

# 设计说明书

## 1 设计依据

西门子杯全国大学生过程控制仿真挑战赛考题及相关说明。

## 2 设计范围

本设计包括开车顺序控制系统，及进料、出料流量控制系统，液位、组份控制系统，釜内温度、压力控制系统，以及报警和保护系统。

## 3 设计遵循的标准规范

- 1、GB2625-81《过程检测和控制流程图用图形符号和文字代号》
- 2、HG/T 20505-2000 过程测量和控制仪表的功能标志及图形符号
- 3、HG/T 20507 自动化仪表选型设计规定

## 4 仪表选型

根据反应器实际情况可选择下列阀门。

阀门名称	V4	V5	V6	V7	V8	V9
所选特性	等百分比	等百分比	等百分比	等百分比	等百分比	线性

选择理由：

我们选择阀门的目标是使串联在管路中的阀门开度与通过阀门流体的流量成线性关系。

阀门 V4, V5, V6, V7, V8 所对应的管道入口到阀门的距离较长，对流体产生的阻力也较大，不能忽略，当阀门开度改变时，阀门两端流体的压力变化不定，且当阀门开度越大时，阀门开度改变时对应的压力变化较小；当阀门开度越小时，阀门开度改变时对应的压力变化较大。

为了补偿阀门这种缺陷，保证阀门开度与流量的线性关系，我们需要选择等百分比的调节阀结构，其开度与节流面积关系曲线为：

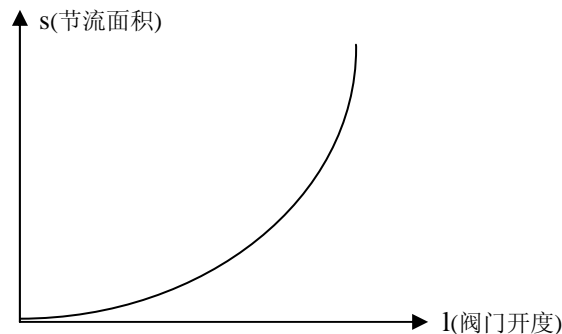


图 1 等百分比阀开度与节流面积关系曲线

而从反应器出口到 V9 阀门的管道较短，其对流体的阻力跟阀门的阻力相比可以忽略，这样只存在阀门的阻力，所以节流面积与所通过的流体流量成线性关系。因而我们可以直接选择线性的调节阀结构（即阀门开度与节流面积为线性关系）。

## 5 控制方案

### 5.1 连续控制系统

#### 5.1.1 反应器液位流量串级比值控制系统

该系统是以液位为主调参数，A B C 进料量为副调参数的串级控制系统，其中 A B C 三

种进料还构成比值控制。控制框图见图 2。

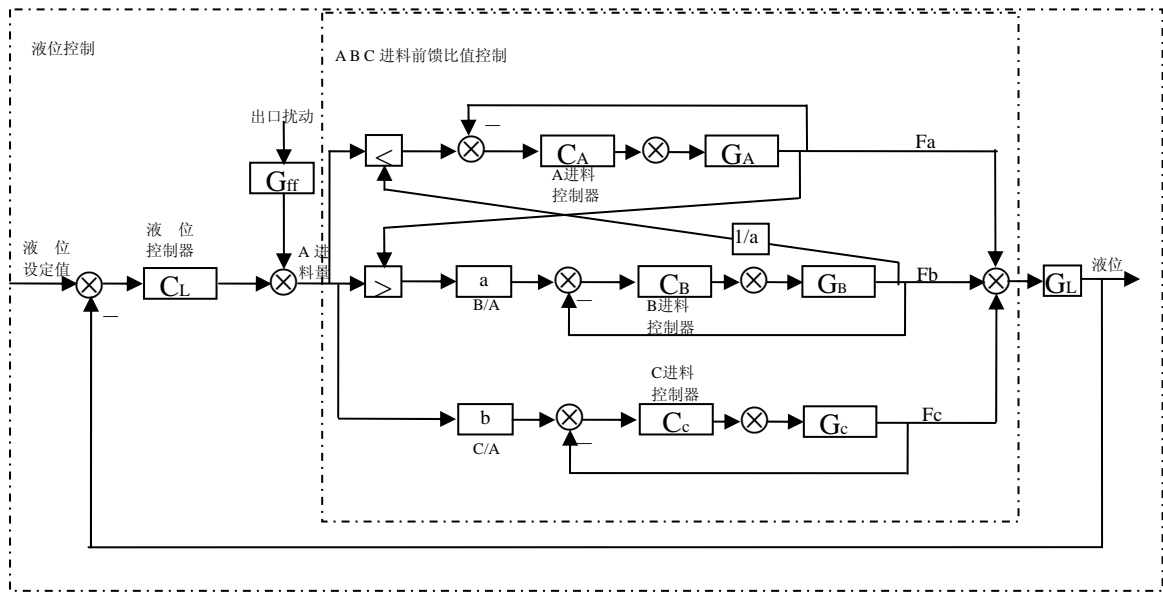


图 2 液位流量串级比值控制框图

利用液位跟进料流量作串级，可克服进料流量扰动的影响。

由于入口流量是随出口流量变化的，所以在图 2 中设置了出口到入口的前馈，当出口动作时，未等液位发生变化，就直接对入口做相应的调节，这样加快了液位的稳定。

A, B, C 比值控制，其比值可变（通过改变其比例常数 a,b）。系统中同时还包含一个控制 A, B 进料顺序的设计。因为过量的 A 进料会严重影响反应釜内的压力，甚至导致危险状况。因此必须保证釜内 A 反应物的量不过剩。我们设计了 A, B 进料顺序的方案，当要求增加进料时，先增加 B 进料，后增加 A 进料；而当要求减少进料时，先减少 A 进料，后减少 B 进料。这样就可以保证 B 反应物过剩，限制 A 反应物量。

### 5.1.2 组份控制系统

组份控制系统是个单回路控制系统，组份是被控制量，出口流量是调节量。

改变出口流量，入口流量也会随之改变，这样就改变了反应停留时间，改变了反应转化率，进而控制了组份。控制框图如图 3。

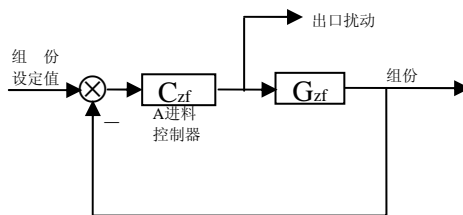


图 3 组份控制框图

### 5.1.3 反应温度、压力控制系统

由于温度时间常数大，直接控制效果不好。我们考虑把它跟压力结合在一起控制或者采用先进的控制算法。具体方案有两种：带压力补偿的温度控制系统和单神经元 PID 温度控制系统。

