

卓越工程师培养：多维思维与关键能力的螺旋模型

伊影秋¹, 宇振盛², 彭斌³, 宋丹萍⁴

(1. 上海理工大学 高等教育研究所, 上海 200093; 2. 上海理工大学 理学院, 上海 200093;
3. 上海理工大学 卓越工程师学院, 上海 200093; 4. 上海理工大学 规划发展处, 上海 200093)

摘要: 在我国科技创新与产业升级的宏观背景下, 卓越工程师的培养已成为满足国家战略需求的关键。针对传统学科本位的工程教育难以支撑高层次工程人才发展的现状, 构建“多维思维驱动—关键能力反哺”的螺旋发展模型, 旨在为新工科教育的改革与创新提供理论与实践路径。该模型通过创新思维、系统思维、战略思维和价值思维的互促互动, 实现洞察力、架构力、预见力与领导力的有机整合, 有效突破传统技术理性的局限, 并确立社会价值创造与技术伦理融合为核心目标。基于此, 提出涵盖课程体系重构、教学模式创新、校企协同深化、政策支持机制和国际教育合作等五个方面的教育生态系统改革方案, 以期提升卓越工程师综合素养、推动新工科教育高质量发展提供有益的理论支持和实践参考。

关键词: 卓越工程师; 多维思维; 关键能力; 螺旋发展模型

中图分类号: G642 文献标识码: A 文章编号: 1009-895X(2026)04-0422-11

DOI: 10.13256/j.cnki.jusst.sse.250310101

Cultivating Excellent Engineers: A Spiral Model of Multi-dimensional Thinking and Key Capabilities

Yi Yingqiu¹, Yu Zhensheng², Peng Bin³, Song Danping⁴

(1. Institute of Higher Education Research, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;
2. College of Science, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 3. School of Elite Engineers, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 4. Planning and Development Department, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Under the background of China's scientific and technological innovation and industrial upgrading, the cultivation of excellent engineers has become essential for national strategic needs. Addressing the limitation that traditional discipline-based engineering education cannot fully support the development of high-level engineering talent, this study innovatively constructs a spiral development model of “Multi-dimensional Thinking-Driven with Feedback of Key Capabilities”, aiming at the theoretical framework and practical paths for the reform and innovation of emerging engineering education. The model realizes the organic integration of insight, planning, foresight, and leadership

收稿日期: 2025-03-10

基金项目: 上海市教育科学研究项目 (C2025005); 上海市高校本科重点教改项目 (1024341007); 中国教育发展战略学会课题 (ZLB20240837); 上海理工大学尚理晨曦社科专项重点项目 (1F24123001)

第一作者: 伊影秋, 女, 助理研究员。研究方向: 工程教育、研究生教育。E-mail: yiyingqiu@126.com

through mutual promotion and interaction of innovative thinking, systemic thinking, strategic thinking, and value thinking. It breaks through the constraints of traditional technical rationality and establishes its core objectives by integrating social value creation with engineering ethics. Furthermore, the study puts forward an educational ecosystem reform plan in five key areas: curriculum restructuring, teaching model innovation, deepening university-industry collaboration, policy support mechanisms, and international education cooperation. It is expected to provide valuable theoretical support and practical reference for enhancing the comprehensive competency of excellent engineers and promoting the high-quality development of emerging engineering education.

Keywords: excellent engineers; multi-dimensional thinking; key capabilities; the spiral development model

党的二十大报告明确指出:“加快建设国家战略人才力量,努力培养造就更多大师、战略科学家、一流科技领军人才和创新团队、青年科技人才、卓越工程师、大国工匠、高技能人才。”^[1]

“卓越工程师”在人才培养体系中占据核心地位,承载着新时代国家科技创新与产业升级的重任。为此,我国高度重视卓越工程师的培养,推出了“卓越工程师教育培养计划2.0”及产教联合培养行动,旨在深化工程教育与产业的融合,缩小教育与产业需求之间的差距。2022年9月,国家卓越工程师学院建设正式启动。这一旨在深化工程硕博培养改革的新举措,不仅标志着人才培养的战略升级,也为培养满足国家重大战略需求的高层次卓越工程师提供了制度保障和实践平台^[2]。然而,传统工程师培养采用“学科化、院系制”模式强调系统技术知识传授和单一技能训练,已难以适应现代复杂工程项目的跨学科融合与协同创新需求,造成“技术专家”与“战略领军人才”间的明显断层。当前,我国工程教育在课程设置、实践内容及综合能力培养上仍面临诸多挑战,例如,课程体系碎片化、实践机会不足以及价值导向模糊等问题,均严重阻碍了卓越工程师综合素质的培养。未来工程师的角色不再仅仅是执行技术任务的“工兵”,而是需要转变为“军团指挥官”,即具备系统思维、战略眼光和价值领导力的复合型人才。

一、文献梳理与模型提出

卓越工程教育应着重提升学生的专业技术能力,并强化创新意识、战略规划能力和伦理责任

感的培养,以促进学生在多维度能力的均衡发展。国际工程教育的发展趋势同样强调跨学科融合和能力本位的重要性,欧盟等多国推行的“工程师4.0”框架^[3]与我国的教育目标不谋而合,彰显了全球在这一领域的共识。

