



西安交通大学

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

自动控制理论

Automatic Control Theory

工业自动化系



课程名称：自动控制理论（/基础/原理）

研究内容：自动控制的共同规律
（控制目标：稳、准、好）

发展历程：

自动控制装置→自动控制系统→自动控制理论
经典控制理论→现代控制理论→智能控制理论

SISO: Single Input Single Output

MIMO: Multiple Input Multiple Output

课程性质：技术/专业基础课（承前启后）

计算机工具： MATLAB

教材:

自动控制理论, 沈传文等, 西安交通大学出版社

参考书:

自动控制原理, 胡寿松, 科学出版社;

现代控制系统(第8版), Richard C. Dorf;

Modern control system(第11版), Richard C. Dorf

课程基础:

电路/机械工程基础

高等数学/线性代数/复变函数

信号与系统

课时安排:

52学时=授课44学时+实验8学时 (4个)

成绩组成:

期末考试占总成绩的70%

平时成绩占总成绩的30%:

作业 10分

实验 10分

出勤 10分



绪论

01

- 自动控制系统的**基本概念**、**基本组成**、**基本控制方式**、**基本类型**
- 对控制系统的基本**要求** (**稳、准、好**)

自动控制：指在没有人直接参与的情况下，利用外加的设备或装置操纵机器、设备或生产过程，使其自动按预定规律运行的技术。(测量仪器、控制装置和执行机构)



采用自动控制技术好处

- 解放人，降低劳动强度
- 控制精度更高、生产更稳定，产品一致性更好
- 速度更快、效率更高
- 可执行人工无法胜任的任务：特殊环境、大量重复性工作等

自动控制系统无处不在

□ 军事、航天领域

火炮跟踪系统、雷达跟踪系统；人造卫星的姿态控制、宇宙飞船的各种自动控制等。

□ 工业领域

产品加工和物流调配的自动控制；石油化工生产过程、造纸、工业窑炉、轧钢过程的自动控制等。

自动控制系统无处不在

□ 农业生产领域

自动灌溉系统；植物温室温度和湿度自动控制系统等。

□ 商业领域

商业设备、仓储自动化设备与系统、物流监控管理。

□ 日常生活

空调器、电冰箱等；智能家居等。

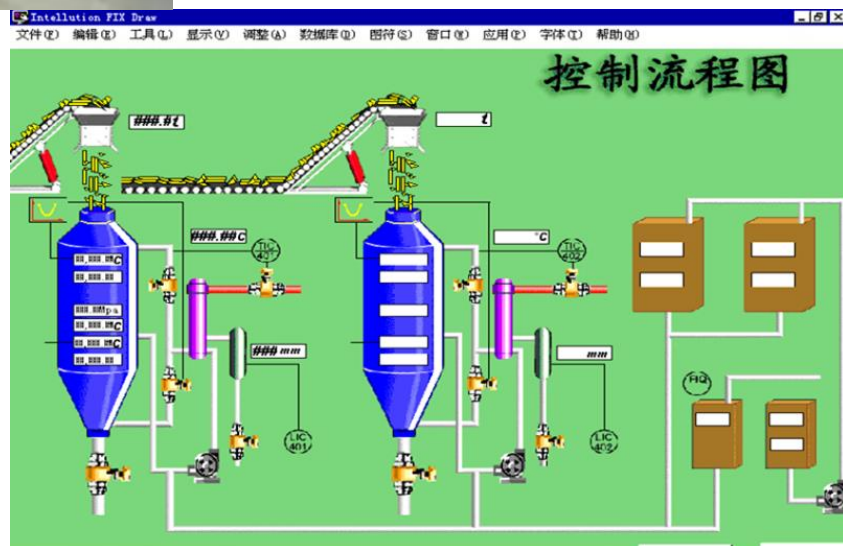
1.1 自动控制系统的基本概念与发展

自动控制系统无处不在-仪表控制/集中控制系统



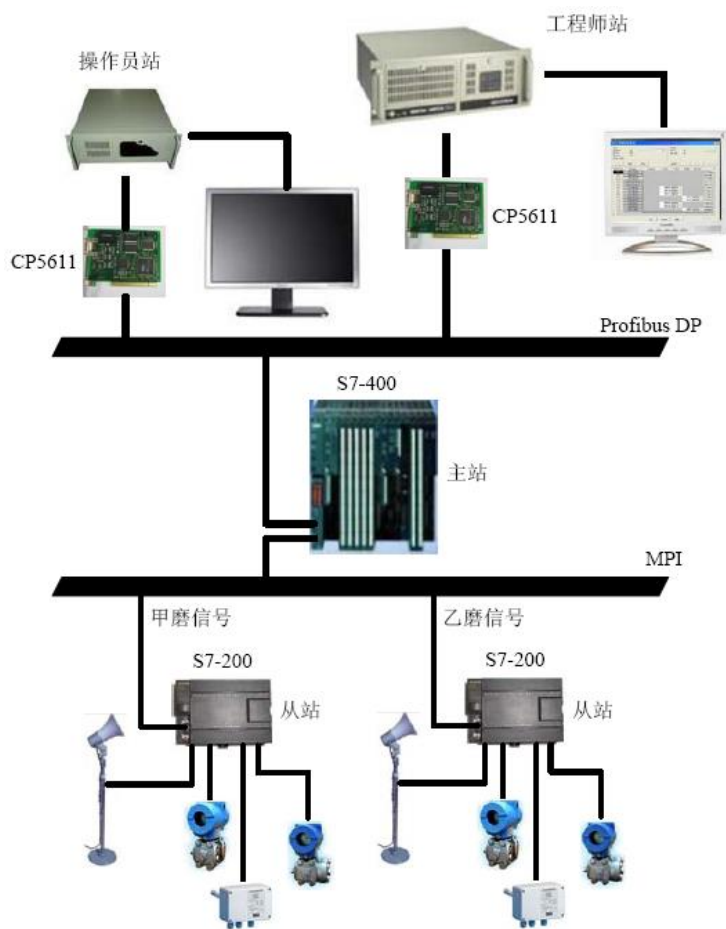
1.1 自动控制系统的基本概念与发展

自动控制系统无处不在—集散控制系统DCS（Distributed Control System）



1.1 自动控制系统的基本概念与发展

自动控制系统无处不在—火电厂制粉优化控制系统



自动控制系统无处不在—部分自动控制系统视频

- [Video\Linear inverted pendulum. wmv](#)
- [Video\Self-Balancing Robot. wmv](#)
- [Video\Sensing and Perception of Robot. wmv](#)
- [Video\仿人杂技机器人. wmv](#)
- [Video\西安1374架无人机表演. MP4](#)
- [Video\波士顿动力机器人. mp4](#)

1. 胚胎萌芽期（1945年以前）

- 十八世纪以后，蒸汽机的使用提出了调速稳定等问题；
- 1765年俄国人波尔祖诺夫发明了锅炉水位调节器；
- 1788年英国人瓦特发明调速器，蒸汽机离心式调速器；
- 1877年产生了古氏判据和**劳斯稳定判据**；
- 十九世纪前半叶，动力使用了发电机、电动机；
- 促进了水利、水电站的遥控和程控的发展以及电压、电流的自动调节技术的发展。

