



# 中国 教育 科研 参考

2022 年第 19 期

总第 (533) 期

中国高等教育学会编

2022 年 10 月 15 日

## 目 录

深化拓展新工科建设 培养新时代卓越工程师.....	金东寒 (02)
培养大批堪当民族复兴重任的新时代卓越工程师.....	林 健 (05)
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 (14)
基于STEP工程教育理念的卓越工程师培养模式.....	王 扬 于靖军 (21)
卓越工程师培养机制中“实践不实”现象的诱发因素研究 ——基于参与者视角的扎根理论分析.....	王 超 李冰冰 晋媛媛 (26)

**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:段爱峰

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)

# 深化拓展新工科建设 培养新时代卓越工程师

金东寒

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。

## 一、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。

## 二、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。

（一）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。

（二）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。

（三）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。

（四）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个国家一流工科专业建设点（占比38%）；建设1709门国家一流工科课程（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）。

### 三、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。

（一）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，加强工程人才的创新精神和实践能力的培养。

（二）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。

（三）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。

#### 四、面向未来新工科建设的思考

立足新时代、面对新要求，新工科建设完全有信心、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。

##### （一）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效度。促进卓越工程师与工程硕博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。

##### （二）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。

##### （三）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。

##### （四）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。

（金东寒，天津大学校长，全国新工科建设工作组组长，天津 300072）

（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

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、人才教育培养理念、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培养理念。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”源于人才教育培养理念；“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育，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”：提高学生兴趣；提高学生参与度；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；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⼯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，在教育教学中没有积累，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、⼤⽅协同育人机制

虽然企业是⼤校最重要的合作者，但是新时

代卓越⼯程师教育培养还需要加强与政府⽬门、科研院所及⼯业组织的合作，形成由⼤等学校、各类企业、政府⽬门、科研院所和⼯业组织等主体共同参与的⼤⽅协同育人机制。

中央政府⽬门和⼤府⼤府通过政策⽬施分别影响全国和⼤⽅的产业发展布局、⽅向、结构、速度和规模，⼤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的贯彻落⽤，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。

⼯业组织在⼤⽅协同育人机制中能够发挥沟通协调作⽤。⽅⾯，⼯业组织能够为⼯业内企业与⼤校之间建立起沟通和协调的桥梁，使⼤⽅增进了解、明确诉求，实现在互惠共赢基础上的长期深度合作；另⽅⾯，⼯业组织能够加强政府与⼯业内企业的沟通，推动政府出⽤既支持企业发展，⼤激励企业参与⼈才培养的政策⽬施。

⼤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⼤校、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，要充分发挥政府⽬门、⼯业组织、产教联盟和科教联盟等的牵线搭桥作⽤。

⼤⽅协同育人的主要⽬标是协调多利益主体关系，争取⽅⽅教育教学资源，构建校企合作、政校协同、产学融合、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。

（林 健，清华大学教育研究院教授、学术委员会主任，北京 100084）

（原文刊载于《中国⼤教研究》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

## 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

坏”，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、阎焜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、综合素质等个体特质因素，以及同理心、情绪意识等情绪智能因素。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。

#### (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

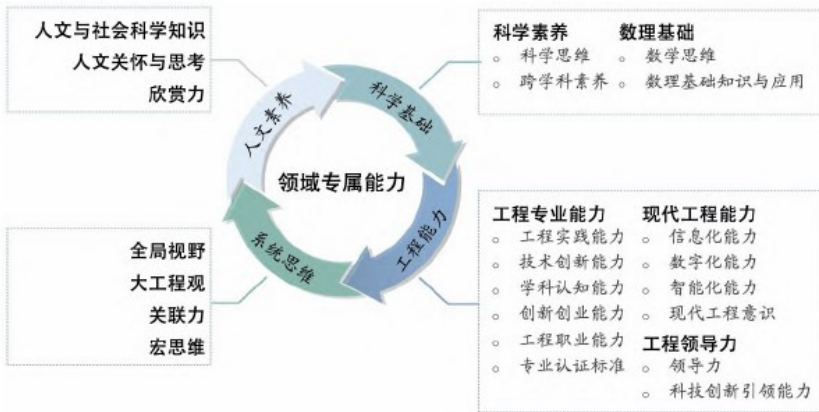
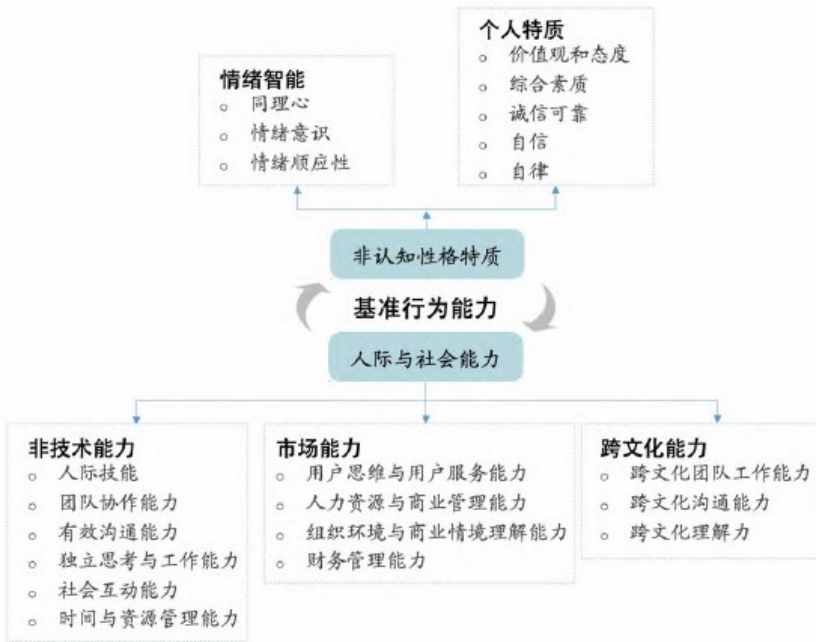
领域专属能力是新时代卓越工程师内涵特征的集中体现。（见图2）新时代卓越工程师不仅需要坚实的科学基础，而且应当具备将其应用到工程实践中的能力，并在不同问题之间建立关联形成系统思维，尤其是在新技术发展背景下，融入人文素养以实现工程和技术

的“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。

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

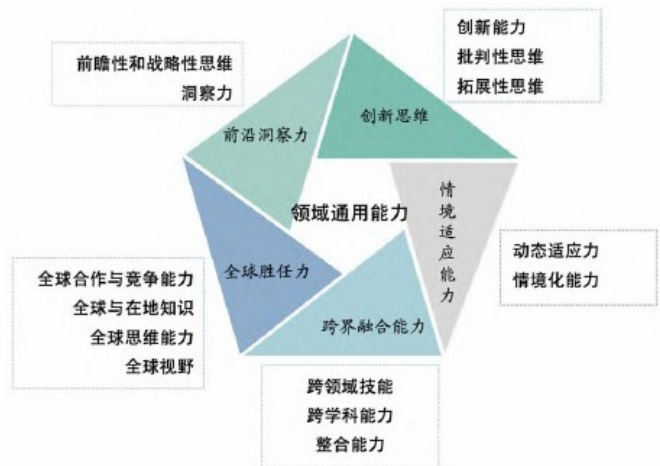
领域通用能力在整合与创造知识、创造性解决实际问题中发挥重要作用。Feldman指出，卓越人才不是特定学科领域的卓越，而是能够灵活适应多学科领域和持续变化的环境。Feldman并没有指出哪些能力构成领域通用能力，Chan等则认为沟通、批判性思维、自主与终身学习、职业伦理与责任等是实现持续发展的通用能力，但这些能力更多是“生存”能力而非“卓越”能力。基于扎根探索，本研究认为全球胜任力、创新思维、前沿洞察力、情境适应能力和跨界融合能力是新时代卓越工

