

材料与化工专业硕士“强化实验”的高分子化学课程教学改革与探索

刘备, 李恒, 阳梅, 刘益江*

湘潭大学化学学院, 湖南 湘潭 411105

摘要: 全球化工新材料产业的高速发展驱动了材料与化工专业硕士工程应用能力的培养。高分子化学作为材料与化工专业硕士必修的基础理论课, 存在实践性弱, 探索性低, 学生积极性不佳等问题。在 高分子化学课程教学中增加并强化实验内容, 创新实验教学方法和教学模式, 并建立工程化的实验教学评价制度, 对提升研究生科研创新能力, 实践应用能力和解决复杂工程问题的能力具有重要的意义。

关键词: 材料与化工; 高分子化学; 强化实验; 教学改革

中图分类号: G64; O6

Teaching Reform and Exploration in Polymer Chemistry with an “Experiment-Intensified” Approach for Masters in Materials and Chemical Engineering

Bei Liu, Heng Li, Mei Yang, Yijiang Liu *

College of Chemistry, Xiangtan University, Xiangtan 411105, Hunan Province, China.

Abstract: With the development of the chemical engineering and new materials fields, the practical application skills of masters majoring in materials and chemical have grown significantly. Polymer Chemistry, a compulsory course for masters majoring in materials and chemical engineering, suffers from a lack of practical engagement, low exploratory depth, and poor student motivation. To address these issues, this reform introduces and intensifies experiment in polymer chemistry, innovates teaching methods and models, and establishes an engineering-based experimental teaching evaluation system. This reform is beneficial for improving the innovation capabilities, practical entrepreneurship and complex engineering problems-solving abilities for graduate students.

Key Words: Materials and chemical engineering; Polymer chemistry; Experiment-intensified; Teaching reform

近年来, 全球化工新材料产业发展整体步入高技术引领的快车道, 产品迭代速度快、产业规模和需求不断扩大^[1,2]。为满足化工新材料产业的需求, 全国招收材料与化工专业学位研究生的高校和科研院所已增至250余所, 招生规模增速显著^[2]。以湘潭大学化学学院为例, 化学工程专硕和材料工程专硕自2020年合并为材料化工专硕时, 招生人数为32人, 到2023年材料化工专硕招生人数达76人。湘潭大学材料与化工专硕培养突出实践和工程导向, 主要培养系统掌握材料化学的基本理论与技术, 具备材料、化学化工相关的基本知识和基本技能, 能够运用化学和材料科学的基础理论和实验技

收稿: 2024-01-04; 录用: 2024-03-25; 网络发表: 2024-04-23

*通讯作者, Email: liuyijiang84@163.com

基金资助: 湖南省普通高等学校教学改革研究重点项目(HN-2022-0073); 湘潭大学学位与研究生教学改革研究项目(YJGYB202345); 湘潭大学第十二批教学改革研究项目(湘大教发[2022] 22号)

能^[3], 在材料科学与化学及其相关的领域从事科学研究、科技开发及相关管理工作的高水平复合型人才^[4]。“高分子化学”作为湘潭大学材料与化工专业研究生必修的基础理论课, 主要面向研究生一年级新生授课, 学时为84(理论授课80学时, 要点答疑4课时), 授课内容与化工新材料领域的核心理论和技术息息相关。目前关于“高分子化学”的教学改革基本聚焦于本科教育, 仅青岛科技大学王存国教授^[5], 西南大学陈磊副教授^[6]等对研究生高分子化学相关的教学改革进行了报道。

1 高分子化学课程中实验教学对材料与化工专业硕士培养的重要性

以湘潭大学为例, 目前材料与化工专硕的生源主要为一志愿报考双一流高校的双非本科院校调剂生, 普遍存在高分子化学专业基础知识薄弱, 本科阶段未开设高分子化学实验课程, 高分子合成与分析相关实验操作水平差等问题。为了巩固材料与化工专硕学生的高分子化学理论知识, 授课老师主要以课堂理论教学为重点, 教学形式单一, 实践性弱, 探索性低, 学生的学习积极性不佳, 这制约了高素质工程类复合型材料化工专业硕士人才的培养。在课程中新增高分子化学实验内容, 并建立工程化的实验教学评价制度, 可加深研究生对高分子化学理论知识的理解, 训练高分子材料合成相关的实验操作能力, 对提升科研创新能力, 实践创业能力和解决复杂工程问题的能力具有重要的意义。

