doi:10. 11835/j. issn. 1005-2909. 2024. 04. 004

欢迎按以下格式引用:李正良,余辰龙,董凌燕. 项目驱动下的工程教育人才培养模式:欧美高校的实践与启示[J]. 高等建筑教育,2024,33(4):25-35.

项目驱动下的工程教育人才培养模式:欧美高校的实践与启示

李正良[a], 余辰龙[b], 董凌燕[b]

(重庆大学 a.土木工程学院;b.本科生院,重庆　400044)

摘要:当前新一轮科技革命和产业变革正在加速演进,在迈向中国式现代化的征程中,我国高等工程教育正肩负重要使命并迫切需要深化改革。项目驱动的人才培养模式作为工程教育改革的重要抓手,其影响力和应用范围正不断扩大。本文通过遴选三所工程教育具有传统优势并走在工程教育改革前沿的代表性欧美高校:麻省理工学院、代尔夫特理工大学和欧林工学院,从工程教育改革历程、人才培养理念和课程体系设置三个方面系统分析了三所高校的项目驱动人才培养模式,总结和分析了该模式以学生为中心的理念,在打破学科壁垒、培养工程技能、增强团队协作、体现人文素养等方面的特点,以及对我国工程教育改革的启示。

关键词:人才培养模式;工程教育;项目驱动;欧美高校

中图分类号:G641　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1005-2909(2024)04-0025-11

人才培养模式的实质是人才培养目标及其实现路径,因此人才培养模式对人才培养效果具有决定性作用。在新一轮科技革命和产业变革的背景下,我国高等工程教育面临诸多挑战,人才培养模式亟待改革。本文通过遴选三所工程教育具有传统优势并走在工程教育改革前沿的代表性高校,系统研究其工程教育的发展历程和改革路径,以及对我国高等工程教育的启示。

美国麻省理工学院(MIT)素以高等工程教育改革先锋著称,持之以恒打造卓越工程教育。进入21世纪,MIT多项工程教育改革接踵而至:一是2001年开发CDIO课程大纲;二是2014年7月发布《面向未来的MIT教育专项工作组全校调查报告》;三是2017年8月启动实施"新工程转型"(The New Engineering Education Transformation,NEET)计划,明确本科教育改革的重心向以项目为中心的课程转移,全面构建"项目中心课程"的新工程教育人才培养模式[1]。代尔夫特理工大学是荷兰建校历史最长、教师和学生数量最多、专业门类设置最齐全的理工大学之一,素有"欧洲的麻省理工"称号。其中,学校航空航天学院的项目式教学被MIT《全球前沿工程教育报告》(The Global State of the

修回日期:2024-02-16

基金项目:重庆市高等教育教学改革研究重大项目"以项目为驱动的本科人才培养模式研究与实践"(211001)

作者简介:李正良(1963—),男,重庆大学土木工程学院教授,博士生导师,主要从事土木工程和高等教育管理研究,(E-mail)lizhengl@hotmail.com。

Art in Engineering Education)列入典型国际高等工程教育改革案例[2]。值得注意的是,美国欧林工学院的工程教育人才培养同样得到了该报告的高度评价。欧林工学院虽然规模小、建校时间不长,但成就非凡。该报告对50位全球工程教育思想领袖进行了一对一访谈,超一半的人认为欧林工学院是"国际工程教育的引领者",占比位居榜首[3]。学院秉承"欧林三角"的培养理念,通过项目制课程将工程与科学、人文、艺术等领域结合,体现跨学科工程教育的特点[4]。

我国在1952年进行院系调整后,借鉴苏联工程教育的"专才教育"模式,与行业联系紧密,为国家工业化建设培养了大量工程人才,对新中国快速建立工业体系发挥了重要作用。但随着时间的推移,"专才教育"模式培养的工程师普遍缺乏创新能力的弊端逐渐显现。改革开放后,面向"四个现代化",我国又开始借鉴美国大学的通识教育模式。世纪之交,高校新增专业数迅速增长,综合型大学的"大而全"和争办"研究型大学"如火如荼[5]。2010年教育部启动的卓越工程师培养教育计划和2017年启动的新工科建设,则强调工程师除具备扎实的专业知识外,也应拥有创新、沟通、协作等一系列技术能力和非技术能力。改革教学方法和考核方式,形成"以学习者为中心"的工程教育模式是培养卓越工程师的重要突破点[2]。项目驱动式教学以学习者为中心,促进学生在团队合作、沟通交流、实践创新等方面的提升,在工程教育界逐步得到广泛应用。清华大学航空航天学院、华南理工大学吴贤铭智能工程学院、上海交通大学密西根学院等纷纷借鉴和采用了项目驱动式教学。

