

# 过程控制

## 实验四、五报告

自 05 2020011126 刘若涵

同组同学：曹一媛

设置加热炉辐射段炉膛对炉管的传热系数为 68。

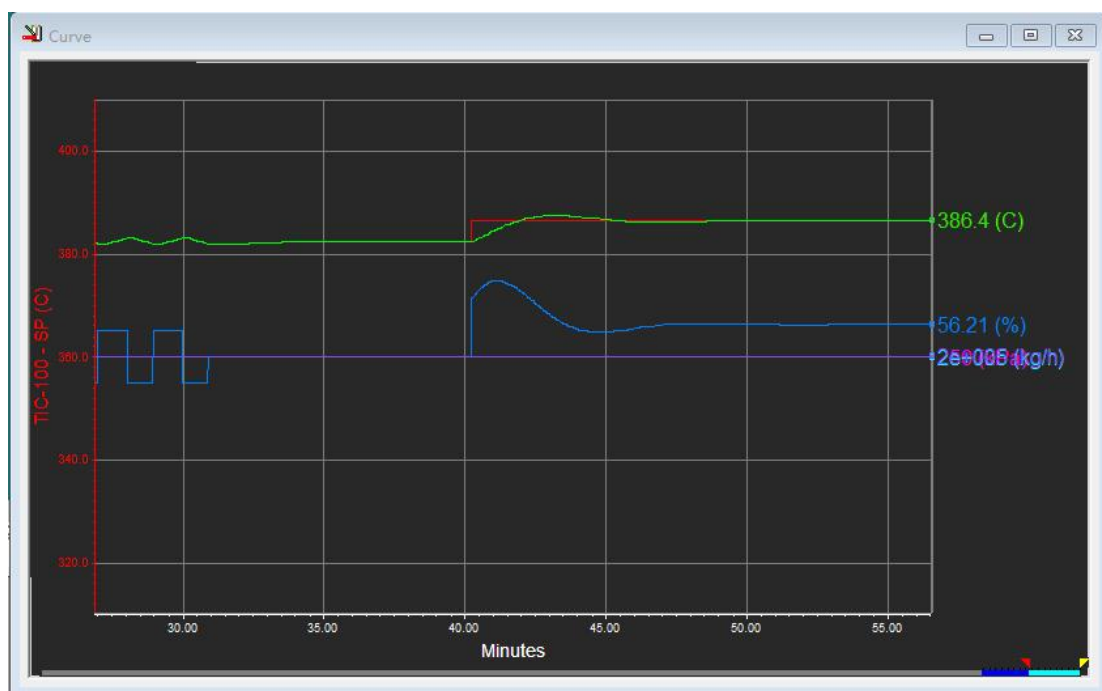
### 实验四：串级控制系统

#### 1 实验结果记录

##### 1.1 单回路控制

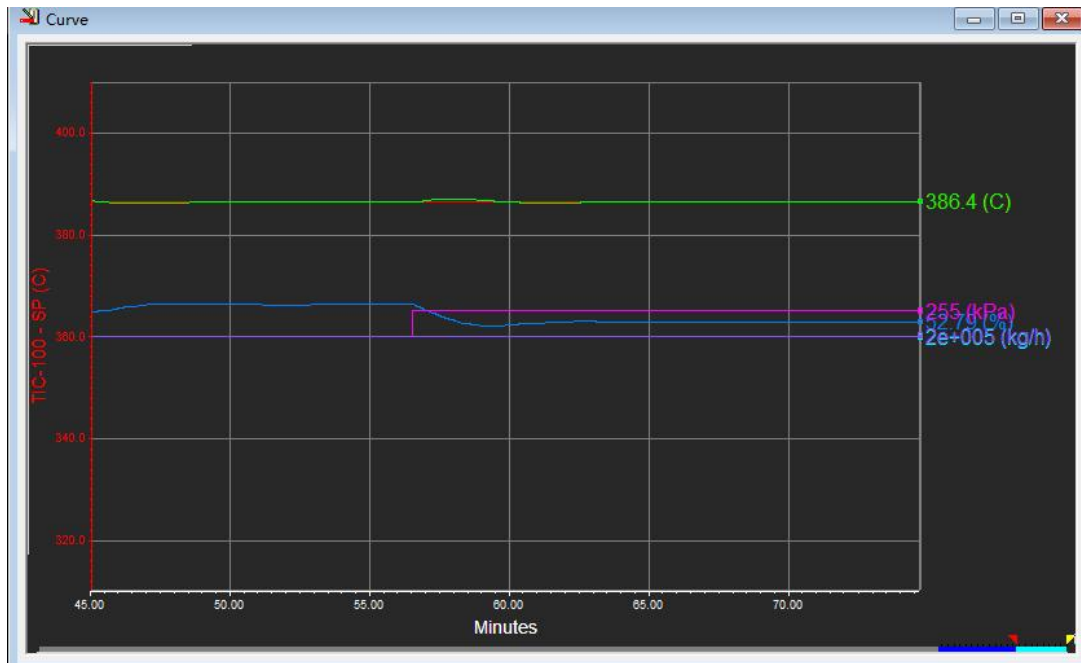
对 TIC-100 进行 PID 控制自整定，整定结果为： $K_c = 13.6$ ， $T_i = 0.672 \text{ min}$ ， $T_d = 0.149 \text{ min}$ 。

