

# 2022 年 CIMC “西门子杯”中国智能制造挑战赛

## 智能制造工程设计与应用类赛项：流程行业自动化方向

### 样题（高职组）

本样题是为了让参赛队伍了解赛项《智能制造工程设计与应用类赛项：流程行业自动化方向》的工艺对象及控制要求。初赛涉及两个难易程度不同的工艺对象：主赛题-放热反应器对象和备选题-除氧器对象。其中放热反应器对象综合控制难度大，分值高；除氧器对象综合控制难度小，分值低。初赛正式比赛时参赛队伍可依据自身情况二选一，选择较合适的赛题。决赛则只涉及放热反应器对象。

参赛队伍根据本样题中的要求，按照给出的开车步骤及控制方案，进行控制系统的实施、优化。在仿真对象发布后，可进行控制方案优化、控制参数调试、控制方案实施等。在正式比赛时，参赛选手将得到一份正式赛题。正式赛题与样题在物性参数、工艺参数、设备参数、对象特性、控制要求、评分考查点及扰动类型等方面会有 10~30% 的差异。

## 主赛题题目：放热反应器控制系统的设计与开发

### 1 工艺描述

某反应工艺过程如图 1 所示：

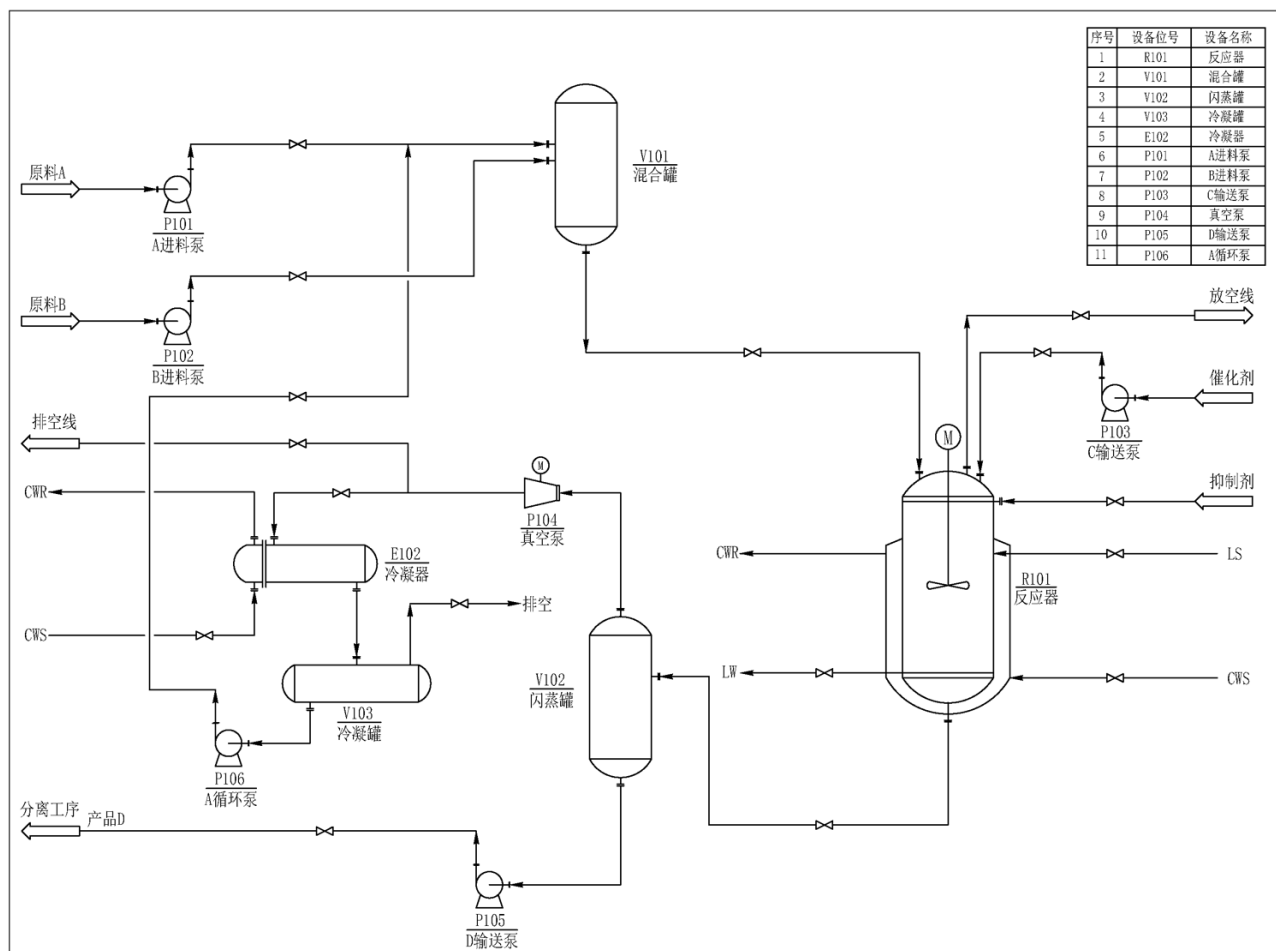
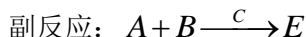
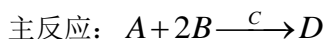


