

2022春 过程控制系统

过程控制系统

授课教师：苗子博

要点回顾

PID算法的动态特性分析

DDZ-III型调节器的输入电路+PID控制电路

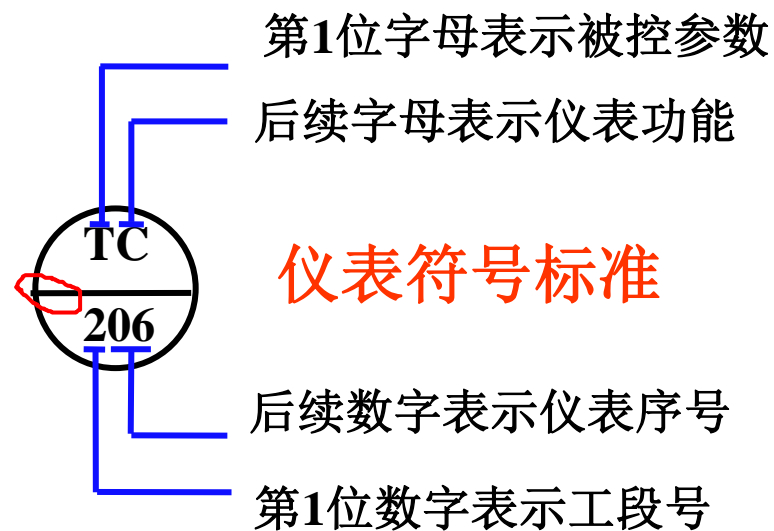
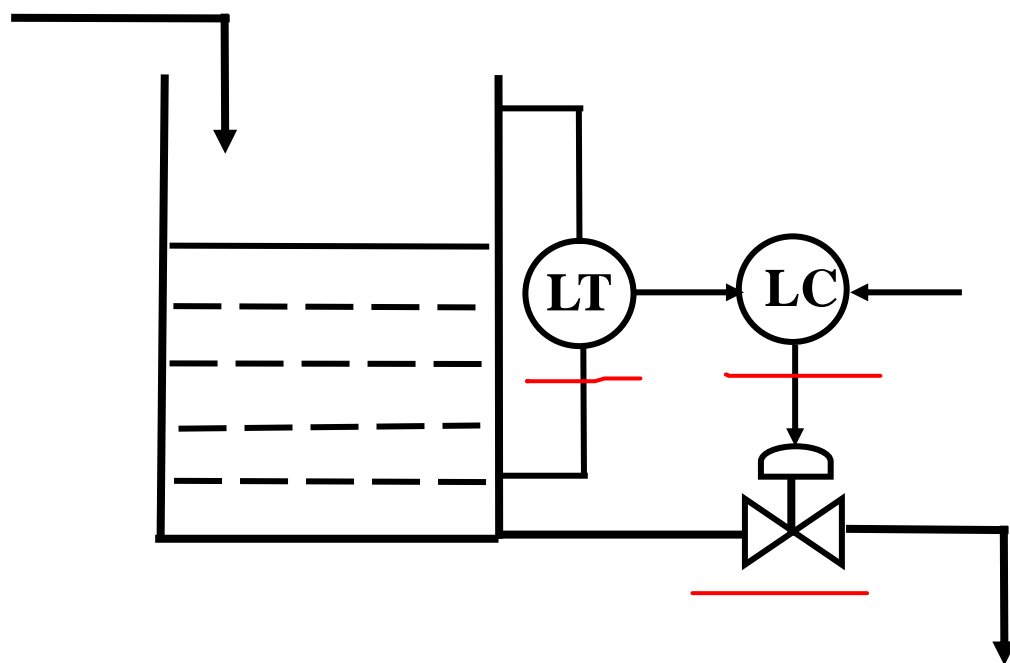
PID控制的数字实现和改进方法

