

# 数字创新生态系统发展的内在逻辑： 技术、数据与场景的共演

马 蕾<sup>1,2,3</sup>, 万劲波<sup>4,5</sup>, 余 江<sup>4,5</sup>, 陈 劲<sup>6,7</sup>

- (1. 南京理工大学数字经济研究院, 江苏 南京 210094; 2. 南京理工大学公共事务学院, 江苏 南京 210094;  
3. 南京理工大学创新与发展研究中心, 江苏 南京 210094;  
4. 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190; 5. 中国科学院大学公共政策与管理学院, 北京 100049;  
6. 清华大学经济管理学院 北京 100084; 7. 清华大学技术创新研究中心, 北京 100084)

**摘要:**我国正处于由“基本实现工业化”向“推进新型工业化”升级深化的关键阶段,数字技术加速与制造体系实现全要素、全链条、全场景融合。探索构建具有自组织、自适应、进化能力的数字创新生态系统,为新型工业化发展注入持续动能。为此,围绕数字创新生态系统演化的内在动力机制这一研究问题,从系统视角以“技术—数据—场景(technology-data-context, TDC)”为主线,梳理制造业数字创新生态系统演进路线并提炼规律。主要结论是:从数字创新生态系统内生层面,研究了系统演进不同阶段技术、数据、场景之间互馈的创新交互动态过程;分析数字创新生态系统的多维价值空间的构成;构建了 TDC-I(technology-data-context-innovation, TDC-I)为底层逻辑的数字创新生态系统的微观动力机制,即技术创新、数据驱动的创新、场景创新互馈和反哺的交互创新活动推动数字创新生态系统形成与螺旋式演进。研究结果对数字创新生态理论和产业数字化交叉领域有边际贡献,以期更好地为产业数智化实践提供帮助,也为政府制定数字化政策、提升数字创新生态系统价值共创效能提供新思路。

**关键词:**数字创新生态系统; 数字创新; 场景创新; 数字化; 数据价值

**中图分类号:**F425; F49 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-0566(2025)09-0200-12

## Internal logic of digital innovation ecosystem development: co-evolution of technology, data and context

MA Lei<sup>1,2,3</sup>, WAN Jinbo<sup>4,5</sup>, YU Jiang<sup>4,5</sup>, CHEN Jin<sup>6,7</sup>

- (1. *Digital Economy Research Institute, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;*  
2. *School of Public Affairs, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;*  
3. *Centre for Innovation and Development, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;*  
4. *Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;*  
5. *School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*  
6. *Tsinghua University School of Economics and Management, Beijing 100084, China;*  
7. *Research Center for Technological Innovation, Tsinghua University, Beijing 100084, China)*

**Abstract:** China is undergoing a pivotal transition from “basically accomplished industrialization” to “advanced new-type industrialization,” where digital technologies accelerate the integration with the manufacturing system, spanning the

收稿日期:2025-03-22 修回日期:2025-06-24

**基金项目:**中国工程院战略研究与咨询项目“切实激发科技创新创造活力的深化科技体制机制改革建议研究”(2024-JZ-20-03); 国家自然科学基金重点项目“数字技术创新机制、突破路径与政策体系研究”(NSFC 72334007)。

**作者简介:**马蕾(1965—),女,江苏徐州人,南京理工大学数字经济研究院特聘研究员,公共事务学院教授,创新与发展研究中心主任,工学博士,博士生导师,研究方向为数字创新生态系统。通信作者:万劲波。

total factors, the entire industrial chain (from low-end to high-end), and diversified context (from enterprises to industries to cross-sector integration). Establishing a self-organizing, self-adapting and evolvable digital innovation ecosystem will provide sustainable power for this new industrialization paradigm. To address this research question concerning the intrinsic dynamics of digital innovation ecosystem evolution, we adopt a “Technology-Data-Context (TDC)” framework to systematically examine the developmental trajectory of manufacturing digital innovation ecosystems and find their evolutionary paths. The principal findings of this paper are as follows: First, it examines the dynamic interplay of technology, data, and context across different evolutionary stages of digital innovation ecosystems from an endogenous perspective. Second, it analyzes the multidimensional value space constituting these innovation ecosystems. Third, it establishes a TDC-I (Technology-Data-Context-Innovation) framework as the foundational logic for understanding the micro-level dynamics, where reciprocal interactions among technological innovation, data-driven innovation, and contextual innovation propel the ecosystem’s formation and spiral evolution. This study makes marginal contributions to both digital innovation ecosystem theory and industrial digitalization research, while providing practical insights to enhance industrial digital transformation and informing policymaking for optimizing value co-creation in digital innovation ecosystem.

**Key words:** digital innovation ecosystem; digital innovation; context innovation; digitalization; data value

制造业数字化转型是新型工业化发展的主攻方向和重要路线。2025年政府工作报告指出“推动科技创新和产业创新融合发展,大力推进新型工业化,做大做强先进制造业”。当前,我国正处于由“基本实现工业化”向“推进新型工业化”升级深化的关键阶段,数字技术正加速与制造体系实现全要素、全链条、全场景渗透融合<sup>[1]</sup>。在此背景下,构建具有自组织、进化能力的数字创新生态系统<sup>[2]</sup>,不仅是对传统技术创新范式的延展与解构,更是驱动智能制造新质生产力跃升的关键引擎<sup>[3]</sup>,进而形成以技术突破、数据驱动、场景迭代为支撑的协同创新演进的价值创造空间,为新型工业化发展注入持续动能。

基于上述现实研判,学界对数字创新生态系统展开了多角度研究,相关的主要议题有:基于经典技术创新范式研究了数字创新生态系统演进机制、共创模式等<sup>[4-6]</sup>,侧重于揭示数字技术的驱动力;基于新兴创新范式探索企业创新生态系统特征,包括数据驱动创新、场景驱动创新等<sup>[7-10]</sup>;基于数字赋能视角从主体层面解构、价值创造层面研究数字创新生态系统的形成与演进<sup>[11-12]</sup>,阐释了技术赋能对系统演进的作用<sup>[13]</sup>。可见,学界取得了丰富的成果,但鲜有对技术(technology)、数据(data)、场景(context)等创新要素进行整合研究,进而揭示多要素协同效应对数字创新生态演化的深层次影响,致使数字创新生态系统自生长能力

与效能提升的内生逻辑缺乏解释。因此,本文基于系统观构建TDC(technology-data-context)整合框架,通过揭示不同阶段技术、数据、场景间的相互作用,进而解构数字创新生态系统演进的内在动力机制。

