

新工科建设的内涵与行动

钟登华

【摘要】 新工科(Emerging Engineering Education, 3E)是基于国家战略发展新需求、国际竞争新形势、立德树人新要求而提出的我国工程教育改革方向。新工科的内涵是以立德树人为引领,以应对变化、塑造未来为建设理念,以继承与创新、交叉与融合、协调与共享为主要途径,培养未来多元化、创新型卓越工程人才,具有战略型、创新性、系统化、开放式的特征。新工科建设将阶段推进,需要重点把握学与教、实践与创新创业、本土化与国际化三个任务,关键在于实现立法保障、扩大办学自主权、改革教育评价体系三个突破。

【关键词】 新工科 实践 创新 卓越 工程人才

【收稿日期】 2017年3月

【作者简介】 钟登华,天津大学校长,中国工程院院士。

党的十八大以来,习近平总书记多次指出,未来几十年,新一轮科技革命和产业变革将同我国加快转变经济发展形成历史性交汇,工程在社会中的作用发生了深刻变化,工程科技进步和创新成为推动人类社会发展的引擎。这为工程教育创新变革带来了重大机遇,但这一机遇不再是简单的扩大规模、增加专业的传统机遇,而是倒逼我们反思工程教育、建设“新工科”的新机遇。

联合国教科文组织在2015年的研究报告中指出:世界高等教育正在发生革命性变化,并呈现出了“大众化、多样化、国际化、终身化、信息化”的趋势,高等工程教育作为其中重要的组成部分,也遵循上述趋势进行了多次转型,从注重技术应用的“技术范式”转换为注重科学研究的“科学范式”,又转换成为注重实践的“工程范式”,并时刻瞄准未来的新范式。“新工科”的率先提出为高等工程教育的改革探索提供了一个全新视角和“中国方案”。本文试图从为什么要建设新工科、什么是新工科和如何建设新工科三个方面进行探讨。

一、为什么要建设新工科

“新工科”这一概念自2016年提出以来,在不到一年的时间里,教育部组织高校进行深入研讨,形成了“复旦共识”和“天大行动”。显然,新工科不是局部考量,而是在新科技革命、新产业革命、新经济背景下工程教育的重大战略选择,是今后我国工程教育发展的新思维、新方式。

1. 服务国家战略发展新需求需要建设新工

科。

国家重大战略和需求是工程教育改革创新的重要起点。实现“两个一百年”奋斗目标,统筹推进“五位一体”总体布局和协调推进“四个全面”战略布局,贯彻落实创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念,深入实施“创新驱动发展”、“一带一路”、“中国制造2025”、“互联网+”、“京津冀协同发展”等重大战略,推动大众创业、万众创新,支撑服务产业转型升级和经济发展动能转换,适应以新技术、新产品、新业态和新模式为特点的新经济,迫切需要深化高等工程教育改革,认真履行好高等工程教育在人才培养、科学研究、社会服务、文化传承创新、国际交流合作中的职责使命,进一步增强使命担当,承担起实现中华民族伟大复兴中国梦的历史使命。

2. 构筑国际竞争新优势需要建设新工科。

国际竞争归根到底是人才和教育的竞争。未来,资源短缺、环境污染、能源紧张、气候变化、人口老龄化等全球性难题对人类生存和可持续发展构成严峻挑战。国际竞争日趋激烈,世界多极化、经济全球化、文化多样化、社会信息化深入发展。新一轮科技革命和产业革命蓄势待发,学科交叉融合加速,新兴学科不断涌现,颠覆性技术层出不穷,催生产业重大变革和新兴产业发展,创新驱动成为许多国家谋求竞争优势的核心战略。机器人与自主系统、大数据分析、移动和云计算、网络空间、能源、智慧城市、量子计算、虚拟现实与增强现

实、合成生物等新兴科技趋势^[1]深刻改变着人类的思维、生产、生活和学习方式,人才培养和争夺成为关键。加快工程教育改革,培养创新工程人才,主动承担起应对挑战、造福人类、塑造未来的时代责任成为在激烈的国际竞争中赢得主动的重要战略选择。

