

# 第4章 计算机控制系统的基本控制策略

4.1 计算机控制系统数学基础

4.2 离散系统的模拟化设计方法

4.3 数字PID控制算法

4.4 直接数字设计方法

4.5 复杂计算机控制系统设计方法

4.6 先进PID控制系统设计方法

# 主要学习内容

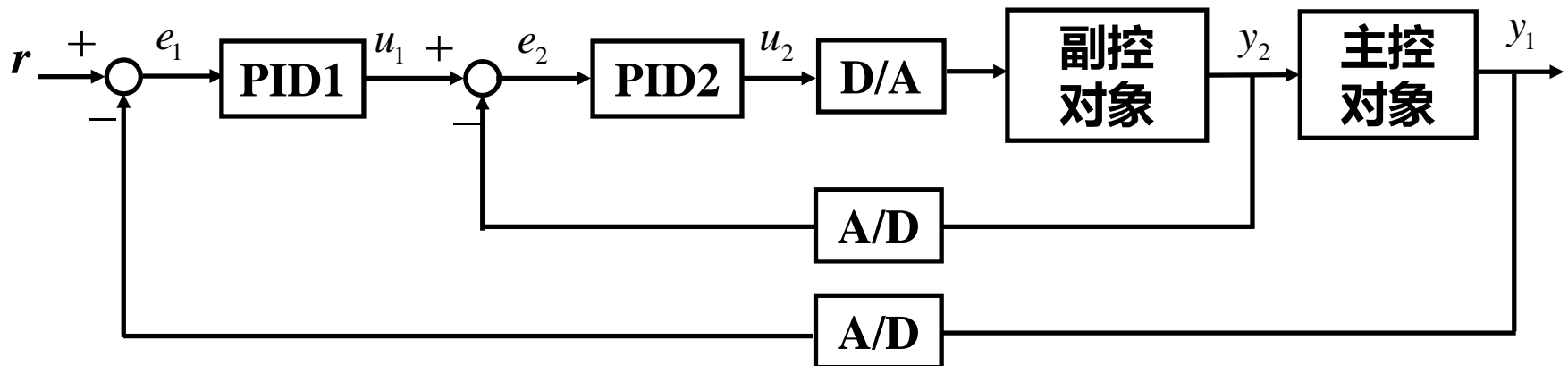
## 复杂计算机控制系统设计方法

- ◆ 大纯延迟Smith预估控制
- ◆ 串级控制
- ◆ 前馈控制

# 串级控制

## ◆串级控制系统结构和特点

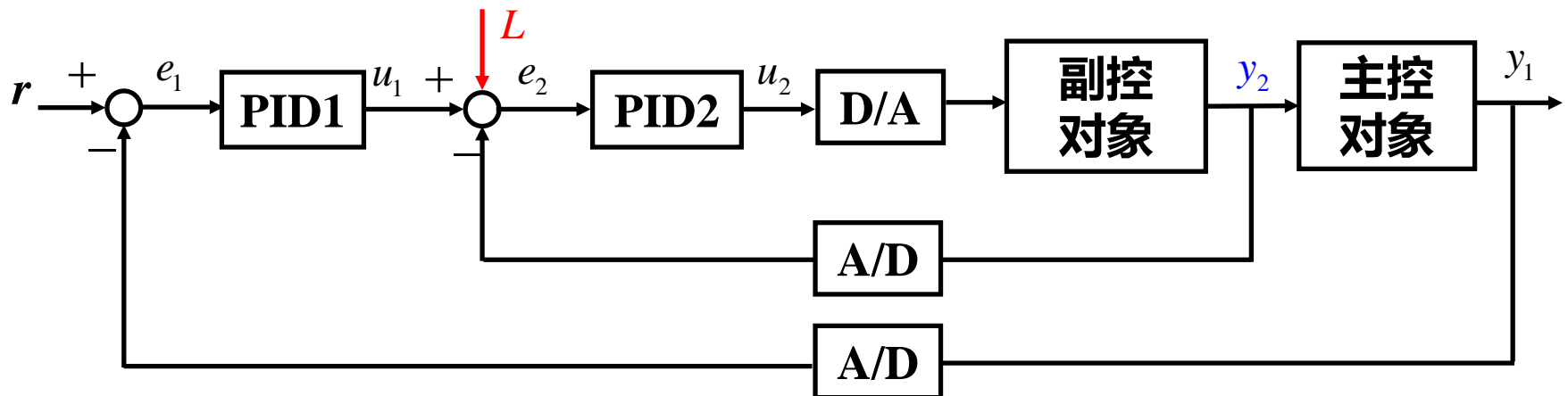
- 主控回路（一个）、副控回路（大于一个）
- 主回路是定值控制系统，副回路是随动系统
- 副控回路动作速度快，抑制扰动能力强
- 主控对象和副控对象的时间常数相差够大，减少副控回路参数波动对主控参数的影响



# 串级控制

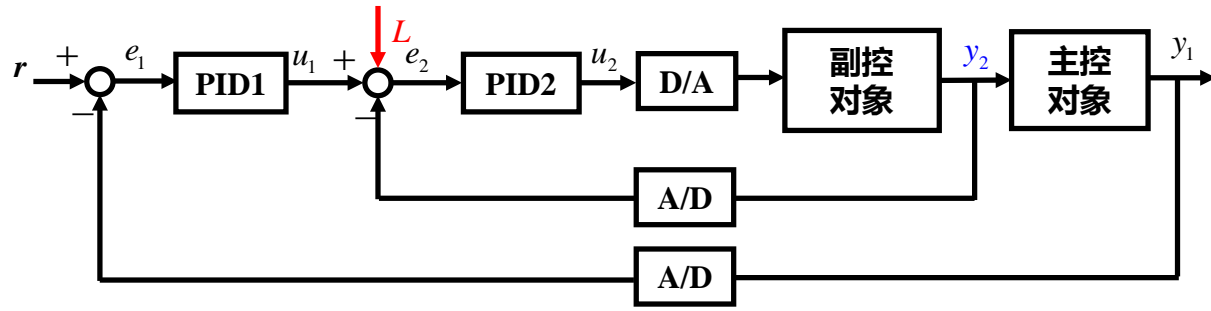
## ◆串级控制系统设计准则

- 副控被调量可测或可计算
- 扰动包含在副控回路中
- 同步采样控制  $T_{\text{主}} = T_{\text{副}}$ ，以副回路为准
- 异步采样控制  $T_{\text{主}} \geq 3T_{\text{副}}$ ，减少副控回路波动对主控的影响