本文将对新型工业化背景下我国培育制造业数字创新生态系统的历程开展研究,从中提炼规律构建理论。本文余下的部分是:第一部分围绕着数字创新生态系统、技术创新、数据驱动的创新、场景创新等相关文献开展研究,明晰相关概念并提出基于技术—数据—场景的数字创新生态系统分析框架;第二部分围绕制造业的信息化、数字化、数智化发展不同阶段,系统回顾了制造业数字创新生态系统发展历程,并分析不同阶段的特点;第三部分基于TDC提炼了我国制造业数字创新生态系统演进路线,据此进一步构建以技术创新、数据驱动的创新、场景创新为底层逻辑的数字创新生态系统动力机制模型(technology-data-context-innovation, TDC-I);第四部分是研究结论、实践启示以及未来研究展望。

## 一、文献回顾与研究框架

### (一)数字创新生态系统的界定

学界对数字创新生态系统研究源于数字创新领域的研究。Yoo等<sup>[14]</sup>提出数字创新是数字—物理组件重组的产物,其发展依托创新生态系统或数字平台的组织载体<sup>[15]</sup>。Chae等<sup>[16]</sup>也指出数字

创新生态系统“是指参与数字创新的主体借助于数字技术来创造产品,优化业务流程,创新商业模式,通过动态合作竞争构成的具有生态特征的组织体系”;Beltagui 等<sup>[17]</sup>在研究 3D 打印系统时明确了“数字创新生态系统就是系统主体以数字创新的形式,参与到系统动态的合作竞争之中,形成的一种生态化交互循环的组织系统”。由此,学界虽然在数字创新生态系统概念上未统一,但是,在其是“生态组织体系”上达成了共识,并指出数字创新生态系统的要素不仅是技术、数据还包含与技术相结合的场景等。为此,张超等<sup>[2]</sup>将数字创新生态系统分为两种类型,即创新导向的数字生态系统(又称“数字创新生态系统 I 型”)是旨在促进数字创新产生、应用与扩散的数字创新生态系统,以及数字赋能的创新生态系统(又称“数字创新生态系统 II 型”)。其中,数字创新生态系统 II 型说明了数字技术对不同场景的赋能作用,如有学者以工业互联网等典型场景为观测点,实证检验场景交互边界扩展与价值实现的耦合关系<sup>[12,18]</sup>。可见,技术、数据、场景都是数字创新生态系统形成的关键要素。

综上,本文认为数字创新生态系统主要由技术子系统、数据子系统、场景子系统等构成,是参与者围绕着技术、数据、场景等进行共享共创的创新活动形成价值叠加效应的复杂系统;技术、数据、场景资源共享、相互作用的创新交互过程推动了数字创新生态系统螺旋式发展。数字创新生态系统有助于打破企业、产业、区域边界进而共创价值<sup>[17,19]</sup>。根据研究对象的不同,数字创新生态系统可分为企业数字创新生态系统、产业数字创新生态系统、区域数字创新生态系统等。

## (二)数字创新生态系统演进的动力机制相关研究

数字创新正在重塑经济发展模式,其创新方式不断丰富,已从单一技术驱动发展到数据驱动的创新与场景驱动的创新等多种方式。其中,通过数据要素的复用性、场景动态性缩短创新周期,降低创新成本,并推动创新价值空间的拓展<sup>[8,20-21]</sup>;与此同时,创新方式的变化不仅涉及创新要素组合方式的

重构,还可能引发价值创造逻辑的转变。因此,目前学界主要从技术创新、数据驱动的创新、场景创新(innovation driven by context or context innovation)等领域对数字创新生态系统发展动力开展研究。

自熊彼特提出创新理论以来,学界基于技术推力与需求拉力的交互作用分析了技术创新的基本过程<sup>[22]</sup>,从供给侧强调了技术是驱动创新的决定因素,其创新要素间的关系以“链式结构”为主<sup>[23]</sup>。然而,数字创新时代,数据成为新的生产要素以及创新要素间关系的变化,使其与传统经济时代的技术变迁周期相比较,有周期缩短、创新频率高、数据要素的复用性等特征并改变了创新价值空间<sup>[23-24]</sup>;而技术变迁周期缩短,加大了技术创新风险;尽管技术创新的高利润对企业颇具吸引力,但是,高投入、市场不确定性的高风险却让企业对技术创新望而生畏。因此,从创新要素层面探索创新发展的动力引起学界关注。例如,数据作为创新要素,在创新过程中不仅能够降低交易成本,运用数据精准匹配也减少了技术创新的不确定性<sup>[21]</sup>,这为企业提升技术创新能力、降低创新的高风险提供了新路径。因此,创新的内驱力不再仅由技术决定,是多要素协同形成了企业、产业创新发展的动力。而既有的技术创新理论中,尚未整合驱动创新发展的数据、场景等创新要素,其也为本文在分析数字创新生态系统发展过程的内在逻辑等提供了研究机会。

学界对数据驱动的创新研究源于 21 世纪初数据科学范式的兴起和数字创新理论的提出<sup>[21,25]</sup>,新的科研范式为创新研究提供了新路径。如通过大数据技术加速数据积累、挖掘与应用,显著缓解了知识生产要素供需双方的信息不对称<sup>[21,26]</sup>。同时,数据作为新型生产要素,不仅重构了创新要素组合方式,更催生出新的或改善的产品/生产流程<sup>[27]</sup>,使之服务于新客户群体或重塑组织形态。既有研究表明:其一,数字平台通过聚集需求侧数据并实时共享至供给侧利益相关者,促进合作伙伴间的资源互补与协同,激活数据属性实现大规模定制和敏捷制造<sup>[28-29]</sup>;其二,通过数据资源化、跨界融合及资产化等途径释放多维价值<sup>[30]</sup>,可破

解经典技术创新的供需匹配困境,并提升数字创新平台的竞争优势<sup>[31]</sup>;其三,数据要素通过精准识别用户需求、加速技术迭代升级,其价值释放路径涵盖微观层面的精准决策支持到宏观层面的生态竞争优势构建等<sup>[21,27]</sup>。

