

数字生态：概念源流与建构^{*}

邱泽奇 乔天宇 宋 洁 张平文

提要：借助生态视角理解数字化已成为诸多研究和实践的共识。然而，针对数字生态的理解各不相同且存在歧义，对生态概念的运用也多为隐喻式。在对相关概念和术语进行梳理辨析的基础上，本文结合生态概念的本质内涵，从关联要素、行动主体、互连互动互倚和发展演化四个方面对数字生态概念进行建构，指出数字生态是与自然生态、社会生态相互作用又相对独立的复杂系统，是多主体及多关联要素互连互动，彼此依存、合作和冲突而形成的多层次多结构多形态的整体性动态系统。构建平衡、繁荣的数字生态攸关中国发展和人类共同发展的前途命运。

关键词：数字生态 概念建构 社会变迁

一百多年前，涂尔干（2000）指出，工业化的社会分工创造了一个有机团结的社会。第二次世界大战结束后，伴随着全球化进程，在信息通信技术发展的影响下，社会行动者的流动性与相互间的连接性不断增强，社会互动逐渐超越时空限制。一方面，这导致很多过去相对稳定的社会群体以某种方式消解或变得不再那么重要；另一方面，人类社会也变得比以往更加复杂且不可分割。在这一过程中，涂尔干刻画的有机团结逐渐向多维互连的生态团结转变，主导社会整合的机制从分工群体间的功能互倚转变为多元主体的风险共担（邱泽奇，2025）。人类社会的生态性特征日益显著。当前，随着新一代人工智能技术的发展，智能机器的自主性提升，其作为准社会行动者的属性日渐凸显，人类与机器互动共生的时代已然到来。机器作为新型行动者的加入，使得多元主体风险共担的生态团结呈现出较此前更加复杂的特征。在这样的背景下，借助生态视角理解数字时代的社会变迁愈发重要。

在社会学界，生态视角很早便得到一些学者的青睐，并被应用到研究之中，

* 本研究得到中国科学院学部咨询评议项目“中美欧数字治理格局研判关键问题研究”（2021-ZW07-B-014）的资助，课题主持人为张平文。感谢匿名评审专家给出的建设性意见。文责自负。

其中最著名的当属芝加哥学派(Park,1936;库隆,2000)。后来,生态视角的运用逐渐从物理的都市空间拓展到了抽象的社会空间(Chiot & Hall,1982; McPherson,1983; Wallerstein,1987; Hannan & Freeman,1989; Popielarz & Neal,2007)。尽管如此,在过去相当长的一段时期,生态视角并没能成为社会学者理解社会现象的基本出发点,倒是群体视角更被社会学者娴熟运用。涂尔干(2000)对社会团结的刻画,无论是传统农业社会的机械团结,还是现代工业社会的有机团结,都是立足于群体视角展开的。

生态视角在认识复杂现象方面具有群体视角难以超越的优势。首先,群体视角内含行动者同质性的假定,生态视角则更关注异质性,认为多元的行动者互连互动互倚,且彼此间构成合作和竞争关系。阿伯特(Andrew Abbott)认为这是生态观与机械观、有机观的显著不同之处(阿伯特,2021)。其次,群体视角主要聚焦单一层次,这使其不可避免地陷入“个体—群体”二重性困境,生态视角则注重整体性,关注多重关系,对多层次、多类型、多结构的互连互动互倚做综合考察。再次,群体视角暗含明确边界的预设,而生态视角则强调边界开放。最后,群体视角关注静态均衡,假定群体内部构成和外部关系相对稳定,而生态视角则关注动态演化。

数字技术应用进一步加剧了社会的复杂性(乔天宇、邱泽奇,2020;王芳、郭雷,2022)。数字连接方便了人们相互联系,增强了人与人之间的相互作用和彼此影响,同时也导致了人类社会脆弱性的增加。技术加速给人类带来了诸多福祉,同时对制度适配性提出了更高要求。作为典型开放系统的数字平台已成为时下流行的组织形式,不仅主导着人们的日常生活,也成为影响国际政治格局的重要力量;智能机器作为社会行动者参与人类的生产和生活,人类与机器的边界变得模糊。所有这些都意味着数字社会的生态特征愈发凸显,注重多元、互连互动互倚、开放与动态的生态视角对理解数字社会愈发重要。有学者意识到,面对人机社会,必须借助生态视角来研究更复杂的“人机共同体”(Tsvetkova et al.,2024)。

实际上,借助生态视角理解数字化及其影响已在不少领域获得了共识。距离技术变革最近的工程界和产业界对数字化带来的复杂性增加最为敏感,也最早利用生态视角理解数字化。早在21世纪初,一些与数字生态相关的术语就已出现在工程和产业领域。从2007年起,电气与电子工程师协会(Institute of Electrical and Eletronics Engineers)专门开设了“数字生态系统与技术”(Digital EcoSystems and Technologies,简称DEST)论坛,在论坛上发表论文的也多是工程和产业专家,他们启发了工程界和产业界从生态视角认识数字化。在国内,腾讯

集团自2017年起每年都以“数字生态”为主题召开“腾讯全球数字生态大会”,旨在分享技术创新成果、洞察数字经济发展趋势、探索数字经济与实体经济融合发展路径。

中国政府于2021年发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》(简称“十四五”规划纲要)对“营造良好数字生态”作出了重要部署,“数字生态”首次出现在国家战略文件中。“开放、健康、安全的数字生态”成为“加快数字化发展,建设数字中国”的目标。^①“十四五”规划纲要发布后,数字生态的相关议题引发各方关注。中央宣传部副部长、国家互联网信息办公室主任庄荣文在《人民日报》撰文指出,数字生态会对经济社会发展、人民生活和国际格局产生广泛影响,给社会生产方式、生活方式和治理方式带来深刻变革,“着力营造开放、健康、安全的数字生态,是‘十四五’时期加快建设网络强国和数字中国、推动经济社会高质量发展的重要战略任务”(庄荣文,2021)。在理论界,学者们也逐渐认识到生态视角在理解数字社会发展与治理中的优势,尤其是在把数据作为生产要素提出来之后,数字创新生态、数字平台生态、数字治理生态等相关概念开始见诸学术文献(魏江、赵雨菡,2021;孟天广,2022;焦豪,2023)。

