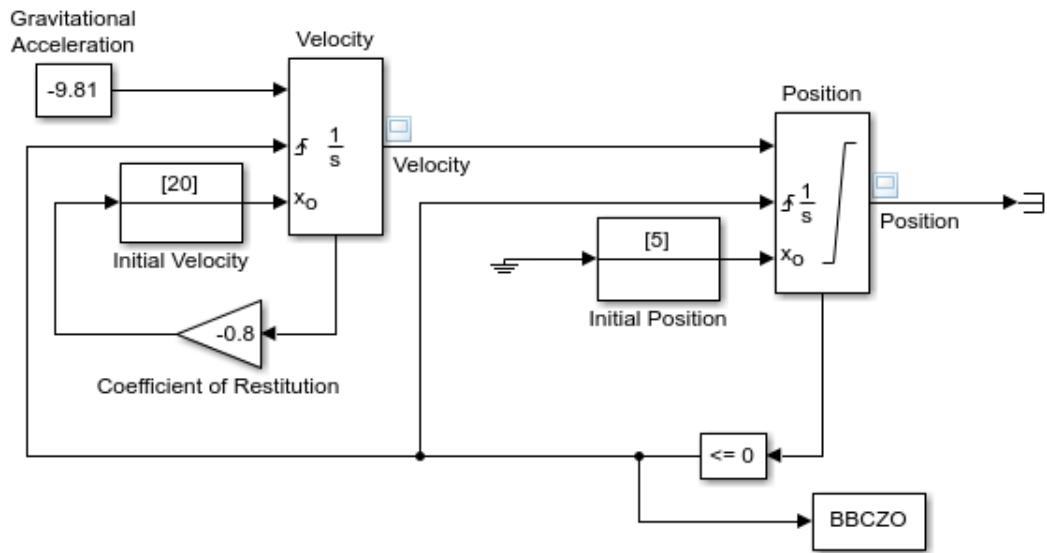


一、过零检测示例模型练习



Copyright 1990-2013 The MathWorks, Inc.

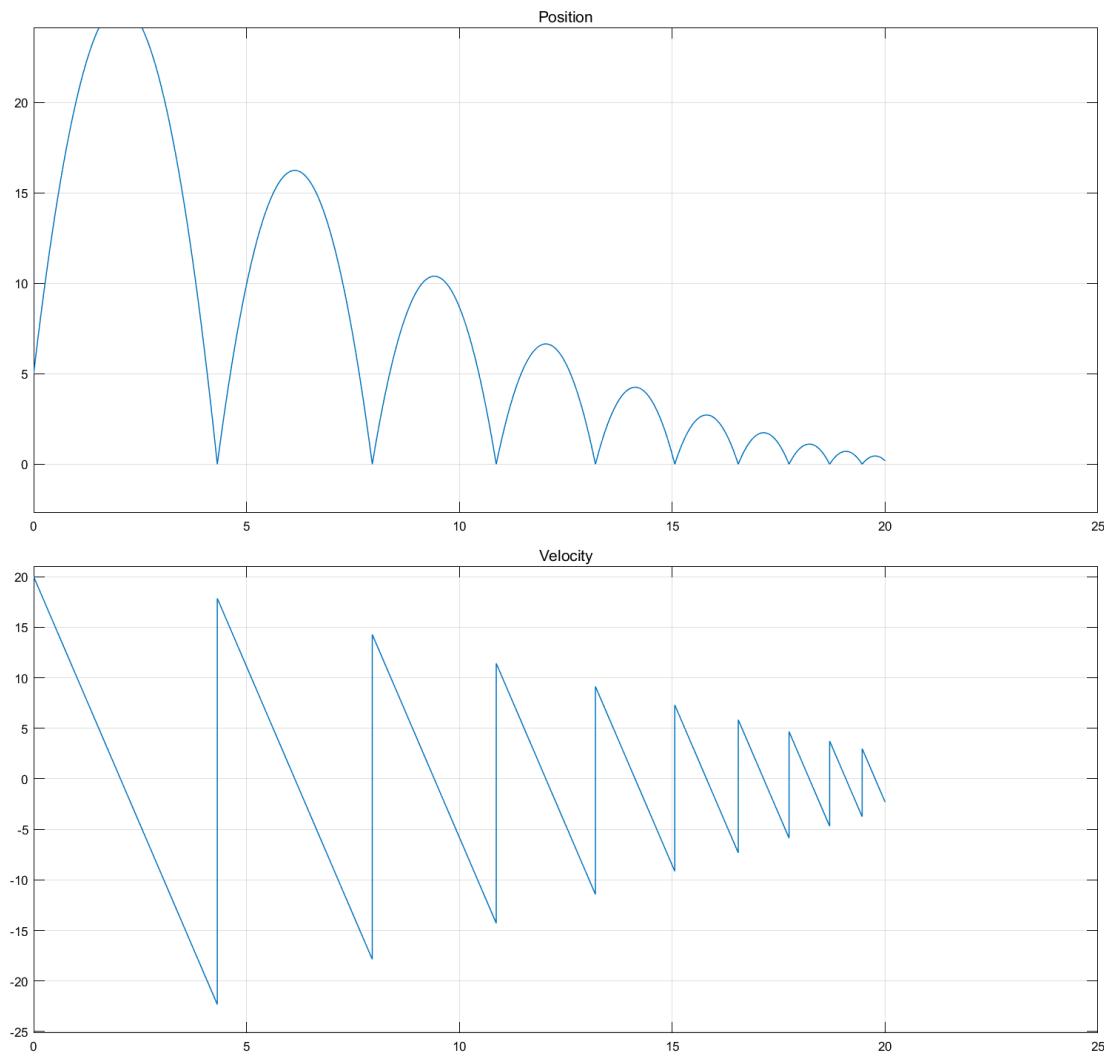
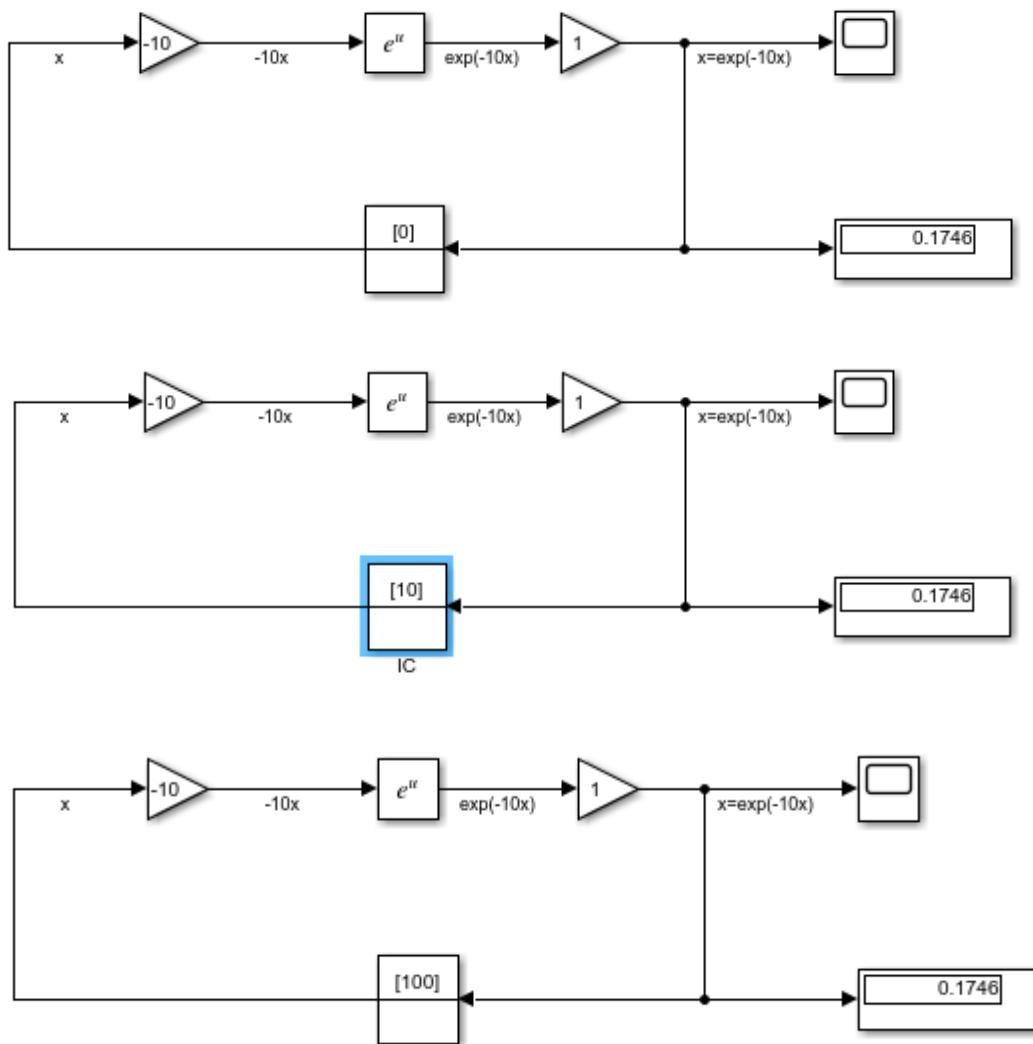


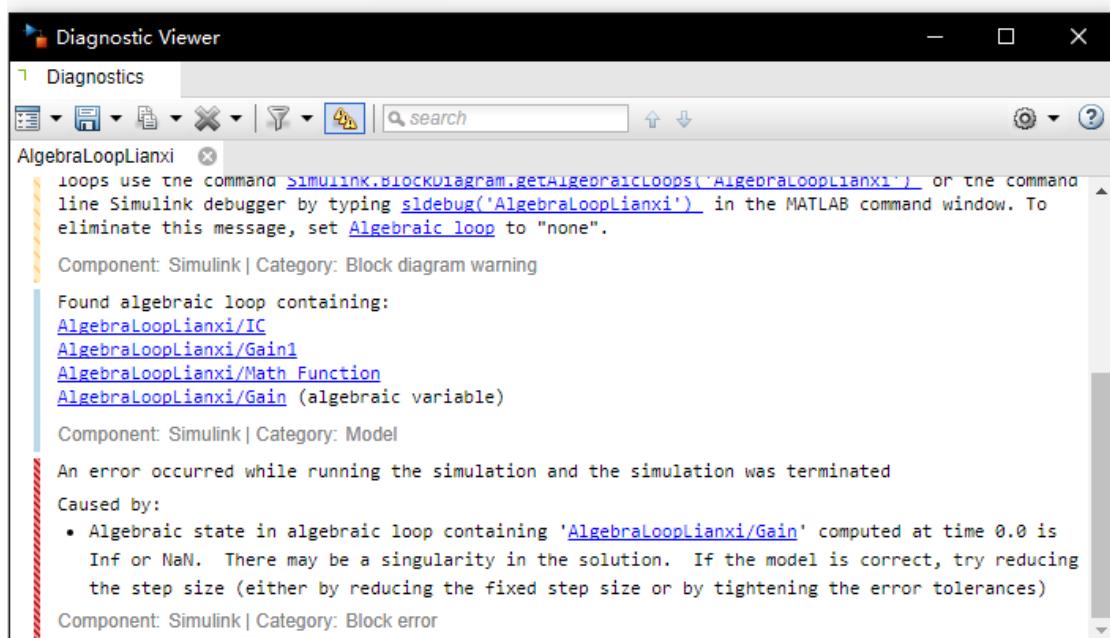
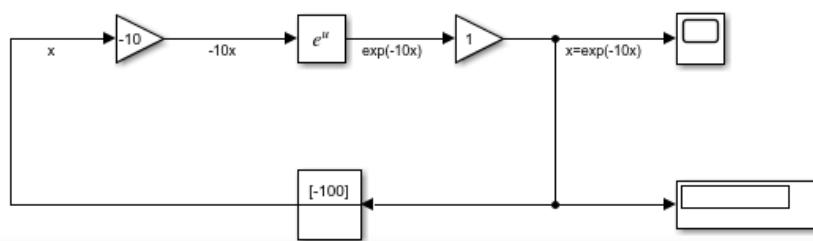
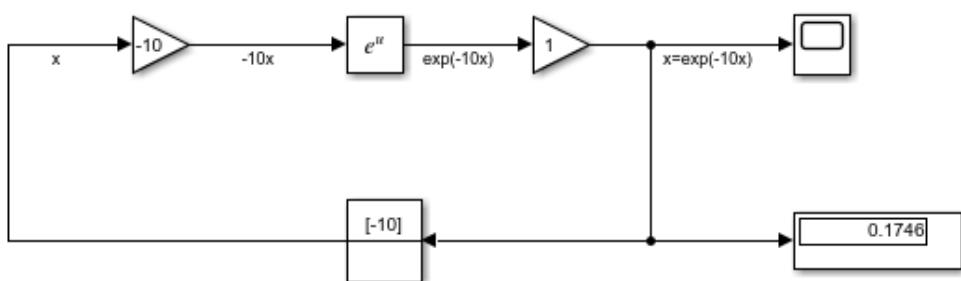
图 1 单小球模型更改初值及结果

动画效果是编写了 S 函数，每个采样时刻将小球所处的位置信息显示出来；声音是进行将过零检测的输出作为触发信号，通过最里层模块的回调函数，调用 MATLAB 函数 ballBeep(u)产生声音。

