

doi:10.3969/j.issn.1674-4993.2020.012.055

# 新工科背景下工程教育教学质量保障路径研究

——以伦敦大学学院综合工程项目为例

□ 黄圆圆

(西安建筑科技大学,陕西 西安 710055)

**【摘要】**现代科学技术日新月异,现代工程活动在复杂性、交叉性和跨界性与日俱增。为平衡社会对工程师的需求与现有落后教学模式之间的差距,伦敦大学学院(University College London,UCL)于2014年提出综合工程项目(Integrated Engineering Programme,IEP),对本科工程教育课程和教学大纲进行了改革。该项目将课程模块化,通过场景学习为学生提供跨学科学习的机会;将基于问题的学习方法融合到教学中,提高学生解决实际工程问题的能力和团队合作技能。吸收借鉴UCL的面向未来、多学科交叉融合的工程教育教学模式,为我国切实提高“新工科”建设质量提出对策建议。

**【关键词】**跨学科;本科工程教育;伦敦大学学院;新工科

**【中图分类号】** G640

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1674-4993(2020)12-0180-05

## Research on the Engineering Education Teaching Quality Assurance under the Background of New Engineering Construction

——A Case Study of University College London's Integrated Engineering Programme

□ HUANG Yuan-yuan

(Xi'an University of Architecture and Technology,Xi'an 710055,China)

**【Abstract】** With the rapid development of modern science and technology, modern engineering activities are becoming increasingly complex, intersecting and trans-boundary. In order to balance the gap between the social demand for engineers and the existing backward teaching mode, university College London (UCL) proposed the Integrated Engineering Programme (IEP) in 2014, reforming the curriculum and teaching syllabus of undergraduate Engineering education. The program modularizes the curriculum and provides students with opportunities for interdisciplinary learning through scenario learning; Integrating problem-based learning methods into teaching to improve students' ability to solve practical engineering problems and teamwork skills. By drawing lessons from UCL's future-oriented and multidisciplinary engineering education and teaching model, this paper proposes counter measures and suggestions for improving the construction quality of "new engineering construction" in China.

**【Key words】** inter-discipline; undergraduate engineering education; University College London; new engineering

### 1 引言

工程教育的目的是为学生提供成为成功工程师所需要的学习——技术专长、社会意识和创新意识。当前,在世界范围内又掀起了一轮以科技革命和产业变革为前提并席卷全球经济发展动向的工业革命,对工程教育的改革和发展提出了新的挑战。在美国,波音公司(Boeing)在工程教育改革方面发出了重要的改革倡议;而在英国,最近的IET(2016)技能调查给出了一个严峻的评估:与前几年相比,人们更加关注未来劳动力的技能、知识和经验<sup>[1]</sup>。学科交叉、多技术领域融合是未来工程科技发展的普遍规律,也是高等工程教育未来的发展

方向。为应对此挑战,我国2017年提出“新工科”建设。多学科融合、跨学科学习是新工科最突出的特点。跨学科,指跨越一个或多个学科界限,能以每个学科独特视角看待问题,同时学科边界变得模糊,能够走出单一学科领域,以其他视角获取和加工信息;不同视角相互交叉融合,进而形成新的、复合的、整体的解决方案<sup>[2]</sup>。自“新工科”建设提出以来,我国高校积极响应国家号召,对传统工程教育进行改革,跨学科、多学科交叉融合是我国高校工程教育改革的主要方向。然而,我国工程教育起步晚,“新工科”建设成效甚微,需借鉴吸收国外大学的先进经验,提高我国“新工科”人才培养质量。

