•教育专题• doi: 10.3866/PKU.DXHX201807007 www.dxhx.pku.edu.cn

强化能力培养的化学实验实践教学新体系的建设与实践

李维红，张奇涵，吴忠云，朱志伟，高珍，裴坚*
北京大学化学与分子工程学院，化学国家级实验教学示范中心，北京 100871

摘要：北京大学化学与分子工程学院在多年实践的基础上，以“加强基础、注重能力、引导创新”为核心目标，将基本操作实验和专业训练、设计及综合实验与科研训练充分融合，建立了一体、多元、开放的实验实践教学体系，按基础、提高和科研实践三个层次组织实验实践教学活动，每个层次虽然承担不同的任务，但彼此之间又相互配合，成为一个有机的整体。在教学中重视实验过程，利用学生讨论互动、作业和总结等环节引导学生进行主动学习。充分将各学科的科研优势转化为教学优势，促进学生成长。

关键词：实验实践教学体系；科研训练
中图分类号：G64；O6

Enhancing Professional Skills Based on a New Chemistry Laboratory Curriculum and Teaching Practice

LI Weihong, ZHANG Qihan, WU Zhongyun, ZHU Zhiwei, GAO Zhen, PEI Jian *
National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education, College of Chemistry and Molecular Engineering, Peking University, Beijing 100871, P. R. China.

Abstract: To fulfill the education goal of “enhancing the base, focusing on capability development, and cultivating creativity”, the College of Chemistry & Molecular Engineering at Peking University has developed an open, integrated and diversified laboratory teaching system. This system integrated basic operations, comprehensive experiments, and research projects based training into a curriculum. With each teaching mode serving for a specific teaching objective, the whole curriculum provides a complete training for the ultimate goal. Efforts have been made to facilitate the teaching-learning interaction and the motivate exploration interests of students. The professional development of students improved greatly based on the advantageous scientific settings of the college.

Key Words: Laboratory teaching system; Research practice

在当今人工智能日新月异发展的时代，化学这门古老的学科如何吸引优秀学子，又如何通过大学教育把他们培养成适应社会发展需要的人才，是高等学校化学院(系)必须重视和认真研究的问题。化学是一门以实验为基础、理论与实验并重的学科，与同样是传统学科的数学和物理相比，化学专业的学生不仅需要掌握数学、物理和化学的基础知识，还需要进行大量的实验和实践训练，而且这种训练通常需要贯穿大学四年的学习过程。相应地，化学专业的学生需要在实验课程和实践活动中花费大量的时间。因此，实验教学在化学类专业人才培养中的作用是非常重要的。然而，目前大家对实验教学的重视是远远不够的，实验教学内容主要为“注入型”实验，严重限制了实验教学理念

收稿：2018-08-03；录用：2018-09-04；网络发表：2018-09-07
*通讯作者，Email: jianpei@pku.edu.cn

的提升与发展，难以实现新时代人才培养目标。多年来，各高校也在不断进行实验课程的改革[1–4]，努力使实验课程变得更加创新、更加接近科研前沿，但收效并不显著。

北京大学化学学科具有悠久的历史，在历次教育部学科评估中均名列榜首，在全球位列 15 名左右。为了把学科优势转化为教学优势，北京大学化学基础实验教学中心不断探索和实践，尝试建立“一体、多元、开放”的实验实践教学体系，将整个实验实践教学体系作为一个整体进行教学内容和教学方式的设计，形成了实验实践教学新体系，并取得良好效果。

1 围绕人才培养目标建立和完善实验实践教学体系

北京大学化学与分子工程学院始终以培养具有独立思辨能力和国际竞争力的杰出人才为使命，致力于培养具有宽厚而扎实的化学知识基础，有自主学习的能力和创新意识，有良好的学术素养和健全人格的基础科学研究与教学的后备人才。

本科生对学科最原始的感性认识往往是在实验课程中建立的，化学实验室也是学生最早了解本学科研究手段和方法的场所。实验教学区别于理论教学的最显著特点就是学生在实验过程中要做到手脑并用，全身心投入地动手实做，才能将理论知识运用到相应的实验中，将基础知识、基本技能和基本实验方法等融会贯通。为此，在实验教学和科研实践中，除了要求学生掌握知识和实验技能以外，还希望学生能通过仔细观察发现问题、通过认真思考提出方案、通过亲自实践解决问题，使发现问题、提出问题、解决问题成为习惯。