欧美等工程教育发达国家普遍强调工程师的综合思维能力培养。美国全国工程院(NAE)提出,未来工程师不仅需要具备创新和批判性思维,还必须培养“系统性思考、全球化视野、伦理价值观和社会责任感”,这些都是未来工程师应对复杂工程挑战、满足社会多样化需求的必备素养和必备的多维素质^[4]。此外,Educause强调的“未来技能三大支柱”——认知复杂性、社会智能与新媒体素养,也支持跨维思维培养框架的建立^[5]。2021年6月修订的《华盛顿协议》和2022年8月发布的第3版CDIO教学大纲均强调了工程人才思维能力的重要性,特别提到了批判思维、创造思维、计算思维和反省思维等关键能力。2021版《华盛顿协议》在毕业要求方面的变化主要体现在五个方面:联合国可持续发展目标、适应工程专业人士和专业未来发展需求、多样性和包容性、工程领域新兴技术和学科以及解决工程决策所需的智力敏捷性、创造力和创新能力。与此同时,欧洲ENAE(European Network for Accreditation of Engineering Education)等国际认证组织也提出,工程教育应注重培养学生的复合型能力,包括宽厚的工程学科基础知识、专业知识、创新能力、工程实践能力以及科技开发基础能力,以适应国际工程项目管理的需要。近年来,一些顶尖工程教育机构逐渐将伦理、可持续发展和创新战略纳入主干课程,培育具有全球视野和社会责任感的

领军人才^[6]。最新研究表明,价值敏感设计理论也越来越多地应用于工程教育中,促进学生将社会价值和技术方案深度融合^[7]。

我国卓越工程师培养研究始于政策驱动,后逐步深化至系统理论和实践创新层面。教育部发布系列文件明确“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念融入人才培养体系^[8]。围绕能力本位这一核心理念,相关学者深入探索并提出了一个涵盖多个维度的培养框架。李培根认为,工程教育需从“知识导向”向“问题导向”转型,强调从人的视点去思考变革,如工程与技术伦理、学习空间和学习方式的转变等^[9]。金涌指出,卓越工程师培养需融合伦理思维、创造性思维、批判思维、团队合作思维及市场性思维等多维思维方法^[10],这些是驱动工业创新发展的核心要素。东北大学赵继主张通过扎实的理工基础和实践教学培养具备战略视野的杰出工程师,着重强调建构能力、创新能力和整合能力的核心地位^[11]。周玲等认为创新力和领导力是创新领军型工程人才必须具备的重要能力^[12]。郑丽娜等则从能力结构视角思考卓越工程师的核心能力(基准行为能力、领域专属能力、领域通用能力和卓越行为能力)^[13]。在实践层面,俞继仙等基于校企合作的项目驱动教学模式,有效解决了传统教学中存在的理论与实践脱节问题,并显著提升了学生的系统设计和团队协作能力^[14]。谢远龙等利用数字孪生技术革新工程人才培养模式,彰显了数字技术在大规模复杂系统仿真教学中的独特优势^[15]。然而,当前研究多集中于单一模式推广与个别能力训练,对于涵盖全过程、多螺旋、动态成长特性的系统模型构建仍显不足,特别是在能力与思维的互动、社会价值与技术创新融合等关键领域,存在广阔的研究空间亟待深入探索。

在国际工程教育领域,已经形成了一个成熟的多维能力框架。该框架特别强调了跨界型工程师的培养,包括认知复杂性、系统整合能力以及伦理价值的融入。尽管我国在卓越工程师培养方面已取得显著的政策和实践成果。尽管如此,我国的卓越工程师培养仍处于从经验探索向系统理论建构的过渡阶段。在这样的背景下,本文基于螺旋模型的迭代特征和三螺旋理论的协同创新机制,结合多维思维与关键能力的理论基础及当前工程教育的实际需求,构建了“多维思维与关键

能力螺旋发展模型”。该模型以“思维跃迁—能力进阶”的双螺旋结构为核心,创新性地融合了四大认知维度——创新思维、系统思维、战略思维及价值思维,与技术洞察力、系统架构力、战略预见力和价值领导力四项关键能力的层级递进,形成内外螺旋相辅相成、协同提升的动态发展体系。本文通过螺旋发展模型的应用,旨在破解产教分离难题,围绕课程架构重塑、教学模式创新、校企协同深化、政策匹配对接以及国际教育网络五个方面,探索构建一个具备自我调适能力的工程教育生态系统,期待为新时代卓越工程师的培养提供坚实的理论框架与实践指导,同时解决产教融合中的关键障碍,如政策不明确、资源分配不均、文化与理念冲突以及技术能力差距等。

二、理论框架与核心概念

本模型以巴利·波姆提出的螺旋模型迭代特征为方法论基础,融合亨利·埃兹科维与洛埃特·雷得斯多夫提出的三螺旋理论的协同创新机制,构建了“思维跃迁—能力进阶”双螺旋结构。螺旋模型的周期性迭代(每周期含需求定义、风险分析、工程实现、评审四个阶段)与风险驱动机制为模型提供了动态演进框架,而三螺旋理论强调的政府—高校—企业协同创新则成为校政企协同平台链的理论支撑。此模型为双螺旋结构,内螺旋着重关键能力层面,涵盖技术洞察、系统架构、战略预见及价值领导等能力进阶,这些能力在实际工程中得到具体体现和强化。外螺旋为多维思维,驱动“创新思维→系统思维→战略思维→价值思维”的思维跃迁循环,代表工程师认知视角和思考框架的拓展。二者借助场域合成机制,形成动态交互并呈螺旋式上升趋势。本模型通过“思维驱动—能力反哺”双螺旋协同机制、三螺旋资源整合策略及数字化赋能手段,系统地突破了传统工程教育单一维度的培养瓶颈,促进工程教育范式从“学科本位”向“问题驱动”转型,其展示出的动态性与开放性特征,能够灵活适应未来产业变革的需求,为我国培育出兼具技术领导力与战略视野的卓越工程师人才。