单回路设定值阶跃控制过程如下所示。



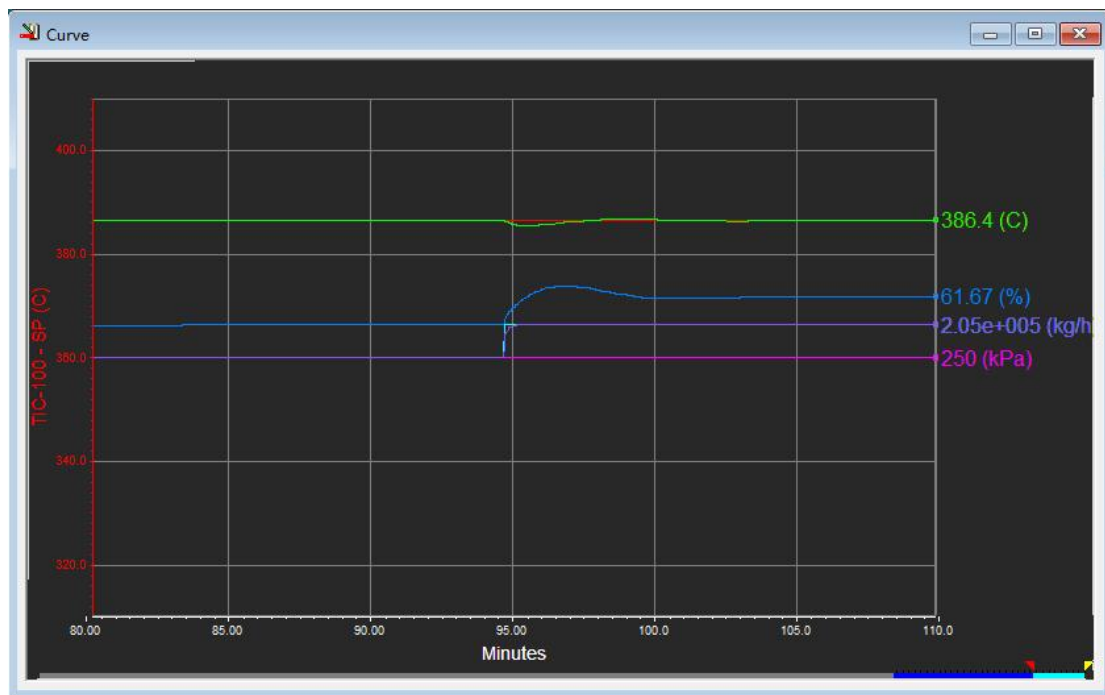
曲线 4.1：单回路设定值阶跃控制过程

为燃气气源压力加扰动，增加 5kPa。控制过程曲线如下图所示。



曲线 4.2: 燃气气源压力扰动 5kPa 时的控制过程

为进料流量控制器 FIC-100 设定值 SP 加扰动, 增加 5000kg/h, 控制过程曲线如下图所示。



曲线 4.3: 进料流量扰动 5000kg/h 时的控制过程

## 1.2 炉膛温度串级控制

初稳态位置:

TIC - 100: 温度 384.4°C, 开度 56.72%

TIC - 101: 温度 1020°C, 开度 51.00%

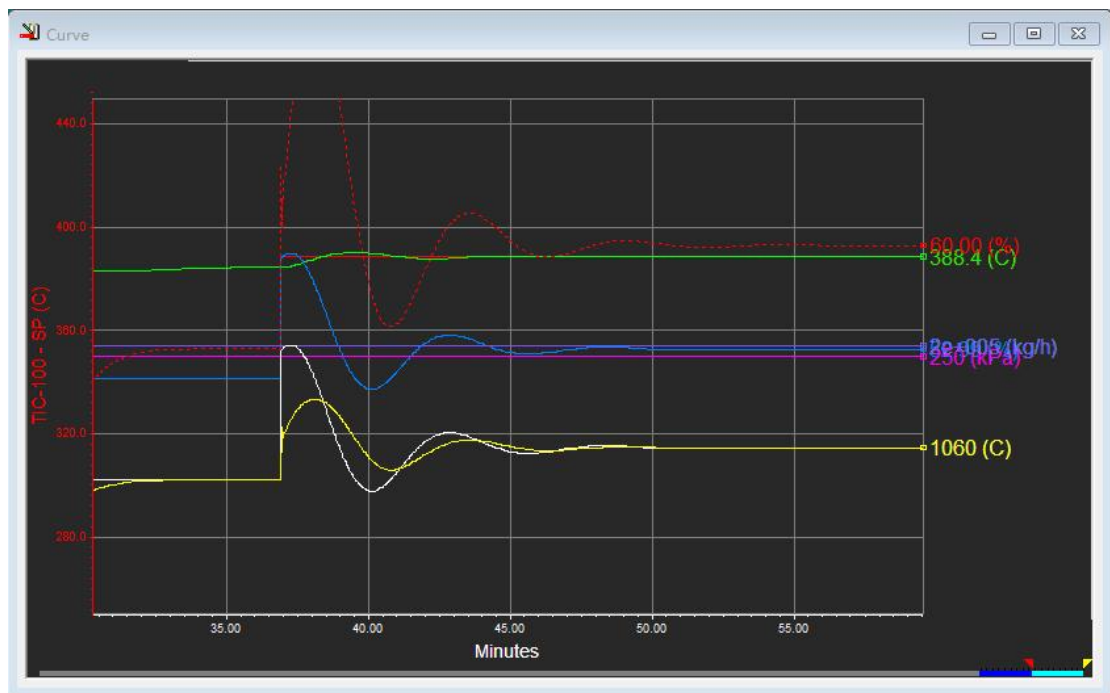
进料流量: 2e+5 kg/h

燃气气源压力: 250 kPa

副控制器 TIC - 101: 选择 PI 控制, 配置参数为:  $K_c = 1.5$ ,  $T_i = 0.3$  min

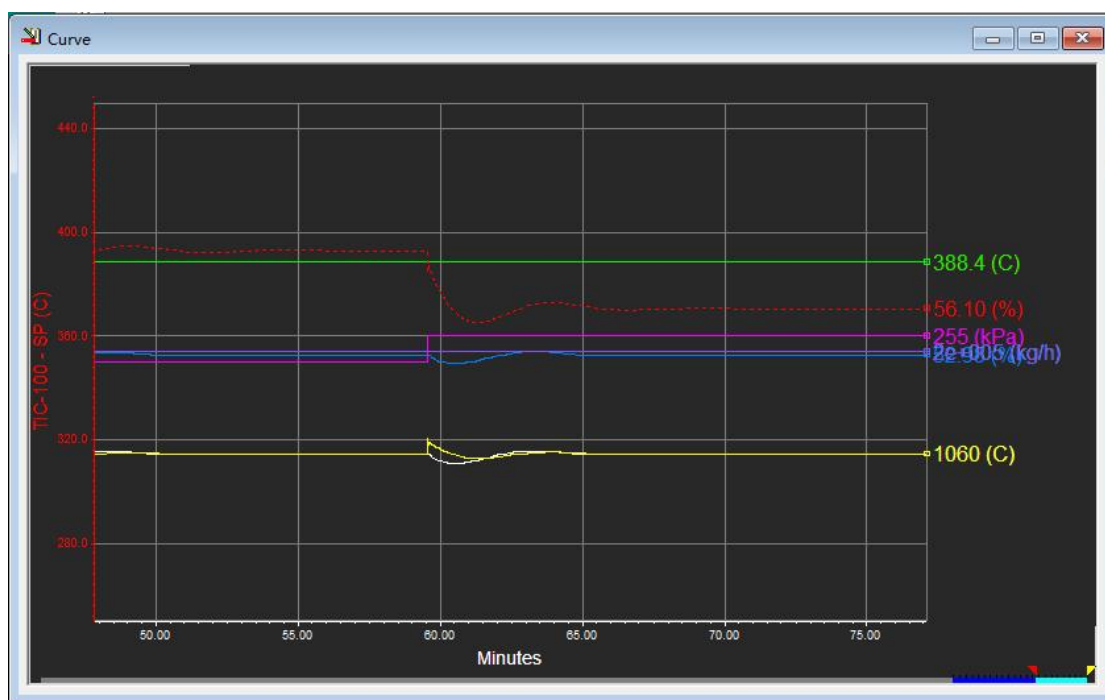
主控制器 TIC - 100: 选择 PID 控制自整定, 配置参数为:  $K_c = 9.82$ ,  $T_i = 0.988$  min,  $T_d = 0.219$  min

