

科教工融合背景下高分子加工与成型实验课程 改革探索——以橡胶加工与成型为例

张鹏 刘真 谢昊儒 褚燕燕

(中山大学材料科学与工程学院 聚合物复合材料及功能材料教育部重点实验室 广东 510025)

摘要: 本文以橡胶加工与成型实验为例,探讨高分子加工与成型实验(高分子科学与工程专业核心课程)课程改革的方向和重要内容。以新能源汽车产业的发展和需求为背景,改革橡胶加工与成型实验课的内容。在传统的硫化、补强等知识点的基础上,以产业需求为牵引,拓展橡胶复合材料的功能性相关知识,丰富课程内容及实验技能。结合高分子材料专业的其他课程及仪器设备,探索打造科教工融合背景下全链条协同育生态的可行性路径。

关键词: 橡胶; 电解质; 高分子加工; 课程改革

中图分类号: N41 **文献标识码:** A

DOI: 10.20087/j.cnki.1672-8114.2024.19.044

Exploration of Laboratory Course Reform in Polymer Processing and Manufacturing under the Background of Integration of Science, Education and Industry—Taking Rubber Processing and Manufacturing as an Example

Zhang Peng*, Liu Zhen, Xie Haoru, Chu Yanyan

(PCFM Lab, School of Materials Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangdong, 510025)

Abstract: This paper takes the rubber processing and molding experiment as an example to discuss the reform of the polymer processing and molding experiment course. Based on traditional knowledge points such as vulcanization and reinforcement, and guided by industrial needs, we will expand knowledge related to the functionality of rubber composite materials and enrich course content and experimental skills. Combined with other courses and instruments and equipment in the polymer materials major, we will explore the feasibility of creating a full-chain collaborative education ecosystem under the background of the integration of science, education and industry.

Key words: rubber; electrolyte; polymer processing; curriculum reform

高分子加工课是高分子科学与工程专业的核心课程,该课程以培养具备高分子材料加工方面知识和技能的专业人才为目的。这些专业人才对于高分子材料的设计、开发、生产和应用具有重要的支撑作用。申长雨教授等^[1]在“高分子材料成型加工”课程建设中,总结指出:在高等教育中,实验教学是全面实现人才培养目标的一个重要环节;它具有直观性、实践性和探索性的特点,同时具有传授知识、培养能力及思想品德教育的作用,是提高学生实践能力和科学素质的重要手段,是培养合格人才中其他教学环节不可替代的重要环节。

高分子加工实验能让学生亲自操作高分子加工设备,加深对加工工艺的理解和掌握。随着科技的发展和产业结构的调整,高分子材料加工行业的需求也在不断变化。因此,高分子加工课程需要及时调整内容和教学方法,以适应行业发展的新趋势和新需求。本文将围绕橡胶成型与加工实验为例,探索课程内容的改革方向。

传统的橡胶加工与成型实验的主要内容包括橡胶

塑炼、橡胶混炼、硫化、模压成型等^[2]。橡胶制品的应用领域也是以轮胎、密封件、橡胶管等汽车相关产品为主。以典型的天然橡胶为例,约有65%的产品被用到轮胎产品中^[3]。近年来,我国新能源车产业链不断完善,新能源车逐渐成为我国优势产业。与此同时,发展全固态电池是解决新能源汽车安全问题和里程焦虑的必由之路^[4],而固态电解质是全固态电池的核心,聚合物全固态电解质是至今唯一商业化的全固态电解质材料。近年来,弹性体固态电解质成为聚合物全固态电解质最为活跃的研究方向之一,其较好地解决了固态电解质的界面阻抗高、室温离子电导率低、工作电压窗口窄等问题。因此,基于新能源汽车产业发展等形式对高分子加工实验课进行对应的改革,培养多学科交叉、复合型工科人才实验技能是本文探讨的主要内容。

