·教学改革·

军医大学生物医学工程专业《工程制图》教学改革探索与实践

景达　颜泽栋　孙涛　刘娟　田玉兰　吴小明　谢康宁
空军军医大学军事生物医学工程学系军事医学装备与计量学教研室，西安　710032
通信作者：谢康宁，Email：xiekangning@fmmu.edu.cn

【摘要】 针对《工程制图》课程长期教学实践中发现的现实问题，教学组提出了“四结合”式的军医大学生物医学工程专业《工程制图》课程改革理念，通过优化课程体系、改良教学方法、创新考核模式、完善教材建设、推进条件建设、加强教学团队建设等多维度开展课程教学改革，建设了紧密围绕生物医学工程、临床医学和军事医学实际案例的特色课程，从学员课堂积极性、结业考试成绩、学员测评满意度及学员运用所学知识开展实践设计工作多个角度证明教学效果得到显著提升。该课程的教学改革能够培养军医大学生物医学工程学员的专业兴趣，并能够为其他相关高校后续开展《工程制图》教学改革提供实践经验。

【关键词】 工程制图；　教学改革；　生物医学工程
【中图分类号】 R318
基金项目：陕西高等教育教学改革研究项目（19BY151）；空军军医大学教学保障研究课题（2022JB-04）
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20231210-01755

Exploration and practice of teaching reform in the course of Engineering Drawing for biomedical engineering major at military medical universities

Jing Da, Yan Zedong, Sun Tao, Liu Juan, Tian Yulan, Wu Xiaoming, Xie Kangning
Teaching and Research Section of Military Medical Equipment and Metrology, School of Military Biomedical Engineering, Air Force Medical University, Xi'an 710032, China
Corresponding author: Xie Kangning, Email: xiekangning@fmmu.edu.cn

【Abstract】 Based on the practical issues discovered in the long-duration teaching practice for the

[6] Wilson RC, Shenhav A, Straccia M, et al. The Eighty Five Percent Rule for optimal learning [J]. Nat Commun, 2019, 10: 4646. DOI: 10.1038/s41467-019-12552-4.
[7] Augustin M. How to learn effectively in medical school: test yourself, learn actively, and repeat in intervals [J]. Yale J Biol Med, 2014, 87(2): 207-212.
[8] Zaidi A, Caines A, Moore R, et al. Adaptive forgetting curves for spaced repetition language learning [M]//BittencourtI I, Cukurova M, Muldner K, et al. Artificial Intelligence in Education: Vol. 12164. Cham: Springer International Publishing, 2020: 358-363. DOI: 10.1007/978-3-030-52240-7_65.
[9] Settles B, Meeder B. A trainable spaced repetition model for language learning [C]//Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers). Berlin, Germany: Association for Computational Linguistics, 2016: 1848-1858. DOI: 10.18653/v1/P16-1174.
[10] Jape D, Zhou J, Bullock S. A spaced-repetition approach to enhance medical student learning and engagement in medical pharmacology [J]. BMC Med Educ, 2022, 22(1): 337. DOI: 10.1186/s12909-022-03324-8.
[11] Deng F, Gluckstein JA, Larsen DP. Student-directed retrieval practice is a predictor of medical licensing examination performance [J]. Perspect Med Educ, 2015, 4(6): 308-313. DOI: 10.1007/s40037-015-0220-x.
[12] Matos J, Petri CR, Mukamal KJ, et al. Spaced education in medical residents: An electronic intervention to improve competency and retention of medical knowledge [J]. Plos One, 2017, 12(7): e0181418. DOI: 10.1371/journal.pone.0181418.