3. 落实立德树人新要求需要建设新工科。

立德树人是教育的根本任务和中心环节。《关于加强和改进新形势下高校思想政治工作的意见》指出:以立德树人为根本,把社会主义核心价值观体现到教书育人全过程,坚持全员、全过程、全方位育人,培养又红又专、德才兼备、全面发展的中国特色社会主义合格建设者和可靠接班人。《意见》进一步深化了立德树人的内涵,也为高等工程教育改革提出了指导方向。积极推动工程教育的全面改革创新,遵循工程教育的发展规律和工程创新人才发展规律,把培养未来全面发展的工程人才放在更加突出的战略位置,是落实立德树人新要求的重大举措。

来自代尔夫特理工学院 2014 年的研究报告“Engineering Education in a Rapidly Changing World”显示,未来的工程教育主要包括以下几个关键方面:工程严谨性、批判性思维与非标准化解决问题、跨学科与系统思维、想象力、创造力、主动性、沟通与合作、全球化思维模式、多样性与流动性、学生参与和专业学习共同体、就业与终身学习。

当前,我国高等工程教育经过“质量工程”、“卓越工程师教育培养计划”、“2011 计划”、“创新创业改革”等重大改革举措,取得了巨大的成绩,形成了规模第一、层次完备、专业齐全的工程教育体系。而加入“华盛顿协议”,更标志着我国工程教育真正融入世界。但也应当看到,我国高等工程教育大而不强的问题仍然存在,工程教育在卓越工程人才培养方面表现出一些不适应:

一是理念不适应。当前,工程教育领域存在的一些问题与工程教育理念滞后直接相关,主要表现在工程教育理念与当前的变化和未来的需求不适应。例如,以学生为中心、成果导向、质量持续改进的工程教育认证理念贯彻落实不到位,终身学习、个性化学习理念没有完全融入教育过程,多学科交叉融合理念有待强化,绿色工程教育理念尚未牢固确立等。

二是人才结构不适应。世界级工程领军人才

和拔尖人才不足,大国工匠紧缺,基础、新兴、高端领域工程科技人才短缺,工程技术人才支撑制造业转型升级能力不强,传统工程人才相对过剩,呈现出制造业人才结构过剩和短缺并存、企业“用工荒”与毕业生“就业难”并存的局面。

三是知识体系不适应。当今社会,新知识呈指数级发展,边缘学科、交叉学科不断涌现,知识成果转化周期缩短。但从内容上看,工程教育课程知识陈旧,与实践和社会需求脱节;从结构上看,学科专业设置按照既有知识体系呈层级式结构,划分过细;从机制上看,学科专业调整设置灵活性不足,滞后于市场和产业发展需求。

四是培养模式不适应。以全球化、网络化为代表的一系列颠覆性技术的发展使得教育、学习、信息共享的方式发生了变化,由此带来了教学方法和模式、教学环境和条件以及教师的需求和结构等的不适应。与此同时,经济环境和社会雇主需求的变化要求工程教育从单纯追求学术表现回归到与实践的相关性,致力于回应、参与和解决不断涌现的人类社会问题。

因此,加快深化工程教育改革、建设新工科是立足我国战略发展需求、国际竞争趋势和立德树人时代要求提出的深刻命题,关系国家未来和民族振兴。工程教育必须瞄准世界一流,加快改革,以“新工科”的整体面貌迎接多重战略机遇与挑战交织并存的新形势、新任务,为国家经济转型和社会发展提供强有力的人才保障和智力支撑。

二、什么是新工科

(一) 新工科的内涵。

新工科的内涵是:以立德树人为引领,以应对变化、塑造未来为建设理念,以继承与创新、交叉与融合、协调与共享为主要途径,培养未来多元化、创新型卓越工程人才。

新工科,“工科”是本质,“新”是取向,要把握好这个“新”字,但又不能脱离“工科”,其内涵可以从三个层面来理解:

1. 理念新:应对变化,塑造未来。

理念是行动的先导,是发展方向和发展思路的集中体现,新工科建设应以理念的率先变革带动工程教育的创新发展。

(1) 新工科更加强调积极应对变化。

创新是引领发展的第一动力,创新的根本挑战在于探索不断变化的未知。著名管理学家德鲁克曾经说过:没有人能够左右变化,唯有走在变化

之前。新工科应该积极应对变化,引领创新,探索不断变化背景下的工程教育新理念、新结构、新模式、新质量、新体系^[2],培养能够适应时代和未来变化的卓越工程人才。

(2) 新工科更加强调主动塑造世界。

高等教育作为人才第一资源、科技第一生产力、创新第一驱动力的重要结合点,与社会经济的发展十分紧密。工程教育更是直接地把科学、技术同产业发展联系在了一起,工程人才和工程科技成为改变世界的重要力量。因此新工科应走出“适应社会”的观念局限,主动肩负起造福人类、塑造未来的使命责任,成为推动经济社会发展的革命性力量。

2. 要求新:培养未来多元化、创新型卓越工程人才。

新工科作为一种新型工程教育,其育人的本质没有变,但对人才的培养要求发生了变化。

(1) 人才结构新。工程人才培养结构要求多元化。

一方面,当前我国产业发展不平衡,处在工业 2.0 和工业 3.0 并行的发展阶段,必须走工业 2.0 补课、工业 3.0 普及和工业 4.0 示范的并联式发展道路,因此工程人才需求复杂多样,必须健全与全产业链对接的从研发、设计、生产、销售^[3]到管理、服务的多元化人才培养结构;另一方面,从工程教育自身来讲,应根据对未来工程人才的素质能力要求,重新确定专、本、硕、博各层次的培养目标和培养规模,进而建立起以人口变化需求为导向、以产业调整为依据的工程教育转型升级供给机制。

(2) 质量标准新。工程人才培养质量要求面向未来。

目前对未来工程师的质量标准尚未有一个统一的界定,但对未来工程师素质的大量描述在一定程度上反映了未来工程人才质量的核心要素。美国工程院发布的《2020 的工程师:新世纪工程的愿景》报告中提出:优秀的分析能力、实践能力、创造力、沟通能力、商业和管理知识、领导力、道德水准和专业素养、终身学习等是未来工程师应该具备的素质。2016 年世界经济论坛报告“The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution”特别强调了包括社会技能、系统技能、解决复杂问题的技能、资源管理技能、技术技能在内的

交叉复合技能。基于国际标准和我国重大战略需求及发展实际,我们认为,未来的工程人才培养标准应该强调以下核心素养:家国情怀、创新创业、跨学科交叉融合、批判性思维、全球视野、自主终身学习、沟通与协商、工程领导力、环境和可持续发展、数字素养。

3. 途径新:继承与创新、交叉与融合、协调与共享。

从某种意义上说,新工科反映了未来工程教育的形态,是与时俱进的创新型工程教育方案,需要新的建设途径。立足天津大学、放眼中国和世界,我们能感受到新工科蓬勃兴起的力量。

(1) 继承与创新。

新工科要根植于我们的历史积淀和传统优势。从中国工程教育诞生起,天津大学(北洋大学)就肩负着“兴学强国”的使命,从兴学救国、科学建国到科教兴国,“实事求是”、“穷学理,振科工,重实验,薄雕虫”、“不从纸上逞空谈,要实地把中华改造”等价值理念塑造了我们“家国情怀”的使命感,广大校友立足自身岗位,把“家国情怀”转化为服务国家发展的实际行动,有力支撑了国家重大战略、重大工程和重大项目。

