

跨学科合作的工科人才培养新模式

——工程教育的探索性多案例研究

徐立辉 王孙禹

(清华大学 教育研究院, 北京 100084)

摘要:当前高等教育体系仍主要集中在单一学科的人才培养模式上,但跨学科教育愈来愈受到重视,尤其在工程教育领域,跨学科合作的人才培养模式已成为未来工程教育发展的大趋势。本文通过对伦敦大学学院、奥尔堡大学、普林斯顿大学、麻省理工学院、多伦多大学和麦克马斯特大学近年来开展的工程教育改革进行探索性案例研究,分析总结了跨学科工程教育的人才培养模式。

关键词:跨学科;多学科;工程教育;人才培养模式;创新创业

中图分类号:G649.1 文献标识码:A 文章编号:1001-4519(2020)05-0107-11

DOI:10.14138/j.1001-4519.2020.05.010711

进入21世纪,随着在工程实践中面临越来越多的复杂问题的挑战,工程师必须采用跨学科合作的方法来应对全球挑战,任何一门学科都无法单独解决这些挑战带来的相关问题。挑战的复杂性部分归因于如能源、交通、通讯、医学等不同行业不同专业技术间的相互融合,这种趋势导致了复杂的社会技术系统(socio-technical systems)内部越来越相互依存。^①这需要跨学科的团队来应对气候变化、全球不平等、大流行病等问题所带来的挑战。^②对于工程来说,跨学科不是也从来不是一种选择。工程教育需要向这方面转换,进行跨学科合作的人才培养。

一、什么是跨学科教育?

1. 跨学科的概念

当前高等教育人才培养模式主要还是基于传统的学科导向(discipline-oriented),即学生在获得某一特定专业领域的知识和技能后,毕业后还从事这一专业领域的工作。如果一项工程同时需要解决机械、电气、土木和化学方面的问题,一个普遍的方法就是将具有这些技能的人组成一个多学科的团队。这

收稿日期:2020-08-26

基金项目:中国工程院重点咨询课题“面向可持续发展的工程科技人才需求与培养模式战略研究”(2020-XZ-30)

作者简介:徐立辉,河北石家庄人,清华大学教育研究院联合国教科文组织国际工程教育中心研究助理,研究方向为高等工程教育、创新创业教育;王孙禹,浙江温州人,清华大学教育研究院教授,联合国教科文组织国际工程教育中心副主任兼秘书长,研究方向为高等工程教育、教育政策。

① Mohd Mahmud, “Interdisciplinary Learning in Engineering Practice: An Exploratory Multi-Case Study of Engineering for the Life Sciences Projects,” (PhD diss., University of Cambridge, 2018), 10. <https://doi.org/10.17863/CAM.24753>.

② Roy Bhaskar, “Contexts of Interdisciplinarity: Interdisciplinarity and Climate Change,” in *Interdisciplinarity and Climate Change: Transforming Knowledge and Practice for our Global Future*, ed. Roy Bhaskar, et al., (London: Routledge, 2010), 9-10.

是标准的“多学科”(multidisciplinary)方法。然而对于复杂的大型工程,需要整合所有人的学科知识、技能和经验,并综合为一个“知识共同体”来解决更棘手的问题。这一过程要求团队成员摆脱基于单一学科的理解,在综合各学科的基础上对问题形成新的认知,并充分接受这个新的综合知识体系作为解决问题的基础。^①这种方法称为“跨学科”(interdisciplinarity)。在21世纪,“跨学科”一词已经具有普遍的积极价值,因为它经常被用作“创新研究”和“综合解决方案”等概念的同义词。^②

“跨学科”与“多学科”有什么区别呢?有学者认为,在多学科团队中,团队成员以平行或不同的时间顺序工作,并在工作期间停留在各自的学科基础上;多学科团队受益于不同的学科知识,但不创造新的知识体系。在跨学科合作中,团队成员通过分析、综合和协调不同的学科找到一个整体的最终结果;跨学科团队成员共享一个概念框架,并致力于运用不同的学科方法、理论和概念去解决问题。^③美国国家科学院、工程院和医学院在共同发表的《促进跨学科研究》报告中,对“多学科”和“跨学科”两个概念进行了清晰的阐述。^④多学科指的是,A、B两个学科联合解决共同的问题,工作完成后不加改变的分开;跨学科指的是,A、B两个学科联合解决共同的问题,互动中形成一个新的研究领域或学科C(见图1)。

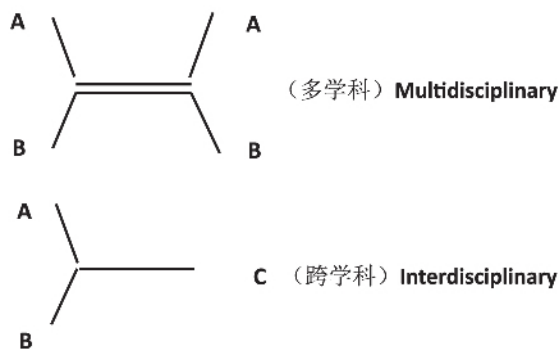


图1 多学科与跨学科的区别

2. 什么是跨学科教育?

