

附件 2:

“中控杯”智能制造挑战赛

赛题 3 “流程工业机理建模与模拟”决赛评分实施细则

决赛评分总分为 100 分，分为三个部分：模型完善（30 分）、效益优化（40 分）、技术报告与答辩（30 分）。其中，第一部分（模型完善）和第二部分（效益优化）由主办方在 APEX 平台上核查评分；第三部分（技术报告与答辩）中答辩部分由现场评委评分。以下为各部分评分实施细则。

一、模型完善（30 分）

本部分考察参赛队伍对初赛模型的诊断与完善情况。各队伍需根据初赛及决赛任务书要求、工艺原理，针对初赛成果完成反应器模型升级、分离设备参数调整、热量回收与物料回用建立，使模型在物料、热量平衡及工程合理性方面更接近实际工业生产过程。

1、反应器（5 分）

1.1 反应模型（3 分）

（1）所有主、副反应均采用动力学模型，3 分

（2）主反应为动力学模型，副反应采用化学计量、产率反应器等简单模型，1 分

（3）部分主反应为动力学模型，副反应采用化学计量、产率反应器等简单模型，0.5 分

（4）所有反应均使用化学计量等其他简单反应器，0 分

1.2 反应器管束（1 分）

（1）选用标准换热管，GB/T 151 公制系列或 ASME 英制系列，1 分

（2）选用 $\Phi 38$ 、1.5 英寸以上规格换热管，但未对传热阻力、浓度分布不均、床层热点问题进行分析说明，0.5 分

（3）采用自定义非标换热管且无工程说明，0 分

1.3 出口组成合理性（1 分）

反应器转化率、选择性合理（满足初赛任务书要求），1 分

2、分离设备（5 分）

2.1 精馏塔回收率（4 分）

（1）各精馏塔主产品回收率均 $\geq 95\%$ ，4 分

（2）个别塔（1~2 个）主产品回收率 $90\% \sim 95\%$ ，3 分

（3）多个塔（ ≥ 3 个）主产品回收率 $90\% \sim 95\%$ ，1 分

（4）多个塔（ ≥ 3 个）主产品回收率 $< 90\%$ 或分割不清晰，0 分

2.2 萃取塔操作参数（1 分）

萃取率合理（ $\geq 95\%$ ），萃取剂用量适当，1 分

3、热量回收与耦合（6 分）

模型内每项有效的热量耦合得 2 分，最高不超过 6 分

4、物料循环利用（6 分）

模型内每条有效的循环流股得 2 分，最高不超过 6 分

5、模型收敛性（8 分）

（1）全流程运行收敛，无错误、无警告（不含初始化警告），8 分

- (2) 模型收敛但有警告或错误，5 分
- (3) 初始化通过，模型不收敛，2 分
- (4) 初始化不通过，模型不收敛，0 分

6、模型扣分项

- (1) 产量低于 8 万吨/年或高于 12 万吨/年，-2 分
- (2) 主产品纯度低于 99.5%但高于 95%，-1 分；低于 95%，-2 分
- (3) 副产品纯度低于 70%，-1 分
- (4) 采用不适用于本工艺的物性方法，-2 分
- (5) 轻气体溶质未被指定为亨利组分，-1 分；指定错误、不合适，-0.5 分
- (6) 流体输送未设置泵、压缩机等增压模块，直接从低压设备送入高压设备，-1 分/处，最多不超过 5 分
- (7) 设备压降不合理或未设置，-1 分/处，最多不超过 5 分
- (8) 后处理温度过高，未考虑丙烯酸自聚，-1 分/处，最多不超过 3 分
- (9) 反应器至急冷塔管线低于 110℃导致丙烯酸冷凝，-1 分
- (10) 模型迭代次数超过 400 次，-0.5 分
- (11) 其他不合理设置，视情况酌情扣分，本章节总扣分最多不超过 10 分

