

新工科与新范式:实践探索和思考

顾佩华

【摘要】在分析科技革命和创新经济对工科毕业生需求特点的基础上,天津大学提供了新工科的“天大方案”(CCIE-EEE)。该方案以培养未来卓越工程师、企业家、工程科学家和领军者为核心理念,提出了一种以立德树人统领人才培养全过程,融合文理教育、多学科和跨学科工程教育的个性化专业教育的新工科教育模式。天大方案定义了面向未来的工程科技人才综合能力特征,突破单一学科课程支撑专业教育的传统教育模式,构建了面向未来科技和产业发展主题的开放式多学科培养平台,包括5种项目为节点的融合贯通课程体系及建设路线图,以及相应的教学质量标准和保障体系。正在试点实施中的天大方案,鼓励以创新为主题的多种工程教育改革,探索工程教育新范式。结合后新冠疫情时代新需要,本文还讨论了新工科再深化、再拓展、再突破等方面的工作,愿能与工程教育同行共同探讨和学习。

【关键词】新工科 CCIE-EEE 多学科培养平台 新范式

一、引言

从工业发展的历史看,虽然不同国家和地区的情况有所不同,但每一次工业革命都体现了当时工业发展的主题和内涵,工业发展需要工程技术的人力资源支撑,因此,推动了工程教育的不断变革与发展。^[1-4]如图1所示,纵观工业革命与教育发展之间的关系,每一次革命都定义了一个时代的教育。第一次工业革命时期的蒸汽机发明,开始改变传统的手工作业方式,对机械化专业技能人才的需求推动了高等教育1.0时代的变革,高等教育发展为当时的工业发展提供了人力资源的支持。第二次工业革命时期的电气化实现了制造业的批量化生产,新制造技术促进了包括铁路、石油、钢铁等在内的工业和经济发展。那个时期建立了各种类型的高等院校包括MIT等理工科高校和学院。值得一提的是哈佛前校长Charles W. Eliot教授对当时美国高等教育课程体系不能服务工业化建设不满,于1896年发表了“新教育-The New Education”文章,希望改革美国高等教育。^[5]第三次工业革命以电子通讯、计算机、Web互联、信息技术等为特征,推动了自动化技术、设备和系统的发展。同时,高等工程教育全球化和国际化得到很大发展,建立了国际工程教育认证实质等效体系,并支持学生和注册工程师的

移动性(Mobility)以及学习与工作地点的选择。第四次新工业革命的开始阶段经历了人工智能、物联网、传感技术、云计算、大数据存储与计算、区块链、新材料、生物科技、新能源等新技术的涌现,推动创新技术和产业的快速发展,对应第四次工业革命的教育4.0将经历变革性的发展。

实践证明传统工程教育模式、课程体系、课程内容、教学方法不能适应新产业和新经济发展需求,教育部提出新工科建设旨在培养符合当前和未来科技发展和产业革命需求的卓越工程创新人才,实现面向未来、面向世界、面向需求,聚焦学生培养持续创新的工程教育。新科技革命的特点是新技术的快速和加速发展,物质科学、先进信息技术和生物科技的直接交叉融合,产生了很多颠覆性新技术,这些新技术催生一大批新产业,同时也颠覆了一些传统企业,形成全新的人力资源需求。展望未来,工程教育发展需要新的试点、新的思考、特别是对工程教育产生重大影响的技术发展,在科技快速变化的时代,需要关注工程与技术伦理、智能时代人与工具的边界等重要问题。^[6]

新工科建设是我国主动适应和引领新经济发展,为21世纪工程教育挑战提供中国智慧、做出中国贡献的重要举措。全国高校和相关行业积极响应国家“新工科”建设,主动召开各种研讨会,

收稿日期:2020-05-20

作者简介:顾佩华,天津大学新工科教育中心主任、机械工程学院教授,加拿大工程院院士。

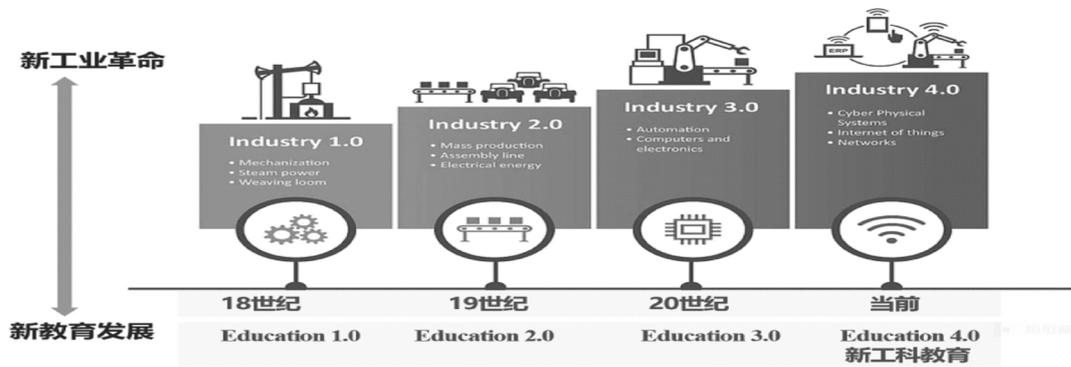


图1 工业革命与教育发展

注:本图是网上下载后修改而成。

“新工科”很快成为全国性的工程教育改革行动。高等工程教育和产业界在培养面向未来、面向世界、面向产业的新型工程科技人才,支撑创新时代新经济发展等方面积极合作,推动新工科教育发展。^[7-10]天津大学于2019年4月发布了新工科“天大方案”(TJU Coherent-Collaborative-Interdisciplinary-Innovative Plan of Emerging Engineering Education, CCI-EEE)^[11,12],随后电子科技大学发布了“成电方案”^[13]、华南理工大学发布了“新工科F计划”^[14]等。

本文内容组织如下:第二部分全面介绍新工科天大方案设计,第三部分讨论了新工科教育模式和范式,第四部分试图探讨后疫情时代的新工科再深化、再拓展、再突破和再出发,最后是结论。

二、新工科天大方案设计

1. 新工科教育变革与创新的需求。

自从教育部提出新工科建设以来,通过3年多关于新工科教育的讨论、研究和实践,高等工程教育界达成了基本共识:新工科教育不是简单地按照传统教育模式开设新专业,在开展新工科建设之前,学校也办新专业;也不是在传统工程教育模式和课程体系上简单增加新内容,各学校在修订专业课程计划时也会增加新内容;当然更不是将传统的课程体系冠以新的名词。新工科教育应该是面向新工业革命与未来科技和工业发展的工程教育系统性变革与全面创新;探索工程教育的新理念,根据新理念建立工程教育的新模式,基于新工程教育模式,构建新的人才培养和新课程体系,为了实现新培养体系,需要建设新课程内容,根据新课程学习要求,利用数字教育教学资源,探

索更有效的新教与学方法,为了持续提高教育教学和人才培养质量,建立工程教育的新质量标准;即以新理念、新模式、新培养体系、新课程内容、新教与学方法、新质量标准和新要求建设新工科专业,系统性改造和创新现有工科专业;促进新兴工程教育领域与教育实践的发展,探索工程教育的新模式和新范式,培养未来科技和工业发展需要的工科毕业生,支撑国家创新经济发展。

为了培养未来工业和社会需求的工科技术人才,未来工科毕业生在满足工程教育认证标准和要求的同,还需要具备哪些新工业革命时代的知识、技能、态度、能力和素质?基于对创新经济、新科技革命和新产业发展需求的观察、调研、分析和研究,提出了以下新工业革命时代和创新经济发展需要的基本工程素质:

- (1) 适应未来职业变化与发展的能力 (Adaptability)。
- (2) 较高的伦理道德标准和职业责任的自觉意识。
- (3) 正确的工作动机和职业行为准则,及克服挑战的持久毅力。
- (4) 自主和自觉学习习惯与学习动力、学习毅力和学习能力,持续学习和终身学习,保持工程专业和职业持续发展能力。
- (5) 较强的自然科学、数学和工程科学基础、多学科、跨学科的工程和技术知识;设计、建造、创造和创新、技术和产品研发、解决复杂的工程问题的能力。
- (6) 思维、团队合作、沟通、创业、管理、执行和领导等能力与素质。

将上述要求结合工程教育专业认证标准中的



图 2 新工科天大方案的基本框架和主要内容

培养目标、毕业要求及天津大学专业特色,构成天津大学专业综合教育目标(Comprehensive Education Goals, CEG)。

2. 天大方案培养模式。

在分析和总结 Olin College、Harvey Mudd College、OBE-CDIO、MIT-NEET 等的工程教育改革成功经验和最佳实践基础上,天津大学再创新,提出了新工科天大方案。天大方案核心理念是以立德树人统领学生培养全过程,融合新文理教育、多学科交叉工程教育和个性化的专业教育,为学生提供全人和全面教育,培养未来卓越工程师、企业家、工程科学家和领军者。天大方案实施重点包括:

- (1) 以学生发展为中心。
- (2) 建立开放、协同、多学科人才培养平台,以面向未来科技发展为主题,支撑多学科和跨学科的工程教育,实现教—研—学融合、校企融合和国内国际教育合作。
- (3) 建立书院提供通识教育和有组织的课外活动。
- (4) 设立导师组指导学生的个性化学习。
- (5) 根据综合培养目标(CEG),以 5 种项目为连接点,制定融合贯通的一体化课程计划(Coherent Curriculum)和模块化课程体系。
- (6) 建立新的教学质量标准和保障体系,持续改进教育质量。
- (7) 评估毕业生培养结果,改进新工科天大

方案,形成新工科天大模式。

新工科天大方案主要包括:① 核心内涵、② 培养平台、③ 课程体系建设和路线图和④ 教学质量保障体系等,如图 2 所示。以下 2.2.1-2.2.4 章节较详细介绍这四部分内容。

2.2.1 天大方案培养模式的核心理念。

如前所述,新工科天津大学方案的核心理念是以立德树人统领人才培养全过程,通过融合新文理教育、多学科工程教育和个性化的专业教育,塑造学生的人格和核心价值观,培养学生卓越的专业素质和能力,实现全人教育和全面培养,如图 3 所示。

