

•专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202303001

www.dxhx.pku.edu.cn

《高分子结构与性能的现代测试技术》教材的建设

杨立群, 章明秋, 朱芳, 阮文红*

中山大学化学学院, 聚合物复合材料及功能材料教育部重点实验室, 广州 510006

摘要: 为了提升化学学科本硕贯通高层次人才的培养质量, 我们编写了实验课程“现代化学实验与技术”教材——《高分子结构与性能的现代测试技术》。本教材构建了本硕贯通实验课程教学的新模式, 体现出夯实专业基础知识、面向高分子学科前沿性科学研究、注重“个性化”培养学生科研实践能力以及通识性和实用性的特色。

关键词: 本硕贯通; 人才培养; 教材建设; 现代化学实验与技术; 高分子结构与性能现代测试技术

中图分类号: G64; O6

Constructing of the Textbook — Modern Characterization Technology of Polymer Structure and Property

Liquan Yang, Mingqiu Zhang, Fang Zhu, Wenhong Ruan *

Key Laboratory for Polymeric Composite and Functional Materials of Ministry of Education, School of Chemistry, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510006, China.

Abstract: In order to improve the quality of training for high-level talents with a undergraduate-master integration in chemistry, we have compiled a textbook titled *Modern Characterization Technology of Polymer Structure and Property* for the experimental course “modern chemical experiment and technology”. The textbook constructs a new model for the teaching of the undergraduate-master experimental courses, reflecting the characteristics of consolidating the basic professional knowledge, facing the frontier scientific research of the discipline, paying attention to “personalized” training of students’ scientific research and practical ability, and comprehensiveness and practicality.

Key Words: Undergraduate-master integration, Talent training; Textbook construction; Modern chemical experiment and technology; Modern characterization technology of polymer structure and property

国务院印发的《统筹推进世界一流大学和一流学科建设总体方案》指出^[1], “培养拔尖创新人才”是一项建设一流大学和一流学科的重要任务, 需要“加强创新创业教育, 大力推进个性化培养, 全面提升学生的综合素质、国际视野、科学精神和创业意识、创造能力”。培养拔尖创新人才的关键之一在于培养模式^[2]。研究生教育在促进国家高水平科学研究与社会经济高层次人才培养方面尤为关键, 已构成决定国家综合实力和国际竞争力的重要因素之一。

近年来不少高等院校在积极探索本硕(博)贯通的拔尖创新人才培养模式^[2-9], 不仅有利于促进一流学科专业的建设, 而且将为国家科技发展、经济建设以及国家重大战略领域输送具有创新能力和

收稿: 2023-03-01; 录用: 2023-04-18; 网络发表: 2023-05-08

*通讯作者, Email: cesrwh@mail.sysu.edu.cn

基金资助: 广东省本科高校教学质量与教改工程建设项目(粤教高函[2021]29号); 中山大学研究生教育质量提升专项(201906213149); 中山大学2022年本科教学质量工程类项目

创业精神的高层次领军人才和应用型人才。例如,厦门大学化学化工学院在国家级一流化学专业的实践中创建了“本硕博”一体化培养拔尖创新型人才的新模式^[3],采用科教融合的教学方式积极推进教学与科研协同育人,并且在本硕一体化课程体系设置中将部分研究生课程向本科生开放,将本科阶段科研课题向研究生学习阶段延伸,达到深化本科生科研训练、提升科研创新能力的目的。为了开拓学生视野,发展国际合作办学,福州大学化学学院与美国阿克隆大学(The University of Akron)高分子系建立了3+2本硕直通项目^[4]。

本硕贯通培养模式的实施需要建设一系列相应课程作为支撑。对于实验课程的教学,不仅需要注重基础知识和实验研究,还需要注重学科最新发展成果向教学的转化。教材是教学内容和教学方法的载体,良好的实验教学效果在很大程度上离不开实验教材的建设,教材的质量直接体现着高等教育和科学研究的发展水平,高水平实验教材是提高实验教学质量的重要前提和基本保证^[10]。

中山大学化学学院于2020年开设了本科-硕士-博士(本硕博)贯通的强基计划,探索培养化学类拔尖创新型研究生的培养模式。在相应教学课程体系建设中,我们编写了“现代化学实验与技术”教材——《高分子结构与性能的现代测试技术》^[11]。

1 教材的发展出版历史

中山大学化学学院高分子学科发展的历史悠久,“聚合物复合材料及功能材料教育部重点实验室”始建于1993年,是第一批被国家教育部批准的重点实验室。为了培养高分子学科领域高层次的创新人才,高分子教研室从20世纪90年代开始,以重点实验室为依托,开设了高分子化学与物理专业的研究生实验教学课程——“高分子结构与性能的现代测试技术”,并编写了课程讲义。该课程至今已有30多年的教学历史,经过长期的教学实践工作积累,取得了良好的教学效果。

