内部资料请勿外传

|  |
| --- |
| 高教研究选编 |

**2018年第5期（总第139期）**

武汉轻工大学发展规划处编印 2018年6月

目 录

[**“新工科”建设复旦共识 1**](#_Toc518326161)

[**工科何以而新？ 4**](#_Toc518326162)

[**新工科建设：强势打造“卓越计划”升级版 12**](#_Toc518326163)

[**新工科与新范式：概念、框架和实施路径 28**](#_Toc518326164)

[**融合、开放、自适应的地方院校新工科体系建设思考 52**](#_Toc518326165)

[**面向新工科的集成化产教融合平台构建  
 ——基于不完全契约的视角 62**](#_Toc518326166)

[**面向未来的中国新工科建设 72**](#_Toc518326167)

**编者按:**2018年3月教育部颁布的《关于公布首批“新工科”研究与实践项目的通知》提出开展“新工科”建设是深入学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想和党的十九大精神，写好高等教育“奋进之笔”，打好提升质量、推进公平、创新人才培养机制攻坚战的重要举措。本期选编特别围绕教育部相关司局和高校对于“新工科”领域的最新研究成果，谨供学校各级领导、专家参阅。

**“新工科”建设复旦共识**

**教育部高等教育司**

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.我国高等工程教育改革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。总结继承工程教育改革发展的成功经验，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、有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。

**工科何以而新？**

**李培根**

最近，教育部推出“新工科”计划。在科技日新月异的时代，在新工业革命正在来临之际，在中国正在向工业强国的行列阔步迈进之时，“新工科”计划可谓恰逢其时。官方的正式通知中指出“新工科”要体现五个“新”，即工程教育的新理念、学科专业的新结构等。应该说，该计划意义很大，方向正确。

教育部的新举措自然引起工程教育界的广泛关注。对“新工科”，已经有不少解读，有的解读不乏真知灼见。但笔者也注意到，有些解读不得要领，有的甚至可能把“新工科”计划引向误区。如有人认为，老工科对应的是传统产业，新工科对应的是新兴产业。

“新工科”计划的顺利推进，有赖于实施者对“新”的正确认识。虽然五个“新”指引了方向，但真正实施起来，尚有很多具体的东西需要明晰。理念新在哪里？结构新在何处？如此等等。某种意义上，工科一直在不断更新。在当前特殊的时期和特殊的节点上，工科之“新”更要体现在工程教育的内涵上，本文试图探讨工科究竟何以而新？

一、新素养

“新工科”的目的当然是为了培养能够适应、甚至引领未来工程需求的人才。既如此，有必要廓清未来的工程人才应该具备什么样的新素养。不妨从以下几个方面分析。

**1.多一点“形而上”。**

夫子曰，“君子不器”，《易经•系辞》中言：“形而上者谓之道，形而下者谓之器。”几千年的传统使技术与工程师在中国的地位多少显得有些“形而下”，至少不像人文、科学那样“形而上”。

然而，西方一些哲学家、思想家对技术本质和作用的思考表明技术或工程依然是非常“形而上”的。如，海德格尔在《存在与时间》中言，在人的在世存在中，技术存在优先于科学理论。他还将现代技术的全球运动看成是“一种力量，它对历史所起的决定性作用怎样强调都不过分。”敖德嘉·加塞特认为“人类心灵生成的最伟大奇迹之一——物理科学，起源于技术。”“技术的最初使命就在于让人‘有空’去‘成为他自己’。”

类似的论述不胜枚举。“新工科”教育若能让学生也了解一点类似的观念乃至引发学生思考一点工程与技术的“形而上”问题无疑是有很大好处的：有利于增强工科学生的价值感与使命感；有利于他们兴趣的形成；有利于他们将来能够在更高的层次和境界上进行创造性的工作。

**2.对“超世界存在”的关注——一种使命感和价值感。**

任何时期，学校培养的学生都应该具有使命感，如家国情怀、创新、服务社会等等，这些自不待言。结合我国高等工程教育培养人才的现状和未来工程对人才的需求，我们希望学生的使命感和价值感中应该注入新的元素吗？

法国著名科学哲学家、新认识论奠基人加斯东·巴什拉谈到绘画时说：“没有什么艺术比绘画更直接地具有创造力……画家基于原始想象的宿命，总是更新对宇宙的伟大梦想，…”其实，工程与技术难道不是更能更新对世界的伟大梦想吗？

近些年，我国的科技创新能力不断提高，但较之某些发达国家，我们的创新能力依然有较大差距。具体而言，我们的创新多属于“增量创新”，即在别人基础上的创新。真正属于我们自己的原始创新、颠覆性创新、引领未来某个新的技术领域的创新还是太少。未来的工程教育怎样为改变这种现状做出贡献？这对工程教育提出的挑战是什么？显然，“新工科”培养的学生在关注工程中的现实需求的同时，还应该具有引领、想象、创造未来社会需求的欲求和能力。

敖德嘉·加塞特说过，“两种完全不同的实在——人和世界——以这样一种方式共存，即二者之一（人）要在另一者（恰恰是‘世界’）中建立‘超世界’的存在。如何实现这一点的问题——类似于工程师的问题——正是‘人的生存’的主题。”换句话说，卓越的工程师应该关注未来社会“人的生存”主题。就此而言，目前我们培养的学生似乎相对欠缺这方面的素养。美国莫哈韦小镇上的一帮年轻人致力于向火星移民，他们7年、10年时间就“撂”在那件事情里，时间、精力都耗在这样一件不知道何时能够有利益回报的事情（因为没有现实需求）。有人说这是美国式创新的一个重要特点——百无禁忌地想，还踏踏实实地干。什么力量使他们能够在同样是功利的熙熙攘攘的社会中免于利益的诱惑？这种情况下的坚持只能基于一种使命感和价值感——对“超世界存在”、对人类未来的关注。因此，“新工科”应该把这种新元素给我们的学生，使学生能有一种创新的闲适（哪怕最终只有很少一部分学生能够达到此境界），使他们能在时间轴上的未来点上自由驰骋，能够陶醉在想象“超自然存在”、“超世界存在”的乐趣中。可以预期的是，这样的使命感和价值感一定能够孕育伟大的创新。

**3.空间感。**

传统的工程教育，尤其是中国的工程教育，过分拘泥于专业的细节，学生的思维容易卷缩在狭小的专业空间。其实，工程问题需要大工程观。大工程观也是系统观，卓越的工程师应该能在大的科学空间去观察、思考问题。现实中，哪怕一个小产品完全可能涉及多学科问题，如LED，从学科言，涉及电子、物理、材料、制造、机械等诸多领域（学科空间）。因此，“新工科”要帮助学生建立多学科交叉的意识，养成在多学科空间观察、思考问题的习惯。

技术、尤其是信息技术的发展使得企业运营空间、信息空间在增大。如很多制造企业在进行从生产型制造向生产服务型制造的转型。相应地，在联盟企业中建构数字生态系统、数字供应链等都是企业的新需求。“新工科”培养的学生应该具有这种空间感。

空间感应体现在“问题空间”的构建。现代专业人员的视野主要不体现在知识上，而是体现在“问题”上。于学生而言，不能只是专注于“知识”，还要意识到存在哪些问题。哪怕有些问题的解决有赖于别的学科（多学科协同），甚至有些问题的解决尚无定论。观察和思维常常徜徉于问题空间之中，创新自然就在其中了。那么“新工科”如何帮助学生构建“问题空间”？

空间感还要体现在“社会空间”中。比尔.盖茨号召大学生关注人类社会的重大问题，贫穷、饥荒、流行病、环境……“社会空间”中存在林林种种的问题，部分是能够通过技术去解决或缓解的。那么，“新工科”如何培养学生在“社会空间”中观察问题的习惯以及通过技术去解决某些重大问题的责任感？这其实是一种技术意识加人文情怀的素养。

**4.关联力。**

加拿大学者乔治•西蒙斯提出关联主义理论，强调学习与知识是建立于各种节点之上，学习是将不同专业节点或信息源连接起来的过程，持续的学习需要培养与保持各种连接，好的学习应能看出不同领域理念与概念之间的联系。“新工科”应帮助学生建立专业节点或信息源的关联，使其成为获取知识的重要途径。这也是未来的创造者所应该具备的基本素养。

关联力首先表现在问题空间中感知关联的能力。例如，轴承涉及精度、磨损等问题，精度与加工、装配等诸多问题有关；磨损问题又和材料、润滑、摩擦、甚至化学等问题有关；精度问题和磨损问题又相互关联，……

关联力其次表现于在物理或现实空间中感知关联的能力。例如，关于机械加工，人们可分别在机床的运动中、在材料的变化过程中、在机器能量消耗的变化中、在刀具与材料接触的界面中去感知关联……

关联力也表现在虚拟空间中感知关联的能力。看似垃圾的数据，却又组成了斑斓的世界，大数据中潜藏着人平常根本意识不到的关联。车间中影响质量的隐性因素，即使专家也未必能意识到。未来工科学生应该意识到从虚拟世界中有可能获得对某一问题新的认识。

关联力还表现在与他人交往的空间中感知关联的能力。不能把“关联”仅仅看成是一种内源活动，即纯粹自己的活动。要善于把内源的关联过程向外源拓展，把自己对某一问题的初始关联向外发散，让朋友协助关联，其广度深度都不一样。也要善于把外源的关联结果转化成内源的结果，即把朋友关联的结果变成自己的知识或认识。

**5.想象力。**

想象力是创新能力的重要表现。与工程和技术有关的想象表现在很多方面。如想象的需求，现实生活中人们尚未意识到（也就无所谓需求）；想象的技术，基于预测、想象的，目前并未形成技术；想象的模式，当前尚不存在的、潜在的商业模式；想象的职业，技术的发展导致某些职业的变化、消亡，新职业的产生；……

**6.宏思维。**

宏思维指对超越于自身专业之外的社会、科技、工程、文化等多方面的重大问题的观察思考及领悟能力，从系统的角度，从时间、空间的大尺度去观察、思考问题。德国“工业4.0”和美国“工业互联网”所呈现的宏思维就是很好的例子，没有一批具备宏思维能力的专家，就不太可能有“工业4.0”及“工业互联网”。

**7.批判性思维。**

批判性思维是对思维方式进行思考的艺术。批判性思维需要自由空间。没有批判性思维就没有马克思主义，没有批判性思维也很难创新。“新工科”需要培养学生自由自在、独立思辨的能力。工程教育中应让学生养成思维习惯，看某一结论或陈述中，其证据是否充足？数据和信息与其来源之间的联系是怎样的？是否存在矛盾的、不充分的、模糊的信息？存在论证的逻辑错误吗？证据存在漏洞吗？如此等等。

二、新结构

关于新结构，应该从专业结构、课程及知识体系等方面审视。

有学者认为，“新工科”首先是指新兴工科专业。笔者则认为，“新工科”主要不在于增加新兴专业。当然，不应该排斥根据学校情况建立某些新专业，或则面向新技术的发展，或则面向产业特定需求。建立少数面向未来的、相对综合性的新专业是可取的，如华中科技大学的工程科学学院（颇有大工程含义的专业）、中国科学院大学的未来技术学院（前沿的、综合性的领域，如脑科学与智能技术、光子与量子芯片技术、光物质科学与能源技术等）所尝试的。但普遍性地增办新兴专业显然是不可取的，因为这种思路一定导致新一轮的专业过度细分，而我们已经在这方面有过教训。应该认识到，某项新技术的发展需要依赖于多学科交叉，需要多学科的学者从不同的视角进行研究，局限在一个新的专业中未必是好事。如增材制造（3D打印），在机械、材料、光电、生命科学、医学等多学科学者的努力下，该技术得以快速发展。成立相应的跨学科的研究中心是有必要的，但若是一窝蜂地成立增材制造（或3D打印）新专业，绝对没有必要。当然，个别应用型大学开办类似的新专业也未尝不可。

问产业需求建专业，似乎是情理之中。但需要注意的是，一流大学不能被动适应产业需求，而要引领产业需求。关于新专业问题，需要考虑产业需求，但不能被产业牵着鼻子走。如果说要考虑产业需求，更多的是在考虑企业长远的、潜在需求的意义上，而非眼前、当下的需求。有一种观点认为，好多企业希望大学毕业生进入企业后能尽快上手，因此按企业定制办工程专业，笔者认为个例尚可，普遍不宜。

顺便指出，建立新专业应是基于自由探索氛围下的学校自主行为，而不必基于政府部门的行政推进。

新结构的建立主要在于边界再设计，多年前笔者有过关于边界再设计的论述。“新工科”需要重新审视专业边界。如，机械设计与制造自动化，新技术的发展应该使该专业的学生有物联网、大数据分析、人工智能、生物医学等方面的概念。新结构还应表现在课程的边界再设计。如，对于多数工程专业（如机械、电气、土木、建筑……）的设计课程而言，融入人工智能的内容是非常有必要的。不仅是智能优化、案例学习、群体智能等方面的内容，还包括所谓“知识工作者自动化”，即以人工智能替代工程师的常规工作，使未来的工程师从一些繁琐的常规工作中解放出来，从而有更多精力专注于有创意的工作。

新结构理所当然地包括课程重构。如新增某些课，减少必修课，某些课可转为选修，某些课可合并，少数课甚至可裁掉（其中某些内容作为知识点融在某些课中）。学生新的知识结构中，除了某些多学科交叉的新内容外，还应该包括一点前述的“形而上”的内容。构建一门包括某些“形而上”内容、有利于培养学生宏思维和批判性思维等素养的“工程导论”课可能是非常有意义的。包括笔者在内的一个教学小组正在进行这方面的实践，这里不再赘述。

三、新方法

“新工科”当然要体现在教育、教学的新方法上。未来可能出现很多新方法，本文在此作粗浅的探讨。

**1.关联。**

前述新素养中提到“关联力”。要培养学生的这种能力，需要在教学的多个环节体现“关联”。如，教材中如何凸显关联？如何突出知识节点、问题节点？如何引导学生建立问题空间及其相互的关联？课堂教学中如何启发、引导学生关联？这些都需要教师有意识地进行探索、实践。

**2.非正式学习。**

真正善于学习之关键，可能在于课堂之外。未来的“新工科”应该把学生的非正式学习纳入教育者的考虑之中。既然是非正式学习，就不应该是模式化的。但不等于说教师就不应该引导学生进行高效的、有益于创新能力形成的非正式学习。非正式学习的能力使学生终生受用。网络、仿真系统、未来的智能系统都可能给学生提供非正式学习极好的手段。很多碎片知识可作为正式学习的很好补充。从朋友那里学习也是聪明的学习方法。

**3.去中心化。**

传统的教育是以教师为中心的，教师教什么，学生学什么；教师讲什么，学生听什么。未来的教育不能以教师为中心。教师要更多地考虑如何开发学生的潜能，包括前述的非正式学习。即便在课堂上，教师如何让学生逐步扩展其问题空间？如何利用学生的群体智能？让学生的群体智能使教育进化。

**4.想象学习。**

如果学习仅仅针对经过权威证实和实践检验的知识，则不利于学生想象力的丰富。能否让学生涉猎一点科技趋势预测、展望，甚至科技幻想？学生也可自己想象、讨论，完全不切实际的幻想也无妨。这种想象学习一定有利于培养学生思考“超自然存在”和“超世界存在”的自觉，为他们日后形成“头脑风暴”奠定基础。

四、结语

“新工科”计划的推进关键在于对“新”的内涵的认识。而“新”的内涵首先表现在面向未来的工程人才应该具备怎样的“新素养”。为了使学生具备“新素养”，需要工程教育的新结构，其主要的着眼点应该在专业和课程的边界再设计、课程重构等。“新工科”要落地在教材和教学方法的“新”。学校和教师需要探索若干新方法，诸如“关联”、非正式学习、去中心化等等。

“新工科”计划应避免专业碎片化，避免成为争占资源的活动。

**新工科建设：强势打造“卓越计划”升级版**

**林 建**

“卓越工程师教育培养计划”(简称“卓越计划”)是为了贯彻落实国家一系列战略部署以及教育改革发展规划纲要而提出的一项高等教育重大改革计划[，目前共有覆盖全国30个省市的208所高校的1257个本科专业点的20余万本科生和514个研究生专业点的近4万研究生参与。“卓越计划”自2010年启动至今，在人才培养模式改革、校企合作教育、工科教师队伍建设和工程教育面向世界等方面取得了令人瞩目的成果，部分高校毕业生就业率达100%，学生的实践能力、创新能力和综合素质明显提高。“卓越计划”的实施不仅引领了我国工程教育改革，也为我国高等教育改革起到重要的推动和示范作用，同时引起国际工程教育界的密切关注。