跨学科教育(interdisciplinary education)是一个教育过程,学习者从两个或多个学科中学习,以提高他们对某一学科或问题的理解,并最终超越任何单一学科所能达到的程度。通过跨学科教育,学习者整合和发展来自各个学科的信息、概念、方法和程序,以获得新的知识、理解和技能,从而能够解释或解决问题。^⑤这种学习形式必然是主动的、自我导向的学习。^⑥跨学科教育最早出现在美国高等教育领域,随着世界各地大学的数量和规模不断增长,跨学科教育作为一个新兴的教育实践逐渐在中国、印度、新加坡、南美和欧洲等国家发展起来。这两个方面的原因:首先,互联网的普及(或是说某种程度上现代技术的本质)以史无前例的方式使思想的组合空间得以爆发;其次,“复杂的现实世界问题”的出现,例如气候变化、可持续发展、人机交互等,显然比大多数高校的院系更具跨学科性。^⑦

目前,在工科专业领域实施跨学科教育还没有一套成熟的方法,但跨学科工程教育已经引起了工业界、学术界以及教育界的广泛关注。欧美国家的一些高校已经开始积极地进行尝试,其中比较典型的有:英国伦敦大学学院综合工程计划、丹麦奥尔堡大学基于问题的大型项目跨学科教育、美国普林斯顿大学

^①Naralie Kuldell, “Authentic Teaching and Learning through Synthetic Biology,” *Journal of Biological Engineering* 1, no. 1(December 2007):8.

^②Jerry A. Jacobs, “The Need for Disciplines in the Modern Research University,” in *The Oxford Handbook of Interdisciplinarity* (2nd edition), ed. Robert Frodeman et al., (Oxford: Oxford University Press, 2017).

^③Ville Taajamaa et al., “Interdisciplinary Engineering Education — Practice Based Case,” *Processing of the 4th Interdisciplinary Engineering Design Education Conference* (CA: Santo Clara, 2014), 31—37.

^④National Academy of Sciences et al., *Facilitating Interdisciplinary Research* (Washington, DC: The National Academies Press, 2005).

^⑤Mohd Mahmud, “Interdisciplinary Learning in Engineering Practice: An Exploratory Multi—Case Study of Engineering for the Life Sciences Projects,” (PhD diss., University of Cambridge, 2018), 10.

^⑥Karri Holley, *Interdisciplinary Curriculum and Learning in Higher Education* (Oxford: Oxford Research Encyclopedia of Education, 2017).

^⑦Carl Gombrich, *What Sort of Interdisciplinary Research Can Undergraduates Do?* (London: Interdisciplinary Science Reviews, 2016), 4—14, 332—334.

凯勒工程教育创新中心、美国麻省理工学院新工程教育转型计划、加拿大多伦多大学跨学科工程教育与实践研究所和麦克马斯特大学枢轴项目。

本研究通过对上述大部分院校进行实地调研,对工学院院长和项目(中心)主任进行深度访谈,并结合文献数据和调研访谈资料的分析整理,探索性的解释与跨学科工科人才培养模式研究目标相关的调查数据,由此形成本文研究成果。下面分别对六所案例院校的跨学科工程教育进行分析介绍。

二、跨学科合作的工科人才培养模式分析

(一)伦敦大学学院的综合工程计划

2010年之前,伦敦大学学院(University College London)工学院本科生课程的特点是“非常注重工程科学,非常传统,很少有小组工作或实践工作”。工程教育改革的种子是在2011年初播下的,时任工学院院长越来越认为需要对本科教育采取完全不同的方法。^①在随后的三年里,工学院开展了针对本科的工程教育改革——“综合工程计划”(Integrated Engineering Programme),并于2014年9月正式启动。

1. 综合工程计划

参与综合工程计划(IEP)的专业有:机械工程、电子电气工程、土木工程、化学工程、计算机科学、生物化学工程、生物医学工程、管理科学、机械与商业金融专业。综合工程计划的课程结构主要包括三个模块、一个项目以及辅修课程。模块1为工程挑战模块,工程挑战的题目来自具有全球影响力的“全球大挑战”(Global Grand Challenges)计划;模块2为设计与专业技能;模块3为数学建模与分析。“如何改变世界”项目,将设定一个与联合国可持续发展目标(SDGs)紧密相关的现实任务,学生团队将与工业界一起设计一个工程解决方案。近年参与“如何改变世界”项目的行业合作伙伴包括:英国政府交通部、英国奥雅纳工程顾问公司、英国无国界工程师组织、摩托罗拉解决方案公司和劳埃德银行集团。学生除了可以在上述三个模块中深入了解某些学科领域的知识外,还将学习辅修课程,目前有超过15门课程可供选择,包括人工智能和海洋工程、计算机编程、环境工程、现代外语、创业教育、工程数学和生物力学的现代应用等。

综合工程计划教学框架的设计是为了应对21世纪工程科技的发展,以及行业对具有创新思维毕业生的需求。这些毕业生不仅在学科专业方面技术卓越,而且拥有更广泛的知识基础,并习惯于与其他专业领域的专家一起工作,有效地沟通他们的想法。

2. 综合工程计划的特点

灵活实用的管理方式。综合工程计划的成功实施归因于许多因素,其中管理层灵活的领导方式起到了主要作用。这种方式提供了“在项目愿景和使命之间的平衡,以及使这项工作发挥作用的实用主义。”这种领导风格被视为授权各部门“从下往上”推动改革,以充分反映各个院系特殊的需求、专业背景及其文化。^②

通用的课程结构模式。所有工学院的学生在前两年的学习中都采用一个通用的课程结构,这个课程结构的核心是真实的场景项目,要求学生解决真正的工程问题。项目通常与不同行业、地区以及社区合作,不同学科背景的学生团队不仅要考虑解决方案的技术性,还要考虑对社会、环境和公共政策的影响。这不仅可以使学生们“打破学科的藩篱”,对工程学科的角色和地位有批判性的认识,同时还可以掌握“与

^①“Reimagining and Rethinking Engineering Education. New MIT Report Takes a Worldwide Look at the Future of How Engineers are Trained,”<http://news.mit.edu/2018/reimagining-and-rethinking-engineering-education-0327>.

