

2006 西门子杯全国大学生过程控制仿真挑战赛
控制方案设计

2006 年 7 月 30 日

目录

一 CSTR 工艺流程	1
二 目标要求	3
2.1 过程控制要求	3
2.2 系统工况要求及设备参数	3
三 解决方案	5
3.1 控制方案设计原则	5
3.2 反应器液位控制单元	5
3.3 反应器进料比控制单元	6
3.4 开车自动升温控制单元	8
3.5 组分控制单元	14
3.6 安全控制单元	20
3.7 顺序开车方案设计	25
3.7.1 开车步骤	25
3.7.2 紧急停车顺序控制图	28
四 设备使用方案	29
4.1 系统配置方案	29
4.2 I/O 模块接线图	30
五 结论	34

一 CSTR 工艺流程

根据大赛题目，被控对象为石油化工工业过程中常见的带搅拌釜式反应器（CSTR）。该反应过程设备包括：带搅拌器的釜式反应器。反应器为标准釜头釜。反应过程为反应物 A 与反应物 B 在催化剂 C 的作用下发生反应，生成产物 D。反应初期用热水诱发，当反应开始后由冷却水通过蛇管与夹套进行冷却。其工艺流程图如下：

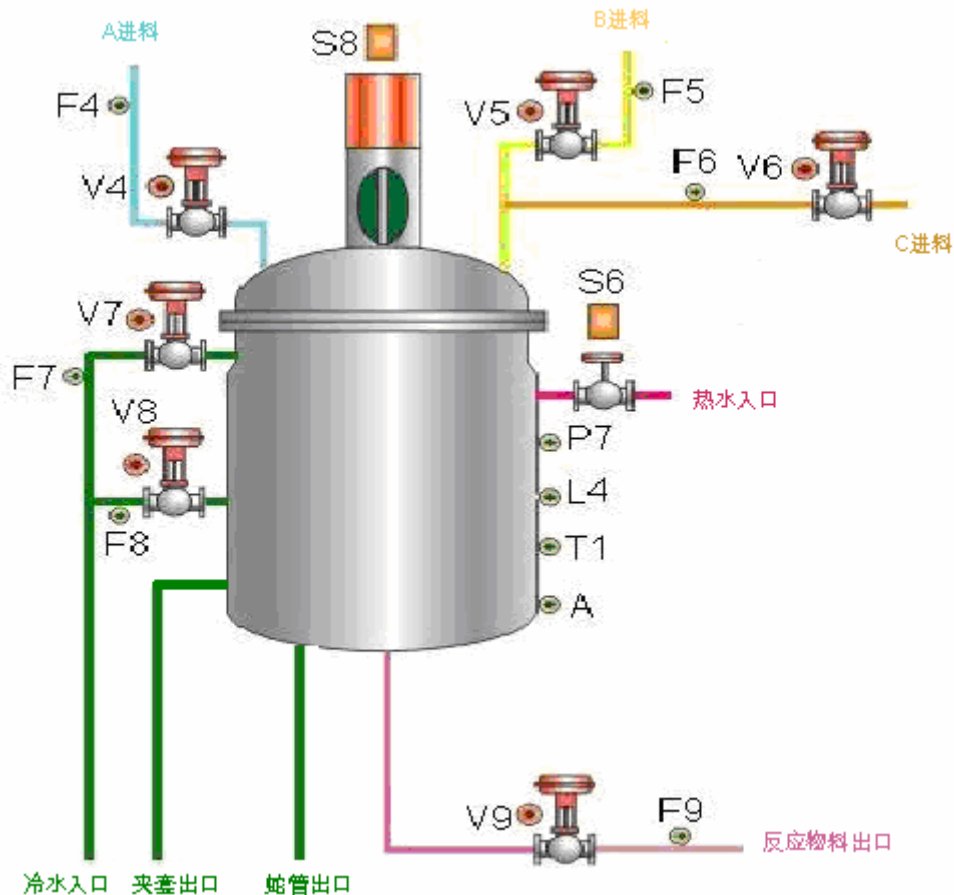


图 1-1 带搅拌器的釜式反应器（CSTR）

该连续反应系统以反应物 A 与反应物 B 在催化剂 C 作用下，在反应温度 $70\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 下进行反应，反应的产物为 D。

反应过程主要有三股连续进料。第一股是反应物 A，F4 为进料流量，V4 是进料阀；第二股是反应物 B，F5 为进料流量，V5 是进料阀；第三股是催化剂液，F6 为催化剂进料流量、V6 是催化剂进料阀。

反应器内主产物 D 重量百分比浓度在图中指示为 A，反应温度为 T1，液位为 L4。反应器出口浆液流量为 F9，由出口阀 V9 控制其流量。出口泵及出口泵开关为 S5。反应器出口为混合液，由产物 D 与未反应的 A、B 以及催化剂 C 组成。

反应器设置两类冷却装置。第一类为夹套冷却，冷却水入口流量为 F7，由阀 V7 控制流量。第二类为蛇管冷却，冷却水入口流量为 F8，由阀 V8 控制流量。此外，在反应初期，需要由反应器夹套加热热水来触发反应。该热水由开关阀 S6 引入。反应器搅拌电机开关为 S8。

二 目标要求

2.1 过程控制要求

1、进料流量及比例控制

反应器共有三股连续进料。要求设计控制系统克服每股进料的流量扰动。同时，需要保证三股物料以一定比例进料（A：B：C=1：2.11：0.12。为适应生产灵活性，最好以变比值方式设计控制系统）。

2、反应器液位控制

设计液位控制系统，保证液位处于 85%，以获得较大的反应停留时间，保证反应充分进行。

3、反应温度及升温速率控制

在反应开车阶段，由冷态常温逐渐诱发反应至温度到达 70℃。在此阶段要求设计控制系统，保证升温以 0.1℃ / s 的速率进行。待反应正常后，温度控制系统还需有效克服外部扰动，以保证温度稳定。

4、反应器压力安全控制

为保证反应安全，需要对压力进行安全控制系统的设计。压力高限报警为 1.2MPa。

5、反应器组份控制

为得到一定的转化率的产品，要求对反应器最终产物的组份进行控制。

6、开车步骤顺序控制

按照要求的开车步骤，要求实施顺序控制，保证开车稳步进行。

2.2 系统工况要求及设备参数

表 2-1：系统工况要求一览表

测控变量	说明	范围要求
F4	反应物 A 进料流量	729 kg/h
F5	反应物 B 进料流量	1540 kg/h
F6	催化剂 C 进料流量	88 kg/h
F7	冷却水流量（蛇管冷却）	最大 25 t/h

F8	冷却水流量（夹套冷却）	最大 42 t/h
F9	反应物料混合液出口流量	kg/h
T1	反应温度	℃
P7	反应压力	小于 1.2MPa（绝压）
L4	反应器料位	% (0-1.3m, 0-100%)

表 2-2：设备参数一览表

（阀门公称直径 Dg、国标流通能力 Kv，）

阀门、开关名称	说明	性能参数
V5	反应物 B 进料阀	Dg25 Kv=5.38 (Cv=6.3)
V6	催化剂 C 进料阀	Dg20Kv=0.214 (Cv=0.25)
V7	冷却水阀（蛇管）	Dg40 Kv=25.64 (Cv=30)
V8	冷却水阀（夹套）	Dg50 Kv=42.73 (Cv=50)
V9	反应器出口阀	Dg25 Kv=8.54 (Cv=10)
S6	热水阀	开、关两种状态
S8	反应器搅拌电机开关	开、关两种状态

反应釜的设备尺寸：直径 1000 mm，釜底到上端盖法兰高度 1376 mm，反应器总容积 0.903 m³，耐压 2.5MPa。

三 解决方案

3.1 控制方案设计原则

本控制方案共分开车部分控制、安全生产条件控制、生产质量指标控制、平稳生产条件控制四部分。

控制方案的设计要遵循可行性的原则，即所设计的控制方案一定要经过验证可以实施的，按照这个原则，所设计的方案基本以工业上常见的控制方案为依据，以串级，比例，单回路控制为基本方案，并经过实验验证。这样可以保证方案简单，具有较高的可实施性。

按照以上要求设计了五个控制单元：反应器液位控制单元，反应器进料比控制单元，开车升温控制单元，组分控制单元和安全控制单元（主要控制压力不超限，超限无法控制时使用安全控制单元中的紧急停车单元）。同时，还设计了顺序开车自动控制单元，使开车自动化，并稳步进行，避免人为因素的干扰。

