



## 一、新经济的快速发展迫切需要工科人才支撑

当前，我国工程教育改革发展面临的外部环境正在发生快速的变化。从国际看，近年来主要发达国家都在推动发展新经济，抢占产业和科技革命的制高点，“工业4.0”、分享经济、虚拟现实和人工智能技术的发展风起云涌。从国内看，我国经济正处在新旧动能转换的关键时期。新经济是发展新动能的源泉，新经济发展越快越活跃的地区，发展的新动能就越强劲，应对经济下行压力的韧性和回旋余地相对更大，发展的动力、活力和空间、前景也相对更好，能够有力支撑经济保持中高速增长、迈向中高端水平。

根据2016年上半年的调查分析，我国新经济的发展趋势为：一是互联网深刻改变各行各业。互联网对实体经济的革新不仅是技术层面，更重要的是思维和模式的变革。以BAT（百度、阿里巴巴、腾讯）为代表的一批企业创新思维活跃，技术和模式不断变革创新，“互联网+”新商业模式对传统行业产生了颠覆性的影响。二是创新型企业正在异军突起。华为、大疆、华大基因等企业已在创新上迈入世界“第一梯队”，这些企业的共同特点是专注于产品和技术创新，创新与市场高度结合，现有的产业基础和人才力量已不输于人，也到了有能力有条件创新驱动发展的阶段。三是新技术催生壮大新产业。在世界范围内，以新能源、新材料、生物技术为代表的新技术的涌现和不断升级，造就一批新产业，如光伏、锂离子电池、新制药等。四是制造业智能化的趋势方兴未艾。装备的智能化升级、智能工厂的兴起已经成为制造业升级的重要趋势。智能装备、高档数控机床、机器人产业等，不仅节约了人工成本，更重要的是提升了生产效率和产品质量。五是“双创”厚植新经济的发展沃土。“大众创业，万众创新”，培育了新的创新生态，使人才、技术、资金、市场加快融合，草根创业更加有效。

人才是发展壮大新经济的首要资源。由于大量科研人员集中在高校、科研院所，一些高校毕业生学用脱节，许多新经济企业都反映最大的问题是人才难求。工程教育以面向社会生产活动培养人才为根本特征，加快发展新经济必须建设发展“新工科”，健全新经济发展人才支撑体系。

### （一）发展新经济要求面向未来布局新兴工科专业

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。习近平总书记在国际工程科技大会上指出，未来几十年，信息技术、生物技术、新能源技术、新材料技术等交叉融合将会引发新一轮科技革命和产业变革。从面向未来技术的角度来看，要按照科学—技术—产业的逻辑，更加关注以理科为背景的技术发展，并进一步发展新兴工科专业。

应该注意到，新经济是一个动态的、相对的概念。经济发展总是在推陈出新，不同时期的经济都有“新”的部分，一定时期的“新”也会逐渐变成“旧”。因此，新兴工科专业的布局也是一个动态的过程，当前应鼓励高校着眼于互联网革命、新技术发展、制造业升级等时代特征，因地制宜，办出高质量新兴工科专业。

## **（二）发展新经济要求工程科技人才具备更高的创新创业能力和跨界整合能力**

新经济发展的本质是要素资源的重新配置和生产关系的重新构建，关键在于创新。创新驱动的新兴产业逐渐成为推动全球经济复苏和增长的主要动力，引发国际分工和国际贸易格局重构，全球创新经济发展进入新时代。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。著名经济学家熊彼特严格区分了“发明”与“创新”，提出只有成功实现了商业化的发明，才可以被称之为创新。新经济的创新周期越来越短，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。这些均要求工程技术人员必须建构起符合新经济要求的思维方式，具备创新创业的意识和能力。

新经济是一个跨行业、跨领域的概念。正如李克强总理在2016年“两会”答记者问时所指出，“新经济的覆盖面和内涵很广泛，涉及一、二、三产业，不仅仅是指三产中的‘互联网+’、物联网、云计算、电子商务等新兴产业和业态，也包括工业制造当中的智能制造、大规模的定制化生产，还涉及到第一产业当中有利于推进适度规模经营的家庭农场、股份合作制，农村一、二、三产融合发展等”。从新经济的发展路径来看，新经济强调以产业链整合替代传统专业化分工，涌现了“互联网+”、“设计+”等新业态，“软产业”与“硬产业”互动融合，不断向产业链和价值链高端环节延伸。从新经济技术背景来看，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，进一步拥有跨行业、跨学科的知识 and 能力储备。从新经济的依托学科来看，以绿色、智能、泛在为特征的群体性技术革命具备典型的“学科交叉融合”特征。学科是相对独立的知识体系，但正如物理学家普朗克所说，“科学是内在的整体，它被分解为单独的学科不是取决于事物的本身，而是取决于人类认识能力的局限性”。新经济将会催生一批具有跨界特征的新兴学科。因此，面向新经济的工程科技人才应具有交叉复合特征，具备跨学科、跨产业的跨界整合能力。

## **（三）发展新经济要求建立更加多样化和个性化的工程教育培养模式**

新经济产业形态的多样性决定了工程教育培养模式的多样性。新经济的“新”同时强调了传统产业和新兴产业两方面，不只涉及新技术、新产业、新业态，传统产业也能产生新经济。当前我国产业发展不平衡，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，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、通讯工程等领域培养一定规模的高端工程科技人才，面向劳动力密集的加工制造等领域培养大规模工程科技人才。在人才培养过程中应表现为产学合作、科教协同、国际合作和本研协同等。

个性化是培养创新创业能力、跨界整合能力的内在要求，也是对新时期工程教育对象学习和思维习惯的响应。当前，我国高等教育面对的是世界上最大规模的独生子女群体，也是世界上最大规模的互联网时代“原住民”，他们的人生目标更加多样，价值观更加多元，接受新思想新知识的渠道更多。必须尊重学生作为个体“人”的发展需要，充分考虑每一个学生的个体差异，给所有学生以充分的机会来达成学习成果。随着“慕课”等新型在线开放课程和学习平台在世界范围迅速兴起，拓展了教学时空，增强了教学吸引力，也为个性培养模式提供了有力支撑。

#### （四）发展新经济的国际经验要求加快发展新工科

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、程控交换通讯，甚至互联网的原型—阿帕网等信息技术革命的主要技术已基本完成，但直到90年代中期才拓展到整个经济体中，其中的延迟清晰可见。1972年至1995年之间美国制造业生产率增速减缓，但是制造业中的计算机制造却逆势上扬，年均增长率高达17.8%。综合众多专家的分析可以看出，人才培养对新技术创新和新产业发展需要适应的时间，信息产业所需人才的知识技能并非简单的培训就可以解决，它需要整个教育系统作出相应的调整。美国的高等教育系统从20世纪70年代初开始，用20多年的时间适应信息技术革命所引发的人才资源转型的需要，其自身也完成了战后高等教育结构转型，与美国的新经济产生了良性互动。从高校毕业生数量来看，1971年授“计算机和信息科学”学士学位2388人，2005年这一数量达到54111人，年增长率高达9%。

2008年金融危机爆发之后，美国实施“再工业化”战略。2009年7月，美国制造业联盟发布了《为美国制造一个更好的未来》的报告，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。美国的工程教育响应了这一战略。2011-2015年，美国工程领域学士学位授予人数由83001人增加到106658人，年增长率保持在5%以上；硕士学位授予人数由46940人增加到57433人，2015年更是实现了11.11%的年增长率；博士学位授予人数也由9582人增加到11702人。授予学士学位的专业类型及数量如表1所示，机械工程、土木工程、电子工程、计算机科学、化学工程、生物医药工程、工业/制造/系统工程等专业规模较大，且呈现了较高的年均增长率。这些专业毕业人数的增加与近年来美国“再工业化”战略需要密切相关。

表1 美国2011-2015年主要工程专业领域学士学位授予数（单位：人）

专业名称	2011	2012	2013	2014	2015	年均增长率(%)
工程管理	315	434	418	436	527	13.73
石油	888	1002	1079	1250	1465	13.33
计算机科学	6708	7371	8184	9328	10970	13.08
电子/计算机工程	2153	2426	2581	2827	3429	12.34
采矿工程	213	236	231	324	335	11.99
环境工程	743	871	953	1012	1124	10.9
工业/制造/系统工程	3730	4107	4272	4877	5291	9.13
计算机工程	3459	3688	3906	4201	4881	8.99
土木/环境工程	709	763	924	881	1000	8.98
化学工程	6487	7245	7717	8110	9090	8.8
生物医药工程	4066	4374	4709	5119	5683	8.73
生物与农业工程	796	905	994	1031	1100	8.42
机械工程	19241	20369	21707	23675	25436	7.23
其他工程专业	3727	3956	4260	4202	4517	4.92
工程(广义)	1161	1192	1415	1406	1394	4.68
科学与工程师与物理工程师	469	562	524	574	545	3.83
电子工程	9942	10102	10662	11261	11385	3.45
冶金与材料工程	1465	1280	1554	1440	1671	3.34
航天工程	3381	3668	3595	3695	3803	2.98
核工程	496	565	614	584	544	2.34
土木工程	12154	12309	12464	12333	11900	-0.53
农业工程	698	751	660	607	568	-5.02
总数	83001	88176	93423	99173	106658	6.47

