



工程认证背景下创新设计型实验模块实施

雷 黎, 张 玥, 王焕磊, 满 成

(中国海洋大学 材料科学与工程学院, 青岛 266100)

摘要: 基于工程教育专业认证提出的“以学生为中心、以培养目标为导向”教学理念, 围绕“循序渐进、逐步提高”课程体系的构建, 针对材料科学基础实验课程实施教学思想转变、教学内容优化、教学手段丰富等全方位改革创新, 开发了融入学院发展特色的“科研+创新”元素融合的创新设计型实验模块, 耦合线上资源与线下教学, 协同开放式实验教学模式, 促进了课程目标的达成, 推动了材料科学与工程专业创新型人才培养。

关键词: 工程教育认证; 创新设计型实验; 实验教学; 教学改革

中图分类号: G424.1

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230463

Implementation of the Innovative Design Experimental Module under the Engineering Education Certification

LEI Li, ZHANG Yue, WANG Huanlei, MAN Cheng

(School of Materials Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Based on the student-centered and training target-oriented teaching philosophy, centering on the construction of the curriculum system of step-by-step improvement, the course of Basic Experiment of Material Science has implemented a comprehensive innovation, including the transformation of teaching ideas, the optimization of teaching content and the enrichment of teaching methods. The characteristic experimental module integrated with scientific research and innovation elements is developed, combining online resources with offline teaching and coordinating the open experimental teaching mode, which promotes the achievement of the course objectives and the cultivation of innovative talents in the major of materials science and engineering.

Key words: engineering education certification; innovative design experiment; experimental teaching; teaching reform

教育是国之大计、党之大计。习近平总书记在全国教育大会上提出, 要“培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人”, 同时在党的二十大报告强调, “坚持以人民为中心发展教育, 加快建设高质量教育体系, 发展素质教育, 促进教育公平。”总书记的重要论述为推进新时代高等教育高质量发展、深化综合教育教学改革指明了方向。

材料科学基础实验是材料科学与工程专业的专业核心课程, 该课程以帮助学生深刻理解材料科学基础理论, 掌握材料结构表征及性能测试的基本方法与操作技术为目的, 进而培养学生运用

理论知识解决实际复杂工程问题的能力, 实现材料科学与工程专业创新人才培养的目标。为贯彻党的教育方针, 落实工程教育认证“以学生为中心、以培养目标为导向”的教育理念, 对于教师来说, 需要转变教学思想、优化教学内容、创新教学方法, 全面提高学生的实践能力和综合素质, 为建设创新型国家、实现工业化和现代化奠定坚实的人力资源优势, 提升国家的核心竞争力^[1-2]。

1 课程教学挑战

为培养学生的科学素养和创新意识, 工程教

收稿日期: 2023-09-28; 修回日期: 2023-10-31

基金项目: 2022 年度中国海洋大学本科教育教学研究项目(2022JY155); 2023 年度中国海洋大学本科教育教学研究项目(2023JY138)

作者简介: 雷黎(1981—), 女, 博士, 高级实验师, 主要从事实验教学改革与创新方面的研究。E-mail: leiliqd@163.com

育认证背景下材料科学基础实验课程以 5 个专业人才培养目标(专业能力、职业能力、基本素养、社会能力、自我发展)为引领,以 12 个毕业能力要求指标点为抓手,以 4 个课程目标为实现途径,根据毕业要求与培养目标的矩阵关系初步建立了指标点达成评价体系。随着时代进步与材料学科前沿的发展,机械重复且相互独立的验证型实验项目以及单一的实验手段是无法满足新形势下材料科学与工程专业创新人才培养目标的,因此,实验教学内容和教学方法应顺应时代持续优化,科技发展需要在实验中得到充分体现。

一方面实验项目应注重材料学科多个方向的渗透,实现同一学科多专业知识的交叉;另一方面实验内容应融入“科研”“创新”等元素,加强与科研转化成果的结合。由此,结合课程特点,深入挖掘材料科学基础实验课程所承载的教学功能,积极探索课程所蕴含的科研与创新元素,从教学思想、实验内容、实验教学模式等方面对该课程进行全方位的优化与改革,在工程认证背景下,服务专业发展,通过正面教育引导激励学生,提高学生的创新实践能力,适应社会对创新性、综合性材料科学研究与工程技术人才的需求。

