



人工智能对工程生态的塑造与驱动

王大洲^{1*}, 孙皖湘¹, 余江^{2,3}

1. 中国科学院大学 人文学院, 北京 100049;

2. 中国科学院 科技战略咨询研究院, 北京 100190;

3. 中国科学院大学 公共政策与管理学院, 北京 100049

摘要: 人工智能技术已广泛渗透于各个工程领域, 不仅塑造了工程生态的面貌, 还驱动着其动态演化。本文从工程生态的视角出发, 探讨了人工智能的发展态势及生态竞争格局, 着重分析了人工智能如何塑造工程生态, 以及驱动其动态演化的外在表现与内在机制。人工智能促使人工制品成为人类活动的智能伙伴; 它重构了工程生态中各类生态关系的框架; 同时, 人工智能使得数据流成为工程生态运行的“血液”, 让算力网络成为其“神经中枢”。人工智能驱动工程生态动态演化的核心机制在于: 人工智能强化了工程生态的微观、中观与宏观三个层次间的互动; 强化了工程生态中的收益递增和网络效应; 加剧了工程生态间的竞争态势; 并催生了智能化的工程生态建构方法。在此背景下, 工程实践的“规则”正经历根本性变革, 工程实践正逐步迈向工程生态实践, 生态思维也日益成为决定工程实践成败的关键思维形式。

关键词: 人工智能; 人工智能体; 工程生态; 动态演化

中图分类号: N91

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2025)01-0065-13

引言

随着经济社会网络化、数字化和智能化的深入推进, 工程呈现出生态化发展趋势, “工程生态”也已

成为工程哲学研究的新热点。这个概念源于对传统工程活动范式的反思, 强调工程是一种“生态性存在”^[1]。傅志寰和李伯聪认为, 工程生态研究有三个基本取向: 把工程的“对象”“结构”“功能”看作具

收稿日期: 2025-02-11; 修回日期: 2025-02-15

基金项目: 中国工程院战略研究与咨询项目“工程生态论理论体系与实践研究”(2024-XZ-69); 教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目“工程科学哲学基本理论问题研究”(23JZD006); 国家自然科学基金项目“数字技术创新机制、突破路径与政策体系研究”(72334007)

作者简介: *王大洲 (1967—), 男, 博士, 教授, 研究方向为工程哲学、工程史与工程社会学。E-mail: dzwang@ucas.ac.cn (通讯作者)

孙皖湘 (2001—), 女, 硕士研究生, 研究方向为工程哲学。E-mail: sunwanxiang23@mails.ucas.ac.cn

余江 (1969—), 男, 博士, 教授, 研究方向为创新政策与管理、数字科技创新战略。E-mail: yujiang@casisd.cn

引用格式: 王大洲, 孙皖湘, 余江. 人工智能对工程生态的塑造与驱动[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2025, 17(1): 65-77. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20250017. CSTR: 32282.14.JES.20250017

Wang D Z, Sun W X, Yu J. Artificial Intelligence's Role in Shaping and Energizing Engineering Ecosystems[J]. Journal of Engineering Studies, 2025, 17(1): 65-77. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20250017. CSTR: 32282.14.JES.20250017

有“(类)生命”特征的“生命体”;把工程系统看作具有“广义生态特征”的“(类)生态系统”;从微观-中观-宏观三个尺度(层次)的相互联系、相互作用中研究相关问题。工程生态论研究的学术目的是将“工程哲学五论(科学技术工程三元论、工程本体论、工程方法论、工程知识论、工程演化论)体系”拓展为包括工程生态论在内的“六论”体系^[2]。遵循这一总体导向,相关学者已就工程生态的性质与特征、工程生命体的健康支撑系统、基于全球信息模型的工程生态分析以及交通工程生态的具体案例等方面展开了深入探讨,初步勾勒出工程生态论的理论框架^[3-7]。尽管现有研究已经注意到人工智能(AI)对工程生态的深刻影响,但是还没有就此开展专题研究。

与此同时,在创新研究领域,一些学者从管理学角度对工程创新生态系统展开了较为深入的探讨,特别是针对人工智能对创新生态系统的影响进行了详尽分析。例如,姜李丹等^[8]剖析了AI赋能下产业创新生态系统的双重转型机制,即核心驱动层与样态变革层的运行逻辑;张治河等^[9]则构建了涵盖教育、产业及政策层面的AI创新生态系统模型;尹西明等^[10]提出了“场景驱动型AI创新生态系统”的概念,强调场景需求是激活AI技术应用与生态协同的关键驱动力;沈志锋等^[11]将AI视为“赋能者”与“联结者”的双重角色,认为其推动了创新生态系统向去中心化方向发展。尽管这些研究已经触及了人工智能对创新生态系统的影响,但创新生态毕竟只是工程生态的一个组成部分,尚不足以全面揭示人工智能对工程生态的整体影响。

因此,如何从工程生态的视角审视人工智能,以及如何评估人工智能对工程生态及其动态演化的影响,仍是一个值得深入探讨的课题。本文旨在从哲学角度探讨人工智能对工程生态的嵌入和重塑,以期对工程生态论的理论建构尽绵薄之力。

1 工程生态视野中的人工智能

人工智能作为新一代通用技术,与传统技术存在根本差异。它以数据为生产资料、以算法为核心引擎、以算力为基础设施,通过信息处理与语义解析构

建智能系统,从而赋予其强大的空间穿透力(突破物理边界)、行业渗透力(重构产业逻辑)和生态辐射力(重构竞争格局),甚至呈现出“赢家通吃”的性质。正因如此,人工智能的竞争已经超越单纯的技术竞争,演变为生态竞争。因此需要从工程生态视角看人工智能的发展,立体化审视人工智能发展的生态逻辑。

1.1 人工智能发展的基本脉络

人工智能从理论萌芽到颠覆性创新,每一步都交织着想象力与技术突破。20世纪50年代,图灵开创性地提出“机器能思考吗?”这个问题并设计了“图灵测试”^[12]。1956年,在达特茅斯会议上,“人工智能”(Artificial Intelligence)这一术语应运而生,科学家们预言智能机器将接管人类的工作。早期的探索主要聚焦于符号逻辑与规则系统,然而受限于算力和数据的匮乏,人工智能在1970年代遭遇了寒冬。进入1980年代,随着专家系统的崛起,人工智能重新获得了人们的关注,这些系统专注于解决医疗诊断、地质勘探等特定领域的问题。1997年,IBM的“深蓝”计算机击败国际象棋冠军卡斯帕罗夫。这一事件成为人工智能发展历程中的一个重要里程碑。此后,机器学习逐渐取代了符号主义的主导地位,研究者们开始意识到,机器能够从数据中“自我学习”。2006年,杰弗里·辛顿(Geoffrey Hinton)提出了“深度学习”概念。2012年,AlexNet在图像识别竞赛中取得了突破性进展。2016年,AlphaGo战胜围棋世界冠军李世石,彰显了强化学习的巨大潜力。到了2017年,谷歌研究团队率先提出Transformer架构,该架构通过自注意力机制和多头注意力层,有效解决了循环神经网络(RNN)中存在的长距离依赖衰减问题^[13]。基于这一架构的创新,双向编码器BERT、GPT等一系列预训练模型应运而生。其中,2020年发布的GPT-3更是展现出了接近人类水平的语言生成能力^[14]。

