

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2024.04.018

# 生物医学工程专业生物医学材料专业方向教育的发展现状与未来趋势

杨为中<sup>1</sup>, 张胜民<sup>2</sup>, 尹光福<sup>1</sup>

(1. 四川大学生物医学工程学院, 四川成都 610064;

2. 华中科技大学生命科学与技术学院 / 医疗器械监管科学研究院, 湖北武汉 430074)

**【摘要】**生物医学材料专业方向是生物医学工程专业教育的重要方向。该文结合“健康中国 2030”国家战略和“四个面向”的重大需求, 对国内外生物医学材料类本科教育的专业方向特点进行了归纳和分析, 对当前国内生物医学材料方向本科教育进行了深刻的反思, 并以四川大学生物医学工程专业为例, 对生物医学材料方向的课程体系现状和未来发展趋势进行了分析与展望。

**【关键词】**生物医学工程; 生物医学材料; 课程体系; 专业建设

**【中图分类号】**G642.0

**【文献标志码】**A

文章编号: 1674-1242(2024)04-0411-07

## Development Status and Future Trends of the Education of Biomedical Materials Field in Biomedical Engineering Major

YANG Weizhong<sup>1</sup>, ZHANG Shengmin<sup>2</sup>, YIN Guangfu<sup>1</sup>

(1. College of Biomedical Engineering, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610064, China;

2. Institute of Regulatory Science for Medical Devices, College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

**【Abstract】**The professional education of biomedical materials is an important direction of biomedical engineering education. Based on the national strategy of “Healthy China 2030” and the major needs of “Four Orientations”, this paper summarizes and analyzes the characteristics of biomedical materials undergraduate education at home and abroad, and deeply reflects on the current domestic undergraduate education in biomedical materials. The curriculum systems are analyzed. An outlook is conducted on the future development trends of the curriculum systems in the field of biomedical materials based on the biomedical engineering major of Sichuan University.

**【Key words】**Biomedical Engineering; Biomedical Materials; Curriculum System; Specialty Construction

收稿日期: 2024-01-06。

基金项目: 四川大学新世纪高等教育教学改革工程项目 (SCU10127); 四川大学研究生教育教学改革研究项目 (GSSCU2023074); 华中科技大学“双一流”交叉学科研究生高水平课程建设项目 (W110849)。

作者简介: 杨为中 (1979—), 四川省成都市人, 四川大学教授、博士生导师; 邮箱 (E-mail): ywz@scu.edu.cn。

通信作者: 张胜民, 华中科技大学教授、博士生导师; 邮箱 (E-mail): smzhang@hust.edu.cn。

尹光福, 四川大学教授、博士生导师, 教育部高等学校生物医学工程类专业教学指导委员会副主任; 邮箱 (E-mail): nic0700@scu.edu.cn。

## 0 引言

全民健康是社会和经济稳定、可持续发展的重要基础。随着《“健康中国2030”规划纲要》的全面实施,未来15年是推进“健康中国2030”建设的重要战略机遇期,科技创新和人才培养将为提高中国健康水平提供有力支撑。生物医学材料(也称“生物材料”)是一类应用于人类疾病诊断与治疗、人体康复、各种人类器官与人工植入器械构建等领域,具有特殊性能和特种功能的材料。生物医学材料专业教育是生物医学工程专业教育的重要方向<sup>[1]</sup>。

生物学用材料相关技术具有更新换代速度快、科技含量高的特点。当今,生物医学材料在“组织诱导性”“材料生物学”“生物适配性”等理论及技术的基础上,正在快速发展仿生/工程化组织器官构建与调控、智能生物材料设计、生物效应及机制探究等一系列前沿科学及技术。随着生物技术和材料科学技术的快速发展,生物医学材料技术只有不断创新和升级,才能确保产品的先进性和市场地位。当前中国生物医学材料制品急需向精准化、智能化和个性化方向发展,为建立新产业形态、改变产业竞争格局、促进我国医疗器械整体进入国际先进行列提供科技支撑<sup>[2]</sup>。

