

SUPCON

中控APEX平台使用手册

—— 让工业更智能，让客户更成功 ——

股票代码：688777.SH | SUPCON.SW

CONTENTS —

01	软件介绍	07	单元模块简介	13	分析模块	19	模型应用
02	软件访问	08	传热模块	14	结果应用	20	灵敏度分析
03	用户界面	09	精馏塔	15	子流程和执行域	21	变量连接
04	软件建模综述	10	萃取塔	16	EO模型及变量	22	优化
05	物性方法	11	反应器	17	模型构建	23	求解信息
06	热力学工具	12	打通循环	18	组分组		





01 | 软件介绍

学习目标



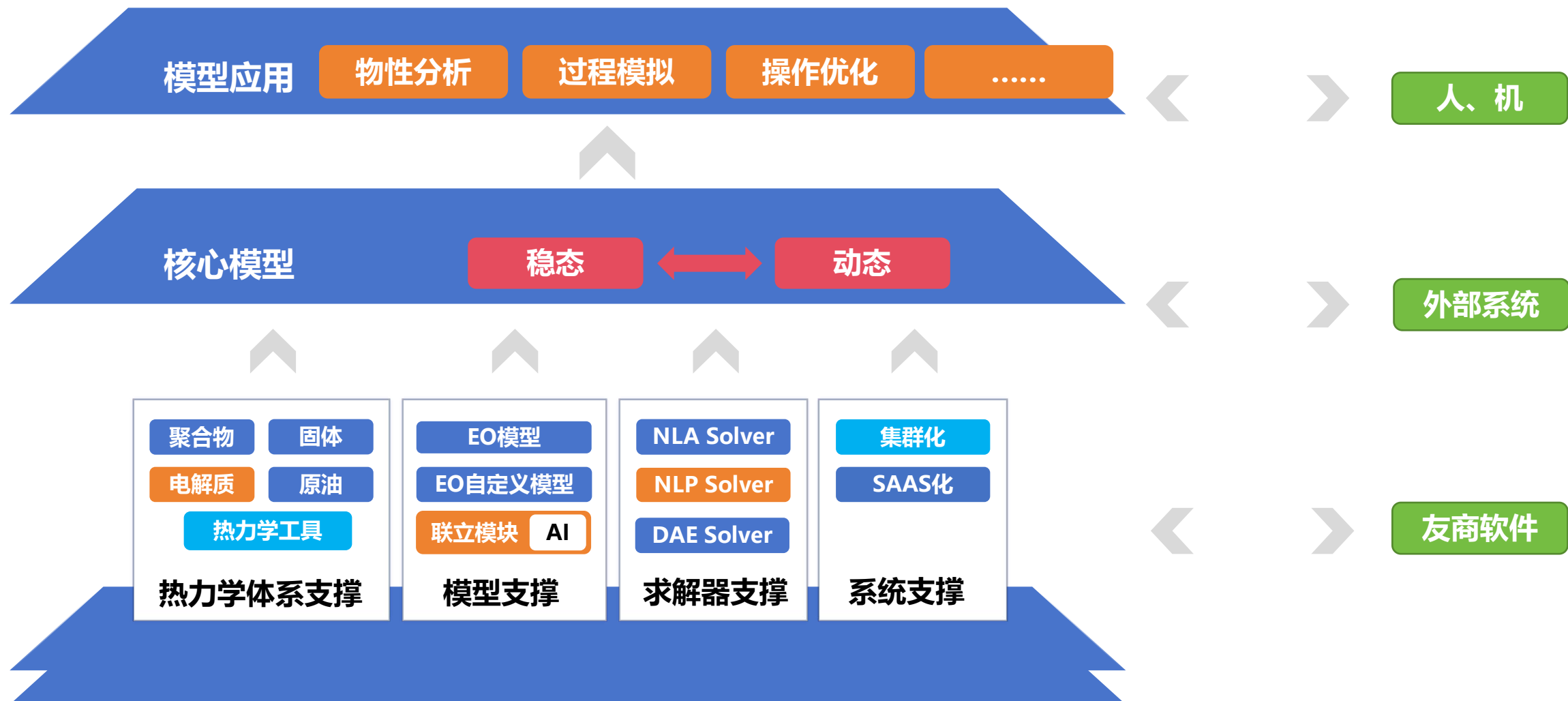
- **目标：**
 - 了解中控APEX平台
- **内容：**
 - 中控APEX平台总体介绍

软件介绍



中控APEX平台是一款通用流程模拟软件，它通过**将实际的流程工业运行过程转化为数学模型**，进行物性计算和工艺流程模拟，回答“如果-那么”的问题，起到过程模拟与预测的作用，从而为工艺研发、工程设计、生产运行、装置改造等提供指导，实现安全生产、降本增效的目的。

软件介绍-APEX架构



软件介绍-基础物性库

常规组分

聚合物（链段）

原油

固体

电解质

亨利系数

二元交互参数

参数回归

自由水

自定义组分

- 12000种纯物质，99项常数、20种温度相关性质
- 6.3万对二元交互作用参数
- 支持自定义组分
- 5000对亨利系数
- 支持数据回归、参数化、参数估算等

用户需求

补充
修正

基础物性

软件介绍-热力学方法

现有热力学方法 44种

COSMO-UNIFAC	NRTL-SRK	RKS-TWU	WILSON-PR
ELECNRTL	PC-SAFT	SRK	WILSON-RK
IDEAL	PITZER	SRK_BM	WILSON-RKS
IF95	POLYFH	SRK_TWU	WILSON-SRK
IF97	POLYNRTL	UNIQUAC	BWRS
IFC67	PR	UNIQUAC-HOC	GRAYSON
MXBONNEL	PR78	UNIQUAC-PR	POLYSL
NRTL	PR_BM	UNIQUAC-RK	SR-POLAR
NRTL-HOC	PR_TWU	UNIQUAC-RKS	NRTL-RKS
NRTL-PR	RK	UNIQUAC-SRK	RK-SOAVE
NRTL-RK	RKS-BM	WILSON	WILSON-HOC

基础性

每种方法包含

- 6种气液相热力学性质
- 3种传递性质

基本满足常规装置模拟所需

覆盖行业

- 支持溶解参数计算，满足气液污水、气液自由水三相计算
- 支持虚拟组分热力学性质计算，支持石化行业装置模拟
- 支持非常规燃烧焓、生成焓等，支持气化炉模拟

详细热力学、传递性质

物性	方法	路径配置
☐ 纯物质逸度系数		
▶ 气相纯物质逸度系数	PHIV_IDEAL	编辑
▶ 液相纯物质逸度系数	PHIL_IDEAL	M_PHIV_IDEAL
☐ 混合物逸度系数		
☐ 纯物质摩尔焓		
☐ 混合物摩尔焓		
☐ 纯物质摩尔吉布斯自由能		
☐ 混合物摩尔吉布斯自由能		
☐ 纯物质摩尔焓		
☐ 混合物摩尔焓		
☐ 纯物质摩尔体积		
☐ 混合物摩尔体积		
☐ 纯物质黏度		
☐ 混合物黏度		
☐ 纯物质导热系数		
☐ 混合物导热系数		
☐ 纯物质表面张力		
☐ 混合物表面张力		
☐ 二元扩散系数		
☐ 混合物扩散系数		

已支持44种热力学方法，涵盖炼油化工高分子等行业

注：数据统计截止至2026.3月

软件介绍-单元模型库

模块类别	APEX	模块类别	APEX	
源/流	物料源	塔	筒捷塔	
	油品源		精馏塔	
	热源		萃取塔	
混合器/分流器	混合器	换热器	加热器	
	分流器		换热器	
	热流混合器		多流股换热器	
分离器	三相闪蒸罐		操纵器	热通量换热器
	两相闪蒸罐	倍增器		
	液液分离器	分析模块		
	组分分离器	测量模块		
反应器	计量反应器	压力变送设备		计算器
	产率反应器			复制模块
	平衡反应器			流股转化器
	吉布斯反应器			子流程模块
	全混流反应器			泵
	平推流反应器			压缩/透平机
	电解槽反应器		阀门	
用户模型	USER模块			

多行业覆盖

- 单元模型库**基本覆盖**化工行业模拟
- 具备炼油精馏塔，支持**油气、石化**行业装置模拟
- 单元模块支持聚合物计算，满足**高分子**行业模拟
- 单元模块支持常规固体和非常规固体计算，支持**煤化工**行业模拟

严格的、基于机理的设备模型确保模型准确性

软件介绍-支持的体系

常规体系

- 两相、三相闪蒸算法，包括缺相特殊处理
- 常规反应动力学算法，包括：PowerLaw、LHHW、平衡反应模型
- 含盐精馏收敛算法
- 非理想体系、共沸体系精馏算法及稳定性
- 高度非理想体系闪蒸迭代过程相态判断稳定性

电解质体系

- 含离子物性数据库扩充
- ELECNRTL、PITZER热力学算法
- 电解质反应模型
- 电解质闪蒸收敛算法
- 化学平衡处理

原油体系

- 原油表征算法
- 曲线拟合及物性计算与通用流程模拟软件精度对标
- 集总组分与常规组分映射算法
- 原油进料在线自动更新
- 蒸馏曲线反算

聚合物体系

- 链扰动统计缔合流体理论状态方程法，基于Flory-Huggins似晶格理论的活度系数法，处理聚合物长链大分子
- 聚合物气液两相闪蒸、气-水相-油相-聚合物颗粒的多相闪蒸算法
- 配位聚合、自由基聚合、乳液聚合、逐步聚合、离子聚合反应动力学算法

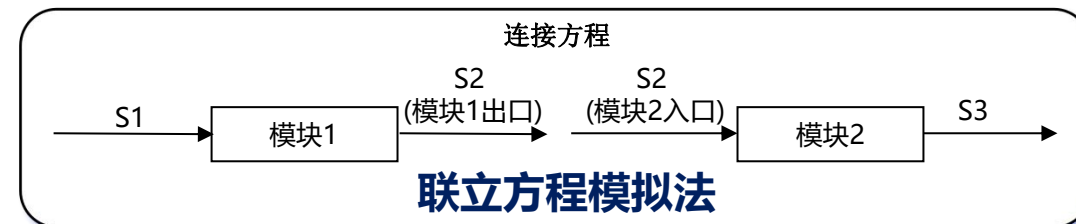
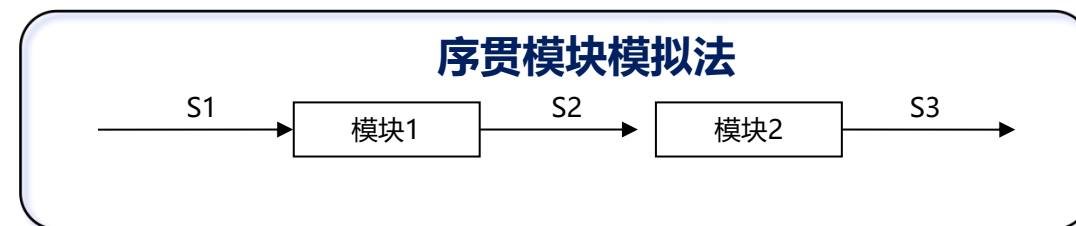
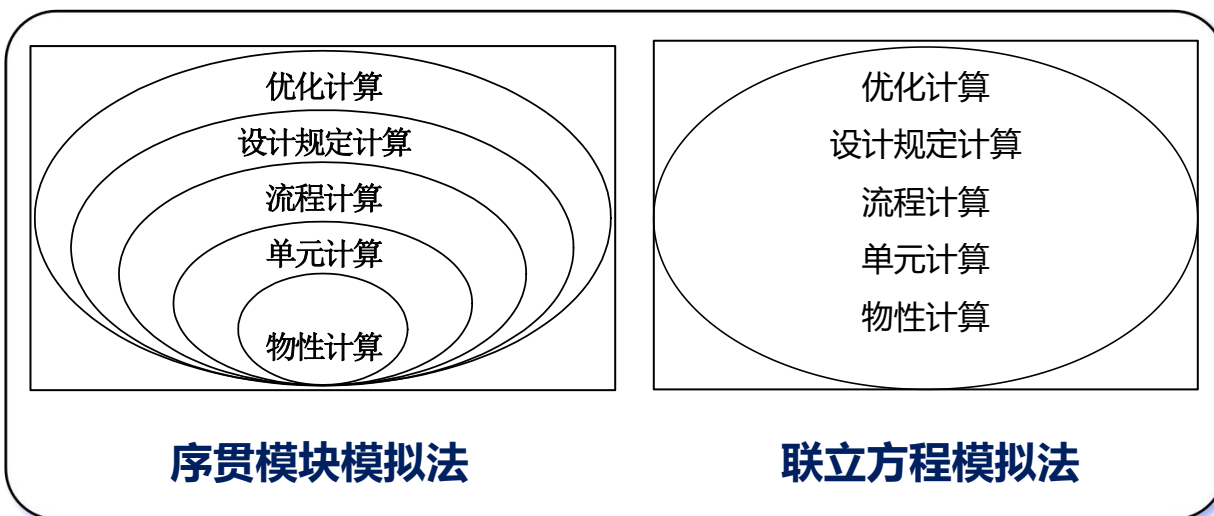
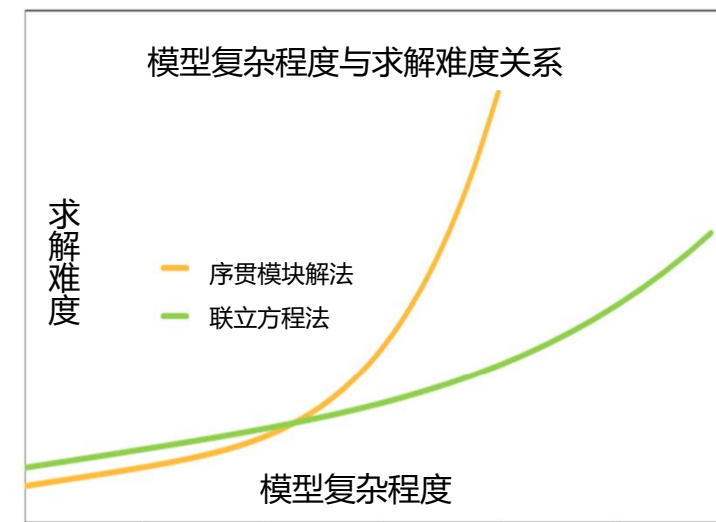
固体体系

- 固体表征算法
- 固体反应动力学算法，包括未反应核收缩模型
- 含固体的反应器模型构建

常规、复杂体系模拟算法，覆盖多行业流程模拟应用

模型构建与求解技术

	序贯模块(SM)	联立方程(EQ)
求解策略	模块按顺序求解	无顺序、整体求解
循环处理	增加迭代嵌套	未增加迭代嵌套
求解难度	随模型复杂程度指数级上升	受模型复杂程度影响较小
设计规定	增加嵌套迭代 (一对一, 与实际不符)	自变量/因变量 (多对多, 与实际一致)
优化过程	低自由度、小范围尝试	高自由度、全局协调优化
应用场景	单一, 模拟与小范围优化	丰富, 可实现多种应用场景





02 | 软件访问

软件访问

中控APEX平台提供给用户两种访问模式

● 线上访问 (apextrial.supcon.com:8080)

使用联网计算机或电脑通过线上访问网址即可使用（推荐使用**谷歌浏览器**），**无需下载安装**，软件版本随中控服务器版本更新而更新，模型文件缓存在中控技术服务器上。

● 本地访问 (10.6.100.240:8080)

将软件安装在本地电子计算机上，通过浏览器或者客户端进行访问APEX软件（推荐使用**浏览器**），软件版本以用户安装版本为准，模型文件缓存在本地服务器上。

◆ 浏览器

支持谷歌浏览器、360浏览器、Edge浏览器等大多数主流浏览器


◆ 客户端

通过安装的应用程序直接访问，功能与本地浏览器访问完全一致

中控APEX平台在**Windows系统**、**Linux系统**及**Mac系统**上均可以正常运行

注册账号

- ◆ 用户名（必填）：用户自定义，仅支持英文、数字
- ◆ 密码（必填）：用户自定义，仅支持英文、数字，最少6位
- ◆ 确认密码（必填）：同密码
- ◆ 真实姓名（必填）：输入您的真实姓名
- ◆ 手机号（必填）：输入您的手机号码
- ◆ 公司名称（必填）：输入您的所属公司、单位
- ◆ 职务：输入您的职务
- ◆ 所在行业/装置：输入您所在行业或者装置。
- ◆ 应用场景：输入您使用软件的场景
- ◆ 邮箱（必填）：输入您的注册邮箱
- ◆ 邮箱验证码（必填）：点击发送验证码后，输入注册邮箱收到的验证码（来自shark@supcon.com）



中控APEX平台

请完成软件授权

注册

用户名

密码

确认密码

真实姓名

手机号

公司名称

职务

所在行业/装置

应用场景

邮箱

邮箱验证码 [发送验证码](#)

已阅读并同意《免责声明》

[注册](#)

[旧版入口](#) [已有账号, 去登录](#)

账号使用

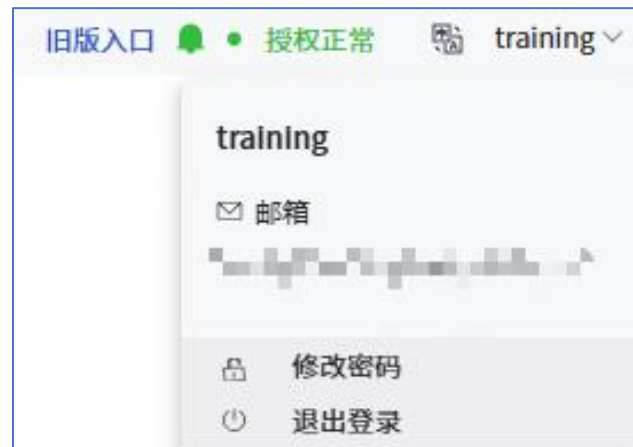
登录使用

- 注册成功后软件会自动跳转至登录界面
- 输入账号密码点击登录可进入软件开始使用



账号信息

- 软件界面右上角显示当前登录账号的信息
- 点击修改密码可以对密码进行更改



用户反馈与积分兑换

- **用户反馈**

为更高效、系统地解决软件使用中的问题
可在反馈系统中提出软件bug与需求建议

- **提交反馈**

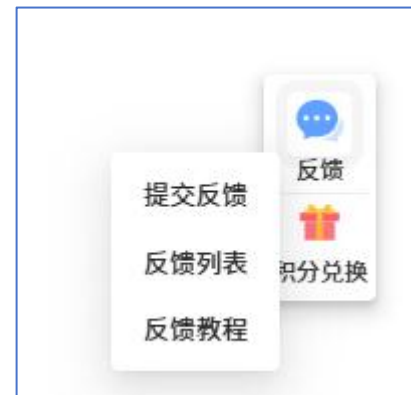
提出软件使用中需要咨询的问题、发现的bug、优化建议

- **反馈列表**

展示本账号所提出的反馈问题

- **反馈教程**

帮助用户如何高效反馈问题



软件界面右上角

用户反馈与积分兑换

1、选择问题类型

——问题分类越确切，越有利于问题的解决

- 产品建议
 - 不属于产品bug但功能不够完善
 - 实现某功能有更为简便的方式
- 功能缺陷
 - 影响正常使用的问题
 - 不影响正常使用但严重降低工作效率的问题
 - 模型计算结果错误
- 其他
 - 无法判断是上述何种问题
 - 其他不属于建议或缺陷的问题

The screenshot shows a '提交反馈' (Submit Feedback) form. At the top, there are tabs for '提交反馈' (Submit Feedback) and '反馈列表' (Feedback List). The form is divided into several sections:

- 问题反馈** (Feedback): A blue button labeled '反馈列表' (Feedback List) is in the top right.
- 问题类型** (Problem Type): Three selectable boxes: '产品建议' (Product Suggestion) with the prompt '请输入您对软件的改进建议或体验类问题'; '功能缺陷' (Function Defect) with the prompt '请输入您在使用软件过程中遇到的阻断或影响正常使用的缺陷类问题' (selected with a blue checkmark); and '其他' (Other) with the prompt '请输入您的其他意见'.
- 级别** (Level): A dropdown menu currently set to '3-次要' (3-Minor).
- 所属模块** (Module): A dropdown menu labeled '请选择模块' (Please select a module).
- 标题** (Title): A text input field with the placeholder '请输入标题' (Please enter title).
- 内容** (Content): A rich text editor with a toolbar containing options for H1, H2, H3, Bold (B), Italic (I), Underline, Bulleted List, Numbered List, Indent, Undo, Redo, and Full Screen. The content area has three placeholder lines: '【步骤】' (Steps), '【期望】' (Expectations), and '【改进建议】' (Improvement Suggestions).
- 附件** (Attachments): A button labeled '导入' (Import) and a blue '提交' (Submit) button at the bottom.

用户反馈与积分兑换

2、选择问题级别

——问题级别越确切，越有利于问题的解决

严重阻塞，期望立即解决

5级

一般阻塞，有替代方案，
仍期望立即解决

4级

一般阻塞，有替代方案，
无需立即解决

3级

不阻塞，但影响软件使用效率

2级

不阻塞，但影响界面美观等问题

1级

提交反馈

提交反馈 反馈列表

问题反馈 反馈列表

问题类型

- 产品建议
请输入您对软件的改进建议或体验类问题
- 功能缺陷
请输入您在使用软件过程中遇到的阻断或影响正常使用的缺陷类问题
- 其他
请输入您的其他意见

级别 3-次要

所属模块 请选择模块

标题 请输入标题

内容

H1 H2 H3 **B** *I* U

- ☰
- ☰
- ☰

 ↶ ↷ ↺

【步骤】

【期望】

【改进建议】

附件

用户反馈与积分兑换

3、选择所属模块

——模块类型越确切，越有利于问题的解决

- 用户界面
 - ◆ 软件流程图、表格、作图等交互界面问题
- 求解相关
 - ◆ 初值预估系统报错、结果错误
 - ◆ 模型运行计算结果错误
- 热力学
 - ◆ 闪蒸、分馏等与热力学强相关系统模拟报错或存在结果错误
 - ◆ 热力学工具计算问题
- 原油
 - ◆ 原油组分切割错误或虚拟组物性错误
 - ◆ 原油蒸馏曲线计算结果错误

提交反馈

提交反馈 反馈列表

问题反馈

问题类型

产品建议
请输入您对软件的改进建议或体验类问题

功能缺陷
请输入您在使用软件过程中遇到的阻断或影响正常使用的缺陷类问题

其他
请输入您的其他意见

级别
3-次要

所属模块
请选择模块

标题

内容

附件

导入

提交

4、问题描述

——问题描述越确切，越有利于问题的解决

- 标题
 - ◆ 准确概括问题发生的模块、时机与结果
- 内容
 - ◆ 步骤：较为准确、细致地描述出现问题的过程，**尽可能使研发人员可复现出问题**
 - ◆ 期望：用户认为的无bug时，相应过程应获得的结果
 - ◆ 改进建议：用户期望以何种方式改进该问题
- 附件：尽可能将出现问题的模型、截图导入到本反馈系统中

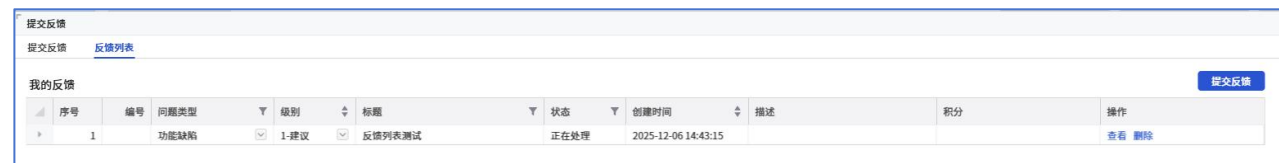
The screenshot shows a '提交反馈' (Submit Feedback) form. At the top, there are tabs for '提交反馈' and '反馈列表'. The form is divided into several sections:

- 问题反馈**: A blue button labeled '反馈列表' is located in the top right corner of this section.
- 问题类型**: Three selectable options are shown: '产品建议' (Product Suggestion), '功能缺陷' (Functionality Defect) - which is currently selected with a blue checkmark, and '其他' (Other). Each option has a corresponding text input field with placeholder text.
- 级别**: A dropdown menu currently set to '3-次要' (3-Low Priority).
- 所属模块**: A dropdown menu with the placeholder '请选择模块' (Please select a module).
- 标题**: A text input field with the placeholder '请输入标题' (Please enter a title).
- 内容**: A rich text editor area with a toolbar containing icons for bold (B), italic (I), underline, bulleted list, numbered list, link, undo, redo, and full screen. Below the toolbar are three text input fields with placeholders: '【步骤】' (Steps), '【期望】' (Expectations), and '【改进建议】' (Improvement Suggestions).
- 附件**: A button labeled '导入' (Import) with an upload icon.
- 提交**: A blue button labeled '提交' (Submit) at the bottom center.

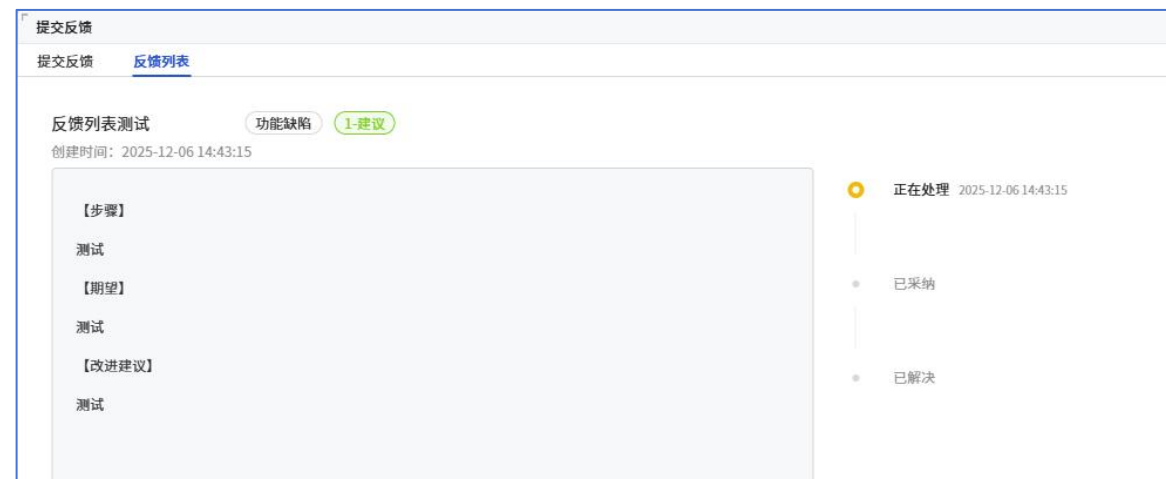
5、问题处理

——研发团队判断问题是否合理与采纳

- 点击“反馈” | “反馈列表”，可查看已提交的所有反馈
- 每个问题的编号、类型、级别、标题、当前状态、创建时间、描述以及赚取的积分等详细信息
- 问题的状态分为以下几种：
 - ◆ 正在处理：反馈正在被研发团队审查
 - ◆ 已采纳：建议或问题被认为是有价值的，并将被采用
 - ◆ 不予解决：基于某些原因，您的问题可能不会被解决
 - ◆ 已解决：问题已被成功解决
 - ◆ 提交成功：反馈已成功提交给研发团队
 - ◆ 提交异常：如果提交的反馈标题重复等问题，会标记为“提交异常”



序号	编号	问题类型	级别	标题	状态	创建时间	描述	积分	操作
1		功能缺陷	1-建议	反馈列表测试	正在处理	2025-12-06 14:43:15			查看 删除



反馈列表测试 功能缺陷 1-建议

创建时间：2025-12-06 14:43:15

【步骤】
测试

【期望】
测试

【改进建议】
测试

正在处理 2025-12-06 14:43:15

已采纳

已解决



03 | 用户界面

学习目标



- **目标：**

- 熟悉APEX用户界面。

- **内容：**

- 项目文件；
- 项目管理；
- 基础配置；
- 流程模拟

项目文件

The screenshot shows the 'Project Files' interface. On the left is a sidebar with icons for '新建' (New), '打开' (Open), '保存' (Save), '另存为' (Save As), '导入' (Import), '导出' (Export), '选项' (Options), and '关闭' (Close). The main area is titled '最近打开 (仅展示最近操作的10条数据)' and '项目列表'. Below this is a list of actions: '新建' (New Project File), '打开' (Open File), '保存/另存为' (Save/Save As) with online and local access instructions, '导入' (Import Local File), '导出' (Export to Local), '选项' (Options for file count and language), and '关闭' (Close Project File). On the right, two callout boxes labeled '授权状态' (Authorization Status) and '切换语言' (Language Switch) are connected to the top right of the interface by curved arrows. The top right corner shows '旧版入口', '授权正常', and 'training'.

授权状态

切换语言

最近打开 (仅展示最近操作的10条数据)

项目列表

新建 新建项目文件

打开 打开项目列表中的文件

保存/另存为
线上访问: 将模型文件保存/另存于中控服务器安装根目录下\DB\用户文件夹
本地访问: 将模型文件保存/另存于本地服务器安装根目录下\DB\用户文件夹

导入 导入本地文件

导出 将项目文件导出到本地

选项 项目列表展示文件数量、界面语言等默认项目配置项

关闭 关闭当前打开的项目文件

旧版入口 • 授权正常 training

暂无数据

项目文件-打开-最近

旧版入口 授权正常 training

新建

打开

保存

另存为

导入

导出

选项

关闭

最近

服务器

最近打开 (仅展示最近操作的10条数据)

项目列表

新建项目1 保存

最近操作时间:2026-03-02 13:42:38 所属文件夹:默认文件夹

按项目名称排序

按最近保存时间排序

重命名 导出 删除

打开-最近

显示最近操作的若干个项目文件

重命名、导出和删除项目

项目文件-打开-服务器

旧版入口 授权正常 training

最近 服务器

私有 公开 请输入要搜索的项目名 搜索已保存的项目文件

默认文件夹 项目列表

+ 新增 新建项目1 最近保存时间:2026-03-02 13:42:38

↓ 按项目名称排序 ↑ 按最近保存时间排序 批量移动 批量删除

移动项目 转公开

私有 可查看“私有”或“公开”保存的项目文件，使用该服务器的成员均可查看“公开”保存的项目文件

移动项目 将项目文件从当前文件夹移动到其他文件夹中管理

转公开 私有的文件，可以选择移动到其他文件夹或者转为公开

打开-服务器 展示本服务器中所保存的所有项目文件

转私有 公开的项目文件，可以选择加密或者转为私有

加密 转私有

新建 打开 保存 另存为 导入 导出 选项 关闭

项目文件-新建

新建空白项目



新建项目名称 ✕

项目文件

私有 公开

文件分组 ⤴

工艺模板

基础化工

炼油与石化

高分子材料

新能源

自定义



常减压



催化重整



催化裂化

常减压:
原油初加工的核心装置, 炼油厂的首道工序

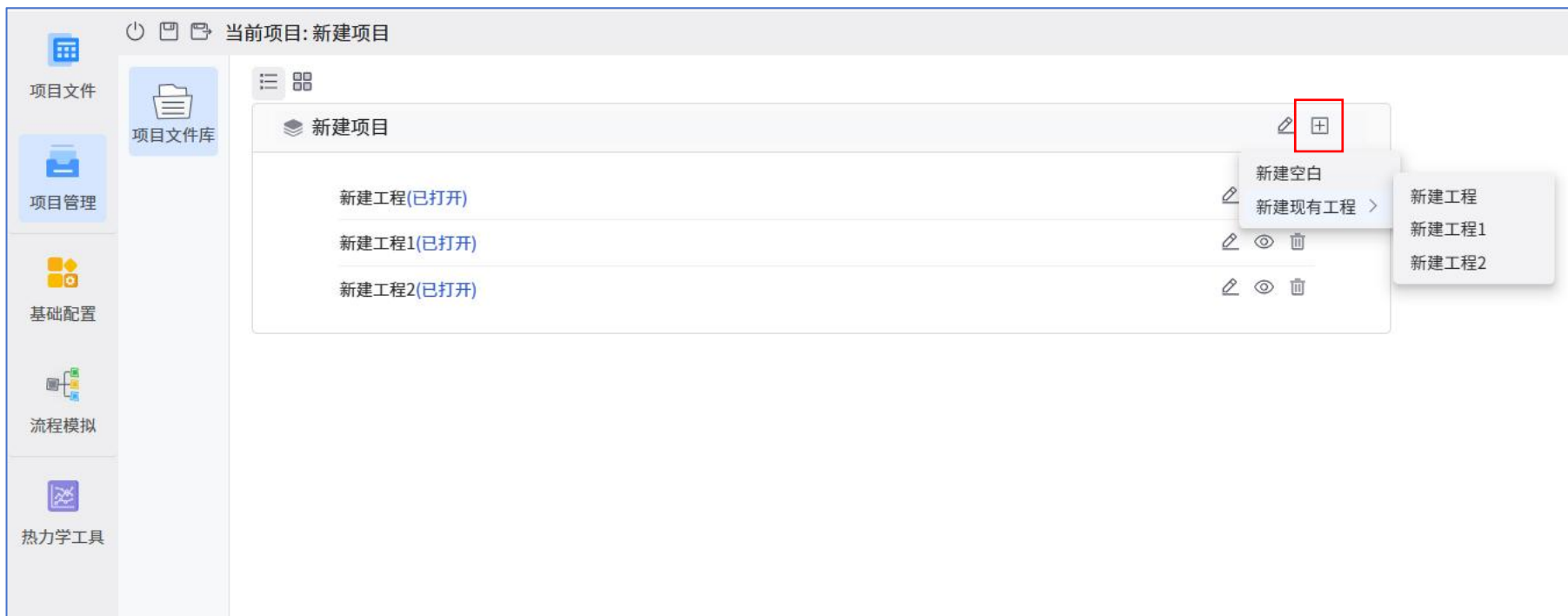
模板详细信息:
组分: 预选H2O、C1-C6
基础物性方法: MXBONNEL(默认)、SRK
物性集: TBP(5-95)、D86(5-95)
流量基准: 质量
单位: tonne/hr、MPag、C
有效相态: 气-液-自由水

备注:
创建了一个名为CRUDE的不完整油品化验数据

工艺模板描述

采用工艺模板新建项目

项目管理-项目文件库



每个“项目”下可新建多个“工程”，各“工程”共用一套“项目”基础配置：组分、物性方法、反应集、单位集等

- ◆ “新建空白” ——新建一个空白的工程
- ◆ “新建现有工程” ——以某个现有工程为模板，拷贝出一份新的工程
- ◆ 各“工程”配置、计算，互不影响

基础配置

当前项目: 新建项目10

服务器状态 ● 授权正常

项目文件

项目管理

基础配置

流程模拟

热力学工具

组分

组分列表

组分添加 组分物性 电解质向导 复制 一键重置 批量删除 重排

序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点 K	CAS号	操作

系统数据库

基础配置: 对项目的组分物性等基础组态进行配置

流程模拟: 搭建流程并求解

热力学工具: 进行物性分析、参数回归、物性估算等

基础配置

当前项目: 新建项目1 旧版入口 授权正常 training

项目文件 项目管理 基础配置 流程模拟 热力学工具

组分 组分列表 物性方法 物性集 反应 单位

点击上述图标，则软件自动定位到基础配置栏相应的功能模块

点击展开对应栏目

组分列表 组分结构 原油 亨利组分

复制 一键重置 批量删除 重排

添加组分、查看/编辑组物性

序号	组分名	类型	操作
请输入要添加的组分			

系统数据库

配置反应集

反应集1

反应配置 活性系数

反应列表(常规反应)

序号	反应名称	反应类型
请输入名称		

配置物性包、参数

物性包(默认)

物性包1

描述 请输入描述

基础算法 请选择

自由水 请选择

配置单位集、总览

公制 (默认) 继承于 公制

米制 英制 工程制

单位集1

标准 能量 传递 浓度 尺寸 价格 其它

流量	通量	质量流量	质量通量	质量流量变化量	摩尔流量	摩尔流量变化量
流量	cum/sqm-s	kg/s	kg/sqm-s	质量流量变化量	摩尔流量	kmol/s
体积流量	cum/s	体积流量变化量	cum/s			

● 基础配置包括模型涉及**组分、组分组、物性方法以及相关参数**

● 如模型涉及原油、亨利组分、聚合物、反应等也可以添加对应配置

● 对全局反应集、单位集进行配置

流程模拟

The image shows a software interface for process simulation. The main workspace is a grid where a process flow diagram is created. The interface is annotated with four blue callouts: '流程图' (Process Flow Diagram) pointing to the main workspace, '菜单栏' (Menu Bar) pointing to the top toolbar, '输出栏' (Output Bar) pointing to the bottom status bar, and '模块选择栏' (Module Selection Bar) pointing to the right-hand panel.

菜单栏 (Menu Bar): Includes '流程图' (Process Flow Diagram), '组态管理' (Configuration Management), '求解' (Solve), '插入' (Insert), and '帮助' (Help). It also contains various tool icons for zooming, panning, and viewing information.

模块选择栏 (Module Selection Bar): A vertical panel on the right titled '模块选择' (Module Selection) with sub-sections for '模块' (Module) and '该股' (Stream). It lists various process units such as '流通股源' (Stream Source), '物料源' (Material Source), '油品源' (Oil Source), '热源' (Heat Source), '传热' (Heat Transfer), '分流/混合' (Split/Mix), '简单分离' (Simple Separation), '塔体' (Tower), '压力变送' (Pressure Transmitter), '反应器' (Reactor), '其他模块' (Other Modules), and '用户模块' (User Modules).

输出栏 (Output Bar): Located at the bottom, it contains '用户操作信息' (User Operation Information) and '构模求解信息' (Modeling and Solution Information).

流程图 (Process Flow Diagram): The central workspace where the process flow is visualized on a grid.

流程模拟

The screenshot shows the main interface of a process simulation software. The top menu bar includes '流程图' (Process Flow Diagram), '组态管理' (Configuration Management), '求解' (Solve), '插入' (Insert), and '帮助' (Help). Below the menu is a toolbar with icons for '主流程图' (Main Process Flow Diagram), '适应窗口' (Fit to Window), '缩放' (Zoom), '模块库' (Module Library), '信息板' (Information Board), '视图' (View), '流程图编辑' (Process Flow Diagram Editing), '模型信息' (Model Information), and '流股结果' (Stream Results). A '自定义快速访问工具条' (Custom Quick Access Toolbar) is located on the left side of the main workspace. On the right, there is a '模块选择' (Module Selection) panel with a list of modules and their stream results.

自定义快速访问工具条

- ✓ 撤销
- ✓ 恢复
- ✓ 主流程图
- ✓ 信息板
- ✓ 初始化
- ✓ 运行
- ✓ 停止
- ✓ 元变量列表
- ✓ 导入元变量

快速访问工具条，可自行定义快速访问的功能项

流程图调整美化

流程图编辑

选择启用或禁用显示“模块名称”、“流股名称”，或显示模块是否组态完毕的“状态标记”等。

模型信息

选择启用或禁用流股“温度”、“压力”、“气相分率”和“流量”等计算结果的标注

流股结果

温度 摩尔流量
压力 质量流量
气相分率 体积流量

模块选择

模块 流股

流股源

物料源 油品源 热源

传热

分流/混合

简单分离

塔体

压力变送

反应器

其他模块

用户模块

流程模拟-添加工程

点击此处可在同一基础配置下添加多个工程

The screenshot displays the software's main interface. At the top, a toolbar contains a '+' button for adding projects, highlighted with a red box and a callout. Below the toolbar is a menu bar with options like '流程图', '组态管理', '求解', '插入', and '帮助'. A secondary toolbar includes icons for '主流程图', '适应窗口', '缩放', '模块库', '信息板', '流程图编辑', and '模型信息'. The main workspace is a grid with a '执行域' (Execution Domain) control set to '全局' (Global). A callout explains that global models can be divided into different execution domains for individual initialization and operation. A '运行条' (Run Bar) is also indicated. On the right, a '模块选择' (Module Selection) panel lists various process units like '物料源', '油品源', '热源', '传热', '分流/混合', '简单分离', '塔体', '压力变送', '反应器', '其他模块', and '用户模块'. The bottom status bar shows '用户操作信息' and '构模求解信息'.

通过建立层级模型，全局模型可分为不同的执行域，执行域可单独进行初始化以及运行操作

运行条

流程模拟-添加物料源

当前项目: 新建项目3 新建工程

旧版入口 授权正常

流程图 组态管理 求解 插入 帮助

模块名称 状态标记 温度 摩尔流量
流股名称 其他选项 压力 质量流量
气相分率 体积流量

方法2 从模块库中选中流股源|物料源, 将其拖入流程图, 或者在模块库选中物料源后单击鼠标左键, 在流程图中再次单击

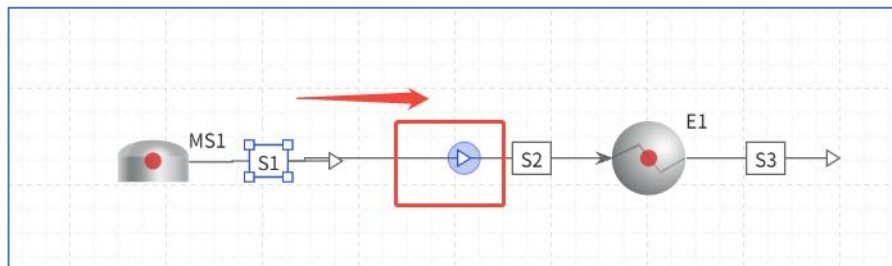
方法1 在主流程图区域单击鼠标右键, 选择添加模块|模块|流股源|物料源

模块/流股重命名:
◆ 双击模块/流股标签
◆ 右键单击模块/流股标签 |重命名

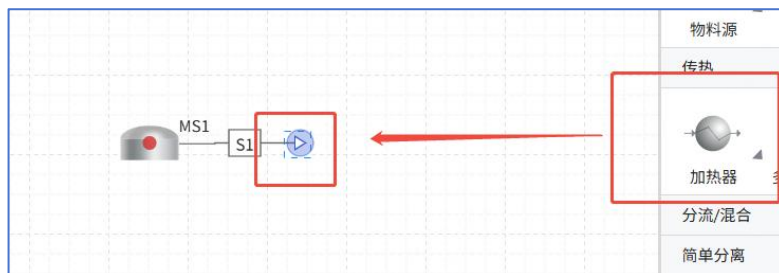
流程模拟-添加模块

添加完物料源后，将**模块库|传热|加热器**模块加入流程图。混合器模块与物料源的连接方式有以下几种：

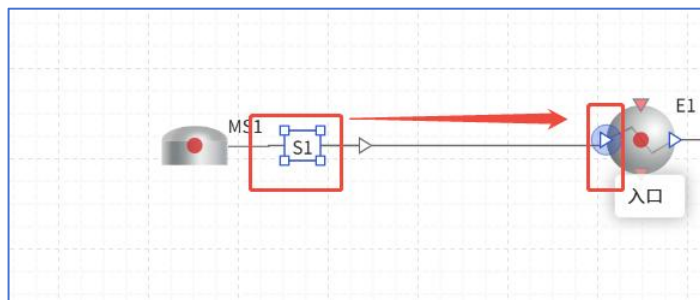
- ◆ 拖动S1的出口连接点拖至S2的入口连接点，确定保留的物流股直接连接



- ◆ 将加热器模块从模块库直接拖动至S1物流末尾的连接点，选择需要连接的入口完成连接：



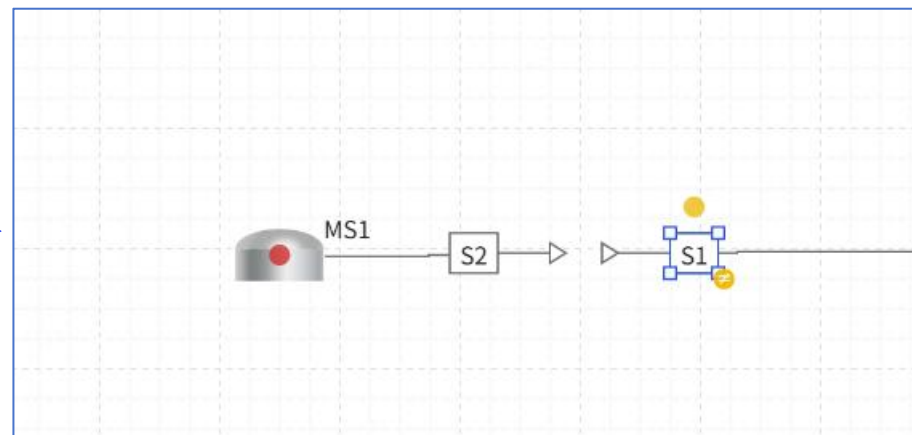
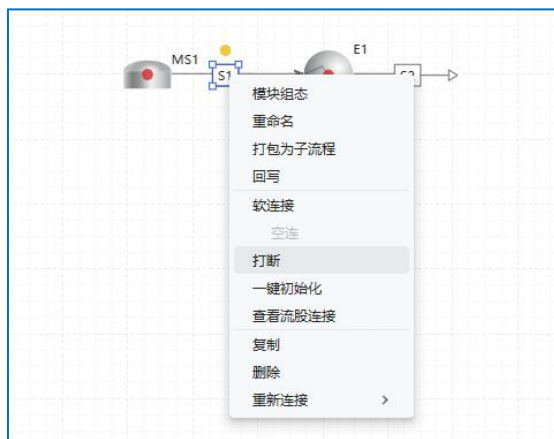
- ◆ 模块无连接物流时，可直接拖动模块连接点相连



流程模拟-流股连接

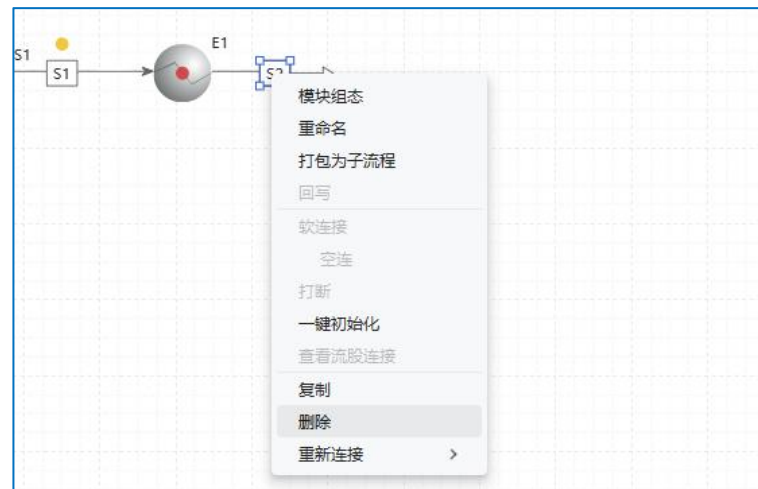
● 流股打断

- ◆ 在流股标签上单击右键|打断，连接两个单元模块的**流股**及其**连接方程**会打断，同时自动生成一条流股



● 流股删除

- ◆ 在流股标签上单击右键 | 删除 | 确认
- ◆ 选中流股后单击键盘Delete键 | 确认



流程模拟-流程图美化

- 左对齐
- 水平居中
- 右对齐
- 顶部对齐
- 垂直居中
- 底部对齐

- 上下翻转
- 左右翻转
- 顺时针90°旋转
- 逆时针90°旋转



模块放缩



模块翻转

流程模拟-流程图美化

● 模块对齐

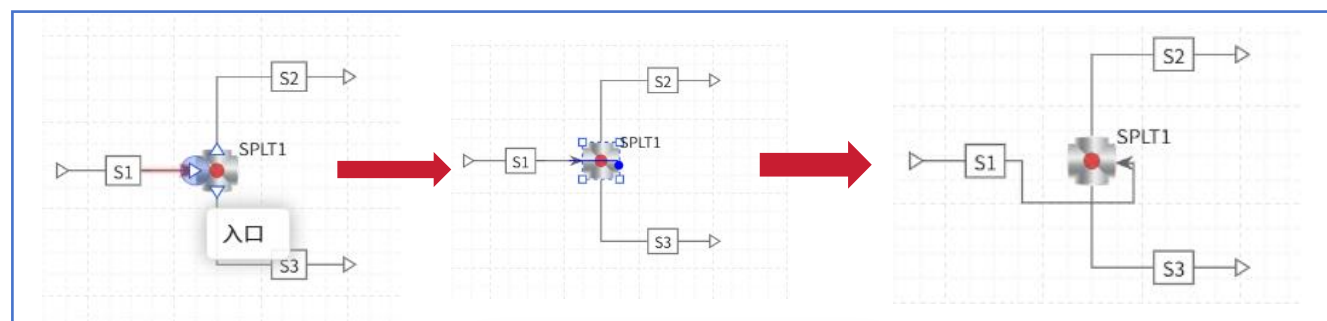
- ◆ 通过鼠标左键框选多个模块
- ◆ 点击菜单栏 | 流程图编辑中对齐功能按钮
- ◆ 完成单元模块对齐



模块对齐

● 调整连接点

- ◆ 鼠标停留连接点处，出现“入口”或“出口”指示
- ◆ 拖动**连接点**，将待调整的连接点拖至指定位置
- ◆ 待连接点变蓝，单击蓝色连接点处
- ◆ 完成连接点调整





调整连接点

流程模拟-模块组态状态

● 完整性状态

提示用户单元模块组态状态的标识，涉及基础配置、单元模块、模型应用等配置界面

- ◆ 组态不完整 
- ◆ 组态完整但有警告 , 如其他配置修改导致此处需再次确认
- ◆ 组态完整且无警告



当前项目: 新建项目2

组分

当前配置不完整 组分列表 组分结构 原油 亨利组分

组分列表

序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点 K	CAS号	操作
	请输入要添加的组分							

组分添加 组分物性 电解质向导 复制 一键重置 批量删除 重排 系统数据库

基础配置 物性方法 物性集 反应 单位

物性方法

物性集

反应

单位

当前模块组态不完整

未完成生成变量, 请执行对应初始化步骤

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 E1

基础配置 稳态

闪蒸类型 压力-温度

压力/压降 压力 请输入值 bar

温度 请输入值 C

热效率 1

该项为必填项
输入值的范围必须符合(0,1E+10]

流程模拟-模块组态状态

● 必要组态

保证模型组态完整性必须配置的信息，
在组态中有红色外框线或红色感叹号提示

● 非必要组态

高级功能或者其他影响结果的信息

- ◆ 模块管理
- ◆ 元变量功能

E1 (类型: 加热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 E1

基础配置 **稳态** 端口 描述

闪蒸类型 压力-温度

压力/压降 压力 请输入值 N/sqm

温度 请输入值 K

热效率 1

有效相态 气-液

计算压降参数 否

标红输入框为必填选项，填写后方可初始化-运行

流程模拟-流股状态显示

● 流股状态

● 表示流股为空连

● 表示流股为实连

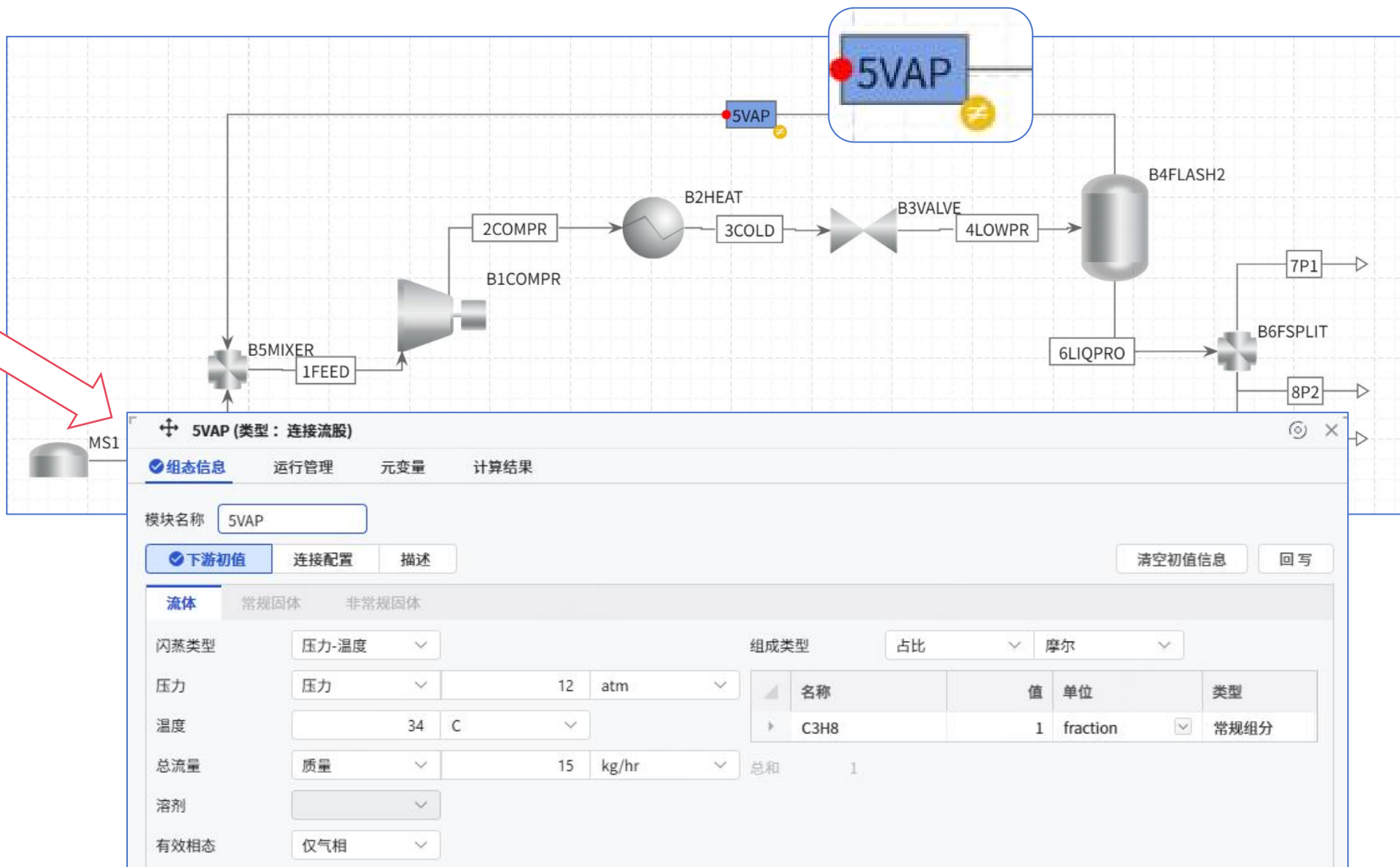
5VAP 表示流股已

输入下游初值

≠ 表示流股上下游

数值不相等，该流

股未收敛



流程模拟-信息栏

用户操作信息

【信息】2025-07-21 10:23:01 【全局】 开始一键初始化【重置式】

【信息】2025-07-21 10:23:11 【全局】 开始一键初始化【重置式】

【成功】2025-07-21 10:23:12 【全局】 一键初始化成功

构模求解信息

【信息】2025-07-21 10:23:15 Number of free variables 2250

迭代次数	残差	目标函数残差	目标函数值	迭代步长
ITER	RESVG	OBJSVG	OBJECTIVE	STEP
0	3.9065E-20	0.0000E+00	0.0000E+00	6.7971E-11

RSQP Summary

=====
 【信息】2025-07-21 10:23:15 KKT Residual 0.00000E+00
 【信息】2025-07-21 10:23:15 Problem status Converged
 【信息】2025-07-21 10:23:15 Error code 0
 【信息】2025-07-21 10:23:15 Model time(s) 0.01 25.7%
 【信息】2025-07-21 10:23:15 Solver time(s) 0.00 0.7%
 【信息】2025-07-21 10:23:15 Total time(s) 0.02
 【成功】2025-07-21 10:23:15 运行成功:Main

用户操作信息

构模求解信息

模型运行时可在信息板查看运行信息



04 | 软件建模综述

学习目标



- **目标：**

- 了解利用中控APEX平台模拟进行建模的方法和步骤。

- **内容：**

- 软件建模各功能使用方法（组分输入、物性方法选择、单位集设置、流程搭建、初始化、运行、查看结果）

单个添加组分

输入组分中文名称\分子式\英文名\CAS号并选择需要的组分


组分

组分 ✖

组分列表 组分结构 原油 ! 亨利组分

组分添加

组分物性

电解质向导

复制

一键重置

	序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点	C ∨	CAS号
▶	1	H2	常规组分 ∨	HYDROGEN	氢气	H2	-252.75		1333-74-0

◆ 中文名称搜索添加

常规组分

- 丙烷(C3 / C3H8 / 74-98-Ⓢ)
- 氯丙烷(C3H7ClO-B1 / C3Ⓢ)
- 环丙烷(C3H6 / 75-19-4 / Ⓢ)
- 八氯丙烷(C3F8 / 76-19-7Ⓢ)
- 环氧丙烷(PO / C3H6O / Ⓢ)
- 1-溴丙烷(C3H7Br / 106-Ⓢ)
- 2-溴丙烷(C3H7Br / 75-2Ⓢ)
- 溴氯氟丙烷(C2HBrClF3-IⓈ)
- 环氧氯丙烷(EPI,ECH / C3Ⓢ)
- 甲基环丙烷(C4H8-N1 / 5Ⓢ)

◆ 分子式搜索添加

常规组分

- CH4(C1 / 74-82-8 / METⓈ)
- CH4O(MeOH / 67-56-1 / Ⓢ)
- CH4S(MM / 74-93-1 / MEⓈ)
- CH4FN(36336-07-9 / MEⓈ)
- CH4O2(3031-73-0 / METⓈ)
- CH4S2(6251-26-9 / METⓈ)
- CH4N2O(57-13-6 / UREⓈ)
- CH4N2S(62-56-6 / THIOⓈ)
- CH4O3S(MSA / 75-75-2 / Ⓢ)
- CH4N2O2(127-07-1 / HYⓈ)

◆ 英文名称搜索添加

常规组分

- METHANE(C1 / CH4 / 74Ⓢ)
- METHANE-T(CH3T / 593Ⓢ)
- METHANE-D2(CH2D2 / Ⓢ)
- METHANE-D3(CHD3 / 6Ⓢ)
- METHANE-T3(CT3 / 67Ⓢ)
- METHANE-T4(CT4 / 20-CⓈ)
- DIAZOMETHANE(CH2N2Ⓢ)
- METHANE-D-T3(CDT3 / Ⓢ)
- METHANE-D3-T(CD3T / Ⓢ)
- METHANFTHIAL(CH2S / Ⓢ)

◆ CAS号搜索添加

常规组分

- 74-82-8(C1 / CH4 / METHANⓈ)
- 674-82-8(DK / C4H4O2 / DIⓈ)

没有需要的组分?
自定义新组分:74-82-8

选择组分类型

组分 物性集 组分组

组分列表 组分结构 原油 亨利组分

组分列表 组分添加 组分物性 电解质向导 复制 一键重置 批量删除 重排

序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点 C	CAS号	操作
1	PROPANE	常规组分	PROPANE	丙烷	C3H8	-42.04	74-98-6	编辑 删除 更多
2	1-BUTENE	常规组分	1-BUTENE	1-丁烯	C4H8	-6.24	106-98-9	编辑 删除 更多
3	N-BUTANE	常规组分	N-BUTANE	正丁烷	C4H10	-0.5	106-97-8	编辑 删除 更多
4	T-BUTENE	常规组分	TRANS-2-BUTENE	反-2-丁烯	C4H8	0.88	624-64-6	编辑 删除 更多
5	C-BUTENE	常规组分	CIS-2-BUTENE	顺-2-丁烯	C4H8	3.72	590-18-1	编辑 删除 更多
6	PENTANE	常规组分	N-PENTANE	正戊烷	C5H12	36.07	109-66-0	编辑 删除 更多
7	MTO_COKE	常规组分	MTO_COKE	积碳		4827		编辑 删除 更多
8	COKE	非常规组分						编辑 删除 更多
	请输入要添加的组分	<ul style="list-style-type: none"> 常规组分 虚拟组分 链段 聚合物 常规固体 非常规固体 						

点击此处可以选择组分类型：
常规组分，虚拟组分，链段，聚合物，常规固体，非常规固体

正确的组分类型决定了模拟结果的准确性、可靠性和计算效率

组分类型

类型	具体描述	典型应用
常规组分	具有明确分子式，基础物性来源于物性数据库	通用化工过程
虚拟组分	将石油混合物按沸点范围划分的非真实组分，基础物性通过Harru-Sage和Lee-kesler等关联式估算	石油炼制
链段	每个链段代表一定数量的原子或基团，缺乏链段数据时，可通过基团贡献法预测	聚合过程
聚合物	聚合物分子链简化为一系列连接的链段，通过定义链段的类型、数量等，描述聚合物的分子结构	聚合过程
常规固体	具有明确分子式，基础物性来源于物性数据库	气化炉等
非常规固体	通过组成分析等，估算热容、焓值等热力学性质	煤、生物质、废弃物

批量添加组分

组分

组分

组分列表
组分结构
原油
亨利组分

组分添加
组分物性
电解质向导
复制
一键重置
批量删除
重排

系统数据库

序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点 K	CAS号	操作
1	C6H6	常规组分	BENZENE	苯	C6H6	353.24	71-43-2	编辑 删除 更多
2	C7H8	常规组分	TOLUENE	甲苯	C7H8	383.78	108-88-3	编辑 删除 更多
请输入要添加的组分								

选择组分类型 全部 常规组分 链段 模版组分

按分子式 模糊搜索

英文名 模糊搜索

搜索

英文名	中文名	分子式	CAS号	沸点 C	相对分子质量
1-BUTENE	1-丁烯	C4H8	106-98-9	-6.24	56.1063
CIS-2-BUTENE	顺-2-丁烯	C4H8	590-18-1	3.72	56.1063
TRANS-2-BU					
CYCLOBUTAI					
ISOBUTYLEN					
2-BUTENE					
N-BUTYRALDEHYDE	正丁醛	C4H8O	123-72-8	74.8	72.1057
1,2-EPOXYBUTANE	1,2-环氧丁烷	C4H8O	106-88-7	63.424	72.1057
1,2-EPOXY-2-METH...	1,2-环氧基-2-甲...	C4H8O	558-30-5	51.5	72.1057
VINYL-ETHYL-ETHER	乙烯基乙醚	C4H8O	109-92-2	35.55	72.1057
METHYL-ETHYL-KET...	甲基乙基酮	C4H8O	78-93-3	79.64	72.1057
ISOBUTYR					

待添加组分

类型	英文名	分子式	CAS号	操作
▶ 常规组分	1,2-EPOXY-2-M...	C4H8O	558-30...	删除
▶ 常规组分	ISOBUTYLENE	C4H8	115-11...	删除
▶ 常规组分	CIS-2-BUTENE	C4H8	590-18...	删除
▶ 常规组分	1-BUTENE	C4H8	106-98...	删除

显示数: 100 总四

tips: 按住ctrl键可跨行选择组分

① 点击组分行左侧 ▶ 添加到“待添加组分区域”

② 点击 确定 完成组分批量添加

取消
确定

原油组分



组分

组分列表 组分结构 原油 亨利组分

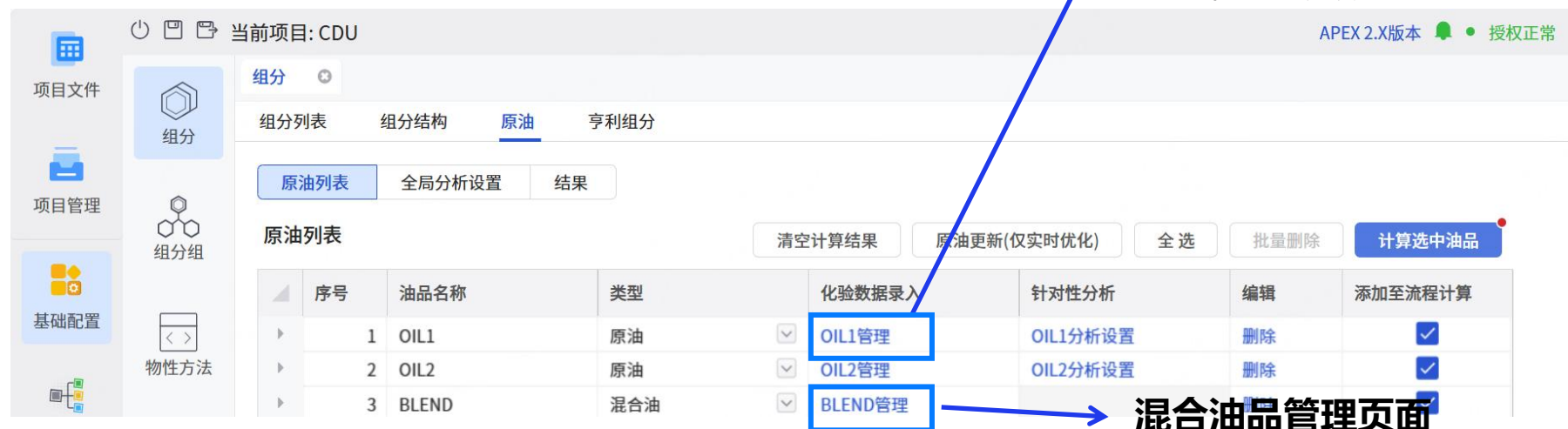
组分列表

组分添加 组分物性 电解质向导 复制 一键重置

序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点	CAS号
1	H2	常规组分	HYDROGEN	氢气	H2	-252.75	1333-74-0

单股原油管理页面

- ◆ 单股油品的化验数据录入
- ◆ 蒸馏曲线类型选择
- ◆ 轻端组分数据录入



当前项目: CDU APEX 2.X版本 授权正常

组分

组分列表 组分结构 原油 亨利组分

原油列表 全局分析设置 结果

原油列表

清空计算结果 原油更新(仅实时优化) 全选 批量删除 计算选中油品

序号	油品名称	类型	化验数据录入	针对性分析	编辑	添加至流程计算
1	OIL1	原油	OIL1管理	OIL1分析设置	删除	<input checked="" type="checkbox"/>
2	OIL2	原油	OIL2管理	OIL2分析设置	删除	<input checked="" type="checkbox"/>
3	BLEND	混合油	BLEND管理			<input checked="" type="checkbox"/>

混合油品管理页面

- ◆ 多股油品混合比例设置

组分排序

组分排序的修改会影响到单元模块以及结果中组分的排序

点击组分列表顶部“重排”按钮可按照组分名字母顺序或按照组分沸点按正序或逆序排序

组分列表 组分结构 原油 亨利组分

组分列表 组分添加 组分物性 电解质向导 复制 一键重置 批量删除 重排

序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点	C	CAS号
1	H2	常规组分	HYDROGEN	氢气	H2	-252.76		1333-74-0
2	N2	常规组分	NITROGEN	氮气	N2	-195.806		7727-37-9
3	CO	常规组分	CARBON-MONOXIDE	一氧化碳	CO	-191.45		630-08-0
4	AR	常规组分	ARGON	氩	Ar	-185.87		7440-37-1

组分名字母顺序 正序 确定

组分名字母顺序 沸点 编辑 删除 更多

选定一行后按住“ctrl (windows系统) /command (mac系统)”键并点击键盘“↑”或“↓”键，也可选定一行后点击“上移”，“下移”，实现单组分上下移动

组分列表 组分添加 组分物性 电解质向导 复制 一键重置 批量删除 重排

序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点	K	CAS号	操作
1	H2	常规组分	HYDROGEN	氢气	H2	20.39		1333-74-0	编辑 删除 更多
2	N2	常规组分	NITROGEN	氮气	N2	77.344		7727-37-9	编辑 删除 更多
3	C1	常规组分	METHANE	甲烷	CH4	111.66		74-82-8	编辑 删除 更多
4	BZ	常规组分	BENZENE	苯	C6H6	353.24		71-43-2	编辑 删除 更多
5	CH	常规组分	CYCLOHEXANE	环己烷	C6H12	353.87		110-82-7	编辑 删除 更多

组分编辑-组分重命名和删除

组分重命名

组分列表											
序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点	C	CAS号	操作		
1	PROPANE	常规组分	PROPANE	丙烷	C3H8	-42.04		74-98-6	编辑	删除	更多

双击组分名，进行重命名，重命名只修改本项目中组分名称不影响其任何物性

组分删除

组分列表											
序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点	C	CAS号	操作		
1	PROPANE	常规组分	PROPANE	丙烷	C3H8	-42.04		74-98-6	编辑	删除	更多
2	1-BUTENE	常规组分	1-BUTENE	1-丁烯	C4H8	-6.24		106-98-9	编辑	删除	更多
3	N-BUTANE	常规组分	N-BUTANE	正丁烷	C4H10	-0.5		106-97-8	编辑	删除	更多
4	T-BUTENE	常规组分	TRANS-2-BUTENE	反-2-丁烯	C4H8	0.88		624-64-6	编辑	删除	更多
5	C-BUTENE	常规组分	CIS-2-BUTENE	顺-2-丁烯	C4H8	3.72		590-18-1	编辑	删除	更多
6	PENTANE	常规组分	N-PENTANE	正戊烷	C5H12	36.07		109-66-0	编辑	删除	更多
7	C2H3N	常规组分	ACETONITRILE	乙腈	C2H3N	81.66		75-05-8	编辑	删除	更多
8	H2O	常规组分	WATER	水	H2O	100		7732-18-5	编辑	删除	更多
	请输入要添加的组分										

①批量选择组分

②执行删除

①

组分物性

点击“组分物性”可查看或修改物性和方程参数

组分列表 组分结构 原油 亨利组分

组分列表 组分添加 组分物性 电解质向导 复制 一键重置 批量删除 重排

序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点	C	CAS号	操作
1	PROPANE	常规组分	PROPANE	丙烷	C3H8	-42.04		74-98-6	编辑 删除 更多
2									编辑 删除 更多
3									编辑 删除 更多
4									编辑 删除 更多
5									编辑 删除 更多
6									编辑 删除 更多

组分物性 组分物性界面，可切换至方程参数界面

物性 方程 常压沸点

组分名	类型	MW	NBP	ACEN	TC	PC	VC	ZC	V
PROPANE	常规组分	44.09652	-42.0399	0.152291	96.68	42.48	0.2	0.276	
1-BUTENE	常规组分	56.10752		0.184495	146.35	40.2	0.241	0.278	
N-BUTANE	常规组分	58.1234		0.200164	151.97	37.96	0.255	0.274	
T-BUTENE	常规组分	56.10752		0.217592	155.45	41	0.238	0.274	
C-BUTENE	常规组分	56.10752		0.201877	162.35	42.1	0.234	0.272	
PENTANE	常规组分	72.15028		0.251506	196.55	33.7	0.313	0.27	

此处可切换物性库数据，不同的物性库的物性值有差别

组分物性

组分物性-纯物质性质计算相关方程的参数

理想气体热容

鼠标悬浮至对应物性处, 可查看中文解释

组分名	方程名称	来源	温度	性质单位	下限温度	上限温度
PROPANE	CPIGDIP_107	常规1	C	kJ/kmol-K	25	1226.85
1-BUTENE	CPIGDIP_107	常规1	C	kJ/kmol-K	-23.15	1226.85
N-BUTANE	CPIGDIP_107	常规1	C	kJ/kmol-K	25	1226.85
T-BUTENE	CPIGDIP_107	常规1	C	kJ/kmol-K	25	1226.85
C-BUTENE	CPIGDIP_107	常规1	C	kJ/kmol-K	25	1226.85
PENTANE	CPIGDIP_107	常规1	C	kJ/kmol-K	-73.15	1226.85

组分数性

组分列表										组分添加	组分数性	电解质向导	复制	一键重置	批量删除	重排	系统数据库
序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点	C	CAS号	操作								
1	N2	常规组分	NITROGEN	氮气	N2	-195.806		7727-37-9	编辑 删除 更多								
2	H2	常规组分	HYDROGEN	氢气	H2	-252.76		1333-74-0	编辑 删除 在上方插入一行								
3	CO	常规组分	CARBON-MONOXIDE	一氧化碳	CO	-191.45		630-08-0	编辑 删除 重置								

点击“一键重置”或“重置”可分别实现恢复全部组分数性到系统默认状态和指定组分数性到系统默认状态

序号	组分名	类型	英文名
1	N2		
2	H2		
3	CO		
4	AR		
5	O2		
6	CH4		
7	C2H4		
8	C2H6		
9	C2H2		
10	CO2		
11	C3H6		
12	C3H8		
13	PD		
14	MAPD		
15	MA		
16	I-BUTANE		
17	I-BUTENE		
18	1-BUTENE		
19	C4OLEF		
20	BUTADIEN		
21	N-BUTANE		
22	2-BUTENE		
23	VINYLAC		

物质详细信息

组分名	N2	分子式	N2	CAS号	7727-37-9
类型	常规组分	中文名			

物性 方程

名称	描述	值	单位	来源
MW	相对分子质量	28.01348	unitless	常规1
NBP	常压沸点	-195.806	C	常规1
ACEN	偏心因子	0.0377215	unitless	常规1
TC	临界温度	-146.95	C	常规1
PC	临界压力	3400	kPa	常规1
VC	临界体积			
ZC	临界压缩因子			
VB	常压沸点下的液相摩尔体积	0.0347	cum/kmol	常规1
SG	相对密度(比重)	0.5250974	unitless	用户
API	API度	138.0238	unitless	常规1
GFOR	理想气体生成吉布斯能	0	kJ/kmol	常规1
HFOR	理想气体生成焓	0	kJ/kmol	常规1
GSTD	标准状态生成吉布斯能	0	kJ/kmol	常规1

点击“编辑”，可查看单个组分的物质详细信息，也可进行修改

修改的组分信息，单元格将被标记为黄色

电解质向导

电解质向导的主要作用是：（1）帮助用户自动构建离子反应网络：识别水溶液中离子组分（ H^+ ， OH^- ， K^+ 等）及电离平衡；（2）生成电解质物性包：精确计算电解质的活度系数、pH值等关键参数。

[点击此处可进入电解质向导](#)

组分列表									
序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点 K	CAS号	操作	
1	KOH	常规组分	POTASSIUM-HYDROXIDE	氢氧化钾	KOH	1596	1310-58-3	编辑	删除 更多
2	H2O	常规组分	WATER	水	H2O	373.2	7732-18-5	编辑	删除 更多
3	H2	常规组分	HYDROGEN	氢气	H2	20.4	1333-74-0	编辑	删除 更多
4	O2	常规组分	OXYGEN	氧气	O2	90.2	7782-44-7	编辑	删除 更多
请输入要添加的组分									

以下为电解质向导操作步骤：

◆ 步骤一：选择化学反应数据库和参考态

◆ 步骤二：选择基准组分和反应生成选项

电解质向导

1 选择化学反应数据库和参考态 — 2 选择基准组分和反应生成选项 — 3 选择生成的组分和反应 — 4 设置物性方法 — 5 工程全局配置

化学反应数据库: 系统数据库

用于离子组的参考态: 非对称

上一步 取消 下一步

电解质向导

1 选择化学反应数据库和参考态 — 2 选择基准组分和反应生成选项 — 3 选择生成的组分和反应 — 4 设置物性方法 — 5 工程全局配置

基准组分: KOH × H2O × H2 × O2 ×

全选

KOH H2O H2 O2

氢离子类型: 水合氢离子H3O+

反应生成选项: 包含生成盐反应 包含水解离反应 包含成冰反应

上一步 取消 下一步

电解质向导

◆ 步骤三：选择生成的组分和反应

电解质向导

选择化学反应数据库和参考态
 选择基准组分和反应生成选项
 3 选择生成的组分和反应
 4 设置物性方法
 5 工程全局配置

删除不需要的组分和反应

组分	操作	反应	操作
水溶液组分	删除	反应	删除
H3O+	删除	2 H2O <---> OH- + H3O+	删除
K+	删除	KOH -> OH- + K+	删除
OH-	删除		

◆ 步骤四：设置物性方法

电解质向导

选择化学反应数据库和参考态
 选择基准组分和反应生成选项
 选择生成的组分和反应
 4 设置物性方法
 5 工程全局配置

设置全局物性方法 设置 不设置, 但添加生成的组分至组分列表

物性方法_基础算法 设为默认

电解质模拟法

◆ 步骤五：设置工程全局配置

电解质向导

选择化学反应数据库和参考态
 选择基准组分和反应生成选项
 选择生成的组分和反应
 设置物性方法
 5 工程全局配置

选择工程 New_model

亨利组分

电解质反应

物性方法

完成电解质向导，返回组分列表，查看生成的离子组分

组分列表 组分结构 原油 亨利组分

组分列表

序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点 K	CAS号	操作
1	KOH	常规组分	POTASSIUM-HYDROXIDE	氢氧化钾	KOH	1596	1310-58-3	编辑 删除 更多
2	H2O	常规组分	WATER	水	H2O	373.2	7732-18-5	编辑 删除 更多
3	H2	常规组分	HYDROGEN	氢气	H2	20.4	1333-74-0	编辑 删除 更多
4	O2	常规组分	OXYGEN	氧气	O2	90.2	7782-44-7	编辑 删除 更多
5	H3O+	常规组分	H3O+	水合氢根离子	H3O+	341.9		编辑 删除 更多
6	K+	常规组分	K+	钾离子	K+	341.9		编辑 删除 更多
7	OH-	常规组分	OH-	氢氧根离子	OH-	341.9		编辑 删除 更多
	请输入要添加的组分							

组分组

GLOBAL (默认)

组分组1

请输入

+ 新增

组分列表

配置组分 批量删除

序号	组分名	类型	操作
▾	流体(0)		配置
▾	常规固体(0)		配置
▾	非常规固体(0)		配置

点击配置可配置组分组

组分列表

配置组分 批量删除

序号	组分名	类型	操作
▾	流体(0)		配置
▾	常规固体(0)		配置
▾	非常规固体(0)		配置

配置组分

流股类 流体

可选择配置流股类型：流体、常规固体、非常规固体

组分名	类型	中文名
PROPANE	常规组分	丙烷
1-BUTENE	常规组分	1-丁烯
N-BUTANE	常规组分	正丁烷
T-BUTENE	常规组分	反-2-丁烯
C-BUTENE	常规组分	顺-2-丁烯
PENTANE	常规组分	正戊烷

已选择组分

组分名

暂无数据

取消 确定

- ◆ 通过将特定流程中所需组分聚集为一个"组"来处理，模型构建时仅考虑组内组分，从而简化计算矩阵，减少迭代计算量。
- ◆ 可提高收敛的速度和稳定性。

物性方法添加



基础配置栏点击“物性方法”按钮，打开物性方法页面，可选择基础算法，点击算法详细信息，可修改物性包配置

修改物性包配置

算法详细信息

物性	方法	路径配置
<input type="checkbox"/> 纯物质逸度系数		
▶ 气相纯物质逸度系数	PHIV_SRK	编辑
▶ 液相纯物质逸度系数	PHIL_SRK	编辑
<input type="checkbox"/> 混合物逸度系数		
▶ 气相混合物逸度系数	PHIVMIX_SRK	编辑
▶ 液相混合物逸度系数	PHILMIX_SRK	编辑
<input type="checkbox"/> 纯物质摩尔焓		
▶ 气相纯物质摩尔焓	HV_SRK	编辑
▶ 液相纯物质摩尔焓	HL_SRK	编辑
▶ 固相纯物质摩尔焓	HS_GEN	编辑
<input type="checkbox"/> 混合物摩尔焓		
▶ 气相混合物摩尔焓	HVMIX_SRK	编辑
▶ 液相混合物摩尔焓	HLMIX_SRK	编辑
▶ 固相混合物摩尔焓	HSMIX_GEN	编辑
<input type="checkbox"/> 纯物质摩尔吉布斯自由能		
▶ 气相纯物质摩尔吉布斯自由能	GV_SRK	编辑
▶ 液相纯物质摩尔吉布斯自由能	GL_SRK	编辑
▶ 固相纯物质摩尔吉布斯自由能	GS_GEN	编辑
<input type="checkbox"/> 混合物摩尔吉布斯自由能		
▶ 气相混合物摩尔吉布斯自由能	GVMIX_SRK	编辑

物性方法配置

物性方法配置界面截图，显示了二元参数列表和配置选项。

组分 i	组分 j	来源	温度	Aij	Bij	Cij	下限温度	上限温度	操作
H2	CH4	EOS-1	K	-0.02448...	0	0	-273.15	726.85	重置 删除
CO	CO2	EOS-1	K	-0.01544	0	0	-273.15	726.85	重置 删除
请选择组分	请选择组分								

- ◆ 选择物性方法，查看二元交互参数表
- ◆ 增加、删除、修改，配置二元交互参数表（非必须项）
- ◆ 设置参数对应温度范围（非必须项）
- ◆ 完整性校验查看参数来源
- ◆ 数据来源不同，采用不同颜色标记

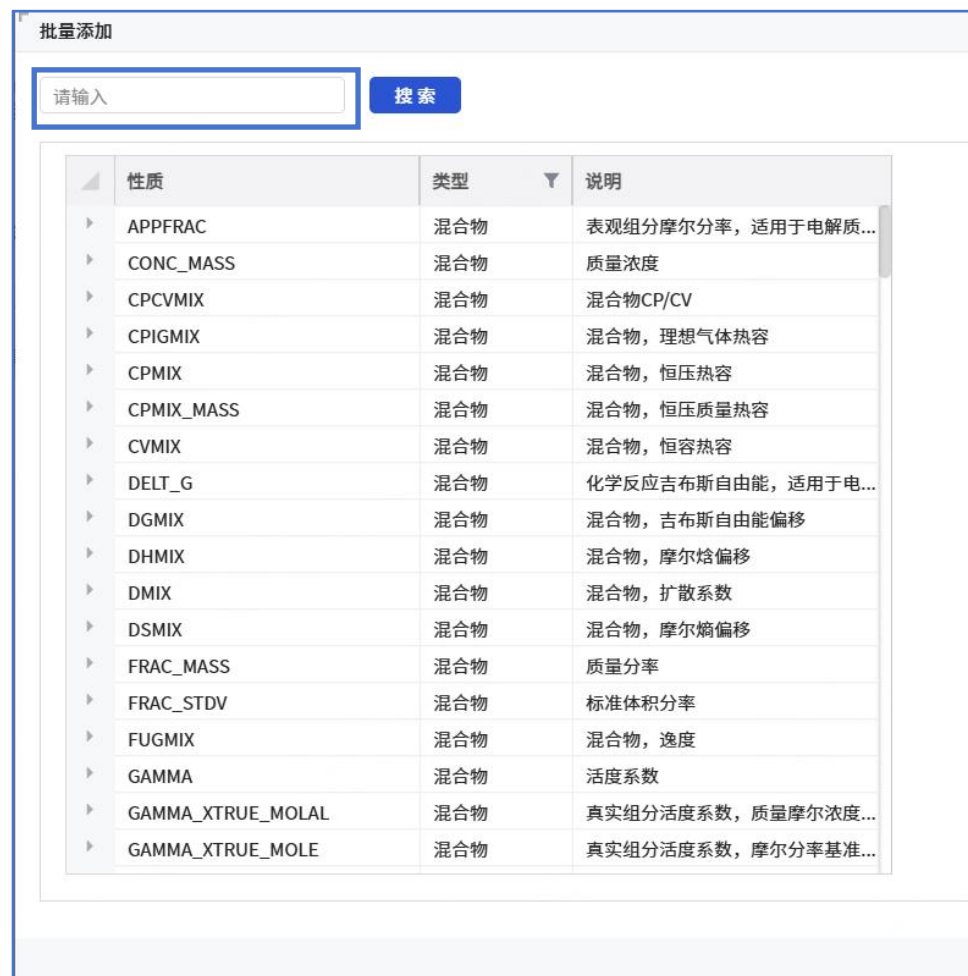
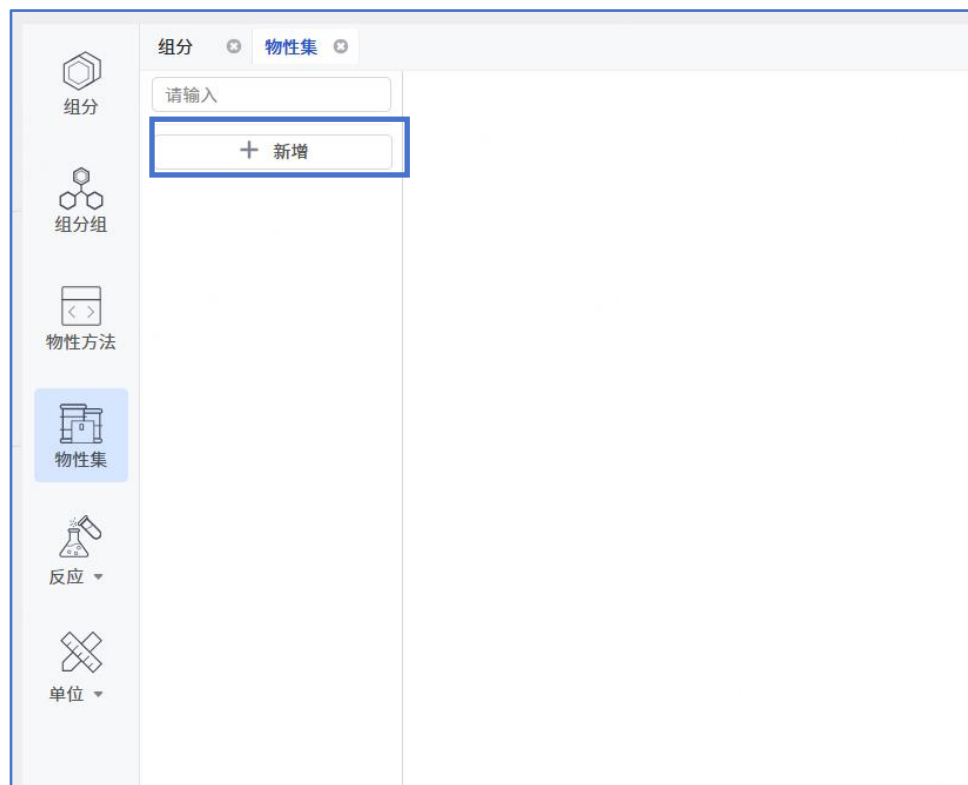
完整性校验

■ 数据库值 ■ 用户输入值 ■ 回归值 ■ 估算值

i \ j	H2O	CH4O	CO5	H2S	CO2	CH4	ARGON	CO	N2	H2
H2						数据库值				
N2										
CO					数据库值					
ARGON										
CH4										
CO2										
H2S										
CO5										
CH4O										
H2O										

■ 数据库值 ■ 用户输入值 ■ 回归值 ■ 估算值

物性集配置



- ◆ 物性集是热力学性质、传递性质及其他性质的集合，可以在物性分析和分析模块中使用，也可以用于冷热流股物性曲线分析。
- ◆ 物性集中物性可以单个搜索添加也可以批量添加

单位集配置

新增自定义单位集：

- ◆修改“单位集1”中单位
- ◆将“单位集1”设置为默认单位集

组分

国际单位制 (默认)

米制

英制

工程制

单位集1

请输入

复制单位集

设为默认

删除

重命名

Delete

继承于 国际单位制

标准 能量 传递 浓度 尺寸 价格 其它

流量

通量 cum/sqm-s 体积流量 cum/s

通量 kg/s 体积流量变化量 cum/s

通量 kg/sqm-s

流量变化量 kg/s

摩尔流量 kmol/s

摩尔流量变化量 kmol/s

温度

温度 K

温差 DELTA-K

温度倒数 1/K

压力

压力 N/sqm

压头 J/kg

单位高度压降 N/cum

压降 N/sqm

压力倒数 sqm/N

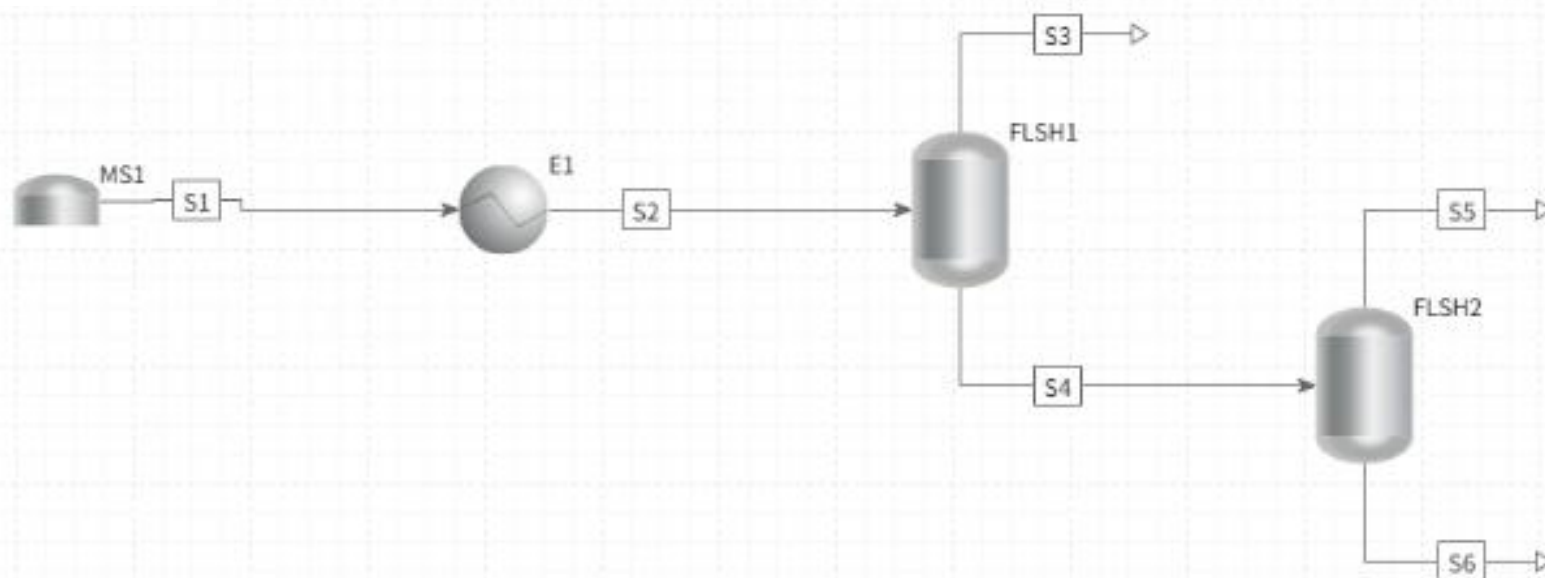
积分兑换

反馈

单位集修改并设置默认后，单元模块组态、物性配置、模块管理、变量管理、流通股连接、变量列表等界面中的各参数单位均采用默认单位集中的单位

基础模型搭建示例

完整流程图



物料源

MS1 (类型: 物料源)

组态信息 运行管理 计算结果

模块名称 MS1

基础配置 **稳态** 端口 描述

流体 常规固体 非常规固体

闪蒸类型 压力-温度

压力 压力 5 bar

温度 37.75 C

总流量 摩尔 342 kmol/hr

溶剂

有效相态 气-液

是否穿透 否

输入完整后显示 ✓
否则显示 !



