

# 过程控制

## 第一章 性能指标

### 一、性能指标计算

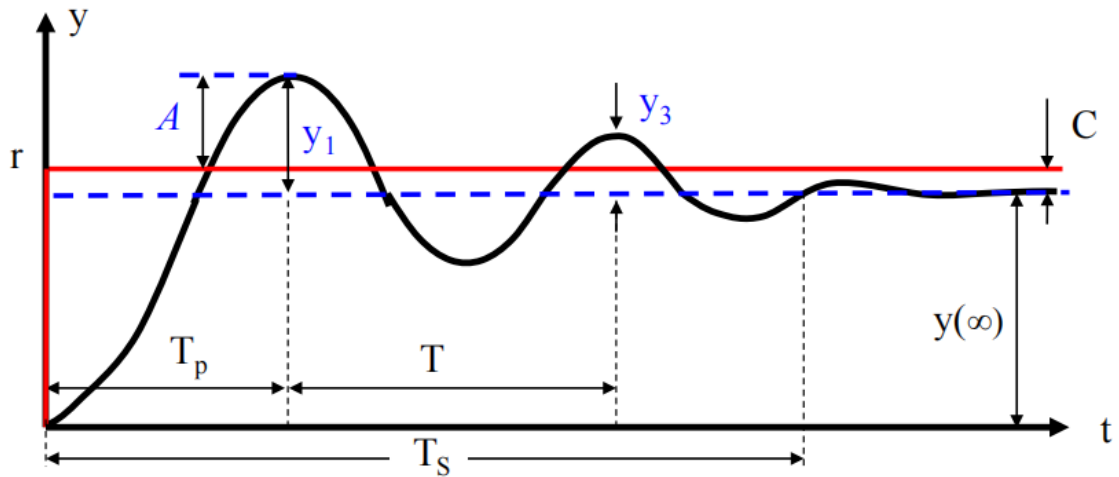


图1.3 闭环控制系统对设定值的阶跃扰动的响应曲线

#### 1、衰减比

$$\frac{y_1}{y_3}$$

#### 2、衰减率

$$\frac{y_1 - y_3}{y_1}$$

#### 3、余差C：依据期望信号定义

#### 4、最大偏差：依据期望信号定义

$$y_1 - C$$

#### 5、振荡周期：两次峰值间的差距时间

## 二、误差积分形式

几种典型误差，略

## 第二章 检测仪表

### 一、基本指标

## 1、基本误差

$$\text{基本误差 } \delta = \frac{\text{最大绝对误差 } \Delta_{\max}}{\text{仪表量程}} \times 100\%$$

## 2、精确度

- (1) 是基本误差 $\times 100\%$
- (2) 向上取整: 0.02, 0.2, 0.5, 1

## 3、灵敏度

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

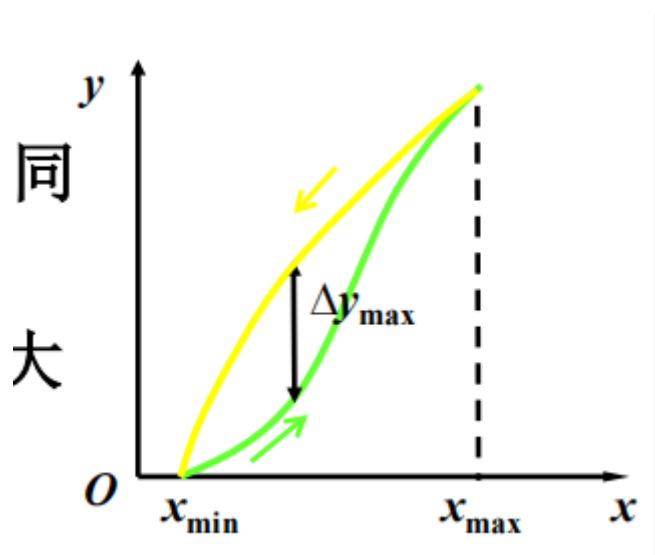
$S$  — 仪表灵敏度;

