



江苏理工学院
JIANGSU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

高教视点

2017 年第 3 期

(新工科专题)

2017 年 9 月

目 录

会议纪实

“新工科”建设复旦共识.....	1
“新工科”建设行动路线（“天大行动”）	3
加快新工科建设，推进工程教育改革创新——“综合性高校工程教育发展战略研讨会”综述.....	5

理论经纬

因时而动 返本开新 建设发展新工科——在工科优势高校新工科建设研讨会上的讲话.....	张大良 15
新工科建设的内涵与行动.....	钟登华 22
面向未来的中国新工科建设.....	林 健 30
面向新工业体系的新工科.....	朱正伟，周红坊，李茂国 42

实践反思

新工科建设与发展的路径思考.....	陆国栋，李拓宇 49
新工科建设背景下地方高校工程教育改革发展的刍议.....	夏建国，赵 军 58
“新工科”理念下的地方本科高校校本课程开发.....	沈建新，陆 勇 65

国际视野

美国工程伦理教育探析及对我国新工科建设的启示.....	陈柯蓓，周开发，倪家强 69
-----------------------------	----------------

“新工科”建设复旦共识

高等教育发展水平是一个国家发展水平和发展潜力的重要标志。习近平总书记指出,“我们对高等教育的需要比以往任何时候都更加迫切,对科学知识和卓越人才的渴求比以往任何时候都更加强烈”。当前世界范围内新一轮科技革命和产业变革加速进行,综合国力竞争愈加激烈。工程教育与产业发展紧密联系、相互支撑。为推动工程教育改革创新,2017年2月18日,教育部在复旦大学召开了高等工程教育发展战略研讨会,与会高校对新时期工程人才培养进行了热烈讨论,共同探讨了新工科的内涵特征、新工科建设与发展的路径选择,并达成了如下共识:

1. 我国高等工程教育发展已经站在新的历史起点

国家正在实施创新驱动发展、“中国制造2025”“互联网+”“网络强国”“一带一路”等重大战略,为响应国家战略需求,支撑服务以新技术、新业态、新产业、新模式为特点的新经济蓬勃发展,突破核心关键技术,构筑先发优势,在未来全球创新生态系统中占据战略制高点,迫切需要培养大批新兴工程科技人才。我国已经建成世界最大规模的高等工程教育,工程教育专业认证体系实现国际实质等效,国家统筹推进世界一流大学和一流学科建设,为加快建设和发展新工科奠定了良好基础。

2. 世界高等工程教育面临新机遇、新挑战

第四次工业革命正以指数级速度展开,我们必须在创新中寻找出路。发达国家的历史经验证明,主动调整高等教育结构、发展新兴前沿学科专业,是推动国家和区域人力资本结构转变、实现从传统经济向新经济转变的核心要素。为应对金融危机挑战、重振实体经济,主要发达国家都发布了工程教育改革前瞻性战略报告,积极推动工程教育改革创新。我国高等工程教育要乘势而为、迎难而上,抓住新技术创新和新产业发展的机遇,在世界新一轮工程教育改革中发挥全球影响力。

3. 我国高校要加快建设和发展新工科

一方面主动设置和发展一批新兴工科专业,另一方面推动现有工科专业的改革创新。新工科建设和发展以新经济、新产业为背景,需要树立创新型、综合化、全周期工程教育“新理念”,构建新兴工科和传统工科相结合的学科专业“新结构”,探索实施工程教育人才培养的“新模式”,打造具有国际竞争力的工程教育“新质量”,建立完善中国特色工程教育的“新体系”,实现我国从工程教育大国走向工程教育强国。

4. 工科优势高校要对工程科技创新和产业创新发挥主体作用

总结继承工程教育发展的成功经验,深化工程人才培养改革,发挥自身与行业产业紧密联系的优势,面向当前和未来产业发展急需,主动优化学科专业布局,促进现有工科的交叉复合、工科与其他学科的交叉融合,积极发展新兴工科,拓展工科专业的内涵和建设重点,构建创新价值链,打造工程学科专业的升级版,大力培养工程科技创新和产业创新人才,

服务产业转型升级。

5. 综合性高校要对催生新技术和孕育新产业发挥引领作用

发挥学科综合优势，主动作为，以引领未来新技术和新产业发展为目标，推动应用理科向工科延伸，推动学科交叉融合和跨界整合，产生新的技术，培育新的工科领域，促进科学教育、人文教育、工程教育的有机融合，培养科学基础厚、工程能力强、综合素质高的人才，掌握我国未来技术和产业发展主动权。

6. 地方高校要对区域经济发展和产业转型升级发挥支撑作用

主动对接地方经济社会发展需要和企业技术创新要求，把握行业人才需求方向，充分利用地方资源，发挥自身优势，凝练办学特色，深化产教融合、校企合作、协同育人，增强学生的就业创业能力，培养大批具有较强行业背景知识、工程实践能力、胜任行业发展需求的应用型和技术技能型人才。

7. 新工科建设需要政府部门大力支持

教育部、相关行业主管部门和各级政府应对新工科建设进行重点支持，推动体制机制改革，加强政策协同、形成合力，在优化相关领域专业结构、改革培养机制、强化实习实训、加强师资队伍建设等方面出台更多的支持措施，为新工科人才培养提供良好的政策环境。

8. 新工科建设需要社会力量积极参与

打造共商、共建、共享的工程教育责任共同体，深入推进产学合作、产教融合、科教协同，通过校企联合制定培养目标和培养方案、共同建设课程与开发教程、共建实验室和实训实习基地、合作培养培训师资、合作开展研究等，鼓励行业企业参与到教育教学各个环节中，促进人才培养与产业需求紧密结合。

9. 新工科建设需要借鉴国际经验、加强国际合作

扎根中国、放眼全球、办出特色，借鉴国际先进理念和标准，明确新工科教育未来发展的重点和方向，分析新工科人才应具备的素质，构建新工科人才能力体系，培养具有国际视野的创新型工程技术人才。加强国际交流与合作，将“中国理念”“中国标准”注入“国际理念”“国际标准”，扩大我国在世界高等工程教育中的话语权和决策权。

10. 新工科建设需要加强研究和实践

我们将共同启动“新工科研究与实践”项目，围绕工程教育的新理念、学科专业的新结构、人才培养的新模式、教育教学的新质量、分类发展的新体系等内容开展研究和实践。我们将携手更多高校共同探索新工科的内核要点和外延重点，充分发挥基层首创精神，边研究、边实践、边丰富、边完善。我们将以更宽的视野、更大的勇气、更高的智慧、更强的担当来推进新工科建设，推动形成广泛共识，凝聚各方合力，为建设工程教育强国做出积极贡献。

【摘自《高等工程教育研究》2017年第1期】

“新工科”建设行动路线（“天大行动”）

工程改变世界，行动创造未来，改革呼唤创新，新工科建设在行动。当前世界范围内新一轮科技革命和产业变革加速进行，我国经济发展进入新常态、高等教育步入新阶段。2017年4月8日，教育部在天津大学召开新工科建设研讨会，60余所高校共商新工科建设的愿景与行动。与会代表一致认为，培养造就一大批多样化、创新型卓越工程科技人才，为我国产业发展和国际竞争提供智力和人才支撑，既是当务之急，也是长远之策。

我们的目标是：到2020年，探索形成新工科建设模式，主动适应新技术、新产业、新经济发展；到2030年，形成中国特色、世界一流工程教育体系，有力支撑国家创新发展；到2050年，形成领跑全球工程教育的中国模式，建成工程教育强国，成为世界工程创新中心 and 人才高地，为实现中华民族伟大复兴的中国梦奠定坚实基础。为此目标，我们致力于以下行动：

1. 探索建立工科发展新范式

根据世界高等教育与历次产业革命互动的规律，面向未来技术和产业发展的新趋势和新要求，在总结技术范式、科学范式、工程范式经验的基础上，探索建立新工科范式。以应对变化、塑造未来为指引，以继承与创新、交叉与融合、协同与共享为主要途径，深入开展新工科研究与实践，推动思想创新、机制创新、模式创新，实现从学科导向转向以产业需求为导向，从专业分割转向跨界交叉融合，从适应服务转向支撑引领。

2. 问产业需求建专业，构建工科专业新结构

加强产业发展对工程科技人才需求的调研，做好增量优化、存量调整，主动谋划新兴工科专业建设，到2020年直接面向新经济的新兴工科专业比例达到50%以上。大力发展大数据、云计算、物联网应用、人工智能、虚拟现实、基因工程、核技术等新技术和智能制造、集成电路、空天海洋、生物医药、新材料等新产业相关的新兴工科专业和特色专业集群。更新改造传统学科专业，服务地矿、钢铁、石化、机械、轻工、纺织等产业转型升级、向价值链中高端发展。推动现有工科交叉复合、工科与其他学科交叉融合、应用理科向工科延伸，孕育形成新兴交叉学科专业。

3. 问技术发展改内容，更新工程人才知识体系

将产业和技术的最新发展、行业对人才培养的最新要求引入教学过程，更新教学内容和课程体系，建成满足行业发展需要的课程和教材资源，打通“最后一公里”。推动教师将研究成果及时转化为教学内容，向学生介绍学科研究新进展、实践发展新经验，积极探索综合性课程、问题导向课程、交叉学科研讨课程，提高课程兴趣度、学业挑战度。促进学生的全面发展，把握新工科人才的核心素养，强化工科学生的家国情怀、全球视野、法治意识和生态意识，培养设计思维、工程思维、批判性思维和数字化思维，提升创新创业、跨学科交叉融合、自主终身学习、沟通协商能力和工程领导力。

4. 问学生志趣变方法，创新工程教育方式与手段

落实以学生为中心的理念，加大学生选择空间，方便学生跨专业跨校学习，增强师生互动，改革教学方法和考核方式，形成以学习者为中心的工程教育模式。推进信息技术和教育教学深度融合，建设和推广应用在线开放课程，充分利用虚拟仿真等技术创新工程实践教学方式。完善新工科人才“创意—创新—创业”教育体系，广泛搭建创新创业实践平台，努力实现 50%以上工科专业学生参加“大学生创新创业训练计划”、参与一项创新创业赛事活动，建设创业孵化基地和专业化创客空间，推动产学研用紧密结合和科技成果转化应用。

5. 问学校主体推改革，探索新工科自主发展、自我激励机制

充分发挥办学自主权和基层首创精神，增强责任感和使命感，改变“争帽子、分资源”的被动状态，只争朝夕，撸起袖子加油干。利用好“新工科”这块试验田，推进高校综合改革，建立符合工程教育特点的人事考核评聘制度和内部激励机制，探索高校教师与行业人才双向交流的机制。工科优势高校、综合性高校、地方高校要根据自身特点，积极凝聚校内外共识，主动作为、开拓创新，开展多样化探索。

6. 问内外资源创条件，打造工程教育开放融合新生态

优化校内协同育人组织模式，通过建立跨学科交融的新型机构、产业化学院等方式，突破体制机制瓶颈，为跨院系、跨学科、跨专业交叉培养新工科人才提供组织保障。汇聚行业部门、科研院所、企业优势资源，完善科教结合、产学研融合、校企合作的协同育人模式，建设教育、培训、研发一体的共享型协同育人实践平台。推广实施产学研合作协同育人项目，以产业和技术发展的最新成果推动工程教育改革，到 2020 年，争取每年由企业资助的产学研合作协同育人项目达到 3 万项，参与师生超过 10 万人。

7. 问国际前沿立标准，增强工程教育国际竞争力

立足国际工程教育改革前沿，研判发达国家工程教育新趋势、新策略，以面向未来和领跑世界为目标追求，提出新工科人才培养的质量标准。深化工程教育国际交流与合作，既培养一批认同中国文化、熟悉中国标准的工科留学生，又鼓励具备条件的高校“走出去”，面向“一带一路”沿线国家培养工程科技人才、工程管理人才和工程教育师资。完善中国特色、国际实质等效的工程教育专业认证制度，将中国理念、中国标准转化为国际理念、国际标准，扩大我国工程教育的国际影响力，实现从“跟跑并跑”到“并跑领跑”。新工科建设是一个长期探索和实践的过程，我们将立足当前、面向未来，因时而动、返本开新，以动态的、发展的思维深入探索，以“踏石留印、抓铁有痕”的精神扎实推进。我们将以天大的魄力、天下的情怀砥砺前行，增强服务国家战略和区域发展的责任担当，增强工程教育发展的自信，汇聚起建设工程教育强国的磅礴力量。

【摘自《高等工程教育研究》2017 年第 2 期】

加快新工科建设，推进工程教育改革创新

——“综合性高校工程教育发展战略研讨会”综述

为推动工程教育改革创新，2017年2月18日，教育部在复旦大学召开了高等工程教育发展战略研讨会，来自北京大学、南京大学、厦门大学、中山大学、中国科学技术大学等综合性高校，以及浙江大学、上海交通大学、天津大学、同济大学、北京航空航天大学等工科优势高校的百余名代表参加。与会高校代表共同探讨了当前形势下新工科建设的必要性和紧迫性、新工科的内涵特征、新工科建设与发展的路径选择，达成了广泛共识。

一、新工科建设的背景和意义

教育部高教司张大良司长谈到：新经济是发展新动能的源泉，新经济发展越快越活跃的地方，发展的新动能就越强劲，应对经济下行压力的韧性和回旋的余地就相对更大，发展的动力、活力和前景也相对更好，能够有力地支撑经济保持中高速发展，迈向中高端水平。

面对这种形势，发达国家积极推动新经济发展，抢占产业和科技革命的制高点。工业4.0、分享经济、虚拟现实、人工智能的发展风起云涌。我国也实施了“创新驱动发展”“中国制造2025”“互联网+”“网络强国”“一带一路”等重大战略，促进以新技术、新业态、新产业、新模式为特点的新经济蓬勃发展，希望突破核心关键技术，构筑先发优势，在未来全球创新生态系统中占据战略制高点。根据2016年上半年的调查分析，我国新经济的发展呈现出五大特点和趋势：

1. 互联网深刻改变各行各业，“互联网+”的创新方式，对传统行业产生了颠覆性的影响；
2. 创新型企业正在异军突起，部分企业已经达到有能力、有条件进行创新驱动发展的阶段；
3. 以新能源、新材料、生物技术为代表的新技术，催生壮大了一批新的产业；
4. 制造业智能化已经成为制造业升级的重要趋势；
5. “大众创业、万众创新”厚植新经济发展沃土，培育新的创业生态，人才、技术、资金、市场加快融合，草根创业更加有效。

新经济的发展是以新技术革命为引领的，以信息化和工业化深度融合为突破，以商品模式和体制机制创新为标志，以减少对物质要素的依赖，来推动新一轮生产方式的变革和经济结构的变迁。新经济当中不断涌现出来像移动互联网、云计算、大数据、物联网、智能制造、服务型制造、电子商务等新兴产业和业态，这些领域均面临人才紧缺的问题。

人才是发展壮大新经济的首要资源，高等教育作为科技第一生产力、人才第一资源和创新第一驱动力，应该发挥重要和特殊的作用。工程教育是与产业发展紧密联系、相互支撑的。新产业的发展，要靠工程教育来提供人才支撑，来应对未来新技术和新产业的国际竞争和挑战。工程教育主动布局和深化改革到位，就能对经济转型升级产生促进作用。反过来讲，工

程教育改革如果滞后，对于我们的产业升级进程，不仅不能支撑、服务，而且还会拖后腿。从新经济的角度来讲，急需发展新工科，更新改造传统工科专业，满足新经济发展人才支撑的需要。

北京航空航天大学原副校长郑志明教授从我国工业发展与工程教育发展历程的角度谈了自己的想法：从规模上来讲，现在每年的本科招生大概是 750 万左右，60%以上是理工科学生，相当于 1911 年到 1976 年 65 年的招生总额，非常了不得。除了规模，高等教育的毛入学率增长了超过 150 倍。现在的工科教育正处于中国近代史上最好的时期。

我们培养的人才，特别是受过高等教育的理工科人才，在我国成功实现工业和科技领域从追赶、追随到并跑的转型，形成 75 万亿量级经济体的过程中，起了巨大的作用。我国现在的产业领域几乎实现全覆盖，且有多处亮点，初步实现国家的安全稳定和社会小康。但是也要看到，在已经形成的体系里，复制成熟技术多，原创性的、创新性的战略技术少，与发达国家相比还存在很大差距。

目前，中国的工业具有下面几个特征：

1. 中国工业是全能型的，很多关键产业位列世界前三；
2. 中国产业的全面性，导致同发达国家形成全面竞争；
3. 在这种全产业链与发达国家展开竞争的情况下，中国工业还在高速发展，没有停顿；
4. 重大产业、战略产业、关键领域的核心技术和标准，相当部分或者说主要部分，仍然由西方国家掌握和引领。

中国工业发展已经进入到超越阶段，怎么样为我们国家建成世界领先/先进的工业体系提供合格的工程人才是新型工程教育面临的核心问题。新工科建设，就是要围绕国家从大国到强国的伟大战略，围绕国家科技发展的重大战略来展开。

复旦大学常务副校长包信和院士则根据大学与学科分类变化，提出自己的看法：

1952 年院系调整，我们学习前苏联模式，把大学分成综合性大学和工科大学。当时中国强调工业化和机械化，需要工科，需要培养很多工科人才，这样做是有道理的。但一段时间后，大家发现存在问题。工业发展进入自动化，不仅仅是拧螺丝，还涉及电子、半导体，传统工科不够了。这时综合性大学开始办技术学科，接下来工科性大学办文科。但从理科出来的技术和从工科提出的理科，都带着原来的烙印，没有完全融合。现在讲信息化、智能化，传统工科如机械工程、电子信息等等又不够了！认知、芯片、精准医疗、大数据、互联网这些算工科还是理科呢？传统工科不搞这个，而理科只做一些基础研究。传统的应用理科和工科都是不够的。

从工科的角度来讲，强调的是国家需求；那么，十年以后的国家需求是什么？重点项目做什么？要讨论十年后的重大需求，科学家的广泛兴趣、交叉学科的融合培养、宽松的环境、创新的平台，都是需要的。新兴工科从某种意义上说，是把两个方面完全融合在一起。新兴工科就是科学、人文、工程相互交叉，就是复合型、综合性人才的培养，就是创新精神的铸

就，当然并不一定是在学校里搞创业。

二、世界高等工程教育面临的新机遇、新挑战

张大良司长指出：从美国的产业发展历程来看，20 世纪 70 年代，微电子、计算机技术、互联网等信息革命的主要技术已经基本完成，但到 90 年代中期才拓展到整个经济体，其中的延迟是很清晰的。人才培养对新技术创新和新产业发展需要适应的时间，新产业所需人才的知识技能，不是简单培训就可以解决，需要整个教育系统做出相应的调整。美国的高等教育利用二十多年时间，适应了信息技术革命所引发的人才资源转型的需要，跟美国的新经济产生了良好的互动，

2008 年，金融危机爆发之后，美国实施再工业化战略。2009 年，美国制造业联盟发布了一个报告，要求政府从贸易政策、技能培训、投资研发等方面采取措施保护制造业发展。美国工程教育响应了这一战略，从授予学士学位的专业类型及数量来看，机械、土木、电子、计算机科学、化工、生物医药工程等专业规模较大，呈现了较高的年增长率，这与美国再工业化战略密切相关。从美国工程教育与产业的互动来看，加快产业急需的工科人才培养，是经济发展的重要基础。所以发展新工科，培养更多的工科人才，跟经济的关系是紧密相连的。在我国，1971 年获得计算机、信息科学学士学位的人数是 3288 人，2005 年这个数字是 5.4 万人，年增长率高达 9%，可以说是爆发性增长。但是由于培养质量的问题、培养和应用之间不对接的问题，在工科人才满足经济发展需求方面造成了结构性的矛盾。

当前，第四次工业革命正以指数级速度展开。发达国家的历史经验证明，主动调整高等教育结构、发展新兴前沿学科专业，是推动国家和区域人力资本结构转变、实现从传统经济向新经济转变的核心要素。为应对金融危机挑战、重振实体经济，主要发达国家都发布了工程教育改革前瞻性战略报告，积极推动工程教育改革创新。我国高等工程教育也要乘势而为、迎难而上，抓住新技术创新和新产业发展的机遇，在世界新一轮工程教育改革中发挥全球影响力。

包信和院士根据科技发展趋势谈他对新工程教育的理解：以往科学技术的发展，都是梯次发展：首先是科学发现，然后是技术突破，最后是产业革命。现在整个科技发展速度加快了，好多步并在一起，很多是跨越发展、超越阶段的发展。这种趋势，迫使我们做出改变。中国现在讲新常态，从原来的引进、消化、吸收再创新，发展到自主创新，到了前面没有人引路的无人区。

“创新”这个词，最早是 1911 年由熊彼特提出来的。把生产要素综合在一起，把没有做成的事情做成，就叫创新。这个过程中，创新包含的是一个链条的概念。以前的学科设置，包括工科、理科，包括产品转化，各要素是脱节的。现在讲创新，要把这个链条连起来。高校的工程教育，怎么把这个链条比较好地连接起来，这是一件非常重要的事。

作为新经济、新业态的代表之一，腾讯公司副总裁、技术管理委员会主任王巨宏从新业态的角度，介绍了现代创新型企业对人才能力素质的需求和对人才培养环节的建议：从企业

的角度、从整个全球互联网来看，一个趋势叫做重心东移，整个全球互联网的经济和政治的重心，逐渐从欧美往亚洲转移。整个大的经济，在过去的二十年里面，从原来的制造业，逐步变成成片的互联网企业。

这是一个非常强的信号，互联网是新经济有力的推动者，使得原来很多传统行业发生了很大的变化，出现了非常多的新的经济形态。在这个新的经济形态里面，互相之间产生了非常多的融合。原来看似不相关的行业，现在相关性会非常强。信息通讯、云计算、大数据、物联网这些技术，与传统行业进行了深度融合，从第三产业到第二产业，再到第一产业，融合的速度会非常快。各行各业在转型的过程中，一定会涉及用户。无论做什么，一定要有用户。所以新经济形态就是要根据用户需求，提供产品和服务。

从整个产业的发展来看，对工程教育的机遇和挑战又是什么？从企业角度来看，有四个方面：（1）创新的门槛降低；（2）新行业层出不穷，洗牌越来越快，新兴行业可能是原来几个行业结合；（3）对知识面的要求高，只学一门知识是不够的，企业的人才需求与学生知识结构之间非常不平衡；（4）学习能力很重要，企业这十年做这件事情，下一个十年可能就做另外一件事情。面对这种挑战，企业对工程技术人员的要求：第一，专业知识，要有非常硬的基本功；第二，对行业有一定的敏感度；第三，产品敏锐度高，产品和技术一定要有所结合，一个技术人员，与产品人员要有平等对话的能力；第四，具有适应快速变化、解决矛盾问题的能力。培养和选择卓越工程人才，腾讯最看重的是有良好的数理基础、专业知识、专业能力，以及组织影响力、表达沟通能力等。在协同育人时我们也做了一些探索，主要涉及对研究人才、专项人才和跨界人才的培养。

三、新工科建设需要研究的问题

北航郑志明教授认为：发展新工科，要有相应的标准，包括这么几个方面：

1. 是否对标国家重大专项中的若干关键技术问题；
2. 是否具有中国特色；
3. 是不是以战略性新兴产业的核心供应体系来组织新兴工科专业的学科方向。

2016 年开始设立新的重大专项，几乎全部和信息密切相关，就是为了构筑产业先发优势、创新环境，激发创新创业热潮，全方位布局和融入全球创新网络。里面反映出来的具有新工科特征的一些问题，可以作为培养学生的学习的一个很重要的引导，因此新工科建设的目标可以概括为：

1. 紧密结合社会发展重大需求，培育能形成具有核心自主知识产权、对于企业自主创新能力提高具有重大推动性的战略产业；
2. 具有突出的产业竞争力，整体提升具有全局性影响和带领性强的关键共性技术；
3. 解决重大瓶颈问题；
4. 军民融合，解决具有重大战略意义的问题；
5. 国力能够承受。

同时，建设一流的新工科，一般要满足下面三个条件：

1. 开放思想交流；
2. 全球一流教师和研究人员的自由流动；
3. 全球范围内的高校和科研院所的通力合作。

目前，中国高校在这方面与世界一流大学的差距是非常大的，要尽可能创造条件缩小这一差距。当然中国也有自己的优势，新工科培养与重大产业部门紧密结合，在我国完全可以做到。过去这种结合是比较紧密的，但是很长一段时期里，不是那么紧密了，需要注意。要成体系地进入一个关键领域，在这个过程中，理科的、搞技术的、搞工程的，一起来讨论，出来的东西就是原创的东西。新工科建设，一定要强化理科色彩，另外就是充分发挥社会主义制度下集中力量办大事的优势。要关注 10—15 年后可能的技术热点和前沿问题，据此调整本科和研究生培养计划。这样培养出来的人才，正好赶上热点。虽然不一定每次都可以赶上，但思路总不会有错的。不能现在做什么就培养什么，毕业时，热潮都过去了，这种培养方法是有问题的。

新工科这个概念，从逻辑上来讲应该是指两点：一个就是所谓，一个就是所指。所谓就是新工科概念的内涵，此事物区别于彼事物的所有属性。要谈新工科和老工科的差别，如果没有本质区别，那就是一回事。所指就是概念的外延，新工科有什么用，就是要解决需求问题。两个需求问题：一个是国家的、产业的重大需求，另一个就是科技的重大需求。因此，应该成立跨学科、跨理工的建设小组或者委员会，逐个专业、逐个学科研讨和试点，解决其中的问题。

