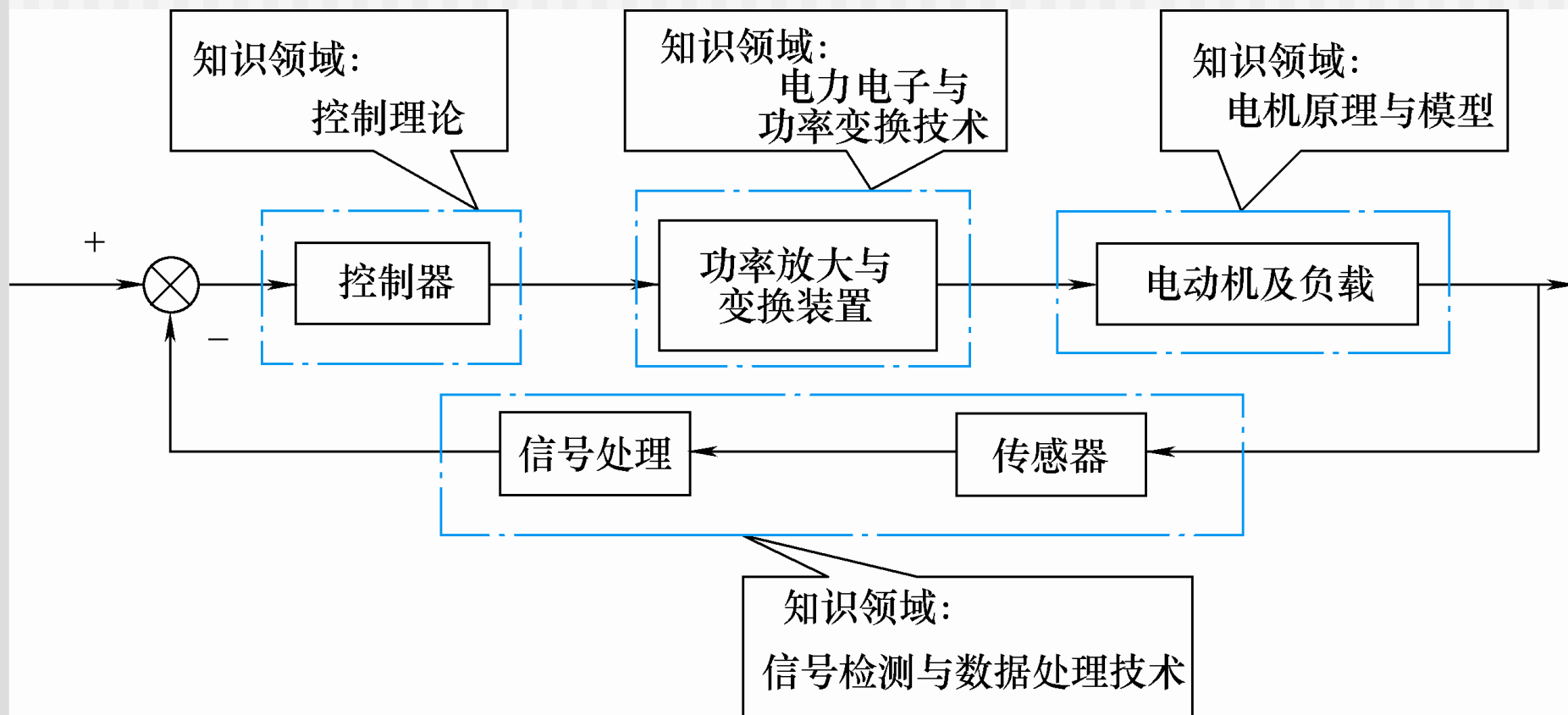


图1-3 运动控制系统及其组成

# 1.1 运动控制系统及其组成

## ■ 运动控制系统概念：

运动控制系统是以机械运动的驱动设备—电动机为被控对象，以控制器为核心，以电力电子功率变换装置为执行机构，在自动控制理论指导下组成的自动控制系统。

## ■ 运动控制系统功能：

主要控制电动机的转矩、转速和转角，将电能转换为机械能，实现运动机械的运动要求。

# 具体应用

---

## ■ 运动控制系统种类繁多，功能各异

### 工业领域：

数控机床；印刷电路板生产线：表面贴焊，快速打孔，机械手放置器件；

国防领域：雷达跟踪，自动武器，飞行器控制；

家电领域：冰箱，空调，洗衣机，电风扇等；

科学研究：倒立摆

机器人：机械手、足球机器人、搬运机器人等。

# 1.2 运动控制系统的分类

- 按**被控物理量**分：

- 调速系统——以转速为被控量；

- 伺服系统——以角位移或直线位移为被控量；

- 按**驱动电机**分：

- 直流控制系统——用直流电机带动生产机械；

- 交流控制系统——用交流电机带动生产机械；

- 按**控制器的类型**分：

- 模拟控制系统——以模拟电路构成控制器；

- 数字控制系统——以数字电路构成控制器；

- 按**闭环数**分：

- 单环；双环；多环系统

# 1.3 运动控制系统的发展历史

---

- 19世纪80年代以前——仅有直流电动机系统；
- 19世纪末，出现交流电机（鼠笼式异步交流电机）——开始逐步使用交流电动机系统；
- 20世纪30年代起，形成直流调速，交流不调速的格局；
- 20世纪后期，交流调速兴起

## ● 控制对象—电动机

- 直流电动机、交流感应电动机（交流异步电动机）和交流同步电动机。
- 用于调速系统的拖动电动机和用于伺服系统的伺服电动机。

## ● 电力电子型功率放大与变换装置

半控型向全控型发展

低频开关向高频开关发展

分立的器件向具有复合功能的功率模块发展

# 控制器

---

- **模拟控制器**

  - 物理概念清晰、控制信号流向直观

  - 控制规律体现在硬件电路

  - 线路复杂、通用性差

  - 控制效果受到器件性能、温度等因素的影响

- **以微处理器为核心的数字控制器**

  - 硬件电路标准化程度高

  - 控制规律体现在软件上，修改灵活方便

  - 拥有信息存储、数据通信和故障诊断等功能