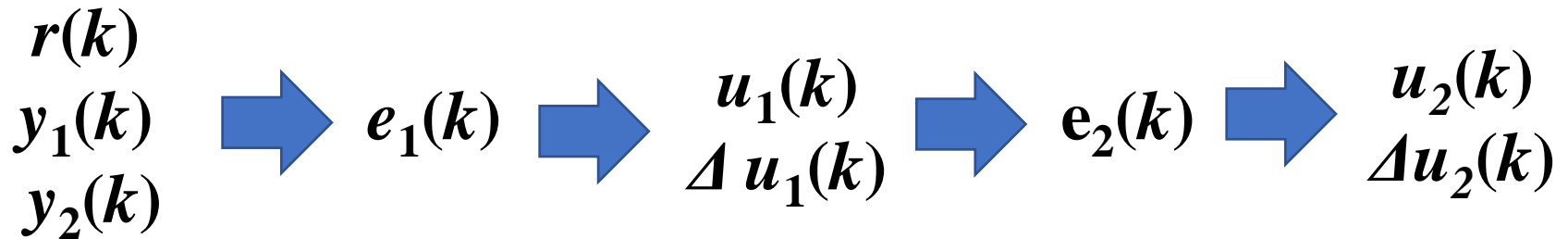
# 串级控制

## ◆同步采样控制



•  $T_{\text{主}} = T_{\text{副}}$

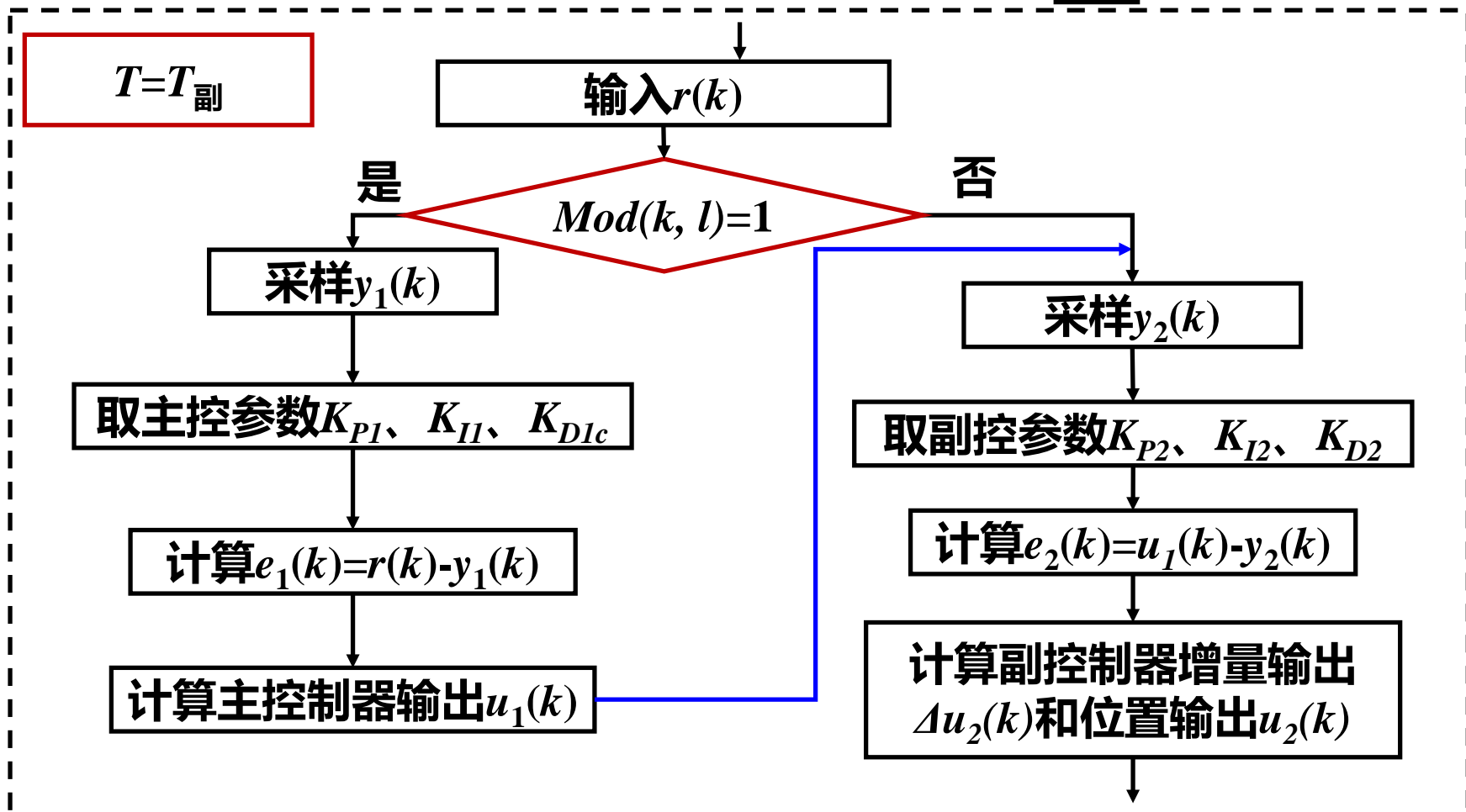
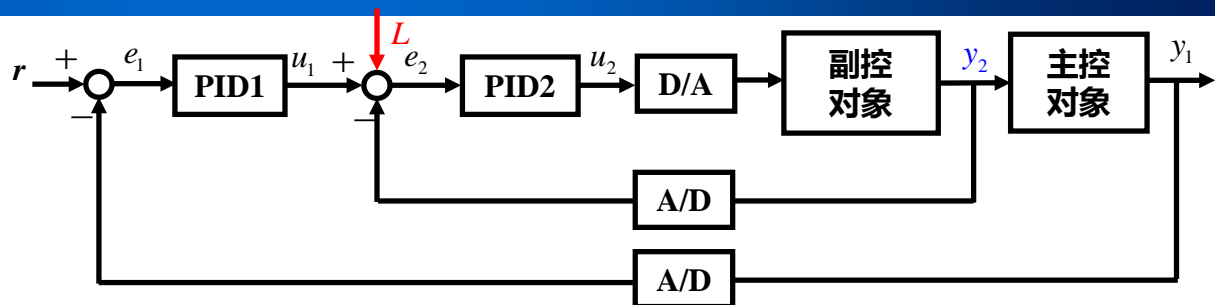
• 计算过程（先主后副）：



