



第一章

控制系统导论

第一章 控制系统导论



- **1-1** 自动控制的基本原理
- **1-2** 自动控制系统示例
- **1-3** 自动控制系统的分类
- **1-4** 自动控制系统的基本要求



1-1 自动控制的基本原理

1. 自动控制技术及其应用

- 在我们周围，确实存在着能实现自动控制的自然系统和人造系统。
- 人们的生活在很大程度上都依赖于自动运行的系统。

自然系统



将人体作为一个例子来考虑，这个系统持续的自动控制是人类生存的基本要求。

- 人体的体温保持在 37°C 的自动温控系统
 - 心跳控制系统
 - 眼球聚焦系统
- 这些都可以称为自动系统。

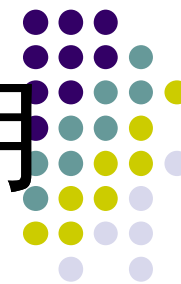
这些系统和其他许多人体内的系统一样都是在人们没有任何有意识干预的情况下自动运行的。

人造系统



- 数控车床按预定程序自动切削工件；
- 化学反应炉的温度或压力自动地维持恒定；
- 雷达和计算机组成的导弹发射和制导系统自动将导弹引导到敌方目标。
- 无人驾驶飞机按照预定航迹自动升降和飞行；
- 人造卫星准确地进入预定轨道运行并回收。

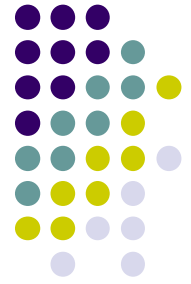
自动控制在电力系统中的应用





自动控制

是指在没有人直接参与的情况下，利用外加的设备或装置（称控制装置或控制器），使机器、设备或生产过程（统称被控对象）的某个工作状态或参数（即被控量）自动地按预定的规律运行。



2.自动控制理论

●古典控制理论

以传递函数为基础研究单输入-单输出一类定常控制系统的分析与设计问题。这些理论由于其发展较早，现已臻成熟。

●现代控制理论

以状态空间法为基础，研究多输入-多输出、时变、非线性一类控制系统的分析与设计问题。系统具有高精度和高效能的特点。

●智能控制

把自动控制理论的方法和人工智能的灵活框架结合起来，改变控制策略去适应对象的复杂性和不确定性。

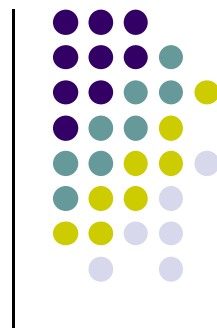
3.反馈控制原理

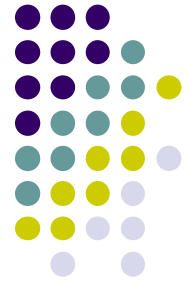


反馈

把取出的输出量送回输入端，并与输入信号相比较产生偏差信号的过程，称为反馈。

若反馈的信号与输入信号相减，使产生的偏差越来越小，则称为负反馈；反之，则称为正反馈。

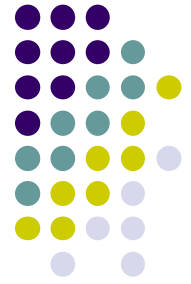




反馈控制系统

能对输入量与输出量进行比较，并且将它们的偏差作为控制手段，以保持两者之间预定关系的系统，称为反馈控制系统。

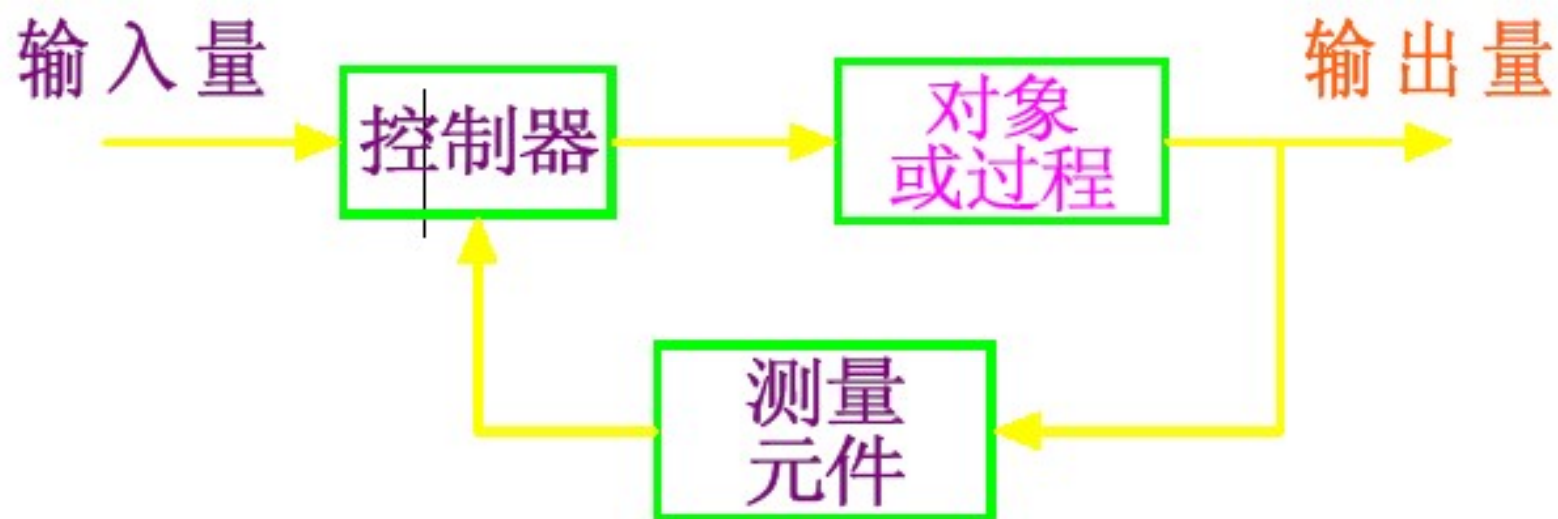
由于引入了被反馈量的反馈信息，整个控制过程成为闭合的，因此反馈控制也称为闭环控制。