基于上述教学实践工作的积累,我们在相关课程讲义基础上,继续依托于“聚合物复合材料及功能材料教育部重点实验室”,利用化学学院拥有的多种大型仪器设备,整合多种高分子结构与性能的现代测试技术,吸取国内外相关书籍、文献资料的优点编写了《高分子结构与性能的现代测试技术》教材。该教材内容深入浅出,难易程度贯穿本科生和研究生两个层次的实验教学。

2 教材内容设计思路

高分子科学是研究高分子的合成、结构(链结构和聚集态结构)、性能、加工及应用的科学,具有较强的理论性和实践性。高分子材料的结构与性能密切相关,它们之间存在着内在的联系及基本规律。所以,研究高聚物结构与性能的关系及其基本规律对于高分子材料的设计、合成、加工、高性能化和功能化以及实际应用起着至关重要的作用。

先进的现代测试技术为深层次研究高分子材料的结构与性能提供了重要保障,本教材设计的编写内容贯穿了从结构到性能的线索,融合了高分子结构分析和高分子材料性能的理论、测试技术方法及实验教程,各章节的内容列于表1。

第1章绪论介绍了教材内容的设计思路,以及4个板块内容(高分子的结构、高分子的分子运动和热力学分析、高聚物的性能分析以及高聚物的形态分析)及它们之间的关联性。在后续章节中,高分子结构板块划分为三章进行编写(第2-4章),主要内容是高分子的化学结构、高分子的分子量及溶液构象以及高分子的凝聚态结构,采用的现代测试技术包括核磁共振波谱法、红外光谱法、荧光光谱法、拉曼光谱法、凝胶渗透色谱法、静态/动态光散射法和X射线衍射法。第5章高聚物的分子运动和热力学分析为联系高聚物结构与性能的桥梁,主要采用差示扫描量热法、热重分析法和动态力学分析法。第6章讲述三种重要的高聚物性能分析法(力学性能、电学性能和流变性能)。第7章讲述五种常用的高聚物形态分析法(透射电镜法、扫描电镜法、原子力显微镜法、比表面分析法和金相显微镜法)。

表1 《高分子结构与性能的现代测试技术》教材内容

序号	每章标题	每节标题
第1章	绪论	1.1 高分子的结构 1.2 高分子的分子运动和热力学分析 1.3 高聚物的性能分析 1.4 高聚物的形态分析
第2章	高分子的化学结构	2.1 核磁共振波谱法 2.2 红外光谱法 2.3 荧光光谱法 2.4 拉曼光谱法
第3章	高分子的分子量及溶液构象	3.1 高分子的分子量及分子量分布 3.2 静态和动态光散射法 3.3 凝胶渗透色谱法
第4章	高分子的凝聚态结构	4.1 高聚物凝聚态结构 4.2 X射线衍射法理论概述 4.3 X射线衍射法在高分子领域的应用研究 4.4 X射线衍射实验
第5章	高聚物的分子运动和热力学分析	5.1 热分析法 5.2 动态力学分析法
第6章	高聚物的性能分析	6.1 力学性能分析法 6.2 电学性能分析法 6.3 流变性能分析法
第7章	高聚物的形态分析	7.1 透射电镜法 7.2 扫描电镜法 7.3 原子力显微镜法 7.4 比表面分析法 7.5 金相显微镜法

3 教材的创新性——构建实验课程教学新模式

为了更好地强化本硕贯通学生科研训练以及促进科研创新能力的提升,相关实验教学工作在传授和提升专业基础知识的基础上,更重要的是侧重于科研实践能力的培养和锻炼,对科学研究前沿领域的洞察力,以及在科研领域的创新性。

基于上述指导思想,《高分子结构与性能的现代测试技术》教材的建设理念是夯实专业基础知识、面向高分子学科前沿性科学研究以及注重“个性化”培养研究生的科研实践能力,因此,本教材构建了实验课教学的新模式:相关教学内容主要分为课堂教学和实验教学两种方式(图1),课堂教学讲授高分子结构与性能现代测试技术的基础知识,包括高分子结构与性能的基础理论、测试技术方法论及其在高分子领域前沿的应用研究等;实验教学在大型科研仪器实验室进行,包括仪器结构、工作原理、实验操作方法、仪器使用安全注意事项等,并开展样品的测试实验工作。

