

课后答案网，用心为你服务！



[大学答案](#) --- [中学答案](#) --- [考研答案](#) --- [考试答案](#)

最全最多的课后习题参考答案，尽在课后答案网（[www.khdaw.com](http://www.khdaw.com)）！

Khdaw团队一直秉承用心为大家服务的宗旨，以关注学生的学习生活为出发点，

旨在为广大学生朋友的自主学习提供一个分享和交流的平台。

爱校园（[www.aixiaoyuan.com](http://www.aixiaoyuan.com)） 课后答案网（[www.khdaw.com](http://www.khdaw.com)） 淘答案（[www.taodaan.com](http://www.taodaan.com)）

# 过程控制工程 课后习题答案

## 第一章

1-1

自动控制系统由被控对象、测量变送器、执行器（控制阀）和控制器组成。

被控对象 是指被控制的生产设备或装置。

测量变送器 用于测量被控变量，并按一定的规律将其转换为标准信号作为输出。

执行器 常用的是控制阀，接受来自控制器的命令信号，用于自动改变控制阀的开度。

控制器 它将被控变量的测量值与设定值进行比较，得出偏差信号  $e(t)$ ，并按一定规律给出控制信号  $u(t)$

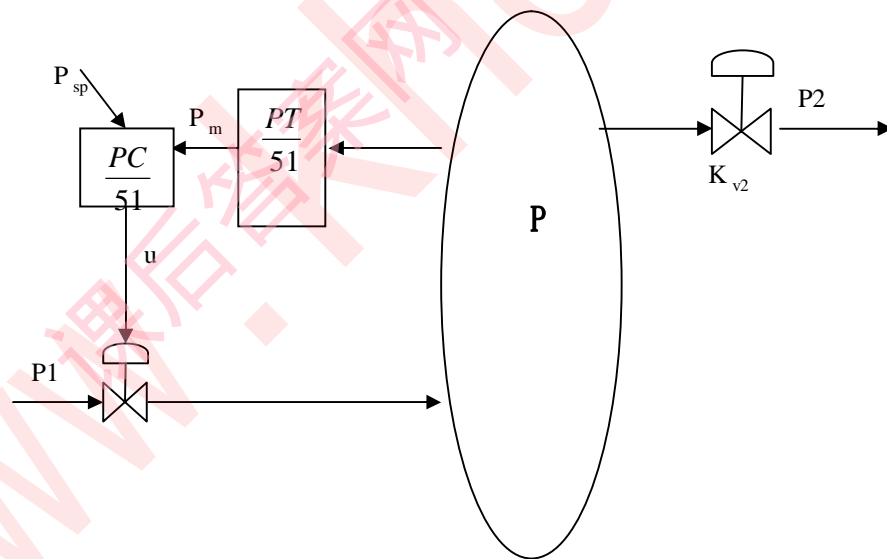
1-2

1) 直接数字控制 它的特点：计算灵活，它不仅能实现典型的 PID 控制规律，还可以分时处理多个控制回路。

2) 集中型计算机控制系统 它的特点：可以实现解耦控制、联锁控制等各种更复杂的控制功能；信息集中，便于实现操作管理与优化生产；灵活性大，控制回路的增减、控制方案的改变可由软件来方便实现；人机交互好，操作方便

3) 集散控制系统 它的特点：同时适应管理与控制两方面的需要：一方面使用若干个控制器完成系统的控制任务，每个控制器实现一定的控制目标，可以独立完成数据采集、信号处理、算法实现与控制输出等功能；另一方面，强调管理的集中性。

