

# 基于 Aspen Plus 化工模拟的生物油品质提质工艺设计案例教学探讨\*

◆李治宇 闫金良 孙方 张家乐 付鹏

**摘 要** 化工原理课程内容复杂,为培养学生工程实践能力,将流程模拟软件 Aspen Plus 运用到化工原理教学环节,以生物油模型化合物加氢脱氧提质工艺为案例,指导学生从实验出发,通过实际案例流程模拟来学习建模思想和方法。实践表明:将 Aspen Plus 应用于课程教学,不仅可以提高学生分析解决工程问题的能力,还能够促进教学质量的提升。

**关键词** Aspen Plus; 化工原理; 实验; 生物油品质提质工艺

**中图分类号:** G642.423 **文献标识码:** B

**文章编号:** 1671-489X(2022)13-0028-05

## 0 引言

化工原理是一门理论性强、与生产实际联系紧密的课程,是搭建在理论与实践之间的桥梁<sup>[1]</sup>。许多学生建立工程概念之前都会接触到这一门课程,它有着计算量巨大、逻辑性极强和概念知识晦涩难懂的特点,很容易让人望而生畏。如何让学生顺利入门,进而学好该课程,成为摆在教师面前的难题。

## 1 相关文献研究

《教育部关于进一步深化本科教学改革 全面提高教学质量的若干意见》强调要加强科学研究和教学实验的结合,教师应及时将新知识、新理论和新技术更新到教学内容中。2016年6月,教育部发布《教育信息化“十三五”规划》,指出教师的信息化教学水平是学校办学水平的评判指标之一。

为贯彻教育信息化理念,完善化工原理教学体系,解决化工原理课程学生接受程度低的问题,有

不少教师将 Aspen Plus 软件引入课程教学中。刘娜<sup>[2]</sup>根据 Aspen Plus 软件的特点和煤化工的特点,以煤气化为案例,通过对模拟流程中的模型选择、物性方法、模拟流程的建立进行分析,并成功将该模拟软件引入煤化工的教学课堂中。李龙江等<sup>[3]</sup>以煤层气低温精馏分离为案例,在课堂上使用 Aspen Plus 对煤层气气液相平衡和低温精馏过程进行模拟,使学生可以具体了解精馏塔的参数值变化,出色地完成教学任务。管述哲等<sup>[4]</sup>将 Aspen Plus 应用在化工原理课程典型的蒸馏设计问题中,不仅简化了理论塔板数的计算,还培养了学生的发散思维。

将 Aspen Plus 引入课堂,可以有效提高教学的趣味性,从而激发学生的专业学习兴趣和积极性,培养学生工程设计的思想,提高学生发现问题、分析问题和解决问题的能力<sup>[5-7]</sup>。我国生物质资源丰富,但生物质行业人才和核心技术缺失,亟待加大人才培养力度<sup>[8]</sup>。将 Aspen Plus 与生物质相关工艺结合,可以有效完善相关人才培养体系,提高研究工作效率<sup>[9-10]</sup>。陈汉平等<sup>[11]</sup>利用 Aspen Plus 建设生物质气化模型,用限制反应法修正理想反应和实际反应的差距,并使用实际操作中得到的数据对模型成功进行验证。Miaomiao Niu 等<sup>[12]</sup>将流化床与旋流式熔融炉结合构建一种新型的生物质综合气化联合循环,并利用 Aspen Plus 对系统进行分析优化。

但目前为止鲜有教师将生物油品质提质工艺与 Aspen Plus 在教学课堂上进行结合。本研究主要利用 Aspen Plus 软件对生物油品质提质工艺案例建立模拟流程,通过对比流程模拟结果与实际实验结果,分析误差产生原因,并对将 Aspen Plus 引入教学所取得的成效进行评价分析。

\*项目来源:2020年度教育部产学合作协同育人项目“固体废弃物资源化利用技术课程虚拟仿真教学模式改革”(202002184023);2020年度山东理工大学教学研究与改革项目“生物油水相催化加氢产烃类燃料的研究”(4003/221016);2020年度山东理工大学教学研究与改革项目“生物质热解联合催化重整实验平台的构建”(4003/221014)。

作者:李治宇,山东理工大学农业工程与食品科学学院,讲师,硕导,研究方向为生物质能源;闫金良、孙方、张家乐,山东理工大学农业工程与食品科学学院;付鹏,通信作者,山东理工大学农业工程与食品科学学院,教授,博导,研究方向为生物质能源(255000)。

