

# 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（本科组）

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。

参赛队伍根据比赛任务要求进行工艺分析、开车步骤设计、仪表选型及控制系统设计等。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，以形成完整的设计方案。在完成基本控制设计的基础上，提倡从先进控制、生产优化、节能、安全等多角度出发进行方案的设计与实施。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：

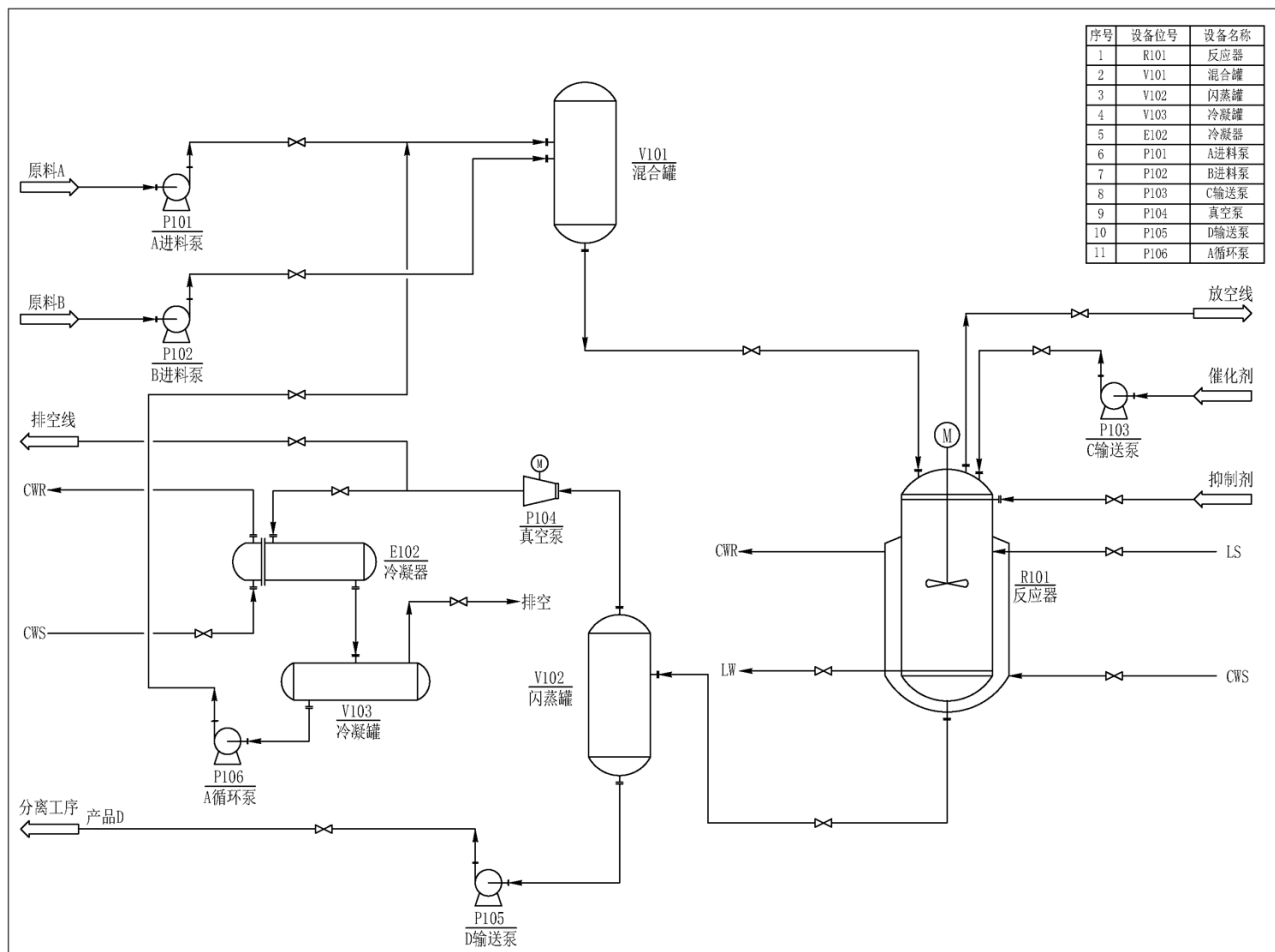
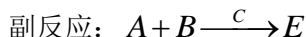
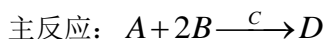


图 1-反应器工艺流程简图

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。

### （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	LI1101	混合罐 V101 液位	%	30~60
2	LI1102	反应器 R101 液位	%	30~60
3	LI1201	闪蒸罐 V102 液位	%	30~60
4	LI1202	冷凝罐 V103 液位	%	30~60
5	TI1103	反应器 R101 温度	℃	80~160
6	TI1104	闪蒸罐 V103 温度	℃	20~160

7	TI1105	冷凝器 E102 物料冷后温度	℃	20~50
8	TI1201	反应器 R101 夹套循环回水温度	℃	—
9	TI1202	反应器 R101 夹套蒸汽冷凝水温度	℃	—
10	TI1203	冷凝罐 V103 温度	℃	20~50
11	PI1101	冷凝罐 V103 压力	kPa	101.3
12	PI1102	反应器 R101 压力	kPa	100~150
13	PI1103	闪蒸罐 V102 压力	kPa	20~150
14	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。

## 2 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) 项目方案设计，根据提供的工艺参数、设备数据、物性数据等完成方案设计，包括工艺分析、开车步骤设计、控制系统设计（对象特性及控制需求分析、仪表和调节阀选型（需考虑维护、控制系统调试等现场需求）、控制回路设计、控制算法研究、人机界面设计等）、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。包括开车步骤设计、仪表选型、控制系统设计、控制系统的组成、系统实施说明等。