2 材料与化工专业硕士“强化实验”的高分子化学课程教学改革与探索

2.1 新增实验教学内容, 提升科研创新思维和工程创新能力

在“高分子化学”理论教学80学时基础上, 调整其中24学时为高分子科学实验课程内容(图1)。课程组将24学时划分为二个部分: 第一部分, 新增16学时设计性强的分子科学实验项目2个: 本体聚合制备聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)和悬浮聚合制备PMMA, 以加深研究生对高分子化学理论知识的理解, 训练高分子合成相关的实验操作能力和科研创新思维。例如, 本体聚合制备聚甲基丙烯酸甲酯项目中, 采用先预聚合再熟化的两段聚合法学习训练PMMA的本体聚合项目, 在预聚合阶段, 探讨引发剂和单体比例, 水浴温度, 预聚合时间对PMMA成品聚合度、透明度、机械强度的影响, 提升专业硕士科研创新思维。在熟化阶段, 在MMA预聚物中加入染色剂、动植物小标本、装饰片等, 制成各具特色的精美纪念品。该实验与上海精见新材料有限公司“光学级硬化亚克力板的研制”项目有一定的交叉性, 符合材料化工专业硕士工程创新能力的培养需求(表1)。

第二部分, 根据硕士阶段的研究方向, 增设8学时个性化的高分子实验操作项目1个。目前湘潭大学化学学院材料与化工专业硕士的研究方向主要集中在: 高分子液晶, 药物功能高分子, 导电高分子/多孔炭材料, 有机光电材料, 高分子材料成型与加工等5个方面。专业学位研究生培养办公室安排5位专任教师分别对5个不同研究方向的专业硕士开展8学时个性化实验教学培训。例如, 针对研究