4 教材的特色

4.1 夯实专业基础知识

只有掌握了扎实的高分子结构与性能基础知识,才有利于进一步开展测试技术实验,提升科研的创新能力。本教材针对18种高分子结构与性能的现代测试技术,从专业基础知识出发,详细、深入地阐述了测试技术的基础理论和测试技术方法论。以核磁共振波谱法(NMR)为例,本章节深入阐

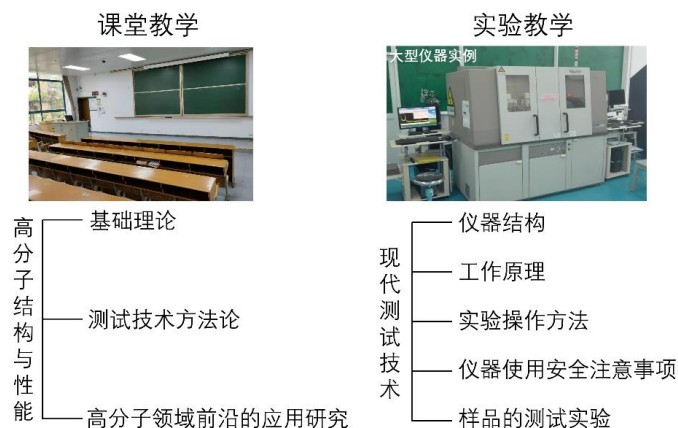


图1 《高分子结构与性能的现代测试技术》教材构建的研究生实验课教学新模式

述了NMR理论及其测试技术:

(1) NMR理论。包括核磁共振和核磁共振波谱产生的原理, 相关理论概念和参数(如化学位移、偶合常数、自旋-晶格弛豫、自旋-自旋弛豫、魔角旋转、偶极去偶和交叉极化等)。

(2) NMR测试技术。可溶性高分子样品可采用液体NMR, 对于难溶性(或不溶性)高分子样品以及研究固态结构和性能的高分子样品则需要采用固体NMR。

① 液体NMR。一维液体NMR技术常用于解析高聚物的化学结构, 通常采用 ^1H NMR、 ^{13}C NMR和DEPT (distortionless enhancement by polarization transfer, 无畸变极化转移技术)技术。二维液体NMR技术则能获得更加丰富的高聚物结构信息(化学结构和高分子链的空间构象), 例如COSY (^1H - ^1H chemical shift correlation spectroscopy, ^1H - ^1H 化学位移相关谱)、HMBC (heteronuclear multiple-bonds correlation, 异核多键相关谱)和NOESY (nuclear Overhauser effect spectroscopy, 二维NOE谱)等。

② 固体NMR。由于大多数高分子材料的使用状态是固态, 所以, 固体NMR技术在分析固态高分子材料的结构和微观物理化学中发挥着重要作用。通常采用的固体NMR技术主要为 ^{13}C MAS (magic angle spinning, 魔角旋转)、DD (dipolar decoupling, 偶极去偶)和CP (cross polarization, 交叉极化)等。

4.2 面向高分子学科的前沿性科学研究

高分子材料已成为国民经济的基础产业和国家安全的重要保障。随着科技的快速发展和人民对美好生活的向往, 高分子科学正与材料科学、信息科学、生命科学、环境科学和海洋科学等学科相互交叉融合, 对推动社会进步、改善人们生活质量发挥着重要作用。所以, 高分子科学的发展直接影响到与国民经济和社会发展密切相关的能源、信息、生物、农业、环境、人口与健康等领域的发展与进步。将高分子结构与性能的现代测试技术应用于高分子科学领域科研工作的创新与发展, 能极大地促进高分子学科前沿科学研究。本教材对于18种高分子结构与性能的现代测试技术在高分子学科前沿科学研究中的应用均作了介绍, 有利于开拓研究生的科研视野, 培养他们对科研课题的洞察力以及对科研工作的兴趣和进取精神。

我们在第4.1节以NMR为例介绍了本教材夯实专业基础知识方面的特色, 在面向高分子学科前沿性科学研究方面继续以NMR为例进行阐述。丙烯酰胺/丙烯酰胺叔丁基磺酸(AM/ATBS)共聚物具有较好的长期耐盐性和耐高温性, 适合应用于深海作业的海洋油田开发领域^[12]。为了模拟研究AM/ATBS共聚物在深海环境中的水解机理, Sandengen等^[12]采用 ^{13}C NMR研究了该共聚物在不同温度、不同盐溶液和HCl溶液中AM/ATBS共聚物及其水解产物的 ^{13}C NMR信号变化情况。以AM/ATBS共聚物在HCl溶液($0.25\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)中不同温度水解为例, 研究发现AM/ATBS共聚物在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水解10天后, 位于约 $\delta\ 178$ 处出现了共聚物中AM链段水解产生的酰亚胺基 ^{13}C 信号峰, 并且随着水解时间的延长和

