

附件 1:

“中控杯”智能制造挑战赛

赛题 3 “流程工业机理建模与模拟”决赛任务书

初赛阶段，各参赛队伍完成了丙烯两步氧化法制备丙烯酸工艺流程搭建与模拟工作，构建了涵盖反应、吸收、萃取、精馏等核心单元的完整工艺流程模型，且实现全流程稳定收敛运行。

决赛阶段，参赛队伍将以工艺合理性好、生产稳定性高、操作经济性优为核心原则，对初赛工艺模型进行迭代完善，同步引入系统化经济评价体系。以装置生产效益最大化为核心目标，依托中控 APEX 平台的优化计算功能，对工艺完善后的模型开展操作优化。在严格满足安全生产、平稳运行及产品产量、质量达标要求的基础上，有效实现工艺降本、提质增效的优化目标。

一、设计题目

丙烯两步氧化法合成丙烯酸装置生产操作优化。

二、决赛任务

各队伍基于初赛模型，进一步考虑工艺合理性、模型可用性，进行丙烯两步法制丙烯酸工艺路线完善；并在此完善模型的基础上，进行装置实际生产过程的优化，发掘各工段操作参数优化潜力，实现装置生产过程中的经济效益最优。

第一阶段：模型完善

各队伍需对初赛模型进行全面检查与完善，确保工艺流程完整、设备选型合理、模型收敛稳定。模型完善考虑以下方向，各队伍可根据自身模型情况逐项排查。

(1) 反应器模型升级

化学计量反应器或其他简单反应器模块无法反映温度、压力、停留时间对转化率和选择性的影响，决赛要求：

- a) 选择合适的反应器单元模型，利用动力学模型模拟反应过程；
- b) 合理设置反应器管数、管径（推荐选择标准换热管，如英制 1 寸管，内径 25.4mm）、管长等参数；
- c) 确保反应器出口组成（转化率、选择性）与实际工艺数据合理匹配（参考初赛任务书要求）；

（2）分离设备完善

为避免塔设备回收率低、未实现清晰分割的情况，决赛要求：

- a) 检查各精馏塔（萃取剂回收塔、萃取剂蒸馏塔、脱轻组分塔、脱重组分塔等）主产品回收率（不应低于 95%）。
- b) 检查萃取塔的萃取率，合理设置萃取剂用量。

（3）热量回收与耦合

对于缺少热量耦合的模型，可考虑将反应器、精馏塔作为高温热源用于物料预热，降低反应器或分离设备的公用工程消耗。

（4）循环流股建立

对于缺少循环流股的模型，可考虑采取未反应原料回用、萃取剂回用、中水回用等措施降低原料消耗。

（5）模型收敛性修复

初赛模型存在收敛困难或不收敛的问题。决赛要求：

- a) 调整循环流股初值，确保循环回路收敛；
- b) 合理设置最大迭代次数；
- c) 全流程模型必须收敛运行，无错误或警告信息。

第二阶段：效益优化

在模型完善的基础上，模拟装置实际生产过程，以经济效益最大化为目标，对模型进行优化。优化阶段不得修改流程、增删设备（为统计精馏

塔负荷增加的加热器或计算器等必要辅助模型除外)、改变流股连接关系、修改单元模块的设备参数,仅利用“优化”运行模式进行模型优化计算,优化方案与结果需保证装置生产可执行、安全、稳定。

1、优化目标

经济效益最大化

经济效益 = 产品销售收入 - 原料成本 - 公用工程成本

其中:

产品销售收入 = Σ (主、副产品产量 $\times$ 对应单价)

原料成本 = Σ (各原料消耗量 $\times$ 对应单价)

公用工程成本 = Σ (各公用工程消耗量 $\times$ 对应单价)