可是,何为数字生态?过往研究缺乏对该概念的辨析。在社会学界,一方面,学者们对早已存在的以芝加哥学派为代表的生态学传统较为忽视,尚未充分意识到生态视角对理解数字社会的独特理论优势;另一方面,从数字化到数智化^②的发展也给社会学带来了极大挑战,社会学亟需寻找认识数字社会的新概念与新视角(王天夫,2021;邱泽奇,2024a)。

本文旨在系统阐释数字生态概念。我们将从数字生态概念的源流入手,梳理相关概念和术语,努力对其内涵进行辨析,并重构数字生态概念,以期为更好地借助生态视角理解数字社会,进而为社会学在数字时代更好地开展跨学科交流和交叉研究奠定基础。最后,我们还会讨论认识数字生态对人类社会发展的意义。

① 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》,2021,北京:人民出版社。

② 数字化通常指用数值刻画事物属性及其相互间关系模式的过程,是把适宜于人类理解的内容转化为适宜于机器读取的内容的过程。数智化是运用数字化的成果让机器学习人类认知和行为,形成机器认知和行为的过程,生成式人工智能是数智化的表现形态之一。换言之,数字化是基础,数智化是数字化的产出之一。数字生态指基于数字化的生态,数字化、数字社会是含义更广的概念,故在后文中,除非特别必要,将不再使用数智化和数智社会。

一、数字生态概念源流与辨析

生态概念源自生物学,内涵丰富。当将其迁移应用到其他领域时,难免会产生意义混乱(Friederichs,1958)。与数字生态相关的概念还有“数字生态系统”(digital ecosystem)。截至目前,在产业研究、产业实践以及政策话语中,出现了许多相关或类似的术语,各自内涵也有不小差异。在下面的讨论中,我们试图对此进行梳理和辨析。

(一)最早出现于工程界的数字生态系统

在20世纪末至21世纪初,以“数字生态系统”为关键词的文献已散见于电子信息工程学的会议和期刊中(Cliff & Grand, 1999; Azuaje, 2001; Smith & Cohon, 2005)。然而,那时对“数字生态系统”的使用具有随意性,不同研究所表达的内涵也有很大不同。其中,有文献从人工生命角度将数字生态系统定义为利用数字化手段(如计算模型)创建的虚拟人工生态系统,用于对真实生物生态系统演化进行模拟仿真(Cliff & Grand, 1999)。换句话说,数字技术是作为研究生物生态系统的手段。不过,这种理解近年已不多见。

另一种典型理解是将数字生态系统当作信息计算的技术架构,即由数字物种或数字组件构成,以高效率并行的方式解决动态性问题的构架(Briscoe et al., 2011)。“数字物种”和“数字组件”可以是硬件,也可以是软件,还可以是服务、业务流程等。这样的数字生态系统是为达成特定目标而构建的技术架构,比如向中小微企业提供信息通信技术应用和服务,以帮助其实现整合协同、提升效率等(Fu, 2006)。

把数字生态系统理解为一套技术架构是工程领域的主流认知。我们梳理了历年 DEST 论坛涉及的议题,其内容主要包括三个方面。一是数字生态系统性质等基础理论议题,主要讨论数字技术架构具有的连接、开放、多主体、复杂适应、自组织以及动态进化等类似自然生态的典型特征(Dong & Hussain, 2007; Li et al., 2012)。二是建设数字技术架构时涉及的核心技术议题,如降低功耗、保证安全、增进信任、增强系统互操作性等(Valdez-de-Leon, 2019)。三是如何将数字生态系统式的技术架构应用于各场景,如智慧制造、数字农业、智慧城市、科研设施等(Rajagopalan & Sarkar, 2008; Küster et al., 2011)。这些研究归根结底是在讨论数字生态系统的构建及其效率提升问题。

(二) 产业研究与实践中的数字商业/产业生态系统

由工程界提出的数字生态系统概念很快受到产业界关注,其内涵也得到了进一步延伸和拓展,与数字生态相关的其他术语也陆续在产业研究和实践中出现。

如果说工程界侧重讨论作为技术架构和基础设施的数字生态系统,产业研究与实践则更关注其如何在经济活动与商业实践中落地应用,成为促进产业发展的技术工具,帮助传统产业实现数字化转型。与工程界相比,产业界在理解数字生态系统时更关注技术供给与应用需求的关联。

“数字商业生态系统”(Digital Business Ecosystem)是产业研究所涉及相关概念的代表。诸多产业研究文献强调要将数字生态系统置于社会和经济过程之中,在技术之外还要考虑“社会、经济和人类感知”(Nachira et al.,2007)。因此,数字商业生态系统可被视为数字生态系统和商业生态系统的结合。在这里,数字生态系统指“基于点对点分布式软件技术的基础设施以及包含在其中的所有数字‘对象’”(Nachira et al.,2007);商业生态系统描述的是由各类经济活动主体组成的经济共同体(Moore,1993)。如果说数字生态系统是数字技术组件互连互通的网络,那么数字商业生态系统则是由数字技术网络与社会经济共同体一起构成的网络。

国内产业界也有人使用数字生态相关术语,只是术语内涵有所不同。比如,有研究从产业发展理论出发,认为数字生态是“异质性企业、不同行业、各类第三方服务机构融合了互联网、大数据、人工智能等新兴技术,形成的低交易费用、高运营效率的新型经济体”(赵国栋,2017:7)。这一定义强调的是产业链上不同部门之间的关联,“数字”充当的是沟通、连接、融合各产业部门的角色,对产业结构进行了重组。还有研究用“数字化生态”刻画传统工业企业经历数字化转型后达到的高度数字化的行业发展状态,在此状态下,企业跨越边界、打破行业壁垒并通过数字化实现技术和资源的连接、互动和共享(王永贵等,2023)。不难发现,这些概念的内涵相近,指的都是数字技术助力下发生的产业中的关系结构改变。