(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) 识别系统中可能存在的故障，并进行处理。

(5) 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）。

## 4 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：

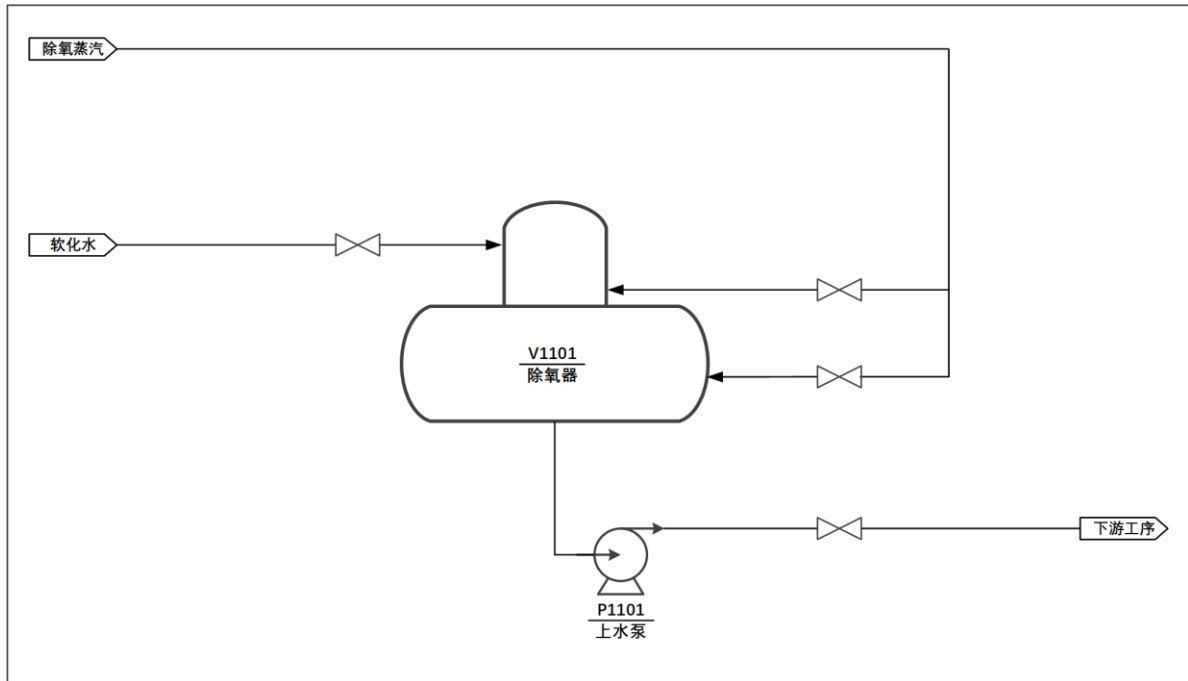


图3 除氧器工艺流程简图

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：

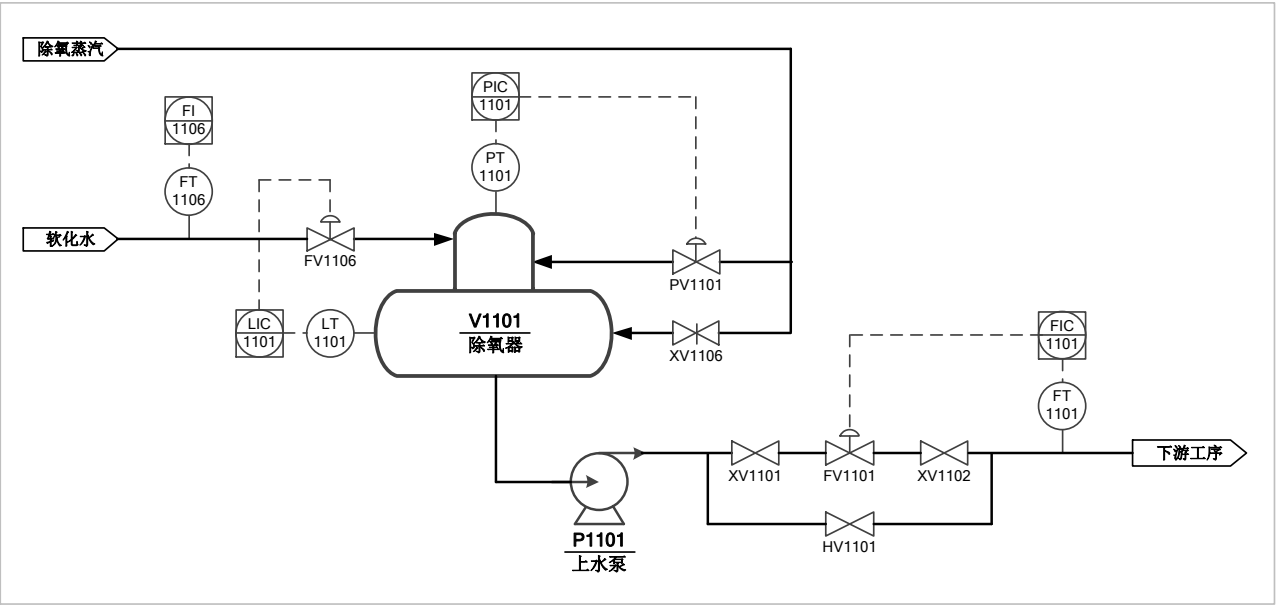


图 4 除氧器工艺管道及仪表流程图

(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；