#### 5.1.3.1 带压力补偿的温度控制系统

该系统是利用经过压力补偿后的温度信号作被调量，冷却水流量作调节量的分程控制系

统。

由于压力的变化一般情况下先于温度变化，因此为了提高控制反应釜温度的精度及快速性，我们在温度测量信号上增加了压力补偿，如图 4 所示，a 图为控制系统的结构组成图，温度控制器的输入信号  $T_c$  不是直接来自反应釜内的反应温度  $T_1$  的测量值，而是经过反应釜压力  $p$  校正后的值。其校正计算装置如 b 图。

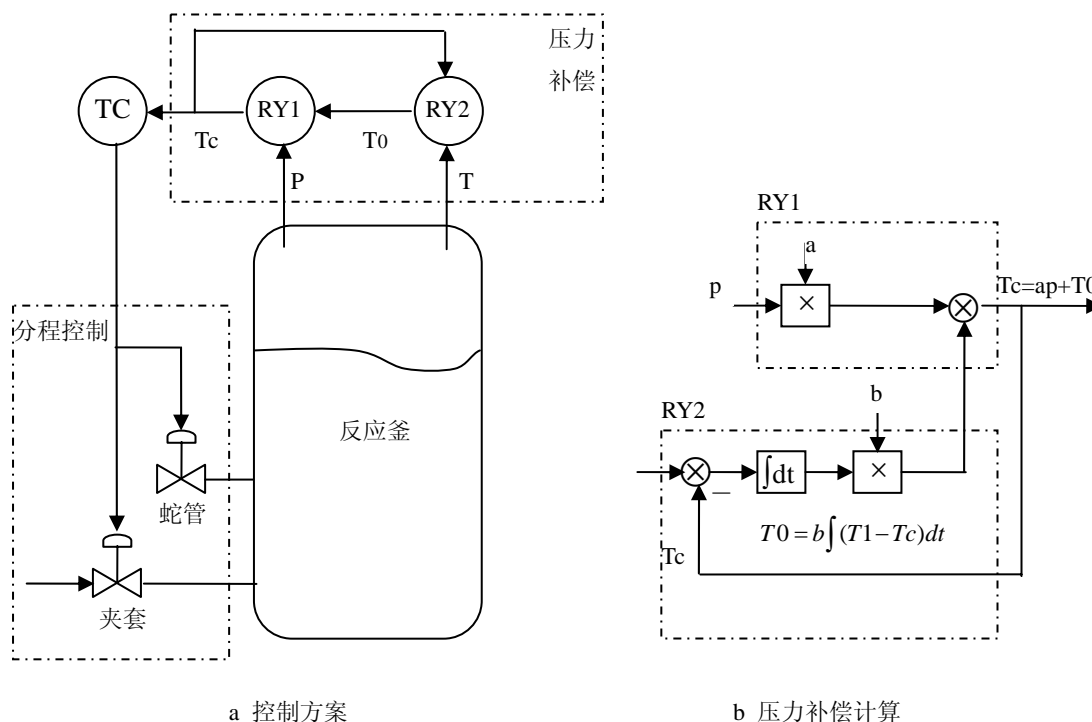


图 4 带压力补偿的温度控制系统

计算装置有 RY1 及 RY2 两个运算装置组成，其中 RY1 是计算温度  $T_c$  的，运算式为

$$T_c = ap + T_0 \quad (1-1)$$

RY2 是校正  $T_0$  用的，计算式为

$$T_0 = b \int (T_1 - T_c) dt \quad (1-2)$$

压力补偿校正的思路是：首先假定温度  $T$  与压力  $p$  具有式 (1-1) 的线性关系，这样就可以根据压力算出相应的温度来。实际上温度与压力之间是非线性关系，所以要按非线性关系加以校正。由于压力，温度关系改变得比较慢，可以按式 1-2 进行逐步校正。

温度控制器接受经过压力补偿进来的温度信号，对夹套和蛇管两个阀门进行分程控制，以夹套为主要控制手段，蛇管为辅助控制手段，进而控制住温度。

### 5.1.3.2 单神经元自适应 PID 温度控制系统

单神经元是神经网络的基本组成单位，具有自学习和自适应能力，而且结构简单、易于计算。而传统 PID 调节器也具有结构简单、调整方便和参数整定与工程指标联系紧密的特点，将它们结合在一起，在一定程度上可解决传统 PID 调节器不易在线实时整定参数、难于对一些复杂过程和参数慢时变系统进行有效控制的不足。

其结构框图如图 5。

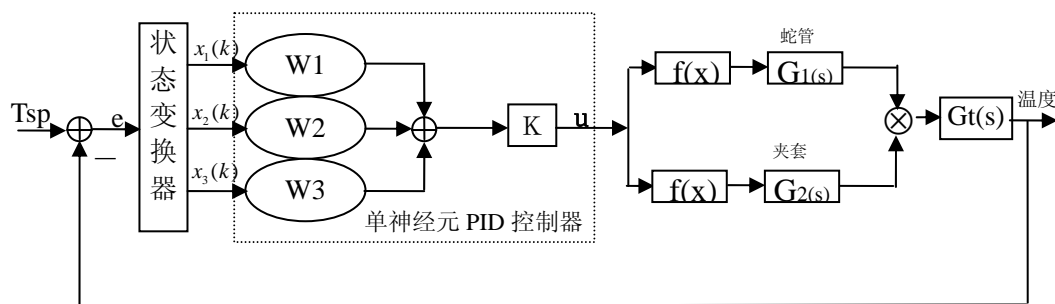


图 5 单神经元 PID 控制器

状态变换器的输出为神经元学习控制所需要的状态量  $x_1(k), x_2(k), x_3(k)$ 。

$$x_1(k) = e(k)$$

$$x_2(k) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n e_i(k)$$

$$x_3(k) = [e(k) - e(k-1)]$$

单神经元自适应 PID 控制器通过对加权系数的调整来适应自适应、自学习功能的。加权系数的调整我们采用有监督 Heeb 的学习算法，其算法如下：

$$u(k) = u(k-1) + K \sum_{i=1}^3 \bar{\omega}_i(k) x_i(k)$$

$$\bar{\omega}_i(k) = \frac{\omega_i(k)}{\sum_{i=1}^3 |\omega_i(k)|}$$

$$\omega_1(k+1) = \omega_1(k) + \eta_p e(k) u(k) x_1(k)$$

$$\omega_2(k+1) = \omega_2(k) + \eta_i e(k) u(k) x_2(k)$$

$$\omega_3(k+1) = \omega_3(k) + \eta_d e(k) u(k) x_3(k)$$

式中， $\omega_i(k)$  为对应于  $x_i(k)$  加权系数，

这里对比例 P、积分 I、微分 D 分别采用不同的学习速率  $\eta_p, \eta_i, \eta_d$ ，以便根据需要对各自对应的加权系数分别进行调整，它们的取值可事先由现场实验或仿真确定。