## 二、加快发展和建设新工科

新工科是相对于传统工科而言的，是以新经济、新产业为背景，是一个动态的概念。新工科建设，一方面要设置和发展一批新兴工科专业，并加强建设、提升质量；另一方面要推动现有工科专业的改革创新，探索符合工程教育规律和时代特征的新培养模式。

### （一）新工科建设和改革的前期探索

近年来，我们主动加强了新兴工科专业的布局和建设，试点探索了一批与产业紧密结合的示范性学院改革，积累了部分经验，为进一步推动新工科的建设和发展探索了路径。

一是布局建设战略性新兴产业相关专业。2010年，国务院出台了《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》。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。为加强战略性新兴产业人才培养，教育部自2010年起，推动高校面向与战略性新兴产业直接相关领域设置了24种新专业（含非工科专业）。2015年又批准设立了数据科学与大数据技术、机器人工程、飞行器控制与信息工程、地理空间信息工程、材料设计科学与工程等新专业。截至2016年底，战略性新兴产业相关新设工科本科专业达22种，累计布点1401个（如表2所示）。此外，经初步统计，目前高校设置IT产业相关的电子信息类、自动化类和计算机类本科专业达30种，布点5675个（如表3所示）。二者合计（不重复计算）共6271个专业点，约占工科本科专业数量的36.8%。

表2 2010年后新设战略性新兴产业相关工科本科专业布点汇总表（单位：个）

专业名称	布点数	专业名称	布点数
新能源科学与工程	87	智能电网信息工程	20
新能源材料与器件	52	水声工程	3
能源化学工程	51	海洋工程与技术	5
资源循环科学与工程	31	海洋资源开发技术	10
环保设备工程	10	建筑环境与能源应用工程	200
辐射防护与核安全	8	生物制药	70
功能材料	35	数据科学与大数据技术	3
纳米材料与技术	10	机器人工程	1
微电子科学与工程	94	飞行器控制与信息工程	2
光电信息科学与工程	241	地理空间信息工程	1
物联网工程	466	材料设计科学与工程	1
合计			1401

二是深入探索软件和集成电路产业急需人才的培养体制机制及有效模式。2001年，为加快软件产业发展，教育部联合国家计委、财政部，择优扶持了37所高校试办示范性软件学院。15年来，示范性软件学院按照“积极发展，规范管理，开拓创新”的指导思想，以培养精英型软件工程人才为目标，深化体制机制和教育教学改革，深入开展产学合作和国际化培养，建立开放式社会化的办学体制，实行灵活的教师聘任制和以人才培养为中心的分配制度，已成为我国名副其实的工程教育改革

“特区”。示范性软件学院的改革，探索了软件产业急需人才培养的有效途径，初步回答了新工科如何建设的问题：体制机制改革是前提，强调校企合作，建立开放式社会化的办学体制；实行灵活的教师聘任制，形成了“三三制”的师资结构；采取以人才培养为中心的分配制度，吸引企业参与的教学管理制度；建立由行业企业参与的外部评价制度等。人才培养模式改革是核心，借鉴 CDIO 等工程教育理念，根据产业需求和技术发展灵活设置专业方向，以市场需求和提高国际竞争能力为导向制订人才培养方案，探索以学生为中心的培养模式等。产学合作是关键，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。

表 3 IT 产业相关本科专业布点汇总表（单位：个）

专业名称	专业名称	布点数	
电子信息类	电子信息工程	675	2324
	通信工程	547	
	电子科学与技术	226	
	微电子科学与工程★	94	
	光电信息科学与工程★	241	
	信息工程	102	
	广播电视工程	15	
	水声工程	3	
	电子封装技术	9	
	集成电路设计与集成系统	30	
	医学信息工程	32	
	电磁场与无线技术	13	
	电波传播与天线	4	
	电子信息科学与技术	313	
	电信工程及管理	4	
	应用电子技术教育	16	
自动化类	自动化	478	566
	轨道交通信号与控制	87	
	机器人工程★	1	
计算机类	计算机科学与技术	974	2785
	软件工程	561	
	网络工程	417	
	信息安全	98	
	物联网工程★	466	
	数字媒体技术	214	
	智能科学与技术	31	
	空间信息与数字技术	16	
	电子与计算机工程	3	
	数据科学与大数据技术★	3	
网络空间安全	2		
合计		5675	

集成电路产业是支撑经济社会发展和保障国家安全的战略性、基础性和先导性产业，也是工业经济的命脉产业，其发展水平已成为衡量一个国家综合实力的重要标志。目前，我国集成电路产业人才总量不足、领军人才缺乏、人才结构不合理，远不能满足产业对人才的需求，迫切需要培养适应我国集成电路产业发展的高素质

工程人才。2015年7月，教育部联合国家发改委、科技部、工业和信息化部、财政部及国家外专局，共同支持26所高校建设示范性微电子学院，深化人才培养模式改革，建立开放式办学模式，培养集成电路产业急需的工程人才。2016年印发了《教育部等七部门关于加强集成电路人才培养的意见》。同时协同有关部委共同研究《集成电路产学研融合协同育人平台建设方案》，重点建设一批共建共享的实习实训基地，破解工程实践条件不足的难题。

三是加快重点领域紧缺人才培养。面向人才紧缺的重点领域，教育部与行业部门共同采取措施，进行重点支持。2007年，教育部与国家发改委、财政部、人事部、科技部、国资委共同印发《关于进一步加强国家重点领域紧缺人才培养工作的意见》。2012年，教育部与交通运输部共同印发《关于进一步提高航海教育质量的若干意见》，共建高校航海类专业，加快航海人才培养。2014年，与国家安全监管总局共同印发《关于加强化工安全人才培养工作的指导意见》，与商务部共同印发《关于创新服务外包人才培养机制提升服务外包产业发展能力的意见》。2015年，与中国气象局共同印发《关于加强气象人才培养工作的指导意见》。2016年，与中央网络安全和信息化领导小组办公室等部门共同印发《关于加强网络安全学科建设和人才培养的意见》。这一系列文件立足于教育部与有关行业部门协同育人，对优化相关专业结构、改革培养机制、强化实习实训、加强师资队伍建设等方面提出了具体措施和支持政策。

## （二）面向当前急需和未来发展，不断推进新工科的建设和发展

新工科的建设必须聚焦当前急需和未来发展两个重点，主动布局，适应并引领产业发展，从而实现我国产业的未来竞争优势。

一是加快培养当前新经济发展急需人才。2016年11月，国务院印发了《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》。战略性新兴产业是培育发展新动能、获取未来竞争新优势的关键领域，也是新经济的重点发展方向。预计到2020年，战略性新兴产业增加值占国内生产总值比重将达到15%，形成新一代信息技术、高端制造、生物、绿色低碳、数字创意等5个产值规模10万亿元级的新支柱，并在更广领域形成大批跨界融合的新增长点，平均每年带动新增就业100万人以上，产业规模持续壮大，成为经济社会发展的新动力，实现向创新经济的跨越。当前，在大数据、物联网、人工智能、网络安全、大健康等新领域出现人才奇缺状况。高校必须面向新经济设置一批新兴工科专业，加快培养急需紧缺人才。要推广示范性软件学院体制机制和人才培养模式改革的有益经验，突破传统学科导向的组织模式，建立以需求为导向的产业化学院，如机器人学院、电子学院、智能制造学院、物联网学院等，深化机制体制改革，推进人才培养模式创新，进一步强化产学研合作协同育人，促进人才培养与产业需求紧密结合，有效支撑我国经济结构深度调整、新旧动能接续转换。

二是主动布局面向未来技术和产业的新专业。未来10年是全球新一轮科技革命和产业变革从蓄势待发到群体迸发的关键时期。《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》提出，要“以全球视野前瞻布局前沿技术研发，不断催生新产业，重点在空天海洋、信息网络、生命科学、核技术等核心领域取得突破，高度关注颠覆性技术和商业模式创新，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”。工程科技人才培养要面向未来、面向世界，主动布局，发挥对未来技术和产业的引领作用。最近，中国科学院大学成立了未来技术学院，从材料、信息、能源和生命科学领域的核心问题出发，考虑领域之间的交叉融合，设立了脑科学与智能技术、光子与量子芯片技术、

光物质科学与能源技术、仿生智能材料科学与技术、生物芯片技术、液态金属物质科学与技术、基因组健康技术等学科专业。这一做法值得借鉴，特别对于理科传统优势较强的高校发展新工科提供了参考。未来新兴工科可能产生的路径，一方面是现有工科的交叉复合、工科与其他学科的交叉复合，产生新的学科专业；另一方面是理科特别是应用理科向工科延伸，产生新的技术、新的工科领域。因此，除传统工科院校外，我国的综合性大学也应发挥理科传统优势，加快培育和发展新兴工科。