前情
回顾

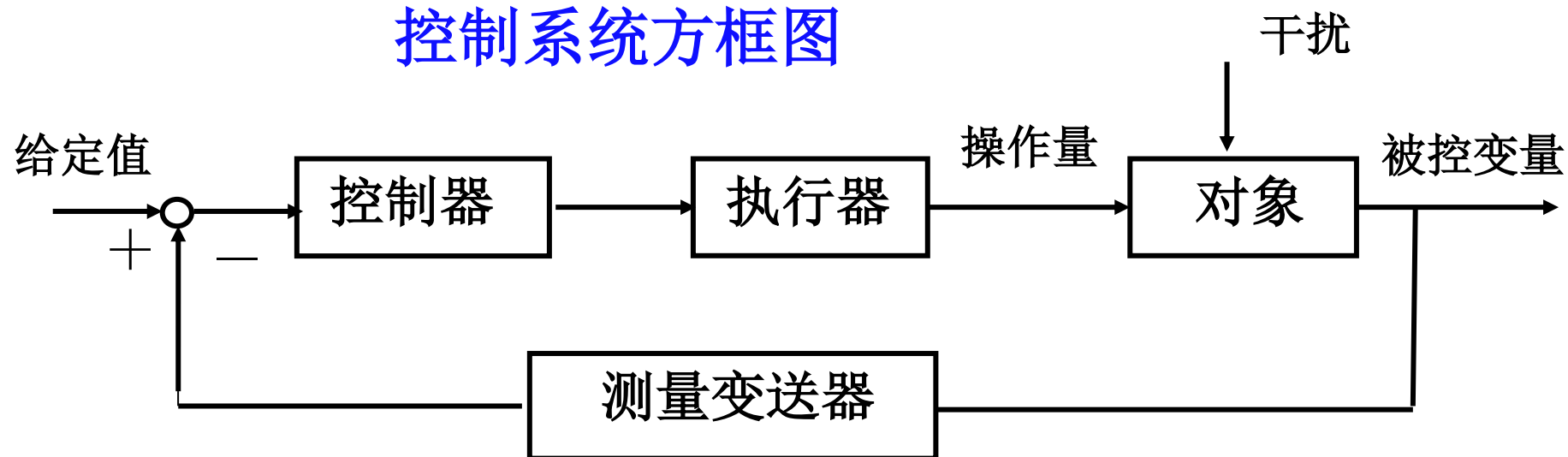
第6章 简单控制系统的设计与参数整定

6.1 简单控制系统的结构与组成

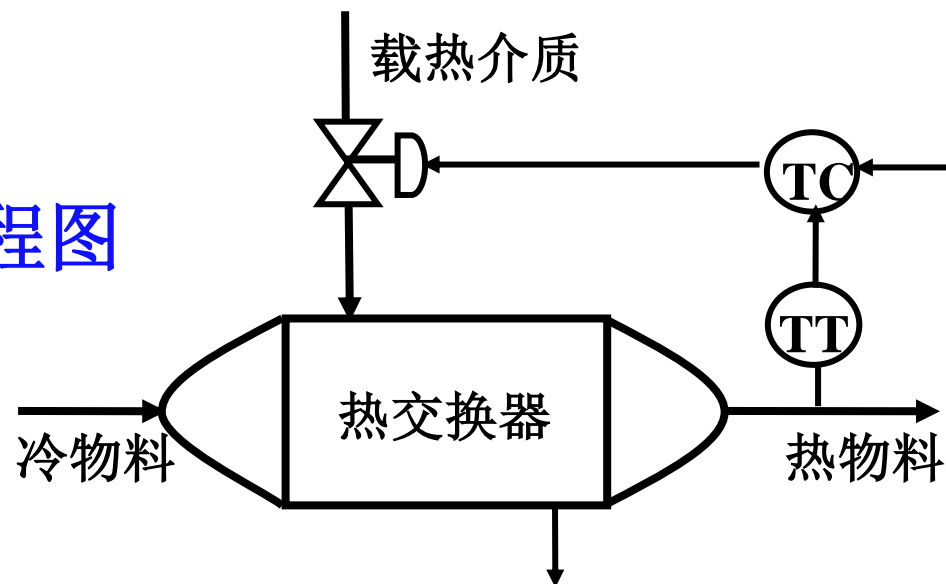
指由一个测量变送器、一个控制器、一个控制阀和一个对象所构成的单闭环控制系统。



控制系统方框图



带控制点的工艺流程图



6.2简单控制系统设计

1. 过程控制系统方案设计的基本要求

生产过程对过程控制系统的要求可简要归纳为安全性、稳定性和经济性三个方面。

2. 过程控制系统设计的主要内容

过程控制系统设计包括控制系统方案设计、工程设计、工程安装和仪表调校、调节器参数整定等四个主要内容。

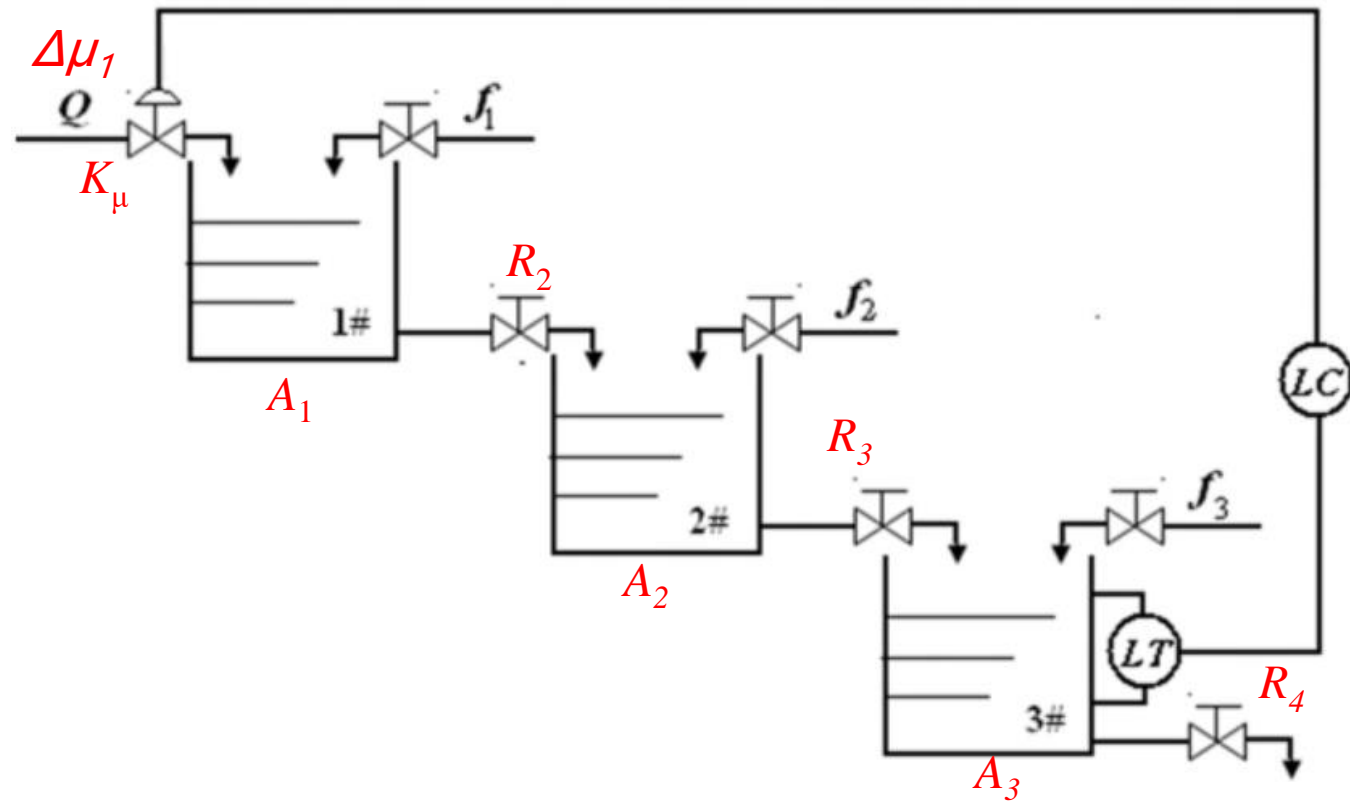
其中控制方案设计是控制系统设计的核心。

3. 过程控制系统设计的步骤

- 1) 掌握生产工艺对控制系统的技术要求
- 2) 建立被控过程的数学模型
- 3) 确定控制方案

包括控制方式和系统组成结构的确定，是过程控制系统设计的关键步骤。

- 4) 控制设备选型
- 5) 实验（或仿真）验证



- 1 什么是单回路控制系统？
- 2 能看懂方框图和工艺流程图，并会互相转化。

6.2.2被控参数与控制变量的选择

6.2.2.1被控参数的选择

被控变量—生产过程中希望借助自动控制保持恒定值（或按一定规律变化）的变量。

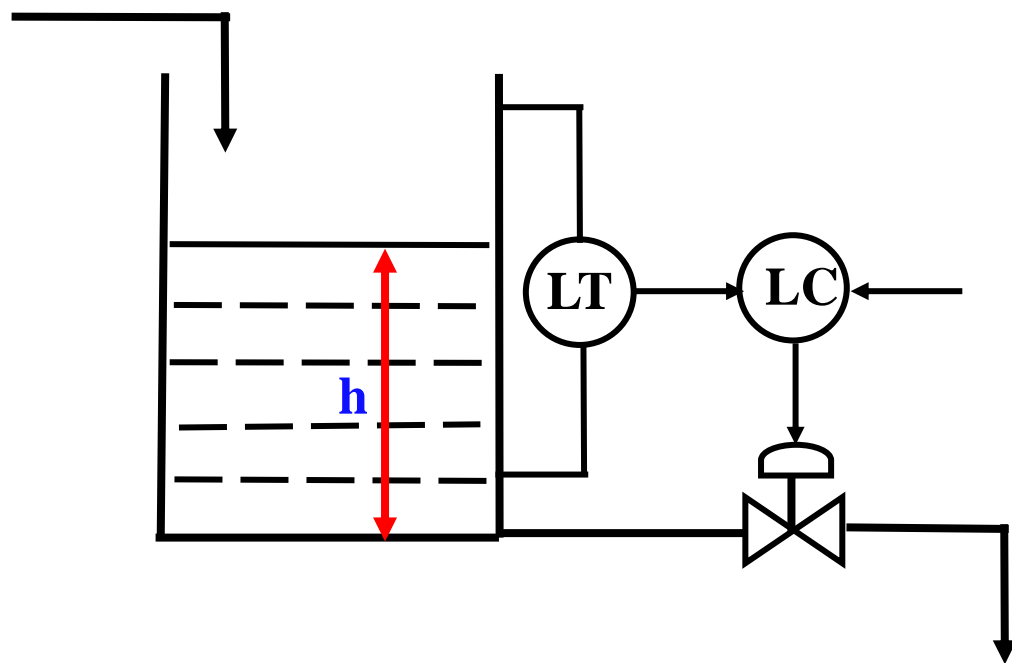
合理选择被控变量，关系到生产工艺能否达到稳定操作、保证质量、保证安全等目的。

被控变量的选择依据：

1、根据生产工艺的要求，找出影响生产的关键变量作为被控变量。

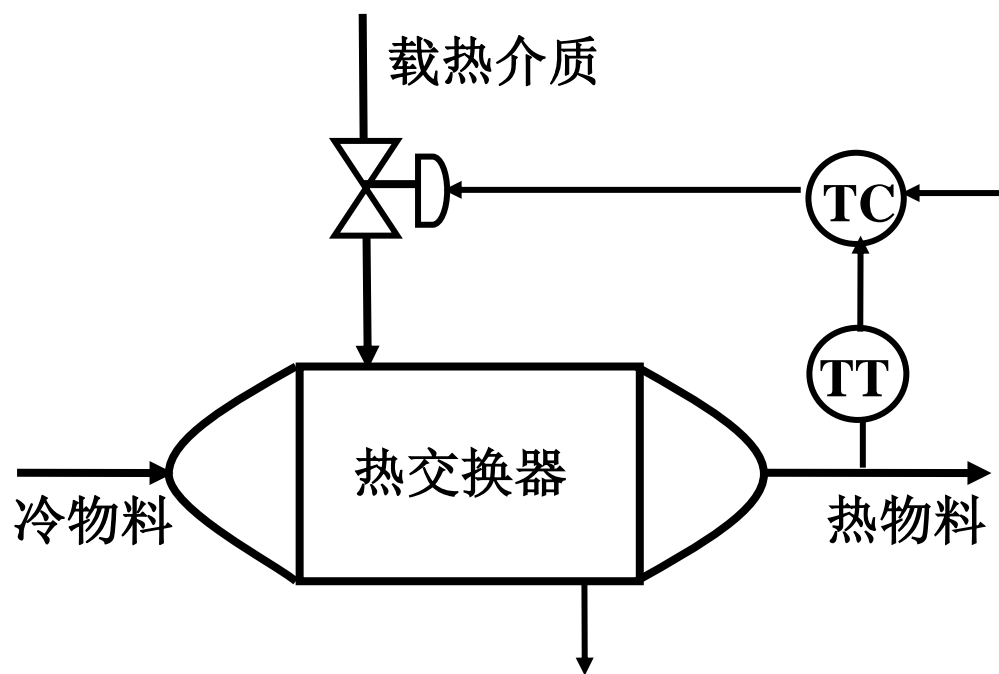
例1 储槽液位控制系统

工艺要求储槽液位稳定。那么设计的控制系统就应以储槽液位为被控变量。



例2 换热器出口温度控制系统

工艺要求出口温度为定值。那么设计的控制系统就应以出口温度为被控变量。

