

# 液压传动及控制 II 实验

## 电液比例换向阀的位置控制实验



组 长： 刘侃 3220103259

---

组 员： 方天润 3220102988

---

余书阳 3220103741

---

学 院： 机械工程学院

---

专 业： 机械工程

---

2025 年 05 月

## 一、 实验目的

指导学生开发基于快速原型控制技术的位置及反馈校正控制程序，处理实验数据而获取响应曲线，并评价系统的动态跟踪性能，探索电液伺服实验台在实践教学中的应用。

## 二、 实验内容与步骤

### (1) 实验准备

- 1、关闭球阀 6.1，打开球阀 16.1，16.2，节流阀旋至最紧，电磁换向阀 11 得电。
- 2、掌握数据观察记录软件 MlcTrending 的使用方法，软件设置见附录二：MlcTrending 基本使用方法。
- 3、位置控制实验的用户名：**userPiac**，密码 **123321**。
- 4、系统参数设置。

### (2) 了解 Moveabs 用法

Moveabs：点到点的闭环位置控制，目标位置，速度，加减速速度可设定

- 1、测试 Valve offset [%]对定位精度的影响。
- 2、测试 Integration time constant [ms] 对定位精度的影响。
- 3、测试并了解油缸运动过程中，插值位置、实际位置、速度、计算位置误差、跟随误差的变化。

### (3) 了解 Moveabs2 用法

Moveabs2：点到点的位置控制，包含了两套目标位置和速度的设定。

- 1、设计几组不同的目标位置，了解指令的执行过程。
- 2、在 MLC Trending 软件进行数据采集和观测，以及基础分析，将数据导出后，MATLAB 画图分析。

### (4) 了解 PDB 的用法

PDB control：路径相关的制动控制，开环转闭环控制，闭环窗口，残余速度，减速特性可设定。

- 1、改变参数，了解指令的执行过程以及位置偏差变化。在 MLC Trending 软件进行数据采集和观测，以及基础分析。
- 2、将数据导出后，MATLAB 画图分析，了解个设置参数的意义。

### (5) 了解 Manual Op 手动模式的使用方法

Jog mode：手动开环控制模式，可点动伸缩油缸，比例阀开口和斜坡可设定。

- 1、设计几组不同的阀口开度及斜坡，了解指令的执行过程。
- 2、在 MLC Trending 软件进行数据采集和观测，以及基础分析。将数据导出后，MATLAB 画图分析。

### (6) 控制器参数整定实验

- 1、了解不同比例参数对位置控制系统阶跃响应及最终定位精度的影响。阶跃响应的幅值：1mm。控制器比例参数 0.1-1.5 之间。
- 2、了解不同积分参数对位置控制系统阶跃响应及最终定位精度的影响。阶跃响应的幅值：

1mm。控制器比例参数选择合适值后，调整不同的积分常数。

3、选定合适 PI 参数，测试几组不同频率的位移正弦响应曲线。频率 0.1—1HZ，幅值 10mm。

4、选定合适 PI 参数，使用 Moveabs 指令，测试油缸运动过程中计算位置误差、跟随误差的变化。与第一个实验（初始参数）进行比较分析。

5、尝试改变 Direction-dependent gain 的数值，是否影响油缸正反向运动的误差。

### 三、实验数据记录与分析

#### (1) Moveabs

##### 1. Valve offset [%]

通过手动调整 Valve offset 的值，测得阀芯实际位移如下：

offset	Integration time constant	cmd	actual
0.25	0	50	49.975
0.7	0	50	49.985
0.9	0	50	49.990
1.5	0	50	50.000
10	0	50	50.105
0.25	60	50	50.000
0.7	60	50	50.000
0.9	60	50	50.000

##### 2. Integration time constant [ms]

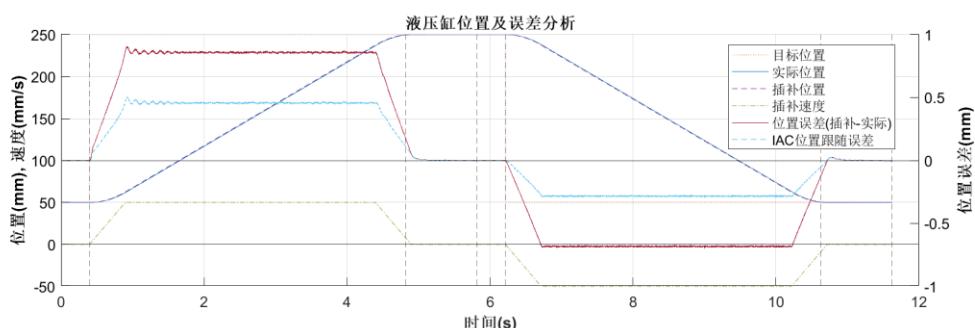
取 Valve offset = 0.25，通过手动调整 Integration time constant 的值，测得阀芯实际位移如下：

offset	Integration time constant	cmd	actual
0.25	5	50	49.990
0.25	10	50	49.995
0.25	30	50	50.005
0.25	120	50	50.000

