



复杂工程问题驱动的“新工科”人才培养改革探索 ——以计算机科学与技术专业为例

朱丹红 张 栋 于元隆 吴运兵

(福州大学数学与计算机科学学院,福州 350116)

摘要:“新工科”建设顺应新经济发展对高质量工程科技人才的新需求,对我国高等工程教育改革具有示范和引领的作用。针对当前人才培养模式存在的问题,以福州大学计算机科学与技术专业为例,将“新工科”理念作为指导,以培养“复杂工程问题”的解决能力为核心,面向学科交叉融合,提出培养目标驱动、多样化人才培养、立体式课程体系、学习成果导向、开放式质量管理的改革思路,并贯穿于人才培养实施的全过程,探索并实践“新工科”建设背景下提升人才培养质量的新途径。

关键词:新工科;复杂工程问题;人才培养;计算机科学与技术专业

中图分类号:G647

Talent Cultivation for Emerging Engineering Education Driven by Complex Engineering Problems

ZHU Danhong, ZHANG Dong, YU Yuanlong, WU Yunbing

(College of Mathematics and Computer Science, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

Abstract: Emerging engineering education (3E) is in conformity with the new demand for high-quality engineering and scientific talents in the development of new economy. It also has a demonstrative and leading role in the reform of higher engineering education in China. This paper, taking the computer science and technology major of Fuzhou University as an example, analyzed the existing problems in talent cultivation and put forward some ideas for reform, such as making the concept of 3E as the guide, focusing on cultivating students' complex engineering problem solving abilities, diversifying talent training, setting up a three-dimensional curriculum system, opening the quality management system, training objectives driven, and outcome oriented. All this can form a new way for quality talent cultivation under the background of 3E and should be implemented throughout the whole process of cultivation.

Key words: emerging engineering education; complex engineering problem; talent cultivation; computer science and technology major

作者简介:朱丹红(1981—),女,讲师,研究方向:医学人工智能、下一代网络。

通讯作者:张栋(1981—),男,副教授,研究方向:软件定义网络。

基金项目:福建省服务产业特色专业项目“福州大学计算机科学与技术”(闽教高[2016]24号);福州大学一流本科教学改革建设重点项目“新工科背景下Python程序设计公共基础课改革探索”(201803695)。

随着国家经济的发展和转型以及“一带一路”、“中国制造 2025”、“互联网+”和“人工智能 2.0”等重大战略部署,我国对复合型高级工程技术人员和创新型人才的需求幅度大幅增加^[1]。高等工程教育作为培养工程科技人才的摇篮,在未来新兴产业和新经济发展的挑战下,迫切需要提升教育理念,改革现有高等工程教育人才培养模式^[2]。从“复旦共识”、“天大行动”到“北京指南”,标志着以“新工科”建设为主题的高等工程教育改革进入到一个新的阶段。相较于传统工程教育而言,“新工科”是以新技术、新产业、新业态和新模式为背景的一种新型工程教育^[3]。“新工科”建设成为我国高等工程教育继“卓越工程师教育培养计划”的实施及成为《华盛顿协议》正式成员国后的又一重要里程碑。

为满足新经济新产业的快速发展,高等院校以“新工科”理念为教育导向,以提高解决“复杂工程问题”的综合能力为核心,开展多学科交叉融合的人才培养模式创新研究具有重要意义^[4]。本文以福州大学计算机科学与技术专业为例,在分析人才培养模式存在问题的基础上,界定了专业的“复杂工程问题”及对学生的培养要求^[5],重视学科交叉融合,提出培养目标驱动、多样化人才培养、立体式课程体系、学习成果导向、开放式质量管理的改革主要思路,并将改革融入贯穿于人才培养的实施全过程,自底向上分别对专业基础课、程序语言课、专业应用课、工程实践课、毕业设计等教学环节,层递进阶的展开“复杂工程问题”解决能力的培养,探索并实践“新工科”建设背景下提升计算机科学与技术人才培养质量的新途径。

一、人才培养现状及存在问题

近年来,随着大数据、云计算、“互联网+”、人工智能、虚拟现实等相关领域为特征的新经济的高速发展,各行各业对计算机专业的依赖程度越来越高,对计算机科学与技术专业的人才需求也越来越旺盛,培养工程实践能力强、创新能力强、具备国际