国内互联网行业巨头腾讯集团最早致力于打造“数字生态共同体”,马化腾在第一届“腾讯全球数字生态大会”上提出了“数字生态共同体”概念,并做了如下描述:“在数字化背景下,不同产业和区域的生态之间,开始发生越来越多的关联。它们可能将不再羁于行业、地域等因素带来的条块分割,紧密地交错起来,让跨界地带产生丰富的创新空间,从而形成一个‘数字生态共同体’”。^①

^① 腾讯,2017,《马化腾公开信:7大关键词打造“数字生态共同体”》,微信公众号“腾讯”,10月30日(<https://mp.weixin.qq.com/s/j2hOy02CiLpDmMRmDGW5iA>)。

这段描述的内涵更为宽泛,且具有启发性,至少体现在两个方面:其一,揭示了由数字化带来的广泛关联,体现了互连互动互倚的生态本质特征;其二,不仅涉及产业间关联的生态,还涉及如区域间关联的其他生态,充分体现出生态的多样性与多层次性。尽管如此,马化腾也并未对数字生态给出明确阐释,而是将生态概念作为一种“隐喻”使用。

(三)战略政策领域的前沿关注

中国和美国都较早年在阐述发展战略的政策文件中明确使用了数字生态相关术语。中国于2021年3月发布的“十四五”规划纲要中辟专章讨论“营造良好数字生态”。^①略早于中国,美国国际开发署(United States Agency for International Development,简称USAID)于2020年4月发布的《数字战略2020—2024》将“通过使用数字技术以及加强开放、包容、安全的数字生态系统,增进发展与丰富人道主义援助成果”作为USAID在数字发展方面的承诺。^②但仔细辨析能够发现,两国在各自战略政策文件中使用的数字生态相关术语在内涵上与工程界和产业界存在不小差异。

“十四五”规划纲要中的数字生态概念强调影响中国数字化发展的各种环境,尤其是保障数字化发展的开放、健康、安全的制度环境,其中的生态是环境的近义词。“十四五”规划纲要指出,“开放、健康、安全的数字生态”要通过“坚持放管并重、促进发展与规范管理相统一,构建数字规则体系”来实现,“建立健全数据要素市场规则”“营造规范有序的政策环境”“加强网络安全保护”和“推动构建网络空间命运共同体”等是具体的实现手段。^③2023年上半年,中共中央、国务院印发的《数字中国建设整体布局规划》中也出现了数字生态相关术语,其内涵同样侧重于环境,旨在通过“完善法律法规体系”“构建技术标准体系”“提升治理水平”“净化网络空间”等方式实现“优化数字化发展环境”的目标。^④

政策语境下的数字生态概念强调影响数字化发展的环境,与大众对生态的日常认知相关。在当代汉语的使用中,“生态环境”已成为一种习惯性表述。但

① 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》,2021,北京:人民出版社。

② USAID,2020,“Digital Strategy 2020 - 2024.” ICTworks(https://www.ictworks.org/wp-content/uploads/2020/04/USAID_Digital_Strategy.pdf).

③ 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》,2021,北京:人民出版社。

④ 新华社,2023,《中共中央 国务院印发〈数字中国建设整体布局规划〉》,中国政府网(https://www.gov.cn/xinwen/2023-02/27/content_5743484.htm)。

是,严格来说,“生态环境”是惯用的错误表述,会导致人们不加辨析地将生态和环境等同起来。钱正英等三位院士曾撰文指出,从科学系统的观点看,生态和环境是有区别的,尽管二者存在联系和交叉:生态是与生物有关的相互关系的总和,其中包括了生物之间以及生物与环境之间的相互关系;而环境则是围绕着人群的空间及其中可以直接或间接影响人类生活和发展的自然和社会因素的整体(钱正英等,2005)。环境是客体,而生态不是。^①

美国在《数字战略 2020—2024》中将“数字生态系统”定义为“由利益相关者、(技术)系统和环境共同构成,可以通过使用数字技术获得服务、促进参与和寻求经济机会给个人和社区赋能”的体系,^②这显然也和工程界与产业界的理解大不相同。2022 年 5 月,USAID 在此基础上细化了概念框架,提出数字生态系统是围绕三个支柱组织起来的,它们分别是:(1)数字基础设施,(2)数字社会、权利和治理,(3)数字经济。其中又包括四个相互交叉的主题:包容性、网络安全、新兴技术和地缘政治布局。USAID 着重强调了数字生态系统不同于数字经济,前者范围更广,是环境、技术系统与社会文化的统一体,并将其作为任何数字互动的起点,强调理解这一概念对发展性实践者的重要性。

除了中美国家战略外,数字生态相关术语也见诸国际组织的战略政策文件。联合国开发计划署(The United Nations Development Programme,简称 UNDP)在 2022 年初发布的第二个数字战略文件(《数字战略 2022—2025》)中提出,要“支持创建更具包容性、适应力更强的数字生态系统”,以“帮助建立一个数字赋能人类和地球发展的世界”;UNDP 还将数字生态系统定义为“由参与者和(技术)系统共同组成的一个复杂的动态互联网络,网络中所有元素将作为一个整体发挥作用,为推进经济和社会工作创造一个有利的数字环境”。^③此外,UNDP 还注意到数字生态系统具有层次性,可进行全球和国家(区域)的层次划分,并提出了国家层面的健康数字生态系统应具备的四个特点。^④

① 钱正英院士等所谓生态并不是一个客体,并非否认生态是一个可以认识的对象,而是相对于作为主体的生物体来说的。生物体是生态的内在组成部分,环境则明确是外在于生物主体的客体(钱正英等,2005)。

② USAID,2020,“Digital Strategy 2020 - 2024.” ICTworks(https://www.ictworks.org/wp-content/uploads/2020/04/USAID_Digital_Strategy.pdf).

③ 联合国开发计划署,2022,《数字战略 2022—2025》,联合国开发计划署官网(https://digitalstrategy.undp.org/documents/Digital-Strategy-2022-2025-Full-Document_ZHS_Interactive.pdf).

