

化学专业本科生多维创新能力培养的探索与实践

刘城芳*, 刘绪, 赖文勇

南京邮电大学有机电子与信息显示国家重点实验室, 南京 210023

摘要: 面对飞速发展的时代, 培养具备多维创新能力的化学专业人才是国家发展的重要任务。针对化学专业本科生培养过程中存在的问题, 本文通过多样化的课程设置、个性化的精准指导和立体化的协同培养等方面, 开展“导师制-精准化-国际化”一制两化科研模式, 建立“项目-方案-基地”三元素实践模式, 实现“人才-学科-科研-产业”四位一体的协调发展的目标。通过多重手段和措施最终提高化学专业本科生的多维创新能力, 为化学专业的人才培养提供重要的思路。

关键词: 化学专业; 多维创新能力; 本科生教学

中图分类号: G64; O6

Exploration and Practice of the Cultivation of Multi-dimensional Innovation Ability of Undergraduates Majoring in Chemistry

Chengfang Liu*, Xu Liu, Wenyong Lai

State Key Laboratory for Organic Electronics & Information Displays (SKLOEID), Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210023, China.

Abstract: In response to the rapidly evolving era, cultivating chemical professionals with multi-dimensional innovation capabilities is crucial for national development. Addressing challenges in undergraduate training for chemistry majors, this study adopts diverse course structures, personalized guidance, and integrated collaborative training. It introduces a “mentorship-precision-internationalization” research model and establishes a “project-solution-base” three-element practical approach, aiming to achieve harmonized development across “talent-discipline-research-industry”. Through these strategies, the multi-dimensional innovation abilities of undergraduate chemistry students are enhanced significantly, providing valuable insights for the education and training of future chemistry professionals.

Key Words: Chemistry majors; Multi-dimensional innovation capabilities; Undergraduate education

化学学科具有广阔的应用领域、突出的交叉融合性和高的国际化程度等特点, 对于推动材料科学、能源开发、先进制造、生物医学和航天航空等众多领域的发展具有至关重要的作用^[1-3]。近年来, 化学与其他学科例如物理和生物等有机结合, 提供了其他学科研究的基础和支撑, 逐步进入新型交叉发展时代, 广泛应用于电子信息、药物研发、环境保护等领域, 推动了科技创新和技术进步, 对社会经济的发展起到了关键的推动作用。因此, 社会对化学学科需求的多维化越来越强。面向“人才是第一竞争力”的现代高速发展的社会, 化学专业本科生的多维创新能力如科学研究能力、创新

收稿: 2024-05-07; 录用: 2024-06-27; 网络发表: 2024-10-28

*通讯作者, Email: iamcfliu@njupt.edu.cn

基金资助: 国家自然科学基金面上项目(62274097); 南京邮电大学教学改革研究项目(JG03021JX92); 江苏高校青蓝工程; 南京邮电大学“课程思政”示范课程建设项目(SFKCJS202305)

思考能力和学科融会贯通能力等已成为化学专业拔尖创新人才的必备能力^[4,5]。全国高校主动布局教育领域，注重化学专业本科生的培养才能适应新模式的经济对人才的高要求和高标准。然而，传统的化学教学通常注重基础知识的传授，偏填鸭式教学，经常忽视启发学生的创新能力和自主意识，难以满足新时代对化学创新应用型人才的需求。虽然本科教育是大学教育的关键部分，但是关于化学专业本科生的多维创新能力培养的研究相对较少。化学专业本科生的多维创新能力培养是一个重要课题，不但涉及理论层面的探究，而且需要实践的支持。因此，本文以南京邮电大学化学与生命科学学院为案例，针对目前存在的挑战和问题，系统探索提高化学专业本科生的多维创新能力培养的具体措施。基于创新人才培养的教学方法需要充分以学生为主体，在“做中学”实现知识建构^[6-10]，帮助学生理解化学的基本原理和应用，培养学生在生产实践中解决复杂难题的能力，最终有效地提升教育质量。

1 化学专业本科生创新能力培养存在的挑战和问题

化学作为一门重要的基础学科，不仅在科学研究和技术创新中发挥着重要作用，也对人类社会的发展和进步有着深远影响。化学研究揭示了物质在不同条件下的变化和反应规律，为工业生产、医学研究等领域提供了重要的理论支持。因此，化学专业本科生创新能力的培养尤为重要。虽然目前化学专业本科生在创新应用能力培养方面有长足的进步，但是仍然存在一些挑战和问题。例如，课程设置不够完善，实践机会有限，缺乏导师指导和学生自身素质不足等(图1)。