炉膛温度串级下设定值阶跃控制过程如下图所示。



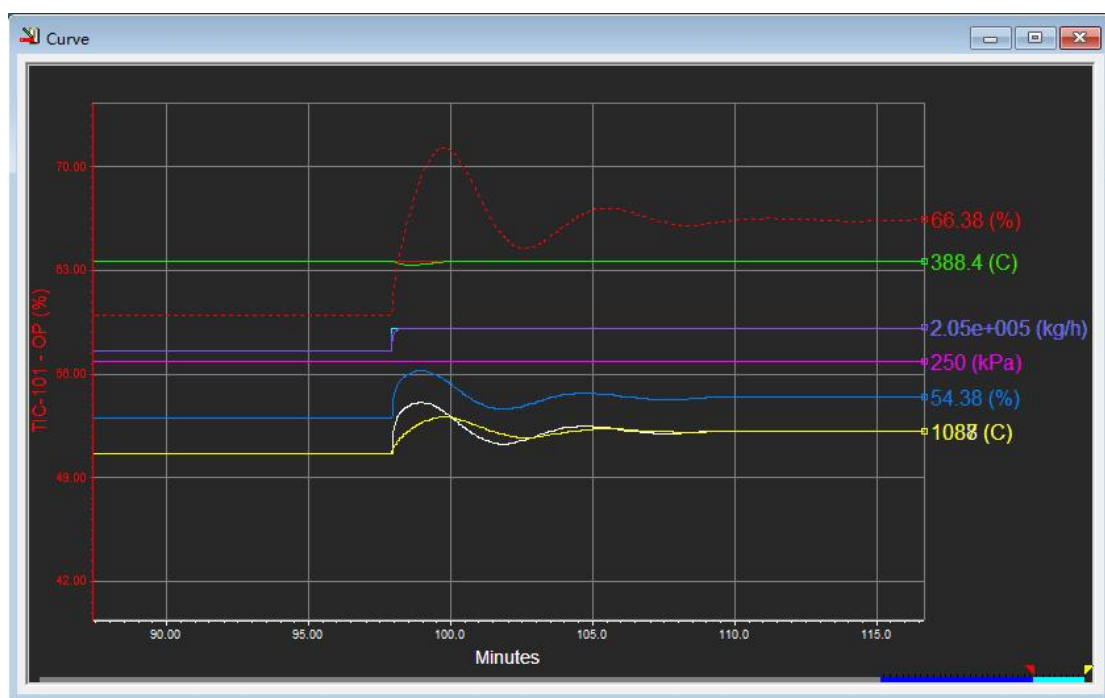
曲线 4.4: 炉膛温度串级下设定值阶跃控制过程

为燃气气源压力加扰动, 增加 5kPa。控制过程曲线如下图所示。



曲线 4.5：燃气气源压力扰动 5kPa 时的控制过程

为进料流量控制器 FIC-100 设定值 SP 加扰动，增加 5000kg/h，控制过程曲线如下图所示。



曲线 4.6：进料流量扰动 5000kg/h 时的控制过程

### 1.3 燃气温度串级控制

初稳态位置:

TIC - 100: 温度 382.4°C, 开度 56.72%

FIC - 101: StdGasFlow=8508 STD\_m3/h, 开度 50.00%

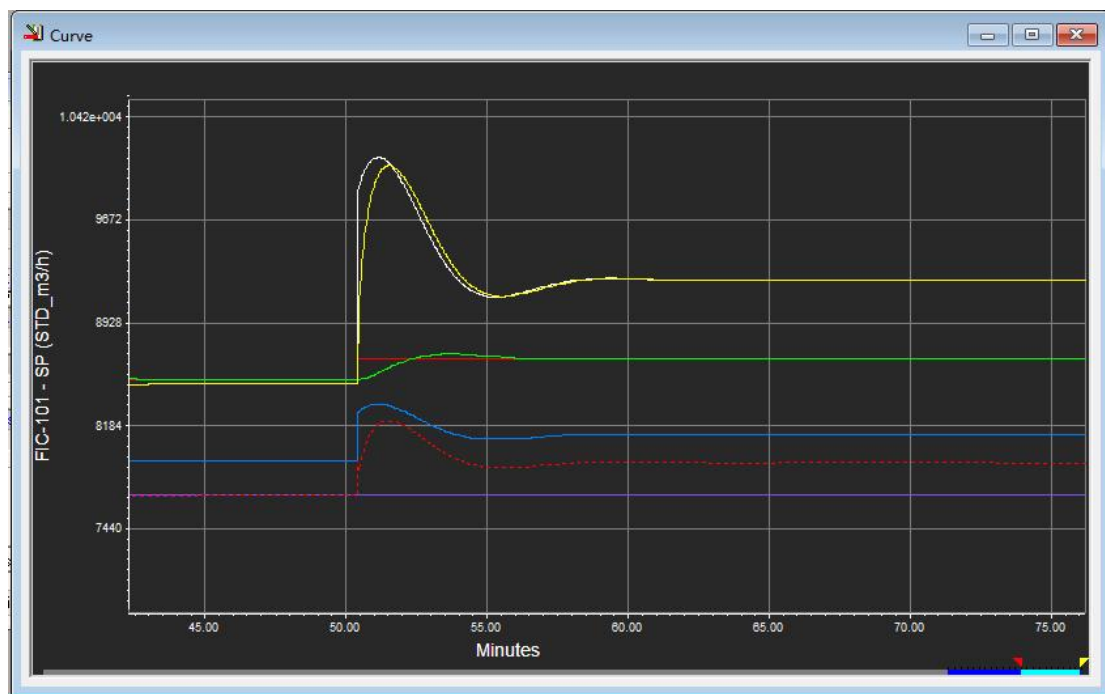
进料流量: 2e+5 kg/h

燃气气源压力: 250 kPa

副控制器 FIC-101: 选择 PI 控制, 配置参数为:  $K_c = 0.7$ ,  $T_i = 0.1$  min

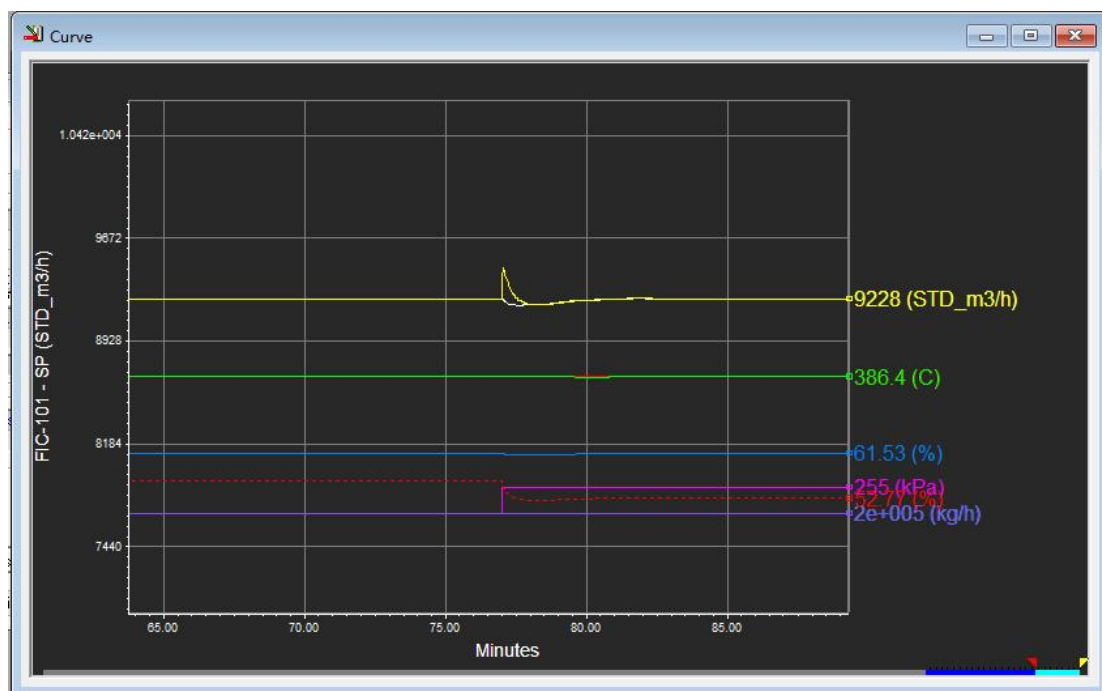
主控制器 TIC - 100: 选择 PID 控制自整定, 配置参数为:  $K_c = 11.4$ ,  $T_i = 0.982$  min,  $T_d = 0.218$  min

