

# 基于单容水箱的预测控制算法仿真

自 61

张嘉玮

2016011528

2019 年 6 月 25 日

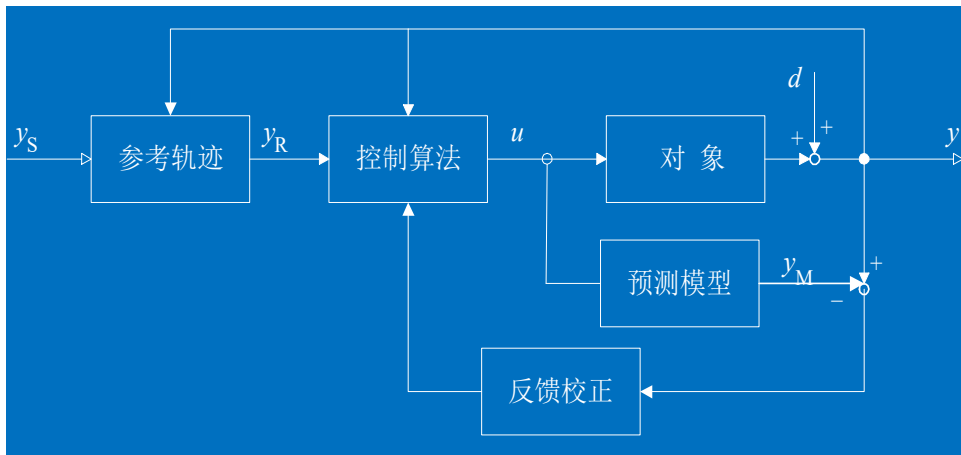
## 目录

1. 算法描述.....	4
2. 单容水槽的预测控制.....	5
(1) 建模.....	5
(2) 仿真.....	6
(3) 基于单位阶跃模型的预测控制.....	7
① 仿真.....	7
② 对预测步长 $P$ 的探究.....	9
③ 对控制步长 $M$ 的探究.....	11
(4) 基于状态空间模型的预测控制.....	13
① 仿真.....	13
② 对预测步长 $P$ 的探究.....	15
③ 控制步长 $M$ 的探究.....	16
3. 单容积分水槽的预测控制.....	18
(1) 建模.....	18
(2) 仿真.....	18
(3) 基于单位阶跃模型的预测控制.....	19
(4) 基于状态空间模型的预测控制.....	20
4. 比较分析.....	21
5. 总结.....	22
6. 参考文献.....	22
[1]. 过程控制系统 黄德先、王京春、金以慧.....	22
[2]. 基于 MATLAB 的预测控制系统设计 魏源.....	22
[3]. 基于状态空间模型的广义预测控制快速算法 梁晓明.....	22
[4]. 课件 黄德先.....	22
7. 附录【代码】.....	22
(1) 单容、基于阶跃响应.....	22
(2) 单容、基于阶跃响应、对 $P$ 的探究.....	24
(3) 单容、基于阶跃响应、对 $M$ 的探究.....	26
(4) 单容、基于状态空间.....	29
(5) 单容、基于状态空间、对 $P$ 的探究.....	30
(6) 单容、基于状态空间、对 $M$ 的探究.....	31
(7) 单容积分、基于阶跃响应.....	33
(8) 单容积分、基于状态空间.....	34