我国技术和产业发展，正在经历从追随到并跑、领跑的跨越。要实现在技术和产业领域的领跑，必须在这些领域有足够人才支撑，必须提前布局未来技术和产业所需人才培养，必须主动作为而不是被动适应。按照毛泽东同志持久战的战略思想分析我国产业发展的阶段性特征：第一阶段是战略防御期，在产业竞争上，通过市场换技术，以模仿、超越获得比较优势。如智能手机，在模仿基础上实现价格和质量的的优势，从而占领全球市场。第二阶段是战略相持期，集中力量在一些技术和产业领域进行重点突破，并逐步取得技术优势、产业优势。如目前我国在互联网移动应用和移动支付领域，由于大规模应用需求，集中数倍的力量在一些关键点上取得突破，获得显著优势；将来还会在量子通信等越来越多的领域实现更多突破。第三阶段是战略反攻期，我国技术和产业实现全面超越。目前，我国产业发展正处在战略相持的关键，正如毛泽东同志所说，“我们要准备付给较长的时间，要熬得过这段艰难的路程”。通过这一时期的人才布局，特别是面向未来技术和产业主动布局人才培养，就可以在第三阶段实现全面超越。因此，为实现我国产业发展“弯道超车”，必须围绕未来变革性技术，主动作为、汇聚力量，逐步在未来必争领域形成人才集群和人才高地，真正形成国际竞争优势，为将来实现整体超越、为民族崛起输送源源不断的新生力量。

### 三、全面推进新时期工程教育改革创新

我国拥有世界上最大规模的工程教育。2016年，工科本科在校生525万人，专业布点17037个。工科在校生约占高等教育在校生总数的三分之一。工程教育的质量很大程度上决定了我国高等教育的整体质量。当前和今后一段时期，我国工程教育要以提高人才培养质量为核心，树立大工程观、绿色工程教育、全面工程教育“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”，加快推进我国从工程教育大国走向工程教育强国。

#### 1. 树立工程教育新理念。

理念是行动的先导。工程教育改革必须贯彻落实创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念。首先要树立“大工程观”。必须改变工科专业过窄过细的弊端，强化跨学科教育，培养学生既具备科学与基础理论修养，形成对宏大或复杂工程的系统视野，又能从多学科的视角审视，同时还要具备人文情怀和管理素养。其次是坚持并落实“学生中心、结果导向、持续改进”等工程教育专业认证理念，促进工科专业质量持续提升。三是树立“绿色工程教育”理念。绿色发展是经济社会发展的方向，工程教育融入绿色理念已经成为国际工程教育发展的大势所趋，也是生态文明建设的必然要求。四是树立“全面工程教育”的理念。工程教育不只是高等教育，也应涵盖基础教育和继续教育，并且建立三者之间的有机联系。

#### 2. 构建新兴工科和传统工科相结合的“新结构”。

要针对工程人才培养与产业发展实际需求脱节，前沿交叉学科、未来技术领域人才缺等问题，进一步优化工程类学科专业结构。一是要做好增量优化，主动布局新兴工科专业建设。注重专业设置的前瞻性，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。鼓励高校结合“中国制造 2025”、“一带一路”、“互联网+”等国家战略，积极设置战略性新兴产业、经济社会发展和民生改善领域亟需的相关学科专业，推动工程教育资源向服务国家、区域主导产业和特色产业的专业集群汇聚，构建与国家和社会区域经济社会发展相适应、与学校办学定位和办学特色相匹配的学科专业体系。二是要做好存量调整，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。三是要推动学科专业交叉融合，加强复合型工程技术人才培养。要促进理工融合，通过建立跨学科的交叉研究机构，以科学研究前沿带动工程教育发展。要促进科学教育、人文教育与工程教育的有机融合，科学观、社会观与工程观并重，着力培养具有全球意识、创新能力、社会担当的工程科技人才。

### **3. 探索工程教育人才培养的“新模式”。**

全面推广“卓越工程师教育培养计划”、示范软件学院和微电子学院、国家教育体制改革试点学院的成功经验，探索实施工程教育人才培养的“新模式”。要借鉴国际主流工程教育标准，明确未来工程人才的能力体系。对比分析欧洲工程师能力标准、英国工程专业能力标准、美国 ABET 认证标准、德国 ASIIN 认证标准以及我国工程教育认证标准等，分析未来工程人才应具备的素质，明确工程人才在工程技术、信息技术、经济管理、法律、文化、伦理等重点领域应具备的能力体系。要按照工程逻辑构建模块化课程。打破学科界限，梳理课程知识点，开展学习成果导向的课程体系重构，建立能力达成和课程体系之间的一一对应关系，构建遵循工程逻辑和教育规律的课程体系。积极建设、共享优质在线开放课程资源，推动教育教学方式改革。要设计多层次、多阶段的实践环节。借鉴 CDIO 工程教育理念，以产品“构思、设计、实现、运行”的全生命周期为载体，深入实施产教融合、科教结合、校企合作的协同育人，建立从理论学习、动手实践再到探究学习的教学链条，把设计活动贯穿于实践教学全过程，实现理论教学与实践教学的交叉螺旋进行，实践能力培养不断线，使学生获得有意义的综合设计体验，通过主动实践和做中学，形成未来工程师的综合品质和工程能力。要把创新创业教育融入工程教育的全过程，着力培养学生创新精神、创业意识和创造能力。进一步落实工科专业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、创客空间等创新创业平台，营造创新创业教育氛围，推动创新创业教育方位贯穿、深层次融入专业教育。

### **4. 打造具有国际竞争力的工程教育“新质量”。**

把适应经济社会发展需求、促进人的全面发展作为衡量人才培养质量的根本标准，全面提高学生的社会责任感、创新精神和实践能力，增强我国工程育的国际竞争力。要加强工程人才培养质量标准体系建设。公布工科专业类教学质量国家标准。推动行业部门制订行业人才标准。促进高校结合国标、行标要求，修订专业人才培养方案，形成适应时代发展的国家、行业、学校三级质量标准体系。要建立完善中国特色、国际实质等效的工程教育专业认证制度。完善认证工作领导小组工作机制，由教育部牵头，人力资源和社会保障部、中国科协、中国工程院等主要单位参与，对专业认证工作进行宏观指导。合理规划专业认证总体规模，在现有 200 点 / 年的基础上逐步扩大，到 2020 年实现对于工科专业类的全覆盖（个别特殊专业类除外）。建立认证结果发布与使用制度，将每年的认证结果通过权威媒体面向社会发布，允

许通过认证的专业在招生简章、毕业证书上加标注，将认证结果纳入学科评估、本科教学质量报告等评估体系。提高认识，把专业认证作为建设一流本科的重要抓手和基础性工程，引导高校和专业面向行业需求，用国际实质等效的标准引导专业教学，切实关注学生学习效果，不断改进和提高工程专业人才培养质量。

### 5. 建立中国特色工程教育的“新体系”。

促进高校分类发展，在不同层次不同领域办出特色、办出水平，是今后一个时期高等教育的发展方向。总体部署是，提升高水平大学国际竞争力，统筹推进世界一流大学和一流学科建设；突出行业高校学科专业特色和行业特色，加强农林、水利、地矿、石油、交通等行业高校建设；支持有特色高水平地方高校发展，引导部分地方本科高校向应用型转变，把办学真正转到服务地方经济社会发展上来，转到产教融合校企合作上来，转到培养应用型技术技能型人才上来，转到增强学生就业创业能力上来。

在工程教育领域，要促进人才分类培养，提高各种类型的工程人才培养质量，既培养工程科技领域的高层次领军人才，也要更加重视各个层次和类型的工程科技人才。一是以“卓越工程师教育培养计划”为示范引领。参与“卓越计划”实施的高校要充分发挥引领作用，把1257个试点本科专业点和514个研究生层次学科点办成工程教育改革示范点，办成代表我国参与工程教育国际竞争的品牌学科专业。二是以工程教育专业认证作为走向国际的桥梁。推动4000个左右的工科专业（约占工科专业点总数的25%）进一步深化改革，持续提升质量，实现与《华盛顿协议》成员国工程教育质量的实质等效。三是以工科专业类教学质量国家标准为基本要求。推动工程教育17000多个本科专业点按照“国标”要求，结合学校办学定位和服务面向，优化人才培养方案，提升工程教育的整体水平。不同类型的工程人才培养都要追求卓越，提升学生的工程意识、实践能力、创新精神和工匠精神，建立完善高校与行业企业、科研院所协同育人机制，形成工程教育与产业共同发展、共同提升水平的良好局面。