（收稿日期：2023-03-11）
（本文编辑：唐宗顺）

course of Engineering Drawing, our teaching team has proposed the "four combinations" reform concept for the Engineering Drawing course of the biomedical engineering major in military medical universities. A distinguished course closely related with biomedical engineering, clinical medicine, and military medicine was successfully established by performing the course teaching reforms from multiple dimensions, including optimizing the curriculum system, improving teaching methods, innovating assessment models, improving textbook construction, promoting teaching condition construction, and strengthening the teaching team competitiveness. We have demonstrated a significant improvement in teaching effectiveness from multiple perspectives, including student classroom enthusiasm, graduation exam scores, student satisfaction with evaluations, and the use of learned knowledge in practical design work. The teaching reform of this course is expected to significantly enhance the interest of biomedical engineering students in the major at military medical universities, and provide practical experience for other related universities to perform subsequent reforms in Engineering Drawing teaching.

【**Key words**】 Engineering drawing;　Teaching reform;　Biomedical engineering

Fund program: Research Project on Teaching Reform of Education in Shaanxi Province (19BY151); Research Project on Teaching Support of Air Force Medical University (2022JB-04)

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20231210-01755

空军军医大学军事生物医学工程学系是全军首个生物医学工程专业本科、硕士、博士学位一级授权学科，以军事生物医学工程为学科发展方向，在生物医学工程与军事医学结合、与临床应用结合方面具有鲜明特色。《工程制图》是生物医学工程本科生重要的专业基础课程，在生物医学工程专业本科生整个课程设置中占有重要的地位[1]。《工程制图》也是高校工程类专业基础教学的必备模块，步入工程殿堂的“敲门砖”[2]。《工程制图》兼具较强的理论性和实践性，部分内容较为抽象和枯燥，理解和掌握的难度较大，而其授课对象是大一学生，学员缺乏对机械工程事物直观的认识。因此，高质量的《工程制图》课程教学可以让学员感受到生物医学工程的学科魅力，培养和提升学生的专业兴趣。

军事医学装备与计量学教研室《工程制图》课程教学组长期从事《工程制图》课程的教学工作，完成了近20届生物医学工程本科学员的《工程制图》教学任务，在《工程制图》理论和实践教学中积累了一定的经验。近年来，“新工科”建设战略方案的提出推动着人才培养模式和教学模式的变化[3]，教学组基于《工程制图》本科教学中存在的问题，实施了系列化的教学改革措施，取得了显著的实践成效。

1　现存的主要问题分析

工程图样是工程师表达和交流思想的语言，是工程技术部门的重要技术文件，能够阅读和绘制工程图样是工程图学素质的重要体现。高等院校所有工科学生都必须具备良好的工程图学素质[4]。《工程制图》课程是工科院校中一门工科基础课，旨在培养学生的工程图形学素质，包括空间逻辑思维和形象思维能力，绘制和阅读图形信息的基本能力以及严肃、认真、耐心、细致的工程技术人员的基本素质，可为后续课程的学习打下良好基础，在整个工科专业课程体系中具有不可替代性[5]。因此，国内高校生物医学工程专业普遍将《工程制图》作为必修专业基础课。

然而，随着现代设计技术的发展，工程图样表达在思维和方法上也发生了变化，这必然引发《工程制图》课程内容的重组和优化。传统的《工程制图》教学模式存在以下问题：

一是以通用内容为主，与专业联系不紧。使用非机械类专业通用《工程制图》教材，普遍存在与专业脱节的现象。以空军军医大学教学为例，前期先后选择了清华大学出版社《现代工程制图简明教程》、天津大学《工程制图基础》等4套教材。现有的教材为了兼顾各个专业，内容偏向公共的部分，缺乏生物医学工程专业的针对性，缺乏临床应用，缺乏医学仪器立体模型等专用的教学资源库。

二是尺规作图与计算机制图割裂。工程制图的传统画法是尺规作图，即以直尺、圆规和三角板等作为制图工具。以三维设计为核心的现代设计方法作为制造业设计领域划时代的技术，已经迅速在企业得到推广和应用[6]。这2种方法在教学中都有各自存在的必要，但目前大多数院校的工程图学

教学中，大多数仍以二维工程图样为主的传统方式进行课堂教学，缺乏三维实体建模技术，且2种教学方式互相割裂，没有形成有机的整体。

三是与现代工程制造等新技术联系不紧密。随着3D打印、3D扫描、现代数控加工等技术的飞速发展，引领了制造加工行业的广泛变革[7]，而目前的《工程制图》教学缺乏与上述新技术的实质性关联。