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）

### （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。

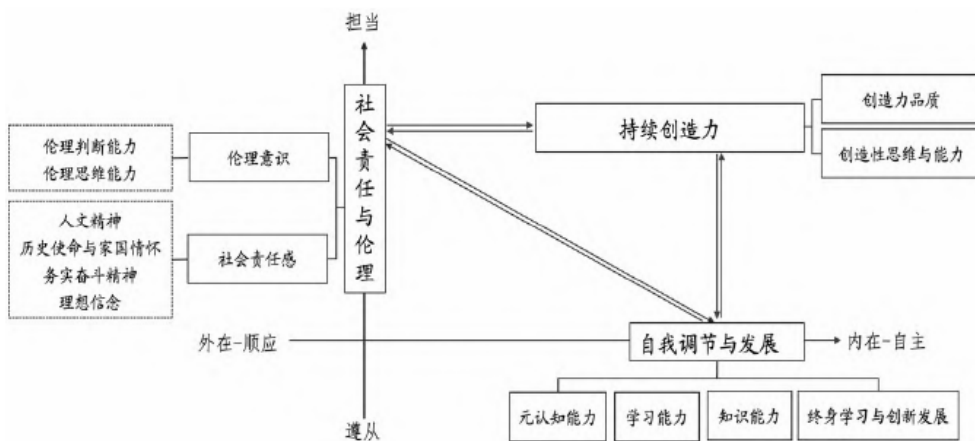


图4 卓越行为能力的作用机制

#### (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)

#### 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

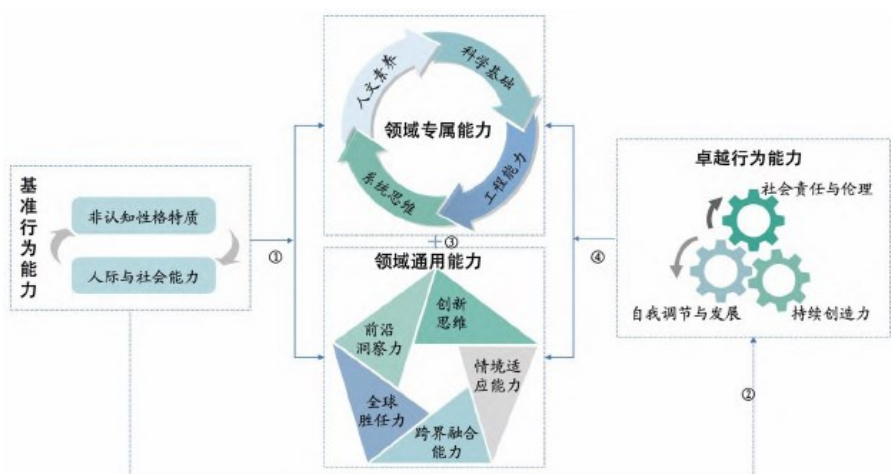


图5 新时代卓越工程师核心能力结构

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。

（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，北京 100191；姜子娇，北京航空航天大学高等教育研究院博士研究生，北京 100191；雷庆，北京航空航天大学高等教育研究院副院长、研究员，北京 100191；中国高等教育学会第四届学术委员会委员，北京 100191）

（原文刊载于《中国高教研究》2022年第9期）

# 基于STEP工程教育理念的卓越工程师培养模式

王 扬 于靖军

目前，世界新一轮科技革命和产业变革迅猛发展，综合国力竞争日益激烈，而综合国力竞争说到底还是人才竞争。2021年中央人才工作会议将卓越工程师作为国家战略人才力量的重要组成部分，要求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，支撑中国高水平科技自立自强。然而长期以来，中国高校在卓越工程师培养方面仍存在以下突出问题：（1）理论教学“知识灌输”多，实验教学“重复验证”多；（2）理论教学和实验教学、教学和科研脱节；（3）课堂教学缺少面向工程实际的教学内容。这些问题让高校工程教育效果大打折扣，导致学生学习主动性不强，创新实践能力不足，严重阻碍了高校卓越工程师培养。

近年来，以CDIO（Conceive-Design-Implement-Operate）为代表的工程教育理念成为高校卓越工程师培养的纲领和行动指南。国内部分高校尝试将体验式教学、研究型教学和项目式教学等新型教学方式在工程教育中进行推广和应用。为适应新形势下创新人才培养的需求，在工程教育改革的工程认证大环境下，笔者借鉴CDIO等国内外先进的教育理念，通过对标国际一流，结合北京航空航天大学工程教育特色，提出了对支撑工程教育、培养卓越工程师具有普适性的STEP教育模式（以下简称STEP），并在相关学院课程体系和课程群建设中进行了推广和应用，取得了良好的教学效果。

## 一、STEP概念及内涵

卓越工程师培养的目标是培养大学生的科学素养、突出技术创新能力、善于解决复杂工程问题的实践能力，培养过程离不开以创新型、综合化和全过程为理念的工程教育支撑。STEP就是瞄准卓越工程师培养的核心目标，把工程教育的普遍原理与国情、校情紧密结合的教育模式。STEP是软件（Software）、理论（Theory）、实验（Ex-

periment）和项目（Project）的简称。北京航空航天大学从2010年开始探索STEP，形成了项目驱动为核心，理论教学和实验教学协同，软件工具支撑的卓越工程师培养体系，并从课程体系、教学模式、保障机制等方面对STEP进行了全方位的探索和实践。STEP构建方案，如图1所示。



图1 STEP构建方案

STEP与CDIO既有不同特征，又有若干相似之处。CDIO是以产品、生产流程为载体，将系统从研发到运行的各个阶段进行分解，特征是按照产品实现过程的纵向维度构建课程体系，而STEP则是通过方法手段的横向维度开展工程教育。具体而言：首先，两者都是对工程认证的重要支撑，均强调“以学生为中心”“课程体系支撑人才培养目标”的理念；其次，STEP与CDIO相辅相成，两者都强调“基于项目学习”（做中学）“一体化”“全过程”的教育理念，实现人才培养体系的一体化贯通；再次，STEP和CDIO都重视过程管理和依托内部质量保证体系的支撑，两种模式都需要师生在时间、精力、资源等方面足够的投入，细微差别可能在于CDIO偏于宏观，而STEP从课程体系宏观层面和单一课程或课程群微观层面均具有适用性。

## 二、STEP构建方案

### (一) 课程体系

课程体系建设是越工程师培养的键，STEP下的课程体系建设要充分体现项目驱动、理论教学、实验教学和软件支撑的一体化设计。

1. 项目驱动。项目驱动是STEP的核心。国内外很多高校已经开展基于项目驱动教学的探索和实践。美国麻省理工学院和斯坦福大学等世界名校本科生每周用于完成课程项目和作业的时间长达30余小时，这种教学方式让学生能够非常扎实地掌握课程知识并能深刻理解知识对于项目实践的价值。STEP下的项目驱动教学不能简单的等同于项目式教学，该模式更加突出知识体系在课程教学中的重要性，项目是学生掌握知识体系的驱动案例。在STEP中，项目是核心和载体，学生所构建的知识体系不再是一盘散沙，也不再是模糊的书本内容，而是在一个具象化的目标任务指引下，将理论、实验和软件有机地融合在一起，让学生明确他们在解决实际问题中的关联和作用。在这个过程中，团队协作、知识分享、自主学习等多种学习方式不断迭代和升华，有效地提升学生的创新能力和解决实际问题的综合能力。

挖掘合适的项目是STEP成功的前提。项目挖掘要围绕“一个核心”，遵循“五个原则”。

“一个核心”：以学生为中心，尊重学生的选择权，聚焦学生实际需求和学习兴趣；“五个原则”：①整体性，项目应能较完整地支撑学生知识体系构建；②真实性，项目应源于工程实际；③关联性，项目应将理论、实验和软件有机融合；④适应性，项目驱动的形式要符合课程特点；⑤前沿性，项目要能够反映当代先进的技术水平，让学生了解当代最先进的科学技术思想。

