

过程控制实验报告

——李昭阳 2021013445

对象动态特性和 PI 控制器特性

一、实验目的

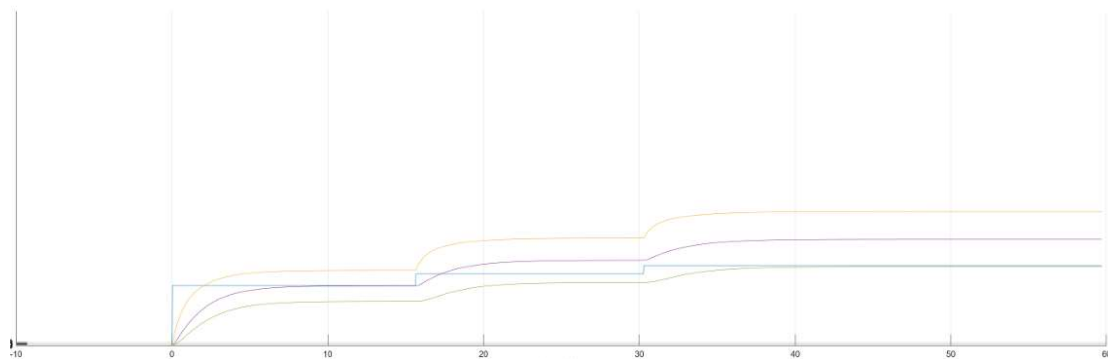
1. 熟悉液位过程控制实验系统；
2. 学习被控对象动态特性的工程测试方法；
3. 掌握被控对象动态特性特征参数的求取方法；
4. 绘制比例积分系统控制过程的图谱；
5. 掌握控制器比例积分参数对控制过程动态品质指标的影响规律。

二、实验内容

1. 液位对象动态特性及工作点的影响

- a) 建立初稳态(调整控制器操纵值 $MV=18$ ，使第三水柱的液位稳定在 14 左右)。
- b) 施加控制器操纵值 MV 阶跃扰动(手动调整 $MV=21.5$ ，使其阶跃增加 5)。
- c) 以新的稳态为基础，同方向施加控制器操纵值 MV 阶跃扰动(手动调整 $MV=24$ ，使其阶跃增加 5)。
- d) 记录并绘制两次飞升曲线（阶跃曲线），记做曲线 1.1 和曲线 1.2（可保存数据成 txt 文本文件）；求取三容液位对象的特征参数

