

# 新工科人才培养的关键变革与创新实践

——基于天津大学的分析

余建星 纪颖 余杨 于泓 段庆昊  
(天津大学, 天津 300072)

**摘要:** 本研究旨在探索新工科人才培养的内在规律和模式创新。新工科建设是应对国际竞争新形势、国家发展新需求、教育方针新要求而提出的工程教育改革发展战略。国际工程教育变革的关键方向是工程教育理念的融合创新、工程领导力的培养、通识教育基础上的工程教育、以学生为中心和个性化的培养理念、多方互动的合作教育等。天津大学从价值引领、培养体系、课程体系、育人文化、育人平台等方面进行了工程领军人才培养的创新实践, 为推进高等工程教育人才培养提供重要借鉴。

**关键词:** 新工科; 人才培养; 变革; 创新

**中图分类号:** G642 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-4038 (2020) 03-0071-08

为应对新一轮科技革命挑战, 服务国家重大发展战略的实施, 2017年2月, 教育部在复旦大学召开了高等工程教育发展战略研讨会, 探讨了新工科建设, 达成十点共识 (简称“复旦共识”); 4月, 教育部在天津大学召开新工科建设研讨会, 商讨新工科建设愿景与行动 (简称“天大行动”); 6月, 新工科研究与实践专家组工作会议在北京召开, 审议通过《新工科研究与实践项目指南》(简称“北京指南”), 至此, 新工科建设全面展开。

当前, 我国正全力推进新工科建设以适应经济社会发展对高水平创新型工程科技领军人才的需求, 具有重大的时代意义和价值。持续

深入推进新工科建设必须对国内外高等工程教育改革的主要方向有清晰的把握, 在此基础上扎根中国大地支撑国家重大战略需求, 构建具有中国特色、世界一流的创新型人才培养体系。

纵观全球高等工程教育改革的发展趋势, 我们可以发现, 为积极应对第四次工业革命的严峻挑战, 世界各国对支撑其工业发展的工程教育都进行了重新部署规划, 各国的高等工程教育改革呈现出前所未有的推动力度、发展速度和改革强度。在此基础上, 不断形成若干人才培养的关键性变革, 成为我国推进高等工程教育人才培养的重要借鉴。

天津大学不仅在历史上开启了近现代我国

收稿日期: 2020-03-01

基金项目: 教育部“新工科”研究与实践项目

作者简介: 余建星, 男, 天津大学求是学部名誉主任, 教授, 博士生导师, 万人计划国家名师、国家 973 计划首席科学家, 主要从事海洋资源开发及高等教育管理研究; 纪颖, 女, 天津大学求是学部讲师, 主要从事高等教育管理研究; 余杨, 男, 天津大学建筑工程学院海洋工程系副主任, 副教授, 主要从事海洋资源开发及高等教育管理研究; 于泓, 男, 天津大学求是学部副主任, 副研究员, 主要从事高等教育管理研究; 段庆昊, 男, 天津大学建筑工程学院讲师。

高等工程教育的发展,而且125年来始终在工程教育改革的最前沿。当前作为新工科建设的重要发源地和积极倡导者,坚持全面把握国际高等工程教育变革的关键方向,不断探索,形成了独特的新工科人才培养的创新实践。

## 一、我国高等工程教育人才培养改革的重大意义

### 1. 新时代落实立德树人根本任务的新需求

我国是中国共产党领导的社会主义国家,立德树人是教育的根本任务。新工科人才培养应以“立德树人”为指引,落实“四个服务”,培育和弘扬社会主义核心价值观,将思想政治教育贯穿教育教学全过程,准确把握工程教育发展规律和人才成长规律,坚持德才兼备、德学兼修,促进学生全面发展成长成才。第四次工业革命对工程人才提出了新要求,工程教育改革方向应保持其“育人”的本质不动摇,新工科人才的核心素养应从人的属性角度出发,促使人由“工具人”回归“价值人”,促进个人发展与社会需求相统一,在传授知识、培养能力的同时,注重学生品德和心理的提升,强化思想价值引领、爱国奉献、社会责任感、工程伦理意识等要求。同时,教育改革中应全面落实“以学生为中心”“以学习成果为导向”“持续改进”的教育理念,以实现工程人才的全面发展。

