

## 新工科建设发展与深化的思考

顾佩华

**摘要:** 现代科技快速发展,推动了新一轮的科技革命和产业变革,新知识、新技术产生与应用的速度高于高等院校工科专业的大学课程体系和专业课程内容的系统性修订和更新的周期,传统工程教育的模式和内容很难适应快速发展的科学技术和产业的发展,高等工程教育必须进行深刻变革和全面创新。结合国内外高等教育发展的现状,分析了新工科建设的必要性和紧迫性。通过回顾新工科建设的发展历程,指出应尽快建立中国特色的工程教育理论体系以及工科教育模式,不断推进多学科交叉融合、产教融合、教研学融合、国内外教育和人才培养合作,发挥体制优势,全面深化新工科教育的发展和变革,引领世界高等工程教育发展。

**关键词:** 新工科; 人才培养; 工程教育理论体系; 工程教育模式; 产教融合、校企合作; 多学科交叉融合

### 一、新工科建设的时代背景

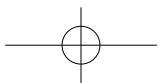
2018年11月17日,习近平主席在亚太经合组织工商领导人峰会上指出,新科技革命和产业变革的时代浪潮奔腾而至,如果我们不应变、不求变,将错失发展机遇,甚至错过整个时代。这正是新工科建设的时代背景。

现代科技快速发展,如移动互联网、工业物联网、人工智能、大数据、新材料、新能源、生物技术、生命科学与技术、金融科技、共享经济模式等,改变和颠覆了传统产业,推动了新的科技革命和产业变革。以美国为例,新兴企业如苹果、谷歌和微软等超过很多老牌的传统大企业,发展非常迅速。但是,2017年MIT学者引用一组数据,说明高等教育深刻变革的重要性和必要性:1950—2010年,美国劳工生产率增加了400%,人均GDP增加了350%,就业提高了300%,家庭收入的中间值却只提高了200%。美国的就业市场也发生了很大变化,41%的美国公司聘用临时工,35%聘用季节性

员工,34%聘用咨询人员,26%雇佣付薪酬的实习生,14%使用不付薪酬的实习生。1963—2012年,美国具有本科以上学历的雇员工资增加了190%,本科毕业生增加了140%~150%,其他学历背景的工资提高很少甚至没有明显提高。从1950年到2018年,美国经济社会、企业、劳动力市场等都发生了深刻改变。在过去的20多年,虽然开展了各种工程教育改革,如提出工程认证EC 2000要求、建立了Olin工学院、MOOC、MIT-CDIO、MIT新工科等,但美国高等工程教育整体并没有发生根本性的变革。虽然美国国家科学基金会、美国工程院和很多企业都在积极推动工程教育改革,今天华盛顿协议的结果导向要求也是源于美国ABET的工程教育认证体系,但是美国工业界对于高等院校工程教育仍然普遍存在与时俱进改革的期待,希望推动工程教育改革,如MIT校友Bernard M. Gordon在美国工程院设立了50万美元奖金的Bernard M. Gordon工程与技术教育创新奖。

近年来, Digital On-Line Learning 对高等教

顾佩华, 天津大学新工科教育中心主任、教授, 加拿大工程院院士。





育产生了很大的影响。MOOC（大规模在线开放课程）在2012年成为美国高等教育界和媒体讨论、报道最多和最关注的教育问题，2012年也被称为MOOC元年（The Year of MOOC），MIT、Harvard、Stanford和UC Berkeley等多所世界一流大学和教师发起或参加了多个MOOC平台。今天，世界各国的数以千万计的学生正在修读MOOC课程。MIT-哈佛EDX调查表明，与传统课程相比，多数学生更喜欢MOOC学习经历。斯坦福大学Thrun教授调查他所开设课程的学生，发现3/4接受调查学生更愿意选择On-line课程，并在On-line学习中得到同样或更好成绩。对于很多美国中低收入人群和不能全职学习的学生，MOOC是重要的学习资源。2012年美国的学生贷款达到1万亿美元，40%的四年制大学生不能在6年内完成学业。2011年出版的*Academic Adrift* 研究报告，3个学期的大学教育对学生的批判性思维、复杂推理和写作能力几乎没有明显的提高。*TIME & Carnegie Corporation of New York*对1000名成年人进行调查，其中80%的人认为，学生在大学受到的传统教育不值他们付的学费，而41%的500多名大学的管理层领导持同样的观点。