1-3



P: 被控变量 储罐: 被控对象 U: 控制变量 进气流量: 操纵变量

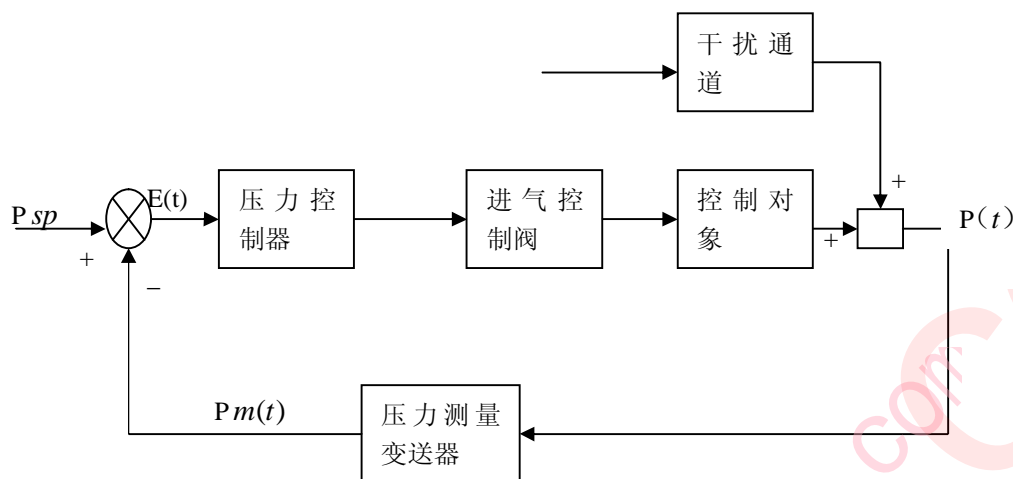
P1, P2, 出气流量: 扰动变量

被控变量: 被控对象需要维持在其理想值的工艺变量，也是测量变送器的输入。

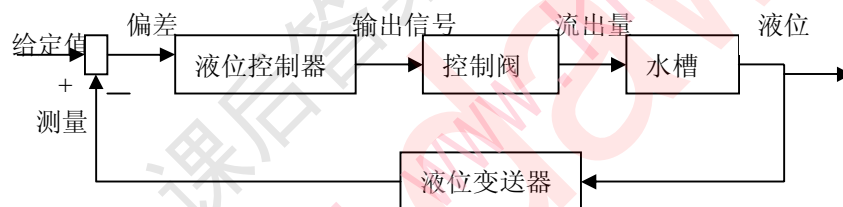
控制变量: 控制器的输出电信号。

操作变量: 执行器的操作对象，对被控变量有影响。

扰动变量：影响被控变量的变量（除了操作变量）。



1-4



假设控制阀为气闭式、控制器为反作用，定义偏差为测量值与给定值之差。首先假设在干扰发生之前系统处于平衡状态，即流入量等于流出量，液位等于给定值。当有干扰发生，平衡状态将被破坏，液位开始变化，于是控制系统开始动作。

1) 假定在平衡状态下流入量  $Q_1$  突然变大。此刻是  $Q_1 > Q_2$ ，于是液位  $L$  将上升随着  $L$  的上升，控制器将感受到正偏差，由于控制器是反作用的，因此其输出将减小。因为控制阀是气闭式的，随着控制器输出的减小，控制阀开度变大。流出量  $Q_2$  将逐渐增大，液位  $L$  将慢慢下降并逐渐趋于给定值。当再度达到  $Q_2 = Q_1$  时，系统将达到一个新的平衡状态。这是控制阀将处于一个新的开度上。

2) 如果在平衡状态下，流入量突然减小，将出现  $Q_1 < Q_2$ ，液位  $L$  将下降，控制器受到负偏差，控制器输出将增大，控制阀开度变小，流出量减小，液位回升，逐渐回复给定值而达到新的平衡。

3) 在平衡状态下， $Q_2$  突然变大。这就使  $Q_2 > Q_1$ ， $L$  将下降。这是控制器输出将增大控制阀开度变小，于是  $Q_2$  将随之减小， $L$  又会慢慢上升而回到给定值。如果在平衡状态下， $Q_2$  突然减小了。此时， $L$  将上升，控制器输出将减小，控制阀开度变大，重新使  $Q_2$  增大而使其逐渐回复到给定值为止。

## 第二章

2-1

$$1) \frac{AdH}{dt} = Q_1 - Q_2 - Q_3$$

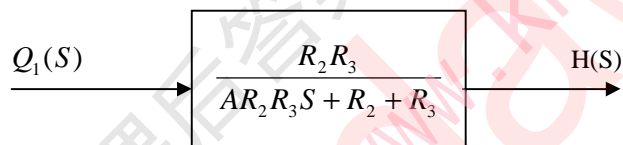
$$\frac{Ad\Delta H}{dt} = \Delta Q_1 - \Delta Q_2 - \Delta Q_3$$

$$\Delta Q_2 = Q_2 - Q_{20} = \frac{K_2 \Delta H}{2\sqrt{H_0}} = \frac{\Delta H}{R_2}$$

$$\Delta Q_3 = Q_3 - Q_{30} = \frac{K_3 \Delta H}{2\sqrt{H_0}} = \frac{\Delta H}{R_3}$$

$$R_2 R_3 A S = R_2 R_3 Q_1(S) - R_3 H(S) - R_2 H(S)$$

2)



$$3) W_0(S) = \frac{H(S)}{Q_1(S)} = \frac{R_2 R_3}{AR_2 R_3 S + R_2 + R_3}$$

2-2

1) 令 A1 的另一个出口为 Q4,

$$\text{则对 A1 有: } \frac{A_1 dH_1}{dt} = Q_1 - Q_2 - Q_4$$

$$\text{对 A2 有: } \frac{A_2 dH_2}{dt} = Q_4 - Q_3$$

$$Q_2 = K_2 \sqrt{H_1 - H_2}$$

$$Q_4 = K_{12} \sqrt{H_1 - H_2}$$

$$Q_3 = K_3 \sqrt{H_2}$$

$$\Delta Q_2 = Q_2 - Q_{20} = \frac{K_2(H_1 - H_2)}{2\sqrt{H_0}} = \frac{H_1 - H_2}{R_2}$$