控制器的输出再通过对蛇管、夹套冷却水阀门进行分程控制，达到温度的控制。

利用这种具有自学习、自适应能力的控制器可以实现对反应釜中较难控制、又十分重要的反应温度的控制。

这二种方案各具特点，其实现难易程度也不相同，根据调试过程中实际情况而定。

## 5.2 顺序控制系统

### 5.2.1 开车过程的顺序控制

开车前准备阶段，只有所有开车准备条件都具备后（此时出现开车允许信号），才可开车，若条件不具备，可通过手动或直接通过复位按钮将设备调整到要求状态下。

开车状态，只有当执行步骤达到预定目标后，且此时允许进入下一步信号满足，系统才会将其执行输出切除，接着输出下一步的执行信号，这样不断切换直到开车完成。

开车过程中要产生允许进入下一步信号。首先应没有报警、保护信号，且系统处于运行状态下。如果出现报警或联锁保护信号，都将使其操作过程中断。

当液位投自动后，V4、V5、V9 切换到自动状态，由于有实际阀位跟踪，可实现无扰切换，当 V6 阀门开到 90% 时，也切换到自动状态。当温度投自动后，冷却水阀门 V7、V8 切换到自动状态。

开车过程中的升温控制

开车过程中为实现反应温度以  $0.1^\circ\text{C/s}$  的速率控制，我们首先实行 PID 自动控制，通过

一个函数发生器产生温度设定值，通过 PID 的自动控制，实现按要求速率连续升温。当 PID 无法自动控温时，可切换到手动进行调节。该 PID 与温度投自动后的 PID 控制不一样，这里我们采取超驰控制，即利用两个 PID 分别控制，当温度低于 70°C 时，利用开车 PID 进行控制；当温度到达 70°C 后，利用自动 PID 控制。

### 5.2.2 停机过程的顺序控制

在正常情况下即无报警、保护动作下，点击“停机”按钮，启动停机程序，首先将 A、B、C 三种进料关闭，通过组份控制回路来控制出口流量。停机过程中，温度、压力控制照常进行，保证停机过程中的稳定。最后直到釜内所有反应物反应完，且釜内所有物质流出，液位为 0%，且釜内温度压力正常，这时通过复位按钮将所有设备状态恢复到开车前状态，所有执行机构的手/自动切换置为手动，为下一次开车作准备。

## 5.3 反应器报警、联锁保护系统

为了保证反应釜的安全，我们设计了相应的报警保护系统。

产生报警、保护的原因有液位高，液位低，压力高，温度高等，当其中任何一个或几个信号出现，都会产生报警信号，同时系统能够记录下并显示最先出现的原因，可供操作人员检查。此方面逻辑见“报警产生逻辑图”。

反应器温度超过高一值、压力超过高一值 1.2Mpa，系统报警启动，蛇管、夹套冷却水阀门切换到手动状态，操作人员根据实际情况采取相应调整；在液位投自动状态下，若出现液位过低状况，则系统产生液位低报警；而在任何情况下出现液位过高情况，都会产生液位高报警信号；反应器液位超过高一值或低于低一值时，A B C 进料阀门和出口阀门切换到手动状态，操作人员根据实际情况调整。

当反应器压力超过高二值 1.5Mpa 或温度超过高二值或反应器液位超过高二值或低于低二值时，系统启动联锁保护系统，关闭搅拌机，将出口阀门、夹套、蛇管冷却水阀门开到 100%，而 A、B、C 进料阀门关闭，直至系统恢复正常，而且釜内液体都流尽，这时操作人员可通过复位按钮将所有设备恢复到开车前的状态，再通过开车按钮重新启动系统。

## 6 几点说明

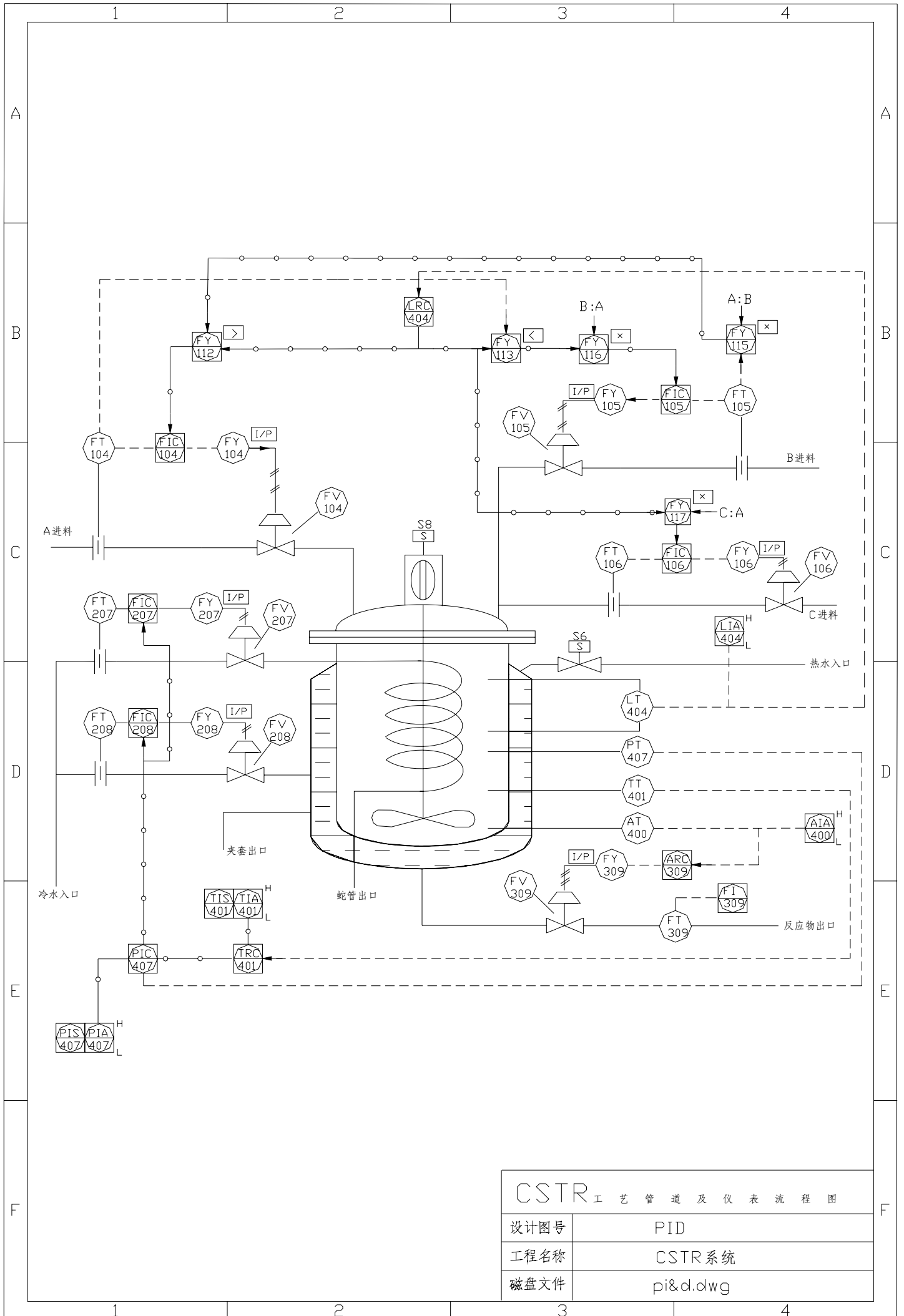
由于比赛硬件条件的限制，我们的控制系统与保护系统共用测点，实际工程中控制系统与保护系统所用的测点是分开的。这样才能保证它们各自都能独立运作。