以新技术、新产业、新业态和新模式为特征的新经济的蓬勃发展、国家一系列重大战略的实施、我国产业转型升级和新旧动能转换、我国未来全球竞争力的提升等均对工程人才培养提出了新的更高的要求，要求面向产业、面向世界、面向未来建设新工科。事实上，新工科建设是在“卓越计划”已取得的工程教育改革成果的基础上，调整和转变学科专业建设思路，从适应产业需要转向满足产业需要和引领未来发展并重，拓展和提升工程教育改革内涵，将工程教育改革拓展到多学科交叉领域、提升到国家战略和未来发展的高度，按照这种新的学科专业建设思路和新的工程教育改革内涵，继续深入实施“卓越计划”，强势打造“卓越计划”的升级版(也称2.0版)。

具体而言，作为“卓越计划”的升级版，新工科建设从八个方面对“卓越计划”的内涵进行丰富和加强，包括教育教学理念、学科专业结构、学科专业建设、人才培养模式、多方合作教育、实践创新平台、教师队伍建设和人才培养质量等。本文以新工科建设对“卓越计划”的拓展和提升为重点，依次对这八个方面进行讨论和分析并提出相关意见和建议，以期为相关院校开展新工科建设提供参考和借鉴。

一、教育教学理念

理念引导行动，高等学校的教育教学理念需要随着高等教育在经济社会发展中角色的转变和责任的加大而及时调整和更新，在新工科建设的整个过程中需要有新理念引导高校的具体行动，归纳起来，有四个理念。

**1.“服务国家战略”理念。**

主动服务国家提出的一系列重大战略是新工科建设的出发点。为了实现中国梦的总目标，国家提出了“五位一体”的总体布局、“四个全面”的战略布局、“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念、以及创新驱动发展、“一带一路”、“中国制造2025”、“互联网+”等重大战略。新工科建设就是要根据实现上述国家重大战略的需要，主动布局、设置、建设和发展相关新工科专业，培养各种层次和类型的卓越工程科技人才。

**2.“对接产业行业”理念。**

主动对接并满足产业和行业需求是新工科建设的落脚点。产业结构的调整、转型升级，新旧增长动能的转换，新兴产业和新的产业形态的出现等，均急需培养一大批各种层次和类型的卓越工程科技人才，这正是新工科建设的目标所在。新工科建设就必须通过充分的市场和产业调研、分析和预测，积极应对产业的变化和发展，主动培养当前和未来产业、行业急需的工程人才。

**3.“引领未来发展”理念。**

引领产业行业未来发展是新工科建设的新起点。一方面，新工科建设通过对产业行业当前发展状况和未来发展环境的战略性分析，及时调整相关学科专业结构和建设方向，以此为新起点，提前培养各类卓越工程科技人才，引领当前产业行业的未来发展；另一方面，新工科建设通过多学科交叉融合、应用理科向工科延伸等形式，孕育产生新的工科专业，培育未来工程科技人才，促进新产业的形成并引领工科和未来产业的发展。

**4.“以学生为中心”理念。**

新工科建设的最终目的是培养各种层次和类型的卓越工程科技人才，因此，必须树立以学生为中心的理念，将其贯穿于人才培养的全过程。这一理念强调学生的学习成效和未来发展，要求围绕着学生的个性、兴趣和潜力开展教育教学工作，既要了解学生的个性特征，因材施教；又要培养学生的兴趣爱好，激发其探索未知的热情；还要挖掘学生的潜力，为其未来发展铺路搭桥。只有这样才能培养出满足新经济发展需要的既有个性、又能创新、还有潜力的卓越工程科技人才。

二、学科专业结构

新工科建设对“卓越计划”的最大拓展在于学科专业结构上。按照学科专业产生或形成的基础和构成要素划分，新工科的学科专业可以分为新型学科专业、新生学科专业和新兴学科专业三种类型，具有引领性、交融性、创新性、跨界性和发展性等几个特征，这三类学科专业构成了新工科学科专业的基本结构。

**1.新型学科专业。**

新型学科专业是指为了满足传统产业转型、改造和升级对培养相应的工程人才的需要，对传统的、现有的学科专业进行转型、改造和升级而形成的新的学科专业。对传统和现有学科专业的转型升级是基于新经济对传统工科专业人才培养的新要求，尤其是人工智能、大数据、云计算、物联网等新技术对传统和现有的学科专业的影响，需要从两方面探索这些学科专业转型、改造和升级的途径和方式：一是传统工科专业的信息化、数字化和智能化；二是其他学科对传统工科专业的介入渗透。

**2.新生学科专业。**

新生学科专业是指为了满足产业当前和未来发展对培养引领未来技术和产业发展的人才的需要，由不同工程学科的交叉复合或由工程学科与其他学科的交叉融合而产生的新的学科专业。不同工科的交叉复合是现代产业发展的趋势，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是现代产业发展的需要。新生学科专业的建设重点在于制定专业培养标准和培养方案，重组和优化课程体系和教学内容，构建实践创新教育教学体系以及教师队伍建设等。

**3.新兴学科专业。**

新兴学科专业是指全新出现、前所未有的新的学科专业，主要指从其他非工科的学科门类，尤其是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专业。近年来涌现的由基础学科孕育的新技术通过产业化后形成了新产业的现象，说明了以理科为代表的基础学科在引领未来技术、发展新兴产业以及形成和建设新兴学科专业上的重要作用，因此，需要探索理科在技术前沿的应用，推动应用理科向工科延伸，促进应用理科与其他学科领域的交叉融合。

三、学科专业建设

在学科专业建设上，新工科在“卓越计划”基础上的拓展主要有三方面：一是新工科的建设目标更聚焦；二是新工科需要有新型的学科专业建设平台；三是新工科需要建立学科专业的动态调整机制。

**1.学科专业建设目标。**

从工程学科对国家经济社会发展应当承担的重大使命而言，新工科的建设和发展应该重点落脚在新工科专业建设及其人才培养上，因此，新工科学科专业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、动态适应能力、高素质的各类交叉复合型卓越工程科技人才”。这一目标应该适用于参与“卓越计划”的各种类型工科院校的所有新工科专业，只是不同专业对其培养的卓越工程科技人才可以在“创新创业能力”、“动态适应能力”、“高素质”及“交叉复合型”等上赋予不同的涵义。

总体而言，在上述三类新工科学科专业建设上要注重大数据、云计算、物联网、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、新材料等新产业对卓越工程科技人才的需求状况及变化趋势。

**2.学科专业建设平台。**

“卓越计划”默认的学科专业建设平台是传统的院系实体模式，而新工科学科专业建设平台还可以是非实体模式。实体模式即按照传统的院系模式设立实体院系和组建新的工程学科、专业，其内部结构、管理方式与运行模式为人们所熟悉。非实体模式是一种新型的学科专业组织机构，按照新工科专业的构成要素和交叉融合的特征，由相关院系、学科和专业的教师以及校外兼职教师根据学科专业发展需要组成。非实体模式中教师的人事关系在原单位，只是根据新学科专业建设的需要在彼此之间建立起工作上的合作关系。

选择何种模式搭建学科专业建设平台取决于新学科专业的发展阶段和性质特征。在学科专业形成和建设初期，采取非实体模式有利于将新学科专业建设置于较高的起点上并提升其建设速度。对于由较多学科专业交叉融合形成的新学科专业，如果非实体机构难以挂靠在一个实体院系上，建立新的实体机构将有利于新学科专业的建设和发展。

学科专业建设平台还可以与校外产业部门、行业企业和科研院所等，本着优势互补、资源共享、互惠共赢的原则一道搭建，如成立产业化学院、未来学院等，这样既能够充分利用各种社会资源，又能够与合作方共同开展学科专业建设。

**3.学科专业动态调整机制。**

新工科建设的理念及其目标使得其较“卓越计划”更需要建立学科专业动态调整机制。一方面，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；另一方面，随着开放的全球高等教育人才市场竞争的日趋激烈，高校必须经常性地分析本校新工科专业在人才市场上的优势和不足、机遇和挑战，明确新工科专业建设的努力方向。因此，高校需要建立面向产业发展和提升专业竞争力的新工科学科专业的动态调整机制。

学科专业的动态调整需要做好三方面工作。一是高校需要聚焦服务面向区域，研究当前产业行业发展的特征和规律，预测未来产业行业发展方向和趋势，以准确把握产业行业当前和未来发展对工程人才需求的动态变化；二是高校需要经常性地开展新工科专业建设及其人才培养的外部宏观环境和内部条件分析，以明晰新工科学科专业在竞争市场中的状况；三是及时调整新工科学科专业设置，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、人才培养模式

为了落实新工科建设的教育教学理念，满足产业对人才多样化、个性化和动态变化的需求，在“卓越计划”的基础上，新工科建设在人才培养模式改革上有新的要求，重点在专业培养方案、本研贯通培养人才、课程体系和教学内容以及教育教学方式上。

**1.制定多学科交融、柔性化的专业培养方案。**

“卓越计划”专业培养方案是参与高校从专业培养角度对卓越工程人才培养提出的系统完整的具体要求和实施措施，要反映参与高校对“卓越计划”创新理念的理解和落实，包括培养目标、培养标准、标准细化、课程体系改革重组、教学内容更新、教学方法改革、培养标准实现矩阵、企业培养方案、教学计划、教师队伍、质量保障体系等。在此基础上，新工科专业的培养方案要强调多学科交融和柔性化。

多学科交叉融合是新工科专业最主要的特征之一，每个新工科专业需要制定能够支持本专业培养目标实现的多学科交叉融合的专业培养方案。专业培养方案的制定需要重点从以下几方面着手：①在前述新工科学科专业建设主要目标的基础上，提出本专业具有多学科特征的人才培养目标；②制定落实人才培养目标的具体、清晰的体现多学科交叉融合特征的专业培养标准；③根据专业培养标准的要求设置课程、明确课程目标、选择和组织支持课程目标实现的课程内容、建立课程体系；④采取与多学科交融教学内容相适应的教学方式；⑤制定具体的教学计划；⑥确定能够有效衡量专业培养标准实现情况的质量评价方式。

多样化的未来人才需求、动态变化的产业发展以及个性化的人才培养等要求新工科专业的培养方案是柔性化的。专业培养方案的柔性主要表现在以下两方面：①能够用同一方案培养出不同类型的卓越工程师后备人才，如通过课程的组合、专业方向的选择和培养计划的制定可以培养出诸如技术工程师、企业工程师或社会工程师等后备人才；②允许学生根据自己的专业兴趣和职业规划自主组合课程、自主制定培养计划、自主构建新专业，以充分发挥学生的天赋和特长，实现真正意义上的个性化人才培养。柔性化的专业培养方案不仅需要有丰富多样的课程和教学资源，包括允许学生自主在全校范围内选择课程，还需要有教师的指导和支持。

**2.本研贯通培养人才。**

为了保证有足够的企业学习时间，“卓越计划”要求本科、硕士和博士三个阶段严格执行三段制，即要求一个阶段完成之后才能进入下一阶段的学习。出于以下三方面原因，新工科建设尝试采取多种模式打通本研培养：一是为了统筹安排本研阶段的课程，加强通识教育和基础教育，提高人才培养效率，扩大学生从业适应面；二是为了支持学生专业复合、鼓励学科交叉、提倡主辅并重，形成多渠道的发展路径；三是仅有本科教育已经不能满足相当一些新产业和未来产业对工程人才的要求。

本研贯通培养人才应该以本科+硕士为主，需要做好三方面工作。①本研贯通人才培养的知识结构、课程体系、培养模式和学分要求；②本科与研究生阶段相关专业或不同专业核心知识、多种能力和综合素质要求的有效衔接；③适应不同专业培养方案的选课体系的建立和不同专业间的学分互认机制的完善。

**3.改革课程体系和教学内容。**

“卓越计划”对课程体系的模块化、课程体系的改革重组和优化以及教学内容的改革和更新等均提出了基本原理和具体明确且可操作的方法和措施，需要在新工科建设过程中继续落实。

针对新工科专业的多学科交叉融合的特征和对新工科专业卓越工程科技人才在知识、能力和素质上更高的要求，在课程体系和教学内容改革方面还需要做好以下三方面工作。①注重通识教育对专业教育的基础和支撑作用，整合重组和优化通识教育课程体系，以支持多学科交叉融合的专业教育的开展；②注重体现多学科交叉融合的新的专业课程的建设，以培养学生的跨学科思维和跨界整合能力；③注重将新工科学科前沿知识和相关学科交叉知识、原理和方法融入专业教育课程体系，以开拓学生的视野，培养学生的未来能力。

**4.创新教育教学方法。**

“卓越计划”大力推行基于问题的探究式学习、基于案例的讨论式学习和基于项目的参与式学习等研究性学习方法，对于学生知识的获取、应用和创新、工程能力的培养和提高、社会能力的培养和提高以及综合素质的养成和提升具有明显的成效。

随着“互联网+”、信息技术和优质在线教育资源的发展，为创新工程教育教学方法创造了极佳的条件，需要在新工科专业人才培养中予以充分利用。首先，在“互联网+”环境下，一方面充分运用各种优质在线教育资源，另一方面将混合式教学等教学方式与研究性学习相结合，以最大限度地发挥线上线下、课内课外以及教师、学生在教与学上的作用。其次，充分运用3D网络环境、增强现实和虚拟仿真、人工智能等信息技术支持研究性学习，通过增强信息、身临其境、加深理解等提高研究性学习的教学效率和效果。

五、多方合作教育

合作教育对卓越工程科技人才培养至关重要，在“卓越计划”中的合作教育主要指校企合作，它不仅是“卓越计划”的基本原则和主要特点，也是“卓越计划”成功的关键。新工科建设分别从三个方面增加、拓展和提升了“卓越计划”合作教育的内涵，即增加校内的跨学科专业合作教育、拓展校外合作教育到政产学研、提升国际合作教育的内涵。

**1.跨学科专业合作教育。**

不论学科专业建设平台是采取实体还是非实体模式，新工科建设仍然需要开展跨学科专业合作教育，这是新工科的交融性特征所决定的，也是“卓越计划”不专门强调的。跨学科专业合作教育是指在新工科学科专业建设平台上相关院系和学科专业开展的旨在培养新工科专业卓越工程科技人才的合作教育教学活动。

跨学科专业合作教育的开展需要做好以下几项工作。首先，合作对象的选择：主要考虑与新工科专业构成要素相关的院系、学科和专业，涉及工程学科、自然科学、数学、人文学科和社会学科等多个领域。其次，合作关系的建立：需要通过合作团队和合作方式的建立打破不同学科领域固有的界限，形成体现多学科交叉融合的工程人才培养合作模式。第三，合作内容的确定：主要包括跨学科专业课程的建设、跨学科专业合作学习、跨学科专业教师队伍建设、解决复杂工程问题能力的培养等。第四，教育资源的共享：基于资源共享和可持续发展的原则，建立跨院系、跨学科、跨专业的教育教学资源的整合、共享和发展机制，既提高资源的使用效率，又保证资源的更新发展。第五，政策制度的建设：学校层面需要通过制定政策和形成制度，从任务要求、组织保障、经费投入、管理模式和考核评价等方面支持、激励和保障跨学科合作教育教学活动的开展并取得实质性成效。

**2.政产学研合作教育。**

基于学科专业的特征分析，政产学研分别是工程教育的不同利益主体，因此，新工科专业在校外的合作教育必须从“卓越计划”单纯的校企双方合作，拓展到以校企合作为主并加强高校与政府和研究院所合作的政产学研多方合作。

中央政府和地方政府通过政策措施分别影响着全国和地方的产业发展布局、方向、结构、速度和规模。高校与政府开展合作教育的作用有二：一是通过培养产业需要的工程人才支持政府产业政策措施的贯彻落实，促进产业的发展；二是通过未来工科学科专业的建设和引领未来产业发展方向来影响政府产业政策措施的制定。

产业或企业在工程人才培养上的重要作用主要在于其具备高校所没有的以下条件：①能够准确把握社会对工程人才的需求；②拥有最先进的生产设备和制造技术；③拥有一批经验丰富的工程技术人员；④具有真实的工程实践和创新环境；⑤拥有完整的先进企业文化的学习氛围。高校与产业或企业开展合作教育正是要发挥企业这些优势。

与新产业相关的科研院所具备研究新技术和发展新产业的研究人员、技术设备和环境条件，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，这些是新工科学科专业建设所需要的，也有利于新工科专业卓越工程科技人才的培养，正是高校与科研院所开展合作教育的目的所在。

总体而言，政产学研合作教育的主要目标是：协调多利益主体的关系，争取各种社会教育资源，构建政校协同、产学融合、校企合作、科教结合的新工科专业协同育人模式和多主体参与的卓越工程科技人才培养共同体。