### 2. 为提升国家核心竞争力提供有力人才支撑

当今世界正在经历百年未有之大变局。21世纪以来,人工智能、大数据、量子信息、生物技术等新一轮科技革命和产业变革正在积聚力量,催生大量新产业、新业态、新模式,给全球发展和人类生产生活带来翻天覆地的变化。为了在新一轮工业革命中占领先机,世界主要经济体积极实施创新驱动发展战略计划,相继推出美国的“先进制造业国家战略计划”、德国的“工业4.0战略”、日本的“再兴战略”、英国的“工业2050战略”、法国的“新工业法国”,都旨在重塑和提升国家竞争力。<sup>[1]</sup>与这些国家战略相配合,高水平工程科技人才培养无不受

高度重视。当前,我国全力推进“中国制造2025”“互联网+”“一带一路”等提升国家竞争力的重大建设,这给我国高等工程教育未来发展与变革带来重要机遇,也对未来工程人才培养质量提出更高要求。为了更好地支撑发展,新工科建设应运而生,目的在于通过高等工程教育的创新发展为国家战略提供关键性的工程技术人才保障。

### 3. 推动形成高等工程教育改革的新范式

迅速变化的世界为工程教育发展提供了难得的发展机遇与挑战,也必然促进高等工程教育的大变革。然而,在全球范围内,工程教育存在弱化的趋势,工程教育不同程度存在着以理科教育的方式培养工程师、优秀青年对工科专业的兴趣降低甚至出现“逃离工科”的现象。在我国工程教育人才培养过程中普遍存在高等工程教育理念滞后,符合国家发展需要的人才培养标准亟待完善;人才培养体系不完善,未能使学生素质、能力、知识得到均衡发展;学校和用人单位脱节,育人环境亟待优化等。面对新使命和新责任,我国高等工程教育必须主动布局,下好“先手棋”,以产业需求和国家战略发展为导向,考虑现代工程的“集成与融合”“智能与创新”特点,协同社会各方力量,贯彻新理念,推动工程教育从思想、内容、形式、方法上进行全面改革创新,建立工程教育人才培养新范式,进行一场面向未来的新工科革命,为我国尽快成为世界工程教育强国奠定基础。

## 二、高等工程教育的关键变革

### 1. 工程教育理念的融合创新

国际工程教育在科技创新与产业革命的冲击下,从专事或者侧重工程技术教育的“技术范式”期,过渡到专事或侧重工程科学教育的“科学范式”期,再到面向工程发展需求的“工程范式”期,工程教育在面向环境压力自我反思的过程中出现了“融合”趋势。2017年是中国新工科建设元年,从“复旦共识”“天大行动”到“北京指南”,形成可以实施的“新工科研究与实践项目”,新工科建设在我国高等教

育界掀起新的改革热潮。与此同时,美国麻省理工学院(MIT)启动了新一轮的工程教育改革——“新工程教育转型”计划(NEET),代表了美国工程教育的最新发展方向,以“创新、融合、集成、共享、智能”为特点的“新工科范式”已成为高等工程教育发展的新方向。

## 2. 工程领导力的培养

工程领导力是未来工程人才综合能力当中的重要组成部分。早在21世纪初,世界主要工业大国便认识到培养工程型领导人才的重要性,高校积极开展工程领导力项目,规划实施路径。备受瞩目的当属MIT的“Gordon工程领导力计划”,其目标是通过培养工程发明、创新和实践的领袖,提高工程教育的质量。该项目提出包括领导力态度、情境理解、人际关系、愿景、实现愿景、技术知识与推理六个方面的工程领导者的必备素质,并为本科生制定了三条可能的成长路径。<sup>[2]</sup>加拿大多伦多大学认为工程领导力包括终身学习、潜力发挥、服务奉献、欣赏、执行力、发现与创造知识等十个方面。而宾夕法尼亚州立大学通过“工程人才领导力辅修项目”(ELDM)来加强工科学生的核心领导品质、国际领导品质和21世纪需要的领导品质,提高工科学生理解工程与商业之间联系的能力。

