

大学化学课程中的科教融合：以研究型实验为导向的实验课程改革与创新研究

蒋妍彦¹ 张志成² 尚蒙蒙¹ 王凤龙^{1*}

1. 山东大学 材料科学与工程学院, 山东 济南 250061

2. 天津大学 理学院化学系, 天津 300072

[摘要] 当前, 大学化学教育与科学前沿领域的融合已成为课程改革的重要方向。这种科教融合对于帮助学生构建知识体系和提高学科素养具有重要意义。以生物医用无机材料领域为例, 将最新科研成果应用于课程实验教学, 不仅能够提升教学质量, 培养学生创新精神和实践能力, 同时可以通过教学反哺, 促进该科研领域可持续高质量发展。文章以金属原子掺杂碳点作为生物医用材料的典型代表, 设计了教学案例, 探讨了如何在大学化学教育中引入前沿研究内容。并且, 依据前期实践, 我们设计了相关的实验教学改革计划和评估方案, 以促进其推广应用。实践表明, 将科研前沿与教学相结合, 实现教学相长的同时, 还能够有效提高学生的专业能力和学习兴趣, 有助于培养新时代所需创新型人才。

[关键词] 科教融合; 大学化学; 碳点; 课外研究; 实验课程改革

DOI: 10.33142/fme.v5i5.14084

中图分类号: G71

文献标识码: A

Research on the Integration of Science and Education in University Chemistry Courses: Reform and Innovation of Experimental Courses Guided by Research Experiments

JIANG Yanyan¹, ZHANG Zhicheng², SHANG Mengmeng¹, WANG Fenglong^{1*}

1. School of Materials Science and Engineering, Shandong University, Ji'nan, Shandong, 250061, China

2. Department of Chemistry, School of Science of Tianjin University, Tianjin, 300072, China

Abstract: Currently, the integration of university chemistry education with cutting-edge scientific fields has become an important direction for curriculum reform. This integration of science and education is of great significance in helping students build a knowledge system and improve their subject literacy. Taking the field of biomedical inorganic materials as an example, applying the latest scientific research results to course experimental teaching can not only improve teaching quality, cultivate students' innovative spirit and practical ability, but also promote the sustainable and high-quality development of this research field through teaching feedback. The article takes metal atom doped carbon dots as a typical representative of biomedical materials, designs teaching cases, and explores how to introduce cutting-edge research content in university chemistry education. And based on previous practice, we have designed relevant experimental teaching reform plans and evaluation schemes to promote their promotion and application. Practice has shown that combining cutting-edge scientific research with teaching can not only achieve mutual growth in teaching and learning, but also effectively enhance students' interest in learning and professional abilities, which is conducive to cultivating innovative talents needed in the new era.

Keywords: integration of science and education; university chemistry; carbon dots; extracurricular research; experimental course reform

随着科技进步和产业发展, 工程领域对高水平工程人才的需求日益增长, 如何培养具有国际竞争力和创新能力的卓越工程师成为各高校教育改革的热点话题。1809年, “教学与科研统一”的思想被德国学者威廉·冯·洪堡首次提出, 逐渐成为教育管理领域的重要研究方向。2001年, 中国科学院提出了“科教融合”的概念, 并将其明确列为教育科学研究的重点之一^[1]。近年来, 《关于加强高校教育实践教学的若干意见》等相关文件的发布为教学改革提供了指导。将科研成果引入实验教学, 对培养具有综合素质和创新能力的人才具有重要意义, 有助于学生毕业后适应社会的发展需求^[2-3]。

当前, 由单一实验教学转变为科教并重模式已成为高校实验教学发展的必然选择。大学化学是材料、化学等相

关专业的基础课程, 是构建学生专业知识体系的基石, 也与当前许多前沿领域密切相关^[4]。以生物医用材料为例, 化学基础原理和实验技术是生物医用材料设计、合成和表征的基础。在科教融合理念的指导下, 将教师所擅长的生物医用材料科研成果融入大学化学教学, 不仅有助于深化学生对于理论知识的理解, 使其灵活掌握所学内容, 还为培养学生形成面向国家和社会需求的思维提供生动案例。通过具体的案例分析和实践操作, 有助于学生直观地领悟到大学化学在生物医学等领域的重要作用, 培养其跨学科的思维能力和创新意识。以理论课程基础、实验教学创新等方面为基本要点, 探索大学化学实验教学的创新策略, 设计研究型实验教学模式, 弥补传统实验教学模式不足, 优化化学实验教学活动, 是科教融合理念落地高校

