

- [25] 别敦荣, 李晓婷. 麻省理工学院的发展历程、教育理念及其启示[J]. 高等理科教育, 2011(2): 52-60.
- [26] 汪应洛, 王宏波. 工程科学与工程专业[J]. 自然辩证法研究, 2005(9): 59-63.
- [27] 董泽芳, 王晓辉. 普林斯顿大学本科人才培养模式的特点及启示[J]. 高教探索, 2019(2): 77-81.
- [28] 邱学青, 李正, 吴应良. 面向“新工业革命”的工程教育改革[J]. 高等工程教育研究, 2014(5): 5-14,45.
- [29] American Society for Engineering Education. Goals of engineering education (1968)[EB/OL]. [2021-08-25]. <https://www.asee.org>.
- [30] 邹晓东, 胡珏, 姚威. 模拟与仿真: 工程科技人才培养模式创新[J]. 高等工程教育研究, 2013(3): 32-37.
- [31] American Society for Engineering Education. Transforming undergraduate education in engineering phase II: insights from tomorrow's engineers (2017)[EB/OL]. [2021-08-25]. <https://www.asee.org>.
- [32] 谢鑫, 张红霞. 一流大学本科教育的课程体系建设: 优先属性与基本架构[J]. 江苏高教, 2019(7): 32-39.
- [33] 杨毅刚, 唐浩, 宋庆. 遵循工程逻辑构建一体化的课程体系[J]. 高等工程教育研究, 2019(1): 44-51.
- [34] PRITCHETT H S. Preface[EB/OL]. [2021-08-25].//MANN C R. A study of engineering education (1918). <https://www.asee.org>.
- [35] American Society for Engineering Education. Transforming undergraduate education in engineering phase I: synthesizing and integrating industry perspectives (2013)[EB/OL]. [2021-08-25]. <https://www.asee.org>.
- [36] WEBER L E. Survey of the main challenges facing higher education at the Millennium[M]//HIRSCH W Z, WEBER L. Challenges facing higher education at the Millennium. Arizona: American Council on the Education and The Oryx Press, 1999: 1-17.
- [37] 肖凤翔, 覃丽君. 麻省理工学院新工程教育改革的形成、内容及内在逻辑[J]. 高等工程教育研究, 2018(2): 45-51.
- [38] GRINTER L E. Summary of the report on evaluation of engineering education/ reprinted from journal of engineering education, september, 1955 (1994)[EB/OL]. [2021-08-25]. <https://www.asee.org>.
- [39] TSICHRITZIS D. Research and education: new roles, new instruments[M]//HIRSCH W Z, WEBER L. Challenges facing higher education at the Millennium. Arizona: American Council on the Education and The Oryx Press, 1999: 99-110.
- [40] 顾佩华. 新工科与新范式: 实践探索和思考[J]. 高等工程教育研究, 2020(4): 1-19.
- [41] National Center for Education Statistics. Digest of education statistics 2019[EB/OL]. [2021-03-18]. <https://nces.ed.gov/programs/digest>.
- [42] 余东升, 袁东恒, 袁景蒂. 中国工程教育研究如何走向制度化发展——基于国际比较的视角[J]. 高等工程教育研究, 2021(3): 173-180.
- [43] 张炜. 博士生教育共同治理的发展趋势——《学者养成: 重思 21 世纪博士生教育》的启示[J]. 学位与研究生教育, 2020(12): 72-77.

(责任编辑 黄欢)

DOI: 10.16750/j.adge.2022.05.002

新工业革命背景下面向工程硕士 创造力的培养模式研究

——基于四所大学的
多案例分析

姚威 储昭卫 韩旭 胡顺顺

摘要: 工程硕士生教育是培养高层次创新型工程人才的重要途径, 但当前存在培养过程和评价标准与工学硕士生同质化的问题。从工程创造力及其提升障碍出发, 系统研究了中外四所高校的工程硕士生培养经验, 从目标、过程、支撑、评价四个维度构建了面向工程硕士创造力的培养模式。该模式以塑造创造性人格、面向重大需求为目标指向; 通过革新培养内容、课程体系和教学方法改革、引入项目式学习、创