**【收稿日期】** 2020-08-19

**【作者简介】** 黄圆圆,西安建筑科技大学职业技术学院研究生。

## 2 “新工科”建设及其教学质量保障的核心理念

四次工业革命不断推动着工程教育的革新,为应对新一轮技术革命对工程教育提出的挑战,新工科范式应运而生<sup>[3]</sup>。新工科建设是继续“卓越工程师教育培养计划”(“卓越计划”)、引领我国高等教育改革、推动我国迈向高等教育强国的重要战略举措<sup>[4]</sup>。在“新工科”中,“工科”是指工程学科,“新”包含三方面涵义,即新兴、新型和新生<sup>[5]</sup>。相比传统工科人才,未来新兴产业和新经济需要工程实践能力强、创新能力强、具备国际视野的高素质复合型人才。多学科、多技术领域相互渗透、交叉融合、群体突破,将是未来工程科技发展的普遍规律,同时也是满足人类多元化需求和社会可持续发展的必然要求<sup>[6]</sup>。社会发展和市场需求对未来工程师的培养提出了更高的要求,为应对这些挑战,“新工科”建设必须从实际出发,考虑产业和社会结构的发展,明确育人目标,改革教育教学范式,保障人才培养质量。

在“新工科”建设内容中,“跨学科”教育一直是广大工程教育者和“新工科”建设制定者关注的核心,多学科的交叉融合是“新工科”最明显的特点。吴爱华等指出,“新工科”建设应探索多学科交叉融合的人才培养模式,包括开设跨学科课程,组建跨学科教学团队、跨学科项目平台,推进跨学科合作学习<sup>[7]</sup>。工程专业的人才培养目标有三:第一,具有扎实的专业知识和丰富的实践能力;第二,具有超强的跨界整合能力;最后,与企业行业需求的人才相匹配的技能。高校作为未来工程师培养的摇篮,更应该把握工程教育改革的方向,不断更新教学模式和教学内容,以切实满足未来社会对工程师素质的要求。课程和教学是高校教学质量保障内容的核心,课程内容建设和教学模式的改革是切实提高高校人才培养的重要抓手。因此,“新工科”课程建设中,应该遵循以下几个核心理念。

### 2.1 跨学科性

如果说新工科建设必将推动高等教育深层次变革,那么跨学科教育将有效助推高等工程教育改革<sup>[8]</sup>。由于当今产业和技术的变革,专业工程师需要与不同领域人员合作。因此,工科学生要体验和欣赏不同学科之间相互工作的方式,以完成现代工程项目。跨学科研究和教学是新知识产生和新观念提出的重要手段。跨学科多专业融合人才培养是指由两个或两个以上的学科交叉、整合的教学活动来促进多学科知识、认知图式和价值观在受教育者头脑中融合并内化,从而提升受教育者解决复杂问题能力的过程<sup>[9]</sup>。跨学科的工程教育,在多学科和交叉学科工程教育的基础上更进一步,需要学生跳出单一的学科领域,以其他领域的角度来分析问题,在与其他学科学生的交流碰撞中,打破各自的学科边界,从而产生新的知识。

### 2.2 基于问题的学习模式

基于问题的学习(Problem-based learning, PBL)是一种积极的学习方式,它为学生提供不良结构的问题,这些问题形成了学生学习动机的核心刺激,而学习过程通常是在小组或团队中进行,PBL学习模式除了能发展学生的团队合作技能、逻

辑思维和独立学习能力之外,最重要的是它能激发学生的内在学习动机。内在学习动机高的学生学习主动性强,学习效果好。因此,内在学习动机是衡量学生项目学习参与度的黄金标准<sup>[10]</sup>。因为,内在学习动机高的学生更有可能集中注意力,享受他们的工作,并形成支持高度自我效能感和良好发展的态度。基于问题的学习模式可以分为以下几种类型:基于询问的学习(enquiry-based learning),基于设计的学习(design-based learning),基于场景的学习(scenario-based learning)以及基于项目的学习(project-based learning),无论是哪一种方式,都是通过为学生提供实际的工程问题,激发学生的学习热情,从而调动学生的学习积极性,提高学生学习的内在动机。通过将现实中具有代表性和前沿性的问题融入到教学中,培养学生的创新意识和解决工程问题的能力。