- ◆ 流通股源模块可选择物料源, 油品源, 热源
- ◆ 选择相应的闪蒸类型, 填入对应数据信息。

添加物料源模块, 双击模块, 输入组态信息

The image shows a software interface for configuring a two-phase flash drum module (FLSH2). The window title is "FLSH2 (类型: 两相闪蒸罐)". It has tabs for "组态信息" (Configuration Information), "运行管理" (Operation Management), "模型应用" (Model Application), "元变量" (Metavariables), and "计算结果" (Calculation Results). The "组态信息" tab is active, showing various configuration options:

- 模块名称: FLSH2
- 闪蒸类型: 压力-热负荷 (Pressure-Heat Load)
- 压力/压降: 压力 (Pressure), 1 atm
- 热负荷: 0 kW
- 雾沫夹带: 否 (No)
- 夹带分率: 请输入值 (Please enter value)
- 有效相态: 气-液 (Gas-Liquid)

Below the configuration window is a process flow diagram showing two flash drum modules, FLSH1 and FLSH2. FLSH1 has two output streams, S3 and S4. Stream S4 flows into FLSH2, which has two output streams, S5 and S6. A blue dashed box highlights the FLSH2 module in the diagram, corresponding to the configuration window shown above it.

- ◆ 闪蒸罐模块中必填组态信息包括指定的闪蒸类型中的相关值
- ◆ 因此需要输入压力、热负荷条件

添加两相闪蒸罐模块，双击模块，输入组态信息

流程模拟-求解-初始化



初始化后打开信息栏，查看执行时间与状态

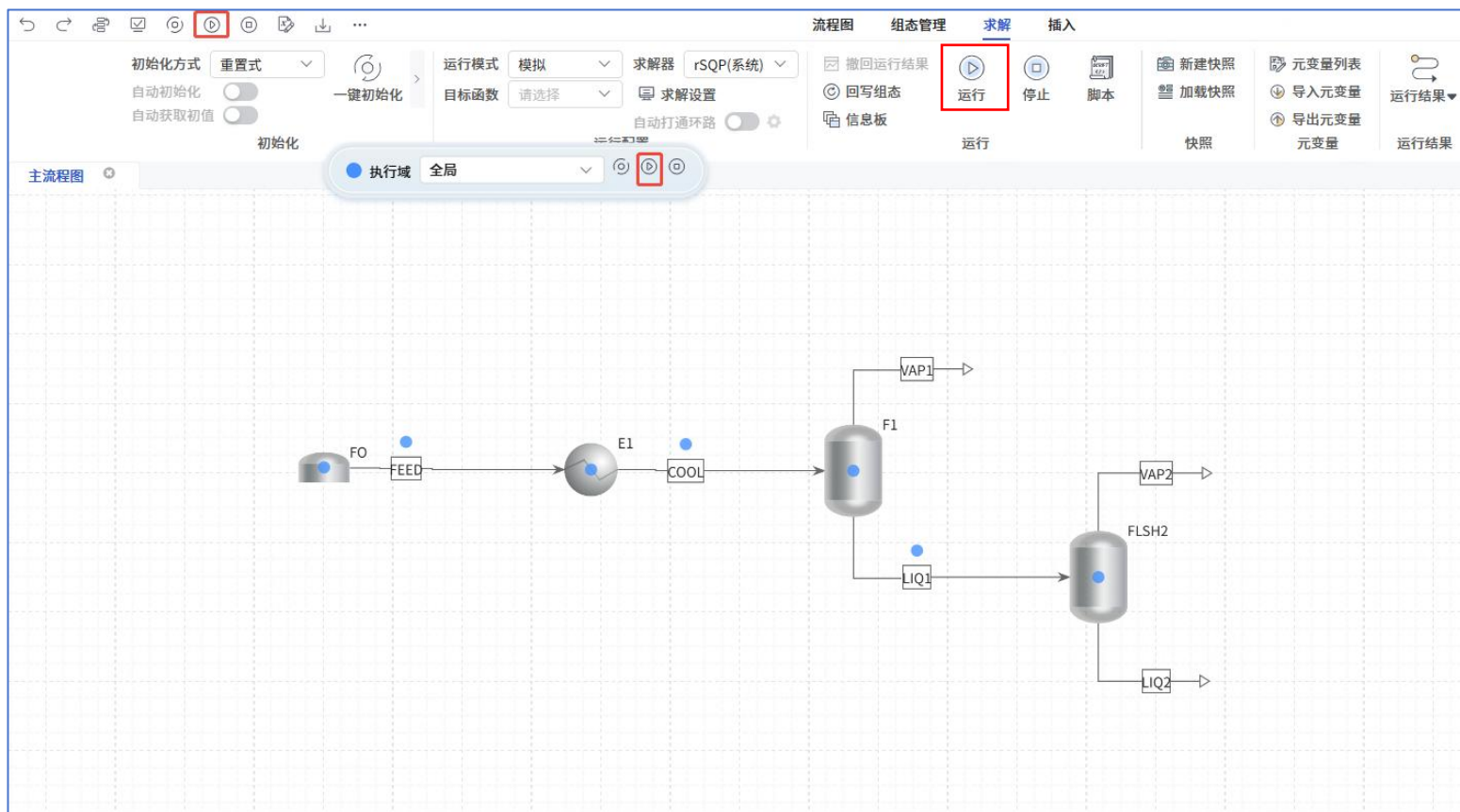
用户操作信息	构模求解信息
【信息】2025-07-21 21:17:07 【全局】开始一键初始化【重置式】	【成功】2025-07-21 21:17:07 【全局】初值预估成功：全局流程
【成功】2025-07-21 21:17:07 【全局】一键初始化成功	【信息】2025-07-21 21:17:07 【全局】开始重构值：全局流程
	【成功】2025-07-21 21:17:07 【全局】重构值完成：全局流程

初始化三种方式：

- 1、菜单栏|求解菜单项点击“一键初始化”
- 2、快速访问工具条中的初始化按钮
- 3、运行条中的初始化按钮

通过模型初始化，实现：

- ◆ 生成各模块元变量、流股的偏差元变量（如有）
- ◆ 完成各模块元变量属性的生成以及连接方程的建立
- ◆ 获取所生成的各变量初值、边界值（如有）



菜单栏|求解菜单项点击
“运行”，或点击运行
条中的运行按钮完成工
程运行计算

在信息板页面查看搭建模型
运行是否收敛

```

【信息】 2025-07-21 21:20:19  RSQP Summary
【信息】 2025-07-21 21:20:19  =====
【信息】 2025-07-21 21:20:19  KKT Residual      0.00000E+00
【信息】 2025-07-21 21:20:19  Problem status    Converged
【信息】 2025-07-21 21:20:19  Error code        0
【信息】 2025-07-21 21:20:19  Model time(s)     0.00      13.0%
【信息】 2025-07-21 21:20:19  Solver time(s))   0.00      0.5%
【信息】 2025-07-21 21:20:19  Total time(s)     0.01
【成功】 2025-07-21 21:20:19  运行成功:Main
  
```

流股展示结果

初始化方式 **重置式** 一键初始化

运行模式 **模拟** 求解器 **rSQP** 回写组态 信息板 运行 停止 脚本

目标函数 **请选择** 求解设置

新建快照 加载快照 元变量列表 导入元变量 导出元变量 元变量

换热单元负荷统计表 冷热流股物性曲线 塔盘水力学数据 运行结果

统计分析 求解报告 分析报告

主流程图 全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 **计算结果**

流股结果 运行报告

常规 热流股 油品曲线 引用连接 自定义端口连接

添加物性 导出结果

变量	单位	S1	S3	S4
描述				
起点		MS1	FLSH1	FLSH1
终点		FLSH1		
流体				
相态		气-液	气相	液相
温度	C	37.75	18.47446	18.47446
压力	bar	5	2.72	2.72
气相分率 (摩尔基准)	fraction	0.02612372	1	0
液相分率 (摩尔基准)	fraction	0.9738763	0	1
气相分率 (质量基准)	fraction	0.02411702	1	0
液相分率 (质量基准)	fraction	0.975883	0	1
摩尔焓	kJ/kmol	-82804.4	-72227.1	-84762
质量焓	kJ/kg	-1486.273	-1398.598	-1501.114
摩尔熵	kJ/kmol-K	-352.3469	-277.8613	-365.5336
质量熵	kJ/kg-K	-6.324347	-5.380475	-6.473508
摩尔密度	kmol/cum	4.610322	0.1201678	10.51332
质量密度	kg/cum			

点击求解栏下的流股结果图标，可在计算结果页面查看流股结果

流股结果物性添加

主流程图 全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

流股结果 运行报告

常规 热流股 油品曲线 引用连接 自定义端口连接

添加物性 导出结果

变量	单位	S1	S3
描述			
起点		MS1	FLSH1
终点		FLSH1	
流体			
相态		气-液	气相 液相
温度	C	37.75	18.47446
压力	bar	5	2.72

添加物性

请输入 搜索

性质	类型	说明
APPFRAC	混合物	表观组分摩尔分率, 适用于电解质...
CONC_MASS	混合物	质量浓度
CPCVMIX	混合物	混合物CP/CV
CPIGMIX	混合物	混合物, 理想气体热容
CPMIX	混合物	混合物, 恒压热容
CPMIX_MASS	混合物	混合物, 恒压质量热容
CVMIX	混合物	混合物, 恒容热容
DELTA_G	混合物	化学反应吉布斯自由能, 适用于电...
DGMIX	混合物	混合物, 吉布斯自由能偏移
DHMIX	混合物	混合物, 摩尔焓偏移
DMIX	混合物	混合物, 扩散系数
DSMIX	混合物	混合物, 摩尔焓偏移
FRAC_MASS	混合物	质量分率
FRAC_STDV	混合物	标准体积分率
FUGMIX	混合物	混合物, 逸度
GAMMA	混合物	活度系数
GAMMA_XTRUE_MOLAL	混合物	真实组分活度系数, 质量摩尔浓度...
GAMMA_XTRUE_MOLE	混合物	真实组分活度系数, 摩尔分率基准...

应用范围 当前流股 上移 下移

性质	类型	说明	操作
暂无数据			

取消 确认

点击添加物性图标，可在流股结果表中添加所选物性结果

全局结果展示

执行域 全局 运行模式 模拟 求解器 rSQP(系统) 运行配置 运行 快照 元变量列表 运行结果 新建绘图 统计分析 求解报告 调试

主流程图 全局 组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

元变量 策略管理 规定统计 自由度统计

默认 变量域

展示信息 筛选条件 重置筛选 导入 导出

索引	名称	值	单位	物理类型	规定
1	E1.VAR.S1_MOLES	0.075	kmol/s	摩尔流量	计算
2	E1.VAR.S1_TEMP	540	C	温度	计算
3	E1.VAR.S1_PRES	3.8	MPa	压力	计算
4	E1.VAR.S1_ENTH	3.016143E+7	J/kmol	摩尔焓	计算
5	E1.VAR.S1_MW	17.78769	g/mol	摩尔质量	计算
6	E1.VAR.S1_MV	1.798404	cum/kmol	摩尔体积	计算
7	E1.VAR.S1_H2	0.675	fraction	含量	计算
8	E1.VAR.S1_CH4	0.15	fraction	含量	计算
9	E1.VAR.S1_C6H6	0.15	fraction	含量	计算
10	E1.VAR.S1_TOLUENE	0.025	fraction	含量	计算
11	E1.VAR.S1_P_DROP	0	N/sam	压降	常数

总数: 229 触界数: 0 显示数: 229

点击元变量列表，可在元变量页面查看元变量结果

模块结果展示

双击模块，点击计算结果，
可查看该模块的运行结果

FLSH2 (类型：两相闪蒸罐)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 **计算结果**

流股结果 **模块结果** 运行报告

名称	值	单位
出口温度	38.09966	C
出口压力	0.101325	MPa
气相分率	0.02780477	Unitless
热负荷	0	W
压降	3398675	N/sqm

查看模块结果

FLSH1 (类型：两相闪蒸罐)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 **计算结果**

流股结果 模块结果 运行报告

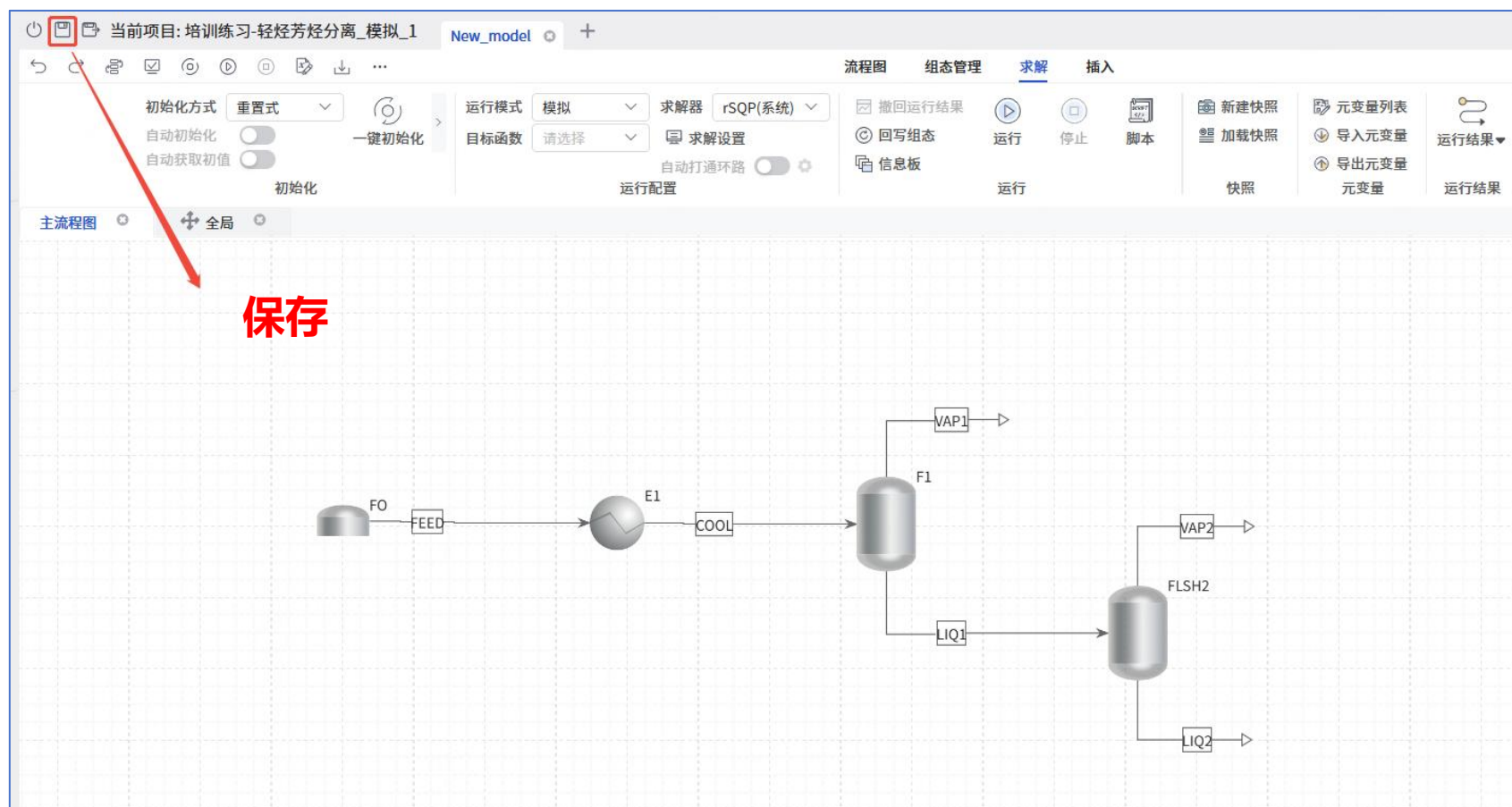
查看流股结果

常规 热流股 油品曲线

添加物性 导出结果

变量	单位	S1	S3	S4
描述				
起点		MS1	FLSH1	FLSH1
终点		FLSH1		
流体				
相态		气-液	气相	液相
温度	C	37.75	18.47446	18.474
压力	bar	5	2.72	2.72
气相分率 (摩尔基准)	fraction	0.02612372	1	
液相分率 (摩尔基准)	fraction	0.9738763	0	
气相分率 (质量基准)	fraction	0.02411702	1	
液相分率 (质量基准)	fraction	0.975883	0	
摩尔焓	kJ/kmol	-82804.4	-72227.1	-847
质量焓	kJ/kg	-1486.273	-1398.598	-1501.1
摩尔熵	kJ/kmol-K	-352.3469	-277.8613	-365.53

工程文件保存

**保存**

点击保存按钮或在“文件”菜单项下点击“保存”

文件导出

当前项目: 演示案例1

旧版入口 授权正常 training

项目文件导出

私有 公开 请输入要搜索的项目名

默认文件夹 项目列表

↓ 按项目名称排序 ↑ 按最近保存时间排序 批量移动 批量删除

项目列表	最近保存时间	操作
<input type="checkbox"/> 演示案例3	最近保存时间:2025-12-05 15:33:46	🔗 📄 🗑️ ⋮ ▶
<input type="checkbox"/> 演示案例2	最近保存时间:2025-12-05 15:32:59	🔗 📄 🗑️ ⋮ ▶
<input type="checkbox"/> 演示案例1 (正在打开)	最近保存时间:2025-12-05 15:32:44	🔗 📄 🗑️ ⋮ ▶
<input type="checkbox"/> 新建项目1	最近保存时间:2025-12-05 15:11:24	🔗 📄 🗑️ ⋮ ▶

左侧菜单栏: 新建, 打开, 保存, 另存为, 导入, 导出 (高亮), 选项, 关闭

“文件”菜单项下点击“导出”，需要选择导出文件的格式

导出的项目文件在所设置的文件下载路径文件夹内。文件未保存直接导出时，导出文件为上一次保存的内容

项目文件-导出

The screenshot displays a software interface with a sidebar on the left containing navigation options: 新建 (New), 最近 (Recent), 服务器 (Server), 打开 (Open), 保存 (Save), 另存为 (Save As), 导入 (Import), 导出 (Export), 服务器 (Server), 选项 (Options), and 关闭 (Close). The '导出' (Export) option is highlighted with a red box. The main area shows the current project: 当前项目: 培训练习-轻烃芳烃分离_模拟_1. A red banner at the top right reads '项目文件导出' (Export Project Files). Below this, there are sorting options: '按项目名称排序' (Sort by Project Name) and '按最近保存时间排序' (Sort by Last Save Time). A table lists the project files:

Project Name	Status	Last Operation Time	Folder	Actions
培训练习-轻烃芳烃分离_模拟_1 (正在打开)	私有	2025-07-21 21:28:56	默认文件夹	🔗 📁 🗑️ ▶
新建项目3	私有	2025-07-21 21:27:55	默认文件夹	🔗 📁 🗑️ ▶
新建项目2	私有	2025-07-21 21:27:39	默认文件夹	🔗 📁 🗑️ ▶
新建项目1	私有	2025-07-21 20:02:52	默认文件夹	🔗 📁 🗑️ ▶
培训练习-轻烃芳烃分离_模拟_0627	私有	2025-07-21 19:02:34	默认文件夹	🔗 📁 🗑️ ▶
乙烯_2	私有	2025-07-21 19:01:41	默认文件夹	🔗 📁 🗑️ ▶
塔测试(1)	私有	2025-07-21 10:22:58	默认文件夹	🔗 📁 🗑️ ▶
CASE1_模拟整定优化_0701	私有	2025-07-19 20:24:19	默认文件夹	🔗 📁 🗑️ ▶
变压精馏_模拟_0611	私有	2025-07-19 20:23:54	默认文件夹	🔗 📁 🗑️ ▶

“项目文件”菜单项下点击“导出”

导出的项目文件在所设置的文件下载路径文件夹内。文件未保存直接导出时，导出文件为上一次保存的内容

案例演示

简单分离流程

The screenshot displays a software interface for a process simulation. The main workspace shows a process flow diagram on a grid background. The diagram consists of a central vertical cylindrical vessel labeled 'D1'. To its left, a smaller cylindrical vessel labeled 'MS1' is connected to 'D1' via a line labeled 'S1'. From the top of 'D1', a line goes to a rectangular box labeled 'S2'. From the bottom of 'D1', a line goes to another rectangular box labeled 'S3'. The interface includes a top menu bar with options: '流程图' (Process Flowchart), '组态管理' (Configuration Management), '求解' (Solve), '插入' (Insert), and '帮助' (Help). Below the menu bar is a toolbar with various icons for execution and configuration. The toolbar is divided into sections: '初始化' (Initialization) with a '一键初始化' (One-click Initialization) button; '运行配置' (Run Configuration) with dropdowns for '运行模式' (Run Mode) set to '模拟' (Simulation) and '求解器' (Solver) set to 'rSQP', and a '目标函数' (Objective Function) dropdown set to '请选择' (Please select); '运行' (Run) with buttons for '回写组态' (Write back configuration), '信息板' (Information board), '运行' (Run), and '停止' (Stop); '快照' (Snapshot) with '新建快照' (New snapshot) and '加载快照' (Load snapshot) buttons; and '运行结果' (Run Results) with buttons for '元变量列表' (Element variable list), '导入元变量' (Import element variable), '导出元变量' (Export element variable), '运行结果' (Run results), '求解报告' (Solution report), and '统计分析' (Statistical analysis). A '打开模块库' (Open module library) button is located in the bottom right corner of the workspace.

案例演示

● 组分输入:

- ◆ 丙烷 (按中文)
- ◆ 1-丁烯 (按英文名 "1-butene")
- ◆ 正丁烷 (按分子式 "C4H10")
- ◆ 反-2-丁烯 (按CAS号624-64-6)
- ◆ 顺-2-丁烯 (按CAS号590-18-1)
- ◆ 正戊烷 (按分子式 "C5H12")

● 修改组分名称 (PROPANE、1-BUTENE、N-BUTANE、T-BUTENE、C-BUTENE、PENTANE)

● 物性方法: PR

● 单位集: 点击工程制单位集, 并将其设置为默认单位集, 其中修改质量流量单位为 kg/hr, 摩尔流量为 kmol/hr, 压力bar, 压降bar

组分列表 组分结构 原油 亨利组分

组分列表

序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点 K	CAS号	操作
1	PROPANE	常规组分	PROPANE	丙烷	C3H8	231.11	74-98-6	编辑 删除 更多
2	1-BUTENE	常规组分	1-BUTENE	1-丁烯	C4H8	266.91	106-98-9	编辑 删除 更多
3	N-BUTANE	常规组分	N-BUTANE	正丁烷	C4H10	272.65	106-97-8	编辑 删除 更多
4	T-BUTENE	常规组分	TRANS-2-BUTENE	反-2-丁烯	C4H8	274.03	624-64-6	编辑 删除 更多
5	C-BUTENE	常规组分	CIS-2-BUTENE	顺-2-丁烯	C4H8	276.87	590-18-1	编辑 删除 更多
6	PENTANE	常规组分	N-PENTANE	正戊烷	C5H12	309.22	109-66-0	编辑 删除 更多

组分

物性方法 二元参数

PR(默认)

请输入

+ 新增

物性方法

描述 请输入描述

基础算法 PR

说明:标准Peng-Robinson立方型状态方程。

适用于非极性或弱极性混合物,如烃和轻气体(如CO₂, H₂S和H₂),推荐用于气体处理、炼油及石化应用,如气体厂、原油塔和乙烯厂。特别适用于高温、高压范围,如烃加工应用和超临界萃取。

自由水 IF97

说明:使用IAPWS1997工业公式计算水和水蒸气的热力学性质。

适用于水和水蒸气的热力学性质计算。

算法详细信息

组分 组分组 物性方法 物性集 单位集

公制

米制

英制

工程制(默认)

请输入

+ 新增

继承于 米制

标准 能量 传递 浓度 尺寸 价格 其它

流量		温度		压力	
通量	cum/sqm-s	温度	C	压力	bar
质量流量	kg/hr	温差	DELTA-C	压头	meter
质量通量	kg/sqm-hr	温度倒数	1/K	单位高度压降	N/cum
质量流量变化量	kg/s			压降	bar
摩尔流量	kmol/hr			压力倒数	1/atm
摩尔流量变化量	kmol/s				
体积流量	cum/hr				
体积流量变化量	cum/s				

案例演示

物料源模块

MS1 (类型: 物料源)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 MS1

基础配置 稳态 端口 描述

流体 常规固体 非常规固体

闪蒸类型 压力-温度

压力 压力 5 bar

温度 37.75 C

总流量 摩尔 342 kmol/hr

溶剂

有效相态 气-液

是否穿透 否

组成类型 占比 摩尔

名称	值	单位	类型
PROPANE	0.2	fraction	常规组分
1-BUTENE	0.15	fraction	常规组分
N-BUTANE	0.2	fraction	常规组分
T-BUTENE	0.1	fraction	常规组分
C-BUTENE	0.25	fraction	常规组分
PENTANE	0.1	fraction	常规组分

总和 1

有效相态建议能确定是纯气相或纯液相的选择相应的相态

添加物料源模块，双击模块，输入组态信息

完成基础配置后可进行
流程搭建

使用流股源或在单元模
块入口流股处配置边界
流股条件

闪蒸罐模块

D1 (类型: 两相闪蒸罐)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 D1

基础配置 稳态 端口 描述

将两相闪蒸罐模块名称重命名为D1

闪蒸类型	压力-热负荷	
压力/压降	压力	2.72 bar
热负荷	0	kW
雾沫夹带	否	
夹带分率	请输入值	
有效相态	气-液	

闪蒸罐模块中必填组态信息包括指定的闪蒸类型中的相关值, 本案例采用了压力-热负荷闪蒸, 因此需要输入压力、热负荷条件, 其余选项使用默认值

S2

S3

添加两相闪蒸罐模块, 双击模块, 输入组态信息

案例演示

初始化后运行

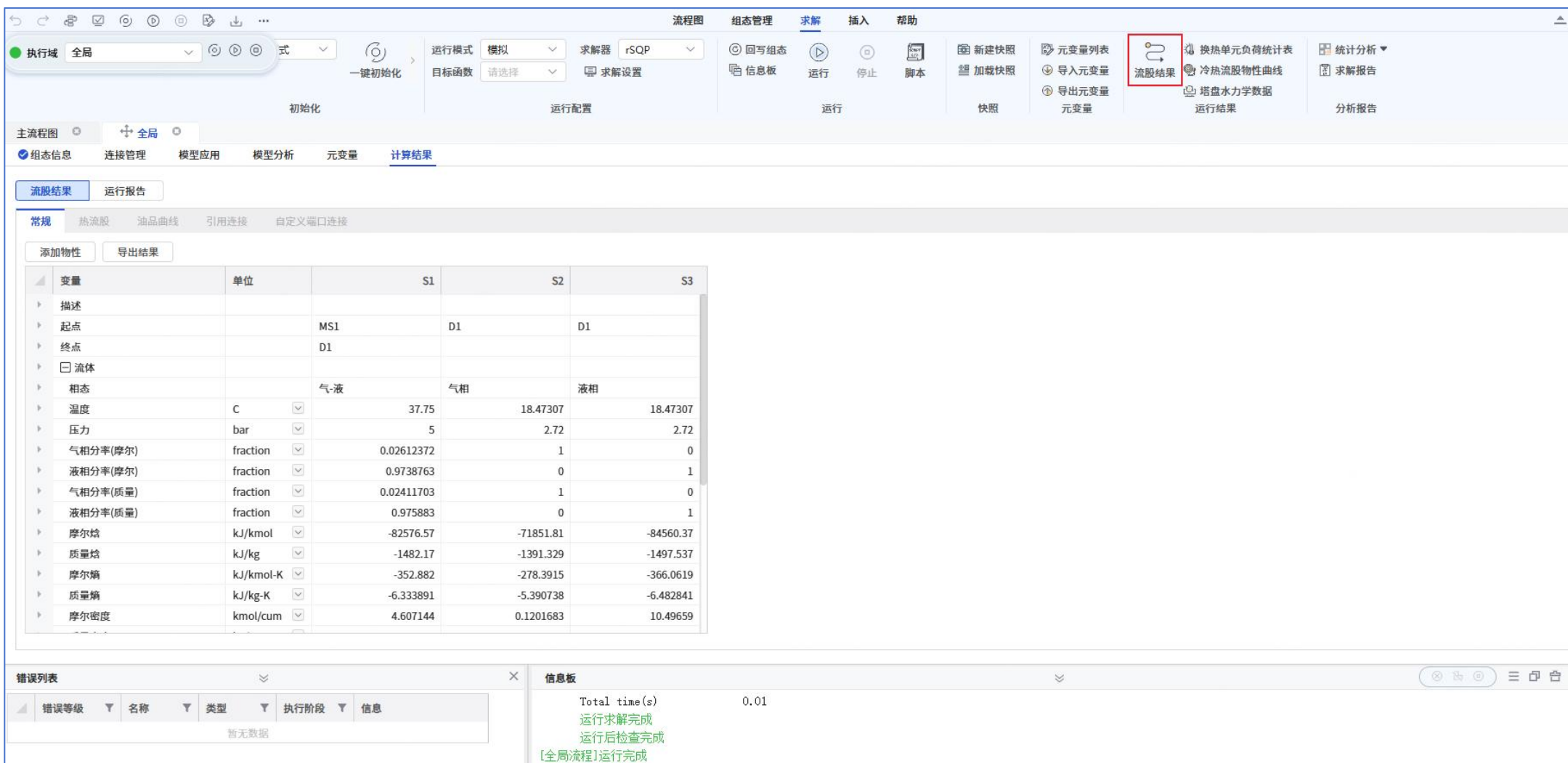
The screenshot displays a software interface for simulation and optimization. The top menu bar includes '流程图' (Flowchart), '组态管理' (Configuration Management), '求解' (Solve), '插入' (Insert), and '帮助' (Help). The '求解' menu is active, showing options like '回写组态' (Write back configuration), '信息板' (Information board), '运行' (Run), and '停止' (Stop). The '运行' button is highlighted in red. The toolbar also features a '一键初始化' (One-click Initialization) button, which is also highlighted in red. The main workspace shows a process flow diagram with a central cylindrical component labeled 'D1'. It has an input stream 'MS1' entering from the left through a valve 'S1'. Two output streams, 'S2' and 'S3', exit from the right side of 'D1'. The interface also includes a '初始化' (Initialization) section on the left and a '运行配置' (Run Configuration) section in the middle, with '运行模式' (Run Mode) set to '模拟' (Simulation) and '求解器' (Solver) set to 'rSQP'. A '脚本' (Script) button is visible on the right. The bottom right corner has a '打开模块库' (Open Module Library) button.

信息板

用户操作信息		构模求解信息						
【信息】 2025-12-15 09:59:12	【全局】 开始一键初始化【重置式】	【信息】 2025-12-15 09:59:16	ITER	RESVG	OBJSWG	OBJECTIVE	STEP	RATIO
【成功】 2025-12-15 09:59:13	【全局】 一键初始化成功	【信息】 2025-12-15 09:59:16	0	1.7251E-27	0.0000E+00	0.0000E+00	2.4001E-14	
		【信息】 2025-12-15 09:59:16	RSQP Summary					
		【信息】 2025-12-15 09:59:16	===== KKT Residual 0.00000E+00					
		【信息】 2025-12-15 09:59:16	Problem status Converged					
		【信息】 2025-12-15 09:59:16	Error code 0					
		【信息】 2025-12-15 09:59:16	Model time(s) 0.00 15.5%					
		【信息】 2025-12-15 09:59:16	Solver time(s) 0.00 2.2%					
		【信息】 2025-12-15 09:59:16	Total time(s) 0.02					
		【成功】 2025-12-15 09:59:16	【全局】 运行成功: 全局流程					

在信息板页面查看计算过程每轮迭代信息

全局结果展示



The screenshot displays the 'Global Results' (全局结果) page in the software. The interface includes a top navigation bar with options like '求解' (Solve) and '运行' (Run). Below the navigation, there are tabs for '组态信息' (Configuration), '连接管理' (Connection), '模型应用' (Model), '模型分析' (Model Analysis), '元变量' (Meta-variables), and '计算结果' (Calculation Results). The '计算结果' tab is selected, showing a table of variables and their values for three stages (S1, S2, S3).

变量	单位	S1	S2	S3
描述				
起点		MS1	D1	D1
终点		D1		
流体				
相态		气-液	气相	液相
温度	C	37.75	18.47307	18.47307
压力	bar	5	2.72	2.72
气相分率(摩尔)	fraction	0.02612372	1	0
液相分率(摩尔)	fraction	0.9738763	0	1
气相分率(质量)	fraction	0.02411703	1	0
液相分率(质量)	fraction	0.975883	0	1
摩尔焓	kJ/kmol	-82576.57	-71851.81	-84560.37
质量焓	kJ/kg	-1482.17	-1391.329	-1497.537
摩尔熵	kJ/kmol-K	-352.882	-278.3915	-366.0619
质量熵	kJ/kg-K	-6.333891	-5.390738	-6.482841
摩尔密度	kmol/cum	4.607144	0.1201683	10.49659

The 'Information Board' (信息板) at the bottom right shows the following information:

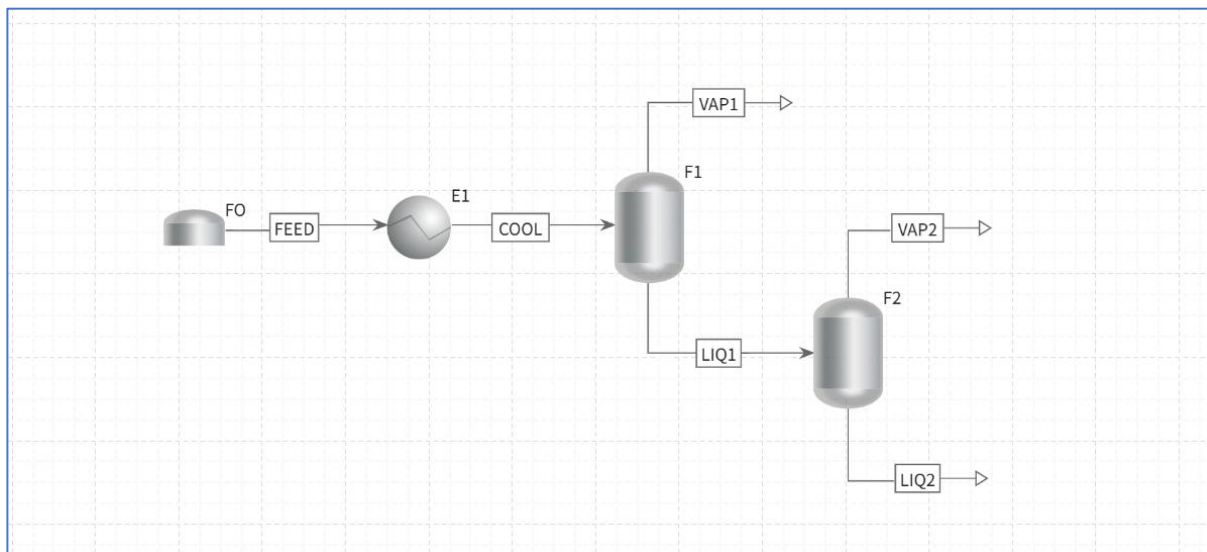
- Total time(s): 0.01
- 运行求解完成 (Solving completed)
- 运行后检查完成 (Check after run completed)
- [全局流程]运行完成 ([Global Process] Run completed)

可在结果页面查看运行结果

保存案例并导出，命名为**演示案例4-1.apex**

课堂练习

轻烃-芳烃分离流程模拟



- 组分输入：中文名称搜索添加氢气，分子式搜索添加甲烷 CH₄，英文名搜索添加苯benzene，CAS号搜索添加甲苯 108-88-3

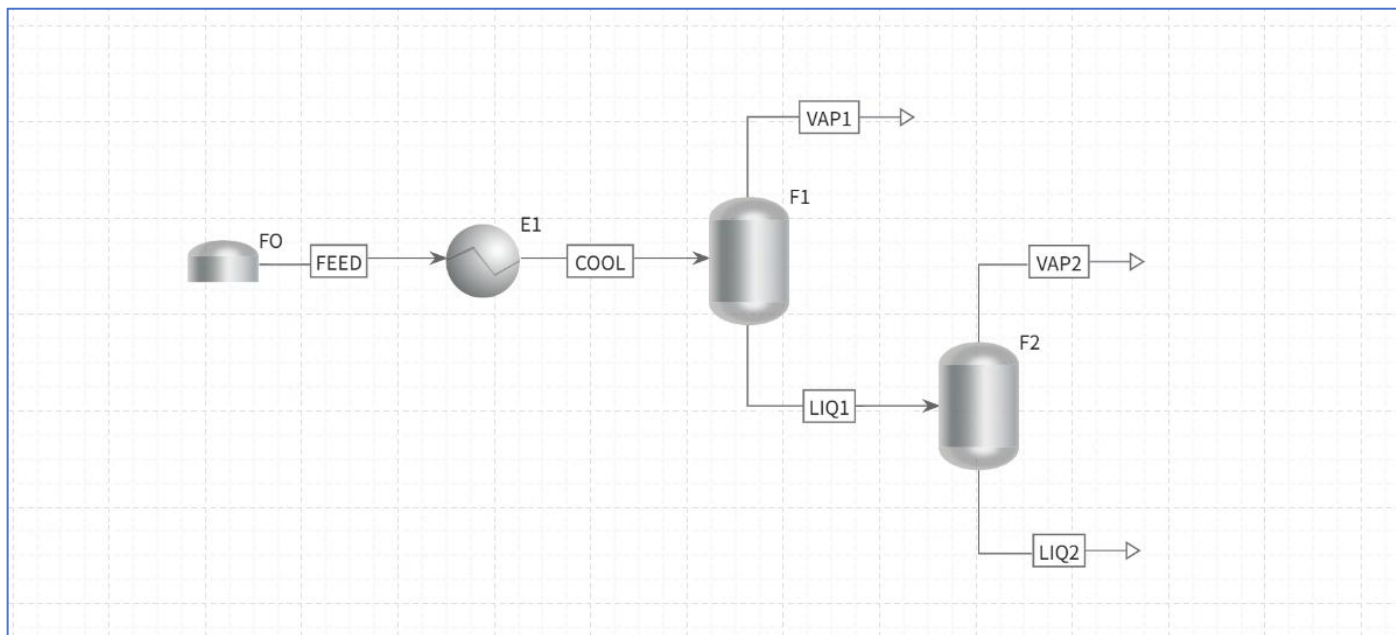
- 物性方法：PR

- 单位集：压力为MPa，工程制，**设置为默认单位集**

- 物料源FO：
 - 压力3.8MPa，温度540°C，进料量270kmol/hr
 - 组分摩尔分数（氢气0.675，甲烷0.15，苯0.15，甲苯0.025）
- 冷却器E1（“**加热器**”模块）：
 - 温度90°C，压降0MPa
- 闪蒸罐F1：
 - 温度38°C，压力3.5MPa
- 闪蒸罐F2：
 - 压力1atm，热负荷为0kW

课堂练习

轻烃-芳烃分离流程模拟

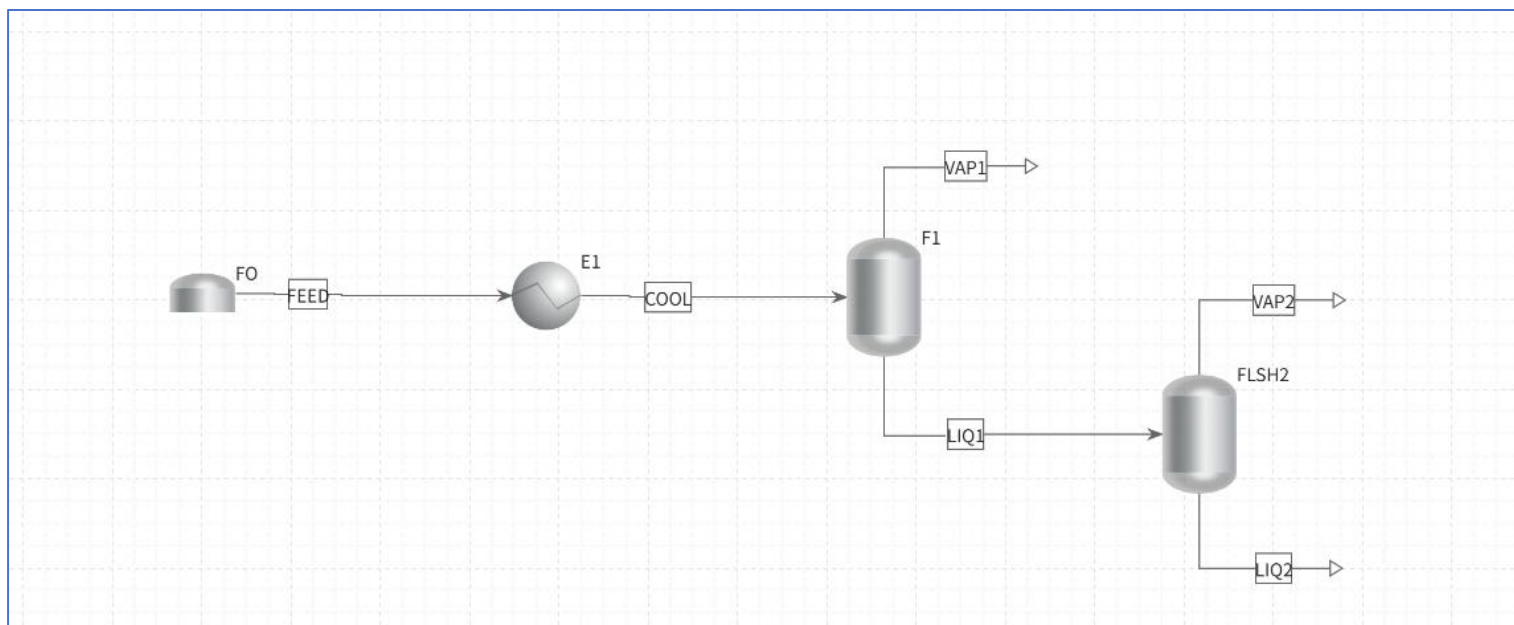


● 问题:

- ◆ 冷却器的热负荷是多少?
- ◆ 闪蒸罐F2的液相出口摩尔流量是多少?
- ◆ 将模型保存并导出为“**培训练习4-1.apex**”文件

课堂练习

轻烃-芳烃分离流程模拟



● 问题:

- ◆ 冷却器的热负荷是多少?
- ◆ 闪蒸罐F2的液相出口摩尔流量是多少?
- ◆ 将模型保存并导出为“**培训练习4-1.apex**”文件

● 结果:

- ✓ 冷却器的热负荷-2200 kW
- ✓ 闪蒸罐F2的液相出口摩尔流量45.38 kmol/h



05 | 物性方法

学习目标



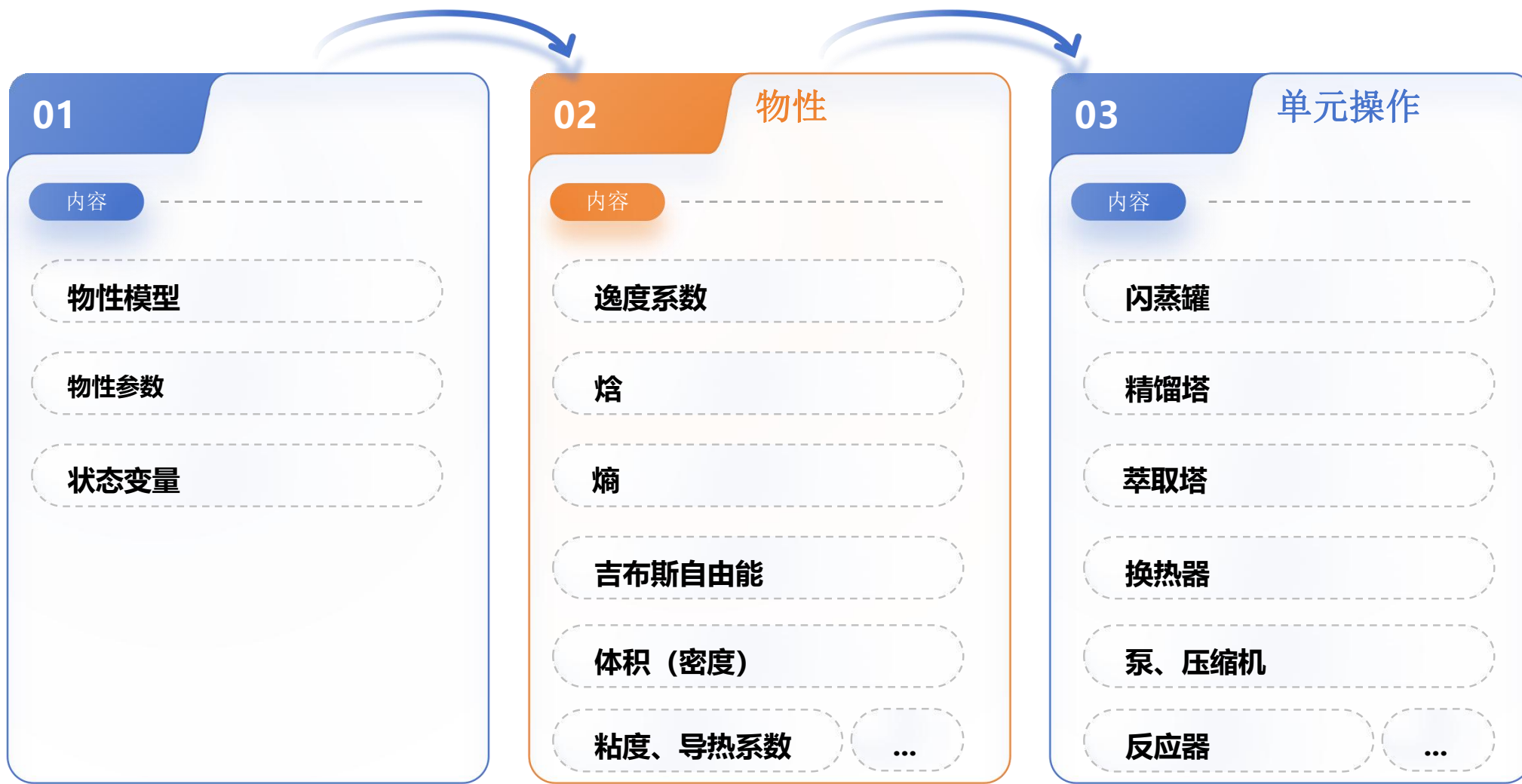
● 目标：

- ◆ 熟悉物性方法和物性参数的概念
- ◆ 熟悉物性方法的选择。

● 内容：

- 学习什么是物性方法、在流程模拟中的作用；
- 学习物性方法的分类，常用物性方法；
- 学习如何选择物性方法、不同体系建议使用的物性方法；
- 学习纯组分性质、二元交互参数、亨利组分、亨利定律。

物性简介



分类

01 理想模型

- **IDEAL**

适用于气相符合道尔顿分压定律，液相符合拉乌尔定律和亨利定律的体系，主要是大小和形状相似的非极性组分，如烷烃类体系。

02 状态方程模型

- **PR**
- **SRK**
-

适用于很宽的温度和压力范围（包括亚临界和超临界范围）的烷烃系统及带有CO₂、N₂、H₂S等轻气体的体系。

03 活度系数模型

- **NRTL**
- **UNIQUAC**
-

适用于低压下高度非理想液体混合物，需要有二元交互参数，对在低压下含有可溶气体并且其浓度很小的系统使用亨利定律，对在高压下的非理想化学系统使用灵活的状态方程。

04 自由水算法

- **IF97**
- **IF95**
- **IFC67**

主要用于计算包含纯水或水蒸气体系热力学性质的蒸汽表物性方法。

主要物性方法介绍

名称	介绍
IDEAL	理想气体及理想溶液模型，使用拉乌尔定律和亨利定律。
PR	使用标准的Peng-Robinson立方型状态方程计算除液体摩尔体积之外的所有热力学性质，分别使用API方法和Rackett模型计算虚拟组分和真实组分的液体摩尔体积。
PR_BM	使用Boston-Mathias修正的Peng-Robinson方程计算所有热力学性质。
PR_TWU	使用Twu alpha方程修正的Peng-Robinson方程计算所有热力学性质。
PR78	使用1978年Peng和Robinson修正的Peng-Robinson方程计算所有热力学性质。
SRK	使用Soave-Redlich-Kwong立方型状态方程计算所有热力学性质，使用体积修正改善了液体摩尔体积。
SRK_BM	使用Boston-Mathias修正的Soave-Redlich-Kwong立方型状态方程计算所有热力学性质，使用体积修正改善了液体摩尔体积。
SRK_TWU	使用Twu alpha方程修正的Soave-Redlich-Kwong立方型状态方程计算所有热力学性质，使用体积修正改善了液体摩尔体积。

主要物性方法介绍

名称	介绍
RK	使用标准Redlich-Kwong立方型状态方程计算所有热力学性质。
MXBONNEL	热力学性质与SRK方法保持一致，但气相混合物逸度系数采用理想气体模型；液相混合物逸度系数采用Maxwell-Bonnel模型计算，特别适用于常减压的模拟
NRTL	理想气体状态方程、NRTL模型和亨利定律。
NRTL-HOC	基于理想溶液模型，使用NRTL模型对液相非理想性进行修正，气相使用Hayden-O'Connell方程对缔合组分进行修正，特别适用PTA装置模拟。
NRTL-RK	基于理想溶液模型，使用NRTL模型对液相非理想性进行修正，使用标准Redlich-Kwong方程对中高压下的气相进行修正。
NRTL-PR	基于理想溶液模型，使用NRTL模型对液相非理想性进行修正，使用标准Peng-Robinson方程对中高压下的气相进行修正。
NRTL-SRK	基于理想溶液模型，使用NRTL模型对液相非理想性进行修正，使用标准Soave-Redlich-Kwong方程对中高压下的气相进行修正。
UNIQUAC	理想气体状态方程、UNIQUAC模型和亨利定律。
ELECNRTL	基于电解质-NRTL模型，是最通用、最精确的模型之一。将用于描述分子间相互作用的NRTL模型扩展到了离子-分子、离子-离子相互作用。

物性方法推荐

领域	应用	推荐物性方法
炼油过程	常减压	MXBONNEL、BK10
	中压(可达十几个大气压): 焦化主分馏塔、催化裂化主分馏塔	MXBONNEL、SRK、PR、GRAYSON
	富氢系统: 重整装置、加氢精制装置	SRK、PR、RK-SOAVE、GRAYSON
	润滑油装置、脱沥青装置	SRK、PR、RK-SOAVE
气体处理	烃分离: 脱甲烷塔、C ₃ 分离塔	SRK、PR、RK-SOAVE
	天然气深冷处理: 空分	SRK、PR、RK-SOAVE
石油化工	轻烃分离塔、急冷塔	SRK、PR、RK-SOAVE
	芳烃: 轻质芳香烃提取	WILSON,NRTL,UNIQUAC及其变换形式
	取代烃: 氯乙烯装置、丙烯腈装置	PENG-ROB (PR)
	甲醚生产: MTBE、ETBE、TAME	WILSON,NRTL,UNIQUAC及其变换形式
	乙苯和苯乙烯装置	PENG-ROB或WILSON,NRTL,UNIQUAC及其变换形式
	对苯二甲酸	WILSON,NRTL,UNIQUAC及其变换形式

物性方法推荐

领域	应用	推荐物性方法
化学	共沸分离：醇分离	WILSON,NRTL,UNIQUAC及其变换形式
	羧酸：醋酸装置	WILS-HOC、NRTL-HOC
	苯酚装置	WILSON,NRTL,UNIQUAC及其变换形式
	液相反应：酯化反应	WILSON,NRTL,UNIQUAC及其变换形式
	合成氨反应	PENG-ROB (PR)
环境	溶剂回收	WILSON,NRTL,UNIQUAC及其变换形式
	(取代)烃汽提	WILSON,NRTL,UNIQUAC及其变换形式

经验选取

- ◆ 选择物性方法也可通过经验，即通过物系特点和操作温度、压力进行选择。比如：
- ◆ 丙烷、乙烷、丁烷应用状态方程法，如PENG-ROB等
- ◆ 苯/水、丙酮/水、甲烷/水应用活度系数法，如UNIQUAC或NRTL-RK等
- ◆ 涉及电解质（离子）的化学过程选择ELECNRTL或ENRTL-RK

基团参数和二元交互参数

支持用户自定义修改

组分列表 组分结构 原油 亨利组分

JOBACK VAN KREVELEN UNIFAC

基团结构 **基团参数** 二元交互参数

基团	编号	UNIFAC Q参数	UNIFAC R参数
H2	610	0.416	0.571
N2	620	0.856	0.93
CO	630	0.711	0.828
AR	645	1.177	1.116
CH4	20	1.1292	1.124
CH2=CH2	50	1.3564	1.3098
CH≡CH	360	1.5227	1.392
CO2	635	1.3	0.982

组分列表 组分结构 原油 亨利组分

JOBACK VAN KREVELEN UNIFAC

基团结构 基团参数 **二元交互参数**

基团I	基团J	参数
H2	H2	0
H2	N2	-0.08
H2	CO	116.51
H2	AR	0
H2	CH4	1427.86
H2	CH2=CH2	381.17
H2	CH≡CH	114.46
H2	CO2	-0.04
N2	H2	729.54
N2	N2	0
N2	CO	-288.01
N2	AR	18.31
N2	CH4	748.75
N2	CH2=CH2	-295.62
N2	CH≡CH	-195.54
N2	CO2	-215.13
CO	H2	190.41
CO	N2	-291.45
CO	CO	0
CO	AR	-44.21
CO	CH4	688.6

亨利组分参数

组分列表 组分结构 原油 **亨利组分**

亨利组分

请输入

+ 新增

溶质添加 亨利组分参数

描述 请输入描述

组分列表

序号	组分名	操作
1	H2	删除
2	O2	删除

溶质添加 亨利组分参数

描述 请输入描述

序号	组分名	操作
1	O2	删除
2	CH4	删除

选择组分

组分名	类型	分子式	CAS号
H2	常规组分	H2	1333-74-0
N2	常规组分	N2	7727-37-9
CO	常规组分	CO	630-08-0
AR	常规组分	Ar	7440-37-1
O2	常规组分	O2	7782-44-7
CH4	常规组分	CH4	74-82-8
C2H4	常规组分	C2H4	74-85-1
C2H6	常规组分	C2H6	74-84-0
C2H2	常规组分	C2H2	74-86-2
CO2	常规组分	CO2	124-38-9
C3H6	常规组分	C3H6	115-07-1
C3H8	常规组分	C3H8	74-98-6
PD	常规组分	C3H4	463-49-0
MAPD	常规组分	C3H4	74-99-7
MA	常规组分	C3H4	74-99-7
I-BUTANE	常规组分	C4H10	75-28-5
I-BUTENE	常规组分	C4H8	115-11-7

◆ 如组分中存在超临界组分和不溶性轻组分（如CO₂、CO、H₂等），需进行亨利组分配置

◆ 物性方法选择理想或活度系数法时亨利组分生效

溶质添加 亨利组分参数

亨利组分参数列表

系统数据库 一键重排 上移 下移 重置 批量删除

溶质	溶剂	来源	温度	性质单位	Aij	Bij	Cij	Dij	Eij	下限温度	上限温度	操作
O2	C6PARAF	HENRY-1	C	kPa	-80.2564...	3068.5	14.191	0	0	10	40	重置 删除
O2	C6NPARAF	HENRY-1	C	kPa	-80.2564...	3068.5	14.191	0	0	10	40	重置 删除
O2	BENZENE	HENRY-1	C	kPa	26.27704	-437.46	-2.3412	0.000872	0	10	60	重置 删除
O2	C7PARAF	HENRY-1	C	kPa	12.81884	-1291.1	0.4177	0	0	25	40	重置 删除
O2	C7NPARAF	HENRY-1	C	kPa	12.81884	-1291.1	0.4177	0	0	25	40	重置 删除
O2	WATER	HENRY-1	C	kPa	149.0132	-7775.06	-18.3974	-0.00944...	0	0.85	74.85	重置 删除
O2	TOLUENE	HENRY-1	C	kPa	12.48434	-279.07	0	0	0	15	26	重置 删除
O2	C8PARAF	HENRY-1	C	kPa	11.31354	-156.48	0	0	0	25	35	重置 删除
O2	C8NPARAF	HENRY-1	C	kPa	11.31354	-156.48	0	0	0	25	35	重置 删除
O2	ETHYLBZ	HENRY-1	C	kPa	5.885245	1622.5	0	0	0	20	25	重置 删除
O2	C10NPARA	HENRY-1	C	kPa	13.62524	-1526.3	0.42396	0	0	25	40	重置 删除



06 | 热力学工具

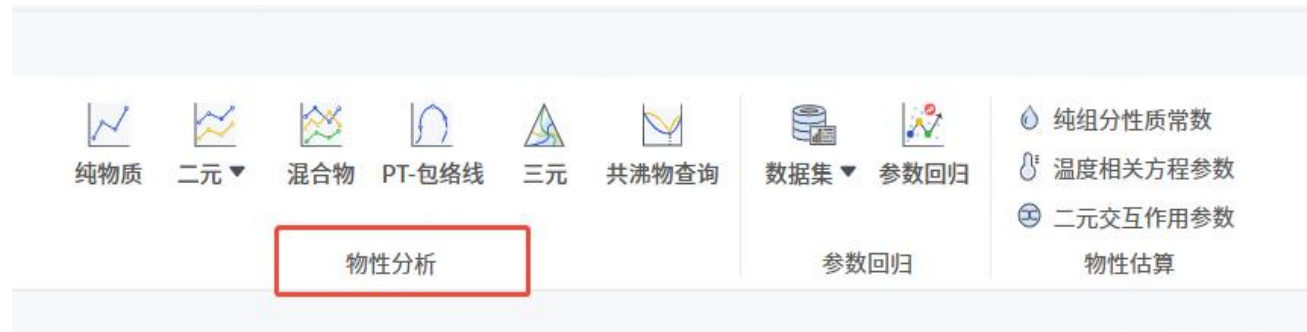
学习目标



- **目标：**
 - 熟悉热力学工具的使用。
- **内容：**
 - 学习使用热力学工具进行物性分析及相图、参数回归、物性估算。

物性分析

“物性分析”工具主要用于分析**物质特性**以及**相平衡关系**。可使用“物性分析”功能生成状态变量（温度、压力、组成、气相分率等）及相关物性的表格，同时可以绘图以便理解预测的物性特征。“物性分析”包括**纯物质分析、二元分析、混合物分析、PT-包络线、三元分析**和**共沸物查询**。



纯物质分析

对纯组分进行分析计算并且显示与温度有关的纯组分特性

二元分析

生成二元物系通用相图，如TXY、PXY、TXX、混合吉布斯能

混合物分析

通过对闪蒸计算的多相混合物或不进行闪蒸计算的单相混合物进行物性评估

PT-包络线

沿恒定气相分率线的压力-温度包络线和特性

三元分析

绘制三元相图
包括剩余曲线、等挥发度曲线和共沸点等信息

物性分析-纯物质分析

生成以温度、压力为自变量的纯物质物性表格及图像，用于查看物性-温度的关系和分析物性方法及参数的适用性。

The screenshot shows the 'Pure Substance Analysis' (纯物质分析) interface. On the left, there is a sidebar with '纯物质1' and a '+ 新增' button. The main area is divided into '分析配置' (Analysis Configuration) and '查看结果' (View Results). Under '分析配置', there are three sections: '组分' (Components), '物性集选择' (Property Set Selection), and '物性选项' (Property Options). The '组分' section has a dropdown menu with 'TOLUENE' selected and a '组分列表' (Component List) button. The '物性集选择' section has a dropdown menu with '物性集1' selected and a '物性集配置' (Property Set Configuration) button. The '物性选项' section has a dropdown menu with 'PR' selected. To the right, there are settings for '温度' (Temperature) and '压力' (Pressure). The '温度' section includes '单位' (Unit) set to 'C', '生成方式' (Generation Method) with '等距' (Equal Interval) selected, and fields for '开始点' (Start Point) at 0, '结束点' (End Point) at 25, and '区间数' (Number of Intervals) at 50. The '压力' section has a field for '压力' (Pressure) set to 0.101325 MPa. A blue '分析运行' (Run Analysis) button is located at the top right. A callout box on the right contains two bullet points: '● 选择物性计算的状态变量温度/压力' and '● 通过设置温度的上下限、区间数计算多个温度下的组分的物性'. Red arrows and boxes highlight the '组分列表', '物性集配置', and '物性方法' (PR) elements, with text annotations: '选择需要分析的组分' (Select components to be analyzed), '若未配置物性集, 可在此处添加/修改' (If no property set is configured, you can add/modify it here), and '选择物性包' (Select property package).

纯物质分析

纯物质1

请输入

+ 新增

分析配置 查看结果

分析类型: 纯物质1 分析运行

组分 组分列表

TOLUENE × 选择需要分析的组分

物性集选择 物性集配置

物性集1 ×

物性选项 若未配置物性集, 可在此处添加/修改

物性方法 PR 选择物性包

温度

单位 C

生成方式 等距 值列表

开始点 0

结束点 25

区间数 50

压力

压力 0.101325 MPa

- 选择物性计算的状态变量温度/压力
- 通过设置温度的上下限、区间数计算多个温度下的组分的物性

物性分析-二元分析

当前项目: 新建项目5

项目文件

项目管理

二元分析-TXY

二元分析-TXY1

请输入

+ 新增

热力学工具

分析配置 查看结果

分析类型: TXY1

分析运行

1 选择二元相图类型

2 选择二元气液平衡分析的组分

3 二元气液平衡计算时的液相组成

4 选择物性包及有效相态

5 设置二元相图计算的环境压力

6 夹带剂能改变混合物组分间的相对挥发度, 从而实现对常规方法难以分离的物系 (特别是共沸物或近沸物) 进行有效分离。夹带剂在共沸精馏中有关键作用

纯组性质常数
温度相关方程参数
二元交互作用参数
物性估算

纯物质 二元 混合物 PT-包络线

查询 数据集 参数回归

参数回归 物性估算

TX
PXY
TXX
混合吉布斯能

组分列表

组分1 C6H6

组分2 TOLUENE

组成

基准 摩尔

变化组分 C6H6

生成方式 等距 值列表

开始点 0

结束点 1

区间数 50

物性选项

物性方法 NRTL

亨利组分

有效相态 气液

压力

单位 MPa

生成方式 等距 值列表

值	操作
0.101325	删除
请输入	

夹带

是否应用

夹带剂 请选择

夹带分率

值	操作
暂无数据	

物性分析-PT包络线

PT-包络线

PT-包络线1

请输入

+ 新增

分析配置 查看结果

分析类型: PT-包络线1 分析运行

组分

基准 摩尔

组分	百分率	操作
CO	0.3	删除
CH4	0.2	删除
C2H6	0.3	删除
CO2	0.2	删除
请选择		

生成选项

最大温度 请输入 K

最小温度 请输入 K

最大压力 请输入 N/sqm

最小压力 请输入 N/sqm

最大步长 0.2 kmol/cum **必填项**

最大点数 200

初始压力 请输入 N/sqm

初始温度 请输入 K

物性选项

物性方法 PR

有效相态 气液

亨利组分

气相分率

值	操作
0	删除
1	删除
请输入	

选择计算PT包络线的组分及组成

选择物性包及有效相态, 并配置PT-包络线的相分率

物性分析-三元分析

计算三元体系的剩余曲线、共沸点、等挥发度曲线并生成三元相图，用于分析三元系统的气-液平衡。

1 选择三元分析的组分及组成基准

三元分析1
请输入
+ 新增

分析配置 查看结果

分析类型: 三元分析1

2 选择物性包及有效相态

组分列表

组分1: H2O
组分2: ETHANOL
组分3: METHANOL
基准: 摩尔

物性选项

物性方法: NRTL
有效相态: 气液

3 配置体系压力

压力: 0.101325 MPa

温度

单位: C

4 配置三元相图内容

计算选项

剩余曲线

组分1组成 ?	组分2组成 ?	组分3组成 ?	操作
0.2	0.3	0.5	删除
请输入	请输入	请输入	

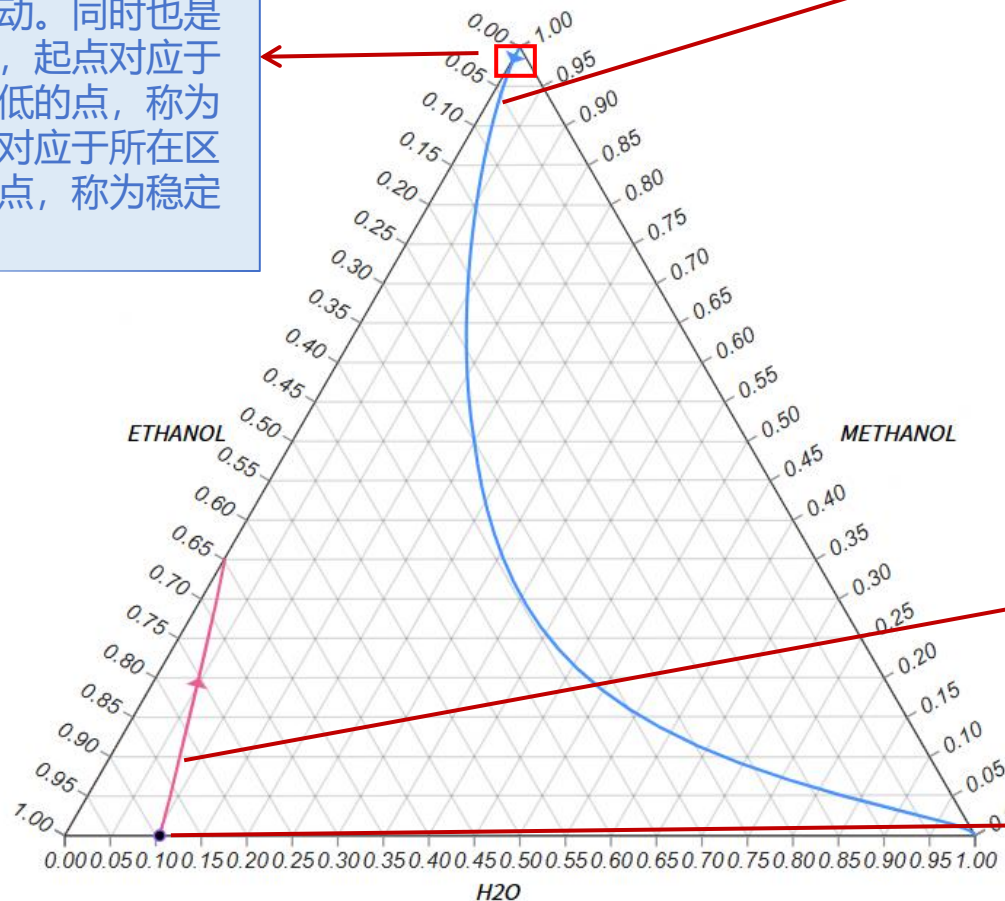
共沸点 ● 选择是否计算剩余曲线、共沸点、等挥发度曲线
等挥发度曲线 ● 配置剩余曲线生成的起点

5 运行

分析运行

物性分析-三元分析

剩余曲线是有方向的，所有的剩余曲线都是始于最轻的组分，向最重的组分移动。同时也是温度升高的方向，起点对应于该区域内沸点最低的点，称为不稳定点；终点对应于所在区域内沸点最高的点，称为稳定点。



◆ 剩余曲线

描绘了间歇蒸馏塔釜中**三元混合物的组成**随时间变化的轨迹。可配置多种组分占比，绘制多条剩余曲线。主要用于：

- (1) 可视化共沸物的存在以及共沸物对分离施加的约束；
- (2) 利用剩余曲线预测组分分离的可行性；
- (3) 用于选择夹带剂，并分析潜在的塔操作性问题。

◆ 等挥发度曲线

在等挥发度曲线上，存在两个组分的相对挥发度为1

◆ 共沸点

分为二元共沸点和三元共沸点，该组成下各组分的挥发度相等

物性分析-共沸物查询

共沸点查询功能可以查到混合物体系中所有的共沸物以及共沸物的组成和温度，为分离过程和工艺设计提供指导。

纯物质 二元 混合物 PT-包络线 三元 共沸物查询

数据集 参数回归

纯组分性质常数 温度相关方程参数 二元交互作用参数

物性分析 参数回归 物性估算

分析配置 查看结果 查看报告

分析类型: 共沸物1

选择组分

分析运行

组分 组分列表

C2H4CL2 × C2H3N × H2O ×

C6H6 × TOLUENE ×

温度

单位 C

压力

压力 1 atm

选择温度和压力单位

物性选项

物性方法 NRTL

有效相态 气液

选择物性方法及有效相态

共沸物查询
分析配置 查看结果 查看报告

共沸物1

请输入

+ 新增

101325N/sqm压力下混合物中的共沸物

共找到6种共沸物

序号:1

共沸物组分数:2

温度:319.0184K

组分名	中文名	摩尔组成	质量组成
▶ C2H4CL2	1,1-二氯乙烷	0.6987652589860824	0.9272309526642323
▶ H2O	水	0.3012347410139177	0.07276904733576764

序号:2

共沸物组分数:2

温度:330.4052K

组分名	中文名	摩尔组成	质量组成
▶ H2O	水	0.4253543630270314	0.1458192036882513
▶ C6H6	苯	0.5746456369729686	0.8541807963117487

序号:3

共沸物组分数:2

温度:339.8521K

组分名	中文名	摩尔组成	质量组成
▶ H2O	水	0.5357750572559762	0.18410951917125457
▶ TOLUENE	甲苯	0.4642249427440236	0.8158904808287454

序号:4

共沸物组分数:2

温度:346.744K

组分名	中文名	摩尔组成	质量组成
▶ C2H3N	乙腈	0.46239900664191236	0.31131044628926935
▶ C6H6	苯	0.5376009933580874	0.6886895537107307

序号:5

共沸物组分数:2

温度:349.8008K

组分名	中文名	摩尔组成	质量组成
▶ C2H3N	乙腈	0.6722441281202113	0.823753163339966
▶ H2O	水	0.3277558718797886	0.1762468366600339

参数回归-数据集

数据集的主要作用是存储实验数据，以便于使用“参数回归”功能时调用，数据集可分为纯物质和混合物数据集。“数据集”存储的信息包含：组分、实验数据类型、数据不确定度（标准偏差）、实验数据值。

纯物质 二元 混合物 PT-包络线 三元 共沸物查询 数据集 参数回归

纯组分性质常数
温度相关方程参数
二元交互作用参数
物性估算

物性分析

纯物质分析 二元分析-TXY 纯物质数据集 参数回归

纯物质1
请输入
+ 新增

组分 C6H6
性质 PL
不确定度
温度 0.1
性质 1%

数据表

温度	PL	是否启用	操作
C	MPa		

“数字”表示绝对不确定度
“数字%”表示相对不确定度

每一行表示一个实验点。

参数回归-参数回归

配置用于“参数回归”的物性方法、回归算法、参数设置、数据集。

参数回归1

请输入

+ 新增

参数设置: 运行

物性选项

物性方法: PR

亨利组分:

回归算法

目标函数: 最大似然估计

优化算法: 拟牛顿法

参数设置

参数类型	计算模型	模型参数	组分1	组分2	模式	初值	下限	上限	缩放因子	启用状态	操作
纯物质参数	HVLDIP_106	A	H2		回归	请输入	请输入	请输入	1	<input checked="" type="checkbox"/>	删除
请选择											

数据集设置


数据集	权重	点检验容忍值	面积检验容忍值	是否一致性检验	操作
请选择					

“参数回归”使用的物性包，物性包决定了可用于回归的参数

- 初值在模式为回归时是初值，模式为固定时是固定值
- 不设置初值时以数据库中的值作为初值


- 数据集和回归的参数要存在关联，即可以由参数计算得到实验值对应的计算值。
- 若不存在系统性偏差（实验值与计算值之间的偏差较小且正负随机分布），则认为回归结果可靠，可将参数更新至数据库。

物性估算

- 对于难以获取的物性参数，可通过“物性估算”功能进行估算，目前包括：纯组分性质常数估算、温度相关方程参数估算、二元参数估算。
- 选择需要估算的组分及物性、估算方法后点击  按钮即可进行估算。注：进行估算前需要先配置组分的分子结构/官能团

纯物质分析 > 纯组分性质常数

估算设置 查看结果


估算类型: 纯组分性质常数 

组分	性质参数	估算方法	操作
C6H6	TC	Joback	删除

纯组分性质常数

纯物质分析 > 纯组分性质常数 > 温度相关方程参数 > 二元交互作用参数

估算设置 查看结果

估算类型: 温度相关方程参数 

组分	性质参数	估算方法	温度下限	单位	温度上限	单位	操作
C6H6	PL	Riedel	-248.15	C	-223.15	C	删除

温度相关方程参数

估算设置 查看结果

估算类型: 二元交互作用参数 

UNIFAC 实验数据

UNIFAC1

UNIFAC1 请输入



参数设置

参数模型	组分1	组分2	操作
WILSON	CO2	H2O	删除

温度设置

单位 C

温度	操作
25	删除
请输入	

二元参数

必填项

案例演示 (物性分析-二元分析)

使用二元分析功能绘制乙腈(C_2H_3N)-水(H_2O)的二元相图, 并分析80/120/160kPa下该物系共沸组成的变化。物性方法选择NRTL。

当前项目: 新建项目5

二元分析-TXY

分析配置 查看结果

分析类型: TXY1 分析运行

组分 组分列表

组分1:

组分2:

组成

基准:

变化组分:

生成方式: 等距 值列表

开始点:

结束点:

区间数:

物性选项

物性方法:

亨利组分:

有效相态:

压力

单位:

生成方式: 等距 值列表

值	操作
80	删除
120	删除
160	删除
<input type="text" value="请输入"/>	

夹带

是否应用:

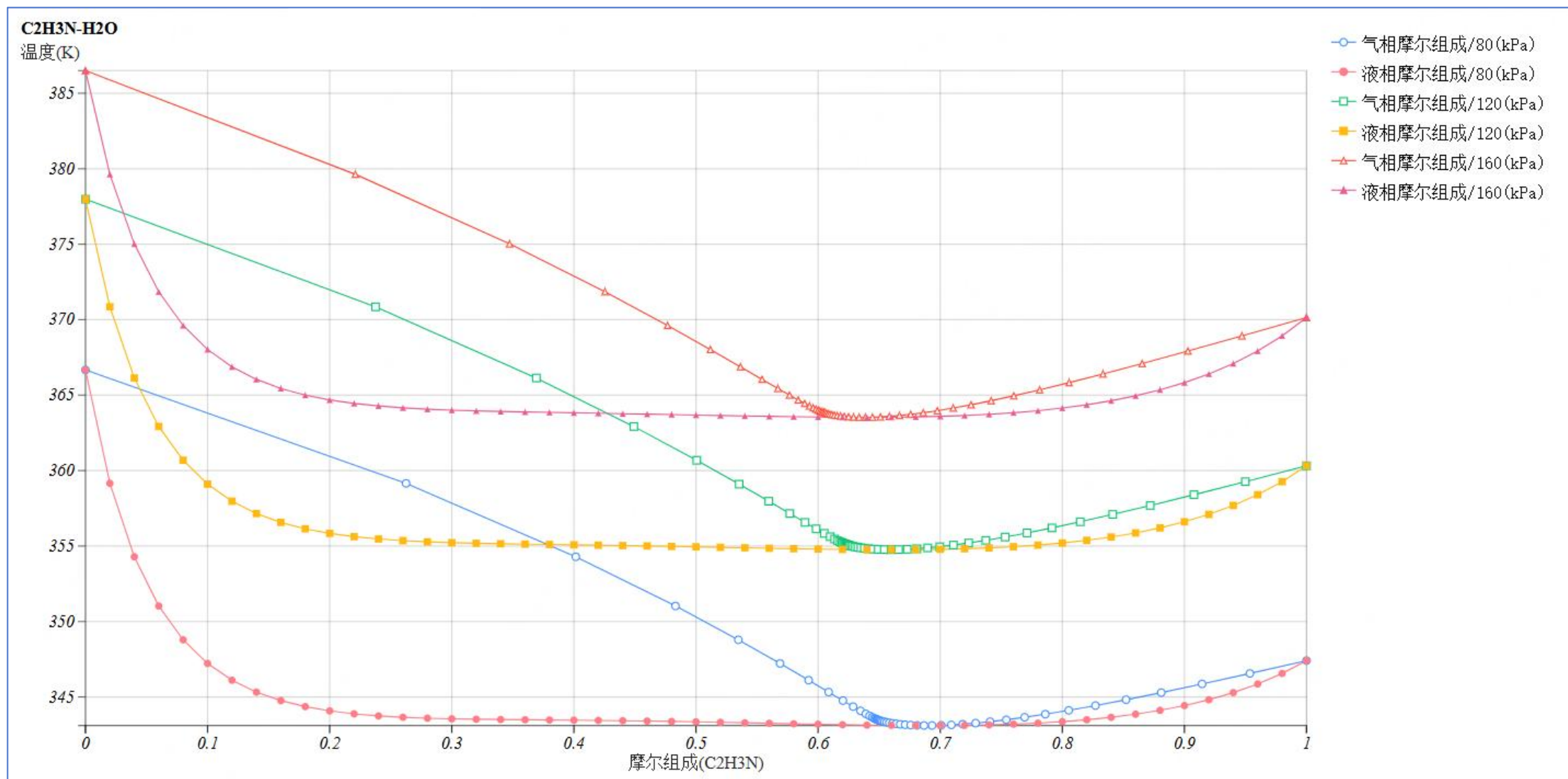
夹带剂:

夹带分率:

值	操作
暂无数据	

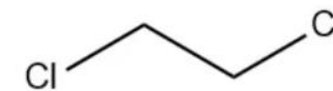
案例演示 (物性分析-二元分析)

查看结果



案例演示 (物性估算-纯组分性质常数)

估算1,2-二氯乙烷的临界温度TC、临界压力PC、偏心因子ACEN



组分列表 组分结构 原油 亨利组分

JOBACK VAN KREVELEN UNIFAC

C2H4CL2

基团	编号	类别	数量	操作
▶ -CH2-(非环)	2	非环结构基团	2	删除
▶ -Cl	17	氯基	2	删除
▶ 请输入要选择的基团				

1

根据1,2-二氯乙烷的结构式输入基团和基团数，该组分是有两个非环状的-CH₂-和两个-Cl构成的。

案例演示 (物性估算-纯组分性质常数)

当前项目: 演示案例3

物性分析 | 参数回归 | 物性估算

性质常数

估算设置 查看结果

估算类型: 纯组分性质常数 运行

组分	性质参数	估算方法	操作
C2H4CL2	TC	Joback	删除
C2H4CL2	PC	Joback	删除
C2H4CL2	ACEN	Lee-Kesler	删除

2

选择物性估算中的纯组分性质常数, 组分选择1,2-二氯乙烷($C_2H_4CL_2$), 物性参数选择TC, PC和ACEN, 估算方法分别选择Joback, Joback和Lee-Kesler, 配置完以上组态后点击运行。

纯组分性质常数

估算设置 查看结果

组分	性质参数	估算方法	值	单位	操作
C2H4CL2	TC	Joback	559.546	K	更新
C2H4CL2	PC	Joback	4540798	N/sqm	更新
C2H4CL2	ACEN	Lee-Kesler	0.2698218	unitless	更新

一键更新

3

选中被估算出来的纯组分性质常数, 然后点击一键更新。

案例演示 (物性估算-纯组分性质常数)

查看更新后的组分物性参数结果

物质详细信息					
组分名	C2H4CL2	分子式	C2H4Cl2	CAS号	107-06-2
类型	常规组分	中文名	1,2-二氯乙烷	英文名	1,2-DICHLOROETHANE
缩写	EDC				

物性		方程		
名称	描述	值	单位	来源
▶ MW	相对分子质量	98.95916	unitless	常规1
▶ NBP	常压沸点	356.59	K	常规1
▶ ACEN	偏心因子	0.2698218	unitless	估算
▶ TC	临界温度	559.546	K	估算
▶ PC	临界压力	4540798	N/sqm	估算
▶ VC	临界体积	0.22	cum/kmol	常规1
▶ ZC	临界压缩因子	0.253	unitless	常规1
▶ VB	常压沸点下的液相摩尔体积	0.0856	cum/kmol	常规1
▶ SG	相对密度(比重)	1.2497	unitless	常规1
▶ API	API度	-18.272	unitless	常规1
▶ GFOR	理想气体生成吉布斯能	-7.3945E+7	J/kmol	常规1
▶ HFOR	理想气体生成焓	-1.2979E+8	J/kmol	常规1

保存为: 演示案例6-1.APEX



07 | 单元模块简介

学习目标



- **目标：**
 - ◆ 熟悉APEX中的单元模型及其用途。

- **内容：**
 - ◆ 每个单元模型的名称、用途、应用场景。

目前版本包含的单元模块

设备类型	流股源	传热	分流/混合	简单分离	塔体	压力变送	反应器	其他模块	用户模块
单元模块	物料源 (MS)	加热器 (E)	分流器 (SPLT)	两相闪蒸罐 (FLSH)	精馏塔 (PDT)	泵 (PUMP)	产率反应器 (YR)	测量模块 (MSM)	用户模块 (USER)
	油品源 (PET)	换热器 (HX)	混合器 (MIX)	三相闪蒸罐 (FLST)	萃取塔 (EXT)	阀门 (VLV)	计量反应器 (SR)	分析模块 (ANA)	
	热源 (HEAT)	热通量换热器 (QX)	热流混合器 (QMIX)	液液分离器 (DECT)	简捷塔 (SCCOLU MN)	压缩机/透平机 (COMPS)	吉布斯反应器 (RGIBBS)	简单计算模块 (CALC)	
		多流股换热器 (MHX)		组分分离器 (SEP)			平衡反应器 (REQUIL)	复制模块 (DUPL)	
							全混流反应器 (CSTR)	子流程模块 (HIER)	
							平推流反应器 (PFR)	流股转换器 (CVT)	
						电解槽 (ELECTROLYZER)	倍增器 (MULT)		

流股源、传热

名称	用途
物料源(MS)	设置进料物流条件
油品源(PET)	设置进料油品条件
热源(HEAT)	设置热源条件
加热器(E)	可以提高或降低物流的温度, 改变出口物流的热力学状态和相态 (加热、冷却、冷凝等)
换热器(HX)	模拟两股物流之间的换热 (管壳式换热器、空冷器和板式换热器)
热通量换热器(QX)	根据传热机理计算模块/流股之间的热量平衡
多流股换热器 (MHX)	模拟多股物流之间的热量交换 (冷箱等)