^②“Reimagining and Rethinking Engineering Education. New MIT Report Takes a Worldwide Look at the Future of How Engineers are Trained,”<http://news.mit.edu/2018/reimagining-and-rethinking-engineering-education-0327>.

来自不同领域的人有效合作”的工具。

工程教育改革的实体平台。综合工程计划项目团队和新成立的校级工程教育中心(UCL Centre for Engineering Education),确保了伦敦大学学院拥有一个坚实的平台,可持续地推进跨学科工程教育改革。^①作为综合工程计划的主要设计者和推动者,工程教育中心链接了工程学院和教育学院的师资及教育资源。综合工程计划项目团队也因此项目,获得了英国高等教育促进机构2017年度卓越教学合作奖。^②

综合工程计划改变了伦敦大学学院工程教育的方式。综合工程计划通过一种创新的跨学科方法,修订了伦敦大学学院工学院现有的8个本科课程,解决了行业对提高学生就业能力的需求。综合工程计划提出的“基于问题”和“主动学习”的教学框架,不仅鼓励了整个院系教师在教学中更具创造性,也使得学生深切地感受到了一个工程师在职业生涯早期阶段是如何影响行业和社会的。通过实施综合工程计划,伦敦大学学院在教育工作者、专业机构和行业之间建立了一种全新的合作方式。在高等教育进入工程领域之间建立了良好的联系,不断满足了社会对工程科技人才的需求。更为重要的是,积极地吸引和培养本国工程人才,推动了工程师主动参与英国经济的发展。

(二) 奥尔堡大学基于 PBL 的大型项目跨学科教育

自建校以来,奥尔堡大学就一直将“基于问题的学习”(Problem-based Learning, PBL)作为整个学习过程中的教学方法,所有课程都以问题的学习为基础,并聚焦于跨学科。随着人类面临气候变化和环境问题带来的全球性挑战,奥尔堡大学认为教育必须跨越学科界限,并通过“大型项目”合作来应对重大挑战。奥尔堡大学为提高各专业之间的跨学科水平(尤其是工程专业),从2000年初,开始进行基于PBL的跨学科教育。近年来这一方法得到了进一步扩展,并将重点聚焦在解决人类社会可持续发展问题上。2019年秋季,奥尔堡大学正式开展“大型项目”(Megaprojects)的跨学科教育。

1. 基于 PBL 的大型项目跨学科教育

“大型项目”是奥尔堡大学与奥尔堡市政府合作开展的一项典型的政产学研跨学科项目,学科范围涉及整个大学的所有院系,项目选取的是基于联合国17个可持续发展目标的全球性问题。国际社会面临的全球性挑战复杂且相互关联,要找到解决这些复杂问题的可行办法就需要来自不同领域的专家共同努力,这就是奥尔堡大学在五个院系开展大型项目跨学科教育背后的理念。

大型项目是一个总体框架(见图2),每个“大型项目”关注三个重点领域,重点领域是与大型项目有关的主题的细分,它们以问题为导向,侧重于联合国17个可持续发展目标。每个重点领域最多包含两个挑战,每个挑战又细分为若干个项目。每个大型项目的持续时间为2~3年。

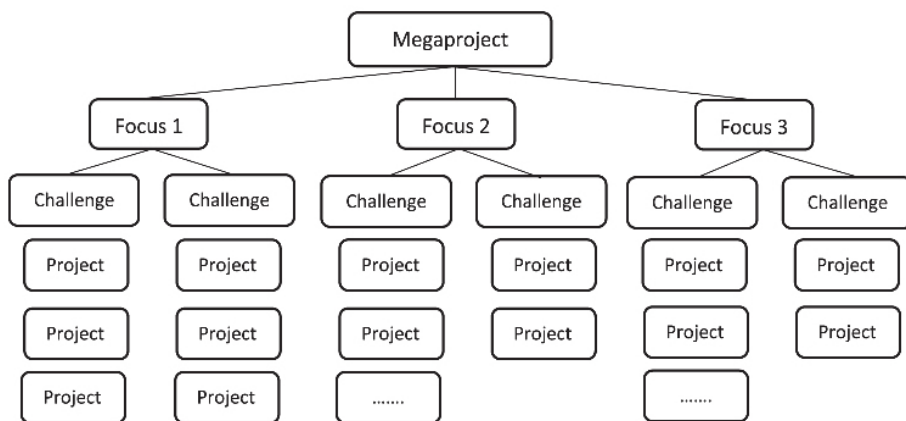


图2 大型项目结构图

^①“Integrated Engineering Programme Rated World Leading in New MIT Report,” *UCL Engineering*, 24 April 2018. <https://www.ucl.ac.uk/teaching-learning/news/2018/apr/integrated-engineering-programme-rated-world-leading-new-mit-report>.

^②Advance HE, “University College London—IEP Team,” <https://www.heacademy.ac.uk/person/university-college-london-iep-team>.