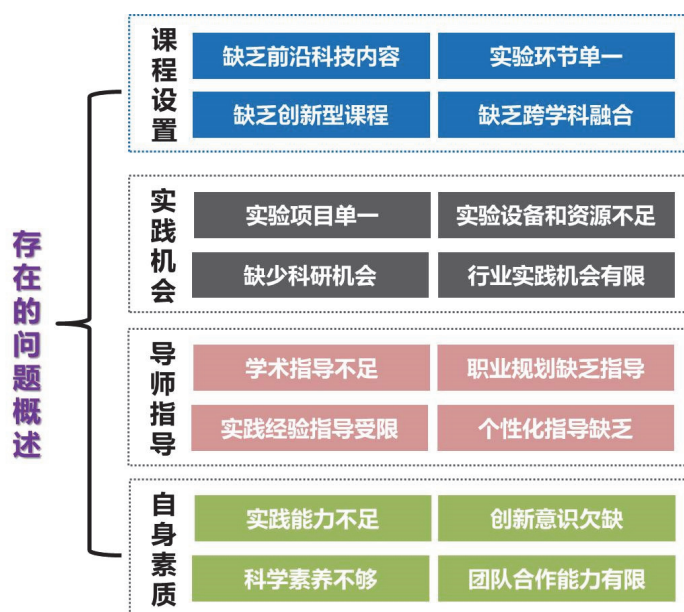


图1 存在问题概述图

针对化学专业本科生创新能力培养存在的挑战和问题，不同类型的学校出现的问题也各不相同^[11-17]。中国大学按科研能力可分为研究型大学和教学型大学。研究型大学重点在于高级研究和学术贡献，挑战在于如何保持教学与前沿研究的同步，避免研究与教学脱节^[11,12]。教学型大学重点在于本科教育和教学，挑战在于实验室设备和资源可能相对有限，难以提供丰富的实验和研究机会。这类学校对于行业实践的安排和支持较为欠缺，导致学生实践机会有限，难以重点培养学生的应用能力^[13]。中国大学按学科范围分为综合大学、理工类大学、文科类大学、医科大学和师范大学等。综合大学能够提供广泛的学科领域，包括文科、理科、工科、商科等。针对这类学校，化学专业本科生创新能力培养存在的挑战是在广泛的学科中保持化学专业的特色和优势，如何强化化学专业的

核心课程，同时提供多样化的选修课程，以适应不同学生的需求是关键^[14,15]。理工类大学重点在于科学、技术、工程和数学等学科，其中化学学科较强的高校对本科生的培养十分重视，面临的问题主要是需要与其他学科如工程和计算机科学等进行交叉融合，鼓励学生参与跨学科项目，促进学科间的交流与合作^[16]。文科类大学重点在于人文学科、社会科学等，可能存在化学课程设置不够完善，缺乏导师指导和学生动手能力偏弱等问题。综上所述，不同类型的学校应根据自身特点和资源，制定符合自身情况的创新能力培养策略，以提高化学专业本科生的教育质量。

2 化学专业本科生多维创新能力培养的实践与探索

在人才是核心竞争力的新时代，化学学科的研究创新能力、应用创新能力、跨学科交叉能力、国际协作能力等多维创新能力已成为化学专业高精尖人才的必备能力。化学专业本科生的多维创新能力培养是一个长期的过程，需要学校、学院和教师的共同努力。教育部提出的优化调整高校学科专业布点，强调了分类发展和特色发展的重要性。化学专业作为一门基础学科，其创新能力的培养应当与国家战略和区域发展需求相匹配。首先，符合国家战略需求，重点培养能够解决国家重大科技需求的创新能力，如新能源材料、环境保护、医药研发等。高校应该与国家实验室、重点研究机构合作，提供充分的实习和研究机会。其次，符合区域发展需求，针对地方产业发展特点，培养学生在精细化工、材料科学、食品安全等领域的创新能力。加强与地方企业合作，开展产学研一体化项目。再者，重点发展优势学科和特色学科。强化优势领域的研究，吸引顶尖学者和资源，提升研究水平，在化学专业的某些领域，如有机合成、催化化学等，培养具有国际竞争力的创新能力。发展具有学校特色的化学分支，如绿色化学、生物化学和柔性电子学等。着眼于开发特色课程，鼓励跨学科研究，形成独特的学科优势，培养化学与生物学、物理学、材料科学等其他学科交叉融合的创新能力。最后，学校的化学专业教育要聚焦拓展学生的国际视野，增加国际交流项目，鼓励学生参与国际会议和研究，能够参与国际科研合作和竞争。在这个过程中，培养学生终身学习的能力和社会责任感，适应快速变化的科技和社会需求。