2 课程改革指导思想

2.1 转变教学思想

创新型人才培养的教学模式是“研究型教学”,研究型教学以学生为中心、以教师为主导。首先,理顺教师与学生的关系,开设由教师组织指导、学生自主探究的创新型实验教学内容,以此激发学生的求知欲、创新欲和探索精神;其次,理顺学生与实验室的关系,为学生提供开放性实验平台,使学生由指定实验时间、固定实验内容的被动型学习转化为根据实验课程要求自主设计、探究问题。鼓励学生独立设计实验方案、细化实验步骤、明确仪器设备及表征分析手段等,扩大学生创新思维的广度,为学生科研能力的培养奠定坚实、宽广的知识基础。

2.2 优化教学内容

按照“循序渐进、逐步提高”原则,除了关注学生基本操作技能训练和知识整合训练外,更应注意强化学生的创新思维训练,使学生真正成为学习的主体。调研发现,开展模块化实验教学

可以有效培养学生严谨的科学态度,提升学生创新研究能力,引导学生学习有深度、思考有广度。此外,模块化实验教学有助于培养学生主动学习意识和知识总结能力,使得学生实验设计能力增强,发现、分析和处理问题能力得到提升^[3-6]。

2.3 丰富教学手段

针对单一实验教学模式存在的局限性,开展多元素融合的混合式教学手段可以激发学生主动思考,增强实验感官认识,提升学生实验热情^[7-8]。一方面计算机虚拟仿真技术有助于突破传统技术限制,推行多方向、多环节的主题学习^[8-10],实物化的快速处理为学生提供更开阔的实验空间和实践类型,提升学生在实验中的兴趣和参与积极性,更好地培养学生认知能力和实践能力,促进实验手段的多样化和实验内容的创新。

另一方面,开放式实验教学手段可以解决传统实验教学模式受时间、空间限制的问题,使学生从实验设计、实验准备到全过程参与到实验中,促进科研成果转化实验教学的实施。它不受时间与空间限制,能够有效减少学生实验的盲目性,并充分调动学生的主观能动性,激发学生的创新意识^[11]。科研成果与实验教学相结合的开放式实验教学新模式使学生在实验教学中紧跟科技前沿,学生的学习兴趣得到激发,其科研能力、创新能力、分析解决问题能力得到提升^[12-14]。

综上所述,围绕“循序渐进、逐步提高”课程体系构建,针对材料科学基础实验课程实施教学思想转变、教学内容优化、教学手段丰富等全方位改革与创新,如图 1 所示,可以充分发挥该课程的教学功能。在基础验证型与综合专题型实验模块基础上,开发基于“科研成果转化”“创新设计”等元素融入的创新设计型实验模块,以此提升学生综合素质和研究能力,为创新型人才培养目标的实现提供有力支撑。

3 创新设计型实验模块教学设计

创新设计型实验模块的教学目标为:通过自主设计与创新探索要素的融入,鼓励学生科学、合理地创新,引导学生从失败中总结与反思,使学生具备基于科学原理设计实验、采用科学方法分析数据、综合得到有效结论的能力,进而解决复杂工程问题。围绕教学目标,材料科学基础实

验创新设计型实验模块设计要点为:

1) 将“科研+创新”元素融入实验环节,构建创新设计型实验模块,与基础验证型和综合专题型模块形成“循序渐进、逐步提高”实验训练体系;

2) 提取创新设计型实验蕴含的关键词,绘制实验导图,引导学生快速了解实验内容及操作重点难点,加强学生基本操作、知识整合、创新思

维等多种实践训练;

3) 丰富教学手段,耦合线上资源与线下教学,协同开放式实验教学模式促进科研成果与实验教学相结合;