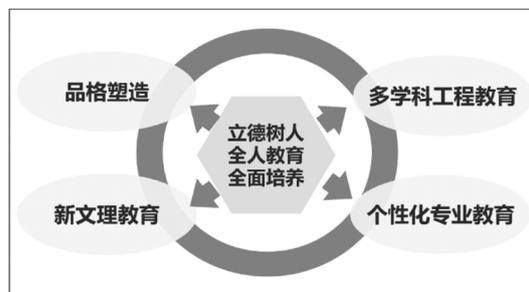


图 3 新工科天大方案 CCII-EEE 模式核心理念

品格塑造:大学教育应该是培养具有社会责任感、良好道德品质和正确价值观、有知识、有能力、高素质的公民。天津大学坚持立德树人,培养品学兼优的创新人才。学校各级领导和教职员工都需要参与设计和建立培养体系,实现“三育人”“五育并举”,通过课程、项目、课外活动和社会

服务等方式,培养学生家国情怀、伦理道德和核心价值观,塑造高尚人格,实现全人教育与全面培养。

新文理教育:中华民族5000年的灿烂文化,为人类文明和进步做出了卓越的历史贡献。以中国传统和现代人文、社科与艺术精髓丰富和改造传统文理教育,培养学生人格、价值观、思维、想象力、创造力、科学精神、科学态度、分析和判断、伦理推断、沟通、写作、团队合作、创业、管理、领导和终身学习能力,以适应未来职业变化与发展。

多学科工程教育:工程项目通常是多学科团队合作完成。为学生提供多学科和跨学科工程教育是培养综合工程能力的基本要求,打破传统的学科界限束缚和限制,培养学生宽厚的自然科学、数学和工程科学基础,严谨的工程态度,多学科和跨学科的工程知识,分析和决策能力,设计和建造能力,解决复杂工程问题能力和工程创新能力等。

个性化专业培养:传统的本科教育,对同一专业学生的培养体系基本相同,学生可自选课程很少,跨学院、跨学科选修课程更加困难。Stanford2025计划提出根据学生职业发展目标,构造个性化的培养体系。借鉴Stanford2025的特点,以卓越目标和学生职业发展为导向,从体制机制上解决跨学院和跨学科选修课程,为学生提供最新专业知识、能力、职业素质培养,鼓励毕业生修读双学位、主辅修,实现个性化的专业培养。

2.2.2 建设多学科—跨学科—全开放培养平台。

当前本科专业教育的培养机制主要以院系或学科为基础,为了培养多学科和跨学科工程科技创新人才,需要突破以传统单一学科办专业的现状。各国大学的院系设置有所不同,我国是按照教育部的学科和专业分类进行建设,比如机械系(学科)支撑机械工程、机械电子工程、机械设计制造及其自动化等专业的教育教学,而北美的机械系通常支撑机械工程专业,虽然都是机械系,但是教师队伍和课程体系差别非常大。比如笔者非常熟悉的一个只有35名教师的机械和制造工程系,具有多个一级学科领域(如固体力学、热力学—流体力学—传热、自动化包括动力学与控制、材料、能源、生物工程、设计制造、制造系统与管理等)。又如MIT的机械系大概有80名教师,但是教师的学术背景涵盖了我国的十多个一级学科,所以在课程体系、培养环境、科研和实验室等方面为学

生提供了更多的选择。在当前强调建设一流学科的要求下,如何突破学科思维,在传统的大学组织结构中有效地实施多学科交叉融合,是实现科技和教育创新的一个重要途径,值得甚至是必须认真对待的机遇与挑战。

现有大学由单一学院和学科组织专业课程教学框架下,天大方案通过建立多学科、跨学科和多学院教育平台,突破体制机制以及组织结构的限制,探索建设面向未来科技发展主题的教学和科研的组织创新,为学生提供多学科和跨学科工程教育。图4显示的是一种面向未来科技和产业发展的多学院和多学科合作的跨学科人才培养组织形式,也可以是未来技术学院的一种构建方式。其中,培养平台包括跨学院的多学科人才培养的校级平台,以及跨系和跨学科的人才培养的院级平台。

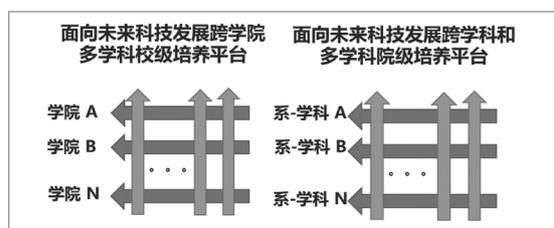


图4 校院两级多学科培养平台与院系和学科关系

国内外很多高校都实现了跨学院、跨系、跨专业选课,满足学生发展和个人兴趣需求,但这不是真正意义上多学科交叉融合工程教育。多学科或跨学科的工程教育是根据培养目标和要求,通过设计和实施多学科交叉融合的课程体系,达到毕业生的培养目标和毕业要求,是整个专业系统性、规范性与可持续发展的,也是真正意义上的(Genuine)多学科交叉融合工程教育。众所周知,学科与知识体系相关,而专业与职业相关,如机械设计制造及其自动化专业培养制造工程师。传统聚焦冷加工业和机床制造业经历颠覆性的变化,多年形成的专业课程体系需要紧跟产业变化而做系统性修订和更新课程内容。

新工科天大方案提出建设未来科技/产业发展重要主题的培养平台,如未来智能机器和系统培养平台、未来智能医疗与健康教育平台等。聚焦平台科技和产业主题,整合不同专业课程体系的共同要求,如智能机器与系统的自然科学和数学、智能产品和技术研发、思维、多学科团队工作、沟通、项目管理等共同要求,通过平台必修课实现

共同的培养要求。不同专业聚焦的重点有所不同,如智能制造工程专业与测控技术与仪器专业在未来智能机器与系统方面的专业知识和能力的要求不同,这些不同专业的要求通过专业必修课实现。因此,不同专业课程体系通过聚焦同一科技主题,进行系统性整合,形成多学科交叉融合的课程体系,实现真正的多学科工程教育。

由来自不同学院的教师团队负责设计平台的多学科和跨学科专业课程体系及其实施方案。在设计培养计划的过程中,根据新理念、新模式、新课程体系、新教学方法、新课程内容、新质量标准的要求,充分考虑适应性和可操作性,以未来的科技培养今天的学生,使他们现在就具备创造未来新技术和新产品的能力。

图5是一个典型的CCII-EEE培养平台示意图。建设面向未来科技发展的开放型、多学院、跨学科的本—硕—博贯通的校—院两级培养平台。其中,校级平台由多学院/单位联合建设,院级平台由学院下设的系/学科联合组建。

“四融—四合一六新”的平台优势与特色:产学研—校企融合,多学科交叉和跨学科融合,国内—国际培养融合,教—研—学融合,即四融。学校重点实验室、工程中心、创客空间和创新创业孵化器/加速器与教学和人才培养的深度合作,即四合。新工科人才培养新理念、模式、课程体系、教学方法、教与学内容和质量标准的全面和持续创新,即六新。

面向未来建设以科技和产业发展为主题的本硕博培养平台,如未来智能机器与系统平台(可以建设成为未来技术学院如:未来智能机器与系统技术学院)。面向世界选择对标的世界一流工程

教育最佳实践,推动各种形式的国际合作,培养学生的国际交流、跨文化沟通和团队合作与领导能力。面向产业推动产学合作,企业深度参与培养计划和课程体系制定、校企共建培养/平台,为学生提供企业导师和各种产品/技术研发项目等。建设跨学科、跨学院、跨学校合作,真正实现多学科和跨学科人才培养。教研学融合推动科研支持教学,国家/省部重点实验室、研究院、工程中心等科研平台向学生开放,教师将最新科技前沿成果融入教学,指导学生科研和创新项目,提高学生科研创新能力,体现研究型大学培养特色。为学生提供创新创业教育和指导,建设孵化器和加速器、推动建立创业基金支持学生技术创业。多学科培养平台也为研究生教育提供一个新机制和新环境,拓宽从单一学科支撑研究生培养到多学科交叉融合的研究生培养机制,不同学院的研究生在平台上合作研究,实现研究生的多学科交叉融合培养,对科研创新具有重要意义。

2.2.3 建设融合贯通一体化课程体系的路线图。

本文作者在参考文献[15]中对课程体系建设路径做过较详细的描述,这部分虽然讲的是天大方案的课程体系,但结果导向的设计过程和路径基本相同。新工科培养方案和课程体系突出“通”、“融”(Coherence)和“新”,按照学校的专业综合教育目标(CEG)设计课程体系,课程体系建设路线如图6所示,主要包括以下主要步骤:

- (1) 确定专业综合教育目标 CEG;
- (2) 分解 CEG 为详细的培养标准(或称为预期学习结果/学习产出 Intended Learning Outcomes-ILOs);

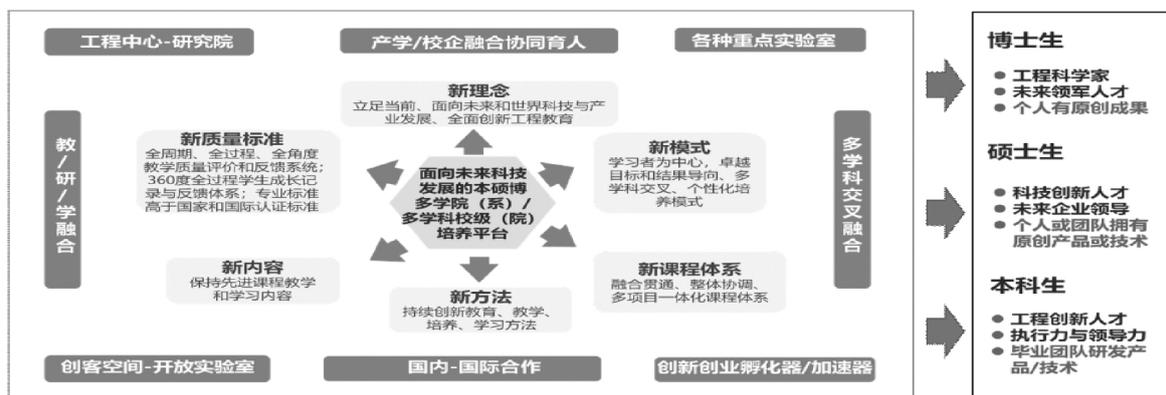


图5 面向未来科技和产业发展的多学科交叉融合培养平台(可以是未来技术学院建制)

