

# 浅析 Aspen Plus 在新能源专业教学环节中的应用\*

李治宇, 刘润东, 张玉春, 唐秋燕, 吕致琳, 付 鹏

(山东理工大学农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255000)

**摘 要:** 新能源专业具有较强的工程应用性, 要求学生具有工程实践能力, 将流程模拟软件 Aspen Plus 应用到新能源教学环节中, 本文以生物油模拟物加氢脱氧研究为例, 指导学生通过案例教学模拟反应过程, 结果证实, 模拟值与实验值的变化趋势一致, Aspen Plus 可以较好地模拟生物油加氢脱氧流程, 通过教学实例说明, 将 Aspen Plus 模拟与传统教学环节相结合, 可以使同学们增强学习兴趣, 加深对化工单元操作的理解, 提升教学效果。

**关键词:** 新能源; 案例教学; Aspen Plus; 流程模拟

中图分类号: G642.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-9677(2023)04-0204-04

## Analysis on Application of Aspen Plus in Teaching Links of New Energy Specialty\*

LI Zhi-yu, LIU Run-dong, ZHANG Yu-chun, TANG Qiu-yan, LV Zhi-lin, FU Peng  
(School of Agricultural Engineering and Food Science Shandong University of Technology,  
Shandong Zibo 255000, China)

**Abstract:** The new energy major has strong engineering application, and students are required to have the ability of engineering practice. The process simulation software Aspen Plus was applied to the new energy teaching link. The research of bio-oil simulant hydrodeoxygenation was taken as an example to guide students through case teaching, the reaction process was simulated, and the results confirmed that the simulated value and the experimental value had the same changing trend. Aspen Plus could simulate the hydrodeoxygenation process of bio-oil. Through teaching examples, the combination of Aspen Plus simulation and traditional teaching links could help students enhance their interest in learning, deepen their understanding of chemical unit operations, and improve teaching effects.

**Key words:** new energy; case teaching; Aspen Plus; process simulation

能源从来都是人类社会立足和发展的基石, 从工业社会以来, 化石能源成为了人类社会大部分能量的来源。但伴随着化石能源的使用, 各种问题也接连出现, 其中最突出的就是环保问题, 随着研究的深入, 新能源逐渐成为了近些年的研究热点, 其中生物质作为新能源的一种具有很多的优点: 成本低、含量丰富等, 并且其还是新能源中唯一一种可再生碳源, 这也是它最大的优势之一, 研究生物质能的利用成为解决能源问题和环保的问题的一个重要研究方向。Aspen Plus 软件作为一种通用的化工流程模拟软件在化工领域对研究人员提供了不小的帮助, 它的作用在它不仅可以对化工流程做出完整的模拟, 而且可以在此基础上辅助进行装置优化, 既节约了研究成本也加快了研究进度。

近年来一些研究者将生物质热解技术和生物油提质技术与 Aspen Plus 结合起来应用, 取得较多的研究成果。王高恩等利用 Aspen Plus 软件针对生物质快速热解的过程建立了流程模拟模型, 并将模拟结果与 NREL 和 USDA 的模型的结果相比较发

现结果基本一致, 表明模型可以比较准确的模拟出生物质快速热解的工艺过程, 具有一定的通用性<sup>[1]</sup>。刘联胜等<sup>[2]</sup>提出一种生物质热解气化氛围, 即利用生物质在热解气化时低热值燃气组织燃烧产生的烟气作为气化剂, 给气化过程提供热量和气化环境, 作者利用 Aspen Plus 软件建立模型, 从结果看出, Aspen Plus 建立的模型可以较准确的模拟出生物质热解气化过程。费托合成指将原料在催化剂和适宜的条件下合成液态烃或碳氢化合物的工艺过程, 目前主要是以煤或天然气为原料, 张伟鹏等<sup>[3]</sup>构想一个制取费托油的新途径, 即采用煤与生物质共气化制取费托油的方式, 并利用 Aspen Plus 对此过程进行模拟, 从结果得知, 原料中生物质含量的增加可以加大初始  $H_2/CO$  比, 并且可以减少用于水煤气转换的  $CO$  含量, 以至于可以减少  $CO_2$  的排放量。王超<sup>[4]</sup>利用 Aspen Plus 对玉米秸秆制油过程及生物质快速热解制油过程进行了模拟, 结果看出, 利用 Janse 模型进行模拟时, 模拟结果与实验结果差别不大。目前生物质能技术还处于未成熟阶段, 人类社会还是以化石能源为主, 但