**3.国际合作教育。**

国际合作教育由两部分组成：国际合作办学和国际产学研合作教育。高校在开展新工科专业建设过程中可能面临三方面的主要问题和困难：教育教学资源、核心课程建设、教师队伍建设等。因此，国际合作办学的主要目标在于借助发达国家一流教育资源、课程资源和师资条件来建设和发展我国高校的新工科学科专业。

国际产学研合作教育要注重与产业发展和新技术研发处于全球领先地位的国际企业和研究机构的合作，以了解国际工程技术发展水平、掌握全球新技术和新产业发展态势、清楚全球行业企业走向和新工科专业人才需求状况等，从而调整专业设置、培养目标、培养规格，改革人才培养模式、课程体系、教学内容和教学方式，提高我国工程教育面向未来的国际竞争力和影响力。

六、实践创新平台

构建实践创新平台，培养学生的实践能力和创新能力，既是“卓越计划”所强调的，也是新工科建设应该继续予以重视的，需要从构建创新创业教育平台和工程实践教育体系两方面入手。

**1.创新创业教育平台。**

创新创业能力是新工科专业培养的卓越工程科技人才的核心能力，在“卓越计划”强调创新能力培养的基础上，还应该从以下三个方面继续打造创新创业教育平台，加强新工科卓越工程科技人才创新创业能力的培养。

（1）完善创新创业教育课程体系建设，改进教学方式和教学手段。一方面，设置学科前沿课程、综合性课程、创业引导课程、问题导向课程、交叉学科研讨课程；另一方面，建立以问题和课题为导向的教育模式，倡导研究性学习和挑战性学习，因材施教，注重提高学生的探究兴趣、创新意识和学习成效。

（2）建立面向新工科专业学生开展创意、创新、创业“三创融合”活动的支撑服务平台。通过建立支持基础工程综合能力训练、系统性创新思维训练、创意原型产品开发和技术成果产业化等三创生态系统，向学生提供全方位的创意实现服务，鼓励学生跨界学习、交叉合作、面向未来、挑战学科前沿问题，支持学生实现创意设计、形成创新产品、产业化创新成果。

（3）支持创新创业训练项目、打造学科竞赛平台、参与全国创新创业大赛。高校要积极支持学生参与国家级大学生创新创业训练计划，承担创新训练项目、创业训练项目和创业实践项目，增强学生的创新精神和在创新基础上的创业意识。在创新创业训练的基础上，高校要打造学科竞赛平台，通过科学合理的竞赛激励机制的建立，充分调动学生参与学科竞赛的积极性，将其作为学生实践能力、创新精神和创新能力培养的有效载体。在学科竞赛的基础上，高校要组织学生积极参与全国大学生创新创业大赛，将其作为深化创新创业教育改革的重要抓手，切实提高新工科专业学生的创新精神、创业意识和创新能力，推动高校创新创业教育水平的提升。

**2.工程实践教育体系。**

实践是工程的本质，实践是创新的基础，实践促进创新，工程实践教育体系是卓越工程科技人才创新能力培养的基础性平台。与“卓越计划”不同的是，由于学科专业的“新”，使得构建新工科专业工程实践教育体系将面临着实践教育资源严重不足的问题：一是高校用于开展专业实践的设施、条件、场地和指导教师不足；二是社会能够提供给新工科专业开展工程实践教育的仪器、设备、场所以及高级工程技术人员也不足。

构建面向新工科的工程实践教育体系需要从以下几方面入手：一是高校层面在经费投入、政策配套、教师激励等方面予以倾斜，支持新工科专业需要的专业实验室的建设和学校工程训练中心的拓展；二是高校加强与在新技术和新产业领域领先企业的合作，建立针对本校新工科专业的校外工程实践教育基地；三是国家通过政策和激励措施，在全国范围吸引和遴选大型企业、创新企业和高科技企业，建立国家级工程实践教育中心，为众多高校提供新工科专业工程实践教育平台。

七、教师队伍建设

教师队伍建设是学科专业建设和人才培养的关键，新工科建设需要一支在知识、能力、经历、素质等方面均能够胜任学科专业建设和卓越工程科技人才培养工作的教师队伍。在教师队伍建设上，新工科建设与“卓越计划”的主要区别源于新工科专业的学科交融特征，因此需要研究多学科交叉融合的新工科专业对教师的要求、教师队伍建设路径以及教师的评价和激励。

**1.新工科对教师的要求。**

“卓越计划”将“大学教师+准工程师=工科教师”的模式作为对从事卓越工程师培养工作的教师的总体要求。具体而言，“卓越计划”要求参与高校建设一支知识渊博、工程经历丰富、工程能力强、教学水平高、综合素质好的工科教师队伍。

新工科对教师的任职要求应该在“卓越计划”要求的基础上强调多学科专业的交叉融合和学科专业的产业性。首先，在知识面上，不仅要拓展到除了所承担教学任务之外的所有相关课程和学科专业上，还要关注一些新兴、交叉和前沿学科，尤其是与本学科专业领域相关的新技术、新产业的出现和发展。其次，在产业经历上，要求了解新技术和先进工程设备的使用，掌握应对新产业问题的有效方式，积累解决各类前沿问题的经验，与产业界和企业保持密切的合作关系。第三，在产业能力上，除了具备设计开发、技术创新和科学研究能力外，还要具备运用多学科知识、原理和方法解决复杂工程问题的能力，以及应对、挑战和处理未来问题的能力。在教学水平上，不仅对工程教育理念、教育研究能力、教学学术水平、实践教学能力有要求，还要强调“互联网+”平台和信息技术的应用。在综合素质上，重点要强调敬业精神和职业道德，要成为学生道德品质修养的榜样、精神文明的典范和举手投足的楷模。

**2.教师队伍建设路径。**

新工科专业教师队伍建设也应该采取引进和兼职相结合的方式进行。从整个教师队伍建设的角度考虑，在引进专职教师和聘请兼职教师时要注重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。此外，在引进专职青年教师时还要关注每位教师的可塑性和发展潜力，这对于处于不断变化中的新工科学科和专业建设具有长远的意义。

每位教师的引进均应在学科建设、专业发展、人才培养和学术研究上有明确的任务要求，同时要制定清晰的职业发展规划，包括在职培养、企业顶岗、院所挂职等，以有计划地培养和提升教师的职业胜任力。需要强调的是，不论采取何种方式提升教师的能力和素质，均必须有明确的针对性，一方面要针对其所承担的任务和职责的需要，另一方面针对其在教师要求上的不足。还需要注意的是，教师去顶岗和挂职的行业企业和科研院所应该优先考虑国内外与新工科学科专业相关的、在产业和行业发展处于领先地位的高新技术企业、产业领域的龙头企业和具有国际水准的科研院所。

**3.教师的评价和激励。**

从人力资源开发和管理的角度，对新工科专业教师的评价和激励是促进教师队伍建设的有效手段，需要根据不同类型院校和新工科学科专业的特点，制定教师评价标准和教师激励政策。

对教师的考核与评价需要注重两点：一是考核评价标准是基于在任职要求基础上制定的聘期目标和任务要求，这些目标要求应该与新工科学科专业建设的总体目标和阶段任务相一致；二是应该将考核评价作为绩效管理的一个环节，注重期中评价，通过及时反馈评价结果、分析绩效不佳的原因、提供帮助解决问题，改进和提高教师绩效。事实上，教师绩效提升的过程就是其职业胜任力提升的过程。

对教师的激励在于充分调动教师投入新工科专业建设的积极性和主动性。从教师队伍建设的角度出发，激励教师重视和投入新工科学科专业建设和卓越工程科技人才培养的激励政策和措施应该主要在四个方面：到产业界丰富产业实践经历、培养多学科交叉融合能力、提高复杂工程问题解决能力、形成应对处理未来问题的能力等。激励政策和措施的制定应该立足于教师的长远发展，即教师经历、能力和素质的提高，而不是教师短期工作任务的完成，更不是单纯工作量的追求。

八、人才培养质量

新工科建设的最终落脚点是在人才培养上，因此，要立足国际工程教育改革发展前沿，以面向未来和领跑世界为目标追求，重塑人才培养质量观，提出新工科专业人才培养的质量标准，开展行之有效的人才培养质量评价，以保障培养出的卓越工程科技人才满足新经济发展的需要。

**1.重塑人才培养质量观。**

新工科专业人才培养质量应该树立三个观念：以学生为中心、重视过程管理、强调持续改进。

以学生为中心是提高人才培养质量的保证，包含两层涵义：一是以人才培养目标为中心，满足新经济对人才培养质量的要求；二是充分尊重学生的个体需求，注重因材施教，满足社会对人才需求的多样化。

教育教学过程是不断逼近质量标准的过程，过程管理是质量保障的关键。重视过程管理强调从以往只关注“教学”过程，即课堂教学转向重视“教育”过程，即课内外教育。因此，要将各种有计划有组织的课外教育教学活动纳入过程管理的范畴。

持续改进是质量保障的永恒要求，强调持续改进遵循的是“没有最好、只有更好”这样一个客观事物发展规律，说明在人才培养的各个方面均存在进一步改进和完善的空间，要重视人才培养质量的不断提升。

**2.人才培养质量标准。**

新工科专业应该沿用类似“卓越计划”提出的由国家标准、行业标准和学校标准三级标准构成的质量标准体系，只是需要将其中的“行业标准”用“产业标准”替代，并在知识、能力和素质上做如下的补充或拓展。

学科知识方面：多学科交叉复合知识、新工科领域前沿知识。

专业能力方面：复杂工程问题解决能力、非结构化解决问题的能力。

非专业能力方面：创新创业能力、多学科团队的协作能力、研究和创造能力、数字化能力、工程领导力、动态适应能力、全球胜任力。

综合素质方面：工程伦理、社会意识、家国情怀、全球视野、批判性思维、跨学科和系统思维。

**3.人才培养质量评价。**

新工科专业人才培养质量评价需要重视两方面工作：一是将过去的以“结果评价为主”向“过程与结果评价结合”转变，这不仅能激励学生加大学习过程中的投入，而且也利于及时发现和解决质量问题；二是将校内评价与外部评价相结合，以获得更加全面、客观公正的评价意见。

与此同时，人才培养质量评价工作还要注意三点：一是评价主体多元化，即应该由来自校内外对人才培养质量有着不同诉求的多主体从多角度对人才培养质量进行评价；二是评价方法的针对性，即要避免采取简单或单一的方法，而要针对每个教学环节的目标要求，采用能够准确有效地评价人才培养质量的评价方法；三是评价结果的使用，即要将评价结果及时地用于质量持续改进，而不是束之高阁。

新工科建设从上述八个方面对“卓越计划”进行了拓展和提升，是在国家经济社会发展的新形势下和对全球经济未来发展态势的研判下，对“卓越计划”理念、目标、要求和任务等的整体性升级。正如当初推进“卓越计划”实施那样，新工科建设也需要研究、实践、再研究、再实践的逐渐完善和不断深入的过程，需要各级政府、产业行业和高等学校的密切合作和共同努力，需要校内多学科专业的协调合作。但也一定会如实施多年后的“卓越计划”那样，新工科建设将有力地推进我国从工程教育大国迈向工程教育强国，进而影响国际工程教育的改革与发展。

**新工科与新范式：概念、框架和实施路径**

**顾佩华**

一、新工科提出的背景和重要性

互联网、物联网、大数据、人工智能、新材料、新能源等新科技和新商业模式快速改变现代工业、经济社会发展和劳动力市场。国家实施的创新驱动发展、“中国制造2025”、“一带一路”、“互联网+”等重大战略，为中国的创新发展提供了新机遇、注入了新动力。从科学发现到转化成技术或产品的时间在不断缩短，知识更新和新知识产生的速度不断加快，这些发展和变化对现代工程技术人才的知识、能力、职业素质和视野都提出了新要求。为了支撑快速发展的新经济，培养新型工程创新人才，高等工程教育必须进行全面和深刻改革和创新。新工科教育理念和工程教育改革就是在这样的背景下提出的，因此需要新的思维、新体制机制、全面创新工程教育，培养创新人才，支撑和引领新经济。

2016年新工科概念提出。此后，教育部高教司经过反复的研讨、调研和论证，于2017年正式推出“新工科”计划，并先后形成了“复旦共识”、“天大行动”、“北京指南”等指导性文件。按照教育部安排，工科优势高校组、综合性高校组和地方高校组都积极响应和启动新工科战略，新工科教育改革发展迅速，发表了多篇新工科教育改革的文章，为实施新工科教育创造了良好开端。

吴爱华等从新经济发展对工程人才的知识和能力的新要求，分析国际工程教育发展的情况，在总结前期新工科教育改革和探索的成功经验的基础上，提出了工程教育的新理念、构建新型工科和传统工科相结合的新结构、探索工程教育人才培育的新模式、建立国际竞争力的新质量、建立中国特色的工程教育新体系。对新工科建设做了系统的概括和提出了整体发展的思路。

钟登华在新工科建设的内涵与行动一文中，阐述了什么是新工科、为什么要建设新工科和如何建设新工科的三个基本问题，从而揭示了新工科建设的内涵，给出如何面向国家需求，聚焦工程教育的挑战，实施新工科建设战略。李培根讨论新工科的“新”的内涵，提出工程人才的培养应该注重新素养、空间感、关联力、想象力、宏思维和批评性思维等方面的能力。从专业、课程和知识体系方面讨论新结构，提出新工科的教学和学习方面需要新方法。赵继等从经济与科技发展以及大学自身创新发展的需要出发，讨论了新工科和工程教育创新，以及建设和发展新工科的必要性。提出了新工科的通宽性、前瞻性、交叉性、开放性、实践性，并阐述了工程教育创新需要解决的问题。林健提出新工科的广义概念，新工科的边界范畴，重视理科、管理、法律等学科影响，不但要关注当前的需要，更要面向未来，培养德才兼备的工程人才。陆国栋从社会经济发展的现实对新工科建设的需要的视角，讨论了建设和发展新工科的主要瓶颈，进而提出了新工科建设的基本路径、思考与探索。

徐雷等从理科特别是应用理科的角度讨论了综合性大学建设新工科，新工科和新工程教育内涵包括知识、能力、价值观等方面培养，打破本科和研究生培养界限，实行多元化培养，改革教师评价机制，推进产业和学校的协同创新。陈慧等分析了综合性大学在新工科人才培养的优势，讨论了中山大学的新工科专业建设和立足珠三角的战略布局、以新工科建设助推21世纪海上丝路战略。在分析面临的问题后，提出如何推动综合性大学新工科建设的思路。

夏建国等分析了在新工科建设的背景下，地方高校如何进行工程教育改革和创新，总结了地方高校的工程教育改革的实践探索，提出了地方高校工程教育改革发展的路径并提供了参考实例。施晓秋等从新工业对工程人才的新需求出发，建议依托产教和科教融合，创新创业融合，提供了地方高校建设新工科人才培养体系和原型系统。叶民等认为新业态是实施新工科的基础，新工科建设是面对新业态的挑战，对说明工程教育的理念、课程体系和教育体制、设计工程范式和教育体制创新等，对未来新工科建设提出建议。

王巨宏等从工业届的角度分析新工科建设，特别讨论了建设政产学研融合工程教育的新生态，并且分析这样的新生态在新经济下工程教育的挑战，以腾讯实例介绍新经济下校企协同育人的探索。在新经济下构建工程教育新生态体系，在体制机制、生态建设、发挥社会力量支持工程教育，并提出了新生态建设路径。

在总结过去多年的工程教育改革的探索与实践的基础上，参考新工科建设方面的研究，本文试图回答什么是新工科、为什么叫新工科等基本问题，探讨新工科教育以及工程教育的新范式。并根据以往工程教育改革实践经验与教训，提出汕头大学新工科建设初步技术路径、组织实施策略与方法，并讨论了需要关注的问题。

二、新工科基本概念

新工科中的“新”是Emergent或者Emerging，新工科指的是Emerging Engineering。为了解析新工科的内涵，有必要对工程、科学、应用科学、技术的定义、内容和本质区别进行梳理和界定。经过分析和比较，发现工程和应用科学的边界尚需更清晰的界定。新工科可以理解为科学、应用科学、工程科学和工程实践的创新与进步、不同学科交叉与交融，所形成的新兴工程学科或领域、新范式和新工科教育等综合概念。新工科涉及现代工科领域的新定义、新认识、新工程范式、新工科教育、新工程的研究与创新、新工程实践等多方面。