##### 3. 插值位置、实际位置、速度、计算位置误差、跟随误差的变化

使用 MATLAB 绘图，在原代码上进行了修改，结果图如下（完整代码见 moveabs.m）。

代码改进：在过渡点添加了误差比较；新增了阀门指令与位置误差之间的相关性分析；包含了详细的统计计算结果输出到控制台；一定的美化措施。



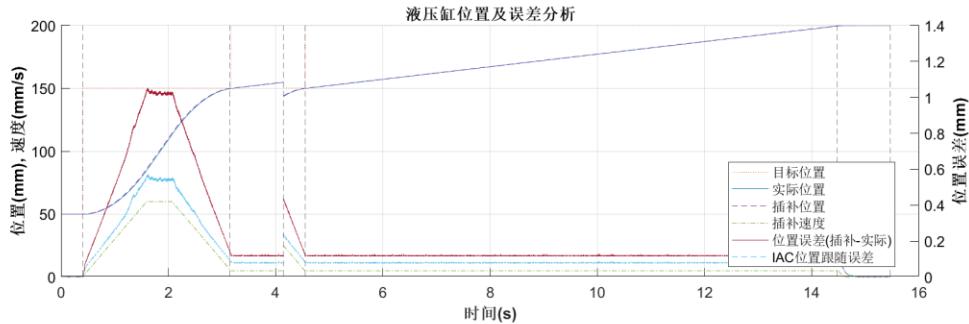
#### (2) Moveabs2

进行了多组位置的数据记录，使用 MATLAB 绘图，基本同 moveabs.m

代码优化：目标位置和实际位置偏差超过  $\text{eps}$  视为一个间断点

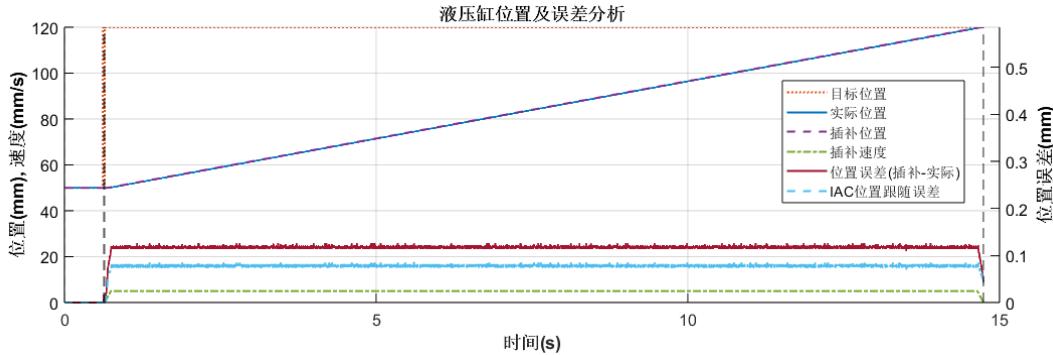
1、

Moevabs2 parameter set	
Position1[mm]	150
Velocity1[mm/s]	60
Position2[mm]	200
Velocity2[mm/s]	5
acceleration[mm <sup>2</sup> /s]	50
deceleration[mm <sup>2</sup> /s]	50



2、

Moevabs2 parameter set	
Position1[mm]	150
Velocity1[mm/s]	60
Position2[mm]	120
Velocity2[mm/s]	5
acceleration[mm <sup>2</sup> /s]	50
deceleration[mm <sup>2</sup> /s]	50