图 1-反应器工艺流程简图

该放热反应过程在催化剂 C 的作用下，原料 A 与原料 B 反应生成主产物 D 和副产物 E，反应方程式如下：



其中，主生成物 D 是所需产品，副生成物 E 是杂质，主、副反应均为强放热反应。为了获得较高的反应转化率，采用原料 A 过量的工艺。

原料 A 与原料 B 分别由原料 A 进料泵 P101、原料 B 进料泵 P102 输送进入混合罐 V101（立式罐）内混合，混合物料进入放热反应器 R101 进行反应，反应所需的催化剂 C，由催化剂 C 输送泵 P103 从反应器顶部加入。为了诱发反应达到活化温度，在反应初始阶段，反应器 R101 采用夹套蒸汽对反应物料进行加热。上述反应为强放热过程，反应器 R101 采用内盘管式水冷却，将反应放出的热量移除，维持反应器温度稳定，避免造成超温超压等安全事故。反应转化率与反应温度、停留时间、反应物料浓度及物料混合配比有关，反应体系气相压力对温度敏感，在冷却失效产生的高温条件下，过高的气相压力使反应器有爆炸的风险。在反应器顶部设置一路放空管线，当反应器因物料汽化导致压力急剧升高时，可以将气相物料放空至火炬，避免反应器发生爆炸事故影响正常生产；在反应器顶部设置一路抑制剂管线，当因反应失控导致温度或压力过高危及安全时，通入抑制剂 F，使催化剂 C 迅速中毒失活，从而中止反应。

反应器 R101 底部出口生成物含有产品 D、杂质 E，催化剂 C、以及未反应的原料 A 和少量原料 B，为了回收原料 A，在反应器下游设置闪蒸罐 V102，将混合生成物（D+E+C+A+B）中过量的原料 A 分离提纯。闪蒸罐 V102 顶部采出混合物（原料 A、少量 D+E+C+B）为气相，首先进入冷凝器 E102 与冷却水进行换热冷凝，冷凝后的混合物进入冷凝罐 V103，通过循环泵 P106 再送入混合罐 V101 循环利用。闪蒸罐 V102 底部的混合生成物（D+E+C+A+B）经输送泵 P105 加压，送到下游分离工序，进行提纯精制，以分离出产品 D。

反应生产装置提供最大负荷：原料 A 最大流量为 32.292t/h；原料 B 最大流量为 12.384t/h；催化剂 C 最大流量为 4.176t/h；装置最大产能：产品 D 最大产量为 47.35t/h。