④ UNDP 提出,在国家层面,健康的数字生态系统应具备四个特点:一是具有国家统筹和地方负责的长期愿景和战略,二是具备数字基础设施等坚实的基础准备,三是能够提供合适政策、人才和投资的有利环境,四是具有与不同利益攸关方(包括边缘群体)接触和互动的机制。

比较各方的政策文件可以看到,人们在政策语境中对数字生态内涵的认识也各不一致。中国的政策将数字生态理解为数字化发展环境。这种符合日常习惯的理解虽有助于增强传播效果,却窄化了生态的内涵。我们认为,不宜将政策语境中对数字生态的理解直接挪用到学术讨论之中,而应加以辨析,以避免相应误读和混淆的延续。UNDP 和 USAID 给出的定义尽管也都提及了环境,但内涵明显更为丰富。与 USAID 的定义相比,UNDP 的定义凸显了生态的整体性和结构复杂的特征,对建构严谨科学的数字生态概念极具启发性。

总体来看,从工程技术领域的数字生态系统,到实践领域的数字商业/产业系统,再到政策领域的数字生态和数字生态系统,其中数字生态的内涵有宽有窄,但多将生态概念作为一种“隐喻”使用。尽管有些术语涉及了生态的重要特征,却都没有直接阐明生态概念的本质内涵。

(四)回归生态概念的本质内涵

目前,对生态的主流认知认为,生态在本质上是多要件互连互动互倚的复杂系统。首先,生态是一个由部分组成的整体性系统。在自然生态中,要件指主体及关联要素。其中,主体是指属于不同种群的生物有机体,关联要素是指影响生物有机体的重要因素,如土壤、水分、能量等。自然生态既包含生物有机体之间的关系,还包含生物有机体与关联要素之间的关系,即多主体和多关联要素构成的整体性系统。其次,生态是一个复杂性系统,组成系统的主体和关联要素之间存在十分复杂的关系,其是一个由主体之间、主体与关联要素之间互连互动互倚构成的大型复杂网络。各要件彼此之间的互连性、互动性、互倚性使得一个十分微小的扰动都可能会对整体产生复杂影响。简言之,要将生态作为整体,而非用群体视角对各组成部分予以孤立地考察。对生态的研究要避免还原论(Brown, 1997)。涌现性原理是生态学的基本原理(奥德姆、巴雷特,2009)。最后,生态是一种动态性系统,任何生态都始终处在发展与演化中,没有静态和固定的生态。《科学进展》(*Science Advances*)新近发表的论文列举了生态作为复杂系统的众多典型特征,除涌现、相互作用、网络、动态性外,生态还包括适应、聚集性、多样性、反馈、层级性等二十余种特征(Riva et al.,2023)。

既有对数字生态的讨论少有直接阐明生态概念的上述本质内涵的。丹麦学者马顿(Attila Mártón)同样回顾了产业界和工程界对数字生态系统概念的使用(Mártón,2022)。①

① 马顿分别称其为商业—经济术语(business-economic terms)和工程术语(engineering terms)。

他指出,以往产业界和工程界多从提高效率和创新能力角度借鉴生态思维,却过于强调生态的价值创造属性,这不可避免地会引导人们更多关注系统的各个部分,^①而忽视作为整体的系统及其复杂性与动态性。另外,过往使用的数字生态系统概念也忽略了生态视角强调的异质性关系。数字技术的强渗透性使得数字世界与自然生态和社会生态有着密切的互动,数字化是跨越异质性边界形成整体性社会的过程。产业界关注的生态还局限在商业领域内部,边界跨越仅体现在不同产业部门之间。工程界虽然关注不同性质技术组件的关联,但这种关联也没有跨越技术系统的边界。产业界和工程界缺乏对异质性互连的关注实质上是低估了生态系统的复杂性。

近年来,社会科学研究者也逐渐认识到生态视角在理解数字化现象方面的优势,数字创新生态、数字平台生态、数字治理生态等相关概念开始出现在社会科学的学术文献中。然而,它们多只聚焦于数字化的某一特定维度。

数字创新生态建立在创新生态概念的基础上。创新生态被认为是一个由相互作用的创新主体协同参与、竞合共生的复杂系统,构建适合的创新生态常被管理学研究者用作指导企业获取竞争优势的手段。由于数字技术的加入,数字创新生态表现得更为复杂,在创新要素、参与主体、主体间关系等方面都具有新的特征(杨伟等,2020;魏江、赵雨菡,2021)。数字平台也被视为一种典型的生态系统,除其技术架构具有生态性外(蒂瓦纳,2018),更重要的是,平台还吸引着各类应用主体。数字平台生态可被看作由数字平台所有者、合作互补者和用户三大类主体共同构成且相互作用的复杂系统。比如,数字电商平台上汇集的主体包括各种生产者、供应商、服务商以及用户,主体之间通过数字平台互连互动互倚,共同影响平台的发展与演化。经济学与管理学倾向于将数字平台生态视为具有网络效应的市场,同时重视其获取竞争优势的实践意义(焦豪,2023;周冬梅等,2024)。社会学更倾向于将数字平台视为区别于传统科层制的平台组织(徐清源,2021;邱泽奇,2021)。平台组织不只是主体之间的交易网络,还是生产、物流、人际、人机关系构成的整体系统。无论是对平台进行治理,还是以平台为工具进行社会治理,都有必要遵循生态思路(吕鹏等,2022)。

政治学研究者针对政府治理提出数字治理生态概念,从“行动者—资源”角度出发,把数字治理生态定义为由数字治理主体(包括政府、专业机构、公众等)和数字治理资源(包括预算、编制等传统治理资源和数据、算法、算力、智能化解

① 以电商平台为例,产业研究对平台生态的关注更多聚焦在各种类型的电商参与者身上,如从事线上经营的网店商家、线上消费的消费者等,而对于不同类型的参与者构成的复杂网络关注并不多。