在当前本科人才培养的教学过程中,理论课在教学任务中占主导,但教学内容和方法有时无法有效调动学生的兴趣和积极性,学生无法更多地参与课堂活动和工程实践。同时,教学方法更新不及时、教学内容跟不上时代变化和社会需求、考核方式单一等问题进一步削弱了理论课应该发挥的作用。因而,学生所学的知识往往是零散孤立的,很难形成一个有机完整的知识链、知识面和知识体系。该弊端引起的另一问题是,学生所学的知识与企业所需的具体工作要求往往相差较大,学生入职后,企业需花时间全面系统地进行培训,造成企业用人成本上升,也影响学生的职业发展。因此,要有效改变这一状况,需要在教育教学改革方面推陈出新,科学设计教学活动,将理论与实践更加紧密地结合起来,使学生学成后能够更好地满足社会需求。具体到项目驱动式教学方面,需要进一步厘清项目与培养目标、项目选择与课程体系、项目与项目之间的内在联系,关注知识、能力、素养的有机统一,着力构建符合高校实际的以项目为驱动的本科人才培养模式。因此,本文通过对麻省理工学院、代尔夫特理工大学和欧林工学院在工程教育领域的人才培养模式进行研究,希冀为我国工程教育人才培养带来启示。

一、麻省理工学院

(一)工程教育改革历程

从1861年建校至20世纪末,MIT的工程教育已完成三个阶段的代表性工程教育改革。第一个阶段为建校至20世纪30年代,强调知识可利用化,培养经济建设中的工程技术人才;第二个阶段为20世纪80年代,主要体现在从实践训练到强调基础科学知识,培养具备工程科学知识的人才,服务国家政治和军事战略需要,由此形成了影响国际高等教育的STEM(Science,Technology,Engineering,Mathematics)理念;第三个阶段为20世纪90年代,主要强调工程教育回归实践,培养具备较强实践能力的工程人才。进入21世纪,新技术革命的发展改变了传统工程教育的内涵和边界[6],专业内容的调整、理论体系的重构、知识领域的拓展等挑战接踵而至。同时,MIT也意识到美国工程教育目前存在着制度和认知惯性,教学实践围绕着孤立的学科体系设置,基于OBE理念的培养过程、知识点的完备性,以及细化的标准在各类协会的"评估认证"中进一步加强。而在企业招聘过程中,设

置的用人标准维度不够，且大多局限在失去时效性的知识和简单技能。上述问题凸显了工程教育转型面临的挑战，但也更加说明了工程教育改革的迫切性。

面对新时代工程教育的挑战，MIT意识到需要全面革新，在工程教育的未来发展中继续保持领先地位。为此，学校先期设立工作小组，对21世纪以来工程教育出现的难点和挑战开展研究，并于2014年发布《面向未来的MIT教育专项工作组全校调查报告》。基于相关调研，MIT于2017年8月正式启动实施"新工程转型"（NEET）计划，总目标是"反思与重构MIT的本科工程教育"[7]。

（二）人才培养理念

NEET以面向未来的企业家、创新者、制造者、发现者和领导者为培养目标，提出"回归工程"并建立"大工程观"的改革理念，致力于跨部门（学科）、以项目为中心的综合学习，培养学生必要的技能、知识和素质，以应对21世纪带来的严峻挑战。因此，NEET本质上是一个跨学科、基于项目的工程教育计划。NEET的目标是从根本上在MIT重新构思本科工程教育——学什么、怎样学，该计划遵循以下四个原则。

表1　NEET的四个指导原则

原则	内容
新机器和新系统	工程教育应关注学生在21世纪建造的新机器和新系统
创造者和发现者	学生要以创新者和发现者为己任，树牢基础知识，为职业发展做好准备
学生学习的最佳方式	以学生为中心，让学生主动参与，在课堂、项目和数字化三者中找到平衡
NEET的思维方式	这些思维方式助力学生在科技快速发展的氛围中茁壮成长

MIT对怎样培养面向未来的工程师进行了深入研究和思考，其培养理念使学生不仅可成为"制造者"，也可成为"探索者"。"制造者"有创新理念，能完整的完成思考、设计、成型和运作。"探索者"以研究为基础，运用科学手段揭示自然现象。MIT在培养工程中，更加强调思维方法训练，而非仅是获取知识。通过训练，学生的适应能力和解决问题能力得到加强。NEET提出了11项思维方式，即制造、发现、人际交往技能、个体技能与态度、创造性思维、系统性思维、批判性思维与元认知、分析性思维、计算性思维、实验性思维及人文主义思维。围绕工程人才应该成为什么样的人，11项思维方式基于此展开，体现了MIT新工程教育改革以学生为本的理念和创新实践。而在最新的阐述中[7]，NEET新增了"学习如何学习"（Learning How to Learn）理念，引导学生运用已有的11种思维进行自主思考和学习。这些思维能力与美国工程协会联合会和美国劳工部共同开发的工程能力模型[8]相呼应，构成了当前与未来学生需要掌握的核心认知力。