二、效益优化（40 分）

本部分考察参赛队伍利用模型对处于生产运行状态的装置进行操作优化实现效益提升的应用情况。各队伍需构建包含产品收入、原料成本与公用工程消耗的经济效益目标函数，选取关键操作参数为优化变量并设置合理约束，模拟实际生产过程，在不改变流程与设备结构参数的前提下寻求最优操作方案，实现经济效益最大化。

1、优化模型运行与收敛（25 分）

1.1 运行收敛（25 分）

（1）收敛要求（10 分）

“优化”模式下全流程运行收敛，无警告或错误，目标函数页面有“函数变化值”结果，10 分；有警告或错误扣 2 分，无函数变化值结果扣 8 分。

（2）优化变量数量要求（6 分）

优化变量 ≥ 5 个（“模型应用”-“规定变更”或“优化”页面），且在优化模式运行时同时开启，并至少覆盖反应、吸收、萃取、萃取剂回收、脱轻组分、脱重组分等多个工艺单元中的四个，6 分；每缺少或未开启一个工艺单元扣 2 分，每缺少或未开启一个优化变量扣 1 分，最多不超过 6 分。

（3）约束条件数量（5 分）

除对优化变量的约束外，流程的工艺指标（转化率、选择性、塔温、纯度、回收率等）都应有约束条件，每缺少一个约束条件扣 1 分，最多不超过 5 分。

（4）约束条件设置（4 分）

以下列举各类约束条件的建议设置方法。

（a）反应器模块温度设置不超过任务书要求的典型温度范围，步长限不大于 3°C

（b）精馏塔回流比上限通常为 2 倍最小回流比，步长限不大于其自身数值的 10%

（c）精馏塔塔顶、塔底或侧线采出流量步长限不大于其自身数值的 5%；进料比步长限不大于其自身数值的 10%，进料温度步长限不大于 3°C

（d）萃取塔操作溶剂比通常不高于最小溶剂比的 2 倍，萃取剂用量步长限不大于其自身数值的 5%，操作温度步长限不大于 3°C

（e）吸收塔操作液气比通常不超过最小液气比的 2 倍，吸收剂用量步长限不大于其自身数值的 5%，操作温度步长限不大于 3°C

以上及其他未列举出的约束条件不合理，每处扣 1 分，最多不超过 4 分。

1.2 运行不收敛（8 分）

（1）优化变量数量要求（3 分）

优化变量 ≥ 5 个且在“模型应用”-“规定变更”或“优化”页面同时开启，至少覆盖反应、吸收、萃取、萃取剂回收、脱轻组分、脱重组分等多个工艺单元中的四个，3分；每缺少或未开启一个工艺单元扣2分，每缺少或未开启一个优化变量扣1分，最多不超过3分

(2) 约束条件数量 (3分)

除对优化变量的约束外，流程的工艺指标（转化率、选择性、塔温、纯度、回收率等）都应有约束条件，每缺少一个约束条件扣1分，最多不超过3分

(3) 约束条件设置 (2分)

以下列举各类约束条件的建议设置方法。

(a) 反应器模块温度设置不超过任务书要求的典型温度范围，步长限不大于 3°C

(b) 精馏塔回流比上限通常为2倍最小回流比，步长限不大于其自身数值的10%

(c) 精馏塔塔顶、塔底或侧线采出流量步长限不大于其自身数值的5%；进料比步长限不大于其自身数值的10%，进料温度步长限不大于 1°C

(d) 萃取塔操作溶剂比通常不高于最小溶剂比的2倍，萃取剂用量步长限不大于其自身数值的5%，操作温度步长限不大于 1°C

(e) 吸收塔操作液气比通常不超过最小液气比的2倍，吸收剂用量步长限不大于其自身数值的5%，操作温度步长限不大于 1°C

以上及其他未列举出的约束条件不合理，每处扣 1 分，最多不超过 2 分。

2、目标函数构建（7 分）

2.1 目标函数完整性（5 分）

（1）目标函数包括销售收入（含主副产品、副产蒸汽等）、原料成本、公用工程成本三大模块，所有经济效益相关的收入和成本都应统计在内，特别是各设备的公用工程成本，5 分