决方案等新生治理资源)两大体系构建的治理结构(孟天广、张小劲等,2021;孟天广,2022)。数字治理生态强调的是多元治理主体和多样化治理资源间的相互协同与动态演化,以及包容性、协同性、智慧性和可持续性的特征。与数字创新生态和数字平台生态类似,人们更看重数字治理生态的实践意义,且将其作为实现治理目标的新范式和数字治理的工具创新。

如果说工程界、产业实践和政策领域在使用生态概念理解数字化时更多停留在“隐喻”意义上,未能很好地把握生态概念的本质内涵,造成了数字生态相关术语的混乱,学术界则未能把各领域的实践上升为理论。尽管社会科学界更好地把握了生态概念的本质内涵,普遍强调生态视角的多元主体及关联要素间的关系特征,力图关注数字化的整体性、复杂性、动态性,但是既有研究还是在数字化各个维度上相对孤立地运用生态视角,局限于数字化的特定领域,未能将来自不同维度的相似概念加以有效整合。对理解数字社会而言,学术界亟待构建一个具有统摄性的数字生态概念框架,以明确数字生态的核心内涵,既满足指导实践的需要,也为指导数字化研究提供认知工具。

本文将数字生态作为与自然生态和社会生态既相互作用又相对独立的复杂系统加以考察,阐述关于数字生态的非隐喻式理解,推动各界形成对数字生态的认知共识。为实现这一目标,后文将回归生态概念的本质内涵,把生态理解为主体及关联要素构成的复杂系统,分别厘清数字生态的主体及关联要素,讨论主体及关联要素间的互连互动互倚特征,以及数字生态发展演化的整体性、复杂性和动态性。

二、数字生态概念的建构

(一)数字生态的关联要素

如果说自然生态是生物有机体与关联要素构成的复杂系统,社会生态是社会行动者及关联要素构成的复杂系统,那么与自然生态和社会生态不同,数字生态既不单纯是自然性的,也不单纯是社会性的,而是与自然性和社会性都相关,却又相对独立的生态。一方面,数字生态是主体及关联要素构成的复杂系统;另一方面,数字生态还是以数字化整合异质性主体及关联要素而构成的复杂系统。

在数字生态中,基础设施、技术创新、数据资源和数字规制是影响主体的四类关联要素。其中,前三类是资源要素,是物质性的,也是数字化的前提,它们可

大致对应算力、算法和数据。数字规制是制度要素,是象征性的。在这四者中,数据资源是核心要素。

1. 基础设施

基础设施是数字化的前提条件。保障数据收集、传输、存储、计算的算力设施是数字时代基础设施的硬件底座。算力可与农业时代的人力和畜力、工业时代的机械力相提并论,算力变革堪比历次产业革命的动力变革,其影响更加广泛和深远(米加宁等,2024)。建设算力设施不仅为数字化创造条件、提供保障,还会牵涉各类主体,是具有社会性甚至政治性的活动。建设算力设施势必会与一定区域的自然环境互动,也会影响公众对数字化的认知(Burrell, 2020; van Es et al., 2023)。支撑算力的能源设施同样是数字时代的重要基础设施,如何成本低廉且环境友好地获取能源是数字时代基础设施建设的重要课题。相关技术标准是数字时代的另一类关键基础设施,接受哪种技术标准取决于既有技术条件,也会受利益相关主体博弈的影响。5G 标准之争即例证(贺俊, 2022),这也是生态中主体间竞争的典型体现。

2. 技术创新

技术创新是数字化的驱动力量。技术创新包括硬件和软件两方面。硬件技术创新与算力相关。半导体芯片的研发与生产会影响甚至决定算力水平,关乎国家竞争力与安全,也已成为世界大国竞争的焦点(米勒,2024),如中国仍面临芯片“卡脖子”难题。自主技术创新是破解“卡脖子”难题的必由之路。软件技术创新在很大程度上体现为算法创新。技术创新有很多具体表现,研发人员、经费、专利等是常见的测量指标。技术创新的关键是让技术发挥更大价值,成为生态中的“活”要素。技术创新与基础设施相互影响。一方面,优质基础设施会促进相关技术创新的迭代更新;另一方面,高质量技术创新的成果转化也会为搭建更好的基础设施创造有利条件。

3. 数据资源

数据资源是数字生态的核心要素。数据一直被视为数字时代的“石油”。可以说,离开了数据资源,基础设施的功效无从发挥,再强大的算力也无用武之地。同样,离开了数据资源,技术创新的作用无法显现,再好的算法都会变成无本之木。另外,数据也是互动媒介,数字连接依靠的是数据连通。无论是人与人之间、机器与机器之间还是人与机器之间关系的缔结,都离不开数据媒介。与其他传统资源相比,数据资源具有很多新特性,如可复制性、非竞争性、排他性与非排他性并存等(张平文、邱泽奇编,2022)。不过,人们对数据特性的理解还远远

不够,对数据资源的相关问题仍在探索之中。正因为如此,如何更好地利用数据资源,仍然面临诸多问题与挑战。

4. 数字规制

数字规制指立法或行政主体针对数字化制定的各类法律或政策。数字化是世界各国面对的新现象,催生了很多新问题,包括如何对数字化交易进行有效规范,如何规范公私数据交易和跨境数据流通,如何保护个人隐私和数据安全,等等。世界各国对于解决这些问题有一些探索,数字规制也应运而生(李昊林、彭蔚,2022)。相对于基础设施、技术创新、数据资源这三个关联要素,数字规制更具外生性。但如果基于生态视角将数字化视为一个整体,数字规制也应被视为系统的重要组成部分。对欧洲国家的研究表明,数字技术渗透程度对数字规制尤其是风险控制相关规制的形成具有较强的驱动作用(谢子龙等,2024)。数字规制在规范行动主体的同时,势必会对生态中其他关联要素乃至生态整体的演化产生影响。现实中也存在一些规制目的积极但实施效果却不利于生态整体发展的例子,例如对算法实施过于严苛的审计和监管都可能会抑制算法创新。因此,应当尤其关注这种数字规制制定与实施中可能产生的非预期后果。