（三）课程体系设置

课程内容的组织架构是课程结构，也是课程目标实现的纽带，体现出一定的教育理念和价值取向[1]。在NEET的指导原则下，由工学院牵头的"项目中心课程"人才培养模式改革作为MIT大力支持的试点，聚焦工程科技发展前沿，开设自动机器（Autonomous Machines）、气候与可持续发展系统（Climate & Sustainability Systems）、数字城市（Digital Cities）和生命机器（Living Machines）等四类跨部门（跨学科）的系列"项目中心课程"[9]。这几组"项目中心课程"系列每过一段时间会重新评估，以适应工程教育的最新方向。例如：清洁能源系统最开始为"项目中心课程"的一环，但学生参与度不高，在后续过程中不再列入主要系列。而数字城市最初为气候与可持续发展系统的组成部分，但随着近几年计算机科学和城市规划结合更加紧密，数字城市最终从气候与可持续发展系统系列中独立出来，单列为一个系列课程。

NEET的课程体系包含三大要素：项目、课程、"螺旋式"路径（Threads），"螺旋式"路径穿梭在项

目和课程之间，打破二者的单向联系，如图1。项目是NEET课程的主要载体，通过面向实际应用的工程实践和多项思维能力要求的跨学科项目设计，实现将抽象的“教育目标”与具体“课程目标”落实的“连接脊柱”作用[10]。通过这种体系，知识不再是按顺序排布的“线性结构”，而是结合项目所需的内容，通过课程内容串联，以实际知识需求组织课程排布，与学生的认知实践更加契合。

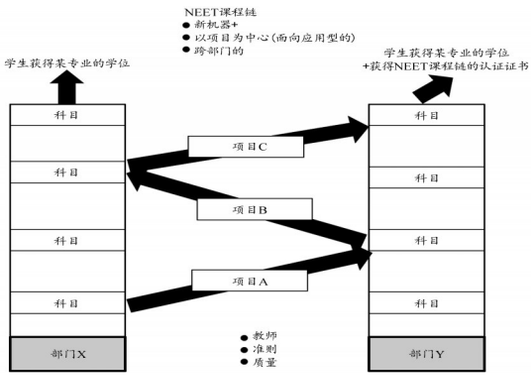

图1 NEET课程体系示例

NEET的课程体系体现了以下三点：一是纵向贯通，即由浅入深，项目实施贯穿于本科教育阶段，如图2。“项目中心课程”横贯整个本科人才培养期间，如学生满足NEET某个系列的要求，除获得学士学位外，还将获得NEET认证证书。二是横向学科交叉，强调跨学科支撑，促进相互合作。例如，“生命机器”将机械工程、生物工程和化学工程等学科结合，而“自动机器”是由航空航天学院整体规划，电气、机械和计算机等学院参与其中。项目由教师和行业企业专家共同设计实施，将科研和实践成果转化到项目设计中。项目借鉴行业企业的真实案例，加强学校与企业之间的合作，项目的实施成果反过来又可以为企业提供参考，对企业的发展也有诸多益处。三是问题导向，基于实际情境培养学生的能力，学生边做边学，在项目实施的过程中进行知识构建。

项目A(大二) → 项目B(大三) → 项目C(大四)

	A	B	C
人际关系	单人	小组	大组
场景环境	建立在基础之上	实施、操作、质量控制	市场和金融问题
计算能力	简单工具	计算工具	高级工具
个人技能	决策、道德操守	主动性、判断力	责任、灵活性
自学能力	以科目为基础	共同课题的自学	专业的自学

图2 NEET项目“纵向贯通”示例

从学生的反馈看，NEET的真实项目与其未来要参与的工作有许多共通之处，引导他们发现自己的兴趣所在，激发主动学习的热情，由此对学习的内容也能更加熟练掌握。同时，学生锻炼了思维能力，学到了新型技巧，在规划职业道路时也能够做出更好的选择。NEET重塑了学生的学习方式，学生主动性更强，也赋予了本科人才培养更多的内涵。

二、代尔夫特理工大学

（一）工程教育改革历程

代尔夫特理工大学成立于1842年，是荷兰建校历史最长、规模最大、专业门类设置最齐全的理工大学之一，在泰晤士高等教育（THE）和QS世界大学排名中长期位于荷兰第一和欧洲前列。代尔

