

PRO/II 软件在化工原理课程设计中的应用

王广全¹ 张颂红² 艾 宁³

(1. 浙江工业大学 化学工程学院, 浙江 杭州 310014)

2. 浙江工业大学 化学工程学院, 浙江 杭州 310014

3. 嘉兴大学 生物与化学工程学院, 浙江 嘉兴 314001)

摘要: 用现代化设计手段提高工艺设计效率是新工科教育发展的必然趋势, 论文重点探讨了 PRO/II 软件在化工原理课程设计中的应用。在满足指定分离要求的情况下, 首先利用 PRO/II 软件的严格精馏模块 Distillation 计算出一定理论塔板数条件下所需的回流比和塔径, 并利用简单换热器模型 Simple HX 同步求取相应的换热器面积及公用工程用量, 据此进行设备费和操作费的计算。然后以年总费用最小为目标确定对回流比以及其它相应的工艺参数进行优化, 作为精馏塔和辅助设备设计的依据。在课程设计中引入现代先进设计软件替代传统的手算过程, 提升了学生的专业设计技能, 有利于培养其综合运用专业工具解决复杂工程问题的能力, 为卓越工程师教育奠定良好基础。

关键词: 化工原理; 课程设计; PRO/II; 优化

一、引言

化工原理是大化类专业高等教育课程体系非常重要的一门专业基础课程, 也是从自然科学的基础课程向工程领域的专业课程过渡的桥梁。化工原理课程是学生在完成化工原理课堂教学和实验教学, 具备一定理论基础和操作技能之后所开展的综合性实践教学环节, 具有显著的工程性, 它可以让学巩固和深化所学的理论知识, 拓宽知识面, 培养工程设计能力。精馏是化学工业生产和科学研究中广泛应用的单元操作, 其设计过程涵盖了化工原理课程中动量传递、热量传递和质量传递的基本内容, 涉及到设备设计与选型、安装与操作、改进与优化等知识, 非常适合作为化工原理课程设计的选题。在传统的化工原理课程设计中, 工艺计算过程通常以手算求解为主, 但是由于公式繁多, 过程复杂, 计算过程需要花费大量的时间, 这一方面使得学生很少有时间关注化工过程的分析、优化和改进等方面, 极大地削弱了工程训练和能力培养的效果; 另一方面使得教师不得不降低题目的复杂程度和设计深度, 从而使得设计过程在一定程度上偏离了工程实际。因此, 通过计算机辅助教学, 将先进的工程设计软件引入到课程设计中, 可以将学生从重复的手工计算中解脱出来, 在强化基本技能训练的同时, 锻炼其面对复杂化学工程问题时的设计、分析和优化能力, 这不仅是化工原理课程设计的重要课程目标, 也是我国实施卓越工程师培养计划的重要环节。

PRO/II 是开发最早的一款通用型稳态化工流程模拟软件, 起源于美国模拟科学 (Simulation Science) 公司开发的蒸馏模拟器 SP05 (1967 年), 在历经流程图模拟器 SSI/100(1974 年) 和基于 PC 的流程模拟软件 PROCESS(1979 年) 两个阶段之后, 于 1987 年正式以 PRO/II(PROCESS 第 II 代) 的名字问世, 并很快成为流程模拟领域的国际标准。1998 年英国西尔比公司 (Siebe PLC) 收购了 Simulation Science 公司, 次年又并购了英国 BTR, 之后改名为英维斯公司 (Invensys)。2014 年法国施耐德电气公司 (Schneider Electric) 收购了英维斯公司, 并于 2017 年通过逆向收购将其软件部门与英国剑维公司 (Aveva) 合并。因此, 目前 PRO/II 软件为 Aveva 旗下的产品, 最新版本为 AVEVA PRO/II Simulation 2024。PRO/II 包含 40 多种单元操作模块, 物性数据库较完善, 且具有强大的热力学物性计算系统。相比于 Aspen 和 Hysys 等同类软件, PRO/II 的 Provision 图形界面友好灵活, 数据输入简单直观, 界面色彩功能

强大, 可在短时间内掌握其基本用法, 非常适用于本科学生学习和使用。

国内已有文献介绍了 PRO/II 软件的特点、功能和使用方法^[1], 以及软件在化工过程中设计、分析和优化中的应用, 本文将重点探讨其在化工原理课程设计中应用。主要利用 PRO/II 中精馏模块和换热器模块, 完成繁复的工艺计算及优化设计, 将学生从大量的重复计算中解脱出来, 在提高设计效率的同时更好地培养学生的创新思维和能力。