由于条件有限，报警、保护的一些限制值未定，这些限制值将在调试过程中给出。

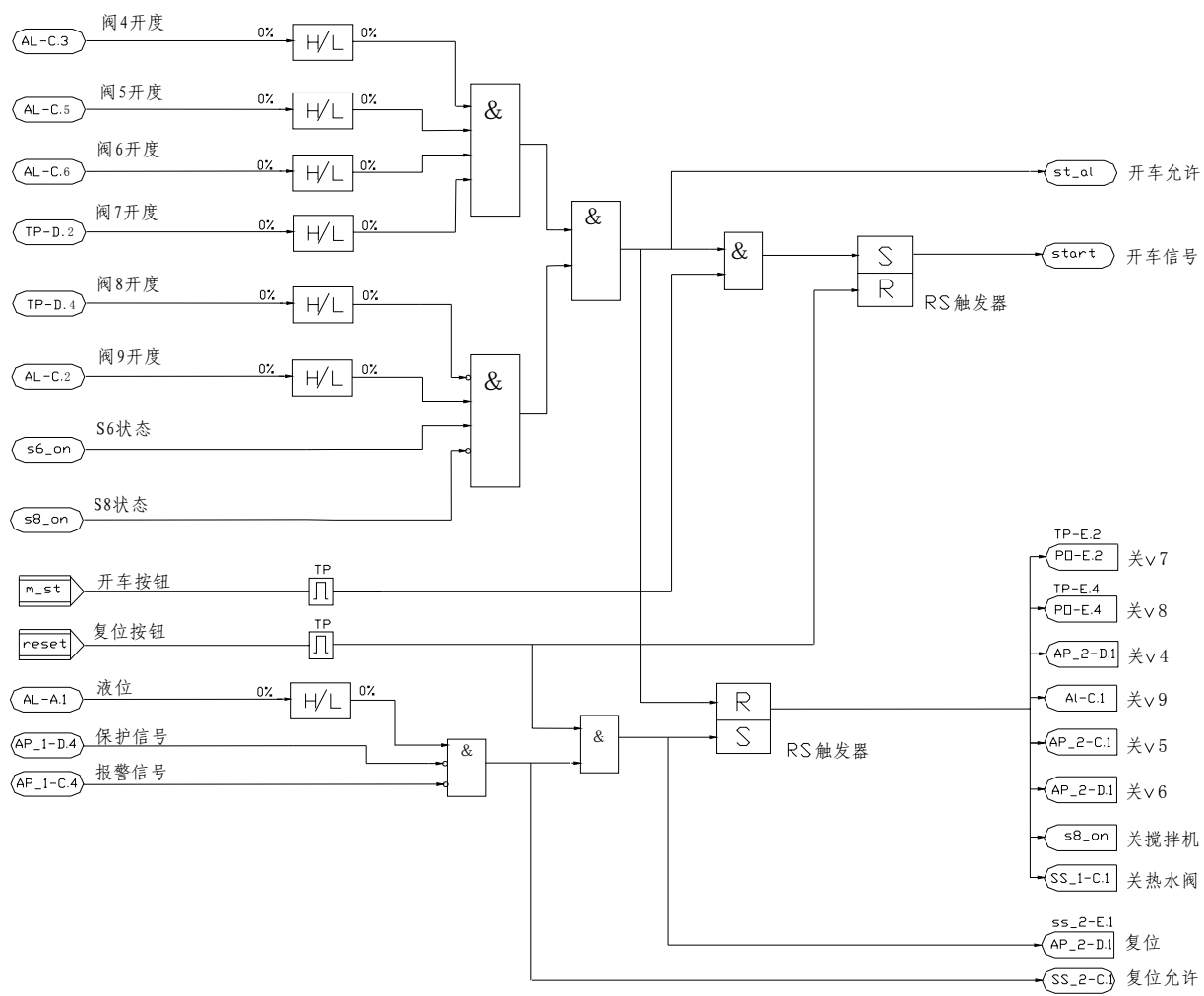
由于阀门选择的条件有限，我们只能根据情况作出大概选择。

## 7 附图

- 1 CSTR 工艺管道及仪表流程图
- 2 开车、复位信号逻辑图
- 3 信号产生逻辑图
- 4 开车顺序控制逻辑图
- 5 报警、保护产生逻辑图
- 6 开车、保护阀门动作逻辑图
- 7 组份液位联合控制 SAMA 图
- 8 单神经元 PID 控制 SAMA 图
- 9 压力补偿温度控制 SAMA 图