四是教学平台条件和教学手段陈旧落后。主要表现在理论授课条件和手段落后，实体模型和测绘工具陈旧、资源匮乏，上机操作软硬件平台缺乏，设计加工实教平台落后。

可见，传统的《工程制图》课程在生物医学工程专业人才培养中，距离“立足最新的工程技术与生物医学进展，面向未来的挑战，培养具有创新性和交叉性的前瞻性工程技术人才”这一新工科建设要求还有很大的差距。因此，迫切需要在课程体系、教学方法、教学手段、教材建设、条件建设等方面开展教学改革。

2 课程建设目标和思路

以“新工科”建设战略方案为引领[8]，针对军医大学生物医学工程的学科特点，以提高生物医学工程专业本科生《工程制图》教学效果和质量为总体目标，围绕生物医学工程专业《工程制图》课程建设和培养模式开展教学改革，通过学科调研、专家论证、课程改革和实践检验等方式，并结合国家、军队工程图学人员能力认证标准要求，深入探讨《工程制图》课程建设、内容设置、教学模式、考核方式等内容，旨在建立制图课程内容与医学需求相结合、尺规制图与现代计算机制图相结合、二维制图与三维实体造型相结合、工程图学与现代工程制造相结合的“四结合”式军医大学生物医学工程专业《工程制图》课程，为其他相关高校后续开展《工程制图》教学改革提供理论指导和实践经验。

3 课程教学改革探索与实践

3.1 优化课程体系

3.1.1 以需求—设计—制图—制造为链条构建“四结合”式的教学内容

打破单纯讲解制图知识的限制，将制图课程内容与医学需求相结合、尺规制图与现代计算机制图相结合、二维制图与三维实体造型相结合、工程图学与现代工程制造相结合，形成需求—设计—制图—制造的完整链条。以医疗器械、科研装置等的设计为案例引入课程，能够让学员认识到本课程的重要性，提高学习兴趣，从而提高学习效果。现代计算机制图软件已经从单纯制图发展到了3D参数建模（“数字样机”）的阶段，建模后可生成工程图、制作效果图、装配爆炸图和动画。为了跟上技术的进步，本课程增加相应的内容，在课程的最后会对逆向工程技术和3D打印技术做简要介绍。课程的学时设置从改革前的40学时（理论课20学时、实践课20学时）调整为改革后的50学时（理论课26学时、实践课24学时）。课程内容体系如图1所示。

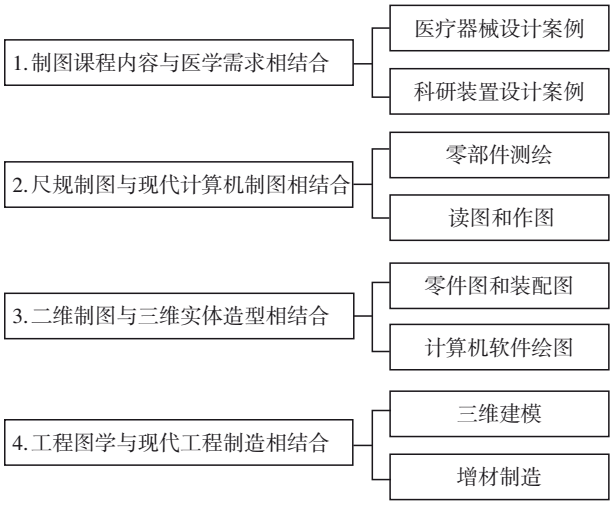


图1 “四结合”式课程内容体系

3.1.2 以需求—设计—制图—制造为链条构建“四结合”式的实践课体系

将传统的尺规作图作为理解基本理论的基础性实践；同时加强现代基于计算机数字模型的实践内容。在建模实践环节，以正向建模为主，辅以与医学紧密相关的逆向建模（3D扫描建模）。在工程图实践环节，以零件图、装配图为主，辅以爆炸图和动画。在综合实践环节，要求学员设计、制图、制造一个完整的样品（独立或分组完成）。课程实践体系如图2所示。