1. 胚胎萌芽期（1945年以前）

□ 十九世纪末，二十世纪初，使用内燃机

促进了飞机、汽车、船舶、机器制造业和石油工业的发展，产生了**伺服控制和过程控制**

□ 二十世纪初第二次世界大战，军事工业发展很快

飞机、雷达、火炮上的伺服机构，总结了自动调节技术及反馈放大器技术，搭起了经典控制理论的框架，但还没有形成学科。

2. 经典控制理论时期（1940—1960）

- 1945年美国人Bode“网络分析与放大器的设计”，奠定了控制理论的基础。
- 50年代趋于成熟

对单输入单输出系统进行分析，采用频率法、根轨迹法、相平面法、描述函数法；讨论系统稳定性的代数和几何判据以及校正网络等

3. 现代控制理论时期（50年代末—60年代初）

- 空间技术发展提出了许多复杂控制问题，用于导弹、人造卫星和宇宙飞船上；
- Kalman “控制系统一般理论” 奠定了现代控制的基础；
- 1954年贝尔曼 (R. Bellman) 提出动态规划理论；
- 1956年庞特里雅金 (L. S. Pontryagin) 提出极大值原理；
- 1960年卡尔曼 (Kalman) 提出多变量最优控制和最优滤波理论；
- 该时期主要解决多输入/出、时变参数、高精度复杂系统控制问题。

4. 大系统和智能控制时期（70年代—至今）

各学科相互渗透，要分析的系统越来越大，越来越复杂。

例：人工智能、模拟人脑（类脑计算）、机器人等。

- 被控对象的复杂性体现为：模型不确定性、高度非线性、分布式传感器和执行器、动态突变、多时间标度、复杂信息模式、庞大数据量（大数据）和严格的特性指标等。
- 智能控制方法在一定层次上模拟人类大脑的思维判断过程，通过相应的算法实现控制。

智能控制是驱动智能设备自主实现其目标的过程。主要有模糊控制、神经网络、专家系统等非线性控制理论。

4. 大系统和智能控制时期（70年代—至今）

随着控制理论应用范围的扩大，从个别小系统的控制，发展到若干个相互关联的子系统组成的大系统进行整体控制，从传统的工程控制领域推广到包括生物工程、能源、运输、环境等大型系统以及社会科学领域。

大系统理论是过程控制与信息处理相结合的系统工程理论，具有规模庞大、结构复杂、功能综合、目标多样、因素众多等特点。它是一个多输入、多输出、多干扰、多变量的系统。大系统理论目前仍处于发展和开创性阶段。

自动控制装置 → 自动控制系统 → 自动控制理论

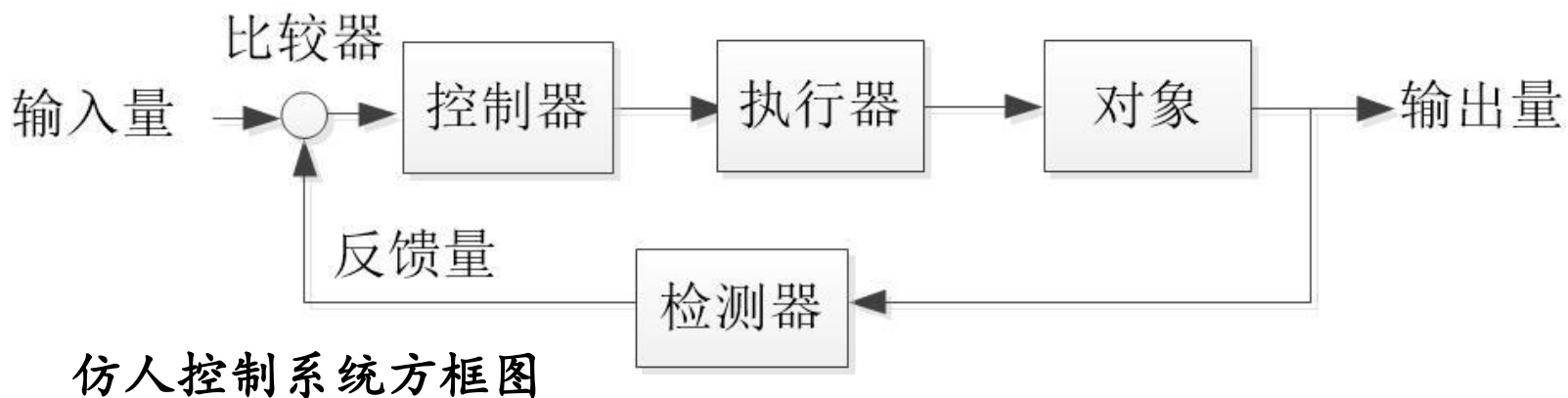
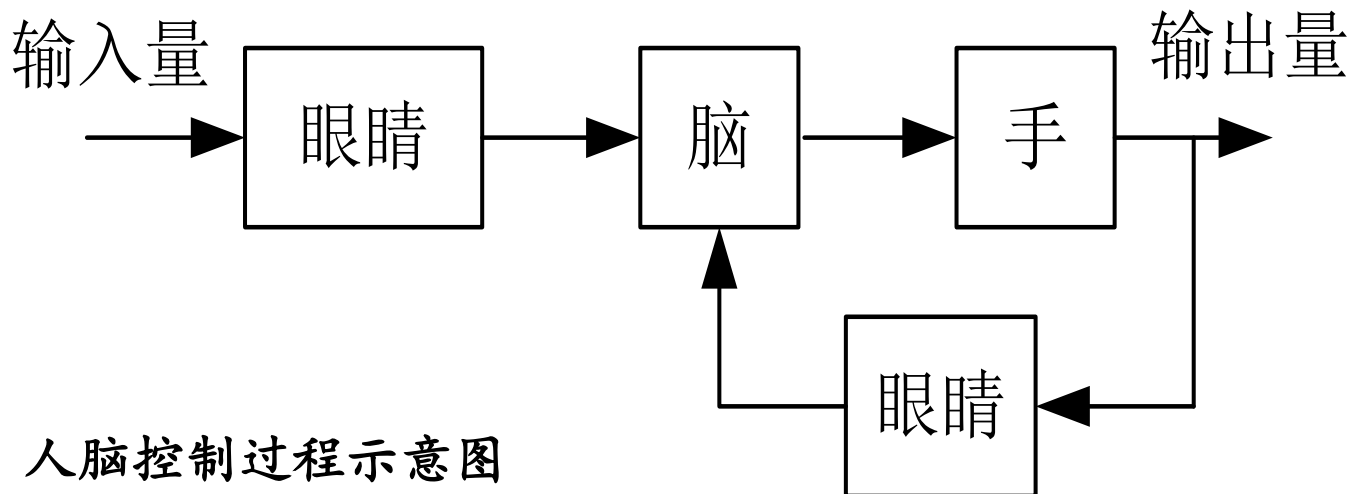
经典控制理论 → 现代控制理论 → 智能控制理论