分离/混合、简单分离

名称	用途
分流器(SPLT)	把一股或多股流股混合后分为多股流股 (分流器、排气阀等)
混合器(MIX)	把多股物流混合成一股流股 (混合三通、流股混合操作)
热流混合器(QMIX)	把多股热流股混合成一股热流股
两相闪蒸罐(FLSH)	用严格VLE或VLLE, 把进料分成两股出口物流(闪蒸器、蒸发器、分液罐、单级分离器)
三相闪蒸罐(FLAT)	用严格VLE或VLLE, 把进料分成三股出口物流(分相器、有两个液相出口的单级分离器)
液液分离器(DECT)	把进料分成两股液相出口物流(分相器、有两个液相而无气相出口的单级分离器)
组分分离器(SET)	根据规定的组分流量或分数, 把入口物流分成多股出口物流



分流器



混合器



热流混合器



两相闪蒸罐



三相闪蒸罐



液液分离器



组分分离器

塔体、压力变送

名称	用途
精馏塔(PDT)	进行单个精馏塔严格校核和设计计算，可用于常规精馏、吸收、汽提、共沸精馏、萃取精馏等场景
萃取塔(EXT)	萃取剂与原料液在塔内逆流完成原料液中所需组分的萃取（液液萃取塔）
简捷塔 (SCCOLUMN)	简捷塔可基于分离要求（如轻组分回收率、重组分纯度）快速计算核心参数（理论塔板数、回流比、进料位置），无需等待严格塔的复杂收敛
泵(PUMP)	当已知压力、功率或特性曲线时，改变物流的压力（泵、水轮机）
阀门(VLV)	确定压降或阀系数，可用于控制阀、球阀、截止阀和蝶阀中的多相绝热流动
压缩机 /透平机(COMPS)	当已知压力、功率或特性曲线时，改变物流的压力，可用于多变压缩机、多变正排量压缩机、等熵压缩机和等熵涡轮机



精馏塔



萃取塔



泵



阀门



压缩机/透平机

反应器

名称	用途
吉布斯反应器 (RGIBBS)	基于吉布斯自由能最小化原理构建的热力学平衡反应器模型，主要用于预测复杂反应体系在给定条件下的平衡组成
产率反应器(YR)	模拟已知产率的反应器模块，可用于化学反应式计量系数和反应动力学数据未知或不重要，但产率分布已知，也用于组分映射
计量反应器(SR)	模拟已知反应程度或转化率反应器模块，可用于反应动力学数据未知或不重要，但化学反应式计量系数和反应程度已知的反应器
平衡反应器 (REQUIL)	基于热力学平衡原理构建的反应模型，强制体系达到吉布斯自由能最小化状态
全混流反应器(CSTR)	采用动力学反应，模拟全混釜反应器，可用于单相、两相全混釜反应器
平推流反应器(PFR)	采用动力学反应，模拟平推流反应器（单相、两相平推流反应器）
电解槽 (ELECTROLYZER)	电化学反应器，通过在电极上施加直流电压，驱动非自发氧化还原反应，实现物质分解或合成。



吉布斯反应器



产率反应器



计量反应器



平衡反应器



全混流反应器



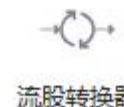
平推流反应器



电解槽

其他模块

名称	用途
测量模块 (MSM)	把生产数据与模型关联, 驱动模型计算或者用于模型参数估计
分析模块 (ANA)	模拟计算指定流股的纯组分性质、混合物性质或油品性质
简单计算模块 (CALC)	利用单元模块的变量或用户自定义变量, 经过常用的数学运算, 计算需要的结果。如产品收率、转化率等
复制模块(DUPL)	将入口流股复制为任意数量的出口流股
子流程模块(HIER)	实现层级模型
流股转换器 (CVT)	实现虚拟组分向常规组分的转换
倍增器 (MULT)	模拟物流流量成比例增大或减少
用户模块 (USER)	用户模块可调用外部子程序与其他EO模型实现协同计算





08 | 传热单元

学习目标



- **目标：**
 - ◆ 熟悉加热器、换热器、热通量换热器单元模型的用法。
- **内容：**
 - ◆ 介绍这三种单元模型的区别、使用方法、输入规定；
 - ◆ 介绍换热原理，传热公式

传热单元模块

名称	特点	使用方法
加热器 (E)	加热器或冷却器	改变一股物流的热力学状态， 用于模拟加热器、冷却器、冷凝器等
换热器 (HX)	两股物流的换热器	两股物流的换热器， 当知道几何尺寸时，核算管壳式换热器
热通量换热器 (QX)	对换热器的冷热端进行热量传递计算	根据传热机理计算模块/流股之间的热量平衡



加热器-参数输入



闪蒸类型

指定两个已知的工艺参数（自变量），让软件计算出闪蒸后物料的其他所有未知性质（因变量）。

工程实践中，压力-温度（默认）、压力-热负荷和压力-相分率是最常用的几种类型。

压降参数-温度等在模拟管道系统时也非常有用。

热效率

$$\eta = (\text{被加热流体吸收的热量} / \text{输入总热量}) \times 100\%。$$

压降参数

关键的“压降关联参数”，将流速、流道几何尺寸和局部阻力等因素全部囊括在一个常数中。简单来说，在加热器模块中，只要输入一个**压降参数**值，软件就会根据实时的物流流量和物性（密度），自动计算出当前的压降。

输入压降参数适用于初步设计或已有设备的模拟，当详细的几何信息不可用时。

换热器-原理介绍

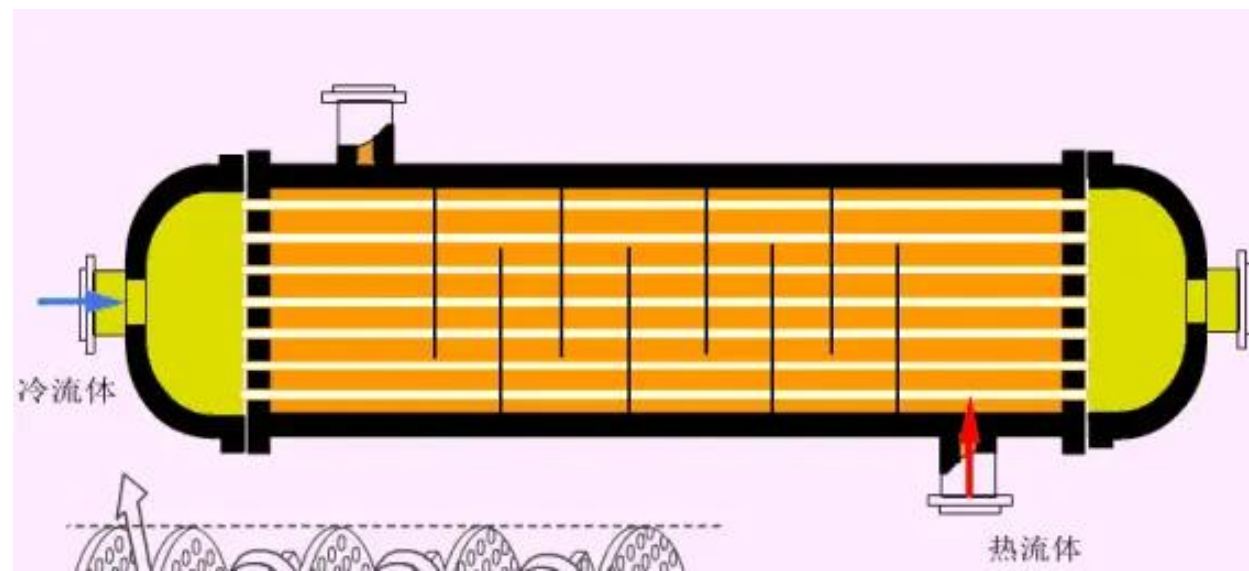
换热器的工作原理基于热传导和对流换热的基本物理定律，其核心目的是实现热量在不同介质之间的有效传递。首先，热量通过对流传热的方式从高温流体主体传递到换热器壁面附近的层流边界层，之后通过热传导依次通过高温流体层流边界层、壁面材料和壁面另一侧的低温流体层流边界层，之后再次通过对流换热的方式传递到低温流体主体。

传热基本方程式

$$Q = UA\Delta T_m$$

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

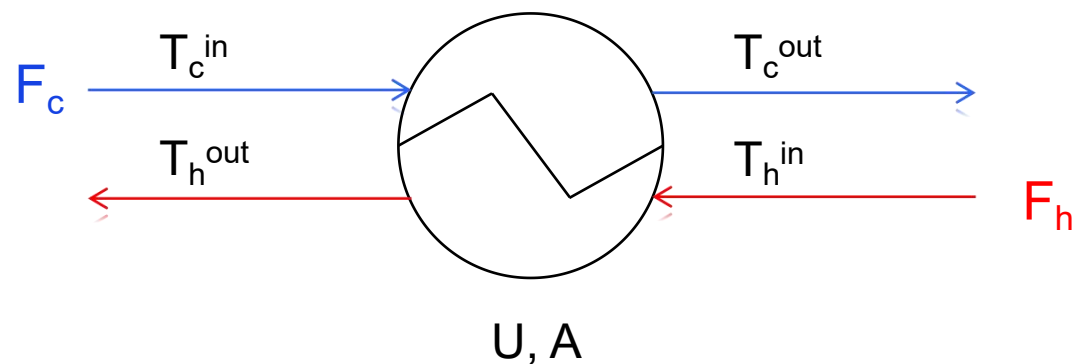
其中， U 是总传热系数， A 是换热面积， ΔT_m 是对数平均温差。



换热器-对数平均传热温差 ΔT_m

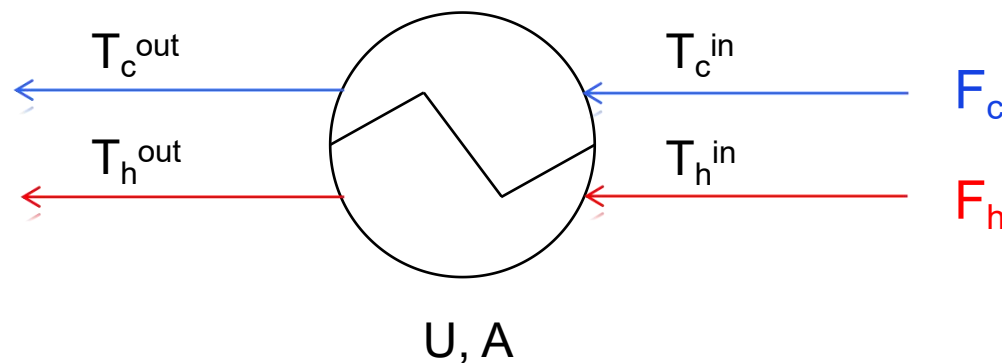
$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

逆流：热流与冷流流向相反，热流入口对应冷流出口，热流出口对应冷流入口



$$\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out}, \Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,in}$$

并流：热流与冷流流向相同，热流入口对应冷流入口，热流出口对应冷流出口



$$\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,in}, \Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,out}$$

换热器-参数输入

HX1 (类型: 换热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 HX1

基础配置 稳态 端口 描述

基础配置 对数平均温差 压降 传热系数

流向 逆流

计算模式 设计

设定配置 热物流出口气相分率

热物流出口气相分率 0.1

换热面积 20 sqm

UA常数 请输入值 kJ/s-K

热侧有效相态 气-液

冷侧有效相态 气-液

UA常数 = 总传热系数U * 换热面积A

- ◆ **选择流向**包含两个选项，“逆流”或者“并流”。
- ◆ **计算模式**包含三个选项，“设计”、“校验”和“模拟”。
- ◆ **设定配置**可选择指定以下条件之一：

换热器的几种设定配置	
热物流出口温度	冷物流出口温度
热物流温降	冷物流温升
热物流出口与冷物流入口温差	冷物流出口过热度
热物流出口过冷度	冷物流出口气相分率
热物流出口气相分率	换热器热负荷
热物流入口与冷物流出口温差	热物流与冷物流出口物流温差

换热器模式

模式	核心问题	已知信息	求解目标
设计模式	对换热器设备的换热面积 A 和传热系数 U 进行设计	<ul style="list-style-type: none"> • 物流流量、组成 • 所有进出口温度 • 允许压降 • 物性数据 	<ul style="list-style-type: none"> • 换热面积 A • 设备结构尺寸 • 传热系数 U • 管数、壳径等
校验模式	现有换热器是否可满足要求	<ul style="list-style-type: none"> • 物流流量、组成 • 进口温度 • 换热器详细几何尺寸 • 物性数据 	<ul style="list-style-type: none"> • 出口温度 • 实际热负荷 Q • 实际传热系数 • 压降
模拟模式	已有换热器在流程里的运行结果	<ul style="list-style-type: none"> • 物流流量、组成、进口温度 • 换热面积 A • 传热系数 U • 设备结构 	<ul style="list-style-type: none"> • 出口温度 • 热负荷 Q • 传热推动力

换热器-参数输入

模块名称

基础配置 **稳态** 端口 描述

基础配置 **对数平均温差** 压降 传热系数

对数平均温差修正系数计算方法

修正系数

基础配置 **稳态** 端口 描述

基础配置 对数平均温差 **压降** 传热系数

热侧压力判断

热侧出口压力

热侧是否计算压降参数

冷侧压力判断

冷侧出口压力

冷侧是否计算压降参数

- ◆ 换热器的**对数平均温差**是指换热器内两个流体流动的温度差异在对数尺度下的平均值
- ◆ **修正系数**是用于修正换热器实际工作状态下对数平均温差的一个系数

$$Q = U \times A \times \text{LMTD修正系数} \times \text{LMTD}$$

基础配置 **稳态** 端口 描述

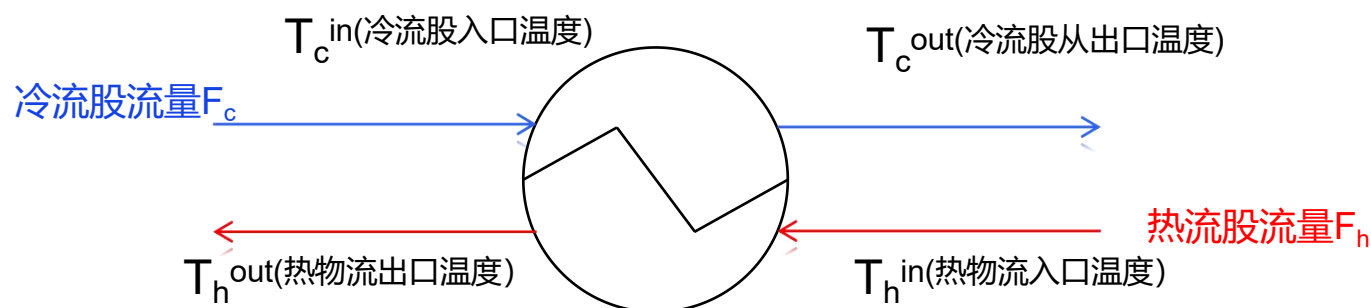
基础配置 对数平均温差 压降 **传热系数**

传热系数计算方法

传热系数常数值

热通量换热器

热通量换热器 (QX) 将常规换热器的冷热传递过程进行拆分，模拟其热传递过程



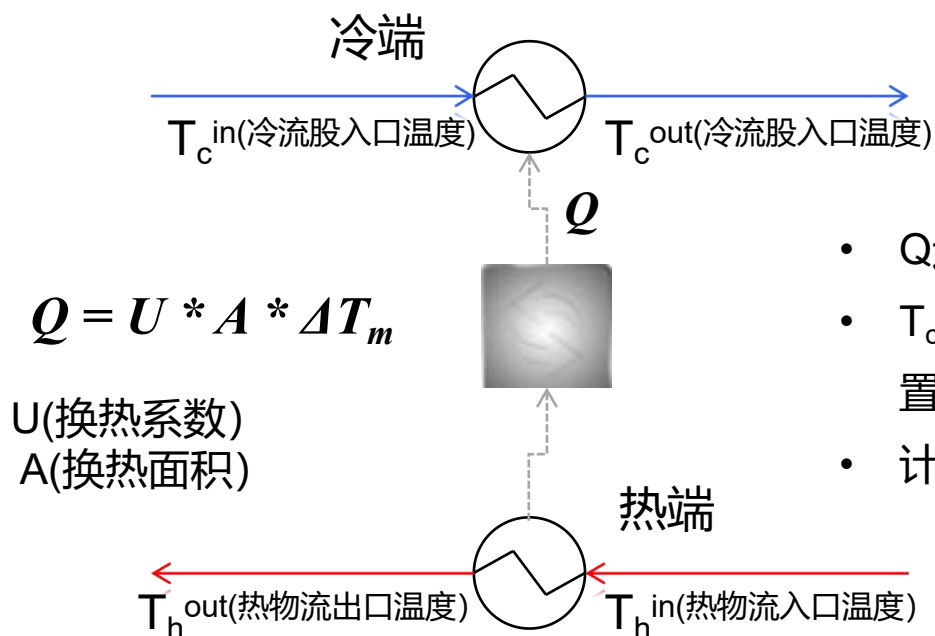
QX模块特点:

- ◆ 无需通过实际的换热器和物料循环
- ◆ 可消除物料流股的复杂性
- ◆ 特别适用于高级能量集成、复杂几何传热以及基于优化的流程设计

主要应用场景:

- ◆ 反应器热管理
- ◆ 复杂的工艺加热
- ◆ 流程优化与集成

当需要优化一个系统的能量回收时，可以将 QX 作为“热泵”或“公用工程”的代理。通过 EO 优化，自动寻找最佳的换热量，以实现总能耗最低或成本最优



$$Q = U * A * \Delta T_m$$

U(换热系数)
A(换热面积)

- Q通过变量连接已知
- $T_{c\ in}$ 、 $T_{c\ out}$ 、 $T_{h\ in}$ 、 $T_{h\ out}$ 通过配置或变量连接已知
- 计算: U或A

热通量换热器-组态信息

组态信息

QX1 (类型: 热通量换热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称: QX1

基础配置 稳态 端口 描述

入口热流温度: 直接获取 请输入值 C

入口冷流温度: 直接获取 请输入值 C

出口热流温度: 直接获取 请输入值 C

出口冷流温度: 直接获取 请输入值 C

热负荷: 请输入值 kW

传热系数: 请输入值 kJ/s-sqm-C

传热面积: 请输入值 sqm

LMTD修正: 1

流向: 逆流

必填项

可通过相连热流决定

三选二, 计算另一参数

必填项

热负荷: 作用在换热器热流和冷流的热负荷

传热系数: 即传热公式中的U, 系数越大传热性能越好, 系数越小传热性能越差

传热面积: 即传热公式中的A, 传热所需面积

LMTD修正: LMTD修正系数为对数平均温差 (Δt_m) 进行修正, 默认为1

$$Q = U \times A \times \text{LMTD修正} \times \text{LMTD}$$

流向: 可选项, 逆流或并流

入口热流温度、出口热流温度、入口冷流温度、出冷流温度, 温度获取方式可分为:

- ◆ 直接获取: 输入温度的取值范围均为[0,5000] (SI, K)
- ◆ 通过流股获取, 选择界面上已存在的流股
- ◆ 通过元变量获取, 选择元变量并输入温度, 取值范围均为[0,5000] (SI, K)

热通量换热器-组态信息

输入要求

QX1 (类型: 热通量换热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称: QX1

基础配置 稳态 端口 描述

入口热流温度	直接获取	请输入值	C
入口冷流温度	直接获取	请输入值	C
出口热流温度	直接获取	请输入值	C
出口冷流温度	直接获取	请输入值	C
热负荷	请输入值	kW	
传热系数	请输入值	kJ/s-sqm-C	
传热面积	请输入值	sqm	
LMTD修正	1		
流向	逆流		

必填项

可通过相连热流决定

必填项

三选二，计算另一参数

由于逆流和并流时，对于换热公式中的 Δt_m 的计算方式不一样

ΔT_m 作为对数平均传热温差一定大于0。所以:

- ◆ 流向为逆流时，出口冷流温度和出口热流温度可以没有明确规定的关系
- ◆ 而流向为并流时，出口冷流温度需要小于出口热流温度

热通量换热器-组态信息

计算结果

热通量换热器的两种计算方式：

- ◆ 给定传热系数**计算传热面积**
- ◆ 给定传热面积**计算传热系数**

需要指定热负荷

E410U (类型: 热通量换热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 E410U

基础配置 稳态 端口 描述

入口热流温度 通过元变量获取 T410.VAR.MAI... -29

入口冷流温度 直接获取 -37 C

出口热流温度 通过元变量获取 T410.VAR.MAI... -29.3

出口冷流温度 直接获取 -37 C

热负荷 30 Gcal/hr

传热系数 请输入值 kJ/s-sqm-C

传热面积 500 sqm

LMTD修正 1

流向 逆流

E410U (类型: 热通量换热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块结果 运行报告

名称	值	单位
入口热流温度	-28.31734	C
入口冷流温度	-37	C
出口热流温度	-29.23023	C
出口冷流温度	-37	C
热负荷	16175.54	kW
传热系数	3.936722	kJ/s-sqm...
传热面积	500	sqm
对数平均温差	8.217771	DELTA-C
对数平均温差修正系数	1	Unitless

演示案例

模拟用水冷却混合烃

- 烃物流:
- ◆ 温度200°C, 压力4bar, 流量10000kg/h
- ◆ 进料组成 (50wt%苯、20wt%乙苯、20wt%苯乙烯、10wt%水)

组分列表									
组分添加 组分物性 电解质向导 复制 一键重置 批量删除 重排									
序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点	K	CAS号	操作
1	C6H6	常规组分	BENZENE	苯	C6H6	353.24		71-43-2	编辑 删除 更多
2	C8H10	常规组分	ETHYLBENZENE	乙苯	C8H10	409.35		100-41-4	编辑 删除 更多
3	C8H8	常规组分	STYRENE	苯乙烯	C8H8	418.31		100-42-5	编辑 删除 更多
4	H2O	常规组分	WATER	水	H2O	373.15		7732-18-5	编辑 删除 更多
	请输入要添加的组分								

添加组分

组分
物性方法

RK(默认)

请输入

+ 新增

物性方法 二元参数

描述: 请输入描述

基础算法: RK

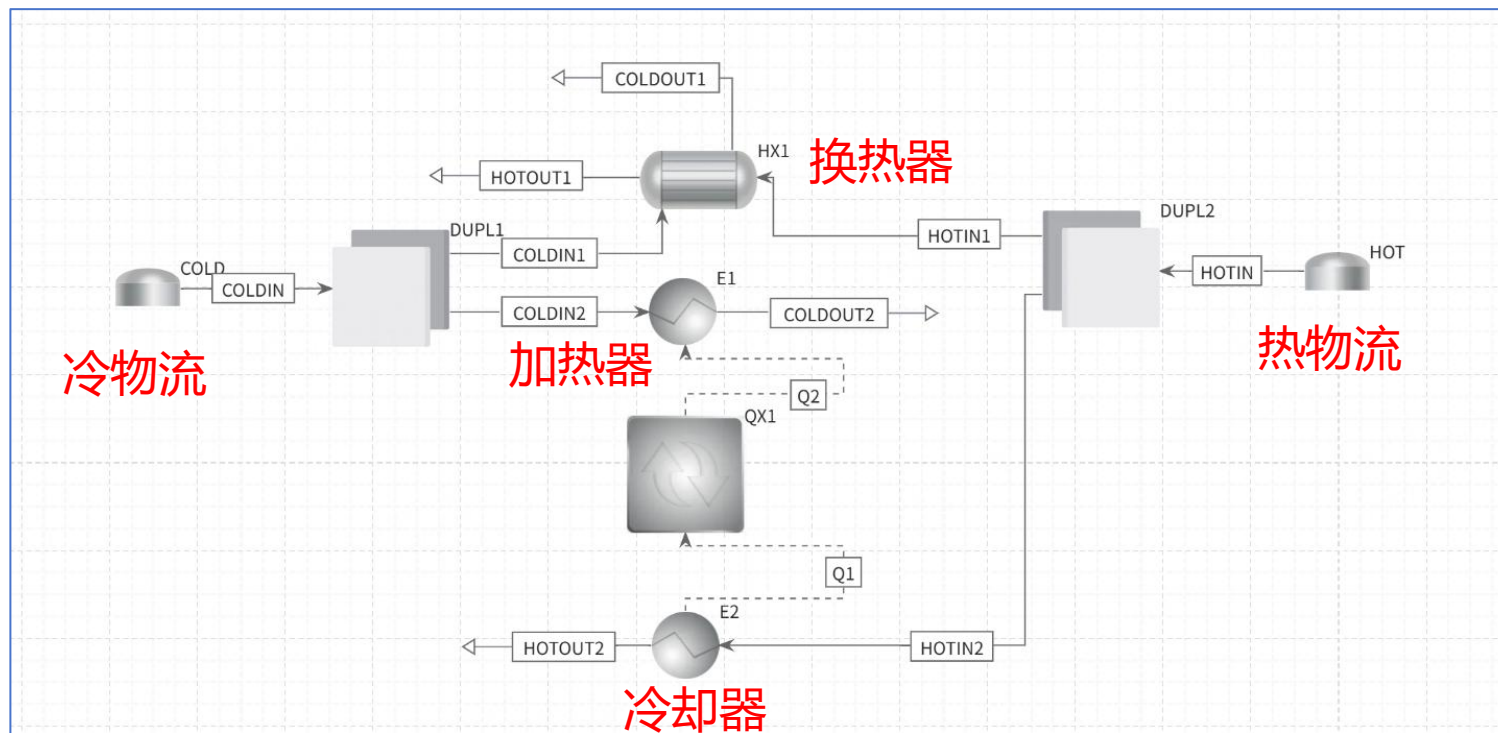
说明: 标准Redich Kwong状态方程。

适用于非极性或非极性混合物, 如烃和轻气体 (如CO2, H2S和H2), 推荐用于气体处理、炼油及石化应用, 如气体厂、原油塔和乙烯厂。特别适合用于高温、高压范围, 如烃加工应用和超临界萃取。

添加物性方法

演示案例

搭建模型



- 1、添加物料源、复制模块、换热器、加热器（冷却器）、热通量换热器模块
- 2、添加复制模块（将入口流股复制为两股相同的出口流股）

演示案例

设置单位集并完成物料源组态

国际单位制

米制

英制

工程制

单位集1(默认)

请输入

+ 新增

继承于 **国际单位制**

标准 能量 传递 浓度 尺寸 价格 其它

流量

通量 cum/sqm-s 体积流量 cum/s

质量流量 **kg/hr** 体积流量变化量 cum/s

质量通量 kg/sqm-s

质量流量变化量 kg/s

摩尔流量 kmol/s

摩尔流量变化量 kmol/s

温度

温度 **C**

温差 DELTA-K

温度倒数 1/K

压力

压力 **bar**

压头 J/kg

单位高度压降 N/cum

压降 **bar**

压力倒数 sqm/N

HOT (类型: 物料源)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 HOT

基础配置 稳态 端口 描述

流体 常规固体 非常规固体

闪蒸类型 压力-温度

压力 压力 4 bar

温度 200 C

总流量 质量 10000 kg/hr

溶剂

有效相态 气-液

是否穿透 否

组成类型 占比 质量

名称	值	单位	类型
C6H6	0.5	fraction	常规组分
C8H10	0.2	fraction	常规组分
C8H8	0.2	fraction	常规组分
H2O	0.1	fraction	常规组分

总和 1

热物流组态信息

COLD (类型: 物料源)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 COLD

基础配置 稳态 端口 描述

流体 常规固体 非常规固体

闪蒸类型 压力-温度

压力 压力 10 bar

温度 20 C

总流量 质量 50000 kg/hr

溶剂

有效相态 气-液

是否穿透 否

组成类型 占比 质量

名称	值	单位	类型
C6H6		fraction	常规组分
C8H10		fraction	常规组分
C8H8		fraction	常规组分
H2O	1	fraction	常规组分

总和 1

冷物流组态信息

演示案例

填写换热器组态信息

HX1 (类型: 换热器)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称 HX1

基础配置 稳态 端口 描述

基础配置 对数平均温差 压降 传热系数

流向 逆流

计算模式 设计

设定配置 热物流出口气相分率 0.1

换热面积 请输入值 sqm

UA常数 请输入值 kJ/s-K

热侧有效相态 气-液

冷侧有效相态 气-液

HX1 (类型: 换热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 HX1

基础配置 稳态 端口 描述

基础配置 对数平均温差 压降 传热系数

热侧压力判断 出口压力

热侧出口压力 压力 4 bar

热侧是否计算压降参数 否

冷侧压力判断 出口压力

冷侧出口压力 压力 10 bar

冷侧是否计算压降参数 否

禁用E1、E2、QX1三个模块

初始化运行

演示案例

启用模块，填写加热器、冷却器、热通量换热器组态信息

E1 (类型: 加热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称: E1

基础配置 组态 **组态** 端口 描述

闪蒸类型: 压降参数-热负荷

压降参数: 0

热负荷: 请输入值 kW

热效率: 1

有效相态: 气-液

换热器冷端

E2 (类型: 加热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称: E2

基础配置 组态 **组态** 端口 描述

闪蒸类型: 压降参数-相分率

压降参数: 0

气相分率: 0.1 Unitless

热效率: 1

有效相态: 气-液

换热器热端

QX1 (类型: 热通量换热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称: QX1

基础配置 组态 **组态** 端口 描述

入口热流温度: 通过流股获取 HOTIN2

入口冷流温度: 通过流股获取 COLDIN2

出口热流温度: 通过流股获取 HOTOUT2

出口冷流温度: 通过流股获取 COLDOUT2

热负荷: 请输入值 kW

传热系数: 请输入值 kJ/s-sqm-C

传热面积: 20 sqm

LMTD修正: 1

流向: 逆流

热通量换热器

演示案例

填写热流股初值信息

✚ HX1 (类型：换热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

流股结果 **模块结果** 运行报告

流股 **换热器参数**

名称	值	单位	
▶ 换热器热负荷	1517	kW	▼
▶ 所需换热面积	15.77667	sqm	▼
▶ 实际换热面积	15.77667	sqm	▼
▶ 超出 (低于) 设计百分比	0	Unitless	▼
▶ 平均传热系数 (污垢)	850	W/sqm-K	▼
▶ UA常数	13410.17	J/s-K	▼
▶ 对数平均温差	113.1231	DELTA-K	▼
▶ 对数平均温差修正系数	1	Unitless	▼

✚ Q2 (类型：热流股)

组态信息 运行管理 元变量 计算结果

模块名称

下游初值 连接配置 描述

热负荷 ▼

Q2流股给初值，初值可由换热器HX1热负荷获得

演示案例

换热器模拟结果

↕ HX1 (类型: 换热器)

☑ 组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

流股结果 **模块结果** 运行报告

流股 **换热器参数**

名称	值	单位
▶ 换热器热负荷	1517000	W
▶ 所需换热面积	15.77667	sqm
▶ 实际换热面积	15.77667	sqm
▶ 超出(低于)设计百分比	0	Unitless
▶ 平均传热系数(污垢)	850	W/sqm-K
▶ UA常数	13410.17	J/s-K
▶ 对数平均温差	113.1231	DELTA-K
▶ 对数平均温差修正系数	1	Unitless

热通量换热器模拟结果

↕ QX1 (类型: 热通量换热器)

☑ 组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块结果 运行报告

名称	值	单位
▶ 入口热流温度	200	C
▶ 入口冷流温度	20	C
▶ 出口热流温度	95.26621	C
▶ 出口冷流温度	38.05824	C
▶ 热负荷	1517000	W
▶ 传热系数	670.5084	W/sqm-K
▶ 传热面积	20	sqm
▶ 对数平均温差	113.1231	DELTA-K
▶ 对数平均温差修正系数	1	Unitless

保存为 演示案例8-1.apex



09 | 精馏塔

学习目标



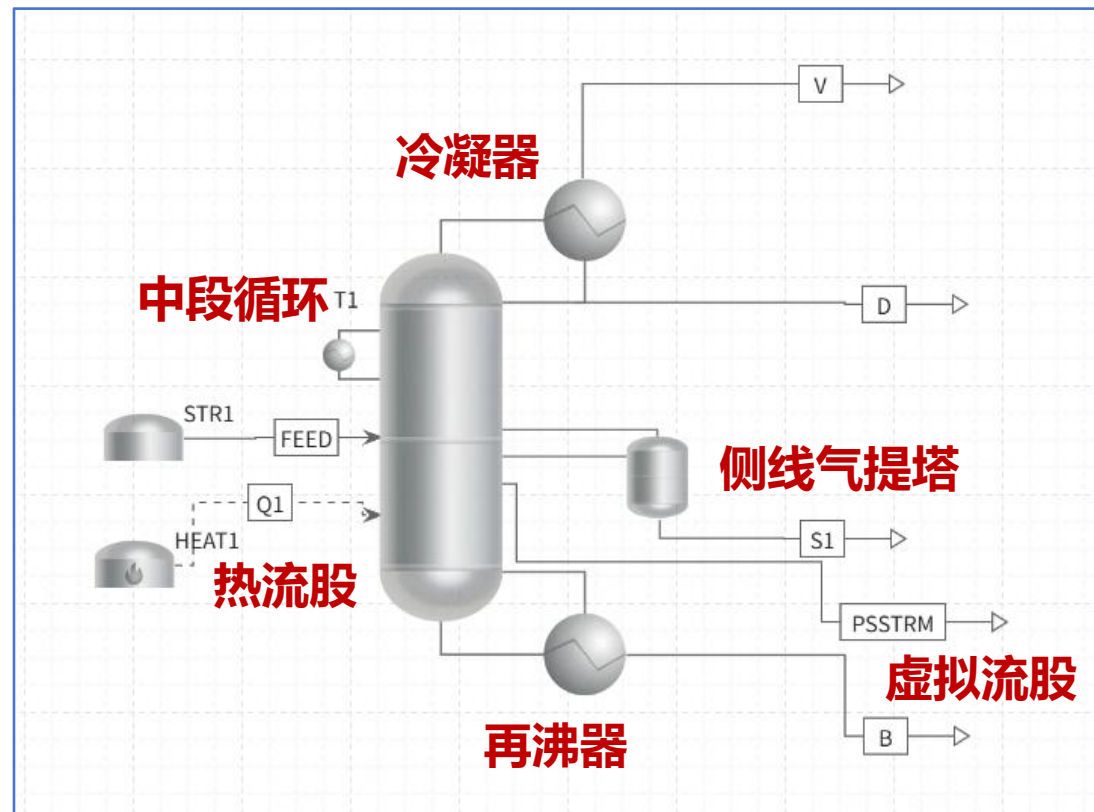
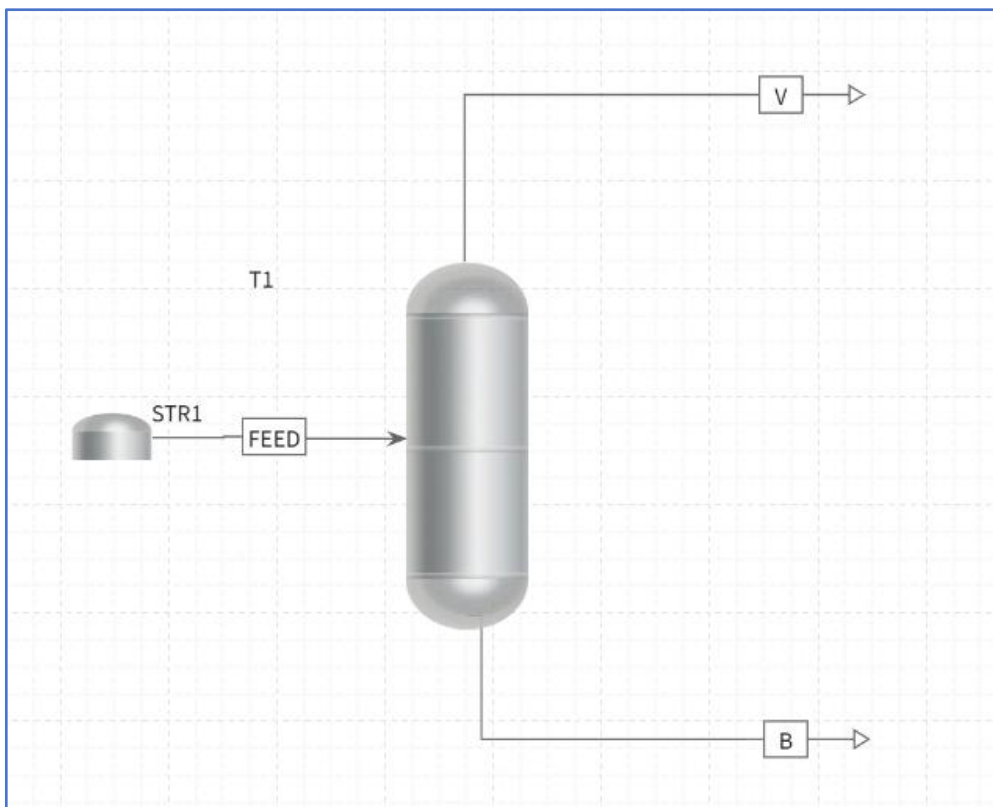
● 目标：

- 熟悉精馏的原理和APEX精馏塔模型的使用。

● 内容：

- 介绍精馏塔、简捷塔配置方式；
- 介绍炼油过程精馏塔使用方法；
- 查看精馏塔结果，热负荷、温度分布等

全塔结构



塔体自带冷凝、再沸、中段循环、侧线气提塔、虚拟流股、热流股等配置选项

参数输入

PDT1 (类型: 精馏塔)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 PDT1

基础配置 稳态 端口 描述

塔体 塔组件 规定总览 关注变量 选项 初始分布输入

MAIN

基础 流股 压力 效率 冷凝器 加热炉

塔板数 请输入塔板数

冷凝器 全冷凝

再沸器 釜式再沸器

加热炉 无

有效相态 气-液

体系 常规

基础 流股 压力 效率 冷凝器 加热炉

入口流股

序号	名称	塔板位置	进料类型
1	S1		

出口流股

序号	名称	塔板位置	相态	规定类型	基准
1	S2		液相		
2	S3	1	液相		

基础 流股 压力 效率 冷凝器 加热炉

压力规定类型 塔顶/塔底

塔顶/冷凝器 塔顶压力 请输入值 kPa

第二块板 不指定

其他 不指定

精馏塔模块的基本配置包括**基础配置**、**流股**以及**压力**。根据模型需要可以添加**额外配置项**包括**热流股**、**效率**等，同时可添加**中段回流**、**汽提塔**等附加模块。

● 基础配置:

一般包括**冷凝器与再沸器类型**、**塔板数**、**有效相态**以及**相关操作指定**等。

● 流股:

配置流股与塔板的连接。注意:当精馏塔选择**无塔顶冷凝或无塔顶回流**时，**塔顶进料端口必须要连接一股进料流股**，再沸器同理，**无再沸器**时**塔底必须连接一股进料流股**。

● 压力:

配置塔板、塔段或全塔的压力/压降

参数输入

PDT1 (类型: 精馏塔)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 PDT1

基础配置 稳态 端口 描述

塔体 塔组件 规定总览 关注变量 选项 初始分布输入

MAIN 请输入 + 新增

基础 流股 压力 效率 冷凝器 加热炉

塔板数 请输入塔板数

冷凝器 全冷凝

再沸器 釜式再沸器

加热炉 无

有效相态 气-液

体系 常规

反应精馏 禁用

操作规定

规定	基准	规定值	单位	进料比基准
塔顶产品流量	摩尔		kmol/s	进料基准
回流比	摩尔		Unitless	

塔顶产品流量
塔釜产品流量
塔顶产品与进料之比
塔釜产品与进料之比
冷凝器负荷
再沸器负荷

- ◆ **塔板数**包含冷凝器和再沸器 (若有)
- ◆ **冷凝器**包含五个选项: 无、全冷凝、过冷冷凝、部分气冷凝、部分气液冷凝
- ◆ **再沸器**包含两个选项: 无, 釜式再沸器
- ◆ **有效相态**包含两个选项, 气-液、气-液-自由水

回流比	塔顶产品流量
回流流量	塔底产品流量
冷凝器负荷	塔顶产品与进料之比
再沸比	塔底产品与进料之比
再沸流量	冷凝器负荷
再沸器负荷	再沸器负荷

一个典型的精馏塔单元操作具有 2 个自由度。需要提供 2 个独立的规定

只有一个再沸器或者一个冷凝器: 自由度 = 1

吸收塔/汽提塔 (无再沸器和冷凝器): 自由度 = 0, 它的操作完全由进料物流的状态和流量决定

参数输入

冷凝器类型

- ◆ 全冷凝：进入冷凝器的气相，全部被冷却到泡点状态
- ◆ 过冷冷凝：进入冷凝器的气相，全部被冷却到泡点温度以下，需输入低于泡点的温度
- ◆ 部分气冷凝：进入冷凝器的气相，被冷却到气液两相，其中液相全回流，气相作为塔顶产品
- ◆ 部分气液冷凝：进入冷凝器的气相，被冷却到气液两相，其中液相部分回流，剩余液相和全部气相作为塔顶产品
- ◆ 无：塔顶没有冷凝器，至少需有一股进入塔顶板上进料流

再沸器类型

- ◆ 釜式：塔釜有釜式再沸器
- ◆ 无：塔釜没有再沸器，至少需有一股进入塔釜板上进料流

参数输入

基础 流通股 压力 效率 冷凝器 加热炉

进料类型

入口流通股

序号	名称	塔板位置	进料类型
1	S1		

出口流通股

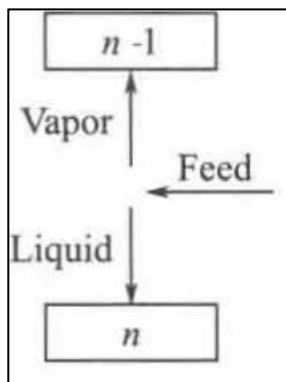
序号	名称	塔板位置	相态	规定类型	基准
1	S2		液相		
2	S3	1	液相		

液相全采
气相全采
气相
液相
第一液相
第二液相

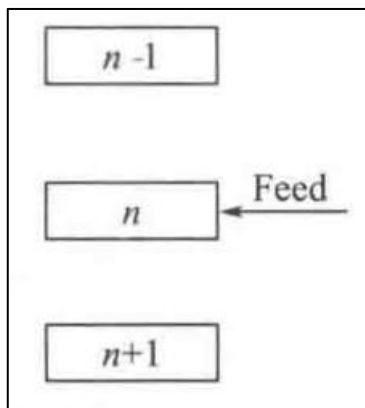
进料类型分为以下几种:

- ① **板上进料**: 气液两相均匀流到指定的理论板
- ② **板间进料**: 液相部分流动到指定理论板, 气相部分流动到上一块理论板
- ③ **板上气相**: 不对进料进行闪蒸计算, 完全将进料处理为气相
- ④ **板上液相**: 不对进料进行闪蒸计算, 完全将进料处理为液相

板间进料



板上进料



侧线出口流通股相态可以选择液相全采、气相全采、气相、液相、第一液相、第二液相

参数输入

The image displays three screenshots of a software interface for configuring distillation tower parameters, specifically focusing on pressure distribution types.

Top Screenshot (Tower Top/Bottom): The '压力' (Pressure) tab is selected. The '压力规定类型' (Pressure Specification Type) is set to '塔顶/塔底' (Tower Top/Bottom). The '塔顶/冷凝器' (Tower Top/Condenser) section shows '塔顶压力值' (Tower Top Pressure Value) set to '请输入值' (Please enter value) with a unit of 'MPa'. A dropdown menu is open, showing options: '塔顶/塔底', '塔板分布', and '塔段分布'. A red arrow points from the '塔顶/塔底' option in the dropdown to the '塔顶/塔底' dropdown in the main form.

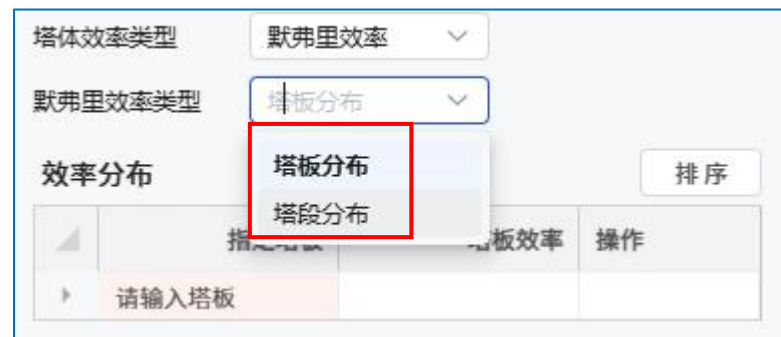
Middle Screenshot (Tower Plate Distribution): The '压力' (Pressure) tab is selected. The '压力规定类型' (Pressure Specification Type) is set to '塔板分布' (Tower Plate Distribution). The '塔顶/冷凝器' (Tower Top/Condenser) section shows '塔顶压力值' (Tower Top Pressure Value) set to '请输入值' (Please enter value) with a unit of 'MPa'. Below this, a table titled '压力分布' (Pressure Distribution) is shown with columns: '指定塔板' (Specify Tower Plate), '压力' (Pressure), '单位' (Unit), and '操作' (Operation). The first row contains '请输入塔板' (Please enter tower plate).

Bottom Screenshot (Tower Segment Distribution): The '压力' (Pressure) tab is selected. The '压力规定类型' (Pressure Specification Type) is set to '塔段分布' (Tower Segment Distribution). The '塔顶/冷凝器' (Tower Top/Condenser) section shows '塔顶压力值' (Tower Top Pressure Value) set to '请输入值' (Please enter value) with a unit of 'MPa'. Below this, a table titled '分段压降' (Segment Pressure Drop) is shown with columns: '起始塔板' (Start Tower Plate), '终端塔板' (End Tower Plate), '压降' (Pressure Drop), '单位' (Unit), and '操作' (Operation). The first row contains '请输入塔板' (Please enter tower plate).

压力分布类型有三种：

- ① **塔顶/塔底：** 用户指定第一块板压力，塔内存在压降时，需指定塔底压力、单板压降或者全塔压降
- ② **塔板分布：** 指定塔板压力
- ③ **塔段分布：** 自定义塔分段，指定每一塔段的压降

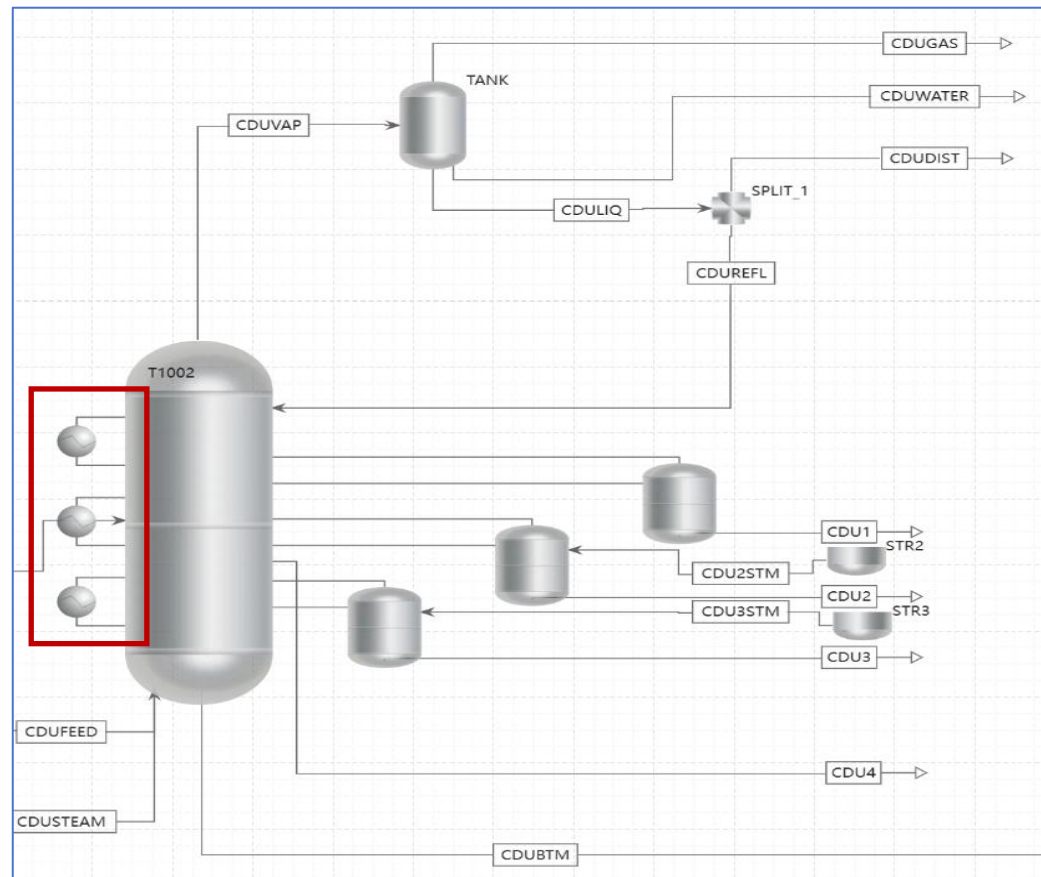
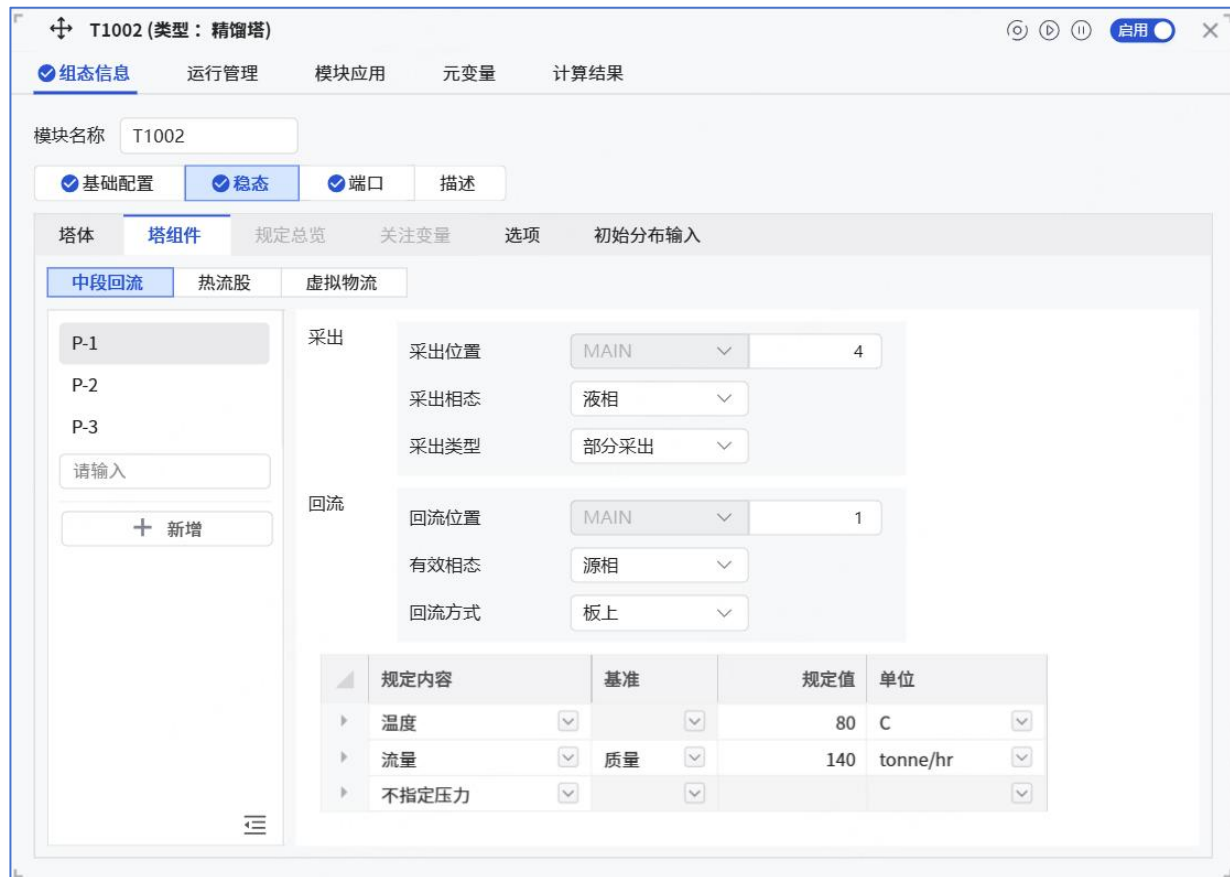
参数输入



点击“效率”页，设置塔体效率：

- ① 塔体效率类型：无（默认效率为1）和默弗里效率
- ② 默弗里效率类型：塔板分布和塔段分布，默认塔板分布
 - ◆ **塔板分布**：指定塔板效率
 - ◆ **塔段分布**：自定义塔分段，指定每一塔段的效率

中段回流



- ◆ 一个塔可配置多个中段循环
- ◆ 规定采出位置和回路位置
- ◆ 可“全采出”和“部分采出”

- ◆ 操作规定1为流量，需指定基准和采出流量（全采出时不规定）
- ◆ 操作规定2为“温度、温度变化、负荷”之一

汽提塔

汽提塔:

- ◆ 一个塔可配置多个汽提塔
- ◆ 输入基础信息、主塔进料、液相回流、压力、效率

基础信息:

- ◆ 汽提塔塔板数
- ◆ 规定
 - ◆ “塔底采出流量” / “从主塔采出流量”
 - ◆ 塔底热负荷（仅无塔底蒸汽进料时）/无

注：汽提类型有两种，一个是再沸器、一个是塔底蒸汽进料

- ◆ 选择再沸器需要规定再沸器热负荷
- ◆ 选择塔底蒸汽进料需要一股进料连接汽提塔底的进料连接点上

模块名称 PDT2

基础配置 稳态 端口 描述

塔体 塔组件 规定总览 关注变量 选项 初始分布输入

MAIN S-1 请输入

+ 新增

基础 流股 压力 效率

塔板数 请输入塔板数

汽提类型 塔底再沸器

规定	基准	规定值	单位
塔底产品流量	摩尔		kmol/hr
再沸器负荷			kW

其他配置:

- ◆ 炼油场景中，从主塔多个位置采出流股进入汽提塔，需要在“从主塔进料”中配置，需要指定塔板和基准流量
- ◆ 炼油场景中，需要将汽提塔塔釜部分产品换热后回流到主塔，需从“液相回流”中配置。
- ◆ 压力和主塔配置类似
- ◆ 效率和主塔配置类似

汽提塔

流股配置：

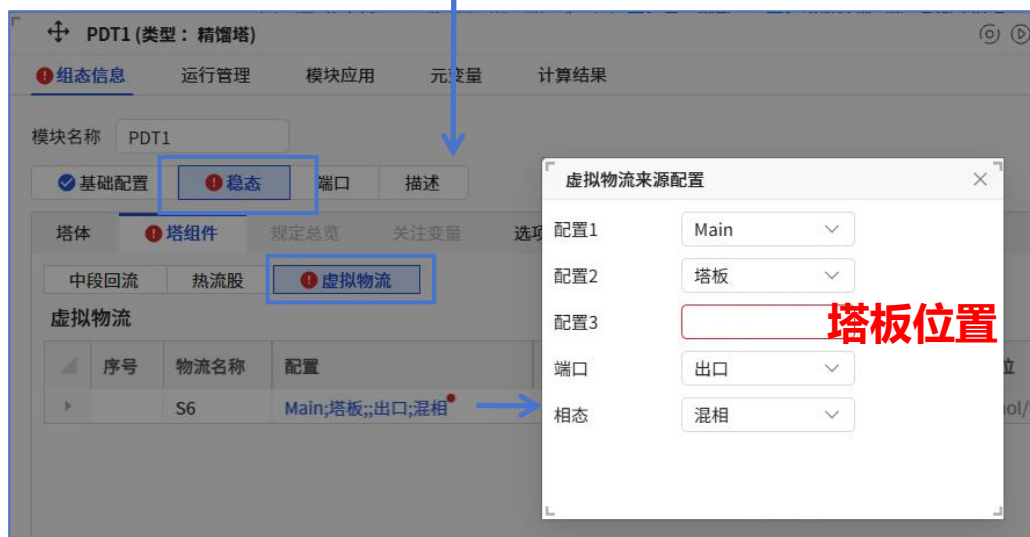
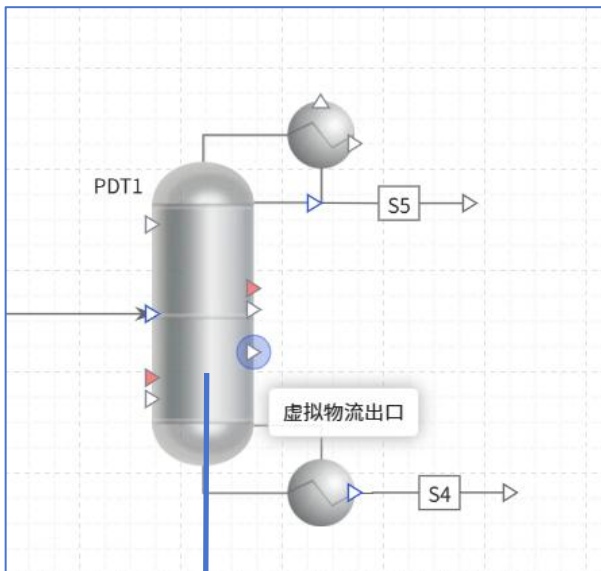
- ◆ 规定汽提塔进料从主塔塔板采出位置
- ◆ 规定汽提塔塔顶气相返回主塔位置
- ◆ 在流程图中将汽提塔底出口流股进行连接
- ◆ 若使用蒸汽气体，在流程图中将蒸汽流股与汽提塔相连

勾选项：

- ◆ 若需从主塔多个位置采出流股进入汽提塔，在“从主塔额外采出到汽提塔”中配置，需要指定塔板和基准流量
- ◆ 若需将汽提塔塔釜部分产品换热后回流到主塔，从“塔釜液相回流”中配置

The screenshot shows a software interface for configuring a distillation column. The main window has tabs for '基础配置' (Basic Configuration), '稳态' (Steady State), '端口' (Ports), and '描述' (Description). The '稳态' tab is active. Below this, there are sub-tabs for '塔体' (Column Body), '塔组件' (Column Components), '规定总览' (Specification Overview), '关注变量' (Variables of Interest), '选项' (Options), and '初始分布输入' (Initial Distribution Input). The '塔体' sub-tab is active, showing a list of components: 'MAIN', 'S-1', and a '请输入' (Please enter) field. Below the list is a '+ 新增' (Add) button. To the right, the '基础' (Basic) sub-tab is active, showing configuration options for '流股' (Flow Stream). The options include: '从主塔采出液相位置' (Liquid phase withdrawal position from main column) with a '请选择' (Please select) dropdown; '塔顶气相返回主塔位置' (Vapor phase return position to main column) with a '请选择' (Please select) dropdown; '汽提塔釜产品物流' (Distillation column reboiler product flow) with a dropdown set to 'S9'; and '蒸汽进料物流' (Steam feed flow) with a dropdown set to 'S7'. At the bottom, there are two checkboxes: '从主塔额外采出到汽提塔' (Additional withdrawal from main column to distillation column) and '塔釜液相回流' (Reboiler liquid phase reflux), both of which are currently unchecked.

虚拟流股

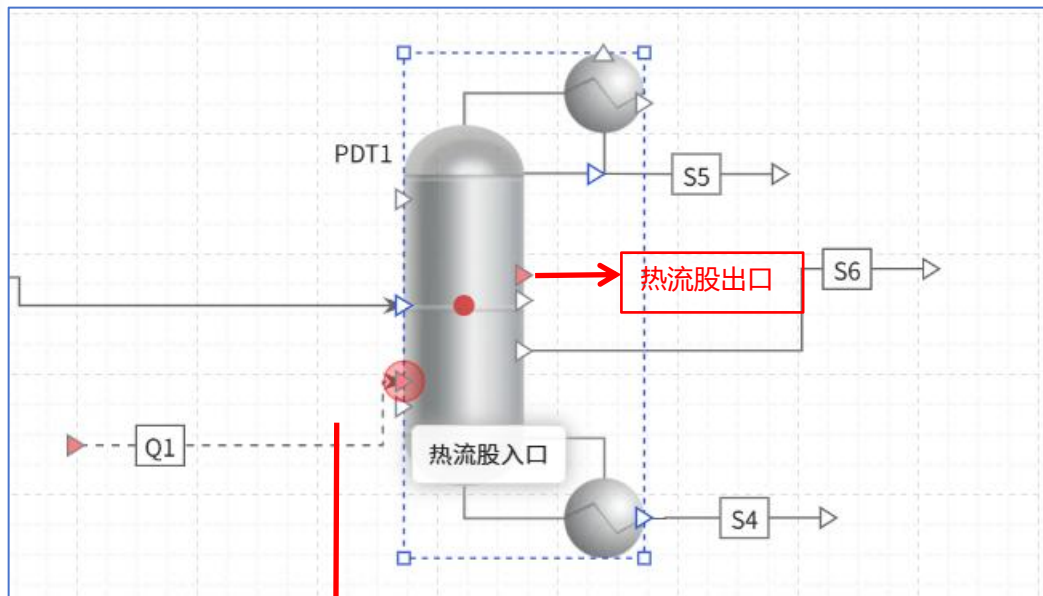


虚拟流股作用：

- ◆ 不参与物料与能量衡算
- ◆ 获取塔内数据：主要作用是提取精馏塔内部任一塔板上的气相或液相数据，这些数据会以物流结果的形式呈现，方便查看温度、压力、组成、体积流量等关键信息。
- ◆ 精馏塔设计：在精馏塔严格设计中，虚拟流股是获取塔内件水力学数据（如气相和液相的体积流量）以进行后续设计的有效方法
- ◆ 精准定位：使用虚拟流股时，需要指定具体的塔板编号和相态（气相或液相），以此获取目标塔板上的数据。

虚拟流股可查看精馏塔内部塔板的气、液相数据，而无需实际采出物料。**这在塔器设计和优化时非常实用。**

热流股

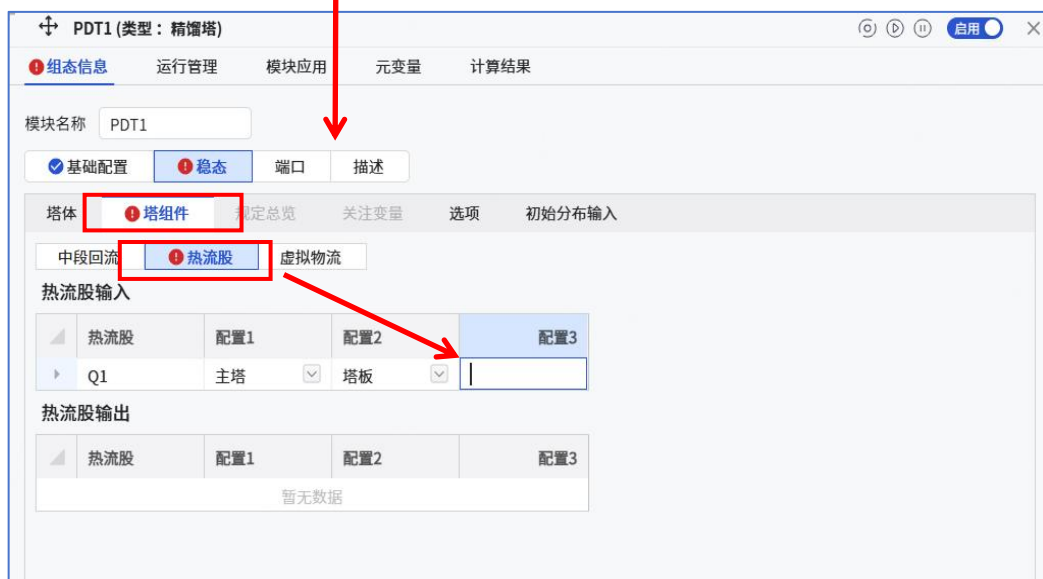


热流股入口:

- ◆ 当热流股作为入口时，它代表向塔内某一塔板加入热量（相当于一个加热器，如中间再沸器）
- ◆ 可以用来提供额外的热源，从而减少塔底再沸器的负荷，或者在某些情况下改善塔的能量效率

热流股出口:

- ◆ 当热流股作为出口时，它代表从塔内某一塔板移走热量（相当于一个冷却器，如中间冷凝器）
- ◆ 可以用来减少塔顶冷凝器的负荷，或者控制塔内气液相流量分布



计算结果

PDT1 (类型: 精馏塔) 🔄 🔍 🔊 🔌 启用

📌 组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

📌 流股结果 模块结果 运行报告

📌 常规 热流股 油品曲线

➕ 添加物性 导出结果

变量	单位	S2	S4	S5	请选择流股
描述					
起点		FLSH1	PDT1	PDT1	
终点		PDT1			
流体					
相态		气相	液相	液相	
温度	C	18.47446	32.88979	-23.78606	
压力	bar	2.72	3	2	
气相分率 (摩尔基准)	fraction	1	0	0	
液相分率 (摩尔基准)	fraction	0	1	1	
气相分率 (质量基准)	fraction	1	0	0	
液相分率 (质量基准)	fraction	0	1	1	
摩尔焓	kJ/kmol	-72227.1	-67592.98	-121329.2	
质量焓	kJ/kg	-1398.598	-1176.198	-2694.828	
摩尔焓	kJ/kmol-K	-277.8613	-352.9344	-358.3513	
质量焓	kJ/kg-K	-5.380475	-6.141477	-7.959294	
摩尔密度	kmol/cum	0.1201678	10.20224	12.59806	
质量密度	kg/cum	6.205768	586.2958	567.2023	
热流量	kW	-1071.585	-533.4362	-842.5642	

精馏塔计算结果包含流股结果、模块结果

- ◆ **流股结果**包含精馏塔的输入和输出流股的详细信息
- ◆ **模块结果**包含塔结果和塔板分布

计算结果

塔结果包含塔顶塔釜、能平物平、切割分率、加热炉（如有）、中段回流（如有）

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 **计算结果**

流股结果 模块结果 运行报告

塔结果 塔板分布

塔顶塔釜 能平物平 切割分率 加热炉 中段回流

基准 摩尔

MAIN

S-1

S-2

S-3

塔顶

名称	值	单位
温度	107.5171	C
压力	0.125046	MPa
热负荷	0	kW
过冷度		DEG
气相流量	651.0817	kmol/hr
液相/第一液相流...		kmol/hr
第二液相/自由水...		kmol/hr
塔顶产品流量	651.0817	kmol/hr
塔顶产品与进料...	0.3802308	Unit
回流流量		kmol/hr

塔釜

名称	值	单位
温度	344.2879	C
压力	0.1469819	MPa
热负荷	0	kW
塔釜产品流量	463.2331	kmol/hr
塔釜产品与进料...	0.2705275	Unit
再沸流量		kmol/hr
再沸比		Unit

流股结果 模块结果 运行报告

塔结果 塔板分布

塔顶塔釜 能平物平 切割分率 加热炉 中段回流

总和	单位	进入	离开	相对偏差
摩尔流量	kmol/hr	2534.645	2534.645	0
质量流量	kg/hr	54431	54431	2.403988E-7
焓流量	kW	-188779.4	-188779.4	-1.725235E-14

流股结果 模块结果 运行报告

塔结果 塔板分布

塔顶塔釜 能平物平 切割分率 加热炉 中段回流

基准 摩尔

关注组分

出口物流名	H2O	CH4O
S2	0.9976797	0.0009683239
S3	0.002320268	0.9990317

计算结果

流股结果 模块结果 运行报告

塔结果 塔板分布

分布 组成 K值 水力学分布 反应 效率 物性计算分布表

关注列 全部

基准 摩尔

流量类型 离开当前塔板

序号	塔板名	温度 C	压力 kPa	热负荷 kW	液相流量(离开) kmol/hr	气相流量(离开) kmol/hr	进料气相流量 kmol/hr	进料液相 kmol/h
1	MAIN_TR1	66.96767	111	-13586.15	1389.997	0	0	
2	MAIN_TR2	67.22068	111.7	0	760.0699	1389.997	0	
3	MAIN_TR3	67.49082	112.4	0	758.8953	1389.028	0	

塔板分布包含每块理论塔板的

- ◆ 气液相分布
- ◆ 组成分布
- ◆ K值分布
- ◆ 水力学分布 (需预先配置)
- ◆ 默弗里效率分布

塔结果 塔板分布

分布 组成 K值 水力学分布 反应 效率 物性计算分布表

视图 气相

基准 摩尔

关注组分

序号	塔板名	H2O	CH4O
1	MAIN_TR1	0.003295...	0.9967046
2	MAIN_TR2	0.007044...	0.9929557
3	MAIN_TR3	0.010280...	0.9897191
4	MAIN_TR4	0.014143...	0.9858566
5	MAIN_TR5	0.0187445	0.9812555
6	MAIN_TR6	0.024215...	0.9757849
7	MAIN_TR7	0.030706...	0.9692939
8	MAIN_TR8	0.038389...	0.9616102

流股结果 模块结果 运行报告

塔结果 塔板分布

分布 组成 K值 水力学分布 反应 效率 物性计算分布表

视图 VLE

关注组分

序号	塔板名	H2O	CH4O
1	MAIN_TR1	0.4086699	1.004195
2	MAIN_TR2	0.4090919	1.007758
3	MAIN_TR3	0.4095056	1.012067
4	MAIN_TR4	0.4099109	1.017286
5	MAIN_TR5	0.4103087	1.023615
6	MAIN_TR6	0.4107009	1.03131
7	MAIN_TR7	0.4110914	1.040691
8	MAIN_TR8	0.4114875	1.052167

流股结果 模块结果 运行报告

塔结果 塔板分布

分布 组成 K值 水力学分布 反应 效率 物性计算分布表

序号	塔板名	效率值
1	MAIN_TR1	0.9
2	MAIN_TR2	0.65
3	MAIN_TR3	0.65
4	MAIN_TR4	0.65
5	MAIN_TR5	0.65
6	MAIN_TR6	0.65
7	MAIN_TR7	0.65
8	MAIN_TR8	0.65

计算结果

在常规配置中可选择报告水力学分布表，查看水力学分布结果

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 PDT1

基础配置 稳态 端口 描述

塔体 塔组件 规定总览 关注变量 选项 初始分布输入

常规配置 初始分布 常规初值求解

超时时长(秒) 600

EO不可行路径解 不支持

报告水力学分布表 报告



流股结果 模块结果 运行报告

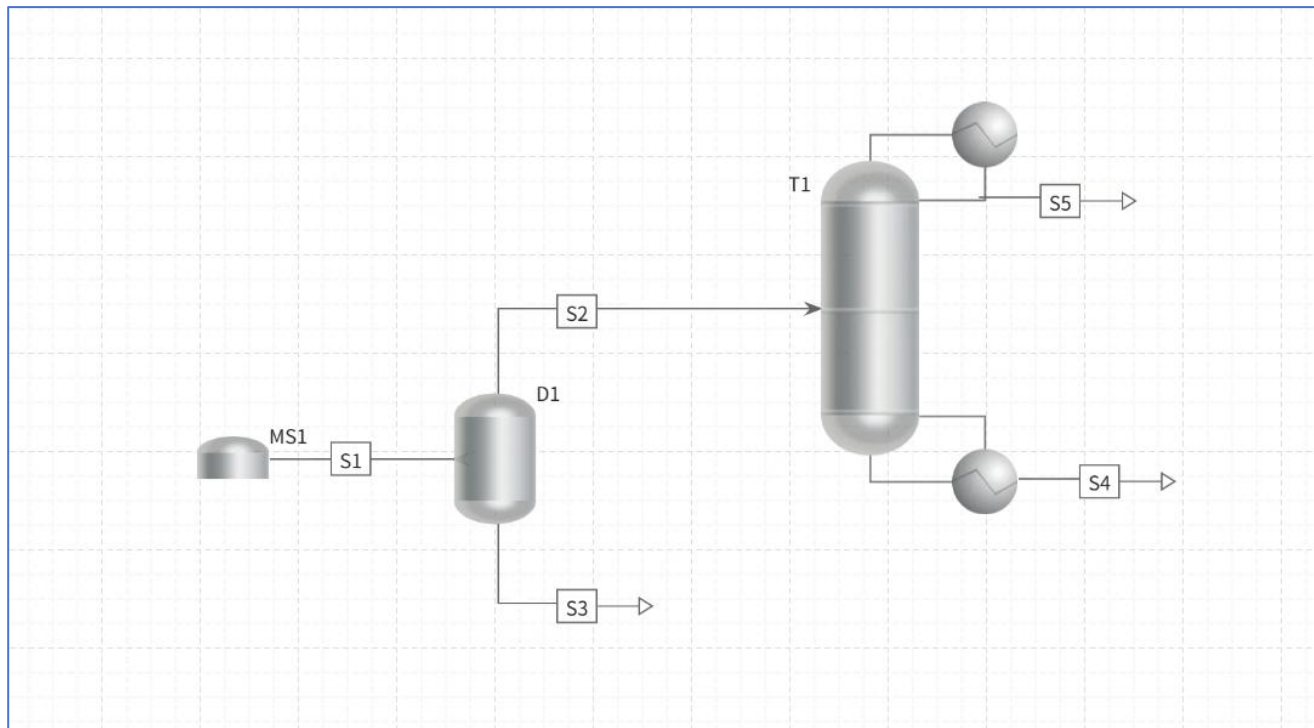
塔结果 塔板分布

分布 组成 K值 水力学分布 反应 效率 物性计算分布表 导出

序号	塔板名	液相温度 C	气相温度 C	液相质量流量 tonne/hr	气相质量流量 tonne/hr	液相体积流量 cum/hr	气相体积流量 cum/hr	液相摩尔质量 kg/kmol	气相摩尔质量 kg/kmol	液相质量密度 kg/cum	气相质量密度 kg/cum
1	MAIN_TR1	66.96767	67.22068	44.40118	44.40118	59.88733	35216.02	31.94335	31.94335	741.4118	741.4118
2	MAIN_TR2	67.22068	67.49082	24.21612	44.30715	32.65615	35000.05	31.86038	31.89795	741.5485	741.5485
3	MAIN_TR3	67.49082	67.7815	24.10346	44.19449	32.49496	34783.67	31.76124	31.84377	741.7598	741.7598
4	MAIN_TR4	67.7815	68.09678	23.96889	44.05992	32.30039	34566.38	31.64296	31.77923	742.0618	742.0618
5	MAIN_TR5	68.09678	68.44146	23.80864	43.89967	32.06661	34347.61	31.50206	31.7025	742.4745	742.4745
6	MAIN_TR6	68.44146	68.82116	23.61841	43.70944	31.78692	34126.76	31.3345	31.61145	743.0228	743.0228
7	MAIN_TR7	68.82116	69.24251	23.39334	43.48437	31.45374	33903.16	31.13561	31.50367	743.7381	743.7381
8	MAIN_TR8	69.24251	69.71325	23.12805	43.21908	31.05855	33676.09	30.90003	31.37643	744.6597	744.6597
9	MAIN_TR9	69.71325	70.2424	22.81665	42.90768	30.59198	33444.86	30.62169	31.22666	745.8377	745.8377
10	MAIN_TR...	70.2424	70.84034	22.45289	42.54392	30.04391	33208.77	30.29382	31.05104	747.3358	747.3358

模型演示一

精馏塔模块



在软件建模综述章节的【演示案例4-1】上添加精馏塔模块

PDT1 (类型: 精馏塔)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 PDT1

基础配置 稳态 端口 描述

塔体 塔组件 规定总览 关注变量 选项 初始分布输入

MAIN 请输入 + 新增

基础 流股 压力 效率 冷凝器 加热炉

塔板数 15 智能增删塔板

冷凝器 全冷凝

再沸器 釜式再沸器

加热炉 无

有效相态 气-液

体系 常规

反应精馏 禁用

操作规定

规定	基准	规定值	单位	进料比基准
塔顶产品流量	摩尔	25	kmol/hr	进料基准
回流比	摩尔	3	Unitless	

基础配置 稳态 端口 描述

塔体 塔组件 规定总览 关注变量 选项 初始分布输入

MAIN 请输入 + 新增

基础 流股 压力 效率 冷凝器 加热炉

入口流股 新增流股 排序

序号	名称	塔板位置	进料类型	操作
1	S2	6	板上进料	删除

出口流股 新增流股 排序

序号	名称	塔板位置	相态	规定类型	基准
1	S4	15	液相		
2	S5	1	液相		

塔体 塔组件 规定总览 关注变量 选项 初始分布输入

MAIN 请输入 + 新增

基础 流股 压力 效率 冷凝器 加热炉

压力规定类型 塔顶/塔底

塔顶/冷凝器 塔顶压力 2 bar

第二块板 不指定

其他 塔底压力 3 bar

模型演示一

塔顶、塔底结果

流股结果 模块结果 运行报告

塔结果 塔板分布

塔顶塔釜 能平物平 切割分率 加热炉 中段回流

MAIN

基准 摩尔

名称	值	单位
温度	-23.78606	C
压力	2	bar
热负荷	-518.4171	kW
过冷度		DELTA-C
气相流量	0	kmol/hr
液相/第一液相流量	25	kmol/hr
第二液相/自由水流量		kmol/hr
塔顶产品流量	25	kmol/hr
塔顶产品与进料之比	0.4680702	Unitless
回流流量	75	kmol/hr
回流比	3	Unitless

名称	值	单位
温度	32.88979	C
压力	3	bar
热负荷	214.002	kW
塔釜产品流量	28.41079	kmol/hr
塔釜产品与进料之比	0.5319298	Unitless
再沸流量	36.09712	kmol/hr
再沸比	1.270542	Unitless

Tray	塔板名	温度	压力	热负荷	液相流量	气相流量	液相流量	气相流量	进料气相流量	进料液相流量	进料总流量	液相产品	气相产品	液相摩尔比	气相摩尔比
0	MAIN_TR1	-23.78606	2	-518.4171	100.0000	0	75.0	0.0	0.0	0.0	75.0	0.0	0.0	-121329.5	-107056.56732364562
1	MAIN_TR2	-18.01743	2.071429	0	70.12577	100.0000	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-109115.5	-102666.22480744822
2	MAIN_TR3	-8.097114	2.142857	0	65.58589	95.12577	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-92218.05	-92706.14504218432
3	MAIN_TR4	2.127303	2.142857	0	63.66685	90.58589	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-80166.05	-79649.61582241964
4	MAIN_TR5	8.841273	2.285714	0	63.08197	88.66685	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-75315.47	-70724.11274569451
5	MAIN_TR6	12.808467	2.857143	0	61.89895	88.08197	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-75162.25	-67187.16966364312
6	MAIN_TR7	17.653351	3.428571	0	62.33133	88.48807	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-71261.95	-58578.53091148946
7	MAIN_TR8	21.471631	4.0	0	62.81036	88.92053	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-68524.67	-51622.19597135151
8	MAIN_TR9	24.249467	4.714286	0	63.24257	89.39957	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-66818.75	-46898.33113841313
9	MAIN_TR10	26.254423	5.428571	0	63.60575	89.83177	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-65844.25	-44069.3806777539
10	MAIN_TR11	27.744667	6.142857	0	63.91113	90.29499	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-65342.17	-42542.92633272355
11	MAIN_TR12	29.02432	6.857143	0	64.17228	90.76033	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-65150.25	-41839.4783842473
12	MAIN_TR13	30.15535	7.571429	0	64.38825	91.21495	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-65210.45	-41666.61000803259
13	MAIN_TR14	31.32138	8.285714	0	64.50791	91.67436	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-65678.25	-41915.463808917404
14	MAIN_TR15	32.88979	9.0	214.0019	63.08198	88.66685	0	0.0	0.0	0.0	28.41079	0.0	0.0	-67992.97	-42828.6506721029

主塔塔板分布

PDT1 (类型: 精馏塔)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

流股结果 模块结果 运行报告

塔结果 塔板分布

分布 组成 K值 水力学分布 反应 效率 物性计算分布表

关注列 全部

基准 摩尔

流量类型 离开当前塔板

序号	塔板名	温度	压力	热负荷	液相流量(离开)	气相流量(离开)	进料气相流量	进料液相流量	进料总流量	液相产品流
1	MAIN_TR1	-23.78606	2	-518.4171	100	0	0	0	0	0
2	MAIN_TR2	-18.01743	2.071429	0	70.12577	100	0	0	0	0
3	MAIN_TR3	-8.097114	2.142857	0	65.58589	95.12577	0	0	0	0
4	MAIN_TR4	2.127303	2.142857	0	63.66685	90.58589	0	0	0	0
5	MAIN_TR5	8.841273	2.285714	0	63.08198	88.66685	0	0	0	0

导出

◆ 将工程另存为并导出，命名为**演示案例9-1.apex**

模型演示二

原油质量流量为390 tonne/hr，温度25 °C，压力0.3 MPa，加热炉加热至330 °C

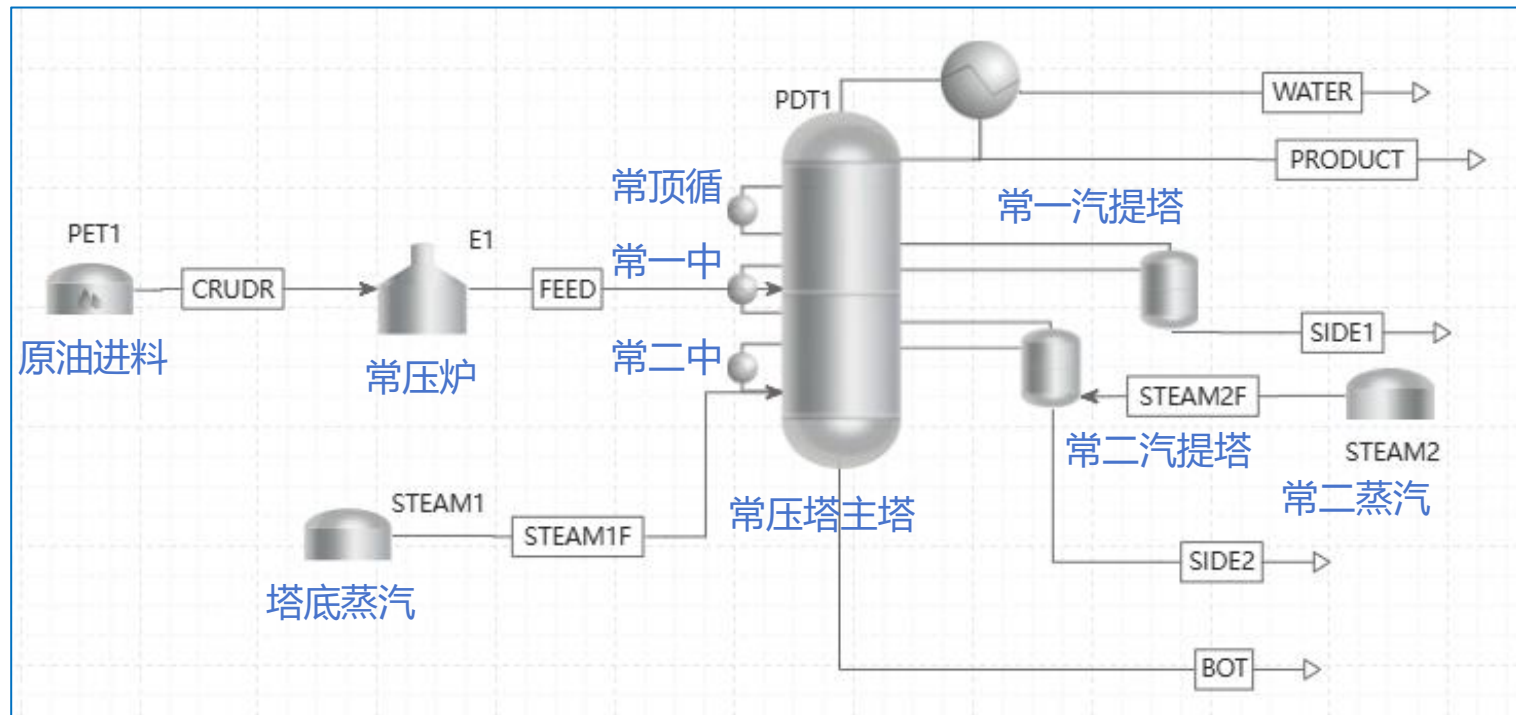
塔第21块塔板进料，塔板数为25，塔顶产品采出80 tonne/hr

冷凝器过冷温度40 °C，操作压力0.2 MPa、
压降0.08 MPa，整塔压降0.04 MPa

常一、常二2个侧线汽提塔

常顶循、常一中、常二中三个中段循环

精馏塔模块炼油精馏



模型演示二

精馏塔模块炼油精馏

- 组分列表输入汽提蒸汽H2O

- 原油配置

- ◆ SG = 0.85

- ◆ 蒸馏曲线 (ASTM TBP质量基准)

质量分率 (%)	温度 (°C)
0	12
5	52
10	85
15	121
20	151
25	177
30	205
35	240
40	270
50	335
60	387
70	440
80	510
90	610
95	703

- 物性方法: PR

① 进入基础配置 | 组分 | 原油

② 新增原油油品

⑤ 计算选中油品

序号	油品名称	类型	化验数据录入	针对性分析	编辑	添加至流程计算
1	CRUDE	原油	CRUDE管理	CRUDE分析设置	删除	<input checked="" type="checkbox"/>
	请输入油品名称					

③ 进入油品管理录入化验数据

蒸馏数据类型: ASTM TBP(质量分率基准)

压力: 1.333 kPa

比重: SG 0.85

运动粘度1 温度: 37.77778 C

运动粘度2 温度: 98.88889 C

化验数据录入 温度: C

分率(%)	温度	编辑
0	12	删除
5	52	删除
10	85	删除
15	121	删除
20	151	删除
25	177	删除
30	205	删除
35	240	删除
40	270	删除
50	335	删除
60	387	删除
70	440	删除
80	510	删除
90	610	删除
95	703	删除

④ 完成后返回上一级

返回上一级

模型演示二

精馏塔模块炼油精馏

原油进料

STEAM1 (类型: 物料源)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称: PET1

基础配置 稳态 端口 描述

闪蒸类型: 压力-温度

压力: 压力 0.3 MPa

温度: 25 C

总流量: 质量 390 tonne/hr

有效相态: 气-液

组成类型: 占比 摩尔

油品名称	占比	操作
CRUDE	1	删除
请选择油品		

主塔蒸汽

STEAM1 (类型: 物料源)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称: STEAM1

基础配置 稳态 端口 描述

流体: 常规固体 非常规固体

闪蒸类型: 压力-温度

压力: 压力 0.5 MPa

温度: 300 C

总流量: 质量 6 tonne/hr 总和 1

溶剂:

有效相态: 仅气相

是否穿透: 否

显示虚拟组分: 否

名称	值	单位	类型
H2O	1	fraction	常规组分

常压炉

E1 (类型: 加热器)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称: E1

基础配置 稳态 端口 描述

闪蒸类型: 压力-温度

压力/压降: 压降 0 MPa

温度: 330 C

热效率: 1

有效相态: 气-液

计算压降参数: 否

常二汽提塔蒸汽

STEAM2 (类型: 物料源)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称: STEAM2

基础配置 稳态 端口 描述

流体: 常规固体 非常规固体

闪蒸类型: 压力-温度

压力: 压力 0.5 MPa

温度: 300 C

总流量: 质量 0.6 tonne/hr 总和 1

溶剂:

有效相态: 仅气相

是否穿透: 否

显示虚拟组分: 否

名称	值	单位	类型
H2O	1	fraction	常规组分

模型演示二

精馏塔模块炼油精馏

① 塔体基础配置

模块名称: PDT1

基础配置 | 塔体 | 塔组件 | 规定总览 | 关注变量 | 选项 | 初始分布输入

MAIN | 基础 | 流股 | 压力 | 效率 | 冷凝器 | 加热炉

S-1 | 塔板数 | 25

S-2 | 冷凝器 | 过冷冷凝

再沸器 | 无

加热炉 | 无

有效相态 | 气-液-自由水

体系 | 炼油/宽沸程

反应精馏 | 禁用

操作规定

规定	基准	规定值	单位	进料比基准
塔顶产品流量	质量	80	tonne/hr	进料基准

基础 | 流股 | ① 压力 | 效率 | ① 冷凝器 | 加热炉

入口流股 ② 进出流股配置

序号	名称	塔板位置	进料类型
1	FEED	21	板上进料
2	STEAM1F	25	板上进料

出口流股

序号	名称	塔板位置	相态	规定类型	基准
1	BOT	25	液相		
2	PRODUCT	1	第一液相		
3	WATER	1	第二液相		

基础 | 流股 | 压力 | 效率 | 冷凝器 | 加热炉

③ 操作压力配置

压力规定类型	塔顶/塔底			
塔顶/冷凝器	塔顶压力	0.2	MPa	
第二块板	冷凝器压降	0.08	MPa	
其他	塔压降	0.04	MPa	

基础 | 流股 | 压力 | 效率 | 冷凝器 | 加热炉

④ 冷凝器温度配置

冷凝器操作 | 温度 | 40 | C

二级冷凝指定 | 否

一级冷凝温度 | 请输入值 | C

模型演示二

精馏塔模块炼油精馏

1

S-1汽提塔基础配置

MAIN

S-1

S-2

请输入

+ 新增

基础 流股 压力 效率

塔板数

汽提类型

规定	基准	规定值	单位
塔底产品流量	质量	38	tonne/hr
再沸器负荷		1000	kW

2

S-1汽提塔进出流股配置

MAIN

S-1

S-2

请输入

+ 新增

基础 流股 压力 效率

从主塔采出液相位置

塔顶气相返回主塔位置

汽提塔釜产品物流

蒸汽进料物流

从主塔额外采出到汽提塔

塔釜液相回流

3

S-2汽提塔基础配置

塔体 塔组件 规定总览 关注变量 选项 初始分布输入

MAIN

S-1

S-2

请输入

+ 新增

基础 流股 压力 效率

塔板数

汽提类型

规定	基准	规定值	单位
塔釜产品流量	质量	50	tonne/hr

4

S-2汽提塔进出流股配置

MAIN

S-1

S-2

请输入

+ 新增

基础 流股 压力 效率

从主塔采出液相位置

塔顶气相返回主塔位置

汽提塔釜产品物流

蒸汽进料物流

从主塔额外采出到汽提塔

塔釜液相回流

模型演示二

精馏塔模块炼油精馏

1

采出

采出位置 MAIN 3

采出相态 液相

采出类型 部分采出

回流

回流位置 MAIN 2

有效相态 气-液

回流方式 板上

规定内容	基准	规定值	单位
温度		90	C
流量	质量	37	tonne/hr
不指定压力			

常一中配置

2

采出

采出位置 MAIN 9

采出相态 液相

采出类型 部分采出

回流

回流位置 MAIN 8

有效相态 气-液

回流方式 板上

规定内容	基准	规定值	单位
温度		130	C
流量	质量	107	tonne/hr
不指定压力			

常顶循配置

3

采出

采出位置 MAIN 17

采出相态 液相

采出类型 部分采出

回流

回流位置 MAIN 15

有效相态 气-液

回流方式 板上

规定内容	基准	规定值	单位
温度		220	C
流量	质量	190	tonne/hr
不指定压力			

常二中配置

模型演示二

分析常一线产品闪点

1

流股结果页点击“添加物性”

界面截图显示“流股结果”页，包含“添加物性”按钮。下方表格展示了流股数据：

变量	单位	FEED	BOT	PRODUCT	SIDE1
描述					
起点		E1	PDT1	PDT1	PDT1
终点		PDT1			
流体					
相态		气-液	液相	液相	液相
温度	C	330	310.8475	40	214.3684
压力	kPa	300	320	200	281.7391
气相分率 (摩尔基准)	fraction	0.7251997	0	0	0
液相分率 (摩尔基准)	fraction	0.2748003	1	1	1
气相分率 (质量基准)	fraction	0.4849575	0	0	0
液相分率 (质量基准)	fraction	0.5150425	1	1	1

精馏塔模块炼油精馏

界面截图显示“添加物性”对话框，搜索“闪点”物性并添加“FLASHPT-API”。

性质	类型	说明
FLASHPT_CRV	油品	闪点, 需要通过物性曲线获取参数

性质	类型	说明	操作
FLASHPT_API	油品	闪点_API法	

2

搜索“闪点”物性并添加
“FLASHPT-API”

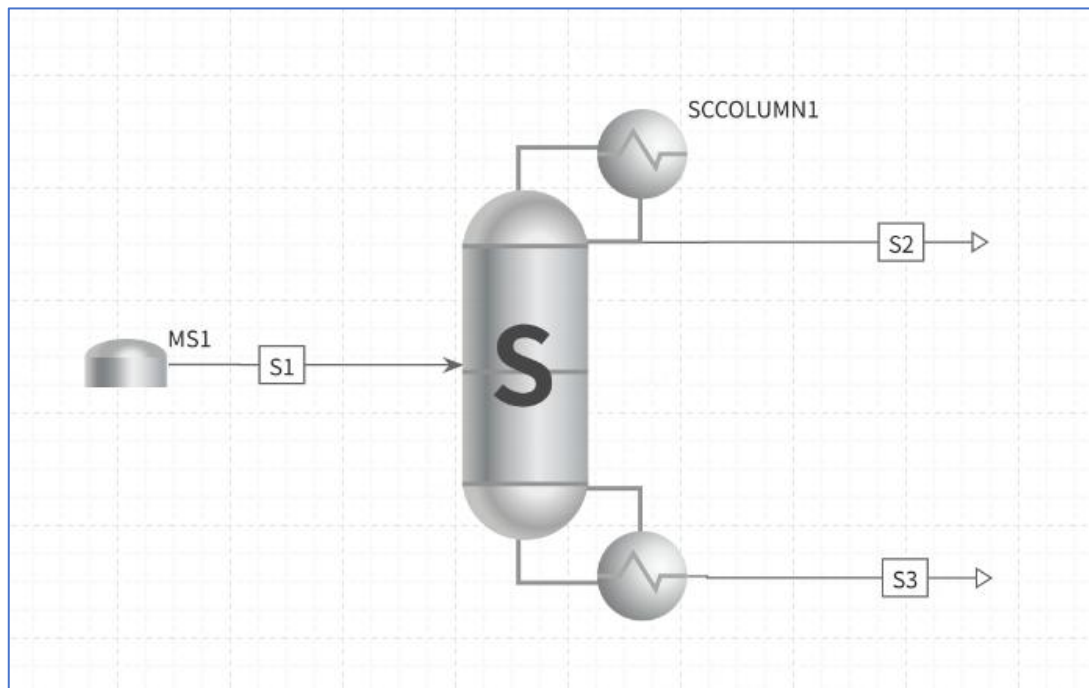
界面截图显示“计算结果”页，查看流股的闪点结果。表格中“SIDE1”和“FLASHPT_API”值被高亮显示。

变量	单位	BOT	PRODUCT	SIDE1	SIDE2	W
平均分子量	kg/kmol	387.4932	94.33712	145.3609	193.9493	18
摩尔流量	kmol/hr	573.7543	848.0225	261.4184	257.7993	34
摩尔分率						
质量流量	tonne/hr	222.3259	80	38	50	6.2
质量分率						
体积流量	cum/hr	302.48	113.4358	62.11686	77.80366	6.3
体积分率						
标准体积流量	cum/hr	240.9979	110.1486	48.47121	60.69243	6.3
标准体积分率						
FLASHPT_API	C	135.1037	-47.02788	46.0004	82.55426	
气相						
液相						
第一液相						
第二液相						

3

查看股流的闪点结果

◆ 将工程另存为并导出，命名为**演示案例9-2.apex**



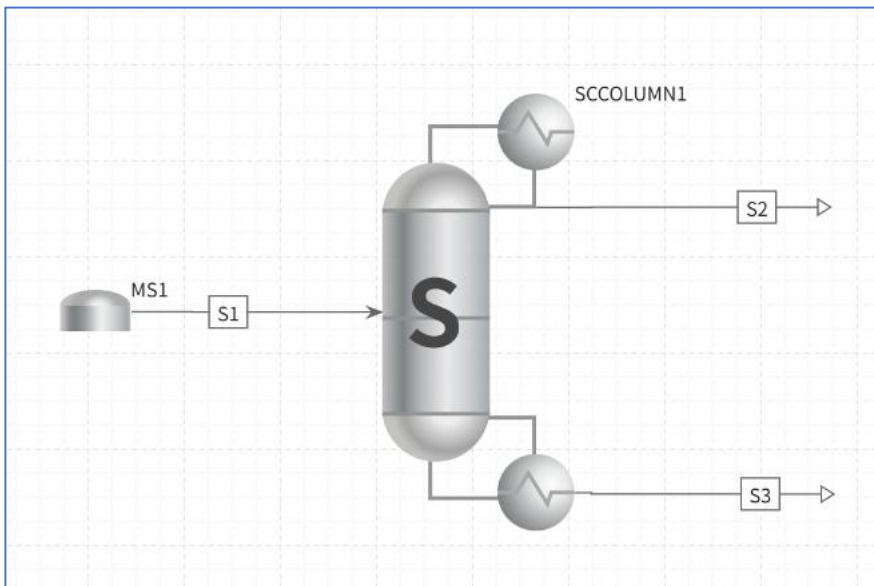
主要用于:

- ◆ 工艺可行性研究
- ◆ 初始方案筛选和比较
- ◆ 确定塔的大致尺寸和操作条件
- ◆ 为严格计算提供初始值 (如理论最小板数、回流比)

适用对象: 仅有一股进料和两股出料的简单精馏塔

理论基础：Fenske-Underwood-Gilliland 方法

计算步骤：



1

Fenske 方程 - 计算最小理论板数
目的：确定在全回流（即回流比无限大）条件下，分离所需的最少理论塔板数。

2

Underwood 方程 - 计算最小回流比
目的：确定在无限多理论板条件下，完成指定分离所需的最小回流比。

3

Gilliland 关联式 - 计算实际理论板数

4

计算进料塔板位置

SCC COLUMN2 (类型: 简捷塔)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称: SCC COLUMN2

基础配置 稳态 端口 描述

设计参数 计算选项

塔设定: 回流比

压力设定

冷凝器压力: bar

再沸器压力: bar

轻关键组分设定

轻关键组分:

轻关键组分回收率:

重关键组分设定

重关键组分:

重关键组分回收率:

冷凝器类型: 全冷凝

冷凝器气相分率:

设计参数

塔设定:包括塔板数和回流比两种类型

回流比:回流比应当为不为零的数, 可以大于零也可以小于零

>0: 表示实际回流比

<-1: 其绝对值表示实际回流比与最小回流比的比值

实际回流比一定大于最小回流比, 所以取负数时比值一定小于-1

塔板数:应当为正整数, 且大于等于3

轻重关键组分:应当从当前模块的组分中选择, 且不能为同一组分

关键组分的回收率:应当在0到1之间, 且不得等于0或者等于1 (回收率都是针对的塔顶)

冷凝器类型:包括全冷凝, 部分气冷凝, 以及部分气液冷凝

冷凝器气相分率:只有在选择了部分气液冷凝类型的冷凝器时可以输入, 并且应当在0到1之间, 不可为0或者1

SCCOLUMN2 (类型：简捷塔)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称 SCCOLUMN2

基础配置 稳态 端口 描述

设计参数 计算选项

计算理论塔高

塔板高度 meter

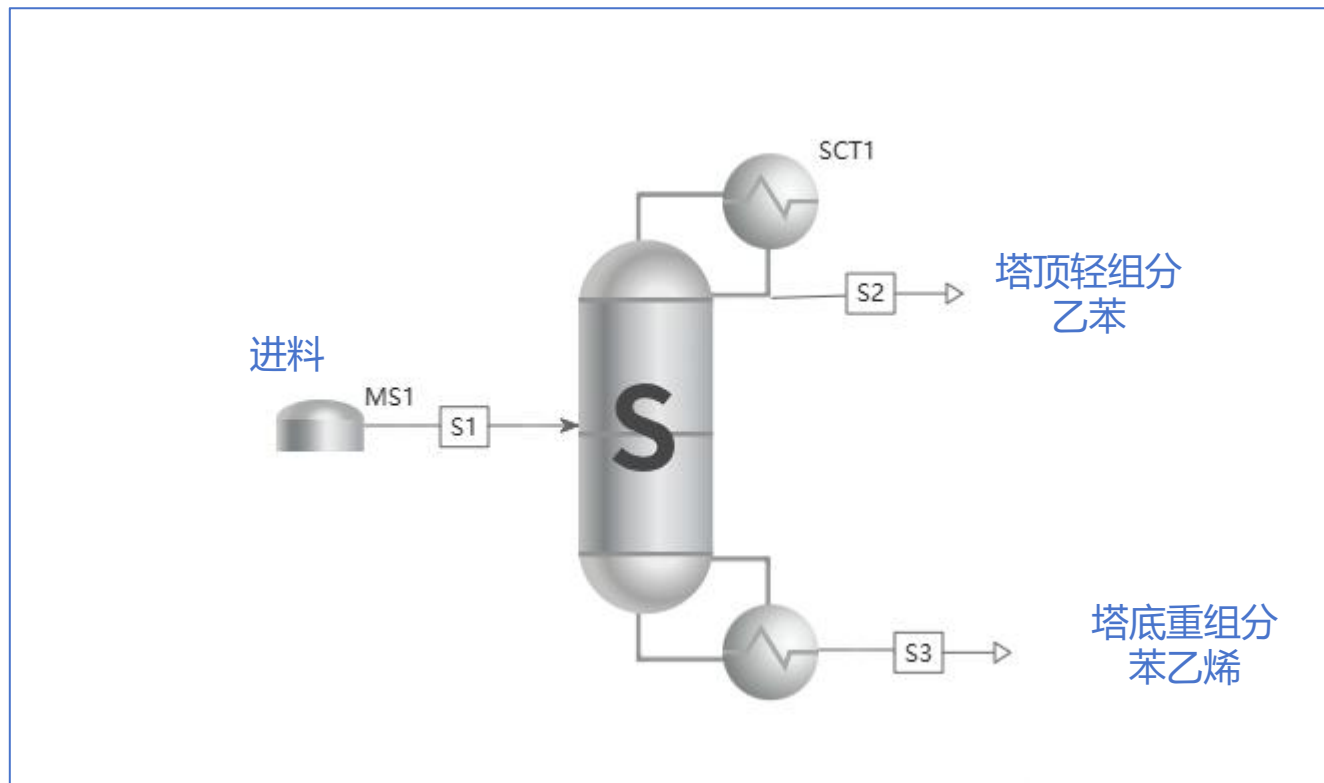
计算选项

塔高计算，可选是否计算，如果计算，需要指定塔板高度
输入值范围：(0, 3)

计算塔高可在 计算结果 / 模块结果 / 塔高 查看

模型演示三

简捷法设计乙苯-苯乙烯精馏塔。进料量12500kg/hr，温度45℃，压力100kPa，乙苯0.5843(质量分数，下同)，苯乙烯0.415，焦油0.0007(本例采用正十七烷表示焦油)，塔顶为全凝器，冷凝器压力6kPa，再沸器压力14kPa，回流比为最小回流比的1.2倍。要求塔顶产品中乙苯含量不低于0.99，塔底产品中苯乙烯含量不低于0.997。物性方法采用PR。



简捷塔设计乙苯-苯乙烯精馏塔

模型演示三

1

进入基础配置 | 组分，添加基础组分
修改组分名称（非必选）

基础配置

组分列表									
序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点 C	CAS号	操作	
1	C8H10	常规组分	ETHYLBENZENE	乙苯	C8H10	136.2	100-41-4	编辑	删除 更多
2	C8H8	常规组分	STYRENE	苯乙烯	C8H8	145.16	100-42-5	编辑	删除 更多
3	C17H36	常规组分	N-HEPTADECANE	正十七烷	C17H36	302.15	629-78-7	编辑	删除 更多
	请输入要添加的组分								

PR(默认)

请输入

+ 新增

物性方法 二元参数

描述 请输入描述

基础算法 PR

说明:标准Peng-Robinson立方型状态方程。
适用于非极性或弱极性混合物, 如烃和轻气体 (如CO₂, H₂S和H₂), 推荐用于气体处理、炼油及石化应用, 如气体厂、原油塔和乙烯厂。特别适用于高温、高压范围, 如烃加工应用和超临界萃取。

自由水 IF97

说明:使用IAPWS1997工业公式计算水和水蒸气的热力学性质。
适用于水和水蒸气的热力学性质计算。

算法详细信息

2

添加物性方法PR, 设为默认

国际单位制 继承于 米制

米制

英制

工程制(默认)

请输入

+ 新增

标准 能量 传递 浓度 尺寸 价格 其它

流量

通量 cum/sqm-s 体积流量 cum/hr

质量流量 kg/hr 体积流量变化量 cum/s

质量通量 kg/sqm-hr

质量流量变化量 kg/s

摩尔流量 kmol/hr

摩尔流量变化量 kmol/s

温度

温度 C

温差 DELTA-C

温度倒数 1/K

压力

压力 bar

压头 meter

单位高度压降 N/cum

压降 kPa

压力倒数 1/atm

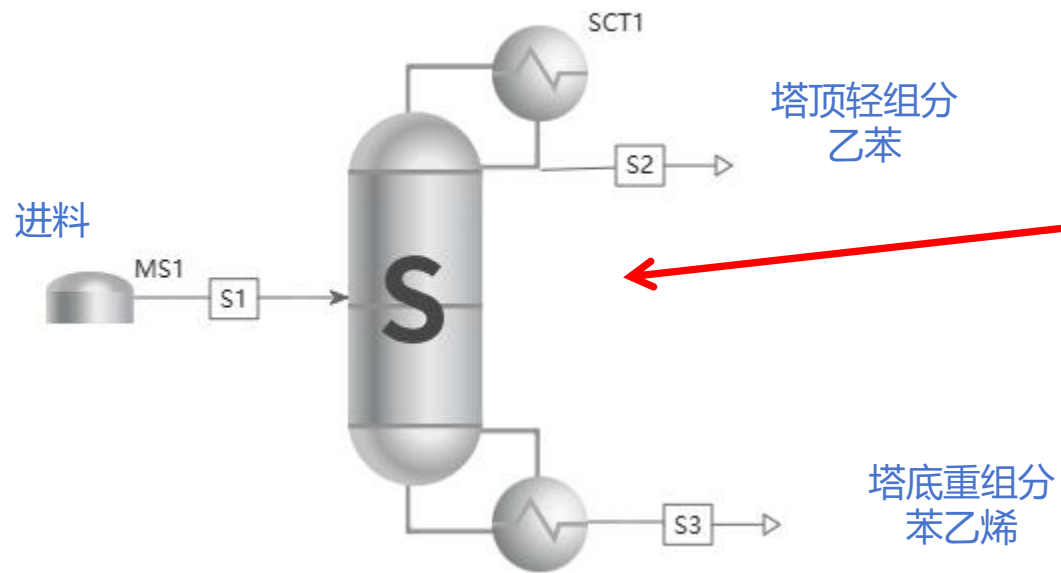
3

设置工程制为默认单位集

4

进入流程模拟界面

模型演示三



其中简捷塔模块采用模块选择中的塔体 | 简捷塔



流程图搭建

模型演示三

计算塔顶轻重组分回收率:

进料质量组成:

$$\text{EB: } 0.5843 * 12500 = 7303.75 \text{ kg/hr}$$

$$\text{ST: } 0.415 * 12500 = 5187.5 \text{ kg/hr}$$

$$\text{C17: } 0.0007 * 12500 = 8.75 \text{ kg/hr}$$

设塔顶采出量为 D (kg/h), 塔底采出量为 W (kg/h)。根据产品纯度要求及物料守恒, 建立方程:

总物料衡算:

$$D+W=12500$$

苯乙烯 (ST) 组分衡算 (假设塔顶ST含量 $1-0.99=0.01$):

$$0.01D+0.997W=5187.50$$

$$D=12500-W$$

$$0.01(12500-W)+0.997W=5187.50$$

$$W=5129.179 \text{ kg/h}$$

$$D=7370.8211 \text{ kg/h}$$

乙苯 (EB) 平衡:

$$\text{塔顶EB量} = 7370.821 \times 0.99 = 7297.112 \text{ kg/h}$$

苯乙烯 (ST) 平衡:

$$\text{塔顶ST量} = 7370.821 \times 0.01 = 73.708 \text{ kg/h}$$

分离要求:

轻组分 (乙苯) 在塔顶的回收率:

$$\frac{7297.112}{7303.75} = 0.9991$$

重组分 (苯乙烯) 在塔顶的回收率:

$$\frac{73.708}{5187.5} = 0.0142$$

模型演示三

物料源FEED 模块组态配置

简捷塔SCCOLUMN1

MS1 (类型: 物料源)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称: MS1

基础配置 稳态 端口 描述

流体 常规固体 非常规固体

闪蒸类型: 压力-温度

压力: 100 kPa

温度: 45 C

总流量: 12500 kg/hr

溶剂:

有效相态: 气-液

是否穿透: 否

组成类型: 占比 质量

名称	值	单位	类型
C8H10	0.5843	fraction	常规组分
C8H8	0.415	fraction	常规组分
C17H36	0.0007	fraction	常规组分
总和	1		

SCT1 (类型: 简捷塔)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称: SCT1

基础配置 稳态 端口 描述

设计参数 计算选项

塔设定: 回流比: -1.2

压力设定

冷凝器压力: 6 kPa

再沸器压力: 14 kPa

轻关键组分设定

轻关键组分: C8H10

轻关键组分回收率: 0.9991

重关键组分设定

重关键组分: C8H8

重关键组分回收率: 0.0142

冷凝器类型: 全冷凝

冷凝器气相分率: 请输入值

回流比中输入“-1.2” → 实际回流比是最小回流比的1.2倍
 (注: 回流比中输入“1.2” → 实际回流比是1.2)

回收率需要根据已知条件输入指定

配置完成后初始化、运行全流程

模型演示三

计算结果

名称	值	单位
最小回流比	3.590538	Unitless
实际回流比	4.308645	Unitless
最小塔板数	31.27723	Unitless
实际塔板数	64.69231	Unitless
进料塔板	40.23749	Unitless
进料塔板之上的塔板数	39.23749	Unitless
再沸器热负荷	4200.262	kW
冷凝器热负荷	-4073.311	kW
塔顶温度	54.58746	C
塔底温度	83.03137	C
塔顶产物占进口流量比率	0.5853086	Unitless

实际工程中
塔板数需圆
整

变量	单位	S1	S2	S3
质量焓	kJ/kg-K	-3.567598	-3.973169	-2.839683
摩尔密度	kmol/cum	8.166343	7.896159	8.119416
质量密度	kg/cum	860.4245	838.1526	846.4887
热流量	kW	1348.571	-91.21758	1566.739
平均分子量	kg/kmol	105.3623	106.1469	104.2549
摩尔流量	kmol/hr	118.6383	69.44001	49.19828
摩尔分率				
质量流量	kg/hr	12500	7370.839	5129.161
C8H10	kg/hr	7303.75	7297.177	6.573375
C8H8	kg/hr	5187.5	73.6625	5113.838
C17H36	kg/hr	8.75	7.39809e-8...	8.75
质量分率				
体积流量	cum/hr	14.52771	8.794149	6.059338
体积分率				
标准体积流量	cum/hr	14.11471	8.47055	5.644163
标准体积分率				
液相				

回收率符合简捷塔设定：
轻组分： $7297.177/7303.75=0.9991$
重组分： $73.6625/5187.5=0.0142$

- 计算出的最小回流比为3.59，实际回流比为4.3
- 最小理论板数为32 (包括全凝器和再沸器)，实际理论板数为65 (包括全凝器和再沸器)
- 进料位置为第41块板
- 塔顶温度为 54.587°C

模型演示三

精馏塔校核

新建一个物料源MS2，采用与物料源MS1相同的进料组态，新建一个精馏塔T1，根据简捷塔计算结果输入参数条件

T1 (类型: 精馏塔)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称 T1

基础配置 稳态 端口 描述

塔体 塔组件 规定总览 关注变量 选项 初始分布输入

MAIN

请输入

+ 新增

基础 流股 压力 效率 冷凝器 加热炉

塔板数 65

冷凝器 全冷凝

再沸器 釜式再沸器

加热炉 无

有效相态 气-液

体系 常规

反应精馏 禁用

操作规定

规定	基准	规定值	单位	进料比基准
塔顶产品与进料之比	摩尔	0.585	Unitless	进料基准
回流比	摩尔	4.3	Unitless	

简捷塔计算结果

流股结果 模块结果 运行报告

名称	值	单位
最小回流比	3.590538	Unitless
实际回流比	4.308645	Unitless
最小塔板数	31.27723	Unitless
实际塔板数	64.69231	Unitless
进料塔板	40.23749	Unitless
进料塔板之上的塔板数	39.23749	Unitless
再沸器热负荷	4200.262	kW
冷凝器热负荷	-4073.311	kW
塔顶温度	54.58746	C
塔底温度	83.03137	C
塔顶产物占进口流量比率	0.5853086	Unitless

模型演示三

精馏塔校核

基础配置 稳态 端口 描述

塔体 塔组件 规定总览 关注变量 选项 初始分布输入

MAIN 请输入 + 新增

基础 流股 压力 效率 冷凝器 加热炉

入口流股 新增流股 排序

序号	名称	塔板位置	进料类型	操作
1	S4	41	板上进料	删除

出口流股 新增流股 排序

序号	名称	塔板位置	相态	规定类型	基准
1	S5	65	液相		
2	S6	1	液相		

塔组件

基础配置 稳态 端口 描述

塔体 塔组件 规定总览 关注变量 选项 初始分布输入

MAIN 请输入 + 新增

基础 流股 压力 效率 冷凝器 加热炉

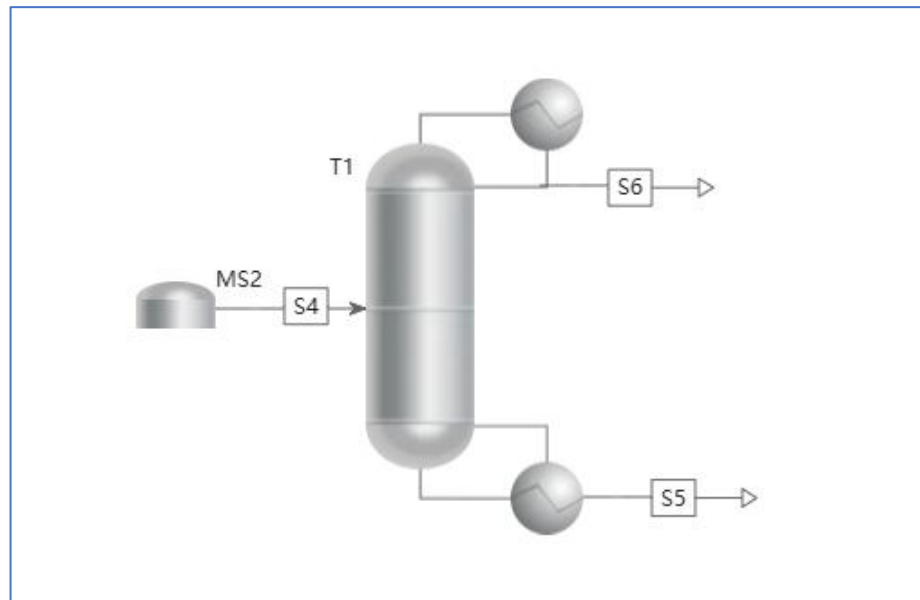
压力规定类型 塔顶/塔底

塔顶/冷凝器 塔顶压力 6 kPa

第二块板 不指定

其他 塔底压力 14 kPa

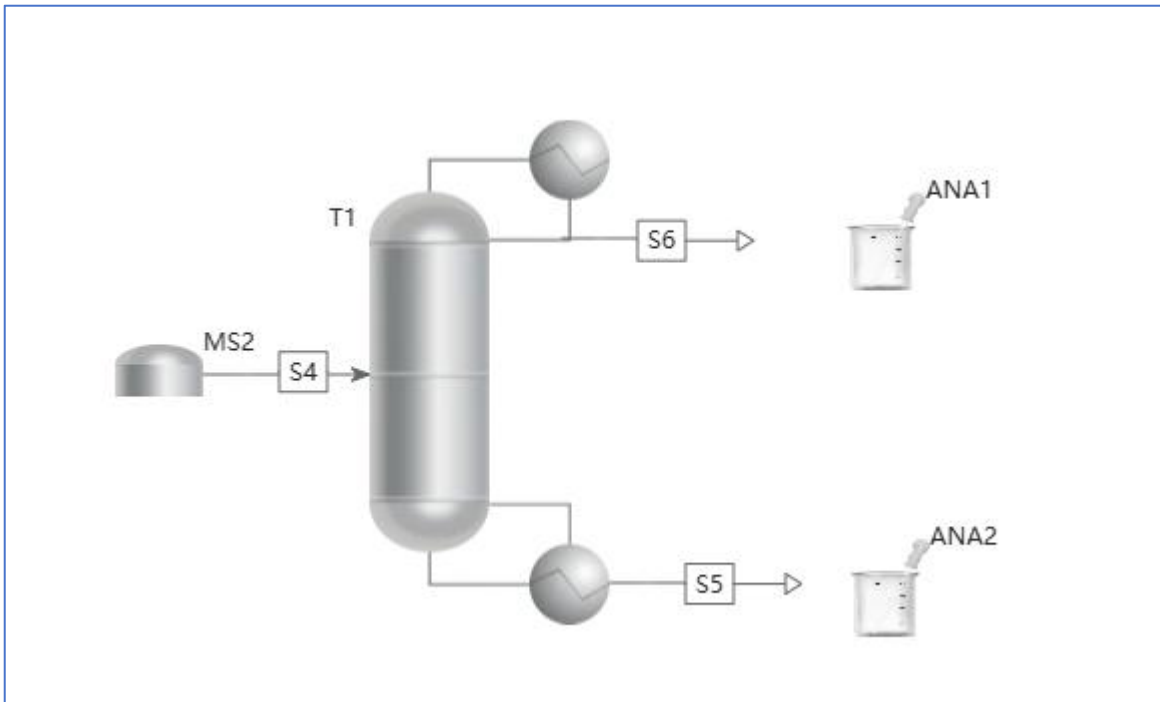
压力



模型演示三

精馏塔校核

新建两个分析模块，添加物性集（含物性FRAC_MASS），分别参考塔顶和塔底产品流股S6、S5



物性集1

批量添加 上移 下移 批量删除

性质	相态	说明	操作
FRAC_MASS	混相	质量分率	删除
请输入			

ANA1 (类型: 分析模块)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 ANA1

基础配置 稳态 端口 描述

闪蒸类型 压力-温度

压力(选填) 压力 请输入值 kPa

温度(选填) 请输入值 C

参考流股 S6

有效相态 气-液

物性集 物性集1 × 物性集配置

ANA2 (类型: 分析模块)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 ANA2

基础配置 稳态 端口 描述

闪蒸类型 压力-温度

压力(选填) 压力 请输入值 kPa

温度(选填) 请输入值 C

参考流股 S5

有效相态 气-液

物性集 物性集1 × 物性集配置

模型演示三

精馏塔校核

运行精馏塔，查看塔顶出口流股S6的乙苯质量分率和塔底出口流股S5的苯乙烯质量分率

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果										
元变量 策略管理 规定统计 自由度统计										
默认 变量域										
筛选条件 重置筛选 导入 导出										
索引	名称	变量描述	值	单位	物理类型	规定				
2779	ANA1.VAR.FRAC_MASS_MIX_C8H10		0.9671203	fraction	含量	计算				
2831	ANA2.VAR.FRAC_MASS_MIX_C8H8		0.9628286	fraction	含量	计算				

总数: 2832 触界数: 0 显示数: 2

- 查看结果，如图所示，塔顶产品物流乙苯的质量分数为0.967，塔底产品物流苯乙烯的质量分数为0.963，均没有满足产品纯度要求
- 需要添加塔内设计规定达到分离要求

模型演示三

精馏塔校核

添加设计规定DS1，本例中要求乙苯的质量分数为0.99，苯乙烯的质量分数为0.997。添加第一个设计规定，规定目标变量为塔底苯乙烯质量分率，目标值为0.997，操控变量为回流比。

主流程图 全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

设计规定 约束 目标函数 整定 优化 缩放因子 规定变更 值变更

DS1

请输入

+ 新增

操控变量

序号	变量名称	结果值	单位	操作
1	T1.VAR.MAIN_TOP_RR_MOLE	4.3	Unitless	删除
	请输入新增变量			

目标变量

序号	变量名称	目标值	结果值	单位	操作
1	ANA2.VAR.FRAC_MASS_MIX_C8H8	0.997	0.9628286	fraction	删除
	请输入新增变量				

模型演示三

精馏塔校核

添加设计规定DS2，添加第二个设计规定，规定目标变量为塔顶乙苯质量分率，目标值为0.99，操控变量为塔顶产品和进料之比。

主流程图 全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

设计规定 约束 目标函数 整定 优化 缩放因子 规定变更 值变更

DS1

DS2

请输入

+ 新增

操控变量

序号	变量名称	结果值	单位	操作
1	T1.VAR.MAIN_TOP_DIST_FEEDBASE_R...	0.5994625	Unitless	删除
	请输入新增变量			

T1.VAR.MAIN_TOP_DIST_FEEDBASE_RATIO_MOLE

目标变量

序号	变量名称	目标值	结果值	单位	操作
1	ANA1.VAR.FRAC_MASS_MIX_C8H10	0.99	0.9671203	fraction	删除
	请输入新增变量				

模型演示三

初始化运行之后查看最终结果

精馏塔校核

操控变量		序号	变量名称	结果值	单位	操作
DS1	<input type="checkbox"/>	1	T1.VAR.MAIN_TOP_RR_MOLE	7.91095	Unitless	删除
DS2	<input type="checkbox"/>		请输入新增变量			

目标变量		序号	变量名称	目标值	结果值	单位	操作
	<input type="checkbox"/>	1	ANA2.VAR.FRAC_MASS_MIX_C8H8	0.997	0.997	fraction	删除
	<input type="checkbox"/>		请输入新增变量				

可以看到此时塔顶塔底结果已满足要求。

- 塔顶产品中乙苯含量不低于 0.99
- 塔底产品中苯乙烯含量不低于0.997

此时回流比为7.91，塔顶产品和进料之比为0.5853

操控变量		序号	变量名称	结果值	单位	操作
DS1	<input type="checkbox"/>	1	T1.VAR.MAIN_TOP_DIST_FEEDBASE_R...	0.5853072	Unitless	删除
DS2	<input type="checkbox"/>		请输入新增变量			

目标变量		序号	变量名称	目标值	结果值	单位	操作
	<input type="checkbox"/>	1	ANA1.VAR.FRAC_MASS_MIX_C8H10	0.99	0.99	fraction	删除
	<input type="checkbox"/>		请输入新增变量				

索引	名称	值	单位	物理类型	规定
2779	ANA1.VAR.FRAC_MASS_MIX_C8H10	0.99	fraction	含量	常数
2831	ANA2.VAR.FRAC_MASS_MIX_C8H8	0.997	fraction	含量	常数

总数: 2832 触界数: 0 显示数: 2

◆ 将工程保存并导出，命名为**演示案例9-3.apex**

习题一（精馏塔）

● 物料源FO:

- ◆ 进料组成（水63.2wt%，甲醇36.8wt%）
- ◆ 压力124kPa，进料量54431kg/h，饱和液体进料

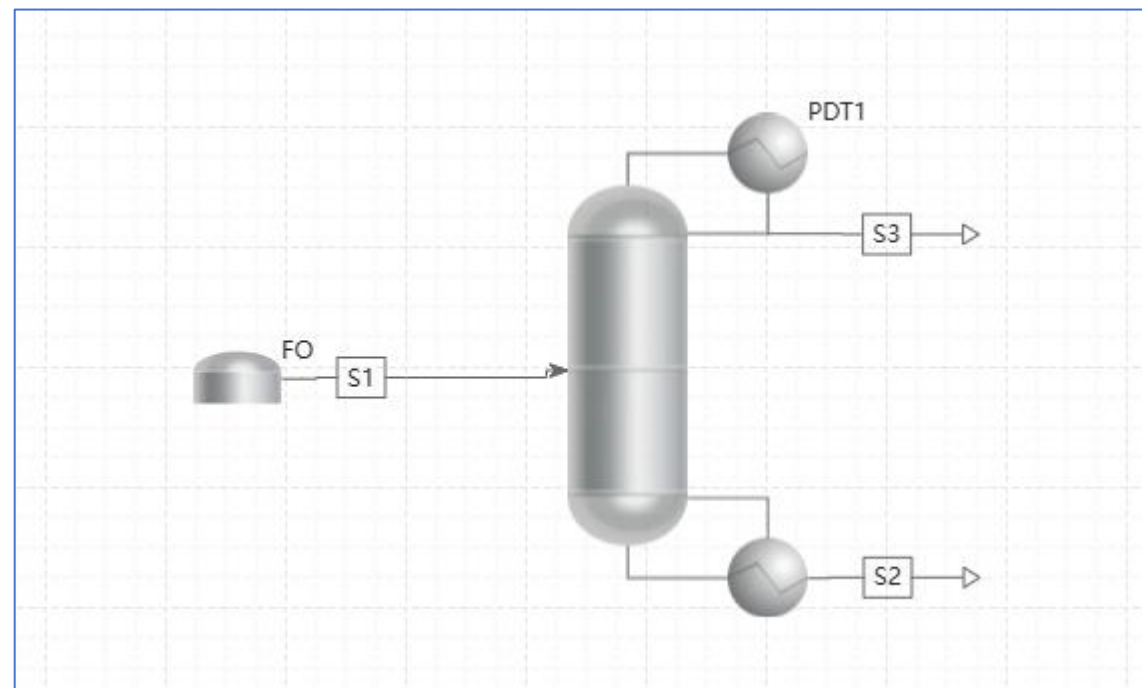
● 精馏塔PDT1操作条件:

- ◆ 理论板：40
- ◆ 进料板：24（正序，板间进料）
- ◆ 冷凝器采用全凝器，再沸器采用釜式
- ◆ 塔顶压力：111kPa，板压降：0.7kPa
- ◆ 塔顶采出量：20091.03kg/h，回流比1.21（质量）

● 物性方法：NRTL

新建文件名称为【培训习题9-1】

甲醇-水分离塔模型



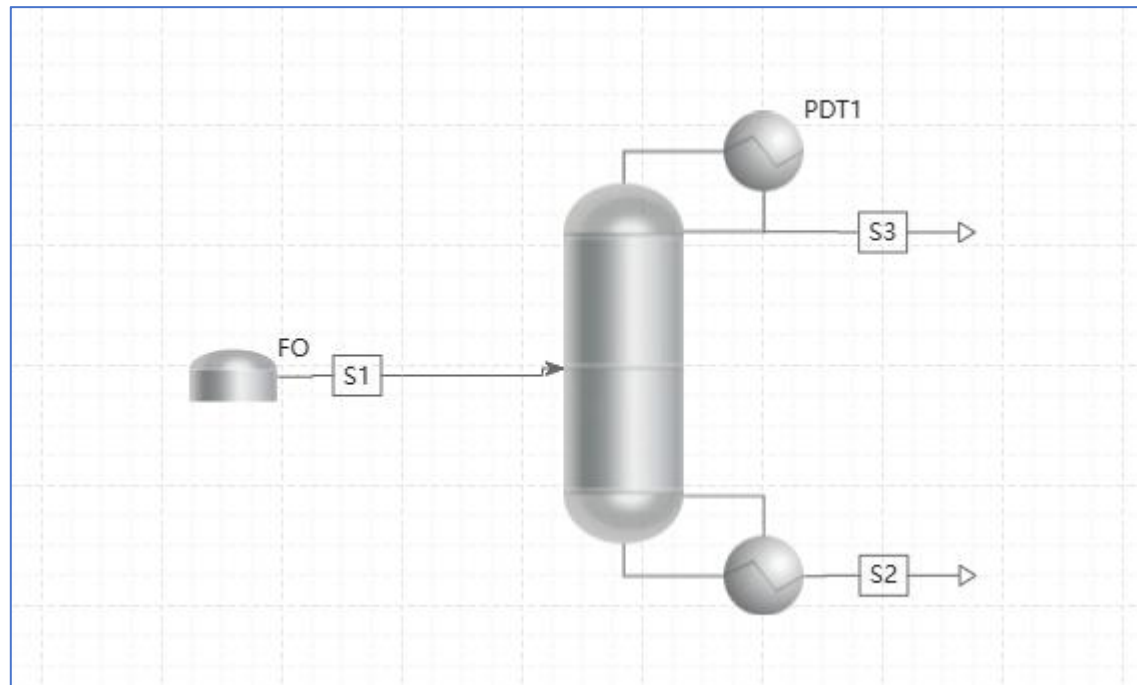
习题一 (精馏塔)

● 要求:

- ◆ 冷凝器和再沸器的Murphree效率为90%，其他理论级的板效率为65%，

● 问题:

- ◆ 冷凝器和再沸器的热负荷是多少？
- ◆ 塔顶馏出物中甲醇含量多少？塔底水含量多少？
(质量分率)
- ◆ 将模拟结果导出成“培训练习题2-精馏塔.apex”文件



习题一（精馏塔）

● 要求:

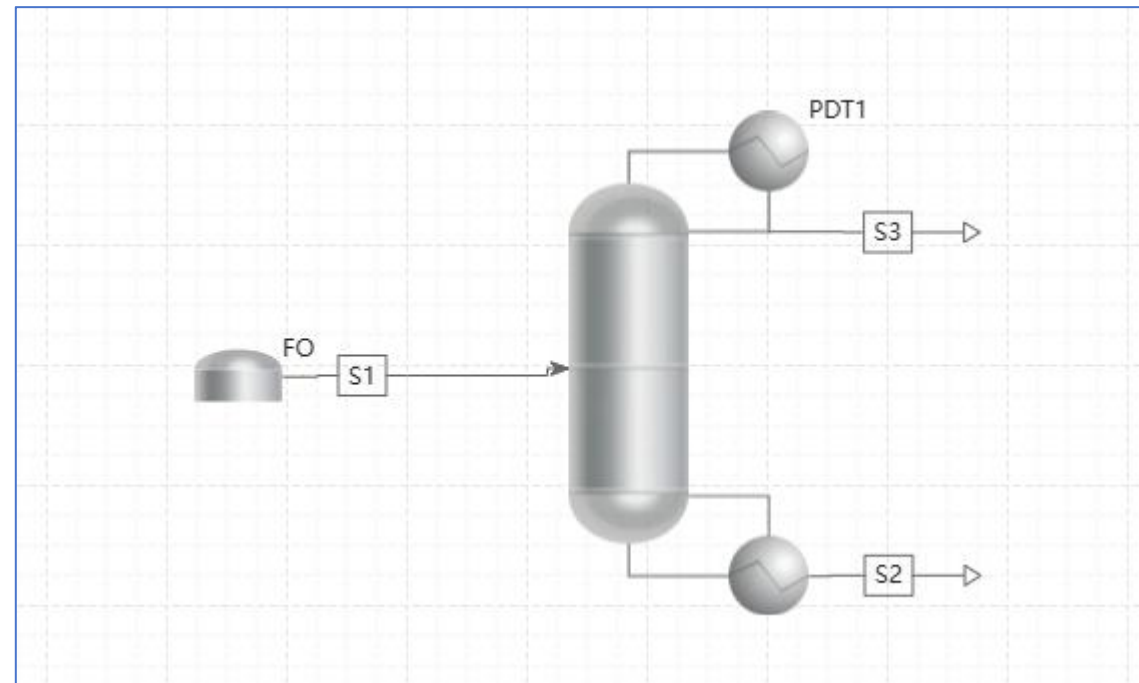
- ◆ 冷凝器和再沸器的Murphree效率为90%，其他理论级的板效率为65%，

● 问题:

- ◆ 冷凝器和再沸器的热负荷是多少？
- ◆ 塔顶馏出物中甲醇含量多少？塔底水含量多少？（质量分率）
- ◆ 将模拟结果导出成“培训练习题2-精馏塔.apex文件”

- ◆ 冷凝器的负荷-13.586MW，再沸器负荷14.578MW

- ◆ 塔顶甲醇含量为99.60wt%，塔底水含量99.94wt%



习题二 (简捷塔)

● 物料源FO:

- ◆ 流量: 1000 kg/hr
- ◆ 组成: 苯50%, 甲苯50% (摩尔组成)
- ◆ 温度: 90°C, 压力: 1 atm

● 设置简捷塔参数:

- ◆ 轻关键组分: 苯
- ◆ 重关键组分: 甲苯
- ◆ 塔顶苯回收率: 95%
- ◆ 塔顶甲苯回收率: 5%
- ◆ 冷凝器压力: 1atm
- ◆ 再沸器压力: 1atm
- ◆ 塔板数: 20块
- ◆ 冷凝器类型: 全凝器

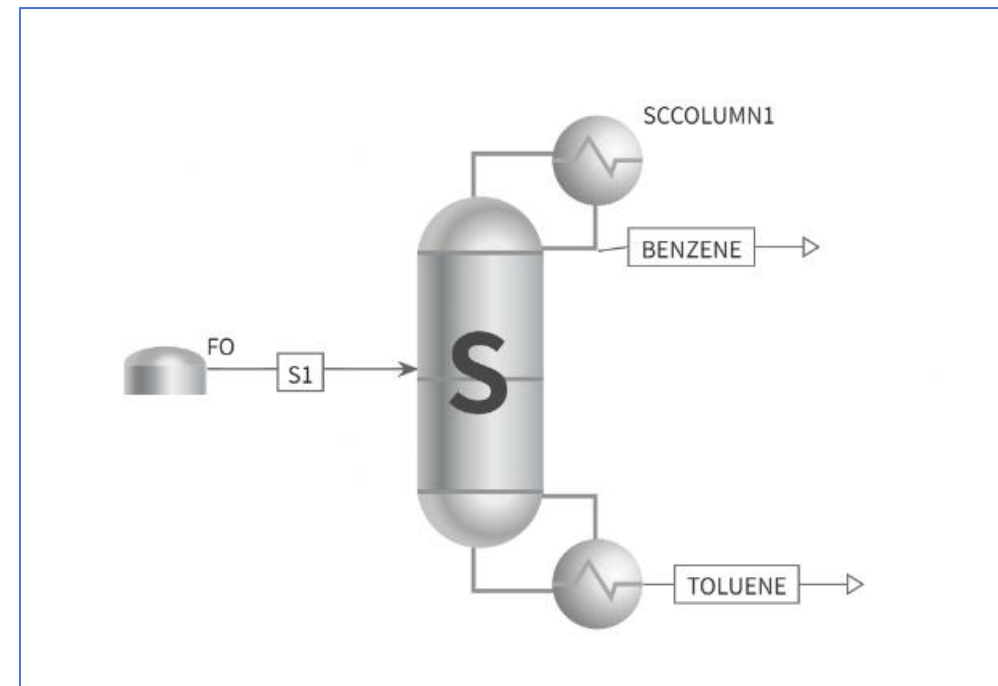
● 设置精馏塔

- 通过设计规定功能, 对塔进行校核, 调整回流比使塔顶苯的质量分率达到0.95

● 物性方法: WILSON

新建文件名称为【培训习题9-2】

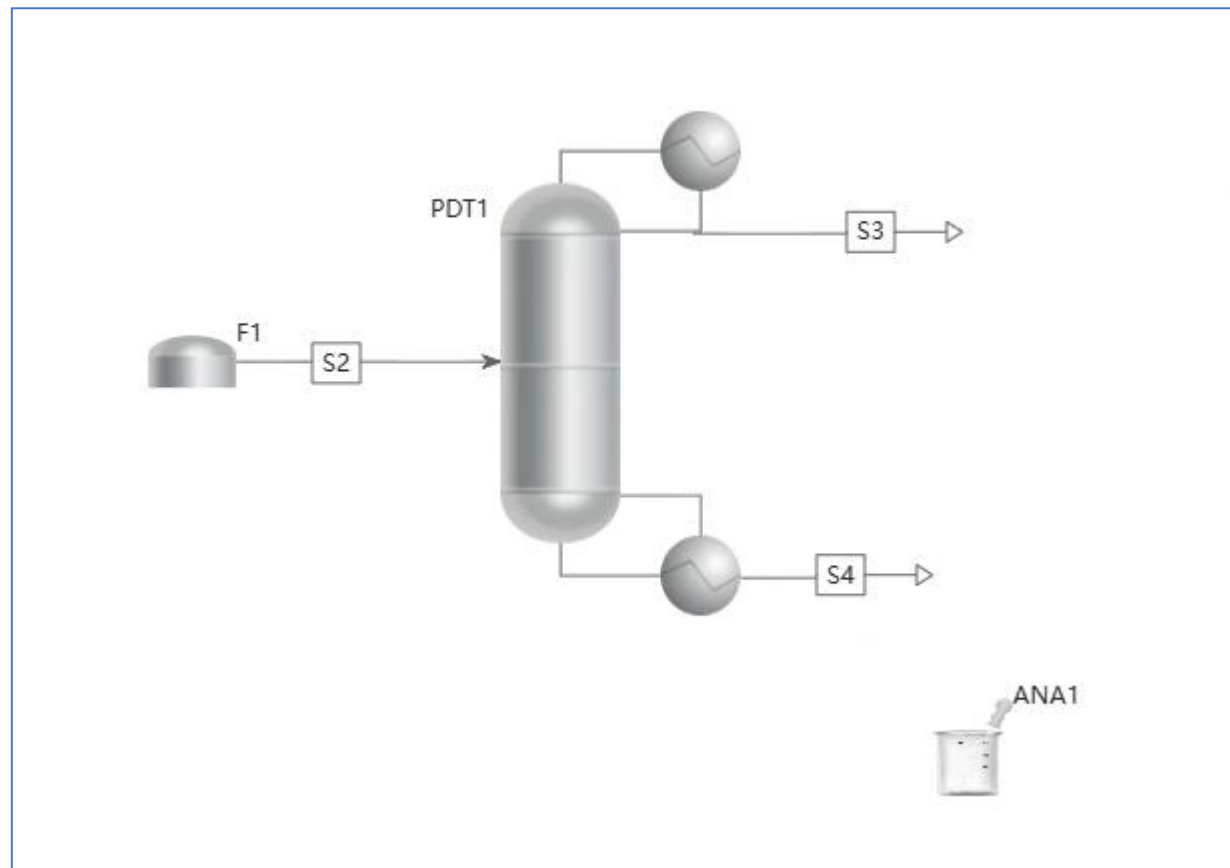
苯-甲苯分离简捷塔模型



习题二 (简捷塔)

● 问题:

- ◆ 简捷塔计算出的最小回流比和最小理论板数
- ◆ 简捷塔塔顶产品苯纯度
- ◆ 简捷塔塔底产品甲苯纯度
- ◆ 精馏塔计算出的回流比 (摩尔分率) (塔顶产品苯的质量分率不低于95%)
- ◆ 此时塔底甲苯的质量分率



习题二 (简捷塔)

● 问题:

- ◆ 简捷塔计算出的最小回流比和最小塔板数

最小回流比: 1.081

最小塔板数: 6.387

- ◆ 简捷塔塔顶产品苯纯度 (wt%)

94.15%

- ◆ 简捷塔塔底产品甲苯纯度 (wt%)

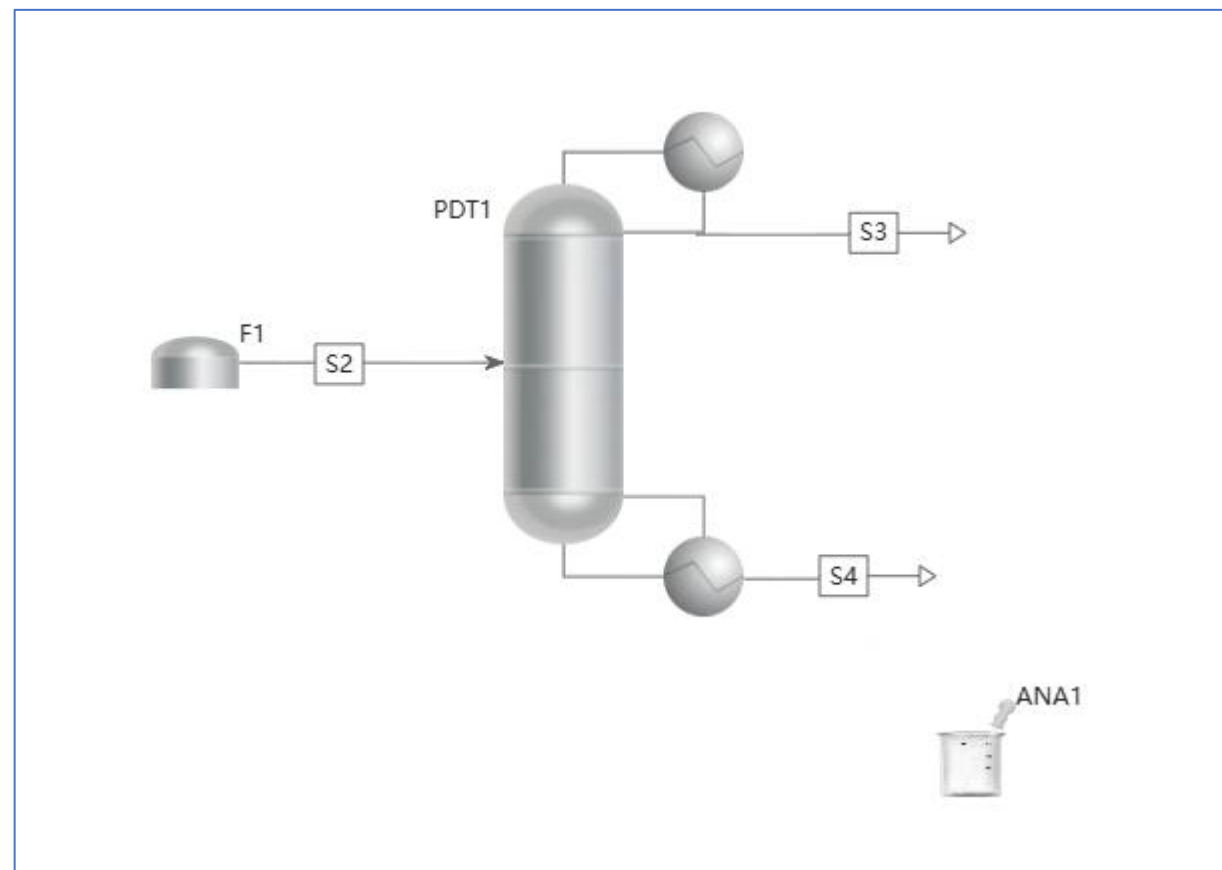
95.73%

- ◆ 校核后精馏塔计算出的回流比 (摩尔分率) (塔顶产品苯的质量分率不低于95%)

1.293

- ◆ 此时精馏塔塔底出流股中甲苯的质量分率

96.36%



习题三 (炼油塔)

● 油品数据

API		28.79	
ASTM TBP(体积分率基准)		轻端	
分率/%	温度/C	组分	标准体积分率/%
0	61	水	0.012
5	148.9	甲烷	0.00001
10	182.8	乙烷	0.00014
30	258.5	丙烷	0.00044
50	347.5	异丁烷	0.001
70	441.2	正丁烷	0.0016
90	650.9	2-甲基丁烷	0.0014
95	735.3	正戊烷	0.0056

新建文件名称为【培训习题9-3】

习题三 (炼油塔)

● 工艺流程

物性方法: MXBONNEL

除蒸汽有效相态为仅气相外, 有效相态均为气液自由水

原油进料:

温度: 225 °C

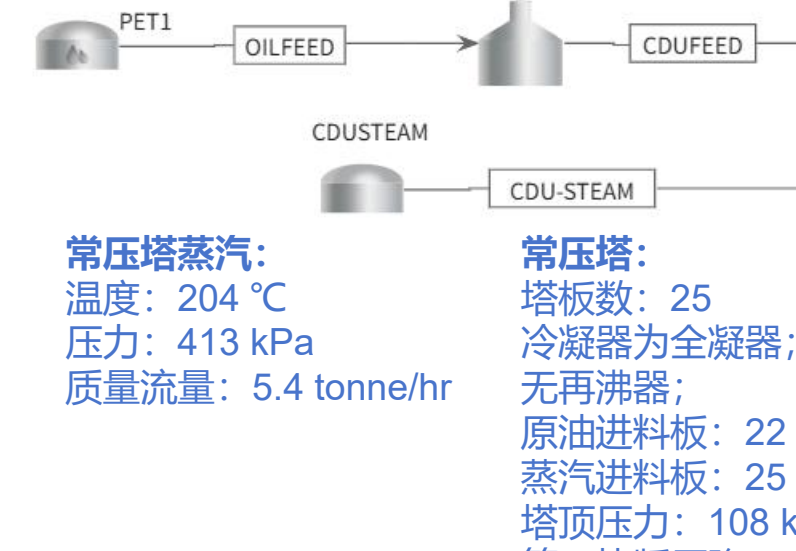
压力: 100 kPa

质量流量: 511 tonne/hr

常压炉:

温度: 350 °C

压力: 167 kPa



常压塔蒸汽:

温度: 204 °C

压力: 413 kPa

质量流量: 5.4 tonne/hr

常压塔:

塔板数: 25

冷凝器为全凝器;

无再沸器;

原油进料板: 22 (板上进料)

蒸汽进料板: 25 (板上进料)

塔顶压力: 108 kPa

第二块版压降: 24 kPa

塔压降: 28 kPa

塔顶采出: 75 tonne/hr

中段循环1:

采出位置: 8;

回流位置: 6;

负荷: -11500 kW;

质量流量: 300 tonne/hr

中段循环2:

采出位置: 14;

回流位置: 13;

负荷: -4400 kW;

质量流量: 60 tonne/hr

汽提塔1:

塔板数: 4

塔釜采出流量: 65 tonne/hr

采出位置: 6; 回流位置: 5

汽提塔2:

塔板数: 3

塔釜采出流量: 95 tonne/hr

采出位置: 13; 回流位置: 12

汽提塔3:

塔板数: 2

塔釜采出流量: 40 tonne/hr

采出位置: 18; 回流位置: 17

汽提塔蒸汽:

温度: 204 °C

压力: 413 kPa

汽提塔1蒸汽质量流量: 1.5 tonne/hr

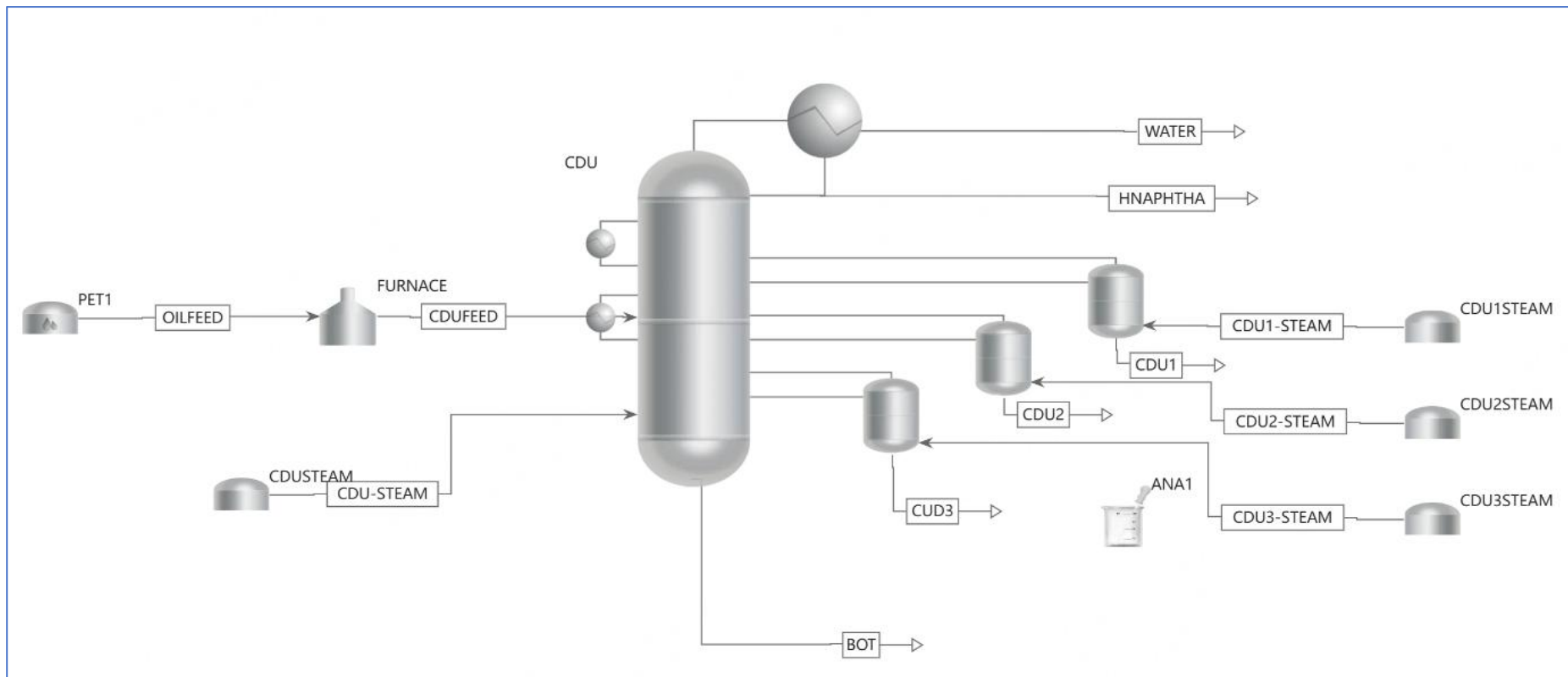
汽提塔2蒸汽质量流量: 0.45 tonne/hr

汽提塔3蒸汽质量流量: 0.36 tonne/hr

习题三 (炼油塔)

● 问题

- 常压塔各产品的温度是多少？
- 试用分析模块分析常二线 (CDU2) 的95%蒸馏点 (D86方法) ？



习题三 (炼油塔)

添加分析模块步骤如下:

1

在模型库 | 其他模块中选择
分析模块, 添加至主流程图



2

在分析模块的组态信息 | 稳态页面
配置分析模块的组态



3

点击物性集配置



习题三 (炼油塔)

添加分析模块步骤如下:

4

软件自动跳转至物性集页面，点击新增，添加物性集1

5

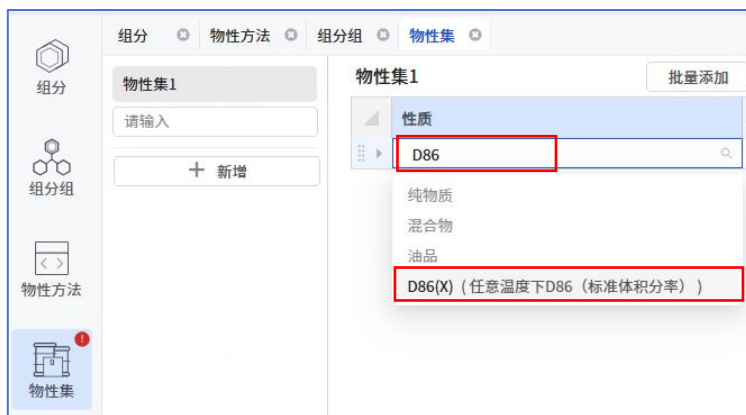
在性质中输入D86，然后选择D86(X)(任意温度下D86(标准体积分率))

6

在弹出的添加分率对话框的性质栏中输入“95”

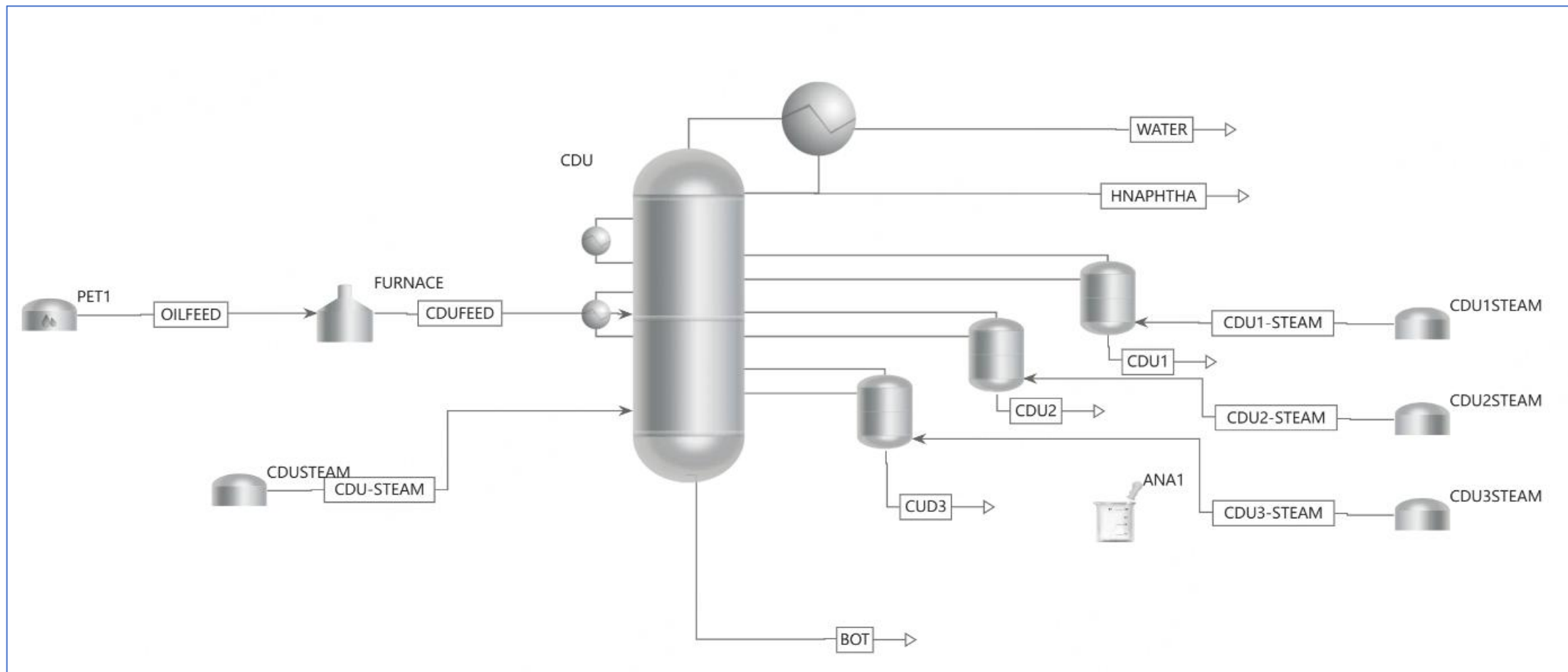
7

返回分析模块ANA1，物性集选择物性集1



习题三 (炼油塔)

添加完分析模块的流程图如下所示



习题三 (炼油塔)

● 问题

- 常压塔各产品的温度是多少？

常顶：91.7 °C 常一线：194.6 °C 常二线：270.0 °C 常三线：319.3 °C

- 试用分析模块分析常二线 (CDU2) 的95%蒸馏点 (D86方法) ？

347.02 °C

CDU (类型：精馏塔)										
组态信息 运行管理 模块应用 元变量 <u>计算结果</u>										
流股结果 模块结果 运行报告										
添加物性 导出结果										
变量	单位	Main.CDUFEED	Main.BOT	Main.HNAPHTHA	Main.CDU-S...	Main.WATER	Main.CUD3	Main.CDU2	Main.CDU1	Main.CDU
描述										
起点		Main.FURNACE	Main.CDU	Main.CDU	Main.CDUSTE...	Main.CDU	Main.CDU	Main.CDU	Main.CDU	Main.CDU
终点		Main.CDU			Main.CDU					Main.CDU
总体										
温度	C	350	335.7225	91.70428	204	91.70428	319.2745	269.9785	194.6345	
压力	kPa	167	160	108	413	108	150.2609	144.1739	135.6522	
气相分率 (摩尔基准)	fraction	0.6717931	0	0	1	0	0	0	0	
液相分率 (摩尔基准)	fraction	0.3282069	1	1	0	1	1	1	1	
气相分率 (质量基准)	fraction	0.4758463	0	0	1	0	0	0	0	
液相分率 (质量基准)	fraction	0.5241537	1	1	0	1	1	1	1	
质量焓	kJ/kg	573.4057	427.5155	-223.0842	-13094.55	-15586.17	385.5893	249.8556	47.05484	-130
质量熵	kJ/kg-K	1.443845	1.201522	-0.2457085	-2.239788	-8.514921	1.092955	0.834014	0.3868505	-2.23
质量密度	kg/cum	13.30608	788.4915	719.6579	1.908339	964.1693	688.6657	669.0488	682.6008	1.90
热流量	kW	81391.75	28031.42	-4647.54	-19641.82	-33183.54	4284.326	6593.411	849.6013	-545
质量流量	tonne/hr	511	236.0455	74.99925	5.4	7.664532	40	95	65	
质量分率										

ANA1 (类型：分析模块)		
组态信息 运行管理 模块应用 元变量 <u>计算结果</u>		
模块结果 运行报告		
名称	值	单位
出口温度	269.9785	C
出口压力	144.1739	kPa
气相分率	-0.4816877	Unitless
D86(95)_LIQ	347.0168	C



10 | 萃取塔

学习目标

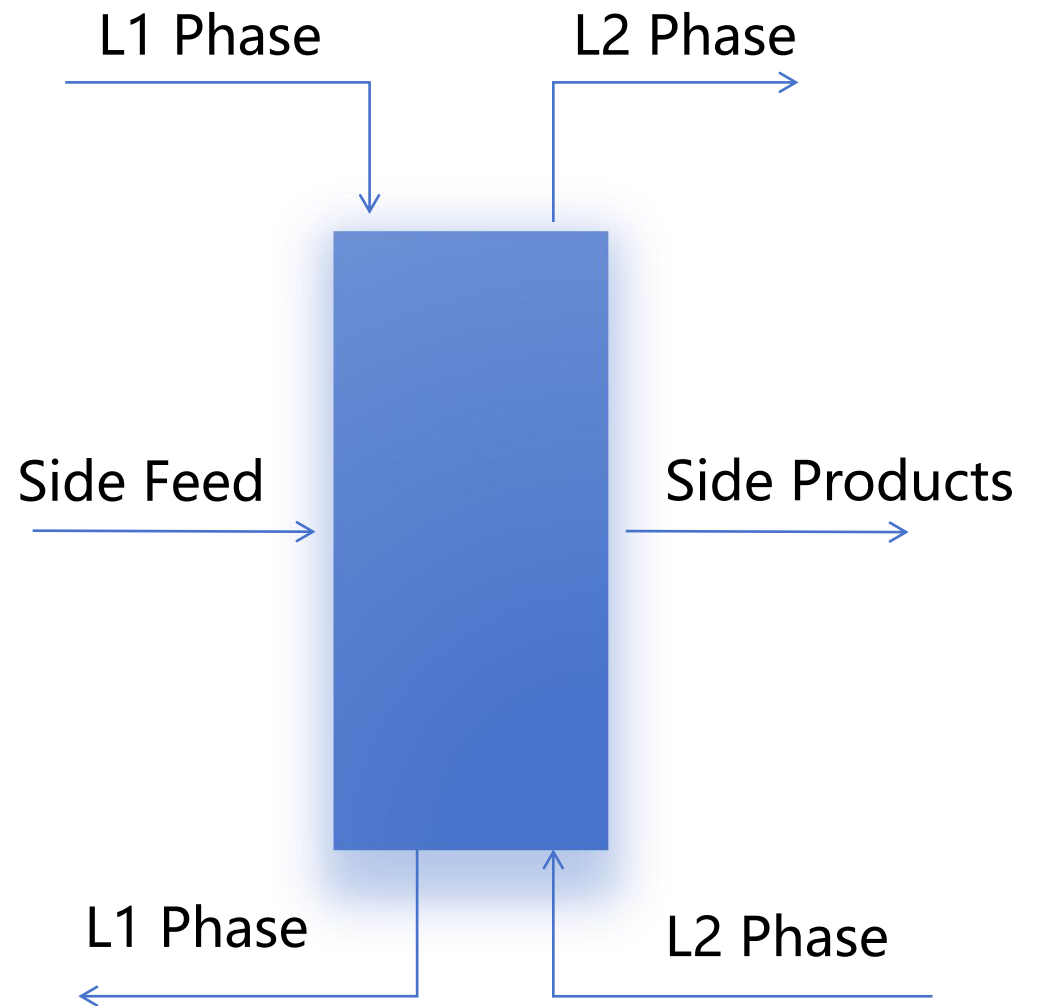


- **目标：**
 - ◆ 熟悉萃取的原理和APEX萃取塔模型的使用。

- **内容：**
 - ◆ 介绍萃取的原理；
 - ◆ 介绍各项多种输入方式；
 - ◆ 查看萃取塔结果，热负荷、温度分布等

原理介绍

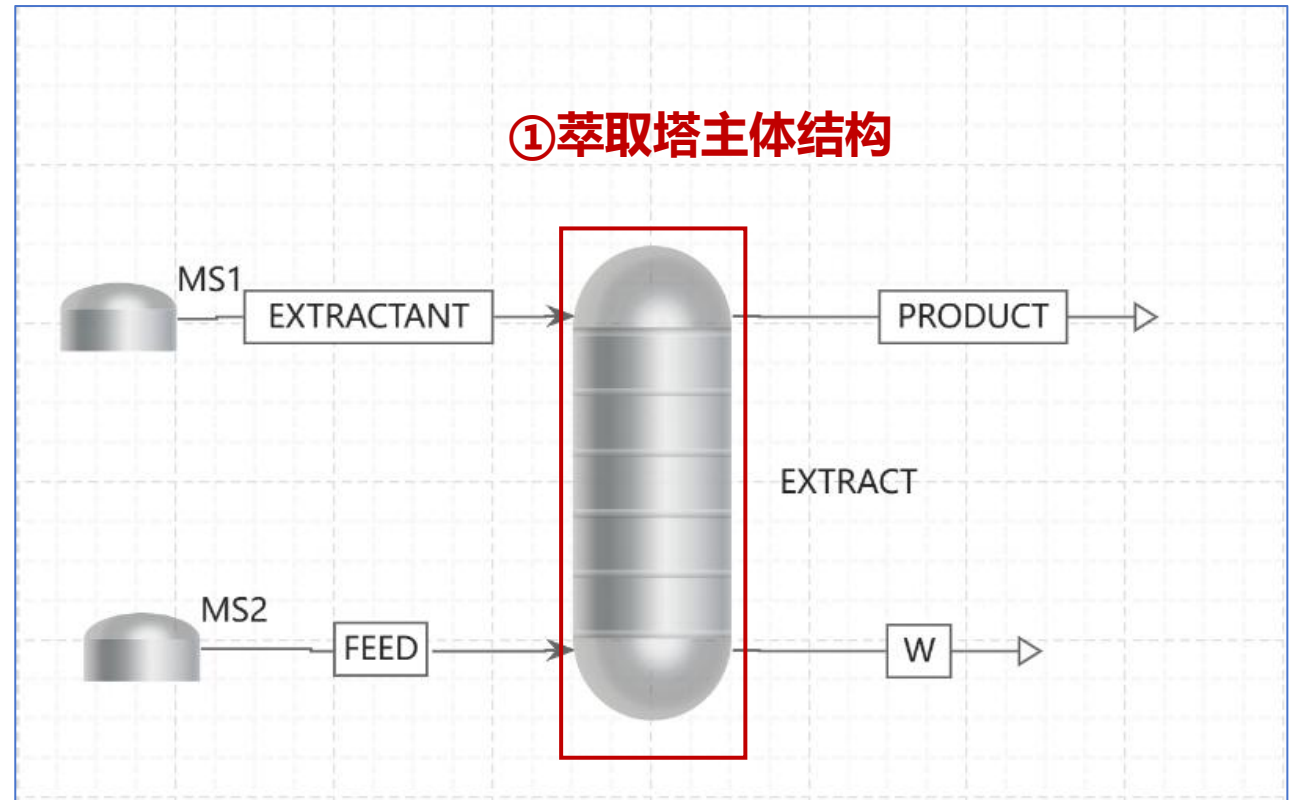
萃取是一种在化学、化工、冶金、食品、制药等领域应用极为广泛的分离技术。其核心原理是利用混合物中不同组分在两种互不相溶（或微溶）的溶剂中**溶解度**或**分配系数**的不同，将其中一种或几种组分从一种溶剂转移到另一种溶剂中，从而实现分离或提纯的目的。



萃取塔界面介绍

全塔结构:

◆ ① 萃取塔塔体



萃取塔界面介绍

EXTRACT (类型: 萃取塔)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称: EXTRACT

① 塔体基础配置

基础配置 稳态 端口 描述

基础 关键组分 流股 热流股 虚拟物流 压力 效率 选项 初始分布输入

规定类型: 绝热

塔板数: 4

绝热
指定温度分布
指定热负荷分布

萃取塔模块的基本配置包括**基础**、**关键组分**、**流股**以及**压力**。根据模型需要可以添加**额外配置项**包括**热流股**、**虚拟物流**、**效率**等。

◆ 基础配置:

包括**规定类型**（可选绝热、指定温度分布和指定热负荷分布）和**塔板数**

◆ 流股:

配置流股进出的塔板位置

EXTRACT (类型: 萃取塔)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称: EXTRACT

② 进出口流股配置

基础配置 稳态 端口 描述

基础 关键组分 流股 热流股 虚拟物流 压力 效率 选项 初始分布输入

入口流股

序号	名称	塔板位置	操作
1	WATER	1	删除
2	BEN-PROP	4	删除

出口流股

序号	名称	塔板位置	相态	规定类型	基准	流量
1	BEN	1	第二液相	无		
2	WT-PROP	4	第一液相	无		

萃取塔界面介绍



◆ 关键组分：

选择**第一液相关键组分**和**第二液相关键组分**。

在每个液相中都必须选定关键组分，以便算法能够正确处理萃取塔中可能出现的组成变化范围很大的进料，例如顶部进料可能仅包含第一液相，而底部进料可能仅包含第二液相。

液相的识别依据是这些关键组分的浓度。

第一液相：从第一级（顶部）向最后一级（底部）流动；

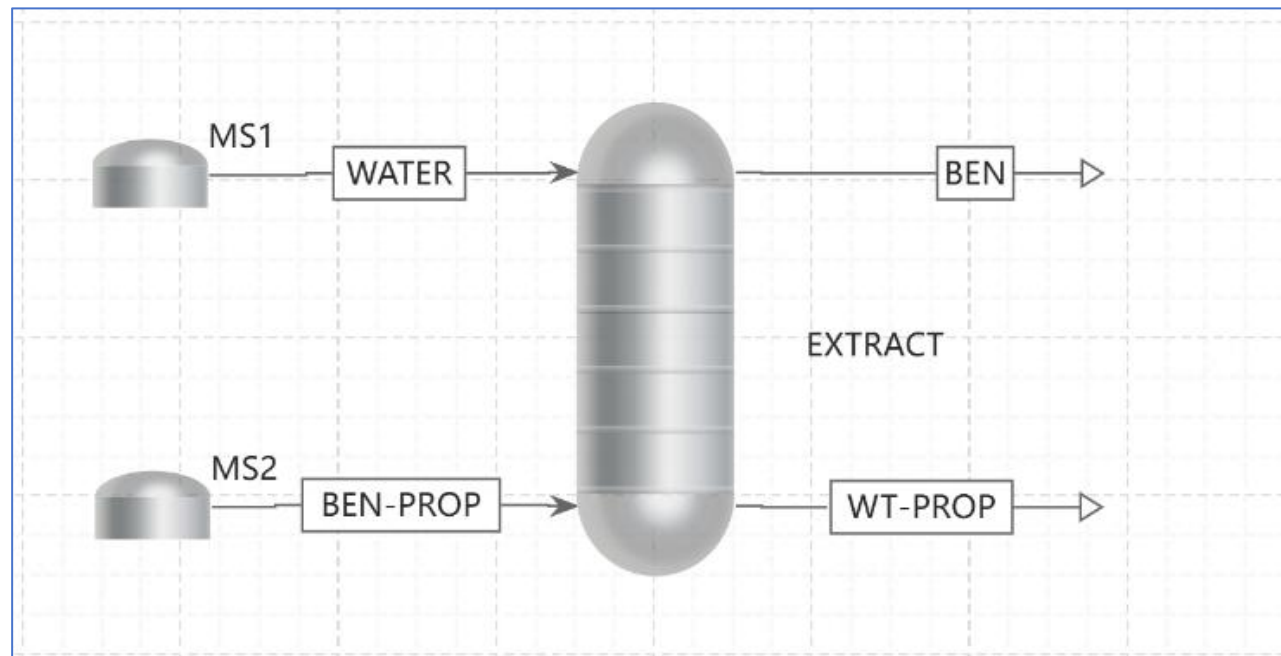
第二液相：沿相反方向流动。

压力：

配置塔板、塔段或全塔的压力/压降（参考精馏塔）

模型演示

用350kg/h水（30°C、110kPa）从含异丙醇50%（质量分数，下同）的苯溶液中萃取回收异丙醇。处理量为500kg/h（30C、110kPa）。采用逆流连续萃取塔，绝热式，取4块理论板。第一液相关键组分选择水，第二液相关键组分选择苯。在101.325kPa下操作，塔底压力为108kPa，物性方法采用NRTL。



模型演示

组分 物性方法 组分组

组分列表 组分结构 原油 亨利组分

组分列表

组分添加 组分物性 电解质向导 复制 一键重置 批量删除 重排

序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点 K	CAS号	操作
1	WATER	常规组分	WATER	水	H2O	373.15	7732-18-5	编辑 删除 更多
2	PROPYL	常规组分	ISOPROPYL-ALCOHOL	异丙醇	C3H8O	355.3	67-63-0	编辑 删除 更多
3	BENZENE	常规组分	BENZENE	苯	C6H6	353.24	71-43-2	编辑 删除 更多
	请输入要添加的组分							

1

进入基础配置 | 组分 | 组分列表，配置组分

组分 物性方法 组分组

组分

组分组

物性方法

物性集

NRTL(默认)

请输入

+ 新增

物性方法 二元参数

描述 请输入描述

基础算法 NRTL

说明:理想气体的NRTL(Renon)和亨利定律
适用于含极性或非极性组分的混合物及部分互溶体系。

自由水 IF97

说明:使用IAPWS1997工业公式计算水和水蒸气的热力学性质。
适用于水和水蒸气的热力学性质计算。

2

进入物性方法，基础算法选择NRTL

萃取剂水进料

MS1 (类型: 物料源)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称 MS1

基础配置 稳态 端口 描述

流体 常规固体 非常规固体

闪蒸类型 压力-温度

压力 压力 110 kPa

温度 30 C

总流量 质量 350 kg/hr

溶剂

有效相态 气-液

是否穿透 否

组成类型 占比 质量

名称	值	单位	类型
WATER	1	fraction	常规组分
PROPYL		fraction	常规组分
BENZENE		fraction	常规组分

总和 1

原料液苯-异丙醇进料

MS2 (类型: 物料源)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称 MS2

基础配置 稳态 端口 描述

流体 常规固体 非常规固体

闪蒸类型 压力-温度

压力 压力 110 kPa

温度 30 C

总流量 质量 500 kg/hr

溶剂

有效相态 气-液

是否穿透 否

组成类型 占比 质量

名称	值	单位	类型
WATER		fraction	常规组分
PROPYL	0.5	fraction	常规组分
BENZENE	0.5	fraction	常规组分

总和 1

模型演示

EXTRACT (类型: 萃取塔)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称: EXTRACT

基础配置 稳态 端口 描述

基础 关键组分 流股 热流股 虚拟物流 压力 效率 选项 初始分布输入

规定类型: 绝热

塔板数: 4

1

塔体基础配置

EXTRACT (类型: 萃取塔)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称: EXTRACT

基础配置 稳态 端口 描述

基础 关键组分 流股 热流股 虚拟物流 压力 效率 选项 初始分布输入

第一液相关键组分

第二液相关键组分

2

选取关键部分

EXTRACT (类型: 萃取塔)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称: EXTRACT

基础配置 稳态 端口 描述

基础 关键组分 流股 热流股 虚拟物流 压力 效率 选项 初始分布输入

入口流股

序号	名称	塔板位置	操作
1	WATER	1	删除
2	BEN-PROP	4	删除

出口流股

序号	名称	塔板位置	相态	规定类型	基准	流量
1	BEN	1	第二液相	无		
2	WT-PROP	4	第一液相	无		

3

进出股流配置

EXTRACT (类型: 萃取塔)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称: EXTRACT

基础配置 稳态 端口 描述

基础 关键组分 流股 热流股 虚拟物流 压力 效率 选项 初始分布输入

压力规定类型: 塔顶/塔底

塔顶/冷凝器: 塔顶压力 101.325 kPa

第二块板: 不指定

其他: 塔底压力 108 kPa

4

操作压力配置

模型演示

EXT1 (类型: 萃取塔)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

流股结果 模块结果 运行报告

常规 热流股 油品曲线

添加物性 导出结果

查看流股结果 (流股BEN中组分苯的摩尔分率)

变量	单位	BEN-PROP	WATER	BEN	WT-PROP
摩尔焓	J/kmol-K	-359076.3	-161913.8	-249661.2	-210807.4
质量焓	J/kg-K	-5285.949	-8987.582	-3206.876	-8202.936
摩尔密度	kmol/cum	12.13439	54.90538	11.1218	34.4816
质量密度	kg/cum	824.2932	989.1358	865.8527	886.1434
热流量	W	-320405.1	-1540357	41283.57	-1902046
平均分子量	g/mol	67.93034	18.01528	77.85182	25.69902
摩尔流量	kmol/s	0.002044578	0.005396653	0.0008605243	0.006580707
摩尔分率					
WATER	fraction	0	1	0.003700189	0.8195881
PROPYL	fraction	0.5651826	0	0.002189005	0.1753119
BENZENE	fraction	0.4348174	0	0.9941108	0.005100005
质量流量	kg/s	0.1388889	0.09722222	0.06699339	0.1691177
质量分率					
体积流量	cum/s	0.0001684945	0.00009829007	0.00007737273	0.0001908469
体积分率					
标准体积流量	cum/s	0.0001668473	0.00009767943	0.00007590926	0.0001886175
标准体积分率					
液相					
第一液相					

➤ 将工程保存并导出，命名为**演示案例10-1.apex**

习题

● 物料源DMF:

- ◆ 进料组成 (二甲基甲酰胺 (DMF) 100wt%)
- ◆ 温度20°C, 压力110kPa, 进料量36000kg/h

● 物料源FEED:

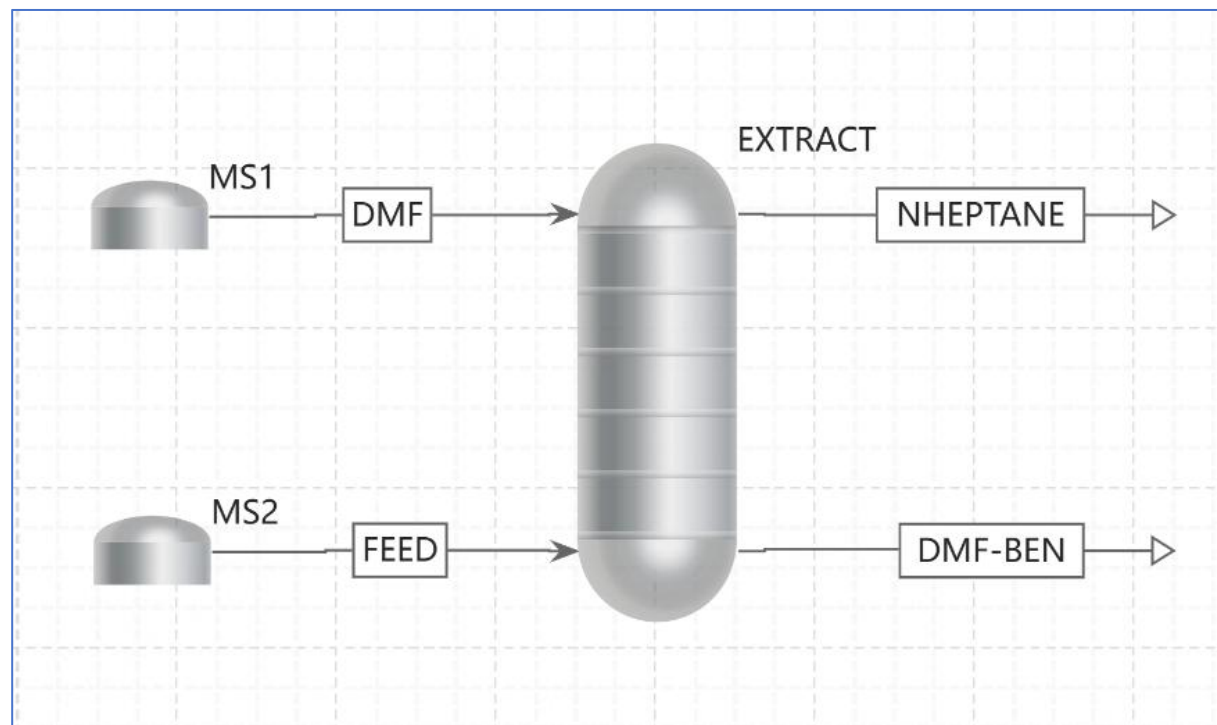
- ◆ 进料组成 (正庚烷79wt%, 苯21wt%)
- ◆ 温度20°C, 压力160kPa, 进料量38000kg/h

● 萃取塔EXTRACT操作条件:

- ◆ 绝热式
- ◆ 理论板: 6
- ◆ 第一液相关键组分: DMF, 第二液相关键组分: 正庚烷
- ◆ 塔顶压力: 110kPa, 塔压降: 50kPa

● 物性方法: UNIQUAC

新建文件名称为【培训习题10-1】



习题

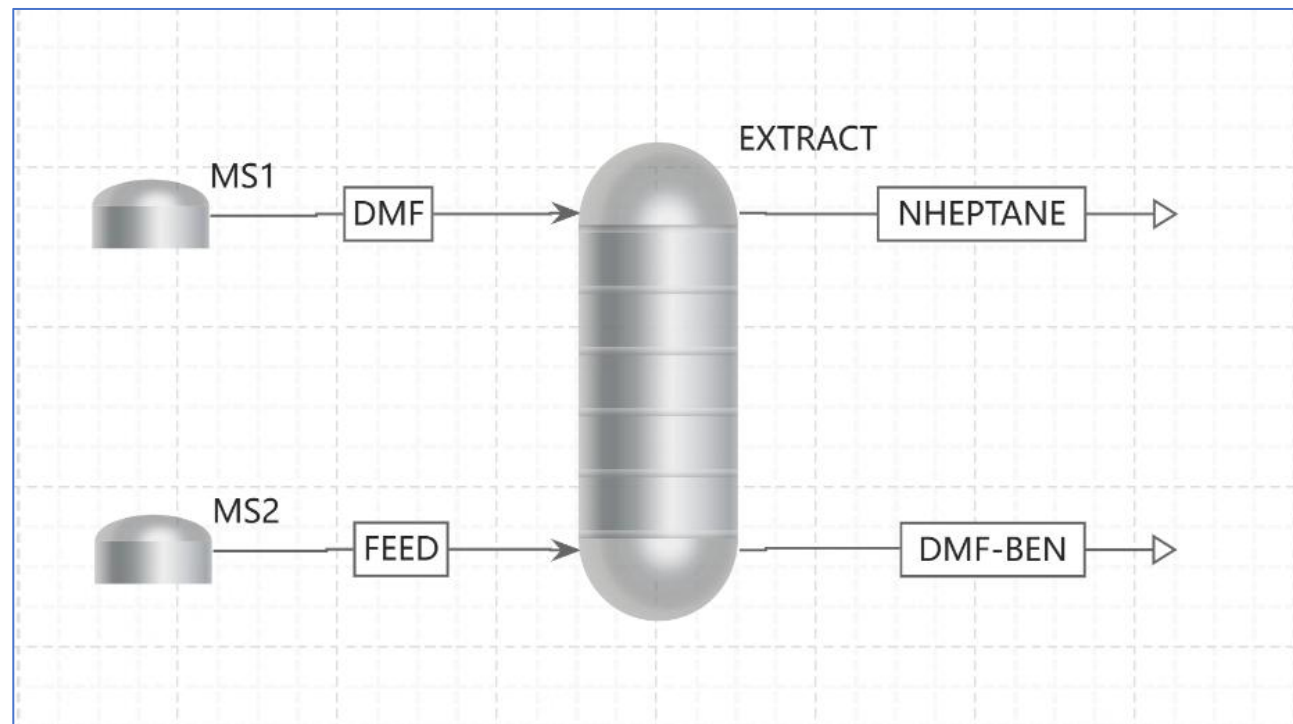
● 要求:

- ◆ 苯的回收率为98%

● 问题:

- ◆ 萃取剂用量是多少?

