

南京工程学院教案【封面】

任课系部：能源与动力工程学院 授课时间：2007/2008 学年第二学期

课程名称	自动控制原理 A		课程编号	0806307302	
专业	热能与动力工程专业 (生产过程自动化)		班级	热自 051	
课程类别	必修课	公共基础课 ☐ ; 专业基础课 ☒ ; 专业课 ☐			
	选修课	限选课 ☐ ; 任选课 ☐ ; 公选课 ☐			
总学时数	56	学分数	3.5	考核方式	考试 ☒ ; 考查 ☐
学时分配	课堂讲授 54 学时; 实践课 2 学时				
教材名称	《热工过程自动控制原理》	作者	陈绍炳 于向军	出版社及 出版时间	东南大学 出版社, 2003 年
指定参考书	《自动控制理论》	作者	吴麒	出版社及 出版时间	清华大学 出版社 1994 年
	《热工过程自动调节》		丁轲轲		中国水利水电出版社 2000 年
授课教师	朱红霞	职 称	助教	单位	能源与动力 工程学院

南京工程学院教案【教学单元首页】

第 1、2 次课

授课学时 4

教案完成时间：_____

章、节	第 1 章 绪论
主要内容	◆ 自动控制的概念 ◆ 反馈控制的原理 ◆ 控制系统的方框图 ◆ 自动控制系统的分类 ◆ 控制系统的过渡过程
目的与要求	目的：使学生了解本课程的性质和任务，认识到自动控制的重要作用，并掌握有关自动控制的基本知识。 要求：掌握有关自动控制的基本概念；着重了解反馈控制的基本原理；明确控制系统的任务、组成；初步掌握控制系统方框图表示方法；了解自动控制系统的分类；了解控制系统的四种过渡过程及特点。
重点与难点	重点： 1. 自动控制中常用术语的含义； 2. 自动控制系统的组成； 3. 反馈控制和前馈控制的基本原理及特点。 难点： 1. 反馈控制和前馈控制原理； 2. 根据系统原理图画出系统方框图的方法。
教学方法与手段	课堂讲授、课堂提问、课后练习相结合，教学内容上注重理论联系实际，将抽象的概念和问题实例化，以便于学生更好地理解。

第一章 绪论

§1-0 引言

一、何谓自动控制(定义)

自动控制——在没有人直接参与的情况下,利用控制器或控制装置,使机器、设备或生产过程(即被控对象)的某个工作状态或参数(即被控量)自动地按照预定的规律变化。

性能指标或目标函数

生产技术的发展:

人工操作

→ 机械化

→ 自动化

二、自动控制理论研究问题

- 分析控制系统的一般规律
- 设计合理的自动控制系统

三、控制理论的发展历程

1. 经典控制理论

工程应用

40~50年代形成

研究对象: SISO系统

基于: 二战军工技术

目标: 反馈控制系统的镇定

基本方法: 传递函数、频率特性、PID调节器

数学工具: 时域分析法、根轨迹法、频率分析法

——这部分为补充

内容,让学生对

控制理论的

发展历程和

最新发展动态

有所了解。

2. 现代控制理论

60~70年代形成

研究对象: MIMO系统, 非线性系统, 时变系统...

基于: 冷战时期空间技术、计算机技术

目标: 最优控制

基本方法: 状态方程

数学工具: 状态空间法

3. 智能控制技术

90年代开始发展

研究对象：大系统、复杂系统

• 专家系统

数学工具：推理决策

• 模糊控制

• 神经网络

• 遗传算法

4. 正在发展的各个领域

• 自适应控制

• 大系统理论

• H_∞ 鲁棒控制

• 非线性控制 (微分几何、混沌、变结构)

四. 热工自控 (自动化)

• 自动检测 装置：模拟式、数字式仪表以及 CRT 图像显示器

• 顺序控制 (程序控制) 用于机组的启停 (自动操作)