为什么叫新工科？Emerging Engineering或者Emergent Engineering可以翻译成“新工科”或者“新工程”。在教育界讨论Emerging or Emergent Engineering,“新工科”比“新工程”更加合适。对应“新工科”不应该是“旧工科”，而是“现有工科”或者“传统工科”，对于现有的传统工科的理解，大家已经形成了共同的认识。

新工科的学科或领域可以理解为刚出现，正在形成或将要形成的新兴工程学科、领域或方向，可以是一级、二级或交叉学科，也可以是学科方向。新兴学科或领域的特点是新颖，代表科技的新发展，与快速发展的产业和新经济联系紧密。由于新（Emerging），就有某些不确定性或不清楚性。在工程教育领域，从跟随和并行向引领的过渡过程，需要逐渐适应引领的过程中面对的某些不清楚、不确定性、甚至暂时不完全正确的认识和理解，这是引领者必须面对的现实。如果什么都完全清楚和确定了，那就不新了，也就无需引领了。

新工科的学科或领域伴随着所服务的产业和经济发展，经历形成、发展、成熟等阶段后，成为常规学科或领域。而新的工科领域又继续涌现，经历同样过程。以发展的思维，理解从新到传统学科的发展过程，推动新工科建设的发展。

以新理念、新模式、新质量、新方法、新内容等，做为一所学校考虑新工科教育基本内容，构建新工科专业或改造现有专业，培养满足学校服务的产业发展需要的工程技术人才。新工科人才培养应该使学生掌握最先进知识包括自然科学、数学、工程科学、人文社科、专业方面的知识，综合能力包括应用所学知识解决实际工程问题、工程创造创新创业能力、团队、沟通交流和领导能力、终身学习能力以及专业所涉及的核心技能和职业态度等。

三、新工科教育范式

**（一）新工科教育范式的基本框架**

新工科教育范式或者称为工程教育新范式是新工科教育改革的核心任务之一。为了定义新工科教育范式，首先分析范式（Paradigm）的定义。根据Wikipedia的定义，范式可以理解为例子、模式、框架等。涉及范式讨论和研究，常常会提到科学范式的形成和发展。牛顿物理学时代，物理学界曾经普遍认为根据牛顿力学原理，很多力学研究被认为是可预见的进步。这种物理学范式的理解，被后来出现的爱因斯坦的相对论而改变，现代科学发展还在不断挑战已有的科学范式。由于人类有了认识世界的新设备、新仪器、新工具，人类对科学的探索将不断深入，新的科学范式还会出现。Thomas Kuhn在《The Structure of Scientific Revolution》一书定义科学范式，用于指导科学研究和回答科学问题。在这个科学范式框架下，根据需要研究和回答的问题，确定实验观察和分析的内容。按照科学的方法设计具有代表性且可重复实验，获取实验数据，确定解释实验结果的方法，从而回答科学的问题。当这样的科学范式研究问题的框架用于人文和社会科学领域，定义需要扩展，Thomas Kuhn也认识到严格的科学范式定义并不完全适合非自然科学领域。对范式在不同领域的定义有了新的理解，比如可以理解为基础思考的框架，在这个框架下，利益相关者具有相似的认识和理解。李茂国等对工程教育范式进行了详细讨论，自20世纪90年代提出工程教育“回归工程”的范式，至今已经有20多年的探索和实践，通过研究中美两国的工程教育的发展和范式转变，从工业革命和科技革命的视角，以及三种新工业模型，提出工程教育从回归工程向“融合创新”范式转变。

根据科学范式定义的逻辑和思考框架，可以定义工程和工程教育的范式。在尝试定义工程教育范式时，应该考虑工程教育专家及工程教育利益相关者，所共同遵守和接受的理念和原则、标准、教育教学方法、内容、评价体系等等，而这些就构成了工程教育的范式基础框架。

为了定义工程教育的新范式，需要认识范式的形成过程。根据Kuhn的科学范式和范式转变的论述，可以理解为某科学领域进步证明，现有范式不能解释和指导该领域的科学工作，开始范式转变并形成更加合理的范式。工程教育范式转变可以理解为，在传统的工程教育范式下，工程教育培养的人才服务于工业和经济社会发展。当科技和社会进步改变了产业和工业发展，导致工程教育范式不能满足产业对工程技术人才的需求，工程教育界开展教育教学改革，转变工程教育范式。目前的工程教育范式转变，源于多年前就开始的各种工程教育改革尝试。新工科教育改革的讨论和实践，使中国工程教育界形成共识，建立新的工程教育范式。新工程教育范式形成并稳定一段时间后，随着科技和社会的进步，又会出现更新的发展、新的知识、新认识和对于工程教育的新理解，将会开始更新一轮的工程教育范式的转变，因此工程教育范式的转变、形成、稳定、和再转变是一个动态和发展的过程。在这个过程中，适应当前发展的工程教育范式内容被保留和传承，不适应部分在这个过程中自然消失。因此，范式转变是传承和渐变，很少是颠覆性的推翻从来。

确定新工科教育范式的基本框架，应该考虑工程教育所涉及范围、内容和内涵。参考吴爱华等提出的新工科的核心内容即新理念、新结构、新模式、新质量、新体系，引用李茂国等提出的“融合创新”范式作为新范式的名称，“融合创新”体现了现代工程教育的协同创新、理工和多学科融合、产学融合、校企融合、教研学融合等。如图1所示，是作者对新工科教育范式框架的基本内容初步认识，至少应该包括工科教育的新理念、新模式、新质量、新方法、新内容等方面。虽然现在还无法证明这些方面是否能构成工程教育新范式，但是这些直接关系到新工科教育教学改革的基本内容。随着新工科教育研究与实践的深入，新工科教育范式的框架会更加清晰、合理和全面。



新模式：建立工程教育新模式至少应该包括：一是总结中国工程教育改革经验，借鉴符合国情的国际上成功工程教育模式，创建中国特色、世界水平的人才培养新模式；二是综合国际工程专业认证要求的知识、能力和职业素质，根据科技、产业和社会发展，分析未来工程技术人才应具备的知识、能力和技能、职业素质等；三是根据产业和现代工程师职业需求，确定人才培养目标和毕业要求，制定系统化、整体化的人才培养计划和课程体系，将创新创造创业能力贯穿到整个人才培养过程中，营造创新型工程师的培养的生态系统，不断发展适应和引领工程教育发展的工程教育，培养现代企业从研发、设计、建造、到运行的多元化、创新型工程技术人才。

新方法：在新理念的指导下，根据工程教育新模式的需要和要求，创新工程教育的教育和培养方法和手段。根据培养计划，制定详细课程内容和学习结果。根据课程内容和学习结果的要求，整合教学资源，包括互联网开放教学资源，如MOOC和其他网络和电子教学资源，及时吸收新的教学和人才培养经验和手段，创新教学和学习方法。鼓励教师采用体验式学习（Experiential Learning）、基于项目的学习（Project-Based Learning）、基于问题的学习（Problem-Based Learning）、探究式学习（Inquiry-Based Learning）等主动学习方法、案例教学、翻转课堂等教学方法。随着科技和社会进步，教师与学生在学习习惯、学习方法和工具使用等方面会有差别，教师群体应该与时俱进，适应和使用新的、先进的学习工具、先进的教学方法。将先进方法、工具和学习内容集成起来，完善人才培养体系。

新内容：有了新理念、新模式、新方法，还必须有先进教学和学习内容。快速发展的科学与技术，要求教学和学习内容特别是专业方面的课程内容更新，体现当前科技发展。以我为例，当年在大学时代学习的机械制造专业内容与今天制造业广泛使用的数字化设计和制造技术、成型技术、3D打印和控制技术所需要的知识和能力要求完全不同了。当代工业使用的互联网技术、大数据、人工智能、云计算、新材料、3D打印、虚拟现实、信息物理系统等，要求工程教育的知识体系、能力水平、技能和工具使用、职业素质不断更新。教师通过科研、学术交流、教师发展、学术休假等机会，及时和不断地提高学术水平、各种能力和更新知识，使教师掌握最先进的知识和能力，保证教学内容与现代企业和社会发展要求的知识和能力相匹配，所以及时更新教育教学内容十分重要。

有了新理念和新模式，而课程内容不及时更新，学生学到的知识比较陈旧，缺乏现代工业需要的工程能力和技能和学习习惯，就无法满足当前和将来企业的需求，这样的教育无法满足现代企业对工程技术人才的要求。所以，不断更新的教师教学和学生学习内容至关重要。

为了在制度上保障学生学习的内容体现当今时代的先进水平，学校和专业必须制度性定期修订课程计划，定期更新课程内容，将本领域最新的发展、最新科研成果（没能写入教科书）及时的介绍给学生，使他们学的东西是当时最先进的。当学生走上工作岗位，会发现他们的知识、能力和技能有用武之地。此外，教育和教学行政管理部门要建立一个体制机制，定期审查和改革教学内容，及时更新教学内容和教学手段。

新质量：建设工程教育强国，工程教育必须具有国际竞争力，代表国际最先进的水平和最高的质量标准。因此建立国家工程教育的质量标准和质量保障体系，推动建立行业人才培养和要求的标准，包括专业培养标准。根据这些标准，学校制定工科专业的培养标准，从而形成国家、行业和学校的质量标准和保障体系。工程认证标准是国家和行业标准中的重要组成部分，根据国家发展的需要，工程认证标准既要满足国际等效的要求如“华盛顿协议”，也要体现国家对工程科技人才更高要求的需要。为了确保工程教育教学的高水平和高质量，学校的专业质量标准应该超过国家的教学质量标准和认证标准，而国家的教育质量和认证标准应该超过国际认证标准的要求。

需要说明的是，新理念、新模式、新质量、新方法、新内容中的“新”的含义包括“新”和“创新”（Emerging，New and Innovation英文是三个词的意思），从这些方面构造新工科教育范式，应该能够体现新工科教育在专业层面的改革。对在这五个“新”的理解应该是相对的，比如“结果导向”概念并不新，但是作为工程教育实践，由于很多学校包括发达国家的工程教育没有实施或实现，从实践的角度看仍然是比较新的。因此上述的5个方面的“新”，可以理解为某些方面的新，或者是新工科建设提倡的教育改革的新要求，不一定是在绝对意义上“新”。

为了进一步说明这一点，当前讨论的人工智能和3D打印等新技术（Emerging Technologies）其实多年前已经出现了，3D打印是1980是出现的，人工智能技术出现更早。我博士研究期间的第一篇文章是用人工智能的专家系统规划3-坐标测量机的检验过程“Expert Inspection Planning”，1987年在Annals of CIRP上发表的。但是今天讨论这些新技术与早年不同，这些技术不断成熟，正在和将会改变产业和经济社会，所以仍然称为新技术。

**（二）基于新范式框架建立新工科专业和改造现有专业**

新工科教育改革包括两个大的方面：（1）建设新工科专业或专业方向，（2）根据新工科教育范式的框架改造现有专业，后者就是以新的理念、新的模式、新的质量、新的方法和新的内容来改造现在的专业教育。无论是办新工科专业还是改造现有专业，目标都是培养好学生。根据每个学生的具体情况，尽可能提供个性化的培养。比如机械工程专业的学生中，有的喜欢智能机器人，有的学生致力新能源的应用。机械工程专业设立多个专业方向，满足学生个人学习和事业选择方面的需求。如果现有专业和专业方向无法满足某些优秀毕业生的学习志向，鼓励学校为这样的学生，提供既符合其个性化发展的专业培养计划，又满足专业质量标准的新工科专业教育。在这方面，Stanford 2025值得认真学习和参考。

吴爱华等对设立新工科专业或者改造现有专业提供了指导，面向未来的技术和产业的重点领域如：空天、海洋、信息技术和安全（大数据、AI、网络安全）、生命科学、核工业技术、智能制造等领域，进行新工科建设和工程教育改革。新的科技进步使传统产业发生了深刻变化，对工程技术人才的需求也发生了很多变化。比如现代制造业需要的人才，应该掌握数字制造、创新设计、增才制造、工业机器人、人工智能等方面的先进技术。对于地方大学，根据地方产业需求，改造现有的专业，使学生有良好就业前景，支撑地方工业和经济发展，是新工科建设的重要内容。

四、汕头大学工程教育范式转变和新工科建设路径的思考

**（一）OBE-CDIO工程教育范式转变案例**

80年代开始，世界上很多国家和地区工业界都意识到，当时工科毕业生解决工程实际问题的能力不足。当时的工程教育主要以工程科学知识学习为主，对学生工程实践经历、产品设计能力、团队精神、沟通能力、创新能力、特别对解决复杂工程问题能力的培养不够。学校开展各种工程教育改革，如“回归工程”的教育理念，加强学生工程设计能力培养，基于问题和基于项目的学习，工程师社会责任感，可持续发展的等方面的培养等。这些改革可以理解为对当时工程教育范式的转变的尝试。中国作为工程教育大国，基于国情和国家需要，多年来主动开展各种工程教育改革，如：微电子学院、软件学院、工程教育认证、卓越计划、CDIO、实践教学、创新创业等等，这些工程教育改革和实践，就是工程教育范式转变的典型实例。

2004成立的CDIO协作组织是由MIT和几所瑞典大学通过几年教育改革，在总结教育改革经验和成果基础上成立的。基于CDIO工程教育框架，多个学校实施教育改革，形成工程教育范式转变的成功案例。

2005年汕头大学在总结国内外工程教育改革的经验基础上，开展了基于CDIO工程教育改革。CDIO工程教育实质上是培养未来工程师的创新教育框架，它主要包括工程教育的愿景和核心理念，一个CDIO大纲和一套实施CDIO教育改革的标准。CDIO的380多条能力大纲（培养标准），是工科学生的专业知识外，对学生能力和职业素质较全面的要求，它包含了毕业生从事工程师方面的综合能力要求。CDIO的12条标准是实施CDIO工程教育综合改革实践和评估的准则，这12项标准能够确定CDIO改革特征，作为教育改革与评估的原则，设立国际通行的基准与目标，构建促进教学持续提升的框架。

CDIO工程教育框架、CDIO大纲和CDIO标准构成专业层面的系统改革，它为学生提供一个建立真实世界产品、过程和系统全周期培养背景环境，CDIO实质上回答两个问题，（1）在现代产业环境下，工程师需要哪些知识、能力、态度（职业素养）；（2）学校如何培养学生这些知识、能力和职业素养，这就是CDIO的框架的整体思路。

汕头大学在应用CDIO实现结果导向工程教育改革（OBE-CDIO）的过程中，建立一套实施路线图、模板和工具，这是汕头大学对工程教育改革的贡献。路线图是从根据企业需求、认证标准和专业定位，定义专业综合培养目标（包括培养目标、毕业要求和专业特色）；根据专业综合培养目标，细分成系统培养标准；根据培养标准建立一体化的课程培养计划；从培养计划分解具体课程、教学和学习方法；根据国家、学校、和专业质量要求，建立教学质量保障系统，进行教学质量评估等。作为毕业生竞争力的一个指标，学校跟踪改革前后学生在毕业生的就业变化，自2006年实施OBE-CDIO改革后，每届工学院毕业生的就业率和起始薪酬都比广东工科毕业生平均高。特别是毕业时的工资，在实施教育改革前平均工资低于广东省工科毕业生的平均工资，2010年后（2006年实施CDIO培育模式和课程计划），每年平均工资高出广东省工科毕业生平均工资8%-20%以上。

**（二）汕头大学的工程教育范式转变总结**

汕大的工程教育范式转变尝试具有以下特征：

（1）以学生为中心，可适应培养

从毕业生的就业率和就业质量上看，毕业生能够满足企业的用人要求。

教学方法比较先进，体现企业、产业和教育主管部门的要求。

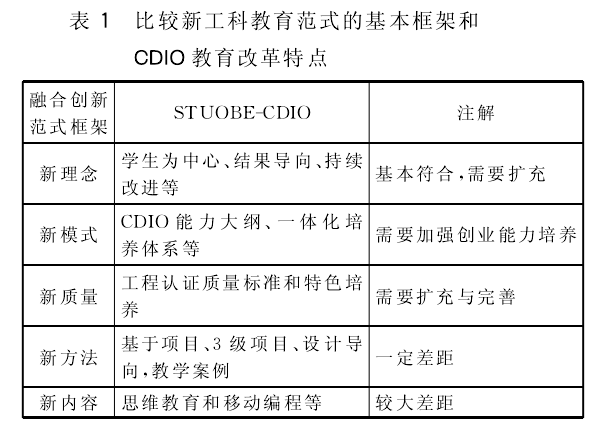
适应学生个性化学习要求（鼓励学生双学位、主辅修、跨专业选课等）。

特别注意培养学生自主学习、适应新环境和新挑战的能力。

（2）融合通识和专业培养

学校建立了18个通才培养目标和一组专业目标（专业自定）。通才目标是通过学校层面的必修和选修课程体系、书院培养、服务学习（公益学分），配合体育、科技竞赛等方面的课外活动的培养。四个工科专业采用的结果导向的一体化课程体系，保证专业知识和工程能力在4年中完成培养。

