

2019 年“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。参赛队伍根据本样题的要求进行工艺分析、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。

一、工艺描述

某反应工艺过程如下图所示：

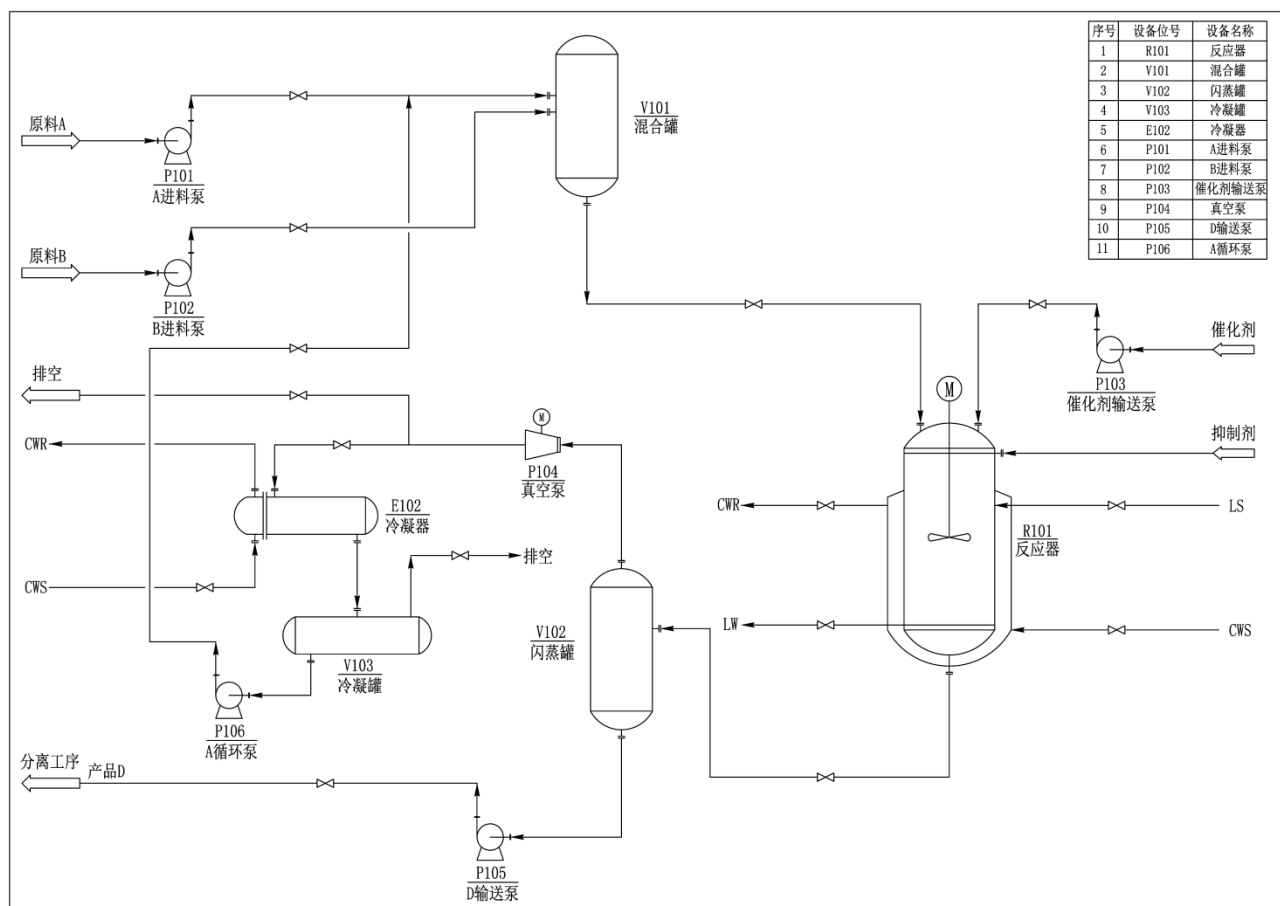


图 1 反应器工艺流程简图

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。为了缩短物料到达活化温度的时间，在反应初始阶段，反应器 R101 采用夹套蒸汽加热。之后反应放热强烈，反应器 R101 采用内盘管式水冷却。反应转化率与反应温度、停留时间、反应物料浓度及混合配比有关，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抑制剂，当反应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（D+E+C+A+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。

1.1 工艺参数

表 1-工艺参数表

| 工艺参数表 | | | |
|-------|-------------|-----|---------|
| 序号 | 工艺说明 | 单位 | 工艺参数 |
| 1 | 混合罐 V101 液位 | % | 30~60 |
| 2 | 反应器 R101 液位 | % | 30~60 |
| 3 | 闪蒸罐 V102 液位 | % | 30~60 |
| 4 | 冷凝罐 V103 液位 | % | 30~60 |
| 5 | 反应器 R101 温度 | ℃ | 80~110 |
| 6 | 闪蒸罐 V102 温度 | ℃ | 20~110 |
| 7 | 冷凝罐 V103 温度 | ℃ | 20~50 |
| 8 | 反应器 R101 压力 | Kpa | 100~150 |
| 9 | 闪蒸罐 V102 压力 | Kpa | 20~150 |
| 10 | 产品混合物 D 含量 | % | ≥80 |

1.2 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：150℃； |
| 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：150℃； |
| 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：100℃； |
| 5 | E102 | 冷凝器 | 型式：列管式、卧式；内径：0.4，长度：3m，换热面积：100m ² ；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：20~25℃； |
| 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：20~25℃； |
| 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：20~25℃； |
| 9 | P104 | 真空泵 | 操作介质：A、少量 B+C+D+E；抽气量：5000m ³ /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℃； |

1.3 物性数据

表 3-物性数据表

| 物性数据表 | | | | | |
|-------|------------------|--------------|-------------------------|---------|---------------|
| 序号 | 名称 | 分子量 g/mol | 密度 kg/m ³ | 沸点 ℃ | 汽化潜热 J/mol |
| 1 | A | 36 | 720 | 64 | 7513 |
| 2 | B | 24 | 840 | 110 | 14369 |
| 3 | C | 72 | 980 | 120 | 10817 |
| 4 | D | 96 | 910 | 108 | 15356 |
| 5 | E | 60 | 880 | 115 | 12608 |
| 6 | F | 108 | 720 | 132 | 34562 |
| 7 | H ₂ O | 18 | 1000 | 100 | 44848 |

二、初赛任务

甲方需求：

- (1) 关键工艺参数达到相关控制要求。
- (2) 产物达到规定浓度要求的前提下，产量越多越好（流量*产物浓度值的累积量）。
- (3) 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、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并调试，完成从冷态开车至稳态的自动顺序控制。

评分依据甲方需求，在开车过程结束时，以工艺参数是否达到控制要求、以及达到要求的产物 D 的累积量为评分依据。

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，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）。

三、决赛任务

甲方需求：

- (1) 关键工艺参数达到相关控制要求。
- (2) 产物达到规定浓度要求的前提下，产量越多越好（流量*产物浓度值的累积量）。
- (3) 不能出现安全事故。
- (4) 生产原料循环使用越多越好，公用工程消耗越低越好（自行根据工艺过程分析）。

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并调试，完成自动开车顺序控制及正常工况的控制系统投用。
- (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，以达到要求的产物 D 的累积量、控制效果、原料循环利用、公用工程消耗等指标进行综合评价。

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）。

四、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，自行选择所需的仪表。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**。