美国高等教育协会（AACU）2013年调查显示，95%被调查的用人单位优先聘用能为企业创新做贡献的学生，90%以上的企业同意创新是企业成功的核心，93%的用人单位同意毕业生具有批判性思维、清晰交流和解决复杂问题的能力比本科学什么专业更重要，90%用人单位认为伦理判断、诚信、跨文化交流等技能和终身学习的能力重要，超过75%的用人单位希望大学培养学生的批判性思维、解决复杂问题、书面和口头交流以及应用知识解决真实世界问题的能力，支持学校采用文理（博雅）+专业能力培养。美国工业界迫切希望大学改革工程教育，以适应21世纪工业对人才的需求。

2017年，MIT成立世界教育实验室（WEL），开启了为全球学习者的教育复兴行动。通过建立学龄前一高中、高等教育和在职学习3个联盟，开展教育改革计划。实际上自2016年开始，

MIT工学院就委托英国工程教育咨询专家Dr. Ruth Graham，开展全球工程教育现状研究。当第一阶段报告完成之后，MIT工学院于2017年开始了新工科教育转变计划（New Engineering Education Transformation, NEET）。

与美国相比，中国发展速度远快于美国。自改革开放以来，中国经济快速发展，个人收入成倍增长。2017年的中国GDP达到12.24万亿美元，接近美国GDP的2/3（美国为19.39万亿美元），已经成为世界第二大经济体，正在努力发展创新型经济，建设创新型国家。创新型经济发展需要大量创新性工程科技人才。教育部近20年来一直致力于组织开展各种工程教育改革和创新，例如2006年开始工程教育认证，高教司2008年成立CDIO课题组，开展CDIO工程教育改革，2010年开展卓越工程师教育培养计划，2013年成为《华盛顿协议》预备成员，开展大学生创新创业和各种全国性的竞赛，推动产学研合作，快速推进MOOC发展，2016年中国成为《华盛顿协议》的正式成员，2017年教育部启动了新工科建设。中国工程教育正以惊人速度发展，与美国一样在力图改变传统的工程教育范式。

同时，我们应该清醒认识到，与高校办学条件、科研水平、论文数量和质量、科研经费等快速提高相比，本科高等工程教育质量和水平还有较大的提升空间。绝大多数的工科毕业生进入企业工作，他们的培养质量、水平和创新能力影响着中国企业的创新能力和国际竞争力。突破某些核心技术的挑战，努力发展新一代信息技术产业、电力装备、高档数控机床和机器人、新材料等新兴产业，人才是关键因素。因此，以新工科建设引领高等工程教育改革与发展势在必行。

## 二、新工科建设的发展

这些年来我国的科技和工业在快速发展，全球竞争力不断提高，迫切需要大量工程科技创新人才。党和国家以及社会各界对本科教育工作高度重视，以本为本、全面振兴本科教育



成为广泛共识。同时相关调查显示，我国工科人才缺口巨大，到2020年，新一代信息技术产业、电力装备、高档数控机床和机器人、新材料将成为人才缺口最大的几个专业，其中新一代信息技术产业人才缺口将达到750万人。所以我们需要努力发展新工科教育，引领我国高等教育改革与发展。