目前,第一批与奥尔堡市合作的两个大型项目已经确定,为“简化可持续生活”和“循环区域”。“简化可持续生活”项目将挑战分解为三个重点领域:废物、绿色消费和交通。奥尔堡市政府希望更大限度的鼓励市民减少垃圾产生,提高垃圾分类能力,以及使可持续交通更有吸引力。在“循环区域”项目中,奥尔堡市政府设定了使北丹麦地区成为世界上第一个循环区域的目标。“循环区域”项目将挑战分为三大重点领域:体制改革、知识共享和循环经济实践。这两个大型项目的交付日期为 2021 年,届时最终方案将提交给奥尔堡市政府。

2. 奥尔堡大学跨学科工程教育的特点

秉承奥尔堡大学的 DNA 基因——基于问题的学习(PBL)。奥尔堡大学是世界上采用基于问题的学习进行教学的最好大学之一,通过基于 PBL 的大型项目跨学科教育,学生们可以从真实的、基于问题的大型项目中识别和分析问题,并提出解决方案。学生与外部合作伙伴在具有真实挑战的自然合作中提供的解决方案始终有一个中心要素——即基于解决实际的问题。

完善的管理服务系统。为保证大型项目跨学科教育全面有序地开展,大型项目明确了各个应用部门及其职责,包括项目经理、主办院系、协调人、工作组、指导委员会。大型项目的项目经理是一个关键角色,负责大型项目的全面协调、过程管理和项目规划。每个大型项目还必须明确固定在一个主办院系,并负责指派一名协调人。指导委员会负责处理大型项目的总体决策,根据需要每年至少召开两次指导委员会会议。

可持续发展的实体中心。为培养具有可持续发展视野和创新思维的工程师,奥尔堡大学于 2014 年正式成立了联合国教科文组织二类中心——奥尔堡工程科学与可持续性学习中心。奥尔堡中心旨在通过将基于问题和项目的学习、工程教育研究和可持续发展三个领域相结合,将 PBL 教学创新性的融入跨学科教育教学过程之中。

奥尔堡大学认为全球性问题最好在大型项目中解决,因此将 PBL 教学方法提高到了一个水平,即通过跨学科、跨课程、跨学期的大型项目合作,把掌握不同知识与技能的学生、教师和行业专家等聚集在一起相互学习。奥尔堡大学实施的基于问题的大型项目跨学科教育,为丹麦和世界其他地区当前的可持续性和社会问题提供全面的解决方案,通过跨校区、跨大学、跨国界共同解决全球性重大挑战。在跨学科教育方面,通过其他学科输入,提升了学生的综合技能,培养了学生的跨学科、可持续发展的协作能力。更为重要的是,如奥尔堡大学信息技术与设计学院副院长所说,创新的技术解决方案必不可少,但同时要始终牢记人类的行为和需求。

(三) 普林斯顿大学“工科+文科”的跨学科工程教育模式

隶属于工程学院的凯勒工程教育创新中心(Keller Center for Innovation in Engineering Education)成立于 2005 年,是普林斯顿大学实施跨学科工程教育的实体平台。作为普林斯顿大学跨学科工程教育的枢纽,凯勒中心将工程、人文、艺术、社会科学和自然科学的学生相互联络起来,并将他们与更广泛的校园社区和其他社区联系在一起。凯勒中心通过为学习者提供教育机会,在工程学和人文科学之间架起一座桥梁,帮助学习者塑造有价值的职业之路。

凯勒中心的口号是“创造、教育、服务”,并从创业精神、设计与设计思维、创新教育、社会影响四个维度提供课程和项目培训,实施跨学

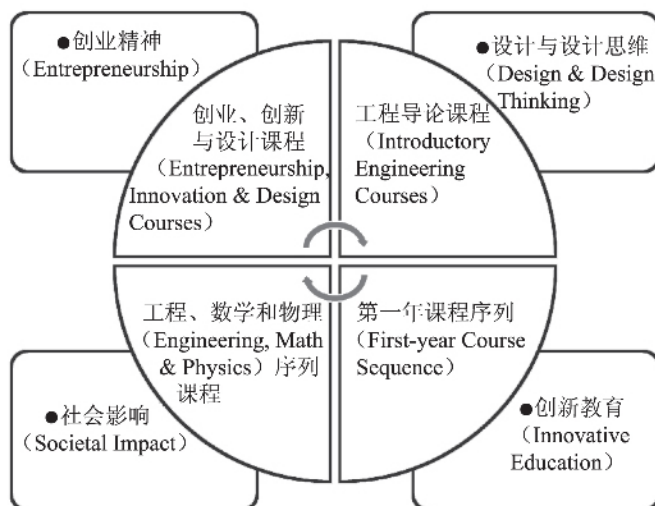


图 3 凯勒中心跨学科工程教育教学框架

科工程教育。(见图3)

凯勒工程教育创新中心提供两种主要的系列课程:其一是创业、创新与设计课程。通过这一系列课程培养学生的批判性思考能力,并把创新创业作为经济增长和社会变革的活动,以及未来的潜在就业机会来进行培训。其二是工程导论课程。这是为一年级学生开设的导论课程,主要介绍在现代工程的背景下社会所面临的挑战,并教授数学和物理的基础知识,其中包括两个课程序列:第一年课程序列和工程、数学和物理(EMP)序列课程。凯勒中心还通过五个方面开展可持续性创业教育:(1)eLab孵化器;(2)创新论坛;(3)创业沉浸项目,为初创者提供在纽约、上海和特拉维夫的新兴创业公司实习,以此来获得宝贵的现实经验;(4)学生项目资助,重点支持STEM领域的研究活动,特别鼓励与创业精神和设计思维有关的项目;(5)老虎挑战赛(Tiger Challenge)。

3. 普林斯顿大学跨学科工程教育的特点

“四个维度”的跨学科工程教育教学框架。通过围绕创业、设计与设计思维、创新教育和社会影响四个角度开发设计的独特的课程及项目设置,创建了一个有针对性的教育途径,使得学生能够对工程学科有系统和连贯的理解与实践。

