

化学学科发展新形势下研究生课程体系建设的实践探索与思考

李巧伟*, 王华冬*, 侯军利*

复旦大学化学系, 上海 200433

摘要: 目前化学学科发展面临科学技术进步迅速、多学科快速交叉融合以及信息大爆炸的机遇。如何建立适应新形势的课程体系, 是当前化学研究生教育面临的难题之一。本文介绍了复旦大学化学系针对研究生培养过程中发现的课程体系短板, 在强化化学基础课程建设、加强实验安全课程建设、课程与科研联动补强等方面做出的实践探索。重点建设四门基础课程, 强调知识与能力的一体化, 培养科学评判精神; 开设实验安全课程系统培养安全思维, 提升研究生安全意识和应急处理能力; 在培养方案上通过打破二级专业壁垒, 建立优生优培特区, 改革课程考核制度实现课程与科研的联动补强。

关键词: 研究生课程; 课程建设; 基础课程; 实验室安全教育

中图分类号: G64; O6

Exploration and Reflection on Graduate Curriculum Development under the New Paradigm of Chemistry Advancement

Qiaowei Li*, Huadong Wang*, Junli Hou*

Department of Chemistry, Fudan University, Shanghai 200433, China.

Abstract: The field of chemistry is currently experiencing rapid advancements in science and technology, swift interdisciplinary integration, and explosion of information. One of the key challenges in graduate chemical education is the development of a new curriculum system which adapts itself to these new circumstances. In this article, efforts on constructing up-to-date curriculum in the Department of Chemistry, Fudan University are introduced. The department has focused on strengthening the foundation of chemical education, enhancing laboratory safety education, and integrating coursework with research activities. Specially, it has developed four foundational courses designed to integrate knowledge with skills and foster a spirit of scientific inquiry. Additionally, a comprehensive laboratory safety course has been implemented to cultivate safety consciousness and emergency response capabilities among students. Furthermore, in the curriculum reform, by removing the course boundaries between sub-disciplines, establishing a merit-based specialized training zone, and reforming the course assessment system, the integration of coursework and scientific research is strengthened.

Key Words: Graduate course; Curriculum development; Foundational course; Laboratory safety education

化学是一门理论与实验并重的物质科学, 一直肩负着为社会创造新物质、发现其新功能、实现其新应用的重任。作为创新人才后备主力军的研究生, 其培养过程中的课程体系建设关乎人才培养的质量。目前, 化学学科发展面临科学技术进步迅速、多学科快速交叉融合以及信息大爆炸的机遇^[1]。如何结合化学学科的特点, 建设新的课程体系以适应当前学科发展的新形势, 是当前研究生

培养过程中亟需解决的问题之一。在此，我们将以复旦大学化学系研究生课程体系为例，介绍我们在该方面做的一些实践探索与思考。

复旦大学化学系是复旦大学化学专业硕士研究生和博士研究生培养的主要承担单位，涵盖了无机化学、有机化学、物理化学、分析化学、化学生物学五个二级学科。近年来，随着研究生教育改革的不断深入，化学专业研究生规模不断扩大，目前拥有在读研究生780余人，其中直博生、普通博士生(含硕转博)近580人(表1)。在近年的研究生培养实践中，我们发现入学研究生整体质量逐年提高。绝大部分学生在入学时已具备良好的四大化学基础知识积累，并且多数学生具有在本科期间参与课题组研究的经历。然而，我们也发现(1) 学生在化学知识学习上通常“一知半解”，主动学习获取知识方面能力不足，缺乏科学质疑、批判精神，缺乏独立自主的思考；(2) 多数同学在本科期间并未受到良好的实验安全教育，或者实验安全教育仅停留在学习规范条款的层次，无法在科研实境中严格贯彻安全理念和实践，需要重新回炉打造良好的安全习惯^[2]。(3) 研究生培养方案中设置的课程学习环节与实践探索、科学研究等互相脱节，无法相互促进，课程修读方案与多学科快速交叉融合的趋势违背，某种程度上并未打破以“考试”为目标的课程教育模式。

表1 复旦大学化学系化学专业硕士研究生和博士研究生培养学制及学分设置

学分数	全日制博士	硕博连读生	本科直博生	学术型硕士生
	(4学年)	(6学年)	(5学年)	(3学年)
学位公共课(政治理论、外国语、专业外语)	5	10	9	8
学位基础课	0	9	9	9
学位专业课及专业选修课	7	16	16	10
其他选修课	3	3	3	3
学术和实践活动	3	4	4	4

1 研究生课程体系建设的实践探索

针对上述化学学科发展新形势以及培养过程中发现的课程体系短板，近年来，复旦大学化学系逐步改革优化了研究生课程体系，在强化化学基础课程建设、加强实验安全课程建设、课程与科研联动补强等方面做出了实践探索(图1)。