（摘自《高等工程教育研究》，2017年第1期）

## 推动高等工程教育向更高水平迈进

（瞿振元）

2016年是我国高等工程教育发展史上值得大写的一年。6月2日，我国正式成为工程教育“华盛顿协议”第18个成员国，标志着我国工程教育真正融入世界工程教育，人才培养质量开始与其他成员国达到了实质等效，同时，也为以后我国参加国际工程师认证奠定了基础，为我国工程师走向世界创造了条件。面向未来，成为“华盛顿协议”成员国这一标志性突破，将有力促进我国高等工程教育学习国际先进理念和质量标准，深化工程教育教学改革、提高人才培养质量，有力促进我国工程教育与国际工程教育的交流与合作，以开放倒逼工程教育教学改革向纵深推进。

我国是工程教育大国。2015年，全国共有1650所院校设立了工科专业；本科工科专业布点数达16284个，工科在校本科生人数达524.7万，约占本科生在校生总人

数的 33.3%。与美国、英国以及欧盟相比，我国工科毕业生数量庞大，约占世界工科毕业生总数的 1/3 多，规模是实实在在的世界第一。新中国成立以来，我国高等工程教育培养了数以千万计的专门人才，为国家建设做出了历史性的、巨大的、耀眼的贡献，有力支撑了工业体系的形成和发展。我国工业体系从最初形成发展到今天，是靠自己的工程教育培养的人才实现的；工程教育有力支撑了我国成为世界最大的工业产品制造国；有力支撑了国家一大批举世瞩目的重大工程建设，无论是计算机、通讯，还是高铁、载人航天等一系列国家重大工程项目，都是靠自己培养的工程人才发展起来的；高等工程教育有力支撑了国家经济整体高速增长，对国家经济建设做出了巨大的、历史性贡献。但也要看到：我国虽然是制造业第一大国，拥有联合国产业分类中所有工业门类，但制造业仍大而不强，面临转型升级的压力。纵观世界，新一轮科技革命和产业变革方兴未艾，一些重大颠覆性技术创新正在创造新产业、新业态，大数据、云计算、移动互联网等新一代信息技术同机器人和智能制造技术加速融合，这既给社会生产力的大提高、劳动生产率的大飞跃带来了新契机，也给世界各国工程教育创新发展带来了前所未有的机遇与挑战。这一切需要高等工程教育抓住机遇、深化改革，加快推动从工程教育大国迈向工程教育强国，为国家经济转型和社会发展提供强有力的人才保障、智力支持和创新支撑。

### 一、当前高等工程教育存在的主要问题

#### 1. 人才培养缺乏明确的标准。

任何行业都需要标准，无标准就无质量，高等工程教育领域亦是如此。长期以来，我国高等工程教育对所培养学生的知识、能力、素质要求，没有清晰、明确、可衡量、易操作且国际实质等效的标准，仅有若干标准也是笼统的、通用的且过于理想化、针对性不强。实践中各高校虽然采取各种措施努力提高工程教育人才培养质量，各评估机构采用不同指标体系展开评价，但工程教育人才培养始终没有明确的、完善的、操作性较强的标准。因此，科学制定和正确实施工程教育人才培养质量标准是工程教育面临的首要问题。现行工程人才培养质量标准较多关注学生的知识水平，较少考核学生的能力素质。工程人才培养质量标准一般被认为是教学评价标准，但教学评价标准主要是对教学过程及结果进行测量，并给予价值判断。工程人才培养质量标准应是“培养标准”，是对工程人才培养质量能否满足经济社会发展需求而制定的具体的、可量化的标准。此外，现有工程人才培养质量评价在外部评价机制方面，主要问题是学校与企业、行业及用人单位间的有效互动评价机制不够完善，利用外部评价促进持续改进的效果不明显，行业、企业等利益相关方参与工程教育质量保障的程度不高。

#### 2. 工程教育理化倾向比较严重。

高等工程教育教学比较注重理论知识体系的完整性，一定程度上忽视实用性、多科性知识的学习和实际操作能力的培养；课程体系中理论课占比过大（有的学校高达 90%），实践环节占比过小；学生学业评价过于注重笔试和卷面成绩，忽视实验、设计、社会调查等多种实践考试方法和手段的应用。因此，培养的学生理论基础扎实、逻辑思维能力较强，但工程思维能力和综合运用能力相对不足，团队合作、沟通交流能力较为欠缺。这很大程度上与教学过程中过多以教师讲授为主、以知识传授为主，面向实际工程训练不足、实践教学不足直接相关。

#### 3. 忽视工程师价值观和工程师伦理教育。

高等工程教育在重视学理与技术教育的同时，一定程度上忽视了对学生进行与伦理、环境、人文相关的工程师价值观、工程师伦理的教育，重学理、轻伦理的现象较为明显；对工程与社会、与环境、与可持续发展的关系重视不够，教师讲授的

某些技术与绿色发展理念并不一致；对个人与团队、个人与社会的关系，伦理道德的教育重视不够；与工程相关的法律、美学、伦理学等方面课程几乎空白。众所周知，高等工程教育培养的人才应“具有人文社会科学素养、社会责任感，能够在工程实践中理解并遵守工程职业道德和规范，履行责任。”但我们培养的学生与这一标准尚有一定距离，与欧美国家工程教育相比，我国工程伦理教育近几年才出现，亟需补足短板。

#### 4. 师资队伍建设和不能满足现代工程教育的要求。

师资队伍建设和存在片面强调高学历、轻实践经验的问题。多数从事工程教育的教师缺乏产业实践经验，教师知识结构与现代工程教育的要求不相适应。加之，由于人事管理制度的制约，企业中有丰富工程经验的技术人才很难到高校任职，高校与行业企业协同育人的机制并没有切实建立。同时，教师评价制度存在缺陷，重视科研论文产出，缺乏对教师实践教学能力的考核，造成对教师特别是青年教师发展方向的误导。

#### 5. 人才数量充足、质量亟待提高。

上述四项必然造成的结果是人才培养质量不足。我国现有工程科技人才 4200 多万，工程师数量居世界第一。但《2014-2015 年全球竞争力报告》显示，在“科学家和工程师数量”这一指标上，我国仅排名第 43 位。《世界竞争力年鉴》指出，中国工程技术人员的国际竞争力在被调查的 60 个国家和地区中处于中等水平，但工程师的合格程度却处于世界末端。总体来讲，我国工程技术人才数量充足，但质量还差强人意。这种情况不仅影响了工程技术人才在国内发挥作用，还影响他们在国际上被认可和可流动，影响其在“一带一路”等国际工程项目中发挥作用。

### 二、近年来高等工程教育的实践探索

为贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010-2020 年）》，创新工程教育人才培养模式，近年来，我国高校进行了一系列探索，取得了一定成效。

#### 1. 启动并实施卓越工程师教育培养计划。

2010 年 6 月 23 日，教育部联合有关部门和行业协（学）会，共同实施“卓越工程师教育培养计划”（简称“卓越计划”），主要目标是面向工业界、面向世界、面向未来，培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才，为建设创新型国家、实现工业化和现代化奠定坚实人力资源优势，增强我国的核心竞争力和综合国力。“卓越计划”实施的专业包括传统产业和战略性新兴产业的相关专业，特别重视国家产业结构调整和发展战略性新兴产业的人才需求，适度超前培养人才。“卓越计划”实施的层次包括工科的本科生、硕士研究生、博士研究生三个层次，培养现场工程师、设计开发工程师和研究型工程师等多种类型工程师后备人才。

“卓越计划”实施 6 年来，已有 208 所高校的 1257 个本科专业点、514 个研究生层次学科点参与了该计划，参与在校生约 26 万人。基本形成了教育部门和行业部门协同推进、高等学校和企事业单位深入合作的工程人才培养机制。

#### 2. 进行 CDIO 工程教育改革。

CDIO 工程教育模式是近年来国际工程教育改革的新成果，按照构思（Conceive）——设计（Design）——实施（Implement）——运行（Operate）的系统工程理念，细化人才培养标准，构建以项目为导向的工程教育课程体系，2005 年我国引入 CDIO 工程教育模式，2008 年教育部组织成立“CDIO 工程教育研究与实践课题组”，2012 年成立“CDIO 工程教育试点工作组”，以机械、土木、电气和化工等四类专业开展试点，目前有近 200 所高校开展 CDIO 改革试点。汕头大学、清华大学等高校先后加入

CDIO 国际合作组织，2016 年 1 月，汕头大学发起成立“中国 CDIO 联盟”，以提升我国工程教育的国际影响力。

目前，开展 CDIO 改革的高校既有研究型大学，也有教学型大学，还有高职高专，几类高校侧重点各有不同。研究型大学以培养学术型、研究型工程科学人才、研究开发人员和设计工程师为主；教学型大学以培养能在生产、工程第一线从事工程实施和管理的工程技术人才为主；高职高专培养适应生产、建设、管理、服务第一线需要的高等技术应用性专门人才。