3.2 改良教学方法

教学理念以学员为主体、以教员为主导，以医学问题为牵引，有机融入工匠精神等思政元素，重在激发学员学习的内动力，引导学员关注更高阶的知识综合分析运用[9-10]。与此教学理念相匹配，教学策略的设计整合多种教学活动和教学形式，充分利用慕课、微课、学习通等数字化、信息化的教学平台和3D扫描仪、3D打印机、数控机床等教学资源，

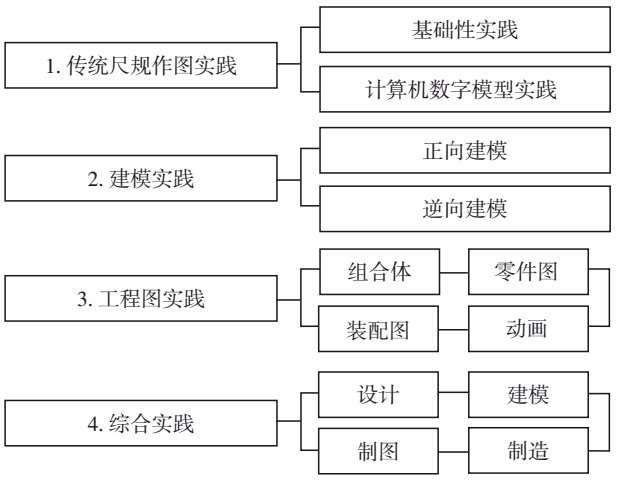


图2　“四结合”式课程实践体系

采取案例式教学、项目式教学、启发式教学、讨论式教学、问题式教学、翻转课堂等灵活的教学方法，保证教学的先进性、有效性和创新性。

针对不同的教学内容设置有针对性的教学策略，教学策略总体方案如图3所示。针对投影理论部分基础性、经典性、理论性强的特点，采用讲授、演示、互动、讨论、案例式教学等方法，解决课程中基本概念和基本方法的理论教学问题。针对工程制图规范和国家标准部分重要但枯燥的特点，采用典型错例翻转分析、正误判断等互动教学法，将知识点内化为基本能力。针对现代工程制图中计算机草图绘制、建模、工程图生成等部分对学员上机操作要求高、耗时长的特点，充分利用精品慕课课程和网络资源，弥补课堂的不足。综合实践采用项目驱动式教学策略，要求学员完成相对完整的产品设计、制图和3D打印并作为终结性评价的一部分。

3.3　创新考核模式

课程考核方式分为过程性考核和终结性考核两部分。过程性考核的计分方法：作业以百分制评分，各次作业的平均分按30%折合计入课程总分。终结性考核采用闭卷考试和综合实践考核2种方式。闭卷考试以百分制评分，按50%折合计入课程总分。综合实践考核以百分制评分，按20%折合计入课程总分。闭卷考试实行教考分离。综合实践考核采用学员汇报演示并答辩的方式，每人不超过5 min，由2名教师从设计选题（包括创新性和难易程度，占比10%）、综合能力水平（包括建模、装配、工程图、表达视图、3D打印等，占比70%）、报告质量（包括语言表达和逻辑思路，占比20%）进行打分评估。

3.4　完善教材建设

教材既是教员的授课之本，也是学员的学习之本[11]。针对现有教材内容偏向制图公共部分，缺乏生物医学工程专业、临床应用和军事医学应用的现实问题，教学组从2018年开始牵头组织开展针对军医大学生物医学工程专业《工程制图》的教材建设工作。在教材编写过程中，教学组邀请了多名军内外在《工程制图》教学领域资深的教授参与编写。此外，考虑到《工程制图》课程的特殊性，需要提供大量的图样设计案例，教学组还纳入近十名研究生学员和高年级本科学员进入教材编写组。

