

DOI: 10.16750/j.adge.2022.05.001

工程教育对于技术创新的借鉴： 模式集成与因校制宜

张 炜

摘要：借鉴技术创新象限模型，构建了工程教育经验模式、技术模式、科学模式、回归模式的四象限模型，并以美国工程教育模式的演进为例，分析了每一种模式所发挥的作用及其局限性，提出了基于上述四种模式共性要素和公共区域的集成模式。中国工程教育发展阶段和模式演进的时序有别于美国，在工程教育多样性和复杂性凸显的背景下，建议高校加强模式集成与因校制宜，选择和完善适宜本校的工程教育模式，培养更多高质量的科学家、工程师、技术师和技术员，更好地服务新一轮工业革命的需要，为建设创新型国家做出更大贡献。

关键词：工程教育；象限模型；模式演进；集成创新；柔性战略

作者简介：张炜，西北工业大学党委书记，中国高等教育学会副会长，西安 710072。

近日，教育部、财政部、国家发展改革委《关于深入推进世界一流大学和一流学科建设的若干意见》指出，要瞄准国家高精尖缺领域，针对战略新兴产业、传承弘扬中华优秀传统文化以及治国理政新领域新方向，完善人才培养体系，优化面向需求的育人机制，促进高校、产业、平台等融合育人，力争在国际可比学科和方向上更快突破，取得创新性先导性成果，打造国际学术标杆，实施“一流学科培优行动”。在新一轮一流学科建设学科中，数学、物理、化学、生物学等基础学科布局 59 个、工程类学科 180 个、哲学社会科学学科 92 个，其中工程类学科占比较高（54.38%），应进一步厘清工程教育的创新内涵，推进模式集成与因校制宜。

一、借鉴的逻辑与背景

在我国，工程教育、工科教育、工学教育三者之间并没有严格的区分，在很多场合不加区别地被使用^[1]。2022 年 1 月 30 日，笔者在中国知网（CNKI）上分别以“工程教育”OR“工科教育”作为关键词进行搜索，有结果 4288 条，以“技术创新”作为关键词进行搜索，有结果 39937 条，都有较为充分的讨论。

但以“技术创新”AND“工程教育”作为关键词进行搜索，仅有一条结果^[2]；以“技术创新”AND“工科教育”作为关键词进行搜索，也只有一条结果^[3]，说明基于技术创新的视角研究工程教育还有待深入。

1. 技术创新过程模式

潘懋元先生指出，高等教育多学科研究的缘起，是高等教育学科建设的需要，以解决缺少本学科特有研究方法和范式的问题^[4]。但是，也有学者对于过度运用管理学工具和模式提出质疑和批判，认为学术组织中“充斥着商业词汇”的现象，并使用“时尚”（fads）一词来指称高等教育管理中这种“以超乎寻常的热情所推崇的实践或兴趣^[5]”，需要在理论研究和实践探索中把握好度，避免片面和偏颇。

美国工程教育协会（American Society for Engineering Education，简称 ASEE）的报告指出，技术创新的历史悠久、成果丰硕，建议工程教育创新要像技术创新那样，推动创新主体间的对话，营造充满活力的创新文化，将工程教育的创新理论转化为实践^[6]。

20 世纪中后期以来，在技术创新领域发表的论文数量快速增长，也借鉴了经济学、管理学等学科

基金项目：国家自然科学基金委管理学部 2020 年第 1 期应急管理项目“新时代行业特色高校治理模式与创新发展研究”（编号：72041014）

的研究成果^[7]。技术创新是一个过程,由许多离散的决策和行为所构成,而“模式”表示“某种事物的标准形式”或“可以和照着做的标准样式”^[8]。技术创新过程模式是反映技术创新的规律性形式,是在技术创新运行中凝练出的一些具有共性的标准样式,对于高等教育创新产生了影响^[9],也已经并将继续为工程教育的创新演进所学习和借鉴。

工程是技术创新密集的活动,工程教育培养技术创新人才,应更好地促进工程教育与技术创新接轨,借鉴技术创新的模式特征和演进特点。同时,随着经济社会发展对于工程教育需求的变化,已有工程教育模式可能会出现不适,需要模式创新。实施技术创新需要受过良好教育、掌握基础理论和具有实践经验的工程人才^[10],催生了工学门类中新学科不断创立,也需要专业的工程管理人才。一些国家在管理学学科门类设置了技术管理(Management of Technology, MOT)学科,在工学学科门类设置了工业工程(Industrial Engineering, IE)学科,都授予硕士或博士学位,不少高校将管理学的课程和实践融入工程教育。