（3）教学和质量保障体系。除了满足工程教育认证和教育部教学质量要求外，学校借鉴欧洲工商认证和英国大学教学保障系统，建立了一套校内教学和质量保障体系。



汕头大学OBE-CDIO工程教育改革在新理念、新模式、和新质量方面比较接近新工科教育范式的要求；在新方法方面尚有差距，特别是翻转课堂、现代化教学手段等方面要进一步提高。在学习内容更新方面特别是在高科技相关领域方面差距较大，结论和毕业生反馈的结果比较吻合，在新工科建设过程中，在这些方面要下大功夫改进。

**（三）汕头大学新工科建设的技术路径**

基于2005-2017年教育改革的经验和教训，通过认真学习新工科文件包括“复旦共识”、“天大行动”、“北京指南”和高教司领导讲话，阅读和学习已经发表的文章，下面是汕头大学的新工科建设路径初步思考（参考图4）。

1.根据“天大行动”，问产业需求办专业。

多数工科毕业生希望找到一个与所学专业相关的工作。了解企业、行业对人才的具体要求，包括专业知识、与企业工作相关的各种能力，创新和创业能力、工程技术人员的综合素质等，作为制定相应的培养计划的参考和依据。根据美国高等教育协会2013年对企业的调查17发现，95%接受调查的企业优先聘用能够为企业创新做贡献的毕业生。因此系统调查本专业所服务的产业界需求，指导专业建设、毕业生的就业、服务和支撑产业发展都有重要意义。

在专业的设置方面要采用开放的态度，从Stanford 2025和香港科技大学个性化专业设置的发展趋势，将来会愈来愈多的学生带着很强的个人兴趣或者事业使命到大学学习。如果现有专业不能很好的满足学生个人的学习意愿，在满足专业培养标准和学校要求的同时，尽可能为学生提供个性化的专业学习。

2.调研利益相关方和比较目标基准（Benchmarking），确定专业综合培养目标体系。

如图二所示，专业综合培养目标体系的建立至少包括三个方面：

（1）培养目标既在毕业5年后，毕业生从事本专业相关工作应该能够担当的责任，比如在一个产品制造公司工作5年后，应该达到产品开放技术部门负责人的能力和水平。

（2）毕业要求既毕业时达到的水平，比如工程教育认证的12条毕业要求或者其他要求。

（3）专业特色，体现本专业的独特的地方，如团队管理和沟通能力强，或者工程设计和创新能力。

具体工作和过程包括：

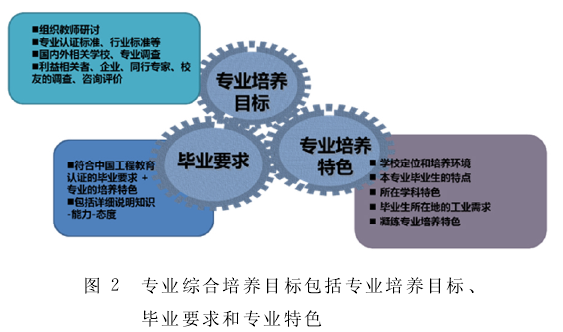
（1）教师团队学习和研讨工程教育认证通用和补充标准，提取专业培养目标和12条毕业要求等重要内容。

（2）调研主要用人单位（问卷调查和访谈）、调研校友（根据需要可以调查3年、5年和10年内毕业生）等利益相关方。

（3）选择国内Benchmark学校专业和境外Benchmark学校专业，分析比较关键指标体现和数据。

（4）建立初步专业培养目标、毕业要求、专业特色。

（5）广泛征求意见，包括国内外专家和相关委员会审核通过，根据学校质量保障体系规定，最后确定专业综合培养目标体系。



3.根据专业综合培养目标体系，分解细化为专业培养标准（Intended Learning Outcome-ILO），把握精准度。

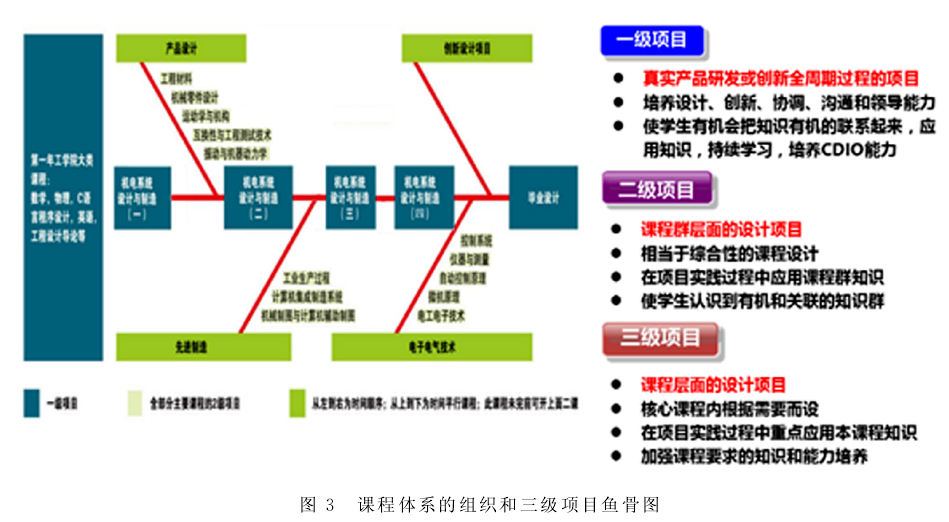
培养标准或ILO包括知识、能力和技能、工程师职业素质，并且按照Bloom Taxonomy确定知识掌握的水平（1-6级）。比如华盛顿协议或中国工程教育认证标准中毕业要求第一条能够运将数学、自然科学工程基础和专业知识用于解决复杂工程问题。为了能培养学生这个能力，需要将这条要求分解成知识点和能力级，这个细化和分解过程就是建立所谓的培养标准（intended learning outcome）。专业知识可以参照专业要求如电子专业可以参照中国电子专业教学指导委员会规范和标准，或者IEEE的电子专业知识要求，分解到课程体系，可以直接培养。对于专业知识以外的能力和职业素质要求，380多条CDIO大纲可以覆盖。对于专业知识掌握的程度要求，可以参考使用Bloom认知分类法（Remembering，Understanding，Applying，Analyzing，Evaluating，Creating）。关于能力和技能分类要按照职业的要求分级，无论是知识还是能力都是在毕业时掌握的，所以要将4年的知识、能力和技能、职业素质要求的成长轨迹和课程培养计划设计好，保证毕业时的知识、能力和技能、职业素质都达到要求。因此，精准度的培养计划和考核培养结果非常重要。

学生培养的一个重要部分是人格和三观的塑造，这是人才培养的重要核心。因此不可能用一门课程完成，应该作为工程师职业素质部分或工程人才培养的特别要求，贯穿在整个培养计划中，包括课外活动。

4.建立课程体系和培养计划。

课程体系和培养计划是一个整体，根据学科的相关知识与能力的培养联系性，将课程分成课程群，如机械设计制造及自动化专业中的产品设计与制造、流体-传热-热力学、控制与自动化等课程群。根据培养标准（ILC）和Bloom及能力的分级，每个课程群都要列出核心知识、能力和技能要求，以及如何保证和展示这些核心知识和能力已经达到了。对课程群中每门课程，确定课程目标、学习内容和结果，根据学习内容和掌握程度，确定学习结果的评价方法。

为了更好实现核心的知识、能力和技能、以及专业素质的培养，对一个专业整体希望通过一个或多个实际工程项目的实施，培养和展示学生的整体专业能力和水平，综合工程设计和创新能力，以及工程实践能力。每个课程群都要有一个项目,可以是综合课程设计项目，通过做课程群的项目，培养学生的课程群的核心知识、能力和技能。对于每门课，特别是核心课程，鼓励有一个课程层面的项目作为载体，通过这个项目培养学生这门课的核心知识、能力和技能。如图三所示三级项目的鱼骨图。



除了课堂学习外，学校的其他教育和培养环节如课外科技创新竞赛、工程扶贫项目、体育户外拓展项目、朋辈互助学习等等，都应与专业培养标准对照，形成全面立体化的人才培养体系，实现立德树人的整体培养目标。

5.课程和课件。

所有知识的学习、能力和技能的培养都要通过课程和具体的教学活动完成，每门课的课程内容、ILO（知识、能力、技能等）、每节课的计划和课件、试验、ILO的测验和考试等。将每门课程的ILO组合在一起，就是整个专业的培养结果（Outcome）。

问技术发展改造教学内容，问学生的志趣来改变我们的培养方法。新工科教育范式包括新方法和新内容，这两项与课堂教学直接相关。先进的教学方法会激发学生的学习兴趣，促进学生主动学习和自主学习，因此选择的教学方法和辅助工具对于课程学习效果有直接的影响。为了提高学生主动学习的能力和动力，以及学习效率，鼓励使用翻转课堂、基于问题、基于项目、探究式学习和体验式学习等主动学习方法，使学生养成主动学习的习惯。为学生提供各种学习工具、参考课件与资料有助于学生自主学习和时间管理的能力，提高学习的兴趣和能力。

课程教学内容的先进性至关重要，特别是专业课程更要及时更新，至少体现当前的科技进步和发展。这就要求教师不但要及时将自己和其他科研成果及时介绍给学生，也需要系统更新教学内容，更新自己的知识和提高水平。对于快速发展的行业，企业可能掌握当时的先进技术和知识，从企业聘用经验丰富和专业水平高的实践型教师，邀请企业界的工程师或技术人员给学生开讲座，也可以弥补课程内容更新周期带来的知识滞后问题。总之，教学内容的先进性，应该反应当前和将来的发展。

为了教学内容和质量的连续性和持续改进，每一门课程都要有完整的教学档案。汕头大学的工学院教学档案包括：教学大纲;课堂教案和课堂PPT；作业题目、小测验题目、考试题目、概念口试题目及评分标准与说明；学生的学习成果包括：作业、小测验答题、考试答题、实验档案、项目设计档案等，一般存档两份最好、两份中等、两份最差的样件等；访谈题目，访谈结果分析（视不同课程而定）；调查题目，调查结果分析（视不同课程而定）；课程学习目标的评估及分析；教师反思报告。这些档案不但能够作为工程专业认证的重要支撑材料和证据，当改变课程授课教师的情况下，不会因换人而影响教学质量。

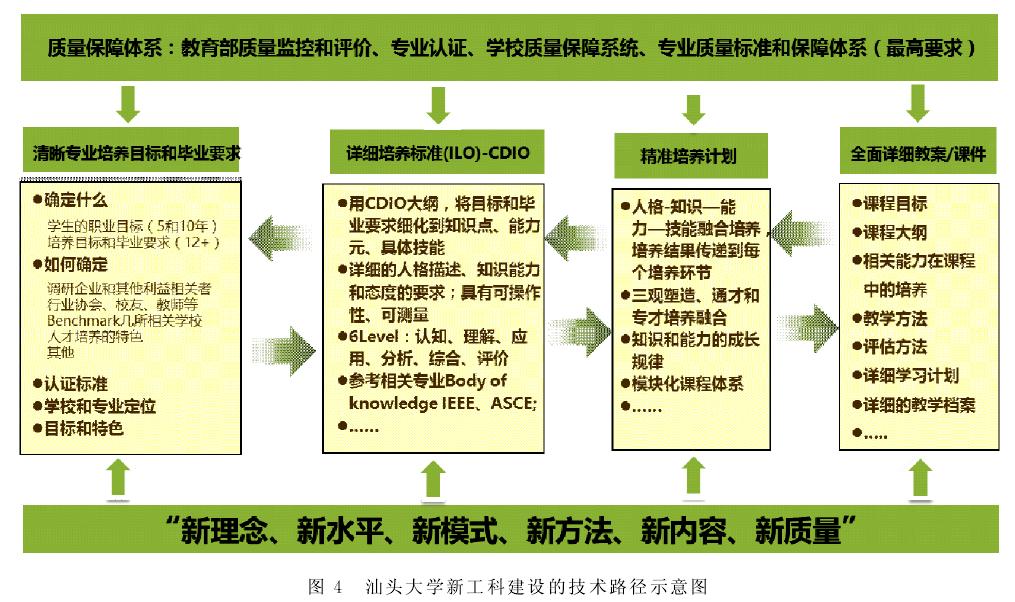
6.教学质量保障体系。

工程教育的教学质量保障体系至少包括三个方面：

（1）国家教育主管部门的教学质量评估和保障制度；（2）工程教育专业认证；（3）学校教学质量保障体系包括专业教学质量保障制度。

作为一个原则，建议学校内工程专业的质量要求高于学校层面教学质量要求和国家工程教育认证的要求，学校的要求超过国家教育质量的标准，国家的教育质量要求包括专认证标准应该超过国际工程教育专业认证标准。用这样的理念指导建设专业教育教学质量标准和保障体系，保证每个教学环节、每门课程、整体培养质量持续改进和提高。

为了建立和实现高标准专业的质量要求，以问国际前沿立标准的态度，研究国际工程教育发展的前沿包括新知识、新能力、新政策和新标准，在此基础上制定符合国情并且更高的质量要求。专业的质量保障要落实到日常的教学活动和管理中，全面规范教学和培养活动，不断完善培养过程质量监控系统，使得教师和教学行政服务人员自觉执行质量保障措施，建立详细的教学过程数据档案，以现代化的数据分析和过程控制手段持续改进教学质量，保证专业的教育教学的质量标准高于工程教育专业认证标准的要求。



**（四）新工科建设的组织实施建议**

根据汕头大学OBE-CDIO工程教育改革的经验，当技术路线确定后，组织实施是工程教育改革成功的关键。与科研工作的性质不同，教师教学的兴趣需要培养和鼓励。教育改革实质上是需要教师给自己确定更高的教学标准，在教学和学生培养方面，付出更多的时间和精力，以便达到自己设计的更高考核标准，这是一个比较有挑战的命题。因此新工科教育改革的组织者要清醒认识到这个挑战，及时出台相关政策，鼓励教师自愿投入新工科教学改革，这是保证顺利实施的关键因素之一。

1.学校的承诺和支持是新工科建设的保障。学校领导要承诺支持新工科建设，整合校内外资源，打造新工科教育改革的新生态。新工科专业需要产学研合作、校企合作、跨学科、跨专业和跨学院培养，为学生提供一个全面、丰富和现代化、多元化的培养环境。学校不但要提供资金的支持，还要制定相关政策包括教师考核等方面都要考虑建设新工科的特殊性。与普通教学任务相比，新工科建设需要更多的时间和精力的投入和克服各种挑战。成立学校层面包括学院领导参加的领导小组，协调学校相关部门、出台相关政策和配套资源，推动新工科专业建设和用新工科教育范式改造现有专业的工作。

2.根据所设立新工科专业或改造现有专业，建立一个工业指导委员会（IndustrialAdvisoryCouncil/Committee，以下简称IAC）协助和指导新工科建设。工业界的直接参与不但加强了学校和工业界的联系，工业专家的知识和经验也是新工科教育教学改革重要的资源。

在IAC指导和帮助下，根据学校毕业生的去向和所在地区的工业发展情况，较详细调研产业当前和将来的科技、产品和服务发展的需求，包括对人才的知识、能力和专业素质的要求等，有了这些和其他数据，对推动建设工作非常重要。

3.根据需要建立一个新工科教育指导委员会（Emerging Engineering Education Advisory Committee，新工科教指委），指导新工科教育改革过程。委员会的专家可以主要由校外专家参加或组成，根据情况包括工科教育高水平大学/专业或同类大学的专家、工业界、科技界、和国外专家组成。委员会可以协助学校新工科建设，包括听汇报、提建议、审核建设方案、参与教育质量和水平评估等工作。委员会也能起到与外界的沟通与交流作用。

4.学院、系和专业组织实施计划。无论建设新工科专业或专业方向，还是改造现有专业，新工科教育改革是整体专业的全面系统改革，需要院长的支持和系主任亲自领导，院长和系主任都是第一责任人。专业培养涉及4个方面：本系负责的专业相关课程、通识课程、基础课程（数学、物理、化学、生物等）、和课外活动包括科技创新活动。本专业的课程，按照课程群组织教研小组（Subject/Area Committee），负责课程群内的课程改革。对于专业外的课程和培养，需要学校领导小组和教学主管部门的协调和帮助。