二、软件的应用

连续精馏装置的设计是选择最为广泛的化工原理课程题目, 通常需要以年总费用最小为目标进行优化计算以确定相应的设备参数和操作参数。其中精馏塔的理论塔板数和回流比的确定以及换热器面积的计算是核心, 且涉及较多的重复计算, 选择 PRO/II 软件替代常规手工计算, 完成精馏塔和换热器相关的工艺计算, 可显著缩短设计时间, 且有利于提高计算的精确性。论文将以甲醇-水二元混合物的精馏装置设计为例, 说明如何利用 PRO/II 软件完成精馏塔塔径、理论塔板数、换热面积和公用工程消耗等计算。

1、塔板数和塔径的计算

精馏塔的计算, 通常可分为设计型和操作型两大类。对于设计型问题, 通常在已知分离要求和回流比条件下, 可利用逐板计算法或作图法确定所需的总理论塔板数和适宜进料位置; 而对于操作型问题, 通常需要在给定总理论塔板数和进料位置条件下, 计算所需要的回流比。但化工流程模拟软件一般都利用严格精馏模型进行操作型计算, PRO/II 软件也不例外, 对于设计型计算可先输入理论塔板数和进料位置后再进行优化。与 Hysys 软件类似, PRO/II 的精馏塔模型的操作规定 (Specifications) 页面上可以设定产品纯度, 如图 1 所示, 从而直接计算达到指定分离要求所需的回流比, 而 Aspen Plus 软件的精馏塔模型无法将产品纯度设置为操作规定, 只能借助 Design Specification 功能规定产品纯度 [8]。适宜的进料位置可利用 Case Study 或 Optimizer 工具来确定, 其中 Case Study 通过改变塔的加料板位置, 考察回流比的变化趋势, 设置和结果如图 2 所示; Optimizer 通过将加料板位置作为自变量, 回流比作为目标函数, 求取该函数的最小值, 设置和结果如图 3 所示。塔径的估算通常选择塔顶第一块板相应数据, 利用精馏塔模型中

