



## 关于高分子化学实验课程设计的深层思考

周欣然, 杜 奕\*, 和亚宁

(清华大学化工系, 教育部先进材料重点实验室, 北京 100084)

**摘要:**随着先进教育理念的大量涌现, 现有的教育教学方式, 人类思维模式和学习组织形式在发生着深刻的变革, 这一改变与由应试传统带来的僵化的实验教学方法之间的矛盾日益凸显。在这样的背景下, 高分子化学实验作为一门专业实验必修课, 必须确立培养学生综合能力、批判思维、灵活运用、个性化的培养模式, 从而激发学生的专业志趣和创新灵感。在此基础上, 我们构建了立体的课程体系, 将原本孤立的单元教学成功地按照相关性穿插起来; 设计了由基础实验派生, 过渡到自主探究型实验的多样化教学内容; 采用了以学生为主体, 鼓励挑战和质疑的创新型教学思维; 融入了工程伦理和社会担当的职业道德培养理念。努力形成培养未来社会的引领者、创新者和建设者的土壤和环境。

**关键词:**高分子化学实验; 课程定位; 课程建设

我国的教育体系, 从通识教育阶段起, 就往往忽视了实验与实践的重要性。虽然这一点在近几年的教育改革中有所改善<sup>[1~5]</sup>, 但仍然难以在短时间内彻底从认识上、制度上得到扭转。实验实践非但不是理论课程之后附带的可有可无的尾巴, 而是平行于理论教学且具备同等意义的一门重要课程。高分子化学实验课程作为一门以高分子化学理论为基础的专业教学实验课, 既与四大化学有着不可分割的联系, 也凸显了其作为材料学科分支的“产品”合成特性。此外, 有机物性质的多样性所带来的实验复杂程度, 既对于学生的实验技能带来了考验, 同时也为其初步的科研探索提供了多方面的可能性<sup>[6~8]</sup>。

### 1 高分子化学实验的定位讨论

仅就自然科学而言, 目前人类所掌握的理论知识都直接或者间接地脱胎于各种形式的实践活动, 同时科学家与工程师还要通过实验这一高度专业化与模型化的实践手段来检验各种抽象或具象的科研成果的正确性。专业教学实验与简单的基础实验以及专业的科研探究相比, 有着多重性与复杂性, 具备承上启下的意义。因此, 必须将高分子化学实验的定位问题在课程建设之初, 明确而具体的确定下来, 否则任何后续的整体设计与细节雕琢都将因失去中心与方向而不免于失败的最终命运。清华大学要求教学工作脱离培养有一技之长的匠人, 而要站在全球化的大背景中培养未来社会的引领者、开创者和建设者。因此专业实验教学不能一味追求实验技能的获取, 而要强调综合能力、批判思维、灵活运用以及个性化多样性的培养模式, 进而激发出学生的专业志趣和创新灵感。具体而言, 高分子化学实验课不是要脱离《高分子化学》的理论教学, 而是要与之形成立体的培养体系, 以实验的形式使学生超脱于抽象的理论知识, 更为深刻地理解相关概念与结论, 促进理论知识的掌握; 不仅学习最为基本的专业实验技能与规范, 又要在合理的限度内对外延的知识领域进行最初级的科学探索, 锤炼个性化、专业化并重的实验艺术, 并逐步培养学生的科研道德、思辨能力以及团队协作等科研素养。明确了专业实验课的定位和培养目标, 才能有针对性的进行课程体系建设。

10.14028/j.cnki.1003-3726.2015.06.011

收稿: 2014-09-30; 修回: 2014-10-20;

作者简介: 周欣然(1989—), 男, 博士生, 主要从事高分子合成以及光电功能高分子材料研究;

\* 通讯联系人, E-mail: dldy@tsinghua.edu.cn, Tel: 010-62784561.

## 2 高分子化学实验课程体系建设

### 2.1 构建立体化实验课程结构

不同于无机化学实验、有机化学实验等基础实验课程对学生实验必备技能细雕慢琢式的培养,基础专业实验是默认参与者都具备一定实验操作水平的,而非初学者,因此很多实验技能是拿来就要用的。但课程伊始,多数学生还难以突破基础实验的桎梏,尚未完全摆脱将实验技能目的化学学习的后遗症,不能自如的将一项实验技能工具化应用。因此,虽然该阶段对基础实验操作在具体教学中已不做重点强调了,但是在我们教学中特别重视将基础专业知识和实验技能的融会贯通,培养学生在特定的实验环境下独立选择合适的实验方案和灵活应用的能力。

