

DOI: 10.16750/j.adge.2025.03.013

产教共生发展引领卓越工程师培养

——密歇根大学制造业工程博士项目的透视

马万里 马永红

摘要：新时代卓越工程师培养的根本动力来源于社会需求，培养逻辑遵循知识生产模式转型要求，知识生产主体与场所的异质性与弥散性是其本质特征，产教共生发展是其理想选择。密歇根大学作为较早设置工程博士学位专业学位项目的高校，在制造业等工程领域具备强劲实力。其制造业工程博士学位项目基于跨学院协同与产业界形成互利共生关系协同育人，以资源非线性聚合提升质参量的共生度，以多学科人员链式交互提升质参量的关联度，以开放合作网络搭建营造正向共生环境，推动知识生产组织结构从传统知识生产模式 I 的线性分割转变为多元知识生产模式并存的集成融合，凸显知识生产过程中产学组织边界的融合与卓越工程师培养过程中产学知识生产协同体的共生发展导向。

关键词：卓越工程师培养；共生理论；密歇根大学；工程博士；产教融合

作者简介：马万里，河南大学教育学部校聘副教授，河南省专业学位培养研究中心研究员，开封 475004；马永红（通讯作者），北京航空航天大学人文社会科学学院教授，北京市哲学社会科学研究生教育改革与发展研究基地首席专家，北京 100191。

一、问题提出

2021年9月，习近平总书记在中央人才工作会议上指出，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。2022年3月，教育部正式启动卓越工程师产教联合培养行动。2022年9月，首批18个国家卓越工程师学院建设单位联合发布《卓越工程师培养北京宣言》，强调要始终致力协同联动，充分调动校企积极性，实现工程技术人才培养和工程实践深度融合。卓越工程师作为国家四类战略人才之一，是支撑我国高水平科技自立自强的重要力量。新时代卓越工程师培养的根本动力来源于社会需求，培养逻辑遵循知识生产模式转型要求。依靠高校人才供给侧与产业需求侧的精准对接，推动国家创新体系中大学知识创新体系和企业技术创新体系之间的充分协同，是高质量培养卓越工程师的必然选择^[1]。从知识流动视角来看，学生本身尤其研究生是大学与企业之间知识转

移的重要渠道。有研究发现产学合作过程中大多专利来自硕士生和博士生的研究，而且在与行业的合作中有助于减少技术研发过程中的障碍，加速创新活动的产生^[2]。这意味着高校与企业合作开展人才培养不仅是确保未来产业所需人力资本的重要且有效的方式，也可以有效平衡校企双方因知识生产冲突产生的张力^[3]。但既有研究来看，我国高等工程教育与产业发展对人才的需求存在较大差距，高等工程教育和高新技术产业耦合协调度有待进一步提高^[4]，校企联合不紧密仍是困扰卓越工程师培养的难题^[5]。

密歇根大学（University of Michigan）创建于1817年，是世界范围内以工科闻名的研究型大学。作为美国高等工程教育领域的学术重镇，密歇根大学拥有全美最高的科研预算，尤其在制造业等工程领域具备强劲实力。2024年全美最佳工业/制造业/系统工程项目（Best Industrial/Manufacturing/Systems Engineering Programs）排名中，密歇根大学该项目位列第二^[6]。凭借制造业领域的优势，密歇根大学

基金项目：2024年度教育部人文社会科学研究青年基金项目“战略性新兴产业与工科研究生教育共生发展研究”（编号：24YJC880097）

于 2006 年设置制造业工程博士学位 (The Doctor of Engineering in Manufacturing, D. Eng. in Mfg.), 旨在培养能够对制造业的技术进步与企业发展做出贡献的行业领军人才。美国作为世界上率先设置工程博士学位的国家, 已经形成了较为成熟的工程博士学位研究生培养模式。密歇根大学作为工程博士学位授予的主要高校之一, 在工程博士学位研究生培养方面亦积累了丰富的实践经验。同时该校也是美国半导体研究联盟 (Semiconductor Research Corporation) 的成员高校之一, 在美国等西方发达国家“再工业化”的战略背景下, 系统剖析其制造业工程博士项目 (Manufacturing Program—Doctor of Engineering in Manufacturing, 以下简称“DEM 项目”), 对构建卓越工程师培养联合体与推进教育、科技、人才“三位一体”协同融合发展具有重要的理论价值与现实意义。