生物医学材料是医疗器械产业的基础,Research and Markets网站的调研报告显示,2021年全球生物医学材料市场规模为135.1亿美元,预计2031年将达到429.9亿美元,年复合增长率为14.1%~15.6%<sup>[3,4]</sup>。在全球生物医学材料市场中,需求量最大的几类生物医学材料包括:骨科生物材料、心血管生物材料、牙种植体材料及整形外科生物材料等。当前,随着人口老龄化趋势日益明显,生物医学材料及医疗器械产业进入了一个快速发展的新阶段,预计在未来10~20年,生物医学材料所占的份额将赶上生物药物,成为生物医药类产业的支柱。

在快速发展的时代面前,如何更好地优化生物医学材料类本科教育人才培养体系以满足行业对高素质专业人才的迫切需求,已经成为我国生物医学材料高等教育发展亟须解决的问题之一。本文将对

当前国内外生物医学材料类本科教育进行归纳、分析和反思,并提出自己的看法和观点。

## 1 生物医学材料类本科教育的国内外发展现状

国外发达国家在生命科学领域的研究起步较早,在生物医学材料研究领域处于领先地位。国外著名生物医学材料类企业包括美国强生、美国美敦力、德国贝朗等。而国内生物医学材料行业技术壁垒高,上游行业整体起步较晚,下游医药行业监管标准高,著名生物医学材料类企业包括北京乐普医疗、山东威高集团、成都迪康中科等。行业企业的迅猛发展极大地促进了各国高校生物医学材料类本科教育的发展。

在国外,生物医学材料类本科教育一般涵盖在生物医学工程专业的本科教育中<sup>[5]</sup>。专业方向或课程体系涵盖生物医学材料的高校包括美国麻省理工学院、美国加州大学伯克利分校、新加坡国立大学等。

麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology, MIT)生物医学工程专业具有很高的全球声誉(2022年软科学科排名第3、2023年《美国新闻与世界报道》大学排名第2)。MIT始终坚持“需求与创新结合、理论与实践结合、通识与专业结合”的教育理念,强化通过科研实践和有效学习培养学生的创新创业能力<sup>[6]</sup>。MIT是美国最早支持本科生做研究的大学,其生物医学工程专业通过设置工程基础课程、工程与技术课程、专业课程和选修课程,结合本科生研究机会项目、本科生研究学分及鼓励本科生发表研究论文(发表在经同行评议的本科生研究杂志上),为学生在生物制药和生物技术行业的职业生涯打好基础。美国加州大学伯克利分校(2022年软科学科排名第13,2023年《美国新闻与世界报道》大学排名第4)拥有全美办学规模最大的生物医学工程专业,拥有400多名本科生。该校通过设置专业核心课、专业方向课(5选1,涵盖生物材料和组织工程方向)和专业任选课等,为生物医学工程领域培养“适应宽广职业领域的专业人才”。该校还结合顶峰设计课程和本科生研究项目(如QB3本科生研究生物技术实习计划、本科生科学和生物技术暑期研究项目、夏季生物设

计浸入式体验项目等), 培养学生在医疗技术领域的领导能力和创新能力。MIT 和加州大学伯克利分校的生物医学工程专业人才培养均定位为培养“领导者”, 其课程体系在国际工程专业认证的基础上提出了自己的能力要求, 既强调专业技能(如识别、定义和解决生物医学工程问题, 工程设计能力, 实验能力等), 又强调通用技能(如批判性思考能力、分析能力、有效表达能力、沟通能力、团队合作能力、道德和社会责任感等)<sup>[7]</sup>。

新加坡国立大学是亚洲生物医学工程学科/ 学校排名领先的高校之一(2022年软科学科排名第11、2023年《美国新闻与世界报道》大学排名第26)。新加坡国立大学生物医学工程系课程由新加坡工程认证委员会认证, 强调培养学生的创新精神、多学科和批判性思维能力及非工程能力, 如法律和监管事务中的专业精神和道德, 以及领导力、团队合作和管理等软技能。新加坡国立大学还特别突出全球化特色, 培养学生融入多元化群体的能力、跨文化沟通合作能力<sup>[8]</sup>。该校的生物医学工程系与四川大学、华南理工大学、西南交通大学等国内高校在生物医学材料专业方向合作创建了本研联合培养项目。

国内生物医学材料方向的本科专业教育发展非常迅速, 生物医学材料类本科人才培养一般分为以下4种模式。第一, 以生物医学材料为优势特色的生物医学工程专业。第二, 综合性生物医学工程专业下设生物医学材料培养方向的课程体系。第三, 以医学电子/ 仪器/ 信息为学科优势特色的生物医学工程专业设有生物医学材料类专业选修课程。上述3种模式均依托生物医学工程学科开展办学。第四, 依托材料科学与工程学科/ 学院开展生物医学材料类人才培养。

