

南京大學

工程管理学院



自动化导论

Automation: An Introduction

南京大学控制科学与智能工程系
陈春林

Email: clchen@nju.edu.cn

2025年3月18日

3 自动控制系统的描述原理

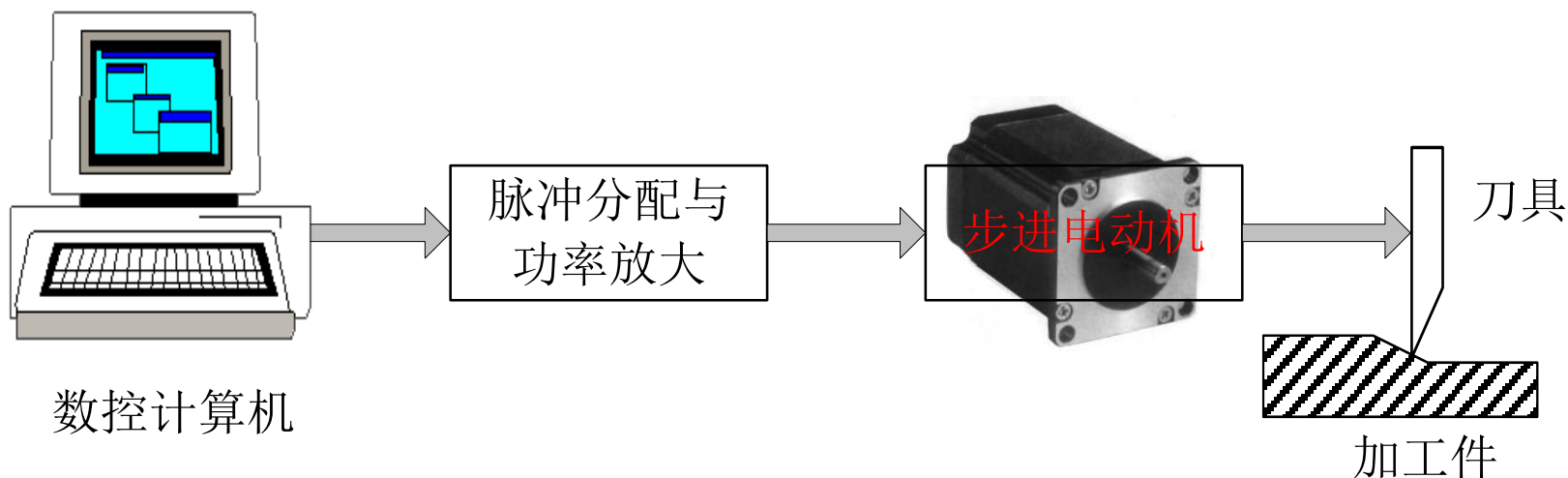
3.1 自动控制系统的组成

3.2 自动控制系统的模型体系

3.3 自动控制系统的性能描述

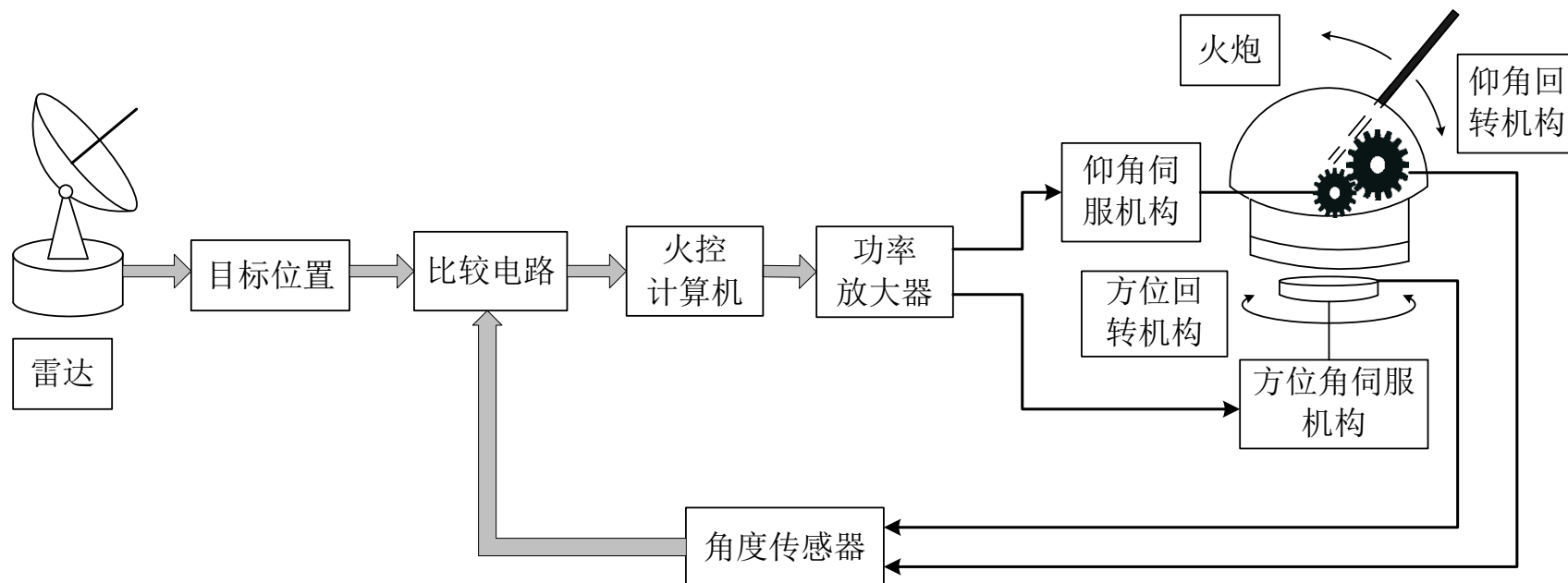
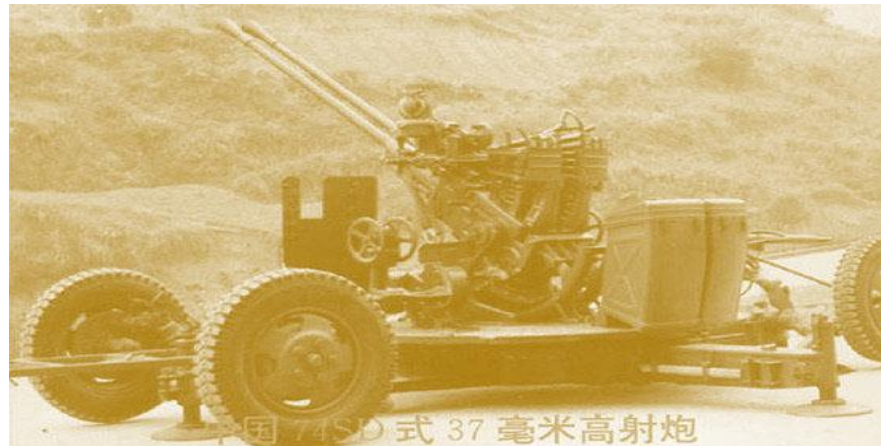
3.1 自动控制系统的组成