# 串级控制

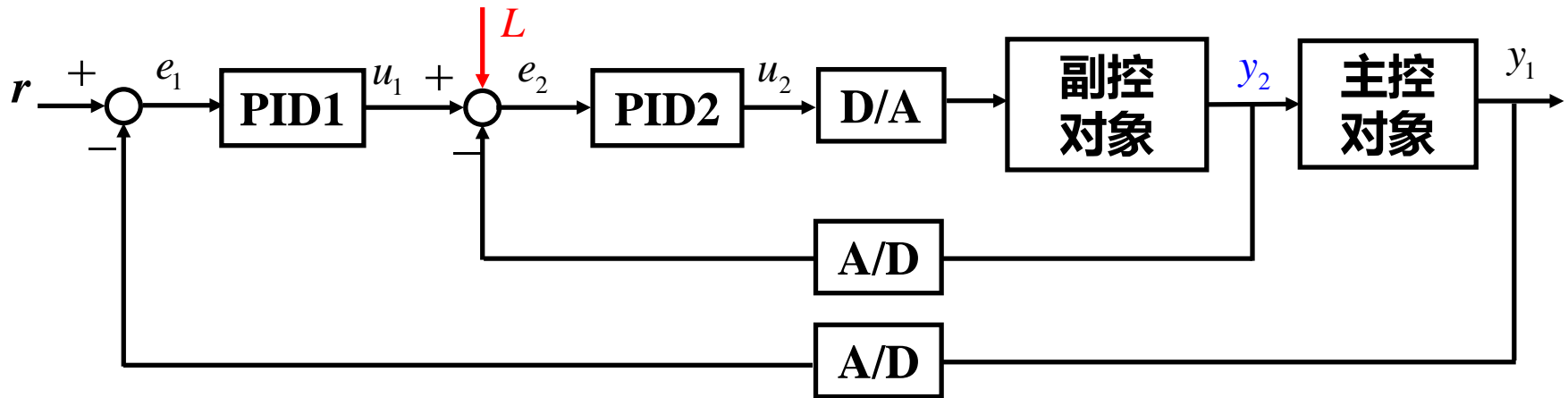
## ◆ 异步采样控制

•  $T_{\text{主}} = l \cdot T_{\text{副}}$



# 串级控制

## ◆主控与副控调节器选择



### 主调-PI或PID

- 应包含积分，消除静差。
- 应加入微分，反应灵敏、动作迅速。

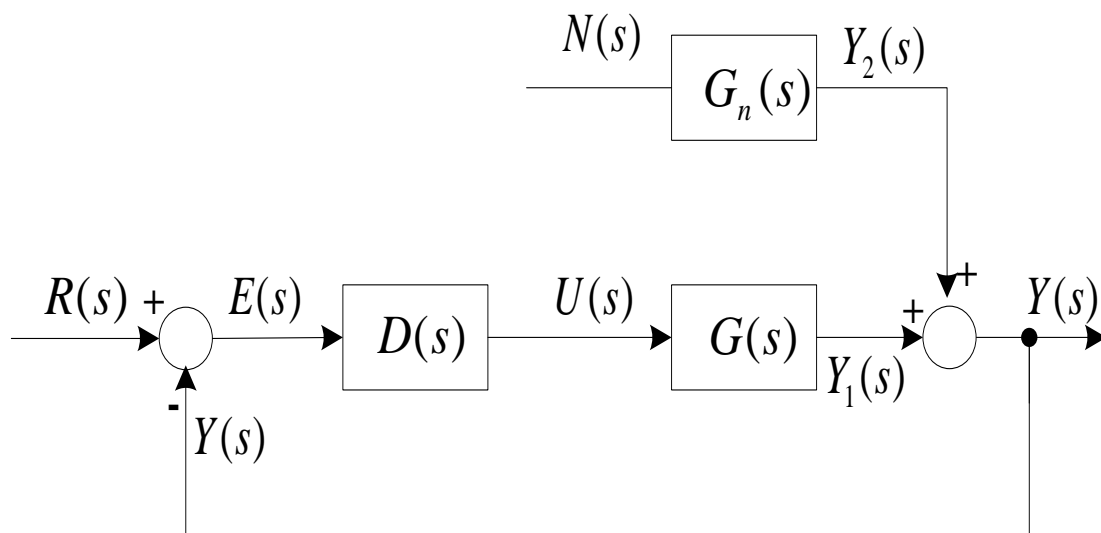
### 副调-P或PI

- 通常用比例P。
- 如果 $K_P$ 不允许太大，用PI。

# 前馈控制

## ◆目的-消除扰动的影响

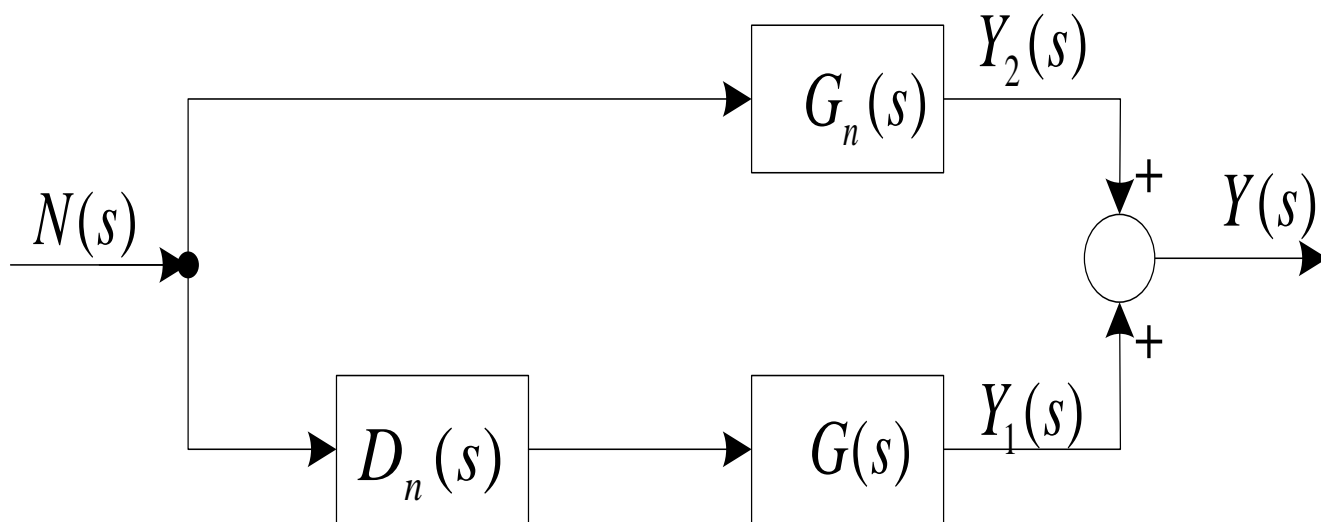
- 对象受扰动 $N(s)$ 作用偏离给定值时，控制器才会起作用。
- 干扰通道及控制通道都存在较大惯性或纯迟延
- 靠偏差来消除扰动影响的负反馈系统，控制作用总是落后于扰动作用





