

# 第七章 实现特定要求的过 程控制系统

特定要求 是指生产工艺要求

导致系统结构不再是单回路

- ❖ 比值控制系统
- ❖ 分程控制系统
- ❖ 选择性控制系统
- ❖ 阀位控制系统

这一章学习主要谈生产过程有什么要求，所以是和生产实际密切相关的。

掌握每一种系统的结构、满足什么要求、解决什么问题；

## 7.1 比值控制系统

什么是比值控制系统（特殊性）？

常用结构；

比值控制系统设计的步骤和原则；

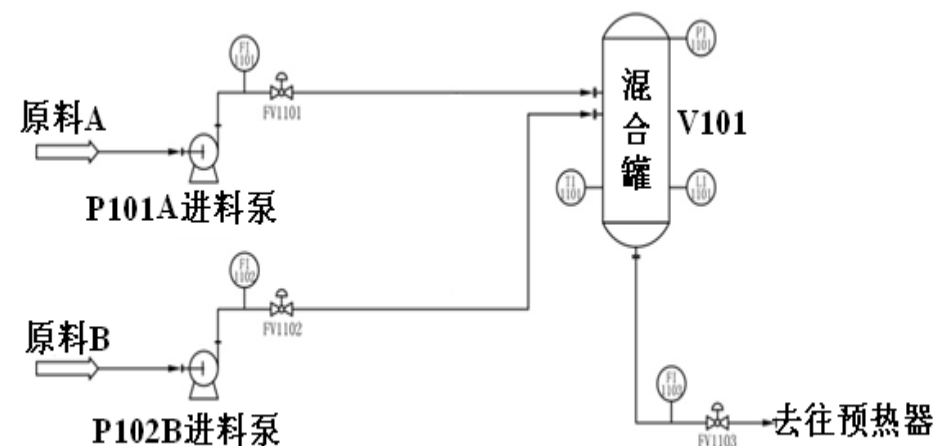
比值控制系统的参数整定特点；

## 7.1.1 概述

### 一、什么是比值控制系统

凡使两种或两种以上物料自动维持一定比值关系的过程控制系统，称为比值控制系统。

注意与单回路的比较：被控参数涉及到两个或更多物理量。



原料A与原料B分别由原料A、B进料比约为：3:1

比值控制最多出现在化学反应中。

热电厂副产品30%NaOH，啤酒等饮料厂需要6%~8%的NaOH，  
浓度检测仪表比较贵，所以可以将浓度转换成比值  
如果1份30%NaOH需要配k份水，

$$\frac{0.3}{1+k} = 6\% \sim 8\%$$

$$k = 4 \sim 2.75$$

1份30%NaOH的需要配4份水就可以获得6%的NaOH，

1份30%NaOH的需要配2.75份水就可以获得8%的NaOH，

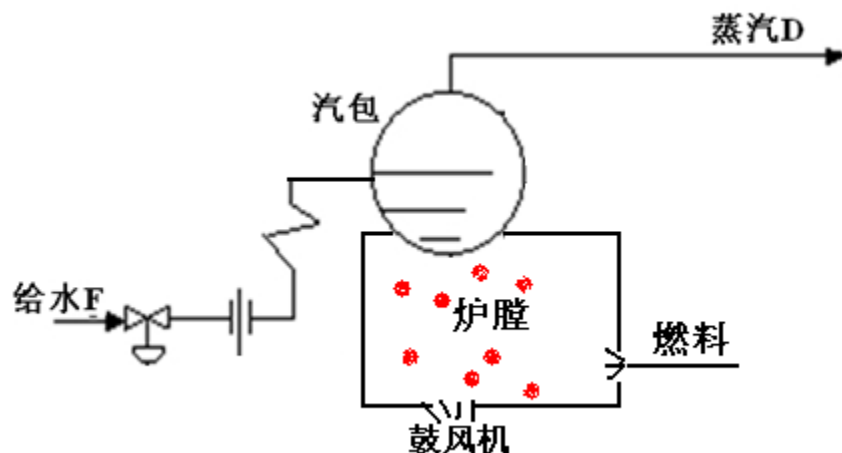
注意：这里应该是质量流量

被控参数：炉膛氧气含量2%

——直接参数

被控参数：燃料与空气的比值

——间接参数



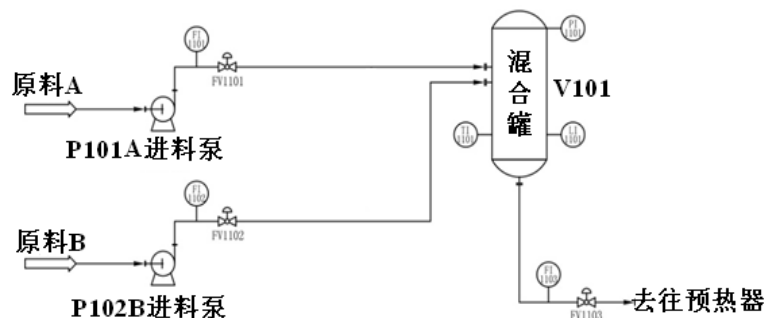
## 二、几个术语

主流量(主动量)  $Q_1$ : 在这个系统中, 独立变化, 起主导作用

副流量(从动量)  $Q_2$ : 在这个系统中, 跟随  $Q_1$  变化配比的参数  
在配比控制中, 副流量改变应该是控制参数。

比值 (流量比值)  $K$ : 工艺指标规定的体积或重量流量比值。

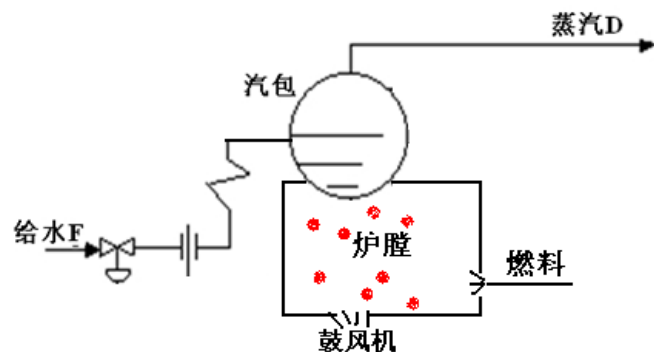
$$K=Q_2/Q_1$$



原料A与原料B哪一个为主流量

1份30%NaOH（副产品）的需要配4份水就可以获得6%的NaOH,

30%NaOH和水哪一个为主流量



空气和燃料哪一个为主流量

### 三、几种典型的比值控制系统

1、定比值控制系统——维持两个流量比值为固定值。

1) 开环比值控制系统

结构：如图



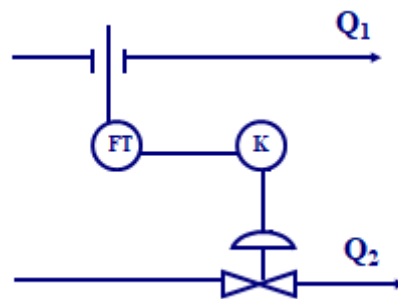
如果阀门前后压力差变化

特点：不能克服扰动

实际中很少应用

30%NaOH稀释6~8% NaOH的可以用开环比值

因为要求不高

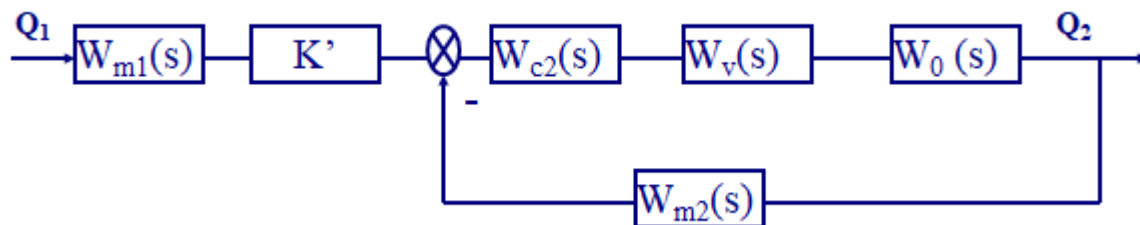
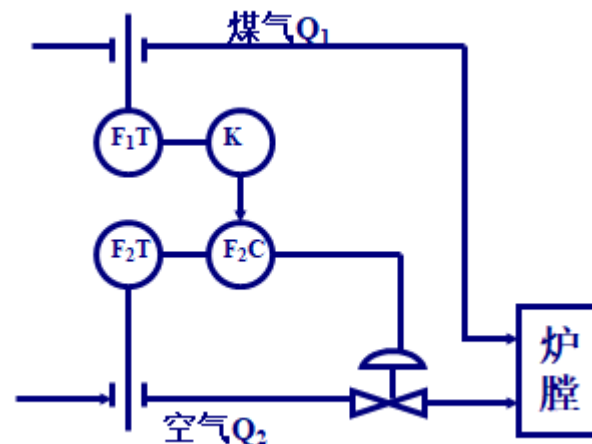




## 2) 单闭环比值控制系统

举例：煤燃烧，经济性，空煤比；

结构：如图



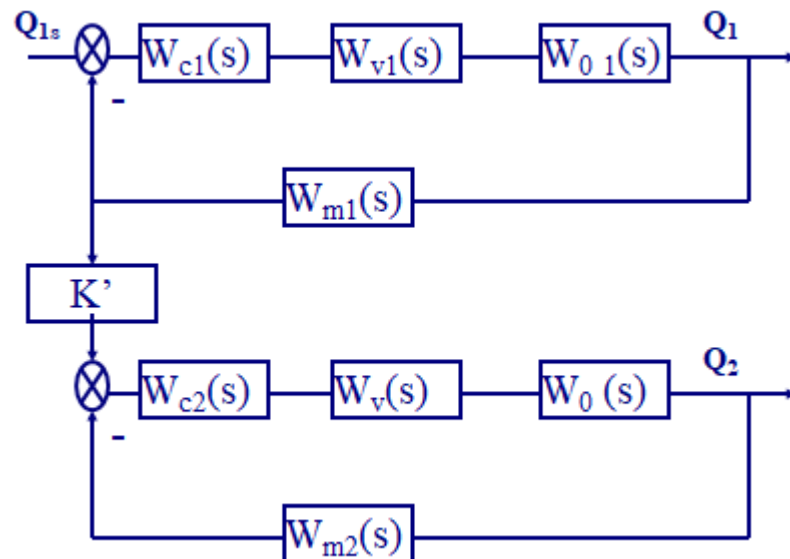
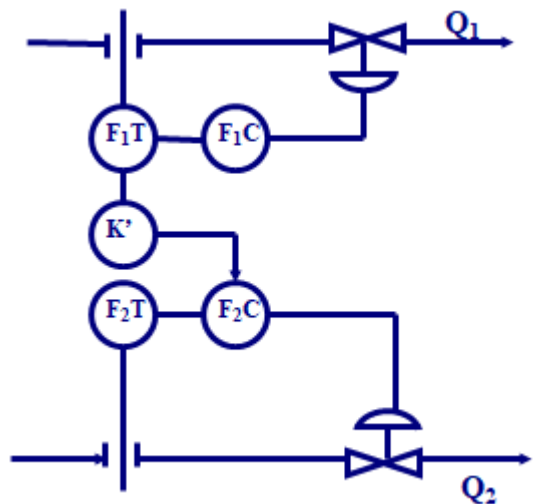
特点：可以克服扰动，当  $Q_1$  变化时，是随动控制系统；

当  $Q_1$  不变时，是定值控制系统；

当  $Q_1$  波动较大时，总流量无法控制。

### 3) 双闭环比值控制系统

结构：对主、副流量均构成闭环



特点：

主流量回路是定值控制系统

副流量回路是随动控制系统

可以克服扰动, 结构复杂, 但总流量得到控制

## 2、变比值控制

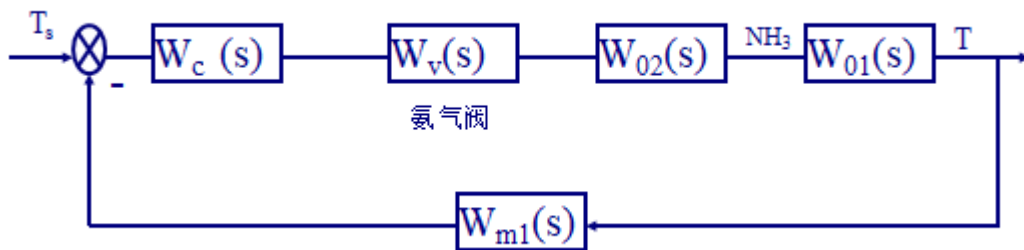
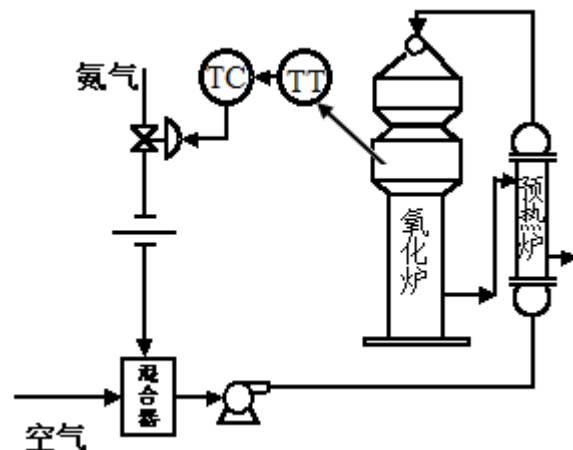
——在控制过程中比值是变化的。

例：硝酸生产中的氧化炉温度控制系统。

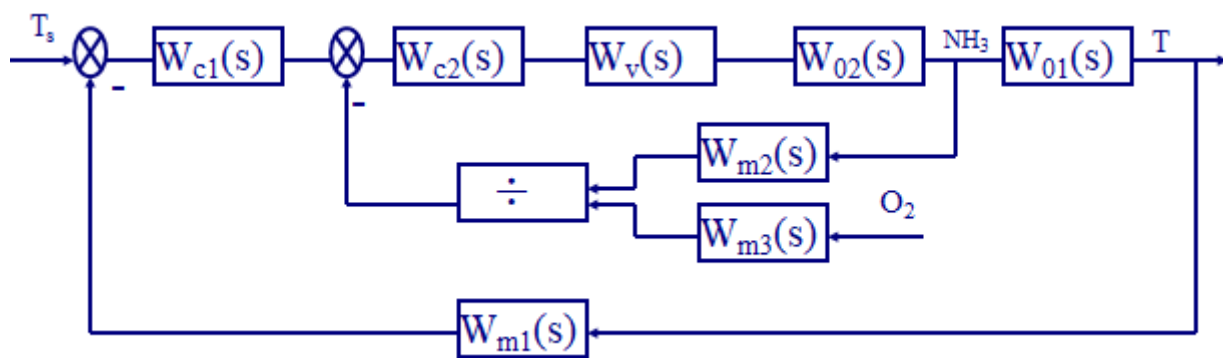
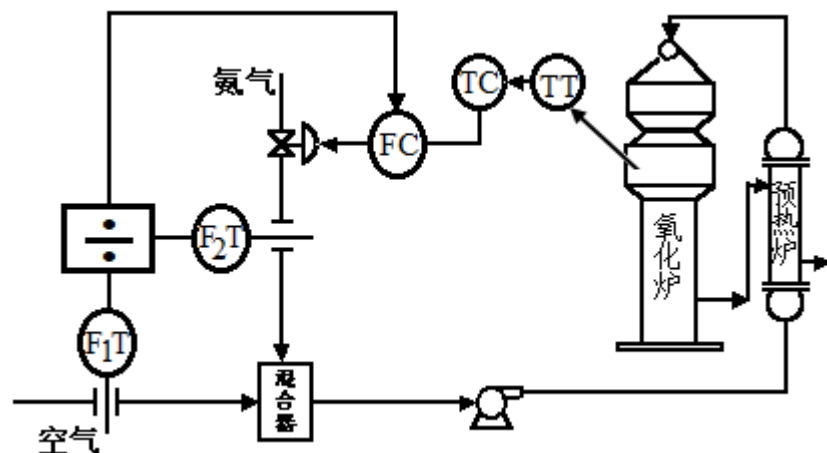
反应式：



被控参数为氧化炉温度，通过控制反应进程达到控制温度，可构成单回路温度控制系统。



经过计算得知，当氨气在混合器中含量增加1%时，氧化炉温度将上升64.9°C。



$T > T_s \rightarrow W_{c1} \downarrow \rightarrow$   
 $\text{NH}_3\% \downarrow \rightarrow T \downarrow$   
 $T < T_s \rightarrow W_{c1} \uparrow \rightarrow$   
 $\text{NH}_3\% \uparrow \rightarrow T \uparrow$