依据军医大学生物医学工程学员人才培养方案，结合“理论知识+专业技能”的培养目标，在国内多名本领域专家的指导下，经编写组反复论证，历时近3年的设计规划，完成了国内首个以案例驱动的《现代工程制图案例教学与实践》教材的编写。该教材包含现代工程制图概论、制图基本知识、图样表示法、零件图与装配图、3D扫描和3D打印共五大章内容，覆盖《工程制图》教学的全部主干知识框架。该教材全部基于3D绘图软件Inventor绘图环境，以实践技能提升为牵引，融汇了大量Inventor绘

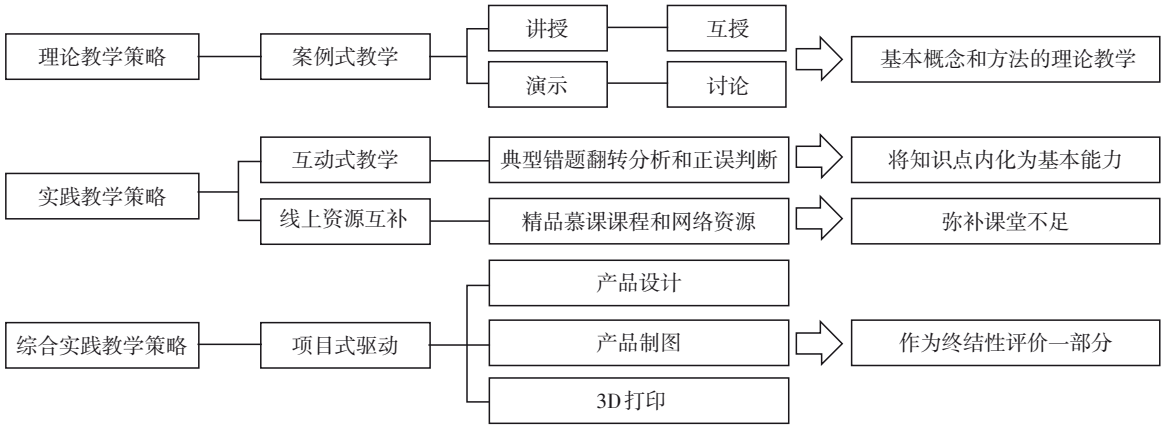


图3　教学策略总体方案

图实例、3D打印模型案例、科研实践案例及临床医学工程典型案例，旨在提升专业实践技能的基础上加深对基础理论知识的理解和学习。该教材有望为未来军内外其他院校开展案例化的《工程制图》教学提供有价值的参考。

3.5 推进教学条件建设

针对现有《工程制图》教学实验室教学平台条件和教学手段陈旧落后的现实问题，依托部队教学条件建设项目，以提高生物医学工程专业学员工程设计能力为目标，以实践技能培养为主线，2018年至2020年共投入经费186.5万元建立了《工程制图》教学实验室，《工程制图》教学实验室分为5个功能区，分别为橱窗展示区、授课教学区、实体绘图区、软件绘图区及成模制造区，购置了教具、三维绘图软件（包括Inventor、Unit3D、Rhino、Abaqus等）、高精度数控加工中心、3D打印机、3D扫描仪、工程图打印机、高性能绘图工作站、虚拟现实仿真软硬件、触摸交互式智能平板、实物投影仪等教学装置。该实验室能够全方位地支撑开展军事生物医学工程专业本科生《工程制图》课程的理论和实践教学任务，实现《工程制图》教学理论和实践、抽象和具体的有机结合。实验室在运行和管理模式上对全系学员开放，实验室占地面积100 m^2，一轮可接纳30名学员，满足《工程制图》本科授课、本科课外科研、工程设计竞赛、本科毕业设计、任职培训等各类教学活动需求。

3.6 加强教学团队建设

本教学组包含教授1人、副教授2人、讲师2人，其中2人在工程制图领域具有10年以上的教学经验。教学组教员全部具有博士学位，教学组年龄结构合理、年富力强，在经验和创造力上实现促进和互补。