自从2017年“复旦共识”“天大行动”“北京指南”三大会议后，全国各工程领域学会、行业协会、教指委、省市教育厅/委、高校等召开了很多新工科建设会议，发表了大量研究和实践成果，产生了深刻的影响。新工科建设充分体现了在推动教育发展体制上的优势，已在全国高校形成广泛共识，得到企业界的积极响应和大力支持，引起国际高等教育的广泛关注。

(1) 几个典型会议介绍。2018年1月，新工科研究与实践专家组工作会议在天津大学召开，审定了全国新工科研究与实践项目，提出了进一步推进新工科建设的新思路；2018年3月，教育部批准了612个国家级新工科研究与实践项目，标志着新工科研究与实践全面展开；2018年11月，浙江大学召开“一带一路”背景下的工程科技人才培养研讨会并宣布成立“一带一路”工程教育国际联盟，同期华中科技大学也召开了新工科教育改革研讨会；2018年12月，工科优势高校新工科项目进展交流会在天津大学举行，主要检查工科优势高校新工科项目进展情况；2019年2月，新工科建设与发展高峰论坛暨综合性高校新工科研究与实践项目进展交流会在复旦大学举行，主要检查综合性高校的新工科项目，汇报总结相关成果和经验。

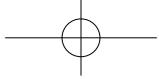
(2) 新工科理论研究进展。2017年以来，以新工科为主题的研究论文数量大幅增加且增速很快，有力地拓展了新工科建设的理论研究广度和深度。大家意识到这是一个具有划时代意义的变革，新工科的内涵非常广泛，目前研究和讨论的还只是很小一部分，值得高等工程教育界不断探索和深入研究。

(3) 教育部新工科项目进展。为深入研究与探索新工科建设的新理念、新结构、新模式、

新质量、新体系，教育部于2018年3月15日正式认定综合改革和专业改革两大类共612项“新工科”研究与实践项目。其中，综合改革类项目分为工科优势高校、综合性高校和地方高校三大类。2018年12月16日和2019年2月18日分别召开了工科优势高校组和综合高校组项目进展交流会，共有293个项目参加了汇报交流，共评选出18项优秀项目在大会上做展示交流。在工科优势高校组的198个项目中，38.98%被评为优秀，56.19%被评为良好，但仍然有4.90%被评为差。这说明大部分项目有务实推进，取得了一些成果，能从不同层面上看到创新点，很多项目有企业参与，初步体现了产学研协同育人。但仍有一些项目存在较多问题，包括对行业了解深度和广度不够，对产业需求认识比较模糊，学校支持不到位，有的项目实施和原设计的契合度有一定偏差等。这个检查是为了推动下一步工作的更好开展，对项目进展有差距的学校和个人，应该深刻反思，改进今后的工作。各项目单位要更加注重教育模式的系统研究和实践、教育教学核心环节的研究与实践，更加注重专业升级改造，更加关注实践平台建设，进一步加强企业深度参与，面向未来将新工科项目完成好，将工作做实。

参加汇报交流的项目大致可以分为如下几类。第一类是多学科交叉融合的课程体系及多方协同培养平台，有54项，比如说上海交大、浙江大学、华中科技大学和复旦大学，都做得很好；第二类是毕业导向的培养模式，这一类有38个项目，比如天津大学、西南交通大学的该类项目，进展非常好；还有传统工科专业新建设、新工科改革背景下的数理基础学科建设、创业创新能力培养、“互联网+”及大数据教育资源建设、评价制度及体系等几类项目，很多高校都做了很好的工作。

新工科从发起到批准立项只用了一年多的时间，从2017年1月份到现在只有两年多的时间，就已经在全国大范围推动，这在西方国家是无法想象的，新工科建设这样的高效率得益于国家的体制优势。