• 自动保护 如炉膛熄火保护、汽机的超速保护

• 自动调节 最经常起作用的一种自动控制手段

└ 自动维持生产过程在规定的工况下运行。

§1.1 §1.2 自动控制的基本概念与反馈控制原理

为保证生产的安全性、经济性,保持设备的稳定运行,必须对表征生产过程进行情况的一些物理参数进行调节,使它们保持在所要求的额定值附近,或按一定的要求变化,如…。在设备运行中,这些参数常受到各种因素的影响而偏离额定值,这时,运行人员就要及时进行操作,对它们加以控制。

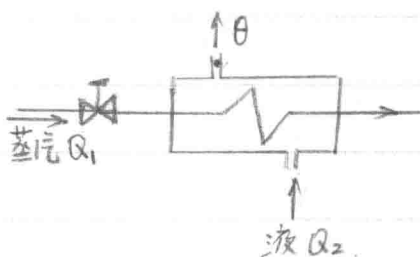
例: 加热炉出口温度控制

(1) 控制任务: 在满足外界负荷

(热水用户的用水量)需要的前提下,

将加热炉出口水温度控制在预期

要求的温度 θ_0 上。



常用术语:

• 被控对象: 被控制的生产过程或设备。(蒸汽加热液体的过程或加热炉)

• 被调量(被控参数): 表征生产过程是否符合规定工况的物理量。

即描述被控对象工作状态的物理量,也就是通过调节需要

维持为规定数值的物理量。(被加热液体的出口温度 θ)

• 给定值: 表征被调量的希望运行规律,即希望被调量维持的数值。

在很多情况下,给定值是不变的,有些情况下是按一定要求变化的。(如 $\theta_0 = 60^\circ\text{C}$)

• 扰动: 引起被调量变化(偏离其给定值)的各种原因。

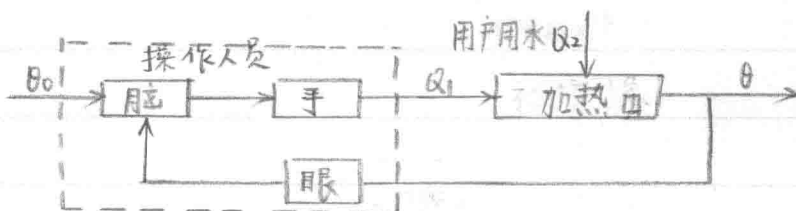
• 控制量(或调节量): 由控制(调节)作用来改变,去控制被调量变化

(使其恢复为给定值)的物理量。(蒸汽流量 Q_1)

(2) 人工调节过程:

平稳状态时, $\theta = \theta_0$, 不需要调节。当发生扰动时, (如热用户的用水量 Q_2 变化) $\theta \neq \theta_0$, 操作人员根据 θ 偏离给定值 θ_0 的情况来操作调节阀, ..., 直到 $\theta = \theta_0$, 达到一个新的平衡状态。

控制设备 { 检测变送部件 — 眼
逻辑判断及数学运算部件 — 脑
执行部件 — 手



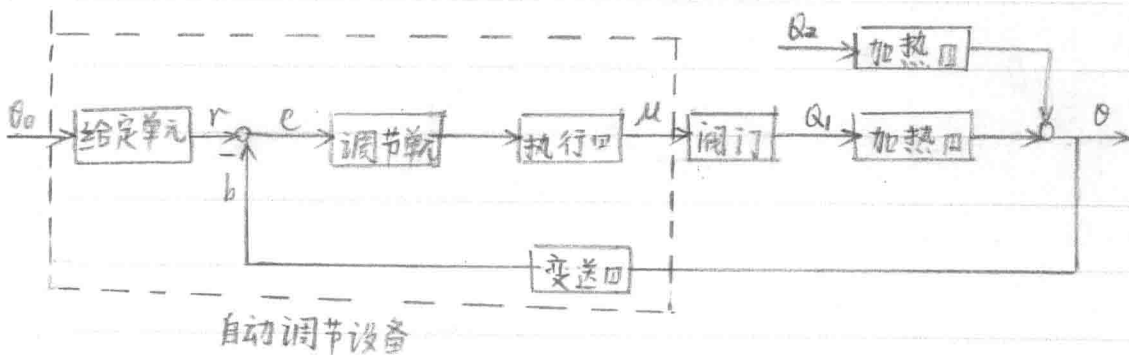
方框图表示在实现控制的过程中各个变量(信号)之间的关系。

(3) 自动调节过程:

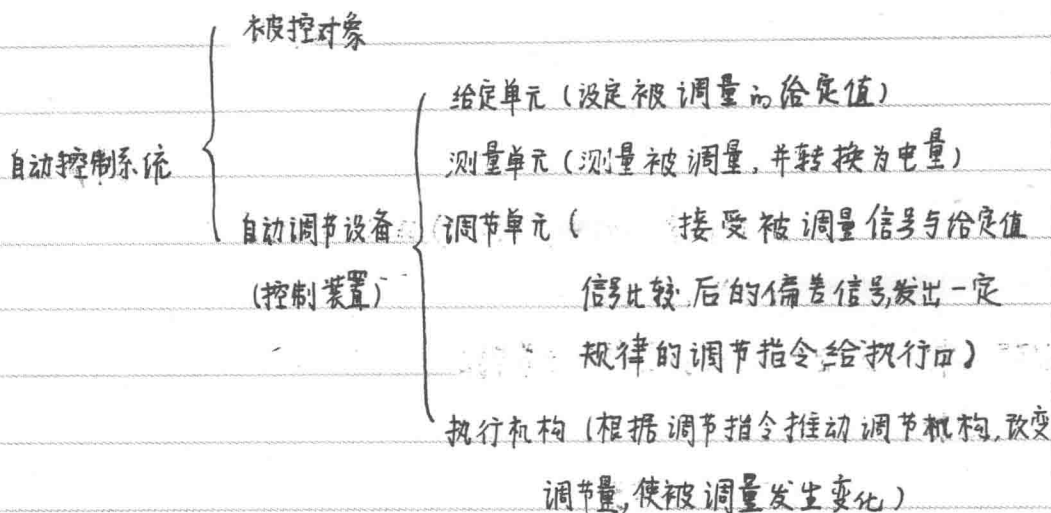
用自动化装置代替人工操作。

示意图见书 P3 图 1-3(a)

当被控对象受到扰动, 被调量偏离给定值后, 测量单元(温度变送器)检测出被调量的变化; θ 与 θ_0 比较后的偏差值通过调节单元进行放大、运算和综合; 调节单元输出的信号控制执行器改变调节量, 直到 θ 恢复到 θ_0 。



全 自动控制系统的组成



全 反馈控制原理 (即被调量)

系统的输出量经测量和变换后反馈到输入端, 与给定输入信号相比较得到偏差信号, 偏差信号经控制器产生控制作用使输出量按要求变化。

把取出的输出量送回到输入端, 并与输入信号相比较产生偏差的过程, 称为反馈。若反馈的信号是与输入信号相减, 使产生的偏差信号越来越小, 这种反馈称为负反馈; 反之, 则称为正反馈。

↳ 控制作用的方向与被调量的变化相反。

从前面的分析可看出, 控制就是消除扰动的影向, 使被调量恢复到给定值。

• 闭环控制: 信息传输构成了一个闭合回路。

* 开环控制: “ ” “ ” 没有构成 “ ” , 被调量对控制没有影响 (如洗衣机)

• 调节过程: 从扰动产生, 使被调量变化, 操作人员或控制回改变调节机关, 从而使被调量变化, 使被调量最终又回到给定值的过程。

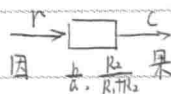
(动态偏差、过渡过程时间)

* 方框图的作用：调节系统的方框图直观地表示了系统中各装置的功能和它们之间信号的传递关系。

- 一、方框图
- 环节
 - ① 环节可大可小
 - ② 环节是抽象的组合体
 - 信号线
 - ③ 具有单向性 (明确因果关系)