2. 理论教学和实验教学协同。理论教学强调通识课、学科课、专业课和综合课等四层次课程建设，四个层次逐级递进。通过扎实的通识课教育，开阔学生视野，提升学生内在修养，培养学生人文精神、科学精神和思辨能力；通过宽厚的学科课教育，培养学生数理理论基础，使学生具备基本的学术研究基础和持续拓展的学习能力；通过精深的专业课教育，使学生了解最前沿的专业及行业知识，获得良好的专业训练，学习模块

化的专业课程；最后，综合课培养学生在某一专业方向上综合性、系统性的知识体系。理论教学强调通识与专业并重、个性化与一体化联动，着重培养学生建立阶梯型的知识结构。

实验教学突出四个结合，即：教师引导和学生自主实践相结合、课内与课外相结合、虚拟仿真与实物操作相结合以及考试评价与过程评价相结合。实验教学主要面向学生的基本工程素质与工程能力训练分层次开展，由基础性向综合性逐级过渡，分为基础型、专业型、科研型和交叉型四个层次，基础型和专业型实验项目，主要培养学生利用专业知识分析解决实际问题的能力和动手操作能力；科研型和交叉型实验项目，主要引导学生开展科研创新活动，培养学生解决复杂系统问题的能力和跨学科整合能力。

打造若干核心课程群，强化理论教学与实验教学协同，是确保STEP课程系统性的关键。随着学科交叉和知识融合日益凸显，课程之间的联系越来越紧密。学校以专业综合改革实践为契机，鼓励各专业根据教学内容的相关性，围绕骨干课程建设核心课程群，在课程群内大范围推广STEP，打通理论教学和实验教学壁垒，强化理论教学和实验教学协同。

3. 软件工具支撑。掌握与课程相关的软件工具的使用方法，特别是掌握虚拟仿真软件的运用，已成为当前科研和工程领域从业者的必备能力。软件工具强大的功能和逼真的仿真效果，让运用全覆盖式的软件工具辅助理论教学和实验教学成为可能。在以往的教学活动中，软件工具更多的作为课程学习的“配角”，理论学习多，实际运用少，效果有限。STEP提升了软件工具在学生学习和解决实际问题中的地位，软件工具可以很好地辅助项目完成虚拟环境下的仿真设计、参数设置和分析评价等工作，让学生获得更扎实的学习效果。通过对理论和实验课程的梳理发现，绝大部分的基础课、专业课和综合课程都能找到与之配套的专业软件支撑课程教学。

### (二) 教学模式

1. 科教融合。STEP下的科教融合，课程是起点，项目是根本。教师要让学生通过课堂学习掌握科学的思维方式和正确的科研方法，教师要提炼出

适合教学的好项目，及时地将科研成果用学生乐于接受的方式引进教学，锻炼学生利用现代工具解决工程实践问题的能力。一是开设“工程+”课程。鼓励教师自行研发与科研项目密切相关的教学实验项目和仪器设备，让学生在真实的工程项目中学习并掌握课程知识，培养学生的工程思维和创新实践能力；二是开设名师课堂。聘请院士、长江学者、国家杰出青年基金获得者等学术大师担任主讲教师，让学生近距离感受学术大师的风采，接触国际前沿的学术成果，开阔学生的学术国际视野；三是倡导新型课堂教学方法。以学生为中心的，倡导启发式、讨论式、研究式、项目式教学，建立体验式课堂文化，引导学生自主学习。

2. 虚实结合。以移动互联网、大数据和云计算为代表的新一代信息技术革命整改变高校课堂的教学模式，以虚实结合为核心，提升课堂关注度和学习自主性，可以有效提升STEP的教学效果。虚实结合模式是根据教学目标和内容要求，综合考虑课程性质和教学实施的环境，按照优势互补的原则综合运用虚拟和现实手段完成教学任务所构建的新模式。首先在宏观层面，搭建虚实结合教学平台，引入云课堂和MOOC课程，构建翻转课堂模式，建设优质的课程电子资源库，引导学生课下自主学习，课上专注于师生互动和实践环节，以满足学生的个性化需求；其次在微观层面，将软件工具合理嵌入课程体系，运用与课程体系强相关的软件工具进行虚拟仿真、分析评价等工作，让学生获得更加迅速、真实的学习体验。

3. 竞赛聚合。通过竞赛来聚合课程知识体系，是STEP的重要手段。学校建立了“校友—教师—学生”“企业—学校—基地”和“创意—创新—创业”等“三层联动”机制，做到了课程学习、竞赛实践和学生培养的紧密结合，实现了竞赛聚合模式的全覆盖、全方位和全链条。在竞赛聚合模式下，学生需要综合运用所学习理论知识和实践经验，通过团队协作和创新实践，来完成竞赛题目，制作参赛作品或解决实际问题，同时撰写课程报告和结题论文。这个过程对于综合培养学生的文献研究能力、自主学习能力和分析解决问题能力至关重要。

### （三）保障机制

学校原有的管理体系和质量评价机制更侧重

以教师传授为主的课堂教学和以应试为主的学生评价方式，STEP更强调“以学生为中心”，鼓励教师在教学中由知识传授者向学习引导者转变，由教学“一刀切”向教学个性化转变，由被动执教者向主动开发者转变。

1. 提升教学能力。STEP对教师的教学能力提出了较高要求。学校始终坚持优先提升教师的教学水平和能力。一是推广STEP。引导教师运用STEP理念设定教学目标、编制教学计划，将合适的科研成果转化为教学资源，融入教学环节，全面执行理论、实验、软件和项目相结合的教学方法；二是打造融合教师团队。打破以往教师单打独斗、独立完成某一门课程的壁垒，根据教学目标强强联合，围绕课程群汇聚教师团队，通过多门课程的配合支撑大型项目的实施和开展；三是建立以企业导师、校内教师和实验室人员三位一体的合力育人机制，特别是在项目设置和实验教学环节，实行校企“双导师制”聘请领军企业中技术水平高、授课能力强的技术专家担任企业导师，为学生提供与一线科研生产相匹配的指导，聘请校内教师从事与项目相结合的理论教学和实验教学，聘请实验室人员协助校外导师和校内教师，完成大量实践环节的指导工作。

2. 完善实践环境。实践环境是培养学生创新实践能力的重要场所。建立与STEP相适应的实验环境是实施STEP的基础。一是完善教学实验平台。建立先进的软硬件环境以及配套的管理机制和激励机制，扩大实验室开放程度，鼓励教师和实验人员开设综合型、设计型及创新型实验项目，以满足学生在STEP下的实践需求；二是完善科技竞赛平台。围绕“创意、创新、创业”构建递进螺旋式竞赛体系，将课程学习与竞赛项目有机结合，系统提升学生科研实践能力；构建课程化的竞赛培训体系，以课内教学为基础，打造精品课外实践课，提供完备的知识技能储备；三是完善校企合作平台。以建设联合创新人才培养基地为目标，与国内外行业领军企业建立深度的合作，共建校企联合实验室和校外产教融合基地，联合开展具有工业应用背景的实验系统和实验平台的建设工作。

3. 改进质量评价。建立适应STEP的课程教学

质量评价体系。将核心评价指标由过多关注课程教学过程的监控和学生最终成绩的获得，转变为关注教师积极性的提升和学生自主意识、团队意识和实践能力的构建。一是优化考评体系。采用包括学生评价、学院评价、教师自评和专家评价等四个维度的教学质量评价方式，实现从教师到学生的全过程闭环管理，确保质量评价的全面性、科学性和规范化；二是注重过程评价。合理设计基于过程的、可操作的考核体系，转换评价方式，摒弃传统的单一闭卷考核方式，采取实践过程表现、研究成果演示与答辩、考试以及学生自评与互评综合方式来评定学生成绩，从知识的综合运用与工程实践能力的角度评价学生；三是注重一体化教学。课程体系强化理论、实验、软件和项目的一体化运用，要求课程具有完备的教学计划、教学大纲和讲义，将四项关键内容纳入本科教学质量检查与评价体系并加强督导和反馈。

