

三维贯通融合的本科工程实践教学体系探索

——以南方科技大学机械与能源工程系为例

魏艳 路冬 李远 融亦鸣

【摘要】面对国家产业转型升级和提升国家经济发展的国际竞争力和科技硬实力的需求,以培养国际一流的创新型拔尖人才和行业领军人才为目的,南方科技大学作为一所新型研究型大学,立足两个大局,围绕立德树人的根本任务,坚持以学生成长为中心,针对新工科人才的工程实践能力培养,形成了一整套系统化、可推广的解决方案。具体举措为:在南科大通识—专业相融合的整体人才培养框架下,系统化地构建了学科交叉融合的新工科课程体系,搭建集成化实践项目贯通下,层次化、能力递进式工程实践平台;面向未来新兴产业需求,构建“产—学—研—用”深度融合的实践机制;构建多层次、多样化的国际—国内融合贯通培养模式。本文分别从上述三个维度的设计、实施、评估和反馈几个方面进行系统分析,以期面向未来的拔尖创新型人才的培养提供借鉴和参考。

【关键词】实践教育体系 贯通融合式培养 国际产学研融合

一、引言

为了应对新一轮科技革命和产业变革的挑战,服务国家创新驱动发展和“中国制造 2025”“互联网+”等重大国家战略实施,教育部于 2017 年开始积极推进新工科建设,先后形成了“复旦共识”“天大行动”和“北京指南”新工科建设“三部曲”,开拓了工程教育改革新路径。纵观全球工程教育历史变革,工程教育范式历经了技术范式、科学范式和工程范式。^[1]作为面向未来的系统性变革,新的工程教育范式更突出“融合”“集成”“创新”。^[2]

“融合创新”范式下的工程教育对学科范式提出了挑战。面向未来工程教育既需要以知识构建为核心的传统学科范式,也需要以知识应用为核心的新范式。传统学科范式注重知识积累,强调学科边界,体现学科的价值理性;以知识应用为核心的学科范式则强调学科的应用性和服务性,体现学科的工具理性。价值理性和工具理性是促进社会和谐发展的两个不可或缺的部分,然而由于各种原因,工程教育多以学科为中心进行知识体系构建,学科之间清晰的边界和模块化特性限制了知识体系自身产生与发展,同时禁锢了跨学科

知识体系的有效连接与整合。建构符合产业发展规律的实践培养体系,实现跨学科知识体系和综合实践能力培养的有效连接与整合,是跨学科创新人才培养的重要突破口。

国内外积极探索新的实践培养体系。美国欧林工学院以培养杰出工程创新人才为目标,构建了工程教育、艺术人文教育和创业教育“三位一体”的“欧林三角”。^[3]一直走在工程教育改革最前沿的美国麻省理工学院于 2017 年启动新工科教育转型(New Engineering Education Transformation, NEET)计划。^[4,5]以应用研究导向为基本办学方针、“做中学”为基本方针的美国麻省伍斯特理工学院(WPI)从 20 世纪 70 年代开始,在世界五大洲(美、欧、亚、非、澳)建立项目合作中心,派学生与当地学生混合编组完成工业界真实项目,为工程教育与产业融合发展建立了成功典范。^[6]孕育了研究型大学的德国开始实行一些研究型大学向创业型大学的转变。^[7]我国以新工科建设引领高等教育改革创新,从不同方面重塑高等工程教育体系,涌现了“天大方案”、华南理工“F 计划”“成电方案”、哈工大“II 型”方案等一批改革成果。^[8-13]

收稿日期: 2022-07-01

基金项目: 2021 年广东省教育科学规划高等教育专项课题(2021GXJK202);深圳市教育局教育科学规划项目(ybfz20018);2020 年广东省高等教育教学改革项目“基于兴趣引导为基础、项目驱动为核心、线上线下混合教学模式的 CAD 与工程制图教学改革”(粤教高函[2020]20 号);“南科大研究”课题“交叉学科视域下新型研究型大学拔尖创新人才培养——以南方科技大学为例”(SUST22C02)