## 1. 算法描述

本次仿真实验采用先进控制算法之预测控制对水箱进行控制和仿真实验。

算法的原理老师上课已经进行了详细的简述，这里不再赘述，其基本的环节如下图所示。



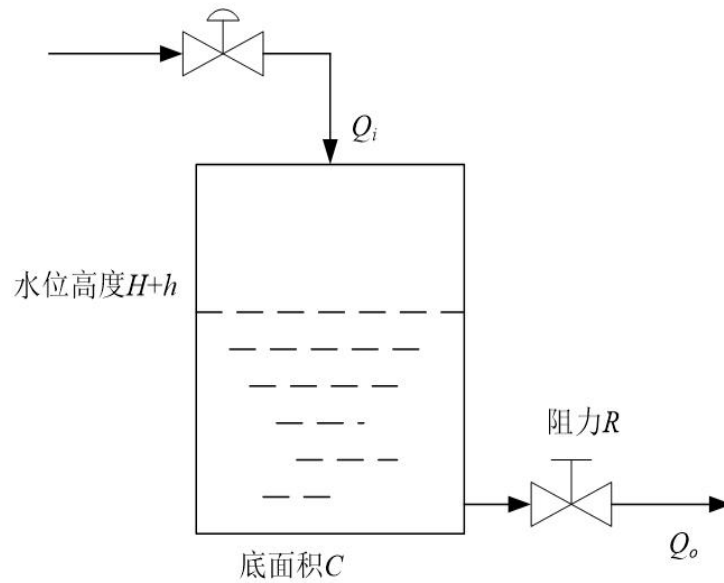
图：黄老师预测控制讲义第 30 页

预测控制算法主要通过模型预测，反馈校正以及滚动优化三个步骤进行预测控制，使得模型输出能在预期的轨迹上运行。

该算法具有较好的鲁棒性，能够适应延迟、非最小相位等那难于控制的系统。

## 2. 单容水槽的预测控制

### (1) 建模



该模型是单容对象，根据书上的结论，可对稳定值附近变化的系统进行局部线性近似，

则：

$$C \frac{dh}{dt} = Q_i - Q_o$$

$$C \frac{dh}{dt} = Q_i - \frac{H}{R}$$

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{R}{CRs + 1}$$

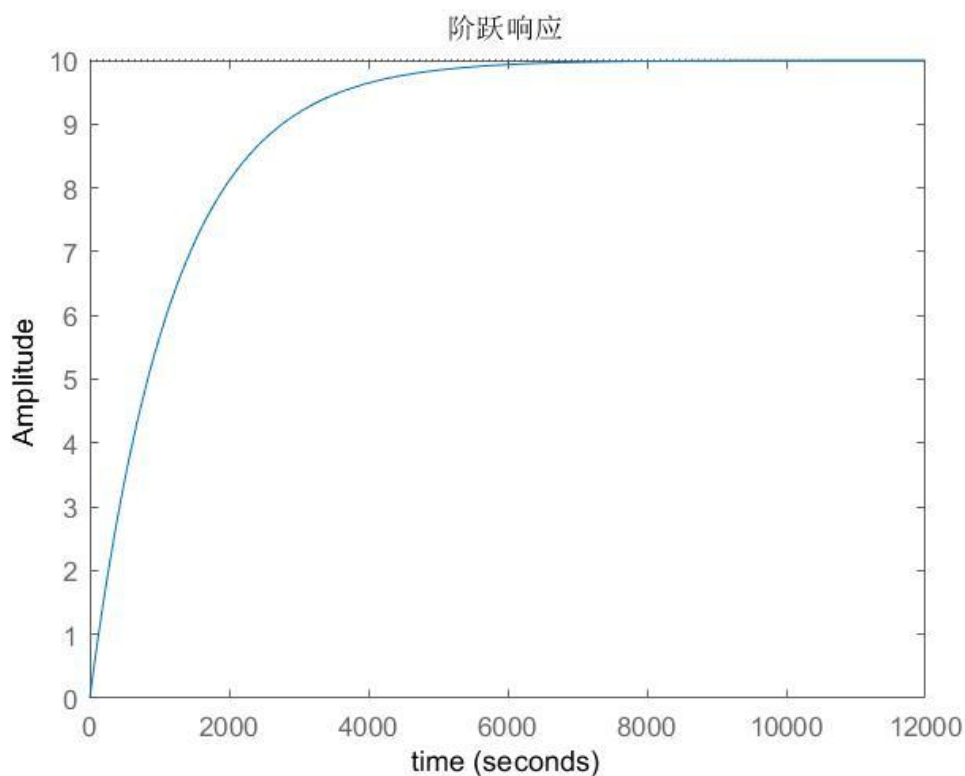
带入数据：

$$C \frac{dh}{dt} = Q_i - Q_o$$

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{10}{1200s + 1}$$

## (2) 仿真

上述阶跃模型的输出响应如下所示：



可见，由于模型时间常数大，系统的过渡过程时间大。

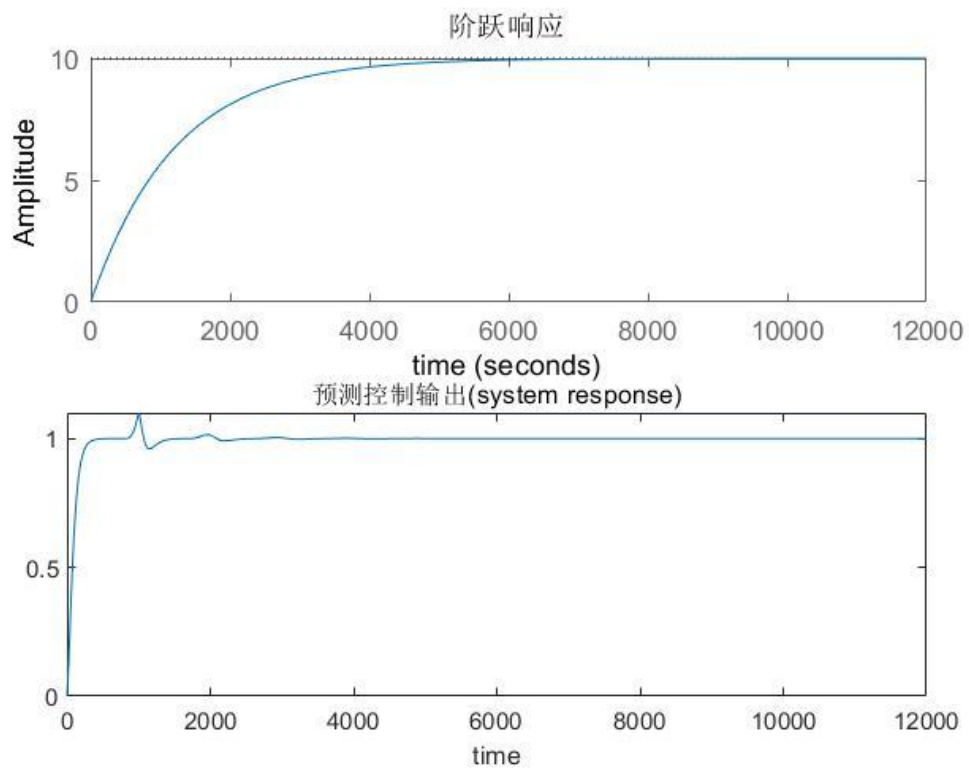
## (3) 基于单位阶跃模型的预测控制

本小节首先对预测控制进行仿真，其次对预测控制的两个主要参数  $P$  和  $M$  进行控制探究，以比较不同参数对预测控制效果的影响。

### ① 仿真

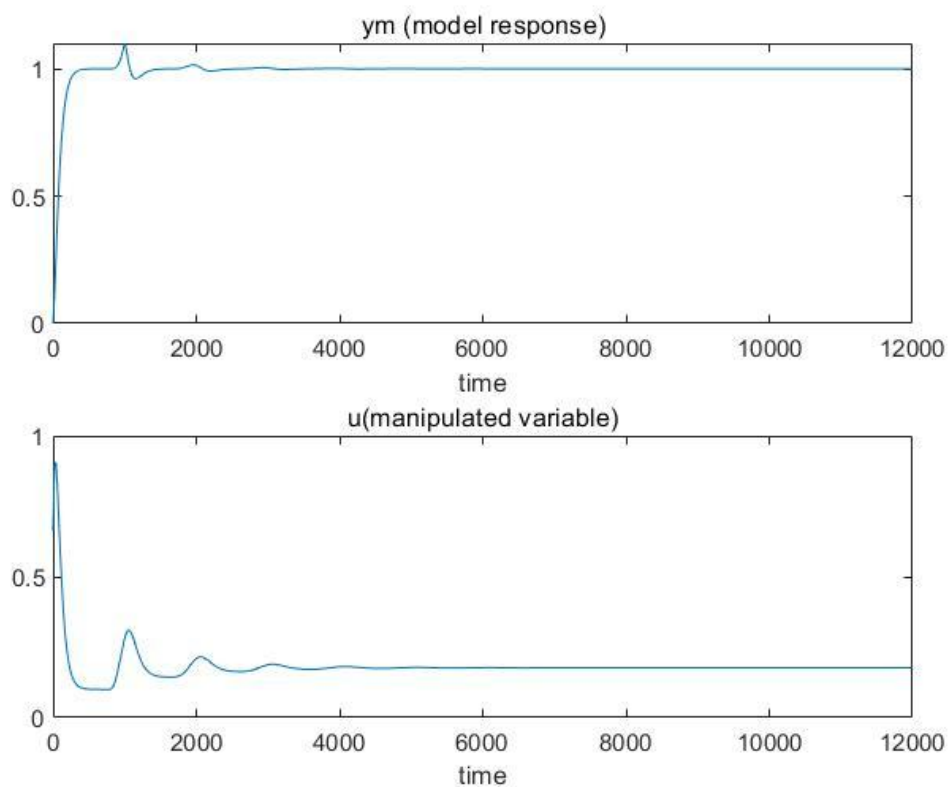
根据阶跃响应的输出进行预测控制。而为了便于比较，选用的期望输出也设为阶跃输出，进行预测控制。

其中，采样周期为 20，预测步长为 10，控制步长为 2。仿真结果如下：



可见，在预测控制求得的输出作为输入的控制下，系统输出能够较好的接近阶跃响应。

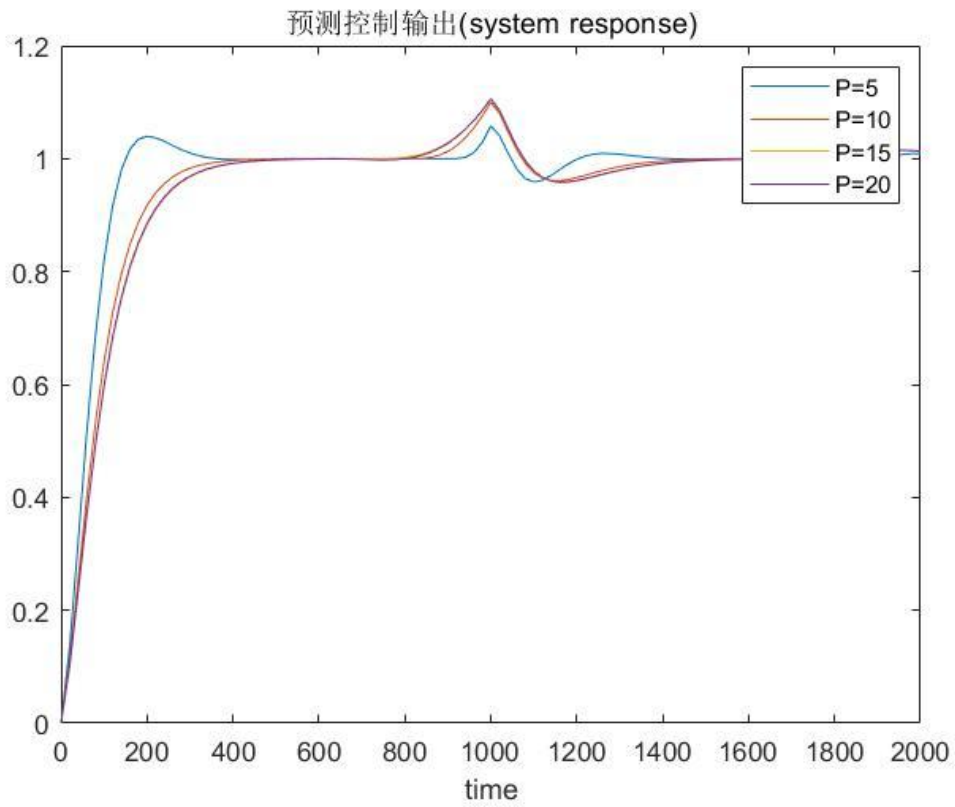
对应的预测输出和输入如下图所示：



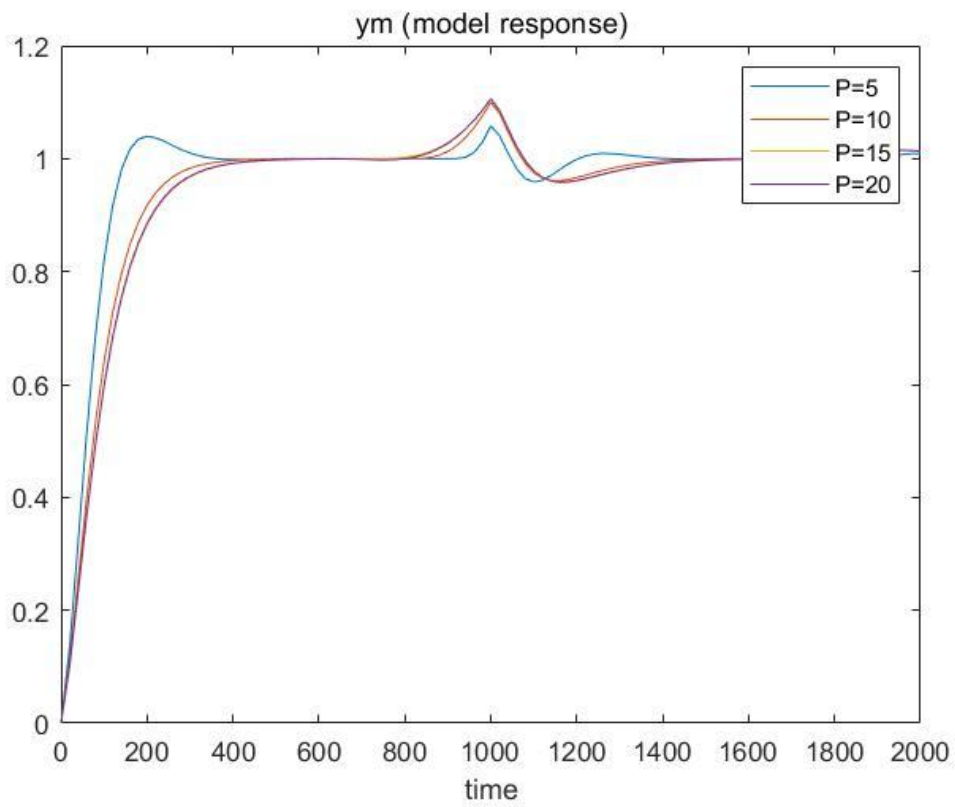
② 对预测步长  $P$  的探究

分别取预测步长为 5,10,15,20, 进行仿真:

不同  $P$  的预测结果:

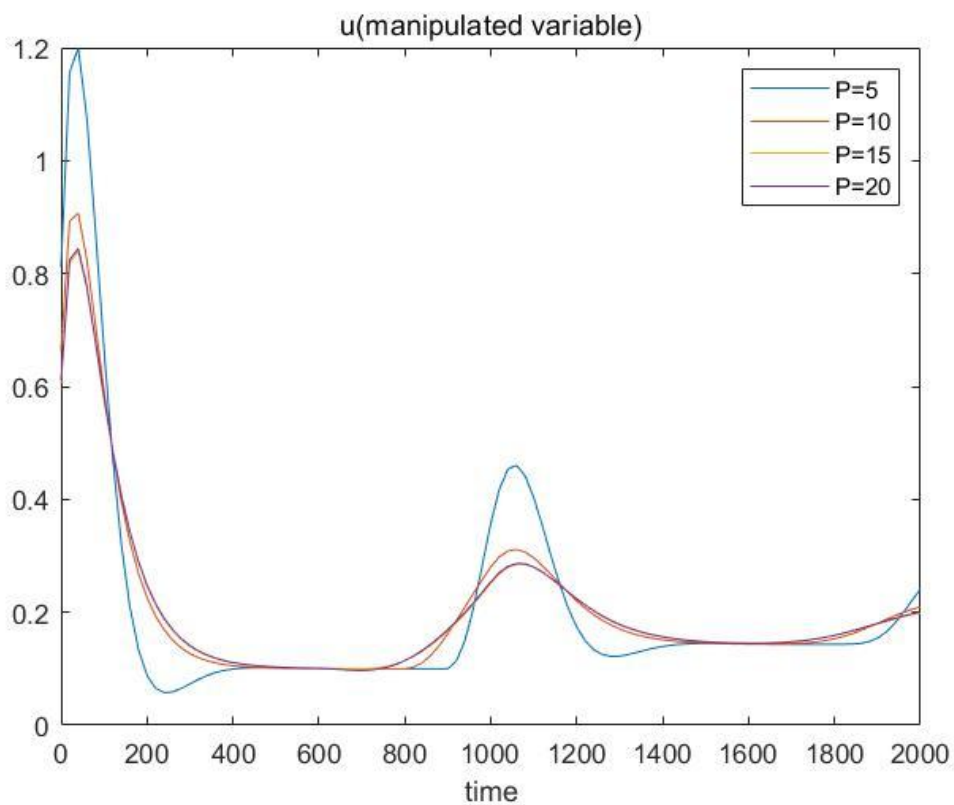


预测输出：



对应的输出变化：



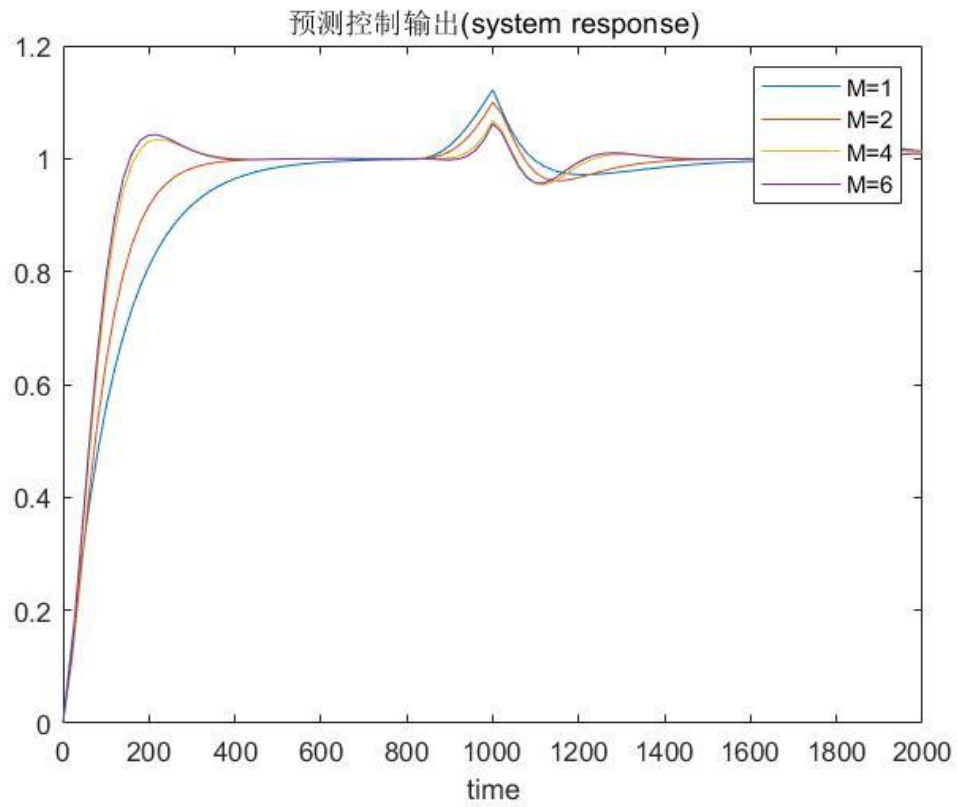


观察不同的预测步长  $P$  对应的输出，不难看出， $P$  越大，输出的稳定性越好，但是  $P$  越大，导致系统过渡时间较长。同时也可以看出  $P=15$  和  $P=20$  基本重合，即为了稳定性，并不是  $P$  越大越好，同时为了快速性，过小的  $P$  导致系统出现波动。