特点：

比值关系为副参数，又称串级比值  
 比值不固定，随工况的变化而变化；

## 小结

什么是比值控制系统

主流量

副流量

比值： $K=Q_2/Q_1$ （副流量比主流量）

分类

定比值

开环比值

单闭环比值

双闭环比值

变比值——串级比值，以比值为副参数的串级控制系统



## 7.1.2 比值控制系统设计

控制系统设计关键点（与单回路不同之处）：

主流量、副流量的确定；

结构选择；

比值系数的计算；

实施方案；

### 一、主流量、副流量的确定

- 1、不可控的为主流量（结构只能选单闭环）；
- 2、工艺指定；
- 3、昂贵的、供应不足的为主流量；
- 4、小流量为副流量（单闭环时阀门口径小一些）

## 二、结构方案

定比值：被控参数是比值要求

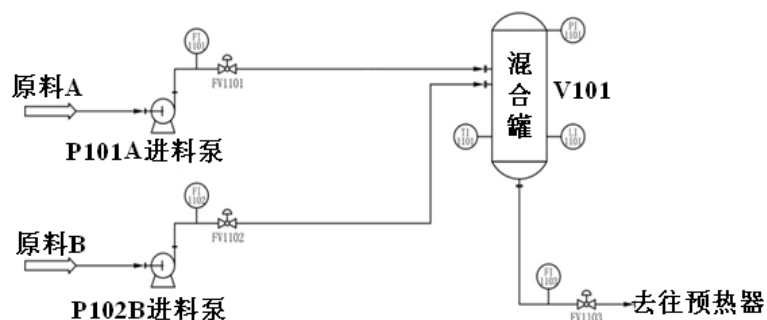
单闭环——对总流量没有要求；

如果有一个流量是生产负荷，就只能为单闭环

双闭环——对总流量有要求；

变比值：被控参数不是比值，比值只是串级的副参数

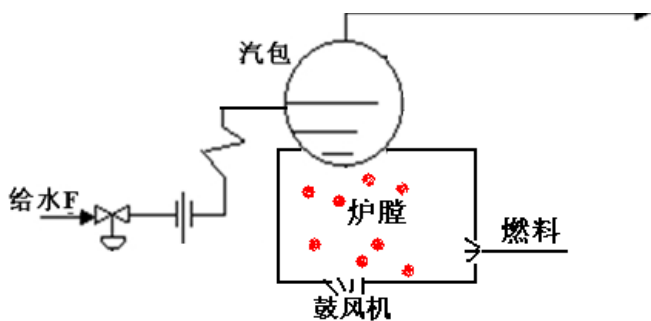
比值为不固定的；



原料A与原料B哪一个为主流量

选择A为主流量，B为副流量

- 1、不可控的为主流量（结构只能选单闭环）； 改变，相当于
- 2、工艺指定； 为主流量，
- 3、昂贵的、供应不足的为主流量； 空制
- 4、小流量为副流量（单闭环时阀门口径小一些）

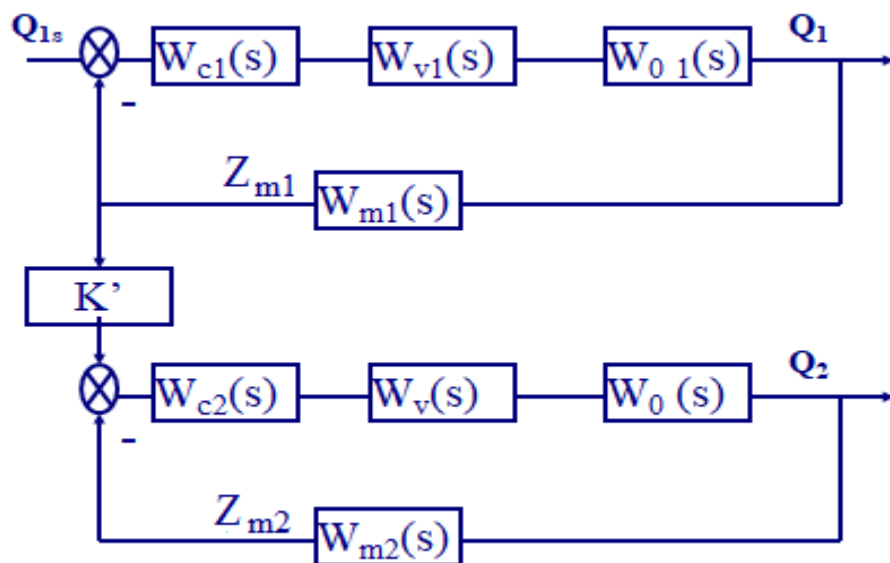


燃料阀在蒸汽压力控制回路是控制参数  
相当于生产负荷，只能选为主流量  
结构：单闭环比值



### 三、比值系数的计算

$$\text{比值 } K = \frac{Q_2}{Q_1}$$



参加运算的都是流量检测信号的比值  $K'$

$Z_{m2}$ 和 $Z_{m1}$ 分别是 $Q_2$ 和 $Q_1$ 的测量值

$$K' = \frac{Z_{m2} - Z_{20}}{Z_{m1} - Z_{10}}$$

DDZ III仪表的 $Z_0=4\text{mA}$

DDZ II仪表的 $Z_0=0\text{mA}$

QDZ仪表的 $Z_0=0.02\text{Mp}$



## 1、流量与测量信号成线性关系

DDZ III仪表，流量 $Q_1, 0 \sim Q_{1\max}$ ，测量信号为电流 $I_1, 4 \sim 20\text{mA}$

流量 $Q_2, 0 \sim Q_{2\max}$ ，测量信号为电流 $I_2, 4 \sim 20\text{mA}$

$$\frac{Q_1}{Q_{1\max}} = \frac{I_1 - 4}{20 - 4} \quad \frac{Q_2}{Q_{2\max}} = \frac{I_2 - 4}{20 - 4}$$

$$K' = \frac{Z_{m2} - Z_{20}}{Z_{m1} - Z_{10}} = \frac{I_2 - 4}{I_1 - 4} = \frac{Q_2}{Q_1} \cdot \frac{Q_{1\max}}{Q_{2\max}} = K \cdot \frac{Q_{1\max}}{Q_{2\max}}$$

对于DDZ II仪表和QDZ仪表都有  $K' = K \cdot \frac{Q_{1\max}}{Q_{2\max}}$

## 2、流量与测量信号成非线性关系

DDZ III仪表, 流量 $Q_1, 0 \sim Q_{1\max}$ , 测量信号为电流 $I_1, 4 \sim 20\text{mA}$

流量 $Q_2, 0 \sim Q_{2\max}$ , 测量信号为电流 $I_2, 4 \sim 20\text{mA}$

所不同的是  $Q^2 \propto Z_m$

DDZ III仪表

$$\frac{Q_1^2}{Q_{1\max}^2} = \frac{I_1 - 4}{20 - 4} \quad \frac{Q_2^2}{Q_{2\max}^2} = \frac{I_2 - 4}{20 - 4}$$

$$K' = \frac{I_2 - 4}{I_1 - 4} = \frac{Q_2^2}{Q_1^2} \cdot \frac{Q_{1\max}^2}{Q_{2\max}^2} = K^2 \cdot \frac{Q_{1\max}^2}{Q_{2\max}^2}$$

对于DDZ II仪表和QDZ仪表都有

$$K' = \left( K \cdot \frac{Q_{1\max}}{Q_{2\max}} \right)^2$$

例 30%NaOH稀释为6%~8%,经计算要求水的流量 $Q_2$ 和30%NaOH流量 $Q_1$ 的比为 $Q_2/Q_1=4\sim2.75$ ; 已知30%NaOH的正常流量为 $Q_{1n}=700\text{kg/h}$ ,采用孔板测量方式, 求 $K'$ 。

解: 1) 确定仪表量程

$$Q_{1\max} = Q_{1n} / 0.7 = 1000\text{kg/h}$$

$$Q_{2\max} = K_{\max} Q_{1\max} = 4000\text{kg/h}$$

2) 计算比值系数 $K'$

$$K' = (K \cdot \frac{Q_{1\max}}{Q_{2\max}})^2 = 1 \sim 0.473$$

➤根据额定流量确定仪表量程

——应将额定流量处于最大量程的70%左右;

➤当一个比值系统的比值是一个范围时, 确定 $Q_2$ 的量程时根据最大 $K$ 值来定。

#### 四、测量方式的选择

线性测量——转子流量计，电磁流量计，测量信号与流量成线性关系

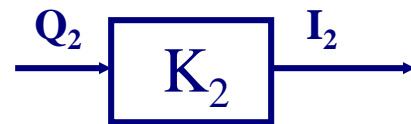
非线性测量——孔板测量，测量信号与流量成非线性关系

非线性测量容易产生系统的非线性特性；

非线性特性：是指系统的静态放大系数随负荷变化而变化的特性。

$$\frac{Q_2^2}{Q_{2\max}^2} = \frac{I_2 - 4}{20 - 4} \quad I_2 = \frac{Q_2^2}{Q_{2\max}^2} \times 16 + 4$$

$$K_2 = \frac{dI_2}{dQ_2} = \frac{32}{Q_{2\max}} Q_2$$



表明副流量的测量环节的静态放大系数 $K_2$ 随负荷增加而增加的

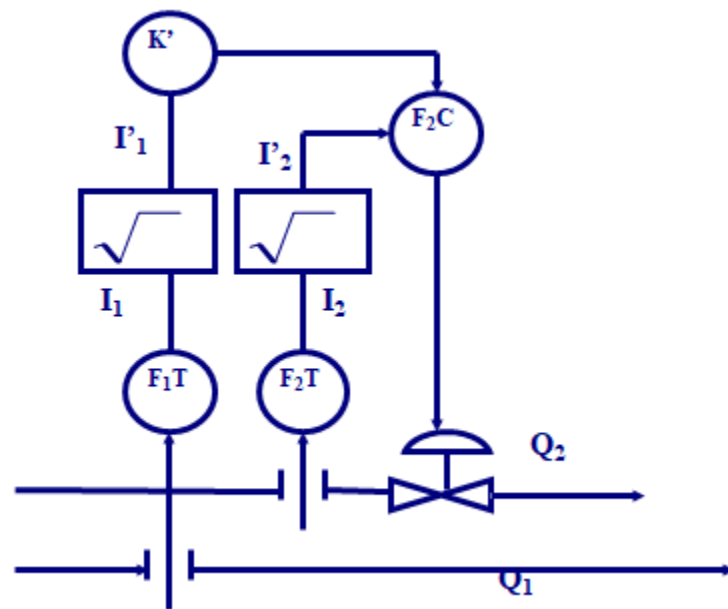
当负荷变化很大时，会导致系统放大系数变化很大，导致系统性能变差，此时应尽量避免非线性——加开方器。如图

$$I_2 = \frac{Q_2^2}{Q_{2\max}^2} \times 16 + 4$$

$$\frac{I'_2 - 4}{20 - 4} = \frac{\sqrt{I_2 - 4}}{\sqrt{20 - 4}}$$

$$I'_2 = \sqrt{I_2 - 4} \times 4 + 4 = \frac{Q_2}{Q_{2\max}} \times 16 + 4$$

$$K'_2 = \frac{dI'_2}{dQ_2} = \frac{16}{Q_{2\max}}$$



不再受负荷变化的影响。

引入开方器的原则：

系统精度要求很高，同时生产负荷变化很大；



例 30%NaOH稀释为6%~8%,经计算要求水的流量 $Q_2$ 和30%NaOH流量 $Q_1$ 的比为 $Q_2/Q_1=4\sim2.75$ ; 已知30%NaOH的正常流量为 $Q_{1n}=700\text{kg/h}$ ,采用孔板测量方式, 求 $K'$ 。

解: 1) 确定仪表量程

$$Q_{1\max} = Q_{1n} / 0.7 = 1000\text{kg/h}$$

$$Q_{2\max} = K_{\max} Q_{1\max} = 4000\text{kg/h}$$

2) 计算比值系数 $K'$

$$K' = (K \cdot \frac{Q_{1\max}}{Q_{2\max}})^2 = 1 \sim 0.473$$

➤根据额定流量确定仪表量程

——应将额定流量处于最大量程的70%左右;

➤当一个比值系统的比值是一个范围时, 确定 $Q_2$ 的量程时根据最大 $K$ 值来定。

## 五、实施方案的选择

### 1、相乘方案（包括比值器方案和乘法器方案2种）

#### 1) 比值器

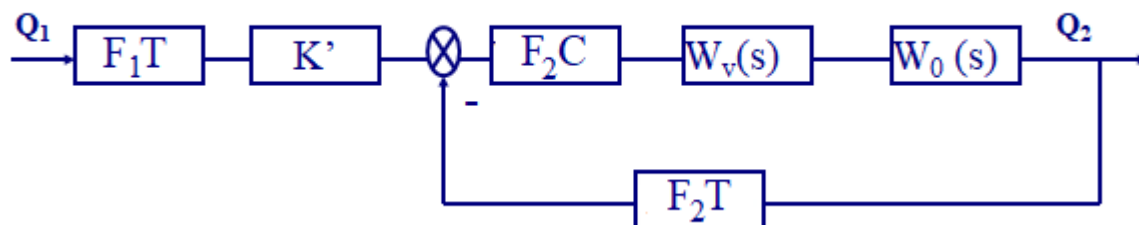
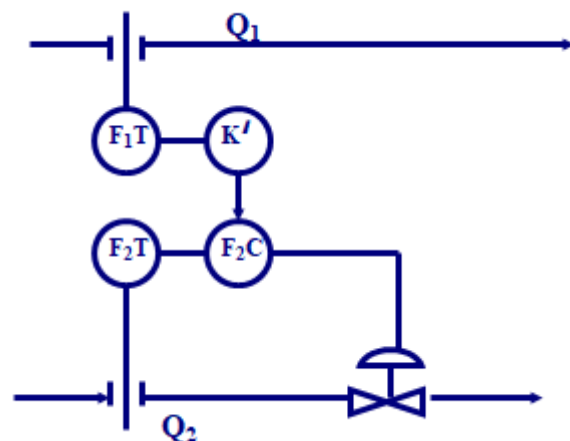
特点：线性，比值范围广，

$$K' = 0.4 \sim 2.5;$$

（由组合仪表决定）

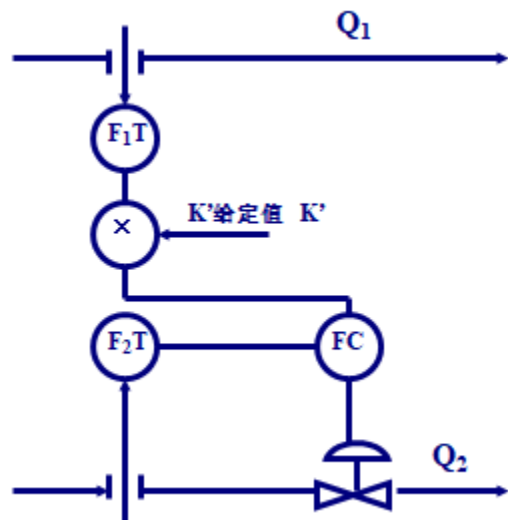
但不能实现变比值；

不能显示动态比值；





## 2) 乘法器方案

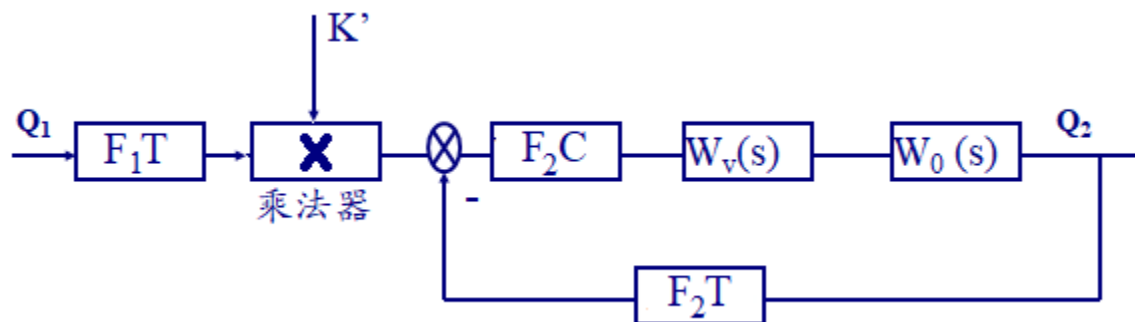


特点：线性，精度高；

可实现变比值；

但  $K' < 1$  （组合仪表确定的）；

不能显示动态比值；



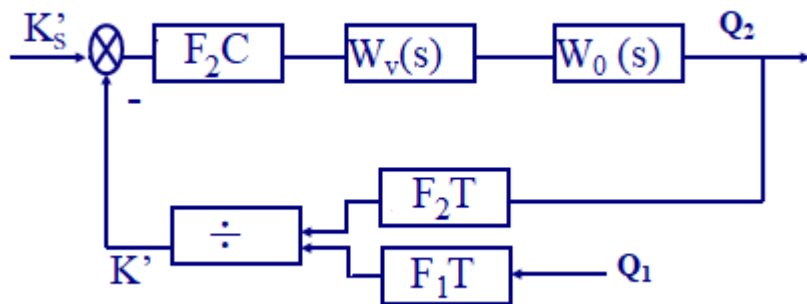
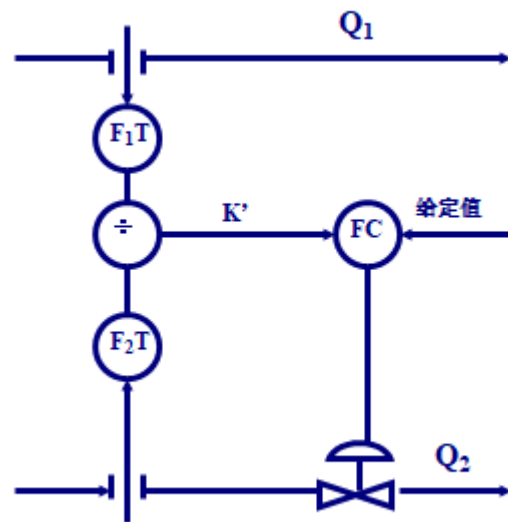
## 2、相除方案（用除法器）

