

面向生物医药新工科方向的生物工程一流本科专业建设探索与实践

王启要¹, 高淑红¹, 白云鹏¹, 任国宾², 庄英萍¹, 宋恭华²

1 华东理工大学 生物工程学院, 上海 200237

2 华东理工大学 药学院, 上海 200237

王启要, 高淑红, 白云鹏, 任国宾, 庄英萍, 宋恭华. 面向生物医药新工科方向的生物工程一流本科专业建设探索与实践. 生物工程学报, 2022, 38(3): 1227-1236.

WANG QY, GAO SH, BAI YP, REN GB, ZHUANG YP, SONG GH. Development of a first-class undergraduate major in bioengineering facing the emerging engineering direction of biomedicine. Chin J Biotech, 2022, 38(3): 1227-1236.

摘要:《“健康中国 2030”规划纲要》将生物医药列为重点规划发展领域, 上海也将生物医药列为重要新兴支柱产业。生物医药产业的快速发展对人才需求提出了更高要求。华东理工大学生物工程学院秉承交叉融合、互惠发展、传承创新的思路, 将生物工程专业和制药专业有机融合, 从“三位一体”标准体系构建、“三融合、三衔接”课程体系重构和“三全育人”创新人才培养等方面进行新工科专业改革和人才培养实践, 提出了“价值引领、知识体系、技术和非技术核心能力素养”三位一体的生物医药新工科人才培养标准, 构建了“课内课外全过程、学生培养全覆盖、课程思政全方位”的三全育人创新人才培养模式, 并建立了“课程与培养目标、通识课与专业课、拔尖人才培养体系与培养方案的”有效衔接, 在智能生物制造新工科教学成果基础上进一步推进面向生物医药新工科的专业建设, 为生物工程一流本科专业建设提供思路。

关键词: 生物医药新工科; 三位一体; 三全育人; 课程体系

Received: July 16, 2021; **Accepted:** September 6, 2021; **Published online:** September 13, 2021

Supported by: The Second Batch of Emerging Engineering Research and Practice Projects of the Ministry of Education (Higher Education Department ([2020] No. 23); Collaborative Education Project of Industry University Cooperation of the Ministry of Education (201901102003); Key Educational Reform Projects in Shanghai (Shanghai Education Commission Higher Education [2020] No. 55)

Corresponding author: WANG Qiyao. E-mail: oaiwqiyao@ecust.edu.cn

基金项目: 教育部第二批新工科研究与实践项目 (高教厅[2020]23 号); 教育部产学合作协同育人项目 (201901102003); 上海市重点教改项目 (沪教委高[2020]55 号)

Development of a first-class undergraduate major in bioengineering facing the emerging engineering direction of biomedicine

WANG Qiyao¹, GAO Shuhong¹, BAI Yunpeng¹, REN Guobin², ZHUANG Yingping¹, SONG Gonghua²

1 School of Biotechnology, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China

2 School of Pharmacy, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China

Abstract: In the “Tutorial for outline of the healthy China 2030 plan”, biomedicine was listed as a key planning and development area. Shanghai government also lists biomedicine as an emerging pillar industry. The rapid development of biomedicine industry put higher requirement for talents. Taking the idea of cross integration, mutually beneficial development, inheritance and innovation, the School of Biotechnology of East China University of Science and Technology organically integrates bioengineering and pharmaceutical majors to develop a new undergraduate engineering program of biomedicine, which specially reforms the talent training practice from the aspects of developing a “trinity teaching” standard system, a “three integration, three convergence” curriculum system, and a “three comprehensive education” innovative talent training system. We put forward the trinity of “value guidance, knowledge system, technology and non-technical core competence literacy” to foster emerging biomedicine engineering talents, and developed a comprehensive innovative talents training mode featured by “covering class-in and class-out, covering every student, and covering ideology and curriculum”. Moreover, we established effective connections between courses and training goals, between general education courses and professional courses, and between top-notch talent training systems and training programs. Based on the achievements of teaching reform of the emerging engineering program “intelligent bio-manufacturing”, the experience we obtained may provide ideas for development of the first-class bioengineering major in China.

