

•教育专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX201904034

www.dxhx.pku.edu.cn

化学专业拔尖学生实验教学体系的探索与实践

刘刚, 张恒, 马莹, 苑世领, 宋其圣*

山东大学化学与化工学院, 济南 250100

摘要: 介绍了山东大学化学学科拔尖学生实验教学体系的探索与实践, 在实验教学体系、教学内容、教学方法、师资建设四个方面总结了近十年来课程改革及实施成效, 探索适应化学拔尖人才培养的实验课程体系和运行机制。

关键词: 化学拔尖学生; 实验教学体系; 创新能力

中图分类号: G64; O6

Exploration on Laboratory Teaching System of Top Talent Training of Chemistry in Shandong University

LIU Gang, ZHANG Heng, MA Ying, YUAN Shiling, SONG Qisheng *

School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, P. R. China.

Abstract: The paper introduced the innovations of Shandong University in the laboratory teaching system of Top Talent Training Program majoring in chemistry. We explored the laboratory curriculum system and operation system suitable for the cultivation of top talents of chemistry, and summarized the laboratory curriculum reform and the implementation effects of Shandong University in the past ten years, including laboratory teaching system, teaching content, teaching method and teaching staff construction.

Key Words: Top talents of chemistry; Laboratory teaching system; Innovation ability

为实施“基础学科拔尖学生培养试验计划”^[1,2], 山东大学借鉴世界一流大学经验, 结合自己的办学特色, 综合国内外优质教育资源, 于2010年成立了“泰山学堂”, 严格选拔最优秀的学生投身基础科学研究, 为其成长为未来基础学科的国际领军人物, 并逐步跻身国际一流科学家队伍打下坚实的基础^[3]。泰山学堂化学取向面向全校新生选拔最优秀的本科生, 采用“通专结合、文理交融、学研并重、强化创新”的培养方案, 结合游学制、导师制的学习和管理模式, 培养学生扎实的数理基础, 宽厚的化学基础知识、基础理论, 全面的实验技能以及优良的综合素质和科研创新能力, 为学生在化学某领域尽早成为学科的领军人才打下坚实的基础。化学作为一门以实验为主的自然科学, 实验教学是学生培养计划中的重要环节, 在巩固理论知识、培养实验操作技能、提高学生应用理论知识解决实际问题的能力等方面至关重要^[4,5]。特别是在拔尖学生的培养中, 实验教学不仅是培养学生基本实验技能的重要课堂, 更是培养学生创新意识和科研素养的重要阵地。鉴于拔尖班学生与普通本科生培养目标的差异, 泰山学堂化学取向学生的培养对传统的实验教学课程体系提出了更高的要求, 在兼顾基本实验操作和实验技能的基础上, 要求实验教学过程中不断引入创新型、探究型实

收稿: 2019-04-22; 录用: 2019-05-15; 网络发表: 2019-06-05

*通讯作者, Email: sqs@sdu.edu.cn

基金资助: 山东省研究生教育质量提升计划(SDYKC18003); 2018“基础学科拔尖学生培养计划”研究课题(20180212); 山东大学实验室软件项目(sy20172202)

验内容, 以便培养拔尖学生基本的科研素养。

我院开设的基础化学实验主要包括无机化学实验、有机化学实验、物理化学实验、仪器分析实验、化工实验等, 培养和教学内容一直注重基础原理知识、基本技术操作, 属于传统的基础性实验教学模式。在面向泰山学堂化学取向学生的培养时, “照方抓药”的教学模式不仅不能满足拔尖学生的知识需求, 而且难以凸显和符合拔尖学生的培养宗旨, 显然不适应综合性、探究性、创新性实验的教学目标。因此, 自 2011 年起, 实验教学中心对泰山学堂化学取向专业的实验教学进行了一系列改革和探索, 在基础实验中增加了综合性和开放性内容, 开设综合性的大型仪器分析实验项目, 结合前沿科研成果不断构建内容更深、难度更大的综合化学实验项目, 强化开放创新研究实验的深度和广度, 并和毕业论文相衔接。最终构建了基础化学实验+仪器分析实验+综合化学实验+开放创新实验+毕业论文研究立体化的实验教学体系, 旨在加强化学实验中研究型教学的比重, 提高学生的动手能力, 培养学生的研究性思维 and 创新能力。本文将总结山东大学在化学方向拔尖学生实验教学方面的改革经验, 与国内同行分享。

1 构建螺旋式、立体化实验教学体系

以培养学生创新能力、科研素养为目标, 将研究型教学理念融入实验教学, 构建“基础实验+综合实验+开放创新实验+毕业论文研究”的螺旋式、立体化实验教学体系, 通过教学内容层次化、基础实验综合化、开放创新实验项目化, 实现基本操作实验、综合提高实验、研究创新实验和科创活动多种实践教学模式的有机组合(图 1)。