5.成立以系主任为组长、专业负责人、教研小组负责人和教学骨干为主要成员的新工科专业建设（改造）工作组。工作组负责实施新工科建设的具体工作，参考新工科建设技术路线，设计实施方案、制定建设和实施的行动计划、确定所需要的资源、协调校内外的工作等等。整个专业教育改革的关键是整体化和系统的思维，制定较全面的计划，调动全专业所有教师参与。与新工科建设技术路线不同的是，新工科的实施过程不能简单认为就是按照技术路线的时间顺序的线性过程，而是立体交叉的复杂的组织路线图。比如在制定新工科建设计划过程中，组织几个骨干教师，选择他们负责的课程作为试点课，尝试新教学方法和更新教学和学习内容，从而取得经验，为后续的整体改革过程打基础，在选择和进行试点课程时，其他新工科改革还要同步进行。

6.教师发展、教学评估、质量保证组织。在新工科建设过程中，教师的发展和提高非常重要。教师发展包括提高教学能力和水平、学习新的教学方法、更新教师自己的知识，参与企业调研和实践，提高工程实践能力，以便更新教学内容和提高教学质量。学校的教师发展中心、教学质量评估单位应该积极地为教师提供必要的支持和帮助。在试点过程中，教学评估方面及时参与课程改革工作，为试点课程提供教学质量保障，确保教师能够成功的完成试点课程，形成课程改革的成功经验，用于后续的改革实践。

根据汕头大学工程教育改革的经验，为了有效实施上述技术路线，有两个方面的工作非常关键：

（1）学校各级领导的决心和承诺。新工科教育改革是学校全方位的改革，涉及到每位参与的教师和员工，触及的利益也是多方面的，有成功的案例作为参考，但是没有捷径可走。本科教学与教师科研工作有本质的区别，办好本科教育要靠大多数教师和员工的积极性，至少是多数任课教师的积极参与。学校主要领导的决心和承诺是改革成功的关键因素之一；学院院长和系主任的全力推动是新工科教育改革成功的关键因素之二，本科教学改革涉及到学院和系里每一位教师，院系领导的日常推动是必要条件；骨干教师和多数教师的积极参与是成功的关键因素之三，骨干教师虽然没有行政职务，他们的带头作用非常重要。院系领导鼓励教学和学术骨干积极参与新工科教学改革，成功完成试点课程，对全面推动新工科建设提供成功的基础。

（2）在实施新工科改革的技术路线的过程中把握精准度。工程师在日常工程工作中清楚的知道，精准和精确是工程的生命线。对工程教育而言，精准度也是关键。从确定专业综合培养目标、分解和确定培养标准（ILO）、课程计划和培养体系、每门课程教学方法和课程内容，到教学质量保证系统和评估等每一步的准确程度决定了最终的培养质量和水平。将新模式、新模式、新质量、新方法、新内容扎扎实实和尽量精准的落实到位，就一定能够培养出新一代创新型工程技术人才。

汕头大学在过去的OBE-CDIO基础上，将按照新工科教育的范式基本框架，以新理念为指导、尝试工程人才培养新模式、建立专业教育教学质量的新标准、探索和使用先进的教学方法、手段和工具，激发学生主动学习的兴趣，提高学生自主学习能力，保证学习效率和效果，及时更新和建设课程教学的新内容，采用创新的方法为学生提供本专业和跨学科的新知识，使学生掌握专业和学科领域的前沿。进一步支撑和聚焦汕头大学特色的国际化、精细化、个性化、多元化的现代新工科教育。

五、新工科和新范式的讨论

（1）广义的理解新工科应该从整个新工程学的角度思考，其内涵及其丰富，泛指整个工程学科和体系，新工程范式，对现代工程、学科、科研、工程教育等的全新理解。目前聚焦的新工科教育，是面向经济社会发展、面向未来、面向世界的全新工科教育体系和范式。无论建设新兴工科专业，还是改造现有专业，都要考虑根据新工科教育的内涵，参考近年来工程教育改革的成功经验，坚持立德树人，培养现代中国特色的工程科技人才。

（2）以新工科教育整体理念为基础，组织系统研究新工科，创新性实施新工科教育改革。在工科优势高校、综合性大学和地方大学的实施新工科教育改革，需要不同的方法和实施手段，当培养理念和目标确定后，要具体的落实到课程计划、知识学习、能力和素质的培养，结合专业知识要求（机械工程、计算机技术、土木工程专业知识等等），CDIO的380条的能力大纲和12条标准，应该能够在实施新工科教育改革当中发挥重要作用。

（3）新工科教育是全面系统性的教育改革，是对整个工科专业改革，包括专业定位、培养目标、学生毕业要求、专业特色、培养标准、结果导向的课程计划、每门课程和教学活动的学习结果、考核与评价等。而这些改革都体现在教师和学生之间的各种教育活动如课堂、实验室、项目的实施、科教和产学的融合实践，聚焦人才培养质量和水平的命题上，最终还是要把学生培养好。所以新工程建设不仅是理念和概念，应该以科学的态度认真推进和实施教育改革的各项工作。

（4）研究型大学特别是双一流建设大学，在实施新工科建设中有多种选择，从新办工科专业、新专业方向、本—硕—博连读、多学科和跨专业培养、双学位和主辅修，到科技创新创业等等；研究型大学应该营造一个融合教育、科技创新和创业、多元化、现代化的新型大学生态环境。尽量为本科生提供参与高水平科研和科技创新的机会，鼓励本科生和研究生通过科研和技术研发取得知识产权，积极开展技术创业。

（5）对于地方高校，不能盲目办新专业，更要避免用“新瓶子装旧酒”，新工科教育提倡用融合创新工程教育范式改造现有专业；比如在机械设计制造及自动化专业实施新工科教育改革，结合地方制造业发展对数字化和智能技术的需求，从培养理念、培养模式、课程内容、教学和学习方法、培养质量标准等方面全部改革和提高，培养出现代制造业需要的工程技术人才。

（6）对于希望提高现有工科专业人才培养水平和质量的高校，可以用融合创新工程教育范式对现有专业进行改造和提升，提高学生的知识水平、专业技能、工程设计与解决复杂工程问题能力、创新创业、团队和沟通交流能力、领导多学科团队和跨界整合资源能力等。虽然专业名称没有改变，但是专业培养的理念、模式、教学方法、学习内容和水平、质量标准都有了根本的改变和提高。

（6）在新工科教育改革要避免领导热情高、普通教师冷淡、学生不关心的状态。新工科教育的实施需要学校领导和师生员工的共同努力，建立健全配套政策和制度以及文化建设，确保改革成功。

六、结语

从工程和工程教育发展的历史的视角看，当前的新工科建设是中国对现代工程教育发展的新贡献，也是从工程教育大国走向工程教育强国的新起点。自从提出新工科建设以来，充分发挥体制优势，快速推进，新工科发展形成了很好态势。接下来要扎实推进新工科教育改革，提高人才培养质量和水平，特别是创新创业创造型人才的培养方面，要尽快达到世界先进水平，从而引领工程教育新发展。

工程教育新范式的形成和成熟需要时间，在探索工程教育新范式的转变和形成过程中，会面对各种不确定性、不完全清楚性所带来的阶段性困难和挑战。在教育部高教司领导下，优势工科院校、综合性大学和地方大学工作组积极协调新工科建设任务，通过交流和总结，共同学习和相互借鉴，及时解决改革过程中出现的问题，推动新工科建设的实施和进步，建立适应经济发展的新工程教育范式。如前所述，新工程教育范式形成后，随着科技和社会的进步，又会出现更新的发展、新的知识、新认识和对于工程教育的新理解，将引起更新一轮的工程教育范式的转变，因此工程教育范式的转变、形成、稳定、和再转变是一个动态和发展的过程。在这个过程中，适应当前发展的工程教育范式内容被保留和传承，不适应部分会消失。工程教育范式转变基本是传承和渐变的。

本文作者清楚地认识到无论是对新理念、新模式、新方法、新内容、新质量，还是对新范式框架的理解和认识，受本人的学识、经历、经验和视野影响，对新工科教育的认识不全面，甚至不正确。随着新工科研究和实施的深入，可以预见，一个更加全面、合理和清晰的新工科教育范式一定能够逐渐形成。

**融合、开放、自适应的地方院校新工科体系  
建设思考**

**施晓秋**

新工科建设是高等工程教育适应新经济、新产业发展的重大战略决策与部署。吴爱华等文章阐述了新工科建设的意义与背景，钟登华、林健、陆国栋、夏建国等文章则从不同角度就新工科建设提出了相应的建设思路。本文从新工业的基本特征以及对工科人才的新要求出发，分析了地方院校现有工程教育体系与新产业、新需求之间的不适性，提出了依托产教融合、学科融合、科教融合、创新创业融合，建设开放、自适应的地方院校新工科人才培养体系的基本思路，并给出了一个面向新产业和新工科人才培养的“产、科、教、创四位一体协同平台”原型设计，可为地方院校实施新工科建设提供借鉴与启发。

一、新工业及其对工科人才的基本要求

**1.新工业的基本特征**

21世纪初发展起来的新工业革命也称第四次工业革命，它以信息技术和互联网技术的协同创新和广泛应用为基础，以互联网和制造技术的双向融合为动力，推动制造业向信息化、智能化和网络化发展。这是一次以创新孕育经济发展新动力并驱动新兴产业发展的产业变革。与以往历次工业革命相比，新工业革命呈现出以下六个新特征。

一是知识爆炸。新工业革命处于人类知识急速增长的时代，新理论、新材料、新工艺、新方法不断出现，新的科技知识和信息数据迅猛增加，呈爆炸态势。

二是技术融合。数字技术、物理技术和生物技术的跨界融合是新工业革命的核心特征。在创新驱动下，不同产业技术有机集成和相互融合，模糊了产业界限，催生出许多跨越传统产业边界的新产品和新服务，从而进一步带动产业的变革。

三是智能制造。基于信息化和数字化技术的智能装备、智能工厂等正在引领制造业方式的变革，智能化的制造业将带来生产方式的智能化和网络化、企业组织的扁平化和虚拟化，以及产品模式的定制化和服务化。

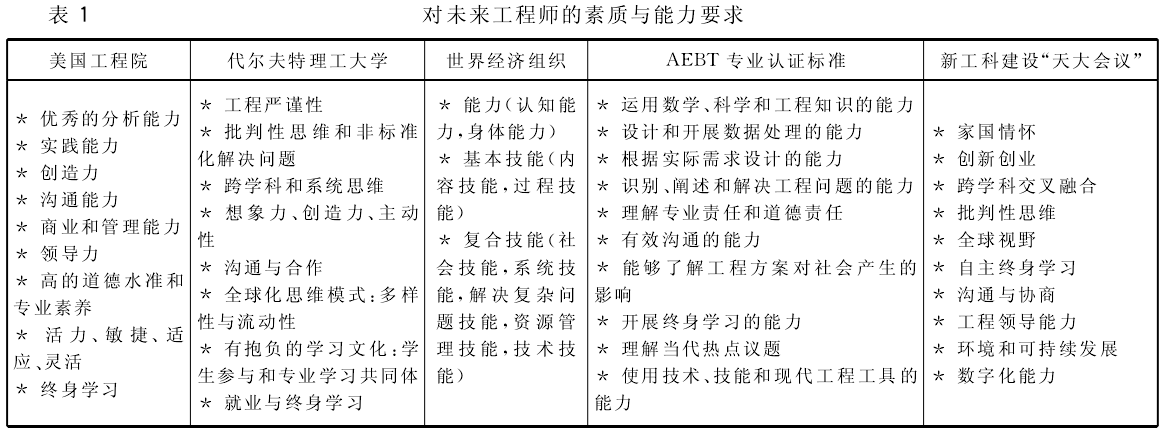
四是快速迭代。技术、产品、商业模式等的变革升级速度不断加快，迭代时间不断缩短，甚至已经短于它们普及和传播的时间。必须要用快速反应和调整来应对快速的技术迭代，并且要紧密聚焦引起技术变革的前沿领域和推动技术变革的动力源头。

五是个性服务。一方面，技术的不断进步使企业的生产、服务系统变化迅速，产品寿命周期越来越短，以规模化为对象的量产制造业将以定制化为重点的多种类小批量制造业所取代。另一方面，大数据的迅速增长及相关技术的发展使企业有更多的机会去了解消费者，庞大数据的支持使企业能够根据不同客户的需求提供个性化的信息和服务。

六是多元影响。以大数据、人工智能、机器人、数字制造、移动互联、云计算等为代表的新一轮产业变革，正在颠覆现有的产业形态、分工和组织方式，重构人们的生活、学习和思维方式，带来了制度和管理方式以及社会资源配置机制等的变革，对人类社会产生了多元化的影响。

**2.新工科人才的基本要求**

新工业呼唤新工科人才，与新工业革命的特征相适应，新工科人才具有与传统工程人才不同的特征。国际上，荷兰代尔夫特理工大学、美国工程院、世界经济组织、ABET工程类专业认证标准等都描述了未来工程师的素质和能力；国内，新工科天大会议更是提出了“面向2030的工程师核心素质标准”。从表1可见，这些标准和要求都共同关注到了新工科人才的工程实践能力、学科交叉能力、创新能力、自主学习能力和人文素养、社会责任。



新工业革命的机遇，促进我国经济迈向中高端水平，关系中华民族的复兴大业与中国梦的实现。工程教育与产业发展紧密联系、相互支撑。为了应对我国新经济与新产业对新工科人才的战略需求，教育部于2017年2月提出了我国高等工程教育的“新工科”行动计划，目的在于，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，培养多元化、创新型卓越工程人才，为新经济和新产业的发展提供智力保障和人才支撑。

二、地方院校现有工科教育的不适性

对照新工业的基本特征与新工科人才的基本要求，地方院校现有工科教育体系的主要不足在于面向产业的开放性与融入性不够，适应度与支撑度不强。

首先，学校发展定位与内涵发展与国家经济发展战略及产业发展需求不相适应。服务国家经济发展与强国战略的使命感和主动担当不够。不能及时面向经济主战场融入经济产业发展的核心需求与前沿地带，服务于新兴产业发展与传统产业转型升级，调整学校发展定位与内涵发展的战略意识与规划、行动力不足。

其次，人才培养体系与产业发展不相适应。对产业发展和重大变化的敏感度不够，不能及时有效捕捉与研判产业发展的新趋势、新特征与新需求，并基于这种研判，调整专业布局，改进培养目标，部署人才培养与产业发展之间的战略对接。专业设置及人才培养产出与新产业发展及人才需求之间的结构性矛盾明显。

第三，校企互动机制不能适应新工业背景下的人才培养与协同创新需求。信息融通、资源共享、协同发展、合作共赢的机制有待强化。产业优质资源融入高校人才培养、高校智力资源融入产业创新与创业的机制与体制有待进一步强化与激活，产业与高校之间共同创新、协同育人的生态系统尚未有效形成。

第四，学科建设与科研活动不能有效对接产业需求并反哺到人才培养。学科建设与产业发展重大战略领域或方向脱节，对接产业前沿的新兴学科建设或现有学科的交叉与融合滞后，科研活动游离于产业的技术创新需求之外，相当比例的科研及其产出，是由教师的职称晋升或岗位聘任驱动的，无关国家发展战略、区域产业升级，也无关人才培养。

第五，培养机制不能有效支撑新工科人才培养目标的达成。产出导向的课程教学体系与教学模式持续改进、校企协同育人、多学科协同育人、科研反哺教学，以及融入专业教育的创新创业育等机制均有待进一步强化或完善。

第六，学校治理体系不能适应新工科体系建设的需要。治理结构上，依托传统学科划分所设置的二级学院，导致边界意识过浓，难以适应跨学科与学院的资源共享、智力协同与人才培养；人事政策上，不利于引导教师以服务产业发展与人才培养为己任从事高质量的教学与科研，不利于高校与产业之间的智力资源共享与人员双向流动；学科与科研政策上，需要进一步强调产业战略发展与创新需求导向，强调人才培养导向；办学绩效或质量评价上，停留在基于论文的学术影响因子评价机制，以高校为经济社会发展服务的能力、为行业企业技术进步服务的能力、为学习者创造价值的能力为核心依据的评价体系尚未真正形成。

三、“四个融合”的新工科建设思路

高校新工科教育体系对新经济、新产业的适应性必须建立在人才培养系统的开放性、融合性与创新性上，需要依托“四个融合”，即产教融合、科教融合、创新创业融合、学科融合依托机制与体制创新，破解现有系统的不足，构建高度开放、深度融合、多元协同、有效适应的高等工程人才培养生态系统。