在以往的高分子化学实验课程中,多数是由孤立的实验组成。无论一个实验本身是否包含合成、性能测定和表征,实验与实验之间没有相关联系。在我们十几年前的高分子化学实验教学中,基本上是单纯地配合高分子化学理论教学中的章节安排来设计实验,使得实验教学仅仅是“照着做”,彼此之间毫无联系,缺乏批判、综合分析和创新思维,更谈不上个性化、多样化的探索空间。我们在教学实践中逐渐认识到,虽然这种章节化的实验教学是与理论教学相匹配的,但是究其效果,仍旧不利于学生综合地掌握高分子化学的理论,不利于学生更深入地理解高分子化学的基本概念,也不利于培养学生利用理论知识解决高分子实际问题的能力。在我们长期的课程体系建设中,首先将课程作为一个有机的整体呈现给学生,课程中包含的实验都是有一定的相关性,就像是在中枢神经下协调工作的肌肉群,联系在一起才能完成更为复杂的动作,教师就是要点播学生将每个实验的联系建立起来。例如我们通过对溶液聚合及高分子反应的控制合成了一定醇解度的聚乙烯醇(PVA),它将成为不同实验之间联系的神经——不仅作为之后的进一步缩醛制备 PVF 胶水的原料,同时也为悬浮聚合、微胶囊制备等多个实验提供了分散剂。实验之间的联系可以体现为共用一种合成的聚合物,共用同一种单体合成不同的聚合物,抑或共用同一种聚合方法合成不同的高分子材料来得到体现。这种链接要清晰而明确地体现出来,不仅触发学生在实验中思考到合成一种材料的不同可能性,而且也使学生触及到材料的不同应用领域。这也是将实验课程设计为一个有机整体的独到优势。

### 2.2 搭建由基础实验向自主探究的桥梁

从学科发展与学生培养的角度来看,实验是包括但不限于科研型的实验探索的,以培养年轻科研工作者扎实的基础理论、严谨的科研思维、解决问题的综合能力等素质为目的的实验教学也应当包含其中。

我们在实验课程建设中从来不排斥基础验证性实验,理论与经典往往是经受住时间考验的精华,历久弥坚。在当前研究型、综合型实验占据课程改革主体的潮流下,我们认为基础验证性实验更能让学生深刻理解专业知识,从而更有能力在扎实的专业基础上迸发创新的火花。由此在我们课程建设中,所谓研究型 and 综合型实验都是由基础实验组和发展、深化而来的。以十年前教改中设计的聚丙烯酸系水凝胶的制备为例,这个综合型实验就是以最基础的溶液聚合为起点,学生在充分掌握聚合方法的重要特点和细节的基础上,扩展异化成为高吸水性树脂或者 pH 敏感水凝胶等,实验中学生通过正交变量分析不同配方、工艺对材料性质影响的过程中逐渐深化对科研的理解,不仅培养其基本科研技能,而且在实验中对配方和工艺的灵活运用让很多优异性能的水凝胶材料脱颖而出,成为学生进一步科研活动的基石。

从基础实验发展、融合、深化而来的研究型或综合型实验并非固化不变,多种实验路线的选择,多种最终产品为目标的设计为学生提供了不拘一格的课程体验。例如经典的苯乙烯悬浮聚合实验,作为研究型实验的基础和增长原点,发展深化为“聚苯乙烯微胶囊”和“强酸型离子交换树脂”制备的起始原料合成实验,也允许学生根据兴趣,通过文献调研进一步外延为自主探究性实验,在一定程度上增强开放性和选修力度。由此可见,高分子化学实验所涵盖多种基本聚合反应与经典高分子反应类型,完全可以作为研究和创新的基本要素,实现基础理论的深入学习和科研思维的立体化对接,充分发挥实验课程对理论课

程的补充促进的作用。

此外,实验后期的报告撰写要求摆脱一直为人诟病的千篇一律,加入尝试性的分析、讨论与总结,并对反应或产物的原理、性质与应用有一个简单而综合的概述,那撰写过程本身对于学生的锻炼意义也是十分突出的,这将赋予其迅速适应真正科研工作的必备素质。

### 2.3 综合实验设计中引入工程伦理概念

在实际的科研工作中,具体的实验操作往往是最为简单的一个环节。实验前期的方案探讨不仅包含对实验操作可行性的分析,还加入了在实验教学中往往被忽视的成本核算以及包括原料、废料毒性在内的实验安全评估。在近十年中国经济社会以污染环境、破坏生态为代价而单纯追求 GDP 的大环境下,各种违背职业道德的不法行为也时有发生。在未来科学家、工程师甚至管理者的培养中就加强科技和工程伦理教育的环节将有助于学生们在今后的职业生涯中坚守可持续发展的理念。目前随着认识的层层加深,对发展的理解已经远远不限于经济与社会两个方面,对于生态文明建设的迫切要求促使着当代教育工作者思考如何能在课程当中潜移默化的体现这一点。作为实践课程的实验教学,在其中理应发挥重要的作用,我们将实验作为一次浓缩的社会生产活动,引导学生考虑包括成本核算、风险评估、环境测评甚至是社会效应在内的多重因素,有助于其逐步建立起对工程伦理的初步认识。