(一)螺旋发展模型的理论基础

螺旋模型,由巴利·波姆于1988年提出,是

一种迭代开发的软件开发模型。该模型通过不断重复的循环来逐步开发软件,每个循环包含四个主要阶段:计划、风险分析、工程和评估。螺旋模型的核心在于通过迭代和增量的方法来开发软件,每一轮迭代都围绕着风险管理展开,从而提高项目的成功率。这种迭代开发的方式能够有效应对软件开发过程中的不确定性和风险,提高软件的质量和适应性。在工程教育领域,螺旋模型具有高度的适配性。工程教育的目标是培养学生具备解决实际工程问题的能力,而实际工程问题往往具有复杂性和不确定性。螺旋模型的迭代特征与工程教育中能力培养的逐步深入不谋而合,使学生在持续的实践和反馈循环中稳步提升能力。MIT将螺旋模型引入工程教育课程体系,通过项目驱动的方式,让学生在项目实践中不断迭代学习。在项目的各个阶段,学生依据实际需求和反馈,灵活调整学习策略与方法,从而不断增强解决实际工程问题的能力。

政府—企业—高校协同育人机理基于亨利·埃兹科维与洛埃特·雷得斯多夫提出的三螺旋理论,该理论强调政府、企业和高校在知识经济时代的协同合作关系。在卓越工程师培养中,政府通过政策引导与资源倾斜,为人才培养营造了优越的政策环境与社会氛围;企业作为产业的中坚力量,依托丰富的实践资源与敏锐的市场洞察力,为学生构筑了实践平台,并提供了生动的工程实例;高校则是知识和人才的培养基地,承担着传授理论知识和培养创新能力的任务。

从CDIO到OBE,能力培养范式经历了显著的迭代。CDIO工程教育模式以“构思—设计—执行—运作”为核心,强调学生在工程实践中的能力培养,注重学生的工程实践经验和团队合作能力。而OBE成果导向教育理念则以学习成效为核心,聚焦于学生最终能够达到的学习成果,确保教育目标与学生实际能力紧密结合。欧盟工程师能力框架详细划分为专业能力、方法能力和社会能力三个维度,其中专业能力涵盖从基础能力到行业特定能力的多个层次,方法能力强调分析和实践能力,社会能力则包括沟通、团队协作等。与欧盟工程师能力框架相比,我国的工程教育在能力培养方面更加注重专业技术能力的培养,但在跨学科能力、创新能力和社会责任感培养方面还有待加强。

(二) 多维思维的结构化解析

面对新时期技术复杂性与社会交叉问题的挑战,新时代工程师的培养需超越单纯的知识传授,着重于全面重构和整合其认知与行动能力体系。多维思维犹如错综复杂的网络,四个相互交织的思维维度共同构筑了工程师基础能力的坚固基石,并不断为其认知框架的重塑提供源源不断的动力。

创新思维是推动工程技术进步的核心动力,它鼓励工程师质疑传统技术框架的合理性,从而激发颠覆性的思维方式。其核心精髓在于:拥抱多样化的技术路径,不拘泥于传统框架的束缚,展现灵活变通的能力;并通过不断的实验验证与深刻反思,对初步构想进行迭代优化,最终在当前技术背景下创造出具有颠覆性的创新解决方案。这种思维转变使得工程师不再仅仅关注技术性的指标,而是开始从社会价值的视角对工程目标进行重新设定。

系统思维要求工程师拥有全局视野,超越技术细节的束缚,从整体性、动态性及相互关联的角度深入剖析复杂系统的内在机理。以自动驾驶技术为例,工程师需全面考量车辆传感器、算法决策、道路设施及法律法规等要素,旨在打造一套综合性的解决方案,确保技术在复杂社会与技术体系中的和谐运作。系统思维要求精准识别复杂系统中的关键节点,深入剖析多元矛盾及其动态平衡,确保解决方案在功能、稳定性及适应性上均表现出色。

战略思维旨在寻求可行技术方案与社会认可标准之间的最佳契合点,为复杂技术难题探索可持续的解决方案。以可持续技术的发展为例,战略思维使得工程师可以通过前瞻性的技术评估,设计出既具兼容性又具未来导向的技术方案,这意味着在评估短期技术优势的同时,也需展望长期的社会价值。这种思维方式引领技术人员在技术选择时,全面融入伦理考量、政策导向和文化背景,于趋势预测、决策分析及适应性调整中均显其重要性。

价值思维彰显了科技服务社会的崇高目标,激励工程师在技术构思与实践过程中,兼顾社会公正、人类尊严及生态可持续性。在人工智能领域,技术专家在设计算法时必须警惕潜在的偏见,

以确保算法的公正性。同时,应重视数据隐私和用户权益的保护,避免算法歧视现象的发生。这种思维模式促使科技进步由注重“工具的实用性”转向强调“价值的合理性”,进而重塑了工程师的职责与身份。在倡导共同利益的文化背景下,工程师需在追求商业利益的同时,兼顾社会整体福祉,敏锐捕捉可能引发的社会不公与不平等问题,并坚守可持续发展的理念,维护环境友好。

(三) 关键能力的层级化特征

除了革新认知范式,工程师还需要具备处理复杂情境和促进价值生成的实践能力。所谓的关键能力,即工程师在应对实务场景时所展现出来的直接影响力,它是多维思维与实践相结合的产物。卓越工程师需具备技术洞察力、系统架构力、战略预见力和价值领导力四项关键能力,它们构成了一个由基础认知至复杂问题解决层次递进的阶梯模型。

洞察力是对问题本质的敏锐理解。作为技术潮流与社会需求的敏锐洞察者,工程师需要具备从繁杂信息中提炼有价值的内容,这实则依赖于他们对数据的敏感捕捉、场景的创新构想以及对文化背景的深刻理解,从而挖掘技术进步和社会挑战中的潜在机遇。在智能城市的构建历程中,洞察力成为工程师构建居民需求识别模型的重要基石,透过深入分析技术方案如何贴合实际需求、解决设施痛点及潜在资源配置冲突,实现了技术创新与社会价值的深度融合,进而构筑起一个以需求为核心的创新循环体系。