2. 集成创新

斯托克斯(Donald E. Stokes)反对片面地用两分法对待基础科学与应用研究的关系,并通过两两结合的视角构建了一个四象限模型,即纯基础研究的波尔象限,纯应用研究的爱迪生象限,应用基础研究的巴斯德象限,以及既不追求基本认识的研究、也不考虑其结果会有什么实际应用的皮特森象限。1999年,该书在我国翻译出版^[11],获得诸多引用和正面评价。

针对传统技术创新过程模式的特征、缺陷和环境变化,复杂产品系统的创新管理不同于大规模定制产品,强调创新主体的优势互补和创新要素的集成创新,将各种创新资源和能力有机地联系在一起。第五代技术创新过程模式的核心在于战略集成,即在创新过程中提高效率、加快进度、降低成本和提高可持续竞争力所实施的一组战略^[12]。

当代高等教育创新的本质也是集成创新,对高等教育的办学理念、发展战略、育人过程、组织管理等产生深刻的影响。美国工程教育也经历过几次大的转型发展,其理念和方法都发生了变化^[13],但上述创新并非简单的线性发展和时间接续,也并非

对以前模式的全盘否定,各种模式交叉重叠,而不是相互对立和割裂的。同样,工程教育的各种创新要素也需要创造性地集成^[14],促进要素之间的互补匹配和系统集成,加快工程教育的转型和发展^[15]。

3. 柔性战略

创新实践是由过程组成的,过程创新对于实现创新目标至关重要。创新过程的设计与选择,成为创新战略的重要组成部分。柔性战略是指企业为了更有效实现经营目标,在动态的环境下主动适应变化、利用变化和制造变化,以提高自身竞争能力而制定的一组可选择的行动规则及相应方案;是一个分层次的战略,凸显战略的博弈性而不是战略的计划性,强调利用和制造变化而不只是适应环境变化,加强战略设计而不只是考虑战略规划指标实现,同时关注企业战略的转换效率和转换成本^[16]。

柔性战略的表象是路径选择,而战略演进是其应有之义,即在已有战略的基础之上,根据新形势、新任务、新要求,确定新战略或新的战略组合。目前,实施柔性战略已经超越企业的范畴,有多种类型组织机构的成功案例,但关于高校柔性战略的研究还不多见^[17]。伴随工程教育的快速发展,多类型、多层次、多模式的工程教育并举,相关高校应结合自身基础与办学目标,因校制宜选择适合的高等工程教育模式。

二、模式借鉴与演进

参考技术创新的象限模型^[11],笔者构建了工程教育的象限模式与战略(见图1),分别以通识教育和专业技术教育为坐标,通过两两结合形成工程教育的四个象限,各自对应经验模式、技术模式、科学模式、回归模式,并以美国工程教育的演变为例,讨论各种模式的历史贡献和存在问题,以及因校制宜的模式选择。

1. 经验模式

美国高等教育的起步,是照搬殖民地宗主国的大学模式,既有传统的文理学院,也有专业培训机构,但工程教育主要以师傅带徒弟的经验模式实施。1754年,国王学院(后更名为哥伦比亚大学)开设航海、测量、矿物等课程^[18]。1783年独立战争之后,美国大工业快速发展^[19],特别是第一次工业革命兴

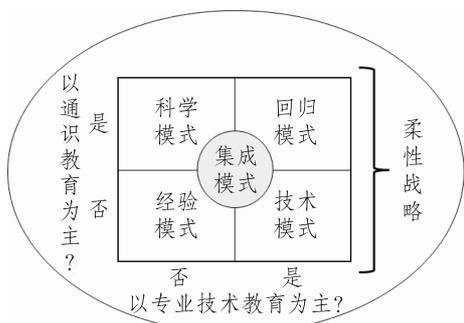


图1 工程教育的象限模式与战略

起，机器大工业代替了工场和作坊手工业，需要大量技术熟练工人和工程师，师徒制传承方式难以满足需求^[20]。

但是，传统大学一度忽视工业发展对于高等教育的需求^[21]，专业培训机构也未得到应有地位和学术界的认可，工程教育的主流模式依然停留在经验模式，既缺少通识教育的教学内容，也缺乏专业技术教育的实践训练。创新过程是一个组织学习过程，可以从成功的实践中积累经验，也可以从失败的案例中汲取教训^[22]，促进了工程教育从经验模式向新的模式转型。