还有就是要有有一定的先进性，遵照这个原则，控制方案中加入了推断控制，通过先进的控制手段，提前将扰动消除，使得产物质量得到进一步提高。

3.2 反应器液位控制单元

要求保证液位处于 85%，以获得较大的反应停留时间，保证反应充分进行。

液位的高度由进料流量和出料流量决定，由于进料量及比例由压力比例控制单元控制，所以通过出料量来控制反应釜液位高度，以获得较大的反应停留时间。

于是液位控制单元采用单回路控制，反应釜液位为被控变量，反应釜出口流量为操纵变量，实现反应釜液位的控制。原理如图 3-1：

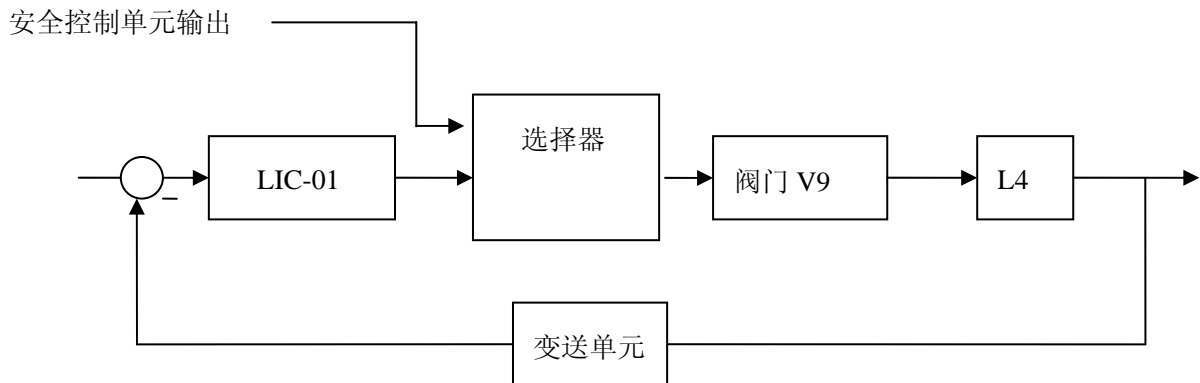


图 3-1 反应釜液位控制单元

选择器为作者编写的模块，功能是在正常工况（压力<1.35MPa）下，输出 LIC-01 的信号，压力超高时，输出安全控制单元输出。（在自动升温单元有详细介绍）

被控变量：L4

操纵变量：V9

参数说明：阀门为气闭式（从安全角度考虑，避免非正常情况下液位超限），选用线形阀（控制阀对流量与相对位开度成线形关系，即单位开度变化所引起的流量变化为常数。）

LIC-01 为反作用

设定值：85%

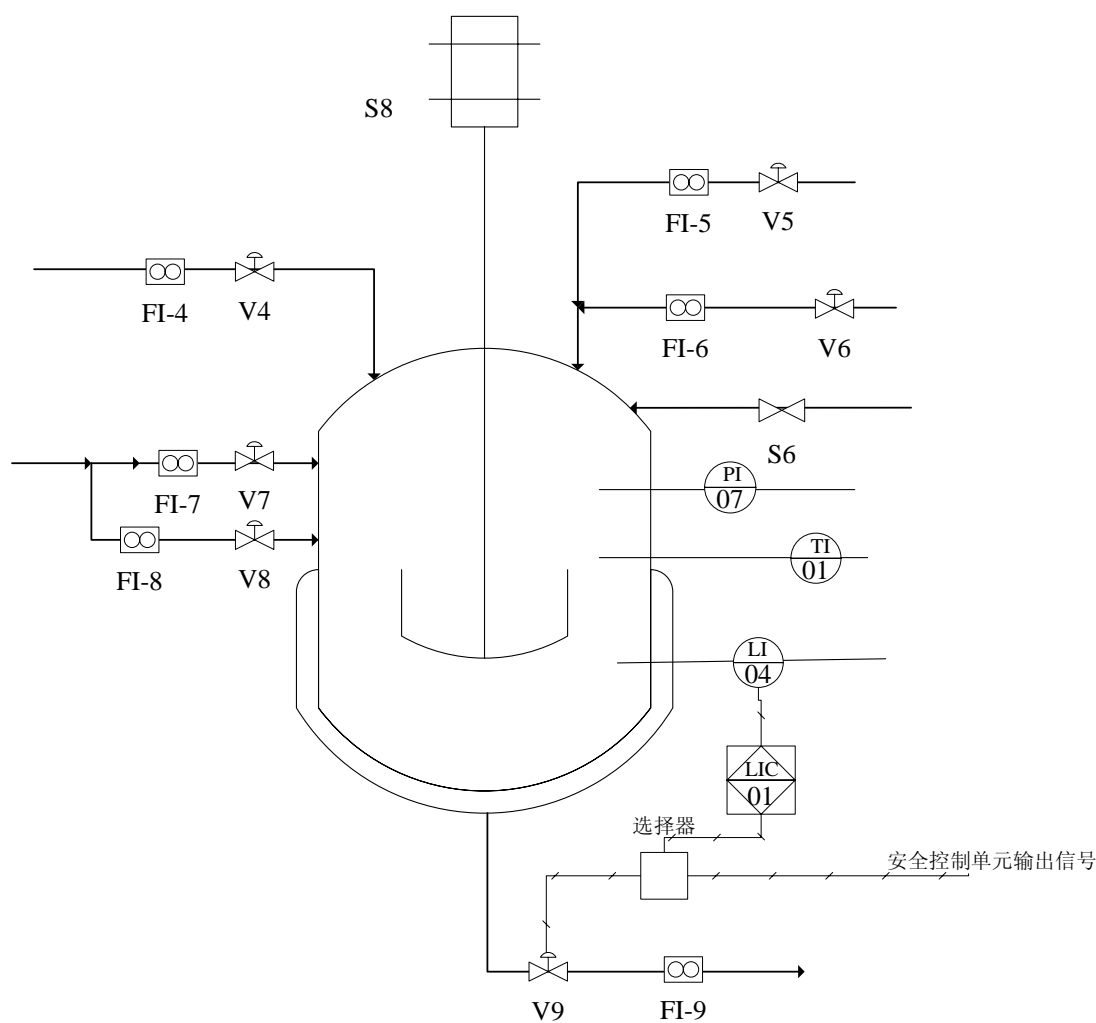


图 3-2 反应釜液位控制 P&ID 图

3.3 反应器进料比控制单元

当液位和进料流量稳定后，将 FIC-02、FIC-03 控制器置为外给定模式。给定值由 F4 与相应乘法器计算所得结果设定。其中 $K_1=2.11$, $K_2=0.12$ 。

实践证明将反应物 A 与 B 混合后，混合气体的总压力会降低。而且在温度不变的前提下，物料 B 的百分比含量越高，系统压力越低。因此，在反应器中必须防止反应物 A 的百分比含量过高的情况发生。

3 股进料量都受到闭环控制，选择 F4 为主变量，当 F4 发生变化，F5、F6 也将成比例的进行改变。如果要改变几种物料的比例，只需修改 K_1 、 K_2 的数值即可。原理图如下：

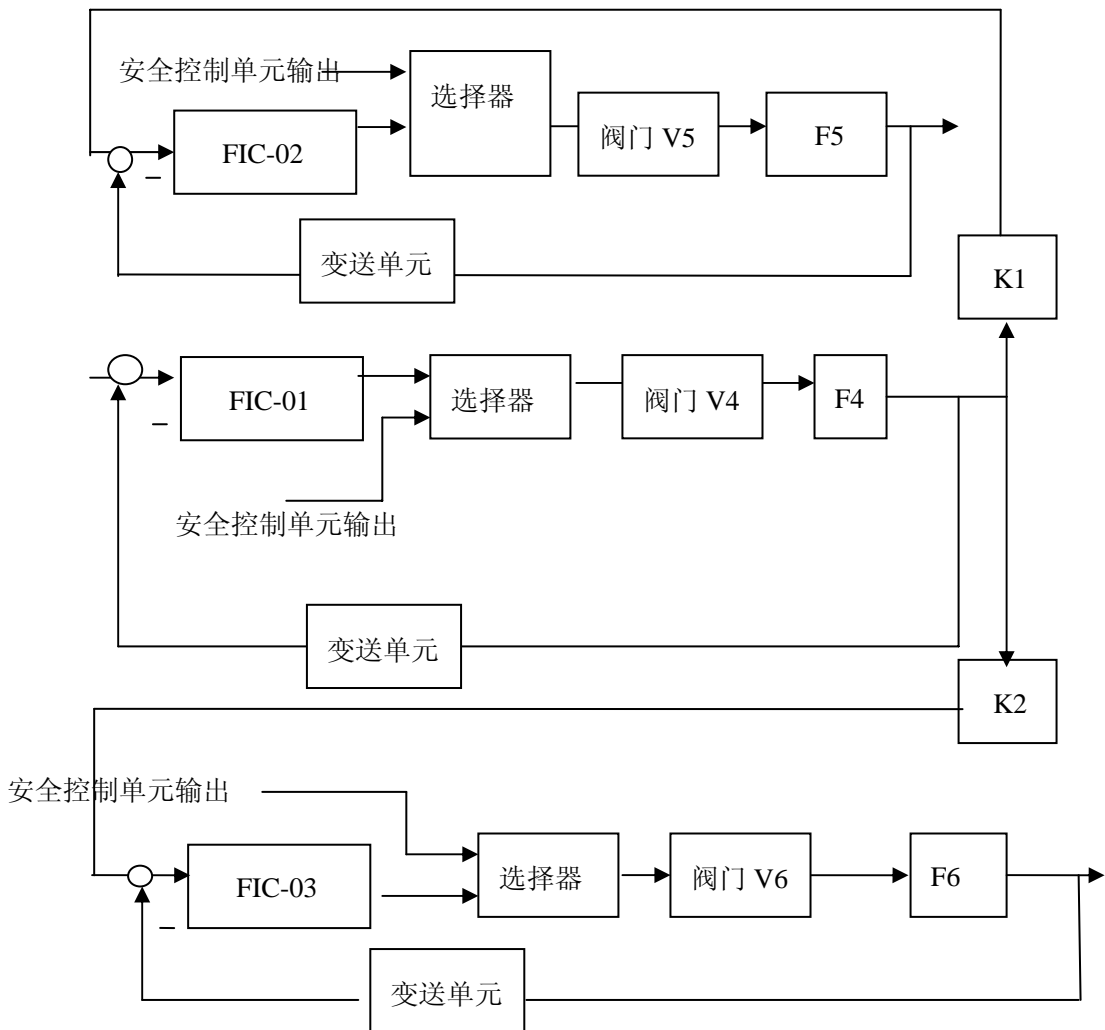


图 3-3 进料比例控制原理图

选择器功能是在正常工况（压力 $<1.35\text{MPa}$ ）下，输出各个流量控制器的信号，压力超高时，输出安全控制单元输出（在自动升温单元有详细介绍）

被控变量：F4、F5、F6

操纵变量：V4、V5、V6

参数说明：阀门均为气开式（安全角度考虑，在无信号输入的情况下，阀门应关闭，停止进料，以免发生危险），线性阀。

控制器均为反作用

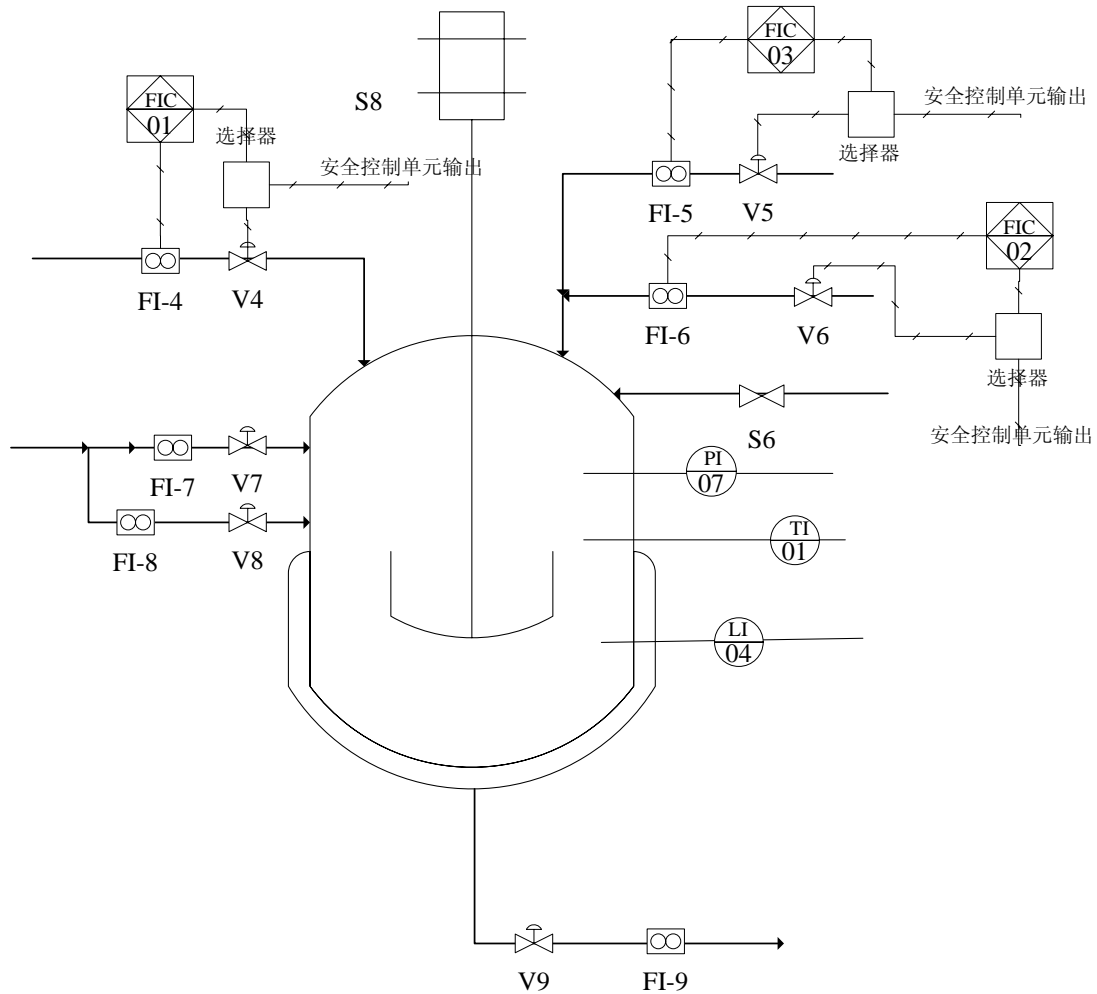


图 3-4 反应釜进料比例控制 P&ID 图

3.4 开车自动升温控制单元

在反应停留时间相同、催化剂量相同的条件下，反应的转化率由反应温度所决定。控制反应温度的主要手段是夹套冷却水的流量 F8。反应温度 T1 要求控制在 $70 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 。

本反应反应属于放热反应，属于非自衡过程。当反应温度过高时，反应速度加快，使得反应放出的热量增加，如果热量无法及时移走，则反应温度进一步升高。这种“正反馈”作用将导致“爆聚”事故。此时由于温度超高，系统压力增大，如果超过反应器所能耐受的压

力，可能发生爆炸与火灾事故。

因此需要控制反应温度 T1，使其以均匀的 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的增长速率增大，使温度平稳地达到 $70\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 。干扰来自于原料流量的波动、冷却水流量的波动等。