本文采取了如图2所示的系列措施，包括：构建多元化课程体系，设计创新型课程，引导学生思考和探索，培养他们的创新思维和能力；开展“导师制-精准化-国际化”一制两化模式，建立科研实践平台，提供科研项目和导师指导，促进学生参与科研活动，培养他们的科研能力和创新潜力；建立“项目-方案-基地”三元素实践模式，鼓励学生积极加入企业，迅速增加学生们的团队合作和交流能力，培养创新职业精神。

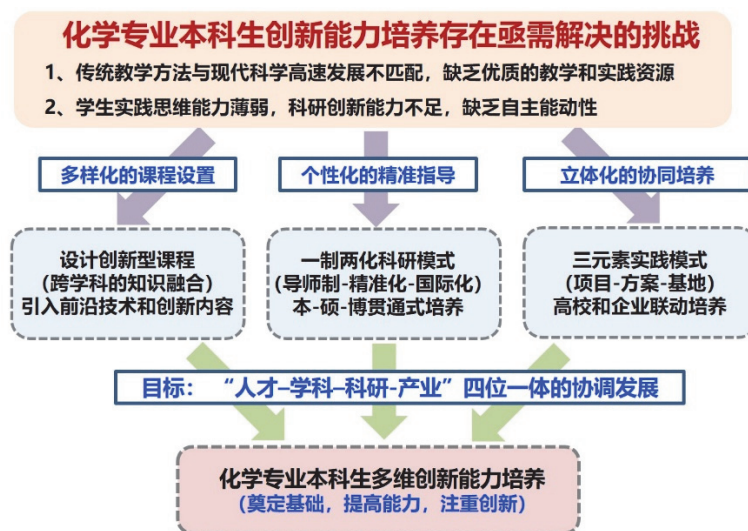


图2 化学专业本科生多维创新能力培养的挑战和主要解决措施

2.1 构建多元化课程体系，紧扣科学前沿内容，突出科教融合的特点

传统化学课程注重化学理论和基础知识。由于科学研究和技术发展日新月异，传统化学专业课程的内容相对滞后，无法紧跟科学前沿的发展，影响学生对最新科学知识的掌握。因此，应该构建设计包括基础课程、专业课程和科研课程在内的多元化课程体系。基础课程例如无机化学、有机化学等，着重于打好学科基础，夯实理论功底。专业课程需要紧跟科学前沿，引入最新研究成果和技术，帮助学生了解当下科技的快速进步和发展。其中，化学专业课采用小班化、精品化授课模式，注重应用能力的培养。此外，教师们可以采用选修课的形式开展科研课程，着重培养学生的科研能力和创新精神。教师采用启发式教学、问题驱动等多种教学方法，引导学生自主思考，培养他们的创造力和解决问题的能力^[18-22]。

创新性课程具体包括研究性课程、创新实验课程、创业与创新课程、化学科技论文写作、项目式学习、跨学科项目课程等。研究性课程鼓励学生参与到科研项目中，通过实际操作来学习化学知识和技能。创新实验课程是设计一些实验课程，让学生在实验中尝试新的方法和技术，鼓励创新思维。创业与创新课程是专门针对创新思维进行训练的课程，可能包括头脑风暴、创意工作坊、设计思维等活动，具体教授学生如何将化学知识应用于创业和产品开发，培养创新和创业精神。化学科技论文写作是传授学生如何撰写科技论文，包括文献检索、资料整理、论文结构设计等，为后期的科学研究奠定坚实的基础。此外，建立校企融合课程/课程群，通过“第二学位”“微专业”等来拓展学生的专业通识技能。