2. 技术模式

大工业的兴起进一步促进了生产力的发展，传统生产方式逐渐式微，加快了工业化、城市化和市场化的进程。19世纪60年代，“实用主义导向的大学”和职业化在美国同步成长^[23]，美国很多州立高校设置农业、机械、电气、化工等专业^[24]，一批赠地高校以培养工程师为主要目标，开设工程类专业和课程，强调技术应用和实践操作，工程人才培养从经验模式向技术模式转变。

麻省理工学院(MIT)的创始人罗杰斯(William B. Rogers, 1861—1870年、1879—1881年两度任校长)认为，高校不应只传授古典语言和贵族道德规范，而是应与美国日益增长的工业化相适应，培养能投身工业革命的技术人才，强调手脑并重，学生既要掌握书本知识，也要学会知识运用的方法^[25]。

工程教育的技术模式至今依然是美国一些应用型本科院校和社区学院的主流教育模式，但该模式局限于技术的自然变革，不利于科学基础素养和批判性思维的养成。当代工程的范围早已超出工业活

动，成为一个以制造活动为基础，包括科学、技术、社会、管理、文化等活动；而工程科学本身又具有系统科学、复杂性科学、交叉科学、综合科学等内涵，传统的工程观已不能反映社会发展对于工程创新的需要^[26]，工程教育模式继续演变。

3. 科学模式

受到德国柏林大学办学模式的影响，普林斯顿大学自建校起，就倾向于纯科学研究。威尔逊(Woodrow Wilson)校长(1902—1910年)强调，大学教育并不等同于技术训练和职业教育，必须帮助学生扩大知识的边界，并大力推行通识教育，要求本科生完善知识结构，在进入专业学习前对科学文化知识的整体有所认识^[27]，在工程教育中强化了科学和人文社科的内容。

“二战”后，美国更加强调基础研究，对于学术型人才的需求增强，促使一些大学的工程教育向科学模式转变，其“主要特点是高度重视数学和科学，强调工程科学和理论分析”^[28]，甚至将工程学作为大学的“自由科学计划”(Liberal Science Program)^[29]。蒂尔曼(Shirley M. Tilghman)担任普林斯顿大学校长期间(2001—2012年)，延续威尔逊的办学理念，就是要“让学生不要以为大学教育是他们所选择的专业培训”，在通识课程的基础上又开设了科学整合课程模块，供那些日后有意主修科学和工程专业的学生选修；即使在专业学习阶段，各个专业在必修的专业核心课中也都有交叉学科课程选修的要求^[27]。

对于工程教育的科学模式也一直有反对声音，认为该模式与产业及企业的联系合作不紧密，重学术轻实践^[19]；面向工程实际不到位，工程设计和实践教育环节缺失，课程体系落后^[30]；过于强调向学生灌输学科的高深知识，而较少培养专业技能；并强调不能完全期待毕业生到了工作岗位后再去获得这些技能，因为许多企业希望所聘用的工作人员能够立即上手，而不是还需要再做培训^[31]。

工程教育的科学模式也许更加适合研究型大学的工程本科教育，或者说更加适合那些毕业后准备攻读硕士或博士学位的学生。同样，对于工程教育科学模式的一些完善措施，如将本科学制延长到5年或将工程专业知识放入研究生阶段等^[29]，也并不

完全适合所有类型高校的工程教育，通识教育课程内容也与博雅教育不同^[32]。

4. 回归模式

新一轮科技革命和产业变革，特别是以人工智能、量子信息、移动通信、物联网、区块链等为代表的新一代信息技术加速突破应用，先进制造技术推进制造业向智能化、服务化、绿色化转型，催生了一批工程领域的新兴交叉学科兴起，也导致基础研究、应用研究、技术开发和产业化传统意义上的边界日趋模糊。

针对工程教育上述三种模式存在的不足，一些高校继续探索，提出要回归工程教育，但对于到底要回归什么，认识并不一致。有观点认为，工程教育应“回归工程实践，强化创新能力”，解决重理论轻实践、学生缺乏实践训练等问题^[30]，有摆脱科学模式束缚、强化技术模式因素的趋势。

但是，工程不仅包含实践活动，也要传授科学与技术知识，回归工程并不是线性的回归，并非简单地重返技术模式，而是“螺旋式上升”。因此，需要进一步针对研究对象细化举措和案例分析，在此基础上进行抽象和凝练，平衡理论基础和实践操作，使其能更好地培养和构建学生的思维、知识及能力^[33]，避免泛泛而谈，使得回归模式真正能够成为一种模式。