获取小球触地时间：代码及结果见附录或者源文件，注意双小球模型需要设置成 Adaptive 模式，否则会出现过零检测错误，因为小球 2 还未触地的一段时间，小球 1 已经非常多次触地，出现大量过零现象。

二、代数环练习





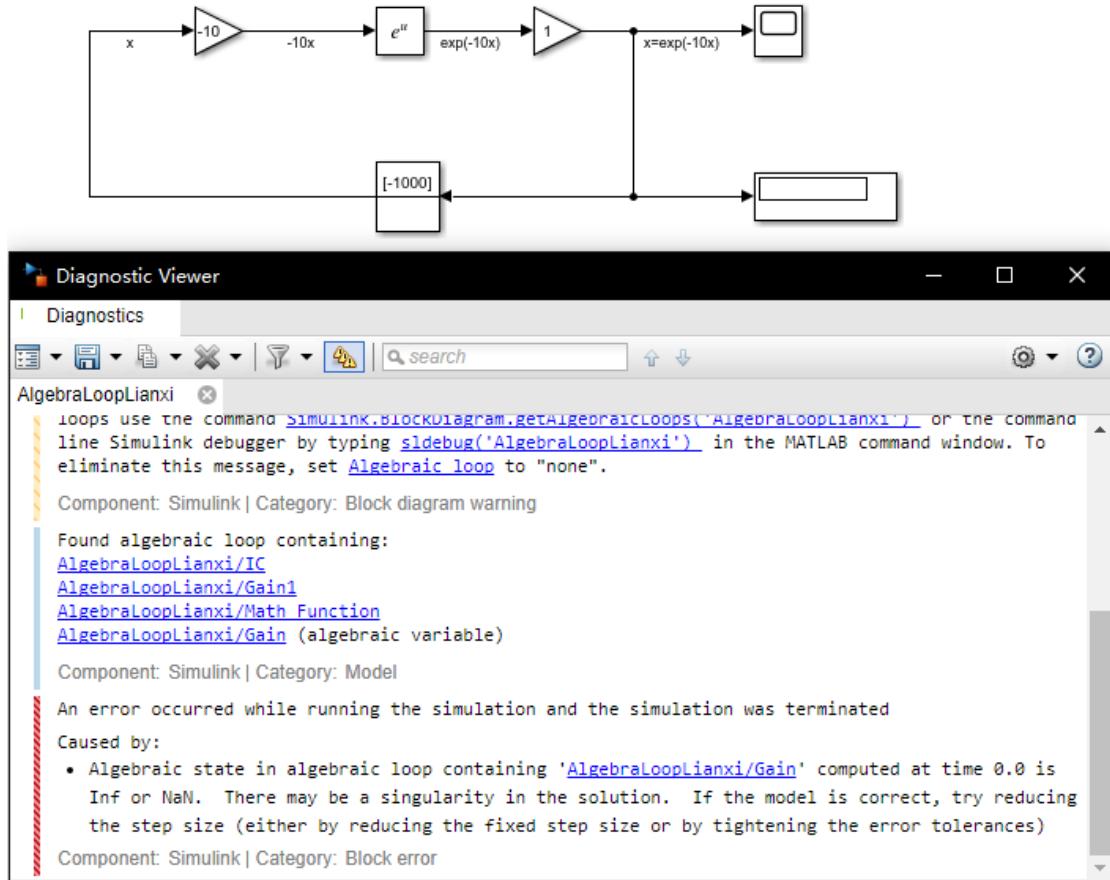
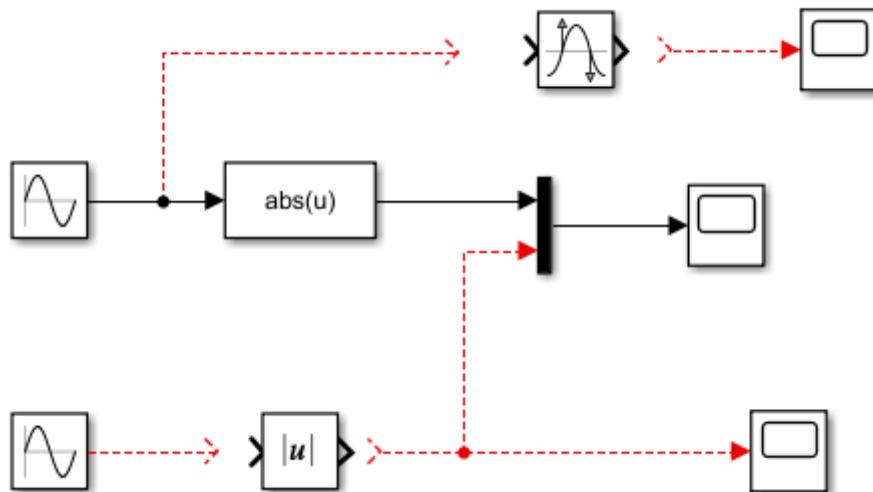


图 2 代数环运行结果

注意到-100 和-1000 都不能解算代数环，因为 Simulink 的计算采用微步长解算，如果初值离实际值较远，则通过有限步无法解开代数环，就会报错。

三、 过零检测练习

Fcn 模块库没有过零检测，Math 模块库的有过零检测，模型中使用一处 Math 模块库的模块或使用一处 Hit Crossing，Fcn 模块会自动附加过零检测。



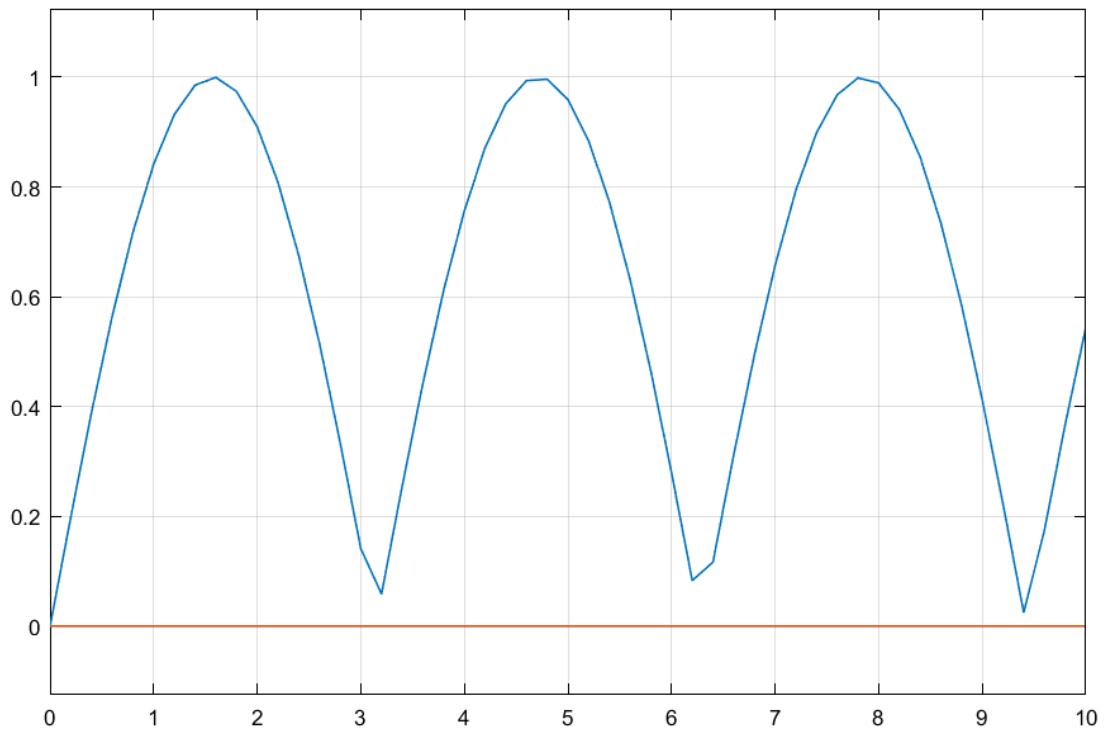
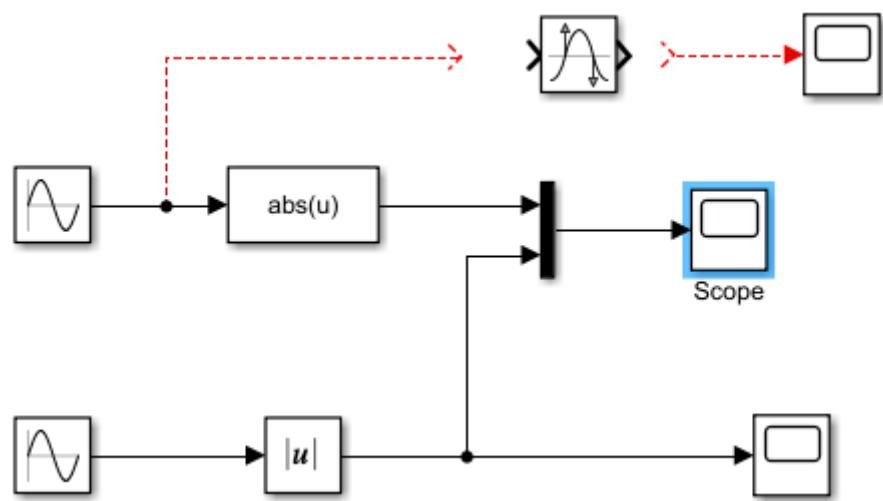