新思维与方法等重构工程硕士生培养过程; 以校企协同、科教融合与创新文化环境等为支撑保障。同时建立了针对工程硕士生创造力、教学效果和综合质量的评价方法。

关键词: 工程创造力; 工程硕士; 培养模式; 4P 模型; 研究生教育

作者简介: 姚威, 浙江大学公共管理学院, 中国科教战略研究院副研究员, 杭州 310058; 储昭卫, 浙江大学公共管理学院, 中国科教战略研究院博士研究生, 杭州 310058; 韩旭, 浙江大学先进技术研究院助理研究员, 杭州 310058; 胡顺顺, 浙江大学公共管理学院, 中国科教战略研究院博士研究生, 杭州 310058。

基金项目: 2019 年国家自然科学基金面上项目“制造强国背景下工程创造力的测评、提升机理及系统性开发模式研究”(编号: 71974172)

以大数据、云技术、人工智能和物联网等为代表的新一轮技术革命,给经济生产和社会发展带来了颠覆性影响,也对高层次工程技术人才的培养提出了新挑战。一方面,技术创新、产业转型和全球价值链升级使市场竞争日趋激烈,要求企业和人才具备快速创新的能力;另一方面,智能技术的应用使常规性和重复性的工作大大减少,“劳动力素质”成为驱动经济发展的关键^[1]。工程硕士研究生教育是培养高层次工程技术人才的主要途径,也是实施创新驱动发展的重要一环。为此,《中国制造 2025》提出要“深化相关领域工程博士、硕士专业学位研究生招生和培养模式改革”,教育部《关于加快新时代研究生教育改革发展的意见》指出要“针对‘卡脖子’问题,以超常规方式加快人才培养”。但长期以来,我国工程硕士生培养面临着培养过程和评价标准与工学硕士生同质化,培养定位不清晰等问题^[2],导致其创新意识和创新能力不足^[3]。工程创造力(engineering creativity)是创新型工程人才培养的关键和难点所在,教育部原部长周济曾指出:“中国每年培养的工程师的数量,相当于美国、欧洲、日本和印度的总数。规模很大,但关键是提高质量,提高整体创新能力,这是真正实现创新驱动发展的最根本力量。”为强化工程硕士生培养特色,本研究团队选择了四所中外高校的典型实践进行案例研究,以构建面向工程硕士生创造力的培养模式,回应新工业革命对创新型工程人才的需求。

一、工程硕士生创造力培养研究

1. 工程硕士生创造力:文献简述

由于知识结构、任务特点和思维方式的差异,创造力无法在不同领域迁移,在工程领域创造性活动形成的认知技能即被称为工程创造力^[4]。工程创造力(creativity)与工程创新能力(innovation capability)的概念常常被混淆,这是由于对创造(create)和创新(innovate)两词缺乏辨析所致。“创造”是强调方案或产品“新颖性”和“实用性”的心理学概念,创新是指生产要素和条件重组后产生实用价值的经济学概念;前者强调构思和设计,后者包括构思、设计、验证、制造、进入市场、反馈

等环节;前者主要是指个体层面,后者更多的用于团队或组织层面。综上,可以从狭义和广义两个视角理解工程创造力:狭义上,专指个体在工程活动中表现出的创造力;广义上,是指个人、团队或组织在工程活动中表现的有助于形成创造创新的能力的集合^[5]。

工程硕士生创新能力培养得到了较多关注。康妮提出通过课程理念改革、校企双导师制和导师组指导论文等方式培养工程硕士生创新能力^[6]。李枫提出以产教融合等方式培养高层次创新型应用人才^[7]。郭蕾以电子与通信工程领域工程硕士生培养为例,指出从办学理念、师资队伍、课程体系、教学模式和实习实践等方面改革培养模式以提高创新能力^[8]。冯玉龙提出要加强工程硕士生的工程理念、工程视野和决策能力,从而提高其技术开发和问题解决能力^[9]。

2. 工程创造力提升的障碍

培养工程创造力,首先要明确工程硕士生创造力的培养困境,目前研究者们共识别出了四种制约个体工程创造力提高的障碍^[10]:①发散与收敛思维结合障碍。人们在解决问题过程中目标清晰、听从权威且不轻易受外部干扰改变思路的思维模式即为“收敛思维(convergent thinking, CT)”,反之称为“发散思维(divergent thinking, DT)”。CT强调稳定实用,而DT的创新性更突出,两者科学地结合才能产生兼具创新性、可行性和经济性的工程方案^[11]。当前工程人才培养中课程模式固化、强调标准答案的特点不利于DT培养,而缺乏跨学科训练、缺乏团队合作解决复杂问题的经历导致DT和CT难以有效结合,导致创意数量少且创新性不足。②“固着效应”。企业进行技术创新时通常会在新方案中保留75%~85%的原有技术模块,以缩短研发周期、降低研发成本、提高可行性^[12],导致工程师的创意向原有或常见方案靠拢,这种现象被称为“固着效应(fixation effect, FE)”。FE的通常表现为思维定式、功能固着和刻板印象等,会导致方案缺乏创造性^[13]。③约束思维。在解决工程问题时,工程师更倾向于改善产品性能指标而非满足外部需求,这种思维现象被称为“约束思维(constraints of thinking, TOC)”^[14]。过度的TOC会使部分创造性方案被扼杀在“萌芽期”,制约工程创造力的发挥。