### 三、案例

STEP对宏观层面的课程体系建设和微观层面的单一课程或课程群建设均具有普适性，下面通过两个典型案例进一步诠释。

#### (一) 机械工程专业课程体系的STEP教学实践

以北京航空航天大学机械工程学科为例。机械工程学科是北京航空航天大学优势工科的典型代表，要求学生综合运用材料、机构、传感、动力、控制和计算机等交叉学科知识进行设计研发。然而原有教学模式普遍存在的理论学习多、

实验实践少以及理论教学与实践教学交叉融合不足等普遍性问题，导致学生缺乏系统性的实践创新能力。为适应国际上“回归工程”即“大工程观”的高等工程教育理念，机械工程专业以学生掌握“典型机电一体化产品实现过程”为人才培养目标，系统地STEP进行探索实践。

基于STEP的机械工程专业课程体系详见图2所示。理论教学以通识基础、学科基础、专业基础和专业核心为核心构建体系，实验教学以特色基础、专业综合、科研创新和交叉开放为核心构建体系。通过打造若干核心课程群，强化理论教学与实验教学协同，支撑典型机电一体化产品实现过程的人才培养目标。典型机电一体化产品的设计与制造核心课程群，如图3所示。在教学大纲设计过程中，通过《机械工程概论》等通识理论类课程群学习，对典型机电一体化产品的设计与制造过程建立整体认识；通过设计类课程群学习掌

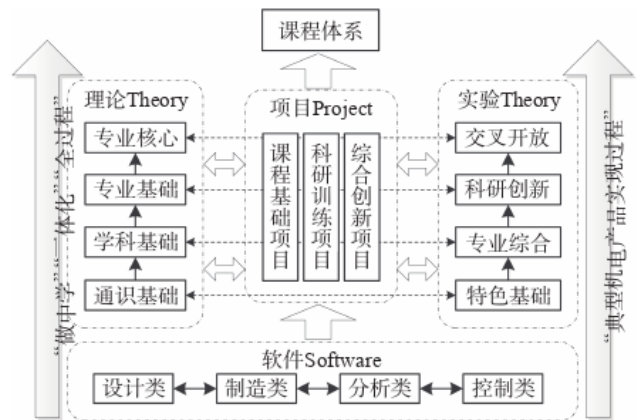


图2 STEP课程体系图

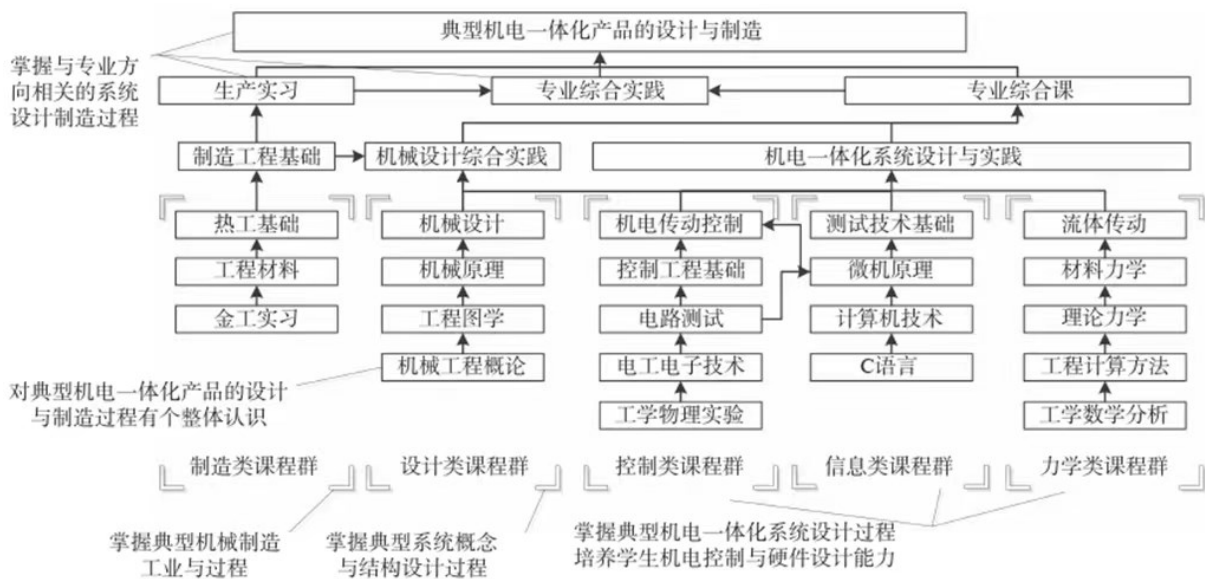


图3 典型机电一体化产品的设计与制造核心课程群



握典型机械系统概念与结构设计过程，再通过机电一体化等实验类课程群学习，掌握典型机电一体化系统设计过程，培养学生机电控制与硬件设计能力；通过制造类课程群学习掌握典型机械制造工业与过程；最后通过综合实践和毕业设计掌握与专业方向相关的系统设计制造过程，全面提升技术创新能力和善于解决复杂工程问题的实践能力，为培养卓越工程师打下坚实的基础。

机械工程专业凝练了三类项目驱动教学，并将项目合理嵌入课程：一是课程基础项目，项目来源于课程应用实际，能够支撑一个课程模块，并串联起课程模块的知识体系。课程模块可以是某一课程中的若干知识点、一门独立的课程或若干门前后相关的课程组成的课程群；二是科研训练项目，整合学科专业优质的实验资源设置项目，对不同类型课程群的相关知识进行进一步的扩展和运用。学生需要综合运用专业知识和技能，解决比较综合性的实践问题；三是综合创新项目，瞄准各学科专业前沿理论、先进技术和高水平研究成果，以高水平创新创业竞赛项目、毕业设计、专业综合实践为牵引设置项目。项目能够较为全面的体现“完整的机械产品实现过程”，体现不同专业知识的交叉与渗透。

在软件支撑方面，机械工程专业总结了与课程相关的软件工具主要有4大类、20余套，分别是设计类、制造类、控制类和分析类软件，如图4所示。

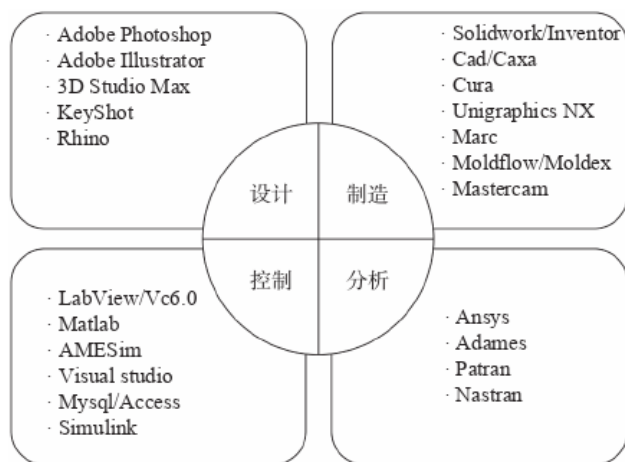


图4 与课程体系配套的全覆盖式软件分类

## （二）《机电控制工程技术》课程的STEP教学实践

基于STEP的《机电控制工程技术》课程主要针对目前学生普遍存在的工程实践能力差等问

题，采用整合和集成的思想重构了课程内容。课程中融入了项目化教学环节，但其本身更侧重于STEP所倡导的系统性知识构建过程。

基本思路：课堂教学遵循STEP，即：以一个典型机电控制工程项目设计为驱动，以理论学习和设计实践融合为主要教学方式，以学生小组为组织形式，进行机电控制系统的设计与工程实现。形成“1条主线、2个环节、3个实践点”的项目研究式教学体系：1条主线即以1个工程项目驱动课程教学的主线；2个环节是优化理论教学内容和突出实践教学；3个实践点主要精选3个体现机电融合知识点的子任务作为实践大作业，要求学生亲自动手设计并加以工程实现。通过理论与实践教学有机结合，以线串点，以点带面，构建了学生的综合知识结构，锻炼了工程实践能力。同时，课程自主研制开发了60套相关控制系统并配套相关软件，搭建了实践教学平台，作为项目开发工具使用。