得到曲线 1.1 和曲线 1.2 如下，



曲线 1.1 和曲线 1.2

根据两次飞升曲线，由动态参数法计算特征参数得到，

$$K = 2.16$$

$$\tau = 0.72 \text{ min}$$

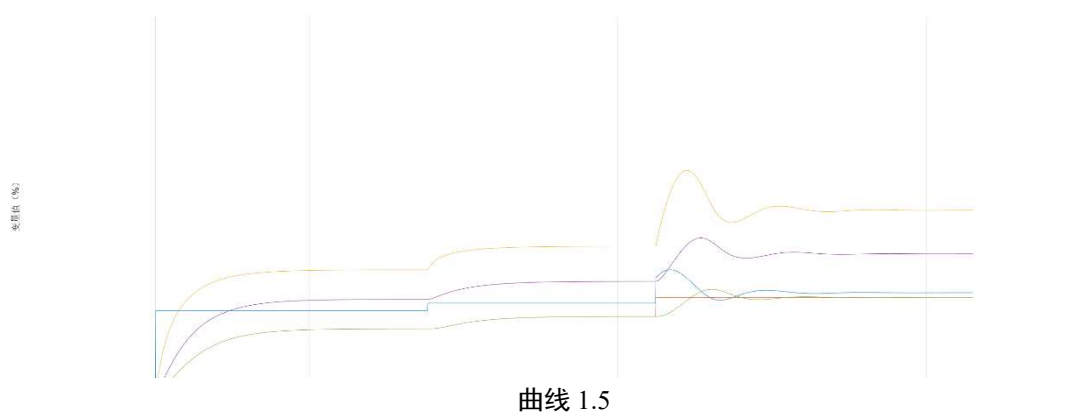
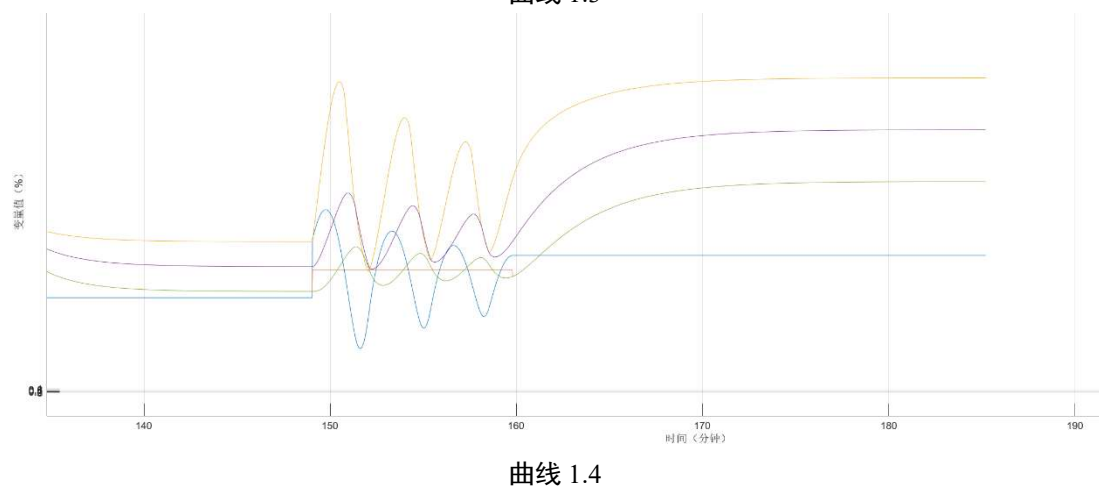
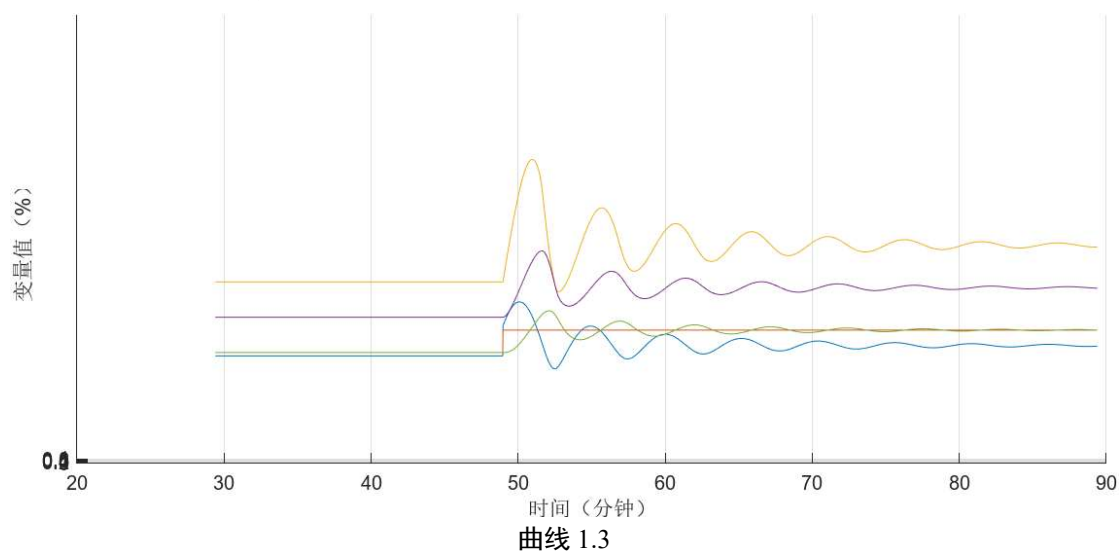
$$T = 4.9 \text{ min}$$