“两个序列”的跨学科工程教育课程体系。凯勒中心开发的两个课程序列是普林斯顿大学面向21世纪工程教育的关键部分。传统的一年级课程只教授给学习者未来工作时的一些基础知识,普林斯顿大学认为,对于那些正在考虑学习工程学的学生来说,第一年是关键时期。一年级的工程、数学和物理知识不仅为他们以后的学习奠定了基础,同时可以帮助他们在接下来三年里的专业选择作出决定。

“工科+文科”的跨学科工程教育平台。技术是解决社会挑战的一个重要部分,工程则把科学发现转化为解决方案,但要想解决当今社会的巨大挑战,就需要具有跨学科思维和创新创业意识。作为普林斯顿大学的跨学科工程教育平台,凯勒工程教育创新中心将人文、创业、艺术及公共政策等专业与学生们的工程研究结合起来,以使全校学生实现解决社会问题的愿望,培养学生成为未来以技术驱动社会、具有创新思维和创业精神的领导者。

专业知识的多样性最能产生具有创新性的想法,因此普林斯顿大学认为创新的关键在于跨学科,并将跨学科研究和跨学科教育是为一种常态。跨院系、跨学科的教学和研究在普林斯顿大学普遍存在,科学家和人文主义者、工程师和社会科学家以各种方式合作进行广泛的跨学科研究和教学。目前,普林斯顿大学有14个跨学科研究中心,作为承担普林斯顿大学工程教育的主要学院——工程与应用科学学院将世界一流研究机构的优势与优秀文科专业的品质结合在一起,使得普林斯顿大学以“工科+文科”为特点的跨学科工程教育在世界上独一无二。

(四)麻省理工学院的新工程教育转型计划

进入21世纪,MIT也在重新思考本科工程教育,即“学生学习什么和如何学习”,并于2016年9月正式启动了“新工程教育转型计划”(New Engineering Education Transformation Program)。

1. 新工程教育转型计划

NEET计划是一个以学生为中心、基于项目的、跨部门协作的证书课程。面向所有大二学生,侧重基于项目的综合性学习。NEET计划的实施基于四个原则:(1)新机器和新系统。NEET计划认为,目前大多数工程教育都是围绕“孤立的学科”开展的,课程结构是规定性的、可重复的,最后产生某些固定“类型”的工程师。新工程教育着眼于在21世纪将要建立起来的新机器和新系统,以完全不同的方式对学生进行整体训练。(2)创造者和发现者。学生应以基础知识作为研究和实践的基础,做创造者和发现者。NEET为学生提供了管理新技术、新理论、新模型和新方法的基础。(3)最佳学习方式。NEET认为,教育应围绕学生的最佳学习方式展开,在课堂和项目的学习中找到最佳平衡点。NEET即是围绕着这样一个理念而建立的,让学生参与其中成为学习中积极的合作者。(4)新思维方式。MIT认为学生需要知道如何有效地自主学习是一切的基础,因此提出了12种新思维方式:学习如何学习、创造、发现、人际交往

能力、个人技能和态度、创造性思维、系统思维、批判性和元认知思维、分析思维、计算思维、实验性、人性化。

NEET 计划的核心部分是“以项目为中心的课程结构”。(见图 4) 作为一个为期 3 年的项目证书课程,学生从大学二年级开始进入 NEET 项目直到毕业。NEET 先后推出了五个称为“Threads”的主题课程,即先进材料机器、自动机器、数字城市、生命机器、可再生能源机器。学生可以从五个主题中

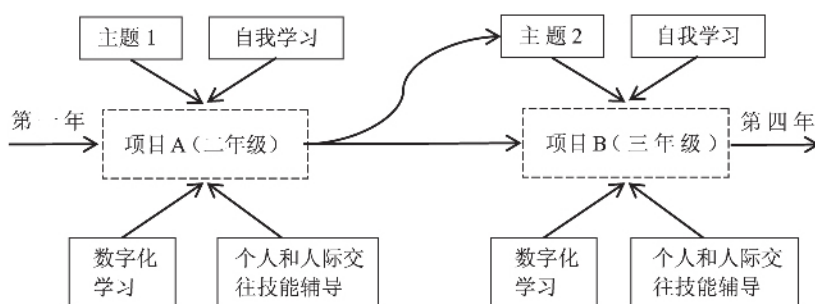


图4 NEET项目课程结构

选择一个参与跨学科项目,无论选择哪一个主题,学习者都将通过各种实践项目、研究、课程、研讨会、活动、社交和职业发展机会,获得大量的可转移的技能和人际交往技能。到大学四年级项目结束时,课程通过的学习者将获得项目证书。

3. 新工程教育转型计划的特点

基于项目的跨学科工程教育。NEET 计划认为,现有的以班级为中心的课程设计侧重于一系列定义明确的课程,这些课程通常是封闭式的,NEET 计划则是基于项目的开放式教育。NEET 计划认为,以项目为中心的学习方法与丹麦奥尔堡大学倡导的基于问题的学习(PBL)方法不同。PBL 是一种教学方法,学生主要在课堂上来获得知识和技能。^① 在 NEET 以项目为中心的“支架式”(scaffolding)教学中,课程的重心转移到了项目上。

基于新兴技术的跨学科工程教育。NEET 认为,新机器和新系统是未来工程师在职业生涯中要建立起来的东西。未来的工程师必须能够在复杂的、高度网络化的、属于大系统中的一部分的机器和系统上工作,这些基于新兴技术的机器和系统具有更高的自主性,并且能够支持可持续的环境。而让年轻人做好设计“新机器”的准备,则意味着要以非常不同的方式来进行整体性、跨学科的训练。

