



江西科技师范大学

高教动态

2023 年第 1 期（总第 8 期）

发改办高教所

2023 年 02 月 23 日

编者按 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，建设具有中国特色、世界水平的工程师培养体系，本期我们主要围绕卓越工程师培养这一主题进行编辑，以供参阅。

—编者

本期要目

◆高教资讯

★教育部 工业和信息化部 中国工程院

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

◆专家观点

★ 吴晨：着力培养大批卓越工程师

★ 孙智勇：担当培养造就战略科学家和卓越工程师重大使命

★ 尤政：培养卓越工程师，要在校企间形成“旋转门”

◆学术研究

★ 深化拓展新工科建设 培养新时代卓越工程师（金东寒）

★ 培养大批堪当民族复兴重任的新时代卓越工程师（林 健）

★ 新时代卓越工程师核心能力：基于扎根理论的探索性研究（郑丽娜
姜子娇 雷 庆）

★ 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）

◆他山之石

★ 独辟蹊径的卓越工程师培养之道——欧林工学院的人才教育理念与
实践（李曼丽）

★ 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）

★ 德国应用科学大学模式对实施“卓越工程师培养计划”的启示

（刘建强）

● 高教资讯

教育部 工业和信息化部 中国工程院 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

高教〔2018〕3号

各省、自治区、直辖市教育厅（教委）、工业和信息化主管部门，新疆生产建设兵团教育局、工信委，有关部门（单位）教育司（局），部属各高等学校、部省合建各高等学校：

为适应新一轮科技革命和产业变革的新趋势，紧紧围绕国家战略和区域发展需要，加快建设发展新工科，探索形成中国特色、世界水平的工程教育体系，促进我国从工程教育大国走向工程教育强国。根据《教育部关于加快建设高水平本科教育 全面提高人才培养能力的意见》，现就实施卓越工程师教育培养计划 2.0 提出以下意见。

一、总体思路

面向工业界、面向世界、面向未来，主动应对新一轮科技革命和产业变革挑战，服务制造强国等国家战略，紧密对接经济带、城市群、产业链布局，以加入国际工程教育《华盛顿协议》组织为契机，以新工科建设为重要抓手，持续深化工程教育改革，加快培养适应和引领新一轮科技革命和产业变革的卓越工程科技人才，打造世界工程创新中心和人才高地，提升国家硬实力和国际竞争力。

二、目标要求

经过 5 年的努力，建设一批新型高水平理工科大学、多主体共建的产业

学院和未来技术学院、产业急需的新兴工科专业、体现产业和技术最新发展的新课程等，培养一批工程实践能力强的高水平专业教师，20%以上的工科专业点通过国际实质等效的专业认证，形成中国特色、世界一流工程教育体系，进入高等工程教育的世界第一方阵前列。

三、改革任务和重点举措

1. 深入开展新工科研究与实践。加快新工科建设，统筹考虑“新的工科专业、工科的新要求”，改造升级传统工科专业，发展新兴工科专业，主动布局未来战略必争领域人才培养。深入实施新工科研究与实践项目，更加注重产业需求导向，更加注重跨界交叉融合，更加注重支撑服务，探索建立工程教育的新理念、新标准、新模式、新方法、新技术、新文化。推进分类发展，工科优势高校要对工程科技创新和产业创新发挥关键作用，综合性高校要对催生新技术和孕育新产业发挥引领作用，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。

2. 树立工程教育新理念。全面落实“学生中心、产出导向、持续改进”的先进理念，面向全体学生，关注学习成效，建设质量文化，持续提升工程人才培养水平。树立创新型、综合化、全周期工程教育理念，优化人才培养全过程、各环节，培养学生对产品和系统的创新设计、建造、运行和服务能力。着力提升学生解决复杂工程问题的能力，加大课程整合力度，推广实施案例教学、项目式教学等研究性教学方法，注重综合性项目训练。强化学生工程伦理意识与职业道德，融入教学环节，注重文化熏陶，培养以造福人类和可持续发展为理念的现代工程师。

3. 创新工程教育教学组织模式。系统推进教学组织模式、学科专业结构、人才培养机制等方面的综合改革。打破传统的基于学科的学院设置，在科研实力强、学科综合优势明显的高校，面向未来发展趋势建立未来技术学院；在行业特色鲜明、与产业联系紧密的高校，面向产业急需建设与行业企业等共建共管的现代产业学院。推动学科交叉融合，促进理工结合、工工交叉、

工文渗透，孕育产生交叉专业，推进跨院系、跨学科、跨专业培养工程人才。

4. 完善多主体协同育人机制。推进产教融合、校企合作的机制创新，深化产学研合作办学、合作育人、合作就业、合作发展。积极推动国家层面“大学生实习条例”立法进程，完善党政机关、企事业单位、社会服务机构等接收高校学生实习实训的制度保障。探索实施工科大学生实习“百万计划”，认定一批工程实践教育基地，布局建设一批集教育、培训及研究为一体的共享型人才培养实践平台，拓展实习实践资源。构建产学研合作协同育人项目三级实施体系，搭建校企对接平台，以产业和技术发展的最新需求推动人才培养改革。

5. 强化工科教师工程实践能力。建立高校工科教师工程实践能力标准体系，把行业背景和实践经历作为教师考核和评价的重要内容。实施高校教师与行业人才双向交流“十万计划”，搭建工科教师挂职锻炼、产学研合作等工程实践平台，实现专业教师工程岗位实践全覆盖。实施工学院院长教学领导力提升计划，全面提升工程意识、产业敏感度和教学组织能力。加快开发新兴专业课程体系和新形态数字课程资源，通过多种形式教师培训推广应用最新改革成果。

6. 健全创新创业教育体系。推动创新创业教育与专业教育紧密结合，注重培养工科学生设计思维、工程思维、批判性思维和数字化思维，提升创新精神、创业意识和创新创业能力。深入实施大学生创新创业训练计划，努力使50%以上工科专业学生在校期间参与一项训练项目或赛事活动。高校要整合校内外实践资源，激发工科学生技术创新潜能，为学生创新创业提供创客空间、孵化基地等条件，建立健全帮扶体系，积极引入创业导师、创投资金等社会资源，搭建大学生创新创业项目与社会对接平台，营造创新创业良好氛围。

7. 深化工程教育国际交流与合作。积极引进国外优质工程教育资源，组织学生参与国际交流、到海外企业实习，拓展学生的国际视野，提升学生全

球就业能力。推动高校与“走出去”的企业联合，培养熟悉外国文化、法律和标准的国际化工程师，培养认同中国文化、熟悉中国标准的工科留学生。围绕“一带一路”建设需求，探索组建“一带一路”工科高校战略联盟，搭建工程教育国际合作网络，提升工程教育对国家战略的支撑能力。以国际工程教育《华盛顿协议》组织为平台，推动工程教育中国标准成为世界标准，推进注册工程师国际互认，扩大我国在世界高等工程教育中的话语权和决策权。支持工程教育认证机构走出国门，采用中国标准、中国专家、中国方法、中国技术评估认证海外高校和专业。

8. 构建工程教育质量保障新体系。建立健全工科专业类教学质量国家标准、卓越工程师教育培养计划培养标准和新工科专业质量标准。完善工程教育专业认证制度，稳步扩大专业认证总体规模，逐步实现所有工科专业类认证全覆盖。建立认证结果发布与使用制度，在学科评估、本科教学质量报告等评估体系中纳入认证结果。支持行业部门发布人才需求报告，积极参与相关专业人才培养的质量标准制定、毕业生质量评价等工作，汇聚各方力量共同提升工程人才培养水平，加快建设工程教育强国。

四、组织实施

1. 完善实施保障机制。深化与有关部门合作，组建专家组、工作组。充分发挥理工科专业类教学指导委员会作用，统筹各领域卓越工程师教育培养计划 2.0 实施。充分发挥新工科研究与实践专家组、卓越工程师教育培养计划专家委员会以及各行业卓越工程师教育培养计划专家组的作用，统筹推进计划实施。

2. 加强政策支持。教育部、工业和信息化部、中国工程院等部门在专业设置、人员聘用与评价制度、国际合作交流等方面给予相关高校统筹支持。各省（区、市）有关部门要加强省域内政策协调配套，提供有力的政策保障。各高校要根据本校实际情况，加大国家、省、校政策的衔接、配套、完善、执行力度。

3. 加大经费保障。中央高校应统筹利用中央高校教育教学改革专项等中央高校预算拨款和其他各类资源，结合学校实际，支持计划的实施。各省（区、市）应结合教育教学改革实际情况，统筹地方财政高等教育资金和中央支持地方高校改革发展资金，引导支持地方高校实施好计划。

4. 强化监督检查。教育部会同有关部门指导计划实施，采取适当方式进行绩效评价，建立动态调整机制；加强对典型案例的总结宣传，发挥示范引领作用。各省（区、市）有关部门加强对计划实施过程跟踪，及时发现建设中存在的问题，提出改进意见和建议；加强实施过程管理，强化动态监测，形成激励约束机制，增强建设实效。各高校要对照本校计划实施方案，在实施过程中及时总结，主动发布自评报告、进展情况及标志性成果，接受社会监督，确保各项改革举措落到实处、取得实效。

教育部 工业和信息化部 中国工程院

2018年9月17日

● 专家观点

吴晨：着力培养大批卓越工程师

2021年9月，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，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。”今年政府工作报告提出，“加快建设世界重要人才中心和创新高地，完善人才发展体制机制”。

如何培养大批卓越工程师？求是网记者采访了全国人大代表、北京市建筑设计研究院有限公司总建筑师、首钢集团总建筑师吴晨。

1. 求是网：请您谈一谈当前着力培养大批卓越工程师有何重大意义？

吴晨：习近平总书记指出：“综合国力竞争说到底人才竞争。人才是衡量一个国家综合国力的重要指标。国家发展靠人才，民族振兴靠人才。”中国工程师作为一个为社会发展和人民福祉作出巨大贡献的职业群体，随着近现代产业革命和经济发展的进程而逐步形成、发展并壮大，创造了“两弹一星”、载人航天、探月工程等一大批重大工程科技成就。中国工程师队伍是建设人才强国、制造强国的中坚力量，“工程师红利”已成为中国经济高质量发展的重要驱动力。今天，中国工程师承担着新时代赋予的新使命，要持续传承和发扬工程师的科学奉献精神，在全面建设社会主义现代化国家新征程中不断发挥更大作用、作出更大贡献。

2. 求是网：完善工程师培养体系，您认为需要从哪些方面加强？

吴晨：2021年召开的中央人才工作会议把“培养大批卓越工程师”作为“加快建设国家战略人才力量”的重要内容，为工程师队伍的人才培养指明了方向。我国目前的工程师队伍总量超7000万。截至2020年底，累计有3588万人取得各类专业技术人员职业资格证书，初步建立了一支规模宏大、结构

合理、素质优良的工程师人才队伍。我国高素质劳动力群体正在壮大，研发投入和劳动力受教育程度的提高将助力“工程师红利”逐步显现。

卓越工程师培养对象按照什么专业继续学习并完成学业，以及如何激发他们在实践中的创新活力等，都是工程师培养中应完善的地方。我们迫切需要创造有利于工程师成长的开发培养、选拔使用、引进聚集的体制机制，为制造强国奠定人才基础。可以从四方面着手：

一是改进教育体系，实行教育分流。从顶层设计上保障工程师培养工作的实施，建立科学的考评体系。根据不同学科领域人才成长发展的规律，实行分类评价，形成并实施更具精准性和灵活性、有利于潜心研究和创新的评价体系，突出工程师培养对于知识体系、能力素质及创新能力的要求，围绕智能制造要求构建工程师培养教育平台。

二是支持和引导“专精特新”企业为工程师提供机遇和平台。鼓励具有“专业化、精细化、特色化、新颖化”特征的中小工业企业，完善以企业行业为主体、职业院校为基础、学校教育与企业培养紧密联系、政府推动与社会支持相互结合的工程师人才培养体系，为工程师提供施展技艺的舞台。

三是加强实践投入，注重实训能力培养。通过校内外联合培养的方式构建从实验到实践的全流程培养平台，加强工程师职业教育与培训，通过搭建综合实训基地、加快仪器设备更新、搭建多领域校企共建平台、广泛采纳意见并适时调整改进工程师培养方案等方式，促进工程师综合实践能力提升。

四是优化产业环境，鼓励工程师参与实践创新。加快进行产业基础能力评估，准确识别“卡脖子”、“短板”环节，不断夯实产业基础，开展共性技术、高端技术、前瞻技术的联合攻关，解决制造业发展难题，助力工程师参与创新合作，激发创新创业活力。

3. 求是网：在营造良好社会氛围方面，您认为有哪方面工作可以做？

吴晨：精神的力量是无穷的。习近平总书记指出：“要在全社会弘扬精益求精的工匠精神，激励广大青年走技能成才、技能报国之路。”工匠精神

是制造业的灵魂，是一种精雕细琢、精益求精、追求完美的理念和精神。劳模精神、劳动精神、工匠精神是以爱国主义为核心的民族精神和以改革创新为核心的时代精神的生动体现，是鼓舞全党全国各族人民风雨无阻、勇敢前进的强大精神动力。工程师是践行工匠精神的重要力量，重视工程师劳动成果是中国向制造强国发展的必然条件之一。我们应积极在全社会大力弘扬劳模精神、劳动精神、工匠精神，以此促进社会对工程师的尊重和认可。

此外，积极营造崇尚工程科技、崇尚创新文化、尊重工程师，营造有利于工程师职业成长的良好社会氛围，都能促进中国工程师更好奋进新征程、建功新时代。

吴晨：全国人大代表、北京市建筑设计研究院有限公司总建筑师、首钢集团总建筑师

来源：求是网

孙智勇：

担当培养造就战略科学家和卓越工程师重大使命

国家发展靠人才，民族振兴靠人才。习近平总书记在中央人才工作会议上指出，要大力培养使用战略科学家，培养大批卓越工程师。中央企业是党执政兴国的重要支柱和依靠力量，是国家战略科技力量，必须提高政治站位，服务国家战略，担负重大使命，在培养造就战略科学家和卓越工程师中充分发挥作用。

深刻认识培养造就战略科学家和卓越工程师的重大意义

培养造就战略科学家和卓越工程师，无论是在国家层面、社会层面还是企业层面，都具有重大意义。

培养造就战略科学家和卓越工程师是建设制造强国的需要。制造业是我国的立国之本、强国之基。装备制造业是制造业的脊梁。当今世界百年未有之大变局加速演进，新一轮科技革命和产业变革突飞猛进，科技创新广度、深度、速度、精度前所未有，科技领域的竞争已经成为国际竞争的主战场，是国家实力和意志博弈的核心所在，谁掌握了科技创新的主动权，谁就掌握了国际竞争的决胜权。战略科学家是科学帅才，是国家战略人才力量中的“关键少数”，卓越工程师是顶尖工程技术人才，是推动我国制造业水平向高端迈进的重要支撑力量。建设制造强国、实现高水平自立自强，迫切需要堪当重任的战略科学家和卓越工程师队伍。

培养造就战略科学家和卓越工程师是建设世界重要人才中心和创新高地的需要。加快建设世界重要人才中心和创新高地，是党中央深刻把握世界大势和发展规律，准确判断我国发展阶段和历史方位，在更高起点、更高层次、更高目标上对加快建设人才强国作出的顶层设计和战略谋划。纵观人类发展史，科技和人才总是向发展势头好、文明程度高、创新最活跃的地方集聚，

并且依靠人才的集聚效应对国家快速发展带来了巨大的促进作用。培养造就一定数量的战略科学家和大批卓越工程师是打造世界重要人才中心和创新高地的重要标志。

培养造就战略科学家和卓越工程师是建设世界一流企业的需要。人才优势是最有潜力、最可依靠的优势，建设世界一流企业必须依靠世界一流的顶尖人才支撑和保障，目前我国在 5G、高铁、航天、核电、水电等高科技领域的中央企业能够进入世界第一梯队，与战略科学家和卓越工程师等战略人才作出的突出贡献密不可分。科技创新能力是打造世界一流企业的重要标志，中央企业只有坚持创新驱动发展，加快关键核心技术攻关，勇当原创技术的“策源地”、现代产业链的“链长”，才能打造更多的世界一流企业。战略科学家和卓越工程师都是国家重要战略人才，战略科学家更加侧重前端的科技前沿探索，卓越工程师更加侧重后端技术创新工程化应用，一个是宏观战略层面，一个是微观执行层面，两者既有效衔接，又互为补充，只有战略和战术相结合，方向和路径相结合，前端与后端相结合，才更有利于推动重大科技项目的实施、孵化和落地，提升中央企业的核心竞争力。

勇于担负培养造就战略科学家和卓越工程师的重大使命

习近平总书记指出，战略人才站在国际科技前沿、引领科技自主创新、承担国家战略科技任务，是支撑我国高水平科技自立自强的重要力量，要把建设战略人才力量作为重中之重来抓。中央企业必须增强历史责任感和使命感，充分发挥中央企业的政治优势、平台优势、人才优势、科研优势、资源优势等，充分发挥创新主体作用，深化产学研用合作，为培养造就战略科学家和卓越工程师队伍作出积极贡献。

坚持党的全面领导。大力实施人才强国战略，坚持党对培养造就战略科学家和卓越工程师工作的全面领导。牢固确立人才引领发展的战略地位，充分发挥党委（党组）的全方位组织领导作用，做好宏观谋划、重要政策统筹、重大问题研究。完善工作机制，建立健全统分结合、协调高效、优势互补、

整体联动的人才工作运行机制，形成党委（党组）统一领导，党管人才工作领导小组牵头抓总，用人主体单位各司其职、密切配合的人才工作新格局。落实主体责任，强化“一把手”的战略人才意识，加大科技创新和人才培养费用支出，把培养造就战略科学家和卓越工程师作为衡量人才工作成效的重要标准。加强战略科学家和卓越工程师的联系服务，经常听取意见和建议，协调解决遇到的困难，支持科学家卓有成效地开展工作。

深化体制机制改革。坚持目标导向、问题导向、结果导向，切实破除在人才培养、使用、评价、服务、支持、激励等方面的体制机制障碍，营造有利于更多战略科学家和卓越工程师涌现的良好环境。要加大授权放权力度，发挥用人主体单位在人才培养、引进、使用中的积极作用，为各类人才在不同单位发挥作用、释放活力创造有利条件。积极为人才松绑，完善人才管理制度，让人才创业有机遇、发展有平台、事业有成就、生活有保障。完善评价体系，加快建立以创新价值、能力、贡献为导向的人才评价体系，降低或消除在院校、资历、头衔、学术成果等方面设置的不合理门槛，充分体现知识、技术等创新要素价值。创新人才激励机制，深入推进项目跟投、超额利润分享、技术入股等中长期激励措施，发挥非物质激励作用，采取“揭榜挂帅”等方式，真正做到“谁能干就让谁干”。

全方位做好培养使用工作。坚持实践标准，结合企业特点，努力培养造就具有深厚科学素质和前瞻性判断力，既能深耕专业，又能总揽全局，在企业战略决策中发挥关键作用的战略科学家。善于在国家重大科技任务担纲领衔者中发现战略科学家，有意识地发现和培养更多具有战略科学家潜质的高层次复合型人才，形成战略科学家成长梯队。服务国家制造强国战略，着眼引领制造业高质量发展、提升中国制造业全球价值链地位，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。坚持把自主培养作为满足我国战略人才需求的主要途径，深化央企间以及央企和高校、科研院所的技术合作，充分利用国家重点实验室、国家