单输入单输出、线性定常系统
传递函数为基础

多变量、变参数、状态空间法为基础、最优控制

控制论、信息论、仿生学为基础、复杂系统、自适应控制

1.1 自动控制系统的基本组成



基本术语：偏差、反馈、扰动、……

基本组成：检测器、控制器、执行器

开环控制系统

控制器与被控对象之间**只有顺向作用而无反向联系**，即控制是**单方向**进行的。（**实际转速=?给定转速**）

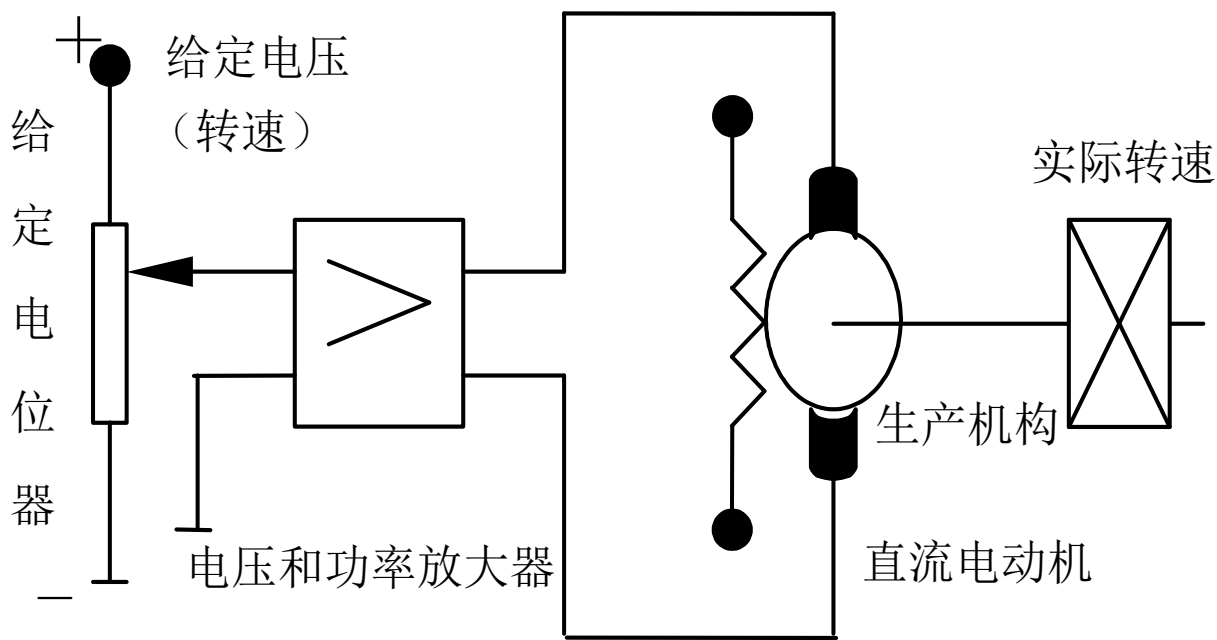


图1.3 电动机转速控制系统

开环控制系统

系统的输出量**并不影响**其控制作用，控制作用直接由系统输入量产生。



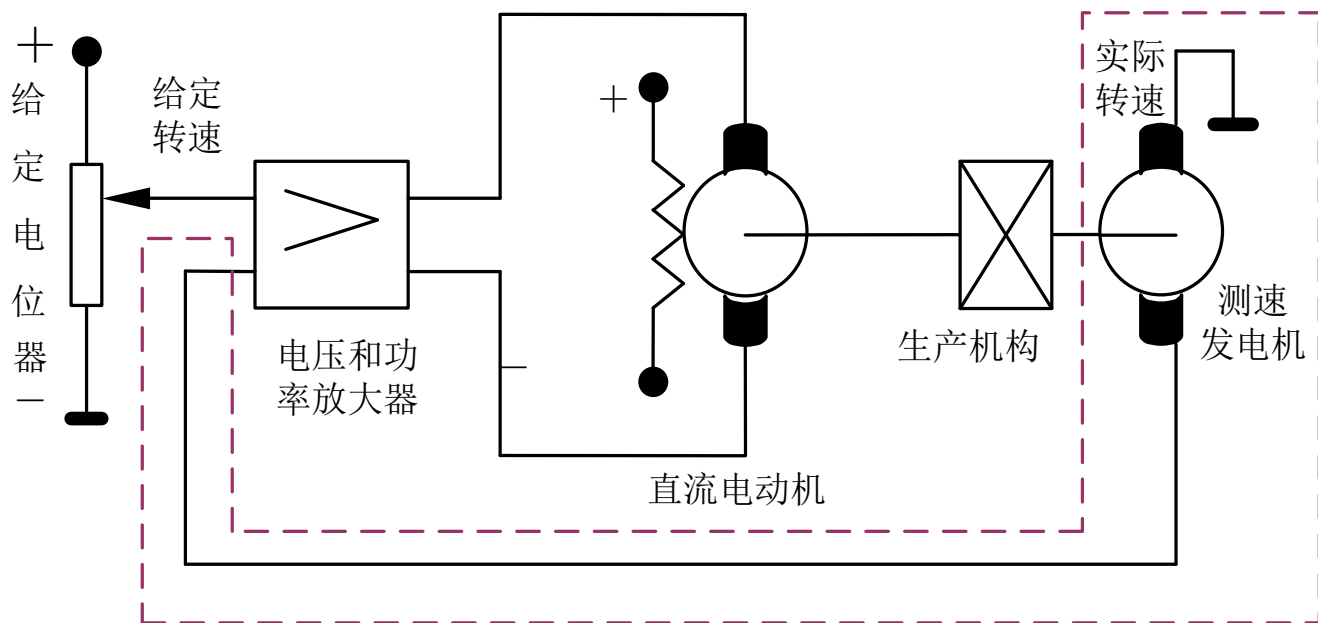
图1.4 开环控制系统示意图

开环控制：按给定量控制/按扰动量控制

开环控制系统的特点：简单、控制精度差

闭环控制系统

把输出量馈送到系统输入端，与输入信号进行比较，取其偏差作为控制器的输入——按偏差控制。



电动机转速闭环控制系统

闭环控制系统

将输出量馈送到系统输入端，与输入信号比较，取偏差作为控制器输入，称之为带负反馈的闭环控制系统。

反馈方式：负反馈/正反馈

基本概念：前向通路、反馈通路、扰动量（内扰和外扰）

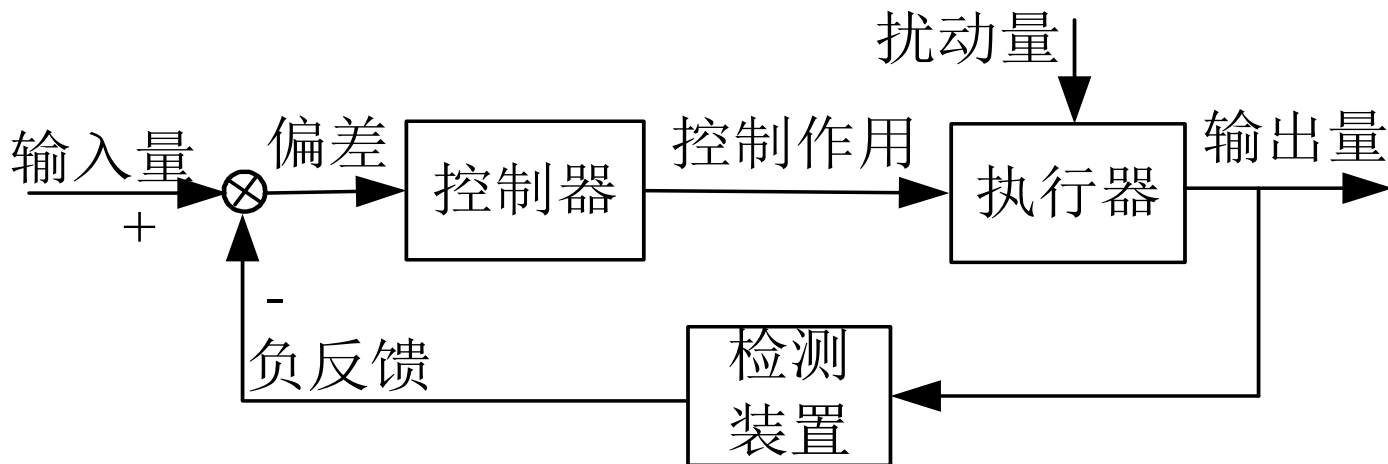
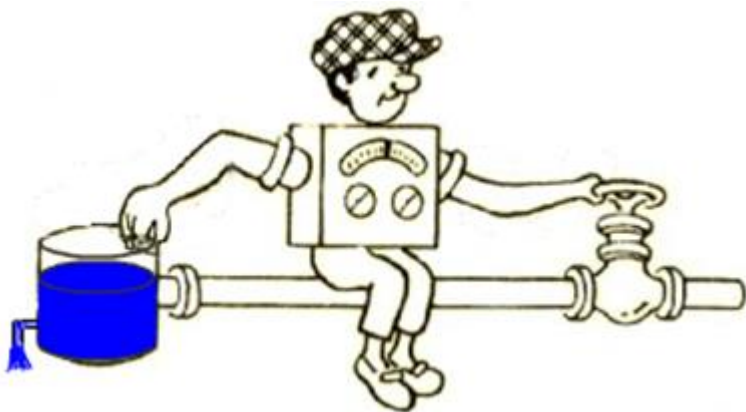
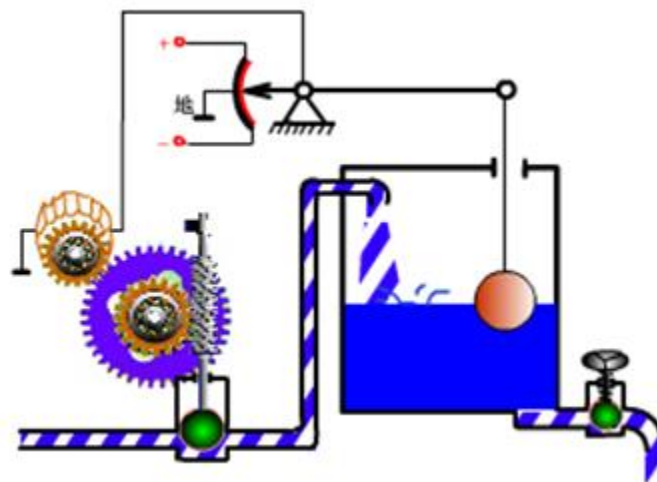