萃取剂用量为28549kg/h



将模拟文件导出为“培训练习题5-萃取塔.apex”



11 | 反应器

学习目标



- **目标：**
 - ◆ 熟悉各种反应器单元模型的原理和用法
 - ◆ 熟悉反应集的定义
- **内容：**
 - ◆ 分别介绍产率反应器、计量反应器、全混流反应器、平推流反应器的原理和使用场景；
 - ◆ 介绍常规反应集（LHHW、POWERLAW、EQUILIBRIUM）的配置方法
 - ◆ 演示案例；

单元模块

名称	用途
全混流反应器(CSTR)	基于反应动力学（速率方程），模拟全混釜反应器，可用于单相、两相和三相全混釜反应器。
平推流反应器(PFR)	基于反应动力学（速率方程），模拟平推流反应器（单相、两相和三相平推流反应器）
产率反应器(YR)	模拟已知产率的反应器模块，可用于化学反应式计量系数和反应动力学数据未知或不重要，但产率分布已知，也用于组分映射。
计量反应器(SR)	模拟已知反应程度或转化率反应器模块，不需要动力学数据。仅保证物料平衡遵循化学计量式。
平衡反应器(REQUIL)	基于热力学平衡原理构建的反应模型，不需要动力学数据，强制体系达到吉布斯自由能最小化状态。
吉布斯反应器(RGIBBS)	基于吉布斯自由能最小化原理构建的热力学平衡反应器模型，不需要动力学数据，主要用于预测复杂反应体系在给定条件下的平衡组成。
电解槽(ELECTROLYZER)	电化学反应器，通过在电极上施加直流电压，驱动非自发氧化还原反应，实现物质分解或合成。



全混流反应器



平推流反应器



产率反应器



计量反应器



平衡反应器

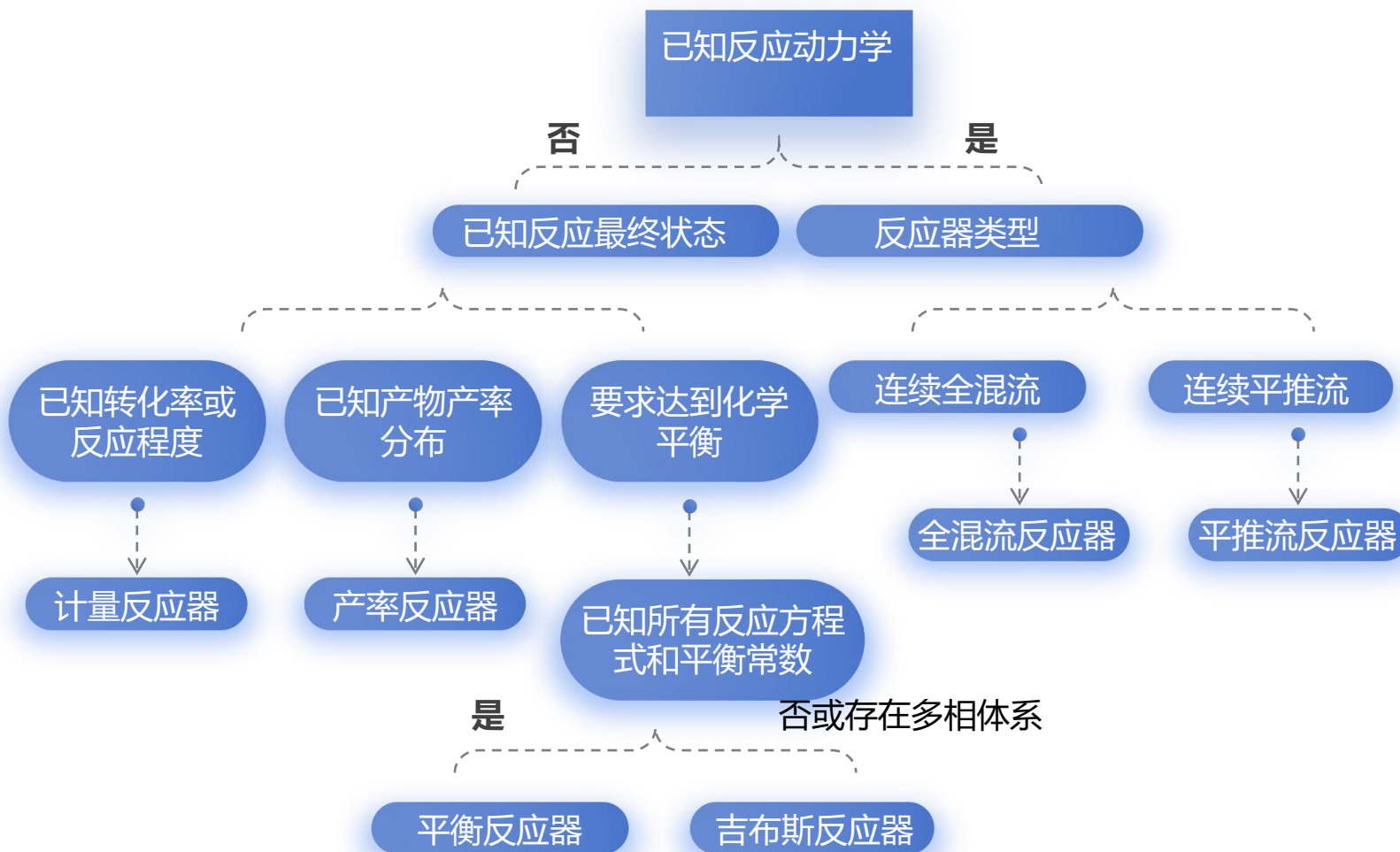


吉布斯反应器



电解槽

如何选择反应器模型



新建反应集

当前项目: []

组分 动力学反应

反应集1

请输入

+ 新增

反应配置 活性系数

反应列表(常规反应) 批量删除 速率常数总览

序号	反应名称	反应类型	激活	可逆反应	方程式	操作
	请输入名称					

组分 动力学反应

反应集1

请输入

+ 新增

常规反应
配位聚合
自由基聚合
固体

动力学反应
平衡反应
电解质反应

基础配置

反应

- ◆ 点击**基础配置|反应|动力学反应**新建反应集
- ◆ 反应集是配置化学反应的集合，**包含一个或多个化学反应**
- ◆ 新建反应集，可按项目需要选择不同的反应类型

常规反应配置

新建反应集，选择“常规反应”类型

组分 动力学反应

反应集1

反应配置 活性系数

请输入

+ 新增

反应列表(常规反应)

批量删除 速率常数总览

所选定反应集包括反应配置和活性系数配置

序号	反应名称	反应类型	激活	可逆反应	方程式	操作
1	R1	POWERLAW	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	$C_2H_6O + C_2H_4O_2 \rightarrow ETHYL-ACETATE + H_2O$	编辑 参数配置 复制配置 删除
2	R2	POWERLAW	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	$ETHYL-ACETATE + H_2O \rightarrow C_2H_4O_2 + C_2H_6O$	编辑 参数配置 复制配置 删除

配置反应方程式

配置动力学参数

输入反应名称新增反应

输入反应计量数, 反应物化学计量数为负数, 生成物化学计量数为正数

支持两种反应类型:

- ◆ LHHW
- ◆ POWERLAW

编辑反应

反应名称 R1 反应类型 POWERLAW 激活 可逆反应

反应物	化学计量系数	编辑	生成物	化学计量系数	编辑
C2H6O	-1	删除	ETHYL-ACETATE	1	删除
C2H4O2	-1	删除	H2O	1	删除
请选择组分			请选择组分		

编辑反应

反应名称 R1 反应类型 POWERLAW 激活 可逆反应

反应物	化学计量系数	编辑	生成物	化学计量系数	编辑
C2H6O	-1	删除	ETHYL-ACETATE	1	删除
C2H4O2	-1	删除	H2O	1	删除
请选择组分			请选择组分		

反应可逆时, 勾选后可对逆反应的参数进行配置

POWERLAW类型反应配置

$$\text{Rate} = [\text{Kinetic factor}][\text{Driving force}]$$

$$[\text{Kinetic factor}] = kT^n e^{-\frac{E}{RT}}$$

$$[\text{Driving force}] = \prod_{i=1}^N C_i^{\alpha_i}$$

POWERLAW 是描述反应速率最简单、最直观的形式。

符号	描述
Rate	反应速率
[Kinetic factor]	动力学因子
[Driving force]	推动力项
k	指前因子
T	绝对温度
n	温度指数
E	活化能

符号	描述
R	理想气体常数
e	自然对数的底数
N	组分数
C_i	组分浓度
α_i	反应物/生成物的指数
Π	乘积运算符

POWERLAW类型反应配置

组分 动力学反应

反应集1

请输入

+ 新增

反应配置 活性系数

反应列表(常规反应) 批量删除 速率常数总览

序号	反应名称	反应类型	激活	可逆反应	方程式	操作
1	R1	POWERLAW	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	C2H6O + C2H4O2--> ETHYL-ACETATE + H2O	编辑 参数配置 复制配置 删除
2	R2	POWERLAW	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ETHYL-ACETATE + H2O--> C2H4O2 + C2H6O	编辑 参数配置 复制配置 删除
	请输入名称					

参数配置

动力学因子: $k = k_0 \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^n \cdot e^{\left(-\frac{E}{RT}\right)}$

指前因子: 1.9E+8 反应相: 液相

温度指数: 0 浓度基准: 体积摩尔浓度

参考温度T0: 请输入 K 浓度基准单位: kmol/m3

活化能: 5.95E+7 J/kmol 速率基准: 反应器体积

反应速率单位: kmol/cum-s

正反应速率项 逆反应速率项

反应物浓度

反应物	反应物指数
C2H6O	1
C2H4O2	1

生成物浓度

生成物	生成物指数
ETHYL-ACETATE	0
H2O	0

推动力常数

A: 0 B: 0 C: 0 D: 0

POWERLAW类型反应配置

Rate = [Kinetic factor][Driving force]

$$[\text{Kinetic factor}] = kT^n e^{-\frac{E}{RT}}$$

$$[\text{Driving force}] = \prod_{i=1}^N C_i^{\alpha_i}$$

- ◆ 指前因子的单位应与反应速率的单位相一致
- ◆ 当速率基准切换为催化剂质量时，反应速率单位也会做相应的切换

动力学因子: $k = k_0 \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^n \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$

指前因子	<input style="width: 90%;" type="text" value="请输入"/>	反应相	<input style="width: 95%;" type="text" value="气相"/>
温度指数	<input style="width: 90%;" type="text" value="0"/>	浓度基准	<input style="width: 95%;" type="text" value="体积摩尔浓度"/>
参考温度T0	<input style="width: 50%;" type="text" value="请输入"/> <input style="width: 30%;" type="text" value="K"/>	浓度基准单位	<input style="width: 95%;" type="text" value="kmol/m3"/>
活化能	<input style="width: 50%;" type="text" value="请输入"/> <input style="width: 30%;" type="text" value="J/kmol"/>	速率基准	<input style="width: 95%;" type="text" value="反应器体积"/>
		反应速率单位	<input style="width: 95%;" type="text" value="mol/cc-s"/>

反应物浓度		生成物浓度	
<input style="width: 90%;" type="text" value="反应物"/>	<input style="width: 90%;" type="text" value="反应物指数"/>	<input style="width: 90%;" type="text" value="生成物"/>	<input style="width: 90%;" type="text" value="生成物指数"/>
暂无数据		暂无数据	

LHHW类型反应配置

$$\text{Rate} = \frac{[\text{Kinetic factor}][\text{Driving force}]}{[\text{Adsorption term}]}$$

$$[\text{Kinetic factor}] = kT^n \exp \frac{E}{RT}$$

符号	描述
Rate	反应速率
[Kinetic factor]	动力学因子
[Driving force]	推动力项
[Adsorption term]	吸附力项
k	指前因子
T	绝对温度
n	温度指数
E	活化能
R	理想气体常数
e	自然对数的底数

LHHW 模型是一个基于机理的模型，专门用于描述多相催化反应（如气体在固体催化剂表面的反应）。它假设反应由多个步骤组成：反应物吸附到催化剂表面、在表面发生反应、产物从表面脱附。

$$[\text{Driving force}] = \prod_i C_i^{\alpha_i} \quad \ln K_i = A_i + \frac{B_i}{T} + C_i \cdot \ln T + D_i \cdot T$$

$$[\text{Adsorption term}] = \left[\sum_{i=1}^M K_i \left(\prod_{j=1}^N C_j^{v_j} \right) \right]^m$$

符号	描述
C_i	组分浓度
α_i	反应物/生成物指数
K_i	吸附项反应常数
M	吸附力项数
v_j	每个组分的多项式指数
m	吸附项指数
N	组分数
Π	乘积运算符
Σ	加和运算符
$A_i/B_i/C_i/D_i$	吸附力项常数

LHHW类型反应配置

组分 动力学反应

反应集1

请输入

+ 新增

反应配置 活性系数

反应列表(常规反应)

批量删除 速率常数总览

序号	反应名称	反应类型	激活	可逆反应	方程式	操作
1	R1	LHHW	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<chem>C2H6O + C2H4O2 -> ETHYL-ACETATE + H2O</chem>	编辑 参数配置 复制配置 删除
2	R2	LHHW	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<chem>ETHYL-ACETATE + H2O -> C2H4O2 + C2H6O</chem>	编辑 参数配置 复制配置 删除
	请输入名称					

$$\text{Rate} = \frac{[\text{Kinetic factor}][\text{Driving force}]}{[\text{Adsorption term}]}$$

$$[\text{Kinetic factor}] = kT^n \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$$

$$[\text{Driving force}] = \prod_i C_i^{\alpha_i}$$

$$[\text{Adsorption term}] = \left[\sum_{i=1}^M K_i \left(\prod_{j=1}^N C_j^{\nu_j} \right) \right]^m$$

$$\ln K_i = A_i + \frac{B_i}{T} + C_i \cdot \ln T + D_i \cdot T$$

参数配置

动力学因子: $k = k_0 \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^n \cdot e^{\left(-\frac{E}{RT}\right)}$

指前因子: 请输入 反应相: 气相

温度指数: 0 浓度基准: 体积摩尔浓度

参考温度T0: 请输入 K 浓度基准单位: kmol/m3

活化能: 请输入 J/kmol 速率基准: 反应器体积

反应速率单位: mol/cc-s

正向推动力项 逆向推动力项 **吸附力项**

吸附力项指数: 请输入

浓度指数

组分: + 编辑

请选择反应物

吸附力项常数

吸附力项	A	B	C	D
	暂无数据			

EQUILIBRIUM类型反应配置

- ◆ EQUILIBRIUM反应**不需要知道动力学参数**，通过平衡常数来计算
- ◆ 点击参数配置设置平衡常数，以及平衡常数类型

反应配置 活性系数

反应列表(平衡反应) 批量删除 速率常数总览

序号	反应名称	反应类型	激活	方程式	操作
1	1	EQUILIBRIUM	<input checked="" type="checkbox"/>	ETHANOL + ACETIC-ACID--> ETHYL-ACETATE + H2O	编辑 参数配置 复制配置 删除
	请输入名称				

参数配置

平衡参数

反应相

平衡温差 DELTA-C

平衡常数类型

参数配置

平衡参数

反应相 **反应相态可选择液相或气相**

平衡温差 DELTA-C

平衡常数类型

平衡常数基准

A: B: C: D:

平衡常数类型可选择由：

◆ 由表达式计算

根据平衡常数表达式计算，表达式中，Keq为平衡常数，A、B、C、D为需要用户输入的参数，T为以K为单位的平衡温度。平衡常数基准可选体积摩尔浓度、摩尔分率以及分压

◆ 由吉布斯自由能计算

由组分在参考状态下的吉布斯自由能计算得来，**不需要输入参数**

全混流反应器

The screenshot shows the configuration window for a CSTR1 reactor. The window title is 'CSTR1 (类型: 全混流反应器)'. The interface includes a navigation bar with tabs for '组态信息', '运行管理', '模型应用', '元变量', and '计算结果'. The '组态信息' tab is active, and the '稳态' sub-tab is selected. The '基础配置' section is expanded, showing the following parameters:

参数名称	配置选项
闪蒸类型	压力-温度
压力/压降	压力 请输入值 bar
反应温度	请输入值 C
有效相态	气-液
指定类型	反应器体积
反应器体积	请输入值 cum
存在催化剂	否
反应集	

反应温度、反应压力、反应器体积

- ◆ **有效相态**包括3个选项，仅气相、仅液相或气-液（默认）
- ◆ **是否存在催化剂**（非必须项）
若选择是，则可选择催化剂参数：
床层空隙率、催化剂密度、催化剂质量
- ◆ **反应集**可选项取决于基础配置中的反应集配置

平推流反应器

模块名称: PFR1

基础配置 | 稳态 | 端口 | 描述

类型 | 配置 | 压降 | 催化剂 | 节点划分 | 气化炉设置

反应器类型: 设定温度的反应器

温度选择: 等于入口温度

多管反应器: 否

反应器内径随长度变化: 否

反应器长度: 请输入值 meter

反应器内径: 请输入值 meter

有效相态: 气-液

反应集:

基础配置 | 稳态 | 端口 | 描述

类型 | 配置 | 压降 | 催化剂 | 节点划分 | 气化炉设置

压降选择: 设定压降

设定压降值: 请输入值 bar

类型 | 配置 | 压降 | 催化剂 | 节点划分

压降选择: 使用公式计算...

摩擦压降计算公式: Ergun

摩擦压降缩放因子: 请输入值

反应器倾斜角度: 请输入值 rad

- ◆ **反应器类型**可选设定温度的反应器（包括“等于入口温度”、“等于设定温度”和“温度分布”），“绝热反应器”
- ◆ **配置**包括反应器长度、反应器内径、勾选项反应器内径随长度变化。若该项勾选，反应器内径填写项无效
- ◆ **选项有效相态**可选仅气相，仅液相，气-液
- ◆ **反应集**可选项取决于基础配置中的反应集配置
- ◆ **反应器压降**
 - 若设定压降，操作条件要求填写设定压降数值。
 - 若选择使用公式计算压降，要求填写摩擦压降缩放因子，并选择摩擦压降计算公式，可选Ergun, Beggs-Brill与Darcy

平推流反应器

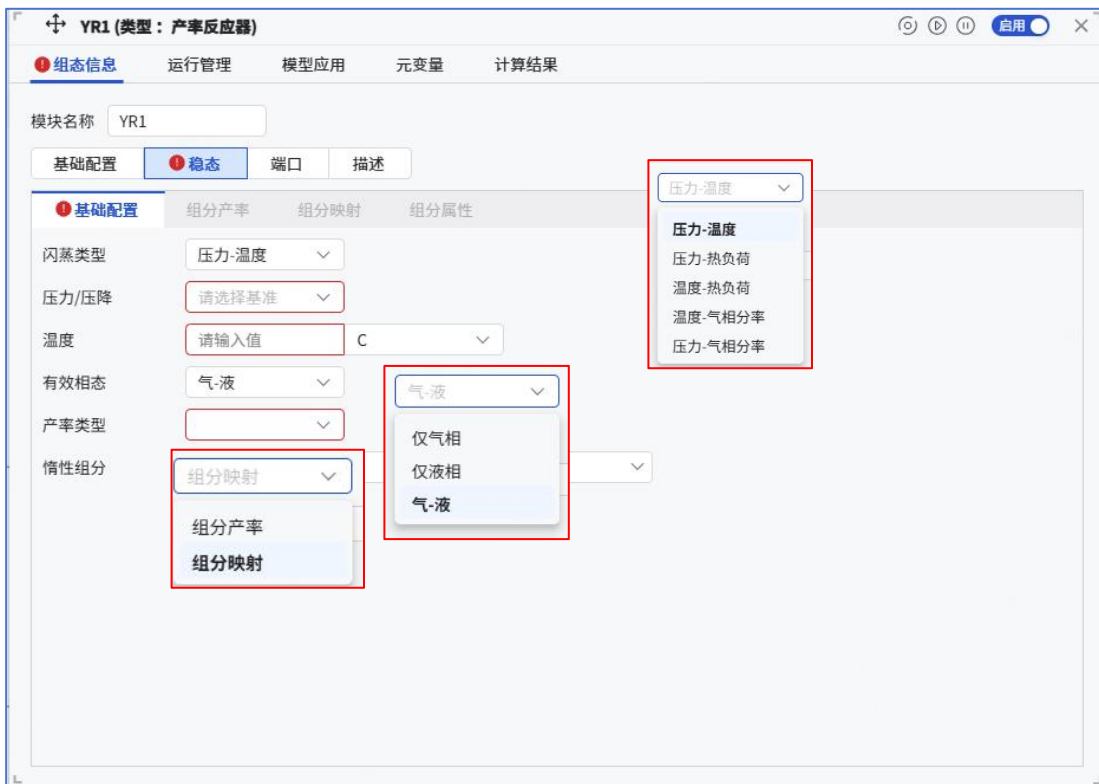
催化剂

- ◆ 选项存在催化剂，可选是与否。选择是才有后续选项。若压降选择了Ergun公式，则该选项强制设为是
- ◆ 选项床层空隙率，催化剂质量，催化剂密度。三选项三选二并填写数值
- ◆ 勾选项忽略催化剂体积对反应的影响

节点划分：离散的CSTR反应器数量

- ◆ 选择离散化方法，可选BFD1，BFD2，CFD2，CFD4，OCFE2，OCFE3，OCFE4
- ◆ 填写模型分段数量

产率反应器



闪蒸类型包含5个选项，压力-温度（默认）、压力-热负荷、压力-气相分率、温度-热负荷、或温度-气相分率

有效相态包括3个选项，仅气相、仅液相或气-液（默认）

产率类型包括两个选项，组分映射和组分产率：

- ◆ 选择组分产率需要输入基准（包括摩尔基准和质量基准两个选项）、反应物和产率
- ◆ 组分映射需要输入主反应物、反应类型（分为合成反应和分解反应）、反应方程式

计量反应器

The image displays three sequential screenshots of the SR1 (计量反应器) configuration software interface, showing different tabs in the '基础配置' (Basic Configuration) section.

Top Screenshot: 基础配置 (Basic Configuration)

- Module Name: SR1
- Flash Type: 压力-温度 (Pressure-Temperature)
- Pressure/Pressure Drop: 请选择基准 (Please select a reference)
- Temperature: 请输入值 (Please enter a value) with unit C
- Effective Phase: 气-液 (Gas-Liquid)

Middle Screenshot: 反应配置 (Reaction Configuration)

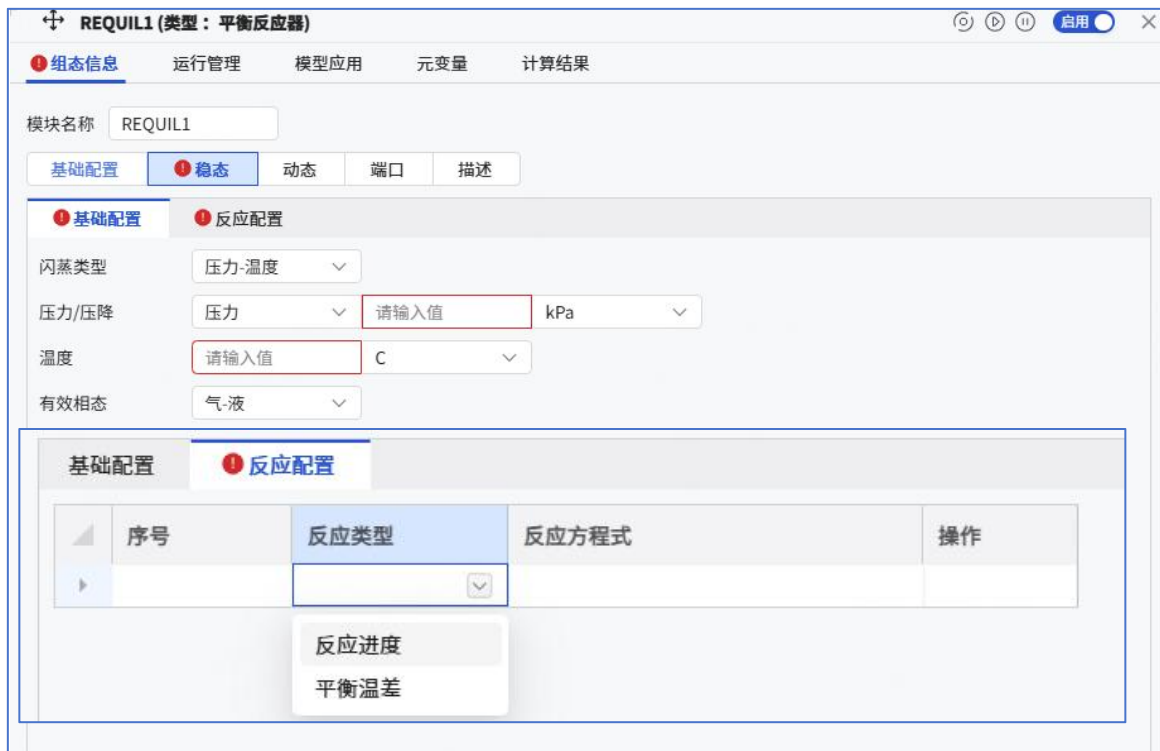
- Order Execution: 否 (No)
- Table with columns: 序号 (Serial Number), 反应类型 (Reaction Type), 反应方程式 (Reaction Equation), 操作 (Operation)

Bottom Screenshot: 反应热 (Reaction Heat)

- Reaction Heat: 不显示反应热 (Do not display reaction heat)
- Dropdown menu options: 不显示反应热, 显示计算的反应热 (Display calculated reaction heat), 指定反应热 (Specify reaction heat)

- ◆ **闪蒸类型**包含5个选项，压力-温度（默认）、压力-热负荷、压力-气相分率、温度-热负荷、或温度-气相分率
- ◆ **有效相态**包括3个选项，仅气相、仅液相或气-液（默认）
- ◆ **反应配置**包括反应物转化率（反应转化率、转化率对应物质）、反应进度（摩尔反应进度、单位、转化率对应物质）、配置反应方程式
- ◆ **配置反应热**（不显示反应热、显示计算的反应热、指定反应热）

平衡反应器



- ◆ **闪蒸类型**包含5个选项，压力-温度（默认）、压力-热负荷、压力-气相分率、温度-热负荷、或温度-气相分率
- ◆ **有效相态**为气-液
- ◆ **反应配置**输入反应类型及反应方程式。反应类型可选择反应进度或者平衡温差，点击编辑按钮可设置反应方程

吉布斯反应器



计算选项包含四个选项：仅计算相平衡、计算相平衡和化学平衡、限制化学平衡-指定温差或反应、限制化学平衡-计算温差

惰性组分默认不参加反应

指定流通股可选择出口流通股相态

◆ 根据算法决定出口流通股相态：软件根据热力学算法自动判断出口是气态、液态还是气液混合

◆ 使用关键组分和截尾摩尔分率指定出口流通股相态：用户可以通过指定关键组分的分率或阈值来控制出口相态

产品可选择产品相态。可指定或根据产品物性决定

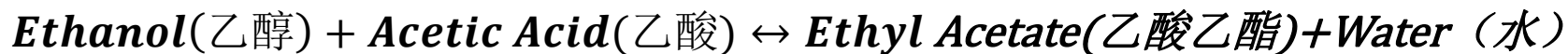
◆ 根据产品的物性决定其属于流体或者固体

◆ 指定产品

◆ 指定产品中可能存在的相态

案例演示

分别使用计量反应器、平推流反应器、全混流反应器模拟**乙醇与乙酸**反应生成**乙酸乙酯**过程
反应方程式如下：



正反应速率： $r = 1.9 \times 10^8 e^{-\frac{5.95 \times 10^7}{RT}}$ ，反应速率单位 $kmol/m^3 \cdot s$ ，活化能单位 $J/kmol$

逆反应速率： $r = 5 \times 10^7 e^{-\frac{5.95 \times 10^7}{RT}}$ ，反应速率单位 $kmol/m^3 \cdot s$ ，活化能单位 $J/kmol$

- 反应进料：

- 温度70°C，压力1 atm，摩尔流量389 kmol/hr
- 组分摩尔占比：乙酸0.48、乙醇0.5、水0.02

- 反应器条件：

- 温度70°C，压力1atm
- 计量反应器：乙醇转化率为**0.7**
- 平推流反应器：长度**2m**、内径**0.3m**、压降为**0**的绝热反应器
- 全混流反应器：反应器体积**0.4 m³**

案例演示

添加组分及物性方法

组分列表 组分结构 原油 亨利组分

添加组分：乙酸、乙醇、乙酸乙酯、水

组分列表 组分添加 组分物性 电解质向导 复制 一键重置 批量删除 重排

序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点 C	CAS号	操作
1	C2H4O2	常规组分	ACETIC-ACID	乙酸	C2H4O2	117.9	64-19-7	编辑 删除 更多
2	C2H6O	常规组分	ETHANOL	乙醇	C2H6O	78.29	64-17-5	编辑 删除 更多
3	ETHYL-ACETATE	常规组分	ETHYL-ACETATE	乙酸乙酯	C4H8O2	77.06	141-78-6	编辑 删除 更多
4	H2O	常规组分	WATER	水	H2O	100	7732-18-5	编辑 删除 更多
	请输入要添加的组分							

项目文件 组分 物性方法

项目管理 请输入

基础配置 新增

流程模拟 物性方法

热力学工具 物性集 反应

选择物性方法：NRTL

物性方法 二元参数

描述 请输入描述

基础算法 NRTL

说明:理想气体的NRTL(Renon)和亨利定律
适用于含极性或非极性组分的混合物及部分互溶体系。

自由水 IF97

说明:使用IAPWS1997工业公式计算水和水蒸气的热力学性质。
适用于水和水蒸气的热力学性质计算。

算法详细信息

案例演示

设置单位集

国际单位制
米制
英制
工程制(默认)

请输入

+ 新增

继承于 米制

标准 能量 传递 浓度 尺寸 价格 其它

流量

通量	cum/sqm-s	体积流量	cum/hr
质量流量	tonne/hr	体积流量变化量	cum/s
质量通量	kg/sqm-hr		
质量流量变化量	kg/s		
摩尔流量	kmol/hr		
摩尔流量变化量	kmol/s		

温度

温度	C
温差	DELTA-C
温度倒数	1/K

压力

压力	atm
压头	meter
单位高度压降	N/cum
压降	atm
压力倒数	1/atm

案例演示

反应配置

组分 单位集 动力学反应

反应集1

请输入

+ 新增

反应配置 活性系数

反应列表(常规反应) 批量删除 速率常数总览

序号	反应名称	反应类型	激活	可逆反应	方程式	操作
1	R1	POWERLAW	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	$C_2H_6O + C_2H_4O_2 \rightarrow ETHYL-ACETATE + H_2O$	编辑 参数配置 复制配置 删除
2	R2	POWERLAW	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	$ETHYL-ACETATE + H_2O \rightarrow C_2H_4O_2 + C_2H_6O$	编辑 参数配置 复制配置 删除
	请输入名称					

组分

组分组

物性方法

物性集

反应

编辑反应

反应名称 R1 反应类型 POWERLAW 激活 可逆反应

反应物	化学计量系数	编辑	生成物	化学计量系数	编辑
C2H6O	-1	删除	ETHYL-ACETATE	1	删除
C2H4O2	-1	删除	H2O	1	删除
请选择组分			请选择组分		


编辑反应

反应名称 R2 反应类型 POWERLAW 激活 可逆反应

反应物	化学计量系数	编辑	生成物	化学计量系数	编辑
ETHYL-ACETATE	-1	删除	C2H4O2	1	删除
H2O	-1	删除	C2H6O	1	删除
请选择组分			请选择组分		

反应参数配置

案例演示



组分
单位集
动力学反应

反应集1

请输入

+ 新增

反应配置
活性系数

批量删除
速率常数总览

序号	反应名称	反应类型	激活	可逆反应	方程式	操作
1	R1	POWERLAW	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	C2H6O + C2H4O2--> ETHYL-ACETATE + H2O	编辑 参数配置 复制配置 删除
2	R2	POWERLAW	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ETHYL-ACETATE + H2O--> C2H4O2 + C2H6O	编辑 参数配置 复制配置 删除
请输入名称						

$$k = k_0 \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^n \cdot e^{\left(-\frac{E}{RT}\right)}$$

指前因子

温度指数

参考温度T0 K

活化能 J/kmol

反应相

浓度基准

浓度基准单位

速率基准

反应速率单位

正向推动力项

反应物浓度		生成物浓度	
反应物	反应物指数	生成物	生成物指数
C2H6O	1	C4H8O2	0
C2H4O2	1	H2O	0

$$k = k_0 \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^n \cdot e^{\left(-\frac{E}{RT}\right)}$$

指前因子

温度指数

参考温度T0 K

活化能 J/kmol

反应相

浓度基准

浓度基准单位

速率基准

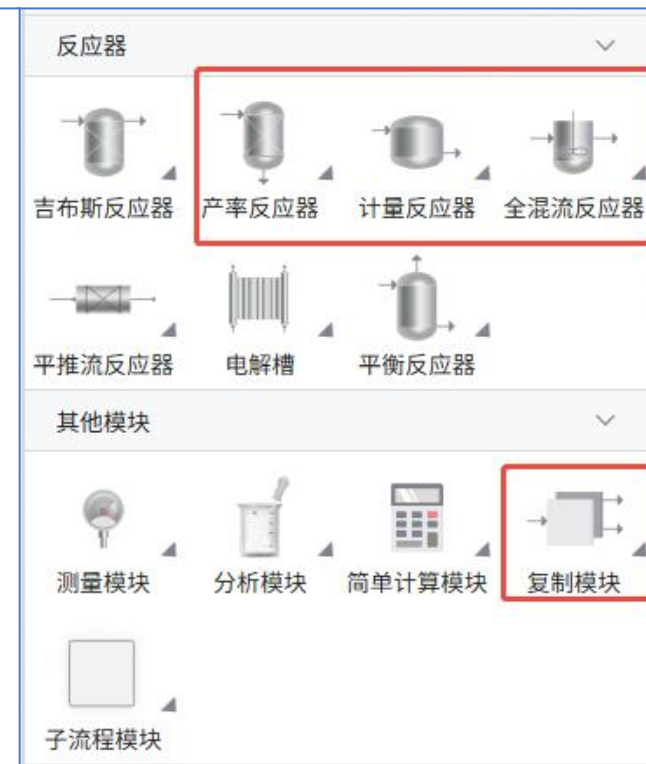
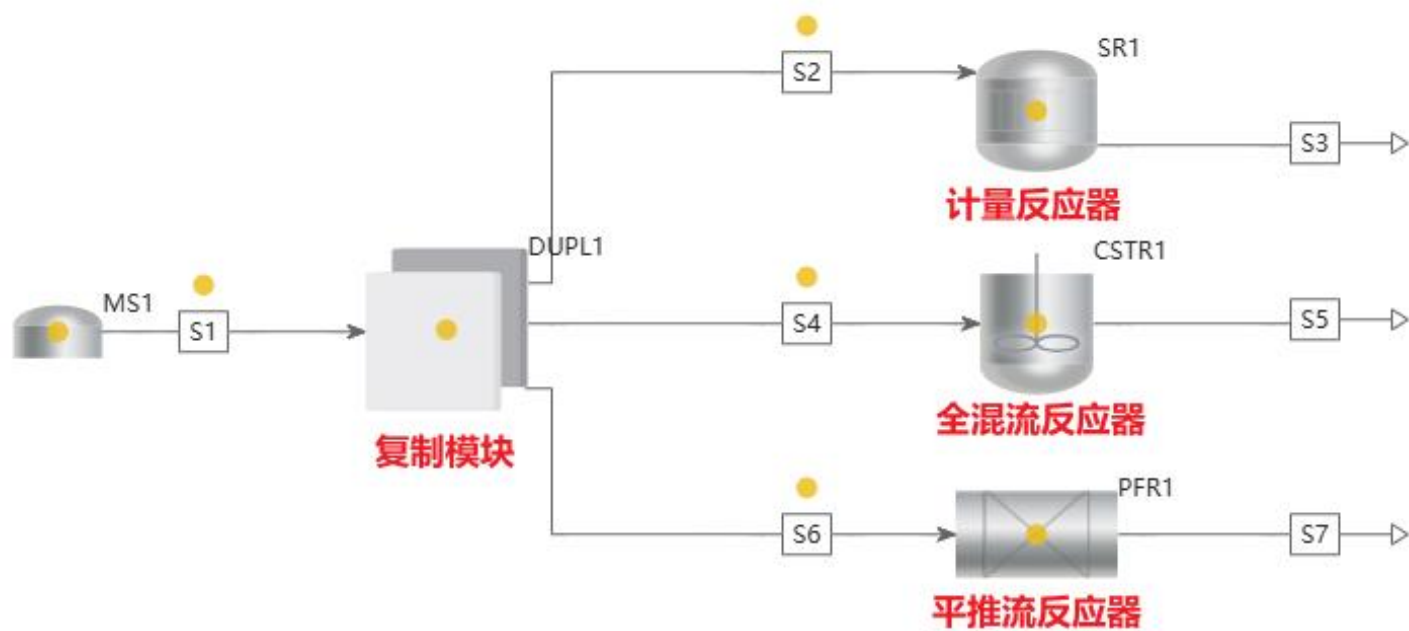
反应速率单位

正向推动力项

反应物浓度		生成物浓度	
反应物	反应物指数	生成物	生成物指数
C4H8O2	1	C2H6O	0
H2O	1	C2H4O2	0

案例演示

搭建模型



- 1、添加**物料源**模块
- 2、添加**复制模块** (将入口流股复制为三股相同的出口流股)
- 3、添加**三种反应器** (计量、全混流、平推流反应器)

案例演示

物料源组态

MS1 (类型: 物料源) ⊞ ⊞ ⊞ 启用 ⊞

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 MS1

基础配置 稳态 端口 描述

流体 常规固体 非常规固体

闪蒸类型 压力-温度

组成类型 占比 摩尔

压力 压力 1 atm

温度 70 C

总流量 摩尔 389 kmol/hr

溶剂

有效相态 气-液

是否穿透 否

名称	值	单位	类型
C2H4O2	0.48	fraction	常规组分
C2H6O	0.5	fraction	常规组分
ETHYL-ACETATE		fraction	常规组分
H2O	0.02	fraction	常规组分

总和 1

计量反应器组态信息

SR1 (类型: 计量反应器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 SR1

基础配置 稳态 端口 描述

基础配置 反应配置 反应热 组分属性

闪蒸类型 压力-温度

压力/压降 压力 1 atm

温度 70 C

有效相态 仅液相

设置反应方程

反应物组分	化学计量系数	操作	生成物组分	化学计量系数	操作
C2H6O	-1	删除	ETHYL-ACETA...	1	删除
C2H4O2	-1	删除	H2O	1	删除
请选择物质			请选择物质		

反应转化率 0.7 转化率对应物质 C2H6O

取消 确认

SR1 (类型: 计量反应器)

组态信息 运行管理 模块应用 元变量 计算结果

模块名称 SR1

基础配置 稳态 端口 描述

基础配置 反应配置 反应热 组分属性

顺序执行 否

序号	反应类型	反应进度	单位	反应转化率	转化率对应物质	反应方程式	操作
1	转化率		kmol/hr	0.7	C2H6O	C2H6O + C2H4O2 --> ETHYL-ACET...	编辑 删除

全混流反应器组态信息

✦ CSTR1 (类型: 全混流反应器) ⏪ ▶ ⏸ 启用 ✕

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称

基础配置 稳态 端口 描述

基础配置 组分属性

闪蒸类型	<input type="text" value="压力-温度"/>
压力/压降	<input type="text" value="压力"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="atm"/>
反应温度	<input type="text" value="70"/> <input type="text" value="C"/>
有效相态	<input type="text" value="仅液相"/>
指定类型	<input type="text" value="反应器体积"/>
反应器体积	<input type="text" value="0.4"/> <input type="text" value="cum"/>
存在催化剂	<input type="text" value="否"/>
反应集	<input type="text" value="Global.反应集1"/> <input type="button" value="配置"/>

平推流反应器组态信息

✚ PFR1 (类型: 平推流反应器) ⏪ ⏩ ⏸ 启用 ✕

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 PFR1

基础配置 稳态 端口 描述

类型 配置 压降 催化剂 节点划分 气化炉设置

反应器类型 绝热反应器

类型 配置 压降 催化剂 节点划分 气化炉设置

多管反应器 否

反应器内径随长度变化 否

反应器长度 2 meter

反应器内径 0.3 meter

有效相态 仅液相

反应集 Global.反应集1 配置

类型 配置 压降 催化剂 节点划分

压降选择 设定压降

设定压降值 0 atm

案例演示

图1. 计量反应器模拟结果

SR1 (类型: 计量反应器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 **计算结果**

流股结果 模块结果 运行报告

常规 热流股 油品曲线

添加物性 导出结果

变量	单位	S2	S3	请选择
温度	C	70	70	
压力	atm	1	1	
气相分率 (摩尔基准)	fraction	0	0	
液相分率 (摩尔基准)	fraction	1	1	
气相分率 (质量基准)	fraction	0	0	
液相分率 (质量基准)	fraction	1	1	
摩尔焓	kJ/kmol	-359142	-367813.2	
质量焓	kJ/kg	-6877.472	-7043.525	
摩尔焓	kJ/kmol-K	-276.4573	-289.0943	
质量焓	kJ/kg-K	-5.294083	-5.536079	
摩尔密度	kmol/cum	16.64942	16.58984	
质量密度	kg/cum	869.4337	866.3225	
热流量	kW	-38807.28	-39744.26	
平均分子量	kg/kmol	52.22005	52.22005	
摩尔流量	kmol/hr	389	389	
质量流量	tonne/hr	20.3136	20.3136	
质量分率				
C2H4O2	fraction	0.5519954	0.1494987	
C2H6O	fraction	0.4411049	0.1323315	
ETHYL-ACETATE	fraction	0	0.5905243	
H2O	fraction	0.006899...	0.1276455	
体积流量	cum/hr	23.36417	23.44808	

图2. 全混流反应器模拟结果

CSTR1 (类型: 全混流反应器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 **计算结果**

流股结果 模块结果 运行报告

常规 热流股 油品曲线

添加物性 导出结果

变量	单位	S4	S5	请选择
温度	C	70	70	
压力	atm	1	1	
气相分率 (摩尔基准)	fraction	0	0	
液相分率 (摩尔基准)	fraction	1	1	
气相分率 (质量基准)	fraction	0	0	
液相分率 (质量基准)	fraction	1	1	
摩尔焓	kJ/kmol	-359142	-366987.7	
质量焓	kJ/kg	-6877.472	-7027.715	
摩尔焓	kJ/kmol-K	-276.4573	-286.9707	
质量焓	kJ/kg-K	-5.294083	-5.495412	
摩尔密度	kmol/cum	16.64942	16.58673	
质量密度	kg/cum	869.4337	866.1602	
热流量	kW	-38807.28	-39655.06	
平均分子量	kg/kmol	52.22005	52.22005	
摩尔流量	kmol/hr	389	389	
质量流量	tonne/hr	20.3136	20.3136	
质量分率				
C2H4O2	fraction	0.5519954	0.1877827	
C2H6O	fraction	0.4411049	0.1617008	
ETHYL-ACETATE	fraction	0	0.5343559	
H2O	fraction	0.0068997...	0.1161606	
体积流量	cum/hr	23.36417	23.45248	

图3. 平推流反应器模拟结果

PFR1 (类型: 平推流反应器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 **计算结果**

流股结果 模块结果 运行报告

常规 热流股 油品曲线

添加物性 导出结果

变量	单位	S6	S7	请选择
温度	C	70	125.1943	
压力	atm	1	1	
气相分率 (摩尔基准)	fraction	0	0	
液相分率 (摩尔基准)	fraction	1	1	
气相分率 (质量基准)	fraction	0	0	
液相分率 (质量基准)	fraction	1	1	
摩尔焓	kJ/kmol	-359142	-359142	
质量焓	kJ/kg	-6877.472	-6877.472	
摩尔焓	kJ/kmol-K	-276.4573	-267.3507	
质量焓	kJ/kg-K	-5.294083	-5.119694	
摩尔密度	kmol/cum	16.64942	15.04903	
质量密度	kg/cum	869.4337	785.861	
热流量	kW	-38807.28	-38807.28	
平均分子量	kg/kmol	52.22005	52.22005	
摩尔流量	kmol/hr	389	389	
质量流量	tonne/hr	20.3136	20.3136	
质量分率				
C2H4O2	fraction	0.5519954	0.1844271	
C2H6O	fraction	0.4411049	0.1591266	
ETHYL-ACETATE	fraction	0	0.539279	
H2O	fraction	0.0068997...	0.1171672	
体积流量	cum/hr	23.36417	25.84885	

三种反应器模拟结果对比

将案例保存并导出，命名为**演示案例11-1.apex**



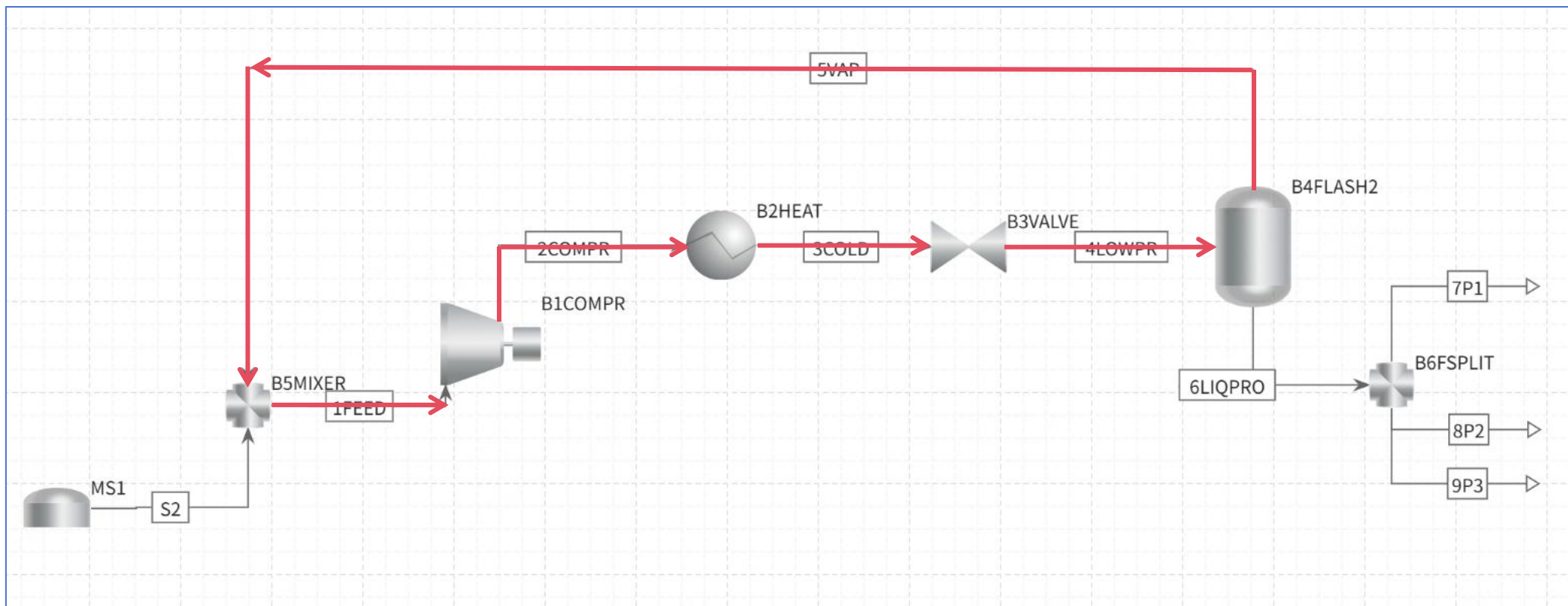
12 | 循环打通

学习目标



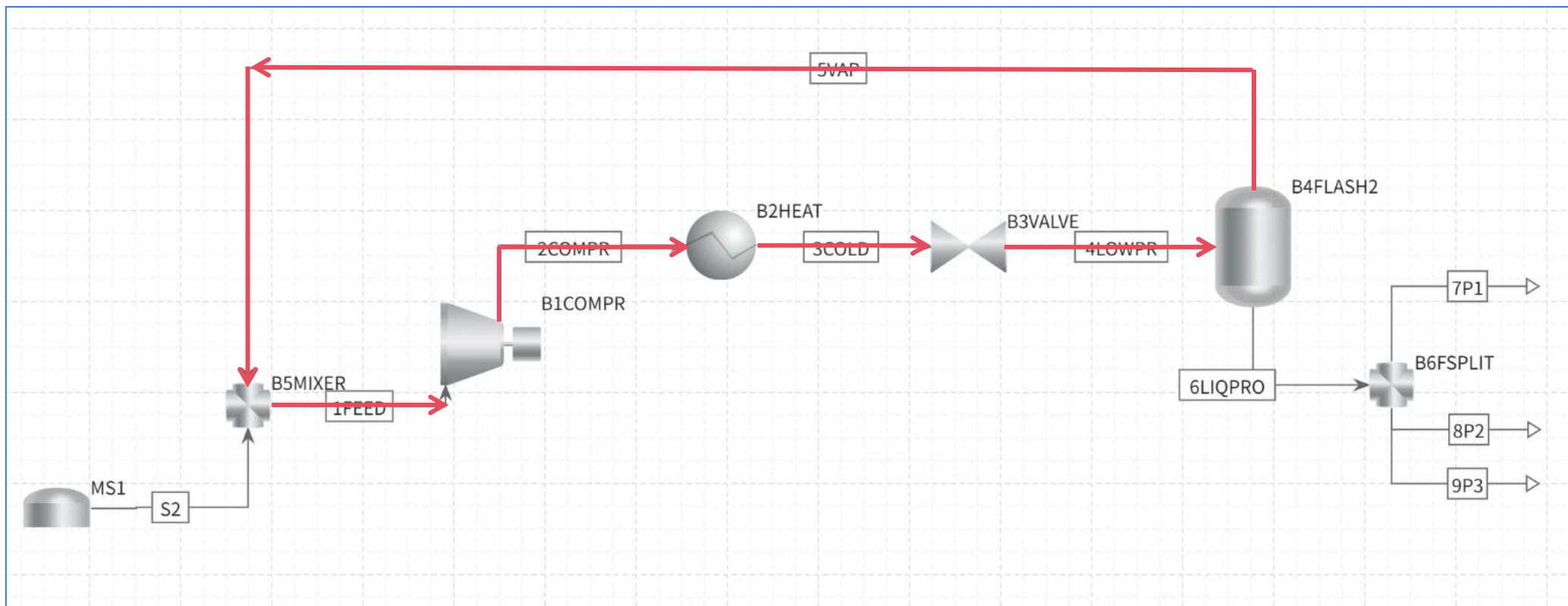
- **目标：**
 - 熟悉中控APEX平台打通循环流股的方法。
- **内容：**
 - APEX独有的空连、实连功能；
 - 利用连接度逐步打通循环。

什么是循环流股



- ◆ 在建模过程中，经常出现后续工段产品返回前部工段进行循环处理形成闭环的情况，这些参与闭环的流股被称为“**循环流股**”
- ◆ 复杂的流程往往会出现多个循环流股，要打通这些循环流股是一项相当具有挑战性的任务

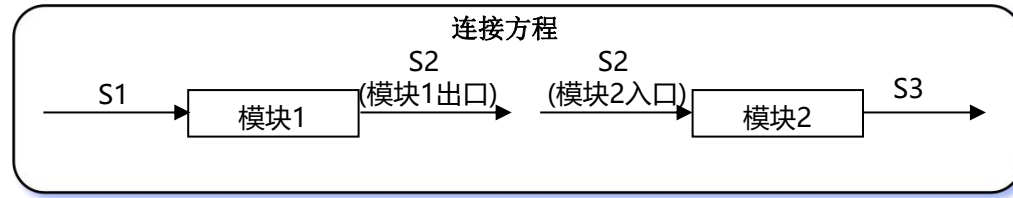
流股连接



- ◆ 循环流股没有头、尾之分，若让其闭合，需为其找到“源头”
- ◆ 可打断任意流股让其充当源头（通常选择工况条件较为确定的流股）
- ◆ 源头流股给定猜测的初值，带动循环流股从头到尾的计算
- ◆ 循环流股的“尾”由计算而来，“源头”值为猜测，**必定存在偏差**

流股连接

EO建模方式中，模块间依靠连接方程实现物料与能量衡算——**连接方程**



总物料守恒: $B1.VAR.S2.MOLE - B2.VAR.S2.MOLE = 0$
 温度守恒: $B1.VAR.S2.TEMP - B2.VAR.S2.TEMP = 0$
 压力守恒: $B1.VAR.S2.PRES - B2.VAR.S2.PRES = 0$
 组成守恒: $B1.VAR.S2.Xi - B2.VAR.S2.Xi = 0$

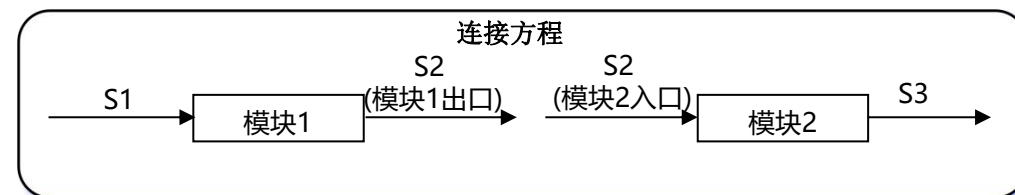
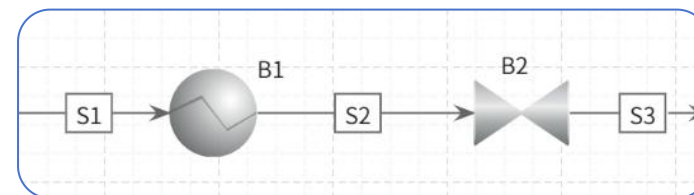
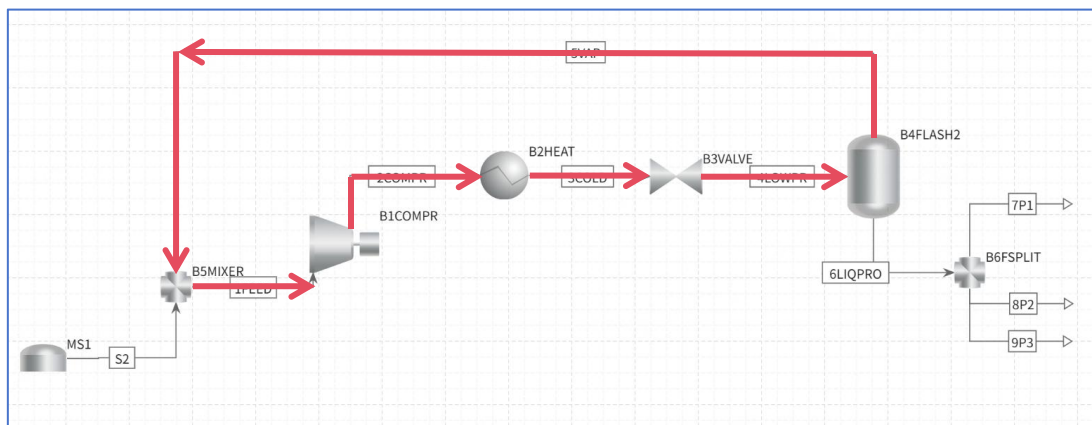
无BIAS偏差变量
硬连接

当循环未打通时，衡算方程无法成立，因此引入**偏差变量BIAS**可将上式改写为：

总物料守恒: $B1.VAR.S2.MOLE - B2.VAR.S2.MOLE - S2.VAR.BIAS.MOLE = 0$
 温度守恒: $B1.VAR.S2.TEMP - B2.VAR.S2.TEMP - S2.VAR.BIAS.TEMP = 0$
 压力守恒: $B1.VAR.S2.PRES - B2.VAR.S2.PRES - S2.VAR.BIAS.PRES = 0$
 组成守恒: $B1.VAR.S2.Xi - B2.VAR.S2.Xi - S2.VAR.BIAS.Xi = 0$

有BIAS偏差变量
软连接

空连与实连



连接方程 $B1.VAR.S2.MOLE - B2.VAR.S2.MOLE - S2.VAR.BIAS.MOLE = 0$ 为例

上游元变量

下游元变量

偏差元变量

- ◆ 方程中存在3个变量
 - 上游元变量 $B1.VAR.S2.MOLE$
 - 下游元变量 $B2.VAR.S2.MOLE$
 - 偏差元变量 $S2.VAR.BIAS.MOLE$
- ◆ 至少有一个是被**计算**的，该方程才能成立
- ◆ 上游为单元模块出口，被模块**计算**得到
- ◆ 通常情况下下游数据依赖上游，因此**下游为计算**——**实连**
- ◆ 该股“打断”时，下游不再依赖上游，因此**下游为常数**——**空连**

注：空连并非该股真实断开，而是下游不再依赖上游的计算形式

空连与实连

连接方程 $B1.VAR.S2.MOLE - B2.VAR.S2.MOLE - S2.VAR.BIAS.MOLE = 0$ 为例

上游元变量

下游元变量

偏差元变量

- 实连
- 空连

计算
计算

计算
常数

常数
计算

5VAP (类型: 连接流股)

组态信息 运行管理 元变量 计算结果

模块名称 5VAP

下游初值 连接配置

连接类型	连接状态	打通方法	连接度
硬连接	实连	直接法	0

上游模块	下游模块	操作
B4FLASH2	B5MIXER	端口配置

源变量		目标变量	
名称	规定	名称	规定
5VAP流股.摩尔流量	计算	B5MIXER模块.5VAP流股.摩尔...	计算
5VAP流股.温度	计算	B5MIXER模块.5VAP流股.温度	计算
5VAP流股.压力	计算	B5MIXER模块.5VAP流股.压力	计算
5VAP流股.摩尔焓	计算	B5MIXER模块.5VAP流股.摩尔...	计算
5VAP流股.摩尔质量	计算	B5MIXER模块.5VAP流股.摩尔...	计算
5VAP流股.摩尔体积	计算	B5MIXER模块.5VAP流股.摩尔...	计算
5VAP流股.丙烷组分含量	计算	B5MIXER模块.5VAP流股.丙烷...	计算

- 硬连接: 无偏差元变量
- 软连接: 有偏差元变量

软连接-实连:

- 下游 计算
- 偏差 常数

软连接-空连:

- 下游 常数
- 偏差 计算

5VAP

下游初值 连接配置

连接类型	连接状态	打通方法	连接度
软连接	空连	直接法	

上游模块	下游模块	操作
B4FLASH2	B5MIXER	端口配置

源变量		目标变量	
名称	规定	名称	规定
5VAP流股.摩尔流量	计算	B5MIXER模块.5VAP流股.摩尔...	常数
5VAP流股.温度	计算	B5MIXER模块.5VAP流股.温度	常数
5VAP流股.压力	计算	B5MIXER模块.5VAP流股.压力	常数
5VAP流股.摩尔焓	计算	B5MIXER模块.5VAP流股.摩尔...	常数
5VAP流股.摩尔质量	计算	B5MIXER模块.5VAP流股.摩尔...	常数
5VAP流股.摩尔体积	计算	B5MIXER模块.5VAP流股.摩尔...	常数
5VAP流股.丙烷组分含量	计算	B5MIXER模块.5VAP流股.丙烷...	常数

空连与实连

连接方程 $B1.VAR.S2.MOLE - B2.VAR.S2.MOLE - S2.VAR.BIAS.MOLE = 0$ 为例

	上游元变量	下游元变量	偏差元变量
• 实连	计算	计算	常数
• 空连	计算	常数	计算

- 实连时偏差元变量为常数
- 可通过不断主动减小偏差逐步至0，使上下游逼近直至相等

下轮偏差 = (1-连接度) * 本轮偏差

连接度: 0 \rightarrow 1, 偏差在迭代中逐步 \rightarrow 0

流股连接管理

全局

组态信息 连接管理 模块应用 模块分析 元变量 计算结果

流股连接 引用连接 自定义端口连接 变量连接

序号	连接名称	流股类型	上游模块	下游模块	连接类型	连接状态	打通方法	连接度	描述	操作
1	DMF	物流股	MS1	EXTRACT	软连接	<input type="radio"/> 空连	直接法			查看 端口配置
2	DMF-BEN	物流股	EXTRACT	E2	软连接	<input checked="" type="radio"/> 实连	直接法	1		查看 端口配置
3	FEED	物流股	MS2	EXTRACT	硬连接	<input checked="" type="radio"/> 实连	直接法			查看 端口配置
4	NHEPTANE	物流股	EXTRACT	E1	硬连接	<input checked="" type="radio"/> 实连	直接法			查看 端口配置

所有流股添加时默认为“硬连接”，实连，连接度为空且不可编辑

连接类型和连接状态

组态信息 连接管理 模块应用 模块分析 元变量 计算结果

元变量 策略管理 规定统计 自由度统计

默认 变量域

筛选条件 重置筛选 导入 导出

索引	名称	值	单位	物理类型	规定
1182	HTOUT.VAR.BIAS.MOLES	3.894126E-9	kmol/hr	摩尔流量	常数
1183	HTOUT.VAR.BIAS.TEMP	0	DELTA-C	温差	常数
1184	HTOUT.VAR.BIAS.PRES	0	bar	压降	常数
1185	HTOUT.VAR.BIAS.ENTH	0.0000978841	kJ/kmol	摩尔焓	常数
1186	HTOUT.VAR.BIAS.MW	-2.2251E-9	kg/kmol	摩尔质量	常数
1187	HTOUT.VAR.BIAS.MV	-5.724879E-12	cum/kmol	摩尔体积	常数
1188	HTOUT.VAR.BIAS.PROPANE	1.659642E-12	fraction	含量	常数
1189	HTOUT.VAR.BIAS.1-BUTENE	4.602738E-10	fraction	含量	常数
1190	HTOUT.VAR.BIAS.N-BUTANE	-7.638092E-10	fraction	含量	常数
1191	HTOUT.VAR.BIAS.T-BUTENE	4.2635E-10	fraction	含量	常数

偏差元变量

软连接下，可调整流股连接状态

- 进行空连与实联的切换
- 连接度逐步从0调整至1

打通循环步骤

1. 改变流股连接类型

方法一：右键流股，在**右键菜单**中点击**软连接**，流股的连接类型会切换为**软连接**并且连接状态变为**空连**



方法二：双击流股进入**组态信息 | 连接配置**，**连接类型**改为**软连接**，此时连接状态自动变为**空连**



打通循环步骤

2. 为流股输入下游初值

双击流股，进入**组态信息 | 下游初值**



3. 初始化

- ◆ 硬连接: 无偏差元变量
- ◆ 软连接: 有偏差元变量



◆ 软连接-实连:

- 下游 计算
- 偏差 常数

◆ 软连接-空连:

- 下游 常数
- 偏差 计算



- ①调整流股连接类型，新增了元变量，需**生成变量**
- ②切换连接状态，改变了变量规定，需**构建规定**
- ③根据流股下游输入的初值，增扩其他初值，需**获取初值**

打通循环步骤

4. 运行

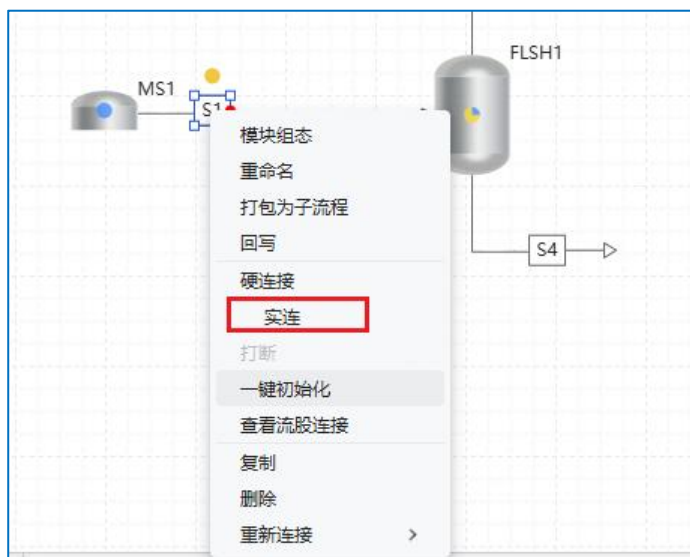
根据当前输入的初值进行，空连下运行计算



5. 连接状态由空连切换为实连

方法一：右键空连的流股，在菜单中选择**实连**

方法二：双击流股进入**组态信息 | 连接配置**，连接状态改为**空连**



打通循环步骤

6. 调整连接度、运行

将**连接度**逐步从0调整至1，每次调整后点击**运行**

模块名称 S2

下游初值 连接配置

连接类型	连接状态	打通方法	连接度
软连接	<input checked="" type="radio"/> 实连	直接法	0

上游模块	下游模块	操作
B1	B2	端口配置

源变量				目标变量				偏差	
名称	规定	值	单位	名称	规定	值	单位	值	单位
B1.VAR.S2_MOLES	计算	3.077543	kmol/hr	B2.VAR.S2_MOLES	计算	1	kmol/hr	2.077543	kmol/hr
B1.VAR.S2_TEMP	计算	50	C	B2.VAR.S2_TEMP	计算	25	C	25	C
B1.VAR.S2_PRES	计算	18	atm	B2.VAR.S2_PRES	计算	18	atm	-4E-15	atm
B1.VAR.S2_ENTH	计算	-28066.49	cal/mol	B2.VAR.S2_ENTH	计算	-25836.82	cal/mol	-2229.67	cal/mol
B1.VAR.S2_MW	计算	44.09652	g/mol	B2.VAR.S2_MW	计算	44.09652	g/mol	0	g/mol
B1.VAR.S2_MV	计算	98.27543	cc/mol	B2.VAR.S2_MV	计算	701.1375	cc/mol	-602.8621	cc/mol
B1.VAR.S2_C3H8	计算	1	fraction	B2.VAR.S2_C3H8	计算	1	fraction	0	fraction

连接度=0时
上下游变量不相等，偏差不为0

模块名称 S2

下游初值 连接配置

连接类型	连接状态	打通方法	连接度
软连接	<input checked="" type="radio"/> 实连	直接法	1

上游模块	下游模块	操作
B1	B2	端口配置

源变量				目标变量				偏差	
名称	规定	值	单位	名称	规定	值	单位	值	单位
B1.VAR.S2_MOLES	计算	2.655658	kmol/hr	B2.VAR.S2_MOLES	计算	2.655658	kmol/hr	0	kmol/hr
B1.VAR.S2_TEMP	计算	50	C	B2.VAR.S2_TEMP	计算	50	C	0	C
B1.VAR.S2_PRES	计算	18	atm	B2.VAR.S2_PRES	计算	18	atm	0	atm
B1.VAR.S2_ENTH	计算	-28066.49	cal/mol	B2.VAR.S2_ENTH	计算	-28066.49	cal/mol	0	cal/mol
B1.VAR.S2_MW	计算	44.09652	g/mol	B2.VAR.S2_MW	计算	44.09652	g/mol	0	g/mol
B1.VAR.S2_MV	计算	98.27543	cc/mol	B2.VAR.S2_MV	计算	98.27543	cc/mol	0	cc/mol
B1.VAR.S2_C3H8	计算	1	fraction	B2.VAR.S2_C3H8	计算	1	fraction	0	fraction

连接度=1时
上下游变量相等，偏差为0
流通股打通

打通循环步骤

7. 打通的流股初值回写（可选）

流股打通后，为保障后续建模无需每次打通循环，可将已打通的结果回写到初值组态界面，**替换首次猜测的初值**

双击流股，进入**组态信息 | 下游初值**，点击**回写**，已打通收敛的结果回写到配置处

← S2 (类型：连接流股)
🔍 ×

组态信息
运行管理
元变量
计算结果

模块名称

下游初值
连接配置

清空初值信息
回写

流体

常规固体

非常规固体

闪蒸类型 压力-温度

压力 压力 18 atm

温度 50 C

总流量 摩尔 2.657566 kmol/hr

溶剂

有效相态 气-液

组成类型 占比 摩尔

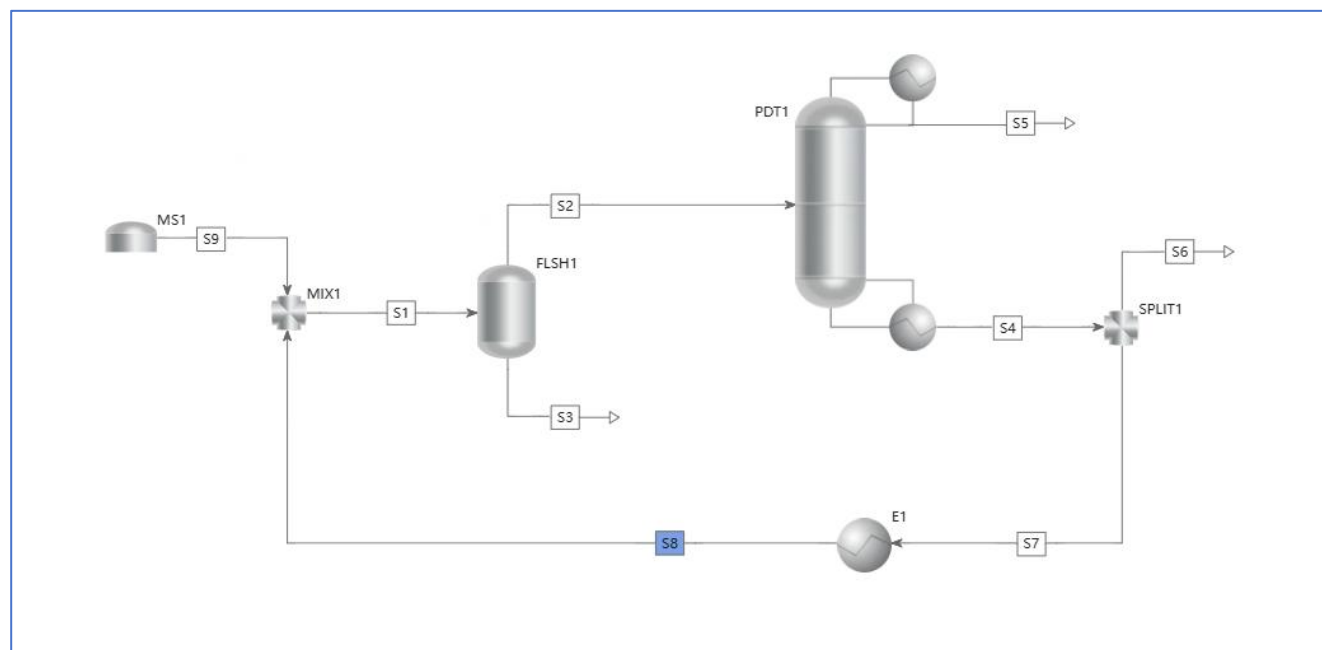
名称	值	单位	类型
C3H8	1	fraction	常规组分
总和	1		

循环打通模型演示

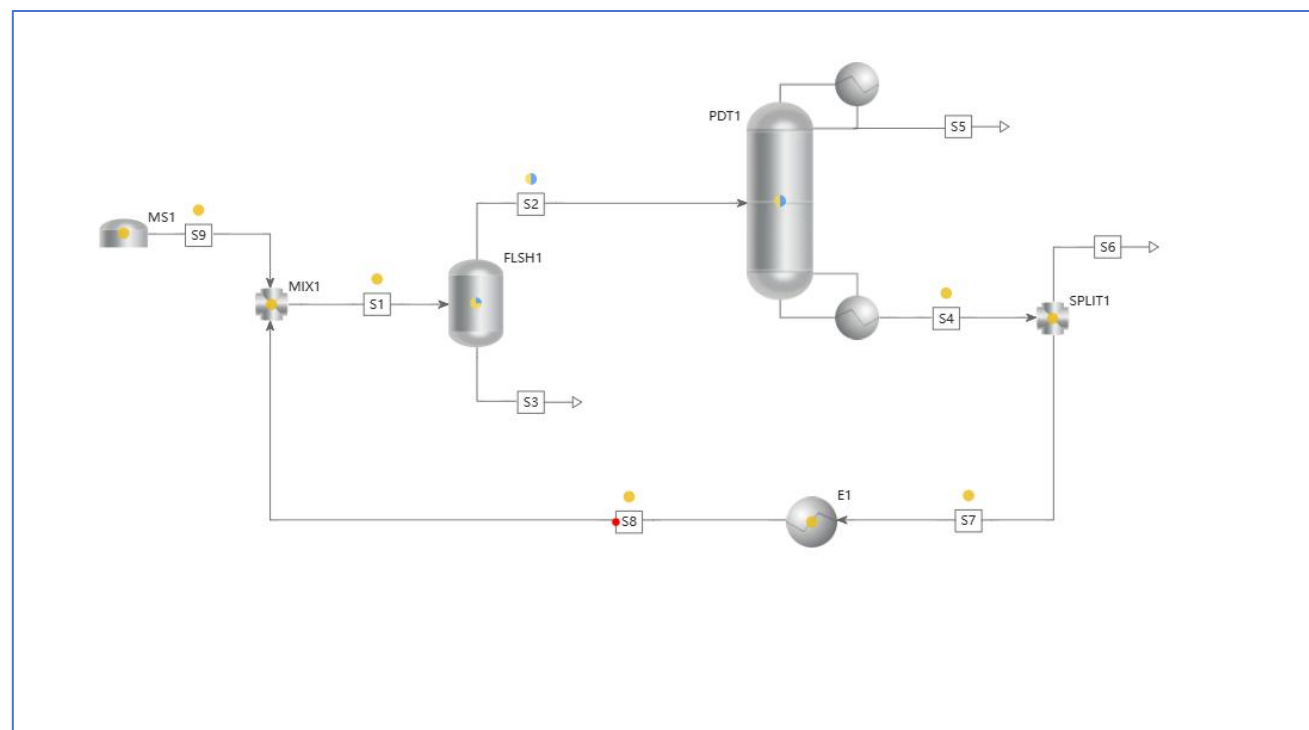
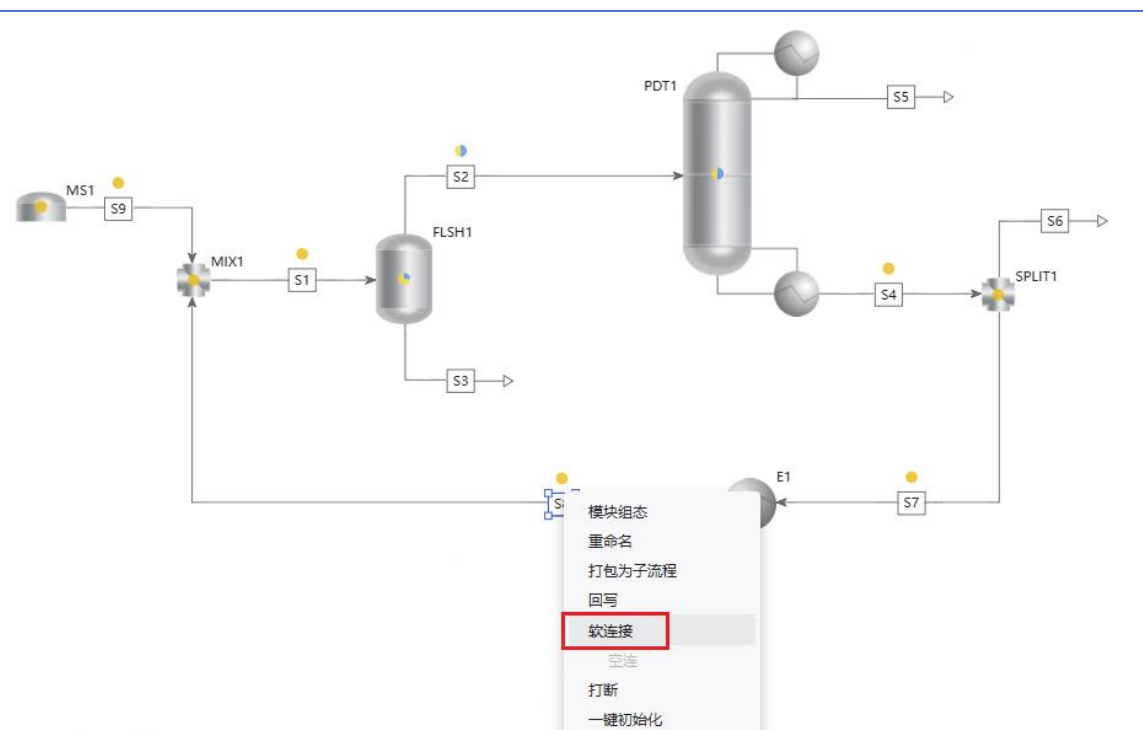
在【演示案例9-1】基础上进行搭建

- ◆ 添加分流器：物流分离比率为0.7（循环流股为0.7）；
- ◆ 添加加热器：压降为0bar，温度为30°C；
- ◆ 打断S1流股
- ◆ 添加混合器：压降为0bar；

提高塔顶丙烷的含量，增加循环流股



改变该股连接类型



◆ 右键循环流股的该股名称处，选择“软连接”

给定初值

组态信息 运行管理 元变量 计算结果

模块名称 S8

下游初值 连接配置 描述 清空初值信息 回写

流体 常规固体 非常规固体

闪蒸类型 压力-温度

压力 压力 3 bar

温度 30 C

总流量 摩尔 20 kmol/hr

溶剂

有效相态 气-液

组成类型 占比 摩尔

名称	值	单位	类型
PROPANE	0.01	fraction	常规组分
1-BUTENE	0.2	fraction	常规组分
N-BUTANE	0.3	fraction	常规组分
T-BUTENE	0.1	fraction	常规组分
C-BUTENE	0.3	fraction	常规组分
PENTANE	0.09	fraction	常规组分

总和 1

循环流股初值:

温度30°C

压力为3bar

流量为20kmol/hr

组分摩尔分数

- ◆ 丙烷0.01
- ◆ 1-丁烯0.2
- ◆ 正丁烷0.3
- ◆ 反-2-丁烯0.1
- ◆ 顺-2-丁烯0.3
- ◆ 正戊烷0.09

流股进行空连后，双击循环流股，在**下游初值**界面为循环流股赋予初值

循环流股由精馏塔底换热而来，温度、压力、流量、组成的初值与E1温度保持一致

初始化、运行

- ◆ 点击**初始化、运行**
- ◆ 求解成功后**双击**循环流股
- ◆ 打开**连接配置**界面，将连接状态改为实连
- ◆ **逐步调整循环流股“连接度”从0至1**
- ◆ 每次调整后都直接执行**运行**操作
- ◆ 直至所有**偏差元变量值均等于0**

组态信息 运行管理 元变量 计算结果

模块名称 S8

下游初值 连接配置 描述

连接类型	连接状态	打通方法	连接度
软连接	实连	直接法	0.1

上游模块	下游模块	操作
E1	MIX1	端口配置

源变量					目标变量				
名称	规定	值	单位		名称	规定	值	单位	
VAR.S8_MOLES	计算	20.06134	kmol/hr	▼	MIX1.VAR.S8_MOLES	计算	20	kmol/hr	
VAR.S8_TEMP	计算	30	C	▼	MIX1.VAR.S8_TEMP	计算	30	C	
VAR.S8_PRES	计算	3	bar	▼	MIX1.VAR.S8_PRES	计算	3	bar	
VAR.S8_ENTH	计算	-68478.96	kJ/kmol	▼	MIX1.VAR.S8_ENTH	计算	-76908.78	kJ/kmol	
VAR.S8_MW	计算	57.47625	kg/kmol	▼	MIX1.VAR.S8_MW	计算	58.03602	kg/kmol	
VAR.S8_MV	计算	0.09744202	cum/kmol	▼	MIX1.VAR.S8_MV	计算	0.09842906	cum/kmol	
VAR.S8_PROPANE	计算	0.000378443	fraction	▼	MIX1.VAR.S8_PROPANE	计算	0.01	fraction	
VAR.S8_1-BUTENE	计算	0.2132966	fraction	▼	MIX1.VAR.S8_1-BUTENE	计算	0.2	fraction	
VAR.S8_N-BUTANE	计算	0.2045000	fraction	▼	MIX1.VAR.S8_N-BUTANE	计算	0.2	fraction	