\* 基金项目: 山东理工大学教学研究与改革项目(4003/221016、4003/221014)。

第一作者: 李治宇(1988-), 男, 博士, 讲师, 硕导, 研究方向为生物质能源。

通讯作者: 付鹏(1981-), 男, 博士, 教授, 博导, 研究方向为生物质能源。

是生物质能源具有巨大的发展潜力, 它的可再生性就是相对于化石能源的一个巨大优势, 为验证生物质对于化石能源的可持续性, 吕奇铮<sup>[5]</sup>利用 Aspen Plus 建立一个生物质(秸秆)双流化床快速热解模型, 以此验证生物质对于化石能源的可持续性, 作者通过计算发现以生物质为原料得到的最终产物的环境相容参数为 0.94, 资源富有参数为 0.92, 高于以化石能源为原料的液体燃料, 证明生物质对于化石能源的可持续性。这些研究进一步证实

Aspen Plus 在生物质领域的应用具有很强的实用性, 而对于教学方面 Aspen Plus 软件也有很大的帮助。管述哲等<sup>[6]</sup>利用 Aspen Plus 针对乙苯-苯乙烯混合物的分离过程进行模拟, 主要模拟精馏塔过程来向学生说明精馏过程, 最后对比理论塔板数与模拟塔板数发现两者在精馏段差距较小, 在提馏段差异较大, 通过这点可以安排学生进行原因的分析讨论。李微等<sup>[7]</sup>利用 Aspen Plus 对流体输送流程进行模拟, 从而向学生说明了流体输送问题, 他们还模拟了闪蒸流程从而使使学生掌握闪蒸操作中的闪蒸计算问题。王克良等<sup>[8]</sup>以甲醇-水混合物的分离为教学实例, 模拟混合物的分离流程, 发现分离效果最好的理论塔板数为 21 块, 使学生掌握对装置进行优化过程。郑建东等<sup>[9]</sup>通过两个教学实例来说明将 Aspen Plus 应用于课堂教学中的实用性: 其一是利用软件确定进料温度为 40 °C, 压力为 101000 Pa 时的水与甲醇混合溶液物流的露点温度是多少; 其二是利用 Aspen Plus 计算分离工程中分离苯-甲苯溶液所需的理论板层数与加料板位置。唐新宜<sup>[10]</sup>首先对单独的换热器单元、分离单元、反应单元进行介绍, 加强学生对与 Aspen Plus 软件的认知, 而后再对环丁砜萃取分离芳烃工艺流程进行了模拟, 进一步使学生对于整体的工艺流程进行熟悉理解。

上述研究 Aspen Plus 主要集中于化工相关专业中的应用, 对于 Aspen Plus 应用于新能源专业的教学中的研究目前来说还比较缺乏。但是对于新能源专业来说, 专业特点就是工程应用性很强, 因此对于新能源专业的教学要求是一定要以培养学生的创新能力为主, 要以新能源利用技术为基础, 逐渐形成一种理论与实践教学相结合的教学方式<sup>[11]</sup>。而在实际的教学环节中, 学生不容易将理论知识与实际联合起来, 并且因为理论知识的枯燥容易造成学生学习兴趣下降。因此, 引入 Aspen Plus 结合课程教学有助于新能源专业学生对知识点的理解<sup>[12]</sup>。

目前, 鲜有将生物油提质工艺与 Aspen Plus 在教学课堂上进行结合, 本文通过利用 Aspen Plus 软件对生物油模拟物加氢脱氧研究为例, 建立模拟流程, 通过对比流程模拟结果于实际实验结果, 分析误差产生原因, 并对将 Aspen Plus 引入教学环节进行分析。