例：数控机床刀具控制系统



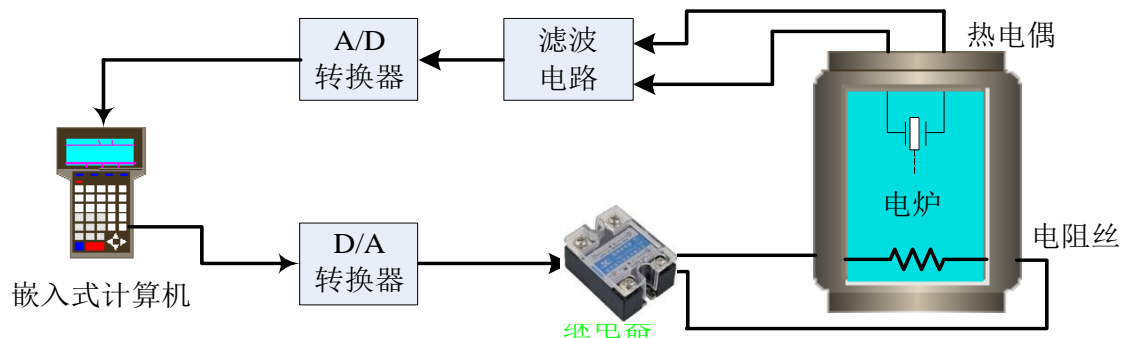
3.1 自动控制系统的组成

例：火炮随动控制系统

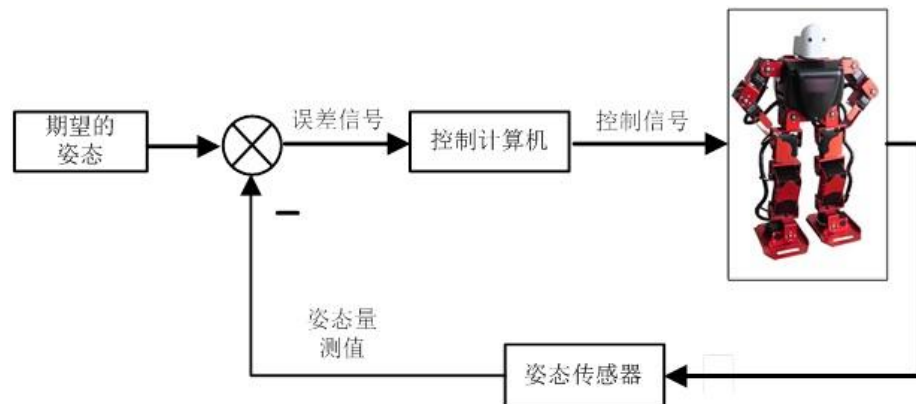


3.1 自动控制系统的组成

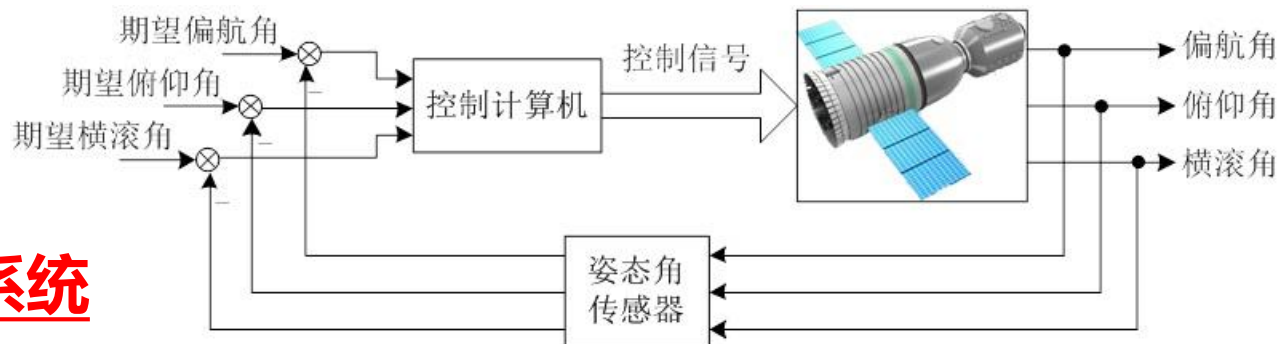
电加热炉温控系统



类人机器人控制系统



航天器姿态控制系统

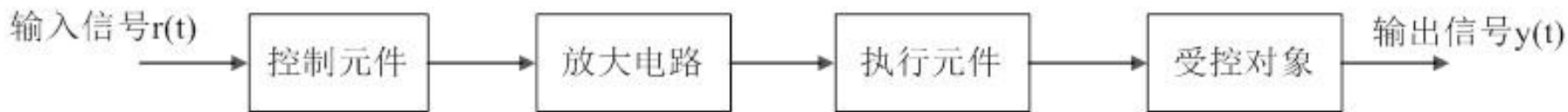


3.1 自动控制系统的组成

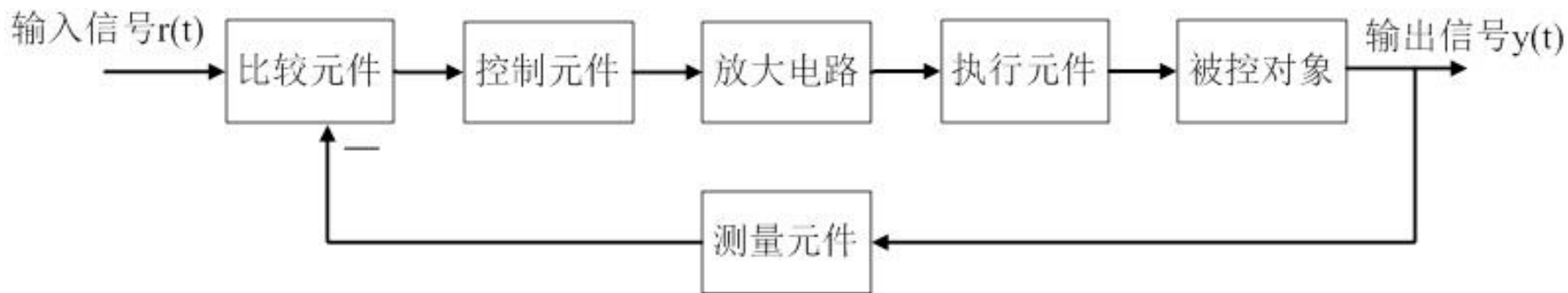
- (1) 给定元件：给出与被控量的期望值相对应的系统参考输入信息（**参考量**）。
- (2) 测量元件：即传感器，其作用是测量被控对象的某些状态信号，并将测量信息转换为**适当的信号（如电信号）**送往比较元件。
- (3) 比较元件：将测量装置（元件）测得的被控对象的**被控量**与系统参考输入信息相对比，并将所产生的**偏差**信号送往控制元件。
- (4) 控制元件：又称控制器，是自动控制系统实现控制的核心部件，其功能是根据输入信号或比较元件所给出的偏差信号按照一定的规律（即控制规则或控制算法），产生相应的**控制信号**。
- (5) 放大元件：其作用是将控制信号进行**功率放大**，以提供执行元件所需要的能量。
- (6) 执行元件：又称为执行机构或执行器，其作用是**直接驱动被控对象**，使被控对象的某些被控量（如温度、位置、速度等）发生变化。
- (7) 被控对象：广义上讲，包括进行物理、生化等过程生成被控量的**实际物体**。

3.1 自动控制系统的组成

各元件之间的关系



如数控机床的刀具控制系统——开环控制



如火炮随动控制系统——闭环控制

讨论：分别列出下列系统对应的各“元件”具体形式

	电加热炉温控 制系统	类人机器人 控制系统	航天器姿态 控制系统
(1) 给定元件			
(2) 测量元件			
(3) 比较元件			
(4) 控制元件			
(5) 放大元件			
(6) 执行元件			
(7) 被控对象			