图 3 仅 Fcn 运行结果，无过零检测



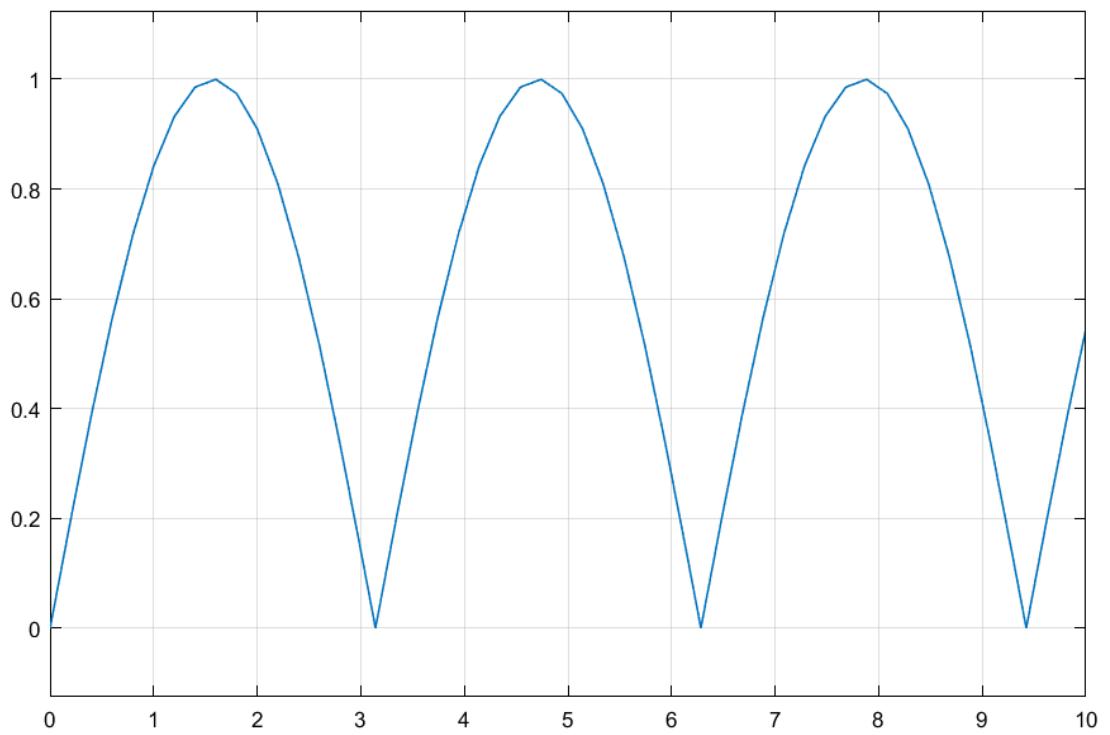
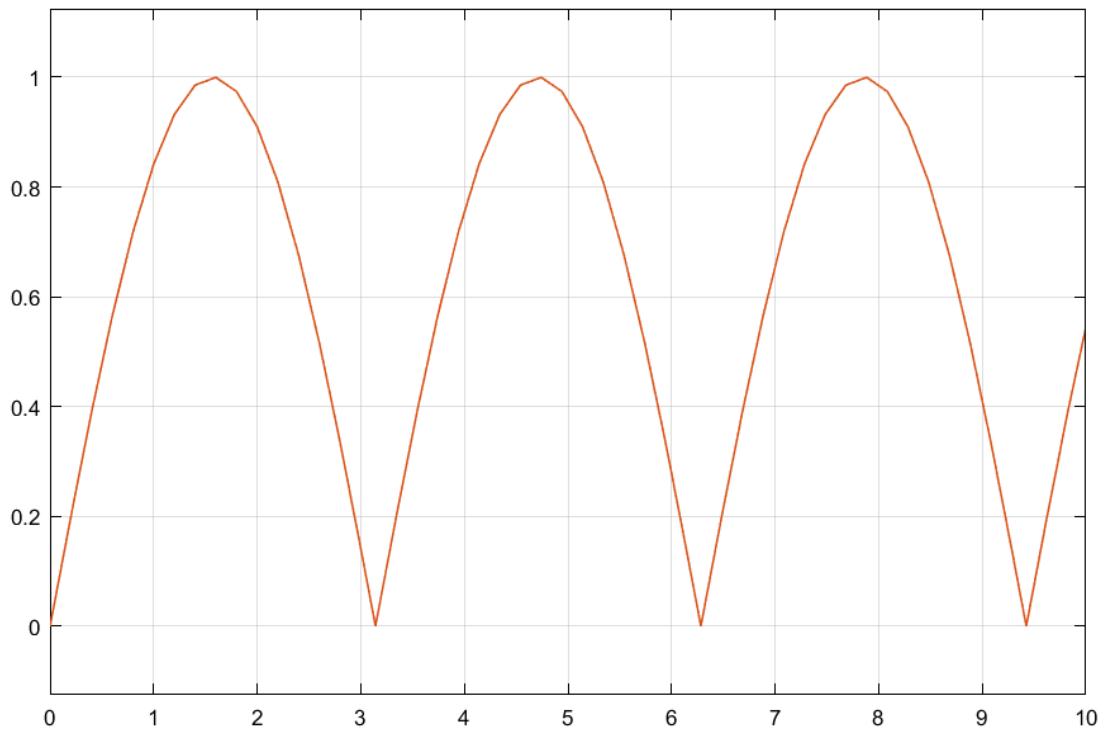
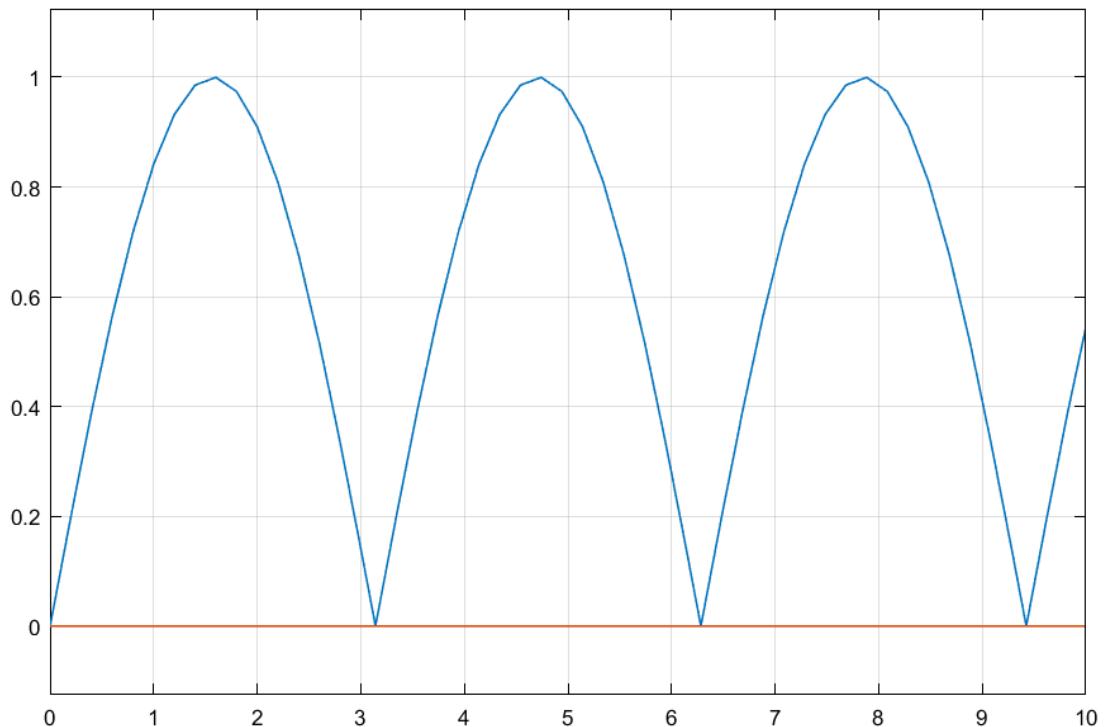
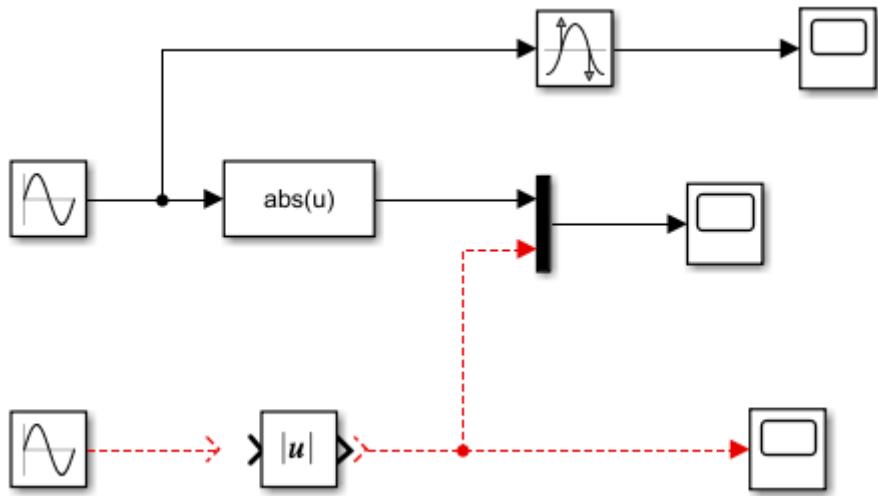