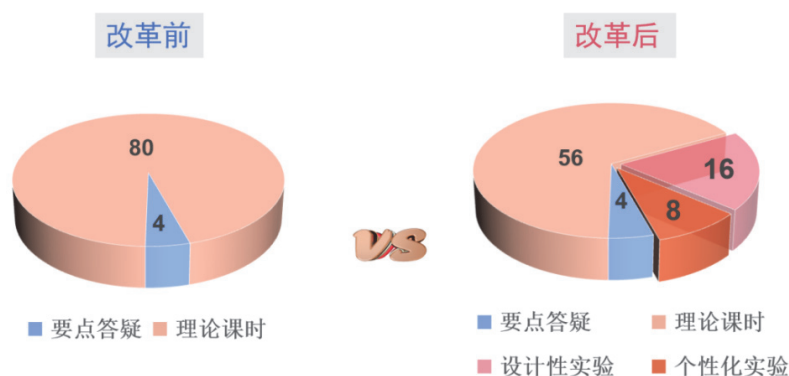


图1 教学改革前后的高分子化学课程学时分配情况

表1 增设实验项目的具体内容及特色之处

实验项目	实验性质	理论知识点	设计性和探究性要点	与企业相关技术融合点
聚甲基丙烯酸甲酯的本体聚合	设计性	1. 本体聚合基本原理 2. 自动加速现象	1. 预聚合阶段, 选择不同的引发剂和单体配比, 不同的水浴温度, 以及不同预聚合时间; 探究合成条件对PMMA成品聚合度、透明度、机械强度等性能的影响。 2. 在熟化阶段, 在MMA预聚物中选择性加入染色剂、动植物小标本、装饰片等物件, 制成不同风格的饰品	上海精见新材料有限公司: 光学级硬化亚克力板的研制
聚甲基丙烯酸甲酯的悬浮聚合	设计性	1. 悬浮聚合基本原理 2. 悬浮聚合影响因素	1. 选择不同分散剂, 如聚乙烯醇(分子量1700、3000、6000)、聚乙烯醇与碳酸钙复配(1/1)、聚乙烯醇与油酸钠(5/1)复配; 探究分散剂类型对悬浮聚合的影响。 2. 加料完毕后选择不同的升温速率(如5, 10, 15, 20 °C·min ⁻¹ 等)探究其对悬浮聚合和产品形貌的影响	浙江科普特新材料有限公司: 高光免喷漆PMMA及合金材料的研制
聚吡咯(PPy)的氧化聚合及其电化学性能研究	个性化(研究方向为导电高分子材料)	1. 氧化聚合机理 2. 导电聚合物结构与性能的关系	1. 聚合过程: 在冰浴搅拌时, 选择加入等量的不同类型氧化剂(过硫酸铵, 三氯化铁, 高氯酸铁, 过氧化氢), 探究氧化剂对PPy结构的影响; 2. 电性能测试过程: 选择不同的活性负载量(2.0, 3.0, 4.0 mg·cm ⁻²), 探究PPy负载量对其超级电容性能的影响	宁波长阳科技股份有限公司: Ag@PPy/聚乙二醇-聚酰亚胺复合材料的压力传感器

方向为导电高分子材料的专业硕士, 开设“聚吡咯(PPy)的氧化聚合及其电化学性能研究”实验项目, 以巩固氧化聚合机理及导电聚合物结构与性能的关系等理论知识, 同时训练材料结构组成表征和电化学性能测试仪器的操作方法。此外, 该实验项目的研究结果可为宁波长阳科技股份有限公司等相关企业的技术需求提供参考。

2.2 创新实验教学方法和教学模式

开放式实验教学是采取实验时间开放、实验设备开放、实验人员开放的模式进行开放式教学改革^[7]。湘潭大学“高分子材料应用技术”湖南省重点实验室自2020年9月起, 面向化学学院材料化工专业硕士开放, 学生可根据需求预约实验设备和实验时间, 实验设备由专业实验教师负责管理。对于该专业的“高分子化学”实验部分而言, 在特殊时间, 可采用线上、线下结合教学, 高效利用湘潭大学信息化平台(课程中心, 学习通等), 注重课堂“前、中、后”三环节, 可有效解决实验设备少、实验学时少等问题。因此, 实验预习阶段, 指导老师强调实验操作细节要点; 实验操作阶段, 增加观察和解析实验现象的考核权重; 实验总结阶段, 对实验报告面对面点评, 要求学生对实验预期和实验结果进行对比总结。加强科研导向教学, 采用实验教学与科研课题相结合的教学模式, 充分利用湘潭大学高分子学位点教师科研能力强, 课题项目多的优势, 将高分子实验与科研方向有机结合, 协同提升科研创新能力。此外, 实验教学过程中应融入思政元素, 激发材料化工专硕的使命感和责任感^[8]。例如, 在解读实验项目过程中融入人名反应、科学家的励志事迹或代表性成果、卡脖子技术等, 以提高专业硕士生的学习兴趣和思想觉悟, 培养大国工匠精神和家国情怀。

2.3 健全工程化高分子化学实验教学评价机制

高分子化学实验是体现研究生“高分子化学”工程化教育的主题内容, 因此该教学效果应作为“高分子化学”课程目标之一进行单独评价, 且评价值应不低于0.4。传统的实验教学评价机制, 一般仅涵盖实验报告、实验结果和考勤三方面, 难以体现教学过程的综合性和工程性。建立与工程教育成果导向教育(OBE)理念^[9]契合的实验教学评价制度, 注重过程评价和达成度评价, 是一种更加合理有效体现工程化专业硕士教学的评价方式。实验指导教师全程指导硕士生实验过程, 辅导并评价每一个操作细节; 考评过程贯穿整个高分子化学教学周期, 工程化硕士教学的评价机制将更加注重