作者简介: 魏艳、路冬,南方科技大学机械与能源工程系教学副教授;李远,南方科技大学语言中心主任;融亦鸣,南方科技大学机械与能源工程系主任、博士生导师。

我国工程实践教育在理念、体制、知识体系、跨学科融合教学上仍面临较大挑战。在教学模式上,我国工程教育仍处于“以课程为中心”向“基于项目式”学习模式的转变之中,实践体系在基于传统学科的知识体系下仍处于辅助地位,在体制上存在系统性不强、缺少连贯性以及跨学科交叉融合度差等特点。在产教融合方面,主要还停留在以科研项目合作、教学实习基地、短期技术培训等传统形式层面,在教学设计上以完成任务型项目为主,在项目指导中以重知识、重技能等传统项目指导方式,不重视做项目的过程,与前沿科学研究和真实产业环境脱节,缺少对学生进行项目推进能力、团队合作能力等方面的系统化指导。学校和企业未形成优势互补、合作共赢的长效人才培养机制。在高校国际化办学方面,存在理念重视不够、教学实践改革不足、学生参与度低、辐射范围小等特点,许多高校国际化合作办学大多停留在文化交流层面,在学生国际化视野和跨文化交流能力培养方面薄弱。

上述问题导致现有实践培养模式对拔尖创新人才培养支撑不足的弊端日渐显现。为深化面向未来拔尖创新人才培养机制改革,实现个性化人才与应用型人才融合培养的一流研究型大学人才培养定位,南方科技大学机械与能源工程系(简称:南科大机械系),从工程引领人才所需能力结构出发,在南科大通识—专业相融合的整体人才培养框架下,系统化地构建了学科交叉融合的新工科课程体系。以通识教育实现学生知识架构的横向拓展;以自主专业分流激发学生学习潜力,解决人才选拔问题;以个性化的专业教育实现人才培养层次的纵向贯通。面向未来新兴产业需求,搭建校企融合的新工科实践教学平台。充分利用深圳高科技企业云集的优势,针对企业的生产需

求和人才需求,推进产教融合,构建以项目引导和过程评价为主要特征的实践课程体系,全面提升学生的解决工程实践问题的能力。构建工程人才培养的国际化平台,拓展学生国际发展空间。开展与美国麻省理工学院、哥伦比亚大学、圣母大学等国际知名院校以及跨国公司的深入合作,创建多元化的国际交流平台,在国际合作的情景下锻炼学生的交流沟通能力、团队协作能力和解决实际问题的能力。

二、贯通融合型实践体系的构建

1. 学科交叉融合的新工科人才培养体系

建构矩阵化工程实践能力培养体系,将工程实践能力培养分成四个阶段:工程表达、理论基础、实践训练、工程应用。从概念提出、教学环节设计以及教学方法保障三个方面进行整体规划(如图1所示)。通过汇集校内资源,实施每个层次中多学科交叉全方位育人教学体系。在工程表达层次,与人文社科中心老师合作开设课程,培养学生在现代工程设计中进行创意表达、概念设计、工程表达和综合表达的能力。在培养过程中重基础,包括数理基础、工程基础及专业基础,具体措施为:学生的基础课程可直接选修数学系、物理系的课程,以保证课程深度,培养严谨的数理逻辑思维;注重学生自主学习能力以及知识综合运用能力的培养。优化专业基础课和专业核心课,依托跨学科平台(机器人研究院),将机器人研发设计的系统性专业训练贯穿在整个培养过程中^[14],包含机械、驱动、控制、感知、信息处理和决策等;通过优化专业核心基础课与通识基础课的深度融合,重构各类课程深度交叉融合的课程体系;通过精简的必修课与丰富的选修课结合,充分发挥机械系学科交叉共融优势,使学生在夯实基础的同时,加强学科知识的拓展和深化,激发学生的探究