### 2.3 真实的学习体验

真实性以及它所带来的积极影响,与 ABET 和 UK-SPEC 认证的发展方向一致,这些认证越来越强调行业相关的广度,期望指定社会经济和商业相关的学习成果。在工程学科内以及跨学科之间提供真实的学习体验,是工程教育的核心理念,因为本科工程教育课程是学生在工程实践中建立和发展专业技能的基础。因此,通过基于项目或者基于问题的学习方式,为学生提供多种真实的任务,需要学生综合应用各种知识和技能来完成。真实的学习体验,需要在课程设置中注意这一点之外,学生个人的体验和对于知识的运用也非常重要。因为在解决真实的工程问题时,学生并不是对课堂理论知识的死搬硬套,而是需要学生思考以下问题:我该如何应用这项技术?在这个特定的情况下,在这个团队中,在这个环境中,对于这些用户,哪种技术是适用的?这种对知识的灵活应用,才是学生在工程教育学习过程中掌握知识和深度迁移知识的关键。

## 3 伦敦大学学院跨学科综合工程项目的特点

作为世界领先的研究型大学,伦敦大学学院(University College London, UCL)与时俱进,面向未来,通过改革其本科生的工程教育课程,在工程教育的跨学科学习方面取得了举世瞩目的成就。为进一步加强院系之间不同学科之间的交流合作,2014年,UCL实施了“综合工程项目”(Integrated Engineering Program, IEP)改革,并于2017年迎来了第一届 IEP 学士学位毕业生,其基于问题的学习模式和多学科交叉融合的课程设置在世界工程教育领域得到高度赞赏。2017年英国高等教育学会(HEA)为变革领导团队颁发“卓越教学合作奖”,2018年,MIT发布报告《工程教育艺术的全球现状》(The Global State of the Art in Engineering Education),将 UCL 评为“十大当代工程教育领袖之一”以及“工程教育的新兴领导者”<sup>[11]</sup>。

IEP 的课程计划创建了一个跨院系的课程大纲,此大纲通过两种方式将不同院系学生的学习经验联结在一起:一方面,课程通过以学生为中心的活动将理论和实践联系起来,学生需要在真实的项目中运用和应用他们的知识和技能;另一方面,不同院系的学生通过共享项目、教学大纲和跨学科学习而

相互交流沟通。IEP 的学位课程涵盖了以下 8 个学科:生物化学工程、生物医学工程、化学工程、土木工程、计算机科学、电子电气工程、管理科学、机械工程。通过引入共同的课程结构,使得有规律的多学科交叉教学活动成为可能。这些交叉活动从第一学期的第一周开始,并且会在每个学位课程中定期重复,其目标只有一个,即通过课程改革,产生一个独特的、具有包容性的项目,培养出高度自我、自觉、有活力和就业能力的工程专业毕业生<sup>[12]</sup>。具体的课程大纲结构可参考图 1。

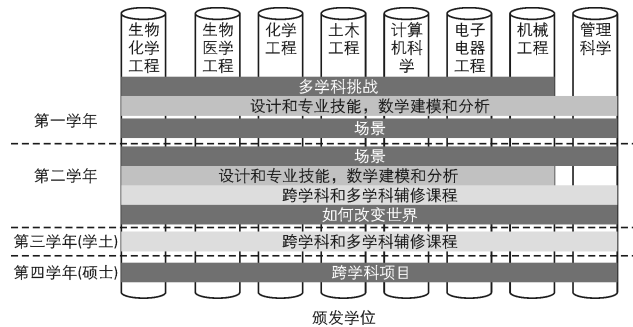


图 1 IEP 教学大纲的整体架构

### 3.1 “工程挑战”模块培养学生跨学科整合技能

学生进入 IEP 课程学习所遇到的第一个 PBL 学习模块由两个独立的单一学科和跨学科的问题组成,为期 5 周。在这个挑战中,学生团队需要设计一个包含设计周期所有学习要素的真实问题的解决方案。该模块为学生提供足够的时间学习技能和理论知识,是学生顺利参与后续 IEP 课程学习的基础,通过为学生提供与实际工程项目问题及其解决方案并介绍工程设计周期的其他元素,从而使学生更加深入地了解工程项目的周期以及成为一个好的工程师所必备的基础知识和技能。第一学期的课程是最具时代性的扩展课程,课程安排为每周两堂两小时的工作坊,为学生设置问题并且提供与现实工程世界相一致的解决方案,使学生了解真实的工程项目及其与社会背景和经济发展的关系,培养学生实践能力和创新能力。