④知识壁垒。现代科技的学科分化导致知识被按照学科归属来组织、传递和应用,学科间形成了知识壁垒(barriers to knowledge, BK)^[15]。BK导致工程师的知识被局限于特定学科,不足以处理复杂的工程问题。这导致课程教学依照知识生产逻辑进行,而工程活动却依照问题解决逻辑进行,两者的错位导致学生难以运用知识创造性地解决工程问题。

综上所述,现有研究较少从工程创造力概念出发,对工程硕士生的培养进行系统性和针对性研究。而工程活动的综合性,又要求在理论指导下进行系统的培养模式构建,以持续高效地提高工程创造力^[16]。因此,本研究尝试从工程硕士生角度,围绕工程硕士生创造力培养实践进行案例研究。

二、案例选取与分析框架

1. 案例选择与资料收集

在案例院校和培养项目的选择中严格遵循以下标准:①案例院校在工程硕士生培养方面具有典型性,紧跟新工业革命对人才的需求,满足逐项复制原则。②案例院校来自四所著名的工科或综合性大学,培养环境和举措存在一定特色,满足差异复制原则。③案例院校必须具有三年以上工程硕士生培养经历,形成了完善的培养体系。根据上述原则,最终选择了浙江大学等四所大学作为研究对象。案例资料的收集遵循“证据三角形”原则:首先,利用海外交流机会,对相关访谈对象包括授课教师、学生、管理人员等展开访谈和资料收集。其次,通过公开的论文文献、宣传报道、招生材料和课程信息,辅以线上调研,收集了海外高校的人才培养资料。最后,从国内高校的课程教学过程中获取了部分资料。

2. 案例简介

通过筛选,最终选择了四所大学工程院系的典型工程硕士生培养实践作为案例:新加坡国立大学(National University of Singapore)工程学院推出的产业研究生项目(Industrial Postgraduate Programmes, IPP),以校企合作培养工程硕士生为主要特色;加

州大学伯克利分校(University of California, Berkeley)工程学院的电气工程与计算机科学系(Electrical Engineering and in Computer Science, EECS)是相关学科的发源地和全球顶级研究机构,重视新工业革命对工程硕士生的智能化、数字化、跨学科和研究能力的要求;浙江大学工程师学院/浙江工程师学院(Zhejiang Polytechnic Institute)瞄准地方产业发展需求专门培养工程硕士生和工程博士生,形成了体量庞大、特色鲜明的培养模式和课程体系;纽约大学创造力国际研究中心(New York University)形成了以各类创造力研究和开发为中心的人才培养模式,是全球领先的创造力研究和人才培养机构。综合来看,四所学校都探索出了各具特色的工程硕士生培养体系,为工程硕士生创造力培养提供重要借鉴。

3. 案例研究框架

人才培养模式是指培养主体为实现特定人才培养目标,在一定的教育理念指导和制度保障下设计的,由若干要素构成的人才培养过程的运作模型和组织样式^[17]。工程硕士生创造力培养兼具复杂性和系统性,前者要求培养模式充分涵盖高层次工程人才的培养要素,后者则要求要素间符合创造力培养逻辑。因此本文引入经典创造力构成理论模型作为案例研究框架,该理论认为创造性人格(person)、创造性过程(process)、创造性环境(press)^①、创造性产品(product)是形成创造力的四大要素,简记为“4P”模型^[18]。面向4P建构的培养目标、培养过程、支撑体系、评价体系,以及在此基础上形成的培养模式具有严谨的理论支撑,适用于分析和建构工程硕士生创造力的培养模式^[19]。

三、基于4P模型的工程硕士生创造力培养

综合来看,四所学校在工程硕士生创造力的培养方面兼具特色与代表性。根据4P模型,本文分别对案例中工程硕士生培养的目标、过程、支撑体系和评价方式等进行梳理,提炼当前实践中工程硕士