## 1 Aspen Plus 软件

Aspen Plus 软件是一种化工方面的流程模拟软件, 其内置了混合器、分割器、化学计量反应器、产率反应器、平衡反应器、吉布斯反应器、全混釜反应器、平推流反应器换和间歇釜反应器 9 个单元操作模块<sup>[13]</sup>, 用户可以通过输入物料数据、反应器条件、产品流量等数据实现对化工流程的稳态模拟、优化工艺装置设计。将 Aspen Plus 软件应用于新能源专业的教学环节中可以帮助学生更好的理解整个的工艺流程和逻辑关系, 并且软件具有强大的计算能力, 可以大大节省计算时间。

### 1.1 Aspen Plus 软件的操作流程

Aspen Plus 来源于麻省理工学院设立的被命名为“过程工程的先进系统”(Advanced System for Process Engineering, 简称 Aspen Plus)的项目<sup>[14]</sup>。其利用数学模型来模拟实际的工程装

置从而达到模拟整个化工流程的效果, 在 Aspen Plus 软件中建立模拟运行的过程如图 1 所示, 具体为: (1) Aspen Plus 中预装了空气分离、化学工艺、电解质等九大模拟模板, 我们要根据过程反应的类型选择不同的模板(或者建立空白模板), 然后将反应中涉及到的组分数据输入进去; (2) 要根据过程中反应类型选择不同的物性方法或方程; (3) 要根据反应过程选择合适的模块绘制出模拟流程, 并将反应过程中不同反应器的状态信息和物料信息输入; (4) 将必要的信息输入完成后就可以运行模型, 输出模拟结果, 将模拟结果与实际结果对比分析, 若模拟值与实验值差距较大则重新进行模拟, 若差距较小则可视模拟成功。

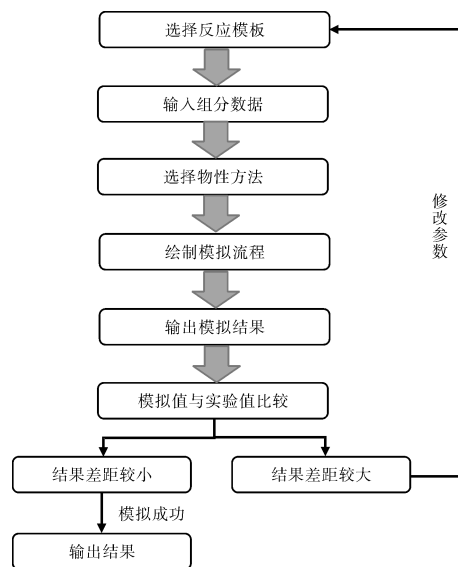


图 1 Aspen Plus 软件操作流程

Fig. 1 Aspen plus software operation procedure

### 1.2 Aspen Plus 软件的优点

Aspen Plus、Hysys、Pro/II 和 ChemCAD 是目前化工领域用的最多的几个流程模拟软件。其中 Hysys 更擅长于进行油气加工的模拟, 其操作比较简单, 可以进行油气水的分离计算, 他主要用来解决管道集输流程的问题, 根据此特点其被广泛用于模拟和优化天然气加工方面的装置; Pro/II 软件在炼油化工行业要比其他同类软件更加具有优势, 主要因为其可以对整个生产过程进行模拟; ChemCAD 主要对化学和石油工业、炼油、油气加工等领域中的工艺过程进行计算机模拟, 其提供了大量的热平衡和相平衡计算方法<sup>[15]</sup>。

然而, Aspen Plus 软件凭借其优势迅速在全球积累了大量用户, 与其他软件相比其数据库非常完善, 包括 56 种单元操作模型, 含 5000 种纯组分、5000 对二元混合物、3314 种固体化合物、40000 个二元交互作用参数<sup>[1]</sup>, 而且其数据库是开放式的, 所以 Aspen Plus 软件与其他同类型软件相比应用范围最广。通过利用 Aspen Plus 软件对化工过程的稳态模拟可以简化计算过程, 有助于加强学生对与工艺流程的熟悉和了解, 培养学生的实践动手能力。其优点还主要集中在以下几点: (1) 其内置了很完善的数据库, 如化工过程所涉及到的公式、原料和物流的物理性质等都包括, 用户在使用的时候不需要额外查阅; (2) 软件还内置了完整的化工单元操作模块, 能够完整的还原和模拟各种化工过程如石油分析、生物分析等; (3) 强大的数学模型计算能力和数据工具可以保证 Aspen Plus 软件的灵敏度和准确度<sup>[5]</sup>。Aspen Plus 所具有的这些优点使其可以更好