Keywords: emerging engineering of biomedicine; trinity teaching method; three comprehensive education; curricular system

生物医药是上海建设全球科创中心的主要战略新兴支柱产业领域之一，也是国家《“健康中国 2030”规划纲要》重点规划发展领域。我国生物医药产业发展迅速，面临严峻的人才短缺困境。2019 年全球生物医药市场规模达到 1.7 万亿美元，我国生物医药产业规模达到 2.5 万亿元，年规模增长率超 10%^[1]。BioPlan 咨

询公司 2017 年的一项调查研究中，受访的 90% 的中国生物制药公司高级经理表示，上下游高端研发人才短缺是生物医药行业发展普遍面临的严峻问题，尤其是中国学术机构目前的学位课程设置与行业需求相对脱节，不能满足生物制药产业不断变化的需求，严重制约和阻碍了我国生物医药产业从大到强的创新发展^[2]。

2019年底至今席卷全球的新型冠状肺炎疫情给人类带来了无法估量的生命和经济损失,再次凸显了大力发展以疫苗、抗体和药物为代表的生物医药新兴产业的迫切需求,也凸显了面向生物医药未来人才培养的紧迫性。

针对生物医药创新型人才短缺和当前高校人才培养不适应产业发展需求的问题,华东理工大学生物工程学院秉承交叉融合、互惠发展、传承创新的思路,融合生物工程学院生物工程专业和药学院制药工程专业的传统工程教育优势,并在已有智能生物制造新工科教学成果基础上进一步深入推进专业改革。主要从“三位一体”标准体系构建、“三融合、三衔接”课程体系重构和“三全育人”创新人才培养等方面进行新工科专业改革和人才培养实践,并本着“产出导向”的理念,依据“交叉创新型人才”培养的目标和毕业要求,设计形成了专业建设思路、培养方案、课程体系和办学方案等,为全面培养具有家国情怀、勇攀高峰的生物医药创新人才打好基础。

1 生物医药新工科人才培养存在的核心问题

1.1 缺乏生物医药新工科人才培养的质量标准和评价体系

生物医药产业是实现“健康中国”战略的关键产业领域,需要生物与医药交叉融合的人才支撑。但在人才培养方面,由于生物医药相关人才分属于生物工程和制药工程两个专业,在国家人才培养目录中分属于生物工程类和化工与制药类专业。两者在人才培养、知识体系和课程设置等方面具有不同的质量标准和评价体系,比如生物工程专业专业知识由生物学、微生物学、细胞学、生物化学、化工原理、发

酵工程、生物反应工程、生物分离工程、生物工程设备等内容组成,而制药工程专业强调的专业知识为制药工程与工艺、制药设备与车间设计、药物分析与检测技术、药品生产质量管理等方面^[3]。虽然两个学科共同的工程学基础是相似的,但在专业特色上分别偏重生物学和药学,缺乏生物医药新工科所需要的融合性知识体系。这需要对生物医药新工科专业进行知识体系的重新梳理,进一步探讨生物医药新工科的核心能力素养、知识结构和评价标准等,并进一步按照工程教育认证的理念,制定符合生物医药新工科人才培养的质量标准和评价体系^[4-6]。

1.2 缺乏生物医药新工科交叉融合的培养方案和课程体系

新工科是我们国家培养下一代创新工程师的重要使命,旨在培养具有交叉性和综合性、创新能力和国际竞争力,具备较强工程实践能力,并引领未来技术和产业发展的高素质复合型人才^[4-7]。但是,现有生物工程培养方案的课程体系设计、课程内容和教材与学科发展前沿有较大差距,缺乏与医药、信息等学科间的深度交叉融合,不能满足新工科复杂工程问题知识体系的构建;此外,现有课程目标只重视知识传递,忽视培养新工科解决复杂工程问题的各项能力。针对上述问题,需要把国家的宏观诉求落实到具体的人才培养计划中,把新工科理念变成具体的人才培养细节。为实现生物医药新工科人才培养目标,应该积极探索生物医药新工科人才培养的课程体系、课程内容,并处理好生物学与药学、理学与工学、理论与实践之间的关系,实现人才培养目标与产业需求相结合、课程设置及课程目标与人才培养目标相结合、课程内容与课程目标相结合。

1.3 缺乏生物医药拔尖创新人才培养的育人理念和教学方法

新工科教育致力于培养和提供大量的科技创新人才,满足新兴市场需求。生物医药新工科具有引领性、交融性、创新性、跨界性和发展性等新的特征^[8-9]。传统的育人理念和教学方法不能满足培养生物医药新工科人才的需要。目前的人才培养以学科或专业为中心,仍然以培养“狭窄于技术”和“技术上狭窄”的工程人才为主,不能体现跨界整合和创新性等理念。教学安排上,课程被规划为一系列专业化程度不断提高的内容,课题研究被视为补充性手段用于工程教育,缺少适应未来产业需求的课程设计,与此同时,对新时代拔尖人才培养教学方法的探讨也不够。未来的生物医药新工科人才培养需要增强产品创新、产品迭代、系统思维等能力,让学生掌握新科技企业从概念到设计、验证、小量试生产到量产的发展全过程。在教学方法上,应该强调以学生为本,关注学生的学习方式和学习内容,把学生当为工程教育活动的主体,考量学生个体的认知风格和学习方式的差异,选择最适合学生个体发展的教学方式,教师团队要参与指导,引导学生积极参与,激发学生的主动探究与自学能力,使学生成为引领未来工程发展的领导者。