二、理论基础

共生 (symbiosis) 源于生物学领域, 最初主要研究不同生物之间的共生关系在促进生物进化方面的作用^[7]。之后的研究中学者们将共生抽象为不同属性的物质之间建立联系, 从而形成的共同生存、相互促进或抑制的关系^[8]。尾关周二认为“共生”以异质性为前提, 正是由于不同主体在价值、规范、目标方面存在差异才能够建立起“相互生存”的关系^[9]。1998 年, 袁纯清在《共生理论——兼论小型经济》一书中用共生单元、共生模式和共生环境作为“共生三要素”来描述共生的本质^[10], 由此形成共生理论的基本分析框架。

根据共生理论, 共生的形成受到共生单元内部因素与共生环境外部因素的共同影响。首先, 共生单元间质参量与象参量的相互作用是共生关系形成与发展的内在根据和基本条件。质参量是共生单元一系列基本活动要素的表达, 反映共生单元的内在性质, 其变化会导致共生模式改变并推动共生系统的发展与演化。象参量是描述共生单元外部特征的因素, 其变化对共生关系的影响十分缓慢, 因此本研究不考虑象参量的作用。异质性共生单元之间建

立共生关系或形成共生模式, 由质参量的共生度与关联度决定。其中, 质参量的共生度代表共生单元之间的内在联系与相互作用的程度, 决定共生的行为模式; 关联度用来描述异质性共生单元之间组织关系的强弱, 决定共生的组织模式; 两者共同反映共生单元之间相互表达与相互影响的能力。共生单元之外的影响因素构成共生环境, 包括正向环境、中性环境和负向环境。共生系统中的物质、信息、能量交换离不开共生环境支持, 共生环境与共生单元之间主要通过物质、信息和能量的交流产生相互作用。综上分析, 共生单元间质参量的共生度与关联度决定了共生关系的强弱, 共生环境对于共生关系的影响是外生且难以抗拒的。因此, 共生单元之间、共生单元与共生环境之间的相互作用共同推动共生单元间適切共生模式的形成。

对本研究而言, 参与工程博士研究生培养的不同院系、相关企业基于人才培养与知识生产的共同价值追求开展合作, 不同主体之间通过资源互补获取关键的人才培养资源, 形成组织之间的“一致行动”与“稳态联结”, 因而不同共生单元质参量之间以及共生单元与共生环境之间具备相互表达与相互影响的能力, 符合共生发展的要求。工程博士研究生培养是高校处理“教与学”“师与生”“校与企”之间关系问题的综合表述^[11]。因此课程体系设置与师资队伍建设能够代表不同院系与相关企业围绕工程博士研究生培养投入的主要活动要素的交互程度, 反映共生单元间质参量内在联系与相互作用的程度以及共生单元间组织关系的强弱, 决定产学共生的行为模式与组织模式。卓越工程师培养联合体构建是深化卓越工程师培养改革的重要举措^[12], 多元主体通过搭建研究与实践平台形成的开放合作网络环境能够为产学共生提供联结并减少共生阻尼, 对共生关系起正向激励作用。综上分析, 本研究拟从课程体系、师资队伍、研究与实践平台三个方面剖析 DEM 项目特征, 从产学共生发展视角探究新时代卓越工程师培养的关键要素。

三、DEM 项目特征

DEM 项目隶属于密歇根大学工学院中的集成

系统与设计部 (Integrative Systems+Design, ISD)。ISD 通过整合工学院与其他学院学科资源 (如人文、商业等), 主要围绕“制造系统与质量工程 (Production Systems and Quality Engineering), 制造设计与可持续性 (Manufacturing Design & Sustainability), 先进材料设计与制造, 包括纳米制造、数字化制造与增材制造 (Advanced Materials Design & Manufacturing, Nano/Digital/Additive), 安全、健康与生态 (Safety, Health, & Ecology)”等四个领域为参与 DEM 项目的博士生提供可选的研究方向^[13]。