的模拟化工流程,使其达到优化和完善工艺流程和装置的目的。

## 2 Aspen Plus 模拟新能源专业教学实例

在新能源专业的教学中,主要是运用 Aspen Plus 软件进行生物催化热解、制油等方面的模拟。现以生物油模拟物加氢脱氧研究为例,运用 Aspen Plus 软件进行模拟,反应流程如图 2。实验以愈创木酚、乙酸和羟基丙酮为原料模拟生物油,在  $H_2$  气氛条件以及镍基催化剂的作用下进行反应,并对其产物进行分析。实验在连续式加氢脱氧装置中进行,进料泵的流量设置为  $0.07\text{ g/min}$ ,反应器的气氛氛围为  $H_2$ ,不过要在实验前要用氮气置换反应器中的空气 3 次,反应器中反应炉温度为  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,氢气的流量为  $350\text{ mL/min}$ ,反应压力为  $1.7\text{ MPa}$ ,气体每  $10\text{ min}$  收集一次,反应  $50\text{ min}$  后冷却至室温后收集液体产物。

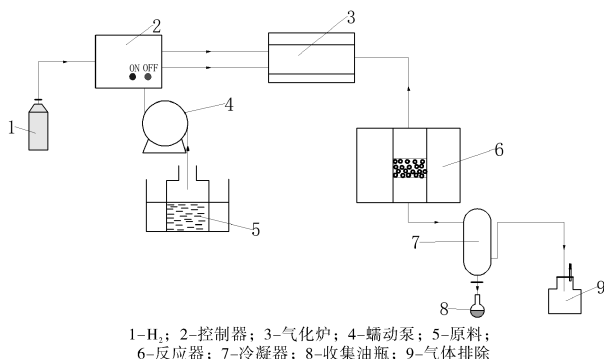


图 2 加氢脱氧反应流程

Fig. 2 Hydrodeoxygenation Reaction Process

对于本次实验案例,我们在模拟其流程时首先要是在 Aspen Plus 软件选择一个空白模拟建立,将原料以及产物等反应涉及到的组分输入。

其次,在模拟中方法过滤器选择 COMMON,基本方法选择 PENG-ROB,在模拟中选用混合器模块 MIXER 模拟进料系统;选用加热器模块 HEATER 对气化炉进行模拟;对于实验的反应器来说,我们选用一般的反应器模块 RYIELD 来进行模拟,此模块可以对一般的反应过程进行模拟;最后,我们选用分离器模块 FLASH2 模拟产物收集系统并绘制流程图,如图 3 所示。

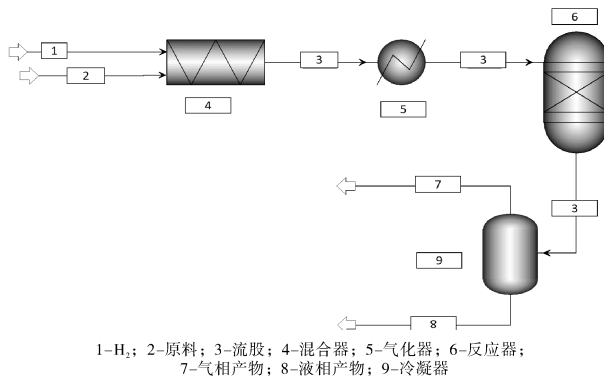


图 3 绘制流程图

Fig. 3 Flow diagram

流程模拟图建立完成后将各反应器和物料流股的状态输入,如双击  $H_2$  股流后将氢气的状态( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $17\text{ bar}$ )以及体积

速率  $0.00035\text{ cum/min}$  输入;双击加热器模块,将其状态( $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $17\text{ bar}$ )输入等,依次将其他模块及流股状态输入后即可点击“运行”开始模拟。