架构力是衡量系统化设计执行能力的重要指标,是制定切实可行工程方案的核心要素,它具体体现在资源整合的高效性、技术路径的周密规划以及系统各部分间的协同配合等多个方面。在自动驾驶技术的研发进程中,设计师需将人工智能、物联网及交通工程等领域的专业知识深度融合,打造出能够高效整合多方资源、功能稳健的工程架构,以确保方案在复杂多变的系统中展现出卓越的协调性与可用性,为自动驾驶技术的社会化应用奠定坚实的基础。特别是通过在设计中融入更为完善的容错机制,工程师能够展现其在系统构建与社会协调中所扮演的重要角色。

预见力是对未来动向的敏锐把握,凸显了工程师对于科技进步的洞察力,展现了战略思维在

实际情况中的应用。例如,欧盟《人工智能法案》的出台,体现了对高风险人工智能系统进行严格监管的预见性,这不仅要求工程师和企业超越当下技术的局限,形成多场景分析的框架,而且还要预见工程周期及其社会影响潜在的矛盾,以确保技术的安全、透明和伦理性。这种能力不仅要求精准预测技术发展趋势,还需巧妙融合伦理、法律及公共政策因素,确保工程技术普及,社会各界能够广泛接受,实现和谐共存。

领导力是推动团队合作、共创社会价值的关键,体现在对资源的有效整合和愿景的精准传达上,也彰显在将工程技术的普及理念融入商业模式的能力之中。例如,在开展大型环保项目的过程中,工程师必须融合来自企业、社区与政府等不同利益相关方的需求,这对他们的沟通、决策及整合能力提出了更高的挑战。实践表明,在工程师职业生涯中,领导力至关重要,其核心在于有效调节不同利益相关者关系,并明确传达项目愿景。

(四) 双螺旋的耦合机制

思维跃迁与能力进阶紧密相连,共同绘制出一条螺旋式上升的进步轨迹,深刻揭示了工程师如何从单一的技术执行者逐步蜕变成为具备社会技术治理能力的领导者。基于认知心理学的生成学习理论,螺旋式发展模型显示学习者凭借认知活动的驱动力,在实践中逐步累积能力,并经由实际情境的应用不断调适认知结构,展现出动态的循环特性。换言之,多维思维为认知构建与思考进程提供了一个完善的框架,指引着关键能力的培养方向;而实际情境的反馈则持续推动能力的提升,从而形成一个动态发展的循环关系。具体而言,首先要培养驱动多维思维的能力。这种思维方式能够构建一个应对复杂情境的认知框架,帮助从业者跳出传统单一技术方法的束缚,深入剖析和有效解决那些具有社会工程交叉特征的复杂问题。展开来说,创新的思维方式能够促进洞察力的发展,并增强对问题的识别能力;系统思维通过扩展架构,助力设计多模块战略,从而增强了可预测性,为技术发展指明未来方向。而价值思维与领导力相结合,有助于实现技术社会化合作。其次,要培养关键能力的思维力。在工程实施过程中,这些关键能力的运用不仅验证了多

维度思维的可行性与灵活性,还通过实际环境的反馈,持续推动认知边界的创新与拓展。关键能力的实践应用体现了多维思维的实际效果,即在项目实践中(包括创新、创业、科研等)锤炼关键能力与提升思维,并在实际应用领域深化认知。在真实的社会合作场景中,外部环境变迁与政策调整反馈促使工程师反思战略思考的灵活性及广度,将固定认知转化为动态视野。概而言之,这一过程有力地推动了工程师思维方式和能力的持续进步与发展,即创新思维驱动技术洞察力跃迁、系统思维支撑架构力升级、战略思维赋能预见力迭代、价值思维引领领导力升华。

三、模型构建与运行机制

能力与思维之间相互驱动,通过双向促进的互动机制,形成了螺旋式发展模型的理论基础。在基于螺旋式发展模型的深入研究中,工程师的能力培养遵循着“认知迭代—系统整合—风险预估—社会实现”四个阶段的演变规律,而这些阶段是通过“思维与能力”的双向创新耦合来推动工程能力的逐步提升。该模型突破了传统工程教育学科本位局限,为新时代卓越工程师培养指明了系统发展与成长路径。同时也为后续的“知行合一”工程教育改革提出了富有价值的中国方案参考。

(一)螺旋发展模型的学理阐释

螺旋式发展模型凸显出工程师在知识与实践之间的逐步推进,强调在每一个阶段都应综合不同思维方式和能力,通过针对具体情境问题的解决来实现不断的进步。具体路线如下。

第一阶段:创新思维驱动的问题识别,技术洞见的生成机制。此阶段核心在于创造性理念,它促使工程师运用原理性思维,勇于跳出技术方法的传统框架。采用技术解构与创新突破相结合的分析框架,探讨多样化的数据来源(如政策文本、用户画像和技术路线图等),以识别技术痛点与社会需求之间的非对称关系。创造性思维的意义深远,它不仅推动技术革新,更在于重塑产业链的话语权格局。在这个阶段,创造性思维引导工程师超越传统技术限制,发现潜在的挑战和矛盾点。一旦洞察力被激发,工程师便能从纷繁

复杂的数据和环境中,精准捕捉核心问题,为技术开发指明关键方向。在这一过程中,创造性思维使得工程师能够打破常规限制,而洞察力则引导他们关注技术与社会需求的交汇处。简单来说,创新的思想激发了对工程技术领域关键问题的识别与理解。

