



# 中国教育科研参考

2022年第20期

总第(534)期

中国高等教育学会编

2022年10月30日

## 目 录

促产教深度融合 让“专业更专业”

加快建设中国特色、世界水平的卓越工程师培养体系..... 杨 斌 (02)

新时代卓越工程师教育培养的校企协同机制构建探究

——以北京航空航天大学未来空天技术学院为例

.....叶金鑫 韩 钰 张江龙 刘科生 (10)

卓越工程师计划实施的成效、不足与思考

——基于华东理工大学7个专业的实证调查..... 孙艳丽 涂善东 周 玲 (17)

“新工科”背景下卓越工程师培养：基于TRIZ-TAN耦合模式的构想

.....陈红兵 李 媚 孔祥伟 (23)

基于工程教育专业认证的“双一流”院校卓越工程师培养探索与实践..... 吕丹丹 (29)

**编者的话:**卓越工程师是实现国家高水平科技自立自强的关键变量。从 2010 年“卓越工程师教育培养计划”启动实施,到 2017 年升级为“卓越工程师教育培养计划 2.0”深入推进,我国卓越工程师培养在产教融合、课程建设、教学改革等方面进行了有益探索,为我国战略性新兴产业的快速发展和制造业的转型升级提供了人才支撑。为更深入地把握卓越工程师教育培养的新时代要求,深化工程教育改革与创新,建设具有中国特色、世界水平的工程师培养体系。本刊以“卓越工程师培养”为选题,集中选编若干文章,供读者参阅。

主编:郝清杰

本期执行主编:王者鹤

责任编辑:李 璐

地址:北京市海淀区学院路35号世宁大厦二层中国高等教育学会《中国高教研究》编辑部

邮编:100191

电话:(010) 82289239

电子信箱:gaoyanbianjibu@163.com

网址:www.cahe.edu.cn(中国高等教育学会——学术动态栏目)

# 促产教深度融合 让“专业更专业”

## 加快建设中国特色、世界水平的

### 卓越工程师培养体系

杨 斌

清华大学长期致力于卓越工程人才教育，为国家和社会培养了一大批创新型、复合型、应用型工程科技人才。

清华大学的工程教育历史悠久。1909—1929年，清华赴美留学的1290人中，有404人学习工程，建筑学家梁思成、化工专家侯德榜是其中的杰出代表。1932年，清华大学正式成立工学院，设立了土木工程、机械工程和电机工程三个系。新中国成立后，清华大学逐渐转变为一所多科性工业大学，开创“真刀真枪”的实践教学模式，获得了“红色工程师摇篮”的美誉，重点为国家培养工程科技人才。改革开放以来，清华大学逐步完成了向综合性研究型大学的转变，取得了5兆瓦低温核供热试验堆、高温气冷堆核电站示范工程、辐射成像检测技术等一系列重大工程成果，一大批年轻人在参与工程项目时得到充分的训练和培养。

在这个过程中，清华大学在促进学位制度改革、推动培养模式创新等方面积极作为。1984年，清华大学等11所高校共同建议培养工程类型硕士研究生并获教育部支持，开始了工程硕士生教育的探索与实践。1986年，清华大学率先在二汽集团试点培养工程类型硕士研究生，并探索出了校企“双导师”、学生“进校不离岗”等培养经验。1991年，清华大学成为试办工商管理硕士学位协作小组成员，并成为首个专业学位类别——工商管理硕士专业学位的试点单位，正式拉开清华大学培养专业学位研究生的序幕。30余年来，清华大学坚持服务国家重大战略、关键领域和社会重大需求，不断推动并持续深化专业学位

研究生教育综合改革，在完善专业学位研究生培养方案、探索高层次应用型人才培养模式等方面取得了系列进展。

#### 一、明确教育理念，明晰培养定位

##### （一）“开放式”办学理念

设置专业学位的目的，是为了服务现代科技与社会的快速发展，培养具有较强专业能力和职业素养、能够创造性地从事实际工作的高层次应用型专门人才。清华大学秉承“开放式”办学理念，加强与企业、行业、地方政府、高校以及科研院所的广泛合作。

1995年，清华大学成立“清华大学与企业合作委员会”，与国内大型企业、行业龙头及骨干企业，以及国际知名企业开展产学研合作。1997年，为发挥高校与企业的优势，产学紧密结合培养研究生，清华大学开始与企业合作建立“工程硕士培养工作站”，当年即与上海自动化仪表股份有限公司等7家单位建立工程硕士培养工作站，并从第二年开始，让应届本科毕业生进入工程硕士培养工作站，开展免试攻读工程硕士学位的试点工作。此类考生在校学习一年学位课程后，到企业结合工程技术项目完成论文工作。

在“开放式”办学理念的指导下，清华大学专业学位研究生教育持续关注经济发展和产业转型的动态性需求，树立“无需求，不质量”的需求质量观，强调基于需求设计、坚持目标导向的“项目制”人才培养机制，目前已设立“电子信息创新创业”“能源互联网”等专业学位研究生项目。

## （二）“分类培养”教育理念

改革开放以来，清华大学研究生教育主动肩负使命，勇于改革创新，致力于培养具有国际竞争力的高层次创新人才与服务国家战略和行业需求的专业人才。2014年，《清华大学关于全面深化教育教学改革的若干意见》发布，明确提出推进研究生教育结构调整，完善研究生分类培养机制，强调学术学位研究生教育与专业学位研究生教育区分鲜明、各成体系。专业学位研究生教育要更加面向行业需求，培养目标和方案的制定应吸纳专家参与，制定适应培养目标的学位论文形式和标准，推动建立以职业胜任力为导向的评价体系；探索学科特色与行业需求相结合，理论知识与专业实际相结合的多样化培养模式。

围绕“分类培养”教育理念，清华大学成立专业学位研究生教育办公室，推进“项目制”培养模式改革，建立“中心制”运行管理模式，实现跨院系整合资源，实施项目培养指导委员会等运行机制，通过汇聚校内外资源、重塑课程体系、强化能力拓展、提升职业素养等措施，促进研究生分类培养。同时，在“分类培养”教育理念的指导下，院系重新梳理研究生教育定位，聚焦学术学位博士生和专业学位硕士生两类人才培养。电子系、电机系、精仪系等院系将工学硕士生全部转为工程硕士生，并按项目制重新设计了专业学位硕士项目，让“专业更专业”。

## （三）“重实践，提素养”教学理念

专业学位研究生教育以“提高实践创新能力”为目标，在适应社会分工日益精细化、专业化、对人才需求多样化方面具有独特优势，已成为高层次应用型人才培养的主阵地。

清华大学在教学过程中，一直注重理论与实践相结合、技术与应用相结合。早在20世纪60年代，清华大学提出“给干粮，更要给猎枪”，强调清华大学学生既要有扎实的理论基础，又要有基本的、先进的工程技术，做到理论联系实际，培养学生分析和解决实际问题的能力，学生在毕

业后才能够独立学习、独立工作，创造性地解决问题。

2009年以来，我国专业学位研究生教育进入快速发展期，增设了一批专业学位类别，扩大了全日制专业学位硕士生的招生范围和规模，应届本科毕业生生源大幅增加，学生既需要理论知识提升，还需要实践训练。生源结构变化要求培养模式创新，清华大学于2010年开展专业学位研究生教育综合改革试点工作，并于2015年启动深化专业学位研究生教育综合改革试点工作，强化专业学位研究生的实践能力和职业素养培养，促进校企联合培养人才，改革课程体系，推动实践基地建设，探索多样化学位论文形式，不断深化专业学位研究生教育模式改革，强化专业学位研究生实践创新能力培养。

## 二、培养卓越人才，服务重大需求

（一）坚持立德树人，强化社会责任教育和优良学风建设

1. 强化专业学位研究生的社会责任教育。自20世纪60年代以来，清华大学秉承“又红又专、全面发展”的育人传统，从历史经验中汲取前进的智慧和力量，培养了一批又一批红色工程师、社会主义的建设者。进入21世纪以来，随着工程项目日益规模化、综合化和复杂化，工程实践对社会和自然的影响也越来越广泛和深远，因此，加强工程伦理教育，提高工程科技人员的社会责任意识，在专业学位研究生教育中融入伦理教育逐渐成为共识。2014年，清华大学工程伦理教育论坛召开，明确提出工程教育要补强“伦理”短板，要把价值塑造作为工程教育的核心目标之一。

自2014年9月开始，清华大学设立“学术与职业素养”课组，要求研究生新生在课组中至少要选修16学时的学术规范或职业伦理课程，并开设土木、水利、环境、工业工程、电气、化工、材料、核能、信息等不同领域的伦理课程，强化各类型专业学位研究生的社会责任教育。部分工程伦理课程由校领导、院系领导直接授课，充分体

现了学校对工程伦理课程建设的重视。如原化学工程系主任赵劲松教授开设了国内第一门“化学工程伦理”课程，从项目全生命周期角度讲授工程伦理，课程系统性强、案例准备充分，并邀请政府、企业和法学专家参与授课，分别从宏观管理视角、社会责任视角、法律视角等角度进行讲解。目前，全校已开设62门研究生职业伦理课，分布在工程伦理、设计伦理、商业伦理、医学伦理等专业领域，其中工程类伦理课程14门。

在开设本校伦理课程的同时，清华大学各院系的教师积极推进全国工程伦理教育教学工作：社会科学学院、化学工程系、信息学院、土木水利学院、环境学院、核能与新能源技术研究院等多个院系的教师主持或参与全国工程专业学位研究生教育指导委员会组织的《工程伦理》教材编写、慕课制作、案例编写、师资培训授课等多方面工作，推动了全国工程伦理教育教学的发展。随着这些工作和活动的开展，促进了清华大学乃至全国的广大师生了解、重视工程伦理教育。

2. 探索建立非全日制研究生学风建设长效机制。开展非全日制研究生教育是清华大学服务经济社会各行业领域发展需求培养人才的重要方式。目前在学非全日制专业学位硕士研究生占全校在学专业学位硕士研究生的二分之一。

优良学风是“治学之本、成才之本、立校之本”。为做好非全日制研究生学风建设，清华大学各院系在分析非全日制研究生特点的基础上，采取了一系列学风建设举措：①找准思想定位，营造良好氛围，通过开学第一课、学风大讨论等多种形式，引导学生思考“为人与为学”的关系，明确学风建设中应弘扬什么、倡导什么、抵制什么。②做好组织保障，推动学风建设，通过临时党支部、班级、社团等多种形式，增强群体凝聚力和向心力，打造风清气正、积极向上的学习群体。③不断完善规章制度，推动建立长效机制，根据非全日制研究生特点制定有针对性的培养方案、联合指导教师管理办法等相关制度，规

范教育教学流程，强化过程管理，以高标准、严要求促进新时代学风建设。

2018年，清华大学全面推进非全日制研究生党建工作，在非全日制研究生集体中广泛建立临时党支部。制定实施《清华大学非全日制研究生临时党支部实施细则》，实现非全日制研究生党建工作全覆盖。相关院系党委结合非全日制研究生的项目类型、在校时间、人员规模等实际情况合理设立非全日制研究生党支部。在2020年疫情防控期间，2018级创新领军工程博士5个临时党支部、2019级创新领军工程博士8个临时党支部积极响应学校号召，踊跃开展线上临时党支部组织生活，强化理论学习，注重思想引领。

(二) 服务重大需求，着力培养高层次应用型专门人才

1. 服务经济转型需求。提升主动服务国家经济社会发展的能力，是清华大学专业学位硕士研究生教育的核心。面向国家重大战略、关键领域和社会重大需求，学校与行业企业共同商定培养计划，改革培养模式，联合培养工程科技人才。

为加快铁路现代化建设，清华大学与铁道部开展部校战略合作，持续深化人才培养、科技研发、高科技装备运用等多领域合作。自2003年始，铁道部选送各铁路局的骨干参加研究生入学考试，被录取后在清华大学脱产一年学习研究生课程，在完成学位论文开题后回到企业进行论文工作。学校会根据每期学生的特点，设定不同的培养目标进行规划。如一期工业工程班本着“懂理论，会实践，长见识”的方针进行培养，强化交通运输和服务运营相关课程的学习，采用案例教学等研究型教学方法，在组织前沿讲座和学术活动的同时，组织学生到其他国家考察铁路运营管理模式；五期工业工程班结合班内研究生年纪较轻、业务能力强的特点，提出以“国际化现代管理人才”为培养目标的新要求，课程设置、实践学习等环节围绕这一目标进行调整和优化。截至2012年，清华大学为铁路系统开办了9期硕士研

究生班，共培养了616名铁路系统工程技术骨干和管理骨干，为铁路行业的跨越式发展提供了强有力的人才支撑。部校战略合作模式和培养成效，也被双方领导总结为“取得了显著成果”“具有强大的生命力”。

2. 服务国家重大需求。随着我国进入中国特色社会主义新时代，全面建设社会主义现代化强国迈入新征程，教育现代化、科教兴国、人才强国、科技强国、制造强国等发展战略深入推进，创新驱动和可持续发展正成为今后我国经济社会发展的核心战略。清华大学专业学位研究生教育聚焦国家重大战略和发展需求，着力推进建设了一批具有清华大学特色和时代风格的高水平专业学位项目。

为服务“一带一路”倡议、核电“走出去”等国家战略，在教育部、国家能源局的大力支持下，清华大学与中国核工业集团、国家电力投资集团、中国广核集团签订协议，共同策划、设计、实施“核电工程与管理国际人才”专业学位项目，携手培养具备优秀的工程素养和专业特长，了解核电发展发向，认同我国核电技术，具有与我国开展国际友好合作意愿的复合型领军人才和工程技术骨干人才。在项目推进过程中，企业参与招生、培养、实践、论文指导全过程，通过共建核电人才培养基地、为每个学生配备企业导师、企业专家参与授课、提供在企业实践与论文研究的条件，培养一批了解中国社会、熟悉中国核电企业、掌握核电知识和技能的国际人才，促进世界核电事业和平发展。截至2021年，共招收五届、来自21个国家的125名留学生攻读工程硕士学位，留学生来源国与核电“走出去”目标国高度一致；在2021年就业的22名学生中，72%的毕业生在其本国政府部门或本国相关领域就业。

（三）创新管理体制，健全质量保障机制体制建设

1. 加强统筹协调，系统推进专业学位研究生教育综合改革。清华大学从“成立办公室以统筹

协调”“实施‘中心制’以整合资源”“设立‘项目制’以精准定位”等方面入手，推进专业学位研究生教育综合改革。

2014年，学校召开第24次教育工作讨论会，提出要“让学术更学术，让专业更专业”，形成学术型与专业型人才培养并重的格局，明确专业学位研究生教育要培养具有职业素养、创业精神、国际视野的高层次应用型专门人才的基本定位。2015年，清华大学启动深化专业学位研究生教育综合改革试点，持续优化专业学位研究生招生规模与类别结构，专业学位研究生逐渐成为学校硕士研究生教育的主体。在这一背景下，清华大学创新培养管理工作机制，2015年设立专业硕士办公室，2019年更名为专业学位教育办公室，统筹协调全校硕士、博士专业学位研究生培养工作，促进专业学位研究生的特色专业课程、专业实践基地、职业能力提升等的建设，推动体制机制改革、分类培养和特色建设。

2. 以中心促整合，围绕培养定位汇聚教育教学资源。面对应用型、复合型、创新型人才的培养定位，传统“院系制”培养模式难以适应专业学位人才培养需求。清华大学探索成立跨院系的专业学位研究生教育中心，统筹并整合相关院系资源，协调建设公共课及培养环节；建立各专项委员会制度，确保行业专家参与培养全过程，保证人才培养质量。