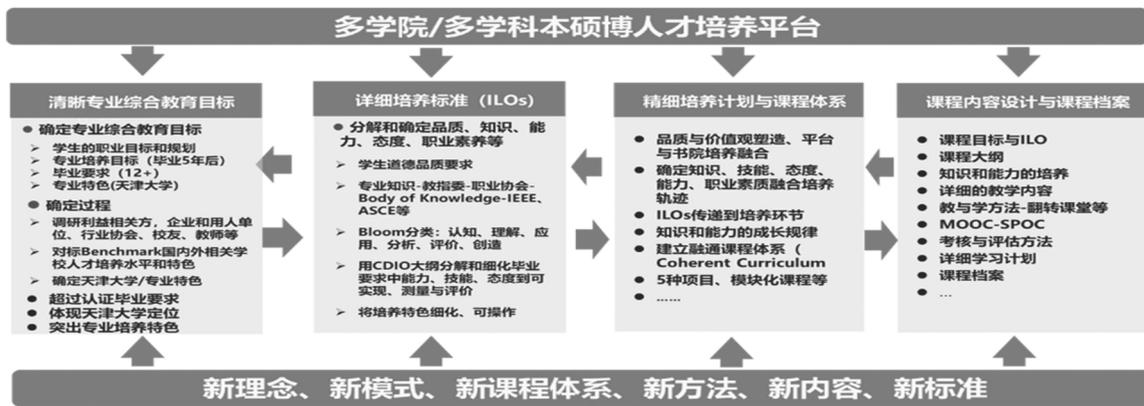


图6 融合贯通一体化课程体系建设路线图

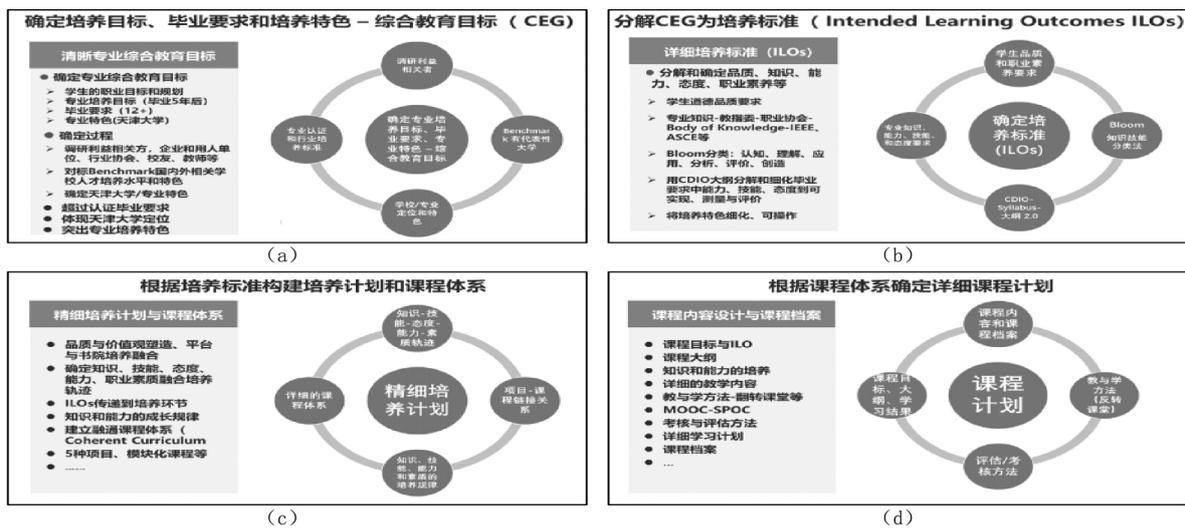


图7 课程体系建设路线图主要步骤的详细说明

(3) 设计结果导向的课程体系实现 ILOs;

(4) 根据结果导向课程体系和课程的 ILOs, 确定详细课程内容;

最后比较课程体系计划达到的总 LOs 与第二步的 ILOs, 根据比较结果, 进行迭代。

确定综合教育目标是制定人才培养方案的第一步, 如图 7(a) 所示, 一般建议完成下列工作:

(1) 调查毕业五年内、五至十年及十年以上的校友代表(对象的选择、覆盖面和问卷设计要符合调查研究的规范和要求);

(2) 调查毕业生的用人单位, 用人单位聘任的毕业生来自多个学校, 能够提供毕业生表现的客观资料 and 比较优势分析;

(3) 对标(benchmark)国内相关大学/专业培养水平和特色;

(4) 对标(benchmark)国际相关大学/专业培

养水平和特色;

(5) 研讨工程教育专业认证标准中的培养目标、毕业生要求和专业相关补充标准;

(6) 提出初步综合教育目标(Initial Version of CEG);

(7) 比较 SQEC 和初步 CEG, 将没有包含的 SQEC 条款补入初步 CEG;

(8) 评价和迭代, 邀请外部专家审核;

(9) 完成 CEG 制定过程。

如上所示, CEG 包括专业培养目标、毕业要求、学校和专业特色等要求, 大学和专业的培养特色表现为其毕业生的特殊素质和能力, 是本校专业毕业生有别于其他大学同样专业毕业生的主要体现。

由于 CEG 通常比较宏观, 难以直接用于课程体系的设计, 需要分解为详细的培养标准(学习结

果或学习产出—Intended Learning Outcomes, ILOs),过程如图 7(b)所示。然后根据培养标准,设计培养计划、课程体系、具体课程内容和教学活动。科学基础和专业技术知识可以参考教指委或专业行业协会对专业和技术知识的要求,例如电子行业可以考虑 IEEE 的 Body of Knowledge;技术知识要求、技能、态度、职业素质等工程和非工程能力,可以参考 CDIO 大纲 2.0 的 380 多项关于个人能力、团队合作和沟通等技能,以及企业、社会和环境背景下的构思、设计、实施和运行能力等。^[15]在确定培养标准后,可以应用 Bloom 分类法进一步对知识掌握水平和技能要求进行分级。

如图 7(c)和(d)所示,设计融合贯通课程体系和课程内容,将培养标准(ILOs)分配到课程等教学环节,然后进行评价和迭代,这是一个从抽象到具体、从宏观到详细的反复迭代的设计过程。需要注意的是,根据 Bloom 分类的知识和技能的水平,需要确定学生掌握水平从低到高的学习成长路径,比如对某个知识点或技能要求达到 Level 6(Evaluation),需要设计出从 Level 1(Knowledge)到 Level 6(Evaluation)的成长路径,将 Level 1 至 Level 6 的进步过程分布到不同课程中实现,保证 Level 6 的达成。此外,应关注自然科学、数学、工程科学等基础知识的系统性和专业科技知识的先进性,定期更新专业课内容。以不同类型项目为学生提供产品和技术研发、创新和创造产品和技术的经历和经验,使学生掌握运用结构化方法解决非结构化工程实际问题(use structured methods to solve unstructured engineering problems)的技能和能力。设计过程完成融合贯通的一体化课程体系,如图 8 鱼骨图所示。

融合贯通课程体系中定义了五种项目,课程项目由教师根据课程内容需要,以项目为载体,使学生掌握和应用课程核心知识。在一年级引入基

于项目的学习,通过体验式学习(Experiential Learning)的 Kolb 循环,让学生体验和掌握主动学习模式。课程群项目是培养学生应用课程群涉及的领域核心知识(如热-流体领域)解决实际工程问题的能力。多学科团队项目是符合培养平台主题的多学科工程技术项目,解决较复杂的工程问题或者开展一项技术研发。本科研究项目是指本科生参加重点实验室等研究机构的科研题目、指导教师的科研项目、竞赛或企业提供的研发项目等。毕业设计研发项目要求学生团队(多学科、大团队)开发新产品或新技术。课程内项目和课程群项目主要培养学生掌握和应用知识。科研项目、多学科团队项目和毕业项目培养学生的科技创新能力。

项目的组织。参与平台建设的多个学院汇集了多种实验室优势资源,比如参与建设未来智能机器与系统培养平台的学院就包含有两个国家重点实验室、多个省部级重点实验室、研究院和研究中心等,这些部门对学生项目提供大力支持。学生项目特别是三年级的科研项目、多学科学生团队项目和四年级的毕业项目可以与重点实验室和研究院科研项目相结合,与教师和研究生团队一起组成大团队,完成科技创新和产品研发任务。项目的组织可以参考佐治亚理工学院的纵向集成项目(Georgia Tech-Vertically Integrated Projects-VIP)^[16]和新南威尔士大学工学院的 Chal-LENG 项目(University of New South Wales-The Challenging Projects)。^[17]

2.2.4 建立教学质量新标准及评价体系。

建立教学质量保障体系首先要建立教学质量标准。如图 9(a)所示,专业在制定质量标准时需要考虑国家的教育教学质量要求,工程教育专业认证标准、行业的人才资质评价标准、以及学校的人才培养质量要求。如前所述,一流大学和专业

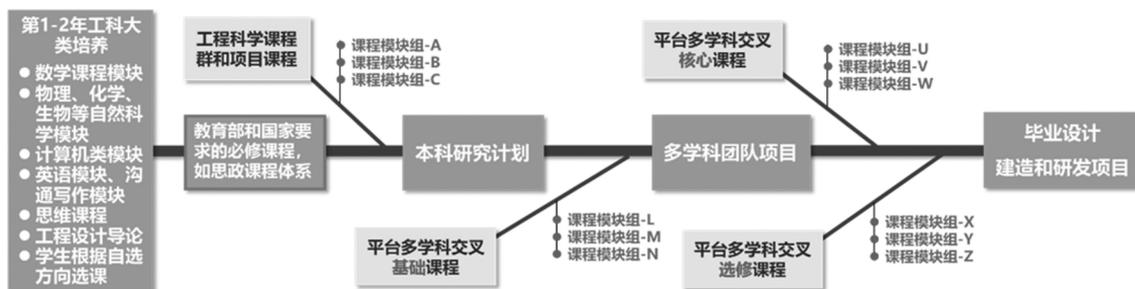


图 8 以 5 种项目为节点的融合贯通课程体系的鱼骨图

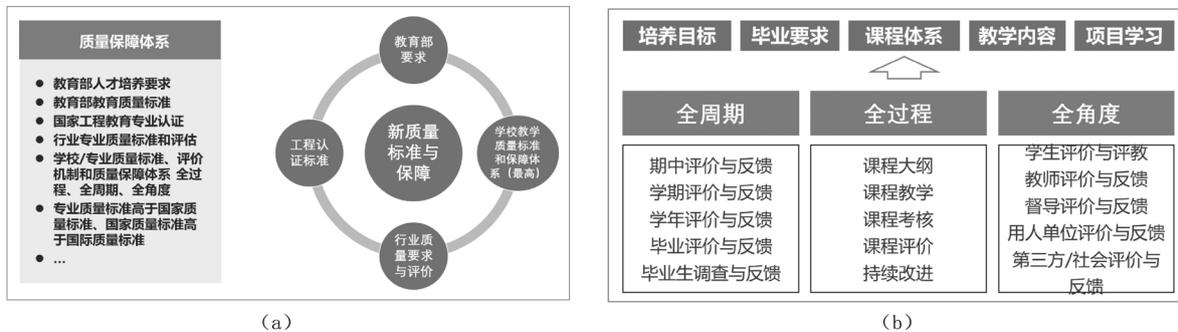


图9 教学质量标准及评价体系示意图

的人才培养质量标准,应高于国家和国际工程专业认证标准。其次是教学质量的持续改进,如图9(b)所示。天大方案建立了全周期—全过程—全角度的评价反馈体系,全周期是指对学生在学期中、学期末、学年、毕业和毕业后的评价与反馈;全过程是指对课程大纲、课程的教学过程、课程考核、课程评价方法及课程的持续改进;全角度指多方教育教学的利益相关者的评价与反馈,包括学生、教师、教学督导、用人单位、社会和第三方等。