③ 有方向 x 表示输入原因, y 表示输出结果



[方框均表示系统中某一看得见、摸得着的物理实体 (元件)]

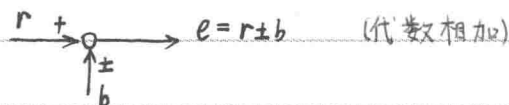
带箭头的短线表示输入、输出信号 (物理量)。

① 分解与综合

方框图的开式不一定是唯一的, 根据分析问题的需要可将环节分解得细一些, 也可画得概括简洁些, 但各个方框所代表的具体元部件及各方框间的联系必须与实际情况一致。

二、两个符号

(1) 相加点



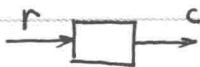
比较点处的信号一定是相同性质的物理量, 否则不可比较。

(2) 分支点



分支点 (引出点) 后的信号 = 分支点以前的信号

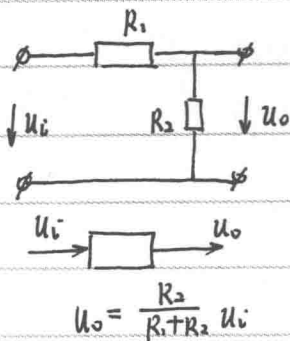
② 抽象的组合体



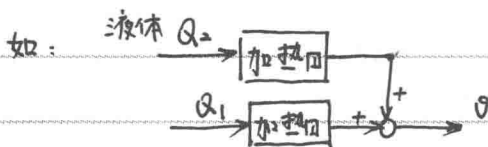
$$\frac{r}{a} = \frac{c}{b} \quad c = \frac{b}{a} r$$