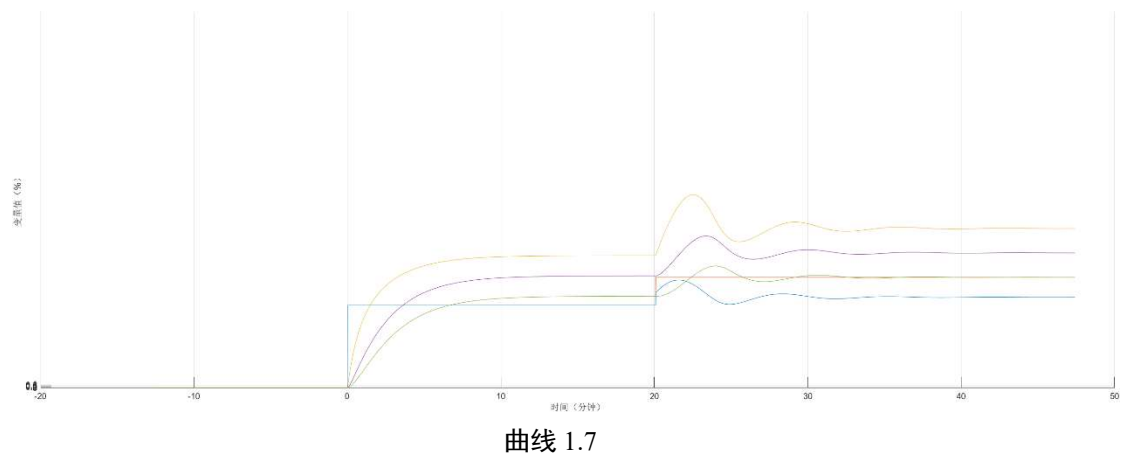
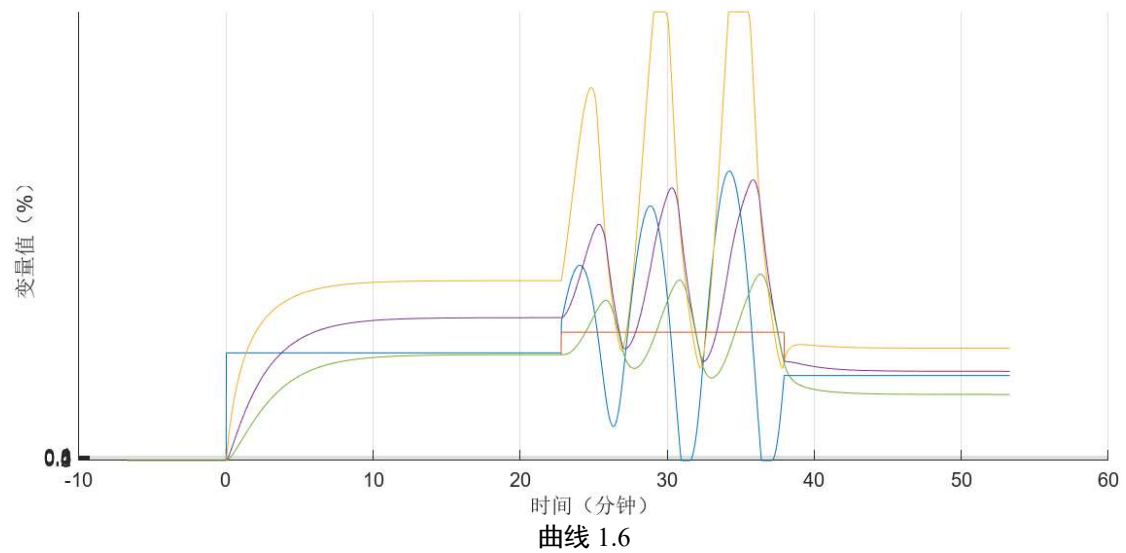
2. 绘制控制过程随比例带和积分时间变化的图谱