$$\Delta Q_4 = \frac{H_1 - H_2}{R_{12}}$$

$$\Delta Q_3 = \frac{\Delta H_2}{R_3}$$

$$H_1(S) = \frac{1}{A_1 S} [Q_1(S) - Q_2(S) - Q_4(S)]$$

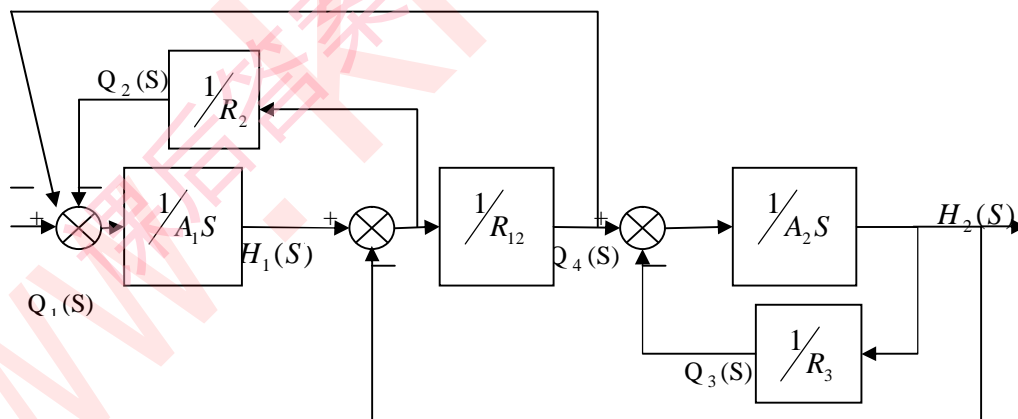
$$H_2(S) = \frac{1}{A_2 S} [Q_4(S) - Q_3(S)]$$

$$Q_4(S) = \frac{H_1(S) - H_2(S)}{R_{12}}$$

$$Q_2(S) = \frac{H_1(S) - H_2(S)}{R_2}$$

$$Q_3(S) = \frac{H_2(S)}{R_3}$$

2)



3)

$$W_0(S) = \frac{R_2 R_3}{A_1 A_2 R_2 R_3 S^2 + (A_1 R_2 + A_2 R_{12} R_3 + A_2 R_2 R_3) S}$$

2-5

$$1) \Delta Q_0 = \frac{K\Delta H}{2\sqrt{H_0}} = \frac{\Delta H}{R}$$

$$R = \frac{\Delta H}{\Delta Q_0} = 0.02$$

$$2) RA \frac{dH}{dt} + H = RQ_i$$

$$0.01 \frac{dH}{dt} + H = 0.02Q_i$$

$$H = 2e^{-100t}u(t)Q_i$$

故其时间常数为 100.

### 第三章

3-1

$$K = \frac{h(\infty) - h(0)}{\Delta u} = \frac{(99 - 0) / 1000}{20\%} \approx 0.5$$

相应好  $h(t)$  在  $t=T$  时达到其终值的 63.2%，

$$\text{即 } h(T) = h(0) + [h(\infty) - h(0)] * 63.2\% = 62.56$$

由表实验数据可得出  $T=100$

3-2

$$1) y^*(t) = \frac{y(t) - y(0)}{y(\infty) - y(0)}$$

$$\text{取 } y^*(t_1) = 0.4 \quad y(t_1) = 0.8 \quad \text{查表得 } t_1 \approx 23$$

$$y^*(t_2) = 0.8 \quad y(t_2) = 1.6 \quad \text{查表得 } t_2 \approx 43$$

$$\frac{t_1}{t_2} = 0.53 > 0.46 \text{ 则说明该阶跃响应需更高阶的传递函数才能拟合得更好, 查表 3.3-1}$$

得出  $n=3$

$$T = \frac{t_1 + t_2}{2.16 * n} \approx 10 \quad K = \frac{y(\infty) - y(0)}{\Delta u} = 2$$