闭环控制

凡是系统输出信号对控制作用有直接影响的系统，都称为闭环系统。输入信号和反馈信号（反馈信号可以是输出信号本身，也可以是输出信号的函数或导数）之差，称为误差信号，误差信号加到控制器上，以减小系统的误差，并使系统的输出量趋于所希望的值。

换句话说，“闭环”这个术语的涵义，就是应用反馈作用来减小系统的误差。



闭环控制系统

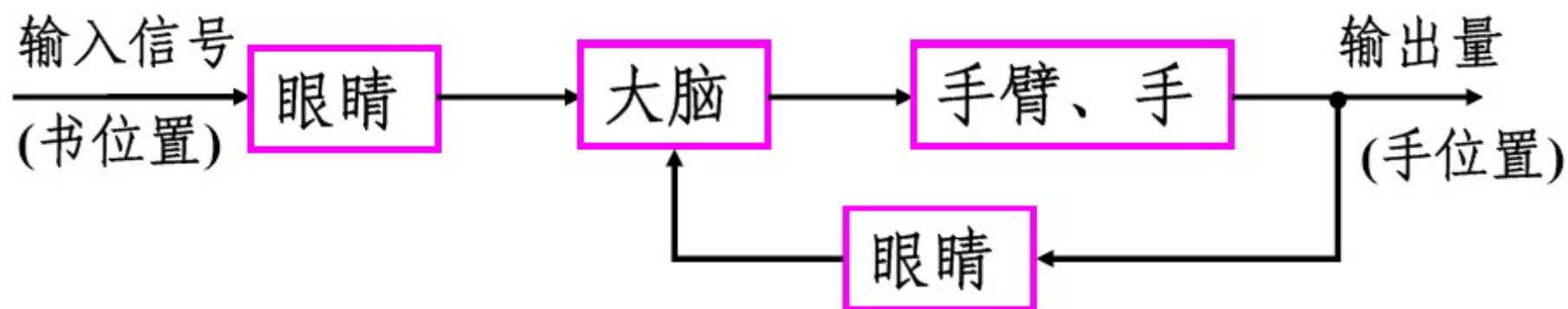
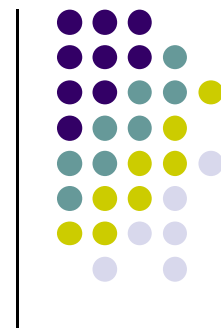