- a) 建立初稳态(调整控制器操纵值 $MV=23$ ，使第三水柱的液位稳定在 21.5 左右)
- b) 比例积分系统的基准参数取 $\delta_0 = 75\%$ 和 $T_{i0} = 50s$
- c) 分别按下列要求设置比例带和积分时间：
 - i. 将 $\delta = \delta_0$; $T_i = T_{i0}$ 的曲线记作 1.3;

- ii. 将 $\delta = 0.5\delta_0$; $T_i = T_{i0}$ 的曲线记作 1.4;
- iii. 将 $\delta = \delta_0$; $T_i = 2T_{i0}$ 的曲线记作 1.5;
- iv. 将 $\delta = \delta_0$; $T_i = 0.5T_{i0}$ 的曲线记作 1.6;
- v. 将 $\delta = 2\delta_0$; $T_i = T_{i0}$ 的曲线记作 1.7;
- d) 将控制器置于自动状态
- e) 施加设定值 SP 阶跃扰动 (闭环; 设定值 SP 阶跃增加 5), 记录控制过程的曲线
- f) 等待液位平稳, 如果出现 3 个波峰后仍不平稳, 切换为开环, 等待平稳
- g) 以不同参数重复步骤(3) - (6)

得到不同参数情况的 PI 控制曲线如下





三、 实验结果分析

1. 采用机理建模方法求取单容水箱的传递函数，分析平衡点容积参数变化对传递函数的影响

由液体压力公式和伯努利方程，代入液柱的动态方程

$$\frac{dH(t)}{dt} = \frac{Q_0(t) - Q_1(t)}{A}$$

得到

$$\frac{dH(t)}{dt} = \frac{a \sqrt{\frac{2}{1 + \zeta_0} \frac{k_p U^2(t)}{\rho} - gH(t)} - a \sqrt{\frac{2}{\zeta_1} \sqrt{gH(t) - g h_2(t)}}}{A}$$

因此传递函数为

$$H(s) = + \frac{\frac{2a \frac{k_p U}{\rho}}{A \sqrt{2(1+\zeta_0) \left(\frac{k_p U^2}{\rho} - gH \right)}}}{s + \left(\frac{ag}{A \sqrt{2(1+\zeta_0) \left(\frac{k_p U^2}{\rho} - gH \right)}} + \frac{ag}{A \sqrt{2\zeta_1 g(H-h_2)}} \right)} U(s) + \frac{ag}{s + \left(\frac{ag}{A \sqrt{2\zeta_1 g(H-h_2)}} \right)} h_2(s)$$

可知平衡点容积变大时系统增益变大。

2. 对比曲线 1.1 和曲线 1.2 所求得特征参数，总结液位对象容积参数 变化对飞升特性的特征参数等方面的影响。

通过对比曲线 1.1 和曲线 1.2 所得到的特征参数，可以发现，随着液位对象的体积增大，飞升特性的增益显著提高，而时间常数和滞后时间几乎没有变化。

3. 根据曲线，总结比例带和积分时间对控制过程的影响规律。

比例带的影响：

较大的比例带可能使系统响应更迅速，但同时也可能导致稳态误差增加。相对而言，较小的比例带能提高系统的敏感度，减少稳态误差，但却可能引发过度反应和不稳定性，比如出现振荡现象。

积分时间的影响：

较短的积分时间能够加快系统调整的速度，降低稳态误差，但可能导致系统出现超调。相比之下，较长的积分时间会使系统响应速度减缓，但可以使输出更为平滑，从而减少振荡。

单回路控制系统实验报告

一、实验目的

- 1. 学习单回路控制系统的工程整定方法；
- 2. 了解控制器参数对控制过程动态品质指标的影响规律；
- 3. 了解各类扰动对控制过程动态品质指标影响的差异。