4) 实验项目设计过程中注意把控实验内容的结构层次和操作难度,既要关注内容的关联性,又要注重内容的创新性。

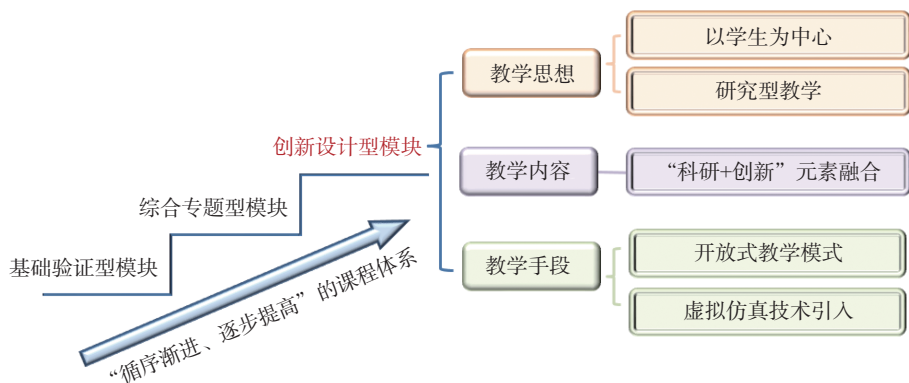


图1 材料科学基础实验课程改革指导思想

为实现创新设计型实验教学模块特定的教学目标,结合学院研究特色,围绕设计要点与关键

词,开发基于“科研+创新”元素融合的创新设计型实验教学模块,如图2所示。

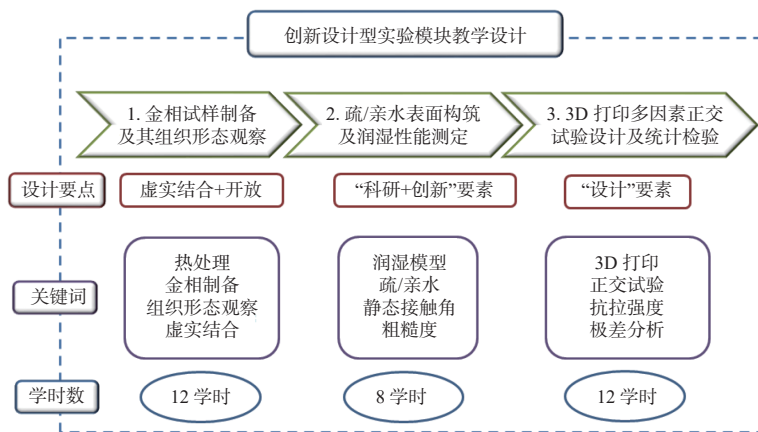


图2 材料科学基础实验创新设计型模块实验教学设计

该模块包含了3个实验项目。

1) 金相试样制备及其组织形态观察

金相技术是材料类专业最基础的实验技能^[15],金相试样制备是材料科学基础实验的重要组成部分,利用“线上演练—线下实操”虚实结合与开放式实验教学手段,有利于学生掌握金相试样制备方法及金相显微镜观察试样组织形态方法,强化学生金相样品的镶嵌、磨制、抛光、腐蚀和观察等金相制备技能的培养。此外,金相实验与热处理实验融合,以得到马氏体为目标,使学生学会

热处理实验中加热温度、加热时间、保温时间、冷却介质的选择,并深入思考不同热处理状态对试样金相组织形貌的影响,提升学生知识整合能力和综合分析能力。

2) 疏/亲水表面构筑及润湿性能测定

学院将“海洋材料”作为特色研究和重点发展方向,近年来在海洋防腐防污领域取得多项科研成果^[16-17]。依托学院前沿科研成果,在该课程中开展材料疏/亲水表面构筑及润湿性能研究的实验内容,聚焦海洋工程材料发展需求,贴合学院

材料科学与工程专业学生培养目标，使学生掌握润湿性理论模型，了解液滴在固体表面的 3 种润湿状态，学会接触角测量方法，进而思考材料微结构与润湿性能关系，以及疏/亲水表面材料耐蚀/防污性能影响。“科研+创新”要素与实验教学相结合，可以有效锻炼学生的科研思维，促进学生创新实验能力培养。

3) 3D 打印多因素正交试验设计及统计检验

3D 打印技术作为一种新兴材料加工成型技术，被认为是制造技术领域的一次重大突破^[18]，将 3D 打印技术与正交试验引入材料科学基础实验教学中，除了让学生掌握 3D 打印技术原理、了

解 3D 打印流程外，还通过 3D 打印实训与多因素、多水平正交试验“设计”要素的融合，使学生掌握科学的统计检验方法，综合分析 3D 打印参数改变对试样抗拉强度的影响，获得优化的 3D 打印工艺参数。该实验项目有利于呈现多学科交叉，完善实验教学内容，更新材料专业大学生先进制造知识体系，激发学生的学习热情和求知欲。

创新设计型实验教学模块共计 32 学时，每个实验项目由系列子实验构成，各子实验内容紧密相连、环环相扣，如表 1 所示，根据教学内容绘制的实验导图，如图 3 所示，有助于学生快速梳理实验内容，明确实验重点难点。