3.2 自动控制系统的模型体系

系统模型是一个系统某一方面本质属性的描述，以某种确定形式(文字、符号、图表、实物、数学公式等)提供关于该系统的知识。

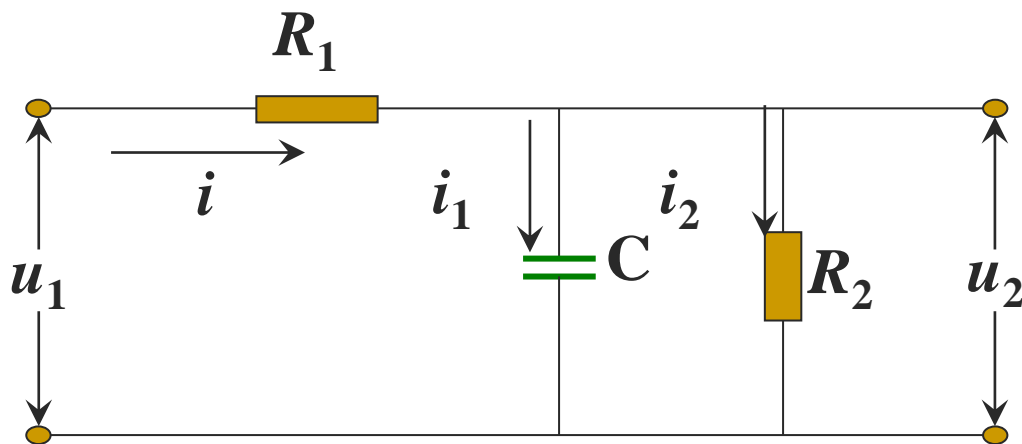
理解要点：

- (1) 系统模型一般不是系统对象本身，而是现实系统的描述、模仿或抽象。
 - (2) 系统模型只是系统某一方面本质属性的描述，本质属性的选取完全取决于研究该系统的目的。
-

3.2 自动控制系统的模型体系

系统与模型的关系

◆ 同一个系统根据不同研究目的，可以建立不同的系统模型。



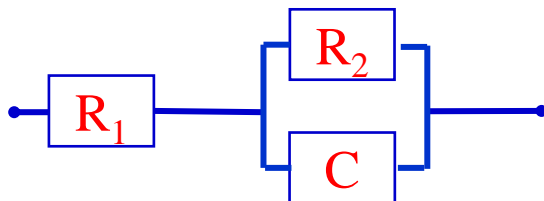
(1) 考虑总电流 i 与分电流 i_1 、 i_2 之间的关系，可建立数学模型

$$i = i_1 + i_2$$

(2) 考虑输入电压 u_1 与输出电压 u_2 之间的关系可得到数学模型

$$u_2 = L^{-1} \left[u_1 \frac{\frac{1}{C} // R_2}{R_1 + R_2 // \frac{1}{C}} \right]$$

(3) 考虑可靠性关系



3.2 自动控制系统的模型体系

系统与模型的关系

◆ 同一个系统模型，可以代表多个系统。

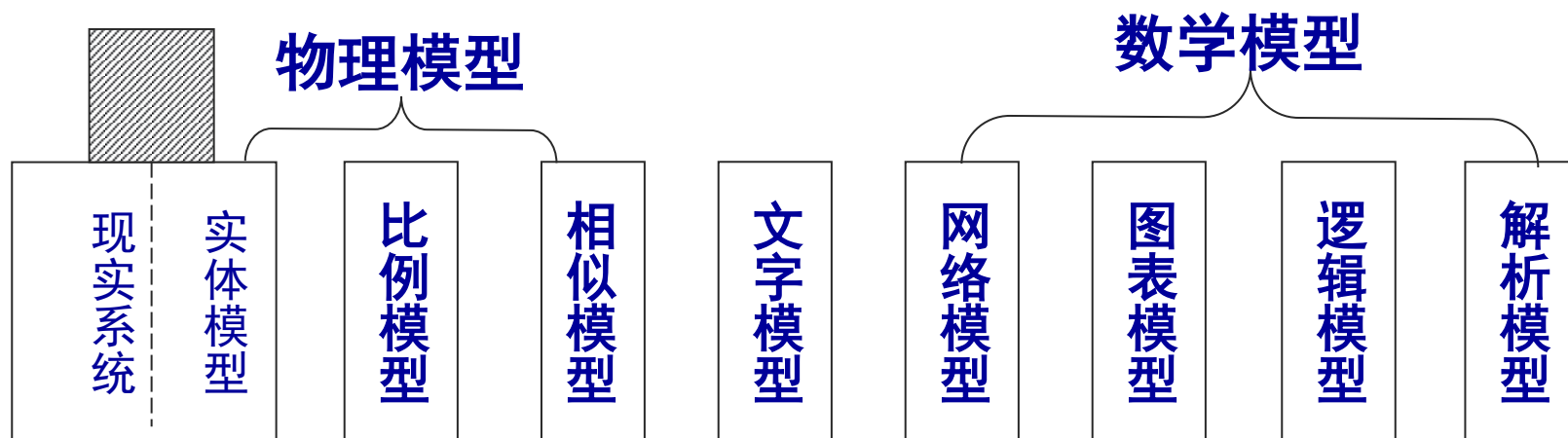
$$y = kx$$

- (1) 电压与电流、电阻之间的关系；
 - (2) 运动距离与速度、时间之间的关系；
 - (3) 力与质量、加速度之间的关系
 - (4)
-

3.2 自动控制系统的模型体系

系统模型分类

常用的几种系统模型如下图所示：



- (1) 实体模型 (如标准件的生产检验、样本)
- (2) 比例模型 (放大或缩小)
- (3) 相似模型 (利用相似原理，如用电路系统代替机械系统)
- (4) 文字模型 (如技术报告，说明书)
- (5) 网络模型 (包括逻辑关系与数学关系)
- (6) 图表模型 (图形和表格)
- (7) 逻辑模型 (如方框图、程序图)
- (8) 解析模型 (数学方程)