二、实验内容

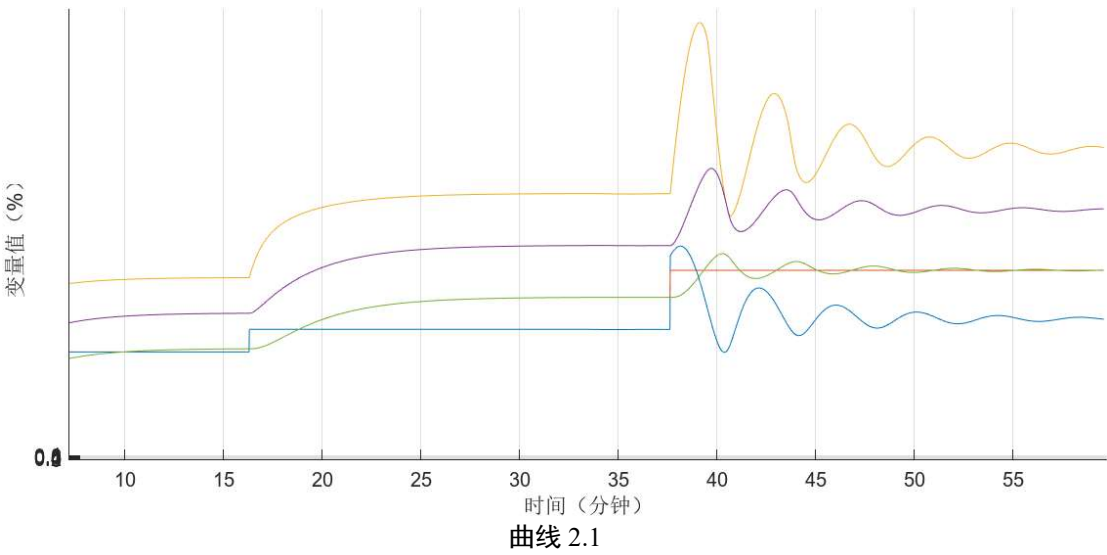
1. 动态特性参数法

- a) 建立初稳态，调整 MV=23 使第三水柱液位稳定在 21.5 左右；
- b) 施加控制器操纵值 MV 阶跃扰动，手动调整使其阶跃增加 5
- c) 记录飞升曲线，求取特征参数；
- d) 使用动态特性参数法计算 P、PI、PID 控制器参数，如下表