# 前馈控制

## ◆基本设计思想-不变性原理



$$Y_1(s) + Y_2(s) = 0$$



$$N(s) \cdot G_n(s) + N(s) \cdot D_n(s) \cdot G(s) = 0$$

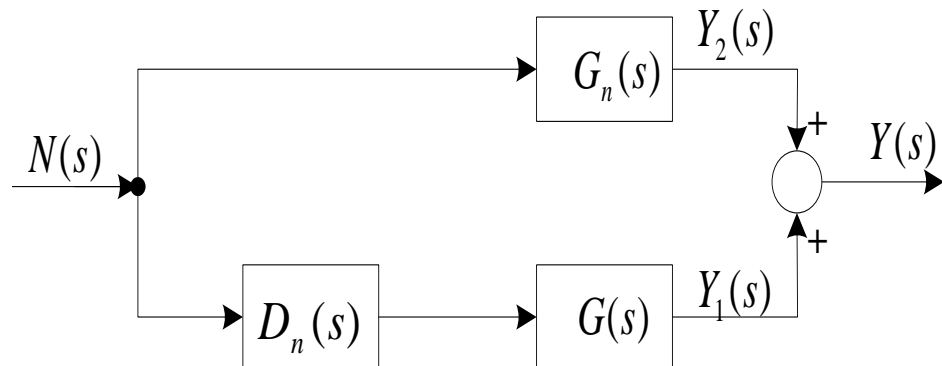


$$D_n(s) = -\frac{G_n(s)}{G(s)}$$

# 前馈控制

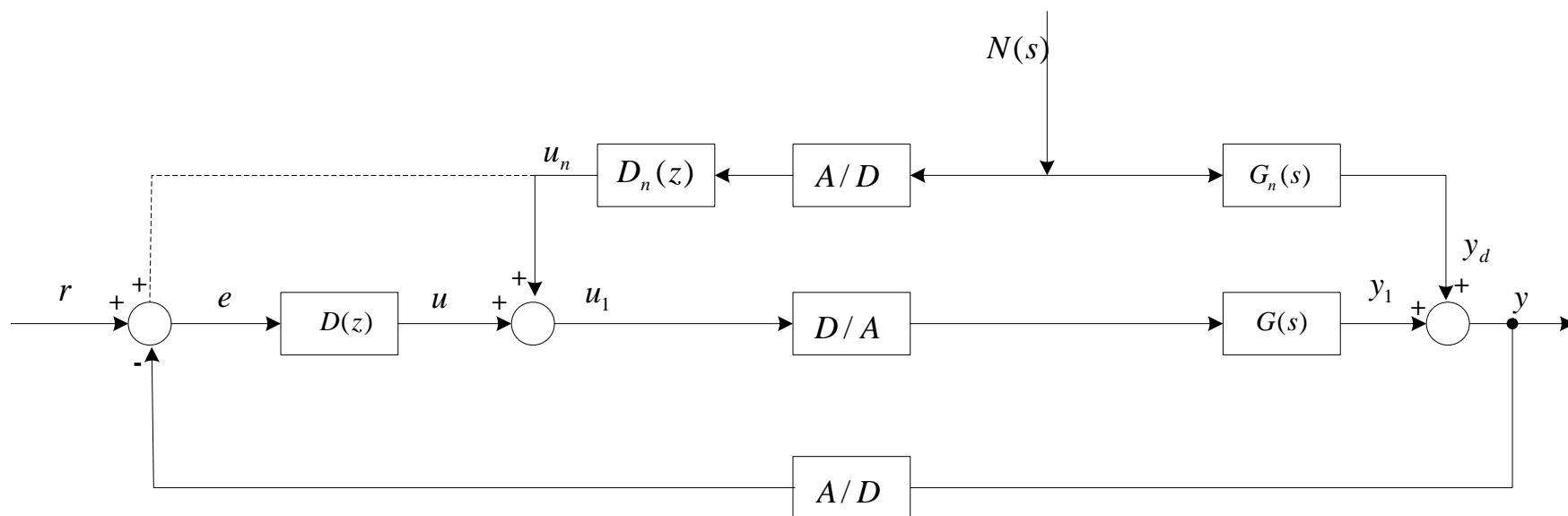
## ◆ 主要特点

- 开环系统;
- 应用前提是扰动可测;
- 只能对所设计的某一特定干扰实施控制;
- 较少单独使用, 一般结合反馈控制。



# 前馈控制

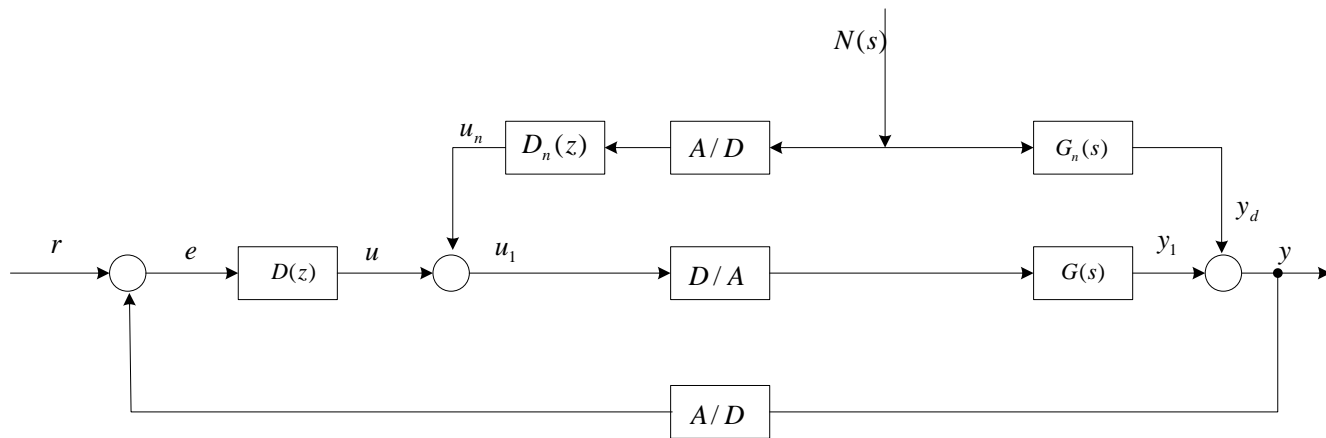
## ◆前馈-反馈



- **主要扰动**由前馈控制来抑制，及时动作。
- **次要扰动**由负反馈消除。

# 前馈控制

## ◆前馈-反馈



$$Y(s) = N(s) \cdot \mathbf{G}_n(s) + \{[R(s) - Y(s)] \cdot D(s) + N(s) \cdot D_n(s)\} \cdot \mathbf{G}(s)$$



$$Y(s) = [R(s) - Y(s)] \cdot D(s) \cdot G(s) + N(s) \cdot [G_n(s) + D_n(s) \cdot G(s)]$$