$$G(S) = \frac{2}{(10S + 1)^3}$$

3-3

$$G(S) = \frac{K}{TS + 1}$$

$$K = \frac{y(\infty) - y(0)}{\Delta P} = 1.8 * 10^{-2}$$

在达到最终值的 63.2%，所对应的时间为  $180 * 63.2\% = 113$

故  $T \approx 5S$

$$G(S) = \frac{1.8 \times 10^{-2}}{5S + 1}$$

## 第四章

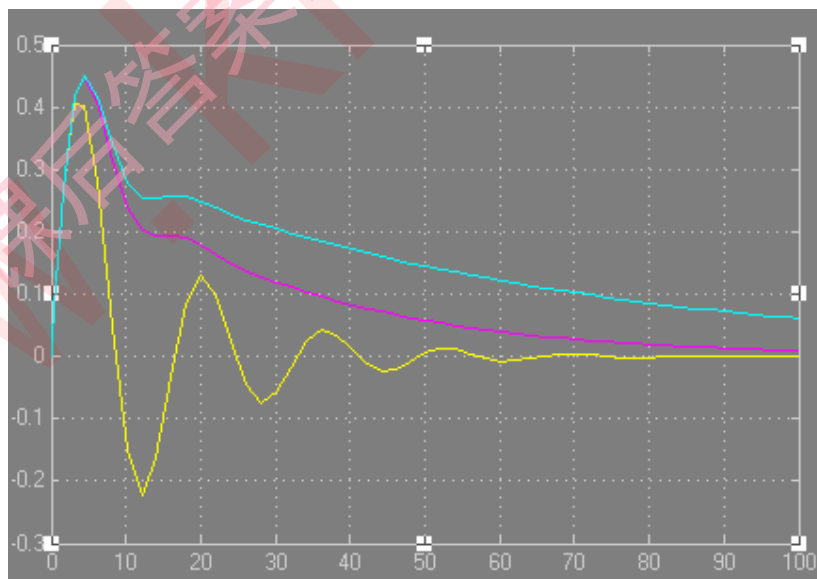
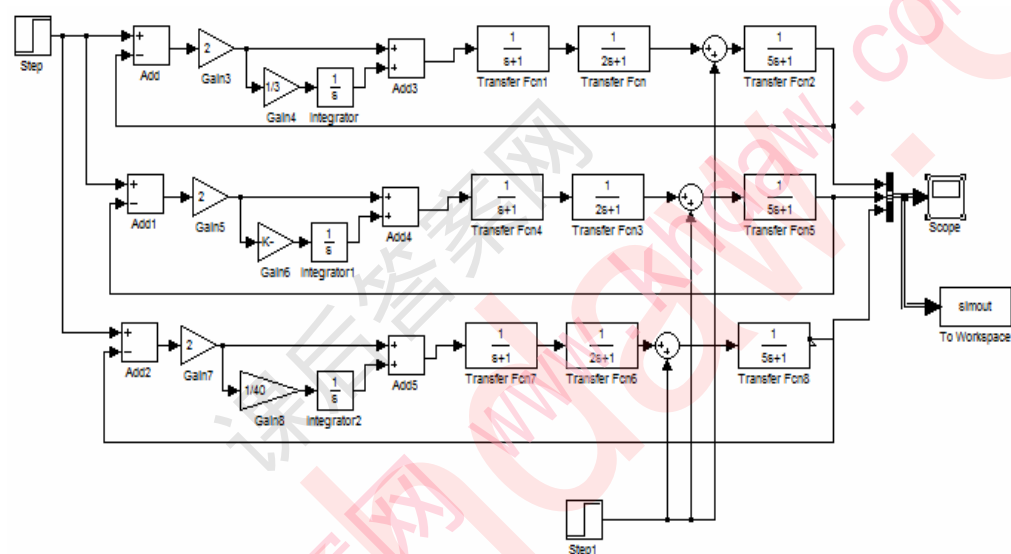
4-1

$$\text{PID 式子中 } u(t) = K_c \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] + u_0$$

$u_0$  为常数，而常数的拉氏变换为 0，故将时域变换为频域时没有这一项。

$u_0$  为控制器的稳态输出，取值根据系统稳定时需要保持的控制阀阀门开度确定。

4-2



1) 上图中，蓝色的积分时间为 3，紫色的为 20，黄色的为 40，由此我们可知在相同的



外界干扰作阶跃变化情况下，随着积分时间减小，最大偏差会增大，震荡不会加剧。

- 2) 由上图可知，为了获得与以前相同的系统稳定性，可适当将  $K_c$  调小，静态环路增益会改变。

#### 4-3

积分饱和：对于一个有积分功能的偏差，控制器的积分作用就会对偏差进行累积来改变控制器的输出。如果这时阀门已达到饱和（已全开或全关），而无法继续进行调节，那么偏差将无法消除。然而由于积分作用，控制器的输出仍在增加直到它达到某个极限值并停留在那里，这种情况成为积分饱和。

由定义可知，发生积分饱和的前提是控制器具有积分功能，控制器的饱和输出极限值要比执行机构的信号范围大。

后果：可能使产品质量不好，对操作人员的安全构成威胁。

#### 4-4

$$K_{c1} = 0.5K_{\max} \quad K_{c2} = 0.4K_{\max} = 0.6K_{c1} \quad K_{c3} = 0.6K_{\max} = 1.2K_{c1}$$

#### 4-5

$$K = \frac{[y(\infty) - y_0] / [y_{\max} - y_0]}{\Delta u / [u_{\max} - u_0]} = \frac{15/100}{0.03} = 5$$

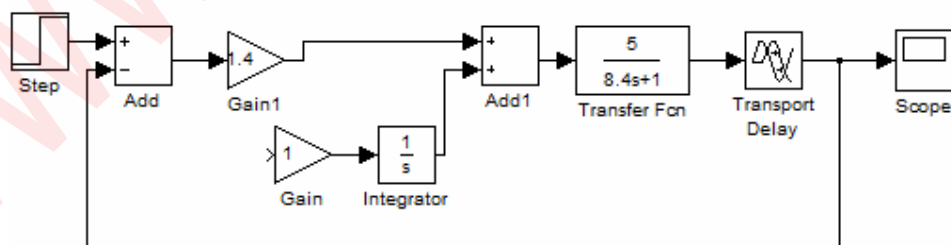
$$y^*(t) = \frac{y(t) - y(0)}{y(\infty) - y(0)}$$

