

2006 年西门子杯全国大学生过程控制 仿真挑战赛

1 控制方案的确定

1.1 开车步骤控制方案

1.1.1 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，关注液位 L4 上升。由于与反应物 A 相比，反应物 B 在常温下气体的压力较低，因此先加入物料 B 后加物料 A，可以避免反应器内压力大幅升高。

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。

4. 当液位 L4 上升至 75%左右，开 V9(反应器出口阀)约 55%。应防止液位在控制给定值附近上升过快，导致超调量过大。因为设定值已经接近 100%液位高限。

5. 当液位 L4 上升至 80-90%左右，将液位控制器投自动控制。

6. 开 S8(反应器搅拌电机开关)。使物系处于全混状态。

7. 开 S6(热水加热带)，诱发反应。热水流入夹套，通过夹套对反应器内物料加热。用热水最高可将物系加热到 50 (当物系没有化学反应时)。

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。此时，反应器的三股物料都已按要求连续进入反应器。由于反应尚未诱发，三股物料的混合物也在连续地流出反应器。此状态应当尽量短暂，因为没有产品生成，只有能量及物料损耗。

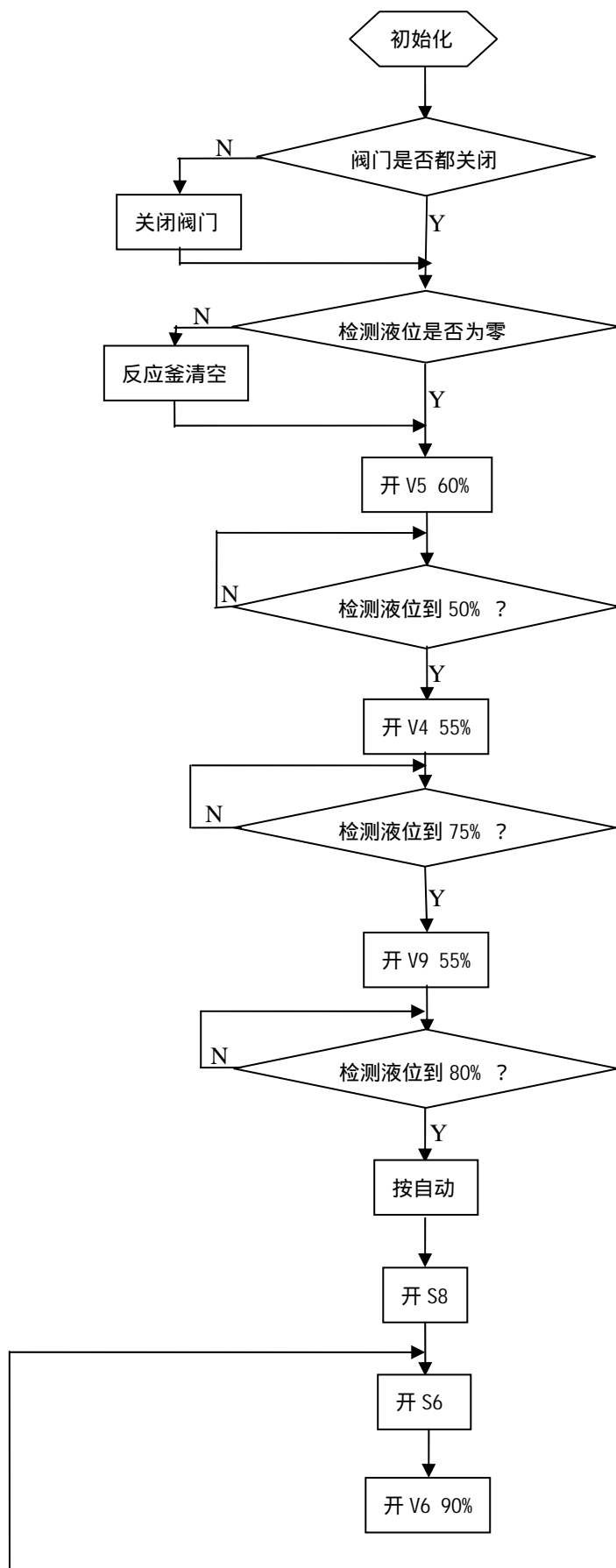
9. 当 T1(反应温度)达到约 40，关 S6(热水加热带)，若 T1 继续上升，则反应诱发成功。由于当前反应是放热反应，反应速度会随温度升高而不断加快。