在上述4种模式中, 第一种模式以四川大学生物医学工程学院、华南理工大学生物医学科学与工程学院为代表。四川大学依托组织诱导性生物材料及植入器械的学科优势开展生物医学材料类专业教育; 华南理工大学依托前沿生物材料、生物医药及干细胞治疗等学科优势开展专业教育。另外, 西南交通大学、暨南大学等也在生物医学材料专业方向

的人才培养上形成了自己的特色。第二种模式以华中科技大学生命科学与技术学院和中山大学生物医学工程学院为代表。在生物医学工程专业的培养计划中, 华中科技大学设置了生物医学信息工程和生物医学材料与分析检测“二选一”的专业选课课程组; 中山大学设置了医疗仪器、生物医学传感器和生物医学材料“三选一”的专业课程方向。另外, 南方医科大学、广州医科大学、太原理工大学、河北工业大学、贵州医科大学等多所高校均将生物医学材料作为分类培养的专业培养方向。第三种模式以上海交通大学生物医学工程学院和西安交通大学生命科学与技术学院生物医学工程专业为代表。这两所高校的学科优势方向为医学影像、医学信息与医疗仪器等, 但在专业教育选修课模块中均设有生物医学材料类专业课程。清华大学、东南大学、大连理工大学等也在生物医学工程专业培养计划中采取此模式教学。第四种模式以北京化工大学功能材料专业、华南理工大学生物材料专业(特设专业)和华东理工大学材料类专业(高分子/ 无机/ 复合)等为代表。这几所高校均依托材料科学与工程学科/ 学院开展人才培养。

综观国内设有生物医学材料类专业教育的高校, 可能存在以下问题: ①生物医学材料专业没有学科整体优势, 科教融合、产教融合的深度不够; ②课程体系缺乏化学类和材料类基础知识; ③课程体系沿袭材料类专业的知识架构, 点缀和穿插以生物学和医学知识, 知识框架的“母体材料”痕迹太重<sup>[9]</sup>; ④课程体系涉及的知识内容与生物材料及医疗器械的转化应用存在较大差距; ⑤课程体系“医工融合”的深度还不够, 工科高校办学缺乏临床需求导向, 医科高校办学缺乏工程转化思维。

在“新工科”“新医科”建设的高等教育形式下, 一方面, 生物医学材料类专业教育需要在课程体系中深入落实“学生中心、成果导向、持续改进”的工程教育理念(目前生物医学工程专业整体尚未进入中国工程教育认证协会发布的《工程教育认证专业类补充标准》), 实现学科、专业、课程的一体化建设; 另一方面, 迫切需要优化知识结构体系和创新人才培养模式, 探索教育链、产业链、创新

链的有效衔接机制，推动高校人才培养和生物材料产业集群的联动发展。

## 2 生物医学材料专业方向知识结构体系的典型代表

生物医学材料方向为多学科交叉汇聚、多技术跨界融合的专业方向，本科教育需要具有坚实宽厚的自然科学基础，深度系统的生物学、医学和材料学专业基础知识<sup>[10]</sup>，扎实的科学研究素养、创新创业思维、项目管理能力、国际竞争力、领导和团队合作等能力，能够培养在生物医学材料及医疗器械行业从事科学研究、技术开发和项目管理等工作的高素质复合型人才<sup>[11,12]</sup>。为了应对时代的变革和产业的需求，四川大学形成了以组织诱导理论与再生修复材料为特色的生物医学工程学科特色，在培养生物医学材料类拔尖创新人才方面开展了卓有成效的探

索和实践。

围绕四川大学具有特色的一流学科和一流专业建设目标，笔者在教育部高等学校生物医学工程类教学指导委员会2021年创新创业教育论坛上提出了“从被动应用到主动设计”的生物医学材料类课程体系设计理念，进而在四川大学生物医学工程专业教学计划中全面重塑了以“材料生物学”课程为主线的知识体系，注重把“材料与机体的相互作用及作用效应”贯穿到生物医学材料的设计、制备和临床应用中，通过“科教、产教、医教”三融合，打造了以生物医学材料及医疗器械为优势特色的生物医学工程专业课程体系，打造了生物医学材料“医学需求—理化解析—工程实现—临床验证”的螺旋式育人机制，如图1所示。