图1-1 人取书的反馈控制系统方块图

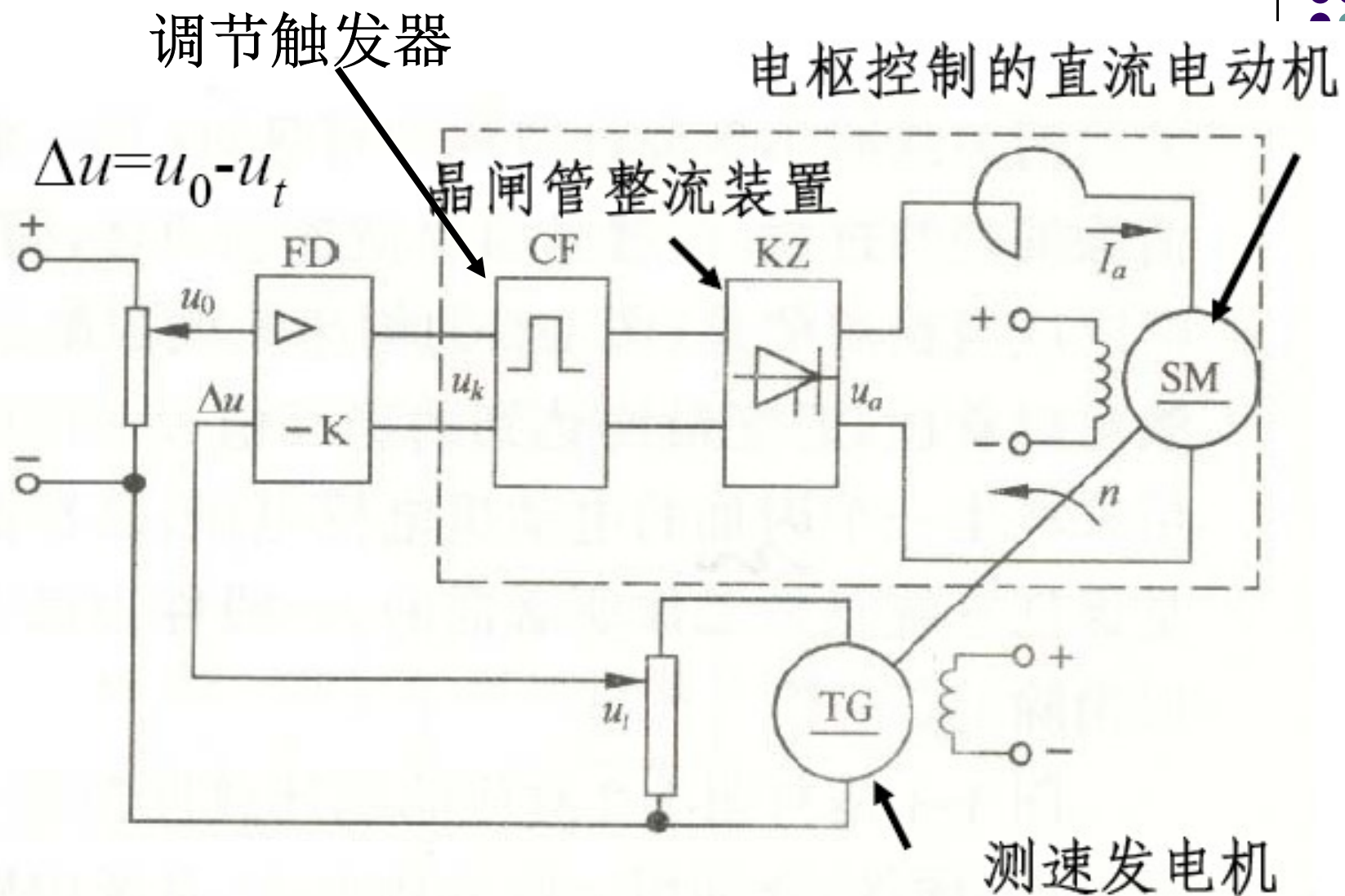


图 1-2 龙门刨床速度控制系统原理图

4.反馈控制系统的基本组成

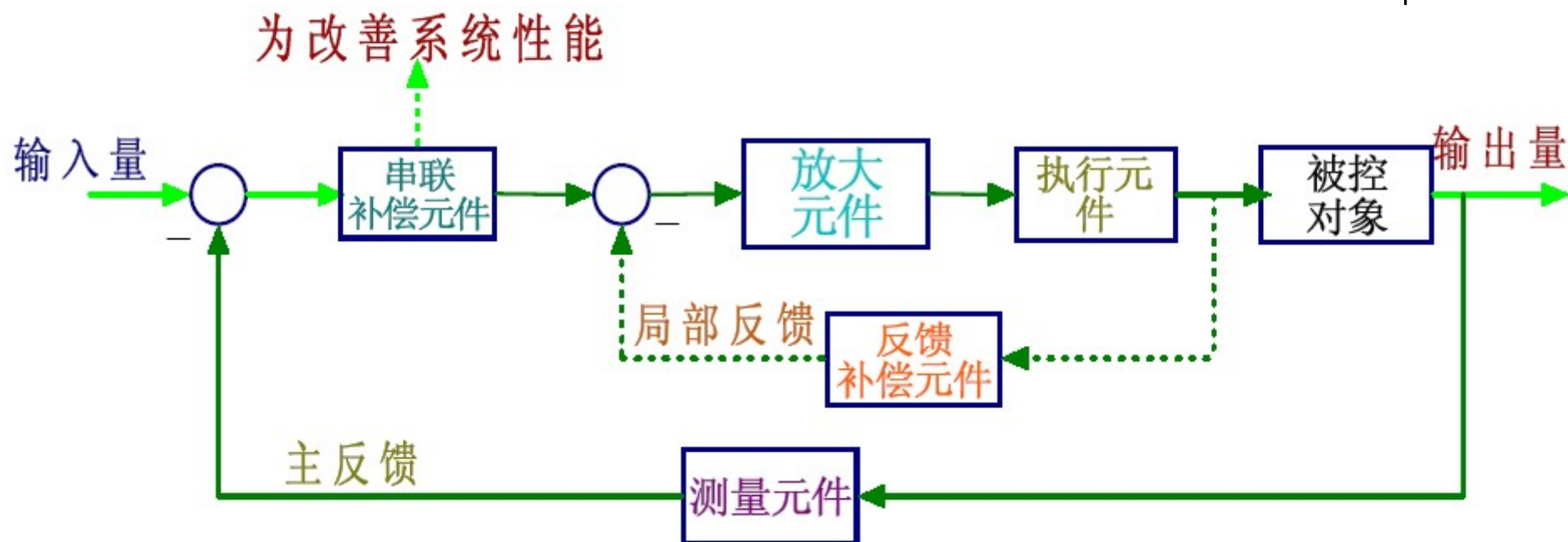
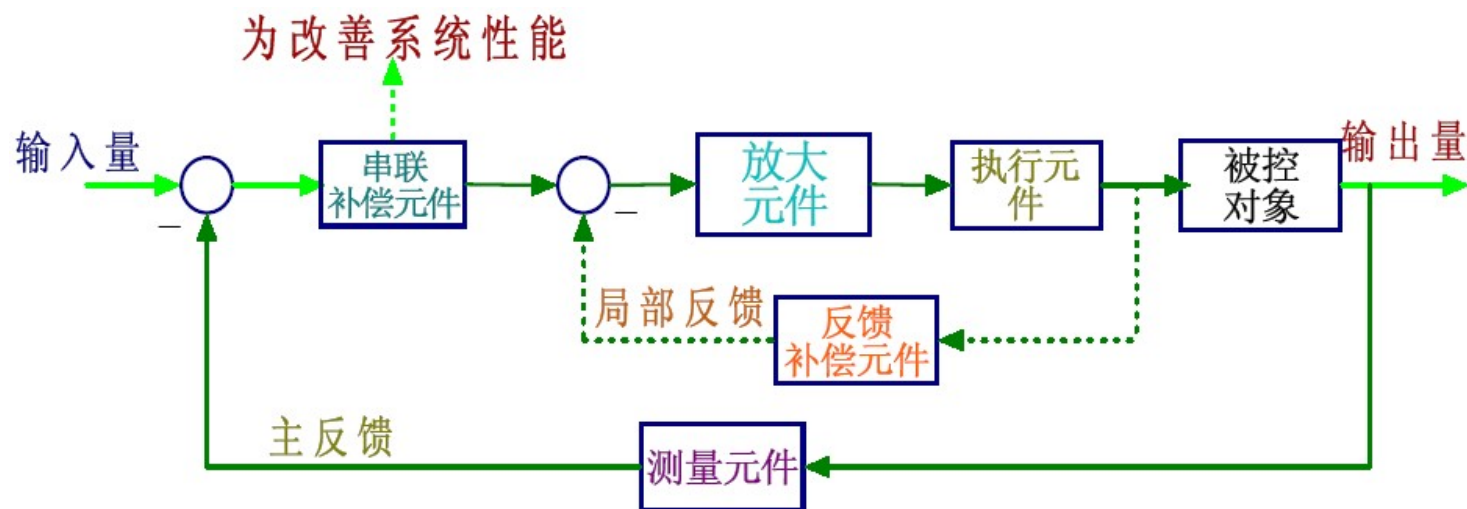
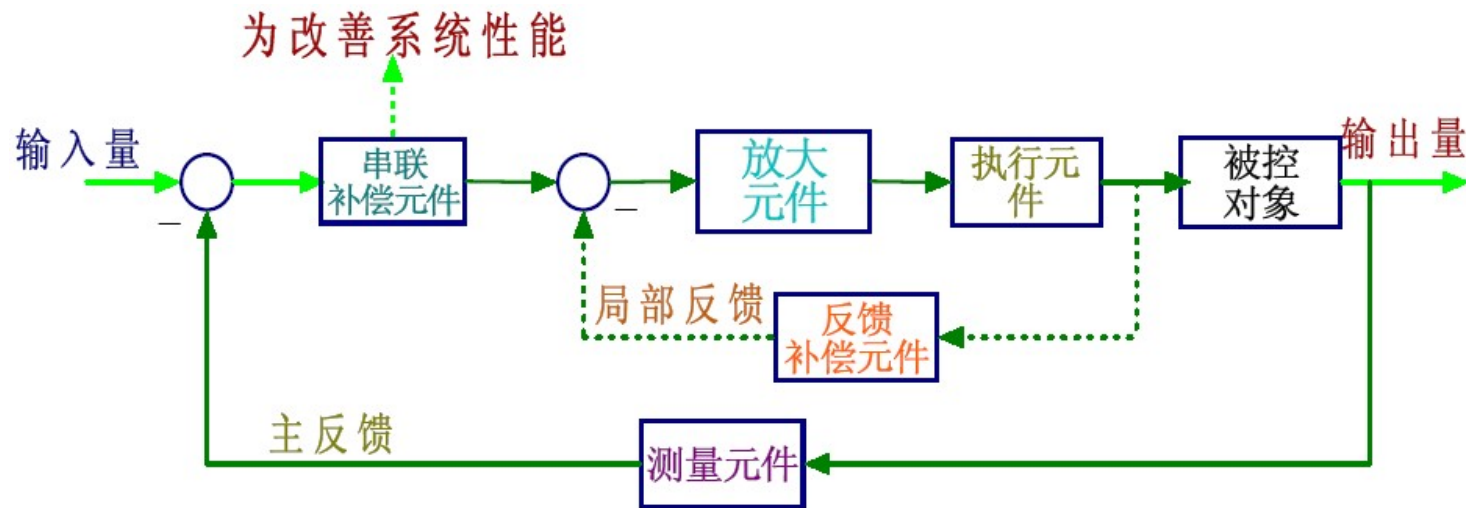