特点：可实现变比值；

能显示动态比值；

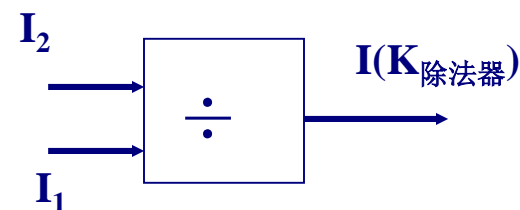
但  $K' < 1$ （组合仪表确定的）；

非线性



除法器的输出与输入的关系为

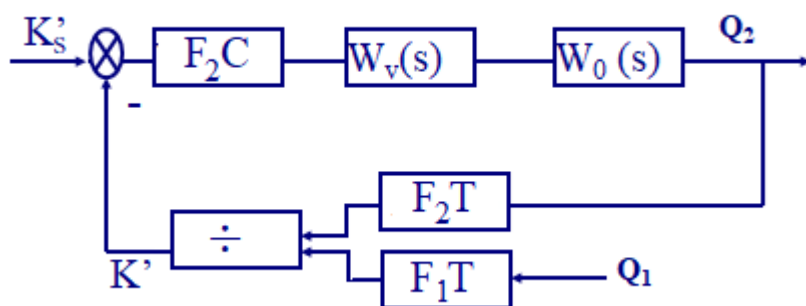
$$I = \frac{I_2 - 4}{I_1 - 4} \times 16 + 4$$



对副流量控制回路而言，除法器的静态放大系数为

$$K_{\text{除法器}} = \frac{dI}{dI_2} = \frac{1}{I_1 - 4} \times 16 = \frac{Q_{1\max}}{Q_1}$$

静态放大系数与流量成反比



反馈通道呈现非线性

## 六、控制器的选择与参数整定

### 1、控制器的选择

单闭环或双闭环副流量回路——比值控制系统的核心，随动控制

要求：快速、正确跟随主流量变化，**关注动态比值**；

采用：PI/PID

双闭环主流量回路——定值，**要求不高（工艺上没要求）**

通常采用P/PI

变比值——实质上是串级控制，比值是副参数，参照串级控制系统调节器选择，副调节器一般P或减弱积分



## 2、参数整定

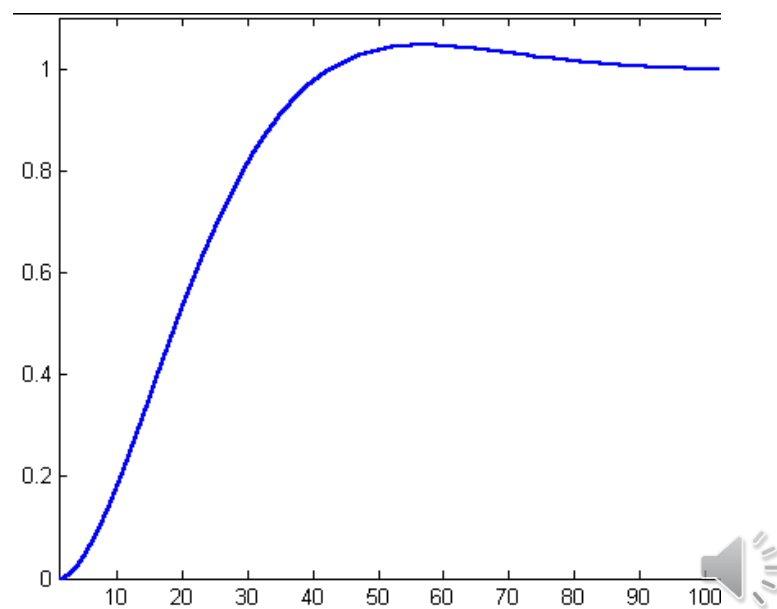
单闭环或双闭环副流量回路

看曲线调参数:这里不是要求4:1曲线

要求曲线处于振荡与不振荡的临界过程（相当于阻尼比0.707）或临界阻尼

双闭环主流量回路——单回路方式

变比值——同串级



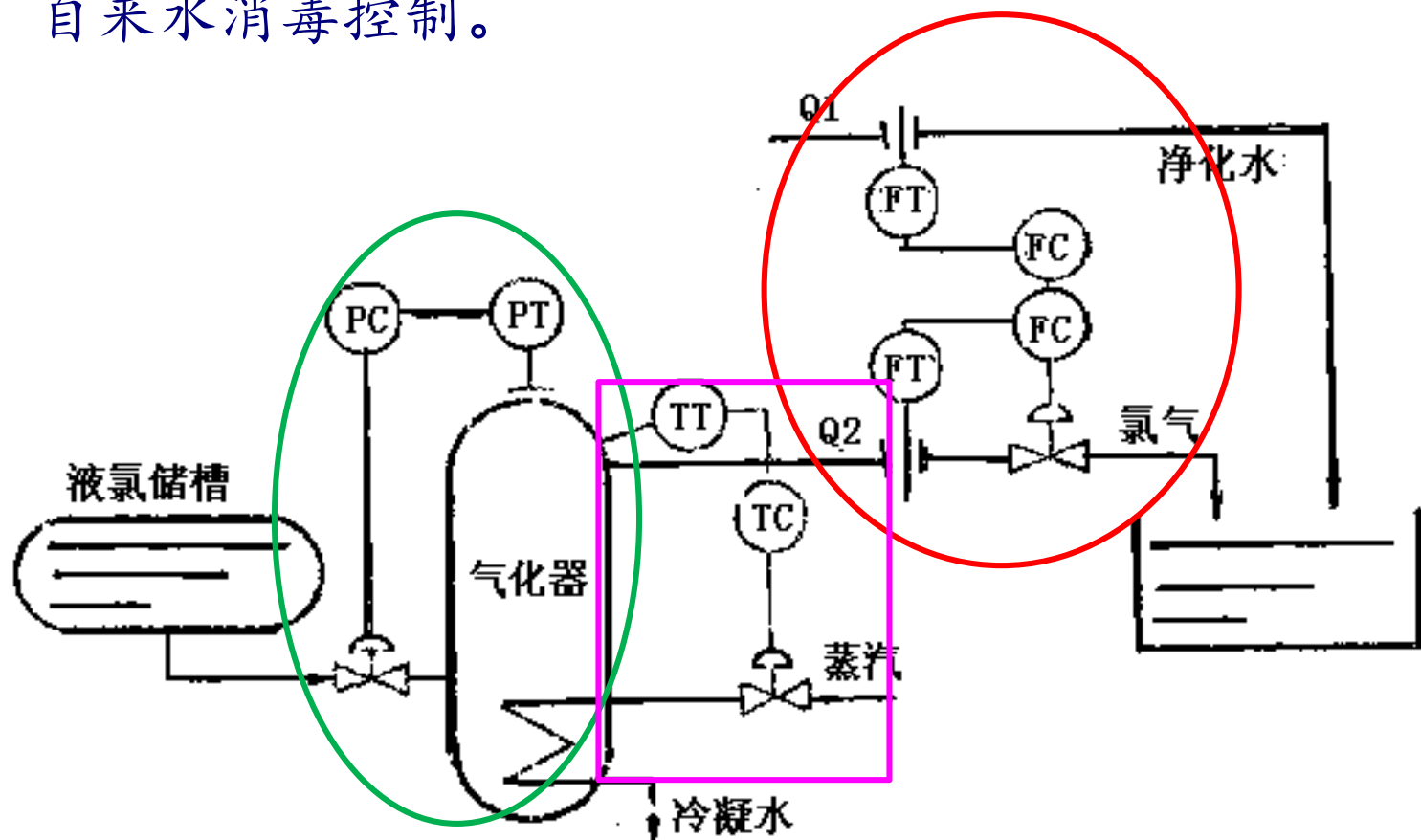
# 小结

## 比值控制系统设计步骤

- 1、主副流量选择
- 2、结构选择
- 3、比值系数计算
- 4、测量方式影响（非线性）
- 5、实施方案（非线性，显示动态比值）
- 6、控制器选择和参数整定

## 7.1.3 比值控制系统工业举例

### 一、自来水消毒控制。



液态氯通过气化器变成氯气，然后和已净化的水进行配比进行消毒

有三个控制系统



## 氯气与净化水配比控制

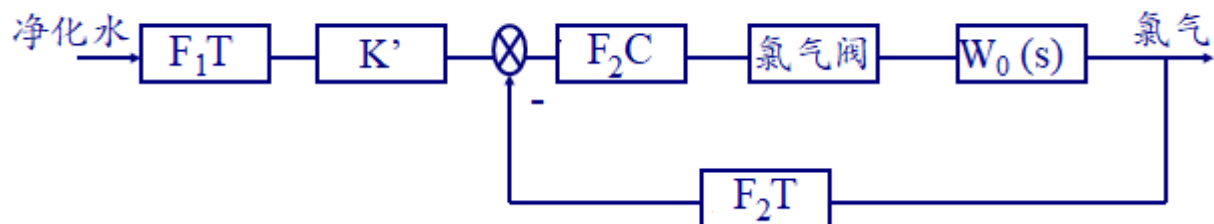
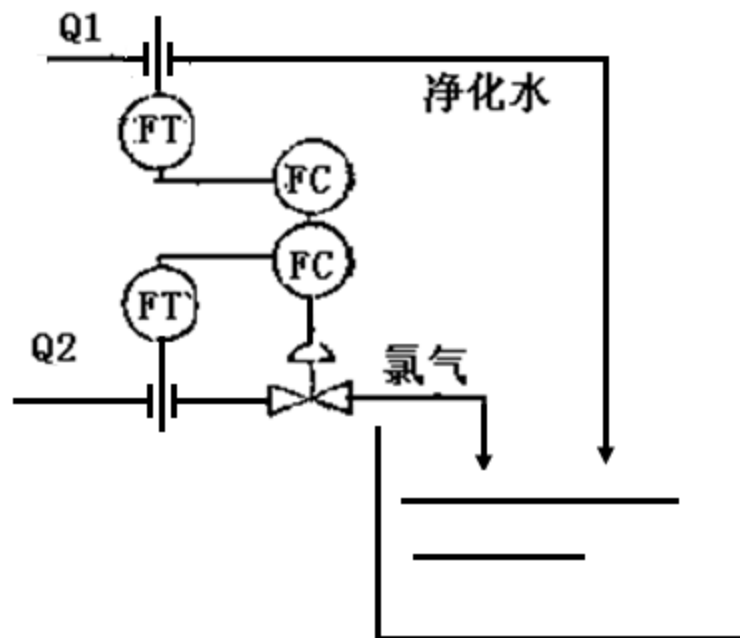
主流量：净化水

副流量：氯气

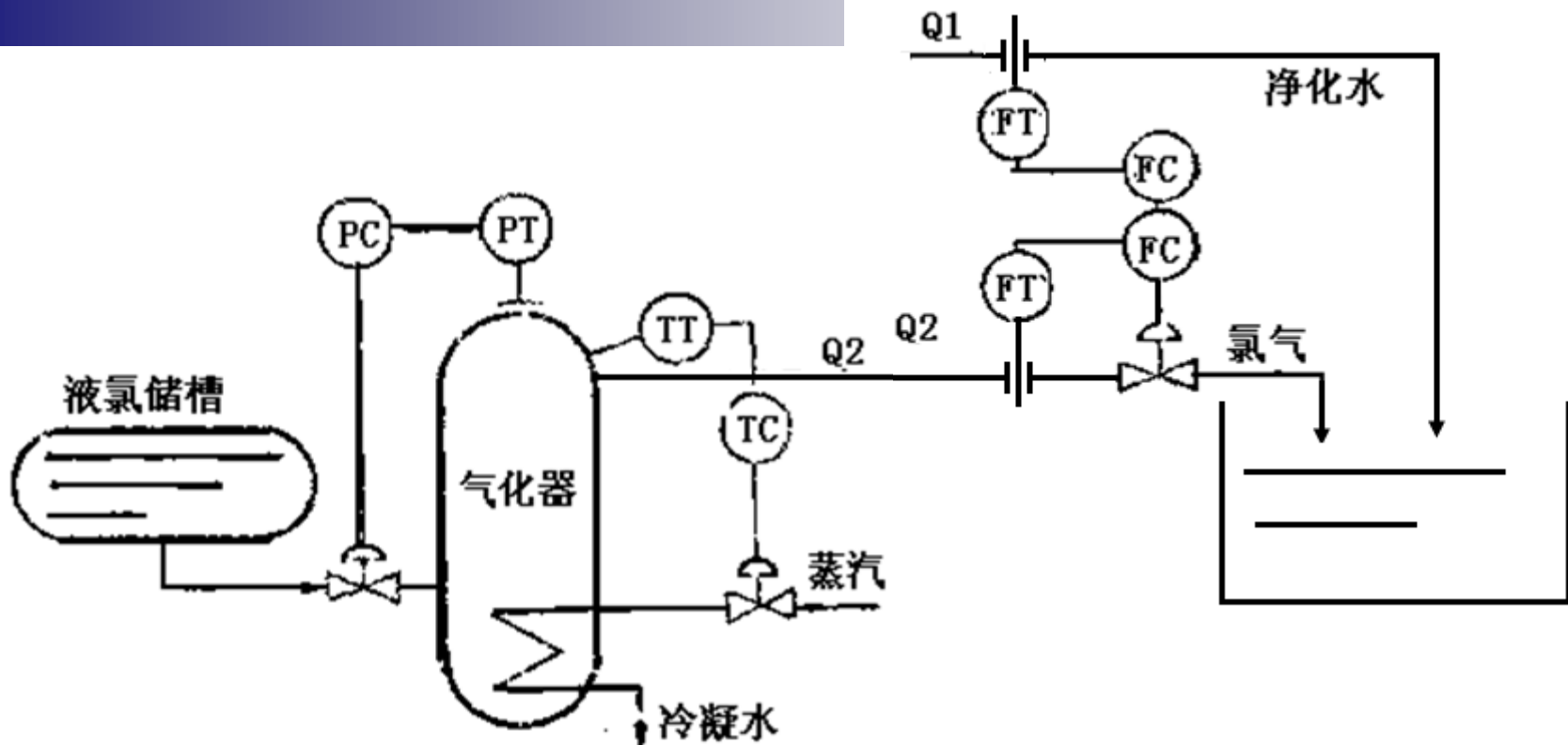
单闭环比值控制系统

比值器实施方案

(采用的比例控制器)







## 压力控制系统

被控参数：气化器压力

控制参数：液氯阀

扰动：Q2(氯气阀)

## 温度控制系统

被控参数：气化器温度

控制参数：蒸汽阀

扰动：液氯阀

一个控制回路的控制参数可能是别的单回路的扰动——**关联**



## 二、工业生产废液PH控制。

工业生产废碱液不能直接排放，必须通过加酸中和到PH值为7，才能排放。

被控参数：PH值

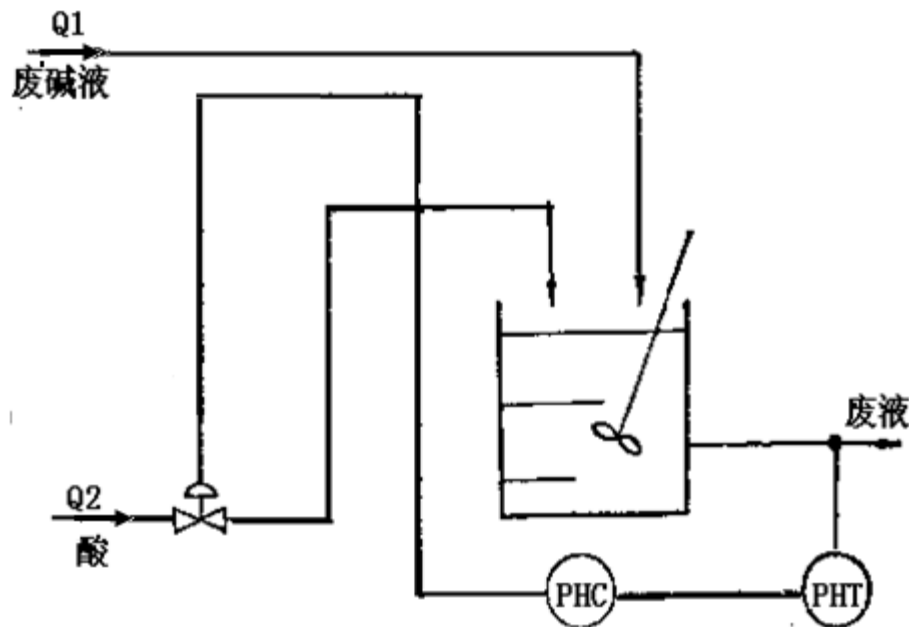
控制参数：加酸的阀门

设计一个单回路控制系统

问题：加酸的阀门前后压差

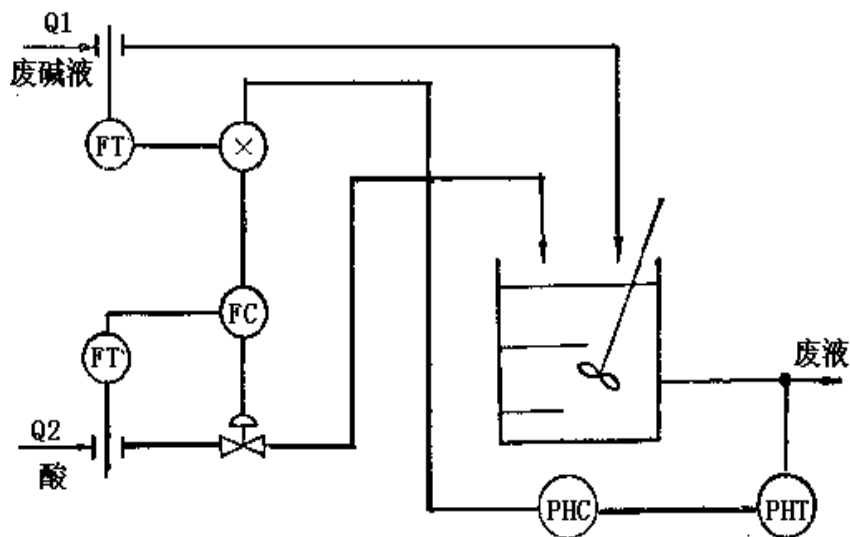
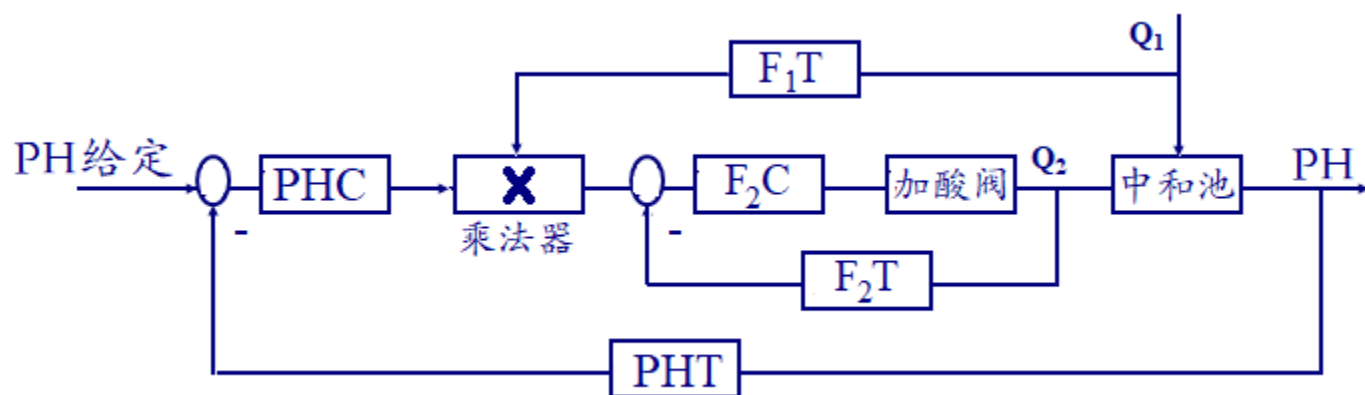
波动大——串级