复旦包信和院士谈到：开展新兴工程教育，有两点很重要：第一，国家有需求，整个社会发展有需求，从办学使来讲，服务国家、传承文化价值是非常重要的事。第二，根据学校的办学定位和办学特点，按照新兴工科这样一个概念，把文科、理科、医科综合在起来，有重点地进行建设。新兴工科教育的内涵和外延，应该包含两个方面：（1）新兴的工程教育，要重构一些核心知识，原有的知识要升级换代；（2）要有学科交叉。大学是授人以渔，教学生怎么解决问题的地方。学生要具备整合能力、全球视野、领导能力、实践能力，要成为一个横跨人文科学和工程的领袖人物。

四、工科建设的探索

斯坦福大学 Thomas Kenny 教授介绍了斯坦福大学工程学院工程教育的理念和具体做法：互联网等新技术，改变了这个世界，也改变了工程教育所面对的局面。

斯坦福是一个私立大学，是一个多学科的文理综合性大学，培养的是未来的领导人。在这方面，斯坦福扮演着非常重要的角色。斯坦福的本科生一开始没有专业，先学习一段时间，进行一个广泛的探索，扩充自己的知识面和技能，然后再选择专业。这是斯坦福本科教育的一个特点。

学生应该关注很多事情，要了解政策、哲学、历史和世界，而不只是理工的知识，这在

本科教育中一定要体现。学生广泛接触人文和社会科学方面的内容，具备历史观，可以用更广泛的视角思考以后的人生。很多课程会影响他们的思维方式和工作方式，比如说数学、分析、伦理和哲学等，都是本科生需要学习的课程。

在新生研讨课里，学生了解专业的内容，或者是工程的内容，知道解决问题需要什么基本的架构。对以后的课程有早期的了解，会给他们整个知识和技能带来关键的影响。斯坦福鼓励本科生进行研究，在研究生小组里参加讨论。斯坦福又是离全球创业基地最近的一所大学，学生非常了解创业文化，能够时刻感受到创业氛围。大学要让学生知道怎么起草项目申请书、募集资金、打造创业计划、做组织架构。

工程院在一年级开设机电一体化课程，这是一个实践性项目，让学生了解机械、电路，以及其他部件，了解这些东西在理论上是怎么样的，在实践中又是怎样的，不同的学科之间是不是存在协调配合的问题。上这门课的学生大概有四分之一没有工程背景，这对各专业的教育起到了重要作用。

大学不同系别的学生，可以来工学院做实验。尽管他们目的不同，目标也不同；但只要学生有学习思维，都可以参与到这里面，学习怎么样做头脑风暴、做有创意的设计，怎么样根据需求打造产品，而不是闭门造车。学生可以发挥自己的创新才智，自己做主导，自己做测评，根据结果决定下一步的工作。

斯坦福大学鼓励学生去国外求学。学生要了解其他国家，需要眼观一个真实的世界，才能够成为将来的领袖。

在过去的二十年里，我们也采取了其他的一些方法。比如设置一些跨系别的专业，由不同的系来打造一个培养计划、一个跨系的专业或者一个混合专业。学生如果对现有的专业不满意，可以自己设立一个，这是新的跨界融合的方法。这种学生自己设计的专业有一些有趣的现象，学生的想法可能比老师或者学术人员更先进，有些学生很胆大，想冒一些风险，愿意做别人不敢做或不愿意做的事情。给学生一个机会打造一个他们自己觉得面向未来的专业，是一个很了不起，很大刀阔斧的一个举措。在一些情况之下，这相当于是未来专业、未来系的一个雏形。

斯坦福大学要成为一个非常好的综合性大学，而不是一个技术专科学校，要保持我们的多元化，要在我们的文科、理科、工科之间达到一个平衡。我们越来越关注一年级学生的情况，他们的体验对于日后的学习会产生巨大的影响，如果一开始面就太窄，后面就没有广泛的思路了。大一学生只关注一点，对于日后的发展是不公平的。

我们的学生现在有更多的课程选择，以及一些以专题为导向的专业方向的选择。整体学时降低了，对学生的影响是正面的。他们都选自己喜欢的课程。有时候，这些课程组合是蛮有意思的，我们以前从来没有想过有这样的组合。

北京大学工学院副院长王建祥教授介绍了北大工学院人才培养的理念和具体做法：北京大学工学院有几个特点：一是实，依托北京大学学科综合的优势，解决我国工业发展、经济

发展、社会进步中遇到的实际问题。二是新，一方面在战略发展上有所创新，不是大而全，而是一个有选择的、面向学科前沿的、小而精的工学院；另一方面在人事体制方面有所创新，在人才招聘、晋升、管理方面按照美国的聘用体制进行，采用国际标准，创建一流的师资队伍。三是开门办学，注重国际化、与企业 and 地方合作。教育国际化是我们非常推崇的，吸收全世界范围学生上北大的课程，也派自己的本科生出国交流。另外就是定点设计项目，由国际知名企业提出一些科研项目，组织北大与其他伙伴学校，如多伦多大学、新加坡国立大学、香港大学等的学生进行共同设计。

2005 年以来，国内外形势发生了一些变化，我国面临能源、环境、健康等问题。在这种背景下，配合我国创新型国家战略和北京大学创建世界一流大学这个战略，北京大学重新设立工学院，定位为服务于国家和人类可持续发展的、世界一流的工学院，致力于工程科学新知识的发现和应用，培养学术领军人才和产业领袖，把科学研究、人才培养优势转化成产业优势，引领中国与世界技术的创新。

除了知识和能力之外，引领未来的人，还需要具备综合能力、分析能力、批判性思维、合作能力，要懂得社会，懂得世界。工学院的科研和教育定位是工程科学。科学要厚基础，要有非常深厚的力学、物理的基础，工程科学要把科学和工程融合在一起，要了解工程实践原理、工程科学基础、工程分析方法。同时，人文素质也是非常重要的。北大工学院的学生一年级不分专业，二年级允许学生转专业，可以完全自由选专业，没有任何成绩、学分的限制。未来十年努力的目标：第一是质量，师资队伍和培养环境的质量；第二也是质量，毕业生的质量；第三还是质量，为科研和社会服务的质量。

南京大学教务处长邵进：这两年，南大在交叉学科建设上花了很大的工夫，搞了一个地球系统科学实验班、一个计算机与金融工程实验班。这不是几加几的概念，是一个真正融合的概念。以地球系统科学为例，一些灾害问题，如雾霾，涉及大气、水、地下各个方面，一定要系统地解决，而传统学科只解决一部分的问题。培养这样的人才，不能从几个学科各取一些课，而要完全从地球角度重构课程体系。

另外一个例子，计算机与金融工程实验班，跟新工科有很大的关联。南大把金融领域的领军人物请过来，开设六到八门全新的课程。其中一门金融大数据挖掘，如果在计算机系，可能更多的是学大数据挖掘，不以金融为研究目标；如果在传统的金融课程里，可能介绍大数据挖掘，但不够专业。因此，需要花很大的精力做这样的事情，要对师资、教学内容、教学方法进行深层次的改革。下一步的重点：结合大类招生、通识教育改革，把工程应用技术学院作为新型工科的试点抓好。另外就是建立文理大文、交叉复合型人才培养实验班

中山大学教务部主任陈敏：中山大学提过一个“3+1+2”的方案。前 3 年，在各专业进行教育；然后集中起来，到某个新设的工科里面，做专门化的培训，这就是方案中的“1”，要注意与产业结合，要培养创新能力；最后一个“2”意味着人才培养模式的改革，本硕打通。本科到研究生，如果在这个上面有断裂，培养恐怕不完整，能不能尝试做这种本硕连读

的新兴工科模式探索？去年中山大学已经通过课程编码，把本科和研究生课程全部打通，只要前期课程修完，学生愿意都可以去修，实际上做到了本硕课程贯通。

中国科技大学教务处处长周丛照：中科大除了医科比较弱，没有文科，其他理工科的教育理念，跟复旦非常一致，有些东西也在做，但还没有完全梳理成形的概念性东西。

建校初期的时候，中科大强调理工结合。中科大大部分学院都是物理类的，物理非常强势，一直引领着科大所有的风头和亮点成果。科大的工科，不是传统工科，也不能叫新工科，实际上是应用理科。

中科大已经实现完全地自主选择专业。一年级基础教育；二年级通识教育，分成两类：物理类和与物理相关类；三年级就是专业方向课。三年级推行了交叉，要求跨一级学科交叉。学生毕业的时候，可以有一个主修的专业方向，或者有一个辅修的，如果愿意读五年，可以读第二学位，再加 40 个学分。

上海教委高教处处长桑标：上海市教委主要负责市属高校管理，这里面综合性高校其实是寥寥无几的。怎么来满足产业转型和经济社会发展对人才培养提出的新的需求？

在一市两校综合教育改革的框架下，上海有很多先行先试的东西。市领导非常重视市属高校应用型人才培养，很多市属高校提出的专业转型、新专业设置，通常都是针对经济社会发展需求来的。

教委鼓励专业的转型试点，按照专业建设与产业发展对接、教学标准与行业标准对接、课程内容与职业标准对接、培养过程与生产过程对接这样一种应用型人才的培养导向，推进应用型专业的试点。在课程体系设置、双师型的师资队伍建设、产教融合和校企合作方面，进行全方面的改革。

第二个方面的举措，做一些目录外的专业设置，对接上海的实际情况。在文化创意、信息技术、网络安全，以及人才需求量非常大的医药卫生领域，鼓励市属高校按照教育部标准，开始新专业的试点，探索一些比较好的新兴工科类专业，培养出更多社会所需的人才。

五、困难和解决途径

北航郑志明教授：新工科建设面临的困难，一是国家重大产业战略、重大发展专项，对于顶尖的、具有竞争力的人才，无论是质还是量，要求都越来越迫切。

二是我国的高等教育不同于西方，完全复制西方的高等教育必定要失败。在相当长的时间里，高质量工科人才的培养，只能靠自己从本科老实地培养起来，不可能是别人培养好，送到我们这儿来，这跟西方的强国不大一样。在很长时间里面，师资力量也主要靠自己。

第三，传统工科专业的习惯势力很强，与实际与需求之间存在着一些根本性矛盾，如何破解是一个关键。传统工科的设立，是一根一根竖立的，新经济、新技术，是系统级考虑问题，需要系统级的最优，不是单项冠军，而是综合冠军。

第四，创新的问题，高校在原始创新和自主创新这一方面，特别在工科，长期存在聚焦不够，自信不足，缺乏共识。

浙江大学本科生院副院长陆国栋：三路大军的定位和观点都略有不同。地方高校从岗位需求出发，积极性更高；综合性大学受到的约束和限制比较少，积极性也比较高；相对而言，工科优势比较强的学校，受到的约束比较大，做起来有一定的难度。

新工科建设需要政府的推动。专业设置需要破题，专业培养也需要破题：培养模式、方法模式，学分怎么减少、环节怎么改革？这些改革，难在教师层面，教师没有积极性。各位教务处长可能有积极性，但是学院院长积极性就低了。这中间薪酬体系是一个根本体系，职称体系也是一个根本体系，这两个体系如果能够有所改变，新工科的建设和改革才能有所改变。教师的积极性，还是靠引导。现在，理科的思维统治了整个评价体系，高等教育很难改变。如何真正建设新工科，关键问题是评价问题。永远用论文来评价，做新工科很难。

中山大学教务部主任陈敏：第一，在综合性大学要办新工科，在专业设置上面，不能够限定得过死，要有一些探索性的东西。第二，学生前两年进行数理基础学习，然后选拔进入新工科专业，这种立交桥方案是比较好的选择。第三，新工科教育评价体系，不能完全采用传统理科的考核体系，因为新工科需要做一定的尝试或者探索。最后一点，新工科建设最好先进行小范围试点，总结经验后，再逐步推广。

在与会代表热烈讨论的基础上，张大良司长最后做了总结发言：

在厦门大学开的一流本科教育会议，效果非常好。今天的会，达到了厦门大学会议的效果，从历史地位和作用来讲，达到了二十几年前兰州理科教育改革会议的标准。两个加在一起，复旦的这个会议就十分重要，形成复旦共识，拉开了我们国家新兴工科改革发展的大幕。

大家从不同的视角论述了如何发展新兴工科，改革我国的工程教育。讲了什么是新兴工科，为什么要发展新兴工科，发展什么样的新兴工科和怎样来培养新兴工科人才。这些问题，已经有了初步的回答。

这次会议形成了办新兴工科的共识，提供了国内外办好新兴工科的两个方面的经验，也讨论了新工科建设的组织实施，整理了新兴工科人才培养所需要研究的四大要素：新兴工科人才的内涵特征、知识体系、基本能力、综合素质，确定了新兴工科发展需要研究和实践的双五重点：

一是“新标准”“新结构”“新模式”“新质量”和“新体系”五个内核研究重点。我国高校加快建设和发展新工科，需要主动设置和发展一批新兴工科专业，同时推动现有工科专业的改革创新。新工科建设和发展以新经济、新产业为背景，需要树立创新型、综合化、全周期工程教育“新理念”，构建新兴工科和传统工科相结合的学科专业“新结构”，探索实施工程教育人才培养的“新模式”，打造具有国际竞争力的工程教育“新质量”，建立完善中国特色工程教育的“新体系”，实现我国从工程教育大国走向工程教育强国。

二是“组织方式”“协调机制”“管理改革”“评价改革”和“政策支持”五项外延研究重点。要主动加强新兴工科专业的布局和建设，试点探索一批与产业紧密结合的示范性学院的改革，积累经验，为进一步推动新工科的建设和发展，探索路径。

工科优势高校要对工程科技创新和产业创新发挥主体作用。总结继承工程教育发展的成功经验，深化工程人才培养改革，发挥自身与行业产业紧密联系的优势。面向当前和未来产业发展急需，主动优化学科专业布局，促进现有工科的交叉复合、工科与其他学科的交叉融合。积极发展新兴工科，拓展工科专业的内涵和建设重点，构建创新价值链，打造工程学科专业的升级版，大力培养工程科技创新和产业创新人才，服务产业转型升级。

综合性高校要对催生新技术和孕育新产业发挥引领作用。发挥学科综合优势，主动作为，以引领未来新技术和新产业发展为目标，推动应用理科向工科延伸，推动学科交叉融合和跨界整合，产生新的技术，培育新的工科领域，促进科学教育、人文教育、工程教育的有机融合，培养科学基础厚、工程能力强、综合素质高的人才，掌握我国未来技术和产业发展主动权。

地方高校要对区域经济发展和产业转型升级发挥支撑作用。主动对接地方经济社会发展需要和企业技术创新要求，把握行业人才需求方向，充分利用地方资源，发挥自身优势，凝练办学特色，深化产教融合、校企合作、协同育人，增强学生的就业创业能力，培养大批具有较强行业背景知识、工程实践能力、胜任行业发展需求的应用型和技术技能型人才。

新工科建设需要政府部门大力支持。教育部、相关行业主管部门和各级政府应对新工科建设进行重点支持，推动体制机制改革，加强政策协同，形成合力，在优化相关领域专业结构、改革培养机制、强化实习实训、加强师资队伍建设等方面出台更多的支持措施，为新工科人才培养提供良好的政策环境。

新工科建设需要社会力量积极参与。打造共商、共建、共享的工程教育责任共同体，深入推进产学合作、产教融合、科教协同，通过校企联合制定培养目标和培养方案、共同建设课程与开发教程、共建实验室和实训实习基地、合作培养培训师资、合作开展研究等，鼓励行业企业参与到教育教学各个环节中，促进人才培养与产业需求紧密结合。

新工科建设需要借鉴国际经验、加强国际合作。扎根中国、放眼全球、办出特色，借鉴国际先进理念和标准，明确新工科教育未来发展的重点和方向，分析新工科人才应具备的素质，构建新工科人才能力体系，培养具有国际视野的创新型工程技术人才。加强国际交流与合作，将“中国理念”“中国标准”注入“国际理念”“国际标准”，扩大我国在世界高等工程教育中的话语权和决策权。

2017年的复旦共识，有了很丰富的内容。按照这个共识去做，边实践，边研究，边丰富，边完善，过两三年再有一个共识往前推进，这是非常重要的。只要坚持做，一定能够做好，形成一个新兴工科的人才培养体系，去实现我国伟大的战略目标。

大幕已经拉起，大家上台表演。

（胡波，复旦大学信息科学与工程学院副院长、教授、博士生导师）

【摘自《复旦教育论坛》2017年第2期】

因时而动 返本开新 建设发展新工科

——在工科优势高校新工科建设研讨会上的讲话

张大良

今年2月复旦会议之后，教育部高等教育司印发了《关于开展新工科研究与实践》的通知。当前，“新工科”已经成为教育领域关注的热点，不少高校举行了专题研讨会，组织制订新工科研究与实践的选题。今天的会议，将通过交流研讨，在“复旦共识”的基础上，进一步形成新工科建设的行动路线；在广泛征集研讨的基础上，发布新工科研究与实践的项目指南；汇聚形成一支高水平的新工科建设专家队伍。这里，就新工科建设与发展谈三个问题，与大家交流。

一、建设发展新工科，要着眼高等教育改革发展全局，把握高校人才培养工作的新形势新任务

习近平总书记在2016年召开的全国高校思想政治工作会议上强调：实现中华民族伟大复兴，教育的地位和作用不可忽视。我们对高等教育的需要比以往任何时候都更加迫切，对科学知识和卓越人才的渴求比以往任何时候都更加强烈。高校立身之本在于立德树人。只有培养出一流人才的高校，才能够成为世界一流大学。办好我国高校，办出世界一流大学，必须牢牢抓住全面提高人才培养能力这个核心点，并以此来带动高校其他工作。习近平总书记强调指出，高等教育要为人民服务，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。习近平总书记关于办好中国特色社会主义大学的系列论述，深刻回答了培养什么样的人、怎样培养人、为谁培养人的根本问题，为高等教育改革发展指明了方向、提供了根本遵循。

2010年教育规划纲要颁布以来，特别是党的十八大以来，有关部门、地方和高校贯彻落实党中央国务院的决策部署，高等教育改革发展以提高质量为核心，以立德树人为根本任务，采取一系列有力措施，强化人才培养中心地位和本科教学基础地位，推进教育教学改革和人才培养机制改革。从全局工作看，当前人才培养工作正在升温，取得重要进展和成效，主要表现在四个方面：一是人才培养摆在了学校工作更加突出的位置。高校在“十三五”规划编制、“双一流”建设方案制定的过程中，进一步明确了人才培养的核心地位；高校党委常委会、校长办公会研究教学工作逐渐形成制度；一些高校“重科研、轻教学”的倾向正在扭转。二是重点领域的教育教学改革取得明显进展。高校创新创业教育改革氛围浓厚、生机勃勃，在开设创新创业课程、推进教学方法改革和强化创新创业实践等方面取得显著成效；协同育人机制不断完善，高校与实务部门、科研院所、行业企业在联合培养学生、教师互聘、资源共享等方面建立了更广泛的合作关系，推动社会优质资源向育人资源转化。三是学校的资源配置、政策支持更多地向人才培养倾斜。高校新一轮综合改革方案普遍将人事制度改革作为重点，进一步明确教师的主业是“教书育人”，衡量教师的主要标准是“教书育人”的

成效，把教师的积极性更多引导到教学上来，克服唯论文、唯职称、唯头衔、重研轻教等倾向。一些高校的教学经费占比大幅增长。四是教学质量监督保障机制正在不断完善。高校质量主体意识增强，一批高校形成人才培养工作自我诊断自我完善工作机制，初步建立起高校教学质量年度报告发布制度。一批高校特别是高水平大学主动要求参加人才培养工作评估，加强人才培养质量监督已成为高校强烈的自觉行动。我们在充分肯定成绩的同时，要有基于事实的教育自信，也要有基于理性的教育自省，必须清醒地看到，高校人才培养与国家需求、人民期待和国际先进水平相比还存在不少差距。

“十三五”时期是全面建成小康社会决胜阶段。陈宝生部长强调，当前和今后一段时期，要准确把握新形势、新任务、新挑战，增强工作主动性、针对性、有效性，全面认识高等教育正面临的“五个变化”。一是高等教育供求关系发生了根本变化。我们进入了高等教育大众化阶段，很快将进入普及化阶段，人民群众换、结构调整、方式转变、产业升级任务紧迫，需要高等教育发挥人才支撑作用。三是高等教育面临的国际竞争环境发生了很大变化。我国教育已经在世界舞台上参与竞争，我们的坐标已经是国际坐标，标准是世界标准，这给中国高等教育带来了历史性的重大挑战。四是高等教育对象发生了很大变化。90后大学生是互联网时代的原住民，他们的价值观念、思维方式、学习方式、交往方式与上一代学生相比有了很大变化。我们以往熟悉的教育理念、管理方式、人才培养机制、培养模式、教学内容和方法，都迫切需要做出相应的改革和调整。五是高等教育的资源条件发生了很大变化。“十二五”时期，我们教育支出GDP占比历史性实现了4.28%，此后没有滑下来。今天，教育可以调动的资源，是中国历史上从来没有出现过的。

“五个变化”充分体现了高等教育面临的新形势。要响应“五个变化”，必须以简驭繁，在行动上落实陈宝生部长提出的“四个回归”。一是学生要回归常识，认真读书，读“国情”之书、“基层”之书、“群众”之书，既要读“无字之书”，又要读有字之书，读马列经典、中华优秀传统文化经典、中外传世经典和专业经典，杜绝浮躁、静心学习、理性思考。二是老师要回归本分，教书育人，做教育分内的事，得天下英才而育之。三是学校要回归初心，立德树人，全面贯彻党的教育方针，培养德智体美全面发展的社会主义合格建设者和可靠接班人。四是教育要回归梦想，创建一流教育，树立报国梦、强国梦，建设高等教育强国。“四个回归”和“五个变化”要求我们把握和遵循教育教学规律、落实立德树人根本任务，同时也要与时俱进，不断改进人才培养的模式和方式方法，持续提高人才培养水平和质量。

可以说，今天的中国高等教育已经站在了由大到强的新的历史起点上，建设高等教育强国，我们这一代人有着重要的历史责任，必须走好我们的“长征路”。我认为，人才培养要把握好“一魂、三规、三教、两学”。“一魂”就是抓好灵魂性工作，这个灵魂性工作就是思想政治工作，围绕学生、关照学生、服务学生，对优质高等教育的需求发生了历史性变化。现在老百姓对高等教育需求不再仅仅满足于孩子能上大学，而且希望孩子能上好大学，享受优质教育资源。二是高等教育面临的~~国家需求~~发生了很大变化。国家推动实施创新驱动发展，

实施“一带一路”“中国制造 2025”“互联网+”等重大战略，经济发展步入新常态，动力转不断提高学生政治觉悟、思想水平、道德品质、文化素养，把学生培养成为又红又专、全面发展的高级专门人才，也就是要“抓好思政铸灵魂”。“三规”是指规划、规律、规范。规划是引导，现在规划都做了，关键是要抓落实，要“落实规划见实效”；规律是法则，要遵循教育教学规律、人才培养规律，抓好人才培养工作，要“把握规律守法则”；规范是保障，教学规范、学术规范要充实完善，要“健全规范立制度”。“三教”是指教师、教材、教法。教师是办学的核心，要按照习近平总书记提出的“四个相统一”的要求，加强教师队伍建设，当前重在“培训教师强核心”；教材是基础，要“更新教材调内容”；教学有法，教无定法，教学方法不改，课堂抬头率不高，教学效果差，因此要“改进教法增活力”。“两学”是指学风、学生。学风建设要着眼于办学的大生态，包括办学的政治生态和学术生态，要“端正学风优生态”；学生培养是根本，要按照习近平总书记提出的“四个正确认识”的要求教育引导，全校上下、校内校外形成合力，教书育人、科研育人、实践育人、管理育人、服务育人、文化育人、组织育人和协同育人，真正做到“培养学生固根本”。

二、建设发展新工科，要聚焦国家发展战略，支撑服务发展动能转换、产业转型升级

习近平总书记在 2014 年国际工程科技大会上指出，“未来几十年，新一轮科技革命和产业变革将同人类社会发展形成历史性交汇，工程科技进步和创新将成为推动人类社会发展的引擎”。工程教育已经成为国家竞争力的重要来源。

新中国成立以来，特别是改革开放以来，我国工程教育取得了巨大成就，培养了数以千万计的工程科技人才，有力地支撑了国家工业体系的建成与发展，推动我国成为世界制造业大国。我国已经拥有世界上最大规模的工程教育。2016 年，工科本科在校生 538 万人，毕业生 123 万人，专业布点 17037 个。工科在校生占高等教育在校生总数的 1/3。近年来每年工科本科毕业生约占世界总数的 1/3 以上。我国 4200 多万人的工程科技人才队伍是开创未来最可宝贵的资源。

我国经济发展面临动能转换、方式转变、结构调整的繁重任务，新技术、新产品、新业态和新模式蓬勃兴起。工程教育与产业发展紧密联系、相互支撑，新产业的发展要靠工程教育提供人才支撑，特别是应对未来新技术和新产业国际竞争的挑战，必须主动布局工程科技人才培养，提升工程教育支撑服务产业发展的能力。