## 2 Aspen Plus

Aspen Plus 由 MIT (麻省理工学院) 研发, 并于 1982 年完成商业化, 目前已成为大型化工企业首选的通用流程模拟软件<sup>[13-18]</sup>。Aspen Plus 软件主要包括三部分: 物性数据库、单元操作和模块分析。Aspen Plus 物性数据库极其全面, 包括将近 6 000 种纯组分的物性数据, 收集了 25 万多套气液平衡和液液平衡数据。该软件操作窗口简洁, 模拟运算效率高、结果准, 被广泛应用于化工过程的研究开发、装置设计、生产过程控制、工艺优化及技术改造等方面。Aspen Plus 的关键应用是高精度的流程模拟和优化, 用户可根据不同的模型选择模块, 如混合器、蒸馏塔、反应器、换热器等, 完成工艺流程图的绘制<sup>[19]</sup>。国内许多大学也开展了相关教学研究, Aspen Plus 真正地走进包括生物质在内的教学课堂, 让学生真正参与实验的设计、工艺的优化。

## 3 生物油提质工艺流程模拟

设计一套简单的生物质模型化合物加氢脱氧提质实验, 在课堂上使用 Aspen Plus 对实验建立模拟流程, 无论是物性数据的输入、模拟模块的选择、模拟流程的绘制, 还是模拟结果的记录, 都采取学生为主、教师辅导的教学策略。将模拟结果与实验记录数据进行比对, 若误差在可接受范围内, 将两组数据整理记录并对误差的产生进行分析; 若两组结果差异较大, 再对模拟流程进行检验并对其简单优化, 直至获得正确结果。教学步骤如图 1 所示, 详细记录一组模拟结果与实验结果相近的模拟流程。

### 3.1 设计案例实验

该生物油模型化合物加氢脱氧提质实验以结合 Aspen Plus 对学生培训为主要目的, 实验在图 2 所示装置中进行, 采用的是一级加氢法。生物油模型化合物愈创木酚通过蠕动泵, 与氢气进行混合, 氢气流量为 350 ml/min。反应器在反应进行前, 先后三次通入氮气置换空气, 再通入氢气, 保证反

应器中的氢气氛围。气化炉温度 220 ℃, 反应炉温度 350 ℃, 压力 1.6 MPa。当温度升高到达反应温度时, 通入物料, 气体每 10 min 收集一次, 反应时间 50 min。收集到的液相产物用二氯甲烷萃取并用 GC-MS 分析成分, 余下部分低温 (3 ~ 5 ℃) 保存。

为提高学生动手能力, 以上所有实验操作均由学生自主进行, 并将此实验作为教学实验案例, 使用 Aspen Plus 对其流程进行模拟, 将模拟得到的产物组分与实验结果进行对比。

### 3.2 物性数据的输入

该模拟以教学为主, 生物油模型化合物选择愈创木酚。该模拟中加氢脱氧采用一段加氢法, 生成的产物主要有甲烷、2, 3-二甲基十二烷、2-乙基-1-戊烯、乙基环戊烷、甲苯、1, 2, 3, 4-四甲基苯、邻二甲苯、联三甲苯等。

在 Aspen Plus 模拟过程中, 输入反应组分 (原料及产物) 是第一步。指导学生查找模拟工艺中出现的组分 CAS 号并将其输入软件中, 结果如表 1 所示。