2022年,ChatGPT通过人类反馈强化学习实现流畅对话,用户迅速突破亿级。生成式人工智能在视觉领域也取得突破,如Stable Diffusion和MidJourney。2023年,谷歌的RT-2模型使机器人能理解抽象指令。

而在生命科学领域, AlphaFold2 破解蛋白质折叠难题, 预测 2 亿种蛋白质结构。通用人工智能 (AGI) 的探索同样在稳步前行, 涵盖了 Q* 架构、AI 对齐技术, 以及脑机接口等领域。2024 年, Sora 模型成功实现了从文本到高清视频的转化。与此同时, 特斯拉与波士顿动力公司也将人工智能引入了物理空间, 令机器人掌握了搬箱子、跳舞等多项技能^[15]。

至此, 人工智能已从构想成长为席卷全球的“超级存在物”(hyper-object)^[16], 渗透至社会的各个角落^[17], 推动了科学的巨大飞跃、工厂效率的显著提升、医疗诊断精准度的大幅提高, 乃至艺术创作的广泛普及。与此同时, 各种伦理困境与社会变革的冲击也随之而来。在此背景下, 追求计算效率的新高度(例如量子 AI 与神经形态芯片)、实现能力的广泛通用性(跨领域知识迁移)、构建更加安全的架构(可解释 AI 与价值对齐), 已成为人工智能发展的主流趋势。

1.2 全球人工智能生态发展格局

人工智能的竞争, 本质上是人工智能生态竞争, 而且是全球化的。当前, 全球人工智能生态竞争呈现出多极化与差异化的格局, 主要围绕技术主导权、产业应用以及标准制定展开^{[18]①}。

在这一竞争态势中, 中美占据主导地位, 但采取了截然不同的路径: 美国依托其在基础研究(如 OpenAI、Google、DeepMind 等)和半导体领域(如英伟达、GPU 和芯片设计)的强大优势, 主导大模型与算力层的创新, 并通过出口管制(如限制对华高端 AI 芯片)来巩固技术壁垒; 而中国则以海量数据和工程化能力为支撑, 聚焦于人工智能技术的应用场景落地(如字节跳动、腾讯、商汤等), 尽管在算力芯片领域面临“卡脖子”问题, 但国内大模型数量已占全球的 40%, 并逐步推进自主替代。其背后, 实际上是两国宏观工程生态之间的竞争。

与此同时, 欧盟正通过《人工智能法案》等政策框架建立风险分级治理体系, 强化对高风险人工智能应用(如生物识别技术)的伦理治理, 推动依托

GDPR 数据保护框架的“可信 AI”认证标准的国际化输出, 形成“伦理高地构筑-监管规则输出-数字主权争夺”的三重战略布局。这种以监管创新弥补技术创新短板的战略对冲范式, 虽然很大程度上在数字规则话语争夺中占据先机, 但却面临合规成本攀升导致创新动能衰减的风险。反观新兴经济体, 印度通过“数字印度”计划实施算力基建税收减免, 中东主权基金以千亿规模吸引跨国人工智能实验室本土化落地(如阿布扎比 AI 研究院), 东南亚则凭借多元应用场景催生特色创新(如 Grab 基于 2.8 亿用户的智能交通解决方案), 正在努力争夺全球人工智能发展的第三极。

在技术层面, 竞争焦点集中在算力、算法和数据三个方面。美国凭借对先进芯片供应链的控制, 一直占据算力主导地位, 而中国在加速自主替代(如华为昇腾、寒武纪等芯片的发展), 欧盟则力推 RISC-V 开源芯片生态以寻求突破。算法层面, 中美竞逐通用大模型的主导权, 开源社区成为博弈的重要战场(如 Meta 的 Llama 2 与中国的 DeepSeek 等)。数据层面, 欧美争夺跨境数据流动规则的主导权, 而发展中国家则强化数据主权(如印尼的数据本地化政策)以维护自身利益。

人工智能技术在地缘政治与国家安全领域的深度渗透, 正在引发国家安全格局与国际关系体系的深层次变革。人工智能技术能够高效地生成和传播虚假信息, 通过社交媒体等平台操纵公众舆论, 可能影响选举结果或煽动社会分裂, 这不仅威胁到民主制度的健康发展, 还可能被用作国家间对抗的工具。人工智能在网络安全领域的应用能够显著增强攻防双方的能力, 一方面可以被用来自动检测和防御网络攻击, 提高系统的安全性和可靠性, 另一方面攻击者也可能利用人工智能发起更加复杂和隐蔽的网络攻击, 这将导致网络空间安全形势更加严峻。不仅如此, 不少国家还将人工智能技术确立为国家安全战略转型的核心驱动力。这种技术竞争已突破传统安全范畴, 形成涵盖数字经济主导权争夺、技术标准体系建构、数字基础设施布局的复合型竞争态势。

总体上看, 人工智能竞争已超越了单纯的技术范

① 在 2024 年世界互联网大会乌镇峰会上, 上海社会科学院等 15 家中国智库和高校共同撰写的《全球人工智能治理研究报告》发布, 分析了全球人工智能竞争态势, 提出了完善全球人工智能治理体系的目标宗旨, 致力于形成具有广泛共识的人工智能治理框架和标准规范。

畴,成为大国综合实力博弈的核心战场。技术割裂化与阵营化趋势日益明显,但与此同时,全球对开源协作与共同治理的需求也在同步增长。尽管技术与规则的双重博弈加剧了国际政治经济的不确定性,但如何在竞争中寻求合作,仍然是未来全球人工智能生态发展的关键课题。

1.3 DeepSeek 重塑人工智能生态

在人工智能生态竞争中,中国深度求索公司(DeepSeek)闯出了一条新路,改变了全球人工智能生态竞争格局。这家成立于2023年的企业,以“探索通用人工智能(AGI)本质”为使命,聚焦大模型技术突破与行业落地,迅速成为全球人工智能竞争中的重要力量。