的重要途径。

1 融合科学研究与教学创新的新时期大学化学实验课程建设

课程是高等学校教学育人的核心要素,是学生获取知识和技能的主要途径。通过对传统教学模式的改革和创新,将前沿研究成果与科学研究方法融入到教学中,可以实现以实践为导向的多样化教学课程,从而促进学生创新意识和学术素养的培养,使其形成“需求牵引创新”思维模式。大学化学是大部分高等院校的必修课程,旨在通过化学的语言工具应解决材料设计、加工、与应用等领域的工程问题。单一的课程实验教学方法和考核方式已经不能满足新时代高等工程人才的培养需求。除此之外,大量的验证性实验课程设计容易造成学生形成思维定式,弱化学生学习兴趣,从而在一定程度上扼杀了学生的创新能力^[5-6]。因此,对于新时期大学化学的实验课程设计,实现教学与科研的有机耦合至关重要。

对此,本文以培养新时代卓越工程人才为目标,基于“科教融合”这一教育学理念,以生物医用材料研究成果为大学化学实验教学赋能。通过研究性教学方法的设计对传统实验教学课程进行补充和改造。作者将团队在金属原子掺杂碳点方面的科学研究成果引入课程实验教学,设置了与传统实验教学互为补充的课外实验教学模块,建立了多元化考核机制,丰富了教学模式,取得了良好的教学效果。科研素材的融入有效激发了学生创新热情,多名同学在学习完课程后主动加入教师科研团队,参与创新创业活动,取得了较为显著效果。

2 基于碳点生物医用材料的大学化学科教融合实践

生物医用材料是一类用于疾病的诊断和治疗、替换或改善人体组织与器官及其功能的材料,它们在现代医学中扮演着至关重要的角色。随着人口老龄化、疾病谱的变化以及医疗技术的进步,生物医用材料的需求日益增长,其研究和应用已成为材料科学、生物学、医学和工程学交叉领域的重要研究方向。同时,随着纳米科技的发展,生物医学领域对多功能纳米材料的迫切需求日益显著。然而,大部分纳米材料存在设计复杂和实验条件严苛等问题,使其难以在本科教学中应用于科教融合的教学模式。凭借合成方法简单、原材料来源广泛、功能多样有趣等优势,碳点(CDs)恰好迎合这一需求,可以很好地激发刚进学习科学阶段的本科生的探索和创新兴趣。围绕其两大核心特性-光致发光和类酶催化特性,探索不同因素如前驱体种类、金属原子掺杂等对 CDs 性质的影响,符合授课学生的认知水平,使其建立初步的科研创新思维和动手实验能力,是以科教融合为目标进行课外实验教学的优质素材。以碳点材料为基础,利用高等院校课堂教学与实验研究资源的优势,构建了如图 1 所示的课外实验课程教学框架。