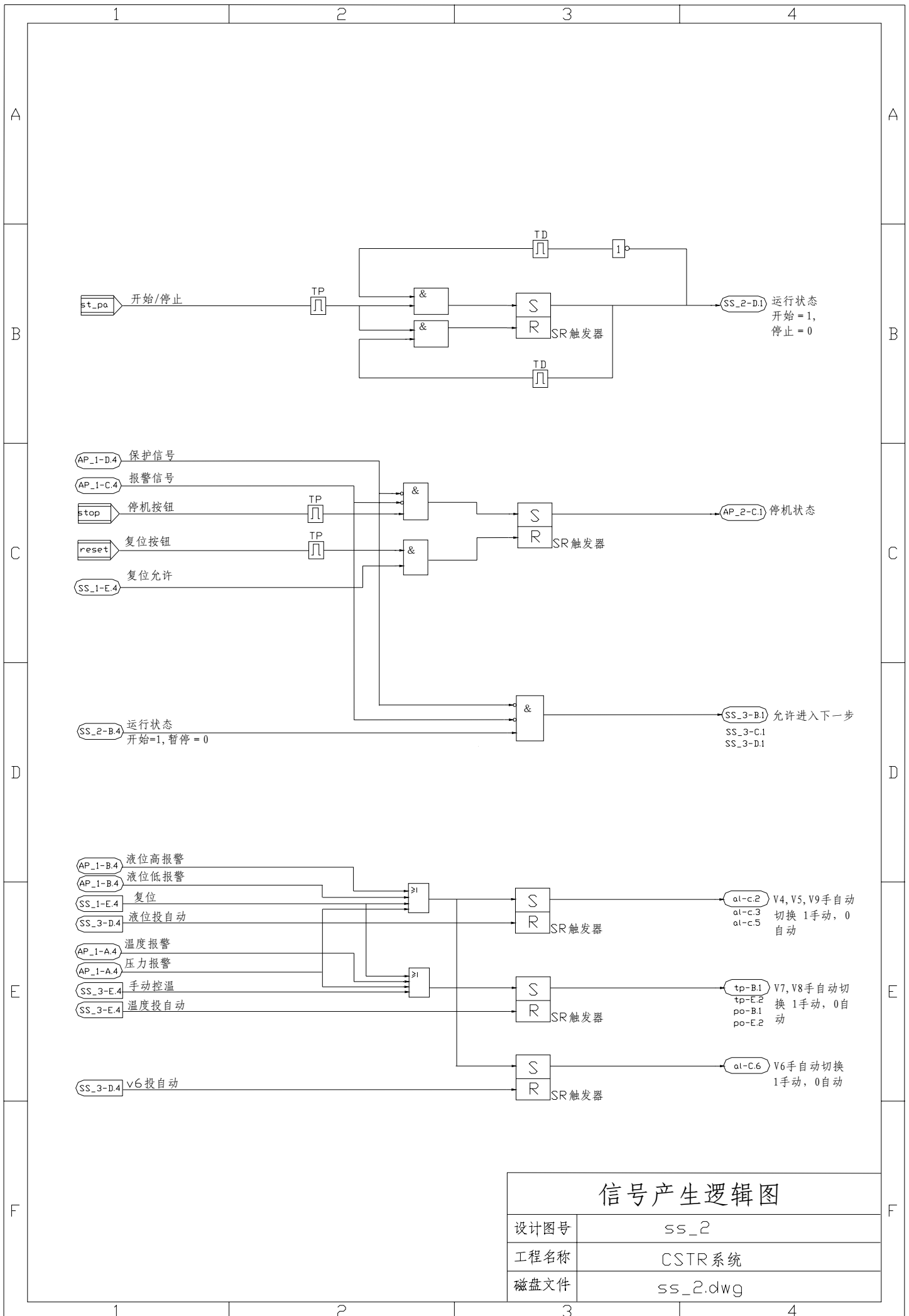


CSTR 工艺管道及仪表流程图	
设计图号	PID
工程名称	CSTR 系统
磁盘文件	pi&d.dwg



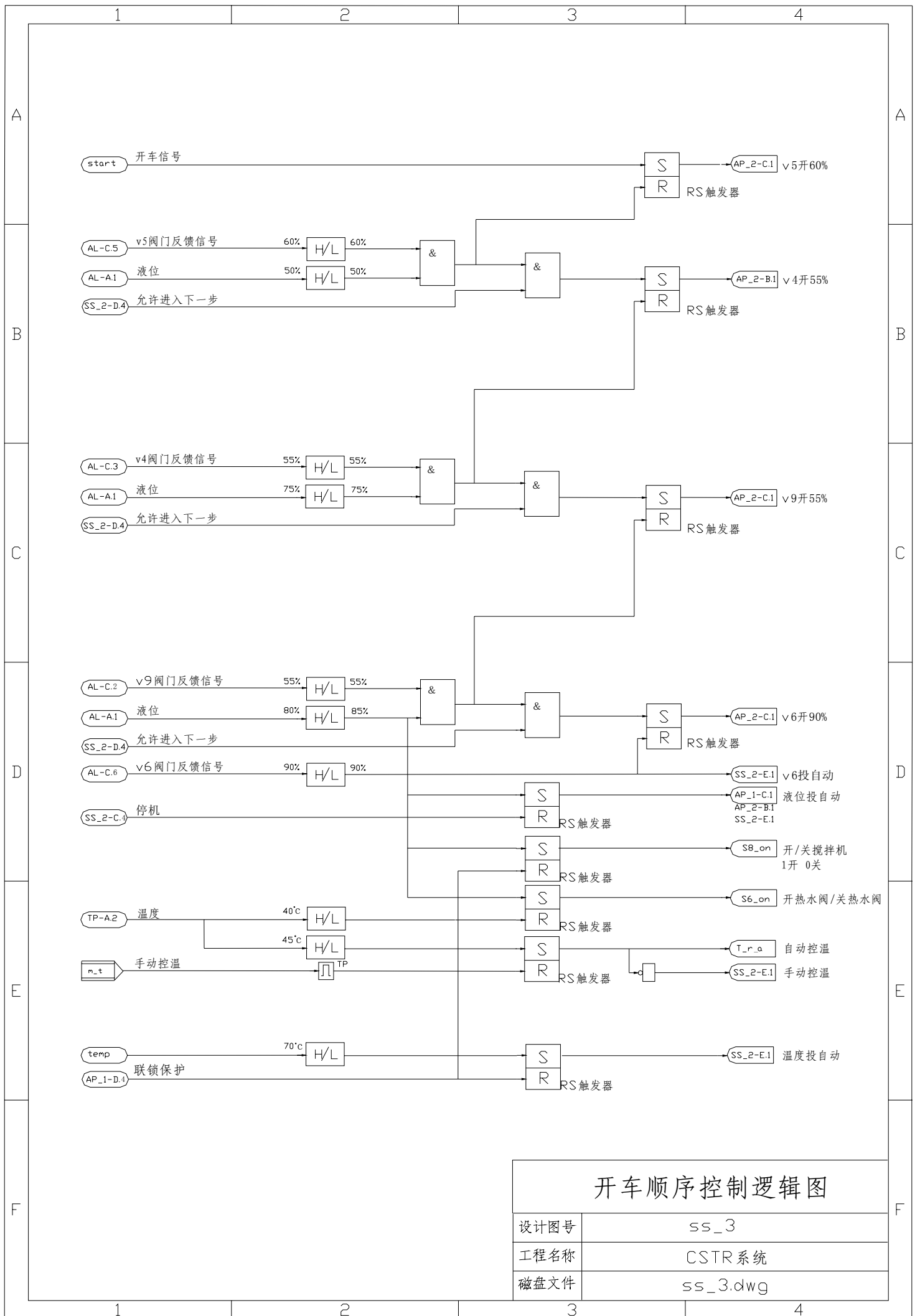
开车、复位信号逻辑图

设计图号	ss_1
工程名称	CSTR系统