为提高教学团队的教学质量，教学组进一步采取以下措施：①积极参加教学培训：严格要求年轻教员参加部队和学校组织的各类新教员教学培训，并鼓励教员参加各类学会组织的教学培训班和相关教学会议，与同行进行交流学习。同时邀请军内外在工程制图领域具有丰富教学经验、取得优秀教学成果的教授进行线上和线下授课，提升教员的业务水平。②落实听查课及督导制度：针对新模式实施过程中教学内容变化大的问题，对新开设课程和新教员组织专家评审，开展集体备课、多次试讲等，严把课程内容及质量；加强教学全过程指导，重点督导新开课程和新教员及授课评价良好以下教员，不断提升青年教员教学质量；严格落实督导专家、系领导和科室领导三级督导机制，常态化开展课程督导评查工作，及时反馈督导评价结果。2020年至2023年教员督导5人，课程督导50学时，覆盖率达100%；同时，学校教学督导专家听查课评价平均分由82.14分提高到91.16分，整体提高10%以上，教员授课质量稳步提升。③根据个人专长设置授课内容：根据教员的专业和研究方向，合理地设置和分配授课内容，并建立符合教员自身特点的个性化教学案例库，提高教员的授课主动性，做到教研相长。

4 教学改革效果评价

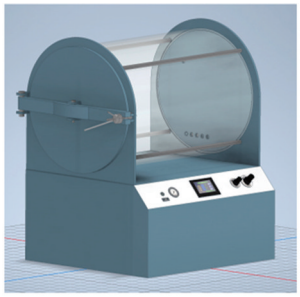
经过教学组前期充分的准备和论证，自2020年开始推行全新的针对军医大学生物医学工程学员的以案例为主要驱动的教学模式。教学组从学员课堂积极性、结业考试成绩、学员测评满意度及学员运用所学知识开展实践设计工作多维度评价教学改革效果。

首先，相较于之前的授课效果，教学组发现学员对于以案例为主导的全新授课形式更感兴趣，表现为课堂积极性更高、气氛更为活跃，同时学员对于Inventor软件和3D打印自主设计的积极性和主动性高涨，很多学员能够在教员布置课后作业之余额外主动加练。

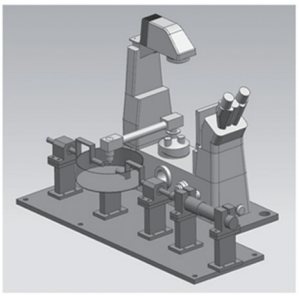
其次，通过近3年的结业考试成绩发现，全部本科学员均顺利通过结业考核，无不及格现象发生。更令人惊喜的是，实践技能的增强会进一步增强学员对于基础理论知识的理解和掌握，尤其对于零件和部件部分中诸多复杂枯燥的技术标准和规范，大多数学员都能准确回答测试问题。

再次，相比于未进行改革前的教学实践效果而言（学员只能完成诸如篮球场等简单二维工程图的设计），全部学员基本已经能够熟练掌握Inventor三维设计软件，并能够使用软件进行常规的零部件设计，能够基于设计的三维工程图利用3D打印机制造打印出自己想要实现的三维实体。图4A展示了学员使用Inventor三维设计软件绘制的低压氧实验舱模型；图4B展示了学员绘制的教员在科研过程中改装的激光共聚焦显微镜整合应力加载系统模型；图4C展示的是学员使用Inventor三维设计软件绘制的平板支撑架，并使用3D打印机成功打印出了平板支