2 生物医药新工科人才培养的思考与实践

生物医药注重用生物技术手段研发和生产蛋白、抗体、细胞因子和疫苗等生物大分子药物和制剂。在交叉融合、互惠发展、传承创新的总体指导思想下,华东理工大学生物医药新工科专业融合学校“厚基础、强实践、少而精、博而通”的传统工科教育理念和 CDIO 教育理

念,综合传统生物工程和制药工程专业知识体系,对生物工程专业领域的教学体系面向生物医药新工科进行重构,具体见图 1。

2.1 构建三位一体的生物医药交叉学科工程教育人才培养标准体系

CDIO 工程教育理念最早由麻省理工学院和瑞典皇家工学院等 4 所大学提出,CDIO 分别代表了构思 (conceive)、设计 (design)、实现 (implement) 和运作 (operate)。它以产品研发到产品运行的生命周期为载体,让学生以主动的、实践的方式来完成学习,系统地提出了具有可操作性的能力培养、全面实施以及检验测评的 12 条标准^[10]。新工科对学生培养的要求是价值引领、创新能力培养和面向未来发展^[11]。在传统专业培养的实施路径中,生物医药人才培养的质量标准与评价体系缺乏面向未来的整合性、复杂性、连通性和可持续性。

为进一步科学制定生物医药交叉学科工程人才培养标准,我们对生物医药产业界进行了广泛的调查,以深入分析产业界对生物医药人才的要求。选择了药明康德、中国医药集团、复星医药、罗氏制药等不同类型重点生物医药企业作为调研对象,通过问卷、访谈、数据收集、文献资料查阅等手段,研究分析和评估了生物医药产业发展历史、现状、市场、生产、研发、供应链、渠道、公司、进出口等关键指标,以及我国生物医药产业在岗位类型、岗位职责、人才数量、人才供需关系、技能要求、职业发展等方面存在的问题,根据我们及 BioPlan 咨询公司调研结果^[2,12],现代生物医药是新兴产业,其具体的工作能力要求、知识体系的范围等在现有本科人才培养体系中尚不明确,新兴生物医药产业对人才需求缺口巨大,其中上下游研发人员缺口达到 73%,技术工程师和上下游操作人员缺口达 26%,揭示了生物