2.3 天大方案的试点实施。

天大方案实施过程是一个工程教育系统性变革的实践过程,涉及机构组织、教学组织、人事、财务等机制、体制方方面面的改革,在国内现有大学组织结构下,实施这样的系统性教育改革计划,大学书记和校长的坚强领导和支持至关重要。只有在学校一把手领导和支持下,经过从上到下和从下到上的多轮广泛协商,才能制订出可行的实施计划和具体工作方案。天津大学以建立“未来智能机器与系统”平台开展试点实施,及时评估和修订行动方案,为全校范围内的推行打好基础。作为试点探索,除了范围和规模外,试点工作一般要

能够涉及全面实施的所有方面的重要工作,探索实施路径、潜在问题和挑战。试点实施主要包括以下内容:

- 建立多学科教育平台;
- 组建多学科教师团队;
- 设计课程体系和课程内容;
- 试点平台招生工作;
- 实施试点课程计划;

评估试点工作的阶段性进展、找出存在的问题并及时改进。

1. 建立多学科教育平台。

针对未来重要科技发展主题和结合学校教学和科研规划,如结合双一流建设规划,设计校院两级多学科和跨学科人才培养开发式平台。在当前高校组织结构下,建设校级平台具有一定的挑战性。试点平台的一个重点是如何在现有大学体制下,建立多学科和跨学科工程教育,探索大学教育和科研新机构,丰富和补充传统大学院系建制,建设人才培养新机制。

如图10所示,未来智能机器与系统(Future Intelligent Machines and Systems, FIMS)是天

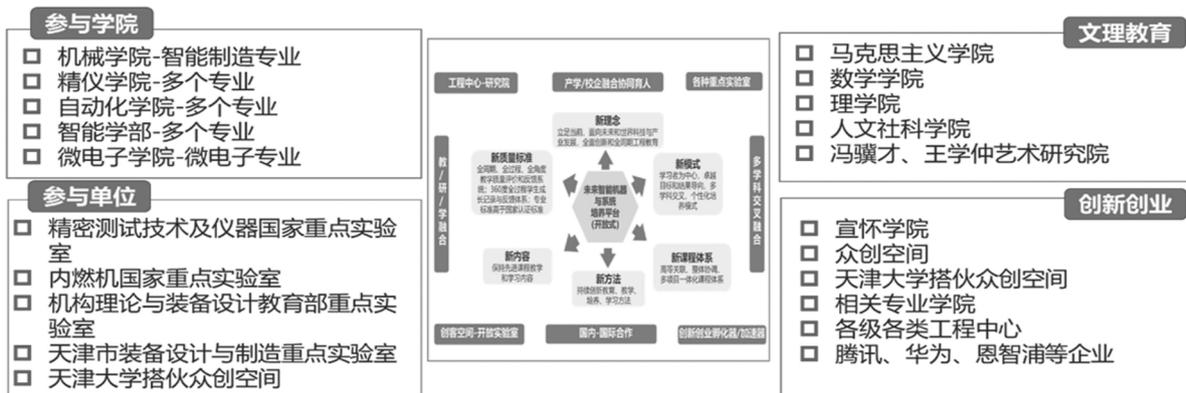


图10 未来智能机器与系统培养平台示意图

津大学的首个试点校级培养平台,FIMS平台由机械工程学院、电气自动化与信息工程学院、精密仪器与光电子工程学院、微电子学院、智能与计算学部、管理与经济学部的宣怀学院等作为组建主体,联合其他单位和部门提供文理教育、项目、科研、创新创业等需求的支持。两个国家重点实验室:精密测试技术及仪器国家重点实验室、内燃机国家重点实验室,两个部省重点实验室:机构理论与装备设计教育部重点实验室、天津市装备设计与制造重点实验室,智能技术研究院和工程实践中心,以及宣怀学院(创新创业)等对学生项目、课程、创新创业需求开放。

FIMS平台的有效管理和运行,是实施天大方案的培养模式和实现多学科工程教育的关键问题之一。FIMS平台目前的管理体系包括平台管理委员会、求是学部以及教学委员会。求是学部于2009年成立,是学校教育改革工作的综合试点部门,拥有基本完备的人员构成和运行体系,负责FIMS的日常运行。管理委员会负责制定政策和重要决策,管委会主任由校级领导担任,委员由参与平台建设的学院院长和主管教学副院长及求是学部领导组成。教学委员会由参与平台建设学院副院长和骨干教师组成,负责教学和课程及相关学术事务。

2. 组建多学科教师团队。

多学科教师团队由参与学院的教师组成,各学院推荐热心本科教学和积极参加本科教育改革的教师到培养平台。从准备平台课程到第一学期结束前的几个月,FIMS平台共召开了50多次建设和教学会议,研讨平台教学计划和课程内容。特别值得提出的是,来自几个学院的教师们在学校教师考核标准没有修改的情况下,工作非常努力,在几个月的试点工作过程中,没有一位教师问过工作量的计算,这体现了教师对本科教育的重视和自觉投入教学工作。所有参与平台建设的学院教学副院长也积极参与课程建设,参与平台的校院(部)领导和教师团队积极投入是试点运行顺利的根本保证。

3. 设计课程体系和课程内容。

课程体系设计分为两步:

(1) 根据图6、7、8描述的课程体系建设路线图,修订已有专业的课程体系和设计新建专业的课程体系;

(2) 将修订后的现有专业课程体系和新专业

课程体系围绕“未来智能机器与系统”的主题进行整合,建立平台融合贯通课程体系。平台的课程体系包括平台必修课、专业必修课和平台选修课。在FIMS平台内,围绕主题设计平台必修课,整合各专业基础和技术必修课,保留各专业必修核心课。一个专业的必修课,可以成为其他专业的选修课程,再与各专业已有选修课整合成为台选修课。学生根据个人职业发展和学习兴趣,选择平台选修课、主辅修或双学位课程,实现多学科个性化专业培养。

平台试点必修课程内容后面会具体介绍。

4. 试点培养平台招生。

FIMS平台首批招生采用二次选拔方式,通过笔试和面试从一年级新生中选拔具备良好学习动力并愿意参加试点项目的学生进入平台培养,第一批140名学生是从1000多名申请者中选拔出来的。FIMS平台的课程比常规专业的课程剪难度高、课程负担重,主动学习方法和项目制学习很具挑战性,这些挑战激发学生的学习动力和自觉性。

5. 试点课程实施工作。

第一学期FIMS平台必修课程着重基础性和课程项目,由教师团队根据平台主题而设计的,FIMS平台学生在修读全校必修课程外,还需修读以下平台必修课程:

- (1) 工程数学分析A(代替高等数学);
- (2) 设计和建造;
- (3) 智能电子创客设计与应用;
- (4) 思维与创新。

“工程数学分析A”^[18]是一门三学期的课程,“工程数学分析A”是第一学期课程,后续课程包括“工程数学分析B”和“工程数学分析C”两个学期的课程。本课程不仅为学生提供数学分析的内容,培养数学思维,而且提供FIMS相关领域的工程应用,特别是跨学科项目和研究方面的应用。根据课程大纲的要求,经过课程教师调查和评价,第一学期的“工程数学分析A”课程达到了预期目标,该课程的学生在学习动机和学习意愿方面有很强的主动性。表1是非平台学生修读的“高等数学”与新开设的“工程数学分析A”课程内容的简单比较。

“设计与建造”^[18]课程的主要目标是通过学习产品设计与开发过程,实施基于项目的学习,培养学生运用现代设计技术与方法解决产品和系统

表 1 “高等数学”与“工程数学分析 A”课程内容比较^[18]

比较项	高等数学	工程数学分析
学习目的	掌握专业学习需要的数学知识	掌握专业学习与研究需要的数学基础知识
数学能力	掌握基本的微积分公式及应用	掌握微积分主要知识的产生和发展过程
聚焦	主要集中在解题方面	培养学生发现和提出问题的能力
训练	主要训练解题技巧和细节	培养学生解决问题的思维方法
逻辑推理	简单逻辑训练	严谨的逻辑推理能力训练

设计的问题。授课内容包括产品设计流程、产品设计表达与软件工具使用、制造与控制技术、项目管理技术和工程伦理等。学生通过完成智能派送机器人小车项目,获得项目实践经验和团队工作的经历,对产品和技术开发有了更深刻理解,培养了团队合作、沟通交流和项目管理的基本能力。表 2 显示了主要课程内容及其组织形式。通过课程内容学习和项目印、基础制造过程等产品设计和建造技能。学生团队制作的智能派送机器人小车能够沿着规定的路径运行,在规定的车站放下物体。图 11 显示了与课程内容对应的项目流程进度。在课程进行的每个阶段,要求学生提交报告或者展示项目进展,教师评价学生的阶段性工作,并提供反馈意见。这门课对教师团队成员都是全新的教学体验,在课程准备期间,教师团队通过多次会议讨论、规划和准备课程,在课程进行中每周召开教师团队会议,共同备课、试讲和说课。课程项目评估包括阶段性报告、PPT 报告、最后项目展览和竞赛。