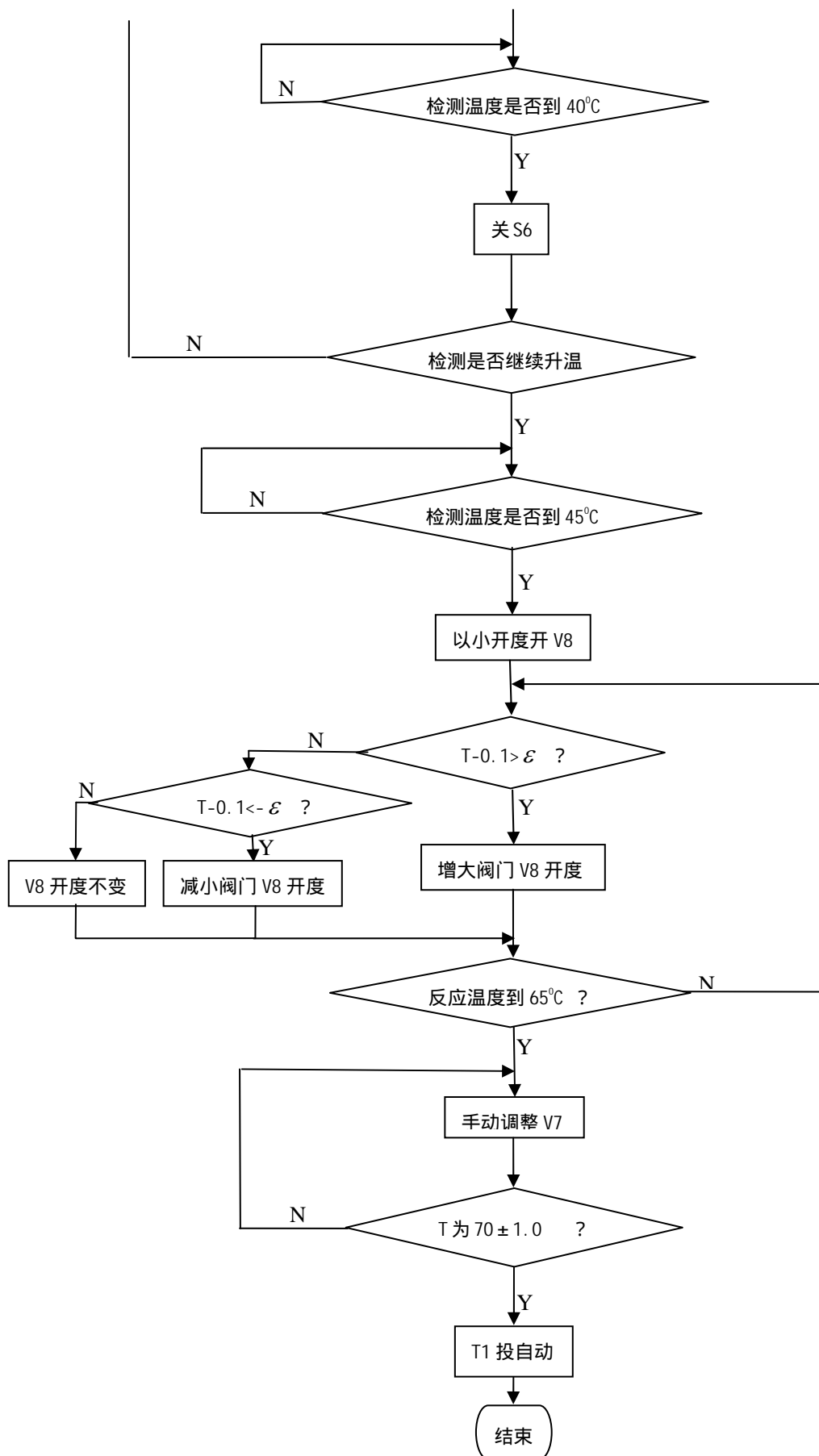
10. 当 T1(反应温度)达到约 45，逐渐以小开度开 V8(夹套冷却水阀)，为了防止反应温度上升幅度过快而失控，超前进行适当冷却是必要的。观察 T1(反应温度)同时调整冷却水量，使其约按 0.1 /sec 之速率上升。即，如果 T1 上升的速率大于 0.1 /sec，则适当开大冷却水阀；如果 T1 上升速率小于 0.1 /sec，可维持当前冷却水阀位不变；此调整应根据反应温度 T1 的上升情况灵活掌握，总的原则是：维持 T1 连续升温，不得升温过快而失控。

11. 当 V8(夹套冷却水阀)开度达到约 50%时，且 T1(反应温度)达到约 65，维持 V8 开度不变，改用 V7(夹套冷却水阀)手动控温。操作要点见(10)所述。