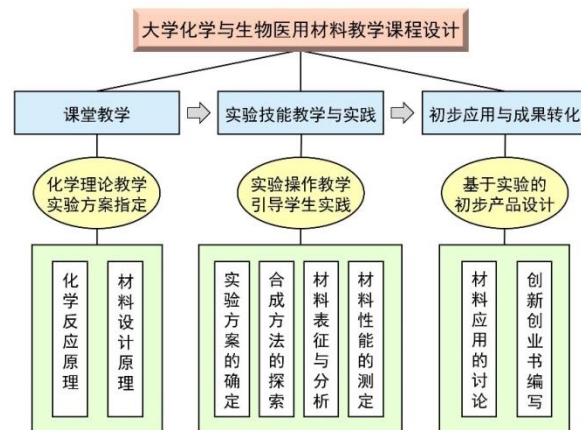


图 1 大学化学与生物医用材料的教学课程框架

结合本科生大学化学的理论、实验和实践教学要求,本课程在学生必修的大学化学实验课程以外,吸纳部分学生进组研究,设计了完善的授课方案,开辟了教学试验模块进行前期探索。在授课过程中,指导学生设计了一系列不同金属原子掺杂的 CDs,并引导其紧密结合大学化学核心课程知识,深入分析其结构与物理化学性质。课程重点关注金属原子掺杂对 CDs 荧光特性、光稳定性及催化性能的影响,涵盖配位化学、光谱学和催化化学等重要概念。特别是,其优异的荧光特性和类酶活性(例如自由基清除能力),与大学化学中的原子轨道理论、光谱机制和催化理论等知识点密切相关。学生将运用荧光光谱原理分析 CDs 的发光机制,并利用化学动力学研究其催化活性。通过寓教于用的教学,促进学生创新思考,例如探讨如何通过金属原子掺杂调节碳点的发光波长,或研究增强碳点抗氧化能力的方法。在实验教学中,学生将学习并应用现代分析技术,如紫外-可见光谱、荧光光谱和 X 射线光电子能谱。这些技术也将与学生后期需要学习的分析化学和仪器分析课程密切相关,做到理论与实践相结合。

具体而言,为了充分体现科教融合在本科生课程教育中的优势,本文以金属原子掺杂 CDs 案例为设计主线,确定了如表 1 所示的教学内容,主要目标是推动学生的创新思维锻炼、全面发展和素质培养。在课程实践中,我们选用最典型的前驱体柠檬酸作为碳源,采用最普遍的水热法合成金属原子掺杂 CDs。如图 2 所示,一组同学制备了镍掺杂碳点(Ni-CDs),镍原子通过 Ni-N 键掺入到 CDs 的 sp² 杂化碳基底中,提高了 CDs 的石墨化程度,同时还抑制了非辐射跃迁的重组过程,从而大大提高了 CDs 的绝对荧光量子产率(54.7%)。建立在 Ni-CDs 的高量子产率的基础上,引导同学们发散思维。学生们提出了将 CDs 用于制作荧光防伪油墨,打印加密二维码等信息符号。同时,制备的 Ni-CDs 具有良好的生物相容性,还可以用于荧光生物成像。另一组同学从 CDs 的化学性质出发,利用金属原子掺杂增强 CDs 的催化能力,设计了能够清除香烟烟

表 1 实践课程教学要素

课程主线	课程项目	教学目标	教学内容	拓展内容
金属原子掺杂 CDs 的理论学习与实践实验	理论学习	知识教学：理解材料设计基本思路；掌握化学反应原理；掌握材料测试与分析技术 能力培养：对化学反应基本原理的理解与应用能力；基本的数据分析能力	1. 大学化学 2. 先进生物医学材料部分课程	生物医学材料方向博士生讲座
	实验实践	知识教学：掌握实验室安全守则；学习化学实验基本仪器原理和操作方式 能力培养：可以熟练进行化学实验；可以针对目标自主设计实验方案	1. 金属原子掺杂 CDs 的合成方法以及前驱体的选择（碳源与金属源的选择） 2. CDs 基本物理化学性质以及测试方法	实验室安全操作培训
	创新创业	知识教学：基于材料的性质对其应用进行合理开发；了解科研成果转化基本路线和方法 能力培养：培养学生自主创新能力以及应用转化的思考能力	1. 金属掺杂 CDs 的基础应用 2. 创新创业管理内容	大学生创新创业课程讲座；组织学生参与相关的科学竞赛

气中有害自由基的铜锰双掺杂碳点 (CuMn-CDs)。将该 CDs 粉末填充于香烟过滤嘴中，经实验验证可以清除烟气中近 90% 的有害自由基。随后，在课程总结阶段，启发同学们回顾理论课程内容，以所学习的过渡金属元素的章节内容解析对金属原子掺杂提高 CDs 的荧光特性和自由基清除能力的理论机制。随后，通过与大学生创新创业课程相结合，鼓励学生以不同形式展示自己的研究成果。例如，有同学以上述实验为基础，并加以深入研究与分析，完成研究论文一篇，并得以发表。同时，我们还指导学生参加了“山东省大学生科技创新大赛”“互联网+”以及“挑战杯”等比赛并取得了优异成绩。通过这两个具有实际应用价值的研究案例，将科研思维与实际应用问题融合于理论教学之中，为学生引入了理论知识与创新技能紧密结合的创新学习模式，也为其展示自我和提升素质提供了良好平台。