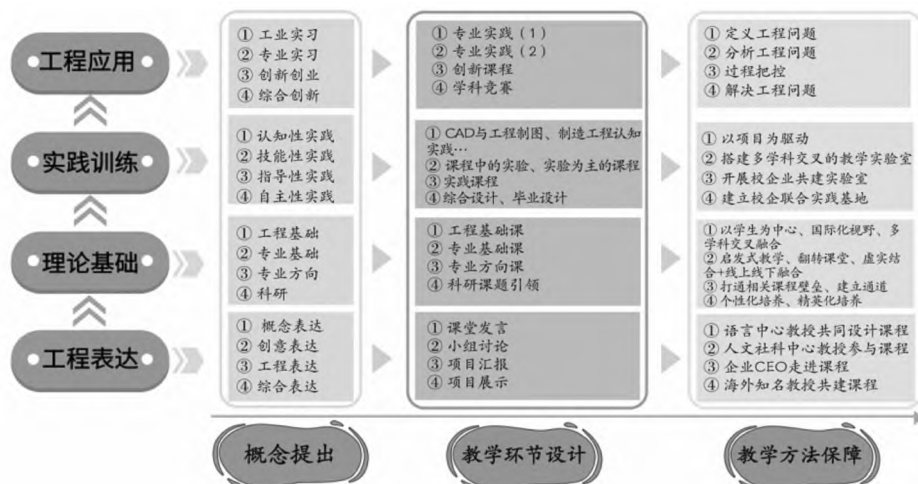


图1 工程实践能力培养体系

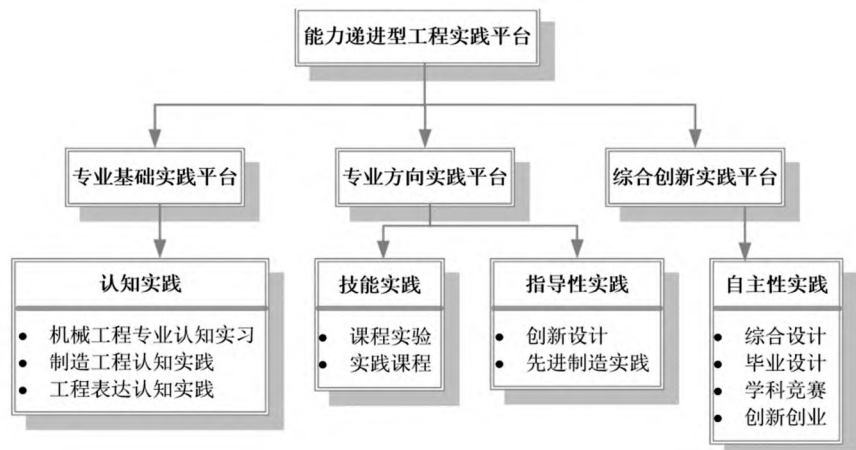


图 2 能力递进型工程实践平台



图 3 多样化的实践环节

热情。

2. 集成化实践项目贯通下，层次化、能力递进式工程实践平台

建构与课程体系贯通融合的实践体系，搭建由专业基础实践平台、专业方向实践平台和综合创新实践平台三部分构成的能力递进式的实践平台^[15]，循序渐进地提升学生的工程素质及创新能力(如图 2 所示)。基于专业基础实践平台开展认知实践，培养学生对专业的认知，激发学生创新意识。基于专业方向实践平台开展技能实践及指导性实践，培养学生的创新精神，技能实践包括专业课程实验、实践课程等；指导性实践包括创新设计、先进制造实践等。基于综合创新实践平台开展自主性实践，此实践平台以科技竞赛和项目实践成果产出为实践目的，综合提升学生创新能力，包括综合设计、毕业设计、学科竞赛、创新创业等。实践形式设计方面突出多样化(如图 3 所示)，包括理论课程中的实践环节、以实践为主的课程、实践课、实习、竞赛类和创新创业类实践、进实验室的科研实践以及毕业综合实践，为个性化拔尖人才培养提供平台。在能力递进式实践平台基础上，兼顾个性化培养，为本科生提供进入教授课题组从事科研项目的通道，本科生大一就可以进入教授实验室，参与到前沿的科研项目中，也可以选择去国内知名企业、国内外知名高校实践，为学生科研素质的培养提供良好的环境。

在实践项目设计方面采用集成化的实践项目设计。建立以项目衔接课程的新工科探索，基于能力递进型工程实践平台，实现学生项目的纵向贯通及跨学科、高低年级混合组合的横向贯通融合。项目的纵向贯穿表现为在基础实践平台中实施的项目可以扩展到专业方向实现平台及综合创新实践平台，学生在刚进入专业时通过 CAD 与工程制图课程中的理论和项目实践学习掌握用图形语言进行工程表达的能力；制造工程认知实践实现产品“设计—表达—实现”为主线的工程思维能力培养；在指导性实践平台中，建立了以系统性项目来衔接专业课程，来实现工业应用背景下，学生对专业基础和专业技能的理解和应用；在综合性实践平台中，学生可以通过综合设计课程(ME499)的学习，洞察市场和客户需求以定义新产品、应用科技力量打造极致产品、通过组建和管理团队，整合资源来创造价值，此实践平台主要用来培养学生设计思维、工程思维及系统思维能力。