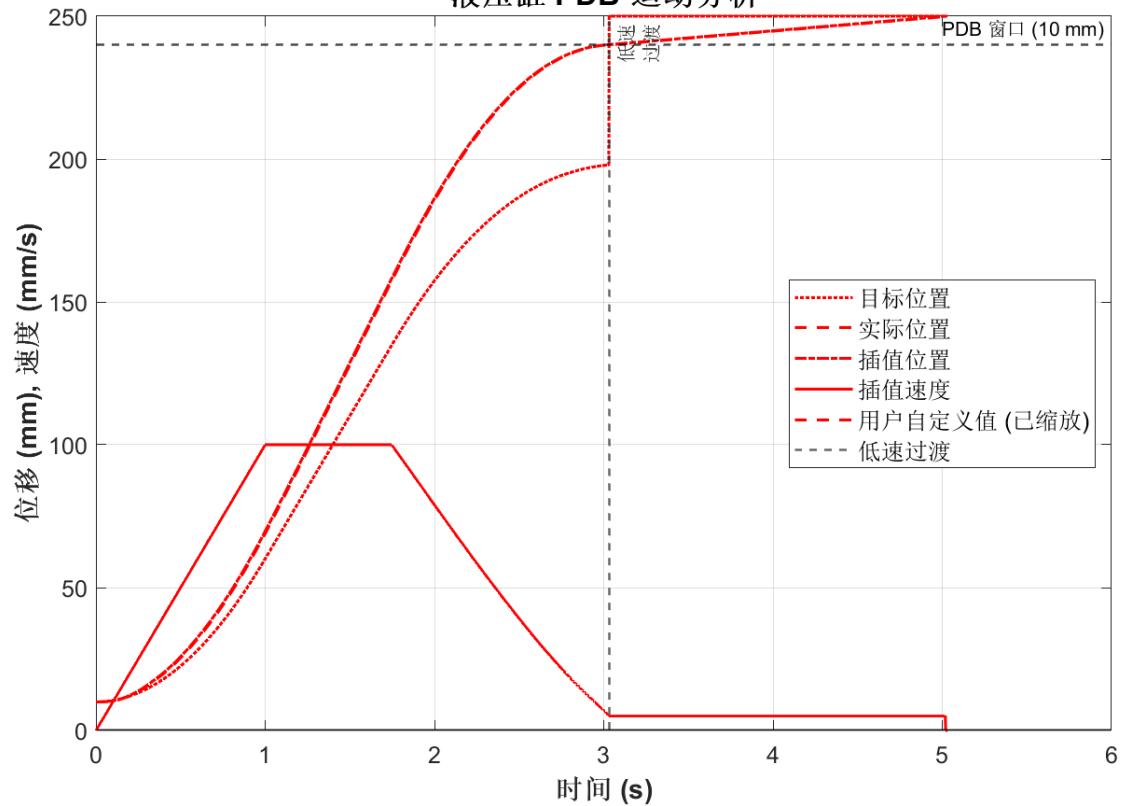
在 MoveABS2 模式下，液压缸的运动过程分为两个阶段，通过不同的速度参数实现分段控制。首先，油缸以预设的初始速度和加速度向第一目标位置移动，接近目标时逐渐减速；当速度降至第二段允许的最高速度时，系统立即切换目标位置，并以较低速度完成最终定位。在这一过程中，位置跟随误差会因加速度突变和速度变化而动态波动——加速或减速阶段误差显著增大，且速度越高误差越明显，而一旦油缸完全停止，误差则趋于零。这种误差特性表明，动态运动阶段的惯性延迟和系统响应是误差的主要来源，而在稳态低速或静止状态下，控制精度能够达到较高水平。因此，合理设置速度、加速度和减速度参数对平衡运动效率和定位精度至关重要。

### (3) PDB

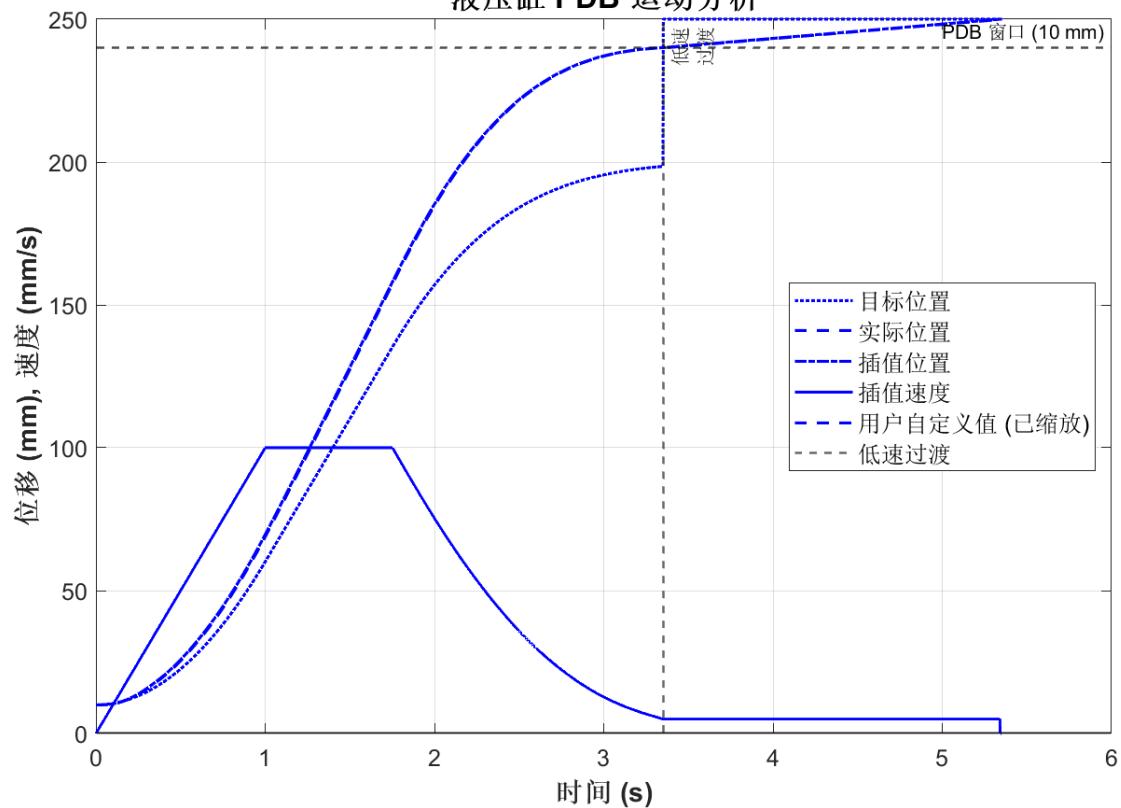
1、指定初始位置为 10mm，目标位置为 250mm。油缸高速运动速度为100mm/s。此部分完整代码见 pdb.m。