表 1 材料科学基础实验创新设计型模块实验要求

实验项目	子实验名称	实验内容	实验重难点	学时数
项目1: 金相试样制备及其组织形态观察	1) 试样热处理	掌握基本热处理操作; 了解含碳量、加热温度、冷却速度、回火温度对钢性能的影响	1) 强化金相样品镶嵌、磨制、抛光、腐蚀、观察等金相制备技能培养 2) 综合分析不同热处理状态对金相组织形态的影响	4
	2) 金相试样制备	利用线上-线下虚实结合了解金相试样制备原理, 熟悉金相试样制备方法		4
	3) 金属组织形态观察	了解金相显微镜基本结构和操作方法; 掌握金相显微镜观察试样组织形态方法		4
项目2: 疏/亲水表面构筑及润湿性能测定	1) 不同粗糙度表面构筑	掌握接触角含义以及润湿性理论模型; 了解表面改性常用方法; 构筑不同粗糙度表面	1) 思考材料表面微结构与其润湿性能关系 2) 分析疏/亲水表面对材料耐蚀/防污性能影响	4
	2) 材料润湿性能测试	掌握接触角测量方法; 探寻表面粗糙度与润湿性能对应关系; 分析影响接触角测量因素		4
项目3: 3D打印多因素正交试验设计及统计检验	1) 3D打印原理及正交试验设计	理解3D打印技术基本原理, 了解3D打印工艺参数; 掌握多因素正交试验设计方法	1) 3D打印参数选择与正交试验设计 2) 以抗拉强度为判据, 获得3D打印参数重要性排序及最优方案 3) 探讨3D打印参数对试样抗拉强度影响规律	2
	2) 3D打印实训	掌握3D打印基本流程, 通过3D打印训练, 加深学生对FDM成形工艺的理解		4
	3) 拉伸性能测试	了解拉伸试验原理, 掌握拉伸试验方法, 通过拉伸应力-应变曲线对抗拉强度等做出评价		4
	4) 极差统计检验	学会正交试验极差分析方法, 以拉伸强度为判据, 优化3D打印工艺参数		2

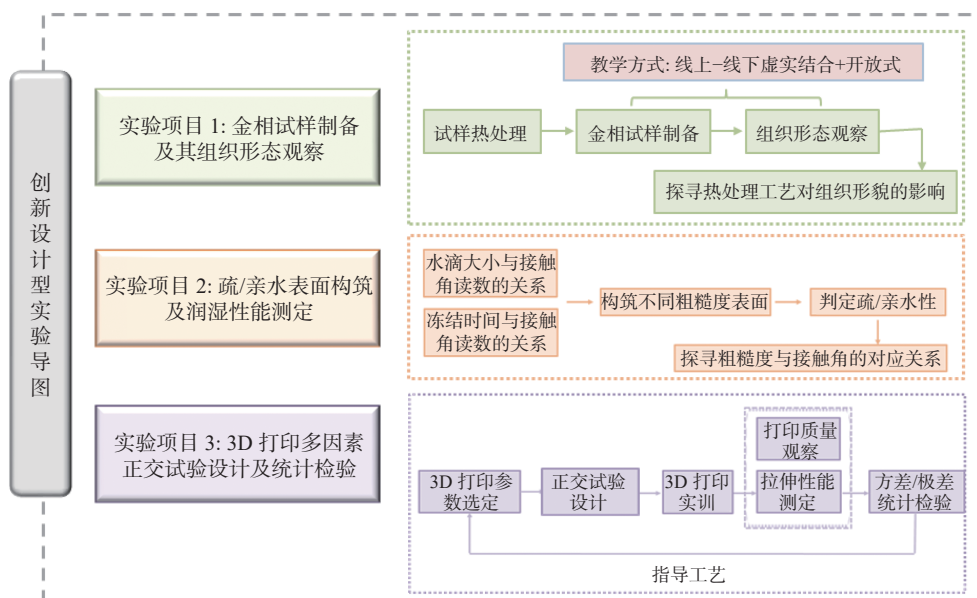


图 3 材料科学基础实验创新设计型模块实验导图

4 创新设计型实验模块实施

在“以学生为中心”的教育理念下,将学生作为实验教学的主体,材料科学基础实验创新设计型实验模块在实施过程中注意从“课前、课中、课后”3个维度进行教学设计,课前教师提供实验导图、线上资源等帮助学生完成实验预习,把握实验整体脉络;课堂中教师根据学生预习情况针对共性问题进行解答,重点讲授实验操作重点难点;课后教师加强实验报告中分析讨论部分权重,同时根据学生提出的意见和建议,对实际教学效果进行评估,持续改进。