第二阶段:系统思维与架构力的融合,实现对复杂系统进行创新整合。在这一阶段,基于霍尔的三维结构理论,工程师需要围绕时间、逻辑、知识三大维度,进行规划系统架构,确保进度管理有序、功能整合高效、跨学科合作顺畅。在推进工程实施过程中,运用结构与性能优化手段以及治理创新的策略,其核心在于系统思维,不仅超越技术整合层面,更致力于构建一个可持续发展的治理体系。研究显示,设计跨参与方合作机制能够有效增强技术系统的长期韧性。系统性思维促使技术专家从全面的角度解析复杂的技术系统中各个模块之间的协作,借助架构能力将抽象的挑战细化为可以实施的技术方案。工程师在确保协调性和功能性完备的同时,需精心规划模块化架构、标准化接口,并构建高效的容错机制。简单来说,将系统思维与架构能力相结合,可以帮助技术人员在优化分布式系统的故障隔离策略方面取得显著进展,从而有效增强系统的整体韧性。

第三阶段:协同战略思维与预见力判断,以应对技术传播中的潜在风险。在这一阶段,利用情境规划的方法,通过对未来趋势的深入分析和动态的权衡,旨在应对技术实施过程中可能出现的多方面冲突,以实现技术目标和社会目标的和谐统一。在实施工程方案时,设计人员应以系统性思维为基础,预估技术在不同社会、政策及市场背景下的适应性,并运用前瞻性思维识别技术应用中潜在价值风险及未来发展趋势。在这个过程中,需要强调多元化情境的分析。战略思维帮助工程师在技术与社会的复杂交织中寻求最佳解决方案,并制定确保技术透明的措施。同时,预见力使他们能够识别利益相关者在技术传播中的多样化需求,预测潜在的风险及发展趋势,从而进行前瞻性的调整与优化。简单来说,战略性的思考与洞察力的结合,能够有效预见实施方案过程中可能遇到的挑战。

第四阶段:融合价值思维与领导力,实现技

术的普遍可达性。在这个阶段,依托利益相关者理论,技术专家应通过关注价值的设计方式,以确保技术成果的公正获取。深思价值观并践行领导力,以此推动方案落地,从而在技术与社会需求间达成和谐统一。重视价值观念意味着技术方案应该兼具普遍适用性和道德考量,而领导才能促成不同资源的有效配合,以便促进技术的社会化运用及其正面效应。在这个阶段,工程师们专注于将技术实施目标与社会价值的协调融合,推动技术的有效落地与广泛应用。在推进项目过程中,工程师需关注商业模式的适时调整、算法公平性的严格审查,以及社会治理的创新实践,从而确保领导力与价值理念之间能够深度且有效地互动。经验表明,能否实现价值思维需要超出单纯的工程技术,通过制度设计构建多方协作的治理框架。

(二) 动态校准机制的运作机理

将实践场景融入教育过程,并建立有效的反馈机制,不仅能够显著提升个体的能力水平,还有助于及时调整教育方向,确保其准确性。工程实践的每一轮迭代均促使思维与能力的稳步增进,动态的反思机制则成为持续优化教育与能力培养的关键驱动力。为应对技术社会的快速变迁,螺旋发展模式需嵌入“动态调整机制”,以此更高效地促进思维跃迁与能力持续进步。在理论构建层面,我们创建了一个动态系统决策模型,旨在实现技术与教育之间的紧密联结,形成一个高效且持续的循环反馈系统。该模型强调了知识与技能之间的双向互动,通过评估指标来追踪认知与技能的提升,及时进行调整以弥补不足之处。在实际操作中,借助真实案例的介入或情境的模拟来促进学生在解决问题时实现持续的循环进步。这一做法可以将当今社会的热点议题转化为教学项目,从而形成有效的培养路径。以自动驾驶技术的适配作为案例,要求学员在系统设计中综合考虑多种因素,以建立一个动态的认证及升级路径。调整机制确保模型紧贴工程技术与社会发展步伐,通过纳入多样化的风险监管实例,深入探索可持续循环发展的可行路径。动态建构的“螺旋式发展模型”借鉴了软件开发中的螺旋模型,通过迭代过程中的需求分析、风险评估、设计实现和客户反馈,强调了“思维驱动—能力反哺”

的耦合作用,从而推动工程设计向共享社会价值的有效转变。该校正机制确保了模型的实时更新与适应性,为卓越工程师的培养奠定了坚实的理论基础,并提供了有力的实证支持,进而增强了他们解决复杂工程问题的能力。

(三) 协同创新生态系统

在思维与能力双螺旋结构的支撑下,构建了协同平台链,整合了政府政策引导(顶层设计)、产业企业需求驱动(真实项目)、高校知识生产(课程体系)、科研机构(前沿科技)以及用户(产品使用者),形成了“政—产—学—研—用”五元联动网络,该网络是实现产教深度融合培养卓越工程师的关键所在。同时,本文借鉴了设计—技术—商业三螺旋框架,提出了“思维场强—能力场强”合成场域,强化了思维与能力的动态交互与共生演进,提升了人才培养体系的系统性与创新性。具体而言,政府在该网络中扮演政策引导和资源支持的角色,通过制定相关政策,激励企业、高校和科研机构参与卓越工程师的培养。企业作为产业的核心,提供实践平台和真实的工程案例,助力学生就业实习。高校负责知识传授与人才培养,强化学生理论功底与创新思维。科研机构深耕前沿技术,为工程教育提供理论支撑和技术革新。用户反馈产品使用情况与需求,指引工程教育和产品研发方向。在五元联动网络中,资源池的共享与价值流创造之间保持动态平衡显得尤为关键。资源池包括人才资源、技术资源、资金资源等。政府、企业、高校、科研机构和用户通过共享资源池,实现资源的优化配置和高效利用。比如,企业能够为高校和科研机构提供先进的技术和设备支持,而高校和科研机构则能够将研究成果转化为企业的实际生产力。价值流创造则是指通过协同合作,各方在人才培养、技术创新、产品研发等方面创造价值。政府通过培养卓越工程师,推动产业升级和经济发展;企业通过参与人才培养,获得符合自身需求的高素质人才,提高企业的竞争力;高校和科研机构通过与企业合作,提高科研成果的转化率和应用价值。在未来,本模型还可充分融合国际先进的工程教育理念及现代数字化工具,利用技术赋能和长效追踪手段,实现了卓越工程师培养路径的系统化、动态化与个性化管理。这不仅丰富和完善了理论

