

• 教学 •

工程教育专业认证背景下聚合物加工流变学 课程教学改革探讨

张笑晴*, 雷彩红, 徐睿杰

(广东工业大学材料与能源学院, 广州 510006)

摘要: 聚合物加工流变学具有理论性深和实践性强的课程特点, 是依托高分子物理基础, 服务聚合物成型工艺学和塑料成型模具设计的专业基础课, 它在高分子材料与工程专业本科教学体系中承载着纽带作用。针对课程目前的教学现状, 以工程教育专业认证理念为指引, 本文根据专业特色和实际情况, 提出了课程改革的思路, 对课堂教学、实验教学和教学方法进行了改革探讨。重新构建课程教学体系更为合理和完善, 改革后的课堂教学内容结构进一步优化, 提出开设的线上微实验课程弥补了流变学实验教学的缺失, 教学方法动、静结合更为多元化。通过改革实践, 学生的流变学理论知识更扎实, 运用流变学知识分析解决问题的能力提升, 课程教学质量得到显著提高。

关键词: 工程教育专业认证; 聚合物流变学; 本科教学; 微实验课; 教学改革

Discussion on the Teaching Reform of Polymer Processing Rheology Course under the Background of Engineering Education Certification

ZHANG Xiao-qing*, LEI Cai-hong, XU Rui-jie

(School of Materials and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Polymer processing rheology is a comprehensive theoretical and practical course that is based on polymer physics and serves as a foundation for the polymer molding process and the design of plastic molding die. It acts as a bridge between undergraduate polymer materials and engineering courses. In response to the course's current teaching status, in this paper, the engineering education professional certification concept is as a guide and combined with our school's professional characteristics, the idea of curriculum reform is proposed, and the reform of teaching content, experiment teaching and teaching methods are also discussed. A more reasonable and perfect course teaching system has been developed, and the reformed teaching content structure has been further optimized. The online micro-experiment course is designed to compensate for the lack of rheology experimental teaching, and the teaching method is more diversified with dynamic and static combinations. Students' theoretical knowledge of rheology has been strengthened *via* reform and practice, their ability to analyze and solve problems utilizing rheological knowledge has been enhanced, and the quality of course teaching has been significantly improved.

Keywords: Engineering education professional certification; Polymer rheology; Undergraduate teaching; Micro-experiment course; Teaching reform

收稿: 2022-04-01; 修回: 2022-05-19

基金项目: 广东工业大学校级教学改革项目(2021 年), 广东省研究生示范课程建设项目

* 通讯联系人: 张笑晴(1982-), 女, 博士, 副教授, 主要从事高性能高分子材料教学与科研。E-mail: zhangxq@gdut.edu.cn

doi:10.14028/j.cnki.1003-3726.2023.02.014

2021年,广东工业大学的高分子材料与工程专业入选了国家级一流专业建设点,同年也申报了工程教育专业认证,并已完成进校考察。工程教育专业认证的核心是要确认工科专业毕业生达到行业认可的既定质量标准要求,是一种以培养目标和毕业出口要求为导向的合格性评价。工程教育专业认证要求专业课程体系设置、师资队伍配备、办学条件配置等都围绕学生毕业能力达成这一核心任务展开^[1]。在此背景下,深化课程教学改革,提高课程教学质量,这是达成培养目标的重要基础。

聚合物加工流变学是我校高分子材料专业开设技术基础课(限选),是高分子物理的延伸,也是聚合物成型工艺学和塑料成型模具设计等专业课的理论基础^[2]。该课程的内容既有较深的理论性,又有较强的实践性^[3]。在工程教育专业认证的驱动下,我们对该课程目前教学中存在问题进行了分析和总结,例如教材不合适、实验教学缺失、教学方法单一等。虽然学生能较好地掌握基本理论知识,但是实践能力弱,没有达到所学会用、能用,更难以真正地运用专业知识分析和解决复杂的实际工程问题。

针对目前教学现状,我们团队对聚合物加工流变学课程进行了教学改革探索,主要是基于课程教学目标、线下课堂教学内容、线上微实验课程、教学方法等多个方面开展相应的改革,实践由灌输知识型课堂向获得能力型课堂的逐步转变^[4,5]。在教学过程贯彻“以学生为中心”、“以成果为导向”和“质量持续改进”的教育理念,引导学生运用基础理论知识对复杂工程问题进行合理拆解,通过线上微实验课程正确的实验方法、数据处理和反馈修正的学习,最终培养学生成为合格的工程师。