三、模式集成与因材施教

工程教育的上述四种模式有其各自的逻辑和规律，在历史上都发挥过并在当下还在继续发挥作用，但也都有其局限性，相互之间的边界也不清晰，并非绝对和对立，或者说主要适用的教育对象和层次有所不同，有些高校工程教育模式的要素并非源于一种模式，形成了各种模式的共性要素和公共区域，并逐渐演化为集成模式（见图1）。同时，不同高校集成创新的模式还可能有所差异，不同共性要素的成分与比重有所不同，因而需要采用柔性战略进行模式选择。

1. 模式集成与竞争力细分

工程教育较早的集成出现在19世纪后期的美国，工程教育逐步规范，课程体系不断完善，形成了本科四年学制，前两年主要实施基础（化学、物

理和数学）教学，后两年将这些知识应用于工程实践^[34]。20世纪上半叶，美国高校又陆续增加了工业工程、生物工程、环境工程、石油和矿业工程、核工程等学科专业，工学成为与自然科学、人文社科并列的学科门类^[24]。

伴随工程环境日趋复杂，工程水平不断提高和丰富，技术创新模式持续演进，工程与科学、技术相互交叉的新兴学科不断涌现，需要工程人才掌握应有的知识、技能和能力（knowledge, skills, and abilities, 简称KSAs），对于工程教育的需求越来越多、越高、越复杂，也进一步促进了工程教育模式的集成。2013年，ASEE发布报告提出要加快工程本科教育的转型（Transforming Undergraduate Education in Engineering, 简称TUEE），详细列出了工程师应具备的36种KSAs，设计了一个三阶段五年的工作方案，以促进工程课程、教学法和学术文化的转型变化^[35]。

2018年，TUEE的报告之四提出，当代工程师应具有系统的竞争力^[15]（见图2）。其中，“会做”（will do）包含当今和未来工程师有价值的个性和态度，可以称之为个人内在竞争力（intrapersonal competence），包含自我导向、终身学习，智慧、创新、批判性思维，道德，勤勉等方面的竞争力。

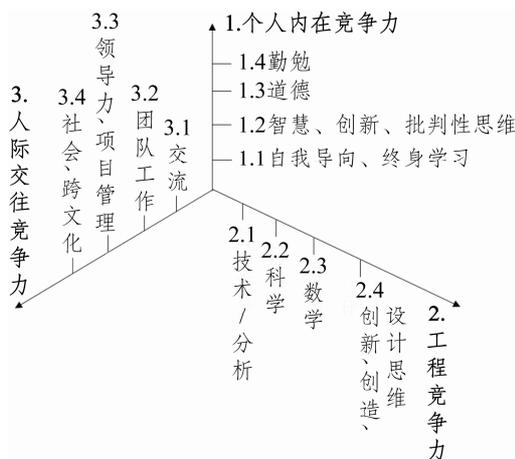


图2 工程师竞争力的细分结构

“能做”（can do）包含工程师完成工作所需的工程竞争力（engineering competence），其中技术、分析、科学和数学方面的竞争力都是必需的，同时还需

要与工程实践相关的创新、创造和设计思维竞争力。

另外,为了提高上述竞争力,当代工程师还应当具有人际交往竞争力(interpersonal competence),可以细分为交流、团队工作、领导力和项目管理,以及社会和跨文化竞争力。

上述三个维度的竞争力的集成,体现了这样一种理念,即:应教育学生不仅要成为本学科专业的优秀技术人员(technicians),而且要成为好公民,能够以建设性的方式理解和批评社会发展^[36]。可见,单一工程教育模式已难以满足要求,高校应以集成为目的进行创新模式设计,通过集成创新,不仅要获得更多的创新资源,还要有效配置及使用资源^[9],更要不断提高创新能力和质量。

与之相呼应,MIT强调,要系统培养学生的工程思维、科学思维及人本思维,以人才培养和人的发展逻辑取代学科专业本位逻辑,打破工程学院内部系科之间、工程学院与理学院、人文学院等的隔离,强化学科专业集成,跨学科培养工程人才。《面向未来的MIT教育特别工作组全校调查报告》建议,要改革教育理念与教育方式、扩大教育影响力、创设新的途径与空间来支持学生的学习。在此基础上,实施了“本科生研究机会进阶计划”“开端6计划”等工程教育改革计划^[37]。同时,MIT延续和发展了CDIO工程教育理念,即构思(conceive)、设计(design)、实现(implement)和运作(operate),重构了工程师知识能力素质图谱,并为此调整了教学大纲,再次梳理了课程体系,深化课程理念、课程计划、课程实现和学习评价方式等改革^[28]。