新工科要面向未来全面加快改革创新。新工科必须通过人才培养理念的升华、体制机制的改革以及培养模式的创新应对现代社会的快速变化和未来不确定的变革挑战。天津大学精密仪器与光电子工程学院作为“国家试点学院”,以“工程科学实验班”为载体探索传统工程教育转型为新工科,通过多层面学生选拔、竞争性分流、本硕博统筹培养、自主选择专业、个性化课程体系、小班化教学、双导师制等“以学生为中心”的教育模式变革,致力于培养“具有深厚数理基础和人文素养,善于从工程中发现科学问题,并能运用科学原理解决工程难题,能够解决人类面临重大问题和国家重大战略需求的仪器仪表领域未来工程领军人才”。

(2) 交叉与融合。

交叉与融合是工程创新人才培养的着力点。基于多学科交叉、产学研融合,斯坦福大学的硅谷模式、剑桥大学的科技园区等对创新人才培养提供了很好的参考。天津大学积极探索创新创业教育,培育交叉融合的育人生态,建立了宣怀学院和搭伙众创空间等创新创业教育和实践平台,将高水平科研优势和产学研资源转化为育人优势,打

造从“创意—创新—创业”完整链条的创新人才培养模式。

交叉与融合是重大工程科技创新的突破点。学科交叉融合是工程科技创新的源泉,关键核心技术和重大工程创新科技成果的突破大多源于学科交叉。天津大学研制的“海燕”水下滑翔机,用于“天宫二号”的“在轨脑—机交互技术测试系统”,保障大坝长期安全运行“智慧大坝”技术体系,以及麻省理工学院研制的“蜂群”无人机协同作战等都是学科交叉的成果。

(3) 协调与共享。

以协调推动新工科专业结构调整和人才培养质量提升。教育部引导高校主动布局面向未来技术和产业的新专业,2010年后增设战略性新兴产业相关工科本科专业点1401个。^[2]同时,通过协调工程教育多利益主体关系,形成了高校主体、政府主导、行业指导、企业参与的协同育人模式,逐步突破制约工程教育人才培养质量的政策壁垒、资源壁垒、区域壁垒等。

以共享推动新工科优质教育资源和教育成果共建共享。经济全球化的不断深入与创新要素的加快流动使得共建共享、合作互补成为高等工程教育发展的共同选择。中国—东盟工科大学联盟、中俄工科大学联盟等都是高等工程教育主动适应全球化的具体实践。天津大学与佐治亚理工学院共同建设天津大学佐治亚理工深圳特色学院,以中外合作办学的形式进一步探索建设新工科。

(二) 新工科的特征。

新工科的内涵决定了新工科以下几个方面的特征:

1. 战略型。

新工科不仅强调问题导向,更强调战略导向。新工科建设必须站在战略全局的高度,以战略眼光和战略思维加快理念转变,深化教育改革,既为支撑传统产业转型升级等当前需要培养人才,又要为支撑新型产业培育发展等未来需求培养人才。

2. 创新性。

创新是工程教育发展的不竭动力。新工科建设要将经济社会发展需求体现在人才培养的每个环节,围绕产业链、创新链从建设理念、建设目标、建设任务、建设举措等方面进行创新性变革,重塑工程教育,而不是旧范式下细枝末节的修补。

3. 系统化。

新工科建设是一个系统工程。首先需要从系统的角度积极回应社会的变化和需求,并将培育发展新工科和改造提升传统工科作为一个系统,设计一个教育、研究、实践、创新创业的完整方案^[4],为工程教育改革发展不断提供新动力。

4. 开放式。

新工科是更高层次的开放式工程教育。应以开放促改革、促创新,对外加强国际交流与合作,对内促进工程教育资源和教育治理的开放,加快形成对外开放和对内开放深度融合的共建共享大格局。