1. 立足新能源汽车产业的“科研-教学-工程”深度融合教学理念

2020年国务院印发《新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》,指出发展新能源汽车是我国应

对气候变化、推动绿色发展的战略举措。当前，全固态电池的研发和产业化应用正处于关键机遇期^[5]。产业与人才融合是经济发展的新要求、企业发展与人才培养的新路径。刘宗巍等人^[6]的研究分析认为：在新能源汽车产业核心技术模块中，动力电池技术模块的人才需求量最多且增长最快；2025年人才需求约为13.9万人，其中材料/工艺工程师的需求最高。

传统上橡胶被认为是一种绝缘体，被广泛地用于电绝缘领域，不是电池中电解质材料的最佳候选材料。2022年，佐治亚理工学院的Lee等人^[7]在Nature发表文章，报道开发了一种新型的弹性体电解质材料，具有高的室温离子导电性。其工作的创新性在于通过共混在绝缘的橡胶基体中引入了三维连续的塑料晶体相，进而形成了离子通路（见图1）。这种弹性体电解质可以使电动汽车电池更安全，续航里程更长。全球能源石化企业SK Innovation正在资助深入研究这种电解质材料，以开发比传统锂离子电池更安全、能量密度更高的新一代固态电池。

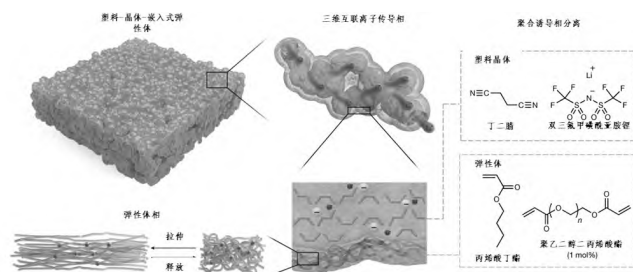


图1 绝缘的橡胶基体与塑料晶体、锂盐共混制备弹性体电解质示意图^[7]

国内蓬勃发展的新能源汽车产业及弹性体电解质领域的前沿研究成果为橡胶加工与成型课程的改革方向奠定了坚实的基础。本文将讨论如何以工程和科研的动态追踪弥补传统实验体系的局限，开阔学生的工程视野。

2. “融产业需求于科研，以科研促教学”的课程指导思想

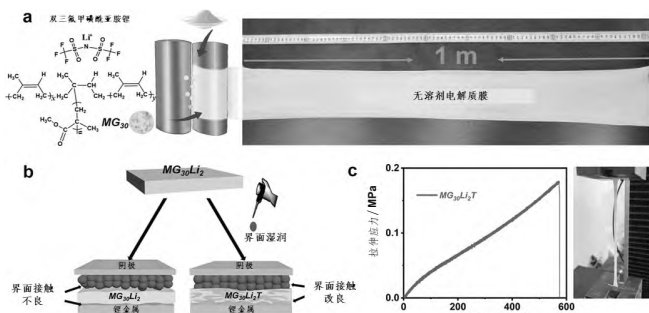


图2 基于双辊混炼工艺制备高性能弹性体电解质薄膜示意图^[8]

高安全性、高性能固态电解质的开发是全固态电池研究的重要方向，也是新能源汽车未来实现跨越

式发展的重要组成部分。围绕该科学问题，笔者课题组利用传统双辊混炼工艺开发出一种可拓展、可规模化制备高室温离子电导率固态聚合物电解质薄膜的策略^[8]。如图2所示，该策略成功的关键在于利用双辊混炼技术，在没有溶剂参与的情况下，将改性天然橡胶弹性体与锂盐成功混合，制备出微米级的弹性体电解质薄膜；双辊混炼技术可以较方便地调控锂盐与橡胶的摩尔配比，从而制备出含有连续导电网络的固态聚合物电解质薄膜。此外，研究发现，同样利用双辊混炼工艺可以将导电炭黑、电极活性材料与橡胶基体进行共混，制备稳定可靠的电极材料^[9]。在此基础上，将正极和负极材料组装成扣式电池并进行相应的电化学测试。电化学性能测试结果将引导学生深入思考离子输运行为、界面阻抗行为、材料电化学稳定性等固态电解质研究领域的前沿科学问题。