工程研究中心等科研平台，依托国家重大课题和重点科研项目，有效发挥产业链引领带动作用，牵头组织产学研用协同攻关，培养更多的战略科学家和卓越工程师。

全力打造具有中央企业特色的战略科学家和卓越工程师队伍

习近平总书记指出，坚定不移走中国特色自主创新道路。这条道路是有优势的，最大的优势就是我国社会主义制度能够集中力量办大事，这是我们成就事业的重要法宝。中央企业要充分发挥新型举国体制优势，强化各领域协同合作，科学有效配置资源，立足科技自立自强、建设制造强国，不断加强战略科学家和卓越工程师的政治引领、思想引领和文化引领，培养造就一批听党话、跟党走、讲政治、有信念的具有央企特色的战略科学家和卓越工程师队伍。

强化政治引领，服务国家战略。大力弘扬伟大建党精神，强化新时代使命担当，坚持面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，让又红又专成为战略科学家和卓越工程师的鲜明底色。支持和鼓励战略科学家和卓越工程师紧跟世界科技发展大势，根据国家发展急需需要和长远需求，聚焦原创性、引领性、颠覆性技术创新，敢于攻克“卡脖子”关键核心技术，打造原创技术“策源地”，努力多出战略性、关键性重大科技成果。推行共建共享的培养使用理念，探索各央企之间在人才、技术、资源等方面的合作共享，打破人才壁垒墙，降低单个企业的人才成本，以人才共享拓展全方位共享，促进战略科学家和卓越工程师最大限度发挥作用。

强化思想引领，增强系统观念。战略科学家和卓越工程师是国家战略人才、企业领军人才力量的重中之重，培养难度大、周期长、投入高，一方面靠个人努力，但更多需要组织培养和创造条件，要重点引导战略科学家和卓越工程师善于掌握科学的思想方法和工作方法，不断提升能力素养。善于培养和提升战略思维，不仅应该站在中国看世界，更要站在世界看中国，了解

世界的发展趋势，深刻认识中国的发展规律，能够运用世界眼光和全局观念来指导科技创新发展。掌握开展创新创造的工作方法，系统掌握马克思主义的基本原理，立场、观点和方法，并以此作为看家本领，进而武装头脑、指导实践、推动工作。

强化文化引领，勇于创新创造。加强对战略科学家和卓越工程师的文化引领，大力弘扬科学家精神，弘扬胸怀祖国、服务人民的爱国精神，勇攀高峰、敢为人先的创新精神，追求真理、严谨治学的求实精神，淡泊名利、潜心研究的奉献精神，集智攻关、团结协作的协同精神，甘为人梯、奖掖后学的育人精神。传承发扬各具特色的企业精神，引导战略科学家和卓越工程师充分吸纳中央企业在中国共产党领导下形成的宝贵精神财富，将其转化为创新前进的不竭动力。鼓励创新创造，鼓励新想法、新尝试、新发现、新发明，尊重不同人的个性和特点，尊重自由探索和首创精神，努力造就富有创意、善于创新的人才，产生具有创新价值、独领风骚的创新成果。

孙智勇：国家开发投资集团有限公司党组副书记、董事

来源：人民日报

尤政：培养卓越工程师，要在校企间形成“旋转门”

受疫情的持续影响，今年毕业的大学生面临着更加严峻的就业形势。同时，在一些战略性新兴产业，优秀的工程师仍供不应求。随着中国经济从“人口红利”迈向“工程师红利”，破解人才培养和市场需求的结构性矛盾、培养更多卓越工程师成为高质量发展的基石。

近日，中国工程院院士、华中科技大学校长尤政接受《中国科学报》专访时表示，在新一轮科技革命和产业变革的双重影响下，如何做好卓越工程师的培养，成为了回应国家需求、解决实际工程问题的关键一步，也是增加学生竞争力的重要方式。

卓越工程师是回应国家需求的关键

当前，科技领域的自立自强，以及关键核心技术的攻关备受社会关注。尤政认为，无论是集成电路、工业软件还是发动机等技术领域，要攻克技术难题，满足国家重大需求，解决实际问题，都离不开卓越工程师。

作为工业制造大国，我国必须打赢产业基础高级化和产业链现代化攻坚战。其间，大学特别是与制造业相关的工程学科能发挥两大作用。一是加强基础科学和高科技领域的研究，产生具有自主知识产权的关键核心技术。二是培养高水平创新人才，不断向制造业注入人才活力。

前者关注的是从0到1的基础创新，后者则是从1到10的技术突破。实现的路径就是科教结合和产教融合。其中，要产生原创性进步，并在重大科学问题上有所突破，需要打一场持久战。

对于高校而言，培养大批人才的目的更多是推动技术进步，并做出解决技术难点的发明。通过产教融合，将学生的创新能力与工程实践相结合，最终将其培养成为卓越工程师，则是实现这一目标的方式。

尤政介绍，新中国成立初期，国家培养的工科人才叫“红色工程师”，

主要解决落后工业运行过程中的技术问题。他们首先需要政治坚定，愿意服务于国家；其次要有很高的工程素养和丰富的工程实践经验。“按照图纸把事情做好，做出合格的产品”就是评价标准，这与当时的生产力水平相符。

但是，按照过去的培养方式并不能解决当前的问题。科技革命、产业革命要求卓越工程师必须具有突出的技术创新能力，善于解决复杂工程问题，以创造具有核心竞争力的产品为目标。

“相较于普通工程师，卓越工程师首先要有扎实的理论基础，能发现问题和解决问题。另外，还要有很强的创新能力、宽广的知识面。同时具备这三点才能称得上‘卓越’。”尤政说。

对于这一点，他有着非常深刻的认识。

尤政本科所学为机械专业。过去，这个专业主要学习如何通过机械传动的方式做机械装备，以提高加工能力。有些单位由于没能及时拓展知识结构，如数控技术等，导致其在进入数控时代后，难以跟上信息化的潮流，产品落后，高端数控装备大都依赖进口。

“后来，华中科技大学意识到机械化要往信息化走，在数控方面做出了自己的设计工具和控制工具，也为后来的数控机床的自主化奠定了基础。”尤政认为，这提醒我们必须要把信息技术和传统制造业结合起来创新发展。

尤政表示，面对当前的国际形势，我们首先要做的是改变“以前用惯的东西，现在还接着用”的惯性思维，要做到“手中的核心技术能让别人羡慕”，并成为相互交流的砝码。

学校不应追求出产品，要与企业合作

我国从2010年启动卓越工程师教育培养计划1.0，并在2018年提出加快建设发展新工科，实施卓越工程师教育培养计划2.0。经过十几年的发展，目前我国已建成了世界最大规模的工程教育体系。在国内，工科的在学规模占全部学科的三分之一，从国际上看，我国的工科在学规模也占全球的三分之一。

然而，当下的卓越工程师培养面临着诸多挑战——学生的大工程观和解决复杂工程问题的能力有待提升、工程教育评价机制仍不完善等。受这些因素的影响，我国工程师人才的结构矛盾也越发突出。

“大学里不可能引入集成电路的生产线，与企业合作、产教融合是培养卓越工程师最重要的一环。”尤政表示，当前的卓越工程师培养工作仍需集中解决三方面问题。

首先是培养体系的变化。卓越工程师培养除了要重视基础理论、创新、工程方面的素质外，还要有学科交叉融合思维，但仅靠本科的四年时间并不足以完成全过程。因此，卓越工程师的培养体系要从过去的本科教育为主，一直延伸到博士阶段。人才培养体系变了，相应的教材体系、实验培养体系也都要发生改变。但这绝不是开几门新课、增加实训课程内容就能解决的。

其次是导师队伍的建设。这涉及调动高校和企业积极性的问题。在国外，来自业界的产业教授与高校教授一起，形成了工程师培养的联合体。许多大学教授都有过在大企业的从业经验，甚至有人曾担任企业的总工程师，退休后回到学校去教学。

在去年10月履新华华中科技大学校长之前，尤政曾担任清华大学副校长等职。尤政表示，清华大学曾与德国亚琛工业大学开展过联合培养。在这一过程中，让他感受颇深的一点是，同一门课程，两国的教材差不多，但教师对课程的理解程度却相差甚远。在德国，一些教授来自企业，能结合自身体会把教材讲得很活，国内的老师则多是从科研的角度出发，一旦落在工程上，就很难讲得透。

然而，在国内现行的评价体制下，从企业来到高校的这些教授很难“待得住”。尤政认为，如何发挥好这些人才在企业一线的经验，在企业与高校间形成一道“旋转门”，对卓越工程师的导师队伍建设十分重要。

最后，还要落到评价体系改革上。尤政坦言，从技术层面上讲，人才培养的考核指标周期太长。“我们很难做到给培养出好学生的老师加分，因为

学生要在毕业五年、十年后才能成才，很难与现实的教师评价完全挂钩。”

相比之下，发论文成为高校教师更显性的衡量指标。尤政认为，这是理念转变的过程，也是体制机制转化的过程。只有通过改革评价体系，让老师把培养学生作为第一目标，并通过一系列的教学让学生感受到卓越工程师教育的正向激励，才能形成正反馈。

“从事科研工作带来的获得感是科研人员执着于科研的一个重要驱动力。卓越工程师培养也一样，要让老师和学生都有实实在在的收获，才能真正做好。”尤政说。

没有好平台，工科难出好成果

当下的交流，更多是平台间的交流。

尤政表示，研究平台是科研的基础条件。特别是在工科领域，没有高水平平台很难培养出优秀人才，更难出大成果。在清华大学工作期间，尤政总结出了一条经验：对于理工科及医科的发展，高水平平台起着决定性作用。有了这些平台，就可以吸引领军科学家，就能做成大事。

在卓越工程师培养上，高水平平台的作用依然不可小觑。尤政表示，从华中科大的经验看，只有具备了一定的实践条件，形成了较为完备的课程体系，才能解决产教脱节的问题。

目前，华中科技大学已建设有脉冲强磁场、精密重力测量两座国家大科学装置，同时还建立了武汉光电国家研究中心、数字化设计与制造国家制造业创新中心。近期，数字建造、智能设计与数控两个国家技术创新中心也将落户该校。

尤政表示，对卓越工程师培养来说，这些重大科技平台也是重要的人才培养实训平台。由于许多平台的设备都由华中科大自行设计制造，学生想从任何角度切入开展研究都是可能的。这充分体现出平台在人才培养中的作用。

“除了和企业联合培养卓越工程师，高校自身的重大项目也是培养卓越工程师的载体。”尤政表示，这些基础设施的建设过程、大项目的研究过程，

也是源源不断培养人才的过程，这使得高校在人才培养过程中具备了一定的独立性和自主性。

尤政认为，许多高校的工程实践创新中心本质上是产学研联合体。学生参与的过程，也是工程训练和创新的过程。这是高校培养人才最有利的条件，也是其应该出更多卓越工程师的地方。

当前形势下，要实现科技的自强自立，需要更加注重创新体系的完整性，要建立完备的创新链条，发挥高校、科研院所、企业各自的优势。在这一创新生态链上，科学家能专心从事前沿创新，工程师能把科学家的创新想法变成可应用的技术，产业界能把可应用的技术转化成产品，产学研各司其职，保障每个人都能安心把事情做好。

尤政现在还担任中国科协副主席、教育部科技委常务副主任。他透露，作为创新生态链上的重要一环，目前教育部正在联合中国工程院等单位，探索卓越工程师更好的培养模式。去年，中国科协专门成立了中国工程师联合体。高校作为培养人的基层单位，也要对此有所思考。

“这样我们的路才会越走越宽，也才能形成良好的创新态势。”尤政说。

尤政：中国科协副主席、中国工程院院士、华中科技大学校长

来源：中国科学报

● 学术研究

深化拓展新工科建设 培养新时代卓越工程师

金东寒

（金东寒，天津大学校长、全国新工科建设工作组组长）

党的十八大以来，在以习近平同志为核心的党中央坚强领导下，我国高等工程教育界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，心怀“国之大者”，持续深化工程教育改革与创新，先后实施了两轮卓越工程师教育培养计划，并以新工科建设驱动高等工程教育改革与发展，正在形成中国特色、世界水平的工程教育培养体系，努力培养爱党报国、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，为应对新一轮科技革命和产业变革提供坚实人才支撑。

以新工科建设推动工程教育改革的重大战略意义

新工科建设是在应对新一轮科技革命和产业变革、建设制造强国背景下作出的重大战略抉择。当前全球范围内新一轮科技革命与产业变革加速发展，以人工智能、大数据、云计算等为代表的新一代信息技术，不仅推动了工业生产方式、商业运营模式和社会生活方式的深刻变革，同时将人类带入了“人机物”三元融合的万物智联时代，颠覆了人们长期形成的认知理念、思维模式和活动方式。面对新工业革命掀起势不可挡的巨变，中国、德国、美国和日本等制造大国相继出台国家数字化发展战略，力求保持先进制造业的领先地位和技术竞争优势。以麻省理工学院“新工程教育转型”计划（NEET）为代表的多所大学深入推进新一轮工程教育改革和创新，世界工程教育进入了快速和根本性变革时期，我国新工科建设在此背景下应运而生。当前，我国已经开启全面建设社会主义现代化国家新征程、向第二个百年奋斗目标进军

的新发展阶段，需要深入贯彻新发展理念，加快构建新发展格局，推进由制造大国向制造强国转变、中国制造向中国智造转变，在人才需求、科技创新、社会服务等方面都对传统工程教育理念、学科专业结构、人才培养模式提出了新的要求。中央人才工作会议的召开，擘画了新时代人才工作的宏伟蓝图，开启了高等工程教育高质量发展的新征程。站在建设工程教育强国的新起点，新工科建设需要再深化和再拓展。

新工科建设对于培养卓越工程师，形成具有中国特色、世界水平的工程教育体系具有重大意义。当前，我国已经形成了门类齐全、世界最大规模的工程教育体系，我国高等工程教育规模居世界第一，整体实力进入世界第一方阵。但聚焦工程创新人才培养的一些微观方面，还需要加快打通“工程教育改革的最后一公里”，建立“政校行企社”协同的工程教育人才培养体系和治理体系，从而为建设世界重要人才中心和创新高地筑牢战略根基。新工科建设作为服务工程教育强国和制造强国战略的务实之举，在积极服务国家战略人才储备、瞄准世界科技前沿和聚焦新工业革命核心领域取得创新突破、破解“卡脖子”难题等方面必将提供强有力支撑。

新工科建设的阶段性成就

自2017年教育部提出“新工科”建设以来，“复旦共识”“天大行动”“北京指南”——新工科建设“三部曲”得到了工程教育界的高度关注和迅速响应。2019年4月，教育部在天津大学召开“六卓越一拔尖”计划2.0启动大会，系统推出了新工科、新医科、新农科、新文科，即“四新”建设，掀起了高等教育的质量革命。新工科建设取得了重要进展，工程教育改革取得了历史性成就。

1. 新工科建设成为卓越工程师教育培养的重要载体

新工科引领“卓越工程师教育培养计划”持续迭代升级，两轮卓越工程师教育培养计划取得了积极成效。2010年6月，教育部在天津大学召开“卓越工程师教育培养计划”启动会，拉开了第一轮卓越工程师教育培养计划的

序幕。第二轮卓越工程师教育培养计划于 2017 年启动。2018 年 9 月，教育部与工业和信息化部、中国工程院联合印发《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》，旨在以新工科建设为重要抓手，持续深化工程教育改革，几乎所有开设工科专业的高校相继参与其中。2017 年以来新设立的战略紧缺专业占工科专业总数的比例超过 25%。两轮卓越工程师教育培养计划的实施，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。

2. 新工科建设形成工程教育改革“百花齐放”的新格局

新工科建设成为各高校推动人才培养综合改革的重要抓手，强调以组织模式创新整合教育教学资源，注重工程教育改革的系统性、整体性。教育部明确新工科建设的重点领域，布局建设 12 所未来技术学院、50 所现代产业学院、33 所特色化示范性软件学院、11 个一流网络安全学院、28 个示范性微电子学院等一批专业特色学院。同时，各高校在实践探索中涌现出一大批新工科建设优秀典型案例，取得了各具特色的育人成效，新工科建设呈现百花齐放、你追我赶的新态势、新格局。

3. 新工科建设成果引领工程教育高质量发展

新工科建设强调在实践中开展研究，在研究中解决实践问题。为统筹服务全国新工科建设，先后成立全国新工科教育工作组、全国新工科教育创新中心、工科优势高校卓越大学联盟、地方高校新工科研究与实践工作组等机构，很多高校专门设立新工科建设办公室、新工科建设领导工作组、新工科教育研究所（中心）等机构，致力于形成新工科建设理论研究与实践探索的良性互动。2019 年 12 月，教育部“深化新工科建设座谈会”在天津大学召开，提出了新工科建设“再深化、再拓展、再突破、再出发”的时代命题，推动新工科建设往深里走、往实里去。

4. 新工科推动工程教育教学质量系统提升

各高校围绕“新的工科专业，工科专业的新要求，交叉融合再出新”的

总体思路，将新工科理念落实到教师、学生、专业、课程、教材、教学设施等具体教学要素建设中，统筹推进新的工科专业建设发展和传统工科专业改造升级。遴选建设 3057 个国家级一流工科专业建设点（占比 38%）；建设 1709 门国家级一流工科课程（占比 33%）；130 种工科优秀教材获评国家教材奖（占比 33%）；开发新形态教学资源 3000 余条；首批推进 400 个左右虚拟教研室建设试点。2017 年以来，新增人工智能、智能制造工程、虚拟现实技术、区块链工程等工科本科专业 71 种；现有 260 种工科类本科专业中，战略性新兴产业相关专业占比超过 25%（截至 2022 年 5 月）。

新工科建设的现实挑战

当前新工科建设在人才培养质量、产教融合深度、教师教育评价机制等方面还面临一些现实挑战。

1. 新工科人才培养质量需要再提高

新工科建设之“新”关键是要弄清工程教育改革面临的“新”问题，对工程人才培养的“新”要求，以及所要达成的“新”质量。新兴产业的兴起和传统产业的转型升级，对高等工程人才的知识结构、能力、素养等方面都提出了新的要求。需要在人才培养模式、课程体系、教学内容、教与学方法等方面进行全方位改革与持续创新，学校实训中心的升级改造滞后于企业的技术改造，加强工程人才的精神和实践能力的培养。

2. 新工科产教融合深度需要再加强

新工科建设就是要面向产业需求，培养企业需要的卓越工程创新人才。科技革命和产业变革催生了一批战略性新兴产业领军企业，引领着相关行业的快速发展，这些企业无论是装备水平还是在特定领域的创新能力都走在了很多大学的前面。如果大学对企业的需求了解得不深入，就无法从根本上解决工程人才培养与生产实践脱节的问题。这就要求在产教融合的宏观管理层面、校企合作的办学治校层面以及培养过程的教育教学层面加强系统设计，尤其要加强体制机制创新，这样才能促进教育链、人才链、产业链与创新链