^①M Tang在Handbook of the Management of Creativity and Innovation: Theory and Practice中指出:press是人与环境(environment)的关系,因为环境不会直接塑造创意,但会通过中介或调节的方式影响创造过程和进行创造的人。部分研究者如Cropley也直接采用environment或environmental press等词汇。

生培养的典型维度和具体策略。

1.培养目标

培养目标通常可分为学校、专业和课程三个层次，分别体现对应层次人才培养的预期结果，对工程硕士生创造性人格的养成有决定性作用^[20]。如表 1 所示，可以从三个维度解读四所学校的人才培养目标：①强调目标驱动，鼓励学生直面工程前沿问题和重大社会需求。为此新加坡国立大学将工程硕士项目、工程博士项目和工学博士项目共同定义为“以研究为基础的学位项目 (Research-based Programmes)”，与强调前沿知识学习“以课程为基础的学位项目 (Coursework-based Programmes)”的工学硕士项目进行区分，前者强调通过工程科技研究带来创新方案和灵感。②动机激发，使学生意识到个人可以通过工程创新改造社会，加州大学伯克利分校认为工程硕士生必须能够与其他学科研究者广泛合作，以对工业界、社会甚至区域和国家产生重大影响。③实践导向，让学生通过实践来积累领导力、协作能力和创新技巧，如纽约大学和浙江大

学都强调服务于地方发展需求，通过改善工程硕士生的专业基础和思维技巧来提高实践能力。

2.培养过程

培养过程直接决定着人才培养能否达到预期目标，是培养模式的执行子系统。如表 2 所示，从培养内容、教学方法、课程结构和过程管理四个方面进一步分解人才培养过程。在培养内容上，更关注在新工业背景下具有重要应用前景的专业方向和领域，从而强化培养特色和深度。如浙江大学围绕新工业革命带来的智能化产业需求，设计了四大重点方向，加州大学伯克利分校根据专业特点设计了工程硕士生培养的五大专业方向。

在教学方法上，有几个显著特点：一是强调由真实工程问题驱动学习过程，根据学习阶段提供不同难度的问题和项目。二是采用以项目为基础的跨学科教学，通过不同学科知识的综合运用解决产业问题，使学习过程更加聚焦。三是学习过程呈现阶段化、阶梯式和精细化的特征，在培养过程中需要由导师把握进度，采取小班制的“渐进式”培养，

表 1 工程硕士生培养目标的典型维度与表述

创造力要素	维度	典型表述
创造性人格	目标驱动	新加坡国立大学工程学院：培养整体工程师 (holistic engineers) 并通过研究、创新、灵感和影响来应对全球挑战
	动机激发	加州大学伯克利分校：通过严格的理论和应用课程，提高个人和团队解决问题的能力，培养在学术界、政府、行业和创业的未来领导者
	实践导向	纽约大学创造力国际研究中心：在全球范围点燃创造力的‘星星之火’，使人们将创造性思维视为基本技能；浙江大学工程师学院：培养具备宽厚基础、能够支撑国家和区域产业转型升级且具有国际一流水准的“高层次、高素质、国际化”的高级工程科技人才

表 2 工程硕士生培养过程的典型维度与表述

创造力要素	维度	典型表述
创造性过程	培养内容	加州大学伯克利分校：EECS 在 2022-2023 学年为工程硕士生设计了数据科学与系统、物理电子与集成电路、机器人与嵌入式系统、通信与信号处理、可视计算与计算机图形学五大方向；浙江大学工程师学院重点面向电子、智能制造、新能源、生物医药等领域；纽约大学：组建与管理创新团队、基于创造性技巧的分析应用和实践
	教学方法	浙江大学：真实工程问题驱动和创新思维与创新方法的运用，提高个体创造力；新加坡国立大学：重视深度研究的能力，每位学生都专注于一个由企业发起的主题项目
	课程结构	加州大学伯克利分校的工程硕士生课程：技术课程、专业领域课程共 8 学分，领导力课程共 8 个学分，涉及管理、创业和科学技术等方面，顶点项目，由 3~5 名学生团队解决一项技术问题，并通过考试；浙江大学和纽约大学开设创新思维方法课程，开设专门的辅修或模块化证书课程
	过程管理	新加坡国立大学：“准双元制”学习方式和身份，学生用 50%的时间在校学习，用 50%的时间作为企业全职受薪员工开展课题研究

