新工科背景下生物自组装功能材料课程教学改革探究

王振刚

北京化工大学材料科学与工程学院，有机无机复合材料全国重点实验室，北京 100029

DOI: 10.61369/ETR.2026270003

摘　　要： 新工科建设聚焦复合型、创新型工程人才培养，强调学科交叉、实践创新与产业适配。生物自组装功能材料是材料、化学、生物多学科交叉的前沿课程，是功能材料、高分子材料专业人才创新能力培育的核心课程。本文结合课程教学现状，系统剖析当前教学中存在的教学模式单一、前沿融合不足、实践体系缺失、考核评价固化等核心问题。基于材料科学与工程学院2022—2024年的课程改革试点实践，立足新工科人才培养目标，从多元教学模式、立体化教学内容、四位一体实践体系、全过程考核机制四个维度提出系统性改革路径。改革后，学生跨学科综合能力评分提升42.6%，课程满意度达91.3%，形成可推广的教学改革方案，为新材料行业复合型工程人才培养提供实践参考。

关 键 词： 新工科；生物自组装功能材料；课程教学；教学改革；学科交叉

Exploration of Teaching Reform for the Bio-Self-Assembled Functional Materials Course in the Context of New Engineering

Wang Zhengang

State Key Laboratory of Organic-Inorganic Composites, College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing, 100029

Abstract: The construction of New Engineering focuses on cultivating compound and innovative engineering talents, emphasizing interdisciplinary integration, practical innovation, and industrial adaptation. Bio-Self-Assembled Functional Materials is a cutting-edge interdisciplinary course integrating materials science, chemistry, and biology, and serves as a core course for fostering the innovative capabilities of talents in functional materials and polymer materials majors. Combined with the current teaching status of this course, this paper analyzes the core problems existing in current teaching, such as a single teaching model, insufficient integration of cutting-edge knowledge, lack of practical systems, and rigid assessment and evaluation. Based on the talent training objectives of New Engineering, it explores targeted teaching reform paths from four dimensions: teaching model, teaching content, practical system, and assessment mechanism. The research aims to improve the course teaching system, enhance students' interdisciplinary thinking, scientific research innovation, and engineering application capabilities, and meet the demand for compound engineering talents in the high-quality development of the new materials industry.

Keywords: new engineering; bio-self-assembled functional materials; course teaching; teaching reform; interdisciplinary integration

随着纳米技术、仿生材料与生物医药产业的快速发展，生物自组装功能材料作为新型超分子材料的核心研究方向，已成为新材料领域的研究热点与产业发展重点。新工科建设对高校工科课程提出了跨学科融合、重创新实践、对接产业前沿、培育终身学习能力的全新要求。生物自组装材料课程依托化学、材料、生物多学科基础，聚焦DNA、蛋白质、多肽、多糖等生物大分子自组装的原理、技术与应用，是培养材料类专业学生前沿视野与科研创新能力的重要选修课[1]。当前，传统课程教学模式难以适配新工科复合型人才培养需求，存在理论与前沿脱节、实践教学薄弱、育人目标与毕业要求适配度不足等问题。基于课程教学大纲与实际教学情况，本文系统梳理课程教学现存痛点，探索契合新工科理念的教学改革路径，并呈现改革试点数据与具体案例，为提升课程教学质量、培育高素质材料类创新工程人才提供参考。

一、生物自组装功能材料课程教学现存问题

（一）教学模式传统固化，跨学科融合性不足

生物自组装功能材料课程涵盖化学、高分子材料、生物学、纳米科学、仿生学等多个交叉学科领域，对教学的综合性、融合性要求极高。改革前（2021—2022学年）课程教学以传统单向灌输式课堂讲授为核心模式，教学过程以教师讲解理论知识、梳理课程大纲知识点为主，学生被动接收知识。课前调研显示，76.5%

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

的学生认为“不同学科知识点之间缺乏联系”，62.8% 的学生难以将预修课程（有机化学、高分子物理、生物化学）知识迁移至本课程。课堂互动以教师提问为主，学生主动发言率仅12.3%。课程现有教学仅依托单一课堂讲授形式落实教学目标，针对生物大分子自组装原理、结构表征、功能应用等交叉知识点，未搭建多学科融合的教学场景，难以引导学生串联基础化学、有机化学、高分子物理等预修课程知识，形成系统化的跨学科知识体系[2]。