## 3. 通识教育基础上的工程教育

恩格斯说,一个民族要想站在科学的最高峰,就一刻也不能没有理论思维,而科学的哲学理论思维正是工程领军人才必备的重要素质。现代工程的复杂性、多变性和系统性凸显,工程师的社会责任增强以及工程师未来发展的需求,都需要突破狭窄的专业训练,促进工科学生获得更全面的发展,以使其具备更多样化、更综合化、更集群化、更智能化、更国际化的素质,推动并引领新一轮产业变革。斯坦福大学的通识教育以培养学生深度阅读、熟练写作、有效交流与批判性思维的能力,使学生能够建立不同学科领域之间的联系,指导学生未来以理智的工作与生活为目标,其通识课程比例约占总学分要求的33%,约60学分。<sup>[3]</sup>哥伦比亚大学的通识课以经典文本为素材,以研讨课为主要形式,以现实重大问题为主题,注重本民族

的文化传统。其经典课程《当代文明》开设99年,年年讲授,未曾间断。著名的“欧林三角”课程模型也体现了欧林工学院的工程教育以丰富而坚实的博雅教育为背景和基础,对于学生深入了解未来工作将要依赖的社会、人类环境以及他们将面临的专业问题和道德问题都大有裨益。

## 4. 以学生为中心和个性化的培养理念

新工业革命颠覆现有很多产业的形态、分工和组织方式,实现了多领域融通,重构人们的生活、学习和思维方式。工程人才培养的深刻变革对高校的理念、培养模式、管理制度、文化等方面提出很高要求,传统的高校面临“再造”的冲击。“以学生为中心”已经成为高校本科教学改革的主流。《斯坦福大学2025年计划》启动“开环大学”计划,是对传统大学的颠覆性创新,其人才培养模式强调学生个性发展的“自定节奏的教育”、体现能力优先教育理念的“轴翻转”以及旨在对人类社会负责的“有使命的学习”。这与我国倡导的育人为本、全面发展的大学教育理念高度契合。欧林工学院不设“系”的组织,其制度设计实现了真正的“跨学科”教学。而广受世界各国工程教育界认可和推崇的PBL(Project-based Learning)课程学习方法,引导学生进行自主学习、主动探究,提升思维能力和解决问题能力,能够满足新工业革命环境下的社会需求。

## 5. 多方互动的合作教育

高校不是游离于社会之外的孤岛,需要校内外多方力量的共同努力和协同发展。高校与行业、企业的协同,有利于集成优质教育资源,营造多元开放、多主体互动的育人环境。国内外关于多方合作的人才培养研究由来已久,德国的校企合作成为全球共识,产业界、教育界、政府和家庭都充分认识到产学研合作的必要性。慕尼黑大学通过开展高校、企业双方人员的交流,共建研究所、实验室等方式,在人才培养、科学研究和成果转化等方面开展合作,真正实现人才培养和社会需求相统一。法国注重教学与工程实际的结合,与企业共同制定课程,由经验丰富的企业工程师授课以及分层次递进式

的企业实习等。教育部高等教育司通过设立“产学研协同育人项目”搭建起高校和企业共同培养工程人才的桥梁,向产业、行业、企业问技术需求,更新人才培养内容和体系,培养适应时代发展的新工科人才。

### 三、新工科卓越人才培养新模式探索与实践

天津大学工程教育历史悠久,秉承“兴学强国”的使命,积极推进多方位、多层次的工程人才培养改革,积累了丰富经验。自2009年以来,天津大学不断探究工程领军人才的特征和成长规律,以“卓越工程创新人才培养实验中心”——求是学部作为“试验田”,构建了以“素质拓展、能力提升、知识优化”为内容、以协同育人平台为支撑的工程领军人才培养体系,形成了新工科人才培养的创新实践。<sup>[4]</sup>

#### 1. 突出价值引领作用

理论是行动的先导。工程教育不应该只停留在追赶4.0,而应该顺势而动,站在世界经济发展和国家战略需求的高度,围绕立德树人这一根本任务,以全面发展为导向,思考面向未来的工程人才培养。坚持“面向世界、面向未来、面向工程界”的教育理念,以理念创新推动模式创新和文化创新,切实提高工程人才培养质量。

天津大学在多年的工程领军人才培养实践中,坚持以学生成长成才和发展为本,以促进学生的全面发展为目标,创新性提出了“三个转变”的指导思想,即由单一的知识传授向综合素质培养转变、由学科为本向人才为本转变、由注重学习成绩向注重学习成效转变,确立了培养具有创造力、实践力、领导力和国际竞争力的高素质卓越工程创新人才的目标。人才培养目标体现了自上而下的顶层设计,体现了工