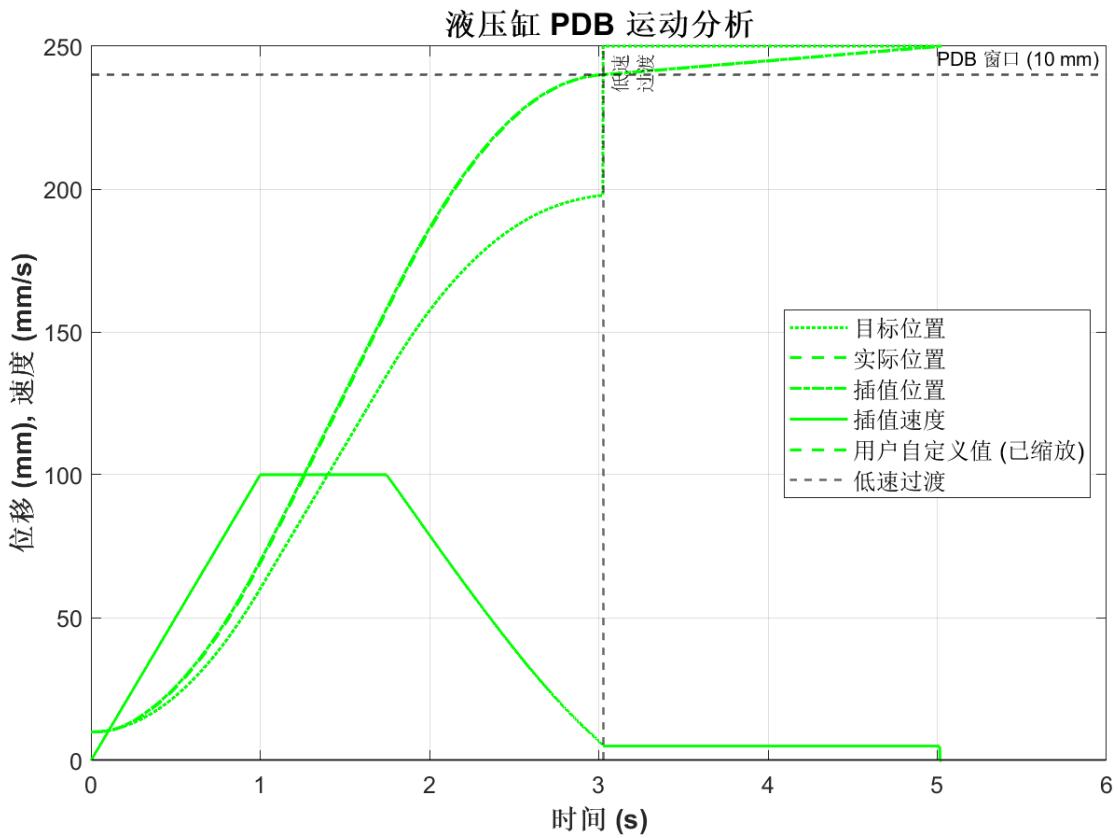
2、设定 PDB 窗口 window = 10，改变油缸 brake 和减加速度，进行绘图，结果如下