1 课程教学目标

聚合物加工流变学课程教学的总目标是将线下课堂教学和线上微实验教学相结合,突出理论和实践的联系,强调课程知识的实用性,使学生能够掌握并应用流变学的理论知识,分析、解决聚合物材料实际生产中遇到的工程问题。

线下课堂教学目标:(1)使学生认识聚合物材料流动与变形的本质,理解聚合物材料的流变性质与材料分子结构、制品配方、加工工艺条件、加工机械及模具的设计和应用之间的关系;(2)掌握

研究和测量聚合物材料流变性质的实验基本理论;(3)对典型聚合物材料成型加工过程中的流变学分析,使学生建立聚合物加工流变学的理论知识体系。

线上微实验课程教学目标:(1)巩固流变测量学中研究材料流变性质的基本实验原理和方法;(2)学习三个专题实验模块(高压毛细管流变仪、旋转流变仪和转矩流变仪),掌握表征不同类型聚合物材料流变性质的具体实验操作和数据处理方法,为材料设计、配方设计、工艺设计提供基础数据。

2 课程教学改革

2.1 教材筛选

教材选择是教学中的重要一环。目前,国内出版了不少优秀的流变学教材,而兄弟院校的流变学教学同仁们对这些教材也开展了一些分析讨论^[2,6]。本人也对部分教材在教学内容体系设置上的特点进行了分析归纳,例如《高分子材料流变学》和《高聚物流变学》这两本教材的核心内容均涉及聚物流变学的理论基础,聚物流体的流变行为分析,以及流变学在聚合物加工中的应用,知识面宽,内容量大,对学生高等数学的要求高,更适合研究生水平的教学^[7,8]。《塑料加工流变学及其应用》教材内容详述了流变学在塑料加工中的应用,但流变测量学的内容略显简略,作为本科教材,学生的学习难度大^[9]。《流变学基础》的两本教材介绍了主要宏观流变学的基本概念、基本理论和实验手段,但实验手段介绍简略,也缺乏聚合物加工过程的流变学原理和应用的相关内容^[10,11]。本专业的教材最初选用梁基照教授主编的《聚合物材料加工流变学》^[12],该书阐述了流变学的基本原理和方法,分析和讨论了聚合物材料加工及成型过程中的黏弹性行为及机理,介绍了流变测量方法及原理,以及典型聚合物加工过程中的流动分析。2018年始,该教材已经不再出版,因此,近几年的教学我们主要以《聚物流变学基础》为主教材,同时以《高分子材料流变学》为辅助教材。但是从教学实施过程和学生的反馈发现,同一物理量在不同教材中所使用的物理量符号各不相同,在学习和复习理论知识的过程中造成了不小的困难。

因此,结合本专业培养目标、科研特色和工程

教育认证的要求,本团队选择陈晋南教授等主编的《聚物流变学及其应用》为主要授课教材^[13]。该书是中国轻工业“十三五”规划立项教材,作为高分子材料与工程专业本科生的教材,基本理论和知识点均有涵盖,内容难度适中,同时结合本人多年的教学经验,对教材中的教学内容进行优化,有利于学生对流变学基础理论和知识系统的学习和巩固。

2.2 课程教学优化

根据本专业培养方案的设置,聚合物加工流变学课程仅有 24 学时,受教学时数的限制,不仅难以将教材中的全部教学内容在课堂上进行授课讲解,也无法开展传统流变学实验教学。此外,本科专业实验平台的流变学相关设备资源非常有限,这是导致传统流变学实验无法开展的另一原

因。但是流变学本身是一门实验科学,理论教学和实验教学应该相辅相成,流变学实验教学的缺失,显然不利于培养学生的实践能力和分析解决问题能力。因此,我们提出了线下课堂教学和线上微实验课程教学相结合的课程教学新模式,如图 1 所示。线下课堂教学内容是基于所选教材内容进行了优化设置,保证适当的广度和深度,教学内容衔接合理、重点突出、层次分明,整体脉络清晰。线上微实验课程是以本团队的流变学设备为平台,制作三个专题实验模块微课程,作为课堂教学的拓展,弥补传统实验教学的缺失,同时希望能发展成为课程教学的高效辅助手段。学生在学习完成线下课堂教学内容和线上微实验课程后,能够掌握专业的流变学理论和知识,工作后能尽快适应相关岗位,并将所学用于指导科研和实际生产。