夫特理工大学的工程教育改革不是体制机制改革的结果，也不是“从零开始发展”的结果，它的改革是渐进式的，特别注重维持其学术声誉能力。荷兰于2002年加入博洛尼亚体系，代尔夫特理工大学的学制由之前的五年本科制调整为三年本科与两年硕士的“3+2”模式。2003年，学校任命了首任教学副校长，并在2005年开始主管教学和日常运营。同年，学校又发起了一场“自下而上”的工程教育教学改革。学校为每个学院提供机会，建立跨学科机构合作，并对教学人员要求强制性的资格认证（UTQ），到2010年学校要求新的从教人员5年内需获得UTQ认证，从而使“校园教育的作用”越来越受到重视。

2011年，学校航空航天学院对课程体系和教学模式开展了系列改革，被学校列为示范性教学案例。航空航天学院意识到专业课程的统一性不够，基础学科与专业间的密切度不高，基于项目的学习和学科内容之间也缺乏相应的联系[11]。此外，学生参与性不强，所学技能与社会对工程师的要求仍有距离。为进一步变中求新、创新竞进，学院实施以设计流程为核心、项目为基础的课程方案，为开展项目式教学提供保障。

（二）人才培养理念

1. “T型”人才培养理念

代尔夫特理工大学航空航天学院要求学生既要掌握基础知识，又要具备实践能力。学生毕业时拥有广阔的知识面，具备专业知识并付诸实践。为适应产业技术革命带来的变化，学生应具备跨领域探索的能力，在学科间交叉探索，从而具备在多元知识领域和复杂情况下有组织地开展工程实践，如图3所示。

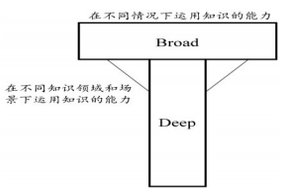

图3　“T型”人才培养理念

2. 主动学习

在教学方法上，学院以“主动学习”模式引导学生。例如：学生可通过在线课程系统，结合自身兴趣方向，开展个性化学习。在讲座型课程中，师生互动的程度明显提高，同时也反映出学生对于知识的掌握越熟练。在教学过程中，应当选择与学习目标、教学方法，以及可用资源保持一致的教学、学习及评估方法[12]。学院将基础知识与实践相结合，提供多元教学手段，引导学生主动学习，培养良好习惯。在教学过程中，除完成自主学习以及课外作业外，教学形式还包括在线课程、大型研讨课、仿真实验、项目和考试等。

3. 实际工程项目

课程与项目之间的良好衔接是培养模式中的关键，学院通过引入流程设计，对课程板块更好地进行设置。通过实际工程项目，学院可以更加系统性地为学生提供科学的设计体验。有别于传统“金字塔”课程体系，学生可以选择在不同阶段进入实际工程项目。通过项目贯穿课程体系，使得两者的连贯性更佳。学生结合自身情况以及项目要求，针对性地将理论与实践结合，系统性地锻炼工程设计、实践等能力。

（三）课程体系设置

代尔夫特理工大学航空航天学院本科生阶段的学习由六个学期组成，每个学期的周数一般为十周，除第五学期的小学期由学生自主安排外，其余学期都设有结合人才培养目标理念的工程实践

类项目。如表2所示，第一学期是基础探索，学生参与小型项目，对未来的知识框架建立初步概念；第二学期以概念性的设计与施工为主，学生能进一步完成质量更高的产品输出；第三学期是系统设计，学生扮演的角色更为重要，目标和输出要求也更高；第四学期是模拟分析测试，学生应学会对结果的反思；第六学期学生可选择专业相关的任何领域完成毕业设计项目[13]。通过以上主题项目训练，学生能够身临其境地感受设计体验。

表2 代尔夫特理工大学航空航天学院教学项目概况

	第一学期	第二学期	第三学期	第四学期	第五学期	第六学期
项目	探索航空航天工程	设计与施工	系统设计	模拟、测试、分析	模拟、验证	设计综合
角色	初学者	结构工程师	首席工程师	数据分析师 测试工程师	验证工程师	系统工程师
培养目标	基础知识 兴趣培养 团队合作 认知能力 操作技能		计算机软件和编程技能 团队协作能力 规划、设计和能力		综合能力 批判性思维 报告写作 合作交流 解决问题能力等	
产品输出	小型设计 测试报告等	设计报告 生产计划等	设计图纸 关于设计过程的论文等	科学报告 反思报告等	模拟计划 分析报告 综合报告等	设计报告 项目计划等