“智能电子创客设计与应用”^[18]课程通过改革传统按照学科组织教学内容的形式,打破机械、电子、软件和硬件的课程界限,将分散在传统课程

体系 1~4 年级的课程内容,包括电路基础、编程、工程图学、自动控制原理、模拟和数字电路、电机学、微机原理、单片机应用和过程和运动控制等,按照功能重新整合为 Capture、Control、Compute、Communication 四个模块,每个模块都包含相关机械、电子、和软硬件知识。表 3 展示了课程主要授课内容。

教师团队由来自电气自动化与信息工程学院、微电子学院、智能与计算学部、机械工程学院和精密仪器与光电子工程学院的 7 名教师组成。

表 2 “设计与建造”课程内容和组织^[18]

讲课 (14学时)	研讨 (14学时)	实验 (28学时)
第一章 工程设计概论	任务分工/工程师的职责	
第二章 产品规划	客户需求分析, 目标树	三维软件使用上机 (4)
第三章 概念设计	概念设计, 方案选择	手绘实践 (2) 三维软件使用上机 (4)
第四章 产品设计表达	产品详细设计	产品设计上机 (4) VR软件使用 (2)
第五章 机电控制	产品控制部分设计	产品设计上机 (4) 产品制作 (2)
第六章 产品制作	零部件制作与装配	产品制作 (2)
第七章 经济分析	产品设计总结	产品制作 (2)

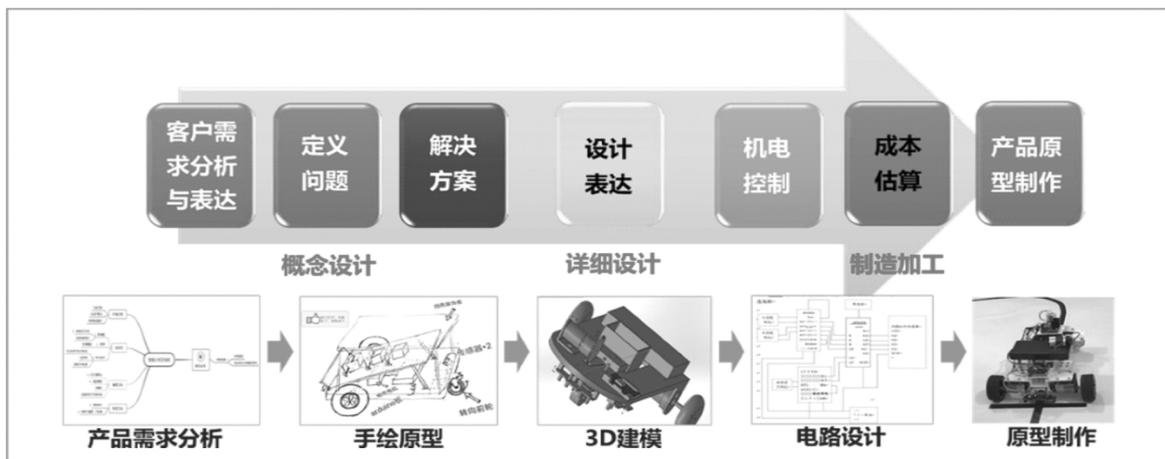


图 11 课程主要内容与学生团队项目进度^[18]

表 3 “智能电子创客设计与应用”课程内容^[18]

课程	内容	课程	内容
1	基于Arduino的创客电子案例	6	适用于Arduino的各类新型传感器
2	Arduino基本语法与数字IO设计	7	适用于Arduino的驱动器和执行器
3	Arduino基本语法与模拟IO设计	8	面向Arduino的手机控制App开发
4	工程文档撰写和电路板设计软件	9	适用于Arduino的通信设计
5	3D打印		

课程负责人在自动化和信息领域具有多年教学经验,虽然可以自己承担课程教学,但为了给学生提供更好的多学科的教育体验,邀请了各个领域的专家组成多学科教学团队,在课程涉及的各个领域提供专家教学和指导,如传感器方面的教学由来自精仪学院的著名传感器教学专家承担。教学实践表明,多学科的课程由多学科教师团队负责,才能达到好的教学效果。

在学生课堂学习之外,引导学生通过自学、朋辈学习,践行主动学习和自主学习。除了培养学生多学科知识和能力外,课程重点培养学生的创造力。具体措施是通过课程内容和项目激发创意、构思创意、同行评审创意、鼓励更多创意、实施创意和体验创意的实现过程。教师团队向学生介绍各种“黑技术”,如用于绿色种植的“土壤传感器”、用于确定降雨量的“雨量传感器”、以及“PM2.5 传感器”,激发学生的想象力和创造力。学生团队以解决生活中的实际问题为目标,综合利用现有的机械电子装置,完成创意项目。如图 12 所示,43 个学生团队的项目涉及日常生活衣食住行的各个方面,学生通过项目的构想、设计和实现,获得学以致用用的体验。

“思维与创新”^[18] 是一门兼具重要性和挑战性的新课程,课程目的是培养学生的思维能力。我国高中应试教育的性质和学生的学习强度,很难为学生提供思维能力培养和训练。而传统工科课程以学习学科有关知识为主,对学生思维能力的培养重视程度不够。“思维与创新”课程的主要内容包括批判性思维、创造性思维、系统性思维、逻辑学与推理、设计思维、融合设计与创新等,培

养学生各种思维、分析、创新创造和决策能力。课程的组织方式是授课、研讨会和辅导课。从课程内容可以看出,很难找到一位教师掌握所有这些思维的知识、技能和能力,因此,需要组建满足课程要求的教师团队。一位法学院教师负责批判性思维,一位建筑和设计学院教师负责创造性思维,一位系统工程方面的教师负责系统性思维,一位科学哲学方面的教师负责逻辑学和推理,一名具有设计思维教学经验的管理学教师负责设计思维部分,一名熟悉思维领域的机械工程教师负责融合思维与创新方面内容。培养学生思维能力不能单靠一门课程,这门课程的作用是引导学生认识和运用思维知识和技能在今后的学习和工作中,有意识地培养和锻炼思维方面的能力,一些学生将会成为优秀的思考者。

学生对这门新课程的反应非常积极,同时提出了一些建设性的改进意见。因为这是学生第一次接触到思维方面的知识和技能训练,学生们认识到有效思考的重要性。该门课程目前的主要挑战是没有合适的教材。图 13 是学生的一些反馈。

6. 试点课程的反思与改进意见。

根据以往经验,按照北美的学术体制,未来智能机器与系统平台建立、招生、学生培养各方面至少需要 1-2 年时间才能完成教学和学术程序的准备工作。我国虽然学术体制不同,但平台的教师队伍建设、课程、招生等方面的准备工作也面临很多挑战,学校采取了边试点、边改进的方式开展试点工作。求是学部积累了 10 年的教育教学改革试点工作、招生和新课程建设方面的经验,对平台试点的具体工作和管理给与了强有力的支撑。在



图 12 从 43 个学生团队项目选出 4 个案例^[18]

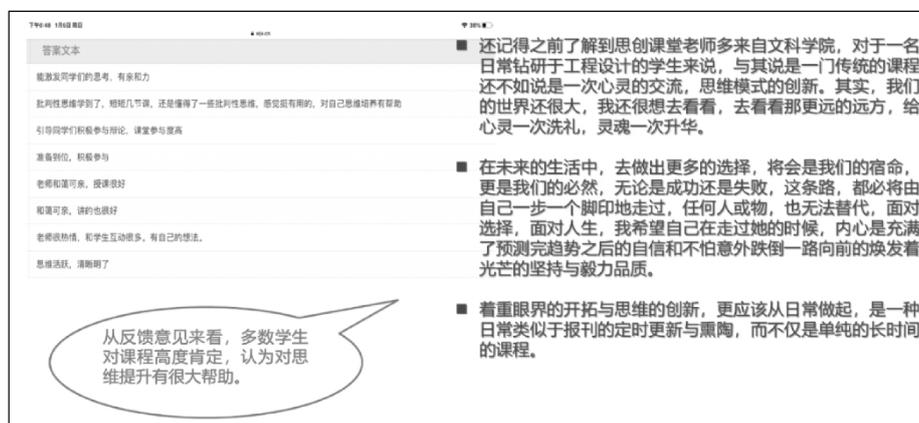


图 13 “思维与创新”课程学生反馈案例说明^[18]

课程学时	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 问题: 学时较少, 内容难以全面展开, 小班研讨受限 ◆ 建议: 增加学时或分设课程。
授课团队	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 问题: 师资来源较广, 协调存在一定困难。 ◆ 建议: 分专题组建较为稳定的团队, 特别要考虑新老校区问题。
内容建设	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 问题: 各部分内容之间的衔接不够紧密, 尚未形成有效合力。 ◆ 建议: 加强课程定期研讨, 完善授课内容与形式。
学生意识	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 问题: 部分学生对课程的目标和意义认识还不到位。 ◆ 建议: 强化全校通识教育, 多方塑造人文氛围。
激励机制	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 问题: 授课教师投入的工作量难以在绩效考核中被充分认可。 ◆ 建议: 尽快出台相关文件, 从制度层面予以保障。

图 14 对“思维与创新”课程改进意见^[18]

主要校领导和主管校领导的鼎力支持和领导下, 在参与学院及求是学部领导的大力支持下, 在各位老师的共同努力下, 试点工作运行非常顺利。平台相关的各方不断思考总结与改进, 优化试点工作。在“思维与创新”的课程总结过程中, 提出了存在的问题和改进建议(图 14)。

2.4 天大方案培养模式与试点实施分析。

1. 培养模式的理念创新和实践可行性。

对学生人格和价值观塑造贯穿 4 年全过程, 在制定人才培养计划和课程体系中, 部分学生道德品质、价值观、人文素养、科学精神、职业素质等培养是通过课程和项目等教学活动实现, 其他是通过思想工作、书院学习、讲座、课外活动、义工、文化艺术活动等形式培养。负责学生工作的学工组织将为学生的品格、理想、道德、价值观、人文素养、职业技能等方面的培养给予重要支撑。2019 年 12 月天津大学提出“三全育人”“五育并举”人才培养综合改革方案, 实现新工科立德树人、塑造学生人格和价值观的培养。