图1.5 闭环控制系统示意图



a) 液位手动控制
仅操作不观察液位-开环
调整同时观察液位-闭环



b) 液位自动闭环控制

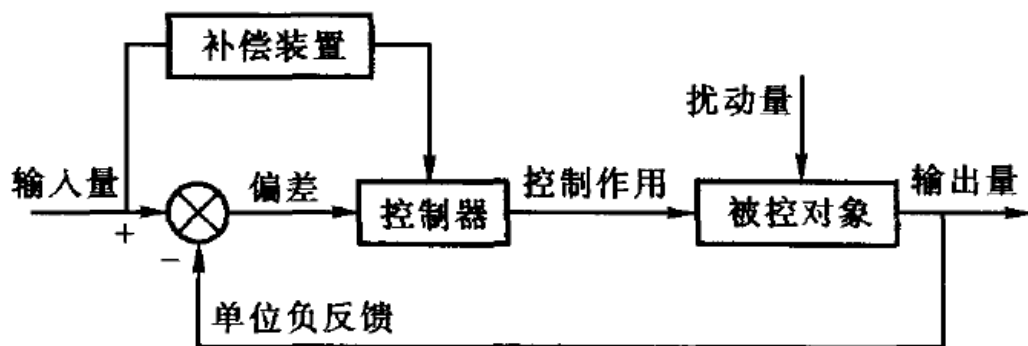
闭环控制系统的特点

- 自动控制系统的最基本控制方式；
- 能够提高系统的抗扰动性能，增强鲁棒性，改善系统的稳态精度。
- 提高系统响应速度。
- 闭环系统可能产生振荡，甚至不稳定，使系统不能正常运行。

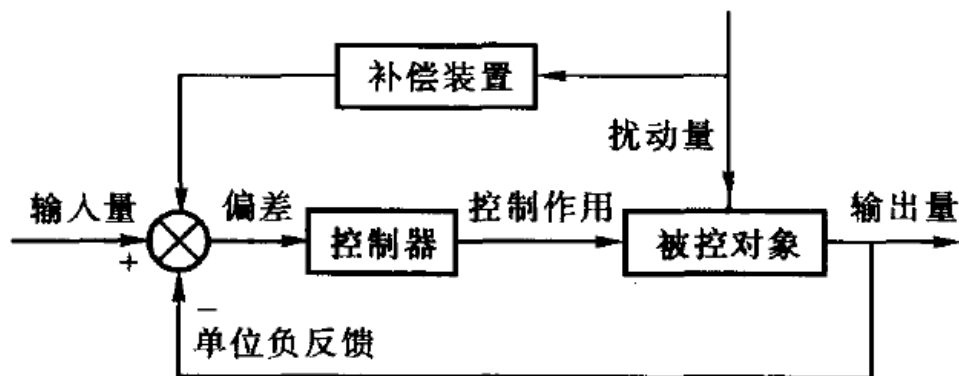
复杂、控制精度高

→ 复合控制系统

复合控制系统：开环与闭环控制相结合的系统，带有负反馈的闭环控制系统起主要的调节作用，而带有前馈的开环控制起辅助作用。



(a) 按输入作用补偿

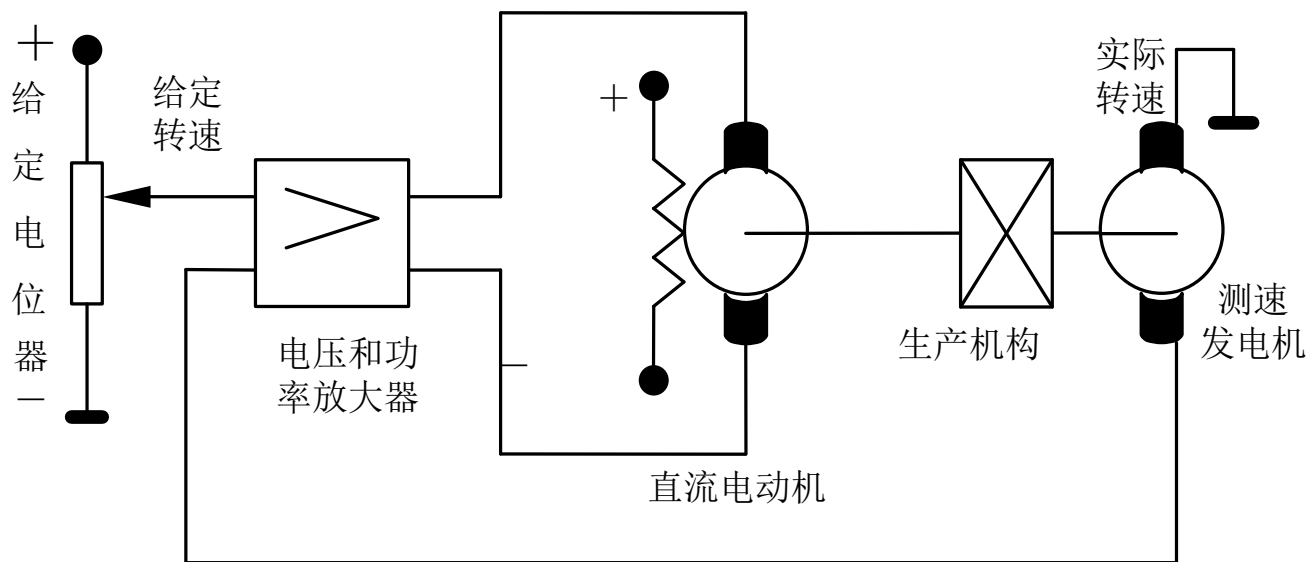


(b) 按扰动作用补偿

按给定量的变化规律分：

- **恒值控制系统：**系统的输入量是恒定不变(恒值调节系统)
- **随动控制系统（伺服控制系统）：**参考输入是变化规律未知的任意时间函数，其任务是使被控量按同样规律变化并与输入信号的误差保持在规定范围内。
- **程序控制系统：**控制量变化规律为已知函数并被事先确定，即设定值按规定的程序变化。