开车自动升温控制单元原理图如下：

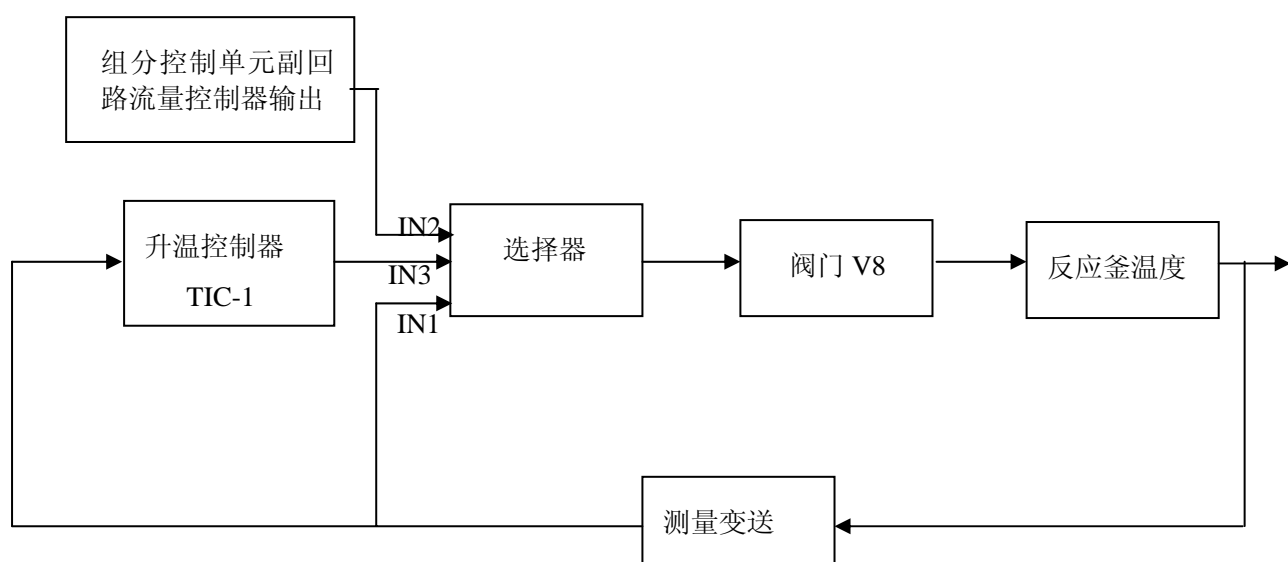


图 3-5 自动升温模块原理图

被控变量：T1

操纵变量：V8

参数说明：V8 为气闭式（从安全角度考虑，在无信号输入的情况下保证冷却作用，避免温度超限），线性阀

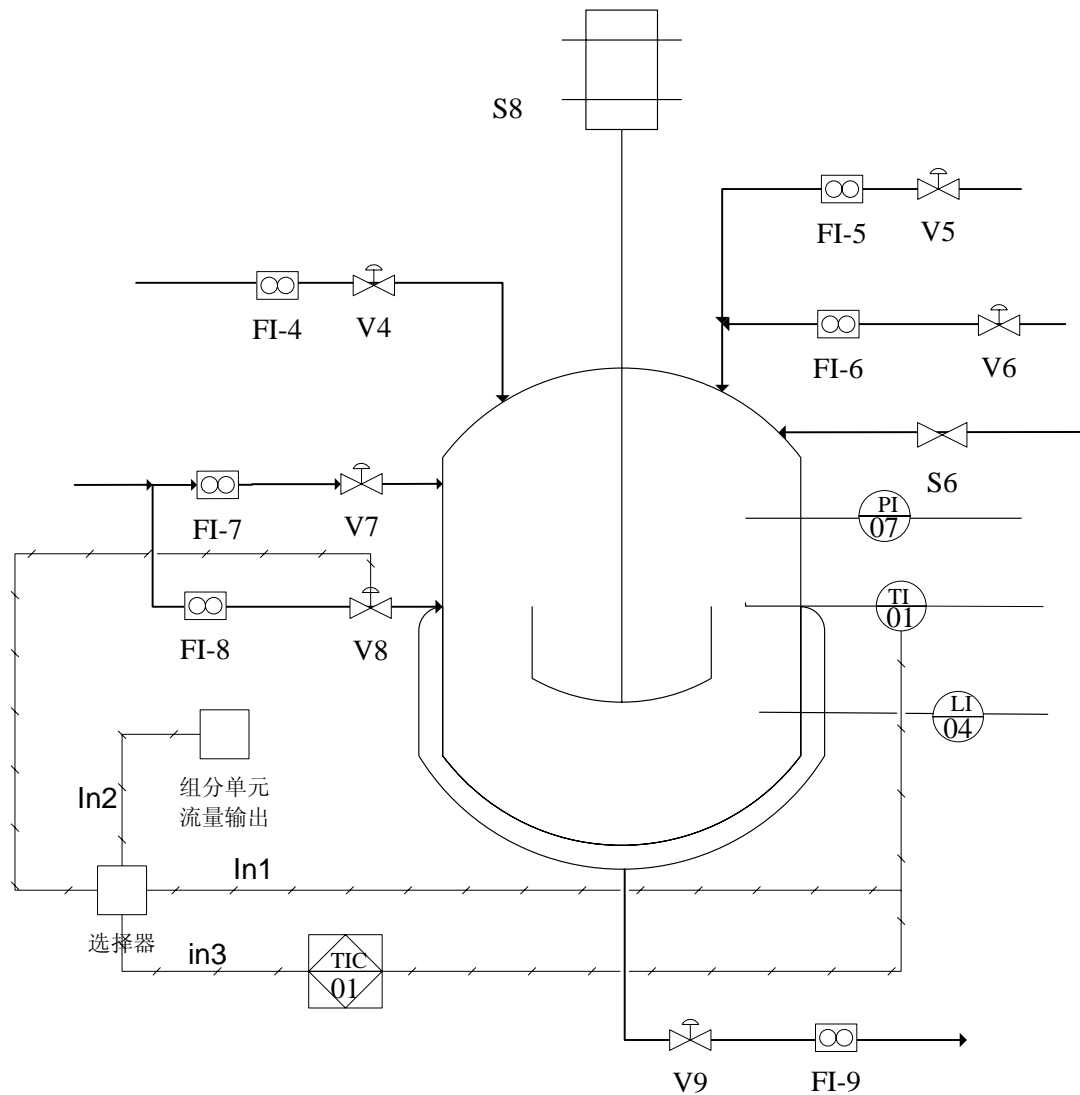


图 3-6 自动升温控制 P&ID 图

升温控制单元采集进反应釜温度，将前一次采进的温度值保存起来，用下一次采集的温度与其做差，除以采集时间间隔，就得到了温度上升速率，如果速率大于 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 就加大冷却水阀门 v8 开度，如果速率为负，即温度下降，就减小 v8 开度，最终平稳到达 70，自动升温结束。

此单元中有两个设计的小模块，即升温控制器和选择器。

升温控制器有一个输入（IN1）和一个输出（OUT1），IN1 用来接收温度信号，OUT1 用来根据温度的变化情况给出 v8 阀门开度，将前一次采进的温度值保存起来，用下一次采集的温度与其做差，除以采集时间间隔（1s），就得到了温度上升速率， 45°C 以前，输出为 0； 45°C 以后如果速率大于 $0.1/\text{s}$ 就加大冷却水阀门 v8 开度，如果速率为负，即温度下降，就减小 v8 开度。

升温控制器工作原理图如下：

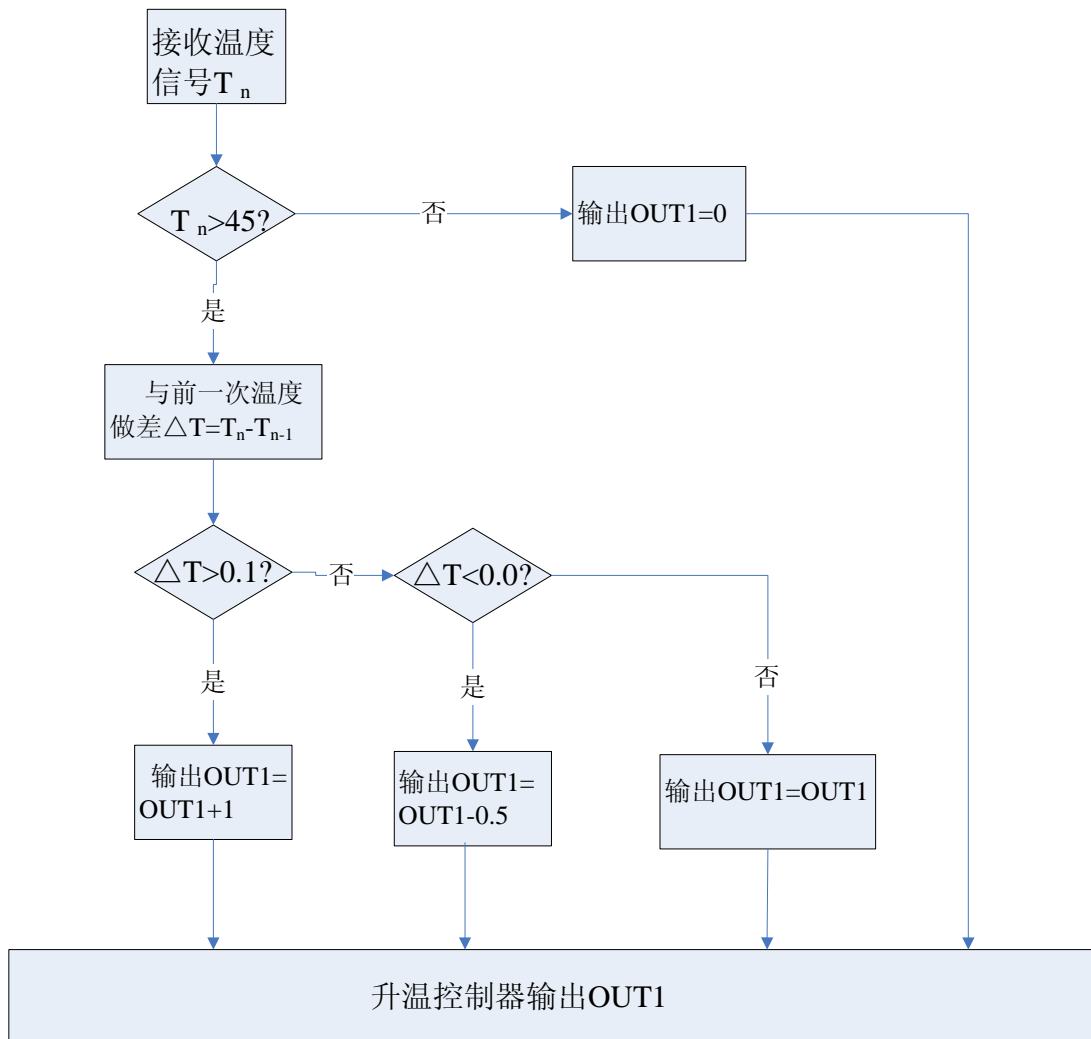


图 3-7 升温控制器工作原理图

具体代码示例如下（以 pcs7 的 scl 语言为例）

```
FUNCTION_BLOCK    FB999
```

```
//静态变量定义
```

```
VAR
```

```
TEMPERATURE:REAL:=45;
```

```
END_VAR
```

```
//输入变量定义
```

```
VAR_INPUT
```

```
IN1:REAL:=0;
```

```

END_VAR
//输出变量定义
VAR_OUTPUT
OUT1:REAL:=0;
OUT2:REAL:=0;
END_VAR
//主程序
BEGIN
IF(IN1< 45) THEN
    OUT1:=0;
ELSE
    IF((IN1-TEMPERATURE)>0.1) THEN //升温速率大于 0.1，信号采集间隔为一秒
        OUT1:=OUT1+1;//逐步开大 v8 阀
    ELSE
        IF((IN1-TEMPERATURE)<0.0) THEN
            OUT1:=OUT1-0.5;
        END_IF;
    END_IF;
END_IF;

TEMPERATURE:=IN1;//将上一次采集的温度保存起来

END_FUNCTION_BLOCK

```

选择器有三个输入（IN1，IN2，IN3），一个输出（OUT1）。IN1 用来接收温度信号，IN2 接收组分控制单元流量控制器输出，IN3 收升温控制器 OUT1 输出。选择器输出 OUT1 用来输出 v8 阀门开度。选择器根据当前温度，来选择哪个信号送给阀门 v8。当温度小于 70℃时，输出一直等于升温控制器 OUT1 输出，到达 70℃后由组分控制单元流量控制器来控制阀门 v8，以后无论温度怎么变化，都由组分控制单元流量控制器来控制阀门 v8。