3. “产—学—研—用”深度融合的实践机制

培养面向未来战略性产业和新经济的拔尖创新人才，需要充分发挥企业作为创新主体的优势。^[16]南科大机械系搭建以设计、实施与质量反馈为一体的校企联合培养平台，通过丰富多样、能力逐步递进的实践活动，实现“多样化、全覆盖、个性化”的人才培养实践体系，解决“产—学”脱节问题，推进教育链、人才链、创新链与产业链有机衔

接,让学生在实践中增长智慧才干,强化工程伦理训练,培养社会责任感,增强对中国社会实际的了解。“产—学—研—用”深度融合的实践机制主要表现为:企业全方位、深度参与到工程实践教学环节;企业结合最新产业需求为学生提供真实场景下的暑期产业实习实践项目;“设计—工程—管理”交叉融合下的暑期夏令营。

(1) 企业全方位、深度参与到工程实践教学环节

企业与学校依托校级科研平台、校企联合实验室和创新实践中心,建立有效深度合作机制,包括聘用具有丰富产业界经历的领军人才为产业教授参与课堂教学、提供产业相关及创新创业讲座,企业参与培养方案的实践环节和工程实践项目设计,为学生提供实习机会以及沉浸式暑期实践活动等。南科大机械系通过优化整合优质企业资源,实现了实践教学人才培养的全覆盖。所有南科大机械系学生在各个能力培养实践平台中都有相应资源作保障。同时通过建立以项目为驱动,实现贯通“实践—竞赛—企业—科研”的培养方案,为激发学生学习自主学习动力和学生个性化培养提供坚实基础。通过建立完善的组织机构、管理、运行机制和评价导向激励政策,保障企业与高校开展深层次的协同育人。企业与南科大教师团队共同设计培养方案,参与课程体系实践,主要包含:在认知性实践课程中企业为学生提供公司参观和产业方面讲座,激发学生专业学习热情;企业在技能性实践和任务性实践课程中提供产业技术相关实践项目,并选派企业导师参与教学,为学生提供产业背景和技术指导,加深学生专业技能掌握,激发学生专业探索热情;在综合实践课程中为学生提供综合性强、集成度高的企业项目,为学生提供多学科交叉技术支持和应用场景,培养学生解决复杂问题的能力。

(2) 结合最新产业需求为学生提供真实场景下的暑期产业实习实践项目

在课程教学中实现校企协同育人,能较大程度激发学生专业探索热情和加深学生专业技能。由于课程实践教学和企业真实场景下的实践还是有一定差别,为了实现实际场景下的实践环节,南科大机械系在成立的六年中,着手打造“多样化、跨专业、高低年级混合”的独具特色的暑期实践项目。暑期实践项目作为正常学期中的课程实践的重要补充,具有时间集中,强度高,能够保障学生的精力集中的特点。前文所介绍的能力递进的实践培养体系有所不同,南科大机械系暑期实践活动通过将南科大学生混合编组,将认知实践、技能

性实践和自主性实践三个不同层次和需求的实践混合在一起,在实践形式方面更符合真实企业组织结构。学生实践项目类别也表现为多样化,学生可以选择在学校完成企业提供的项目,也可以直接去企业,参与到企业的实际技术开发中。为了保证学生实践学习质量,暑期实践活动采用校内和企业双导师制对项目实施的全过程共同把关。

(3) “设计—工程—管理”交叉融合下的暑期夏令营

产业融合发展趋势下产品的定义成为创新型产品开发的核心竞争力。产品思维和系统思维的培养是创新引领工程人才培养的一个核心。南科大机械系以国际工程教育改革前沿的学校的经验为基础,依托深圳及其周边完备的产业链,发挥南科大机械系的产学研平台优势,于每年暑假设置为期3周的创新型工程研究与实践培训项目。项目通过解决企业工程实践中的真实课题,利用线上融合线下、海内连接海外、高校牵手企业的创新教学方式,打造面向未来的“新工科”人才培养模式,旨在培养适应时代发展需求、具有全球化视角的“新工科”人才。项目为每个学生团队配备国外一流大学学者和工业界领军人物,并邀请多名海外著名高校教授和学生交流与指导。项目的课题均来自于高新技术企业真实课题,且均和企业发展战略方向紧密相关的开放性课题。教学团队引导学生通过小组协作完成项目的同时,深化科技知识并提高跨学科知识应用能力、动手能力、团队协作能力、沟通表达能力,责任心以及初步培养设计思维和系统思维。