“四链”的有机和有效衔接。

3. 新工科教育评价机制需要再完善

受传统办学理念和实践惯性的影响，在传统评估指标体系中，重文章、重奖项、轻工程创新实践的现象还不同程度存在。部分工科专业教师从校门到校门，工程实践经验不足、对产业理解不深，进而导致工程课程教学胜任力不足。究其原因，很大程度源自教师考核评价这个指挥棒问题，亟需全面改革工科教师考核评价体系，扭转以论文、奖项等指标为导向的简单评价方法，探索更加全面科学的综合评价体系。

面向未来新工科建设的思考

立足新时代、面对新要求，新工科建设完全有决心、有能力探索形成中国特色、世界水平的工程创新人才培养体系，培养大批爱党报国、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。

1. 准确把握卓越工程师培养目标

聚焦卓越工程师的核心素养，把握未来工程科技发展趋势，超前研判未来工程人才需求，将“价值塑造、能力培养、知识传授”三位一体育人理念扎扎实实贯穿于人才培养全过程。以通识教育、专业教育相结合的课程体系和多学科交叉融合强化工科学生的家国情怀、全球视野、法治意识和生态意识，更加注重培养学生的系统思维、创新思维、批判性思维、数字化思维等，在参与富有挑战性的项目式教学中，提升团队合作、跨学科交叉融合、自主终身学习、职业迁移能力和工程领导力。加快启动工程教育领域系列“101计划”，建好核心课程、核心教材、核心教师团队、核心实践项目，以“四个核心”为有效载体助推卓越工程师培养目标的达成度。促进卓越工程师与工程硕博士培养改革专项的有机衔接，注重培养目标设计的连贯性、衔接性与递进性，探索形成卓越本科、高水平硕士、优秀博士的全链条高等工程教育体系。

2. 深化产教融合协同育人机制

以组织创新推动培养模式变革，持续推进未来技术学院、现代产业学院以及特色专业学院建设，推动产教深度融合，是破解人才培养供给侧与需求侧结构性矛盾的重要路径。要构建“产学研用”融合的新工科教育教学体系，探索建立“学校企业”的协同育人机制，将行业头部企业和具有创新活力的企业引入人才培养方案制定、课程体系构建、课程授课、实习实践等全过程。要推动新工科人才培养平台与企业无缝对接，加强机制创新，切实提升学生解决复杂工程问题的能力。要加强产教融合顶层设计，汇聚政策合力，激发企业参与人才培养的责任，破解工程科技人才培养与工业生产实践脱节的问题。

3. 健全新工科教育质量标准与评价机制

质量标准与评价体系是新工科建设持续改进的重要手段。以提升人才培养质量为核心，借鉴国际工程教育质量标准，结合不同类型高校、不同学科专业特点，以及服务行业企业的实际需求，既强调标准需依托于我国新工科建设的具体现实情境与中国特色，又注重标准达到与全球一流标准的国际可比与实质等效，继而建设基于持续改进的全过程、全方位人才培养质量动态监测机制，构建中国特色、世界水平的新工科质量标准体系。探索建立国际通行的职业工程师制度，推动工程教育专业认证和工程师注册的衔接，并以专业认证为抓手，建设高质量人才培养体系；制定卓越工程师能力评价标准，提升我国高等工程教育的国际影响力和话语权，以先进标准引领工程人才培养质量提升。推进教师分类评价机制改革，探索建立基于贡献、能力与业绩的教师评价体系，强化教师在新工科建设和人才培养过程中的主体责任，充分激发教师的育人热情和创新活力。

4. 建设和完善工程教育多元主体协同治理共同体

新工科建设是一项系统工程，需要构建政府、高校、行业、企业、社会力量等多元主体共同参与的治理体系，推动各利益相关主体形成良好的互动机制和制度规范，持续推进新工科教育的范式变革与迭代创新。要推进分类

管理、分类评价的制度保障措施落地，鼓励综合性高校、工科优势高校、地方高校“三路大军”，根据各自的办学目标定位和社会需求，突出自身优势，走特色化新工科建设之路，提升高等工程教育人才培养的整体实力。要加强政策措施和激励机制设计，形成各级政府宏观指导、行业企业深度参与、各地高校自觉行动的良好格局，推动省级教育行政部门结合区域产业发展需要统筹新工科建设，鼓励行业企业深度参与工程教育人才培养全过程，鼓励高校对接经济社会发展对工程人才的需求，实现人才培养与科技创新的有机结合。要推动高校内部管理体制变革，实现校院学科专业之间的上下联动，以及学院、学科专业与人才市场、行业产业之间的目标协同、过程协同、管理协同。

原文刊载于《中国高等教育》2022年第12期

培养大批堪当民族复兴 重任的新时代卓越工程师

林 健

（林健，清华大学教育研究院教授、学术委员会主任）

2021年9月，习近平总书记在中央人才工作会议上强调，当前“我们比历史上任何时期都更加接近实现中华民族伟大复兴的宏伟目标，也比历史上任何时期都更加渴求人才”；“要培养大批卓越工程师，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”。习近平总书记的重要指示，为深化我国工程教育改革、加快建设具有中国特色、世界水平的工程师培养体系，培养造就大批堪当民族复兴重任的新时代高素质工程师提供了根本遵循。以习近平总书记重要指示为指导，本研究在阐述新时代卓越工程师使命担当的基础上，就培养造就大批堪当民族复兴重任的新时代卓越工程师的核心要素和主要环节进行讨论，包括卓越工程师类型与培养层次、工程学科专业建设、各类高校分工合作、人才教育理念、培养目标和培养标准体系、人才培养方案制定、专业课程建设、教学方式改革、校企全程合作培养、工科教师队伍建设、多方协同育人机制等，以期参与新时代卓越工程师教育培养的高校提供建议和参考。

一、新时代卓越工程师的使命担当

新时代卓越工程师教育培养对我国全面建成社会主义现代化国家、实现第二个百年奋斗目标具有十分重要的意义。卓越工程师与战略科学家、一流科技领军人才和创新团队、青年科技人才一道作为战略人才，共同担负着时代赋予的中华民族伟大复兴的历史使命，他们均需要继承和发扬前辈胸怀祖国、服务人民的优秀品质，为国分忧、为国解难、为国尽责。具体到各自的分工，新时代卓越工程师的使命担当主要有以下四方面。

1. 服务国家若干重大战略的实施。国家近年来提出了一系列重大战略，

包括“制造强国战略”“创新驱动发展”“一带一路”“中国制造2025”“互联网+”等，作为顶尖工程技术人才，新时代卓越工程师是实施这些国家重大战略责无旁贷的重要力量，包括推动中国工程科技创新、提高自主创新能力、加强国际合作与交流、引领制造业水平向高端迈进、提升我国制造业在全球价值链的地位等。

2. 推动产业转型升级和新产业发展。我国经济增长方式的转变和经济结构的调整，不仅需要对传统产业进行转型、改造和升级，而且需要发展通过新技术产业化以及多学科交叉融合形成新的产业，因此，要求新时代卓越工程师立足我国经济长远可持续发展，洞悉全球产业发展态势，把握产业发展规律，成为我国传统产业变革、新产业发展和产业安全维护的开拓者和引领者。

3. 支持实现人民对美好生活的向往。“人民对美好生活的向往”是中国共产党的奋斗目标，让人民生活幸福、满足人民对美好生活的向往是习近平总书记心中的“国之大者”。这一目标的实现，需要各个行业领域的新时代卓越工程师在生态环境保护、健康医疗服务、舒适居住条件、便捷交通出行、网络通信服务等诸多方面担负起义不容辞的责任，在相关项目的构思、规划、建设、使用和维护上注重创新、高效、经济、节能和环保，充分发挥主导和示范作用，支持实现人民对美好生活的向往。

4. 参与构筑国家未来竞争新优势。世界政治经济格局在不断变化，国际竞争日趋激烈，中华民族在复兴道路上面临各种外部压力和挑战，但不论如何，只有实现创新突破、拥有关键核心技术、掌握前沿领域发展主动权，才能赢得国际未来竞争。这就需要新时代卓越工程师具有战略高度、全球视野和未来眼光，与其他战略人才一道，瞄准人工智能、量子信息、集成电路、高端装备制造、脑科学、生物育种、航天航空、深地深海等前沿领域，攻克关键核心技术，破解“卡脖子”难题，参与构筑国家未来竞争新优势。

二、卓越工程师类型与培养层次

完成上述使命担当需要一大批不同类型的新时代卓越工程师的分工合作和共同努力，因此，从教育培养的角度出发，必须对卓越工程师的类型进行划分，这不仅有利于各类高校根据自身的办学层次和工程人才培养优势，准确地选择合适的卓越工程师类型作为本校工程人才培养的主要目标，而且有利于高校针对性地选择合作企业，促进高校与企业在校企合作上进一步明确培养目标与合作内容。

从有利于工程师的培养、使用和管理的角度考虑，工程师类型的划分应遵循四个原则：生命周期原则、成长过程原则、学历层次原则和粗细适中原则。基于此，可将卓越工程师的类型分为服务工程师、生产工程师、设计工程师和研发工程师四种类型。

服务工程师主要从事工程项目建成后的运行、维护与管理，或产品的维修和服务，或生产过程的维护，应具有一定的理论基础、较强的实践动手能力、良好的创新服务能力。

生产工程师主要从事工程项目的建造，产品的生产制造，或生产过程的运行，应具有良好的理论基础，较强的工程实践能力，尤其应具备创新实践能力和一定的人文素质。

设计工程师主要从事工程项目、产品或生产过程的设计和开发，应具有较为宽广的知识面、扎实的理论基础、良好的技术创新能力、较强的工程实践能力和良好的综合素质，具备设计开发出拥有自主知识产权的新产品、新生产过程或新工程项目的能力。

研发工程师主要从事复杂产品、复杂工程或大型工程项目的研究、开发和咨询以及工程科学的研究，应具有宽广的知识面、精深的专业理论基础、超卓的技术创新能力和根植于丰富工程经验的综合素质，具备创造出具有国际竞争力的专利技术、专有技术、尖端产品或高技术含量的工程项目的能力。

虽然各种类型工程师的成长均离不开在企业真实的工程实践环境下、在处理和解决真实的复杂工程问题过程中的历练、培养和提高，但他们同样离

不开系统专业的工程教育。对应我国大学专科、本科、硕士和博士四个层次的工程教育，卓越工程师的类型和高校工程人才培养层次有以下对应关系。

专科层次的培养类型应是服务工程师，本科层次的培养类型应是生产工程师和服务工程师，硕士层次的培养类型应是设计工程师和生产工程师，博士层次的培养类型既可以是面向大型复杂工程项目的研发工程师，也可以是从事工程科学技术研究的研究者。必须指出的是，以上对应关系是一般意义上的考虑，并不说明任何一类工程师的成长均需要严格经历对应学历层次的工程教育，事实上，通过在工业企业的在职学习、锻炼和培养，也能够使没有接受硕士层次工程教育者成为设计工程师和没有接受博士层次工程教育者成为研发工程师。

需要说明的是，服务工程师和生产工程师的优势集中表现在工程实践能力和创新实践能力上，但实践动手能力不足仍是目前我国部分高校工程人才培养中的短板，因此笔者建议那些实验实训资源丰富、实践教育体系完整、校企合作成效显著、毕业生社会认可度高的部分专科层次职业技术学院能够参与服务工程师的培养，少数本科层次的职业技术学院能够参与服务工程师和生产工程师的培养。

“卓越工程师教育培养计划（简称‘卓越计划’）”1.0和2.0开展的卓越工程师教育培养主要落在本科层面并已取得了积极的成效，因此，新时代卓越工程师教育培养需要将培养层次拓展到硕士、博士和专科层次，包括考虑采用先在部分“双一流”建设高校试点建设一批专门培养卓越工程师的硕士点和博士点，然后再在全国逐渐铺开的方式，以构成专本硕博完整的卓越工程师教育培养体系。

三、工程学科专业建设

学科专业是人才培养的基础和载体，学科专业结构及学科专业设置关系到人才培养是否适应国家经济社会发展的需要，关系到人才培养的目标与标准，关系到优质教育教学资源的配置，关系到教育的质量和效益。因此，在

开展卓越工程师教育培养工作之前，需要着眼国家重大战略和长远发展对各行各业各种类型卓越工程师的需求，完成对工程学科专业的建设。按照工程学科专业的产生或形成的基础和构成要素划分，满足国家重大战略需求和长远发展需求的工程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，他们共同构成了卓越工程师教育培养的基本学科专业结构。

1. 新型学科专业建设。由于产业转型升级，尤其是互联网、信息技术、数字技术、人工智能及其他高新技术等对传统产业产生的颠覆性影响而引发的对这些产业的转型、改造和升级，使得相应的传统的、现有的工程学科专业必须进行调整、转型、改造、优化或升级，由此形成基于传统学科专业转“型”的新型学科专业。新型学科专业的建设途径可以从两方面探索：一是对传统学科专业的信息化、数字化和智能化；二是其他学科或高新技术对传统学科专业的介入渗透。

2. 新生学科专业建设。现代产业的发展态势及未来产业发展趋势均突破了人类已有的对产业和学科的界限，已经朝着多学科交叉、渗透、融合方向发展，由此新“生”出一批由不同工程学科交叉复合及由工程学科与其他学科交叉融合、不存在于现有学科专业目录之中的学科专业，即新生学科专业。基于对当前和未来产业发展趋势和需要的把握，新生学科专业建设有两条途径：一是不同工程学科的交叉复合；二是工程学科与理科、管理、经济、医学、法律等其他学科的交叉融合。

3. 新兴学科专业建设。近年来科研成果的转化和新兴技术的应用越来越快，尤其是由应用理科等一批基础学科孕育了一批新技术，并通过产业化形成了新兴产业，由此产生了全新出现、前所未有的新兴学科专业。新兴学科专业的出现说明了以理科为代表的基础学科在引领未来技术、发展新兴产业以及在形成和建设新兴学科专业上的重要作用，因此，新兴学科专业建设要重视探索理科在技术前沿的应用，重点在推动应用理科成果向工科延伸，促进应用理科与其他学科的交叉融合。

学科专业建设是一个持续不断的过程，需要建立动态调整机制，以确保高校所培养的卓越工程师不会滞后而是超前于国家重大战略和长远发展对人才的要求。学科专业动态调整关键在于做好两方面工作：一是预测好未来行业产业发展方向和趋势，准确把握各行各业未来对卓越工程师需求的动态变化；二是研究国家重大战略和长远规划，超前调整、布局和优化相关学科专业，重视建设和发展国家急需的战略性工程学科专业。

四、各类高校的分工合作

培养造就大批各种类型、不同学科专业、满足各行各业要求的新时代卓越工程师是一项繁重而艰巨的任务，不可能仅由少数几所高校完成，需要众多不同类型高校合理分工、分类开展、相互合作、共同努力。各类高校的分工合作具有以下重要意义：首先，能够更好地满足不同区域行业企业对不同层次和类型卓越工程师的多元化需求；其次，能够更好地发挥不同类型高校的办学优势和人才培养特色；第三，能够推进不同类型高校间的合作和协调发展；第四，有利于同类型高校之间的良性竞争，从而促进高校发展。基于我国高校的布局 and 各类高校的学科专业设置、办学层次、办学定位、服务面向及优势特色，可以将参与新时代卓越工程师教育培养的高校分为四种类型：工科优势高校、综合性高校、行业性高校和地方性高校。

工科优势高校办学历史长、工科优势明显、工科门类齐全、产业联系紧密，其中一些是“双一流”建设高校，在工程科技创新和产业创新上发挥主体作用。这类高校既应该在我国工程教育改革上发挥示范和引领作用，又应该在新时代卓越工程师教育培养上为其他类型高校提供经验和借鉴。工科优势高校主要聚焦国家重大战略、关键核心技术、高端制造业等前沿和未来领域、战略性新兴产业和未来产业发展。工科优势高校应该重点聚焦新生学科专业和新型学科专业，在力所能及的情况下辅以新兴学科专业，同时做到“广而强”，即相关学科专业覆盖面广且强势，为国家和经济社会培养多样化的卓越工程师。

综合性高校办学历史长、文理医商等非工程学科门类齐全、综合优势明显，部分高校有少量工科专业，其中一些也是“双一流”建设高校，在推动应用理科向工科延伸、催生新技术和孕育新产业方面发挥引领作用。综合性高校应该重点聚焦新兴学科专业，同时做到“少而精”，即相关学科专业虽然少但是精品，为国家和经济社会培养复合型的卓越工程师。

行业性高校办学历史较长，有显著的行业背景，主要聚焦在如农林、水利、地矿、石油、交通、邮电、电子等行业领域，在本领域学科专业设置齐全，长期服务于行业发展，对产业转型升级和区域经济发展发挥支撑作用，其中少数高校也属于优势工科高校，或被称为“行业高水平大学”。行业性高校应该重点聚焦新型学科专业，并辅以新兴学科专业，同时做到“专而深”，即相关学科专业在行业领域具有专门优势、学科专业内涵有深度有特色，为各行各业培养行业型的卓越工程师。

地方性高校办学历史往往不长，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，毕业生多在本地就业，在区域经济发展和区域产业转型升级上发挥支撑作用。地方性高校应该重点聚焦在新型学科专业，同时做到“好而实”，即重点培养好区域行业产业需要的卓越工程师，使他们能够在行业产业一线就业、实干务实，为地方经济社会发展培养应用型的卓越工程师。

五、人才教育培养理念

理念引导行动，新时代卓越工程师教育培养全过程需要有相应的理念来引导各类参与高校的具体行动，这些理念中既要体现国家对新时代卓越工程师的期待，又要体现卓越工程师教育培养的目标，还要体现对卓越工程师教育培养的核心要求。

1. 面向经济建设主战场。新时代卓越工程师教育培养要面向经济建设主战场，以满足经济建设主要领域和行业对高端工程人才的需求。现阶段经济建设主要领域有：制造业转型升级、生态文明建设、新型城镇化建设、包括

产业升级在内的新型基础设施建设、数字中国建设、人口与健康工程、国家能源结构优化等等，这些领域建设直接关系到我国经济健康、持续和长远发展。各类相关高校要根据上述领域和行业对各类高端工程人才的需求，集中优势资源，主动布局、设置、建设和办好相关工程学科专业，培养出各种层次和类型的卓越工程师。

2. 服务国家重大需求。国家重大需求是实现中华民族伟大复兴总目标的必需，基本包含在“制造强国战略”“创新驱动发展”“一带一路”“中国制造 2025”“互联网+”等国家重大战略中，具体涉及如高端芯片与软件、航空发动机、量子通信、智能制造与机器人、深空深海探测、重点新材料、脑科学、国家安全、健康保障等领域。各类相关高校要主动分析、研究、掌握并针对国家重大战略需求对各种类型高端工程人才的需求，结合自身的办学优势和特色，主动培养能够满足当前和未来国家重大需求的各种类型卓越工程师。

3. 引领未来产业发展。引领未来产业发展是新时代卓越工程师的一项重要职责，这就从两方面对相关学科专业建设提出要求：一是对相关产业当前发展状态和未来发展趋势进行战略性分析，把握产业未来发展方向，及时调整学科专业结构和建设方向，培养出引领当前产业未来发展的卓越工程师；二是通过分析研究国内外产业发展规划及趋势，对未来新兴产业进行预测分析，掌握未来新兴产业内涵及发展形态，通过多学科交叉融合、应用理科向工科延伸等形式，孕育新的学科专业，培养出促进新产业形成并引领未来产业发展的卓越工程师。