废碱液波动大——前馈？



# 变比值控制系统

——用乘法器实现的变比值控制方案。



## 7.2 分程控制系统

什么是分程控制系统（特殊性）？

分类方式；

分程控制系统设计的步骤和原则；

工业应用中容易出现的问题；



## 7.2.1 概述

### 一、什么是分程控制系统

反应釜温度控制系统——放热反应

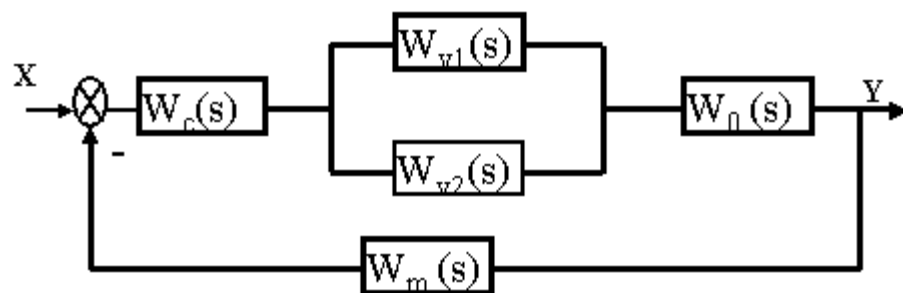
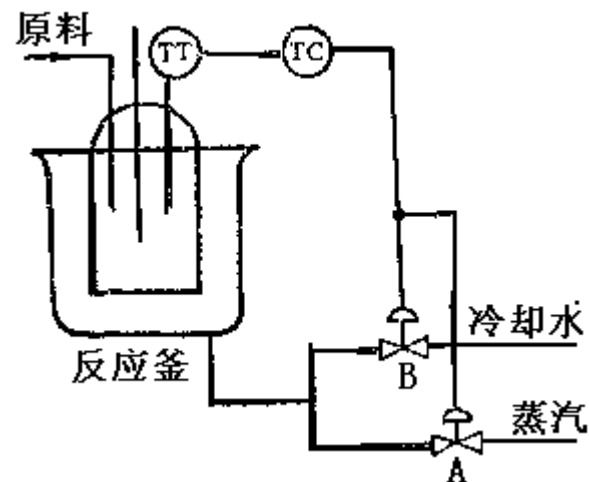
特点：反应初期温度较低——需要加热；

反应中期温度升高——需要降温；

系统需要

两个控制手段：冷却水和蒸汽；

一个控制器：温度控制器



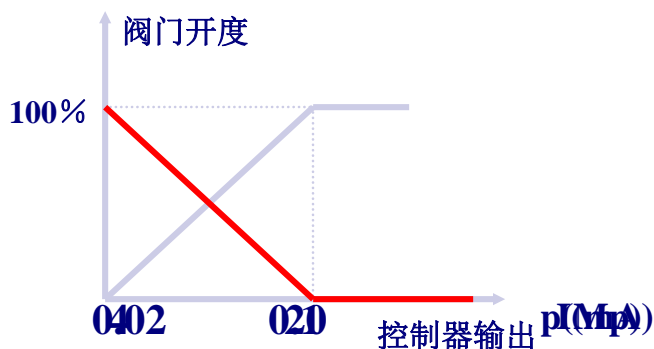
希望控制器在不同的控制信号区域分别控制不同的阀

分程控制系统就是：

根据工艺要求，一个控制器的输出信号分段，分别控制两个或两个以上的控制阀工作，即每个控制阀在控制器输出的某段信号范围内作全行程动作。

## 二、分程控制的实现与分程区间

如果控制器直接作用在控制阀上，两个阀都会在控制器输出信号内作全程变化。



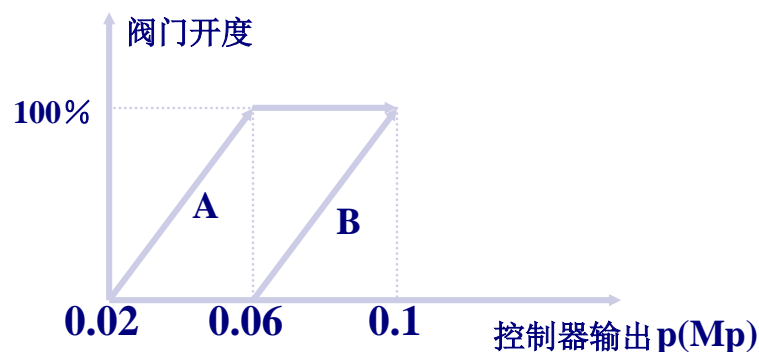
必须确定分程区间——一般情况下平均分配

DDZIII (4~12) mA;

(12~20) mA;

QDZ (0.02~0.06) Mpa;

(0.06~0.1) Mpa;



实现分程：通过阀门定位器

(4~12) mA——调节量程弹簧

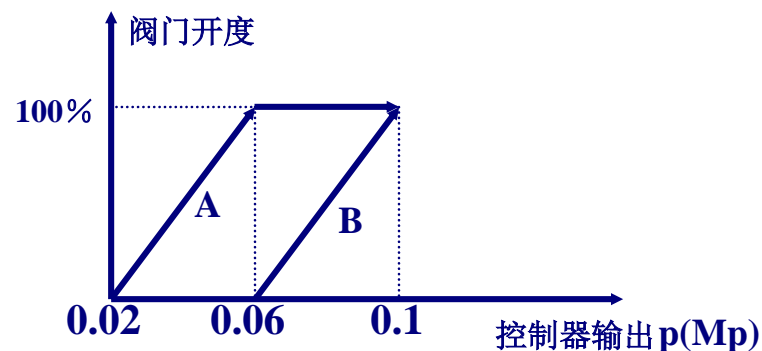
(12~20) mA调节调零弹簧和量程弹簧

(0.02~0.06) Mpa——调节量程弹簧

(0.06~0.1) Mpa——调节调零弹簧和量程弹簧

### 三、分程控制的目的

- 1、工艺要求两个以上的控制通道；
  - 2、可大幅度提高阀门的可调范围R；
- 一般普通阀门 $R=30$



$$R = \frac{C_{\max}}{C_{\min}}$$

$$C_{A \max} = 4, C_{B \max} = 100, R_A = R_B = 30$$

$$C_{A \min} = \frac{4}{30}, C_{B \min} = 100/30,$$

$$R = \frac{C_{\max}}{C_{\min}} = \frac{C_{A \max} + C_{B \max}}{C_{A \min}} = \frac{104}{4/30} = 780$$

提高了25倍



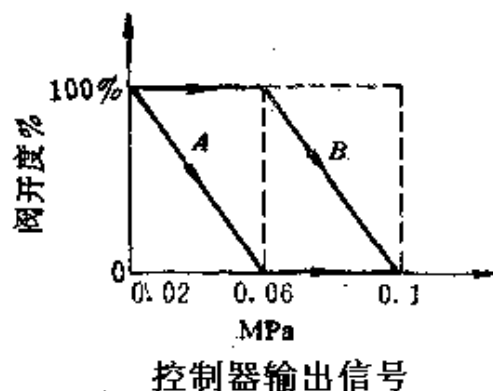
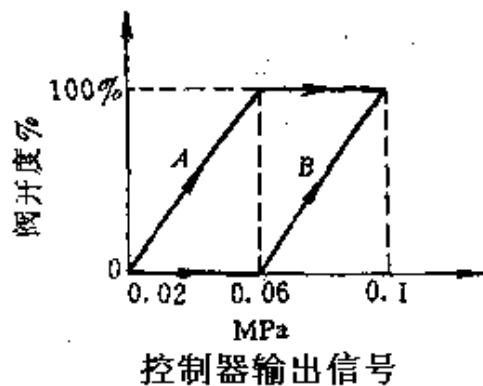
请问当  $C_{A \max} = 100, C_{B \max} = 4, R_A = R_B = 30$  时  
可调范围能提高多少倍？



## 四、分程控制的类型

### 1、同向分程控制系统

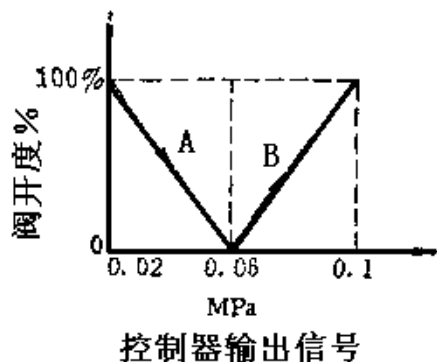
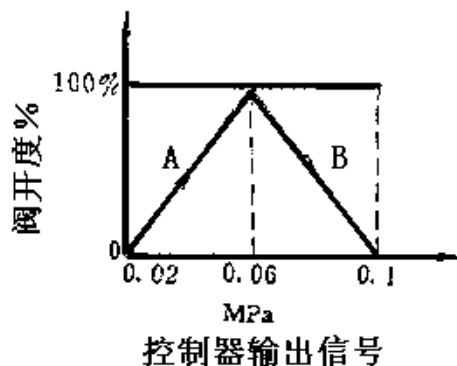
两个控制阀同为气开阀或同为气关阀



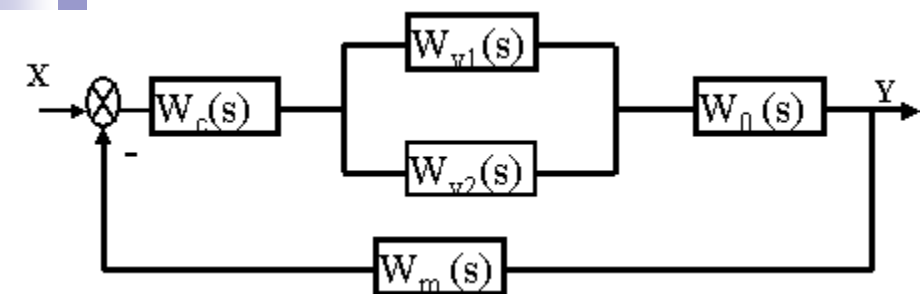
阀门动作示意图

### 2、异向分程控制系统

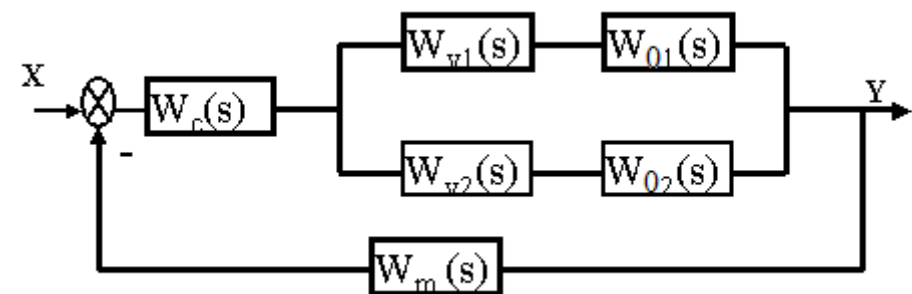
两个控制阀一个为气开阀，另一个为气关阀



阀门动作示意图



定性方块图



定量方块图

阀门不同，控制通道传递函数也不同，

$$W_{o1}(s) \neq W_{o2}(s)$$

甚至正反特性也不同

在具体分析系统时我们需要采用下面这个定量方块图。

## 7.2.2 分程控制系统设计

### 一、分程控制设计步骤：

根据工艺要求确定分程控制系统类型

当两个控制阀对被控参数有相同的影响——同向分程；

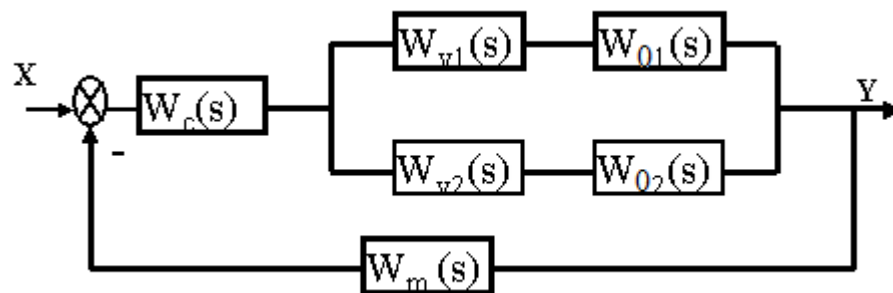
当两个控制阀对被控参数有相反的影响——异向分程；

根据安全原则确定阀门的气开、气关型式；

确定控制器的正反作用；

确定分程区间；

控制器选择和参数整定；



## 二、设计举例

### 1、反应釜温度控制系统

异向分程

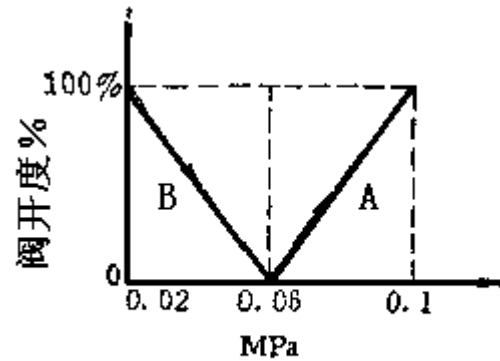
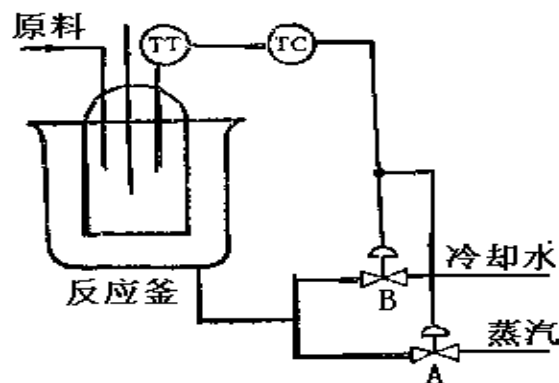
冷却阀为气关阀

蒸汽阀为气开阀

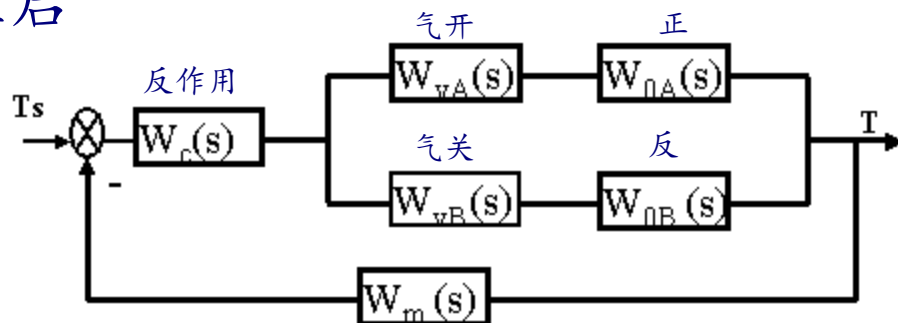
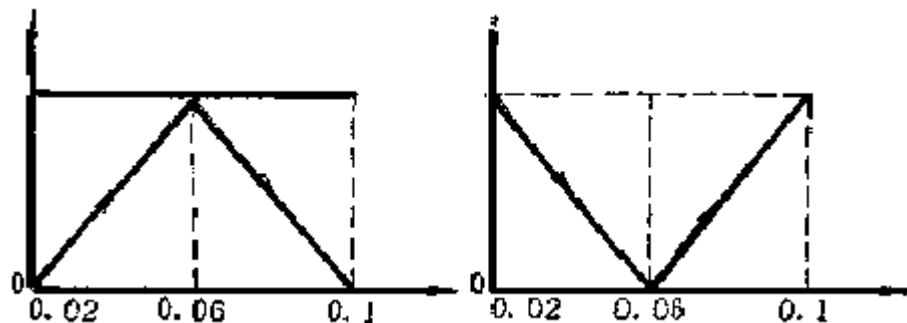
控制器为反作用；