### 3. 启动并实施工程教育专业认证。

2006 年，我国启动工程教育认证工作，在借鉴国际先进经验基础上，逐步建立了国际实质等效的工程教育认证体系。2013 年我国成为“华盛顿协议”预备成员国。2015 年中国工程教育专业认证协会正式成立，基本确立第三方机构独立实施的工程教育专业认证体系。我国工程教育专业认证坚持结果导向（Outcome-Based-Education, OBE）、以学生为中心、持续改进理念，按照国际实质等效的认证标准开展认证工作。目前已覆盖 31 个工科专业类中的 18 个。工程认证工作取得积极成效，建立了高等工程教育与行业企业联系机制，为建立注册工程师制度奠定了基础。工程教育认证标准参照“华盛顿协议”毕业生素质要求和工程师职业能力制定，保证认证结果为行业认可。开展工程教育专业认证，有力推动了工程教育国际化，提升了工程教育的国际影响力和竞争力。同时，工程教育专业认证工作为我国高校开展工程教育改革提供了系统化、科学化的质量保障机制和人才培养模式。

自 2005 年我国开始进行工程教育专业认证试点至 2015 年底，已经进行了 570 个专业点的认证工作，涉及 124 所高校，其中 30 所“985 工程”高校、64 所“211 工程”高校。认证标准主要包括学生、培养目标、毕业要求、课程体系、师资队伍、支持条件和持续改进等七个方面。认证工作严肃严格严谨，坚持标准、绝不放水。2015 年受理认证 158 个专业点，实际通过认证 126 个，通过率为 79.9%；未获通过的继续建设。从严开展工程教育专业认证，使“重在建设”的要求落在实处，促进了高等工程教育的质量提升和国际实质性等效。

笔者曾到北京交通大学和燕山大学进行调研，这两所高校是“华盛顿协议”成员国专家委员会实地考察的两个点。2015 年专家委员会来我国考察过，但没有完全同意；2016 年考察了北京交通大学、燕山大学有关专业点以后，“华盛顿协议”专家委员会的专家们一致同意我国成为正式成员国，说明这两个学校工程教育质量得到了国际专家的高度认同。调研以后，我也回顾了自己曾经作为清华大学一名工科学生的成长经历，感到我们已进行的工作和将要推进的工作，是要立足国家发展战略需求，在以往成功做法的基础上借鉴工程教育的国际经验，革新工程教育理念，以切实措施提高工程教育质量。这两个学校的经验值得推广。

## 三、推动高等工程教育迈向更高水平的思考

### 1. 完善高等工程教育人才培养标准。

教育部将颁布实施全部 92 个本科专业类教学质量标准，作为本科人才培养质量的国家标准和基本要求。相应地，各高校要依据“国标”，结合实际，修订本校专业教学质量标准、优化人才培养方案。这些标准实际上是质量底线，“上不封顶，下要保底”。

制定工程教育人才培养标准需要做到三个结合：统一性与多样性相结合，稳定性与发展性相结合，国际化和本土化相结合。要建立高校教学质量持续改进的机制，开展自我评估，根据培养目标和毕业要求，对教学条件、教学过程、教学效果进行

常态化自我评估，形成有效的校内教学质量监测和调控机制，形成年度教学质量报告并向社会公布，接受社会监督。

## 2. 重视教学内容和课程体系改革。

北京交通大学和燕山大学能被“华盛顿协议”成员国专家认可，主要在于他们在教学理念和实际做法上有清晰的设计和具体制度安排。他们的教学始终坚持以学生为中心，根据具体专业与产业对接的要求确定学生培养目标和毕业要求。这种培养目标不是我们通常文件里司空见惯的那种空泛的、大而化之的表述，而是学校某个专业具体的培养目标。这种目标又具体化为学生的毕业要求和毕业 5 年后可能达成的要求，或者说 5 年后的预期，把它们作为整体培养目标；以学生能力提升为中心，对培养环节，包括课程、实验、实践、设计、活动和课堂教学内容进行系统设计。学校人才培养方案集中体现的是对 4 年本科教育的教学系统化设计。

我们常用学分制认定学生修满 140、160 或 180 个学分就可以毕业，但对 140、160 或 180 个学分是什么样的知识结构、学生修满学分后具备什么样的能力关注不够。这与对学分制的片面理解有关。实际上，发端于德国的学分制并不完全排斥指导性教学计划，而是在教学过程中，学生在指导性教学计划规定范围内，在教师指导下自主选修课程以取得所选课程的总学分来衡量其学习总量，以取得一定学分作为毕业和获得学位的标准。简言之，学分制是在指导性教学计划框架下、以选课制为基础、以学分为计量的教学管理制度。

结构决定功能，在教学上，知识结构也相当大程度上决定着能力。所以，教学系统化设计是一个非常重要的理念，大学课程不应是一种模糊的经验安排，也不应是学生在学校的课程“超市”里的自由选购，而是按一定培养目标进行的符合教学规律的系统设计，体现的是规范性要求和灵活性选课及自主性学习之间的结合与平衡。这样的教学系统化设计，为的是让学生在毕业时达到必须具备的专业能力和进一步发展的能力。

20 世纪以来，两大潮流对高等教育人才培养带来了重大影响，即教学系统化设计运动和在线开放教学。从时间来看，教学系统化设计在前，在线开放教学在后。在系统化教学设计和在线开放教学两大潮流影响下，教和学都发生着深刻变化。无论是倡导“以学习者为中心”的教学理念，还是实施 MOOC、混合式教学等教学模式的创新，都有赖于对课程的精细化设计，都无一例外要依靠科学的课程体系和课程、课堂去具体落实。

目前，工程教育课程存在不少问题：第一，课程内容、课程体系与整个人才目标之间的联系并不紧密，学生上这些课与毕业时要达成的培养目标、5 年后可能达成的目标有怎样的联系，尚缺乏系统设计、统筹考虑。第二，课程内容更新慢，相对落后，这是很多专业的共性问题。笔者任中国农业大学党委书记时，一些教师反映课堂教学内容和生产实际差距大，有的甚至严重落后于生产实际。笔者也到过一些先进的农业生产基地，看到无论从装备设施到生产工艺技术，都比学校课堂上讲的更先进，这是个很大的问题。第三，具体课程在整体教学过程中的地位、作用不明确。授课教师仅知道自己讲什么课，但较少关心和思考所承担的课程在整个人才培养体系中处于什么地位、起什么作用，不明白自己讲授的这门课对学生的能力培养有什么具体要求，唯一习惯的是按学科的系统性一路讲下去，不知道为达成学生毕业目标应培养怎样的能力。这是工程教育教学中的突出问题。对此，要抓住教学内容和课程体系改革这个核心，进一步推进工程教育教学改革，提升工程教育人才培养能力。

要以“解决复杂工程问题”为导向整合课程，淡化“学科中心”，打破学科界限，

将相关学科知识进行系统性重组。设计项目导向的课程体系，回归工程实践，强调与实际需求相结合，构建凸显工程性与创新性的工程课程体系。强化工程实践教学，引导学生参与工程训练、课内外工程实践等活动。构建现代工程实践教学课程体系，推进产学研合作，构建开放、综合的实践教学环境，完善实践教学质量评估、管理与激励机制。针对工程人才成长规律，摒弃“论文至上”的过度学理化倾向，强调以工程专业实践和创新能力为导向，注重职业道德和职业伦理的培养。

### 3. 深入开展教学方法革新。

教学方法陈旧是广受诟病的问题。教育部原部长袁贵仁在 2016 年全国工作会议上提出“掀起一场课堂革命”。目前，高校课堂教学很多方面还比较落后，有些问题是因为条件如教室或其他装备的限制。笔者在北京交通大学、燕山大学座谈时发现，这两所高校注重用“项目”的方法把学生的学习嵌入“项目”，边学习边实践，用“项目”设计的成果进行考核，体现了一种“干中学”的教学设计。工程教育克服理科化倾向就要克服纯粹“知识课堂”，在干中学习知识、积累知识，提升能力。目前，一些学校在努力改变原有的呆板课堂教学方法，有的在桌椅板凳怎么样摆放更有利于提高教学效果等方面进行了尝试。如浙江大学国际学院的教室设计着力体现“以学生为主体，以教师为主导”的理念，考虑教室的设计如何有利于提高教学的互动性、多样性、灵活性、先进性和舒适性。四川大学等高校也进行了积极的探索。但总体上说，我们在教学方法改革上依旧比较迟缓、落后，还要进一步深化。

教学方法改革最重要的是调动教师的积极性，因为教学方法的改革归根结底要落在课堂上，而不是落在学校领导的讲话稿里成为点缀。要发动更多教师研究教学方法、掌握现代教学方法，利用先进技术推进教学方法的革新。