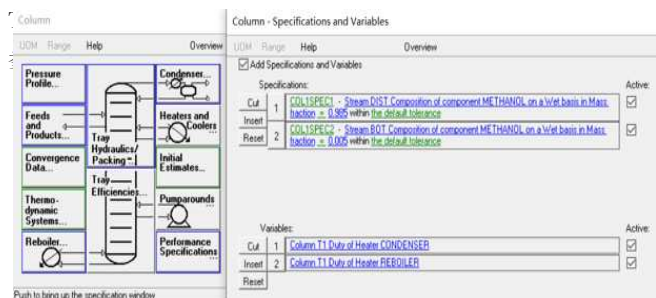


图1 PRO/II 中精馏塔 (Distillation Column) 模型的操作规定

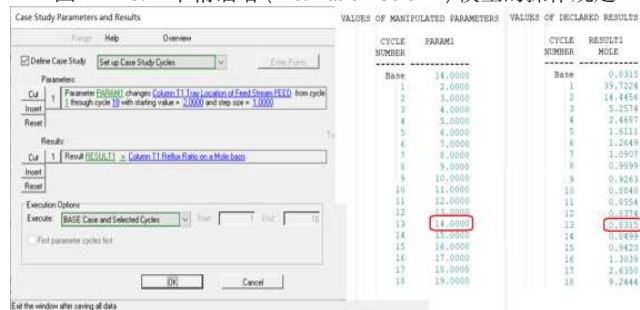


图2 Case Study 确定最佳进料位置

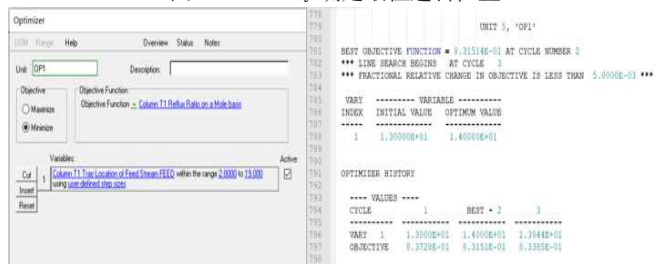


图3 Optimizer 确定最佳进料位置

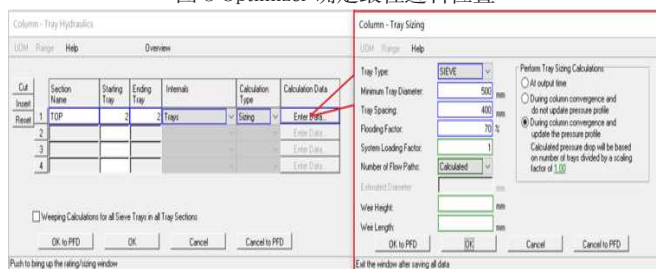


图4 PRO/II 中的塔径计算 (Tray Sizing) 设置

2、换热器面积和公用工程用量的计算

PRO/II 软件中严格精馏塔模型内置有冷凝器和再沸器的可选项, 若勾选此选项则可以得到冷凝器和再沸器的热负荷, 但由于换热面积与公用工程的选择有关, 因此需要单独计算; 若取消此选项, 则需要额外增加 2 个换热器 (Simple HX 或 Rigorous HX) 以及流股分割器 (Splitter), 使得流程变得复杂, 而且由于包含两个循环结构, 会明显增加计算收敛的难度。为了解决这个问题, 可选择如下变通方案: 勾选精馏塔模型中的冷凝器和再沸器选项用于热负荷的计算, 同时增加两个 Simple HX 换热器, 分别用于冷凝器和再沸器的详细设计计算, Simple HX 换热器的一侧与精馏塔的特定制板连接 (Attach to Column), 另一侧设置为公用工程物流 (Utility Stream), 采用上述方案运行计算后, 可分别得到相应工况下冷凝器和再沸器的换热面积及相应的公用工程消耗量。

3、年总费用计算和回流比优化

在得到特定工况下的理论塔板数、塔径、回流比、再沸器和

冷凝器的换热面积、冷却水和蒸汽消耗量之后, 可通过已知的费用函数, 利用 Excel 电子表格计算得到设备费、操作费和总费用。PRO/II 软件内置有计算器 (Calculator) 工具, 用户可以编写 Fortran 程序语句计算上述各项费用。图 5 为利用 Calculator 计算某工况下年总费用的示例。

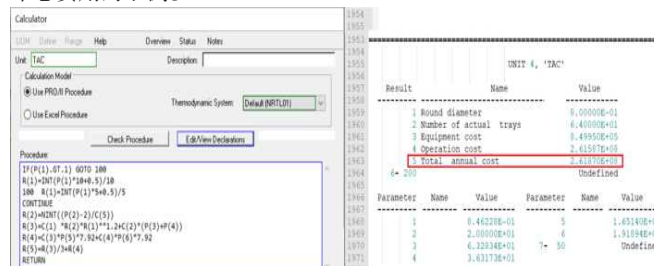


图5 年总费用的计算程序和结果

改变精馏塔的操作工况, 计算不同回流比条件下的操作费、设备费及年总费用, 可确定年总费用最小时相对应的回流比, 即最优回流比。上述计算过程既可以对每个工况逐一计算, 也可以利用软件的 Case Study 工具一次性自动完成。但是, 对于某些较低版本 PRO/II 软件, 其 Case Study 工具的操纵变量列表中不含理论塔板数, 因此可能需要采用 VBA 编程来改变理论塔板数。

4、优化条件下的工艺计算

根据优化得到的回流比, 利用严格精馏模块 Distillation 重新进行模拟计算, 对理论塔板数和加料位置作进一步优化, 并提取塔内相应的操作参数、物性数据、物料平衡数据以及冷凝器和再沸器的热负荷, 可作为后续精馏塔内件以及辅助设备设计的基础数据。

三、结语

将工程类软件引入到专业教学中, 是计算机辅助教学的重要形式, 也是技术人才培养的客观需求。PRO/II 作为一款功能强大的流程模拟软件, 已经在世界范围内被广泛应用, 将其引入到化工原理课程设计中, 一方面减少了设计过程中手工计算的时间, 让学生有更多的精力用于专业性思考和分析; 另一方面, 也有利于培养学生综合运用现代工具解决复杂问题的能力, 如选择多组分分离体系, 引入多效精馏、热泵精馏和热偶精馏等先进节能技术对工艺流程进行优化, 让设计更接近于工程实际需求, 真正实现理论教学与工程实际的有机融合。

参考文献:

[1] 谢晴, 张博, 刘舜, 等. PRO/II 软件在液-液萃取教学过程中的应用 [J]. 广东化工, 2022, 49(13):3.D0I:10.3969/j.issn.1007-1865.2022.13.069.

[2] 顾英. 自热转化反应器的模拟与研究 [J]. 大氮肥, 2022(004):045.

基金项目: 浙江工业大学校级教改项目, 项目编号 JG2023007。

作者简介: 王广全 (1978-), 男, 河北献县人, 博士, 副教授。

通讯作者: 张颂红, Email: zhangsh@zjut.edu.cn