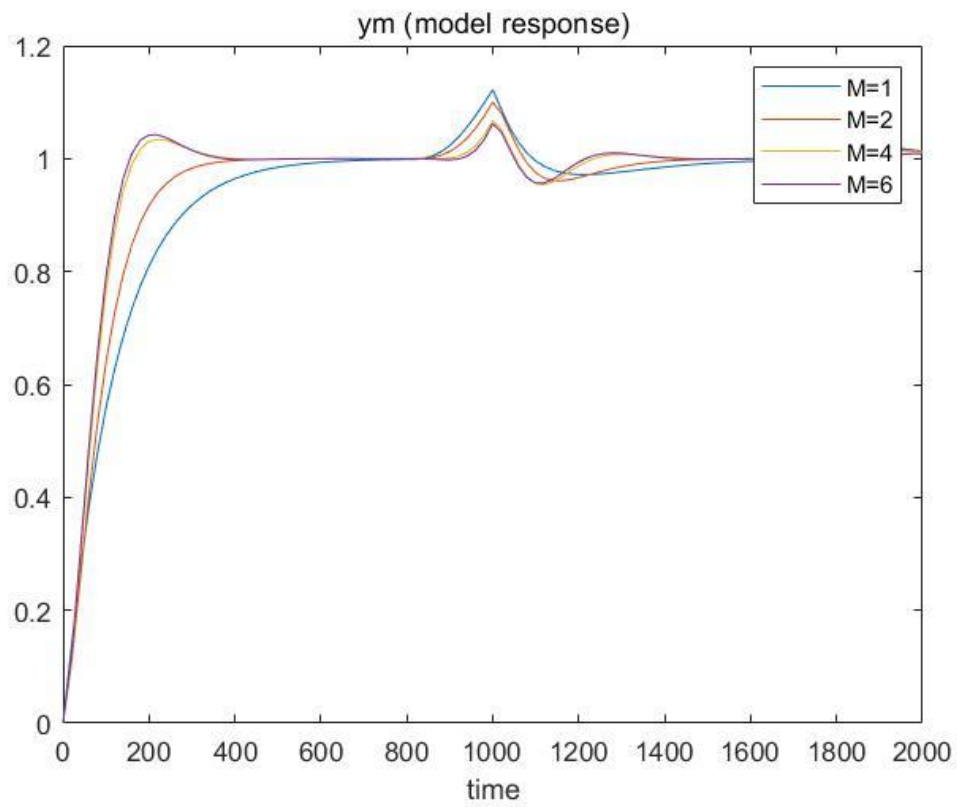
### ③ 对控制步长 $M$ 的探究

分别取控制步长为：1,2,4,6

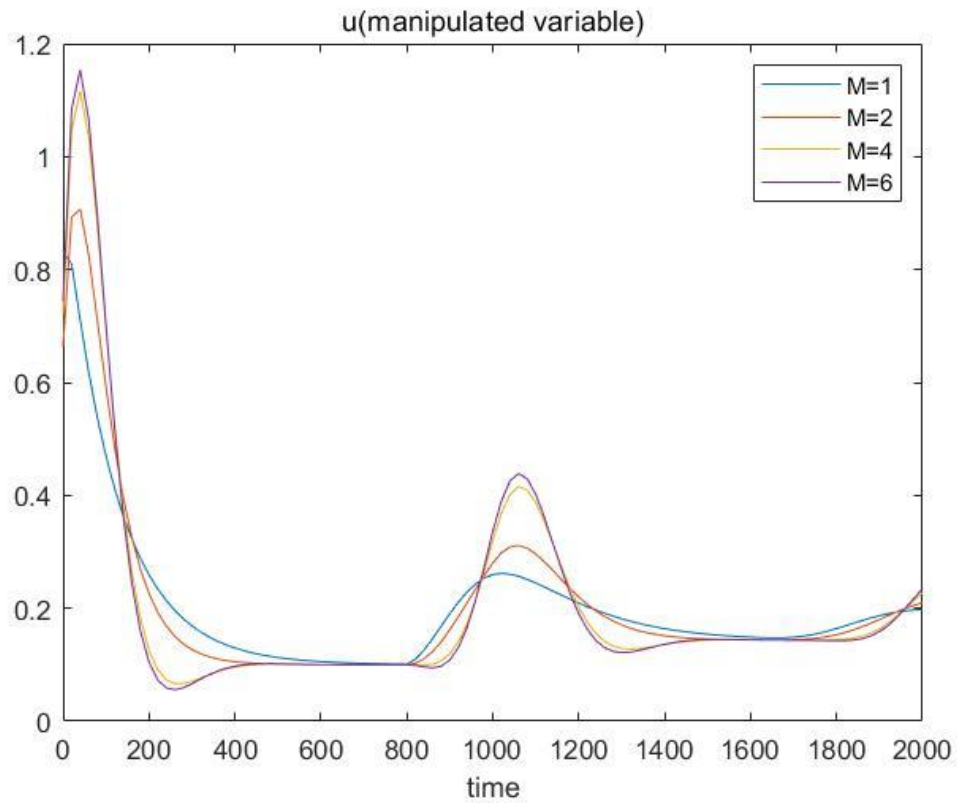
不同  $M$  的预测控制结果如下：



预测输出：



对应的输入：

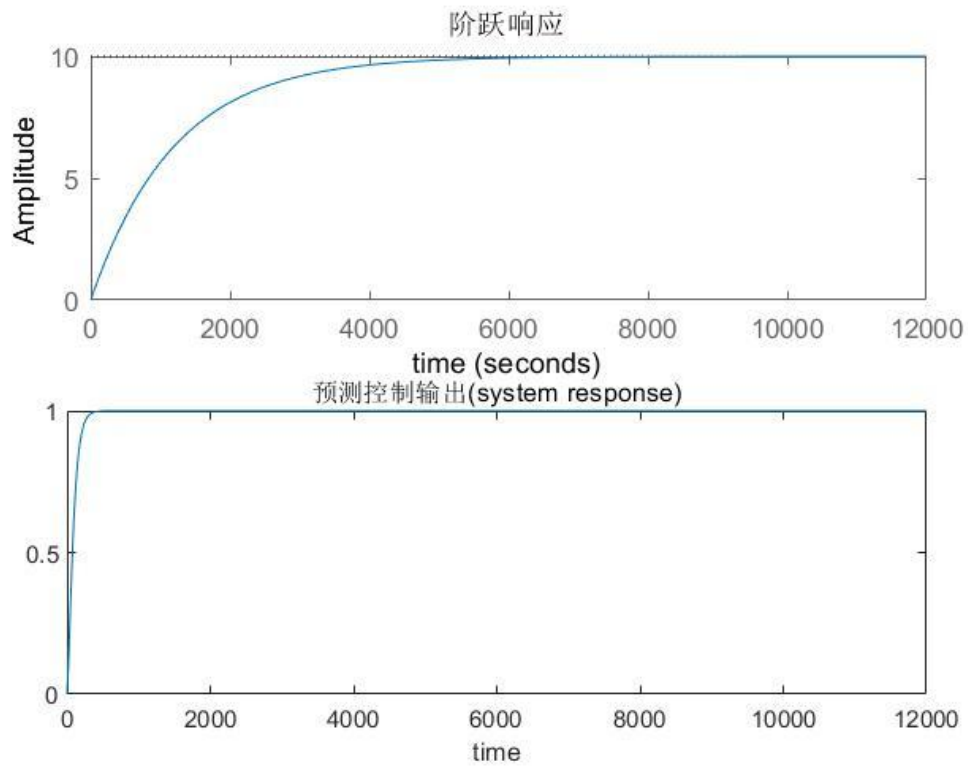


由图可知， $M$  越大，速度越快，但会出现波动，且输出的变化幅值也较大。

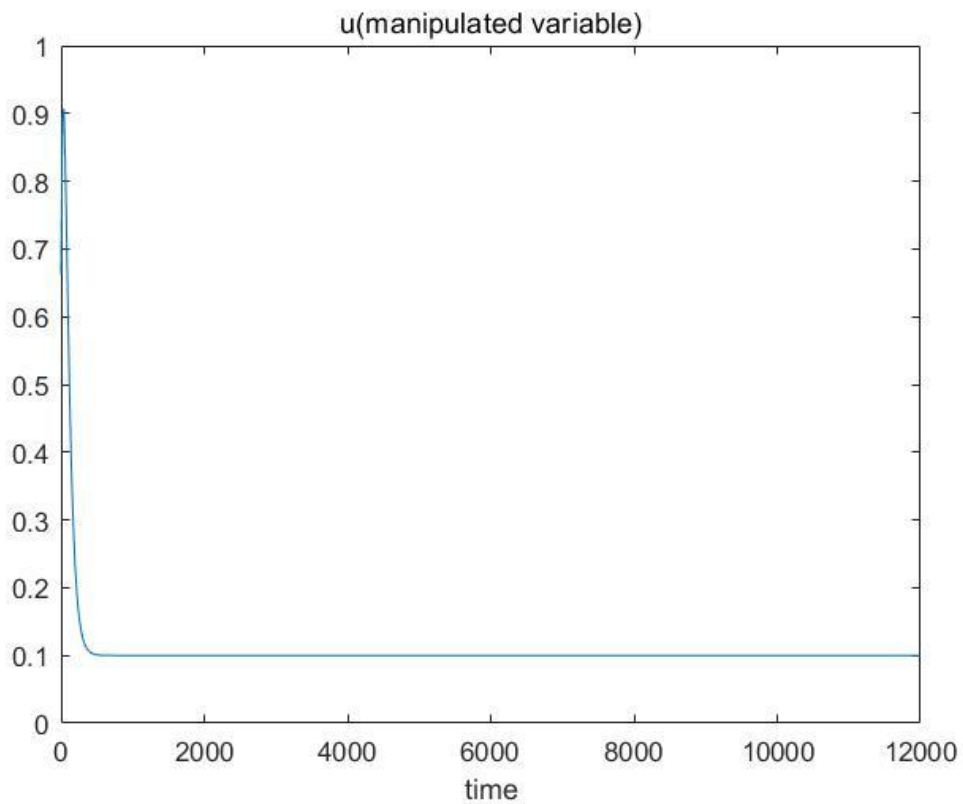
#### (4) 基于状态空间模型的预测控制

##### ① 仿真

实际输出与预测控制输出：



对应的输入:

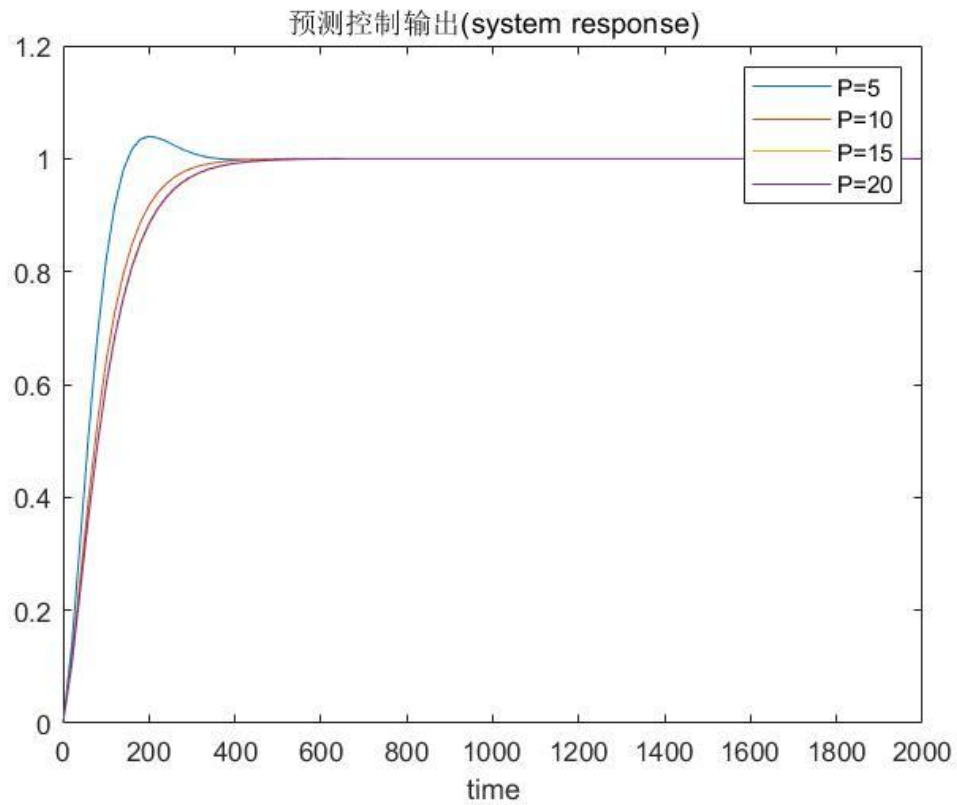


基于状态空间的预测控制没有出现明显的波动。

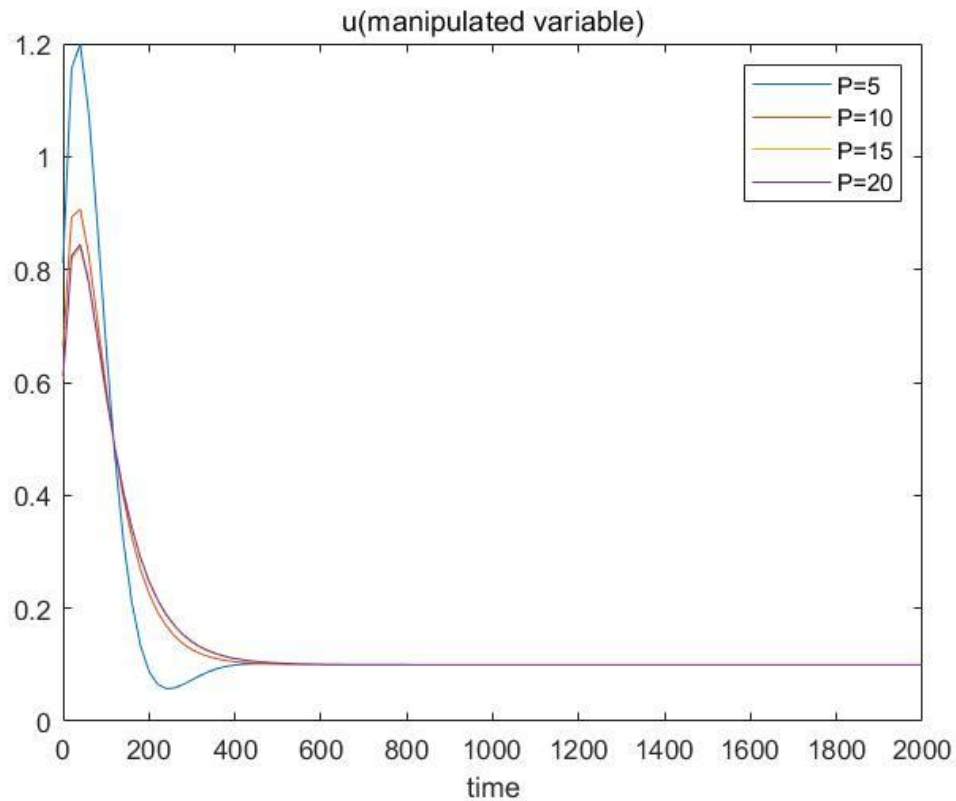
② 对预测步长  $P$  的探究

分别取预测步长为 5,10,15,20, 进行仿真:

不同  $P$  的预测结果:



对应的输入:



不同  $P$  对预测控制的影响同基于阶跃响应的模型。

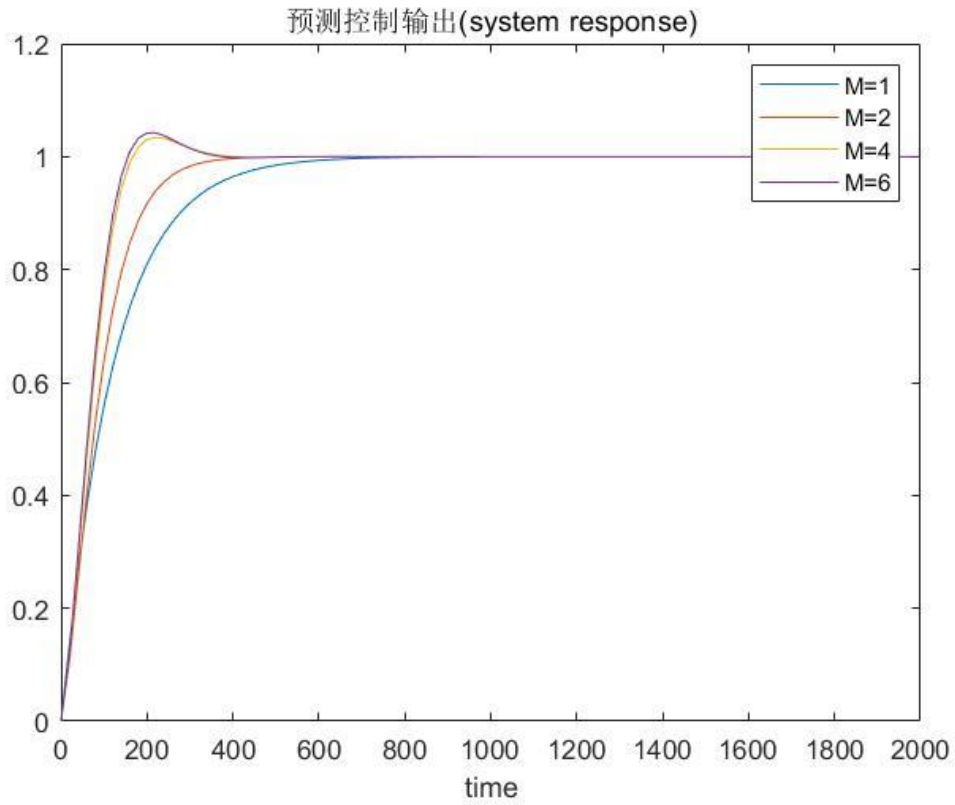
$P$  越大，输出的稳定性越好，但是  $P$  越大，导致系统过渡时间较长。

同时也可以看出  $P=15$  和  $P=20$  基本重合，即为了稳定性，并不是  $P$  越大越好，同时为了快速性，过小的  $P$  导致系统出现波动。

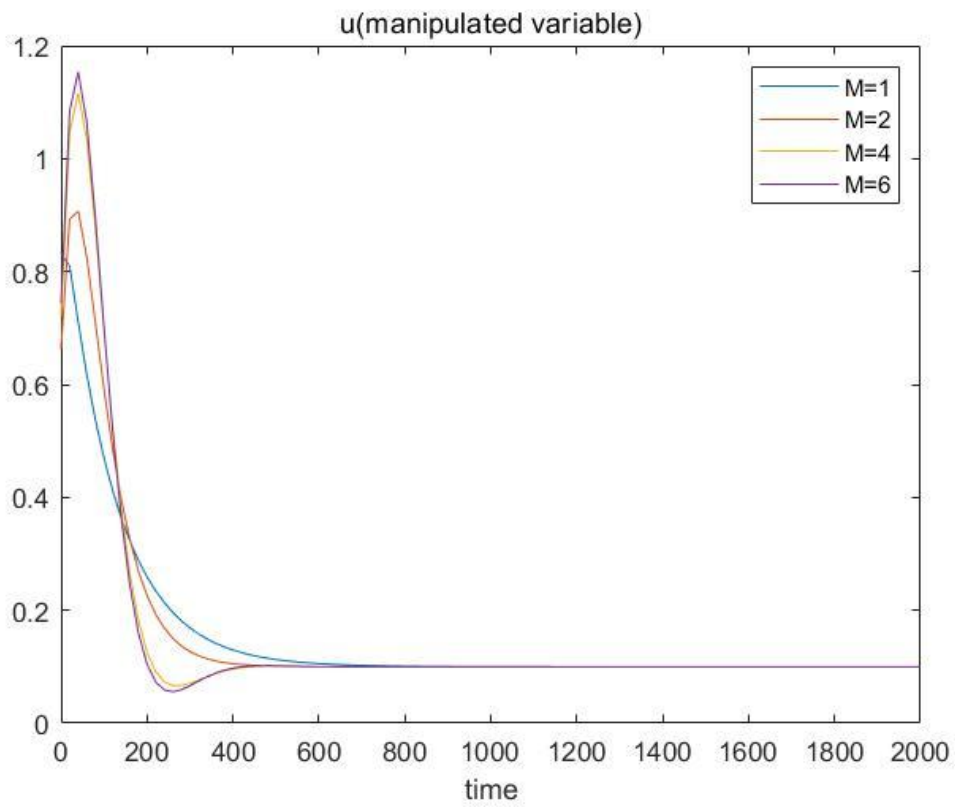
### ③ 控制步长 $M$ 的探究

分别取控制步长为：1,2,4,6

不同  $M$  的预测控制结果如下：



对应的输入:

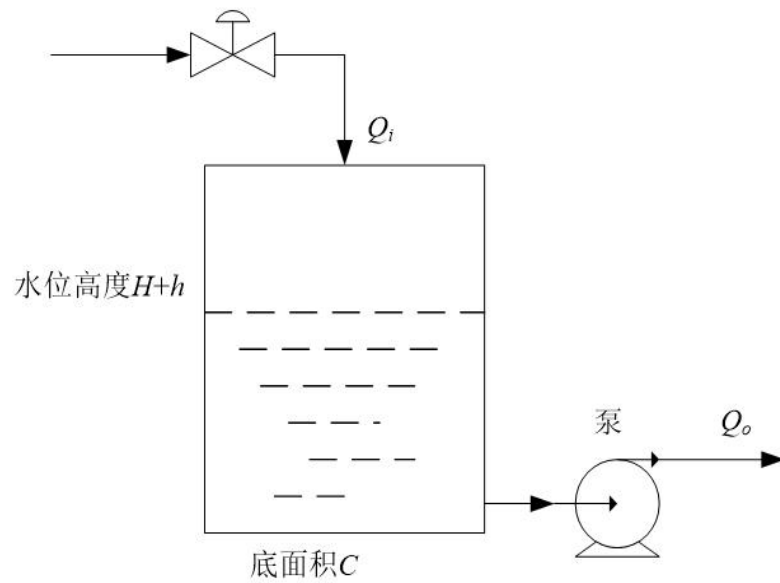


由图可知,  $M$  越大, 速度越快, 但会出现波动, 且输出的变化幅值也较

大。在速度容许的范围下， $M=1$  便可以达到不错的控制效果，且对应的输入变化也较缓。

### 3. 单容积分水槽的预测控制

#### (1) 建模

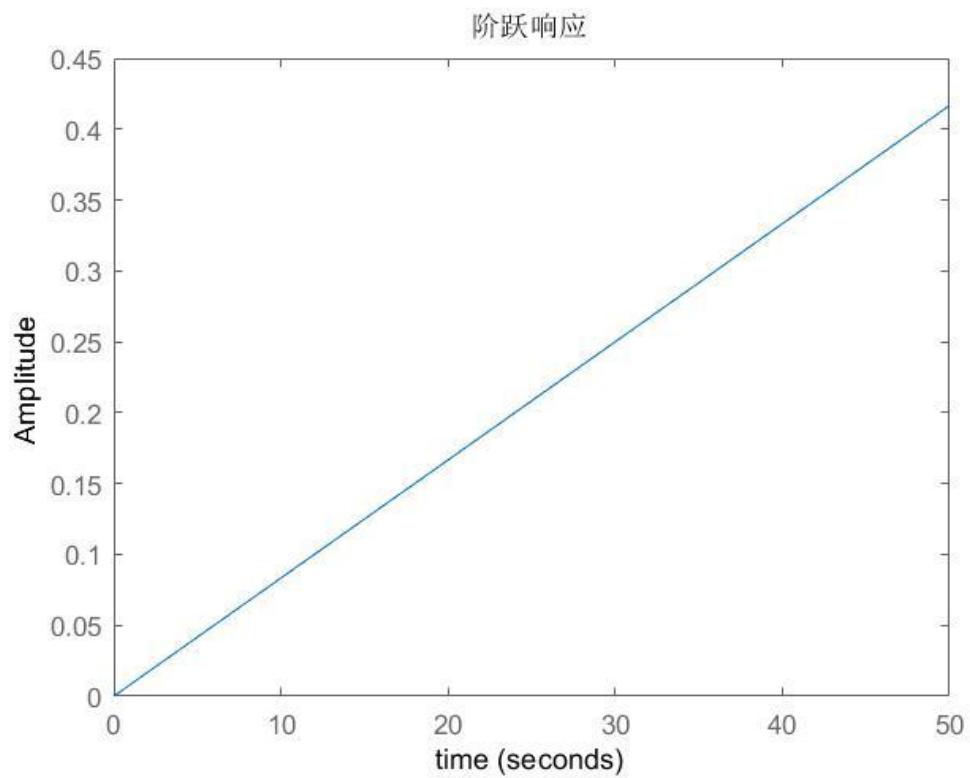


$$F \frac{dh}{dt} = Q_i - Q_o$$

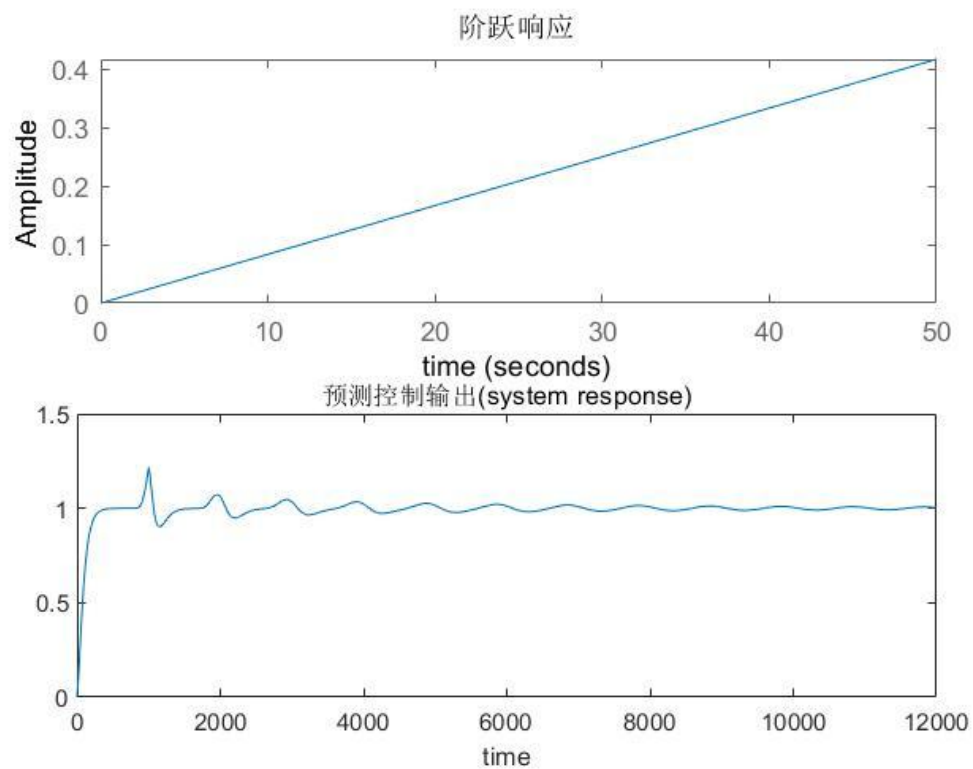
$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{1}{Cs} = \frac{1}{120s}$$

#### (2) 仿真



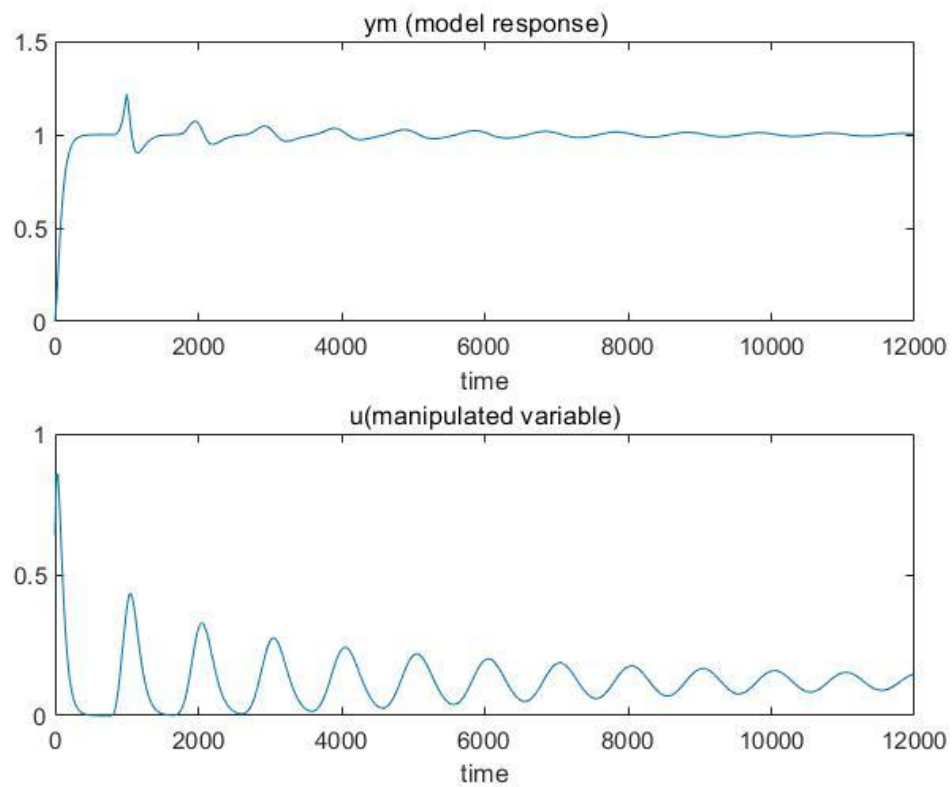


(3) 基于单位阶跃模型的预测控制



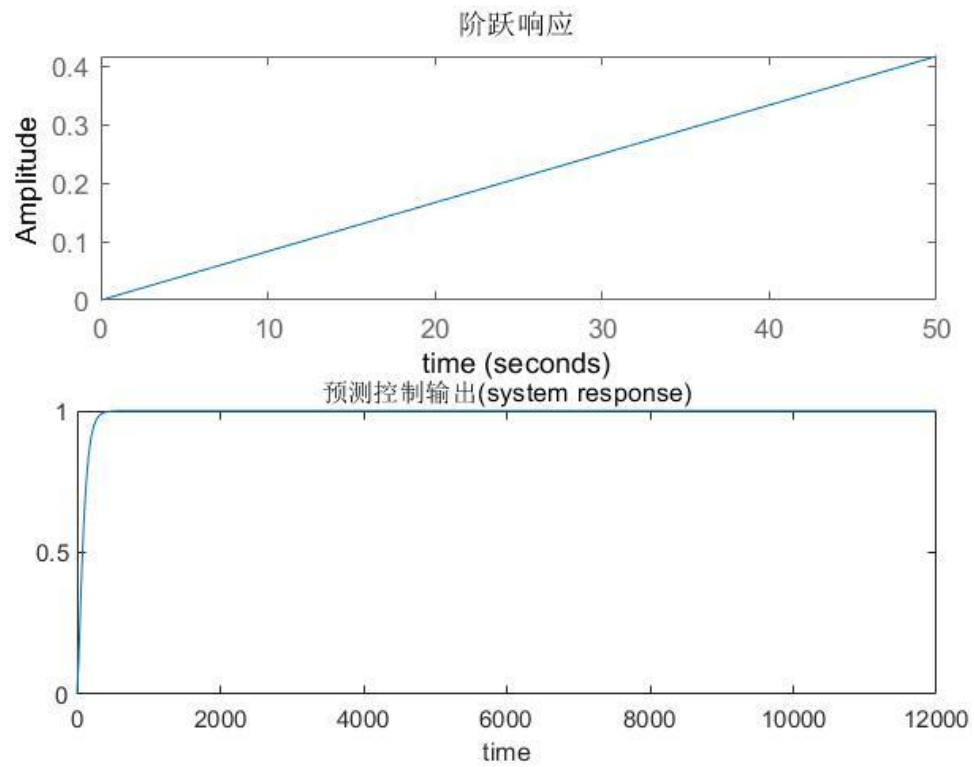
可见，对于积分对象，在预测控制下，同样可以得到类似阶跃响应的输出。

对应的输入:

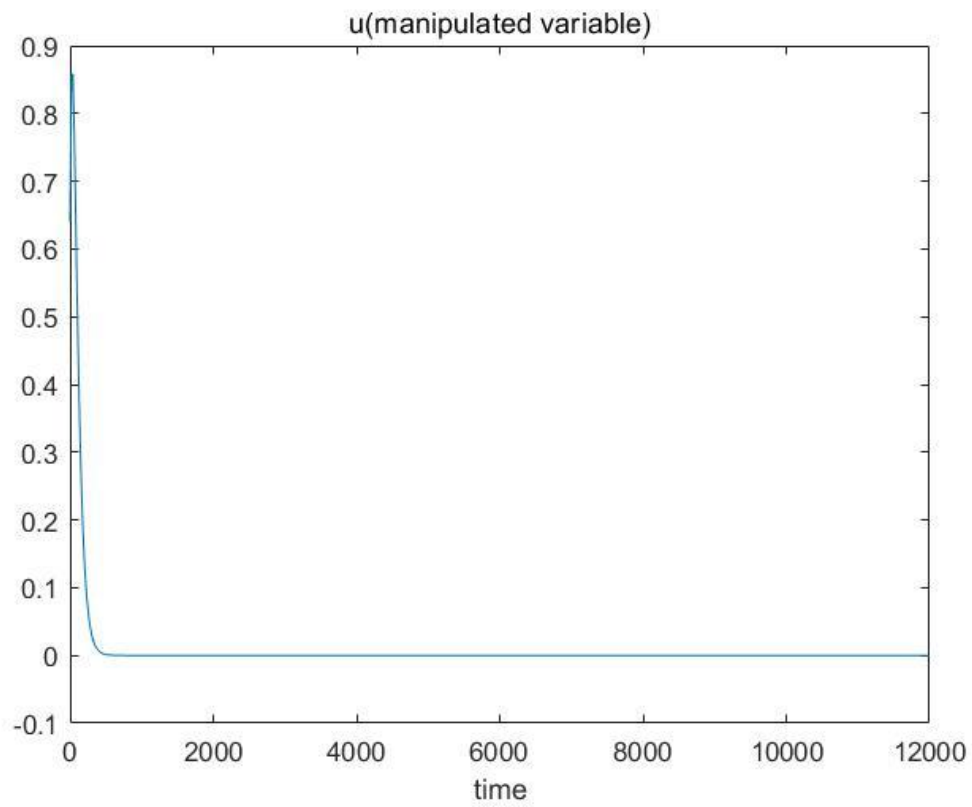


(4) 基于状态空间模型的预测控制

控制效果:



对应的输入:



#### 4. 比较分析

通过比较基于单位阶跃响应和状态空间的预测模型，可以看出，基于状态空间的预测控制具有较好的控制效果，表现在输入输出的快速性和稳定性上。分析其中的原因，显然是引入系统的状态可以更好的解析系统内部的变化，进而做出更好的控制。

同时，根据现代控制理论可知，基于阶跃响应的控制实质上是基于输出变量的控制，基于状态空间的控制实质上是基于状态变量的控制，而状态变量能够更加充分的体现系统的信息，所以在预测控制上，也验证了这一理论，即基于状态空间的预测控制能够达到更好的控制效果。

## 5. 总结

通过本次仿真实验，我对先进控制特别是预测控制有了新的认识和理解，同时通过仿真实验，验证了课本上学到的理论，对预测控制有了更充分的理解。同时也系统能够保持这一项作业的形式，因为通过这种类型的作业，能够将过控控制有更加系统的认识和理解，这对于学习本身有较大的意义和作用。

## 6. 参考文献

- [1]. 过程控制系统 黄德先、王京春、金以慧
- [2]. 基于 MATLAB 的预测控制系统设计 魏源
- [3]. 基于状态空间模型的广义预测控制快速算法 梁晓明
- [4]. 课件 黄德先

## 7. 附录 【代码】

- (1) 单容、基于阶跃响应

%% 单容对象基于阶跃响应的输入输出模型的预测控制算法

```
clear all;
close all;
```

% 原模型

```
num = [10];
den = [1200,1];

sys=tf(num,den);%模型传递函数

figure(1)
subplot(2,1,1)
step(num,den);

title('阶跃响应');
xlabel('time');
```

% 进行预测控制

```
G = poly2tfd(10,[1200 1]);%模型的MPC格式

T = 20; % 采样周期

Nt = 1;%输出的稳定性向量

TFinal = 1000; % 控制时间

Model = tfd2step(TFinal,T,Nt,G);%单位阶跃响应

PreModel = Model;%预测控制器
```

P = 10;%预测长度

M = 2;%控制长度

```
Ywt = [];
Uwt = 1;
```

```
Dkmpc = mpcccon(PreModel,Ywt,Uwt,M,P);%计算预测控制器 增益
```

矩阵

```
tend = 12000;
```

```

r = 1;
[y,u,ym] = mpcsim(PreModel,Model,Dkmpc,tend,r);
t = 0:20:12000;
% figure(1)
subplot(2,1,2)
plot(t,y);

title('预测控制输出(system response)');
xlabel('time');

figure(2)
subplot(2,1,1)
plot(t,ym);
title('ym (model response)');
xlabel('time');
subplot(2,1,2)
plot(t,u);
title('u(manipulated variable)');
xlabel('time');

```

(2) 单容、基于阶跃响应、对 P 的探究

%% 单容对象基于阶跃响应的输入输出模型的预测控制算法

% 对预测步长 P 的探究

```

clear all;
close all;

```

% 原模型

```

num = [10];
den = [1200,1];

sys=tf(num,den);%模型传递函数

figure(1)
% subplot(2,1,1)
step(num,den);

title('阶跃响应');
xlabel('time');

```

% 进行预测控制

```

G = poly2tfd(10,[1200 1]);%模型的MPC格式

```

```

T = 20; % 采样周期

Nt = 1; %输出的稳定性向量

TFinal = 1000; % 控制时间

Model = tfd2step(TFinal,T,Nt,G); %单位阶跃响应

PreModel = Model; %预测控制器

P = [5,10,15,20]; %预测长度

M = 2; %控制长度

Ywt = [];
Uwt = 1;

Dkmpc1 = mpcccon(PreModel,Ywt,Uwt,M,P(1)); %计算预测控制器
增益矩阵

Dkmpc2 = mpcccon(PreModel,Ywt,Uwt,M,P(2)); %计算预测控制器
增益矩阵

Dkmpc3 = mpcccon(PreModel,Ywt,Uwt,M,P(3)); %计算预测控制器
增益矩阵

Dkmpc4 = mpcccon(PreModel,Ywt,Uwt,M,P(4)); %计算预测控制器
增益矩阵

tend = 2000;
r = 1;

[y1,u1,ym1] = mpccsim(PreModel,Model,Dkmpc1,tend,r); %
预测仿真

[y2,u2,ym2] = mpccsim(PreModel,Model,Dkmpc2,tend,r); %
预测仿真

[y3,u3,ym3] = mpccsim(PreModel,Model,Dkmpc3,tend,r); %

```

## 预测仿真

```
[y4,u4,ym4] = mpcsim(PreModel,Model,Dkmpc4,tend,r);%
```

## 预测仿真

```
t = 0:20:2000;
% subplot(2,1,2)
% plot(t,y1,t,y2,t,y3,t,y4);
% legend('P=5','P=10','P=15','P=20');

% title('预测控制输出(system response)');
% xlabel('time');

figure(2)
plot(t,y1,t,y2,t,y3,t,y4);
legend('P=5','P=10','P=15','P=20');

title('预测控制输出(system response)');
xlabel('time');

figure(3)
% subplot(2,1,1)
plot(t,ym1,t,ym2,t,ym3,t,ym4);
legend('P=5','P=10','P=15','P=20');
title('ym (model response)');
xlabel('time');

figure(4)
plot(t,u1,t,u2,t,u3,t,u4);
legend('P=5','P=10','P=15','P=20');
title('u(manipulated variable)');
xlabel('time');
```