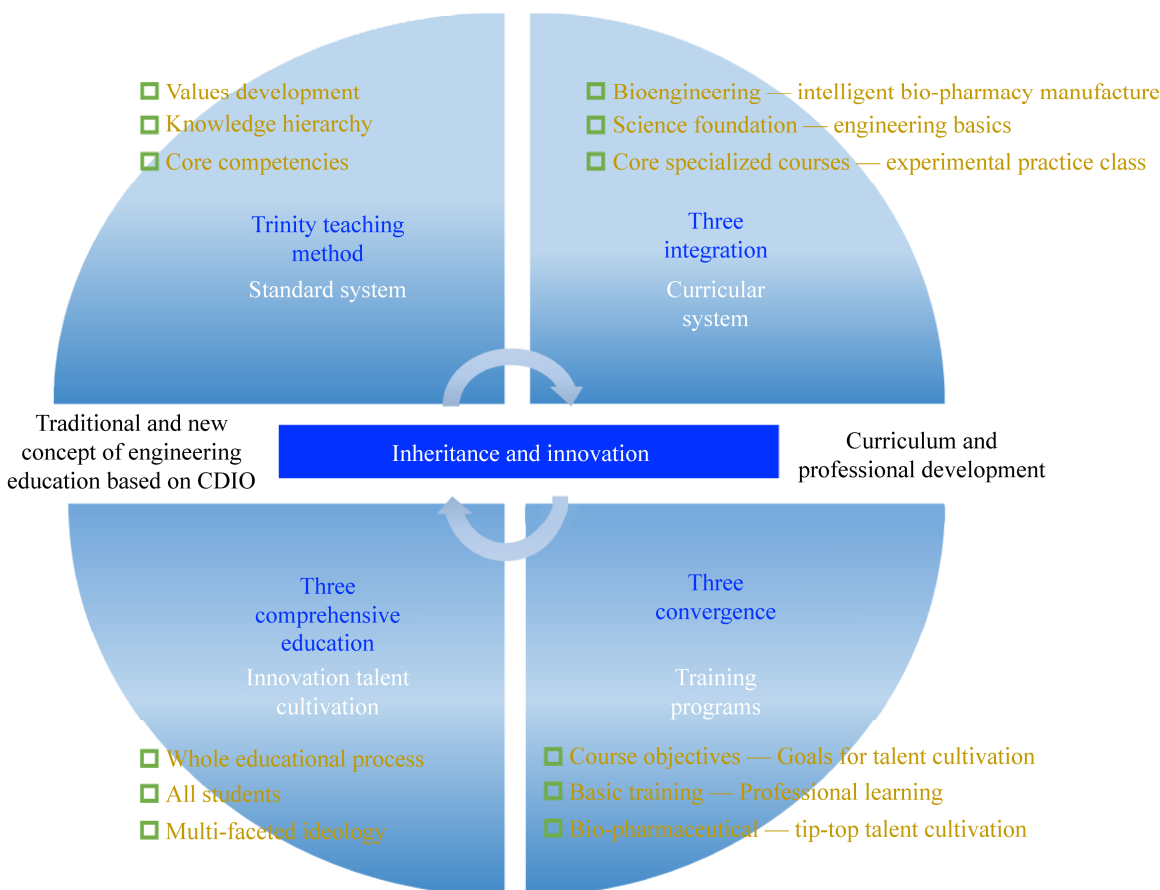


图 1 生物医药新工科建设思路

Figure 1 Designing of the bioengineering major facing emerging engineering of biomedicine.

医药产业现存的人才缺口和需求特征。与此同时，我们对国内外典型传统生物医药相关院系、专业、课程、教材、师资等进行调查。进而在充分研究中国工程教育专业认证标准、卓越工程师教育培养计划标准以及华盛顿协议等国内外相关标准和工程教育组织模式的基础上，针对生物医药新工科的内涵和特征，提出了“价值引领”“知识体系”“技术和非技术核心能力素养”三位一体的生物医药新工科人才培养质量标准。

一是“价值引领”。提出以社会主义核心价值观为引领，培养家国情怀、法治意识、社会

责任、文化自信、人文情怀、工程/生物伦理和科学精神等人文素养^[13]。

二是“知识体系”。生物医药新工科知识体系涵盖了生物学、药学、化学、产业与工程经济学、机电基础与计算机辅助设计、生物信息学与大数据分析、化工原理、反应器原理与过程控制、基因工程与基因组编辑和药厂设计与质量管理等内容。

三是“技术和非技术核心能力素养”。一方面要提高学生科学创新能力、定量分析能力、工程系统能力等技术核心能力素养，另一方面要提高学生批判性思维、沟通合作能力、人际

团队能力等非技术核心能力素养。

通过三位一体生物医药新工科人才培养质量标准的构建,为生物医药其他新工科专业课程体系建设打下良好理论基础,有助于形成生物医药新工科国家专业标准和国家工程教育认证体系,构建定位明确、专业发展互惠型的多学科交叉工程教育组织模式,研究并形成适应于生物医药新工科创新人才的育人理论。

2.2 深化课程思政和科教融合,构建“三全育人”创新人才培养模式

在深刻理解健康中国和绿色中国等理念的基础上,在教学内容中融入德育元素,构建课内课外全过程、教书育人全体学生、课程思政全方位的“三全育人”创新人才培养模式。以“润物无声”和“汤中溶盐”的方式将正确的价值追求、理想信念和家国情怀传递给学生,实现价值引领、知识传递、能力提升等全面的课程育人功能,拓宽新工科人才的育人维度^[14]。

一是构建“课内课外全过程”培养模式。在利用各种现代教育教学手段加强课内核心课程教学的同时,加强课外创新实践、企业实习培训等培养环节,在此基础上开展生物医药高素质创新人才培养实践,进行经验总结、推广,为面向生物医药及其他领域的生物工程新工科发展指出明确方向。强化课程设计、毕业设计环节以及通过设置为期一整年的毕业论文环节,加强学生们的创新实践训练,强化创新学生科技活动的管理和评价,构建课内课外全过程的工程教育^[15-16]。

二是构建“学生培养全覆盖”培养模式。一方面,面向全体学生建设新型的专业导航课程,提升学生的学习兴趣。有机结合培养方案中设置的生物医药产业与工程经济学、生物医药专业导航与认识实习以及现代生物医药进展等导

航类交叉课程学习,提升学习内生动力。另一方面,进一步改进课堂教学,通过案例式、项目式教学模式和启发式、讨论式教学方法,综合运用 MOOC、翻转课堂、课程训练等现代教育方式有效提高全体学生的学习效果^[17]。

