2.1

被控过程特性：被控过程不同，其过程的特性也不同。一般可以划分为自衡（Self-regulating) 特性与无
自衡（Non-self-regulating)特性、单容特性与多容特性、振荡与非振荡特性等。
以被控过程的阶跃响应将典型的工业过程动态特性分为：

1. 自衡的非振荡过程
2. 无自衡的非振荡过程
3. 自衡的振荡过程
4. 具有反向特性的过程

被控过程的数学模型：被控过程的数学模型是描述过程的输入变量与输出变量之间的定量关系。输入变量包括作用于过程的控制作用和干扰作用;输出变量为过程的被控变量。输入变量到输出变量的信号联系称为通道。其中，控制作用到输出变量的信号联系为控制通道;干扰作用到输出变量的信号联系为干扰通道。

建立过程数学模型的基本方法主要有三种:解析法、实检辨识法和混合法

2.3

（1）微分方程组：

$$\Delta q_1 - \Delta q_2 - \Delta q_3 = C\frac{\mathrm{d}\Delta \mathrm{h}}{dt}$$

$$\Delta q_2 = \frac{\triangle \mathrm{h}}{R_2}$$

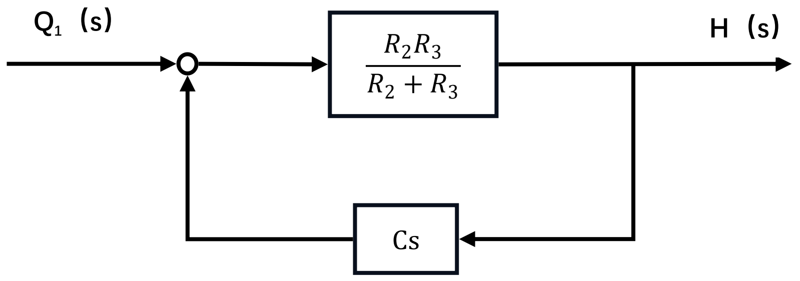
$$\Delta q_3 = \frac{\triangle \mathrm{h}}{R_3}$$

令 $R = \frac{R_2R_3}{R_2+R_3}$

得 $R\Delta q_1 = CR\frac{\mathrm{d}\triangle \mathrm{h}}{\mathrm{dt}} + \Delta h$

$$RQ(s) = CRsH(s) + H(s)$$

（2）过程框图：



（3）传递函数 $G(s) = \frac{H(s)}{Q_1(s)} = \frac{1}{CS+\frac{1}{R_2+R_3}}$

2.8

（1） 微分方程组:

$$\Delta q_1 - \Delta q_2 - \Delta q_{12} = C_1 \frac{\mathrm{d}\Delta \mathrm{h}_1}{dt}$$

$$\Delta q_1 - \Delta q_2 - \Delta q_3 = C_2 \frac{\mathrm{d}\Delta \mathrm{h}_2}{dt}$$

$$\Delta q_{12} = \frac{\Delta \mathrm{h}_1 - \Delta \mathrm{h}_2}{R_{12}}$$

$$\Delta q_2 = \frac{\Delta \mathrm{h}_1}{R_2}$$

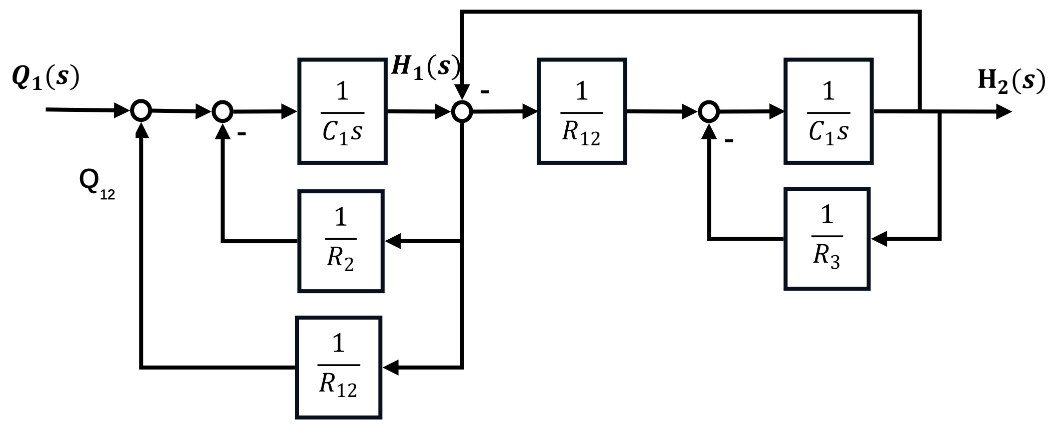
$$\Delta q_3 = \frac{\Delta \mathrm{h}_2}{R_3}$$

拉普拉斯变换得:

$$C_1 s\mathrm{H}_1(s) = Q_1 - \frac{\mathrm{H}_1 - \mathrm{H}_2}{R_{12}} - \frac{\mathrm{H}_2}{R_3}$$

$$C_2 s\mathrm{H}_2(s) = Q_{12} - Q_3 = \frac{H_1 - \mathrm{H}_2}{R_{12}} - \frac{\mathrm{H}_2}{R_3}$$