在运行结束后,运行模拟成功以后可以查看各反应器和流股的状态与结果,然后将运行结束的模拟值与实际值比较,得到以下结果,图 4 为产物提质液中各组分含量的分布,图 5 为气相产物含量变化。结果可以看出来,模拟值与实验值相差不大,误差在可接受范围之内,说明本实验案例中建立的模型准确度较高,可以在一定程度上模拟出加氢脱氧流程,有助于实验进度的加快。

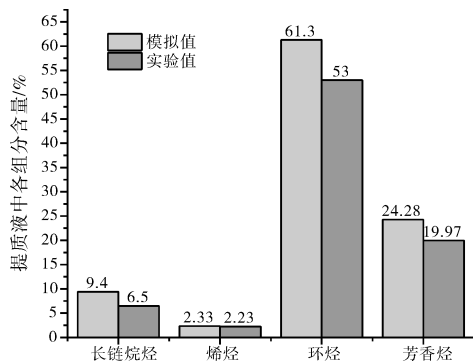


图 4 提质液中各组分含量

Fig. 4 Content of each component in the upgrading solution

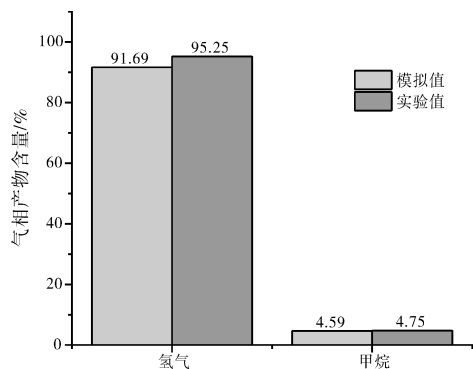


图 5 气相产物含量

Fig. 5 Gas product content

以上仅为新能源教学环节中的一个应用实例,在使用软件的过程中学生可以通过改变模拟类型和模块以及不同的工况来针对不同的情况进行模拟,这有利于学生的实践能力,使学生不再局限于理论研究和计算阶段,对新能源专业的教学来说是一种新的方式。

## 3 教学环节分析

新能源专业作为工程性很强的工科专业,如果只在课堂上进行原理和计算的教学,并不利于本专业学生实践能力的提升,对于学生以后专业的发展也会不利影响。而另一方面,如果对新能源专业的学生进行实践能力的培养,如参观工厂、操作设备等教学方式,那么不但会提高教学成本,而且在学生操作设备时会具有危险性,所以结合来说,Aspen Plus 为本专业的教学方式提供了新的方向。通过生物油模拟物脱氧加氢的教学案例让学生们感受到理论与实践结合的重要性,具体的教学



环节的评价如下:

#### (1) 提高教学质量, 培养学生兴趣

在新能源专业的培养方案中有很多的理论计算和工业设计, 学生在学习的过程中会感觉枯燥从而影响学习效率, 对于教师来说如何调动学生兴趣成为了一个难题<sup>[16]</sup>。而利用 Aspen Plus 进行教学可以很好的解决这个问题, Aspen Plus 软件教学可以将课堂中枯燥的理论过程转化为生动的模拟过程。在此教学环节中, 学生可以上机操作, 提高了课程的生动性和学生的求知欲。

#### (2) 理论过程与实践方法结合, 提高学生实践能力

Aspen Plus 为工艺流程模拟提供了平台, 软件可以将理论计算与其各个模块结合起来, 以此实现理论与实践结合, 学以致用。而要注意的是, Aspen Plus 软件虽然可以将理论转化为实践, 但这是在学生掌握了理论原理的基础之上, 尤其是要进行一定的手工计算掌握原理后, 才能利用软件进行设计和灵活的应用, 最终达到提高学生动手能力的目的<sup>[17]</sup>。

#### (3) 提高教学安全, 节约教学成本

在新能源专业的教学中, 存在着很多实际操作环节, 但是学生在实际操作的过程中会有一定的危险性, 并且也会增加教学成本。在利用了 Aspen Plus 软件进行教学后, 既可以使学生直观的感受工艺流程, 也会大大提高教学过程的安全性, 还会节约教学的成本。