DeepSeek 成立之初便确立了“技术开源+场景深耕”双轮驱动战略。2023年推出首款千亿参数中文大模型 DeepSeek-R1,性能对标 OpenAI 的 o1 模型,且以极低的训练成本实现接近 GPT-4 的能力,引发行业震动。2024年公司开源多模态模型 DeepSeek-Vision,支持图文生成、视频语义分析等任务,迅速被开发者社区采纳为跨模态应用的基础工具。2024年12月26日,DeepSeek-V3 首个版本正式上线并同步“开源”^[19]。2025年1月31日,英伟达宣布 DeepSeek-R1 模型登陆 NVIDIA NIM。同一时段内,亚马逊和微软也接入 DeepSeek-R1 模型。DeepSeek 的出现,颠覆了“大模型需要大算力”以及“人工智能离不开巨型数据集”的传统认知模式,挑战了美国在人工智能领域的主导地位,被称为“国运级别的科技成果”。

在此之前,人工智能一直由美国引领,是其竭力维护其垄断性领先地位的工程领域。“OpenAI+英伟达+cuda”联合打造的“大语言模型”(LLM)就是其突出体现。然而,Deepseek 采取开源策略,推动全球人工智能进一步走向开源时代,使得用户摆脱封闭,可以低成本搭建自己的专用人工智能体,从此能够更加海阔天空。可以说,DeepSeek 不仅是技术突破,更是生态突破,是对全球人工智能生态的重塑。更具深远意义的是,DeepSeek 通过认知架构可解释性研究,为全球 AGI 基础理论贡献中国智慧,其构建

的“人机协作知识网络”已应用于智库决策系统,体现了运用人工智能增强人类集体智能的探索精神^[20]。

面对美国技术封锁,DeepSeek 进一步联合国内芯片企业,积极打造自主算力生态,其模型在国产硬件上的推理效率优化达国际领先水平。同时,公司通过开放国际合作(如与中东联合开发阿拉伯语大模型),推动技术标准多元化,成为全球人工智能生态中不可忽视的中国力量。DeepSeek 的崛起不仅印证了中国在人工智能领域的创新潜力,更以“技术普惠+伦理先行”的理念为全球人工智能发展提供了新范例。

可以说,在通用人工智能(AGI)技术加速突破的浪潮中,以 DeepSeek 为代表的中国大语言模型正以颠覆性创新重塑人工智能的底层逻辑,重塑全球人工智能生态格局。在这种情况下,工程实践者面临的最大的风险不在于技术差距,而在于用工业时代的思维应对智能时代的规则。

2 人工智能塑造工程生态

人工智能的影响已经无处不在,机器学习、深度学习、自然语言处理和计算机视觉等技术已经广泛“嵌入”各个工程领域,推动工程生态全面走向智能化。传统的工程生态系统以人类为核心,工程项目的设计、施工和运行主要依赖于工程师的专业知识和经验,缺乏深度协同效应。智能化技术的引入,使得工程生态系统从单一的人类主导模式,转变为“人-机-环境”深度共生的新型共同体。人工智能技术贯穿于工程生态的各个环节,包括数据采集、分析、决策、执行和优化,形成数据驱动、资源优化、动态管理、预测建模、自动化控制等多方面的能力,不仅能够提高工程生态的运行效率和可持续性,还使其更好地应对复杂多变的经济社会环境挑战。

2.1 人工智能推动人工制品成为人类活动的智能伙伴

随着人工智能技术的广泛应用,各类人工制品正在走向智能化,变为人工智能体(AI agents)。这一转变不仅是功能层面的升级,更是人工制品角色的根本性转变,具体表现为人工制品具备了各种前所未有的

的“能力”，不再是被动的工具，而是成为了“准主体”。

这种准主体能力具体表现在四个方面：其一，感知环境的能力。通过内置的传感器和物联网技术，能够实时感知周围的环境。例如，智能安防系统可以通过摄像头和红外传感器监测工作环境的安全状况。其二，自主决策的能力。智能化的人工制品不再仅仅依赖于预设的程序或用户的手动操作，而是通过内置的人工智能算法，具备了自主决策的能力。例如，工业机器人通过实时分析生产数据，自主优化操作路径，提升生产效率。其三，动态响应的能力。智能化的人工制品能够根据环境和用户需求的变化，实时调整自身的行为。例如，工业生产中的智能设备可以根据生产线的变化动态调整操作参数，确保生产的连续性和稳定性。其四，学习与适应能力。智能化的人工制品通过机器学习算法，进行自主学习，以适应外部环境的变化。例如，智能交通系统可以通过分析实时交通流量，自动调整交通信号灯的控制方案，减少交通拥堵^[17]。

基于这些“准主体”智能特性，当代智能化人工制品依托互联网和物联网技术，正在逐步构建起多模态协同工作机制。例如，工业生产中的智能设备也可以通过物联网和工业互联网技术，实现生产线的自动化和智能化，提升生产效率和产品质量。而这种协同的背后，是高效的数据共享和协同决策。在智能制造中，通过汇总来自各个生产设备和传感器的数据，系统可以进行实时监控和优化，提升生产线的整体效率和灵活性。这种数据驱动型协同机制的技术实现，通过“感知-分析-决策-执行”的闭环控制系统进行运转，智能化人工制品不仅实现了设备级的功能自治，更在系统层面展现出群体智能特征。

这样，智能化使得人工制品在功能层面得到了显著提升。例如，智能汽车不仅具备自动驾驶功能，还能够通过实时分析路况信息，提供更加安全、舒适的驾驶体验。这种功能升级使得人工制品能够更好地满足用户的多样化需求，提升用户体验。不仅如此，人工制品的角色正在发生根本性转变，从被动地执行用户的指令，转变为主动地参与到用户的活动中，提供智能化的支持和协同。这种角色的转变标志着工程活

动从“工具辅助”向“智能协同”的新阶段迈进。

2.2 人工智能重构工程生态中各类生态关系

人工智能的嵌入，使得工程生态网络中的三类基本交互关系（人-人、人-物、物-物）均发生质的变化：其一，人-人交互的智能化。人工智能体通过自然语言处理、情感计算等技术，成为人类协作的中介与增强者。例如，在远程医疗生态中，人工智能诊断系统可辅助医生快速分析病例，同时通过知识图谱整合全球医学研究成果，显著提升跨地域专家协作效率。这种交互的实时化与知识增强特性，打破了传统人类协作的时空限制。其二，人-物交互的自动化。智能穿戴设备与用户的持续生物信号交互、工业数字孪生系统中操作员与虚拟设备的实时映射，均体现了人机交互从“单向指令”到“双向认知耦合”的转变。人工智能体还能进行用户画像建模，据此预判需求并主动提供服务，从而大大提升服务效率。其三，物-物交互的自主化。物联网（IoT）与边缘计算的结合，使得设备间可通过M2M（Machine-to-Machine）通信自主协调^[21]。例如，在智能电网中，分布式能源设备基于市场价格信号、负载预测自动调整供电策略，形成动态平衡的网络系统^[22]。这种物物交互的实时响应能力，极大提升了工程生态系统的鲁棒性。人工智能体对工程生态中三类交互关系重构的本质，是将这类关系“数据化”，因而变得“可度量”，并在一定程度上“可操控”。