4.1 “科研+创新”元素融入的实施

结合学院科研特色,以项目驱动式学习方式开展创新设计型实验,实现学生自主设计+探究问题能力培养。将学生分组,实行组长负责制,由教师给出课题,以“疏/亲水表面构筑及润湿性能测定”实验项目为例,教师根据实验室硬件及软件条件,秉承环境友好绿色教学理念,向学生提供可供选择的具有“科研”元素实验内容,如铜基表面十二硫醇修饰、铝基表面盐溶液刻蚀、镁

基表面硅烷膜制备等,引导学生制备不同粗糙度表面,并进行接触角测量。组长带领小组成员进行选题确认→任务分工→文献调研→方案设计,在与教师沟通、完善,确定方案具有可行性后,细化步骤→执行方案→创新点提炼。实验过程注重过程探究,通过成员交流、教师指导、文献资源利用等手段分析实验现象,阐述实验结果。

4.2 开放式实验教学模式的实施

开放式教学手段实现了以问题为导向科研反哺教学创新实验教学环节的实施,开放式教学手段即时间开放、空间开放、仪器开放。学院为学生提供丰富多彩的开放式创新实验平台,包含材料科学基础实验室、金相实验室、3D打印实验室和虚拟仿真实验室,如图4所示,满足了创新设计型实验模块的实践需求。学生经过实验室安全培训、仪器操作培训,获得实验室准入证后,方可进入实验室。根据实验计划表,学生结合自身时间做好实验室预约和仪器预约,自主开展相关实验项目。期间为保证实验室及实验人员安全,除了建立严格的开放实验室使用制度与仪器使用登记制度外,学生在初次使用时教师必须现场给予一定的指导与建议。

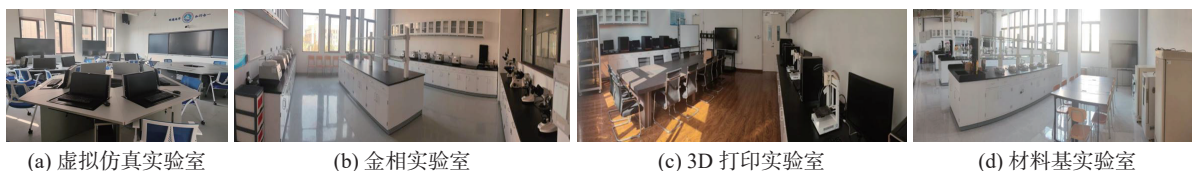


图4 学院开放式创新实验平台

4.3 全过程考核评价体系的实施

打破单纯依靠考勤和实验报告进行评定的单一考核方式,突出全过程多元化评价。将课前预习、课中操作、课后报告与动态考核相结合,构建“1+2+3+4”式全过程考核评价体系,多尺度全方位评价学生的学习效果,如表2所示。课前预习占比10%,通过预习报告的完整性和准确性,结合课前提问进行考核;课中操作占比20%,通过出勤以及课堂表现进行跟踪评定;动态评价占比30%,是以项目式学习开展实验教学后,通过教师评定、学生自评、小组互评的方式共同考查学生在课下文献调研、课上PPT汇报阶段的状态;课后报告占比40%,根据实验报告的完成情况,如原理是否清晰、步骤是否准确、图表是否规范、分析是否得当等对该部分成绩进行评定。

全过程考核评价体系的实施关注学生的学习动态,及早对态度不端正情况予以干预,提高学生学习主动性,增强实验教学效果。

表2 全过程多元化考核评价体系

考核项目	占比/%	考核途径
课前预习	10	预习报告+课前提问
课中操作	20	考勤+实验操作
动态评价	30	文献调研+PPT报告: 自评+互评+教师
课后报告	40	实验报告

实际教学中可以明显感受到学生的变化,具体体现在:学生预习效果得到强化,预习报告完成率100%;学生实验操作的条理性 and 熟练程度加强,自主思考和课堂讨论增多;学生规范撰写实验报告的能力增强,能够有效利用数据分析软件

