

高分子化学实验的开设现状调查及改革建议

尚成新,郝俊生,于海英*

(山西大学化学化工学院 国家级实验教学示范中心,太原 030006)

摘要:高分子化学实验是高分子化学课程的实践教学内容,对学生加深理论知识的理解、提高实验操作能力具有不可替代的作用。在调研了国内部分高校的实验开设情况后,发现,独立开设高分子化学实验的高校较少,实验项目数量有限,而且实验课程还是以传统的验证性内容为主。在此基础上,给出了课程改革方面的建议,应注重实验内容的应用性和趣味性,推广虚拟仿真的教学形式,向综合设计性实验的方向转变,由培养实验技能向提高科研能力转变,并给出了详细的实施措施。

关键词:高分子化学实验;开设现状;实验改革

高分子化学既是化学学科的分支,又是高分子材料学科的组成部分,现在已经成为与有机化学、无机化学、分析化学、物理化学并列的第五大化学,同时也是高校中化学专业和材料专业的必修课。课程主要讲授高分子材料的各种合成方法,涉及高分子聚合物的概念、结构特征、聚合反应的类型、合成机理、动力学、聚合物的化学反应、常见聚合物的特点等内容,部分章节与分析化学、物理化学、有机化学及数学概率论相关联。

与此同时,高分子化学作为应用性和实验性很强的一门课,高分子化学实验是理论课的延伸和具体实践,对学生加深理论知识的理解、提高实验操作能力具有不可替代的作用。通过高分子化学实验课的开设,提高了学生的实验操作技能,培养了实践意识,对本科生科研能力和创新意识的提升具有推动作用^[1,2]。

经过多年的教学实践和改革,高分子化学及实验课程已取得了部分教学成果,比如试题库的建设^[3]、聚合物的测试新方法^[4]、实验器件的制作^[5]。同时也有一些针对高分子化学实验的教改论文发表,提出了教学改革建议,剔除陈旧的实验内容、注重科研与教学的结合、教学模式的多样化等。但关于高分子化学实验的整体开设情况,目前还是比较模糊的,我们更想调研一下国内高校高分子化学实验的开设现状,了解实验项目的真实情况,因此首先做了这方面的研究。其次,针对实验开设的现状,希望提出一些切实可行的改革建议。

1 高分子化学实验的开设情况

高分子化学作为化学学科中最新的一个分支,起步较晚,可以说是从 Staudinger 1920 年提出“高分子”的概念开始的。与其它化学学科已有几百年的发展历史相比,高分子化学的成长无疑是落后的。在具有化学学科的院校中,一般都开设了无机化学实验、有机化学实验、物理化学实验、分析化学实验等教学内容,而单独开设高分子化学实验的院校并不多。

为了研究高分子化学实验的开设情况,重点调研了 2017 年 9 月教育部公布的世界一流大学建设高校的实验课程情况。在 42 所世界一流大学(A 类 36 所,B 类 6 所)中,有 6 所没有化学学科,故只能选取 36 所。另又选取了 4 所化学化工方面实力突出的世界一流学科建设高校,并且都具有教育部在 2005~

10.14028/j.cnki.1003-3726.2022.09.020

收稿:2021-07-27;修回:2021-09-24;

基金项目:山西省高等学校教学改革创新项目(J2021099、J2020033);山西大学本科教学改革创新项目(202058);

作者简介:尚成新(1981-),博士,高级实验师,研究方向为高分子材料合成及实验教学;

* 通讯联系人:于海英(1970-),硕士,高级实验师,研究方向为化学实验教学与改革。E-mail:sanjin92@sohu.com.

2015 年遴选出的化学类国家级实验教学示范中心。选择的这 40 所高校^[6,7],无论是综合实力,还是化学学科实力,都是排在国内高校的前列,对其化学实验课程的开设情况进行了详细地研究分析,发现这些高校的实验开设情况极有代表性。研究发现,这些高校的化学实验课程门类齐全,特色鲜明,具体包括有机化学、无机化学、分析化学、物理化学、仪器分析、化工实验、综合实验、高分子实验等方向。但是单独开设了高分子化学实验课程的只有清华大学、北京师范大学、北京理工大学、浙江大学、上海交通大学、华中科技大学、吉林大学、哈尔滨工业大学、东北大学、中山大学、新疆大学、西安交通大学 12 所学校,只占 30%。