（2）收入或成本每处遗漏项扣 1 分，最多不超过 5 分

2.2 目标函数准确性（2 分）

（1）所有原料、公用工程、产品的规格、价格均按任务书给定，无擅自修改，2 分

（2）每处规格、价格错误扣 0.5 分，最多不超过 2 分

3、优化结果（8 分）

3.1 经济效益提升幅度（3 分）

以完善后模型的经济效益为基准，计算优化后经济效益的提升幅度。

经济效益提升幅度	得分	说明
提升 $>1\%$	3 分	优化效果显著
$0.5\% < \text{提升} \leq 1\%$	2 分	优化效果良好
$0\% < \text{提升} \leq 0.5\%$	1 分	优化效果较好
提升 ≤ 0	0 分	负优化

注：经济效益提升幅度 = 目标函数变化值/优化前经济效益 × 100%。

目标函数变化值核查方法：运行模式调整至“模拟”，依次点击初始化、运行；运行模式调整至“优化”，点击运行，查看模型应用界面的目标函数计算结果。

3.2 产品达标与工艺合理性（5分）

模型收敛得5分，不收敛则不得分。

具体考核细节见模型完善章节的模型扣分项（最多扣5分，不与模型完善部分重复扣分）。

三、技术报告与答辩（30分）

1、技术报告（10分）

1.1 模型完善说明（3分）

（1）有模型完善方案简介、具体修改内容、修改原因及实施结果，条理清晰，3分

（2）有模型完善方案简介、修改说明但不够详细，1分

（3）无方案简介、修改说明或说明与模型较多不符（≥3处），0分

1.2 优化方案说明（5分）

（1）清晰阐述经济效益目标函数的构建方法、优化变量选取依据及约束条件设置，2分

（2）提供完整的优化前后经济效益汇总表（产品收入、原料成本、公用工程成本），1分

(3) 对优化结果的合理性进行了分析（参数合理性、物料平衡、热量平衡等），讨论充分，2分

1.3 报告规范性（2分）

(1) 报告结构完整、逻辑清晰、行文流畅，表述规范严谨，1分

(2) 所有图表有编号和标题，APEX截图完整清晰，流程图、数据表齐全，0.5分

(3) 格式统一规范（字体、字号、页边距等），经济数据保留到小数点后2位，无错别字，0.5分

(4) 报告中的其他不规范每项扣0.5分，最多不超过2分

2、模型演示与答辩（20分）

演示与答辩评分明细表

评分维度	详细评分点	得分
模型演示	PFD布局清晰、设备排布合理、流股走向一目了然，关键设备名称、循环流股和热量耦合标注明确，2分	
	工艺介绍条理清晰、重点突出，1分	
汇报材料质量	PPT内容逻辑清晰，层次分明，能完整展示"模型完善→效益优化→结果分析"等内容，2分	
	图表清晰规范，信息表达准确，1分	
	陈述条理清晰、逻辑严密，专业术语使用准	

陈述表达	确，能准确阐述工艺技术路线、热量耦合方案与循环回用方案、关键设备结构和操作参数、相比初赛的完善项、优化策略及结果等，3 分	
	陈述时间把控合理，节奏得当，1 分	
问答环节	回答问题专业、有深度，能提供反应动力学、热力学等领域的定量分析或数据支撑，有扎实的化工专业功底，7 分	
团队协作	团队分工明确，陈述环节衔接自然流畅，各成员均能有效参与专业讨论，整体表现协调统一，1 分	
	各成员能准确回答各自分工领域的问题，体现全员对工艺方案的深入理解，团队整体专业素养高，2 分	