磁盘文件	ss_1.dwg



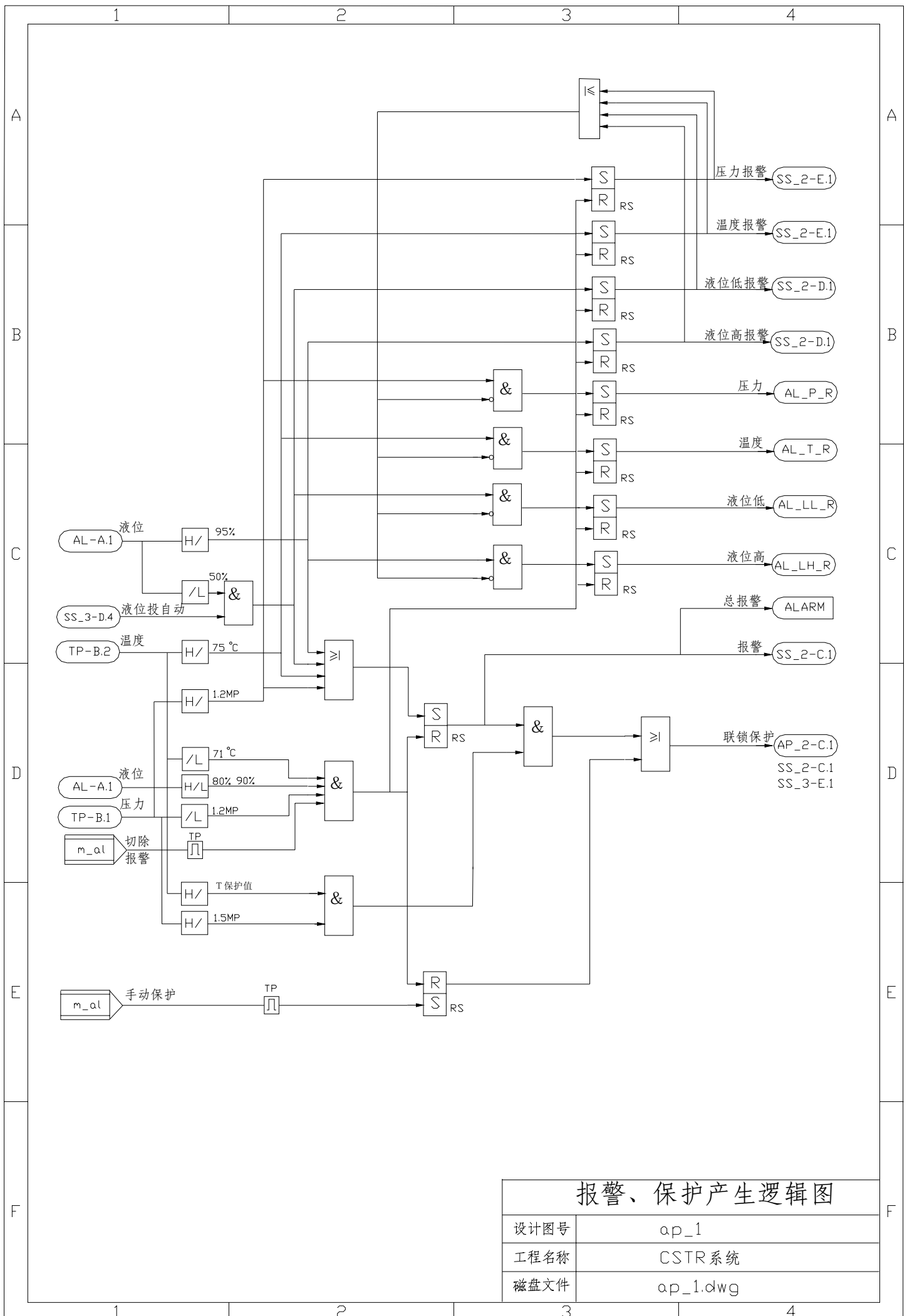
信号产生逻辑图

设计图号	ss_2
工程名称	CSTR系统
磁盘文件	ss_2.dwg



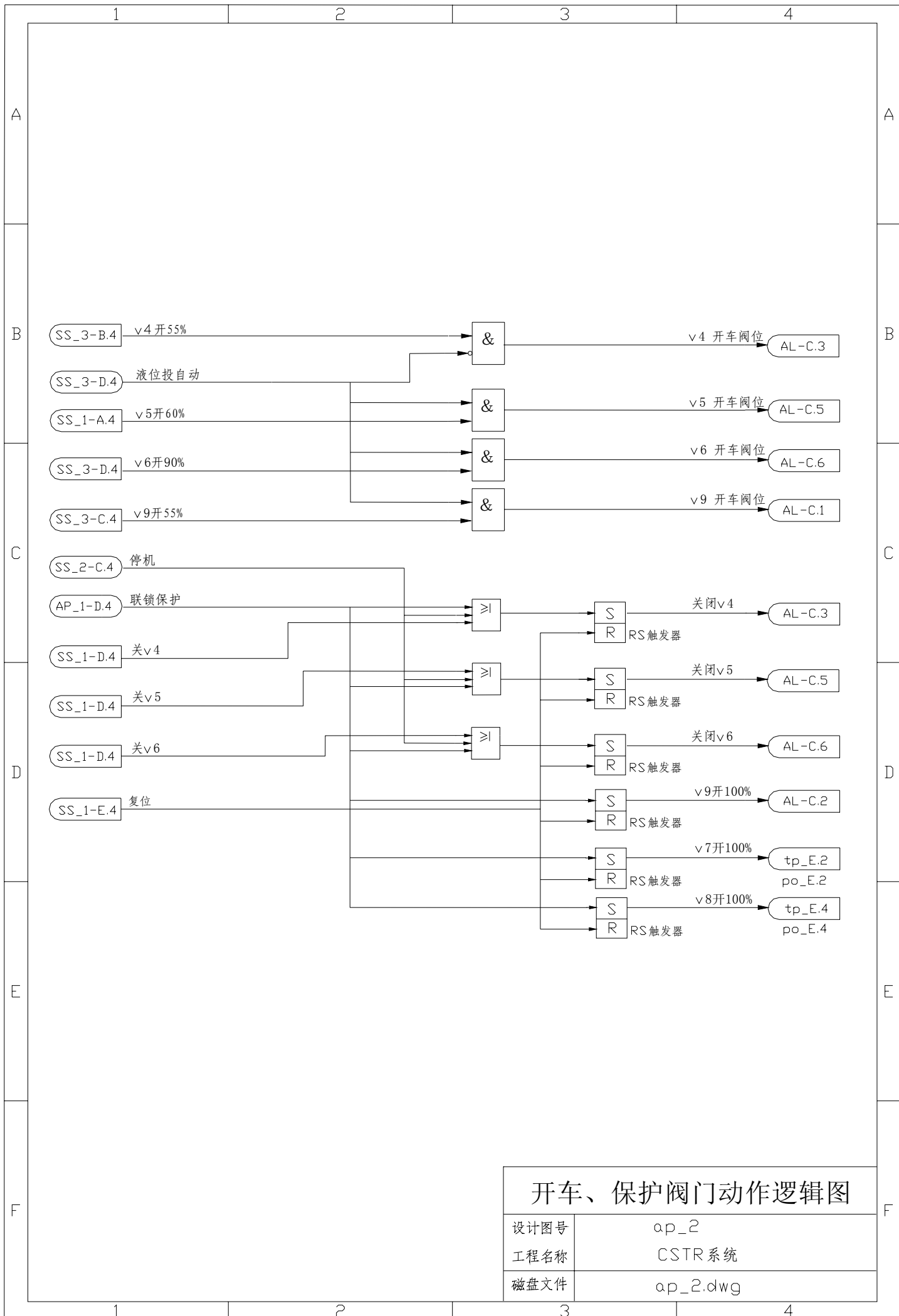
开车顺序控制逻辑图

设计图号	ss_3
工程名称	CSTR系统