结合课程体系，学院每学期会设置主题课程，引导学生开展有针对的学习，学习内容涵盖基础知识与实践技能。课程体系包括三个板块：项目与设计、工程与技术、基础工程科学。此外，六个主题性强的项目能进一步激发学生兴趣，学生通过连续的实际项目获得实践经验。在项目设计过程中，针对工程技术、团队协作、沟通交流、信息要素、报告写作等学生应掌握的能力进行重点布置。课程改革既包括开发新课程，又包含对已有课程的重新设计或微型调整，从而使教学方式、学习内容、学习成果等更好地满足人才培养目标。通过项目课程内容，学生加强了专业技能，也为他们自身未来的发展打下了良好基础。

针对项目式教学中出现的学生自学学习能力较差、项目流于形式等问题，学院采取多元化和科学化的形成性评价进行考核，学生的成绩最终由教师、助教和学生交互测评组成。考核形式包括成果报告（小组）、学生个人的表现（个人）、项目完成时的个人陈述（个人）和学生交互测评（个人）。学院针对每项考核形式都制定了评分细则和解释办法，确保评价过程中的公平公正。

三、欧林工学院

（一）工程教育改革历程

富兰克林·欧林工程学院（简称欧林工学院）以工程师、企业家和职业运动员富兰克林·W·欧林（1860—1951年）的名字命名。1938年，欧林先生将大部分个人财富转移到了一个私人慈善基金会。自成立以来，欧林基金会授予总额超过8亿美元的赠款，用于在58个大学校园内装配建造78座建筑物。1997年，基金会开始筹建欧林工学院，基金会的雄厚支持使欧林工学院在设计其培养模式时能够“从头再来”。2001年，学院首任校长理查德·米勒（Richard Miller）提出了“Invention 2000”规划，基于该规划，学院招聘了第一批教职员工并邀请了30名“欧林伙伴”（Olin Partner）参与设计课程。“欧林伙伴”们住在临时宿舍并在高中毕业后的一年时间实施考察评估机制，建立学生文化，并且试

验了各种工程教育，学院于2002年8月迎来了第一届新生[14]。

欧林工学院响应美国国家科学基金会、美国国家工程院、认证组织和企业界对工程教育进行根本性改革的呼吁，为了让学生更好地应对21世纪的挑战，这些组织机构建议工程教育应更多地进行基于项目的学习、跨学科教学，更加强调创业精神、团队合作和沟通。学院将这些建议连同其自身的创意理念融入创新实践课程中，作为工程教育的新模式而受到全世界的关注。学院的工程教育秉承文化传统，重点关注艺术、人文、社会科学、创业和设计。

2021年1月，吉尔达·巴拉比诺（Gilda A. Barabino）接任欧林工学院校长，随后与团队一起共同起草完成了《战略规划：以影响力为核心的教育（2022—2027年）》[15]。该战略规划的核心理念为“面向每个人的工程教育”（Engineering for Everyone），该理念包含两层含义：第一，工程教育需要面向所有人，扩大工程教育参与度。美国国家科学基金会认为，目前的工程教育排除了大量可能进入该领域学习的人，损害了个人、社会和经济。为了应对这一挑战，工程教育应该欢迎各种教育背景的人，并能够让他们取得成果。第二，工程作为一种职业必须为每个人服务。人们需要超越工学的学科视角，超越工学的定义，即“用科学来解决技术问题”。工程师需要跨越学科界限，不仅要问“我们如何构建造它”，还要问“这是给谁的”“为什么要构建它”“还有谁受到了影响”和“我们应该建造它吗”，培养谦逊精神，认识到工程教育的局限性，并与其他领域的专家合作。工程教育不仅要培养优秀的“工人”，更要培养优秀的“人和公民”。

（二）人才培养理念

欧林工学院首任校长理查德·米勒提出“想前人不敢想，且排除万难去实现之”[16]的创新人才培养理念，以此来改变世界，其本人于2017年荣获布鲁克国际教育奖。欧林工学院在校生仅有330余人，师生比约为1∶8，不细分院系，开设电子与计算机科学、机械工程和“工程+”三个专业方向。欧林工学院独具特色的本科人才培养模式，使其作为后起之秀在工程教育界脱颖而出，《普林斯顿评论》将其评为2020年最有价值的学院。

“欧林三角”模型（Olin Triangle Model）可视为欧林工学院培养理念的具体描述，由卓越工程、人文艺术和创业精神构成，如图4所示。卓越工程位于顶点，表示培养学生获得稳固的基础知识。与传统的授课型教学不同，学生通过项目制课程所学的知识紧贴实际生活，更具现场意境。创业精神引导学生在金融市场等领域深入了解，培养学生团队协作、有效沟通、合理配置资源等能力，学生在培养过程中树立价值观和伦理观。人文艺术使学生能够更加全面的思考，学生在创造力和产品设计能力上也能得到进一步提升。