### 2.4 灵活自主的实验组织中突出综合科研素养

内容安排科学规范的高分子化学实验,可以帮助学生直接在最接近实践应用的环境中印证相关理论,对纷繁复杂的概念形成直观准确的认知,深化其对专业知识的理解。与此同时,灵活的课程组织和以学生为主体的教学模式也有异曲同工之妙,甚至在科研能力和科研素养的锻炼方面有着极富成效的优势。

我们在课程中特别突出激发学生兴趣,启迪学生思维和鼓励学生挑战和质疑,而不是简单的讲解和灌输。例如,对于甲基丙烯酸甲酯(MMA)的本体聚合这类体现基础理论的实验,引导同学在不同形状的模具进行聚合固化使其深刻理解散热的重要性;对聚合容器的设计更可以使学生会到简单实验背后所蕴含道理之深刻;对本体聚合制备的 PMMA 前沿应用的文献调研,使得学生明白将简单的基础实验做到极致就可以制备出人工角膜等高端的聚合物产品。

我们的课堂非常强调和注重讨论。在每个实验,特别是基础实验之前,我们会和学生充分讨论实验中的关键知识点,鼓励他们敢于对书本和文献中的每一个设计进行分析和质疑性讨论,自行总结如何设计一个符合当前实验要求的配方及工艺,这是培养科研思维的关键认知模式。在这样的自主研讨过程中,事事亲为,更能发现自身在实验设计抑或操作方面的不足,有针对性的补强该方面的能力。

课堂既宽松又严谨的教学模式让学生始终保持着活跃的思维,在他们超脱于课本实践他们自己的灵感时,文献的调研与选用,提取及总结都是学生们要经历的科研过程。独立设计实验,而非重复文献或实验教材,不仅基于对基础知识和实验过程的深刻理解,更对分析、质疑和凝炼文献信息的能力提出了高的要求。这时学生是主体,我们只需辅助、引导其辨别文献的可取程度,提取其中的有效信息即可。

此外,对选修与开放型实验的选择,除了依据自身兴趣所之外,还可以反其道而行之,选择对自身短板能力要求较高的实验。这样允许具有一定实验基础的学生根据其对自身能力的认知,自主的选择、设计并实施实验,相信对其包括自我认知在内的多方面的能力锻炼均大有裨益。

团队协作与配合也是我们的课程中努力实践的一个重要方面。在从基础实验扩展为研究型实验时,或是学生在进行探究实验时,都会以不超过 6 人的小组进行分析讨论和分工协作。我们组织学生轮流担任小组长和安全员,在实验组织实施、操作和环境安全方面贡献个人才智。能否将小组成员的智慧在和谐的气氛中凝聚起来,在协作中取得“1+1>2”的效果,都会在实验结果和研究报告中得以体现。在整个实验过程中,对前前后后诸多工作与细节的分析探讨与分工合作也将是日后团队化科研的雏形,在科研中妥善地选择与人交往的方式方法,也是基础专业实验中可以为日后储备的重要技能之一。

精心的课堂组织是教学效果的有力保证,在巩固理论专业知识的同时,培养了学生批判思维、实验素

质和其它作为研究者必备的能力,是我们这门课程的亮点,也是最终的教学目标。

### 3 开展高水平专业实验课程的必备要素

#### 3.1 校系两级的保障

多年来学校与院系对于专业教学实验的支持力度,都远不及基础实验基地的建设。依托于科研所室的专业实验课程建设很难在教员配备和设备更新上达到理想的状态。唯有在学校的战略层面提高对实验教学的重视程度,真正将实验课程的建设当作构建研究型大学的重要任务来抓,才可能在实验课教员队伍建设方面得以改善,使得学生的课程体验能够得到保证,并有充足的条件和安全的环境实现个性化自主实验,也可以间接地提高课程的含金量。清华大学在 2014 年第 24 次教育工作讨论会的研讨中对教学工作的整体导向是对我们这门实验课设计理念的认可,也将是我们今后坚持的改进方向。专业实验课程的建设将与理论课程改进相结合,成就价值塑造、能力培养和知识传授“三位一体”的教育体系,培养未来社会的引领者、开创者和建设者。