DEM 项目的使命是通过对先进工程技术与管理技能的学习、交流与应用, 培养具备竞争力的卓越工程师和智能制造领域的技术领导者。在其使命愿景的引领下, ISD 对有志于参与 DEM 项目的申请者设置了两项硬性标准。首先, 申请者必须具备工程领域 (如航空航天、电气工程与计算机科学、机械工程等) 的学士/硕士学位或工商管理硕士学位 (Master of Business Administration), 并且至少有一个工程方面的学位 (学士/硕士) 通过美国工程技术认证委员会 (Accreditation Board for Engineering and Technology, ABET) 或国际同等机构的认证。其次, 申请者在入学前必须具备相关行业的工作或实习经验^[14]。严格的招生标准旨在保障人才培养目标的顺利实现。DEM 项目将工程博士专业学位研究生的培养目标划分为知识、技术与综合素质三个层面的要求。在知识层面, 博士生应具备工程领域的专业知识深度并拥有跨学科的知识广度; 在技术层面, 博士生应具备跨工程学科的视角去甄别、规划、解决复杂工程问题的能力以及进行高质量工程研究和开发的技能; 在综合素质方面, 博士生应具备领导项目团队的能力和商业管理能力以及超越工程范畴的广阔视野。在以上三个方面培养目标的要求下, 获得工程博士学位必须完成一篇与工业相关、以工程实践为导向的论文, 最终培养出具备工程领域、跨工程领域以及超越工程领域的广阔视野与综合能力且能够在工程领域和社会中创造持久价值的领导者。DEM 项目严格的招生标准与毕业要求为其人才培养目标的实现保驾护航。在此基础上, ISD 基于

跨学院协同整合产业界资源, 对 DEM 项目的课程设置、师资队伍建设以及科研训练与实践等具体培养环节开展了一系列探索与改革。

(一) 以资源非线性聚合设置课程体系

DEM 项目要求博士生入学第一年必须以“全日制”形式在校开展课程学习并修满至少 18 个学分。其中, 博士生至少修满 12 个学分的专业类课程, 包括至少 9 个学分 (3 门课程) 的专业核心课程以及至少 3 个学分 (1 门课程) 的工程领域内拓展研究广度的课程。选修类课程至少修满 6 个学分, 包括跨学科课程以及职业发展课程。除此之外, DEM 项目在课程选择上赋予博士生更加充分的自主权: 每名博士生可以拥有 6 个学分的“自由额度”。这 6 个学分可以通过选择其他学院的课程完成, 也可以来自校外的认证机构, 还可以是硕士期间在本校修读的课程 (不计入获得硕士学位的课程学分中)^[15]。无论如何选择, 博士生必须达到专业类课程考核标准 (GPA 大于 3.5) 才能顺利进入下一阶段的资格考试 (preliminary examination) 环节。一般情况下, 博士生要在第二学年结束之前进行资格考试, 只有顺利通过资格考试才能正式进入“工程博士候选人”的研究与实践阶段。

从课程类型上看, DEM 项目的课程设置注重跨学科融合与多领域交叉, 包括了专业基础课程、专业核心课程、跨学科课程与职业发展课程。专业基础课程侧重事实描述, 课程内容强调工程领域的综合性与系统性, 主要为博士生未来职业发展奠定坚实基础。专业核心课程涉及制造业领域的新兴前沿技术。目前 DEM 项目围绕自动化过程控制、计算方法与仿真、工业大数据分析、供应链与产品生命周期管理、可持续制造与循环经济等五个核心领域开设相关课程, 旨在为制造业领域的工程实践与研究提供技术支持。跨学科课程旨在促进不同学科之间的交叉融合, 使博士生具备跨工程领域与超工程领域的宽广视野, 拓展其未来职业发展的深度与广度。职业发展课程包括工程领导力、企业家精神、商业管理等领域的的内容, 培养博士生的职业素养与综合能力。不同课程类型中涵盖的部分具体课程如表 1 所示^[16]。可以看出, DEM 项目的专业基础课程

表1 DEM项目部分具体课程

课程类型	课程名称
专业基础课程	全球制造、系统工程导论、智能制造系统
专业核心课程	集成产品开发、微机电系统、技术系统可持续设计、机器学习、可再生能源工艺基础
跨学科课程	可持续发展战略、环境政策、质性研究方法、财务管理原理、工业生态学
职业发展课程	供应链管理、科学家与工程师创业商业基础、新产品与创新管理、创新方针

主要为博士生解决工程问题提供理论与方法指导；专业核心课程旨在提升学生跨工程领域的集成创新能力，为有效解决工程领域复杂综合问题提供技术支持；跨学科与职业发展课程旨在通过多学科、不同研究领域的整合，培养博士生系统的思维方式与广阔的研究视野。除课程学习之外，博士生还必须参与有关学术研究规范的工作坊，以确保后续论文研究工作的顺利开展。