输入与输出是线性关系

这两个环节是相似的，特性一样，可用电路来研究杠杆。



(2) 即使是同一元件或同一设备，对于不同的输入与输出信号若其传递关系不相同，那它方框图表示的内容和方式也就不同。



* 自动调节系统是动态系统(运动中的)，工作时系统中各变量都在不断变化。

用方框图来表示各变量之间的关系，从而写出各变量之间的数学关系是分析研究自动调节系统的一种有效方法。

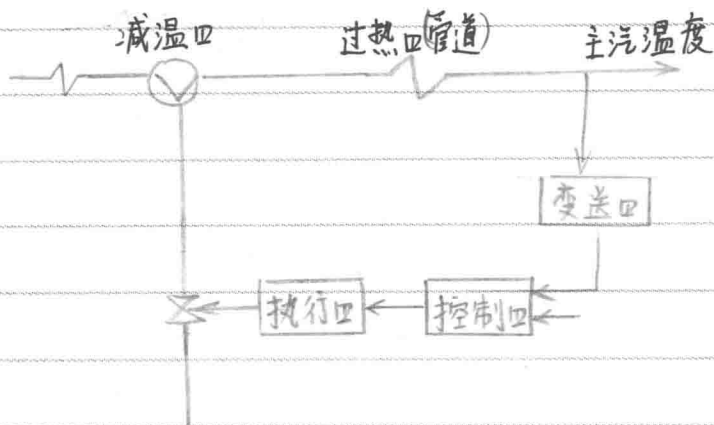
三. 依据主汽温度自动调节系统示意图画出原理方框图。

提示：在画方框图时，先定位对象。

例：简单主汽温度自动调节系统

(1) 控制系统的任务：为保证机组的安全运行，要求主蒸汽温度为设定值。

(2) 控制系统构成：



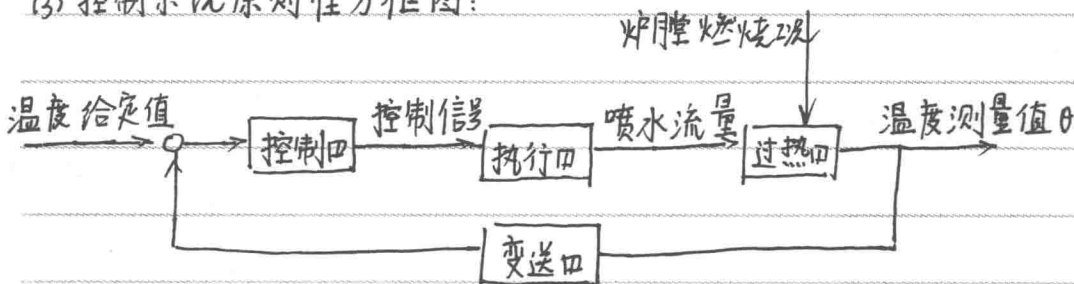
被控对象—过热(管道)；执行—电动喷水阀门；

检测变送元件—热电偶和温度变送器；核心—电动控制。

其中：被调量—主汽温；调节量—喷水流量；

干扰信号—炉膛燃烧工况。

(3) 控制系统原则性方框图：



(4) 控制过程分析：

$\theta = \theta_0$ ，喷水阀门不动，系统处在动态平衡状态。

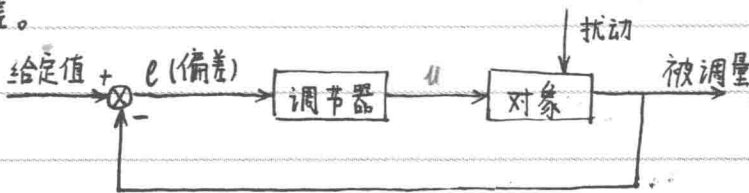
炉膛燃烧工况变化， $\theta \neq \theta_0$ ，偏差信号经控制器的方向性判断及数学运算后，产生控制信号使喷水阀门以适当形式打开，喷水流量增加，测量值最终回到设定值，系统重新回到平衡状态。

§1-4 自动控制系统分类 (代表性的)

一. 按信号馈送方式分类

1. 反馈控制系统 (闭环系统) (最基本的)

∴ 按被调量与给定值的偏差进行调节, 目的是尽可能地减小或消除偏差。

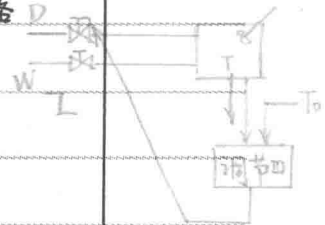


∴ { 能实现无差调节
调节速度慢
(只有在被调量出现偏差后才调节)

特点: 除了前向通路外, 还存在一条从输出端到输入端的反馈通路
(即输出量会对调节量产生影响)。

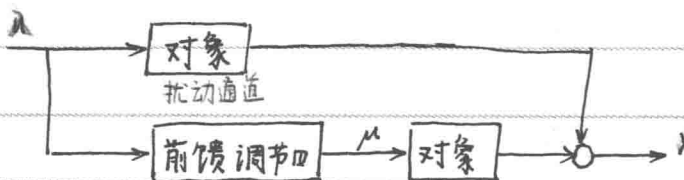
优点: 抗干扰能力强, 控制精度高。(对前向通道元件要求不高)

缺点: 结构复杂, 维护不易, 可能存在稳定性问题。



2. 前馈控制系统 (开环)