Origin 进行科学绘图、分析数据；课下利用交流平台与教师的互动交流增加。

学校“教学质量管理平台”上学生对教师课堂教学质量的调查数据显示，近 3 年学生对材料科学基础实验的打分均高于全校平均值，这表明学生对于课程的认可度和满意度逐年提高，如图 5(a)所示。从学生课程综合成绩反映出，近三年课程目标与对应毕业要求指标点达成度均高于 80%，如图 5(b)所示。此外，通过材料科学基

础实验的培养与锻炼，学生能够积极参加创新创业大赛，如在第四届山东省大学生金相技能大赛中，学院大二学子首次参赛，获得一等奖 1 项、三等奖 5 项，如图 5(c)所示；本科生积极参加校 3D 打印设计大赛，其作品在历次比赛中均取得喜人成绩，如图 5(d)所示。这些表明，创新设计型实验模块的实施有效培养了学生的实验操作能力和科研创新能力，促进了学生知识内化和知识体系的构建。

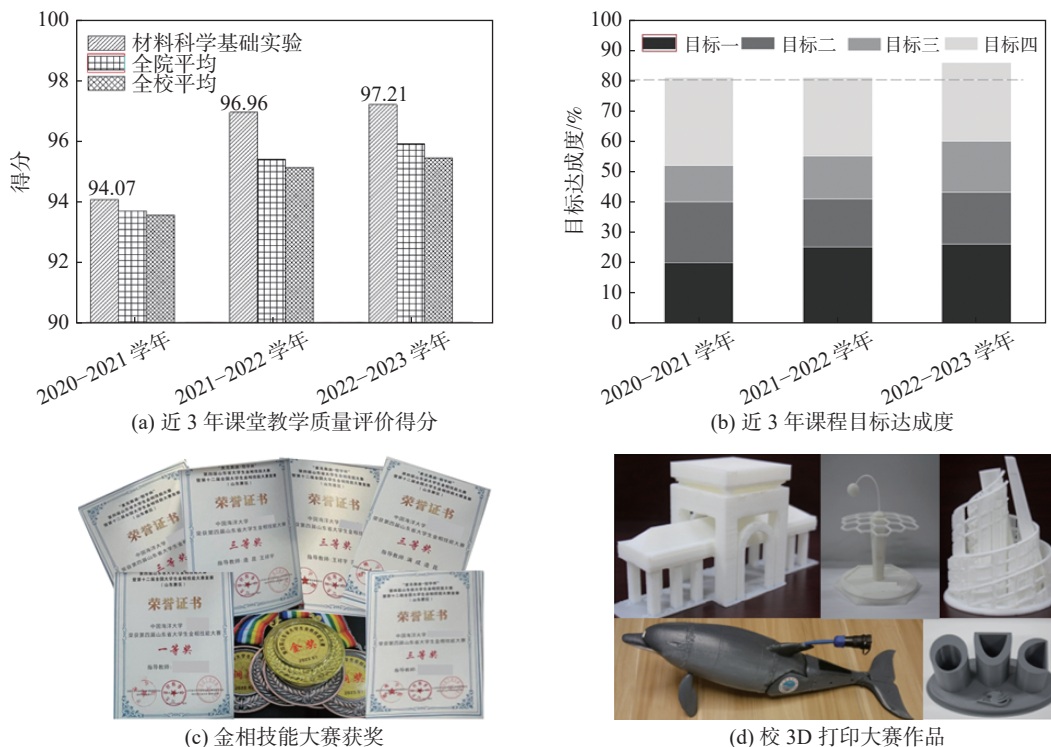


图 5 材料科学基础实验创新设计型实验模块实施效果

5 结束语

针对工程教育认证“培养目标—毕业要求—课程目标达成—指标点评价”体系，以“培养适应国家经济和海洋行业发展，具有家国情怀、国际视野、创新精神和实践能力的社会主义事业建设者和接班人”为目标，结合学院研究特色，在深入挖掘材料科学基础实验课程所蕴含的科研与创新元素后，利用关键词提取与实验导图运用，开发了融入学院发展特色的“科研+创新”元素融合的创新设计型实验模块，该模块实验项目的实施促进材料科学基础实验向“自主设计+探究过程”方向发展，学生基本操作技能、创新思维、知识整合等多种实践训练得到进一步强化，学院创新型人才培养质量得到进一步提升。