基于平台的跨学科工程教育。NEET 计划在 MIT 工学院教授爱德华·克劳利(Edward Crawley)带领下,有专职的项目团队管理,这一项目平台保障了跨学科、跨院系、跨研究领域的 NEET 计划得以顺利实施。

麻省理工学院认为,目前高等教育正处于一个重塑的时期,数字工具和体验式教学正在加速工程教育教学创新。NEET 计划大胆地对麻省理工学院的工程教育进行了重构,以满足当前的社会需求及未来的发展趋势。NEET 项目围绕“新机器和新系统”构建,并积极培养学生新的思维方式和认知方法,如批判性思维、创造性思维和工程伦理等。麻省理工学院在 2018 年发布的全球本科教育基准研究中,记录了全球利益相关者和机构的最佳实践、基准和证据。根据这些发现,NEET 项目为如何培训明天的工程师做好了准备。^②

(五) 多伦多大学“实体中心+大楼+课程”的三合一模式

1. 实体中心大楼+工程教育生态系统

多伦多大学长期以来是加拿大工程教育的领导者。为了进一步推动工程教育创新,于 2018 年成立

^① Edward F. Crawley et al., “Redesigning Undergraduate Engineering Education at MIT—The New Engineering Education Transformation (NEET) Initiative,” <https://www.asee.org/public/conferences/106/papers/22513/view>.

^② Ruth Graham, “The Global State of the Art in Engineering Education,” <https://www.rhgraham.org/page/engineering-benchmark/>.

了工程创新创业中心(the Myhal Centre for Engineering Innovation & Entrepreneurship),中心旨在促进研究人员、学生、行业合作伙伴和校友之间的广泛合作。同时,工程创新创业中心大楼也正式启用。工程创新创业中心大楼的空间结构充分考虑了跨学科合作、体验式学习、工程领导力及创新创业课程等功能性的使用,它包括灵活的主动学习空间、支持课程和课外设计项目的原型设施以及学生俱乐部和创业团队专用空间。同年,工学院也正式成立了跨学科工程教育与实践研究所(ISTEP)。ISTEP汇集了工程学院现有的相关学术规划、课程教学、奖学金项目以及师资,通过学术研究和教学实践两个主要方面,为培养未来的工程师创造了充满活力的工程教育生态系统。

作为加拿大高校首个跨学科工程教育项目,ISTEP从八个维度为学生提供有针对性的课程及培训。(1)工程领导力:工程领导力教育研究所通过提供变革性的课程和课外学习机会,教授学习者如何进行分析和系统的思考,以在未来工作中充分发挥作为创新者和领导者的最大影响力。(2)全球视野:基于全球工程中心的跨学科项目,ISTEP与校内外合作伙伴协同,将全球环境整体融入工程课程和学生体验中。(3)沟通:工程沟通课程的目标是帮助本科工科学生建立专业水平的沟通技能。(4)伦理与社会影响:ISTEP积极推广社会技术理论和工程伦理课程,让学生有机会了解工程对社会和环境的影响,以及工程伦理在公平和公正决策中的作用。(5)工程商业:工学院提供了一套与管理学院联合设计的课程,为学习者提供了一个通过商业视角探索工程领域的机会。(6)创业:工程商业和创业是紧密结合在一起的,ISTEP提供了一个丰富的创业生态系统,培养了整个学院和大学蓬勃发展的创业文化。(7)工程教育:“工程教育中的协作专业化”是一个跨学科项目,专为那些对工程教育和研究感兴趣的工学院和教育学院的学生而设计。(8)职业发展:ISTEP通过一些职业计划项目为工科毕业生的职业发展提供支持。

ISTEP认为学术研究成就了教学实践,教学实践则促进了学术发展,并通过学术研究重构21世纪的工程领域和现代工程师的身份。ISTEP的核心学术研究包括三个相互关联的主要领域,形成了三大协同效应主题(见图5)。主题1:工程教育。ISTEP正在评估教学创新策略和空间带来的益处,以使学生能够更丰富和深入地学习。主题2:专业能力。ISTEP正在探索工科学生如何发展成为领导者,如何在团队中有效地工作,以及如何更好地培养学生的专业能力和沟通能力。主题3:工程实践。ISTEP正在探索现代工程师用来应对工作场所挑战的方法和工具。此外,正在开发一套整合技术和专业技能的方法,以促进未来工程师的终身学习。

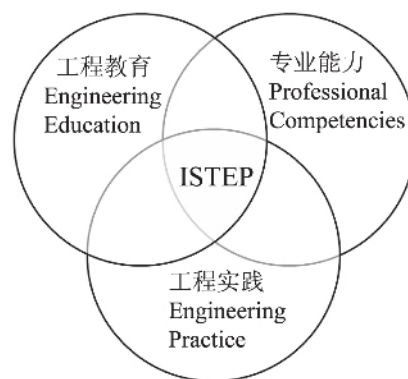


图5 ISTEP三大协同效应主题

2. 多伦多大学跨学科工程教育的特点

跨学科工程教育的实体中心和大楼。作为跨学科工程教育的实体平台,工程创新创业中心的成立开启了多伦多大学工程教育的新时代,也标志着多伦多大学工程教育与研究的转型。工程创新创业中心大楼是领先的多学科研究中心和项目研究团队的所在地,其互动式课堂技术、前沿实验室的开放概念和学生、教师及校友的协作空间等特色与功能,正在成为多伦多大学培养今天的工科学生和未来的工程领袖的理想空间。