首先，发展新经济要求面向当前和未来培养一批优秀工程科技人才。

新经济是伴随新一轮科技和产业革命而产生的经济形态。以新技术、新产业、新业态、新模式为特征的新经济正在蓬勃发展。人工智能、虚拟现实、基因工程等新技术加速兴起。工业机器人、集成电路、卫星应用、通用航空、生物等新产业快速发展。目前我国机器人企业已超过 800 家，2016 年工业机器人产量达到 7.24 万台。平台经济、分享经济、协同经济等新模式广泛渗透，线上线下融合、跨境电商、社交电商、智慧家庭、智能交通等新业态不

断涌现。

新经济的发展以新技术革命为引领，以信息化和工业化深度融合为突破，以商业模式和体制机制创新为标志，以人力资本的高效投入减少对物质要素的依赖，推动新一轮生产方式变革和经济结构变迁。一方面，新经济中不断涌现出移动互联网、云计算、大数据、物联网、智能制造、服务型制造、电子商务、移动医疗服务、云医院、互联网安全产业、智能安防系统等新兴产业和业态，这些领域均面临着人才紧缺的问题，必须加快发展新兴工科专业，更新改造传统工科专业。另一方面，新技术是新经济的基础，必须关注未来可能会出现的新技术，特别是颠覆性技术，提前进行人才培养布局。

“今之视古，亦犹后之视今”。现在回望计算机刚刚兴起的 20 世纪 70 年代，可能就像未来几十年看现在一样，充满了机遇和不确定性。工程教育作为高等教育的重要组成部分，建设发展新工科，必须具有高度的时代责任感，着眼全局，放眼未来，重点突破。

其次，产业改造提升要求培养多样化的创新型工程科技人才。

制造业是实体经济的支柱，是实现经济转型升级、产业提质增效的关键。历史经验证明，工业始终是一个国家经济社会发展的根基所在。中国要成为真正的经济强国，必须努力建设制造强国。改革开放以来，我国制造业发展迅速，到 2010 年制造业产值在全球占比超过美国成为制造业第一大国。然而，与世界先进水平相比，我国制造业仍大大而不强。

李克强总理在 2017 年政府工作报告中要求：“深入实施《中国制造 2025》，加快大数据、云计算、物联网应用，以新技术新业态新模式，推动传统产业生产、管理和营销模式变革”，“大力发展先进制造业，推动中国制造向中高端迈进”。实现制造强国的战略目标，关键在人才。2016 年 12 月，教育部联合人力资源和社会保障部、工业和信息化部共同发布了《制造业人才发展规划指南》。

工程科技人才培养必须满足制造业人才需求多样性的要求。当前我国产业发展处在多层并存阶段，既有大量的劳动密集型产业、一定量的资本密集型产业，也有知识密集型产业，尚处在工业 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。在人才培养定位上要体现人才多样性的要求，既面向新一代信息技术、现代交通、航天工程、通信工程等领域培养一定规模的高端工程科技人才，也面向劳动力密集的加工制造等领域培养大批工程科技人才。在人才培养过程上应表现为产学合作、产教融合、科教协同、国际合作、本硕博衔接与协同等。

工程科技人才培养必须强化创新创业能力和跨界整合能力。当前，创新正逐渐成为推动全球经济复苏和增长的主要动力。随着更多“Alpha Go”的出现，未来的工程科技人员需要应用现在还未出现的技术，去解决还未出现的问题。创新周期越来越短，技术开发和产业化的边界日趋模糊，技术更新和成果转化更加快捷，产业更新换代不断加快。这些变化均要求工程科技人才必须具备创新创业的意识和能力。互联网作为新一轮科技和产业革命的核心，有着极强的跨界渗透能力，体现在互联网的一整套规则和观念对其他产业的改造上。“互联

网+”的产业创新模式要求工程科技人才在行业专精的基础上，具有交叉复合特征，具备跨学科、跨产业的跨界整合能力。

三、建设发展新工科，要主动面向未来，全面深化高等工程教育改革

新工科建设要坚持问题导向，做到六问：问产业需求建专业，问技术发展改内容，问学校主体推改革，问学生志趣变方法，问内外资源创条件，问国际前沿立标准。

1. 问产业需求建专业。学科专业和人才培养类型结构问题是工程教育改革的核心问题。要加强工程科技人才的需求调研。掌握产业发展最新的人才需求和未来发展方向。要做好增量优化，主动布局新兴工科专业建设。注重专业设置前瞻性，积极设置前沿和紧缺学科专业，加快建设和发展新兴工科，提前布局培养引领未来技术和产业发展的人才。要做好存量调整，加快传统学科专业的改造升级。引导高校结合社会发展的新需求、学科交叉融合的新趋势、科学研究的新成果，拓展传统学科专业的内涵和建设重点，形成新课程体系，打造传统学科专业的升级版，服务钢铁、石化、机械、轻工、纺织等产业转型升级、向价值链高端发展。要推动学科专业交叉融合，加强复合型工程技术人才培养。

2. 问技术发展改内容。当前，在新一轮工业革命的背景下，企业的技术发展日新月异，工程教育必须主动适应。要面向产业需求深化教学内容与课程体系改革。积极探索综合性课程、多视角解决问题课程、交叉学科研讨课程，以学科前沿、产业和技术最新发展推动教学内容更新，把内容陈旧、轻松易过的“水课”变成有深度、有难度、有挑战度的“金课”。要把创新创业教育融入工程教育的全过程。进一步落实创新创业教育的具体要求，充分发挥工程教育在师资队伍、实践平台、行业协同等方面的优势，广泛搭建创业孵化基地、科技创业实习基地、专业化创客空间等创新创业平台，营造创新创业教育氛围，推动创新创业教育全方位贯穿、深层次融入专业教育，着力培养学生创新精神、创业意识和创造能力。

3. 问学校主体推改革。高校是新工科建设的责任主体。“新工科研究与实践”的立项，既是研究课题，要搞清楚新工科的内涵与规律；也是实践项目，不能坐而论道，要付诸人才培养的实际行动之中；更是改革方案，要不断创新人才培养模式和机制体制，激发活力。要增强新工科建设的责任感与使命感。从历史规律来看，每一次工业革命都要求工程教育的内容与模式发生转型。当前，世界经济正在加速向以网络信息技术产业为重要内容的经济活动转变，我们必须布局新工科建设，从而获得未来竞争优势。要以新工科建设为契机优化学科专业结构。高校要做好学科专业的整体规划，完善学科专业动态调整和自我更新机制，在新工科建设过程中大胆实践，探索学科专业设置管理的新范式。要以新工科建设为抓手推进学校综合改革。改革只争朝夕，落实重在方寸。高校要发挥基层首创精神，充分利用好“新工科”这块试验田，推进人事制度改革，完善适应高校教学岗位特点的内部激励机制，探索高校教师与行业人才双向交流的机制；紧跟产业变革创新培养模式，强化工学结合、校企合作，让企业直接参与到人才培养全过程。

4. 问学生志趣变方法。在互联网时代，知识获得已经不存在障碍，但学习动力、注意力

变成了稀缺资源。必须根据学生志趣调整教育教学的方式方法，提高教学效率和效益。要坚持并全面落实以学生为中心的理念。尊重学生自主选择，推进高校学分制改革，探索建立与学分制相适应的课程设置、学籍管理、质量监控、考核评价等教学管理制度，方便学生跨专业跨学校进行学分认定与转换，加快管理者本位向以学习者为中心的转变。要加强教学方法和教学手段的改革。借鉴学习科学的最新研究成果，丰富教学方法，加强师生互动，增强学生的“向学力”。要着力推进信息技术与教育教学深度融合。建设一批以大规模在线开放课程为代表、课程应用与教学服务相融通的优质在线开放课程，推进以学生为中心的教学方式方法变革。

5. 问内外资源创条件。为促进学校发展，必须优化配置校内资源，积极获取社会资源，为人才培养创造更好条件。现在，高校面向社会汇聚优质资源的动力和能力还是不足。大学是开放的，要把办学视野打开，推进校企协同、科教协同，在更大范围内优化配置教学资源，主动联系和挖掘行业部门、科研院所、企业优势资源，积极共建实习实训基地，统筹安排学生到实务部门、生产一线实习实践。要推广“卓越工程师教育培养计划”实施经验。要推广实施产学研合作协同育人项目。要探索建立一批产学研合作示范学院。鼓励有条件的高校与行业企业、科研院所合作，共建一批国家级产学研合作示范学院，以产业发展需求为导向，探索建立产学研合作协同育人长效机制，建设一批协同育人、共建共享的实践基地或工程创新训练中心。

6. 问国际前沿立标准。要实现我国工程教育由大到强的根本性转变，从“跟跑并跑”到“并跑领跑”，实现全面超越，必须站在国际前沿来考量我们的人才培养，建立具有国际竞争力的工程教育体系。要加强工程人才培养质量标准的研究和建设。要进一步完善中国特色、国际实质等效的工程教育专业认证制度。要关注世界前沿科技进展和发达国家经济转型战略，如未来将在以下领域开展全面竞争：石墨烯技术、全面破解人脑、重组基因组、会学习的电脑、商用太阳能飞机、智能飞机、永不停止的太空竞赛。再如美国正在积极推动再工业化，在高端制造业领域形成一批新的增长点，特别是实施工业 4.0 战略，重新树立国家竞争优势。我们要把这些国际前沿转化成我们的培养标准。

我们要通过深化综合改革形成新工科建设发展体系，这个体系要充分体现“五个强化”：一是强化新工科人才质量的核心定位。新工科建设的核心定位是质量。二是强化一流工科教育的评价导向。我们的评价导向是在各自领域办出特色、办出一流水平。三是强化服务国家战略和区域发展的责任担当。既要服务国家战略需要，也要支撑区域发展需求，要有这样的责任担当。四是强化为国家和社会做贡献的价值追求。新工科建设不是一个概念，而是一项行动，这项行动的价值追求是为国家、为社会多做贡献。五是强化面向未来和国际先进水平的目标引领。新工科最终要引领国际先进水平。中国现在是全球第二大经济体，但不是经济强国，经济强国要靠制造业强国支撑，制造业强国要靠我们现有的制造业和未来的先进制造业来支撑。因此，新工科要面向未来，培养面向未来的人才。

“六问”最终体现在“五个强化”上。近期，为推动新工科建设和发展，我们将组建新工科研究与实践的专家组，提供理论指导和战略咨询；根据新工科研究与实践项目指南，面向高校征集项目，在评审之后正式立项。条件成熟时，考虑增加部分新工科“卓越工程师教育培养计划”专业点，并通过多种形式支持新工科的建设和发展。新工科项目不是牌子，不是帽子，而是要切实地在教育教学改革深化上、在提高工程教育人才培养质量上有所体现。

建设发展新工科要因时而动，“时”是新一轮科技革命和产业革命的历史性交汇，是国家产业发展的新形态，是国家高等教育发展的新阶段。同时要返本开新，“本”是中国教育的特色，是中国教育发展的现实、未来和挑战。返本才有根，新工科的“新”要立足新经济的新，要面向当前急需和未来发展培育新工科人才，把握由来、坚守本来、吸收外来、开创未来。相关高校要顺势而为，主动作为、勇于创“新”，从而扎实推进新工科建设，培养一大批又红又专、全面发展的新工科人才，为建设工程教育强国做出贡献，为创新型国家建设提供人才支撑和智力支持。

（张大良，教育部高等教育司司长）

【摘自《中国大学教学》2017年第4期】

新工科建设的内涵与行动

钟登华

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改革的重大战略选择，是今后我国工程教育发展的新思维、新方式。

（一）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。

（二）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变革蓄势待发，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。

（三）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,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 Work-force 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 年后新设战略性新兴产业相关工科本科专业点 1401 个。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，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）。

(一) 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



图 1 新工科建设路线图

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国模式,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。

(二) 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子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。

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

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

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。

（三）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际贡献上，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。

（钟登华，天津大学校长，中国工程院院士）

【摘自《高等工程教育研究》2017年第3期】

面向未来的中国新工科建设

林 健

世界范围内新一轮的科技革命和产业变革以及席卷全球的新经济的蓬勃发展对工程教育的改革和发展提出了新的挑战，新工科建设的提出正是对这一挑战作出的积极回应。对新工科系统深入的研究是新工科建设得以顺利开展并取得预期成果的关键，基于此，本文从新工科的内涵与特征、新工科的建设目标、新工科建设的总体思路、不同类型高校新工科的建设以及新工科专业建设的重点等五个方面进行分析和研究，试图清晰地回答新工科建设中必须理清的概念、内涵、目标、思路、分类、重点等方面的重要问题并提出相应的措施建议，以期各类高校开展新工科建设提供参考和借鉴。

一、新工科的内涵与特征

在“新工科”中，“工科”是指工程学科，“新”包含三方面涵义，即新兴、新型和新生。对新工科的理解首先要突破传统的对学科的思维定式。学科是人类根据自身对客观世界的认识而对科学的知识体系根据其共性特征进行的学术划分，因此学科分类具有人类认识上的局限性和主观性以及人类社会发展的历史烙印。但是，新经济的发展及其产业变革不会因为人类对学科的界定而局限在某门学科内，也必然突破原有的学科界限和产业划分。在分析新工科的内涵与特征时，首先要突破人们原有对工科的界定，超越传统工科专业的设置；要根据科技革命和产业变革的需要以及新经济发展的趋势来理解和认识新的工程学科及其范畴，赋予其跨越现有学科界限和产业边界的新的内涵。

“新兴”指的是全新出现、前所未有的新学科，主要指从其他非工科的学科门类，如应用理科等一些基础学科，孕育、延伸和拓展出来的面向未来新技术和新产业发展的学科。这些学科不仅孕育了一批以新能源、新材料、生物科学为代表的新技术，而且催生了一批如光伏、锂离子电池和基因工程为代表的新产业。简而言之，由基础学科孕育的新技术在产业化后就形成了新产业。值得注意的是，虽然这些学科可能以某一现有学科为背景，但在发展初期仍存在着内涵不确定和特征不清楚的特点，需要在形成和发展过程中不断明确和清晰。

“新型”指的是对传统的、现有的（旧）学科进行转型、改造和升级，包括对内涵的拓展、培养目标和标准的转变或提高、培养模式的改革和创新等，而形成的新学科。转型前的学科虽然可能是工程学科中的重要学科，具有发展历史悠久、在国民经济建设中不可或缺等特点，如机械、土木、化工等，但面临我国产业的转型升级，尤其是互联网和人工智能对传统产业产生的颠覆性影响而引发的对这些产业的改造以及运用及其他高新技术对传统产业的改造，这些学科需要针对当前和未来产业发展的急需进行转型改造成为新型工科。

“新生”指的是由不同学科交叉，包括现有不同工程学科的交叉复合、工程学科与其他学科的交叉融合等而产生出来的新学科。不同工科的交叉复合可以是两个以上的工科的交叉，如将机械、计算机和控制交叉，这些都是现代产业发展的趋势。工科与其他学科的交叉

融合可以是工科与理科、管理、经济、人文、医学、新闻、法律等其他学科的交融，这些是现代产业发展的需要，其中工科与理科的结合强化了工科的基础内涵，赋予了新的发展空间和潜力；工科与管理 / 经济等人文社会学科的结合彰显了工科的管理、服务和人文的特色。

总而言之，新工科代表的是最新的产业或行业发展方向，指的是正在形成的或将要形成的新的工程学科。从新经济的发展模式看，新经济强调以产业链的整合替代传统学科专业化的分工，互联网的超强跨界渗透能力形成了“互联网+”的产业创新模式，因此，在新工科建设时要注重一批具有跨行业界限、跨学科界限的跨界特征的新学科。

新工科大体上有引领性、交融性、创新性、跨界性和发展性等几个特征。

引领性是新工科的前沿特征，表现在高等教育系统内外两方面。在高等教育内部，新工科的建设和发展将为其他学科和专业的建设、以及其他专业人才培养各个环节的改革和发展起到引领和示范作用；在高等教育外部，新工科的超前布局和建设将孕育出新技术，进而通过新技术的产业化支撑引领新产业的形成。由此可见，新工科的建设具有超越自身的重要意义。

交融性是新工科的学科特征，表现在新工科往往是由多个学科的交叉、融合、渗透或拓展而形成的，以落实新经济强调的绿色、智能、泛在等理念。这一特征使得新工科较传统的（旧）工科而言，内涵更复杂、建设难度更大、需要投入的资源更多。因此，政府和高校对新工科的建设需要予以更多的政策支持和资源投入。创新性是新工科的属性特征，是新工科的价值所在，是国家经济社会发展对新工科本质属性提出的要求。新工科的建设是服务以新技术、新产业、新业态和新模式为特点的新经济发展，寻求我国在核心关键技术上的突破，在未来全球创新生态系统中占据战略制高点，因此，在技术、产业和模式上的创新以及创新人才培养模式是新工科的主要任务。跨界性是新工科的产业特征，是新工科围绕产业链整合需要而在自身构成中必须具有的跨越原有产业和行业界限的特征。这一特征反映了产业当前和未来发展对新工科的要求，将影响新工科建设的内涵、构成及其专业建设重点。

发展性是新工科的动态特征，表现为新工科在建设过程中需要不断完善和在发展过程中需要不断调整，这些是由新工科的性质所决定的。新工科在建设初期，存在着对其内涵、性质和边界不确定或不清晰的情况，需要日后继续完善；新工科在发展中需要根据产业发展变化和趋势对学科内涵、要素等进行及时和超前的调整。

二、新工科的建设目标

对一所高校而言，不论其属于何种类型，新工科建设最核心的任务是三方面：学科人才队伍建设学科领域的学术研究和学科专业的人才培养。队伍建设是学科建设的根本，是开展学科领域学术研究和学科专业人才培养的前提和保障，需要通过对相关学科专业教师的队伍组建、在职培养、人才引进等多种方式进行。学术研究是学科建设的基础，涉及学科理论、方法和知识体系的构建，学科当前、前沿和未来问题的研究，以及学科专业课程体系建设等，并为日后参与产业改造升级、新产业生成、校企合作和社会服务等打下基础。人才培养

是新工科建设满足行业和产业的当前和未来发展需要最重要、最核心的任务，与学科领域的学术研究相辅相成，既需要后者的研究成果用于教育教学，又对后者起到促进和推动作用。

高等教育在中华民族伟大复兴中具有不可忽视的地位和作用，就行业 and 产业发展对工程学科的高度期待和工程学科对国家经济社会发展应当承担的重大使命而言，新工科的建设和发应该重点落脚在新工科专业建设及其人才培养上。从这个意义上，**新工科建设的主要目标可以表述为：“主动布局、设置和建设服务国家战略、满足产业需求、面向未来发展的工程学科与专业，培养造就一批具有创新创业能力、跨界整合能力、高素质的各类交叉复合型卓越工程科技人才”。**

“服务国家战略”指的是新工科要主动服务国家提出的一系列重大战略，包括创新驱动发展、“一带一路”、“中国制造 2025”、“互联网+”等。这些国家战略以实现中国梦为总目标，强调建设创新型国家、实现中国经济整体快速发展、实现制造强国、推动产业转型升级等。新工科建设就是要根据实现上述国家战略目标和任务的需要，主动布局、设置、建设和发展相关新工科专业。

“满足产业需求”指的是新工科要在我国经济发展方式转变、新旧动能转换、产业结构转型升级，新技术、新产业、新业态和新模式蓬勃发展的环境下，培养出当前产业和行业急需的各种层次和类型的卓越工程科技人才。需要着重强调的是，《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》提出的节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料和新能源汽车等七大战略性新兴产业，是以重大技术突破和重大发展需求为基础，对经济社会全局和长远发展具有重大引领带动作用，知识技术密集、物质资源消耗少、成长潜力大、综合效益好的产业，在“十二五”期间得到快速发展，这些产业当前所需的人才仍然是需要新工科专业去培养的。

“面向未来发展”指的是高等学校要把握行业产业未来发展方向，预测未来对各种类型工程科技人才的需求，提前布局、建设和发展产业未来发展需要的新的学科专业，及时培养引领未来和产业发展的卓越工程科技人才。同样需要强调的是，为了以全球视野前瞻布局前沿技术研发，不断催生新产业，在若干战略必争领域形成独特优势，掌握未来产业发展主动权，为经济社会持续发展提供战略储备、拓展战略空间，《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》提出超前布局四个战略性新兴产业：空天海洋领域、信息网络领域、生物技术领域和核技术领域，以培育我国未来发展新优势。这些面向未来发展的产业正是新工科需要提前布局 and 建设的。

事实上，不论一个国家的经济社会发展到什么水平和阶段，工程教育始终要以服务国家战略、满足产业需求和面向未来发展为自身的历史使命和社会责任以及改革发展的方向和源动力。必须指出两点：第一，服务国家战略、满足产业需求和面向未来发展这三方面均蕴含着面向世界培养卓越工程科技人才这一要求。国家战略的国际视野和全球定位、中国企业“走出去”和国际合作、新经济发展的全球化、以及高等教育强国战略等，都要求新工科专业培

养的人才具有国际视野和全球胜任力。第二，新经济是一个不断发展、动态变化的概念，国家战略、行业产业和未来发展对工程科技人才的需求均是动态变化的，因此，通过对未来人才需求的研究和预测，准确把握、及时更新和动态调整新经济发展对各类工程科技人才的需求，调整新工科专业结构及其布局，应该成为各类高等学校新工科建设中的一项常态化工作。

创新创业能力是对新工科培养的工程科技人才的首要能力要求。创业能力是新产业形成和发展的基础，是产业和行业主导者必须具备的基本能力。创新是引领和驱动产业和经济发展的主要动力，是产业和行业得以发展并赢得市场竞争的保障，是产业和行业的工程科技骨干必须具备的核心能力。在未来的市场竞争中，创新周期越来越短、技术创新越来越快、产业更新更加频繁、发展模式更加多元，这些均要求工程科技人才必须具备创新创业能力。

跨界整合能力是新产业形成及其持续发展所需要的。一方面，“互联网+”的产业创新模式要求对当前的多个关联产业进行改造和整合以形成新的产业；另一方面，新的产业形态和新的产业发展模式的出现也要求对未来的产业进行跨界改造、完善或整合以保证产业能够以最佳的形态和有效的模式持续发展。由此可见，作为新产业的工程科技人才还必须具备跨界整合能力。

高素质指的是新工科培养的卓越工程科技人才在专业能力之外所必须拥有的高水准的社会能力、职业素养和伦理道德等素质。交叉复合型指的是工程科技人才应具有多学科交叉的知识、理论和专业基础，具备解决交叉复合问题的专业能力和综合素质。

从以上对新工科建设目标内涵的具体分析可知，在开展研究和实践新工科建设时必须在其前赋予“中国”二字，即在新工科专业建设及其人才培养时要强调中国背景、中国需要、中国标准、中国模式、中国特色和扎根中国，这是对新工科建设的本土化要求。

三、新工科建设的总体思路

高校新工科建设的总体思路与传统的学科建设思路的主要区别有三：一是要站在国家、产业和未来的角度看待新工科建设，即从以往的学科导向转向国家战略视角下的产业和未来需求导向；二是要突破传统的学科界限，即从以往单一学科视角转向跨越学科界限的交叉融合视野；三是要从时代赋予高等教育新使命的角度看待新工科建设的作用，即从以往的服务和满足行业产业发展转向服务满足与支撑引领产业行业发展并重。以上区别关系到如下新工科建设的总体思路的设计。

（一）研究及预测未来国家和产业发展需求和方向

建设新工科的第一步是要把握国家及产业的未来需求和发展方向，这一方面是由学科建设和专业人才培养的周期决定的，另一方面是新工科的引领性决定的。

对国家及产业未来需求和发展方向的把握需要通过深入的研究和预测才能获得，而不能像传统的学科建设那样仅通过简单的市场调研和分析。具体的研究可以通过成立由校内不同学科相关专家和校外行业研究院所及企业专家组成的专门团队来完成。通过对国家发展战略、国家战略性新兴产业发展规划、产业发展前沿领域和未来发展的国际趋势，以及与发达

国家产业发展的比较等的研究和预测,清晰把握未来国家及产业的发展需求和方向。研究的重点应该在与本校学科专业相关的产业领域和方向上。

(二) 统筹分析全校资源, 确定待建新工科

面对清晰的国家和产业的未来需求和发展方向,高校需要通过统筹分析本校的学科专业现状和发展潜力,知道能够设置并建设好哪些新的工程学科和专业。具体而言,大致需要做两方面工作:一是确定本校能够做什么,二是回答本校能够做好什么。

首先,针对国家和产业发展需求和分析,从跨学科专业的角度分析高校能够建设哪些新工科。需要打破校内现有的学科专业界限,统筹考虑全校各种教育和研究资源,确定本校在新兴、新型和新生工程学科上能够布局和设置哪些新工科。其次,需要将这些初步提出的“新工科”与国内同类型院校可能设置的“新工科”进行比较分析,重点在本校具有的优势和特色上,然后从中确定具有明显优势和潜力并有资源投入保障的那些作为待建的新工科。在确定本校待建新工科时必须重视两点:一是要注重新工科与产业的直接对接,二是要有充分详实的能够建好新工科的可行性分析和论证。