图1-5 反馈控制系统基本组成



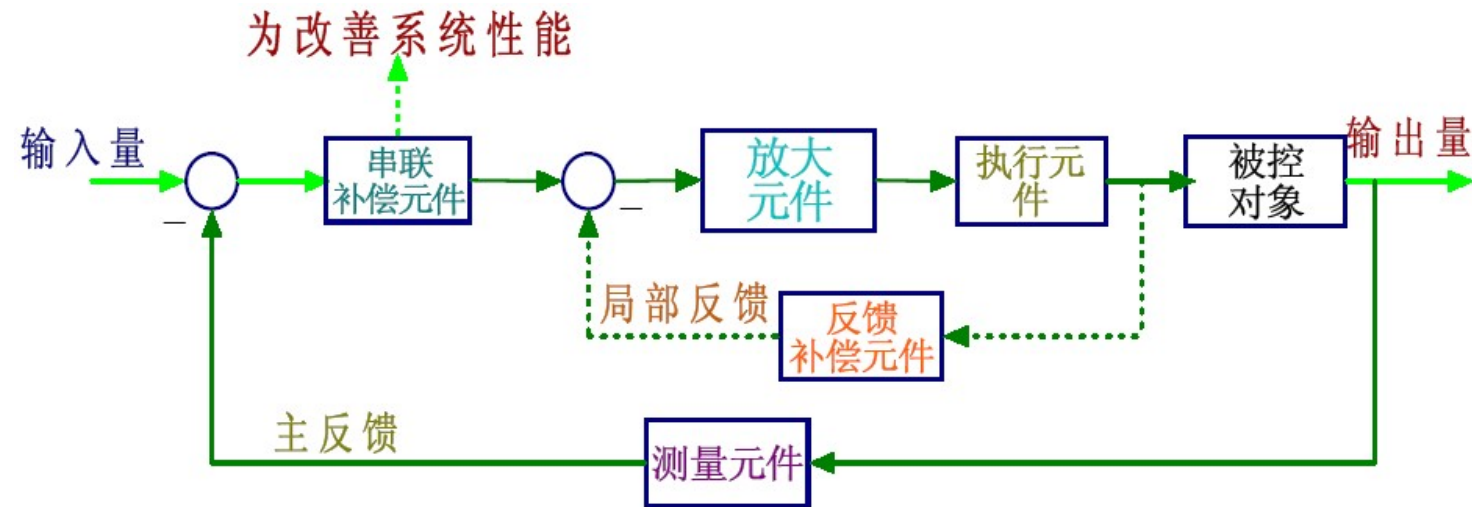
- **测量元件**：其职能是测量被控制的物理量；
- **给定元件**：其职能是给出与期望的被控量相对应的系统输入量（即参据量）。
- **比较元件**：把测量元件检测的被控量实际值与给定元件给出的参据量进行比较，求出它们之间的偏差。