考核方法：根据STEP特点，课程侧重于从知识的综合运用与工程实践能力的角度评价学生。课程以小组为单位实施实践教学，设计了以客观评价小组学生综合能力为核心的考评机制，采取学生自评与互评综合方式来评定学生成绩，其中：实践过程表现占总成绩的10%、研究成果演示与答辩占总成绩的50%、考试占总成绩的40%。

## 四、总结

北京航空航天大学借鉴CDIO等国内外先进的教育理念，通过对标国际一流，结合北京航空航天大学工程教育特色，提出了对支撑工程教育、培养卓越工程师具有普适性的STEP，实施几年来，取得了较好的效果。该模式可为理工类卓越工程师培养和工程教育教学改革提供借鉴和参考。

STEP实施过程中，也需要注意一些问题，比如STEP在一些基础理论课中的适用性有待进一步的体现，课程中的实验教学和项目设计需要紧密围绕教学目标和教学内容进行，做到与理论和软件无缝衔接。

（王 扬，北京航空航天大学研究生院副研究员，博士，北京 100083；北京航空航天大学机械工程及自动化学院博士，北京 100083）

（原文刊载于《北京航空航天大学学报(社会科学版)》2022年第8期）

# 卓越工程师培养机制中

## “实践不实”现象的诱发因素研究

### ——基于参与者视角的扎根理论分析

王超 李冰冰 晋媛媛

#### 一、问题的提出

随着现代大型工程项目的不断发展，人们越来越认识到工程实践能力对提升学生的创新思维能力、动手能力和解决复杂工程问题能力的重要性。2022年3月24日，教育部召开“卓越工程师产教联合培养行动座谈会”再次强调，解决产教脱节的关键问题，提高学生的实践能力。加强工程类学生的实践动手能力的培养已经成为卓越工程师教育的关键环节之一。为加强学生的实践能力，各高校在卓越工程师的培养中不断加大实习实训力度，注重在各个环节中培养学生的动手能力和实践能力。尽管政府、高校和企业多年来付出了巨大努力和资源，学生的工程实践能力依然没有达到预期的效果。对于这种工程实践虚化、实习实训流于形式的情况，可以称之为“实践不实”。

学术界对此进行了探讨，这一现象主要表现在工程性缺失和实践教学薄弱。这是我国高等工程教育长期存在的问题，重理论轻实践、重知识轻能力的倾向已到了相当严重的地步。高校工科生被动实践的现象愈发突出，学生解决实际问题的能力、创新能力和设计能力明显不足。从高校层面看，目前许多高校尚未形成科学的工程实践教学体系，“卓越计划”教学内容不完善。对工科专业仍采用纯理科的教学模式和理论主导的授课模式，利用计算机终端取代工程实践训练，导致学生解决实际工程问题的能力严重缺失。从企业层面看，目前校企合作在人才培养方面缺乏深度，产教融合培养机制尚未健全。企业缺乏专门的实训岗位导致部分学生进入企业只是参观学习，工程实践能力得不到有效锻炼和提升。但

是，不管是何种层面的“实践不实”，它都直接消解了卓越工程师培养机制的实施效能。

已有研究多从宏观层面以理论推演或国外典型案例分析的方式分析当前工程实践存在的问题，为分析卓越工程师实践培养机制提供了借鉴思路。但仍存在一定局限：一是对工程实践参与主体的重视度不够，对基层实践实然状态的剖析较少；二是对制约学生工程实践能力提升因素的分析较少，缺乏从实证到理论的归纳研究，理论回应性不足。有鉴于此，本研究借助扎根理论，采取半结构化访谈，对相关参与者进行深入调查。根据扎根理论要求对访谈资料进行整理编码，进而分析造成卓越工程师培养机制“实践不实”的诱发因素，提出合理规制路径。

#### 二、研究设计

本研究在已有研究基础上，进行资料收集，同时对卓越工程师计划入选专业且有参与工程实践经历的在校生、毕业生、教师和企业管理人员进行半结构化访谈。在文本信息收集和访谈的基础上，本研究通过探索性研究发掘卓越工程师实践培养机制的实然状态，剖析“实践不实”现象的深层原因。

##### （一）研究方法

扎根理论是美国学者巴尼·G.格拉泽（Barney G. Glaser）和安塞尔姆·L.施特劳斯（Anselm L. Strauss）提出的一种质性研究方法，主张采用一种自下而上的研究方式，从经验资料中提取与研究主体相关的核心概念，建立一个理论框架。这一研究方法要求研究者摒弃预先假设，从直接观察入手，运用归纳的方法对资料和数据进行分析

析，从而提取出研究理论。

## (二) 样本选择和资料收集

在文献筛选阶段，本研究将从知网、Springer link、Wiley online library、谷歌学术等搜索出的条目进行整理，建立了原始语句数据库，包括网络新闻、政策文件和期刊论文。以“卓越工程师、实践、实习、实训”等为关键词，按照篇名、摘要和主题进行文献检索（共筛选出227篇文献），将文献中体现“实践不实”现象、原因和对策的语句进行整理，组成开放式编码的素材库。这些文献主要是对卓越工程师实践能力培养中的校企合作机制、实习实训机制、实践教学体系和实践能力等方面的研究，具体分类如表1所示。

表1 文献分类表

卓越工程师实践机制	文献数量	文献来源
校企合作	58	CNKI和Wiley online library、谷歌学术
实习实训	9	CNKI和Wiley online library、谷歌学术
实践教学体系	126	CNKI和Wiley online library、谷歌学术
实践能力	34	CNKI和Wiley online library、谷歌学术

在访谈阶段，本研究在已有文献的基础上，编制了半结构化访谈提纲，着重了解卓越工程师培养中实践机制出现流于形式的表现、形成过程、原因以及提高学生实践能力的途径和策略等。具体问题如下：①您参与过的工程实践效果如何？是否存在形式大于内容的情况？②如果存在工程实践虚化的问题，主要表现在哪些方面？您认为主要是什么原因？③您认为改变工程实践流于形式的方法有哪些？

在访谈过程中，本研究将学生、教师和企业人员各自分组。首先进行自我介绍，说明研究目的和意义，采用线上视频的方式进行焦点访谈小组，按照事先准备好的访谈提纲与受访者进行访谈，每位访谈人员的受访时间大概在20~30分钟。这一过程会按照受访者的实际情况，调整访谈问题的次序，逐项完成访谈问题的询问。

本研究的访谈于2022年3月开始，分别在北京工业大学、大连理工大学、国防科技大学、北京航空航天大学、北京建筑大学、厦门大学、汕头大学、西北工业大学、郑州轻工业学院等东、中、西部不同类型、专业高校以及相关企业的30

人进行访谈。（见表2）其中学生和教师访谈对象从入选教育部卓越工程师计划的高校中挑选，并尽可能保证地域和学校类型的多样性，以及学生专业和学习层级的广泛性；企业访谈对象涉及建筑工程、电子信息、化学化工、环境和水处理、机械制造、交通运输等行业的企事业单位人员。所有访谈人员均有参与卓越工程师实践的经历，以此尽可能充分、全面地了解卓越工程师培养中“实践不实”现象出现的原因，强化后续研究中模型构建的完整性和可靠性。

表2 访谈对象统计资料

	基本情况	人数	百分比/%
性别	男	22	73.33
	女	8	26.67
政治面貌	党员	25	83.33
	共青团员	2	6.67
	群众	3	10
年龄	17~22岁	6	20
	23~35岁	6	20
	36岁及以上	18	60
受教育程度	本科	6	20
	硕士及以上	24	80
职业	学生	12	40
	教师	10	33.33
	企事业单位	8	26.67