(三) 规划、设置和组建新工科专业

新工科规划。对待建的新工科,高校首先要明确新工科建设在学校发展中的地位,并根据国家和产业发展对新工科及其人才的需求以及本校的实际情况,进行整体规划,制定出本校新工科建设的发展战略,并分解到学校每年的年度工作要点中予以落实新工科设置。新工科设置是高校全校性的工作,涉及到相关院系、学科和专业以及学校多个部门,因此,学校层面的统筹和协调、相关院系和部门之间的沟通以及树立全局意识等是必不可少的。新工科设置是针对每一新工科专业,主要包括:明确学科及专业负责人,确定学科和专业组织架构,明确教师队伍数量、层次和结构,制定学科专业发展计划等。

新工科组建。这方面高校需要决定是按照传统的实体院系架构组建,还是结合新工科的特征不设实体院系。这需要高校根据自身的情况分析和研究,以最有利于新工科建设、发展和人才培养为准则决定采取何种模式组建新工科。具体讨论详见本文第五节中新工科平台的构建。

(四) 开展新工科建设和学科研究

开展学科专业建设是新工科组建后需要尽快启动的工作,除了与传统学科专业建设类似的工作外,新工科建设还要重视:建立学科专业与外部产业部门和行业企业的联系;注重从产业部门、行业企业和研究院所引进或聘请业界专家充实教师队伍;争取各级政府、产业行业和社会各界在政策、经费和其他教育资源的支持;开展新工科的研究。

在上述各项工作中,学科研究不仅是新工科建设的一项基础性工作,关系到从专业建设、培养方案制定到课程内容形成和选择等多方面,而且是新工科的学科发展和专业建设能够持续服务、支撑和引领新产业发展的一项保障性工作。应该成立跨院系、跨学科的交叉研究和未来研究机构或学术组织,以科学研究带动新工科布局、建设和发展。学科研究既要重视与

学科专业对接的产业部门、行业企业和研究院所的合作，也要重视跨产业、跨部门以及与境外机构的合作。

（五）搭建新工科专业大类招生和培养平台

新工科专业人才培养是新工科建设接下来的一项十分重要的工作，根据新工科专业是源于传统多学科的交叉融合和不同产业的跨界整合的特点，高校应该注重发挥本校的整体优势，将新工科的整个学科作为大类，搭建新工科专业大类招生和培养的平台。

大类招生在于实施大类培养，它对新工科专业人才培养的作用在于：能够大幅提高学生的通识教育素养，了解相关专业的知识体系、学科发展和相互联系，有利于学生更好地理解新工科专业的内涵和特征；能够帮助学生在充分了解新工科学科专业的基础上，结合自身的兴趣和特长，找到最适合自己的专业方向，有利于学生的个性化培养；能够加强通识教育 and 专业教育的相互融合，促进专业教育教学的改革，给予学生学习上更大的主动性，有利于新工科创新创业教育和整个专业教育的开展。

（六）构建新工科专业人才培养质量保障体系

为了保证新工科专业培养的工程科技人才能够满足国家和产业当前和未来发展的要求，高校需要建立相应的人才培养质量保障体系，由质量标准体系、组织结构、保障主体和运行机制四个方面构成一个有机整体。

新工科的内涵和特征决定着其人才培养质量保障体系与传统专业人才培养质量保障体系有两方面主要差异：第一，要以面向未来和引领产业发展为目标，提出具有多维度、多元化、包容性和开放性的新工科人才培养的质量标准；第二，要以产业当前需求和未来发展为导向，建立外部驱动的质量持续改进机制。

（七）建立专业动态调整机制

建立专业动态调整机制对新工科而言尤其重要。伴随着新经济的快速发展，新技术、新产业、新业态和新模式调整和迭代的周期将不断缩短，国家和产业未来对新工科专业及其人才培养的要求变化将成为常态，因此高校需要建立新工科专业的动态调整机制，以及时调整新工科专业设置、修改或完善人才培养方向、目标、标准、方案、模式以及课程和教学内容等，从而保证所培养的工程科技人才不会滞后而是超前于国家和产业发展对新工科人才的要求。

四、不同类型高校新工科的建设

占我国高校总数 92% 的学校设置了工科专业，这些高校存在着服务面向、办学定位、学校类型、办学层次等诸多方面的不同，因此，新工科的建设应该根据学校类型，有重点、有区别地开展，以充分发挥各种类型高校在新工科建设上各自的不同优势。然而，不论何种类型的高校开展新工科建设，均需要遵循以下建设原则。

首先，针对服务面向。不同类型高校有不同的服务面向，就人才培养角度而言，服务面向指的是毕业生主要的就业区域和行业领域，或者说是高校人才培养主要面向的地区和行业

领域。正是这些区域和领域，高校有着长期积累的广泛的社会基础和行业企业联系，不仅最了解这些区域和领域需要什么样的人才，而且最能够与这些区域和领域内的产业、企业及研究院所开展产学研合作教育，从而培养出“适销对路”的人才。因此，针对服务面向原则就是要针对服务面向地区和领域的需要，针对性地培养新工科专业人才。

其次，发挥整体优势。不同类型高校，不论其规模大小、办学层次、校史长短，都会由于其发展历史、学科结构、专业设置以及与社会发展的关系使得各自具有自身的整体优势。基于对传统学科的突破、转型、改造、交叉和融合的新工科的建设和发展，需要的是多学科的支持、多种资源的投入和广泛的产业基础，因此不同类型高校的整体优势正是各自建设好本校新工科的优势，应该予以充分发挥。

第三，突出培养特色。不论何种类型的高校，均在其长期的发展过程中积累和形成了与众不同的人才培养特色，这种特色符合新技术、新产业和新经济对人才多样化的需求，也是每一所高校的毕业生能够获得社会接受的根本原因。因此，在新工科建设过程中注重和突出本校的人才培养特色显得尤其重要，需要每一所高校在达到新工科专业人才培养共性要求的情况下，突出本校个性化的特色培养。

根据不同的目的，高校可以有不同的分类，根据新工科建设和人才培养的需要，可以将高校分为工科优势高校、综合性高校、行业性高校和一般地方高校，他们在新工科建设上有着各自不同的重点，但都需要做好新工科的研究和实践两方面工作。

（一）工科优势高校

这类院校的主要特点是办学历史长、工科优势明显、工科门类齐全、产业联系紧密等。它们多数是“985工程”、“211工程”高校或教育部直属等部属高校，其中一些是“双一流”建设高校，应该在我国新工科建设和工程教育改革和发展中为其他类型高校提供经验和借鉴，起到示范和引领作用。工科优势高校在新工科建设上应该做到广而强，即新工科建设门类要尽可能多、覆盖面广，力求把每个新工科建成强势学科专业。主要聚焦国家发展战略、国际新技术和新产业发展、国家战略性新兴产业、高端制造业等前沿和未来领域。新工科建设重点应该在“新生”工科。

首先，要发挥高校自身的工科优势以及与行业产业紧密联系的优势，优化专业结构，推动现有工科之间的交叉复合、工科与其他学科的交叉融合，由此产生新的工程学科。其次，新工科研究的重点应该包括：国际新技术、新产业和新经济的发展趋势；欧美主要发达国家工程学科建设、专业设置及人才培养的比较研究；中国新工科构成的结构分析和新工科人才培养的模式研究。第三，新工科实践的重点应该在卓越工程人才培养上，聚焦新材料、新能源、生物技术、信息技术、智能制造等领域的交叉学科专业的建设和发展，既要重视与国际一流理工科大学的合作，也要加强与产业部门及国内外产业领先企业的合作，注重培养学生的创新创业能力、工程领导力、战略意识和国际视野、全球胜任力等核心能力和素质。

以工科为主的学科交叉而产生出来的新的工程学科应该占新工科的最大比例。交叉形式

包括工科与工科、工科与理科、工科与其他学科等。要注意不同生成形式产生的新工科在人才培养模式、教育教学方法以及产学研合作教育上的差异，强调工程教育与科学教育和人文教育的结合。

在重视“新生”工科的同时，优势工科高校还应注重本校的“新型”工科，即对传统工科专业的改造、转型和升级，尤其是推进互联网、人工智能、信息技术、大数据、经济管理、法律艺术等与传统工科专业的深度融合。

（二）综合性高校

这类院校的主要特点是办学历史长，文、理、医、商等学科综合优势明显、门类齐全，部分学校有少量工科专业。它们基本是“985工程”、“211工程”高校或教育部直属高校，其中一些也是“双一流”建设高校。

综合性高校在工程学科建设上不应追求大而全，而应该做到少而精，即新工科建设门类要少、仅覆盖有限领域，力求把每个新工科建成精品。应该注重发展那些与学校办学定位和办学特色适应并能够促进其他门类学科发展的工程学科。主要聚焦与国家发展战略密切相关、处于前沿领域的国际新产业和未来技术的发展和趋势。新工科建设的重点应该在“新兴”工科。

首先，要发挥学科综合优势，面向未来新技术和新产业的发展，推动文、理、医、商等学科与工科学科交叉融合和跨界整合，尤其是推动应用理科向工科延伸，由此形成新的工程学科。其次，新工科研究的重点应该包括：世界高水平综合性大学工科学科建设、专业设置及人才培养情况的比较研究；科学教育、工程教育与人文教育相结合的工科人才培养模式；综合性高校与优势工科高校工程人才培养模式的比较研究。第三，新工科实践的重点应该在复合型工程科技人才培养上，聚焦信息、生物、新材料、新能源等领域的交叉学科专业的建设和发展，既要重视与国际一流大学的合作，也要加强与国内外产业领先企业的合作。

（三）行业性高校

这类院校的主要特点是办学历史较长，主要聚焦于如农林、水利、地矿、石油、交通、电子等某些行业领域，在主要学科领域专业设置齐全、与产业联系紧密等。它们中一些是“211工程”高校或教育部直属高校，其余属地方院校。

行业性高校在新工科建设上应该做到专而深，即新工科建设要凸显学校在行业领域的专业优势，专门集中在与行业联系紧密的门类上，力求把这些新工科建成有深度、有特色的学科专业。主要聚焦关联行业和产业当前急需和未来需要的领域，涉及国家发展战略、国家战略性新兴产业、我国优势产业等领域。新工科建设重点应该在“新型”工科。

首先，要发挥与行业产业联系紧密的优势，面向相关行业和产业当前需求和未来发展，推动传统学科的转型、改造和升级，尤其推动移动互联网、物联网、大数据、云计算、智能技术等与传统工科专业的交叉融合，由此形成新的工程学科。与此同时，要对现有过于细分的学科专业进行整合，使其能够与行业和产业直接对接。其次，新工科研究的重点应该包括：

行业性高校在面向新产业发展需求和发展的新工科建设过程中如何保持传统工科特色和行业优势；行业性高校在新经济背景下新工科建设与学校整体发展的关系。第三，新工科实践的重点应该在行业型工程技术人才培养上，聚焦本行业及其产业领域的当前急需和未来发展，关注影响本行业发展的新技术和相关产业，既要重视对传统行业特色工科的转型升级，也要注重在传统工科基础上的新工科建设，更要加强与国内外相关产业领先企业的合作和深度融合。

（四）一般地方高校

这类院校的主要特点是办学历史往往不长，基本属于以工科为主的多科性院校，与地方经济社会发展联系紧密，学科点跨多个门类、专业设置较为松散、以地方需求为主，毕业生多数在本地就业。这些高校多数隶属地方省级政府，其余隶属地级市政府。

一般地方高校在新工科建设上应该做到好而实，即新工科建设要聚焦在地方行业和产业当前和未来需要的学科专业上，以满足地方要求为建设标准，将新工科建设好，将新工科专业人才培养好，毕业生能够直接在新产业一线就业、实干务实。主要聚焦本省市区域经济和产业发展的相关领域、“一带一路”等国家战略、国家战略性新兴产业相关领域等。新工科建设重点应该在“新型”工科。

首先，要发挥与地方经济和产业联系紧密的优势，面向地方企业和产业当前需求和未来发展，推动本校传统学科的整合、转型、改造和升级，改变本校学科门类多而不强的状况，集中有限资源形成新的工程学科。其次，新工科研究的重点应该包括：地方高校如何支撑和引领区域经济和产业的发展；地方高校面向区域主导产业和特色产业，如何与其他类型院校成为互补，构建与区域经济社会发展相适应的学科专业体系；地方高校如何发挥区位优势，在新工科建设过程中形成不同于其他类型高校的学科优势和专业特色。第三，新工科实践的重点应该在应用型工程技术人才培养上，聚焦区域产业及其相关领域的当前急需和未来发展，关注影响区域产业发展的新技术及其相关领域，既要重视对传统工科的转型、改造升级，也要注重对现有学科的跨学科整合；除了继续加强与区域内产业企业的深度合作，还要加强与国内外相关产业领先企业以及其他类型高校的合作。

五、新工科专业建设的重点

新工科建设的重点应该聚焦在与传统工科建设不同且需要高度重视之处，主要包括新工科平台的构建、新工科人才培养模式、新工科人才创新创业教育、新工科专业产学研合作教育和新工科教育教学质量评价等几方面。

（一）新工科平台的构建

新工科平台的构建是开展新工科学科专业建设、发展和人才培养的重要前提和基础，可以有实体和非实体两种模式，即按照传统工科以院系为实体平台进行学科与专业建设的架构和按照新工科特征不设实体的由相关院系和学科关联组成的架构，或称跨学科交融的新型组织。

采用传统的院系实体架构构建新工科平台的模式容易为多数教职员工所接受。这种模式关系到相关学科院系的整合重组、各种资源的重新分配以及学校新资源的投入等,涉及到多方利益的博弈,需要学校层面的强力领导、相关院系和部门的支持协调以及教师的理解支持,需要处理好局部与整体、个人与组织、近期目标与远期目标等方面的关系。实体模式新工科平台的优势在于:各种教育和科研资源相对集中,容易在短期内看到建设成效;教师的专职有利于他们集中精力和整个学科队伍建设;适应高校传统的内部管理体制和运行机制,容易为多数教职员工所习惯和接受。

采用不设实体的组织架构构建新工科平台的模式符合新工科的引领性、交融性、创新性、跨界性和发展性等特征。这需要相关学科和院系的沟通协调、协作配合和通力合作,教师由来自校内不同实体院系、不同学科和专业方向的教师以及校外兼职教师组成,他们共同承担新工科的科学研究、专业建设和人才培养工作。非实体新工科平台的优势集中体现在:能够充分利用相关院系和学科长期积累的校内外各种资源,使新工科建设始于较高的起点;对新产业的需求和未来发展具有很强的适应性,及时调整学科建设方向和人才培养要求,能够及时调整或重组教师队伍。这些正是实体平台所不具备的。

但是,这种非实体平台的有效运行需要制度和机制的保障:在资源分配上要突破传统的院系利益格局,鼓励学科之间融合,强调教育与科研资源共享;考核制度上,要改变以院系为中心的传统评价模式,鼓励教师跨学科专业、跨院系的合作与融合;在管理体制上,要转变传统的条块分割的管理模式,促进跨院系跨学科跨部门的协同发展。

不论采用何种架构,教师队伍建设都是学科专业建设的核心工作,在引进或聘用教师时要注意教师学科背景的交叉性、知识结构的互补性、年龄结构的合理性、学缘结构的多元性、工作经历的多样性等。

（二）新工科人才培养模式

新工科人才培养模式主要涉及课程体系和教学内容改革、教育教学方式改革、课堂教学与课外学习的关系、通识教育与专业教育的关系等几方面。

课程体系和教学内容改革。首先,新工科多学科交叉融合的内涵和特征决定着对课程体系和教学内容的改革是系统性而不是个体性,即要从整个新工科专业建设的角度,有组织地、系统地、整体地进行课程体系设计、课程设置和教学内容选择,而不能由每个教师单打独斗,仅根据个人的理解对现有课程进行简单调整。其次,新技术、新产业和新经济的快速发展,需要定期审视培养方案、课程设置和教学内容,以及时做出需要的调整。

教育教学方式改革。新工科专业明确的培养目标和丰富多变的教学内容要求注重提高学生的兴趣、学习参与度、学习效果和能力的培养。要通过教学组织形式设计和教学内容的组织提高学生的兴趣;通过研究性学习、专题研讨式、小组合作学习、挑战性学习等方式提高学生学习的参与度;通过共享优质在线教育资源,实施混合式教学方式等提高教学效果;通过以能力为导向的教学设计并辅以过程性评价提高学生的多种能力。

课堂教学与课外学习的关系。新工科人才培养将面临更严重的课时不足问题,要将课堂教学和课外学习作为人才培养生态环境的互为补充的两个部分,一方面通过线上学习和课下学习提高课堂教学的有效性,另一方面要鼓励并创造条件引导学生利用社团活动、科技竞赛、创新产业实践、专业社会实践等多种方式进行理论联系实际,开展实践能力、应用能力和专业素养的培养。

通识教育与专业教育的关系。虽然不同类型高校在新工科人才培养上对待二者关系上可以根据服务面向的不同而有不同的处理方式,但是以下两点是一致的:一是强调通识教育对专业教育的支持,包括加强基础科学教育使学生对各种新技术的科学基础有扎实的理解,加强人文科学教育使学生对新业态和新模式的人文元素有清楚的认识等,这些对学生适应日后新技术和新产业的快速发展和变化十分重要;二是新工科要求注重专业教育的包容性、发展性和未来性对通识教育提出了更高的要求,必然促进通识教育的改革。

(三) 新工科人才创新创业教育

创新驱动的新产业正在成为全球经济复苏和增长的主要动力,创新创业成为新工科专业人才至关重要的能力。新经济时代创新的主要特点是成果转化快、创新周期短、技术更新快、未来因素多、涉及学科广、发展模式多。这对新工科人才的创新创业教育提出更高的要求,要求学生具有更强烈的危机意识和未来意识、更积极的批判性思维、更敏锐的创新意识和发展眼光、更宽阔的全球视野和战略视角、更有效的创新思维和能力、以及更强的市场能力和领导力等。

因此,新工科专业要将创新创业教育融入专业培养方案,以交叉跨界问题、综合复杂问题和未来前沿问题等为导向,把危机意识、创新精神、创新思维、创新创业能力的培养贯穿工程教育的全过程,通过广泛搭建各种跨行业、跨界的创业孵化基地、创业实习基地、创客空间等创新创业平台,组织形式多样的科技创新活动、创新创业竞赛等,全过程营造创新创业教育氛围,全方位推动创新创业教育深层次融入整个专业教育。

(四) 新工科专业产学研合作教育

与传统工科专业产学研合作教育不同的是,新工科专业产学研合作教育要强调合作对象的代表性、教育内容的前沿性,并加强与产业研究院所的合作。首先,合作对象应该是与新工科专业相关新产业的代表性企业,具备新产业的特征,在业内处于优秀或引领地位,这样符合新工科专业教育的要求;其次,合作教育的内容应该具有前沿性,即能够真实地反映新材料和新产业当前的发展状况和未来的发展趋势,这样有利于新工科专业人才能力和素质的培养;第三,要加强与新产业相关的研究院所的合作,原因在于这些院所对新产业的未来发展有深入的研究并积累了相关的资料信息,这些正是新工科人才培养所需要的。此外,应该鼓励和支持有条件的高校就以上三方面开展产学研方面的国际合作教育。

为了更好地开展新工科建设,需要为各类高校搭建合作与交流的全国性平台。首先,建议国家相关部委、教育部和行业产业协会协调组织建立单一新工科门类的全国性产学研合作

联盟，如“中国生物制造产业产学研合作教育联盟”，这种联盟不仅有利于某一新工科门类的高校在全国范围内建立产学研合作关系，而且也高校之间、产学研之间搭建了合作交流的平台。其次，建议教育部协调组织建立两类新工科专业协助组，一是各类院校新工科专业协助组如“行业性高校新工科专业协作组”，为同类型高校新工科专业建设提供合作与交流的机会；二是跨院校类型的新工科专业协助组，为不同类型高校在新工科建设、专业人才培养等方面提供学习和借鉴的机会，尤其是从全国新工科专业人才市场需求的角度，这种机会能够促使不同类型高校人才培养的多样化和多元化。当然，高校也可以建立以自身为中心的新工科合作教育联盟，将与本校新工科专业有合作关系的企业联系起来。

（五）新工科专业教育教学质量评价

质量评价是保证新工科人才培养质量的重要手段，在这方面需要建立质量标准体系、落实培养标准和建立质量评价体系。

质量标准体系的建设。建立类似“卓越工程师教育培养计划”的人才培养质量标准体系，由国家标准、产业标准和学校标准三部分构成。教育部与国家相关部委或工程院负责制定新工科人才培养的国家标准；产业部门或协会基于国家标准负责制定各自产业的新工科人才培养的产业标准；高等学校基于国家标准和产业标准制定本校新工科各个专业人才培养的学校标准。

人才培养标准的落实。新工科专业应该以“卓越计划”为示范，将本校制定的各专业人才培养的学校标准通过分解细化成标准点，逐点落实到本专业的课程和教学环节，而后通过对课程体系和教学内容的改革，完善新工科专业人才培养方案。

质量评价体系的建立。有两种选择：一是借助工程教育认证制度，二是参照工程教育认证制度，其中关键在认证标准。借助现有的工程教育认证制度评价新工科专业人才培养质量，就需要增加、修订或替换认证通用标准和专业补充标准，这是因为：“新兴”和“新生”等新增工科专业不在目前工程教育认证专业目录中，需要扩充工程教育认证专业目录并增加这些专业的认证标准；现有的认证标准显然不能用于对转型、改造升级后的“新型”工科专业的认证，需要进行修订或替换，这将影响对那些还没有转型、改造升级的传统工程专业的认证。鉴于上述问题，可以考虑参照现有工程教育认证制度，将行业标准作为工程教育认证通用标准中的毕业要求，建立专门针对新工科专业的认证体系。

新工科建设是一项涉及多产业、多部门、跨学科、跨院系的复杂的、全局性的系统工程，不可能一蹴而就，需要政府、产业和高校的协同努力，需要全校上下的通力合作。但是，通过坚持不懈的研究、实践和不断完善，新工科建设将有力地促进中国工程教育的改革和发展，为中国高等教育改革提供示范和引领，为国际工程教育的改革发展提供中国模式和中国经验。

（林健，清华大学教育研究院教授）

【摘自《清华大学教育研究》2017年第2期】

面向新工业体系的新工科

朱正伟, 周红坊, 李茂国

在这个科学技术日新月异的时代里,新一轮的科技革命正引领着工业发展和产业变革,世界各国面临着更为严峻的竞争与挑战。从世界范围看,围绕技术路线主导权、价值链分工、产业生态的竞争日趋激烈;从国内形势看,我国经济发展进入新常态,发展动力加快转换,以改革创新为核心的新动能加速孕育。为积极应对这些发展和变革,美、德、中三国先后对国家制造业的发展做出了规划,美国“工业互联网”、德国“工业4.0”和《中国制造2025》,虽表述形式不一,但内质都强调信息技术与制造业的深度融合。

当前,第四次工业革命正以几何级速度增长,改变着世界范围内每个行业的发展模式,这些改变的广度和深度预示着生产、流通、管理、消费整个体系的变革。世界经济论坛创始人兼执行主席克劳斯·施瓦布曾指出:“第四次工业革命的速度、规模和系统性足以颠覆全球各个产业。”同样地,第四次工业革命也不再局限于某一特定领域,而是注重各领域(材料科学、大数据、大脑科学、3D打印技术等)的联动与相互作用。

因此,无论是信息技术与制造业的深度融合还是第四次工业革命的各领域联合,都给世界各国工业发展提出了挑战,而支撑工业发展的工程教育也不可避免地面临着挑战。德、美等发达国家为抢占先机,已经部署了工程教育改革以支撑其新工业体系,我国的《中国制造2025》也对所需的人才提出了要求。但是,在深化工程教育改革的过程中,我国还有许多问题亟待解决,我们需要深化并大力推进我国工程教育的改革以应对第四次工业革命的挑战。为此,本文从我国工程教育发展的历程分析入手,厘清变革的实质,结合第四次工业革命的新工业体系及我国工程教育面临的问题和挑战,探讨新工业体系下的新工科建设。

一、中国工程教育发展历史回顾

我国近代工程教育的发展主要经历了以下5个阶段:

第一个阶段:我国近代工程教育开端于19世纪60年代的洋务运动时期。培养工程人才最初是以“借法自强”为目的,意在从技术层面实现强国强军。因此,我国工程教育最初是以“师夷长技以制夷”为主导思想,在承受西方工业化的巨大冲击下开启的技术范式。相比西方国家通过工业发展推进工程教育革新的内源性发展路径而言,我国采取了通过移植其他国家现有工程教育模式来推进工业发展水平和改变国家政治与军事劣势地位的外源性发展路径。后来由于国力下降、外敌入侵、战事频仍,我国的高等教育受到巨大冲击。在民国时期,受美国的影响,我国的工程教育也开始学习美国模式,实施的是技术范式。

第二个阶段:新中国成立后,我国万事待举、百废待兴。由于同在社会主义阵营,苏联对我国高等教育的影响和帮助很大,这段时期,我国的工程教育发展主要以苏联模式为主。20世纪50年代,我国进行了全国性的院系调整,之后便成立了大批的工科、专科性学校,这些学校以工程技术和工程实际为主要教育内容,造就了大批的社会主义事业建设者,为我

国当时的经济发展和社会进步起到了不可或缺的推动作用。当时，我国工程教育主要实行的仍然是技术范式。除了对基本理论掌握的要求外，对技术的重视，使得我国工程教育的实践环节做得非常扎实，工科学生的动手能力非常强。