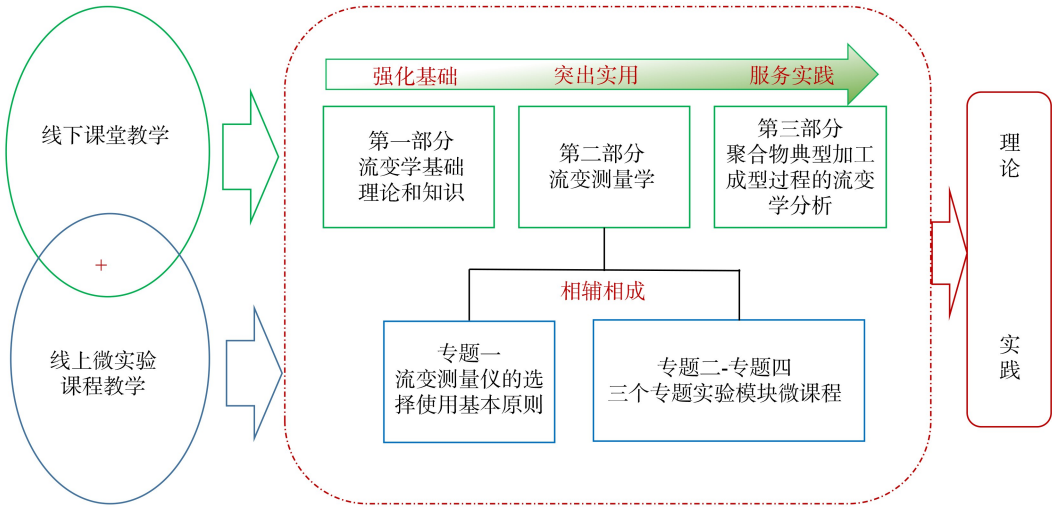


图 1 线下课堂教学和线上微实验课程教学相结合的教学新模式

Figure 1 A new teaching model that combines offline classroom teaching and online micro-experimental course teaching

2.2.1 线下课堂教学改革

结合本专业的特色和本人近年来的教学经验,线下课堂教学内容不再机械地依据主教材的章节进行授课,而是将线下课堂教学内容进行了优化,主要分为三个部分,共计七章,具体的课堂教学内容和时间安排列于表 1 中。

如表 1 可知,根据往年的教学安排,线下课堂教学通常是 2 学时/周,课堂授课时间为 12 周,教学内容中各章节的具体学时数、教学内容、目标要求已经详细列于表 1 中,不再一一赘述。各部分教学内容之间的关系如下所述:

第一部分学习掌握流变学基础理论和知识,强化基础。该部分课程内容包含三个章节,分别

为流变学概述、聚物流体的流变特性以及流体的流动基础和简单流道中的流动分析。其中,在第一章介绍国内流变学发展历史时,特别补充了国内学者在流变学研究中的重要贡献,以激发学生对流变学学习的热情和对本专业的认同感;通过观看聚合物的奇异流变现象的演示实验视频,激发学生的学习兴趣,也为后面第二章流变特性的学习做好铺垫。通过第二章的学习,能理解并说明第一章中典型的聚合物奇异流变现象的原因,如剪切变稀、爬杆效应、挤出胀大、熔体破裂等。通过第三章的学习,将为第二部分流变测量学中可测量变量和不可测量变量间建立恰当联系,以及第三部分加工成型过程中的流动分析基