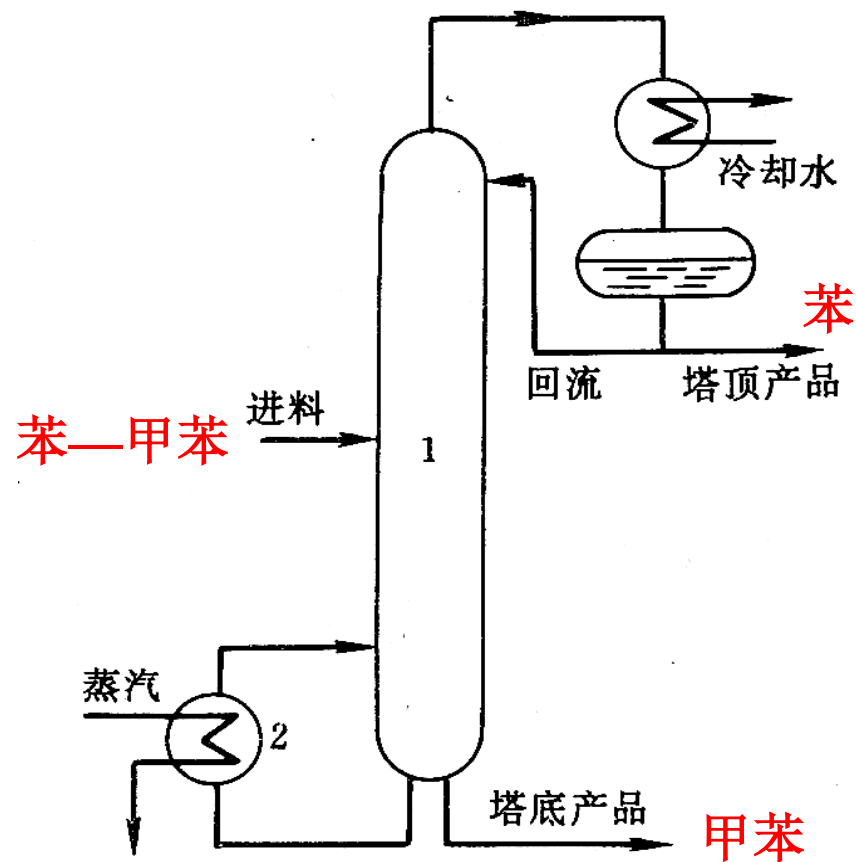


2、当不能用直接工艺参数作为被控变量时，应选择与直接工艺参数有单值函数关系的间接工艺参数作为被控变量。

例3 化工的精馏物纯度控制系统

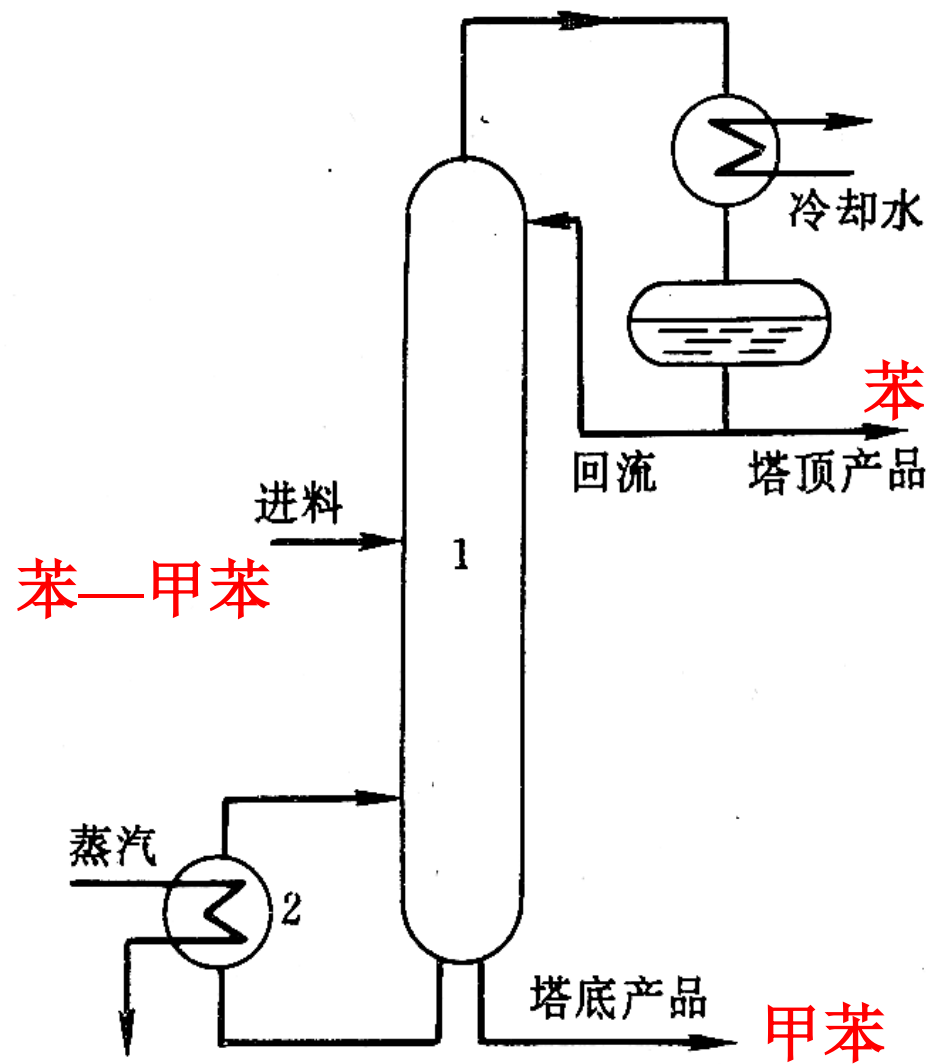
精馏工艺是利用被分离物中各组分的挥发温度不同，将各组分分离。

如图将苯—甲苯混合液进行分离。



精馏过程示意图

1—精馏塔；2—蒸汽加热器

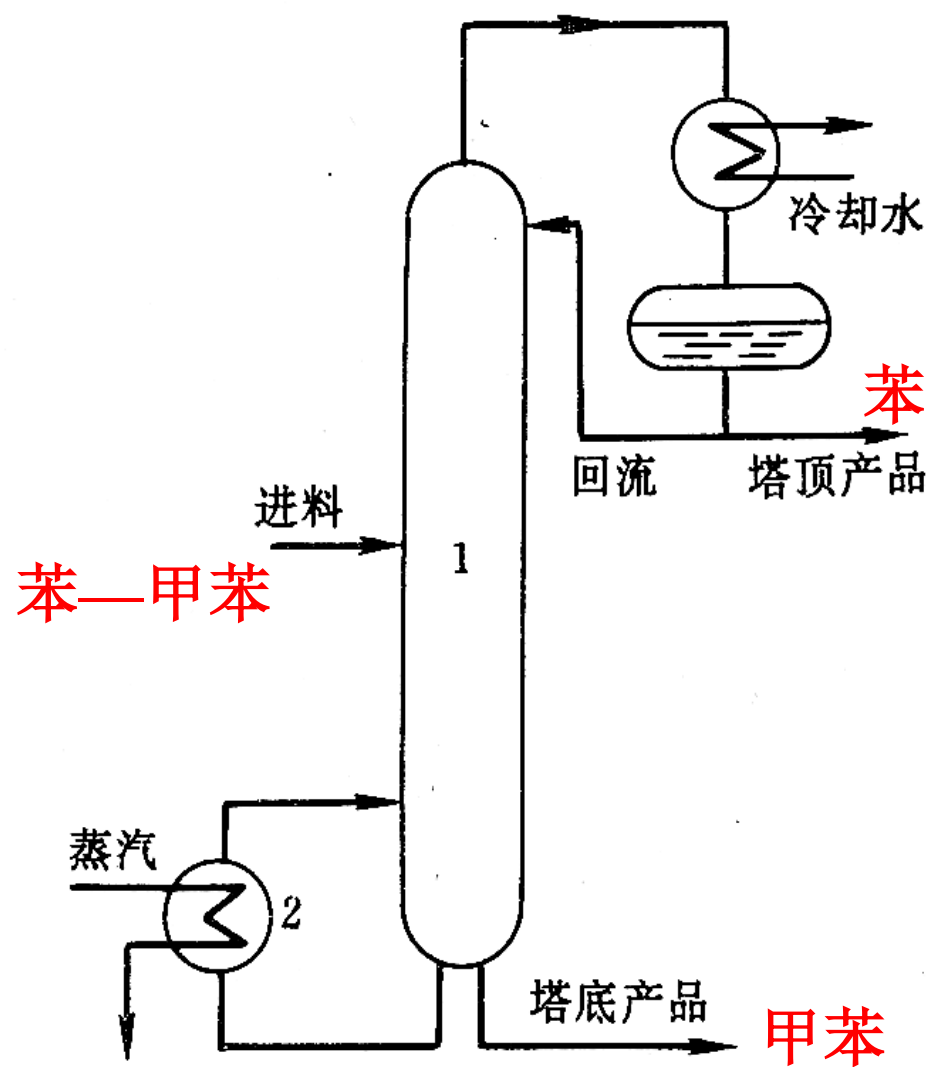


精馏过程示意图

1—精馏塔；2—蒸汽加热器

该精馏塔的工艺要求是要使塔顶（或塔底）馏出物达到规定的纯度。按照被控变量的选择原则1，塔顶（或塔底）馏出物的组分应作为被控变量。

但是，没有合适的仪表在线检测馏出物的纯度，则不能直接作为被控变量。



精馏过程示意图

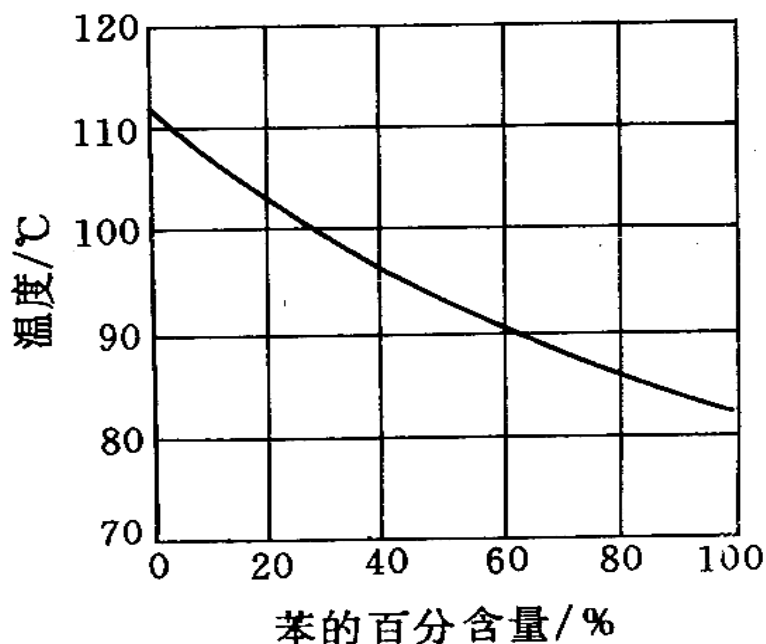
1—精馏塔；2—蒸汽加热器

只好在与馏出物的纯度有单值关系的工艺参数中，找出合适的变量作为被控变量，进行间接参数控制。

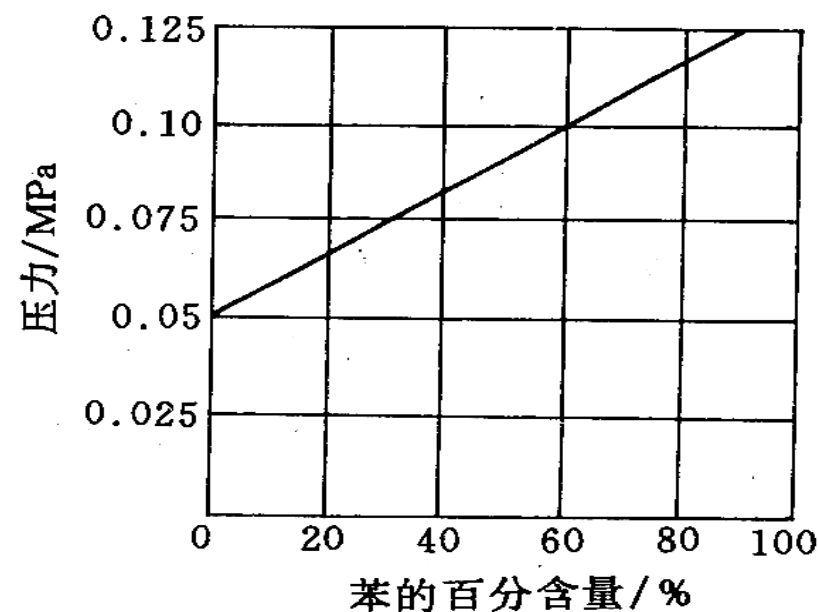
经工艺分析发现，塔内压力和塔内温度都对馏出物纯度有影响。需要对二者进行比较试验，选出一个合适的变量。

间接控制变量的确定

经试验得出，塔顶馏出物苯的浓度分别与压力和温度有单值对应关系。（塔底馏出物甲苯也一样）
从工艺合理性考虑，选择温度作为被控变量。



苯-甲苯溶液的 $T-x$ 图



苯-甲苯溶液的 $p-x$ 图

3、被控变量必须有足够大的灵敏度

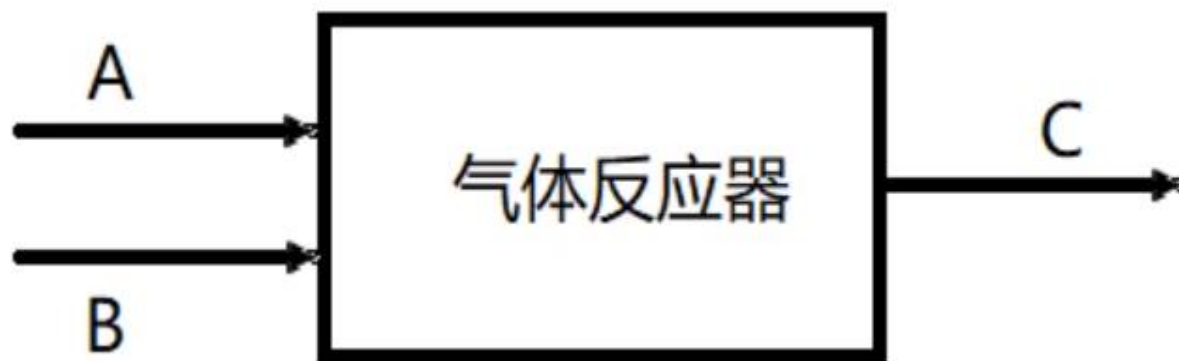
被控变量必须灵敏，容易被测量。

4、选择被控变量时，必须考虑工艺合理性

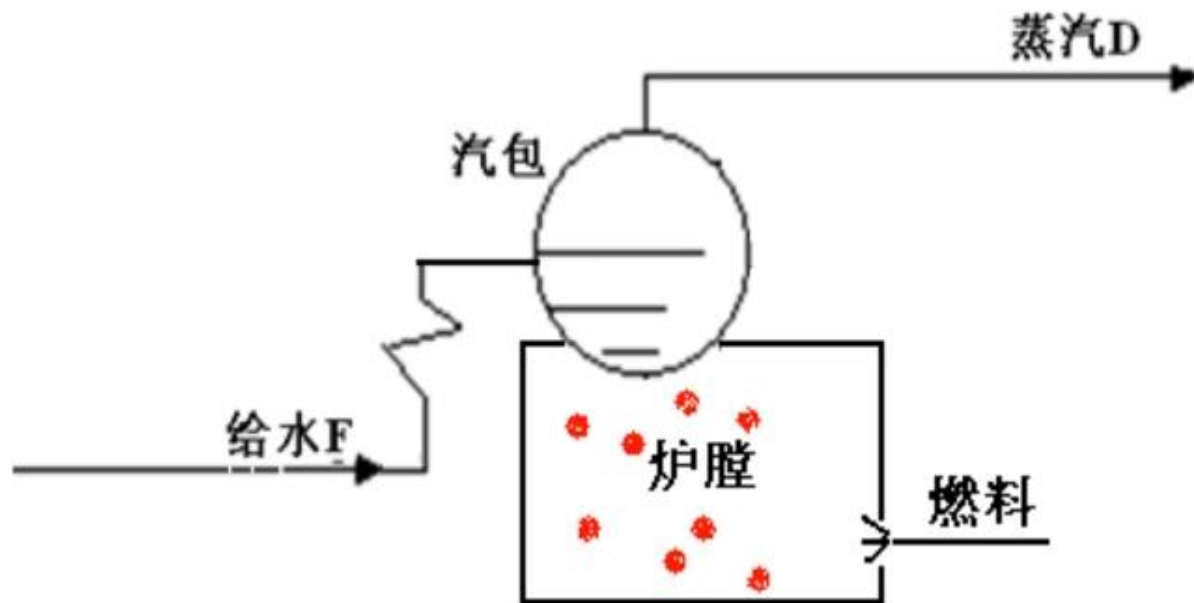
上例中，选择塔内温度作被控变量，就是考虑了工艺上，它是最佳分离效率控制系统的被控变量。