控制方法	δ	T_i	T_d
P	33.57%		
PI	36.93%	2.41	
PID	28.53%	1.46	0.38

- e) 将计算出的 PI 参数置于控制器中，并将控制器置于自动模式。
- f) 系统稳定后，改变控制器设定值 SV(阶跃增 5)，记录控制过程的曲线

2.1 如下：



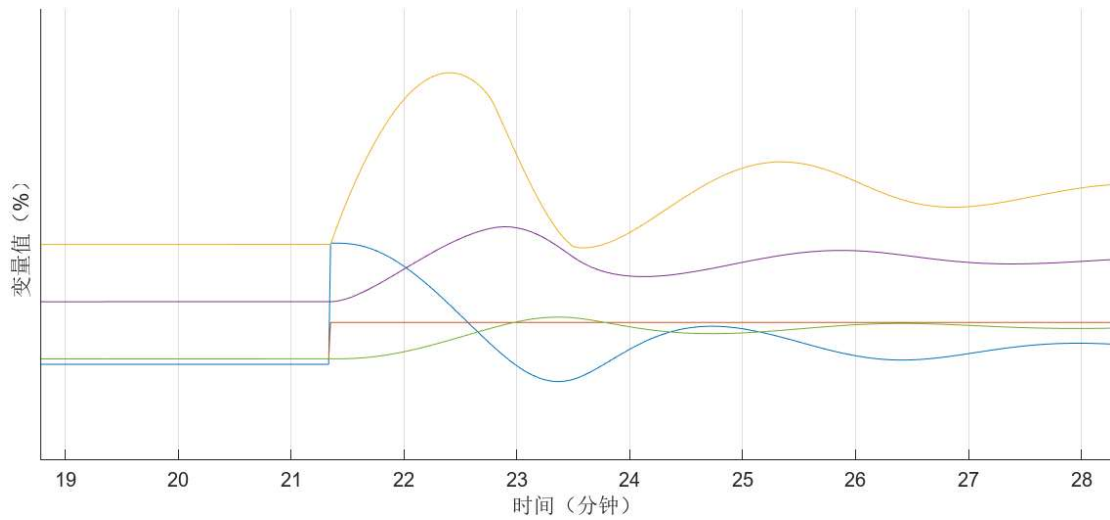
2. 衰减曲线法

- a) 将控制器置于自动、纯比例模式，求取纯比例系统衰减率 $\psi = 75\%$ 时的 δ_s 和 T_s 。通过手动调整得到相应 δ_s 和 T_s 如下：