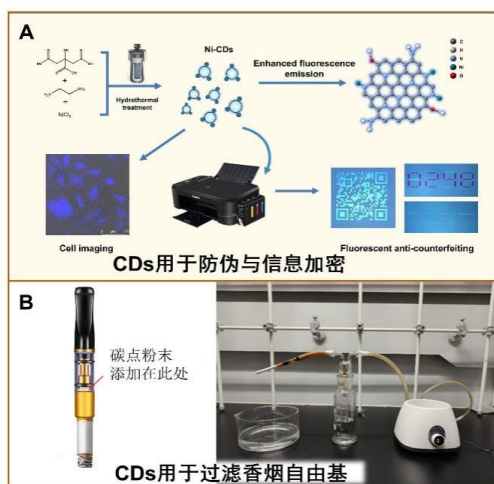


图 2 大学化学与生物医用材料科教融合的教学成果。A 应用 CDs 的光致发光于防伪与信息加密^[7]；B 利用 CDs 清除香烟烟气中的有害自由基

课程设计的核心在于将科研探索的真实素材融入学生的实验教学活动中。学生有机会直接参与到真实的科研

环境当中。这不仅使学生所学理论知识具象化，培养了学生的实验操作能力，而且激发了他们的创新思维和科研兴趣。此外，通过创新创业活动进一步结合，学生可以深入了解当前的市场需求和挑战，为其未来确立研究方向提供了精准定位，并积累了宝贵的职业经验。同时，这种融合实验教学模式促进了理论知识与实验研究的有机结合，以及科研成果向实际应用转化。

3 大学化学与生物医用材料科教融合课程评价体系建设

在我们所提出的大学化学实验教学改革与创新体系中，基于科教融合理念，以大学化学课程教育为核心，在原有的课程实验中开辟出一个研究型实验教学模块，并对成果应用做出思考。多元化的教学模式需要建立完善的评价体系来考察教学过程中学生自主学习科研能力、动手实践能力等。为进一步促进该教学创新模式在教学中的应用与推广，作者团队进一步设计了以 CDs 研究为例的课外实验课程模块评价体系（表 2）。该评价体系主要包括课堂教学效果考核、实践技能考核、创新创业拓展三个部分。

表 2 大学化学与生物医用材料科教融合课程的评价体系

	平时成绩占比	期末成绩占比	权重占比
课堂教学	50%	50%	70%
实践技能	70%	30%	15%
创新创业	50%	50%	15%

3.1 课堂教学评价体系

课堂教学评价体系是该课程中的重要组成部分，旨在全面评估学生在课外实验课堂教学中的学习表现和掌握程度。为了全面提升学生学科素质，课堂教学评价可以采用平时成绩和期末成绩相结合的模式。平时成绩主要考察学生在课堂上的参与程度、作业完成情况、小组合作水平等。课堂表现主要体现为学生的主动回答问题、积极发言、参与小组讨论等，旨在评估学生对课程内容的理解程度和

学习态度。在碳点实验相关课程中，主要包括学生对 CDs 合成原理、金属原子掺杂机制等理论知识的理解和讨论。作业情况涵盖课堂布置的作业完成情况，如阅读任务、小组讨论报告、课后习题等，用以评估学生对课程内容的消化吸收程度、作业完成质量和时间管理能力。具体到碳点实验，包括设计不同金属原子掺杂 CDs 的合成方案、分析 CDs 荧光光谱数据、计算量子产率等任务。小组合作项目成果考查学生在小组研究中的生团队合作、沟通配合和解决问题的能力。例如，学生需要合作完成一套完整的 CDs 合成实验，从选择碳源和金属前驱体，到合成 CDs，再到形貌表征和性能测试，最后提出潜在的生物医用应用。期末成绩则是对学生在整个学期实验研究成果的综合评价。其主要由期末考试成绩、相关项目报告或实验论文成绩等组成，综合反映了学生对课外实验课程内容的整体掌握程度和对知识的运用能力。