### 4. 注重教师队伍建设。

当前我国 154 万大学教师鲜明的特点是“年轻”，45 岁以下教师占全体教师的 70%，40 岁以下教师占全体教师的 50%还多。“年轻”是特点、是优点，同时也难免有缺点。具体到高等工程教育，集中反映在工程经验积累不足。多数教师只是从书本到书本、从学校到学校，这对培养高质量工程教育专业的学生来说是有难度的。这方面有几点要强调：高校要重视青年教师师德水平和执教能力的提高，把提高青年教师对实践经验、工程经验的积累看作培养青年教师的重要环节；同时，要对青年教师多一份呵护、多一份关心，“要让教师成为让人羡慕的职业，要按照总书记的要求，切实加强待遇保障，让教师在岗位上有幸福感”。这样广大教师才能安心从教、热心从教、舒心从教、静心从教，才能把全身心的力量投入到教学改革和人才培养中去。

### 5. 注重培养学生健全人格、工程伦理、职业素养和人文艺术修养。

高校的立身之本在立德树人。一流工程技术人员应具有工程伦理、行业操守和职业素养；具有关切环境、关怀生命的责任心；具有健全的人格；具有勇于开拓的创新创业精神；具有认真负责、扎实钻研的工匠精神；具有客观理性、明辨是非的价值观。总之，我们培养的工程技术人员，不仅会干、能干（how to do），而且懂得为什么而干（why to do）。因此，高校要始终坚持立德树人这一根本任务，积极探索通识教育和专业教育相结合的培养制度，把学生培养成全面发展的人、完整的人。要加强卓越工程师的内涵建设，不但要培养学生的工程专业技能、工程思维能力，还要加强学生工程价值观和工程伦理教育，增强学生的人文素养和情怀。工程伦理要与社会主义核心价值观相衔接，提高工科大学生的工程伦理素质，使其具有工程伦理意识、掌握工程伦理规范，提高他们的工程伦理决策能力。

（摘自《高等工程教育研究》，2017 年第 1 期）

# 基于设计的工程教育（DBL）模式创新

（邹晓东 姚威 翁默斯）

将真实工程世界体验嵌入工程教育的全过程 是回归工程实践的重要发展趋势。其中，PBL 模式（Problem-based learning, 基于问题的工程教育模式）、PBCL 模式（Project-Based Critical Learning, 基于项目的批判学习模式）、CDIO 模式都体现了这一努力。当前，在设计能力日益成为工程创新关键环节的技术与社会背景下，如何进一步将设计融入到工程教育模式创新中，或是一种大胆新鲜却又不可回避的尝试。

## 一、“设计”内涵的演化

工程教育历经了“技术范式”、“科学范式”，目前正处于“回归工程实践”的整体环境中，当今工程教育越来越强调“设计”作为工程的一个主要的和有特色的元素，2005 年一项全美的调研表明，超过半数的工科教师及接近 3 / 4 的教学项目负责人（program chair）认为在过去的十年中对设计的重视日益加强。如何“回归工程实践”，各学校都展开了积极探索，但目前看，将真实工程世界体验嵌入到工程教育的过程中成为一种主流选择，包括 PBL、PBCL、CDIO 等模式都是引用基于这一逻辑出发点的不同选择。这些模式虽有不同的侧重，但在回归工程实践的过程中，却都不约而同地凸显了“设计”的重要性。“设计”可以说是工程最古老却又最核心的逻辑。什么是“设计”？特别是工程领域的设计的意蕴指向是什么？

设计活动起初是为适应农耕时代农业自然经济条件下经济、社会、军事、宗教及文化等需求发展起来的一种手工劳动，特点是模仿自然，注重实用，契合社会文化和统治需要。而工业时代设计的第一个权威定义是由国际工业设计协会理事会（ICSID）在 1970 年给出的：“工业设计，是一种根据产业状况以决定制作适应物品特质的活动。”随着现代工业的发展以及工业设计服务的不断拓宽和深化发展，产业链从单纯的设计产品环节延伸到工艺流程、环境、包装、市场策划、品牌推广等生产和流通服务的整个过程，设计理念更加强调资源节约、环境保护，以更符合人类可持续发展的需要。于是 2016 年 ICSID 第三次对定义进行修订，认为工业设计是“一种创造性的活动，其目的是为物品、流程、服务以及它们在整个生命周期中构成的系统建立起多方面的品质”。与此类似，我国学者对工业设计也作过定义。如钱学森（1987）认为，“所谓工业设计，就是综合了工业产品的技术功能设计和外形美术设计，所以是自然科学技术和社会科学、哲学、美学的汇合”。工信部（2010 年）在《关于促进工业设计发展的若干指导意见》中认为，“工业设计是以工业产品为主要对象，综合运用科技成果和工学、美学、心理学、经济学等知识，对产品的功能、结构、形态及包装等进行整合优化的创新活动”。工业时代的设计，为适应市场竞争要更多地满足标准化、模块化的大规模生产方式，因此设计过程中注重生产效率的提升和成本的控制。

随着新技术的迅猛发展，新的市场需求不断涌现，全球信息网络时代设计的背景已经发生了重要的变化，主要表现在：第一，社会飞速发展导致设计理念的变革。未来的设计更加重视用户体验，试图系统实现经济、社会、文化、生态等多方面综合价值，更加追求绿色低碳、高度智能、共创分享、个性定制，在征服和改造自然的同时也更加注重创造宜居环境和美好生活。第二，技术的迅猛发展导致设计方法的剧变。宽带网络的飞速发展，将全球连接成为一体。云计算、CPS 的技术突破，使得设计制造和经营服务都同处于物理和全球信息网络环境中。3D 打印机的出现，

更是为分布式制造的发展拉开了序幕。全球宽带、智能物流、云计算等都成为了最重要的基础设施，大数据成为最重要的设计资源。因此相比于工业时代以 CAD/CAE 技术为代表的计算、仿真等单打独斗或组织内部团队协作的传统设计方式，未来的设计将更多地表现为以大数据、超级计算加个性化智能制造的全球协同设计网络。第三，设计对国家和企业竞争力的影响与日俱增。人们逐渐意识到设计是知识转化为生产力的关键环节，是制造和创造的先导和关键环节，它决定了产品的功能品质和全生命周期的经济、社会、文化及生态价值。从微观上看，设计可以帮助企业提升企业品牌信誉和市场竞争能力，可以创造引领新的市场和社会需求；从宏观上看，设计不仅推动着生产和生活方式的变革，也促进引领着人类文明持续发展的进程。未来的设计，将进一步适应和引领知识网络时代的经济社会和文化需求，将超越数字减材与增材、无机与有机、理化与生物的界限，将对人类的生产方式、经营服务方式甚至生活的方方面面产生颠覆式的影响，促发新一轮的产业革命。

由此可见，当下设计的内涵已远远超出了工业时代的“工业设计”。路甬祥(2016)认为，农耕时代的传统设计视为设计 1.0，工业时代的现代设计是设计 2.0，知识网络时代的创新设计将进化为设计 3.0。为与工业时代的工业设计相区分，本文将未来全球化知识网络时代的设计命名为“创新设计”。本文认为所谓创新设计是指在全球知识网络时代，综合运用人类的技术发明成果，融合多学科知识，为提升产品/服务的经济、社会、文化、生态诸方面的综合价值而开展的系统化集成创新创造活动。通过设计师的预先设想、计划和策划，使产品/服务的品质和附加价值得以显著提升。

为及时应对创新设计引发的未来挑战，2015 年 3 月国务院《关于深化体制机制改革加快实施创新驱动发展战略的若干意见》指出，到 2020 年基本形成适应创新驱动发展要求的制度环境和法律体系。同年在 5 月 8 日发布的“中国制造 2025”中明确提出了要提高创新设计能力，进而提高国家制造业的创新能力。可见创新设计已经成为国家创新驱动发展战略的重要组成部分，创新设计对实现创新驱动、促进从制造大国向制造强国跨越、建设创新型国家意义重大。因此在工程教育视野中如何深入认识创新设计的崭新趋势、典型特征与特殊要求，并在教育的具体实践中加以充分把握与运用，培养符合时代需求的工程科技人才，不失为一种有探索前景的尝试。

## 二、工程教育的最佳实践与设计要素

### 1. CDIO 模式。

2001 年，MIT 发表了《CDIO 大纲：本科工程教育的目标宣言》，也是 MIT 的“第一号 CDIO 报告”。之后 CDIO 模式逐步走向国际，Edward Crawley 等人在《重新认识工程教育——国际 CDIO 培养模式与方法》中阐述了 CDIO 的三个关键概念，并对愿景、目标、CDIO 大纲、课程设置以及实施、评价和标准做了详细介绍。CDIO 模式反映了工业产品、服务和系统从研发开始直到结束的生命周期全过程，其核心包括四个段——构思 (conceive)、设计 (design)、实现 (implement) 以及运作 (operate)。其中，设计被列为其中的一个关键环节。

CDIO 模式通过一体化课程计划来实现上述四个阶段。一体化课程计划通过与工程学科基础进行结合，对课程进行有机串联，使课程间相互支持，在此过程中系统提升学生对产品、过程和系统的建构能力以及人际交往等能力。而在课程之外，CDIO 也着重培养学生在真实工程环境中的能力，因此“设计——经验”成为了模式的核心内容。“设计——经验”是与课程相适应的，让学生在在对实际产品、过程、系统或一些合理的替代品进行设计、实施和测试的过程中获得经验的过程，这种经验是学