竞争力的高素质复合型“新工科”人才迫在眉睫^[6]。这就要求学校需要强化计算机科学与技术专业人才培养的中心地位,以扎实的计算机专业知识为基础,重视“学科交叉融合”的特点,培养学生能够熟练运用所掌握的知识去解决专业的复杂工程问题,不断深化教学改革,提高人才培养质量。

长期以来,计算机科学与技术专业人才培养仍多沿用传统的教育模式,存在的主要问题包括:专业制定的人才培养目标对解决复杂工程问题的考量欠缺,在共性培养基础上不够注重学生的个性发展;对多学科交叉融合重视不足,课程体系未能面向复杂工程问题体现数学基础、专业理论、软/硬件等课程知识的关联衔接;课程的教学目标不清,课程的教学方式相对落后,无法对解决复杂工程问题的能力培养提供良好支撑;教学质量以评价教师“教的怎么样”为主,与复杂工程问题解决能力培养与提升的“学的怎么样”评判完全脱节。这些问题引发了课堂讲授与学生接受、学科知识体系与专业行业能力、质量管理与调控改进脱节,所培养的学生在理论知识和应用能力、专业素养和综合素质等方面出现失衡,对解决复杂工程问题的能力锻炼欠缺,人才培养质量不能较好的契合社会与国际化需求,因此改革势在必行。

二、解决“复杂工程问题”的能力要求

聚焦本科教育“解决复杂工程问题”的能力培养^[7],福州大学计算机科学与技术专业通过校际间考查交流,企业专家与责任教授研讨,行业或高校教育专家征询等环节,对专业的“复杂工程问题”进行界定,具体如下:来源于计算机专业领域的工程设计与实践问题;以程序、软硬件系统、网络、数据库、信息安全等为基础,以人工智能、图形图像、大数据、云计算等多学科或应用技术为综合;必须运用深入的数学与计算机等原理经过分析才可能得到解决;无法直接通过经典的数学模型描述与常用方法解决,在建模与求解中需要体现出创造



性;存在一定的约束,对复杂度、收敛性、鲁棒性等技术指标要求多,且有可能相互冲突;具有较高综合性,包含多个子问题关联等;还需体现社会、法律、环境等非技术因素。

因此,培养“复杂工程问题”的解决能力,就要求培养学生具有计算机专业与数学基础交叉融合的学科知识,具备全局分析的视角对软硬件系统进行设计与实现,能够解决综合性的实际问题,具有探索创新精神、团队协作能力及人文社科素质等。

三、人才培养模式的改革思路

针对上述人才培养的存在问题及解决“复杂工程问题”的能力要求,专业以“新工科”建设为指导,借鉴工程教育专业认证的先进理念^[8],围绕“以学生为中心”,坚持“成果导向”,完善“持续改进”,兼顾专业的实际定位,确定“复杂工程问题”驱动的计算机科学与技术人才培养模式的改革思路,如图1所示。

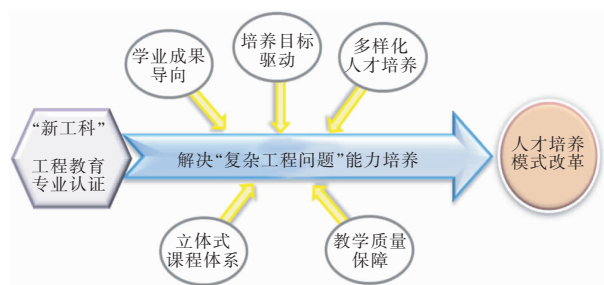


图1 人才培养的改革思路

1.“一个中心、两种能力、多维素质”复合的培养目标驱动

以“解决复杂工程问题”的能力培养为中心,培养学生熟练应用计算机学科的基础理论、工程知识、基本技能和开发工具,针对本专业领域的系统设计、开发、维护和管理工提供解决方案,提升学生的“实践能力、创新能力”,并将人文科学素养、法律环保意识、团队合作精神、终身学习能力、全球化国际视野等“多维综合素质”贯穿于培养过程始终。

2.“面向需求、顶层设计、因材施教”多样化的人才培养架构

专业采用并不断深化“分层次、多规格、因材施教”的人才培养模式,根据学生兴趣、能力与目标,在重视共性培养的基础上注重个性培养,有所侧重的落实“复杂工程问题”解决能力的培养过程。发挥计算机学科优势,实施科研导师制度,强化科研能力,科教融合培养研究型创新人才;发挥校企结合优势,实施企业“双导师+班主任”制度,强化工程实践能力,产学研联合培养工程型创新人才。