虽然这两个挑战学习活动设计为一体的学习体验,但他们的重点不同(可参见表 1)。第一个项目是在一年级的前五周进行的,是一个单一的学科项目,以学生所在的院系为导向,向他们介绍他们所选择的学科,及其院系研究的丰富性和创新性。该挑战挑战的项目任务是带领学生完成工程项目设计的早期阶段,即从“需要”到“构想”,在这个过程中,只需要很少的测试,但需要大量的决策,并且每个院系都有自己的独特之处。第二个挑战定位于设计的“构思”、“测试”和“模型/原型”阶段,是一个跨学科的挑战,它由一个涵盖七个学科的整体背景问题组成。因此,在第二个挑战中,来自不同学科的学生聚在一起讨论和分享文化、经济和环境背景对项目任务的影响。

表 1 挑战的活动流程和性质

挑战——第一学期	
挑战 1——第 1 周到第 5 周	挑战 2——第 6 周到第 10 周
单学科	跨学科项目
基于团队	基于团队
基于研究的项目	实践项目
自我学习	自我学习
开放式(研究和设想)	基于目标(建模、构建和测试)
<b>挑战期间的活动流程</b>	
项目以工程设计流程为基础,挑战 1 是设计前期预想阶段,而挑战 2 是设计的后期建模阶段	
需求—概要—构想	规范—构建—测试

### 3.2 引入真实情景培养学生专业技能

在 IEP 的第一学年和第二学年,都引入了“设计和专业技能”模块,以支持学生学习技术和非技术的横向技能。这些教学活动中是培养未来工程师核心技能的关键,同时可以让学生从基于 IEP 项目的要素学习中获取最大收益。通过为学生提供一系列基于技能(skill-based)和基于设计(design-based)的不同学习模式,从而让学生通过基于项目的学习获取解决实际工程问题的经验。

“设计与专业技能”模块汇集了所有主要认证机构所要求的一系列技能,目标是创建一个持续多年的教学大纲,内容涉及金融经济学、专业标准、可持续性、法律和管理概念、沟通、风险和安、创造性和批判性思维、决策、设计和团队合作。IEP 旨在将学生个人设计和专业技能的发展直接与他们的 PBL 经验联系起来。为学生提供设计的典型周期,如图 2 所示,它是专门为 IEP 开发的,并在设计和专业技能模块中教授给所有学生。通过向学生展示设计的各个阶段,从定义需求和开发概要,到构思、测试和制定解决方案,再到产品或系统的制作和使用,让学生参与到每一个阶段,以及从每个阶段到下一个阶段的过渡中,需要进行哪些分析和判断,以确保该阶段的成功——例如,设计解决方案是否满足需求并完成开发概要?学生通过真实解决这些工程设计过程的每一个问题,在真实的工程情景中掌握专业知识并完成知识的深度迁移,即从理论到实践应用。

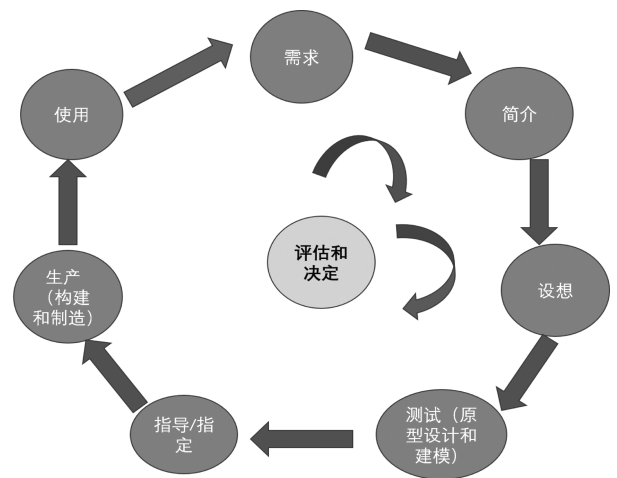


图 2 设计周期

### 3.3 “场景”学习培养学生问题解决能力

一般在4个星期的“传统”教学之后,会有一个星期的“场景”学习。“场景”学习由六个以不同学科为基础的项目组成,一般会持续一周的时间,在此期间学生不参加任何其他课程。根据不同学科,每个“场景”包含的技术知识和可转移技能也不同。“场景”学习由周一早上的简短介绍讲座开始,随后会设置各种评估,团队的每个学生必须通过评估才能进入到项目的下一个阶段。“场景”学习的引入为学生将理论融入实践应用提供关键机会。