∴ 直接根据扰动决定控制, 没有输出量的反馈信号, 不构成闭合回路。



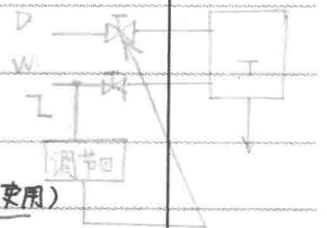
∴ { 调节速度快
不能实现无差调节

特点: 调节量与输出量之间仅有前向通路而无反馈通路

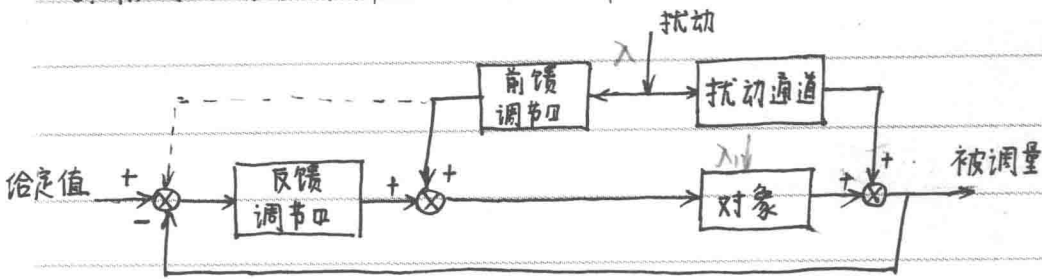
(即输出量不能对调节量产生影响)

① 无反馈信号, 不能保证被调量达到给定值。(不能单独使用)

② 扰动发生后, 调节器就工作, 快速有效, 减少动态偏差。



3. 前馈—反馈调节系统 (复合调节系统)



特点：具有很高的控制精度，可以抑制几乎所有的可测扰动。

前馈——及时补偿扰动对被调量的影响。(粗调)

反馈——保证被调量的偏差在允许的给定范围内。(细调)

二. 按给定值信号的特点分类

1. 恒值调节系统 (镇定系统) 给定值恒定不变 (最多)

(水位、汽温)

2. 随动调节系统 给定值取决于某些外来因素而不是预先规定的。

(负荷调节) → 燃料量随负荷需要而变化，不能预先确定。

3. 程序调节系统 给定值是预定的时间函数。

(液压启动) → 调速系统，某一时间有某一转速。

* 4. 比值调节系统 维持两个变量之间的比值为一定数值。

(空气—燃料系统)

三. 按系统的特性分

可用线性方程描述。

1. 线性系统 } 线性定常——微分方程系数为常数

2. 非线性系统 } 线性时变——“ ” “ ” 随时间而变

└ 存在一个或一个以上元件输入—输出特性是非线性的系统。

四. 按时间信号分

1. 时间连续系统 → 被调量是连续测量和连续地进行调节的系统。
2. 时间离散(采样)系统 → 每隔一段时间测量和调节一次。

五. 按系统中闭合回路的数目分

1. 单回路系统
2. 双回路或多回路系统

* 自动控制系统的设计 *

1. 基本要求

- 稳——要求系统稳定, 这是系统正常工作所必须具备的基本条件。
- 准——稳态要求, 要求系统稳态控制精度, 稳态误差要小。
- 快——动态要求, 要求系统快速平稳地完成过渡过程, 超调量要小, 调节时间要短。

2. 设计步骤及原则

- (1) 系统分析
- (2) 系统设计
- (3) 实验仿真
- (4) 控制实现

* 这部分为补充内容, 在这里对整个控制系统设计的基本要求初步作个简单介绍, 有利于学生对控制这个概念有个整体的把握, 为后面抽象的分析打下基础。

§1-5 控制系统的过渡过程

一. 何谓控制系统的过渡过程?

如果系统处于某一起始平衡状态(静态或稳态), 当有扰动发生时系统的平衡被破坏, 被调量发生变化, 通过控制系统的工作, 经过一个控制过程, 整个系统达到一个新的平衡状态。

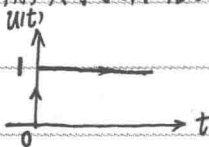
二. 控制系统过渡过程的四种基本形式

一种自动控制系统调节过程的好坏在稳态下很难判断, 只有在扰动作用下的调节过渡过程中才能加以评价。

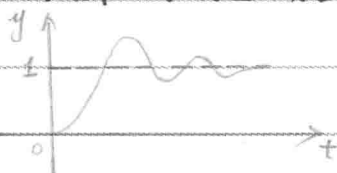
在不同类型的扰动作用下, 控制系统的过渡过程是不同的,

为便于比较, 评价控制系统的品质, 常用典型的输入扰动信号

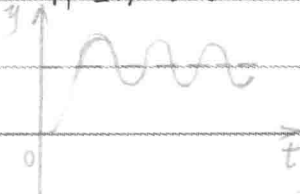
即单位阶跃函数: $u(t) = 1(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$