选择器工作原理图如下：

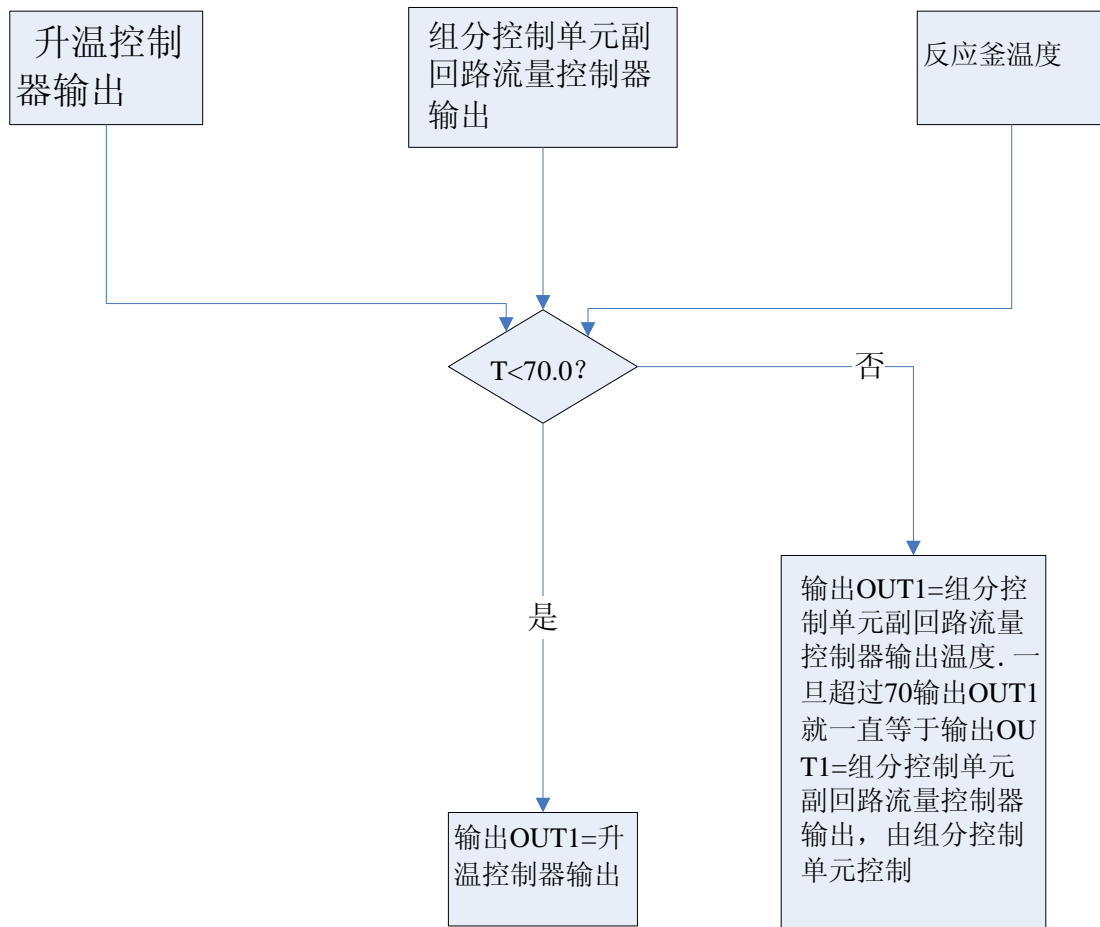


图 3-8 选择器工作原理图

具体代码示例如下（以 pcs7 的 scl 语言为例）

```

FUNCTION_BLOCK    FB998
//静态变量定义
VAR
TEMPERATURE:REAL:=70;
FLAG:BOOL:=0;
END_VAR
//输入变量定义
VAR_INPUT
IN1:REAL:=0;
IN2:REAL:=0;
IN3:REAL:=0;
END_VAR
  
```

```

//输出变量定义
VAR_OUTPUT
OUT1:REAL:=0;
END_VAR
//主程序
BEGIN
IF(FLAG=0) THEN
    IF(IN1<70) THEN
        OUT1:=IN3;// 当温度小于 70 时，输出一直等于升温控制器 OUT1 输出
    ELSE
        FLAG:=1;
        END_IF;
    ELSE
        OUT1:=IN2;//一旦升温结束，就由组分控制环节流量控制器来控制阀门 v8
    END_IF;
END_FUNCTION_BLOCK

```

本文中用到的其他选择器，原理基本相同，不再赘述。

3.5 组分控制单元

从反应物料进入反应器开始至该反应物料离开反应器为止所历经的时间称为停留时间。该时间与反应器中实际的物料容积和物料的体积流量有关。一般来说停留时间长，进料流量小，反应的转化率高。也就是说为了使出口混合液中产物 D 的浓度提高，必须减少进料和出料流量。由于本反应器的物料流动状态满足全混流假定，可以采用平均停留时间的方法表达，反应平均停留时间等于反应器中物料实际容积除以反应器中参与反应的物料体积流量。

反应温度和反应转化率的变化属于时间常数较大的高阶特性。冷却水流量的变化随阀门的开关变化较快、时间常数较小。由于温度变化的滞后，用常规控制器进行调节效果不佳。

因组分和相关干扰难以测量，故选用推断控制来控制组分。在实际过程中，由于模型的误差不可避免，导致出现跟踪误差和扰动补偿误差。为了消除这两项误差，最好是引入主要的输出反馈，但主要输出又不可测，因而只能通过推断法估算出主要输出的值并用于反馈。

如下图所示原理：U 为输入，Y 为输出，F 为干扰量。G_f 和 G_p 分别是干扰通道和过程控制通道传递函数。

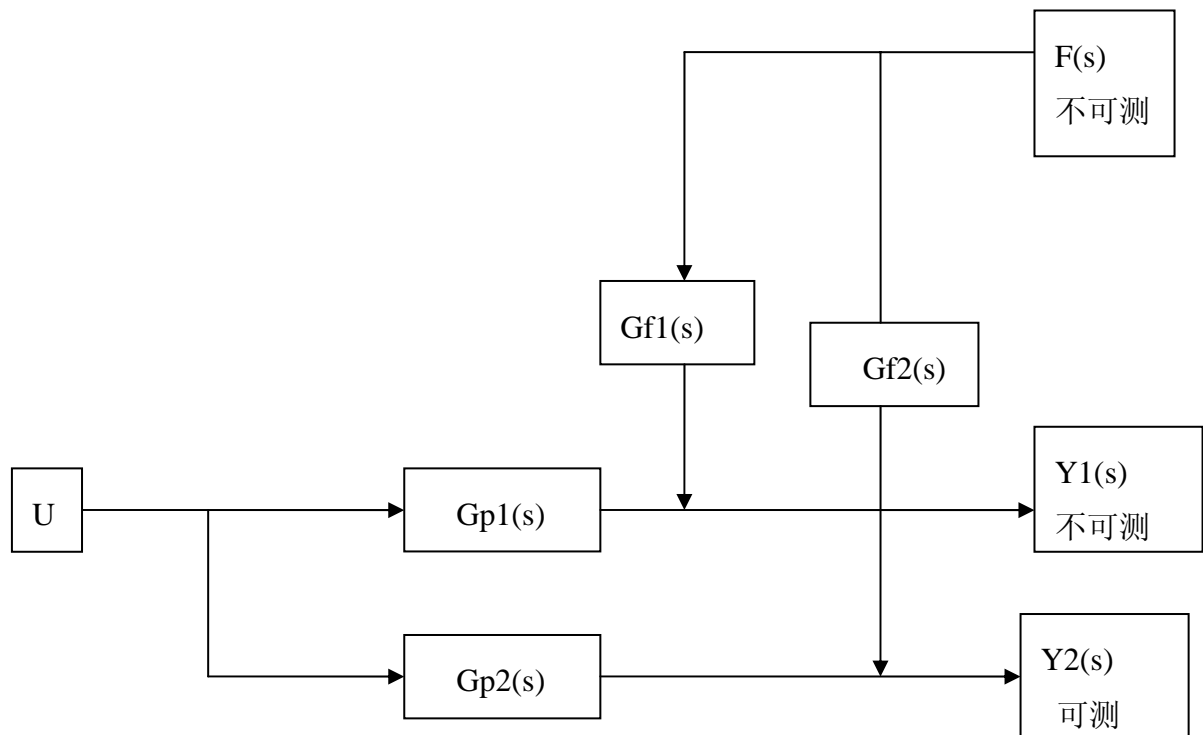


图 3-9 扰动对主、副输出影响原理图

$$Y_1(s)=[G_{p1}(s)-G_{f1}(s)G_{p2}(s)/G_{f2}(s)]U(s)+Y_2(s)G_{f1}(s)/G_{f2}(s)$$

$$\text{令 } G_{p1}(s)-G_{f1}(s)G_{p2}(s)/G_{f2}(s)=D(s)$$

$$G_{f1}(s)G_{p2}(s)/G_{f2}(s)=H(s)$$

$$\text{则 } Y_1(s)=D(s)U(s)+H(s)Y_2(s)$$

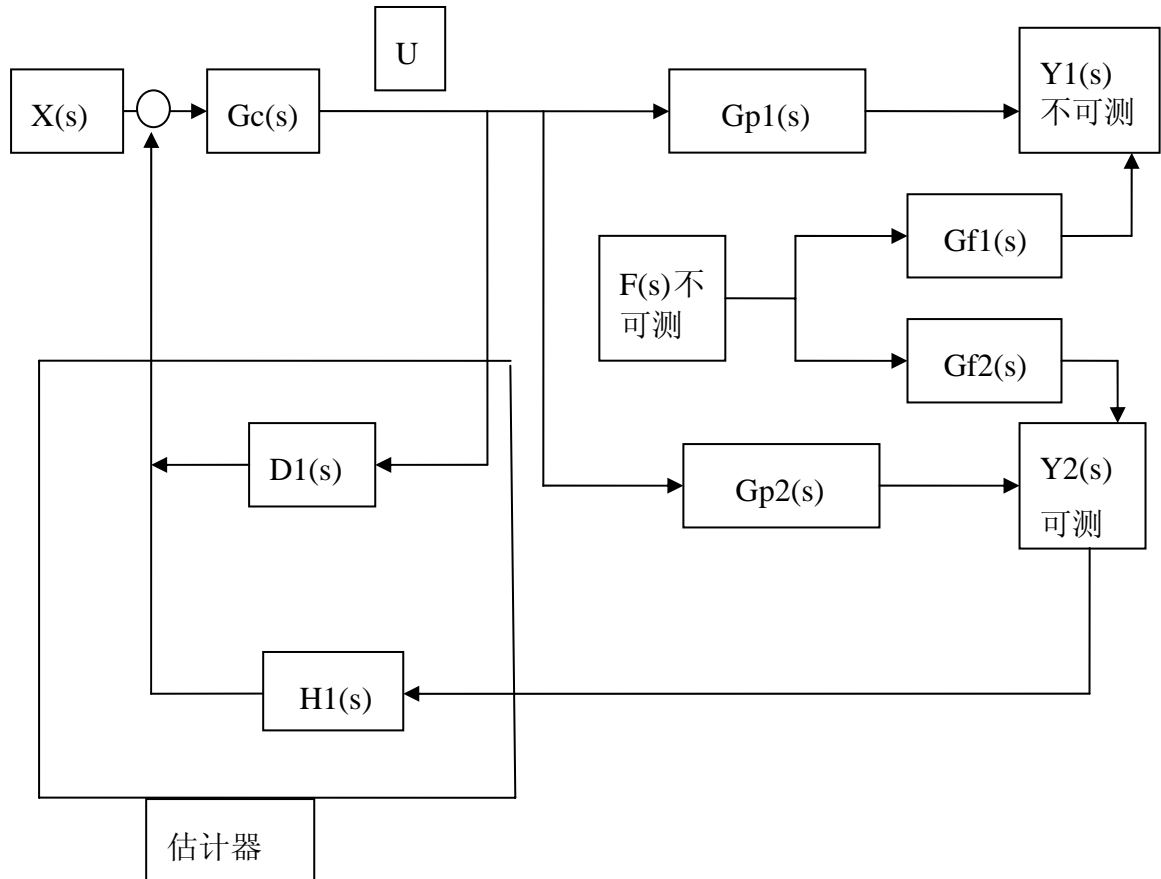


图 3-10 推断控制原理图

如上图，设计此反馈推断控制模型。影响组分的主要因素是反应温度和反应停留时间。因为入料、出料流量会影响液位，而这三个量又共同作用于停留时间，故把停留时间作为主要的干扰因素考虑。Y1 为产物转化率，Y2 为反应温度，F 为停留时间，X 为组分设定值。利用系统辨识方法可以得到 G_p 、 G_f 的传递函数，从而得到 $D1$ 、 $H1$ 。