4. 坚持实践创新导向。实践能力和创新能力是新时代卓越工程师胜任使命担当的两项最核心的能力，对这两项能力的培养和提升要坚持贯穿卓越工程师教育培养的全过程，不论是卓越工程师培养标准和人才培养方案制定，还是课程体系、教学内容及人才培养模式改革，以及人才培养方案的实施，都要坚持实践创新导向，重视理论与实践的结合，重视在真实环境下的工程

教育，重视创新意识、创新精神和创新技能的培养，重视源于工程实际问题的解决，重视创新性地解决复杂工程问题。

5. 注重学科交叉融合。多学科交叉融合是新时代卓越工程师教育培养所依托学科专业最主要的共同特征，是这些学科专业构成要素所决定的，因此在这些学科专业建设，人才培养方案制定，课程体系和教学内容改革，以及教学组织形式和教学方法更新等方面，均要突破传统的单一学科专业在人才培养上的惯性和定势，注重学科交叉融合这一本质特征，使得多学科交叉融合真正融入课程建设和教学内容中，真正体现在学生的知识、能力和素质上，使得培养出来的卓越工程师真正满足国家经济社会当前和未来发展的要求。

上述五个理念对于涉及卓越工程师教育培养的学科专业建设、培养目标和培养标准制定、人才培养方案制定、课程建设与教学改革、人才培养模式创新、实践创新平台建设、工科教师队伍建设、多方协同育人机制建设、工程教育面向世界等均具有直接和重要的指导作用。

六、培养目标和培养标准体系

新时代卓越工程师教育培养首先要明确的是培养目标和培养标准。从国家的角度，培养目标要满足国家和经济社会发展对新时代卓越工程师的要求，具体而言，就是要胜任新时代卓越工程师的使命担当、符合相应的人才教育理念。基于此，新时代卓越工程师教育培养目标可以表述为：“培养造就大批面向经济建设主战场、服务国家重大战略需求、引领未来产业发展，具有创新创业能力、动态适应能力、复杂工程问题解决能力、高素质的各类卓越工程师”。其中“面向经济建设主战场、服务国家重大战略需求、引领未来产业发展”源于人才教育理念；“创新创业能力”是新时代卓越工程师的首要能力；“动态适应能力”是卓越工程师面对未来经济社会发展变化和未来产业和行业迅速变化所必须具备的发展能力；“复杂工程问题解决能力”是卓越工程师的基本能力；“高素质”指的是卓越工程师在专业能力之外必须拥有高水准的社会能力、职业素养和伦理道德等素质。这些能力都

要作为核心能力体现在培养标准中。

各类高校可以在上述培养目标的基础上制定出满足以下条件的本校培养目标：一是满足服务区域经济社会发展对卓越工程师的要求；二是符合学校的具体实际，体现本校的办学优势和人才培养特色；三是被本校师生所理解和接受，能够指导人才培养方案的实施，成为师生开展教育教学活动的指南。

新时代卓越工程师教育培养标准应该在“卓越计划”1.0基础上拓展到专科层次，构成专科、本科、硕士和博士四个完整的层次。每一层次的卓越工程师教育培养都应该有相应的培养标准体系，该体系自上而下包括通用标准、专业类标准、专业行业标准、专业学校标准。其中通用标准是国家层面对各行各业各种类型卓越工程师教育培养在总体上提出的最低质量要求，是制定所有专业类卓越工程师培养标准的起点和基础；专业类标准是国家层面对各个工学专业类卓越工程师培养在宏观上提出的基本质量要求，是各专业类所属各专业卓越工程师培养应达到的宏观质量要求；专业行业标准是以专业类标准为基础，各行各业主体专业领域卓越工程师培养必须达到中观要求，从行业角度体现各行各业对相关专业的专门要求，是高校制定本校卓越工程师培养标准的基础；专业学校标准是各类卓越工程师教育培养高校在通用标准总体要求下，以专业类标准和专业行业标准为基础制定的校内各个工程专业卓越工程师培养标准。

在实际操作中，通用标准可以在“卓越计划”1.0的基础上，由教育部和中国工程院组织高校、行业和工程界的权威专家，根据当前和未来的需要进行更新和充实，不仅要上述培养目标中的各项能力包含其中，而且要将“爱党报国、敬业奉献”作为核心素质要求写入；专业类标准应该由教育部相关工科专业类教学指导委员会的核心成员负责制定；专业行业标准应该主要由具有丰富行业背景和企业工作经验的高层次专家负责起草，在专业行业标准缺乏的情况下，可以请这些专家直接参与专业学校标准的制定；专业学校标准由学校相关工程专业负责制定，既要体现本校在卓越工程师培养上的

优势和特色，又要能够在本校的卓越工程师培养过程中得到具体实现。

七、人才培养方案制定

新时代卓越工程师教育培养目标和培养标准要通过人才培养方案才能予以落实，针对工程学科专业的共性特征、新时代卓越工程师教育培养理念及目标要求，新时代卓越工程师教育培养方案应该注重多学科交叉融合，强调柔性化，重视企业学习及适应本研贯通培养。

1. 培养方案注重多学科交叉融合。多学科交叉融合是新时代卓越工程师教育培养所依托学科专业最主要的共同特征，然而，一些高校的培养方案仍存在为多学科交叉培养预留空间不足的问题，因此，需要将这一重要特征充分落实到人才培养方案中。首先，多学科交叉融合的特征要具体清晰地充分体现在参与高校制定的培养目标和培养标准中；其次，按照培养标准要求设置课程及教学环节、制定课程目标、选择和组织课程内容、建立课程体系；第三，采取与学科交叉融合教学内容相适应的教学方式；第四，制定每门课程具体的教学计划；第五，确定能够有效衡量培养标准实现情况的质量评价方式。

2. 培养方案强调柔性化。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时代卓越工程师教育培养方案必须是柔性化的。培养方案的柔性主要表现在两方面：一是同一方案能够培养出不同类型的卓越工程师，如通过不同课程的组合、专业方案的选择和培养计划的区别等；二是允许学生根据自己的兴趣爱好和职业发展规划自主组合课程、自主制定培养计划、自主制定新的专业方向，以实现真正意义的个性化人才培养。柔性化培养方案不仅需要丰富多样的课程和教学资源，允许学生跨院系甚至跨校选课，而且要有对各类替代课程的学分认定以及新专业方向的认可机制，还需要教师的指导和支持。

3. 重视企业学习。企业在工程实践教育上具有独特优势，因此，新时代卓越工程师教育培养全过程应该分为两个部分：校内学习和企业学习，人才

培养方案应该包含校内培养方案和由校企共同制定的企业培养方案。校内学习主要完成基础理论和专业理论的学习，企业学习主要开展实践教学，旨在培养和提升学生的工程素养、工程实践能力、技术创新能力和复杂工程问题解决能力等。本科层次的校内学习主要是通识教育及专业教育的理论部分，包括基本的实验实训，企业学习则是工程实践、专业实习和毕业设计等；硕士博士层次的校内学习主要完成各种专业课程学习、学位论文开题及学位论文的撰写，企业学习则是包括学位论文选题、参与和选题相关的工程实践及论文研究等。“卓越计划”1.0要求本科及以上层次学生要有一年左右的时间在企业学习，可以将这要求按照（学校学习年限+企业学习年限）方式表述落实到新时代卓越工程师教育培养的四个层次上：专科2+1，本科3+1，硕士2.5+1，博士（3—4）+1。

4. 适应本研贯通培养。“卓越计划”1.0不提倡本研贯通培养，旨在确保本、硕、博每个阶段有足够的企业学习时间。“卓越计划”2.0尝试采取多种模式打通本研培养，从当前和发展的趋势看，推行本研贯通培养不仅是因为本科教育已经不能满足当前和未来产业对卓越工程师的要求，而且是因为：①加强通识教育和基础教育，避免不同阶段课程重复，提高人才培养效率；②支持学生拓宽专业面、鼓励跨专业学习、形成多渠道职业发展。基于此，新时代卓越工程师教育培养方案必须适应且支持本研贯通培养。

不同高校在本研贯通培养上已经积累了充分的经验：既有本硕连读，也有本科+硕博连读，还有少数本硕博贯通培养；既有本校贯通，也有两校接力贯通。但目前仍然存在的问题是：本研课程衔接不紧密，硕博课程统筹不充分，未能做到不同阶段之间培养方案及课程的融合衔接。但不论何种模式，本研贯通培养的关键是本科阶段培养方案与硕士或博士阶段培养方案的有效衔接，为此需要做好两方面工作：一是进一步明确本科阶段与硕士或博士阶段人才培养的定位和分工；二是硕士或博士阶段培养方案的制定必须是本科阶段培养方案基础上的延续，避免出现各自为政、课程和教学内容重复、培

养效率低下。对于本科毕业于其他学校的研究生培养高校，要为这些学生提供能够与其本科教育模式有效衔接的、灵活多元的贯通培养方案。

八、专业课程建设

卓越工程师教育培养方案的实施需要两方面的工作方能实现培养标准进而实现培养目标：一是将培养标准分解细化到课程体系中的每门课程并完成课程建设；二是改革并采取与课程教学内容相适应的教学组织形式和教学方式实施课程。卓越工程师所依托学科专业课程体系建设需要做好三方面工作：一是通识教育课程与专业教育课程的联系；二是理论课程与实践课程的结合；三是将实践创新能力的培养贯穿于整个课程体系。本节仅讨论专业课程建设。新时代卓越工程师教育培养所依托学科专业课程建设的重点有三：课程的综合化；课程的项目化；课程的挑战性。

课程的综合化的目的在于将解决一类工程问题所需要的知识、方法和技术等内容整合成为一门综合性的课程，学生通过该课程的学习能够掌握解决该类工程问题所必要的知识、方法及较为完整的能力。综合化课程的作用有三：①有利于学生系统完整地学习解决复杂工程问题所需的理论、方法和技术，避免这些内容被人为割裂；②综合系统的课程学习能够更好地与课外实践相结合，有利于培养学生复杂工程问题解决能力；③综合的知识、方法和技术有利于在教学过程中探究复杂工程问题、分析工程案例及开展基于项目的学习。

课程的项目化指的是课程是以项目为基础或中心进行建设和组织实施的。由于项目是当前和未来各种复杂工程问题的集合体，因此，课程项目化应该成为当前和未来卓越工程师教育培育所依托学科专业课程建设的重点之一，尤其是专业课程。课程项目化的关键在于项目的选择：一是项目必须源于工程实践或企业实际，这样才能“真刀真枪”地培养学生；二是项目必须是综合性复杂工程问题，涉及多学科交叉，需要综合运用多学科知识才能解决；三是项目任务的完成能够保证课程目标的实现。

课程的挑战性指的是学生完成课程学习有一定的难度，需要较大的投入和努力。提高课程挑战性的目的有：①激发学生学习兴趣，提高学习效果；②激发学生挑战问题和困难的勇气；③培养学生自主学习和终身学习能力；④培养学生综合运用多学科知识解决复杂工程问题的能力；⑤培养学生的创新能力和综合素质。提高课程的挑战性可以通过选择四方面内容着手：①学科专业或行业产业前沿性问题；②依靠单一学科专业知识不能解决的综合性问题；③研究性问题；④开放性问题。

九、教学方式改革

为了更好地实现课程目标和提高教学效果，需要改革教学方式，使每门课程都采用与课程教学内容相适应的教学方式开展教学。教学方式的改革要做到“四个提高”：提高学生学习兴趣；提高学生学习参与度；提高学生学业挑战度；提高学生学习效果。其中，可以从四方面提高学生的学习兴趣：培养学生对专业的热爱；注重学生的个性特点；精心组织教学内容；采取灵活多样的教学方式。可以通过采用四种学习方式提高学生的参与度和学习效果：研究性学习；项目式学习；专题研讨式学习；小组合作学习。可以通过安排三种学习形式提高学生的学业挑战度：设置不同难度等级的学习；复杂问题导向性学习；参与科研活动式学习。

在各种教学方式中应该重视研究性学习和挑战性学习的采用，实践证明：这两种教学方式对于学生工程实践能力、技术创新能力、复杂工程问题解决能力、社会能力和综合素质的培养和提升具有重要的作用，是实现多学科交叉融合的有效途径。

研究性学习是基于问题的学习、基于案例的学习和基于项目的学习等一类学习方式的总称，广义上，目前一些高校推行的项目式学习也应该属于研究性学习。研究性学习强调“问题”“案例”和“项目”均应该源于工程实际，课程教学内容是围绕着对“问题”的探究、“案例”的讨论和“项目”的参与而组织学习的。

挑战性学习的基础是研究性学习，后者为前者的探索和实施提供了充分的理论基础和实践经验，但前者更强调“问题”的难度和解决的“不可能”性，强化激发学生学习兴趣和培养挑战“不可能”问题的勇气，要求在缺乏真实的学习环境时构建支持解决问题的虚拟学习环境，需要师生在时间和精力上更大的投入。

信息化、数字化和智能化有力地促进了人才培养模式尤其是教育教学方式的改革。在信息化和智能化的 5G 网络时代，新的学习模式不断出现，学习无处不在，高等学校必须为学生提供能够随时随地开展学习的环境，从而激发学生的学习兴趣 and 热情，充分调动学生学习的主动性、积极性，提高学习效果。因此，要重视工程教育信息化、数字化和智能化建设，提高新时代卓越工程师教育培养的质量和效果。

工程教育信息化和数字化对传统工程教育的影响主要表现为：教育教学资源丰富多样；突破时间和空间限制；转变教师和学生角色；形成平等的师生关系；改变教与学的关系；提高教与学的效率。工程教育信息化和数字化建设重点需要做好以下工作：学习环境的数字化；课程教学的信息化的；虚拟仿真实验教学；校企合作教育信息化；教育教学评价信息化；教师信息化教育教学能力提升。

工程教育智能化涉及智慧学习环境建设，人才培养目标和教学内容的更新，教师角色的重新定位，学生角色的中心化，教育教学的个性化等诸多方面。具体到教育教学上，首先，智慧校园和智慧课堂打破了课堂的界限，使其更加灵活、互动和开放，助力学习资源的个性化，支持学生基于自身的特点开展自主学习，而不受限于教师；其次，人工智能技术进一步支持混合式教学、自适应学习、项目式学习等学习模式的发展，促进教育教学形式的个性化；第三，人工智能技术能够支持教师借助各种智能化工具分析学生的特征，为其提供更为科学合理和个性化的指导；第四，在开展教育教学活动中要重视伦理问题，包括知识产权、学术诚信、隐私安全等，以确保工程教育

智能化的健康发展。

十、校企全程合作培养

新时代卓越工程师的教育培养必须要有企业的全程参与及校企的深度合作才能培养出满足培养目标要求、“货真价实”的卓越工程师。概括起来，企业在卓越工程师培养上的突出地位主要源于其具备高校所没有的如下优势：能够准确把握经济社会发展对工程人才的需求；拥有最先进的生产设备和制造技术；拥有一批经验丰富的工程技术人员；提供真实的工程实践和创新环境；提供完整的学习先进企业文化的氛围。

校企全程合作培养卓越工程师是指始于培养目标的制定，贯穿各个培养环节，止于培养目标的实现，主要在“共同”完成以下九项工作：①制定培养目标和培养标准；②改革课程体系和教学内容；③建设工科教师队伍；④改革和实施教学组织形式和教学方法；⑤制定企业培养方案；⑥建设工程实践教学教育中心；⑦实施企业培养方案；⑧指导毕业设计或学位论文；⑨评价卓越工程师培养质量。

由于企业的规模、类型、属性等各异，高校应该重视采取形式多样、灵活有效的模式，而不是简单、单一的方式与企业合作开展卓越工程师教育培养工作。具体而言，校企全程合作开展新时代卓越工程师教育培养主要有八种合作模式：①系统全面；②模块化；③基于项目；④订单式；⑤定岗实习；⑥工学交替；⑦多专业联合；⑧课程置换。其中订单式和基于项目的合作模式是备受企业欢迎的。

不论采取何种合作模式，校企全程合作教育培养的具体内容和方式均应该明确地包含在企业培养方案中，学生在企业完成的实践教育教学，如完成的研发课题、承担的项目、参与的改革等均应以学分的方式予以肯定，作为重要的学业内容。

需要着重强调的是，校企合作是校企双方以各自的发展和需求为导向，借助对方的独特条件和资源优势，在平等互惠的基础上开展的合作，而不能

简单用承担社会责任和义务，硬性要求企业与高校合作。因此，“优势互补、互惠共赢”应该成为双方合作的根本原则，从而保证校企全程合作的持续和长远。

十一、工科教师队伍建设

教师队伍建设是学科专业建设和人才培养的关键，新时代卓越工程师教育培养需要建设一支知识渊博、工程经历丰富、工程能力强、教学水平高、综合素质好的专、兼职工科教师队伍。在这支队伍中，除了承担课程教学任务的教师外，还要求为每一位学生配备两位指导教师，即实行“双导师制”，一位是校内专职教师，主要负责学生在校内学习阶段的指导；另一位是企业兼职教师，主要负责学生在企业学习阶段的指导，专兼职教师还要共同负责学生培养计划的制定和本科生毕业设计或研究生学位论文的指导。工科教师队伍建设涉及诸多方面，本节仅讨论对专、兼职教师的要求。

对专职工科教师的要求应该是能够胜任新时代卓越工程师教育培养工作。笔者在“卓越计划”1.0中提出将“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教育培养工作的专职教师的总体要求，其中“准工程师”强调的是工程实践经历以及解决真实工程问题和复杂工程问题的能力等。虽然参与新时代卓越工程师教育培养的各所高校对本校系列专业技术职务的工科教师都有明确的评价标准，但是仍需要强调三方面的要求：工程实践经历；多学科交叉融合；数字化能力。

工程实践经历方面要求教师熟悉工程现场的运作方式和管理模式，了解先进工程设备和技术的使用，掌握应对实际工程问题的有效方式，积累解决工程问题的经验，同时与工业企业保持密切的合作关系。这方面要求对工科教师的重要性体现在三方面：一是使教师形成良好的工程素养；二是使教师具备担任工科教师的基本条件；三是为教师拥有各种工程能力和职业素质打下重要的基础。

多学科交叉融合方面要求表现在：一是知识层面上，不仅要拓展到除所

承担教学任务之外的所有相关课程和学科专业上，包括人文社科知识，还要关注与本学科专业领域相关的新技术、新产业的出现和发展；二是学科交融上，要求能将相关学科知识融入本学科并促进本学科专业的发展，或者应用其他学科知识和方法解决本学科专业的复杂问题。

数字化能力方面要求是针对工程教育的信息化、数字化和智能化所专门提出的，主要表现在具备驾驭信息技术、大数据、虚拟仿真、云计算、区块链、人工智能等技术的能力，能够灵活自如地应用这些技术给予学生更为丰富的学习资源、更为自主的学习环境、更为个性化的学习方式、更高效的学习产出、更客观的学习评价，成为学生学习成长路上的服务者、支持者和陪伴者。