4. 多层次、多样化的国际—国内融合贯通培养模式

树立国际意识,营造多元文化融合的国际化教育环境,培养具有国际视野的拔尖型创新人才是南科大机械系的重要人才培养目标。南科大机械系构建了国内外交叉融合的实践培养体系,主要举措为:建立具有国际视野的教师队伍,加强教师间的交流互访、教学研讨活动;借鉴国际一流名校工程教育成果改革经验,构建符合中国国情的国际化实践教学体系;建立国际、国内工程实践中心,与海外知名高校和跨国企业开展合作,与海外高校、企业开展“请进来、走出去、混合编组”实践活动。

(1) 建立具有国际视野的教师队伍

依托南方科技大学高起点、高定位的新型研究型大学的定位,南科大机械系坚持“引育并举、打造人才高地”的方针,在人才队伍建设方面,坚

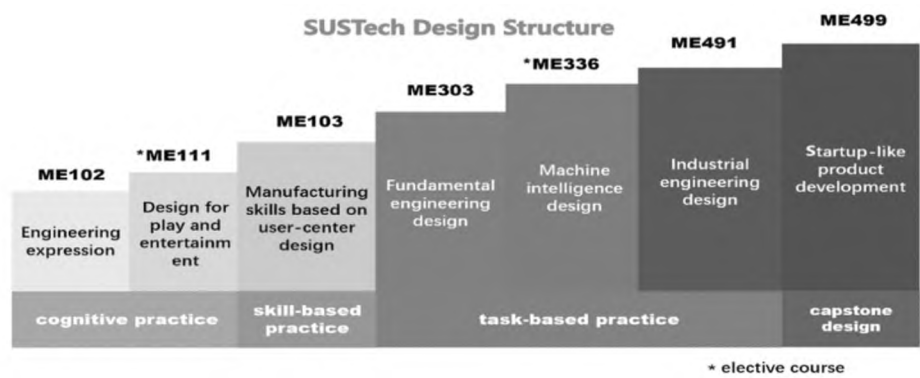


图 4 与美国麻省理工机械工程系共建实践课程体系

持高标准全球引才,建构具有国际化视野的教师团队。在工程教育研究与实践教学方面,与国一流大学建立联合教育研究中心,开展“请进来、走出去”交流互访合作。南科大机械系与 MIT、欧林工学院开展教学合作,通过定期开展教学研讨会、选派一线教学教师去麻省理工大学进修、国外知名工程教育专家来访等形式参与到南方科技大学人才培养建设活动中。在教学设计和教学方法上,通过引进国外一流高校的知名教授授课或国际名师与南科大教师同台授课等形式,实现课程内容和教学质量的提升。比如机器人基础课程邀请机器人领域国际知名教授、新加坡工程院院士陈义明教授讲授。传感技术原理课程邀请麻省理工学院方绚莱教授讲授。在邀请国内外教学名师来讲学的同时,积极推动南科大师生直接参与国外知名高校的课程教学中。在 2020 年春季学期,机械系教师和本科生通过线上教学方式参与了美国麻省理工学院的产品设计实践课程,并与麻省理工学院的学生进行了同台展示,教师教学热情和学生学习兴趣大幅提高。

(2) 与国外一流大学共建符合中国国情的国际化实践教学体系

为了提升学生的国际竞争力,构建了全方位、多维度的国际化教学体系。南科大机械系与 MIT、欧林工学院等国外一流大学合作,共同建设符合中国国情的国际化实践教学体系(如图 4 所示)。

麻省理工学院机械工程专业本科培养方案中在专业核心课设置方面以产品实现过程的知识和能力为主线,设置了能力递进的实践课程体系;培养学生对设计过程的认知性实践和对工科专业兴趣为主的玩具设计课程、锻炼学生利用机械原理和制造技术进行设计、培养学生在工业大批量制造背景下的设计与制造课程以及面向社会的创新型产品设计。南科大机械系以几门专业核心课为

主体,建构了以项目衔接能力培养的课程体系,通过 ME102 CAD 与工程制图、ME111 工程学引论、ME103 制造工程认知实践、ME303 机械设计、ME336 智能协作机器、ME491 创新工业实践和 ME499 综合实践七门课,实现了产品实现过程中“设计—表达—实现”为一体的知识和能力并行的新工科培养模式。在课程体系与国际对标基础上,南科大机械系在课程教材选择上融合国际一流英文原版教材与国内经典教材,从而保证了授课内容的高起点及前瞻性。