项目式学习是让学生在完成一个具体项目的过程中，学习和应用化学知识。例如，在大学化学的前期学习中，学生初步掌握了化学的一些基本知识。教师可以结合科研前沿工作融合到大学化学实验教学中，提出恰当的小项目问题让学生解决，从而确保综合性化学实验兼具理论性、实践性和前沿性等特点。我们将“从溶液中结晶有机材料：分子、合成和晶体学”这一科学研究引入到高年级本科生实验课程中。通过系统的实验训练，让学生了解有机溶液结晶的概念，学习有机半导体晶体形貌结构表征手段，有助于帮助学生掌握实验的关键技术，达到培养学生综合素质的重要目标。通过将科学研究成果转化为本科实验，并采用问题驱动方式展开，有助于推动教学和科研的有效融合，全面提高学生的科学素养。我们将实验用解决问题的形式包装展示在学生面前，学生需要自己设计实验方案，必须转变从前跟着老师操作机械性模仿的想法，要勇敢地去拓展自己的想法。通过这种方式能够很大程度上激发学生探索和创新兴趣，切实提高学生解决复杂问题的能力，提升化学人才培养质量。

跨学科项目课程是与其他学科如生物学、物理学、材料科学等结合，开展跨学科项目，倡导跨学科合作和交流，促进不同学科之间的融合。这类跨学科主题重点强调现实问题的实际解决，聚焦于各个学科关键知识的融合，着眼学科核心概念及跨学科大概念的运用，培养师生共同探索、共同创新的学习氛围等。这类课程能够突破单一传统学科知识体系的限制，在真实情境下综合运用多学科的知识，极大地拓宽了认知边界。在这个过程中，学生们尝试用更广阔的思路解决实际生活和生产中的问题，实现不同学科知识的碰撞，最终产生新的创意，达到思维跃迁和知识创新的目的。值得一提的是，本科生在跨学科主题课程提供的整合性体验中有机会处理价值问题，并且是以一种真实的情感和态度直面这些价值问题，这对培养具有良好个性和对团体生活负有责任感的个体起到至关重要的作用。综上所述，多元化课程体系包括创新理论、方法和实践的课程，涵盖从基础知识到前沿技术的广泛范围，为实现培养高素质、高技能的技术应用型人才奠定重要基础。

在化学专业人才培养中，课程思政内容和措施是至关重要的，它们不仅有助于学生形成正确的世界观、价值观和人生观，而且能够培养学生的科学精神、批判性思维 and 创新能力。在化学专业课程的设计中，将思政元素与专业知识点相结合，确保课程内容既包含化学专业知识，又融入思想政治教育。在讲授化学知识的同时，引入与化学相关的社会、环境、伦理问题，以及化学在社会发展中的作用和影响。培养过程中需要以立德树人为根本任务，将思想政治教育贯穿于教育教学全过程。

化学专业可以培育课程思政示范课程,如“物理化学”“大学化学”“绿色化学”“化学与人类文明”等,通过示范课程引领,提升课程思政教学质量。例如,通过分析化学领域的实际案例,引导学生思考化学知识在解决社会问题中的应用。通过介绍化学史上的重要人物和他们的科学精神,让学生了解化学学科的发展脉络,强调科学探索的重要性和科学精神的价值。通过组织课堂讨论,鼓励学生针对化学与社会、环境、伦理等议题发表观点,培养批判性思维。

数字化教育在化学专业本科生培养过程中扮演十分重要的作用。开发和利用数字化教学资源,如在线课程、虚拟实验室、模拟软件等,为学生提供更加丰富和便捷的学习途径。教师将信息技术与化学教学内容相结合,利用大数据分析、人工智能等技术提高教学效果和学习效率。鼓励学生利用在线平台进行自主学习和远程教学,培养他们的自主学习能力和信息素养。开发化学虚拟仿真实验,让学生在未实际接触化学品的情况下,也能进行实验操作和学习。利用数字化工具管理实验室资源,提高实验室的使用效率和安全性。培养学生使用数字化工具进行科研数据的收集、分析和处理。建立数字化的评价体系,利用数据分析等手段,对学生的研究成果进行全面评估。

2.2 聚焦个性化精准指导,开展“导师制-精准化-国际化”一制两化模式,促进本科教学创新发展

立足南京邮电大学化学与生命科学学院的化学专业本科生创新能力培养,依托有机电子与信息显示国家重点实验室平台,开展“导师制-精准化-国际化”一制两化模式,促进本科教学创新发展。鼓励本科生早进课题组和科研团队是“一制两化”的重要体现。本科生在未接触过科学研究时仍然处于迷茫的状态,需要专业教师的引导。为了调动学生学习的积极性,学院发动教师担任科研导师,实行导师与学生的双选制度,坚持一个导师只带一个学生,构建“一对一”精准的“导学”关系,既为本科生在人生道路方向上的选择提供参考,又为毕业论文设计的自主选题提供紧密充分的条件,建立良好的学风。当今社会,每个学生都有自己的个性和特点,导师要与学生进行深入沟通,了解他们的研究兴趣、学术背景以及潜在能力,以便为他们提供合适的研究项目和方向。