## 2 控制方案及控制指标

工艺管道及仪表流程图（P&ID）如图 2 所示。

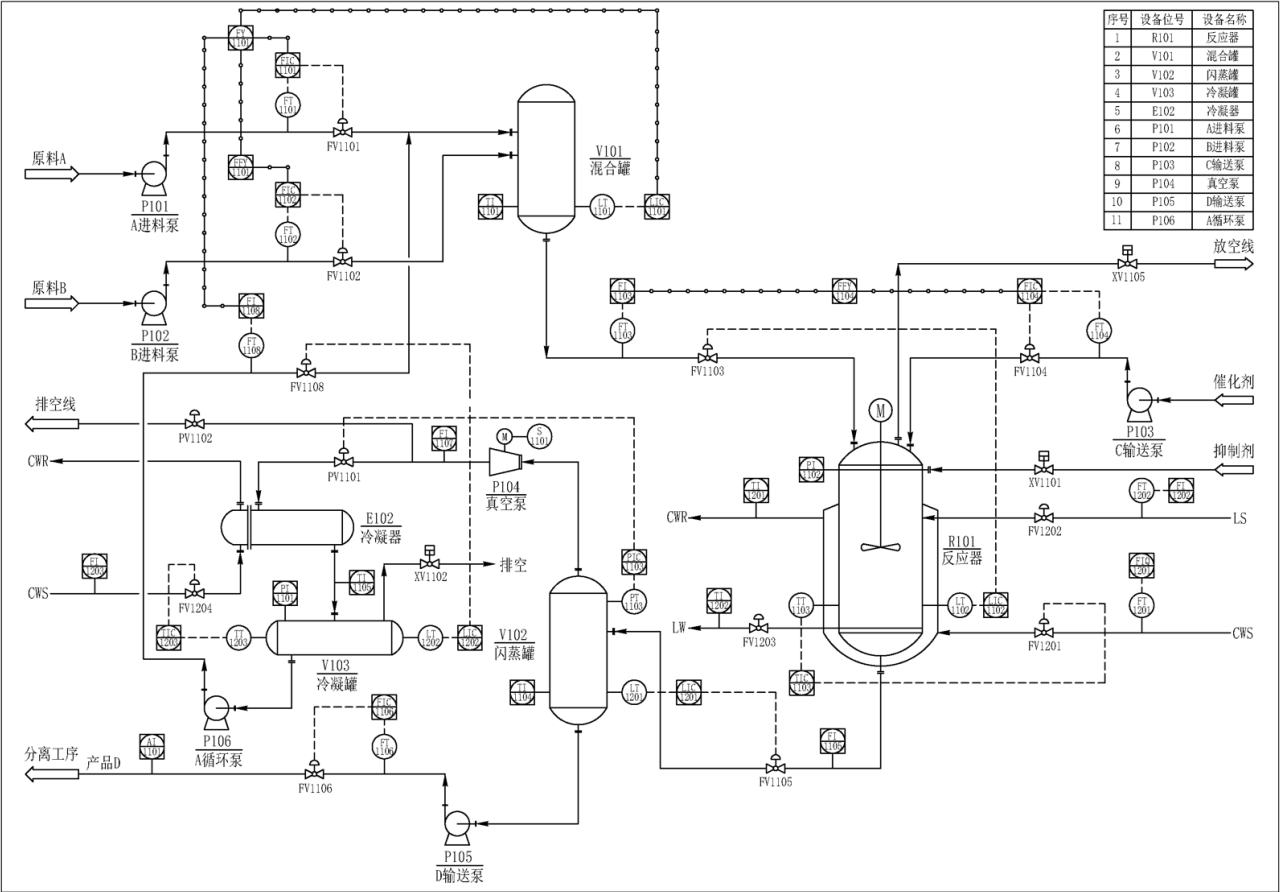


图 2-工艺管道及仪表流程图

(1) 工艺参数

表 1-工艺参数表

工艺参数表				
序号	位号	工艺说明	单位	工艺参数
1	FI1101	原料 A 流量	kg/s	—
2	FI1102	原料 B 流量	kg/s	—
3	FI1103	反应器 R101 混合进料	kg/s	—
4	FI1104	催化剂 C 流量	kg/s	—
5	FI1105	反应器 R101 反应生成液流量	kg/s	—
6	FI1106	产品 D 混合物料流量	kg/s	—
7	FI1107	闪蒸罐 V102 顶部物料流量	kg/s	—
8	FI1108	循环 A 物料流量	kg/s	—
9	FI1201	反应器 R101 循环上水流量	kg/s	—
10	FI1202	反应器 R101 夹套蒸汽流量	kg/s	—
11	FI1203	冷凝器 E102 循环上水流量	kg/s	—

12	LI1101	混合罐 V101 液位	%	30~60
13	LI1102	反应器 R101 液位	%	30~60
14	LI1201	闪蒸罐 V102 液位	%	30~60
15	LI1202	冷凝罐 V103 液位	%	30~60
16	TI1101	混合罐 V101 温度	℃	20
17	TI1103	反应器 R101 温度	℃	80~160
18	TI1104	闪蒸罐 V103 温度	℃	20~160
19	TI1105	冷凝器 E102 物料冷后温度	℃	20~50
20	TI1201	反应器 R101 夹套循环回水温度	℃	—
21	TI1202	反应器 R101 夹套蒸汽冷凝水温度	℃	—
22	TI1203	冷凝罐 V103 温度	℃	20~50
23	PI1101	冷凝罐 V103 压力	kPa	101.3
24	PI1102	反应器 R101 压力	kPa	100~150
25	PI1103	闪蒸罐 V102 压力	kPa	20~150
26	AI1101	产品混合物 D 含量	%	≥80