### 液压缸 PDB 运动分析

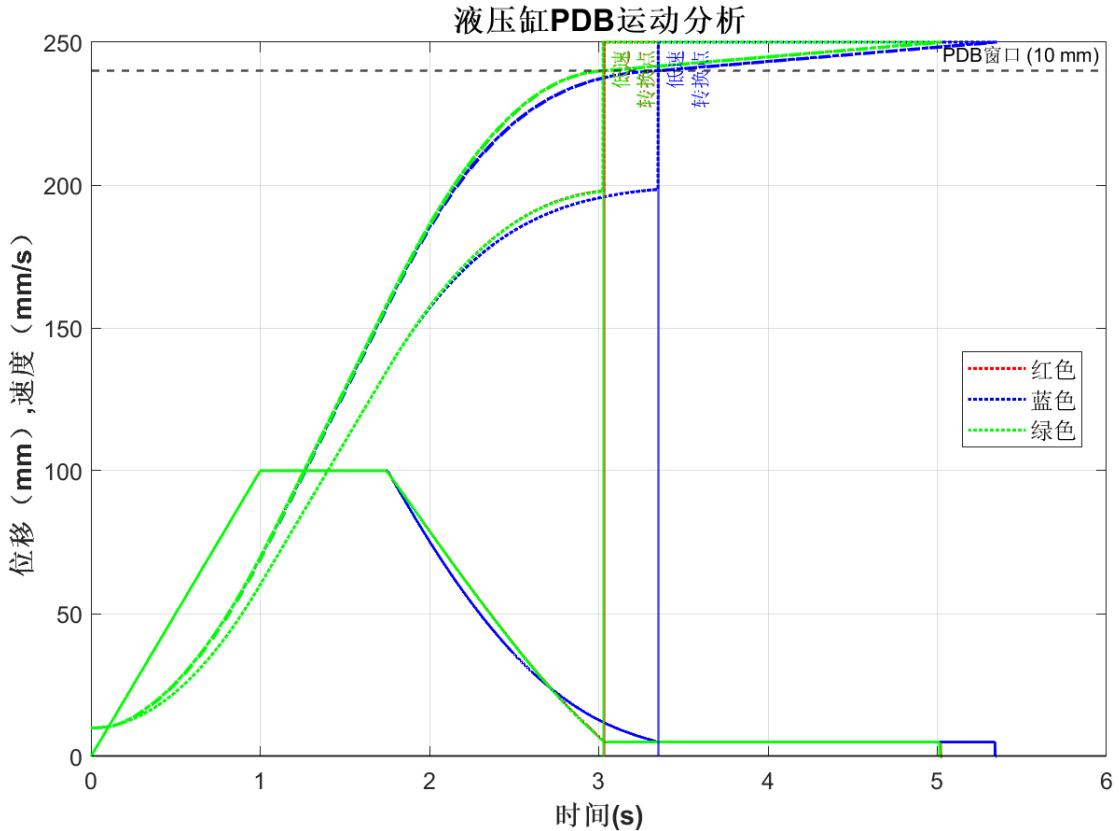


### 液压缸 PDB 运动分析





将上述三张图置于一张图中可以得到：

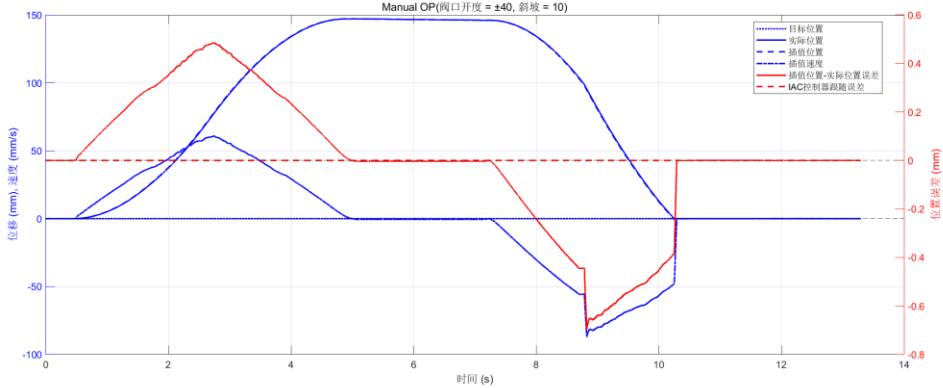


从中可以得到，brake 越大，油缸减速时缓冲越平滑，到达目标点的时间越长。而减加速度的改变对油缸的运动特性几乎没有影响。

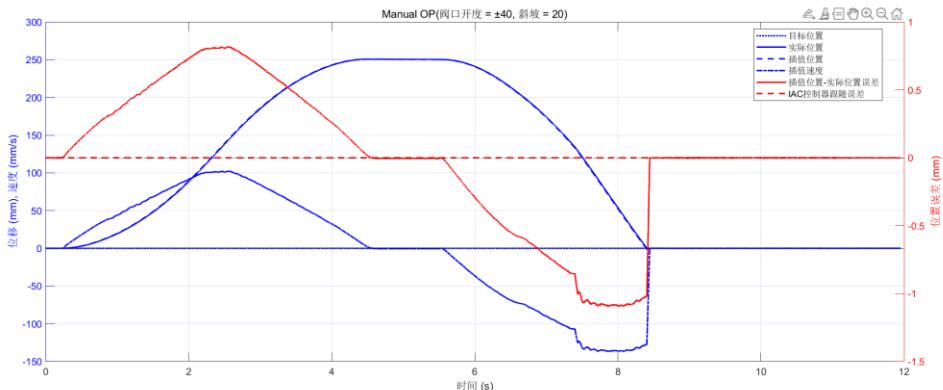
#### (4) Manual OP

完整代码见 ManualOP.m。