可见,与化学学科의 其它实验课程相比,高分子化学实验的教学体系还是薄弱的,在多数高校中没得到应有的重视。

2 高分子化学实验的课程内容

在这些已经开设高分子化学实验课程的高校中,我们又选取了几所高校,进一步来研究具体的实验内容和开设的实验项目,如表 1 所示。

表 1 高分子化学实验项目
Table 1 Experiment project of polymer chemistry

高校名称	实验项目
浙江大学 ^[8]	1、有机玻璃的制备(本体聚合)
	2、甲基丙烯酸甲酯和苯乙烯的自由基共聚
	3、苯乙烯的乳液聚合
	4、阳离子交换树脂的制备(苯乙烯悬浮聚合)
	5、膨胀计法测定自由基聚合动力学
	6、苯乙烯的阳离子聚合
	7、低交联密度聚丙烯酸钠的制备
	8、涤纶的制备(线型缩聚)
北京理工大学 ^[9]	1、膨胀计法测定自由基聚合的本体聚合速率
	2、苯乙烯的悬浮聚合
	3、醋酸乙烯酯的乳液聚合
	4、聚酯反应动力学
	5、三聚甲醛阳离子开环聚合
	6、羧甲基纤维素的制备
华中科技大学 ^[10]	1、膨胀计测定苯乙烯本体聚合反应速率
	2、甲基丙烯酸甲酯本体聚合
	3、苯乙烯和丙烯腈的共聚合
	4、苯乙烯的悬浮聚合
	5、醋酸乙烯酯乳液聚合-白乳胶的制备
	6、聚乙烯醇缩丁醛的制备
西安交通大学 ^[11]	1、有机玻璃的制备
	2、苯乙烯的乳液聚合
	3、醋酸乙烯酯的溶液聚合
	4、聚乙烯醇的制备及其缩醛化
	5、聚氨酯泡沫塑料的制备
	6、酚醛树脂的制备
	7、离子交换树脂的制备

通过分析发现,目前开设的高分子化学实验课程呈现几个特点:

第一,实验项目数量有限。在化学学科中,其它二级学科的实验项目数量一般在20~30个。在开设高分子化学实验的高校中,普遍存在实验项目较少的情况,这对于实验教学来说是远远不够的,也达不到预期的教学效果。

第二,实验的教学内容包括缩聚、自由基聚合、自由基共聚、本体聚合、悬浮聚合、乳液聚合、溶液聚合、离子聚合、聚合物的化学反应。这些实验内容的设置还是比较完善的,基本上涵盖了高分子化学的主要内容,与理论课的教学内容也是一致的。

第三,实验的性质多数属于验证性实验。对以上高校开设的高分子化学实验进行分类,实验项目具体是线型缩聚、甲基丙烯酸甲酯的本体聚合、苯乙烯的悬浮聚合、乙酸乙烯酯或苯乙烯的乳液聚合、乙酸乙烯酯的溶液聚合、自由基聚合速率的测定、聚乙烯醇的制备及缩醛化反应等。这些传统的验证实验,基本还是按照“老师课堂讲授-学生逐步操作-提交实验报告”的模式,缺乏理论知识对实践的指导,仅停留在培养实验操作技能的层面,这并不利于学生的创新思维和实验能力的快速提高。

3 高分子化学实验内容的改革建议

针对高分子化学实验的课程现状,适时进行改革势在必行,改革的目的在于提高教学效果,激发学生的上课兴趣,与现代化的教学手段相衔接,培养学生的综合实验能力和科研水平。改革措施可以从实验内容项目、课程模式、考核体系等多个方面入手,但重点应该放在实验教学的内容和项目,在继承经典实验的基础上有所创新。

3.1 注重实验内容的应用性和趣味性

高分子化学是一门实践性很强的学科,高分子材料在日常工作生活中更是常见,在农业、工业、建筑、运输、医疗等行业都发挥着重要作用。例如,薄膜、塑料袋、轮胎、医药压敏胶、装修涂料乳液、吸水树脂材料,这些都是我们生活中常见的。因此,在分子化学实验中,可以设置些与之相关的实验内容,既能提高学生对高分子材料的认知,又学习到这些材料的生产过程。

在分子化学实验的项目中,比较具有趣味性的经典实验就是有机玻璃的合成,多数高校都会选择甲基丙烯酸甲酯,进行本体聚合制备有机玻璃。在实际的教学中,可采取的措施包括:第一,在实验开始前,要向学生讲清楚自由基聚合的机理,即单体转化率随时间提高,这个实验需要较长的反应时间来制得质地坚硬的有机玻璃,同时也有时间来准备一些物件使这个实验变得有趣。第二,为了提高这个实验的趣味性,可以让学生自己准备各种形状的模具,或者是准备一些树叶、小饰品、颜料等。第三,实验过程中,针对学生准备的物件,实验的注意事项是不同的。如果学生有自己的模具,可以把预聚物直接倒入模具中,有机玻璃产物就具有了不同的形状。如果学生想把各种小饰品放进去,那就要在制备预聚物过程中加入。无论采用哪种方法,最后制得的有机玻璃制品,都是具有个性的。