上例中，若塔顶、塔底的产品纯度都分别设置温控系统，会相互干扰，存在关联。因此，若采用简单控制系统，只能设置一个温控系统，保证塔顶或塔底一端的产品质量。

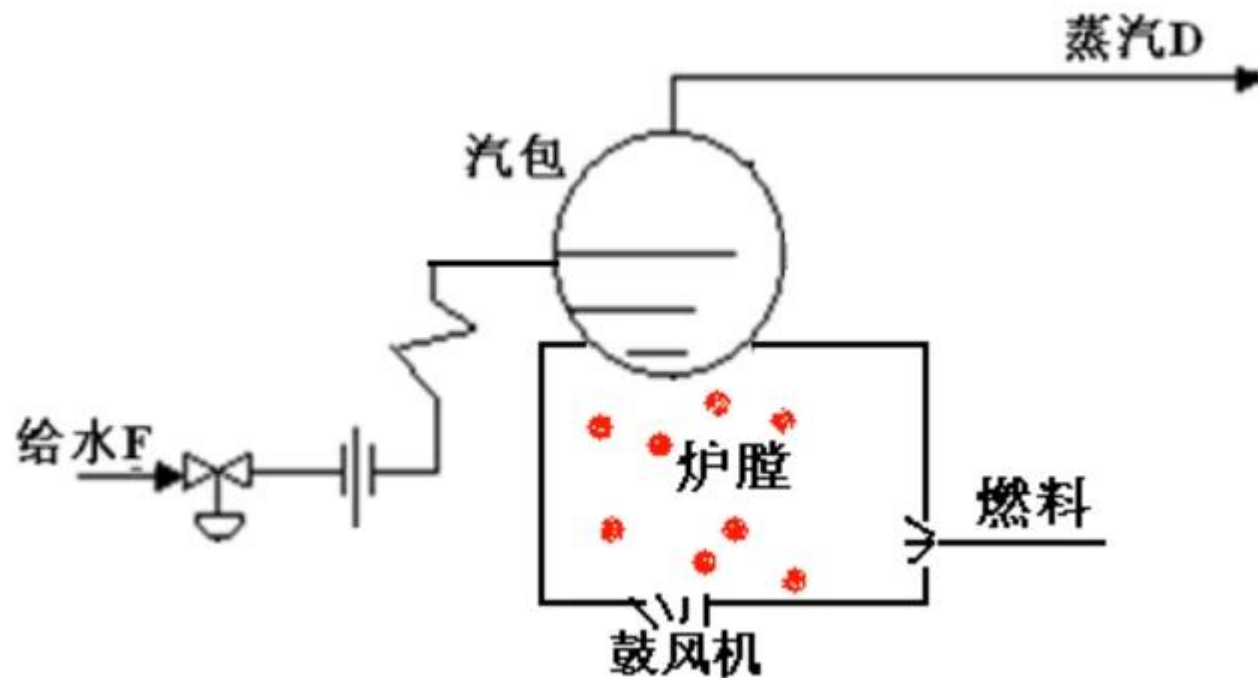
封闭式气相反应器



火力发电厂的锅炉系统

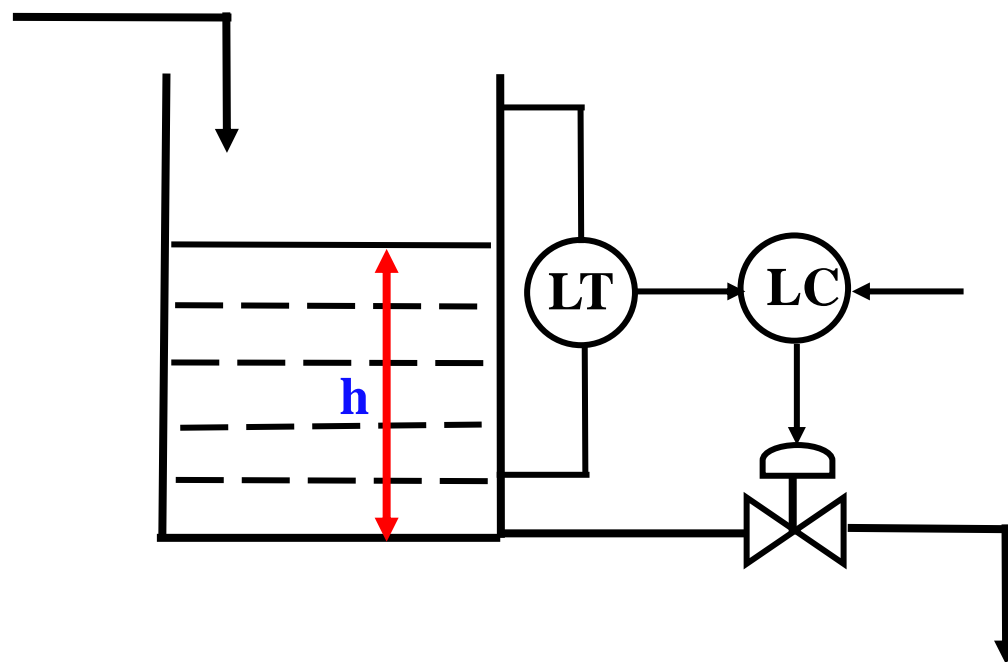


思考题：从燃烧经济性角度出发，应该选择什么被控参数？



6.2.2.2控制变量选择

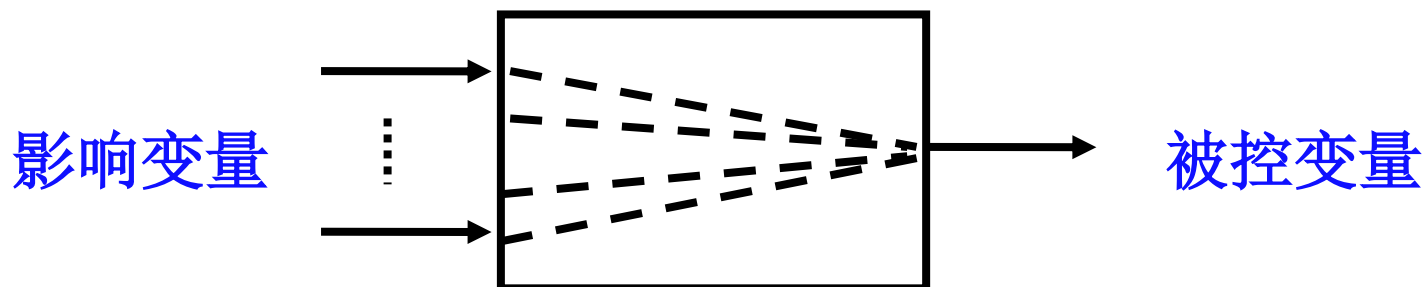
把用来克服干扰对被控变量的影响，实现控制作用的变量称为**控制变量**或**操纵变量**。最常见的操纵变量是介质的流量，也有以转速、电压等作为操纵变量的。



控制变量的确定

被控变量选定以后，应对工艺进行分析，找出所有影响被控变量的因素。在这些变量中，有些是可控的，有些是不可控的。

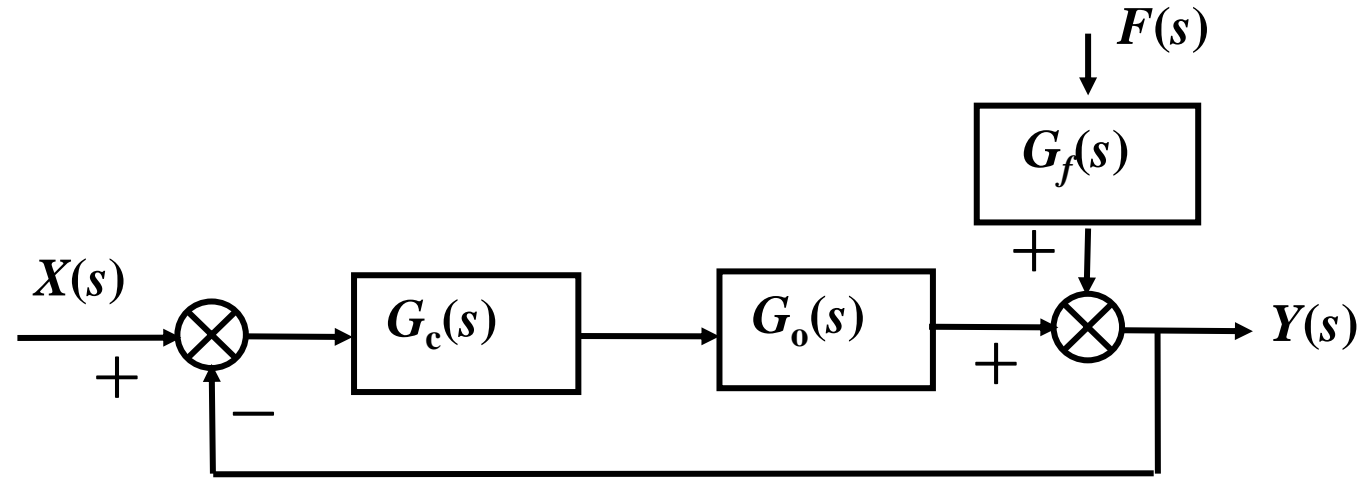
- 在诸多影响被控变量的因素中选择一个对被控变量影响显著且便于控制的变量，作为控制变量；
- 其它未被选中的因素则视为系统的干扰。



对象特性对控制品质影响的分析：

1. 过程（通道）静态特性对控制品质的影响

如图所示为单回路控制系统的等效框图。



$G_c(s)$ —控制器的传递函数；

$G_o(s)$ —广义控制通道（包括执行器和变送器）的传递函数；

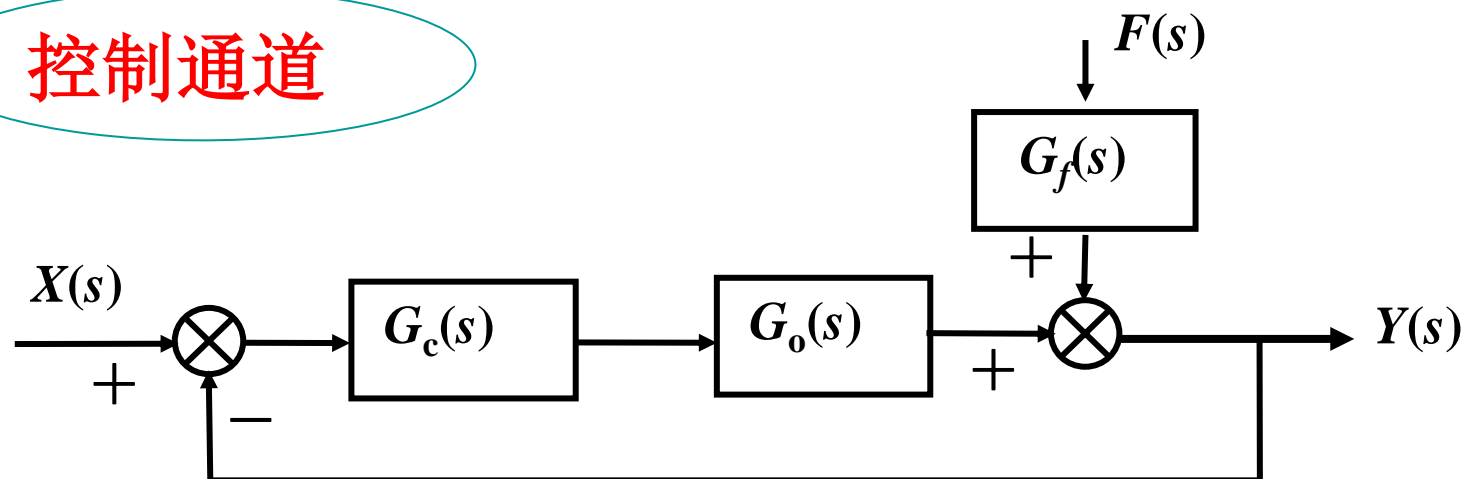
$G_f(s)$ —扰动通道的传递函数。

被控参数 $y(t)$ 受到设定信号 $x(t)$ 和干扰信号 $f(t)$ 的共同影响:

干扰通道

$$Y(s) = \frac{G_0(s)G_c(s)}{1 + G_0(s)G_c(s)} X(s) + \frac{G_f(s)}{1 + G_0(s)G_c(s)} F(s)$$

控制通道



将
$$Y(s) = \frac{G_o(s)G_c(s)}{1 + G_o(s)G_c(s)}X(s) + \frac{G_f(s)}{1 + G_o(s)G_c(s)}F(s)$$

代入系统偏差公式中：

$$E(s) = X(s) - Y(s)$$

$$E(s) = \frac{1}{1 + G_c(s)G_o(s)}X(s) - \frac{G_f(s)}{1 + G_c(s)G_o(s)}F(s) = \underbrace{E_x(s)}_{\text{.....}} + \underbrace{E_f(s)}_{\text{.....}}$$

可见，控制通道偏差和干扰通道偏差的传函分母是一样的。将 $G_c(s)$ 、 $G_o(s)$ 、 $G_f(s)$ 代入：

$$G_c(s) = K_c \quad G_o(s) = \frac{K_o}{T_o s + 1} \quad G_f(s) = \frac{K_f}{T_f s + 1}$$

$$E_x(s) = \frac{1}{1 + G_c(s)G_o(s)} X(s) = \frac{T_o s + 1}{(T_o s + 1) + K_o K_c} X(s)$$

$$E_f(s) = -\frac{G_f(s)}{1 + G_c(s)G_o(s)} F(s) = \frac{K_f(T_o s + 1)}{(T_o s + 1)(T_f s + 1) + K_o K_c(T_f s + 1)} F(s)$$

- ❖ K_o 越大，控制作用越强，稳态误差越小；
 - ❖ K_o 越大，被控变量对控制作用的反应越灵敏；
 - ❖ K_f 越大，干扰作用越强，稳态误差越大。
- 故应选放大系数大的变量作为控制变量。

2. 过程（通道）动态特性对控制品质的影响

1) 干扰通道动态特性对控制品质的影响

$$Y_f(s) = \frac{G_f(s)}{1 + G_c(s)G_o(s)} F(s) = \frac{K_f(T_o s + 1)}{(T_o s + 1)(T_f s + 1) + K_o K_c(T_f s + 1)} F(s)$$

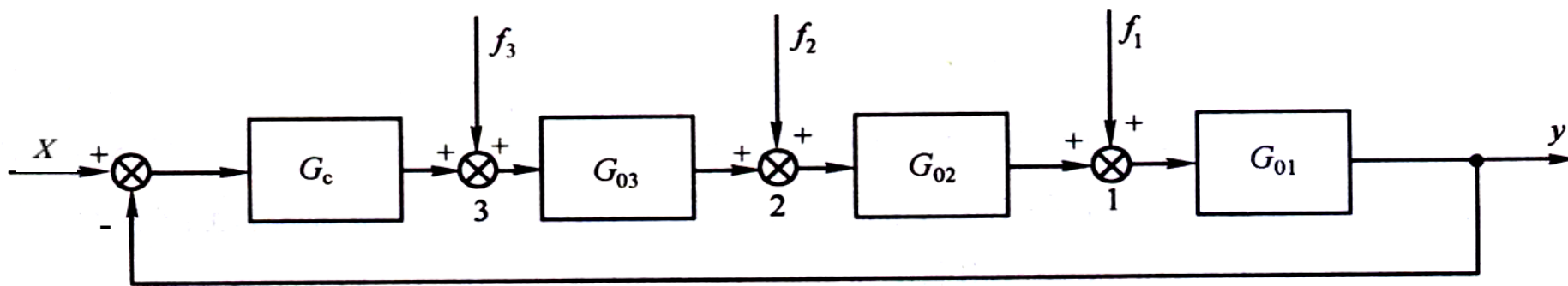
干扰通道的惯性因子（ $T_f s + 1$ ）使干扰作用的影响缓慢。

❖ T_f 越大，干扰对被控变量的影响越缓慢，越有利于控制。

❖ 干扰进入系统的位置离被控变量检测点越远，则 T_f 越大，控制时最大偏差越小。

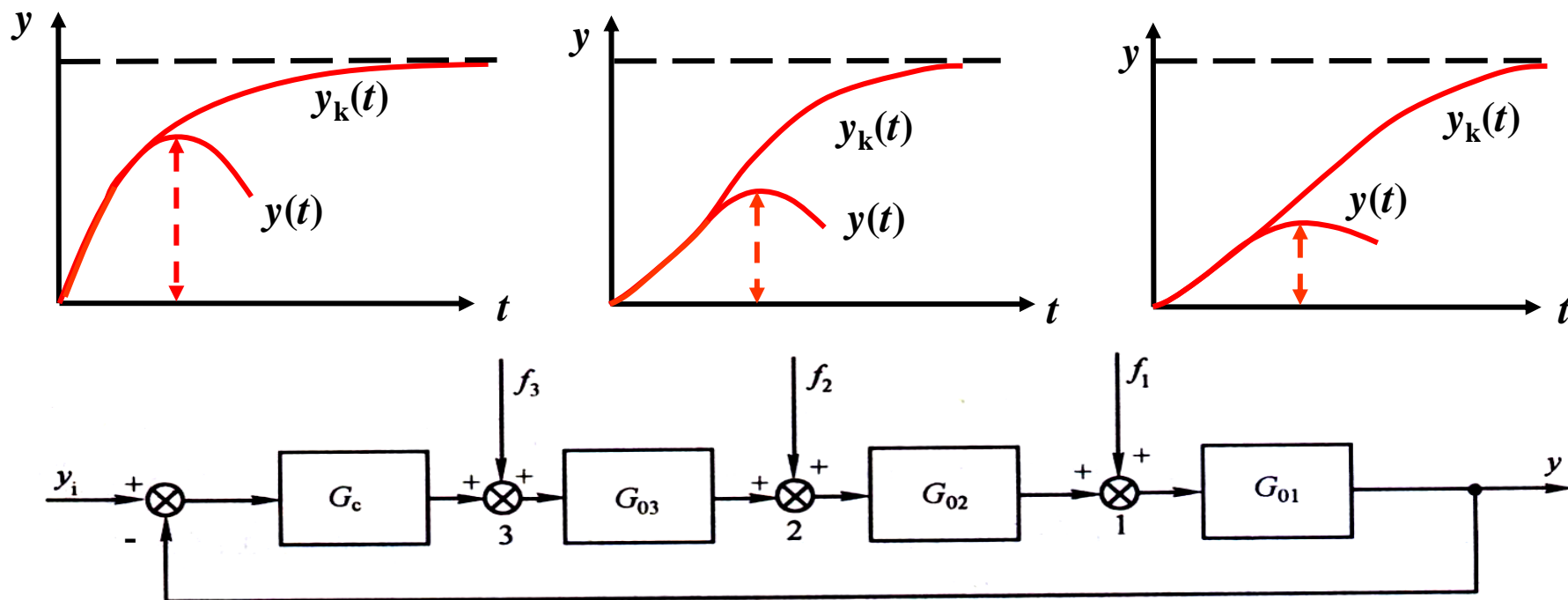
例：某控制系统中，干扰 f_1 、 f_2 、 f_3 分别在三个位置进入系统。干扰离被控变量检测点越远，则干扰通道的时间常数越大，对被控变量的影响越慢。

$$Y_f(s) = \frac{G_{01}(s)G_{02}(s)G_{03}(s)}{1 + G_0(s)G_c(s)} F_3(s) + \frac{G_{02}(s)G_{01}(s)}{1 + G_0(s)G_c(s)} F_2(s) + \frac{G_{01}(s)}{1 + G_0(s)G_c(s)} F_1(s)$$