燃气流量串级下设定值阶跃控制过程如下图所示。



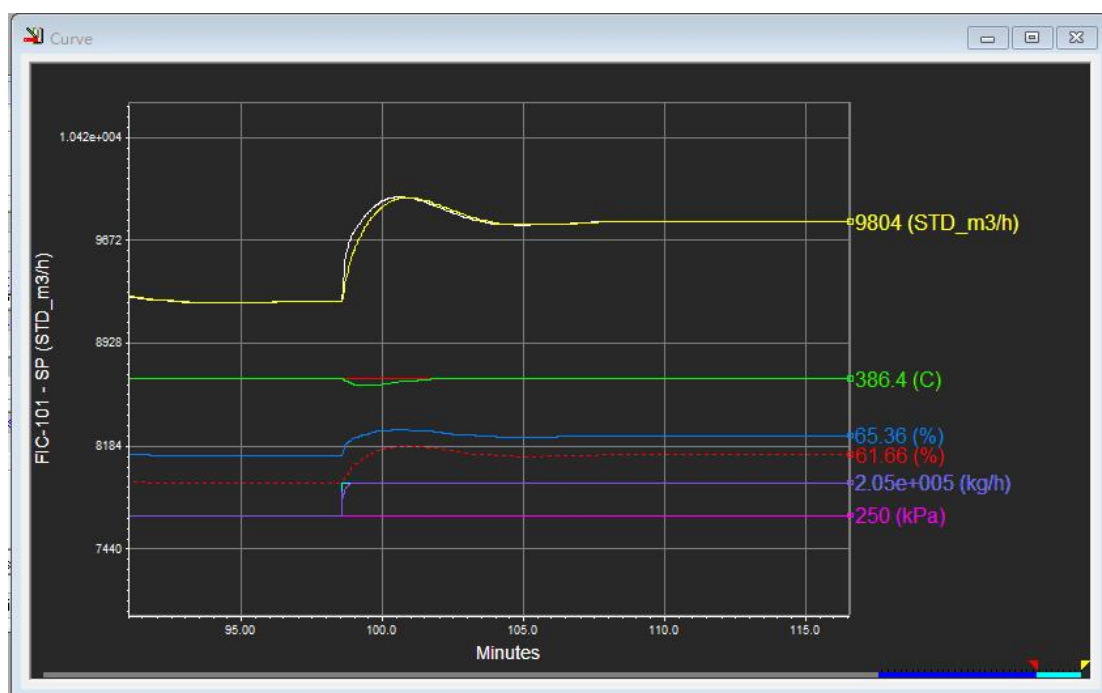
曲线 4.7: 燃气流量串级下设定值阶跃控制过程

为燃气气源压力加扰动, 增加 5kPa。控制过程曲线如下图所示。



曲线 4.8：燃气气源压力扰动 5kPa 时的控制过程

为进料流量控制器 FIC-100 设定值 SP 加扰动，增加 5000kg/h，控制过程曲线如下图所示。



曲线 4.9：进料流量扰动 5000kg/h 时的控制过程

## 2 实验结果分析

**(1) 用曲线 4.5 与 4.6、曲线 4.8 与 4.9 比较串级控制系统对两种扰动的控制过程动态品质指标。**

	燃气气源压力扰动	进料流量扰动
炉膛温度串级控制	7min/0.17℃	11min/0.96℃
燃气流量串级控制	8min/0.10℃	10min/1.04℃

表 4.2.1 串级控制系统-过渡过程时间/超调量

由表可知，串级控制对于副回路中的二次扰动（燃气气源压力扰动）的抑制作用较强，对于主回路中的一次扰动（进料流量扰动）的抑制作用较弱。

**(2) 用曲线 4.4、4.7 与曲线 4.1 比较串级控制系统与单回路控制系统对给定值跟踪的控制过程动态品质指标。**

	单回路控制	炉膛温度串级控制	燃气流量串级控制
过渡过程时间（min）	11	13	12
超调量（℃）	0.83	0.91	0.75

表 4.2.2 不同控制系统动态性能指标

由表可知，三个控制系统对给定值跟踪的控制过程动态品质指标较为接近。这是因为串级控制系统主要用于抑制二次扰动，对给定值跟踪没有太大影响。

**(3) 用曲线 4.5、4.6、4.8、4.9 与曲线 4.2、4.3 与比较串级控制系统与单回路控制系统对不同位置扰动的控制过程动态品质指标。**

	燃气气源压力扰动	进料流量扰动
单回路控制	9min/0.43℃	10min/1.04℃
炉膛温度串级控制	7min/0.17℃	11min/0.96℃
燃气流量串级控制	8min/0.10℃	10min/1.04℃