从产业发展视角来看，“再工业化”的核心并不是简单地提高制造业产值比重，而是通过新一代信息技术与制造业融合、制造与服务融合来提高复杂产品制造能力以及快速满足消费者个性化需求的能力，使制造业重获竞争优势。从卓越工程师培养要求来看，博士层次的卓越工程师必须具备对所在专业领域发展的战略研判能力^[17]。DEM项目通过学院间纵向延伸、产业界横向拓展，实现不同院系、企业等共生单元之间质参量的深度交互，以资源非线性整合方式构建了具有交叉性、灵活性和前瞻性的课程体系，实现了校企双方人才培养的互通。具体来看，主要体现为重视提升专业素养与核心技能的专业课程学习；提倡拓展研究广度的多领域交叉融合的跨学科课程学习；强调培养工程领导力与综合素质的职业发展课程学习。DEM项目在搭建前沿技术与制造业融合的课程结构基础上，注重丰富博士生工程领域的知识储备并拓宽博士生工程领域的研究视野与思维方式，通过体系化的课程设置回应了培养目标对人才定位的要求，又较好地适应了产业发展对高层次工程科技人才的需求，有效平衡了卓越工程师培养过程中学科逻辑与产业逻辑两者间的张力。

（二）以多学科人员链式交互组建师资队伍
知识生产模式转型对不同学科之间的整合不仅

体现在知识类型上，更映射为跨学科、多学科领域研究人员在不断地交流与协作之中引发的链式反应与社群裂变^[1]。DEM项目通过专职聘任与兼职引进的方式整合了校内外不同学科领域的师资力量共同开展教学与研究工作，为工程博士专业学位研究生培养提供强力支撑。截至2023年1月，DEM项目配备了来自校内外11个不同组织机构共计31人的师资队伍，包括项目导师、授课教师以及兼职教授等不同类型的师资力量，组成了覆盖制造业不同领域的研究团队。师资队伍具体分布如图1所示^[18]。

DEM项目通过联合校内外人力资源为工程博士专业学位研究生培养引入跨学科师资队伍与兼职教师，不同院系、企业等共生单元之间通过人力资源的流动与共享实现大学与产业部门人员跨空间合作。这种质参量相互影响和能量交换的过程推动产学双方朝着共生组织化程度提高与共进化作用增强的方向发展，进而形成稳定的共生关系。“师资交互”为工程博士专业学位研究生跨学科知识的习得与制造业交叉领域复杂问题的解决提供了“通达之路”。从产业发展视角来看，随着“云物大智”等新一代信息技术加速向制造业领域渗透，先进制造业逐渐凸显互联、数据、集成、创新等显著特点，制造业智能化转型已经成为世界先进制造业的发展方向。DEM项目组建的不同学科人员涉及的研究领域全面覆盖先进制造业发展所需的技术创新、生产过程和产品研发层以及促进制造业智能化转型落地的应用场景层，在满足先进制造业发展对高层次复合型工程创新人才需求的同时也为卓越工程师的职业发展提供多元化路径选择。从卓越工程师培养要求来看，不同学科领域教师的学术互动以及校内外导师共同指导对工程博士生实践创新能力的培养起着至关重要的作用^[19]。DEM项目中，校内导师的主要职