循环打通

组态信息 运行管理 元变量 计算结果

模块名称 S8

下游初值 连接配置 描述 清空初值信息 回写

流体 常规固体 非常规固体

闪蒸类型 压力-温度

压力 压力 3 bar

温度 30 C

总流量 摩尔 20.06036 kmol/hr

溶剂

有效相态 气-液

组成类型 占比 摩尔

名称	值	单位	类型
PROPANE	0.00037060...	fraction	常规组分
1-BUTENE	0.2131554	fraction	常规组分
N-BUTANE	0.2825029	fraction	常规组分
T-BUTENE	0.1351893	fraction	常规组分
C-BUTENE	0.3200994	fraction	常规组分
PENTANE	0.0486824	fraction	常规组分

总和 1.0000000000000001

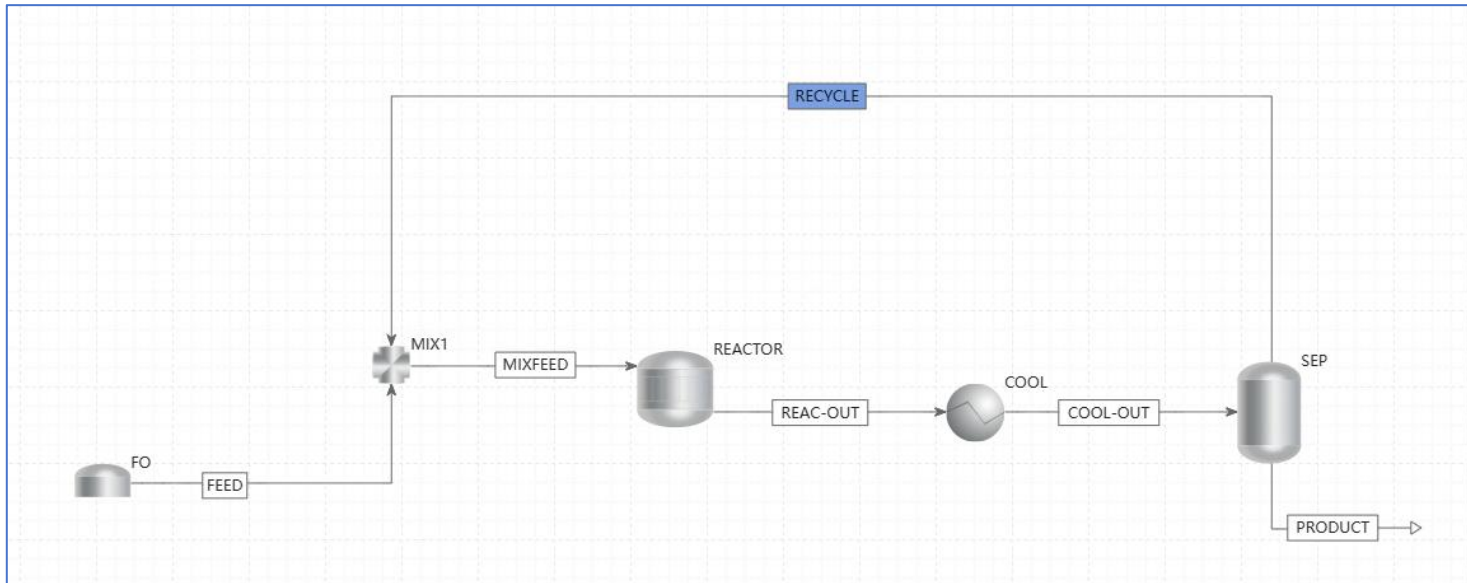
- 模型打通后，为了保证模型在后续调试中的收敛性，可将空连时的猜测的初始值替换为已经收敛的循环值，点击回写，此时打通循环彻底结束
- 下一次进行初始化运行操作时，模型不需要打通循环，可直接收敛

保存为：演示案例12-1.apex

课堂练习

新建文件名称为【培训习题12-1】

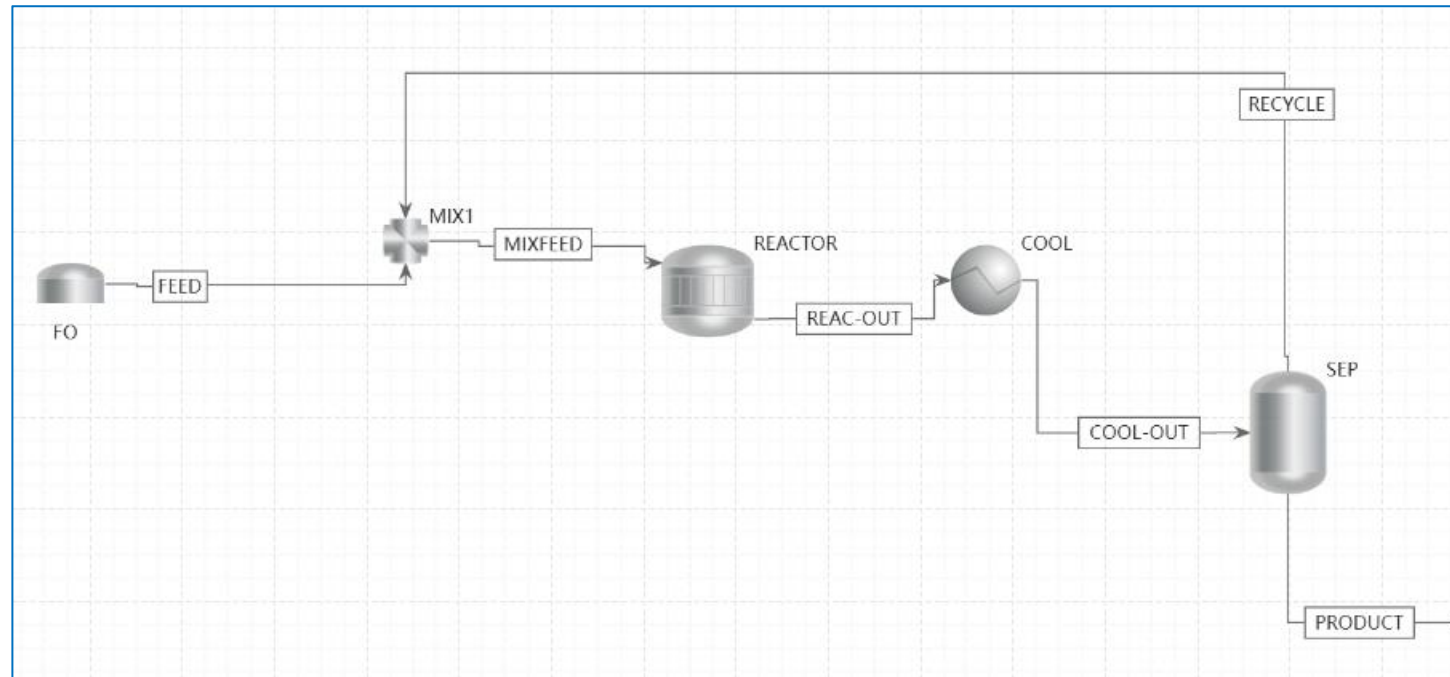
异丙基苯生产流程模型



- 组分输入：苯，丙烯，异丙基苯
- 物性方法：RK
- 单位集：工程制

- 物料源FO：
 - 进料摩尔组成（50%苯，50%丙烯）
 - 进料温度104°C，进料压力248kPa
 - 进料量36.28kmol/h
- 计量反应器REACTOR
 - 热负荷：0kW，压降：0kPa
 - 反应方程式： $C_6H_6 + C_3H_6 = C_9H_{12}$
 - 丙烯转化率为90%
- 冷却器COOL：
 - 温度：54.44°C，压降0.69kPa
- 闪蒸罐SEP：
 - 压力：1atm，热负荷：0kW

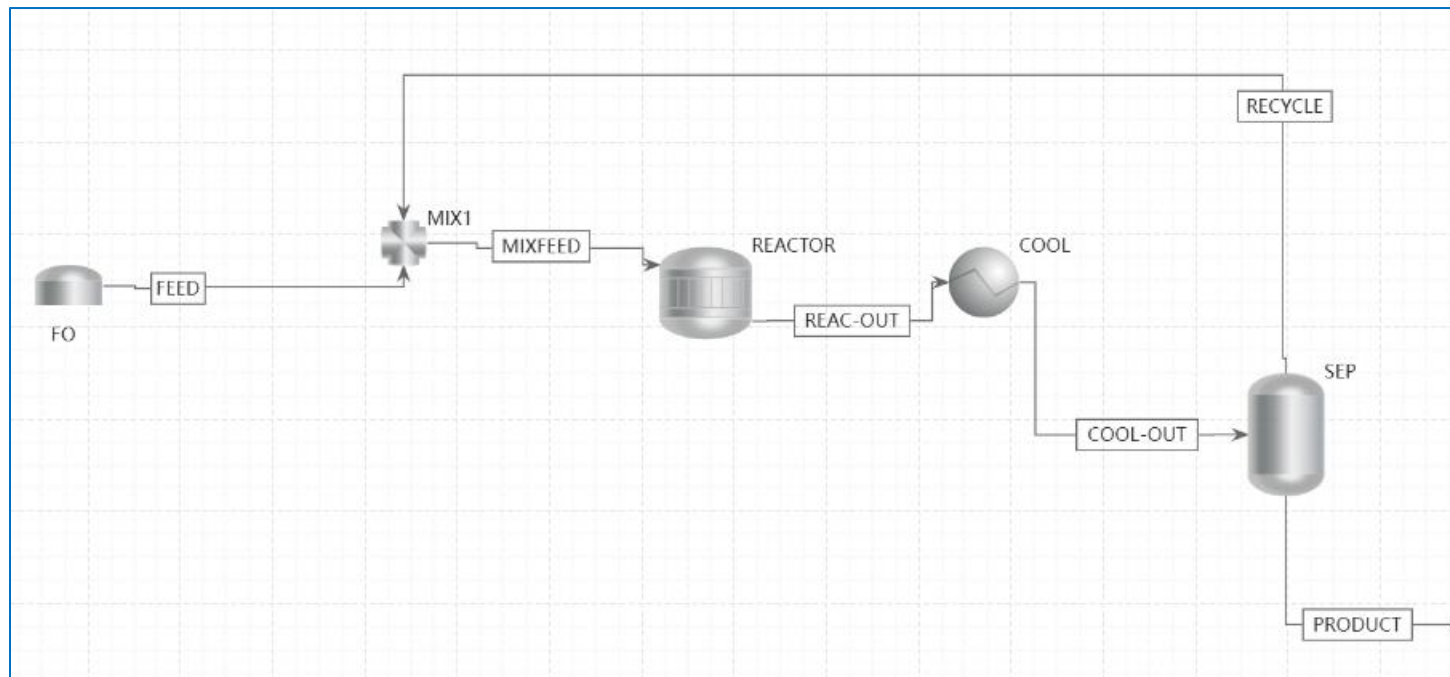
课堂练习



● 问题:

- 该股RECYCLE的循环量是多少kmol/h?
- 将模拟结果导出成“培训练习题3-循环打通.apex”文件

课堂练习



● 问题:

- 该股RECYCLE的循环量是多少kmol/h?
- 将模拟结果导出成“培训练习题3-循环打通.apex”文件

该股RECYCLE的循环量为1.27kmol/h



13 | 分析模块

学习目标



- **目标：**
 - ◆ 熟悉分析模块的使用方法。
- **内容：**
 - ◆ 介绍分析模块的用法、输入配置
 - ◆ 演示案例；

分析模块



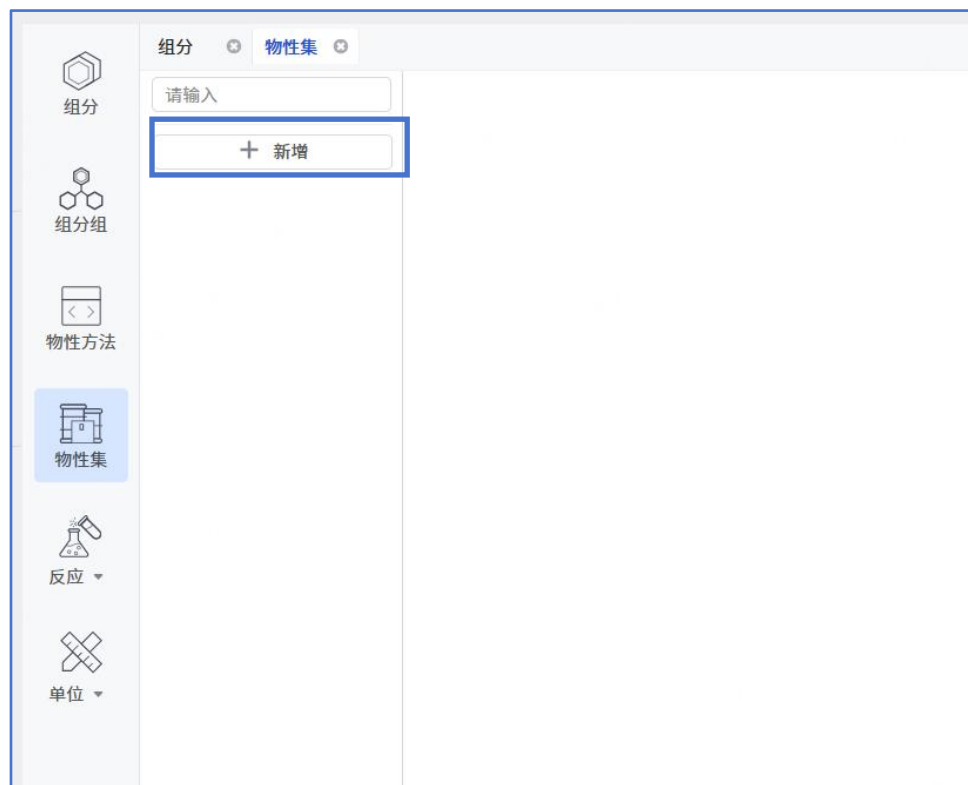
- ◆ 分析模块用于模拟计算流股结果之外的其他物性，如纯组分性质、混合物性质、油品性质。
- ◆ 通过**双击**分析模块或**右键打开菜单**选择“模型组态”，**打开模块组态**页面

基础配置

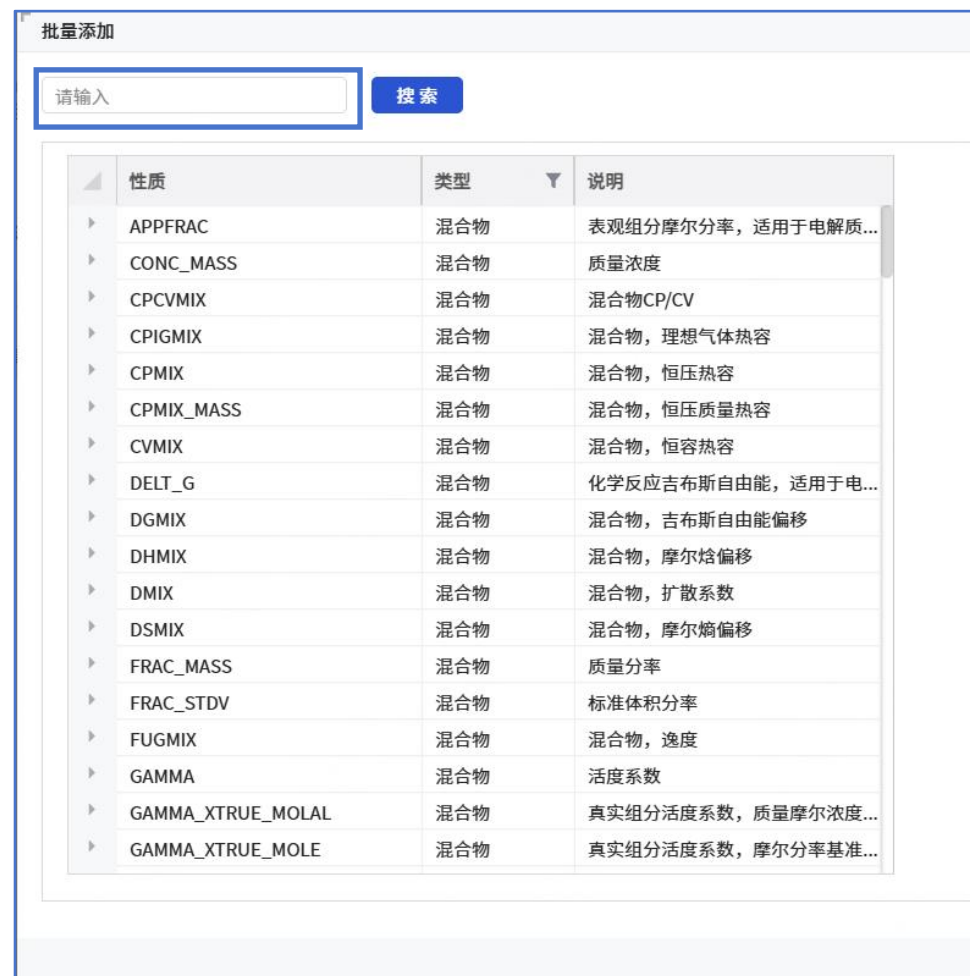
- ◆ 利用**参考流股**选择指定流股
- ◆ **闪蒸类型**选定**物流股**的**各类性质**
- ◆ **压力**和**温度**决定输入流股的指定压力、温度状态下的性质
- ◆ 输入的**压力（选填）**可选择**压力**或者**压降**
- ◆ **气相分率**指定选定流股在指定气相分率状态下的性质
- ◆ **有效相态**规定指定条件下的有效相态
- ◆ **物性集**选择配置过的物性集，
- ◆ **物性集配置**跳转至物性集配置界面



新增物性集



- ◆ 物性集是热力学性质、传递性质及其他性质的集合，可以在物性分析和分析模块中使用，也可以用于冷热流股物性曲线分析。
- ◆ 物性集中物性可以单个搜索添加也可以批量添加



查看结果

- ◆ 分析模块**模块结果**显示包括温度、压力、气相分率、热负荷及在**输入信息**中**选择**的有效的**物性**计算结果



ANA1 (类型: 分析模块)

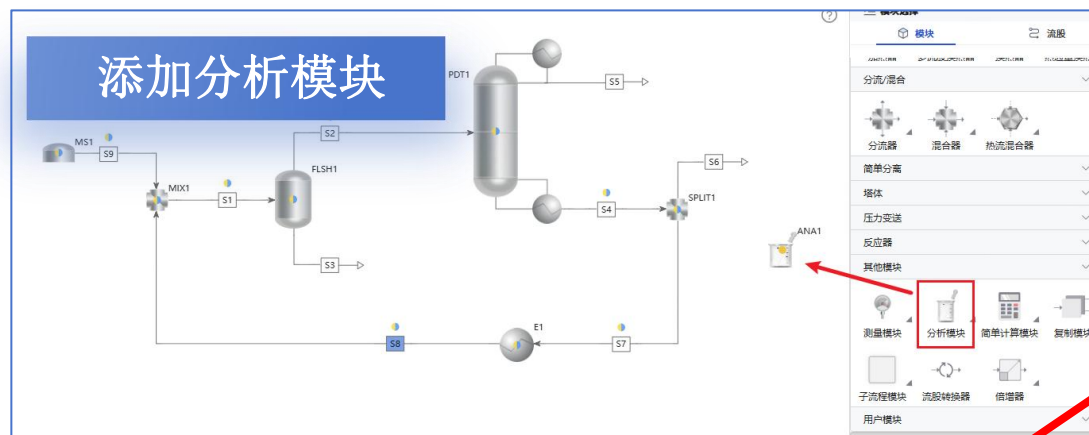
组态信息 运行管理 模型应用 元变量 **计算结果**

模块结果 运行报告

名称	值	单位
出口温度	30	C
出口压力	3	bar
气相分率	-0.0716095	Unitless
TDEW_MIX	35.3011	C
TBUBBLE_MIX	32.72708	C
CPCVMIX_MIX	1.00933	Unitless
CPMIX_MIX	133.5133	kJ/kmol-K
SIGL_LIQ_PROPANE	6.301205	dyne/cm
SIGL_LIQ_1-BUTENE	11.40283	dyne/cm
SIGL_LIQ_N-BUTANE	11.35387	dyne/cm
SIGL_LIQ_T-BUTENE	12.43087	dyne/cm
SIGL_LIQ_C-BUTENE	13.25356	dyne/cm
SIGL_LIQ_PENTANE	14.92771	dyne/cm

演示案例

在【演示案例12-1】上进行搭建



配置物性集

性质	相态	说明	操作
TDEW	混相	露点温度	删除
TBUBBLE	混相	泡点温度	删除
CPCVMIX	混相	混合物CP/CV	删除
CPMIX	混相	混合物, 恒压热容	删除
SIGL	液相	纯组分表面张力	删除
请输入			

ANA1 (类型: 分析模块)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称: ANA1

基础配置 稳态 端口 描述

闪蒸类型: 压力-温度

压力(选填): 压力 请输入值

温度(选填): 请输入值

参考流股: S6

有效相态: 气-液

物性集: 物性集1

添加组态信息

ANA1 (类型: 分析模块)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块结果 运行报告

名称	值	单位
出口温度	32.92335	C
出口压力	3	bar
气相分率	-2.797837e-12	Unitless
TDEW_MIX	35.45534	C
TBUBBLE_MIX	32.92335	C
CPCVMIX_MIX	1.009745	Unitless
CPMIX_MIX	134.7184	kJ/kmol-K
SIGL_LIQ_PROPANE	5.9659	dyne/cm
SIGL_LIQ_1-BUTENE	11.04859	dyne/cm
SIGL_LIQ_N-BUTANE	11.02327	dyne/cm
SIGL_LIQ_T-BUTENE	12.07923	dyne/cm
SIGL_LIQ_C-BUTENE	12.89336	dyne/cm
SIGL_LIQ_PENTANE	14.61278	dyne/cm

查看运行结果

保存案例并导出, 命名为**演示案例13-1.APEX**



14 | 结果应用

学习目标



- **目标：**

- 熟悉结果的查看和应用

- **内容：**

- 流股结果查看及物性添加
- 换热单元结果应用
- 精馏塔水力学数据

流股结果

方式一：点击菜单栏|求解中的流股结果

此方式可查看当前执行域下的所有流股结果



主流程图 全局 组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

流股结果 运行报告

常规 热流股 油品曲线 引用连接 自定义端口连接

添加物性 导出结果

变量	单位	CLODIN1	COLDIN	COLDIN2	COLDOUT1	COLDOUT2	HOTIN	HOTIN1
描述								
起点		DUPL1	COLD	DUPL1	HX1	E1	HOT	DUPL2
终点		HX1	DUPL1	E1			DUPL2	HX1
流体								
相态		液相	液相	液相	液相	液相	气相	气相
温度	C	20	20	20	38.05824	38.05824	200	200
压力	bar	10	10	10	10	10	4	4
气相分率(摩尔)	fraction	0	0	0	0	0	1	1
液相分率(摩尔)	fraction	1	1	1	1	1	0	0
气相分率(质量)	fraction	0	0	0	0	0	1	1
液相分率(质量)	fraction	1	1	1	1	1	0	0
摩尔焓	kJ/kmol	-281337.4	-281337.4	-281337.4	-279369.7	-279369.7	-13860.24	-13860.24
质量焓	kJ/kg	-15616.6	-15616.6	-15616.6	-15507.37	-15507.37	-218.3802	-218.3802
摩尔焓	kJ/kg-K	-161.1106	-161.1106	-161.1106	-154.5954	-154.5954	-105.5693	-105.5693
质量焓	kJ/kg-K	-8.942997	-8.942997	-8.942997	-8.581347	-8.581347	-1.663337	-1.663337
摩尔密度	kmol/cum	41.0433	41.0433	41.0433	40.39454	40.39454	0.1058751	0.1058751

方式二：右键流程图|模块组态进入计算结果中的流股结果

右键空白：默认显示当前层级的所有流股

右键模块：默认显示与该模块连接的所有流股



E1 (类型：加热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

流股结果 模块结果 运行报告

常规 热流股 油品曲线

添加物性 导出结果

变量	单位	COLDIN2	COLDOUT2
描述			
起点		DUPL1	E1
终点		E1	
流体			
相态		液相	液相
温度	C	20	38.05824
压力	bar	10	10
气相分率(摩尔)	fraction	0	0
液相分率(摩尔)	fraction	1	1
气相分率(质量)	fraction	0	0
液相分率(质量)	fraction	1	1
摩尔焓	kJ/kmol	-281337.4	-279369.7
质量焓	kJ/kg	-15616.6	-15507.37
摩尔焓	kJ/kg-K	-161.1106	-154.5954

流股结果

右键流股列，可选择删除该列流股结果

点击导出结果可将当前展示的流股导出为.xls文件

变量	单位	COLDIN2	COLDOUT2
描述		DUPL1	E1
起点		DUPL1	E1
终点		E1	
[] 流体			
相态		液相	液相
温度	C	20.000000000000114	38.05823943112517
压力	bar	10	10
相分率(摩尔)	fraction	0	0
相分率(摩尔)	fraction	1	1
相分率(质量)	fraction	0	0
相分率(质量)	fraction	1	1
摩尔焓	kJ/kmol	-281337.3720893119	-279369.6711584015
质量焓	kJ/kg	-15616.597249074779	-15507.373249730317
摩尔焓	kJ/kmol-K	-161.1106030738229	-154.5953674005816
质量焓	kJ/kg-K	-8.942997448489441	-8.581346912209057
摩尔密度	kmol/cum	41.04330007080609	40.39453612483671
质量密度	kg/cum	739.4065428995916	727.7188787590484
热流量	kW	-216897.18403227927	-215380.18404126258
平均分子量	kg/kmol	18.01528	18.01528
[] 摩尔流量	kmol/hr	2775.4217530895994	2775.4217530895994
C6H6	kmol/hr	0	0
C8H10	kmol/hr	0	0
C8H8	kmol/hr	0	0
H2O	kmol/hr	2775.4217530895994	2775.4217530895994
[] 摩尔分率			
C6H6	fraction	0	0
C8H10	fraction	0	0
C8H8	fraction	0	0
H2O	fraction	1	1
[] 质量流量	kg/hr	50000	50000
C6H6	kg/hr	0	0
C8H10	kg/hr	0	0
C8H8	kg/hr	0	0
H2O	kg/hr	50000	50000

E1 (类型: 加热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

流股结果 模块结果 运行报告

常规 热流股 油品曲线

添加物性 导出结果

变量	单位	COLDIN2	COLDOUT2
描述		DUPL1	E1
起点		DUPL1	E1
终点		E1	
[] 流体			
相态		液相	液相
温度	C	20	38.05824
压力	bar	10	10
气相分率(摩尔)	fraction	0	0
液相分率(摩尔)	fraction	1	1
气相分率(质量)	fraction	0	0
液相分率(质量)	fraction	1	1
摩尔焓	kJ/kmol	-281337.4	-279369.7
质量焓	kJ/kg	-15616.6	-15507.37
摩尔焓	kJ/kmol-K	-161.1106	-154.5954

请选择流股

- CLODIN1
- COLDIN
- COLDOUT1
- HOTIN
- HOTIN1
- HOTIN2
- HOTOUT1
- HOTOUT2

点击最右侧的下拉框可选择当前层级及下属层级的其它流股

流股结果

E1 (类型: 加热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

流股结果 模块结果 运行报告

常规 热流股 油品曲线

添加物性 导出结果

变量	单位	COLDIN2	COLDOUT2	请选择流股
描述				
起点		DUPL1	E1	
终点		E1		
流体				
相态		液相	液相	
温度	C	20	38.05824	
压力	bar	10	10	
气相分率(摩尔)	fraction	0	0	
液相分率(摩尔)	fraction	1	1	
气相分率(质量)	fraction	0	0	
液相分率(质量)	fraction	1	1	
摩尔焓	kJ/kmol	-281337.4	-279369.7	
质量焓	kJ/kg	-15616.6	-15507.37	
摩尔熵	kJ/kmol-K	-161.1106	-154.5954	



添加物性

请输入 搜索

性质	类型	说明
APPFRAC	混合物	表观组分摩尔分率, 适用于中
CONC_MASS	混合物	质量浓度
CPCVMIX	混合物	混合物CP/CV
CPIGMIX	混合物	混合物, 理想气体热容
CPMIX_MASS	混合物	混合物, 恒压质量热容
CVMIX	混合物	混合物, 恒容热容
DELT_G	混合物	化学反应吉布斯自由能, 适用
DGMIX	混合物	混合物, 吉布斯自由能偏移
DHMIX	混合物	混合物, 摩尔焓偏移
DMIX	混合物	混合物, 扩散系数
DSMIX	混合物	混合物, 摩尔熵偏移
FRAC_MASS	混合物	质量分率
FRAC_STDV	混合物	标准体积分率
FUGMIX	混合物	混合物, 逸度
GAMMA	混合物	活度系数
GAMMA_XTRUE_MOLAL	混合物	真实组分活度系数, 质量摩尔
GAMMA_XTRUE_MOLE	混合物	真实组分活度系数, 摩尔分率
GIGMIX	混合物	混合物, 理想气体吉布斯自由

应用范围 当前流股 上移 下移

性质	类型	说明	操作
CPMIX	混合物	混合物, 恒压热容	



质量密度	kg/cum	739.4065	727.7189
热流量	kW	-216897.2	-215380.2
平均分子量	kg/kmol	18.01528	18.01528
摩尔流量	kmol/hr	2775.422	2775.422
质量流量	kg/hr	50000	50000
质量分率			
体积流量	cum/hr	67.6218	68.70785
体积分率			
标准体积流量	cum/hr	50.23513	50.23513
标准体积分率			
CPMIX	kJ/kmol-K	111.7209	106.3704
液相			

点击添加物性, 选择需要计算的额外流股结果物性

流股结果

点击**项目管理|模板管理**，可自定义流股结果的默认展示信息

The screenshot shows the 'Stream Results Template' (流股结果模板) configuration window. The main configuration area is titled 'GENERAL (默认)' and has tabs for '通用' (General), '流体' (Fluid), '常规固体' (Regular Solid), and '非常规固体' (Unconventional Solid). Under the '通用' tab, a list of variables is shown, all with checked checkboxes:

- 描述 (Description)
- 起点 (Start Point)
- 终点 (End Point)
- 总体 (Overall)
 - 温度 (Temperature)
 - 压力 (Pressure)
 - 气相分率(摩尔) (Molar Gas Phase Fraction)
 - 液相分率(摩尔) (Molar Liquid Phase Fraction)
 - 第一液相分率(摩尔) (Molar First Liquid Phase Fraction)
 - 第二液相分率(摩尔) (Molar Second Liquid Phase Fraction)
 - 固相分率(摩尔) (Molar Solid Phase Fraction)
 - 流体固相分率(摩尔) (Molar Fluid Solid Phase Fraction)
 - 常规固相分率(摩尔) (Molar Conventional Solid Phase Fraction)
 - 气相分率(质量) (Mass Gas Phase Fraction)
 - 液相分率(质量) (Mass Liquid Phase Fraction)
 - 第一液相分率(质量) (Mass First Liquid Phase Fraction)
 - 第二液相分率(质量) (Mass Second Liquid Phase Fraction)
 - 固相分率(质量) (Mass Solid Phase Fraction)
 - 流体固相分率(质量) (Mass Fluid Solid Phase Fraction)
 - 常规固相分率(质量) (Mass Conventional Solid Phase Fraction)
 - 非常规固相分率(质量) (Mass Unconventional Solid Phase Fraction)
- 摩尔焓 (Molar Enthalpy)
- 质量焓 (Mass Enthalpy)
- 摩尔熵 (Molar Entropy)
- 质量熵 (Mass Entropy)
- 摩尔密度 (Molar Density)

The right side of the window shows a '模板预览' (Template Preview) table with the following columns: 变量 (Variable), 单位 (Unit), and 流股名 (Stream Name). The table lists the same variables as the configuration area, with expandable arrows next to the variable names.

变量	单位	流股名
描述		
起点		
终点		
流体		
相态		
温度		
压力		
气相分率(摩尔)		
液相分率(摩尔)		
第一液相分率(摩尔)		
第二液相分率(摩尔)		
固相分率(摩尔)		
气相分率(质量)		
液相分率(质量)		
第一液相分率(质量)		
第二液相分率(质量)		
固相分率(质量)		
摩尔焓		
质量焓		
摩尔熵		
质量熵		
摩尔密度		
质量密度		
热流量		
平均分子量		
摩尔流量		
摩尔分率		
质量流量		
质量分率		

At the bottom right of the window, there are '取消' (Cancel) and '确定' (Confirm) buttons.

通过是否勾选来决定展示的内容，默认全选；右侧可预览当前的流股结果展示信息

换热单元负荷统计表

在菜单栏|求解|运行结果中，可点击换热单元负荷统计表查看当前流程中所有换热单元的数据

The screenshot shows the software's main interface with the '求解' (Solve) menu open. The '运行结果' (Run Results) sub-menu is selected, and the '换热单元负荷统计表' (Heat Exchanger Unit Load Statistics Table) option is highlighted with a red box. A red arrow points from this option to the '导出' (Export) button in the table's toolbar.

模块名	类型	入口流股	入口温度 C	出口流股	出口温度 C	对数平均温差 DELTA-C	质量流量 tonne/hr	摩尔流量 kmol/hr	传热系数 kJ/s-sqm-C	定压质量热容 kJ/kg-K	定压摩尔热容 kJ/kmol-K	热负荷 kW
HX1	冷物流	S2	47.38349	S3	250		9.978377	313.3629		2.001663	63.73873	4047.276
HX2	热物流	S4	364	S5	100.764		9.978377	313.3629		4.374466	139.2956	-3874.972
PDT1再沸器	冷物流		149.7102		155.3108		7.146298	294.7913		3.730207	90.42727	920.067
PDT1冷凝器	热物流		47.06368		45.78357		8.64728	187.9888		2.694613	123.9492	-903.6463
T2再沸器	冷物流		166.3328		167.6396		4.673301	256.6762		3.429085	62.4333	1324.949
T2冷凝器	热物流		124.8707		119.1616		5.248452	163.8271		4.32962	138.706	-1407.875

点击导出，可将当前的结果导出为excel文件

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	设备名	类型	入口流股	进口温度	出口流股	出口温度	平均温差	流量 tonne	流量 kmol	系数 kJ/s	量热容 kJ	下热容 kJ	热负荷 kW
1	HX1	冷物流	S2	47.38	S3	250.00		9.98	313.36		2.00	63.74	4047.28
2	HX2	热物流	S4	364.00	S5	100.76		9.98	313.36		4.37	139.30	-3874.97
3	PDT1再沸器	冷物流		149.71		155.31		7.15	294.79		3.73	90.43	920.07
4	PDT1冷凝器	热物流		47.06		45.78		8.65	187.99		2.69	123.95	-903.65
5	T2再沸器	冷物流		166.33		167.64		4.67	256.68		3.43	62.43	1324.95
6	T2冷凝器	热物流		124.87		119.16		5.25	163.83		4.33	138.71	-1407.87

冷热流股物性曲线

在菜单栏|求解|运行结果中，可点击**冷热流股物性曲线**，计算当前流程中换热单元物流的物性数据

冷热流股物性曲线

配置 结果

一键排序 上移 下移 删除 计算

设备名	流股名称	曲线名称	自变量	自变量选项	压力类型	压力配置	压降 kPa	其它物性
HX1	S2	CURVE1	温度	配置	常数	入口压力		请选择物性集
新增								

选择换热设备

新增曲线

设备列表

- Main
 - HX1
 - HX2
- PDT1
 - 主塔
- T2
 - 主塔

入口流股

- 再沸器
- 冷凝器

待添加列表

- T2.主塔-再沸器
- T2.主塔-冷凝器

自变量可选择**温度、热负荷、气相分率**

配置自变量的范围，即计算物性的范围

自变量选项配置

类型 单位

起点

终点

点数

冷热流股物性曲线

在菜单栏|求解|运行结果中，可点击冷热流股物性曲线，计算当前流程中换热单元流股的物性数据

冷热流股物性曲线

配置 结果

一键排序 上移 下移 删除 计算

设备名	流股名称	曲线名称	自变量	自变量选项	压力类型	压力配置	其它物性
HX1	S2	CURVE1	温度	配置	常数	入口压力	请选择物性集
新增							

压降 kPa

压力类型可选择常数或线性，用于指定该流股物性曲线的计算压力

当压力配置中有压降相关配置时，需输入压降值

常数

压力类型	压力配置
常数	入口压力
	入口压力
	出口压力
	入口压力-压降
	入口压力+压降
	均值

线性

压力类型	压力配置
线性	(入口压力-压降)-出口压力
	(入口压力-压降)-出口压力
	入口压力-(入口压力-压降)
	(出口压力+压降)-出口压力

冷热流股物性曲线

在菜单栏|求解|运行结果中，可点击**冷热流股物性曲线**，计算当前流程中换热单元流股的物性数据

冷热流股物性曲线

配置 结果

一键排序 上移 下移 删除 **计算**

设备名	流股名称	曲线名称	自变量	自变量选项	压力类型	压力配置	压降	其它物性
HX1	S2	CURVE1	温度	配置	常数	入口压力	kPa	请选择物性集
新增								

该流股物性曲线默认仅计算在指定配置下的**温度、混相质量焓和质量气相分率**，如需计算其它物性，可通过**其它物性**进行配置

冷热流股物性曲线

配置 结果

展示类型 随单位集 **导出**

HX1

S2-CURVE1

压力	1400	kPa
温度	混相焓	质量气相分率
C	kJ/kg	
149.9536	-7053.806	0
150.2269	-6956.048	0.1119503
150.3787	-6858.343	0.2235122
150.4811	-6760.644	0.3348707
150.5594	-6662.931	0.446083
150.6254	-6565.191	0.5571656
150.6851	-6467.415	0.6681168
150.7426	-6369.59	0.7789235
150.8007	-6271.703	0.8895627
150.8619	-6173.738	1

导出

导出.DAT文件 导出.xlsx文件

导出单位 HTRI-SI

HX1-S2-CURVE1

导出后的.DAT文件可直接导入HTRI进行换热器设计使用

精馏塔水力学数据

在精馏塔的**组态信息|稳态|选项**下选择“报告水力学分布表”，在精馏塔运行完成后会得到塔板的水力学分布数据

点击导出可将当前塔板分布下的所有数据导出为.xlsx文件



组态信息 | 运行管理 | 模型应用 | 元变量 | **计算结果**

流股结果 | **模块结果** | 运行报告

塔结果 | **塔板分布**

分布 | 组成 | K值 | **水力学分布** | 反应 | 效率 | 物性计算分布

序号	塔板名	液相温度 C	气相温度 C	液相质量流量 tonne/hr	气相质量流量 tonne/hr	液相体积流量 cum/hr	气相体积流量 cum/hr	液相摩尔质量 kg/kmol	气相摩尔质量 kg/kmol	液相质量密度 kg/cum	气相质量密度 kg/cum	液相粘度 cP	气相粘度 cP	液相表面张力 dyne/cm
1	MAIN_TR1	66.96851	67.22217	44.40118	44.40118	59.88706	35217.07	31.94254	31.94254	741.4152	1.260786	0.3374658	0.011121...	18.94898
2	MAIN_TR2	67.22217	67.49305	24.21539	44.30642	32.65489	35000.97	31.85895	31.8968	741.5547	1.265863	0.337127	0.011131...	19.19972
3	MAIN_TR3	67.49305	67.78459	24.1019	44.19293	32.49245	34784.44	31.75909	31.84223	741.7692	1.27048	0.33682	0.011143...	19.50177
4	MAIN_TR4	67.78459	68.10085	23.96639	44.05742	32.29646	34566.99	31.64	31.77725	742.0749	1.274552	0.3365482	0.0111566	19.86445
5	MAIN_TR5	68.10085	68.44663	23.80508	43.89611	32.06106	34348.04	31.49817	31.70001	742.4921	1.27798	0.3363149	0.011170...	20.29858
6	MAIN_TR6	68.44663	68.82759	23.61367	43.7047	31.77957	34127	31.32956	31.6084	743.0457	1.280649	0.3361229	0.011186...	20.8167
7	MAIN_TR7	68.82759	69.25035	23.3873	43.47833	31.44437	33903.18	31.1295	31.49999	743.7673	1.282426	0.3359745	0.011204...	21.43321
8	MAIN_TR8	69.25035	69.72268	23.12057	43.2116	31.04697	33675.88	30.89261	31.37205	744.6964	1.283162	0.3358704	0.0112252	22.16453
9	MAIN_TR9	69.72268	70.25359	22.80761	42.89864	30.57798	33444.41	30.61283	31.22152	745.8834	1.282685	0.335809	0.011248...	23.0291
10	MAIN_TR10	70.25359	70.85347	22.44218	42.53321	30.02732	33208.06	30.28337	31.04508	747.3922	1.28081	0.3357846	0.011274...	24.0473

导出

精馏塔水力学数据

如需要批量导出多个精馏塔的水力学数据，可点击**求解|塔盘水力学数据**，选择需要导出的精馏塔

组态管理 **求解** 插入 帮助

回写组态 运行 停止 脚本

新建快照 加载快照 快照

元变量列表 导入元变量 导出元变量 元变量

换热单元负荷统计表 流股结果 冷热流股物性曲线 **塔盘水力学数据** 运行结果

塔盘水力学计算

+ 添加模块

导出

添加模块

设备列表

- Main
 - DISPRO
 - C501
 - C502
 - C503
 - C504
 - EXTRACT
 - C801
 - C802
 - C803
 - C804
 - FSPX
 - C601

待添加列表

取消 确定

塔盘水力学计算

FSXY-C401

FSXY-C402

FSXY-C403

+ 添加模块

导出

导出到一个标签页

分标签页导出

塔盘水力学数据

塔盘水力学计算

FSXY-C401

FSXY-C402

FSXY-C403

+ 添加模块

导出

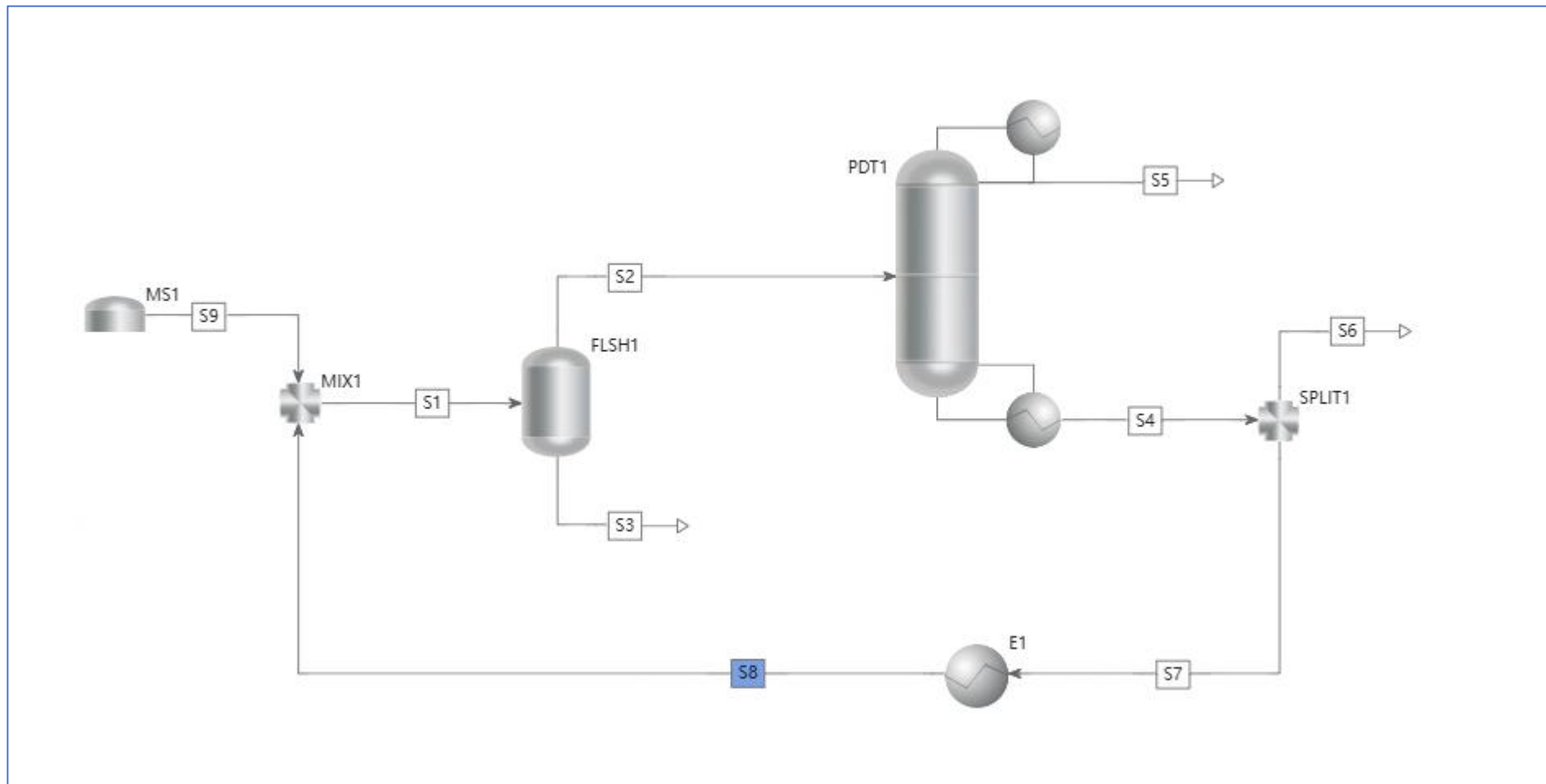
塔板名	液相温度	气相温度
	C	C
MAIN_TR1	79.00799999999998	118.25401993010604
MAIN_TR2	118.25401993010604	123.0799805095366
MAIN_TR3	123.0799805095366	124.72111251363532
MAIN_TR4	124.72111251363532	125.36861962508851
MAIN_TR5	125.36861962508851	125.69475373640506
MAIN_TR6	125.69475373640506	125.9149537180092
MAIN_TR7	125.9149537180092	126.10502604430678
MAIN_TR8	126.10502604430678	126.29544685375816
MAIN_TR9	126.29544685375816	126.50162168340393
MAIN_TR10	126.50162168340393	126.7344106804868

将选择的精馏塔导出为.xlsx文件，可将数据显示在一个标签页，也可分多标签页

演示案例

在【演示案例12-1】的基础上计算精馏塔冷凝器的物流物性数据，导出.DAT文件

物性数据的温度范围为 -30至-10°C，物性选择内置的**换热器默认物性**



演示案例

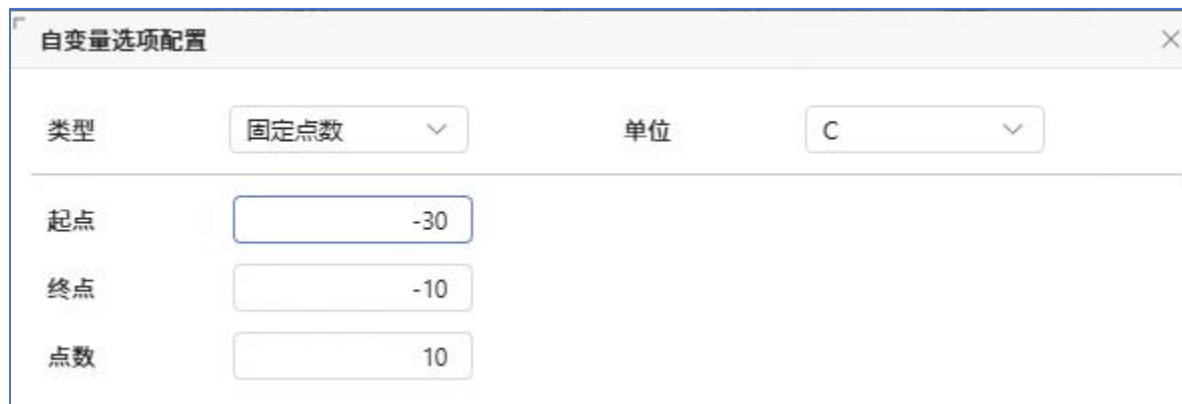
1、点击冷热流股物性曲线



2、选择精馏塔PDT1的冷凝器



3、配置自变量温度的范围



演示案例

4、点击其它物性下拉框，选择新增换热器默认物性，会自动创建一个HXDESIGN物性集



5、点击计算后进入结果页面，点击冷凝器的曲线，会出现当前配置下的物性

冷流物性曲线

配置 **结果**

展示类型 随单位集

导出

PDT1.主塔

冷凝器-CURVE1

温度 C	混相焓 kJ/kg	质量气相分率	气相性质							
			RHOMIX_MASS kg/cum	MUMIX cP	CPMIX_MASS kJ/kg-K	KMIX J/s-m-K	HMIX_MASS kJ/kg	MW kg/kmol	RHOMIX_MASS kg/cum	
-30	-2642.236	0								577.6532
-27.71778	-2637.217	0								575.0081
-25.55556	-2632.17	0								572.3429
-23.33333	-2627.093	0								569.6573
-21.11111	-2394.279	0.563872	4.512487	0.007230081	1.541507	0.0129951	-2342.369	44.69348		574.3051
-18.88889	-2281.342	0.8344437	4.504769	0.007266461	1.543942	0.01314129	-2278.249	45.03672		579.2651
-16.66667	-2211.973	0.9983716	4.500094	0.007301791	1.546414	0.01328128	-2212.065	45.40619		583.5178
-14.44444	-2207.878	1	4.455991	0.007357689	1.552465	0.013499	-2207.878	45.41067		
-12.22222	-2204.421	1	4.412356	0.007413807	1.558712	0.01371898	-2204.421	45.41067		
-10	-2200.95	1	4.369644	0.007469896	1.565112	0.01394024	-2200.95	45.41067		

6、点击导出，选择.DAT文件





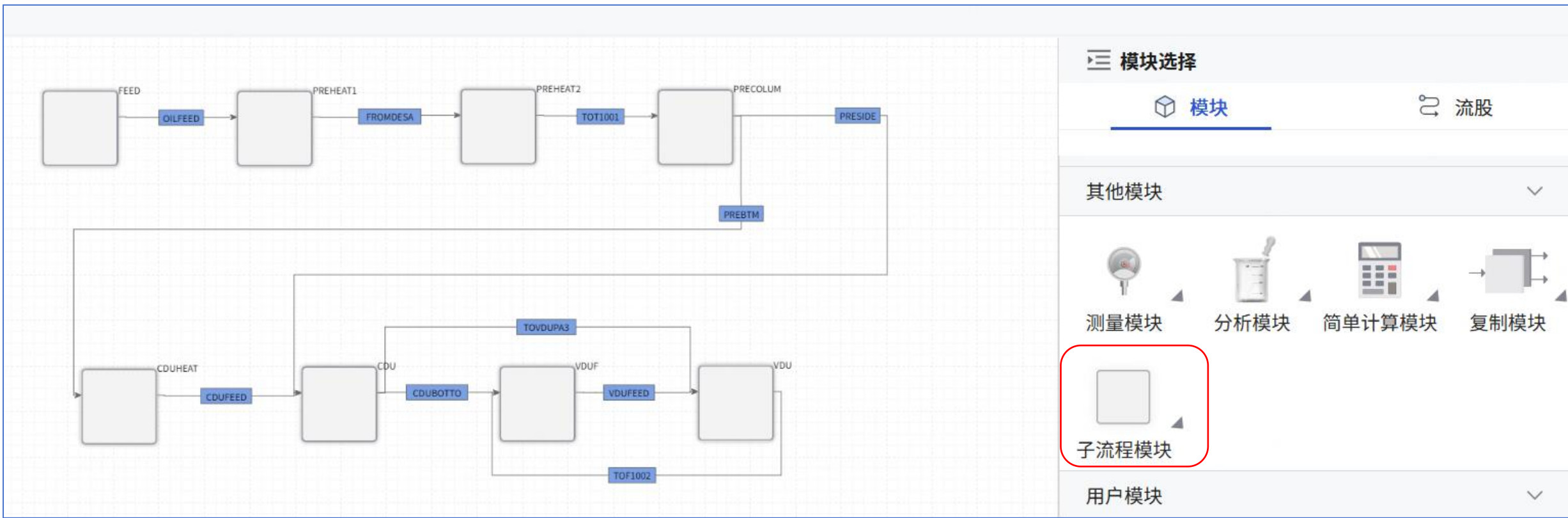
15 | 子流程和执行域

学习目标



- **目标：**
 - 熟悉中控APEX平台层级模型。
- **内容：**
 - 了解层级模型的优势；
 - 子流程模型的应用

层级模型



层级模型的优势

便于**管理、维护**大规模工程组态、**定位**其问题

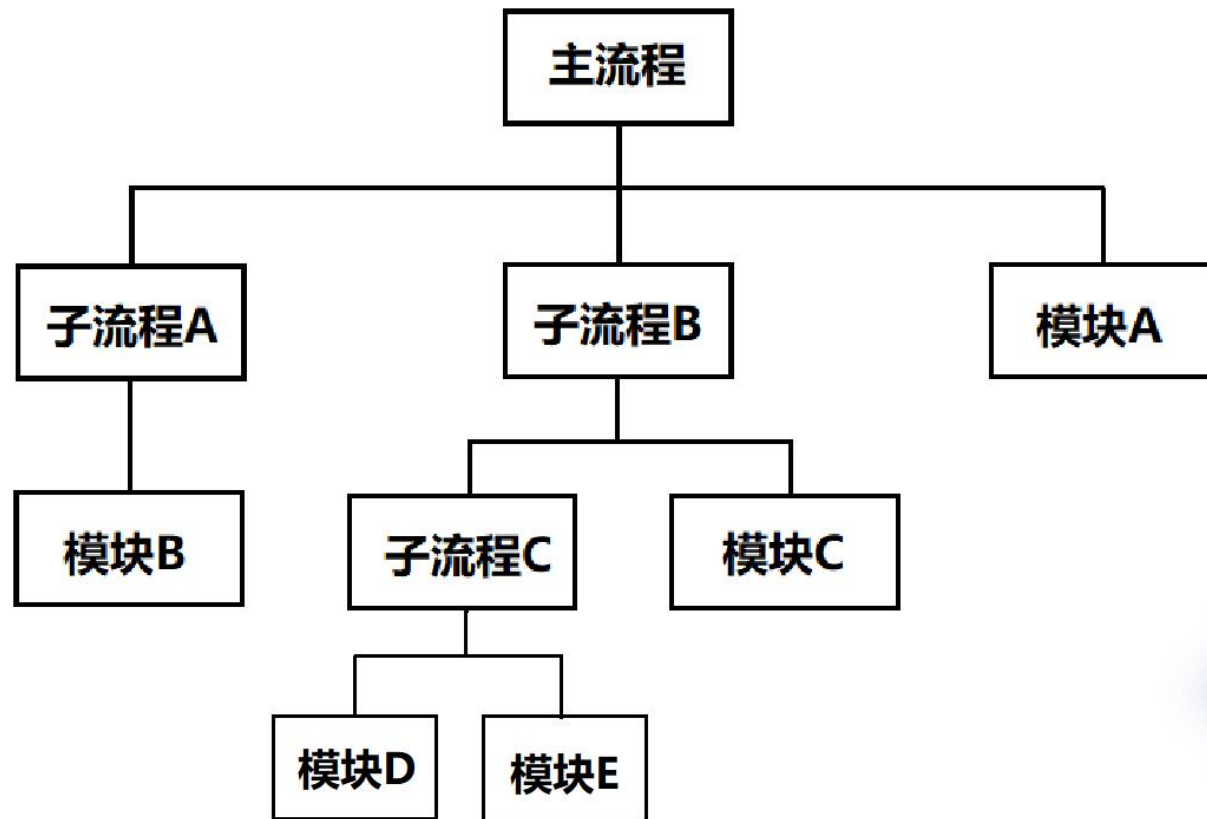
- 可更好的创建**重复**的工程组态模型
- 便于工程组态的分发，**分别建模**并组合

层级模型的实现

在APEX软件中，层级模型通过**子流程模块**实现

层级模型

- ◆ APEX软件支持**层级模型**。层级模型包含“**主流程**”、“**子流程**”和单元模块。
- ◆ 子流程中可以有**多级子流程**，可以灵活使用以针对不同场景进行建模。
- ◆ 相关的执行过程均按“子流程—主流程”**逐级递归处理**。

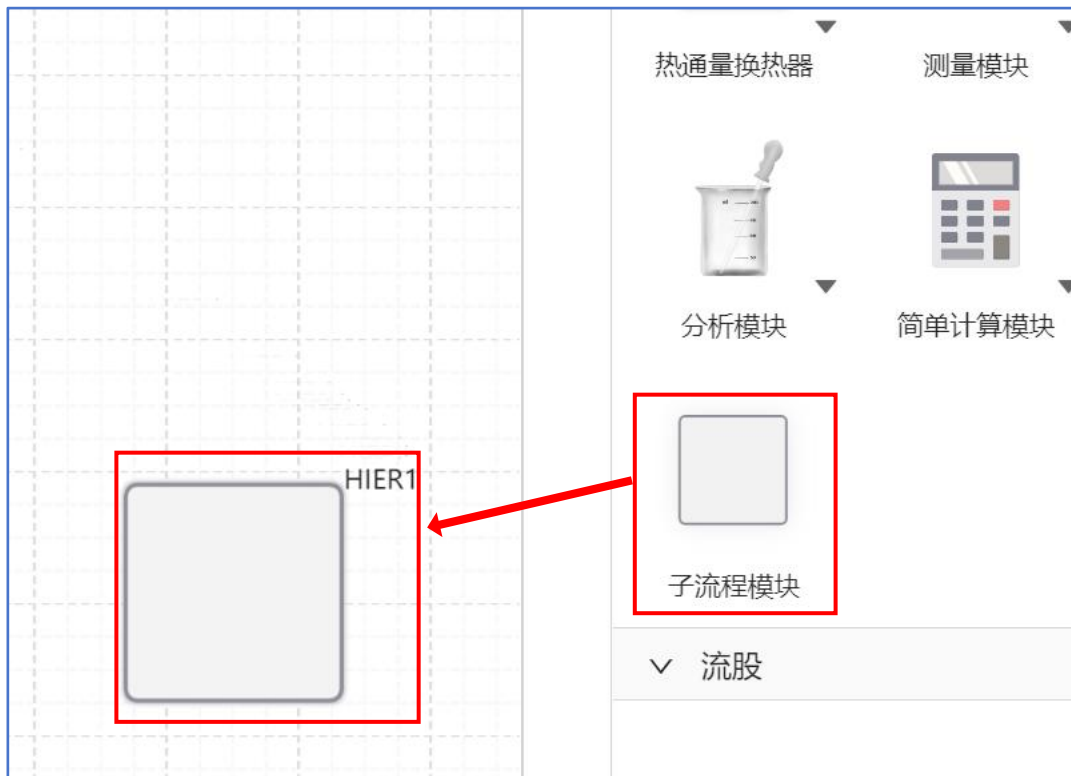


APEX层级模型图

子流程模块

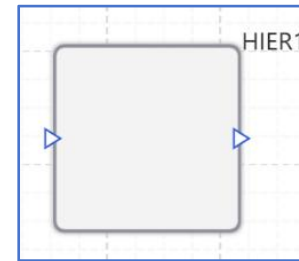
在流程图中添加子流程的方式

- ◆ 通过从**模型库**中拖动子流程模块至流程中
- ◆ 通过**右键菜单**-添加模块-子流程模块



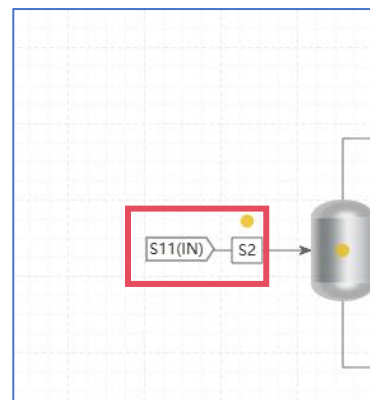
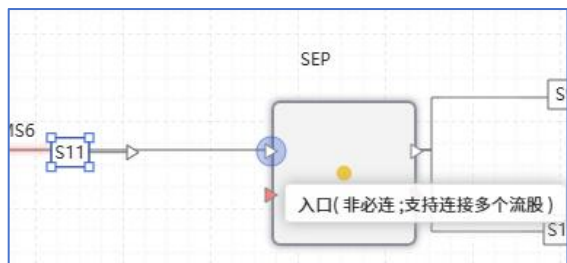
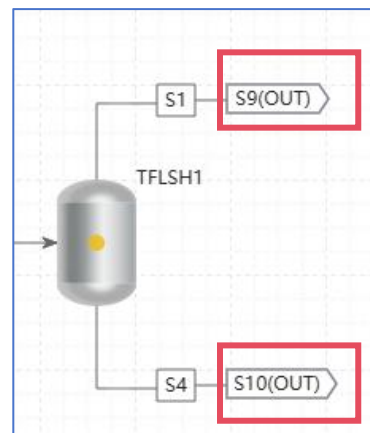
进入子流程内部层级方式

- ◆ 双击子流程组态图标



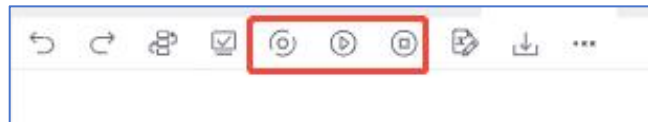
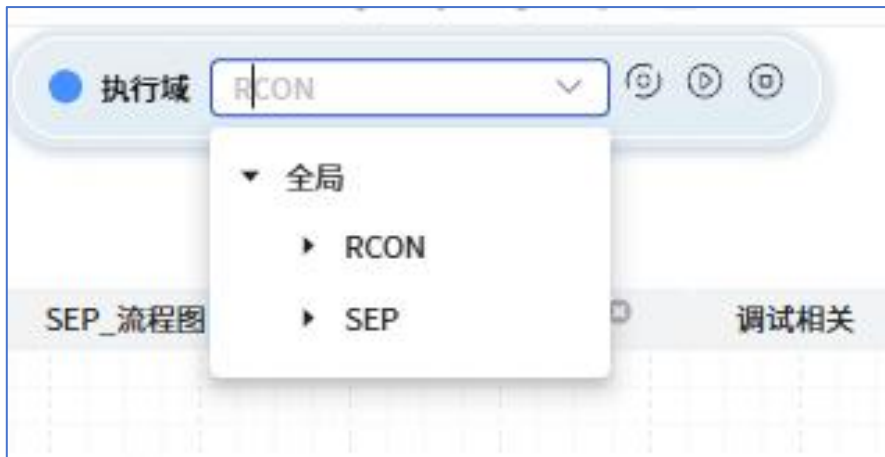
子流程模块

1. 子流程出口：在子流程外部点击出口端口，在弹出窗口中选择需要连接的流股并点击确认。
2. 连入子流程：将要连接到子流程的流股与子流程模块连接。
3. 连接后，在子流程内部组态，可以看到连接点变为已连接状态。



执行域

所谓执行域，即对选定的“层级模型”或者“全局模型”进行初始化、运行。执行域可在[运行工具栏配置](#)



运行工
具栏

初始化运行按键作用范围跟随执行域

快速访
问栏

初始化运行按键作用范围跟随执行域



菜单栏
/求解

初始化运行按键作用范围跟随执行域



16 | EO模型及变量

学习目标



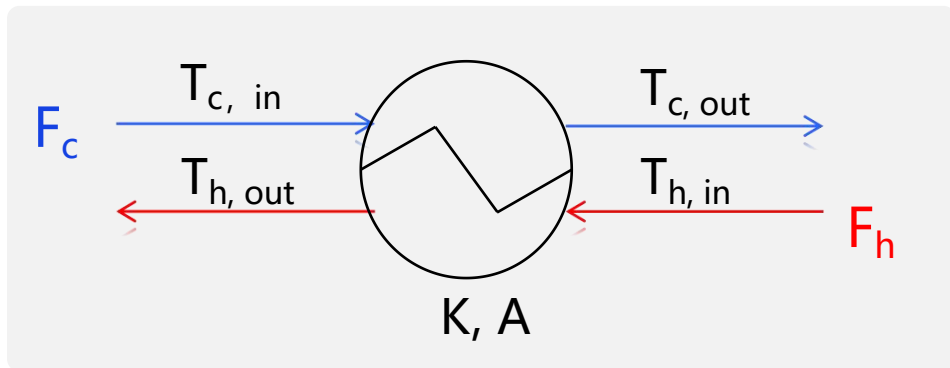
- **目标：**

- 了解中控APEX平台的运行模式及元变量

- **内容：**

- 序贯和EO的对比
- 中控APEX平台的元变量及其属性
- 中控APEX平台的四种运行模式

EO模型与传统序贯模型的异同



$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

闭式方程

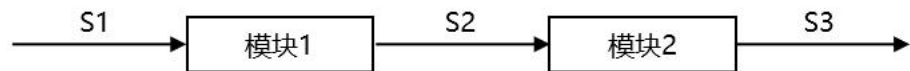
$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ \vdots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \end{cases}$$

开式方程

能量衡算与热传递方程

$$F_c c_{p,c} (T_{c,out} - T_{c,in}) = K * A * LMTD$$

$$F_h c_{p,h} (T_{h,in} - T_{h,out}) = K * A * LMTD$$

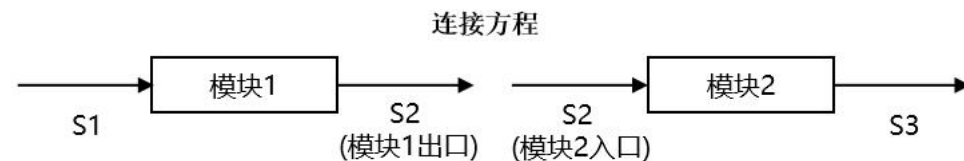


序贯模型：闭式方程

能量衡算与热传递方程

$$F_c c_{p,c} (t_{c,out} - t_{c,in}) - K * A * LMTD = 0$$

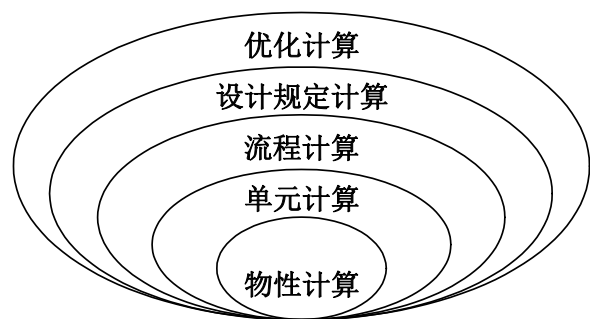
$$F_h c_{p,h} (T_{h,in} - T_{h,out}) - K * A * LMTD = 0$$



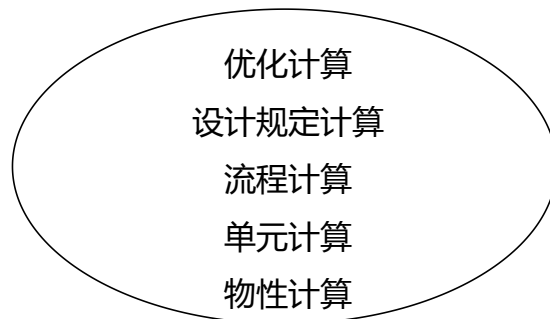
EO模型：开式方程

EO模型与传统序贯模型优劣对比

	序贯模块(SM)	联立方程(EO)
求解策略	模块按顺序求解	无顺序、整体求解
循环处理	增加迭代嵌套	未增加迭代嵌套
求解效率	随模型复杂程度指数级上升	受模型复杂程度影响较小
设计规定	增加嵌套迭代 (一对一, 与实际不符)	已知变量/未知变量 (多对多, 与实际一致)
优化过程	低自由度、小范围尝试	高自由度、全局协调优化
应用场景	单一, 模拟与小范围优化	丰富, 可实现多种应用场景



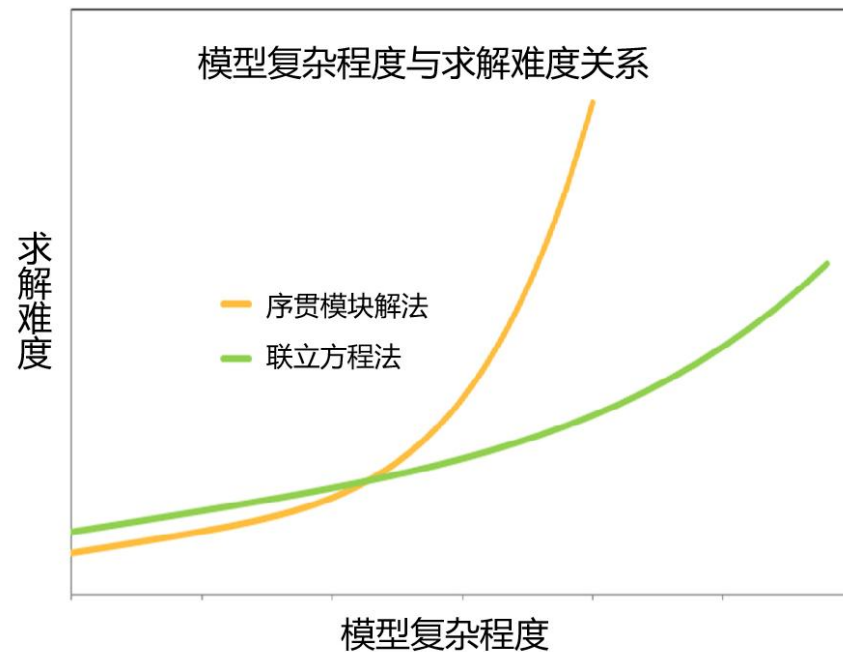
序贯模块模拟法



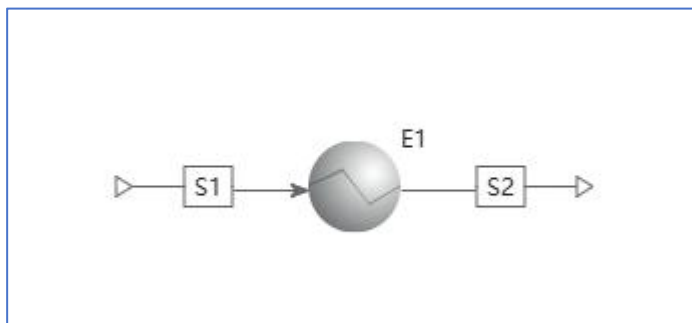
联立方程模拟法

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ \vdots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \end{cases}$$

元方程
元变量



变量与方程



要模拟一个流程，本质上是将流程转变为一个由变量和方程组成的大型方程组进行求解

如一个加热器模型：

方程由质量守恒、能量守恒和动量守恒构成，在软件中一般**不可修改且不可见**

变量由出入口流股的流量、温度、压力及组成等，加热器的热负荷、效率等构成，在软件中**可见且可进行编辑**

入口流股变量

E1.VAR.S1_MOLES
E1.VAR.S1_TEMP
E1.VAR.S1_PRES
E1.VAR.S1_ENTH
E1.VAR.S1_MW
E1.VAR.S1_MV
E1.VAR.S1_H2O

加热器模块变量

E1.VAR.TEMP
E1.VAR.PRES
E1.VAR.DELTA_T
E1.VAR.EFFICIENCY
E1.VAR.HEAT_LOSS
E1.VAR.DUTY

出口流股变量

E1.VAR.S2_MASS
E1.VAR.S2_VOLUME
E1.VAR.S2_STDVOL
E1.VAR.S2_MOLES
E1.VAR.S2_TEMP
E1.VAR.S2_PRES
E1.VAR.S2_ENTH
E1.VAR.S2_MW
E1.VAR.S2_MV
E1.VAR.S2_H2O

元变量列表

流程包含的变量均可在元变量列表查看

1、通过菜单栏|求解|元变量|元变量列表打开，可查看当前执行域下模型的所有变量



索引	名称	变量描述	值	单位	物理类型	规定
1	E1.VAR.S1_MOLES	S1流体的摩尔流量		1 kmol/s	摩尔流量	常数
2	E1.VAR.S1_TEMP	S1流体的温度	350	K	温度	常数
3	E1.VAR.S1_PRES	S1流体的压力	101325	N/sqm	压力	常数
4	E1.VAR.S1_ENTH	S1流体的摩尔焓	-2.818409e+8	J/kmol	摩尔焓	常数
5	E1.VAR.S1_MW	S1流体的摩尔质量	18.01528	g/mol	摩尔质量	常数
6	E1.VAR.S1_MV	S1流体的摩尔体积	0.01911568	cum/kmol	摩尔体积	常数
7	E1.VAR.S1_H2O	S1组分摩尔分率		1 fraction	含量	常数
8	E1.VAR.S1_D_PPDP	S1流体的压降		0 M/cm	压降	计算

总数: 43 触界数: 0 显示数: 43

2、右键流程空白处或单元模块，可打开当前层级或当前模块的元变量列表



索引	名称	变量描述	值	单位	物理类型	规定
1	VAR.S1_MOLES	S1流体的摩尔流量		1 kmol/s	摩尔流量	常数
2	VAR.S1_TEMP	S1流体的温度	350	K	温度	常数
3	VAR.S1_PRES	S1流体的压力	101325	N/sqm	压力	常数
4	VAR.S1_ENTH	S1流体的摩尔焓	-2.818409e+8	J/kmol	摩尔焓	常数
5	VAR.S1_MW	S1流体的摩尔质量	18.01528	g/mol	摩尔质量	常数
6	VAR.S1_MV	S1流体的摩尔体积	0.01911568	cum/kmol	摩尔体积	常数
7	VAR.S1_H2O	S1组分摩尔分率		1 fraction	含量	常数
8	VAR.S1_D_PPDP	S1流体的压降		0 M/cm	压降	计算

总数: 43 触界数: 0 显示数: 43

注：当前层级或当前模块的元变量列表将不会显示该层级或模块的名称

元变量列表

元变量列表中可查看每个变量的详细信息

- | | | |
|--|--|------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> 索引 | <input checked="" type="checkbox"/> 名称 | <input type="checkbox"/> 别名 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 变量描述 | <input checked="" type="checkbox"/> 值 | <input type="checkbox"/> 初值 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 单位 | <input checked="" type="checkbox"/> 物理类型 | <input type="checkbox"/> 变量角色 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 规定 | <input type="checkbox"/> 系统规定 | <input type="checkbox"/> 规定(单模块运行) |
| <input type="checkbox"/> 下限 | <input type="checkbox"/> 上限 | <input type="checkbox"/> 步长限 |
| <input type="checkbox"/> 变化值 | <input type="checkbox"/> 缩放因子 | <input type="checkbox"/> 边界类型 |
| <input type="checkbox"/> 软边界权重 | <input type="checkbox"/> 触界类型 | <input type="checkbox"/> 影子价格 |
| <input type="checkbox"/> 修改标记 | | |

索引

变量的编号，从1开始，不可编辑

名称

变量的名称，由模型的“模块名、流通股名和组分名等”共同决定，不可编辑，具体规则见“[元变量名称](#)”。

别名

可在变量列表进行编辑，后续模型中针对该变量的使用都会以编辑的别名出现，方便用户识别

变量描述

对变量的描述，方便更容易读懂变量，不可编辑

值

当前变量的值，可编辑

初值

模型计算前的值，不可编辑

单位

值、初值等对应数值下的单位，默认由单位集确定，可修改，修改后，相关的值都会同步变化，模型计算时采用的是SI单位集下单位值进行计算。

物理类型

当前变量所属的物理类型，由单元模块决定，不可编辑

变量角色

该变量在模型计算中充当的角色，分为已知变量、未知变量和调节变量，由规定和当前的[运行模式](#)共同决定

元变量列表

元变量列表中可查看每个变量的详细信息

<input checked="" type="checkbox"/> 索引	<input checked="" type="checkbox"/> 名称	<input type="checkbox"/> 别名
<input checked="" type="checkbox"/> 变量描述	<input checked="" type="checkbox"/> 值	<input type="checkbox"/> 初值
<input checked="" type="checkbox"/> 单位	<input checked="" type="checkbox"/> 物理类型	<input type="checkbox"/> 变量角色
<input checked="" type="checkbox"/> 规定	<input type="checkbox"/> 系统规定	<input type="checkbox"/> 规定(单模块运行)
<input type="checkbox"/> 下限	<input type="checkbox"/> 上限	<input type="checkbox"/> 步长限
<input type="checkbox"/> 变化值	<input type="checkbox"/> 缩放因子	<input type="checkbox"/> 边界类型
<input type="checkbox"/> 软边界权重	<input type="checkbox"/> 触界类型	<input type="checkbox"/> 影子价格
<input type="checkbox"/> 修改标记		

规定

变量的规定，由模型的配置决定，分为“常数、计算、测量、参数、整定、优化”六类，与运行模式共同决定变量的角色

系统规定

由当前模型的配置决定，通常为常数和计算，用户输入的配置对应的变量为常数，求解得到的为计算

规定（单模块运行）

模块单独运行时采用的规定，不可编辑，通过模块右键或进入模块运行配置中可实现单模块运行

下限

变量在求解过程中的下限值，可编辑，默认为 $-1e+35$ ，仅在优化问题中生效

上限

变量在求解过程中的上限值，可编辑，默认为 $1e+35$ ，仅在优化问题中生效

步长限

变量在求解过程中通过当前值、步长限和上下限共同决定着本次求解过程实际的上下限，可编辑，默认为 $1e+35$ ，仅在优化问题中生效

变化值

模型计算前后的变化值，即计算后值与初值的差值，不可编辑

缩放因子

该变量在求解过程中会进行缩放计算的值，默认由模型给出，以保证在求解时所有变量在相近的数量级

边界类型

分为硬边界（默认）、松弛边界、软边界和软边界2，不同的边界类型决定着求解时不同的上下限，具体见[变量边界](#)

元变量列表

元变量列表中可查看每个变量的详细信息

- | | | |
|--|--|------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> 索引 | <input checked="" type="checkbox"/> 名称 | <input type="checkbox"/> 别名 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 变量描述 | <input checked="" type="checkbox"/> 值 | <input type="checkbox"/> 初值 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 单位 | <input checked="" type="checkbox"/> 物理类型 | <input type="checkbox"/> 变量角色 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 规定 | <input type="checkbox"/> 系统规定 | <input type="checkbox"/> 规定(单模块运行) |
| <input type="checkbox"/> 下限 | <input type="checkbox"/> 上限 | <input type="checkbox"/> 步长限 |
| <input type="checkbox"/> 变化值 | <input type="checkbox"/> 缩放因子 | <input type="checkbox"/> 边界类型 |
| <input type="checkbox"/> 软边界权重 | <input type="checkbox"/> 触界类型 | <input type="checkbox"/> 影子价格 |
| <input type="checkbox"/> 修改标记 | | |

软边界权重

该参数主要在解决优化问题并将边界定义为软边界时使用。当变量初始值不在边界内时，会将变量的违反量作为惩罚项加入目标函数中，每个变量由软边界权重决定在惩罚项的占比

影子价格

在优化问题中，某个约束条件放松或收紧一个单位时，目标函数值（如利润、成本）的变化量；在求解优化问题时，可查看此项来决定放宽或减小某些变量的上下限以达到更优的结果；未触界的变量影子价格为0

触界类型

表示该变量当前是否触界，分为触上界、触步长上界、触下界、触步长下界和未触界，可通过观察此项来决定是否进一步放开上下限

修改标记

表示该变量在运行后是否有内容被修改过

元变量名称

元变量名称自动生成

遵循“模块名.VAR.[流股名_]物理意义”规则：

- 如E1.VAR.S1_TEMP：表示E1模块连接的S1流股的温度
- 如E1.VAR.DUTY：表示E1模块的热负荷
- 如E1.VAR.S2_H2O：表示E1模块连接的S1流股组分H2O的摩尔分率

注意事项：

- 当改变模块或流股名称时，对应的元变量名称也会相应改变，但不建议经常改名
- 为了不影响元变量的使用，模块、流股命名的时候建议不要使用“.”和“-”，可以使用“_”代替，不要使用其他特殊字符。

元变量中常见物理意义的缩写

物理意义缩写	物理意义
MASS	质量流量
MOLES	摩尔流量
VOLUME	体积流量
STDVOL	标准液相体积流量
TEMP	温度
PRES	压力
ENTH	摩尔焓
MW	摩尔质量
MV	摩尔体积
P_DROP	压降
DELTA_T	温差
DUTY	热负荷
VF	气相分率
Z	压缩因子
PHI	逸度系数

运行模式

中控APEX平台有四种运行模式，不同的运行模式决定模型不同的计算方式，以用于不同的场景

模拟

- 预测模式
- 模拟问题
- 无调节变量
- 用于给定的进料、操作参数及设备参数条件下，计算工艺过程参数

配对标定

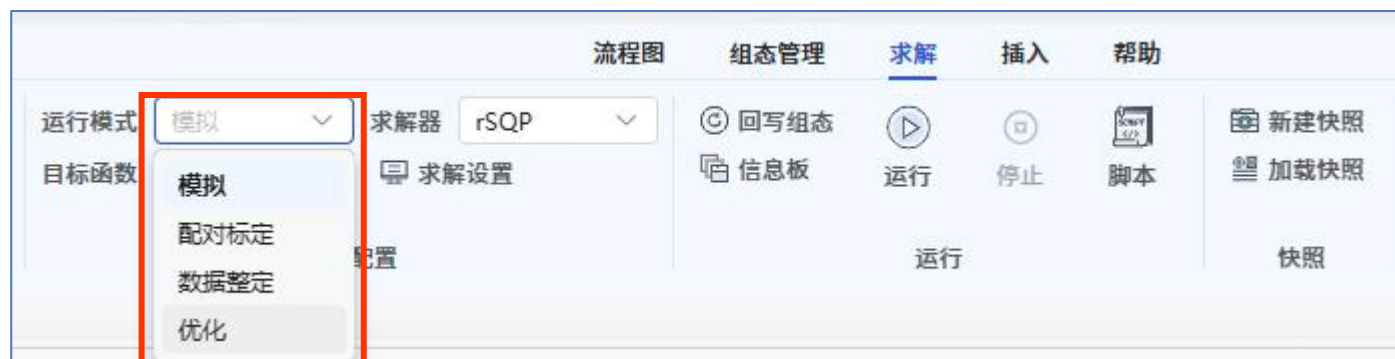
- 校准模式
- 模拟问题
- 无调节变量
- 固定输入和某些输出，计算模型参数
- 可用于参数标定

数据整定

- 校准模式
- 优化问题
- 有多个调节变量，且多为设备参数
- 可用于寻找工厂获得的仪表值与模型计算的模型值之间偏差最小化的最优点

优化

- 预测模式
- 优化问题
- 有多个调节变量，且多为操作参数
- 用于求解目标函数的条件最值，实现目标最优化



变量角色

不同运行模式和变量规定，元变量会处于不同的角色，具体见下表：

规定	模拟	配对标定	数据整定	优化
常数	已知变量	已知变量	已知变量	已知变量
计算	未知变量	未知变量	未知变量	未知变量
测量	未知变量	已知变量	已知变量	未知变量
参数	已知变量	未知变量	未知变量	已知变量
优化	已知变量	已知变量	已知变量	调节变量
整定	已知变量	已知变量	调节变量	已知变量

已知变量通常为

入口流股变量（如进料条件）以及部分模块参数（用户指定的设计值）



未知变量通常为

出口流股状态、内部中间变量等，通过方程组联立求解得出

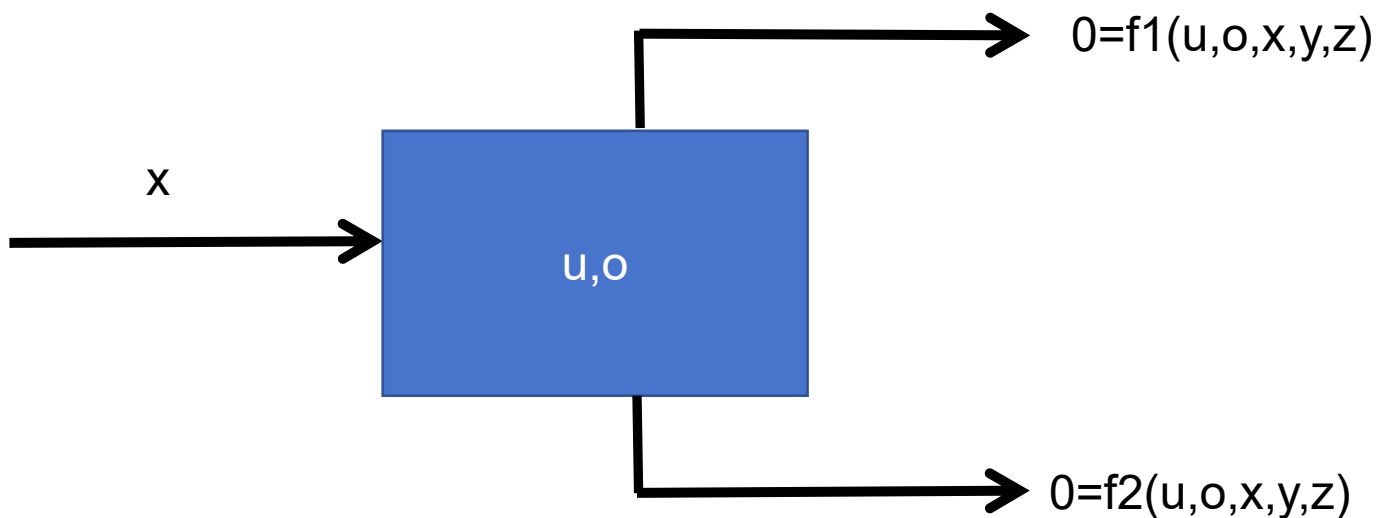


调节变量通常为

操作条件（如流量、温度等），模块参数（如塔板效率、传热系数等），是指在特定问题设定下，其数值不由模型方程直接、唯一确定，而是在一定范围内由优化目标来决定的变量



变量角色



u =单元参数，如塔效率

o =单元操作条件，如温度，压力

x =输入流，如进料流量，进料组成

y, z =计算输出，如塔出口流量

运行模式	x	o	u	y	z	任务
模拟	已知变量	已知变量	已知变量	未知变量	未知变量	已知 x, o, u ，求解 y, z
配对标定	已知变量	已知变量	未知变量	未知变量	已知变量	已知 x, o, z ，求解 u, z
数据整定	调节变量	已知变量	调节变量	未知变量	未知变量	通过调节 x, u ，达到未知变量 y, z 的目标值
优化	调节变量	调节变量	已知变量	未知变量	未知变量	通过调节 x, o ，达到未知变量 y, z 的目标值