12. 当 T1(反应温度)达到 70±1.0，将 T1 投自动。观察经过调整过渡过程后，T1 确实被稳定控制在 70±1.0。此时即完成了反应过程的开车任务。

1.1.2 其开车步骤的顺序控制流程图为：





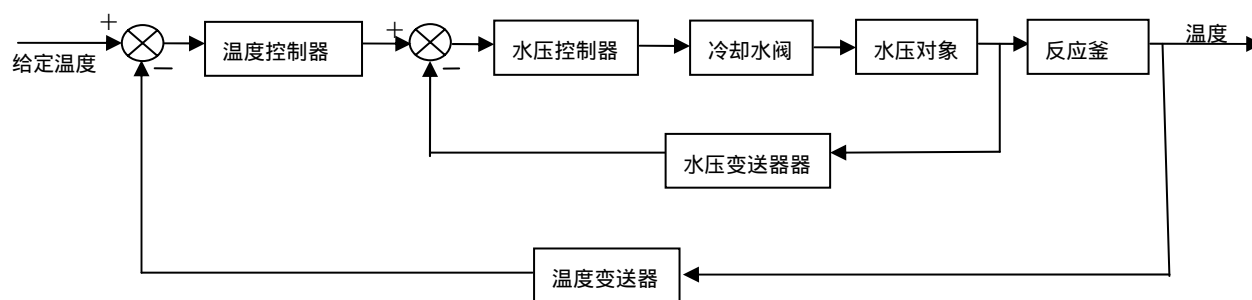
流程图中的符号注释：

- T 反应釜内的升温速率
- 设定升温速率的误差
- T 反应釜内反应温度

1.2 反应釜温度控制方案

在反应停留时间相同、催化剂量相同的条件下，反应转化率由反应温度所决定。在冷却水的温度和水压不变的情况下，控制反应温度的主要手段是夹套冷却水的流量。反应温度要求控制在 70 ± 1.0 。影响夹套冷却作用的相关因素是冷却水与反应温度的温度差。冷却水流量的变化随阀门的开关变化较快、时间常数较小。当冷却水压力下降时（这种干扰在现场时有发生），即使阀位不变，冷却水流量也会下降，冷却水带走的热量减少，反应器中物料温度会上升。由于温度变化的滞后，用单回路进行调节效果不理想，因此，采用反应釜温度与冷水水压的串级 PID 控制。

控制方案的被控变量为反应釜内温度，操纵变量为蛇管内冷水流量。
控制方案的方框图如下图。



1.3 反应釜进料流量及比值控制方案

停留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。

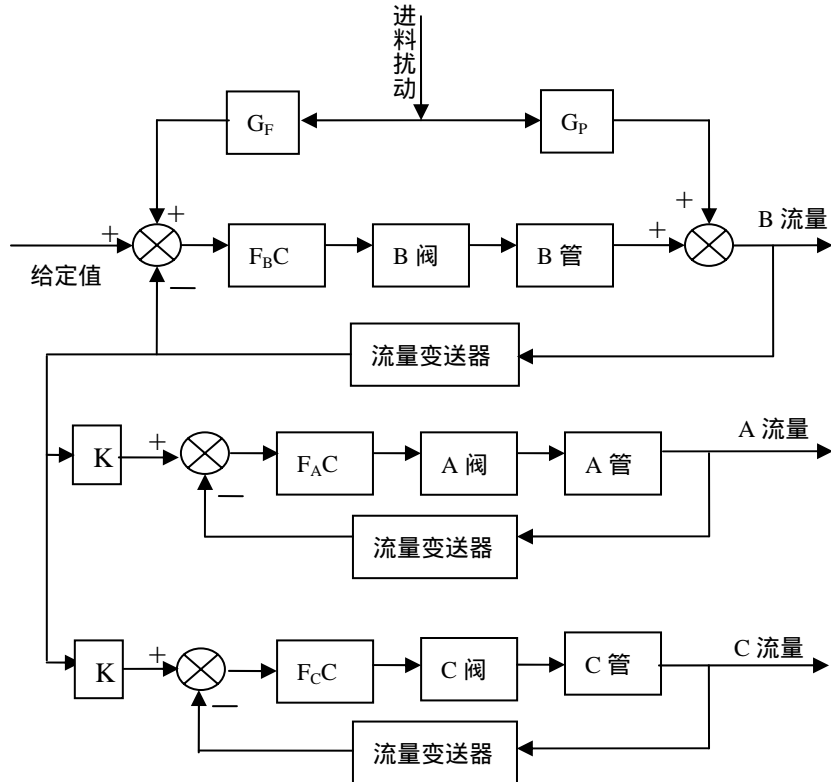
为了较好地控制进料流量，采用比值控制方案，其中 B 料作为系统主流量。对 B 采用 PID 控制，对 A、C 采用比例控制，此举是为了实现 A、C 无超调量。