3.“点、线、面”融合的立体式课程体系

构建科学理论、硬件系列、程序语言基础、软件技术、网络、数据库信息系统、图形图像处理、人工智能八个课程群,落实群内每门课程之间、本课程群对其他课程群的知识内容、课程要求、大纲计划等关联与衔接,综合考量前沿科研知识和业界新技术,完善一级面向单门课程与课程设计(点)、二级面向专业方向课程群与专业实训(线)、三级面向全局课程体系与毕业设计(面)的“点、线、面”学科交叉融合的课程体系。通过对课程群中各门课程的监控管理,层递进阶的全方位培养学生“复杂工程问题”的解决能力。

4.“课程成绩、学习成效、学业成果”综合的教育教学导向

在课程成绩衡量知识掌握的基础上,将实践动手能力、课外科研成果、学科竞赛名次、论文、发明作品、创新创业技能等多角度综合,对学生复杂工程问题的解决能力达成情况进行全面客观评价,实现教学目标最终聚焦于学习成果。

5.“评价、反馈、改进”循环的教学质量保障模式

采用的教学质量评价机制由“评教”向“评学”、“单一”向“多样”、“封闭式”向“开放式”的转变,对培养学生解决“复杂工程问题”的能力的机制进行相关评价反馈。以学生为主体,以教师、企业、校友、第三方机构为参与者,以访谈、座谈会、

调查问卷为手段,明确课程对毕业要求达成的支撑情况,将课程的教学、作业、考核等进行细粒度开放与多阶段验收。实现在同一课程的不同班级之间、同一课程群的应用类与基础类课程之间,进行开放式评估与监控,实施反馈与落实改进。

四、人才培养模式的实施过程

基于上述人才培养模式的改革思路,专业对教学体系进行梳理重构,并进行教学方法创新与应用,面向学科交叉融合,自底向上针对专业基础、程序设计类、专业应用等课程,以及工程实践类、毕业设计等实践教学环节,将改革思路与要求融汇贯穿于人才培养的全过程,层递进阶的实施“复杂工程问题”解决能力的培养,提升“新工科”计算机专业的人才质量。具体如图2所示。

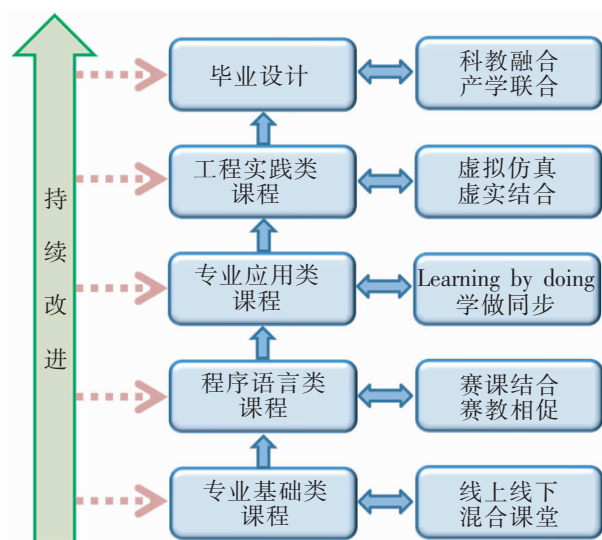


图2 人才培养模式的实施

1.以基础类课程为起点,引入线上线下混合教学模式,激发学生的主动学习兴趣

计算机专业基础类课程作为本科教学起点,既要培养学生夯实理论基础,又要启发学生对专业的兴趣爱好。因此,专业依托学院打造或引进的网络课程平台资源,包括高等数学(B)、福建省精品在线开发课程、计算机科学导论课程的Cisco教学资源平台等,对基础课程施行线上线下混合的教学模式^[9]。课内在高数课程中适当融合数学知识

在计算机类工程问题中的应用,如求导、积分,在计算机导论中渗透复杂工程问题的课程交叉与关联的基本认知;课外引导学生通过线上视频自主学习、线下平台交流反馈,引导学生对本专业复杂工程问题进行提问讨论并给予解答,激发学生的学习兴趣,明确基础类课程的学习意义,培养主动学习与探索精神。