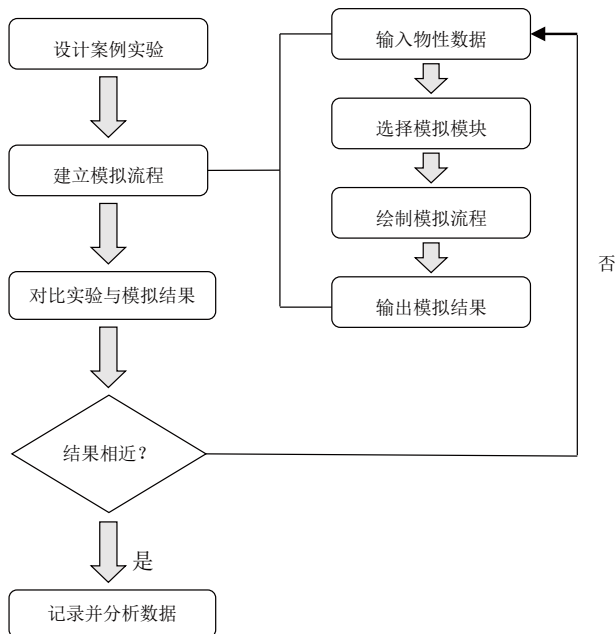
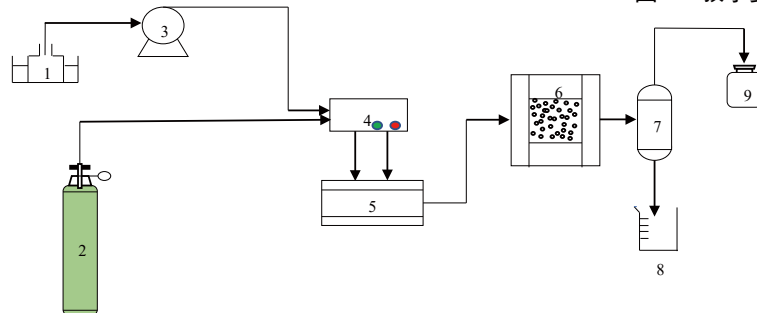


图 1 教学步骤



1—生物油模型化合物; 2—氢气瓶; 3—蠕动泵; 4—控制器; 5—气化炉; 6—反应炉; 7—冷凝器; 8—液相产物收集; 9—气相产物收集

图 2 实验装置示意图

### 3.3 模拟模块的选择

生物油加氢脱氧提质工艺主要可以分为三个部分,即进料、反应、产物收集:进料段主要是对反应物料加压至反应所需压力并混合、预热;反应段是物料在反应器中进行加氢脱氧反应,对生物油进行提质处理;产物收集段是将反应器中反应后得到的气相、液相产物分离并收集。工艺中具体选择模拟模块如表2所示。

### 3.4 模拟流程图的绘制

教师指导学生对所作模拟的流程图进行绘制,如图3所示。生物油模型化合物经由模块蠕动泵加压,与通过压缩器加压后的氢气于混合器中充分混

表1 输入主要组分

组分名称	分子式	CAS 号
愈创木酚	$C_7H_8O_2$	90-05-1
氢气	$H_2$	1333-74-0
甲烷	$CH_4$	74-82-8
2,3-二甲基十二烷	$C_{14}H_{30}$	6117-98-2
2-乙基-1-戊烯	$C_7H_{14}$	3404-71-5
乙基环戊烷	$C_7H_{14}$	1640-89-7
甲苯	$C_7H_8$	108-88-3
1,2,3,4-四甲基苯	$C_{10}H_{14}$	488-23-3
邻二甲苯	$C_8H_{10}$	95-47-6
联三甲苯	$C_9H_{12}$	526-73-8

表2 模拟流程中选择的模块

名称	模块类型	主要作用
压缩机	Compr	压缩氢气至反应所需压力
蠕动泵	Pump	加压物料
混合器	Mixer	混和物料与氢气
预热器	Heater	预热至反应所需温度
反应炉	Ryield	生物油加氢脱氧反应装置
冷凝器	Flash2	分离气相、液相产物