$\Delta Y$  — 仪表指针位移的距离 (或转角);

$\Delta X$  — 引起 $\Delta Y$ 的被测参数变化量。

## 4、分辨率和分辨力: 略

## 5、变差



## 二、温度检测仪表

### 1、热电偶: 中高温

- (1) 温度信号变成电信号
- (2) 电信号主要由接触电势组成

## 2、补偿措施：热电偶查表法

实际温度=自由端温度+测得的热电势

**例** 用K型热电偶测量某加热炉的温度。测得的热电势 $E(t, t_0) = 36.122\text{mV}$ ，而自由端的温度 $t_0 = 30^\circ\text{C}$ ，求被测的实际温度。

**解** 由分度表可以查得 $E(30, 0) = 1.203\text{mV}$

$$\begin{aligned} \text{则 } E(t, 0) &= E(t, 30) + E(30, 0) \\ &= 36.122 + 1.203 = 37.325\text{mV} \end{aligned}$$

再查分度表可以查得 $37.325\text{mV}$ 对应的温度为 $900^\circ\text{C}$ 。

其他的补偿措施：冰浴、补偿电桥等

## 2、热电阻：中低温

- (1) 金属热电阻：一般是正温度系数
- (2) 半导体热电阻：负温度系数

## 三、温度显示和记录

略

## 四、温度变送器

略

## 五、压力检测仪表

- 1、弹簧管压力表：报警上下限
- 2、压变：远处观察
- 3、压阻：隔离传感器

**例** 某台压缩机（脉动压力）的出口压力范围是25-30MPa，测得绝对误差不得大于1MPa。工艺上面要求就地观察，并能高低限报警。请正确的选用一台压力表，指出类型、精度和测量范围。

**例** 如果某反应器最大压力为1.0MPa，允许最大绝对误差为0.01MPa。现用一台测量范围为0—1.6MPa，精度为1级的压力表来进行测量，问是否符合工艺要求？若采用一台测量范围为0—1.0MPa，精度为1级的压力表，能符合要求吗？试说明其理由。

## 六、流量检测仪表

### 1、转子流量计

$$Q = \alpha k h \sqrt{\frac{2(\rho_z - \rho_f) g V}{\rho_f S}}$$

其中 $\rho_z$ 是转子密度, $\rho_f$ 是液体密度,  $\alpha$ 和 $K$ 是常值

**例** 一转子流量计，转子材料为钢，密度为 $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$ ，用 $20^\circ\text{C}$ 的水标定（标定时水的密度为 $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$ ），流量计测量上限为 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ 。现用户用来测量某溶液A，其密度为 $\rho = 1527 \text{ kg/m}^3$ 。求

- (1) 流量计显示 $30 \text{ m}^3/\text{h}$ 时，实际通过流量计的溶液A流量为多少？
- (2) 若转子材料改为铅，铅密度为 $\rho = 11350 \text{ kg/m}^3$ ，则测量水的最大流量为多少？
- (3) 转子材料改为铅后，流量计显示为量程一半读数时，溶液A的实际流量为多少？

### 2、压差流量计

## 第五章：被控过程的数学模型

### 一、机理法建模

#### 1、单容特性推导

$$(\Delta Q_1 - \Delta Q_2) / A = d\Delta h / dt$$

思考题  $\Delta Q_2 = \frac{\Delta h}{R_s}$

$$\Delta Q_1 = K_\mu \Delta \mu_1$$

## 2、自衡性:

$$\rho = \frac{1}{K}$$

rho越大自衡能力越强

## 3、纯滞后和容量滞后

### 二、测试法建模

#### 1、时域：给单位阶跃信号

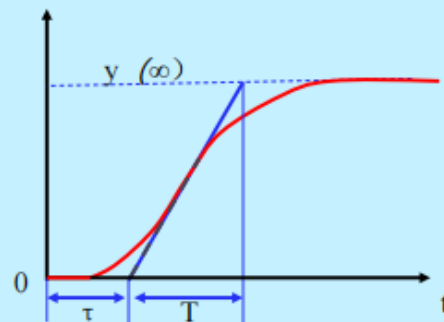
作图法:

作图法:

1) 在响应曲线的拐点处作一条切线，该切线与时间轴的交点切出 $\tau$ ;

2) 以 $\tau$ 为起点，与 $y(\infty)$ 的交点切出的时间段为 $T$ ;

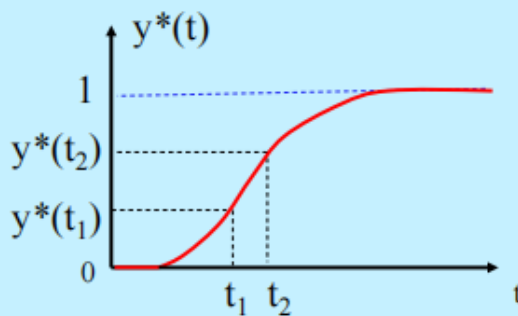
3)  $K = y(\infty)/x_0$



$$W(S) = e^{-s\tau} \frac{K}{TS + 1}$$

两点法:

为计算方便，取特殊两点:



$$y^*(t_1) = 0.39$$

$$y^*(t_2) = 0.63$$

则

$$\tau = 2 t_1 - t_2$$

$$T = 2 (t_1 - t_2)$$

#### 2、频率：给正弦信号

#### 3、给伪随机信号

## 第X章 控制仪表

## 一、P控制

比例度

$$P = \frac{\frac{e}{e_{max}-e_{min}}}{\frac{y}{y_{max}-y_{min}}}$$

增益就是P的倒数

## 二、PI控制

$$y = \frac{1}{T_I} \int_0^t e dt \quad T_I \text{—积分时间}$$

Eg:

**例** 某比例积分控制器输入、输出范围均为4~20mA，若将比例度设为100%，积分时间设为2min，稳态时输出调为5mA。某时刻开始，输入偏差为幅值为+0.2mA的阶跃时，试问经过5min后，输出将由5mA变化为多少？

$$out = 5mA + 0.2mA * 5min / 2min$$

PID整定

## 三、PD控制

**作业** 对PID调节器而言，当积分常数 $T_I$ 趋近于无穷，微分常数 $T_d$ 等于0时，调节器呈 比例 调节特性。积分作用的特点是可以消除 静差，但引入积分作用会使系统稳定度 下降。假如调节系统在纯比例作用下已整定好，加入积分作用后，为了保持原稳定度，此时应将比例度 增大。