不同于传统导师制提出的项目都是基于教师原有的科研项目展开,我们要求教师为学生提供个性化、专业化的指导,坚持科研反哺教育培养。教师通过与学生的沟通,引导学生在某个领域进行文献调研。后期要求学生提出领域中存在的挑战和问题,导师应该鼓励学生独立思考、提出新的研究问题和解决方案,凝练出关键科学问题和创新点,培养他们的创新能力和科研素养。在这个过程中,导师需要结合自身的科研经验确保课题的新颖性。针对学生的情况,导师可以量身定制研究计划,包括制定合适的研究目标、时间表和工作任务,确保学生能够在规定的时间内完成科研项目。为了保障科研项目的顺利进行,导师可以根据学生的实际情况和学习风格,采取不同的指导方式,例如,组会讨论、微信交流、邮件沟通等,过程化管理项目进程。针对学习基础好且对科研十分感兴趣的学生,通过严格的选拔机制,选拔具有较高学术能力和研究潜力的学生进入本-硕-博贯通式培养轨道。本-硕-博贯通式招生培养是衔接本科教育阶段、链接硕士和博士培养阶段的创新人才培养模式。该培养模式能够为学生提供足够的空间和优质的平台,不但符合现代社会对创新人才的要求,而且促进了人才培养方式的多层次和多元化发展。这种“导师制-精准化-国际化”一制两化模式对加强本科生科研气氛的熏陶、寻找感兴趣的科研方向和提高科研素养等扮演了尤为重要的角色。

南京邮电大学注重化学专业本科生人才培养模式,提供实验室、科研经费、科研设备、科研项目、文献数据库、创新竞赛等多样化资源支持,降低学生的实践门槛,激励学生探索科学前沿,实践科研成果,促进科学教育与科学研究的融合。学校积极开展“菁英计划”选拔优秀学生,该计划是南京邮电大学“三三育人”创新人才培养体系的核心组成部分。通过“菁英计划”的实施来探索一条适应校情、面向世界、面向未来、面向现代化的专业创新人才培养的新途径与新模式,进而带动全院优秀人才的培养与教学质量的全面提高。在这个过程中,充分发挥教师的主导作用、学生的主体作用,加强对创新人才的指导,培养拔尖创新优秀本科生,切实提高学生的创新创业综合能力。学校创新拓展(自主)学习实施办法,要求学生通过多种自主个性化学习方式,如竞赛、经典阅读、科

技创新活动、科技成果与授权专利、论文发表、创业、开放实验研修、创新创业研修课程、证书认证等获得不少于10个学分，以取得创新拓展模块学分。采用“开放、联合、竞争”的运行机制，开展多维度评价与激励政策，促进本科生充分利用学院的实验设施和科研条件，提高学生的创新能力和科学精神。化学与生命科学学院依托重点实验室特设立开放课题基金，资助本科生在本实验室开展科研工作。有机电子与信息显示国家重点实验室积极开展多层次、多方面的国际学术交流活动，为化学专业本科生提供了广阔的学习平台，能直面科学前沿，和国际著名学者会上积极交流，极大地激发了科研热情和主动性。实验室近年来连续主办“自然·柔性电子”研讨会——机遇和挑战暨“光电子学、材料与能源”国际研讨会、第四届化学与材料金砖论坛、第一届到第三届“生物、有机与纳米电子学”国际研讨会、纳米光电子学前沿研讨会、低维材料应用与标准研讨会、无机材料化学前沿论坛等。同时，建立多项跨国合作项目，助推实验室国际化水平从领先迈向一流，为本科生提供国际化学习的立足点。