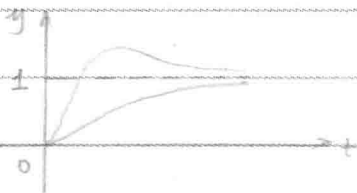
在该扰动下, 系统过渡过程有如下四种基本形式:



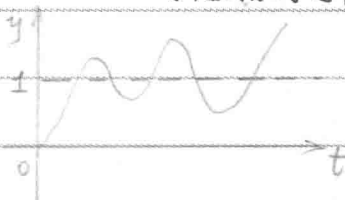
(a) 衰减振荡过程



(c) 等幅振荡过程



(b) 非周期(单调)过程



(d) 渐扩振荡过程

(a)(b) 属稳定过程

(c) 是临界稳定过程

(d) 不稳定过程

南京工程学院教案【末页】

本单元知识点归纳	• 自动控制中的常用术语（被控对象、被控量、给定值、扰动、控制量等） • 自动控制系统的基本组成与作用 • 控制系统的方框图表示法 • 前馈控制系统和反馈控制系统的工作原理和特点 • 控制系统的四种过渡过程及特点
思考题或作业题	作业题：习题 1—2 思考题：习题 1—4
本单元教学情况小结	
审阅意见	审阅人：

注：教案首页和末页中间为授课内容

南京工程学院教案【教学单元首页】

第 3、4 次课

授课学时 4

教案完成时间：_____

章、节	第 2 章 线性自动控制系统的数学描述 §2.1 概述 §2.2 单变量系统的数学描述（一）
主要内容	◆ 控制系统数学模型的概念、形式 ◆ 建立系统数学模型的一般方法 ◆ 系统的稳态模型和动态模型 ◆ 系统动态特性的微分方程描述
目的与要求	目的：使学生了解有关控制系统建模的基本知识，认识到建立数学模型是进行自动控制理论研究的基础。掌握微分方程建立和非线性方程线性化的方法 要求：了解建立系统数学描述的一般方法；了解环节或系统的稳态和动态特性及二者的关系；掌握如何建立描述系统动态特性的微分方程和非线性环节线性化描述方法。
重点与难点	重点： 1. 环节或系统的稳态和动态特性及二者的关系； 2. 针对具体物理系统，如何建立描述其动态特性的微分方程。 难点： 非线性环节线性化描述方法
教学方法与手段	课堂上以板书形式进行讲授、穿插提问，教学内容上注重理论联系实际，通过具体的实例由易到难来逐步介绍建模方法，更便于学生理解和掌握。同时通过课后练习让学生巩固课堂上所学知识点。

第二章 控制系统的数学描述

§2-1 概述

在讨论控制系统的分析和设计时,首先要采用适当的描述方法来描述它。常用的方法是数学描述,即数学模型。

一. 何为控制系统的数学模型

——是描述系统内部物理量(或变量)之间关系的数学表达式。

具有简捷、方便、通用等许多优点,因而得到了广泛的应用。

静态(数学)模型和动态(数学)模型

1. 静态模型

在静态条件下(即变量各阶导数为零),描述变量之间关系的代数方程(组)。

∴ 稳态工况下,系统的参数与时间无关。

2. 动态模型

(在变动状态时)描述变量各阶导数之间关系的微分方程(组)。

二. 系统动态数学模型的形式

1. 输入/输出描述 —— 经典控制理论

• 微(差)分方程 (时域)

• 频率特性 (频域)

• 传递函数 (复域)

* 典型输入下的输出响应

2. 状态空间描述(输入—状态—输出) —— 现代控制理论

• 状态方程 (时域)

这两种方法相互联系,可互相转换。