表 4.2.3 不同控制系统-过渡过程时间/超调量

由表可知，串级控制系统对于二次扰动有较强的抑制能力，而对于一次扰动抑制能力较差。

## 实验五：前馈控制

### 1 实验结果记录

#### 1.1 加热炉出口温度的动态特性

初稳态位置：

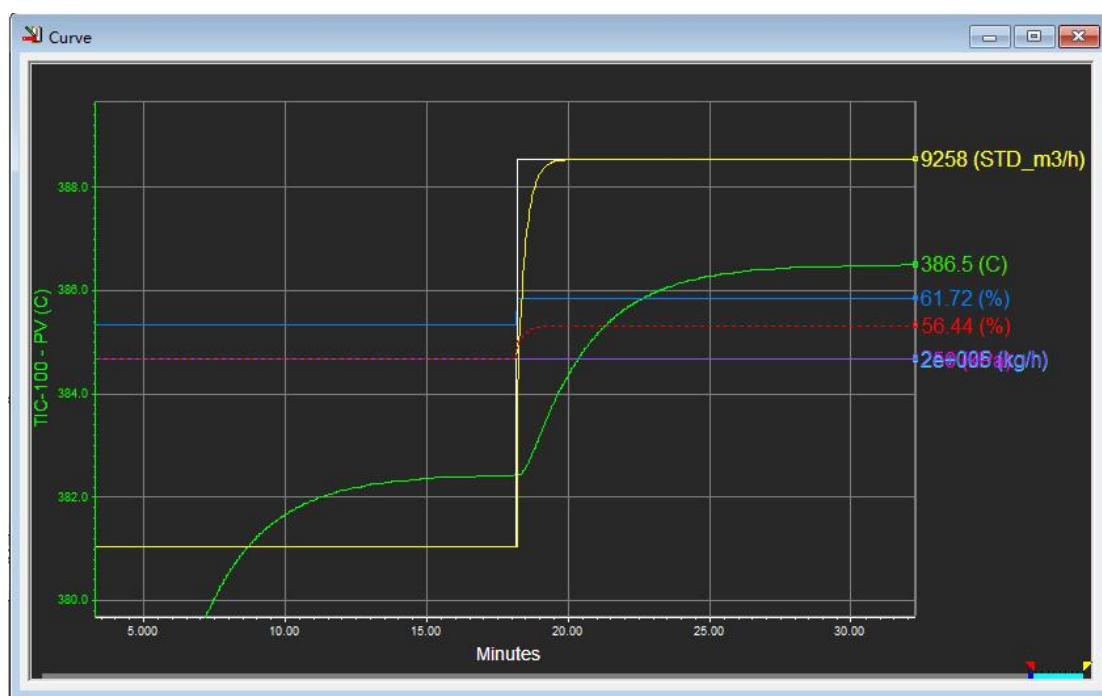
TIC - 100：温度 382.4℃，开度 56.72%

FIC - 101：StdGasFlow=8508 STD\_m3/h，开度 50.00%

进料流量：2e+5 kg/h

燃气气源压力：250 kPa

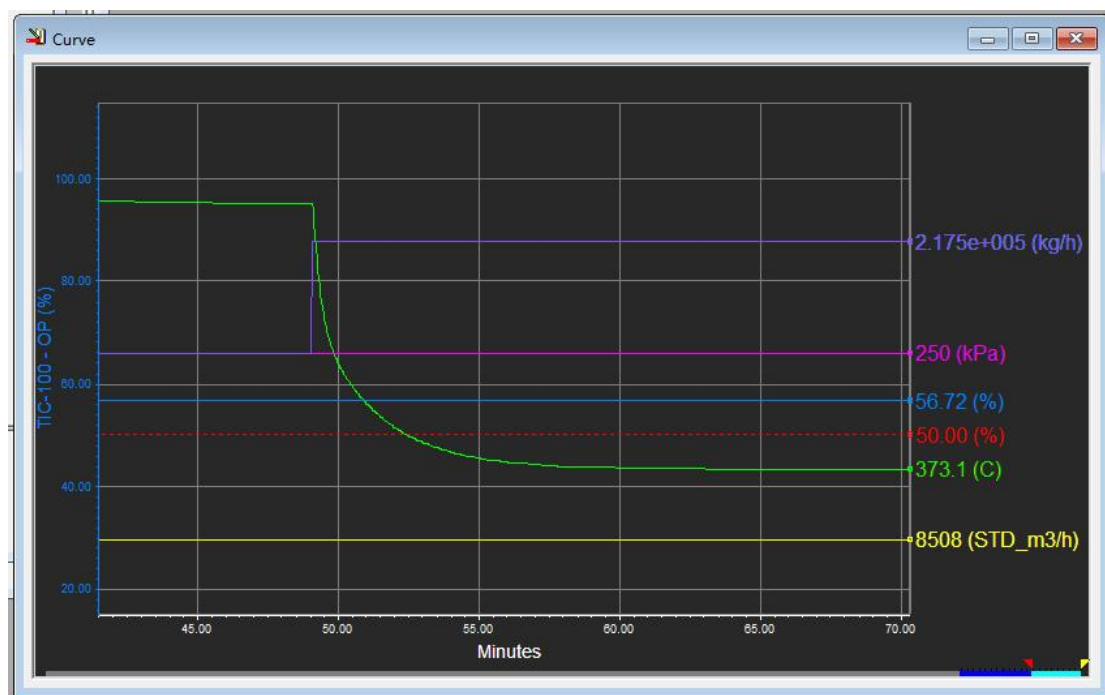