2. 模式演进与因校制宜

ASEE早在1955年就指出,工程教育应同时包含社会目标和技术目标,而科学导向的工程课程是达到这些目标的关键。为此,ASEE提出了多项措施建议,包括加强数学、物理、化学等基础学科建设,辨识和组合工程课程共同核心课,构建灵活的选修科目组合,将人文社会科学融入课程体系,提高学生的口语、写作和图形化的思想交流等方面的能力,鼓励实验,加强研究生教育,激励和提高教师智力能力以及专业和学术水平^[38]。上述建议比较全面系统,但缺乏分类指导、因校制宜的举措,因

而未能解决高校工程教育办学定位的争议。

1998年,卡耐基教学促进会发布《重建本科教育:美国研究型大学发展蓝图》(简称“《博耶报告》”),主张“研究型大学的本科教育要充分利用得天独厚的研究生和科研项目资源”,开展高级化的探究式学习,从而帮助本科生为攻读硕士、博士学位做准备^[32],也并不适用于所有高校,特别是应用型本科院校和社区学院。

为此,有文献提出批评,认为美国一些高校工程本科教育的办学定位进入了大而全的误区,既要高度重视人文社会科学和自然科学等基础理论教学,强调工程科学和理论分析,导致工程师与科学家的培养模式趋同;又要强调必要的工程实践训练和动手能力,提高岗位适应能力。要同时满足这两种要求,教学时间就明显不够,学生的负荷越来越重,而结果也并不能令人满意^[34]。因而,采用柔性战略、突出个性特色的必要性就显得更加重要。

自欧洲中世纪大学出现以来,高等教育布局 and 模式一直在变;伴随工业化进程,工程教育的形态和模式也在不断变化。在一个快速变化的经济社会中,大学要继续发挥重要作用,就不能保持不变^[39]。每一次工业革命的兴起与发展,都引发了工程教育的改革创新,促进工程教育模式的“转变、形成、稳定和再转变”^[40],工程教育发生了一系列巨大变化,“唯一不变的就是改变”^[35]。美国一些高校工程教育从经验模式向技术模式的转型,反映了当年美国工业发展的水平与需求;向科学模式的转型伴随学校自身办学定位的调整,既是突出研究型大学的要求和研究生教育的发展,也是对技术模式主导下工程教育忽视基础科学知识的修正;回归工程,并不意味着不要基础科学知识,而是要回归以人才培养为中心,系统思考在校学生为何学习、如何学习以及学习什么,统筹规划工程本科教育与研究生教育。

科学、技术和工程的多样性对于工程人才培养提出了多种要求,工程教育模式的设计和选择,既受到高校办学定位的影响,也与其发展阶段和学段密切相关,还与自身所处的外部经济、社会环境有关。步入普及化高等教育阶段,工程教育的多样性和复杂性更加凸显,高校有必要基于柔性战略主动

设计和选择工程教育的模式，不能局限于某个单一模式，也不可都向某个研究型大学的教育模式看齐。

同时，实施柔性战略还体现在同一高校在不同时段的与时俱进。同一所高校的工程教育模式也不会恒定不变，而是在某一历史时期、某一教育阶段和某种办学定位，会以某个创新模式为主，多个创新要素集成，甚至会出现发展转型和模式转换。在美国，单科性专门（special-focus）工程院校的数量不断减少^[41]，而单科性院校转变为多科性院校后，开展工程教育所面临的模式选择，也会更为复杂。2017年，MIT发布《全球一流工程教育的发展现状》，强调“工程教育正在发生快速的根本性的变革”^[42]，更加尊重学生的个体需求与职业兴趣，不仅提供多种课程和实践训练供学生选择，也赋予学生更多的、更为灵活的学业与职业选择，即“涵盖从工程制造者（makers）到工程发现者（discoverers）”的职业生涯广阔领域^[37]。

四、借鉴与启示

工程科技是推动人类进步的发动机，是产业革命、经济发展、社会进步的有力杠杆。在新一轮工业革命的驱动下，工程在人类发展过程中的作用益发凸显，也对工程人才提出了新的要求，进一步推动了工程教育模式的创新。现代工程教育源于工业革命的兴起，与科技进步密切相关，可以应用科技创新象限模式，分析工程教育模式的演进，因材施教，设计和选择适合自身的工程教育模式。