磁盘文件	ss_3.dwg



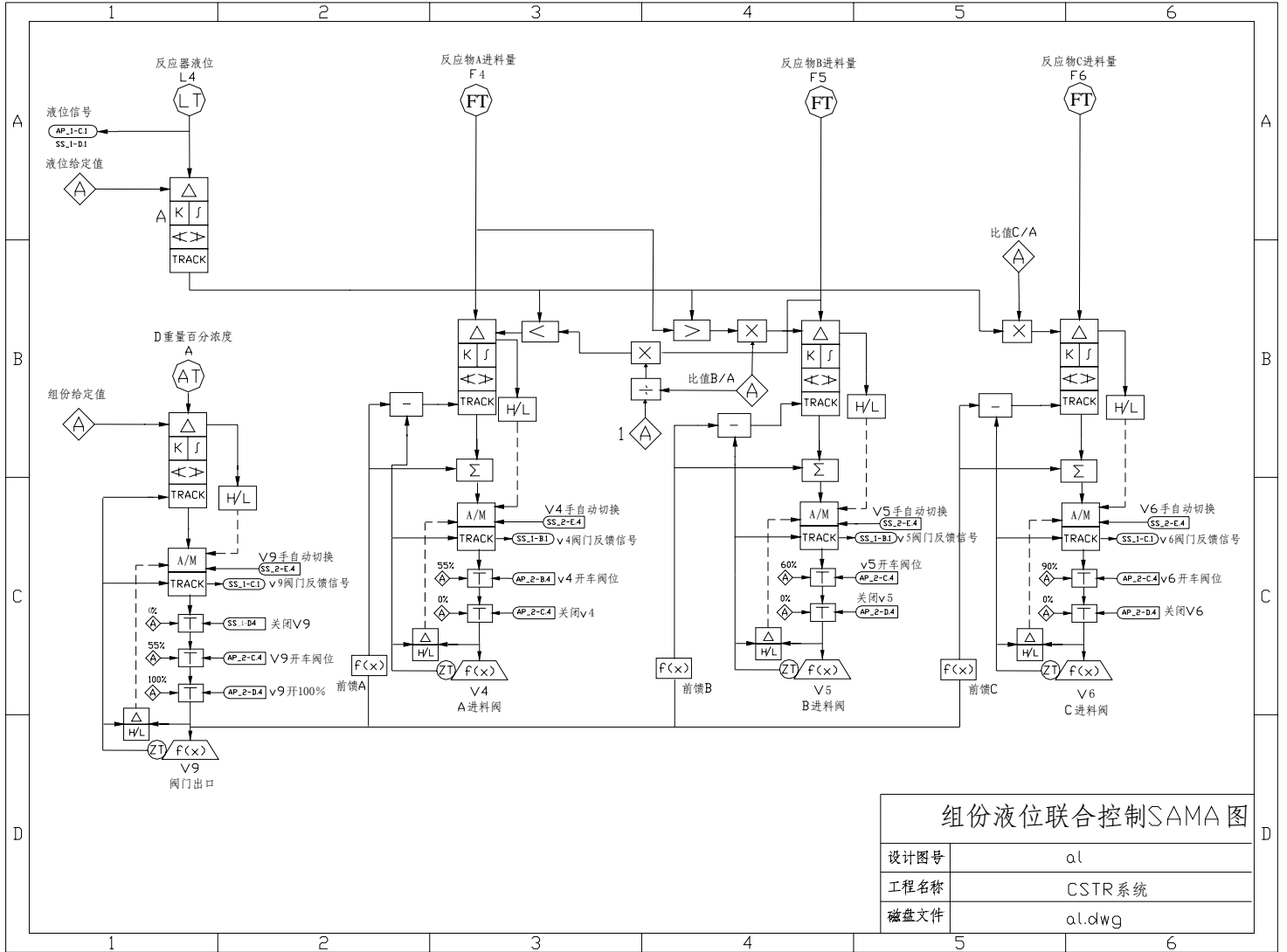
### 报警、保护产生逻辑图

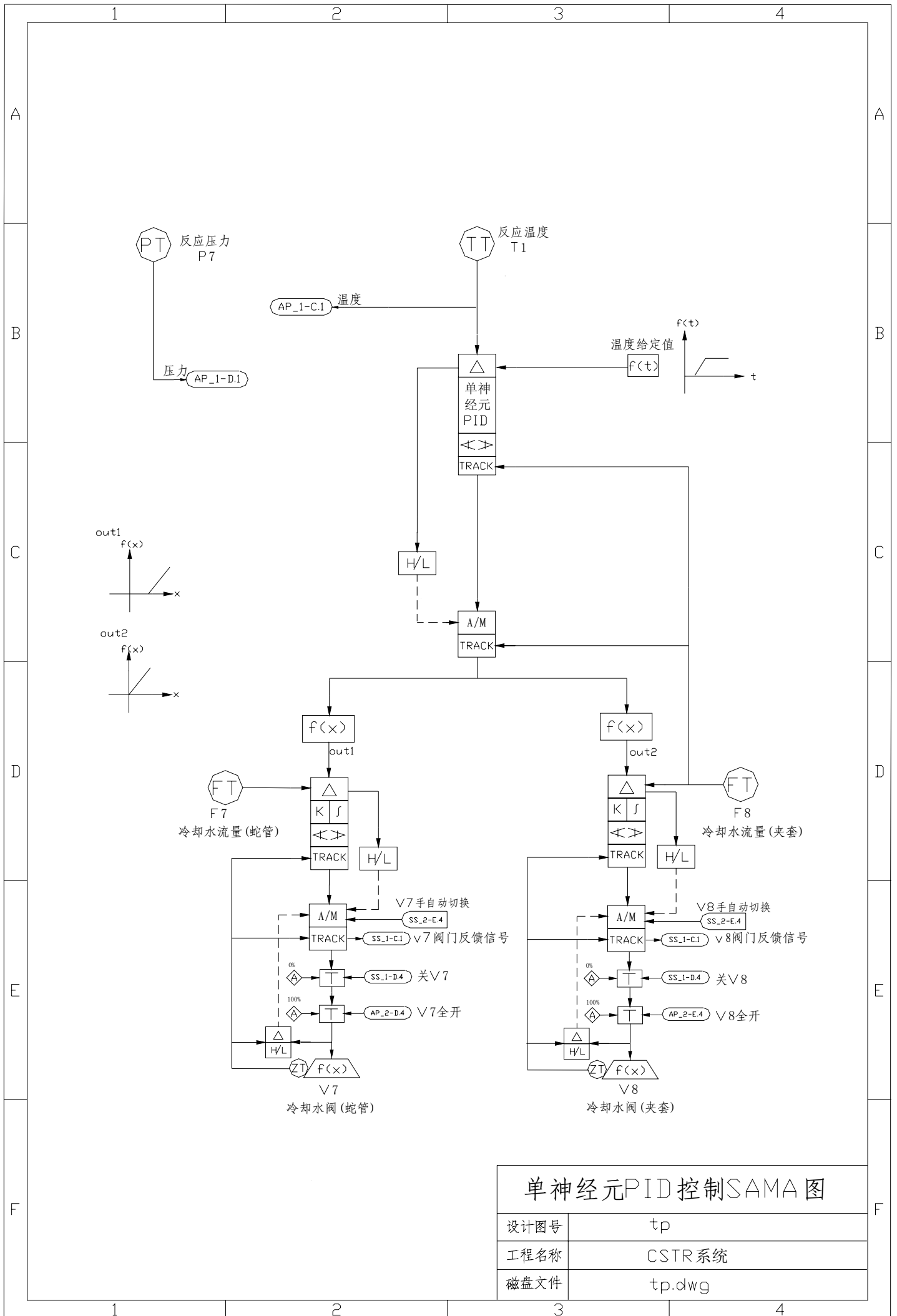
设计图号	ap_1
工程名称	CSTR系统
磁盘文件	ap_1.dwg