# 1.3 运动控制系统的发展历史

---

- 以省电为目的：改原来交流不调速为交流调速；
- 以减少维护为目的：改直流调速为交流调速；
- 原直流调速达不到的领域：大功率、高压、高速场合应用交流调速系统。

# 1.3 运动控制系统的发展趋势

---

## 1) 高频化

- 在功率驱动装置中，低频半控器件（晶闸管）在中小功率范围里将被高频全控器件（大功率晶体管）所代替。
- 优越性：
  - 1) 可以提高系统性能；
  - 2) 可以改善电网功率因数。

## 2) 网络化

- 适应自动化系统发展的需要：大型化,复杂化,全集成化。

# 1.3 运动控制系统的发展趋势

## 3) 交流化

比较内容	直流电机	交流电机
结构及制造	有电刷，制造复杂	无电刷，结构简单
重量/功率	约2倍	1倍
体积/功率	约2倍	1倍
价格/功率	几倍	1倍
最大容量	12MW~14MW（双电枢）	几十MW
最大转速	1000r/min左右	数千r/min
最高电枢电压	1kV	6kV~10kV
安装环境	要求高	要求低
维护	较多	较少
调速性能	好	复杂

# 本课程特点

---

- 综合性强，多个学科交叉（自动控制、电子技术、计算机技术等）。
- 工程化——理论与实践相结合。
- 相关课程：自动控制理论、电机与拖动基础、电力电子变流技术、模拟与数字电路、计算机控制技术、微机原理等。
- 重视能力的培养，学会如何将学到的知识具体应用到实际的工程设计中。

# 第 1 篇

---

# 直流拖动控制系统

# 内容提要

---

- 直流调速方法
- 直流调速电源
- 直流调速控制

# □ 引言

---

直流电动机具有良好的起、制动性能，宜于在大范围内平滑调速，在许多需要调速和快速正反向的电力拖动领域中得到了广泛的应用。

由于直流拖动控制系统在理论上和实践上都比较成熟，而且从控制的角度来看，它又是交流拖动控制系统的基础。因此，为了保持由浅入深的教学顺序，应该首先很好地掌握直流拖动控制系统。

# □ 直流调速方法

根据直流电机转速方程

$$n = \frac{U - IR}{K_e \Phi} \quad (1-1)$$

式中  $n$  — 转速 (r/min) ;  
 $U$  — 电枢电压 (V) ;  
 $I$  — 电枢电流 (A) ;  
 $R$  — 电枢回路总电阻 ( $\Omega$ ) ;  
 $\Phi$  — 励磁磁通 (Wb) ;  
 $K_e$  — 由电机结构决定的电动势常数。