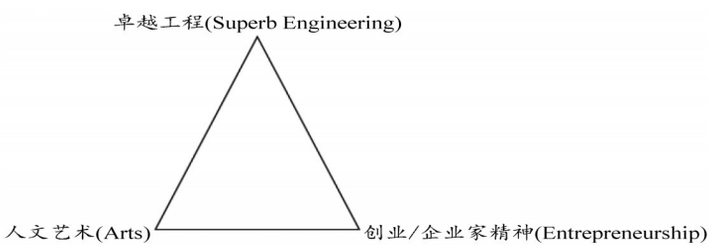

图4　“欧林三角”人才培养理念

（三）课程体系设置

在“欧林三角”的培养模式下，学生需在五个领域共计修满不少于120个学分，每个领域均有相应要求。如表3所示，在本科学习阶段中，学生每学期须修读12~20个学分，其中第一学期通常需修读18个学分。课程的分值通常为4个学分，学生每周花费12小时上课、做作业、参加实验活动，以及完成课程的其他特定要求。

表3 欧林工学院必修学分要求

“欧林三角”	课程类型	最低学分要求
卓越工程	工程(ENGR)	46学分
	数学(MTH) 科学(SCI)	30学分,其中数学至少10学分
创业精神(E) 人文艺术(AHS)	人文艺术和创业精神(AHSE)	28学分,其中人文艺术至少12学分

欧林工学院在知识内容上将课程分为四类(ENGR、SCI、MTH、AHSE),以基础(Foundation)、专业(Specialization)和实践(Realization)设置课程难度。如表4所示,第一至第三学期为基础阶段,学生需要学习的领域包括工程原理、理科课程、人文艺术等。学生掌握基本数学和自然科学知识后,在专业知识学习上能够准备得更加充分。第四至第六学期是专业阶段,学生结合已学知识和自身兴趣方向确定专业,在相关领域进一步深入学习。单独的数学和自然科学课程不在此阶段开设,而是以工程类的专业课为主,人文艺术类课程为辅。学生更多地参与实际工程项目,边做边学。第七和第八学期为高级顶端工程项目(SCOPE),包括工程实践和更为顶端的工程项目设计。

表4 欧林工学院课程体系示例(“工程+”方向)

学年	学期	课程				
一	1	分布系统(ENGR)	物理世界模拟(MTH、SCI)	设计导论(ENGR)	人文艺术	
	2	空间分布系统(ENGR)	微积分(MTH)	物理(SCI)	生物与材料科学(SCI)	商企管理(AHSE)
二	3	线性代数与统计(MTH)	工程原理(ENGR)	化学、数学与材料学(SCI)	人文艺术类	
	4	数学科学类	专业工程项目(ENGR)	专业工程项目(ENGR)	面向用户的协同设计(ENGR)	
三	5	选修课程	专业工程项目(ENGR)	专业工程项目(ENGR)	人文艺术	
	6	选修课程	专业工程项目(ENGR)	选修课程	人文艺术/商务	
四	7	数学科学	高级工程项目设计(ENGR)	高级工程项目设计(ENGR)	人文艺术/商务	
	8	选修课程	高级工程项目设计(ENGR)	高级工程项目设计(ENGR)	人文艺术/商务	

欧林工学院的课程教学改革具有多重特点。第一,以实践为核心,打破理论在前实践在后的情况,让学生边做边学。学生入校后即接触工程问题,这些问题通常与实际生活关联度极高,学生要主动动手设计。教师辅助、引导学生“发现问题—设计制作—形成方案”,学生在这个过程中主动学习,了解理论知识,提升实践能力,从而由被动的“传授”向主动的“学习”转变。第二,以学生为中心,学生在课程设计、招纳新生和学院组织的各类活动中发挥更多作用。学生可自定专业和选择课外活动,追求自己的职业兴趣。第三,跨学科思维和团队合作能力并举,培养领导能力。例如,第一学年必修的QEA(Quantitative Engineering Analysis)课程,其中一个模块要求学生设计一艘满足某些要求的船,并使之能浮起来。学生最开始自主查资料、做实验,但大都失败。随后教师启发学生需要建立一个模型,并使用Matlab仿真软件去分析和优化设计。优化后,大部分小组设计的船都能浮起来,但仍有部分达不到要求。教师随后把大家聚在一起,分析为什么达不到要求及如何去改进。