## 只分析扰动, 令 $R(s)=0$ :

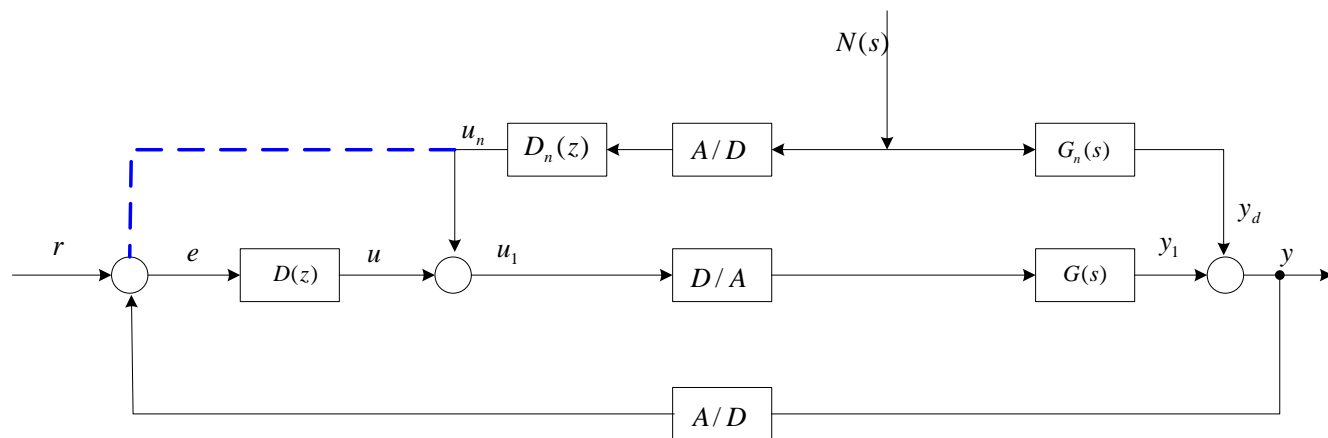
$$\frac{Y(s)}{N(s)} = \frac{G_n(s) + D_n(s) \cdot G(s)}{1 + D(s) \cdot G(s)}$$

## 完全补偿, $Y(s)=0$ :

$$D_n(s) = -\frac{G_n(s)}{G(s)}$$

# 前馈控制

## ◆前馈-反馈



$$Y(s) = N(s) \cdot G_n(s) + \{ [R(s) - Y(s)] + N(s) \cdot D_n(s) \} \cdot \textcolor{red}{D}(s) \cdot G(s)$$



$$Y(s) = [R(s) - Y(s)] \cdot D(s) \cdot G(s) + \textcolor{blue}{N}(s) \cdot [G_n(s) + D_n(s) \cdot \textcolor{red}{D}(s) \cdot G(s)]$$

**只分析扰动，令 $R(s)=0$ :**

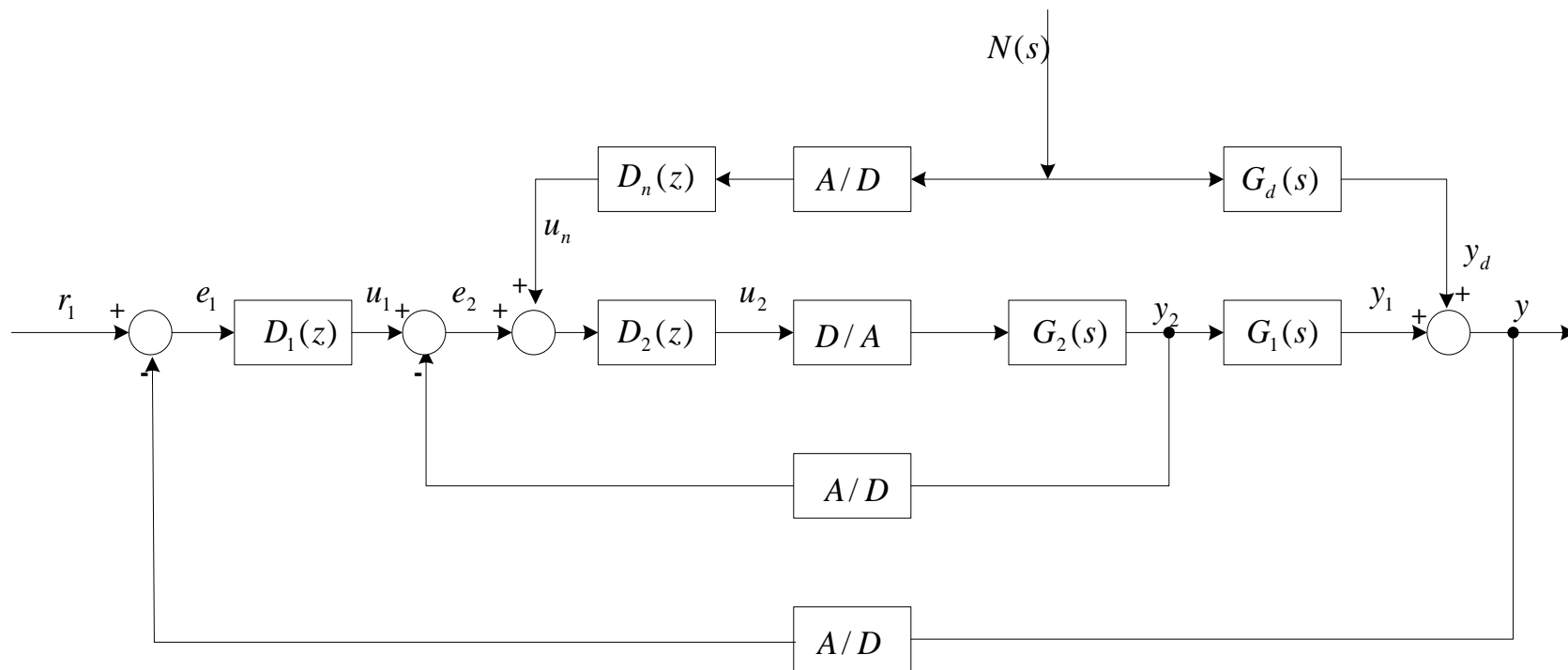
$$\frac{Y(s)}{N(s)} = \frac{G_n(s) + D_n(s) \cdot \textcolor{red}{D}(s) \cdot G(s)}{1 + D(s) \cdot G(s)}$$