总而言之,基础设施、技术创新、数据资源和数字规制是构成数字生态的关联要素,也是驱动或制约数字化的主要因素。缺少其中任何一个要素,数字生态都不完整。关联要素之间相互依赖,构成了不可分割的生态网络,分析和考察各类关联要素的关系尤其重要。

(二)数字生态的行动主体

数字生态还有一类特殊且关键的构成要件,即具有能动性的行动主体(简称主体)。主体与关联要素之间呈双向互动关系:主体既受数字生态各要素的影响,又是生态中的施动者,能够影响各要素。比如,基础设施和技术创新的发展水平会影响各类主体应用数字技术的边界,同时政府部门和企业可以成为数字基础设施的建设者,每位社会成员都可能成为技术创新的推动者、应用者和数据资源的生产者、持有者与开发者;政府、企业甚至每位个体行动者的行动选择都会受数据影响,而数据资源的开发、利用和流动也都被各类主体主导,同时还会受到规制约束;各种数字规制也是在特定主体参与和干预下制定的。应该说,具有能动性的主体是数字生态得以维持并发生动态演化的关键。相对于群体视角,生态视角的优势在于能同时包容多种性质迥异的主体。数字生态的主体不仅包括人类行动者以及由人类主导的各类政府、企业和社会行动者,还包括非人

主体,即机器。随着人工智能技术的快速发展,人机协同、人机融合、人机共生乃至人机互生正在成为常态,也将成为数字生态的显著特征。

生成式人工智能进入社会化应用意味着智能机器拥有了不可忽视的能动性力量。早在生成式人工智能进入大众视野以前,在对人机关系的理解中,有关达尔文式协同进化和人机生态的认识便已形成一定共识(李,2022)。有学者认为,机器与生物类似,能实现自我创生式进化(阿瑟,2014)。从人机关系的现实来看,人类与数字技术之间也是典型的共生关系。在行动者网络理论的基础上(Callon,1987),有学者认为人机之间已形成了一种为了生存而相互依赖的互倚关系,由此可将技术视为具有共生能动性的主体(Neff & Nagy,2018)。人机互生已经开始引发知识生产领域的范式变革,正在带来对知识创新、知识传播与知识扩散的革命性冲击(邱泽奇,2024b)。与此同时,人类与机器之间的物理边界也正在变得模糊,有未来学家甚至预言人机合一的“生命3.0”将会在一个世纪以内降临(泰格马克,2018)。

主体间的多元互动(人—人、机—机、人—机)既被数字技术塑造,又持续作用于技术进化与整体生态的演化。在数字时代,一切互动都被数字技术重新定义和形塑,数字互连已成为行动者互动的前提。数字互连以及由此形成的相互作用正是数字生态的本质所在。

(三)数字生态的互连互动互倚

互连互动是生态的本质,互倚则是主体及关联要素的关系形态。对于数字生态而言,我们同样要重点考察其中的各类互连互动。数字生态的互连互动呈现多样性的特征。

首先,数字生态是多层次的系统,互连互动发生在不同层次上。从空间维度观察,数字生态的多层次性体现得最为明显。主权国家在数字领域的互连互动已成为决定未来世界格局演化走向的重要因素(阎学通,2019),数字领域的国际竞合也是各国关注的战略问题,由此形成的是世界层次的数字生态。把层次降低到主权国家,一个主权国家内部也有数字生态(李昊林等,2022)。以中国为例,各省市间在数字领域要怎样开展合作、形成何种共生关系,以及省市之间的互动会对中国各地乃至整体的数字化发展产生何种影响,都是生态视角下需要重点关注的问题。

其次,数字生态是多结构的系统,互连互动也发生在不同结构之间。如前所述,数字生态由主体和关联要素构成。在数字生态中,两类构成要件之间至少存

在三种不同类型的关系结构:其一是各类关联要素内部及相互之间的关系结构;其二是各种主体内部及相互之间的关系结构;其三是行动主体和关联要素之间的关系结构。在考察数字生态时,这三类关系结构都不容忽视。其中,一个特别需要关注的变化是,数字生态的主体不再限于人类,智能机器也成了不可忽视的主体。

再次,数字生态是多形态的系统,互连互动生成的是各类互倚关系。工程界的数字生态系统还只强调硬件与软件之间经连接和互动形成的互倚关系。当下的物联网、云计算等诸多前沿技术都以技术之间的互倚为基础。另一种常见的互倚关系反映着各种产业部门之间的互连互动。数字平台是典型的技术生态与产业生态的组合,数字治理生态是技术生态与治理生态的组合。不同行业或子领域内部也有以互倚关系呈现的数字生态。实际上,社会科学界使用的数字生态相关术语都可被看作对不同领域主体及关联要素互倚关系形态的刻画。

主体及关联要素的互连互动除具有多层次、多结构、多形态的多样性特征外,还表现为彼此依存。这也是自然生态与社会生态的典型特征。对数字生态而言,彼此依存体现在主体及关联要素的复杂作用上。它们不管是共生与竞争还是合作与冲突,在生态中都是彼此依存的状态。

在理论上澄清了互连互动互倚是数字生态主体及关联要素的关系本质之后,基于数字生态视角开展经验研究时,多样性互连互动互倚便是无法绕开、也应予以重点关注的内容。在当下针对国际数字发展与治理的研究中,从整体性、复杂性、动态性视角考察国家间在数字化领域的互连互动互倚的思路正被很多研究者采纳(乔天宇、李由君等,2022;张蕴洁等,2022;Bradford,2023)。

(四)数字生态的发展演化

数字生态的发展演化依靠各领域的数字化转型来实现,微观上体现为数字技术在各领域场景应用落地的过程。关于数字化转型,既有文献给出的定义也各有侧重。相关讨论最初同样源于产业实践和研究(西贝尔,2021),关注的是数字技术应用的经济价值(曾德麟等,2021)。然而,数字化转型目前已然是一个涉及多领域的社会过程(翟云等,2021),尤其在中国,数字技术在政务管理及社会治理等社会和公共服务领域的应用落地都备受关注(孟天广,2021;乔天宇、向静林,2022)。数字生态的各类主体均卷入数字化转型过程之中。