访谈结束后，笔者第一时间对访谈记录进行整理。经过校验与核对后，对所有访谈记录和文献提取的语句进行随机编码，删去重复语句，共获得216条原始语句，其中文献获得的原始语句为95条，访谈获取的原始语句为121条。接着随机选取其中的144条（2/3）记录进行编码处理和分析，剩下的72条（1/3）受访记录用于进行理论饱和度检验。

## 三、卓越工程师培养机制中“实践不实”的模型构建

### (一) 开放编码

根据扎根理论的要求，在编码过程中需摒弃个人的主观意见和见解，以自由开放的心态对所搜集到的材料进行整合，并赋予其新概念，进而归纳出类别和属性。据此，本研究采用课题组研究人员背靠背的方式进行原始语句分析，对原始语句中144条记录进行理解、比较和筛选的概念化过程后，共形成涵盖所有记录的37个概念和11个范畴，如表3所示。

表3 开放性编码形成概念与范畴

范畴	初始概念编码	原始资料与事件摘录
学生态度偏差	认识不到位	比较偏重理论学习,实习实践能力本身就弱,倾向于糊弄,不能认识到实习实践的重要性
	敷衍搪塞	去实习过,就是免费劳动力,以后打算考研或者出国,实习就拍张照片就可以了
	缺乏规划	实习生大部分问题在于没有明确规划,时间管控存在问题,比较容易受疫情或学校安排影响,没有太好的方式,面试时会沟通尽量确认明确的实习周期
学校培养目标偏差	培养科研人才	卓越工程师班的学生保研的名额特别多,80%都能读研,学生培养的最终目标是要考研和读博,成为往上走的台阶,很少有学生去企业入职,人生目标变成人才选拔了,考核的时候,变成一群优秀人才的机会,不是为了成为卓越工程师,与卓越工程师班有偏差
	实践内容缺少明确目标	学校难以制定明确的教学内容和教学目标,也没有兼具针对性和系统性的合乎规范的实习指导书,指导教师往往“见机行事”
	重理论轻实践	单纯的理论课程过多,对理论的运用和操作很少,不知道这个理论在实际中如何使用,何时使用
企业缺乏积极性	缺少责任与义务保障机制	社会和政府对外实习基地的激励机制不完善,没有形成企业必须接纳学生实习的社会责任和义务的运行机制
	增加企业负担	短期实习培养时间和成本较高,同学的投入度不够,有的只为了学分或实习证明,没有长期发展的考虑,企业要为实习生特意抽调人手
	担心信息泄露	一些企业由于害怕技术和管理方法被泄露而不愿接待
教学体系设计不合理	实践课程少	能上手的课程都局限于一门,不能融合其他课程的视角来看待,能不能用到不好说
	课程内容与实践脱节	有些课程设计老旧,设备与企业研发的现状脱节,学习结果的迁移效率低
	试错与创新机会少	学生的自主性很少,只限于选题,至于如何具体做,完全按照老师的指导,缺少试错和创新的机会
	实践环节开始晚	课程的总体设计上,应该从大一就开始设计实习实践环节。很多内容都不会用,应该边学边用
	缺少知识综合学习和运用的安排	学生的自主性很少,只限于选题,至于如何具体做,完全按照老师的指导,缺少试错和创新的机会
实践安排不周延	实习地点偏远	我们专业与区域经济发展规划不符合,能实习的企业都在郊区,或者要去外地,非常不方便
	实践内容缺乏技术含量	学生的上手能力还是不足,实习仅是做一些端茶倒水的工作
	实践岗位与专业不对口	大三上学期结束有一个小学期的不到一个月的实习,学校给我公司,更像体验公司文化,跟真正的实习和入职有所区别
	实践时间不合理	大四上学期实习或者研二上学期,赶上考研,硕士生忙着准备毕业论文,时间冲突,没有心思忙实习
与企业需求不对接	实习周期不相符	实习时间太短,需要长一点,在一个岗位上会比较好
	岗位目标不相符	短期实习除非有业务量,不然都是以岗位招聘为目标才接受实习实践的
	实践作用不相符	需要学生来能真正为企业做事,解决问题才行
学校支持力度不足	实习经费少	为了缩减开支,院系和指导老师被迫减少实习时间,削减实习内容
	实训平台模式落后	目前全国大多数工程训练中心都是从传统实习工厂转型而来,其建设方向、思维理念仍然受到传统金工实习教学模式的影响,显然这种模式已经不能适应现代工程人才培养需求
	教师实践指导能力有限	指导老师工程实践能力不足,学生重视程度不够。学校里“双师型”教师比例偏低,承担实习指导任务的不少青年教师恰恰缺乏工程实践经验
	实践基地不稳定	建设一定数量稳定的校外实习基地是实现实习目的、完成实习任务的重要前提
企业实力不够	岗位少,学生多	大班化实习实践,没有那么多能上手操作的岗位,只能是看看
	实践设施陈旧	我们去的企业是传统行业,设备陈旧,环境差,就是做免费劳动力了,学不到用不到知识
	带队人员不足	大多数院校一直沿用1或2名教师带领数十甚至上百名学生的生产实习模式,而且多数去外地实习,老师们困难也很多
实践考核形式不科学	考核形式简单	交个纸质报告就可以,真的参加实习实践与否,大家都心知肚明
	过程考核欠缺	学生是否踏踏实实去实习实践了,没有追踪、监控,需要进行过程性监控
	考核结果可信性低	学生能力是否提高,提高多少,都难以考察,还是要有可考察性的指标
实践激励机制不到位	对企业的激励不到位	在市场经济的条件下,企业最大的目标是追求更高的经济利润,学生到工厂和企业实习,由于实践经验缺乏,一般短期内很难直接给企业创造利润,相反会给工厂和企业带来管理上和生产上的不便
	对学生激励缺位	实习实践与否,都不重要,更看重考研的结果
	教师积极性没有调动	缺乏奖励措施,激励老师主动为学生安排合适的实习机会和岗位,或者鼓励教师吸收学生在自己的课题组里,那是真正的综合实践能力培养
学生实践方式单一	实践岗位就业规划不相符	当下社会舆论鱼目混珠,不要跟风,要独立思考,尽早做好自己的职业生涯规划
	实践形式单一	学生动手能力的提升不能完全指望企业,导师的课题和一些比赛很有帮助
	实践案例库建设落后	工程中的问题,要在课程和实验中进行设计,不能完全按照书本来宣讲,要建立实训案例库,让学生了解来自实践中的问题

## （二）轴心编码

扎根理论中的轴心编码，其核心任务就是对开放编码的概念进行分析，归纳出概念之间的共性，进而在各个概念之间建立属性连接，明晰维度之间的相互关系，使所有内容能有机地联系起来。本研究通过对已完成概念编码之间的关系进行分析，提炼出11个范畴，归纳出4个主范畴。主范畴与相对应的初始范畴之间的关系如表4所示。

表4 轴心编码分析

主范畴	范畴	内涵阐释
主体	学生态度偏差	学生对实习实践认识不到位，目标是考研或者出国，对待实践态度敷衍；对实习实践岗位和收获缺乏规划；学校依然没有扭转传统的培养目标
	学校培养目标偏差	和习惯，重理论轻实践，习惯于培养科研人才；缺乏明确的时间教学内容和目标；对应用哪些知识不明确；企业以经济发展为目标，缺少责任与义务保障机制；企业认为是负担；又担心泄露企业技术或管理信息
	企业缺乏积极性	
内容	教学体系设计不合理	学校的教学体系设计上，重理论轻实践；实践课程开始晚而且少，与实践脱节；缺少多学科知识运用和尝试创新的机会；学习结果的可迁移性低
	实践安排不周延	在学生实习实践的安排上，多数实习实践地点离学校很远，不方便往返；实践实习地点偏远；实践岗位与专业不符合，内容低端，所学非所用；更重要的是实践的安排与考研时间和做毕业论文的时间严重冲突，无法安心完成实践；同时企业接收实习实践更多的是考虑经济效益和定岗工作
	与企业需求不对接	
条件	学校支持力度不足	学校因实践经费不足，压缩实践时间；能够指导学生实践的带队教师少；校企合作重数量轻质量，难以发挥实践的作用；实习模式大班化，缺少切实的指导，知识的应用性少
	企业实力不够	
策略	实践考核形式不科学	学生实践结果考察形式简单、过程缺乏监督；能力是否提高不可知；调动企业和教师对实践的积极性和更好地提升实践效果；多样的实践形式更受欢迎，如通过大赛和进入教师课题组也能更好地完成实践
	实践激励机制不到位	
	学生实践方式单一	