在此过程中，学生将线性代数、力学、多元微积分和虚拟仿真等知识融合，再通过机械设计与制作的知识进行实践，学生学会从失败中找到问题并解决它们。在跨学科融合的过程中，各种冲突矛盾不可避免，而学生需要学会怎样沟通协调，怎样倾听与表达不同意见，从而最大程度地化解矛盾。在跨学科知识的碰撞、不同思想观念的交锋，以及反复的试验过程中，学生的口才、领导力、团队合作精神等得到很好地锻炼和提高[17]。第四，以人为本的课程设计、设计思维能力贯穿培养全过程。专注设计思维训练与工程实现相结合的设计课程至少有5门，占课程总数的20%以上，包括第一学年的设计导论（Design Nature），第二学年的工程原理（Principles of Engineering）和面向用户的协同设计（User-Oriented Collaborative Design），第三学年的深度设计（Design Depth），以及第四学年的高级工程项目设计。第五，在工程教育中渗透人文艺术教育。欧林工学院利用毗邻的人文艺术类学校的教师和课程资源开设人文艺术课程，通过情景式学习，将人文艺术与工程教育相结合，学生对人性、价值观和社会观等进一步加强认知，并掌握工程应用的背景环境，进而为人类追求高品质生活而服务。

四、三所高校工程教育实践的启示

三所高校均进行了多元化系统性的工程教育改革，不仅对本校的本科人才培养模式进行了系统性改造，也对世界范围内工程教育改革产生了深远影响。对三所高校的研究有以下几点启示：

一是改革培养模式，更新培养理念。在新一轮科技革命和产业变革背景下，工程教育的人才培养模式面临各种挑战。在此情形下，三所高校顺应时代需求，创新理念，革新培养模式，为地区、国家及世界的工程教育提供了范例。首先，学生需对“设计”和“制造”有深入的认知，结合时代背景、用户需求、伦理道德、人文关怀等因素，思考产品的市场性能。其次，强调杰出与革新，将学生培养为创新者和领导者。学生专业基础知识扎实，认真思考社会需求，能够在不同的场景下解决困难问题。最后，以问题为导向，培养学生的新型思维，激发学生创新力，为学生在今后的探索实践打下基础。值得注意的是，三校的改革路径不尽相同。MIT是在传统模式下新增板块，代尔夫特理工大学则是循序渐进式改革，欧林工学院更是“从头再来”。

二是构建项目体系，打通学科壁垒。传统以学科为中心的工程教育通常为理论在前、实践在后的模式，有时未能发现知识界限的动态发展和外部联系，无法打通学科边界，阻碍知识互联，学生解决复杂问题的能力得不到提高。MIT以“螺旋式”路径串联，构建横纵结合、由浅入深、相互关联的课程与项目。代尔夫特理工大学以主题项目为依托，引导不同阶段的学生完成培养目标、输出产品，在此过程中融会贯通。欧林工学院以项目为基础开展学习，通过项目组织课程内容，以环路的形式关联不同学科知识，培养了学生寻找问题、思考方案、构建实施的能力。

三是以学生为中心，探索多种路径。学校应充分考虑学生的个体差异，运用多种教学手段，提供多元化的培养路径。MIT围绕学生的需求，提出11种思维方式，为未来不同的职业做好准备，给予学生充分的选择空间。代尔夫特理工大学以“T型”人才为培养理念，以主题设计贯穿培养过程，结合真实的工程项目，学生加强了专业技能，也为他们自身未来的发展打下了良好的基础。欧林工学院的“欧林三角”以学生为中心，课程结构合理、知识领域丰富，注重融合内容，发掘潜力，鼓励学生发现问题、提出问题，在培养工程师的同时也赋予学生自我价值的实现。

五、结语

我国是工程教育大国，但仍面临着大而不强的局面。传统的工程教育的知识体系仍主要以学

科为中心，知识体系相对静态化、与工程实践脱节、培养模式缺乏创新性，学生解决复杂问题的能力不强等问题制约着我国工程教育的创新发展。为了顺应第四次工业革命的发展，建设创新型国家、推动产业升级和培育经济发展新动能，我国正以新工科建设驱动高等工程教育改革与发展，努力培养爱国敬业、具有突出创新力、善于解决复杂问题的卓越工程师。以天津大学、重庆大学等为代表的高校正在加速推进新工科建设，重庆大学与政府、企业建立明月湖-重庆大学新工科教育科创平台，开设明月科创实验班，实施以项目为驱动的新工科教学模式，打破传统学科分类界限，促进学生跨界思考以产生新的知识和创意，并能够在学习、思考和实践中突破现有学科领域边界，形成设计思维、工程思维和系统思维等创新核心能力，培养适应“新经济、新业态、新产业、新技术”的未来产业创新领军人才，已初显成效。