世界上一些优秀大学, 如哈佛大学和耶鲁大

学办学经验证明了文理教育的优势。随着科技发展和进步, 传统文理学院和综合性大学的文理教育面临着培养目标、教育模式和培养内容与与时俱进的挑战。“天大方案”提出的新文理教育以中国传统和现代人文、社科与艺术等方面的精髓改造和丰富传统文理教育, 致力于培养学生的人格、价值观、思维、想象力、创造力、科学精神、分析和判断、伦理推断、沟通、写作、团队合作、创业、管理、领导和终生学习等方面的能力, 以适应未来职业变化与发展。第一学期的“思维与创新”致力于培养学生的批判性、创造性和系统性思维、设计思维等思维能力、科学与逻辑推理等方面的知识与能力。“设计与建造”和“智能电子创客设计与建造”课程培养学生想象力、创造力、团队、沟通、写作、创新等方面的能力。“数学分析 A”和“大学化学”课程培养学生的思维和分析问题的能力 and 科学态度等。“思想道德修养与法律基础”“形式与政策”等全校通识教育课程提供中国特色的人文社科培养。

多学科工程教育是在跨学院和跨学科培养平

台上实现的。平台培养的学生可以选择在 5 个学院的 10 多个专业毕业。第一学期的课程是全校必修课和 4 门平台必修课。“数学分析 A”和“思维与创新”可以推广为全校课程。“设计与建造”和“智能电子创客设计与应用”体现多学科培养平台的优势。“设计与建造”课程成为电气和信息工程学院、微电子学院、智能与计算学部、精仪与光电子学院的多个专业必修课。“智能电子创客设计与应用”成为机械工程、精仪与光电子学院、智能与计算学部学生必修课,如果没有多学科和跨学科培养平台,不会建设这样的多学科课程,一个学院的学生很难在第一学期实现跨学院选课。后续有多门这样的课程,实现多学科工程教育。

平台上一个专业必修课可以成为其他专业的选修课,再与各专业选修课整合起来,成为平台学生的选修课。通过选修课的合理组合,形成多个课程模块,为学生提供选择,实现个性化培养。天大方案的培养模式鼓励学生修读主辅修、双学位以及研究生。在面向未来科技主题平台上的多学科和跨学科主辅修和双学位的课程基础上,增加 3 类辅修模块课程:创新创业、管理与领导力、和工程科学等 3 类课程模块,实现平台专业+创新创业、管理与领导力、以及工程科学主辅修或双学位,最终实现卓越工程师、企业家和工程科学家及未来领军者的培养,如图 15 所示,三类个性化培养都可以成为未来的领军者。

2. 新工科教育是一把手工程。

国内外大学本科教育成功经验证明,一流本科教育都是学校和学院的一把手高度重视,主要领导具有办好教育的责任(当然还要其他责任)和调配资源的能力。一所大学主要领导高度重视本科教育和人才培养,全力推动新工科建设,主管校

领导、教务部门、学工系统和科研系统协助校领导推动学生培养工作。各学院(部)院长(部主任)和系主任是实施新工科教育工作的责任主体,因为学生培养和课程教学都在院系,一流本科教育体现在教师和学生之间教与学的工作。只要学校、院、系领导把学生培养放在中心地位,新工科建设方案一定能落实好。

2.5 新工科天大方案的国际比较。

2.5.1 天大方案与 MIT-NEET(New Engineering Education Transformation)。

(1) 天大方案是系统性的整体改革,在现有体制机制下,具有实施的可行性。NEET 在不改变现有专业要求的基础上增加跨学科的新课程和新内容。天大方案是学位项目,NEET 是证书项目。

(2) 天大方案和 NEET 都强调多学科培养。NEET 要求学生修读一个现有工科学位,同时完成跨学科项目和课程学习。跨学科方向包括 Advanced Materials Machines, Autonomous Machines, Digital Cities, Living Machines and Renewable Energy Machines。天大方案以未来科技为主题建立跨学科多学科培养平台,如“未来智能机器与系统”校级培养平台,和“未来建成环境与建筑”院级培养平台。天大方案要求根据专业综合教育目标,系统修订和建立相应的课程体系并在平台上进行整合,实现多学科交叉和跨学科的学位课程培养。

(3) 天大方案和 NEET 都强调基于项目的学习,NEET 要求在跨学科新机器方向如 Living Machines 完成几个项目。天大方案提出包括 5 种项目的课程体系,强调毕业生有原创技术/产品。

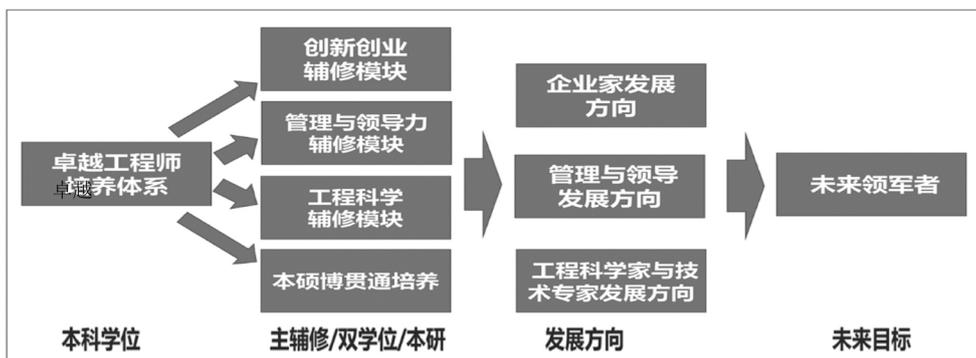


图 15 培养未来卓越工程师、企业家、工程科学家和领军者关系示意图

(4) 天大方案和 NEET 都有思维教育的要求。

2.5.2 天大方案与 Olin College of Engineering 培养模式。

(1) 天大方案和 Olin College 模式都是整体和系统性改革。Olin 是新建学校, 可以按照学校定位和建设目标进行系统建设; 天大方案需要在现有的院系结构和培养体系基础上开展系统改革, 都具有挑战性, 但性质不同。

(2) 两者都强调多学科培养。Olin 不设院系, 所有教师都在一个学院工作。由于学校规模小, 教师之间合作密切, 是一个共同的团队; 天大方案, 需要建设跨学院的教师团队, 在组织、文化和人事制度等方面都有很大挑战。

(3) 在课程体系方面, 天大方案强调课程体系的融合贯通和一体化; Olin 没有这方面的明确要求, 而且学生可以在 Babson College 修读商科和 Wellseley College 修读人文社科课程, 学生培养的课程体系(课程组建设-QEA)和课程学习的指导很具创新特色。

(4) 关于项目制学习, Olin 毕业生大学期间每人平均完成 25 个项目, 学生每学期完成各种项目并参加展览, 展示各类设计和建造项目成果; 天大方案提出 5 种项目, 没有具体项目数量要求。

Olin College 和 MIT 培养的毕业生证明了其工程教育模式的先进性和成功经验。本方案设计是在分析和总结世界先进工程教育经验和最佳实践基础上再创新, 此方案应该具有一定先进性, 并有持续改进和持续创新的要求。必须清楚认识到, 这只是一个方案, 只有方案全面实施后, 以学生培养的水平和教育质量才能真正证明此方案的先进性。

2.6 新工科天大方案创新点与特色。

21 世纪以来全球工程教育变革成功经验和最佳实践为天大方案提供了很好的基础, 特别是多年的基于项目学习、超过 10 年的 OBE-CDIO 工程教育改革与创新、融合博雅通识教育与结果导向的工程教育的先进本科教育、借鉴 Olin 和 Harvey Mudd 学院的工程博雅教育, 以及 MIT-NEET 和斯坦福大学 2025 计划等先进经验, 天大方案在此基础上再创新, 面向国家未来经济发展需要、面向未来科技发展、面向企业需求、面向国际竞争与机遇, 建设可复制和可参考借鉴的新工科教育模式和体系。新工科天津大学方案具有以

下特色与特点:

(1) 大学机构和人才培养体制机制创新。方案创造性的提出多学科人才培养平台, 在传统大学体制中, 实现系统性和规范性的多学科交叉和跨学科工程教育。传统大学工科教育是以院系(或者学科)为单位的專業教育体制, 建立面向未来科技和产业发展的多学院和跨学科人才培养平台, 不是要改变现有院系建制, 而是对现有的大学体系的丰富和补充。多学科培养平台不但支撑交叉学科和跨学科的本科教育, 也为研究生培养提供了一个新方向。每一位跨学院多学科人才培养平台的教师都隶属一个学院和系, 教师的科研团队不但可以不变, 而且可以向多学科和交叉学科的科研方向发展和整合, 科研成果仍然归所属学科, 教师的教学任务在培养平台完成。形成传统院系和多学院和多学科平台建制相结合, 实现面向未来的创新工程教育和科技创新的体系。

(2) 整体性和可操作性。方案针对创新经济和新工业革命的产业特征, 通过分析和研究, 提出了个人适应能力、正确工作动机和职业行为准则、克服挑战的持续毅力、学习动力和能力等应对未来职业变化等基本素质要求, 结合大学立德树人的培养目标、工程专业认证的毕业要求和大学自身的特征和特色, 形成了新工科人才综合培养目标, 提出了新文理教育、多学科工程教育和个性化专业教育的新工科培养体系。通过人才培养平台、专业学院与书院育人机制, 实现对学生的全人教育和全面培养。

新工科建设方案是一个较完整的多学科和跨学科培养体系, 方案从整体到局部是关联一体的完整培养体系, 各部分都有明确内部实施体系(例如、平台建设、融合贯通的课程体系、5 种项目与组织、质量保障体系、平台—书院—导师融合体系等), 从建立培养目标、毕业要求、专业特色到形成培养标准、构建课程体系、开发课程内容等具体环节的路线图, 建设聚焦以未来科技和产业发展主题的多学科培养平台, 将多学院和多专业课程体系集成为平台必修课、专业必修课和平台选修课, 配合创新创业、企业家和领导力等模块, 支持学生个性化发展需要。方案具有可操作可落实特点, 培养模式核心组成模块之间柔性连接, 便于局部实施和持续改进(具有适应性和可拓展性特点), 由院长、系主任或专业负责人领导的团队可以实施局部或整体方案。

(3) 适应性和可拓展性。此方案适用于研究型大学,也适用于只有本科教育的普通高校。方案可以整体实施,也可以部分或局部实施。如果学校没有重点实验室或工程中心,就不必在培养方案中要求。没有博士和硕士授予权,就只建设本科生培养方案。根据实际情况,建设培养平台。如果局部实施,可以只建设课程体系,只建设符合学校/学院实际的培养平台,只建立质量保障体系,只深化校企合作办学,只加强各种项目的学习、只建设书院-导师制,只加强创新创业培养等。适应性也体现在可以对方案整体或某些部分进行适应性调整和修改,例如科技和工业发展的人才需求发生变化,人才培养目标或毕业要求等需要相应修改,课程体系也相应做出新的调整或重建。可以预见后新冠疫情的产业调整、新基建、新产业和产业链建设等对工科人才提出一些新要求。针对新的变化,根据课程体系建设路线图,建设新的课程体系或者修改已有课程体系,满足新的培养目标和毕业要求。