图 4 橙色曲线为 Math 库取绝对值函数运行结果，
蓝色为同时运行的 $\text{abs}(u)$ 的结果，有过零检测



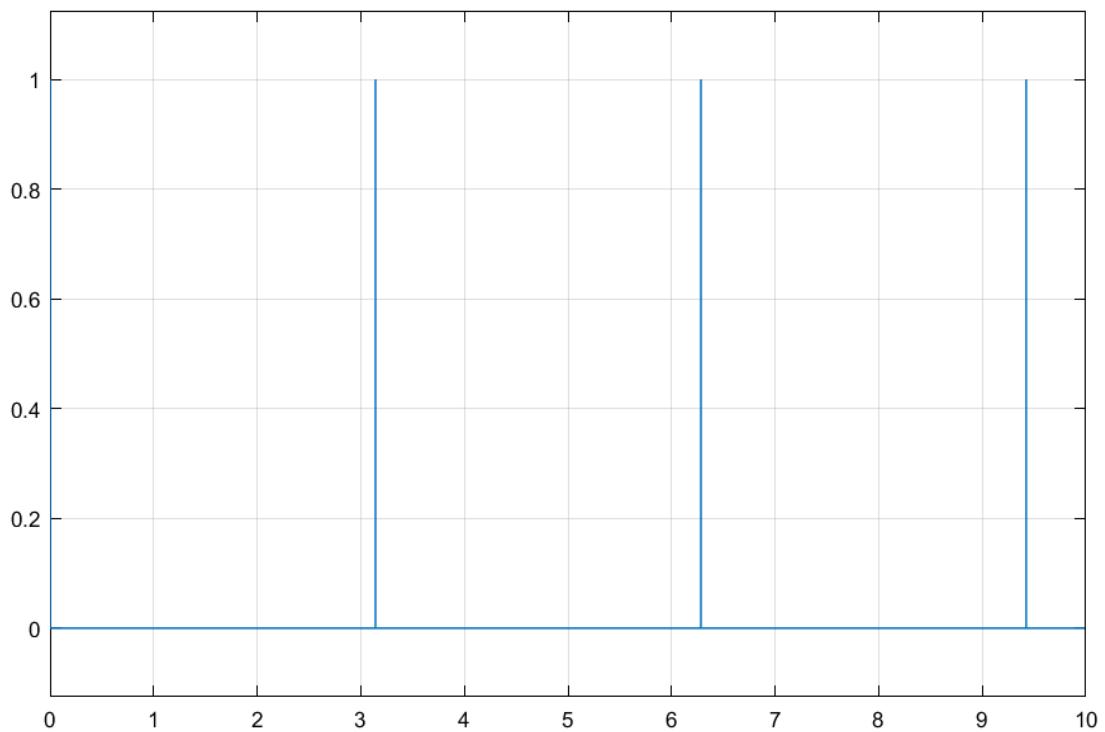


图 5 Fcn 的 abs(u)加 Hit Crossing 的输出以及 Hit Crossing 输出，有过零检测

四、参数整定练习

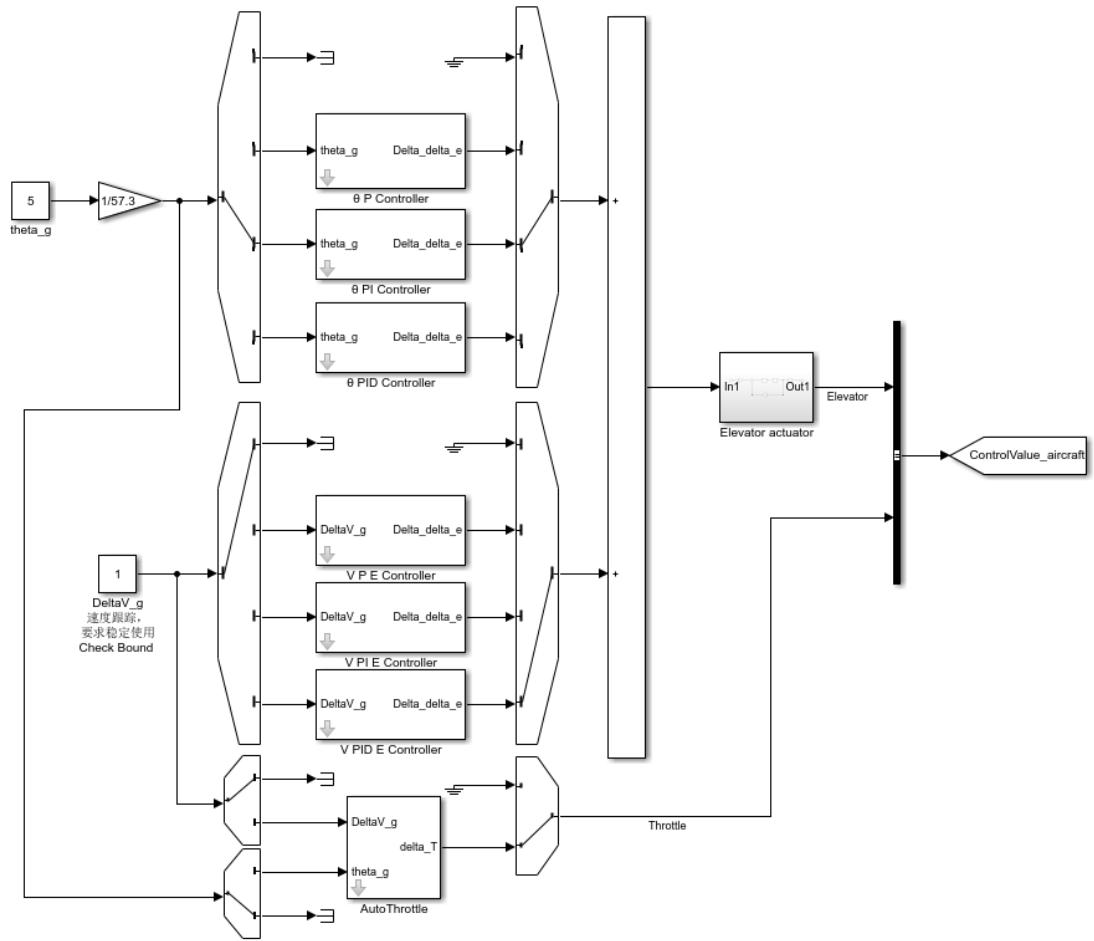


图 6 控制器总模型

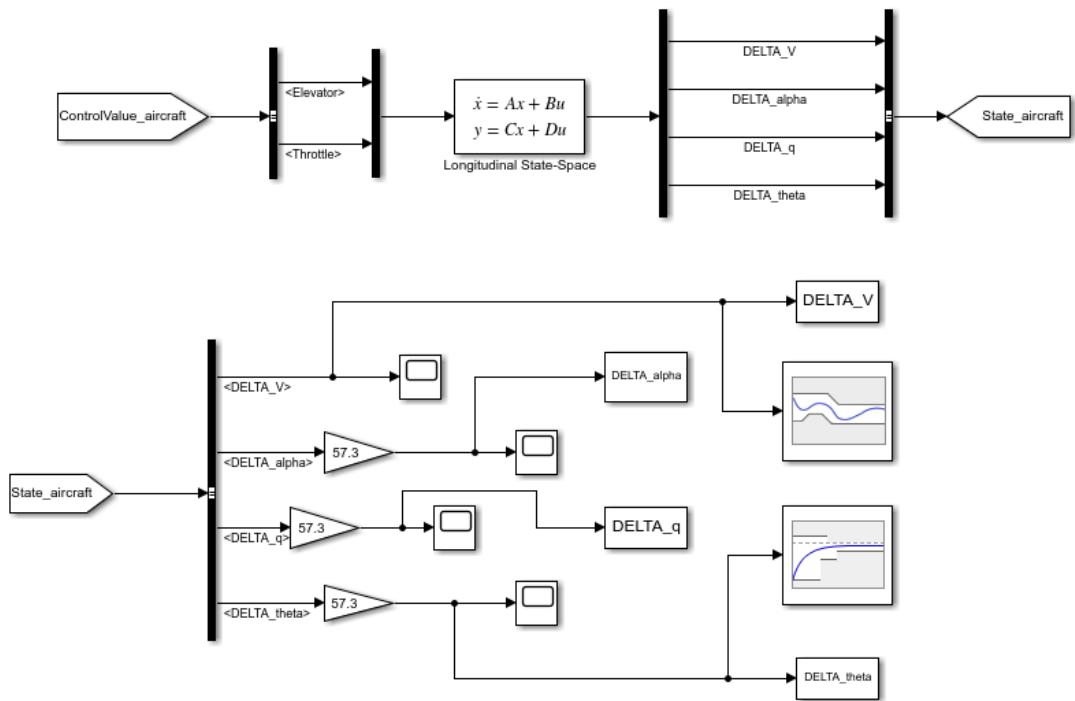


图 7 飞机总模型

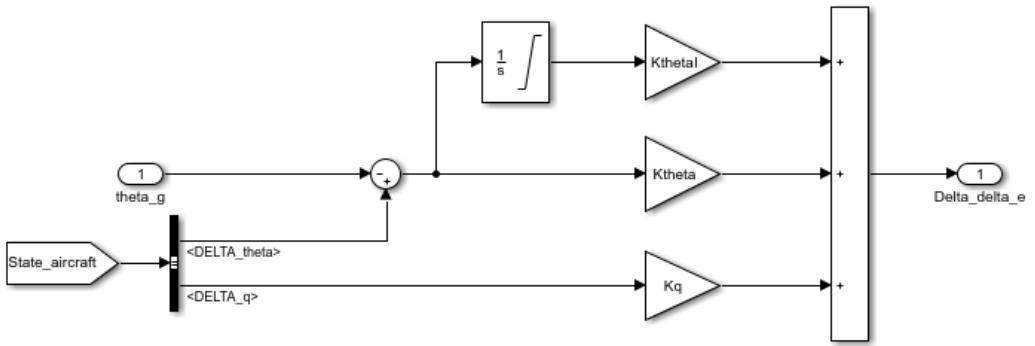


图 8 姿态控制系统 PI 子模型

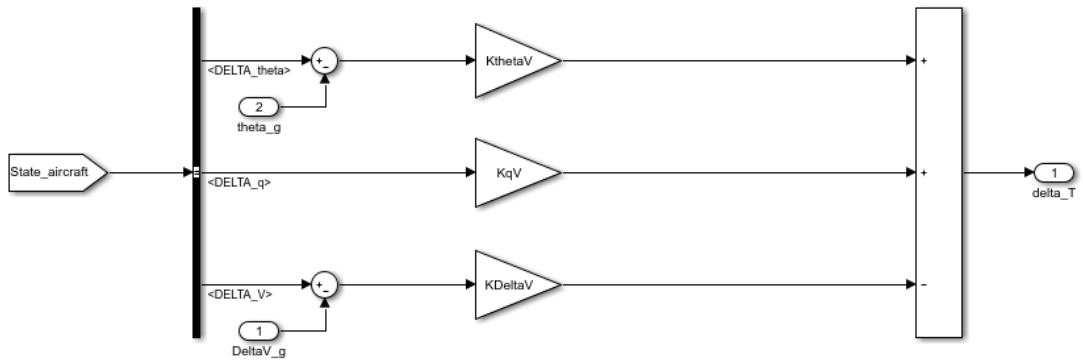


图 9 速度控制系统的油门子模型

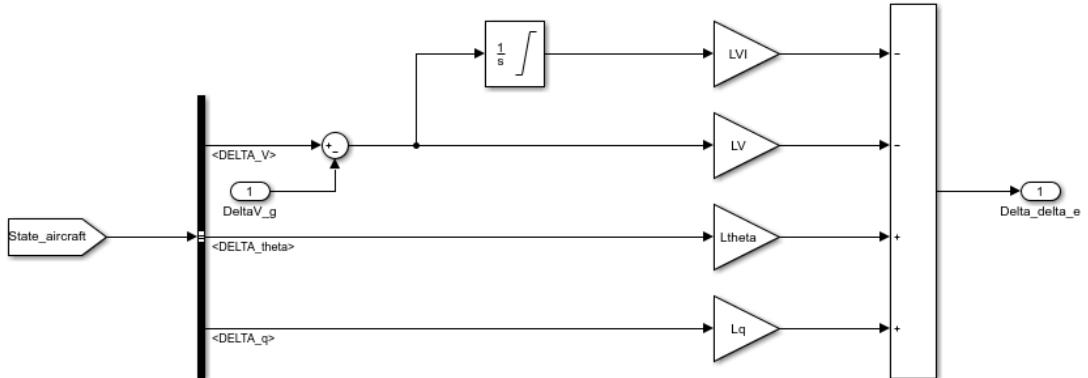


图 10 速度控制系统控升降舵 PI 子模型（设置了积分饱和）
俯仰姿态比例+积分控制律如下：

$$\Delta\delta_e = K_\theta(\theta - \theta_g) + K_{\theta I} \int (\theta - \theta_g) dt + K_q q$$

自动油门控制律如下：

$$\delta_t = K_{\theta V} \Delta\theta + K_{q V} q - K_{\Delta V} \Delta V$$

速度控油门控制律如下：

$$\delta_t = K_{\theta_V}(\theta - \theta_g) + K_{q_V}q - K_{\Delta V}\Delta V$$

速度控升降舵比例+积分控制律如下：

$$\Delta\delta_e = L_\theta(\theta - \theta_g) + L_q q - L_V \Delta V - L_{VI} \int \Delta V dt$$

我设计的姿态控制系统可采用 P、PI、PID 控制律三种控制方式，速度控制系统可采用控油门、控升降舵 P、控升降舵 PI、控升降舵 PID 控制律四种控制方式。需要注意的是，我提供了速度跟踪的指令输入，但就本题而言，没有要求速度跟踪，第二问只要求速度稳定，而速度稳定用边界约束参数整定实现，所以速度指令输入一直悬空。以下列举姿态控制系统 PI、速度控制系统控油门和速度控制系统控升降舵 PI 的整定过程。

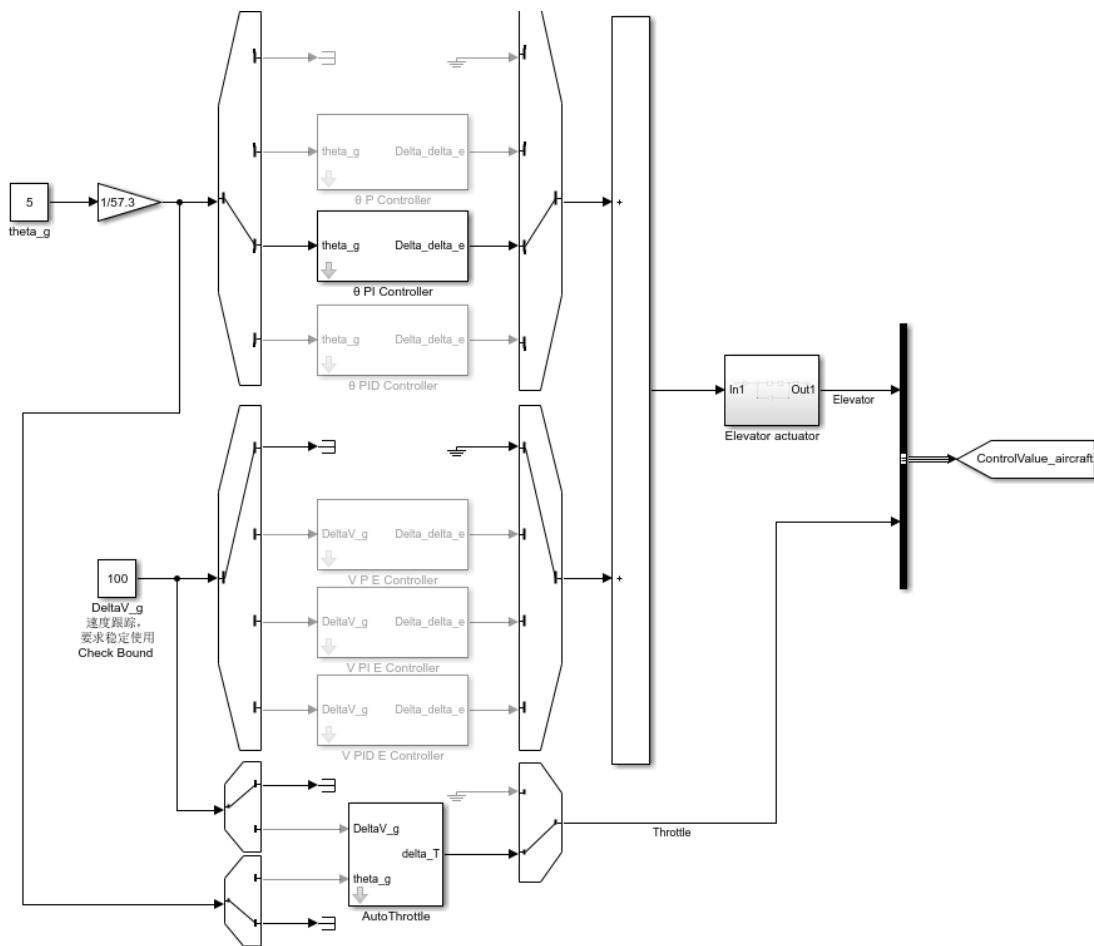


图 11 姿态控制系统 PI 控制律的控制器开关设置（自动油门打开）

仅给输出 θ 连 Check Step Response Characteristics，双击打开并用 Response Optimization 进行参数整定，导入各变量，下界设为 0：