对实验方案的设计改进、实验现象的分析解释和实验数据的总结归纳。

工程化的高分子化学实验内容既有设计性实验，也有契合研究方向的个性化实验。加重实验过程考核比例，旨在综合评价工程化的“高分子化学”教学效果，并体现专业性和工程性、全面性和客观性。具体而言，改革后的高分子化学实验教学评价制度主要包括以下几部分(图2)：1. 实验准备(20%)：预习报告和问题讨论各占10%；2. 实验过程(50%)：实验方案的设计或改进20%、规范操作10%、现象数据的记录和分析10%、异常情况处理和考勤10%；3. 实验结果和报告内容(20%)：教师规范严谨批改实验报告，数据和结果分析处理10%、内容和字迹整洁10%；4. 个性化实验探究(10%)：探究性项目的实验操作和数据分析与探讨。此外，对于实验失败而没有结果数据的研究生，若能详细分析失败原因并提供合理的改进措施，可视为实验成功。改革后的考核方式更重视实验过程，全程关注创新思路和工程化教育理念，更加契合研究的课题方向，有利于培养高素质复合型材料化工专业硕士学位人才。

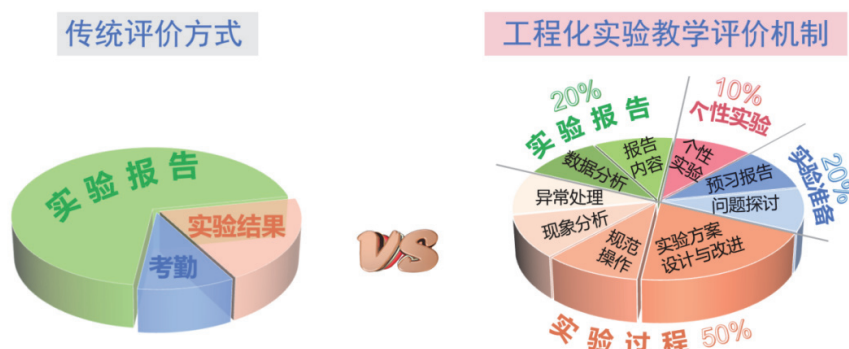


图2 教学改革前后的实验教学评价机制

3 加强实验的材料化工专业硕士高分子化学课程教学改革成效

首先以调查问卷的形式，初步评估了加强实验的材料化工专业硕士“高分子化学”教学改革成效，湘潭大学化学学院2022级和2021级材料与化工专业硕士123人参与问卷调查，共收到有效问卷122份(有效参与率99%)。调查结果显示(表2)，93%的专业硕士对强化实验改革的总体情况，以及增设高分子科学实验个性化实验项目内容和课时分配满意；有5%的专业硕士对开放式实验教学和思政教学的教学方法评价为不满意；另外约65%的专业硕士对工程化教学评价机制非常满意；90%的同学认为强化实验高分子化学课程改革能巩固基础知识、提高实验操作能力和科研创新能力。

表2 教学改革成效问卷调查结果

题目\选项	非常满意	满意	一般	不满意
强化实验课程改革总体评价	85 (69.67%)	29 (23.77%)	6 (4.92%)	2 (1.64%)
增设高分子科学实验内容	78 (63.93%)	30 (24.59%)	12 (9.84%)	2 (1.64%)
增设个性化实验内容	80 (65.57%)	33 (27.05%)	7 (5.74%)	2 (1.64%)
开放式实验教学	74 (60.66%)	30 (24.59%)	13 (10.66%)	5 (4.1%)
思政教学	75 (61.48%)	33 (27.05%)	9 (7.38%)	5 (4.1%)
工程化教学评价机制	79 (64.75%)	34 (27.87%)	6 (4.92%)	3 (2.46%)
基础知识的巩固	77 (63.11%)	32 (26.23%)	11 (9.02%)	2 (1.64%)
实验操作能力培养	81 (66.39%)	30 (24.59%)	8 (6.56%)	3 (2.46%)
科研创新能力培养	83 (68.03%)	27 (22.13%)	9 (7.38%)	3 (2.46%)