温度的升高,该信号峰强度不断加强;此外,在约 δ 180–182处出现了共聚物水解产物丙烯酸盐单体的信号峰。根据这些 ^{13}C 信号峰的强度对水解时间的依赖性,进一步研究了AM/ATBS共聚物的水解反应动力学及水解机理,结果表明AM链段的水解行为是影响整个共聚物水解速率的关键因素。

4.3 注重“个性化”培养学生的科研实践能力

本教材着重讲授高分子结构分析与性能测试技术方面的基础知识和基本实验方法,同时强调这些实验的综合性和先进性,突出“个性化”培养。通过本课程的学习和实践训练,使学生掌握高分子结构分析以及高分子材料性能测试的先进技术,培养他们提出科学研究问题、应用所学知识和技能解决科学问题的科研能力、实事求是的科研工作态度和科学作风,为他们在今后从事科研的道路上不断勇攀科学高峰奠定坚实的基础。

在课堂开展理论教学过程中,鼓励学生根据讲授的基础理论知识勤于思考,提出问题,组织研讨活动,开展教学互动。在大型仪器实验室开展的实验教学过程中,培养每位学生实际学习操作大型仪器的能力,提升他们的实验动手能力,以及在实验中发现问题和解决问题的能力,为科研工作打好实验基础。

每位学生需要牢固地掌握各种测试技术的基础理论知识、实验目的、实验原理、仪器的结构、测试样品的性质,学习各种大型仪器的实际操作方法并测试具体样品的结构与性能,熟悉仪器使用安全注意事项,实验课程结束后完成数据处理工作,查阅相关文献,对得出的实验结果进行分析讨论,完成思考题。

4.4 通识性和实用性

随着科技发展,各学科领域不断交叉渗透,高分子科学与材料学、工程学、生物学等形成了多学科的交叉领域,所以,本教材也可作为高等院校高分子科学及其相关领域研究生和本科生的参考教材。

5 总结与展望

为了培养化学类拔尖创新型研究生,探索本硕贯通培养模式,我们编写出版了本硕贯通课程“现代化学实验与技术”教材——《高分子结构与性能的现代测试技术》,构建了研究生实验课教学新模式。目前该教材正用于研究生课程的教学,已显示出较好的教学效果。在今后的教学实践中,本教材将推广应用于本硕贯通的“现代化学实验与技术”课程教学,教材建设也将长期进行,教材内容将不断得到完善和发展,以进一步提升教学质量。

参 考 文 献

- [1] 国务院关于印发统筹推进世界一流大学和一流学科建设总体方案的通知. [2015-11-05].
http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-11/05/content_10269.htm
- [2] 姜林, 苏燕, 钟欣芮, 马晓爽, 张赞, 郑成斌, 胡常伟. 大学化学, **2021**, 36 (5), 2010034.
- [3] 黎朝, 温庭斌, 吴伟泰, 张延东, 曹晓宇, 朱亚先, 吕鑫. 大学化学, **2021**, 36 (5), 2010002.
- [4] 袁耀锋, 林彩霞, 林伟, 谢在来, 王心晨. 大学化学, **2021**, 36 (5), 2102063.
- [5] 陈波, 王媛媛, 田阳. 大学化学, **2021**, 36 (5), 2009068.
- [6] 李永军, 王玉枝, 张晓兵, 范媛吉, 蔡焱, 陈淑云, 吴英鹏. 大学化学, **2021**, 36 (5), 2008022.
- [7] 曹秋娥, 凌剑, 李菲, 周川华, 刘世熙, 王林. 大学化学, **2021**, 36 (5), 2103001.
- [8] 周立亚, 段文贵, 何熙璞, 刘丽, 许雪棠, 徐远金, 王凡, 陈培灿, 郑礼婷, 李香, 等. 大学化学, **2021**, 36 (11), 2110044.
- [9] 宋丽娟, 张树永, 王吉林, 郑兰荪, 朱亚先. 大学化学, **2020**, 35 (10), 17.
- [10] 陈玉清. 大学化学, **2019**, 34 (1), 18.
- [11] 阮文红, 杨立群, 章明秋. 高分子结构与性能的现代测试技术. 第1版. 北京: 化学工业出版社, 2023.
- [12] Sandengen, K.; Widerøe, H. C.; Nurmi, L.; Hanski, S. J. *Petrol. Sci. Eng.* **2017**, 158, 680.