2015年，工程管理硕士（MEM）教育中心成立，依托15个院系，统筹开展工程管理硕士生的培养工作；建立管理委员会、培养指导委员会、行业顾问委员会等专家指导咨询机构，在优化招生流程、加强师资队伍和课程建设、提升学生实践能力及国际化视野等方面开展实践探索。2020年，在创新领军工程博士项目中心基础上成立工程专业学位研究生教育中心，协调校内外资源，依托25个院系，统筹创新领军工程博士及工程类硕士专业学位研究生的招生、培养和学位管理工作。

为保障学校专业学位研究生培养质量，促进

专业学位研究生教育中心的持续发展，清华大学出台《清华大学跨院系专业学位研究生教育中心设置与管理办法》，建立质量保证和监督机制，研究生院组织召开教育中心评估工作会议，邀请专家对中心进行评估，以激发中心追求卓越的积极性和创造性，不断提高人才培养水平。

#### （四）创新培养模式，提升专业学位研究生培养质量

1. 立足“项目”，开展特色培养与管理。面对需求多维性、持续性和变动性等特点，推进实施专业学位研究生“项目制”培养，强调基于经济社会发展需求设计项目，实施名额配置项目化、招生录取精准化、培养方案定制化、授课教师联合化、论文模式多样化，逐步形成具有清华大学特色的专业学位研究生培养模式。目前，清华大学已开设51个专业学位项目，其中工程类硕士项目25个、工程类博士项目3个。

2018年初，国务院学位委员会办公室发布《工程类博士专业学位研究生培养模式改革方案》，进一步明确工程博士生教育定位与发展方向。在此背景下，清华大学主动作为，设立“创新领军工程博士项目”，服务于国家创新驱动发展战略，定位于培养具有国际视野和工程综合创新能力的科技领军人才，强调跨界交叉融合，形成了“跨界交叉、融合创新”的项目培养特色：导师选择方面，要求必须具有承担工程类国家科技重大专项、重点研发计划、重要技术创新项目的经历，目前25个招生院系的822人具有创新领军工程博士生指导教师资格；授课师资方面，特聘两院院士、校外资深教授与经验丰富的行业专家为学生开智讲学、答疑解惑，打造“院士+资深教授+行业专家”的特色教师团队，现有课程任课教师68名、讲课嘉宾86名；跨界培养方面，打破学科类别壁垒，每个班级均由来自20余个院系的约30位工程博士生组成，鼓励不同专业的师生相互促进，并通过组织工博论坛、强化实践调研等方式，搭建跨界学术交流平台；评价改革方面，

制定《创新领军工程博士研究生申请学位创新成果要求》，自2021年10月开始，在学位论文评审环节正式启用体现工程技术创新和工程应用价值的评价指标。2022年4月，清华大学学位评定委员会决定成立工程博士专业学位评定分委员会，承担创新领军工程博士学位审议及相关分委员会职责，持续推进分类发展。

在创新领军工程博士协同育人机制的助力下，创新领军工程博士生积极融合、主动创新，力促关键问题的有效解决。2019级5班两名分别来自电子系和计算机系的同学何伟、崔磊，在“工程领域重大专题研讨课”的分享讨论环节了解到彼此研究方向和面临难题后，产生了合作突破领域难题的想法。两名同学将各自所在公司的AI技术与高通量（场发射）扫描电子显微镜技术进行有效结合，促成“AI电子显微镜”的问世。材料学院朱静院士团队提供场景与数据，用于航天发动机叶片制造的材料分析，AI算法可带来10倍效率提升，分析时间从过百人天降低到10人天，加速了新材料研发进程。

2. 围绕“实践”，提供人才培养支撑条件。专业学位研究生教育以提升实践创新能力和未来职业发展能力为重点。为培养专业学位研究生解决实际问题的能力，在实践中增强社会责任感，提升职业素养，清华大学将专业实践作为全日制专业学位硕士研究生的必修环节，制定《清华大学专业学位研究生专业实践基地建设与管理办法》，引导院系进行专业实践基地的条件建设。

清华大学各院系通过开展人才培养、科研合作、成果转化等多种方式和途径，促使专业实践基地成为学校与企业、党政机关、事业单位、社会组织、国际组织等共同建设的研究生联合培养平台和强化产教融合育人机制的重要载体。截至2021年底，电子工程系、建筑学院等19个院系已建成175个专业实践基地，涉及17个专业学位类别。

为进一步提升专业实践成效，清华大学创新推动专业实践课程，以“有组织、有序”的模式

设计并开展专业实践。校企双方课程专家组合合作完成课程设计、遴选确认实践任务，并对学生实践过程进行指导与点评，同时在实践过程中增加行业知名专家、研发技术人员面对面交流等教学环节，在校师生和企业研发骨干之间搭建交流与合作平台。已开设“大数据实践”“高端装备实践”“人工智能实践”“新一代信息与媒体技术实践”等四门跨专业实践课程。截至2021年，已有48人参加“高端装备实践”，130人参加“人工智能实践”，56人参加“新一代信息与媒体技术实践”。

3. 着眼“赋能”，提高研究生专项能力。为拓展和提升研究生学术与职业发展相关的专项能力，清华大学自2015年鼓励开设实施研究生学术与职业发展能力提升项目，探索高层次复合型人才培养模式。在推进过程中，研究生院与相关培养单位共同设计、组织实施能力提升项目：以提升不同专项能力为目标，整合校内外优质资源，发挥多学科交叉融合育人优势，为研究生提供跨学科、跨专业学位类别、模块化课程学习和实践平台，提升研究生跨界思维和实践能力，并以项目证书形式给予研究生能力认可。能力提升项目是研究生教育的有益补充和活力体现，为研究生的学术与职业发展赋能、助力。

2015年至今，清华大学已设立“法治思维”“积极心理”“科技金融”“大数据”等15个能力提升项目。其中，为深入贯彻党中央、国务院关于碳达峰、碳中和的重大战略部署，发挥高校推动全球可持续发展的责任担当和创新引领作用，清华大学于2021年筹备并设立“碳中和能力提升项目”，2022年，来自34个院系的256名学生参与学习。该能力提升项目设置基础必修模块、方向选修模块和实践模块，旨在通过跨专业、跨方向的资源整合，发挥学校多学科交叉育人优势，秉承“技术+管理”跨界融合理念，培养一批高水平复合型碳中和人才。

为促进能力提升项目的周期管理和质量提

升，清华大学研究生院于2018年制定《研究生学术与职业发展能力提升项目设置与管理办法》，对运行四年的能力提升项目进行评估。目前，全校已有7000余名学生参与能力提升项目的学习，覆盖全校所有院系。2019年，清华大学面向北京市属6所高校共享研究生学术与职业发展能力提升项目，其中学生创新力提升项目、大数据能力提升项目、私募基金综合能力提升项目等3个项目启动招生，2020—2021年共有45名学生获得能力提升项目证书。

### 三、分析问题挑战，规划发展方向

(一) 对专业学位研究生教育内涵的认识要深化

深化认识是发展专业学位研究生教育的前提和基础。目前，清华大学对专业学位研究生教育内涵的认识需要进一步深化，简单沿用学术学位研究生教育理念、培养模式、评价标准的现象仍不同程度存在。

尽管2015年清华大学开展深化专业学位研究生教育综合改革，但在培养目标、培养模式、教学理念、课程设置、学位论文标准和师资队伍建设等方面，部分院系仍未对专业型与学术型研究生进行有效区分。从人才培养过程来看，当前院系系统化、大规模的以行业骨干为主要生源的非全日制工程博士生培养的经验尚不足，院系导师对工程博士生培养目标和要求尚未达成共识。

(二) 主动服务创新型国家建设的能力有待提升

聚焦国家战略需求、社会发展需求和经济转型需求，建设一批具有清华大学风格和时代特征的高水平特色专业学位项目，是清华大学专业学位研究生培养的特色。然而，清华大学在主动服务创新型国家建设方面的能力还需进一步提升，瞄准“高精尖缺”领域人才需求的项目设置机制和类型结构调节机制有待优化，研究生教育教学改革先行者、排头兵的责任担当还需进一步凸显。

从类别来看，目前清华大学有权授予的专业

学位类别24种，其中可授予博士学位8种、硕士学位23种。学校还应瞄准国家重大需求，积极推动增设新兴类别，强化战略性技术领域的前瞻性布局。从培养项目来看，2015年至今，虽已设立51个专业学位项目，全部纳入项目全周期管理。但还有多个院系的众多专业学位研究生尚未进入项目制培养管理模式，需要进一步推动实施专业学位研究生“项目制”培养，更加精准聚焦国家和行业领域需求，提升人才培养质量。

**（三）推动落实专业学位研究生教育分类发展的体制机制不健全**

目前，清华大学推动落实专业学位研究生分类培养、分类评价体制机制有待加强，分类发展的工作机制急需健全，学位论文基本要求与实践成果认定标准等尚需建立。

从清华大学的实际情况来看，目前学位评定分委员会是基于学科发展、以学术型研究生培养为主设置的，学位评定分委员会同时审议学术型和专业型研究生的学位，这样就不可避免地会用同一把“质量标尺”对学术型、专业型学生群体进行评价。2022年4月，工程博士专业学位评定分委员会成立，承担创新领军工程博士学位审议及相关分委员会职责，清华大学在分类评价方面迈出关键一步，今后还需持续推动研究生教育分类发展。

需要指出的是，目前清华大学招收的工程博士生、教育博士生，公共管理硕士生（MPA）、工商管理硕士生（MBA）、工程管理硕士生（MEM）等是以非全日制专业学位研究生为主体。据2016年发布的《教育部办公厅关于统筹全日制和非全日制研究生管理工作的通知》，界定非全日制研究生为“在从事其他职业或者社会实践的同时，采取多种方式和灵活时间安排进行非脱产学习的研究生”。清华大学开展的非全日制研究生教育本质上属于终身学习范畴，从这一理解出发，非全日制研究生教育是现代化社会发展、人的可持续发展所必需的。清华大学还需要

充分考虑全日制与非全日制不同的社会需求和学习群体不同人生与职业阶段的特点，不能因为对全日制研究生与非全日制研究生授予同一学位，就按照同一标准和方式管理招生、培养、学位等环节；不能认为用同等的质量评价方式，就是在保证研究生教育质量。我们需要通过教育体系创新，充分发挥非全日制培养的优势，激发非全日制研究生教育的活力。

#### **四、产教深度融合，加快改革发展**

进入中国特色社会主义新时代，各行各业对高层次应用型人才的需求更加迫切，清华大学专业学位研究生教育进入新发展阶段，需要加大改革创新力度，坚持产教深度融合育人，以服务需求为目标，以评价改革为引领，在专业学位研究生教育方面做出更多超前探索。坚持专业学位硕士研究生教育以培养具有职业素养、创新创业精神的高层次专门人才为目标，专业学位博士研究生教育以培养具有国际竞争力的高层次创新领军人才为目标，持续为高层次应用型人才培养提供清华方案，形成具有“质量保障、科学评价、特色发展、卓越贡献”的专业学位研究生教育体系。

**（一）明确发展目标和培养定位，及时响应国家经济社会发展重大需求**

服务国家重大战略、关键领域和社会重大需求，率先创办若干专业学位类别，以特色项目建设持续优化类型结构。积极推动增设公共卫生博士、公共管理博士、法律博士等专业学位授权点。服务新形势下国家对外开放战略，在技术转移、医疗管理、国际事务等领域探索建立相关专业学位类别。坚持“服务需求、清华优势、交叉融合，追求卓越”项目设置原则，以人文为基础、科技为载体、实践为依托创新人才培养模式，鼓励学科交叉融合、跨专业学位类别培养，建设一批高质量、有特色的专业学位项目。继续推进专业学位研究生教育的项目组织模式，实现全覆盖，按项目配置招生计划。重点支持服务重大需求的特色项目，扩大专业学位博士研究生招



生规模，优化调整全日制专业硕士招生类型结构，持续关注非全日制专业硕士生培养需求。目前，清华大学已增设临床医学博士专业学位授权点、国际事务硕士专业学位授权点和医疗管理硕士专业学位授权点。

（二）强化资源汇集和组织协调，持续完善实践创新人才培养模式

强化校级中心的平台载体作用，健全产教融合育人机制，完善跨类别交叉融合协同发展的实践创新人才培养模式。强化工程专业学位研究生教育中心和工程管理专业学位研究生教育中心两个校级中心的资源汇聚和组织协调功能，推进院系间、校企间育人资源的共建共享。推动培养单位成立院系级专业学位研究生教育中心，统筹落实多个专业学位项目运行与管理。以提高实践创新能力为目标，鼓励培养单位与产教融合型城市、行业、企业合作，建设高质量、有保障的专业实践基地。支持建设多个培养单位、多家合作单位共商共建共享的平台化专业实践基地，促进跨专业学位类别培养。制定专业学位研究生专业实践管理办法，推动院系规范开展有组织的专业实践。

建立健全行业企业专家参与研究生培养的咨询和指导机制，增强行业企业专家参与制定培养方案、开设行业企业课程、编写教学案例等的积极性和主动性。加强专业学位研究生的课程体系建设，以加强学术道德和职业伦理教育为重点，持续大力推动职业伦理课组建设。以提升实践创新能力和未来职业发展能力为重点，推动基地实践课组、产业前沿课组、创新创业课组等课组建设。支持行业企业专家与校内师资合作开发、建设一批行业企业专家精品课程，加强实践基地课程建设。2022年4月，《关于加强专业学位研究生课程体系建设的意见》已制定出台。

（三）持续推动工程专业学位研究生教育改革，以更多的超前探索发挥引领示范作用

完善以工程专业学位研究生教育中心为平台、统筹协调多院系参与的工程专业学位研究生

培养模式，加强工程专业学位研究生教育研究、规划和管理，试点评优示范引领激发活力。突出战略性技术领域的前瞻性布局，按照成熟一个、论证一个的原则，主动设计有基础、有特色、高起点的新兴工程类博士专业学位类别或项目。设计跨类别的工程专业学位硕士研究生培养项目，促进交叉融合与协同发展。研究、制订工程类博士研究生培养关键环节与全过程的质量指标体系和基本要求，重点研究学位论文形式和标准。以工程实践中的贡献为重要指标，加大对工程类专业博士学位创新成果应用实效的考察。推进部分专业学位类别、培养项目试点以调研报告、规划设计、产品开发等实践成果作为专业学位硕士的创新成果，并制定相应评价标准。

（四）完善分类培养、分类评价的体制机制，建立专业学位研究生培养的相关标准要求，促进分类发展

推动在校学位评定委员会下设立专业学位研究生教育教学指导、咨询和评议的专家机构，统筹协调全校专业学位研究生教育工作，行使学位评定分委员会除学位审议外的其他职能。强化服务需求导向，按专业学位类别制定、实施研究生申请学位创新成果认定标准，建立专业学位论文基本要求。完善质量控制和保证制度，制定专业实践、论文选题、中期考核、学位论文答辩或实践成果认定等关键环节的考核标准，落实全过程管理责任和要求。支持培养单位探索非全日制专业学位研究生全过程管理方法，完善分流退出机制等。建立健全专业学位项目质量保障与评价指标体系，完善专业学位研究生培养项目全过程管理。制定专业学位研究生校内导师、行业企业导师、专业实践基地指导教师选聘、考核标准。建立综合评价学生考试成绩、专业素养、实践能力、创新能力等的专业学位研究生选拔机制。

（杨 斌，清华大学副校长，教授，北京100084）

（原文刊载于《学位与研究生教育》2022年第9期）

# 新时代卓越工程师教育培养的

## 校企协同机制构建探究

### ——以北京航空航天大学未来空天技术学院为例

叶金鑫 韩 钰 张江龙 刘科生

习近平总书记在中央人才工作会议上强调，要培养大批卓越工程师，探索形成中国特色、世界水平的卓越工程师培养体系，努力建设一支爱党报国、敬业奉献、具有突出技术创新能力、善于解决复杂工程问题的工程师队伍。面对“两个大局”交织的新变化和新要求、新一轮科技革命和产业变革背景下科技创新发展的新特点和新趋势，高等教育迫切需要深化工程教育改革、培养大批高素质工程师，尤其是培养造就大批符合新时代要求的卓越工程师，这对于建设高等教育强国、助力实现科技高水平自立自强、支撑建设世界重要人才中心和创新高地，具有十分重大的战略意义。