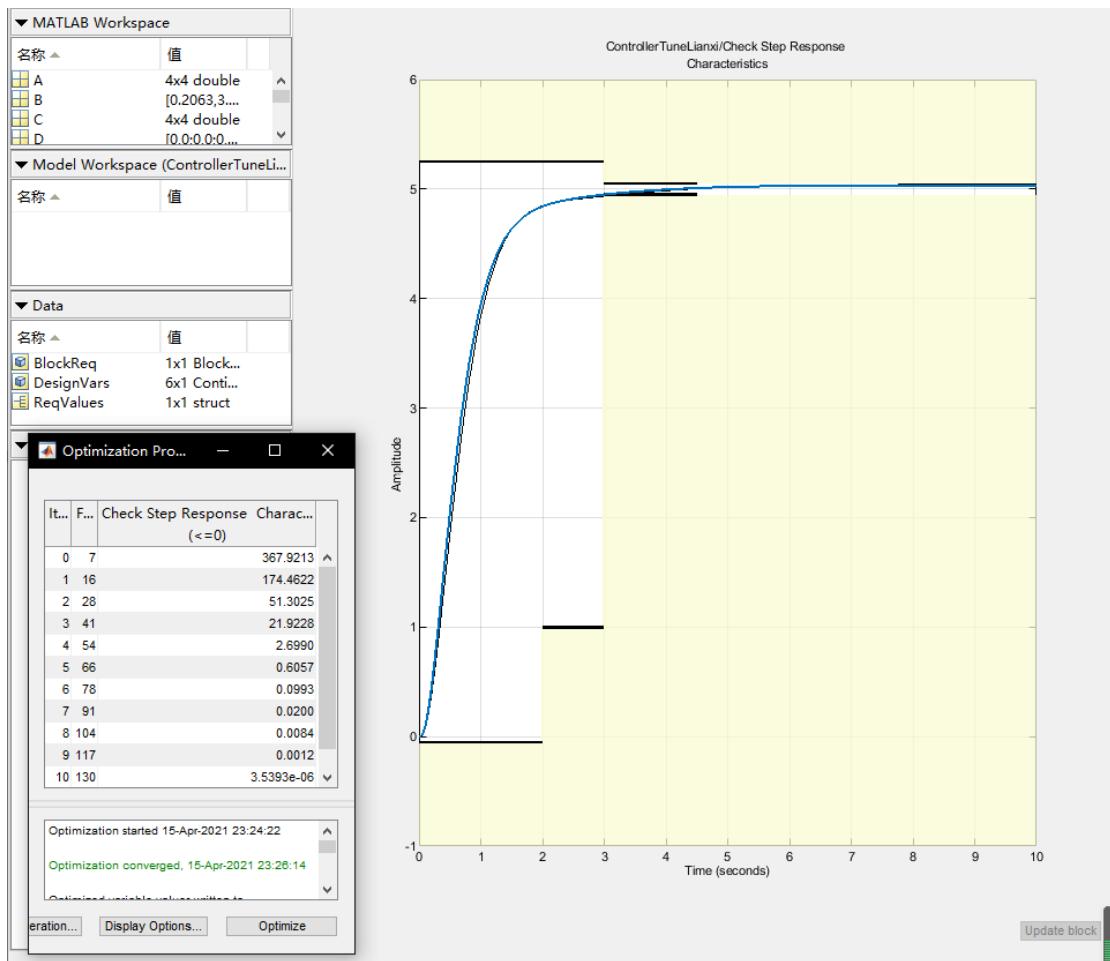


图 12 姿态控制系统 PI 控制律的参数整定过程

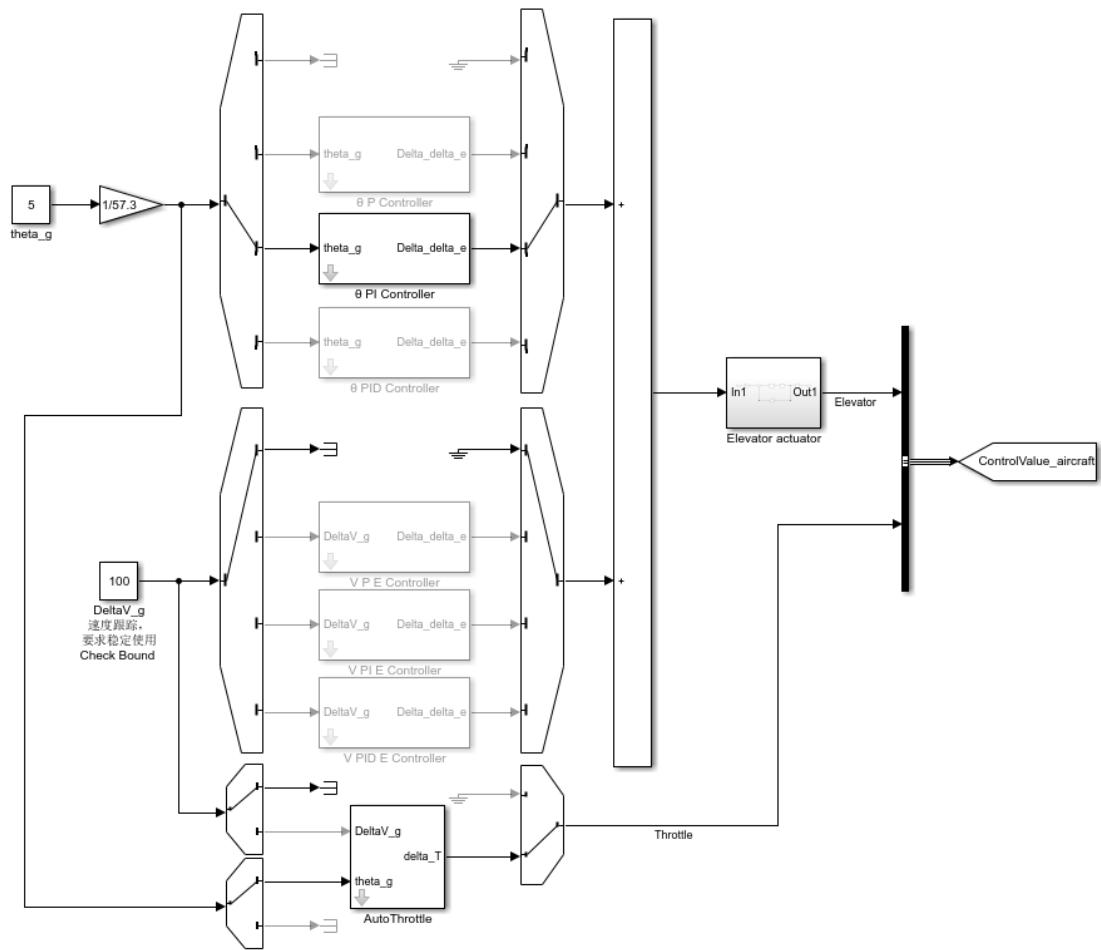


图 13 速度控制系统控油门控制律的控制器开关设置

给输出 θ 连 Check Step Response Characteristics, 给输出 V 连 Check Custom Bound, 双击打开并用 Response Optimization 进行参数整定, 导入各变量, 下界设为 0:

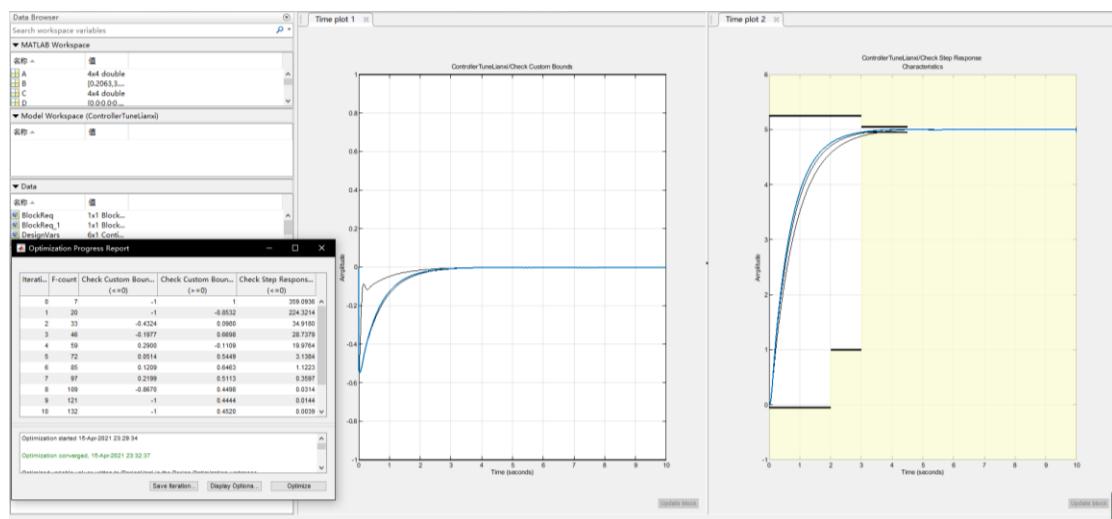


图 14 速度控制系统控油门控制律的参数整定过程

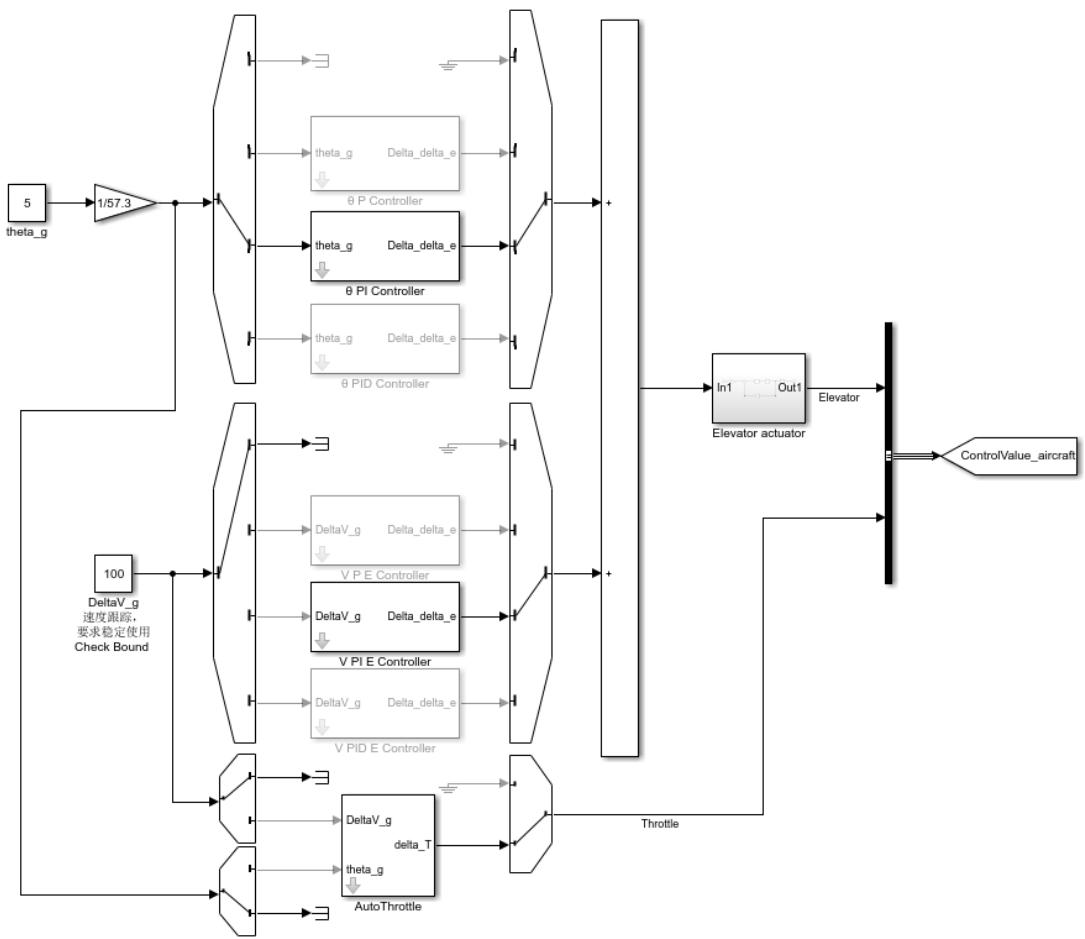


图 15 速度控制系统控升降舵 PI 控制律的控制器开关设置

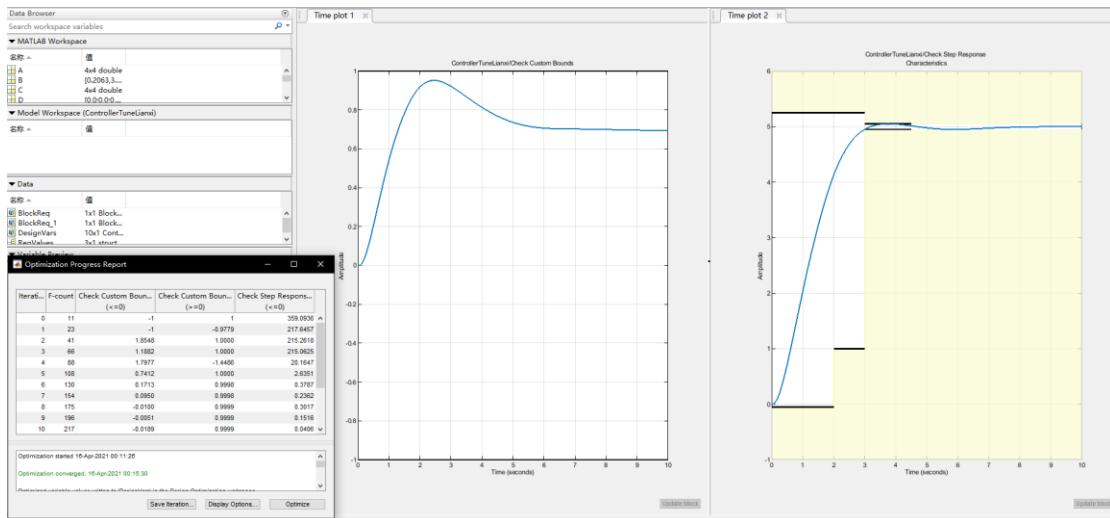


图 16 速度控制系统控升降舵 PI 控制律的参数整定过程

每换一种控制器并进行参数整定后，运行模型，然后执行对应.m 文件中对应节保存数据，包括各增益参数和响应曲线数据，以便于最终的画图，数据储存 在.mat 文件中，代码见附录或源文件。