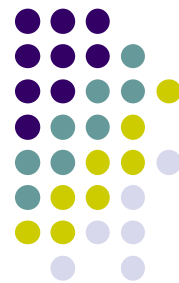
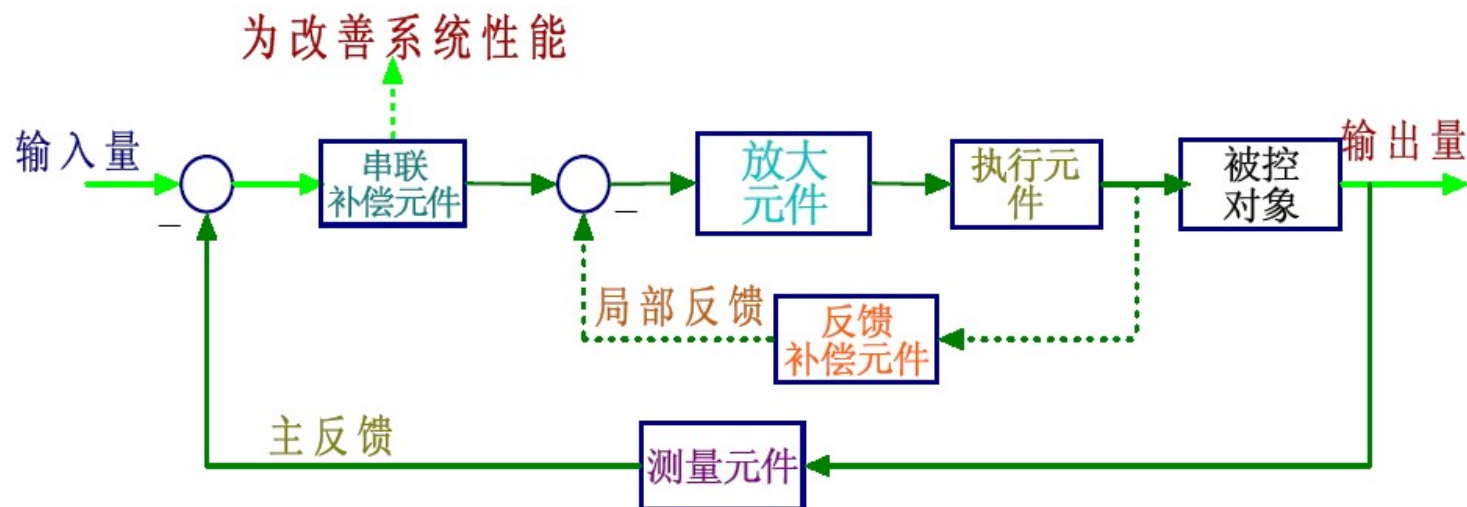
● **放大元件**：将比较元件给出的偏差进行放大，用来推动执行元件去控制被控对象。

● **执行元件**：直接推动被控对象，使其被控量发生变化。

● **校正元件**：亦称补偿元件，它是结构或参数便于调整的元件，用串联或反馈的方式连接在系统中，以改善系统性能。



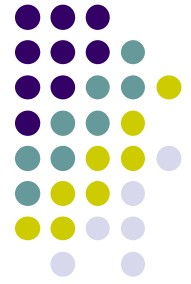
- 用“○”号代表比较元件；
- “-”号代表两者符号相反，“+”号代表两者符号相同。
- 信号沿箭头方向从输入端到达输出端的传输通路称前向通路；
- 系统输出量经测量元件反馈到输入端的传输通路称主反馈通路。

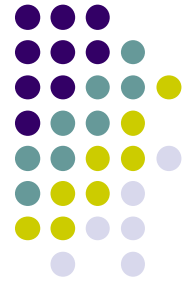


- 前向通路与主反馈通路共同构成主回路。
- 局部反馈通路以及由它构成的内回路。
- 只包含一个主反馈通路的系统称单回路系统；
- 有两个或两个以上反馈通路的系统称多回路系统。