三是构建“课程思政全方位”培养模式。通过在专业课程中全方位融入思政内容。例如通过新型冠状病毒(COVID-19)疫情研究所带来的大量有关病毒感染快速诊断、病毒溯源、传播追踪、感染机制、疫苗开发和药物设计等诸多领域的知识和信息,在专业课程体系中全方位培养学生的学习兴趣和创新意识,并让学生铭记肩上的使命和担当,坚定专业理想,献身科学研究,服务国家和民族的需要。

上述“课内课外全过程”“学生培养全覆盖”“课程思政全方位”的“三全育人”创新人才培养模式最大的特点是强调价值引领、知识传递与能力提升的课程全面育人功能,围绕“培养什么人、怎样培养人、为谁培养人”这一根本问题,探讨在有限的学时学分内,为生物医药新工科人才培养提供可行的实践方案。

2.3 构建以培养能力素养为核心的新工科特色人才“三衔接”培养方案

通过加强专业核心课程与新工科人才培养目标的有效衔接,加强通识课程、数理化生等基础课程与专业学习的有效衔接,加强生物医药本—博拔尖人才培养体系培养方案的有效衔接,以“浸、养、熏”方式不断优化创新人才学习和培养环境,拓宽了新工科人才育人维度,实现了生物医药创新型人才的全面发展,打造完成支撑新工科人才能力素养培养目标达成的特色人才培养方案。

一是加强专业核心课程与新工科人才培养目标的有效衔接。(1) 构建生物学与生命科

学史、工程与社会、科技写作与沟通、前沿科学讲座等课程,提高工科学生的批判性和创新性思维,写作与交流能力,拓展国际视野和跨文化工作能力,提高学生在未来职业生涯中的国际人才竞争力。(2) 依托高校和企业的国家及省部级的研究基地,将一流的科研成果融入专业教学中,加深学生对工程知识的理解和综合运用,培养学生解决复杂生物工程问题的能力。(3) 针对新工科专业重点核心课程,通过“111”引智基地设置专项资金和平台引进国际高水平师资进行授课,安排本校教师进行辅助教学,通过教学互动提高专业师资水平,打造国际化师资队伍,进一步加强科教融合和科研反哺教学^[5,12]。

二是加强数理化生基础课程与专业学习的有效衔接。一方面,课程体系中设计通识模块、数理化基础、生物与药学基础、信息与工程基础、生物医药专业(必修、选修和实践)等模块,通过理工融合进行知识结构重塑,为深化课程体系改革和课程重构奠定基础,实现生物医药新工科专业交叉创新人才培养目标。另一方面,优化符合阶梯式培养模式的培养方案。生物医药工科试验班学生本科阶段前两年着眼自然科学、生物学、药学和工程学基础知识的强化训练,后两年实施现代制药工程、智能生物制造方向的专业教育,着力营造多元化、富有活力的学术氛围,实现个性化教育和学术能力的充足发展。

三是加强生物医药本-博拔尖人才培养体系与培养方案的有效衔接。优化生物医药新工科试验班与本-博拔尖人才体系的衔接,鼓励采取弹性培养模式,通过“通识教育+基础核心课程+各类创新实践”的融合,借力国内外优质课程资源库,夯实学生数理基础和专业基础的同

时,结合数理基础类思维训练项目和工程基础类实践训练项目,促成学生基础问题分析能力与沟通表达能力的提升。课程体系采用模块化设计思路,以学生学习成果为导向,改革与创新教学方法,采用交互式教学改变学生的学习行为习惯,在理论课程讲解过程中同步设置实践教学环节,定制化设计课程实践项目,将其贯穿于课程学习的始终,增强课程的“挑战度”,培养学生解决复杂科学与工程问题的综合能力和高阶思维。

生物医药新工科试验班的人才培养目标是培养德智体美劳全面发展,具有扎实专业基础、批判性科学思维、交叉学科知识、全球化视野和深厚家国情怀的生物医药领域创新型领军人才。为实现该目标,我们制定的培养方案紧紧围绕毕业要求和培养目标,在课程设置上围绕培养目标、基础课程与专业课程、生物医药新工科与本硕博拔尖人才培养计划三方面实现有效衔接。在项目实施过程中也遇到选课时间冲突、两校区办学、难以统一进行企业实习等现实问题,我们通过网上灵活选课,平行开放多时间窗口,增加创新实践和虚拟仿真实验课程等活动,较好地解决了上述问题。