（二）教学内容偏重理论，前沿适配性较为滞后

根据课程教学大纲，课程教学内容围绕蛋白质、DNA、多肽、多糖四大生物大分子自组装体系展开，整体内容以基础理论、基本原理、传统研究方法为主。改革前教学内容中近五年前沿成果占比不足8%，产业应用案例仅2例。生物自组装材料领域发展迭代速度快，DNA 纳米技术、仿生自组装新材料、生物医药催化、光电磁功能应用等前沿成果层出不穷，但现有课程内容未及时吸纳最新科研进展[3]。学生问卷调查显示，83.7% 的学生希望了解“本领域最新研究进展”，但教材更新周期长达3-5年，导致课程教学与学科前沿、产业实际脱节。

（三）实践教学体系缺失，创新应用能力培育薄弱

实践教学是新工科人才创新能力、工程应用能力培育的核心载体。改革前课程完全依托理论教学落实育人目标，无实验实训、科研实践、项目训练等教学安排。学生在课程结束后，仅能掌握书本理论知识，无法动手操作生物材料表征设备（如原子力显微镜、动态光散射仪）、开展自组装体系设计实验[4]。2019级学生结课考核中，仅23.5% 的学生能够独立设计简单的自组装体系方案，85.3% 的学生无法正确解读自组装材料的表征数据。这种重理论、轻实践的教学模式，极大制约了学生科研创新能力和工程实践能力的培育。

（四）考核评价方式单一，育人导向性不够全面

课程原有考核体系以“课堂参与（20%）+ 随堂小测（30%）+ 课程论文（50%）”为核心，评价方式较为固化。2019级学生课程论文中，78% 为文献综述型，仅12% 包含初步的实验设计或模拟分析。考核维度单一，缺乏对学生创新思维、实践能力、跨学科应用能力的考核[5]。同时，考核过程以结果性评价为主，缺乏全过程、动态化的过程性评价，无法全程跟踪学生知识运用与能力成长过程。

二、新工科背景下生物自组装功能材料课程教学改革路径探索

（一）创新多元教学模式，强化跨学科融合育人

构建“课堂讲授（40%）+ 翻转课堂（30%）+ 专题研讨（20%）+ 线上拓展（10%）”的多元化混合教学模式。以“DNA 纳米技术”专题为例，实施以下教学环节：

具体教学案例1：“DNA 折纸技术——从原理到生物医学应用”翻转课堂设计

课前阶段（线上平台）：教师推送3篇经典文献（包括 Rothemund Nature 2006、一篇近五年综述）及2个科普视频（每个约10分钟），布置预习题：“DNA 折纸技术的核心组装驱动力是什么？与传统蛋白质自组装有何异同？”学生通过在线讨论区提交预习笔记。

课中阶段（90分钟课堂）：前20分钟教师梳理 DNA 自组装的热力学与动力学基础；中间40分钟开展小组研讨（4-5人/组），每组需完成：①绘制 DNA 折纸技术的关键步骤流程图；②对比 DNA 与蛋白质自组装在结合位点特异性、组装维度、调控手段等方面的差异；③讨论该技术在药物递送中的优势与挑战[6]；最后30分钟进行组间互评与教师总结，教师针对共性问题（如组装产率低、体内稳定性差）引入最新解决方案（如2023年 Nature Nanotechnology 上的动态 DNA 折纸研究）。

课后阶段：学生提交个性化学习报告，要求至少引用2篇近三年文献，提出一项改进 DNA 折纸稳定性的创新思路。

可观测指标：①课堂主动发言率从12.3% 提升至67.8%；②跨学科知识关联能力测试得分（满分10分）从改革前4.2分提升至7.6分；③学生能准确识别至少3种生物大分子自组装体系的适用场景。

（二）优化课程教学内容，对接学科前沿与产业

重构“基础理论（45%）+ 前沿科研（35%）+ 产业应用（20%）”的立体化教学内容体系，实现每学期教学内容更新率不低于20%。

具体教学案例2：“多肽自组装水凝胶：从分子设计到3D 细胞培养应用”产业案例教学

本案例引入材料科学与工程学院与某生物科技公司的合作研发项目。教学内容分为三个层次：

层次一（基础理论）：讲解多肽的二级结构（α-螺旋、β-折叠）、自组装驱动力（氢键、疏水作用、π-π 堆积）、凝胶化机理。

层次二（前沿科研）：介绍近三年发表的5篇高水平研究论文，重点讲解“超声诱导多肽凝胶化”“pH 响应型自组装多肽”等新技术。教师展示本课题组未发表的原子力显微镜表征结果（自组装形貌图），引导学生分析组装条件对纤维网络结构的影响[7]。