#### 3.2 科研支持

科学研究成果对于专业实验课程的帮助和支持是近几年专业教学实验改革和创新的源泉,专业实验课程本身就不是孤立的教学环节,它的运行和扩展链接需要教师具有科研的背景和经验,以及广阔的视野,能够为学生的专业性探索提供必要的理论指导与设备支持,将使学生的科研火花进一步升腾,在更深入的科研活动中发挥主观能动性。对于一所研究性大学而言,这一实验教学与科研探索之间的良性互动,一方面有利于学生摸清学科发展的脉搏,进一步提升专业兴趣,另一方面有助于提高本科生专业素养,对于日后专业理想的确立也有帮助。

#### 3.3 构建成熟的助教队伍

对于一门有积累、有延续性的专业实验课程而言,如何能够建设并保持一支成熟的助教队伍是关乎教学效果的重要因素,也是人才培养的关键一环。在实验教学中,与本科生直接接触并互动最多的是助教,助教的专业知识、实验技能、对课程的重视程度、表达能力甚至是个人魅力都会对教学实践的效果产生直接的影响。助教博士生大多在过去的 2~3 年中接受过类似的专业实验课程,在心理上容易与本科生产生共鸣;同时,源于其接受的高标准科研训练,对于整体的认识与对细节的把握均足以帮助本科生更好地完成实验课程。因此在助教的选拔环节就应当注重对其专业水平与实验技巧的考察,将其中兼具高水平专业实验技能与高度责任心的候选者划入助教队伍,同时在实验教学之前对助教队伍进行必要的培训。同时,助教博士生在教学环节的用心投入,不仅是宽厚的专业知识的积累,也是自身综合能力提高的绝好锻炼。

### 4 结语

实验教学作为对理论教学的必要补充与内容拓展,构建了由理论向实践的重要桥梁,应当对其重要性进行重新的认识。在实验教学中,专业实验课程兼具深理解解经典理论与外延扩展探索这两方面的任务,具有承上启下的作用,对于理论学习的加固与科研工作的开启都有着重要的意义。我们的高分子化学实验课程建设牢牢地定位于培养学生综合能力、批判思维、灵活运用教学理念,以及个性化多样性的培养模式,从而激发学生的专业志趣和创新灵感。在这一过程中,学校与院系的充分支持保障和课题组自身的专业优势发挥,以及高素养的助教团队都为本科生的培养做出积极的贡献,也是将本实验课程从好做到更好的重要条件。

### 参考文献:

[1] 王国建. 高分子通报, 2013, (8): 90~93.

- [ 2 ] 王国建. 高分子通报, 2012, (11): 97~100.
- [ 3 ] 张安强, 刘海敏, 王炼石. 高分子通报, 2012, (12): 91~94.
- [ 4 ] 郝智, 伍玉娇, 罗筑, 黄彩娟. 高分子通报, 2012, (5): 116~118.
- [ 5 ] 唐黎明. 高分子通报, 2014, (7): 104~108.
- [ 6 ] 庄启昕, 郑安呐, 李欣欣, 钱军, 李慧, 韩哲文. 高分子通报, 2008, (11): 73~77.
- [ 7 ] 王丽梅. 高分子通报, 2012, (9): 97~100.
- [ 8 ] 刘宁, 李田, 王小丹, 刘丰收. 高分子通报, 2011, (7): 110~112.

## Deep Consideration on the Design of Polymer Chemistry Experiments

ZHOU Xin-ran, DU Yi\* , HE Ya-ning

(*Department of Chemical Engineering, Key Laboratory of Advanced Materials (MOE),  
Tsinghua University, Beijing 100084, China*)

**Abstract:** With the bloom of modern education concepts, a wide-ranging and deep-going revolution of teaching methods, mindsets and organizational form of study is in progress, which plays against the rigescent tradition in experimental teaching brought by the long-term exam-oriented education. Under this condition, it is quite necessary to confirm the flexible teaching principle focused on comprehensive ability, critical thinking and versatile cultivating modes, based on which we can motivate the professional interests and innovative inspiration of the students in experiments of polymer chemistry. With these concepts, we constructed the multi-level curriculum system, reconnecting the teaching units according to the correlation, and expanded the fundamental experiments with more exploration capability. In our experimental teaching practice, all the students were encouraged to adopt the spirits of question and challenge as the dominant roles. Furthermore, the ideas of engineering ethics and professional ethics were also introduced to fertilize the earth of cultivating the leaders, innovator and constructors of the future.

**Key words:** Experiments of polymer chemistry; Course orientation; Course construction