对企业兼职教师的要求正是其具有的优于专职教师的工程实践性和技术先进性。工程实践性表现在他们丰富的工程实践积累和卓越的工程能力，技术先进性表现在他们掌握本企业或行业先进的生产工艺和制造技术，了解工程技术的最新发展。具体而言，对担任实践性课程教学工作的兼职教师的条件是：具有丰富的工程实践经验、较强的工程能力、较好的语言表达和交流沟通能力。对担任学生毕业设计或研究生学位论文指导的兼职教师的条件是：工程实践经验丰富、工程能力强、业务水平高、主持负责过工程项目或产品的生产制造和设计开发工作，承担过工程技术研究、开发和创新任务。由于教书育人不是兼职教师本职工作，在教育教学上没有积累，因此要重视他们教学能力的培养、提升以及学科专业理论水平的提高，以更好地发挥他们的作用。

十二、多方协同育人机制

虽然企业是高校最重要的合作者，但是新时代卓越工程师教育培养还需要加强与政府部门、科研院所及行业组织的合作，形成由高等学校、各类企业、政府部门、科研院所和行业组织等主体共同参与的多方协同育人机制。

中央政府部委和地方政府通过政策措施分别影响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二：①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，促进产业发展；②通过未来工程学科专业人才培养和引领未来产业发展方向，影响政府产业政策措施的制定。

与新时代卓越工程师教育培养所依托学科专业相关的科研院所承担着未来工程科技研发任务和项目，具备研发新技术的研究人员、先进技术设备和环境条件，积累了丰富的研发经验和资料信息，这些不仅是相关工程学科专业建设所需要的，也是开展项目式学习、发挥科研在人才培养上的作用、培养学生技术创新能力所需要的。

行业组织在多方协同育人机制中能够发挥沟通协调作用。一方面，行业组织能够为行业内企业与高校之间建立起沟通和协调的桥梁，使双方增进了解、明确诉求，实现在互惠共赢基础上的长期深度合作；另一方面，行业组织能够加强政府与行业内企业的沟通，推动政府出台既支持企业发展，又激励企业参与人才培养的政策措施。

多方协同育人的关键在于合作方的选择，由相关部门和组织牵头成立的产教联盟和科教联盟为高校、企业和科研院所之间相互选择提供了有效且便利的平台，因此，要充分发挥政府部门、行业组织、产教联盟和科教联盟等的牵线搭桥作用。

多方协同育人的主要目标是协调多利益主体关系，争取各方教育教学资源，构建校企合作、政校协同、产学研融合、科教结合的新时代卓越工程师教育培养协同育人模式和多主体参与的人才培养共同体。多主体能够长期合作成功的关键在于遵循优势互补、成果共享、利益共赢的原则以及协同育人模式的创新和体制机制的改革。

原文刊载于《中国高教研究》2022年第6期

新时代卓越工程师核心能力： 基于扎根理论的探索性研究

郑丽娜 姜子娇 雷庆

（郑丽娜，北京航空航天大学人文社会科学学院，高等教育研究院博士后研究人员；

姜子娇，北京航空航天大学高等教育研究院博士研究生；

雷庆，北京航空航天大学高等，教育研究院副院长、研究员；）

一、问题提出

知识和技术创新时代，卓越工程师培养直接关乎国家的全球竞争优势。习近平总书记在中央人才会议上强调，“要培养大批卓越工程师，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。”可见，我国卓越工程师培养是建设高等教育强国、服务高水平科技自立自强的战略任务之一。从2010年“卓越工程师教育培养计划”（以下简称“卓越计划”）启动实施，到2017年新工科作为“卓越计划”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，为新时代卓越工程师培养奠定了实践基础。然而，随着新时代卓越工程师培养理论研究与实践的深化，启发了我们对“什么是新时代卓越工程师”这一根本性问题的研究，以及新时代卓越工程师新内涵和新要求对课程改革与建设、人才培养模式创新等新问题的新思考。什么是新时代卓越工程师是一个具有挑战性的命题。尽管已有研究围绕卓越工程科技人才培养标准、核心素养等开展了丰富研究，但对新时代背景下卓越工程师的内涵和外延仍未有共识：新时代对卓越工程师提出何种能力要求？如何区分或实现“卓越”？这是新时代卓越工程师培养需要回答的本体论问题。

核心能力是应对全球化和信息化挑战，统合知识、技能、态度的跨领域、可迁移能力。就内涵而言，核心能力以应对未来不可预见变化和不确定情境为重点；就学科属性而言，核心能力强调多学科知识、方法的迁移应用；就价值指向而言，核心能力注重回归教育本质，反映个体发展的灵活性和持续性。也有研究采用全面能力、核心素养、关键能力等概念探讨工程科技人才能力构成；实践层面则强调以核心能力牵引工程教育改革。如欧林工学院以设计能力为核心的9条能力，MIT“新工程教育转型”（NEET）学会学习、创造、发现等11条能力，均从面向未来复杂社会和新技术发展的角度提出未来工程师的能力要求。研究与实践的多样性反映了核心能力研究见仁见智。综合来看，已有工程科技人才能力研究可大致分为专业认证视角，面向技术进步与产业发展视角，以及产业需求视角三类。

基于工程教育专业认证的学生成果要求。参照《华盛顿协议》、美国工程与技术认证（ABET）、欧洲工程师认证（FEANI）等毕业生素质要求识别能力是已有研究的一个主要趋势，各类认证标准从复杂工程问题解决、工程伦理等维度反映国际工程人才培养的要求。但是，上述标准不能反映卓越工程师“取乎其上”的高线培养要求。有研究指出，工程实践需要有效沟通、团队协作、问题解决等多种能力的相互配合，但专业认证的能力要求并不能体现多种能力的交互。此外，认证标准的趋同也无法体现中国特色和立足国家战略、面向未来工程技术发展的要求。

基于技术进步与产业发展的能力要求。从国家战略和高校工程教育变革出发识别技术和产业发展对人才的能力要求是已有研究的另一趋势。如有研究专门聚焦德国、美国、俄罗斯计算相关的国家战略，考察计算思维、数据分析等能力要求；也有学者结合德国“工业4.0”和我国“智能制造2025”战略，强调复杂问题处理、系统能力等是应对智能制造的核心能力。代尔夫特理工大学则基于未来科技创新和社会发展要求，提出了包括工程知识，跨学科与系统思维等8条能力要求。国家战略、工程教育改革有助于把握产业

变革和技术发展对人才的最新要求，有益于确保核心能力对技术迭代和产业转型的快速响应。

基于产业需求视角的人才能力要求。部分研究透过产业的需求端视角审视核心能力，大致包括研究者与产业界合作和研究者对产业界开展调查两类。第一类研究重点关注复杂问题解决、快速学习和适应能力、团队合作能力等具体能力；第二类研究侧重能力体系，如面向智能化的能力体系、可雇佣能力体系等。产业视角为理解工程师能力的实践性和前沿性提供了依据，印证并强化了高校与产业协同培养新时代卓越工程师的必要性。

整体而言，新时代卓越工程师培养诉求已经从解决复杂工程问题转向成为卓越的领导者、创新者和终身学习者。然而，现有能力研究在方法、内容、视角上对于厘清新时代卓越工程师的核心能力结构仍有进一步深入的空间：一是当前研究多为理论思辨或经验探究，研究结论多停留在应然层面；二是已有研究多与专业认证挂钩，具有普适性和通用性，缺少对“卓越”的关怀和新时代要求的映射；三是虽然开始关注产业需求，但仍缺少人才供给与产业需求结合的双重视角。基于此，本研究综合已有文献研究、业界访谈和田野调查数据，综合研究者与实践者的视角，运用扎根理论建构整体性框架，探究新时代卓越工程师核心能力构成及其相互关联机理。

二、研究设计

探究新时代卓越工程师核心能力结构涉及两个基本问题：一是核心能力构成，二是“卓越”的内涵特征。为此，本研究采用扎根理论开展探索性研究，利用 NVivo 软件从文献、访谈记录与田野笔记的开放编码中发现概念类属，通过轴心编码建立类属之间的联系，最终通过核心类属提出新时代卓越工程师核心能力结构的理论框架。

（一）数据来源

本研究的数据来源包括文献和访谈与田野笔记。一是聚焦工程科技人才能力研究的文献。利用“‘工程/工科’+‘人才/工程师’+‘能力/素养’”

的关键词组合在中国知网 CSSCI 数据库库检索 2010 年以来的中文文献, 共计 183 篇; 利用 “engineering/engineer + competency/skill/ability” 在 Web of Science 核心数据集检索 2010 年以来的外文文献, 共计 109 篇。为保证样本的契合度与完整性, 基于相关性和规范性原则仅保留以能力研究为主题的文献, 排除围绕某一能力的培养模式、课程建设等研究, 最终将 21 篇中文文献和 22 篇英文文献纳入分析, 分布情况见表 1。对上述文献开放编码后(526 个概念) 发现未达到理论饱和, 故采用对已有文献“滚雪球”的方式新增文献 11 篇, 其中单一研究 2 篇, 系统研究 9 篇。需要指出的是, 本研究未将各类专业认证标准和专业认证研究纳入分析, 目的在于将核心能力与毕业生素质要求区别开来。二是与航空航天、电子信息等关键技术领域卓越工程师的座谈、讲座报告和田野调查, 将 14 位卓越工程师的 3 次座谈记录、11 次讲座报告记录纳入分析。

表 1 进入扎根分析范畴的文本分布

文本内容	研究方法	数量合计	类型
能力结构 系统研究	定量(1), 质性(1), 理论思辨(17+2)	中文(19+2)	期刊
	综述(3+5), 混合(2+1), 质性(2), 定量(2+1)	英文(9+7)	会议(2+2) 期刊(7+5)
单一能力 具体研究	定量(5+1), 质性(1), 理论思辨(6+1)	中文(12+1)	期刊
	定量(2), 混合(1), 质性(9), 理论思辨(2)	英文(13+1)	会议(8+1) 期刊(5)
访谈与 田野笔记	座谈记录(每次约 1.5 小时)	3	一手数据
	田野笔记	11	

资料来源: 本研究整理形成; 注: “+”代表新增文本数量。

(二) 编码过程

开放编码。对资料贴标签以实现概念化和类属化, 但 43 篇文献初次开放编码并未达到理论饱和, 新增 11 篇文献并加入 14 条访谈记录和田野笔记, 不断比较和整理概括后达到理论饱和, 得到 556 个概念, 经过持续比较缩减至 249 个概念 39 个类属, 共计 2316 个参考节点。

轴心编码。对开放编码得到的类属进行提炼和修正形成 14 个类属并探索其关联, 凝练形成卓越行为能力、基准行为能力、领域专属能力、领域通用

能力 4 个轴心编码。

选择编码。基于已经形成的类属和类属关系，提炼和归纳核心类属以统领所有概念，以故事线描绘现象和脉络，形成理论框架。基于轴心编码结果，本研究最终将选择编码归纳为“新时代卓越工程师的核心能力结构”。围绕这一核心类属的故事线为：基于具有不同非认知性格特质和人际与社会能力的新时代卓越工程师“毛坯”，在教育培养过程中不断塑造科学基础、工程能力、系统思维、人文素养等工程领域专属能力，同时培养全球胜任力、创新思维、前沿洞察力、情境适应能力、跨界融合能力等跨领域通用能力，通过强化自我调节与发展能力、社会责任与伦理、持续创造力达至“卓越”。

三、研究发现

对新时代卓越工程师进行“画像”是其培养的起点。通过扎根探索，本研究采用四个相互作用的核心能力定义新时代卓越工程师：基准行为能力（benchmarking competencies）、领域专属能力（domain-specific competencies）、领域通用能力（generic competencies）、卓越行为能力（outstanding competencies）。（见表 2）对于领域通用能力和领域专属能力的命名，参考了 Feldman、阎琨和吴菡等学者关于拔尖人才的相关研究。

表 2 新时代卓越工程师核心能力编码结果

	轴心编码类属	开放编码类属	开放编码概念示例
基准行为能力(366)	人际与社会能力(297)	市场能力(65)跨文化能力(29) 非技术能力(209)	跨文化理解力(11)团队协作能力(95)
	非认知性格特质(69)	个人特质(54)情绪智能(15)	价值观和态度(10)同理心(6)
领域专属能力(1 003)	科学基础(75)	科学素养(22)数理基础(53)	跨学科素养(13)数理基础知识及应用(40)
	工程能力(778)	工程专业能力(538)工程领导力(73) 现代工程能力(167)	工程实践能力(235)数字化能力(40)
	系统思维(66)	全局视野(6)关联力(12) 大工程观(3)宏思维(5)	全局视野(6)关联力(12)
	人文素养(39)	人文与社会科学知识(23) 人文关怀与思考(3)欣赏力(3)	人文素养(7)形而上思考(1)
领域通用能力(519)	全球胜任力(47)	全球与在地知识(3)全球思维能力(2) 全球视野(25)全球合作与竞争能力(8)	全球视野(25)参与全球竞争的能力(3)
	创新思维(167)	创新能力(70)批判性思维(34) 拓展性思维(5)	创新精神(19)批判性与分析性思维(2)
	前沿洞察力(33)	前瞻性和战略性思维(17)洞察力(5)	前瞻性思维(8)战略思维(3)
	情境适应能力(85)	动态适应力(40)情境化能力(32)	应对变化的能力(20)灵活性与适应性(22)
	跨界融合能力(187)	整合能力(17)跨学科能力(54) 跨领域技能(88)	技术意识与人文情怀交融(2) 跨学科团队工作(15)
卓越行为能力(428)	持续创造力(108)	创造力品质(54) 创造性思维与能力(54)	勇于挑战和坚韧不拔(36)创造力(23)
	社会责任与伦理(130)	伦理意识(18)社会责任感(112)	历史使命与家国情怀(43)人文精神(10)
	自我调节与发展(190)	元认知能力(76)学习能力(40)知识能力(23)终身学习与创新发展(51)	自我认知能力(13) 知识应用于迁移能力(10)

资料来源：NVivo 编码得出；注：括号内数字为参考节点数。

（一）寻求个体和社会平衡的基准行为能力

基准行为能力由非认知性格特质和人际与社会能力构成，反映新时代卓越工程师的人格特质，是人才培养的基本立足点。（见图1）其中，非认知性格特质包含价值观和态度、综合素质、诚信可靠、自信、自律等情绪智能因素。人际与社会能力包含组织环境与商业情境理解、用户思维与用户服务等市场能力，跨文化团队工作、跨文化沟通等跨文化能力，以及人际技能、团队协作等非技术能力。通常，自信、诚信可靠等人格特质能够驱动卓越人才产生利他的社会期望，而具有同理心和高情绪智能的学生更容易实现非技术技能发展，产生更高的社会承诺与社会事业参与。因此，非认知性格特质和人际与社会能力的耦合对于培养心怀公共福祉的卓越工程师，塑造其新时代价值观至关重要。

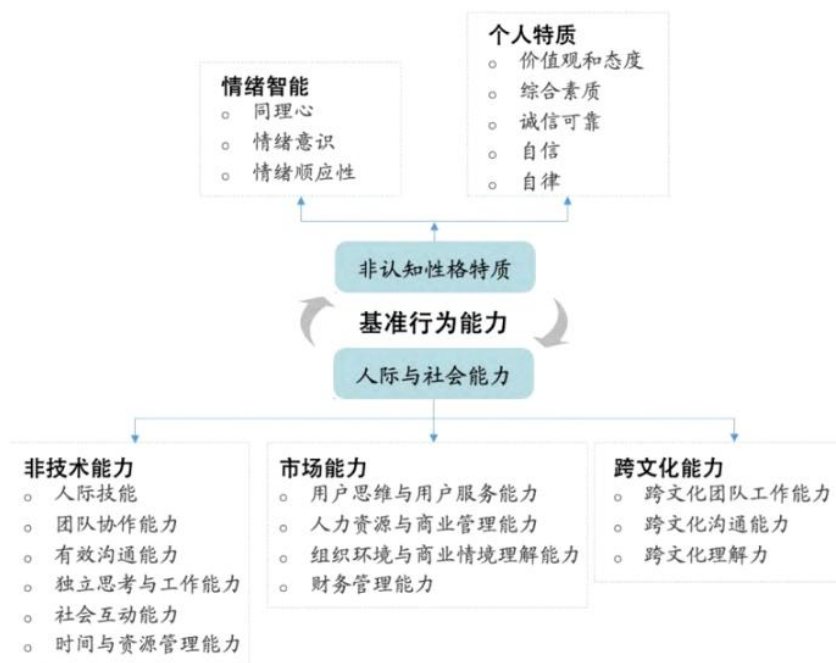


图1 卓越工程师基准行为能力

（二）科学基础、工程能力、系统思维、人文素养多维互动的领域专属能力

领域专属能力是新时代卓越工程师内涵特征的集中体现。（见图2）新时代卓越工程师不仅需要坚实的科学基础，而且应当具备将其应用到工程实践中的能力，并在不同问题之间建立关联形成系统思维，尤其是在新技术发

展背景下，融入人文素养以实现工程和技术“真善美”。融合科学基础工程能力、系统思维和人文素养是现代科学与技术发展的必然要求。从核心能力出发强调领域专属能力的统一，实质上是从人才培养的源头强化工程科学的独立地位，在解决真实社会问题过程中建立科学、技术、工程、人文的关联，避免工程教育依附于科学教育。

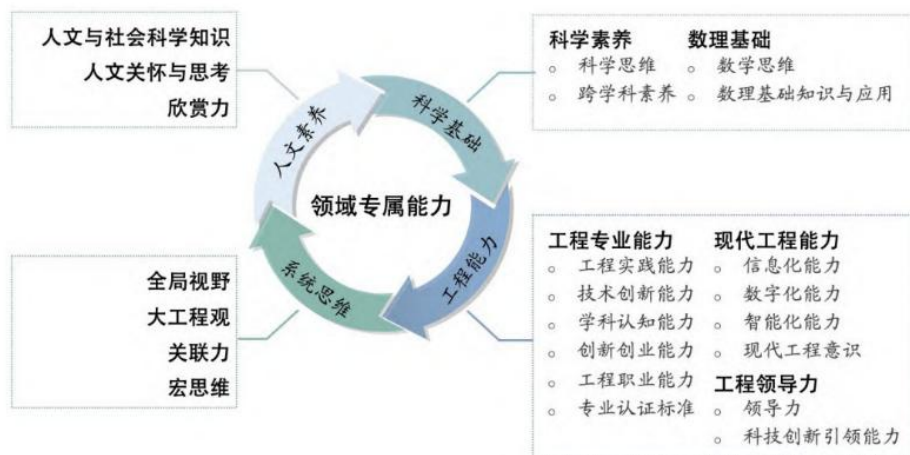


图2 新时代卓越工程师领域专属能力构成

从培养的角度看，学生在工程实践过程中灵活掌握领域专属能力，并在与环境的互动中产生卓越行为。一方面，人工智能、新材料等技术的更新迭代本身就呈现出交互与融合的态势，并在与文化、社会的持续互动中反向诉诸各项能力的交互；另一方面，日益复杂的工程实践要求整合基础科学知识和工程应用需求，需要系统思维的统筹和人文素养的融入。Passow 等的研究表明，复杂工程问题解决能力对于现代工程实践至关重要，但更关键的是不同能力的整合与交互。因此，新时代卓越工程师领域专属能力是科学基础、工程能力、系统思维、人文素养的多维互动。