不断增加课程和训练的复杂程度，使学生认知思维能力逐步提升。

课程结构设计上，既要满足工程硕士生进入企业实习实践的时间要求，又要提高他们的工程创造力。学校可采取以下措施：一是提高课程的灵活性，通过必修和成绩要求、选修等方式保障课程质量，并开设相关证书课程。二是制定分布式课程，如加州大学伯克利分校的工程硕士生课程分为技术课程、领导力课程和顶点项目课程（capstone project）三类，技术课程培养学生的专业基础和前沿知识，领导力课程培养他们的管理、创新创业等能力，顶点项目培养学生以团队形式解决跨学科工程问题的能力。三是积极引入创新思维与方法类课程，通过知识库、决策工具等帮助工程硕士生提高解决问题的能力，如纽约大学和浙江大学开设的创新思维与创新方法课程。

为了提高培养质量，还需要设计严格的过程管理机制：一是厘清不同学习阶段的责任方，如新加坡国立大学“准二元制”培养过程中，分别由学校和企业负责两个阶段的学习，IPP项目的产业导师（industrial supervisor）需要为学生提供专业指导，确保研究活动的质量并对学生的学习情况及时预警。二是由校政企协同制定培养计划，商定课程方案，并由企业提供工程项目选题、实习实践机会等。三是重点企业或行业可以通过资金赞助的方式，在政府协调下，共同设计面向产业需求的工程硕士项目，确保人才培养质量和就业。

3. 支撑体系

支撑体系是确保人才培养过程有序进行，最终达成培养目标的关键。根据各自培养目标和培养过程的需要，如表3所示，支撑体系建设主要从校外资源、校内资源和师资保障三方面开展。校外资源

方面，学校可以与政府、企业等通过搭建研究合作网络和协同育人平台等方式整合资源，寻求资金、政策和师资与实习方面的支持。如新加坡国立大学的IPP项目，由政府提供基本资金和信息支持，企业为在校生提供带薪工作岗位和产业导师，学校为学生提供基础课程教学和研究指导，实现了人才培养上的深度合作。校企科研合作、设备和人员流动等也能够充实双方的资源，如加州大学伯克利分校与地方政府、企业通过签订协议共建研究中心的方式共享人员和设备。

在校内资源方面，围绕兴趣小组和学生社团培育校园创新文化，促进科教融合育人。如建立工程硕士生兴趣社团和专业小组，由学院或系所定向提供资金、实验设备、场地、联络行业内外专家作为支持，将参与工程研究、专业学习和成果应用转化的过程进行融合。加州大学伯克利分校的顶点项目实际上是鼓励学生以项目团队的形式解决复杂的工程技术问题。

师资水平是确保工程硕士生教育质量的重要因素，可从如下方面进行改善：第一，通过新教学法开发、教学手册编制和教师培训等方式提升新晋师资水平。第二，通过设立“研究生指导委员会”等方式引入企业资深工程师、政府官员等与校内教师组成导师组。第三，定期组织业内顶级的会议和交流活动，帮助教师扩大研究和实践的国际视野。

4. 培养评价

培养评价是判定培养目标完成情况和完善培养过程的依据，是培养模式的重要组成部分。与通用创造力、科学创造力、艺术创造力等以发现（finding）为目标的评价不同，工程创造力评价更关注工程产品（product）或解决方案（solution）的数量、原创性、灵活性等指标^[21]。纽约大学提出了创造力评价

表3 工程硕士生培养支撑体系的典型维度与表述

创造力要素	维度	典型表述
创造性环境	校外资源	与地方政府共建实验室，加强人员、装备和科研成果的流动；与企业建立带薪实习/任职、师徒制学习机会；与企业联合制定人才培养、工作和开发计划
	校内资源	资助学生的顶点项目，鼓励开展俱乐部和专业活动小组；提供专门的工作坊、实验室、模拟计算平台等软硬件保障
	师资保障	重视教学法的开发与革新，强调教学反思；编制教学手册，强化师资培训；聘请企业或行业专家作为行业导师或学生咨询委员会成员（Student's Advisory Committee）等

公式,认为创造行为(creative behavior)是三种变量的函数,如公式(1)所示:知识(knowledge)表示对事实性和规范性知识的掌握,强调收敛思维和操作的能力;想象力(imagination)表示思维的灵活性和原创性,强调迁移和发散的思维能力;评价(evaluation)表示对方案的综合,强调决策与判断的能力。态度(attitude),如动机、灵活性等创造性人格,是决定个体的创造性行为表现的调节变量。

$$\text{Creative behavior} = f_{\text{attitude}}(\text{knowledge, imagination, evaluation}) \quad (1)$$