新时代背景下的卓越工程师教育培养是系统性工程，企业在这一过程中发挥着重要作用。教育部在最新发布的2022年工作要点中，针对卓越工程师培养进一步明确工作重心，强调要“推动高校和企业共同设计培养目标、制定培养方案、实施培养过程，实行校企‘双导师制’”，并围绕卓越工程师教育培养所面临的培养内容老化、实践能力退化、师资队伍弱化、培养过程矮化、产教融合淡化、校企协同虚化等突出问题，于2022年3月召开卓越工程师产教联合行动座谈会，宣布正式启动卓越工程师产教联合培养行动。作为《关于加快建设发展新工科实施卓越工程师教育培养计划2.0的意见》中的重点工作目标，未来技术学院理应成为加快培养新时代卓越工程师的新特区、试验田和样板间，也必将率先直面亟待解决的产教融合淡化、校企协同虚化等问题。同时，未来技术学院旨在培养具有前瞻性、能够引

领未来发展的技术创新领军人才，培养目标决定了其在培养过程中必须联合前沿技术研发企业做好校企协同培养，以确保人才培养的前瞻性、延续性和自主性。

本研究在梳理国内外工程师教育培养校企协同机制发展历程和典型案例基础上，分析中国特色的卓越工程师教育培养校企协同的现阶段不足，通过北京航空航天大学（以下简称“北航”）未来空天技术学院校企协同育人机制的创新探索，以“跳出教育看教育”的思路，构建“STEP 校企协同育人体系”，形成将产教联合整合到培养体系、贯穿于培养流程的协同倍增效应，以期为打造产学研多方协同的技术创新和工程教育共生体、建立符合中国特色和新时代工程科技发展趋势的卓越工程师教育培养产教联盟、推动新时代卓越工程师教育培养内涵式发展提供参考和建议。

#### 一、卓越工程师教育培养的新时代要求与核心问题

##### （一）卓越工程师教育培养的新时代要求

全球范围内，新经济蓬勃发展、全球科技竞争战略格局正在调整，党的十九大报告明确中国特色社会主义进入新时代，我国科技、教育正在由大变强。科技发展方面，习近平总书记在2021年两院院士大会、中国科协第十次全国代表大会上强调，“现代工程和技术科学是科学原理和产业发展、工程研制之间不可缺少的桥梁，在现代科学技术体系中发挥着关键作用”，我国关键核心技术领域正从全面跟跑、并跑，逐步进入关键领域领跑。教育发展方面，新时代我国高等教育

承担着新使命，突出表现在领跑新时代的更高目标，内涵式发展的更艰巨任务，对卓越人才的更迫切需求。在新一轮科技革命和产业变革蓬勃发展的大背景下，如何努力造就一支爱党报国、敬业奉献、具有突出技术创新能力、善于解决复杂工程问题的卓越工程师队伍是一个迫切的新时代命题。

工程教育作为高等教育体系的主要组成部分和高素质工程技术人才的育苗池，必须答好这一新时代命题，着力教育培养大批新时代卓越工程师，从适应产业发展和经济社会需求转向引领技术进步和产业发展，实现工程技术领域人才支撑向人才引领的策略转段。国家战略层面，立足中华民族伟大复兴战略全局和世界百年未有之大变局，构建新时代卓越工程师教育培育体系是时代赋予高校和企业的重大使命，新时代工程教育应培养学生致力于服务国家发展、以民族的伟大复兴为己任。现代科技发展和学科演进层面，紧密结合科学与工程教育的工程教育已经成为引领全球未来产业发展的关键。人才需求层面，未来技术创新从培养目标和培养过程上对工程教育提出了面向未来、交叉融合、动态引领、回归实践的新诉求，新时代卓越工程师教育培养应更加强调从专业结构、课程及知识体系、教育教学方法等方面面向未来培养具有形而上思考、使命感和价值感、技术意识和人文情怀、建立关联和知识迁移、想象力、宏思维和批判性思维的现代科学与工程卓越人才。简而言之，不同于工程教育专业认证标准，新时代卓越工程师教育培养对人才培养的能力要求是“取乎其上”的，反映国家战略、产业需求、学科演进和高等教育内涵式发展的要求。

## （二）新时代卓越工程师教育培养的核心问题

新时代卓越工程师教育培养是一个系统性的工程，是基于教育培养理念的更新，从高校教育培养实践出发推进工程教育改革和制度创新，涉及校企政多主体，涵盖产教研多方面。整体而言，工程与教育的脱节是新时代卓越工程师教育

培养面临的最具挑战性的问题，只有彻底解决工程与教育脱节所导致的人才培养与国家战略产业不匹配、教育教学内容与产业技术发展不融合等问题，才能构建起良性运行、协调高效的新时代卓越工程师教育培养体系。这其中，构建有效的校企协同机制是解决问题的必由之路。

从科技创新发展的角度，未来技术创新需要知识生产主体的聚合和超学科的融合，具有高度创造性和集成性，因此新时代卓越工程师教育培养一定是技术探索和人才培养的同频共振，需要高校、企业和科研院所的多方协同、资源共享和联合培养。从教育以人为本的角度，新时代卓越工程师教育培养需要解决两个基本问题：一是如何塑造学生的通用能力素养和基本知识结构，即通用知识点习得，这一问题的解决可以依赖于课程体系及教学内容；二是如何塑造学生的其他能力素养，如动手实践能力、知识点跨界整合和迁移应用能力、想象力和批判性思维能力等，即特有知识点习得。“卓越工程师教育培养计划”（以下简称“卓越计划”）的早期实践表明，后一问题的解决仅仅依靠课程体系难以实现，必须借助实践体系，后者依赖于校企协同。同时，对于卓越工程师教育培养，前一问题的解决也应当紧密结合产业发展。

由此观之，构建有效的校企协同机制，能够提高人才供给侧和需求侧的集成度和联动性，推动人才培养、知识生产与社会发展的超复杂情境交织在一起，进而使得学生在“所学即所用”的过程中自然而然习得新时代卓越工程师所必备的动手实践能力、创新思维能力、知识点跨界整合和迁移应用能力等，是解决卓越工程师教育培养过程中工程与教育脱节问题的核心机制，也是新时代卓越工程师教育培养研究的核心问题。

## 二、卓越工程师校企协同培养的现状与不足

（一）卓越工程师校企协同培养的国内外现状  
国际上的校企协同典型类型有英国的“三明治”和“知识集成社区”、德国的双元制、日本的“科技城”、美国和加拿大的“合作教育”、

澳大利亚的“新学徒制”、新加坡的“教学工厂”等，上述各种类型中既有个性，亦有共性。共性在于各种类型校企协同的主要参与者均为高校、企业及政府，主要的内容均是通过工学结合实现学生的学习、科研和实践经验积累；个性包括各类形式中的校企角色定位不一、人才培养目标各有侧重等。如依据人才培养目标的不同，可以将国际上的校企协同类型划分为工程应用和工程研究两类模式：前者以澳大利亚的“新学徒制”、新加坡的“教学工厂”、加拿大的“合作教育”等为典型代表，校企合作直接指向就业和未来生活，具有明显的职业教育属性，合作方式主要是技能型实训；后者则以日本的“筑波科技城”、英国的“知识集成社区”等为典型代表，校企合作在服务就业和未来生活之外，还具有明显的科学研究属性，合作方式主要是研究型训练，通常参与研究项目的本科生、研究生和博士后可以通过基于团队的跨学科教育体验式学习来促进创新，有利于其未来开展实践性和创新性很强的研究和学习。

国内教育学界关于校企协同的研究早期主要集中在职业教育领域。2010年“卓越计划”启动后，高等教育学界关于工程教育领域校企协同的学术探讨逐渐增多。如郭文莉认为应用型大学的转型升级，必须走“产教融合、校企协同”的道路，指出校企协同人才培养模式的落脚点是面向企业发展需要，以高层次应用技术人才支撑产业结构升级和新兴产业发展；刘宏升以协同创新为指导思想、以联合教育为主要模式，开展了校企协同工程教育人才培养模式试点研究；李越等对“卓越计划”实施后高校和行业企业联合培养机制探索进行了系统梳理；戴志锋基于应用型人才到卓越型人才培养的视域，进一步归纳出IT工程人才校企合作培养机制的金字塔型、螺旋式演进路线。特别是在我国于2013年6月加入《华盛顿协议》、出台《工程教育认证标准》后，其中的“学生中心”“成果导向”“持续改进”原则促使工程教育校企协同培养从以“教”为中心转变

为以“学”为中心。后续的高等教育学界研究成果也进一步肯定了校企协同机制不断改革发展在培养卓越工程师、促进工程教育从规模建设走向内涵式发展方面发挥的重要作用，如全月荣等在上海交通大学以工程实践教学为基础开展的“学生创新中心”试点研究表明，校企协同在激发学生创造力、打造“工业界和大学的握手区”等方面是有效的。

“卓越计划”实施过程中，高校也在实践中总结出了许多基于中国特色工程教育培养模式和本土企业人才需求的校企合作经验。如北京航空航天大学牵头全国14家中法合作办学机构单位、34个教育部审批的中法合作办学项目单位和相关企业、社会团体，成立中法合作办学发展联盟，开展国际通用型卓越工程师培养的校企间、校际深度协作等。

## （二）卓越工程师校企协同培养研究不足

总体来说，关于卓越工程师校企协同培养的国内外学术和实践研究已较为丰富。然而，面对新时代要求，国外已有经验不可照搬全抄，国内现有研究亦有明显不足，主要包括三个方面。

一是从研究视角的角度来看，多局限于教育体系内，缺乏从产教双方的大视角对校企协同机制进行系统性构建，导致体系结构不健全，制约了校企协同的经验推广。虽然教育学界已经对卓越工程师教育培养校企协同机制进行了多层面研究，但多针对某一专业、某一学段、某一培养制度或某一培养环节，例如研究如何构建化工专业校企联合培养机制、研究如何完善“双师型”师资队伍建设和研究如何完善教师发展制度、研究如何完善卓越工程师培养的教学质量管理运行环节等，研究视角局限于教育体系内、聚焦于单一问题，缺乏从学生知识能力塑造与产教融合培养的逻辑关系、人才培养环节与校企协同机制的紧密结合等产教双方角度出发进行系统性构建，制约了实践经验的推广。教育作为社会系统的一部分，和社会其他方面息息相关，需要对照新时代要求，“跳出教育看教育”，紧密结合人才供需

两侧对各个培养环节的需求和影响，对卓越工程师教育培养校企协同机制进行系统性构建，进而实现总结、适应和引领新时代卓越工程师校企协同培养体系中的普遍性、特殊性和重点发展方向。

二是从培养对象的角度来看，多聚焦于本科生，缺乏对研究生以及本研校企协同培养顺畅衔接的关注，导致人才供需不匹配，掣肘了人力资源红利的释放。人才供给侧和需求侧的联动性，要求高校的卓越工程师培养应当从国家和社会发展战略需求出发，探索长链条的本研贯通培养机制，实现学生知识能力体系的进阶式、持续性培养，充分释放人力资源红利。一方面，新时代卓越工程师尤其是高水平的新时代卓越工程师应当是具有前瞻交叉思维的创新型人才，必须具备深厚的数理融通能力及跨学科专业理论功底、突出的创造性思维和批判性思维能力，现阶段本科毕业生往往力有不逮，需要研究生阶段的强化学习或训练，以形成更完备的知识能力体系来达到相应的人才培养标准。另一方面，产业结构升级和新兴产业发展所需要的未来技术创新一定是高复杂度的、高不确定性的，技术创新周期更长、更具前瞻性，从校企协同、产教互促的角度来看，知识层面浅、培养周期短、科技创新前瞻性较差的本科教育与之不相匹配，需要具备更高原始创新力和前瞻性的研究生教育参与进来，形成培养周期更长的本研贯通教育。

三是从培养主体的角度来看，产教各方各司其事，尚未形成开放共享的共同体联盟效应，导致产学研不协同、科教不融合的现实困境。从企业主体的角度来看，企业应承担起新时代卓越工程师教育培养的社会责任，充分融入不同层次卓越工程师教育培养的全过程，不仅保障联培学生的工程实践时间、场地和合法权益，还需保证企业导师能够真正发挥指导、监督、助力学生成长成才的作用。现实情况却是，企业作为校企合作的重要主体，缺乏主动参与卓越工程师培养的责任意愿和持续动力，参与动力不足、企业导师虚设、企校衔接不畅、产教联盟松散，企业主体缺

位现象仍然存在，企业参与培养的积极性不增反减。从高校主体的角度来看，新时代卓越工程师教育培养具有新要求也必然呼唤新机制，高校应当走出舒适区、迈入改革深水区，为校企协同做充分地准备，包括探索理论学习和实践学习的高效衔接，通过恰切地“工学交替”来提升学生真实世界的问题发现和解决能力；创新校内导师和企业导师的联动机制，充分调动校内外导师的积极性等。然而，已有的新工科、未来技术学院等卓越工程师培养特区的建设多依托高校已有优势研究领域或拔尖人才培养基地，使得高校依赖于现有的校企合作机制，缺乏主动改革意识，教学体系的思维惯性和路径依赖牵制“协同效应”的激发，导致培养成效有限。

### 三、新时代卓越工程师教育培养的校企协同机制构建——“STEP校企协同育人体系”

北京航空航天大学未来空天技术学院构建了“STEP 校企协同育人体系”（以下简称“STEP”）。“STEP”包含四大网络：①以学院“特聘导师”为核心节点，“行业导师+校内导师”为主体节点的双导师团网络S（Supervisor），其中，特聘导师由长期奋斗在空天领域一线的院士、系统总师担任，行业导师为特聘导师或特聘导师所在研究团队的各子系统专家，校内导师为行业导师所在技术方向的校内知名专家学者；②与双导师团网络S对应，以特聘导师所研究未来空天领域重大科学和技术问题为一级节点，涉及关键技术为二级节点的技术方向网络T（Technology）；③紧密联合特聘导师、行业导师所在的院所企业网络E（Enterprise）；④以双导师团所承担的国家重大科技项目为一级节点，经分解、设计后形成的科研育人项目为二级节点的科研育人项目网络P（Project）。（见图1）

“STEP”脱胎于“导师制”育人模式，却又完全不同于传统的“导师制”育人体系。通过“跳出教育看教育”的思路，“STEP”将企业培养环节前移，强调企业在新时代卓越工程师教育培养目标确定、培养方案研制、培养过程开展中

的作用，指向打破路径依赖的卓越工程师培养模式“外科手术式”变革。其结构更科学，路径更连贯，主体更主动，与课程体系高度衔接、同频共振，保证知识习得的系统性、递进性、前沿性。同时，为了更好地支撑“STEP”落地生根，北航将“STEP”与本博贯通、特区培养等现有精英人才培养模式或机制紧密结合。



图1 STEP 校企协同育人体系示意图

(一) 结构创新，人才培养与知识生产网络紧密交织

从内部关系的角度，“STEP”所包含的四大网络相互对应、密切联动。（见图2）双导师团网络S以特聘导师为核心，汇聚了特聘导师所在研究团队的各子系统专家及与之匹配的校内相关领域教师。技术方向网络T在对未来空天三大技术领域（引领科技革命趋势的未来新概念飞行器技术、服务人类未来发展需求的空天开发技术和支撑国家空天战略任务的基础科学前沿技术）进行科学