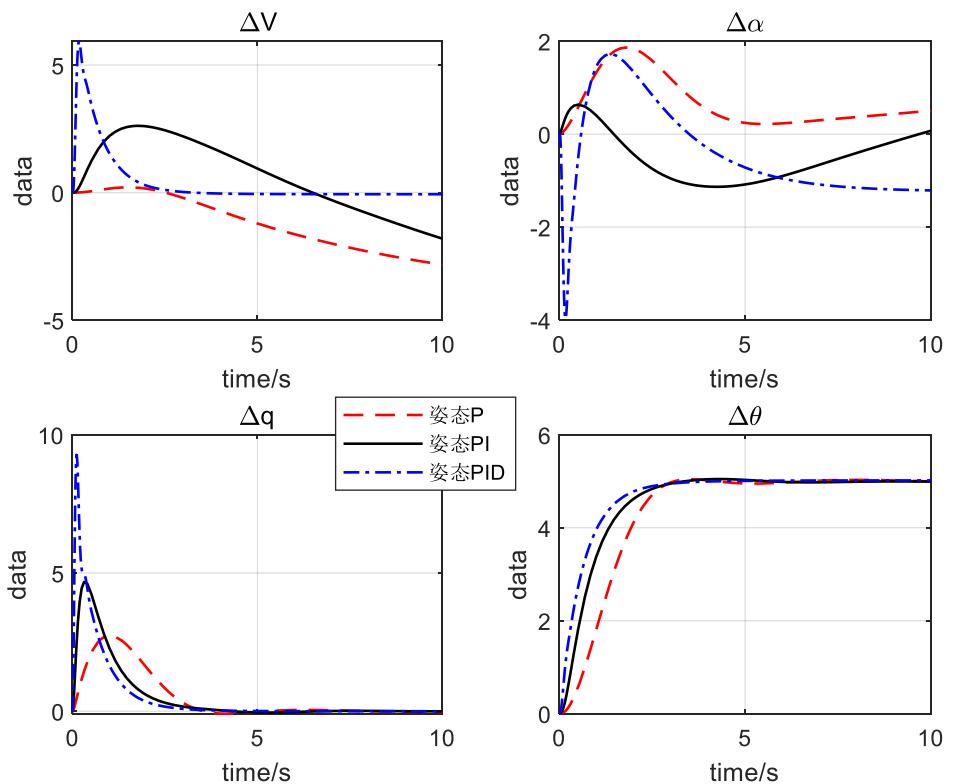


图 17 姿态控制系统状态输出响应曲线

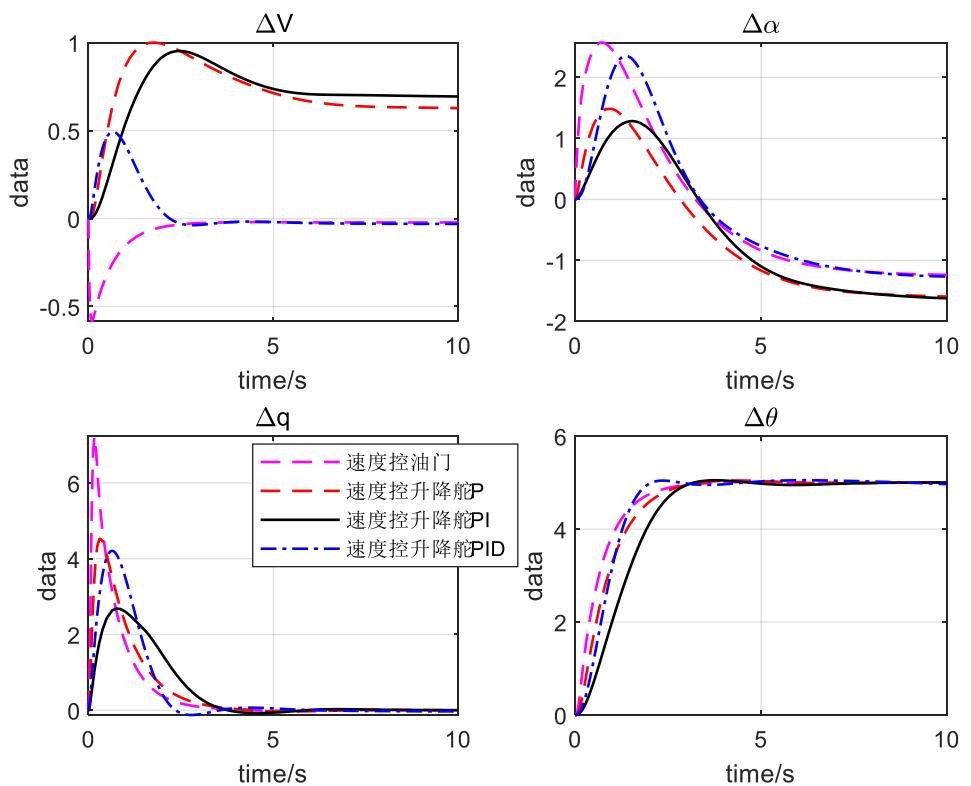


图 18 速度控制系统状态输出响应曲线

各控制器不同控制律增益参数请查看结构体，姿态控制系统和速度控制系统不同控制律下 θ 的阶跃响应有关指标如下：

P 姿态控制俯仰角阶跃响应参数：

峰值时间(s): 3.4813 超调量(%): 0.85398 调节时间(s): 2.8071

PI 姿态控制俯仰角阶跃响应参数：

峰值时间(s): 4.2464 超调量(%): 0.94499 调节时间(s): 2.7454

PID 姿态控制俯仰角阶跃响应参数：

峰值时间(s): 10 超调量(%): 0.36668 调节时间(s): 2.5448

油门速度控制俯仰角阶跃响应参数：

峰值时间(s): 4.5831 超调量(%): 0.19788 调节时间(s): 2.5886

P 升降舵速度控制俯仰角阶跃响应参数：

峰值时间(s): 4.4436 超调量(%): 0.91171 调节时间(s): 2.7592

PI 升降舵速度控制俯仰角阶跃响应参数：

峰值时间(s): 3.75 超调量(%): 1.0108 调节时间(s): 2.8708

PID 升降舵速度控制俯仰角阶跃响应参数：

峰值时间(s): 6.1485 超调量(%): 1 调节时间(s): 1.8567

附录：

GetBallTouchGround.m

```
%% 获取小球触地时间代码及结果（命令行窗口显示结果）
clc,clear
sim('my_sldemo_bounce_two_integrators')
BBTGTick = BBCZ0.time(BBCZ0.data==1);
BBTGn = size(BBTGTick);
for k = 1:BBTGn(1)
    disp(['Bouncing Ball模型小球 第' num2str(k) '次 触地时间为'
num2str(BBTGTick(k))])
end
disp(' ')
sim('my_sldemo_doublebounce')
DBBTG1Tick = DBBCZ01.time(DBBCZ01.data==1);
DBBTG1n = size(DBBTG1Tick);
DBBTG2Tick = DBBCZ01.time(DBBCZ02.data==1);
DBBTG2n = size(DBBTG2Tick);
for k = 1:DBBTG1n(1)
    disp(['Double Bouncing Ball模型小球1 第' num2str(k) '次 触地时间为'
num2str(DBBTG1Tick(k))])
```

```
end
disp(' ')
for k = 1:DBBTG2n(1)
    disp(['Double Bouncing Ball模型小球2 第' num2str(k) '次 触地时间为'
num2str(DBBTG2Tick(k))])
end
```

Bouncing Ball 模型小球 第 1 次 触地时间为 3.6211
Bouncing Ball 模型小球 第 2 次 触地时间为 6.9684
Bouncing Ball 模型小球 第 3 次 触地时间为 9.6463
Bouncing Ball 模型小球 第 4 次 触地时间为 11.7885
Bouncing Ball 模型小球 第 5 次 触地时间为 13.5024
Bouncing Ball 模型小球 第 6 次 触地时间为 14.8734
Bouncing Ball 模型小球 第 7 次 触地时间为 15.9703
Bouncing Ball 模型小球 第 8 次 触地时间为 16.8477
Bouncing Ball 模型小球 第 9 次 触地时间为 17.5497
Bouncing Ball 模型小球 第 10 次 触地时间为 18.1113
Bouncing Ball 模型小球 第 11 次 触地时间为 18.5606
Bouncing Ball 模型小球 第 12 次 触地时间为 18.92
Bouncing Ball 模型小球 第 13 次 触地时间为 19.2075
Bouncing Ball 模型小球 第 14 次 触地时间为 19.4375
Bouncing Ball 模型小球 第 15 次 触地时间为 19.6216
Bouncing Ball 模型小球 第 16 次 触地时间为 19.7688
Bouncing Ball 模型小球 第 17 次 触地时间为 19.8865
Bouncing Ball 模型小球 第 18 次 触地时间为 19.9808

Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 1 次 触地时间为 2.8542
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 2 次 触地时间为 5.1376
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 3 次 触地时间为 6.9643
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 4 次 触地时间为 8.4257
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 5 次 触地时间为 9.5948
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 6 次 触地时间为 10.5301
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 7 次 触地时间为 11.2783
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 8 次 触地时间为 11.8768
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 9 次 触地时间为 12.3557
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 10 次 触地时间为 12.7388
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 11 次 触地时间为 13.0453

Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 12 次 触地时间为 13.2904
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 13 次 触地时间为 13.4866
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 14 次 触地时间为 13.6435
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 15 次 触地时间为 13.769
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 16 次 触地时间为 13.8695
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 17 次 触地时间为 13.9498
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 18 次 触地时间为 14.0141
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 19 次 触地时间为 14.0655
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 20 次 触地时间为 14.1066
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 21 次 触地时间为 14.1395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 22 次 触地时间为 14.1695
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 23 次 触地时间为 14.1995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 24 次 触地时间为 14.2295
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 25 次 触地时间为 14.2595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 26 次 触地时间为 14.2895
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 27 次 触地时间为 14.3195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 28 次 触地时间为 14.3495
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 29 次 触地时间为 14.3795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 30 次 触地时间为 14.4095
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 31 次 触地时间为 14.4395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 32 次 触地时间为 14.4695
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 33 次 触地时间为 14.4995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 34 次 触地时间为 14.5295
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 35 次 触地时间为 14.5595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 36 次 触地时间为 14.5895
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 37 次 触地时间为 14.6195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 38 次 触地时间为 14.6495
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 39 次 触地时间为 14.6795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 40 次 触地时间为 14.7095
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 41 次 触地时间为 14.7395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 42 次 触地时间为 14.7695
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 43 次 触地时间为 14.7995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 44 次 触地时间为 14.8295
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 45 次 触地时间为 14.8595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 46 次 触地时间为 14.8895

Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 47 次 触地时间为 14.9195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 48 次 触地时间为 14.9495
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 49 次 触地时间为 14.9795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 50 次 触地时间为 15.0095
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 51 次 触地时间为 15.0395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 52 次 触地时间为 15.0686
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 53 次 触地时间为 15.0986
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 54 次 触地时间为 15.1286
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 55 次 触地时间为 15.1586
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 56 次 触地时间为 15.1886
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 57 次 触地时间为 15.2186
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 58 次 触地时间为 15.2486
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 59 次 触地时间为 15.2786
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 60 次 触地时间为 15.3086
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 61 次 触地时间为 15.3386
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 62 次 触地时间为 15.3686
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 63 次 触地时间为 15.3986
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 64 次 触地时间为 15.4286
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 65 次 触地时间为 15.4586
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 66 次 触地时间为 15.4886
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 67 次 触地时间为 15.5186
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 68 次 触地时间为 15.5486
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 69 次 触地时间为 15.5786
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 70 次 触地时间为 15.6086
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 71 次 触地时间为 15.6386
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 72 次 触地时间为 15.6686
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 73 次 触地时间为 15.6986
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 74 次 触地时间为 15.7286
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 75 次 触地时间为 15.7586
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 76 次 触地时间为 15.7886
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 77 次 触地时间为 15.8186
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 78 次 触地时间为 15.8486
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 79 次 触地时间为 15.8786
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 80 次 触地时间为 15.9086
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 81 次 触地时间为 15.9386

Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 82 次 触地时间为 15.9686
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 83 次 触地时间为 15.9986
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 84 次 触地时间为 16.0286
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 85 次 触地时间为 16.0586
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 86 次 触地时间为 16.0886
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 87 次 触地时间为 16.1186
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 88 次 触地时间为 16.1486
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 89 次 触地时间为 16.1786
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 90 次 触地时间为 16.2086
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 91 次 触地时间为 16.2386
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 92 次 触地时间为 16.2686
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 93 次 触地时间为 16.2986
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 94 次 触地时间为 16.3286
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 95 次 触地时间为 16.3586
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 96 次 触地时间为 16.3886
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 97 次 触地时间为 16.4186
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 98 次 触地时间为 16.4486
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 99 次 触地时间为 16.4786
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 100 次 触地时间为 16.5086
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 101 次 触地时间为 16.5386
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 102 次 触地时间为 16.5686
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 103 次 触地时间为 16.5986
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 104 次 触地时间为 16.6286
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 105 次 触地时间为 16.6586
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 106 次 触地时间为 16.6886
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 107 次 触地时间为 16.7186
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 108 次 触地时间为 16.7486
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 109 次 触地时间为 16.7786
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 110 次 触地时间为 16.8086
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 111 次 触地时间为 16.8386
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 112 次 触地时间为 16.8686
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 113 次 触地时间为 16.8986
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 114 次 触地时间为 16.9286
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 115 次 触地时间为 16.9586
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 116 次 触地时间为 16.9886

Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 117 次 触地时间为 17.0186
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 118 次 触地时间为 17.0486
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 119 次 触地时间为 17.0786
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 120 次 触地时间为 17.1086
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 121 次 触地时间为 17.1352
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 122 次 触地时间为 17.1588
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 123 次 触地时间为 17.1795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 124 次 触地时间为 17.1995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 125 次 触地时间为 17.2195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 126 次 触地时间为 17.2395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 127 次 触地时间为 17.2595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 128 次 触地时间为 17.2795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 129 次 触地时间为 17.2995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 130 次 触地时间为 17.3195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 131 次 触地时间为 17.3395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 132 次 触地时间为 17.3595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 133 次 触地时间为 17.3795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 134 次 触地时间为 17.3995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 135 次 触地时间为 17.4195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 136 次 触地时间为 17.4395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 137 次 触地时间为 17.4595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 138 次 触地时间为 17.4795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 139 次 触地时间为 17.4995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 140 次 触地时间为 17.5195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 141 次 触地时间为 17.5395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 142 次 触地时间为 17.5595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 143 次 触地时间为 17.5795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 144 次 触地时间为 17.5995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 145 次 触地时间为 17.6195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 146 次 触地时间为 17.6395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 147 次 触地时间为 17.6595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 148 次 触地时间为 17.6795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 149 次 触地时间为 17.6995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 150 次 触地时间为 17.7195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 151 次 触地时间为 17.7395

Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 152 次 触地时间为 17.7595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 153 次 触地时间为 17.7795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 154 次 触地时间为 17.7995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 155 次 触地时间为 17.8195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 156 次 触地时间为 17.8395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 157 次 触地时间为 17.8595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 158 次 触地时间为 17.8795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 159 次 触地时间为 17.8995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 160 次 触地时间为 17.9195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 161 次 触地时间为 17.9395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 162 次 触地时间为 17.9595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 163 次 触地时间为 17.9795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 164 次 触地时间为 17.9995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 165 次 触地时间为 18.0195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 166 次 触地时间为 18.0395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 167 次 触地时间为 18.0595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 168 次 触地时间为 18.0795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 169 次 触地时间为 18.0995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 170 次 触地时间为 18.1195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 171 次 触地时间为 18.1395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 172 次 触地时间为 18.1595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 173 次 触地时间为 18.1795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 174 次 触地时间为 18.1995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 175 次 触地时间为 18.2195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 176 次 触地时间为 18.2395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 177 次 触地时间为 18.2595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 178 次 触地时间为 18.2795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 179 次 触地时间为 18.2995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 180 次 触地时间为 18.3195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 181 次 触地时间为 18.3395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 182 次 触地时间为 18.3595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 183 次 触地时间为 18.3795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 184 次 触地时间为 18.3995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 185 次 触地时间为 18.4195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 186 次 触地时间为 18.4395

Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 187 次 触地时间为 18.4595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 188 次 触地时间为 18.4795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 189 次 触地时间为 18.4995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 190 次 触地时间为 18.5195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 191 次 触地时间为 18.5395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 192 次 触地时间为 18.5595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 193 次 触地时间为 18.5795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 194 次 触地时间为 18.5995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 195 次 触地时间为 18.6195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 196 次 触地时间为 18.6395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 197 次 触地时间为 18.6595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 198 次 触地时间为 18.6795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 199 次 触地时间为 18.6995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 200 次 触地时间为 18.7195
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 201 次 触地时间为 18.7395
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 202 次 触地时间为 18.7595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 203 次 触地时间为 18.7795
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 204 次 触地时间为 18.7995
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 205 次 触地时间为 18.8205
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 206 次 触地时间为 18.8474
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 207 次 触地时间为 18.8774
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 208 次 触地时间为 18.9074
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 209 次 触地时间为 18.9374
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 210 次 触地时间为 18.9674
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 211 次 触地时间为 18.9974
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 212 次 触地时间为 19.0274
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 213 次 触地时间为 19.0574
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 214 次 触地时间为 19.0874
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 215 次 触地时间为 19.1174
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 216 次 触地时间为 19.1474
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 217 次 触地时间为 19.1774
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 218 次 触地时间为 19.2074
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 219 次 触地时间为 19.2374
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 220 次 触地时间为 19.2674
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 221 次 触地时间为 19.2974

Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 222 次 触地时间为 19.3274
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 223 次 触地时间为 19.3574
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 224 次 触地时间为 19.3874
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 225 次 触地时间为 19.4174
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 226 次 触地时间为 19.4474
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 227 次 触地时间为 19.4774
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 228 次 触地时间为 19.5074
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 229 次 触地时间为 19.5374
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 230 次 触地时间为 19.5674
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 231 次 触地时间为 19.5974
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 232 次 触地时间为 19.6274
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 233 次 触地时间为 19.6574
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 234 次 触地时间为 19.6874
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 235 次 触地时间为 19.7174
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 236 次 触地时间为 19.7474
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 237 次 触地时间为 19.7774
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 238 次 触地时间为 19.8074
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 239 次 触地时间为 19.8374
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 240 次 触地时间为 19.8674
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 241 次 触地时间为 19.8974
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 242 次 触地时间为 19.9274
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 243 次 触地时间为 19.9574
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 244 次 触地时间为 19.9874
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 245 次 触地时间为 22.02
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 246 次 触地时间为 25.2509
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 247 次 触地时间为 27.8357
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 248 次 触地时间为 29.9034
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 249 次 触地时间为 31.5577
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 250 次 触地时间为 32.881
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 251 次 触地时间为 33.9398
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 252 次 触地时间为 34.7867
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 253 次 触地时间为 35.4643
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 254 次 触地时间为 36.0063
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 255 次 触地时间为 36.44
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 256 次 触地时间为 36.7869

Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 257 次 触地时间为 37.0644
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 258 次 触地时间为 37.2865
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 259 次 触地时间为 37.4641
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 260 次 触地时间为 37.6062
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 261 次 触地时间为 37.7199
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 262 次 触地时间为 37.8108
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 263 次 触地时间为 37.8836
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 264 次 触地时间为 37.9418
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 265 次 触地时间为 37.9883
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 266 次 触地时间为 38.0256
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 267 次 触地时间为 38.0556
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 268 次 触地时间为 38.0856
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 269 次 触地时间为 38.1156
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 270 次 触地时间为 38.1456
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 271 次 触地时间为 38.1756
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 272 次 触地时间为 38.2056
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 273 次 触地时间为 38.2356
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 274 次 触地时间为 38.2656
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 275 次 触地时间为 38.2956
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 276 次 触地时间为 38.3256
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 277 次 触地时间为 38.3556
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 278 次 触地时间为 38.3856
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 279 次 触地时间为 38.4156
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 280 次 触地时间为 38.4456
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 281 次 触地时间为 38.4756
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 282 次 触地时间为 38.5056
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 283 次 触地时间为 38.5356
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 284 次 触地时间为 38.5656
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 285 次 触地时间为 38.5956
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 286 次 触地时间为 38.6256
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 287 次 触地时间为 38.6556
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 288 次 触地时间为 38.6856
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 289 次 触地时间为 38.7156
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 290 次 触地时间为 38.7456
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 291 次 触地时间为 38.7756

Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 292 次 触地时间为 38.8056
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 293 次 触地时间为 38.8356
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 294 次 触地时间为 38.8656
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 295 次 触地时间为 38.8956
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 296 次 触地时间为 38.9222
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 297 次 触地时间为 38.9436
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 298 次 触地时间为 38.9636
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 299 次 触地时间为 38.9836
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 300 次 触地时间为 39.0036
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 301 次 触地时间为 39.0236
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 302 次 触地时间为 39.0436
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 303 次 触地时间为 39.0636
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 304 次 触地时间为 39.0836
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 305 次 触地时间为 39.1036
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 306 次 触地时间为 39.1236
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 307 次 触地时间为 39.1436
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 308 次 触地时间为 39.1636
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 309 次 触地时间为 39.1836
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 310 次 触地时间为 39.2036
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 311 次 触地时间为 39.2236
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 312 次 触地时间为 39.2436
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 313 次 触地时间为 39.2636
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 314 次 触地时间为 39.2836
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 315 次 触地时间为 39.3036
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 316 次 触地时间为 39.3236
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 317 次 触地时间为 39.3436
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 318 次 触地时间为 39.3636
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 319 次 触地时间为 39.3836
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 320 次 触地时间为 39.4036
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 321 次 触地时间为 39.4236
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 322 次 触地时间为 39.4436
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 323 次 触地时间为 39.4636
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 324 次 触地时间为 39.4836
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 325 次 触地时间为 39.5036
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 326 次 触地时间为 39.5236

Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 327 次 触地时间为 39.5436
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 328 次 触地时间为 39.5636
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 329 次 触地时间为 39.5836
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 330 次 触地时间为 39.6036
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 331 次 触地时间为 39.6236
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 332 次 触地时间为 39.6436
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 333 次 触地时间为 39.6636
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 334 次 触地时间为 39.6836
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 335 次 触地时间为 39.7036
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 336 次 触地时间为 39.7236
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 337 次 触地时间为 39.7436
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 338 次 触地时间为 39.7613
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 339 次 触地时间为 39.7769
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 340 次 触地时间为 39.7925
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 341 次 触地时间为 39.808
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 342 次 触地时间为 39.8236
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 343 次 触地时间为 39.8392
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 344 次 触地时间为 39.8548
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 345 次 触地时间为 39.8703
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 346 次 触地时间为 39.8859
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 347 次 触地时间为 39.9015
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 348 次 触地时间为 39.917
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 349 次 触地时间为 39.9326
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 350 次 触地时间为 39.9482
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 351 次 触地时间为 39.9637
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 352 次 触地时间为 39.9793
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 353 次 触地时间为 39.9949
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 354 次 触地时间为 40.0104
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 355 次 触地时间为 40.026
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 356 次 触地时间为 40.0416
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 357 次 触地时间为 40.0571
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 358 次 触地时间为 40.0727
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 359 次 触地时间为 40.0883
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 360 次 触地时间为 40.1038
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 361 次 触地时间为 40.1194

Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 362 次 触地时间为 40.135
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 363 次 触地时间为 40.1506
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 364 次 触地时间为 40.1661
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 365 次 触地时间为 40.1817
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 366 次 触地时间为 40.1973
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 367 次 触地时间为 40.2128
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 368 次 触地时间为 40.2284
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 369 次 触地时间为 40.244
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 370 次 触地时间为 40.2595
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 371 次 触地时间为 40.2751
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 372 次 触地时间为 40.2907
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 373 次 触地时间为 40.3062
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 374 次 触地时间为 40.3218
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 375 次 触地时间为 40.3374
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 376 次 触地时间为 40.3529
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 377 次 触地时间为 40.3685
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 378 次 触地时间为 40.3841
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 379 次 触地时间为 40.3997
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 380 次 触地时间为 40.4152
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 381 次 触地时间为 40.4308
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 382 次 触地时间为 40.4501
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 383 次 触地时间为 40.473
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 384 次 触地时间为 40.4937
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 385 次 触地时间为 40.5137
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 386 次 触地时间为 40.5337
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 387 次 触地时间为 40.5537
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 388 次 触地时间为 40.5737
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 389 次 触地时间为 40.5937
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 390 次 触地时间为 40.6137
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 391 次 触地时间为 40.6337
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 392 次 触地时间为 40.6537
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 393 次 触地时间为 40.6737
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 394 次 触地时间为 40.6937
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 395 次 触地时间为 40.7137
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 396 次 触地时间为 40.7337

Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 397 次 触地时间为 40.7537
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 398 次 触地时间为 40.7737
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 399 次 触地时间为 40.7937
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 400 次 触地时间为 40.8137
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 401 次 触地时间为 40.8337
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 402 次 触地时间为 40.8537
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 403 次 触地时间为 40.8737
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 404 次 触地时间为 40.8937
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 405 次 触地时间为 40.9137
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 406 次 触地时间为 40.9337
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 407 次 触地时间为 40.9537
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 408 次 触地时间为 40.9737
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 409 次 触地时间为 40.9915
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 410 次 触地时间为 41.0115
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 411 次 触地时间为 41.0321
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 412 次 触地时间为 41.0521
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 413 次 触地时间为 41.0721
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 414 次 触地时间为 41.0921
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 415 次 触地时间为 41.1121
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 416 次 触地时间为 41.1321
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 417 次 触地时间为 41.1521
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 418 次 触地时间为 41.1721
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 419 次 触地时间为 41.1921
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 420 次 触地时间为 41.2121
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 421 次 触地时间为 41.2321
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 422 次 触地时间为 41.2521
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 423 次 触地时间为 41.2721
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 424 次 触地时间为 41.2921
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 425 次 触地时间为 41.3121
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 426 次 触地时间为 41.3321
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 427 次 触地时间为 41.3521
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 428 次 触地时间为 41.3721
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 429 次 触地时间为 41.3921
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 430 次 触地时间为 41.4121
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 431 次 触地时间为 41.4324

Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 432 次 触地时间为 41.4514
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 433 次 触地时间为 41.4705
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 434 次 触地时间为 41.4895
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 435 次 触地时间为 41.5086
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 436 次 触地时间为 41.5276
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 437 次 触地时间为 41.5467
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 438 次 触地时间为 41.5657
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 439 次 触地时间为 41.5848
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 440 次 触地时间为 41.6038
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 441 次 触地时间为 41.6229
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 442 次 触地时间为 41.6419
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 443 次 触地时间为 41.661
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 444 次 触地时间为 41.68
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 445 次 触地时间为 41.6991
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 446 次 触地时间为 41.7181
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 447 次 触地时间为 41.7372
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 448 次 触地时间为 41.7562
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 449 次 触地时间为 41.7769
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 450 次 触地时间为 41.8034
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 451 次 触地时间为 41.8334
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 452 次 触地时间为 41.8634
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 453 次 触地时间为 41.8934
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 454 次 触地时间为 41.9234
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 455 次 触地时间为 41.9534
Double Bouncing Ball 模型小球 1 第 456 次 触地时间为 41.9834

Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 1 次 触地时间为 5.0968
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 2 次 触地时间为 9.1743
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 3 次 触地时间为 12.4363
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 4 次 触地时间为 15.0459
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 5 次 触地时间为 17.1335
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 6 次 触地时间为 18.8037
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 7 次 触地时间为 20.1398
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 8 次 触地时间为 21.2087
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 9 次 触地时间为 22.0638

Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 10 次 触地时间为 22.7479
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 11 次 触地时间为 23.2951
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 12 次 触地时间为 23.7329
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 13 次 触地时间为 24.0832
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 14 次 触地时间为 24.3634
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 15 次 触地时间为 24.5876
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 16 次 触地时间为 24.7669
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 17 次 触地时间为 24.9103
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 18 次 触地时间为 26.9878
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 19 次 触地时间为 30.22
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 20 次 触地时间为 32.8057
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 21 次 触地时间为 34.8743
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 22 次 触地时间为 36.5291
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 23 次 触地时间为 37.853
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 24 次 触地时间为 38.9121
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 25 次 触地时间为 39.7594
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 26 次 触地时间为 40.4372
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 27 次 触地时间为 40.9795
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 28 次 触地时间为 41.4133
Double Bouncing Ball 模型小球 2 第 29 次 触地时间为 41.7603