$f_1(t)$ 通道惯性小，受干扰后被调参数变化速度快；当控制作用见效时，被调参数已经变化较大——造成动态偏差较大。

所以扰动进入系统的位置离被控参数检测点越远，干扰对被控参数影响越小。



❖ 干扰通道纯滞后 τ_f 不影响控制质量。

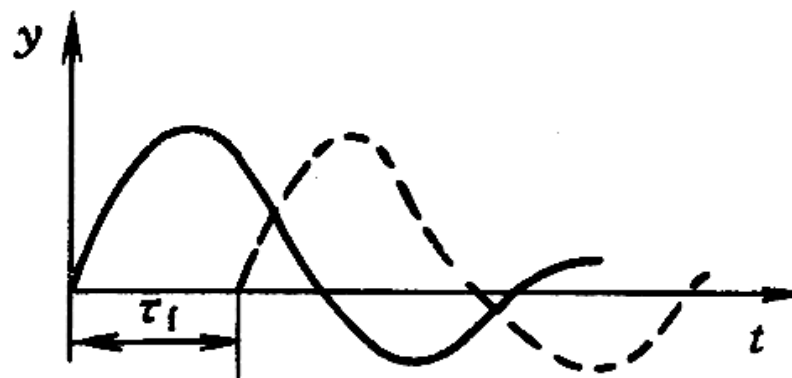
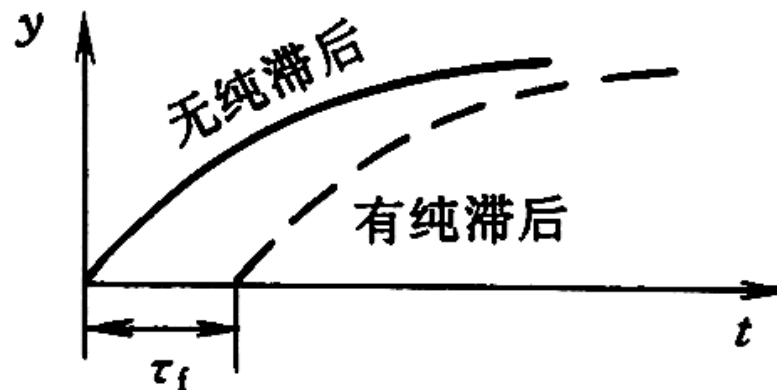
$$Y_f(s) = \frac{G_f(s)}{1 + G_c(s)G_o(s)} F(s)$$

$K_f(T_o s + 1)$

$$= \frac{K_f(T_o s + 1)}{(T_o s + 1)(T_f s + 1) + K_o K_c(T_f s + 1)} F(s)$$

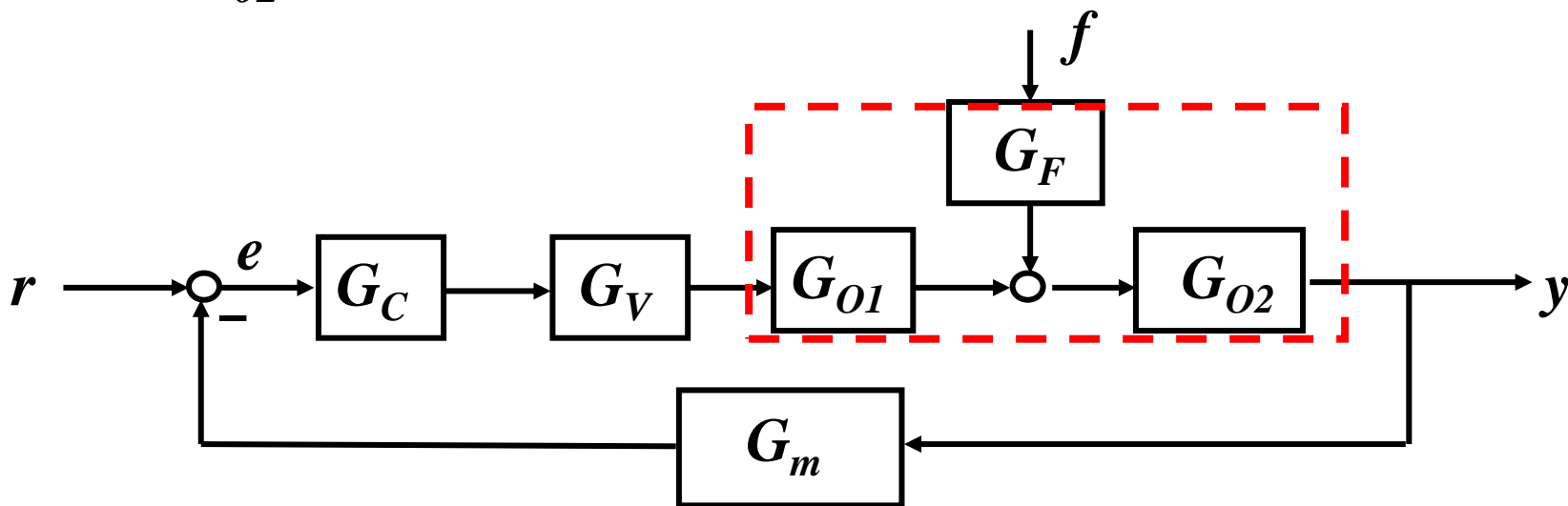
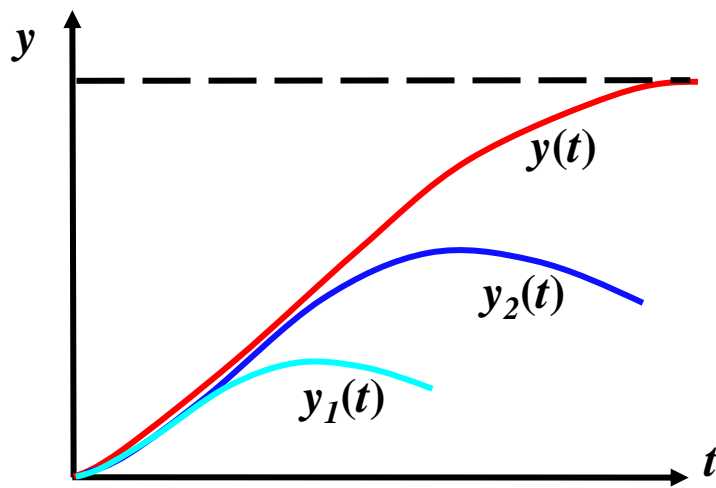
含有 $e^{-\tau_f s}$

因为， τ_f 使干扰对被控变量的影响推迟了 τ_f 时间，则控制作用也推迟 τ_f 时间，整个过渡过程曲线也推迟时间 τ_f ，但控制品质未变。



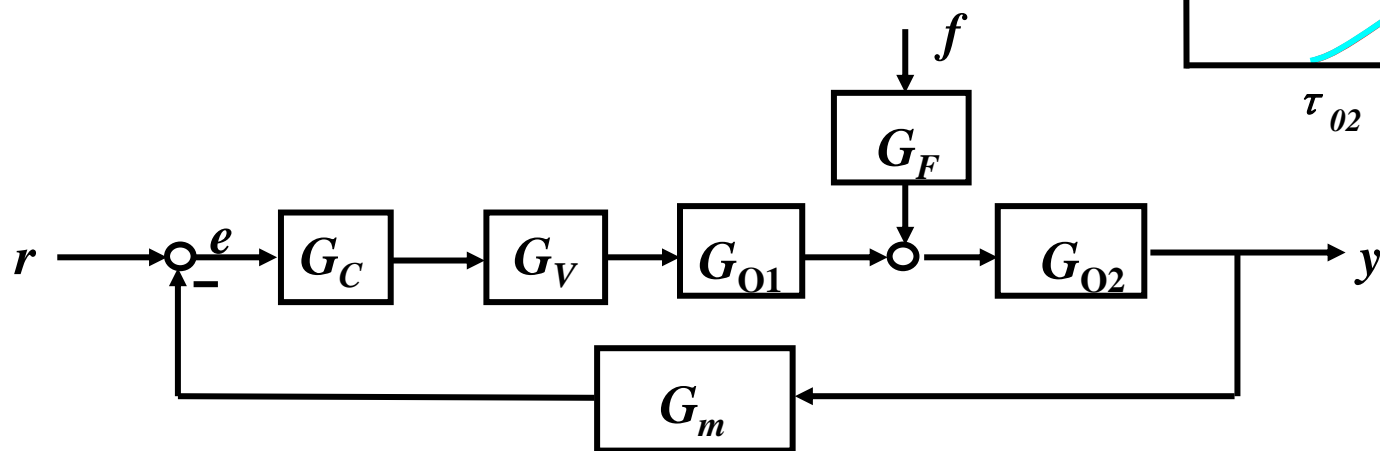
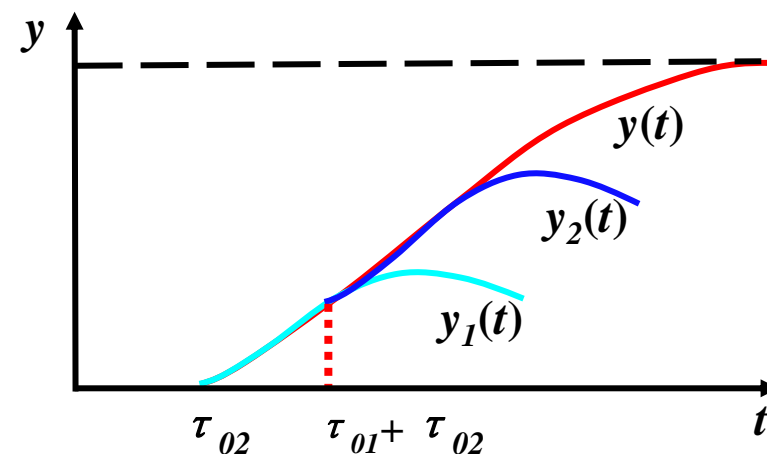
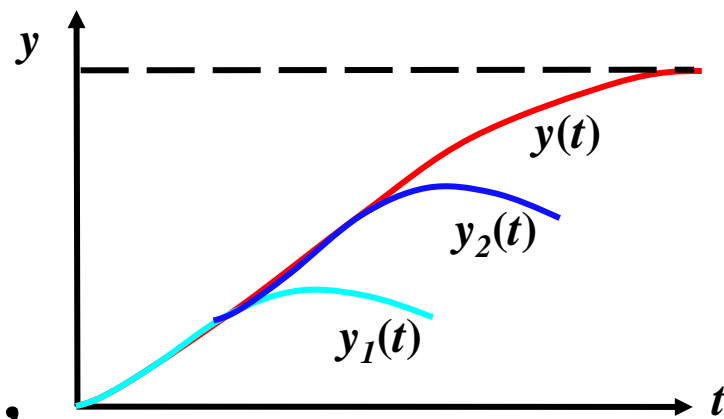
2) 控制通道动态特性对控制品质的影响

- ❖ 控制通道 G_{01} 的时间常数 T_{01} 增大，使控制速度变慢，最大偏差增大。
- ❖ G_{02} 是控制、干扰共用通道， T_{02} 不影响最大偏差。