## (2) 设备数据

表 2-设备数据表

设备数据表			
序号	位号	名称	设备参数
1	R101	反应器	型式：立式、夹套；内径：0.8m，高度：2.5m； 操作介质：A、B、C、D、E； 设计压力：200kPa，设计温度：200℃；
2	V101	混合罐	型式：立式；内径：0.6m，高度：3m； 操作介质：A、B； 设计压力：120kPa，设计温度：100℃；
3	V102	闪蒸罐	型式：立式；内径 0.8m，高度：3m； 操作介质：A、B、C、D、E； 设计压力（最高/最低）：150kPa/20kPa；设计温度：200℃；
4	V103	冷凝罐	型式：卧式；内径：0.5m，长度：2m； 操作介质：A、少量 B+C+D+E； 设计压力：150kPa，设计温度：150℃；

5	E102	冷凝器	型式：列管式、卧式； 内径：0.4，长度：3m，换热面积：100m <sup>2</sup> ； 操作介质：管程：A、少量 B+C+D+E，壳程：循环冷却水； 设计压力：管程：150kPa，壳程：250kPa； 设计温度：管程：150℃，壳程：100℃；
6	P101	A 输送泵	操作介质：原料 A；扬程：30m； 出口压力：313kPa；操作温度：20～50℃；
7	P102	B 输送泵	操作介质：原料 B；扬程：25m； 出口压力：307kPa；操作温度：20～50℃；
8	P103	C 输送泵	操作介质：催化剂 C；扬程：20m； 出口压力：293kPa；操作温度：20～℃；
9	P104	真空泵	操作介质：A、少量 B+C+D+E；抽气量：5000m <sup>3</sup> /h；
10	P105	D 输送泵	操作介质：产品 D 混合物；扬程：20m； 出口压力：227kPa；操作温度：70～75℃；

### (3) 物性数据

物性数据随仿真对象一起发布。

## 3 开车步骤

(1) 初始化检查，工况处于开车前状态，确认所有阀门和机泵均处于关闭状态。

(2) 启动原料 A 输送泵 P101，并打开原料 A 进料阀；启动原料 B 输送泵 P102，并打开原料 B 进料阀，原料 A、B 按照一定比例进入混合罐 V101。

(3) 混合罐 V101 达到一定的液位时，打开罐底阀门，混合原料 (A+B) 进入反应器 R101，启动催化剂输送泵 P103，并打开催化剂 C 管线阀门，催化剂 C 与混合原料 (A+B) 按一定配比从反应器 R101 顶部加入。

(4) 当反应器 R101 达到一定液位时，打开反应器 R101 夹套加热蒸汽管线阀门及凝结水管线阀门，夹套通入加热蒸汽使反应器物料升温诱发反应。

(5) 当反应物料达到活化温度后，关闭反应器 R101 夹套加热蒸汽管线阀门及凝结水管线阀门，停止进加热蒸汽。原料 A、B 在催化剂 C 作用下进行化学反应，生成产品 D 及副产物 E，并放出大量热能。

(6) 当反应器 R101 液位持续升高达到一定液位时，打开反应器 R101 底部管线阀门，反应生成物进入闪蒸罐 V102 进行闪蒸。

(7) 当反应器 R101 温度达到一定生产工艺值时，打开反应器 R101 循环冷却水上水管线阀门，冷却水通过内盘管进入反应器吸收热量，以控制反应器 R101 温度。

(8) 在反应生成液进入闪蒸罐 V102 之前, 启动真空泵 P104, 打开闪蒸罐顶部排空阀门, 闪蒸罐开始抽真空并维持在一定真空度, 然后反应生成液进入闪蒸罐进行闪蒸操作。

(9) 当闪蒸罐维持稳定后, 打开冷凝器 E102 循环冷却水上水管线阀门, 冷凝器 E102 投用。关闭闪蒸罐顶部排空阀门, 打开闪蒸物料进入冷凝器 E102 管线阀门, 闪蒸罐顶部物料经冷凝器冷凝后进入冷凝罐 V103。