方案设计基于持续改进和持续创新理念,今天的新就一定可能成为未来的旧。方案的适应性使方案具有局部和整体可提高性和拓展性,保证方案与时俱进。随着外部需求的改变,及时修订毕业要求或培养目标,更新专业课程包括取消/增加课程,增加/减少/修改项目类型,更新教育理念、培养模式、教与学方法、教与学内容、质量标准等均可进行。

(4) 本科生项目要求与研究生项目比较。研究型大学教师重视研究生培养,项目研究的成果对教师科研兴趣、个人和学校发展都很重要。尽管研究生教育和本科教育存在本质区别,从教师指导学生项目的角度思考,如果本科生的多学科、大团队项目成果与研究生个人项目成果相当,期望教师将更有兴趣和动力投入本科项目的指导。

新工科的培养方案强调扎实的数理基础,要求学生完成多个项目,包括一个3年级的多学科团队项目和本科研究项目,4年级的毕业项目,而且要必须是原创的产品或技术。学生团队具有多学科、大团队(15~20人团队)的特点。如果将3年级和4年级项目集成起来,致力于原创科技和/或产品的研发。由于本科生团队大,在教师的指导下,每个人投入时间和精力加起来应该能够产出创新技术。如图16所示,技术研发—3年级研究项目与4年级毕业项目联合,要求毕业生团队

产出技术和专利(或论文)。产品研发—3年级多学科项目与毕业项目联合,学生团队完成3年级多学科项目和4年级毕业项目,毕业要求产出产品样机或技术专利。



图 16 学生 3~4 年级团队项目组织和要求示意图

传统本科教学与科研工作联系不紧密。新工科培养鼓励教师团队教学,发挥其学术专业知识和经验的优势,教师通过指导学生完成多个原创项目,将人才培养融入科研工作之中,实现教师教学与科研的相互支持。如图 17 所示,CCII-EEE 模式要求毕业生团队产出原创成果,学生培养和教师发展在成果要求方面实现共赢。比较教师在本科生和研究生培养投入在教学、学生指导和成果产出方面,可以期待大量高年级本科生可能成为重要科研力量。



图 17 教师的本科生和研究生项目指导工作比较

三、新工科教育范式——“X-创新”(X-Innovation Paradigm)

新工业革命时代呼唤工程教育范式的新转变。近 30 年来我国开展了一系列工程教育改革,提高了工程教育质量和水平,培养了大量产业和社会需要的工科毕业生,这些教育改革也推动了工程教育模式和范式的转变。为了适应快速发展的新科技革命和产业变革的紧迫需求,现在和未来一段时间的教育改革力度更大、速度更快、系统性更强,进而促进工程教育范式的加速转变。

工程教育的范式从技术范式、科学范式、工程范式、工程实践、工程科学、回归工程到目前讨论的新范式转变,是一个系统性工程教育的思考框架。范式转变和形成需要实践和时间,是一个连续和渐变的过程,在形成和稳定一定时间后才能更好的总结。正如一次工业革命的开始和结束时间很难精确界定,而精确界定开始和结束时间未必重要,但是工业革命的主题和内涵则更重要。

同样,对于工程教育范式转变过程和内容及内涵比起始和结束时间更加重要。

工程教育范式的转变是工程教育从理念、模式、课程、方法、内容、标准等各方面的系统性和根本性变革,从当前工程教育范式向新工科教育范式转变,通常是一系列的变革、探索和调整。从以传承和借鉴等方式形成的传统工程专业课程体系,向面向未来,以学生全面发展为导向,融合贯通、持续改进的课程体系转变。从知识传授为主要的传统教学模式,向以立德树人为本的系统化的全人和全面教育模式转变。从以单一学科办专业的传统模式,向多院系合作、多学科、跨学科教育转变。从依靠一个学校的资源和能力传统办学模式向主动引用网络教学资源、产业资源、兄弟院校资源和国际资源的开放型办学模式转变,从培养能够胜任当前企业需要的工科毕业生,向培养既服务当前又面向未来新工科毕业生转变。如图18所示,天大方案的 CCI-EEE 模式具有上述转变的特征,是较全面和系统性工程教育变革和创新,构建以未来科技发展与创新为导向、开放和融合的工程教育,因此,CCI-EEE 模式是属于开放融合创新范式,这种范式具有较广泛工程教育模式的代表性,可以支撑多种工程教育改革与创新。

天大方案代表或属于的教育范式仍然是在教育界、工业界、和社会民众理解的框架下工程教育变革与创新,而快速发展的科技革命,必将带来更加深刻、更加根本性的产业革命,对工程教育理念和模式必将产生颠覆性的影响。探索未来工程教育模式与范式需要突破传统的思维定式,需要更加自觉理解一个工业创新体系或一个国家创新体系,需要多方面的创新人才,不同工作性质需要不

同类型的创新人才,研究型人才适应研究性质的工作,但不一定就能成为运行性工作的卓越专家。同样一位优秀实施方面的专家,可能成为不了高水平研究人才。未来的世界、科技、产业和人类发展需要突破传统教育的思维定式,斯坦福大学的 Stanford2025 计划是对未来办学非常有意义的尝试,展示一流研究型大学如何深刻探索未来本科教育。在面向产业需求和学生职业发展方面,澳大利亚的 Charles Sturt University, Iron Range Engineering 和 TEDI-London 等多所学校也在做有意义的尝试。^[19] 未来教育需要更加颠覆性的思考,更加根本性甚至激进的变革与创新,才能形成多元化的发展。因此,需要思考一些更加基础的问题,比如为什么大学要4年制,为什么要2个、3个或4个学期,MOOC、基于VR和AR技术的在线试验等,对未来的学习产生什么影响?不同定位的学校或专业应该怎样办学,如何办好学生、产业和社会需要的专业、学院和大学?现在是一个面向新工业革命、新科技革命、新产业革命的大变革时代,为这样的时代培养未来的工程科技创新人才,需要突破传统工程教育思维束缚。可以预见21世纪将会有更多、更大规模、更系统、甚至更彻底的工程教育模式的创新,形成一个多元化的人才培养大系统,建设能够支撑和引领新工业、新科技、新经济发展的新工程教育。

基于这样的思考,当今处于新工业革命和科技大变革的前期,现在就确定某一种工程教育新范式的主题可能不利于今后工程教育模式和范式大胆探索和颠覆性创新,可以预见“创新”应成为这个时代工程教育新范式的一个重要内容。因此,为了激发更多的工程教育新模式和新范式探

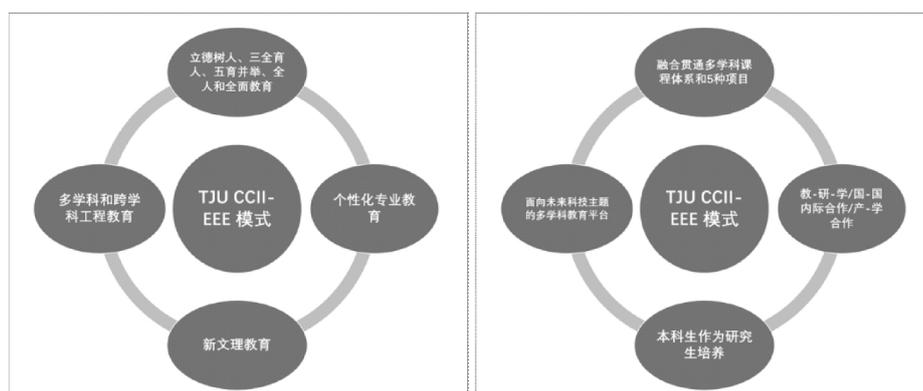


图 18 天大方案的 CCI-EEE 新工科教育范式的说明

索,结合上述思考和以下两个主要原因,本文尝试提出“X-创新”范式(X-Innovation Paradigm)作为当前工程教育新模式和新范式的代表,它不但能够代表天大培养模式,也能够代表多元化工程教育的创新模式与范式:

(1) 在新工业和科技革命的快速发展和变化时期,特别是后疫情时代,未来20~30年将涌现出多种颠覆性创新的工程教育模式探索,以满足21世纪各国、各地区创新经济发展和后疫情时代新产业发展的需求。“X-创新”中的“X”可以代表任何工程教育创新模式和范式,甚至“X-创新”本身在一定时间内也可以代表新范式,是代表一个多元化工程教育模式和范式创新发展的现实;

(2) 通过全球范围内工程教育转变与创新的探索,当对新范式的主题和内涵达成广泛共识后,“X”可以被具体新范式主题内涵取代,形成创新工程教育的新范式。如通过系列范式的探索,工程教育界达成广泛共识,以“开放融合创新”为新范式,“X”=“开放融合”。

四、新工科再深化、再拓展与再突破的思考

自2017年新工科建设启动以来,政府部门、产业、高校等多方积极响应并协同合作,取得了令人鼓舞的进展。2019年12月28日,教育部在天津大学召开深化新工科建设座谈会暨卓越大学联盟高校新工科教育研讨会,对新工科建设的现状、进展、问题进行了梳理,对新工科的未来发展提出了再深化、再拓展、再突破、再出发的要求。

新工科再深化与再拓展体现在深度和广度方面,推进新工科教育向纵深和更宽层面上发展。比如将先进新工科教育理念深化到教学实践中,制定出可操作和可复制的实施方案,将方案付诸实践后,持续改进。在实践过程中,从注重宏观培养目标和毕业要求的理念,深化到培养过程的各环节,提高培养目标与培养结果的吻合度和一致性,确实提高了学生培养水平和质量。在教学的过程中,从以教师课堂教学为中心,依靠教材、作业和考试的传统模式,向以学生学习和发展为中心,聚焦学生主动学习、实施基于项目学习、基于问题学习和探究式学习等主动学习方法,鼓励学生拓展教材以外学习内容,从重点关注知识和考试的传统教学方式,向培养学生能力、知识、技能、态度的综合要求深化。在教育教学过程中,始终坚持实事求是的态度是深化新工科教育,提高质量与水平的关键。