三、如何建设新工科

新工科建设行动路线着眼于国家“两个一百年”的战略目标,提出了“三个阶段、三个任务、三个突破”的行动方案(见图1)。



图1 新工科建设路线图

1. 阶段目标。

到2020年,探索新工科模式,支撑新技术、新产业、新经济的发展。

到2030年,形成中国特色的新工科发展优势,服务创新驱动发展能力显著增强。

到2050年,形成引领全球新工科的中國模式,为全面建成小康社会和实现中华民族伟大复兴的中国梦提供支撑。

2. 关键任务。

(1) 学与教。

重构人才知识体系。围绕产业链、创新链对学科布局和专业设置进行前瞻布局和动态调整,建设一批服务现代产业的新兴学科专业集群,加快传统学科专业的改造;基于时代和未来卓越工程人才核心素养和能力加快课程改革,更加注重前沿知识和学科交叉知识体系建设,更加注重实践创新性课程体系建设,更加注重工程教育通识课程体系建设。

重塑人才培养质量观。加快制定适应工科学

生终身发展和社会需要的核心素养体系和学业标准体系,完善学生、老师、雇主、校友等共同参与的“以学生为中心”学生培养质量持续改进体系,完善从学习目标——培养目标——培养方案——课程大纲——评价分析——课程品质报告——改进方案实施—学习目标的闭环质量持续改进体系。

创新教学方式与技术。2017年《地平线报告》预测了未来五年内高等教育技术应用中的主要技术、关键趋势和重要挑战(见表1)。不难看出,更具互动性、智能化和个性化的教学方式与技术将加快发展,以3D网络环境、增强现实与虚拟现实、人工智能等信息技术为支撑的探究式、讨论式、参与式教学和混合式学习等学与教的方式与技术将逐步普及。

表1 “地平线报告”中国高教版和全球高教版比较

		中国版	全球版
主要技术	一年以内	翻转课堂、移动学习、创客空间、大规模开放在线课程	自适应学习技术、移动学习
	二到三年	学习分析及适应性学习、增强现实及虚拟现实技术、虚拟和远程实验室、量化自我	物联网、下一代学习管理系统
	四到五年	情感计算、立体显示和全息显示、机器人技术、机器学习	人工智能、自然用户界面
关键趋势	短期趋势	更多应用混合式学习设计、开放教育资源快速增加、STEAM学习的兴起	混合学习设计、协作学习方法
	中期趋势	重设学习空间、跨机构协同日益增加、反思高校运作模式	持续关注测量学习、重设学习环境
	长期趋势	编码素养的兴起、推进变革和创新文化、转向深度学习方法	推进创新文化、深度学习方法
重大挑战	有难度的挑战	个性化学习、教育大数据的管理问题、推广教学创新	成就差异、数字挑战
	可应对的挑战	将技术融入师资、混合采用正式与非正式学习、提升数字素养	提升数字素养,整合正式和非正式学习
	严峻的挑战	培养复合思维能力、平衡互联生活和非互联生活、重塑教师角色	管理知识过时、重新思考教师角色

(2) 实践与创新创业。

强化实践创新创业能力。延展实践育人平台,强化教学实验、科学实践、实习实训;改变工程实践环境和工程实践模式,通过创客模式、3D打印等新技术、新模式将真实世界的体验融入工程教育。同时,教育者应先受教育,加强教师实践和创新创业教育教学能力。

完善创新创业人才培养模式。建立思想政治

教育、跨学科培养、产学研协同、创新创业指导和服务为一体的全员、全过程、全方位创新创业人才培养模式,完善工程教育供给体系,打破制约创新创业人才培养的壁垒和边界。

加强技术转移与成果转化。坚持科教融合、产教融合,围绕经济发展重大需求,集中力量突破一批支撑战略性新兴产业发展的关键核心技术和前沿技术;完善技术转移与成果转化体制机制和服务体系,加快推动工程科技创新成果转化为经济社会发展的现实动力。

(3) 本土化与国际化。

中国声音。习近平总书记多次强调,办好中国的世界一流大学,必须有中国特色,必须扎根中国大地办大学。新工科建设必须坚持面向国家重大战略需求和国民经济主战场,探索同我国历史、国情、文化更加适应,同我国发展的现实目标和未来方向更加紧密的工程教育体制机制,为人民服务,为中国共产党治国理政服务,为巩固和发展中国特色社会主义制度服务,为改革开放和社会主义现代化建设服务,向世界发出中国声音。