运行模式-净规定

净规定=总变量数-总方程数-已知变量数-调节变量数



索引	名称	变量描述	值	单位	物理类型	规定
44	D1.VAR.DUTY	热负荷	0	kW	热流量	常数
47	D1.VAR.MIXED_PRES	流体的压力	2.72	bar	压力	常数
118	D2.VAR.MIXED_PRES	流体的压力	2.72	bar	压力	常数
142	D2.VAR.MIXED_VF	气相分率	0.05	Unitless	无量纲	常数
151	E1.VAR.TEMP	温度	80	C	温度	常数
152	E1.VAR.PRES	压力	1	bar	压力	常数
154	E1.VAR.EFFICIENCY	热效率	1	Unitless	无量纲	常数
201	HT.VAR.TEMP	温度	72.22129	C	温度	常数
202	HT.VAR.PRES	压力	2.72	bar	压力	常数
204	HT.VAR.EFFICIENCY	热效率	1	Unitless	无量纲	常数
264	MS1.VAR.F_MOLES	F流体的摩尔流量	342	kmol/hr	摩尔流量	常数
265	MS1.VAR.F_TEMP	F流体的温度	37.75	C	温度	常数

当前操作：按执行域统计元变量方程

当前执行域：Main

当前运行模式：模拟

变量总数：484

运行包含变量数：484

运行不包含变量数：0

方程总数：456

模块方程数：376

连接方程数：80

运行包含方程数：456

运行不包含方程数：0

运行模式	已知变量数	未知变量数	调节变量数
模拟	29	455	0
优化	29	455	0
数据整定	29	455	0
配对标定	29	455	0

净规定：-1

总方程数 调节变量数

↑ ↑

净规定=484-456-29-0=-1, 问题过度指定

↓ ↓

总变量数 已知变量数

变量边界

变量的边界决定了变量在**优化问题**中的可行域，是影响算法搜索效率、解的质量以及问题可行性的关键约束条件

硬边界：变量的值会严格遵守上下限，永远不会违反

以 X 为当前值， X_{low} 为下限， X_{up} 为上限， X_{step} 为步长限

实际的上限 = $\min(X + |X_{step}|, X_{up})$

实际的下限 = $\max(X - |X_{step}|, X_{low})$

松弛边界：当变量初始值不在边界内时，通过移动变量的上下限降低模型求解难度

当变量不在边界内时，将遵循下面规则生成新的上下限：

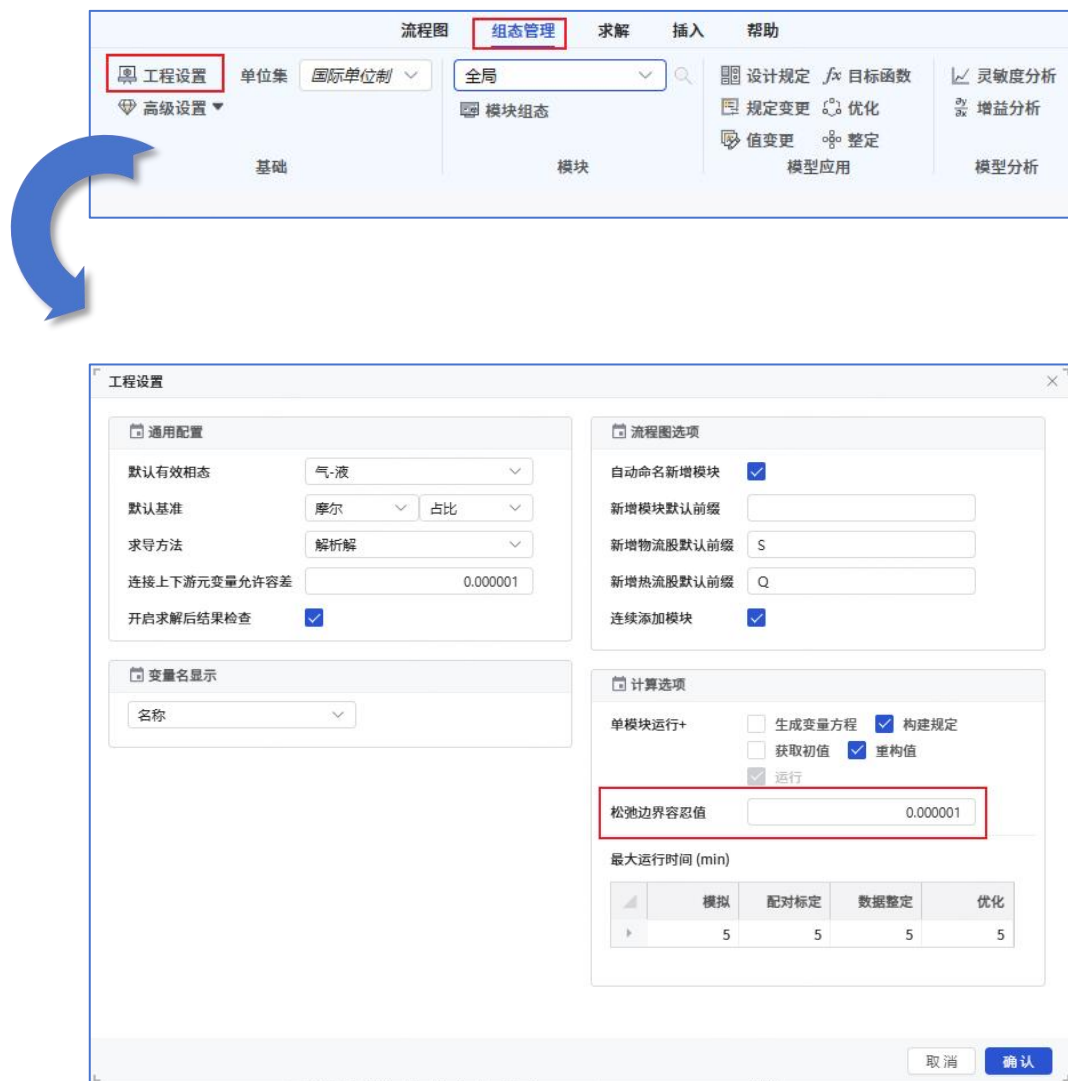
如果 $X > X_{up}$ ，实际的上限 = $X + |X| \cdot R_{tol}$

如果 $X < X_{low}$ ，实际的下限 = $X - |X| \cdot R_{tol}$

R_{tol} 为松弛边界容忍值，默认为 $1e-6$

软边界：当变量初始值不在边界内时，会将变量的违反量作为惩罚项加入目标函数中，每个变量由**软边界权重**决定



惩罚值 = Σ (变量违反边界的绝对值*权重* 10^6)



元变量列表-筛选

若想查找满足某个或某些条件下的变量，可使用变量的筛选功能

列筛选

- ◆ 点击每列表头信息右侧的  可以对选定列信息进行排序，可以让元变量以正序、倒序、不排序方式进行排列。
- ◆ 点击每列表头信息右侧的  可以对选定列信息进行条件筛选。不同列之间的筛选条件可以叠加，显示结果为它们之间的交集

索引	名称	变量描述	值	单位	物理类型	规定
1	D1.VAR.MXF_MOLES	[PTO]流体的摩尔流量	-8.564107	kmol/hr		
2	D1.VAR.MXF_TEMP	[PTO]流体的温度	24.26999	C		
3	D1.VAR.MXF_PRES	[PTO]流体的压力	2.72	bar		
4	D1.VAR.MXF_ENTH	[PTO]流体的摩尔焓	-88245	kJ/kmol		
5	D1.VAR.MXF_MW	[PTO]流体的摩尔质量	59.13177	kg/kmol		
6	D1.VAR.MXF_MV	[PTO]流体的摩尔体积	-3.58934	cum/kmol	摩尔体积	
7	D1.VAR.MXF_PROPANE	[PTO]组分摩尔分率	0.006012162	fraction	含量	
8	D1.VAR.MXF_1-BUTENE	[PTO]组分摩尔分率	0.1456959	fraction	含量	
9	D1.VAR.MXF_BUTANE	[PTO]组分摩尔分率	0.217757	fraction	含量	

注：筛选中可输入下列通配符辅助筛选

- % 匹配一个或多个字符
- ? 匹配字符串中单个任意字符

筛选条件


- ◆ 点击打开筛选条件窗口，可输入条件信息进行筛选



- ◆ 选择需要筛选的列
- ◆ 多条件同时筛选时，点击新增可选择字段间的逻辑符号 (and, or, not)
- ◆ 选择值的判断符(=, !=, 包含等)
- ◆ 输入字段对应值（部分内容固定的列为选择对应值）

点击“重置筛选”可清空该标签下的所有筛选条件

元变量列表-新增

若想查看不同筛选条件下各自的变量列表，可通过变量列表上方的  新增标签页，在每个标签页下配置所需的筛选条件即可



默认标签页

系统标签页，不可修改标签名，不可删除，筛选条件在关闭该页面时会被清空

变量域标签页

系统标签页，不可修改标签名，不可删除，该页下仅展示配置了上限、下限或步长限的变量

新增标签页

自定义标签页，可修改标签名和删除（右键标签名），关闭页面会保留该标签页下的所有筛选条件



元变量列表-导入导出

变量的导入导出功能可实现把当前的工况值保存下来

可用于后续作为优化问题求解或变更工况等条件的基础值进行计算

导出

导出

名称: 元变量

文件类型: .x

导出范围: 当前展示的元变量

选择导出列: 索引, 名称 ×, 值, 单位, 物理类型 ×, 规定 ×

取消 确认

- **名称:** 默认为“模块名称+元变量”，可自定义修改
- **文件类型:** 分为“.x”和“.xlsx”两种，其中“.x”为二进制文件，无法使用文本工具进行查看
- **导出范围:** 默认为“当前展示的元变量”，即当前页面进行筛选后的元变量，也可选择“全部元变量”，此时会导出该页面未经筛选时的所有元变量
- **选择导出列:** 可选择需要的变量信息进行导出，其中索引、值和单位不可取消选择

导入

导入

文件名称: 暂无上传

选择导入列: 值 ×, 单位 ×

匹配列:

索引

全局变量名

变量名

别名

取消 确定

- **“导入”:** 点击后会出现系统窗口，选择需要导入的文件
- **选择导入列:** 默认选择值和单位，软件会自动识别文件中存在的变量信息供自定义选择
- **匹配列:**
 - 索引: 按当前变量列表的索引和文件中的索引进行匹配
 - 全局变量名: 按全局的变量名与文件中变量名进行匹配，仅在模块导入变量时才可选择此选项
 - 变量名: 按列表中显示的变量名和文件的变量名进行匹配
 - 别名: 按变量的别名进行匹配

注: 菜单栏中的“导入元变量”和“导出元变量”操作的都是当前执行域的变量列表



17 | 模型构建

学习目标



● 目标：

- 了解中控APEX平台的初始化步骤

● 内容：

- 中控APEX平台的初始化的四个步骤
 - 生成变量方程
 - 构建规定
 - 获取初值
 - 重构值
- 启用、禁用
- 运行包含、运行不包含

模型构建-初始化

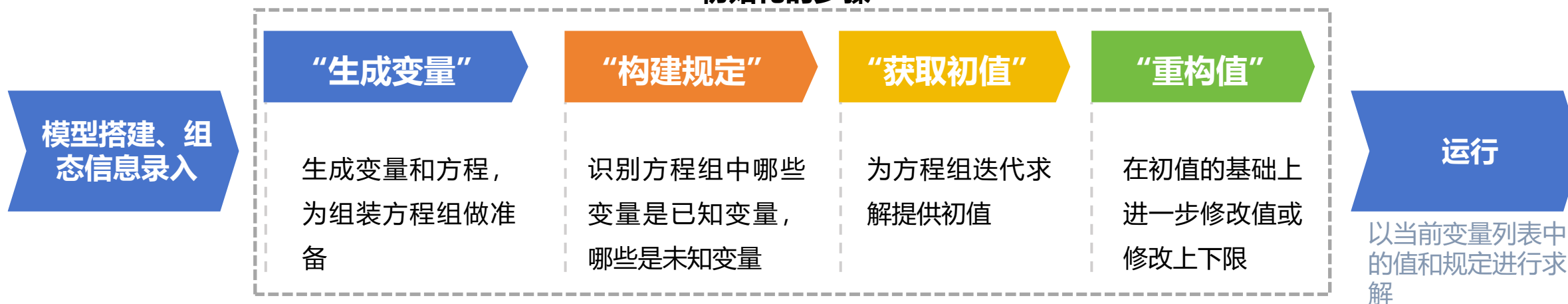
根据配置的组态信息，组装和构建出整个流程对应的数学模型，为后续的“运行求解”作好准备。



初始化的方式



初始化的步骤



模型构建-初始化

初始化各步骤的作用

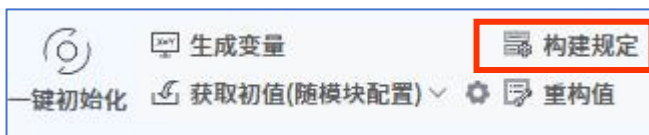
1. 模型组态完成 → 点击“生成变量” → 生成变量和方程



$$\begin{cases} x_1 + x_2 = 0 \\ x_4 - 2x_3 = 0 \\ x_3 - x_2 = 0 \end{cases}$$

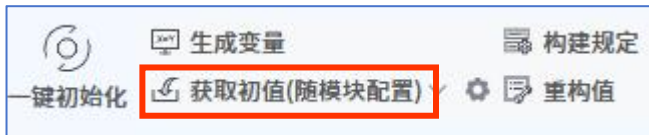
变量	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
规定	计算	计算	计算	计算
角色	未知	未知	未知	未知
值	0	0	0	0

2. 点击“构建规定” → 根据配置赋予变量规定，即方程组中的已知/未知变量



变量	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
规定	已知	未知	未知	未知
角色	已知	未知	未知	未知
初值	0	0	0	0

3. 为方程组迭代求解提供初值 → 点击“获取初值” → 每个模块得到合理的初值



变量	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
规定	已知	未知	未知	未知
角色	已知	未知	未知	未知
初值	2	-1	-1	3

4. 模型配置的值相关配置 → 点击“重构值” → 使配置生效



变量	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
规定	已知	未知	未知	未知
角色	已知	未知	未知	未知
初值	4	-1	-1	3

5. 点击运行 → 模型按当前变量列表的值进行求解



变量	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
规定	已知	未知	未知	未知
角色	已知	未知	未知	未知
初值	4	-4	-4	-8

模型构建-演示案例-生成变量

模拟物流通过加热器的流程



生成变量前



生成变量后

全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

元变量 策略管理 规定统计 自由度统计

默认 变量域

筛选条件 重置筛选 导入 导出 展示信息

索引	名称	值	单位	物理类型	规定
暂无数据					

总数: 0 触界数: 0 显示数: 0

全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

元变量 策略管理 规定统计 自由度统计

默认 变量域

筛选条件 重置筛选 导入 导出 展示信息

名称	值	单位	物理类型	变量角色	规定
MS1VAR.S1_MASS	0	kg/s	质量流量	未知变量	计算
MS1VAR.S1_VOLUME	0	cum/s	体积流量	未知变量	计算
MS1VAR.S1_STDVOL	0	cum/s	体积流量	未知变量	计算
MS1VAR.S1_MOLES	0	kmol/s	摩尔流量	未知变量	计算
MS1VAR.S1_TEMP	0	K	温度	未知变量	计算
MS1VAR.S1_PRES	0	N/sqm	压力	未知变量	计算
MS1VAR.S1_ENTH	0	J/kmol	摩尔焓	未知变量	计算
MS1VAR.S1_MM	0	g/mol	摩尔质量	未知变量	计算

模型构建-演示案例-构建规定

模拟物流通过加热器的流程



构建规定前



构建规定后

全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

元变量 策略管理 规定统计 自由度统计

默认 变量域

筛选条件 重置筛选 导入 导出

名称	值	单位	物理类型	变量角色	规定
MS1.VAR.S1_MASS	0	kg/s	质量流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_VOLUME	0	cum/s	体积流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_STDVOL	0	cum/s	体积流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_MOLES	0	kmol/s	摩尔流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_TEMP	0	K	温度	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_PRES	0	N/sqm	压力	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_ENTH	0	J/kmol	摩尔焓	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_MW	0	g/mol	摩尔质量	未知变量	计算

全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

元变量 策略管理 规定统计 自由度统计

默认 变量域

筛选条件 重置筛选 导入 导出

名称	值	单位	物理类型	变量角色	规定
MS1.VAR.S1_MASS	0	kg/s	质量流量	已知变量	常数
MS1.VAR.S1_VOLUME	0	cum/s	体积流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_STDVOL	0	cum/s	体积流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_MOLES	0	kmol/s	摩尔流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_TEMP	0	K	温度	已知变量	常数
MS1.VAR.S1_PRES	0	N/sqm	压力	已知变量	常数
MS1.VAR.S1_ENTH	0	J/kmol	摩尔焓	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_MW	0	g/mol	摩尔质量	未知变量	计算

模型构建-演示案例-获取初值

模拟物流通过加热器的流程



获取初值前



获取初值后

全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

元变量 策略管理 规定统计 自由度统计

默认 变量域

筛选条件 重置筛选 导入 导出

名称	值	单位	物理类型	变量角色	规定
MS1.VAR.S1_MASS	0	kg/s	质量流量	已知变量	常数
MS1.VAR.S1_VOLUME	0	cum/s	体积流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_STDVOL	0	cum/s	体积流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_MOLES	0	kmol/s	摩尔流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_TEMP	0	K	温度	已知变量	常数
MS1.VAR.S1_PRES	0	N/sqm	压力	已知变量	常数
MS1.VAR.S1_ENTH	0	J/mol	摩尔焓	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_MW	0	g/mol	摩尔质量	未知变量	计算

全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

元变量 策略管理 规定统计 自由度统计

默认 变量域

筛选条件 重置筛选 导入 导出

名称	值	单位	物理类型	变量角色	规定
MS1.VAR.S1_MASS	0.02777778	kg/s	质量流量	已知变量	常数
MS1.VAR.S1_VOLUME	0.00002794624	cum/s	体积流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_STDVOL	0.00002790841	cum/s	体积流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_MOLES	0.001541901	kmol/s	摩尔流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_TEMP	298.15	K	温度	已知变量	常数
MS1.VAR.S1_PRES	100000	N/sqm	压力	已知变量	常数
MS1.VAR.S1_ENTH	-2.858001e+8	J/kmol	摩尔焓	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_MW	18.01528	g/mol	摩尔质量	未知变量	计算

模型构建-演示案例-重构值

模拟物流通过加热器的流程

注：只要执行了生成变量，就可点击运行，模型会根据当前的值和变量角色进行计算



重构值前



重构值后

全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

元变量 策略管理 规定统计 自由度统计

默认 变量域

筛选条件 重置筛选 导入 导出

名称	值	单位	物理类型	变量角色	规定
MS1.VAR.S1_MASS	0.02777778	kg/s	质量流量	已知变量	常数
MS1.VAR.S1_VOLUME	0.00002794624	cum/s	体积流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_STDVOL	0.00002790841	cum/s	体积流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_MOLES	0.001541901	kmol/s	摩尔流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_TEMP	298.15	K	温度	已知变量	常数
MS1.VAR.S1_PRES	100000	N/sqm	压力	已知变量	常数
MS1.VAR.S1_ENTH	-2.858001e+8	J/kmol	摩尔焓	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_MW	18.01528	g/mol	摩尔质量	未知变量	计算

假设进料温度有变化

全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

元变量 策略管理 规定统计 自由度统计

默认 变量域

筛选条件 重置筛选 导入 导出

名称	值	单位	物理类型	变量角色	规定
MS1.VAR.S1_MASS	0.02777778	kg/s	质量流量	已知变量	常数
MS1.VAR.S1_VOLUME	0.00002794624	cum/s	体积流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_STDVOL	0.00002790841	cum/s	体积流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_MOLES	0.001541901	kmol/s	摩尔流量	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_TEMP	310	K	温度	已知变量	常数
MS1.VAR.S1_PRES	100000	N/sqm	压力	已知变量	常数
MS1.VAR.S1_ENTH	-2.858001e+8	J/kmol	摩尔焓	未知变量	计算
MS1.VAR.S1_MW	18.01528	g/mol	摩尔质量	未知变量	计算

模块启用/禁用、运行包含/运行不包含

在进行流程模拟时，有策略的通过**启用/禁用**和**运行包含/运行不包含**模块功能可以提高建模和计算效率，例如下面2个场景：

- 初始化失败排查：**当整个流程难以通过初值预估获取初值时，可通过先禁用初值预估失败模块的下游流程，待得到上游的结果值后赋予下游模块，使下游用准确的值进行初值预估
- 运行不收敛排查：**模型运行不收敛，可通过运行不包含功能，使某个流程或某个模块的变量和方程不参与运行求解，便于定位不收敛的流程或模块

功能	初始化过程				运行
	生成变量	构建规定	获取初值	重构值	
禁用的模块	不参与	不参与	不参与	不参与	不参与
运行不包含的模块	参与	参与	参与	参与	不参与

注：与该模块的所有连接会被断开

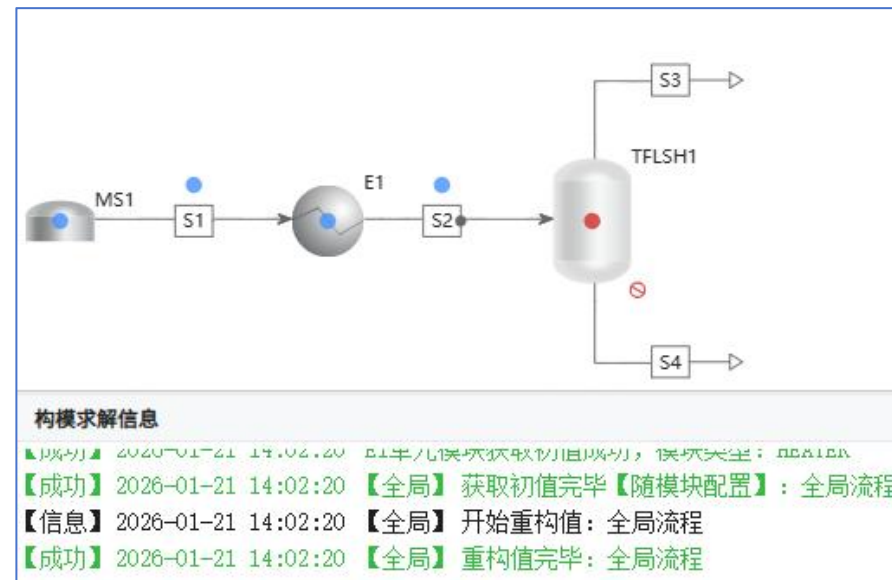
对模块进行启禁用、运行包含和运行不包含操作，会自动触发构建规定，以保证将操作的模块排除或加入计算时，整个模型为方

模块启用/禁用、运行包含/运行不包含

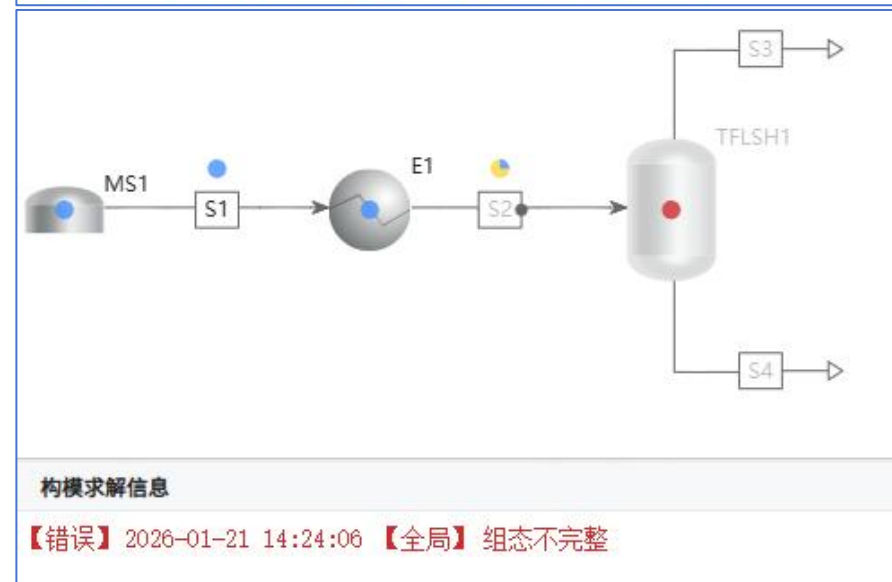
例如一个简单流程：物料源---加热器---闪蒸罐



禁用闪蒸罐

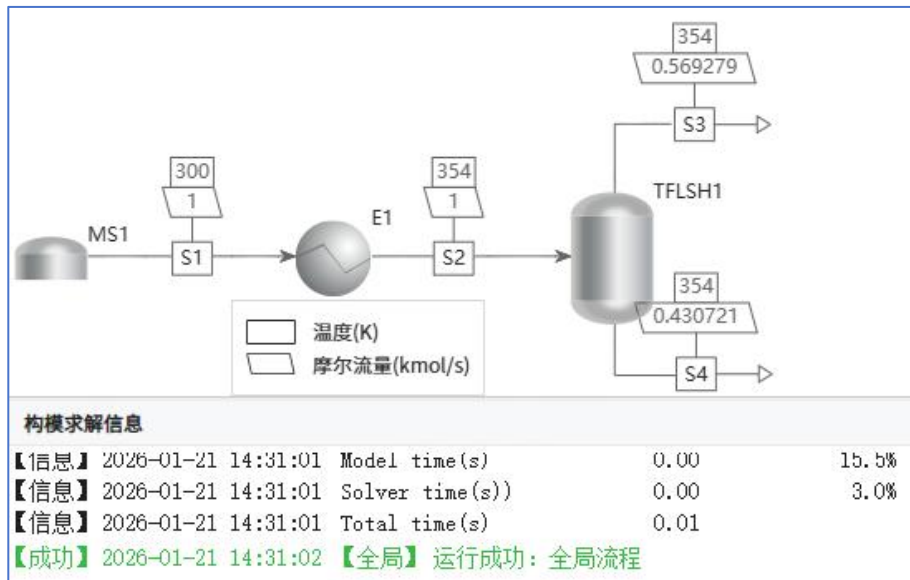


运行不包含
闪蒸罐

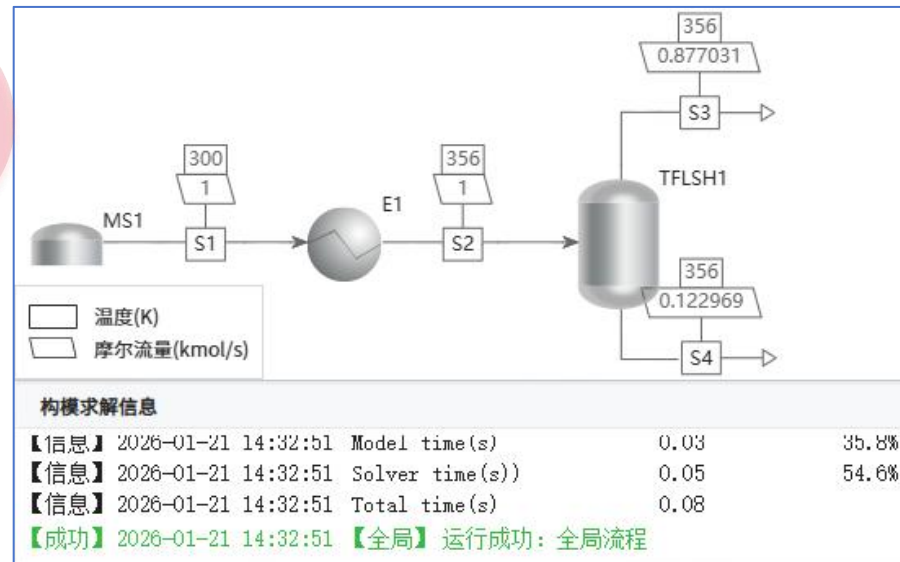


模块启用/禁用、运行包含/运行不包含

例如一个简单流程：物料源---加热器---闪蒸罐

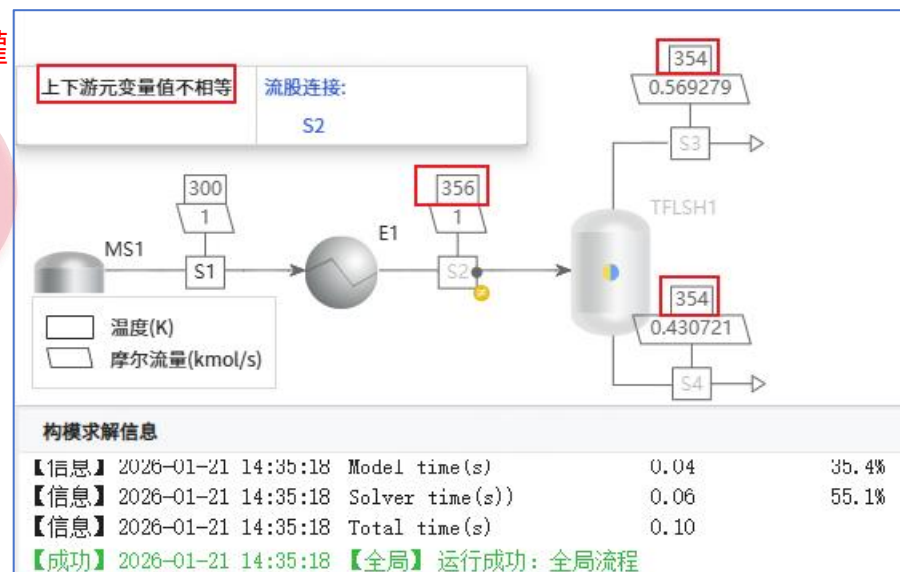
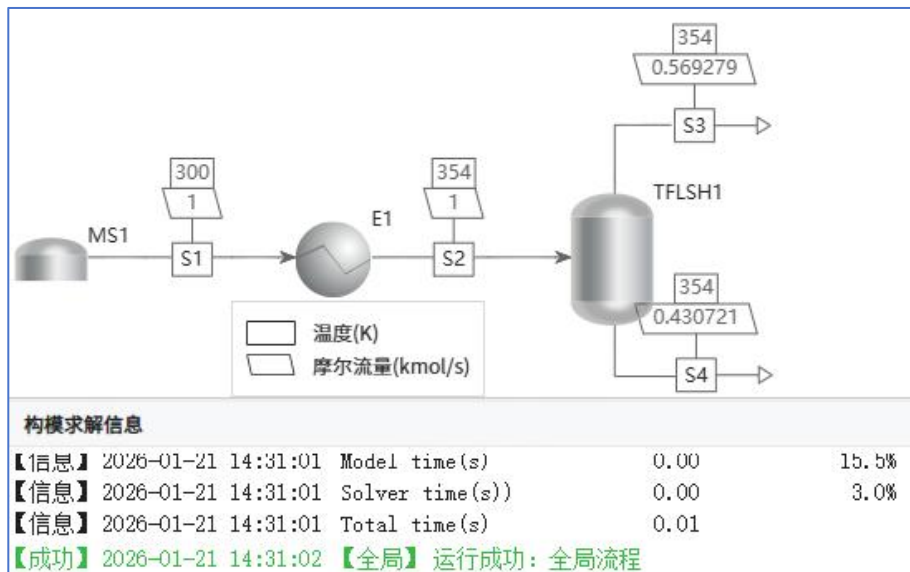


加热器温度
变量修改为
356K



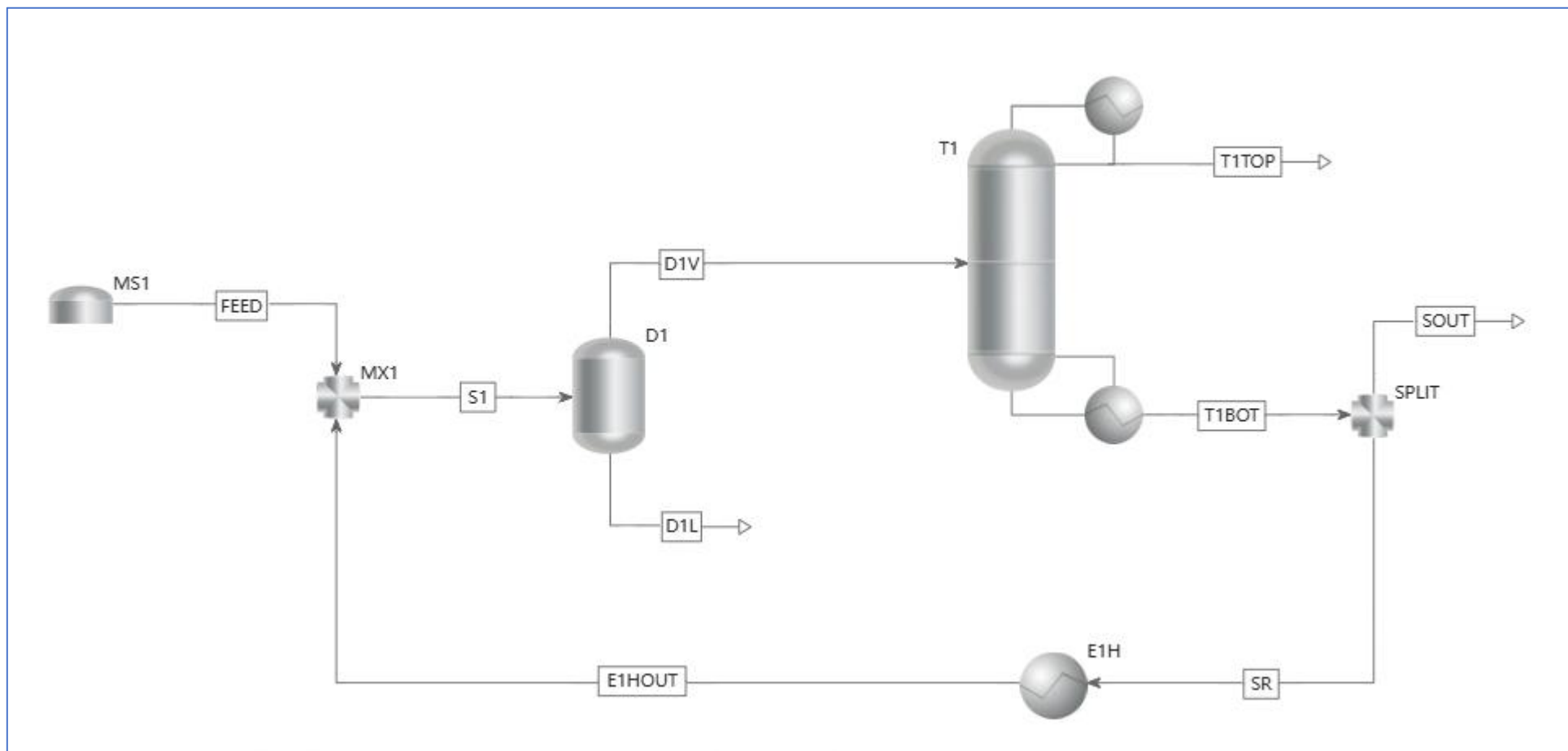
运行不包含闪蒸罐

加热器温度
变量修改为
356K



课堂练习

以【演示案例12-1】案例为例，练习初始化的四个步骤，查看D1闪蒸罐相关变量的规定、值、角色的变化



保存案例并导出，命名为**培训习题17-1**



18 | 组分组

学习目标



- **目标：**

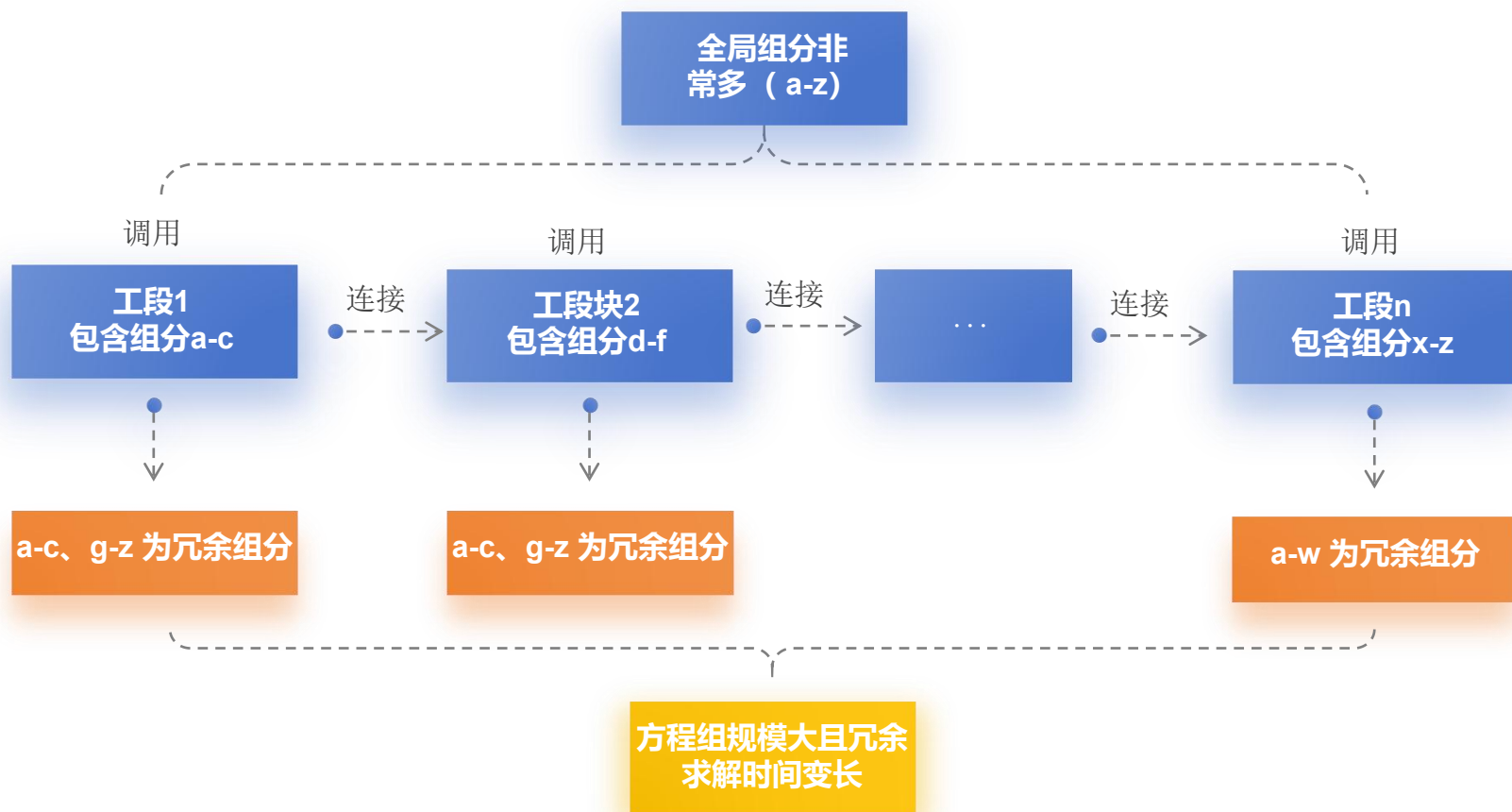
- 了解中控APEX平台的组分组和子流程

- **内容：**

- 介绍中控APEX平台的组分组
 - 组分组的作用及原理
 - 组分组配置和使用

组分组

对于组分较多，规模较大，不同工段包含的组分不同的流程，如果每个工段仍调用全部组分，会导致生成的元变量和方程规模非常大和冗余如下图所示：



组分组

对每个工段进行分组，相应的工段仅调用所需的组分，**减少冗余变量和方程，降低模型规模，减少求解时间**

软件中**组分组功能**可以将组分列表添加的组分进行分组，进入**基础配置-组分组**界面

序号	组分名	类型	英文名	中文名
1	H2	常规组分	HYDROGEN	氢气
2	CO	常规组分	CARBON-MONOXIDE	一氧化碳
3	CH4	常规组分	METHANE	甲烷
4	C2H4	常规组分	ETHYLENE	乙烯
5	C2H6	常规组分	ETHANE	乙烷
6	C2H2	常规组分	ACETYLENE	乙炔
7	C3H6	常规组分	PROPYLENE	丙烯
8	C3H8	常规组分	PROPANE	丙烷
9	C3H4	常规组分	PROPADIENE	丙二烯
10	C3H4-1	常规组分	METHYL-ACETYLENE	丙炔
11	C4H10	常规组分	ISOBUTANE	异丁烷
12	C4H8	常规组分	ISOBUTYLENE	异丁烯
13	1-C4H8	常规组分	1-BUTENE	1-丁烯
14	C4H6	常规组分	1,3-BUTADIENE	1,3-丁二烯

序号	组分名	类型
1	H2	常规组分
2	CO	常规组分
3	CH4	常规组分
4	C2H4	常规组分
5	C2H6	常规组分
6	C2H2	常规组分
7	C3H6	常规组分
8	C3H8	常规组分
9	C3H4	常规组分
10	C3H4-1	常规组分
11	C4H10	常规组分
12	C4H8	常规组分
13	1-C4H8	常规组分
14	C4H6	常规组分
	常规固体(0)	
	非常规固体(0)	

GLOBAL：系统默认的组分组，包含组分列表中的所有组分，不可编辑

点击新增可添加自定义组分组，点击配置选择该组分组包含的组分

GLOBAL(默认)

组分组1

请输入

+ 新增

组分组列表

组分组列表

序号	组分名	类型	操作
	流体(0)		配置
	常规固体(0)		配置
	非常规固体(0)		配置

配置组分

流体类 流体

组分名	类型	中文名
C3H6	常规组分	丙烯
C3H8	常规组分	丙烷
C3H4	常规组分	丙二烯
C3H4-1	常规组分	丙炔
C4H10	常规组分	异丁烷
C4H8	常规组分	异丁烯

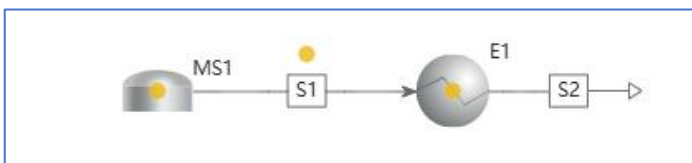
已选择组分

组分名
H2
CO
CH4
C2H4
C2H6
C2H2

组分组

配置好的组分组可以在**层级模型的组态-基础配置**或**单元模块组态-基础配置**内进行选择

当前层级内新增的模块会继承当前层级的组分组配置



全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析

基础配置 反应集配置 描述

组分组 **组分组1**

物性方法 NRTL

亨利组分 无

电解质反应 无

电解质选项 真实组分

全局基础配置

E1 (类型: 加热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量

模块名称 E1

基础配置 稳态 端口 描述

模块启用/禁用 启用

组分组 **组分组1**

物性方法 NRTL

亨利组分 无

电解质反应 无

电解质选项 真实组分

单元模块基础配置

注：当层级模型或单元模块修改过组分组（正体加粗），将不再跟随上层模型的配置变化而变化

组分组

单元模块的组态界面中可配置的组分根据配置的组分组决定，并且仅会生成组分组包含组分的变量和方程

如一个物料源选择不同的组分组，对模块组态的影响

选择GLOBAL组分组

MS1 (类型: 物料源)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 MS1

基础配置 稳态 端口 描述

流体 常规固体 非常规固体

闪蒸类型 压力-温度

压力 压力 101325 N/sqm

温度 300 K

总流量 摩尔 1 kmol/s

溶剂

有效相态 气-液

是否穿透 否

组成类型 占比 摩尔

名称	值	单位	类型
H2	1	fraction	常规组分
CO		fraction	常规组分
CH4		fraction	常规组分
C2H4		fraction	常规组分
C2H6		fraction	常规组分
C2H2		fraction	常规组分
C3H6		fraction	常规组分
C3H8		fraction	常规组分
C3H4		fraction	常规组分
C3H4-1		fraction	常规组分
C4H10		fraction	常规组分
C4H8		fraction	常规组分
1-C4H8		fraction	常规组分
C4H6		fraction	常规组分

总和 1

选择组分组1

MS1 (类型: 物料源)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 MS1

基础配置 稳态 端口 描述

流体 常规固体 非常规固体

闪蒸类型 压力-温度

压力 压力 101325 N/sqm

温度 300 K

总流量 摩尔 1 kmol/s

溶剂

有效相态 气-液

是否穿透 否

组成类型 占比 摩尔

名称	值	单位	类型
H2	1	fraction	常规组分
CO		fraction	常规组分
CH4		fraction	常规组分
C2H4		fraction	常规组分
C2H6		fraction	常规组分
C2H2		fraction	常规组分

总和 1

组分映射

通过组分组可以实现减小规模提升求解效率，但一个工艺流程往往会包含多个工段相互串联

不同工段间组分组不一致 → 组分含量无法传递 → 质量不守恒等问题

通过**产率反应器的组分映射**功能可实现不同组分组之间的转换，并保证质量守恒

产率类型选择组分映射

- 产率反应器模块会自动识别上游连接模块的组分组
- 产率反应器模块配置的组分组用于指定出口组分组

组分映射分为两类

合成：用于将多个上游组分组中的组分含量合并为下游组分组中的某个组分，常用于上游某些组分含量很小的时候

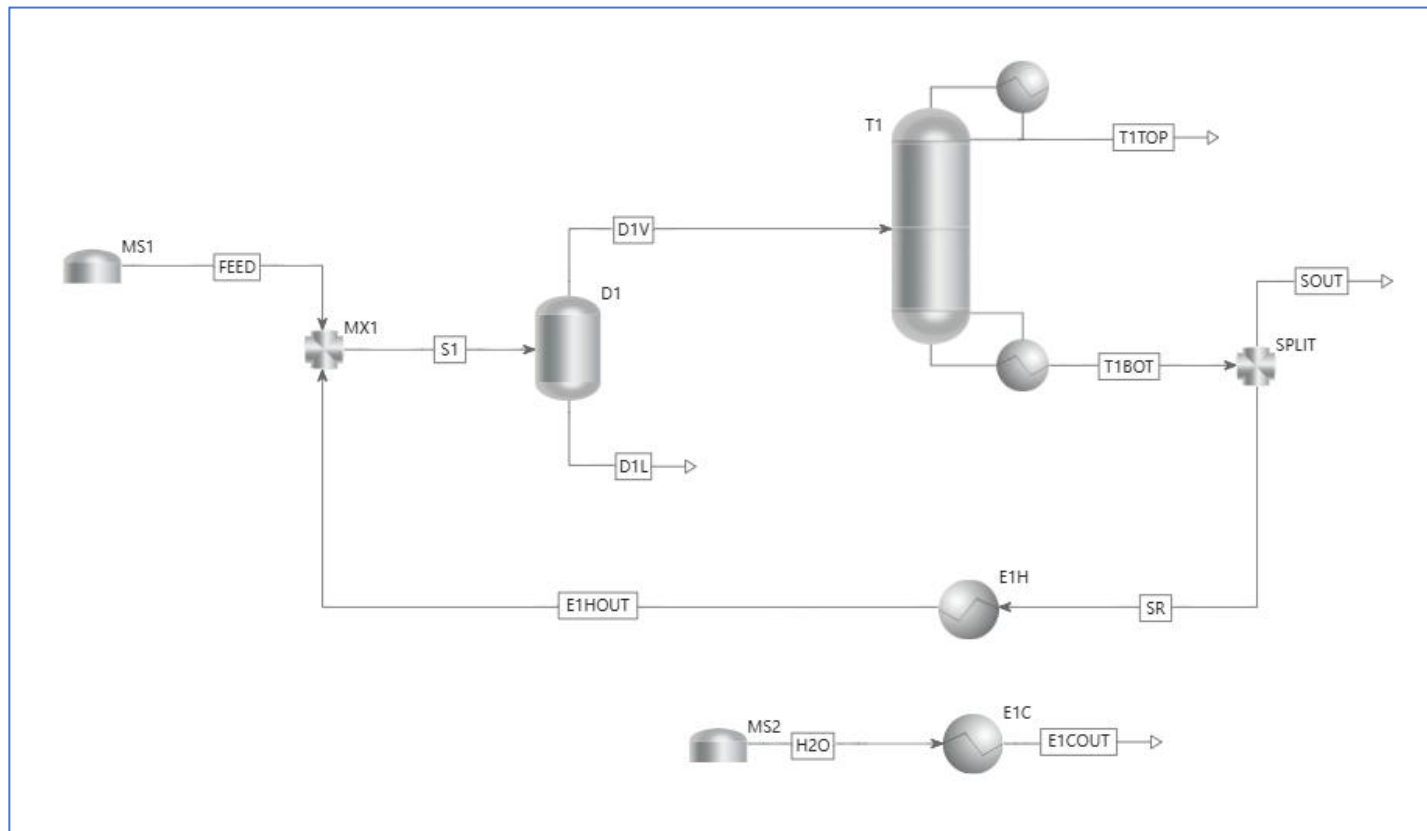
分解：用于将某个上游组分组中的组分含量分解为下游组分组中的多个组分，常用于细化模型，如一个组分拆分为多个同分异构体

演示案例

以**培训习题17-1**案例为基础，添加一个组分水，用于公用工程蒸汽，作为模拟换热器E1的热端

添加一个组分组“工艺流程”，包含原来的组分，用于原流程

添加一个组分组“公用工程”，包含组分水，用于公用工程流程，公用工程物性方法用IF97



水蒸汽条件：1000kg/hr, 120°C, 0.1MPa

冷却后温度变为110°C, 压力不变

演示案例

1

添加组分水

2

配置两个组分组：工艺流程、公用工程

GLOBAL(默认)

工艺流程

公用工程

请输入

+ 新增

组分组列表

配置组分组 批量删除

序号	组分组名	类型	操作
▶	☐ 流体(6)		配置 删除
▶	1 PROPANE	常规组分组	删除
▶	2 1-BUTENE	常规组分组	删除
▶	3 N-BUTANE	常规组分组	删除
▶	4 T-BUTENE	常规组分组	删除
▶	5 C-BUTENE	常规组分组	删除
▶	6 PENTANE	常规组分组	删除
▶	常规固体(0)		配置
▶	非常规固体(0)		配置

GLOBAL(默认)

工艺流程

公用工程

请输入

+ 新增

组分组列表

配置组分组 批量删除

序号	组分组名	类型	操作
▶	☐ 流体(1)		配置 删除
▶	1 H2O	常规组分组	删除
▶	常规固体(0)		配置
▶	非常规固体(0)		配置

组分 物性方法

PR(默认)

IF97

请输入

+ 新增

物性方法

描述 请输入描述

基础算法 IF97

说明:使用IAPWS1997工业公式计算水和水蒸气的热力学性质。
适用于水和水蒸气的热力学性质计算。

自由水 IF97

说明:使用IAPWS1997工业公式计算水和水蒸气的热力学性质。
适用于水和水蒸气的热力学性质计算。

水溶性选项 不饱和系统

算法详细信息

3

添加物性方法IF97

演示案例

4

选择全局流程组分组为工艺流程，物性方法为PR

全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

基础配置 反应集配置 描述

组分组 工艺流程

物性方法 PR

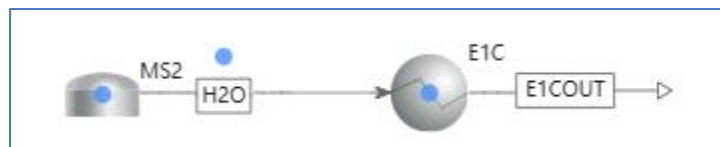
亨利组分 无

电解质反应 无

电解质选项 真实组分

5

新增物料源和加热器模块并连接，修改模块和流股名



6

设置物料源和加热器模块的组分组为公用工程，物性方法为IF97

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 MS2

基础配置 稳态 端口 描述

模块启用/禁用 启用

组分组 公用工程

物性方法 IF97

亨利组分 无

电解质反应 无

电解质选项 真实组分

E1C (类型: 加热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 E1C

基础配置 稳态 端口 描述

模块启用/禁用 启用

组分组 公用工程

物性方法 IF97

亨利组分 无

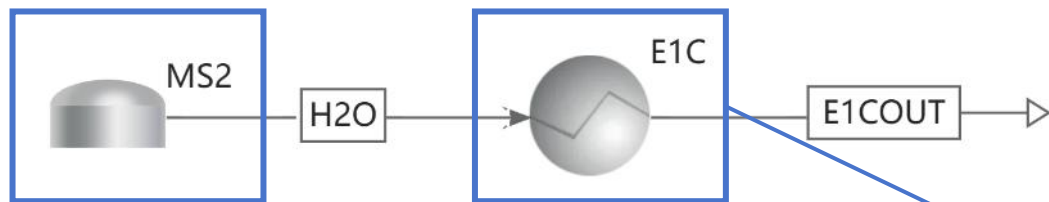
电解质反应 无

电解质选项 真实组分

演示案例

7

输入物料源和加热器模块的配置，初始化运行



MS2 (类型: 物料源)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称: MS2

基础配置 稳态 端口 描述

流体 常规固体 非常规固体

闪蒸类型: 压力-温度

压力: 压力 0.1 MPa

温度: 120 C

总流量: 质量 1000 kg/hr 总和 1

溶剂: []

有效相态: 仅气相

是否穿透: 否

名称	值	单位	类型
H2O	1	fraction	常规组分

E1C (类型: 加热器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称: E1C

基础配置 稳态 端口 描述

闪蒸类型: 压力-温度

压力/压降: 压降 0 bar

温度: 110 C

热效率: 1

有效相态: 仅气相

计算压降参数: 否

保存案例并导出，命名为演示案例18-1

课堂练习

通过组分映射将进料中的丙烷、异丁烷和1-丁烯组分合并至环丙烷中，物性方法选择SRK

进料温度：25°C

进料压力：22 bar

进料质量流量：50000 kg/hr

组分摩尔占比

组分名	中文名	占比值
CH4	甲烷	0.0001
C2H4	乙烯	0.7998
C2H6	乙烷	0.2
C3H6	环丙烷	0.0001
C3H8	丙烷	1e-6
ISOBUTANE	异丁烷	1e-9
1-BUTENE	1-丁烯	1e-10

课堂练习

1

添加组分

组别列表	组分结构	原油	亨利组分					
<div style="text-align: right;"> 组分添加 组分物性 电解质向导 复制 一键重置 批量删除 重排 </div>								
序号	组分名	类型	英文名	中文名	分子式	沸点	CAS号	操作
1	CH4	常规组分	METHANE	甲烷	CH4	-161.49	74-82-8	编辑 删除 更多
2	C2H4	常规组分	ETHYLENE	乙烯	C2H4	-103.74	74-85-1	编辑 删除 更多
3	C2H6	常规组分	ETHANE	乙烷	C2H6	-88.6	74-84-0	编辑 删除 更多
4	C3H6	常规组分	CYCLOPROPANE	环丙烷	C3H6	-32.78	75-19-4	编辑 删除 更多
5	C3H8	常规组分	PROPANE	丙烷	C3H8	-42.04	74-98-6	编辑 删除 更多
6	ISOBUTANE	常规组分	ISOBUTANE	异丁烷	C4H10	-11.72	75-28-5	编辑 删除 更多
7	1-BUTENE	常规组分	1-BUTENE	1-丁烯	C4H8	-6.24	106-98-9	编辑 删除 更多
	请输入要添加的组分							

2

选择物性方法

组分 物性方法

SRK(默认)

请输入

+ 新增

物性方法 二元参数

描述 请输入描述

基础算法 SRK

说明:标准Soave Redlich Kwong状态方程。
适用于非极性或弱极性混合物,如烃和轻气体(如CO₂, H₂S和H₂),推荐用于气体处理、炼油及石化应用,如气体厂、原油塔和乙烯厂。特别适合用于高温、高压范围,如烃加工应用和超临界萃取。

自由水 IF97

说明:使用IAPWS1997工业公式计算水和水蒸气的热力学性质。
适用于水和水蒸气的热力学性质计算。

水溶性选项 不饱和系统

算法详细信息

3

设置单位集

组分 物性方法 单位集

国际单位制

米制

英制

工程制(默认)

请输入

+ 新增

继承于 米制

标准 能量 传递 浓度 尺寸 价格 其它

流量

通量 cum/sqm-s 体积流量 cum/hr

质量流量 kg/hr 体积流量变化量 cum/s

质量通量 kg/sqm-hr

质量流量变化量 kg/s

摩尔流量 kmol/hr

摩尔流量变化量 kmol/s

温度

温度 C

温差 DELTA-C

温度倒数 1/K

压力

压力 bar

压头 meter

单位高度压降 N/cum

压降 kPa

压力倒数 1/atm

课堂练习

4

设置组分

GLOBAL(默认)

组分组1

请输入

+ 新增

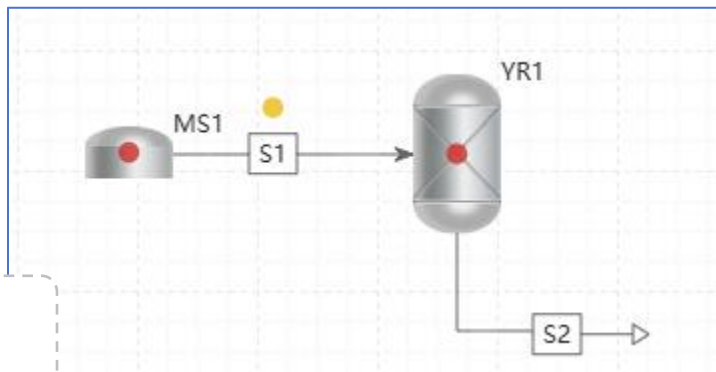
组分列表

配置组分 批量删除

序号	组分名	类型	操作
▾	流体(4)		配置 删除
▾ 1	CH4	常规组分	删除
▾ 2	C2H4	常规组分	删除
▾ 3	C2H6	常规组分	删除
▾ 4	C3H6	常规组分	删除
▾	常规固体(0)		配置
▾	非常规固体(0)		配置

5

搭建流程



MS1(类型: 物料源)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

MS1

基础配置 稳态 端口 描述

流体 常规固体 非常规固体

闪蒸类型 压力-温度 组成类型 占比 摩尔

压力 压力 22 bar

温度 25 C

总流量 质量 50000 kg/hr

溶剂

有效相态 气-液

是否穿透 否

名称	值	单位	类型
CH4	0.0001	fraction	常规组分
C2H4	0.7998	fraction	常规组分
C2H6	0.2	fraction	常规组分
C3H6	0.0001	fraction	常规组分
C3H8	0.000001	fraction	常规组分
ISOBUTANE	1e-9	fraction	常规组分
1-BUTENE	1e-10	fraction	常规组分

总和 1.0000010011

MS1进料配置

课堂练习

YR1 (类型: 产率反应器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 YR1

基础配置 稳态 端口 描述

基础配置 组分产率 组分映射 组分属性

闪蒸类型 压力-温度

压力/压降 压降 0 kPa

温度 25 C

有效相态 气-液

产率类型 组分映射

惰性组分

选择组分映射

YR1 (类型: 产率反应器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 YR1

基础配置 稳态 端口 描述

模块启用/禁用 启用

组分组 组分组1

物性方法 SRK

亨利组分 无

电解质反应 无

电解质选项 真实组分

端口	组分组	物性方法	亨利组分	电解质反应	电解质选项
P0	GLOBAL	SRK			真实组分
P1	组分组1	SRK			真实组分

设置组分组

YR1 (类型: 产率反应器)

组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 YR1

基础配置 稳态 端口 描述

基础配置 组分产率 组分映射 组分属性

删除 上移 下移

主反应物	反应类型	反应方程式	操作
C3H6	合成	$C_3H_8 + \text{ISOBUTANE} + 1\text{-BUTENE} \rightarrow C_3H_6$	编辑 删除

配置映射方程式

6

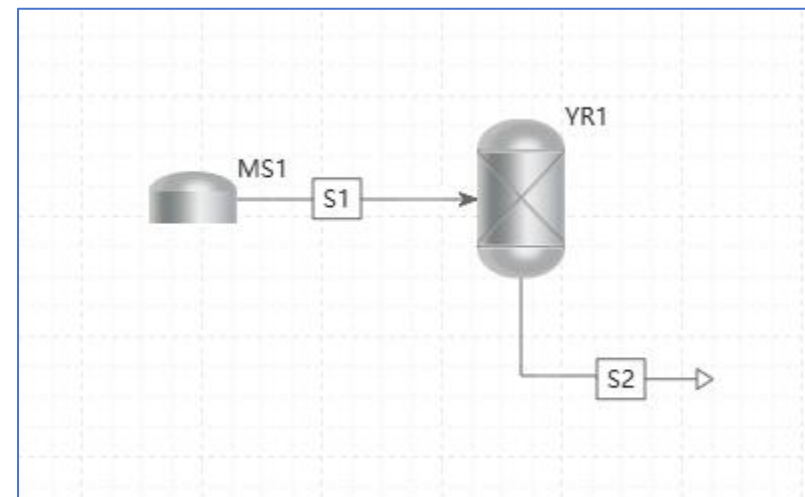
配置组分映射

课堂练习

7

查看结果

流股结果		模块结果	运行报告
常规 热流股 油品曲线			
添加物性		导出结果	
变量	单位	S1	S2
<input type="checkbox"/> 摩尔流量	kmol/hr	1191.821	1191.820
<input type="checkbox"/> 摩尔分率			
▶ CH4	fraction	0.0000999999	0.0000999999
▶ C2H4	fraction	0.7997992	0.7997992
▶ C2H6	fraction	0.1999998	0.1999998
▶ C3H6	fraction	0.0000999999	0.0001010493
▶ C3H8	fraction	9.99999e-7	
▶ ISOBUTANE	fraction	9.99999e-10	
▶ 1-BUTENE	fraction	9.99999e-11	
<input checked="" type="checkbox"/> 质量流量	kg/hr	50000	50000





19 | 模型应用

学习目标



- **目标：**

- 了解中控APEX平台的模型应用功能

- **内容：**

- 介绍中控APEX平台的模型应用
 - 设计规定
 - 规定变更
 - 值变更
 - 变量列表修改规定和值
 - 规定策略和值策略

模型应用

在流程模拟中，当有明确的性能指标，或根据已知结果求解未知参数时，须进行反算操作
它是连接模拟与现实工程需求（如产品规格、设备设计、合规性）的关键桥梁

APEX可通过多种功能方式来达到反算的目的

●设计规定

通过创建一个新的设计规定组，以调节特定操作变量为手段，使系统输出达到预设的目标值

●规定变更+值变更

通过对选定变量实施规定变更（如从“常数”改为“计算”）与数值变更（为目标变量赋予新值），驱动系统达成设计目标

●变量列表修改规定和值

在变量列表中直接修改变量的规定类型与目标数值，可在不进行初始化的前提下运行流程，进行反算

●规定策略+值策略

通过规定策略+值策略的功能，修改元变量的规定与目标值，点击应用按钮，可直接实现值和规定的变更，也无需进行初始化过程

使用联立方程处理反算，**无需进行流程迭代处理**，通过联立求解整个系统的方程来实现；

对于大型流程或优化问题，通常能更快地达到收敛，尤其适用于**处理多设计规定和循环物流的复杂流程**

设计规定

设计规定的本质可以理解为：

- 设定一个“目标变量”（即我们关心的工艺指标）的目标值，使其由**未知变量**变为**已知变量**
- 指定另一个“操控变量”，由**已知变量**变为**未知变量**

可从不同层级模型或单元模块的**模型应用-设计规定**中进行配置



操控变量

需要计算的变量，通常选择规定为**常数**的变量

目标变量

需要指定目标的变量，通常选择的是**计算**的变量，在目标值中输入需要达到的目标

注：在一个组中操控变量与目标变量均可选择多个，但通常需成对选择且相互关联，保证模型为方

设计规定

点击按钮可进行该设计规定组的启用、禁用操作

启用：初始化时执行该设计规定

禁用：初始化时不执行该设计规定

可添加多个
设计规定组

The screenshot displays the 'Design Specification' (设计规定) interface. On the left, there is a list of design specification groups: DS1, DS2, and DS3. Each group has a corresponding toggle switch. A red box highlights the DS1 group and its toggle switch. A red arrow points from the text '点击按钮可进行该设计规定组的启用、禁用操作' to the toggle switch. Below the list is a '请输入' (Please enter) field and a '+ 新增' (Add) button. The main area is divided into two sections: '操控变量' (Control Variables) and '目标变量' (Target Variables). Both sections contain tables with columns for '序号' (Serial Number), '变量名称' (Variable Name), '结果值' (Result Value), '单位' (Unit), and '操作' (Action).

序号	变量名称	结果值	单位	操作
1	E1H.VAR.TEMP	33.19266	C	删除
	请输入新增变量			

序号	变量名称	目标值	结果值	单位	操作
1	MS2.VAR.H2O_MASS		1746.221	kg/hr	删除
	请输入新增变量				

This close-up shows the context menu for the DS1 design specification group. The menu is open, showing options: '上移' (Move Up), '下移' (Move Down), '删除' (Delete), and '重命名' (Rename). The '上移' option is highlighted. The background shows the DS1 group with its toggle switch and a three-dot menu icon.

鼠标移动至开启图标后，可对设计规定组进行上移，下移，删除和重命名操作

因为设计规定功能涉及到**变量规定和值**的变化（即变量角色的变化），故需要执行初始化中**构建规定和重构值**操作

●构建规定

- 修改操控变量和目标变量的规定，操控变量变为**常数**，目标变量变为**计算**
- 生效的顺序从层级最内层到最外层，同一个层级内从上到下，比如单元模块内设计规定-层级设计规定-全局设计规定
- 设计规定不允许不同组的变量存在重复**

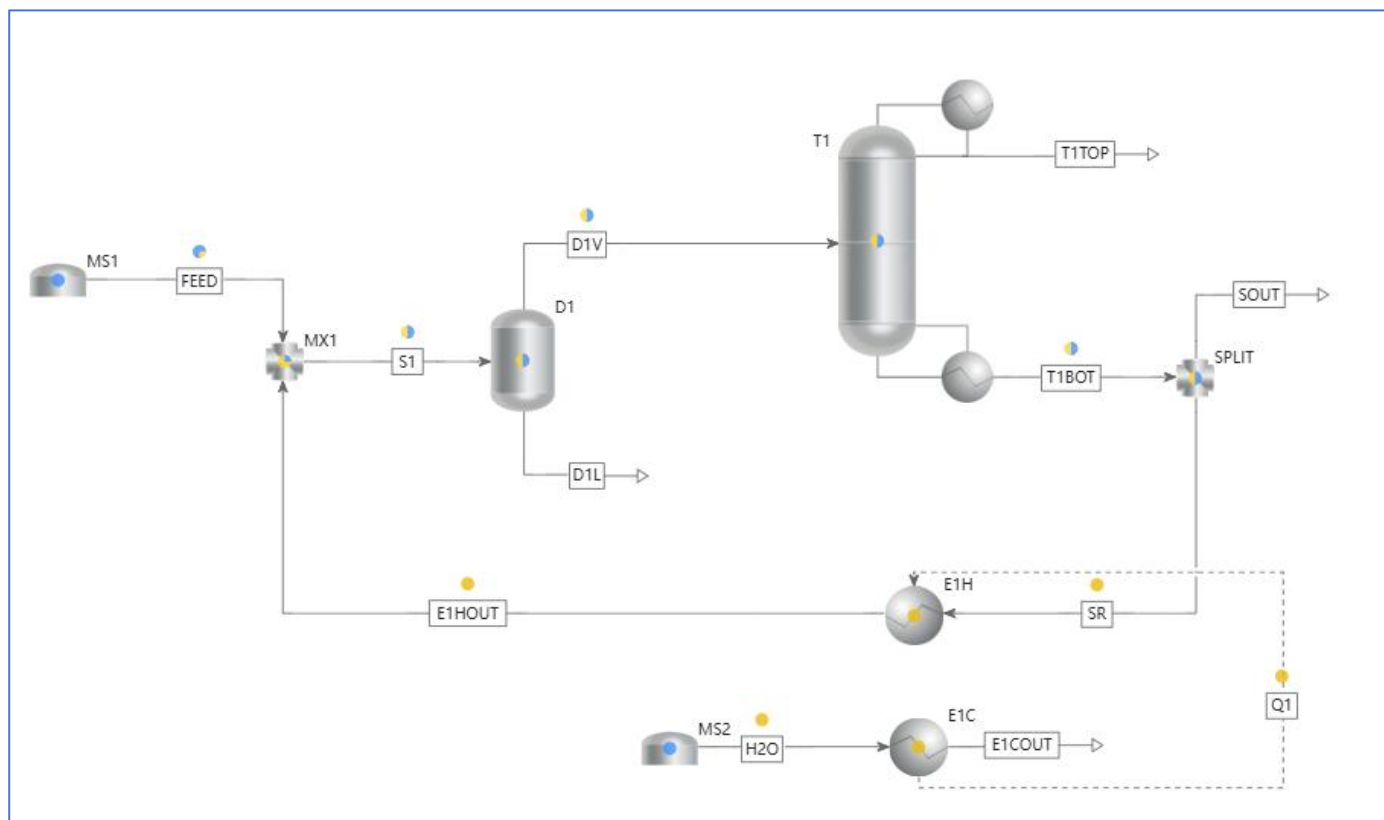
●重构值

- 修改目标变量的值为指定的目标值
- 生效的顺序与构建规定一致

演示案例

在 **演示案例18-1** 的基础上，将热端（E1C）的热量通过热流股连接至冷端（E1H）

计算将E1H的流股加热至32°C，需要多少蒸汽？



1

从E1C模块的热流股出口连接一条热流股至E1H的热流股入口，一键初始化并运行

因为增加一个热流股，改变了模型的结构，故需要重新初始化构建模型

演示案例

2

全局流程进入“模型应用 | 设计规定”

3

新建设计规定组DS1

4

操控变量选择
MS2.VAR.H2O_MASS

操控变量

序号	变量名称	结果值	单位	操作
1	MS2.VAR.H2O_MASS	1000	kg/hr	删除
	请输入新增变量			

5

目标变量选择
E1H.VAR.TEMP, 目标值
输入32℃

目标变量

序号	变量名称	目标值	结果值	单位	操作
1	E1H.VAR.TEMP	32	32.89362	C	删除
	请输入新增变量				

未进行设计规定之前的温度值

演示案例

索引	名称	值	单位	物理类型	规定
111	E1H.VAR.TEMP	32.89532	C	温度	计算
233	MS2.VAR.H2O_MASS	1000	kg/hr	质量流量	常数



索引	名称	值	单位	物理类型	规定
111	E1H.VAR.TEMP	32.89532	C	温度	常数
233	MS2.VAR.H2O_MASS	1000	kg/hr	质量流量	计算



索引	名称	值	单位	物理类型	规定
111	E1H.VAR.TEMP	32	C	温度	常数
233	MS2.VAR.H2O_MASS	1000	kg/hr	质量流量	计算

索引	名称	值	单位	物理类型	规定
111	E1H.VAR.TEMP	32	C	温度	常数
233	MS2.VAR.H2O_MASS	8890.696	kg/hr	质量流量	计算

6

点击构建规定，查看变量规定的变化

7

点击重构值

8

点击运行
将E1H的流股加热至32°C，
需要蒸汽8890.7 kg/hr

规定变更

设计规定功能只能将变量的规定修改为“**计算**”或“**常数**”，但在处理复杂工程问题时，需要实现在不同运行模式下变量处于不同的角色，实现不同的求解目标。此时需要使用**规定变更功能**

在不同层级模型或单元模块的**模型应用-规定变更**可进行规定变更组的配置，若要使规定组生效，需要执行**构建规定**操作

编辑该规定组的描述，可用于记录每个规定组的作用



选择需要进行规定变更的变量，只可选择当前层级或模块包含的变量

设置每个变量需要变更的规定

将当前变量的规定写入“规定”列中

规定变更组左侧操作与设计规定一致

执行构建规定时的生效顺序：

不同层级按从内到外的顺序执行；

每个层级内优先执行设计规定，再执行规定变更组，均按从上到下的顺序执行
与设计规定不同的是，规定组间的变量可以重复，但每个组内不可重复

注：

- 1、建议规定组都在不同层级模型中配置，方便管理
- 2、建议一个规定组实现一个要求，方便开启/关闭
- 3、每个规定组配置完成后，需保证模型为方，涉及变量交换时往往需成对配置

值变更

设计规定中仅能指定目标变量的值，通过**值变更**功能，还可以指定变量的**上下限、步长限、边界类型和缩放因子**

进入不同层级模型或单元模块的**模型应用-值变更**可进行值变更组的配置，要使值变更组生效，需要执行**重构值**操作

The screenshot shows the 'Value Change' (值变更) configuration window. At the top, there are tabs for 'Design Specification' (设计规定), 'Constraints' (约束), 'Objective Function' (目标函数), 'Tuning' (整定), 'Optimization' (优化), 'Scaling Factor' (缩放因子), 'Specification Change' (规定变更), and 'Value Change' (值变更). The 'Value Change' tab is active. On the left, there are two value change groups: 'VARSET1' (enabled) and 'VARSET2' (disabled). Below them is an input field and a '+ Add' (新增) button. The main area is a table with columns: Variable Name (变量名称), Value (值), Unit (单位), Lower Limit (下限), Upper Limit (上限), Step Limit (步长限), Boundary Type (边界类型), Scaling Factor (缩放因子), Enabled (启用), and Operation (操作). The first row shows 'E1H.VAR.TEMP' with a value of 32 and unit 'C'. The 'Enabled' checkbox is checked. The 'Operation' column has 'Delete' (删除) and 'Import Info' (信息带入) buttons. Red boxes highlight the 'Enabled' checkbox and the 'Import Info' button, with red arrows pointing to explanatory text on the right.

决定值变更组中该变量的值配置是否生效

点击可将该变量在变量列表中的值、单位、上下限、步长限等信息写入该表中

值变更组左侧操作与设计规定一致

执行重构值时的生效顺序：

不同层级按从内到外的顺序执行；

每个层级内优先执行设计规定组，再执行值变更组，均按从上到下的顺序执行

与设计规定不同的是，各值变更组间的变量可以重复，但每个组内不可重复

演示案例

索引	名称	值	单位	物理类型	规定
111	E1H.VAR.TEMP	32.89532	C	温度	计算
233	MS2.VAR.H2O_MASS	1000	kg/hr	质量流量	常数



索引	名称	值	单位	物理类型	规定
111	E1H.VAR.TEMP	32.89532	C	温度	常数
233	MS2.VAR.H2O_MASS	1000	kg/hr	质量流量	计算



索引	名称	值	单位	物理类型	规定
111	E1H.VAR.TEMP	32	C	温度	常数
233	MS2.VAR.H2O_MASS	1000	kg/hr	质量流量	计算

索引	名称	值	单位	物理类型	规定
111	E1H.VAR.TEMP	32	C	温度	常数
233	MS2.VAR.H2O_MASS	8890.696	kg/hr	质量流量	计算

6

点击构建规定，查看变量规定的变化

7

点击重构值

8

点击运行
将E1H的流股加热至32°C，
需要蒸汽8890.7 kg/hr

元变量列表直接修改规定和值

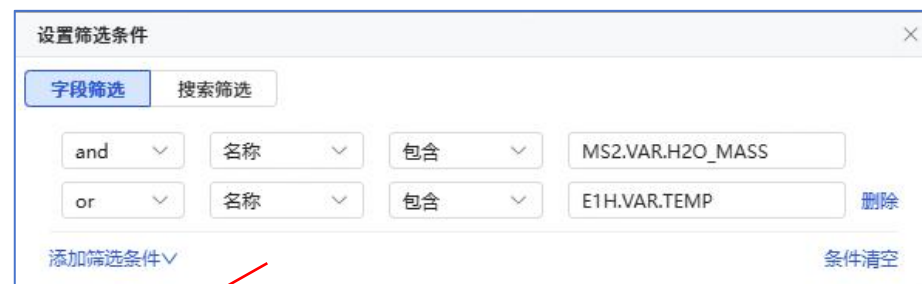
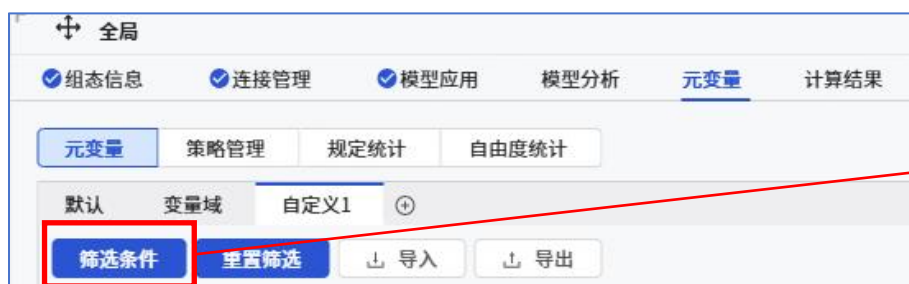
因每次运行时都是以当前变量列表的信息进行计算的，故我们也可以直接进入元变量列表修改变量的配置后运行。修改变量列表的配置只是一个**临时的方案**，初始化后修改的内容将不再存在，可用于快速得到不同的工况下运行的结果。在装置实时优化时用的较多，因为装置值实时在变，可通过脚本命令直接修改变量的值运行，得到不同时刻的结果值并进行优化。以设计规定的案例为例，直接通过元变量列表修改值和规定实现反算的效果：

1

关闭规定变更组和值变更组，初始化运行，回复到设计规定前状态

2

打开元变量列表，新增一个标签页，筛选出变量 **E1H.VAR.TEMP** 和 **MS2.VAR.H2O_MASS**



索引	名称	值	单位	物理类型	规定
111	E1H.VAR.TEMP	32.89362	C	温度	计算
233	MS2.VAR.H2O_MASS	1000	kg/hr	质量流量	常数

元变量列表直接修改规定和值

索引	名称	值	单位	物理类型	变量角色	规定
111	E1H.VAR.TEMP	32	C	温度	已知变量	常数
233	MS2.VAR.H2O_MASS	1000	kg/hr	质量流量	未知变量	计算

总数: 1235 触界数: 0 显示数: 2

注: 此时如果执行初始化, 修改的内容会被重置

修改过的信息会用黄色底色进行标记

索引	名称	值	单位	物理类型	变量角色	规定
111	E1H.VAR.TEMP	32	C	温度	已知变量	常数
233	MS2.VAR.H2O_MASS	8890.696	kg/hr	质量流量	未知变量	计算

总数: 1235 触界数: 0 显示数: 2

3

修改变量E1H.VAR.TEMP
的规定为常数, 值为32°C

4

修改MS2.VAR.H2O_MASS
的规定为计算

5

点击运行
运行后的结果与设计规定和
规定变更值变更一致

规定策略和值策略

对于一些需要在**特定时机频繁**修改部分变量信息的操作，可以使用**规定策略和值策略**进行

例如在不同工况每次运行完成后需要反算某些特定的操作条件，不能使该操作影响运行前的结果，运行后每次修改变量列表又太繁琐

在不同层级或单元模块的**元变量-策略管理**中可进行规定策略和值策略的配置，配置界面的操作与规定变更和值变更一致



点击应用，仅当前界面的配置会被应用至变量列表中
初始化过程**不会执行**策略管理中的配置内容

以设计规定的案例为例，通过规定策略和值策略实现反算的效果

规定策略和值策略

元变量 策略管理 规定统计 自由度统计

规定策略 值策略 应用

SPECSET1 描述 请输入描述信息

变量名称	规定	启用	操作
MS2.VAR.H2O_MASS	计算	<input checked="" type="checkbox"/>	删除 规定带入
E1H.VAR.TEMP	常数	<input checked="" type="checkbox"/>	删除 规定带入
请输入新增变量			

元变量 策略管理 规定统计 自由度统计

规定策略 值策略

VALSET1

变量名称	值	单位
E1H.VAR.TEMP	32	C
请输入元变量		

元变量 策略管理 规定统计 自由度统计

默认 变量域 自定义1

筛选条件 重置筛选 导入 导出

索引	名称	值	单位	物理类型	变量角色	规定
111	E1H.VAR.TEMP	32.89362	C	温度	未知变量	计算
233	MS2.VAR.H2O_MASS	1000	kg/hr	质量流量	已知变量	常数

总数: 1235 触界数: 0 显示数: 2

默认 变量域 自定义1

筛选条件 重置筛选 导入 导出

索引	名称	值	单位	物理类型	变量角色	规定
111	E1H.VAR.TEMP	32.89362	C	温度	已知变量	常数
233	MS2.VAR.H2O_MASS	1000	kg/hr	质量流量	未知变量	计算

总数: 1235 触界数: 0 显示数: 2

1

进入全局的策略管理界面，配置一个规定策略和值策略，与规定变更和值变更的配置一致

2

初始化、运行，查看自定义标签下的两个变量，变量的规定和值没有被修改

3

在策略策略中点应用，查看变量列表，两个变量的规定被修改

规定策略和值策略

元变量 策略管理 规定统计 自由度统计

默认 变量域 自定义1

筛选条件 重置筛选 导入 导出

索引	名称	值	单位	物理类型	变量角色	规定
111	E1H.VAR.TEMP	32	C	温度	已知变量	常数
233	MS2.VAR.H2O_MASS	1000	kg/hr	质量流量	未知变量	计算

总数: 1235 触界数: 0 显示数: 2

注: 初始化会重置策略管理中应用的配置

默认 变量域 自定义1

筛选条件 重置筛选 导入 导出

索引	名称	值	单位	物理类型	变量角色	规定
111	E1H.VAR.TEMP	32	C	温度	已知变量	常数
233	MS2.VAR.H2O_MASS	8890.696	kg/hr	质量流量	未知变量	计算

总数: 1235 触界数: 0 显示数: 2

4

进入值策略点击应用, 查看变量列表, E1H.VAR.TEMP 变量的值被修改

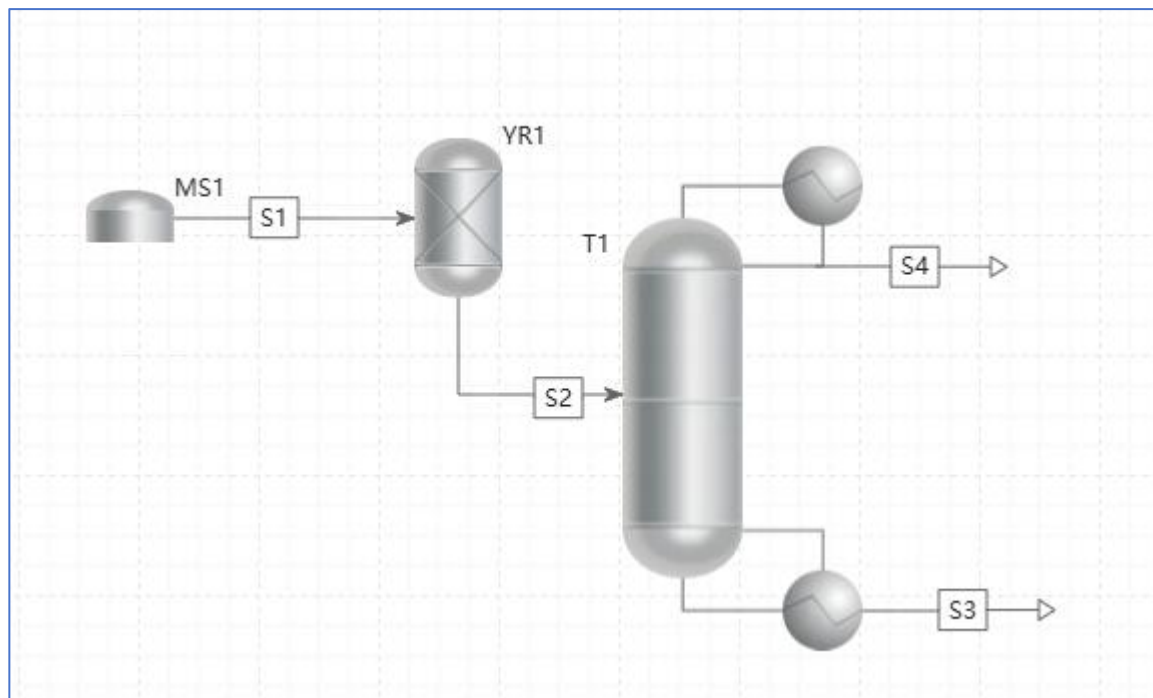
5

点击运行 运行后的结果与之前的操作均一致

保存案例并导出, 命名为**演示案例19-1**

课堂练习

在培训习题18-1的基础上新增一个精馏塔，流程如下



塔板数: 100

冷凝器: 全凝器

再沸器: 釜式再沸器

进料板: 60, 气相进料

塔顶压力: 20 bar

第二块板压降: 0.5 bar

3-60块板总压降: 0.5 bar

61-100块板总压降: 0.5 bar

2-60块板效率: 0.9

61- 99块板效率: 0.9

塔釜采出流量: 10000 kg/hr

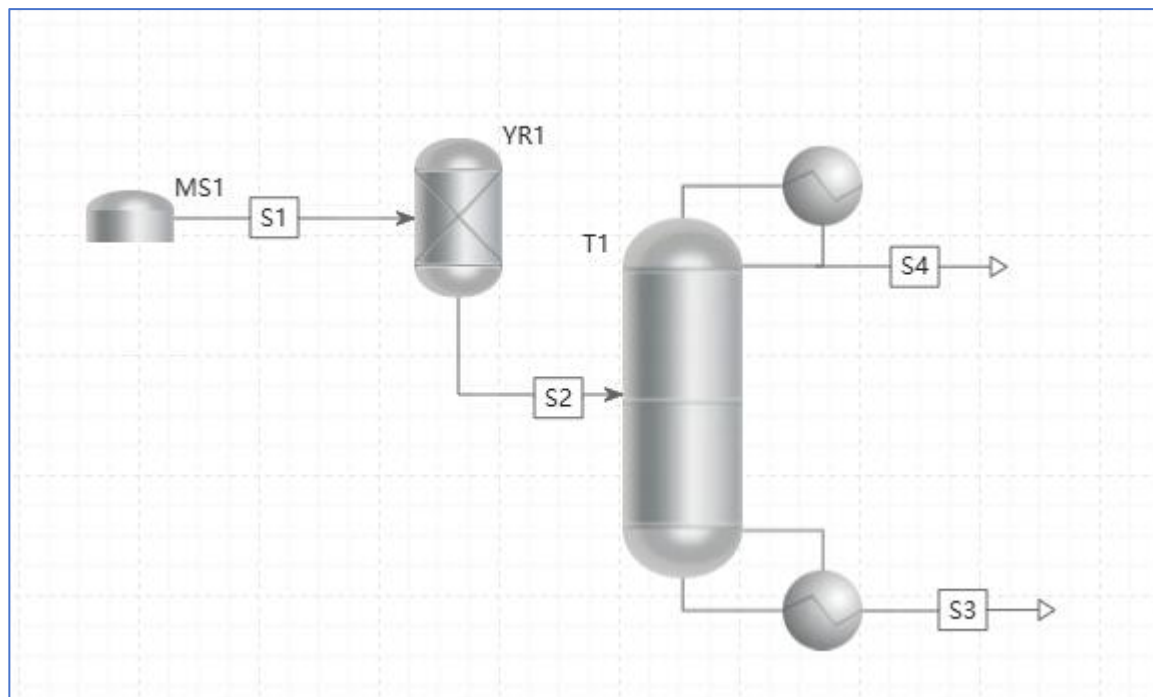
塔顶质量回流比: 3

要求: 通过控制塔釜采出量和塔顶回流比使塔顶的乙烷含量为0.0002, 塔釜的乙烯含量为0.005

最终的塔釜采出量和塔顶回流比分别是多少?