### 三、新工科建设的深化

(1) 建立中国特色的工程教育理论体系。目前的新工科实践主要是工科教学实践教师和管理人员在进行研究和探索，但是新工科的理论研究属于社会科学范畴，需要和社会科学紧密结合。以逻辑和观察为基础，按照社会科学理论和方法开展系统化理论研究。在开展理论研究的过程中，还需要遵循归纳与演绎的基本逻辑、追求对研究对象的客观描述和解释、遵守基本的科学研究程序与规则、关注新工科教育体系中各种因素关系和元素与整个教育系统的关系。研究主要依赖的观察方法包括各种调查和访谈等，认识方面更加关注大数据提供的各种现象及其背后的规律。

我国在自然科学研究方面取得了令世界瞩目的成绩，但是教育方面对世界的影响还可以进一步加强。中国的教育界有很多非常先进的思想、先进的理念、先进的实践，比如产学研联盟就是西方教育界愿意学习的，我们要加强教育方面的理论的系统性研究，将成果及时介绍给西方世界，推动全球教育的发展。

在新工科的理论体系研究方面，目前主要集中在对实践经验的归纳、分析和总结上，下一步需要建立系统性和逻辑性较强的理论体系。研究新工科的核心要素、要素内涵及之间的关系，建立理论体系的逻辑起点，对目前的新工科实践的事实和经验进行分析和提炼，建立新工科教育基本概念及其框架作为理论体系的逻辑基础，并以新工科教育要素、概念和框架为基础，构建新工科要素（事实）之间的关系，形成以基本原理为理论体系的逻辑主体，建立中国新工科教育的系统理论。

(2) 建立中国新工科教育模式，引领世界高等工程教育发展。我国工程教育规模是世界上最大的，因此建设好新工科将会对世界高等教育产生深远的影响，引领世界高等工程教育的发展方向，这也是全世界的期待。

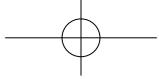
建立中国新工科教育模式，首先要检讨现有的教育模式和学习模式。传统的工程教育模式和学习模式已经无法满足当前产业界的现实需求，

广大教师需要克服狭隘的专业领地意识，促进跨界交叉融合；改变现有的“给予型”教育方法和“接受型”学习模式，鼓励学生主动、自主和自觉学习，并且养成学习的习惯；改变传统教学内容和手段，充分利用 MOOC 和其他先进教学资源，突破传统教育的思维定式，按照新工科要求建设新专业和改造传统专业；全面改变教风和学风，让教师和学生都走出“舒适区”，增加学业难度和深度，充分发挥师生潜力；开展教师考核和评价体系等的综合制度改革，确保新工科建设的实施。

其次，要推动教育的供给侧结构性改革。人才培养要聚焦未来科技和产业发展对工程科技人才的需求，明确培养目标和毕业要求，设计整体培养计划，建好每一门课程，从而培养既能适应现在又能应对未来的工程师。要真正做到以学生发展为中心，实现多学科个性化的专业培养，让每个想成才、肯付出的学生能够实现自己的目标，不管是高质量就业还是读研直博，或是创新创业，让学生通过大学学习成就自己的梦想。

建立中国工程教育新范式，需要我们树立面向未来工程人才培养目标，营造开放的教育生态，鼓励多学科交叉融合，打造全链条的个性化培养方案，支撑“面向未来工程人才培养”。鼓励高校教师积极去调研企业、调研校友和用人单位，他们会提供很好的信息。有了目标才能建立标准，通过标准再构造培养计划，建立课程体系，再把每门课程建好，并及时更新课程内容特别是专业课内容，加强质量保证体系建设，科学构建新工科人才培养体系。

(3) 产学 / 校企深度融合，发挥体制优势。体制优势是将来培养工程人才非常重要的机制，在新工科建设进程中，需要发挥我们的体制优势，充分调动各方积极性，共同参与人才培养工作。面向产业未来发展的需求，高校需要主动对接产业、企业，建立长期合作机制；聘请企业兼职教师，为学生提供前沿领域的最新发展动向；成立工业专家指导组，为新工科建设提供业界的经验。企业可以提供工程技术项目和企业导师，学校组织教师和学生团队完成；企业通过与高校合作，不但协助高校的人才培