### 3.4 跨学科和多学科的 IEP 辅修课程

随着经济全球化发展,工程产业行业的不断革新,对于工程人才的技术要求已经从纯技能发展到各种软技能。因此,本科工程课程同时面临着越来越多的技术知识以及对全面发展、有工作能力的工程专业毕业生的需求<sup>[13]</sup>。IEP的辅修课程定义为一系列连贯的学习活动,这些活动可提供给来自多个专业/院系的学生。具体来说,每一个IEP辅修课程由三个15学分的学习模块组成,在第二和第三学年的三个学期中,这些模块相互联系,形成一个连贯、清晰的学习途径。每一个IEP辅修课程的设计都是为了确保所有的学生都有机会进行学习。

### 3.5 “如何改变世界”模块为学生工程师思维培养提供平台

在IEP课程中,“如何改变世界”模块为学生选取当今世界人们关注的焦点问题,通过对问题以及现实环境的分析,学生针对这些问题提出自己的意见。该项目为期两周,属于跨学科且以社会热点为焦点的团队工程设计挑战。此学习活动增加了重要的社会真实背景,从而增加课程的复杂性、自由度、真实性,并增加设计周期的难度。

在这个训练中,要求学生承担一个项目,这个项目从一个高度不确定的问题开始,这个问题在社会环境中非常广泛和丰富,并且包含了多种工程解决方案的范围,学生需要考虑不同解决方案将对社会产生的不同影响。“如何改变世界”课程模块目的是鼓励学生创造性地参与设计过程,从一开始就有“对人类的影响”的概念。该活动提供了一种学习经验,即工程必须成为应对可持续发展目标所在的全球挑战的一部分。它强调了跨学科工作的必要性,以解决这些紧迫的、高层次的问题。增加项目的社会元素,为PBL活动增加了另一层复杂性。它要求学生考虑更广泛的设计标准,不仅需要工程可行性进行需求分析,还需要对社会文化可取性和可行性进行需求分析,这样才能使设计与更广泛的背景相协调。

### 3.6 小结

UCL的IEP项目将课程模块化,兼具理论学习和项目实践两种属性,理论模块为学生提供理论基础和方法,学生可学习专业基础知识技能并且培养学生的抽象思维能力,例如“数学建模和分析”模块,培养学生数学概念并结合工程实践,理论知识和实践相结合。IEP的实践项目为学生解决实际问题提供平台,通过场景学习和项目实践训练,学生可了解真实工程世界中的问题和需求,站在企业和用户角度考虑问题,体验完整的工程设计过程。同时,IEP项目打破学科壁垒,来自不

同学科的学生组成项目团队、不同学科内容组成课程模块、实践过程中不同学科学生提供不同的视角,这些学习和实践都为学生的学习提供更加丰富的体验,跨越学科界限的交流让学生从更多角度去了解、认识和分析工程问题,在实践中不断联系和提高。

## 4 对我国“新工科”教育的启示

UCL作为世界一流的以工程教育为主的大学,在面对未来工程师需求变化的基础上,大胆创新,革新传统的教育模式,结合社会、高校以及学生等利益相关者的需求,开创跨学科专业的全新工程实践培养活动,并且受到工程教育界的普遍赞赏,其人才培养模式体现了面向未来、以跨学科融合课程为宗旨、培养学生自主学习的特性。借鉴吸收UCL的经验,为我国“新工科”建设提供启示。