**完全补偿， $Y(s)=0$ :**

$$D_n(s) = -\frac{G_n(s)}{\textcolor{red}{D}(s)G(s)}$$

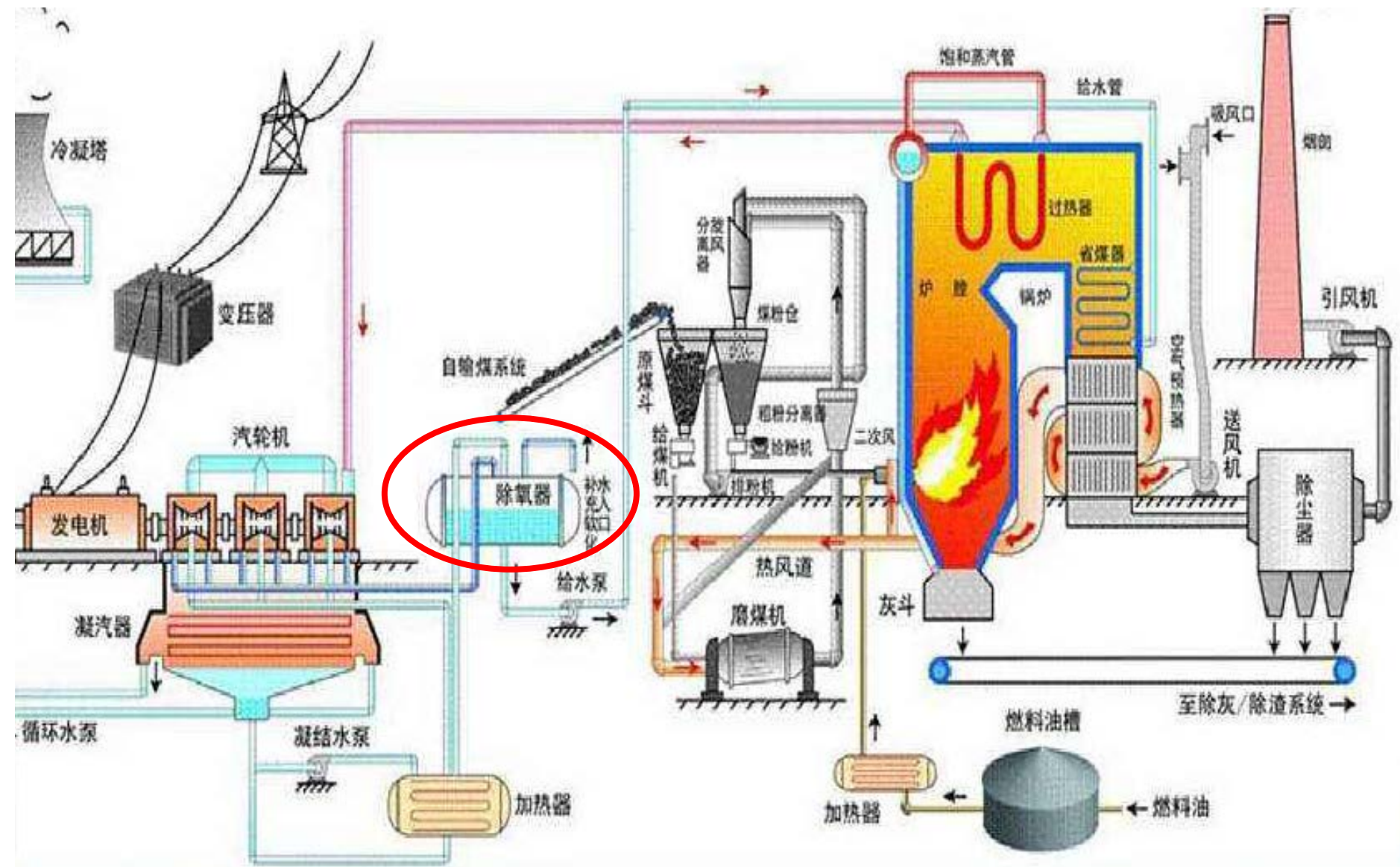
# 前馈控制

## ◆前馈-串级控制系统

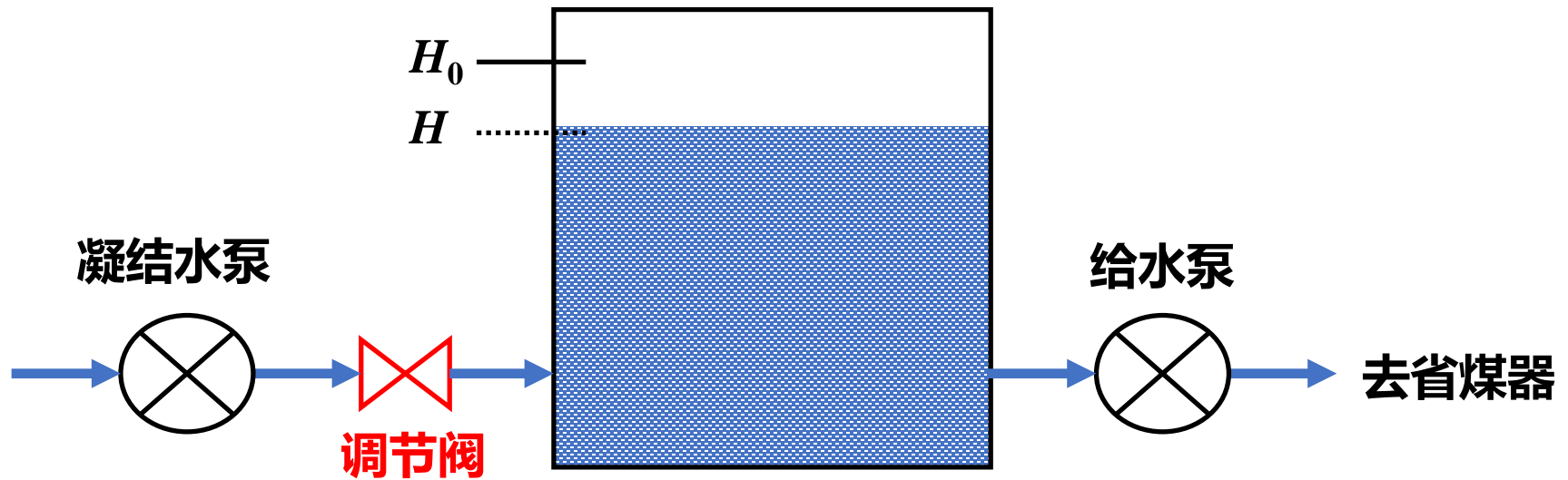


- 及时克服进入前馈回路和串级副控回路的扰动对被控量的影响。
- 可以获得较高的控制精度。