2.3 突出立体化协同培养，建立“项目-方案-基地”三元素实践模式，驱动本科生创新能力培养

面对新时代发展的新机遇和新挑战，如何培养具有职业素养、创新创业精神的化学应用型人才，满足企业高速发展需求，是高等教育亟需解决的关键问题。开展基于项目的实践活动，推动学生把自身的知识体系与职业情境相互联系，提供给学生综合运用跨学科知识和思维体系解决企业中实际遇到的困难，涉及到“活动-协作-反思”的学习过程，充分发挥以学生为主体，在“做中学”实现知识建构。与此同时，可以与企业合作设计具体项目任务，在真实情境下开展实践项目，激发学生的学习兴趣和实践动力。与此同时，化学专业本科生培养与新质生产力结合，意味着教育要与时俱进，适应和引领化学领域的新发展，特别是在新材料、新能源、生物技术、信息技术等领域，培养学生的创新意识和实践能力。与工业界和研究机构建立合作关系，为学生提供实习、研究项目和工作机会，使学生能够直接参与到新质生产力的创造过程中，让学生参与到实际的产业项目中了解和掌握新质生产力的发展趋势。

南京邮电大学积极建立产教融合协同育人基地，与华为技术有限公司签署“智能基座”产教融合协同育人基地合作协议，旨在深化信息技术领域人才培养模式改革和协同创新，构建以有机半导体材料和信息技术领域关键核心技术为基础的产业与人才生态。与南通市科技局等机构合作，举办科技成果项目对接会，促进科技招商提质和产业集群创新，推动科技创新赋能高质量发展。此外，南京邮电大学还与中兴通讯股份有限公司合作，建立“云上南邮”5G创新实验室，加强在校企人才培养、5G创新等领域的深度合作，推动化学和信息专业协作发展。共建科技创新平台，与企业共建应用研究中心、人工智能产业学院、柔性电子研究院等，推动产学研紧密对接。以柔性电子研究院为例，积极吸纳本科生进行立体化协同培养，围绕柔性光学功能器件、柔性生物电子器件、柔性能源电子器件、柔性微纳器件集成四个主要研究方向，实现从基础研究向应用研究的转移，力争创造出原始创新、颠覆性创新等重大成果，为我国柔性电子关联产业的跨越式发展贡献力量，为培养具有多维创新能力的专业人才提供良好的平台。

通过产学研系统结合，促进高校和企业联动培养学生。在校内科研导师和企业工程师导师的双重指导下，了解产业现状和需求，指定具体方案，带领学生深入公司基层，提升学生的专业职业技能，提前规划职业路径，增强学生就业创业的综合实力。在项目中具体解决问题、提出方案等步骤需要学生前期进行大量的准备。在整个过程中需要积极发挥“身体参与”的作用，着眼于学生学习的亲身体验与具身实践，让学生在问题解决的基础上，将解决方案与个体想法充分结合并付诸实践行动，实现“身心一体”的活动学习。有别于传统课堂中填鸭式授课，基于“项目-方案-基地”三元素实践模式是超越传统心智层面的学习，能够快速有效地调动学生的积极性和自主性。针对企业具体难题，组建跨学科团队，整合不同专业的学生资源，加强团队协作能力，实现校企融合的多元化学习。联合培养基地，建立名校+名企合作平台，促进师生与企业之间的密切合作和联系，推进项目学习活动与实际业务需求的对接，到达产学研密切链接的目标。定期举办项目成果展示或学术交流会，

展示学生的项目成果, 与企业共同探讨技术合作、产品研发、人才培养、成果转化等内容, 加速协同创新, 深化校企合作。及时总结项目实施经验教训, 优化项目设计和实施流程, 不断完善校企融合模式, 促进项目学习活动的质量和效果。

3 化学专业本科生多维创新能力培养的实施成效

南京邮电大学化学与生命科学学院以“化生万物、学致无穷”为理念, 依托有机电子与信息显示国家重点实验室培育建设点, 聚焦原始创新, 重点围绕柔性电子、生物电子、健康电子、先进化学、智能材料等方向开展人才培养、科学研究和学科建设, 促进化学、生物、物理、材料、电子信息、生命科学等多个学科高度交叉融合, 发挥重点实验室的平台优势, 发展颠覆性新一代电子信息技术, 增强服务国家重大需求和人民生命健康的能力, 为化学专业本科生多维创新能力的培养提供了重要的保障体系。材料化学专业于2008年获批建设, 是江苏省重点专业, 其依托的化学和材料科学学科均居ESI国际学科排名全球前0.4%。设置系列创新创业课程, 加强专业教育和创新创业教育的融合。坚持科教融合、以赛促创, 鼓励学生参与科研项目及创新创业比赛。探索校企协同培养, 开展校企导师互聘, 建设重点实习基地。近5年, 学生获“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛国家级奖项3项、省级5项, 获中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛省赛奖4项, 主持大学生创新创业训练计划项目, 50%以上学生参与创新创业活动。本科生平均升学率大于50%, 就业率100%。毕业生大多就业于国内大中型光电、材料、电子信息企业, 深受用人单位一致好评。