层次三（产业应用）：播放企业研发中心的3分钟短视频（经脱敏处理），展示多肽水凝胶从实验室配方到中试放大生产的过程，重点分析三个工程问题：①凝胶化时间从实验室的10分钟延长至生产线的45分钟的原因；②如何通过搅拌速度调控纤维取向；③无菌生产的质量控制难点。学生分组讨论并提出改进方案[8]。

（三）完善综合考核体系，健全全过程育人评价

重构“课堂表现（20%）+ 实践创新（30%）+ 随堂测评（20%）+ 课程论文（30%）”的综合考核体系，建立全过程动态评价档案。

具体考核指标细化：

表1 课程考核体系与可观测指标对应表

考核模块	权重	评价频次	可观测指标	对应毕业要求指标点
课堂表现	20%	每周记录	①主动发言次数（≥3次为优秀）；②小组研讨贡献度（组长/记录员/发言人角色）；③预习笔记完成质量（按 A/B/C/D 四档）[9]	沟通协作、终身学习

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

考核模块	权重	评价频次	可观测指标	对应毕业要求指标点
实践创新	30%	第8周、第15周	①仿真模拟操作报告（评分标准：操作规范性30%+ 数据分析40%+ 讨论深度30%）；②产业案例分析（问题识别30%+ 方案可行性40%+ 文献支撑30%）[10]	问题分析、使用现代工具、创新设计
随堂测评	20%	第5、10、15周	选择题 + 简答题 + 跨学科综合分析题（例如：给定一种新型自组装材料的表征图谱，要求学生判断组装类型、推测驱动力、提出调控策略）	专业知识、分析能力
课程论文	30%	第16周	①文献覆盖度（近三年高水平论文≥10篇）；②自主研究内容占比（实验 / 模拟数据≥30%）；③格式规范性；④答辩 PPT 质量（清晰度 + 逻辑性 + 回答问题准确率）	研究能力、书面表达

全过程评价实施方式：教师利用课程管理平台（如雨课堂、学习通）记录每次课堂互动的参与情况；实践环节由研究生助教全程跟踪，每周提交小组进展简表；随堂测评采用“当堂测 + 次日反馈”模式，帮助学生及时发现知识盲区。

三、教学改革初步成效与反馈

为验证改革效果，课程团队对2019级（改革前，51人）、2020级（首轮改革，29人）、2021级（深化改革，63人）三届学生进行了对比分析。

量化成效汇总：

课程满意度：改革后课程总体满意度达91.3%（改革前为54.2%），其中“教学内容前沿性”满意度从32.5% 升至89.1%，“实践环节获得感”从18.6% 升至86.7%。

能力提升：跨学科综合能力测评（满分100分）平均分从71.2分提升至87.3分，提升22.6%。在“挑战杯”“互联网 +”等学科竞赛中，选修本课程的学生团队申报与生物自组装相关项目数量从改革前的2项增至4项，获校级奖励1项。

学生反馈摘录（来自匿名问卷）：“翻转课堂让我真正理解了 DNA 自组装的热力学本质，而不是死记硬背公式。”（2021级李同学）“产业案例中的放大生产问题是我从未想到的，原来实验室做得好不等于能工业化。”（2021级王同学）

参考文献

[1] 钟登华 . 新工科建设的内涵与行动 [J]. 高等工程教育研究 ,2017(3):1-6.

[2] 顾佩华 . 新工科与新范式 : 概念、框架和实施路径 [J]. 高等工程教育研究 ,2017(6):6-18.

[3]Rothemund P W K.Folding DNA to create nanoscale shapes and patterns[J].Nature,2006,440(7082):297-302.

[4]Whitesides G M,Grzybowski B.Self-assembly at all scales[J].Science,2002,295(5564):2418-2421.

[5]Zhang S G.Fabrication of novel biomaterials through molecular self-assembly[J].Nature Biotechnology,2003,21(10):1171-1178.

[6]Webber M J,Appel E A,Meijer E W,et al.Supramolecular biomaterials[J].Nature Materials,2016,15(1):13-26.

[7] 李亚东 , 朱泓 . 工程教育专业认证视角下的课程教学改革 [J]. 中国大学教学 ,2019(5):42-46.

[8]Seeman N C,Sleiman H F.DNA nanotechnology[J].Nature Reviews Materials,2017,3(1):17068.

[9] 张立群 , 王振刚 . 高分子材料专业 " 新工科 " 人才培养模式探索 [J]. 化工高等教育 ,2020,37(4):23-28.

[10] 陈国松 , 许晓东 . 本科教育课程质量标准的构建与实施 [J]. 高等工程教育研究 ,2018(2):78-83.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.