（三）灵活应对未来挑战的领域通用能力

领域通用能力在整合与创造知识、创造性解决实际问题中发挥重要作用。Feldman 指出，卓越人才不是特定学科领域的卓越，而是能够灵活适应多学科领域和持续变化的环境。Feldman 并没有指出哪些能力构成领域通用能力，Chan 等则认为沟通、批判性思维、自主与终身学习、职业伦理与责任等是实现持续发展的通用能力，但这些能力更多是“生存”能力而非“卓越”能力。

基于扎根探索，本研究认为全球胜任力、创新思维、前沿洞察力、情境适应能力和跨界融合能力是新时代卓越工程师应对人类社会挑战和不确定问题、实现可持续与创新发展的领域通用能力。（见图3）

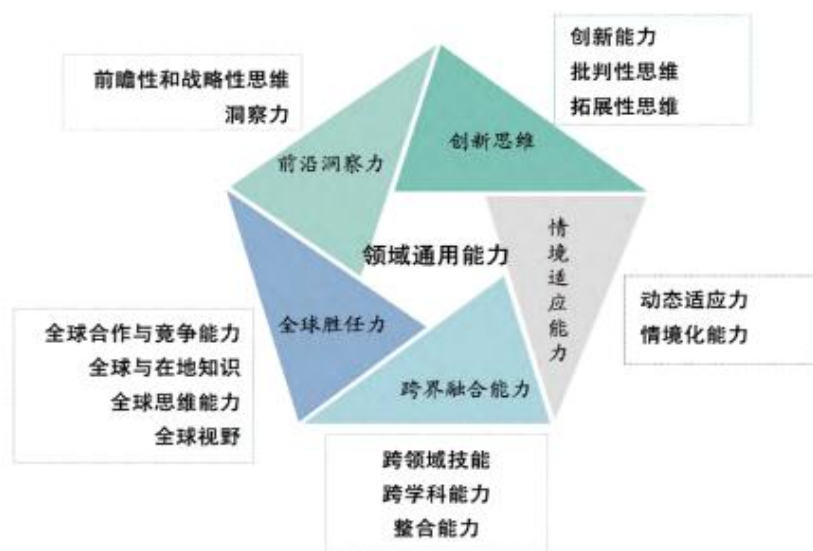


图3 新时代卓越工程师领域通用能力构成

（四）统领社会价值和个体价值的卓越行为能力

科技发展和全球化背景下，培养为全球共同利益和家国命运担当责任的未来领导者是推动技术创新、应对全球危机的必然要求。已有研究表明，社会责任感、创造力、智能、热忱等共同构成卓越人才的核心能力。根据扎根分析，本研究发现持续创造力、社会责任与伦理、自我调节与发展是新时代卓越工程师的卓越行为能力。其中，持续创造力由创造力品质（勇于挑战和坚韧不拔、愿景能力）和创造性思维与能力（创造力、创造性思维、开放性思维）构成；社会责任与伦理意识由伦理意识（伦理判断能力、伦理思维能力）和社会责任感（人文精神、历史使命与家国情怀、务实奋斗精神、理想信念）构成；自我调节与发展由元认知能力（自我认知、自我管理、自我迭代、反思性学习、自我效能）、学习能力（学会学习、快速学习、认知能力）、知识能力（知识反思、知识应用与迁移、知识理解与建构、知识管理、知识视野）和终身学习与创新发展（终身学习、自主学习、自主与终身学习）构成。

三项能力的相互作用能够统合外在的社会价值与内在的个体价值。（见图4）一方面，持续的创造性行为需要社会责任与伦理意识同自我调节与发展相互促进。创造力不仅需要创造性思维与能力，而且需要勇于挑战的勇气和坚韧不拔的毅力、突破常规和持续探索的愿景能力，这就需要内在的个体自我调节与发展和外在的社会责任与伦理共同作用；另一方面，卓越工程师的创造性行为能够推动技术创新，为社会经济发展带来实质性变革，有助于进一步强化其社会责任感和伦理意识，提升自我调节与发展能力。基于此，卓越工程师能够将社会价值和个体价值统合，通过社会责任与伦理意识产生自律性，实现有效的自我调节与发展，主动服务国家重大战略需求，担当全球发展的使命和引领科技变革的责任。

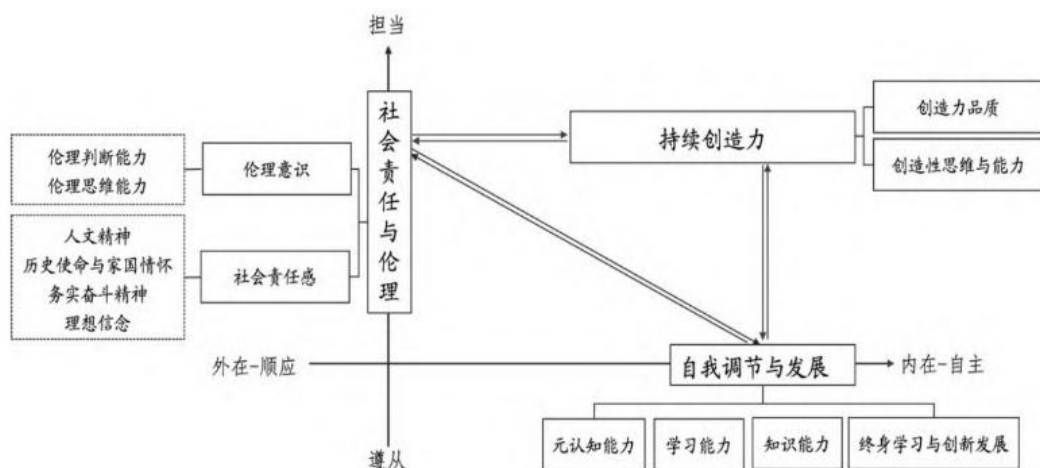


图4 卓越行为能力的作用机制

（五）新时代卓越工程师核心能力结构

新时代卓越工程师核心能力不是固定能力的集合，而是在成长过程中逐渐形成基准行为能力、领域专属能力、领域通用能力和卓越行为能力的过程。四项能力相互作用：基准行为能力是其他三项能力的基础（路径①），在卓越行为能力养成中发挥中介作用（路径②）。领域专属能力和领域通用能力并重，共同刻画新时代卓越工程师的核心要义（路径③）；其中，领域专属能力是卓越工程师培养的根本所在，领域通用能力则是应对未来不确定性、激发创新、实现可持续发展的关键。卓越行为能力强调通过社会责任与伦理统领个体价值，在与自我调节与发展的相互激发中产生持续创造力，从而立

足民族复兴与百年未有变局，与其他核心能力共同塑造新时代卓越工程师成为未来领导者和创新者（路径④）。（见图 5）

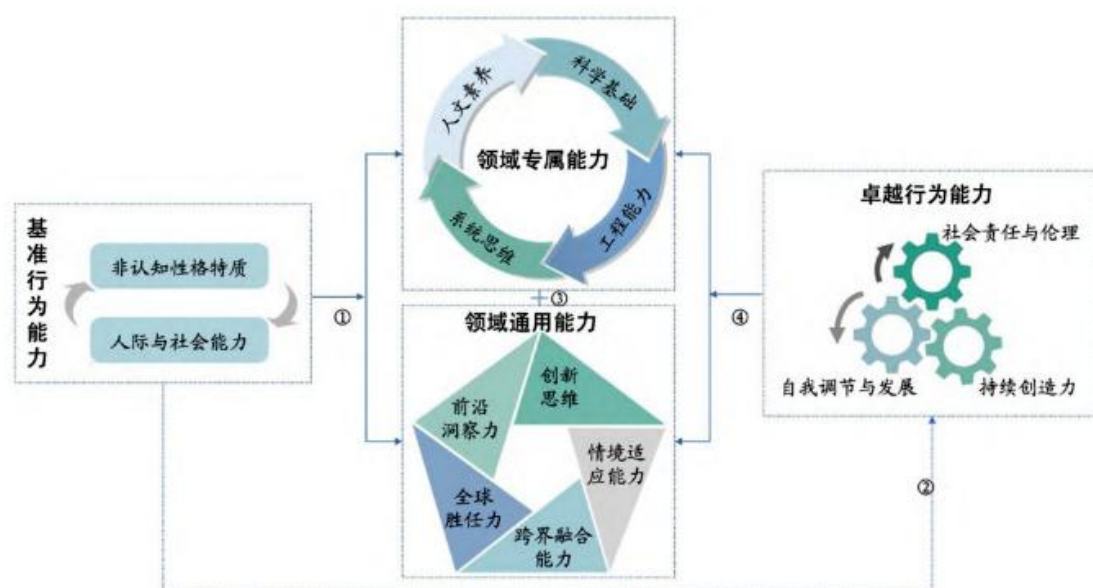


图5 新时代卓越工程师核心能力结构

四、结论与讨论

本研究通过扎根探索识别了由基准行为能力、领域专属能力、领域通用能力、卓越行为能力四维度 14 项核心能力组成的新时代卓越工程师核心能力结构。在识别核心能力构成的过程中，也引发了我们更深层次的思考：新时代卓越工程师何以“卓越”？

（一）“卓越”不是既定的学习成果要求，而是核心能力的持续积累

传统卓越工程师培养通常以专业认证为基准，或将创新能力、设计能力等具体能力作为“卓越”的特征。然而，出众的专业能力不足以定义“卓越”的全貌。伴随科学技术快速推进和知识指数级增长，卓越工程师培养的思路也在转变：关注学生智能与创造力的价值增值及其与环境的多元互动。因此，对“卓越”的理解也需要从既定的能力要求转向持续的能力积累。尤为重要

的是，虽然 ABET、《华盛顿协议》等认证标准体现了对沟通、团队协作等非技术能力的重视，但却缺少对学生个体特质和情绪智能等因素的关注。相关研究发现，情绪、动机在教育中扮演“情感动力”的角色，对学生学习参与、

思维活动、学业成就、成长发展具有促进作用。将非认知性格特质纳入核心能力，能够更加准确地描画新时代卓越工程师勇攀高峰、解决人类社会重大挑战的群体特征。因此，核心能力视角下“卓越”是综合内外部因素、整合领域专属能力和领域通用能力、融合社会和个体价值的持续发展过程。其中，基准行为能力确保“卓越”的育人理念，领域专属能力和领域通用能力并重是“卓越”的必要条件，卓越行为能力则是实现“卓越”的核心要义。

（二）“卓越”不是静态的能力，而是动态的行为

“卓越”的识别标准是行为，实现“卓越”不是单一能力的发展，而是灵活调动核心能力适应复杂环境的过程。因此，新时代卓越工程师培养是在与国家战略和社会发展的互动过程中不断趋向“卓越”；这实际上就是杜威“教育即生长”的理念：在不断适应环境的过程中持续塑造核心能力，借助核心能力本身的“生长力”发挥育人作用。这一过程中，自我调节与发展在基准行为能力、领域专属能力与领域通用能力之间发挥调节作用，是个体发展和培养活动的桥梁，体现卓越行为的主体价值和能动性，对学业成就和个体发展具有促进作用。

（三）“卓越”不是区分的等级，而是肩负的责任

将社会责任与伦理提升到与专业能力同等重要，甚至更加重要的地位是新时代卓越工程师培养的鲜明特色和前瞻谋划，对于应对全球重大挑战、服务国家战略需求、引领未来科技发展意义重大。进一步，社会责任与伦理、自我调节与发展能力分别从外部和内部促进持续创造力的养成，避免社会责任与伦理同个体发展剥离。现实层面，社会责任和伦理意识使卓越工程师将自身的“卓越”整合到社会和集体当中，从人类共同利益、民族伟大复兴中找准个体定位，站在人类命运共同体的角度创造价值、在专业领域实现终身学习和创新发展。因此，卓越行为能力映射出“卓越”不是等级而是责任：社会责任与伦理、持续创造性、自我调节与发展能力形成合力是新时代卓越工程师之所以“卓越”的根本。尤其是科技快速发展的背景下，对前沿科学

技术保持伦理思维能力和伦理判断能力，将科技伦理意识融入对全球共同利益和家国命运的主动担当中，是对卓越工程师提出的新时代要求。

五、启示与建议

卓越工程师是国家的战略人才力量之一，新时代、新格局背景下，我国卓越工程师培养进入高质量、内涵式发展阶段。结合研究发现，本研究进一步对新时代卓越工程师培养提出如下思考和建议。

（一）构建基于核心能力的课程体系

核心能力是课程体系建设的依据。虽然成果导向的工程教育理念逐渐受到认可，但其实施路径仍未能明确，致使课程体系建设多遵循学科逻辑，存在培养目标与标准和课程体系脱节的问题。基于核心能力重构课程体系，需要从工程实际和工程问题出发，遵循通识教育与专业教育结合、理论与实践结合、多学科交叉融合的理念构建项目中心、模块化的课程体系。

一方面，以项目为中心，根据核心能力重组多学科知识，构建通专结合、项目与课程衔接的课程模块。实施层面，核心能力与项目目标挂钩，利用面向科技前沿和产业需求的工程项目将人文、数理等通识教育模块和专业核心、专业方向、专业前沿等专业教育模块串联起来，根据项目任务与需求整合多学科知识。另一方面，多学科、多主体共建课程模块。模块化课程体系并不意味着条块分割，而是跳出学科边界将核心能力分解到不同模块中，包含将不同学科专业的课程组合在同一模块中、多学科师资与业界人员共同建设课程模块两种方式。基于核心能力，课程模块之间既相互关联又相互独立。如学科基础课程模块重在强化科学基础，但必须与专业核心课程模块配合才能确保科学基础的习得和应用。

（二）围绕核心能力深化产教融合培养

自然科学和人文社会科学不直接指向实践，但工程科学必然指向具体的实践和问题。因此，新时代卓越工程师培养应当以科学为基础，在工程实践驱动下实现核心能力的交融和互动。这一过程需要调动高校和企业的积极性，

通过产教融合培养工程能力、系统思维等核心能力，使学生在解决工程实际问题的过程中实现科学基础、人文素养的迁移应用。因此，需要产、教两大系统，从科学原理和工程实践出发，以科学为基础开展工程实践，促进领域专属能力与领域通用能力共同发展，并不断强化基准行为能力和卓越行为能力。2022年，教育部启动卓越工程师产教联合培养行动，致力于培养新时代卓越工程师、服务世界重要人才中心和创新高地建设。为此，创设具有挑战性的工程场景，尤其是结合集成电路、基础软件、网络安全等关键核心技术领域的迫切需求，在“大工程”项目协作中培养学生的持续创造力和自我调节与发展能力。此外，卓越工程师不是纯粹的技术人员，而是追求崇高理想和具有人文精神的未来领导者与创新者，能够正确认知其在社会挑战和工程问题中的社会责任与伦理。以真实的工程实践为载体，在解决复杂工程问题中实现社会责任感的内化和个体价值的实现，同样是产教融合的重要意义。

产教融合塑造核心能力需要以师资队伍建设为支撑，并与本研贯通培养结合形成有效的产教融合育人能力。师资队伍建设具体包括师资选拔与聘任、教师发展与培训、教师导学等机制：选拔与聘任机制以核心能力为基本依据引进前沿交叉、专兼职相倚的教师团队，也可以将领域专属能力和领域通用能力作为校内导师选聘的基本条件，把卓越行为能力作为校外导师的必要条件；教师发展与培训注重校内外导师工程教育教学能力和实践经历，前者是共建课程体系、设计教学内容的基本保障，后者是引导学生开展工程实践的基础。本研贯通则能够通过研究生阶段寓教学于工程实践、弹性制工学交替等举措倒逼和强化本科阶段领域专属能力培养。

（三）强化卓越工程师社会责任与伦理教育

2021年，习近平总书记在考察清华大学时指出，“当前中国青年是与新时代同向同行、共同前进的一代，生逢盛世，肩负重任。”肩负国家和社会的责任是对卓越工程师提出的时代要求，也是国家顶层设计、前瞻布局卓越工程师培养计划的重要动力。因此，新时代卓越工程师除了要具备卓越的基

准行为能力、领域专属能力和领域通用能力，更应怀有强烈的社会责任与伦理意识、具备成熟的自我调节与发展能力，致力于为人类命运共同体和民族复兴作出更大贡献。当前，我国工程伦理教育多采用伦理通识课程等直接的教学方式，对唤醒学生的使命感、涵养情怀发挥的作用有限。

社会责任与伦理意识的塑造需要与非认知性格特质和人际与社会能力配合，为学生创造认知社会问题、思考伦理道德问题、唤醒使命感的真实情境。课程设计角度，整合科学、技术、工程、文化等要素，多学科共同设计综合性研讨课程和讲座，引导学生参与到关于人类社会问题及挑战的对话与思考中，避免人文与社会科学参与工程教育的方式停留在对技术影响的简单认识上；师资建设角度，吸纳前沿关键技术领域产业界人员参与教学，开展跨学科工程伦理与科技伦理专门研究，支撑伦理课程教学内容；教学方法角度，拓展教学场域、创设真实的问题情境，发挥科研团队育人和大师榜样育人作用，通过体验式学习、情境式学习等方式引导学生批判性审视个体与社会环境之间的关联，主动与时代发展和家国命运产生共鸣，将自身成长和发展内嵌于宏大的社会结构当中。

原文刊载于《中国高教研究》2022年第9期

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

（杨斌，清华大学副校长，教授）

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

1. “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。

2. “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、精密仪器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”。

3. “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

1. 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，强化各类别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。

2. 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。

3. 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。

4. 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、校内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

1. 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。

2. 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。

3. 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。

1. 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。

2. 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。

3. 持续推动工程专业学位研究生教育改革创新，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，加强工程类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。

4. 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。

原文刊载于《学位与研究生研究》2022年第9期

● 他山之石

独辟蹊径的卓越工程师培养之道 ——欧林工学院的人才教育理念与实践

李曼丽

（李曼丽，博士，清华大学副教授，主要从事高等教育中的通识教育、高等工程教育、教育与人力资源开发研究）

富兰克林·W·欧林工学院（Franklin·W·Olin College of Engineering，简称欧林工学院）别具一格的教育理念和卓有成效的创新实践备受关注。欧林工学院筹建于1997年，2002年招收了首批四年制工学本科生，是美国最年轻的学院之一。该学院分别于2006年12月、2007年8月通过了NEASC、ABET等专业机构的评鉴。在社会评估中，根据2009年“普林斯顿观察”（the Princeton Review）对全美最有价值大学的评鉴结果，欧林工学院的各项指标排名都在前列，尤其是“最佳课堂学习体验”等重要指标排名均在前5名之列；“美国新闻与世界报道”公布的“全美2010大学排名”里，欧林工学院在工科类排名第八，在电机工程类排名第三。更值得关注的是，从首届招生至今未满10年，它已经成为与麻省理工学院、斯坦福大学、加州理工学院等名校争夺优质生源的强劲对手。欧林工学院究竟是一所什么样的学院？