高分子加工与成型实验课是高分子科学与工程专业本科生在《高分子材料加工与成型》理论课学习的基础上进行的实验实践课程。高分子加工是一个多学科交叉、内容丰富的过程。例如，聚合物成型加工技术不仅涉及到高分子材料学的知识，而且需要工程数学、力学、自动控制工程、电子学、电磁学、化工原理、计算技术和电子计算机应用等相关领域的知识；只有在教学/实验过程中，把这些相互关联的知识有机整合起来，高分子加工与成型才能具有宽广的发展前景。因此，以橡胶加工与成型实验课程为模板，打造一门培养面向新能源汽车产业的多学科交叉、复合型工科人才实验技能的实验课程是非常值得推动的课程改革方向。

3. 橡胶加工与成型实验课程设计方案

综上所述，橡胶加工与成型实验课程改革的内容应该以橡胶加工与成型实验课为中心，以《高分子科学前沿进展》中的科研前沿知识和《材料分析与表征实验》中的先进结构表征手段为两翼，系统打造以产业为牵引、面向未来需求、多元立体化的实验教学。课程改革的核心是通过实验内容调整、理论与实践结合、搭配先进结构表征技术等手段，打破传统的橡胶加工过程与成型课程给学生的“黑、贫、恶”印象。“黑”主要归因于橡胶混炼过程中的纳米炭黑粒子飘散导致的后果；“贫”部分归因于传统的“塑炼-混炼-硫化/成型-力学性能”教学内容，没有给学生留下太多的创新思考空间；“恶”跟部分硫化助剂在硫化过程中产生的难闻性气体分子有关。课程设计的方向是利用白色（不易飞散的）锂盐替代炭黑，制备如图2所示的白色弹性体电解质薄膜样品。与此同时，弹性体电解质的加工与成型不仅涵盖了传统橡胶的塑炼、混炼、

硫化/成型过程,还可以为学生提供丰富的与能源、电化学等多学科交叉的实践平台,锻炼学生的创新思维。此外,考虑到弹性体电解质样品对耐热性、动态性能等要求不高,可以选择无味硫化体系;为实验创造一个美丽、舒适的环境。课程设计方案应该考虑以下三个方面。

首先,帮助学生建立橡胶加工与成型实验的系统性知识框架。以原料知识为源头,串联硫化网络、补强网络、导电网络等结构知识,辅以橡胶塑炼、橡胶混炼、硫化成型等加工知识,建立胶加工与成型实验的系统性知识框架。其中,重点突出硫化交联过程的动态可逆性,结合经典的硫化返原现象及当前高分子科学领域热门的“动态可逆网络”概念进行前沿知识拓展。另一个需要突出的知识点是“导电网络”,结合渗流阈值的概念详细介绍聚合物复合材料中导电网络构筑的过程,以及导电高分子材料在电子皮肤、固态聚合物锂电池、人机交互等领域的潜在应用。

其次,引导学生在实验过程中的关注点从“结果导向”向开拓性思维转变。以新能源汽车、电子皮肤、人机交互等前沿应用知识为引导,给学生提供更丰富的想象空间。在橡胶电解质制备的基础上,结合固态电解质性能测试,锻炼学生在电化学测试、电池组装等方面的跨学科交叉技能。其中,结合《高分子科学前沿进展》《材料科学前沿进展》课程中关于新材料、电化学、材料加工等领域的前沿知识,在充分引起学生关注和兴趣的基础上,通过实验实践进一步加深理论知识的认识和理解对高分子加工与成型实验课的课程设计是非常必要的。此外,结合材料表征技术(如显微激光拉曼、红外吸收光谱、原子力显微镜、扫描电子显微镜、X射线衍射等)对电解质的结构及构效关系进行研究。《材料分析与表征实验》可以对弹性体电解质的结晶结构、分子结构、表面形貌等进行较为系统的表征。启发、引导学生对实验现象的深入思考,改变传统课程中学生过于关注实验结果而忽视实验过程或现象的观察与思考,锻炼开拓性思维。