分程区间：

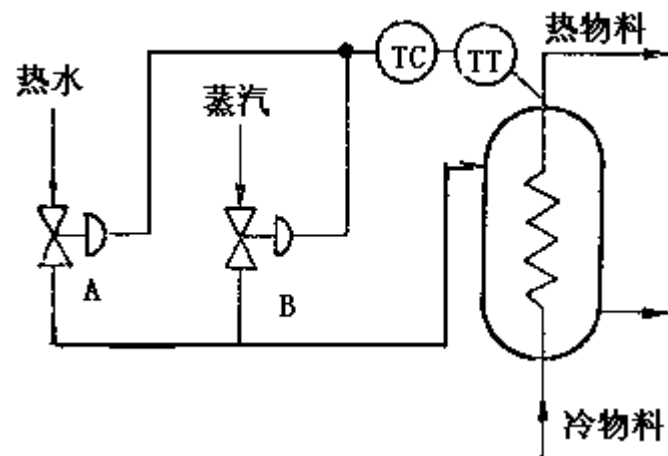
不能同时打开，气关在前，气开在后



控制器输出信号



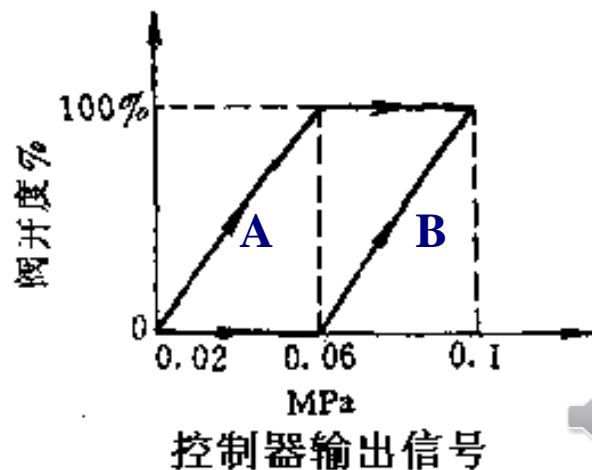
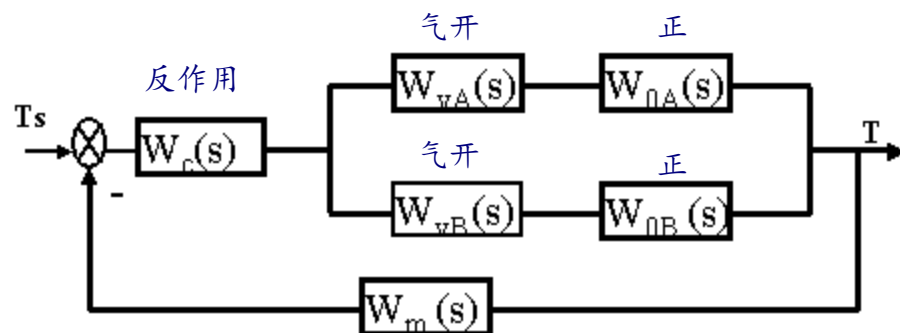
2、在某生产过程中，冷物料通过热交换器用热水（工业废水）和蒸汽对其进行加热，当热水加热不能满足出口温度要求时，再同时使用蒸汽加热。



同向分程

热水阀为气开阀

蒸汽阀为气开阀



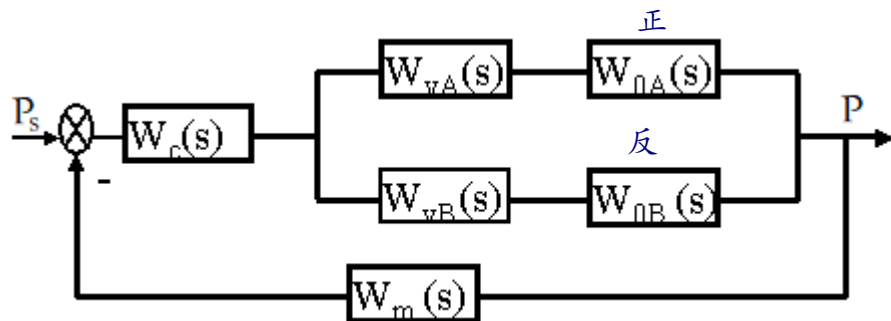
控制器为反作用；

分程区间：

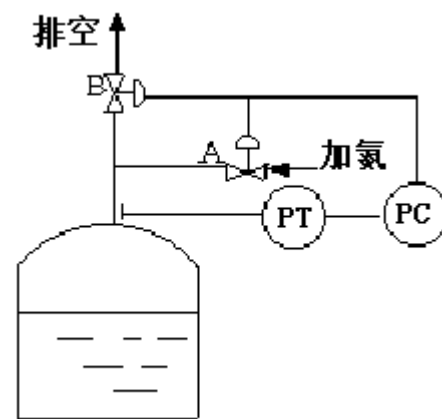
反作用的特性： $T \uparrow$  —— 控制器输出  $\downarrow$

3、在各类炼油厂或石油化工厂中有许多存放各种油品或石油化工产品的储罐。这些油品或石油产品不宜与空气长期接触，因为空气中的氧气会使油品氧化而变质、甚至会引起爆炸。为此，常常在油品储罐液位以上空间充以惰性气体 $N_2$ ，以使油品与空气隔绝。通常称之为 $N_2$ 封。为了保证空气不进入储罐，一般要求 $N_2$ 气压力保持微正压。

解：



异向分程



## 异向分程

有2种组合方式

排空阀B	气关阀
加氮阀A	气开阀
停电时 出现问题	物质氧化

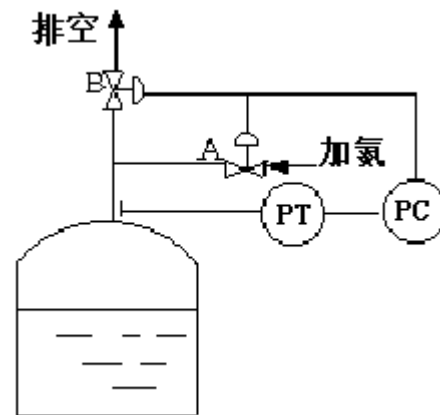
排空阀B	气开阀
加氮阀A	气关阀
停电时 出现问题	压力过大可能爆炸



## 选择

排空阀B为气关阀

加氮阀A为气开阀



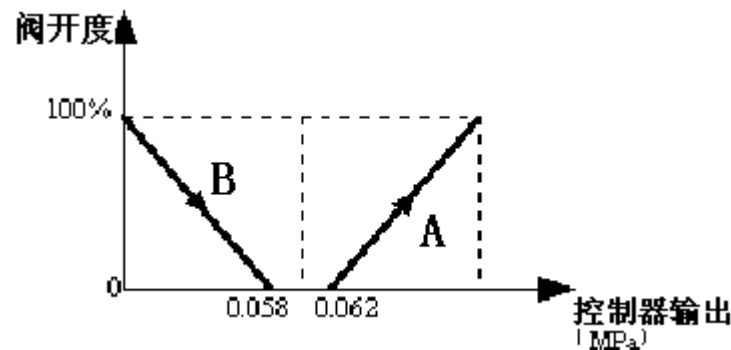
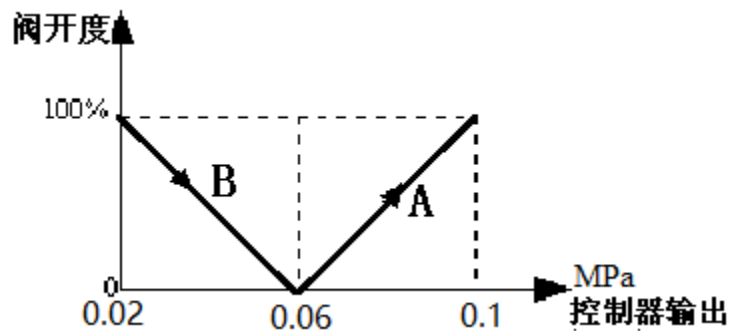
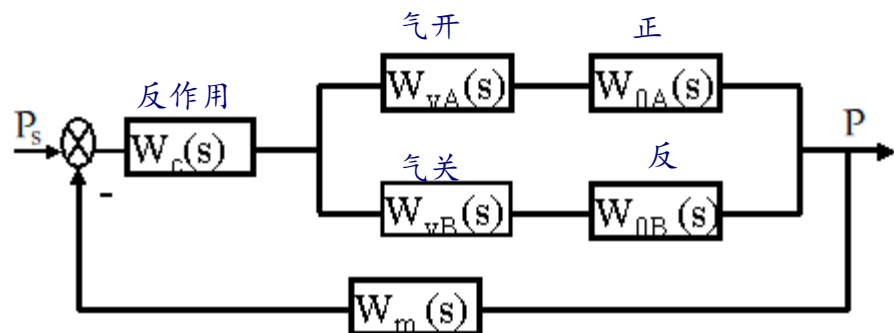
排空阀B为气关阀

加氮阀A为气开阀

控制器为反作用；

分程区间：

不能同时打开，气关在前，气开在后。



设置分程区间死区 (0.058~0.062)

原因：系统对压力要求是微正压，要求不高；

避免在稳态值附近阀门的频繁切换。



## 4、PH值的分程控制系统

对于废酸液进行加碱中和的PH值控制。

正常工况下用小阀，阀1（蓝色），滴定

非正常情况下用大阀，阀2（红色）。

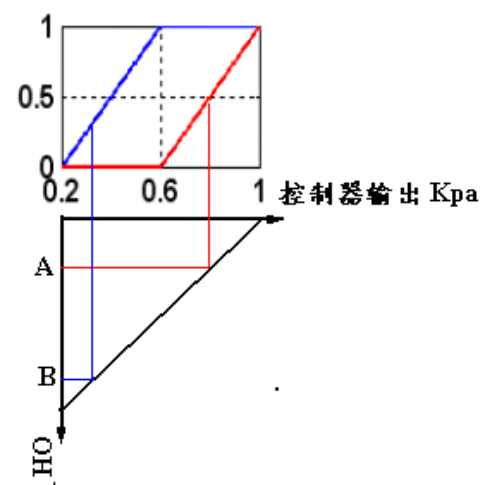
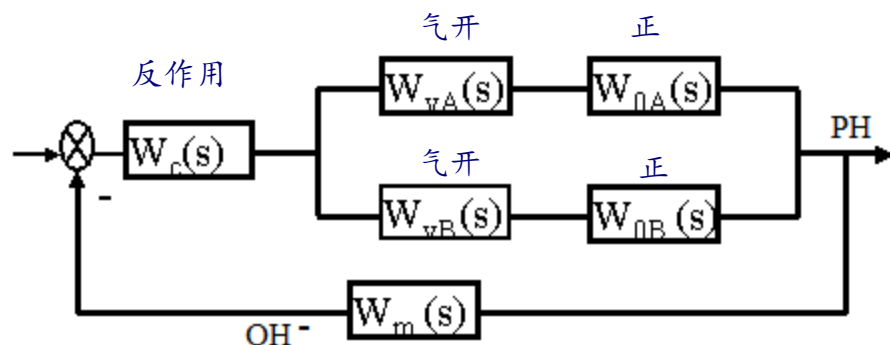
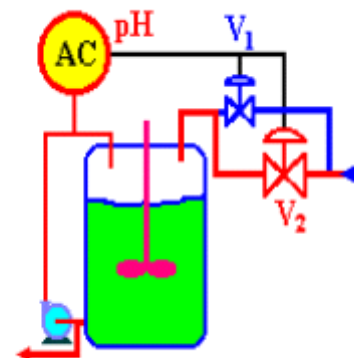
分程控制的目的是提高可调范围

同向分程控制

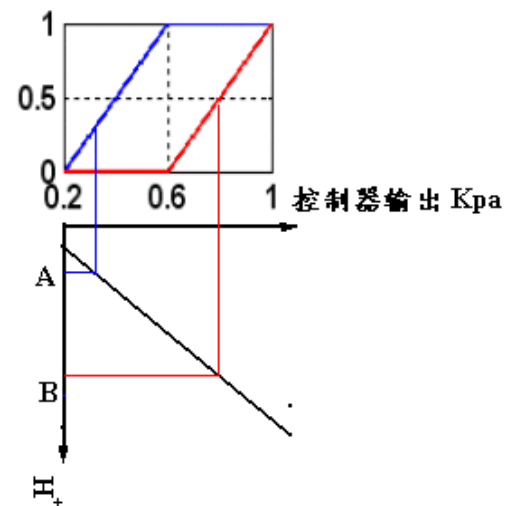
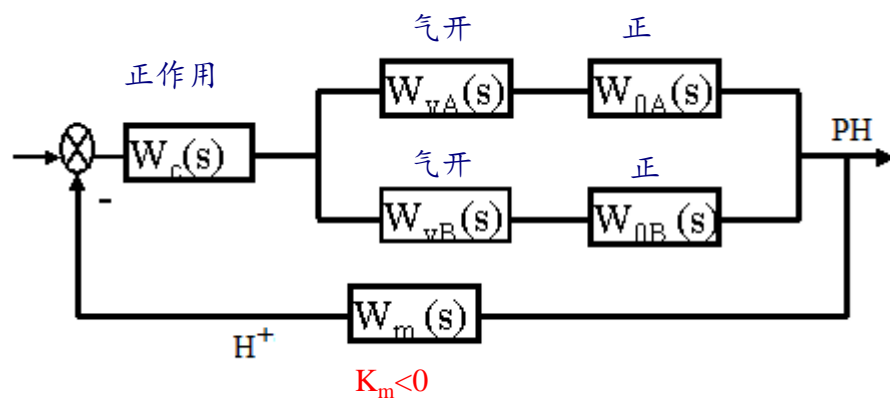
阀门选择：气开阀

测量PH值是测量 $\text{OH}^-$ 浓度时

控制器的正反作用：反作用



测量PH值是测量 $H^+$ 浓度时



控制器的正反作用：正作用

## 7.2.3 工业中必须注意的问题

### 一、泄漏问题

在大口径阀和小口径阀同时并用时

大口径阀的泄漏量要比小口径阀的正常流量小一个数量级；  
否则小口径阀的控制作用就没有了。

以上次提高阀门可调范围的例子

$$C_{Amax}=100, C_{Bmax}=4, C_{Amin}=100/30=3.33, C_{Bmin}=4/30=0.133$$

若每个阀门的泄漏量在这个阀门的最大流量的千分之一

A阀的泄漏量为0.1，而这个分程控制的综合阀的最小流通能力为0.133，小阀的调控能力打折扣了。



## 二、信号衔接问题

在大口径阀和小口径阀同时并用时

信号突变

强非线性

希望流量信号平滑

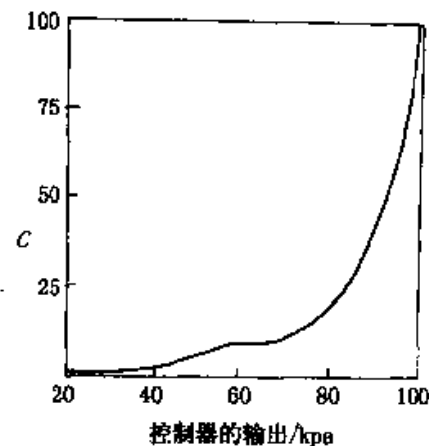
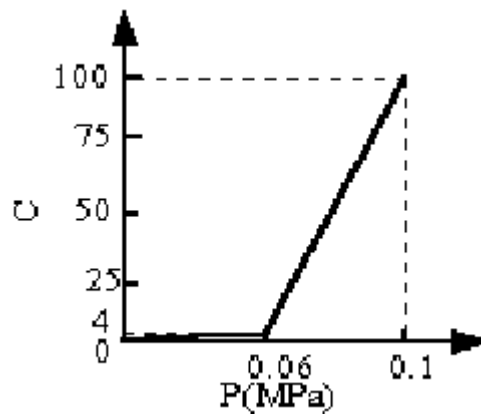
可采取

采用对数阀；

信号重叠法

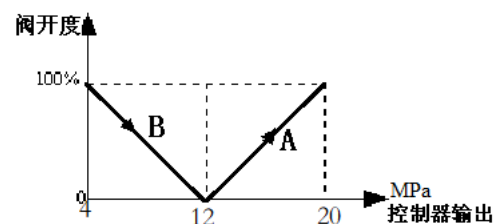
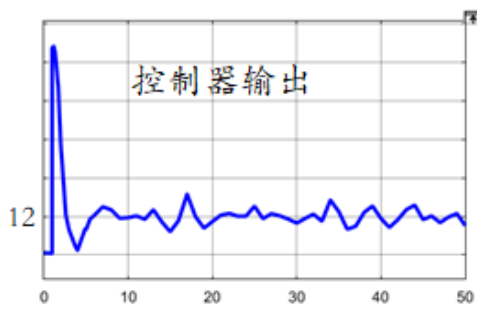
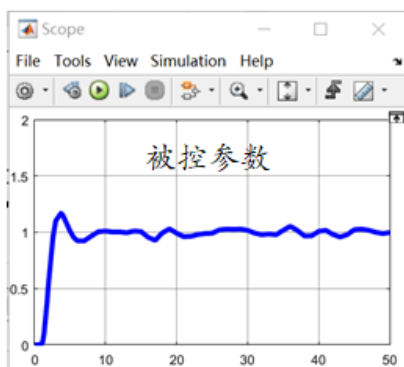
小阀区间 (0.02-0.062) MPa