传统上，工程项目的实施主要依赖工程师的经验和判断，但随着数据量的激增和技术的进步，人工智能体开始承担越来越多的任务，已广泛用于工程活动的全生命周期，它们不仅推动着各类工程更加高效地关联与融合，更已成为工程生态中不可或缺的内在组成部分。在数据分析方面，人工智能体通过强大的数据处理和分析能力，为工程生态中的各个主体提供决策支持。在实时监控方面，人工智能体能够实时监测系统的运行状态，及时发现和解决问题，确保工程生态系统的平稳高效运行。在资源利用方面，人工智能体通过智能优化算法，可以帮助实现资源的高效利用，降低整个生态系统的运行成本。在风险评估方面，人工智能体还能够对工程生态面临的潜在风险进

行预测和评估,帮助各类行动者制定应对措施,增强抗风险能力。在创新推动方面,人工智能体通过数据分析和模型构建,推动技术创新和模式创新,为工程生态中的各个主体提供源源不断的动力。在协同治理方面,人工智能体作为桥梁,促进生态系统中各个主体之间的协同与共生。需要特别强调,人工智能体通过监测和分析环境数据,还可以帮助实现工程生态和自然生态的协调发展。

2.3 人工智能推动数据流成为工程生态运行的“血液”

随着人工智能的全面应用,数据流贯穿工程生态各环节,已经成为工程生态运行的“血液”,传递着物质、信息和能量^[23]。

首先,数据流动是人工智能算法训练和优化的必要条件。不管是机器学习还是深度学习模型,都需要大量数据进行训练。而且数据流动不仅在模型初始训练阶段重要,在其整个生命周期都有关键作用。随着时间推移和应用场景变化,模型性能可能下降,通过数据流动收集新的反馈数据,如模型在实际应用中预测结果与真实情况的差异数据,再将这些数据重新输入模型进行再训练和优化,可让模型适应新环境和任务需求。例如自动驾驶汽车在行驶中不断收集路况、交通标志、行人行为等传感器数据,实时反馈到云端分析处理以持续优化自动驾驶模型,提高驾驶安全性和可靠性。

其次,数据循环支撑工程生态的持续创新和发展。数据流使工程生态各环节相互促进、协同发展,从采集、处理、分析到应用形成闭环。比如电商平台收集用户浏览、购买、评价等数据进行分析挖掘,了解用户偏好和需求后优化商品推荐算法,为用户提供更精准推荐,用户新行为数据又进入数据循环进一步优化算法,推动电商平台技术迭代升级,提高用户体验和平台竞争力。而且,不同领域的的数据循环融合还能催生新技术和应用,医疗领域与人工智能领域结合,医院收集的病例、医学影像等数据与人工智能算法交互,人工智能辅助医生诊断和制定治疗方案,分析结果反馈给医学研究人员促进医学创新,打破传统行业边界创造更多创新机会和商业价值。

第三,数据流动和数据循环保障工程生态的高效运行和资源合理配置。在工程生态中,数据流动可实现各子系统信息共享和协同工作。如在智能工厂中,生产线上传感器收集设备运行状态、产品质量等数据传输到中央控制系统,中央控制系统据此实时分析决策,调整生产参数、优化生产流程,提高生产效率和产品质量。数据循环还能让系统根据历史和实时数据自我调整优化,避免资源浪费和闲置,实现高效利用。

最后,数据流动和数据循环有助于构建工程生态的信任和协作机制。在工程生态里,不同参与方需共享数据实现共同目标,数据流动的透明性和可追溯性能增强合作伙伴间信任,减少信息不对称风险,促进各方合作。数据循环还能让工程生态各参与方根据数据反馈调整策略和行为,实现协同发展。例如在智慧城市建设中,政府、企业和居民通过数据循环共享城市运行数据,政府据此制定科学规划和管理政策,企业开发符合需求的产品和服务,居民调整生活方式提高生活质量,推动智慧城市建设发展。

2.4 人工智能推动算力网络成为工程生态运行的“神经中枢”

人工智能作为一项前沿技术,已经渗透到各个行业。从自动驾驶到智能家居,从金融风控到医疗诊断,其应用无处不在。人工智能能够处理海量数据,进行复杂的计算和决策,极大地提升了工程活动的智能化水平。各种人工智能体(如智能助手、自动化系统等)作为“网器”,扮演着关键的连接者角色。它们通过互联网和通信技术,将不同的系统和设备连接在一起,实现信息的实时传递和处理。例如,在工业互联网中,各种智能设备通过物联网技术连接在一起,形成一个智能化的生产系统。为此,就必须实时收集和分析海量数据,用于预测、决策、协调、控制,因而也就离不开强大的“算力”支持。

算力作为工程实践乃至整个社会运行的基础,其重要性日益凸显。无论是人工智能模型的训练,还是大数据的分析处理,强大算力的支持是不可或缺的条件。算力不仅决定了工程实践的效率,还直接关系到创新的速度和质量。例如,深度学习模型的训练需要

大量的计算资源,而高性能计算集群可以显著缩短训练时间,提升模型的准确性。

为了满足全社会对算力的需求,算力网络的建设变得尤为重要。算力网络是整合分布式计算资源的新型基础设施,通过高速通信网络实现全域算力的智能调度与协同。其架构包含终端设备、边缘计算节点、云计算中心和超级计算集群四级体系,采用软件定义网络和网络功能虚拟化技术实现资源弹性配置。核心功能包括动态匹配计算供需、优化任务分割与协同、全局能效比最优分配等,依赖算力感知、任务编排和服务质量保障等关键技术。人工智能驱动的预测性调度算法可提前预判需求波动,提升资源利用率。算力网络支撑智能制造数字孪生、智慧城市物联网处理、科研项目分布式计算等应用场景,其进化方向呈现类生物神经特性,边缘节点具备自主决策能力,核心枢纽实现跨域认知协同,整体系统具有抗毁伤自愈特征。算力网络通过将分散的计算资源整合起来,形成一个覆盖全社会的计算生态系统。这种网络不仅能够提供强大的计算能力,还能实现资源的共享和优化配置^[24]。例如,云计算平台通过将计算资源虚拟化,可以为用户提供按需使用的计算服务。边缘计算则通过将计算任务分布到网络边缘,减少了数据传输的延迟,提升了实时响应能力。