一、欧林工学院的由来

在美国高等工程教育界，欧林工学院被称为“一个前所未有的”工学院，它的教育项目及培养计划被认为是“美国高等教育界近几十年来最大胆的试

验”。其独辟蹊径的卓越工程师培养之道与学院的成立背景是分不开的。

欧林基金会（Franklin•W•Olin Foundation）从1938年开始至1990年代末，陆续为全美范围内的68所大学捐建了72座大楼。1997年左右，欧林基金会董事会意识到如果继续以往捐建模式，其意义和影响有限，因此开始筹划新的发展思路，希望做些社会影响更大的项目。董事会初步决定创办一所工学院，因为基金会的创始人欧林先生曾经是工程师和企业家，创建一所以其尊名命名的工学院无疑是最好的纪念。

但是，对于即将建立的工学院的蓝图是什么，董事会并没有明确的概念。为此，时任董事会主席的劳伦斯（Lawrence w • Milas）亲自前往美国自然科学基金会（NSF）、美国国家工程院（NAE）等机构进行咨询，并了解到在过去20年中，美国国家科学基金会和工程团体都强烈要求彻底检讨工程教育。例如：如何促进工科学生从单一学科思维向跨学科思维方式转变；如何发展学生的团队技能；如何培养他们更多地思考工程的社会、环境、商业和政治背景；如何提升学生的终身学习能力；如何把工程实践和设计贯穿于整个课程教学过程，等等。为此，欧林基金会决定建立一所全新的工学院，旨在吸纳新的工程教育理念。因为只有在一所全新的学院里，才可能避免机构和制度上的惯性障碍，新的理念才便于实施。董事会表示，愿意把每一个美元用在这所新型工学院的建設上。该基金会倾其所有捐建该学院，共计4.60亿美金。这笔捐赠是美国高等教育史上最大的单笔捐赠款项。

基金会在马萨诸塞州波士顿近郊尼德海姆镇设计并建造了高科技校园，引进了世界一流的管理团队和一流师资。然后花了两年时间，广泛调查研究，细化、完善了欧林的工程教育办学思想和教育计划。这就是欧林工学院的由来。

二、“卓越工程师”的教育理念及实践

众所周知，美国拥有当今世界最成功的工程教育体系，世界各地的工学学子慕名前往麻省理工、斯坦福、加州理工、卡内基梅隆等工程学科卓越的大学负笈求学，这些大学已经成为世界工程教育的典范。但是，欧林工学院在尝试与上述名校的工学院不同的本科工程教育范式。

欧林工学院的定位与传统工学院不同，它强调该学院的教育计划一定要直面当今工程技术教育中的痼疾和挑战，致力于培养 21 世纪工程界的卓越革新者（Exemplary Engineering Innovators）。欧林工学院的教育计划是美国工程教育界的探新，其创新之处在于：首先，它有着独特的课程哲学——“欧林三角”；其次，欧林工学院首次把工程教育的跨学科教育理念真正落到实处；再次，欧林工学院以精心设计“项目为基础”的教与学贯通全学程，关注学生创新设计能力、工程设计能力和团队能力的培养；最后，它有着独特的校园组织文化，例如：首次在大学内不设“系”，首次摒弃教师终身聘用制等。这些都使得欧林计划在美国工程教育界独树一帜。

1. 关于“卓越工程师”目标的界定

欧林工学院致力于培养未来工程界的领军人物，认为未来工程界的领军人物应该具备：（1）精湛的工程基础和专业知識；（2）对工程的社会作用有广泛的理解；（3）创造性地提出解决当今世界工程问题的新办法；（4）使自己的梦想变成现实的创业精神和才能。从学院应该给予学生的知识和能力结构来讲，强调注重以下三个方面：

——深入理解并掌握工程分析和设计的原理；

——宽广的人文社会学科背景知识；

——能够促进其设计在工商业变成现实的智慧、活力以及奉献精神。

具体而言，欧林工学院的学生，首先应当掌握“卓越的工程技术能力”。他们将掌握坚实的科学和工程学基本原理、对工程系统的诊断能力，并能够运用这些知识和能力开发具有创新性的设计方案，应对技术、社会、经济等

发展变化和现实需求；其次，应当是“积极有效的沟通者”，他们将在职业范围内、外准确地判断机会，还应当对自身职业责任有清楚的认识，清楚了解工程工作的社会、经济和道德后果，并采取主动行为发生积极影响。

2. 作为“欧林三角”的课程哲学

该学院认为，在当今社会急剧发展、技术日益复杂的背景下，欧林工学院的未来毕业生首先应该深入了解世界的复杂性，学院应教会学生具有其将来从事工程行业所需的创造性，理解工程工作可能对人类社会的福祉所产生的巨大作用。培养未来工程界的领军人物，需要一种跟得上时代要求和工程技术发展要求的培养理念和课程计划。欧林工学院认为，工程教育首先是根植于传统的自由艺术传统的，非常强调艺术、人文社会科学和企业管理精神。于是，欧林教育项目的课程设计提出了独特的课程哲学框架，即：“欧林三角”（Olin Triangle Model，见图1）。这是一个由卓越的工程学知识、企业管理学知识和人文社会学科组成的三角模型。

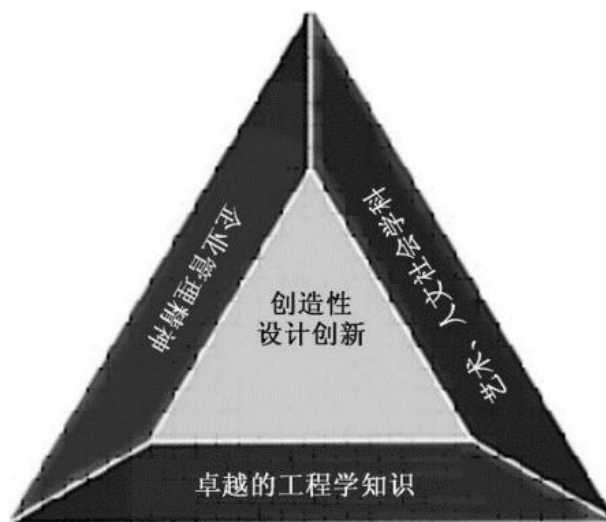


图 1

第一个元素是坚实的科学和工程基础知识，目的是教给学生有关工程和科学的基本原理。第二个元素是商业（企业）类有关课程，此类课程着力于促进对企业精神、工程的商业环境的理解。学生学习基本的商业惯例，了解、分析和评估各种商业机会，实现创造价值、满足人类社会需要的目标。第三

个元素是艺术、人文、社会科学。欧林工学院的技术教育以丰富而坚实的博雅教育为背景和基础，学生每学期都会有涉及艺术、人文和社会科学的课程。欧林学院希望学生能深入了解未来工作将依赖的社会、人类环境以及他们将面临的专业问题和道德问题。该部分知识避免让学生割裂地学习工科，因为任何工程都离不开一定商业、政治、文化和美学背景，只有这样，学生和教师才能够把工程和现实世界联系起来。图1是欧林工学院四年的课程安排，我们不难从中发现，所有课程就是围绕三元素而开设的。欧林工学院本科学位学习期限为4年，共需修120学分，分布在如下三个领域：“工程学”课程不少于46学分；“数学和科学”课程，不少于30学分，其中数学不少于10学分；“人文社会科学和企业管理类”课程，不少于28学分，其中人文艺术、社会科学类课程不少于12学分。在4学年8个学期当中，要求学生每个学期选课不多于4门或16学分课程（除第二学期5门课外）。欧林工学院的课程计划（见下表）可以帮助我们更清楚地了解跨学科思维的工程师培养理念是如何被落实在教学实践中的。

表1 欧林工学院的课程计划

第一学年	第1学期	工程学:分布系统	数学与科学:建模与物理世界模拟	工程学:设计的本质	艺术、人文社会科学基础	=15 学分
	第2学期	工程学:空间分配系统	数学:向量微积分	科学:物理	科学:生物或材料科学	企业管理基础:商业与企业管理基础 =17 学分
第二学年	第1学期	数学:线性代数概率与统计	工程学:工程原理	科学:化学、数学与科学或材料科学	艺术、人文社会科学基础	=16 学分
	第2学期	数学或科学	工程学:专业工程项目	工程学:专业工程项目	工程学:用户导向协同设计	=16 学分
第三学年	第1学期	选修	工程学:专业工程项目	工程学:专业工程项目	艺术、人文社会科学	=16 学分
	第2学期	选修	工程学:专业工程项目	选修	艺术、人文社会科学或企业管理	=16 学分
第四学年	第1学期	科学或数学	工程学:高级设计	工程学:工程高级咨询项目	艺术、人文社会科学或企业管理	=16 学分
	第2学期	选修或自学	工程学:专业工程项目	工程学:工程高级咨询项目	艺术、人文社会科学:设计专题	=16 学分

3. 名副其实的“跨学科”教学

“欧林三角”充分体现了关注学生跨学科思维的培养，奠定了跨学科培

养的基本框架。可以肯定地说，跨学科培养是欧林工学院努力贯彻的基本原则。

第一，在具体教学环节，欧林工学院的课程多为跨学科课程。欧林工学院致力于给与学生跨学科学习的经验，旨在培养学生在基础科学、数学和工程之间建立知识联系，同时在艺术、人文、社会科学和技术学科之间建立联系，在工商业、创业技能和工程技术之间建立联系。例如，一年级新生的课程模块包括工程学、微积分和物理学，要求学生在这三个模块课程的学习中，努力体验和探索三种课程之间的内在联系。欧林工学院的一位教师如是说：

“我们希望学生认识看似完全不同的问题及其相互关系……在我当年学习微分方程时，我不了解他们为什么让我学习。在欧林 我们会让学生在令人着迷的机械和电气项目背景和例子中学习微分方程。这样的形式能够让学生看到不同知识领域之间的联系 以及如何利用科学知识解决实践中的工程问题。”

第二，多数课程采用了高度跨学科团队授课。从一年级开始，学生的综合课程模块（包括物理、微积分和人文社会科学等），都由教师团队合作授课。跨学科师资团队是本校教师与附近的韦尔斯利学院、巴布森学院的教师一起合作建立的。

第三，为了实现“欧林三角”的培养思路，欧林工学院在组织、制度上也进行了独特的设计。首先 欧林工学院正式建立后，学院里不设“系”，只设有工程学（Engineering，简称E），电子及计算机工程（Electrical and Computer Engineering，简称ECE，以及机械工程（Mechanical Engineering，简称ME）等三个“主修”的本科学位，因此也没有独立的相应于某专业或者科目领域的预算。欧林不设系的原因在于，他们认为“系”这种机构的存在会成为“跨学科”培养理念的障碍。其次，学院在选址上也充分考虑到为实现跨学科培养提供永久可能性。欧林工学院是一所私立的、本科制的工学院，

位于马萨诸塞州波士顿附近的小镇尼德海姆（Needham, Massachusetts）与柏布森学院（Babson College）和韦尔斯利女子学院（Wellesley College）相邻。这不是偶然为之，实为匠心营造所致。因为柏布森学院的企业管理教育项目在全美排名第一，韦尔斯利学院又是美国文理学院（liberal arts college）中的翘楚。柏布森学院位于 128 号公路旁边，适逢该学院内有大量的土地闲置，欧林基金会便主动接触，从柏布森学院买下 70 英亩作为欧林工学院的校区。这可以使新建的欧林工学院从柏布森学院、韦尔斯利学院分享很多“非工程类”的课程资源、教师资源和校园设施。另一个重要的制度设计是，欧林工学院取消教师终身聘任制，以便组成学校所开设课程所需要的跨学科团队。教师不属于任何一个系，完全采纳合同制，五年一个任期，这种做法在美国历史上也是绝无仅有的。“我们相信这种做法很重要”，欧林工学院执行副院长乔安妮·科苏丝（Joanne Kossuth）说，“因为在当前世界中，最有趣的发现一般在各学科的交叉点上发生，这些发现一般是一个建立在工程、科学、商业和人文等所有这些东西的集合”。

4. 依托开放型项目的动手实践教学

欧林的校园由著名建筑师佩瑞（Perry Dean Rogers）等人设计，是典型的后现代主义建筑风格。校园建筑的八栋建筑物里，除了教学楼、宿舍楼、礼堂外，有一栋颇为显著的学术大楼，内部附有机加工厂、“项目研究”工作室。因为，欧林有一个坚定的承诺，不只教给学生基本概念和理论，而且要求学生能把概念与真实世界的挑战、与项目联系起来，用概念和理论解决实际问题，让学生通过自己分析、设计、制造工程系统来建立和发展实际的技术知识或实际技能，将实验室的动手学习（hands-on）和各种项目工作实践经验（Open-Ended Project-Based Learning）纳入到教育经验当中。

欧林工学院的教育方法笃信“眼见为实”，以团队为基础、以项目为导向的动手做中学以及问题解决能力为重都是欧林工学院教学方法的基本特

点。学院的很多课程都是动手型的工程设计类项目、严格的技术课程和实践项目（占每学期整个课程的 20% 至 60% 不等）。在整个课程中，欧林学生在开放型项目的研究和学习中逐步培养自己解决问题的能力。开放型项目分布在 4 年学程中，项目的数量和复杂性以及学生的知识和技能的现实性逐级递增。

欧林工学院认为，必须帮助学生建立工程与现实世界的联系，他们认为应该“尽快而不是等到他们学习两年理论的东西之后，还没有真正接触过任何真实的东西”。例如，从第一学年课程开始，学生就被要求在学院的机械加工厂做以项目为基础的工作；在数学、科学和工程类课程中，提供动手参与的建模、仿真工程、工程系统分析等方面的知识教学，并面向实际问题，指导学生进行实验设计、原型制作、提供现代仪器仪表的使用机会、培养测试技术、甄别测试解决方案等。又如，一年级的学生必修“设计学”，让学生根据仿生学（例如甲虫的跳跃机制）设计和制作机械玩具。再如，大二年级的“面向用户的协同设计”课程，所有学生需要用大约 6 个星期左右的时间建立一个原型，以改善某种防护设备的使用性能，学生们需要和生产线上的装配工、医院的护士、消防员和护林员一起工作来改善设计。

这种项目为基础的教学要求在四年级时达到顶峰。欧林的开放式项目的重点最后集中体现在毕业设计项目上，由数名学生组成的设计团队将承担一个工业界合作伙伴委托并赞助的真实项目，研究、设计并负责解决现实需求

为时两个学期。这就是四年级学生必须完成的“毕业设计项目”（capstone project）。毕业设计项目包括两个部分：第一部分是工程高级咨询项目（Senior Consulting Program for Engineering，简称 SCOPE），项目组被某个公司、非赢利组织或风险投资企业选中，做真实的工程项目；另一部分是“人文、艺术、社会科学”或“创业精神毕业设计项目（Arts, Humanities, and Social Sciences，或者 Entrepreneurship），在这个项目中，学生被

要求做一个与自己专业有关的设计项目或创业计划。

正如图 2 所示，欧林课程分为三个阶段：第一阶段是“基础知识”，它强调掌握和运用与工程项目有关的大量技术基础知识；第二阶段是“专业化知识”，使学生深入了解和掌握所选择领域的专深知识；第三阶段是“转化知识”（realization），学生将所学知识应用于本专业领域的实践问题。在所有三个阶段课程学习中，学生参与跨学科的工程项目，要求将理论付诸实践，在工程的背景下发展团队协作能力和管理能力。随着学生学习的不断进步，这些项目越来越具有开放性，也越来越真刀真枪。

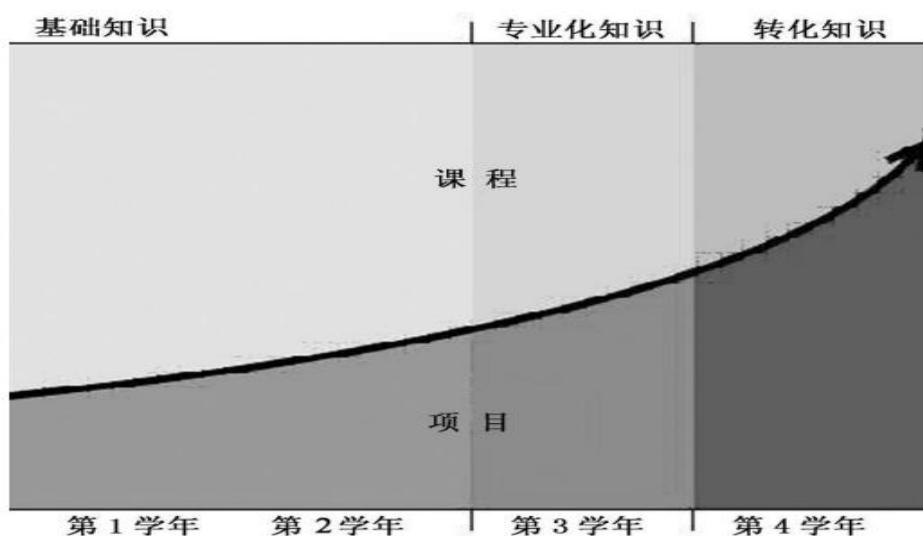


图 2

三、结语

欧林工学院在人才培养上充满新意的做法在美国工程教育界独树一帜，其教育计划具有很强的吸引力。据 2009 年 8 月统计数据显示，在该学院就读的 300 余名学生中，有 17% 的学生是美国 FIRST 赞助的三大机器人大赛（FIRST Robotics Competition）的获奖者；就录取难度而言，该校录取的新生约有一半得到过 MIT、加州理工等名校的录取通知。但是欧林工学院的毕业生究竟能否如其所望而成为未来卓越的工程界人士，这个问题现在讨论还为时尚早。

我们可以看到的是：第一，不难推测，欧林“试验”能否推行，依赖于小班教学，依赖于商科、人文社会科学和工科教师组成的强有力的跨学科合作，依赖于学校与工业、商业界的紧密合作关系。在欧林工学院，这些必备条件都有良好的基础。但是这种做法能否推广到其他学校，答案并非简单的“是”或者“不是”。当然，欧林学院正在尝试的“卓越工程师”培养计划无疑是对近年来工程教育批评的切实回应，而不是仅仅停留在讨论的层面上。第二，欧林“试验”是一项正在进行的工作，欧林计划不能被看作是最终的善本，欧林人正在努力尝试新的工程人才的培养理念和做法。在整个工程教育界，上世纪九十年代中期以来，呼吁工程教育必须做出某些改变的要求一直没有停止过，相信这不仅是欧林工学院的创始人、教师和学生希望看到的，而且一定也是世界其他地区的工程教育界期待看到的。尽管这些“变化”离理想的工程教育状态还有差距，但正如温斯顿·丘吉尔的一句名言：“现在并不是结束，结束甚至还没有开始。但是现在可能是序幕的结束。”

原文刊载于《大学教育科学》2010年第2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

(叶金鑫, 北京航空航天大学人文社会科学学院, 博士后研究人员;

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;

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;

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)

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技术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技术卓越人才。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员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、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、校企衔接不畅、产教联盟松散,企业主体缺位现象仍然存在,企业参与培养