3.2 自动控制系统的模型体系

控制系统的模型

(广义的) 控制系统模型定义：

揭示控制系统各环节及变量内在联系及关系的文字描述、图形表示形式或数学表达式。

3.2 自动控制系统的模型体系

常用的控制系统模型

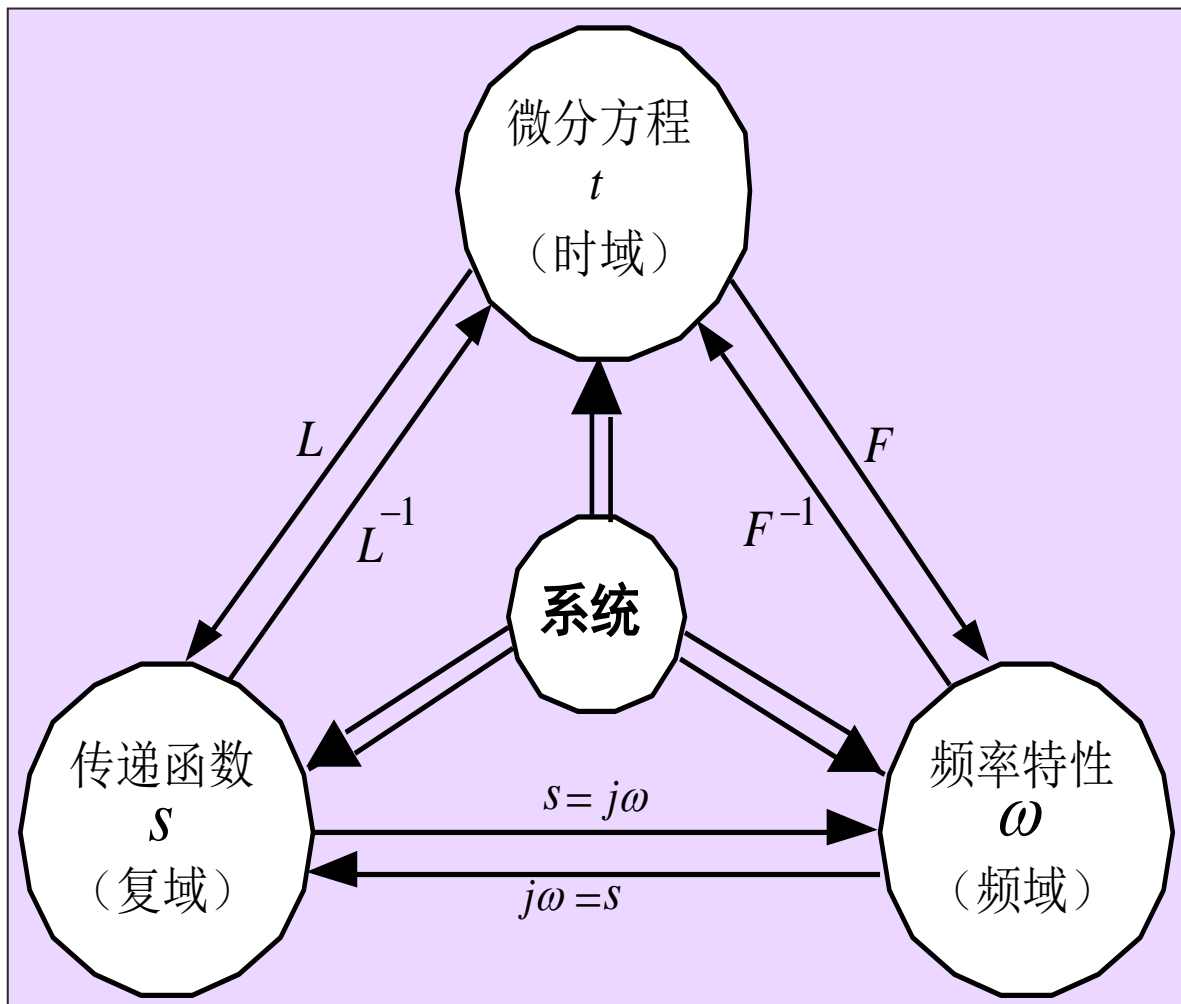
图 模 型： 原理图 方块（框）图 结构图 信号流图

文字模型： 算法及程序语言

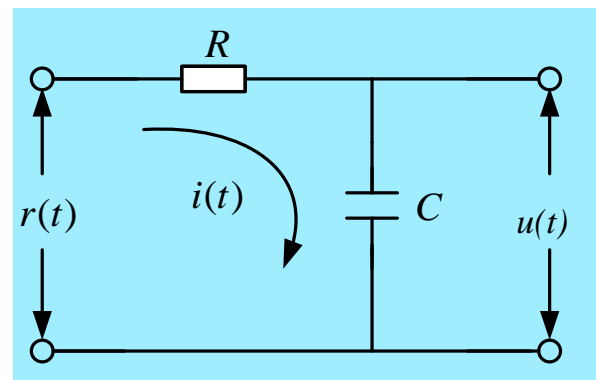
数学模型：	时域模型	微分方程（含状态空间模型）	差分方程
	复域模型	传递函数	
	频域模型	频率特性	

3.2 自动控制系统的模型体系

控制系统“三域”数学模型之间的相互关系



例：一个简单的RC电路



$$RC \frac{du(t)}{dt} + u(t) = r(t)$$

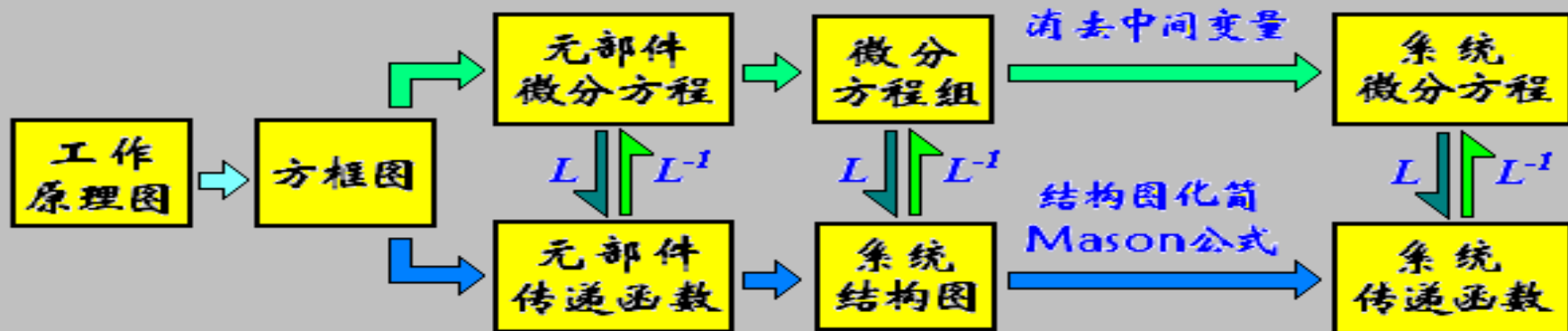
$$G(s) = \frac{U(s)}{R(s)} = \frac{1}{RCs + 1}$$