课堂练习

在**培训习题18-1**的基础上新增一个精馏塔，流程如下



塔板数：100

冷凝器：全凝器

再沸器：釜式再沸器

进料板：60，气相进料

塔顶压力：20 bar

第二块板压降：0.5 bar

3-60块板总压降：0.5 bar

61-100块板总压降：0.5bar

2-60块板效率：0.9

61- 99块板效率：0.9

塔釜采出流量：10000 kg/hr

塔顶质量回流比：3

要求：通过控制**塔釜采出量**和**塔顶回流比**使塔顶的**乙烷含量**为0.0002，塔釜的**乙烯含量**为0.005

最终的塔釜采出量和塔顶回流比分别是多少？

塔釜采出量：10615 kg/hr

塔顶回流比：3.529 (质量)

保存文件为**培训习题19-1**



20 | 灵敏度分析

学习目标



- **目标：**
 - 熟悉灵敏度分析的作用和使用方法
- **内容：**
 - 介绍灵敏度分析的作用和使用方法；

灵敏度分析

灵敏度分析：

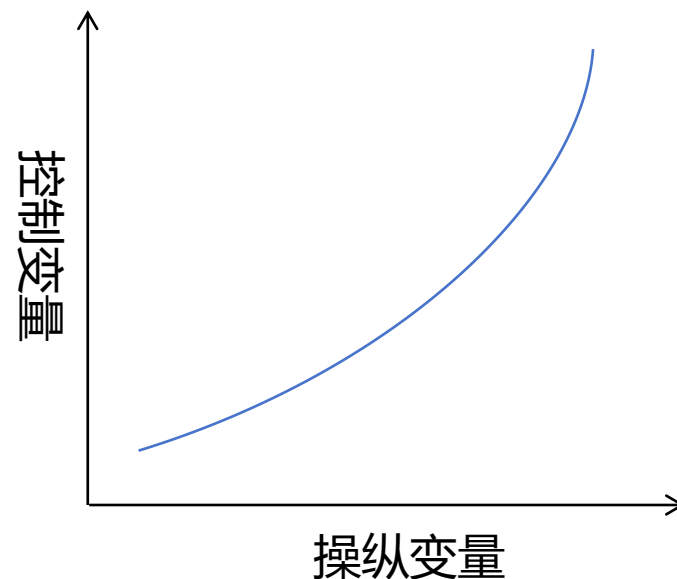
系统地研究并量化一个或多个输入变量（如操作条件、设计参数）的变化对关键输出变量（如产品纯度、能耗、成本、设备尺寸等）的影响

APEX中

输入变量：操纵变量

输出变量：控制变量

序号	操纵变量	控制变量
1	数值1	结果1
2	数值2	结果2
3	数值3	结果3
4	数值4	结果4
...



灵敏度分析

流程图 组态管理 求解 插入 帮助

工程设置 单位集 单位集1 全局 设计规定 f_x 目标函数 灵敏度分析

模块组态 规定变更 优化 值变更 整定 模块应用

执行域 全局

选择控制变量

灵敏度分析 增益分析

SENI 请输入

新增

变量列表

序号	变量名称	变量角色	当前值	单位	启用	操作
1	COOLER.VAR.TEMP	已知变量	105	C	<input checked="" type="checkbox"/>	配置 删除
	请输入新增变量					

配置操作变量的变量起点、变量终点以及变量步长或分析个数

新增灵敏度分析组

选择操纵变量

案例演示

在【演示案例19-1】基础上进行操作

- ◆ 右击主流程图空白处打开**模型分析|灵敏度分析**，新建配置组“SEN1”，选择操纵变量为：回流比【T1.VAR.MAIN_TOP_RR_MOLE】，点击“配置”，配置操纵变量的变化方式
- ◆ 选择输入方式为“等距”，起点设置为2，终点设置为5，变量步长设置为1，则将在回流为2、3、4、5的条件下运行模型

输入方式还可选择为：

- ◆ 对数-所输入数据取对数后，按起点、终点、分析个数、对数因子(自动计算)进行分析
- ◆ 表格-按照列表输入进行分析

The screenshot shows the '灵敏度分析' (Sensitivity Analysis) configuration window. The '操纵变量-元变量' (Manipulated Variable - Element Variable) section is active, showing a table with one variable: 'T1.VAR.MAIN_TOP_RR_MOLE'. The '配置' (Configuration) dialog box is open, allowing the user to set the input method to '等距' (Equal Interval), the start value to 2, the end value to 5, the step length to 1, and the number of analysis points to 4.

序号	变量名称	变量角色	当前值	单位	启用	操作
1	T1.VAR.MAIN_TOP_RR_MOLE	已知变量	3	Unitless	<input checked="" type="checkbox"/>	配置 删除

案例演示

选择控制变量为塔顶馏出物中丙烷的摩尔分率【T1.VAR.T1TOP_PROPANE】，点击计算

灵敏度分析 增益分析

SEN1
请输入
+ 新增

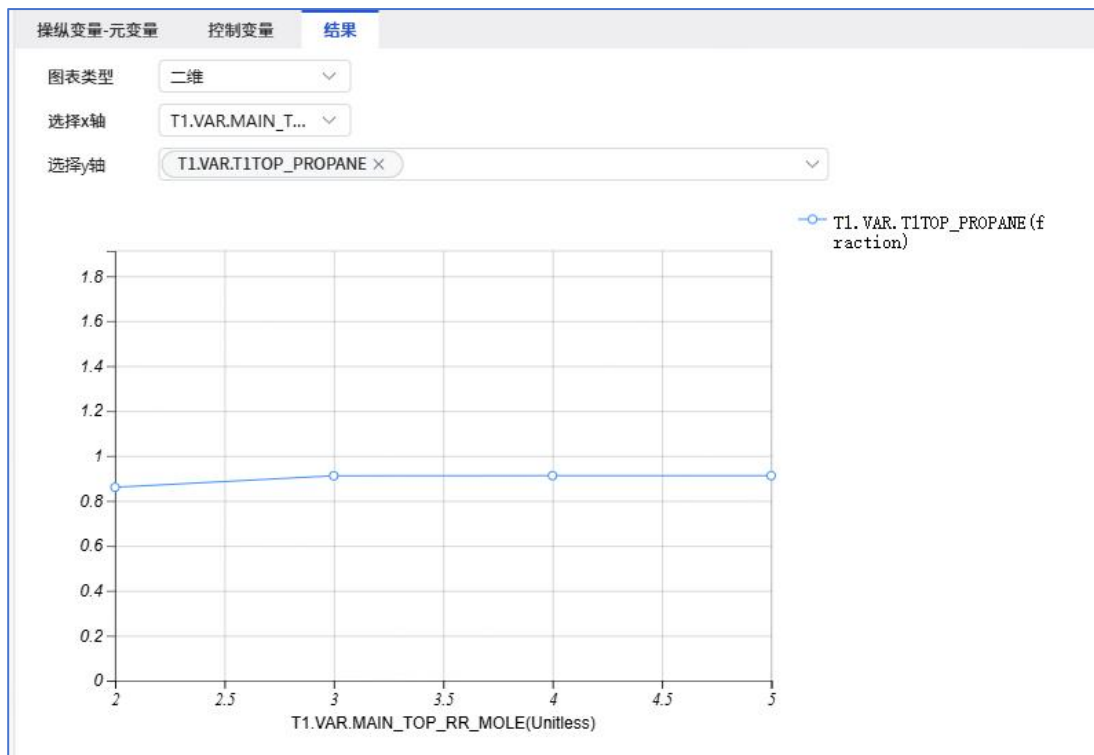
操纵变量-元变量 控制变量 结果 计算

变量列表 删除

序号	变量名称	变量角色	当前值	单位	启用	操作
1	T1.VAR.T1TOP_PROPANE	未知变量	0.9110975479576908	fraction	<input checked="" type="checkbox"/>	删除
	请输入新增变量					

案例演示

点击“计算”，可查看结果，并可通过   切换结果展示形式



由图可得塔T1的摩尔回流比的变化对塔顶产品丙烷含量的影响，**可用于找到最佳操作点。**

结果表格

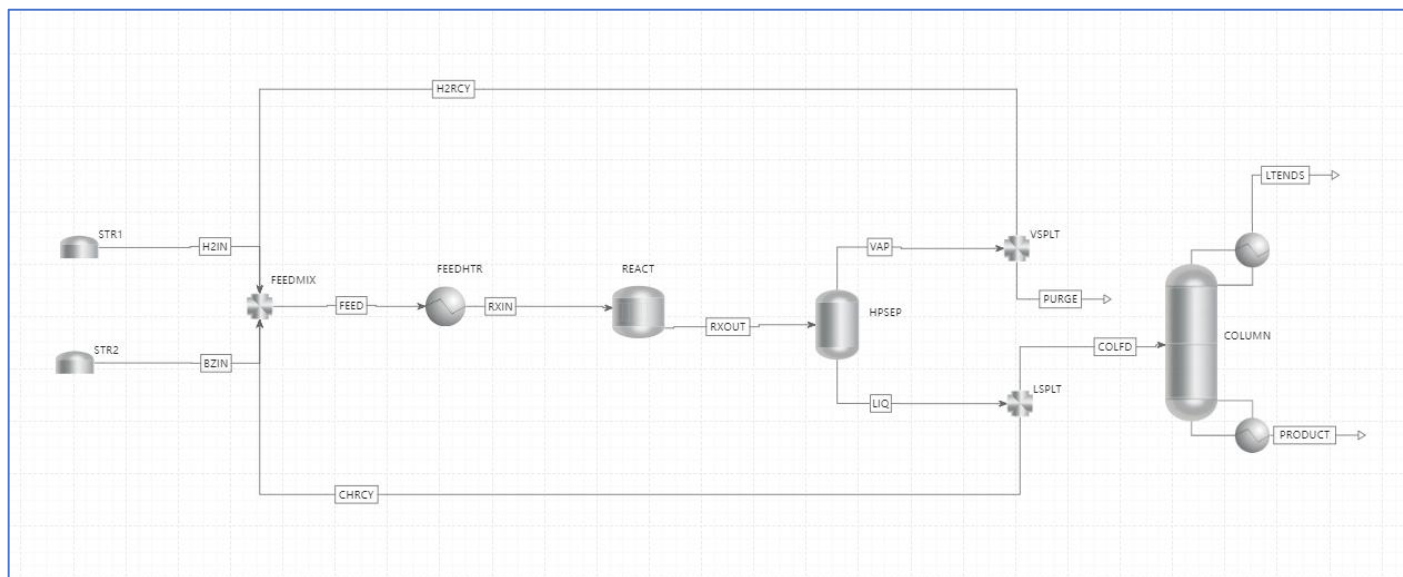
序号	状态	操纵变量		控制变量	
		T1.VAR.MAIN_TOP_RR_MOLE Unitless		T1.VAR.T1TOP_PROPANE fraction	
1	成功	2		0.8598625	
2	成功	3		0.9110975	
3	成功	4		0.9115876	
4	成功	5		0.9115859	

保存为: 演示案例20-1.apex

课堂练习

- 目的：创建一个流程来模拟环己烷生产过程：
- 环己烷可以用苯加氢反应得到，反应如下：
 - $C_6H_6 + 3H_2 = C_6H_{12}$
 - 在进入固定床接触反应器之前，苯和氢气进料与循环氢气和环己烷混合。假设苯的摩尔转化率为99.8%。
 - 反应器出料被冷却，轻气体从产品物流分离出去。部分轻气体作为循环氢气返回反应器。从分离器出来的液体产品物流进入蒸馏塔进一步脱除溶解的轻气体，使最终产品稳定。部分环己烷产品循环进入反应器，辅助控制温度。

● 需要预测循环流股的组成和热力学状态



物料源	H2IN	BZIN
温度/°C	50	40
压力/bar	25	1
摩尔组成	$0.975H_2, 0.005N_2, 0.02CH_4$	C_6H_6
流量/kmol/h	330	100

物性方法采用SRK

课堂练习

单元模块操作条件	
加热器FEEDHTR	
温度/°C	150
压力/bar	23
计量反应器REACT	
温度/°C	200
压降/bar	1
苯的转化率	0.998
闪蒸罐HPSEP	
温度/°C	50
压降/bar	0.5
混合器FEEDMIX	
压降/bar	0
分流器VSPLT/LSPLT	
VSPLT	闪蒸罐气相出口循环物流分离比率为92%
LSPLT	闪蒸罐液相出口循环物流分离比率为30%

单元模块操作条件	
精馏塔COLUMN	
理论板数	12
摩尔回流比	1.2
塔底采出量/kmol/h	99
冷凝器	只有气体采出的部分冷凝器
塔顶压力/bar	15
进料板	8 (板间进料)
全塔压降/bar	0

- 目的：通过调整塔底采出量使得环己烷的摩尔分率为99.9%
- 问题：达到分离要求的塔底采出量是多少？
- 将模型保存并导出成“**培训习题20-1.apex**”文件

课堂练习

单元模块操作条件	
加热器FEEDHTR	
温度/°C	150
压力/bar	23
计量反应器REACT	
温度/°C	200
压降/bar	1
苯的转化率	0.998
闪蒸罐HPSEP	
温度/°C	50
压降/bar	0.5
混合器FEEDMIX	
压降/bar	0
分流器VSPLT/LSPLT	
VSPLT	闪蒸罐气相出口循环物流分离比率为92%
LSPLT	闪蒸罐液相出口循环物流分离比率为30%

单元模块操作条件	
精馏塔COLUMN	
理论板数	12
摩尔回流比	1.2
塔底采出量/kmol/h	99
冷凝器	只有气体采出的部分冷凝器
塔顶压力/bar	15
进料板	8
全塔压降/bar	0

- 目的：通过调整塔底采出量使得环己烷的摩尔分率为99.9%
- 问题：达到分离要求的塔底采出量是多少？
18.6 kmol/h
- 将模型保存并导出成“**培训习题20-1.apex**”文件



21 | 变量连接

学习目标



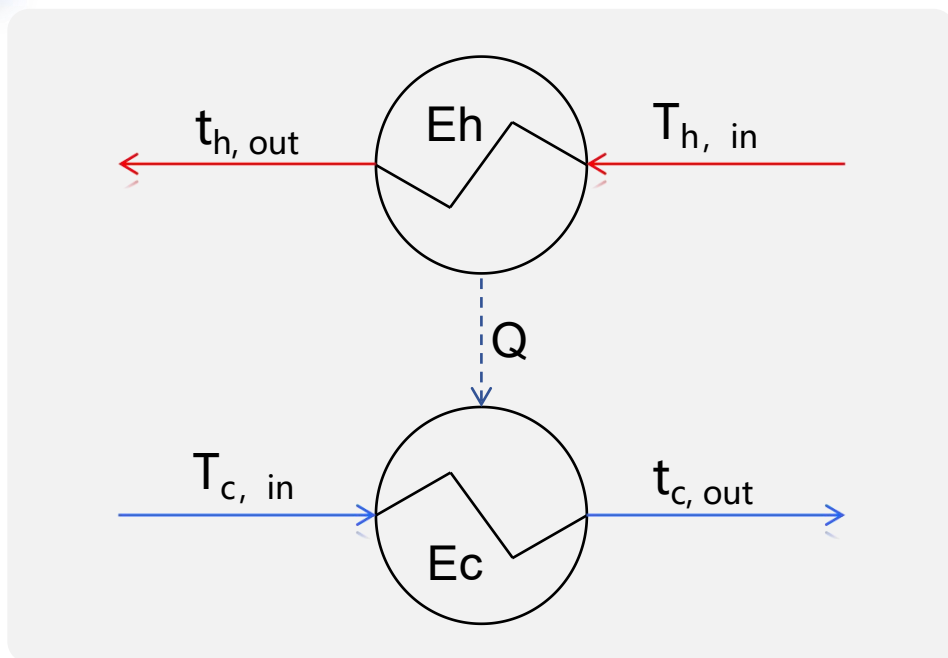
● 目标：

- 了解中控APEX平台变量的连接规则

● 内容：

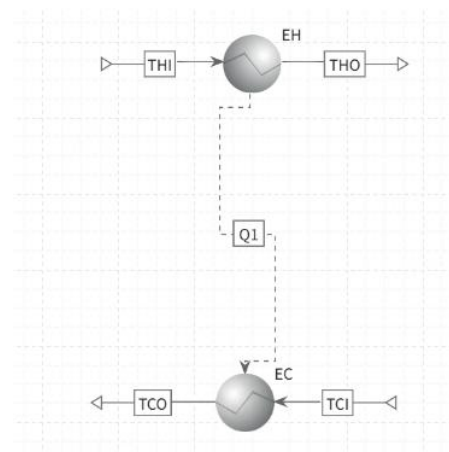
- 中控APEX平台各变量之间的连接规则
- 中控APEX平台的四种连接
 - 流通股连接
 - 变量连接
 - 自定义端口连接
 - 引用连接
- 计算器模块

什么是变量连接



采用2组加热/冷却模块组合模拟换热器

方式一：从Eh拖动Q热流股连接至Ec



方式二：构建一个“连接”将Eh的热负荷Q连接至Ec

流股连接 引用连接 自定义端口连接 变量连接						
序号	连接名称	源	目标	系数	偏移量	
1	Q	Eh.VAR.DUTY	Ec.VAR.DUTY	1	0	
		Eh热负荷	Ec热负荷			

方式一

方式二

Eh热负荷 = Ec热负荷

Eh热负荷 - Ec热负荷 = 0

SM模型

EO模型

什么是变量连接

每多一个连接方程，就会少一个未知变量

$$\begin{cases} x_1 + x_2 = 0 \\ x_4 - 2x_3 = 0 \end{cases}$$

令 $x_3 = x_2$

$$\begin{cases} x_1 + x_2 = 0 \\ x_4 - 2x_3 = 0 \\ x_3 - x_2 = 0 \end{cases}$$

变量	x_1	x_2	x_3	x_4
角色	已知	未知	已知	未知

2个方程、2个未知变量

满秩，方程组有唯一解

变量	x_1	x_2	x_3	x_4
角色	已知	未知	未知	未知

3个方程、3个未知变量

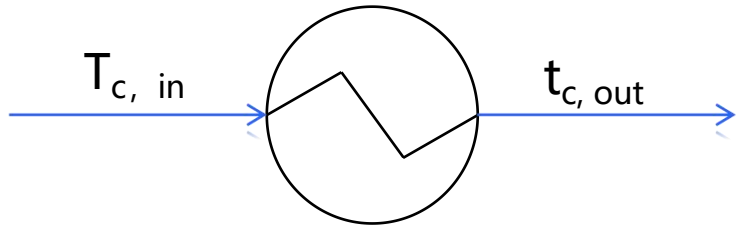
满秩，方程组有唯一解

变量连接的几种方式

	含义	用途	配置方式
流股连接	流程图中，利用物流股、热流股等将两模块进行连接	流程建模中，快速构建模型	拖拽流股实现连接
变量连接	定义2个变量间的连接关系	特定的2个变量存在相互依赖关系时使用	“变量连接”中配置
端口连接	定义2组变量间的连接关系	特定的2组变量存在相互依赖关系时	单元模块先定义端口，再在“自定义端口连接”中配置
引用连接	计算器、测量等模块引用其他模块变量作为源连接至本模块变量	需要额外计算模型某些变量，或将模型与外部仪表数据关联时使用	在计算器、测量模块中引用相关变量

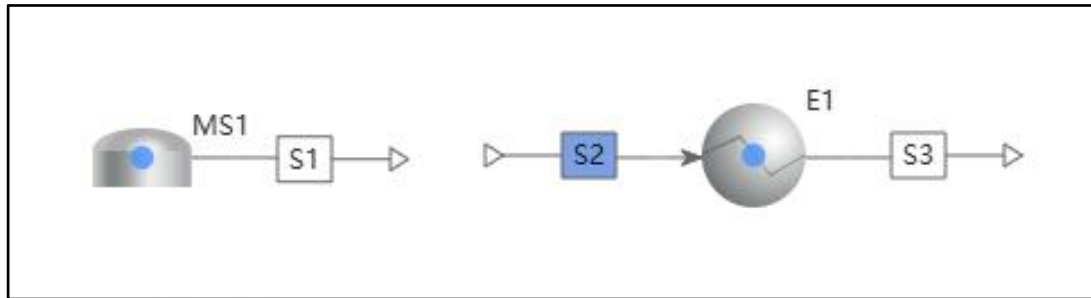
流股连接

+ NC



流股传递信息：MOLES、TEMP、PRES、ENTH、MW、MV、NC

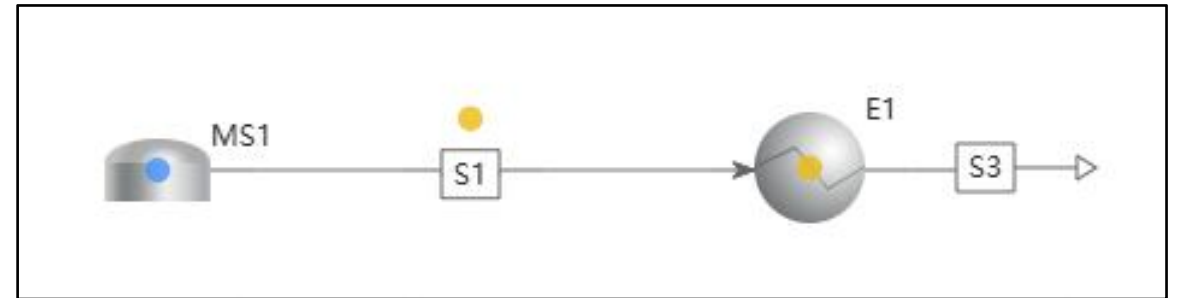
连接前：



MS1.VAR.S1_MOLES	常数	E1.VAR.S2_MOLES	常数
MS1.VAR.S1_TEMP	常数	E1.VAR.S2_TEMP	常数
MS1.VAR.S1_PRES	常数	E1.VAR.S2_PRES	常数
MS1.VAR.S1_ENTH	计算	E1.VAR.S2_ENTH	常数
MS1.VAR.S1_MW	计算	E1.VAR.S2_MW	常数
MS1.VAR.S1_MV	计算	E1.VAR.S2_MV	常数
MS1.VAR.S1_H2O	计算	E1.VAR.S2_H2O	常数

无连接方程，E1入口S2流股独立

连接后：



MS1.VAR.S1_MOLES	常数	-	E1.VAR.S1_MOLES	计算	= 0
MS1.VAR.S1_TEMP	常数	-	E1.VAR.S1_TEMP	计算	= 0
MS1.VAR.S1_PRES	常数	-	E1.VAR.S1_PRES	计算	= 0
MS1.VAR.S1_ENTH	计算	-	E1.VAR.S1_ENTH	计算	= 0
MS1.VAR.S1_MW	计算	-	E1.VAR.S1_MW	计算	= 0
MS1.VAR.S1_MV	计算	-	E1.VAR.S1_MV	计算	= 0
MS1.VAR.S1_H2O	计算	-	E1.VAR.S1_H2O	计算	= 0

有连接方程，E1入口S2流股受上游制约

流股连接：多了6+NC个连接方程，独立的6+NC个变量从**已知**变为**未知**

变量连接

实现一对变量间的连接

组态信息												
连接管理												
模型应用												
模型分析												
元变量												
计算结果												
流通股连接 引用连接 自定义端口连接 变量连接												
<input type="button" value="删除"/> <input type="button" value="上移"/> <input type="button" value="下移"/>												
序号	连接名称	源	目标	系数	偏移量	连接类型	连接状态	连接度	启用	描述	操作	
1	Q	EH.VAR.DUTY	EC.VAR.DUTY	1	0	硬连接	实连	1	<input checked="" type="checkbox"/>		查看 删除 配置	
	请输入											

EH.VAR.DUTY - 系数 * EC.VAR.DUTY + 偏移量 = 0

硬连接

EH.VAR.DUTY - 系数 * EC.VAR.DUTY + 偏移量 - BIAS = 0

软连接

连接前

计算


常数

连接后

计算

计算

连接名称：用户自定义名称，以简单、便于记忆为宗旨

源：连接的发出者，点击  选择变量

目标：被连接者，点击  选择变量

系数和偏移量：变量之间的连接方程可描述为：

$$\text{目标} = \text{系数} \times \text{源} + \text{偏移量}$$

系数默认为1，偏移量默认为0

连接类型：选择硬连接（默认）或软连接：

硬连接：连接方程**不会**产生BIAS变量

软连接：连接方程**会**产生BIAS变量

变量连接

组态信息														
连接管理														
模型应用														
模型分析														
元变量														
计算结果														
流通股连接		引用连接		自定义端口连接		变量连接						删除 上移 下移		
序号	连接名称	源	目标	系数	偏移量	连接类型	连接状态	连接度	启用	描述	操作			
1	Q	EH.VAR.DUTY	EC.VAR.DUTY	1	0	硬连接	实连	1	<input checked="" type="checkbox"/>		查看 删除 配置			
	请输入													

●连接状态

当连接类型为**软连接**时，可选择连接状态为**实连**或**空连**

●连接度

仅当连接类型为软连接时可配置，用于调整下一次BIAS变量的大小：

$$\text{下一次BIAS变量} = \text{当前BIAS变量} * (1 - \text{连接度})$$

●操作：对当前端口连接的操作项

- **查看**：查看该端口连接中所有的源变量和目标变量及它们的规定和值；需在配置完成且执行生成变量后才可查看
- **删除**：删除该端口连接
- **配置**：可配置该端口连接中目标变量的初值；当该端口连接存在循环缺乏初值时，可在此配置

●启用

可通过复选框选择是否启用该连接方程，默认为启用

●描述

可选择输入该连接的描述信息，非必填

变量连接

组态信息 | **连接管理** | 模型应用 | 模型分析 | 元变量 | 计算结果

流通股连接 | 引用连接 | 自定义端口连接 | **变量连接**

删除 | 上移 | 下移

序号	连接名称	源	目标	系数	偏移量	连接类型	连接状态	连接度	启用	描述	操作
1	Q	EH.VAR.DUTY	EC.VAR.DUTY	1	0	硬连接	实连	1	<input checked="" type="checkbox"/>		查看 删除 配置
	请输入										

查看连接信息

连接生效前

源变量				目标变量				偏差	
名称	规定	值	单位	名称	规定	值	单位	值	单位
VAR.DUTY	计算	12.42173	kW	EC.VAR.DUTY	常数	10	kW	2.421729	kW

查看连接信息

连接生效后 (求解完成)

源变量				目标变量				偏差	
名称	规定	值	单位	名称	规定	值	单位	值	单位
VAR.DUTY	计算	12.42173	kW	EH.VAR.DUTY	计算	12.42173	kW	2e-15	kW

若当前目标变量值未解出或与源变量值差距较大时，可预先为目标变量配置一个合适的初值

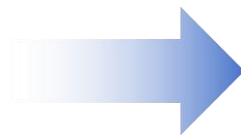
模块名称 Q

下游初值 | 连接配置 | 描述

名称	值	单位
EH.VAR.DUTY		kW

自定义端口连接

当两个模块间存在N个
变量需要进行连接时



变量连接：需建立
N条连接，选择2N
次变量

自定义端口连接：
仅需建立1条连接，
选择2次变量

自定义端口连接操作步骤

1、新增端口

2、选择变量

3、建立端口连接

序号	连接名称	源	目标	系数	偏
1	PORT-E1	E1.PORT1		1	
	请输入				

自定义端口连接

自定义端口连接中除源和目标仅能选择端口外，其它操作与变量连接一致

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

流股连接 引用连接 自定义端口连接 变量连接

删除 上移 下移

序号	连接名称	源	目标	系数	偏移量	连接类型	连接状态	连接度	启用	描述	操作
1	PORT-E1	E1.PORT1	MS1.PORT1	1	0	硬连接	实连	1	<input checked="" type="checkbox"/>		查看 删除 配置
	请输入										

查看该端口中详细的变量连接

配置目标变量的初值

查看连接信息

源变量				目标变量				偏差	
名称	规定	值	单位	名称	规定	值	单位	值	单位
E1.VAR.TEMP	常数	80	C	MS1.VAR.F_TEMP	常数	37.75	C	42.25	C
E1.VAR.PRES	常数	1	bar	MS1.VAR.F_PRES	常数	5	bar	-4	bar

模块名称 PORT-E1

下游初值 连接配置 描述

名称	值	单位
MS1.VAR.F_TEMP		C
MS1.VAR.F_PRES		bar

注：若未在模块中提前配置端口，也可点击源或目标后面的...选择变量，确定后会在变量对应的模块内自动创建端口

计算器模块简介

计算器模块核心作用在于扩展和自定义模拟流程的逻辑，实现基本单元模块无法直接完成的功能

- 从流程获取数据并执行任意的数学、逻辑运算，得到所需的结果

- 计算一个自定义的关键性能指标，如总收率、单位产品能耗、经济效益估算
- 根据进口条件动态计算一个反应器的转化率
- 计算物性参数，如混合物的自定义粘度模型

- 将计算结果回写流程，改变流程中某些模块的操作条件

- 将计算出的热负荷值赋给一个加热器
- 根据反应器出口温度调整冷却水流量

计算器模块配置

计算器模块可对流程中的变量或自定义的变量进行加减乘除等运算；

计算器模块配置界面：

注：标签仅支持以字母开头，可输入字母、数字、下划线“_”和横线“-”

标签	来源	类型	大小	变量名称	初值	物理类型	单位	描述	变量类型	操作
A	引用	标量	1	E1.VAR.DUTY		热流量	kW		输入变量	删除
B	自定义	标量	100		100	热流量	kW		输出变量	删除
请输入标签										

●来源

分为引用和自定义两种

- 引用：引用其它模块的变量参与计算器的计算
- 自定义：自定义一个变量参与方程计算

●标签

定义变量，以在算式编辑的方程中进行使用，标签会出现在元变量的名称中

●类型

分为标量和数组

- 标量：作为单个变量参与计算；
- 数组：以一个数组参与计算，数组引用的变量必须为同一个物理类型

●大小

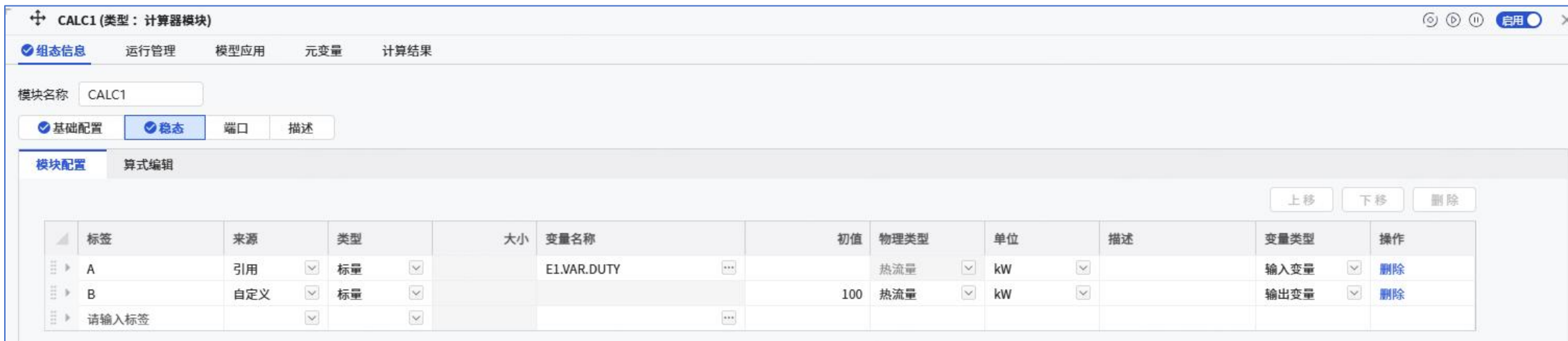
数组的大小，指该数组包含多少个变量

计算器模块配置

计算器模块可对流程中的变量或自定义的变量进行加减乘除等运算；

计算器模块配置界面：

注：当引用的变量是一个非已知变量，此时该变量无法作为输出变量



●变量名称

当来源为引用时，选择其它模块的变量以显示在表格中

●物理类型

用于标注该变量的物理类型，引用变量会自动生成，自定义变量则需手动选择

●单位

选择当前变量物理类型下的某个单位，注：计算时会以当前单位下的数值参与方程的计算

●变量类型

分为输入变量和输出变量

- 输入变量的系统规定为常数，
- 输出变量的系统规定为计算

●初值

输入该标签变量的初值用于方程的计算，引用变量可不输入

●描述值

对该标签的变量的描述，可不输入，输入后会出现在该元变量的名称中

计算器算式编辑

算式编辑界面，根据模块配置中定义的标签名进行方程式的编写

编写规则：

不同方程式用分号
“;”进行区分

方程式必须为等式

编写的方程数和定义的
输出变量数需相等

支持的逻辑运算及其符号

符号	运算说明
+	加
-	减
*	乘
/	除
^	乘方
ABS()	绝对值
LOGE()	自然对数
LOG10 ()	常用对数
COS()	余弦
SIN()	正弦
TAN()	正切
EXP()	指数
SQRT()	方根
FLOOR()	取整（直接舍去小数部分）

注：

- 分号，括号仅支持半角格式
- 运算符号不区分大小写
- 标签仅支持大写，算式编辑中标签需一致

计算器元变量

计算器配置的每一个**标量**都会生成一个元变量，每一个**数组**根据大小生成对应数量的变量

变量的名称生成规则

	未输入描述	输入描述
引用变量	计算器模块名.VAR.标签[N]_引用变量名	计算器模块名.VAR.描述[N]
自定义变量	计算器模块名.VAR.标签[N]_物理类型	计算器模块名.VAR.描述[N]

注:[N]仅当为数组的时候生成，从1开始

模块名称: CALC1

基础配置 | 稳态 | 端口 | 描述

模块配置 | 算式编辑

标签	来源	类型	大小	变量名称	初值	物理类型	单位	描述
A	引用	标量		E1.VAR.DUTY		热流量	kW	
B	自定义	标量			100	热流量	kW	HT_DUTY
C	引用	数组		D2.VAR.D2L_PROPANE,D2.V...		含量	fraction	
D	自定义	数组	6		10	含量	fraction	D2L_ALLFRAC
请输入标签								

名称
CALC1.VAR.A_E1.VAR.DUTY
CALC1.VAR.HT_DUTY
CALC1.VAR.C[1]_D2.VAR.D2L_PROPANE
CALC1.VAR.C[2]_D2.VAR.D2L_1-BUTENE
CALC1.VAR.C[3]_D2.VAR.D2L_BUTANE
CALC1.VAR.C[4]_D2.VAR.D2L_T-BUTENE
CALC1.VAR.C[5]_D2.VAR.D2L_C-BUTENE
CALC1.VAR.C[6]_D2.VAR.D2L_PENTANE
CALC1.VAR.D2L_ALLFRAC[1]
CALC1.VAR.D2L_ALLFRAC[2]
CALC1.VAR.D2L_ALLFRAC[3]
CALC1.VAR.D2L_ALLFRAC[4]
CALC1.VAR.D2L_ALLFRAC[5]
CALC1.VAR.D2L_ALLFRAC[6]

引用连接

查看引用连接：全局组态-连接管理-引用连接

注：在此可查看当前层级流程的所有的引用连接

全局

组态信息 **连接管理** 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

流通股连接 **引用连接** 自定义端口连接 变量连接

序号	连接名称	源	目标	连接类型	连接状态	连接度	描述	操作
1	REFPORT1_A	E1.REFPORT1	CALC1.A	硬连接	实连			查看 配置

查看引用连接中源和目标变量

配置目标变量的初值

查看连接信息

源变量				目标变量				偏差	
名称	规定	值	单位	名称	规定	值	单位	值	单位
E1.VAR.DUTY	计算	-180.7724	kW	CALC1.VAR.A_E1.VAR.DUTY	计算	-180.7724	kW	0	kW

REFPORT1_A (类型：引用连接)

组态信息 运行管理 元变量 计算结果

模块名称 REFPORT1_A

下游初值 连接配置 描述

名称	值	单位
CALC1.VAR.A_E1.VAR.DUTY		kW

变量连接规则

不同规定下变量之间的连接前后关系：

源变量

目标变量

	常数	计算	测量	参数	整定	优化
常数 =	计算 = 常数	计算 = 计算	计算 = 测量	计算 = 参数	计算 = 整定	计算 = 优化
计算 =	计算 = 计算	不可连接	不可连接	不可连接	计算 = 计算	计算 = 计算
测量 =	测量 = 计算	不可连接	不可连接	计算 = 计算	测量 = 计算	测量 = 计算
参数 =	参数 = 计算	不可连接	计算 = 计算	不可连接	参数 = 计算	参数 = 计算
整定 =	计算 = 常数	计算 = 计算	计算 = 测量	计算 = 参数	计算 = 整定	计算 = 优化
优化 =	计算 = 常数	计算 = 计算	计算 = 测量	计算 = 参数	计算 = 整定	计算 = 优化

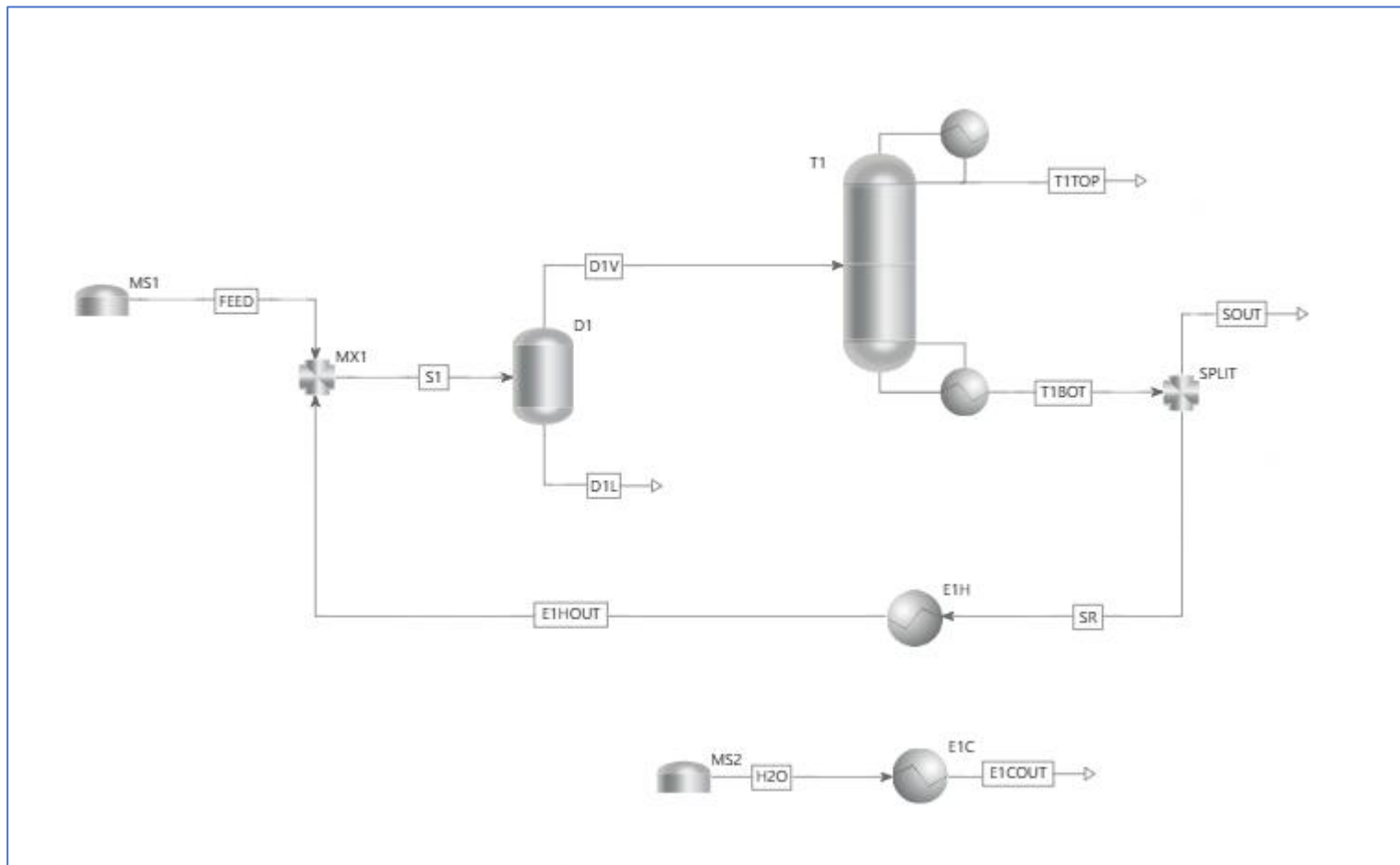
- 凡是被连接的变量，角色均为“未知变量”，规定为“计算”
- 两个已知变量相连，目标变量 → 未知（“计算”）
- 已知变量与未知变量相连，无论源、目标，均为已知变量 → 未知（“计算”）
- “测量”“参数”成对出现时，目标变量 → 未知（“计算”）
- “测量”“参数”仅出现一个时，均不被连接
- “整定”“优化”连接前均作为已知变量处理

注：

- 所有新增的连接需重新构建模型才能生效
- 生成变量时会生成这些连接方程
- 构建规定时会在当前层级规定变更生效后进行连接

案例演示

在 **演示案例19-1** 的基础上，删除热流股，E1H的热负荷初值为100 KW，打开设计规定DS1
分别用**变量连接**、**自定义端口连接**、**引用连接**模拟E1C和E1H的换热，其中**热量会损失10KW**



案例演示

变量连接

流通股连接 引用连接 自定义端口连接 变量连接											
序号	连接名称	源	目标	系数	偏移量	连接类型	连接状态	连接度	启用	描述	操作
1	EIQ	EIC.VAR.DUTY	EIH.VAR.DUTY	-1	-10000	硬连接	实连	1	<input checked="" type="checkbox"/>		查看 删除 配置
	请输入										

- 冷凝器的热负荷为负数
- 加热器的热负荷为正数
- 故系数需输入-1

- 偏移量需输入SI单位下的数值

新增了连接方程，需要重新初始化

初始化、运行后结果

查看连接信息									
源变量					目标变量				
名称	规定	值	单位		名称	规定	值	单位	
EIC.VAR.DUTY	计算	-60.09499	kW		EIH.VAR.DUTY	计算	50.09499	kW	

案例演示

自定义端口连接

1、配置端口

✚ E1C (类型: 加热器)

☑ 组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 E1C

☑ 基础配置 ☑ 稳态 ☑ 端口 描述

流股端口 引用端口 自定义端口

PORT1
请输入

描述 请输入描述信息

连接至

上移 下移 删除

+ 新增

变量名	操作
VAR.DUTY	删除
请输入新增变量	

✚ E1H (类型: 加热器)

☑ 组态信息 运行管理 模型应用 元变量 计算结果

模块名称 E1H

☑ 基础配置 ☑ 稳态 ☑ 端口 描述

流股端口 引用端口 自定义端口

PORT1
请输入

描述 请输入描述信息

连接至

上移 下移 删除

+ 新增

变量名	操作
VAR.DUTY	删除
请输入新增变量	

2、配置端口连接

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

流股连接 引用连接 自定义端口连接 变量连接

删除 上移 下移

序号	连接名称	源	目标	系数	偏移量	连接类型	连接状态	连接度	启用	描述	操作
1	E1Q	E1C.PORT1	E1H.PORT1	-1	-10000	硬连接	实连	1	☑		查看 删除 配置
	请输入										

初始化运行后结果

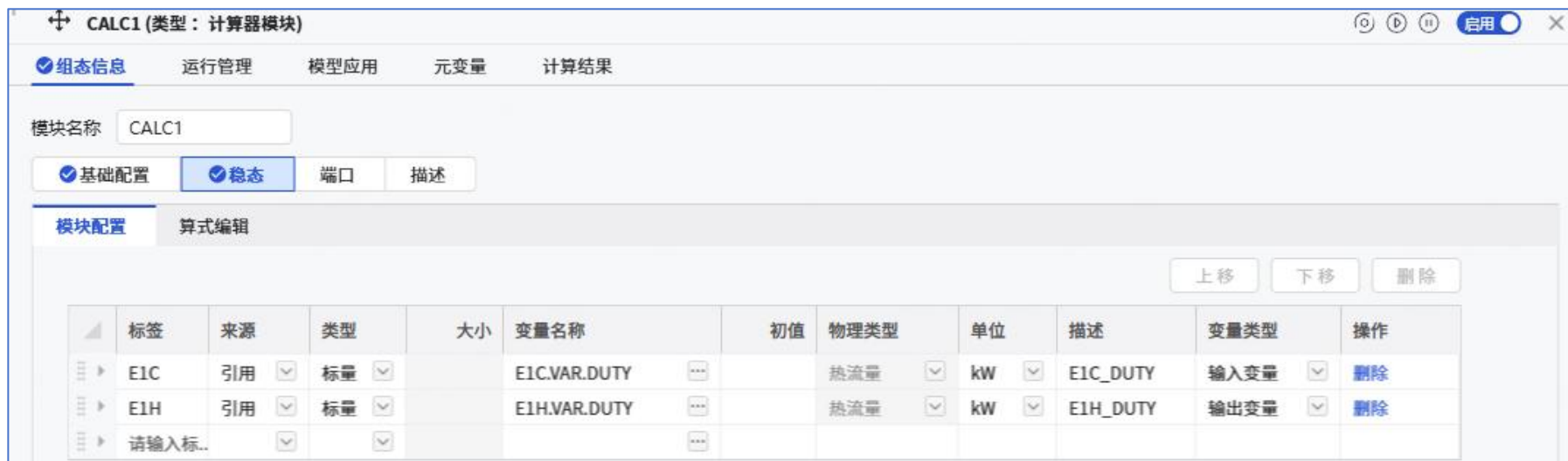
查看连接信息

源变量					目标变量				
名称	规定	值	单位		名称	规定	值	单位	
E1C.VAR.DUTY	计算	-60.09499	kW		E1H.VAR.DUTY	计算	50.09499	kW	

案例演示

引用连接

计算器-模块配置



计算器-算式编辑



$$E1H = -1 * E1C - 10$$

初始化运行结果

标签	元变量	值	单位	描述
E1H	E1H_DUTY	50.09481	kW	E1H_DUTY
E1C	E1C_DUTY	-60.09481	kW	E1C_DUTY

保存案例并导出，命名为**演示案例21-1**

课堂练习

在**培训习题19-1**的基础上，新增一个热通量换热器：

热测入口温度引用塔的冷凝器入口温度；

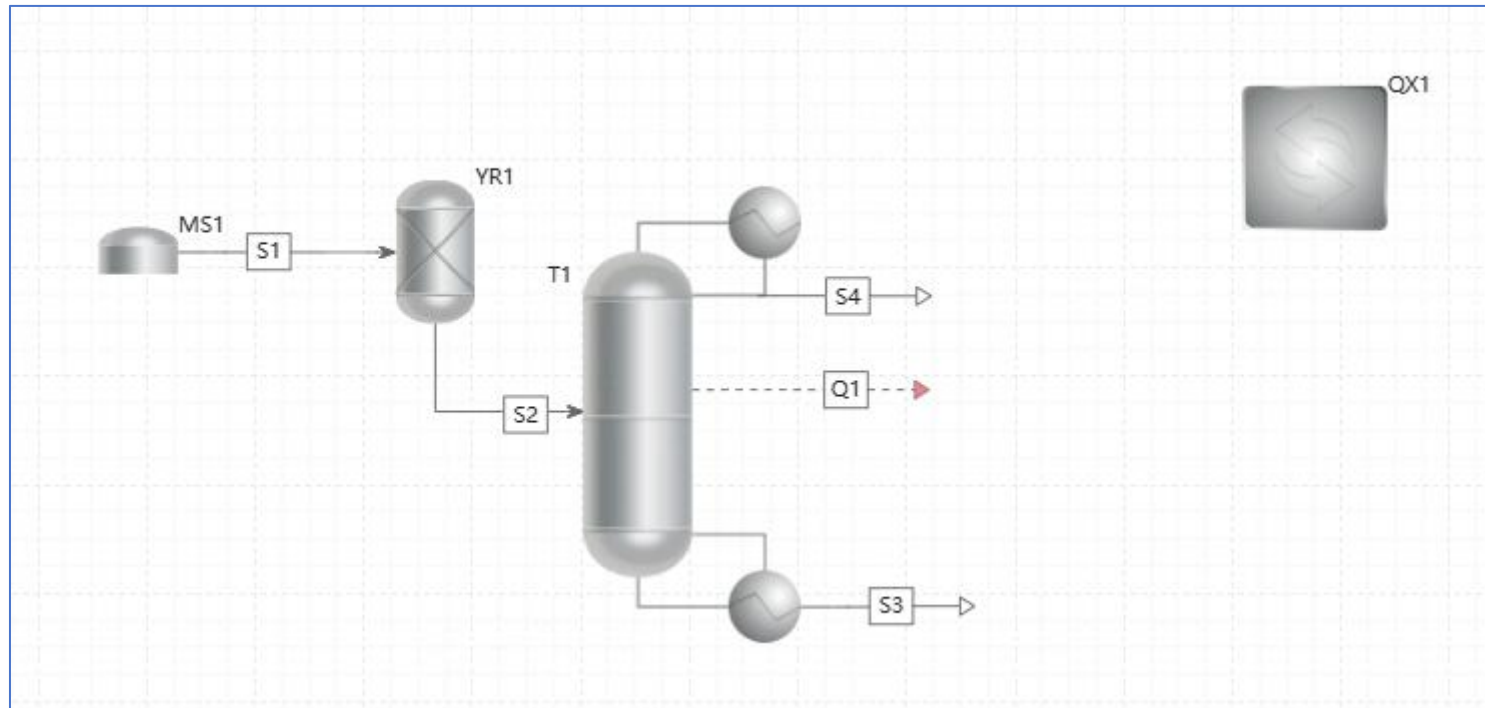
热测出口温度引用塔的冷凝器出口温度；

冷测入口和出口均指定为 -37°C ；

热负荷引用塔顶冷凝器的负荷；

传热面积为500平方米；

计算传热系数



注：冷凝器为精馏塔第一块板，入口为第二块板的气相，出口为第一块板的液相

课堂练习

在**培训习题19-1**的基础上，新增一个热通量换热器：

热测入口温度引用塔的冷凝器入口温度；

热测出口温度引用塔的冷凝器出口温度；

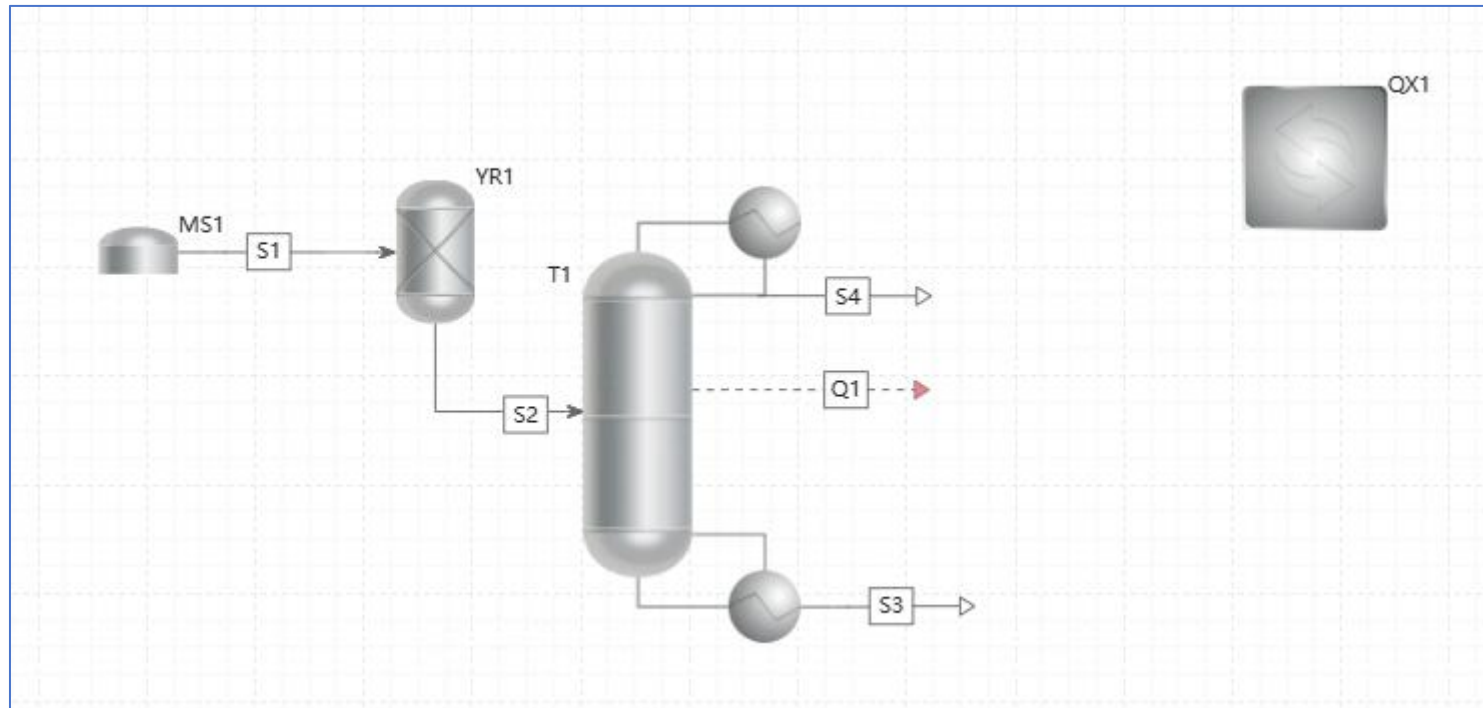
冷测入口和出口均指定为 -37°C ；

热负荷引用塔顶冷凝器的负荷；

传热面积为500平方米；

计算传热系数

3.94 kJ/s-spm-C





22 | 优化

学习目标



- **目标：**

- 了解中控APEX平台的优化计算

- **内容：**

- 优化问题的必要内容
- 创建一个优化问题
- 求解优化问题

优化

优化指在**给定的约束条件下**，自动寻找工艺过程的**操作变量或设计参数**，使某个**特定目标**达到**最佳**（最大或最小）的解决方案

优化问题

优化变量

在计算过程中可以自动调整的变量
如：反应器的温度与压力、精馏塔的回流比、进料量等

约束条件

在计算过程必须遵守的限制或边界
如：产品质量纯度要求、设备的操作压力上限或温度下限等

目标函数

在计算过程要优化的方向
如：最大化净利润、产品收率；最小化总操作费用、能耗或原料消耗等

优化

定义优化变量：将元变量的规定修改为优化

方式一：模型应用-优化

在此处添加的变量在初始化后
会将规定修改为优化



方式二：模型应用-规定变更

在此处将添加的变量规定修改
为优化
初始化后相应的变量将会变为
优化



注：优化变量只能由常数变量变化而来

优化

定义变量约束：设置元变量的上下限及步长限

方式一：模型应用-约束

The screenshot shows the '全局' (Global) interface with the '模型应用' (Model Application) tab selected. The '约束' (Constraint) sub-tab is active. On the left, there is a control for 'CST1' with a toggle switch and a text input field. The main table lists variables with their constraints:

序号	变量名称	单位	下限	上限	步长限	边界类型	操作
1	MS1.VAR.F_MASS	kg/hr	15000	30000	3000	硬边界	删除
	请输入新增变量						

方式二：模型应用-值变更

The screenshot shows the '全局' (Global) interface with the '模型应用' (Model Application) tab selected. The '值变更' (Value Change) sub-tab is active. On the left, there are controls for 'E1' and 'OPT' with toggle switches and text input fields. The main table lists variables with their values and constraints:

变量名称	值	单位	下限	上限	步长限	边界类型	缩放因子	启用	操作
MS1.VAR.F_MASS		kg/hr	15000	30000	3000			<input checked="" type="checkbox"/>	删除 信息带入
请输入元变量									

该变量在计算时的最小值

该变量在计算时的最大值

该变量在一次计算中可变化的最大值

优化

定义目标函数：设置优化计算的目标和方向

目标函数分为两类

线性目标函数 = $\sum (\text{价格}_i \times \text{变量值}_i)$ 或 $\sum (\text{变量值}_i \times \text{变量值}_i)$

全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

设计规定 约束 目标函数 整定 优化 缩放因子 规定变更 值变更

OBJFUN1

OBJFUN2

请输入

+ 新增

函数设置 计算结果

类型 线性 趋势 最大化

缩放因子 1 单位 RMB/hr

序号	元变量 (目标函数)	价格	价格单位	价格变量	启用	描述	操作
1	MS1VAR.F_MASS	1	RMB/kg		开启		删除
	请输入						

平方和目标函数 = $\sum \frac{(\text{变量值}_i - \text{均值}_i)^2}{\text{标准差}^2}$ 使变量值与目标值 (均值) 更为贴近

全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

设计规定 约束 目标函数 整定 优化 缩放因子 规定变更 值变更

OBJFUN1

OBJFUN2

请输入

+ 新增

函数设置 计算结果

类型 平方和 趋势 最小化

缩放因子 1 单位 Unitless

序号	元变量	均值	标准差	物理类型	单位	开启	描述	操作
1	MS1VAR.F_MASS	10000	1	质量流量	kg/hr	开启		删除
	请输入							

演示案例

在 **演示案例21-1** 的基础上，建立一个优化问题：

优化的操作变量

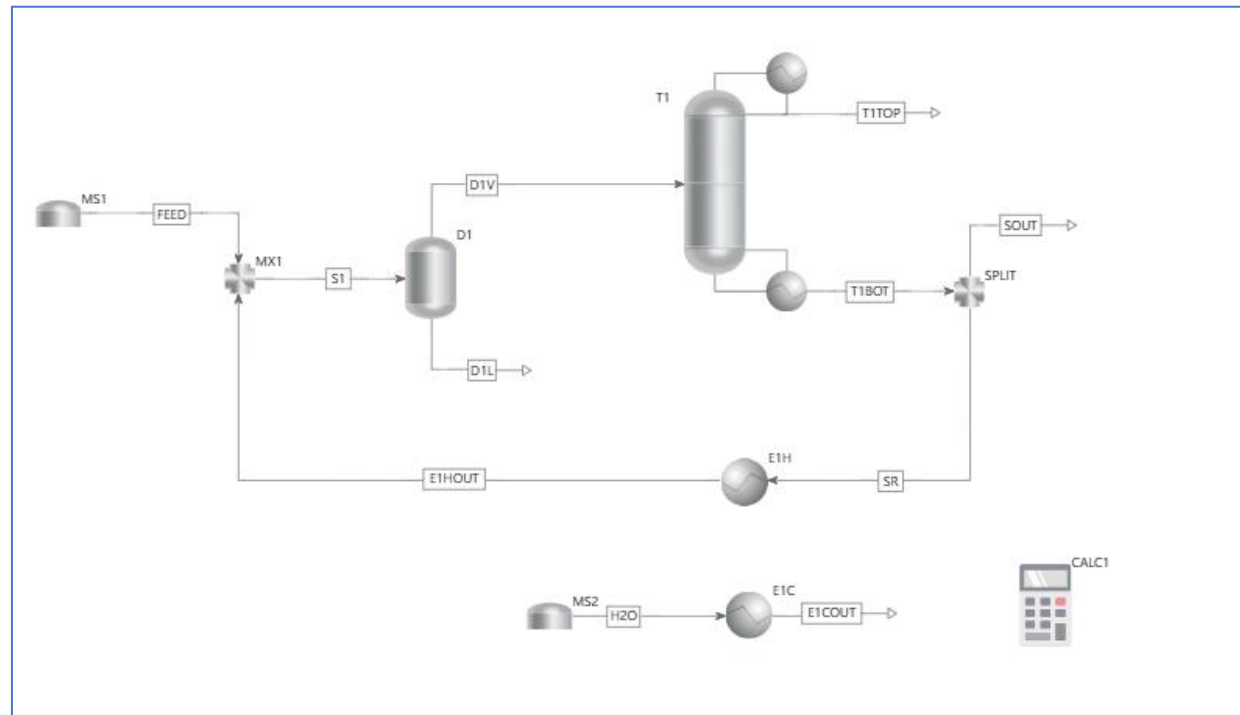
- E1H的加热温度 (31-35 °C)，每次调整 2°C
- 进料流量 (18000 - 22000 kg/hr)，每次调整 1000 kg/hr
- 分离器的回流分流比 (0.6 - 0.8)，每次调整 0.1
- 塔T1的回流比 (2-4)，每次调整0.5
- 塔T1的塔顶采出量 (20-30 kmol/hr)，每次调整4 kmol/hr

质量要求

- 塔顶丙烷纯度不低于0.98
- SPLIT分流器出口产品正戊烷纯度不高于0.05

目标：效益最大化

- 效益 = 产品售价 - 成本
- D1L产品价格 3.3 RMB/kg
- 塔顶产品价格 8 RMB/kg
- SOUT产品价格 2 RMB/kg
- 蒸汽成本 0.005 RMB/kg
- 进料成本 3.3 RMB/kg



演示案例

优化变量配置

全局

组态信息 连接管理 **模型应用** 模型分析 元变量 计算结果

设计规定 约束 **目标函数** 整定 优化 缩放因子 **规定变更** 值变更

描述 请输入描述信息

VARSPEC1
 FEED
 OPT
 请输入

变量名称	规定	操作
MS1.VAR.FEED_MASS	常数	删除 规定带入
MS1.VAR.FEED_MOLES	计算	删除 规定带入
请输入新增变量		

进料配置为摩尔流量，质量流量由摩尔流量计算而来
优化变量仅能由常数而来
 故交换进料摩尔流量和质量流量的规定

全局

组态信息 连接管理 **模型应用** 模型分析 元变量 计算结果

设计规定 约束 **目标函数** 整定 优化 缩放因子 **规定变更** 值变更

描述 请输入描述信息

VARSPEC1
 FEED
 OPT
 请输入

变量名称	规定	操作
MS1.VAR.FEED_MASS	优化	删除 规定带入
E1H.VAR.TEMP	优化	删除 规定带入
T1.VAR.MAIN_TOP_DIST_MOLES	优化	删除 规定带入
T1.VAR.MAIN_TOP_RR_MOLE	优化	删除 规定带入
SPLIT.VAR.MIX_SR_SPLIT_FRAC	优化	删除 规定带入
请输入新增变量		

- 进料流量
- E1H的加热温度
- 塔T1的塔顶采出量
- 塔T1的回流比
- 分离器的回流分流比

演示案例

约束配置

全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

设计规定 约束 目标函数 整定 优化 缩放因子 规定变更 值变更

VARSET1

OPT

请输入

+ 新增

变量名称	值	单位	下限	上限	步长限	边界类型	缩放因子	启用
MS1.VAR.FEED_MASS		kg/hr	18000	22000	1000			<input checked="" type="checkbox"/>
E1H.VAR.TEMP		C	31	35	2			<input checked="" type="checkbox"/>
T1.VAR.MAIN_TOP_DIST_MO...		kmol/hr	20	30	4			<input checked="" type="checkbox"/>
T1.VAR.MAIN_TOP_RR_MOL...		Unitless	2	4	0.5			<input checked="" type="checkbox"/>
SPLIT.VAR.MIX_SR_SPLIT_F...		Unitless	0.6	0.8	0.1			<input checked="" type="checkbox"/>
T1.VAR.T1TOP_PROPANE		fraction	0.98	1				<input checked="" type="checkbox"/>
SPLIT.VAR.SOUT_PENTANE		fraction	0	0.05				<input checked="" type="checkbox"/>
请输入元变量								

优化的操作变量

- E1H的加热温度 (31-35 °C) ， 每次调整 2°C
- 进料流量 (18000 - 22000 kg/hr) ， 每次调整 1000 kg/hr
- 分离器的回流分流比 (0.6 - 0.8) ， 每次调整 0.1
- 塔T1的回流比 (2-4) ， 每次调整0.5
- 塔T1的塔顶采出量 (20-30 kmol/hr) ， 每次调整4 kmol/hr

质量要求

- 塔顶丙烷纯度不低于0.98
- SPLIT分流器出口产品正戊烷纯度不高于0.05

演示案例

目标函数配置

目标：效益最大化

- 效益 = 产品售价 - 成本
- D1L产品价格 3.3 RMB/kg
- 塔顶产品价格 8 RMB/kg
- SOUT产品价格 2 RMB/kg
- 蒸汽成本 0.005 RMB/kg
- 进料成本 3.3 RMB/kg

全局

组态信息 连接管理 模型应用 模型分析 元变量 计算结果

设计规定 约束 目标函数 整定 优化 缩放因子 规定变更 值变更

OPT

请输入

+ 新增

函数设置 计算结果

类型 线性 趋势 最大化 缩放因子 1

单位 RMB/hr

序号	元变量 (目标函数)	价格	价格单位	价格变量	启用	描述	操作
1	MS1.VAR.FEED_MASS	-3.3	RMB/kg		开启		删除
2	MS2.VAR.H2O_MASS	-0.005	RMB/kg		开启		删除
3	D1.VAR.D1L_MASS	3.3	RMB/kg		开启		删除
4	T1.VAR.T1TOP_MASS	8	RMB/kg		开启		删除
5	SPLIT.VAR.SOUT_MASS	2	RMB/kg		开启		删除
	请输入						

演示案例

初始化，在**模拟模式**下运行

运行成功后，将运行模式切换为**优化**，**目标函数**选择OPT，**运行**，查看结果

优化变量及约束变量结果可在元变量列表的**变量域**标签查看，该标签会自动筛选出所有配置了约束的变量



索引	名称	值	单位	物理类型	规定	下限	上限	步长限	变化值
109	E1H.VAR.TEMP	33.19266	C	温度	优化		31	35	2
169	MS1.VAR.FEED_MASS	20053.77	kg/hr	质量流量	优化		18000	22000	1000
343	SPLIT.VAR.MIX_SR_SPLIT_FRAC	0.8	Unitless	无量纲	优化		0.6	0.8	0.1
358	SPLIT.VAR.SOUT_PENTANE	0.04479332	fraction	含量	计算		0	0.05	1e+30
411	T1.VAR.T1TOP_PROPANE	0.98	fraction	含量	计算		0.98	1	1e+30
1188	T1.VAR.MAIN_TOP_DIST_MOLES	29	kmol/hr	摩尔流量	优化		20	30	4
1203	T1.VAR.MAIN_TOP_RR_MOLE	3.5	Unitless	无量纲	优化		2	4	0.5

总数: 1233 触界数: 5 显示数: 7

目标函数结果

类型	趋势	计算前函数值	计算后函数值	函数变化值	缩放因子	单位
线性	最大化	4334.014	5277.827	943.8129	1	RMB/hr

描述	元变量 (目标函数)	计算前		计算后		变化
		价值	价值占比	价值	价值占比	
	MS1.VAR.FEED_MASS	-62877.43	-14.5079	-66177.43	-12.53876	-3300
	MS2.VAR.H2O_MASS	-53.32228	-0.01230321	-99.01791	-0.01876111	-45.69563
	D1.VAR.D1L_MASS	57107.06	13.17648	60238.98	11.41359	3131.92
	T1.VAR.T1TOP_MASS	8880.689	2.049068	10288.32	1.949347	1407.628
	SPLIT.VAR.SOUT_MASS	1277.026	0.2946519	1026.986	0.194585	-250.0396

优化后，效益增加了
943.8 RMB/hr

保存案例并导出，命名为**演示案例22-1**

课堂练习

在培训习题21-1的基础上计算产品的收益最大化

产品单价

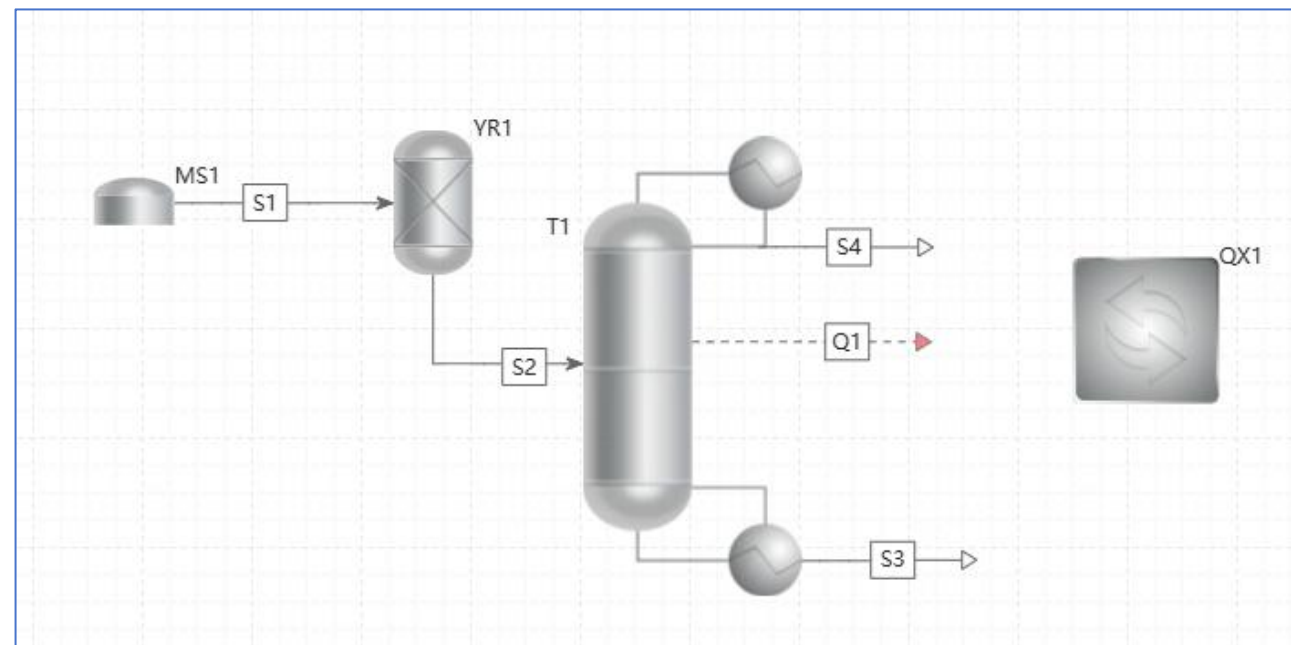
- 塔顶产品0.4 RMB/kg
- 塔底产品0.1 RMB/kg

优化变量

- 塔顶产品中的乙烷摩尔含量
- 塔底产品中的乙烯摩尔含量

约束条件

- 塔顶产品中的乙烷摩尔含量在100ppm-300ppm之间
- 塔底产品中的乙烯摩尔含量在0.3%-0.5%之间



问：塔顶产品中的乙烷摩尔含量和塔底产品中的乙烯摩尔含量分别为多少时收益最大？收益是多少？
此时精馏塔的回流比和塔底采出量是多少？

课堂练习

在培训习题21-1的基础上计算产品的收益最大化

产品单价

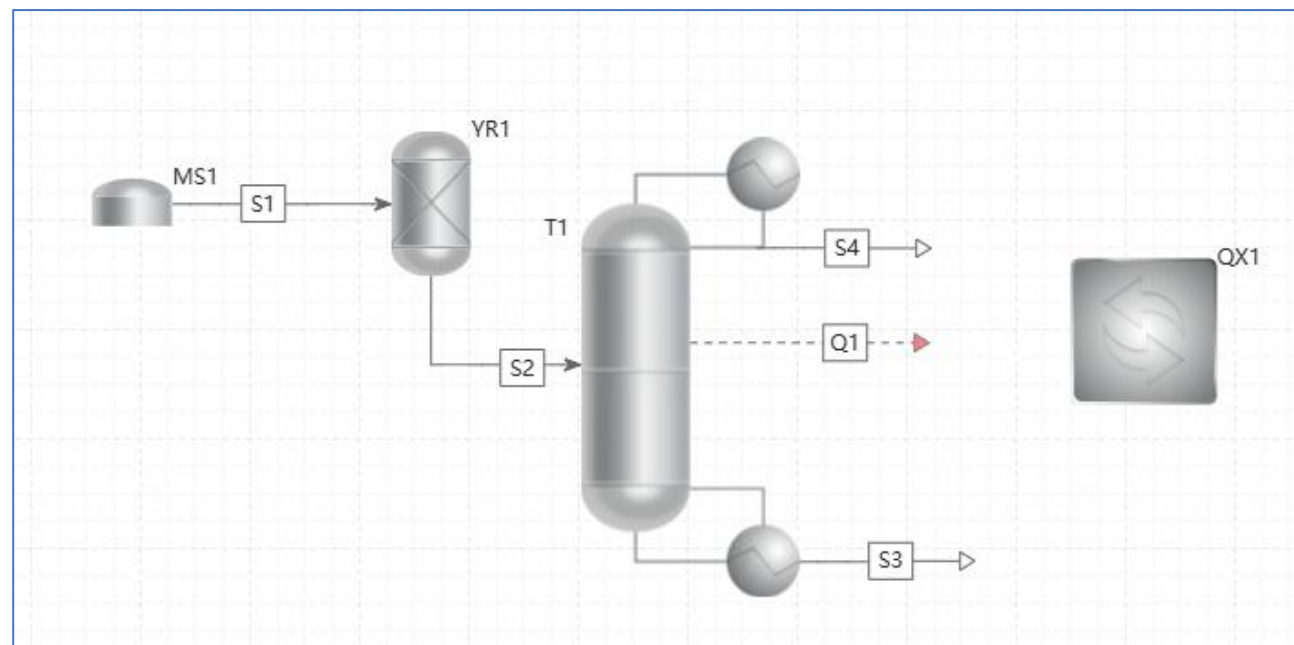
- 塔顶产品0.4 RMB/kg
- 塔底产品0.1 RMB/kg

优化变量

- 塔顶产品中的乙烷摩尔含量
- 塔底产品中的乙烯摩尔含量

约束条件

- 塔顶产品中的乙烷摩尔含量在100ppm-300ppm之间
- 塔底产品中的乙烯摩尔含量在0.3%-0.5%之间



问：塔顶产品中的乙烷摩尔含量和塔底产品中的乙烯摩尔含量分别为多少时收益最大？收益是多少？

此时精馏塔的回流比和塔底采出量是多少？

塔顶产品中的乙烷摩尔含量为228.7ppm

塔底产品中的乙烯摩尔含量为0.3%

收益为：16821.8 RMB/hr，较之前提升了6.3 RMB/hr

此时精馏塔的回流比为3.508(质量)，塔底采出量为10594.1 kg/hr



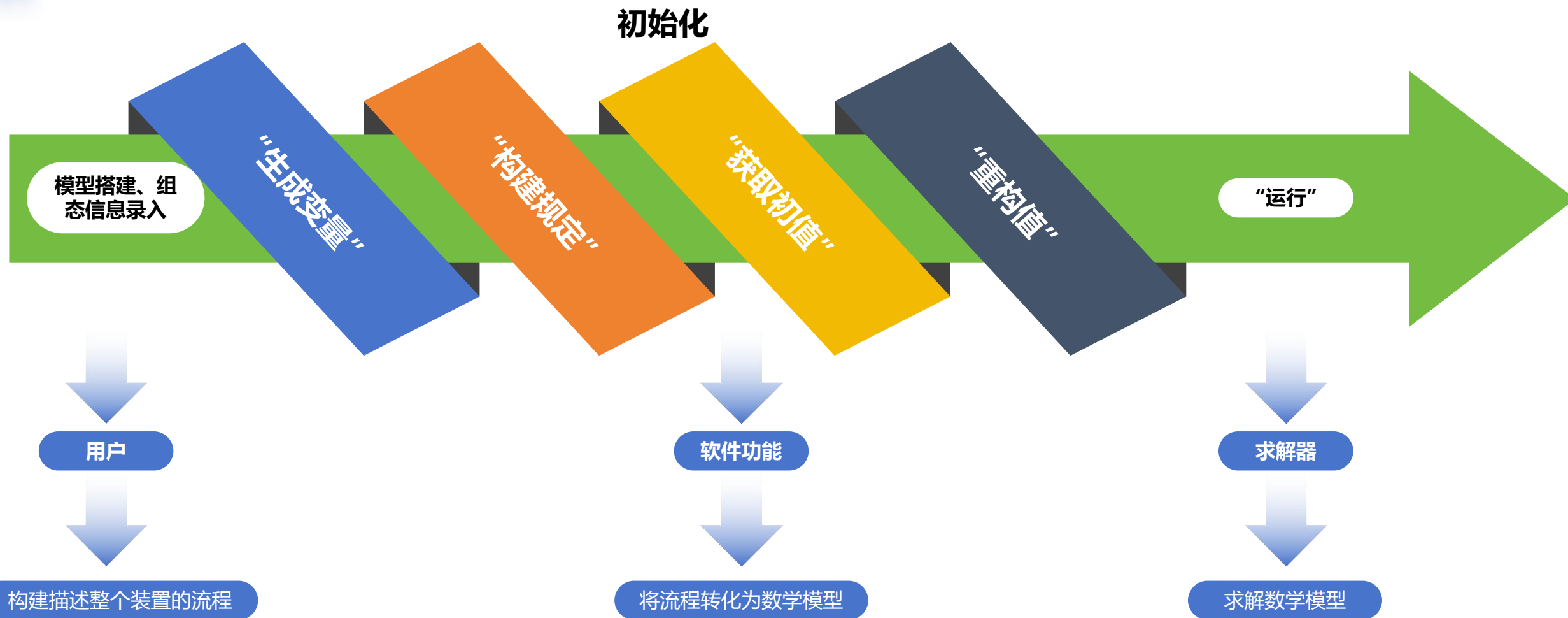
23 | 求解信息

学习目标



- **目标：**
 - 了解中控APEX平台的求解
- **内容：**
 - 求解器的配置介绍
 - 求解过程打印信息介绍

求解器简介



求解器：让软件在给定的规则（即输入数据、约束条件等）下，为我们找到一个自治、稳定、符合所有规则的操作状态

求解器简介

软件内置两种求解器：TNSOLVER和rSQP

TNSOLVER

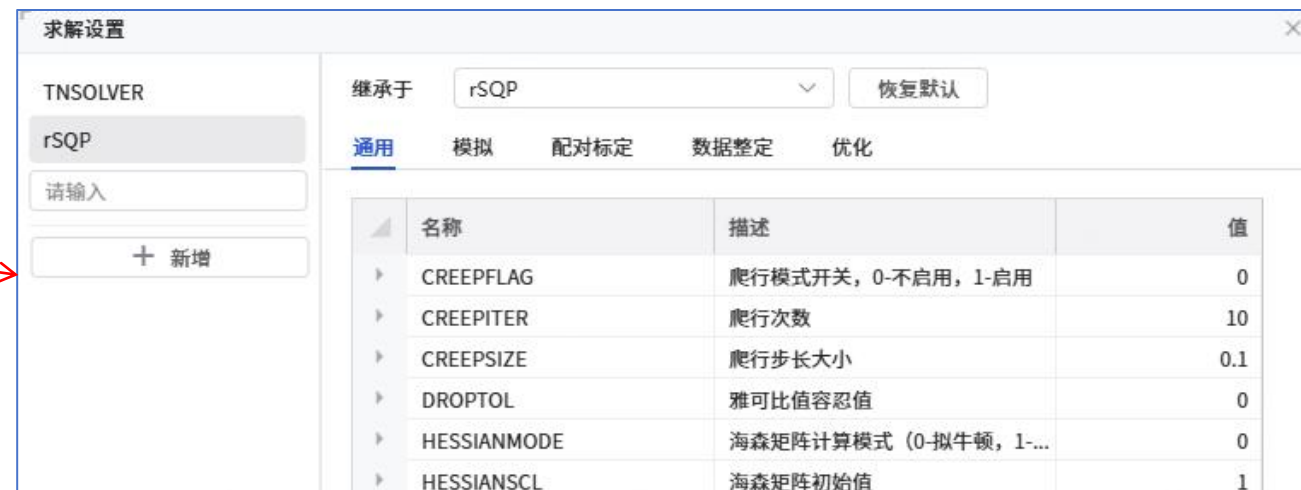
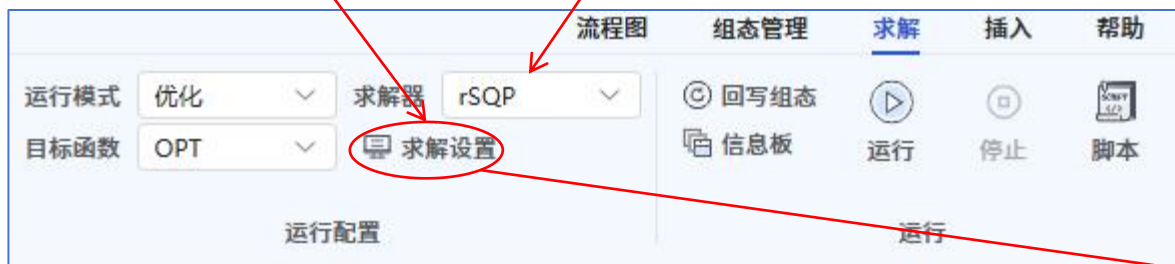
基于牛顿-拉夫逊法，一种利用导数信息（雅可比矩阵）来寻找方程根的数学方法，在软件中常用于单元模块获取初值，不支持求解优化问题

rSQP

基于序列二次规划方法的求解器，可用于求解带有约束的优化问题，是软件全流程求解时默认使用的求解器

在软件的**求解|运行配置**中可以切换不同的求解器

可点击**求解设置**对**求解器参数**进行修改以及基于上述两种求解器新增不同参数的求解器



RSQP求解器常用参数简介

软件默认的两个求解器

新增求解器

复制
删除
重命名

Delete

从默认的两个求解器中选择
基于选择的求解器进行参数修改

将所有参数恢复为所
需求解器的默认值

可对四种运行模式下的求解器参数单独进行
修改，若未修改，则跟随“通用”配置

求解时允许的最高迭代轮数，若模型有收敛趋势，可适当增大

求解时必须执行的最低迭代轮数，为避免模型假收敛，可适当增大，通常可设置为0-3

在优化问题中，判断目标函数是否已收敛至最优的精度标准

求解时判断所有工艺方程是否同时得到满足的精度标准

求解设置

TNSOLVER

rSQP

请输入

+ 新增

继承于 rSQP

恢复默认

通用 模拟 配对标定 数据整定 优化

名称	描述	值
CREEPFLAG	爬行模式开关	关闭
CREEPITER	爬行次数	10
CREEPSIZE	爬行步长大小	0.1
DROPTOL	雅可比值容忍值	0
HESSIANMODE	海森矩阵计算模式	拟牛顿
HESSIANSCL	海森矩阵初始值	1
LSCOUNT	最大线搜次数	5
MAXITER	最大迭代次数	50
MINITER	最小迭代次数	0
OBJCVG	收敛目标容忍值	0.000001
RESCVG	收敛残差容忍值	0.000001
VARSCALE	变量标度	初值

求解过程信息

当前执行计算的层级

【全局】开始运行:全局流程

Number of variables	1214
Number of constraints	1214
Number of ef constraints	1214
Number of Jac non-zeros	6676
Number of grad non-zeros	0
Degree of freedom	0
Number of free variables	1214

当前求解的变量和方程规模信息

求解过程的迭代信息

ITER	RESVG	OBJSVG	OBJECTIVE	STEP	RATIO
0	5.3308E-11	0.0000E+00	0.0000E+00	2.1381E-06	

求解结果信息

```

RSQP Summary
=====
KKT Residual      0.00000E+00
Problem status    Converged
Error code        0
Model time(s)     0.00      18.0%
Solver time(s)    0.00      20.4%
Total time(s)     0.01
  
```

【全局】运行成功:全局流程

表明求解成功或失败

求解过程信息

当前求解的变量和方程规模信息

```

Number of variables
Number of constraints
Number of ef constraints
Number of Jac non-zeros
Number of grad non-zeros
Degree of freedom
Number of free variables

```

信息	解释及作用
Number of variables	模型的总变量数
Number of constraints	模型的总方程数
Number of ef constraints	模型求解过程中的有效方程数
Number of jac non-zeros	求解问题中的非0雅可比元素的数量，反映了模型的稀疏性和计算复杂度
Number of grad non-zeros	目标函数中非零元素的数量，通常为模型定义的目标函数中变量的数量
Number of freedom	自由度数量，即模型中的调节变量数
Number of free variables	模型中的未知变量数

求解过程信息

迭代信息

ITER	RESVG	OBJSVG	OBJECTIVE	STEP	RATIO
0	3.4360E-11	2.2428E-02	4.3115E+03	1.3541E-03	9.6596E-01
1	1.4687E-11	3.1172E-07	4.4889E+03	4.9281E-04	

信息	解释及作用
ITER	求解当前的迭代次数，跟踪算法执行了多少步
RESVG	方程的残差，衡量当前迭代是否满足收敛条件的指标，通常随着迭代次数增加，应该逐渐减小
OBJSVG	目标函数的残差，衡量当前点是否满足最优性条件的指标，通常随着迭代次数增加，应该逐渐减小，在模拟问题中该值为0
OBJECTIVE	当前迭代点的目标函数值
STEP	每次迭代中，算法往某个搜索方向走的步长比例，(0,1]；太大可能导致超过最优点，太小可能导致求解效率慢
RATIO	预测下降与实际下降的比率，越接近1，说明求解的方向越准确

求解过程信息

求解结果信息

RSQP Summary		
KKT Residual	1.11613E-04	
Problem status	Converged	
Error code	0	
Model time(s)	0.01	0.8%
Solver time(s)	0.99	97.8%
Total time(s)	1.01	

信息	解释及作用
KKT Residual	衡量当前解距离“理论最优解”还有多远的指标，越小，说明解越精确
Problem status	求解问题的结果，converged表示收敛，Failed表示不收敛
Error code	不收敛时的错误代码，用于排查导致不收敛的原因； 例如1002表示超出设置的最大迭代次数
Model time (s)	模型求解的时间
Solver time (s)	算法求解的时间
Total times	整个问题迭代求解的时间

愿景

成为工业AI全球领先企业，用AI推动工业可持续发展

使命

让工业更智能，让客户更成功

价值观

客户至上、合作创新、自律诚信、自我驱动

员工理念

开心、充实、有价值、受尊重