恒值控制系统:

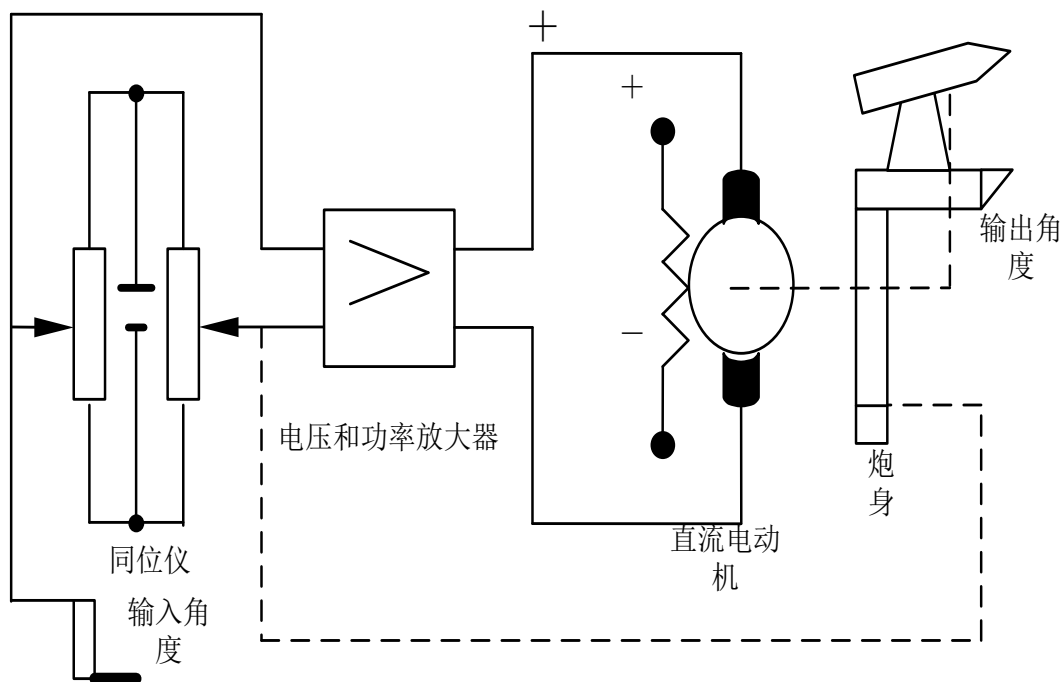


电动机转速恒值调节系统

空调、冰箱控制

工业常见的压力、水位、温度、流量控制等

随动控制系统:



火炮跟踪系统示意图

按输入输出量是否连续分：

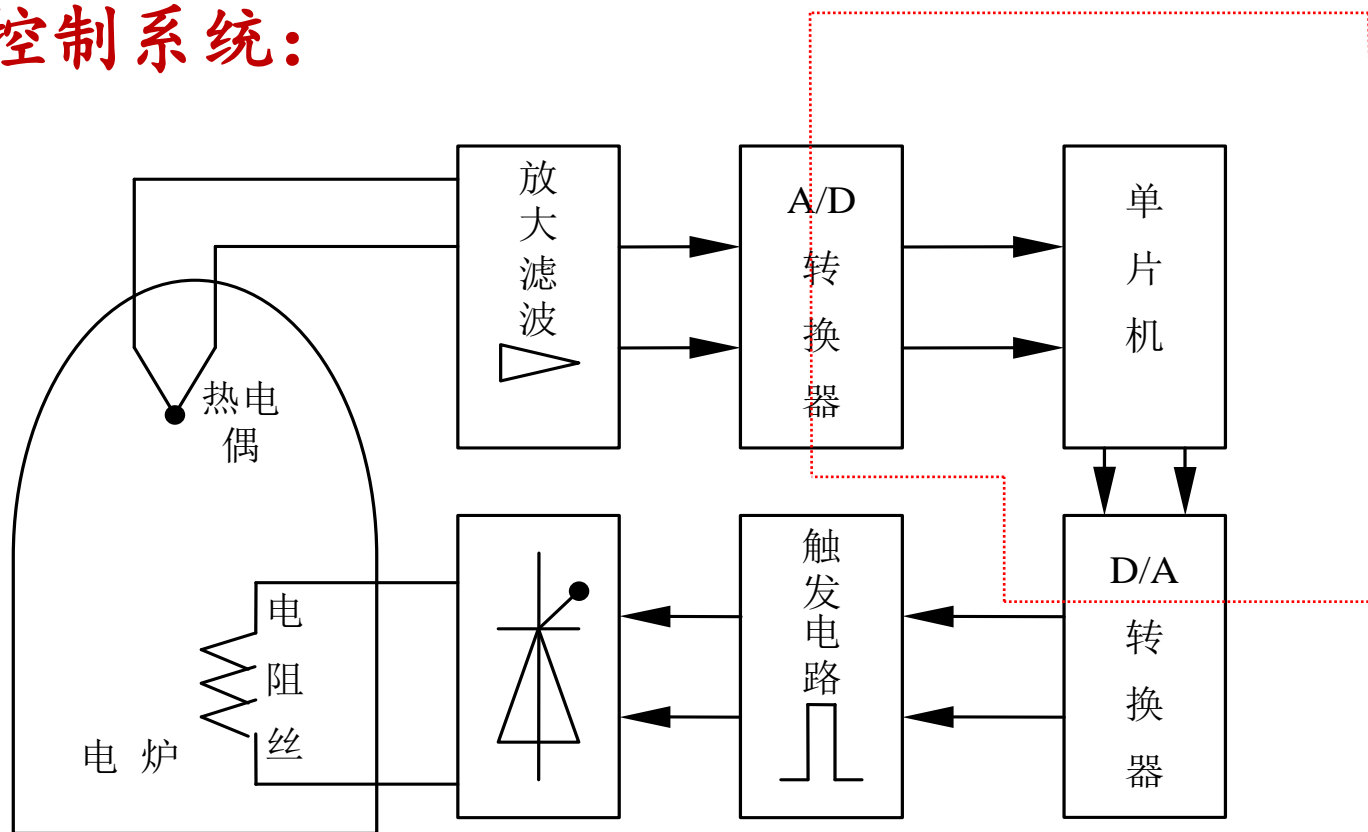
□ **连续控制系统**：各个环节的输入/输出信号都是时间的连续信号。（微分方程）

□ **离散控制系统**：各个环节的输入/输出信号都是离散信号。（差分方程）

其中离散信号有两种：脉冲信号或数字信号。

□ **采样（离散）控制系统**：系统中既有连续信号又有离散信号。

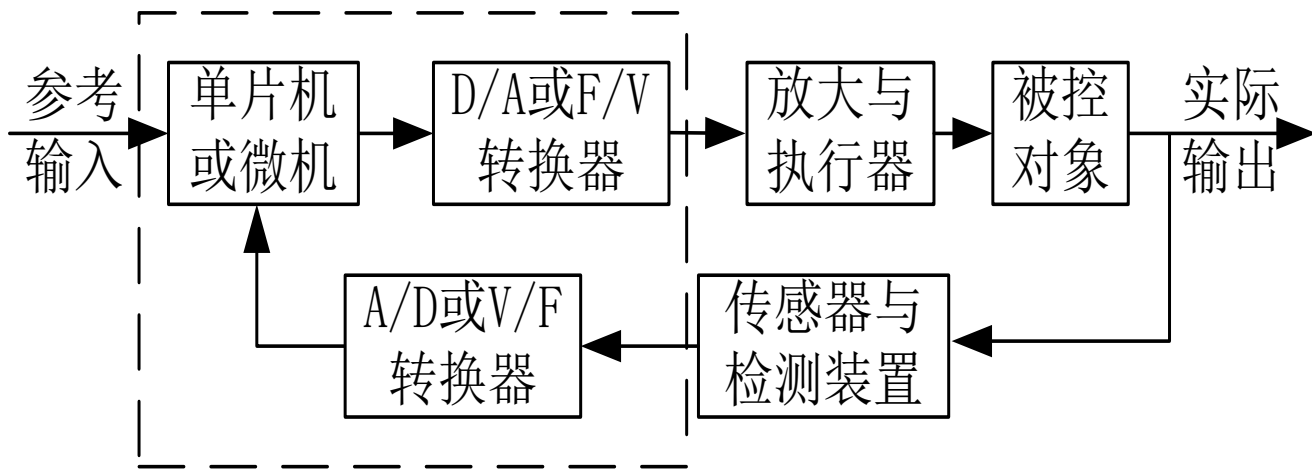
采样控制系统:



电阻炉温度微机控制系统

微机控制系统（典型采样控制系统）：

虚线框内部为数字控制器，其中参考输入可以预先储存于计算机中，这种方法通常称为内给定方式，图中所示为外给定方式。



微机控制系统

按输入输出变量的数目划分：

□ 单输入单输出控制系统

单输入单输出 (SISO: Single Input Single Output)

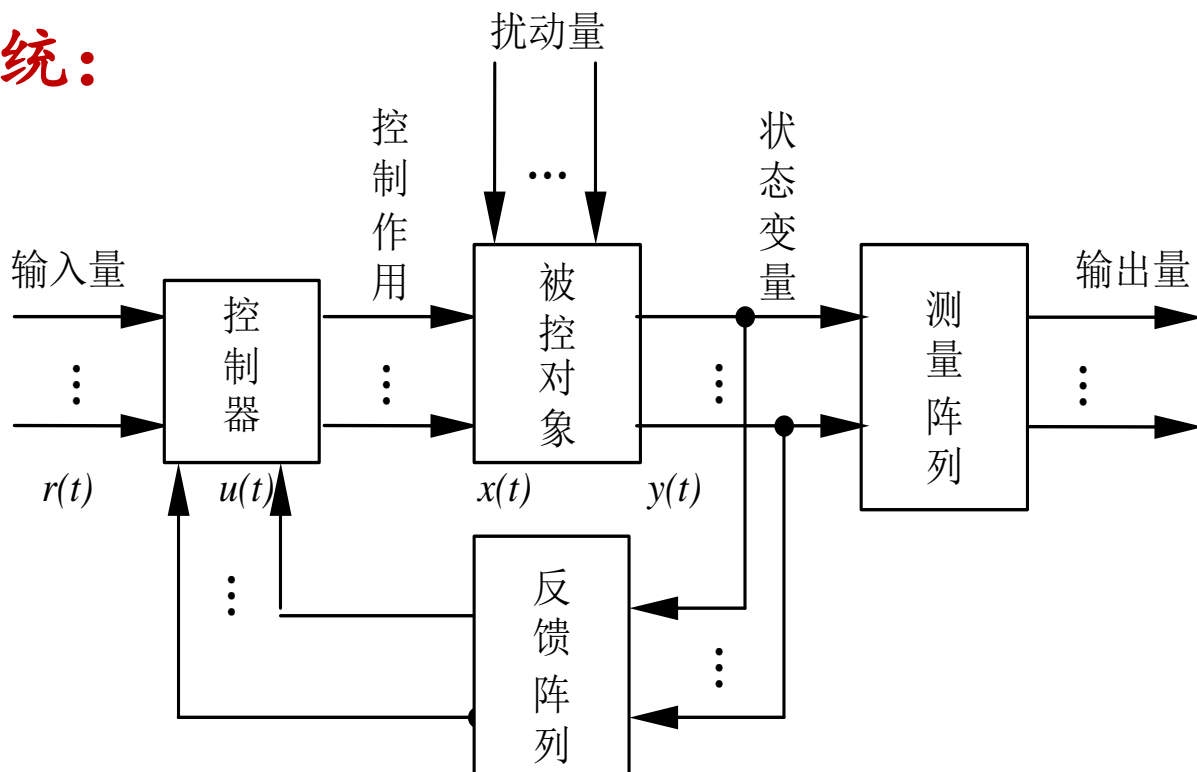
以传递函数为基础，经典控制理论

□ 多输入多输出控制系统

多输入多输出 (MIMO: Multiple Input Multiple Output)

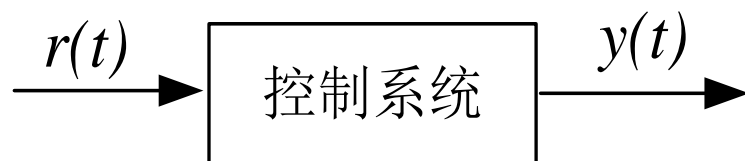
以状态空间为基础，现代控制理论

MIMO 系统:



不同之处: 多变量系统示意图

- ①输入、输出、反馈、扰动、传递函数均以矩阵形式存在;
- ②SISO系统反馈以输出反馈为主; MIMO系统以状态反馈为主。



按输入输出特性划分：

□ 线性系统：

动态系统中，各环节的输入输出特性是线性的。分为线性定常（时不变）系统和线性时变系统。

□ 非线性系统：

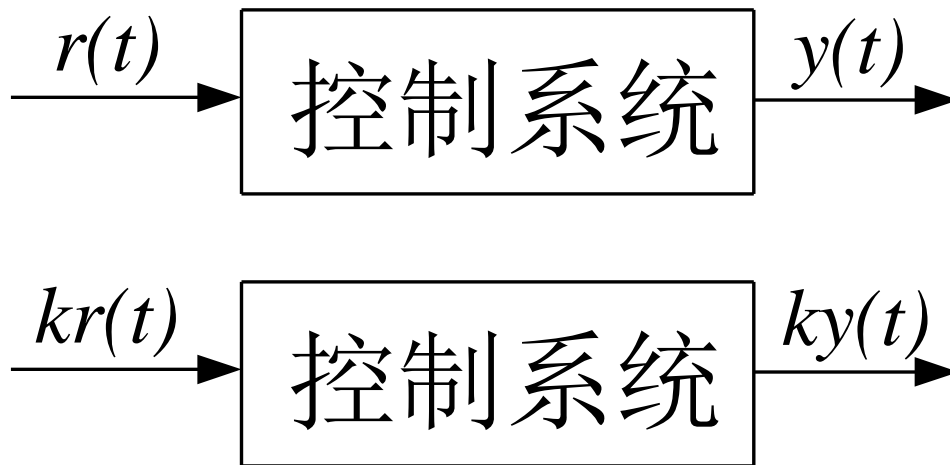
动态系统中，只要有一个元器件的输入输出特性是非线性的，则该系统为非线性系统，也可分为非线性定常系统和非线性时变系统。