但我国目前新工科人才培养模式、机制改革仍然需要在以下四个方面加以深化。

一是要突破学科基础导向，转为国家战略和产业需求导向，洞察人类需求、把握产业发展的新方向；二是要持续有效更新工程人才的知识体系、课程体系和教学体系；三是明晰未来经济社会发展的新工科人才特征和需求，实施科教融汇、产教融合，创新工程教育方式手段，形成理论与实践结合，且更加有效的个性化人才培养模式，从而开阔学生的国际视野，培养学生的创新精神、工程伦理和生态思维，提高学生的工程科技创新、跨学科及跨界能力；四是建立全周期、立体化、多维度、闭环式的工程教育评价标准和评价体系，进而努力建设世界一流的高等工程教育，走出一条具有中国特色的杰出工程人才自主培养之路。

参考文献：

[1] 朱伟文，李亚东. MIT“项目中心课程”人才培养模式解析及启示[J]. 高等工程教育研究，2019(1)：158-164.

[2] 朱佳斌，张国洋，刘群群，等. 代尔夫特理工大学项目式教学的实践与启示[J]. 高等工程教育研究，2019(3)：81-86.

[3] Graham R. The global state of the art in engineering education, survey report commissioned by MIT, Phase I (overview), 2016-12[R]. 2018-01.

[4] 马万里. “课程—项目”工程人才培养研究——以麻省理工学院、欧林工学院为例[J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版)，2021，34(6)：148-155.

[5] 陈厚丰，张凡稷. 近十年我国高等工程教育的发展轨迹、困境与路径抉择[J]. 大学教育科学，2021，12(5)：60-68.

[6] 林健. 第四次工业革命浪潮下的传统工科专业转型升级[J]. 高等工程教育研究，2018(4)：1-10，54.

[7] MIT. About the NEET Program[EB/OL]. [2023-10-9]. https://neet. mit. edu/about.

[8] American Association of Engineering Societies and the U. S. Department of Labor, “Engineering Compete-ncy Model”[EB/OL]. [2023-10-9]. http://www. aaes. org/model.

[9] MIT. NEET Threads[EB/OL]. [2023-10-9]. https://neet. mit. edu/threads.

[10] Graham R. The global state of the art in engineering education, survey report commissioned by MIT, Phase I (overview), 2016-12, Phase II (deep dive into four institutions)[R]. 2018-01.

[11] 齐方奕. 代尔夫特理工大学的工程教育课程改革：系统审视与经验启示[J]. 高等教育研究学报，2020，43(2)：75-81，94.

[12] Aldert K, Renate K. Making Curricular Change: Case Report of a Radical Reconstruction Pr-ocess[C]. Proceedings of the 9th International CDIO Conference. Massachusetts: Massachusetts Institute-of Technology and Harvard University School of Engineering and Applied Sciences, 2013: 243-245.

[13] Kamp A. The trail of six design projects in the Delft bachelor Aerospace Engineering[C]. Proce-edings of the 8th International CDIO Conference, 2012: 352-355.

[14] Olin College of Engineering. About Olin[EB/OL]. [2023-10-9]. https://www. olin. edu/about.

[15] Olin College of Engineering. Strategic Plan: Impact-Centered Education, 2022—2027[EB/OL]. [2023-10-10]. https://www. olin. edu/about-presidents-office/strategic-plan-2022—2027.

[16] 于海琴，陶正，王连江，等. 欧林：打造工程教育的“实验室”(下)——访欧林工学院校长理查德·米勒[J]. 高等工程教

育研究,2018(4):40-44,71.
[17] 袁广林. 欧林工学院:工程教育的一种新范式[J]. 高教探索,2022(1):80-86.

The project-oriented talent training model in engineering education: practice and enlightenment from European and American universities

LI Zhengliang[a], YU Chenlong[b], DONG Lingyan[b]
(*a. School of Civil Engineering; b. Undergraduate School, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China*)

Abstract: At current time, a new round of technological and industrial transformation is in full swing, and in the journey towards Chinese path to modernization, higher engineering education is shouldering an important mission and urgently needs to be reformed. Playing an important role in this reform, project-oriented talent training model has been expanding its influence and application. This article selects three representative universities in Europe and America: MIT, TU Delft, and Olin College of Engineering, which have traditional advantages in engineering education and walk in the forefront of engineering education reform. By analyzing the project-oriented talent training model of the three universities in three aspects: history of engineering education reform, concepts of talent training, and construction of curriculum system, this article summarizes how this model is based on the student-centered idea, and its characteristics such as breaking down disciplinary barriers, developing engineering skills, strengthening team collaboration, and reflecting humanistic literacy, as well as its enlightenment for engineering education reform in China.

Key words: talent training model; engineering education; project-oriented; universities in Europe and America

(责任编辑　梁远华)