5.自动控制系统基本控制方式

- (1) 反馈控制方式
- (2) 开环控制方式
- (3) 复合控制方式





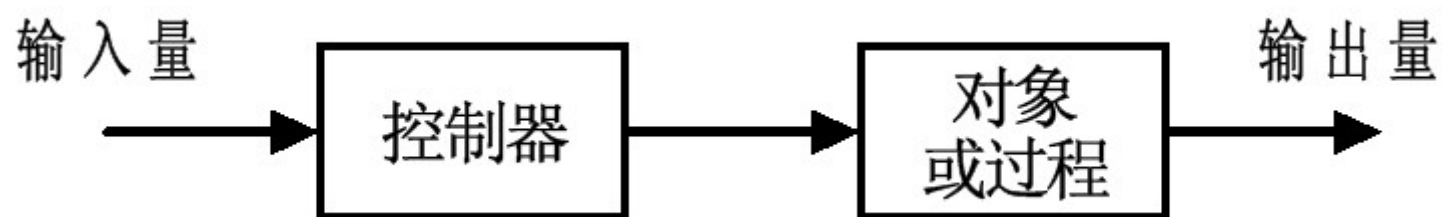
(2) 开环控制方式

只有输入量对输出量产生控制作用，输出量不参与对系统的控制。

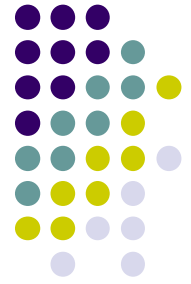
指控制装置与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程，按这种方式组成的系统称为开环控制系统。

开环控制特点

- 输入控制输出
- 输出不参与控制
- 系统没有抗干扰能力



开环控制系统



闭环与开环控制系统的比较

Closed-Loop versus Open-Loop Control Systems

闭环控制系统的特点

- 偏差控制，可以抑制内、外扰动对被控制量产生的影响
- 精度高、结构复杂，设计、分析麻烦

开环控制系统的特点

- 顺向作用，没有反向的联系
- 没有修正偏差能力，抗扰动性较差
- 结构简单、调整方便、成本低

1-2 自动控制系统示例

1. 函数记录仪

2. 电阻炉微型计算机温度控制系统

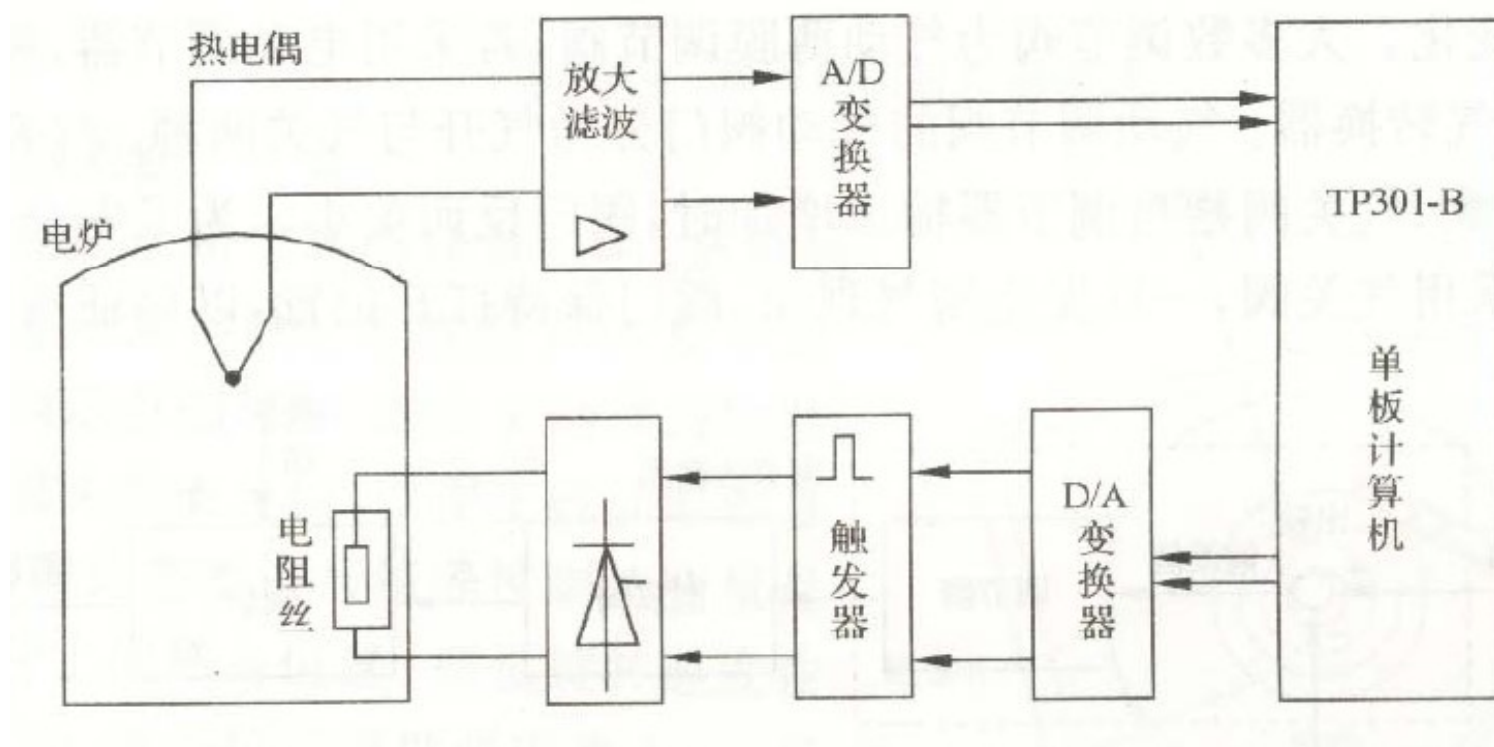


图1-10 电阻炉温度微机控制系统

1-3 自动控制系统的分类





按系统特性方程分



线性系统

非线性系统

定常系统

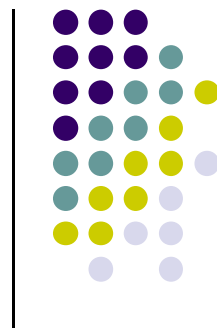
时变系统

确定性系统

不确定性系统

由线性元件组成的系统，其微分方程中输出量及其各阶导数都是一次的，并且各系数与输入量（自变量）无关。

由非线性元件组成的系统，其微分方程式的系数与自变量有关。





1. 线性连续控制系统

一般形式为：

$$\begin{aligned} & a_0 \frac{d^n}{dt^n} c(t) + a_1 \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} c(t) + \cdots + a_n c(t) \\ &= b_0 \frac{d^m}{dt^m} r(t) + b_1 \frac{d^{m-1}}{dt^{m-1}} r(t) + \cdots + b_{m-1} \frac{d}{dt} r(t) + b_m r(t) \end{aligned}$$