**1.以产教融合为核心**

产教融合是新工科建设的龙头，也是“四个融合”之首要。依托产教融合，可建立产业与高校之间的基于信息融通、资源共享的协同育人与创新体系。

首先，建立产业与高校之间的信息交流与分享机制。于高校，可由此获得关于产业发展战略与最新动态、人才与技术创新需求、市场与创业机遇、企业所拥有的工程教育资源信息、企业对毕业生的用人满意度等信息；于企业，可借此获得学科前沿、高校服务面向、合作育人需求、可分享的创新智力资源、可转移的科技创新成果、可用的毕业生等信息。

其次，构建立足产业发展需要的专业设置动态调整与培养目标适应机制。吸纳行业企业人员，建立专业设置的评议会商机制，就新专业设置、现有专业整合与改造进行决策咨询，就培养目标的合理性与持续改进进行评估与评价，实现专业设置与结构调整与产业发展及其结构调整的同步，实现专业人才培养目标与产业人才需求的对接，从源头上避免人才培养与业界需求的脱节。

第三，建立校企深度合作的协同育人体系。吸纳行业企业人员参与专业人才培养方案编制，共同进行专业课程与实践教学体系的规划与设计；充分利用企业的优质工程教育资源，包括技术与标准、产品与解决方案、工程项目与案例、生产与服务环境、工程技术与管理人员等，进行教学资源、教学平台、教学环境与师资队伍的共建；建立人才培养需求与产出导向、行业企业参与的培养质量评价机制。

第四，建立服务于产业发展的技术创新共同体。高校的优势在于学科支撑强、创新智力资源丰富，企业的长处在于市场意识敏锐、成果转化与市场开拓能力强，双方优势互补、资源共享，通过共建工程创新中心、技术研发中心、技术创新研究院等形式，协同开展产业与企业发展战略研究，对接产业发展前沿进行应用基础研究，进行关键领域和瓶颈环节的技术创新与开发，进行科技创新的产业孵化，建立快速无缝的成果转化通道与机制，形成发展共赢的协同创新平台。

**2.以科教融合为突破**

科教融合是新工科建设的突破口，也是产教融合的催化剂。科教融合应该包括两个层面的融合，一是科研与教师的“教”融合，二是科研与学生的“学”相结合，后者要以前者为基础。

就教师而言，长期以来，高校面临教师科研与教学两张皮的问题。要从根本上解决这个问题，必须回答教师为什么要从事科研以及从事什么科研的问题。新工业革命的重要特征是创新驱动，而且从科技创新向产业转化的时间与路径日益变短，知识、技术与产品的迭代日益快速，新知识与新思想、新模式与新业态层出不穷。为培养适应新经济、新产业发展的新工科人才，教师首先要自我培养与提升。也就是说，新产业不仅对新工科人才培养提出了新要求，也在倒逼高校教师的转型与升级。教师不仅要通过科研，而且必须通过面向产业的持续科研活动，在为产业创新发展提供服务的过程中，实现自身知识、能力与素质的不断更新与提升，并最终实现对教学与人才培养的支撑。换言之，科教融合必须以产教融合为前提，由此可以实现如下所述的四方面利好，并可促进产、科、教的融合。

首先，提升教师科研的品质、内涵与价值，使得教师跳出晋职与聘岗导向的被动科研，转向产业创新需求导向的主动科研。结合教师自身的科研定位、特长与兴趣，实现工程技术理论研究与产业基础性、战略性或前沿问题的对接，实现技术创造与发明与产业共性或关键技术问题的对接，实现应用开发与产业市场化需求的对接，并通过技术转移、成果转让、合作或自主创业，提升科研成果的经济价值与社会价值。

其次，提升教师对产业发展的分析、预测与判断能力，以及与产业互动沟通的能力。从产业创新的旁观者转变成参与者，有利于教师实现对产业发展态势和人才需求变化的前瞻性预测、敏锐捕捉与准确判断，并以此为基础实现对接产业需求的专业设置、培养目标定位与课程教学体系规划；有利于教师深刻理解与把握产业发展的热点与难点，融入产业话语体系，实现更加顺畅有效的校企沟通与产教融合。

第三，实现教师知识、能力和素质的持续更新或提升，以及教学资源的拓展。教师在通过科研进行自我提升的同时，可以将业界的新思想与新知识、新技术与新方法带进课堂、教材与实验室；或可以依托所获得的科技项目与经费资源，利用所建立的科技创新平台为学生的创新创业教育提供支撑，实现实质性的科研反哺教学。

第四，为其自身的创业提供创新成果支撑。以科研为引领，创新成果为基础，成为新经济中的创业实践者，进一步实现自身价值的提升，创造经济与社会价值；科研及产业转化成效显著者还可逐渐建立与扩大在产业界的影响力与话语权。

就学生而言，将科研与学生的“学”融合其重要性是不言而喻的，其可以激发学生对创新的激情与欲求，培养学生对创新的使命感与价值感，激发和培养学生的创新思维能力，包括想像与关联、分析与批判、系统与跨界思维等能力，培养学生创新实践能力，包括技术关注与学习、评估与选择、开发与实现能力。将科研与学生的“学”融合可以有多种形式，一是让学生参与到教师的科研项目或活动中来，二是以学生科技创新项目的形式。这两种形式目前比较普遍被采用，但其学生的受益面较为有限，在拓展这两种形式受益面的同时，有必要重视另外一种更加常态却也容易被忽略的形式，那就是将创新素养、思维与能力的培养融入日常的教学活动中，课堂教学、实验实践教学都应该有这样的培养功能，但需要教师摒弃陈旧不适用的被动教学模式，引入和采用更利于培养学生主动学习与创新素养、思维与能力的教学方法与手段，进行有目标、有针对性的教学设计与实践。

**3.以“双创”融合为驱动**

在新经济、新产业的宏观背景下，“双创”融合对于工程教育不仅其重要性与迫切性进一步提高，而且其内涵有了实质性的变，需要从过去狭义的、仅仅作为教育体系一部分存在的、面向学生的创新创业教育融合，走向广义的、作为国家新经济与新产业发展体系重要组成部分存在的、面向广大师生群体的创新活动与创业实践融合。从新经济、新产业创新驱动发展的角度需要大批创新创业人才的支撑；从创新创业的内在辩证关系角度，创新驱动的创业才是可持续的创业，创导向的创新才是有活力的创新，创新是基，创业是本。因此，通过引导与鼓励广大师生从创新走向创业，开展以创新为驱动的高品质创业，以创业为激励的高效能创新，融入大众创新、万众创业的大环境，才是新经济、新工科背景下所需要的双创融合。这样的“双创”融合不仅进一步提升了科教融合的价值与意义，也拓展了产教融合的形式与途径，它是产教融合、科教融合的一种更高层次的表现形态。

对教师而言，实施“双创”融合，可以进一步提高其科技创新与创新成果的经济与社会价值；激发其面向产业开展科技创新、实施科教融合的内在动力；培养与提升其自身的创业智慧、创业能力与创业经验，并反哺到对学生的创新创业能力培养与创新创业实践指导中，提升其创业教育的能力与水平；提升其对产业的发展态势、关键领域和重大方向的预测与分析、捕捉与判断能力；融入产业话语体系，建立或提升在行业内的影响力，并反哺与促进产教融合。

于学生而言，他们是创新创业的潜在生力军，也是未来产业发展的创新创业主体。他们年轻充满激情，思想活跃，创造力强，敢于实践与探索。将双创教育融入他们的专业教育，或让他们参与到教师的创新创业活动中，或鼓励他们自主利用专业知识和创新学习成果进行创业实践，做中学，学中做，不仅有助于他们建立对新产业发展特征、创新创业辩证关系的基本认知，强化专业学习的目标与动力，更重要的是可以挖掘他们的创业潜能，激发他们的创业欲求，培养他们的创业能力。无论在校期间的创业实践是否成功，都可以为其未来的创新创业奠定基础、提供经验，并让创新创业内化为他们基因的一部分。

对于产业与高校而言，“双创”融合在双方之间架构了充满创新活力与创业生机的双向互动通道，提供了产教融合的一种新机制与新模式。流入高校的是创业方向与机会，创业的资金与经验；流回产业的是创业人才与成果，创业的经济与社会效益。于产业，有助于补足创新驱动不足的短板，既可从高校获得持续不断的创新创业人才补给，提升从业者的总体素质与水平；又减少了科技成果产业化转化的中间环节、时间与经济成本，促进技术创新与产业创新的快速对接。于高校，一方面，提高了其对接（融入）国家经济发展、服务区域产业发展的能力，和为学习者创造价值的能力；另一方面，有助于解决其双创教育在低水平徘徊、难以落到实处的若干瓶颈问题，包括理念与氛围、资源与平台、师资与经验等；同时，来自师生创业的经济与社会回报，将为高校的创新与可持续发展提供良好的自我造血功能。

双创融合的形态与载体可以是多元的，包括产业预备阶段师生共建的创新创业孵化平台，产业融入过程校企共建的创新创业协同中心，产业转化之后师生为主体法人的创业运营项目等。

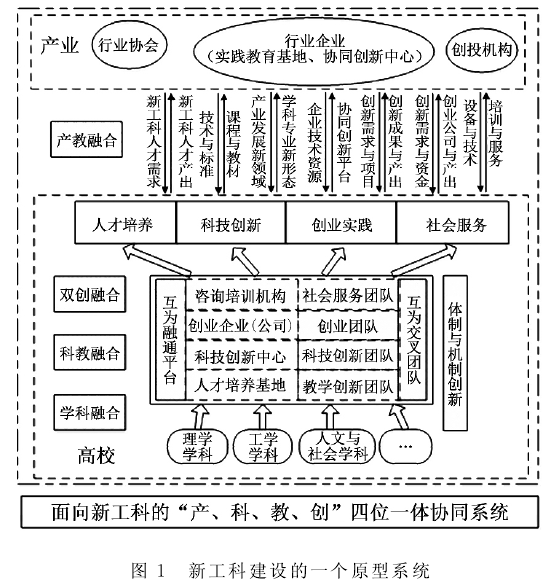
**4.以学科融合为保障**

在多元融合、多领域融通的新经济背景下，学科融合不仅对人才培养的重要性进一步提高，而且学科融合的广度与深度都较以往扩大。支撑新工科人才的培养，不仅涉及不同工程学科之间的交叉融合，还需要工科与理科的跨界融合，以及工科和人文与社会学科之间的大尺度交叉、跨界与融通。学科融合是新工科的基本保障，不仅新工科人才培养离不开它，新工科体系下的师生创新与创业实践也离不开它的支撑，它是促进科教融合、双创融合，实现深度产教融合的润滑剂与粘合剂。

学科如何融合，学科融合必须以促进产教融合、科教融合、双创融合，支撑新工科人才培养为基本出发点和立足点；必须以新工科人才培养需求为导向，以面向新产业的科技创新需求为驱动，实施按需交叉、动态融合。以学科融合支持人才培养为例，应该在面向产业需求确立人才培养目标的前提下，以培养目标为引领建立多学科对专业的支撑，改变过去依据单一学科设置专业、划分专业边界的现象。以学科融合支持师生的创新创业活动为例，需要围绕创新需求或创业主题，整合不同学科背景的人力与物力资源，建立跨学科的创新创业团队或平台。学科融合不能是行政命令和领导意志，但是需要一些行政上的政策与机制引导与干预，将传统高校治理结构中形成的边界、制约和篱笆拆除，消除学科融合过程中引发的矛盾与冲突。

四、开放、自适应的新工科人才培养体系原型设计

面向新工科人才培养，依托“四个融合”，构建的将是不同以往的人才培养体制与载体，它既不是传统意义上的专业，也不是单纯的学科科研平台。图1给出了一个原型系统的示意图，名为“面向新工科的‘产、科、教、创’四位一体协同系统”。



该系统不仅是一个面向产业开放的系统，而且将面向新工业的人才培养、科技创新、创业实践、社会服务等四大功能，依托产教融合、科教融合、双创融合、学科融合，以及与之相应的体制与机制创新集成到了一个系统中。该系统在实现人才培养、科技创新、创业实践、社会服务等功能的同时，可提供地方高校人才培养、科技创新、创业实践、学科融合、治理结构对新产业发展的动态适应，从而是一个与新产业发展高度同步的地方高校新工科人才培养生态系统。

**面向新工科的集成化产教融合平台构建  
——基于不完全契约的视角**

**李玉倩**

一、引言

　　党的十九大报告明确指出，知识型、技能型、创新型劳动者大军，是中国从制造大国向制造强国转型的关键人才支撑。新一轮的社会变革与产业革命，新知识与新技术的演变交替，需要高等工程教育培养大批跨学科的新型卓越工程技术人才。2017年6月，教育部办公厅发布《新工科研究与实践项目指南》（以下简称《指南》），其中明确要求“改革与实践新工科多方协同育人模式”。2017年12月，国务院办公厅又明确提出“深化产教融合的若干意见”，要求包括高等工程教育在内的高等教育、职业教育推进产教深度融合。产教融合平台是多方协同育人的有形载体，对于提高学生的工程创新和适应变化能力至关重要，同时也是新工科建设明确提出的重点突破方向。本文以平台构建为议题，运用新制度经济学的不完全契约理论，诠释平台构建的现实困境，探讨相应的治理对策。

二、面向新工科的集成化产教融合平台构建

**（一）面向新工科的产教融合**

　　胡美丽等归纳了美国工科院校的办学经验，认为美国工程教育体系建设走在世界前列，其主要原因是重视实践教学环节在课程设置中的比重，并且注重通过产学合作方式培养学生的工程实践能力。Jainudin等总结了马来西亚的工程教育经验，强调必须让学生在工作场所运用所学的知识与技能，通过工程项目训练提高理论联系实践的能力。类似地，Balaji等以桥梁工程专业为例，发现运用机器人和仿真工程实践教学，能够显著提高学生的工程实践能力与创新创业能力。陈亚玲认为，高等工程教育需要设计多学科交叉融合的工程教学项目，一方面破除了学科壁垒对跨学科人才培养的障碍，另一方面探索建立校企合作教学模式。可见，产学研协同参与产教融合平台构建已经成为国内外工程教育的共识。与此同时，高等工程院校与行业企业协同培养人才普遍存在动力机制不足、利益和约束机制不完善、合作激励和评价机制不健全等突出问题，这给工程教育的产学合作推进带来了现实困境。新工科承担培养多元化、创新型卓越工程人才的使命，必须突破学科壁垒、专业藩篱、校企隔阂等限制，促进产教融合、科教融合、学科融合、创新创业融合，着力培养学生的工程创新和适应变化两个能力。产教融合是产学合作、科教合作深度推进的结果，也是新工科建设背景下高等工程教育改革的重点方向。

**（二）集成化产教融合平台构建**

**1.集成化产教融合平台的内涵。**《指南》强调通过体制机制创新完善多主体协同育人，建立跨学科交融的新型教学组织机构。产教融合平台的构建，就是要促进多主体知识、技术、管理甚至资本要素参与新工科建设。就校内协同与校际协作而言，关键是整合优质实践教育资源，促进知识与技术的跨学科、跨专业融合；就科教融合与产学合作而言，重点是通过优势互补，在知识、技术要素整合的基础上，实现管理甚至资本要素的彼此融合。集成化产教融合平台的内涵，就是通过协同育人的体制机制创新，共建共管融合实践教学、技术研发、创新创业、产业培育于一体的集成化实践教学平台。由此可见，实践教学是平台的基本职能，通过平台实现工程理论知识与实践动手的结合，让学生边学、边做、边思考，提高工程教育人才供给与产业需求的吻合度。技术研发与创新创业是平台的重要职能，通过平台提高教师和学生的工程创新能力与适应变化能力，确保高等工程教育培养人才适应新技术、新产业、新业态和新模式“四新经济”发展需要，确保持续提升教师综合素养。产业培育是平台的延伸职能，即通过平台将师生的技术研发、创新创意孵化成科技企业，提高师生的创意、创新、创业能力，确保新工科支撑和引领新技术、新产业发展。

**2.集成化产教融合平台构建的主体。**新工科建设强调提高工程人才培养与市场需求的匹配、拓宽并优化工程人才的知识体系，为此，集成化产教融合平台要坚持“以学生为中心、关注教师和学生两个主体”的原则。以学生为中心，就需跨专业、跨校、跨产学研构建产教融合平台，通过优化课程体系、采用现代信息技术、改革教学方法与手段，培养学生的创意、创新、创业能力，聚焦学生的“动手”能力，促进学生可持续发展。关注教师和学生两个主体，则是因为师生是产教融合平台直接运行的主体；这里的教师，可以来自其他学科、其他专业、其他学校，也可以是来自企业的产业教授或能工巧匠，还可以是科研机构的工程技术专家。可见，平台的构建必须是跨界融合，决定了构建主体的多样性、互补性。具体而言，平台的核心主体包括高校、科研院所、行业企业三种类型；平台的外延主体不仅包括政府职能部门，而且包括工商注册、知识产权、财税金融、技术交易等各类生产型服务机构。