场景创新随着数字技术广泛应用成为学界研究热点。“场景(context)”早期在管理研究中由Kenny等<sup>[32]</sup>率先提出,随后Johns<sup>[33]</sup>基于组织行为学对其进行了界定,认为场景是影响组织行为发生和意义的机会和约束;Bamberger<sup>[34]</sup>认为场景是指那些研究周围现象或时间条件如何直接影响较低层次现象,在不同分析层次上的一个或多个变量之间的条件关系,或受其内部现象影响的理论。传统对场景的研究主要集中在市场营销和商业模式等领域<sup>[35-37]</sup>。近年来,在经济学领域研究中,学者也研究了场景与数据相互依赖的关系<sup>[21,24,38]</sup>。而ICT、云计算和大数据技术为核心的新兴技术快速崛起,引起了学术界和实践界关注到场景驱动的创新。场景驱动的创新文献较早见于陈劲<sup>[8]</sup>的研究,强调企业需把握战略场景实现增长。当前学界存在场景化创新<sup>[39]</sup>、场景驱动创新<sup>[8]</sup>等概念,且研究边界持续扩展。既有研究中,场景兼具技术创新动力与扩散载体双重属性<sup>[40-41]</sup>,如Boland等<sup>[42]</sup>揭示数字技术与业务场景的共生关系。实证研究也显示,特斯拉通过产业链场景扩展驱动AI技术演进<sup>[9]</sup>,德国工业AI应用验证场景创新的技术适配性<sup>[43]</sup>。可见,场景创新不仅拓展了AI技术创新方向,也为数据释放价值提供空间。特别是数据成为生产要素丰富了传统要素资源体系,使得价值创造主体突破时空限制<sup>[44]</sup>,如数据驱动的创新对于场景的颗粒化及赋能作用是重要的<sup>[21]</sup>,数据融合其他要素资源实现价值共创,为场景创新提供持续的驱动力<sup>[38]</sup>。因此,本文从过程管理视角界定场景创新概念,场景创新一方面为技术创新提供牵引,降低了技术创新风险,加速技术迭代;另一方面是通过场景迭代、重构、扩展加速技术创新扩散实现范围效应的过程<sup>[39]</sup>。在此,场景创新是一个广义的概念,不仅是场景驱动的创新,也包含场景自身的创新。

### (三)文献评述

回顾以往的研究不难发现,学界基于经典技术创新理论框架,在数字创新生态系统、数据驱动的创新和场景创新等相关领域取得了丰富的成果。既有研究更多地强调了外部动力,且沿多脉络解构数字创新生态系统的发展动力:在技术驱动维度,数字技术被普遍视为生态演化的结构性动力<sup>[17]</sup>,认为技术迭代通过重构资源连接方式与主体协作规则,驱动系统层级的跃迁<sup>[17,45]</sup>,但过度聚焦技术单一要素突破易陷入工具决定论的困境;在数据驱动维度,既有研究关注数据要素的动态循环如何重构创新主体的竞合关系,聚焦数据资源共享激活跨主体价值创造网络的机制<sup>[44,46]</sup>,但对数据反哺生态演进的过程黑箱缺乏深度解析;在场景驱动维度,研究更多地是停留于现象描述层面,场景创新与系统自组织的内生联结机制方面的研究尚存空间,且在上述从要素单一维度的创新驱动研究中,主要是通过构造创新要素“链式”关系实现创新价值<sup>[23]</sup>。可见,急需构建一个整合框架,从微观层面即要素层面对三者在数字生态系统中的相互作用及其效应开展研究;基于此,对技术、数据、场景等创新要素产生的创新动力进行解释,分析多范式创新叠加效应对创新价值空间的影响,进而厘清数字创新生态系统演进的内在逻辑。

因此,本文研究的核心问题是TDC如何影响数字创新生态系统演进,围绕着核心问题将进一步分析在数字创新生态系统演进的不同阶段,技术子系统、数据子系统以及场景子系统演进的特点并解析共创价值的空间构成,进而分析TDC驱动的创新交互的动态过程。既有的成果为本文提供了研究基础,其不足也为本文提供了研究空间。本文将围绕我国新型工业化战略下培育制造业数字创新生态系统的历程进行深入研究,由此从内生层面探究数字创新生态系统演进的微观动力机制。

### (四)分析框架

尼尔森和温特基于熊彼特创新思想提出了技术创新演进模型,强调了“变异”和“选择”机制在系统演进中的作用,同时指出技术创新实现过程

中的组织形式可以有不同层次,而系统演化的动力是多样化的<sup>[47]</sup>。因此,本文将基于技术创新演化理论与创新生态系统理论,并根据创新主体间的作用机制、系统内部自组织演化,系统内部要素相互作用、适应并不断发展相互转化等演化规律<sup>[48]</sup>,从内生层面考量技术—数据—场景对数字创新生态系统演进的影响,提出基于技术—数据—场景(TDC)的数字创新生态系统的整合分析框架(见图1)。以此分析多个企业聚集、边界渗透的数字创新生态型组织,技术创新迭代快、场景多样性、拥有海量数据资源的数字创新生态系统的内部生成逻辑。

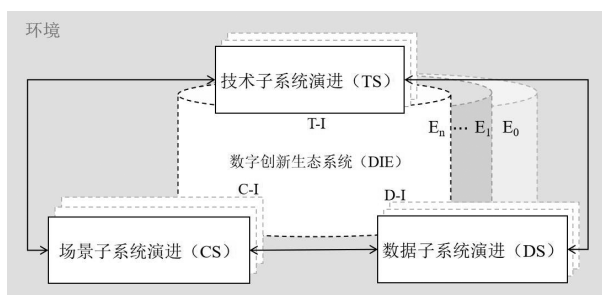


图1 基于TDC的数字创新生态系统分析框架

注:T-I代表技术创新,D-I代表数据驱动的创新,C-I代表场景创新;S代表子系统, $E_0 \dots E_n$ 代表系统演进的阶段。

根据分析框架,在研究中将探究技术—数据—场景子系统间相互作用、创新生态系统形成不同阶段TDC驱动创新过程的特点等,在本研究中暂未考虑政策等环境外生变量对数字创新生态系统演进的作用(图1阴影部分表示系统环境,其中包括政策等)。自组织是数字创新生态系统TDC协同的底层规则,自适应是数字创新生态系统在动态环境中的功能维持策略,通常依赖于反馈机制(如负反馈平衡、正反馈放大),通过TDC的适应性变异和自组织机制形成新结构和新功能。

由此,根据本研究对数字创新生态系统的界定,制造业数字创新生态系统主要由技术、数据、场景等子系统构成。其中,技术子系统(TS)是制

造业转型升级的基础,是支撑功能架构实现、构建实施框架的整体技术体系;场景子系统(CS)由制造流程、产业链、跨产业链等场景构成;数据子系统(DS)即数据运营子系统,具有数据资源生成、聚集、共享、交易等功能。