对燃气流量设定 SP 施加阶跃扰动，出口温度的飞升特性曲线如下图所示。



曲线 5.1：燃气流量设定阶跃变化时出口温度的飞升特性曲线

对进料流量 PV 施加阶跃扰动，出口温度的飞升特性曲线如下图所示。





曲线 5.2：进料流量阶跃变化时出口温度的飞升特性曲线

## 1.2 加热炉出口温度的动态特性

初稳态位置：

TIC - 100： 温度 382.5°C, 开度 56.72%

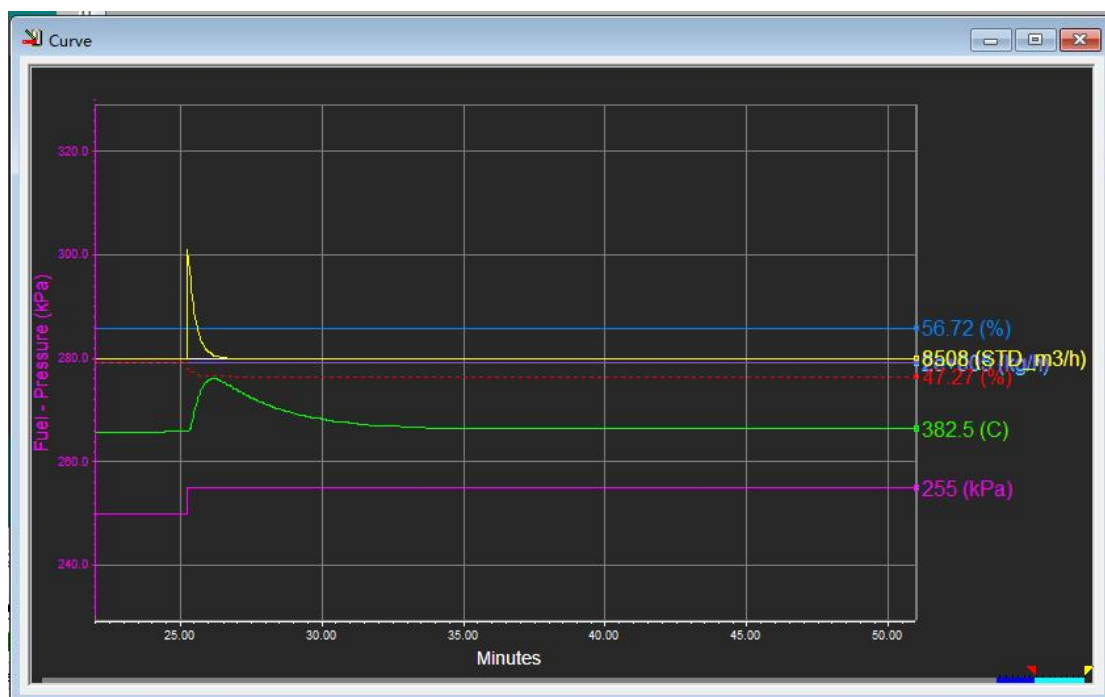
FIC - 101： StdGasFlow=8508 STD\_m3/h, 开度 50.00%