第三个阶段：改革开放之后，我国工程教育开始变革，特别在 1985 年《中共中央关于教育体制改革的决定》颁布后，我国工程教育模式的改革进入新的探索期，逐渐开始以美国的模式为导向，遵循技术范式。改革开放促进了我国社会的快速进步和科学、技术、经济的飞速发展，展示了具有中国特色的社会主义发展道路的优越性。到 20 世纪 90 年代，我国工程教育仍然主要学习美国模式，但开始转向“科学范式”，这使得我国工科学生的科学教育不断加强，理论水平也得到一定程度的提升。尽管实施了“科学范式”，但这段时期我国工程教育的理论教学与实践教学还是紧密结合在一起的。

第四个阶段：在我国高等教育大规模扩招后，由于学生人数的陡增、科学范式的持续实施，以及企业重心的转移，工科学生的实践教学逐渐被减弱，越来越多的工科学生只需完成毕业论文或不是来自于工程实际的毕业设计就可以完成学业，我国的工程教育与工程实践渐行渐远。随着“大工程观”理念的流行，美国已开始倡导“回归工程”的工程教育范式，我国工程教育界也开始对“理论教学与实践教学”的关系进行深入反思，以探究工程教育模式改革的关键症结。2000 年，我国开始实施“新世纪高等教育教学改革工程”，标志着我国的工程教育模式改革进入了新的阶段。

第五个阶段：2010 年 5 月，国务院常务会议审议并通过了《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》，并于当年 7 月正式颁布。为进一步深化工程教育改革，经过紧锣密鼓的筹备，同年 6 月，“卓越工程师教育培养计划”（以下简称“卓越计划”）在天津大学正式启动，开启了我国工程教育“回归工程”的征程，也使得我国的工程教育呈现出“快速转型”的特征。尽管还有不少的高校、不少的专业仍然在实行“科学范式”，但从中国工程院 2015 年对“卓越计划”的评估报告来看，五年来，我国工程教育应该说取得了不少可喜的成绩和变化。如截至 2014 年底，全国共有 208 所高校的 1257 个本科专业点、514 个研究生层次学科点按“卓越计划”进行改革试点，累计近 25 万学生、10415 家企业参与了“卓越计划”。

除此之外，我国还在先进工程教育模式推动工程教育质量提升方面做出了努力，如“成果导向教育(OBE)模式”，截至 2014 年，18 所院校组建了 CDIO 试点工作组，在机械、土木、电气等专业进行了试点，全国共有 200 所高校、2000 多名教师接受了培训，对指导专业建设、推动工科人才培养模式改革发挥了重要作用。2016 年 6 月，我国全票通过成为“华盛顿协议”的正式成员，这标志着我国的工程教育质量得到了国际认可。

综上所述不难看出，无论是学习苏联模式还是美国模式，抑或是欧洲模式，每个阶段工程教育的变化都伴随着工程教育模式或者范式的转变，且每个改变都是针对上一个模式或者范式的不足而提出的，这样的改变才会导致工程教育产生“新”的变革。

二、新工业革命及其对工程教育的要求

2016 年达沃斯年会以“掌握第四次工业革命”为主题，重点关注了新工业革命如何推动全球经济社会转型。同年，克劳斯·施瓦布发布了《第四次工业革命》一书，并在年会上指出人们正在迎接第四次工业革命的到来，其主要特征是各项技术的融合，并将日益消除物理世界、数字世界和生物世界之间的界限，产生全新的技术能力，给政治、社会和经济体系带来巨大影响。为应对飞速发展的第四次工业革命，美、德、中等国先后提出了各自的新工业模型。

（一）美国：工业互联网

为应对不断上升的经营成本、运营回报率持续承压的挑战以及更好、更快地响应客户的需求，2012 年 11 月，美国通用电气公司(GE)发布《工业互联网：突破智慧与机器的界限》白皮书，首次提出了工业互联网的概念。2014 年 3 月 27 日，美国 5 家巨型企业——AT&T、Cisco、GE、IBM 和 Intel 在波士顿宣布成立一个开放组织联盟——工业互联网联盟(Industrial Internet Consortium, IIC)，2017 年 3 月召开了“工业互联网创新峰会”(Industrial Internet Innovation Forum)。目前，IIC 联盟的成员已从一开始的 5 家扩展到 250 多家企业，这些成员不仅包括美国及其他工业发达国家的企业，也包括相关领域研究的学者以及政府组织，华为、海尔、中兴(ZTE)等中国大型企业也加入其中。

工业互联网指的是全球范围内的制造业与互联网的融合。把机器学习、大数据、物联网、机器与机器通信、信息网络系统等领域综合在一起，从机器获取数据、分析数据用以调整操作，激发生产力。工业互联网的本质是全球工业体系与由互联网促成的先进计算、分析、低成本传感和新水平的连接相互融合接轨。工业革命带来了新的设备、机器、工作站等，网络革命则使得信息技术、通讯等迅猛发展，而工业互联网则集合了工业革命和网络革命的优点，打破了现有的技术壁垒，将智能制造与数字产业紧密结合。

无论是应对工业革命还是网络革命，工业互联网都对新时期的工程教育提出了新的要求，通过机器学习、大数据、物联网、机器与机器通信、信息网络系统等领域的综合，工业互联网要求工程人才要具备某个工业领域的专门知识，同时具备网络通信、信息、大数据处理、工业自动化等领域的知识，成为复合型人才；理工、人文相结合；知识的深度和广度足够；能够快速实现知识更迭、演化；有整体、系统的观念；能够宏观建模分析，微观设计实现；能够整合各领域知识解决问题。

（二）德国：工业 4.0

2013 年 4 月，德国政府在汉诺威工业博览会上发布了《保障德国制造业的未来：关于实施“工业 4.0”战略的建议》的报告，正式提出了振兴德国工业的战略计划。该计划力图在德国现有的雄厚制造能力基础上，在制造系统中引入信息物理系统(Cyber-Physical-System, CPS)理论和技术体系，实现人、物、服务的互联，并最终形成工业 4.0 特有的价值链体系。该计划以德国自身强大的制造能力、先进的 CPS 技术为支撑，

融合德国教育体系，从而构建具有鲜明德国特色的信息物理制造系统（Cyber-Physical-Production-System, CPPS），进而擘画出贯穿工业 4.0 价值链体系的“战略政策支持、产品市场、技术体系引导、人才培养”四位一体的智能制造发展蓝图。

2015 年，德国联邦政府宣布正式启动升级版的工业 4.0 平台（Industry4.0 Platform）。德国工业 4.0 平台旨在识别制造领域所有相关的趋势和发展，结合各种输入因素，然后在更高维度、从整体角度提升对工业 4.0 的阐述和实践指导能力。德国升级版“工业 4.0 平台”的核心领导小组由德国经济部长 Gabriel、教育和科研部长 Wanka 以及企业界、工会及科技界代表组成，旨在通过调整使现有“工业 4.0 平台”具有更广阔的政治和社会基础，推动其发展进程。

工业 4.0 将极大地改变人们的生活和工作。为培养工业 4.0 所需的人才，德国政府认为应该实施促进学习、发展终身学习以及把工作场所作为持续的职业发展场地等计划。当前，德国联邦政府和州政府设立的研究所、大学都已参与到工业 4.0 的技术开发、标准制订和人才培养体系等工作中，主要在实现跨学科交流与合作以及建立企业与高校之间的培训伙伴关系两个方面开展了大量的工作。同时，在一些极富创造性的商业领域，如跨学科产品和过程的开发，通过促进学习和实施适当培训的方式组织工作，在制造业领域实现以人为本的理念，促使企业认真思考员工在教育、经验和技能集合上的差异，从而增强个人和企业双方的创新能力。此外，以促进学习的方式组织工作也是达成终身学习目标的关键。

（三）中国：《中国制造 2025》

新能源、新材料、信息技术、生物技术等重要领域的革命性突破，对全球制造业都将产生颠覆性的影响，也势必改变全球制造业的发展格局。为把我国建设成为世界制造强国，抓住这一新的重大历史机遇，积极应对全球制造业格局的重大调整 and 我国所处环境重大变化的挑战，2015 年 5 月 8 日，国务院发布了《关于印发〈中国制造 2025〉的通知》（国发〔2015〕28 号），正式吹响了我国从制造大国向制造强国奋进的号角。

《中国制造 2025》对我国制造业转型升级和跨越发展作了整体部署，强调要坚持“创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化、人才为本”的基本方针，坚持“市场主导、政府引导，立足当前、着眼长远，整体推进、重点突破，自主发展、开放合作”的基本原则，规划了我国制造业由大变强的“三步走”战略目标。

作为我国实施制造强国战略第一个 10 年的行动纲领《中国制造 2025》的核心是“主打中国装备”，并推进中国制造的智能化转型与升级。周济也曾指出“制造业数字化、网络化、智能化是新一轮工业革命的核心技术，应该作为《中国制造 2025》的制高点、突破口和主攻方向”。为推动智能制造发展，工信部会同其他有关部门共同制定了《智能制造工程实施指南》，也开展了智能制造标准体系建设及智能制造试点示范的专项行动。2016 年 12 月 7 日，《智能制造“十三五”发展规划》正式发布，为我国智能制造指出了发展思路和目标，明确了推进的重点和路径。这些都是我国在寻求从制造大国向制造强国转变之路的探索。

在过去几十年的发展中,我国不仅在制造业上得到了一定的发展,如制造业市场、规模、门类等,还在工程教育方面(如人才培养、师资队伍建设和等)取得了骄人的成绩。尽管成绩很多,但我们也不得不承认,我国的工程教育并没有发生质的变化,我国工程人才的欠缺难以支撑国家战略的顺利推进,许多困扰工程教育的问题,比如创新人才缺乏以及工科毕业生的知识交叉融合、国际竞争、经营管理和动手等方面能力不足的问题依然没有得到有效解决。

当前,在美国“工业互联网”、“德国工业 4.0”和《中国制造 2025》等三大新工业体系的冲击下,形势发生了很大的变化,中国工程教育不仅要继续从科学范式“回归工程”,还面临新工业革命的挑战。

(四) 3 种新工业模型重新定义的“工程”

无论是德国的“工业 4.0”、美国的“工业互联网”,还是我国的《中国制造 2025》,这 3 种新工业模型都重新定义了新的“工程”,智能生产和智能制造是这 3 种新工业模型的共同目标,“集成与融合”“智能与创新”是这 3 种“新工程”的共同特点。

1. 集成与融合工业互联网力图将机器、数据和人打造成一个工业互联网生态系统,其本质是实现机器、数据和人的融合,也希望实现数据价值的技术集成。在“工业 4.0”提出的重点着力的五大关键技术领域中,嵌入式系统、云计算、智能工厂等是涉及集成与融合内涵最多的领域。

《中国制造 2025》就是基于这一基本认识而出台的:“新一代信息技术与制造技术的深度融合,将促进制造模式、生产组织方式和产业形态的深刻变革,智能化、服务化成为制造业发展新趋势。”推进信息化与工业化深度融合是其中的一大战略任务,而把新一代信息技术产业、高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、农业装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械等 10 大重点领域集成起来,就是我们的《中国制造 2025》。

以上说明集成和融合是“工业互联网”、“工业 4.0”以及《中国制造 2025》定义的“新工程”的核心特点之一。

2. 智能与创新工业互联网包括智能设备、智能系统和智能决策 3 个层级的内涵,因此,智能是其基本特点;工业互联网强调发展包括先进生产技术平台、先进制造工艺及设计与数据基础设施等先进数字化制造技术,其核心是鼓励创新。

“工业 4.0”旨在建立兼具适应性和效率的智能型工厂,以此提升整个制造行业的智能化水平,在其所提出的重点着力的五大关键技术领域中,嵌入式系统、云计算、智能工厂等,以及其所倡导的价值链体系也都围绕智能与创新展开。

《中国制造 2025》所提出的 5 项重点工程中的 3 项,即制造业创新中心(工业技术研究基地)建设工程、智能制造工程和高端装备创新工程,有着非常浓厚的智能和创新特点。作为第四次新工业革命的关键要素,智能生产和智能制造带动着所有相关产业的数字化水平和智能化水平的提升。

以上说明智能与创新也是“工业互联网”、“工业 4.0”以及《中国制造 2025》定义的“新工程”的核心特点。

(五) 工程教育的变革

综上所述,三大新工业模型的出现力证了新工业革命对工程范式或模式的巨大影响和改变,而其对工程人才的需求和挑战也是具体而明确的。因此,支撑新工业革命的工程教育就必须发生改变。这种改变包括两种类型:一为渐进性,一为革命性。

渐进性的演进更多地要求从工程教育自身的演变逻辑出发,遵循教育规律,迎合社会企业的需求,比如专业设置的调整、课程体系的改革、教学方法的改变等。而革命性的工程教育变革则更多地强调范式或者模式的更新,也就是本文梳理的我国工程教育发展历程的五大阶段。新范式或者模式的到来才能称得上新的工程教育变革。

当前,新工业革命正在来临,与之相应的新工业体系具有与以往任何一个时代的工业不同的特点,它已经引起了工程的范式或模式的改变。在此情况下,工程教育理应做出革命性的变革方可适应这些新的挑战 and 新的需求。并且,面对快速发展和不断深化的新工业革命,我国工程教育需要的不是单纯的渐进性演变,而是革命性的变革,也只有这样我国工程教育才能在世界工程教育变革进程中抢占话语权,实现弯道超车,为我国尽快成为世界工程教育强国奠定基础。

三、面向新工业体系的新工科

适应新工业革命的“新工科”必然会带来工程教育范式或者工程教育模式的变革。教育范式变革是新工业革命的本质内涵与特征之一。从 3 种新工业模型重新定义的“新工程”的内涵和特点来看,工程的范式和模式已经发生了改变,这对包括工程人才在内的各类人才提出了新的挑战和要求,这种要求已经不是当前的工程教育范式——“回归工程”所能适应的。为此,适应新工业革命的工程教育范式或模式如下:

(一) 新的工程教育范式:“融合创新”范式

当前我们所处的主流工程教育范式是“回归工程”,该范式自 20 世纪 90 年代提出并实施至今已有 20 多年的时间。当前,新工业革命的浪潮即将到来,新工业革命不只是数字制造技术、互联网技术和再生性能源技术等技术层面的融合与重大创新,还包括新能源、新材料的应用,并引起生产方式、产业形态、制造模式、商业模式等方面的深刻变革。在能源生产与使用方面的革命主要是开发可替代的再生性能源,使人类社会可持续发展;生产方式的变革是基于互联网的智能化大规模定制,意味着个性化、定制化消费时代的到来;制造模式的变革是从削减式转变为分布式、智能化制造;生产组织方式的变革是从集中生产、全球分销转变为分散生产、就地销售;生活方式的变革是体验式消费,边消费边生产的模式。新工业革命的实质是产业形态、工程技术及商业模式的综合变革。

因此,从当前工业革命的视角、科技革命的视角、大学范式转换的视角,以及从德国“工业 4.0”、美国“工业互联网”和《中国制造 2025》3 种新工业模型重新定义的工程的角度

分析,可知我们必须建立一种新的工程教育范式——“融合创新”范式。该范式是指工程教育要将各种教育要素创造性地进行融合,使他们之间互补匹配、互相支撑,进而促使整个系统的功能从量的叠加到质的飞跃,形成独特的、不可复制的创新力和核心竞争力,具有体现融合、注重创新的特点。该范式的实现需要从思想认识与教育理念、培养目标与毕业要求、培养方案与课程体系、教学模式、搭建工程教育利益相关者平台等5个方面做好相关工作。

(二) 新的工程人才培养模式: 基于工业价值链的模式

笔者此前曾撰写过一篇文章,题为《基于工业价值链的工程人才培养模式创新》,专门论述了在新工业革命背景下,应对新工业挑战的工程人才的培养模式创新。笔者认为,传统工程人才培养模式基于学科逻辑,其价值指向教师中心地位和知识传授,难以适应新工业革命对工程人才的挑战和需求。而要培养适应和引领新工业革命需求的工程人才,必须对传统的人才培养模式进行深刻的变革和大胆的创新。“工业4.0”“4+3”的价值链对工程人才提出了新的要求,指引我们要以工业界的需求来进行工程人才培养模式的创新。而我们此前提出的基于工业价值链的工程人才培养模式以项目完成、问题解决为逻辑,突出了学生的中心地位及其能力培养。这种创新的工程人才培养模式包括5个方面:基于全科通识教育的专业教育,价值指向理念与方法;创客模式价值指向创新创业;跨界模式价值指向智能制造;过程模式价值指向产品生命周期;工商融合模式价值指向商业模式演进等。基于工业价值链的工程人才培养模式创新将颠覆过去我们按照学科的需求来培养人才的途径和方法而成为工程人才培养模式创新的一条新规律,即人才培养模式从学科逻辑转变为价值逻辑。

(朱正伟,重庆大学东西部高校课程共享联盟秘书处副秘书长,研究员,博士生导师)

【摘自《重庆高教研究》2017年第3期】

新工科建设与发展的路径思考

陆国栋, 李拓宇

在国家实施创新驱动发展、“中国制造 2025”、“互联网+”等重大发展战略的大背景下,培养科学基础厚、工程能力强、综合素质高的工程科技人才,对于支撑服务以新技术、新业态、新产业、新模式为特点的新经济蓬勃发展具有十分重要的现实意义和战略意义,也是建设制造强国和创新型国家的重要前提。

一、建设与发展“新工科”成为社会经济发展的现实需求

(一) 建设与发展新工科是当前社会产业升级与发展的必然要求

未来的 5~15 年是新工业革命推动的传统工业化与新型工业化相互交织、相互交替的转换期,是工业化与信息化相互交织、深度融合的过渡期,也将是世界经济版图发生深刻变化、区域经济实力此消彼长的变化期,“三期叠加”为制造业加快发展和转型升级提供了重要的战略机遇,世界各国纷纷将发展制造业作为抢占未来竞争制高点的重要战略,进而导致了全球制造业向发达国家“回流”和向新兴国家“分流”的“双向挤压”。我国经济发展正处于结构调整、转型升级的攻坚期,以互联网为核心的新一轮科技和产业革命蓄势待发,新技术、新产品、新业态和新模式蓬勃兴起。工程教育与产业发展联系紧密、互相支撑,新产业的发展依靠工程教育提供人才支撑。可以说,做好工程教育的主动布局和深化改革,必将对经济转型升级起到推进作用;反之则会迟滞产业升级进程。发展新工科必须立足业态需求,拥有强烈的目标导向与问题导向,了解行业发展现状,摸清行业现有问题,进而培养符合时代发展与产业行业要求的工科人才。

(二) 建设与发展新工科是提高国家未来竞争力,赢得全球市场竞争的重要途径

为应对金融危机挑战、重振实体经济,主要发达国家都发布了工程教育改革前瞻性战略报告,积极推动工程教育改革创新。如 2011 到 2013 年美国相继推出“美国先进制造业伙伴关系计划”、“美国先进制造业国家战略计划”及“美国制造业创新网络计划”,2013 年德国颁布“德国工业 4.0 战略实施建议”,随后,2014 年日本颁布“制造业白皮书”、英国颁布“英国制造 2025”战略、法国颁布“新工业法国”战略等等。各发达国家均在新兴技术领域或先进制造技术领域做出战略部署,旨在重塑具有未来持续竞争力的新型工业体系,借此增强综合国力,争夺未来世界主导权。发达国家的历史经验证明,主动调整高等教育结构、发展新兴前沿学科专业,是推动国家和区域人力资本结构转变、实现从传统经济向新经济转变的核心要素,这对我国工程教育改革提出了新的挑战。当前,国家提出“中国制造 2025”、“互联网+”、“人工智能 2.0”等重大战略为新工科的建设与发展指明了方向,同时也对新工科的建设发展提出了更高要求。为响应国家战略需求,支撑服务新经济蓬勃发展,突破核心关键技术,构筑后发优势,在未来全球创新生态系统中占据战略制高点,迫切需要培养大批拥有更强的创新能力、变化能力、适应能力的新兴工程科技人才服务于国

家战略发展，进而提升我国工程教育的整体实力与国际竞争力。

（三）建设与发展新工科是深化高校工程教育范式改革，满足国家产业发展的现实需求

近年来，伴随着工业互联网、智能制造、大规模个性化定制等新一代信息技术与制造业的深度糅合，促使学科之间的交叉与融合日益广泛与深化。“中国制造 2025”是在直面全球产业格局的深度调整的基础上，根据我国目前制造业的发展水平，率先推动我国制造业从新一代信息技术、高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械、农业机械装备等十大领域进行突破式发展。基于信息物理系统的智能装备、智能工厂等智能制造正在引领制造方式变革，产业的转型升级与新产业形态的产生，产业发展模式的改变，对人才的知识结构提出了新的挑战，需要兼顾扎实的专业技术和复合型知识背景。与此同时，产业分工进一步科学细化，形成新的生产方式、产业形态、商业模式，对人才的多样性、专业性、创造力提出了更高的要求。

二、建设和发展“新工科”的五大现实瓶颈

（一）学科壁垒，窄化了工程人才的知识体系

工程教育的实践性、综合性、经济性和创新性是工科人才培养的基本特征，据“全球竞争力报告（2013-2014）”显示，中国在“Availability of scientists and engineers”指标中，仅排名第 44 位，而印度排名第 15 位。究其原因基于学科的知识体系限制了工程人才的培养。我国在高考中普遍实行文理分科考试，使得学生在中学阶段就过早地接受文理分科教育，进入高校以后，学生往往是走进了自己的“学科胡同”，与其他学科的知识“老死不相往来”，这使得我国各类人才，尤其是我国工程教育本科环节均存在不同程度的过分专门化、过早专门化、通识教育不足等弊端，使得本科生所学知识只限于狭窄的单一学科领域，工程人才知识体系尚不够完善。与此同时，传统学科依然处在整个科教体制的中心地位，几乎垄断了大部分科教资源。由于大多数跨学科研究起步较晚，发展较快，变化活跃，使得对于跨学科研究进行评估较为困难。教育部、自然科学基金委等部门组织的评审机制在对各类跨学科研究项目、创新团队评审的归口问题上尚未完全明确。尽管自然科学基金委列出了需要重点支持的数项跨学科研究计划，但难以有效满足以新技术、新业态、新产业、新模式为特点的新经济蓬勃发展。

（二）专业藩篱，限制了工程人才的大工程观

我国制造业在赶超发展的过程中，不断对人才培养工作提出更高的要求，现有的工程科技人才的职业能力与综合素质仍需进一步提高，特别是在国际视野、创新意识、创业精神、实践技能、社会责任、领导能力、全球胜任力等方面，仍需与国际接轨、适应产业发展、满足市场需求。据美国《2012 年科学与工程指标》公布的数据，美国“适合全球化要求”的工程师有 54 万人，中国只有 16 万人，不足全国工程师总数的 1/10；而印度“符合全球化

需求”的工程师超过其总数的70%。更关键的是，创造单位国内生产总值，中国需要的科技工程人员数量是日本的3.68倍。而瑞士洛桑国际管理发展学院近年发布的《世界竞争力年鉴》明确指出：中国工程科技人员国际竞争力在全球60多个被调查国家和地区中处于中等水平，且工程师的合格程度在全球范围内处于末端水平。究其原因，是我国工程教育专业的教学与课程结构一直受限于相对刚性的专业目录，专业划分较细，转专业限制严格，学生知识面狭窄，未能根据市场需求跨学科、综合化的发展趋势做适时调整，更与我国经济转型和产业升级不相匹配。伴随着云计算、大数据、移动互联、物联网、人工智能等新一代信息技术的突破性发展，全球制造产业迎来了一场新的科技革命和产业革命。这给我国制造业的快速发展、转型升级提供了最好的契机，也给我国高等工程教育，特别是给应对国内外市场需求调整的多层次工程人才培养提出了新的挑战。外部的市场环境变化多端，而我国工程专业的设置和课程体系的构建却仍然带着传统工业时代的烙印，学生所学的知识面临着“毕业即过时”的尴尬。因此，亟需将课程知识体系进行更新，实现知识结构与市场需求的有效匹配。

（三）本研隔断，降低了工程人才的培养效率

随着科学技术的创新、社会经济的变革、产业发展步伐的不断加快，工程科技人才的培养仍不能充分满足制造业的战略性需求，特别是在行业领军人才、战略性新兴产业所急需的工程科技人才的储备方面严重不足，工程技术人员占制造业从业人员比例还很低。仅以2010年为例，工程技术人员大专及以上学历文化程度的比例不足50%，低于整个专业技术人员的平均水平（61%）。现行本研隔断、整齐划一的人才培养模式已不再适应新经济、新产业的发展，特别是在一些对基础理论和系统专门知识的学习及掌握有很强的连续性要求的基础学科。本科生和研究生的培养是高等院校人才培养体系中两个重要的层次，以往这两个层次人才培养过程中实践基地的建设是相对独立和自成体系的。事实上，本科生创新和实践能力的培养能为研究生阶段科研能力的培养提供基础，研究生科研能力的培养亦可为本科生创新实践能力的培养提供引领作用，二者是紧密联系在一起。然而，由于我国高校的本科生教育和研究生教育的管理权往往分属于学校的不同部门，因此在培养过程中，常常表现出割裂的特点。一般来说，本科生院或者教务处主要负责本科生培养，考虑的是本科生培养全过程的整体性；研究生院主要负责研究生培养的环节，统筹的是研究生培养阶段的一致性。在此过程中，忽视了拔尖本科生尽早进入研究生阶段的可能性，造成一种断裂式的培养过程，也在一定程度上导致工程教育在知识产出与人才培养的双重低效率。