如表4所示,工程硕士生的培养评价具有以下特征:第一,评价方式趋向于综合评价,通过总体考察个人和团队的项目完成情况,实现多角度评价。第二,评价内容多维化且原则明确,如加州大学伯克利分校重视团队合作、表达和沟通、自信心、决策能力等非认知能力,浙江大学工程师学院和纽约大学均从产品和方案角度测试创造力水平,提出了包含流畅性(方案数量多少)、灵活性(各个方案之间的差异程度)、原创性(所提方案与现有方案的差异程度)等多个参考指标。

四、面向工程硕士生创造力的培养模式

围绕上述四个案例的经验,能够基于4P模型构建面向工程硕士生创造力的培养模式。该模式具体包括四个部分:以创造性人格为培养目标,以工程硕士生创造力为核心的培养过程,工程硕士生创造力培养的支撑保障体系,面向工程硕士生创造力提升的培养评价体系。

1. 塑造创造性人格,面向重大需求培养工程硕士生

纽约大学的创造力公式表明:创造性人格是成长为创新型人才的关键调节变量。因此,工程硕士生培养需要塑造个体的创造性人格,面向重大需求

培养高层次的工程人才为目标。在培养目标制定上应具有以下特点:①应选择具有重大需求的领域作为工程硕士生培养方向,以挑战欲赋能学生培养,激发学生的探索欲和使命感。②应选择没有特定学科归属、成熟方案的前沿主题,使学生通过自主探索克服固着效应和知识壁垒,以激发学生的成就动机和冒险意识。③应体现“实践导向”,围绕现实需求展开,通过工程实践打破约束思维。④应当具有人文关怀和家国情怀,强调工程成果直接服务于世界、国家和社会发展。

2. 面向工程创造力提升,重构工程硕士生培养过程

(1)瞄准新工业革命需求,优化工程硕士生培养内容。新工业革命对原有的技术和生产体系的颠覆性影响,要求人才培养内容和方式进行积极调整。在培养内容上,工程硕士生项目要进行以下革新:①瞄准新工业革命时代产业转型的技术需求,培养智能产业、信息产业、生物医学工程等高端产业的未来工程领军人才。②积极关注新工业革命对工程技术人才能力的新要求,积极引入和探索基于模拟仿真、数字孪生等技术的教学实践,培养工程硕士生的数字化和智能化能力,为其成长为新工业革命时代创新型工程领军人才做准备。③在新工业革命时代,工程技术与经济社会发展将会高度耦合,非经济因素如伦理问题等对工程项目的不可忽视,因此要加强工程硕士生对工程伦理、社会公平和安全、品牌和形象等问题的探讨,让学生从非经济视角建立工程概念,为工程硕士生创造力的开发建立规范性边界。

(2)以克服工程创造力障碍为目标,开展教学方法和课程体系变革。工程创造力的四类障碍是工程硕士生成长为高层次创新型工程人才的主要阻碍,从实践案例来看,通过教学方法和课程体系的

表4 工程硕士生培养评价的典型维度与表述

创造力要素	维度	典型表述
创造性产品	评价方式	以团队成果进行评价;从校内导师、校外导师、同学等开展综合评价;从工程和创造力两个维度进行评价
	评价内容	工程产品与问题解决方案的流畅性、灵活性和原创性等;工程领导力;工程沟通能力;自信心;知识储备、思维活跃度、领导力和决策能力

融合变革可以削弱上述障碍的影响：①进入真实应用场景选择工程问题，帮助工程硕士生了解工程项目从选题、解决到应用和升级的过程全貌，增加对工程环境的真实感知，有助于克服发散与收敛思维障碍和约束思维。②选择跨学科的教学方法，增加开放性工程项目训练，增强学生工程知识应用的迁移能力，克服固着效应和知识壁垒等障碍。③根据工程硕士生学习经验，设计“个人—人际—团队”的实践项目，建立个体评价、队友评价和小组评价体系，及时反馈学习效果，帮助学生不断从不同的工程思维视角形成学习体验。