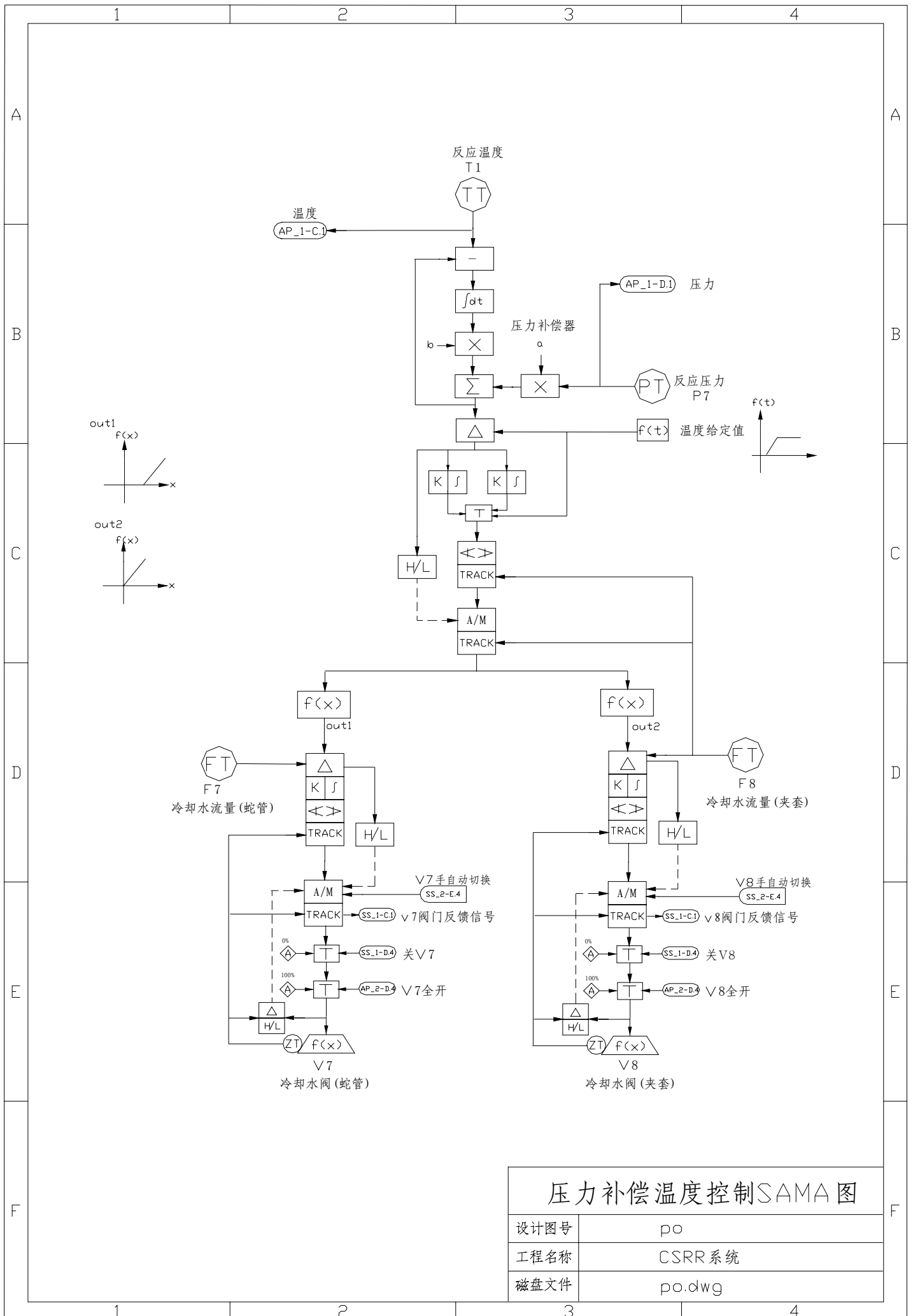
开车、保护阀门动作逻辑图

设计图号	ap_2
工程名称	CSTR系统
磁盘文件	ap_2.dwg





单神经元PID控制SAMA图	
设计图号	tp
工程名称	CSTR系统
磁盘文件	tp.dwg



压力补偿温度控制SAMA图

设计图号	po
工程名称	CSRR系统
磁盘文件	po.dwg