❖ 控制通道 G_{01} 的纯滞后，使控制作用滞后 τ_{01} 到达，造成控制偏差增大。

❖ G_{02} 是控制、干扰共用通道，干扰作用滞后 τ_{02} 产生，但控制作用再滞后 τ_{02} 到达，同样造成控制偏差增大。



因此，控制通道时间常数 T_0 小一些好。表明控制变量对被控变量的影响迅速，有利于控制。

控制通道纯滞后 τ_0 越小越好。 τ_0 会使控制时间延长、最大偏差增大。

控制变量的选择原则：

1、控制变量应是可控的，即工艺上允许调节的变量。

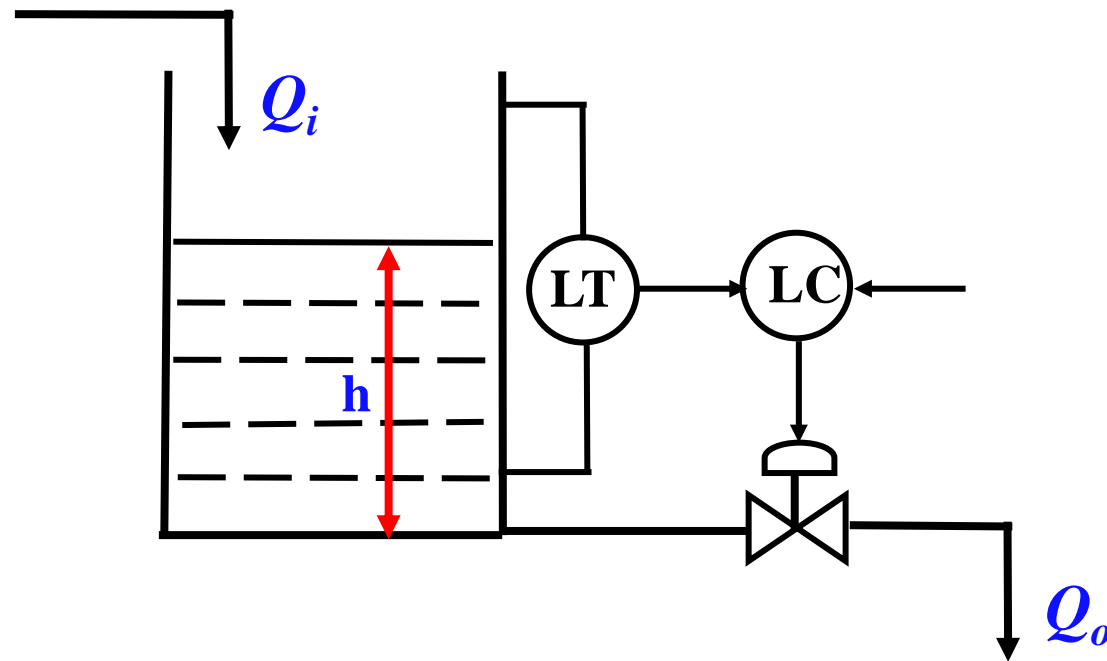
2、控制变量一般应比其他干扰对被控变量的影响灵敏。因此，控制通道应当放大系数大、时间常数小、纯滞后越小越好。

3、为使其他干扰对被控变量的影响减小，应使干扰通道的放大系数尽可能小、时间常数尽可能大，扰动引入系统的位置要远离被控变量，尽可能靠近调节阀。

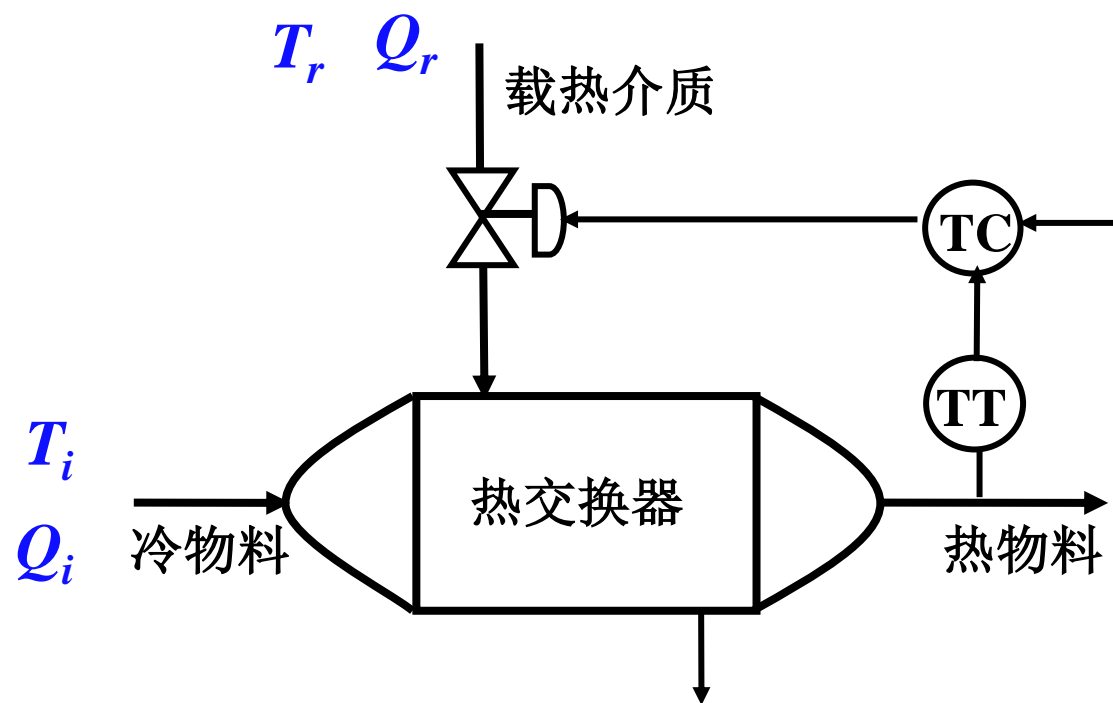
4、被控过程存在多个时间常数，在选择设备及控制参数时，应尽量使时间常数错开，使其中一个时间常数比其他时间常数大很多，同时注意减少其他时间常数。

5、选择控制变量时，还要考虑工艺的合理性与生产效率及生产过程的经济性。

例1中，影响储槽液位的主要因素有：液体流入量和液体流出量。这两个变量影响力相当，显然，液体流出量可控。故选液体流出量作为控制变量。

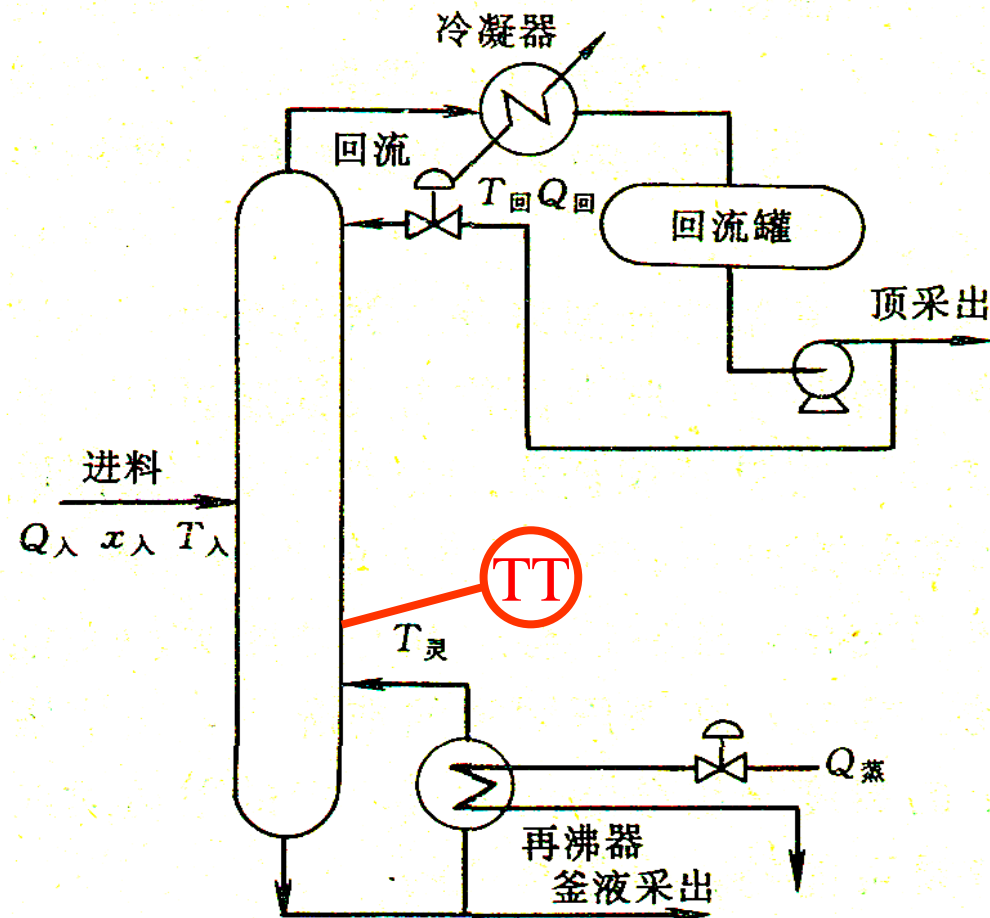


例2中，影响出口温度的主要因素有：载热介质温度、载热介质流量、冷物料温度、冷物料流量等。显然，载热介质流量影响力最大且可控。故选载热介质流量作为控制变量。



例3中，若选择提馏段某块塔板（灵敏板）的温度作为被控变量。那么，影响灵敏板温度 $T_{\text{灵}}$ 的因素主要有：

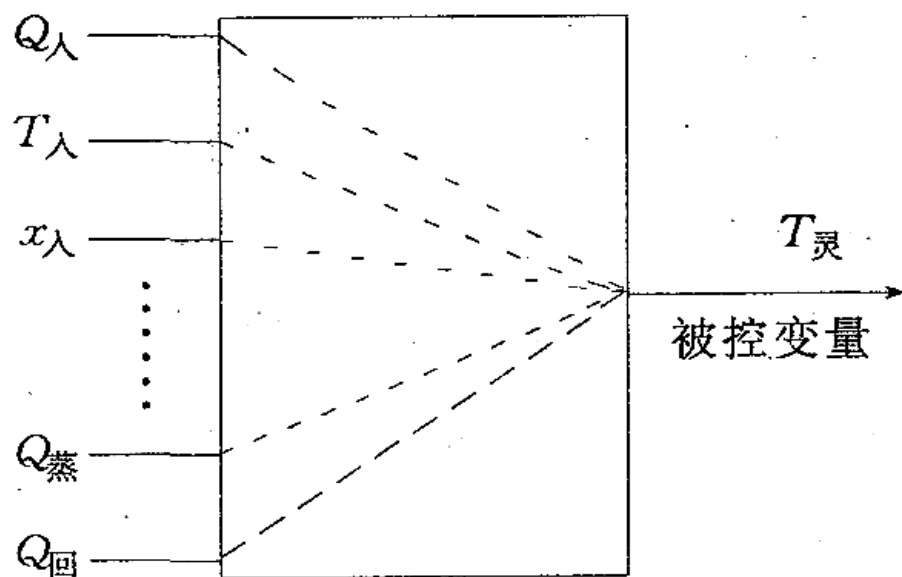
进料的流量（ $Q_{\text{入}}$ ）、
进料的成分（ $x_{\text{入}}$ ）、
进料的温度（ $T_{\text{入}}$ ），
回流的流量（ $Q_{\text{回}}$ ）、
回流的温度（ $T_{\text{回}}$ ），
加热蒸汽流量（ $Q_{\text{蒸}}$ ）、
冷凝器冷却温度等。



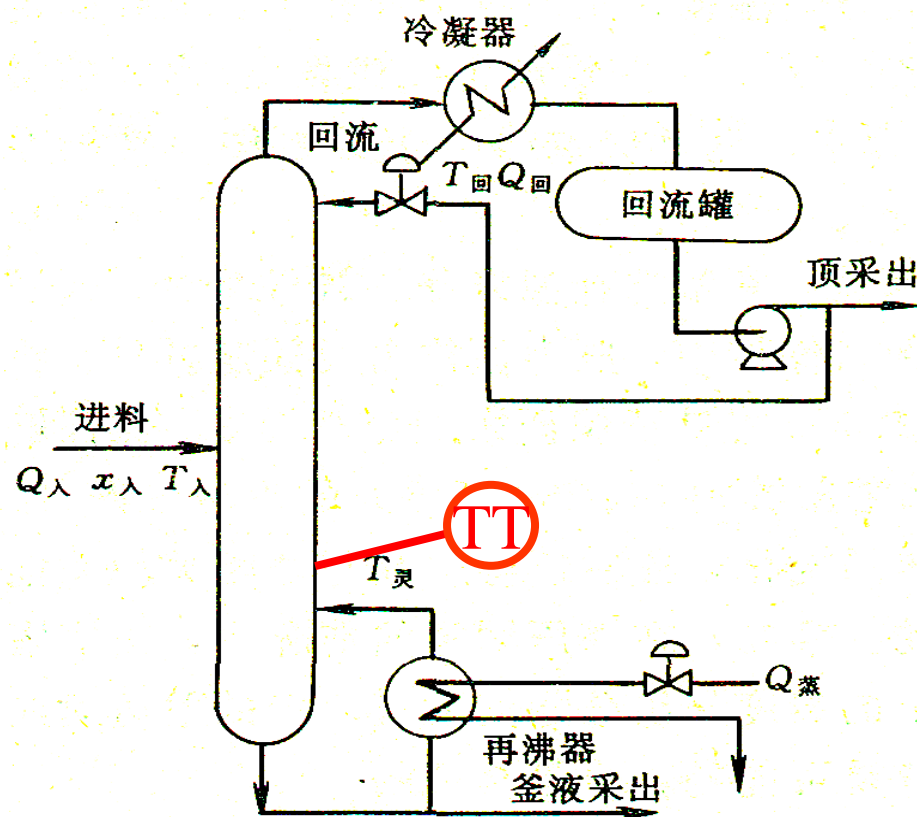
精馏塔流程图

这些影响因素分为可控的和不可控的两大类:

- 回流量和蒸汽流量为可控因素
- 其它基本为不可控因素



各种因素示意图

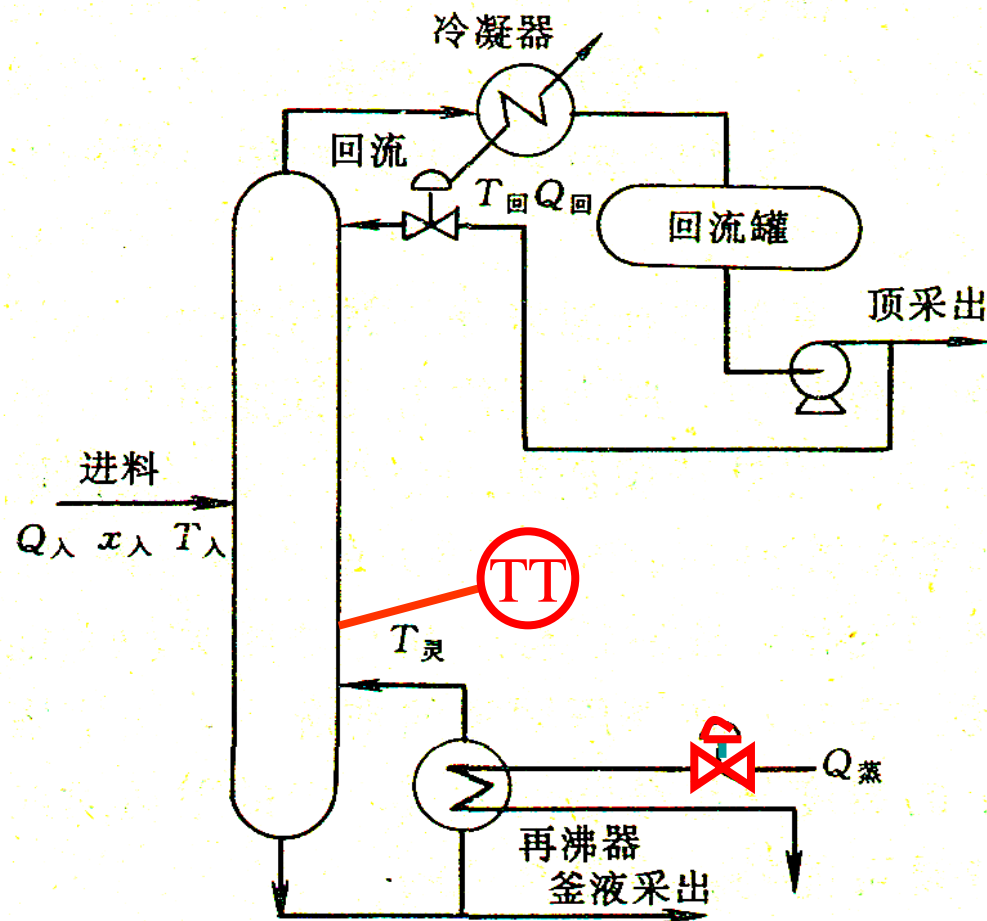


精馏塔流程图

在两个可控因素中，选蒸汽流量为操纵变量。

因为：

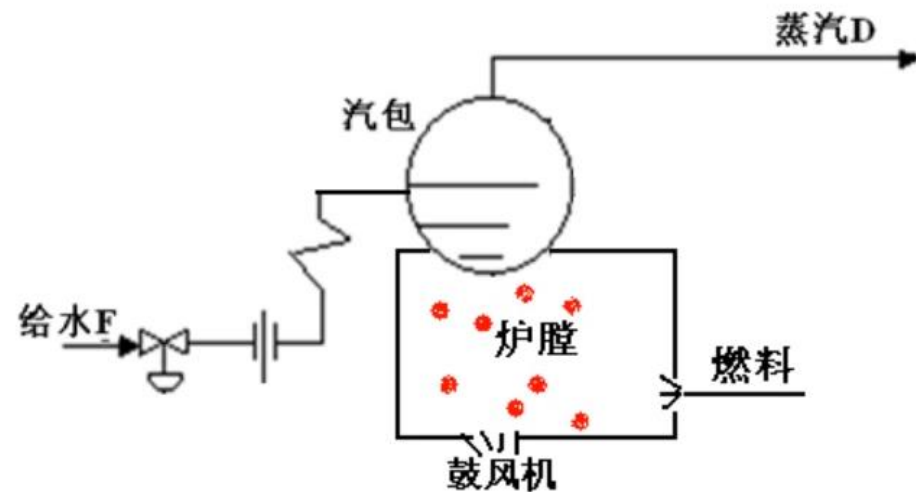
- 1、蒸汽流量对提馏段温度影响比回流量对提馏段温度影响更迅速、更显著。
- 2、从节能角度来讲，控制蒸汽流量比控制回流量消耗的能量要小。



精馏塔流程图

思考题：控制变量的选取

(1)



(2)

$$W_1(s) = \frac{3}{4s + 1} e^{-3s} \quad W_2(s) = \frac{4}{3s + 1} e^{-4s}$$

- **PID**调节器的参数 **K_p** 、 **T_I** 、 **T_D** 对控制性能各有什么影响？

- 利用微分作用来克服控制系统的信号传递滞后的设想是否合理与正确？

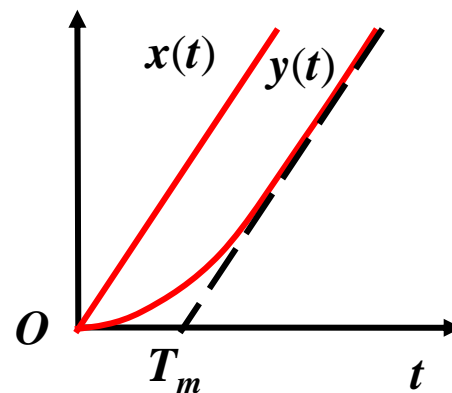
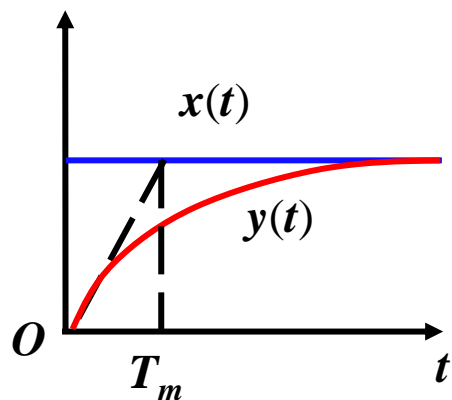
- **PID调节器的参数 K_p 、 T_I 、 T_D 对控制性能各有什么影响？**
- **(1)比例增益 K_p 反映比例作用的强弱， K_p 越大，比例作用越强，反之亦然。比例控制克服干扰能力较强、控制及时、过渡时间短，但在过渡过程终了时存在余差；**
- **(2)积分时间 T_I 反映积分作用的强弱， T_I 越小，积分作用越强，反之亦然。积分作用会使系统稳定性降低，但在过渡过程结束时无余差；**
- **(3)微分时间 T_D 反映微分作用的强弱， T_D 越大，微分作用越强，反之亦然。微分作用能产生超前的控制作用，可以减少超调，减少调节时间；但对噪声干扰有放大作用。**

- 利用微分作用来克服控制系统的信号传递滞后的设想是否合理与正确？
- 答：这种设想不合理，因为信号传送滞后是纯滞后，而微分作用不能克服纯滞后。合理的措施是采用继电器加在信号传输线之间，以增大信号流速，从而减小传输滞后，改善系统特性。

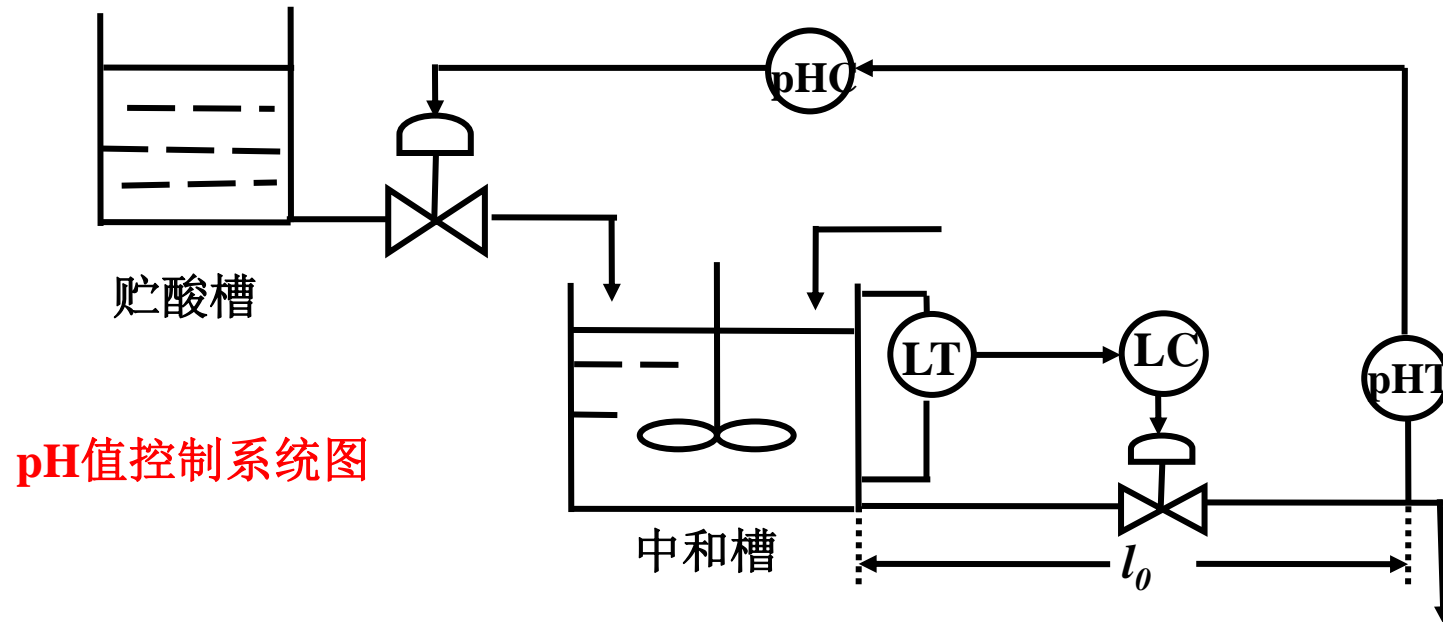
6.2.3检测环节、执行器及调节器正负作用选择

6.2.3.1传感器、变送器选择

1. 按照生产过程的工艺要求，首先确定传感器与变送器合适的测量范围（量程）与精度等级。
2. 测量仪表反应慢，会造成测量失真。应尽可能选择时间常数小的传感器、变送器。



3. 合理选择检测点，避免测量造成对象纯滞后 τ_0



4. 测量信号的处理

测量信号的校正与补偿、测量噪声的抑制、测量信号的线性化处理。

6.2.3.2执行器的选择

1. 调节阀工作区间的选择

正常工况下，调节阀的开度应在**15%~85%**区间。据此原则计算、确定控制阀的口径尺寸。

2. 调节阀的流量特性选择

按补偿对象特性的原则选取。

3. 调节阀的气开、气关作用方式选择

按控制信号中断时，保证生产设备安全的原则确定。

气开阀与气关阀

* 气开阀: $p_c \uparrow \rightarrow f \uparrow$ (“有气则开”)

* 气关阀: $p_c \uparrow \rightarrow f \downarrow$ (“有气则关”)

