

协作性高分子化学试验体系构建与创新人才培养

刘承美*, 李秋莲, 周兴平, 谭必恩, 薛志刚, 金尚彬

(华中科技大学化学化工学院高分子科学与工程研究所, 武汉 430074)

摘要: 高分子化学实验在分子课程体系中占有重要的地位, 它不仅是理论知识深入, 而且是知识体系构建的基石。基于高分子化学核心科学问题设置对应的实验课程, 不仅有利于学生牢固掌握高分子化学基本理论, 同时也有利于创新能力及科学素养的培养。协作性高分子化学实验体系的核心是将可变量(如时间、温度、反应物配比等)引入常规实验教学内容, 借助于先进、快捷的实验测试平台, 学生共同协作, 研究高分子基本性能如分子量等与工艺参数的定量关系, 从而掌握高分子研究的基本技能与方法。

关键词: 高分子化学实验; 协作性实验体系; 实验改革; 竞聚率测定; 创新能力

1 开设高分子化学实验课程的目的

高分子材料在现代社会中扮演者越来越重要的角色, 人类社会的可持续发展离不开高分子材料的支撑。因此, 高分子化学及材料等成为了大学化学教育中重要的组成部分。高分子科学体系包含了基础理论、制备工艺、加工工艺等诸多骨干课程, 但是高分子化学是公认的学科基础课程。与高分子化学理论课程配套的实验课程, 是基础理论的延续与深化, 不仅要对学生的高分子实验基本技能进行系统的训练, 同时更重要的是对高分子化学的核心科学理论进行验证和深化, 再现科学规律的发现过程, 从而掌握知识的发现途径, 提高学生的自主知识探究能力和创新能力, 以造就具有创新意识和创新能力的问题解决者或问题探索者。因此, 实验课程既是高分子化学理论课程不可或缺的补充, 又是一门独立的探究性课程, 是联系基础理论与实际应用的桥梁课程^[1, 2]。目前, 国内绝大多数高校均开设有高分子实验课程, 充分显示了高分子化学实验课程的基础性。

2 目前高分子试验设置情况及改革状况

国内高校高分子实验课程的设置, 经过多年来的教学实践与不断改革, 已经形成了各具特色的实验体系, 充分体现了不同层次院校的培养目标。但由于高分子化学课程在较长时间内, 被打上了“专业基础课”的烙印, 因此与之配套的高分子化学实验, 也主要服务于材料类专业, 因此高分子化学实验内容的设置, 带有明显的材料工程学特征, 也就是注重制备方法、材料基本性能表征等, 而对高分子化学的核心科学问题如动力学等关注不够; 同时实验内容没有突出高分子化学的特点, 实验内容简单化和模式化, 所有学生按照相同的实验条件和步骤完成相同的实验内容, 其主要功能体现在基本实验技能培养, 而弱化、甚至是忽略了学生分析问题、解决问题能力的培养, 从而也无法培养学生的创新意识和创新能力; 固化的教学内容与平铺直叙的教学方式, 也难以调动学生的学习激情, 少量学生甚至把实验课程看看可有可无的鸡肋。因此高分子实验教学有待科学设置教学内容, 从而达到培养创新人才的目标。

针对现有高分子实验课程内容的不足与局限, 许多高校的教学人员根据培养目标和学生学习状况,

10.14028/j.cnki.1003-3726.2021.05.011

收稿: 2019-08-24; 修回: 2020-04-14;

基金项目: 华中科技大学本科教学改革项目;

* 通讯联系人: 刘承美, E-mail: liukui@mail.hust.edu.cn.

对高分子化学实验的教学方法及实验内容提出许多建设性的改革方案^[3]。比如清华大学、北京大学等高校利用自身的科研优势和人才优势,将研究性实验引入本科高分子化学实验课程,让学生在教师的指导下,结合科研前沿,自主设计实验内容,充分体现了学生作为课堂主体的地位;并将现代科学仪器引入本科教学,采用小组轮换方式,进行探究性实验。清北模式对于培养研究型人才具有重要的意义,让本科生一开始就抓住了学科前沿^[4, 5]。另一部分高校的教师则在实验的趣味性、可视化、与实际结合等方面下功夫,使实验教学更加生动有趣、接近生活,从而激发学生的兴趣^[6~9]。清北模式是每个高校希望达到的境界,但是对大多数高校来说,可操作性不强。主要原因是清北模式基于小班教学,每年参与高分子实验的学生人数不多,便于仪器设备的轮换与教师的针对性指导。而对大多数高校,每年进入高分子实验室的学生一般在100~200左右,每位老师指导的学生比例较大,探究实验的开展受时间、空间限制,难以有效率的开展。同时大多数高校的教学实验硬件条件,也难以满足小班模式的要求。另一方面增加实验的趣味性,确实是实验改革的一个中重要方向,但是如何在趣味当中,融入核心科学问题,也是需要逐步完善的问题。