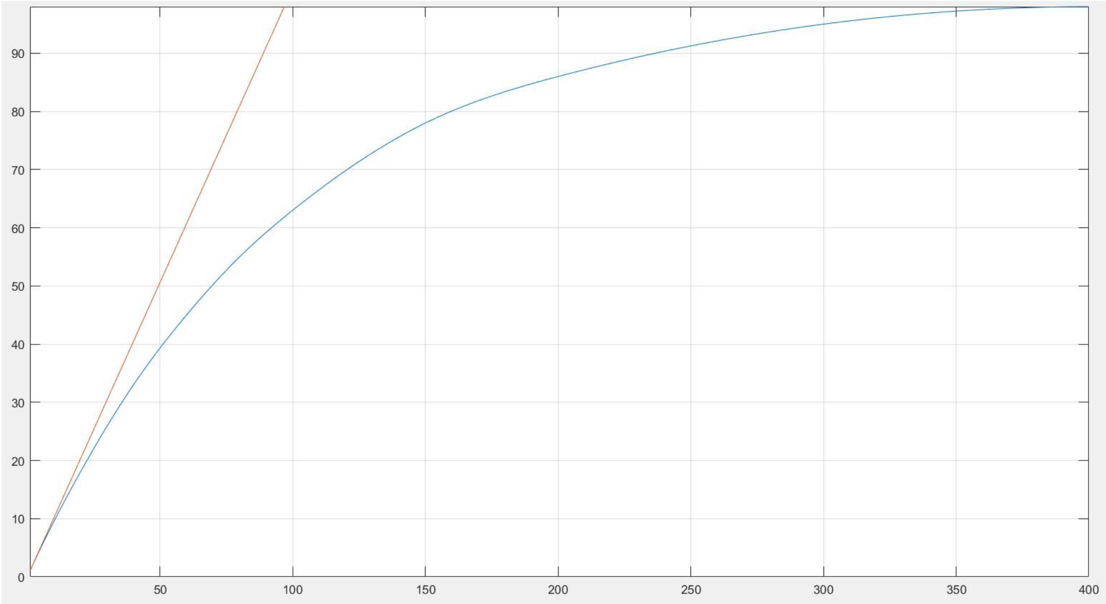
（2） 过程框图:



（3）传递函数 $G_0(s) = \frac{H_0(s)}{Q_1(s)} = \frac{R_2R_3}{C_1C_2R_2R_3R_{12}s^2+(C_2R_2R_3+C_2R_{12}R_3+C_1R_{12}R_2+C_1R_2R_3)s+R_{12}+R_2+R_3}$

2.9

(1)用 matlab 作图得:




```
tao =

     0


T =

    97
```

运行结果:

(2)根据作图法，在拐点处作切线,确定 T 与τ

一阶惯性环节:

$$y(t) = K_0 x_0 (1 - e^{-\frac{t}{T_0}})$$
$$x_0 = 0.1 \times 98 = 9.8$$

静态增益:

$$K = \frac{y(\infty)}{x_0} = 10$$
$$y\left(\frac{1}{2}T_0\right) = 39\% y(\infty) = 38.22$$
$$y(T_0) = 63\% y(\infty) = 61.78$$
$$y(T_0) = 86.5\% y(\infty) = 84.77$$

时间常数:

$$\mathrm{T}_0 = 97\ \mathrm{s},\ \tau = 0$$

Matlab 程序:

```
clc
%根据实验数据作平滑曲线
step=0.5;
t0=[0 10 20 40 60 80 100 150 200 300 400];
h0=[0 9.5 18 33 45 55 63 78 86 95 98];
t=0:step:max(t0);
h=interp1(t0,h0,t,'spline');
figure(1)
plot(t0,h0, 'r',t,h,'b-');
grid on;
legend(['实验数据'],['平滑曲线'])
    %在拐点处作切线, 求出 T 和 t
l=length(h);
for i=1:1:l-1
    dht(i)=(h(i+1)- h(i))/(t(i+1)- t(i));
end
[max_var,max_i]=max(dht);
interval=1;
rang=400;
max_y=98;
max_x=rang;
slop=max_var;
t0=t(max_i);
h0=h(max_i);
fx=1:interval:rang;
temp_i=0;
for i=1:interval:rang
    temp(i)=h0+slop*(i-t0);
    if(temp(i)>max_y)
        break;
    end
    if(i>2 && temp(i)>0 && temp(i-1)<0)
        temp_i=i;
    end
end
figure(2)
t2=t;
h2=h0+slop*(t2-t0);
plot(t,h,t2,h2)
tao=temp_i
T=length(temp)-tao
axis([1,400,0,max_y]);
grid on
```

2.11

放大系数:

$$K_0 = \frac{T(\infty) - T(0)}{\Delta q} = \frac{55 - 50}{30 - 20} = 0.5$$

时间常数:

$$T_0 = \frac{t_2 - t_1}{In[1 - y_0(t_1)] - In[1 - y_0(t_2)]} = 2.5$$

纯滞后:

$$\tau_0 = \frac{t_2 In[1 - y_0\,(t_1)] - t_1 In[1 - y_0\,(t_2)]}{In[1 - y_0(t_1)] - In[1 - y_0(t_2)]} = 1$$

数学模型:

$$q(t) = \begin{cases} 20, \ t < 0 \\ 30, \ t \geq 0 \end{cases}$$

阶跃响应:

$$T(\infty) = 55$$
$$T(0) = 50$$
$$T_0(t) = \frac{T(t) - T(0)}{T(\infty) - T(0)} = \frac{T(t) - T(0)}{K_0 \Delta q}$$
$$T(t) = 5T_0(t) + 50$$

$$T_0(t) = \begin{cases} 0, \ t < \tau \\ 1 - e^{-\frac{t-\tau_0}{T_0}}, \ t \geq \tau \end{cases}$$

即:

$$T_0(t) = \begin{cases} 0, \ t < 1 \\ 1 - e^{-\frac{t-1}{2.5}}, \ t \geq 1 \end{cases}$$

$$T(t) = \begin{cases} 50, \ t < 1 \\ 50 + 5(1 - e^{-\frac{t-1}{2.5}}), \ t \geq 1 \end{cases}$$