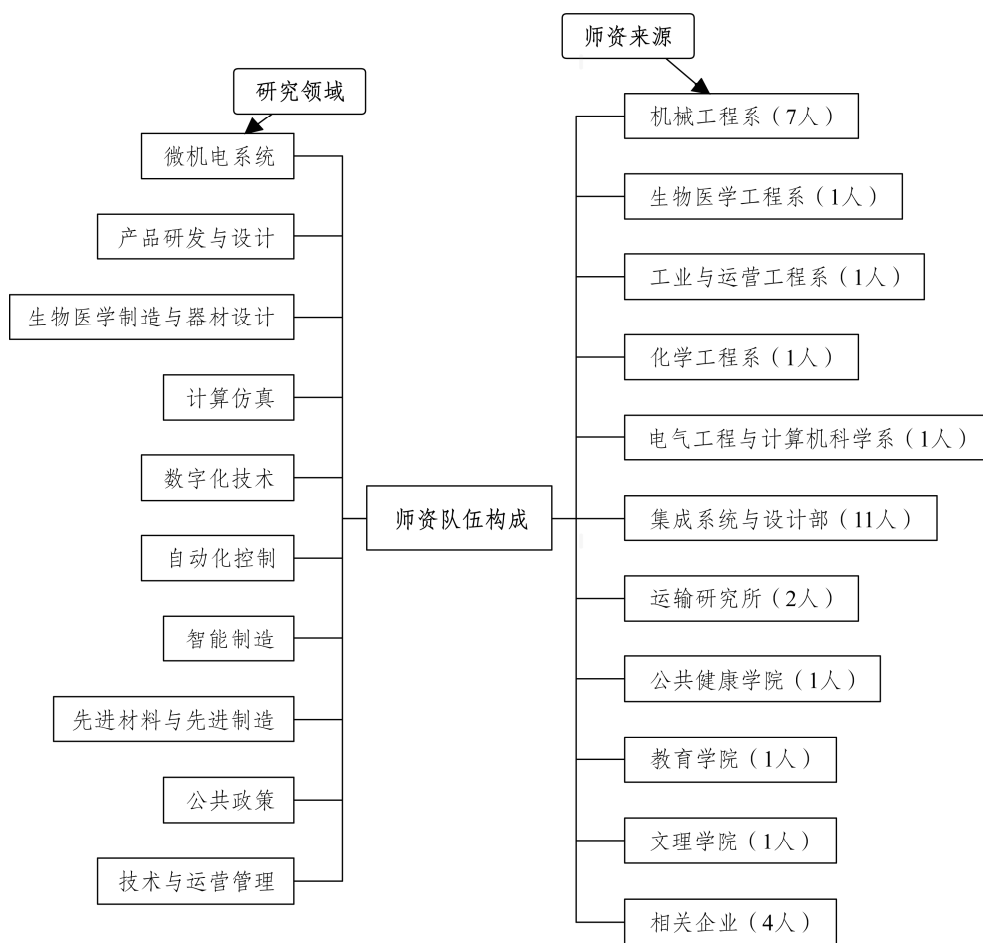


图1 DEM项目师资队伍构成

责是保障博士生的学术研究水平，确保其学术研究达到博士层次的基本要求。企业导师的主要职责是管理博士生参与的研究与实践项目并负责提供技术支持，保证其研究的实践创新导向与实际应用价值。在跨学科多组织人员的密切合作过程中，博士生可以接受并汲取教师团体与导师个体不同组织的经验知识，促进实践创新能力的增长，实现课程学习与科研、实践与就业的有效衔接与平稳过渡。

（三）以开放合作网络搭建营造正向共生环境

密歇根大学在物理空间上呈网格状开放街区布局，是推进创新链、产业链、人才链、教育链深度互补融合、驱动区域产业转型升级和高质量发展的典型^[20]。依托密歇根大学对不同主体优势资源的整合，DEM项目为其人才培养提供了众多跨学科合作机会与多样化研究与实践平台。

1. 跨学院协同整合，提供跨学院合作机会与研究平台

跨学科培养研究生是世界研究生培养的发展趋势，也是高层次工程创新人才培养的重要手段。从知识生产模式转型视角来看，专业学位的知识生产基于应用情境，具有跨学科性质且强调研究的应用价值与社会作用，知识生产主体与场所的异质性与弥散性是其本质特征^[21]。美国研究型大学主要通过“创建独立建制的跨学科研究机构、学院内部整合、跨学院协同、研究生院统筹组织”等四种路径转变知识生产组织结构，跨学科培养研究生^[1]。DEM项目依托跨学院协同的组织方式为不同研究方向的工程博士生提供跨领域交流学习机会。例如，生物医学工程学位项目（Biomedicine Engineering）是工学院与医学院联合罗斯商学院（Ross School of

Business) 共同设置的跨学科合作研究计划^[22]。该项目汇聚了三个学院在工程、医药、商业与创业等不同领域的优势, 设置了生物材料与再生医学、生物技术与系统生物学以及医疗产品开发等涉及生物医药制造的研究方向。工程博士生可以通过参与这些领域的相关研究, 在解决生物医药制造业的现实复杂问题中提升跨学科研究与实践创新能力。除此之外, 由密歇根大学工学院发起的服务于创新创造的“蓝天计划”(Blue Sky Initiatives) 呼吁并支持工程、自然、社会、设计以及艺术和人文等不同学科领域的研究团队协同开展实践与研究, 在致力于推动制造业重大突破与创新创造方面为工程博士生提供了广泛的合作研究机会^[23]。

2. 多主体联合, 构建产学知识生产协同体

由于制造业智能化转型涉及的行业领域十分广泛, 高校自身在知识生产过程中不能有效解决行业发展需求与国家战略急需, 知识的高度关联性使其知识生产组织结构不得不出现在高度综合化、集成性等特征。因此, 寻求与产业界合作开展研究与实践, 通过适应资源的异质性与知识生产功能的交互性开展自主创新与集成创新, 构建产学知识生产协同体推动多元主体互利共生发展是理性驱动下的必然选择。密歇根大学凭借在不同学科领域的研究优势与产业界基于资源互补与知识生产功能的渗透建立了开放式创新合作网络, 为参与 DEM 项目的博士生提供广泛的研究与实践机会。例如, Tauber 全球运营研究所 (The Tauber Institute for Global Operations)、吴贤铭制造研究中心 (S. M. Wu Manufacturing Research Center, WuMRC)、未来轻质化创新中心 (The Lightweight Innovations For Tomorrow center, LIFT)。