为实现上述目标，在多年实践的基础上，化学学院以“加强基础、注重能力、引导创新”为核心目标，按基础、提高和科研实践三个层次组织实验实践教学活动。在本科一年级开设普通化学实验，通过经典实验引导学生学习实验相关的理论知识、基本实验技能、实验室规范和统筹安排时间的方法，进而培养学生观察、思考和实践的能力。在同一学期，为修普通化学实验的学生开放实验室。之后，根据每个二级学科的特点分设定量分析化学、有机化学、无机化学、仪器分析、物理化学、化工基础等六门必修基础实验课程，由具有相关专业研究背景的教师组成教学小组，向学生完整展示化学各二级学科的特点、研究思路和方法以及专门实验技能。在必修的基础课程之后增加以设计型、探究型实验为主的中级分析化学、中级有机化学、中级物理化学等选修实验课，这些课程又是将来学生保送化学学院攻读研究生的必修课。通过设计探究型的实验项目引导学生查阅前沿文献，自主设计实验方案开展实验，有助于进一步提高学生解决实际问题的能力。在毕业论文之前开设跨两个二级学科的综合化学实验课程。从 2008 年春季学期开始，化学学院将国家级实验教学示范中心的优质教学资源与化学学院的优质科研资源有机地结合起来，把综合化学实验的教学活动延伸到科研学术组，形成了在基础教学实验室进行的单元型综合实验和在科研学术组开展的研究型综合实验两种教学模式，为学生提供了直接接触科研前沿、解决实际问题的实践平台。这样的实验教学体系是一套较为完整的化学专业实验实践教学体系(图 1)，体现了一体化、多层次、开放式、重基础、求创新的思想。

图 1 北京大学化学实验实践教学体系

2 基础实验重视过程，促使学生养成主动学习的习惯

基础实验课程并不是“只是对理论知识进行验证”，而应以培养学生独立思考、自觉运用所学理论解决实际问题的能力为目的。虽然基础实验课程的教学内容仍然以基本操作实验和典型实验为主，在实验教学过程中，我们始终贯彻“以学生为中心，以教师为主导”的教育理念，通过增加学生讨论互动、作业和总结等环节，引导和督促学生在动手实做的过程中运用已有的理论知识，提高学生在实验各环节的参与程度。

2.1 课堂讨论

各门课程的讨论环节均以学生发言为主，不以得到明确结论为目标，而是作为对学生进行的发现问题、提出问题、分析问题的思维训练。

不同实验课程讨论的内容和形式各有侧重。普通化学实验的讨论安排在每次实验后半段时间，前半学期以讨论实验过程中出现的问题为主，后半学期则主要安排学生提前阅读与实验相关的文献，并进行讨论。例如：在“提纯氯化钠”实验中讨论影响提纯产物收率的主要因素；在“铜、银、锌、镉、汞”实验中从软硬酸碱理论出发解释为什么 Cu(I)在水溶液中不稳定[5]，并提供 R. G. Pearson [6] 于 1963 年发表的论文供学生阅读。定量分析实验则把课堂讨论放在第二次实验开始前进行，使学生经过一周的总结与反思后，再与同学们分享对实验原理和操作原理的理解。学生们讨论最热烈的一个问题就是“有近 300 年历史的容量分析法为什么至今仍然有生命力？”有机化学每次实验中都会提出一些思考性问题供学生讨论。如：在“三组分混合物的分离”实验中尝试让学生采用不同的实验方案，并讨论每个方案的优缺点；在“正溴丁烷的制备”实验中讨论“为什么很多有机反应在回流下进行”。物理化学实验由于是循环实验，则在两次实验之后安排 1 小时的学生讨论，由学生将所学知识和技能加以总结，互相交流。学生之间积极的、良性的互动能促进学生更加主动地学习。