(10) 当冷凝罐 V103 达到一定液位时, 启动 A 循环泵 P106, 打开 A 物料循环管线阀门, A 物料进入混合罐 V101 进行循环使用。

(11) 当闪蒸罐 V102 达到一定的液位时, 启动 D 输送泵 P105, 打开闪蒸罐底部产品 D 混合物管线阀门, 产品 D 混合物进入下游分离工序, 以提纯产品 D。

(12) 开车过程完成后, 投入自动控制系统, 使工艺过程平稳运行, 并保证满足工艺生产要求。

## 4 初赛任务

甲方需求:

(1) 关键工艺参数达到相关控制要求。

(2) 不能出现安全事故。

(3) 生产原料、公用工程消耗以及产品, 分别计价, 最终收益(收益 = 产品总价 - 生产原料和公用工程消耗的总价)越多越好。

根据工艺过程及甲方需求, 参赛队伍完成:

(1) 根据提供的工艺参数、设备数据、物性数据, 按照开车步骤、P&ID 图(开车步骤、P&ID 图供参考, 参赛队伍也可以进行设计或优化), 完成项目方案设计。包括控制系统的人机界面设计、控制系统的组成(控制器、IO 卡件、通讯网络等)、系统实施说明(系统连接、系统安装、系统组态、系统整定、系统调试、系统投运等)等。

(2) 控制系统方案在西门子控制系统上实施(控制器硬件型号不限, 推荐控制器为 PCS7 412-H)并调试, 使用人机界面完成从冷态开车到控制系统投运、生产稳定运行的全部过程。开车过程允许在人机界面上将控制器置手动、并修改控制器输出, 或是直接修改阀门开度等操作。

评分依据甲方需求, 在开车过程结束、系统已进入稳态生产后, 以最终收益、工艺参数是否达到控制要求为得分依据。

扣分项包括, 但不限于以下情况(依顺序扣分增大):

(1) 生产过程中, 加抑制剂中止反应(造成废料增加, 后处理困难);

(2) 混合罐、反应器、闪蒸罐、冷凝罐等罐式设备出现抽空或满罐现象(生产事故);

(3) 反应器超压爆炸(严重生产事故)。

## 5 决赛任务

甲方需求:

(1) 关键工艺参数达到相关控制要求。

(2) 不能出现安全事故。

(3) 生产原料、公用工程消耗以及产品，分别计价，最终收益（收益 = 产品总价 - 生产原料和公用工程消耗的总价）越多越好。

根据工艺过程及甲方需求，参赛队伍完成：

(1) 现场接线。

(2) 在初赛基础上进行方案改进和完善。

(3) 控制系统方案在西门子控制系统上实施（控制器硬件型号不限，推荐控制器为 PCS7 412-H）并调试，使用人机界面完成从冷态开车到控制系统投运、生产稳定运行的全部过程。

(4) 在负荷改变或干扰产生时，实现稳定控制。

评分依据甲方需求，在比赛结束时，以最终收益、关键工艺参数的控制效果等为主要得分依据。

扣分项包括，但不限于以下情况（依顺序扣分增大）：

(1) 生产过程中，加抑制剂中止反应（造成废料增加，后处理困难）；

(2) 混合罐、反应器、闪蒸罐、冷凝罐等设备出现抽空或满罐现象（生产事故）；

(3) 反应器超压爆炸（严重生产事故）。

## 6 现场实施仿真环境

初赛、决赛现场比赛中，参赛队员在 SMPT-1000 软件平台上，根据所提供的变量仪表，按方案要求选择所需的仪表。工艺过程图管线上均可根据方案的需要设置阀门，阀门的流通能力不能随意改变。参赛队员可根据需要自行选择阀门的特性（线性、等百分比、快开）和阀门类型（手操阀、调节阀），其中调节阀用于控制回路。工艺过程的设备参数由全国竞赛专家组设置，参赛队员不可自行变动。