分解的基础上形成，充分结合了导师团队的科研工作计划，实现了从国家战略发展规划到导师科研工作计划再到科研育人方向的分解转化网络。院所企业网络E伴随着校外导师（特聘导师或行业导师）的加入而自然展开，并以校外导师为触发点，引入产业资源，打通学生项目孵化、研发、实践、推广的路径。科研项目网络P依托特聘导师在院所企业所承担的科技创新重大项目、重点技术研发项目，分解为分层次的多级科研育人子项目，项目分解、设计、推进等经产学研多元主体协同论证，保证各级节点的项目颗粒度适当、难度恰当、质量过硬、具有一定的前瞻性。

从体系构建的角度，四大网络由两个构建路径穿针引线，编织了完整的“STEP”，进而实现需求动态更新、节点灵活扩展：（见图3）①邀请聘用路径，即以特聘导师所在技术领域及其重大项目为生长点，进行分解形成分系统导师团队及所在院所企业，通过与校内相关科研团队的匹配完成双导师团、科研项目及研究方向网络的构建；②推荐审核路径，即以校内教师为生长点，以其自身科研经验或校外外科研合作为基础，并推荐相关领域的技术方向、科研项目、院士、总师及院所企业团队，进一步扩充学院的特聘导师团队和合作院所企业。两种路径有机结合、互为补充，分别自上而下或自下而上地有效推动学院

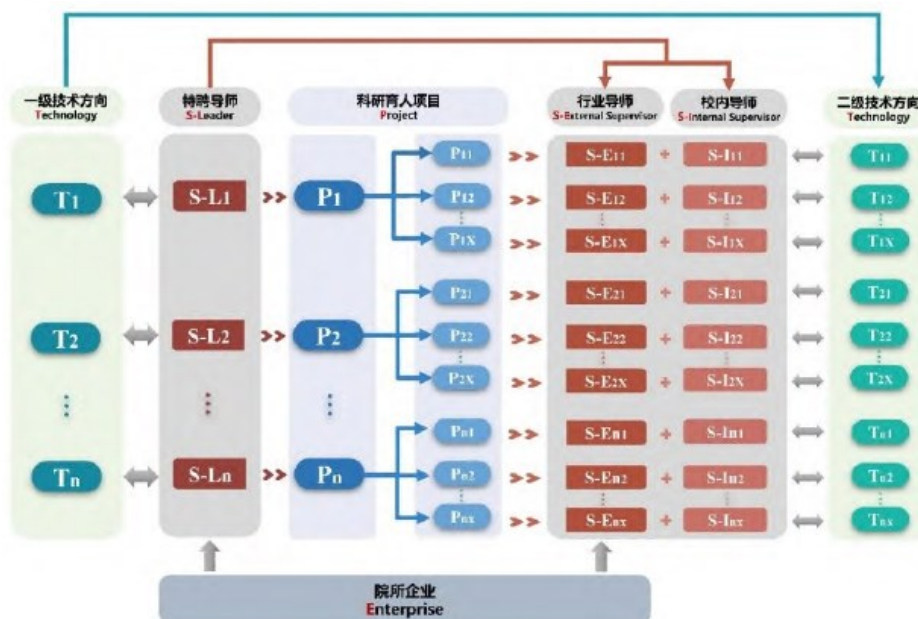


图2 STEP 校企协同育人体系四大网络关系示意图



图3 STEP校企协同育人体系构建路径示意图

新时代卓越工程师培养资源网络和未来空天技术发展方向的持续迭代、不断创新。

四个网络和两种路径从产教双方的大视角，将院所企业等其他与卓越工程师教育培养息息相关的社会角色纳入校企协同培养体系，系统构建了校企协同发展的共同体，以人才供需双方的目标一致和利益共赢，吸引院所企业横向全程参与、纵向深度参与人才培养。在整个体系结构内，人才培养与知识生产网络紧密交织，实现了有组织的科技创新探索、科研团队孵化和卓越工程师教育培养三者兼顾，突破传统研究视角的局限性，强调系统思维。

（二）项目牵引，进阶式塑造学生未来科技创新能力

“STEP”彻底脱离传统专业的知识点填充式教育和本研割裂式教育，而是依靠各类面向未来设计的、“起步快、台阶小、空间大”的进阶式科研育人项目，将卓越工程师教育培养的本科阶段与研究生阶段无缝衔接，让学生从“被动教”变成“主动学”、从“被动指导”变成“主动探索”、从“被动约束”变成“自我管理”，培养学生的反思性学习能力、创新思维能力、知识迁移应用能力等，使学生通过参与项目完成从本科到博士阶段全流程的知识习得、能力塑造和实践成果转化。双导师团以兴趣激励、问题导向的项目牵引，对学生实施从总师小助手到总师助理直至总师的逐层进阶式培养：低年级阶段，双导师团指导学生开展创意探索实践，逐步了解一级技术方向及未来

发展、明确二级技术方向和导师团队；中高年级阶段，双导师团指导学生围绕选定的二级技术方向，选定二级科研育人项目，开展专业课程学习和进阶式科学研究，完成从创意到创新的团队科研实践项目，（见图4）获得相应学科学士学位；博士阶段，行业导师或校内导师担任学生博士生导师，指导学生通过深入开展二级技术方向研究完成博士阶段研究工作，甚至超越二级节点深度参与高阶科研项目，取得高水平科研成果，获得相应学科博士学位。

依托院士、系统总师及其团队面向国家重大战略需求承担的国家重大科研项目，双导师团与学生围绕某一关键技术领域共同构成长期稳定的学术共同体，将学生的科研方向、高校教师的学术发展、高校的科研项目、企业的技术革新与国家重大需求紧密结合，既实现了人才供需两侧的互相匹配，也促进了关键核心技术研发与人才培养同频共振。同时，通过项目制教学解构教学元素、重构教学组织形式，并注重在“教育”与“指导”的过程中保护学生兴趣，帮助学生更好地理解知识点的来龙去脉，然后触类旁通，并能够在未来的不确定性场景中将学过的知识点灵活组合、迁移应用，以解决具有高度不确定性的未

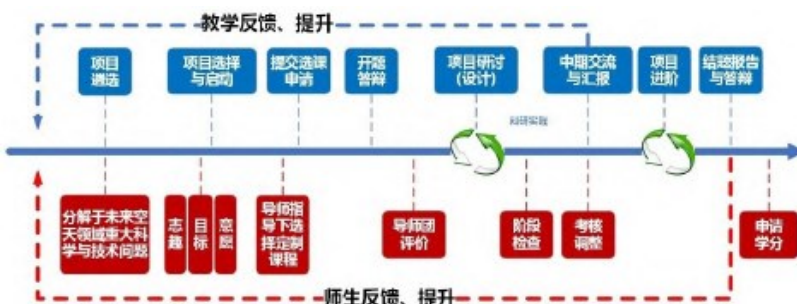


图4 项目牵引下的逐层进阶式培养——团队科研实践项目

来技术创新问题，确保了新时代卓越工程师培养理念的有效落地。

（三）团队聚合，产学研多元主体各尽其能协同育人

“STEP”强调以院士、系统总师担任的特聘导师为凝聚核心，注重校内、校外产学研多元育人主体的集成聚合和协同合作，充分发挥不同育人主体的固有优势和应有作用。院士、系统总师及其团队长期奋战在科研第一线，密切接触和掌握前沿科学技术，具有深厚科学素养、前瞻判断力、跨学科攻关能力、大兵团作战组织领导能力，对于识别、培养潜在的未来战略科学家具有先天优势。同时，校内教师及其团队长期从事相关专业人才培养和科学研究工作，掌握系统的专业知识和人才培养技能方法，具备较高的学术造诣和较为丰富的科技实践教学经验，是培养学生强化数理基础、构建理论体系、提升实践能力、养成学术规范的有效力量。在团队聚合效应作用下，体系内每一级节点上，均包含导师、技术方向、院所和项目四个关键要素，人才培养与知识生产密切互动、自然融合。一级节点上，特聘导师发挥统筹协调的作用，凝练所承担的重点研究领域或重大科研项目中的科学问题和技术瓶颈，选定行业导师，并从培养方案制定、教学实践改革、培养成效评估等角度，全方面、全过程为双导师团开展人才培养提供方向指导；同时，学校配合完成校内导师的遴选及与行业导师的匹配，明确人才培养职责和目标，并协助完成科研育人项目网络的设计。二级节点上，行业导师和校内导师联合开展科学研究和人才培养工作，一方面共同设计科研项目，联合开展科学研究，另一方面共同研制学生培养计划，具体指导学生的课程选择、科研训练、实习实践等。

就北航未来空天技术学院学生的培养而言，产学研多元育人主体的各尽其能、有效协作，一方面能够引导学生尽早地、系统地接触并进入空天领域关键核心技术研发，解决当前高校科研实

践训练系统性和战略性缺乏的问题，有效提升科研育人效率效果；另一方面可以帮助学生从宽广的领域洞察科学发展态势和前沿技术动态，潜移默化地塑造学生空天报国情怀和攻坚克难、追求卓越的品质，推动隐性知识共享。

作为一种全新的校企协同机制构建形式，“STEP校企协同育人体系”围绕导师与学生、技术和项目建网络、埋节点，以建立命运共同体的理念对校企间关于卓越工程师教育培养的原有冲突矛盾体予以解构。其完备的网络体系和灵活构建路径，使得体系结构更健全；项目制的进阶式贯通培养，让产业的关键核心技术研发与高校的人才培养能够同频共振；多元主体的集成聚合和分工协作，调动了校企双方的积极性，释放了产教两端的各自优势。“STEP校企协同育人体系”形成了符合高素质创新型新时代卓越工程师成长要求的校企合作长效机制，构建了具有借鉴价值的工程教育新场域。

目前，北航未来空天技术学院的“STEP校企协同育人体系”建设初有成效，即将全面进入科研育人项目推进落实的关键时期，后续将在约束机制、治理机制等方面持续发力，进一步有力推进新时代卓越工程师教育培养，更好地回应新时代党和国家事业发展、新兴产业升级对卓越工程师的迫切需求。

（叶金鑫，北京航空航天大学人文社会科学学院研究人员，博士后，北京 100191；韩钰，通讯作者，北京航空航天大学未来空天技术学院/高等理工学院副院长、副研究员，北京 100191；张江龙，北京航空航天大学未来空天技术学院/高等理工学院助理研究员，北京 100191；刘科生，北京航空航天大学未来空天技术学院/高等理工学院党委书记、副研究员，北京 100191）

（原文刊载于《中国高教研究》2022年第6期）



# 卓越工程师计划实施的成效、不足与思考

## ——基于华东理工大学7个专业的实证调查

孙艳丽 涂善东 周玲

### 一、引言

2010年，教育部联合22个部门和7个行业协会共同实施了“卓越工程师教育培养计划”（以下简称“卓越计划”），至2020年“卓越计划”到期，有研究认为“卓越计划总体上看并没有完全实现当初的设计理念，不仅惠及学生的比例没有达到当初的预期目标，许多困扰我国工程教育的问题也没有得到有力的解决。”也有研究认为“自2010年‘卓越计划’启动以来，总体进展情况不仅达到了预期的效果，而且对我国高等教育人才培养，尤其是各类应用型人才培养的改革起到重要的引导和推动作用。”无论评价结果如何，为了应对第四次工业革命对工程教育提出的挑战，2018年教育部提出要打造卓越工程师教育培养计划升级版，即“卓越计划”（2.0版），构建新的知识体系，探索实施新的工程教育范式。原有的“卓越计划”取得了怎样的成效，存在哪些问题，本研究以华东理工大学7个专业为研究对象，在对卓越班学生、普通班学生进行比较的基础上，对“卓越计划”的成效、不足进行了分析。

### 二、文献综述与研究设计

关于“卓越计划”质量评价，已有研究文献主要从以下方面进行了分析：第一，从宏观上构建“卓越计划”质量评价理论体系。如林健在比较了“卓越计划”的主要任务、工程教育认证标准的基础上，将“卓越计划”的质量要求分解为基本要求和专门要求，“基本要求即工程教育认证标准的要求，专门要求为‘卓越计划’独有的不同于工程教育认证的其他要求，并从学校标准制定、课程体系与教学形式、教师队伍建设、校企联合培养、国际化等方面进行了详细的论

述”。第二，从中观层面对“卓越计划”质量评价体系进行研究。这类研究多以二级学院为主体，如有研究认为“二级学院在配合学校检查、自查过程中会收集很多资料，但缺乏对资料的有效分析，无法做到及时反馈，持续改进。二级学院质量监控与评价的主体主要是学校的教师、学生和管理人员，无法做到对行业企业的监督与评价。”第三，从微观层面关注“卓越计划”的某个层面或者具体某个学科、专业的培养质量。这类文章在“卓越计划”研究中的占比最高。总之，已有文献较少从学情分析的视角，在对卓越班学生培养质量进行调查的基础上，通过与普通班学生的对比分析“卓越计划”取得的成效、找出存在的不足。

#### （一）学情视角下的培养质量观

自泰勒（Tyler, 1930）提出“任务时间（time on task）”理论至今，学情调查理论得到了长足发展。泰勒首先将学生学情限定在“学习时间”上，认为“学生的学习时间越多，学情越好，学习质量越高”。之后佩思（C.Pace, 1979）提出了“努力质量”（Quality of effort）理论，认为“不仅应该关注学生的学习时间，更为重要的是关注学生的学习专注程度，与同伴和教师交流互动、应用他们所学知能到具体情形和任务中等。”奥斯汀（A.Astin, 1984）则提出“学生参与（Student involvement）理论”，认为“判定学生的质量不仅要关注学生学习的时间与努力的程度，还要关注学校是否促进学生更好地参与到各项活动中去。”帕斯卡雷拉（Pascarella, 1985）的“变化评定模型（General Model for Accessing Change）”理论认为“学生的学习与认知发展受

到五个自变量影响，分别是学校的组织结构、学生背景、校园环境、学生努力质量、校园人际互动等。”一直到丁托（V.Tinto, 1987）的“社会和学术融合”（Social and academic integration）理论，认为“学生带着自己的特质、技能、目标和愿景进入大学后，与同学和老师交往融合，他们在两大系统：学术系统与非学术系统内与教师、学生以及校园环境进行正式与非正式的交往、融合，不断改变着他们之前的目标和愿景。积极正向的融合使他们在两大系统中找到了自我、实现了自我，取得较大的认知发展。”学情理论不断发展将学生的培养质量从单纯的学习时间、有效学习时间扩展到学生认知与发展以及学生与整体环境的融合等维度，不仅关注学生获得了哪些知识与能力，而且关注学生是否积极参与到学校的各项活动中。具体如图1。

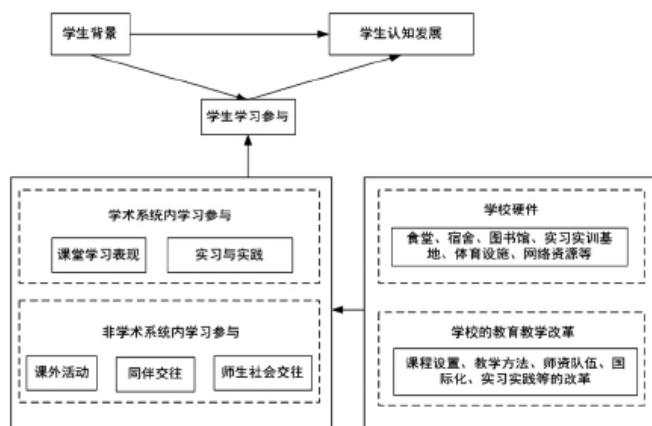


图1 学情分析的理论框架如图

由此可见，学情视角下的培养质量观不仅关注学生发展，还关注学生的学习投入、学生与环境的融合程度等。其中奥斯汀用“学习与成长收获”，帕斯卡雷拉用“学习与认知能力”来衡量学生发展情况，美国国家教育目标小组将其界定为学生学习收获，包括批判性思维能力、问题解决能力、有效的交流沟通能力、负责任的公民等。佩思将其内化为通识教育方面的收获、个人与社会发展方面的收获、智力技能、科学与技术、职业准备五个方面。尽管表述的方式不同，但概念内涵都指向学生的知识、技能、情感等方