取  $y^*(t_1) = 0.283$  查表得  $t_1 = 5$

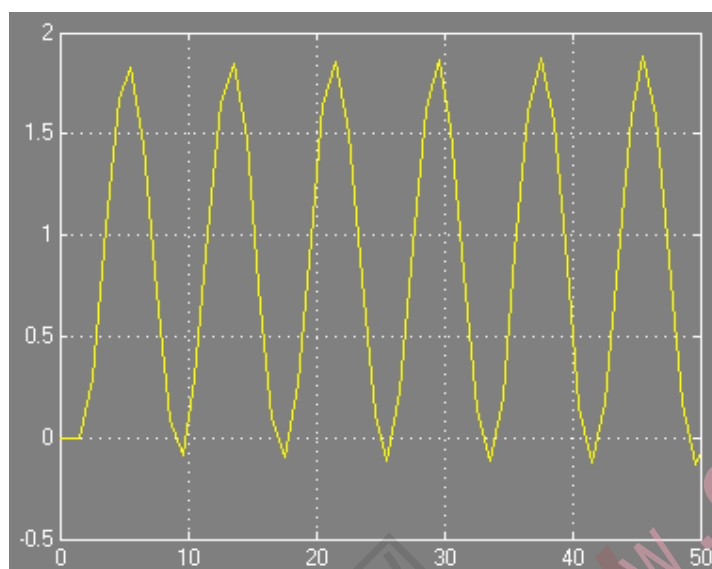
$y^*(t_2) = 0.632$  查表得  $t_2 = 10.6$

$T = 1.5(t_2 - t_1) = 8.4 \quad t = t_2 - t_0 - T = 2.2$

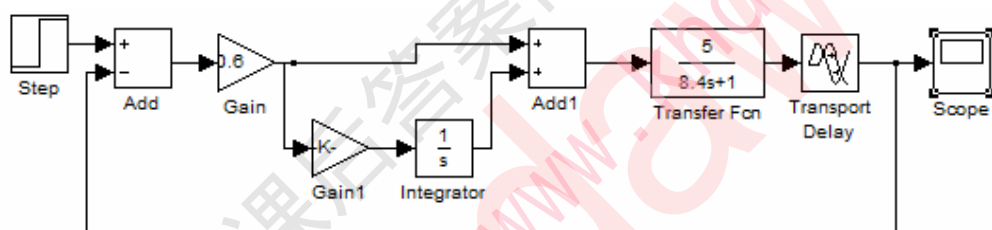
$$G(S) = \frac{5}{8.4S + 1} e^{-2.2s}$$



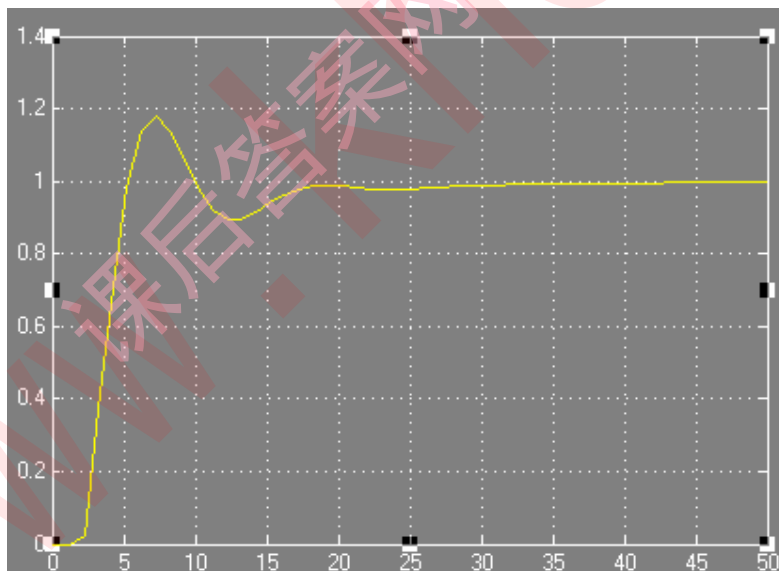
$K_p=1.4$



出现等幅震荡, 而控制器为 PI, 故将  $K_p$  调为 0.6,  $T_i=20$ 。



$K_p=0.6$     $T_i=20$



余差和超调均较小, 比较满意。

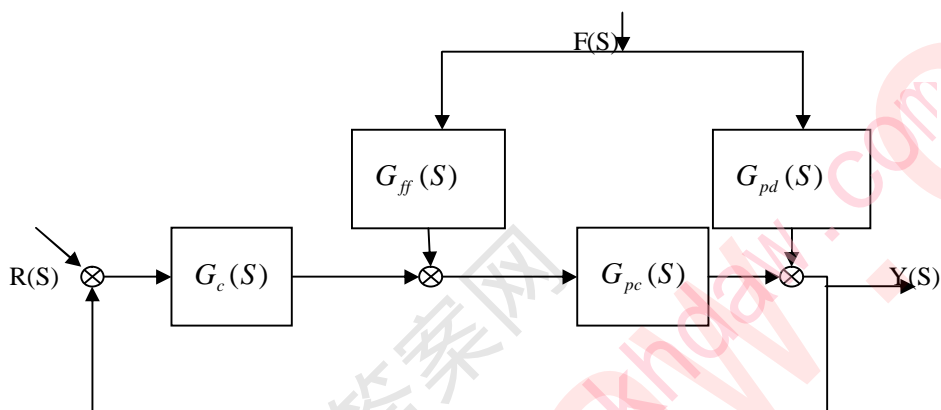
通过用 Matlab 仿真  $K_c=0.6$   $T_i=20$

## 第五章

5-1

用前馈-反馈控制方案

$$G_{ff}(S) = -\frac{G_{pd}(S)}{G_{pc}(S)} = -\frac{5(2S+3)}{S+1}$$