2.2 课后作业

除了实验报告外，还通过布置作业使学生对一些经典实验所涉及的基础知识、基本技能和基本方法加深理解。例如，定量分析实验将全年级学生的实验数据收集在一起后发给每个学生，请学生对数据进行统计处理，并对照教师给出的参考答案，针对自己的结果给出分析、结论和评价。有机化学实验则尝试在实验结束后，从“蒸馏方法和操作”“结晶和重结晶”“有机液体干燥”“萃取分液方法”“反应投料方式”“反应后处理及纯化方法”等不同实验技术中选择自己感兴趣或最有收获的题目加以总结，写成书面作业并相互交流。物理化学实验则在整个教学过程中针对误差分析、实验结果的表达形式、物理化学的基础知识等布置 3 次作业，以帮助学生加深对物理化学实验的理解。

2.3 教师和助教总结

经过一定时间的实验教学，教师往往能发现一些在学生中普遍存在的问题，如能及时总结并提醒学生，则可有效改善学生后续的学习状况。例如，在普通化学实验中要求助教在期中时为学生做基本操作的总结，并就学生实验和个人授课中存在的问题写出书面总结提交主讲教师。在定量分析实验的教学中，安排有专门的操作考查，以及时发现并纠正学生的不规范操作。在有机化学实验的教学中，每次实验除讲解当次实验外，还要安排实验操作问题总结环节。除绪论课外，主讲教师也尝试在期中或期末面向全体学生进行总结，教师的总结往往会重申教学目的，总结操作规范，起到释疑解惑的作用，帮助学生发现问题并加以改进。

2.4 评分标准

各实验课程的评价更注重考查发现和解决问题的过程，同时也体现各二级学科的特点。在普通化学实验中，实验过程占每次实验分数的 60%，实验报告占 20%，预习和课堂讨论各占 10%。定量分析实验通过规范操作达到数据准确的目的，实验评分中操作和技能与预习和记录同等重要，各占 35%，数据与结果占 25%，安全与纪律与卫生占 5%。有机化学实验在日常实验中从预习与记录、安

全卫生与环保、主持和参与讨论、实验报告等方面对学生进行综合考评，另设三个考查实验项目，考查学生的实验技能和能力，以实验结果计入总分。不同的实验课程针对各自特点，利用评分标准将学生引导到重要的教学环节中，从而引导学生建立探究意识和批判性思维，培养学生基本的实验实践能力。

3 在大学一年级开放实验室，提高学生自主实践和自我管理能力

在普通化学实验教学过程中，我们在每周五的下午面向化学类大一学生开放实验室。在实验室开放时间内，学生可以重复课内实验，以达到巩固和掌握具体的实验技能的目的；也可以通过与教师预约，请实验室提前准备试剂和仪器，做自己感兴趣的拓展和探究型实验。

在进行课外探究实验时，我们建议学生组成 2–3 人的小组，以小组讨论的方式确定具体实验计划，通过分工合作来完成实验，并要求学生以小论文形式进行总结。2009 年以来，学生在实验室开放期间进行了“高锰酸钾氧化机理的探究”“Cu 与 TAA 配合物的探究”“硫化银纳米颗粒的制备”“阿佛加德罗常数测定实验的绿色化”“电化学法测定难溶一元弱酸的电离常数”等多个实验。自主探究和总结的最大成果不是几篇小论文，而通过探究过程是培养了学生的自主实践能力。学生不仅能很明确地认识到自身的优点，也充分认识到自身存在的问题，如基础知识欠缺造成的实验设计思路不连贯、步骤不合理；不良的实验习惯带来的实验混乱；阅读文献不充分带来的实验无法进行等。

为了严格管理，我们制定了开放实验室的使用规则，要求学生在使用开放实验室时填写“开放实验室登记表”或“探究实验登记表”。在实验室开放期间指定 1–2 名学生负责实验室的安全、纪律、卫生方面的管理，提升了学生自觉遵守规则和自我约束的能力。每年约有 30%的学生不同程度地利用开放实验室进行自我训练。