基于三大主题、围绕八个维度的跨学科工程教育创新生态系统。多伦多大学的跨学科合作研究基于三大主题相互衔接产生协同效应,共同促进跨学科工程教育。同时,ISTEP整合扩展了工学院各个专业的课程,并围绕八个维度提供跨学科课程及培训,创造了一个充满活力的跨学科工程教育创新生态系统。

多伦多大学跨学科工程教育的“实体中心+大楼+课程的三合一”模式,为培养未来工程师所必需的跨学科能力提供了坚实的基础。正如跨学科工程教育与实践研究所主任介绍:无论是在大学内部还是与其他合作伙伴,我们广泛合作、共同探索工程领域跨学科能力的本质,理解现代工程实践,以更好地培养工程专业的学生,使其在未来职场中能够快速适应变化的社会。

(六) 麦克马斯特大学跨学科工程教育的“枢轴”项目

随着 21 世纪第二个 10 年的到来, 麦克马斯特工学院认为必须通过实施大规模的教育变革来突破当前的工程教育。2019 年始, 工学院对本科课程进行了重大改革, 重新设计了课堂, 强调体验式学习——所有这些都是为了让未来的工程师做好准备, 迎接瞬息万变的世界的挑战。这项耗资 1500 万美元的工程教育转型计划被称为“枢轴”(The Pivot)项目。

1. 三大支柱的“枢轴”项目

“枢轴”项目通过相互关联的三大支柱使教学、研究和课外体验更加紧密地结合在一起, 三大支柱分别为: 课程改革、重构课堂、扩大体验式学习。

支柱 1: 课程改革。“枢轴”项目重新设计了一门称为“1 号工程”的课程, 将工程设计和制图、工程计算、工程专业和实践、材料的结构和性能四门课程整合为一门“工程师课程”。项目还对一年级的通识教育课程进行了调整, 将第一年的 9 门课程调整为 5 门。重新设计的课程摒弃了孤立思维, 形成了一个无缝的、基于项目的学习体验。为学生提供了更多的自我指导和基于项目的学习体验, 形成了一个主轴贯穿整个学习计划。

支柱 2: 重构课堂。重构教育意味着改变我们在何处以及如何提供教育。通过创造一个创新的、工作室式的、受创业启发的空间来重新设计课堂, 激励学生成为思维敏捷的思考者。一个大型的初创企业空间将取代传统的工程基础训练课程课堂, 这个空间被称为“设计中心”将与工程经验学习孵化中心连接, 是与行业伙伴合作的焦点。

支柱 3: 强化体验式学习。通过为学生提供更多的课外机会, 扩大体验式学习。例如, 增强体验式教育、增加对俱乐部和球队的赞助、提高本科生的研究经验、提高项目的参与度等。

“枢轴”项目将于 2020 年 9 月推出第一个试验阶段的综合顶石课堂。综合顶石课堂的设计分为三层: 第一层为学生提供基础课程+基于挑战的体验; 第二层基于新兴产业趋势确定相关项目; 第三层培养学生的核心技术能力+持久竞争力。综合顶石课堂的目标是先对 100 名学生实行试点, 然后将这一综合性多学科的试点项目推广到有 1000 名左右学生的 11 个经过工程教育认证的课程(见图 6)。

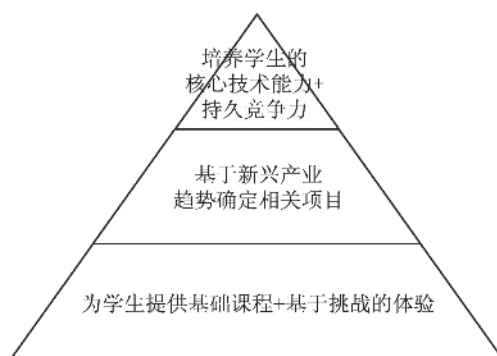


图 6 综合顶石课堂示意图

通过“枢轴”项目的训练, 学生将获得五大核心能力: 发现与创造(Discover+Create)、整合与解决(Integrate+Solve)、商业与创新(Business+Innovate)、全球与多样性(Global+Diversity)、公民与社区(Citizen+Community)。

2. 麦克马斯特大学跨学科工程教育的特点

课程改革。麦克马斯特大学创新的跨学科工程教育对课程进行了重大调整, 更加关注于学生自身, 而不是参与的具体项目, 将设计思维、创新思维和创业精神融入所有课程之中。

重构课堂。传统的“粉笔+对话”的教学方式被自我指导和小组学习活动等体验式教学所取代。小组学习活动将充分强化学生解决问题的技能和应用于现实世界问题的综合经验, 并鼓励知识和经验的深度和广度。

体验式学习。麦克马斯特大学创新的跨学科工程教育将培养学生解决复杂问题的能力、批判性思维、适应性和创造性结合起来, 将课堂内外的学习体验与行业相关背景结合起来。学生将在大挑战的背景下学习, 并鼓励运用多学科的视角看待复杂的问题。

麦克马斯特大学创新的跨学科工程教育以项目为基础、以团队合作为导向, 鼓励学生参与研究合作, 参加俱乐部等活动提高社区意识, 所有这些将使学生在快节奏、充满活力的真实世界中成为为全球挑战

准备就绪、具有社会意识的公民。工学院院长表示,“枢轴”项目的实施是麦克马斯特工学院 60 年来学生经历的最大转变,它将彻底改变本科生的学习体验,使麦克马斯特工学院能够“跨越”其他学校,成为加拿大、美国和世界范围内工程教育改革项目的典范。