## 二、我国制造业数字创新生态系统发展历程

随着我国新型工业化战略的深入推进,以人工智能、云计算、大数据等为代表的新一代信息技术在各个领域广泛应用,推动制造业发生深刻变革,发展经历了信息化、数字化到数智化等阶段。根据实地调研与长期跟踪研究,本部分描述了我国制造业数字创新生态系统的发展关键历程,基于技术—数据—场景的分析框架,梳理制造业信息化、数字化和数智化等不同阶段的演进特点,并从中提炼规律。

### (一)信息化阶段

制造业信息化始于20世纪90年代末的企业信息化,强调企业内部流程改造,采用ICT技术实现企业内部部门间信息共享到与外部信息交流,提升沟通效率。但信息化阶段也产生了“信息孤岛”等问题,大量数据冗余沉淀,形成了“数据冰山(databerg)”(见表1)。

### (二)数字化阶段

在数字化阶段,重点是基于制造业信息基础设施构建了工业互联网基础设施,推动了场景的互联互通(见表1)。其中,①技术子系统:云计算、区块链等关键技术集成并融合创新,驱动工业互联网基础设施的规模化嵌入,依托5G与边缘计算实现数据资源化跃迁。②场景子系统:工业互联网平台的“互联网+”效应触发多元场景裂变:截至2024年,全国具有行业影响力的工业互联网平台超340个,双跨平台达49个,连接设备超1亿台/套<sup>①</sup>。③数据子系统:随着大数据等技术创新,数据成为新的生产要素。其要素化价值体现在3个方面:第一,工业数据从无序沉淀转向跨环节价值创造,构建研发—生产—消费全链协同的价值

① 参见《中国工业互联网研究院:工业互联网步入规模化、高质量应用新阶段》, <https://www.cww.net.cn/article?id=AB108C6132124218833983ACDC23F9A5>。

网络;第二,基于数据资产的信任架构增量赋能主体间合作关系;第三,数据中台等数据运营商出现(2024年注册数据中台企业2410家)<sup>②</sup>,标志着数据要素进入体系化建构阶段。

### (三)数智化阶段

在数智化发展阶段,各子系统变化如下。①技术子系统:生成式人工智能(generative artificial intelligence,GAI)技术突破(以2022年ChatGPT出现为标志)推动产业智能化进阶。特别是包括GAI在内的新一代人工智能在制造业广泛采用,制造业数据资源反哺新一代AI,加速了GAI的快速发展。②场景子系统:AI实现产业链横向延伸与纵向深化,体现在生产端通过智能感知与机器视觉优化柔性制造,流通端基于数据驱动的智能系统重塑供需匹配等方面。此外,跨产业协同(如制造AI

向医疗、金融迁移)催生创新网络,激发技术外溢效应。③数据子系统:工业数据与AI互馈形成增值闭环:垂直领域知识图谱强化AI专业化能力,AI模型解析反哺生产优化与供应链增值,吸引中小企业接入头部平台。2024年数据显示,我国智能制造装备产业规模已达3.2万亿元以上<sup>③</sup>,AI核心产业链上企业超过4700家<sup>④</sup>(见表1)。

综上,我国制造业数字创新生态系统历经信息化、数字化和数智化等发展阶段,各阶段的主要特点是:信息化阶段以网络连接提升生产运作效率为主;数字化阶段是实现互联互通与资源共享;数智化阶段形成智能泛在的基础设施与参与者的共享共创。在此过程中,通过技术、数据与场景要素的动态耦合,推动制造业从数字技术对流程的单点优化向创新生态系统的演进。

表1 新型工业化下制造业数字创新生态系统演进主要特点

阶段	信息化阶段	数字化阶段	数智化阶段
主要特点	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 网络连接与效率提升</li> <li>● 企业内部流程改造</li> <li>● 产生“信息孤岛”</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 互联互通与资源共享</li> <li>● 工业互联网兴起</li> <li>● 数据成为新的生产要素</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● AI主导全场景渗透</li> <li>● 智能泛在与价值共创</li> </ul>
技术子系统	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ICT技术主导(计算机网络)</li> <li>● OA、ERP系统</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 云计算/区块链/大数据/物联网(IoT)融合创新</li> <li>● 5G技术突破</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● GAI/多模态技术</li> <li>● AI与工业互联网深度融合</li> </ul>
场景子系统	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 部门间信息共享</li> <li>● 外部信息初步交互(如供应链联络)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 工业互联网平台</li> <li>● 跨行业跨区域应用场景扩展(如智慧矿山、智能农业)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 全产业链智能化(生产→消费)</li> <li>● 跨行业协同(如电商+金融+医疗)</li> </ul>
数据子系统	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 结构化数据沉淀</li> <li>● 数据冗余形成“数据冰山”</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 数据资源化与流动</li> <li>● 区块链构建信任体系</li> <li>● 数据要素、数据运营商出现进入体系化构建</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 数据反哺AI迭代</li> <li>● 工业知识沉淀推动生态反哺</li> </ul>
典型案例	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ERP系统在制造业广泛应用,实现库存与财务数据整合</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 徐工集团基于“5G+工业互联网标识+云技术”构建跨场景协同体系,服务延伸至公共救援、农业溯源及矿山无人驾驶等场景</li> <li>● 中国电信为三一重工提供5G+工业互联网解决方案,实现实时数据采集分析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 西门子采用GAI自动生成产品原型,缩短设计周期</li> <li>● 海尔卡奥斯建成11座“灯塔工厂”,覆盖15个行业生态</li> <li>● 亚马逊多模态仓储机器人实现人机语音协作分拣</li> </ul>

## 三、基于TDC的数字创新生态系统演进逻辑

### (一)制造业数字创新生态系统演进路线

基于前述,制造业在数字化进程中形成了技术子系统、场景子系统和数据子系统3个螺旋体,

且它们之间的相互作用、共享共创推动着制造业数字创新生态系统形成与螺旋式发展,其演进的路线具体如下(见图2)。

(1)数字技术子系统经历了ICT技术集成与

② 参见《前瞻产业研究院:预见2024: <2024年中国数据中台行业全景图谱>》, <https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/241231-2fcb3b8.html>。

③ 参见《工信部:我国智能制造装备产业规模已达3.2万亿元》, [https://economy.gmw.cn/2024-04/18/content\\_37271083.htm](https://economy.gmw.cn/2024-04/18/content_37271083.htm)。

④ 参见《专精特新中小企业数字化转型研究报告(2024年)》, [https://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202501/t20250124\\_653001.htm](https://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202501/t20250124_653001.htm)。