图1 学科发展新形势下复旦大学化学专业研究生课程体系建设的实践探索

1.1 强化学科基础课程建设

化学系目前建设了“高等无机化学”“高等有机化学”“高等结构分析”“量子化学原理及应用”四门研究生学位基础课程，课程学分数均为3学分。在修读上设置了至少四选三的要求，以强化学生的化学基础知识。在课程教学方面，四大基础学位课程都建立了以老带新的团队模式，确保教学质量。在课程内容设计上，我们强调课程教学内容与科学研究实践的衔接性，并加强对学生科学质疑精神的培养。

举例来说，“高等无机化学”课程注重与其他学科和领域的交叉性，选取了晶体学、配位化学、超分子化学、有机金属化学、生物无机化学、无机材料合成机理及表征六大模块内容。以激发学生的学术兴趣和潜能，使之具备持久的学术竞争力为目标。课程使用近10年发表的国内外论文文献200篇以上，将液态阳光、石墨炔、聚集诱导发光、介孔材料等具有鲜明中国原创标签的前沿成果引入教学。但教学不流于前沿综述和研讨，更聚焦科学突破背后的化学原理。课程设计了多例后续研究否定他人已发表结果的案例，鼓励学生对既定结论合理质疑，培养科学批判精神，营造宽松自由的学术氛围^[3,4]。“高等结构分析”课程在理论教学的基础上，同时设计了8个实验环节供同学选修，使理论教学与高阶实验教学融合，通过知识探究、能力建设的一体化课程设计提高人才自主培养的质量。“量子化学原理及应用”面对知识背景差异明显的研究生，强调知识的广度以及对学生今后科研工作的实际促进作用，确保各个不同研究方向的学生都能针对自身研究体系建立量子化学(量化)思维，并能简单地使用量化工具助力研究。

1.2 加强实验安全课程建设

化学实验室是化学学科研究生培养的重要场所，在化学及相关学科发展中起着不可替代的作用。近年来，我系化学实验室的建设得到了进一步加强，化学实验室的种类与数量快速增加。与此同时，探索性实验、仪器设备及危险化学品的数量都大幅增加，为化学实验室的安全使用提出了新挑战。如何适应这种新形势，培养化学及相关专业研究生的实验室安全意识、安全知识和安全技术，既是直接关系到师生健康及生命财产安全的重要问题，也是研究生培养体系中不可或缺的一环。在此背景下，复旦大学化学系自2022年起开设了1学分的“化学实验室安全”课程，将其作为化学专业硕士和博士研究生的必修课程。

在教学过程中，我们介绍了化学实验室中常见危险源(例如有毒有害、易燃易爆、腐蚀性、高温、高压、真空、辐射等)，并讲授了如何通过认识危险、评估风险、降低风险和紧急预案等手段，降低实验安全事故的发生概率及其对生命财产安全造成的影响。此外，我们还通过一系列实验室事故案例的讲解，阐述危险源的产生及相关安全措施的原理，培养学生在开展探索性试验时的安全思维。课堂上，我们引导学生围绕其自身经历过的实验室“未遂事件”(near miss)进行讨论^[5]，通过对未造成财产损失和人员伤害的潜在的危險或事件的分析，加强安全意识，丰富安全知识。我们还邀请了化学相关企业的管理人员，介绍企业的安全制度规范及安全管理经验，拓展学生对安全工作的理解。在讲授理论知识之外，我们还与学校保卫处等相关部门合作，开展消防、逃生等演习，切实提高学生的应急处置能力。

1.3 课程与科研联动补强

以培养基础扎实、兴趣浓厚、视野宽广、理想远大、潜力出色的化学高层次后备人才为目标，顺应目前化学学科高度交叉的形势，我们在培养方案设计强化课程教学与科研的联动性^[6,7]，具体做了如下探索：

(1) 打破各二级学科专业的壁垒，允许且鼓励学生修读跨二级学科方向的学位专业课和专业选修课。在课程类型上，我们模糊了学位专业课和专业选修课的区别，所有课程(55门)对全系学生开放。对直博生而言，在总计需修读的16学分的学位专业课和专业选修课中，允许学生修读最多8学分的非二级学科方向的课程。此外，我们将由其他相关院系开设的“现代生物学研究方法”“生物统计学”等课程引入培养方案，确保学生可以根据自身研究的交叉性有针对性地修读。在化学一级学

科内部,近年来新推出了“单分子科学原理与模型”“流动化学与工程”等交叉型课程,也与新加坡国立大学生命科学系相关团队合作开设了“化学生物学前沿”国际课程,以促进学生综合能力的提升。为了适应化学与其他学科的高度交叉形势,在跨一级学科课程的修读方面,学生可以基本上选修任何化学专业外的研究生课程。在改革前,学生只能修读材料化学、化学生物学等高度相关学科的课程;改革后,学生可以修读微电子、人工智能等交叉类课程。化学系将推出与复旦大学哲学学院相关学者合作的“科技伦理”课程,实现理工科与人文学科的交叉。上述改革举措受到学生的广泛欢迎。

学生是推动课程改革的重要力量。在课程效果调研中,学生对允许修读跨二级学科方向的学位专业课和专业选修课有很强的呼声。在打破各二级学科专业壁垒的第一学期,近60%的研究生选修了跨二级专业课程,近20%的研究生在研究生第一学期就修读了至少2门跨专业课程。后期,我们将通过调查问卷、深入访谈等形式,进一步对改革后的课程对学生学术和职业发展的促进作用进行调研。