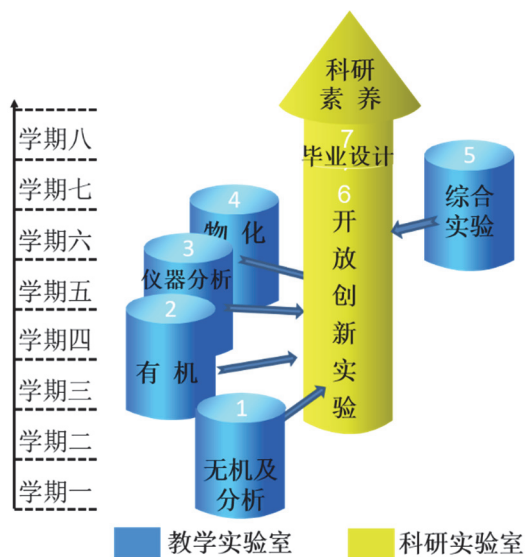


图 1 螺旋式、立体化实验教学体系

基础化学实验包括无机及分析化学实验、有机化学实验、仪器分析实验、物理化学实验, 其课程设置与理论课的授课进程基本一致, 实践课与理论课相辅相成, 既有利于加深学生对理论知识的理解, 也有利于培养学生实验操作的兴趣。每个学科的基础实验基本分为“基本操作、综合应用和设计实验”三个模块, 其中基本操作实验和综合应用实验是基础化学实验的重点, 承担着巩固化学理论知识, 锻炼基本实验技能, 培养学生严谨实验习惯的重任, 是学生创新能力、科研素养的培养基础。课程中的设计实验, 以学生为主、教师为辅的方式进行, 改变了传统的灌输式教学, 要求学生通过查阅资料, 运用已掌握的知识、技术和技能, 设计切实可行的实验方案并进行实施, 强调自主性、探究性和创新性, 旨在培养学生文献检索和实验探究的能力, 提高学生的科研兴趣。

综合化学实验, 是在基本完成基础化学实验课程的基础上, 在化学一级学科的层面设计的综合

性、探究性的实验教学课程,旨在加强化学各分支学科和研究方向的融合,提高学生综合应用理论知识和实验技能分析解决实际问题的能力。综合化学实验充分结合了山东大学化学学科的优势和特色,是科研反哺教学最好的体现之一。实验内容大多选自科研项目,一般包括“合成、制备、分析、表征、实际应用”五部分,不仅考虑实验技能的综合性、实验操作的自主性,同时也要考虑选题的新颖性和创造性,让学生从文献的检索、资料的分析和总结、实验的设计和实施、数据的处理、实验的反思与改进等各个方面全方位学习科研技能。

开放创新实验,是依托科研实验室对学生进行科研“实战”化训练,着重培养学生科研素养和创新能力的重要课程。特别对于化学专业拔尖学生来说,开放创新实验是打破本科生和研究生的教育界限,搭建衔接本科生向高素质的硕士和博士研究生培养的桥梁。为了进一步加强泰山学堂化学取向开放创新研究实验的力度,我们将开放创新研究实验提前到大二上学期,不断增加研究的深度和广度,并和毕业论文进行衔接,构建了长达三年不间断的科研创新培养机制。在科研导师的指导下,学生以2-3人自愿组合为一课题组,由组长负责,实验中心成立开放创新实验指导小组。学生经过选题、申请、答辩、评审、立项后进入开放创新实验的实施,部分优秀项目申报国家大学生科技创新计划。学生利用课余时间、节假日在指导教师的科研实验室开展研究工作。开放创新实验项目结束后撰写结题报告和研究论文,进行结题答辩,由学院创新实验指导小组评出一、二、三等奖,给予相应学分,并推荐部分课题申报校级及以上奖励。

毕业论文是拔尖学生在科研实验室进行科研素养训练的最后环节,也是对学生知识、能力和科研素质进行全面考核和锻炼的重要环节。以科研项目形式,通过开题报告、中期考核和毕业答辩全面考查和锻炼学生的化学专业知识、实验技能、逻辑分析能力、沟通与协作的能力、表达与写作的能力等综合科研素养,使化学取向拔尖学生逐步具备研究生所需的独立科研能力。我们鼓励学生到中科院、北京大学、清华大学等国内外知名实验室进行毕业论文研究,让学生充分汲取高水平实验室的科研经验,在充分锻炼学生实践能力的同时,完成向高水平硕士研究生、博士研究生的过渡。

2 改革实验内容、更新实验手段

当前的化学基础理论和知识体系日新月异,实验检测手段推陈出新,冷场发射扫描电镜、透射电子显微镜、X射线单晶衍射仪、固体核磁等现代分析检测仪器的装备,使得实验过程监测、实验结果分析成为了基本的科研技能。因此,为了与当前的化学理论及实验检测手段的发展相一致,培养出更适合社会需求的创新型科研人才,针对拔尖学生的化学实验教学课程需要在实验内容、实验手段等方面不断更新和完善。