Tauber 全球运营研究所是由工学院与罗斯商学院联合产业界共同建立的产学合作组织, 致力于通过多学科行动导向的教育以及与全球行业企业伙伴的合作关系, 培养能够解决运营管理、供应链以及复杂技术问题的工程领导者。Tauber 研究所主要为博士生提供领导力发展计划培训、企业实地观摩以及开展针对企业需求的团队研究项目。众多企业联

合组建的行业咨询委员会 (The Industry Advisory Board) 确保了 Tauber 研究所的研究始终处于行业发展前沿并能够快速回应产业发展需求。目前, 已有超过 115 家公司为其研究项目提供资助, 并且在围绕数据分析、可持续性运营、供应链和战略发展等方面的相关研究为企业提供有效的咨询与解决方案^[24], 从而为工程博士生的实践训练以及未来职业发展奠定坚实基础。

WuMRC 隶属于密歇根大学工学院, 由来自机械工程系、工业与运营工程系的教职工与研究人员组成。该研究中心与通用汽车公司 (General Motors)、福特汽车公司 (Ford Motor Company)、波音公司 (Boeing Corporation) 等超过 60 家知名企业建立了长期的合作关系, 其研究项目大多也在美国国防部、能源部、国家科学基金会、国家标准与技术研究院等政府机构的支持下开展^[25]。该中心通过与企业、政府的伙伴关系, 围绕先进制造和加工技术的开发、智能维护系统以及医疗器械制造等领域为博士生提供研究与实践机会, 将工程博士生的科研和实践创新要求与企业的应用开发需求有机结合, 实现了卓越工程师培养与产业发展的有效衔接。

LIFT 中心隶属于美国轻质材料制造创新研究所 (American Lightweight Materials Manufacturing Innovation Institute), 旨在推动美国制造业转型发展, 支撑国家经济与国防安全。LIFT 是由密歇根大学、俄亥俄州立大学、政府机构以及产业界共同合作运行的研究中心, 也是美国制造业创新网络的成员机构^[26]。该中心通过学术界、产业界以及政府机构三方的紧密连接, 及时为博士生提供制造业发展前沿的新方法、新场所与新技术, 同时在对真实项目的研究与实践过程中, 使博士生熟练掌握新技术的运用, 培养卓越工程师所必需的职业胜任力, 确保工程博士毕业生能够适应未来制造业智能化转型的需求。

除此之外, DEM 项目通过工程职业资源中心 (The Engineering Career Resource Center) 与诸如微软 (Microsoft)、英特尔 (Intel) 等知名跨国企业建立了长期合作关系, 旨在促进博士生未来职业发展,

培养工程领军人才。博士生可以通过与企业的真实合作开展实习实践与合作研究, 积累实践经验并提升研究能力, 为今后成为行业领军人才奠定基础。企业也可通过合作关系直接参与工程博士生的课程方案与实习实践项目的制定过程, 合作培养直接面向企业需求的紧缺工程创新人才。在此过程中, 政府为工程博士生的研究与实践提供一定资金支持。相关数据显示, 2019年美国联邦政府科研投资总额占密歇根大学年度研究资金总额的54%^[27]。此外, 密歇根大学设置的技术转移办公室(UM Tech Transfer)负责为产学研合作中可能产生的知识产权、专利授权等问题提供解决方案。同时, 该机构也通过资金链、先进的实验设备以及全套创业资源系统与服务于工程博士生的实践与研究提供必要支撑与系统保障。

四、结语

工程博士专业学位研究生教育作为卓越工程师培养的最高层次, 在塑造科技第一生产力、人才第一资源、创新第一动力中具有不可替代的战略地位。我国自2011年开始设置工程博士专业学位至2022年3月教育部正式启动卓越工程师产教联合培养行动以来, 工程博士专业学位研究生培养取得了一定成效并迈入了快速发展期。截至2022年10月, 全国100所高校中已有289个工程博士专业学位授权点^[11]。但相较而言, 由于工程博士专业学位研究生教育发展历程短, 其培养模式在一定程度上仍呈现出对工学博士研究生培养的路径依赖。