$c(t)$ —— 被控量；

$r(t)$ —— 系统输入量。

定常系统： 系数 $a_0, a_1, \cdots, a_n, b_0, b_1, \cdots, b_m$ 是常数；

时变系统： 系数 $a_0, a_1, \cdots, a_n, b_0, b_1, \cdots, b_m$ 随时间变化。

2. 线性定常离散控制系统

一般形式为:

$$\begin{aligned} & a_0 c(k+n) + a_1 c(k+n-1) + \cdots + a_n c(k) \\ & = b_0 r(k+m) + b_1 r(k+m-1) + \cdots + b_{m-1} r(k+1) + b_m r(k) \end{aligned}$$

$m \leq n$, n 为差分方程的次数;

$a_0, a_1, \cdots, a_n, b_0, b_1, \cdots, b_m$ 为常系数;

$r(k), c(k)$ 分别为输入和输出采样序列;





3.非线性控制系统

系统中只要有一个元部件的输入—输出特性是非线性的，这类系统就称为非线性控制系统，这时，要用非线性微分（或差分）方程描述其特性。

非线性方程的特点是系数与变量有关，或者方程中含有变量及其导数的高次幂或乘积项。

严格来说，实际物理系统中都含有程度不同的非线性元部件。

1-4 自动控制系统的基本要求



1.基本要求的提法

可以归结为**稳定性**（长期稳定性）、**准确性**（精度）和**快速性**（相对稳定性）。

☆**稳** ☆**准** ☆**快**



稳定性：

- 1 对恒值系统，要求当系统受到扰动后，经过一定时间的调整能够回到原来的期望值。
- 2 对随动系统，被控制量始终跟踪参据量的变化。

稳定性是对系统的基本要求，不稳定的系统不能实现预定任务。稳定性，通常由系统的结构决定与外界因素无关。



快速性：

对过渡过程的形式和快慢提出要求，一般称为动态性能。

举例：

稳定高射炮射角随动系统，虽然炮身最终能跟踪目标，但如果目标变动迅速，而炮身行动迟缓，仍然抓不住目标。



准确性：

用稳态误差来表示。

在参考输入信号作用下，当系统达到稳态后，其稳态输出与参考输入所要求的期望输出之差叫做给定稳态误差。显然，这种误差越小，表示系统的输出跟随参考输入的精度越高。

2.典型外作用



典型外作用函数应具备以下条件：

- 1) 这种函数在现场或实验室中容易得到；
- 2) 控制系统在这种函数作用下的性能应代表在实际工作条件下的性能；
- 3) 这种函数的数学表达式简单，便于理论计算。