## 4 结 语

在能源问题与环保问题日益凸显的今天, 我们应该认识到发展生物质能源的重要性。生物质能属于新能源的一种, Aspen Plus 软件是一种成熟的流程模拟软件, 二者的结合应用不仅可以为生物质能提供新的研究方式, 也可以为新能源专业的教学提供新的方式, 其比较好解决了在之前教学环节中不能将理论与实践联系在一起的问题。通过使用 Aspen Plus 软件, 我们可以对整个化工流程进行模拟, 当选择了合适的模型后, 流程模拟就可以较为准确的还原整个过程。在生物质能源的研究领域内 Aspen Plus 软件也可以起到不俗的帮助作用。总而言之, Aspen Plus 软件在新能源专业方面促进了理论与实践相结合, 对新能源专业教学有较大的帮助。这也要求老师的教育观念要进行转变和更新, 由原来的重视结果转变为注重过程的推理, 由直接教授转变为引导学生学习, 通过实践激发学生的创新思维和动手能力<sup>[18]</sup>。我们有理由相信在将来 Aspen Plus 软件可以更好的应用到新能源专业的教学环节中来, 促进教学

质量提升。

## 参考文献

- [1] 王高恩, 孙培勤, 孙绍晖, 等. 生物质快速热解制生物油的工艺分析[J]. 可再生能源, 2015, 33(4): 637-642.
- [2] 刘联胜, 赵荣煊, 王高月, 等. 基于 ASPEN PLUS 的烟气气氛下生物质气化模拟[J]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 278-283.
- [3] 张伟鹏, 孙培勤, 王世磊, 等. 使用 Aspen Plus 模拟煤与生物质共气化制费托油[J]. 化工时刊, 2011, 25(7): 11-15.
- [4] 王超. 生物质快速热解制油工艺分析及油品改质实验研究[D]. 天津: 天津大学, 2014.
- [5] 吕奇铮. 生物质快速热解加氢流程模拟及过程可持续分析研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2016.
- [6] 吕奇铮, 徐起翔, 张长森, 等. Aspen Plus 在生物质快速热解制取燃料油中的应用进展[J]. 化工进展, 2016, 35(S1): 116-121.
- [7] 刘娜. Aspen Plus 软件在煤化工教学中的应用[J]. 广东化工, 2020, 47(10): 178-180, 199.
- [8] 廖益强, 王雪芳, 张慧, 等. 浅析 Aspen Plus 软件在化工原理课程教学中的应用[J]. 中国多媒体与网络教学学报(上旬刊), 2020(2): 9-10.
- [9] 郭鑫. 浅谈化工流程模拟软件的应用[J]. 科技信息, 2011(13): 47.
- [10] 李微, 刘世熙, 马志刚, 等. Aspen Plus 软件在化工原理课程各教学环节中的应用[J]. 广州化工, 2017, 45(11): 185-189.
- [11] 李德顺, 李银然, 王燕美, 等. 基于课程化的大学生创新能力培养模式研究——以新能源利用技术系列课程实施为例[J]. 教育现代化, 2019, 6(21): 25-26, 34.
- [12] 管述哲, 刘宣池, 董孝宇, 等. Aspen Plus 软件在化工原理课程设计中的应用[J]. 山东化工, 2019, 48(1): 136-137.
- [13] 李微, 刘世熙, 马志刚, 等. Aspen Plus 软件在化工原理课程各教学环节中的应用[J]. 广州化工, 2017, 45(11): 185-189.
- [14] 王克良, 李静, 李松, 等. Aspen plus 在化工原理教学中的应用——以精馏分离甲醇-水体系为例[J]. 山东化工, 2017, 46(16): 163, 165.
- [15] 郑建东, 徐杰, 冯建华, 等. Aspen Plus 在化工专业课程教学中的应用[J]. 高师理科学刊, 2016, 36(3): 87-89.
- [16] 钱黎黎, 王爽, 王谦, 等. 可再生能源利用课程特点及教学模式探索[J]. 教育现代化, 2019, 6(A5): 79-81, 92.
- [17] 唐新宜. 基于 Aspen Plus 在化工工艺学教学中的应用[J]. 广州化工, 2016, 44(13): 174-176.
- [18] 张盼盼. 现代教育技术构建课堂互动教学模式的探索[J]. 中国多媒体与网络教学学报(上旬刊), 2020(3): 24-25.