# 备选题题目：除氧器控制系统的设计与开发

## 1 工艺过程

除氧器工艺流程图如下所示：

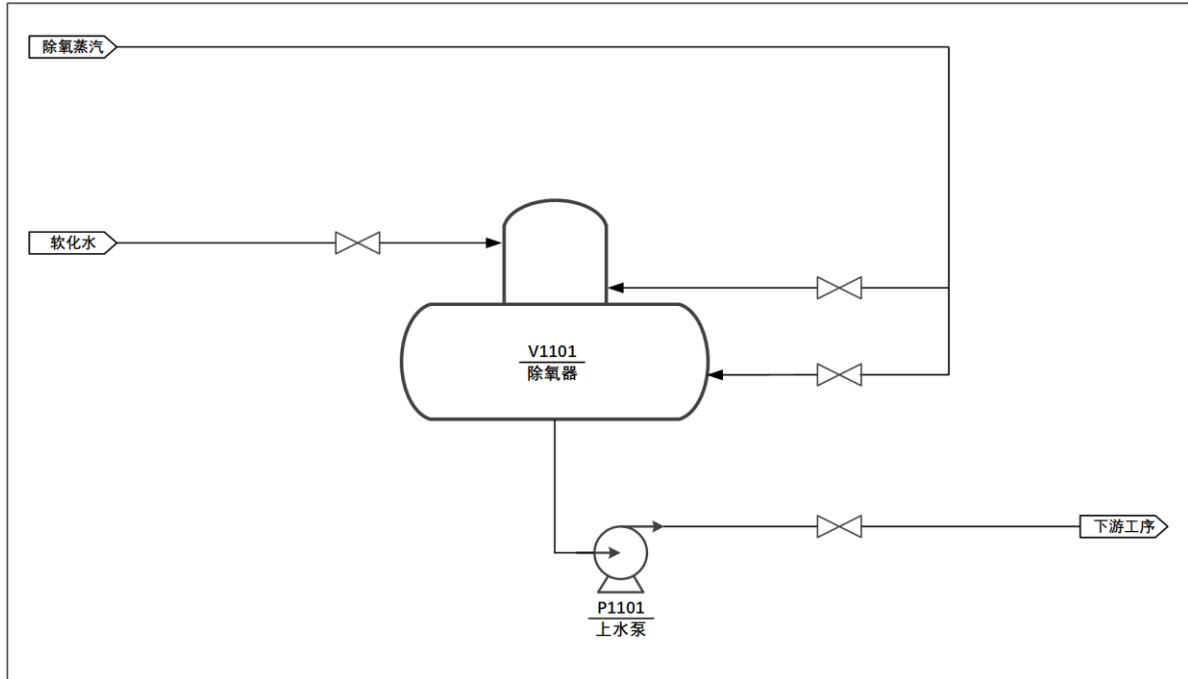


图 3 除氧器工艺流程简图

软化水由界区输送至除氧器的上部除氧头，进行热力除氧。除氧的目的是除去水中溶解的氧气及二氧化碳，以防对后续设备造成腐蚀。除氧头下部连接有卧式水箱。除氧蒸汽由界区分两路输送，一路进入除氧头下部，另一路则进入除氧头下部卧式水箱。除氧后的软化水称为除氧水，从除氧器底部抽出，经上水泵 P1101 升压后送到下游工序。

热力除氧是用蒸汽将给水加热到饱和温度，将水中溶解的氧气及二氧化碳放出。除氧头的结构像分离塔，内设多层配水盘。每层配水盘底部开有大量小孔，给水从塔顶逐盘分布流下。蒸汽从塔底迂回上升，与落下的水滴逆流多次接触，水被加热，放出溶解氧。部分蒸汽凝结，和除氧后的水同时进入下水箱。被除掉的氧气、二氧化碳及氮气等与未凝结的蒸汽向上流动，从顶部排至大气。热力除氧可使给水中的氧气含量降低到 15mg/L 以下，二氧化碳降低到 2mg/L 左右。