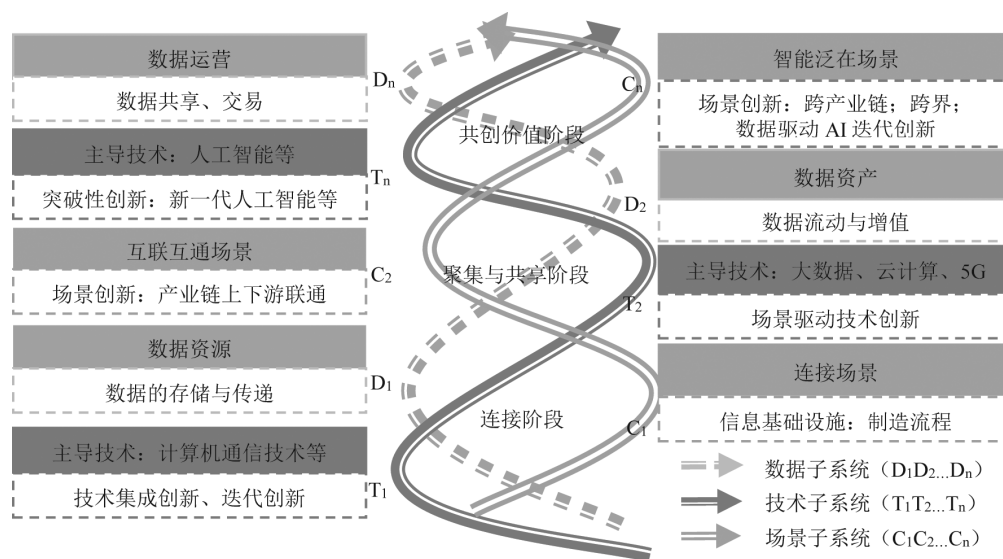


图2 基于 TDC 的我国制造业数字创新生态系统演进路线图<sup>⑤</sup>

迭代、关键技术 ABCD<sup>⑥</sup>+5G 的创新融合及 AI 突破性创新的演进(见图 2 的 T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, …, T<sub>n</sub>)。第一, 制造业信息化初期(T<sub>1</sub>), 采用 ICT 技术集成创新、迭代创新, 为企业内部场景信息流动提供支撑、连接资源; 第二, 在制造业数字化期间(T<sub>2</sub>), 云计算、大数据、区块链技术、5G、人工智能等新技术融合创新为企业从信息化到数字化转型提供了工业互联网等数字基础设施<sup>[12]</sup>, 促进了产业链上下游资源聚集与共享; 第三, 新一代人工智能(new generation artificial intelligence, NGAI)技术突破性创新成为技术系统的关键自生长点(T<sub>n</sub>), 其应用在制造过程中突破了 AI 仅在流程单点辅助场景应用的局限, 与工业互联网技术融合发展构建“AI+”基础设施, 并为多方参与的价值共创提供支撑。

(2) 场景子系统经历了由场景的连接、互联互通、智能泛在等演进过程(见图 2 中 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, …, C<sub>n</sub>)。第一, “连接场景(C<sub>1</sub>)”是基于 ICT 技术的制造业内部网络互连, 制造流程互连、信息互通; 第二, “互联泛在(C<sub>2</sub>)”是工业互联网平台主导形成的企业间的互联互通, 即上下游企业互联互通, 实现了数据资源共享; 场景创新促进了 ABCD+5G 技术的广泛采用和不断迭代创新, 随着“关键技

术”在制造业迅速推广并带动了数字产业化; 第三, “智能泛在(C<sub>n</sub>)”是基于 NGAI 支撑的场景自生长并形成了跨产业及跨界的广泛连通, 场景子系统不断横向扩展<sup>[12]</sup>。

(3) 数据子系统形成与演进。随着大数据等新技术出现, 数据成为新型生产要素, 从数据冗余到企业的资源及可交易的资产转化, 形成了数据子系统并具有数据运营功能(见图 2 的 D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, …, D<sub>n</sub>); 并以数据共享、数据交易等方式推动着系统演进。

在互联互通场景中, 工业互联网产生了海量数据, 亟需实现数据价值。数据价值实现主要的途径有: 数据资源化(D<sub>1</sub>)、数据资产化(D<sub>2</sub>)、数据运营(D<sub>n</sub>), 即数据要素与业务流程、用户需求及技术发展相融合, 推动组织、研发和生产等不同环节的创新<sup>[49-50]</sup>。

在智能泛在场景中, 从数字基础设施演进到 AI 嵌入工业互联网的智能基础设施, AI 技术迭代创新需要大量数据共享<sup>[29]</sup>; 数据反哺 AI 技术迭代创新加速其成熟, 并与场景互馈创新进而实现价值共创。

⑤ 图2 根据课题组“国内外数字经济关键技术应用研究”研究报告修改。

⑥ A—人工智能(artificial intelligence), B—区块链(blockchain), C—云计算(cloud), D—大数据(big data), 缩写为 ABCD。

综上,制造业数字创新生态系统经历了资源连接、聚集与共享、价值共创螺旋式形成与演进(见图2)。其一,在资源连接阶段(见图2的 $T_1C_1D_1$ ),以流程中信息沟通提高效率为目的,但产生了“信息孤岛”等问题。其二,在资源聚集与共享阶段(见图2的 $D_1T_2C_2D_2$ ),场景创新使关键技术与制造业融合更快、更为紧密;从内部连接到泛联场景加快了“关键技术”的融合与迭代创新。场景牵引着关键技术 ABCD + 5G 融合创新解决了“连接阶段”产生的“信息孤岛”。此阶段,强调了技术的赋能作用<sup>[51-53]</sup>,即以工业互联网技术与制造业融合建设的工业互联网平台的目的仍是降本增效<sup>[13]</sup>,虽然场景创新能够扩展价值空间,但是,忽视了场景、数据的增值创新,在产业实践中难以产生价值的叠加效应。其三,价值共创阶段(见图2的 $D_2T_nC_nD_n$ ):此阶段解决了制造业数字化过程中的“数据孤岛”问题,其中数据反哺技术创新<sup>[54]</sup>,加快了GAI迭代创新,而通过对数据要素价值的挖掘又加速了场景开发<sup>[29]</sup>,驱动企业从内部流程到跨产业场景创新,形成基于NGAI的工业互联网跨界交互场景,也扩展了创新价值空间<sup>[12,23]</sup>。在制造业数字创新生态中价值空间由技术、场景、数据驱动的创新构成,由此推动数字化转型向技术—数据—场景多元动力系统发展,进而推动了制造业数字创新生态系统螺旋式发展。