因为需要对反应生成物的组分进行控制，即要控制反应物的停留时间，控制进入反应釜的物料流量，所以 B 的给定值可变，以适用生产调节需要。

被控变量为进入反应釜内的物料流量，操纵变量为进入反应釜内的物料流量。
控制方案的方框图如下图。

此方案中方框图中的符号注释：

- $F_A C$ 为 A 料的流量控制器
- $F_B C$ 为 B 料的流量控制器
- $F_C C$ 为 C 料的流量控制器

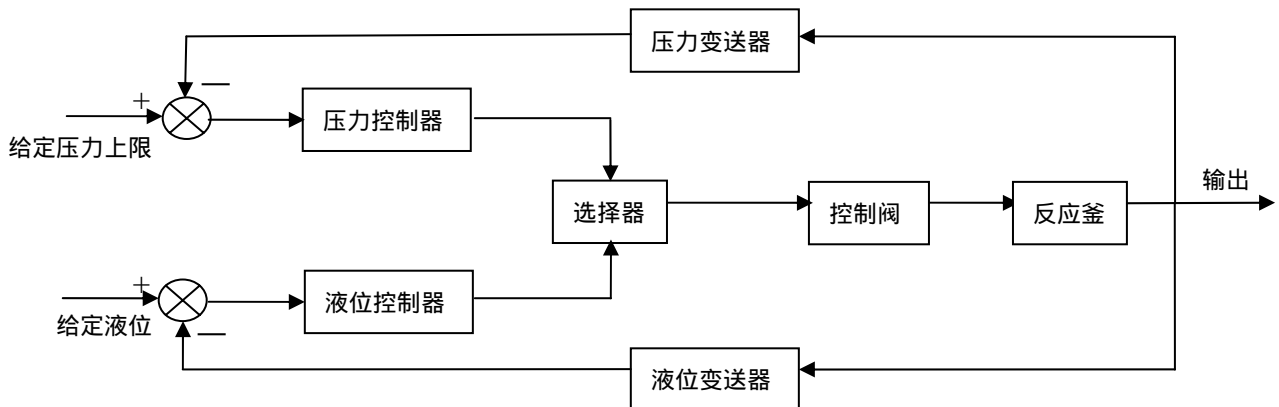


1.4 反应釜液位压力选择控制方案

当反应釜内压力未超限时，此时主要目标是为了保证生成物 D 的浓度，即保证液位为 85%；当反应釜内的压力超限时，此时的主要目的为使反应釜内的压力尽快降到规定范围内，保证人员和设备的安全。