大阀区间 (0.058-0.1) MPa



### 三、控制器稳态值的设置

控制器的稳态值**尽量避免**对应在控制器输出的分程点处。



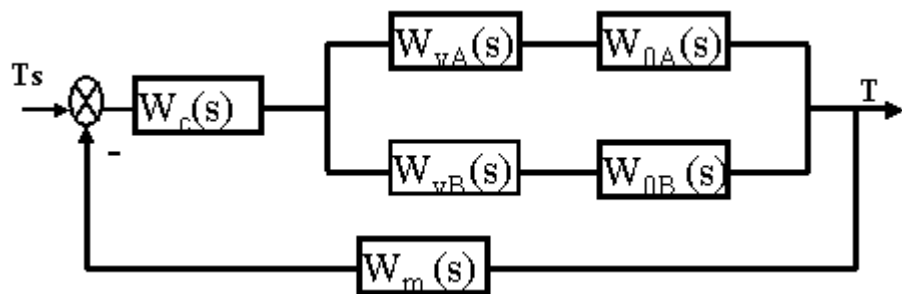
若控制器的稳态值正好在分程点处就导致阀门频繁切换；  
如果系统**要求不高**，像氮封系统，可以在分程点处设死区。



## 四、参数整定

调节器参数整定与单回路一样；

但由于是**两个控制回路共一个控制器**

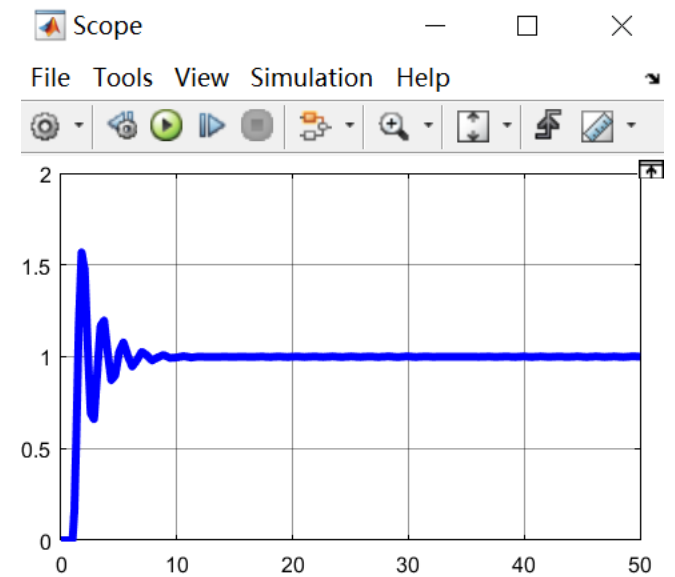
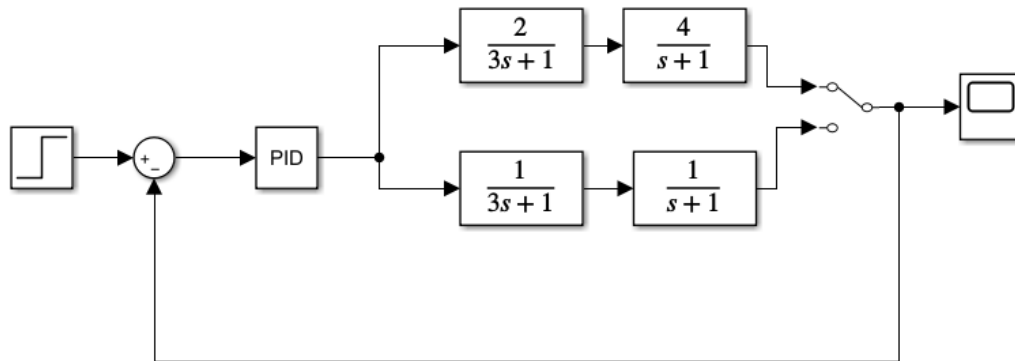
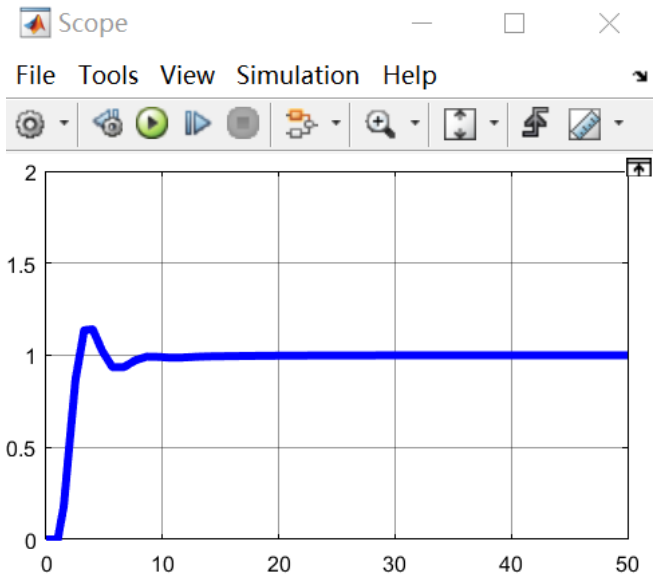
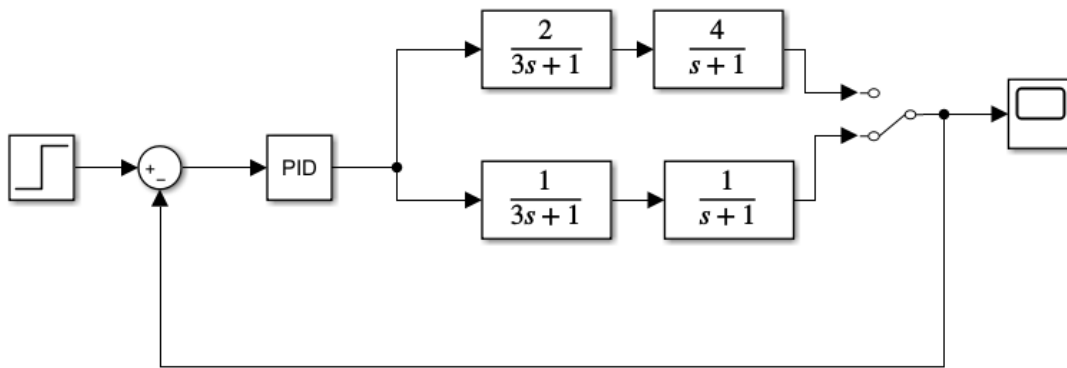


$K_c K_{vA} K_{0A} K_m$  和  $K_c K_{vB} K_{0B} K_m$  ,

若  $K_{vA} K_{0A} \gg K_{vB} K_{0B}$ ,

那么通过阀A控制可能会超调大,

而通过阀B控制时可能是过阻尼, 动态过程太慢。 例



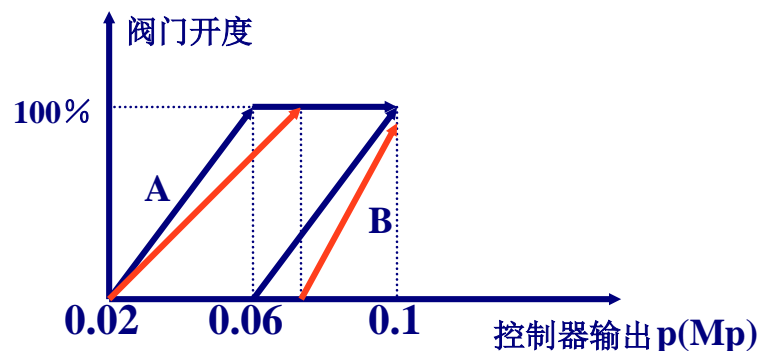
处理的方法:

当 $K_{vA}K_{0A}$ 和 $K_{vB}K_{0B}$ 相差不很大时,折中处理;

当 $K_{vA}K_{0A}$ 和 $K_{vB}K_{0B}$ 相差很大时,可考虑分程区间不平分;

若 $K_{vA}K_{0A} \gg K_{vB}K_{0B}$

那么调整以后 $K_{vA} \downarrow$ ,  $K_{vB} \uparrow$





## 小结

### 分程控制系统的特殊性

一个被控参数，一个调节器，但有2个或更多调节阀

### 分程控制解决什么问题

需要2个或更多控制手段

提高阀门可调范围

### 分程控制系统的结构（方块图）

### 如何确定分程控制系统的类型

### 分程区间的确定

### 分程控制系统应用中容易出现的问题

## 7.3 选择性控制系统

什么是选择性控制系统？

分类方式；

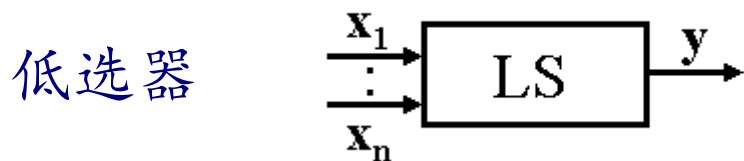
选择性控制系统设计的步骤和原则；

工业应用中容易出现的问题；

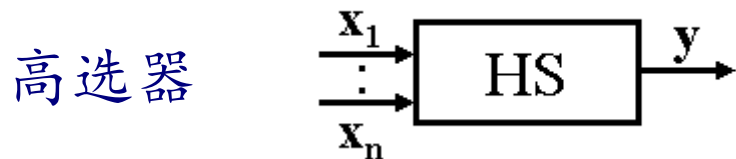
## 7.3.1 概述

### 一、什么是选择性控制系统

凡是系统中有**选择器**，则称为选择性控制。有些



$$y = \min(x_1, x_2 \cdots x_n)$$



$$y = \max(x_1, x_2 \cdots x_n)$$

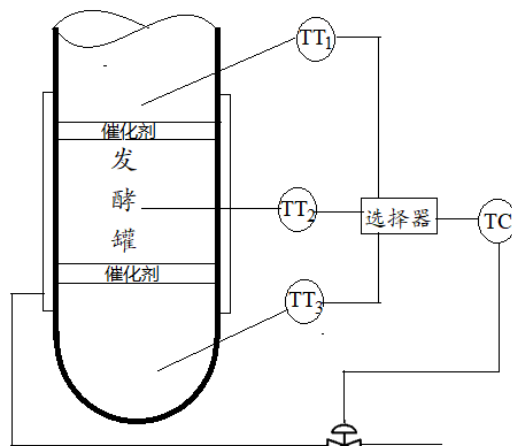
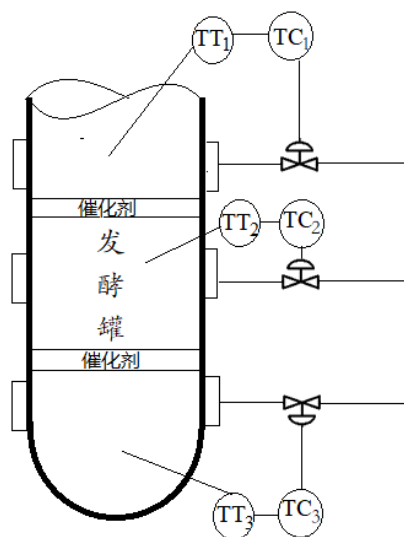
有些系统可能既带有选择器又是其他的特殊控制系统，比如比值控制系统中带有选择器。



## 二、选择性控制系统的类型

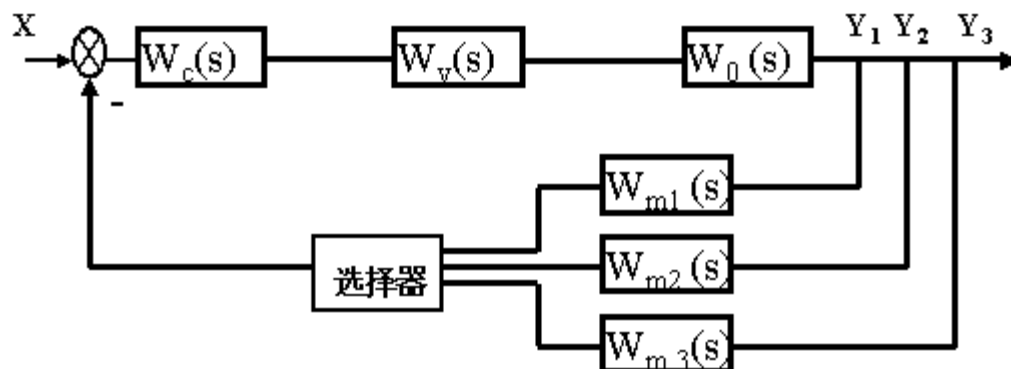
### 1、选择器在被控参数的后面——针对分布参数系统；

精度  
要求高



温度不高于  
高选器  
温度不低于  
低选器

结构：



常见的大型反应器温度控制、冶金行业的轧钢过程；

## 2、选择器在控制器的后面——又称为超驰控制；针对安全问题

例：热交换器温度控制系统；

被控参数：出口温度；控制参数：液氮（冷却过程）

正常情况：

$T \uparrow \rightarrow \text{阀开度} \uparrow \rightarrow \text{液位} \uparrow \rightarrow \text{热交换面} \uparrow \rightarrow T \downarrow$ ；

非正常情况：但由于某种原因(往往是超设计能力情况) 致使T偏高降不下来，就会导致液位持续上升。

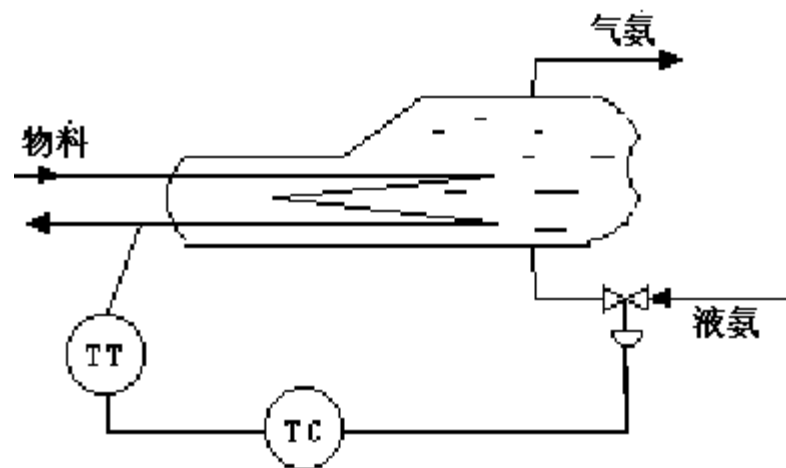
持续上升的后果

没有蒸发空间，温度无法下降；

同时气氮中带液，会损坏后面

的设备；

说明这个系统液位高于一定程度需要关注



当液位上升到一定程度时，认为进入危险区域；

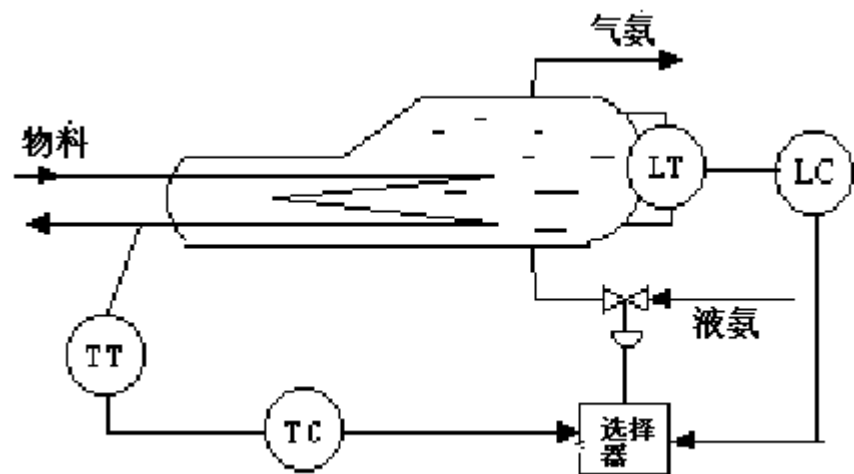
希望： 此时液位参数就变成主要关心的问题，即应根据液位高低控制阀门开度；

此时系统应有两个被控参数和两个控制器——温度和液位；

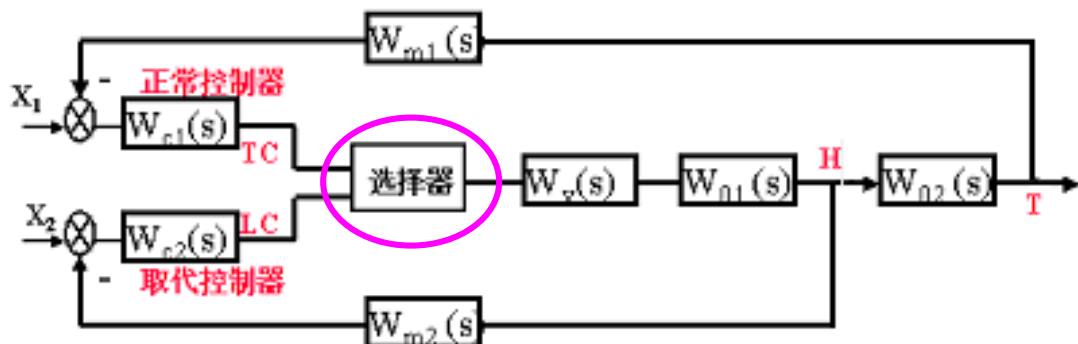
共同控制一个阀门

正常情况（液位没进入危险区域）：控制阀接受温度控制器的命令

危险情况（液位进入危险区域）：控制阀接受液位控制器的命令



结构:



特点：两个被控参数和两个控制器；

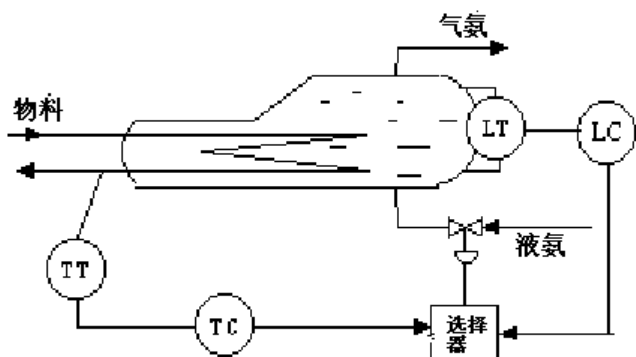
通常这两个被控参数性质不一样，

一个是生产工艺要求的——正常的被控参数；

一个是安全要求的——取代的被控参数；

当一个参数达到一个安全极限时，必须改变控制方向

——超驰控制



我们这一节重点介绍超驰控制系统设计。

## 7.3.2 选择性控制（超驰控制）系统设计

与单回路不同的是：

多了一个取代参数、取代控制器和选择器

### 一、选择性控制设计步骤：

根据工艺要求建立正常的单回路控制系统；

根据安全极限确定取代参数和取代控制器；

根据安全原则确定阀门的气开、气关型式；

（注意：上述安全原则为一般原则，当一般原则与安全极限有矛盾时，以安全极限为主）

确定控制器的正反作用；

根据非正常情况下取代控制器输出的变化趋势确定选择器；

控制器选择和参数整定；





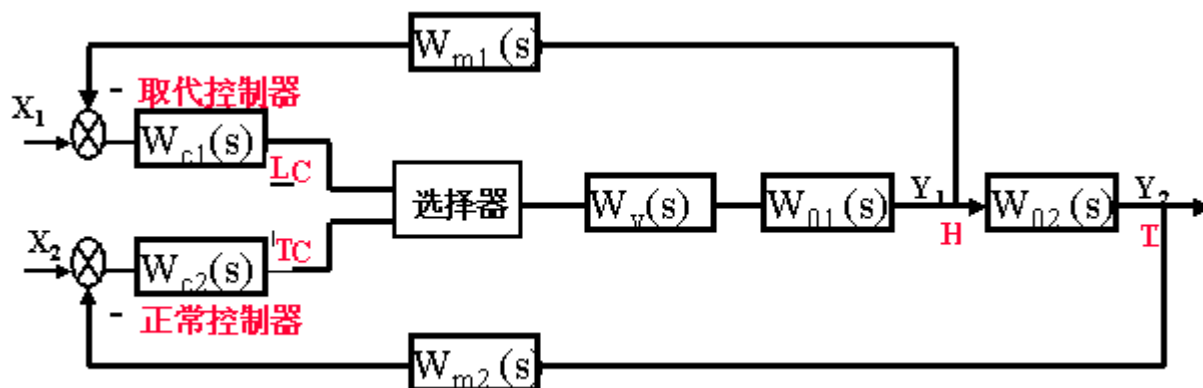
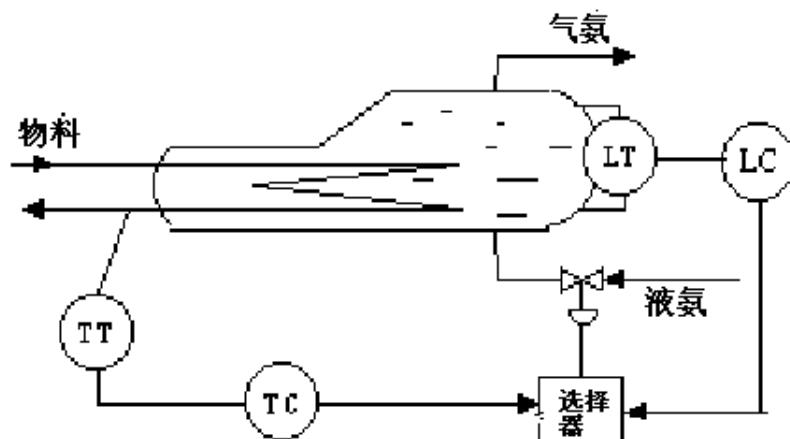
## 二、系统举例

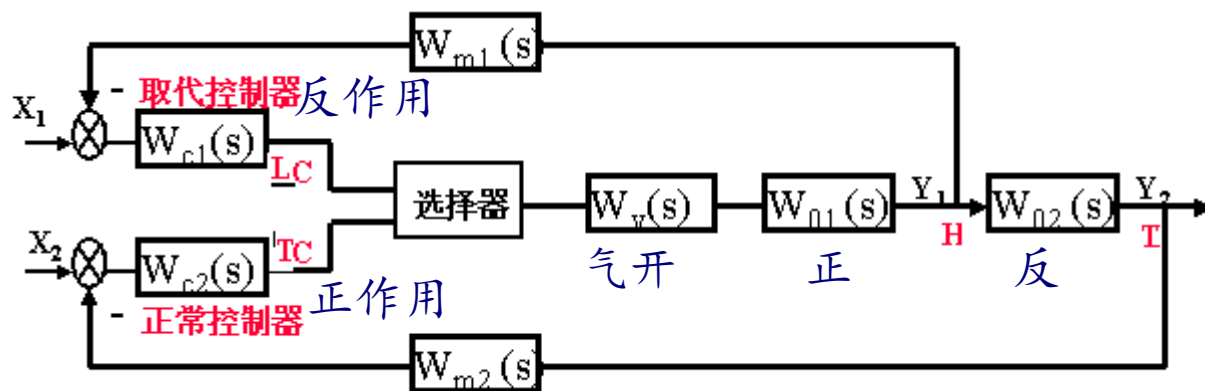
### 1、热交换器温度选择性控制系统

正常被控参数： 出口温度

取代参数： 液氨液位

方块图：





阀门的气开气关：

气开

控制器的正反作用：温度控制器 正作用

液位控制器 反作用

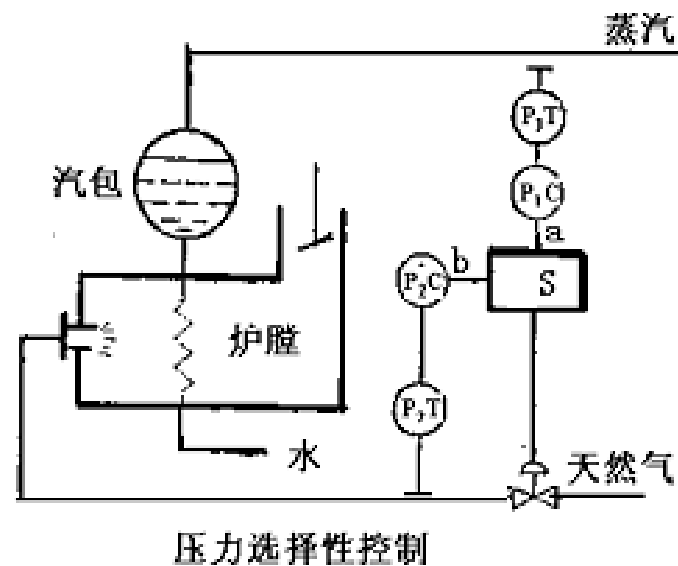
选择器：液位控制器是反作用， $H \uparrow LC \downarrow$ ，液位上升到一定区域是危险区域，也就是LC下降到一定值时应该切换

低选器

## 2、压力选择性控制系统

在锅炉的运行中，蒸汽负荷随用户需要而经常波动。在正常情况下，用控制燃料量的方法来维持蒸汽压力的稳定。当蒸汽用量增加时，蒸汽总管压力将下降。此时正常调节器输输出信号去开大调节阀，以增加燃料量。同时燃料气压力也随燃料量的增加而升高。

当燃料气压力超过某一安全极限时会产生“脱火现象”可能造成生产事故，为此，设计应用如图所示的蒸汽压力与燃料气压力的选择性控制系统。



取代参数是管道压力 $P_2$

选择控制阀——应选气开式控制阀

调节器正、反作用方式的确定

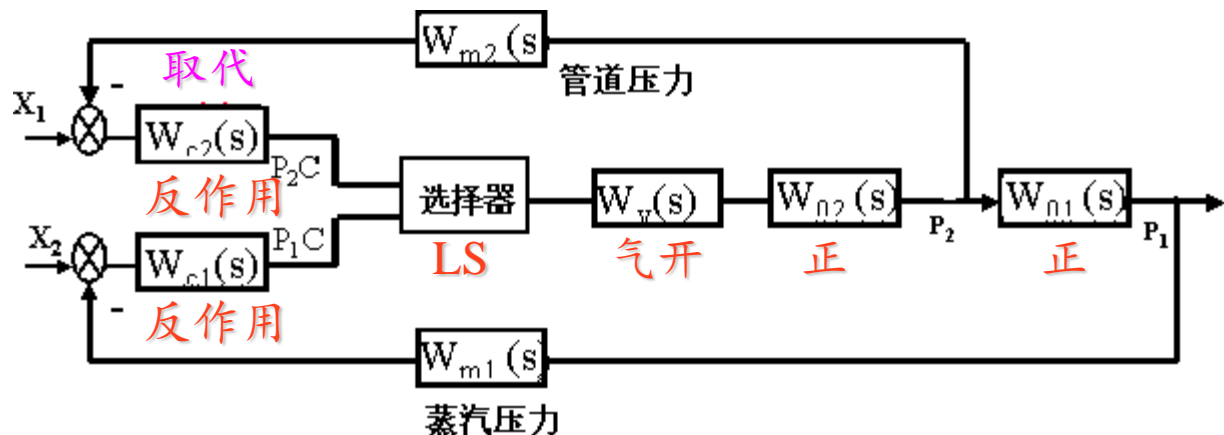
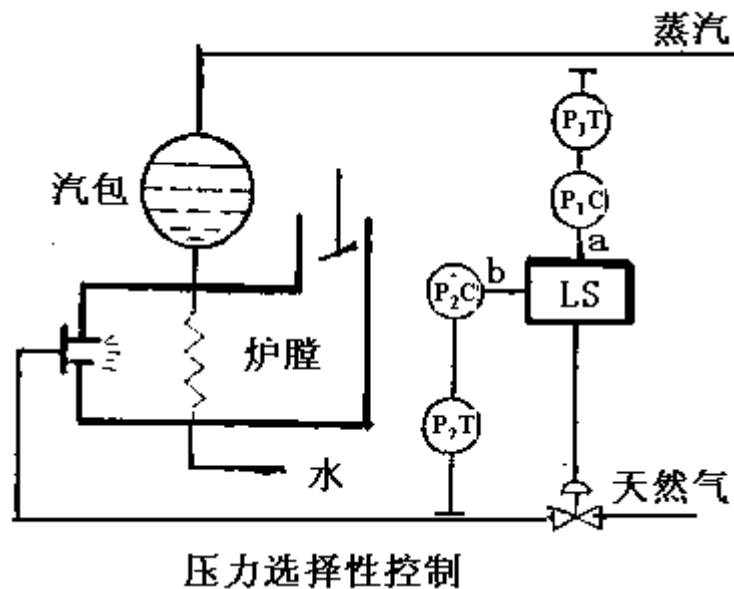
正常调节器为反作用式；

取代调节器为反作用式。

选择器选型——

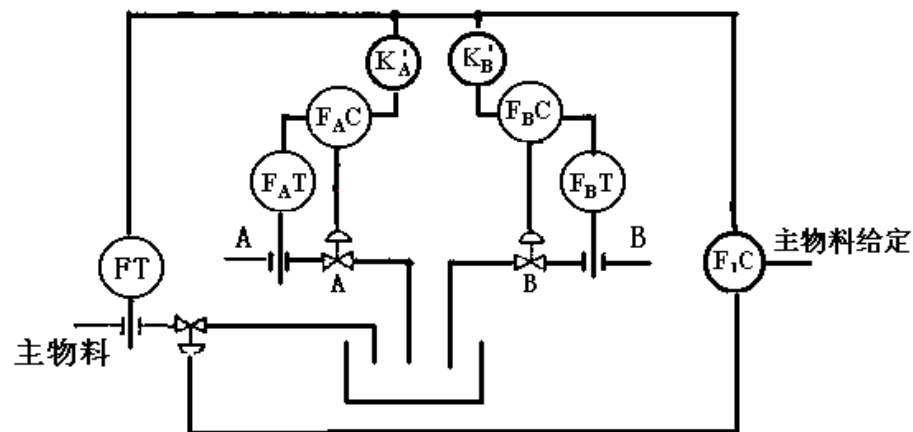
当生产处于不正常时， $P_2T \uparrow \uparrow$

取代调节器的输出信号 $P_2C$ 应减小，故选用低值选择器。



### 3、实现产量自动调整。

图中主物料由流量调节器 $F_1C$ 来控制，A、B物料由比值调节器 $F_A C$ 和 $F_B C$ 维持一定比值进行配料。



A、B两物料分别与主物料构成比值控制系统

两个双闭环比值控制系统；

比值控制系统，当出现某种物料供应不足的情况时，为了保证产品质量，需要降低产量，待物料供应充足时再恢复正常生产。



有时由于某种原因A物料或B物料供应不足时——降低主物料流量；

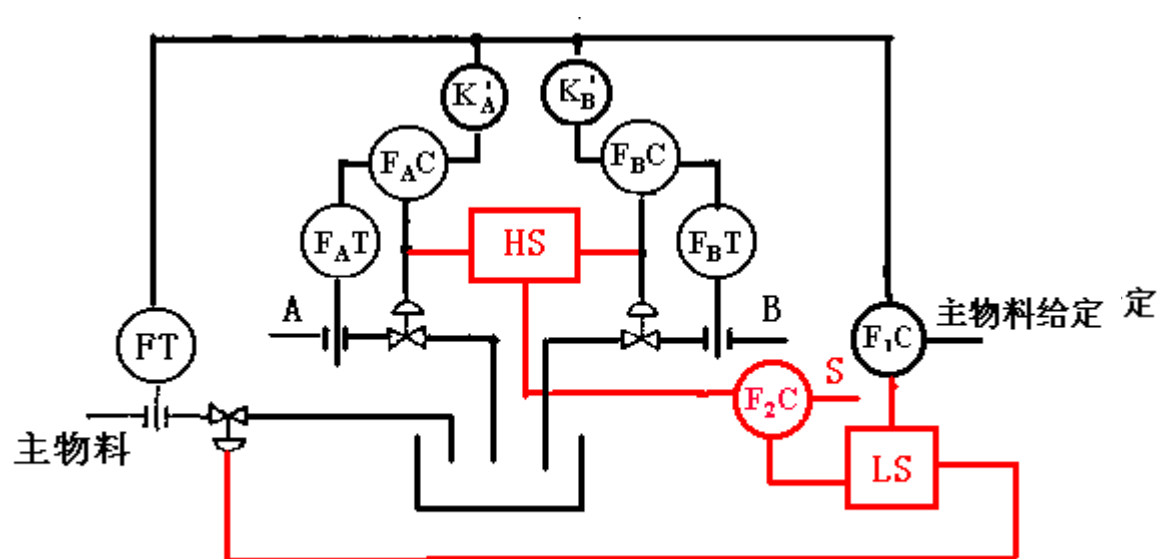
如何衡量供应不足——阀A或阀B的开度大于95%；

取代参数——阀门开度；

A阀还是B阀？——选开度大的，用高选器

给定值——阀门开度的95%；

$F_2C$ 为取代控制器，HS选择的是被控参数，LS选择的是控制器



产量自动调整的选择性控制系统

### 7.3.3 注意的问题——积分饱和

#### 一、积分饱和

##### 1、什么是积分饱和？

所谓“积分饱和”是指由于积分作用的存在，而如果系统偏差长期不能消除引起控制作用进入饱和区。

##### 2、选择性控制系统积分饱和产生的原因：

始终有一个控制器处于开环状态。

##### 3、积分饱和的危害：

导致切换延迟。

## 二、积分饱和的防止方法：

### 1、P-PI法（积分分离法）

在偏差很小时才加入积分作用；

模拟仪表不易实现

### 2、限幅法：

对控制器输出采取限幅；

### 3、积分外反馈法（采用比较多）



结构如图

原理：

始终将闭环的偏差进行积分

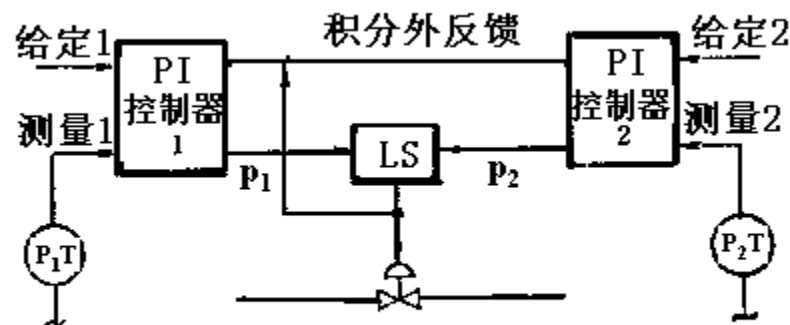
如若

$$P_1 < P_2$$

则由 $P_1$ 来控制阀门，此时控制器1为闭环，而控制器2为开环；

$$P_1 = K_{c1} \left( e_1 + \frac{1}{T_{i1}} \int e_1 dt \right)$$

$$P_2 = K_{c2} (e_2) + \frac{1}{T_{i2}} \int (e_1) dt$$



积分外反馈原理示意

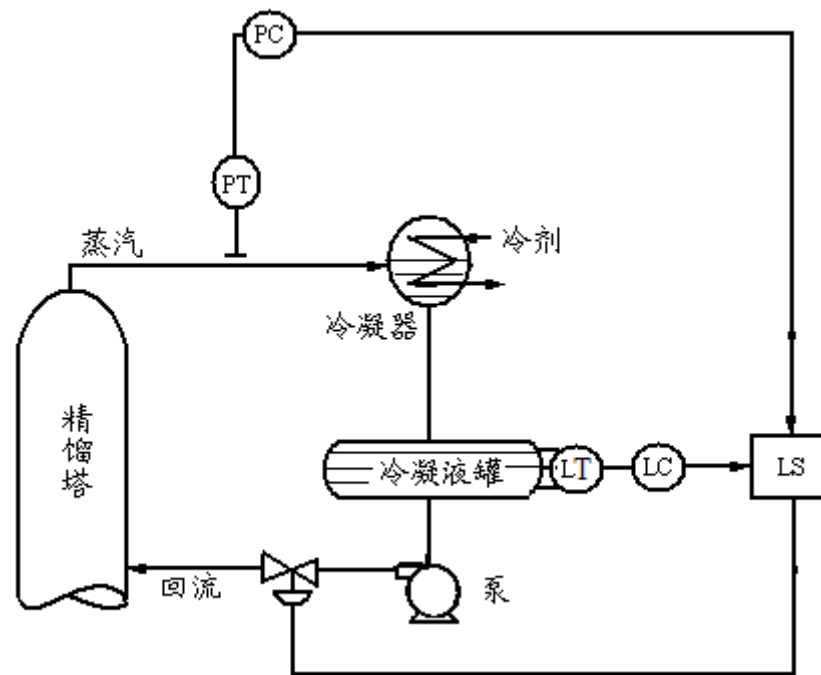
**例：**有时在系统达到某一约束区后，需要将控制器的输出从一个阀门切换到另一个阀上去。