三、结论

跨学科合作的工程教育转型已为大势所趋。无论是普林斯顿大学较早成立的凯勒工程教育创新中心,还是伦敦大学学院综合工程计划(IEP)、麻省理工学院的 NEET 计划、奥尔堡大学基于 PBL 的“大型项目”的实施,多伦多大学成立跨学科工程教育与实践研究所(ISTEP)以及麦克马斯特大学开展的“枢轴”(Pivot)项目,从各个案例院校项目实施的时间节点来看(见表 1),高等工程教育转型已成为未来发展趋势,跨学科工程教育已成为必然。

作为跨学科合作的基础——学科不可或缺。跨学科合作不是在社会真空中发生的,而是在研究者、学科、理论和方法之间关系形成的制度环境中发生的。^① 学科的跨学科根源在跨越自然科学、社会科学和人文科学的领域形成中是显而易见的。^② 作为跨学科合作的基础,学科是不可或缺的。任何跨学科体系的构想都依赖于学科的存在。一个跨学科领域很可能类似于一个学术生态位,而不是不同知识领域之间的叠加。^③

跨学科合作的工科人才培养模式呈多样化。跨学科工程教育没有单一的途径、单一的模式和单一的标准,培养过程也因各自学校的学科结构而异。从案例院校实施的工程教育改革来看,无论是全院系通用的课程结构,还是基于 PBL 的大型项目,抑或“工科+文科”、工程教育新思维、实体中心+大楼+课程、以及课程+课堂+体验式学习,跨学科合作的工科人才培养模式呈现多样化(见表 1)。案例学校应结合各自发展战略,充分发挥传统学科结构的优势,开发实施具有自身特点的跨学科工程教育。

表 1 六所案例院校的跨学科工程教育模式分类

| | 伦敦大学学院 | 奥尔堡大学 | 普林斯顿大学 | 麻省理工学院 | 多伦多大学 | 麦克马斯特大学 |
|---------------|---|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 计划名称/ 实体平台 | 综合工程计划 (IEP) | 大型项目计划 (Megaprojects) | 凯勒工程教育创 新中心(Keller Center) | 新工程教育转型 (NEET)计划 | 跨学科工程教育与实 践研究所(ISTEP) | “枢轴”计划 (Pivot) |
| 实施时间 | 2014 年 | 2019 年 | 2005 年 | 2017 年 | 2018 年 | 2019 年(2020 年 秋季入学) |
| 培养模式 | “通用的课程结 构”模式 | “基于 PBL 的大型 项目”模式 | “工科+文科” 模式 | “NEET 新思维” 模式 | 实体中心+大楼+课程 的“三合一”模式 | 课程+课堂+体验式 学习的“三支柱” 模式 |
| 参加年级 | 本科一年级 | 本科一年级 | 本科一年级 | 本科二年级 | 本科一年级 | 本科一年级 |
| 项目领域 | 全球大挑战计划 (Global Grand Challenges) | 联合国 17 项可持续 发展目标(SDGs) | 能源与环境、机 器人遥感、无线 多媒体通信 | 先进材料、自动化、 数字城市、生命医 学、可再生能源 | 工程领导力、工程商 业、工程管理等 ISTEP 八个维度 | 自动驾驶、可再生 技术、医疗、可持 续性、社区项目 |
| 合作机构 | 英国交通部等 | 奥尔堡市政府 | 国际城市(纽约、 上海、特拉维夫) | 行业企业 | 加拿大工程教育协会等 | 工程教育技术公司 |
| 项目结业 | 课程证书 | 课程证书 | 课程证书 | 课程证书 | 课程证书 | 课程证书 |

① Angela Cassidy, “One Medicine? Advocating (Inter)disciplinarity at the Interfaces of Animal Health, Human Health, and the Environment,” in *Investigating Interdisciplinary Collaboration: Theory and Practice across Disciplines*, ed. Scott Frickel et al., (New Brunswick (NJ): Rutgers University Press, 2016), Chapter 10.

② Harvey J. Graff, *Undisciplining Knowledge: Interdisciplinarity in the Twentieth Century* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2015).

③ Jerry A. Jacobs, “The Need for Disciplines in the Modern Research University,” in *The Oxford Handbook of Interdisciplinarity* ed. Robert Frode man et al. (Oxford: Oxford University Press, 2017).

大学的跨学科研究与跨学科教育相辅相成。大学的跨学科教育为应对全球社会挑战提供了宝贵的人力资源及智力支持,全球社会挑战带来的问题也成为高校跨学科研究的项目资源,跨学科合作的教学与科研相辅相成。同时,跨学科合作的项目领域与社会需求紧密结合,专业方向紧跟科技前沿发展趋势。跨学科工程教育以真实项目为主线,将证书课程与学位课程紧密结合,将基础知识与专业知识的学习嵌入并根植于真实项目的学习中。这不仅使学习者对学科的理解更加深入且融会贯通,同时,高校借助跨学科合作在发展规划、学科建设和课程设置等方面亦得到改善及提升。

New Mode of Engineering Talents Training Based on Interdisciplinary Cooperation: An Exploratory Multi-Case Study of Engineering Education

XU Li-hui WANG Sun-yu

(Institute of Education, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract: At present, higher education is still mainly focused on a single discipline talent training mode, yet interdisciplinary education is gaining more and more attention. Especially in the field of engineering education, interdisciplinary cooperation has become a new trend in the development of engineering education in the future. Based on an exploratory multi-case study of engineering education reform carried out in recent years by University College London, Aalborg University, Princeton University, Massachusetts Institute of Technology, University of Toronto and McMaster University, this paper analyzes and summarizes the talent training mode of interdisciplinary engineering education.

Key words: interdisciplinary; multidisciplinary; engineering education; talents training model; innovation and entrepreneurship