面。学习投入主要指正常的学生努力程度、人际互动、学习时间等，环境因素包括学校组织结构特征、学校教育教学改革、硬件设施等。

在这一质量观影响下，世界各国的学情调查研究悄然出现，如英国的全国大学生调查（National Student Survey, NSS）、美国的大学本科生学习性投入调查（National Survey of Student Engagement, NSSE）、研究型大学学生经历调查（The student experience in the research university, SERU）、澳大利亚学生课程经验调查（Course Experience Questionnaire），国内如清华大学教育研究院主导的NSSE-China调查、北京大学主导的“高等教育质量与学生发展监测”评价等。但是，现有的调查均面向所有学生，调查问卷是普适性的，在问卷设计过程中没有充分考虑不同学科学生学习的情境性差异，如工科学生与人文社科类专业学生的学情差异等。正如黄海涛所说，“尽管学习成果具有跨情景的相似性，但在某一历史时段里，学生学习成果的具体内容又有明显的情境性，不同的学校、学科、专业、课程背景下呈现明显差异。”因此，本研究在充分吸取已有学情调查理论上结合高等工程教育的实践性、系统性、复杂性等特征自行设计调查问卷，从学情分析的视角对“卓越计划”的培养质量进行了分析。

## （二）本研究的分析框架

本研究在借鉴学情视角下培养质量理论的基础上，构建了“学生认知与发展、学习投入、环境因素”三位一体的卓越计划培养质量评价体系。并充分考虑到工科学生的特性，研究结合波音公司提出的10条工程师基本素质，美国工程与技术认证委员会（ABET）提出的11条工程人才评价标准，《华盛顿协议》提出的12条工科毕业生素质，上海交通大学高教所课题组则针对工科学生提出的评价标准，华东理工大学涂善东提出的“全面工程教育”等概念，在学生认知与发展维度，增加了“国际化”“实践能力”“工程设计

能力”等方面的调查。学习投入维度增加了“与企业导师的交往互动”，对“实习与实践”的参与度。环境因素方面，考虑到卓越班学生与非卓越班学生在学校组织结构、教学硬件设施等并没有明显不同，因此，本研究中对环境因素的界定主要从学校教育教学改革方面进行了分析，并且为了凸显卓越计划的情境性特征，在教育教学中突出了学生对“国际化”“实践教学”等改革措施的满意度调查。

采用李克特量表对每个观测点按照参与的频繁程度或满意度设五个等级，分别计1~5分，分数越高，表明学生参与的程度越高、能力提升越大或满意度越高。并通过因子分析将学生认知与发展维度分为沟通与交往能力、解决工程问题的能力两个因子，其 $\alpha$ 系数分别为0.867, 0.887；学习投入维度分为学习参与情况与心理健康与职业引导两个因子，其 $\alpha$ 系数分别为0.921, 0.825；环境因素维度分为对课程与教学体系的满意度、对国际化与实习实践的满意度两个因子，其 $\alpha$ 系数分别为0.906、0.887，学生背景主要指学生的专业、年级、性别、兴趣等。三个维度所包含题项及定义见表1。

### (三) 数据来源及研究问题

研究选取华东理工大学7个专业入选卓越班的学生、与这些专业相对应的普通班学生作为研究对象，在正式下发问卷之前，随机选取了50名本科生进行前测，并根据反馈对问卷进行了修正。本次研究共发放979份问卷，回收896份问卷，回收率91%，剔除部分空白问卷、无效问卷，有效问卷共842份，样本情况如表2：

本研究的问题包括：①“卓越计划”实施取得了哪些成效，学生的培养质量如何，与普通班相比，是否存在显著差异，在学生认知与发展、学习投入、环境因素三个维度中的具体表现怎样；②如果将学生认知与发展作为因变量，学习投入、校园环境满意度以及学生背景作为自变量，影响卓越班学生认知与发展的因素有哪些，

其对学生认知与发展具有怎样的影响。

表 1 学情分析视角下“卓越计划”学生培养质量理论框架及变量情况

评价维度	变量名称	变量定义	
学生认知与发展	沟通与交往能力	5个测量题项(用 a1-a5 表示),包括学生对自己书面表达、口头表达、交往能力、国际交流能力、领导能力的满意度;	
	工程认知能力	6个测量题项(用 a6-a11 表示),包括学生对自己设计能力、伦理意识、自学能力、专业辅助工具的使用能力,系统规划能力、实践动手能力的满意度;	
学习投入	学习参与情况	10个测量题项(用 b1-b10 表示),包括学生参与课堂提问、师生互动、同伴合作、跨学科知识应用、课外向老师请教、同学讨论、参与老师课题研究、参与各类竞赛、参与实习实践、参与各类学术讲座的频率;	
	心理健康与职业引导	3个测量题项(用 b11-b13 表示),包括学生与辅导员沟通交流、专业老师职业发展引导、心理咨询辅导等频次;	
环境因素	对课程体系与教学体系的满意度	6个测量题项(用 c1-c6 表示),包括学生对课程教学中交叉学科知识、学科前沿知识、人文社科知识、课程体系、教学方法、课堂教学质量等的满意度;	
	对国际化与实习实践满意度	6个测量题项(用 c7-c12 表示),包括学生对有企业经历的导师参与课堂教学、企业导师、双语课、师资队伍国际化水平、国际交流机会、实习实践机会的满意度;	
控制变量			
基本信息	性别	1=男生;0=女生	
	专业兴趣	1=是自己的专业兴趣;0=不是自己的专业兴趣	
	专业(以化工专业为基准项)	自动化专业	1=自动化专业;0=非自动化专业
		材料专业	1=材料专业;0=非材料专业
		环境工程	1=环境工程专业;0=非环境工程专业
		控制工程专业	1=控制工程专业;0=非控制工程专业
		制药工程	1=制药工程专业;0=非制药工程专业
生物工程专业		1=生物工程专业;0=非生物工程专业	

表 2 “卓越计划”培养质量调查样本

类别	样本量及比例	类别	样本量及比例
卓越班	332 人(39.6%)	自动化专业	127 人(15.1%)
普通班	510 人(60.4%)	材料专业	117 人(13.9%)
男	553 人(65.7%)	化工专业	199(23.6%)
女	289 人(34.3%)	环境工程专业	67 人(8%)
三年级	435(51.7%)	控制工程专业	126 人(15%)
四年级	407(48.3%)	制药工程专业	101 人(12%)
		生物工程专业	105 人(12.5%)

## 三、研究结果

### (一) “卓越计划”实施成效与不足

1. 与普通班学生相比较，总体上卓越班学生培养质量显著高于普通班学生，且效应量差异达到了中等水平，6个因子中卓越班与普通班学生学习投入效应量差异最大。卓越班学生总体培养质量得分

均值3.39，普通班学生得分3.06，均值T检验表明两者存在显著差异，说明卓越班学生培养质量好于普通班学生。研究同时应用Cohen's d值对两样本的差异程度进行了效应量的检验，培养质量总体评价的Cohen's d值达到0.49，按照Cohen（1988）定义的标准，Cohen's d值等于0.2、0.5、0.8分别表示差异小、中等、大，小于0.2差异极小，大于0.8表明差异极大。卓越班与普通班学生的培养质量不仅存在显著差异，而且差异量基本达到中等水平。

具体到6个因子，其均值情况如图2，可以看出，卓越班学生每一个因子得分均值都高于普通班，独立样本T检验结果也表明两样本在6个因子中都存在显著差异，沟通交往能力、工程实践能力、学习参与情况、职业与心理健康疏导、对课程与教学体系的满意度、对国际化与实习实践满意度6个因子的Cohen's d值分别为0.421、0.446、0.696、0.241、0.325、0.341，其中学生学习参与情况的效应量差异最大，说明卓越班学生更愿意参与到课堂内外的学习中，学习更为刻苦、努力。对课程与教学体系、国际化与实习实践满意度效应量差异最小。说明与普通班学生相比，“卓越计划”的实施增加了学生的国际化、实习实践的机会，但增加的效应量并不大。

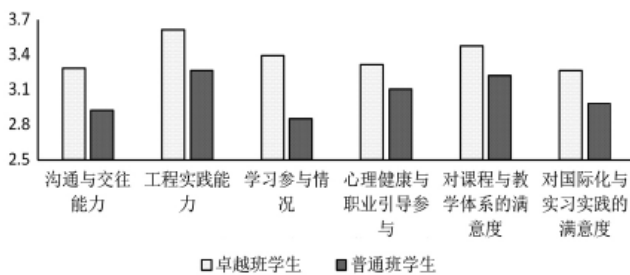


图2 卓越班与普通班学生6个因子均值比较

2. 卓越班学生学习能力较强，善于运用各种学习辅助工具解决各类问题，乐于与同伴交流、讨论学习问题，对教师及课堂教学质量比较满意。6个因子各题项的得分情况如表3，可以看出，卓越班学生得分均高于普通班学生，T检验结果表明两者各题项均存在显著差别。与普通班学生相比，学生的学习能力、工程伦理意识、学习投入程度、实习

实践机会差异尤其大，Cohen's d值最大达到0.707。这从其他问题的调查中也得到了证实。在问题“你每天除正常上课外花在学习上的时间为多少”中，选择“3~6小时”的卓越班学生比例为36.7%，而普通班学生的这一比例为21.5%；在问题“四年的大学生活中，学生在企业或工程实践中心的实习时间”问题中，48.1%的卓越班学生实习时间在5个月以上，而普通班学生的比例只有17.8%；在“学生毕业设计的题目来源”问题中，有55.6%的卓越班学生毕业设计题目来自于企业，而普通班这一比例只有5.9%；在“毕业设计或者毕业论文是否有企业导师参与”问题中，66.2%的

表3 卓越班学生与普通班学生培养质量三个维度具体情况比较

因子	题项	卓越班学生		普通班学生		T 值	Cohen's d 值	效应量 Effect size
		M±D	M±D	M±D	M±D			
沟通与交往能力	A1	3.36	1.06	2.97	1.03	5.226***	0.373	0.183
	A2	3.14	1.09	2.77	1.06	4.952***	0.344	0.169
	A3	3.34	1.07	3.04	1.04	3.952***	0.284	0.140
	A4	3.59	0.96	3.27	0.98	4.695***	0.329	0.163
	A5	2.95	1.18	2.55	1.13	5.018***	0.346	0.171
解决工程问题的能力	A6	3.15	1.08	2.76	1.09	4.986***	0.359	0.177
	A7	3.58	0.99	3.29	1.02	4.070***	0.289	0.143
	A8	3.87	0.95	3.53	0.97	5.073***	0.354	0.174
	A9	3.79	0.93	3.40	0.97	5.684***	0.410	0.201
	A10	3.66	0.94	3.26	0.99	5.762***	0.414	0.203
	A11	3.60	0.95	3.29	0.90	4.798***	0.335	0.165
学习参与能力	B1	3.08	0.99	2.60	0.98	6.949***	0.487	0.237
	B2	3.20	1.01	2.64	1.05	7.628***	0.544	0.262
	B3	3.70	0.99	3.36	0.99	4.906***	0.343	0.169
	B4	3.40	1.04	2.86	1.06	7.209***	0.514	0.249
	B5	3.16	1.07	2.51	0.97	9.129***	0.636	0.303
	B6	3.48	0.98	2.95	0.98	7.591***	0.540	0.261
	B7	3.35	1.04	2.84	1.03	7.031***	0.493	0.239
	B8	3.50	1.05	2.74	1.10	10.016***	0.707	0.333
	B9	3.48	1.10	2.84	1.14	8.036***	0.571	0.274
	B10	3.53	1.02	3.04	0.97	6.967***	0.492	0.239
身心健康疏导	B11	3.43	0.97	3.20	1.00	3.290**	0.233	0.116
	B12	3.35	0.99	3.13	1.00	3.309**	0.221	0.110
	B13	3.14	1.05	2.97	1.06	2.229*	0.161	0.080
课程体系与教学质量满意度	C1	3.41	0.98	3.13	0.93	4.180***	0.293	0.145
	C2	3.51	0.91	3.18	0.94	5.151***	0.357	0.176
	C3	3.51	0.94	3.25	0.93	3.927***	0.278	0.138
	C4	3.22	1.12	3.04	1.00	2.433*	0.170	0.084
	C5	3.57	0.84	3.33	0.85	3.963***	0.284	0.141
	C6	3.62	0.87	3.40	0.89	3.602***	0.250	0.124
国际化与实习实践满意度	C7	3.50	0.95	3.18	0.97	4.777***	0.333	0.164
	C8	3.34	0.94	3.09	0.94	3.720***	0.266	0.132
	C9	3.16	1.09	2.91	0.99	3.349**	0.240	0.119
	C10	3.08	1.07	2.91	1.05	2.195*	0.160	0.080
	C11	3.07	1.20	2.85	1.04	2.731**	0.196	0.097
	C12	3.36	1.06	2.93	1.00	5.804***	0.417	0.204

注：\* P<0.05, \*\* P<0.01, \*\*\* P<0.001。

卓越班学生的毕业设计或者毕业论文有企业导师参与指导，而普通班的比例是33.8%。说明卓越班学生用于学习的时间、参与实习实践的时间更长，学习更努力、刻苦。这一优势与传统的工科学生培养质量调查所得出的结论类似，如赵婷婷等人发现的，“用人单位对学生的学习与适应能力满意度最高，认为学生大多具有比较扎实、系统的自然科学知识、专业基本理论知识和工程基础知识。”

3. 学生在书面表达能力、设计能力、国际视野、沟通交流能力，尤其是与外国专家的沟通交流能力依然较弱。正如有研究指出的“困扰我国工程教育的问题也没有得到有力的解决。创新人才缺乏、以及工科毕业生在国际竞争、经营管理、学科知识交叉融合、实际动手等方面能力不足的问题，依然如故。”20世纪90年代在工程教育“回归工程”的大背景下，很多研究者就针对工程教育的现状，提出需要加强学生的这些能力等。说明卓越计划在这些方面还需要持续改进。

#### (二) 影响卓越班学生发展的因素分析

卓越工程师培养的最终目的是促进学生的发展，学生发展究竟受哪些因素的影响？因为本研究没有对同一批卓越班、普通班学生从一年级至四年级进行跟踪调查，无法进行卓越班与普通班学生发展增值比较。但本研究在确认学生发展与学习投入、环境因素存在相关的基础上，将学习投入、环境因素等作为自变量，学生发展作为因变量，学生的性别、年级、专业兴趣等背景因素作为控制变量，使用最小二乘法对影响卓越班学生发展的因素做了回归分析。具体如表4。其中性别变量中女性作为基准项，年级变量中三年级为基准项，各变量方差膨胀因子（VIF）均小于4，表明变量之间不存在多重共线性。回归方程总体显著，R方显示模型1~2分别解释了因变量差异的60.1%、56.5%。

对于控制变量而言，性别、专业兴趣、学科对学生工程认知能力、沟通交往能力没有显著影响，年级对学生的沟通交往能力在0.05水平上有显

著影响。在其他自变量中，学生学习参与情况对学生沟通交往能力、工程认知能力两者都存在显著影响，回归系数分别为0.68与0.679。学生对课程体系与教学质量的满意度对学生解决工程问题能力有显著影响，回归系数为0.208，其余自变量对学生发展没有显著影响。