# 除氧器水位控制系统



# 除氧器水位控制系统



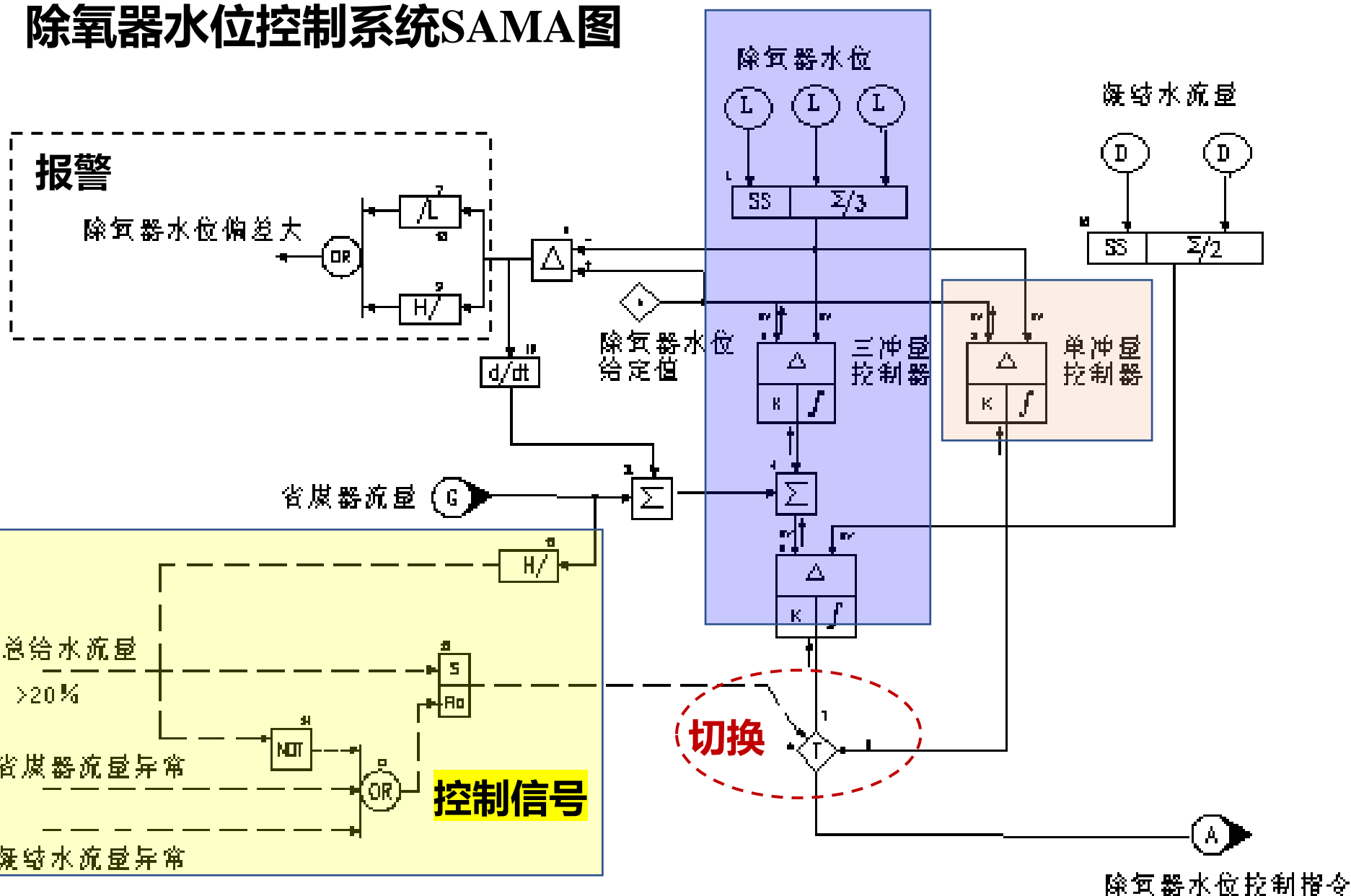
除氧器原理示意图

- 调节凝结水调节阀来保证除氧器水位在给定范围内。

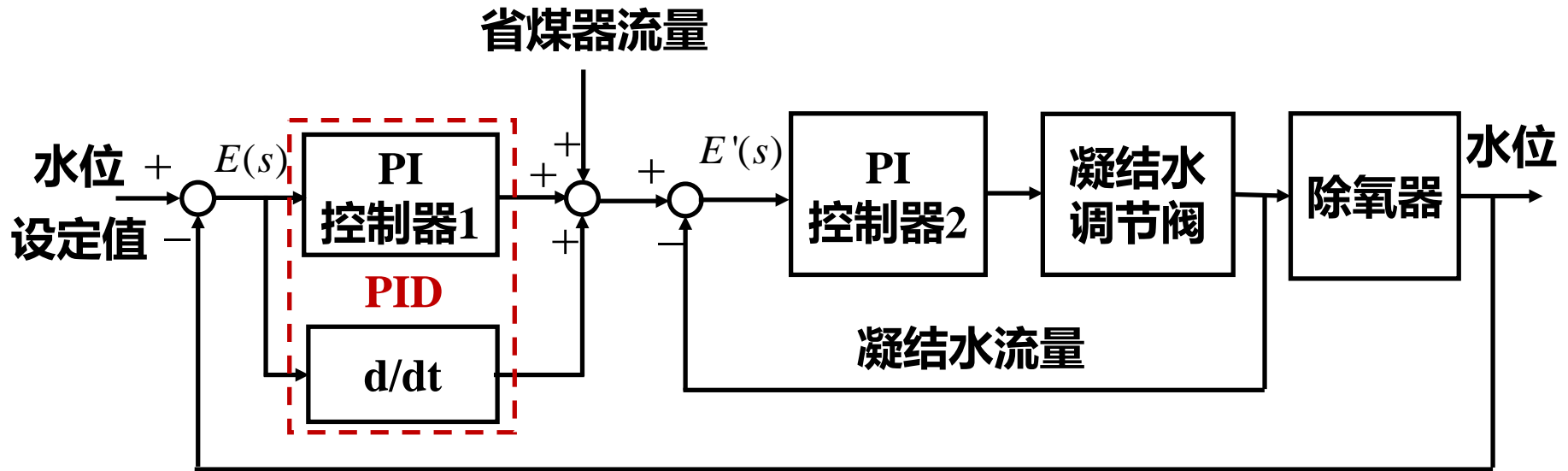


# 除氧器水位控制系统

## 除氧器水位控制系统SAMA图



# 除氧器水位控制系统



三冲量控制框图

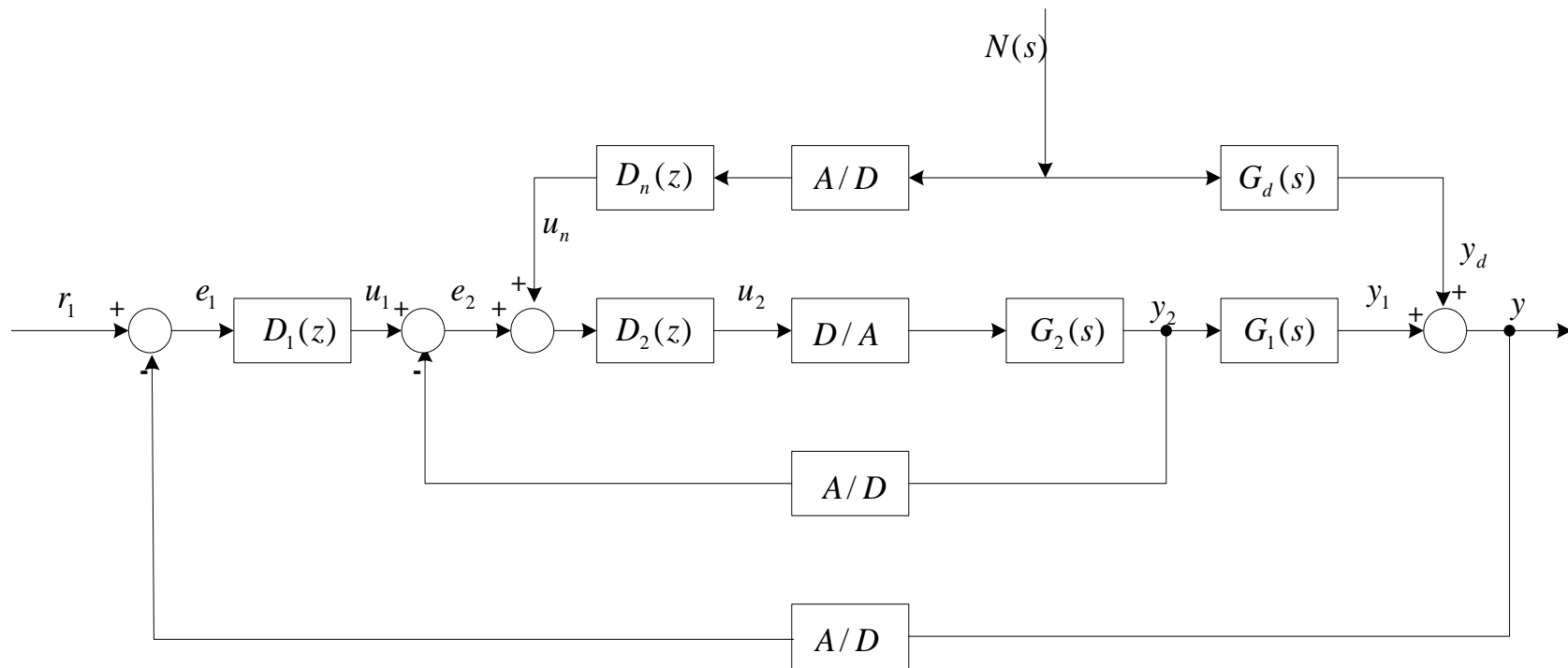
无前馈控制器