$$G(j\omega) = \frac{U(j\omega)}{R(j\omega)} = \frac{1}{jT\omega + 1}$$

3.2 自动控制系统的模型体系

控制系统模型的建模方法

方法一：机理建模法（解析法）



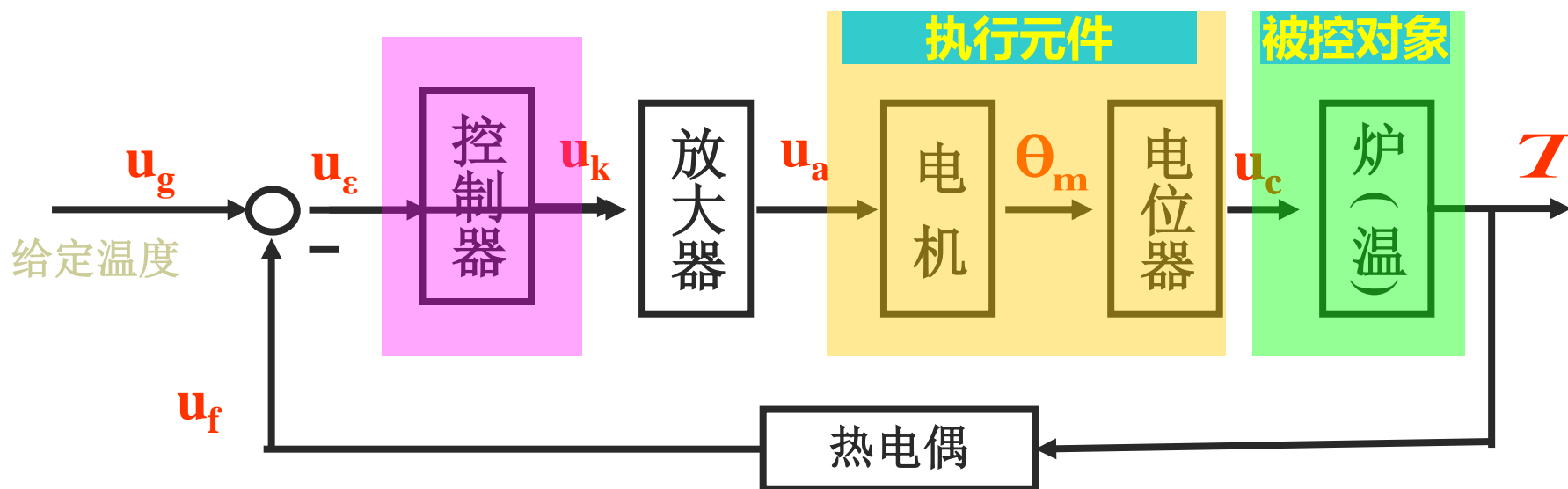
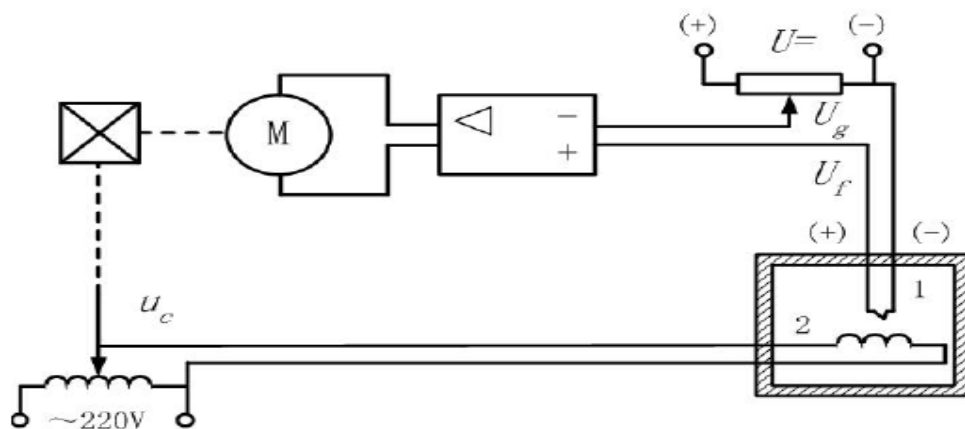
系统模型及其建立过程

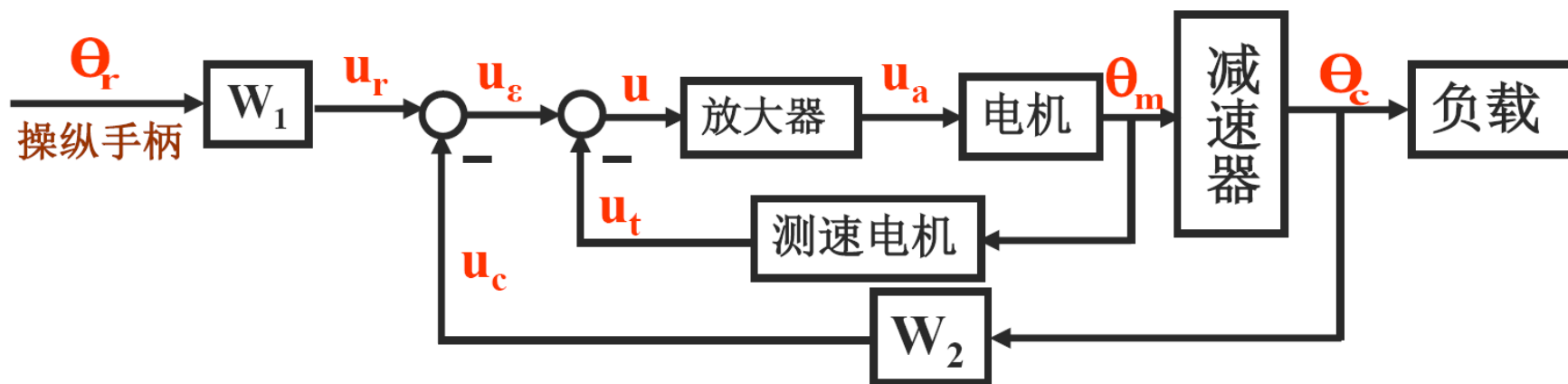
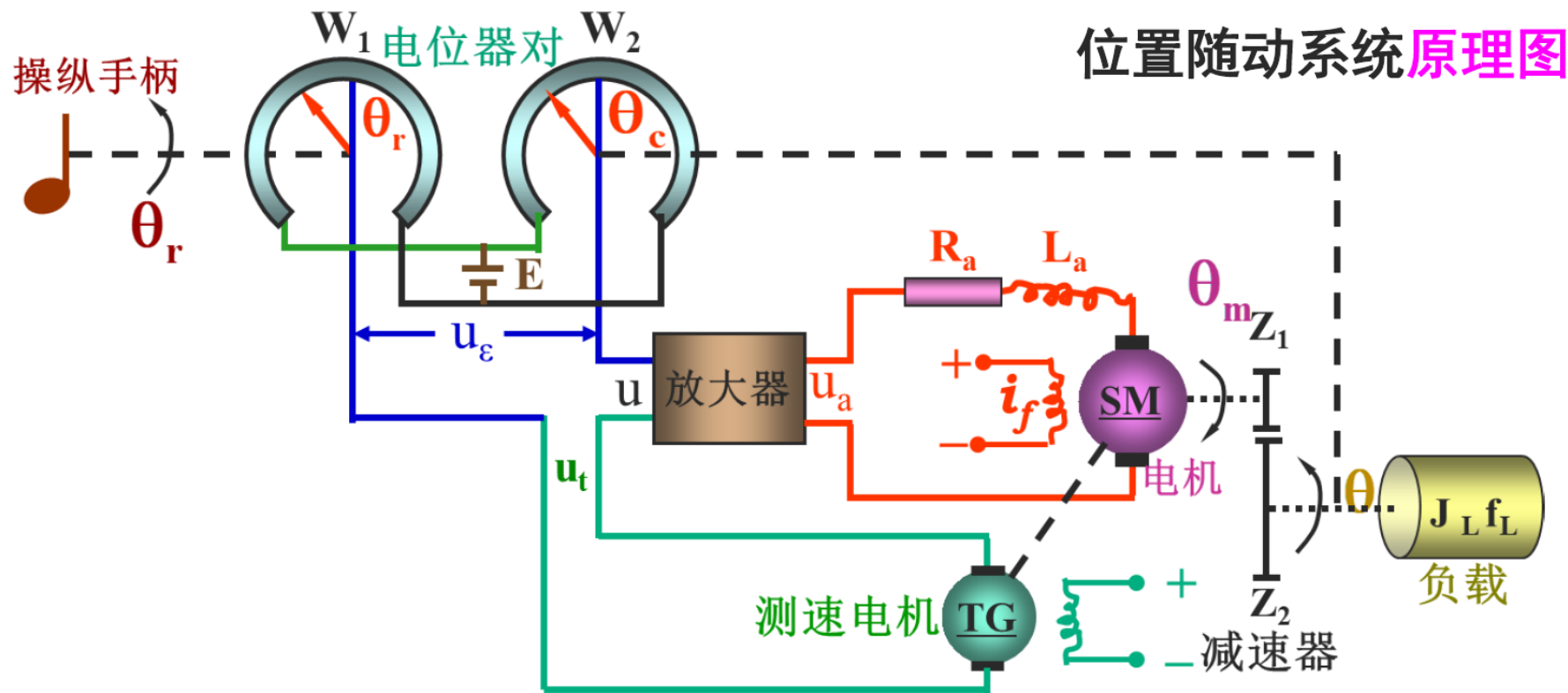
方法二：实验辨识法