## （三）选择性编码与模型构建

根据扎根理论选择性编码的要求，对围绕主范畴的“故事线”进行概括：造成大学生工程实践能力不“实”现象的原因是多方面的。首先，参与主体的目标和态度偏差是起始性原因。学校囿于传统观念，在培养目标和教学体系的设计上重理论轻实践；学生以考研和出国为目标，对实践环节存在敷衍了事的态度；企业追求经济利益，缺乏落实合作的动力和积极性。其次，学校和企业支持条件的进一步缺位，成为引发学生工程实践不“实”的过程性因素；同时，学生工程实践内容也出现了不合理、不周延、与企业需求对接不紧密的情况，更加导致了学生轻视工程实践的作用和意义，成为诱发学生工程实践不

“实”的激发性因素。此外，相应的实践安排策略难以科学全面，成为工程实践不“实”得以存在的关键性因素。考核形式“走过场”，激励机制不到位，实践方式单一，实践出口缺少严格把关。这些因素相互作用，对学生工程实践积极性造成影响，共同成为工程实践不“实”的诱发因素。

## （四）理论饱和度检验

理论饱和度检验是扎根理论科学性和研究结论可信性的必要保证。本研究采用预留原始资料和专家反馈的形式进行饱和度检验。首先，将预留的72条受访记录，经过开放式编码和主轴编码，再次形成概念和范畴后，与已有文献、已形成的概念进行反复比较后，并没有发现新的概念和范畴，也没有发现新的关系。其次，笔者将编码结果和理论模型交给两位本领域的研究学者，同样得到肯定回复，这说明图1所示的理论框架和模型通过了理论饱和度检验。

## 四、“实践不实”缘何出现：基于“主体-内容-条件-策略”维度的解释

从上述分析可以看出，卓越工程师培养机制陷入“实践不实”的主要症结在于“主体-内容-条件-策略”四大要素在实践层面出现的阻滞问题。下面将重点从“主体-内容-条件-策略”四个维度进行分析。

### （一）主体维度

在政治学和心理学分析框架中，行为主体对制度构建和执行起着关键性作用。行为主体的信念、价值观、目标与行动之间的相互作用是一项制度或机制能否产生效果的关键性因素。因此，在卓越工程师工程实践能力培养中，将行为主体纳入考察不可或缺。从前文数据分析来看，主体目标的偏离和态度的偏差，是造成卓越工程师培养机制“实践不实”的主要诱因。

其一，学校培养目标的惯性尚未扭转。对于卓越工程师培养而言，学校囿于传统的培养惯性，仍以科研人才为培养目标，重理论轻实践，在培养过程和结果方面缺乏明确细致的工程实践能力要求。如多数学校没有明确的工程实践教学内容

和教学目标，也没有兼具针对性和系统性的合乎规范的实践指导书，指导教师往往“见机行事”。

其二，企业积极性不高。企业出于自身经济效益和核心技术安全考量，对学生的工程实践安排不积极，很大程度上造成了学生工程实践能力“实践不实”现象的出现。多方数据表明，如果企业能够积极接收学生参与到真实情境中的工程实践，为学生讲解工程实践中的技术、知识和问题，给予学生动手实践的机会，将非常有助于学生理论知识的融会贯通和动手能力的提高。反之，学生的工程实践能力难以提升，产学研融合的工程培养机制也将流于形式。

其三，学生态度的偏差。学生作为工程实践的主体，对是否参与工程实践并不积极。研究发现，这与多数学校的培养定位密切相关。一些学校设立的卓越工程师班，比普通班要额外多出很多保研名额，将近80%的学生都能成功保研，而且是学术型研究生。无论实践与否、实践效果好坏，学生都有机会继续深造。因此，多数学生便从内心深处失去了积极参与实践的意愿和动力。

## (二) 内容维度

科学合理的内容是检验一项制度或机制设计是否能够有效执行的首要标准，是支撑制度或机制得以有效运行的核心要素。对于大学生工程实践机制而言，实践内容的设计是实践得以完成的

基础性工作。然而研究发现，导致卓越工程师培养机制“实践不实”的关键性因素在于实践教学体系设计不合理、实践安排不周延、与企业需求不对接造成的学生工程实践内容不明、过程模糊、结果流于形式的问题。

其一，学校教学体系因循守旧。“卓越计划”提出至今不过10年左右的时间，很多学校因难以迅速做出完备周详的教学设计，便简单复制或生搬硬套传统教学模式，对卓越工程师培养需要的创新能力、综合知识能力、动手实践能力等要求的追求浮于表面。

其二，实践安排设计不周延。实践内容、地点、时间安排是工程实践机制落实的关键点。然而研究表明，学生对实践活动并不投入。一方面是由于实践地点和时间安排未考虑学生落实难度，如有些工程项目地点偏远，甚至需要去外地进行，有些学校安排的实践时间则刚好与学生升学考试的时间冲突，学生难以兼顾；另一方面，实践内容的安排也未能尽如人意，简单体力劳动等现象普遍存在，学生对工程实践的参与兴趣大大降低。

其三，与企业需求不对接。企业是学生工程实践的基地和依托。虽然大多数学校与企业建立了较为稳固的合作关系，但很多企业对接接收实习学生并不积极。出于为企业服务和长远发展做打

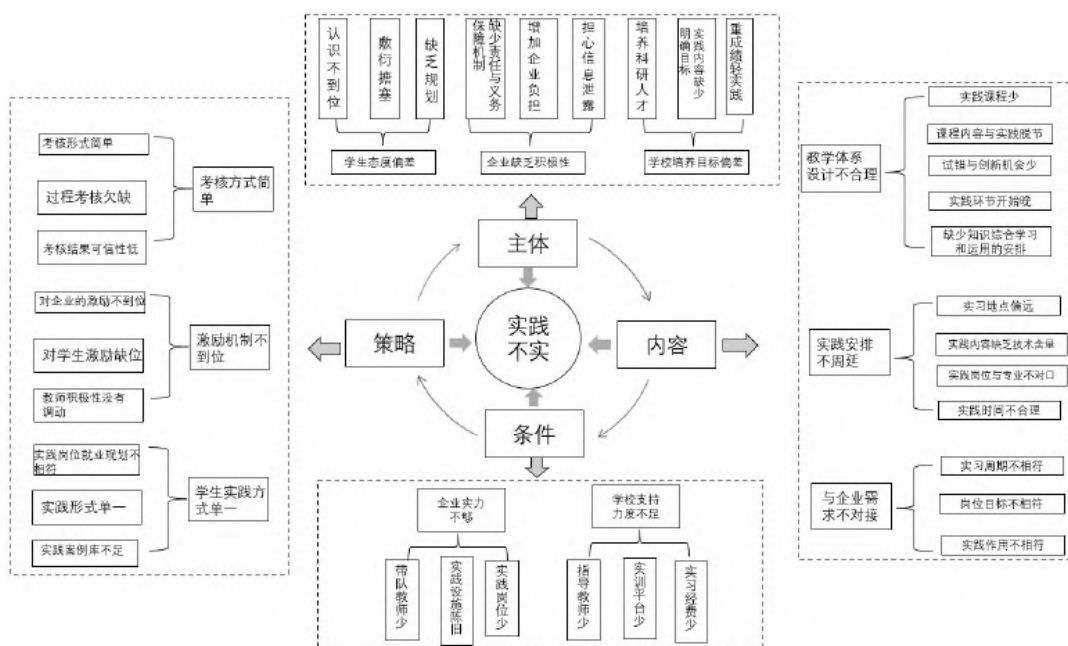


图1 卓越工程师培养机制中“实践不实”现象诱发因素模型

算，用人单位更希望接收的学生能够发挥一名正式员工的作用，因此在安排学生进入企业实习过程中也存在诸多困难。

### （三）条件维度

条件支持是一项行动得以完成的物质保证，也是实现预定目标、方案，保证制度或机制能够顺利运行的必要性因素。研究表明，当前卓越工程师的实践培养机制中条件支持力度不足，已成为影响学生工程实践能力培养的重要因素。