$$\delta_s = 30$$

$$T_s = 3.1 \text{ min}$$

得到了相应控制过程曲线如下，

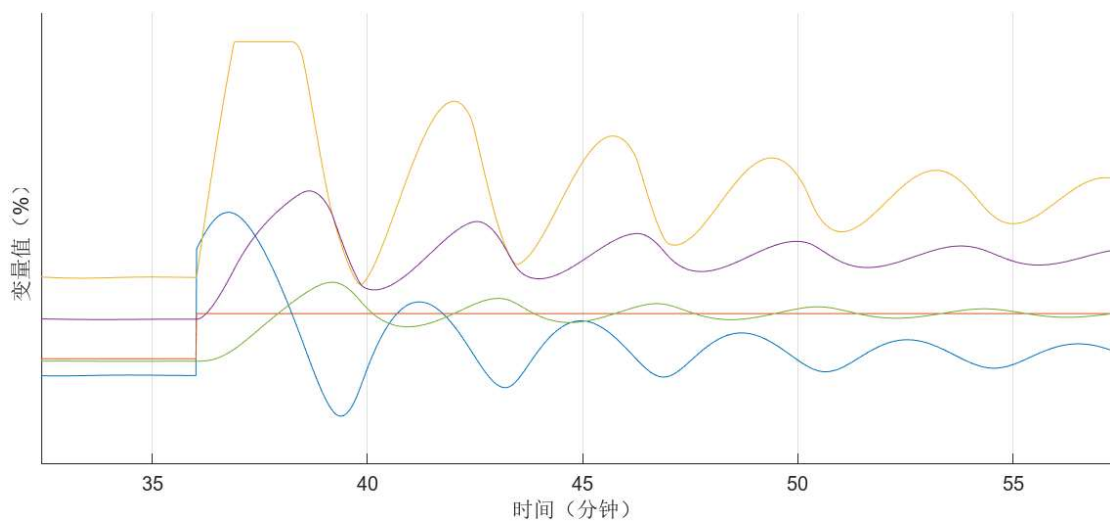


曲线 2.0

- b) 根据衰减曲线法相关公式，根据对应整定参数计算表，计算得不同参数如下表

控制方法	δ	T_i	T_d
P	30.00%		
PI	36.00%	1.55	
PID	24.00%	0.93	0.32

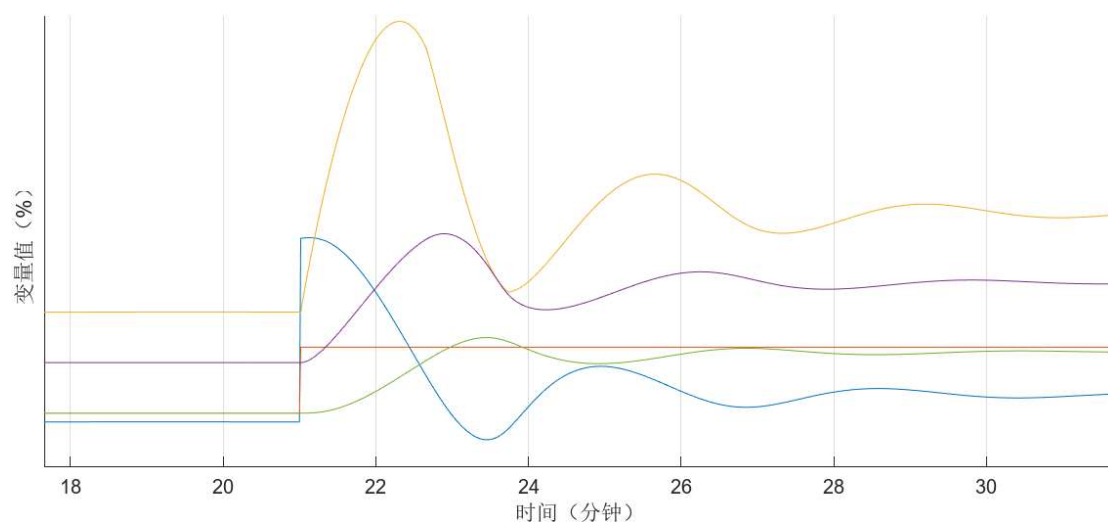
- c) 将 PI 算参数置于控制器；将控制器投自动
d) 改变控制器设定值 SV(阶跃增 5)，直到系统重新稳定。记录控制过程的曲线 2.2 如下所示