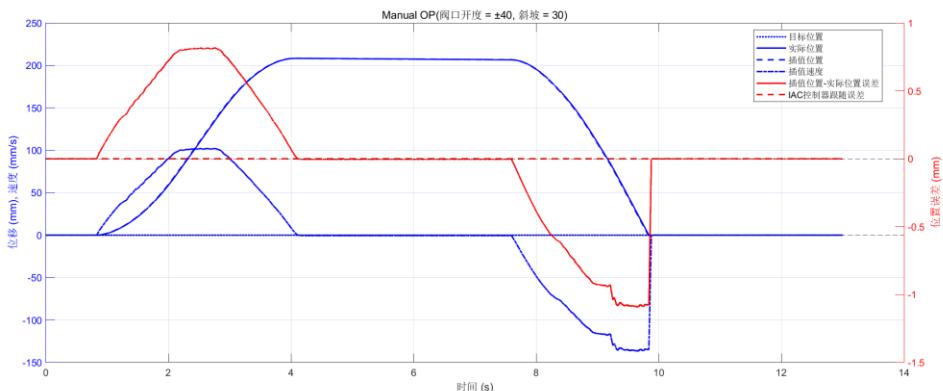
1、plus 40 minus -40 ramp 10, 结果如下图:



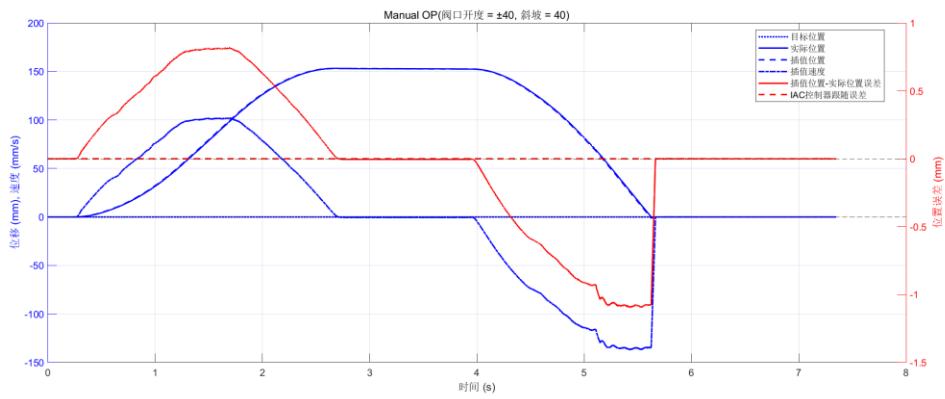
2、plus 40 minus -40 ramp 20, 结果如下图:



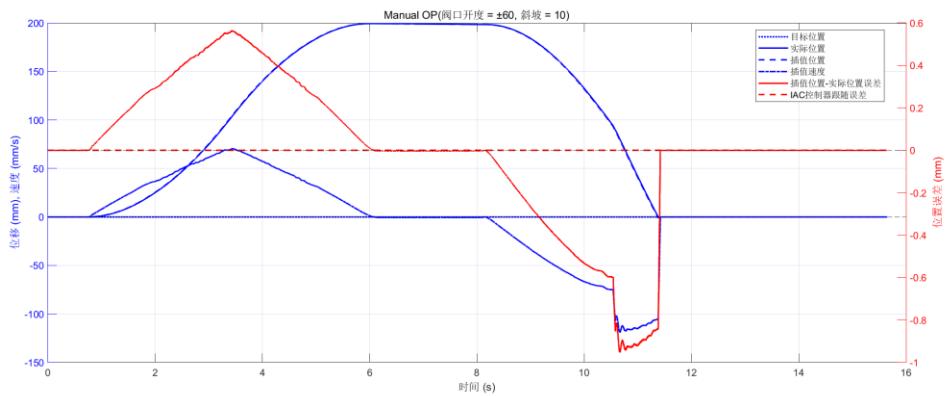
3、plus 40 minus -40 ramp 30, 结果如下图:



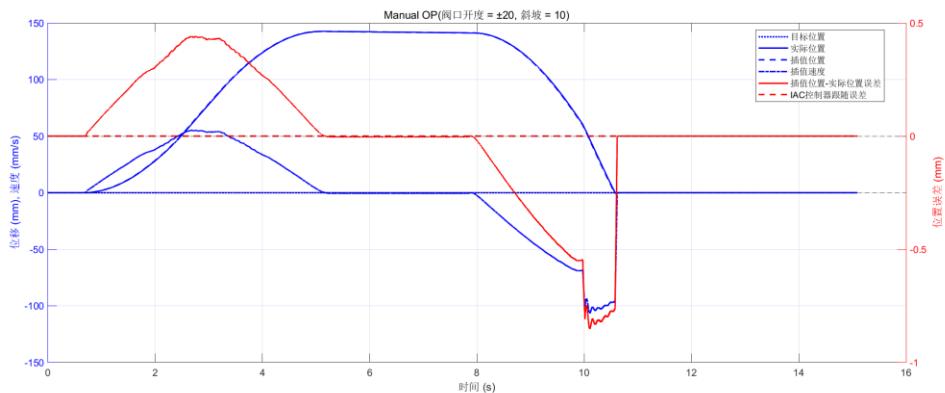
4、plus 40 minus -40 ramp 40, 结果如下图:



5、plus 60 minus -60 ramp 10, 结果如下图:



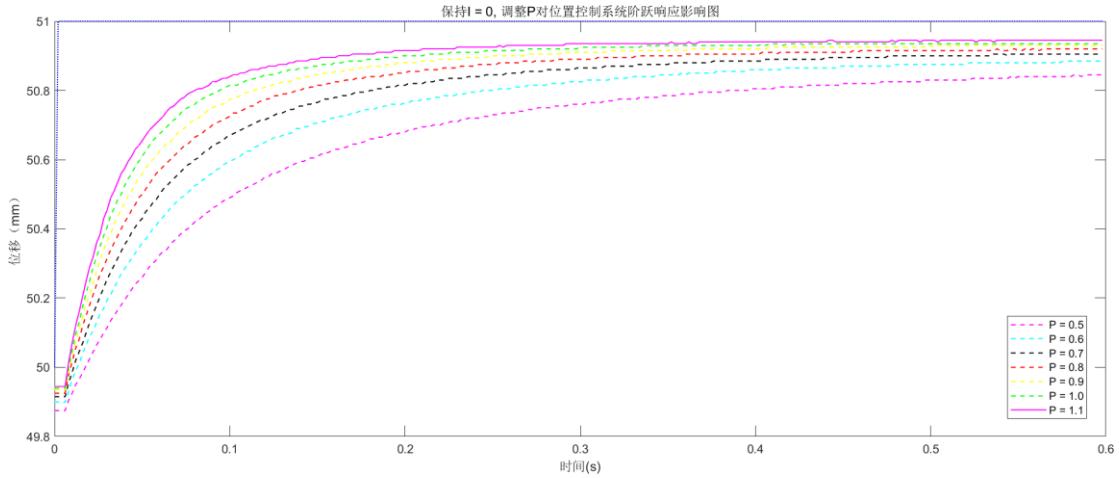
6、plus 20 minus -20 ramp 10, 结果如下图:



从中可以得到，斜坡越大，油缸阀芯的加速度越高，系统响应速度越快；阀口开度越大，油缸阀芯的最高速度越快；位置跟随误差在加速度突变时开始变化，且随着速度的增大而增大，速度为零时位置跟随误差接近于零。