图1 生物医学材料“医学需求—理化解析—工程实现—临床验证”螺旋式育人机制

Fig.1 The spiral mechanism of “medical needs-physical and chemical analysis-engineering implementation-clinical verification” for biomedical materials education

螺旋式育人机制重点强调：在本科教学体系中，以实际医学需求为牵引，通过设置生物学基础、医学基础和部分专业课程模块，实现对生物医学材料及医疗器械应用环境的生理分析、病理分析、毒理分析和药理分析，并以材料与机体的“反应与应答”（Reaction-Response）为主线构建专业核心知识体系，实现对生物医学材料及医疗器械的理化解析、工程实现和临床验证；通过自然科学基础、工程学基础和材料学基础等课程模块，完成理化解析教学板块（包括物质递送、力学响应、化学反应、信号传导）；通过专业核心课、专业方向课和专业实践课程群，

完成工程实现（包括体系优化、制品设计、合成制备和功能模拟）及临床验证（包括诊断信息、治疗效应、毒副作用和免疫排斥）教学板块。“医学需求—理化解析—工程实现—临床验证”螺旋式育人机制的知识内涵根据学生所处的不同年级阶段层次递进、相互穿插、螺旋上升，最终达到整个教学体系“重心后移”的教学目标，即将整个本科阶段课程体系从关注生物材料本身“后移”至注重生物材料/医疗器械和组织的生物学效应层面，跨越材料筛选及应用延伸的“必然王国”，进入调控材料生物学效应的“自由王国”。

四川大学生物医学工程专业课程体系如图2所示。具体说来：①四川大学构建了以通识教育、自然科学基础、生物学/医学基础和工程学基础交叉融合的专业基础课板块，其中生物学/医学基础类课程与四川大学华西医学院的教学资源共建共享，如“生理学”“解剖学”“生物化学”等课程；②着力打造了以“材料-生命”交互作用为主线的专业核心课板块，包括材料生物学、生物材料制备、生物材料评价等课程；③重点建设了以生物材料为特色的专业方向课选修课程群模块，以医疗器械及

监管、医学电子两个模块作为有效补充以拓宽学生的眼界和视野，并通过部分课程本研共享、学分互认，实现个性化、精英化培养；④在专业实践课板块，构建了项目制课程，推进具有学科优势特色的组织生长诱导效应、靶向药物/基因载体设计等双创项目与核心课程的联动，同时实现对学生双创教育的全覆盖。

### 3 生物医学材料专业教育发展之我见

全球生物医学材料产业的迅猛发展极大地带动了生物医学材料类本科教育的发展。当今，我国生

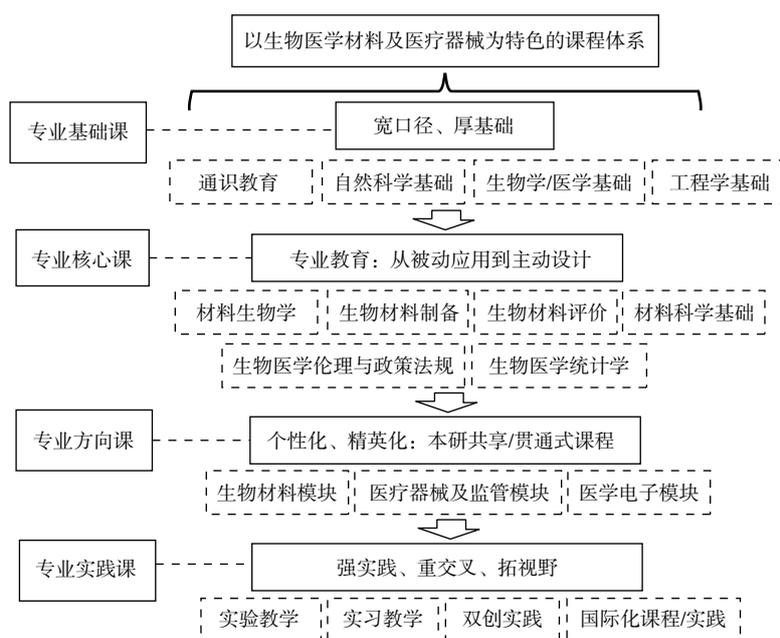


图2 四川大学生物医学工程专业课程体系

Fig.2 Schematic diagram of the curriculum system in biomedical engineering major at Sichuan University, focusing on biomaterials and medical devices