**前馈-串级控制系统?**

**A. 是    B. 不是    C. 不知道**

# 除氧器水位控制系统

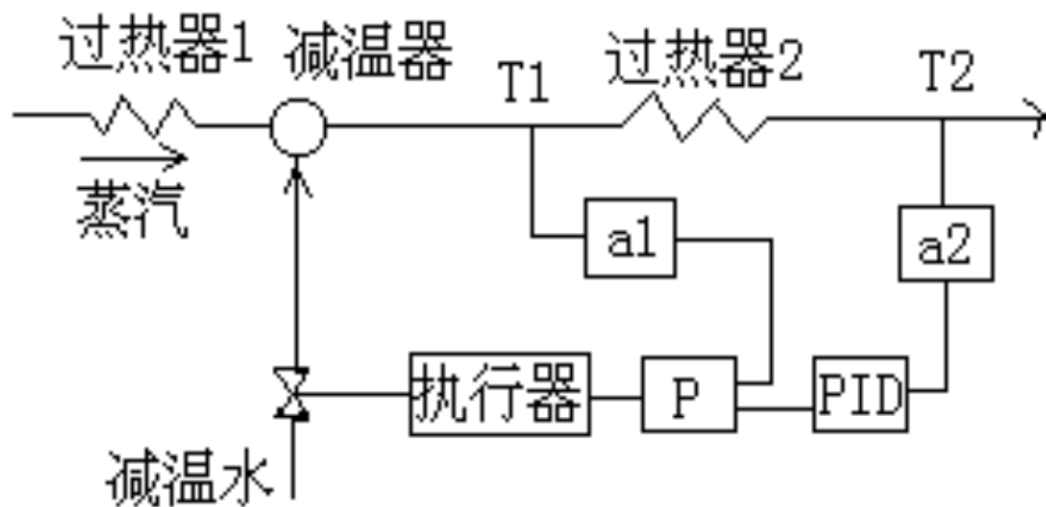
## ◆前馈-串级控制系统



- 及时克服进入前馈回路和串级副控回路的扰动对被控量的影响。

# 作业

电厂锅炉过热气温控制，采用串级调节系统。如下图：



主蒸汽流量作为前馈信号引入系统，

- (1) 画出前馈--串级控制系统方框图，在图中标出相应的信号点名称。
- (2) 对前馈扰动的完全补偿，前馈控制器如何设计？
- (3) 主对象和副对象的传递函数指的是实际过程的哪部分？