2.1 基础化学实验课程改革

从“基本操作、综合应用和设计实验”三个层次对基础化学实验课程进行内容设置:

1) 删除掉一些简单、分散的基本操作项目,将基本操作训练融入“制备、分离提纯、分析鉴定”为一体的综合实验项目中,更好地加强学生对基本实验技能的应用。例如无机化学实验中将制备、滴定等基本操作综合到Fe系列化合物的制备实验中,有机化学实验中将熔点测定、重结晶等基本操作实验与乙酰苯胺的制备实验相综合。

2) 增加需要复杂实验技能和多步骤合成的综合实验项目,同时结合折光率测定、薄层色谱分析、柱色谱分离提纯、气相色谱分析、红外、核磁等分析检测手段,培养学生应用现代仪器分析方法分析实验结果的能力。例如在基础有机化学实验——苯甲酸乙酯的制备项目中增加三元共沸除水的操作练习,同时结合仪器分析实验中的气相色谱分析、气相色谱-质谱联用分析、傅里叶红外光谱分析和核磁共振分析项目对学生进行仪器操作及图谱解析的训练,培养学生基本的科研素养。

3) 设计实验中融入更多科研要素,将我院优秀的科研成果与教学实验相结合,让学生通过查阅文献、设计实验路线、制定实验条件等各个方面,初步了解科研过程中的实验思路和步骤,加强学生科研素养的培养。

4) 另外,基础化学实验课中还增加了一些与生活热点息息相关的实验项目,如饮用水中一些离子含量和硬度的测定、自来水中氯离子的测定、蛋壳中钙镁含量的测定等,并在课余时间开放元素性质的测定,除加深理论知识学习以外,进一步激发学生的实验积极性,培养学生进行化学探究的兴趣。

另外,为了提高泰山学堂化学取向学生对英文文献的阅读能力,我们还尝试在泰山学堂化学取向学生的基础化学实验中增加英文实验教材的使用训练,如在无机化学实验的部分项目中,不仅要求学生进行英文实验教材的学习,还要求学生在实验之后用专业英语进行实验报告的书写和对实验之后的反思。学生在英文文献的学习和实验报告的书写过程中,很快就实现了化学实验术语的熟练应用。

2.2 增设大型仪器实验选修项目

依托山东大学化学与化工学院成分与结构测试中心、国家重点实验室等平台,根据现有大型仪器选择典型实验内容,为学生开设大型仪器实验选修课。如气相色谱-质谱联用仪、元素分析仪、X射线衍射仪、核磁共振波谱仪、扫描探针显微镜、透射电子显微镜、共聚焦激光荧光扫描显微镜和电化学扫描隧道显微镜等。通过大型仪器实验项目教授学生大型仪器工作原理以及对分析结果进行解析的能力,而且为大型仪器在拔尖学生综合化学实验课中的应用打下基础。

2.3 综合化学实验项目改革

组织全院科研成果丰硕的教授,根据学科前沿发展趋势结合自己最新的研究成果,重新构建涵盖无机化学、有机化学、分析化学、胶体与界面化学、电化学、计算化学、高分子化学、材料化学等学科,并可与大型仪器相结合的、难度高、工作量大的新型综合化学实验,全方位系统训练学生的综合研究能力。例如赵宝祥教授设计的综合化学实验——基于罗丹明结构荧光探针的合成与应用,将有机小分子荧光探针在有机功能材料和分析化学方向的最新研究成果与本科化学实验教学相结合,让学生在体验有机化学前沿科技成果的同时,综合锻炼了化学合成、结构表征及实际应用的能力。在拓宽学生视野,培养学生基本的研究能力方面收到了良好的效果。

3 改革实验教学方法

在实验教学过程中,教师发现很难监控学生课堂之外的学习效果。比如学生实验之前的预习效果和实验结束之后的反思总结等,教师缺乏有效的监测手段。因此,为了进一步提高学生实验课堂之外的学习效果,调动学生学习有机化学实验的主动性和积极性,传统的有机化学实验教学模式需要在课堂内、外的结合及学生学习效果的监测等方面进一步加强。

3.1 开发网络实验教学资源,建设虚拟仿真实验室

录制详尽的基础有机化学实验教学视频,并将实验视频的观看与预习效果的在线测验结合,构建实验预习的网络监控体系,只有通过预习检测的学生才被允许进入实验室进行实际操作。在构建实验预习平台的同时,可以进一步加强实验室安全教育,增强学生处理各种危险化学品及应对各种突发事件的能力。另外,在网络教学平台上可以构建实验后的总结讨论专区并设置相应的反思测验,进一步加强教师对课堂之外学生学习效果的监控。目前,无机及分析化学实验课程基本操作录像和全部课程录像已实现网络资源共享,有机化学实验课程的基本操作实验和部分合成实验也已经实现了网络预习,在实际的教学工作中,取得了良好的教学效果。