曲线 2.2

3. 最佳控制过程调整

基于衰减曲线法实验结果，调整 PI 参数以获得最佳控制效果，通过调整积分时间 T_i 使得 $\psi = 75\%$ 记录相关曲线 2.3 如下

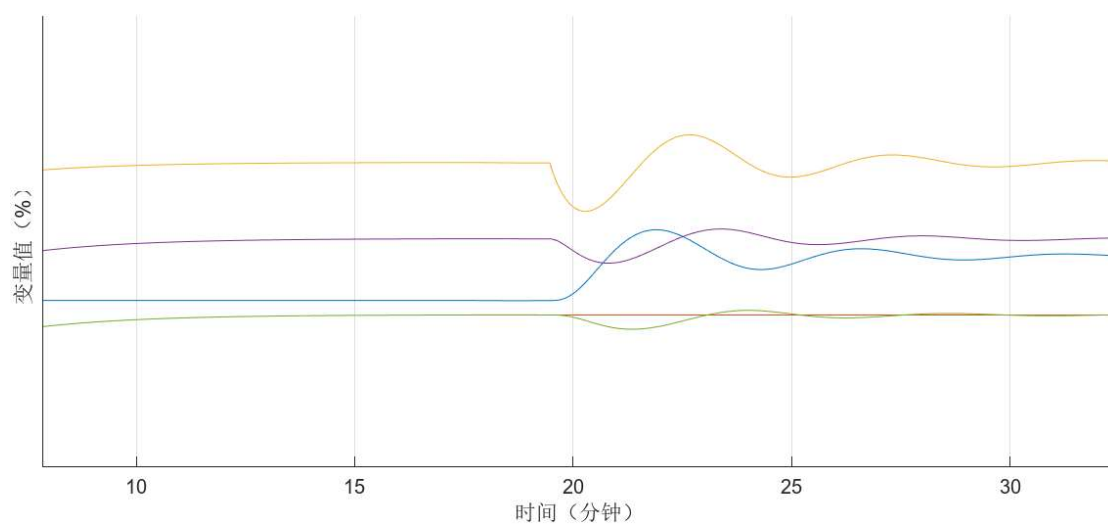


曲线 2.3

此时比例带 $\delta_0 = 36\%$ ，积分时间 $T_i = 1500s$ 。

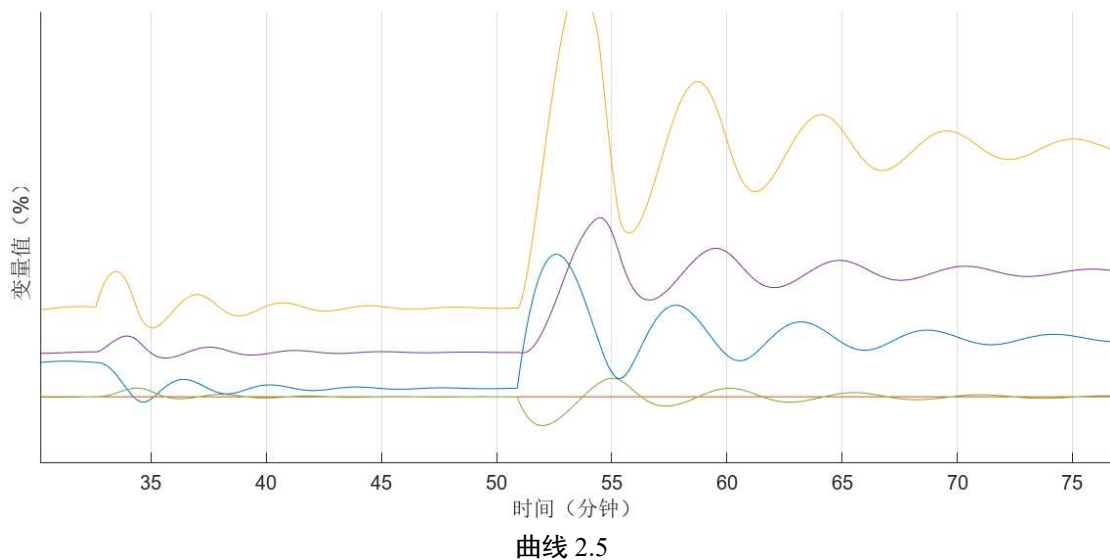
4. 扰动位置变换观察

- 以步骤 3 的实验结果为基础，放水阀 3 开 10%左右
- 泄水位置从“无”变为“液柱 1”，为第 1 水柱加扰动，记录控制过程的曲线 2.4 如下：



曲线 2.4

- 泄水位置从“液柱 1”变为“无”，等待重新稳定。
- 泄水位置从“无”变为“液柱 3”，为第 3 水柱加扰动，记录控制过程的曲线 2.5 如下：



三、实验结果分析

1. 用 2.1 与 2.2 比较两种工程整定法使用的方便程度和准确程度。

动态特性参数法

使用方便性：

动态特性参数法依据系统的动态特性参数来确定控制参数。这一方法要求先获得系统的数学模型或特性参数，可以通过机理建模或拟合特征曲线来实现，相对较为简便。

准确性：

该方法的整定精度取决于模型的准确性。对于已知动态特性的系统，能够提供较为精确的整定结果。然而，如果系统模型不够准确或存在非线性因素，整定效果可能会受到影响。

衰减曲线法

使用方便性：

衰减曲线法需要通过实验测量系统的响应曲线，适合于缺乏精确数学模型的系统，因此具有更强的通用性。不过，实验过程可能比较耗时，并且在实际操作中可能受到噪声和干扰的影响，使用上较为不便。

准确性：

衰减曲线法依赖于实验数据，能够更好地反映实际系统的特性，特别适用于参数变化或系统非线性明显的情况。在某些复杂系统中，其整定精度可能优于动态特性参数法，但实验条件可能引入一定误差，从而影响整定的准确性。

2. 用 2.4 与 2.5 比较不同位置扰动对控制过程动态品质指标的影响规律。

通过对比曲线 2.4 与曲线 2.5，可以发现，当扰动位置位于水柱 3 时，越靠近输出端，控制过程的振荡幅度增大，衰减速率减缓，超调量也相应增大。