工程教育模式是渐进式创新，任何一种模式都没有完全否定其他模式，只是在不同背景下，不同要素配置方式和作用发挥的机能有所差异。同时，渐进式创新是连续的，没有出现断裂和突变，但有些曾经的创新可能不再适应自身发展需要和外部环境变化，成为高质量人才培养的障碍，必须进行再创新。

我国工程教育发展阶段和模式演进的时序不同于美国，经验模式在我国历史上长期存在，师徒传承造就了传统工艺和精湛技艺，但也导致了一些技能的失传。1949年以后，我国批判“通才教育”，确立“专才教育”办学理念，一批行业特色高校立足本行业需求，迅速向技术模式转型，着力培养专业对口、上手快的工程技术人才。改革开放后，部

分高校的工程教育再次向科学模式靠近，一些综合类院校和师范类院校积极发展工学学科专业，但有的行业特色高校又面临特色减弱、与行业渐行渐远的挑战，创新永无止境，模式演进也会持续发生。

从宏观层面，我国工程教育的层次结构也应避免路径依赖，要通过创新进一步优化结构。我国高校扩招之前的1997年，工学专科、本科毕业生数量就已高于美国1996—1997学年在工学领域授予的副学士、学士学位的数量；高校扩招后，工学专科、本科教育的规模快速扩张、优势不断扩大，到2019年工学专科毕业生152.91万人、本科毕业生129.50万人，分别是美国的14.58倍和5.10倍。但是，我国工程研究生教育的规模仍然还低于美国，2019年工学硕士毕业生19.42万人、博士毕业生2.18万人，分别是美国的57.05%和63.61%。

当前，工程教育多样性的特征益发明显，其原因在于外部环境的快速变化，经济社会对于工程人才的需求更加多变和多样，使得工程教育成为一个多元化、多阶段、多类型的教育体系，也使得工学学科专业出现既交叉融合、又不断细分的趋势，从早期的力学、机械、矿业等，到近期的网络安全、集成电路等，已经很少有高校能够在研究生阶段全部设置工学的所有一级学科学位点，而在本科生阶段，一些大学实施了大类招生和大类培养，淡化本科专业的概念。

在工程教育未来的发展中，无论高职（大专）、本科和研究生教育各学段，还是高职、应用型本科、教学科研型高校和研究型大学，其工程教育模式的设计与选择均应遵循人才培养的共性要求，坚持以育人为本，以学生的发展为导向，面向学生的基础、需求和成长，根据用人需求和学生诉求，进一步细分工程教育人才培养的职业目标，都要实施以素质教育为基础的通识教育与专业教育的集成。但不同高校的集成模式和各种要素的比例及作用会有所差异，既要保持个性和特色，又要有效集成已有模式及其创新要素。

工程教育模式的选择主要基于几个要素，一是高校自身的人才培养层次和类型定位，二是所服务的行业对于人才的要求，三是资源条件和约束。因此，应根据学校自身办学定位和人才培养特点，按照柔性战略要求，以集成模式为基础，统筹优化创新要素。

按照因材施教的原则,应用型本科和高职的工程教育,应侧重于生产型、服务型,延续专业对口、上手快的专业教育,同时也应集成通识教育的元素,培养全面发展的人才。研究型大学的工程教育,应在本科阶段强调厚基础、宽口径,加强通识课程、专业课程和实践课程的有效集成,促进工程教育、科学教育和人文教育的有机结合,但对于本科毕业后直接就业的学生,也应加强实习实训,提高实践能力和就业率。

同时,在工程教育的研究生阶段,对学术学位研究生与专业学位研究生也应采取不同的培养模式,针对不同对象有区别地深化新科学、新技术、新工艺、新服务的知识传授和工程实践。伴随更多的学术学位博士从事非学术工作,加之专业学位博士的不断增多,给博士生的传统学术培养目标定位提出了挑战,工程博士生教育涉及更多的企业和外部资源,治理更加多元^[43],培养模式也更加多样,应创新质量标准和保障体系。

另外,多年来普通高校大多也都开展继续教育,创建学习型社会这方面的需求会更加迫切。对于成人教育学生的教育模式也应与普通教育有所不同,更加侧重职业教育以满足学生的切实需求。