框架,也为能力的层级递进和深度融合提供了强有力的技术支撑与实践保障,推动了高等工程教育教学模式的创新及质量提升,有效助力培养具备跨学科协同创新和社会责任担当的高素质卓越工程人才,满足新时代国家战略对工程技术领军人才的需求。

四、实施策略与创新路径

为高效推进“多维思维驱动—关键能力反哺”螺旋发展模型在卓越工程师培养中的应用,需结合我国高等工程教育现状,构建科学、系统且便于操作的实施路径。此实施路径以课程体系重构、教学范式创新、校企协同深化、政策支持体系和国际合作网络五大要素,通过多层次、多环节的协同努力,推动多维思维和关键能力的逐步提升。

(一) 课程体系重构:从学科纵深到跨界融合

课程体系作为人才培养的根基,为适应卓越工程师培养的“多维思维与关键能力螺旋发展模型”,提出“模块化课程群+动态知识图谱”的课程体系建设方案。模块化课程群按照不同知识领域和能力标准精心划分课程,形成既各自独立又相互衔接的多个教学模块。每个模块聚焦于特定的思维维度或关键能力培养,如培养创新思维的模块中,建议开设“工程实践与技术创新”课程,使学生在实践任务中能够提出创新方案,增强对技术的敏锐洞察力。在培养系统思维的模块中,引入“技术与社会影响的评估”课程,旨在深化学生对工程设计社会价值和伦理意义的理解,从而增强其系统架构设计的能力。在培养战略思维或价值思维的模块,开设“绿色能源技术与气候政策”课程,探讨可再生能源的工程基础与各国碳排放政策的关联,通过分析案例,启发学生思考技术创新在环境与经济和谐发展中的作用。这种模块化设计使得课程体系更加灵活,能够根据学生的不同需求和发展阶段进行组合和调整。动态知识图谱则是利用大数据和人工智能技术,将课程知识从纵深学科领域向跨界整合与关联方向拓展。它能够实时更新知识内容,反映工程领域的最新发展动态,为学生提供全面、准确的知识体系。借助动态知识图谱的直观展示,学生能够清晰地把握各个知识点之间的内在关系,从而

构建出一个条理清晰、逻辑严密的知识网络。例如,浙江大学的“项目贯穿式”课程链设计堪称课程体系重构的典型之作。该设计以实际工程项目为载体,将多个课程串联起来,形成一个有机的整体。学生在项目实施过程中,需融合多门课程的知识与技能,切实解决面临的问题。此课程链设计不仅能增强学生的实践能力,还锻炼其系统思维与架构能力。再如,上海理工大学卓越工程师学院的微专业认证体系为学生提供了更加个性化的学习路径,让每个学生成为自己的CEO。学生可以依据个人的兴趣所在和职业规划方向,自由地选择适合自己的微专业进行深造。一旦完成微专业学习并通过认证,学生将获得相应的证书,这不仅有助于他们在就业市场中脱颖而出,更为其职业发展提供了更多的选择和可能。与此同时,还可创设动态反馈机制,建立基于区块链的课程质量评估监测系统,通过实时收集企业招聘信息、毕业生自我评估以及课程反馈数据,利用区块链技术确保数据的不可篡改性和透明度,从而提升评价过程的客观性和公正性。学校依据项目实施成果与课程反馈,灵活调整课程内容,确保课程体系紧贴学生需求与技术前沿。

(二) 教学范式创新:从单向传授到能力养成

课程结构为多维思维和关键能力的发展奠定了基本框架,而教育模式的优化则是实现这一框架的核心途径。传统的授课方式主要依赖教师将知识单向灌输给学生,这种方法往往无法激发学生的主动学习兴趣和综合运用能力。为了在螺旋式发展模型中有效实现“系统思维与架构力耦合”的目标,教学方法必须具备激励性,促使学生主动投身于探究式学习之中,经由实践与反思的双重磨砺,稳步增强其核心能力。实施的具体方案可包括:一是升级项目基地学习(PBL)。采用“小团队—大任务”的模式,学生在面对真实或模拟的工程挑战中,全面经历从细致分解任务至系统设计的实践历程。例如,北京大学在“智慧城市规划”课程中,学员们需要协同完成城市交通的智能优化任务,这不仅涵盖了需求调查、算法模型的构建以及用户体验的反馈测试,还特别强调了利用人工智能技术优化交通流量管理,减少拥堵,提高交通效率。此套学习流程不仅助力学生在系统思维培育上迈出新步伐,还促

使他们在应对复杂任务时,能够设计出分散式的解决方案,进而提升其团队合作与独立思考的双重能力。

清华大学工训中心铸造实验室引入 3D One Plus 中望三维创意设计软件,借助先进的三维创意设计教学工具和 3D 打印技术,有效激发学生的创新思维,挖掘并释放他们的创新潜能^[16]。二是推行创新的混合教学模式。以上海理工大学丁晓红教授的教学团队建设机械工程专业课程体系教学为例,他们引入“翻转课堂与在线实践”的结合模式,为学生搭建一座从知识汲取到技能应用的坚实桥梁,鼓励他们主动探索复杂问题的理论根基和技术前沿,并在课堂上参与由企业导师指导的实践项目。同时,通过对具体案例的解析,可以帮助学生深入理解资源分配、伦理考量和安全设计等重要议题^[17]。此外,通过将虚拟仿真平台与实体实验相结合,可以显著增强学生对复杂系统内在逻辑及抽象概念的理解。此类教学方法使得孤立的知识点在特定情境中得以有机地串联,构建起一个完整的认知网络。例如,西安电子科技大学通信工程卓越班以工程启蒙、工程与理论的结合、工程创新为指导,实施了理论教学与实验实践教学的双主线教学模式,致力于全面提升学生的综合素质与能力^[18]。三是技术伦理教育重组。通过层层递进的学习路径,学生可以逐渐深化从技术层面的理解到系统的构建,再到全球领导力的培养。例如,哈尔滨工业大学注重工程伦理与社会责任的融入,构建了“价值引领—伦理实践”贯穿培养全过程的模式。结合工程项目实践,学生在多元价值冲突决策中展示出较高的价值思维成熟度,模型中的价值思维培养得以在该校教学实践中得到完整验证^[19]。