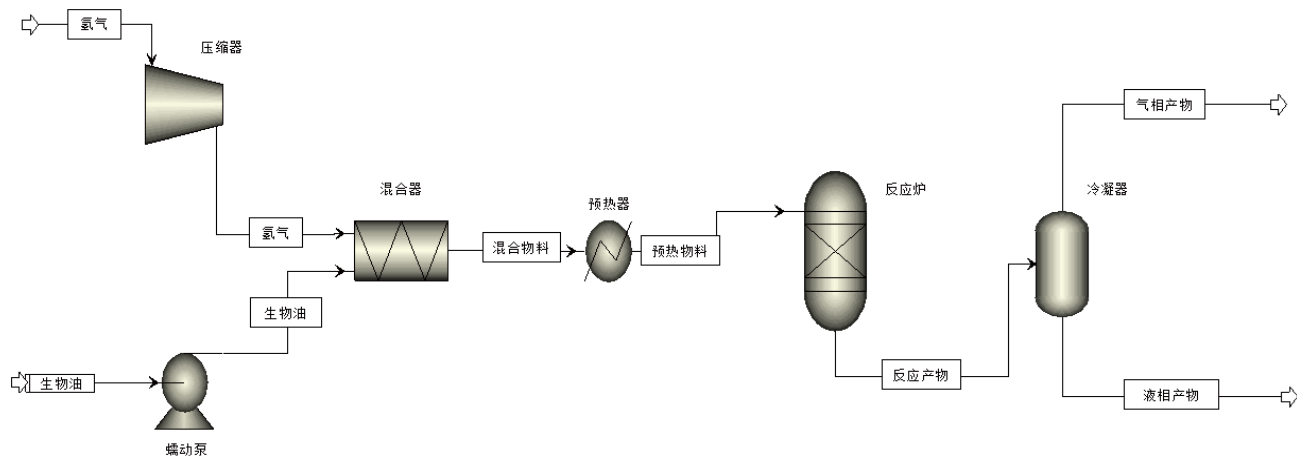


图3 模拟流程图

合。混合后的物料被充入预热器进行加热,预热至350℃后进入反应炉,进行生物油模型化合物的加氢脱氧,完成提质。反应后的产物主要包括气相和液相,产物经冷凝器分离后分别收集。

### 3.5 输出模拟结果

根据以上条件在 Aspen Plus 上完成生物油加氢脱氧提质工艺的模拟流程,得到模拟结果并让学生记录。流程模拟的液相产物和气相产物输出结果分别如图4、图5所示。由模型计算结果可以观察到,愈创木酚转化率与实际实验中愈创木酚的转化率基本相当;长链烷烃、烯烃的质量分数与实验结果近似相等;环烃的质量分数略低于实验结果;而芳香烃的质量分数相较于实验结果有一定升高。这是因为该生物油模型化合物的流程模拟中没有添加催化剂,对模拟结果产生一定影响;实验操作中也存在一定的人为误差。综上可知,模拟结果与实验结果存在的误差在可接受范围内,该工艺模型可以较好

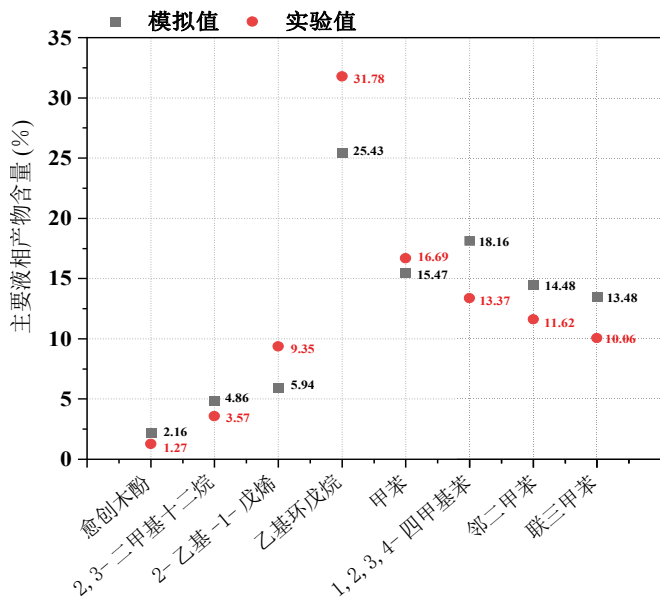


图4 液相产物含量

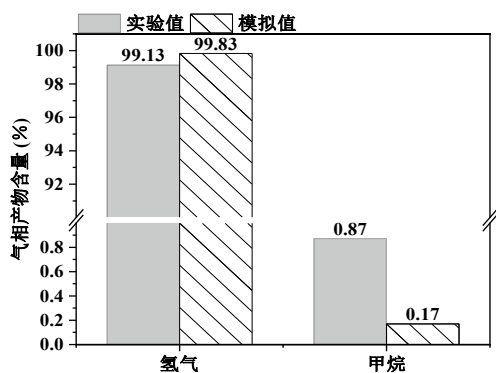


图5 气相产物含量

地模拟生物油模型化合物加氢脱氧提质过程, 可以比较出色地完成教学任务, 为学生提供一定指导。

## 4 教学效果评价

利用 Aspen Plus 将生物油模型化合物加氢脱氧提质的案例带入课堂, 让学生切实感受该门课程是理论与实践并重, 让课程更加贴近实际。根据课堂教学过程中的体会与学生的反馈, 对该教学案例的评价总结如下。