2.4 制定符合生物医药产业需求的交叉创新人才培养目标,重构“三融合”的生物医药新工科专业课程体系

在充分调研针对现代生物医药领域中感染性疾病、肿瘤治疗和微生态等领域的抗体、细胞和其他大分子的药物生产研发相关技术特征和产业需求基础上,制定生物医药新工科交叉创新人才培养目标和毕业要求。我们秉承“厚基础、强实践、少而精、博而通”的传统工科培养理念,率先打造面向生物医药新工科并支撑人才培养目标和毕业要求的课程体系(图2)。

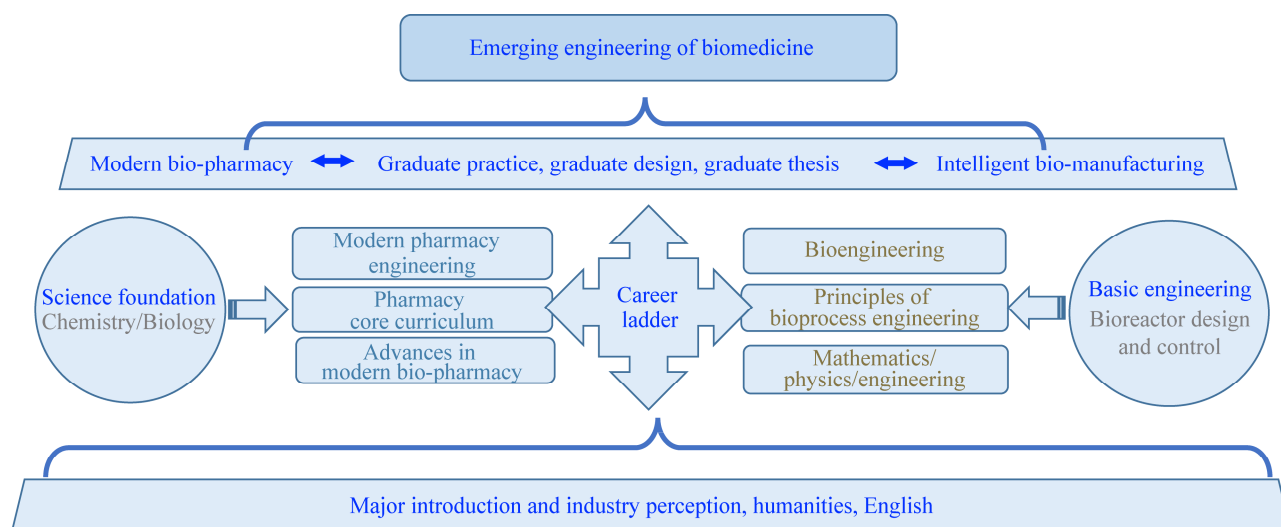


图2 生物医药新工科课程体系概览

Figure 2 Overview of curriculum system for bioengineering major facing emerging engineering of biomedicine.

一是课程体系体现构建智能制造与生物医药相融合。我们充分调研国内外一流高校相关专业的课程设置，梳理学科内在的知识结构矩阵，深入研究各门课程如何支撑毕业要求。重点在于突出和强化过程工程人才培养特色，将生物工程和制药工程中相似课程进行整合，制定统一的教学大纲。在两者之间的空白区域，填补缺失的知识和技能体系，增加相应的课程和提高课程深度，从而加强生物工程中智能制造模块与生物医药知识模块的深入融合。此外，进一步提高学生使用现代计算机软件进行设计计算的能力，强化以大数据、生物信息学为基础的编程及数据处理和数据分析能力，加强理工融合，提升学生利用智能技术开展学习的能力。

二是课程体系注重理科基础与工科基础相融合。根据“产出导向”理念，依据“交叉创新型人才”培养的目标和毕业要求，融合生物工程和制药工程专业培养方案，吸取其中智能生物制造和制药工程的核心课程，强化化学、生物学科基础和数理计算、计算机与大数据处理等

工科基础，形成“现代生物制药导论-药学-现代制药以及反应器设计与控制-生物反应与过程原理-生物工程”交叉融合的专业知识/能力发展主线，优化课程知识图谱。

三是课程体系加强理论与实践教育相融合。在加强学生理论知识学习的同时，通过实践资源扩展和虚拟仿真实验建设，提高学生工程设计、实践和应用能力。利用学校在创新药物及绿色制药领域的学科优势，建设产学研联合产业学院，面向创新药物研发与智能生物制造等前沿交叉领域，开展创新研究和领军人才培养。搭建服务于本科创新实验的研究实验平台，依托“生物创客” (biomaker) LCS 创新实验室以及学院和企业的产学研合作协同育人基地等创新实践基地^[18-20]，要求全体学生参加生物医药专题的创新课题并进行创新训练，优化创新和实践育人的氛围。