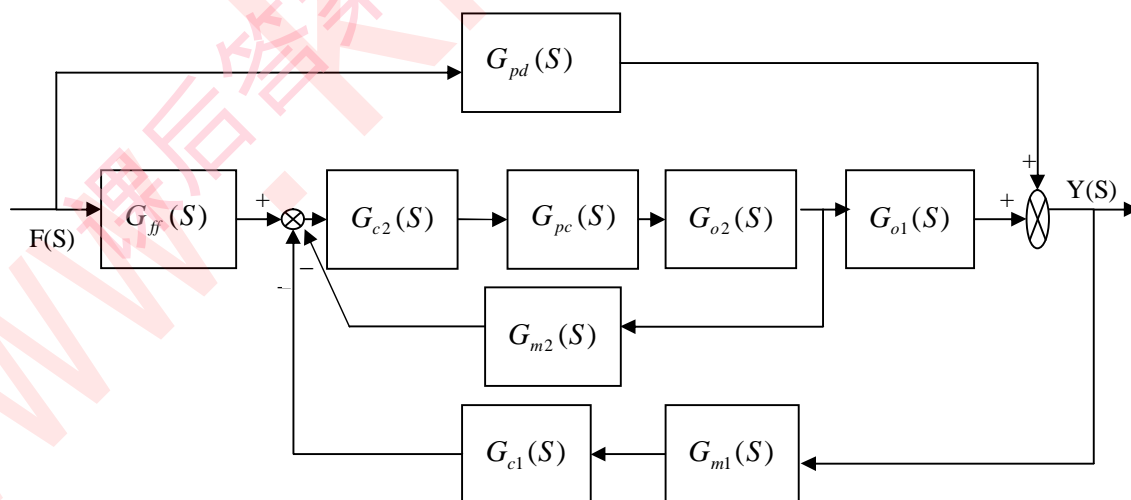


5-2

$$G_{ff}(S) = -\frac{G_{pd}(S)}{G_{pc}(S)} = -\frac{1.05(55S+1)}{0.94(41S+1)} e^{-2s}$$

5-3

1)



2) 由图可得  $\frac{Y(S)}{F(S)} = \frac{G_{pd} + G_{ff}G_{o1}A}{1 + AG_{c1}G_{m1}G_{o1}}$  其中  $A = \frac{G_{c2}G_{pc}G_{o2}}{1 + G_{c2}G_{pc}G_{o2}G_{m2}}$

由不变性原理  $F(S) \neq 0, Y(S)=0$

$$\text{即 } G_{pd} + G_{ff} G_{ol} A = 0$$

$$G_{ff} = -\frac{G_{pd}}{AG_{ol}} = -\frac{0.5/2S+1}{3A/2S+1} \quad A = \frac{9 \times \frac{2}{2S+1}}{1 + 9 \times \frac{2}{2S+1} \times 1} = \frac{18}{2S+19}$$

$$G_{ff} = -\frac{S+9.5}{54}$$

3) 先判断副控制器:

在副回路中, 副对象、副测量变送器为正作用。而控制阀为正作用, 故副控制器为负作用。

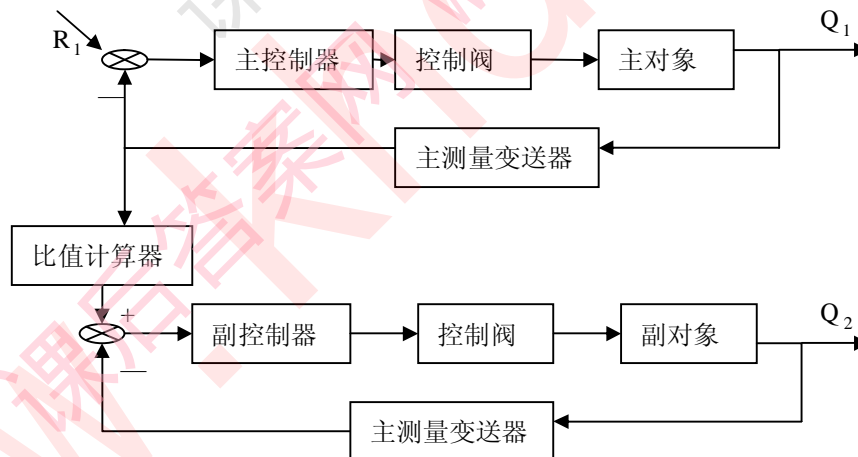
然后判断前馈控制器, 它是消除扰动对被控变量的影响, 故为负作用。

再判断主控制器, 在主回路中, 主对象、主测量变送器、副回路为正作用, 故主控制器为正作用。

5-4

$$K = \frac{q_2/q_{2\max}}{q_1/q_{1\max}} = \frac{25}{21}$$

若采用相除形式的方案时,  $K$  应在 0.5~0.8 之间, 而  $K>1$ , 故采用相乘形式。



5-5

由题知  $k=0.4$  A 作主流量, B 作副流量

$$K = k \frac{Q_{A\max}}{Q_{B\max}} = 1.6$$

若采用相除形式的方案时,  $K$  应在 0.5~0.8 之间, 而  $K>1$ , 故采用相乘形式。

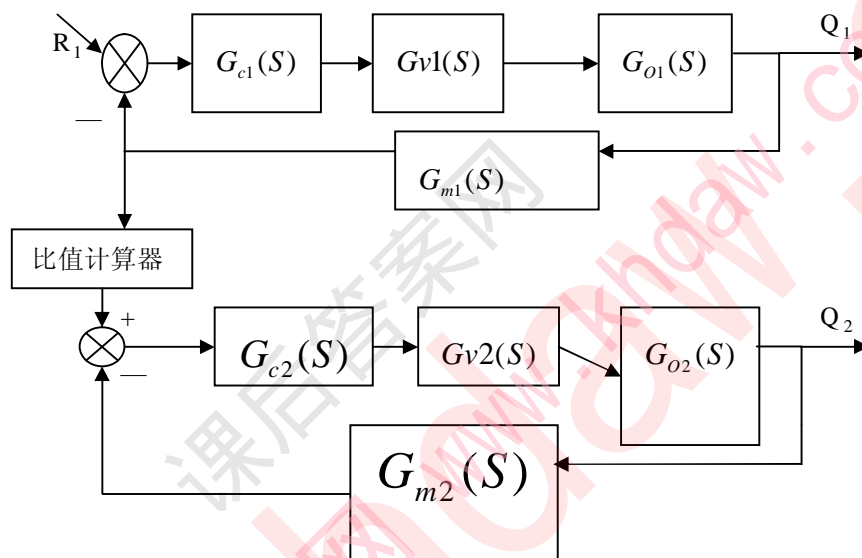
5-6

$$2) I_0=18 \quad \text{则} \quad K = \frac{18-4}{20-4} = 7/8$$

$$K=k \times \frac{Q_{1\max}}{Q_{2\max}} = k \times \frac{7000}{4000} \quad \text{所以} \quad k=0.5$$

$$3) \quad K = \frac{I_2 - 4}{I_1 - 4} = 7/8 \quad I_2 = 9.25 \text{Ma}$$

1)



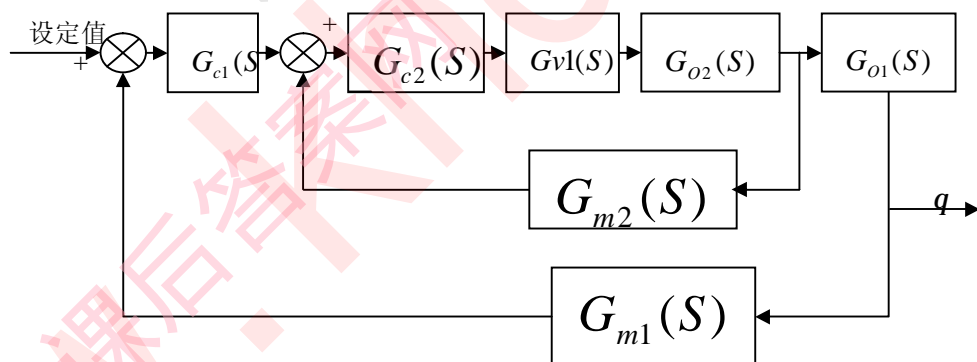
## 第六章

6-1

- 1) 副控制器正反作用改变,主控制器正反作用不变。阀门是副回路中的执行器,在主回路中,副回路作为一个整体为正作用,故执行器的改变对主回路无影响,主控制器正反作用不变。在副回路中,执行器由气开阀变为气关阀,正反作用改变。而正反作用的选择是使系统成为负反馈系统,而副回路中除副控制器外其余正反作用不变。故副控制器正反作用改变。
- 2) 要改变,副控制器的输出是去改变阀门,比例度要增加,而积分时间要减小。口径变大相当于控制通道放大倍数增加,此时若比例度和积分时间不变则控制系统的开环放大倍数增大,系统的余差会减小,但是系统会变得不稳定。对于一个不稳定的系统谈余差是没有意义的。所以首先要保持系统的稳定性,那么要减小控制器放大倍数,即增大比例度。此时余差肯定会变大,因此要加强积分作用,即减小积分时间,消除余差。
- 3) 主控制器的比例度和积分时间不改变。由于串级系统对副对象和控制阀特性的变化具有较好的鲁棒性,即副对象和控制阀特性的变化不会影响主控制器。