（四）校企隔阂，阻碍了工程人才的市场匹配

朱高峰院士指出工程教育的“产学合作是一种双赢模式”，有利于改进工科人才培养方式，提高工程教育的内涵质量。虽然，现阶段工程教育有走进“象牙塔”的趋势，然而，目前产业界还未真正参与工程人才培养工作，企业新技术、新工艺没有出现在教学内容中，而现代工程师所必需的经济、社会、国际交流、法律、管理、市场营销、环保等多方面的课程也严重不足，不能适应科学技术飞速发展的形势，不能满足新兴工业和技术发展的需要，不能满足对引进技术、设备和生产线进行消化吸收再创新的需要，部分专业的知识体系的发展

甚至滞后于产业技术的发展,工科人才培养与产业经济发展的协同性不足。工科教学改革除了教育部以及各高校的参与,还应当重视企业力量,寻找积极性高的企业参与新工科建设,开展校企合作,打造共商、共建、共享的工程教育共同体,深入推进产学研合作、产教融合、科教协同,通过校企联合制定培养目标和培养方案、共同建设课程与开发教程、共建实验室和实训实习基地、合作培养培训师资等,鼓励行业企业参与到教育教学各个环节中,促进人才培养与产业需求紧密结合。

（五）师生淡漠，压抑了工程人才的培养氛围

教师和学生是工程人才培养过程中最为核心的主体要素,随着我国高等工程教育从“精英教育”向“大众教育”的转变,师生关系呈现出一些新的特征,包含了更加复杂的社会经济、政治道德和微妙的情感行为。一方面,高校纷纷大量扩招,在校生人数成倍地增长,造成教学资源紧张,高校把大量资金和精力投入在设施建设方面,在教育过程与关爱学生方面的力度相对减弱;同时,由于盲目扩招,部分学校师生比例失调,相应的教育与管理跟不上,教师常常要面对几十甚至上百学生的大课、合班上课与教室流动,减少了师生接触的机会,也影响了师生的感情交流与沟通;此外,由于校园文化和社会文化两种思想文化的交流和同化逐渐加快,在师生中形成一种互相排斥的离心力,师生之间交流的功利意识明显,也出现近利轻德的现象,使师生之间有效沟通难度加大。

三、建设和发展“新工科”的基本路径

以应对变化、塑造未来为指引,以继承与创新、交叉与融合、协同与共享为主要途径,深入开展新工科研究与实践,推动思想创新、机制创新、模式创新,实现从学科导向转向以产业需求为导向,从专业分割转向跨界交叉融合,从适应服务转向支撑引领。新工科建设必须从技术范式、科学范式、工程范式走向新工科范式,打破范式需要付出巨大努力。新工科建设不是“牌子”,也不是“帽子”,更不会直接带来什么资源,而应是责任。

不仅仅是构建一批新专业,而是需要高校面向产业、面向先进领先技术、面向社会发展需求进行大模块的专业基础整合,明确产业需求,以需求引领改革方向,突破传统工科的思维模式,关注新工科的动态特征,主动布局未来国际竞争的战略必争领域,打破“学科陷阱”和“路径依赖”,促进多学科交叉与深度融合,在“学科交叉、课程改革”的基础上,为学生提供更自由的选择与发展空间。

不仅仅是撰写一批研究论文,而是需要关注理论、机制、路径、模式、特征、特色、标准等综合研究,特别是关注实证研究与相关实践,分析研究新工科的内涵、特征、规律和发展趋势等,推动新工科专业的研究与探索,以及传统工科专业的更新升级,开展工程学科跨学科教学与跨学科研究,形成可操作的培养方案,培养“活生生”的人,这是实现新工科面向新经济、面向未来、面向世界的发展目标的有效路径。

（一）以“关注两个主体”为核心，转变教学理念，打破教育壁垒

教师和学生是工程教育教学活动的两大主体,主体之间的深度互动是根本。长期以来,我们的教育是以教师为中心的教育,而不是以学生为中心的教育,即老师教什么,学生学什么,而不去启发学生主动思考,没能激发学生的潜能,这是教育的一个很大缺憾。加快建 设

和发展新工科，首先要从“以教师为中心”的“传道、授业、解惑”逐步走向“以学生为中心”的“悟道、求业、生惑”的新境界，加大学生选择空间，方便学生跨专业跨校学习，增强师生互动，改革教学方法和考核方式，尽可能地引导学生主动学习、主动实践，鼓励学生悟道、问道、寻道，启发学生求是、求真、求业，在此过程中产生更大的疑惑、焕发更大的激情，让学生更好地成为自己，从而培养创新创业人才。

工程教育的重要特征之一是“动手”，与“动手”相关联的是“动口”、“动笔”、“动脑”、“动心”，“动”的过程是能力不断提升的过程，更是兴趣不断浓郁的过程。

（二）以“培养两个能力”为目标，强化市场适应，提升工程创新

高校专业知识的更新速度永远赶不上企业的发展，高校不可能培养出企业需要的无缝衔接的人才，拥有更强的创新能力、变通能力、适应能力的工程人才才能更好的服务于国家战略发展，进而提升我国工程教育的整体实力与国际竞争力。因此，新工科的内涵应在于提高学生适应变化能力与工程创新能力。2015年李克强总理在政府工作报告提出“大众创业，万众创新”，希望在960万平方公里土地上掀起“大众创业”、“草根创业”的新浪潮，形成“万众创新”、“人人创新”的新态势。但目前大学生普遍存在创新精神与创新能力不足的情况，主要原因在于：一是应试教育压抑了学生们的创新热情，形成了传统思维的惯性；二是学校及社会的文化氛围没有给学生提供创新的动力；三是学校缺乏或不重视学生创新能力培养方面的软硬件建设，等等。因此，迫切需要更新教育理念、改善教育环境、优化教育设施、变革教育模式，提升大学生的创新素养。要从知识为先真正转向能力为要，必须通过学生评价加以牵引，真正让“考生”变为学生，让目前实际呈现的奖“考”金真正成为奖“学”金、奖“研”金、奖“创”金；让目前的“低头族”课堂真正转变为“强互动”课堂，充分激发师生的活力、创新力和创造力。

（三）以“做好两个保证”为牵引，立足专业底线，推动星级拔尖

随着经济全球化发展，高等工程教育的国际化趋势也越来越明晰，加快建设和发展新工科，既要基于“底线思维”做好专业国际认证，又要基于“拔尖思维”做好专业星级评定，逐步形成具有国际实质等效的工程教育质量监控和保障体系。这既是我国工程人才培养质量的重要保证，也是我国高等工程教育参与国际竞争的重要基础，同时，也为将来与工程师制度的衔接奠定良好基础。

一方面，立足专业底线，遵从国际标准。我国工程教育专业认证基于“底线思维”，主要采用国际通用的以成果为导向的理念和标准，以“教育产出”作为工程教育的认证门槛，重点关注毕业学生的沟通能力、合作能力、专业知识技能、终身学习能力及健全的世界观和责任感等。

另一方面，推动专业拔尖，构建星级评价。在加快建设和发展新工科的过程中，除了把牢专业认证底线，还应树立工程专业的“星级标杆”，以“拔尖思维”，通过试点开展星级专业评价工作，逐步建立工程教育质量社会评价机制，鼓励利益相关方以多种方式评价工程教育质量。鼓励第三方机构发布企业对人才培养贡献度报告，将接纳学生实习、教师践习作

为重要指标。鼓励行业发布高校对行业发展贡献度报告。继续实施工程教育专业认证。开展星级专业评价试点工作。委托相关行业协会（学会）等第三方机构制订制造业相关工程技术人员从业（执业）标准和水平评价标准，建立制造业工程师执业资格制度。建立完善制造业相关本科专业类教学质量国家标准，研究生相关学科学位基本要求，积极与国际标准接轨。推动高校确定专业人才培养定位，制订专业人才培养标准，修订人才培养方案。提升人才培养对产业、行业企业人才需求的适应性和匹配性。

（四）以“融通两个空间”为手段，创新教学方法，激发学习动力

伴随着信息技术和网络技术的普及与飞速发展，以移动互联网、社交网络、云计算、大数据为特征的新一代信息技术的发展，正在改变人们的工作方式和生活方式，同样也给工程教育带来了新的机遇，知识的获取已经不存在障碍，但学生的学习动力、注意力变成了稀缺资源，必须根据学生志趣调整教育教学的方式方法，提高教学效率和效益，通过融通线下与线上两个空间，推进信息技术与教育教学深度融合，充分实现“以教为主”向“以学为主”转变、“以课堂为主”向“课内外结合”转变及“以结果评价为主”向“结果过程结合”转变，借鉴学习科学的最新研究成果，丰富教学方法，加强师生互动，增强学生的“向学力”，提高工科人才培养的质量。

1. 融通线下与线上两个空间，探索工程人才培养的新型教学方法。如果说传统的面授课堂是“同时同地”的模式，那么在不同学校之间可以探索“同时异地”的直播课堂教学模式。在“异时异地”的录像模式下，或许学生学习兴趣难以持续，然而“异时异地”+“随时随地”+“线上空间”的MOOC模式则具有较大的发展空间，而培养工程科技创新和产业创新人才，SPOC（Small Private Online Course，又称私播课）模式可能更为有效，同时引入翻转课堂，从而从根本上撼动“单向灌输”的陈年陋习，倒逼教师将更多的精力用于教学，如果每门课程都走出象牙塔，接受社会的评头论足，教师就不得不在教学上多花力气。

2. 融通线下与线上两个空间，构建以学习者为中心的工程教育生态。一方面，推进高校学分制改革，探索建立与学分制相适应的课程设置、学籍管理、质量监控、考核评价等教学管理制度，加强教学方法和教学手段的改革，将精心组织的教学资源、教学过程以在线课程的形式呈现出来。根据课程要求，学生可以掌握学习的主动权，自主选择在线学习的时间和地点，控制学习内容与进度，方便学生跨专业跨学校进行学分认定与转换，加快管理者本位向以学习者为中心的转变；另一方面，可以更好地实现“高足弟子传授”的教学方式，解放教师的同时又满足了学生个性化的学习需要，将传统的被动灌输的填鸭式被动学习模式转变为自主互助的探究式主动学习模式，一旦“工程教育生态”中的学习者达到一定规模，教师提出问题就会有一些优秀的学生去回答、去引领，教师不用一一解答，只要负责监控和引导，真正实现从“以教学为中心”向“以学习为中心”的转变。

（五）以“协调两个平台”为保障，引入市场力量，强化校企合作

我国高层次工程人才的培养应当构建以高校为主体的多元协同体系，由高校、政府、企业、科研机构、行业协会等多主体共同参与，发挥校内平台与校外平台的联合效用，加快建设和发展新工科。

一方面，优化校内协同育人平台。切实转变思想观念，提高对高层次工程人才培养的重视程度，以工程教育产学研合作为途径的教育教学模式，根据不同专业特点和实际业务环节建立切实可行的实践性教学体系，加大资金投入，加强师资队伍能力建设，通过建立跨学科交融的新型机构、未来技术学院、产业化学院等方式，突破体制机制瓶颈，为跨院系、跨学科、跨专业交叉培养新工科人才提供平台保障；

另一方面，完善校外企业实践平台。以市场需求为导向，以企业为主体，围绕提升学生适应变化能力与工程创新能力，汇聚行业部门、科研院所、企业优势资源，加强双师型教师队伍建设，建设教育、培训、研发一体的共享型协同育人实践平台。通过引进制造业领军人才和紧缺人才，推进高水平大学和大中型企业共建“双师型”教师培养培训基地；推行高校工程师实践型师资计划，增强工科教师现场工程经验，探索“学历教育+企业实训”的培养办法；完善科教结合、产学研融合、校企合作的协同育人模式，积极推进企业与高校的合作共建工作，增强合作深度和广度，完善企业考核体系和分配激励机制，调动发挥技术人员参与人才培养多主体合作的积极性。

四、“新工科”建设和发展的思考与探索

（一）主辅修与本研贯通模式：“工程教育贯通体”

1. 以“复合”为导向，构建主辅贯通的人才培养模式。构建系列工科的“微专业”模式，如设计20个学分左右的专业核心课程，一方面是对传统专业升级改造的过程，另一方面又为其他门类或是工科其他专业学生提供辅修途径。如果一个学校有1/3学生开展了“微专业”辅修，则复合式人才培养的特色就可以得到很好的体现。浙大已实践23年的工程教育高级班、18年的创新创业管理强化班、13年的公共管理强化班，就是面向所有专业开设的辅修班，取得了良好的培养成效。浙大也曾开设“创新设计”辅修班，面向全校所有专业的大三学生开放选修课程，使不同学科背景的学生在课程训练中共同参与创新的科技设计，跨学科交流、沟通和合作，与新加坡科技设计大学的教育合作也在推动中新两国的设计教学进程。

2. 以“效率”为核心，构建本研贯通人才培养体系。本研贯通有几种模式：一是国内本科+国外硕士，如“2+2”或“2+3”等。二是国内本科+硕士，如立足于促进现有工科的交叉复合，设置“1+2.5+1.5”设计型工程人才培养模式，坚持校企联盟战略，由校企双方联合设立工程硕士双导师，共同承担学生的学习、实践指导工作，通过1年校内通识基础教育，2.5年校内综合工程教育+创新创业教育，1.5年企业实习及做毕业论文（毕业设计）；又如设置“4+1”管理型工程师培养模式，修读工学学士，同时辅修或是双修管理学，再从管理学硕士出口；再如设置“4+2”国际组织工程师培养模式，修读外语学位，同时修读工学学士，再从相应的工学硕士出口等，从而打造工程学科专业的升级版，大力培养工程科技创新、产业创新、国际视野新型人才，服务于产业转型升级。

（二）浙大竺可桢学院交叉创新平台：“工程教育交叉体”

浙江大学根据当前和未来社会科技发展趋势，结合新工科建设设想，充分发挥学科优势，

以学科交叉为特色，开创了机器人+人工智能、金融+数学、计算机+大数据等三个双学位班，2016年已招生100人，受到社会、学生、家长和专家的高度认同，为培养在相关交叉领域具有国际视野的工程人才作出了积极探索。

1. 机器人+人工智能：整合控制科学与工程、计算机科学与技术两大专业顶尖学科资源，注重基础知识与创新实践相结合、学术前沿与社会需求相结合，着重面向信息与自动化、计算机与人工智能等领域的科技前沿，培养具有深厚的理论技术基础、严密的逻辑推理能力、创新的动手实践能力、在机器人和人工智能交叉领域具有国际视野的卓越人才。

2. 金融+数学：是依托经济学院和数学科学学院高水平的科研和教学团队开设的双学位交叉创新班。旨在采用与世界一流大学接轨的课程体系与培养模式，培养具有深厚的理科基础、扎实的现代金融理论、熟练的金融市场实务技能，具有全球视野的交叉复合型高级创新人才。学生将学习金融学专业和数学与应用数学专业的核心课程，具备复合运用金融学和数学方法解决重大金融工程问题和挑战理论难题的创新能力。学生完成学业后将获得经济学和理学双学士学位。

3. 计算机+大数据：为计算机科学与技术 and 统计学两大热门学科深度交融后开设的双学位高尖人才班。旨在培养具有深厚的理科基础、严密灵活的计算思维、熟练的数据分析技巧和强大的计算机运用能力之综合性人才。学生将通过学习计算机与统计学专业的基础课程，掌握基本的统计和计算方法，面向商业、社会网络、生物、医疗及交通等领域出现的各类大数据进行建模、分析和计算机模拟。毕业生或者致力于探索大数据时代提出的诸多理论挑战，或者在大数据公司担任分析师，解决重大的工程问题。

（三）工程教育专业委员会千生计划：“工程教育共同体”

工程教育专业委员会千生计划是由中国高教学会工程教育专业委员会发起、浙江大学牵头、各大高校联动的共建大学生校企实践项目。该项目旨在通过征选全国范围内的制造业企业、科技型企业，打造共商、共建、共享的工程教育共同体，形成校企长期稳定合作关系，推动大学生实习实践工作，强化企业社会责任，拓宽企业人才引进渠道，探究产学研一体化联合培养人才新模式。

1. 转变教育理念，构建“126”模式。千生计划始终坚持1个中心，即“以学生为中心”，融合校内和校外2个平台，动员教务、学院、带队教师、企业、车间、指导教师6个角色，建构“126”工程教育新结构。通过大一暑期为期1个月的认知实习、大二暑期为期2个月的生产实习以及大三、大四为期6个月的毕业设计，打造“126”工程实践全过程，稳步推进学生实践教学活动，进一步提高工程教育实践教学质量，提升工程人才能力素质。

2. 多元主体参与，深化产学合作。通过校企联合制定培养目标和培养方案、共同建设课程与开发教程、共建实验室和实训实习基地、合作培养培训师资、合作开展研究等，鼓励行业企业参与到教育教学各个环节中，首批认定千生计划企业42家，实习生需求达3000人，将由企业提供食宿条件，暑期以安排一个月左右的实习为主，也可同步推进2个月左右、6

个月左右的实习，推进“126”模式真正落地。

五、总结与展望

国家正在实施创新驱动发展、“中国制造 2025”、“互联网+”、“网络强国”、“一带一路”等重大战略，建设与发展新工科已然成为当前社会产业升级与发展的必然要求；为提高国家未来竞争力，赢得全球市场竞争的重要途径；成为深化高校工程教育范式改革，满足国家产业经济发展的现实需求。新工科的研究与实践，更需要打破学科壁垒、越过专业藩篱、打通本研隔断、消除校企隔阂、激发师生热情，关注理论、机制、路径、模式、特征、特色、标准等综合研究，特别是关注实证研究与相关实践，关注教师和学生两个主体，做好专业论证和专业认定两个保证，充分发挥线上线下互动优势，强化高校、政府、企业等社会力量的协同育人功能，培养具有工程创新能力和适应未来变化能力的工程科技人才。

不断探索工程教育的贯通体、交叉体和共同体，面向当前和未来产业发展急需，主动优化学科专业布局，促进现有工科的交叉复合、工科与其他学科的交叉融合，积极发展新兴工科，拓展工科专业的内涵和建设重点，打造工程学科专业的升级版，大力培养工程科技创新和产业创新人才，服务产业转型升级，加快推进我国从工程教育大国走向工程教育强国。

（陆国栋，浙江大学本科生院常务副院长、博士生导师）

【摘自《高等工程教育研究》2017 年第 3 期】

新工科建设背景下地方高校工程教育改革发展刍议

夏建国, 赵 军

为推动工程教育改革创新, 2017年2月18日, 教育部在复旦大学召开高等工程教育发展战略研讨会, 会上新工科建设“复旦共识”的达成标志着我国工程教育改革是一场众望所归的集体行动; 4月8日, 教育部在天津大学召开新工科建设研讨会, 明确了新工科建设行动路线, 即“天大行动”, 正式拉开了新阶段全国范围工程教育改革的帷幕。时下, 新工科已成为改革话语中最为醒目的关键词。然而, 应该如何解读新工科, 在新工科建设背景下地方高校应如何开展工程教育改革, 承担起应有的职责和使命, 这是本文探讨的主旨所在。

一、学科演进的逻辑与“新工科”的想象力

学科一词由来已久, 作为知识分类的“标识”, 兼有权力的意蕴。从词源就可看出端倪, 该词“源自印欧字根希腊文的教学辞 didasko (教) 和拉丁文 (di) disco (学) 均同。古拉丁文 disciplina 本身已兼有知识 (知识体系) 及权力 (孩童纪律、军纪) 之义”。随着学科的建制化和专门化, 其成为现代大学院系结构建立的主要依据。从学科的演进史来看, 其呈现出“分化——综合”的理路。在初始阶段, 学科仅包括哲学的古典划分和中世纪的“七艺”, 13世纪前“七艺”涵盖了知识的分类; 17、18世纪科学学会的成立标志着知识划分史上的突破, 物理、化学生物等从自然哲学中分门别类并断裂成为独立的自然科学, 社会科学从道德哲学中分野, 19世纪现代学科基本形成, 人文科学成为20世纪遭拒在自然和社会科学之外学科的总称。学科的划分在保证领域知识系统性的同时割裂了科学的完整性, 知识分门别类被德国物理学家普朗克认为是“人类认识的局限性”所致, 面对经济社会的发展和社会问题的日益复杂化, 固步自封的学科日趋无力, 二战后跨学科研究在美国已获得稳固性发展。

从历史逻辑来看, 学科的重构是“常态”, 科学技术的发展、知识的累积、范式的变迁、认识的拓展等都对其发生作用, 但社会需求是推动学科演进的主要驱动力。迄止今日, 学科互涉、学科交叉、跨学科研究、交叉学科建构等学科融合的重要性不仅在高等教育界达成共识, 而且还上升到了国家层面的意志, 例如: 2006年美国提出培养 STEM (science, technology, engineering, mathematics) 人才, 并将其视为全球竞争力的关键, 即认识到科学、技术、工程和数学学科之间的联系。新工科的提出, 是基于时代境遇、社会需求、工程教育现状和工程学科发展规律综合认知下的反思。首先, 是基于对经济社会发展要求的考量。我国社会经济转型阶段, 国家战略的实现和新经济快速发展, 迫切需要新型工科人才支撑, 这对工程学科知识体的改造和工程教育改革提出了新的要求。再者, 是基于对工程学科发展规律的把握。1747年法国波旁王朝在巴黎创办的“路桥学校”标志着现代工程教育的开端, 其土木工程学科延续至今; 此后工业化进程促使工程学科不断分化, 机械学科、电力学科伴随第一次和第二次产业革命相继出现; 第三次工业革命以原子能技术、航天

技术、电子计算机的应用为标志,核工程、航天工程和计算机科学等相关学科迅速铺开;互联网和智能经济时代的到来,对工程学科知识体改造提出了新要求,同时科技、社会问题日益复杂化,工业的发展创新迫切需要跨学科的人才,多学科整合性思维价值突显。

关于新工科的理解,本文认为有以下几个方面:第一,现代性的反思性介入。新工科的提出是对工业社会这个“高度现代性阶段”工程教育现状反思的结果,同时反思将“被引入系统再生产的每一个基础之内,致使思想和行动总是处在连续不断地彼此相互反映的过程之中”。也就是说反思性将贯穿工程学科的重构和工程教育改革的全程,而学科重构和教育改革的实践行动也将充实新工科的内涵。第二,分类指导与学校自主探索。“复旦共识”将学校划分为工科优势高校、综合性高校和地方高校进行分类指导,尊重了高校类型、理念、发展的多元化和复杂化。高校是新工科建设的主体,每所学校应按照社会需求和自身特点,明确定位,创新工科建设和工程教育模式,形成各自特色。第三,整合性思维导向的工程学科重构。遵循工程学科发展规律,积极进行工科分支学科间、工科与理科及其他学科间的跨学科和学科交叉探索,促进工程教育知识体重构、知识生产模式创新和知识组织制度变革。第四,工程教育范式引领的工程教育综合改革。“天大行动”提出根据世界高等教育与历次产业革命互动的规律,面向未来技术和产业发展的新趋势和新要求,在总结技术范式、科学范式、工程范式经验的基础上,探索建立新工科范式。意味着新工科不是工程教育领域“碎片化”的局部改革,而是以新范式为引领推动学科专业结构、知识体系、工程教育形式、工程教育资源和工程教育标准等全方位的综合改革,最终达成工程教育“新理念、新结构、新模式、新质量、新体系”的目标,实现工程教育与经济社会的协调发展。此外,新工科建设目标指向未来,“天大行动”提出的“三步走”战略表明其是长期实践和探索的过程。

总之,新工科是一个具有现代性的概念,是我国社会经济转型发展的产物,是针对当前工程教育供给与经济社会发展需求矛盾和工程学科发展规律的“自觉”反思,是对传统工科的扬弃,并内在地指向经济社会发展的未来,旨在为经济社会的发展、科学技术的创新提供智力支持和人才支撑,其路径为以整合性思维引导工程教育知识体重构、知识生产模式创新和知识组织制度变革,并以工程教育新范式引领学科专业结构、知识体系、工程教育方式、工程教育资源和工程教育标准等方面的综合改革,实现工程教育与经济社会发展的“耦合”。

二、“新工科”背景下地方高校的角色扮演与改革掣肘

当前,我国正处于加快转变发展方式、推动产业结构调整升级的关键时期,推进工程教育改革对于我国经济社会发展和地方高校转型都有非常重要的意义。根据教育部发展规划司2017年“中国教育事业发展统计简况”统计,至2016年底,我国普通高等高校数为2596所,其中本科院校1237所;本科院校中,中央部门主管的有113所,地方本科院校700所,民办本科高校424所。我国开设工科专业的院校达到所有普通高校的90%,地方本科院校(含民办)则占到全国普通高校总数的90.8%。如此庞大体量的地方高校在新工科建设背景中如何定位?这是探讨地方高校如何进行工程教育改革的逻辑起点。本文认为,在新工科语境中