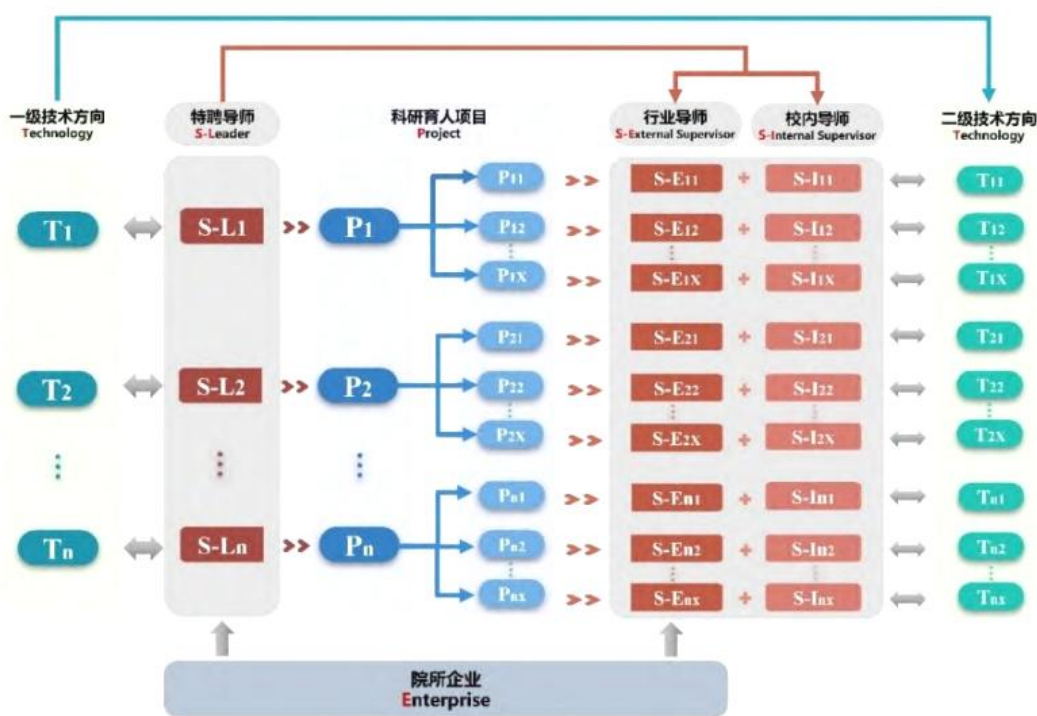
的积极性不增反减。从高校主体的角度来看，新时代卓越工程师教育培养具有新要求也必然呼唤新机制，高校应当走出舒适区、迈入改革深水区，为校企协同做充分地准备，包括探索理论学习和实践学习的高效衔接，通过恰切地“工学交替”来提升学生真实世界的问题发现和解决能力；创新校内导师和企业导师的联动机制，充分调动校内外导师的积极性等。然而，已有的新工科、未来技术学院等卓越工程师培养特区的建设多依托高校已有优势研究领域或拔尖人才培养基地，使得高校依赖于现有的校企合作机制，缺乏主动改革意识，教学体系的思维惯性和路径依赖牵制“协同效应”的激发，导致培养成效有限。

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）



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间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内外科研合作为基础,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。

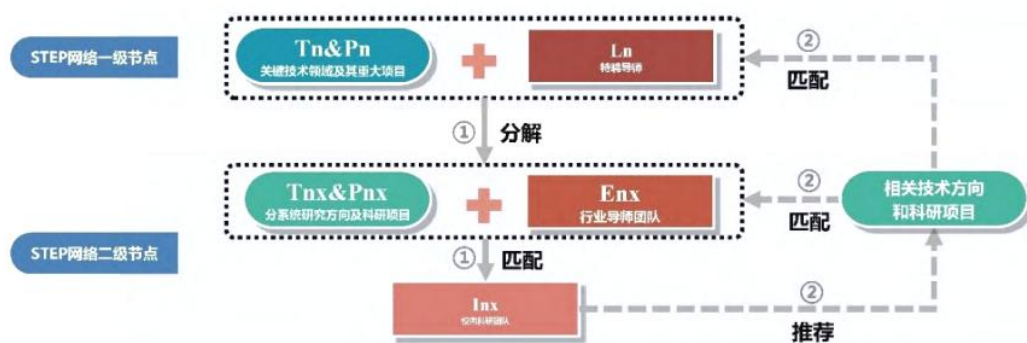


图3 STEP校企协同育人体系构建路径示意图

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。

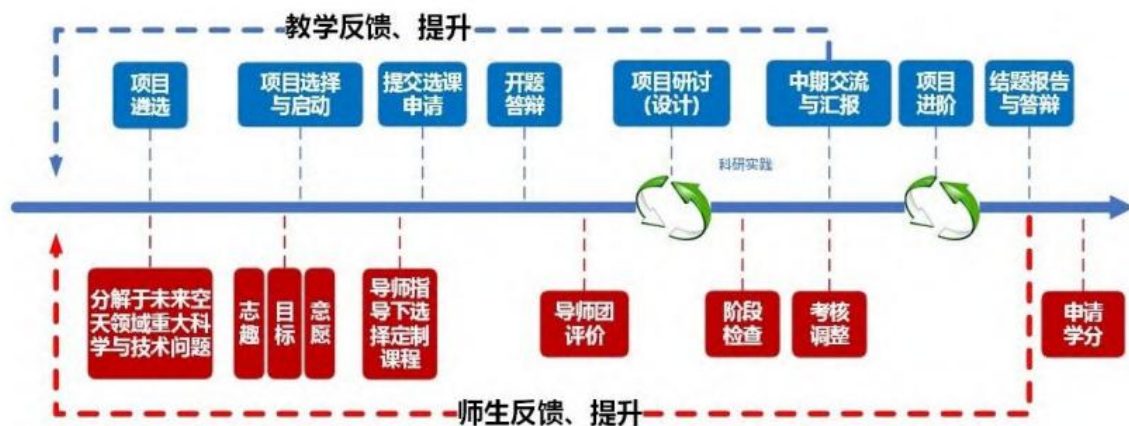


图4 项目牵引下的逐层进阶式培养——团队科研实践项目

（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。

原文刊载于《中国高教研究》2022 年第 6 期

德国应用科学大学模式 对实施“卓越工程师培养计划”的启示

刘建强

（刘建强，湖南工程学院教务处处长、教授）

德国应用科学大学（Fachhochschule，缩写 FH）是德国高等教育体系中的一个重要组成部分，始建成于 20 世纪 60 年代末、70 年代初，经过近 40 多年的发展，已经形成了从办学理念、培养目标到教学内容、课程设置都比较成熟完善的应用型人才培养体系。至今，德国有约 2/3 的工程师，一半的企业管理人员和计算机信息技术人员毕业于应用科学大学，是名副其实的工程师摇篮。我国教育部近期决定实施的“卓越工程师培养计划”，以创立高校与行业企业联合培养工程师的新机制为核心，与德国 FH 模式有异曲同工之处。研究借鉴德国 FH 模式对我国实施“卓越工程师培养计划”有着重要和现实的意义。

一、德国 FH 模式的特点分析

1. 从生源条件看，应用科学大学的学生入学前一般都具有相应的实践经验。学生主要来自专业高级中学、高级专业学校、完全中学、专业完全中学。专业高级中学主要接收已接受过双元制职业培训的实科中学毕业生；高级专业学校本身为职业教育机构，学生一般在此之前都已接受过双元制的职业培训；完全中学和专业完全中学学生在毕业后如果没有接受过职业培训，则一般要经过实习后才能进入应用科学大学学习。

2. 从培养目标看，应用科学大学的教育目标是培养掌握科学的方法、擅

长动手解决实际问题的工程技术专门人才。为保证这一培养目标的实现，应用科技大学的学制为4年，采用“3+1”模式，即有两个学期（一年）为实习期，这是决定并影响其教学质量的关键因素。应用科技大学的课程根据其培养目标而设置，课程体系和教学模式面向职业和实践。从实际效果出发，企业需要什么，学校就教什么。就教学方式而言，应用科技大学的课堂教学分为理论课和习题课。理论课讲授理论知识，习题课做练习，目的是提高学生的计算能力和实际应用能力。理论课和习题课的教学时数比例为2:1，可以是同一个教授讲授，也可以分别由2个教授完成。

3. 从人才培养方式看，应用科学大学采用学校与企业紧密结合的双元合作教育模式。德国的应用科学大学是随着企业的需求而发展起来的，与企业有着千丝万缕的联系，学校与企业相互依存。人才培养由校企共同承担，学校负责理论教学，企业负责实践教学，并为毕业生提供工作岗位。企业是学校生存的依靠、发展的源泉；学校则是企业发展的人才库、技术革新的思想库。应用科学大学的专业设置具有鲜明的面向行业的特征。如：不伦瑞克·沃芬比特尔应用科学大学一个校区在大众公司总部沃尔夫堡，汉诺威应用科学大学的附近有大众公司分厂，埃斯林根应用科学大学的附近有奔驰公司，而这几个学校都设有车辆工程专业或机械制造专业，为所在地区培养汽车行业的工程师。

4. 从师资队伍看，应用科学大学的课程实行教授负责制。课程一般由教授主讲，每一教授配有至少1名教学助理，协助教授进行相关课程的实验准备和实验指导。根据德国《高等教育总法》的规定，应用科学大学教授的聘任条件相当严格，一是高校毕业；二是具有教学才能；三是具有从事科学工作的特殊能力，一般应有博士学位；四是在科学知识和方法的应用或开发方面具有至少5年的职业实践经验，其中至少有3年在高校以外领域工作的经历，并做出特殊的成绩。为鼓励教授们加强与企业的合作，进行技术转让或从

事应用型科研开发活动,有些联邦州还规定,应用科学大学的教授每4年可以申请6个月的学术假,下企业了解企业来发展的最新状况。

5. 从实践教学看,应用科学大学实践教学的过程与管理均以企业为主导。企业主导应用科学大学的整个实践教学过程。应用科学大学的新生进入主要学习阶段后,有3个月的企业实习,同时在学校里学习的内容也主要来自企业,强调实践性和实用性,学生还要经常去企业参观考察,了解企业工作情况及实际的工作程序和方法,实验、设计、实践练习、实习等环节占教学总学时数的 $2/3$,这样就使得学生有充足的接触实际、自己动手操作的机会。应用科学大学的校内实训课采用的是跨学科与解决企业问题为导向的学习方式。在专业课教学中,来自企业的兼职教师则广泛采用“应用性项目教学法”,通过围绕某一实际项目实施教学。企业以接受和指导学生实习培训为己任。德国的企业普遍积极、严格地遵守义务接收应用科学大学的学生实习和培训的法律规定,并把这种校企合作看作企业自身发展中重要的一部分。企业同时是评价、考核学校实践教学成果的主体。学生在企业培训期间,其实习成绩的考核与评定主要由企业负责。实习结束时,企业指导人员将为学生出具一份实习工作鉴定;学生要完成一份详尽的来自企业的实习报告。同时,学生毕业论文(设计)的题目70%来自企业的实际需要,并大多在企业中完成。

二、“卓越工程师培养计划”的探索

我国工程教育在过去的60年中取得了巨大的成就,累计培养了本、专科毕业生1080万人,研究生58万人。从学校情况来看,截至2008年,全国普通本科学校设有工科专业的有981所,占普通本科学校数的90.9%,可以授予工学硕士学位的大学572所,可以授予工学博士学位的大学269所。普通高校工科专业在校生为770多万人,占普通高校在校学生总数的35.9%。但

是，我国工程教育仍存在不少问题，主要体现在：人才培养模式单一，多样性和适用性欠缺；工程性缺失和实践教学薄弱问题长期未得到解决；评价体系导向重论文、轻设计、缺实践；对学生的创新教育和创业训练重视与投入不足；产学研合作不到位，企业不重视人才培养全过程的参与。

鉴于此，近年来，我国教育行政部门对德国应用科学大学的办学模式及成功经验给予了高度关注：一方面，就应用科学大学办学模式引入中国进行了有益尝试，积极支持一些大学与德国应用科学大学开展国际合作教育；另一方面，借鉴德国应用科学大学的办学模式，实施“卓越工程师培养计划”。

“卓越工程师培养计划”是推进我国高等工程教育改革，促进高等工程教育质量全面提升的重要举措。它有6个方面的基本内容：一是指导思想，强调树立“面向工业界、面向未来、面向世界”的工程教育理念，以社会需求为导向，以实际工程为背景，以工程技术为主线，通过学校和企业的密切合作，统筹规划学生校内学习和企业学习所应达到的培养目标，着力提高学生的工程意识、工程素质和工程实践能力，从而创建有中国特色的工程教育模式。二是培养目标，明确要培养造就一批创新能力强、适应企业发展需要的各类工程技术人才。根据不同高校的人才培养目标，工程技术人才有本科工程型、硕士工程型、博士工程型三种。三是参与专业，主要是传统产业和新兴战略产业。具体到某一高校在选择本校合适的专业领域时，要结合学校的办学定位、人才培养目标及优势与特色。四是培养标准，有通用基础标准、行业专业标准和学校培养标准三个层次。通用基础标准是“卓越工程师培养计划”在国家层面的标准，是引导性标准；行业专业标准是在通用标准指导下，规定一个具体专业的工程师培养应该达到的基本要求；学校培养标准是在通用标准的指导下，在行业专业标准的规定下，根据本校情况制定的具体专业的培养标准，体现学校的定位、优势与特色及服务面向。五是培养模式，由企业和高校联合进行培养，培养过程包括在校内学习和在企业学习两部分。

本科学生和硕士研究生的工程实践时间（包括毕业设计）累计均要达到一年。培养方案由校企联合制订，这一方案必须对学生在企业学习阶段的培养目标、培养标准、培养计划（课程或环节）、实施企业、工程实践条件、师资配备等方面做出具体明确的规定，体现可操作性。六是师资队伍，参与“卓越工程师培养计划”的教师要具备在企业工作的工程经历。参与高校要优先聘请有企业工作经历的专兼职教师，切实提高专业课教师中具备在企业工作的工程经历的教师比例，确保在4年内每一届学生有6门专业课是由具备5年以上企业工程经历的教师主讲。对工科教师的评聘与考核从侧重评价理论研究和发表论文，转向评价工程项目设计、专利、产学研合作和技术服务等方面。

湖南工程学院作为获准实施“卓越工程师培养计划”的高校，2010年首先在电气工程及自动化和机械设计制造及其自动化等两个特色明显、行业和社会影响较大的省级特色专业共300多名学生中实施，并计划到2011年，扩大到学校所有的省级以上工科特色专业。学校实行“3+1”校企联合培养方式，前3学年在校内学习，主要内容除基础理论知识和专业理论知识外，还要结合专业内容穿插到企业进行短期实习和培训；学生在最后一年到企业参加工程实践和毕业设计，在企业学习采用“项目制”和“轮岗制”的模式，实行校内导师和企业导师的双导师制。学生在学校教师和企业导师指导下，参加产品设计、工艺流程和生产检验的全过程，完成毕业设计工作，并由学校导师与企业导师共同评定成绩。

三、对实施“卓越工程师培养计划”的思考

德国应用科学大学的成功既有历史原因，也有政治、经济、制度等原因，其中许多东西我们是无法具备的，尤其是在制度层面和文化传统上。但它对于我们实施“卓越工程师培养计划”，确实又有许多方面值得借鉴，要使这一工程教育改革切实有效，持之以恒，至少必须破除四个方面的障碍。

1. 企业参与。“卓越工程师培养计划”的关键是企业实践学习能否取得实效。德国的企业普遍愿意接受应用科学大学学生，一个重要的原因是因为政府出面干预，使产学合作制度化，各种学校教育与企业培训规章、法规及联邦基本法，均规定了企业、学校、个人的具体责任和义务，为应用科学大学教育计划的顺利实施提供了政策保证。企业把为学校提供办学支持当作是一种义务、一种企业行为，同时企业也得到了国家规定的免税等优惠政策。学校和企业相互支持、共同受益，形成良性循环。但我国国情目前还没有这样的基础使企业真正介入到学校的办学之中。因此，国家要制定相应法律法规，把工程教育作为企业的职责之一，制定相应的鼓励政策，如高新企业的审批、校企合作科研项目的经费支持、税收减免等，促进企业的积极性，从而建立企业参与工程教育的长效机制，促进学校与企业在人才培养、科学研究、人员培训、项目合作等方面的广泛合作。

2. 经费与设施。卓越工程师培养计划的实施，在教学、管理、师资、实习基地建设和实习设备、校企协作管理等方面均需要增加大量投入，特别是学生到企业实习需要较多的投入。在德国，企业是应用科学大学实践教学经费的主要来源。公立应用科学大学的办学经费主要由州政府和联邦政府拨款解决，但来自企业的教学、科研合作的经费是应用科学大学第三渠道经费来源的主体部分。从某种意义上说，应用科学大学的教育相当于企业定向培养。当应用科学大学的学生和企业签订实习合同、学生是以企业“准员工”的身份接受企业培训，企业为学生支付每月约 300-500 欧元的培训津贴。企业的慷慨资助不仅消除了学生经济上的后顾之忧，而且毕业时的就业问题也基本得到了解决。实施“卓越工程师培养计划”，要走到这一步，既是我们所期盼的，同时又深感任重道远。

高标准的设施能为高质量的人才培养奠定重要基础。德国企业对应用科学大学的理解和支持程度是我们目前可望不可及的。一定时期内，我国绝大

多数企业的视角也不可能发生明显转变。因此，我们在实施“卓越工程师培养计划”时，特别是初始阶段，校内实践条件尤其重要。在目前各高校办学经费普遍紧张的情况下，一个有效的途径是中央政府协调地方政府共同出资建设一批具有地域产业特点、专业范围较宽、带动作用较强、辐射效果较好的大学生综合性实习基地。事实上，校内实训设施建设也是实施德国应用科学大学办学模式的一个极其重要的环节

3. 生源条件与学位。德国企业愿意为应用科学大学的学生提供实习支持和配合，一个重要原因是学生质量高。因为应用科学大学的学生已经具备了一定的实践基础，实习时实际上是“顶岗工人+科研人员”的身份。有了这样一种身份，企业觉得很经济。因为，一个企业只需付给实习学生每月约300-500欧元的培训津贴，却需要付给一个工人每月约3000-4000欧元的工资。参加“卓越工程师培养计划”学习的学生，如果要在入学前具有相应的实践经验，就必须另辟蹊径。譬如：从职高对口招生，但这部分学生的文化基础相对较差，招生时必须单独划线；或与高职院校签订“专升本”协议，把这些学生录入后，本科两年中实行“1+1”模式；或对新生实行企业内预实习。

学位问题涉及学生的积极性。对于一些还没有硕士学位授予权且实施“卓越工程师培养计划”的高校来说，国家如果为这部分学生划出一条对应的升往硕士工程型、博士工程型人才的单独通道，或者为他们参加研究生考试时，制定特殊政策，无疑能极大地激励学生参加“卓越工程师培养计划”学习的积极性。

4. 国际交流与合作。学习德国高层次应用型人才培养的经验，必须积极扩大开放，举办国际合作办学项目，加强与国外高校间的交流。因此，国家支持相关高校开展工程类专业对外合作交流非常重要，要鼓励“卓越工程师培养计划”试点高校积极参与同德国等世界一流工程类专业高校的合作交流，在审批此类合作办学项目时予以优先考虑，在全额资助国家公派出国留

学、进修项目，以及分配青年骨干教师出国研修项目名额时，优先考虑参加“卓越工程师计划”项目的教师。

原文刊载于《中国高教研究》2010年第6期