表 1 线下课堂教学内容和时间安排

Table 1 Content and schedule of offline classroom teaching

周次	内容规划	课程章节	学时	具体教学内容	各章教学目标要求
2	第一部分 流变学基 础理论和 知识	第一章 流变学概 述	2	学习 (1)聚物流变学的基本概念， 发展历史和趋势，研究内容和意义； (2)聚合物典型奇异流变现象。	(1)掌握流变学基本概念，研究内容和意义； (2)了解国际和国内流变学发展历史和趋势； (3)理解聚合物典型奇异流变现象。
3~5		第二章 聚合 物的流变特性	6	学习 (1)流体流动类型；(2)非牛 顿流体的类别；(3)聚物流体黏度的 影响因素；(4)聚合物流体的弹性参 数和现象。	(1)了解流体流动类型，掌握非牛顿流体的类型、基 本流变函数、流动机理； (2)掌握聚合物分子结构参数(分子量、分子量分 布、支化度)、配合剂(软化增塑剂、填充-增强剂)和 加工条件(剪切速率和应力、温度、压力)对材料流 变性(黏度)的影响； (3)掌握聚合物流体的弹性参数。
6~7		第三章 流体 的流动基础和简单 流道中的流动分 析	4	学习 (1)张量的概念和基本知识，力 的分类和应力张量(剪切应力分量、 法向应力分量、偏应力张量)；(2)三 大基本输运方程，包括连续性方程、 运动方程和能量方程；流体本构方 程；(3)简单管道中的流动分析。	(1)掌握张量、应力张量的概念和基本性质、应力 张量的特殊类型； (2)了解三大基本方程的推导过程，理解方程中各 项的确切物理意义； (3)理解本构方程的概念，流体流动的本构关系； (4)掌握简单截面流道中的聚合物流体的流动分 析，重点是平行板板间的等温拖曳流和圆形管道中 的压力流的温度分布和速度分布。
8~10	第二部分 流 变测量 学	第四章 流变仪 测量的基本原理 及其应用	6	学习 (1)流变测量学导论；(2)毛细 管流变仪的测量原理和方法；(3)旋 转流变仪的测量原理和方法；(4)混 炼机型转矩流变仪的原理和用途； (5)其他类型黏度计的测量原理。	(1)了解流变测量的意义、原理和分类； (2)重点掌握毛细管流变仪的工作原理、完全发展 区流场的分析、入口区流场的分析和 Bagley 修正、 出口区流体流动的分析； (3)掌握旋转流变仪的测量原理和方法(锥-板、平 行平板、同轴圆筒)； (4)掌握转矩流变仪测量原理和应用； (5)了解其他黏度计的测量原理(如落球黏度计)。
11	第三部分 聚 合物典 型加工 成型过 程的流 变学分 析	第五章 挤出成 型过程的流变学 分析	2	学习 (1)单螺杆挤出机的基本结构、 工作原理；(2)单螺杆挤出过程匀化 计量段、机头口模内物料的流动；(3) 挤出加工熔体流动的不稳定性；(4) 稳定挤出过程的方法。	(1)掌握物料在匀化计量段的螺槽和机头口模内的 流动特点； (2)掌握挤出过程中不稳定挤出的现象、熔体破裂 现象的分析和影响因素； (3)掌握实现稳定挤出的流变措施。
12		第六章 注塑成 型过程的流变学 分析	2	学习 (1)注塑成型设备的基本结构、 工作原理；(2)物料在圆盘形模具的 流动和充模压力分析；(3)注塑制品 残余应力的分析。	(1)掌握聚合物熔体在圆盘形模具和管式直浇口的 流动特点，模腔压力降； (2)理解和掌握成型过程中经历的复杂力学和热力 学行为与形成残余应力、收缩和翘曲的关系。
13		第七章 压延成 型过程的流变学 分析	2	学习 (1)压延机的基本结构，分析对 称辊筒等温加工成型过程；(2)求解 两辊筒间隙物料的等温流场，分析流 场的压力和速度分布，包括三大基 础方程的简化和求解、辊筒缝隙物料 的压力分布、速度分布和功率。	(1)掌握聚合物熔体在压延成型过程中的流动特 点； (2)掌握辊筒间物料的压力分布(压力极值点，参数 λ 的意义)和速度分布，辊筒的驱动功率。

础方程的建立、结合边界条件求解等奠定理论基础。

第二部分学习流变测量学，突出实用。通过

第四章的学习，掌握今后从事聚合物材料领域工

作和科研必要的流变测量基础知识。

第三部分学习聚合物典型加工成型过程的流变学分析,服务实践。通过第五、六和七章的学习,使学生了解流变学理论在实际典型聚合物成型加工中的应用场合,同时加深学生对加工成型机械及其工艺特性的认识,学习应用流变学理论分析问题的方法,培养他们在实际加工中解决问题的综合能力。