主、副产品,原料价格见下列表格。

序号	原料名称	规格/说明	单价 (元/吨)	备注
1	丙烯	聚合级, $\geq 99.6\%$	6800	主要原料
2	甲苯	工业级, $\geq 99.8\%$	5500	萃取剂, 循环使用
3	纯水	/	3.5	急冷塔吸收剂
4	丙烯酸	纯度 $\geq 99.5\%$	8500	主产品
5	乙酸	工业级副产品, 75% $\pm$ 5%	3000	副产物(如有采出)

公用工程价格见下列表格。

序号	公用工程名称	规格/参数	单价	备注
1	循环冷却水	供/回温度 32/42 $^{\circ}$ C	0.5 元/吨	冷却介质
2	低温冷却水	供/回温度 5/15 $^{\circ}$ C	3.0 元/吨	低温冷却介质
3	低压蒸汽	0.3 MPaG, 饱和蒸汽	100 元/吨	加热介质
4	中压蒸汽	0.6 MPaG, 饱和蒸汽	150 元/吨	加热介质
5	高压蒸汽	1.5 MPaG, 饱和蒸汽	250 元/吨	加热介质

6	电	380V/50Hz	0.65 元/kWh	动力用电
7	压缩空气	0.6 MPaG	0.15 元/Nm ³	反应原料（空气）

2、约束条件

优化过程需满足以下约束：

序号	约束类别	约束内容
1	产品质量	丙烯酸产品纯度 $\geq 99.5\text{wt}\%$
2	产品产量	丙烯酸年产量 10 万吨（上下浮动 20%以内，年运行 8000 小时）
3	设备约束	各设备操作参数合理，反应器转化率、精馏塔回收率、塔顶塔釜产品纯度、萃取塔萃取率合理
4	优化步长	考虑操作优化对实际生产的扰动，合理设置优化步长，避免优化结果引起装置生产的大幅波动，保证优化可执行性
5	模型收敛	全流程模型必须收敛

3、可优化变量清单

以下为参考调整的优化变量，各队伍可根据模型情况选取或新增：

（1）反应器操作参数

序号	优化变量	典型范围	优化方向说明
1	第一反应器温度	300~380℃	影响转化率、选择性、反应器热负荷
2	第二反应器温度	250~320℃	

（2）分离设备操作参数

序号	优化变量	说明
1	精馏塔回流比、进料比	影响分离效果和能耗
2	精馏塔进料温度	影响塔内汽液分布和能耗
3	急冷塔吸收剂流量	影响丙烯酸吸收率
4	萃取剂（甲苯）用量	影响萃取效率和溶剂回收能耗
5	萃取塔操作温度	影响分配系数和萃取效果

三、提交材料要求

各队伍需提交以下材料：

序号	材料名称	要求	份数
1	决赛 APEX 模型文件 (.apex)	经工艺完善，具有操作优化配置的模型（含优化变量、目标函数、约束等）	1
2	决赛技术报告 (PDF)	列举各完善项，说明具体修改内容、原因，以及全流程简介；优化方案介绍（目标函数设置、优化变量选取原由、约束条件设置、优化结果汇总、优化前后对比等）	1
3	.x、.xlsx 元变量列表	优化计算前、后的模型数据元变量列表	2
4	答辩汇报材料 (PPT)	工艺流程、热量耦合方案与循环回用方案、关键设备结构和操作参数、优化方案介绍等	1

四、注意事项

1. 不得修改核心工艺路线（两步氧化法合成丙烯酸），允许增加换热器、调整设备参数、修改操作条件等。
2. 效益优化阶段为模拟实际生产过程，因此不得对模型工艺路线、设备结构参数等进行改动，同时需考虑上述因素对优化过程的约束。
3. 所有价格数据以本任务书给定为准，不得自行调整。
4. 优化结果须可复现，确保提交的.x、.xlsx 元变量列表导入运行后与提交模型一致，评委将在 APEX 平台上打开提交的.apex 文件进行验证。
5. 优化模型须在"优化"运行模式下收敛，并在元变量列表中可查看目标函数值及优化变量值。