4 结语

南京邮电大学化学与生命科学学院针对化学类本科生人才多维创新培养采取了许多方法, 具有明显的效果。首先, 通过构建多元化课程体系, 紧扣科学前沿内容, 突出科教融合的特点, 帮助学生了解当下科技的快速进步和发展。采用问题驱动方式展开, 有助于推动教学和科研的有效融合, 全面提高学生的科学素养。其次, 聚焦个性化指导, 构建“一对一”精准的“导学”关系, 开展“导师制-精准化-国际化”一制两化模式, 促进本科教学创新发展。导师鼓励学生积极思考、提出新的研究问题和解决方案, 凝练出关键科学问题和创新点, 极大地激发他们的科研热情和主动性。最后, 突出立体化协同培养, 建立“项目-方案-基地”三元素实践模式, 充分发挥以学生为主体, 在“做中学”实现知识建构, 驱动本科生创新能力培养。在校内科研导师和企业工程师导师的双重指导下, 了解产业现状和需求, 提升学生的专业职业技能, 增强学生就业创业的综合实力。本专业培养适应社会发展需求, 具备良好的人文社会科学素养、社会责任感及职业道德, 具有扎实的材料化学的专业知识与工程技能, 具有良好的学习能力、创新意识、国际视野和团队合作精神的拔尖人才, 他们能够在光电功能材料及相关领域从事材料的合成与加工、结构与性能分析、科学研究、工程设计、技术开发等方面做出突出贡献。

参 考 文 献

- [1] 戚燕俐, 张帅, 林本才, 薛冰, 任玉荣. 化工高等教育, 2022, 39 (3), 42.
- [2] 王盎然, 张红, 王亚纳, 沈华芬, 潘鹏举. 化工高等教育, 2022, 39 (2), 47.
- [3] 侯翠红, 李涛, 徐丽, 任保增, 刘国际. 化工高等教育, 2020, 37 (3), 72.
- [4] 李波, 贝绍轶, 周亨, 张兰春, 孙炜, 刘若晨. 高教学刊, 2020, 3 (1), 149.
- [5] 法焕宝, 刘作华, 李泽全. 高教学刊, 2024, 8 (2), 153.
- [6] 刘来兵, 侣娅琳. 教育导刊, 2023, 7 (1), 5.
- [7] 甘霖, 黄近, 毛翔, 马学兵. 西南师范大学学报, 2018, 43 (3), 161.
- [8] 董立军, 王薇, 吕东煜, 兰景凤. 大学化学, 2021, 36 (9), 2105056.

- [9] 谢宇, 殷祚炷, 周丹. 广东化工, **2024**, *51* (6), 153.
- [10] 张妍, 张世国. 广工管理, **2024**, *2* (6), 25.
- [11] 陈露洪, 李育佳, 朱成建. 中国大学教学, **2016**, *2* (10), 89.
- [12] 郭丽, 周志强, 曹晶晶. 大学化学, **2020**, *3* (9), 8.
- [13] 燕士力, 李轮. 中国大学教学, **2021**, *7* (10), 149.
- [14] 李育佳, 贾叙东, 陈露洪, 朱成建. 大学化学, **2019**, *34* (10), 14.
- [15] 周立亚, 段文贵, 何熙璞, 刘丽, 许雪棠, 徐远金, 王凡, 陈培灿, 郑礼婷, 李香, 等. 大学化学, **2021**, *36* (11), 2110044.
- [16] 孙长艳, 范慧俐, 弓爱君, 王明文. 大学化学, **2023**, *38* (3), 53.
- [17] 王成云, 张文清, 朱为宏. 大学化学, **2020**, *35* (10), 65.
- [18] 郑敏燕. 大学化学, **2017**, *32* (8), 20.
- [19] 刘霞. 大众文艺, **2023**, *17* (4), 120.
- [20] 张现峰, 吴中, 郭春燕. 大学化学, **2021**, *36* (1), 2009036.
- [21] 李炜林, 刘红瑜, 金谷, 姚奇志, 李娇, 李玲玲. 大学化学, **2022**, *37* (4), 2111038.
- [22] 刘城芳, 刘绪. 广东化工, **2019**, *46* (21), 170.