## (3) 单容、基于阶跃响应、对 M 的探究

```
%% 单容对象基于阶跃响应的输入输出模型的预测控制算法
```

```
% 对控制规律的探究
```

```
clear all;
close all;
```

```
% 原模型
```



```

num = [10];
den = [1200,1];

sys=tf(num,den);%模型传递函数

figure(1)
% subplot(2,1,1)
step(num,den);

title('阶跃响应');
xlabel('time');

% 进行预测控制

G = poly2tfd(10,[1200 1]);%模型的MPC格式

T = 20;% 采样周期

Nt = 1;%输出的稳定性向量

TFinal = 1000;% 控制时间

Model = tfd2step(TFinal,T,Nt,G);%单位阶跃响应

PreModel = Model;%预测控制器

P = 10;%预测长度

M = [1,2,4,6];%控制长度

Ywt = [];
Uwt = 1;

Dkmpc1 = mpcccon(PreModel,Ywt,Uwt,M(1),P);%计算预测控制器
增益矩阵

Dkmpc2 = mpcccon(PreModel,Ywt,Uwt,M(2),P);%计算预测控制器
增益矩阵

Dkmpc3 = mpcccon(PreModel,Ywt,Uwt,M(3),P);%计算预测控制器
增益矩阵

```

```
Dkmpc4 = mpcccon (PreModel, Ywt, Uwt, M(4), P); %计算预测控制器
```

增益矩阵

```
tend = 2000;
r = 1;
```

```
[y1,u1,ym1] = mpcsim(PreModel,Model,Dkmpc1,tend,r); %
```

预测仿真

```
[y2,u2,ym2] = mpcsim(PreModel,Model,Dkmpc2,tend,r); %
```

预测仿真

```
[y3,u3,ym3] = mpcsim(PreModel,Model,Dkmpc3,tend,r); %
```

预测仿真

```
[y4,u4,ym4] = mpcsim(PreModel,Model,Dkmpc4,tend,r); %
```

预测仿真

```
t = 0:20:2000;
% subplot(2,1,2)
% plot(t,y1,t,y2,t,y3,t,y4);
% legend('P=5','P=10','P=15','P=20');
% title('预测控制输出(system response)');
% xlabel('time');
```

```
figure(2)
plot(t,y1,t,y2,t,y3,t,y4);
legend('M=1','M=2','M=4','M=6');
title('预测控制输出(system response)');
xlabel('time');
```

```
figure(3)
% subplot(2,1,1)
plot(t,ym1,t,ym2,t,ym3,t,ym4);
legend('M=1','M=2','M=4','M=6');
title('ym (model response)');
xlabel('time');
```

```
figure(4)
plot(t,u1,t,u2,t,u3,t,u4);
```

```
legend('M=1','M=2','M=4','M=6');  
title('u(manipulated variable)');  
xlabel('time');
```

#### (4) 单容、基于状态空间

%% 单容对象基于状态空间的输入输出模型的预测控制算法

```
clear all;  
close all;
```

% 原模型

```
num = [10];  
den = [1200,1];  
  
sys=tf(num,den);%模型传递函数  
  
figure(1)  
subplot(2,1,1)  
step(num,den);  
  
title('阶跃响应');  
xlabel('time');
```

% 进行预测控制

```
G = poly2tfd(10,[1200 1]);%模型的MPC格式  
  
T = 20; % 采样周期  
  
Nt = 1;%输出的稳定性向量  
  
TFinal = 1000; % 控制时间  
  
Model = tfd2mod(T,Nt,G);%单位阶跃响应  
  
PreModel = Model;%预测控制器  
  
P = 10;%预测长度  
  
M = 2;%控制长度
```

```

Ywt = [];
Uwt = 1;

tend = 12000;
r = 1;
[y,u] = scmpc(PreModel,Model,Ywt,Uwt,M,P,tend,r);
t = 0:20:12000;
% figure(1)
subplot(2,1,2)
plot(t,y);

title('预测控制输出(system response)');
xlabel('time');

figure(2)
plot(t,u);
title('u(manipulated variable)');
xlabel('time');

```

(5) 单容、基于状态空间、对 P 的探究

%% 单容对象基于状态空间的输入输出模型的预测控制算法

```

clear all;
close all;

```

% 原模型

```

num = [10];
den = [1200,1];

sys=tf(num,den);%模型传递函数

figure(1)
step(num,den);

title('阶跃响应');
xlabel('time');

```

% 进行预测控制

```

G = poly2tf(10,[1200 1]);%模型的MPC格式

```

```

T = 20; % 采样周期

Nt = 1; %输出的稳定性向量

TFinal = 1000; % 控制时间

Model = tfd2mod(T,Nt,G); %单位阶跃响应

PreModel = Model; %预测控制器

P = [5,10,15,20]; %预测长度

M = 2; %控制长度

Ywt = [];
Uwt = 1;

tend = 2000;
r = 1;
[y1,u1] = scmpc(PreModel,Model,Ywt,Uwt,M,P(1),tend,r);
[y2,u2] = scmpc(PreModel,Model,Ywt,Uwt,M,P(2),tend,r);
[y3,u3] = scmpc(PreModel,Model,Ywt,Uwt,M,P(3),tend,r);
[y4,u4] = scmpc(PreModel,Model,Ywt,Uwt,M,P(4),tend,r);
t = 0:20:2000;

figure(2)
plot(t,y1,t,y2,t,y3,t,y4);
legend('P=5','P=10','P=15','P=20');

title('预测控制输出(system response)');
xlabel('time');

figure(3)
plot(t,u1,t,u2,t,u3,t,u4);
legend('P=5','P=10','P=15','P=20');
title('u(manipulated variable)');
xlabel('time');

```

(6) 单容、基于状态空间、对 M 的探究

%% 单容对象基于状态空间的输入输出模型的预测控制算法

```
clear all;
close all;
```

% 原模型

```
num = [10];
den = [1200, 1];

sys=tf(num,den);%模型传递函数

figure(1)
step(num,den);

title('阶跃响应');
xlabel('time');
```

% 进行预测控制

```
G = poly2tfd(10,[1200 1]);%模型的MPC格式
```

```
T = 20; % 采样周期
```

```
Nt = 1;%输出的稳定性向量
```

```
TFinal = 1000; % 控制时间
```

```
Model = tfd2mod(T,Nt,G);%单位阶跃响应
```

```
PreModel = Model;%预测控制器
```

```
P = 10;%预测长度
```

```
M = [1,2,4,6];%控制长度
```

```
Ywt = [];
```

```
Uwt = 1;
```

```
tend = 2000;
```

```
r = 1;
```

```
[y1,u1] = scmpc(PreModel,Model,Ywt,Uwt,M(1),P,tend,r);
```

```
[y2,u2] = scmpc(PreModel,Model,Ywt,Uwt,M(2),P,tend,r);
```

```
[y3,u3] = scmpc(PreModel,Model,Ywt,Uwt,M(3),P,tend,r);
```

```
[y4,u4] = scmpc(PreModel,Model,Ywt,Uwt,M(4),P,tend,r);
t = 0:20:2000;
```

```
figure(2)
plot(t,y1,t,y2,t,y3,t,y4);
legend('M=1','M=2','M=4','M=6');
title('预测控制输出(system response)');
xlabel('time');
```

```
figure(3)
plot(t,u1,t,u2,t,u3,t,u4);
legend('M=1','M=2','M=4','M=6');
title('u(manipulated variable)');
xlabel('time');
```

#### (7) 单容积分、基于阶跃响应

%% 单容积分对象基于阶跃响应的输入输出模型的预测控制算法

```
clear all;
close all;
```

% 原模型

```
num = [1];
den = [120,0];

sys=tf(num,den);%模型传递函数
```

```
figure(1)
subplot(2,1,1)
step(num,den);

title('阶跃响应');
xlabel('time');
```

% 进行预测控制

```
G = poly2tfd(1,[120 0]);%模型的MPC格式
```

```
T = 20; % 采样周期
```

```

Nt = 1;%输出的稳定性向量

TFinal = 1000; % 控制时间

Model = tfd2step(TFinal,T,Nt,G);%单位阶跃响应

PreModel = Model;%预测控制器

P = 10;%预测长度

M = 2;%控制长度

Ywt = [];
Uwt = 1;

Dkmpc = mpcccon(PreModel,Ywt,Uwt,M,P);%计算预测控制器 增益

矩阵

tend = 12000;
r = 1;
[y,u,ym] = mpccsim(PreModel,Model,Dkmpc,tend,r);
t = 0:20:12000;
% figure(1)
subplot(2,1,2)
plot(t,y);

title('预测控制输出(system response)');
xlabel('time');

figure(2)
subplot(2,1,1)
plot(t,ym);
title('ym (model response)');
xlabel('time');
subplot(2,1,2)
plot(t,u);
title('u(manipulated variable)');
xlabel('time');

```

#### (8) 单容积分、基于状态空间

%% 单容积分对象基于状态空间的输入输出模型的预测控制算法



```
clear all;
close all;

% 原模型
num = [1];
den = [120,0];

sys=tf(num,den);%模型传递函数

figure(1)
subplot(2,1,1)
step(num,den);

title('阶跃响应');
xlabel('time');

% 进行预测控制

G = poly2tfd(1,[120 0]);%模型的MPC格式

T = 20; % 采样周期

Nt = 1;%输出的稳定性向量

TFinal = 1000; % 控制时间

Model = tfd2mod(T,Nt,G);%单位阶跃响应

PreModel = Model;%预测控制器

P = 10;%预测长度

M = 2;%控制长度

Ywt = [];
Uwt = 1;

tend = 12000;
r = 1;
[y,u] = scmpc(PreModel,Model,Ywt,Uwt,M,P,tend,r);
t = 0:20:12000;
% figure(1)
subplot(2,1,2)
```

```
plot(t,y);  
title('预测控制输出(system response)');  
xlabel('time');  
  
figure(2)  
plot(t,u);  
title('u(manipulated variable)');  
xlabel('time');
```