## (二)基于TDC的数字创新生态系统演进动力机制

从企业的内部流程连接场景到外部互联互通的泛联场景,以及不同层面跨产业、跨界的智能泛在场景,不仅是技术创新推动也凸显了数据和场景驱动的创新对数字创新生态系统演进的推动作用<sup>[55]</sup>,在相对稳定的外部环境下,技术—数据—场景子系统间互馈、反哺的交互创新推动了数字创新生态系统从资源连接、资源聚集与共享到价值共创阶段的螺旋式演进,且构成了数字创新生态系统发展的动力机制,实现了其创新价值叠加效应(见图3)。

在TDC-I模型中(见图3),技术、场景、数据3个子系统演进的主要特点如下。技术子系统(TS)演进主要通过技术迭代创新、融合创新、突破性创新等方式。在场景子系统中(CS),场景构建了数据驱动的商业闭环,加快了新技术采用、扩散并牵引关键技术创新。场景子系统演进的特点是向精细度、纵向深度、横向等跨度,因此场景演进的特点也对应了场景由内部流程逐步向产业链纵向延伸、跨产业的横向扩展等。对于数据子系统(DS),技术创新推动了数据功能的演化,从数据冗余到成为生产要素,经历了资源化、资产化、资本化等过程,逐渐形成了数据运营体系。一般而言,数据子系统运营的方式主要有数据共享与数据交易等。

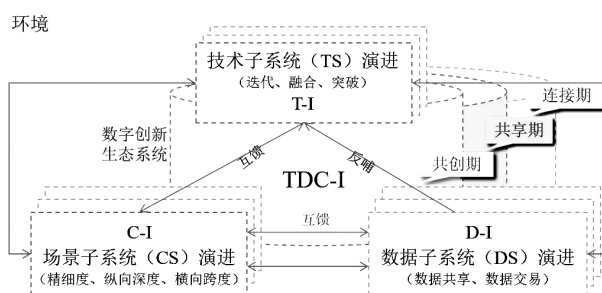


图3 数字创新生态系统动力机制整合框架(TDC-I)

在TDC-I模型中,技术、数据、场景各子系统在数字创新生态系统演进不同阶段相互作用的特点如下。

其一,资源连接期,以提升效率为目标。技术创新影响场景变化,例如场景向精细化发展,新技术在场景中的采用也是技术扩散的过程,在扩散过程中技术子系统不断迭代创新<sup>[56]</sup>,系统中沉淀了大量数据资源,企业以连接相关资源、提升运营效率为目的。由此,该阶段由技术创新子系统主导数字创新生态系统形成与演进的方向。

其二,资源聚集与共享期,即通过场景聚集资源,进而在不同主体间实现资源共享,并以赋能为目标。场景创新由其内部流程向外部扩展,其中包括纵向及交叉领域,逐渐形成场景子系统。场景演进影响着技术创新方向,技术发生迭代创新、

融合创新或产生突破性创新,进而满足新场景发展对技术的需求,并获得场景创新产生的范围效应<sup>[57-58]</sup>;场景又是数据生成的载体,场景创新释放数据价值,催生了数据的规模,数据成为场景子系统与技术子系统共享的资源。在这个时期,数据子系统逐渐形成。此阶段的特点是,场景创新与技术创新互馈,并主导着数字创新生态系统的演进方向。

其三,价值共创期,即数字创新生态系统经历了资源连接、聚集与共享期后,进入了多主体参与的价值共创形成的价值空间,创新叠加效应逐渐显现。主要有:①数据驱动技术创新即数据反哺技术创新,数据共享加速技术迭代创新,实现了数据潜在价值;②数据驱动的场景创新促进场景子系统演进,“数据—场景”的互动为数据价值释放提供途径,进而驱动场景的迭代升级或新场景的涌现<sup>[21,59]</sup>,数据重构形成新的需求,拓展了应用场景,放大了数据价值效应;③随着场景创新促进数据的流动空间不断增加,数据共享与复用,数据的潜在价值也获得实现。总之,技术创新在系统中扩散,数据的复用和价值释放、场景创新的范围效应共同构成了数字创新生态系统的多维价值空间<sup>[21-23,44]</sup>。因而,在此阶段,数据驱动创新、场景创新、技术创新等不同创新方式互馈、交互进行,共同构建了价值空间,并产生了价值叠加效应,形成数字创新生态系统螺旋式演进的内在动力。

#### 四、研究结论与政策启示

##### (一) 研究结论

本文以技术—数据—场景为分析主线,从内生层面构建了以 TDC-I 为底层逻辑的数字创新生态系统的整合的概念框架,主要研究结论如下。

其一,针对既有学者分别从技术、数据、场景等创新要素单一维度对数字创新生态系统演进机理开展研究<sup>[44]</sup>,本文强调了 TDC 系统整合效应。从资源连接期到聚集与共享期,技术子系统逐步从边缘支撑转向核心引领,数据子系统的资源属

性从静态冗余转向动态反哺,场景子系统的交互范围从组织内转向跨产业链及跨界发展,印证了数字创新生态系统的演进非单一要素驱动,而是技术、数据与场景子系统间协同作用。基于系统理论构建了 TDC 的整合框架,强调了技术、数据、场景等多维要素在数字创新生态系统演进过程中的内生作用及其协同效应,弥补了既有研究不足。同时,建立的技术—数据—场景的分析框架也丰富了数字创新生态系统的研究范式。

其二,针对既有基于“链式”的创新价值实现方式<sup>[23]</sup>,研究了数字创新生态系统的价值空间构成。研究表明,系统形成内生动力、多主体价值共创是数字创新生态系统发展的共同价值主张。供给和需求侧以及其他主体的创新是互馈的、交互的,推动了数字创新生态系统螺旋式演进,且创新产生的叠加效应扩展了价值空间。由此,明晰了数字创新生态系统的价值空间主要由技术、场景、数据驱动创新实现的价值叠加效应构成。

其三,从内生层面研究了数字创新生态系统螺旋式发展的内在逻辑,回应了多种创新方式交互(联动)如何影响数字创新生态系统的自生长能力<sup>[1]</sup>,明晰了数字创新生态系统演进不同阶段 TDC 交互创新的特点,即“资源连接期”由技术创新主导,“资源聚集与共享期”场景创新与技术创新互馈,“价值共创期”数据驱动创新、场景创新与技术创新交互驱动形成数字创新生态系统螺旋式演进的内在动力。在数字创新生态系统中,数据和场景对技术创新的反哺、互馈增加了创新的确定性,也降低了创新的高风险,为交互的创新活动提供了基础<sup>[23]</sup>。由此,构建了数字创新生态系统演进的微观动力机制,即技术—数据—场景子系统间互馈、反哺的交互创新推动了数字创新生态系统形成与螺旋式演进,通过自组织、自适应实现结构和功能升级,形成创新价值叠加效应。