地方高校角色定位体现在以下几个方面。第一，服务面向地方。地方高校最重要的属性是“地方性”，为地方经济社会发展服务是地方高校的重要职能，美国威斯康星大学前校长范·海斯提出“服务应该是大学唯一的理想”、“学校的边界就是州的边界”是对地方高校服务面向定位的最好诠释。“复旦共识”则提出了地方高校服务面向的具体要求，指出地方高校要对区域经济发展和产业转型升级发挥支撑作用。第二，培养工程技术应用型人才。把人才分类标准作为学校类型划分的依据已基本上得到教育界的认可，太类上一般将人才划分为学术型和应用型人才。应用型人才又涵盖工程型、技术型和技能型。学术型人才又称为科学型人才，主要是发现和研究客观规律。工程型人才主要是从事与社会谋取直接利益相关的设计、规划、决策等工作。技术型人才又称为工艺型、执行型人才，这类人才是在生产活动现场从事直接生产劳动的工作。技能型人才也在生产一线工作，其和技术型人才区别在于主要依赖操作技能进行工作，而后者主要应用智力技能来完成任务。随着我国产业结构和技术结构的变化，企业对高层次工程技术应用型人才的需求逐渐扩大，地方高校结合自身优势和特点培养工程技术应用型人才有非常重要的现实意义。第三，面向产业开展技术研发。多数地方高校不具备工科优势高校科研和技术创新方面的优势，科学技术研发需错位发展。工科优势高校瞄准国家战略和国际前沿进行高、精、尖的科学研究和重大技术攻关；地方高校应立足于地方产业结构调整或企业技术进步所需要的实用技术开发、技术创新和服务，如新产品的设计、改进，工艺、装备的设计及高新技术的推广与服务等。总之，地方高校在工程教育改革中应找准定位，把全面为地方经济社会发展服务作为目标，为政府、企业 and 人的发展提供服务，建立工程教育与经济社会互动发展的模式，助力产业转型升级。

以新工科建设为契机，推进工程教育全面改革有利于地方高校找准定位、办出特色，但同时许多地方高校的办学传统和办学基础将对工程教育改革造成制约。第一，思想观念桎梏。新工科分类指导原则不仅有助于高等教育结构调整、高等院校分类发展的制度性建构，更是教育观念的变革。思想观念支配行为，地方高校学校定位、人才培养类型认识的偏差，实施技术教育、工程教育抑或科学教育的摇摆等观念问题将直接影响工程教育改革的制度性设计和推进路径。第二，依附性发展逻辑固化。在我国现行的高等教育体系中，研究型大学和高职业院校的定位相对明确，地方高校却缺少“身份认同”，尤以新建地方高校为典型。这些高校由于办学历史短、基础薄弱、本科办学经验不足而沿袭传统研究型大学的办学模式。主要体现为传统工科院系结构的“同质化”，工程学科专业与区域产业结构的“脱节”，理性主义主导的知识体系和技术创新模式的“僵化”，科学教育对工程技术人才培养模式的“遮蔽”等，致使人才培养、技术创新及服务区域经济社会发展的能力较弱。第三，协同办学机制缺失。工程技术能力的养成具有跨界性，学校单主体的教育模式在学生工程实践能力培养方面有先天的缺陷，产教融合、校企合作是培养工程技术人才的必要条件。许多地方高校自主发展能力匮乏，在合作办学中缺少创新意识，人才培养的供需错位和服务能力的弱化导致校企双方出现共同利益盲区，加之合作平台的缺位，致使协同技术创新和协同育人都难以达成。

第四，组织与制度性障碍。地方高校“大学—学院—系部”的组织结构中，学院通常专注于本学科内部的研究，甚至系部之间都存在割裂，直接限制了跨学科的交流和合作。而且现有的学校管理制度和学术导向的评价制度也不适于地方高校开展跨学科知识生产和技术创新。再者，师资队伍工程实践能力缺失。师资队伍的来源单一，重学历、轻实践，多数工程教育教师缺乏产业实践经验。同时由于人事制度的制约，企业中有丰富经验的人难以到高校任职。

三、地方高校“新工科”建设的实践探索

上海工程技术大学是一所以工程技术为主，经济管理和艺术设计等多学科协调发展的全日制普通本科院校。近40年来，学校坚持培养高素质工程应用型人才，以建设现代化工程应用型特色大学为目标，以现代产业发展需求为导向，以产学研紧密结合为依托，以实践能力和创新能力培养为核心，逐步形成了“接地气”、“近产业”、“重应用”的办学特色。

1. 立足区域经济发展，完善学校服务职能。新一轮科技革命和产业变革与我国加快转变经济发展方式形成历史性交汇，国家发展战略新布局与上海发展目标新定位形成历史性对接。在新的历史时期，上海工程技术大学提出把学校发展主动纳入到国家和上海发展战略之中，坚持依托产业办学，服务地方经济。在人才培养方面，满足社会对优质高等教育的需求，为上海和全国培养具有健全人格、创新思维和创新能力和国际视野和高度社会责任感，能够参与国际事务和国际竞争的工程应用型创新人才。在科技创新方面，主动对接国家的“中国制造2025”战略，抓住上海建设具有全球影响力的科技创新中心的契机，以产学研战略联盟为平台，以承担国家重大科研项目和专业学位点建设为突破口，加强学科建设，提升学校科技创新实力和竞争力。在社会服务方面，以区校合作、校企合作及“三区联动”为纽带，构建更广泛更灵活的“政产学研用合作”平台（包括协同中心、新型智库等），将学校的知识服务覆盖上海，辐射长三角。

2. 围绕产业发展需求，进行工程学科专业布局。“应产业而生，因产业而长，随产业而兴”。上海工程技术大学紧紧围绕上海创建具有全球资源配置能力的国际经济、金融、贸易和航运中心发展战略，坚持学科群专业群对接产业链技术链。当前重点发展与智能制造、绿色制造、服务型制造、高端装备、新材料等密切相关的学科专业，其中“高能束智能加工与绿色制造”已获批上海市高峰学科。不断完善具有学校特色的学科生态，打造制造工程学科群、交通运输工程学科群、管理与经济学科群、信息智能工程学科群、生态化工与纺织工程学科群、艺术创意学科群、理学学科群和人文社科学科群等学科集群。优化学科学位点布局，着力打造优势学科与特色学科。与有影响力的行业龙头企业、科研院所共建专业硕士学位点和研究生联合培养基地。与行业、企业共建应用型本科专业，探索实施CDIO工程教育模式，以国内外工程教育专业认证为抓手更新工程专业课程内容和课程。

3. 构建跨界体系，破解学科壁垒。学校鼓励学科之间的竞争、协同、交叉与融合，促进具有学校特色的工科协同、艺工交融和文理渗透。第一，师资引进的多样化。为促进不同学

科教师科研产生化学反应，学校要求学院师资引进时统筹考虑教师学科背景的多样化。如汽车工程学院师资的学科背景含机械、电子、材料、化工、管理等学科。第二，开展校内科研创新战略联盟。加强对联盟分类指导，鼓励和支持联盟联合申报项目，开展共性关键科学技术问题攻关，突破制约学校科研创新体系发展瓶颈。第三，组建科研团队。鼓励学科及团队与企业联合组建团队参与国家重大科技专项或以经济社会发展的新需求为导向，通过多资源合作培育重大成果。如服装学院和上海纺织集团有限公司以“服装 3D 智能定制”项目为依托组建的科研团队。遴选重点学科领域，建立国际合作伙伴机制，以问题和项目为导向，跨领域、跨学科和跨学校组建科研团队。如电子电器工程学院在构建“世界一流大学+上海工程技术大学+知名企业”的创新研究团队思路下，以国家级科研项目为依托，建成机器视觉、绿色计算、优化与控制、智能电网等创新科研团队。以机器视觉创新科研团队为例，校外科研成员分别来自华盛顿大学和浙江捷尚视觉有限公司等。第四，创设跨学科组织。聚焦特色学科与研究方向，探索“学科特区”机制和“科学研究总院”“跨学科中心”“专业研究机构”等分层次科研组织模式。积极开展科研开放与内外协同，推动与大学、企业、地方的合作共建协同创新中心。整合各学院的组织结构，研究模式向跨学科、跨学院的组织转变，组建若干跨学科的知识创新基地。如轨道交通运营安全检测与评估服务中心、高强激光智能加工装备关键技术产学研开发中心、上海飞行仿真技术研究中心等成为支撑国家和上海“创新驱动、转型发展”的“技术创新源”和“产业孵化器”。

4. 创新协同办学模式，深化产教融合。学校在办学实践中形成了彰显特色的“协同办学、协同育人、协同创新”的“三协同”办学模式。与政府、行业、企业协同办学，构筑工程教育共同体。学校坚持开放办学，新阶段提出“走出校园促发展”战略，进一步加强了协同办学的力度。先后同上海市长宁区、宝山区、松江区人民政府，浙江省海宁市人民政府，江苏省靖江市人民政府，中国商用飞机有限责任公司，上海电器科学研究院有限公司，上海交运（集团）公司，上海航空有限公司，上海电气（集团）总公司，上海申通地铁集团有限公司，中国移动上海公司等签订或续签产学研战略联盟协议，共同办学院、办专业、办基地。与行业企业协同育人，构筑产学合作教育模式。以产学研战略联盟为平台，深化校企合作，产学合作教育逐步实现由“工学交替”向“工学交融”转变，提升学生的工程实践能力和创新创业能力。产学合作教育人数规模稳步扩大，每年超过 9000 名学生参与产学合作教育，覆盖 13 个学院、64 个专业，国内产学合作教育基地总数达 779 家。大学生创业教育取得丰硕成果，大学科技园被认定为国家级“高校学生科技创业实习基地”及首批“上海市创业孵化示范基地”。与行业企业协同创新，构建拔尖创新人才培养平台。学校与行业企业、事业等单位共同建设了 10 余个服务和研究开发中心或基地，积极衔接产业发展技术需求导向，搭建了拔尖创新人才培养的平台。通过协同办学，毕业生就业竞争力和社会认可度进一步提升，就业率和就业质量在同类高校中均处于较高水平。

5. 回归工程导向，推进工程教育教学综合改革。党的十八大报告鲜明提出了“深化教

育领域综合改革”的重要论断，是对教育问题复杂性、综合性和关联性的深刻认识和把握。学校在明晰工程问题、把握工程教育教学规律的基础上，采取了一系列的教育教学改革举措。第一，构建完善的工程教育体系。完善的体系有利于工程人才培养的连续性，学校在学士和硕士学位体系的基础上，试点“中本贯通”“中高职贯通”培养模式，并积极申请博士学位授权点，构建具有工程特色的学士、硕士、博士学位体系，使人才培养层次、类型、规模和规格与经济社会发展需求相匹配。第二，实施卓越工程师教育培养计划，完善人才培养模式。学校作为教育部“卓越工程师教育培养计划”首批试点高校之一，先后有2个研究生专业、8个本科专业及10个专业方向参与试点。依据国家和行业标准，制定了“3+1”方案（3年学校学习+1年企业学习）。探索建立“校校、校企、校地、校所”合作及国际合作新机制，开展校企联合培养，形成了“1学年3学期5学段”的人才培养模式。2014年，学校“卓越计划”年度进展报告入选全国十大典型案例。第三，对接“华盛顿协议”国际标准，积极推进工程教育专业认证。邀请专家进行专业认证培训，组织车辆工程、制药工程、交通运输等本科专业申请教育部工程教育专业认证，进而要求所有专业积极申请专业认证，以认证为抓手提升专业建设水平。此外，建立了与专业认证相衔接的教学质量保障体系，使学生的认知能力、创新能力、工程实践能力和终身学习能力显著增强。第四，深化“完全学分制”改革，创新课程体系。优化基础课程体系，构建了关联专业平台内适度贯通的课程架构，本科生培养计划总学分由195降到160，较大幅度地丰富了第二课堂资源，为学生自主学习和特长发展创造了空间，为学生平台内转专业、辅修和跨学科选修等个性化学习需求创造了条件。第五，加强工程伦理教育，从思政课程转为课程思政。学校认识到工程人才培养不应片面强调工具理性，更应突出价值理性的提升，坚持育人为本、德育为先，注重专业课程与人文课程相融合，在教学实践中注入人文精神和社会关怀；此外，结合专业特色设计系列讲座，让责任担当成为学生的必修课，如城市轨道交通学院的“交通中国”系列讲座，共分为大国之路、大国速度、大国标准和大国责任等10个主题，书记、校长和名师齐上讲台，鼓励学生胸怀天下、放眼世界，提高知识能力素质水平，担负起国家建设的重任。第六，加强国际交流与合作，提高学生国际竞争力。学校与20多个国家的60余所高等院校或企业建立了交流与合作关系，签订长期合作交流协议70多项，签订本科生和研究生联合培养项目10多项。通过国际合作，引进优质国际教育资源，培养熟悉国际规则、具有国际竞争力的创新型人才。

6. 完善教师评聘制度，提升工程实践能力。卓越工程教育依赖于优秀工科教师队伍的支撑，学校通过制定聘任和职称晋升制度、加强在职培养、构建教师团队等提升师资队伍工程实践能力。学校提出人才强校战略，优先引进国外著名高校工程专业博士、具有海外工程经历的留学人员，实施“上海工程技术大学人才行动计划”（志宏计划、腾飞计划和展翅计划），完善兼职聘用、柔性引进等机制，聘请国内外高等院校、科研院所、大型企事业单位及政府部门的专家学者担任兼职教授和高级顾问。学校形成了制度化的在职教师工程实践能力培养

机制，包括通过产学研联盟平台直接参加企业实际工程项目、通过校企协同创新中心开展技术研发或技术成果转化、通过校外实践基地定期下企业顶岗挂职等，并把企业工程实践经历作为教师职称晋升的必要条件。学校注重教学团队建设，聘请企业导师充实教学队伍，实现教育教学资源的有效整合，促进教师教育教学能力的提高和专业发展。

（夏建国，上海工程技术大学校长、教授、博士生导师）

【摘自《高等工程教育研究》2017年第3期】

“新工科”理念下的地方本科高校校本课程开发

沈建新, 陆 勇

自“复旦共识”与“天大行动”以后,“新工科”作为工程教育的新理念、新模式已经引起教育界的广泛重视,围绕“新工科”建设的内涵、目标、路径等问题的探讨方兴未艾。按照教育部划定的“新工科”建设行动路线,“新工科”建设大体分三条基本线路展开:工科优势高校“推动现有工科的交叉复合、工科与其他学科的交叉融合”,综合性高校“推动学科交叉融合和跨界整合,推动应用理科向工科延伸”,地方高校“深化产教融合、校企合作、协同育人,推动传统工科专业改造升级”。“新工科”的提出是现代工程教育发展的必然结果,其实在此之前,我国高等工程教育领域已经开始以“新工科”理念推行工程教育教学改革,尽管教育界对“新工科”诸多问题仍在探索之中,但是无论结论如何,课程与教学内容的改革是无法回避的核心问题。本文拟就地方本科高校在“新工科”理念下的课程建设特别是校本课程建设问题进行初步探讨。

一、课程架构与课程开发:“新工科”建设行动方案的基点

在高等教育的人才培养体系中,课程是人才培养中最基本的概念,它包括静态“科目”与动态“进程”两层意义。在传统的教育学理论中,静态的“科目”往往与学科的体系相对应,由此呈现出来的课程通常是特定学科的支系统,动态的“进程”是课程的传授方式或者教学方式,通常是指知识的传递方式。在传统的工科课程架构中,学科导向成为专业课程体系建构的基本原则,课程结构体系具有稳定性,课程改革主要是在教学内容的调整方面。但是,在工程教育领域,人才培养的目标定位是具有工程实践能力的工程人才,并且具备处理复杂工程问题的能力是工程师职业的基本要求,但传统工科教育的课程架构却难以满足这一要求。工程师的工作最显著的特征在工程综合,现代工程问题,“不仅与一门学科有关,而且往往要涉及多门学科的综合知识,还要涉及政治的、经济的、社会的、法律的、地域的、资源的、水文和气象的、心理和生理的因素”。“新工科”建设究其实质就是要改革传统的工科教育模式,基点就是按照工程师职业要求将传统的学科导向的课程进行重新架构,形成满足面向当前和未来产业发展需求,面向未来新技术和新产业发展的“新工科”课程体系。

按照“新工科”建设的行动路线,地方高校的工科教育要对接地方经济社会发展需要和企业技术创新要求,改造升级传统工科专业。要升级传统的工科专业,在现行的专业设置体制下,课程体系与教学内容的改革既是抓手,也是立足点。目前我国本科高校的新专业设置实行的是备案制,即按照教育部本科专业目录,申报教育部备案。但是这种备案制其实与以往的审批制并无本质不同,能否备案并向社会公示由教育部决定。因此,本科高校缺乏专业自主调控权,地方本科高校要推进“新工科”建设只能在既定的教育部专业目录范围内,围绕课程体系进行优化重组。优化与重组课程体系,重点是按照“新工科”的理念,在既定的专业人才培养体系框架内,调整课程结构,围绕工程师职业要求以及未来发展,坚持“先进、

有用、有效”原则或增或减部分专业课程，其中的重点是增加契合“新工科”理念的新的课程，校本课程的开发与建设成为地方本科高校“新工科”建设的重要内容。

校本课程开发简称 SBCD，是学校根据自己的条件与实际，“自下而上”的课程开发。SBCD 是 1970 年代以来备受欧美发达国家推崇的一种与国家课程开发相得益彰的课程开发策略。校本课程开发的特点是，课程的决定权在学校，课程与教学的整合以及课程开发注重多元协同、民主参与。在我国，校本课程开发的实质就是“学校根据自己的教育哲学，为满足学生实际发展需要，以教师为主体，吸收有关人员参与，并以学校为基地进行的开放民主的课程决策过程”。我国高校的课程开发虽然没有明确的国家、地方、学校的界限，但是，教育部专业教学指导委员会对课程设置的要求，事实上代表了国家对课程开发的定位，地方本科高校的课程在很大程度上是参照执行，校本课程的开发没有得到足够的重视。因此，“新工科”的建设能否落实到实处，需要创新理念，通过开发适应地方经济社会发展要求的校本课程，以培养具有综合工程能力的高素质工程技术人才。

二、对接产业与服务区域：“新工科”校本课程开发的目标

校本课程是由学校自行开发的，其目标在于满足本校学生培养以及地方经济社会发展的需要。传统的校本课程通常以选修课的形式出现，因而课程开发大多是“比较侧重学生兴趣类、学校特色类和乡土类课程”。但是“新工科”校本课程开发的目的不是仅仅满足学生选修的需要，而是要对整个课程体系包括专业必修、选修课程进行重新组合。按照“新工科”的理念，地方高校要对区域经济发展和产业转型升级发挥支撑作用，要对接地方的产业链、创新链，开发具有学校特色的专业课程，以适应新技术、新业态等新发展背景下的应用型和技能型人才培养趋势，因而产业对接是“新工科”校本课程开发的目标。

“新工科”校本课程开发不是传统工科课程的简单调整或者扩容，课程开发所遵循的对应应用型人才应具备的知识、能力、素质标准，应当适应“新工科”教育的特质。由于“新工科”理念还处在初步的探索与实践中，校本课程开发没有现成的模式供借鉴，加上各高校、各个专业的人才培养规格也存在较大的差异，因此，开发适宜的校本课程需要地方高校在实践中不断地学习、探究。“天大行动”提出，要“以技术发展改内容，更新工程人才知识体系”，这其中蕴含对接地方产业的校本课程开发目标。开发的“新工科”理念下的校本课程至少能实现四个方面的课程教学目的。

一是体现行业标准与企业需要。面向行业、企业培养高素质应用型人才是地方高校的办学定位。高等工程教育教学改革的方向就是转变传统的工科人才培养模式，使工程教育“回归工程”，培养具备解决复杂工程问题能力的卓越工程人才。因此，无论是先前实施的教育部“卓越计划”、现行热衷的工程教育认证，还是当下关注的“新工科”建设，对接行业、企业培养人才是工程教育改革的趋势。因此，校本课程的开发要将行业标准及行业的新产品、新技术、新工艺等，融入课程教学内容，要注重“在知识点的选取与初衷内容的设计上对接国家职业技能标准”，以满足企业对工程人才能力、素质的要求。

二是反映学科前沿与技术进步。在“新工科”“复旦共识”中，综合性高校注重在“推动应用理科向工程延伸”中发挥引领作用，对地方工科高校而言，也要关注学科前沿，注重在课程教学中关注本学科、领域的最新前沿以及相应的工程技术进步的趋势。校本课程的开发不是以往课程的翻版或者复制，要按照“先进、有用、有效”的原则，对知识点进行整合，做到“去繁就简、化简为精”，将复杂的专业基本原理以简便的学生可以接受的方式重新设计，做到“把握前沿、适时更新”，按照学科前沿和技术发展趋势，进行适时的知识更新。

三是注重学科交叉与问题导向。新一轮的科技革命与产业变革正在逐渐改变传统的单一学科发展模式，学科交叉已经成为推进新技术、新产业、新业态、新产品发展的重要引擎。工程领域问题的求解往往需要多学科的协同才能找到最佳的方案。在“新工科”的建设中，必须按照学科交叉与问题导向来创新培养模式，因而校本课程的开发要突破传统的学科界限，坚持问题导向，围绕解决复杂工程问题所需要的知识、能力和素质，综合多学科知识，进行教学内容的调整和教学方法的改革。

四是培养工程思维与综合能力。工程活动从本质而言是基础性的实践活动，按照工程活动的特点，具备工程思维与综合能力是工程师的基本要求，这也是传统工科人才培养与现代工程人才培养的差异之处。工程思维是以现代科学为基础的，但又不同于科学思维的一种价值定向思维，它以“个别性”为思维灵魂，强调思维对象的“当时当地性”特征。工程思维的形成基于工程综合能力，足够的工程背景和丰富的工程经验，可以使工程师具备较强的工程思维能力。“新工科”建设要注重将培养工程思维与综合能力纳入人才培养体系中，在校本课程开发中注重将工程思维引入教学过程，在培养学生综合能力过程中，引导学生寻求解决工程问题的最优路径，而非唯一路径。

三、实质等效与多元协同：“新工科”校本课程开发的路径

在工程教育领域，实质等效原则强调的是工程人才培养的结果可以不同，但是都应有具备胜任工程师职业的工作能力。例如，我国的工程教育认证具有自己的通用标准与专业补充标准，具有自身特色的认证体系和运行方式，但是在毕业生素质要求以及认证程序方面必须与“华盛顿协议”等效才行。在“新工科”建设中，校本课程的开发同样适用实质等效原则，即课程体系以及校本课程可以在内容、形式上体现校际的差异性，但是在架构学生的知识结构以及培养学生的工程能力方面，具有同等功效。

传统的校本课程开发强调一致性、适宜性和灵活性原则，开发的基点是弥补国家课程的缺失，谋求“国家课程、地方课程和校本课程的统一、均衡发展”。而“新工科”的校本课程开发的主旨是围绕现代工程对人才的知识、能力和素质要求，通过加强基础理论课程，强调文、理、工科课程的相互渗透，增设实践性、综合性、选修性课程，以逐步完善满足“新工科”要求的课程体系，而不是单纯地弥补国家、地方课程的不足。校本课程开发的最终效果可以体现出校本的特色，但是在满足“新工科”人才培养目标方面是实质等效的。

在实质等效的原则下，校本课程的形式具有多样性，可以是跨学科理论课程、综合实践

类课程、网络自主学习课程、综合素质类课程，等等。在具体开发实践中，要注重以下几个环节：一是要围绕“新工科”理念，坚持以学生为中心，通过分解人才培养目标、架构能力素质结构图，并按照结构图建立课程体系拓扑图；二是要根据课程体系拓扑图，系统分析和架构所需要开发的校本课程，选择符合本校实际的课程形式以及相应的教学模式；三是要注重校本课程与原有课程之间的前后承启与内在逻辑关系，避免可能出现的因人设课问题。

“新工科”与传统工科的区别主要体现在对“新”的理解上。“新”就是构建“面向当前急需和未来发展”的高等工程教育“新理念、新结构、新模式、新质量、新体系”。校本课程的开发路径也不再局限于高校教师开发，而是要采取“校企合作、多元协同”的路径来实现。

校本课程要符合行业企业的发展要求，课程体系在设计、架构上要注重校企合作。高校应当按照“新工科”设定的专业培养规格，邀请行业、企业及同行的专家，对影响人才培养的各个要素进行系统分析，以确定要开发的校本课程及其在整个人才培养体系中的比重，并在此基础上设计出以工程能力培养为核心的层次化、个性化的课程体系。

具体校本课程开发涉及到教学内容的组织、教学模式的选择以及考核方式的改革，需要专业教师、企业专家、教学管理职能部门的多元协同，以实现课程目标。跨学科类、素质类的校本课程需要整合学校多学科优势，协同相关学科教师共同完成；工程实践类课程、工程技术前沿类课程需要利用行业企业资源，协同行业企业专家共同实施；校本课程开发与利用涉及到教学计划安排、课程学分认定、考核方式调整等环节，需要改革教学管理运行机制，协同教务处、评估处等职能部门共同确定。此外，隐性校本课程的开发还需要学工、团委等相关部门的协同。