物医学材料类高等教育表现为多模式共存形态，各高校的本科教育模式各具特色。目前，教育部高等院校生物医学工程类专业教学指导委员会组织建设了一批生物医学材料类“十三五”“十四五”规划教材，服务于当下及未来的专业教育需求。

在2023中国生物医学工程大会暨创新医疗峰会上，笔者提出了生物医学材料发展的专业教育阶段性侧重、贯穿性融合的“整合生物材料系统”构想，并以此构建从本科到博士阶段的生物医学材料类一体化育人体系，该体系面向“学-研-产-管-用”全链条，在强化“内涵建设”的基础上进行“外

延整合”。在“内涵建设”上，强化以“材料-机体相互作用及作用效应”为核心的本科教育主线，推进理论与实践联动的项目制课程<sup>[13]</sup>，并在硕博阶段搭建成体系的平台课程，注重本研课程在内容和方法上的有机衔接与分层次深化，以生物材料的“生物适配性”为主线搭建基础课程群，着力建设前沿新材料、新方法、新技术类平台课程，如生物医学工程前沿研讨、生物材料名师讲堂、纳米生物材料等课程；在“外延整合”上，进一步整合医疗器械监管科学、生物材料基因工程、生物材料/医疗器械的临床应用等知识内容，构建“贯穿性融合”的

系统性“生物材料+”选修课程体系。以医疗器械监管科学为例,生物材料及医疗器械产业是一个强监管行业,行业技术进步快,新技术、新产品层出不穷,产业的创新发展很大程度上依赖监管体系的建设。在专业教育中整合监管科学新工具、新标准和新方法,将为专业人才提供系统的知识体系来评价医疗器械产品的生物安全性、有效性、稳定性,这对于促进生物材料及医疗器械的技术创新和产业发展具有重要意义。

#### 4 结语

为了更好地落实“健康中国”国家战略,应对生物医学材料及医疗器械领域的产业革命需求,未来生物医学材料类专业教育需要以国家和行业的重大需求为牵引,以中国工程教育专业认证和国际工程专业认证标准为指导,突出优势特色方向,为行业科学技术进步和高质量增长提供高水平人才支撑。笔者认为,未来的生物医学材料人才培养体系应具有以下几个特征:①以“四个面向”为导向,产学研用等多主体协同,突出学习/科研成果应用落地的思维,全面提升学生创新创业能力;②深化“科教融合、医教融合”,构建“本硕博贯通”的理论和实践体系,并根据生物医学材料发展前沿进行课程体系的持续优化和创新;③以数字化革命赋能专业教学改革<sup>[14]</sup>,以人工智能虚拟教研室、线上及混合式课程、数字化教材、虚拟仿真实验等手段实现全国生物医学材料类教学资源的共建共享;④建立系统化的国际竞争力人才培养体系,持续拓宽学生的眼界和格局;⑤培养学生的家国情怀和责任担当,为实现我国生物材料行业的科学技术进步和高端生物材料及医疗器械产品的跨越式发展提供高质量人才保障。