从历史策源来看, 工程博士专业学位的诞生伴随着强烈的实践创新需求。20世纪60年代, 随着产业发展与工业实践要求的日益强烈, 美国传统的工学博士研究生培养逐渐式微。在此背景下, 美国工程与测量检查员协会(National Council of Examiners for Engineering and Surveying)于1965年通过开展工程博士计划的决议, 1967年底特律大学率先设置并实施工程博士项目(Doctor of Engineering, D.E.或D.Eng)^[28]。需要说明的是, 美国工程教育协会(American Society of Engineering Education)的

“D.E.”或“D.Eng”以及“Eng.Sc.D(Doctor of Engineering in Science)”均指工程博士^[29]。从规模上看, 我国研究生教育发展阶段与美国较为接近, 但不同点在于美国在学博硕比例高于我国^[30], 其多样化的博士学位类型很好地满足了社会对于高层次专业型人才的需求, 也间接推动了工程博士专业学位研究生教育的蓬勃发展。研究生教育多样化发展尤其是博士学位类型的多元化这一发展趋势也契合2023年11月教育部发布的《关于深入推进学术学位与专业学位研究生教育分类发展的意见》提出的“进一步提升专业学位研究生比例, 大幅增加博士专业学位研究生招生数量”“以卓越工程师培养为牵引深化专业学位研究生教育改革”的总体思路。

从工程教育范式转型来看, “新工程”的特点在于“集成与融合”和“智能与创新”^[5]。卓越工程师培养涉及异质性参与主体和不同利益相关者, 培养过程受主体静态特征与主体间动态需求的双重影响。无论是国家卓越工程师学院建设抑或卓越工程师培养联合体构建, 校企关系是卓越工程师培养机构运行过程中不能回避的话题^[31], 如何实现“培养互通、师资交互、平台融通”是其中的关键。密歇根大学设置工程博士专业学位距今已有18年, 实践已经证明, 组织内部之间以及与外部组织的互动是创新成功的先决条件^[32]。知识生产模式IV“大学-产业-政府-社会组织-虚拟网络”的五螺旋结构为其工程博士专业学位研究生培养提供了现实情境, 多元主体基于自身需求参与知识生产, 多元主体的“交叠”形成创新系统的核心单元, 多方耦合是推动知识生产和传播的动力机制。从共生视角来看, DEM项目基于多元主体间的需求对接与资源共享形成的产学研共生关系和关系嵌入的动态网络为工程博士生实践创新能力的培养与高端技术的应用创设了真实情境。不同院系、相关企业等共生单元之间基于人才培养主质参量的交互, 通过知识流动与共享将卓越工程师培养与科学研究融入企业研发流程之中, 这种质参量相互影响和能量交换过程为互利共生关系的创设提供了可能, 从内部驱动产学研知识生产协同体的形成。当高校与企业两类异质性组织的合作

关系有了目标兼容的发展愿景与功能协调的运行规则时,双方便能朝着共生组织化程度提高与合作行为互利性增强的方向发展,进而建立相对稳固的互利共生模式,从而促使研究生教育与产业集群的本体价值和社会价值得以全面实现。由此观之,产学研共生发展引领卓越工程师培养在某种程度上不失为破解组织结构壁垒的理想路径选择,也是贯彻落实教育、科技、人才“三位一体”统筹安排,发展新质生产力的有力举措。