最后,以前沿需求为牵引,理论和实践相结合,打造超越课堂的协同育人生态。特别是引导高年级本科生开展围绕科学问题,开展文献检索、实验方案设计、实验验证、结果分析与讨论等立体式的育人方案。在此基础上,培养、启发学生的创新能力,大学生创新创业训练、大学生学科竞赛等,为本科生积极参与前沿研究,主动撰写会议报告、科研论文等奠定基础。

课程改革方案自2019年至今,已经在中山大学材料科学与工程学院推行了五年。依托中山大学“材料科学与工程”双一流学科平台和“材料科学与工程

教学实验中心”平台,课程内容得到不断丰富、改进。改革后的课程明显提高了学生参与实验的兴趣和积极性,大部分学生课程成绩保持优良。此外,部分同学以相关内容为题,入选了中山大学大学生创新创业训练计划项目(省级及校级),并获得广东大学生材料创新大赛(有机和高分子赛区)前三名等荣誉。课程改革方案取得了良好效果。

4. 结论

本文以新能源汽车产业在我国的蓬勃性发展及对复合型人才的需求为背景,结合笔者课题组的科研工作,探讨立足新能源汽车产业的“科研-教学-工程”深度融合教学理念在橡胶加工与成型实验中的应用。结合产业需求,课程改革的内容应包括系统性知识框架建立、开拓性思维培养、科教融汇的协同育人三个主要部分。相关课程改革内容将为高分子加工与成型课程的改革注入新的元素,推动创新型、高水平高分子材料青年人才的培养。

【参考文献】

- [1] 申长雨,关绍康,张锐.加强课程建设培养创新人才——“高分子材料成型加工”课程建设随想[J].中国大学教学,2008(03):52-54.
- [2] 张道洪,周继亮,李廷成.《高分子材料成型加工》课程教学改革探索[J].中国科教创新导刊,2008(01):18-19.
- [3] BLENGINI G A, BLAGOEVA D, DEWULF J, et al. Assessment of the methodology for establishing the EU list of critical raw materials: Background report[M]. JRC Technical Reports, 2017.
- [4] 贾政刚,钱明芳,叶凤柏,等.固态锂硫电池中硫化物固态电解质的研究现状[J].当代化工研究,2022(19):87-90.
- [5] 周静颖,胡晨吉,邵一蓉,等.全固态电池的研究进展与挑战——以表征技术和理论机制的突破推动全固态电池的原始创新[J].中国科学基金,2023,37(02):199-208.
- [6] 刘宗巍,宋昊坤,赵福全.中国新能源汽车产业人才需求预测研究[J].中国科技论坛,2023(12):137-148.
- [7] LEE M J, HAN J, LEE K, et al. Elastomeric electrolytes for high-energy solid-state lithium batteries[J]. Nature, 2022, 601: 217-222.
- [8] ZHOU Z, TAO Z, CHEN R, et al. Elastomeric electrolyte for high capacity and long-cycle-life solid-state lithium metal battery[J]. Small Methods, 2023, 7(04): 2201328.
- [9] ZHOU Z, TAO Z, ZHANG L, et al. Scalable manufacturing of solid polymer electrolytes with superior room-temperature ionic conductivity[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2022, 14(29): 32994-33003.

【基金项目】

中山大学“材料科学与工程学院教学质量与教学改革工程类项目”(项目编号:29000-12220011)

【作者简介】

张鹏(1985-),男,汉族,山东潍坊人,博士,副教授,研究方向:导电高分子材料,同步辐射X射线技术及其应用。