##### (二) 政策启示

本文结合技术—数据—场景交互创新的数字

创新生态系统演进底层逻辑的研究结论,给出有关新型工业化战略下培育数字创新生态系统“从增效迈向提质”“实现价值增值”的对策建议<sup>[60]</sup>。

第一,政府相关部门制定产业数字化政策要从“赋能型”转向“创新驱动”导向,从“增效”向“价值增值”转变,建立长效机制增强产业数字化的内生动力。具体而言,数字创新生态系统价值空间不仅由技术创新扩散的绩效构成,还包括数据价值实现、场景创新的范围效应等,因此,在政策制定中不仅要关注技术创新,还要考虑数据驱动的创新及场景创新的系统效应,围绕“三大创新”(即技术创新、数据驱动的创新、场景创新)制定组合型政策促进数字创新生态系统健康发展,持续拓展数字创新生态系统价值空间,提升系统创新效能,促进新技术、新模式、新业态涌现<sup>[61]</sup>。第二,TDC-I作用机制表明不同创新范式共享共创交互创新的逻辑,不仅对放大创新效应、解决实践中“数据孤岛”等有支持作用,也对场景创新推动新技术落地、加速产业数智化进程有帮助。第三,本研究梳理了新型工业化下中国制造业数字创新生态系统发展路线图,并总结了关键技术与制造业深度融合的高质量发展经验和规律,指出了在实践中开展技术—数据—场景驱动创新的闭环管理对创新发展的意义,为相关部门提供了一个可操作的分析框架,表明了我国制造业数字化已转向新的发展时期即数字创新生态发展阶段(见图2)。因此,不仅要发挥大型企业的创新引领作用,还要激发中小企业的创新内在动力和协同配套作用,运用多种创新方式提升企业创新能力、产学研合作能级和产业创新整体效能,加快制造强国建设。

### (三)研究局限性与展望

本文在对我国制造业数字创新生态系统发展进程回顾基础上,从内生层面探索了数字创新生态系统演进的微观动力机制。未来可以从3个方向进行深化和拓展研究。第一,本文研究将政策维度作为外生变量,尚未考量政策在数字创新生

态系统演化进程中的外部作用。可在明晰数字创新生态系统的鲁棒性、适应性、涌现性基础上,研究政策对数字创新生态系统的影响。第二,深化TDC-I作用机理研究,可分析自组织、自适应、进化能力如何支撑数字创新生态系统从微观、中观到宏观的协同进化,如何实现从短期、中期到长期的可持续优化。第三,可运用“技术—数据—场景”分析范式对企业、平台型数字创新生态系统和区域数字创新生态系统开展实证研究,也可基于技术—数据—场景对产业数字化创新政策的制定和实施开展评价研究。

### 参考文献:

- [1]江小涓,靳景.数字技术提升经济效率:服务分工、产业协同和数实孪生[J].管理世界,2022,38(12):9-26.
- [2]张超,陈凯华,穆荣平.数字创新生态系统:理论构建与未来研究[J].科研管理,2021,42(3):1-11.
- [3]魏江.数字产业组织之体系逻辑重构[J].中国软科学,2023(9):22-29.
- [4]杨伟,刘健,武健.“种群—流量”组态对核心企业绩效的影响:人工智能数字创新生态系统的实证研究[J].科学学研究,2020,38(11):2077-2086.
- [5]CLOUGH D R, WU A. Artificial intelligence, data-driven learning, and the decentralized structure of platform ecosystems[J]. Academy of management review, 2020, 47(1): 184-192.
- [6]孙元,吴梅丽,苏芳.基于技术资源的创新生态系统演化及价值共创过程研究:以科大讯飞为例[J].南开管理评论,2024,27(8):40-50.
- [7]单子丹,曾燕红,李慧敏,等.数据资源如何重塑数字创新生态系统多主体竞合关系?:基于智能驾驶数字创新生态系统的解构与重组[J].研究与发展管理,2022,34(6):79-91.
- [8]陈劲.加强推动场景驱动的企业增长[J].清华管理评论,2021(6):1.
- [9]李明,王卫.场景驱动、商业模式与创新生态系统演进:基于特斯拉企业价值的逻辑起点[J].科技进步与对策,2023,40(17):45-55.
- [10]李梅芳,刘雨菁.数字创新生态系统构成因素对高端装备制造智能化发展的影响分析[J].科研管理,2025,46(3):28-37.
- [11]邵云飞,周湘蓉,杨雪程.从0到1:数字化如何赋能创新生态系统构建?[J].技术经济,2022,41(6):

44-58.

[12]孙新波,张明超.工业互联网平台赋能智能制造生态系统构建:基于海尔卡奥斯的案例研究[J].经济管理,2023,45(11):5-26.

[13]刘启雷,张媛,雷雨嫣,等.数字化赋能企业创新的过程、逻辑及机制研究[J].科学学研究,2022,40(1):150-159.

[14]YOO Y, BOLAND R J, LYYTINEN K, et al. Organizing for innovation in the digitized world [J]. Organization science, 2012, 23(5): 1398-408.

[15]HUND A, WAGNER H T, BEIMBORN D, et al. Digital innovation: Review and novel perspective[J]. The journal of strategic information systems, 2021, 30(4): 101695.

[16]CHAE B. A General framework for studying the evolution of the digital innovation ecosystem; the case of big data [J]. International journal of information management, 2019, 45: 83-94.

[17]BELTAGUI A, SESIS A, STYLOS N. A bricolage perspective on democratising innovation: the case of 3D printing in makerspaces[J]. Technological forecasting and social change, 2021, 163: 120453.

[18]马蕾,梁凯桐,王阳,等.数字技术驱动下中国知识产权运营平台发展历程及演化趋势[J].中国科技论坛,2021(10):153-161.

[19]解学梅,韩宇航,俞磊.如何跨越平台创新鸿沟:平台生态系统超模块创新体系的价值创造机制研究[J].管理世界,2024,40(7):175-204.

[20]蔡继明,刘媛,高宏,等.数据要素参与价值创造的途径:基于广义价值论的一般均衡分析[J].管理世界,2022,38(7):108-121.

[21]江小涓,宫建霞,李秋甫.数据、数据关系与数字时代的创新范式[J].中国社会科学,2024(9):185-203,8.

[22]DOSI G. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change[J]. Research policy, 1982, 11(3): 147-162.

[23]吴晓波,林福鑫,李思涵,等.穿越周期:工业 5.0 与第六代创新管理范式[J].清华管理评论,2023(增刊1):82-90.