家国情怀。家国情怀是对国家、历史、文化的深刻认同和深厚情感,以国为家,具有忧患意识、担当精神和爱国情感。新工科应秉承“兴学强国”的责任和使命,找准在服务国家战略中的定位和方向,明确支撑国家经济社会和产业发展的路径和举措,将家国情怀融入工程人才培养全过程,培养主动服务社会、解决关系国家发展和民生疾苦重大问题的工程人才,为实现中华民族伟大复兴的中国梦作出贡献。

全球视野。大力围绕“一带一路”等国家总体对外开放战略,积极推进工程教育国际化,吸收和整合优质国际高等工程教育资源,加强国际学术和人才交流,加强国际工程科技合作,提高我国工程教育面向未来的国际竞争力和影响力。

3. 重点突破。

(1) 推动工程教育立法工作,有力促进协同育人。

探索和制定《工程教育法》。从法律层面强化大学生创新创业教育的公共服务体系建设和制度保障,建立健全行业企业深度参与大学生实践创新能力培养制度,彻底解决大学生实习实训难问题,形成产学研深度融合的协同育人机制。

(2) 扩大办学自主权,打造工程教育发展新动能。

扩大招生自主权、学位授予自主权和学科专业设置与调整自主权。贯彻落实教育部五部门《关于深化高等教育领域简政放权放管结合优化服务改革的若干意见》，破除束缚工程教育发展的体制机制障碍，打造工程教育发展新动能。

(3) 改革教育评价体系，让工程教育回归工程。

建立符合工程教育特点的评价体系。高等工程教育应以服务国家为首要任务，把关注点放在衡量人才培养成效，衡量大学对经济社会发展、对国家创新竞争力提升、对行业企业技术进步的实践贡献上，而不是以简单的论文、引用等可量化数据进行评价。

工程改变世界，科技创造未来，工程教育决定着人类的今天，也决定着人类的未来。新工科必须把培养时代和未来的创新型卓越工程人才摆在更加突出的战略位置，加强对新工科建设规律的研究，以新的理念、新的要求、新的途径加快我国

工程教育改革，为“中国梦”的实现和未来复杂多变的世界提供智力支撑和人才保障。

(致谢：天津大学宣传部贾启君，发展战略研究中心袁婷、顾雨竹，教育学院王世斌、朱健、郗海霞，教务处张凤宝、赵伟以及杨秋波等同志对该文做出许多探索性的工作，在此一并表示感谢。)

参 考 文 献

- [1] Office of the deputy assistant secretary of the army: Emerging Science and Technology Trends: 2016-2045, 2016年4月。
- [2] 吴爱华等:《加快发展和建设新工科 主动适应和引领新经济》,《高等工程教育研究》2017年第1期。
- [3] 朱高峰:《关于中国工程教育发展前景问题》,《高等工程教育研究》2016年第3期。
- [4] 詹姆斯·杜德斯达著,浙江大学科教发展战略研究中心译:《变革世界的工程——工程实践、研究和教育的未来之路》,浙江大学本科生院2008年。

Connotations and Actions for Establishing the Emerging Engineering Education

Zhong Denghua

Emerging Engineering Education (3E) is proposed as the direction of China's engineering education reform, based on the new demand of national strategic development, new situation of global competition, and new requirement of morality education. The 3E has its own connotation: with the aim of cultivating talented people with high moral standards and the principle of coping with changes and shaping the future, it features inheritance and innovation, interaction and integration, coordination and sharing as the main ways to cultivate outstanding engineering talents who are all-side and innovative. 3E has the characteristics of being strategic, innovative, systematic and open. It will be promoted in stages with the focus on three tasks. They are teaching and learning, practice and entrepreneurship, localization and internationalization. The keys include gaining the legislation guarantee for 3E, expanding of the autonomy in running universities, and reforming educational assessment system.