算力网络的建立使得人与人、人与物、物与物之间的响应变得实时化和自动化。例如,在智能城市中,通过实时监测和分析交通、能源、环境等数据,可以实现自动化的城市管理。在智能制造中,通过实时监控生产设备的状态,可以实现故障的自动检测和修复。在智能医疗中,通过实时分析患者的健康数据,可以实现个性化的诊疗方案推荐。这样,算力网络就成为了工程生态的“神经中枢”,不仅支撑着各种工程实践的运行,还推动了工程领域的创新和发展。

3 人工智能驱动工程生态的动态演化

3.1 人工智能驱动工程生态动态演化的具体表现

首先,人工智能的发展促进了工程活动的跨界融

合。随着互联网、通信技术、大数据和人工智能的迅猛发展,工程活动的跨界融合已经成为了一种常态。无论是跨国企业还是个人,都可以通过互联网进行实时沟通和协作。这种全球化的信息流动打破了传统的行业边界,使得不同领域的知识和资源得以快速整合,催生了新的业务模式和市场机会。例如,智能交通系统通过人工智能与物联网、5G技术的结合,实现了智能信号控制、自动驾驶和车路协同,不仅提升了交通效率,还催生了新的业务模式,如共享出行和无人配送服务。在制造业中,人工智能的发展极大地促进了生产流程的智能化和跨产业的深度融合,通过将物联网(IoT)、大数据分析和人工智能技术集成到生产系统中,工厂可以实现从原材料采购、生产制造到产品交付的全流程智能化管理。人工智能体可以根据市场需求的实时变化,自动调整原材料采购计划和生产计划,确保供应链的高效运作。同时,还可以根据客户个性化需求,快速调整生产线,实现定制化生产。这种跨领域的技术融合不仅提高了制造业的生产效率,还催生了新的商业模式,例如按需生产和即时交付服务,为制造业带来了更广阔的市场机会。

其次,人工智能加快了工程生态演进的速度。这主要得益于工程生态中各类互动关系的自动化、精准化和实时化。在传统工程生态中,各参与方之间的沟通和协调往往需要大量的人工干预,而借助人工智能,这些互动关系可以实现自动化,不仅节省了时间,还减少了人为错误,提高了沟通效率。基于人工智能体,工程生态中的互动关系还实现了精准化和实时化。人工智能体能够实时、精准地收集和分析数据,提供精准的决策支持,有助于提高工程活动的可控性和安全性。所有这些,都提升了工程生态的演化速度。例如,AI辅助的项目管理工具可以自动分配任务、监控项目进展、生成报告等,提高项目管理的效率和准确性。供应链管理系统也可以通过AI实时监测库存、预测需求、优化物流,实现供应链的自动化和精准化管理^[25]。此外,人工智能体能够实时、精准地收集和分析数据,提供精准的决策支持,有助于提高工程活动的可控性和安全性,从而提升整个工程生态的演化速度。

第三,人工智能技术的应用使得工程项目的实施不再受地域限制,促进了全球范围内的技术交流和资

源共享,显著拓宽了工程生态的地理范畴,并提升了项目的整体管理水平及执行效率。通过远程协作平台和智能监测系统,不同地区的工程师和项目管理人员可以实时共享信息,协同工作,打破了地域限制。例如,在大型基础设施建设项目中,如跨国铁路、桥梁和建筑,人工智能技术使得项目团队能够高效地进行远程设计和施工管理。利用云设计平台,全球各地的工程师可以实时协作,共同完成复杂的设计任务,确保设计的一致性和高质量。同时,智能监测系统通过安装在施工现场的传感器和无人机,实时采集和传输数据,使项目管理人员能够远程监控工程进度和质量,及时发现并解决问题。此外,通过人工智能控制的机器人和自动化设备,操作人员可以在安全的环境中远程操控设备,进行维护和检修,提高工作效率和安全性。

最后,人工智能促进了工程生态向更具活力的智能化的工程生态转变。随着具身智能和群体智能的整合,人工智能体进一步模糊了工程生态各层次之间的边界,推动工程生态向更高阶的“自进化”形态演进。具身智能使得人工智能体能够在物理环境中感知和互动,例如智能机器人在智能制造中不仅能够感知和操作物理对象,还能与环境和其他设备进行互动,实现更智能的生产流程。群体智能则使得多个人工智能体可以协同工作,形成智能化的整体,例如无人机编队在农业监测、环境监测等领域的应用,通过协同工作,实现更高效、精准的监测任务。工程生态的智能化转变,意味着工程生态具备了自适应和自进化的能力,能够不断优化自身结构和功能,适应不断变化的环境和需求^[26]。

3.2 人工智能驱动工程生态动态演化的内在机制

3.2.1 人工智能强化了工程生态的微观、中观与宏观三个层次的互动 人工智能体的独特价值在于其贯通不同系统层级的能力。在工程生态的各个层面,人工智能体正发挥着越来越重要的作用,从微观的企业层面到中观的产业层面,再到宏观的国家层面,它们的影响力是贯通的,并且推动了各层次之间的协同演化。首先,在微观层次上,通过技术嵌入和流程重构,人工智能体推动企业从传统的生产模式向智能化

转型,推动工程项目全面走向智能化。在生产流程中,人工智能体能够实时分析数据并做出自主决策,优化资源配置和提高生产效率。除了优化生产流程,人工智能体还帮助企业在市场中动态调整其生态位。通过数据驱动和自学习能力,企业能够快速适应市场变化,从被动响应转变为积极优化。在中观层次,人工智能体通过平台化服务和多智能体协同,重构了产业生态的网络结构和运行逻辑。在产业链中,人工智能体作为“网器节点”嵌入,促进跨企业数据共享与协作。制造商的智能生产系统与供应商的零部件检测平台通过联邦学习共享数据,优化整个产业链的质量控制,同时保护各自的商业机密^[27]。这种协同模式打破了传统产业链的线性关系,形成了去中心化的生态网络。在更复杂的产业场景中,如智慧物流,多智能体系统(MAS)通过竞争与协作实现全局优化,展现出“群体智能”的特性^[28]。在宏观层次,人工智能体成为了国家新质生产力的核心引擎,通过基础设施赋能与政策协同,推动工程生态的全局优化。例如,我国“东数西算”工程,通过弹性调度机制为人工智能体提供普惠算力,降低中小企业技术门槛;人工智能体通过实时监测经济数据,辅助政府部门制定动态产业政策。此外,在国际竞争中,国家可以通过构建开源生态来掌握技术话语权,推动智能体技术标准的国际化,形成了与闭源模型的差异化竞争。人工智能体在工程生态中三层次的贯通主要依赖于技术扩散和数据循环。企业级智能体的技术突破可以通过开源社区和产业联盟扩散至中观产业链,再由国家政策引导形成规模化应用,形成“微观创新→中观协同→宏观标准”的扩散路径。同时,宏观政策通过数据接口标准打通企业数据孤岛,促进产业级数据池的形成,而这些数据又反哺企业智能体的模型优化,形成“数据-模型-应用”的正向循环。在此基础上,国家通过伦理审查与安全标准约束微观技术应用,同时鼓励产业联盟建立风险共担机制,实现技术创新与生态稳定的平衡。由此可见,人工智能体贯通微观、中观和宏观的实质是在它们之间形成了一种全新的“数据循环”^[23],由此带动技术扩散和政策标准的生成和落地。