表 4 卓越班学生认知与发展影响因素回归分析

		工程认知能力	沟通与交往能力
		标准回归系数	标准回归系数
常数项		0.612	0.463
性别(女生为基准项)		0.042	0.004
年级(三年级为基准项)		0.018	0.146**
兴趣(专业不是自己兴趣为基准项)		0.068	0.072
专业(以化工专业为基准项)	自动化专业	0.161	0.033
	材料专业	-0.032	-0.083
	环境工程专业	0.034	0.086
	控制工程专业	0.185	0.039
	制药工程专业	0.158	0.107
学习投入	生物工程专业	0.080	0.020
	学习参与能力	0.686****	0.679****
环境因素	身心健康疏导	-0.071	0.036
	课程体系与教学质量满意度	0.208***	0.101
国际化与实习实践满意度		-0.018	-0.015
调整后的 R <sup>2</sup>		0.601	0.565
F 值		33.100****	28.578****

注：\*P<0.1, \*\*P<0.05, \*\*\*P<0.01, \*\*\*\*P<0.001。

#### 四、结论、建议与思考

第一，卓越班学生培养质量显著高于普通班学生。在研究所涉及到的6个因子的所有调查问题中，卓越班学生的得分均显著高于普通班学生，尤其是学生的工程伦理意识，参与各类竞赛的积极性，课堂之外与老师的沟通频率，对实习实践的满意度，利用辅助学习工具解决问题的能力等领先优势更为明显。但传统工科学生培养过程中存在的问题，卓越班并没有完全解决，学生对自己工程设计能力，课堂互动，沟通交流能力尤其是与外国专家沟通交流的能力、国际交流机会，师资队伍国际化，双语课程满意度等的评价依然较低。

第二，在影响卓越班学生培养质量的因素分析中，学习投入对学生认知与发展影响最大，其次是学生对教育教学改革等环境因素的满意度，与其他变量关系不显著。正如奥斯汀所提出的，“学生只有积极地参与到学校组织的各项活动

中，其收获才会越大”。帕斯卡雷拉也认为“影响学生的首要因素是学生与环境的融合程度，而不是学校资源和声誉等硬件指标”。因此，卓越工程师培养计划不仅仅要关注课程与教学改革本身，更为重要的是通过改革吸引学生积极参与其中，才能真正达到其改革的目的。

为了更好地落实2018年教育部提出的“卓越计划（2.0版）”，本研究结合7个专业卓越工程师教育培养计划的总结报告，提出了以下意见建议：

第一，注重学生综合素质提升。卓越工程师的培养不仅仅是实习实践能力的卓越，而是综合素质的卓越，正如“卓越工程师教育培养计划”中提到的，卓越计划的目标是：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，即不仅仅要面向工业界，增强实践能力，还需要面向世界，面向未来，增强学生的国际视野、领导力、沟通交流能力等综合素养。而调研中发现学生对自己这些能力的评价依然较低。从7个专业的总结报告中也可以发现，对实习实践总结的较多，对学生的国际视野、师资队伍的国际化和涉及的较少。而这些问题的解决不仅仅需要专业所在系、学院的努力，更需要学校层面、乃至国家层面的政策与经费支持。

第二，计划实施过程中通过与行业企业的融合，学生的实习实践已取得一定进展，但如何进行更深层次、更高质量、更长久的合作是进一步推进卓越工程师教育培养计划的关键。无论是调查研究的数据还是7个专业的总结报告都表明不仅学生实习实践的机会增多了，行业企业也开始参与卓越计划中培养方案的制定、培养模式的改革。但是依然存在以下问题：一是实习实践的过程监控问题。正如有一线教师所说的，规定学生必须下厂实习至少一年，而不对学生的实习项目、实习计划进行详细的设计、跟踪、指导、考核，这样做只能是磨洋工，表面上保障了实习实践时间，但如何真正提高学生的工程技能仍有待

进一步研究。二是教师的“非工化”问题。从调研报告中可以发现学生对于师资队伍中有企业经历的教师人数的评价并不高，7个专业的总结报告中对此也没有太多涉及，说明教师的“非工化”问题依然没有得到有效解决。三是现有的实习单位的落实更多的是基于个人关系上的联络，如何从制度层面保证实习单位的长久性、稳定性，也是卓越工程师教育培养计划后续需要考虑的问题。

第三，院系层面的负责人是卓越计划有效实施的关键。任何的教育政策，负责政策执行的各相关机构、人员都是政策执行的主体，是政策执行过程中至关重要的因素。虽然从调研的数据看，卓越班学生的发展与专业不存在显著相关，但从回归模型的相关系数看，不同专业仍然存在着差别，相关系数大于0.1的专业主要是自动化专业、控制工程专业、制药工程专业。从总结报告、计划落实过程也可以了解这三个专业对于卓越计划的重视。比如三个专业在相关期刊发表了总结卓越计划实施经验与不足的教改论文达10多篇，而其他专业不仅相关系数较低，也没有此类的总结分析。因此，在后续的卓越计划建设过程中需要在学校层面建立不同专业卓越计划实施情况的考核评价机制，调动各专业进行卓越计划改革的积极性，以推动卓越计划在各个专业都能得到有效实施。

本研究的不足之处主要是没有对不同样本的增值进行测量从而更为准确地评价卓越工程师培养质量；调查采用学生自评的方式，其主观感受与真实状况可能存在差距；调查问卷的科学性、严谨性仍有进一步完善的空间等。

（孙艳丽，华东理工大学高教所副研究员，博士，上海 200237；涂善东，华东理工大学教授，上海 200237；周玲，华东理工大学高等教育研究所研究员，上海 200237）

（原文刊载于《高等工程教育研究》2021年第1期）

# “新工科”背景下卓越工程师培养： 基于TRIZ-TAN耦合模式的构想

陈红兵 李 媚 孔祥伟

随着我国经济发展进入新常态，培养造就一大批“科学基础厚、工程能力强、综合素质高”的多样化、创新型卓越工程科技人才，为我国产业发展和国际竞争提供智力支持和人才支撑，既是当务之急，也是长远之策。“新工科”建设是强势打造“卓越工程师教育培养计划”的升级版，依托新理念、新结构、新模式、新质量、新体系，实现“面向产业、面向世界、面向未来”，以培养可持续胜任力为人才培养目标的核心。对于“新工科”建设理念与人才培养目标定位，国内学者各抒己见。有学者结合创新创业教育需求，提出“品行、知识、能力和思维”四位一体的工程领导人才培养目标。有学者在工程人才关键能力方面提出“一体两翼”，即以专业能力为主体，以专业精神和可持续发展能力为助力的思考。有学者构建了新工科人才核心素养结构金字塔模型。还有学者提出价值塑造、能力培养和知识传授“三位一体”的培养理念。“新工科”研究经历了从加强人文教育，主张以通识教育为桥梁的“全人”教育理念，到强调回归工程实践的“大工程观”，再到倡导“跨界、融合与创新”的发展阶段，“交叉融合、跨界培养、持续创新”成为“新工科”建设发展的关键词，工程教育范式正从“工程范式”向“融合创新范式”过渡。“面向创新型教育，培养创新型人才”成为“新工科”背景下高等教育改革的主攻方向与突破重点。随着我国科技创新快速发展，面临的科技伦理挑战日益增多，2022年3月20日，中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于加强科技伦理治理的意见》，提高工程科技伦理责任意识与责任能力正作为人文素质、综合素质或者“全人”教育的一项重要内容被提上议事日程。综上所述，“新工科”人才培养目标定位与模式不仅向着“多元”与“复合”发展，而且只有“科技创新”与“科技向善”相互契合、平衡发

展，才能保证“新工科”教育实现创新型卓越工程科技人才培养的宗旨。

“新工科”建设研究在取得丰硕成果的同时仍有待深化与丰富。相关研究大多指向顶层设计与成果介绍，特别是有关创新型人才培养模式的探索，呈现出“决心多、成果少、概念多、方法少”的现状，迫切需要具体而行之有效的方法促进“科技创新”与“科技向善”的平衡发展。TRIZ作为在世界范围内被普遍认可的提升创造力的有效工具，对于工程科技人才的创新能力培养具有实用性价值。“新工科”强调“跨界、融合与创新”，丹麦奥尔堡大学以技术-人类学（Techno-Anthropology, TAN）理论为基础开展的技术-人类学教育，其强调“交叉”“跨界融合”“责任伦理”“负责任创新”等理念对我国的“新工科”建设具有重要的启示意义。因此，本研究依据TRIZ与技术-人类学（TAN）的特征，在分析TRIZ-TAN具有耦合关系基础上，分析论证TRIZ-TAN耦合对于卓越工程师培养的必要性与其可行性，进而探究TRIZ-TAN融入“新工科”建设的路径。

## 一、TRIZ与TAN之耦合关系

### （一）TRIZ：培养创新能力的有效工具

TRIZ是由苏联发明家、教育家根里奇·阿奇舒勒（G.S.Altshuller）及其团队在20世纪40年代创立的“发明问题解决理论”，由原俄文按照“ISO/R9—1968E”的规定转换成拉丁文“Teoriya Resheniyazobretatelskikh Zadatch”的首字母缩写，经过不断完善，现已成为一套服务技术创新的成熟理论与方法体系。TRIZ是一种哲学，对理想化、资源、功能性、矛盾、空间/时间/作用等给人们指出了鲜明的创造性思维方法；TRIZ是一种方法，向人们展示了定义和解决发明问题的路径；TRIZ是一种工具，是包含着40个发明原理、最终理想解、矛盾矩阵、进化法则、物-场分析、功能

分析、知识库/效应库、资源、分离原理等一整套工具。

TRIZ理论强调新的发明和创造是有规律可循的，很多发明的基本问题和矛盾都是相同的，同一个技术创新原理和解决问题的方案可以在以后的发明中被重复借鉴与使用。TRIZ理论思想和模式为创造性问题解决提供了方向，诸多实践已经证明了该理论的实用价值。TRIZ通过遵循创新活动发展的客观规律，为创新主体提供有利于创新的重要思路与工作方法，掌握TRIZ方法有助于提升创新能力。将TRIZ引入“新工科”教育，既可以通过设置通识课对学生进行创新思维与创新方法的一般性训练，还可以推动将TRIZ与所学专业有机结合。强化学生在专业学习中融入TRIZ，对于提高学生发现问题、分析问题及解决问题的能力具有重要价值。将TRIZ引入“新工科”教育，并重视TRIZ教育，更好发挥TRIZ的价值，有助于让工程教育在TRIZ引导下更卓有成效地趋向创新。

## （二）TAN：促进科技创新向善的有效途径

技术人类学探索人与技术的互动关系。20世纪90年代，丹麦的奥尔堡大学形成的富有特色的学术共同体被称为技术人类学研究的奥尔堡学派。为了凸显对于人与技术互动关系的核心关注，该学派创造性地将采用人类学的方法研究技术定义为“技术-人类学（TAN）”。采用人类学与伦理分析方法去理解技术的本质及人与技术在生活世界中的实践，注重技术的应用研究，参与式设计及用户驱动创新及对于“做”技术人类学的强调成为该学派的研究特色。根据波尔森（T.Børsen），技术-人类学的总体研究领域是技术，但要从技术专家、过程与人工物、用户与利益相关者三个方面加以阐述。进而波丁（L.Botin）认为正是这三个方面的交叉点决定了教育与研究领域的跨界融通性，即交互式专业知识（interactional expertise）、社会责任（social responsibility）、人类学驱动设计（anthropology-driven design）。技术-人类学关注这些方面及其关系。

“卓越计划”强化工科生人文素质教育，作为“卓越计划”升级版的“新工科”不仅更进一步强化人文素质培养，增进追求“真、善、美”的人文情怀和高尚的情操与道德责任感，还要培

养创新观念、创新意识，提高创新能力，要在促进科技进步的同时关注人类生存状态、前途命运和社会的可持续发展，能够对人与自然、人与社会、人与人之间的相互关系及其作用做出深刻而清醒的认识与把握，使人类的一切活动都能够始终如一地围绕着造福于人类，服务于人类，帮助人类不断认识和改造世界这一终极目标而进行。工程科技人才“如何卓越”的问题实际也是探讨“何以成人”的问题。奥尔堡大学的TAN教育强调在技术创新过程中尊重现有知识，使用参与方法，强调人的主体性，承认当地条件与文化，倡导用户驱动创新，关注平等与尊重，重视社会责任，追求“以人为本”的人文理念，为工程教育实现从“工具理性”的科学技术范式转向“目的理性与价值理性”的大工程范式提供了一种新的视角。

## （三）TRIZ-TAN耦合关系分析

某两个事物之间如果存在一种相互作用、相互影响的关系，就叫作“耦合关系”。耦合关系使两个事物之间或两种运动之间产生增力，协同完成特定任务。TRIZ与TAN都属于针对工程领域技术创新问题的解决策略，两者之间具有耦合关系。

1. TRIZ与TAN典型特征。TRIZ是基于知识的、面向人的解决发明问题的系统化方法学，其逻辑内涵上强调“基于知识”“面向人”“解决问题”“系统化”等几个典型特征，是告诉人们“怎样做”的程序性知识。TAN同样是一门基于“跨学科”知识，伴随“基于问题”为导向的知识生产模式<sup>2</sup>而产生，旨在探讨社会-技术系统中人与技术互动关系，驱动技术创新“以人为本”的理论，其既包括“怎样做”的程序性知识，又包括探究“为什么”的陈述性知识。TRIZ是“基于知识”的创新方法，这些知识是从世界范围内250多万件高水平发明专利中抽象提炼得出，打破了知识的领域界限，为创造性解决问题提供了普适的、通用的启发性知识。作为TAN研究基础的“交互式专业知识”是一种“跨学科”的知识体系。TRIZ是“面向人”的方法，打破思维定式，激发创新思维，为创新性问题或者矛盾解决提供更合理的方案或更好的思路。TAN的核心关切是人与技术的互动关系，强调人在技术创新过程中的参与作用以满足其“自我实现”的最高需求。



TRIZ是“系统化”的创新方法。“对于创造性的问题解决，TRIZ提供了一种辩证的思维方式，即将问题理解为一个系统，首先想象理想的解决方案，然后解决矛盾。”TAN依托社会-技术系统理论，注重将技术创新过程中人与技术的互动关系置于更广泛的社会文化背景中加以考量。综上，从整体上看，TRIZ与TAN都是采用系统观的方法、面向人、关注知识的一种问题解决策略。

2. TRIZ与TAN优势互补。TRIZ的侧重点在于为解决创造性问题应该“怎么做”，即提供方法论+知识基础。TAN主张工程教育改革与创新，对于工程科技人才培养有明确的目标，侧重于定位培养“什么样的人”。因此，可以在工程教育人才培养过程中耦合二者以协同解决培养“什么样的人”与未来应对各种问题情境，特别是指向既能“创新”并懂得“如何创新”，又能指向进行反思，在“能”与“应该”之间做出伦理价值考量的“负责任创新”的两个基本问题。指向“交互式专业知识、人类学驱动设计技能与社会责任”是TAN所追求的人才培养目标的三个向度，它们可以在技术创新应用情境中集结为消解“跨学科”知识融通障碍以及应对新技术带来的伦理困境。但是，这三个向度并没有明确地指向“创新”，而TRIZ有助于提升创新活动效率，使工程科技人才创新素养的培育有法可循，丰富复合型人才培养方法，加快创新型人才培养速度，提高工程教育人才培养质量。另外，TRIZ虽为工程领域的创造性问题解决提供了一套完整的发明创新理论与方法集成，但鉴于理论自身进化与科技发展速度之间的不相匹配，TRIZ尚未涵盖新兴技术领域。TAN研究并非拘泥于某一特定的技术，而是指向诸如数字基础建设技术、生物技术、能源与环境技术及健康技术等新兴技术领域，可以就TRIZ在新兴技术研究领域的不足，针对新兴技术所带来的伦理与可持续发展等问题扩展有效的解决方案。