2.“赛课结合、赛教互促”,加强程序设计的实践能力,锻造团队协作与创新精神

经过多年实践,本专业通过ACM-ICPC竞赛与算法与数据结构课程的“赛课结合”教学模式^[10],不仅取得ACM竞赛历年全国名列前茅的骄人成绩,而且打造了“算法与数据结构”的国家级精品课程,并由此探索出一条依托学科竞赛,有效提升学生创新实践能力的有效途径。该教学模式在“解决复杂问题”上进一步深化,面向复杂工程问题,开展竞赛指导与课程教学,并推广应用于程序设计语言类其他课程。此外,还通过数学建模、大数据、信息安全、电子设计等交叉学科的各项赛事融合相关课程的进阶内容,为学生解决复杂工程问题打下的坚实理论基础和实践能力,全面锻炼团队协作与创新精神,为学科竞赛人才的脱颖而出提供重要支撑;而学科竞赛成绩优异的学生又可作为“学生助教”参与核心课程的教学改革,形成“以面促点、以点带面”的教学与竞赛相长的良性循环。

3.“Learning by doing”的学做同步理念贯穿于专业应用类课程,强化“做中学,学中思,思中创”

作为促进学生全面了解计算机学科“复杂工程问题”的专业应用类系列课程,能够为学生的学科兴趣选择提供重要契机,是培养学生复杂工程问题解决的综合能力的提升关键。应用类系列课程贯彻从做中学,即“Learning by doing”的理念^[11],引导学生“做中学,学中思,思中创”,并从2015年起在软件工程实践课程中得到逐步落实和迭代推进。该课程聘请了包括迅雷科技、国防军工企业的



资深 IT 工程师等来自企业的专业研究人员担任课程助教。同时,课程开设了作业博客、作业开放点评互动、建立了广泛的校际间课程交流平台,课程的训练效果与教学成效,均得到学生、业界、同行兄弟院校的广泛好评。该教学理念与课程模式进一步扩展到其他专业应用类课程,扩大校企合作规模,引入企业应用案例与业界新技术实例,强化学生的复杂工程问题的实践应用和创新能力。

4. 虚实结合的开放式虚拟仿真实验教学,从实践环节提高动手应用能力

由于复杂工程问题对动手实践的实验教学环节要求较高,传统的基于单机和实物的实验条件具有相当的局限性,导致学生理论与实际相脱节,无法及时将理论知识融入工程实践。因此基于学院的“网络信息安全与计算机技术——国家级实验教学示范中心”,专业对开放式网上虚拟仿真实教学平台进行构建^[12],重点开展与计算机体系结构、计算机网络、信息安全等相关专业课程的实验辅助教学,涵盖原理验证、实训应用、综合分析及自主设计等多层次的实验操作。通过虚实结合,对复杂工程问题的实践环节深度培养,为教学、科研、竞赛、创新创业提供了完整的一体化的实验教学环境。使实验室突破了时间和空间限制,实现真正意义上的 24 小时开放,并能够采集学生在实验过程中的各类行为数据,为科学地开展实验教学评估及教学改革提供数据支持,优化培养方式,从实践环节提高学生的实际应用能力。

5. 科研反哺教学,面向各科研方向的“复杂工程问题”培养学生的创新思维与科研素养

专业在毕业实习与设计阶段对学生兴趣、能力综合考量,进行科研创新或工程应用分类的个性化培养。其中科研创新依托智能信息处理、网络内容分析、云计算应用支撑技术、认知机器人、计算机视觉、交通大数据研究、新型机器学习等科研实验室,通过考核奖励机制促进教授、博士等高水平科研人

才开设选修课、学术专题讲座,向学有余力的学生传授相关科研方向的前沿知识与最新发展趋势,强调科研领域的多学科交叉与综合应用,拓宽学生的知识面,并在教学过程中发现具有科研潜力的“好苗子”,引进实验室着力培养^[13]。另外通过设立“本科生导师制”,鼓励学生入校后,根据自己的能力与目标,选取感兴趣的学科专任教师作为导师,进入导师的科研实验室,参与导师的纵向、横向研究课题,导师以自身科研领域的“复杂工程问题”为基础,将科研作为毕业设计过程,从文献查阅、课题设计、实验操作、数据分析、论文写作等全程加以指导,把控毕业论文与毕业设计质量,培养学生的解决复杂工程问题的创新思维与科研素养。