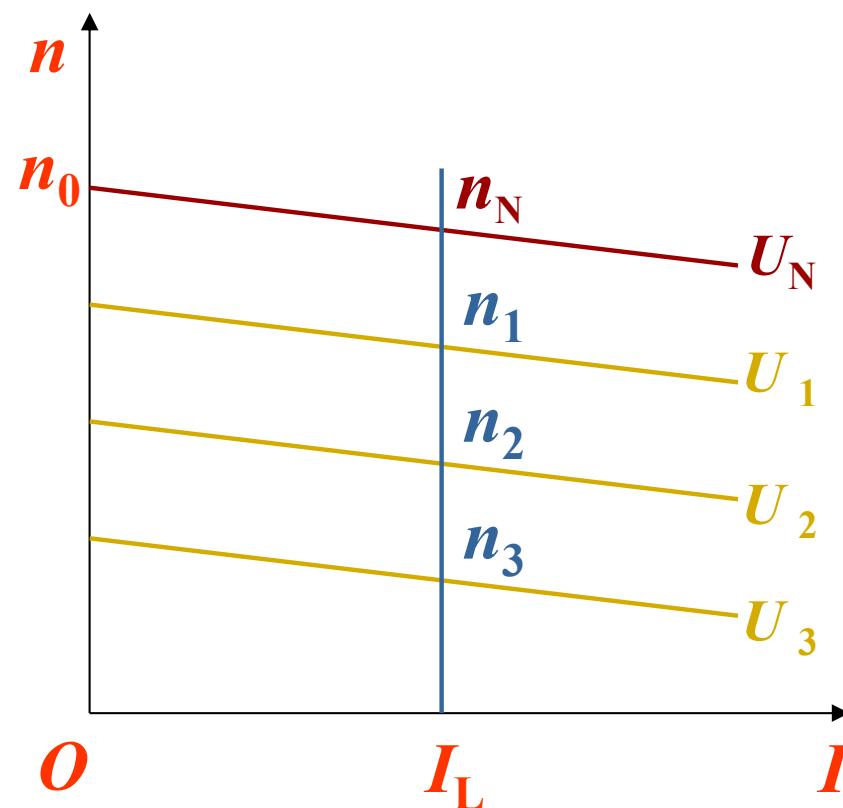
---

由式（1-1）可以看出，有三种方法调节电动机的转速：

- （1）调节电枢供电电压  $U$ ；
- （2）减弱励磁磁通  $\Phi$ ；
- （3）改变电枢回路电阻  $R$ 。

## (1) 调压调速

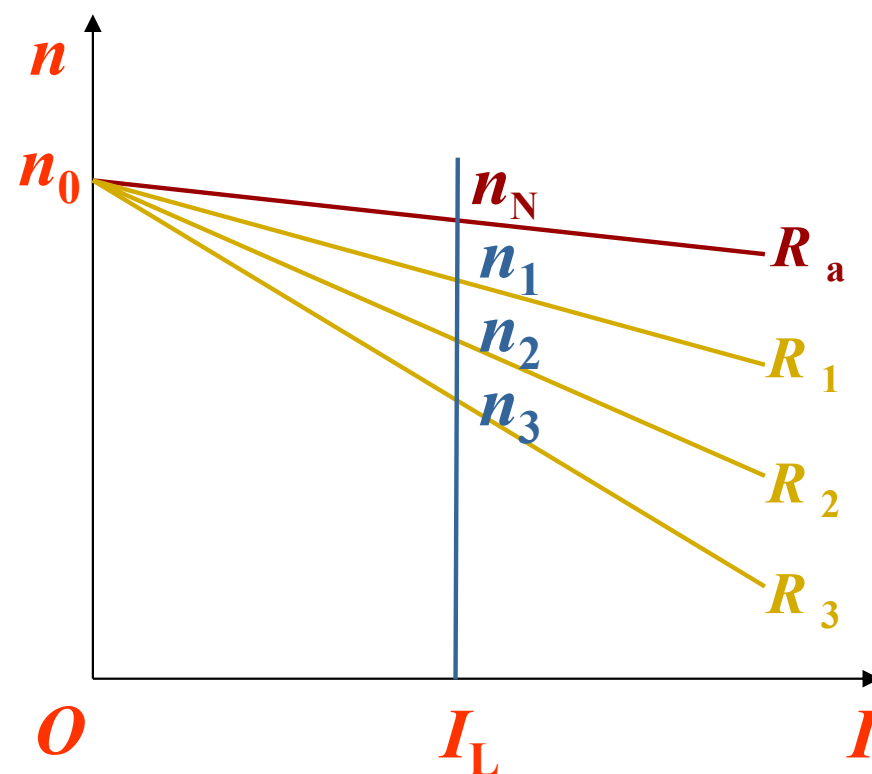
- 工作条件：  
保持励磁  $\Phi = \Phi_N$ ；  
保持电阻  $R = R_a$
- 调节过程：  
改变电压  $U_N \rightarrow U \downarrow$   
 $U \downarrow \rightarrow n \downarrow, n_0 \downarrow$
- 调速特性：  
转速下降，机械特性  
曲线平行下移。