为进一步评估改革成效,作者统计了2020级(改革实施前)和2021级(改革实施后)材料化工专业硕士在发表科学引文索引(SCI)或工程索引(EI)论文、授权发明专利/实用专利、参加工程/实验类技能竞赛等方面取得的成果。统计结果显示(图3),改革实施后发表了SCI/EI论文材料的化工专业硕士人数率明显增加;获得了授权发明专利/实用专利的人数比改革前增加了15%;参加工程/实验类技能竞赛的人数比率也有一定增加;此外,改革实施后,材料化工专业硕士毕业后继续从事材料和化工领域相关(含技术,管理,销售等)工作的比例也显著上升,特别是从事(或希望从事)材料化工类专业技术工作的人数上升了8%。以上问卷调查和成果统计数据从侧面反映了加强实验的高分子化学课程教学改革对提升研究生科研创新能力和解决复杂工程问题的能力,以及培养高素质“科研-实践”复合型硕士人才具有重要的意义。

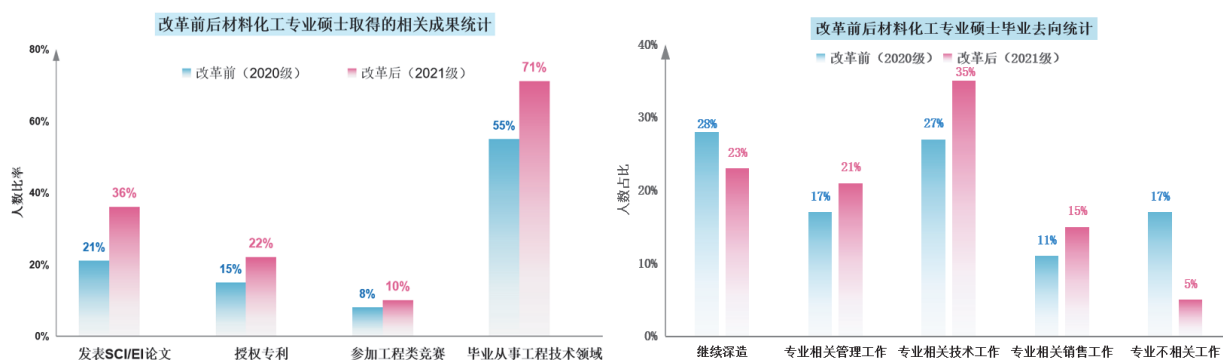


图3 教学改革前后材料化工专业硕士取得的成果及毕业去向统计

4 结语

强化实验教学的材料与化工专业硕士高分子化学课程改革与探索,打破了当前研究生高分子化学的单一理论授课模式,立足于在分子化学课程中新增设计性实验项目,在实验教学中创新教学方法和教学模式,以及健全工程化的实验教学评价机制三方面,全面提升材料与化工专业硕士的科研创新思维和工程创新能力。新增的实验项目,强化了专业性和科研导向性;新的实验教学方法和教学模式,提升了专业硕士的学习兴趣和思政觉悟;健全的实验教学评价机制,契合工程化教育理念,将为培养高素质“科研-实践”复合型材料化工专业硕士学位人才发挥重要作用。

参 考 文 献

- [1] 张丽平. 现代化工, **2023**, *43* (7), 8.
- [2] 李洁. 学位与研究生教育, **2022**, No. 12, 6.
- [3] 李万梅, 翁盈盈, 尹守春. 大学化学, **2024**, *39* (6), 63.
- [4] 姚忠平, 丛培琳, 郝素娥, 姜兆华, 黄玉东. 大学化学, **2020**, *35* (10), 146.
- [5] 王存国. 高分子通报, **2021**, No. 4, 70.
- [6] 陈磊, 王鹏, 汪涛, 张同华, 李庆. 蚕学通讯, **2020**, *40* (4), 44.
- [7] 李庆华, 常海波, 李润明, 张予东. 广州化工, **2018**, *46* (21), 139.
- [8] 闫毅, 颜静, 姚东东. 大学化学, **2021**, *36* (3), 2008023
- [9] 刘益江, 姜忠民, 杨梅, 黎华明. 化学教育(中英文), **2023**, *44* (10), 63.