进料流量： 2e+5 kg/h

燃气气源压力： 250 kPa

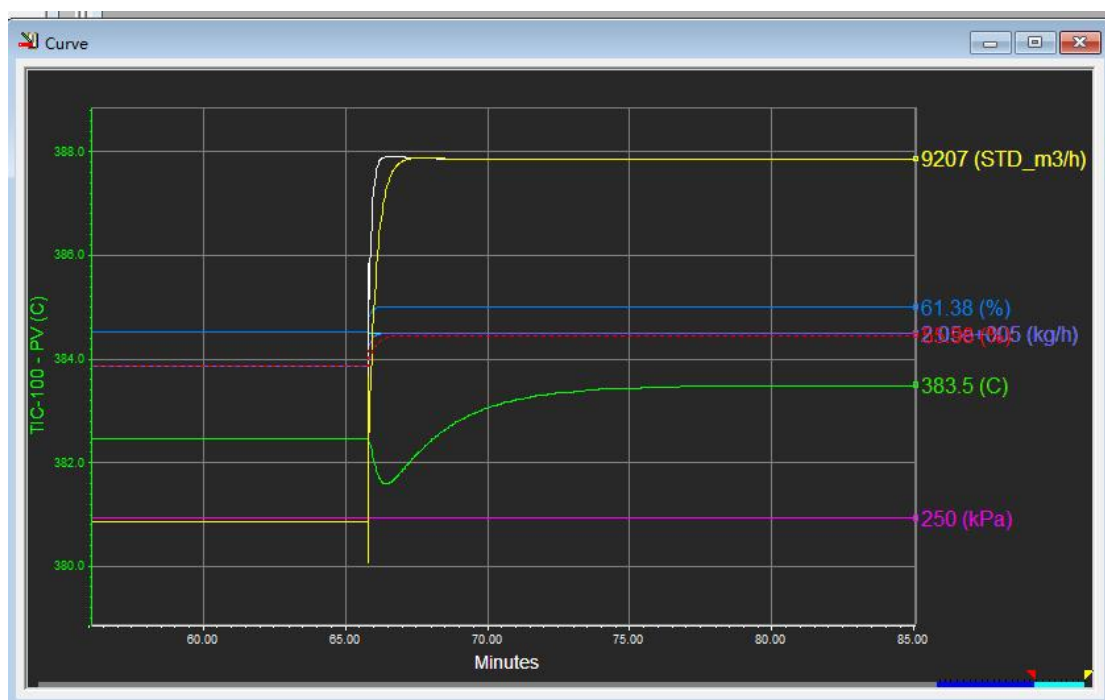
根据燃气流量设定对出口温度及进料流量对出口温度的动态特性参数，计算得主控制器 TIC - 100 的前馈补偿器参数为： $K_p = 2.29$ ,  $T_{p1} = 2.24$  min,  $T_{p2} = 1.36$  min

为燃气气源压力加扰动，增加 5kPa。控制过程曲线如下图所示。



曲线 5.3：前馈控制下燃气气源压力阶跃变化时的控制过程

为进料流量控制器 FIC-100 设定值 SP 加扰动，增加 5000kg/h，控制过程曲线如下图所示。



曲线 5.4：前馈控制下进料流量阶跃变化时的控制过程

## 2 数据整理

依据曲线 5.1、5.2 分别求取控制通道和干扰通道的动态特性的特征参数(K、T、 $\tau$ )，计算前馈补偿器参数。

## 2.1 燃气流量设定 SP 对出口温度

$$\text{扰动时刻: } t_0 = 18.11\text{min}$$

$$y(t_1) = 0.393 \times (386.5 - 382.4) + 382.4 = 384.0$$

$$y(t_2) = 0.632 \times (386.5 - 382.4) + 382.4 = 365.0$$

$$t_1 = 19.64 - 18.11 = 1.53\text{min}$$

$$t_2 = 20.76 - 18.11 = 2.65\text{min}$$

计算参数得：

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{386.5 - 382.4}{5(\%)} = 0.82$$

$$T = 2 \times (t_2 - t_1) = 2.24\text{min}$$

$$\tau = 2 \times t_1 - t_2 = 0.41\text{min}$$

一阶传递函数为：

$$G_o(s) = \frac{0.82 * e^{-0.41s}}{2.24s + 1}$$

## 2.2 进料流量 PV 对出口温度

$$\text{扰动时刻: } t_0 = 48.99\text{min}$$

$$y(t_1) = 0.393 \times (373.1 - 382.5) + 382.5 = 378.8$$

$$y(t_2) = 0.632 \times (373.1 - 382.5) + 382.5 = 376.6$$

$$t_1 = 49.44 - 48.99 = 0.45\text{min}$$

$$t_2 = 50.12 - 48.99 = 1.13\text{min}$$

计算参数得：

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{373.1 - 382.5}{-5(\%)} = 1.88$$

$$T = 2 \times (t_2 - t_1) = 1.36\text{min}$$

$$\tau = 2 \times t_1 - t_2 = -0.23\text{min} \rightarrow 0\text{min}$$

一阶传递函数为：

$$G_f(s) = \frac{1.88}{1.36s + 1}$$

## 2.3 前馈补偿器参数

输出温度是主被控参数，燃气流量是控制量，进料流量是扰动量。则前馈控制器为：

$$G_{ff}(s) \approx -\frac{G_f(s)}{G_o(s)} = -\frac{\frac{1.88}{1.36s+1}}{\frac{0.82 * e^{-0.41s}}{2.24s+1}} = -\frac{2.29(2.24s+1)}{1.36s+1} \cdot e^{0.41s}$$

参数：  $K_p = 2.29$ ,  $T_{p1} = 2.24min$ ,  $T_{p2} = 1.36min$

## 5.3 实验结果分析

(1) 用曲线 5.4 与实验四中曲线 4.9 比较前馈控制系统对特定扰动的控制过程动态品质指标。

	串级控制系统	前馈控制系统
过渡过程时间（min）	10	10
超调量（℃）	1.04	0

表 5.3.1 串级/前馈控制系统对特定扰动动态特性参数

对于特定扰动，相比串级控制系统，前馈控制系统的控制过程超调更小，动态品质指标明显较好。

(2) 用曲线 5.3 与实验四中曲线 4.8 比较前馈控制系统对非特定扰动的控制过程动态品质指标。

	串级控制系统	前馈控制系统
过渡过程时间（min）	8	9
超调量（℃）	0.10	0

表 5.3.2 串级/前馈控制系统对非特定扰动动态特性参数

对于非特定扰动，两种控制系统的控制过程动态品质指标接近。