参考文献

- [1] 胡雅莉, 李廷斌. 应用型人才培养模式下的材料科学基础实验课程改革[J]. 广州化工, 2022, 50(4): 155-157.
- [2] 钱功明, 叶青, 杨福, 等. 工程教育认证背景下固废资源化研究型实验设计[J]. 实验科学与技术, 2022, 20(4): 47-51.
- [3] 姜春萌, 李双喜, 宫淼淼. 新工科建设背景下水利类专业建筑材料课程模块化教学模式探索[J]. 创新创业理论与实践, 2023, 6(12): 125-128.
- [4] 王晓刚, 黄俊滨, 谢鹏俊. 基于模块化实验系统的电力电子技术实验教学改革[J]. 高教学刊, 2023, 9(16): 122-125.
- [5] 周杰, 王文燕, 林爱华. 以模块化教学促进实验教学的协同发展[J]. 实验室科学, 2023, 26(1): 118-123.
- [6] 关景元. 基于“互联网+”的模块化分子生物学实验教学方法改革策略[J]. 互联网周刊, 2023(11): 70-72.

- [7] 严天祥,李先瑄,陈辉庆,等.基于混合教学模式的齿轮范成原理实验研究[J].实验科学与技术,2023,21(3):113-116.
- [8] 阮君,周权,张迪,等.基于虚拟仿真的混合式动物学实验教学模式[J].实验科学与技术,2023,21(1):130-134.
- [9] 肖旭东,侯晓莉,乔丹,等.模拟仿真在现代加工技术课程中的应用[J].实验科学与技术,2023,21(3):108-112.
- [10] 孙鹏辉,谈明轩,吴峰,等.虚拟仿真技术与海洋科学类实践教学的融合路径研究[J].实验科学与技术,2023,21(3):87-92.
- [11] 唐娟,蒋建利,陈志南.结合以问题为导向教学法的开放式教学新模式在基础医学实验课教学中的应用和效果评价[J].细胞与分子免疫学杂志,2022,38(4):378-382.
- [12] 刘宗辉,黄震,蒋剑青.科研反哺教学的岩土与地下工程创新实验设计与实践[J].实验室研究与探索,2023,42(6):211-214.
- [13] 沈利荣,沈蓉,李小平,等.科研成果向创新实验教学的转换探索—以XPNAV技术为例[J].实验技术与管理,2022,39(2):205-209.
- [14] 于丹凤,徐秀彬,吴旭.前沿科研成果融入化工专业实验教学:超双疏防污涂层的设计制备[J].广东化工,2023,50(17):217-219.
- [15] 张秋阳,王正军,刘静静,等.材料类专业金相实验课程教学改革探索与实践[J].中国现代教育装备,2022(23):134-135.
- [16] 李育桥,司伟婷,高荣杰.铝合金超双疏表面的制备及其耐腐蚀性研究[J].中国腐蚀与防护学报,2022,42(6):966-972.
- [17] 尹续保,李育桥,高荣杰.铜基超疏水表面的制备及其耐腐蚀性研究[J].中国腐蚀与防护学报,2022,42(1):93-98.
- [18] 孙君,程丝.3D打印实验教学课程的设计与探索[J].实验室科学,2022,25(1):89-91.

编辑 葛晋

(上接第20页)

- [5] 王朕,肖支才,秦亮,等.自动测试技术实验教程[M].北京:北京航空航天大学出版社,2020.
- [6] 徐立军.自动测试原理与系统[M].北京:科学出版社,2022.
- [7] 王彤,鲍玉斌,杨雷,等.数据结构实验金课建设教学探索与实践[J].实验室研究与探索,2021,40(5):184-192.
- [8] 殷人昆.数据结构:用面向对象方法与C++语言描述[M].3版.北京:清华大学出版社,2021.
- [9] 唐求,滕召胜,姚文轩,等.测控技术与仪器专业实践教学改革[J].实验室研究与探索,2023,42(8):172-175.
- [10] 马梦威.三维自动测试系统虚拟仿真平台的设计与实践[D].成都:电子科技大学,2022.
- [11] 李冬梅,曲锦涛.数据结构:Python版[M].北京:人民邮电出版社,2021.
- [12] 秦金磊,李整.计算机软件基础[M].北京:北京邮电大学出版社,2022.
- [13] 孙道层.C语言程序设计递归算法的研究与应用[J].电子技术与软件工程,2021(20):46-47.
- [14] 吴昊.中序遍历二叉树的非递归算法研究[J].信息与电脑(理论版),2021,33(17):85-88.
- [15] 徐新爱,朱恩芳.数据结构课程实践教学探索与实践[J].实验室研究与探索,2021,40(9):186-192.

编辑 葛晋