基于“新工科”理念的校本课程开发并非一朝一夕就能完成，这不仅涉及到对“新工科”内涵的理解以及相应的专业人才培养方案的调整，而且还涉及到高校教师高等工程教育理念的变革。地方本科高校面广量大，是面向地方培养应用型工程人才的主体。在高等工程教育教学改革中，地方本科高校坚持校企合作、产教融合，在校本课程开发中其实已经走在了前列，而“新工科”的提出契合了这一趋势。但是，囿于办学资源的匮乏，高校在工程人才培养体系的优化和课程体系的重构上面临诸多瓶颈，校本课程的开发还未达到预期的效果，但是“新工科”建设或许可以为地方本科高校的校本课程开发提供契机，从而为地方本科高校工程教育教学的改革与发展提供新的方向。

（沈建新，盐城工学院高等教育研究所副编审）

【摘自《盐城师范学院学报（人文社会科学版）》2017年第4期】

美国工程伦理教育探析及对我国新工科建设的启示

陈柯蓓，周开发，倪家强

随着工业 4.0 时代的到来，我国积极实施“中国制造 2025”“互联网+”和“网络强国”等重大战略，为响应国家战略需求，支撑服务新经济和新兴产业，工程教育改革势在必行。2017 年 2 月，我国高等工程教育界达成“新工科”建设共识，提出设置和发展一批新兴工科专业，推动现有工科专业的改革创新，从而加快建设和发展新工科，培养大批新兴工程科技人才。

当前，工程教育面临历史性的发展机遇和挑战。一方面，工业 4.0 推动了工程与技术的融合创新，促进了现代工程的国际化趋势；另一方面，工业 4.0 加剧了现代工程的复杂性，提升了现代工业的竞争力，构筑了充满道德挑战的工程环境。因此，加强工程伦理教育，全面提升工程人才培养质量，成为世界工程教育的发展趋势。本文考察美国工程伦理教育的历史演进和主要特点，以期为我国新工科背景下的工程伦理教育提供借鉴和启示。

一、美国工程伦理教育的发展历程

（一）萌芽期：起始于负责任研究行为（RCR）

教育美国工程伦理教育萌芽于 20 世纪七八十年代。当时，美国几个著名研究机构发生了一系列学术造假事件，引起美国政府和学术界对科研不端行为的高度关注，科学研究的职业操守标准成为公共议题。随着科学技术的发展，人们日益关注科研团队对人类社会和自然世界的深远影响。广岛原子弹的使用，首次向学术界提出这样一个严肃问题，即科学家和工程师应该对其工作的社会后果负责。1975 年，艾斯罗马会议提出了对 DNA 重组技术的潜在伦理危害的担忧；1986 年，挑战者号爆炸更是引发了工程界的伦理反思。此后，对于科学技术的伦理维度思考，持续引发争论和制度改革，促成了工程伦理教育的兴起。

20 世纪 70 年代，一些工程院校开设了工程伦理相关的课程，工程伦理学作为一门学科开始显现。工程伦理研究集中在伦塞勒理工学院和伊利诺斯理工学院。70 年代后期，美国国家人文基金会（NEH）和国家科学基金会（NSF）陆续资助了一系列项目，研究工程伦理和开发教学素材。研究领域涉及：科学与工程的道德方面，科学家与工程师的社会化问题，科学与技术新发展的伦理学意义，社会如何影响科学与工程实施，有关技术的社会应用问题。

总体而言，工程伦理教育研究最初较多地聚焦在 RCR 教育上，将 RCR 教育纳入工程专业正规教育是大势所趋。医学界最早实施 RCR 教育，美国医学学会（IOM）在 1989 年《健康科学中的负责任研究行为》的报告中指出：“大学应该为良好的研究实践提供正式的教学。该教学不应该仅限于正式课程，而且应该包含所有本科生和研究生课程的各个方面。”在报告的指导下，同年美国国立卫生研究院（NIH）明确规定，申请 NIH 基金的所有机构必须对研究生和博士后阶段研究人员实施 RCR 的正规训练，内容涉及数据的记录和保存、负责任的署名等培训工作。RCR 教育本质上是科研诚信教育，科研机构旨在借此增强科研人员的科研诚

信意识和在复杂情境下的决策能力，从而防止科研不端行为，增加负责任研究行为，提高道德决策技能，营造良好的科研环境。但是，随着研究的深入，RCR 教育的不足逐渐暴露。RCR 教育仅仅关注负责任的科研，忽视了科研工作对社会的广泛影响和反应，未提供充分理解科研价值的知识和技能培训，因此无法全方位地培养科研工作者的科研伦理。

（二）扩展期：普遍开设工程伦理课程

20 世纪 90 年代，工程伦理教育得到切实重视，并在工科院校普遍付诸实施。1992 年，NSF 资助了两项工程伦理研究“将伦理案例研究引入大学工程必修课程中”和“讲授工程伦理：案例研究方法”，案例研究成为工程伦理教育的一个热门方法。90 年代中期以后，麻省理工学院、杜克大学、伊利诺斯理工大学等大学相继开设了工程伦理教育的选修课和必修课。1997 年，美国工程与技术认证委员会（ABET）采用 EC2000 认证标准，对工程专业学生的伦理知识和伦理能力做出了全面而明确的规范，将工程伦理列入评价工程院校教育活动的标准之中，更有效地推动了工科院校普遍开设工程伦理课程，伦理教育是工程教育的重要组成部分成为共识。

广泛影响准则的确立给工程伦理教育和研究的实质性扩展指明了方向。1997 年，NSF 创建了价值评议标准体系，规定所有申请都以两个价值评议标准——学术价值和广泛影响准则（BIC）进行评估。BIC 有如下五大内容：（1）课题促进科学发现和认识，同时推动教育、培训和学习。（2）课题扩大弱势群体的参与。（3）课题加强研究和教育基础设施建设。（4）课题的广泛传播足以增强人们对科学与技术的认识。（5）课题对社会的福祉。由此，BIC 追求分配正义、程序正义和代际正义，以确保科学工作社会责任的实现。“广泛影响准则的主要优势是让研究人员和评审人员考虑其工作的意义，不管是与知识的科学体系有关，还是对整个社会的意义。”1999 年之后，NSF 采取了一系列措施来加深科研人员对 BIC 重要性的认识。2001 年，NSF 进一步要求申请者必须详细描述具有更广泛影响的活动，缺乏描述的申请将被退回。BIC 的提出和使用表明，工程伦理不再局限于负责任的科学实践，而且关注科研工作更广泛的社会效应，从而大大丰富了伦理研究与教育的内容。

（三）普及期：进一步普及、规范并创新

进入 21 世纪，各种形式的工程伦理教育实践得到不断的探索和创新。自 2003 年开始，美国国家工程院（NAE）和 NSF 加大了支持力度，发起 17 个研究项目，召开 17 个研讨会，发布了 5 个报告，总结现有研究成果，引领工程伦理教育的发展趋势。研究内容包括：新兴技术与工程伦理问题，伦理教育与科学和工程研究，工程、社会正义与可持续社区发展，工程伦理教育的网络资源开发，教师和管理者的理工科伦理教育实践指导等。为更好地组织工程伦理教育研究和实践，工程伦理教育指导机构相继成立。2008 年，NAE 专门设立工程伦理与社会中心（CEES），通过组织研讨会、教育活动、出版资料和举办伦理视频比赛等方式，解决科学和工程教育与研究中出现的重大伦理问题，改进道德教育，从而加强科学和工程的社会责任。CEES 管理美国在线伦理中心（OEC）。OEC 是与工程师、科学家、学者、教育工

作者和学生共享知识的电子信息资源库，提供在线工程伦理相关信息、案例和资源。2010年，伊利诺伊大学香槟分校成立国家职业伦理研究中心（NCPRE），下设的核心项目伦理中心（EC）是由 NSF 资助的国家在线伦理资源中心。

此外，工程伦理的研究模式得到重大突破。2008 年，宾夕法尼亚州立大学艾瑞克·斯希丹（Erich W. Schienke）等学者提出伦理研究新模型——科学研究的伦理维度（EDSR），替代 RCR 教学法。EDSR 的内容分为 3 个部分（如图 1）：（1）程序伦理：解决传统科学研究方法中出现的伦理问题，即 RCR 领域的问题，具体内容包括弄虚作假、凭空捏造和剽窃、关怀受试对象（人和动物）、著作权问题、同行评议、数据处理和利益冲突。程序伦理几乎全部包含在 RCR 目标中。（2）内在伦理：科研究生产中内在的伦理问题，即嵌入在研究中的伦理问题。如特定方程、常量和变量的使用，数据分析，误差预测和置信度处理，成本效益分析范式的选择。（3）外在伦理：科研究生产的外部伦理问题，即科研成果如何影响社会的伦理问题，如政策制定、诉讼、社会规范变化、教育和娱乐等。广泛的共识是，工程学生应接受以上不同维度的道德训练，将做出伦理决策作为职业身份的一部分。

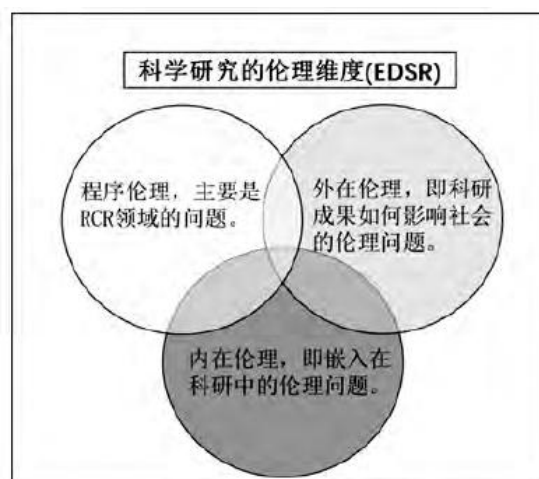


图 1 科学研究的伦理维度

EDSR 模式扩展和超越了 RCR 的程序伦理，其中的内在伦理强调了嵌入科研过程的伦理维度，外在伦理与 BIC 的根本意图一致，即考虑科研如何广泛影响社会，所以 EDSR 模式涵盖了科学研究的全方位伦理维度，创造了工程伦理教育的新范式。以 EDSR 模式推进伦理培训，有利于更全面地理解与科研相关的伦理学，使得科学家不仅以科学责任意识来思考，还可以思考科学在回应社会需要方面应承担的角色。因此，工程伦理研究的推进大大拓展了教育的范围和深度，教育内容上强调综合与集成，注重工程实践中的伦理训练，美国工程伦理教育研究与实践由此得到更实质性地发展和全面确立，走向普及、规范与创新，保持着世界领先水平，成为各国研究相关问题的重要参考对象。

二、美国工程伦理教育的主要特点

（一）联邦政府主导，重视顶层设计和规划

美国联邦政府的重视和推动主导着工程伦理教育的进展。虽然美国的学术共同体有着长期的自治传统，但是联邦政府部门在制定政策、建立管理机构和投入经费等方面开展了大量的工作，从而有力地促进了工程伦理教育的发展。

NAE 和 NSF 分别是美国工程科技界最高水平的学术机构和美国联邦政府资助基础科学研究与教育的重要机构，它们通过一系列项目、报告和政策推动工程伦理教育的开展。1997

年, NSF 建立和推广 BIC, 促使项目申请者关注科研的社会影响和社会责任。之后, NSF 采取了一系列措施以增强对 BIC 重要性的认识, 并明文规定退回缺少对更广泛影响详细描述的申请。特别是 21 世纪以来, NAE 和 NSF 将工程伦理教育项目与科研经费的获取相结合, 积极组织召开多次研讨会和发布研究报告, 有效地引导了高校对工程伦理教育进行深入和细致的研究与实践。

1992 年, 美国国会在卫生与公共服务部设立科研诚信办公室 (the Office of Research Integrity, ORI), 专门负责策划和实施 RCR 教育活动。ORI 通过与大学、科研机构、学会和专业团体进行各种形式的合作, 有力推动了 RCR 教育的普及和深入。进入 21 世纪, CEES、OEC、NCPRE 和 EC 等专门的管理或指导机构相继成立, 促进了全国范围内各种工程伦理教育学术活动的开展, 提供了丰富的在线工程伦理信息、案例和资源, 引导工程伦理教育的深入发展。

从呼吁开展工程伦理教育到研究教育目的和教育内容, 联邦政府的要求逐渐走向具体化和规范化, NAE 和 NSF 在工程伦理教育的普及和创新过程中发挥了较好的引领和规范作用。政府层面的支持从制度上肯定了工程伦理教育的意义, 推动了工程伦理教育与研究, 带动了学界与业界对工程伦理教育的重视和投入。

(二) 行业需求驱动, 构建制度保障和规范

美国工程伦理教育的兴起与发展离不开工程实践的迫切需要和有力推动。作为负责美国工程与技术类专业质量认证的机构, ABET 在 1997 年提出高等教育工程与技术类专业质量认证体系 EC2000, “标准 3 专业的基本要求和评价”中列举了评价学生学习成效的 11 项能力指标, 即 ABET 工程教育质量认证标准。其中有 5 项是专业能力, 其他 6 项都与伦理相关。此后, “标准 4 专业知识的构成部分”指出, 学生必须体验工程实践, 通过已经学习过的知识和技能并融合工程标准和实际限制条件进行一项专业设计。这些限制条件主要包括经济、环境、可持续性、可生产性、伦理、健康与安全、社会和政治条件。此外, 美国的工程师注册制度负责控制工程技术从业人员的质量, 成为注册工程师需要满足“3E”要求, 即教育 (Education)、经验 (Experience) 和考试 (Examination) 要求, 考试包括工程基础 (FE) 考试、工程实践与原理 (PE) 考试。FE 和 PE 的考试内容中, “伦理与职业实践、安全、健康与环境问题”与 ABET 的 EC2000 准则 5 中学习领域四相对应, 工程伦理和职业标准是考试的重要内容。

ABET 认证和注册工程师制度反映了工程行业对工程人才的需求, 是宏观指导工程伦理教育的重要驱动力。通过对工程教育与工程技术人员水平加以引导和监控, 作为制度保障和规范, 促成了工程伦理教育的课程改革、教师发展和项目评估, 保证了工程人才培养、使用和管理有机统一。

(三) 教育内容深化, 凸显渗入性和融合性

美国工程伦理教育主要有 3 种课程模式, 即开设独立工程伦理课程、将工程伦理与技术

课程整合和将工程伦理与非技术课程整合。3种模式都主要依靠3个伦理资源,即伦理准则、伦理案例研究和伦理理论。但随着研究的深入,传统的教育受到越来越多的质疑,主要集中在道德理论教学与工程伦理实践严重脱节、伦理学习与长期职业发展联系欠缺、教学内容的范围狭窄、伦理教育关注对象过于单一等方面。之后的改革促成了工程伦理教育模式出现重大转向,其中一个突出表现就是强调工程伦理教育与工程技术密切结合,将伦理内容巧妙融入工程技术之中。

2016年2月,NSF发布《将伦理融入工程师发展》的报告,评选出25个美国高校示范工程伦理教育课程,以期为高等教育机构提供工程伦理教育资源(见表1)。示范课程范围涵盖研究生课程、本科课程、多年项目和其他项目,显示了现有工程伦理教育的多样性和创新性。所有示范课程都突破了传统的伦理讲授和单纯的案例研究,在将伦理渗入融合到工程技术内容方面有示范作用,有效扩展了伦理学习领域,强调在工程学习中提高工程师的伦理实践能力。此外,示范课程还呈现一些重要特征:如采用互动学习;时间持续多年;将学生的道德学习与工程实践联系起来;促进道德决策和解决问题能力;针对宏观伦理学、微观伦

表1 示范本科工程伦理教育课程

序号	项目	机构	示范特征
1	学习倾听:一种道德地从事工程实践的工具	弗吉尼亚理工学院	解决工程师与公众和其他利益相关者的道德责任
2	过去和现在的人道主义工程:第一年课程的角色扮演	伍斯特理工学院	多学科的教师;使用角色扮演和互动教学,体现了使用游戏作为教学方法的策略
3	弗吉尼亚大学工程与应用科学学院高级论文:终极活动	弗吉尼亚大学	融合技术教育与伦理和 STS 教育的多年计划
4	本科工科学生职业道德课程中的问题式学习	乔治亚理工学院	将伦理纳入工程设计思想和工程项目
5	产品生命周期工程伦理案例研究	东北大学	对于中等教育的适应性;广泛收集生命周期影响和可持续发展伦理的案例
6	软件工程伦理课程	辛辛那提大学	连接学生合作学习的经验
7	安全伦理与工程	麻省理工学院	将道德学习与工程实践联系;需要思考缺乏明确答案的复杂问题;准备学生业务相关的道德问题
8	作为工程师哲学史的伦理学	加州州立理工大学	独特的主题(与现代伦理挑战紧密相关的历史和数理困境);微插入技术
9	工程灾难:第一年 STEM 的伦理学	拉法耶特学院、罗格斯大学	利用历史案例与当代议题相结合,从多个利益相关者的角度审视伦理
10	工程伦理学教育学的现象学方法	密歇根理工大学	与执业工程师在道德问题上互动
11	企业社会责任课程	科罗拉多州矿业大学	一个新颖而重要的话题:企业社会责任的批判性审视和工程师的角色
12	基于工程学生合作经验的团队伦理分配	威斯康星大学麦迪逊分校	运用学生在合作学习和志愿服务中的经验来解决现实问题;让学生向同侪学习
13	全球工程师教育课程	斯坦福大学	在工程教育中运用关怀伦理;教授如何倾听
14	地球观测	麻省理工学院	使用校友导师;整合工程项目
15	自然与人文价值课程	科罗拉多州矿业大学	多学科教师参与;在教育过程中进行评估的基础课程;现实世界的伦理问题;缺乏明确对错答案的复杂问题

理学或两者兼有；采用创新性的教育方法；经论证对学生有广泛或持久的影响；方法可复制和推广。例如，拉法耶特学院和罗格斯大学名为“工程灾难：第一年 STEM 中的伦理学”的课程，其示范特征是运用工程相关的历史案例与当代议题引导学生从多个利益相关者的视角审视伦理。该课程通过传授基于风险评估的道德决策方法，旨在让学生了解导致工程灾害的社会、经济、安全和环境因素，明确工程实践中的道德规范和道德行为，认识工程设计和实施过程中的决策如何导致整个系统的失灵。这个方法内容涵盖风险效益分析的基本问题、决策者信息、限制性条件和背景以及系统的实施，学生运用该方法可以从多个角度探索历史上的工程灾难，发现其与当前技术问题的相似点。

（四）教育方法拓展，体现多样性和创新性

美国工程伦理教育的方法丰富多样，比如传统教程、在线课程、研讨会、讲习班以及学生和导师之间的一对一互动。近年来一些高校大胆突破和创新，尝试了诸多新兴教育方法，如跨学科教师团队合作教学、角色扮演、互动教学、在线伦理游戏、问题式学习、工程师和校友的参与、使用校友导师、在工程项目中学习等。例如，伍斯特理工学院名为“过去和现在的人道主义工程：第一年课程中的角色扮演”的课程，此课程由来自人文社会学科和工程学科的跨学科教师团队，通过 3 个环节的角色扮演游戏和互动教学实现在复杂的社会环境中教导工程内容的目的。第一环节为角色扮演游戏，学生通过扮演工程师、科学家、商人或工人，在学习和实践工程内容的同时，了解导致简单技术方案复杂化的不同观点；第二环节为互动教学，鼓励学生深度学习，帮助学生在讨论中审视自己的观点，理解他人的观点；第三环节要求学生在当代语境中实践所学内容，如设计发展中国家水和卫生问题的工程解决方案等。该课程引导学生多视角观察、多学科思考工程实践，培养学生解决复杂、开放式问题的能力，运用跨学科知识识别问题、选择和评估解决方案的能力，作为团队合作者有效工作的能力，有效地研究和利用资源的能力，运用适当证据清晰、有效地沟通的能力，理解不同价值观的能力。

伦理教育方法的多样性引发了关于工程伦理教育的最佳方式的争论。必须承认，对伦理课程和指导的评估尚处于发展的早期阶段，如何评估各种教育方法的有效性是一大难题，也是当前伦理教育研究最热门的话题之一。大多数研究者同意有效的伦理教育方法必须具有一些关键特征，其中最重要的特征是交互性，这是学习科学的基本原则。伦理教育必须采用结合学生的方式，使学生实现与同龄人互动，并参与解决具有挑战性的问题。这样才能培养学生从多个角度看待复杂问题，并有效表达和辩护论点的核心伦理能力。

三、对我国新工科建设的启示

我国高等工程教育长期以来一味强调传授工程技术知识，仅仅在思想政治教育范式下探讨工程伦理教育，造成工程伦理教育处于边缘化地位，被忽视或轻视的现象比较严重。这样的教育理念造成当前的工程伦理教育表现出工程伦理思维模式保守、教育模式单一、教育内容陈旧、教育方法落后和教育师资薄弱等诸多弊端。2017 年 2 月，综合性高校工程教育发

展战略研讨会围绕新经济对工程教育的需求和挑战、综合性大学新工科的研究与实践等问题展开深入研讨，达成了新工科建设复旦共识。共识中指出，我国高等工程教育要抓住技术创新和新产业发展的机遇，积极进行新工科建设。新工科建设需要借鉴国际先进理念，分析新工科人才应具备的素质，构建新工科人才能力体系，培养具有国际视野的创新型工程技术人才。为改善我国工程伦理教育现状，培养具有专业伦理素养和技能的新工科人才，美国工程伦理教育的经验对我们有重要的启示作用。

（一）高度重视，普及工程伦理教育

美国工程伦理教育自 20 世纪 70 年代在工程院校快速兴起，80 年代得到全面确立。1997 年，林奇（William T. Lynch）研究表明，美国前 10 所工程院校中的 9 所以不同的方式在本科教育中引入了工程伦理内容。时至今日，美国大多数工程院校已经开展工程伦理教育。广泛的工程伦理教育实践是美国工程伦理教育不断发展的活力源泉，为美国现代工程发展输送具备职业伦理素养的工程人才。目前，我国工程伦理教育的现状是：除个别高校开设“工程伦理学”必修课，少量学校开设相关通识教育选修课之外，绝大多数高校并未开设专门的工程伦理课程，职业伦理教育停留在泛化的思想政治教育层面。“伦理将成为科学与工程的核心竞争力。”我们应该高度重视工程伦理教育，将其作为工程教育模式改革的重要组成部分，开设专门的工程伦理教育课程，优化工程专业课群结构。同时，随着现代工程发展的影响日益突出和明显，美国工程伦理教育出现了从重视微观伦理到拓展至宏观伦理的转向。我国工程伦理教育也不能只关注工程师对雇主、同事所负有的一般性责任，还必须引导学生探讨技术与社会、工程与社会等宏观伦理，从而担负起科研群体对社会、环境、文化和历史的责任。

（二）国家引领，推动工程伦理教育发展

在美国工程伦理教育发展的历史演进中，正是有了国家层面的统筹规划、制度性规范和保障，工程伦理教育从早期自发分散的探索，较快地过渡到有步骤、有计划的深入研究。因此，我国的工程伦理教育发展离不开国家层面的重视与推动，特别是在加快建设和发展新工科的背景下，更应从国家层面通过制度设计将工程伦理素养纳入新工科人才知识新体系。同时，国家应出台相关政策，促进工科与伦理学科的交叉融合，明确工程伦理教育创新是深化工程人才培养改革的方向之一，探索实施工程教育人才培养的新模式。

（三）产学合作，推进工程人才伦理支撑

作为工程教育的风向标，ABET 认证与工程师认证制度引导工程伦理教育的教学内容、课程设置，共同推动工程伦理教育，提升工程师伦理品质。因此，在工程伦理教育发展中，我国应该打造工程伦理教育责任共同体，深入推进产学合作、产教融合。通过校企联合制定培养目标和培养方案、共同建设课程与开发教程、共建实验室和实习实训基地、合作开展研究等，鼓励行业企业参与教育教学各个环节，促进人才培养与产业需求的紧密结合。

（四）实践创新，实现科教结合深度协同

美国工程伦理教育研究与实践形成了良性循环，相互促进。而目前国内工程伦理教育研

究相对滞后，研究规模与数量相对较少。对于如何开展工程伦理教育的探索较少，尤其是对于工程伦理的教学内容、教学方法、效果评价等根本问题没有全面深入的考察，理论基础仅是对教育学、德育原理的浅层次移植。贫乏的工程伦理教育实践束缚了对工程伦理教育的深入探讨，现有研究成果也不足以满足工程伦理教育的要求。因此，建议结合我国国情和新工科建设要求，积极开展工程伦理教育研究，特别是跨学科学者共同研究，通过科教协同优化工程人才培养机制，将科研资源及时转化为教学资源，在工程伦理教育实践中深化认识，不断创新工程伦理教育。

（陈柯蓓，重庆交通大学思政部讲师）

【摘自《重庆高教研究》2017年第3期】

编者寄语：本刊在初创时期，由于多方原因，稿件主要来自于国内学术期刊、政府网站的文章。随着期刊的进一步发展壮大，本刊的稿件将更多地向校内专家学者约稿，同时，也希望各位专家学者能够推荐优秀学术论文，让本刊真正成为学校高教研究者和高教工作者进行学术交流的平台，还望各位专家学者不吝赐教！

主 办：江苏理工学院（季刊）

编辑出版：江苏理工学院高教研究室

内部刊号：JSUT-011/K

地 址：江苏理工学院 28 号楼 208 室

电 话：0519-86953690

电子邮箱：jsut-gjyjs@jsut.edu.cn