生自己设计、建造中所得，是一种建构式的知识所得，当然在这个过程中需要不断对其有效性进行检验。

## 2. 基于问题的学习——PBL 模式。

PBL 模式最早由美国南伊利诺大学基于问题学习研究所所长 Barrows 教授于 20 世纪 60 年代提出，起初应用于医学人才培养，目前已逐步扩展到各个领域尤其是工程教育领域。从应用方式上来看主要有两种：一种是以丹麦奥尔堡大学、瑞典林雪平大学、荷兰马斯特里赫特大学等为代表的在教学中完全采用 PBL 的模式；另外一种主要是在高校个别院系、个别专业或者个别专业的某个学科中进行的 PBL 实践。

PBL 是一种以真实情景中的需要为基础、以学生为中心的自我引导的方法。PBL 的实施步骤需经过一个闭合的循环系统，主要分为 6 个步骤：① 识别问题；② 发掘已有知识；③ 分析问题寻找解决方案；④ 自我学习；⑤ 学习利用新知识解决问题；⑥ 评估反馈。学生面对一个开放式的问题，以自主探索、学习为主。在解决问题的过程中学习知识，这也是 PBL 教学模式的核心之处。

## 3. 基于项目的批判式学习——PBCL 模式。

Armand Hatchuel 通过与设计理论相结合，改进了原有 PjBL 模式（基于项目的学习模式），提出了 PBCL 模式，该模式以“识别并修正既定认识”为切入点，作为教学成效的评估，使得评估的过程更为明晰化。他认为，PBCL 模式相比于 PjBL 模式，明确提出了还需对设计理论进行学习以加强学生设计思维的训练的思想。PBCL 模式结合了传统 PjBL 培养模式中的优势（提供了未知的、开放的真实或准真实情境）以及理论方法（提供了集成框架、具体推理过程、复杂问题的发现与识别等），强调设计思维的形成，以设计的思想来解决问题。虽然目前对于该模式鲜有更多深入的讨论，但对于设计为导向的工程教育来说是一个创新的借鉴模式。

## 4. 各种模式的设计意蕴及其侧重。

已有的实践在一定程度上揭示了 CDIO 模式及其中的“设计”在整个工程教育中的地位和作用，任何工程实践的结果都是在设计的基础上进行的，CDIO 模式当中的一体化课程计划以及“设计——经验”活动是其关键核心，以课程作为“设计”的辅助，以“设计——经验”活动作为“设计”的延展。但是，在 CDIO 模式中“设计”仅作为工程教育其中的一个基础环节，与其说是“设计”其实更像是一个“集成”动作，以衔接“构思”与“实现”两个环节，并未将设计明确提高到战略高度。PBL、PBCL 模式提供了解决问题的过程模型，需要进一步结合设计理论加以具体理解。PBL、PBCL 等常常被作为设计教学上的一种行为类型，它们以问题、项目为基础的学习模式具体细化了如何面向真实世界、运用真实工程实践的问题或项目来培养学生的步骤及内涵，在这之中，学生可以经历工程实践的核心过程——解决问题，同时也不可避免地经历“设计”这一阶段。但是，PBL 教学模式主要是基于“特定的推理策略”，不仅仅需要问题设计得当，还需要对学生在解决问题过程中加以方法上的指导。且这两种模式更多强调解决问题的重要性，而对于识别问题到解决问题的过程，包括方案想法的提出、选择、筛选到知识产生、获取、运用等内在化机理则并没有明确提出，因此需要设计理论加以弥补，并需要更细致的指导。

可见，设计已嵌入于 CDIO、PBL、PBCL 等多种模式中。在 CDIO 模式中，设计作为基础的一个阶段；PBL 模式的内核与设计思维息息相关但并未明确与设计相衔接；PBCL 模式设计理论与具体解决问题过程相结合的先例提供了很好的借鉴价值，只是着眼于微观层面，并未系统化。而且更为重要的是，“设计”本身的内涵已经随着时代的变化在不断丰富，如何在新形势下构建基于设计的崭新范式的工程教育模式，是亟待回答的问题。

### 三、基于设计的学习创新探索

基于问题的学习，基于项目的学习，以及基于项目的批判式学习，这些模式创新都集中展现了真实工程世界体验对工程人才培养的重要性，可以说这是回归工程实践时期的工程教育的重要征，即充分体现了工程的集成、实践与创造逻辑。当然，这几个模式对真实工程世界体验的载体不尽相同。CDIO亦是强调了工程的全过程性，而它也将设计作为重要的一环。时至今日，（创新）设计作为将知识和创意转化为产品、装备、经营服务的先导和准备，是制造和服务价值的决定因素，是提升自主创新能力的关键环节，将设计作为工程师的基础的思维训练亦不断取得共识。因此，本研究尝试提出基于（创新）设计的学习模式，是继续推动高等工程教育回归实践的一种新方案。当然，在国外 DBL 模式已经较多地运用于 K-12 阶段。

根据前文“创新设计”的概念可知，与工业时代主要基于物理环境的工业设计相比，全球知网络时代基于全球信息网络和物理环境的创新设计具有全方位友好、无边界协作、大尺度融合、大规模定制等特点。

全方位友好是指知网络时代的设计，通过融合科学技术、经济社会、人文艺术、生态环境等多学科知识和信息大数据，在设计理念上将更加重视用户体验，重视绿色低碳，追求包括经济、社会、文化、生态在内的综合价值，因此创新设计是环境友好、（面向用户）界面友好、经济以及社会效益友好等全方位友好的创新活动。

无边界协作是指随着宽带网络的普及以及大数据、云计算、虚拟现实、3D 打印等技术的飞速发展，为设计的全时空协作提供了便利，必将带动网络设计工具软件、协同设计平台、云制造平台以及众包众创服务平台的飞速发展，未来设计不再是一门闭门造车的神秘学问，每个组织甚至每个人都有机会参与创新设计甚至个性化智能制造的行列。

大尺度融合是指知网络时代的设计为实现全方位友好的综合价值，需要综合运用人类的科技成果，同时涉及与美学、艺术、经济、环境等多学科多领域知识的大尺度融合，是涉及领域广泛的集成创新活动。

大规模定制是指 3D 打印、智能制造、柔性制造、精密制造以及云制造等新型制造方式的普及为满足不同群体甚至不同个体的碎片化个性化需求提供了可能，因此与注重标准化规模化的传统工业设计相比，创新设计更注重用更经济更高效的手段平衡定制化与规模化生产的矛盾。

那么，如何在工程教育的具体模式中体现设计的核心逻辑，如何优化模式使得更能适应创新设计的意蕴指向，面向创新设计的学习方式又如何可能？本研究尝试从理念维、过程维、支撑维三个层面来具体探索。

#### 1. 理念维：设计的系统性、过程性与集成性。

第一，系统性。设计是一种“以将现存情形改变成期望情形为目标而构想行动方案”的过程，它是将专业和科学区分开的主要标志，是“工程、建筑、商业、医疗、法律、教育等一切专业学科的核心”。“设计”是提出创意，设定目标，并且通过计划与规划来指导实施，满足和引领多样物质和精神需求的各类创新活动。“设计”是一切创造性实践的前期准备，为实现创新设计的“全方位友好”的目标，“设计”本身就是综合与系统的集成创新。因此 DBL 的设计内涵同样强调设计的系统性。在智能互联的知网络时代，（创新）设计不再局限于某项具体产品的设计，更不是某一个新鲜概念的构思，而是包含从概念构思到产品 / 服务创造全过程，包含技术、艺术、经济、文化、环保等多方面目标的综合实现。

第二，过程性。Armstrong 认为实现工程设计需要有三个子过程，分别是需求（need）、想象（vision）、传达（delivery）。Armstrong 对设计的过程性提供了一

个初步框架。DBL 亦强调对设计的分层分类，以满足创新设计中“大规模定制”和“无边界协同”的需求，让不同类型的设计在不同阶段加以训练，而且这些前后环节之间无缝衔接，层层深入，从最基础的由个人完成的标准化设计，到最后团队共同完成的创新导向的协同化设计。所以设计的过程性使得 DBL 提倡的是“设计流”运行理念。强调在环环相扣的过程性之中培养系统的设计思维。

第三，集成性。知识网络时代的设计师，更需要科学技术、经济社会、人文艺术、生态环境等多方面的知识和多学科交叉融合，以满足“大尺度融合”的需要。为此 DBL 模式打破了传统的学科壁垒，摈弃了以学科为基础的课程体系，主张围绕“设计流”开发定制化的集成式课程群，既满足“设计”的个性需求，又能够兼顾多领域知识融合贯通的需要。