4 利用中级实验和综合实验培养学生解决实际问题的能力

中级实验课程安排在各二级学科基础实验课程完成之后开设，化学学院共有中级分析化学实验、中级有机化学实验和中级物理化学实验等三门中级实验课。每门课程在开课之初由教师提供实验题目，要求学生根据参考文献，选择合适的实验方法、实验条件、仪器和试剂等独立设计实验方案，教师需要在实施前对学生的实验方案进行评估，给出意见和建议，经过师生多次讨论后确立最终的实验方案。学生在实验过程中则需要灵活、合理地运用各种实验技术，遇到问题时及时与教师沟通，随时调整方案以解决实际问题。中级实验引导学生以研究的心态做实验，实验项目往往与实际问题相关。例如中级分析实验开设“寒痛乐”药剂中主成分含量分析、未名湖水中某些离子含量的测定、$Fe_{1-x}Cu_xSe$ 超导体的组成及价态分析。中级有机实验则注重实验技术的综合运用，让学生能从做有机反应过渡到真正地做有机合成，实验项目包括：褪黑激素的合成、托品酮及衍生物的合成、不同催化条件下进行的羟醛缩合反应。在中级实验中，任课教师和研究生助教还将自己科研项目中的一部分转化为学生实验，如“碳量子点的合成及性质探索”“金纳米粒子的制备及其表征”，不仅有助于提高学生的兴趣，还可激发学生进行深度学习和探究性学习的热情。

中级实验是各门二级学科实验课程的延伸，而综合化学实验则至少是两个二级学科的综合。化学学院不仅逐年增加从学院科研成果中转化而来的新型单元型实验项目，还同时将教学活动延伸到课题组，将国家级实验教学示范中心的优质教学资源与化学学院的优质科研资源有机地结合起来，形成了单元型和研究型两种教学模式。研究型实验要求学生在课题组完成，比在实验中心进行的单元型实验更加开放，给学生提供了解决真实科研中小问题的学习实践平台，使学生深刻了解到研究工作的复杂性及不可预见性，在实践中逐步感受科学研究，在更宽松的环境中和更高的层次上主动学习，培养学生的创造性思维和实践能力，为学生最终在课题组完成毕业论文搭建了从实验课到科研实践的桥梁。

5 搭建立体化的科研实践平台，促进学生成长

教育的目的是为了将学生培养成为具有探究意识、会自主学习、实现自我成长和完善的个体。教学内容的设置除了教授学生知识和培养技能外，其导向更重要的是激发和保护学生对真实世界中未知事物的关注和探究兴趣。教学平台的搭建为其提供了探究的渠道。

先进的高等教育背后是先进的科学研究，化学学院依托学科门类全、师资水平高、科研实力强等优势，对本科生课外科研训练的指导和投入的力度不断加强。学院鼓励一年级学生通过参加组会、师生面对面等活动了解学院的科研情况。学校及学院为学生进入课题组进行科研实践提供基础科学人才培养基金、校长基金等科研项目资助。项目从二年级暑假开始，学生须完成项目申请书撰写，利用课余和假期时间进行科研实践，提交中期进展报告和结题报告，制作结题展板，进行结题答辩等科研的全过程。学院在多年实践中形成了包括立项遴选、中期检查、结题验收答辩、成绩评定、成果奖励等的完整制度[7]，保证了学生参与课外科研实践活动的质量。

本着因材施教的方针，化学学院对本科生科研还制订了合理的退出机制，导师也能以宽容的态度处理好学生退出问题。这种方式有利于吸引更多的学生进行科研尝试，对于没有完成科研项目的学生，也是一次有益的经历。

除此之外，化学学院还努力为学生创造多样化的国际交流机会，从二年级开始逐步选派优秀的学生赴国际著名大学和研究机构，如：斯坦福大学、麻省理工学院、Scripps 研究所等进行暑期科研交流和更长期限的课程学习和科研训练。

对于有志于从事化学及相关研究的学生，则需要在本科阶段的最后一学期在课题组完成 600 小时的毕业论文工作，体验科学研究的完整过程。自 2012 年，在学院层面上组织本科毕业论文答辩，教学委员会制定了一系列规范本科生答辩的措施，规范以本科生为主体的学术交流活动，也让学生在了解不同专业的前沿工作时碰撞出创新的火花。答辩期间所有的本科毕业论文都要在学院内进行为期一周的展示，以使教师和学生更好地了解毕业生的科研工作。