## 二、TRIZ-TAN耦合对“新工科”卓越工程师培养的必要性

卓越工程师具有“科学基础厚、工程能力强、综合素质高”的特点，“新工科”卓越工程师培养迫切需要TRIZ-TAN以耦合关系融入工程教

育实践。

### （一）将TAN引入高等工程教育顺应知识生产模式转型趋势

研究高等工程教育创新型人才培养，不能脱离“知识生产”这一重要问题。自20世纪中后期开始，从“小科学”到“大科学”，从“学院科学”到“后学院科学”，从知识生产“模式1”到“模式2”的相关知识生产模式转型理论成为高等教育改革与创新研究的重要理论依据。吉本斯（M.Gibbons）等人提出“模式1”与“模式2”的命题来阐释知识生产模式逐渐从传统的“学术范式”向新兴的“应用范式”转型。“模式1”作为一种传统模式，是一种学术性、学科性、同质性的知识生产模式；而“模式2”则是一种应用性、跨学科性、异质性的知识生产模式。

TAN研究把基于知识生产“模式1”与“模式2”的工程统称为传统工程，作为应用科学而被称为的“模式1”工程依靠基于一致与连贯真理标准的稳固而可靠的知识，虽然“模式2”工程提供不同类型的知识与实践，重点是优化与工作程序相关的能力与技能，以及从整体经济学角度考察系统与技术的性能，这使得“模式2”工程师是富于企业家精神与实践导向的，但是，也批判“模式2”工程带来的对知识、研究与教育的商业化问题。TAN认为受“工具理性”主导的传统工程教育是一维的，提出一种“模式3”的工程教育模式，其特点是追求“情境化、参与及跨学科”，强调“跨界融通”与“社会责任”如何有益地补充工程教育实践，倡导通过跨学科的合作来提出建议或参与涉及道德与可持续的问题解决。在认为自然科学和技术科学不仅应该涵盖关于物质世界的“硬”科学和技术知识，还应该涵盖“社会、文化、组织、制度及伦理假设与影响”的理念指导下，TAN教育实践因其做出整合诸如人类学与社会研究、哲学与伦理学以及具有工具性质的自然科学和技术科学等不同学科方法的跨学科努力而有别于传统的工程教育。TAN强调技术设计、评估、改革与创新过程中用户及相关利益者的参与作用，实际是一种结合专家启发与用户/相关利益者参与的知识生产模式。鉴于其追求“情境化、参与及跨学科”的特点，需要将TAN引入高等工程教育补充传统工程教育以适应知

识生产模式的转型。

(二) 将TRIZ融入高等工程教育符合创新驱动发展的时代要求

《国家创新驱动发展战略纲要》要求推动教育创新,改革人才培养模式,把科学精神、创新思维、创造能力和社会责任感的培养贯穿教育全过程。TRIZ综合了多个学科领域的原理、法则,并在此基础上提出了完善的创新方法理论体系,适用于大多数人进行发明创新、解决技术难题的过程,对提升大学生的创新能力有很大的参考价值。首先,TRIZ为卓越工程师创新素养培育提供方法论指导。应用TRIZ解决问题的一般流程是先将领域问题转化为TRIZ标准问题,然后求得标准问题的通用解,最后将通用解转化为领域问题的特殊解。该特定的解题模式能够帮助学生掌握必要的技术问题处理方法,通过系统分析问题,快速发现问题的本质与矛盾所在,突破思维障碍,打破思维定式,采用创新方法得出理想解。正因为创新方法应用的重要意义,创新方法的推进逐渐上升为国家战略。2008年,科学技术部、国家发展和改革委员会、教育部与中国科学技术协会共同印发了《关于加强创新方法工作的若干意见》。其次,TRIZ的实践观打破卓越工程师创新素养培育的传统模式。阿奇舒勒倡导通过学校开展TRIZ培训的核心目的在于培养学员的创造能力,让他们参与创造实践。TRIZ的应用是一个让学生发现问题、提出问题,进而独立或通过合作解决问题的过程,在问题实践情境创设的过程中提高了学生的参与度,可以改变传统的以“教师中心、学科中心、课堂中心”的“三中心”教学模式,打造高效课堂,即让学生充分参与到课堂教学,真正成为师生之间为达成教学目标而进行的平等、互动、沟通、对话和交流平台,使课堂教学成为一个主动的创生过程和动态的生成过程。这种基于问题的实践情境创设,主动学习与经验学习策略的采用有助于为高等工程教育创新型人才培养提质增效。

(三) TRIZ-TAN耦合为科技创新与科技向善双向赋能

当前,我国科技创新迅速发展,面临的科技伦理挑战日益增多。面对复杂尖锐的科技伦理风险,如何展开良好的伦理治理,发展负责任创

新,实现科技向善?《关于加强科技伦理治理的意见》强调以伦理先行、依法依规与敏捷治理等一系列要求回应了这一时代命题,并确立了“将科技伦理要求贯穿科学研究、技术开发等科技活动全过程,促进科技活动与科技伦理协调发展、良性互动,实现负责任的创新”的实践路径。2022年3月,教育部高等教育司司长吴岩在高校科技伦理教育专项工作启动会议上指出,科技创新与科技伦理就像汽车的两个最主要的系统,一个是动力系统、一个是刹车系统,两者是一对孪生兄弟,要找好平衡点。在高等工程教育创新型人才培养方面,TRIZ-TAN耦合是实现科技创新与科技伦理找好平衡点的重要因素,为科技创新与科技伦理双向赋能。一方面,在创新型人才培养方面,以TRIZ为代表的创新方法的合理运用可以大幅提升创造力培养的速度与效率;另一方面,TAN明确提出的包括交互式专业知识、人类学驱动设计技能与社会责任的人才培养目标三个向度使创新远离盲目、异化及产生破坏性影响。从库恩(T.Kuhn)的“常规科学”到“事实不确定、价值有争议、利害关系重大、决策紧迫”的“后常规”情况的转变促进了科学与决策之间关系以及高等教育的重大变化。TAN研究关注这一转变及其可能对重新定位与规划工程教育方式产生的影响,主张培养能够在多种专家文化背景中自由航行的交互式专家,并指出在一个充满“后常规”问题的世界,要求提出或使用知识主张的各种利益相关者提高道德敏感性。TAN还为科技创新与科技伦理找好平衡点提供了一种新的“人类学”思考方式。TAN的突出特点在于采用人类学的方法理解科学与技术,是一种科学与人文的“对话”,运用这种新的思考方式,思考“创新能够这么做”“创新是否应该做”的价值选择问题,审视“我们何以为人”“我们如何做”“我们的责任何在”的道德责任问题,在科学与人文的交流融合中,把握科技创新的非“价值中性”特质,强调科技创新与人的主观需求和价值选择密不可分,以科技伦理的思想与行为自觉推进科技创新与科技伦理的良性协调发展,实现科技向善、造福人类的根本目标,既是科技创新的价值旨趣,更是科技伦理的实践指向,两者统一于人类社会的进步和人的全面发展。

### 三、TRIZ-TAN融入“新工科”卓越工程师培养之路径

基于TRIZ-TAN耦合对科技创新与科技向善的双向赋能，围绕“新工科”建设的战略目标，本研究从专长、创新、伦理三个维度探究TRIZ-TAN融入“新工科”卓越工程师培养的可行路径，凸显科学素养与人文精神双轨并进的“求真、突破且向善”的追求以助力高等工程教育“引领性、交融性、创新性、跨界性和发展性”的特色内涵式发展。

#### （一）田野实践促“卓越”基础之专长发展

“新工科”改革要培养具有广阔视野又具有某一专长的“图钉式”人才。专长指特别擅长的学识、技艺、本领或特殊才能，尤其指解决特定领域问题的能力。自“卓越工程师教育培养计划”实施以来，知识、能力与素质三位一体协同发展成为高等工程教育改革的核心要义。专业知识与技能不仅是工程技术人员赖以立身的支柱，也是领域创新的源泉。专业知识不仅要“专”，还需“杂”，专业技能不仅要“能”，还需“巧”。

“新工科”建设如何培养专长？本研究提出应提倡基于交互式专业知识与人类学驱动设计技能的专长培养以促进工程科技人员趋向“卓越”。首先，“新工科”建设要求“面向产业”，工程科技人才投身产业需应对跨越行业与领域问题的各种挑战，可持续胜任力需以“跨学科”的知识储备为基础。其次，“新工科”建设要求“面向世界”，工程科技人才需要具备在全球与本地之间架起桥梁的技能。人类学驱动设计是一种“以人为本”的创新过程，将人类学方法中田野调查研究得出的分析结果与用户驱动创新相结合，以促进民主参与，并将用户的知识作为设计过程中的一种资源加以调动，是对工程教育人才培养回归工程“实践性”本源的回应，是学以致用有效途径。

田野实践（Fieldwork）是将TRIZ与TAN有机融入专长培养的有效平台。田野实践已成为人类学的经典研究范式，指经过专门训练的人类学者亲自进入某一社会，通过直接观察、访谈、住居体验等方式，获取一手研究资料的研究范式。这种研究范式期望研究者采取“局内人”视角，走进研究者不熟悉的场景，深入了解被调查场景中

的社会行为和社会关系。田野实践为知识与技能的生成提供了一种社会化的实践情境，落地才能生根，厚积才能薄发。实践中对情境的反映形成了“如何做”的知识，有别于传统课堂所传授的“是什么”的知识，拓宽了知识的广度与深度，并通过浸入式的观察及用户访谈与问卷调查等手段，有助于在不同技术专家、专业人士及用户之间实现“理解—翻译—解释”，打破学科界限，实现交叉融合，拓展技能“以人为本”的人文追求。鉴于工程知识的复杂、综合及情境化等特征，学生对工程知识的架构过程是一个基于实践、依靠经验，通过关联与综合、渐进、逐步升华的过程。TRIZ为技术创新提供了一整套系统化解决的方法工具与方案模型，在工程实践中应用TRIZ的创新教育可以将创新方法与已经掌握的专业基础理论相结合以增强获取未知知识的能力。同样，“新工科”教学改革也应发挥TAN的田野实践方法推动创新的优势。对于工科教育而言，应努力在田野实践中培养“交互式”的专业知识与“人类学驱动”的专业技能，为卓越工程师培养奠定坚实的专长基础。

#### （二）问题驱动利“卓越”动力之创新提升

高等工程教育创新型人才培养模式改革，专创融合是重要抓手。专创融合是一种基于专业教育，并以传授学生创新方法、提高学生创造力水平、增强学生创业能力为目标的创造性实践教学。专创融合强调教育的实践性、创造性与实用性，是从专业教育“学有所专、学有所长”到创新创业教育“学以致用、用以致创”的迭代升级，致力于培养学生发现问题、分析问题及解决问题的能力。将TRIZ融入专创融合视角下的工程教育，培养学生在发现问题、分析问题与解决问题的链式过程中从被动的知识接受者，变成主动的参与者，学习过程从“以教师为中心”的“传道、授业、解惑”逐步走向“以学生为中心”的“悟道、求业、生惑”的新境界。这是一种问题驱动的参与式人才培养模式改革，在基于问题、项目或案例的问题驱动实践情境创设过程中让学生发现问题、提出问题，进而独立或通过合作解决问题以促进学生知识的获取、应用与创新，工程能力、社会能力的培养与提高及综合素质的养成与提升。TAN教学方法上采用奥尔堡学习模

式，即以问题为向导、项目为基础的学习（Problem Oriented and Project - based Learning, POPBL），这一模式在学习方法上以问题为导向、项目为组织，在学习内容上超越单一学科、鼓励学科交叉，在学习的社会性方面通过小组合作学习实现人与环境互动。POPBL模式注重引导学生进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，通过具体的、与问题解决密切相关的项目工作来建构知识与能力，在激发学生的学习兴趣与热情的同时促进教学质量的提高方面取得显著的成效。问题意识是思维的动力，是学习兴趣的源泉。创设以问题驱动的参与实践情境是TRIZ-TAN耦合的一个核心追求，通过构建基于问题的课程任务，激发学生主动学习与积极探究。设计“有意义的问题”为学生创造“需要知道的情境”去学习具体的观念及概念，以“基于学科的”同时又是“跨学科的”问题式学习促进学生强化对不同学科知识的反思。课堂教学由“传授—接受”转向“阐释—理解—建构”，学生自主参与学习、在与他者及环境不断互动建构的过程中进行质疑、合作、探究、创造，不断生成新的意义。基于该模式的工程科技人才培养应更加关注学习模式的经验转向以开发创新意识、提升创新思维、培养创新能力、打造创造性人格，提升卓越工程师价值创造与可持续自我发展的内驱力与行动力，从而符合全人教育观在体验中实现人自身完善与超越的主旨。

### （三）负责任创新塑“卓越”方向之向“善”伦理

“新工科”建设要求“面向未来”，是人与技术和谐共处的可持续发展的美好未来。田野实践与问题驱动的应用问题解决情境敦促有关社会责任的反思。创新须负责任，聚焦可持续胜任力的“新工科”人才培养模式应以伦理为方向导航，关注可持续发展。TAN强调的社会责任始于识别围绕现有的、新兴的及潜在的技术的伦理困境的能力，认为将技术本身作为一个加强与改善人类的生存条件的实体而发展应该是设计和重新设计技术的核心。这种能力的构建基于实践情境中的参与、协作与反思而实现，通过“做”技术人类学的实践探索、用户驱动创新的参与设计理

念及负责任创新的追求，实现科技创新更加“向善”。TAN所倡导的负责任创新是具体情境下多元主体及主体间的实践活动，要求科学家、工程师、项目管理者以及公众群体等多元主体提高道德敏感性。在创新实践情境中，通过参与、协作与反思逐步认识到环境、公众的健康、安全与福祉等方面是技术与工程创新活动不可推卸的责任，并逐步将这些社会责任融入职业伦理之中。任何人都是一定社会背景、文化与关系网络中的社会人，适应社会规则并参与社会规则的构建。人的活动最终要实现在社会关系中自我角色的合理定位并从事利众的实践活动，在利众实践中求生存与发展并获得人生价值与生命意义。鉴于此，在立作为社会人的责任担当基础上，还应立合作利众之德。在当前我国大力推进科技伦理治理的趋势下，将以“社会责任”为核心人才培养目标之一的TAN教育融入“新工科”建设，加强科技伦理教育，积极为学生创设基于问题驱动的田野实践情境，让学生在参与式设计 with 用户驱动创新过程中加强趋于负责任创新的参与、协作与反思，提高道德敏感性与伦理参与能力，进而将伦理责任内嵌于技术创新活动并在实践中发挥作用，以“以人为本”的人文追求促进科技创新活动增进人类福祉、共创美好未来的社会责任意识提升，进而回归技术知识生产的社会公益性本源。

基于以上思路，TRIZ-TAN耦合的专长、创新、伦理三维协同共建的人才培养路径，有利于工程科技人才在未来的工程实践中更好地发挥其职业胜任力，突出以学生为中心，以实践为导向做好实践教学与社会实践“两个接口”，注重田野工作、创新方法与可持续发展理念“三个结合”，指向“问题驱动、情境驱动、参与驱动与发展驱动”的改革方向，实现卓越工程师的培养目标。

（陈红兵，东北大学马克思主义学院教授，博士生导师，辽宁沈阳 110819；李媚，东北大学马克思主义学院博士生，辽宁沈阳 110819；孔祥伟，东北大学机械与自动化学院教授，博士生导师，辽宁沈阳 110819）