2.2.2 线上微实验课程开设的重要意义

与国内许多高校相似,本专业流变学相关实验也仅在高分子物理实验课程中开设了聚合物熔融指数测定和乌氏黏度计测定聚合物稀溶液黏度这两个简单实验。传统流变学实验教学开展困难的主要原因:第一、课时受限,仅够用于课堂教学;第二、设备昂贵,台套数有限,无法满足本科生开设专业实验教学的要求,例如第二部分流变测量学中介绍的高压毛细管流变仪、旋转流变仪等均为进口设备,部分高校即使购买了相关设备也仅能满足教师的科研需求。但是,对于从事聚合物材料开发领域的人员来说,在掌握流变学理论知识的同时,能够利用各类流变测量设备进行聚合物材料的流变性质表征,可以为材料、配方和工艺的设计提供基础实验数据,用以指导生产、优化工艺条件。

因此,在工程教育认证背景下,我们提出开设一种线上微实验课程的新型实验教学模式。与传统实验教学相比,线上微实验课程教学具有其显

著的优势:(1)微实验课程的建设 and 开展可以充分利用本团队、本专业和本校的设备资源,不受昂贵设备台套数的限制;(2)微实验课程可以将每一部分流变学实验制作为相对独立的专题微课程,包括各类流变实验设备的基本构造和工作原理模块、规范使用操作模块、实验数据处理模块;(3)微实验课程可以充分利用现代信息和传播媒体的技术,极大地提高教学的灵活性;(4)微实验课程可以最大程度调动学生自主学习的积极性,学生可不受场地和时间限制进行线上自由学习;(5)线上微实验课程可供学生永久学习、随时回顾,理论知识掌握得更加扎实;(6)通过不同专题微实验课程的学习,将理论知识和实践应用紧密结合,可以拓宽学生的思维,提高其创新能力,增强就业竞争力,最终使学生在今后工作中能学以致用。

2.2.3 线上微实验课程专题教学

线上微实验课程是线下课堂教学的拓展教学内容,该部分教学是从第二部分流变测量学的课堂教学完成后开始,基于高压毛细管流变仪、旋转流变仪和转矩流变仪这三大主要流变测量设备,开展对应的专题实验模块。由于该部分教学内容不在专业培养方案设置体系内,微实验课程的教学是要求学生利用课余时间线上完成学习,通过学习报告和开放性考题实现监督和考察学生的学习效果,线上微实验课程内容和时间安排详细列于表 2,具体如下所述:

表 2 线上微实验课程内容和时间安排

Table 2 Content and schedule of online micro-experiment courses				
周次	内容规划	学时	微实验课程	微实验教学目标
10	专题一 流变测量仪的选择使用基本原则	2	(1)流变测量仪的选择原则; (2)材料流变数据的正确测量基本原则和步骤。	针对不同物性的聚合物材料,选择合适的流变仪进行测试。
11	专题二 高压毛细管流变仪实验	3	实验 1. 聚乙烯(LDPE 或 HDPE)材料的基本流变性质实验; 实验 2. 含氟聚合物助剂改善聚乙烯材料异常流变行为实验。	(1)掌握高压毛细管流变仪的正确操作方法,求取聚合物材料流变参数,流动曲线绘制; (2)直观认识不稳定流动现象,对比观察添加助剂后聚合物挤出外观,优化复合体系配方和工艺。
12	专题三 旋转流变仪的实验	3	实验 1. 聚丙烯炭黑复合材料的流变行为实验; 实验 2. 树脂传递模塑(RTM)用环氧树脂体系的流变行为及工艺窗口预测实验。	(1)掌握板-板和锥板旋转流变仪的正确操作方法;研究不同炭黑含量对复合材料体系的稳态、动态流行为的影响; (2)研究固化树脂体系的流变性质,求取凝胶时间点,低黏区温度和时间等流变学参数;获得黏度模型,为固化工艺优化提供依据。
13	专题四 转矩流变仪的实验	3	实验 1. 典型硬质聚氯乙烯(UPVC)基础配方的流变性能实验; 实验 2. 偶联剂对白炭黑-天然橡胶的硫化特性影响实验。	(1)掌握转矩流变仪的正确操作方法;对比研究添加增塑剂前后 UPVC 的流变曲线,掌握配方设计对 UPVC 管材后期挤出工艺的影响; (2)不同工艺条件下硫化复合体系的硫化特性,绘制硫化曲线;研究橡胶路滑反应动力学,指导改性硫化工艺。