当压力未超限时采用液位控制方案，被控变量为反应釜液位，操纵变量为反应釜采出流量。当压力超限时采用压力控制方案，被控变量是反应釜内压力，操纵变量是反应釜采出流量。

控制方案的方框图如下图。

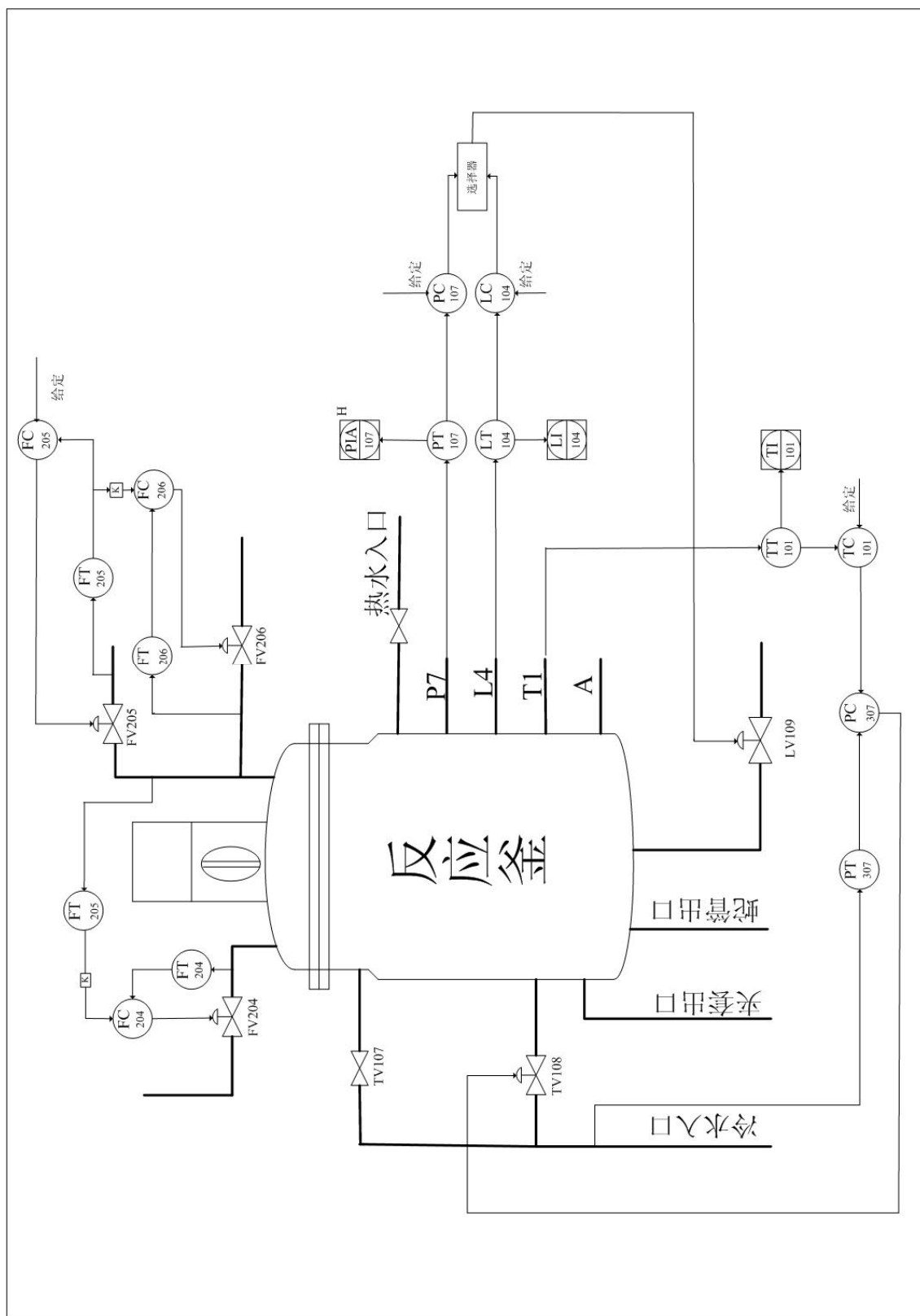


1.5 反应釜组分控制

为得到一定的转化率的产品，要对反应器最终产物的组份进行控制，但由于反应生成物质量浓度 D 不易检测，因此没有采用生成物组分的直接控制，而是在实际生产中通过多次实验来确定一个最合理的总物料的进料流量，保证反应物在