2022年《政府工作报告》再次要求,“加快培养理工农医类专业紧缺人才”。当前,新科技革命和产业变革对工程教育提出了新的要求,应深入研究高等工程教育的规律逻辑,合理设计和优选适宜本校的工程教育模式,调整优化工程类学科专业,深入推进新工科建设,推动高校和企业共同设计培养目标、制定培养方案、实施培养过程,实行校企“双导师制”,加强国家产教融合创新平台建设,加快培养更多高质量的科学家、工程师、技术师和技术员,更好地服务于中华民族伟大复兴和第四次工业革命的需要,为建设创新型国家做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 张炜. 新工科教育的创新内涵与美国工科教育的观念演变[J]. 中国高教研究, 2022(1): 1-7.
- [2] 唐浩. 工程教育中如何破解查新查重与技术重用的矛盾[J]. 高等工程教育研究, 2020(2): 99-105.
- [3] 徐磊. 技术创新的演变与工科教育发展[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2002(1): 74-77.

- [4] 潘懋元. 多学科观点的高等教育研究[M]. 上海: 上海教育出版社, 2001: 2-3.
- [5] 波恩鲍姆. 高等教育的管理时尚[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2008: 1.
- [6] American Society for Engineering Education. Creating a culture for scholarly and systematic innovation in engineering education—ensuring US engineering has the right people with the right talent for a global society (2009)[EB/OL]. [2021-08-25]. <https://www.asee.org>.
- [7] 张炜. 基于ISI数据库的技术创新文献分析[J]. 中国科技期刊研究, 2006(3): 379-384.
- [8] 中国社会科学院语言研究所词典编辑室. 现代汉语词典[M]. 北京: 商务印书馆, 2003: 894.
- [9] 张炜. 高等教育创新的管理与范式: 集成创新[J]. 中国软科学, 2004(2): 1-7.
- [10] FURUKAWA R, GOTO A. The role of corporate scientists in innovation[J]. Research policy, 2006(1): 24-36.
- [11] 斯托克斯. 基础科学与技术创新——巴斯德象限[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 63.
- [12] 张炜, 张薇. 复杂产品系统研究的文献计量分析与研究视角[J]. 中国科技资源导刊, 2012(6): 29-35.
- [13] KIMBALL W P. Engineering education and accreditation[J]. Journal of petroleum technology, 1964(3): 265-268.
- [14] 谢冰蕾, 吴琳华. 融入区域发展的新工科教育建设: 逻辑、挑战与进路[J]. 中国高教研究, 2021(6): 51-56.
- [15] American Society for Engineering Education. Transforming undergraduate education in engineering phase IV: views of faculty and professional societies (2018)[EB/OL]. [2021-08-25]. <https://www.asee.org>.
- [16] 汪应洛, 李垣, 刘益. 企业柔性战略——跨世纪战略管理研究与实践的前沿[J]. 管理科学学报, 1998(1): 22-25.
- [17] 张静. 资源基础理念下高校人力资源的柔性化管理[J]. 经济研究导刊, 2016(12): 125-126.
- [18] 贺国庆, 王保星, 朱文富, 等. 外国高等教育史(第二版)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2006: 137.
- [19] 波伊尔. 学术水平反思——教授工作的重点领域[M]. 丁枫, 岑浩, 译//吕达, 周满生. 当代外国教育改革著名文献(美国卷·第三册). 北京: 人民教育出版社, 2004: 1-100.
- [20] 王续琨. 自然科学的学科层次及其相互关系[J]. 科学技术与辩证法, 2002, 19(1): 58-61.
- [21] 科恩. 美国高等教育通史[M]. 李子江, 译. 北京: 北京大学出版社, 2019: 49-50.
- [22] 张炜, 杨选良, 张宏涛. 20世纪后期我国电话交换机技术创新过程模式研究[J]. 中国软科学, 2007(6): 1-8.
- [23] 维赛. 美国现代大学的崛起[M]. 栾鸾, 译. 北京: 北京大学出版社, 2018: 86.
- [24] 郭卉, 朱康宁, 闫晨晨. 从“教学学术”到“教育研究”: 美国工程教育学科形成的历史考察[J]. 高等工程教育研究, 2021(3): 181-189.