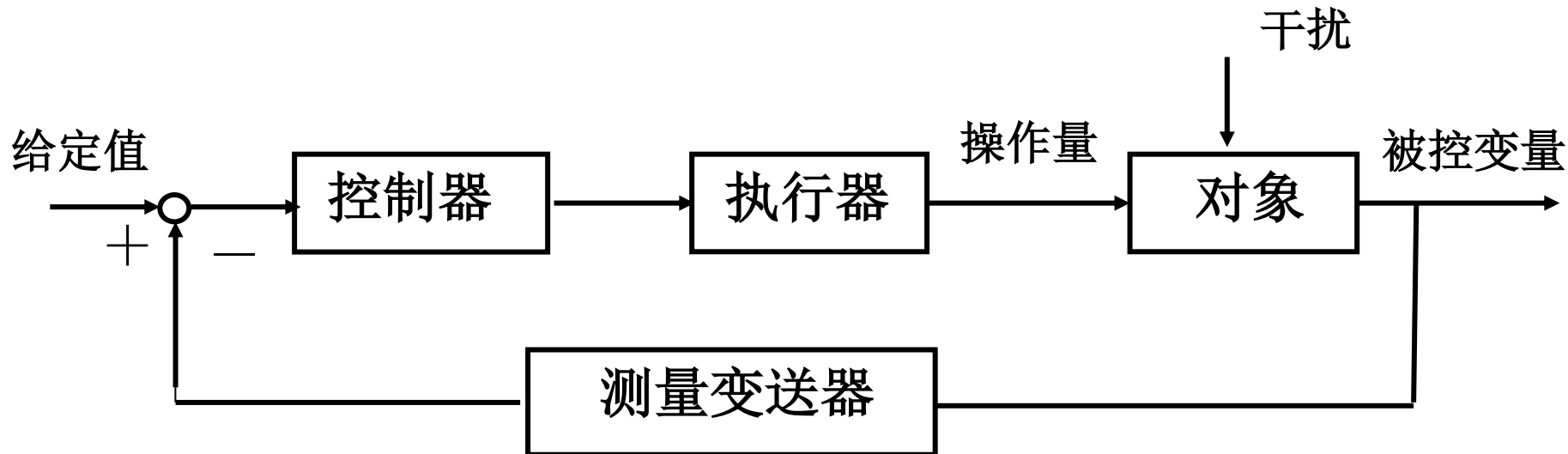
无气源($p_c = 0$)时, 气开阀全关, 气关阀全开。

气开阀与气关阀的选择原则

* 若无气源时, 希望阀全关, 则应选择气开阀, 如加热炉瓦斯气调节阀; 若无气源时, 希望阀全开, 则应选择气关阀, 如加热炉进风蝶阀。

6.2.3.3 调节器正反作用的选择

负反馈控制系统的控制作用对被控变量的影响应与干扰作用对被控变量的影响相反，才能使被控变量值回复到给定值。为了保证负反馈，必须正确选择调节器的正反作用。



为了说明选择方法，先定义作用方向：

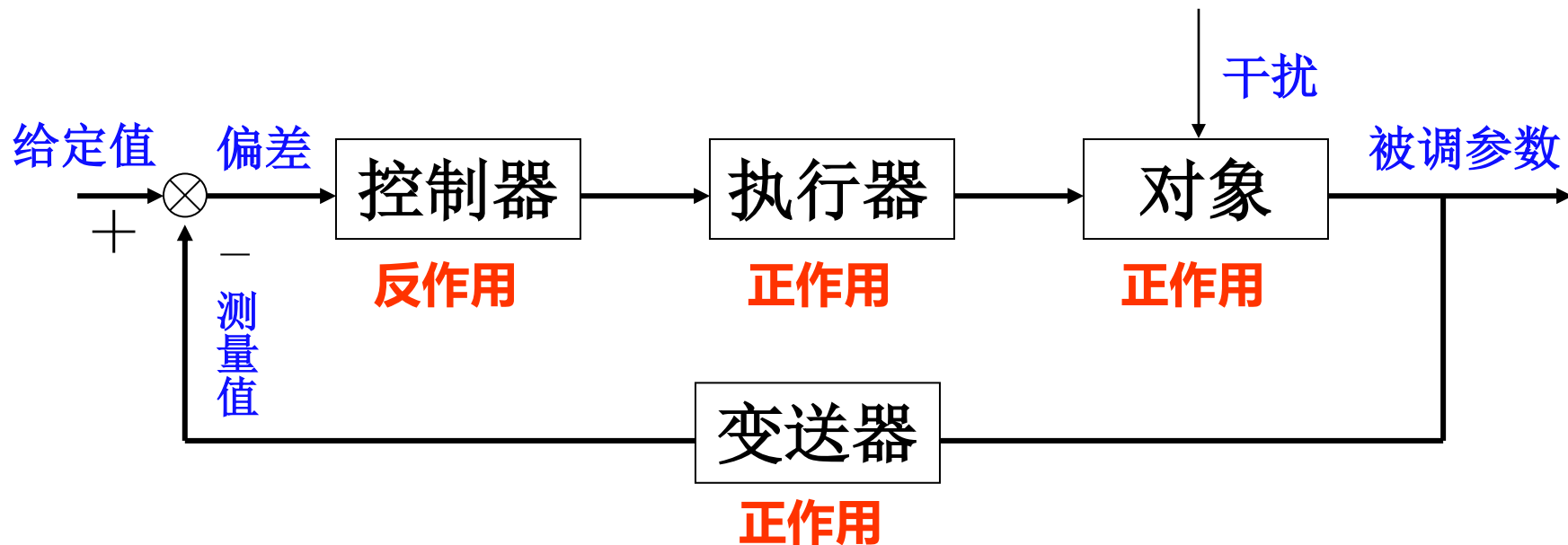
当某个环节的输入增加时，其输出也增加，称该环节为“正作用”；反之，称为“反作用”。

按此定义：

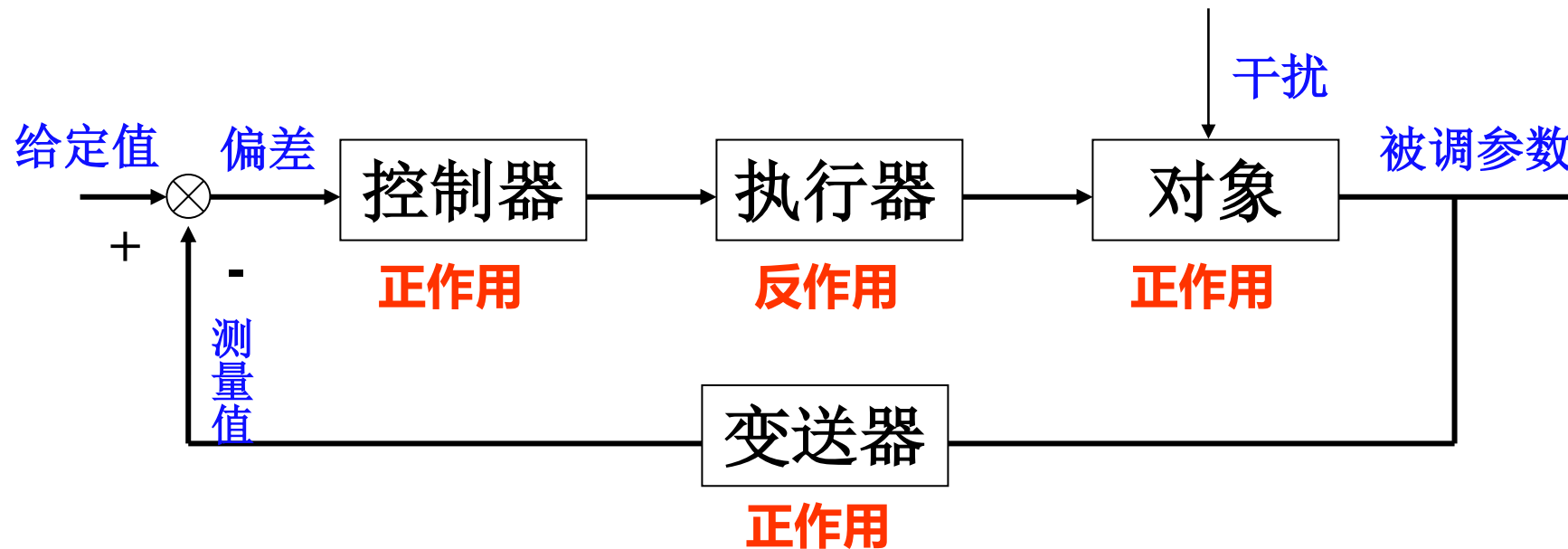
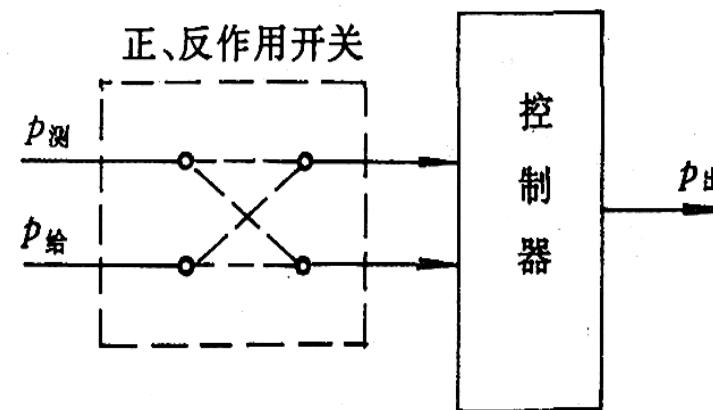
- ❑ 变送器都是正作用
- ❑ 气开阀是正作用，气关阀是反作用
- ❑ 被控对象有的正作用，有的反作用
- ❑ 控制器作用方向以测量输入与输出的关系定义

控制系统中，各个环节的作用方向组合不当的话，会使系统构成正反馈，不但不能起控制作用，反而会破坏生产过程的稳定。

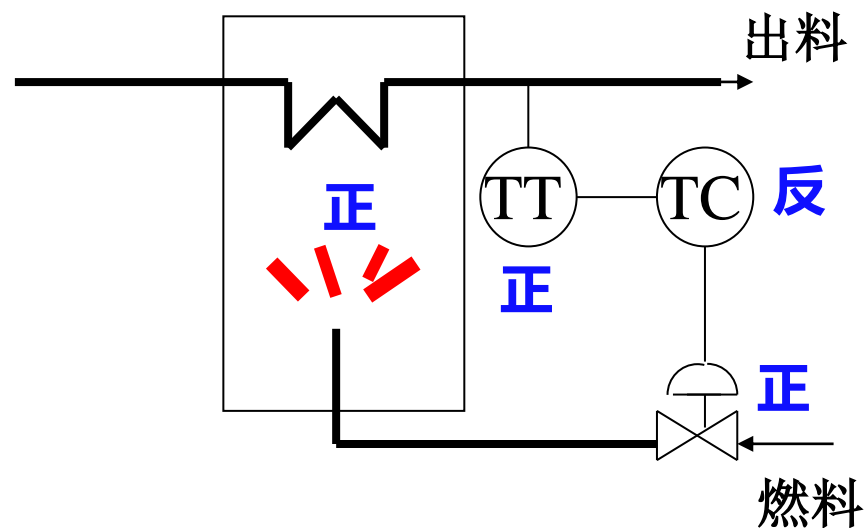
因为执行器和对象有正、反作用，为了保证控制系统负反馈，调节器必须有正、反作用之调整。



调节器正反作用的确定原则：**保证系统构成负反馈**
简单的判定方法：**闭合回路中有奇数个反作用环节。**



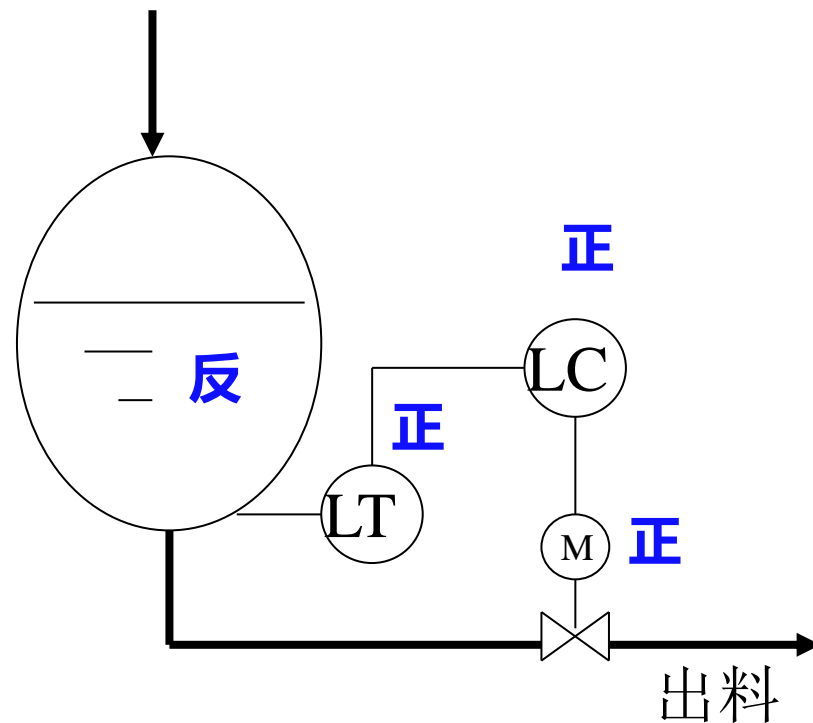
例1：加热炉出口温度控制系统



负反馈验证：

设某时刻燃料压力 \uparrow →燃料流量 \uparrow →炉温 \uparrow →出料温度 \uparrow
→TC输入 \uparrow → TC输出 \downarrow →阀关小→炉温 \downarrow →出料温度 \downarrow

例2：储槽液位控制系统



负反馈验证：

设某时刻进料量 $\uparrow \rightarrow$ 液位 $\uparrow \rightarrow$ LC输入 \uparrow
 \rightarrow LC输出 $\uparrow \rightarrow$ 阀开大 \rightarrow 出料量 $\uparrow \rightarrow$ 液位 \downarrow