(1)专题一 流变测量仪的选择使用基本原则

确定聚合物材料流变性能,才能优化材料的配方和工艺条件,控制制品的最终性能。因此,针对不同物性的聚合物材料,需要学生首先掌握选择流变仪的基本原则和方法。

第一部分介绍流变测量仪的选择原则,即根据聚合物加工过程中相应的剪切速率范围和流变仪本身的测量范围选择流变仪;第二部分介绍材料流变数据的正确测量基本原则和步骤。将上述两部分内容制作成一个微课程专题,同时涵盖一些具体的聚合物材料测量实例。

(2)专题二 高压毛细管流变仪的实验

本专题的实验设备为隶属本团队的高压毛细管流变仪,型号:RH20,德国高特福有限公司,圆毛细管口模(长径比 30/1)。微实验课程专题中涵盖:(a)高压毛细管流变仪的基本构造和工作原理的详细介绍模块;(b)设备规范使用的详细操作规则;(c)两个独立的微实验课程,分别含对应实验的详细数据处理方法和过程。

实验案例 1 聚乙烯材料的基本流变性质实验。以线性低密度聚乙烯或高密度聚乙烯为原料,使用不同的挤出速率通过毛细管口模,由测得的压力和熔体流量,可求得相应的剪切应力、剪切速率和表观黏度,进一步学习用 Origin 软件绘制材料的流变特性曲线,例如剪切应力-剪切速率曲线,表观剪切黏度-剪切速率曲线;计算求得非牛顿指数(n)、黏流活化能等流变参数。通过进一步分析实验结果,讨论聚合物的一些基本流变性质,如剪切变稀行为、分子结构对聚物流变性质的影响等。

实验案例 2 含氟聚合物助剂改善聚乙烯材料异常流变行为实验。以各类聚乙烯为原料,观察不同挤出速率条件下的纯聚乙烯材料的挤出物外观,直观认识聚合物的挤出胀大、不稳定流动或熔体破裂现象,加深对聚合物黏弹性的认知。添加不同含量的聚全氟乙丙烯(FEP)助剂,测定不同速率条件下的表观剪切黏度,对比观察添加助剂后聚乙烯材料挤出物的外观,通过实验预测聚合物的加工行为,优化复合体系配方、最佳成型工艺条件和控制产品质量。

(3)专题三 旋转流变仪的实验

本专题的实验设备为隶属本团队的旋转流变仪,型号:MCR302,德国安东帕(中国)有限公司。

微实验课程专题中涵盖:(a)锥-板和板-板(平行板)旋转流变仪的基本构造和工作原理的详细介绍模块;(b)设备规范使用的详细操作规则模块;(c)两个独立的微实验课程,分别含对应实验的详细数据处理方法和过程。

实验案例 1 聚丙烯碳黑复合材料的流变行为实验,以聚丙烯粉末和碳黑(CB)为原料,用熔融共混法将 PP 和 CB 按照不同配比混合造粒,进一步压制成合适的测试圆片。采用板-板旋转流变仪测定复合材料的稳态、动态流变行为,研究不同含量 CB 对材料流变行为的影响。通过复合材料的稳态表观黏度与剪切速率曲线,根据临界剪切速率的大小,判断流体非牛顿性的强弱,了解原料配方和加工条件对复合材料流体黏度的影响。在低剪切应变(线性黏弹区)时,通过动态流变实验,获得复合材料的动态频率扫描谱(如 $\lg G' - \lg \omega$, $\lg G'' - \lg \omega$ 关系曲线)。根据低频区复合材料体系末端区模量的变化,判断复合材料体系中的填料是否形成了填料网络。基于逾渗理论,由末端弹性模量与 CB 含量的关系可以推导出填料的逾渗值。