- [25] 别敦荣, 李晓婷. 麻省理工学院的发展历程、教育理念及其启示[J]. 高等理科教育, 2011(2): 52-60.
- [26] 汪应洛, 王宏波. 工程科学与工程专业[J]. 自然辩证法研究, 2005(9): 59-63.
- [27] 董泽芳, 王晓辉. 普林斯顿大学本科人才培养模式的特点及启示[J]. 高教探索, 2019(2): 77-81.
- [28] 邱学青, 李正, 吴应良. 面向“新工业革命”的工程教育改革[J]. 高等工程教育研究, 2014(5): 5-14,45.
- [29] American Society for Engineering Education. Goals of engineering education (1968)[EB/OL]. [2021-08-25]. <https://www.asee.org>.
- [30] 邹晓东, 胡珏, 姚威. 模拟与仿真: 工程科技人才培养模式创新[J]. 高等工程教育研究, 2013(3): 32-37.
- [31] American Society for Engineering Education. Transforming undergraduate education in engineering phase II: insights from tomorrow's engineers (2017)[EB/OL]. [2021-08-25]. <https://www.asee.org>.
- [32] 谢鑫, 张红霞. 一流大学本科教育的课程体系建设: 优先属性与基本架构[J]. 江苏高教, 2019(7): 32-39.
- [33] 杨毅刚, 唐浩, 宋庆. 遵循工程逻辑构建一体化的课程体系[J]. 高等工程教育研究, 2019(1): 44-51.
- [34] PRITCHETT H S. Preface[EB/OL]. [2021-08-25].//MANN C R. A study of engineering education (1918). <https://www.asee.org>.
- [35] American Society for Engineering Education. Transforming undergraduate education in engineering phase I: synthesizing and integrating industry perspectives (2013)[EB/OL]. [2021-08-25]. <https://www.asee.org>.
- [36] WEBER L E. Survey of the main challenges facing higher education at the Millennium[M]//HIRSCH W Z, WEBER L. Challenges facing higher education at the Millennium. Arizona: American Council on the Education and The Oryx Press, 1999: 1-17.
- [37] 肖凤翔, 覃丽君. 麻省理工学院新工程教育改革的形成、内容及内在逻辑[J]. 高等工程教育研究, 2018(2): 45-51.
- [38] GRINTER L E. Summary of the report on evaluation of engineering education/ reprinted from journal of engineering education, september, 1955 (1994)[EB/OL]. [2021-08-25]. <https://www.asee.org>.
- [39] TSICHRITZIS D. Research and education: new roles, new instruments[M]//HIRSCH W Z, WEBER L. Challenges facing higher education at the Millennium. Arizona: American Council on the Education and The Oryx Press, 1999: 99-110.
- [40] 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.
- [41] National Center for Education Statistics. Digest of education statistics 2019[EB/OL]. [2021-03-18]. <https://nces.ed.gov/programs/digest>.
- [42] 余东升, 袁东恒, 袁景蒂. 中国工程教育研究如何走向制度化发展——基于国际比较的视角[J]. 高等工程教育研究, 2021(3): 173-180.
- [43] 张炜. 博士生教育共同治理的发展趋势——《学者养成: 重思 21 世纪博士生教育》的启示[J]. 学位与研究生教育, 2020(12): 72-77.

(责任编辑 黄欢)

DOI: 10.16750/j.adge.2022.05.002

新工业革命背景下面向工程硕士 创造力的培养模式研究

——基于四所大学的
多案例分析

姚威 储昭卫 韩旭 胡顺顺

摘要: 工程硕士生教育是培养高层次创新型工程人才的重要途径, 但当前存在培养过程和评价标准与工学硕士生同质化的问题。从工程创造力及其提升障碍出发, 系统研究了中外四所高校的工程硕士生培养经验, 从目标、过程、支撑、评价四个维度构建了面向工程硕士创造力的培养模式。该模式以塑造创造性人格、面向重大需求为目标指向; 通过革新培养内容、课程体系和教学方法改革、引入项目式学习、创

新思维与方法等重构工程硕士生培养过程; 以校企协同、科教融合与创新文化环境等为支撑保障。同时建立了针对工程硕士生创造力、教学效果和综合质量的评价方法。

关键词: 工程创造力; 工程硕士; 培养模式; 4P 模型; 研究生教育

作者简介: 姚威, 浙江大学公共管理学院, 中国科教战略研究院副研究员, 杭州 310058; 储昭卫, 浙江大学公共管理学院, 中国科教战略研究院博士研究生, 杭州 310058; 韩旭, 浙江大学先进技术研究院助理研究员, 杭州 310058; 胡顺顺, 浙江大学公共管理学院, 中国科教战略研究院博士研究生, 杭州 310058。

基金项目: 2019 年国家自然科学基金面上项目“制造强国背景下工程创造力的测评、提升机理及系统性开发模式研究”(编号: 71974172)