三、不完全契约与集成化产教融合平台构建

**（一）契约理论下的集成化产教融合平台构建**

从教育管理视角分析，面向新工科的集成化产教融合平台主体具有多样性和互补性，彼此谋求知识、技术、管理甚至资本要素的整合利用，发挥协同育人的优势。但是，各主体的使命存在差异，高校主要承担人才培养、科学研究、社会服务、文化传承的职能，科研机构主要承担科学研究和社会服务职能，行业企业则主要追求经济利益并承担社会责任。不同利益诉求主体之间的协同育人，本质上是资源的彼此交易；就集成化产教融合平台而言，主要涉及资源供应方、资源需求方和资源交易平台三大要素。更进一步，依据产品的竞争性和排他性分析，平台四大职能产品的经济属性也是不同的：实践教学具有公共产品属性，技术研发与创新创业具有准公共产品属性，产业培育则纯粹属于私人产品。不同产品经济属性的集成化平台，决定了协同育人具有跨界流动、产权分享、主体多元、合作协同与效益分享五大特征，也决定了平台运行中必然出现产权界定、利益分成、风险分担等问题。由于契约可以概括双方或者多方当事人之间达成交易的各类协议或约定，所以，契约理论可以用来研究所有交易和制度，也适用于集成化产教融合平台构建议题。

**（二）集成化产教融合平台契约与产权的不完全性**

**1.集成化产教融合平台构建契约的不完全性。**科斯的经典论文《企业的本质》孕育了契约理论，此后契约理论沿着完全契约理论和不完全契约理论两个方向演进，并且被应用于所有交易和制度领域研究。本文主要选择不完全契约理论研究面向新工科的集成化产教融合平台构建，原因有四方面：一是参与平台构建的主体无法预测协同育人未来的各种或然情况，会依据相对满意而非绝对满意原则的有限理性做出决策。二是平台构建中的高校、行业企业、科研机构都是理性主体，在信息不对称的情况下可能做出损人利已的行为，即平台构建和运行中存在机会主义行为。三是平台构建过程中不仅存在实训场地、科研仪器等固定资产的专用性，也包括各种合作创新创业中单边和双边资产专用性，在多主体利益博弈下，都会诱发道德风险、逆向选择、敲竹杠和违约等问题。四是《指南》明确提出“在政府引导下建设区域共享型人才培养实践平台”，除了物质资产的专用性，还存在关系资产的专用性。

　　不完全契约理论的集大成者哈特教授认为，由于合作当事人无法就未来合作的所有或然事件进行预测，或者即使预见也无法在合作签约时达成一致，或者“双方可观察但无法向第三方证实”，因此契约总是不完全的。新工科建设面对未来战略性新兴产业的人才需求，需要预判未来的新知识和新技术，需要探索协同育人新模式，强调用新理念去把握新机会；但就集成化产教融合平台构建而言，无论是合作伙伴的选择还是平台运行中的协调沟通，无论是利益分配还是风险分担，平台建设方都无法事前就所有协同育人事项达成一致，因此契约总是不完全的。在不完全契约下，一旦合作方进行了实训场地、科研仪器、创新项目、产业培育等专用性投资，这些投资被重新配置于其他替代用途的程度会大幅降低，相应投资存在被套牢的风险，不完全契约理论将其描述为“投资的根本性转变”。由于投资在根本性转变后容易遭受合作方的敲竹杠，从而降低平台构建方的合作意愿。

**2.集成化产教融合平台产权的不完全性。**由于集成化产教融合平台的契约是不完全的，决定了平台构建方只能按照“求同存异”的原则推进平台建设。这里的“同”，即是平台合作方事前契约达成的合作事项；这里的“异”，即是平台合作方无法预测或无法通过事前契约达成的合作事项。不完全契约理论将无法事前规定的合作收益归属的产权称为剩余控制权，并且具有普遍性、排他性、可让渡性等特点。按照哈特的观点，当出现了事前没有规定的合作收益时，拥有剩余控制权的一方在和对方进行再谈判时，会拥有更大的谈判力；拥有剩余控制权的一方甚至可以用任何方式决定原来契约没有约定的合作收益分配，且不必与习惯或法律保持一致。由于剩余控制权不可能在产教融合平台构建主体之间平均分配，这种不对称的分配似乎是不公平的，但可以确保更有谈判力的一方得到事前专用性资产或关系的投资激励；从福利经济学的角度讲，剩余控制权倾向于重要投资方有助于促进福利最大化，这种不公平不仅合理而且有效。

　　由于集成化产教融合平台契约的不完全性，决定了构建主体协同育人产权的不完全，这种不完全性可以从以下四个方面进行诠释：一是平台事后运行中存在剩余控制权之争，掌握谈判优势权的一方只会作出有利于自身投资回报的决策，因此可能攫取契约没有事先规定的其他主体的正当产权，造成其他主体的产权损失；二是平台难以就投入的资源进行明晰的产权界定，这不仅是因为投入的知识、技术、管理等要素本身难以明确界定产权水平，而且合作方也无法预知这些要素在平台运行中可能产生的效用；三是平台无法就投资收益权进行明确约定，这是因为平台融合实践教学、技术研发、创新创业、产业培育等职能，这些合作事项很难运用会计法则衡量综合绩效，也就难以客观公正地界定投资收益权；四是平台相关构建方的公共财产产权难以完全界定，这是因为政府投入公共资源委托高校、科研机构进行人才培养和科学研究，这些公共资源的分配和利用本身难以开展绩效评估。可以推理，由于产权的不完全性，决定了难以真正建立公平的利益分配和风险分担机制。

四、不完全契约视角下面向新工科的集成化产教融合平台构建困境

**（一）交易成本的增加**

在推进新工科建设中，高校需要秉承协同育人原则构建集成化产教融合平台，促进产教深度融合。然而，协同并非是完美的，因为随着协同主体数量的增加和产教融合深度的演进，交易成本呈现由低到高的演进趋势，原因如下：一是平台构建主体的有限理性，即无论是高校、科研机构还是行业企业，都不会也不能按照最优原则进行决策，这将会带来部分资源的浪费；二是平台运行信息在主体间是不对称的，即由于职责划分、信息能力差异，构建主体无法平等地掌握共有信息，可能诱发逆向选择；三是平台运行绩效具有不确定性，特别是技术研发、创新创业、产业培育具有很高的不确定性，决策难度的提高会导致决策成本的增加；四是平台投入资产具有专用性，即场地、实训设备、科研仪器等资产一旦投入平台建设，其用途可能被锁定且很难再改变用途，或改变用途后其使用价值大幅降低甚至毫无价值；五是存在合作技术水平的局

限，平台的构建本质上是异质性教育资源的非线性整合，如果对资本、知识、技术等要素资源的整合技术水平低，则可能导致交易成本的增加。因此，不完全契约导致了平台交易成本的增加，只有当平台资源整合利用产生的效用大于相关的交易成本时，平台才是经济有效的。

**（二）产权界定成本的增加**

　　王为民在研究校企合作办学时强调，正是由于培养产权没有得到明晰地界定，导致企业参与校企合作的积极性不高。然而正如前文不完全契约的理论分析，集成化产教融合平台的培养产权是不完全的，也无法明晰界定。在推进新工科建设中，高校需要获得异质性教育资源，以实现资源共享和优势互补，然而知识、技术、信息、管理要素等教育资源的界定不仅成本很高，而且也无法完全界定。在构建平台时，相关主体只能将无法界定的培养产权置于公共领域，即在“求同存异”中推进协同育人；然而随着平台运行的深入推进，原有置于公共领域的未被事前契约界定的培养产权可能产生价值，需要重新界定产权的归属，这样才能持续优化利益分配机制。尽管平台的培养产权是不完全且无法完全清晰界定，但并不意味着培养产权不需要界定；相反，为了优化利益分配机制、完善合作激励机制，培养产权需要持续地界定，这会导致界定成本的增加。

**（三）合作主体之间的敲竹杠**

　　不完全契约理论的一个分支是交易成本理论，其代表人物Williamson认为，资产的专用性不仅增加了交易成本，而且决定了事后机会主义行为，合作主体之间的敲竹杠即是典型的情境。在构建面向新工科的集成化产教融合平台时，无论是高校、科研机构还是企业，其投入的资源一旦真正融入平台，就可能存在无法转移或转移后使用价值大幅降低的情境，即存在投入资源被套牢的风险。特别地，如果投入资源的专用性越大，投入资源的量较小，则会在剩余控制权争夺中处于不利地位；处于谈判优势权地位的主体可以不受习惯和契约约束任意处置培养产权的再分配，不完全契约理论将事后产权的攫取或侵占行为称为敲竹杠。显然，敲竹杠行为会诱发协同育人的合作纠纷并导致合作效率的损失，造成协同育人集体主义的现实困境。

**（四）剩余控制权争夺**

　　由于集成化产教融合平台的产权是不完全且无法清晰界定的，合作主体只能把没有界定产权的资源搁置于公共领域，这些资源在合作过程中可能产生新的价值，公共领域资源的价值称为“租”，而对“租”的争夺即是剩余控制权争夺，其内涵等同于管理学领域的利益分配纠纷。从不完全契约视角，合作主体会在合作过程中追求获得较大份额的“租”，而具有优势谈判权的主体会利用剩余控制权攫取事后剩余；为了强化这种谈判权力，将刺激其继续扩大投资。这虽然有助于激励重要资源投入方，但也会挫伤剩余控制权较小主体的资源投入积极性。

　　综上四点，集成化产教融合平台虽然具有多方异质性资源互补的优势，但这种协同育人模式同样存在制度成本，且随着参与主体增加和产教融合深度的推进，不仅会增加平台的构建和运行成本，而且会诱发参与主体之间的敲竹杠和剩余控制权争夺。只有当协同育人的效用大于合作困境产生的损失，平台才是经济有效的；反之，则会产生协同育人的集体主义困境。

五、对策与建议

**（一）加强政府的引导和相关政策扶持**

　　新工科建设推进需要政府的引导和相关政策扶持，就集成化产教融合平台构建而言，其作用体现在四个方面：一是需要政府营造产教融合的良好氛围，促进教育链、人才链与产业链、创新链有机衔接，提高高校、科研机构和企业参与平台构建的意识。二是平台的构建不仅要坚持学科专业建设与产业转型升级相适应的原则，也要体现国家创新创业目标导向，因此新工科的建设需要政府新技术、新产业的战略规划指引。三是政府不仅可以协助相关主体选择合作伙伴，降低事前交易成本；政府也可以加强平台运行中的工作协调，降低事后交易成本。四是政府可以出台协同育人科技成果转换奖励、产教融合税收减免、校企合作办学金融支持、建设用地划拨使用等方面的扶持政策，增加平台公共领域的资源价值。

**（二）持续界定培养产权**

　　哈特不完全契约理论的贡献就在于使用分配决策权和控制权来解决剩余控制权的争夺，而分配决策权和控制权的关键在于明晰培养产权。因此，虽然集成化产教融合平台的培养产权难以完全界定，但产权界定有助于降低剩余控制权的争夺，特别是有助于规避掌握事后谈判主导权的参与者攫取不当利益。在平台构建实践中，高校、科研机构和企业需要就投入的技术、管理、资本等要素进行持续界定。当然，由于培养产权的界定需要成本，各主体在界定时还要考虑经济性问题，即当界定的整体效用大于界定成本时，则通过产权界定分配决策权和控制权；当界定的整体效用小于界定成本时，则将未被界定的资源暂时搁置于平台公共领域。

**（三）增加合作主体平台运行信息的对称性**

　　集成化产教融合平台具有实践教学、技术研发、创新创业、产业培育等功能，不仅很难通过传统会计核算成本与收益，而且平台运行具有很大的不确定性。由于相关主体对平台运行信息是不对称的，很容易诱发机会主义行为，造成集体主义困境并挫伤合作者的信心。因此，必须增加合作主体平台运行信息的对称性，特别是技术研发、创新创业、产业培育过程中的权益、资金、风险等信息的对称性，减少协同育人的交易成本。另一方面，平台同样可能存在构建失败或正常解散的可能，需要建立退出过程中信息的沟通与交流机制，确保信息沟通的真实、准确、完整和及时。

**（四）建立科学的平台运行机制**

　　由于参与集成化产教融合平台主体的利益诉求存在差异，而且平台的契约和产权都是不完全的，需要通过决策权和控制权的持续调整来界定产权，以便更好地激励高校、科研机构和企业参与协同育人。综合分析平台的四大职能，可以发现平台是“准学校、准企业”的利益共同体，决定了平台的建设既要沿袭院校行政管理体制的精髓、更要秉承新公共管理的理论、思想和方法，强调经济、效率和效益的绩效目标导向。具体而言，实践教学需要体现产品的公共性，由高校主导运行；技术研发与创新创业由高校、科研机构和企业合作运行，需要成立相应的董事会、理事会、监事会等机构，明确各方职责、权力与义务；产业培育由企业主导运行，需要建立公司制运行模式，激发平台运行活力。

**（五）建立适当让渡企业利益的退出机制**

　　由于高校与企业的使命不同，相对而言，企业的生存发展境遇更不乐观，因此在构建集成化产教融合平台时，就有必要明确相关退出机制。依据不完全契约理论，企业投入的资源一旦发生根本性转变，就存在被套牢的风险，这是企业不愿意深度参与产教融合的主要原因之一。当前，加快建设支撑和引领新技术、新产业发展的新工科，需要高等工程教育积极、主动深入推进产教融合，因此有必要建立适当让渡企业利益的退出机制，就退出情景、退出流程、违约责任等事项进行详细说明，鼓励企业成为合作办学主体。另一方面，让渡企业利益的退出机制还体现在企业投入资源专用性方面的限制，尽量降低企业投入资源的专用性，避免在平台运行中遭受敲竹杠带来的利益损失。

**（六）注重知识产权开发**

　　集成化产教融合平台必然涉及知识产权问题，知识产权的保护有助于界定产权归属，从而正向激励相关主体加大研发投入。与此同时，不完全产权把产权分为法律权利与经济权利，知识产权保护仅仅强调法律权利的适当归属，并没有强调通过平台发挥异质性资源的协同效应。笔者主张高校、科研机构、企业注重知识产权开发，这可以从总量上增加平台公共领域的资源价值，实现整个平台经济权利的最大化。在此基础上，通过决策权和控制权的持续调整机制，弱化敲竹杠、剩余权争夺给平台稳健运行造成的负面影响。因此，笔者并非否定平台运行中的知识产权保护，而是主张率先开发知识产权，在谋求协同创新效用的基础上通过知识产权的持续界定解决知识产权归属纠纷。

**（七）探索“契约”与“关系”的混合治理**

　　正如契约理论强调的契约可以研究所有交易和制度，集成化产教融合平台本身是异质性主体谋求优势互补的资源交易与合作共享，决定了平台的治理离不开契约机制，即一方面通过事前的契约促进深度产教融合，另一方面通过事后的产权持续界定明晰决策权和控制权。然而，政府是高等工程教育的委托方，高校则扮演代理人角色，政府在推进高校的产教融合中具有引导和促进作用，由此必须考虑关系在资源获取、产教融合推进中的作用。具体而言，可以在“契约”治理基础上，辅助通过公共关系、声誉机制、诚信体系等“关系”治理措施，降低集成化产教融合平台构建的制度成本。

**面向未来的中国新工科建设**

**林建**

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，以期为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：学科人才的队伍建设、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的建设等，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，就行业和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，新工科的建设和发展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202”、“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和建设的。

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性工作。

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。

**1.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方向上。

**2.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。

**3.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。

**4.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。

**5.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；能够加强通识教育和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。

**6.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。

**7.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、专业设置以及与经济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。

**1.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和趋势；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。

**2.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。

**3.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。

**4.一般地方高校**

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。

**1.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；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重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。

**2.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的选择，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学习兴趣、学习参与度、学习效果和能力培养。要通过教学组织形式设计和教学内容的组织提高学生的学习兴趣；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。

**3.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。

**4.新工科专业产学研合作教育**

与传统工科专业产学合作教育不同的是，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，而且也为高校之间、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。

**5.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。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。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 主编 | 聂天保 | 地址 | 武汉轻工大学常青校区 |
| 副主编 | 吴德明 |  | 行政楼620 |
| 编辑 | 官璐 | 邮编 | 430023 |
|  | 李笃珊 | 投稿信箱 | fgc@whpu.edu.cn |
|  | 张凌云 | 电话 | 83927097 |