另外,分子化学实验还可以开设一些新的实验项目,增加应用性和趣味性,比如在婴儿卫生用品中常见的吸水树脂。开设新实验项目时,要注意几个方面:第一,选择的实验项目要切实可行,具有很强的重现性,实验操作不能太复杂,难度太大不一定适合本科生教学。第二,选择的原料药品毒性要小,比如在制备吸水树脂时,尽可能选择丙烯酸作为单体,少选丙烯酰胺类的单体。第三,吸水树脂合成出来后,由学生自己去测试吸水率,自我评价一下产物的性能,可以提高学生做实验的积极性^[12]。

通过增加实验内容的趣味性,既可以提高学生的积极性,又体现了实验项目的应用价值,使学生认识到高分子材料在日常生活中的广泛应用,为毕业后走上工作岗位奠定基础。

3.2 虚拟仿真教学的推广

在传统的实验课模式中,多采用“老师课堂讲解,学生按步骤操作,完成实验报告”的方式。多数高校的实验课程,仍在延续这种模式,学生只要按照步骤即可完成,主观能动性得不到体现,也无法提高学生

参与的兴趣。但随着高校教学条件的改善,越来越多的经费投入到基础教学上,很多新型设备被利用起来,新的教学模式也出现了,最有代表性的就是虚拟仿真教学。利用虚拟仿真教学的方式,减少了化学实验的设备台数、实验场地、运行成本,也减少了易燃易爆试剂的使用频率,危险性大大降低。通过人机交互的仿真软件,学生可以多次反复地演练实验内容和仪器操作过程,在此基础上再进行实验操作,教学效果明显提高^[13]。

根据高分子化学实验的内容和特点,部分实验室难以实现的实验操作和危险性较大的实验项目,建议采用虚拟教学的方法。根据国家示范中心化学类专业虚拟仿真实验教学项目建设指南,易采用虚拟仿真教学的实验主要有:高温高压下的高分子聚合、使用剧毒气体的合成、高分子构象的模拟与计算、聚合物热氧化降解与燃烧过程测试、天然高分子提取和分析、无机高分子微观模拟和设计等。

同时,经典的高分子化学合成实验也可以改造成虚拟仿真教学实验,以苯乙烯的悬浮聚合为例。具体实施时,可以采用以下步骤。第一,明确选择虚拟仿真教学的切入点。在传统的教学过程中,苯乙烯悬浮聚合的分散剂多是聚乙烯醇,油水比、聚乙烯醇用量、反应温度、时间等都是固定值,因此产物粒径基本也是固定的。若把这些实验参数都设置成变量,则具备了实施虚拟仿真教学的条件。第二,虚拟教学中,把油水比、聚乙烯醇用量、反应温度、时间等设置成变量,去验证不同匹配时的悬浮聚合,得到的产物粒径则完全不同。第三,根据实验变量与产物粒径的关系,一次实验教学,就可以得出多个实验参数对产物的具体影响,这也是传统的实验教学所达不到的。

3.3 向综合设计性实验的方向转变

在传统的实验项目中,多数是验证性实验,而综合性或研究性实验的内容较少,这与教育部《普通高等学校本科教学工作合格评估指标体系》中逐步增加综合设计性实验的要求并不相符。同时,高分子化学实验主要针对大学二年级或三年级的学生开设,学生已经掌握了常规的实验操作,因此在制定实验项目时,应尽可能把验证性项目改造成综合设计性的类型^[14]。

实际操作时,可按照以下原则和步骤:第一,选择具有结合点的两个实验内容,判断能否设计成综合性实验。比如高分子化学、高分子物理、高分子材料及材料加工都是紧密相连的课程,分别侧重于材料合成、物理性能、材料加工,可以选择的结合点有高分子结构与性能的关系、材料性能与加工方式之间的关系。第二,设计具体实验时,进一步细化两个知识点的结合方式。例如,把经典高分子化学实验“膨胀计法测定自由基聚合反应速率”改造成综合性实验,可以选择的方式有两种:将速率测定与活性 RAFT 聚合相结合,通过 RAFT 聚合制备的聚合物材料,分子量分布指数 PDI 多在 1.5 以下,其物理性能较自由基聚合产物更好;将速率测定与溶液聚合相结合,在多数高校中,这个实验是测定苯乙烯本体聚合的速率,改造成综合设计性实验后,能够测定溶液聚合中的反应速率,研究溶剂对聚合的影响。第三,在此基础上,还可以让实验条件更加开放,让学生合成不同的 RAFT 试剂,或者选择不同的溶剂,来研究 RAFT 试剂或不同溶剂对聚合速率的影响,成为设计性实验。