现代生物医药产业的新兴给生物工程类人才培养提出了新的要求，如何实现人才培养与产业的匹配度，我们在智能制造与生物医药、

理科与工科、理论与实践方面开展“三融合”的生物医药新工科专业课程体系实践,特别是在智能制造与生物医药方面,我们增加了机电基础与计算机辅助设计、大数据与生物信息学、反应器原理与过程控制等课程,力求在生物医药产业的智能制造方面探索一套可行的专业课程体系,培养能够符合生物医药新工科产业需求的交叉创新人才。

3 结语

华东理工大学生物工程专业最早从 2016 年开始,思考生物医药产业高速发展对生物工程专业人才培养提出的新要求,通过调研生物医药产业发展和人才需求,提出价值引领、知识体系、技术和非技术核心能力素养“三位一体”的生物医药新工科人才培养的质量标准,建立了面向生物医药新工科的育人体系和评价标准;在教学内容中融入德育元素,构建课内课外全过程、课程思政全方位、教书育人全体学生的“三全育人”创新人才培养模式;结合高校和企业的国家及省部级研究基地,加深学生对工程知识的理解和综合运用,加强专业核心课程与新工科人才培养目标的有效衔接、加强数理生化基础课程与专业学习的有效衔接、加强生物医药本-博拔尖人才培养体系培养方案的有效衔接的以能力素养为核心的“三衔接”新工科特色人才培养方案;制定符合生物医药产业需求的交叉创新人才培养目标,重构了智能制造与生物医药相融合、理科基础与工科基础相融合、理论与实践相融合的“三融合”的生物医药新工科专业课程体系。经过近五年的实践,我们在人才培养方面,按照新培养理念培养的首批学生已经毕业,通过“浸、养、熏”方式不断优化创新人才学习和培养环境,学生对工程知识的理解和综合运用能力得到加强,课程设

置与新工科人才培养目标进一步有效衔接,新工科人才育人维度进一步拓宽,培养了能够引领未来产业界和社会发展的领导型工程人才。学生结合国家需求和产业发展,提出创新创业思路并进行实践,参加各级各类学科竞赛 20 余种,获得省部级各类奖项 30 余项,获奖近 200 人次,发表 SCI 论文和申请专利数大幅提升。我们实践了面向生物医药新工科的人才培养模式,最终实现生物医药创新型人才的全面发展。

REFERENCES

- [1] 新浪医药,赛迪顾问. 2019 中国生物医药产业发展报告 [EB/OL]. [2019-12-28]. https://med.sina.com/article_detail_103_1_76015.html, 2019. Sina medicine, China center of information industry development. 2019 development of biopharmaceutical industry in China report [EB/OL]. [2019-12-28]. https://med.sina.com/article_detail_103_1_76015.html, 2019.
- [2] 钱景怡,余正. 我国生物制药产业国际竞争力分析. 中国药事, 2020, 34(5): 549-555. Qian JY, Yu Z. On the international competitiveness of China's bio-pharmaceutical industry. Chin Pharm Aff, 2020, 34(5): 549-555 (in Chinese).
- [3] 教育部. 普通高校本科专业类教学质量国家标准. 2018. Ministry of Education of the People's Republic of China. National standard for teaching quality of undergraduate majors in Colleges and Universities. 2018.
- [4] 顾佩华. 新工科与新范式: 实践探索和思考. 高等工程教育研究, 2020(4): 1-19. Gu PH. Practical exploration and new paradigm transformation of emerging engineering education. Res High Educ Eng, 2020(4): 1-19 (in Chinese).
- [5] 王启要,白云鹏,高淑红,等. 基于 5M 的智能生物制造人才培养体系构建——华东理工大学的探索与实践. 高等工程教育研究, 2021(2): 111-114. Wang QY, Bai YP, Gao SH, et al. Construction of 5M intelligent biological manufacturing for new engineering talents training system. Res High Educ Eng, 2021(2): 111-114 (in Chinese).
- [6] 范惠明,周玲. 工程科技人才通识能力的要素识别与培养-基于产业界的实证研究. 高等工程教育研究,