## 第六章 控制系统设计

### 一、调节器正反作用

保证回路中有奇数个反作用

## 二、控制变量的选择

1、原则：

控制通道应当放大系数大、时间常数小、纯滞后越小越好

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

2、

## 第四章 执行器和安全栅

### 一、调节阀

1、电动阀

2、气动阀

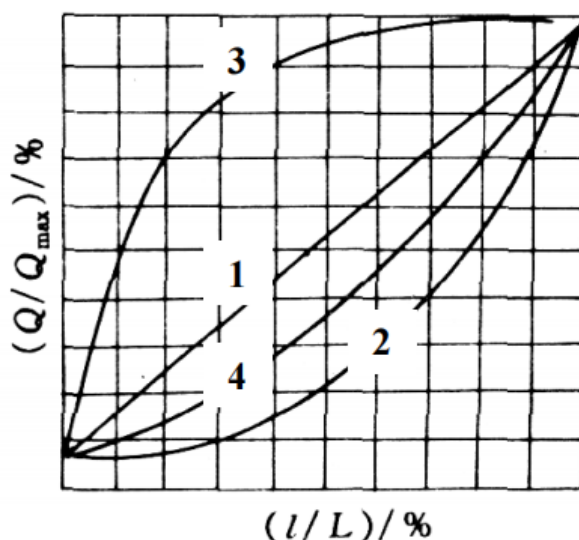
### 二、调节阀的流量特性

$$\frac{Q}{Q_{\max}} = f\left(\frac{l}{L}\right)$$

$Q/Q_{\max}$  — 相对流量

$l/L$  — 相对开度

- (1) 直线特性
- (2) 等百分比特性
- (3) 快开特性
- (4) 抛物线特性



### 管道串联时的流量特性

- 1、会使得调节阀流量特性发生畸变
- 2、会使得最大流量减小
- 3、s不能太小

### 三、调节阀的选择

调节阀结构选择：摆

调节阀气开气关：一个正相关一个负相关

选择原则：没有输入时保持稳定

口径选择

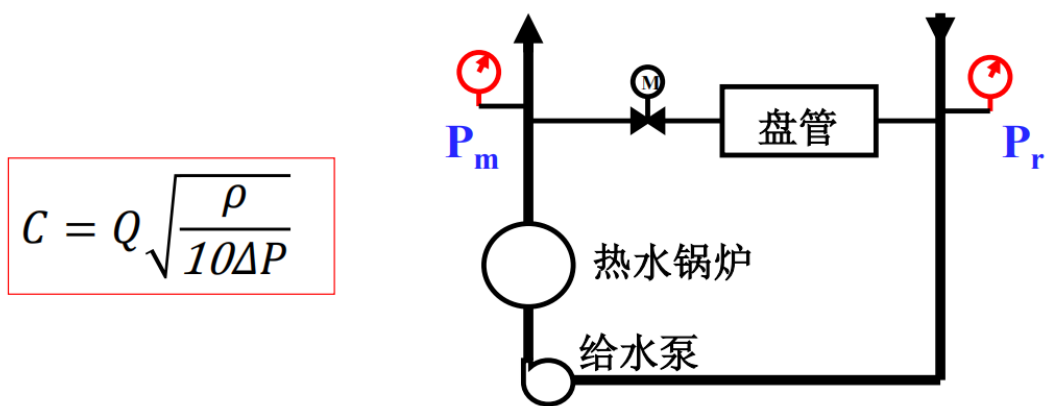
$$C = Q \sqrt{\frac{\rho}{10\Delta P}}$$

其中C是口径，Q是流量， $\rho$ 是液体密度， $\Delta P$ 是压差

Eg:

**例** 某供暖系统，流过加热盘管的水流量为 $Q=31\text{m}^3/\text{h}$   
热水为 $80^\circ\text{C}$ ， $P_m - P_r = 2.0 \times 100\text{kPa}$ ，所装阀门C可以从  
28，30，32，34四种中选取，应该选择那种？

（配管 $s=0.5$ ， $80^\circ\text{C}$ 热水的密度 $\rho=971\text{Kg}/\text{m}^3$ ）



$$C = Q \sqrt{\frac{\rho}{10\Delta P}}$$

$$C = Q \sqrt{\frac{\rho}{10\Delta P}} = 30.5 < 32$$

选32的口径

### 四、PID整定



整定方法	优点	缺点
反应曲线法	方法简单	系统开环，被调量变化较大，影响生产
稳定边界法	系统闭环	会出现被调量等幅振荡
衰减曲线法	系统闭环，安全	实验费时
经验法	系统闭环，不需计算	需要经验

Eg:

**例：**一蒸汽加热的热交换温度控制系统，要求热水温度在**65°C**。当阀门输入电流增加**1.6mA DC**（阀门输入电流范围为**4~20mA DC**）时，热水温度上升**67.8°C**，并达到新的稳态。温度变送器量程和调节器的刻度范围为**30~80°C**。从温度动态曲线上可以测出  $\tau_0 = 1.2 \text{ min}$ ,  $T_0 = 2.5 \text{ min}$ 。如果采用**PI**或**PID**调节规律，按响应曲线法计算调节器整定参数。