程人才培养的高标准、高要求,且具有一定的前瞻性,为课程体系、培养模式等的组织和设计起到很好的引领作用。

#### 2. 构建知识、能力、素质协调发展的培养体系

新工科建设背景下,工程人才需要以家国情怀、全球视野、创新精神、实践能力为核心素养,凸显工程创业能力、跨学科集成能力、批判性思维能力、自主终身学习能力、沟通与协商能力、工程领导力、环境和可持续发展能力、数字化能力。同时,更加注重人格结构和动机价值的引导和培养,未来工程人才的核心素养不是单一的,而是知识、能力、素质多维度的集成与整合,也更加符合人的全面发展的根本要求。

为更加清晰了解未来社会对工程人才的核心素质要求,在分析研究美国、英国、日本、澳大利亚等国家工程科技人才培养标准的基础上,根据人才培养需求,通过发放万余份调查问卷,召开用人单位、海外专家、教师、学生座谈会等方式广泛征求意见,凝练形成了包括品德、心理、能力和知识在内的四个核心要素、25个指标的“工程领军人才培养标准”(见图1)。“工程领军人才培养标准”进一步强调工程领军人才在知识、能力和素质方面的要求,不仅要具备综合运用知识解决问题的能力,还应具备“跨文化交流沟通能力、领导能力、团队合作能

### 工程领军人才培养标准

(4个核心要素,25个指标)

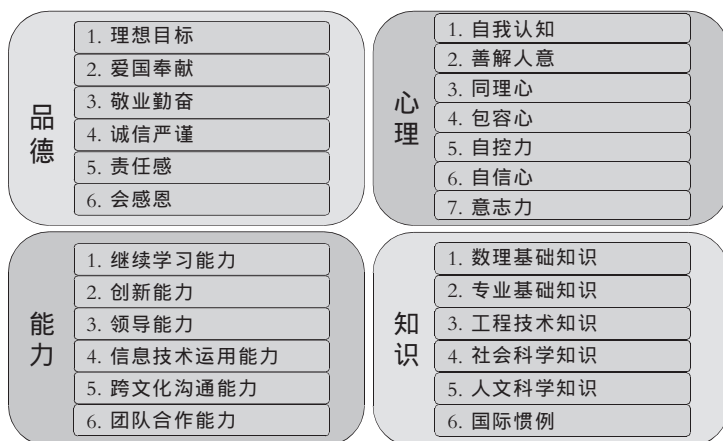


图1 工程领军人才培养标准



力”，以及“人文素养”“国际惯例”等方面的知识；更加强调“远大理想、爱国奉献、意志力”等非智力因素的重要性，人才培养目标具有可操作性，并与时俱进地进行动态调整，适应了世界经济、科技变化趋势和我国建设创新型国家发展战略对人才的需求。

3. 坚持课程体系改革中知识的完备性和实践性

学科之间、科学和技术之间、自然科学和人文社会科学之间日益呈现交叉融合的趋势。复杂多变的工程实践对学生的知识结构提出更高要求，课程体系应向着综合化的方向发展。通过重建课程目标、优化知识结构、重组课程内容，使学生具备足够的自然科学和工程技术知识；将人文社会科学知识贯穿其中，使学生能够集成多方面知识应对未来工程领域中的复杂问题。更重要的是注重了工程实践能力培养，促进理论与实践紧密结合、有效配合。

在改革实践中，以“强化基础、重视实践、培育创新、综合提升”为原则，构建了理论与实践有机整合的课程体系。强化数理基础，打造宽厚学科基础平台课程；整合内容、去除冗余，设置主干清晰的专业课程，学生在导师的指导下，自主选择专业选修课程；设定研修与创新学分；构建信息技术课程组，开设智能设计技术、数字孪生制造、增材制造、可靠性评估等智能相关课程，使之可完成行业的智能设计制造，如船舶与海洋装备的智能设计、智能制造，无人船等；建立人文、社科通识类课程体系，相继开出“国学精粹”“历史与文化”“哲学与人生”“科技与社会”“思维与沟通”等课程模块；将最新重大科研成果转化为教学内容；引入国外优质教学资源，与美国教育联盟合作开设《创造、创新、创业》《设计思维》视频课程；与美国北卡罗来纳州立大学（NCSU）等大学共同开设《全球施工实践与创新》等课程。