养，也可以聘用所需人才。通过产学 / 校企的深度融合，最终形成双赢和多赢的局面。

#### 四、新工科建设的若干思考

相对于自然科学，工程教育在国际知名杂志上发表文章数量相对有限，对全球的工程教育的影响可以进一步扩大和提高。我国的 612 个新工科项目研究和总结以及全面实施新工科教育发展和变革能够对世界工程教育发展做出新贡献。我国工程教育理念同样非常先进，关键是要形成系统性教育理论，将先进理念和理论付诸实践，以学生培养的结果证明理念和理论的先进性，引领世界工程教育发展潮流。

建设工程教育强国，就是要超越当前最先进工程教育水平。分析美国一流工程教育情况，我们有信心创世界一流工程教育。举个例子，在美国工科评价体系或者大学评价体系中，US News 是比较权威的。在评价美国国内工科大学水平的时候，排名分为两类，一类是授博士学位学校，一类是不授博士学位学校。具有博士授予权大学中前 3 名（MIT, Stanford 和 Berkeley）的声誉得分很高，而非博士授予学校中的前 3 名是 Harvey Mudd College, Rose-Hulman Institute 和 Olin College。很多公立大学的工科如 Georgia Tech, U of Illinois-Urbana-Champaign, U of Michigan-Ann Arbor, Purdue, UT Austin, Virginia Tech, Texas A&M U and U of Wisconsin-Madison 的工科都排在哈佛大学前面。如果用人才培养的声誉与美国大学对标，这些公立大学可以成为“双一流”大学的参考。在排名前 15 所非博士授予学校中，California Polytechnic State University-San Luis Obispo 和 California State Polytechnic University-Pomona 是公立大学，可以成为地方高校的对标参考。其中值得特别关注的一所高校是 Harvey Mudd College（哈佛玛德学院），该校是 20 世纪 50 年代成立的，只有不到一千名学生，工科学生不是很多，但是工程教育闻名美国，US News 工程教育排名多次名列前茅。该校提供本科工程博雅教育（Liberal

Education of Engineering），工科授 Engineering 学位，分为工程设计和实践、系统、工程科学三个方向。人才培养中注重在工程职业化的教育环境下，将知识的广度与科技的深度有机结合，学生积极参与自主和自觉学习，了解自己的工作对世界的影响。最著名的是 20 世纪 60 年代开始的 Engineering Clinic 项目，3~4 年级的学生团队在教师和校外项目导师指导下，解决工程实际问题。Harvey Mudd College 在高等工程教育领域做出了比其他名校更加卓越的成绩，我国高校完全可以和 Harvey Mudd College 对标，提供同样的高水平工程教育。我国有很大一部分高校的办学条件已经达到甚至超过了美国的很多高校包括研究型大学，所以中国工程教育一定能够引领未来世界工程教育的发展。

#### 五、结语

新科技革命和产业变革快速颠覆传统产业和劳动力市场，形成全新的工程科技人才需求，迫使大学贴近产业，培养企业需要的创新工程师。为了培养既能推动科技发展，又善于应对各种挑战和建设未来国家的新型工程师、工程科学家、企业家和领导者，工程教育需要深刻变革和全面创新，全面实施新工科建设势在必行。中国是工程教育大国，近 20 年来工程教育迅速发展，新工科建设将培养大批具有国际竞争力的卓越工程师，并以工科毕业生的质量和水平来证明，中国工程教育的新理论和新实践必将引领世界工程教育发展。

工程教育进入了快速和根本性变革时期，最好的工程教育不限于世界一流研究型大学和小而精学校，新的竞争者将为未来卓越工程教育建立新标准。

[ 本文得到教育部 2015 年人文社科（工程科技人才培养专项）课题“CDIO-OBE 工程教育模式研究与实践”（15JDGC007）支持 ]

[ 责任编辑：余大品 ]