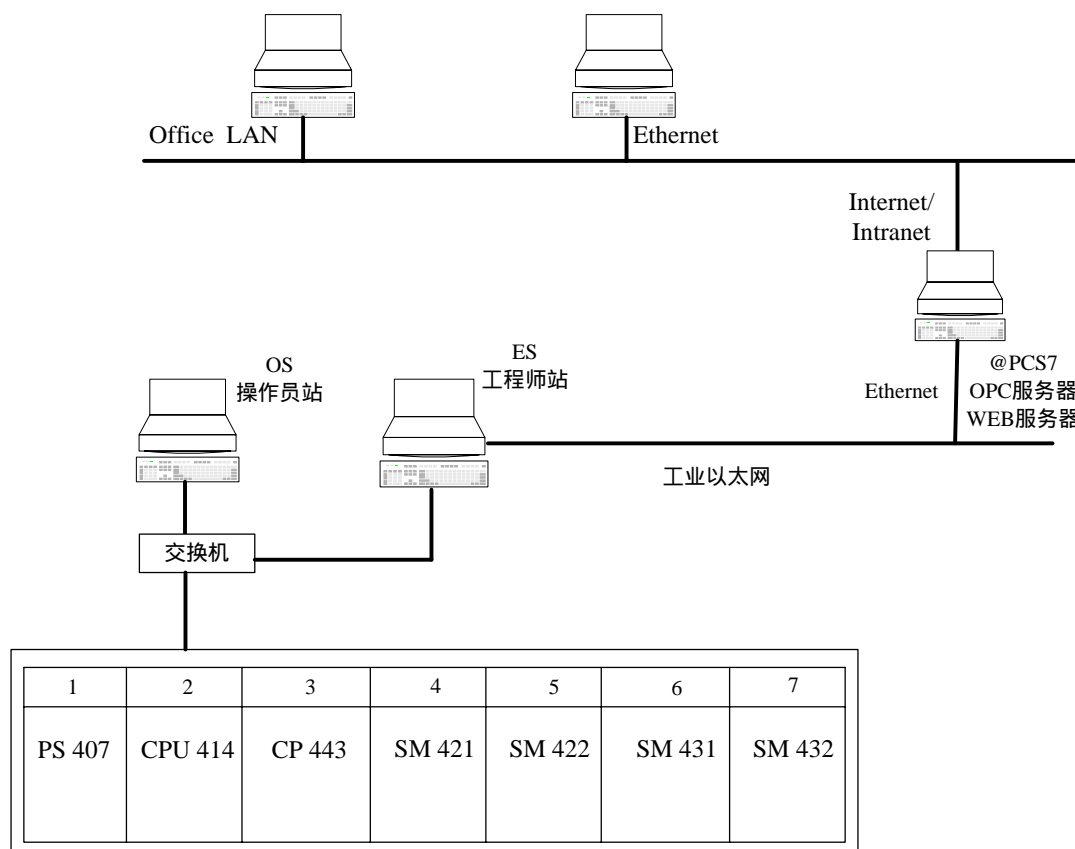
反应釜内的停留时间，通过给定这个最合理的进料流量来控制反应器最终生成物的组分。

2 反应釜控制方案的工艺流程图



3 控制系统的网络结构概述及硬件选型

3.1 控制系统的网络结构图为：



用户可以通过该控制系统的WEB服务器浏览系统运行情况、各测控点设备参数等。

系统操作站和服务器之间采用100M 标准工业以太网，充分开放的结构使得系统具有很好的扩展性，可以与其他各种网络（MIS、ERP）进行连接。

通过S7 CPU-414-3有自带的PROFIBUS-DP 接口，与远程站连接，实现与各部分分布式I/O站的连接。

需提供的软件：

Microsoft Windows 2000 Professional +SP4 中文版 1套

PSC7软件英文版 操作员站1 套

PSC7软件英文版 工程师站1 套

操作员站键盘的功能：

修改参数

调节回路

打印

工程师站键盘功能和软件内容：

键盘功能：在线/离线修改参数、调节系统控制回路、打印各种报表等

软件内容：Windows 2000 Professional、WinCC 开发版、Step 7

计算机能使用的语言：

支持IEC1131-5 所有五种IEC 语言，并内置32 位模拟仿真器。

梯形图（LAD）、功能块图（FBD）和语句表（STL）

网络通讯方式、通讯速度、最大通讯距离和通讯协议：

网络通讯方式：环形光纤工业以太网

通讯速度：100M

最大通讯距离：200Km

通讯协议：TCP/IP

系统对电源线、信号线的敷设和接地的要求：

输入电源(V)：220VDC

信号线的敷设：模拟量信号线需要尽量避免干扰源；光纤需要远离高温设备，不可有90度大拐角。

接地电阻()：<4

该系统的特点：

1) 系统的核心设备选用了世界名牌产品的德国SIEMENS公司的SIMATIC系统，充分保证了整个系统的高可靠性、技术先进性、灵活扩展性、标准开放性 & 高性能价格比

2) 现场控制站、远程站的控制器和I/O 信号接口模块设备均选用了高档的、集中式的SIMATIC S7-400 系列控制器产品。该控制器采用了标准模块化和无风扇设计，结构坚固，性能可靠，所有模块均具有自动诊断功能，I/O 接口模块均可带电热插拔，便于在线维护。

3) 用于连接系统操作员站和现场控制站的工业以太网采用了光纤电缆，充分保证了系统通讯的可靠性。该工业以太网采用了TCP/IP 协议，通讯速率可达100Mbit/s。

4) 现场控制站所有数字量I/O 信号都经过了继电器进行隔离和驱动，从而保证了所有数字量I/O 信号之间是相互隔离的，这种“24VDC 模块+继电器”的结构模式与“单一采用220VAC 电压等级数字量I/O 模块”的结构模式相比，具有更高的安全性、可靠性及性能价格比。

5) 系统中央控制室的1台操作员站和1台工程师站互为全冗余热备，其中任意一台操作站发生故障时，另一台操作站可接替其工作，提高了系统的可靠性。

6) 系统中央控制室操作员站设有多种操作级别，具有很好的操作安全性，并采用全中文界面设计，简单易用。

7) 系统具有很好的扩展性，并已充分考虑了扩展容量，可很方便地进行后续扩展，以适应更大规模的扩展需要。而且系统扩展或升级时，不需要更换现有设备，可为用户节约升级或扩展费用。另外，系统采用了标准数据接口，并应用了标准通讯网络，具有很好的开放性，可以很方便地与其他计算机系统相连接，构成一个管控一体化的全厂大系统。

3.2 控制器的选型

3.2.1 I/O 数

仪表需要的 I/O 数列表

| 编号 | 仪表代号 | 模拟输入端口数 | 模拟输出端口数 | 数字输入端口数 | 数字输出端口数 |
|----|-------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | FT204 | 1 | - | - | - |
| 2 | FT205 | 1 | - | - | - |
| 3 | FT206 | 1 | - | - | - |
| 4 | FT207 | 1 | - | - | - |

| | | | | | |
|----|--------------|----|---|---|---|
| 5 | FT208 | 1 | - | - | - |
| 6 | FT209 | 1 | - | - | - |
| 7 | TT101 | 1 | - | - | - |
| 8 | PT107 | 1 | - | - | - |
| 9 | LT104 | 1 | - | - | - |
| 10 | AT100 | 1 | - | - | - |
| 11 | 阀门 FV204 | 1 | 1 | - | - |
| 12 | 阀门 FV205 | 1 | 1 | - | - |
| 13 | 阀门 FV206 | 1 | 1 | - | - |
| 14 | 阀门 TV107 | 1 | 1 | - | - |
| 15 | 阀门 TV108 | 1 | 1 | - | - |
| 16 | 阀门 LV109 | 1 | 1 | - | - |
| 17 | 开车开关 | - | - | 1 | - |
| 18 | 停车开关 | - | - | 1 | - |
| 19 | 报警信号 | - | - | - | 1 |
| 20 | 阀门 TV108 正按钮 | - | - | 1 | - |
| 21 | 阀门 TV108 负按钮 | - | - | 1 | - |
| 22 | 热水开关 | - | - | 1 | - |
| 23 | 统计 | 16 | 6 | 5 | 1 |

注：“-”代表器件无此端口

3.2.2 所用 PLC 为 S7-400 系列

电源模块 (PS407/10A)