其一，学校支持力度不足。学生工程实践涉及多方协调与合作以及生产实践的众多环节，学校对学生的支持力度往往决定着工程实践能否实现。本研究的数据表明，学生实践经费大多依靠学校拨款，金额有限。很多学院为了缩减开支，被迫减少实习时间，削减实习内容。此外，校内的实训平台模式与先进的生产技术相脱节，教师指导能力有限，实践基地量少质轻，校企合作不稳定等情况都难以保障学生的实践需求。

其二，企业接收能力有限。进入企业实习实践是学生融会贯通知识与技术的重要途径。然而，多数企业没有大批量接收学生实习的现实需求。一部分进入企业实习的学生表示，学生大班化、体验式实践的问题愈发显著，企业能够抽调给学生提供实践指导的工程技术人员数量不足。这些问题说明，拓宽学生工程实习实践路径将是提升学生工程实践能力的一个重要突破口。

### （四）策略维度

在管理学框架下，科学有效的策略是一项行动或机制得以更好执行和完成重要因素。工程实践能力的培养机制也不例外，包括实践考核形式、激励机制和实践方式等多个方面。科学有效的管理策略是实践机制、学生实践能力提高的重要保证。

其一，实践考核形式简单。实践考核是在活动出口对学生实践能力的把关，是对学生实践效果考察的重要依据，更是学生工程实践能力是否落到实处的重要评判维度。按照目前大多数学校的考核要求，学生只需在实践过后提交一份纸质报告，汇报实践时间、地点和内容即可，对实践

过程、能力提升不做实操考察。在这种情况下，工程实践很可能流于形式。因此，增加对实践过程和具体实践能力提升的追踪考察，将是确保工程实践能力得以真正落实的有效策略。

其二，实践激励机制不到位。激励机制是一项制度或机制能够得到参与主体认可和参与热情的重要手段。目前很多高校对卓越工程师的培养非常重视，设有实习实践经费，然而，多数企业并不为此动心。相反，由于学生缺乏实践经验，在短期内很难直接为企业创造利润，甚至会给工厂和企业带来管理上和生产上的不便。实践过程和结果对教师和学生没有影响，更是难以调动他们参与的积极性和热情。

其三，学生实践方式单一。毫无疑问，企业是知识运用和落实的主要载体，以企业为依托开展实践是大多数高校的选择。然而在实践中，单一依托于企业开展的实习实践成为大多数高校和学生的唯一选择，学生实习实践完全寄托于企业。当前的研究数据表明，学生动手能力的提升不仅可以在与自己职业规划相符的企业中开展，也在参加各项创新创业大赛和教师的横向课题中开展，还可以建立足够的实践案例教学库，使学生在理论课学习中，随时了解知识在实践中的实际运用情况。

## 五、结论与建议

### （一）结论

1. 卓越工程师培养机制中出现“实践不实”现象的各个诱发因素之间是相互作用和影响的关系。本研究基于扎根理论构建了“主体-内容-条件-策略”为核心的卓越工程师培养机制“实践不实”现象诱发因素模型：主体的认知偏差和态度偏差造成学生工程实践能力不“实”的始基原因；学校教学体系因循守旧、实践环节安排不周延及与企业需求不对接是促成学生工程实践不“实”现象出现的激发性因素；实践条件支持不足，是造成学生工程实践出现“有心无力”，难以有效完成的过程性因素；实践考核形式简单、激励机制不到位、实践方式单一形成的实践策略不足，是造成学生工程实践不“实”现象的关键

性因素。这些因素相互作用，共同导致了卓越工程师培养机制中出现“实践不实”的现象。

2. 建立明确的实践能力模块是保证工程实践效果的关键措施。工程性缺失和实践教学薄弱是我国高等工程教育长期存在的问题。自《华盛顿协议》签署以来，工程实践能力培养标准日益明确，但受制于学科教学改革滞后性和传统重理论轻实践的观念，工程实践能力培养的各项标准，并未完全纳入课程模块。本研究的数据表明，高校卓越工程师的培养体系仍以理论教学为主，师生对实践教学内容认识不清，导致工程实践出现“见机行事”的现象，从课程到工程实践缺乏明确的、有计划的、可执行的实践教学安排。

3. 建立多路径的实践模式，是提升学生工程实践能力的一个重要突破口。诸多数据表明，单一的企业实习实践并不能将学生的实践能力培养全部包含进去，工程实践能力包括技术能力和非技术能力，采取多元化的实践形式能够更加有效地提升学生全面的工程实践能力，也更受学生欢迎。如研究发现，很多学生在老师的课题组参与研究，不仅提高了技术能力，学以致用，同时也提升了人际交往、沟通交流等非技术能力；鼓励学生参与各项创新创业大赛，鼓励学生按照自己的职业发展规划进行灵活的有针对性的实践都是广受学生欢迎的实践方式。因此，在未来的卓越工程师实践培养机制中拓宽实践途径将是提升学生实践能力的一个重要突破口，也是培养适应未来复杂多变环境的高潜人才的必由之路。

## （二）建议

1. 要真正将卓越工程师培养落到实处，必须树立系统观念，卓越工程师实践能力的培养是由“主体-内容-条件-策略”组成的有机体，各部分之间相互作用、相互依赖；要从卓越工程师培养的总体的与全局、从各部分的联系与结合出发，研究卓越工程师实践能力培养的发展，找出规律、建立秩序，实现全系统的提升与优化。

2. 满足社会现实需求的工程实践训练将是工程实践教育的终极目标。一是作为有效提高工程实践能力的一个关键环节，未来要将工程实践能

力文本落实到课程与实践的各个环节。二是加强“双师型”队伍建设，提升教师的工程实践能力。通过校企政地的多方合作，鼓励教师与企业开展长期化、项目化产学研合作，建立教师到企业或政府相关部门实践锻炼的机制，进一步丰富教师成长渠道和提升业务及管理能力。

3. 增加工程实践实训安排，引导师生积极参与工程实践。高校通过设立企业案例数据库、现代企业仿真实践课堂、搭建工程实训教学平台，课外举办科技创新活动、高层次设计竞赛项目、社会实践，校外工厂企业实习等一系列活动，丰富工程实践教学模式，合理安排实践周期，提高学生参与工程实践热情。同时，关注工程教育教师实践教学能力的有效提升，保障教师在工程实践中付出的精力和努力能够获得相应回报，从政策出发，为提升教师工程实践教学能力提供明确保障。

4. 构建全方位、多层次的工程实践能力评价体系，注重过程性考核。一是校内外导师、任课教师、团队成员、学生自身等相关主体参与评价过程，要求评价主体对评价内容、方法、手段等进行学习，保障评价的专业性和客观性。二是注重全过程性考核，以关注学生参与程度的形成性评价为主，根据具体项目特质，由指导教师收集学生学习资料，并提出改进建议。三是各高校依据人才培养目标以及大学生工程实践能力的要素构成设定合适的评价指标，对学生所需解决实际问题的工程分析能力、沟通与团队合作的协作能力、理解工程实践责任的社会能力及遵循工程实践规范的自主能力进行综合评价。

（王超，北京工业大学高等教育研究院/首都工程教育发展研究基地研究员，北京100124；李冰冰，北京工业大学高等教育研究院科研助理，北京100124；晋媛媛，通讯作者，北京工业大学就业创业指导中心副主任、创新创业学院副院长，北京100124）

（原文刊载于《中国高教研究》2022年第9期）