(3) 与海外高校、企业开展“请进来、走出去、混合编组”实践活动

为提升学生对国际战略问题的认识以及国际交流合作能力,南科大机械系参与麻省理工学院、约翰·霍普金斯大学、卡内基梅隆大学、多伦多大学、日本东京大学、新加坡南洋理工大学、香港大学等一流高校的国际交流项目,将海外一流高校院所的机械工程、机器人工程等专业学生“请进来”,与国内学生“混合编组”做项目。同时南科大大学生可以“走出去”,感受国际、国内一流学校的教育、科研资源。学生可以选择加入国外知名高校知名教授的研究团队,开展深度的科研实践,同时也可以加入国际知名企业或跨国公司,与公司骨干一起直接参与公司项目的研发。通过国际化实践环节的训练,学生的竞争力得到很大程度的提升。

三、融合式实践教育的实施成效

1. 学生创造性解决工程实际问题的能力增强

参加实践项目的同学在各种学科竞赛中频获佳绩。近 6 年获国际级、国家级及省部级奖项分布如图 5 所示。

2. 学生工程素质及创新能力全面提升,毕业去向乐观

自 2018 年以来,南方科技大学机械与能源工

程系共毕业学生 141 人,主要去向为就业、境内升学和境外升学,比例分别为 23.4%,32.62%和 43.26%。就业的同学大部分去了高科技企业的研发部门,如腾讯、深圳三星通信技术研究有限公司、华为、蓝胖子机器人、工业和信息化部电子第五研究所等,得到了重用并给以具有竞争力的年薪。境外升学的学生同学大部分拿到了国际上知名高校的录用通知,如麻省理工学院、苏黎世联邦理工大学、加州大学伯克利分校、哥伦比亚大学、东京工业大学、丹麦科技大学等。毕业学生中进入全球排名前 20 的大学继续深造的比例为 13.11%,进入全球排名前 100 的大学继续深造的比例为 67.21%。在境内升学的学生 100%在如西湖大学、上海交通大学、华中科技大学等一流大学进行学习和深造。学生升学及就业分布如图 6 所示。

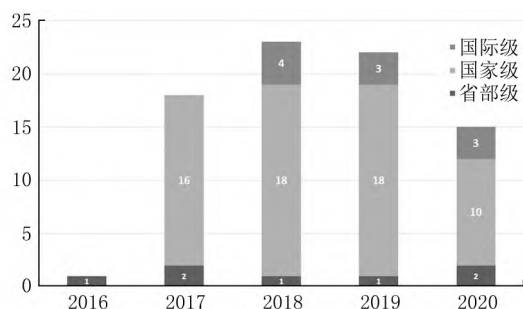


图5 近5年学生获奖情况分布

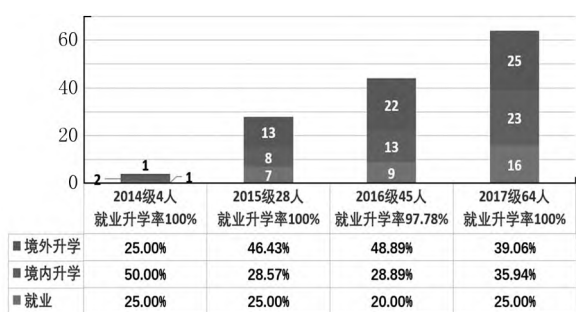


图6 学生升学及就业情况分布

四、结论

以面向未知业态新工科人才实践教育改革为目的,建设“课程体系、产学研用、国内外”三维贯通融合式培养工程实践教学体系。以立德树人作为根本任务、学生成长为中心,构建学科交叉融合的新工科课程体系。以通识教育、自主专业分流、精英化的专业教育的个性化培养体制,突破传统学科组织,重构新工科专业培养模式。通过建构多样化实践环节、层次化工程实践平台、集成化实践

项目,实现知识获取与工程实践能力的共同提升。推行“产—学—研—用”深度融合机制,推进教育链、人才链、创新链与产业链有机衔接,突破现有教学与实践的本质脱节的状态,将实践教学融入工程教育中,实现“以项目为中心”的培养模式,全面提升学生的前瞻性、创造性解决工程实际问题的能力。探索多层次、多样化的国际—国内融合贯通培养模式,树立国际意识,营造多元文化融合的国际化教育环境,培养具有国际视野的拔尖创新型创新人才。所建立的实践教育体系在工程教育中取得了良好的培养成效,为高校拔尖创新人才培养模式开辟了新途径。