在正常运行条件下，全部蒸气都是可凝的。塔顶蒸气的压力可以通过改变回流量来进行控制。

改变回流量的目的同时为了调整冷凝器中的冷凝液液位。

非正常情况：

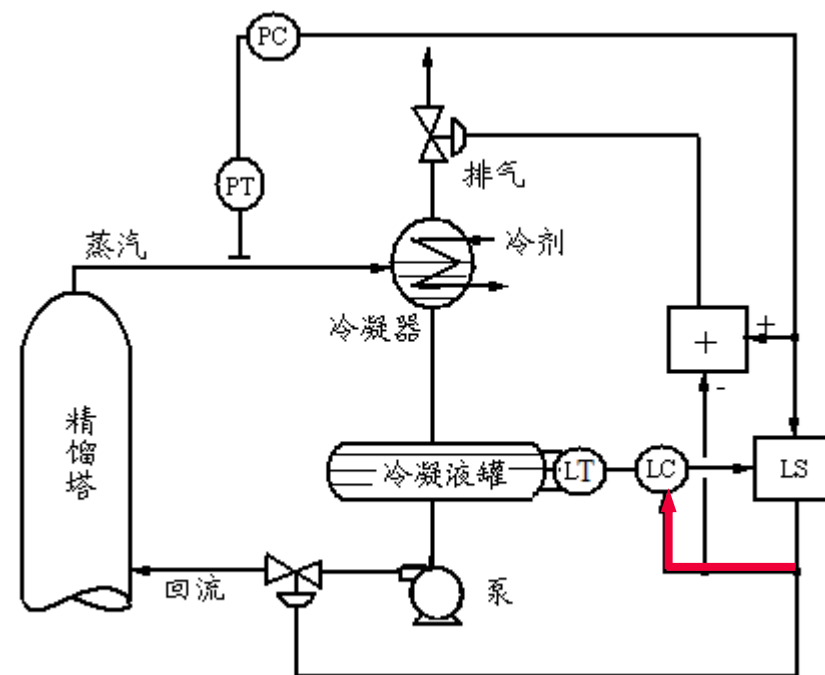
有不凝气体在冷凝器中累积起来，压力就会升高。增加液位控制作为取代参数。



对于已经空了的冷凝器，只能依靠排出不凝气体来降低压力。

当选择液位控制器控制回流量时，压力控制就被平稳地切换到排气阀上。

红线是积分外反馈



## 7.4 阀位控制或双重控制

什么是阀位控制系统？（特殊性）

解决什么问题；

阀位控制系统设计的步骤和原则；



## 7.4.1 概述

### 一、什么是双重控制系统

一个被控参数采用两个调节阀进行控制的控制系统。

这类控制系统采用两个控制器

其中，一个控制器输出作为另一个控制器的测量信号。

又称为阀位控制系统。

注意与前面的几个控制系统的区别

分程控制——一个被控参数，两个调节阀，一个控制器

超驰控制——两个被控参数，一个调节阀，二个控制器

双重控制——一个被控参数，二个调节阀，二个控制器

例：喷雾干燥器的控制

进料：快速，但是是生产负荷

蒸气：慢，但能耗小

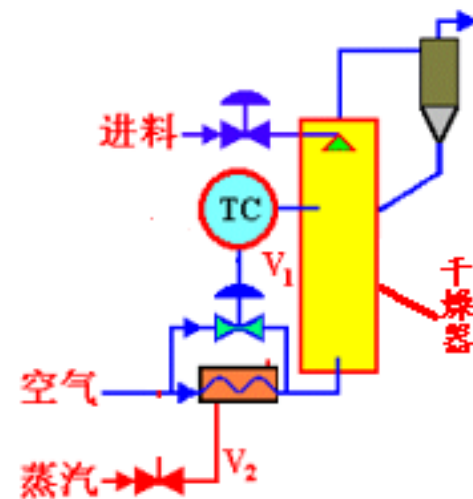
空气：比蒸气快，但能耗大

在单回路中选择空气作为控制量，

保证快速

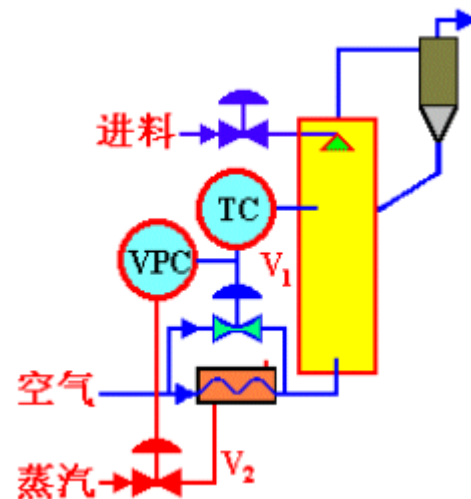
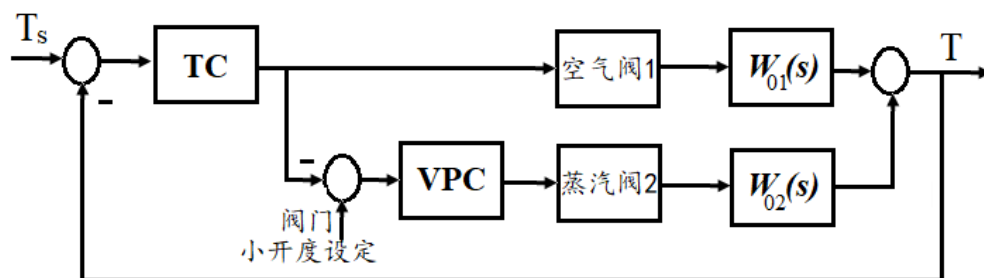
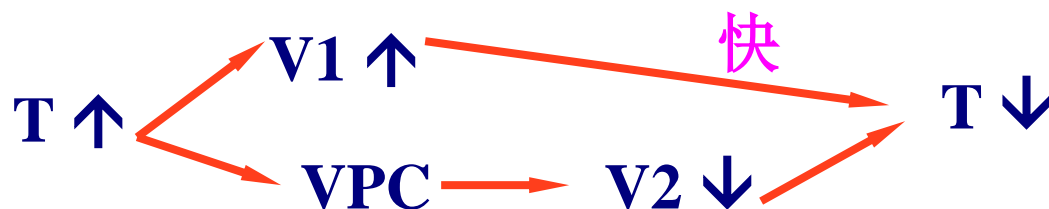
此时蒸汽阀处于固定开度，当进料少时

比较浪费蒸汽。



温度升高时，开打空气阀V1

温度高时，表明蒸气量太大，通过一个回路将蒸气阀V2慢慢关小。



由于第二个回路控制器的检测信号是第一个控制器的输出（第一个阀的阀位）所以称此系统为阀位控制系统。

特征：两个控制阀（主控阀和辅助阀）

两个控制器（主控制器和阀位控制器）

阀位控制器的检测信号是主控制器的输出。

## 7.4.2 阀位控制系统的设计及整定

### 1、控制变量的选择

要从经济性、合理性和快速性、有效性两个不同角度考虑选择A、B两个控制变量。一般选择快速性有效性的控制量为主控制量，合理性（节能等）作为辅助控制量。

阀位控制器的给定值通常是一个较小的值（小开度）

### 2、控制器规律及正、反作用选择

1) 控制器控制规律选择 主控制器是控制产品质量指标的，PI/PID

2) 阀位控制器的作用在于最终使控制阀处于一个固定的(由VPC设定值R决定)小开度上，PI

3) 控制器正、反作用选择原则，与单回路系统介绍的方法相同，但值得注意的阀位控制回路的对象特性。





## 4、整定和投运

整定可分两步进行：

第一步：在阀位控制器处于开环情况下，按照单回路整定

第二步：将整定好的主控制器参数放好，按照单回路整定

例：主控制阀：

空气阀（保证快速性）

气关阀

辅助控制阀：

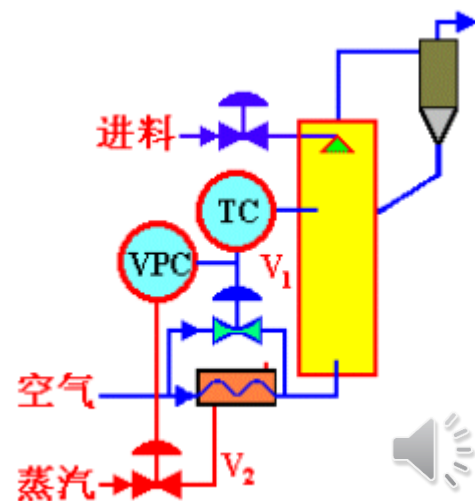
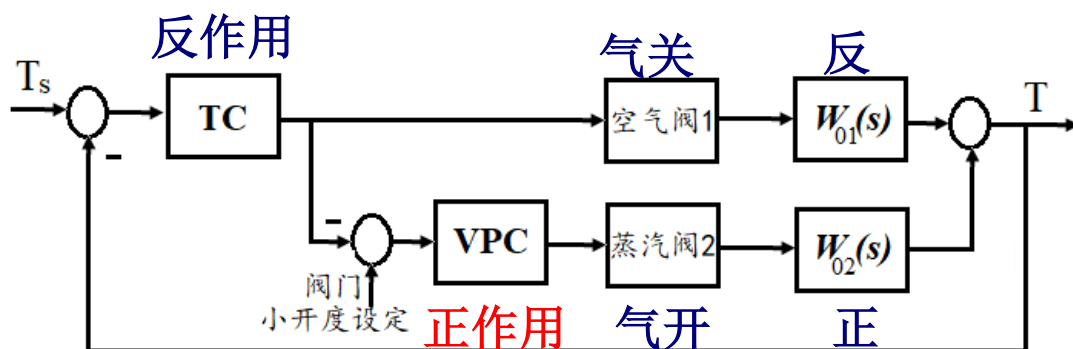
蒸气阀（合理节能性）

气开阀

主控制器：反作用

阀位控制器：

正作用



## 例：管式加热炉原油出口温度控制

该系统选用燃料油(或气)作为控制变量是经济的、合理的  
然而它对克服外界干扰的影响却不及时。

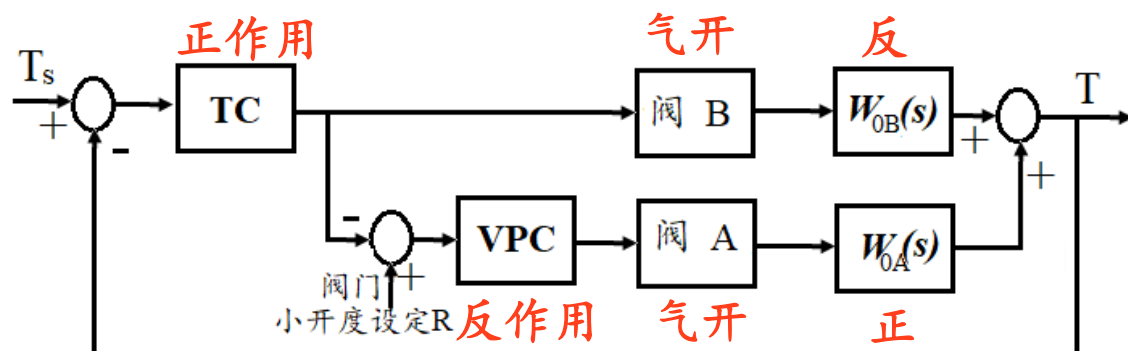
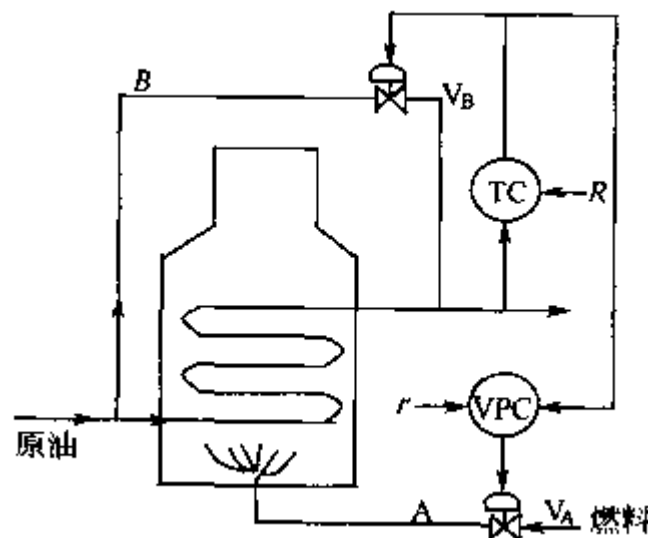
如果在原油入口和出口之间直接引一条支管，并以它作为控制变量B，形成阀位控制系统。

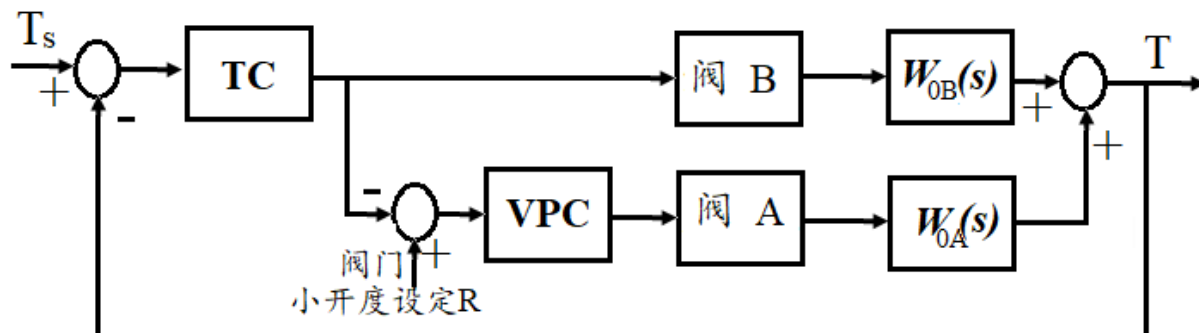
阀 $V_B$  气开(主控阀) 保证快速性

阀 $V_A$  气开(辅助阀) 保证合理性

TC控制器：正作用

阀位控制器VPC：反作用





TC控制器：正作用

阀位控制器VPC：反作用

$T \uparrow \rightarrow$  TC控制器输出  $\uparrow$

- $\uparrow$  阀 $V_B$ 开度增大（保证快速性）
- $\downarrow$  阀位控制器VPC输出  $\downarrow \rightarrow$  阀 $V_A$ 开度减小

$T \downarrow \rightarrow$  TC控制器输出  $\downarrow$

- $\downarrow$  阀 $V_B$ 开度减小（保证快速性）
- $\uparrow$  阀位控制器VPC输出  $\uparrow \rightarrow$  阀 $V_A$ 开度增大

## 小结

- ❖ 比值控制系统
- ❖ 分程控制系统
- ❖ 选择性控制系统
- ❖ 阀位控制系统

系统结构

系统特点

适用范围

设计原则

应用中的问题

参数整定的特点



## 习 题

**作业：** 如图所示为蒸汽分配系统，它将不同压力的蒸汽送至各工艺设备。在减压站把高压蒸汽降为低压，为了满足生产要求，需控制低压蒸汽管线的压力。同时为了防止高压管线的压力过高，为此设计图示控制系统，试根据流程原理图画出其框图，并确定正常被控参数、取代参数、调节阀的气开、气关形式与调节器的正反作用。