（原文刊载于《现代教育管理》2022年第8期）

# 基于工程教育专业认证的 “双一流”院校卓越工程师培养探索与实践

吕丹丹

## 一、引言

随着科学技术的快速发展，中国工业化进程不断推进。卓越工程师成为当今社会急需的高水平人才，培养卓越工程师成为“双一流”院校工程教育教学改革的重中之重。2018年，中国发布“卓越工程师教育培养计划2.0”，标志着中国从工业大国向工业强国迈进的发展阶段已然来临。“双一流”是中国高等教育领域的重要发展战略，在应用型卓越工程师培养背景下，“双一流”院校应以身作则，着重提高大学生的工程专业知识、实践能力及创新能力。

工程教育专业认证是指中国工程教育专业认证协会针对“双一流”院校工程类专业教育开展的质量检测，旨在为工程技术卓越工程师进入工业领域提供高水平质量保障。为此，高校人才培养模式应开展创新变革，更多地以强调成果、重视学生主体、关注实践教学等为主要发展方向，同时立足工程教育专业认证具体要求，全方位推进人才培养的高质量发展。

“双一流”院校正积极响应教育部发布的工程教育教学改革指导政策，纷纷申请开展工程教育专业认证，依据中国工程教育专业认证协会认证结果，审视院校工程教育人才培养取得的成果与存在的问题，采取有效举措建立并完善“双一流”院校卓越工程师培养体系。

## 二、“双一流”院校卓越工程师培养目标

为满足社会对卓越工程师的高要求，世界各国都进行了工程教育改革，同时借助工程教育专业认证对“双一流”院校工程类专业进行评价，促进“双一流”院校工程教育教学改革与发展。2020年2月17日，中国工程教育专业认证协会发布了《工程教育认证标准》（以下简称《标准》），从学生、培养目标、毕业要求、持续改进、课程体系、师资队伍及支持条件等多方面制定了通用

标准，为各高校开展专业认证提供了系统依据和参考。

### （一）卓越工程师应具备较强的综合素质

新时代背景和社会环境要求卓越工程师应具备较强的综合素质，既能在专业理论知识和实践技能层面具有较高的水平，又能高效应对学习实践中的各种问题，具备一定的职业道德素养。而且，《标准》也明确指出，毕业时，学生应具有工程知识储备、问题分析和职业规范理念。一方面，具备较强的综合素质已成为当前高校人才培养的重要方向。这不仅是新时代发展的要求，更是人才自身实现全面进步的需要。只有具备较强的综合素质，能够基于专业知识储备解决遇到的问题，并在专业实践中不断强化技能，人才才能真正符合社会需求。另一方面，对“双一流”院校培养卓越工程师而言，更需关注并满足《标准》提出的各项要求，以凸显人才的卓越性。工业化发展的深入推进要求“双一流”院校为其输送高质量的工程技术卓越工程师。“卓越工程师教育培养计划”的创新发展不仅是院校突破发展困境的需求，更是院校回应社会发展的表现。而在工程教育专业认证视域下，以综合素质为卓越工程师培养目标，更是“双一流”院校展现发展特色、发挥人才培养积极作用的重要途径。

### （二）卓越工程师应树立自主学习和终身学习的意识

在工业化进程的推动下工程技术类专业一度成为报考热门，报考人数快速增加，而教师队伍、基础教学设施等教学资源的短缺，卓越工程师培养规格的不符等问题制约工程教育育人质量的提升。工程教育教学体系转型发展迫在眉睫。

基于工程教育专业认证培养卓越工程师及制定“双一流”院校人才培养目标时，要关注《标准》要求。《标准》明确指出，学生在毕业时应

具有自主学习和终身学习的意识，有不断学习和适应发展的能力。因此，“双一流”院校在开展专业理论知识传授、实践技能锻炼及职业素养培养的同时，关注学生的主体性地位，强调学生在学习过程中发挥主观能动性，通过言传身教、价值引领、环境熏陶等形式助力卓越工程师树立自主学习和终身学习的意识，并落实到日常学习生活中，以此引领“双一流”院校卓越工程师培养体系的创新。

### （三）卓越工程师应树立社会服务意识

在信息化时代，信息技术专业素养、社会责任感也是工程技术卓越工程师体系的重中之重，《标准》明确规定了毕业时，学生应具有人文社会科学素养、社会责任感，并能够在多学科背景下的团队中承担个体、团队成员以及负责人的角色。因此，“双一流”院校应在人才培养过程中关注社会需求的转变，强调《标准》的方向指引，以全方位的创新优化人才培养目标，并在其中强调社会责任感等一系列卓越工程师应具备的能力和素养，以此在适应社会需求的过程中引领卓越工程师培养体系的创新，在展现卓越工程师培养针对性的同时强化培养质量。

## 三、“双一流”院校卓越工程师培养的现实问题

“双一流”院校作为普通高等院校的楷模，其卓越工程师培养模式与环境的转变具有重要借鉴价值。然而，现阶段“双一流”院校卓越工程师培养环境面临的诸多问题制约了工程教育改革发展，影响专业认证的结果与成效。

### （一）生源选拔机制有待完善，生源质量不高

优质生源是卓越工程师培养的重要基础，科学合理的生源选拔机制是卓越工程师培养的根本前提。高考是“双一流”院校生源选拔的主要考核标准。虽然选拔的生源质量整体较高，但个性化特征不足。原因有以下三个方面。一是“卓越工程师教育培养计划”宣传不到位，学生缺乏相关渠道了解相关内容，对卓越工程师培养的内容、目标及育人价值理解不清，自主申请参与“卓越工程师教育培养计划”的积极性与热情不足，认同度不高；二是“卓越工程师教育培养计划”培养目标尚不明确，能力培养不完善。部分“双一流”院校参照《卓越工程师教育培养计划

通用标准》设置卓越工程师培养目标，包括工程教育知识专业水平、问题分析能力、工程实践能力、创新思维与职业规范等14项能力指标，这些指标的全面性与整体性较强，但区域性与本土性不足；三是卓越工程师选拔管理不规范。“卓越工程师教育培养计划2.0”旨在培养工程实践能力和创新能力强、适应经济社会发展的多层次、高质量发展的工程技术卓越工程师。学生的学习热情与能动性对卓越工程师培育成效有很大的影响。当前，部分“双一流”院校卓越工程师选拔对于学生的参与动机调查不规范，“输入口”不严格，影响整体生源质量。

### （二）教师队伍建设和实践教学不足

教师是“双一流”院校工程教育改革的主体，也是卓越工程师培养的主要责任人。卓越工程师培养对教师的实践教学能力提出了更高的要求，而现阶段，“双一流”院校教师队伍虽然专业素养整体较强，但是实操能力薄弱，亟待加强。这主要归因于以下几点。一是部分“双一流”院校对教师培养力度不足。学校更多关注教师专业素养的培养，忽视“双师型”教师能力培养，因此，在培训安排上仍停留在理论阶段，实践业务素质相关培训缺乏。二是“双一流”院校部分教师教书育人意识不明确。部分教职工的思想政治和业务水平并未实现理论与实践的统一，教师没有按需接受培训，思想素质水平和职业道德水平不高，未能自觉履行应尽的义务。教师培训的质量与优秀工程师的培养质量息息相关，因此，培养卓越工程师的首要任务是建立一支多功能化、应用化和国际化的教职工队伍。

### （三）校企合作机制有待健全，企业参与度较低

校企合作是卓越工程师实践操作能力培养的有效途径，是“双一流”院校育人质量提升的重要保障。现阶段，校企合作机制尚不健全，国家尚未制定健全的优惠政策与激励机制，部分企业参与积极性与自主性不高，参与度较低。首先，从学生实践的角度而言，在校企合作的过程中，部分企业侧重于保护学生身心健康、保障自身生产利益，而忽视校企合作育人价值，校企合作主动性与积极性较低。其次，在校企合作“双师

型”教师培养中，部分企业内部教师任命、教学地点、内容、期限和评价等尚未明确，未达到标准化和制度化。最后，校企合作管理机制不健全，校企合作中责任、权利、收益划分不明确。例如，在培养学生过程中哪些课程是学校的责任，哪些是企业的责任；在学生评价方面，是以企业评价标准为主还是以学校评价标准为主；在收益分配方面，收益是全部给企业，还是企业和学校平分，或是用来补助学生以及补助的标准怎么设置；在学校和企业之间的研究项目中，最终结果是教师所有还是企业所有等等。因此，如果不从根本上解决责任、权利和收益分配问题，校企将难以继续进一步合作。

**（四）组织保障体系有待建立，计划系统性不足**

卓越工程师培养是一项系统工程，需要国家和院校各个组织结构的相互配合。现阶段，组织保障体系有待建立，卓越计划系统性不足。首先，国家政策保障力度较低。在国家政策执行过程中，相关优惠政策的缺乏，导致部分院校、企业参与“卓越工程师教育培养计划”的积极性不足。另外，“双一流”院校工程教育专业认证工作得不到及时的政策支持，中国工程教育专业认证协会的认证结果认可度不高。其次，“卓越工程师教育培养计划”实施的经费投入不足。与卓越计划相关的实践和教学改革的持续投资没有得到充分保障。一些特殊课程不能实现，实践教学基地的功能未被激活，导致部分企业没有持久的积极性和主动性参与基地建设和教师教育改革，影响“卓越工程师教育培养计划”的执行和卓越工程师培养质量。最后，卓越工程师管理体系不健全。部分“双一流”院校卓越工程师培养需求旺盛，但没有制定相关的规范和标准。因此，“双一流”院校迫切需要完善管理机制，提供条件保障，以支持卓越工程师培训体系的规范化和标准化。

#### **四、“双一流”院校卓越工程师培养的路径探索**

中国工程教育专业认证协会对“双一流”院校工程技术类专业进行客观考核与评价，“双一流”院校根据认证结果，科学分析校内卓越工程

师培养面临的诸多问题，结合院校自身发展实力，有针对性地进行改革，完善“卓越工程师教育培养计划”，提高院校育人质量。

##### **（一）提高生源质量，完善课程体系**

“以学生为中心、成果导向、持续改进”是南京工业大学的教学理念，更是契合《标准》要求的重要依据，体现出对学生主体地位和综合能力的重视，也从侧面反映出学校在人才培养过程中对生源质量的关注。“量质齐升”是卓越工程师计划招生的主要标准。所以，“双一流”院校应制定科学合理的生源选拔计划，为不断推进教学综合改革、提高工程技术专业学生职业竞争力奠定基础。首先，通过实施“卓越工程师教育培养计划”，吸引专业工程学院的学生报考，提高生源质量，以多种方式选拔优秀后备卓越工程师。其次，制定优秀生源选拔计划。“双一流”院校应设立组织机构选择优秀生源，如工作人员甄选领导小组、学院工作人员甄选评估小组和工作人员甄选监督小组。对“双一流”院校在工程教育专业认证视角下培养卓越工程师而言，在提高生源质量的基础上，通过增加课程建设、调整课程安排等完善课程体系也必不可少。

南京工业大学在人才培养过程中构建面向产出的课程内部持续改进机制，通过优化课程体系等途径提高专业毕业要求的达成度，并取得了一定成果，为“双一流”院校提升卓越工程师培养质量提供了参考。

##### **（二）完善教师培训制度，重视实践教学**

《标准》也对师资队伍建设和实践教学提出了具体要求，强调课程教师的教学能力、工程经验及研究水平。所以，“双一流”院校首先应重视教师实践业务素质的培训。一方面，教师业务素质培训必须丰富教师的基础知识和专业知识，提高教师教学水平和科研能力，提高教师应用计算机、外语等技能和现代教育技术水平。另一方面，完善工程教师的任命和评价制度。“双一流”院校工程学科专业教师的任命和评估应集中在工程项目设计、专利、产业界合作和技术服务方面，且优先考虑聘用具有企业工作经验的教师，晋升具有一定公司工作经验的教师。其次，制定多层次的教师培训制度，多部门配合参与。“双一流”院

校直接负责教师培训规划的制定，确保培训经费的落实，加强与后勤部门的沟通和协调，为在职教师参与培训提供必要条件。各级教育行政部门和“双一流”院校师资培训机构，主要开展教师培训、研究和咨询、信息咨询和服务，以及上级当局委托的其他任务。最后，“双一流”院校应建立严格的教师培训管理机制。教师培训超过3个月以上，应按有关规定及培训层次、形式的要求进行考核及鉴定，并记入业务档案，作为教师职务任职资格、奖惩等的依据。

### （三）深化校企合作，全方位优化办学条件

校企合作作为工程教育实践教学活动的的主要场域，是卓越工程师实际操作能力提升的关键途径。因此，相关部门应采取有效措施提高企业合作积极性，深化校企合作。同时，基于《标准》对支持条件的要求，在培养卓越工程师的过程中，应从校内、校外两方面入手，从硬件设施、软件管理等层面全方位助力人才培养体系的创新。

首先，政府应提供宏观支持。政府可通过制定激励政策提高企业参与校企合作的积极性，例如，政府可以出台补贴政策，建立成本分担机制，建立企业伙伴关系方案，并通过选择创业培训实践基地等方式鼓励校企合作。

其次，“双一流”院校应积极与企业合作，创新校企合作机制。院校和企业共同开展培训项目，共同实施培训流程，改革卓越工程师培养模式，重点提升卓越工程师工程能力和创新能力。

“双一流”院校将企业生产与学生实践两者有机结合，构建学习型工厂，建立“校企双制班”，促使卓越工程师技能提升。企业实践与理论知识的融合，实现校企双主体育人，促进教育链、卓越工程师链与有机链、创新链的衔接，促进教育优先发展和卓越工程师的引领发展。作为我国较早启动工程教育专业认证的高校之一，南京工业大学在人才培养过程中充分吸收用人单位的需求，在校企深度合作的基础上修订完善专业培养目标，不断提升人才培养与社会的适应度。

最后，“双一流”院校还应设置校内教学设施的使用、维护条例，保障各项教学工作的顺利推进，也支撑卓越人才培养的高水平发展。院校应从“学校能够提供达成毕业要求所必需的基础

设施”“教室、实验室及设备在数量和功能上满足教学需要”“教学经费有保障”等层面入手，全方位优化卓越工程师培养支持条件，结合校企合作的深入推进，强化培养质量。

### （四）构建组织保障体系，支持卓越计划开展

新时代背景下，促进企业和学校的深度融合需要发挥院校与企业的协同力量，还需要政府部门进行顶层设计规划，协调学校和企业两者共同参与，健全组织支持体系、监督评价体系，形成协同推广工作模式。首先，政府应颁布文件，并专注于顶层设计。教育部与相关行业部门合作发布相关文件，确立指导思想、基本原则、总体目标和保障措施，指导“卓越工程师教育培养计划”的顺利实施。其次，国家应该不断促进工程教育对外开放。国家留学基金主要支持学生和教师进行国际交流和实习。最后，以教育部为主导改革教育质量管理和考核机制，监督培养单位建立科学有效的质量保证体系，保障培养单位主体作用的发挥，通过完善外部监督体系、构建质量监督信息平台等措施全面客观地加强对各实施院校的监督和指导工作。面对多层次的卓越工程师培养需求，需要建立与国际教育标准同质等效的教育学位等级体系，建立教有标准、育有规范、具有中国特色的卓越工程师培养体系。同时，建立和完善支撑这个体系的政策、机制和条件保障。

## 五、结语

工程教育专业认证作为工程教育发展的重要指引，《标准》的制定不仅为高校专业发展和学科建设提供了方向指导，更为高校卓越工程师培养提出了具体要求。为此，高校应结合《标准》要求，理性分析校内卓越工程师培养面临的生源选拔机制不健全、教师队伍有待加强、校企合作有待深化及组织保障体系有待健全等问题，采取有力举措解决问题并探索建立卓越工程师培养体系，促进“双一流”院校工程教育体系的与时俱进，为推动中国从工程教育大国向工程教育强国迈进贡献力量。

（吕丹丹，南京工业大学教务处助理研究员，硕士，江苏南京 211816）

（原文刊载于《数字印刷》2022年第4期）