6. 校企合作,产学研一体化的校外实践基地,全面提升工程实践能力、职业道德、行业素养

在“教育部卓越工程师教育培养计划”、“省级大学生校外实践教育基地”等教育改革工程项目支持下^[14],学院陆续与省内外 20 多家 IT 企业签订了校企合作协议书,建立稳定的校外实践基地,包含星网锐捷、福富软件、博思软件、顶点科技、北卡科技、快金所、榕基软件等企业,为培养学生解决复杂工程问题的工程应用能力提供强有力的支撑。校内课堂开设校企合作系列课程、企业专家前沿讲座;校外企业开设计算机科学与技术专业卓越班“企业实践”课程,并计划开设基础开发技术培训课程。以计算机专业的复杂工程问题为主线,邀请用人单位专家、国内外同行专家参与培养方案和课程体系建设,邀请合作企业人力资源主管共同研讨校企合作实践培养模式,落实岗位需求。通过实习与毕业设计的“一人一岗”与“双导师指导+班主任”制度,提高多学科综合应用的工程实践能力、职业道德、行业素养,从而全面提升复杂工程问题的解决能力。

7. 多维度综合的教学评价与开放式的质量保障体系,为人才培养保驾护航

面向复杂工程问题的解决能力培养,调整教

学质量监控机制,实现教学评价从“评教”向“评学”转变,质量管理由“封闭”向“开放”转变。在原有校院二级督导、最佳一节课、学生评教等对教师教学能力测评的基础之上,展开“评学”,将闭卷书面成绩、实践教学考核及课外科研评估、论文、专利评比、比赛竞赛名次、创新创业技能等学习成果作为多维度的综合考量。

在教学质量管理与监控方面,引入“开放”评判机制。首先教学过程开放。采用对教学内容、教学进度、学生练习、项目作业、阶段测验、期末试卷等细粒度开放,由同一课程教学团队的任课教师之间,对教学过程相互督促、建议与交流。其次课程群知识开放。基于复杂工程问题,对课程体系统筹规划,明确课程关联与衔接,构建包括科学理论、硬件系列、程序语言基础、软件技术、网络、数据库信息系统、图形图像处理、人工智能八个课程群,对复杂工程问题解决能力的进阶,实现课程群内各门课程之间、本课程群对其他课程群的综合评判;此外,通过访谈、座谈会、问卷调查等方式向用人单位、往届毕业生征询,综合了解外部需求与解决复杂工程问题能力的匹配状况;最后将开放、交流、监督、反馈后的结果进行定期、阶段性总结性的落实,循环执行,进行教学质量的全面调控与持续改进^[5]。

五、实施效果

近年来,学校对人才培养改革逐步推进,发挥专业所在数学与计算机学院的学科交叉互补优势,修订培养方案,优化课程体系,提升实践条件,加强科研创新,深化校企合作,完善质量监控机制,取得相应成果,于2015年成为福建省首个通过全国工程教育专业认证的专业。学生竞赛成绩不断突破,创新创业能力显著增强。在国际赛事中,ACM-ICPC国际大学生程序设计竞赛共有8次进入全球总决赛,并于2018年取得总决赛排名世界14名的历史最好成绩,ASC世界大学生超级计算机竞赛于2017年首次获得国际金奖,美国大学生数学

建模大赛于2016年取得一等奖。另外,在“互联网+”、“创青春”、程序设计、网络安全、服务外包等国家级各类竞赛也均有突出表现,本科生完成的论文质量与发明专利数量也有大幅度提高。专业于2018年顺利通过工程教育专业认证复评。

六、结束语

“新工科”建设和工程教育专业认证作为高等工程教育改革的重要举措,对人才培养质量提升具有重要意义,目前已得到教育部及高等院校的广泛关注。本文以“新工科”理念为导向,以解决“复杂工程问题”的能力培养为核心,对计算机科学与技术专业人才培养模式展开探索。针对当前人才培养存在的问题,基于学科交叉融合提出培养目标驱动、多样化人才培养、立体式课程体系、学习成果导向、开放式质量管理的改革思路,并贯穿于整个教学过程,对各个教学环节自底向上、层层递进的实施“解决复杂工程问题”的能力培养,取得一定成效,对当前同类院校的计算机科学与技术专业的人才培养具有一定的示范引领作用,也为其他工科专业提供借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 吴爱华,侯永峰,杨秋波,等.加快发展和建设新工科,主动适应和引领新经济[J].高等工程教育研究,2017(1):7-15.
- [2] 陆国栋,李拓宇.新工科建设与发展的路径思考[J].高等工程教育研究,2017(3):26-32.
- [3] 李华,胡娜,游振声.新工科:形态、内涵与方向[J].高等工程教育研究,2017(4):16-19.
- [4] 林健.面向未来的中国新工科建设[J].清华大学教育研究,2017(2):26-35.
- [5] 蒋宗礼.本科工程教育:聚焦学生解决复杂工程问题能力的培养[J].中国大学教学,2016(11).
- [6] 蒋宗礼.新工科建设背景下的计算机类专业改革[J].中国大学教学,2017(8).