通过这种全面的评价体系，我们能够多方面反映学生对实验课程的自主学习和参与程度，同时也能评估学生在实际操作、数据分析和创新思维方面的能力。此评价模式旨在全面了解学生的学习状态和表现，为教学改进和学生综合素质提升提供客观依据。

3.2 技能实践评价体系

将课外研究实验引入大学化学课程，对学生的实验技能、科学素养和综合能力的培养提出了更高的要求。为了评价学生在化学实验技能方面的学习成果，本文还设计了针对学生技能水平的评价方案（表 3）。

技能评价以培养学生实践能力为核心，对学生的实验规范和实验设计进行考核。

表 3 技能实践评价考核内容

技能实践评价考核内容	考察内容	考核占比
	实验室安全规范	40%
	实验仪器使用技能	40%
	实验设计	20%

在评价体系的构建方面，我们选择课堂考核作为主要方式，针对学生实验操作的规范性、对大学化学基本知识的掌握程度以及实验结果的分析能力进行评估。在实验课程中，特别注重学生的实验操作技能、实验记录的完整性和规范性，以及实验数据的分析能力。例如，评估学生是否能熟练操作水热反应釜、正确使用荧光光谱仪，以及是否能准确记录和分析 CDs 的荧光性能和抗氧化能力数据。此外，还会考查学生在实验过程中的创新思维，如是否能提出新的金属掺杂组合或应用方向。在课程结束时，学生需提交完整的实验报告，培养学生的实践能力和科学思维。学生的实验报告质量也是重要的评价指标，包括实验方法描述的准确性、数据分析的深度、结论的合理性，以及对潜在应用的思考等。除课堂考核外，期末考试也是重要的

评估方式之一，着重考察学生对实验室安全标准、药品摆放规范等方面的理解程度。

通过综合运用这些评估方式，我们可以更全面地了解学生的实验技能水平，并为他们提供针对性的指导和培养。

3.3 创新创业评价体系

大学化学课外实验课程评价体系应当全面考虑人才培养目标和实践要求，涵盖创新创业能力。评价维度包括方案创新性、市场竞争力和团队合作等。评估标准包括科研能力、创新创业计划和成果转化潜力。在 CDs 实验中，学生设计合成金属掺杂 CDs，测试其光学和催化性质，展示创新能力。评估方式包括教师评价、小组互评和组内打分。通过团队 PPT 制作和答辩，考核其实验结果分析以及成果运用能力。学生需要描述合成过程、条件、结果和潜在应用，评估转化潜力。

这些措施作为前期课程授课效果及实验研究技能的评价的一个补充和延伸，有助于全面反映学生综合表现和发展潜力，实现教育与科研高质量结合。

4 结语

新时代工程领域对高水平工程人才提出了更高的要求。因此，高校教学应为课程赋予更多自主学习以及创新实践的内容。以《大学化学》课程为基础，依托于高校科研实验研究平台培养学生的创新实践能力，并探索建立新型课程体系，构建了以“教学—实验—创业”三位一体的课外实验教学模式，开展了大学化学实验课程教学改革。实践结果表明，学生的科学知识素养、技能实践水平、创新创业能力都得到了提升，教学效果良好，达到了预期的教学目标。

【参考文献】

- [1]周光礼,马海泉.科教融合:高等教育理念的变革与创新[J].中国高教研究,2012(8):15-23.
 - [2]钟秉林,李传宗.科教融合培养拔尖创新人才的政策变迁与实践探索[J].中国高教研究,2024,40(1):33-40.
 - [3]吴岳良,王艳芬,肖作敏,等.深化科教融合,培养未来科技领军人才[J].中国科学院院刊,2023,38(5):685-688.
 - [4]任保轶,朱明昌,孙亚光,等.”理工与科教双融合”的化学化工专业实践教学体系改革探索——以沈阳化工大学为例[J].大学化学,2023,38(11):88-94.
 - [5]刘文晶,刘晓真,王丹,等.材料专业中的验证性实验改革[J].实验室科学,2022,25(5):127-129.
 - [6]余振宇.创新性实验在医学细胞生物学课程实验教学的应用[J].中国高等医学教育,2022(9):137-138.
- 作者简介:王凤龙(1988—),男,汉族,内蒙古呼和浩特人,博士,教授,山东大学材料科学与工程学院,研究方向:纳米功能材料。