从前面推导过程可知：要构成反馈推断控制的前提条件是过程的数学模型已知，而且控制效果与模型精度有着密切的关系。这里要建立 G_{p1} 、 G_{p2} 、 G_{f1} 、 G_{f2} 的数学模型，因为反应停留时间与温度、组分之间是一种非自衡关系，所以对 G_{f1} 、 G_{f2} 的模型辨识可采用一些传统的辨识方法。下面主要阐述一下 G_{p1} 、 G_{p2} 的建模方法。

反应釜中温度和组分与冷水流量之间是一种非自衡关系，非自衡过程属于开环不稳定过程。开环辨识测试过程中出现的异常扰动，尤其是阶跃类型的扰动将导致过程输出的不断增加或减小，从而对生产过程的平稳，甚至安全造成不利影响。因此，开环辨识方法并不适合处理非自衡过程的模型化问题。这里采取基于双通道继电特性的闭环频域辨识方法辨识 G_{p1} 和 G_{p2} 的模型。该方法由两部分组成：

①闭环频率特性的测试方法——双通道继电器反馈法，用于提取非自衡过程多点频率特性；

②估计非自衡时滞过程传递函数模型的频域辨识算法。

双通道继电器特性的结构如图 1 所示，图中 h_i 和 h_p 分别表示两个通道的比例增益；两个继电器特性为标准继电器特性，输出幅值为 ± 1 ； $1/s$ 为积分环节。

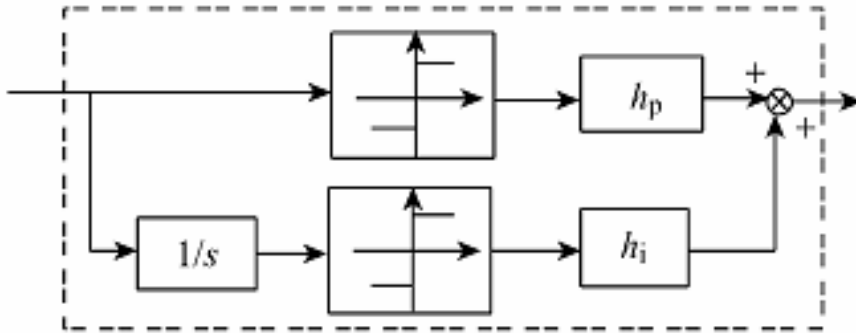


图 3-11 双通道继电器特性

双通道继电器特性的描述函数为

$$N(a) = \frac{4h_p}{\pi a} - j \frac{4h_i}{\pi a}$$

式中 a 为输入正弦信号的幅值。

带有双通道继电器特性的单位反馈闭环系统的结构如图 2 所示。图中 TR 表示双通道继电器特性； $H(s)$ 表示补偿环节； $G(s)$ 表示过程对象。

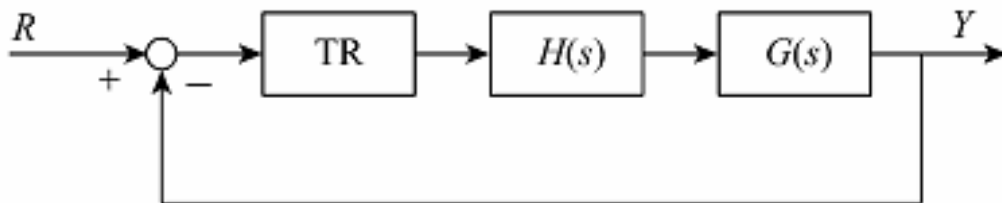


图 3-12 双通道继电器反馈结构图

$H(s)$ 为补偿环节。由非线性理论可知，发生振荡的位置位于第 3 象限，若引入补偿环节 $H(s)=1/s$ 或 $H(s)=s$ ，则可保证原系统 2、3、4 象限全部频率特性可测。

测试时选择 h_i 和 h_p 的数值，即确定测试点的相位，若如图 2 所示的双通道继电器反馈系统出现了稳定的极限环振荡，通过测量极限环参数，即

振荡幅值 a 和振荡周期 T ，则有

$$\omega = 2\pi/T,$$

可以得到在相位

$$-\pi + \arctan(h_i/h_p)$$

处的频率特性

$$H(j\omega)G(j\omega) = -1/N(a)$$

选择不同的测试点相位，可以得到若干组频率特性参数 $\hat{G}(j\omega_i)$ ， $\angle \hat{G}(j\omega_i) = -\pi + \arctan(h_i/h_p)$ 。

可见，双通道继电器反馈是一种闭环频率特性测试方法，在实施继电器反馈实验的过程中，系统处于闭环受控状态，这种测试能够克服现有开环测试方法在实际应用中的局限性。

从工业实际角度出发，选取非自衡时滞过程 G_{p1} 和 G_{p2} 的传递函数模型均为

$$\hat{G}(s) = \frac{K}{s(Ts + 1)} e^{-Ls}$$

上式中： K 为系统的稳态增益； L 为系统的实质。令 $s=j\omega$ ，代入得到

$$\hat{G}(j\omega) = \frac{K}{j\omega + (j\omega)^2 T} e^{-j\omega L}$$

选取目标函数为

$$J = \sum_{k=1}^p v_k \left| \frac{K}{j\omega + (j\omega)^2 T} e^{-j\omega L} - G(j\omega) \right|^2$$

式： v_k 表示权值； $\hat{G}(j\omega_i)$ 为测得的过程频率特征； p 为测试所得频率特性的数目。设已得到第 $i-1$ 步的解

$$\theta^{(i-1)} = [K^{(i-1)} \quad T^{(i-1)} \quad L^{(i-1)}]$$

令

$$h_1^k = \frac{e^{-j\omega_k L^{(i-1)}}}{j\omega_k + (j\omega_k)^2 T^{(i-1)}}$$

$$h_2^k = - \frac{(j\omega_k)^2 K^{(i-1)}}{[j\omega_k + (j\omega_k)^2 T^{(i-1)}]^2} e^{-j\omega_k L^{(i-1)}}$$

$$h_3^k = - \frac{j\omega_k K^{(i-1)}}{j\omega_k + (j\omega_k)^2 T^{(i-1)}} e^{-j\omega_k L^{(i-1)}}$$

由此得

$$H_k^T = [h_1^k \quad h_2^k \quad h_3^k]$$

$$z_k = - \hat{G}(\theta^{(i-1)}) + H_k^T \theta^{(i-1)} - G(j\omega)$$

进一步，令

$$\Phi = [H_1 \ H_2 \ \dots \ H_p]^T$$

$$Z = [z_1 \ z_2 \ \dots \ z_p]^T$$

$$\dot{\Phi} = \begin{bmatrix} \text{Re}[\Phi] \\ \text{Im}[\Phi] \end{bmatrix}, \quad \dot{Z} = \begin{bmatrix} \text{Re}[Z] \\ \text{Im}[Z] \end{bmatrix}$$

$$W = \text{diag}[v_1 \ v_2 \ \dots \ v_p \ v_1 \ v_2 \ \dots \ v_p]$$

则第 i 步的最小二乘解为

$$\theta^{(i)} = (\Phi^T W \Phi)^{-1} \Phi^T W Z$$

结束条件是

$$E = \max_{i \in \{1, 2, \dots, p\}} \left| \frac{\hat{G}(j\omega) - G(j\omega)}{G(j\omega)} \right| < \epsilon$$