思路： 根据人为施加给系统的某种测试信号，通过记录和分析系统的基本输出响应来确定系统的数学模型。

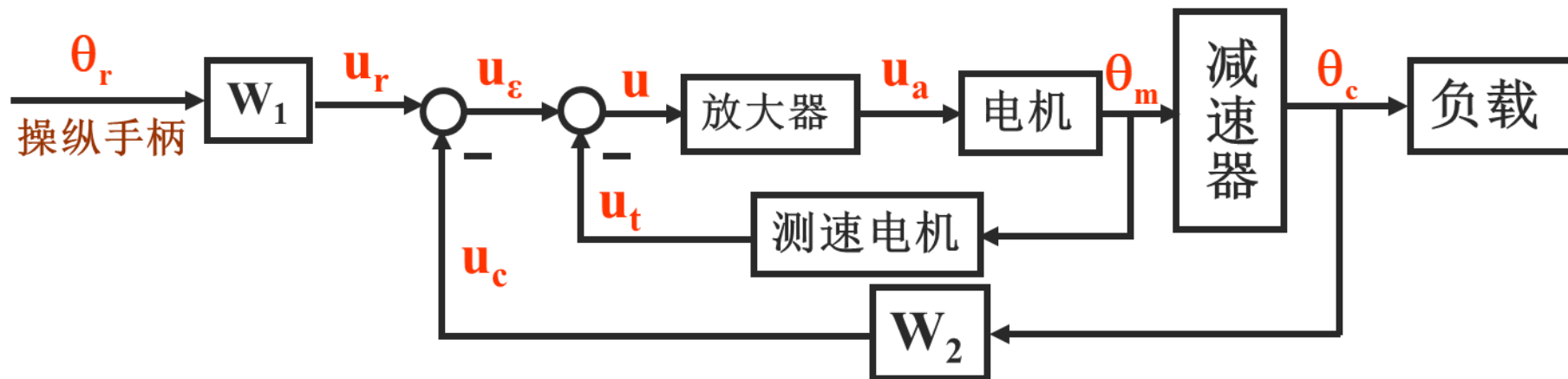
3.2 自动控制系统的模型体系

控制系统的图模型（结构图）

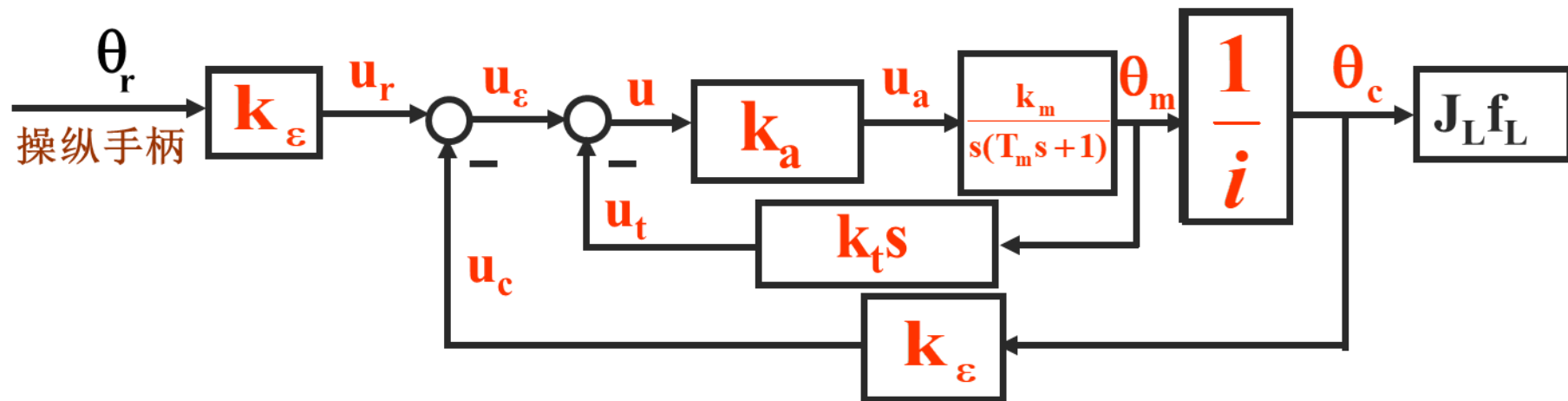




位置随动系统方框图



位置随动系统结构图



3.3 自动控制系统的性能描述

A. 稳定性

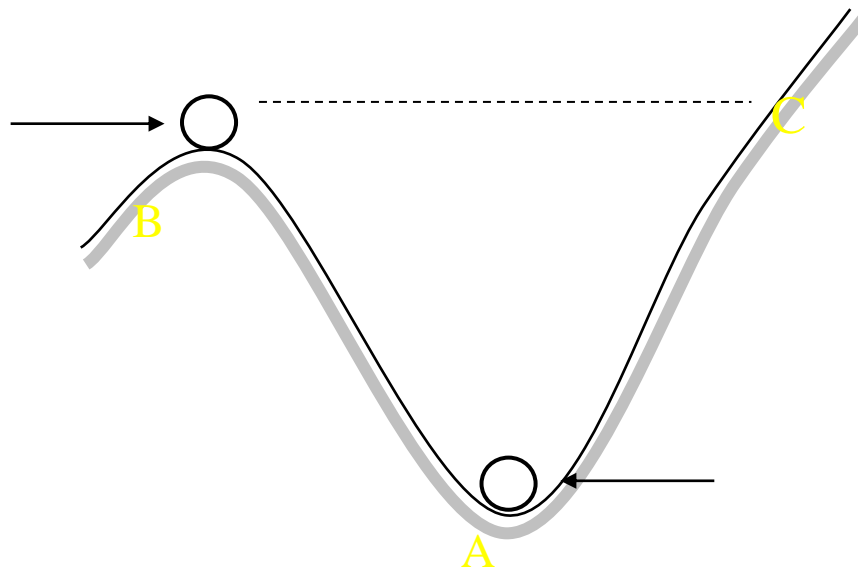
B. 准确性

C. 快速性

D. 鲁棒性

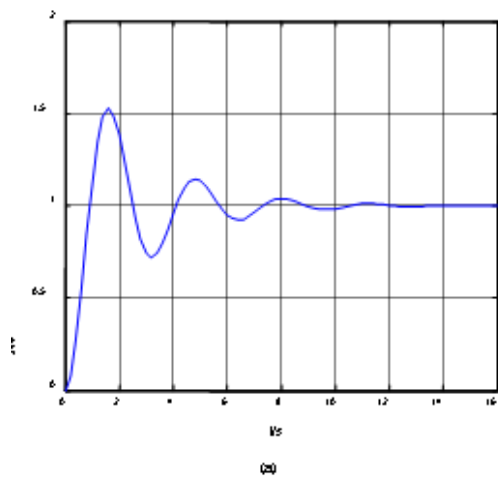