(下转第49页)



课堂与实际生活紧密结合,提高了本科生的学习热情和积极性。另一方面,提早帮助学生进行规划,充分挖掘学生的研究潜力,以更精准、高效地实现研究型人才培养。此外,还通过拓展学生国际视野,培养学生市场洞察力,为食品行业培养从科学理论、科研实践到生产应用全方位的研究型人才。在该培养模式不断改进完善过程中,已经看到了明显的效果。近年来,学院食品微生物方向本科生科技论文发表、国家发明专利申请、优秀毕业论文及大学生竞赛获奖明显增多,本科生 PRP 及大学生创新创业项目无论从数量还是完成质量上都得到了大幅度的提升,极大地激发了学生的学习热情和科研积极性,锻炼了学生的探究和创新能力。但人才培养模式的改革与创新是一项长期系统的工作,还需要我们坚持不懈地发现自身问题并汲取他人宝贵经验,不断完善本科教学体系以顺应时代的需求,积极推进学校一流学科建设和教育事业的发展,为国家科技和产业的发展输送更多的研究型人才。

参考文献:

- [1] 陈宝生.坚持以本为本、推进四个回归、建设中国特色、世界水平的一流本科教育——在新时代全国高等学校本科教育工作会议上的讲话[EB/OL]. (2018-10-06) [2020-05-05].<http://www.cqie.edu.cn/html/29/content/18/10/20695.shtml>.
- [2] 刘丽萍.地方高校共青团组织在创新人才培养中的路径研究——以临沂大学为例[J].林区教学,2016(7):7-8.
- [3] 田丰伟,翟齐啸,张秋香,等.食品微生物学双语教学模式的探索与实践[J].中国轻工教育,2016(2):65-67.
- [4] 刘雪菲丹,高炳森,苏文琴,等.海洋生物学微生物教学中研究型人才培养的探索和思考[J].科教文汇(中旬刊),2020(2):62-63.
- [5] 翟齐啸,田丰伟,王刚,等.食品微生物学实验课程分组案例式教学的探索与实践[J].中国轻工教育,2017(1):54-56.

(责任编辑:姚歆烨)

(上接第 10 页)

- [7] 杨毅刚,王伟楠,孟斌.以提升解决“复杂工程问题”能力为目标的工程教育培养模式改进研究[J].高等工程教育研究,2017(4):63-67.
- [8] 钱慧敏,李丛.工程教育专业认证视角下我国高等工程教育质量提升研究[J].实验室研究与探索,2015,34(5):166-168.
- [9] 蒋翀,费洪晓.基于 MOOC 的混合教学模式设计与应用研究[J].高等理科教育,2015(3):120-125.
- [10] 王伟嘉,张洪萍,宁亚辉,等.关于《数据结构》课程与 ACM-ICPC 竞赛结合的探讨[J].计算机工程与科学,2014(S1):257-260.
- [11] 张栋,苏晓强.开放模式的软件工程实践教学

探索[J].计算机教育,2016(7):149-153.

- [12] 明仲,蔡茂国,朱安民.虚实结合建设高水平虚拟仿真实验教学中心[J].实验室研究与探索,2017,36(11):146-150.
- [13] 陈慧,何洪,邓少芝.以拔尖创新人才培养为导向的课程体系建设研究与实践——基于中山大学本科教育的探索[J].高等理科教育,2016(3):90-95.
- [14] 张栋,余春艳.基于校企合作的嵌入式复合型人才培养[J].计算机教育,2013(22):16-18.
- [15] 李志义.解析工程教育专业认证的持续改进理念[J].中国高等教育,2015(Z3):33-35.

(责任编辑:张华凡)