调压调速特性曲线

## (2) 调阻调速

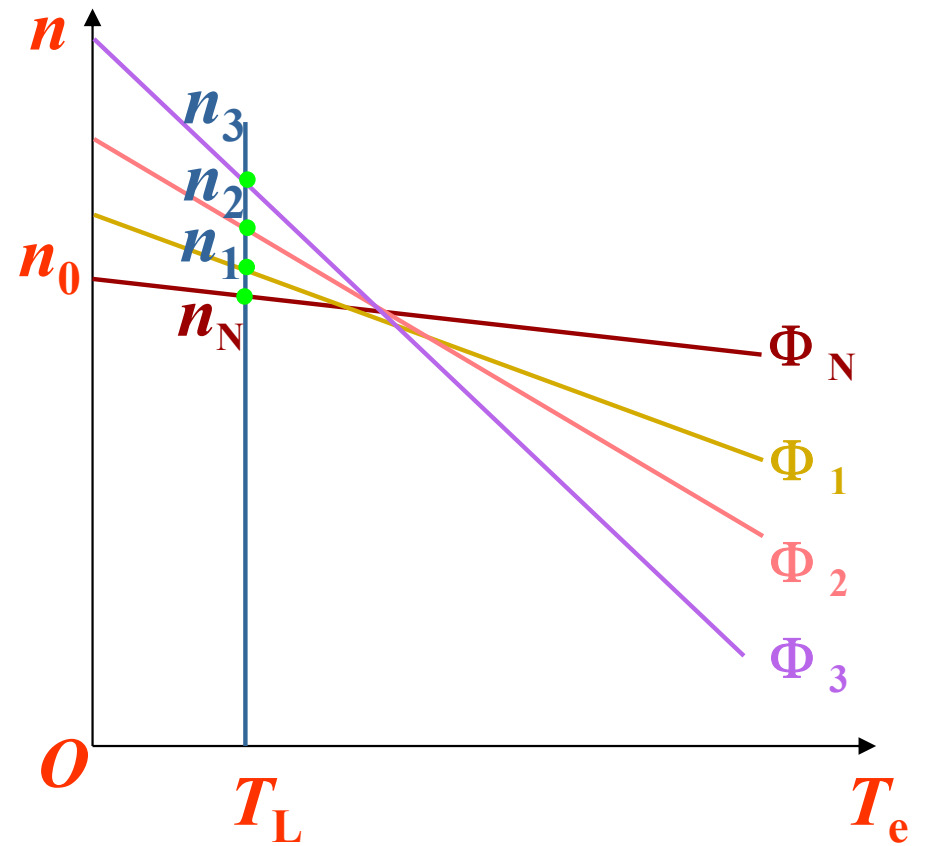
- 工作条件：  
保持励磁  $\Phi = \Phi_N$ ；  
保持电压  $U = U_N$ ；
- 调节过程：  
增加电阻  $R_a \rightarrow R \uparrow$   
 $R \uparrow \rightarrow n \downarrow$ ,  $n_0$  不变；
- 调速特性：  
转速下降，机械特性  
曲线变软。



调阻调速特性曲线

### (3) 调磁调速

- 工作条件：  
保持电压  $U = U_N$ ；  
保持电阻  $R = R_a$ ；
- 调节过程：  
减小励磁  $\Phi_N \rightarrow \Phi \downarrow$   
 $\Phi \downarrow \rightarrow n \uparrow, n_0 \uparrow$
- 调速特性：  
转速上升，机械特性  
曲线变软。