3.2.2 人工智能强化了工程生态中的收益递增和网络效应 基于人工智能的工程生态将展现出更强的网络

效应和收益递增。正是基于工程生态中各类生态关系的智能化升级,共同强化了工程生态的收益递增效应(如用户越多,数据越丰富、算法越精准)与网络效应(节点互联产生的价值非线性增长),更大程度上推动生态系统进入自我强化的正向循环。在技术积累与优化方面,人工智能体通过持续的数据积累和机器学习,不断提升自身性能和决策能力,从而在长期内实现收益递增。在规模效应与成本降低方面,当人工智能技术在某一领域或行业中大规模应用时,其边际成本会逐渐降低,特别是人工智能体的标准化和模块化设计使得技术复用和快速部署成为可能,提升整体经济效益。在数据共享与协作方面,人工智能体通过平台化服务促进跨企业的数据共享与协作,这种数据共享不仅提高了单个企业的效率,还增强了整个产业链的协同效应,而在复杂场景中,多智能体系统通过竞争与协作能够实现全局优化。这种“群体智能”使得整个物流网络的运行更加高效,形成了网络效应^[29]。在技术创新与应用反馈方面,人工智能体的应用不断产生新的数据和反馈,这些数据和反馈又进一步推动技术的创新和优化,而优化的成果又会反馈到大模型中,提升其预测精度,形成正反馈循环。在市场扩展与用户基数增长方面,人工智能体通过提升效率和降低成本,使得企业和产品更具竞争力,吸引更多的客户和合作伙伴,而随着人工智能体的普及和应用,用户基数不断增长,更多的数据被收集和分析,进一步增强人工智能体及相关系统的性能,形成良性循环。可以看出,人工智能体强化收益递增和网络效应的实质在于加速了工程生态内的数据循环和反馈循环。

3.2.3 人工智能加剧了工程生态之间的竞争 工程生态之间的竞争是工程生态动态演化的重要推动力量。人工智能技术“赢家通吃”的性质,使得工程生态之间的竞争愈发激烈,并由此推动工程生态的动态演化。不仅如此,由于人工智能对当今工程生态的决定性作用,不同人工智能生态之间的竞争,又在很大程度上左右着工程生态的演进,成为推动工程技术革新和提升竞争力的核心驱动力。例如,面对美国主导的人工智能竞争压力,DeepSeek通过开源策略,改变了人工智能生态的竞争态势,使得工程界、产业界不

再需要唯OpenAI和英伟达是从,特别是后发企业有了重新出发、实现超越的机会,这将对未来的工程生态产生重大影响。作为先进的语言大模型,DeepSeek在算法优化、数据处理和计算资源方面具备显著优势,推动了工程设计和施工的智能化,其数据分析能力可帮助公司更好地理解客户需求和市场趋势,提供更为个性化的解决方案。选择DeepSeek,就是选择了一种新的人工智能生态。可以说,人工智能生态不仅塑造了工程生态的技术架构,也驱动着工程生态的演化和竞争格局的转变。

3.2.4 人工智能催生了智能化的工程生态建构方法 人工智能体正在重构工程生态系统的建构方法论,其价值不仅体现在构成要素中,更在于提供了系统设计与优化的基础能力。首先,人工智能体在工程生态中的角色不仅仅局限于执行特定任务,它们还能通过自主学习和适应环境变化,为整个生态系统“自优化”提供智能化的支持。例如,在智能制造系统中,智能机器人不仅能高效完成生产任务,还能根据实时数据调整生产计划,优化资源配置,提高整体效率。其次,多智能体仿真是探究工程生态动态演化的有效工具。通过构建数字孪生系统,研究者可以在虚拟环境中模拟真实世界的各种场景和条件,评估不同策略的效果。例如,在城市交通管理中,可以通过多智能体仿真模拟不同交通流量控制策略下的交通状况,预测拥堵点和优化信号灯配时,从而提高交通效率和安全性。最后,多智能体仿真还能帮助研究者理解复杂系统的动态行为和演化规律。在生态系统管理中,通过模拟不同环境保护措施对生物多样性和生态平衡的影响,研究者可以制定更加科学合理的保护方案。在能源管理系统中,多智能体仿真可以模拟不同能源分配策略下的电网运行情况,优化能源利用效率,减少浪费。可见,人工智能体在感知层帮助实现环境要素的数字化映射,在决策层帮助建构动态化算法,在时间尺度上帮助形成自主演化能力,以此突破传统工程方法的局限。

4 结论

人工智能的影响已经无处不在,机器学习、深度学习、自然语言处理和计算机视觉等技术已经广泛应

用于各个工程领域,推动各种各样人工智能体的生成,推动工程实践的智能化,推动工程生态转变为智能化的工程生态。在这样一个工程生态中,智能化的人工制品成为了人类活动的智能伙伴;各类生态关系都被人工智能重构;数据流成为了工程生态运行的“血液”,算力网络成为了工程生态运行的“神经中枢”。不仅如此,人工智能已成为工程生态动态演化的根本驱动力量,主要机制包括:人工智能强化了工程生态的微观、中观与宏观三个层次的互动,人工智能强化了工程生态中的收益递增和网络效应,人工智能加剧了工程生态之间的竞争,人工智能催生了智能化的工程生态建构方法。由此可见,当工程实践的各个环节都装备了具有自主进化能力的认知单元时,一个智能化的工程生态就脱颖而出而且其动态演化就会表现出更强的涌现特质。

当然,人工智能对工程生态的塑造和驱动,并不是一个确定的过程,而是包含着各种风险以及错综复杂的法律和伦理问题,因而必须采取恰当的策略予以

应对:一是价值对齐,要确保智能体行为准则与人类社会的安全、公平、透明要求相一致;二是异构融合,要协调不同厂商、不同技术路线的智能体协同标准;三是生态治理,要建立适应智能体自主性的新型监管框架。这也是当下“人工智能+工程”领域需要处理的关键问题。只有解决了这些问题,才能构建具有更强韧性和可持续发展能力的工程生态。

随着智能化工程生态的兴起,新的工程生态位不断涌现,工程实践全面智能化成为必然趋势,涵盖工程决策、设计、实施和运行等各个环节。在此背景下,工程实践的“基本规则”正在发生根本变革,已从传统模式走向工程生态实践模式,生态思维在工程实践中的重要性日益凸显,成为决定工程成败的关键因素。工程实践者应积极适应这一变革,尽快确立生态思维,主动拥抱人工智能,加速将其融入工程活动的各个方面,提升自身能力与效率。同时,要高度警惕人工智能应用风险,提前防范潜在问题,增强工程实践的韧性,确保智能时代工程活动可持续发展。

致谢

本文的研究与写作得益于傅志寰院士的督促和指导,特此致谢!