其中非线性分为本质非线性和非本质非线性。

线性系统

输入、输出同时满足齐次性和叠加性原理的系统。

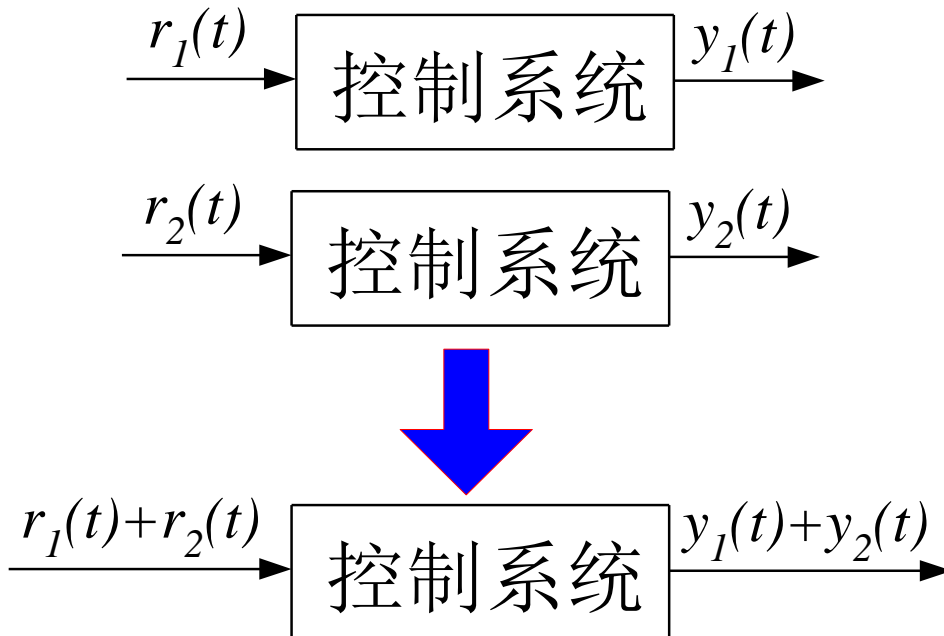
齐次性



线性系统

输入、输出同时满足齐次性和叠加性原理的系统。

叠加性



线性系统的特征

各环节的输入输出特性是线性的；

线性系统可以用线性微分（连续系统）/或线性差分（离散系统）方程来描述；（只含各阶导数的一次项）

$$\ddot{y}(t) + a\dot{y}(t) + by(t) = cr(t) \quad \text{线性定常系统}$$

$$\ddot{y}(t) + a(t)\dot{y}(t) + b(t)y(t) = c(t)r(t) \quad \text{线性时变系统}$$

满足线性关系的系统不一定是线性系统

$$y(t) = ar(t) + b$$

不满足齐次性和叠加性

非线性系统

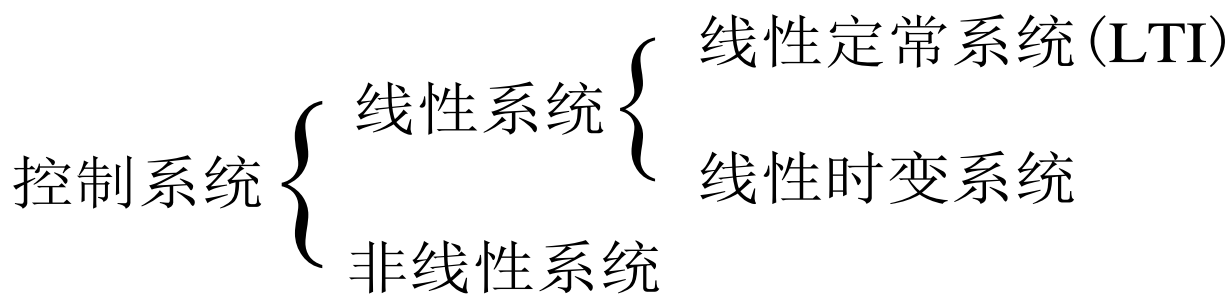
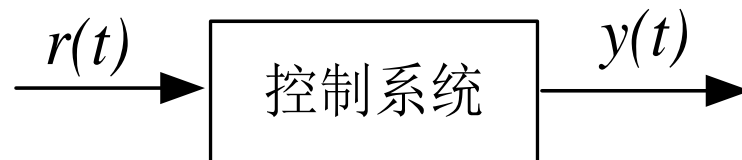
输入、输出不同时满足齐次性和叠加性原理的系统。

非线性系统的特征

只要有一个及以上的环节的输入输出特性是非线性的，则为非线性系统；非线性系统可以用非线性微分方程来描述；（某些项系数与变量有关，或方程中含有变量及其导数的高次项或乘积项）

$$\ddot{y}(t) + y(t)\dot{y}(t) + y^2(t) = r(t)$$

按输入输出特性 (总结)



线性定常系统 (LTI: Linear Time-Invariant)

- **按给定量的变化规律：** 恒值控制系统/随动控制系统/程序控制系统：
- **按输入输出量是否连续：** 连续控制系统/离散控制系统/采样控制系统
- **按输入输出量的数目：** 单输入单输出控制系统 SISO/多输入多输出控制系统MIMO
- **按输入输出特性：** 线性控制系统/非线性控制系统

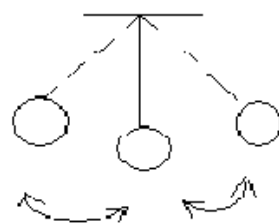
1.4对控制系统的基本要求

- 稳定性(稳: 系统结构、参数决定)
- 稳态性能(准: 稳态精度)
- 动态性能(动态品质: 好、准、快)

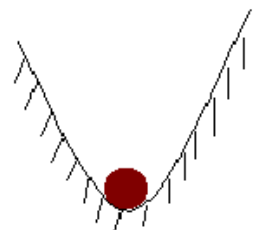
自动控制理论主要解决以下两类问题

- 系统分析: 给定系统→建模(方程)→求解、分析
- 系统设计(综合): 给定对象和控制要求→设计控制器和校正模型→满足要求

系统在受到扰动作用后自动返回原来平衡状态的能力。如果系统受到扰动作用（系统内或系统外）后，能自动返回到原来的平衡状态，则该系统是稳定的。稳定系统的数学特征是其输出量具有非发散性（收敛性）；反之，系统是不稳定系统。