撑架的实体，并在自己的日常生活中使用，显著提高了学员的学习成就感。



A. Inventor 绘制的低压氧实验舱模型



B. Inventor 绘制的显微镜整合应力加载模型



C. Inventor 绘制的平板支撑架并使用3D打印机打印出的实体

图4　学员设计的代表性三维工程图及实体模型

最后，通过问卷调查的形式对近3年来学员的授课满意度进行测评，问卷调查表主要包括课程必要性、课程内容设置、教员授课质量、实践技能学习效果4个方面，共发出调查问卷50份，收回46份。结果显示，全部46名学员对教学改革后的《工程制图》课程内容设置评价为“十分满意”，占比100.00%；共有44名学员对教员授课质量评价为“十分满意”，占比95.65%；共有42名学员对实践技能学习效果评价为“十分满意”，占比91.30%。

5　结语

针对传统的《工程制图》教学实践中发现的现实问题，课程教学组实施了系列化的教学改革措施，取得了显著成效。该课程能够为学员后续开展生物医学工程其他专业基础课和专业课的学习乃至后续科学研究的开展奠定坚实基础，同时还能够为其他相关高校后续开展《工程制图》教学改革提供理论指导和实践经验。但在教学实践中也发现，课程设置的部分案例较为陈旧，后续教学组将持续追踪生物医学工程前沿新技术[12-13]，不断丰富完善科研实践案例库和临床医学工程典型案例库，以期进一步提高学员的工程实践设计创新能力。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明　景达、颜泽栋、孙涛：提出论文构思、撰写论文；刘娟、田玉兰、吴小明：审订论文；谢康宁：总体把关

参考文献

[1] 宋剑，李哲，蔡暟煊，等. 新工科背景下生物医学工程专业实验教学改革：以工程制图课程为例[J]. 中国现代教育装备，2022(23)：1-3. DOI: 10.13492/j.cnki.cmee.2022.23.057.

[2] 郑丽文，邓玉娟. 基于OBE和CDIO的机电类专业“工程制图”课程教学改革的探索[J]. 教育进展，2022(11)：4707-4712.

[3] 周新民，孙荣俊，胡宜桂. 基于CDIO理念的新工科人才培养教学模式研究[J]. 教育探索，2020(3)：54-57.

[4] 萧时诚，李军，刘亚月. 融入课程思政的工程图学混合式教学研究[J]. 大学教育，2023，12(6)：101-104. DOI: 10.3969/j.issn.2095-3437.2023.06.030.

[5] 杜江，张梅. 机械制图课程思政改革探索[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)教育，2021(4)：206-207.

[6] 尚华. 基于三维建模技术的机械产品设计[J]. 材料保护，2020，53(12)：186-187. DOI: 10.16577/j.cnki.42-1215/tb.2020.12.048.

[7] 李锋，周歌，李杨，等. 3D打印模型在髋关节翻修临床教学中的应用[J]. 中华医学教育探索杂志，2022，21(5)：555-558. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20200404-00849.

[8] 杨静. 新工科背景下大类课程“工程制图”的教学内容改革措施[J]. 装备制造技术，2023(5)：220-222，249. DOI: 10.3969/j.issn.1672-545X.2023.05.057.

[9] 蒋伟. 工匠精神培育与医学生职业认同教育研究[J]. 中国医学伦理学，2018，31(8)：1073-1076. DOI: 10.12026/j.issn.1001-8565.2018.08.27.

[10] 张倩，张旭阳，刘丹，等. 4I培养模式在高校生命科学交叉融合人才培养中的作用与展望[J]. 中华医学教育探索杂志，2021，20(5)：557-560. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20200313-00489.

[11] 张文显. 新时代高等学校教材的“中国特色”和“世界水平”[J]. 教育研究，2020，41(3)：11-14.

[12] 黄璐，瞿祥猛，霍新明，等. 融通交叉学科基础知识 立足前沿开拓源头创新：生物医学工程学科生物医学检测基础课程教学改革探讨[J]. 高教学刊，2023，9(32)：133-136. DOI: 10.19980/j.CN23-1593/G4.2023.32.031.

[13] 杜婷，白晋，杜永洪，等. 生物医学工程专业“4+1”本硕融合培养模式研究[J]. 中华医学教育探索杂志，2021，20(8)：885-889. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20200901-00571.

（收稿日期：2023-12-10）

（本文编辑：兰明娟）