参考文献

- [1] 王大洲, 范春萍. 工程生态: 内涵分析与研究进路[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2023, 15(5): 378-389.
Wang D Z, Fan C P. Engineering ecology: Conceptual analysis and research approach[J]. Journal of Engineering Studies, 2023, 15(5): 378-389.
- [2] 傅志寰, 李伯聪. 工程生态论: 探索建构工程研究的新范式[J]. 人民论坛·学术前沿, 2024(10): 4-16.
Fu Z H, Li B C. The theory of engineering ecology: Constructing a new paradigm of engineering studies[J]. Frontiers, 2024(10): 4-16.
- [3] 李伯聪, 王楠, 傅志寰. 工程生态研究: 社会与时代的呼唤[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2023, 15(5): 365-377.
Li B C, Wang N, Fu Z H. Research on engineering ecology: The call of society and times[J]. Journal of Engineering Studies, 2023, 15(5): 365-377.
- [4] 梁军, 王镇中. 工程生命体健康支持系统刍议[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2023, 15(5): 400-411.
Liang J, Wang Z Z. Discussion on the health support system for engineering life bodies[J]. Journal of Engineering Studies, 2023, 15(5): 400-411.
- [5] 傅志寰, 孙虎成, 简宇翔. "交通生态" 研究[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2023, 15(5): 390-399.
Fu Z H, Sun H C, Jian Y X. Research on transportation ecology[J]. Journal of Engineering Studies, 2023, 15(5): 390-399.
- [6] 许正中, 产健, 王娜. 构建基于全球信息模型的工程生态, 创造数字文明新范式[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2023, 15(5): 412-423.
Xu Z Z, Chan J, Wang N. Build an engineering ecology based on global information model and create a new paradigm of digital civilization[J]. Journal of Engineering Studies, 2023, 15(5): 412-423.
- [7] 许正中, 产健. 构建数字时代产业变革的工程生态[J]. 中国科学院院刊, 2024, 39(6): 1022-1031.

- Xu Z Z, Chan J. Building engineering ecology for industrial change in digital age[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(6): 1022-1031.
- [8] 姜李丹, 薛澜, 梁正. 人工智能赋能下产业创新生态系统的双重转型[J]. 科学学研究, 2022, 40(4): 602-610.
Jiang L D, Xue L, Liang Z. Dual-transition of sectoral innovation ecosystem empowered by artificial intelligence[J]. Studies in Science of Science, 2022, 40(4): 602-610.
- [9] 张治河, 高中一. 人工智能产业创新生态系统模型的构建与分析[J]. 科研管理, 2023, 44(10): 10-21.
Zhang Z H, Gao Z Y. Construction and analysis of the model of an AI industry innovation ecosystem[J]. Science Research Management, 2023, 44(10): 10-21.
- [10] 尹西明, 苏雅欣, 陈泰伦, 等. 场景驱动型人工智能创新生态系统: 逻辑与进路[J]. 中国科技论坛, 2024(6): 35-45.
Yin X M, Su Y X, Chen T L, et al. Context-driven AI innovation ecosystems: Logic and pathways[J]. Forum on Science and Technology in China, 2024(6): 35-45.
- [11] 沈志锋, 李静, 李智慧. 人工智能参与下的创新生态系统构建研究[J]. 科研管理, 2024, 45(10): 12-23.
Shen Z F, Li J, Li Z H. Research on construction of the innovation ecosystem with the participation of artificial intelligence[J]. Science Research Management, 2024, 45(10): 12-23.
- [12] Turing A M. Computing machinery and intelligence[J]. Mind, 1950, 59(236): 433-460.
- [13] Vaswani A, Shazeen N, Parmar N, et al. Attention is all you need[EB/OL]. <http://arxiv.org/pdf/1706.03762>.
- [14] 尼克. 人工智能简史[M]. 2版. 北京: 人民邮电出版社, 2021.
Bostrom N. A Brief History of Artificial Intelligence: What It Is, Where We Are, and Where We Are Going[M]. New York: Basic Books, 2020.
- [15] Akter S. Investigating state-of-the-art frontiers in artificial intelligence: A synopsis of trends and innovations[J]. Journal of Artificial Intelligence General Science, 2024, 2(1): 25-30.
- [16] 格拉汉姆·哈曼. 新万物理论: 物导向本体论[M]. 上海: 上海文艺出版总社, 2022: 7-15.
Harman G. Object-Oriented Ontology: A New Theory of Everything[M]. London: Pelican Books, 2018.
- [17] 凯文·J. 米切尔. 超凡智能体: 从生命起源到AI智能体[M]. 侍怡君, 王淑花, 译. 北京: 中译出版社, 2024.
Mitchell K J. Innate: How the Wiring of Our Brains Shapes Who We Are[M]. Princeton: Princeton University Press, 2018.
- [18] 中国日报网. 全球人工智能治理研究报告[EB/OL]. (2024-11-22) [2025-01-10]. <https://cn.chinadaily.com.cn/a/202411/22/WS674069d7a310b59111da50e3.html>.
China Daily Website. Research report on global AI governance[EB/OL]. (2024-11-22) [2025-01-10]. <https://cn.chinadaily.com.cn/a/202411/22/WS674069d7a310b59111da50e3.html>.
- [19] 腾讯新闻. 2024年, DeepSeek带给硅谷"苦涩的教训"[EB/OL]. (2024-12-31) [2025-01-10]. <https://news.qq.com/rain/a/20241231A005Z700>.
Tencent News. In 2024, DeepSeek brought Silicon Valley a "bitter lesson"[EB/OL]. (2024-12-31) [2025-01-10]. <https://news.qq.com/rain/a/20241231A005Z700>.
- [20] 搜狐. DeepSeek: 颠覆AI模型的低成本、高效能新方案[EB/OL]. (2025-02-08) [2025-02-08]. https://www.sohu.com/a/856948275_121798711.
Sohu. DeepSeek: A low-cost, high-efficiency new solution to revolutionize AI models[EB/OL]. (2025-02-08) [2025-02-08]. https://www.sohu.com/a/856948275_121798711.
- [21] Al-Fuqaha A, Guizani M, Mohammadi M, et al. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2015, 17(4): 2347-2376.
- [22] 别朝红, 贺元康, 李晓君, 等. 能源互联网下清洁能源电力市场体系构建[M]. 北京: 科学出版社, 2022.
Bie C H, He Y K, Li X J, et al. Construction of Clean Energy Power Market System under Energy Internet[M]. Beijing: Science Press, 2022.
- [23] 车品觉. 数循环[M]. 北京: 北京联合出版公司, 2021.
Che P J. Data Reinvention[M]. Beijing: Beijing United Publishing Company, 2021.
- [24] 曹畅. 算力网络——云网融合2.0时代的网络架构与关键技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2021.
Cao C. Computing Network: Network Architecture and Key Technologies in the Era of Cloud Network Convergence 2.0[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2021.