参考文献

- [1] 马万里,马永红,刘贤伟.基于知识生产的产学研共生机理探究——普渡大学半导体学位项目透视[J].高等工程教育研究,2023(5):70-77.
- [2] DANIELI A D, ALVES L. University-industry technology transfer: the commercialization of university's patents[J]. Knowledge management research & practice, 2019, 18(4): 1-21.
- [3] BEHRENS T R, GRAY D O. Unintended consequences of cooperative research: impact of industry sponsorship on climate for academic freedom and other graduate student outcome[J]. Research policy, 2001, 30(2): 179-199.
- [4] 王战军,于妍,张微.高等工程教育与高技术产业的耦合协调度研究[J].高等工程教育研究,2021(5):57-63.
- [5] 马万里.关键核心技术领域高层次人才培养的困境与进路——基于校企共生视角[J].中国高教研究,2023(7):53-60.
- [6] US News. Best industrial engineering programs[EB/OL]. [2024-07-22]. <https://www.usnews.com/best-graduate-schools/top-engineering-schools/industrial-engineering-rankings>.
- [7] MCNALLY S F, AHMADJIAN V, PARACER S, et al. Symbiosis: an introduction to biological associations[M]. England: University Press of New England, 1986: 1-10.
- [8] SAPP J. Concepts of symbiogenesis[M]. England: Yale University Press, 1992: 100-105.
- [9] 尾关周二.共生的理想:现代交往与共生、共同的理想[M].卞崇道,译.北京:中央编译出版社,1996.
- [10] 袁纯清.共生理论——兼论小型经济[M].北京:经济科学出版社,1998:9.
- [11] 周杰,肖曦,李鹏辉,等.服务国家需求培养工程创新领军人才——清华大学培养工程博士生的探索与实践[J].学位与研究生教育,2023(12):33-40.
- [12] 王扬,刘景超,赵沁平.卓越工程师培养联合体的构建思路与实现路径[J].中国高教研究,2023(11):26-31,38.
- [13] University of Michigan. Manufacturing program details [EB/OL]. [2023-01-04]. <https://isd.engin.umich.edu/graduate-degree-programs/manufacturing-program/program-details/>.
- [14] University of Michigan. Manufacturing graduate degree programs[EB/OL]. [2023-01-04]. <https://isd.engin.umich.edu/graduate-degree-programs/manufacturing-program/manufacturing-program-doctor-of-engineering-in-manufacturing/manufacturing-program-doctor-of-engineering-prerequisites/>.
- [15] University of Michigan. Manufacturing program——doctor of engineering curriculum [EB/OL]. [2023-01-04]. <https://isd.engin.umich.edu/graduate-degree-programs/manufacturing-program/manufacturing-program-doctor-of-engineering-in-manufacturing/manufacturing-program-doctor-of-engineering-curriculum/>.
- [16] University of Michigan. Manufacturing curriculum[EB/OL]. [2023-01-04]. <https://isd.engin.umich.edu/graduate-degree-programs/manufacturing-program/manufacturing-curriculum/>.
- [17] 杨卫,王孙禹,吴小林,等.改革工科研究生教育着力培养卓越工程师[J].学位与研究生教育,2023(1):1-15.
- [18] University of Michigan. ISD faculty[EB/OL]. [2023-01-04]. <https://isd.engin.umich.edu/people/isd-faculty/>.
- [19] 王东芳,徐竞男.增强实践性:英美澳三国专业博士培养模式的代际嬗变[J].高等教育研究,2023,44(12):90-99.
- [20] 沈黎勇,王柏村,李拓宇.“教育—科技—人才”一体驱动区域产业发展——密歇根大学“安娜堡模式”的探索与启示[J].高等工程教育研究,2024(4):166-171.
- [21] 马永红,马万里.泾渭何当分?——工程硕士与工学硕士研究生培养差异性研究[J].学位与研究生教育,2022(11):9-18.
- [22] DAVE S. We're in a really unique position to make these students successful[EB/OL]. [2024-07-20]. <https://bme.umich.edu/about/>.
- [23] Michigan Engineering. Blue sky initiatives[EB/OL]. [2024-07-20]. <https://www.engin.umich.edu/research/projects-initiatives/blue-sky-initiatives/>.
- [24] University of Michigan. The tauber institute for global operations[EB/OL]. [2024-07-20]. <https://tauber.umich.edu/about>.
- [25] Michigan Engineering. Welcome to the SM Wu manufacturing research center[EB/OL]. [2024-07-20]. <https://wumrc.engin.umich.edu/>.
- [26] LIFT. Where manufacturing technology and talent matter [EB/OL]. [2024-07-20]. <https://lift.technology/our-work/>.
- [27] Michigan News. U-M reports record \$1.62B in FY19 research expenditures [EB/OL]. (2019-12-04) [2024-07-20]. <https://news.umich.edu/u-m-reports-record-1-62b-in-fy19-research-expenditures/>.
- [28] 马爱民,汪志强.美英工程博士教育发展模式的比较与借鉴[J].学位与研究生教育,2020(8):22-28.
- [29] 张炜.美国国家科学基金会关于博士学位的定义与数据——解读、比较及预测[J].高等工程教育研究,2022(2):179-185.
- [30] 马永红,马万里.高等教育普及化背景下研究生教育发展阶段划分与走向思考——基于国际比较视角[J].中国高教研究,2021(8):26-33.
- [31] 彭湃,郑名扬,张星星,等.论国家卓越工程师学院建设中的五个关系[J].高等工程教育研究,2024(3):32-36.
- [32] 雷芳,王媛媛.美德日制造业智能化转型创新模式比较——基于国家创新体系的视角[J].亚太经济,2022(3):72-79.

(责任编辑 黄欢)