A 稳定性

■ 何为稳定性？

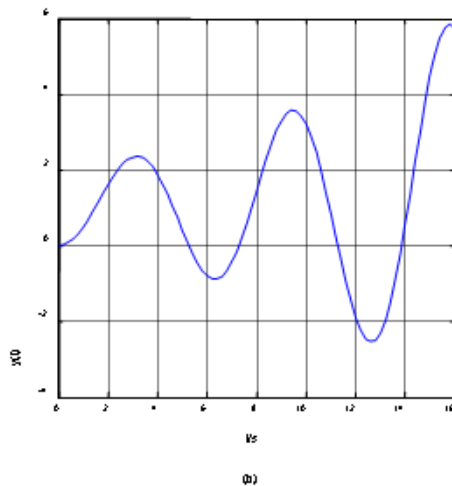


与平衡态有关！

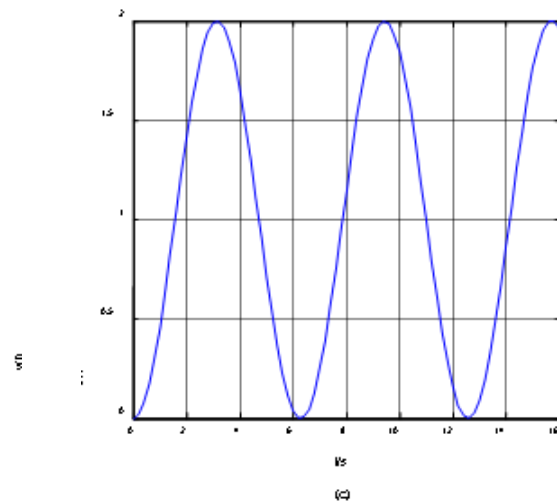
控制系统的稳定性



稳定!



不稳定!

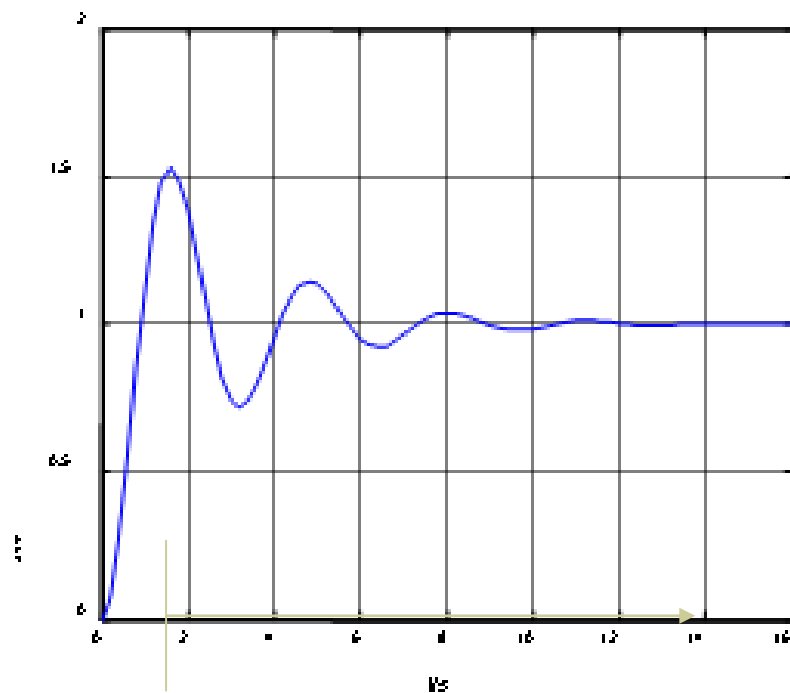


临界稳定!

稳定是系统工作的首要条件!

B. 准确性

- **过渡过程**：被控对象在响应期望输入信号时，不可能立刻达到期望的位置或状态，而是有一定的响应过程，这一过程又称为过渡过程。

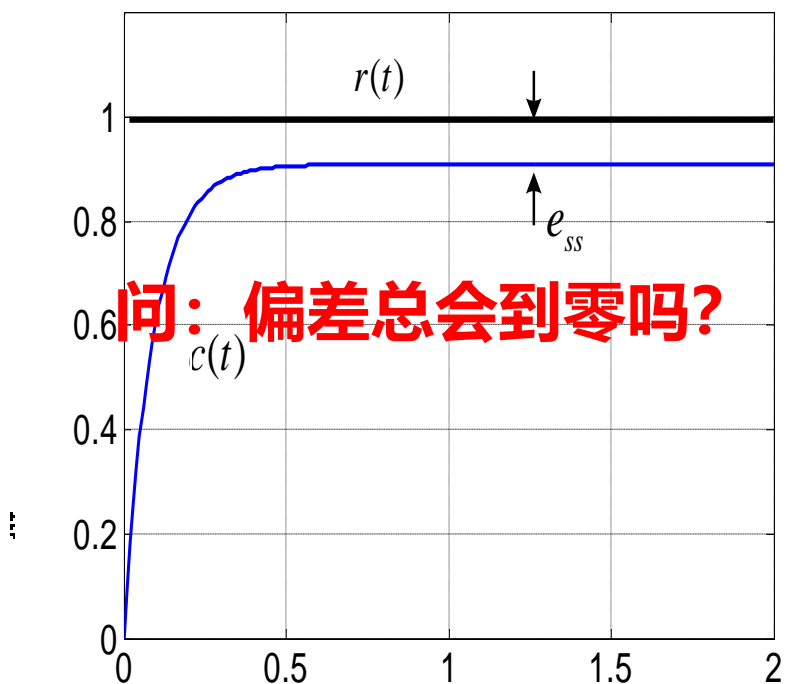


(a)