(3)以项目式学习为抓手，深化跨学科和团队创造力培养。工程问题的解决通常需要运用多领域知识，整合团队进行工程实践，以项目式学习为抓手能够培养学生的学科知识应用能力和团队创造力。一方面，全周期的工程实践项目难题通常涉及多个学科，其解决过程需要综合运用不同知识和方法，有助于学生打破学科边界寻求解决方案，克服约束思维和发散与收敛思维的障碍。另一方面，工程实践项目的完成有赖于多学科协作，需要学生通过团队合作解决问题。正如加州大学伯克利分校认为该校以项目式学习为特征的顶点项目是工程硕士生培养的最大特色，能够帮助学生从知识网络中搜索解决方案，并锻炼领导力、沟通技巧和团队合作能力，获得除工程项目本身之外的内在情感激励，有助于学生养成工程创新理念和挑战复杂工程问题的意识。

(4)加强创新思维与方法应用，强化工程实践能力。创新思维与创新方法是指一系列能够用于指导工程、技术和管理创新过程的方法和思维的统称，是一套系统性的方法论知识体系，常见的有“发明问题解决理论”“质量功能展开”、计算机辅助创新、知识库等。引入创新思维与创新方法能够从两方面改善工程硕士创造力：①创新思维与创新方法的运用帮助使用者克服单一学科的知识储备缺陷，在探索新方案时更加大胆，进而提高其自我效能感和冒险精神，激发工程硕士生的思维活力。②能够锻炼工程实践能力从而改善创造力，实践和研究表明创新思维与创新方法能够帮助使用者代入工程情境，

提升工程方案的新颖性和创造性，最终改善使用者的工程创造力，帮助工程硕士生克服发散与收敛思维结合障碍、固着效应等^[22]。

3.整合内外部资源，支撑工程硕士生创造力培养

(1)推动形成产教融合的人才培养模式，支撑工程硕士生创造力培养。由政府协调监督推动高校和产业形成融合育人平台，既是《国务院办公厅关于深化产教融合的若干意见》等重要政策的内在要求，也是高校整合内外部资源培养工程硕士生的有效途径。具体可采取以下措施：①由学校优势学科与对应产业协同构建“开环共享”的生态基础，促进人才、设备和知识流动，为打造模式多元、形式多样、评价多维的工程硕士生培养机制创造契机。②促进学校与重点企业形成深度合作关系，如共建工作室、实训基地、创新平台等，进而参与协同制定工程硕士生培养的目标、学习方案、导师组配置、实习计划制定和评价机制等。③依托上述产教融合平台及示范项目等，优化以创造力为目标的工程硕士生培养的产教协同治理机制。④与全国性行业协会或地区产业共同体合作，面向关键核心技术与重点产业布局工程硕士生培养的方向和规模，提升工程硕士教育对重大战略方向、产业需求和地区发展的支撑作用。

(2)探索基于科教融合的培养机制，发挥研究资源的育人价值。科学研究在研究型大学的资源配置中占据优先地位，探索基于科教融合的培养机制可以发挥研究资源的教学价值，提高工程硕士生的研究能力。具体可采取以下措施：①鼓励工科院系搭建跨学科科研育人平台，为工程硕士生学习前沿知识、掌握前沿方法、探索前沿问题提供便利，从而加强学生之间及学生与导师间的交流频率和深度。②鼓励工程硕士生进入企业开展生产性实习实训，由产教双方共同设置小型科研项目或竞赛选题，资助和指导学生解决实训中的研发问题，既回应了工程硕士生培养的目标要求，又发挥研究资源的育人价值。

(3)培育创新文化环境，打造全方位育人体系。从几所学校的实践来看，创新文化环境也是工程硕士生创造力培养的重要要素，它能够将人才培养贯

穿到以知识传授为主的“第一课堂”之外,从而打造全方位育人体系。具体来看,可以采取以下措施:①以工程硕士生主导的创客小组、社团和俱乐部等组成“第二课堂”,提供基本资金、设备和场地等软硬件支持,将工程硕士生培养过程与研究兴趣相结合。②建立面向智能化、数字化产业等新工业革命需求的工程技术创新主题竞赛,组成“第三课堂”,丰富顾问团队和指导师资队伍、奖励办法和重大赛事资助体系,鼓励以团队形式参与相关工程竞赛。③形成包含工程技术创新、科技成果转化为主体的“第四课堂”,制定“第四课堂”考核办法、学分抵扣标准,为学生提供融资渠道、创业能力培训和信息服务等辅助支持,培养工程硕士生的创新创业能力。