规格型号：PS 407 10A

额定输入电压：110/230VAC

输入电压范围：85 ~ 264VAC

额定电源频率：60/50Hz

电源频率范围：47 ~ 63Hz

额定输出电压：5.1VDC 和24VDC

额定输出电流：5VDC：10A，24VDC：或1A

后备电池：可选装2节3.6V/1.9Ah

中央处理模块 (CPU)

规格型号：CPU 414-3

RAM: 384KB用于程序

384KB用于数据

装载存储器：最大可扩展至64MB；

执行时间：0.1us ~ 0.6us

PROFIBUS-DP 波特率：12Mbit/s；

工业以太网接口模块

规格型号：CP 443 - 1

通讯协议：工业以太网TCP/IP；

通讯接口：15 针Sub-D 和RJ45 插座；

通讯波特率：10/100Mbit/s；

数字量输入 (DI) 接口模块

规格型号：SM 421

输入点数：16 点

输入信号：24VDC

电气隔离：光耦合器隔离

数字量输出 (DO) 接口模块

规格型号：SM 422

输出点数：16 点

输入信号：220VAC

电气隔离：光耦合器隔离

模拟量输入模块 (AI)

规格型号：SM 431

输入点数：8 点

输入信号：4 ~ 20mA

输入阻抗：80

分辨率：14 位

电气隔离：有

故障自动诊断：有

模拟量输出模块 (AO)

规格型号：SM 432

输出点数：8 点

输出信号：4 ~ 20mA

负载阻抗：500

分辨率：13 位

电气隔离：有

故障自动诊断：有

其他相关参数可查阅手册。

3.3 测量仪表及控制仪表的选型

A 的流量计(FT204)：西门子 SITRANS F VA 250

流量量程：0.008 ~ 630 m³/h

输出信号为：4 ~ 20 mA电流信号

液体温度：-20 ~ +300

精度为值数的2%

两线制信号传输

阀门 (FV204)：恒星 ZJHP型气动单座调节阀

阀门公称直径Dg为25

流通能力Kv为3.42

阀座直径为25mm

公称压力4.0Mpa

介质温度为常温型 (-20 ~ 2000)

阀体材质为ZG1Cr18Ni9Ti

阀芯材质为0Cr18Ni12Mo2Ti

阀门特性为等百分比

阀门为气开式

采用法兰安装

B的流量计(FT205)：西门子 SITRANS F VA 250

流量量程：0.008 ~ 630 m³/h

输出信号为：4~20 mA电流信号

液体温度：-20 ~ +300

精度为值数的2%

两线制信号传输

阀门(FV205)：恒星 ZJHP型气动单座调节阀

阀门公称直径Dg为25

流通能力Kv为5.38

阀座直径为25mm

公称压力4.0Mpa

介质温度为常温型（-20~2000）

阀体材质为ZG1Cr18Ni9Ti

阀芯材质为0Cr18Ni12Mo2Ti

阀门特性为等百分比

阀门为气开式

采用法兰安装

C的流量计(FT206)：西门子 SITRANS FC MASSFLO DI 3

流量量程：0~250Kg/h

型式：单管系统

连接方式：G1/4"ISO 228-1

1/4NPT ANSI B1.20.1

材质：1.4435/1.4404(316L)不锈钢

（与流体接触部分）：2.4602哈氏合金C-22

液体温度：-50 ~ +180

防爆型：EEx ia IICT3-T6

信号转换器规格：MASS 6000 和 MASS 3000

两线制信号传输

阀门 (FV206)：恒星 ZJHP型气动单座调节阀

阀门公称直径Dg为20

流通能力Kv为0.214

阀座直径为20mm

公称压力4.0Mpa

介质温度为常温型（-20~2000）

阀体材质为ZG1Cr18Ni9Ti

阀芯材质为0Cr18Ni12Mo2Ti

阀门特性为等百分比

阀门为气开式

采用法兰安装

蛇管内冷却水流量变送器(FT307)：西门子 SITRANS FC MASSFLO DI 25

流量量程：0~25000Kg/h
型式：单管系统
连接方式：法兰DIN 2635. 法兰ANSI B. 16. 5
DIN11851. ISO 2852 夹具，ISO 2853
材质：1. 4435/1. 4404(316L)不锈钢
(与流体接触部分)：2. 4602哈氏合金C-22
液体温度：-50 ~+180
防爆型：EEx ia II CT3-T6
信号转换器规格：MASS 6000 和 MASS 3000
两线制信号传输

阀门(FV107)：恒星 ZJHP型气动单座调节阀

阀门公称直径Dg为40
流通能力Kv为25. 64
阀座直径为32mm
公称压力4. 0Mpa
介质温度为常温型 (-20 ~ 2000)
阀体材质为ZG1Cr18Ni 9Ti
阀芯材质为0Cr18Ni 12Mo2Ti
阀门特性为等百分比
阀门为气开式
采用法兰安装