有些新工科项目实践还停留在教改项目的亮点总结,再拓展要求从亮点总结拓展到整体的实施,从局部亮点到专业层面的整体亮点拓展,从一个试点班到整个院系多专业拓展,从少部分学生的先进学习经历向全院系学生的学习经历拓展,只有绝大多数学生培养质量和水平提高,才能代表模式和培养体系的先进性。新工科再拓展也包括从相对窄的学科支撑专业教育,拓宽专业领域,以便更好的支撑学生今后的职业发展。从单一学科支撑一个专业人才培养,拓展到由多学科支撑一个专业人才培养。从本科生教育向研究生教育的拓展。

如果新工科再深化与再拓展是量的要求,再突破与再出发是质的改变。再突破首先是观念和认识的突破,是对思维模式或习惯定式的突破。只有实现了突破,才会建立新方向和新目标,才能再出发。建设工程教育强国、科技和工业强国,必须搞好教育,必须搞好本科教育,必须搞好本科工程教育。大量工科本科毕业生进入企业,支撑企业、产业和工业发展;同样大量本科毕业生读研,成为科技骨干力量,因此,无论是进入企业还是继续读研,本科毕业生是建设科技和工业强国的重要力量。搞好本科工程教育需要在观念上实现对本科教育重视的突破,还要对新时代工程教育变革和创新认识的突破。

国际科技和产业竞争的根本是人才的竞争,哪个国家有了人才优势,在建设科技和工业强国具有竞争优势。技术的创新靠企业,而企业的竞争力,除了体制机制的因素外,还是靠人才,特别是工程科技创新人才。大学和学院的首要任务是培养学生,多数大学是教学科研型和教学型大学,少数是研究型大学。就是研究型大学如MIT、Stanford和Berkeley一流研究型大学也是把人才培养放在学校工作的重要位置,一流的本科毕业生继续读研,对大学的科研事业无疑是巨大的支撑。中华民族具有重视教育传统,每个家庭只要有条件,无论是重点幼儿园、重点小学、重点中学和大学等,家长都会积极努力争取为孩子提供最可能好的教育。所有高等院校领导和教师也都知道教育和人才培养的重要,我国每年培养世界最多的高校毕业生,如果我们能够培养出世界最多最好的学生,我们一定是世界教育强国。新工科教育正是建设工程教育强国的举措,也是建设科技及工业强国的举措。对本科教育和本科工程

教育重要性的理解从理念层面转为具体的行动,体现在校领导的重视、在教师考核中的体现和教职工的追求,必将成为一所大学的价值观,这是一个重要的突破。

当我们深刻认识到传统课程体系和内容的修订周期与快速发展新技术和产生的新知识不协调,多年传承下来的工科教育课程内容和教学方法不能满足产业对工科毕业生的新知识和新技能需求,传统的工程教育模式不能适应新产业和新经济发展的需求,工程教育需要根本性的变革和全面创新,就会突破对“新工科”等名词的关注,聚焦新工科教育内涵和内容的探索。只要实现上述突破,就会给新工科教育发展建立新方向和新目标,再出发就是在新建的方向上和目标要求下的新发展。

当前,这场突如其来的新冠疫情肆虐全球,多国至今仍在努力研发疫苗和有效药物。各种分析表明,疫情将对未来工业和经济社会产生重大影响。世界各国都将对产业链和供应链进行分析、修复和完善,建设战略性企业和产业等。疫情后我国的新基建、新产业、新科技、经济建设与发展,势必对工程教育和人才培养提出新的要求,这也是新工科再深化、再拓展需要思考的方向,也是新工科再突破的切入点和再出发的新起点。

以数字和智能科技创新发展和应用为代表的“新基建”10大战略发展方向,包括智能数字基础设施、数字化和科技创新基础设施、发展现代资源、能源与交通物流基础设施、先进材料与智能绿色制造基础设施、现代农业和生物产业基础设施、现代教育、文旅、体育与卫生健康等基础设施、新型生态环境基础设施、空天海洋新型基础设施、国家总体安全基础设施和治理现代化基础设施等。^[20]这些新基建所需的人才结构、专业领域、数量和水平、专通人才要求等,将是新工科新起点的发展方向。高等教育系统如何响应国家需求,及时调整培养体系,支撑新基建各领域以及新产业新经济的人才需求,是新工科教育的新使命。

五、结语

新科技和产业革命推动了创新经济发展,引发人才需求的新要求,进而推动了新工科建设发展的再深化、再拓展、再突破和再出发,实现卓越工程师计划1.0向卓越工程师计划2.0的跨越。作为世界上最大的工程教育国家,通过新工科持续和深入发展,为21世纪世界工程教育变革和创

新提供中国智慧、提供中国方案、做出中国贡献。

新工科天津大学方案以立德树人统领人才培养全过程,通过融合新文理教育、多学科和跨学科工程教育和个性化专业教育,实现对学生的全人与全面教育,培养从科学发现、技术发明和工业应用全范围的未来卓越工程师、企业家、工程科学家和领军者。天大方案的人才培养模式提出了以面向未来科技和产业发展主题的多学科、开放式培养平台、5种项目为节点的融合贯通、一体化课程体系以及对应的建设路线图,试点实施说明该方案和新模式具有可行性。

为了探索新工业革命时代的工程教育新范式,天津大学方案提出工程教育模式可以作为开放融合创新范式代表。鉴于当前处于新工业革命早期,随着时间推移和科技创新和教育的发展,将会有更多的工程教育创新模式的出现。为激发和鼓励更多新模式和新范式的探索和最大限度增加多元化新范式发展,本文提出了“X-创新(X-Innovation Paradigm)”教育范式,代表以创新为主题的工程教育范式,当未来工程教育界就新范式达成广泛共识后,可以赋予“X”一个具体范式名称。

新冠疫情后,世界各国将评估和反思产业链和供应链在战“疫”过程中发挥的作用,重新审视工程科技人才培养和工程教育的贡献与挑战。后疫情时代我国的新基建、新产业、新科技、新经济发展需要大量创新工程科技人才,势必对工程教育和人才培养提出新的要求,为新工科再深化、再拓展指明新方向,也是新工科再突破和再出发的新起点。

本文作者受专业背景和经历等局限,对新工科教育理解不全面或有不正确的地方,愿意就天大方案的培养模式与范式,对新工科再深化、再拓展、再突破、再出发的认识与工程教育同行共同探讨和学习。

参 考 文 献

- [1] National Academy of Engineering of United States. Understanding the Educational and Career Pathways of Engineers (2018)[M]. The National Academies Press, 2018.
- [2] 孔寒冰,叶民,王沛民. 多元化工程教育历史传统[J]. 高等工程教育研究,2013(5): 1-12.
- [3] SCHWAB K. The Fourth Industrial Revolution[M]. World Economic Forum,2016.
- [4] HATCH M R. The Maker Revolution: Building a Future on Creativity and Innovation in an Exponential World[M]. Wi-

- ley, 2017.
- [5] ELOIT C W. The New Education[J]. The Atlantic, 1896 (2).
- [6] 李培根. 未来工程教育几个重要视点[J]. 高等工程教育研究, 2019(2):1-6.
- [7] 吴岩. 勇立潮头, 赋能未来——以新工科建设领跑高等教育变革[J]. 高等工程教育研究, 2020(1):1-5.
- [8] 吴爱华, 侯永峰, 杨秋波, 等. 加快发展和建设新工科 主动适应和引领新经济[J]. 高等工程教育研究, 2017(1):1-8.
- [9] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017(3):1-6.
- [10] 吴爱华, 杨秋波, 郝杰. 以“新工科”建设引领高等教育创新发展[J]. 高等工程教育研究, 2019(1):1-8.
- [11] 天津大学新工科建设方案发布[N/OL]. 中国日报网, [2019-04-26]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1632010249910491506&wfr=spider&for=pc>.
- [12] 李家俊. 以新工科教育引领高等教育“质量革命”[J]. 高等工程教育研究, 2020(2):6-11.
- [13] 曾勇, 黄艳, 向贵君, 等. 从新生项目课开始: 新工科建设“成电方案”的设计与实践[J]. 高等工程教育研究, 2020(1):14-19.
- [14] 高松. 实施“新工科 F 计划”, 培养工科领军人才[J]. 高等工程教育研究, 2019(4):19-25.
- [15] 顾佩华. 新工科与新范式: 概念、框架和实施路径[J]. 高等工程教育研究, 2017(6):1-13.
- [16] <https://www.vip.gatech.edu/>.
- [17] <https://www.challeng.unsw.edu.au/about>.
- [18] 史国良, 张冠伟, 陈曦, 等. 天津大学智能机器与系统平台课程总结交流研讨[Z]. PPT, 2020-01.
- [19] GRAHAM R. The Global State of the Art in Engineering Education[R]. MIT, 2018-03.
- [20] 潘教峰, 万劲波. 新基建十大战略方向[J/OL]. 瞭望, 2020(17) [2020-04-30]. <http://www.sxiejfyxgs.com/23/20302.html>.

Practical Exploration and New Paradigm Transformation of Emerging Engineering Education

Gu Peihua

Abstract: In response to the Ministry of Education of China' Emerging Engineering Education (EEE) initiative, Tianjin University developed a plan namely Coherent-Collaborative-Interdisciplinary-Innovative Plan of EEE Transformation-CCII-EEE Plan. The CCII-EEE Plan aims to cultivate students with good character and right values through curricular and extra-curricular activities. The implementation of the CCII-EEE Plan integrates new liberal education, multi-and trans-disciplinary engineering education and individualized major studies for educating future engineering innovators, entrepreneurs, engineering scientists and leaderships. The Plan also defines the special skills and abilities of engineering graduates for innovation economy in the 21st century and builds multi-and inter-disciplinary engineering education platforms, coherent curriculum with 5 types of projects, and quality insurance system for realization of new engineering education model The pilot implementation had been carried out to verify the feasibility of the Plan. To encourage exploration of new education models and paradigms at the early stage of the 21st century and the new industrial revolution, “X-Innovation” of new paradigm has been proposed to accommodate various education explorations and innovations. With sudden occurrence of coronavirus, it is expected that new infrastructures, new industries and new innovative economy will be the future focuses by deepening and expanding of EEE initiative, which will drive more education innovations.

Key words: EEE; CCII-EEE; multi-and inter-disciplinary education platform; new paradigm

(责任编辑 黄小青)