(三) 校企协同深化:从技术攻关到生态共建

结合理论与实践的卓越工程师培养模式,通过校企合作机制为学生提供了在真实技术环境中进行实践的机会。在螺旋发展模型中,特别是在培养“战略思维与预见力”的环节,基于创新生态系统的理念,校企协同应打破传统的“订单式培养”方式,构建“价值共生网络”,将高校与企业的合作延伸到更深层次的技术研发与生态建设。这不仅能直接提升学生解决问题的能力,还能为教育内容的优化提供及时反馈。此外,这种

合作模式能够显著提高技术转化的效果。其具体实施方法为:一是建立校企联合研发的合作平台,将产业中实际存在的需求问题转化为研究方向,在学员通过课程学习和实验室探究的基础上,探索并提出针对性的技术解决办法。例如,清华大学工训中心铸造实验室引入 3D One Plus 中望三维创意设计软件,借助先进的三维创意设计教学工具和 3D 打印技术,有效激发学生的创新思维,挖掘并释放他们的创新潜能。清华大学还通过集成创新实践活动和工程科学创新挑战营等,推动科技与经济的深度融合发展,显著提升科技成果转化效率与实际应用水平,为学生提供丰富的实践机会。此合作模式互惠互利,既强化了学生的实践操作,又提升了校企协作的内涵和价值。二是构建生态型实践基地,以加强企业参与的延续性与可持续发展。该实践基地将合作企业的研发实验室融入技术开发流程,使学生能参与研发项目,探讨技术的社会功能,全面增强战略思维和前瞻能力。例如,浙江大学依托产学研深度融合构建了长三角智慧绿洲创新中心,秉承人、自然与科技和谐共生、绿色发展的新理念,致力于打造一个科技创新、人才培养、未来产业“三位一体”的卓越生态系统。在此过程中,特别强调了战略预见力的培养。学生通过参与多样化的产业项目实践,持续锻炼并提升了对复杂系统的整体把控与协调能力。结合企业导师提供的技术前瞻指导,学生在战略思维的应用水平上得到了显著提升。三是引入动态评估和反馈机制,这有助于增强校企合作的适应性。未来在实施产教结合的过程中,需要双导师及时收集企业在技术需求方面的变化,以及学生在实践环节中所面临的问题。这些具有反馈数据为课程和任务的动态调整提供了依据,确保产教融合能够敏锐捕捉新技术并迅速融入课程,保持教育的前瞻性。

(四) 政策支持体系:从监管滞后到前瞻引导

强化教育政策支持是成功实施改革的基本保障。螺旋发展模型强调,教育生态链需紧密围绕学生能力发展路径提供坚实支撑,其高效运转更需系统化政策辅助。基于三螺旋理论,建议构建一个有机的政策框架,旨在实现政府的引导、市场的驱动和社会的参与之间的有机统一。不断更新政策、设计资源支持方案,并搭建产业与高校

的对接桥梁,将塑造出更贴合未来需求的教育环境。具体实施方案包括:一是制定侧重于规范化技术伦理导向的教育政策。例如,设立“技术人员社会责任与道德原则”教育标准,要求高校在科技课程中引入学生思考技术对社会影响。以人工智能或自动驾驶课程为例,引入与算法公正性以及个人隐私保护相关的议题,帮助学生构建适应未来全球治理的基本认知。二是制定有利于推动教育创新的政策,通过示范院校和财政资助以更好地适应技术进步的需求。设立专项资金建立跨学科技术实验室,引进数字孪生、人工智能平台,助力学生实践学习。三是推动研究结果符合行业标准的需求。实施技术认证体系,开放共享学习数据,并结合企业反馈,调整教育课程以满足市场需求。换言之,应构建技术伦理教育的标准化框架,设计容错体系,并不断更新标准,为螺旋式发展的模式提供良好的政策环境并促进其繁荣。

(五) 国际合作网络:从文化适应到全球治理

在全球化4.0数字经济时代,工程师需具备跨文化技术治理能力。国际教育协作应从课程互换升级深度交流核心价值观并建立共识。实施方案可以包括提升联合培养项目、构建旨在应对全球性挑战的研究平台,以及建立参与国际标准制订的机制等。跨文化适应能力与国际合作的素养在螺旋模型中体现了“价值思维协同领导力”的核心要素。在当前全球化的大背景下,高校正致力于打造全球化的教育平台,通过“以点带面”的创新思路和“一院一基地”工程,促进跨文化的知识交流,并将全球重大议题融入学习内容。此外,通过国际化课程体系建设、外语教学与交流、国际实践与交流等措施,高校不仅提升了师资队伍的国际水平,还注重学生国际化素养的培养,以培养具备国际视野和战略思维的杰出工程人才。通过建立国际合作实验室,各国的工程师将能够携手攻克技术难题,深入交流未来智慧城市的发展蓝图,并细致研究自动驾驶的法律框架及其实际应用中的挑战。可以通过参与跨国合作项目,提升学生在多文化环境中应对技术治理的能力与敏感度。此外,通过模拟全球技术治理合作委员会的各项活动,学生将在面对多元文化和利益冲突时,学会多角度审视问题,从而培养出卓越的