数字生态的发展之所以依靠数字化转型过程,有两方面原因。一方面,只有通过将数字技术应用落地,各关联要素和主体才能在推动数字生态的发展演化

中真正发挥作用。如果缺少技术应用环节,基础设施不会得到充分合理且有效的利用,技术创新成果将无法得到验证和推广,数据资源的价值将不能被挖掘和开发,数字规制发挥保障和赋能作用更无从谈起。另一方面,数字生态的主体及关联要素也会在数字化转型中不断迭代。以应用落地为核心特征的数字化转型构成了数字生态发展演化的内生动力来源。对数据资源来说,数字技术的应用不仅要依靠和利用数据,同时,伴随着数字化转型,新的数据还会源源不断地生成。对技术创新来说,其成果不仅可以在数字化转型中得到验证和推广,各种应用场景还可能催生新的技术需求,进一步推动技术创新。对数字规制来说,除其具有保障或赋能数字化转型的功能外,规制体系也需要在数字化转型中不断健全与完善。

数字生态发展演化的动态过程不仅体现在各关联要素的迭代上,主体及关联要素间的复杂关系也时刻发生着改变。这意味着数字生态的发展演化不是一个线性过程,也不是自上而下设计的结果,而应被视为一种自下而上涌现的非线性动态过程。

至此,本文尝试从数字生态的关联要素、行动主体、互连互动互倚以及发展演化四个方面提出对数字生态的理解,建构起数字生态概念。综合起来,我们可以给数字生态下这样的定义:数字生态是与自然生态、社会生态相互作用又相对独立的复杂系统。其中,数据是数字生态的核心要素,人类和机器共同构成数字生态的行动主体,数字化转型是数字生态的发展演化过程。数字生态还是多主体与多关联要素互连互动,彼此依存、合作和冲突而形成的多层次多结构多形态的整体性动态系统,其中人类主体性是不可动摇的。

三、数字生态与人类社会发展

数字革命正在给人类社会带来一场百年乃至千年未有之大变局。尽管到目前为止,数字革命发生的时间非常短,但其却造就了一个与以往极其不同的社会。“二战”之后的人类社会开始从涂尔干刻画的功能互倚的有机团结社会逐渐转变为一个由多元主体风险共担的生态团结社会。数字技术的迭代升级和广泛应用又使得生态团结作为主导性社会团结形态的趋势愈发明显,生态性已成为数字社会最重要的特征之一。

自21世纪初起,人们便开始关注数字化带来的生态性特征,借助生态概念

理解数字化也成为一些研究者和实践者的共识。然而,既有文献在使用数字生态概念及相关术语时,多将生态概念作为一种“隐喻”,所指内涵也多不一致。对于究竟何为数字生态,学界尚未形成共识。本文在梳理相关术语的基础上,结合生态概念的本质内涵,对数字生态进行统摄性概念建构,以期为更深入地运用生态视角理解数字社会奠定理论基础。简言之,数字生态是在数字化过程中由多行动主体与多关联要素互连互动互倚构成的整体性动态系统。

建构数字生态概念的理论价值在于引导研究者在更高维度认识数字技术变革及其对人类社会带来的深刻影响。数字技术造就的高度连通与快速反馈特征让人机社会成为一个不可分割的复杂整体。数字生态概念提示我们应关注以下方面,以把握数字化及其影响的整体性。一是关注行动主体及关联要素的相互关联,而非对二者进行孤立地考察。二是关注行动主体及关联要素因数字连通而发生的相互作用。三是关注数字生态的多样性。这也是生态视角的独特优势。强调多样性可突破单一主体视角的局限。考察由人类与机器同时构成的整体生态,既能避免仅从人类视角出发而落入人类中心主义的窠臼,又能避免单纯聚焦机器而造成技术决定论的偏颇,这对于把握当下人工智能快速发展给人类社会带来的深远影响尤其重要。多样性生态还要求研究者关注因竞争和冲突而实现的相互依赖,这也是生态观区别于机械观和有机观的重要特征(阿伯特,2021)。在当前各类主体竞争日益加剧的背景下,对这一特征的深入探讨显得尤为必要。四是关注一些微小扰动可能造成的无法预见的严重后果和可能发生的系统崩溃(佩罗,1988;克利尔菲尔德、蒂尔克斯,2019)。另外值得注意的是,把握数字化及其影响的整体性并不意味着孤立地关注数字生态。数字生态不是孤立存在的,而是与自然生态、社会生态有着丰富的相互作用,尤其是数字生态与社会生态的相互作用或将成为社会学的新议题。数字技术是如何嵌入既有社会关系和制度之中的,又如何重构了既有社会关系和制度,它们的相互作用存在何种潜在的矛盾与冲突,都将成为数字时代社会学研究的核心关注,也会成为数字生态研究需要回答的关键问题。数字生态的复杂性不仅源于其行动主体和关联要素间的复杂关联,而且体现为数字技术深入渗透所引发的社会结构变迁、经济动力重塑和文化实践转型,所有这些也都将构成高度动态且充满张力的复杂图景。

厘清数字生态概念,不仅能为社会学开展数字社会研究提供基础性概念框架,而且可以为其他关注数字化及其影响的学科提供理论视角。更重要的是,建构数字生态概念还将为社会学与其他学科(尤其是工程技术科学)开展跨学科