同时,我们一直在加强虚拟仿真实验室的建设,丰富了实验内容,特别是一些有毒有害、实验条件苛刻、污染严重的实验,可以通过虚拟仿真实验得以完成。以理论与计算化学山东省重点实验室为依托,设计了一系列分子水平上的虚拟仿真实验项目,相关教材《分子模拟——理论与实验》也已由化学工业出版社出版。

3.2 采用探究式教学方法,发挥学生的主体地位

改变传统的“教师讲、学生学”的灌输式实验教学模式,在实验课堂上广泛采用翻转课堂的探

究式教学模式,使学生成为实验操作技能及实验原理的讲解员,让学生参与到教学过程中去,教师只进行必要的补充和辅导。比如在有机化学实验的教学中,将难度较低的沸点测定、简单蒸馏等章节交给学生讲解。学生为更好地完成教学任务,须课下自主学习,查阅文献并提交备课笔记,在此过程中既加强了学生自主学习的能力,也取得了良好的实验教学效果。

3.3 建设拔尖学生专用的开放实验室

为了给泰山学堂化学取向的学生提供更广阔的个性发展空间,为学生进行更加系统全面的实验训练和科学研究提供平台,化学院在实验教学中心设立了专门的拔尖学生专用实验室,鼓励学生根据兴趣爱好并结合开放创新实验课题,在课余时间进行探索实验。学生经过预约及备案之后,即可使用专用的开放实验室,化学院在师资、经费等方面给予充足的支持。

4 加强教师队伍建设

为提高实验教学水平,泰山学堂采用聘任的方式,建立了一支学术水平高、教学能力强的实验课授课队伍。同时,泰山学堂实行全面的科研导师制,聘任长江学者特聘教授、国家杰出青年基金获得者、海外特聘教授等高层次学科带头人作为学生的科研导师,从而保证了泰山学堂化学取向的学生能接受到最好的实验技能培训。

另外,泰山学堂还采用荣誉激励+经济补偿的方式,进一步调动优秀教师进行实验授课的工作积极性。从而有力地保证泰山学堂的学生能接受到一流师资队伍的教育。

5 改革实践与实施效果

经过九年的探索与实践,山东大学化学专业拔尖学生培养成效显著。泰山学堂化学取向的本科生毕业生具备了文献检索、资料分析、实验的设计和实施、数据处理、实验的反思与改进等各个方面独立开展科学研究的能力,学生在创新能力及科研素养方面达到甚至超越了普通研究生的水平。近五年本科生以第一作者发表SCI论文13篇,参与发表论文60余篇,其中不乏高水平学术论文。

在参与拔尖班实验教学体系改革与探索的同时,山东大学实验教学中心也取得了丰硕的实验改革成果。近年来承担教学改革项目30余项,其中省部级2项、校级28项;获得省部级教学成果奖2项、校级3项;公开发表有关的实验教学改革论文20余篇;新编出版了《物理化学实验》《分子模拟——理论与实验》等实验教材,教材中体现研究型教学理念,注重教学成果、科研成果的应用。以上成果的取得与教学效果的提高形成了良性的循环。

6 结语

经过多年的建设与实践,将研究型、创新型实验教育理念融入到化学专业拔尖班的实验教学中,构建了“基础实验+综合实验+开放创新实验+毕业论文研究”的螺旋式、立体化的研究型实验教学体系。通过基础实验综合化、教学内容层次化、开放创新实验项目化,实现基本操作实验、综合提高实验、研究创新实验和科创活动多种实践教学模式的有机组合。围绕着新的实验教学体系,通过更新和完善实验教学内容和教学方法,推动教学实验室为辅、科研实验室为主的研究型、创新型实验教学体系的完善和发展,从根本上形成了以学生为主体的实践教学模式,成效显著。

参 考 文 献

- [1] 杜玉波. 探索拔尖创新人才培养新机制. 中国高等教育, 2014, No. 2, 4.
- [2] 董文杨. 我国高校拔尖创新人才培养模式案例研究[D]. 武汉: 湖北大学, 2014.
- [3] 龙瑞军, 安黎哲, 张稳刚, 徐鹏彬. 高等理科教育, 2015, 122 (4), 97.
- [4] 王军, 赵文斌, 杨林. 实验技术与管理, 2001, 18 (2), 99.
- [5] 秦钢年, 黄大明, 卢福宁, 吴泽骏, 廖庆敏. 实验室研究与探索, 2012, 31 (1), 102.