[24]张明,路先锋,吴雨桐.数据要素经济学:特征、确权、定价与交易[J].经济学家,2024(4):35-44.

[25]潘教峰,张晓林.第四范式:数据密集型科学发现

[M].北京:科学出版社,2012.

[26]康瑾,陈凯华.数字创新发展经济体系:框架、演化与增值效应[J].科研管理,2021,42(4):1-10.

[27]DOUGHERTY D, DUNNE D D. Digital science and knowledge boundaries in complex innovation[J]. Organization science, 2011, 23(5): 1467-1484.

[28]戚聿东,刘欢欢.数字经济下数据的生产要素属性及其市场化配置机制研究[J].经济纵横,2020(11):63-76,2.

[29]孙新波,钱雨,张明超,等.大数据驱动企业供应链敏捷性的实现机理研究[J].管理世界,2019,35(9):133-151,200.

[30]王艳,杨达.中国式管理会计体系变革:从数据要素到数据资产[J].管理世界,2024,40(10):171-189.

[31]马鸿佳,王春蕾,李卅立,等.数据驱动如何提升数字平台生态系统竞争优势?:基于数据网络效应视角[J].管理世界,2024,40(12):170-185.

[32]KENNY D, MARSHALL J F. Contextual marketing: the real business of the internet [J]. Harvard business review, 2000, 78(6): 119-125.

[33]JOHNS G. The essential impact of context on organizational behavior[J]. The academy of management review, 2006, 31(2): 386-408.

[34]BAMBERGER P A. From the editors beyond contextualization; using context theories to narrow the micro-macro gap in management research [J]. Academy of management journal, 2008, 51(5): 839-846.

[35]江积海,阮文强.新零售企业商业模式场景化创新能创造价值倍增吗? [J]. 科学学研究, 2020, 38(2): 346-356.

[36]李健,渠珂,田歆,等.供应链金融商业模式、场景创新与风险规避:基于“橙分期”的案例研究[J].管理评论,2022,34(2):326-335.

[37]俞鼎,李正风.智能社会实验:场景创新的责任鸿沟与治理[J].科学学研究,2024,42(6):1121-1128.

[38]黄阳华.基于多场景的数字经济微观理论及其应用[J].中国社会科学,2023(2):4-24,204.

[39]邹波,杨晓龙,董彩婷.基于大数据合作资产的数字经济场景化创新[J].北京交通大学学报(社会科学版),2021,20(4):34-43.

[40]陈劲.加速推进场景驱动的精准经济[J].清华管理评论,2023(11):1.

- [41] 武建龙, 董阔, 杨仲基, 等. 场景驱动企业颠覆性创新的作用机制研究: 基于创新生态系统视角的双案例分析[J]. 中国软科学, 2024(10): 164-174.
- [42] BOLAND Jr R J, LYYTINEN K, YOO Y. Wakes of innovation in project networks: the case of digital 3-D representations in architecture, engineering, and construction[J]. *Organization science*, 2007, 18(4): 631-647.
- [43] RAMMER C, FERNÁNDEZ G P, CZARNITZKI D. Artificial intelligence and industrial innovation: evidence from German firm-level data[J]. *Research policy*, 2022, 51(7): 104555.
- [44] HENFRIDSSON O, NANDHAKUMAR J, SCARBROUGH H, et al. Recombination in the open-ended value landscape of digital innovation[J]. *Information & organization*, 2018, 28(2): 89-100.
- [45] 孙永磊, 朱壬杰, 宋晶. 数字创新生态系统的演化 and 治理研究[J]. 科学学研究, 2023, 41(2): 325-334.
- [46] 梁正, 李佳钰. 商业价值导向还是公共价值导向?: 对数字创新生态系统的思考[J]. 科学学研究, 2021, 39(6): 985-988.
- [47] 盛昭瀚, 蒋德鹏. 演化经济学[M]. 上海: 上海三联书店, 2002: 160.
- [48] 李万, 常静, 王敏杰, 等. 创新 3.0 与创新生态系统[J]. 科学学研究, 2014, 32(12): 1761-1770.
- [49] GUPTA R, MEJIA C, KAJIKAWA Y. Business, innovation and digital ecosystems landscape survey and knowledge cross sharing[J]. *Technological forecasting and social change*, 2019, 147: 100-109.
- [50] GÜNTHER W A, REZAZADE MEHRIZI M H, HUYSMAN M, et al. Debating big data: a literature review on realizing value from big data[J]. *The journal of strategic information systems*, 2017, 26(3): 191-209.
- [51] 陈剑, 黄朔, 刘运辉. 从赋能到使能: 数字化环境下的企业运营管理[J]. 管理世界, 2020, 36(2): 117-128, 222.
- [52] 孙新波, 刘剑桥, 张明超, 等. 工业互联网平台赋能参与型制造企业价值链数字重构绩效的组态分析[J]. 管理学报, 2024, 21(6): 811-820.
- [53] 吴晓波, 张武杰, 余璐. 工业互联网推动我国中小企业实现跨越式发展[J]. 清华管理评论, 2020(11): 63-70.
- [54] 李玉娟, 罗建强. 数字化环境下制造企业服务创新反哺产品创新扩散机理[J]. 系统管理学报, 2023, 32(5): 995-1008.
- [55] HAEFNER N, PARIDA V, GASSMANN O, et al. Implementing and scaling artificial intelligence: a review, framework, and research agenda[J]. *Technological forecasting and social change*, 2023, 197: 122878.
- [56] BOUSCHERY S G, BLAZEVIC V, PILLER F T. Augmenting human innovation teams with artificial intelligence: exploring transformer-based language models[J]. *Journal of product innovation management*, 2023, 40(2): 139-153.
- [57] 李少帅, 陈玲. 场景驱动大模型产业架构创新的机理及路径研究[J/OL]. 科学学研究, 1-16 [2025-05-09]. <https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20250325.004>.
- [58] 尹西明, 武沛琦, 钱雅婷, 等. 场景驱动型数智技术创新赋能新质生产力: 理论逻辑与实践进路[J]. 中国软科学, 2024(10): 18-31.
- [59] 尹西明, 苏雅欣, 陈劲, 等. 场景驱动的创新: 内涵特征、理论逻辑与实践进路[J]. 科技进步与对策, 2022, 39(15): 1-10.
- [60] 黄鑫. 制造业智能化转型提质增效[N]. 经济日报, 2024-09-17(1).
- [61] 王宏起, 赵天一, 李玥. 产业创新生态系统数字化转型的政策组合研究[J]. 中国软科学, 2023(10): 119-131.

(本文责编: 默 黎)