Step1: 根据比例度确定K和比例系数

$$\Delta x = 1.6 \text{ mA}$$

$$x_{\max} - x_{\min} = (20 - 4) \text{ mA}$$

$$\Delta y = 67.8 - 65.0 = 2.8^\circ\text{C}$$

$$y_{\max} - y_{\min} = 80 - 30 = 50^\circ\text{C}$$

$$K_0 = \frac{2.8 / 50}{1.6 / 16} = 0.56$$

$$\frac{\tau_0}{T_0 P_0} = \frac{K_0 \tau_0}{T_0} = 0.56 \times \frac{1.2}{2.5} = 27\%$$

step2: 根据经验公式确定Kp Ti Td

## 第七章：复杂控制系统

### 串级控制

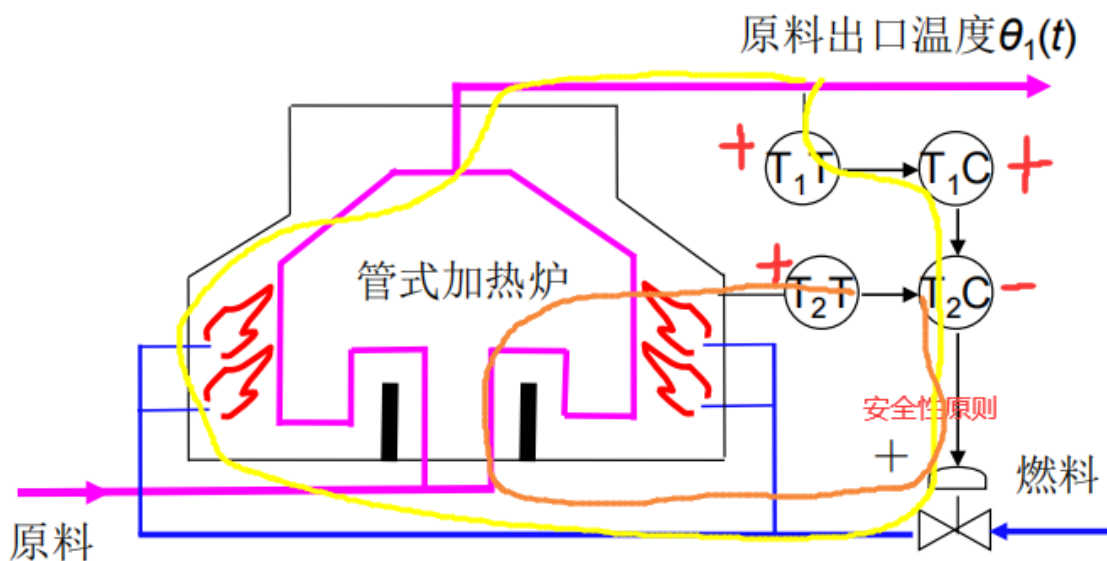
- 1、由于串级控制系统副回路的存在能克服进入副回路的干扰，大大减小了副回路干扰对主参数的影响；
- 2、副回路的存在提高了系统主调节器对进入主回路干扰控制的快速性；
- 3、副回路的存在，总的放大系数提高了，因而抗干扰能力和控制性能都比单回路控制系统有明显提高。
- 4、对负荷或者操作条件的变化有一定适应能力

### 串级控制的调节规律选择

- 1、主回路：PI PID
- 2、副回路：P

### 串级控制正反作用方式

- 1、内外回路都构成负反馈
- 2、安全性原则



### 前馈控制

- 1、开环控制
- 2、仅对特定的干扰有作用
- 3、调节速度快

**前馈控制设计方法：使得0输入时扰动到y的传递函数为0**

**大滞后环节：**

1、定义：延迟时间常数和时间常数比值大于0.3