参考文献

- [1] 顾佩华. 新工科与新范式:实践探索和思考[J]. 高等工程教育研究, 2020(4):1-19.
- [2] 李茂国,朱正伟. 工程教育范式:从回归工程走向融合创新[J]. 中国高教研究, 2017(6):30-36.
- [3] 袁广林. 欧林工学院:工程教育的一种新范式[J]. 高教探索, 2022(1):80-86.
- [4] EDWARD F CRAWLEY, ANETTE PEKOHOSOI, AMITAVA BABI MITRA. Redesigning undergraduate engineering education at MIT—the new engineering education transformation (NEET) initiative[C]. US: ASME Annual Conference & Exposition, 2018.
- [5] 刘进,王璐瑶. 麻省理工学院新工程教育转型:源起,框架与启示[J]. 高等工程教育研究, 2019(6):162-171.
- [6] 融亦鸣. 基于项目的教育:美国伍斯特理工学院的“双塔传统”[J]. 中国高校科技与产业化, 2008(11):57-59.
- [7] 师慧丽,李泽宇,陈明. 应对智能制造:德国高校专业课程改革的启示[J]. 高等工程教育研究, 2021(6):133-139.
- [8] 张凤宝. 新工科建设的路径与方法刍论[J]. 中国大学教学, 2017(7):8-12.
- [9] 高松. 实施“新工科 F 计划”,培养工科领军人才[J]. 高等工程教育研究, 2019(4):19-25.
- [10] 徐晓飞,沈毅,钟诗胜,等. 新工科模式和创新人才培养探索与实践[J]. 高等工程教育研究, 2020(2):18-24.
- [11] 林健. “卓越工程师教育培养计划”学校工作方案研究[J]. 高等工程教育研究, 2010(5):30-36.
- [12] 曾勇,黄艳,黄廷祝,等. 面向未来的新工科教育与“成电方案”2.0的迭代创新[J]. 高等工程教育研究, 2021(3):16-20.
- [13] 全月荣,陈江平,李翠超. 面向新工科的实践教育体系构建[J]. 高等工程教育研究, 2020(1):56-61+122.
- [14] 吴婧嫻,王雨洁,朱凌. 学科交叉:未来工程师培养的必由之路[J]. 高等工程教育研究, 2020(2):68-75+98.
- [15] 路冬,魏艳,柯文德,等. “新工科”背景下以国际引领、产教融合、能力递进为特色的工程素质与创新能力培养模式探索[J]. 高教学刊, 2021(10):17-20.
- [16] 朱柯锦,马近远,蔡瑜琢. 新工科背景下大学产教融合组织

Exploration and Construction of Three-dimensional Integrative Practice Teaching System

—A Case Study at the Department of Mechanical and Energy Engineering of
Southern University of Science and Technology

Wei Yan, Lu Dong, Li Yuan, Rong Yiming

Abstract: To serve the needs of innovation-oriented national development and lead higher education reform in China, Southern University of Science and Technology developed three-dimensional integrative practical teaching system to cultivate the essential skills, knowledge, and qualities to address the emerging challenges posed by the twenty-first century. The practical teaching system is developed based upon the integration of general education and education by subjects and consists of integrative design from three dimensions, curriculum, industry-academia collaboration, as well as globalization. The practice teaching system consists of progressive learning practice platform, effective and sustainable university-industry collaboration and multi-level and diversified globalization of engineering education. The practice shows that the three-dimensional integrative practice teaching system can effectively improve students' scientific and technological innovation ability, ability to analyze and solve complicate problems, and enhance students' competitiveness in the globalized domain.

Key words: practice teaching system; integrative education; university-industry collaboration in globalized domain

(责任编辑 黄小青)

(上接第 26 页) nexus with strong organization supports is necessary. This article is a case study of the “Yi Sheng Yi Xin” teaching and learning reform program initiated by University of Chinese Academy of Sciences. Through analyzing its OOICCI educational model of full-stack, full-chain, high-volume and low-cost, and its mechanisms in organizational supports, educational processes and behavioral stimulation, this article offers implications for higher education institutions to cultivate talents of core technologies through research-teaching-study nexus.

Key words: Yi Sheng Yi Xin; research-teaching-study nexus; core technologies; talents of chips; talents cultivation

(责任编辑 黄小青)