### 4.1 提高学生的学习兴趣

生物质相关课程学科交叉性强, 理论知识体系复杂, 转化过程原理本身枯燥, 学生在学习时可能会感到吃力且难以理解课程的相关实际应用。如何调动学生学习的积极性和探索欲, 提高学生学习的乐趣, 就成为摆在教师面前的难题。而将 Aspen Plus 与生物质模型化合物提质工艺相结合, 既可以培养学生的动手能力、求知欲, 还可以有效提高课程的生动性, 提高学生的学习兴趣。

### 4.2 促进教学质量提高

Aspen Plus 作为化工流程模拟软件, 因其专业性、精度高、用途广等特点而被我国多家协会和高校认可, 并以该软件为基础举办多届大学生化工设计竞赛<sup>[20]</sup>。引导学生通过 Aspen Plus 对流程进行模拟来掌握相关知识, 是将科研实践研究成果转化为教学资源的一次尝试<sup>[21]</sup>。

### 4.3 降低实验成本

将 Aspen Plus 作为模拟软件应用于课程教学, 可以有效解决学生多、设备少的现实问题, 降低实验成本<sup>[22]</sup>。由于该实验是在高温高压下加氢进行反应, 若学生操作不当, 会对学生的人身和实验室财产安全造成危害。而适当地减少实验次数, 改用 Aspen Plus 对实验进行模拟, 既可以让了解实验原理, 又能降低安全风险。

## 5 结论

学生通过生物油模型化合物加氢脱氧提质的实

验掌握了实验操作流程、注意事项, 清楚了反应条件, 理解了反应机理; 通过对该实验进行建模分析, 学生学习了 Aspen Plus 中数据的输入、模块的选择、流程图的绘制。将计算机软件和实验课程相结合, 开阔了学生视野, 提高了教学效率, 为教学改革提供了可参考的路径。■

### 参考文献

- [1] 徐冬梅, 王宏, 李敏, 等. Aspen Plus 在化工原理辅助实践教学中的应用 [J]. 中国教育技术装备, 2015(24): 173-175.
- [2] 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.
- [3] 李龙江, 张覃, 王贤书, 等. 基于 Aspen Plus 的煤层气精馏分离案例教学探讨 [J]. 化学教育, 2016, 37(16): 56-61.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 刘浪, 唐安江, 郭俊江. Aspen Plus 在《化工过程设计及节能技术》教学中的应用 [J]. 广东化工, 2019, 46(1): 204-205.
- [7] 王克良, 李静, 李松, 等. Aspen Plus 在化工原理课程设计教学中的应用 [J]. 山东化工, 2017, 46(15): 153-154.
- [8] 陈登宇. 新能源科学与工程专业(生物质能方向)人才培养探索 [J]. 课程教育研究, 2015(1): 236, 237.
- [9] 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(S1): 116-121.
- [10] Singh D K, Tirkey J V. Modeling and multi-objective optimization of variable air gasification performance parameters using Syzygium cumini biomass by integrating ASPEN Plus with Response surface methodology (RSM) [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2021, 46(35): 18816-18831.
- [11] 陈汉平, 赵向富, 米铁, 等. 基于 ASPEN PLUS 平台的生物质气化模拟 [J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2007(9): 49-52.
- [12] NIU M M, XIE J, LIANG S H, et al. Simulation of a new biomass integrated gasification combined cycle (BIGCC) power generation system using Aspen Plus: Performance analysis and energetic assessment [J]. International Journal of Hydrogen



- Energy, 2021, 46(43):22356-22367.
- [13] 谭凤玉, 李松, 李开云, 等. 仿真软件 Aspen Plus 在化工原理实验教学中的应用研究 [J]. 云南化工, 2019, 46(4):188-190.
- [14] 魏智宇, 杨晴, 周荷雯, 等. 基于 Aspen Plus 平台的生物质热解模型与应用研究综述 [J]. 能源与环境, 2018(6):94-96.
- [15] 郑秋闯, 范晶晶. 流程模拟软件 Aspen Plus 在化工原理课程设计教学中的应用 [J]. 化学教育, 2017, 38(6):68-71.
- [16] 杨金杯, 余美琼, 陈文韬. Gaussian 与 Aspen Plus 在化工原理课程设计中的应用 [J]. 化学教育(中英文), 2021, 42(4):78-85.
- [17] 马江权, 冷一欣. 化工原理课程 [M]. 2 版. 北京: 中国石化出版社, 2011.
- [18] 李文军, 苏倩倩, 魏家骏, 等. 基于 Aspen 的《化工过程分析》教学改革探索 [J]. 课程教育研究, 2017(17):230-231.
- [19] Yadav E S, Indiran T, Nayak D. Simulation study of distillation column using Aspen plus [J]. Materials Today: Proceedings, 2022, 48(2):330-337.
- [20] 王帅, 钟宏, 金一粟, 等. Aspen Plus 在化工专业教学中的应用 [J]. 化工时刊, 2010, 24(2):67-70, 73.
- [21] 史永永, 刘飞, 潘红艳, 等. 基于化工模拟的氨法烟气脱硫工艺设计案例教学探讨 [J]. 化学教育(中英文), 2019(18):73-77.
- [22] 王彩红, 林雄超, 董敏, 等. ASPEN PLUS 在化工实验教学和科研中的应用 [J]. 化工时刊, 2009, 23(6):73-75.