夹套内冷却水流量变送器(FT308)：西门子 SITRANS FC MASSFLO DI 40

流量量程：0~52000Kg/h
型式：单管系统
连接方式：法兰DIN 2635. 法兰ANSI B. 16. 5
DIN11851. ISO 2852 夹具，ISO 2853
材质：1. 4435/1. 4404(316L)不锈钢
(与流体接触部分)：2. 4602哈氏合金C-22
液体温度：-50 ~+180
防爆型：EEx ia II CT3-T6
信号转换器规格：MASS 6000 和 MASS 3000
两线制信号传输

阀门(FV108)：恒星 ZJHP型气动单座调节阀

阀门公称直径Dg为50
流通能力Kv为42. 73
阀座直径为40mm
公称压力4. 0Mpa
介质温度为常温型 (-20 ~ 2000)
阀体材质为ZG1Cr18Ni 9Ti
阀芯材质为0Cr18Ni 12Mo2Ti
阀门特性为等百分比
阀门为气开式
采用法兰安装

D的流量计(FT109)：西门子 SITRANS FC MASSFLO DI 15

流量量程：0~5600Kg/h
 型式：单管系统
 连接方式：法兰DIN 2635. 法兰ANSI B. 16. 5
 DIN11851. ISO 2852 夹具，ISO 2853
 材质：1. 4435/1. 4404(316L)不锈钢
 （与流体接触部分）：2. 4602哈氏合金C-22
 液体温度：-50 ~ +180
 防爆型：EEx ia II CT3-T6
 信号转换器规格：MASS 6000 和 MASS 3000
 两线制信号传输

阀门 (FV109)： 恒星 ZJHP型气动单座调节阀

阀门公称直径Dg为25
 流通能力Kv为8. 54
 阀座直径为25mm
 公称压力4. 0Mpa
 介质温度为常温型（-20~2000 ）
 阀体材质为ZG1Cr18Ni 9Ti
 阀芯材质为0Cr18Ni 12Mo2Ti
 阀门特性为等百分比
 阀门为气开式
 采用法兰安装

反应釜温度传感器(TE101)： 西门子 Pt100 (DIN IEC 751) 热电阻

| | |
|----------|---------------------|
| 测量变量 | 温度 |
| 传感器类型 | Pt100 (DIN IEC 751) |
| 特性 | 温度-线性 |
| 连接型式 | 二线制 |
| 分辨率 | 14 位 |
| 精度 | |
| - 量程<250 | <0. 25 |
| - 量程>250 | <0. 1%的量程 |
| 重复性 | <0. 1 |
| 测量电流 | 0. 3mA |
| 测量周期 | <0. 7s |
| 测量范围 | -200~850 |
| 量程 | >25 |
| 单位 | 或 |
| 偏置 | 可编程，最大10 |
| 线路电阻 | 最大20 /线 |
| 过载能力 | ±35V DC |
| 噪声抑制 | 50 及60Hz |

温度变送器(TT101)： 西门子 SITRANS TK-L 温度变送器

| | |
|-----------|---------------------|
| 输出信号 | 4~20mA，二线 |
| 电源 | DC 8~35V(8~28V，对Ex) |
| 负量程/超量程限值 | 3. 5/23mA(可编程) |

| | |
|------------|---------------------|
| 滤波时间 | 0 ~ 30 秒 |
| 保护 | 反极性 |
| 分辨率 | 12 位 |
| 精度 | <0.1%量程 |
| - 电源影响 | <0.01%量程/V |
| - 温度漂移 典型性 | 0.003%/ (最大0.01%/) |

反应釜压力变送器(PT107)：西门子 SITRANS P COMPACT

压力等级：量计 绝对压力
 应用：过程压力，液位
 量程：0 ~ 40Bar
 膜片材质：不锈钢
 输出：4 ~ 20mA模拟信号
 被测介质的温度：最大200
 精度：0.2%
 长期漂移：0.1%/年
 工艺连接：隔膜平接前头带各种快速密封，无菌连接，法兰
 两线制信号传输

反应釜液位变送器(LT104)：西门子 超声波 xps-10 标准液位传感器

量程：0.3 ~ 10
 安装位置：室内外均可
 使用海拔：不得大于 2000 米
 适用环境：-40 ~ 95
 适用污染等级为：四级
 应用电缆：双绞/编织金属屏蔽，0.5mm² (20AWG) PVC 护套
 供电：用妙声力认证的超声波传感器
 距离：365 米
 两线制信号传输

热水阀(S6)：恒星 金属硬密封蝶阀

阀门公称直径Dg为50
 公称压力4.0Mpa
 适用温度-50 ~ 600
 传动方式为手动
 采用法兰安装

采用的电气转换器均为QZD1000i 型电气转换器

相关参数为：

输入信号：4 ~ 20mA
 输出压力：0.02 ~ 0.1MPa
 气源压力：0.14MPa
 输入阻抗：300 ± 10
 环境温度：-25 ~ +55
 基本误差：± 1%
 回差：1%
 死区：小于基本误差限绝对值的1/5
 耗气量：小于1000L/h