#### 参考文献

- [1] 教育部高等学校教学指导委员会. 普通高等学校本科专业类教学质量国家标准(生物医学工程类专业本科教学质量国家标准)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2018.  
The National Administration Committee for Higher Education of The Ministry of Education. National standard for the quality of undergraduate majors in higher education[M]. Beijing, Higher Education Press, 2018.
- [2] 卫夏雯. 积极推进生物材料研发与应用, 保持科研初心、砥砺前行奋斗前行——访中国工程院院士王迎军[J]. 科技导报, 2019, 37(10): 18-21.
- [3] WEI Xiawen. Actively promote the research, development and application of biological materials, keep the original intention of scientific research, tempered struggle forward: Interview WANG Yingjun, an academician of the Chinese Academy of Engineering[J]. *Science & Technology Review*. 2019, 37(10): 18-21.
- [4] Research and Markets. Global biomaterials market report and forecast 2023-2031[EB/OL]. <https://www.researchandmarkets.com/reports/5797876/>, 2023-4. 5797876.
- [5] Research and Markets. Global biomaterials market, by type, by application & by region-forecast and analysis 2022-2028[EB/OL]. <https://www.researchandmarkets.com/reports/5675561/>, 2022-10. 5675561.
- [6] Linsenmeier R A, Saterbak A. Fifty years of biomedical engineering undergraduate education[J]. *Annals of Biomedical Engineering*, 2020(48): 1590-1615.
- [7] 尤富生, 徐灿华, 杨滨, 等. 麻省理工学院教育理念及对生物医学工程专业的启示[J]. *医疗卫生装备*, 2016(1): 144-146.  
YOU Fusheng, XU Canhua, YANG Bin, *et al*. Education faiths of Massachusetts Institute of Technology and revelation to discipline of biomedical engineering[J]. *Chinese Medical Equipment Journal*, 2016(1): 144-146.
- [8] 季波, 李劲湘, 邱意弘, 等. “以学生为中心”视角下美国一流研究型大学本科人才培养的特征研究[J]. *中国高教研究*, 2019(12): 54-59.  
JI Bo, LI JinXiang, QIU Yihong, *et al*. Research on the Characteristics of Undergraduate Talent Cultivation in American First-class Research Universities from the Perspective of “Student-centered” [J]. *China Higher Education Research*, 2019(12): 54-59.
- [9] 许心, 肖伟芹. 坚持全球化特色 培养国际化人才——访新加坡国立大学校长陈祝全[J]. *世界教育信息*, 2015(2): 3-6.  
XU Xin, XIAO Weiqin. Adhering to the characteristics of globalization and cultivating international talents—Interview with Chen Zhuquan, President of the National University of Singapore[J]. *Journal of World Education*, 2015(2): 3-6.
- [10] 尹光福, 杨为中, 林江莉, 等. 从被动应用向主动设计的升华——生物医学工程(生物医学材料类)本科教育专业核心知识体系的变革与重塑[J]. *四川大学学报(医学版)*, 2021, 52(4): 566-569.  
YIN Guangfu, YANG Weizhong, LIN Jiangli, *et al*. From Passive Application to Active Design—Restructuring and Reshaping of Core Specialty Knowledge Systems of Biomedical Engineering (Biomedical Materials Track) [J]. *Undergraduate Education Journal of Sichuan*

- University (Medical Sciences), 2021, 52(4): 566-569.
- [10] HUANG K J. Systematic construction of interdisciplinary course of biomaterials science, international conference on education and educational research (EER 2013)[C]//Luo, Q and Zhang, T, Advances in Education Sciences. Singapore: Singapore Management & Sports Science Inst Pte Ltd: 2013, 2: 34-40.
- [11] 崔勇, 魏末. 生物医学工程专业创新创业人才培养模式的研究与实践[J]. **高等药学教育研究**, 2021(4): 54-58.
- CUI Yong, WEI Mo. Research and practice on the entrepreneurship training mode of Biomedical Engineering major[J]. **Researches in Higher Education of Pharmacy**, 2021(4): 54-58.
- [12] 王佰亮, 陈浩. 扎根中国、融通中外, 立足时代、面向未来—探索医学院生物医学工程人才培养思路[J]. **教育教学论坛**, 2021(16): 129-132.
- WANG Bailiang, CHEN Hao. Rooted in China, Integrated with Foreign Countries, Based on the Times, and Facing the Future: An Exploration of the Training of Bioengineering Talents in Medical Colleges and Universities[J]. **Education And Teaching Forum**, 2021(16): 129-132.
- [13] 罗远新, 王树新, 李正良, 等. 创新引领, 特色发展—重庆大学新工科教育的探索与实践[J]. **高等工程教育研究**, 2023(3): 31-36.
- LUO Yuanxin, WANG Shuxin, LI Zhengliang, *et al.* Innovation Leading, Feature Development- Exploration and Practice of New Engineering Education in Chongqing University[J]. **Research in Higher Education of Engineering**, 2023(3): 31-36.
- [14] 严纯华. 以数字化助力西部高等教育高质量发展[J]. **中国高教研究**, 2024, 40(1): 11-14, 22.
- YAN Chunhua. Promote the High-Quality Development of Higher Education in Western China Through Digitalization[J]. **China Higher Education Research**, 2024, 40(1): 11-14, 22.