(上接 P27)

通过省级考试机构与高校之间的考试数据共享, 宏观上可使高校动态了解本校学生整体以及各年级学生群体在地区高校中的相对英语水平和水平变化情况; 另一方面通过“教”与“学”之间的数据流动, 微观上使高校教师动态了解本班级、本年级在本校的英语水平以及学生个体的学业水平及变化情况。通过数据流动和共享, 形成推进教学工作质量提升的合力, 充分发挥教育评价的指挥棒作用。

3.3.2 改进结果评价, 开展增值评价 一方面要利用考试数据丰富结果评价内容。评价内容除了提供考试总分外, 更应充分展现评价构成的细节, 利用当次多维度、多层次的命题设计参数数据与考生个人作答数据进行比对分析, 运用多维度得分率为考生目前知识掌握情况进行精准画像, 为考生了解自身知识掌握情况提供便利, 提高后续学习针对性, 强化评价的诊断和导向作用。另一方面要利用考试数据开展增值评价。从高校或考生群体角度, 通过对高校或考生群体(年级、班)进行增值评价, 运用分项得分率、排名变化、动态及格率、动态优秀率等指标, 更加准确地评价高校或考生群体(年级、班)教学的实际成效, 为高校教学管理部门监控教学质量提供依据, 促进高校持续优化教学工作; 从考生个体角度, 通过多维度比较、分析当前成绩数据与历史成绩数据差异, 运用得分率及排名变化等指标, 全面、科学反映学生进步情况, 强化考试对持续学习的激励和促进作用。

3.3.3 建立评价信息反馈机制 通过建立反馈机制, 形成“教—学—评”闭环, 持续改进教学质量。建立健全安全的评价信息反馈途径, 通过数据可视化方法反馈评价数据, 结果评价和增值评价

信息一是要及时推送给高校, 使其全面、系统了解“教”实施的实效, 为进一步改进教学管理提供数据支撑; 二是要及时推送给考生, 使其及时了解“学”中发现的问题及可能原因; 三是要及时推送给命题组, 为提升“评”的质量提供参考和依据。通过不断积累, 分析试题、试卷使用实测数据, 考生数字画像将更加贴合高校成人教育学生群体, 使得命题工作更加契合教育特点, 更加客观、科学。

## 4 结束语

高校成人教育学士学位英语机考通过在考试命题、组织考试、成绩分析反馈中引入现代信息技术, 为促进考试改革提供助力, 为提升考试工作整体水平提供支撑, 是顺应新时代深化教育评价改革需要、加快教育现代化建设的具体体现, 对于促进学位英语考试提质增效, 办好高等学历继续教育, 严把高校成人教育出口关, 具有重要意义。■

## 参考文献

- [1] 中共中央 国务院印发《深化新时代教育评价改革总体方案》[A/OL]. (2020-10-13) [2020-10-20]. [http://www.gov.cn/zhengce/2020-10/13/content\\_5551032.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2020-10/13/content_5551032.htm).
- [2] 北京教育考试院. 北京地区成人本科学士学位英语统一考试说明 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2013:1-6.
- [3] 张莉玲, 马忠玲. 混合式教学在成人高等教育中的实践与探索 [J]. 当代继续教育, 2019, 37(2):58-63.
- [4] 詹晓庄, 沈洁, 苏婧, 等. 自学考试命题审校工作信息化策略研究 [J]. 高等继续教育学报, 2020, 33(6):72-76.
- [5] 邓斯芮, 周杰. 我国英语无纸化考试研究综述 [J]. 教育文化论坛, 2019, 11(3):106-111.