(2) 通过“卓博计划”和“强基计划”建立本研一贯制学生培养特区^[8]。鼓励通过“本研贯通”的学分互认体系优化课程修读方案,入选“卓博计划”的学生在专业课程修读上不设置任何修读限制,鼓励学生与导师讨论制订个性化培养方案。通过“卓博计划”和“强基计划”打造长链条贯通式人才培养通道,显现“优生、优师、优培”集聚效应。

(3) 建立“以学生能力为中心”的课程考核和博士资格考核制度^[9]。在博士资格考核上,创新性地使用开卷考试,通过更加灵活开放的考试方式,更加注重学生的独立思考和对具体科研问题的见解,从而形成一种专注于原始创新和顶尖人才培养的学术和文化氛围。

(4) 成立了教学指导委员会之下的课程建设小组,统一负责新课程的开设、新教师的试讲等工作,并建立了每年2次的课程改革定期讨论制度,对课程内容进行持续规划。此外,化学系正推动化学类研究生课程建设、教学实践及评价体系的调研,将其与“国优计划”等相结合,在目前已有的教学评价基础上,对课程在提升学生科研能力、创新精神和实践技能方面的效果进行有效评估。此外,我们也将积极邀请学生参与新设课程审批等决策过程。

2 对课程体系改革方向的思考

对标国际顶尖学校,我们的研究生课程体系依然存在如下短板:(1) 课堂教学类课程比例偏高。以加州大学伯克利分校的化学博士培养方案为例,为了更加强调独立研究的学术氛围,课堂教学类课程的学分要求被尽可能地压缩^[10]。相反,大量的学分设置于实践环节(科学研究、科学讲座、助教等)。以物理化学方向的博士研究生为例,学生仅需要在前两个学期共修读4门课程,同时在第二学年修读1-2门课程。在更加注重博士生实践能力的今天,如何更好地平衡课堂教学和实践教学需要进一步探索。(2) 在课程设计上缺乏科研文化教育以及对学生科学沟通能力的培养。越来越多的学生崇尚“短平快”的科学风格,在科研氛围上以论文产出为驱动力,缺乏锐意进取、昂扬向上的学习和科研氛围^[11]。成熟的科研文化应当以科学兴趣为驱动力,崇尚具有突破性和持续发展潜力的0到1原始创新。同时,课程较少涉及对学生的科学表达和沟通能力的系统培养,使得学生不清楚怎么针对不同的听众传达自己的学术研究内容^[12]。我们将瞄准这些短板,进一步推动研究生课程体系改革,提升基础学科人才质量,从而全方位促进科技、教育、人才一体化发展。

3 结语

面对学科发展的新形势以及“以学生为中心”培养理念的不断发展,化学专业研究生课程体系改革是一项需要长期投入、不断迭代的系统性工程。复旦大学化学系在强化化学基础课程建设、加强实验安全课程建设、课程与科研联动补强等方面做出了有益的探索,在夯实学生基础知识、加强创新能力培养和实验安全文化培养方面取得了丰硕的成果。我们将进一步贯彻教育、科技、人才“三

位一体”协同融合发展的理念，为培养具有扎实化学专业基础、良好的科学素养和创新意识的复合型领军人才而努力。

参 考 文 献

- [1] 中国学科及前沿领域发展战略研究(2021–2035)项目组. 中国学科及前沿领域2035发展战略总论. 北京: 科学出版社, 2023: 151–153.
- [2] 康传红, 范乃英, 李光明, 秦川丽, 王彬, 李艳酥. 实验技术与管理, **2020**, *37* (2), 6.
- [3] Ogle, C. A.; Masterman, T. C.; Hubbard, J. L. *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* **1990**, 1733.
- [4] Dunbar, K. R.; Haefner, S. C. *Inorg. Chem.* **1992**, *31*, 3676.
- [5] Boewinski, R.; Finster, D. C.; Weizman, H. *J. Chem. Educ.* **2021**, *98*, 3824.
- [6] 江继军, 杨立群, 苏成勇, 阮文红, 朱芳. 大学化学, **2023**, *38*, 143.
- [7] 衣馨瑶, 张翼, 阳明辉. 大学化学, **2023**, *38*, 59.
- [8] 成巍, 李卉, 李乙, 郭玉鹏. 化学教育(中英文), **2022**, No. 43, 13.
- [9] 赵世奎, 高凌云. 研究生教育研究, **2023**, No. 4, 84.
- [10] Ph.D. Requirements. [2024-1-13]. <https://chemistry.berkeley.edu/grad/chem/phd>
- [11] Waaijer, C. J. F.; Teelken, C.; Wouters, P. F.; van der Weijden, I. C. M. *High Educ. Policy* **2018**, *31*, 225.
- [12] Bowe, K. A.; Green, A. R.; Gorske, Y. J. K.; Leshner, E.; Bauer, C. F. *J. Chem. Educ.* **2023**, *100*, 2836.