- [25] 郭峰, 徐浩. 新基建: "互联网+智慧工地"[M]. 北京: 科学出版社, 2022.
Guo F, Xu H. New Infrastructure: "Internet Plus Smart Construction Site"[M]. Beijing: Science Press, 2022.
- [26] 刘志毅. 具身智能[M]. 北京: 中译出版社, 2024.
Liu Z Y. Embodied Intelligence[M]. Beijing: China Translation & Publishing House, 2024.
- [27] 杨强, 刘洋, 程勇, 等. 联邦学习[M]. 北京: 电子工业出版社, 2020.
Yang Q, Liu Y, Cheng Y, et al. Federated Learning[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2020.
- [28] Teodorovic' D. Transport modeling by multi-agent systems: A swarm intelligence approach[J]. Transportation Planning and Technology, 2003, 26(4): 289-312.
- [29] 张国辉, 文笑雨. 群体智能[M]. 北京: 清华大学出版社, 2022.
Zhang G H, Wen X Y. Swarm Intelligence[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2022.

Artificial Intelligence's Role in Shaping and Energizing Engineering Ecosystems

Wang Dazhou^{1*}, Sun Wanxiang¹, Yu Jiang^{2,3}

1. School of Humanities, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

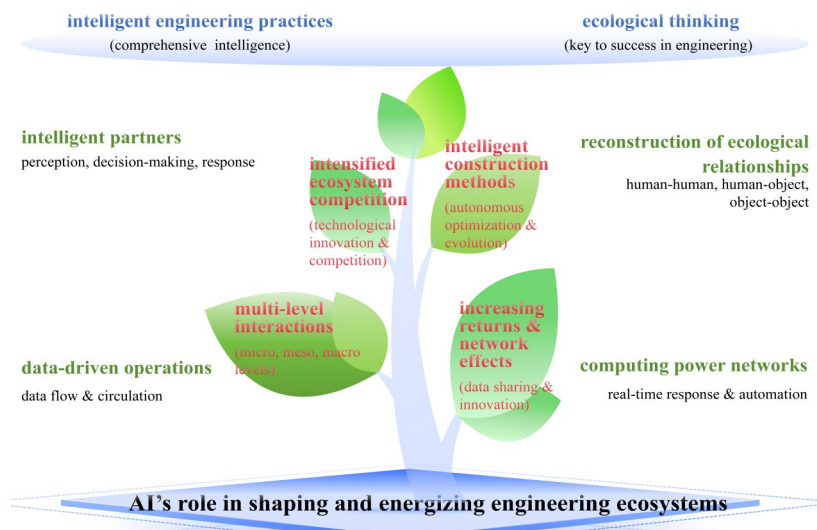
3. School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Highlights

This discussion focuses on the four core elements shaping the engineering ecosystem through artificial intelligence (AI): Intelligent partners, ecological relationship reconstruction, data-driven approach, and computing power network.

It delves into the manifestations and mechanisms of AI-driven dynamic evolution within the engineering ecosystem, including multi-level interactions, increasing returns and network effects, intensified ecological competition, and intelligent construction methodologies.

Graphical Abstract



Abstract: The impact of artificial intelligence (AI) is pervasive, with technologies such as machine learning, deep learning, natural language processing, and computer vision being widely applied across various engineering domains. These technologies not only shape the engineering ecosystem but also drive its dynamic evolution. This paper examines the development trends and competitive landscape of AI from an engineering ecological perspective, focusing on the role of AI in shaping the engineering ecosystem and the manifestations and internal mechanisms of how AI drives the dynamic evolution of the engineering ecosystem. It is argued that in such an engineering ecosystem, artificial intelligence not only reshapes the engineering ecosystem but also

drives its dynamic evolution. Intelligent artifacts have become intelligent partners in human activities; various ecological relationships have been reconstructed by artificial intelligence; data has become the "blood" for the operation of the engineering ecosystem, and the computing power network has become its "nervous system". Moreover, artificial intelligence has become the fundamental driving force for the dynamic evolution of the engineering ecosystem. Its internal mechanisms mainly include: artificial intelligence agents strengthen the interaction among the micro, meso, and macro levels of the engineering ecosystem; they enhance the increasing returns and network effects in the engineering ecosystem; they have intensified the competition among engineering ecosystems, and they give rise to intelligent construction methods for the engineering ecosystem, thus driving the dynamic evolution of the engineering ecosystem. When all aspects of engineering practice are equipped with cognitive units with autonomous evolution capabilities, an intelligent engineering ecosystem will emerge, and its dynamic evolution will exhibit stronger emergent characteristics. It is concluded that with the emergence of the intelligent engineering ecosystem, various new engineering niches have come to the fore, and the comprehensive intelligentization of engineering practice—including intelligent engineering decision-making, intelligent engineering design, intelligent engineering implementation, and intelligent engineering operation—has become an imperative. In this context, the "basic rules" of engineering practice are undergoing fundamental changes. Engineering practice has evolved into engineering ecological practice, and ecological thinking is becoming an important form of thinking that determines the success or failure of engineering practice. Engineering practitioners should not only focus on internal matters but also look outward. They need to pay attention to the broad ecological environment where engineering practice takes place and its real-time changes. Only in this way can they build the ideal project. For engineering practitioners, the basic lesson is as follows: They must actively embrace artificial intelligence and equip themselves with it as soon as possible to become "engineering practitioners empowered by artificial intelligence". On this basis, they should apply artificial intelligence to all aspects of engineering activities while remaining highly sensitive to the risks associated with AI applications. By doing so, they can enhance the capabilities, efficiency, and resilience of engineering practice, ultimately ensuring the sustainable development of engineering activities in the intelligent era.

Keywords: artificial intelligence; AI agent; engineering ecosystem; dynamic evolution