过渡过程

B. 准确性

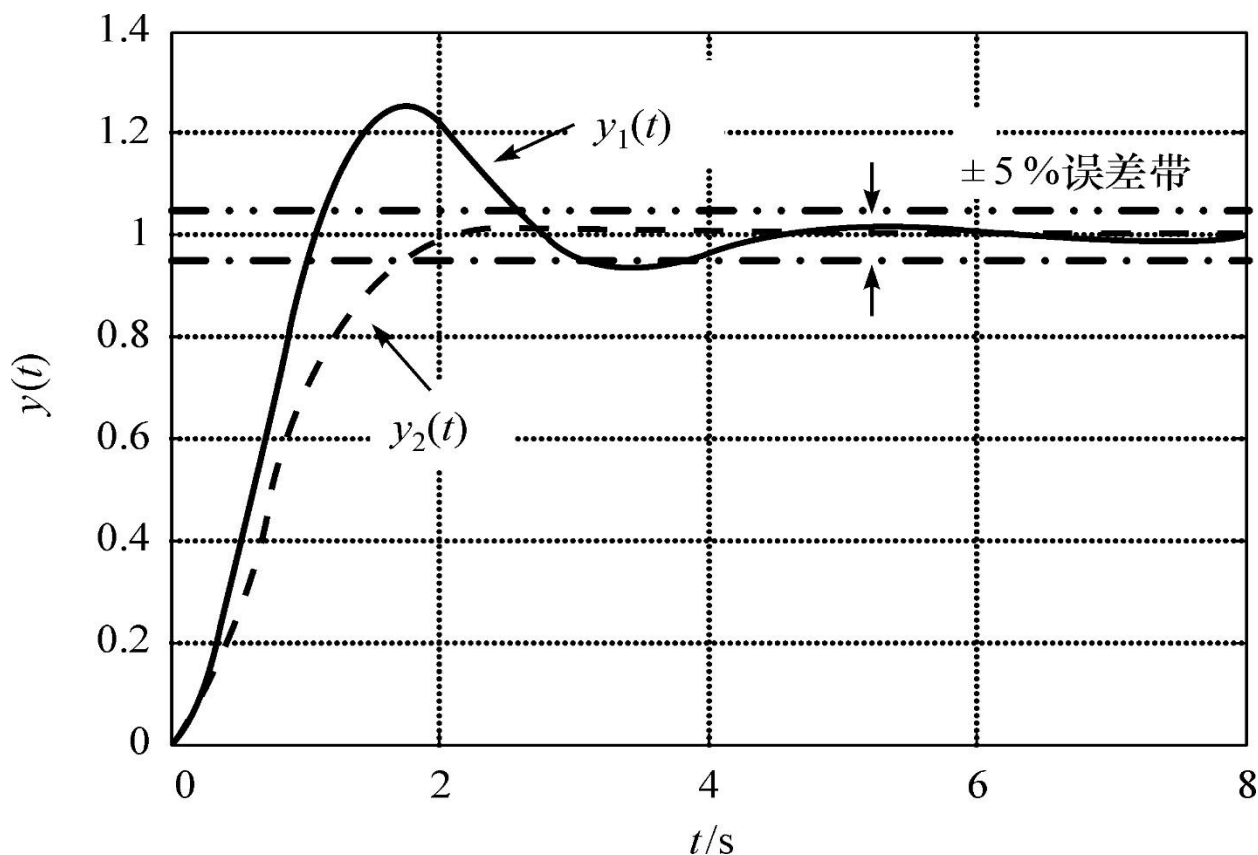
- **控制系统的准确性：** 即是指过渡过程结束后，实际输出量与期望输入量之间的偏差大小，也称为系统的静态精度（Static Precision）或稳态精度（Steady Precision）



对稳定系统：
实际的输出与期望输出的偏差逐渐减小，并趋于一定值，理想情形是0。

C. 快速性

- 自动控制系统被控对象对输入量的响应是需要一定的过渡过程的，实际工程中，我们总是希望这个过程能够尽快地结束，这就是对控制系统快速性的要求。

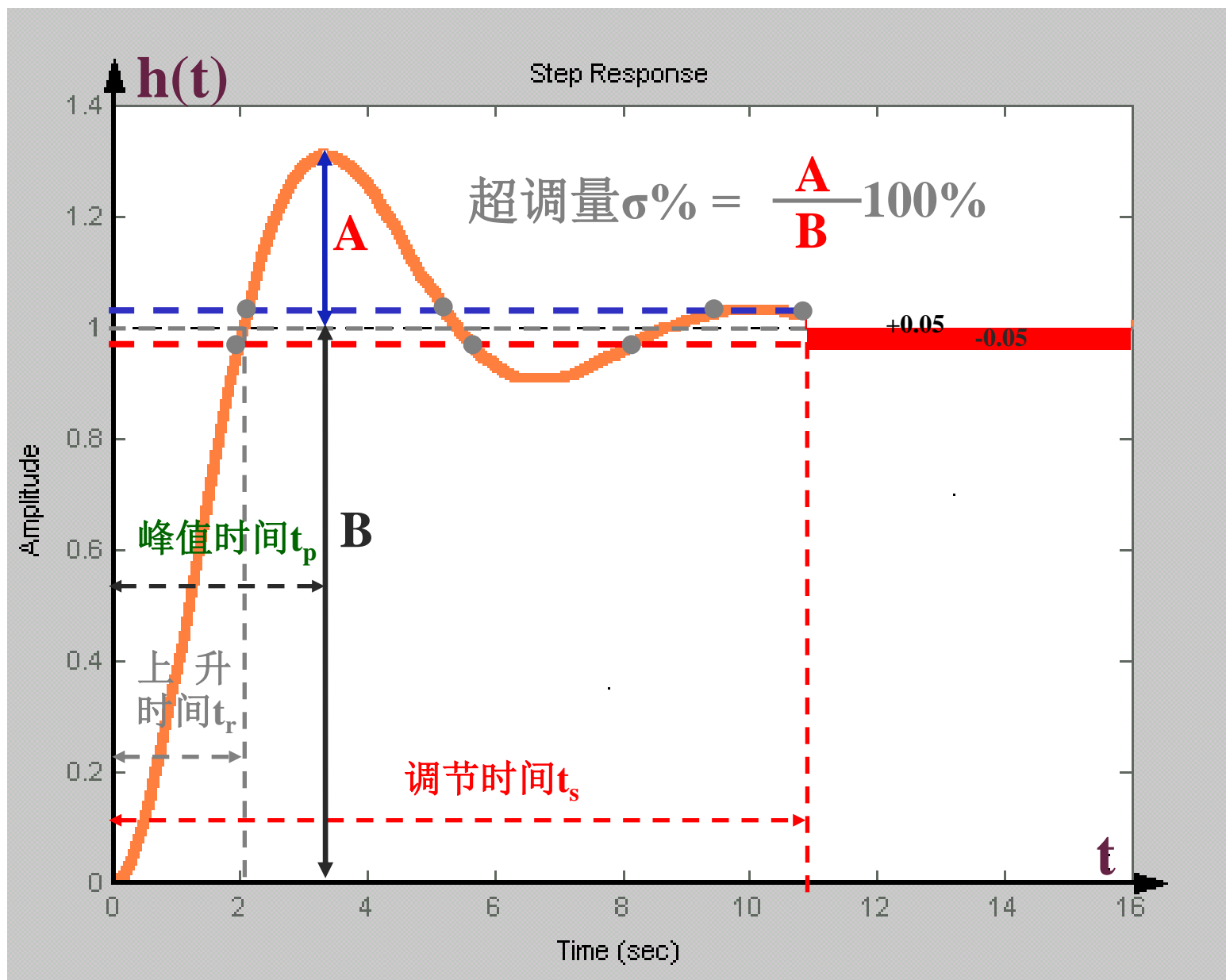


快速性性能指标

(单位阶跃函数作用下的定义)

- (1) **延迟时间** t_d (Time Delay): 响应曲线第一次达到终值的一半所需的时间。
- (2) **上升时间** t_r (Rise Time): 响应从终值的10%上升到终值的90%所需的时间; 有振荡时, 可定义为从0到第一次达到终值所需的时间。
- (3) **峰值时间** t_p (Peak Time): 响应超过其终值, 达到第一个峰值所需要的时间。
- (4) **调节时间** t_s (Settling Time): 响应达到并保持在终值的 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2\%$ 误差范围内所需的最短时间。
- (5) **超调量** $\sigma\%$ (Percent overshoot) : 峰值超出终值的百分比。

$$\sigma\% \triangleq \frac{h(t_p) - h(\infty)}{h(\infty)} 100\%$$



D. 鲁棒性

- “鲁棒性”：

指控制系统在一定（结构，大小）的参数摄动下，维持某些性能的特性。根据对性能的不同定义，可分为稳定鲁棒性和性能鲁棒性。