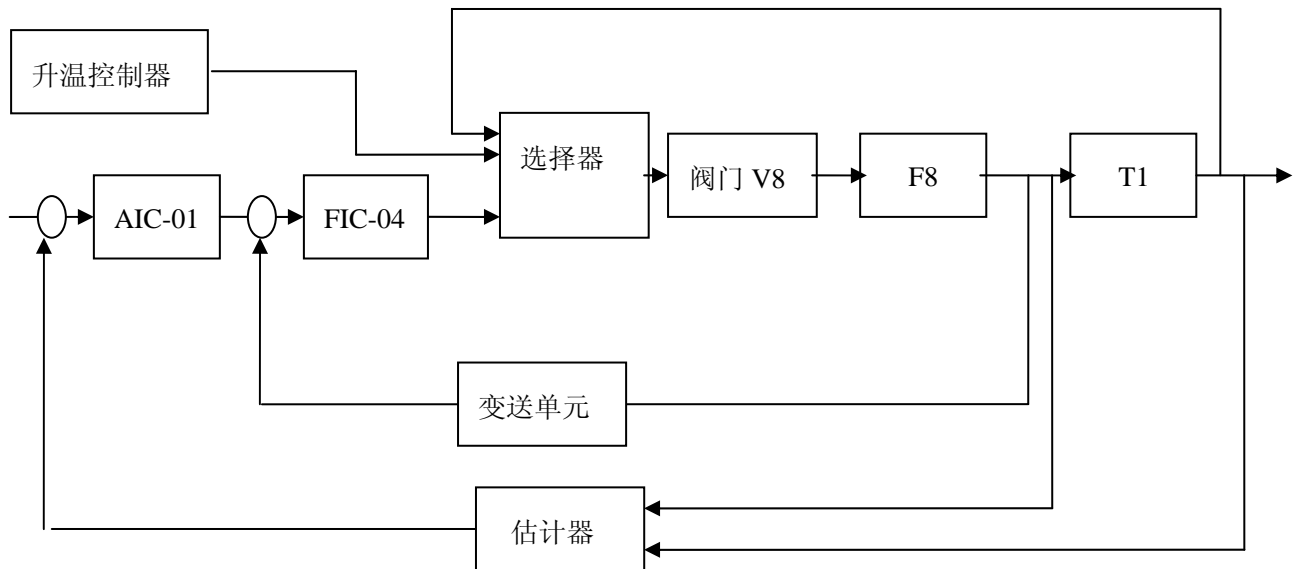


图 3-13 组分控制原理图

被控变量：T1

操纵变量：V8

参数说明：FIC-04 为反作用

V8 为气闭式，线性阀

AIC-01 为正作用，设定值可由专家给出（根据我们的经验，70℃时转化率大约为 12.44%）

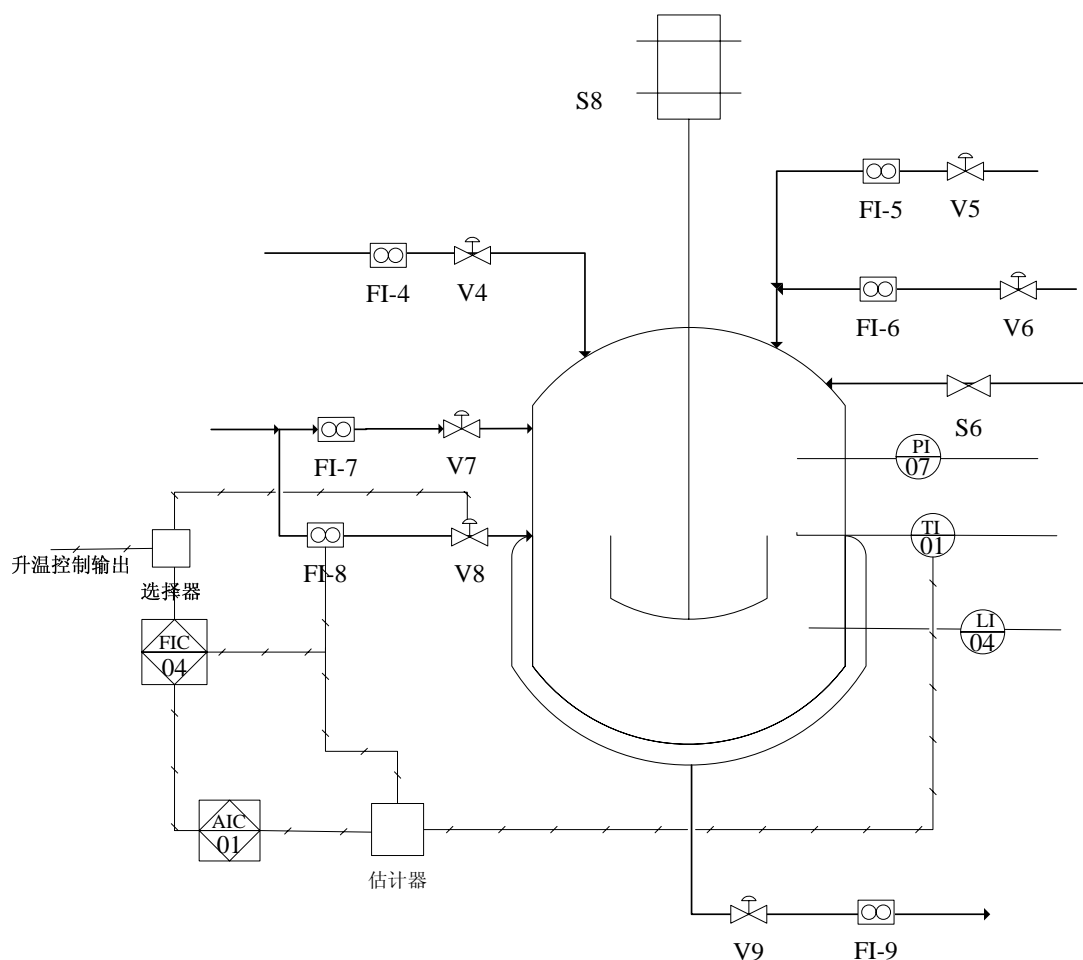


图 3-14 组分控制模块 P&ID 图

3.6 安全控制单元

为保证反应安全，需要对压力进行安全控制系统的设计。压力高限报警为 1.2MPa。当压力值达到报警值时，蛇管冷却水阀 V7 开启，利用 F7 快速的冷却作用来降温。如果温度

继续升高到 1.35MPa，则采用紧急停车方式，停进料、放空物料。

压力安全控制器 PIC-01 接收监测的 P7 值，根据 P7 的值来确定是否开冷却水阀 v7 或紧急停车。

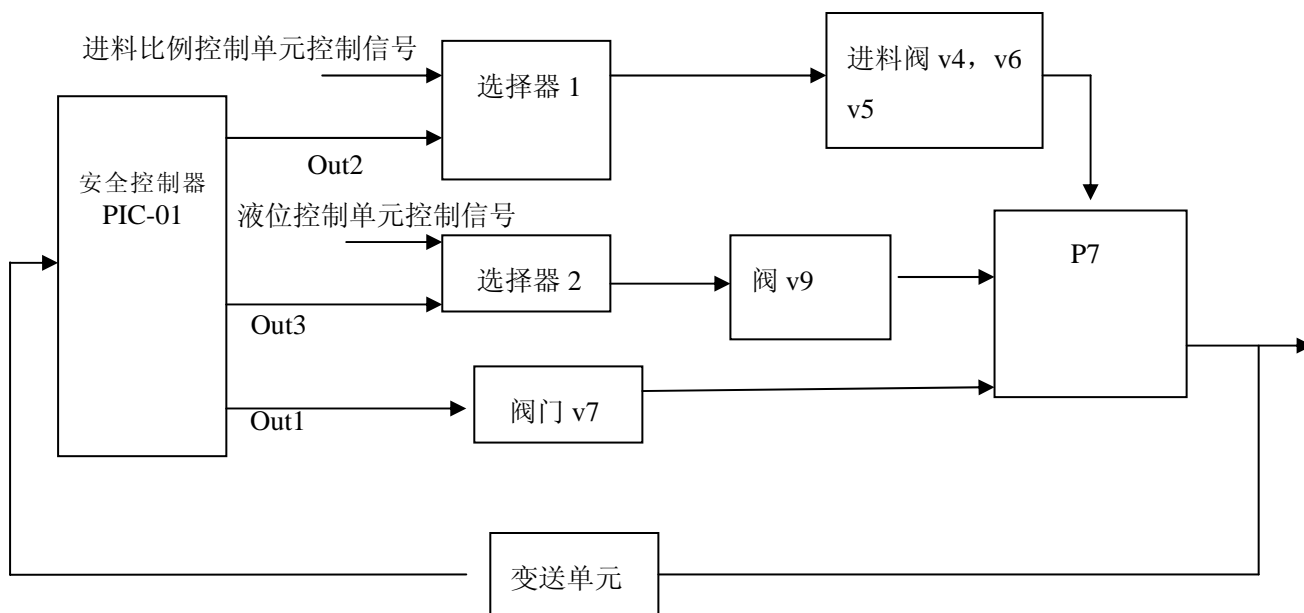


图 3-15 压力安全控制

被控变量：P7

操纵变量：v7，v4，v5，v6，放空阀 v9

参数说明：阀门均为气闭式

V7 为快开阀（快开阀指较小开度就有较大流量，随开度增加，流量很快接近最大。当压力达到报警值时，需要迅速采取措施，此时选用快开阀可以尽快冷却降压）

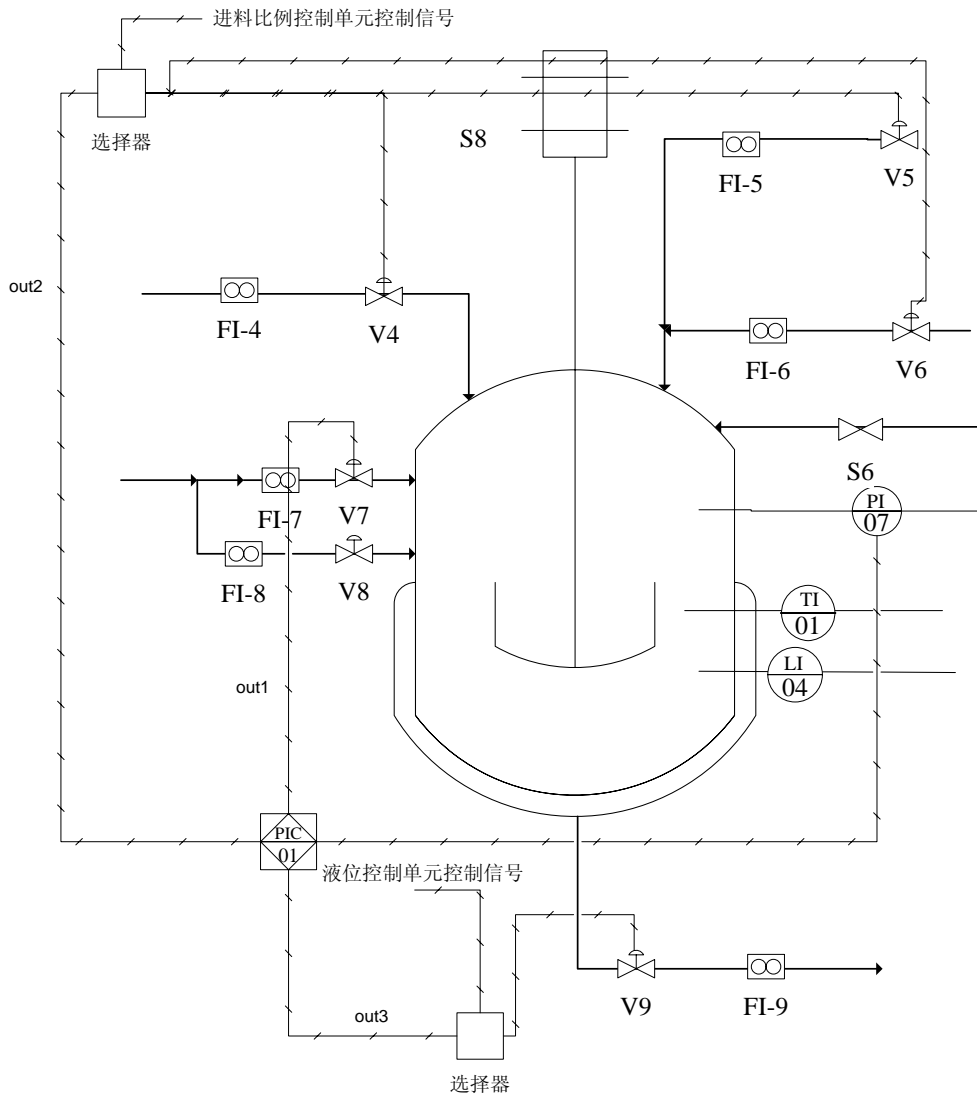


图 3-16 压力安全控制 P&ID 图

压力安全控制器 PIC-01 有一个输入 IN1,三个输出 (OUT1,OUT2,OUT3),分别控制阀门 v7, 阀门 v4 v5 v6, 阀门 v9。与组分控制相似,三个输入分别经过三个选择器然后进入阀门 v7, 阀门 v4 v5 v6, 阀门 v9, 之所以有选择器,是为了在正常工矿时,选择器输出的是液位,进料比例控制系统的信号,压力超高时,选择器输出相应的 PIC-01 输出信号,进行安全控制。

当反应釜压力大于 1.2MPa 时,全开阀门 v7,如果压力继续上升,超过 1.35MPa,马上紧急停车。

PIC-01 功能原理图如下:

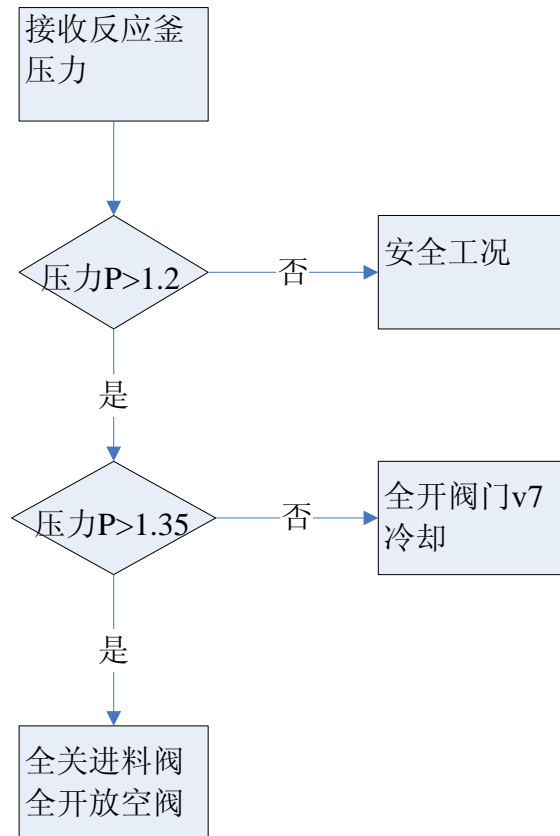


图 3-17 PIC-01 功能原理图

具体代码示例如下（以 pcs7 的 scl 语言为例）

```

FUNCTION_BLOCK    FB997
//静态变量定义
VAR
PRESSURE:REAL:=0;
END_VAR
//输入变量定义
VAR_INPUT
IN1:REAL:=0;    //接收检测到的压力值 P7
END_VAR
//输出变量定义
VAR_OUTPUT
OUT1:REAL:=0;  //控制 V7 的开度
OUT2:REAL:=0;  //控制阀门 v4, v5, v6, 输出为 0 即全关进料阀
OUT3:BOOL:=0;  //控制放空阀（这里用 v9 做放空阀），输出为 1 即开放空阀
  
```

```

END_VAR
//主程序
BEGIN
IF (IN1<1.2) THEN
    OUT1:=0;
ELSE
    IF (IN1>1.35) THEN// 压力超高，紧急停车
        OUT1:=100;//阀门 v7 全开
        OUT2:=0;// 全关进料阀
        OUT3:=1;//放空反映物料
    ELSE
        OUT1:= 100;           //全开阀门 V7

    END_IF;
END_IF;
END_FUNCTION_BLOCK