平衡协调能力。

综上所述,通过教育生态系统五大领域的改革协同推进,旨在解决现行培养模式在思维训练与能力衔接上的缺陷的螺旋发展模型,在课程体系重构、教育范式创新、校企协同深化、政策支持体系和国际合作网络等领域的深入应用,促进了从专注于“技术工具论”的传统人才培养模式,向致力于培养具备“战略引领者”特质的卓越工程师培养转型的转变,为思维和能力的提升构建了全面支持体系,有力促进了学生思维和能力的持续提升。

五、结语

作为一种创新性的理论框架,“螺旋式发展模式”强调通过多维思维结构与关键能力的双螺旋驱动,推动卓越工程师的培养,这一思路为构建不断演化的人才培养生态系统提供了内在逻辑。本文设计了一套涵盖课程结构的模块化重塑、以项目为基础的教学模式创新、强化产教融合的协作机制、精准的政策配套体系及国际教育合作网络,形成一个贯穿“理论基础—实践检验—反馈优化”的完整实施路径。在课程实施阶段,通过课程体系的全面重构跨越了学科壁垒,构建了支持多维度思考的认知框架;围绕“能力输出”这一核心理念,对教育方式进行了大胆创新,形成“在实践中学习,在学习中创新”的良性循环能力培养模式;通过校企深化协同机制,进一步推动了教育与产业行业之间在真实应用中的深度融合与紧密合作;政策支持体系通过灵活调整策略,确保了教育目标与产业需求之间的无缝对接和精准匹配;全球合作框架不仅局限于文化的交流与融合,更致力于培养具备国际视野和文化沟通能力的人才。这五个方面形成了一个反馈闭环,支持学生在微观和中观层面上的思维与能力发展。该模型的价值在于打破了传统的线性发展限制,创造出了能力提升的螺旋发展模式,构建了具有自适应特征的工程教育生态,旨在应对第四次工业革命的挑战,为培养适应新时代的、具备全球竞争力的卓越工程师提供新模式。

参考文献:

- [1] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜为全面建设

- 社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告 [EB/OL]. (2022-10-25)[2025-02-10]. https://www.qstheory.cn/yaowen/2022-10/25/c_1129079926.htm.
- [2] 教育部. 18家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》[EB/OL]. (2022-09-27)[2025-02-10]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/gzdt_gzdt/s5987/202209/t20220927_665486.html.
- [3] 陈向东, 洪冠新. 国际科技竞争环境下高等工程教育改革大势: 新工程教育十大革新理念 [J]. 中国软科学, 2024(1): 1-11.
- [4] National Academy of Engineering. The engineer of 2020: visions of engineering in the new century[M]. Washington: The National Academies Press, 2004.
- [5] Vander A T. The era of accelerated change: The future of work and leadership development[EB/OL]. (2022-07-02)[2025-03-07]. <https://library.educause.edu/resources/2020/7/the-era-of-accelerated-change-the-future-of-work-and-leadership-development>.
- [6] Matusovich H, Benson L. Roles of *Advances in Engineering Education and Journal of Engineering Education* for the engineering education community[J]. Journal of Engineering Education, 2022, 111(1): 5-8.
- [7] Friedman B, Kahn Jr P H, Borning A, et al. Value sensitive design and information systems[M]// Doorn N, Schuurbiers D, van de Poel I, et al. Early engagement and new technologies: opening up the laboratory. Dordrecht: Springer, 2013.
- [8] 教育部. 新工科研究与实践项目指南 [EB/OL]. (2017-07-03)[2025-03-07]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201707/t20170703_308464.html.
- [9] 李培根. 工程教育需要从“知识导向”到“问题导向”的转型 [J]. 高等工程教育研究, 2024(3): 1-8.
- [10] 金涌. 多维度思维方法养成是新工科教育目标之一 [N]. 中国科学报, 2022-08-02(04).
- [11] 赵继. 工程师的“毛坯”打不牢咋办?工程教育急需“硬”起来 [N]. 中国科学报, 2022-08-09(04).
- [12] 周玲, 王欣怡. 创新领军型工程人才培养的现实考量与对策建议——基于工程博士创新力与领导力的视角 [J]. 北京教育(高教), 2023(12): 26-32.
- [13] 郑丽娜, 姜子娇, 雷庆. 新时代卓越工程师核心能力: 基于扎根理论的探索性研究 [J]. 中国高教研究, 2022(9): 38-45.
- [14] 俞继仙, 林承焰, 李兆敏. 高校横向科研项目的育人价值——基于工程类专业学位研究生培养视角 [J]. 学位与研究生教育, 2022(3): 51-56.
- [15] 谢远龙, 王书亭, 郭卉, 等. 教育数字化转型下数字孪生驱动的机械工程专业人才培养 [J]. 高等工程教育研究, 2023(6): 47-53.
- [16] 清华大学工训中心携手中望 3D One, 加速创新型人才培养 [EB/OL]. (2022-04-15)[2025-03-05]. <https://www.i3done.com/news/2022/3372.html>.
- [17] 丁晓红, 李郝林, 钱炜. 基于成果导向的机械工程创新人才培养模式 [J]. 高等工程教育研究, 2017(1): 119-122.
- [18] 胡云, 陈彦辉, 康瑾, 等. 依托智慧实验平台的高校实验教学管理系统 [J]. 现代电子技术, 2022, 45(22): 111-115.
- [19] 徐晶, 黄鹰航, 匡尔娜. 哈尔滨工业大学(深圳): 四维联动构建“价值塑造”型课程思政体系 [N]. 光明日报, 2022-05-13(10).

(责编:程爱婕)