建立以基本实践能力训练、综合实践能力训练、研究创新实践能力训练为核心的实践课程体系，开设《综合化学实验》和《电子技术综合设计实验》等综合实验课程，学生自行设计实验方式并完成实验，培养综合设计能力。

二、三年级采取“研学结合”模式，学生进入导师实验室开展实践训练。四年级部分学生的毕业设计在企业完成，由企业工程师和学校教师组成“双导师”负责指导学生。

4. 探索突出学生主体地位的教学方法改革路径

以学生为中心的教育理念是高校进行教学组织模式和教学方法手段改革，乃至制度机制创新的根本遵循，有助于形成学生自我选择、自我塑造和自我学习的良好育人环境。其强调充分尊重学生个体需求，注重因材施教，把教学的中心从传统的“教师教”转为“学生学”，强调关注学生学习效果，使学生潜能得到最大限度挖掘。

在改革实践中，强化学生主体地位，变“要我学”为“我要学”；采用师生互动的思、知、言、行“四位一体”的教学方法。在《线性代数与解析几何》《工科数学分析》等公共基础课中实施辅导式教学；在《船舶静力学》等课程中采取“翻转课堂”；在《材料力学》等课程中采用基于问题学习的方式，等等。

实行复合式考核模式。在《工程图学》《结构力学》《化工原理》《中国哲学史》等不同类型的课程中进行考试模式改革，加大平时成绩比例，增加小测验、小论文、报告、演讲等环节，采用阶段性、过程性、多元化考核方式。《高等数学》实行“月考”制度后，学生学习效果提升显著，学生的工科专业基础得到有效增强。

5. 深入推进“五个计划”育人文化

智商与情商并重、知识与能力并举，使学生自信、高效、愉快、更好地完成学习过程，是大学教育的美好愿望和肩负的责任。<sup>[5]</sup> 学生在具备合理知识结构的同时，要注重综合素养的提升，将全方位、全过程、全员育人的思想渗透其中，引导学生树立远大理想，激发成才动力，增强处理工程领域复杂问题和创新能力，使其素质、能力、知识协调发展，具备成为工程领军人才的潜力，培养社会主义建设者和接班人。为此，实施了五项改革计划。

一是创新力提升计划。建立“国家—学校—学院”三级创新创业实践平台。从综合测评、

成绩学分认定、项目支持等方面全力推动学生科技创新实践,激发学生创新动力,创新实践过程中注重创新意识养成、创新能力训练、团队合作等。创办“求索科技创新计划”,集成学校优势学科群,设立多学科交叉、融合创新项目,提高学生的创新实践能力。

二是领导力提升计划。该计划致力于培养能够解决复杂工程能力的领军人才。分为三个阶段:基本知识学习,设定选读书籍,开设《言语交际能力训练》《写作与思维训练》《逻辑学与辩证思维概论》等课程,建立“专题论坛”,交流学习心得;意识培养,设立“学长辅导制”,高年级学生为低年级学生提供专业认知、学习规划、课业指导和拟定实践计划等方面的帮助,培养团队合作精神和领导意识;行为实施,通过全员参与社团、学科竞赛、科技立项等活动提升学生的领导力。

三是国际视野拓展计划。与欧、美、亚等地区27个国家的105所高校建立联合培养机制。借鉴国际一流大学经验,完善培养方案;遴选国外优秀在线课、视频课、教材或课件、教师;制定境外课程学习、实践学分认定办法;开展“国外文学文化作品鉴赏”“时事论坛”“一带一路沿线国家分析”等活动。

四是“三观”塑造计划。“名师导航”,即创办学者讲坛和求是论坛,邀请各界知名人士举办讲座,帮助学生坚定理想信念;“国情认知”,即通过形势与政策课程、国际形势报告会等,激发报国热情;“诚信养成”,即开设诚信教育必修课程,制定《诚信条例》,建立诚信档案。

五是心理健康计划。建立学生个人成长档案,作为学生成长评估、自我诊断的工具;建立“校-院-班”三级心理健康辅导机制;开展“起航磨砺”强身健体活动,将长跑运动列为必修环节。

#### 6. 搭建多元化和开放性协同育人平台

工程的复杂性、多变性和系统性要求工程教育人才培养要坚持协同育人理念,调动学校、政府、行业等多方利益相关者的积极性,积累更多育人资源,真正实现人才培养和社会需求相统一。