### 4.1 明确提升工程实践能力和创新精神的育人目标

我国2017年提出“新工科”建设,后续的“复旦共识”、“天大行动”和“北京指南”标志着我国工程教育需要从传统的教育大国变成高等工程教育强国。加入“华盛顿协议”,更是将培养学生创新精神和解决复杂工程问题的能力作为对工科类毕业生的核心内容。影响深远的CDIO教学模式也着重强调“在世界上许多国家引发了许多变化:新的入门工程课程,与行业相关的项目以及在实践中学习”<sup>[14]</sup>。UCL的课程模块中,从一开始就强调了学生的实践工程项目体验,尤其是第二学年最后的“如何改变世界”课程模块,会给学生一个真实的社会问题,让他们提出自己的解决方案。这些问题一般是来自于联合国教科文组织关于可持续性发展的议题,例如2018年的议题便有“建筑材料的智能使用”、“减少污染、垃圾和运河系统的洪水”等问题,这些课题不仅需要学生运用专业工程知识,更需要学生考虑所提出的解决方案可能会带来哪些社会影响。通过参与设想、讨论以及反思,培养学生解决实际问题和创新能力。

### 4.2 打破学科壁垒,打造跨学科课程资源

许多工程学院和大学划分过细的学科/院系结构限制了工程教育的创新和卓越。自从我国提出“新工科”建设以来,交叉课程的融合创新一直是工程教育创新的重点。通过学科交叉融合打破传统的学科专业之间、行政隶属之间的隔阂,是新工科建设的必然选择<sup>[15]</sup>。课程的交融和综合是解决不同学科课程之间以及人为分割的重要途径,此类课程打破了学科壁垒,对于提高课程学习效果,尤其是培养学生解决一类工程问题的能力具有显著的作用<sup>[16]</sup>。课程资源的科学设计与合理安排,是人才培养目标得以实现的核心要素。就“新工科”建设而言,跨学科课程资源的整合与开发是关键,在进行跨学科资源整合课程时,既要打破不同学科课程之间的逻辑壁垒,也要建立课程共享机制,从组织层面打破课程的院系所有制观念,实现真正的课程共享。

### 4.3 改革教学模式,倡导学生自主学习

高校需要始终保持教育改革的敏锐度,不断进行教学模式和教学内容的更新,形成充分协同多元资源、激发引导学生热情的“沉浸式”培养体系,以跨界、交叉、融合的知识模块,打

造触角广阔的交互立体式实践平台<sup>[17]</sup>。传统工程教育课堂最大的不足,就是理论知识与实践的失衡。在工程领域,涉及协作性团队活动的主动学习策略是模拟当今世界工程师所面临的真实情况的最佳方法<sup>[18]</sup>。实践证明,基于问题(problem-based)/项目(project-based)的学习活动是通过整合“真实的”问题来提高学生学习积极性的有效手段。这些真实的活动让每个学生有机会将理论知识和技能与实践联系起来从而提高专业技能。提高学生在学习过程中对真实的工程问题的参与程度,有助于提高学生主动学习,提高学生学习效率。PBL 学习模式,正是给学生提供一个他们可以自己分析并且提出解决方案的团队学习环境,这种开放的、体验式的学习模式,不仅可以让学生将学习的知识内化,还可以让学生最大程度地发挥他们的自我效能感。

#### 4.4 明确工程教育实践导向目标,为学生提供真实的学习体验

现代科技急剧发展,催生出了大量新兴工程师岗位,纯粹的理论教学培养出来的毕业生已经很难满足社会对工程人才的要求。IEP 工程教育改革能够取得成功,其最重要的核心举措便是在工程学科内部和跨学科之间为学生提供真实的学习经验。真实的活动让学生有机会实践他们的技术和理论知识,同时提高广泛的、可转移的专业技能,也拓宽了他们对社会的理解,从而提高他们对工程问题提出解决方案的可操作性。将项目的真实性融入课程的主题范围、学习工具、活动和评估中,从而为学生提供真实的学习体验和工程情景,才是未来工程教育的发展方向。在工程教学中,需要保证学生的学习目标与现实世界的任务、内容和环境相一致。因此,“新工科”建设目标是让学生在真实的学习环境和为他们提供的工程实践中,结合他们以前的经验和研究,创造他们自己对知识的理解并获取新技能。通过向学生展示设计问题,让他们有机会通过情境认知来发挥自己对知识和技能的理解和掌握。