## 2. 过程维：以系统化设计流为主线，以集成式课程群为辅线。

通过设计来整合培养过程，在以设计为主线的培养过程中突出集成性、创造性与实践性。因而要求所设置的设计环节是系统的，是涵括概念设想、创新设计与产品设计等多方面，如图 1 所示。

(1) 以系统化设计流为学习主线。

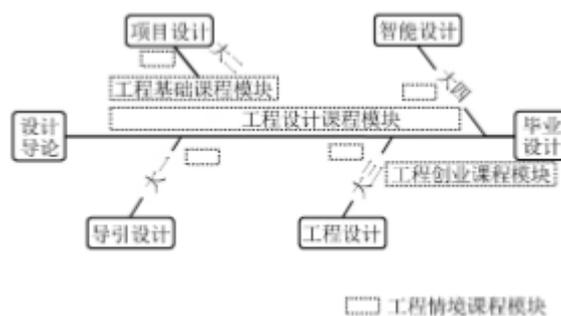


图 1 DBL 模式概念图

DBL 模式强调以设计流为主线，在真实设计中进行知识的储备与应用，提升工科学生的自主学习能力。所谓设计流，就是让设计成为一种系统的训练模式，不同阶段的设计有不同的特征要求，但也环环相扣，前一阶段都是为下一阶段的设计奠定基础。DBL 模式认为学生在不同学业阶段分别完成导引设计、项目设计、工程设计与智能设计等环节。导引设计，指的是识别既定需求，在一定的约束条件下，能满足既定需求的模仿设计；项目设计，是指在导引设计基础上，针对给定问题（需求）构建概念雏形，形成较为系统的需求说明，能够选择所需资源，甄别不同技术路线，并最终独立完成满足既定需求的解决方案；工程设计，面对现实中的真实工程问题，充分考虑用于实际工程生产的可能性，因而对成本、对可行性等现实性的约束将有突出的考虑，此外在本环节也将格外加强对沟通及团队协作能力的培养与考查；智能设计，则要进一步突出考虑方案的创新性，高度智能。这些设计环节前后相互关联，最终呈现完整的工程设计过程（说明问题——产生结果——选择方案——建立实物——评估——呈现结果）。这些设计之间要环环相扣，要具备前后的关联性。

(2) 以集成式的 S-E-P 课程群为辅线。

以 DBL 为主线进行教学方式的改革，同时配以课程设置为暗线来组织具体的培养模式，充分体现集成性的课程、实践性的设计、创造性的产出。课程设置的核心准则是处理好理论与实践的关系。课程改革的重点是突出现代工程专业实践的教育环节并保持扎实的科学理论基础。要避免因以设计为主线所带来的知识碎片化现象，

推荐可供选择的对应课程以提升学生自主学习能力。DBL 的课程观认为要妥善处理理论课程(study)、体验课程(experience)与实践课程(practice)三者的比例关系。其中体验课程与实践课程的主要区别在于课程发生的情境，体验课程主要还是侧重于在校内对真实工程情景的仿真与模拟，而实践课程则是在产业界“真刀真枪”的认知与操作。

DBL 的课程观同样还强调围绕设计流，将课程设置课群化、模块化，让学生能根据目前所处设计阶段自主地选择所需课程。课程设置的模块化与课群化要遵循如下原则。第一，仍以设计流为主线，特定设计项目对应可供选择的课群，所以课群的设定是充分同设计挂钩的，选择一种设计项目，就相对应地选择了一定课程组合的课群，当然这个课群的选择会提供多个选项供自主选择。第二，纵（课程群）横（课程模块）交错。课程的设定从纵向上以设计流为主线，一种设计对应相应的 1~3 种课程群的选择。同时也有课程模块的整体要求，包块工程基础课程模块、工程情境课程模块、工程设计课程模块、工程创业课程模块等等都有规定比例的要求。当然也有课程学分上的基础要求（包括通识课），即通识课、专业基础课、专业核心课都有一定比例的学分要求。学生所修课程需同时满足两个条件。第三，课程的设置是嵌入式的，即在原先课程基础上强调课程的内容整合，体现工程特色，而不是做课程加法。因为以设计为基础的学习模式对工程知识的广度与深度较传统模式有更高的要求，如何处理好要求提高与学习时间精力恒定的矛盾，主要就是通过课程整合的方式进行。

### **3. 支撑维：整合培养平台，创新评价方式。**

为了能让 DBL 推进实施，除了在教学模式上的重构之外，仍然需要加强支撑环境以与培养模式的整体变革进行匹配。简单来讲有两个重点，一是在培养过程中保证“设计的题目要源自真实世界”，二是在评价环节，对设计作品的评价需保证产业界具有相当的话语权，因为对“设计”质量的保证是 DBL 模式人才培养质量保证的重中之重。所以从这个意义上讲，如何吸纳产业的参与，整合培养平台，创新评价方式，是 DBL 模式亟待解答的议题。

事实上，目前教育部实施的卓越工程师计划正是反映了积极吸纳产业参与工程人才培养的努力。DBL 模式认为应进一步拓宽产业参与人才培养的深度与广度，即全链条式参与。一是要尽可能地让产业界参与到工程人才培养的规划中来，寻找产业需求与培养供给的契合，让产业界对设计的任务要求进行“更接地气”的规划，将工程实践中的真实问题转化为教学中可供操作的选题；二是为设计寻找更宽阔的实践平台，一方面让工程人才在实训中掌握工程技能，另一方面让设计成果有应用的空间，有接受产业界“真刀真枪”检验的机会。

DBL 的学业评价仍然以设计的完成质量与在此过程中体现的素质能力进行多元评价。设计的考核标准是开放式的，优秀标准不是达标测试，对科学性、创新型、可行性、美观性等维度进行综合考虑，当然各阶段设计的评判标准会有所侧重。对设计的考核仍然是核心环节，占据核心学分要求。不能用课程选修的方式来抵换。在评价主体和评价办法上，尽可能地使用多元化的手段，特是在新形势下充分借用新的技术条件的作用。

## **四、DBL 的生动实践：新加坡科技设计大学大设计工程教育模式**

基于设计的工程教育模式（DBL）是在综合考察时代工程语境以及在充分借鉴先进工程教育模式基础上建构形成的，它不是对既有工程教育经验的总结，而在一定程度上是一种大胆构想。这种设想是否能够落地生根、推广应用，仍然需要进一步加强论证研究。但目前从全球范围内，新加坡科技设计大学（SUTD）提倡基于大设

设计观的工程教育模式可以说在某种程度上是对 DBL 的一种生动实践。SUTD 于 2012 年正式开学，可以说是世界上第一所将设计融入到学校的研究与创新中的大学。

所谓大设计观，如图 2 所示，包含四层设计，第一层是在一门课程中的设计；第二层是课程之间的设计，跨学科、跨课程；第三层设计则要跨越不同的专业和年级；而第四层设计是课外实践的全真模拟。该模式中大一学生统一学习基础课程，包括设计情境下数学、科学、人文科学导论、社会科学等课程，并在大一结束时完成设计项目。大二则学习信息、计算、材料与系统方面的知识，主要培养学生统计推理以及运筹能力。大三学生开始自主选择领域（主要是四个领域：结构&可持续设计，工程产品开发，工程系统&设计，信息系统技术&设计），设计项目贯穿整个学年，学生可选择自己感兴趣的选修课程。大四期间，主要培养学生的企业神以及管理、社会科学、经济、人文、艺术等方面的能力，并完成毕业设计。



图 2 新加坡科技设计大学大设计工程教育模式

大设计工程教育模式同样以多层设计为主线，在大学不同阶段设置了不同类型的设计项目，分别是结构设计、产品设计、系统设计及智能设计。这与 DBL 模式以“导引设计、项目设计、工程设计、智能设计”为主的设计流理念有异曲同工之妙。而对于学生知识能力的建构，大设计工程教育模式同样遵循了建构主义思想，通过跨学科课程的设置来让学生自主选择、自我提升，这同样是 DBL 课程建设的重要思路。当然 DBL 的 S-E-P 课程群则进一步突破理论课程的限制，同时集成体验课程与实践课程，因而 DBL 的课程群将在更大范围内对课程进行整合。无论是大设计工程教育模式，还是 DBL 的工程教育模式构想，都需要企业等主体的全方位参与，需要更加实质的校企合作，才能使得这样一类基于设计的工程教育模式有推进的可能。

综上，通过对设计的前端、中端及终端的控制与策划，我们试图构建基于设计的工程教育模式。尽管在理念的构想略为大胆，但设计的重要性是大势所趋，新加坡科技设计大学大设计工程教育模式更是为 DBL 的进一步落地增添了许多可能。因此，继续深入研究与设计 DBL 或许是对工程教育模式的有益探索与创新。

---

**报送：**校领导，校教学委员，相关职能部门，各学院教学院长、教务科

**印发：**教务处各科室

---

**审稿：**庞岚**编辑：**龚伍军王美娟本期 22 版

**信箱：**jwc-jck@cug.edu.cn **电话：**(027) 67885006 **地址：**教务处一楼教研与教材科