典型外作用函数：

(1) 阶跃函数

(2) 斜坡函数

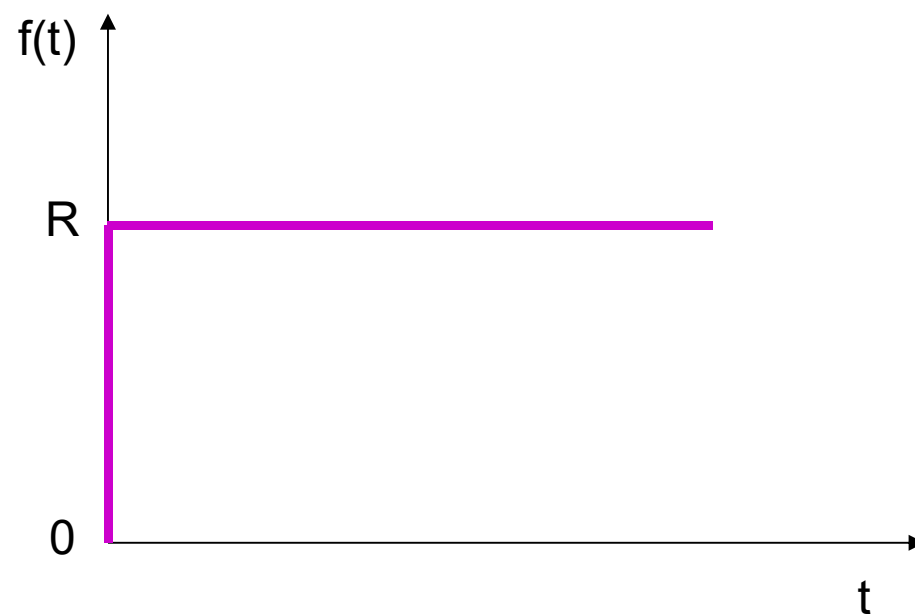
(3) 脉冲函数

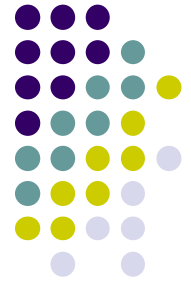
(4) 正弦函数

(1) 阶跃函数

表达式为

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ R & t \geq 0 \end{cases}$$





阶跃函数是自动控制系统在实际工作条件下经常遇到的一种外作用形式。

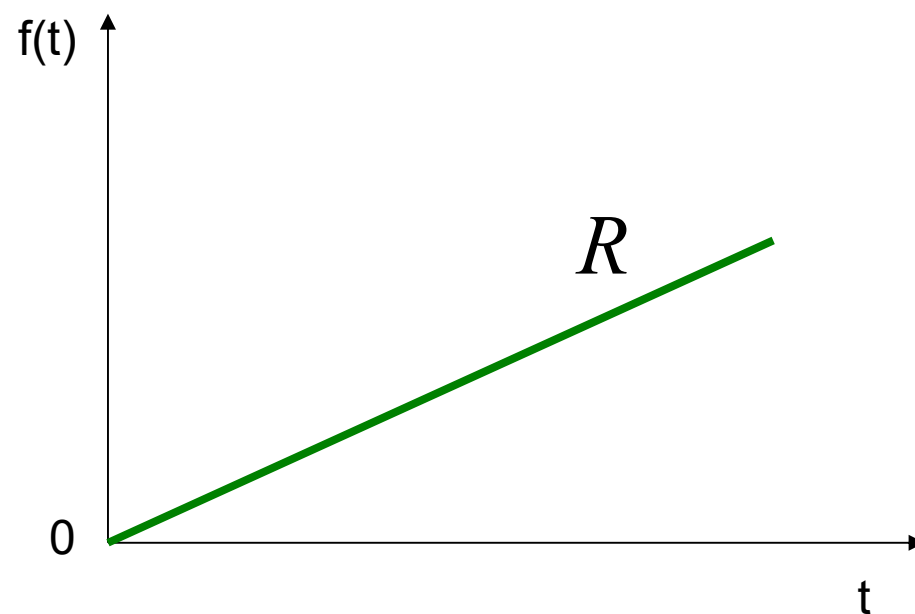
例如：

- 电源电压突然跳动；
- 负载突然增大或减小；
- 飞机飞行中遇到的常值阵风扰动。

(2) 斜坡函数

表达式为

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ Rt & t \geq 0 \end{cases}$$





在工程实践中，某些随动系统就常常工作于这种外作用下。

例如：

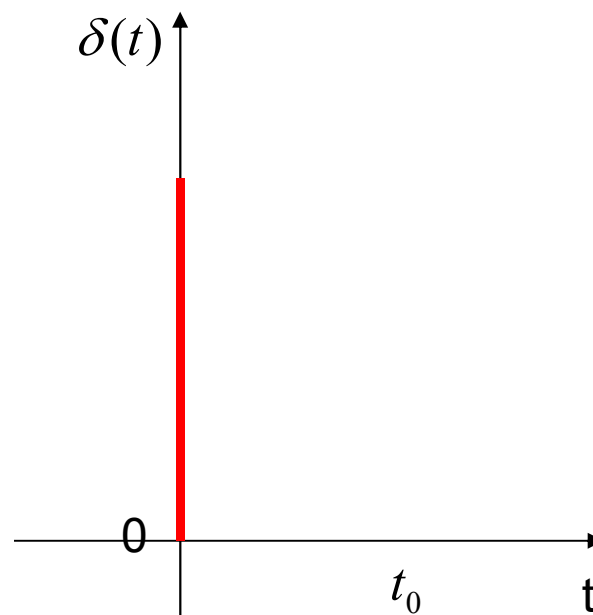
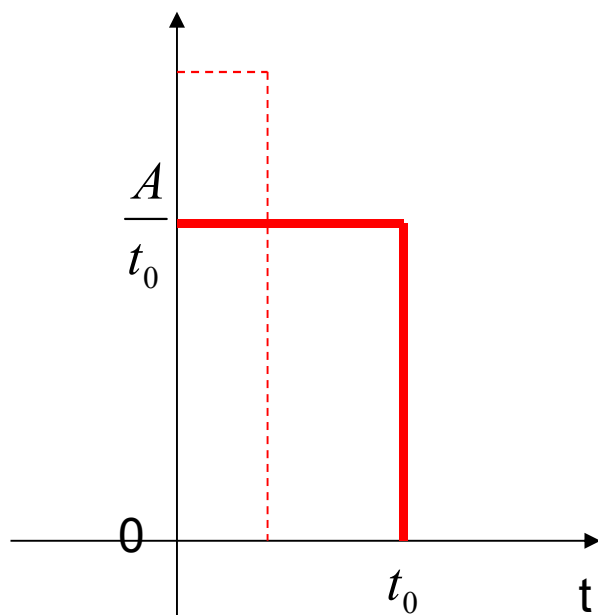
雷达—高射炮防空系统。

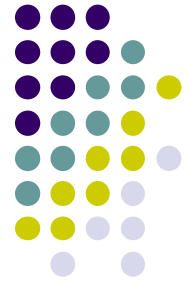


(3) 脉冲函数

表达式为

$$f(t) = \lim_{t_0 \rightarrow 0} \frac{A}{t_0} [1(t) - 1(t - t_0)]$$





脉冲函数在现实中是不存在的，只有数学上的定义，但它却是一个重要而有效的数学工具，在自控研究中，它具有重要作用。

例如：

一个任意形式的外作用，可以分解成不同时刻的一系列脉冲函数之和，这样通过研究控制系统在脉冲函数作用下的响应特性，便可以了解在任意形式外作用下的响应特性。

(4) 正弦函数

表达式为

$$f(t) = A \sin(\omega t - \varphi)$$



正弦函数是控制系统常用的一处典型外作用，
很多实际的随动系统就是经常在这种正弦外作用下工作的。



作业：



习题： 1-1、 1-5