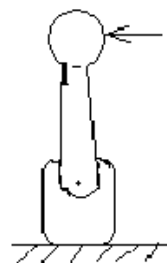


单摆

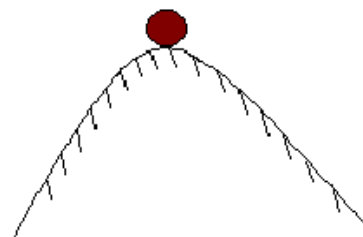


凹面小球

稳定

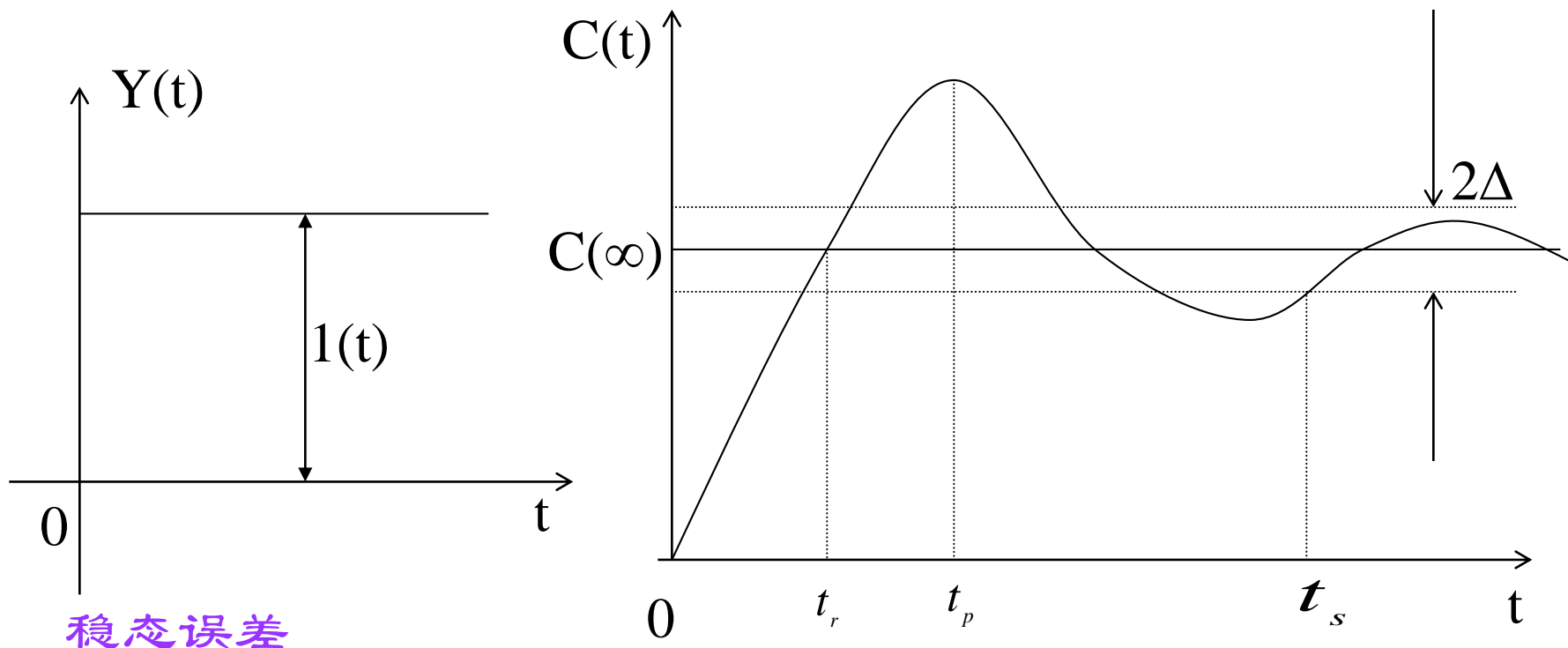


倒摆



凸面小球

不稳定



稳态误差

超调量
$$\sigma_p = \frac{c_{\max} - |c(\infty)|}{|c(\infty)|} \times 100\%$$

$$c_{\max} = \sup |c(t)|, 0 \leq t \leq \infty$$

调节时间

延迟时间

上升时间

峰值时间

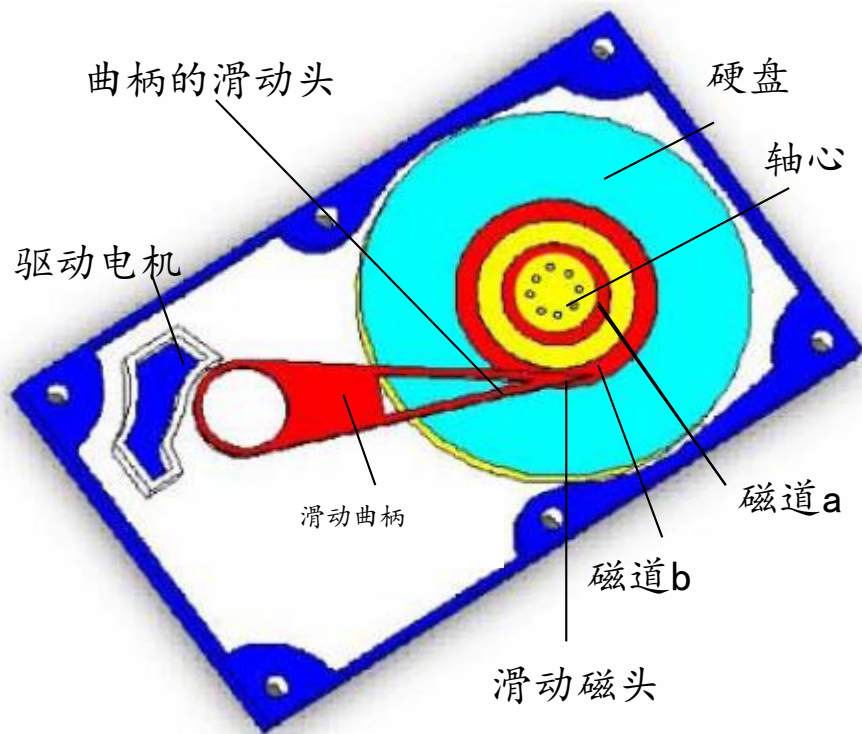


图1.16 硬盘驱动系统的基本结构图

设计步骤:

1. 被控目标: 磁头位置
2. 被控变量: 滑动曲柄顶端的磁头位置
3. 变量初始条件: 1微米
4. 建立系统框图

- 硬盘驱动系统的控制目标：磁头的位置。以便能够从相应磁道读取或存储数据；
- 需准确控制的变量是：位于滑动曲柄顶端的磁头位置。
- 期望在磁道上精确定位读写磁头，并在50ms内完成磁头在两个磁道间的移动。

硬盘驱动系统的控制框图：

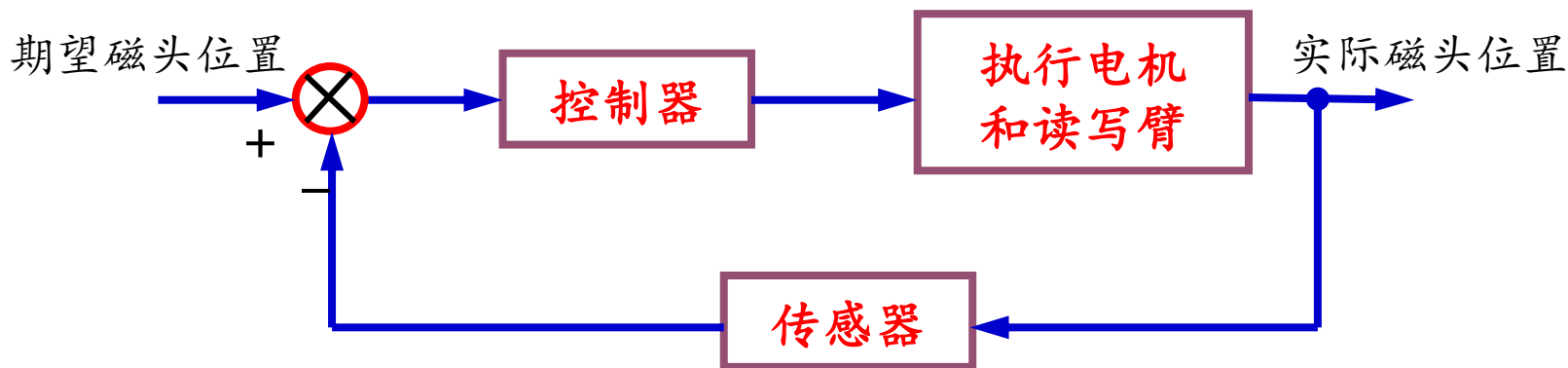


图1.17 硬盘驱动闭环控制系统

- 自动控制系统的 basic 组成（术语）
- 自动控制系统的 basic 控制方式：开环/闭环
- 自动控制系统的 basic 类型

按给定量的变化规律：恒值控制系统/随动控制系统/
程序控制系统；

按输入输出量是否连续：连续控制系统/离散控制系统/
采样控制系统；

按输入输出量的数目：单输入单输出控制系统/多输入
多输出控制系统；

按输入输出特性：线性控制系统/非线性控制系统；

- 对控制系统的基本要求（稳、准、好）

- 第2章线性系统的数学模型
- 第3章线性系统的时域分析
- 第4章线性系统的根轨迹法
- 第5章线性系统的频域法
- 第6章线性系统的校正方法
- 第7章线性离散系统的分析与综合
- 第8章线性系统状态空间分析与设计

□ 1.1

□ 1.8 (1) (2) (3) (6)



写清题号，不用抄题；