```

选择器 1, 2 原理与组分控制单元选择器相同，当压力超高，将输出信号从正常工矿各个单元控制器输出转到安全控制单元的各个输出上，在此不再赘述。

3.7 顺序开车方案设计

3.7.1 开车步骤

1 初始化检查，系统处于开车前状态。确认所有阀门关闭，所有开关处于关闭状态。

2 开 V5（反应物 B 进料阀）约 60%，使 F5（反应物 B 的进料流量）达到约 1540 kg/h。FIC-2 投自动。

3 液位 L4 上升至 50%左右，开 V4（反应物 A 进料阀）约 55%，使 F4（反应物 A 进料流量）达到约 729 kg/h。FIC-1 投自动。

4 当液位 L4 上升至 75%左右，开 V9（反应器出口阀）约 55%。

5 当液位 L4 上升至 85%左右，将液位控制器 LIC-1 投自动运行。

6 开 S8（反应器搅拌电机开关）。

7 开 S6（热水加热阀）。

8 开 V6（催化剂 C 进料阀）约 90%，使 F6（催化剂 C 进料流量）达到约 88 kg/h。FIC-3 投自动。

9 FIC-2、FIC-3 设为外给定，三种进料流量按比值自动控制。

10 当 T1（反应温度）达到约 40℃，关 S6（热水加热阀）。

11 根据 T1（反应温度）自动调整冷却水量，使其约按 0.1℃/sec 之速率上升。如果 T1 上升的速率大于 0.1℃/sec，则适当开大冷却水阀；如果 T1 上升速率小于 0.1℃/sec，可维持当前冷却水阀位不变。

12 经过调整过渡过程后，组分控制单元使 T1 确实稳定在 70±1.0℃。此时即完成了反应过程的开车任务。

开车结束后启动安全控制单元。

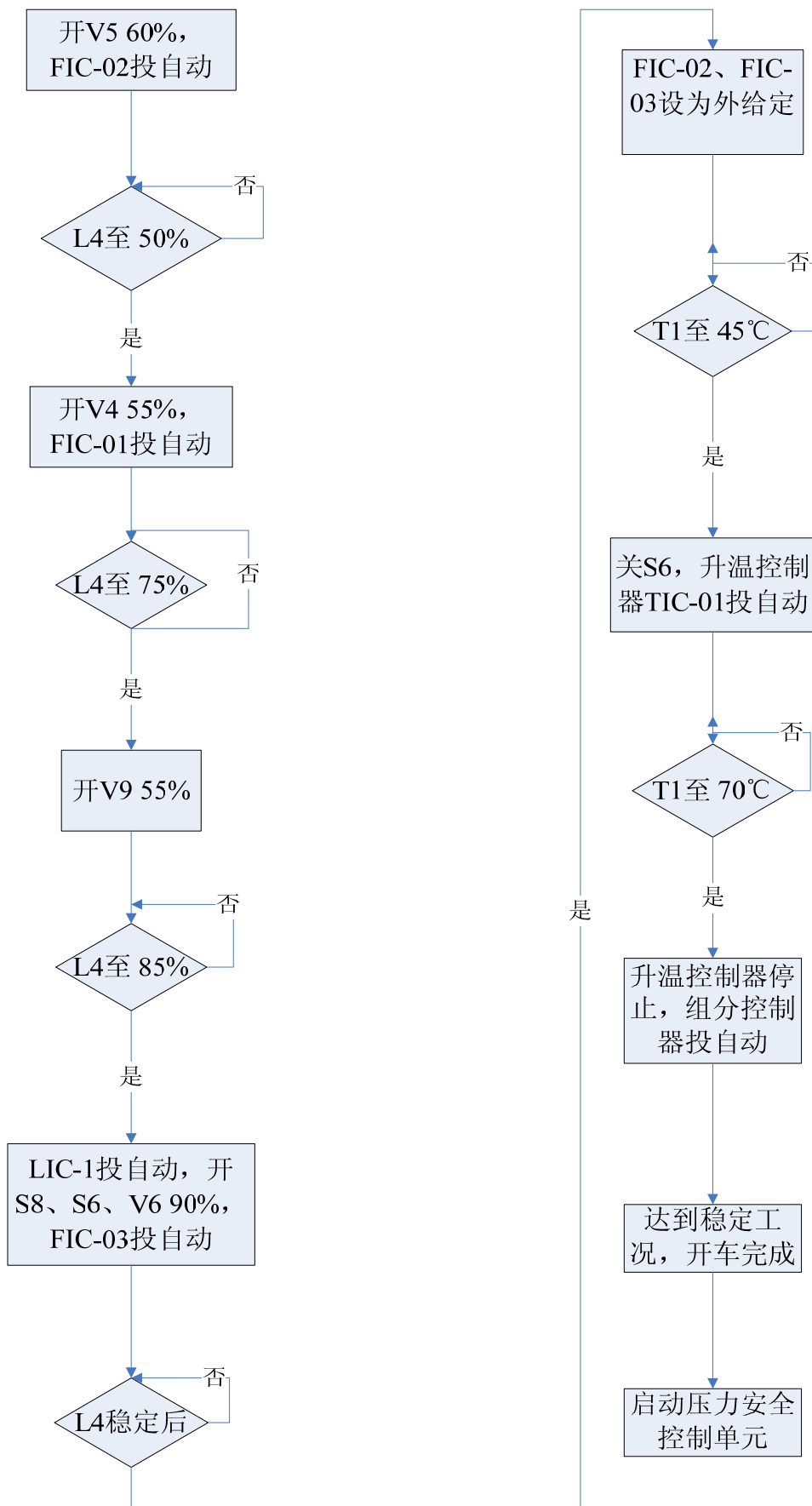


图 3-18 顺序开车步骤图

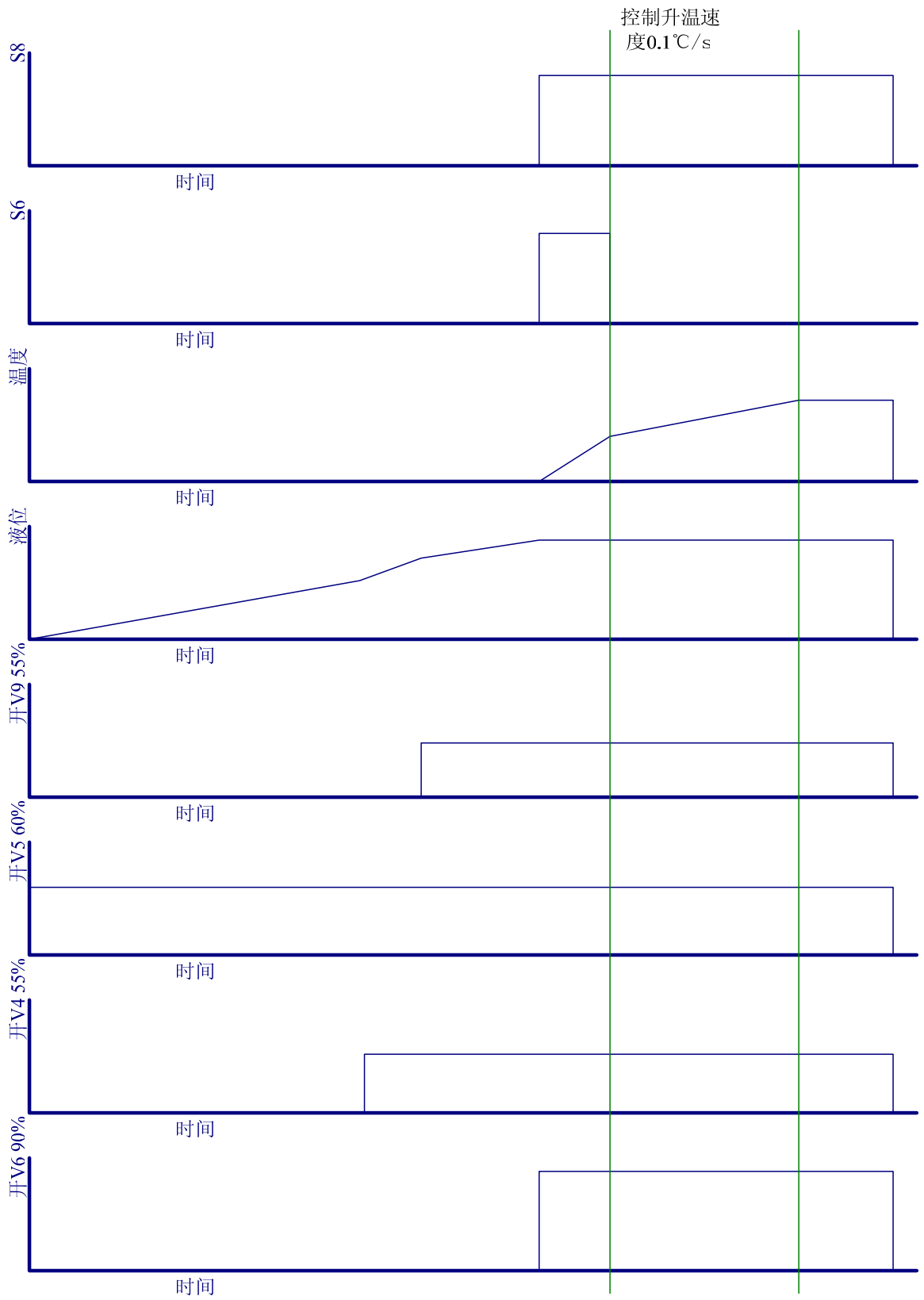


图 3-19 顺序开车时间状态图

顺序开车过程中，在液位达到 85%之前，V4、V5、V9 的开度都是设定好的。液位到达 85%时 LIC-01 投自动，开始对液位进行自动控制，V9 开度由控制器控制。随后 V6 的开度以及 S6、S8 的开关，也是按设定值设置。三种进料的流量按照比例自动控制。当温度升高到 40℃时，关闭 S6。此后直到温度达到 70±1.0℃而平稳的过程中，V8 的开度都由控制器控制。其中，在 45-70℃之间，使用自动升温模块，70℃后，由组分控制单元控制，开车结束后安全控制单元开始启动，保证反应压力不超限。