这样设计的综合性实验,可以提高学生的知识运用能力和设计实验能力。在实验过程中,学生能够理论联系实际,主动去解决遇到的问题,培养动手能力和科学研究的思维。

3.4 由培养实验技能向提高科研能力转变

高分子化学实验作为理论课的一种实践教学方式,不仅要学习高分子化学的理论知识,更重要的是培养实验技能和研究思维。高分子化学实验课的要求,包括通过基础的实验技能训练,把实验内容与课本上的理论知识相联系,锻炼实验意识、实验习惯、实验态度和操作技能。例如,在醋酸乙烯酯乳液聚合制备白乳胶的实验中,涉及到的知识点有自由基聚合机理、乳液聚合的实施方法、乳液聚合隔离效应、胶束成核和水相成核的原理等,一个实验项目与多个知识点息息相关。实验操作时,涉及到玻璃仪器的安装、搅拌器的使用、乳液聚合现象的变化、乳液的酸碱调节、乳液的储存稳定性等。对实验技能的培养,是高分子化学实验课的最低要求^[15]。

在培养实际动手能力的基础上,更要注重解决实验问题的能力、实验设计的水平、科研思维和创新意

识,这是培养学生能力的更高要求。例如,在传统的苯乙烯悬浮聚合实验中,使用分散剂往往是聚乙烯醇,聚乙烯醇本身属于水溶性高分子聚合物,稳定悬浮聚合体系的能力较强,很容易制备出聚苯乙烯的悬浮颗粒。在实验中,可以选择不溶于水的无机材料碳酸镁作为分散剂,让学生自由去探索碳酸镁用量、反应温度、引发剂用量、油水比等因素对实验的影响。通过学生主动去查找文献、设计实验、解决实验中遇到的问题、得出实验结论的方式,既提高了综合实验能力,也把教学的重点从培养实验技能转向提高科研能力。

4 结论

通过对国内高校中高分子化学实验的开设情况进行分析,发现这门课的发展远落后于其它化学二级学科,单独开设高分子化学实验课的高校较少,而且教学内容多为传统的验证性实验,实验项目数量有限。随着教学改革这一系统工程地进行,日常教学中应注重实验内容的应用性和趣味性,积极推广虚拟仿真教学的形式,逐步提高综合设计性实验的比例,由培养实验技能向提高科研能力转变。

参考文献:

- [1] 陈珺,钱浩,赵青华,杨乐,陈晓闽. 高分子通报, 2020,(7): 60~65.
- [2] 张树永,朱亚先,张剑荣. 大学化学, 2018, 33(10): 1~6.
- [3] 黄美荣,李新贵. 高分子通报, 2004,(4): 96~102.
- [4] 黄美荣,陆亚清,李新贵. 现代化工, 2003, 23(2): 34~36.
- [5] Huang M R, Tao T, Li X G. Am J Phys, 2007, 75: 839~843.
- [6] 尚成新,郝俊生. 化工时刊, 2020, 34(10): 34~37.
- [7] 尚成新,郝俊生. 教育现代化, 2021, 30: 99~102.
- [8] 张兴宏,曾素林,张滢滢,涂克华,王齐. 高分子通报, 2016, (4): 104~108.
- [9] 北京理工大学材料学院 <https://mse.bit.edu.cn/rcpy/bksjx/index.htm>.
- [10] 华中科技大学化学实验中心 <http://chemlab.chem.hust.edu.cn/index.htm>.
- [11] 西安交通大学化学实验教学中心 <http://chemlab.xjtu.edu.cn/index.htm>.
- [12] 柳建新,董沅武,张亚飞,刘卫红. 化学教育, 2020, 41(12): 71~74.
- [13] 郭军红,崔锦峰,杨保平. 实验技术与管理, 2019, 36(8): 119~122.
- [14] 陈世良,黄亦军,黄嘉驰. 实验技术与管理, 2020, 37(9): 170~174.
- [15] 杨金燕,赖俐超. 高分子通报, 2019,(9): 87~91.

The Investigation and Suggestions on Current Situation of Polymer Chemistry Experiment

SHANG Cheng-xin, HAO Jun-sheng, YU Hai-ying*

(National Experimental Teaching Demonstration Center, School of Chemistry and Chemical Engineering,
Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract: Polymer chemistry experiment is the practical teaching content of polymer chemistry, which plays an irreplaceable role in deepening students' understanding of theoretical knowledge and improving their experimental operation ability. The experimental current situations in some universities are investigated, and the results show that polymer chemistry experiment are set independently in few universities, the number of experiment projects is limited, and the courses are still based on the traditional verification content. On this basis, some suggestions on curriculum reform are proposed, such as paying attention to the application and interest of experiment content, popularizing the teaching form of virtual simulation, increasing the proportion of integrated and designed experiments, and changing from cultivating experiment skills to improving scientific research ability, and detailed implementation measures are provided.

Key words: Polymer chemistry experiment; Current situation; Experiment reform