6-2

- 1) 最合适的副变量选择 $q_2$ ,它离第四个储罐较远,可以防止副变量与主变量发生共振。而且它包含更多的干扰。
- 2)



- 3) 副控制器的选择与主回路无关,而测量变送器,副对象均为正作用,调节阀为正作用,故副控制器为负作用,主控制器与主对象正反作用相反。而主对象为正作用,故主控制器为负作用。

6-3

应该把下面那个采用串级控制系统,首先是因为干扰通道时间常数为 0.2,对被控变量的影响相当大。其次副回路中包含的纯滞后时间很小,有利于提高副回路的快速性。上面那个途中的副回路包含大惯性环节,且控制通道没有延时,干扰量影响到副变量的时候,很快影响到主控变量,而由于大惯性环节,副回路还来不及处理干扰。

图同上图

6-4

6-5

**结构上:**

串级控制: 内外两个反馈回路组成

前馈-反馈控制: 一个反馈和一个开环的补偿回路叠加而成

**变量上:** (串级控制的副参数与前馈-反馈控制的前馈输入量是两个截然不同的变量)

前者是串级控制系统中反映主被控变量的中间变量, 控制作用对他产生明显的调节效果;

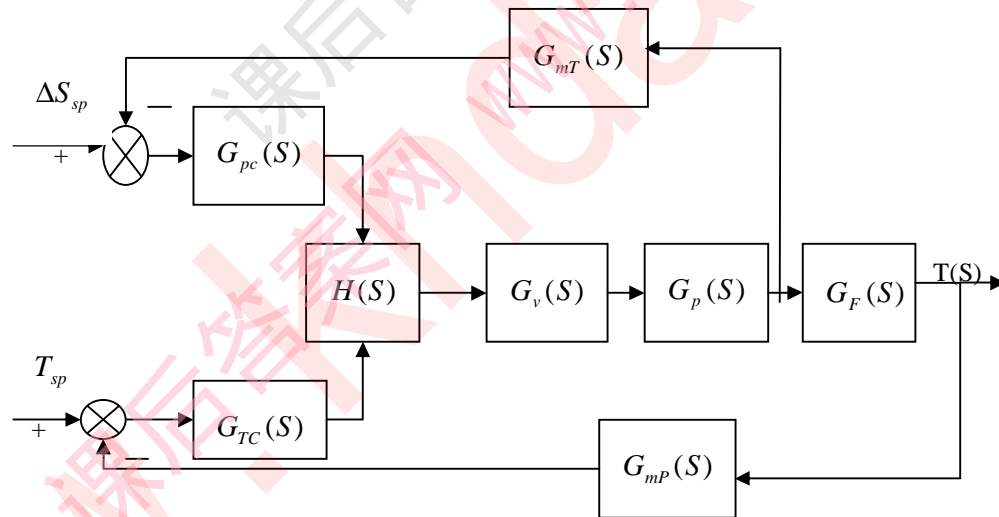
后者是对主被控变量有显著影响的干扰量, 是完全不受控制作用约束的独立变量, 引入前馈的目的是为了补偿原料油流量对炉出口温度的影响。

**功能上:**

前馈控制器与串级控制的副控制器担负不同的功能。

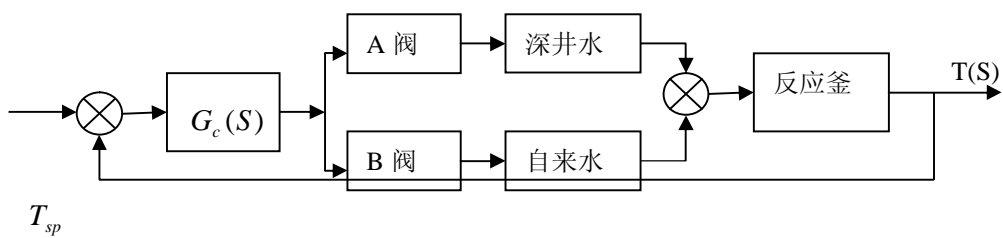
6-6

6-7



由题知, 控制阀为气开阀, 故为正作用。蒸汽流量增加, 温度升高, 塔底压力增加, 故压力差减小。因此,  $G_p(S)$  为反作用, 而  $G_p(S)$  为正作用。由单回路控制系统的控制器选择可知,  $G_{pc}(S)$ 、 $G_{TC}(S)$  为正作用。当压力差超过设定值, 而  $G_{pc}(S)$  为正作用, 故控制器输出信号增加, 该信号增加后, 要求在选择器中被选中, 显然改选择器应为高值选择器。

6-8



由题意可知 A 阀、B 阀均为气开阀，即为正作用，自来水和深井水两个对象的特性均为反作用（通入自来水或深井水，被控变量温度会降低），再由单回路控制系统的控制器选择可知，控制器为反作用。

教材：《过程控制工程》（第二版），王树青，戴连奎，于玲，化学工业出版社，2008