4.引入多维度综合评价方法,促进工程硕士生创造力的提升

工程硕士生创造力评价要充分考虑培养成效展现形式的丰富性,避免过早的、武断地否定从而扼杀了创造力。新加坡国立大学鼓励教师从工程产品、方案、合作等多维度进行评价,注重应用能力和非认知能力的评价。浙江大学和纽约大学引入了多个创造力指标以测量克服思维障碍后产生的新方案或新产品的价值。总体来看,工程硕士生创造力评价体系的构建有三个原则:①对学生工程创造力的评价要综合运用多种指标方法,以创造结果来衡量创造能力变化。如用流畅性衡量方案数量,用丰富性衡量知识运用情况,用原创性衡量方案的新颖程度等。②关注综合培养质量,建立分阶段、多形式的考核体系,从团队成员、个体自评、导师和雇主等多方面进行评价,全方位监控工程硕士生的创造创新能力变化。③对教学效果的评价要以塑造高创造性人格的“创新型工程师”为目标,重视非认知能力如探索欲、创新精神、领导力、团队合作能力、沟通能力的培养。

参考文献

- [1] 赖德胜,黄金玲.第四次工业革命与教育变革——基于劳动分工的视角[J].国外社会科学,2020,342(6):118-127.
- [2] 何正球,沈炯.对全日制工程硕士专业实践的探索[J].江苏高教,2021(9):100-105.
- [3] 冯涛,陆根书,柳一斌.工程硕士和工学硕士培养质量实

- 证比较研究[J].学位与研究生教育,2017(1):61-65.
- [4] BAER J. The case for domain specificity of creativity[J]. Creativity research journal, 1998, 11(2): 173-177.
- [5] 韩旭.面向工科人才的工程创造力及其培养研究[D].杭州:浙江大学,2020.
- [6] 康妮,王钰,沈岩.以工程创新能力为核心的工程人才培养探索与实践——清华大学工程硕士研究生教育创新总结[J].研究生教育研究,2011(6):61-64.
- [7] 李枫,于洪军.产教融合培养高层次创新型应用人才——以“双层次螺旋协同工程硕士创新能力培养模式”为例[J].中国高校科技,2018(7):44-47.
- [8] 郭蕾.探索开放式教育模式 提高工程硕士创新能力与实践能力[J].学位与研究生教育,2008(9):50-54.
- [9] 冯玉龙,高阳.探索工程硕士技术开发能力的培养[J].高等教育研究,2008(1):91-92.
- [10] RAWLINSON J G. Creative thinking and brainstorming[M]. London: Routledge Press, 2017.
- [11] GUILFORD J P. Creativity[J]. American psychologist, 1950, 5(9): 444-454.
- [12] 杨毅刚,王伟楠,孟斌.技术发明创造与技术创新人才培养方法的差别[J].高等工程教育研究,2016(4):66-70.
- [13] CASSOTTI M, CAMARDA A, POIREL N. Fixation effect in creative ideas generation: opposite impacts of example in children and adults[J]. Thinking skills and creativity, 2016(19): 146-152.
- [14] TOH C A, MILLER S R. Choosing creativity: the role of individual risk and ambiguity aversion on creative concept selection in engineering design[J]. Research in engineering design, 2016, 27(3): 195-219.
- [15] 姚威,韩旭,储昭卫.工程师创新手册(进阶):CAFÉ-TRIZ方法与知识库应用[M].杭州:浙江大学出版社,2019:1-7.
- [16] SCOTT G, LERITZ L E, MUMFORD M D. Types of creativity training: approaches and their effectiveness[J]. Journal of creative behavior, 2011, 38(3): 149-179.
- [17] 董泽芳.高校人才培养模式的概念界定与要素解析[J].大学教育科学,2012(3):30-35.
- [18] CROPLEY D, CROPLEY A. A psychological taxonomy of organizational innovation: resolving the paradoxes[J]. Creativity research journal, 2012, 24(1): 29-40.
- [19] TANG M, WERNER C H. Handbook of the management of creativity and innovation: theory and practice[M]. London: World Scientific Publishing, 2017: 51-72.
- [20] 王伟廉,马凤岐,陈小红.人才培养模式的顶层设计和目标平台建设[J].教育研究,2011(2):58-63.
- [21] BIRDI K, LEACH D, MAGADLEY W. Evaluating the impact of TRIZ creativity training: an organizational field study[J]. R&D management, 2012, 42(4): 315-326.
- [22] HARLIM J, BELSKI I. On the effectiveness of TRIZ tools for problem finding[J]. Procedia engineering, 2015(131): 892-898.

(责任编辑 周玉清)