实验案例 2 树脂传递模塑(RTM)用环氧树脂体系的流变行为及工艺窗口预测实验。以环氧树脂 AG80 或 TG-50 为主体树脂,液体酸酐为固化剂。通过锥-板旋转流变仪测得固化树脂体系的流变性质,包括非等温黏度特性和等温黏度特性。分析并绘制树脂体系的黏度与温度的关系曲线、等温条件下的黏度与时间关系曲线,获得树脂体系的凝胶时间点,固化反应活化能、低黏度区间的温度和时间范围等流变学参数;基于树脂体系的化学流变特性,分别采用双 Arrhenius 黏度模型、工程黏度模型和联合黏度模型对所采用的树脂体系的黏度变化进行预测,验证各种模型的黏度值与实验黏度值是否一致。根据合适的黏度模型,可预测树脂体系在不同温度条件下的黏度变化趋势,为树脂后期的 RTM 工艺参数优化和保证产品质量提供了必要的技术基础和理论依据。

(4)专题四 转矩流变仪的实验

本专题所用的转矩流变仪隶属本专业本科教学平台,型号:Polylab QC,Haake 德国公司。微实验课程专题中涵盖:(a)转矩流变仪的基本构造和工作原理的详细介绍模块;(b)设备规范使用的详细操作规则模块;(c)两个独立的微实验课程,分别含对应实验的详细数据处理方法和过程。

实验案例1 典型硬质聚氯乙烯(UPVC)基础配方的流变性能实验。以未加增塑剂和添加增塑剂的UPVC基础配方干混料为原料,利用转矩流变仪测试干混料的流变性能,绘制扭矩与时间的流变曲线,分析UPVC流变曲线与挤出工艺间的一一对应关系。对比添加增塑剂和未加增塑剂的UPVC的流变曲线,进一步了解和掌握配方设计对UPVC管材材料后期挤出工艺的影响。

实验案例2 偶联剂对白炭黑-天然橡胶的硫化特性影响实验。以含硫偶联剂双-[r -(三乙氧基硅)丙基]四硫化物(Si69)与硫磺(S)为复合硫化剂,在相同总硫含量条件下,将不同配比的复合硫化剂(Si69-S)加入白炭黑-橡胶复合体系中,采用转矩流变仪测定不同温度和转速条件下复合材料体系的硫化特性,绘制橡胶体系扭矩与时间的硫化曲线。基于硫化曲线,计算出每组配方胶料的硫化反应速率常数 K 和活化能 E_a ,研究橡胶的硫化反应动力学,指导改进天然橡胶硫化工艺。

3 教学方法的改进

教学改革的目的不仅要优化教学内容,同时也需要不断的改进教学方法。按照不同的教学内容采取多元化的教学手段,有助于提高教学质量,培养综合素质、能力优异的学生。授课教师是教学改革的主体,充分发挥教师在课程教学中的作用是成功实施教改的关键。因此,流变学教学同仁们结合各自的教学实践提出了许多不错的教学方法^[2,4]。本人也结合自己近年来的教学实践和经验,在这次教改的实施中改进了一些教学方法。

(1)教师为主体的课堂教学引导。通过深入剖析教材中不同章节教学内容间的内在联系,将理论知识进行纵向和横向的关联。因此,本课程的线下课堂教学内容分为三个模块,采取章节间和模块间串联式地教学,避免机械地按照选用教材的章节结构进行教学。此外,通过对教学内容的分析和归纳,使学生对基础理论知识的理解更加全面和深刻。

(2)教学手段的多元化。线下课堂教学采用动、静结合的模式进行授课。对于基本概念、理论的知识主体采用静态的形式、以简洁、准确的语言向学生传授课程知识。同时,尽可能收集补充新的生活和工程案例素材,将原先单一的图片或文字自制成动画视频,例如介绍聚合物流体的各种奇异流变现象等。采用动感的画、声和图等多样

式的教学形式从生活和工程案例中引出课程知识。将抽象的概念和理论进行感性化,使学生能获得感性认识,并由浅到深地分析基本理论,帮助其理解、掌握和深化记忆。

(3)实际案例启发,紧跟科研动态。枯燥晦涩的专业理论知识可以结合实际应用背景讲授,例如讲述宾汉流体的实例时,除了日常生活中的牙膏,还可以采用与军事相关的战机隐身涂料为案例,讲述涂料的流变性质。从生活或实际生产、军事、航天等工程案例出发,不仅可以激发学生好奇心、吸引其注意力、提高其学习专注度,还可启发、引导学生思考应用流变学理论剖析案例现象与材料流变学相关的本质。此外,紧跟国内外最新的聚物流变学领域研究动态,将相关领域的研究成果简介作为学生课后自学资料,使学生了解最新的流变学知识的应用与创新研究。因此,以实际案例作为基础知识的启发,紧跟流变学最近科研动态,将理论和实际应用紧密结合,不仅夯实了学生的基础知识,也培养了学生从感性认知中提炼理性认知,提升多维度思考和分析问题的能力,授课效果更显著。这也符合工程教育认证要求的所学致用,质量持续改进的教育理念。