- 2019(4): 73-78.
Fan HM, Zhou L. Element identification and cultivation of engineer's general competences. *Res High Educ Eng*, 2019(4): 73-78 (in Chinese).
- [7] 李培根. 未来工程教育的几个重要视点. *高等工程教育研究*, 2019(2): 1-6.
Li PG. Important viewpoints on the future engineering education. *Res High Educ Eng*, 2019(2): 1-6 (in Chinese).
- [8] 林健. 面向未来的中国新工科建设. *清华大学教育研究*, 2017, 38(2): 26-35.
Lin J. The construction of China's new engineering disciplines for the future. *Tsinghua J Educ*, 2017, 38(2): 26-35 (in Chinese).
- [9] 王启要, 田锡炜, 夏建业, 等. 新工科教育背景下智能生物制造专业人才培养模式探索. *化工高等教育*, 2021, 38(3): 32-35.
Wang QY, Tian XW, Xia JY, et al. Exploration of the training model of intelligent bio-manufacturing professionals under the emerging engineering education background. *High Educ Chem Eng*, 2021, 38(3): 32-35 (in Chinese).
- [10] 林健. 深入扎实推进新工科建设——新工科研究与实践项目的组织和实施. *高等工程教育研究*, 2017(5): 18-31.
Lin J. Further solid promoting the construction of new engineering disciplines: some thinking of the organization and implementation of the "research and practice projects of new engineering disciplines". *Res High Educ Eng*, 2017(5): 18-31 (in Chinese).
- [11] 范惠明. 基于新工科标准的本科工程人才培养影响因素调查. *化工高等教育*, 2021, 38(1): 14-19.
Fan HM. Investigation of factors influencing the quality of undergraduate engineering talents training based on new engineering standards. *High Educ Chem Eng*, 2021, 38(1): 14-19 (in Chinese).
- [12] 白云鹏, 王启要, 庄英萍, 等. 探微知著, 辟新为用——华东理工大学生物工程新工科专业建设实践. *高等工程教育研究*, 2021(3): 49-53.
Bai YP, Wang QY, Zhuang YP, et al. Exploring the knowledge and innovation for use. *Res High Educ Eng*, 2021(3): 49-53 (in Chinese).
- [13] 秦炜炜, 王穗东. 新工科教育的融合创新与路径突破——苏州大学纳米科技创新人才培养的案例研究. *高等教育研究*, 2018, 39(2): 79-84.
Qin WW, Wang SD. The innovative pathway of emerging engineering education—a case study of the talent cultivation of nano science and technology. *J High Educ*, 2018, 39(2): 79-84 (in Chinese).
- [14] 张美玲, 贾彩凤, 杜震宇. 见微知著 溶盐于汤——浅谈高校微生物学课程思政的探索与实践. *生物学杂志*, 2019, 36(4): 102-104.
Zhang ML, Jia CF, Du ZY. Application of "ideological and political education" in microbiology. *J Biol*, 2019, 36(4): 102-104 (in Chinese).
- [15] 王启要, 万俊芬, 白云鹏, 等. 基于工程教育专业认证理念的生物工程综合实验教学模式探索. *化工高等教育*, 2020, 37(6): 54-58.
Wang QY, Wang JF, Bai YP, et al. Exploration on the teaching model of bioengineering comprehensive experiment based on the concept of engineering professional certification. *High Educ Chem Eng*, 2020, 176(6): 54-58 (in Chinese).
- [16] 王启要, 张蕾蕾, 常雅宁, 等. 新工科背景下以CDIO理念为引领的虚拟仿真实验教学探索与实践. *化工高等教育*, 2021, 38(4): 114-119.
Wang QY, Zhang LL, Chang YN, et al. Exploration and practice of virtual simulation experiment teaching leading by CDIO concept under the background of new engineering. *High Educ Chem Eng*, 2021, 38(4): 114-119 (in Chinese).
- [17] Xin XJ, Wei DZ. Intervalic group discussion excites interest in biochemistry learning. *International Edu Res J*, 2019, 5(1): 1725-1729.
- [18] Zhang XY, Ye RF, Hu FX, et al. Learning from competition: an outcome-based introductory activity for first-year biotechnology undergraduates. *Am Biol Teach*, 2019, 81(7): 467-473.
- [19] 王启要, 庄英萍, 白云鹏, 等. 生物工程创客体系构建和创新人才培养探索——以华东理工大学“生物创客”为例. *化工高等教育*, 2020, 37(5): 26-30.
Wang QY, Zhuang YP, Bai YP, et al. Construction of biomaker system and creative talent training—taking the biomaker of East China university of science and technology as an example. *High Educ Chem Eng*, 2020, 37(5): 26-30 (in Chinese).
- [20] 王启要, 李鹏飞, 高淑红, 等. 国际基因工程机器大赛对本科生综合能力培养模式的探索. *生物工程学报*, 2021, 37(4): 1-7.
Wang QY, Li PF, Gao SH, et al. The exploration of undergraduate comprehensive ability training mode through international genetic engineering machine competition. *Chin J Biotech*, 2021, 37(4): 1-7 (in Chinese).

(本文责编 陈宏宇)