## 5 结语

“新工科”建设是应对新技术、新经济与社会变革的战略举措,与新文科、新农科、新医科并列成为新时代中国高等教育的“四新”建设,是新时代高等工程教育改革的目标与任务。课程和教学质量是衡量“新工科”专业建设成效的重要指标之一。“新工科”的教育范式应该由国家顶层设计和指导切实落实到各高校的教育教学质量提升中来。吸收借鉴国外一流大学在工程教育改革中的经验和举措,为我国切实提高“新工科”建设质量提出改进意见,切实提高我国“新工科”人才培养质量,发挥“新工科”头雁效应,推动我国高等教育整体创新。

### [参考文献]

- [1] IET. 2016. Skill and Demand in Industry Survey 2016[M]. London: Institute of Engineering and Technology.
- [2] 彭林,林健, Brent Jesiek. 普渡大学跨学科工程教育案例及

对新工科建设的启示[J]. 高等工程教育研究, 2019(06): 186-193.

- [3] 王武东,李小文,夏建国. 工程教育改革发展和新工科建设的若干问题思考[J]. 高等工程教育研究, 2020(01): 52-55+99.
- [4] 林健. 新工科人才培养质量通用标准研制[J]. 高等工程教育研究, 2020(03): 5-16.
- [5] 林健. 面向未来的中国新工科建设[J]. 清华大学教育研究, 2017, 38(02): 26-35.
- [6] 吴婧婧,王雨洁,朱凌. 学科交叉: 未来工程师培养的必由之路——以机器人工程专业为例[J]. 高等工程教育研究, 2020(02): 68-75+98.
- [7] 吴爱华,杨秋波,郝杰. 以“新工科”建设引领高等教育创新变革[J]. 高等工程教育研究, 2019(01): 1-7+61.
- [8] 郝莉,冯晓云,宋爱玲,李君. 新工科背景下跨学科课程建设的思考与实践[J]. 高等工程教育研究, 2020(02): 31-40.
- [9] 李丽娟,杨文斌,肖明,章云. 跨学科多专业融合的新工科人才培养模式探索与实践[J]. 高等工程教育研究, 2020(01): 25-30.
- [10] Roach, K., Smith, M. S., Tilley, E., Marie, J., & Mitchell, J. E. How student-generated peer assessment rubrics use affective criteria to evaluate teamwork. In Proceedings of the SEFI annual conference, Angra do Heroísmo[M]. Portugal: SEFI, 2017
- [11] 李肖婧,张炜. 伦敦大学学院本科工程教育体验教学及其启示[J]. 高等工程教育研究, 2019(03): 87-93.
- [12] Mitchell J E, Nyamapfene A, Roach K, et al. Faculty wide curriculum reform: the integrated engineering programme [J]. European Journal of Engineering Education, 2019: 1-19.
- [13] Crawley, E. 2015. The CDIO Syllabus: A Statement of Goals for Undergraduate Engineering Education. Cambridge, MA: Worldwide CDIO Initiative.
- [14] CDIO (Conceive, Design, Implement and Operate) [EB/OL]. <http://www.cdio.org>.
- [15] 郑庆华. 新工科建设内涵解析及实践探索[J]. 高等工程教育研究, 2020(02): 25-30.
- [16] 林健. 新工科专业课程体系改革和课程建设[J]. 高等工程教育研究, 2020(01): 1-13+24.
- [17] 周珂,赵志毅,李虹. “学科交叉、产教融合”工程能力培养模式探索[J]. 高等工程教育研究, 2019(03): 33-39.
- [18] dos Santos C A M, Pereira M A C, de Souza M A, et al. Different Teaching Approaches and Use of Active Learning Strategies as Tools for Inter- and Transdisciplinary Education [J]. International Journal of Social Science Studies, 2020, 8(2): 15-23.