社会多方资源的整合庞大而复杂,在实践中,建立了高校主导,政府、企业、科研机构参与的协同育人平台,组建协同育人委员会、教学指导委员会和督导委员会,定期组织召开研讨会,进一步修订完善人才培养方案,注重将最新科研成果迅速转化为教学内容,从顶层设计、实习实践到评价反馈,全程参与工程领军人才培养。学校以12个国家级工程教育实践中心为引领,积极搭建腾讯、华为、恩智浦等知名企业深度参与人才培养的平台,形成了良性的新工科教育生态。

## 四、结语

天津大学通过工程领军人才培养的探索实践,形成了较为合理的人才培养体系,人才培养质量显著提升,起到较好的示范引领作用。学生创新精神和实践能力增强,在国际国内高水平竞赛中屡获大奖;学生社会认可度显著提高,毕业生培养成效获得广泛认可。作为新工科教育的改革试验区——求是学部,是天津大学深化工程教育改革的缩影,在人才培养改革方面打破传统、推陈出新,形成了一系列可复制可推广的教学成果和改革经验,其成功经验已推广至全校64个专业,使两万余本科生受益。然而,随着高等工程教育改革的不断深化,仍面临着一些挑战和问题:一是培养模式与管理体制的协同性不够强,管理模式对人才培养的支撑需要进一步优化;二是全面实施大类招生、大类培养的情况下,人才培养模式需要进一步拓展和转型,以便为天津大学的教育教学改革提供更多超前的实践经验等;三是现有培养模式的评价与反馈机制仍需完善,通过成效评估,进行持续改进。

反思十年来的改革实践,主要有以下几个方面的思考和感悟:第一,在工程教育中全面贯彻加强素质教育的思想,注重学生的思想引领和人格的不断健全与完善,以素质养成为切入点、以能力提升为核心,使知识、能力、素质得到最佳成长,促进学生增进智慧、全面提高综合素质;第二,注重学生个性发展,既要

考虑学生择业需求,更要为其长远发展奠定坚实的基础,允许学生根据个人的兴趣、志向确定学习目标、选择学习内容和制订学习进度,相同专业的学生在达到专业基本要求的前提下,可拥有不同的知识结构和能力;第三,教学内容的安排要面对科技革命,打破专业壁垒,既要加强自然科学基础、工程技术基础和人文社会科学基础,又要拓宽专业,设定跨学科内容,扩展学生的视野,构建综合的知识结构,在教学过程中,重视学生参与发挥其主体作用,引导学生由被动接受学习转变为主动创造学习。

习近平总书记在全国高校思想政治工作会议上指出,“我们对高等教育的需要比以往任何时候都更加迫切,对科学知识和卓越人才的渴求比以往任何时候都更加强烈”。我国高等工程教育人才培养任重道远,必须充分立足国际工程教育改革关键方向,全面推进创新,促进可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 陆国栋,李拓宇.新工科建设与发展的路径思考[J].高等工程教育研究,2017,(3): 20—26.
- [2] 邱勇.迎接工程教育的新挑战[N].中国教育报,2018-10-08(05).
- [3] 续智丹,林健,黄海燕.面向新工科的工程领导力教育研究[J].高等工程教育研究,2019,(5): 30—40.
- [4] 胡予,朱佳斌,陈珏蓓,等.国际工程领导力培育项目及其对我国工程人才培养的启示[J].现代教育科学,2019,(1): 135—142.
- [5] 刘学东.新思维,新课程——斯坦福大学通识教育改革[J].清华大学教育研究,2014,35(5): 96—102.

(责任编辑 吴潇剑)

## The Key Reformation and Innovative Practice of Talent Training under the Emerging Engineering Education —Based on the Analysis of Tianjin University

Yu Jianxing Ji Ying Yu Yang Yu Hong Duan Qinghao

**Abstract:** The establishment of Emerging Engineering Education is the reformation direction of engineering education, which is proposed based on the new demand of national strategic development, the new situation of international competition and the requirement of fostering virtue through education. The key directions of international engineering education reformation contain the fusion and innovation of engineering education idea, the engineering leadership training, general engineering education, student-centered and personalized training idea, cooperative training according to multiple interaction, etc. From the aspects of value leading, training system, course system, educational culture and educational platform, Tianjin University performed the innovative practice of engineering leadership talent training, in order to provide significant references on pushing ahead the talent training of higher engineering education.

**Key words:** Emerging engineering education; Talent development; Change; Innovation