调磁调速特性曲线

## ■ 三种调速方法的性能与比较

对于要求在一定范围内无级平滑调速的系统来说，以调节电枢供电电压的方式为最好。改变电阻只能有级调速；减弱磁通虽然能够平滑调速，但调速范围不大，往往只是配合调压方案，在基速（即电机额定转速）以上作小范围的弱磁升速。

因此，自动控制的直流调速系统往往以调压调速为主。

# 生产机械的负载转矩特性

---

- 生产机械的负载转矩是一个必然存在的不可控扰动输入。
- 归纳出几种典型的生产机械负载转矩特性，实际负载可能是多个典型负载的组合，应根据实际负载的具体情况加以分析。

# 恒转矩负载

- 负载转矩的大小恒定，称作恒转矩负载
  - a) 位能性恒转矩负载**
  - b) 反抗性恒转矩负载**

$$T_L = \text{常数}$$

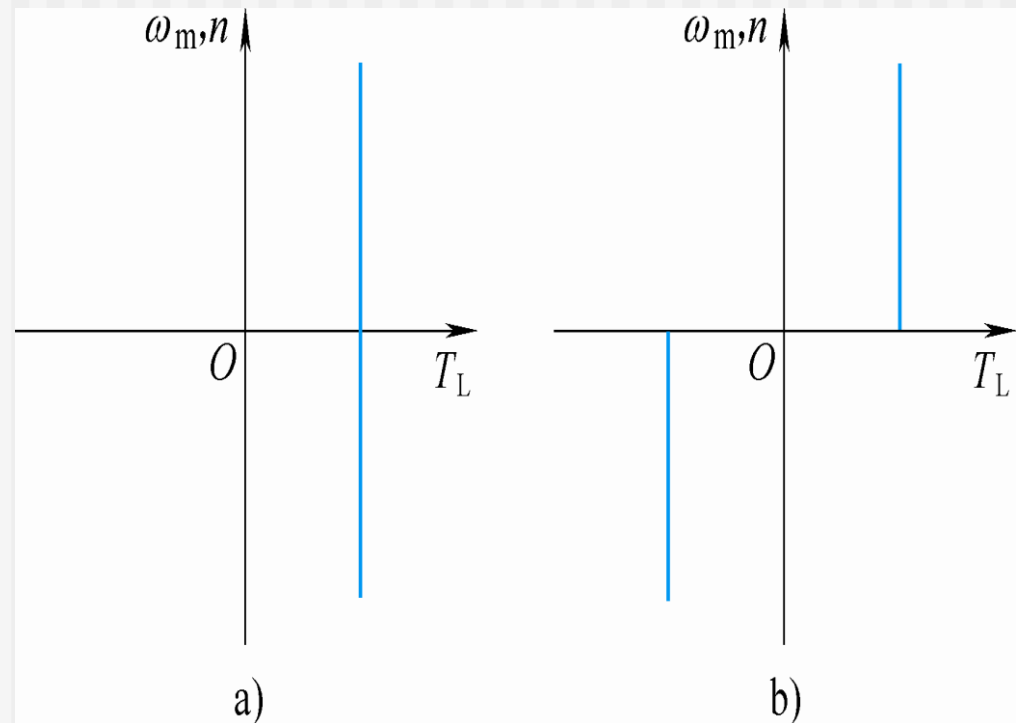


图1-3 恒转矩负载

# 风机、泵类负载

- 负载转矩与转速的平方成正比，称作风机、泵类负载

$$T_L \propto \omega_m^2 \propto n^2$$

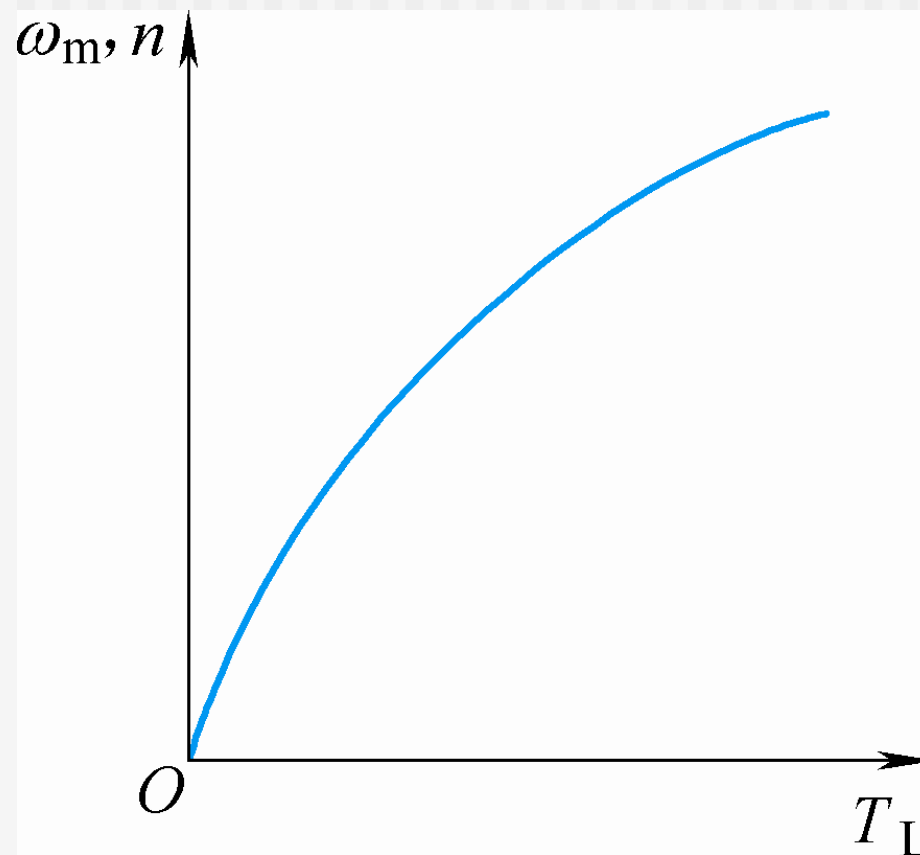


图1-5 风机、泵类负载

# 恒功率负载

- 负载转矩与转速成反比，而功率为常数，称作恒功率负载

$$T_L = \frac{P_L}{\omega_m} = \frac{\text{常数}}{\omega_m}$$

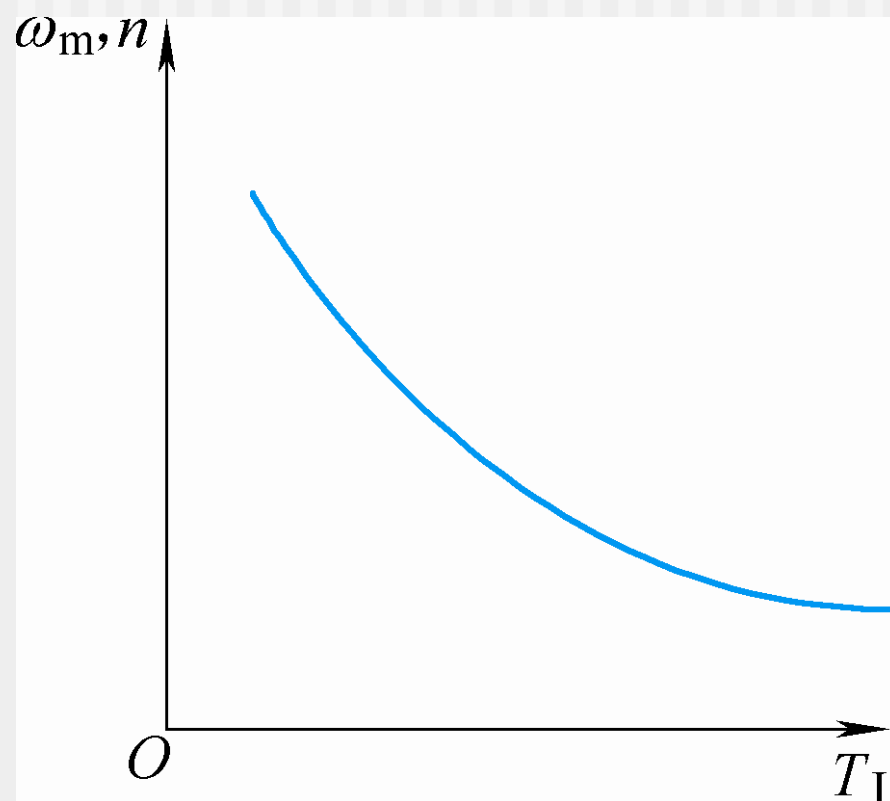


图1-4 恒功率转矩负载