化学学院一直致力于为愿意从事科研工作的学生提供最优秀的科研训练环境，这些训练并不局限于培养专业人才，而是作为训练科学思维、了解科研方法、加强研究能力等科学素养的载体。这种多渠道、立体化、具有合理退出机制的科研实践平台是化学学院重视本科生创新意识和批判性思维培养的重要体现。

6 结语

多年来，化学学院坚持在继承中求发展，在发展中求创新，积极探索，努力实践，建立和完善了充分体现化学学科后备人才培养目标的一体、多元、开放的实验实践教学体系。在实验实践教学中，通过在低年级开放基础实验室、为高年级学生搭建科研实践平台的方式提高学生自主实践、自我管理、独立解决问题的能力，进而激发学生的创新意识。做到以严格的专业训练培养学生的批判性思维，以卓越的科研启迪学生的创新思维，以融洽的教与学的体验激发学生对知识的热爱和追求，使学生在大学本科四年的实验实践教学过程中逐步养成发现问题、提出问题、解决问题的习惯，促进了教学与科研的良性互动，增强了学生自主学习的能力，实现了对学生知识、能力与素质的全面培养，并为学生进一步从事化学及相关学科的基础研究和应用研究奠定良好的基础和树立坚定的信心，进一步提高了人才培养质量。

为培养面向未来、引领未来的人才，使本科生成为真正懂自己、懂社会、懂中国、懂世界的人，北京大学从 2016 年开始实施以人才培养体系改革为主的本科教育综合改革。化学学院还将进一步梳理、整合、凝练化学的核心课程，明确了专业最基本的培养要求，本着通识教育与专业教育相结合的原则，制订了新的本科教学计划。为此，我们需要重新思考实验课程的教学理念、教学内容及学时分配、教学模式，对教学管理进行研究，对教学效果进行合理的评估，使得实验教学在培养拥有跨学科解决问题和具有创新能力的人才过程中起到应有的作用。

致谢：感谢北京大学化学与分子工程学院李娜教授在论文写作过程中的有益讨论。

参 考 文 献

[1] 张树永, 朱亚先, 张剑荣. 大学化学, **2018,** *33* (10), 1.
[2] 李厚金, 赖瑢, 朱可佳, 张利, 陈六平. 大学化学, **2017,** *32* (4), 21.
[3] 张树永, 张剑荣, 陈六平. 大学化学, **2016,** *31* (9), 1.
[4] 李淑妮, 翟全国, 蒋育澄, 胡满成. 大学化学, **2018,** *33* (3), 36.
[5] 北京大学化学与分子工程学院普通化学实验教学组. 普通化学实验. 第3版. 北京: 北京大学出版社, 2012: 82, 159.
[6] Pearson. R. G. *J. Am. Chem. Soc.* **1963,** *85* (22), 3533.
[7] 张奇涵. 实验技术与管理, **2012,** *29* (2), 13.

欢迎订阅《大学化学》

《大学化学》是由教育部主管，北京大学和中国化学会共同主办的教育研究性学术刊物。以促进深化大学化学教育改革为宗旨，为提高我国化学教学水平服务。读者对象为高等学校化学教师、研究生、本科生，中学化学教师，对化学有浓厚兴趣的中学生，以及化学教育领域的各级管理人员和其他岗位上的化学工作者。主要栏目有：今日化学、教学研究与改革、知识介绍、化学实验、师生笔谈、自学之友、大学化学先修课程、竞赛园地、未来化学家、科普、国外化学教育、化学史以及专题讨论等。

《大学化学》现为月刊，大 16 开本，亚光铜版纸印刷。2019 年每本定价 20.00 元，全年出版 12 期，共 240.00 元。

全国各地邮局均可订阅，邮发代号：82-314。为方便读者订阅，本刊编辑部全年办理邮购业务。

地址：北京大学化学学院《大学化学》编辑部
邮编：100871
电话：+86-10-62751721
邮箱：dxhx@pku.edu.cn
网址：http://www.dxhx.pku.edu.cn

《大学化学》编辑部