ControllerTuneParaSave.m

```
%% 控制器参数整定数据保存
clc, close all
% 获取各不同控制器控制下状态输出的数据
%% 清零, 防止参数整定停滞
Kq=0;Ktheta=0;KthetaD=0;KthetaI=0;KthetaV=0;KqV=0;KDeltaV=0;Lq=0;Ltheta=0;LV=0;LVdo
t=0;LVI=0;

%% P姿态控制, 自动油门开
State_thetaP_AT.data = [DELTA_V.data DELTA_alpha.data DELTA_q.data
DELTA_theta.data];
State_thetaP_AT.time = [DELTA_V.time DELTA_alpha.time DELTA_q.time
DELTA_theta.time];
State_thetaP_AT.paraname = ["Kq", "Ktheta", "KthetaV", "KqV", "KDeltaV"];
State_thetaP_AT.para = [Kq Ktheta KthetaV KqV KDeltaV];

%% PI姿态控制, 自动油门开
```

```

State_thetaPI_AT.data = [DELTA_V.data DELTA_alpha.data DELTA_q.data
DELTA_theta.data];
State_thetaPI_AT.time = [DELTA_V.time DELTA_alpha.time DELTA_q.time
DELTA_theta.time];
State_thetaPI_AT.paraname = ["Kq", "Ktheta", "KthetaI", "KthetaV", "KqV", "KDeltaV"];
State_thetaPI_AT.para = [Kq Ktheta KthetaI KthetaV KqV KDeltaV];

%% PID姿态控制，自动油门开
State_thetaPID_AT.data = [DELTA_V.data DELTA_alpha.data DELTA_q.data
DELTA_theta.data];
State_thetaPID_AT.time = [DELTA_V.time DELTA_alpha.time DELTA_q.time
DELTA_theta.time];
State_thetaPID_AT.paraname =
["Kq", "Ktheta", "KthetaD", "KthetaI", "KthetaV", "KqV", "KDeltaV"];
State_thetaPID_AT.para = [Kq Ktheta KthetaD KthetaI KthetaV KqV KDeltaV];

%% 油门速度控制， PI姿态控制
State_thetaPI_VAT.data = [DELTA_V.data DELTA_alpha.data DELTA_q.data
DELTA_theta.data];
State_thetaPI_VAT.time = [DELTA_V.time DELTA_alpha.time DELTA_q.time
DELTA_theta.time];
State_thetaPI_VAT.paraname = ["Kq", "Ktheta", "KthetaI", "KthetaV", "KqV", "KDeltaV"];
State_thetaPI_VAT.para = [Kq Ktheta KthetaI KthetaV KqV KDeltaV];

%% P升降舵速度控制， PI姿态控制， 自动油门开
State_thetaPI_VP.data = [DELTA_V.data DELTA_alpha.data DELTA_q.data
DELTA_theta.data];
State_thetaPI_VP.time = [DELTA_V.time DELTA_alpha.time DELTA_q.time
DELTA_theta.time];
State_thetaPI_VP.paraname =
["Kq", "Ktheta", "KthetaI", "KthetaV", "KqV", "KDeltaV", "Lq", "Ltheta", "LV"];
State_thetaPI_VP.para = [Kq Ktheta KthetaI KthetaV KqV KDeltaV Lq Ltheta LV];

%% PI升降舵速度控制， PI姿态控制， 自动油门开
State_thetaPI_VPI.data = [DELTA_V.data DELTA_alpha.data DELTA_q.data
DELTA_theta.data];
State_thetaPI_VPI.time = [DELTA_V.time DELTA_alpha.time DELTA_q.time
DELTA_theta.time];
State_thetaPI_VPI.paraname =
["Kq", "Ktheta", "KthetaI", "KthetaV", "KqV", "KDeltaV", "Lq", "Ltheta", "LV", "LVI"];
State_thetaPI_VPI.para = [Kq Ktheta KthetaI KthetaV KqV KDeltaV Lq Ltheta LV LVI];

%% PID升降舵速度控制， PI姿态控制， 自动油门开
State_thetaPI_VPID.data = [DELTA_V.data DELTA_alpha.data DELTA_q.data

```

```

    DELTA_theta.data];
State_thetaPI_VPID.time = [DELTA_V.time DELTA_alpha.time DELTA_q.time
    DELTA_theta.time];
State_thetaPI_VPID.paraname =
["Kq", "Ktheta", "KthetaI", "KthetaV", "KqV", "KDeltaV", "Lq", "Ltheta", "LV", "LVdot", "LVI"];
State_thetaPI_VPID.para = [Kq Ktheta KthetaI KthetaV KqV KDeltaV Lq Ltheta LV LVdot
    LVI];

%% 参数与状态响应保存
save ControllerTuneResult State_thetaP_AT State_thetaPI_AT State_thetaPID_AT
State_thetaPI_VAT State_thetaPI_VP State_thetaPI_VPI State_thetaPI_VPID

```

ControllerTuneHuatu.m

```

%% 参数与状态响应加载
clc, close all
load ControllerTuneResult

%% 姿态控制画图
figure('Name','姿态控制响应曲线','NumberTitle','off')
subplot(2,2,1)
plot(State_thetaP_AT.time(:,1),State_thetaP_AT.data(:,1),'r--','LineWidth',1),hold
on
plot(State_thetaPI_AT.time(:,1),State_thetaPI_AT.data(:,1),'k-','LineWidth',1),hold
on
plot(State_thetaPID_AT.time(:,1),State_thetaPID_AT.data(:,1),'b-.','LineWidth',1),h
old on
xlabel('time/s'), ylabel('data')
grid on, title('|\Delta V|')
subplot(2,2,2)
plot(State_thetaP_AT.time(:,2),State_thetaP_AT.data(:,2),'r--','LineWidth',1),hold
on
plot(State_thetaPI_AT.time(:,2),State_thetaPI_AT.data(:,2),'k-','LineWidth',1),hold
on
plot(State_thetaPID_AT.time(:,2),State_thetaPID_AT.data(:,2),'b-.','LineWidth',1),h
old on
xlabel('time/s'), ylabel('data')
grid on, title('|\Delta \alpha|')
subplot(2,2,3)
plot(State_thetaP_AT.time(:,3),State_thetaP_AT.data(:,3),'r--','LineWidth',1),hold
on
plot(State_thetaPI_AT.time(:,3),State_thetaPI_AT.data(:,3),'k-','LineWidth',1),hold
on

```

```

plot(State_thetaPID_AT.time(:,3),State_thetaPID_AT.data(:,3),'b-','LineWidth',1),hold on
xlabel(' time/s'), ylabel(' data')
grid on, title(' \Delta q')
subplot(2,2,4)
plot(State_thetaP_AT.time(:,4),State_thetaP_AT.data(:,4),'r--','LineWidth',1),hold on
plot(State_thetaPI_AT.time(:,4),State_thetaPI_AT.data(:,4),'k-','LineWidth',1),hold on
plot(State_thetaPID_AT.time(:,4),State_thetaPID_AT.data(:,4),'b-','LineWidth',1),hold on
xlabel(' time/s'), ylabel(' data')
grid on, title(' \Delta \theta')
legend({'P','PI','PID'},'Location','best')

Stepinfo_thetaP_AT =
stepinfo(State_thetaP_AT.data(:,4),State_thetaP_AT.time(:,4),5);
Stepinfo_thetaPI_AT =
stepinfo(State_thetaPI_AT.data(:,4),State_thetaPI_AT.time(:,4),5);
Stepinfo_thetaPID_AT =
stepinfo(State_thetaPID_AT.data(:,4),State_thetaPID_AT.time(:,4),5);
disp('P姿态控制俯仰角阶跃响应参数: ')
disp(['峰值时间(s): ', num2str(Stepinfo_thetaP_AT.PeakTime) , ' 超调量(%): ',
num2str(Stepinfo_thetaP_AT.Overshoot) , ' 调节时间(s): ',
num2str(Stepinfo_thetaP_AT.SettlingTime)])
disp('PI姿态控制俯仰角阶跃响应参数: ')
disp(['峰值时间(s): ', num2str(Stepinfo_thetaPI_AT.PeakTime) , ' 超调量(%): ',
num2str(Stepinfo_thetaPI_AT.Overshoot) , ' 调节时间(s): ',
num2str(Stepinfo_thetaPI_AT.SettlingTime)])
disp('PID姿态控制俯仰角阶跃响应参数: ')
disp(['峰值时间(s): ', num2str(Stepinfo_thetaPID_AT.PeakTime) , ' 超调量(%): ',
num2str(Stepinfo_thetaPID_AT.Overshoot) , ' 调节时间(s): ',
num2str(Stepinfo_thetaPID_AT.SettlingTime)])

%% 速度控制画图
figure('Name','速度控制响应曲线','NumberTitle','off')
subplot(2,2,1)
plot(State_thetaPI_VAT.time(:,1),State_thetaPI_VAT.data(:,1),'m--',
,'LineWidth',1),hold on
plot(State_thetaPI_VP.time(:,1),State_thetaPI_VP.data(:,1),'r--',
,'LineWidth',1),hold on
plot(State_thetaPI_VPI.time(:,1),State_thetaPI_VPI.data(:,1),'k-',
,'LineWidth',1),hold on
plot(State_thetaPI_VPID.time(:,1),State_thetaPI_VPID.data(:,1),'b-',
,'LineWidth',1)

```

```

,hold on
xlabel(' time/s'), ylabel(' data')
grid on, title(' \Delta V')
subplot(2, 2, 1)
plot(State_thetaPI_VAT.time(:, 2), State_thetaPI_VAT.data(:, 2), 'm--'
', 'LineWidth', 1), hold on
plot(State_thetaPI_VP.time(:, 2), State_thetaPI_VP.data(:, 2), 'r--'
', 'LineWidth', 1), hold on
plot(State_thetaPI_VPI.time(:, 2), State_thetaPI_VPI.data(:, 2), 'k--'
', 'LineWidth', 1), hold on
plot(State_thetaPI_VPID.time(:, 2), State_thetaPI_VPID.data(:, 2), 'b--', 'LineWidth', 1)
, hold on
xlabel(' time/s'), ylabel(' data')
grid on, title(' \Delta \alpha')
subplot(2, 2, 2)
plot(State_thetaPI_VAT.time(:, 3), State_thetaPI_VAT.data(:, 3), 'm--'
', 'LineWidth', 1), hold on
plot(State_thetaPI_VP.time(:, 3), State_thetaPI_VP.data(:, 3), 'r--'
', 'LineWidth', 1), hold on
plot(State_thetaPI_VPI.time(:, 3), State_thetaPI_VPI.data(:, 3), 'k--'
', 'LineWidth', 1), hold on
plot(State_thetaPI_VPID.time(:, 3), State_thetaPI_VPID.data(:, 3), 'b--', 'LineWidth', 1)
, hold on
xlabel(' time/s'), ylabel(' data')
grid on, title(' \Delta q')
subplot(2, 2, 3)
plot(State_thetaPI_VAT.time(:, 4), State_thetaPI_VAT.data(:, 4), 'm--'
', 'LineWidth', 1), hold on
plot(State_thetaPI_VP.time(:, 4), State_thetaPI_VP.data(:, 4), 'r--'
', 'LineWidth', 1), hold on
plot(State_thetaPI_VPI.time(:, 4), State_thetaPI_VPI.data(:, 4), 'k--'
', 'LineWidth', 1), hold on
plot(State_thetaPI_VPID.time(:, 4), State_thetaPI_VPID.data(:, 4), 'b--', 'LineWidth', 1)
, hold on
xlabel(' time/s'), ylabel(' data')
grid on, title(' \Delta \theta')
legend({' 控油门', ' 控升降舵P', ' 控升降舵PI', ' 控升降舵PID'}, 'Location', 'best')

Stepinfo_thetaPI_VAT =
stepinfo(State_thetaPI_VAT.data(:, 4), State_thetaPI_VAT.time(:, 4), 5);
Stepinfo_thetaPI_VP =
stepinfo(State_thetaPI_VP.data(:, 4), State_thetaPI_VP.time(:, 4), 5);
Stepinfo_thetaPI_VPI =
stepinfo(State_thetaPI_VPI.data(:, 4), State_thetaPI_VPI.time(:, 4), 5);

```

```
Stepinfo_thetaPI_VPID =
stepinfo(State_thetaPI_VPID.data(:,4),State_thetaPI_VPID.time(:,4),5);
disp('油门速度控制俯仰角阶跃响应参数: ')
disp(['峰值时间(s): ', num2str(Stepinfo_thetaPI_VAT.PeakTime) , ' 超调量(%): ',
num2str(Stepinfo_thetaPI_VAT.Overshoot) , ' 调节时间(s): ',
num2str(Stepinfo_thetaPI_VAT.SettlingTime)])
disp('P升降舵速度控制俯仰角阶跃响应参数: ')
disp(['峰值时间(s): ', num2str(Stepinfo_thetaPI_VP.PeakTime) , ' 超调量(%): ',
num2str(Stepinfo_thetaPI_VP.Overshoot) , ' 调节时间(s): ',
num2str(Stepinfo_thetaPI_VP.SettlingTime)])
disp('PI升降舵速度控制俯仰角阶跃响应参数: ')
disp(['峰值时间(s): ', num2str(Stepinfo_thetaPI_VPI.PeakTime) , ' 超调量(%): ',
num2str(Stepinfo_thetaPI_VPI.Overshoot) , ' 调节时间(s): ',
num2str(Stepinfo_thetaPI_VPI.SettlingTime)])
disp('PID升降舵速度控制俯仰角阶跃响应参数: ')
disp(['峰值时间(s): ', num2str(Stepinfo_thetaPI_VPID.PeakTime) , ' 超调量(%): ',
num2str(Stepinfo_thetaPI_VPID.Overshoot) , ' 调节时间(s): ',
num2str(Stepinfo_thetaPI_VPID.SettlingTime)])
```