3.7.2 紧急停车顺序控制图

当温度超过一定界限（1.35MPa.）后，为防止发生爆炸要启动紧急停车控制。如下图所示：

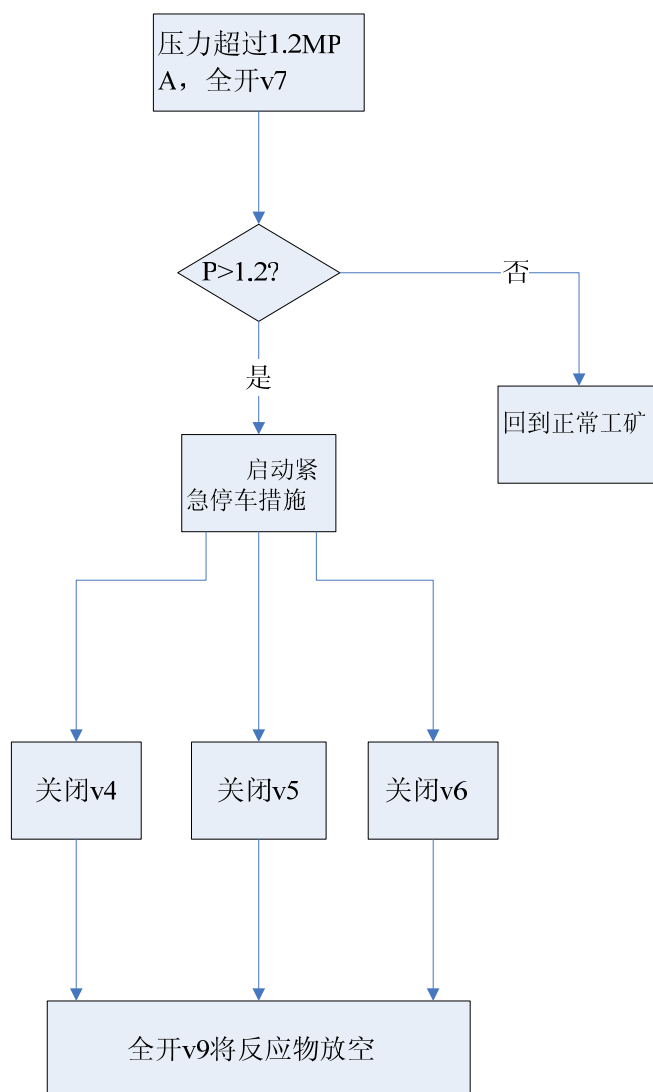


图 3-20 紧急停车顺序图

四 设备使用方案

4.1 系统配置方案

系统硬件配置图如下所示：

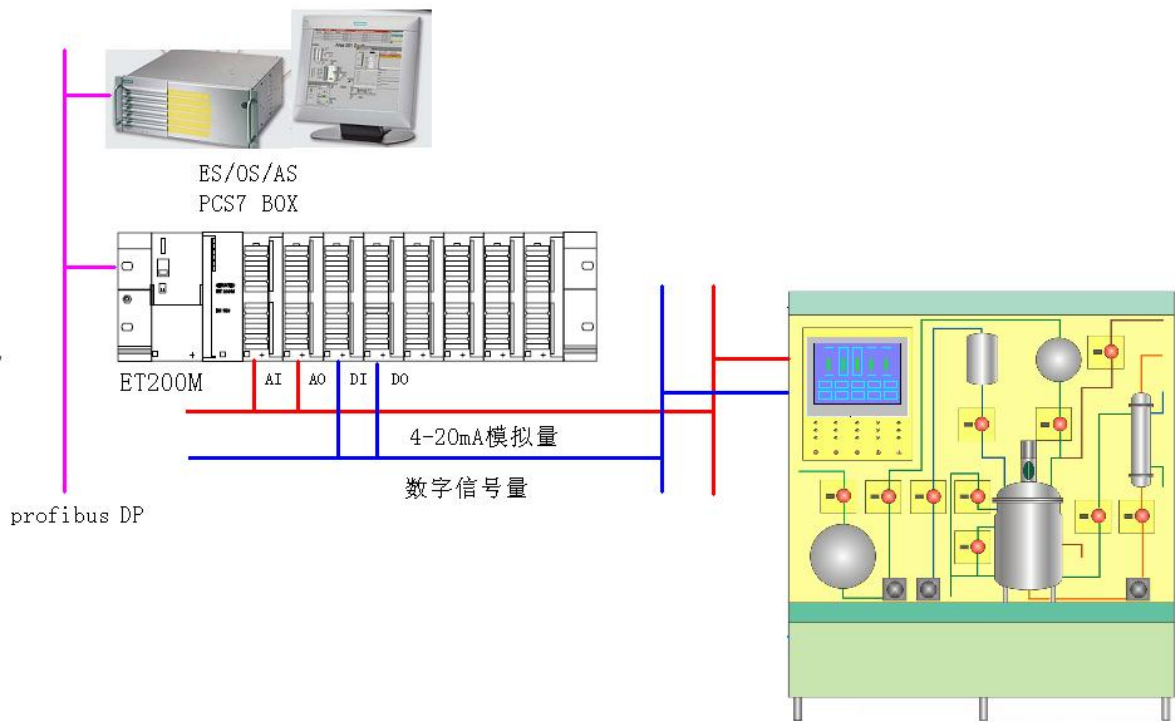


图 4-1 系统硬件配置图

表 4-1 理想方案配置表

型号	数目	说明
416-2 PCI	1	CPU
ET 200M IM 153-2	1	与 PROFIBUSDP 连接的分布式站点
SM 322 8*DC 24V/2A	1	16 路开关量输出(0-24V)
SM 331 8*12BIT	2	8 路模拟量输入(4-20mA)
SM 332 8*12BIT	1	8 路模拟量输出(4-20mA)

4.2 I/O 模块接线图

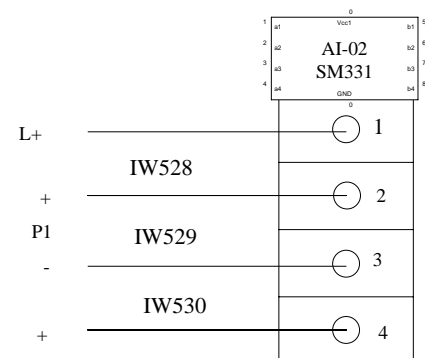
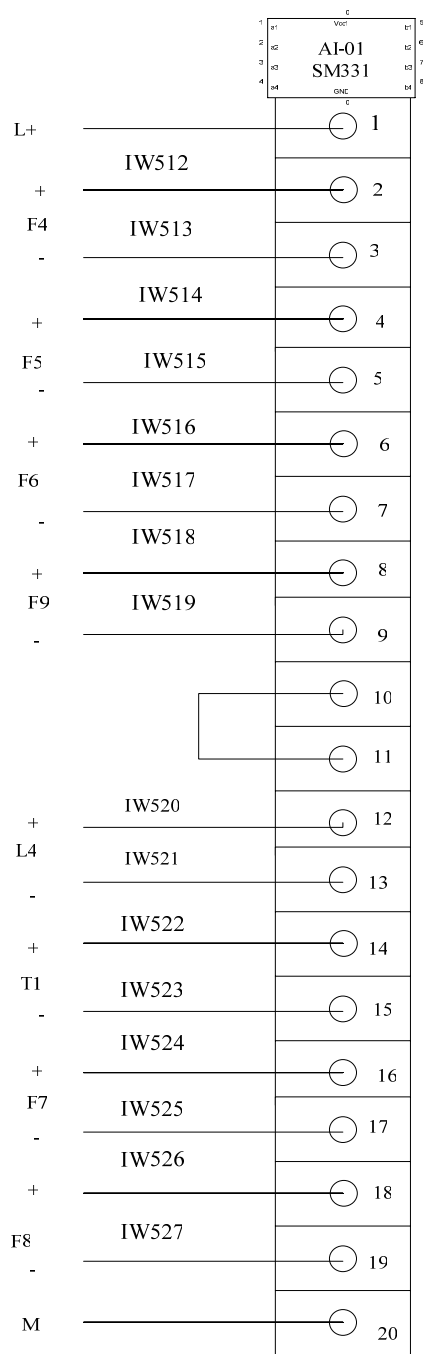


图 4-2 AI 模块接线图

AI 模块选用 SM331 型的模拟量输入板卡 2 块，负责接收 9 个模拟量。F4, F5, F6, F9, TI, P1, L4, F7, F8 这 9 路模拟量以 4-20mA 标准信号输入。

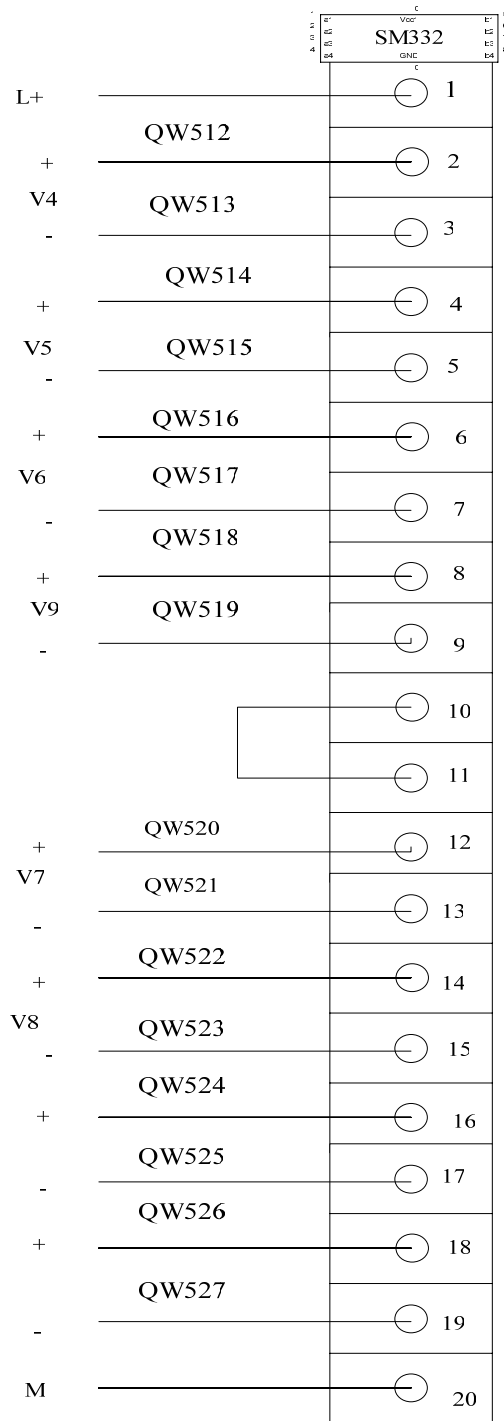


图 4-3 A0 模块接线图

A0 模块选用 SM332 型的模拟量输出板卡，负责输出 6 个模拟量。V4，V5，V6，V9，V7，V8 这 6 个阀门的开启度以 4-20mA 标准信号输出。

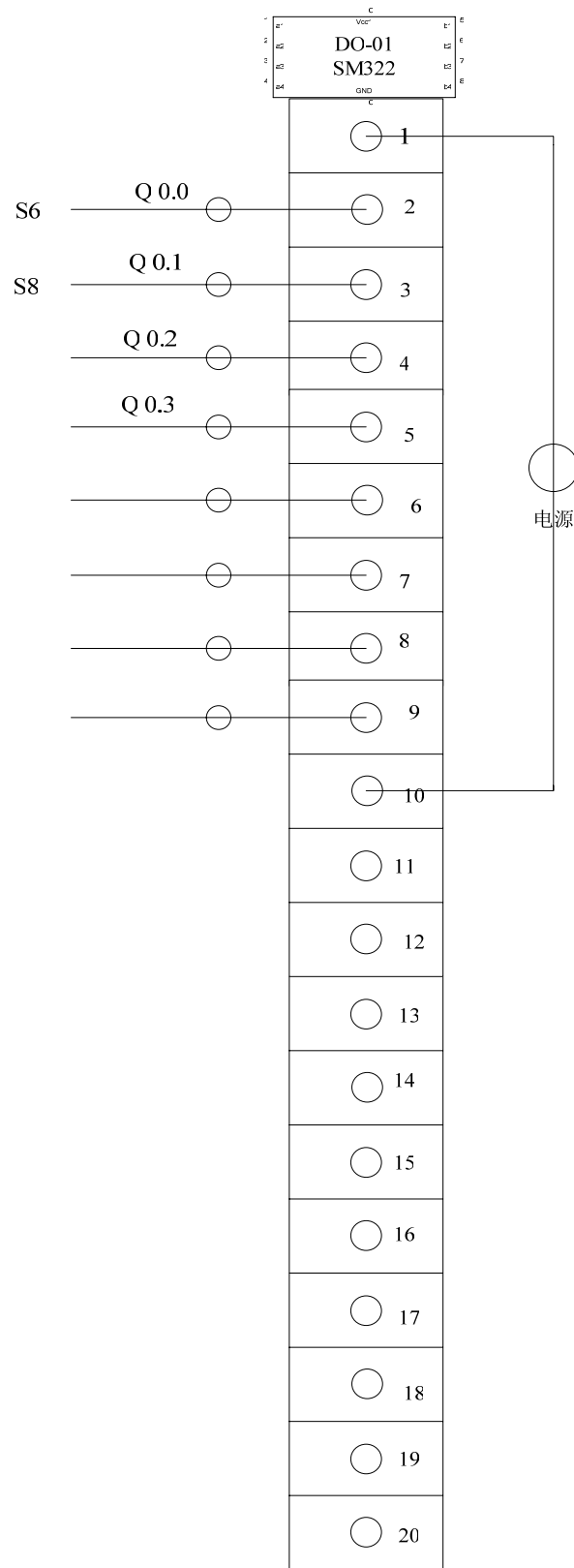


图 4-4DO 模块接线图

D0 模块选用 SM322 型的开关量输出板卡，负责输出 2 个开关量。S6，S8 这 2 路开关量以 0-24V 标准信号输出。

五 结论

综上所述，本控制方案在充分了解工艺的前提下，所设计的方案基本以工业上常见的控制方案为依据，以串级，比例，单回路控制为基本方案，并经过实验验证。这样可以保证方案简单，具有较高的可实施性。加上了自动开车，紧急停车环节，减少人为干预，并消除了安全隐患。同时，为了消除反应釜温度的大滞后，采用了先进的控制手段——产物组分推断控制使得产物质量更高，提高生产效率。