(4)线上微实验课程教学。由于培养方案和专业课程体系的设置,本课程无法独立开设线下实验教学。但是为了加深学生对流变学理论知识的理解,针对流变测量学模块中常用的三大类流变仪,我们设计了六个线上微实验课程。通过线上微实验课程的学习,学生可以将流变测量学模块的理论知识与实践应用结合,掌握设备仪器选择的基本原则、设备仪器的基本原理、使用操作规则和实验数据处理方法,了解实际应用领域,使流变学知识得到进一步地深化和巩固,提升教学质量。

(5)培养自主学习和终身学习的能力。课堂学习仅仅是专业基础知识积累的一个短暂阶段。只有激发了学生自主学习的热情,培养其终身学习的能力,才能实现本专业的培养目标。我们设计了一些流变学应用的开放性课题,让学生课后自己组建学习小组进行文献查阅学习、并撰写报告,例如聚合物共混体系相容性的流变学表征方法,旋转流变仪在聚合物基纳米复合材料中的应用研究,聚合物在化妆品中的流变性能要求等。学习报告作为小组成员平时成绩考核的一种形式。学生在完成开放性课题后,将会掌握专业资

料收集、梳理、归纳的能力,这是培养学生自主学习和终身学习能力的重要基础。

(6)作业与考核。作业与考核都是检查学生学习效果的重要手段。教改后课程的作业包含课堂作业、线上微实验学习报告和开放性课题报告三种形式。课程的考核采用多元化评价方式,期末理论考试成绩占比降低至 50%,三种形式的作业总成绩占比 40%,出勤及课堂讨论参与占比 10%。调整改进后的考核方程,利于发挥学生的自主性,侧重对学生综合能力的考核。通过学生对教学实践的反馈,还将持续性地改进课程教学内容和方法,逐步提高课程教学质量。

4 结 束 语

聚合物加工流变学是培养学生分析解决复杂工程问题能力的重要专业支撑课程,基于工程教育专业认证的要求,我们根据实际教学中的经验,对课程教学体系的设置进行了优化和完善,提出了一些改革思路,希望借助本文与流变学教学的同仁们一起交流探讨。通过课程的教学改革,提升教学质量,培养大量掌握流变学知识的高级应用型人才,提高我国从事聚合物材料领域人员的专业技术水平和竞争力。

参考文献:

[1] 《工程教育认证标准(2017 版)》, 2017.

[2] 郝文涛, 王小明, 杨文. 怎样上好聚合物流变学. 高分子通报, 2012, (1), 108-112.

[3] 吴其晔. 跟踪高分子学科发展前沿, 建设高分子物理国家精品课程. 高分子通报, 2008, (6), 52-55.

[4] 白绘宇, 罗静, 倪才华, 东为富, 刘晓亚, 陈明清. 高分子流变学教学的探讨: 借鉴美国大学高分子流变学课程教学经验. 高分子通报, 2015, (7), 89-94.

[5] 赵丰. 浅议聚合物流变学课程的教学内容改革. 高分子通报, 2009, (9), 69-73.

[6] 欧阳婷. 聚合物流变学课程教学探讨. 高分子通报, 2015, (7), 95-98.

[7] 吴其晔, 巫静安. 高分子材料流变学. (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2002.

[8] 金日光, 马秀清. 高聚物流变学. 上海: 华东理工大学出版社, 2012.

[9] 林师沛, 赵洪, 刘芳. 塑料加工流变学及其应用. 北京: 国防工业出版社, 2008.

[10] 何红. 聚合物加工流变学基础. 北京: 化学工业出版社, 2015.

[11] 马爱洁, 杨晶晶, 陈卫星. 聚合物流变学基础. 北京: 化学工业出版社, 2018.

[12] 梁基照. 聚合物材料加工流变学. 北京: 国防工业出版社, 2008.

[13] 陈晋南, 何吉宇. 聚合物流变学及其应用. 北京: 中国轻工业出版社, 2018.