## 2 控制方案及控制指标

除氧器工艺管道及仪表流程图（P&ID）如图 4 所示：



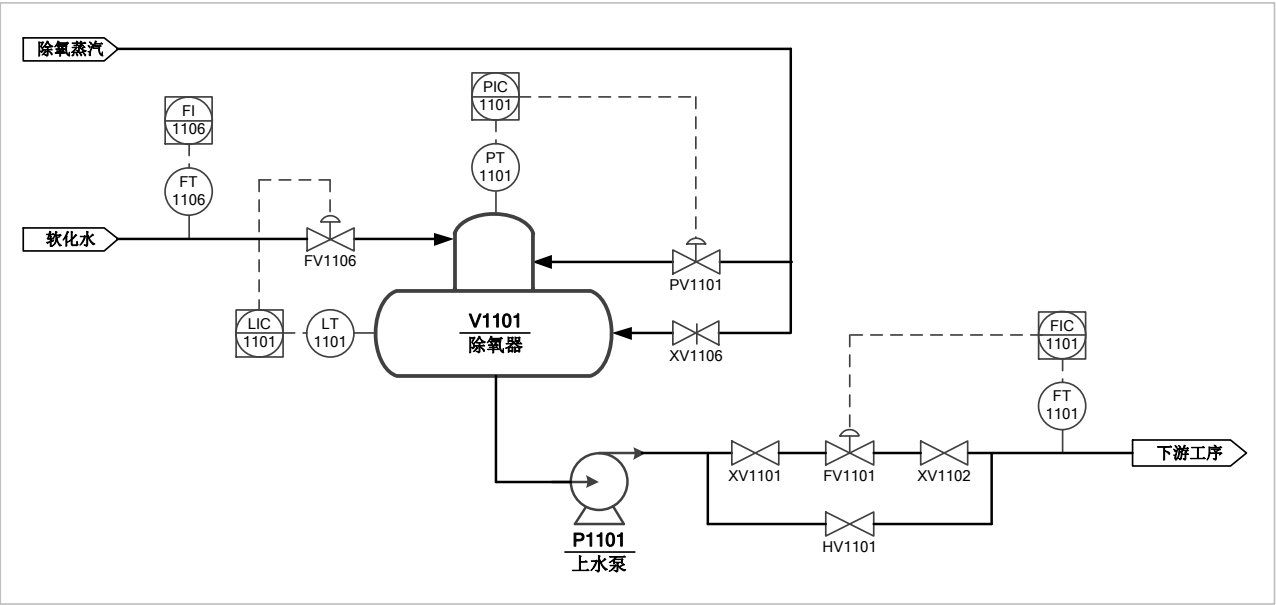


图 4 除氧器工艺管道及仪表流程图

(1) 工艺参数

表 3-工艺参数表

工艺参数表				
序号	位号	工艺说明	单位	工艺参数
1	FI1101	除氧水流量	kg/s	16 ~ 20
2	FI1106	软化水流量	kg/s	16 ~ 20
3	LI1101	除氧器液位	%	30 ~ 60
4	PI1106	除氧器压力	kPa	120 ~ 160

(2) 设备参数

表 4-设备数据表

设备数据表			
序号	位号	名称	设备参数
1	V1101	除氧器	卧式；内径：0.6m，长度：3m； 操作介质：水； 设计压力：200kPa，设计温度：200℃；
2	P1101	上水泵	扬程：500m；操作介质：水； 出口压力：5.2MPa；操作温度：80~120℃；

### 3 开车步骤

- (1) 将除氧器液位控制器置手动状态，调整手动输出，向除氧器充水。除氧器液位达到 40%左右时停止充水。打开进入除氧器卧式水箱的蒸汽阀门，加热到 100℃后关闭。
- (2) 除氧器液位控制器投自动，修改设定值为 50%
- (3) 将压力控制器置手动状态，操纵手动输出，使除氧器压力升至 110kPa。
- (4) 开启除氧器底部除氧水出口管线阀门
- (5) 将除氧器压力控制器投自动，给定值设为 120kPa 。

### 4 比赛任务

除氧器对象的比赛任务全部为初赛任务，不涉及决赛。以下为具体的任务要求。

甲方需求：

- (1) 关键工艺参数达到相关控制要求。
- (2) 不能出现安全事故。

根据工艺过程及甲方需求，参赛队伍需完成如下任务：

- (1) 项目方案设计。根据提供的工艺参数、设备数据等完成方案设计，包括对象特性及控制需求分析，控制回路设计，控制系统投运及整定，控制性能测试及优化等。可直接采用样题中提供的开车步骤及 P&ID 图，也可自行设计或优化。
- (2) 使用 SMPT 软件内置控制系统，实施控制方案，并完成除氧器的冷态开车到安全稳定生产。开车阶段允许控制器置手动

评分依据甲方需求，在开车过程结束、进入稳定生产之后，以工艺参数是否达到控制要求为评分依据。

扣分项包括，但不限于以下情况（依顺序扣分增大）：

- (1) 生产过程中，除氧器满罐或空罐；
- (2) 除氧器超压；