目前高分子化学实验,注重基本技能培养和制备方法学习,基本模式是合成与简单的结构或性能表征,类似于有机化学实验,而没有真正体现聚合反应特征。高分子化学课程的核心内容是反应动力学及其分子量的控制方法,具有时间与温度相关性,而逐步聚合与连锁聚合具有相对独立的反应动力学特征。而现有的高分子化学实验极少涉及此方面的内容,基本上为无变量的验证性实验,因此这种无变量实验达到了学习实验技能、验证基本原理的目的,而对实验的影响因素,如温度、时间、原料配比等变量对聚合动力学及聚合物性能的影响缺乏深入了解,也就是对科学规律的发现过程缺乏认知,对未来从事科学研究的准备不足,造成学生对高分子化学的认识肤浅,停留在有机化学的层面,觉得高分子就是有机化学的简单叠加。因此如何从高分子实验教学入手,提高学生对高分子化学以至高分子科学的认识水平,从而自觉利用高分子化学知识解决实际问题,并具备知识创新能力,是目前面临的重要课题。

3 核心问题的提出

高分子化学的核心是什么?如何开设相应的试验课程与之衔接?对于这些问题,可能不同的教学人员有不同的见解。按照潘祖仁先生的观点^[10]:高分子化学的核心是反应原理,总目标是解决聚合速率、聚合物微观结构、共聚物组成等的影响因素与如何控制的问题。因此高分子化学实验课程的内容设置应该与整体目标一致。对逐步聚合反应,实验内容需要体现反应程度对反应的控制程度;而对于连锁聚合,需要探讨活性中心“寿命”对聚合反应的影响。而对于聚合物的拓扑结构,重点是关注共聚物的组成等。仔细分析高分子化学教学中需要解决的这些关键科学问题,不难发现这些都是时间与温度的函数。比如共聚物组成方程,不仅决定于单体在不同聚合时间的瞬时浓度,而且与单体的竞聚率密切相关,其中浓度是学生非常熟悉的基本概念,而竞聚率则是高分子化学的特有概念,这一共聚反应核心概念的深刻理解,对于学生掌握共聚理论是非常重要的。但是目前开设单体竞聚率测试实验的高校并不多,原因是竞聚率的计算需要多组不同聚合时间的实验数据,按照现有的实验课程安排,学生是不可能单独在单元时间内完成这些工作的。因此,这一重要数据的测试方法,并不在常规实验课程中。

为了改变这种状况,我们对现有高分子实验课程体系进行了分类改革,在部分实验中引入时间或温度变量,将通常的单因素单点实验,改为多因素实验,从而可以对聚合动力学、共聚物组成等核心问题进行探索。基本思路是:每个实验者的实验基本操作相同,但反应时间、反应温度或反应物料配比不同,这样在单元时间内,就可以获得基于时间变量、温度变量以及配方变量的系列实验数据。实验结果可以表现为分子量及其分布数据、聚合物结构数据(核磁共振数据等),将个体实验数据进行数学处理,并借助于他人的实验数据,从而获得的完整的试验结果。我们把这种基于合作学习理论的实验模式称作为协作性实验模式^[11]。协作性实验模式力求从高分子化学的核心理论出发,有针对性的开设实验课程,学生就某

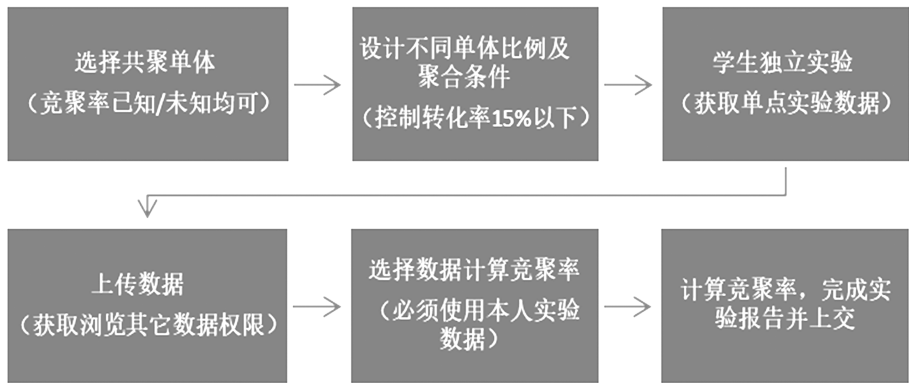
一核心科学问题展开合作研究,每一位学生的实验是核心问题的一个基本要素,必须与其他同学数据共享,才能获得完整的实验结果。下面以竞聚率的测定实验为例说明具体的实施过程:

4 实施过程——以单体竞聚率的测定为例

竞聚率是共聚物组成方程的重要参数,可以用来判断单体的共聚行为,也可以利用竞聚率从单体的瞬间组成计算共聚物的组成。虽然已经有大量的竞聚率数据供参考,但是随着高分子化学的发展,新单体的设计与合成层出不穷,因此掌握竞聚率的测定方法对于高分子化学的科学研究是非常重要的。实际上,中国科技大学的何卫东教授已经将此实验编入他所主编的高分子化学实验教材^[12]。但据调查,真正能够对学生开放该实验的高校极少,主要原因是不管采用何种方法计算竞聚率,均需要多组数据。例如:根据二元共聚无微分组成方程:

$$\frac{d[M_1]}{d[M_2]} = \frac{[M_1]}{[M_2]} \cdot \frac{r_1[M_1] + [M_2]}{[M_1] + r_2[M_2]}$$

竞聚率 r 与单体组成、聚合物瞬间组成相关,一对单体的竞聚率需要多次不同配比的实验结果才能获得。因此单独完成竞聚率的测定需要较长的时间。而本科阶段的实验课程有课时限制,一般难以在规定的学时数内完成该实验。为解决此问题,我们采用协同性实验的方法,较好解决了此问题,并且在实验设计中,还增加了温度变量,以考察温度对竞聚率的影响。其基本操作框图为:



(1)共聚单体一般采用常用单体,这样实验测定的竞聚率可以与手册数据比较,判断实验结果的准确程度;也可采用新单体进行共聚,以增加实验的探索性。如果有未知竞聚率单体,需要实验指导老师预先进行试验,测定竞聚率。

(2)指导老师根据试验要求和学生人数,设计多组实验供学生选择,变量为单体比例、聚合温度、聚合时间,并编号。条件完全相同的实验组数不少于 3 个,以保障实验的重现性;每一实验温度下的实验组数不少于 6 个,以保障有足够的实验数据供后续计算竞聚率。

(3)学生抽签获得实验编号,学生严格按照对应实验条件独立进行实验,平行实验至少三个,控制单体转化率不超过 15%。实验结束后,采用沉淀-溶解的方法提纯共聚物。得到的共聚物真空干燥后,利用 Bruker 400M 核磁共振亦测试共聚物中两种共聚单元的含量,获得该条件下聚合物的平均组成。

(4)将获得数据上传至数据中心,表明个体任务完成,并获得使用其它数据的权限;当所有实验者完成数据上传后,表明本次实验数据收集完成。

(5)学生根据自己的试验条件,利用数据平台的其它数据,按照竞聚率的计算方法,完成竞聚率的计算(必须包含自己测定的数据);上传计算结果到数据中心,获得浏览其它计算结果的权限。

(6)与手册查到的竞聚率比较,对实验测定结果的准确性进行分析;对比不同实验温度下竞聚率的数据,对温度对竞聚率的影响进行判断。提出实验改进意见,完成实验报告。

5 支撑条件保障

协作性实验体系的特点在于在实验中引入变量,而这些变量所带来的变化需要通过快速检测手段反应出来,从而让学生在规定的时间内完成实验任务,因此需要相应的软硬件条件支撑,主要包括以下几方面:

(1)学生个人素质对实验的成功与否具有重要的意义。学生的个人素质包括实验技能、合作精神、责任心等。一般而言,高分子化学实验一般安排在无机化学实验、有机化学实验、物理化学实验、分析化学实验等实验课程之后等之后,学生对相关的实验要求已经有所了解,基本实验技能也得到了较好的锻炼,因此在教师指导下,独立完成实验是完全可行的。比较而言,合作精神和责任心是关键。由于个体的数据是基础,因此要求每位实验者必须按照规范操作,尽量降低个性差异对实验结果的影响。

(2)具有责任心和使命感的实验教学师资队伍,是顺利开展协作性实验的保证。协作性实验过程中不仅要求实验人员作为组织者全程参与教学过程,而且还必须具有本学科的系统理论知识,以解答实验中可能出现的问题,更重要的是为学生提出切实可行的解决问题建议,从而保障实验的连续性,在规定的教学时间内完成教学任务。

(3)需足够的先进检测设备作为支撑。比如我们设计的竞聚率测试实验,除了常规的聚合设备,需要用到核磁共振、高压液相色谱等仪器。近年来国家非常重视本科教育,学校经费也向本科教学倾斜,本科教学设备也在不断更新,这些为协作性实验体系的构建提供了坚实的保障;

6 实施效果分析

协同性高分子化学实验体系是我们近年来在本院化工专业进行的实验教学改革,并逐渐推广到化学及应用化学专业。经过多年的实施,教学效果有明显的改善,主要表现在:

1、学生对实验课程的兴趣有明显的提高。改革前的实验教学,模式比较单一,所有的学生按照统一模板进行实验,造成了学生缺乏想象空间,束缚了主观能动性的发挥,而新的实验模式解放学生的创造力,便于学生深刻理解基本原理,达到了学与用的统一,学生感受到了解决问题能力的提高,因此从被动的参与转变成主动的学习;

2、学生对理论知识的理解更加准确。比如学生在学习共聚理论时,对单体组成与聚物组成的差异总是难以完全理解,觉得反应结束后聚合物的组成与单体组成应该一致。通过竞聚率测试实验,学生加深了对单体聚合活性的理解,认识到聚合物组成不仅与竞聚率有关,而且还与单体的转化率有关;

3、学生的综合能力得到了有效的锻炼,达到了素质教育的目的。协作性实验体系让学生体会到了合作的快乐与成功的喜悦,大家愿意在集体环境中开展学习,这对今后的继续深造与就业创造了有利的条件;

4、开阔了学生的视野,切身体会了现代分析测试手段对科学研究的重要性。协作性实验需要大家共同协作完成既定的目标,实验结果的准确与否与测试设备具有一定的依赖关系。学生在实验过程中需要使用核磁共振仪、凝胶渗透色谱、气相或高压液相色谱、热分析系统等先进仪器,为今后的继续深造打下了基础;

5、有利于提高实验教师的业务能力。协作性实验的复杂性要求实验教师花更多的时间设计实验,并进行准备工作,因此好的实验设计对于实验的最终结果具有重要的意义,促使实验教师研究实验,从知识的转述者变成知识的创造者;同时也为实验教师开展教学研究创造了条件。

6、存在的问题及解决措施:经过近年的实施,协同性试验的主要问题是实验时间的控制及空余时间的有效利用。由于引入时间变量,每组学生的实验时间不尽相同,如何进行有效的管理,是我们仍然在探索的问题。目前的解决方法是根据个体实验时间等因素,分批安排学生熟悉测试设备、了解制样技术等。

如何更科学的进行过程管理与控制,完善评价体系,是今后需要不断完善的环节。

7 结 论

协作性实验是合作学习模式、探究式学习模式等在实验教学中的具体体现。在保证实验的完整性、科学性的基础上,以理解核心科学问题为目标,在实验设计中引入时间、温度、组成等变量,注重培养学生的学习能力和思维能力,从而达到创新性人才培养的目的。

致谢 感谢华中科技大学本科教学改革项目的资助(项目名称:高分子化学—以培养创新能力为目标的课程体系建设与研究)。

参考文献:

- [1] Croisant M, Bretz S L, Konkolewicz D. J Chem Educ, 2019, 96(2):348~353.
- [2] Sereda G, Hawkins B. J Chem Educ, 2018, 95(11):2068~2070.
- [3] 袁伟忠,王国建. 科技创新导报, 2013, 35:171.
- [4] 黄浩,周欣然,唐波,杜奕. 高分子通报, 2018, 4:100~105.
- [5] 周欣然,杜奕,和亚宁. 高分子通报, 2015, 6:71~75.
- [6] 赵颖,罗美香,张安强,吴水珠. 高分子通报, 2018, 5:99~104.
- [7] 王平. 教育教学论坛, 2017, 17:91~92.
- [8] 陈福山,张立明. 山东化工, 2017, 46(24):175~176.
- [9] 张兴宏,曾素林,张滢滢,涂克华,王齐. 高分子通报, 2016, 4:104~108.
- [10] 潘祖仁. 高分子化学,第五版. 北京:化学工业出版社, 2011.
- [11] 齐悦,邓冬艳,杨洁. 高校实验室工作研究, 2017, 1:126~127.
- [12] 何卫东. 高分子化学实验. 合肥:中国科技大学出版社, 2012.

Construction of Collaborative Polymer Chemistry Experiment System and Cultivation of Innovative Talents

LIU Cheng-mei*, LI Qiu-lian, ZHOU Xing-ping, TAN Bi-en, XUE Zhi-gang, JIN Shang-bin
(*Institute of Polymer Science and Engineering, School of Chemistry and Chemical Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China*)

Abstract: Polymer chemistry experiments play an important role in the macromolecular curriculum system. Designing corresponding experimental courses based on the core scientific problems of polymer chemistry is not only conducive to students' solid grasp of the basic theory of polymer chemistry, but also conducive to the cultivation of innovative ability and scientific literacy. The core of collaborative polymer chemistry experiment system is introduced the variables (such as time, temperature, ratio of reactants, etc.) into the experimental contents, then students worked collaboratively to study the quantitative relationship between molecular weight of polymer and process parameters, with the help of the advanced and fast properties testing platform. Such changes benefit the students to master the basic skills and methods of polymer science research.

Key words: Polymer chemistry experiment; Collaborative experiment system; Experiment reform; Determination of monomer reactivity ratio; Innovation ability