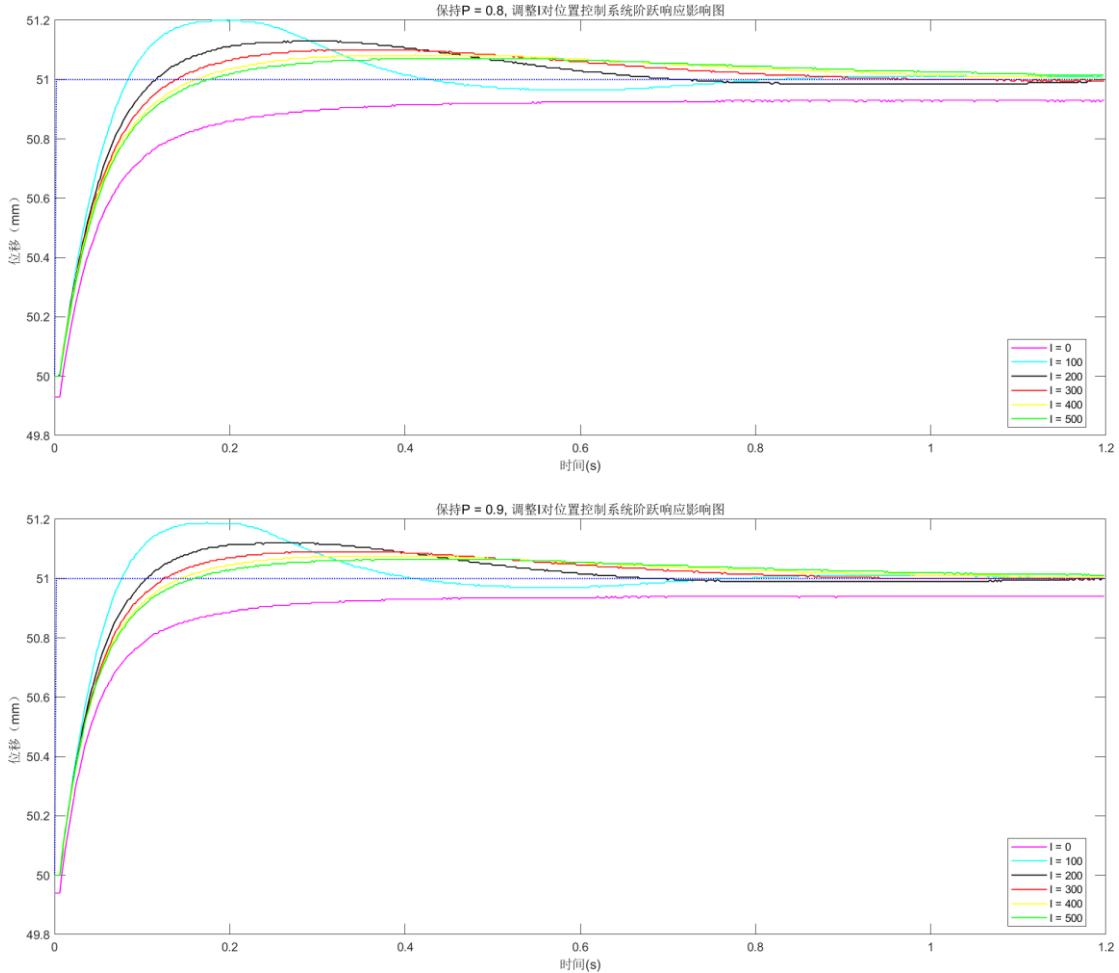
#### (4) 控制器参数整定实验

1、保持 PI 控制器中积分  $I=0$ ，调整比例常数  $P$  从 0.5 至 1.1，位置控制系统阶跃响应影响图如下，图中蓝色点线为阶跃信号。具体代码见 step\_PI\_1.m。



比例环节通过比较当前值与设定值之间的差异，将差异按比例  $P$  反馈至系统中从而使系统当前值与设定值之间的差异变小。从图中可以发现，适当增加比例常数  $P$  可以使得系统更快接近设定值。

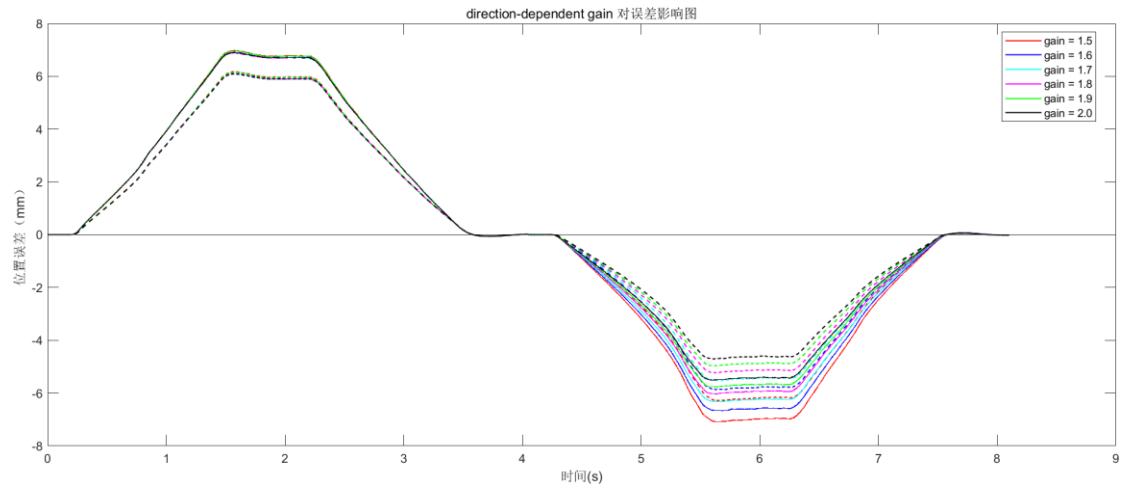
2、保持 PI 控制器中比例  $P=0.8$  或  $0.9$ ，调整积分常数  $I$  从 0 至 500，位置控制系统阶跃响应影响图如下，图中蓝色点线为阶跃信号。具体代码见 `step_PI_2.m`。



积分环节通过积分来消除系统的静态误差，即当存在当前值与设定值的偏差时，通过积分控制器将偏差累计起来，直到偏差消失。积分常数  $I$  越小（非 0 时），积分的速度越快，可以更快消除误差，但  $I$  过小（非 0 时），会使得积分作用过大，使系统超调量变大，出现

震荡，以至不稳定。

3、改变 Direction-dependent gain 的值分别为 1.5,1.6,1.7,1.8,1.9,2.0，液压阀位置、误差图如下。



可以从图中发现，随着 direction-dependent gain 的增大，液压阀在正向运动时的误差不变，而反向运动时误差整体上移，使得最大偏差变小。