沟通和交叉研究奠定基础。

建构数字生态概念的价值也体现在其对数字发展与治理实践的引领作用上。数字生态是多层次系统,每个层次都面临特定的发展与治理问题。在宏观层面,数字生态视角为数字治理提供了整体性和系统性的认知框架。数字连通不断冲击着传统主权国家的边界。由此,数字发展与治理不再只是一个国家(或地区)需要单独面对的议题,而是已成为国际社会的共同关注。数字化产生的诸多新问题也不能单独依靠某一国家(或地区)自身的努力予以解决,而要倡导国家(或地区)间协调合作,发挥联动效应。中国应在推动国际数字合作和世界数字发展与治理中积极扮演负责任的大国角色,为构建繁荣的国际数字生态贡献中国智慧与中国力量。在数字生态视角指引下,北京大学大数据分析与应用技术国家工程实验室正在开展一系列研究工作,努力为中国数字发展与治理的路径优化提供政策支撑(王娟等,2022;乔天宇、张蕴洁等,2022;李昊林等,2022;张蕴洁等,2022)。在中观层面,数据资源实现充分有序流通,是发挥数据作为生产要素作用,进而实现高质量发展的重要条件。建设高效的数据要素市场对于数字中国建设具有战略意义。将数据要素市场视为有机整体,在建设与管理中注重多元主体的关联协同及动态演化,应成为培育高效的数据要素市场的指导准则(项猛、王志刚,2023)。另外,设计更高效和安全的数据流通机制,也需要充分考虑数据的复杂特征及其与基础设施、技术创新、数字规制等其他数字生态关联要素间的协同(Song et al.,2022)。在微观层面,数字生态视角对于理解并指导产业组织的数字化转型乃至个体的数字生活都同样具有实践意义(王永贵等,2023)。生态视角也能为制定人机关系相关的治理政策提供新思路。传统上,人们倾向于将某些负面后果(如“信息茧房”、诱导沉迷、大数据“杀熟”、侵害劳动者权益等)归咎于单一主体。若从单一主体视角出发治理这些问题,往往会主张追究开发或部署算法的平台企业的责任,认为它们应对负面后果负责。当前流行的很多规制主张(如要求对算法进行公开审计、实现算法透明等)均源于此。然而,从生态视角看,这些负面后果并非由单一主体所导致,而是双方或多方互动引发的复杂涌现(李,2022)。行之有效的算法治理方式或许要超越单一主体归责的思路,转向探索多方协同治理的路径(乔天宇,2025)。

最后,尽管数字生态由人类和机器共同构成,但强调人机互生的数字生态并不意味着对人类主体性的放弃。恰恰相反,坚持人类主体性的价值导向至关重要,这关乎人类的根本利益和未来发展。由于主要聚焦于数字生态概念的辨析与建构,本文对于如何立足人类主体性开展数字生态研究的问题尚讨论不足。

如何在维护人类主体性的前提下实现人机价值对齐,让技术进步更好地为大多数人所用,最大限度地服务于整个人类社会的发展,是研究数字生态中人机关系时需要重点回答的问题,这有待后续研究深入讨论。数字生态是平衡、繁荣,还是失衡、动荡,既攸关中国发展,也攸关人类共同发展的前途命运。努力构建平衡、繁荣的数字生态是构建人类命运共同体的具体体现。当前,中国的数字化发展已走在世界前列,如何构建良好的数字生态是当下面临的重大时代议题。中国的数字社会发展与治理实践也为开展数字生态的一般理论研究、深入理解数字生态的结构与演化规律提供了丰富的对象、场景和机会。未能结合经验数据对数字生态的结构与演化开展实证分析是本文的另一不足。本文期望数字生态视角在未来能推动更多经验研究的出现,并在此基础上逐渐形成数字时代有影响力和解释力的中国本土理论,从而为中国更好地开展数字发展与治理实践、构建平衡与繁荣的数字社会提供坚实支撑。

参考文献:

阿伯特,安德鲁,2021,《过程社会学》,周忆粟译,北京:北京师范大学出版社。

阿瑟,布莱恩,2014,《技术的本质:技术是什么,它是如何进化的》,曹东溟、王健译,杭州:浙江人民出版社。

奥德姆、巴雷特,2009,《生态学基础》第五版,陆健健、王伟、王天慧、何文珊、李秀珍译,北京:高等教育出版社。

蒂瓦纳,阿姆瑞特,2018,《平台生态系统:架构策划、治理和策略》,侯贇慧、赵驰译,北京:北京大学出版社。

贺俊,2022,《新兴产业赶超中的政府作用:产业政策研究的新视角》,《中国社会科学》第11期。

焦豪,2023,《数字平台生态观:数字经济时代的管理理论新视角》,《中国工业经济》第7期。

克利尔菲尔德,克里斯、安德拉什·蒂尔克斯,2019,《崩溃》,李永学译,成都:四川人民出版社。

库隆,阿兰,2000,《芝加哥学派》,郑文彬译,北京:商务印书馆。

李,爱德华·阿什福德,2022,《协同进化:人类与机器融合的未来》,李杨译,北京:中信出版集团。

李昊林、彭簪,2022,《良好数字生态与数字规则体系构建》,《电子政务》第3期。

李昊林、王娟、谢子龙、王卓明、宋洁,2022,《中美欧内部数字治理格局比较研究》,《中国科学院院刊》第10期。

吕鹏、周旅军、范晓光,2022,《平台治理场域与社会学参与》,《社会学研究》第3期。

孟天广,2021,《政府数字化转型的要素、机制与路径——兼论“技术赋能”与“技术赋权”的双向驱动》,《治理研究》第1期。

——,2022,《数字治理生态:数字政府的理论迭代与模型演化》,《政治学研究》第5期。

孟天广、张小劲等,2021,《中国数字政府发展研究报告(2021)》,北京:经济科学出版社。

米加宁、李天宇、董昌其,2024,《算力驱动的新质生产力:本质特征、基础逻辑与国家治理现代化》,《公共

《管理学报》第2期。

米勒,克里斯,2024,《芯片战争:世界最关键技术的争夺战》,蔡树军译,杭州:浙江人民出版社。

佩罗,查尔斯,1988,《高风险技术与“正常”事故》,寒窗译,北京:科学技术文献出版社。

钱正英、沈国舫、刘昌明,2005,《建议逐步改正“生态环境建设”一词的提法》,《科技术语研究》第2期。

乔天宇,2025,《正确认识算法的目的性与开放性》,《中国社会科学报》1月21日。

乔天宇、李由君、赵越、谭成、张平文,2022,《数字治理格局研判的理论与方法探索》,《中国科学院院刊》第10期。

乔天宇、邱泽奇,2020,《复杂性研究与拓展社会学边界的机会》,《社会学研究》第2期。

乔天宇、向静林,2022,《社会治理数字化转型的底层逻辑》,《学术月刊》第2期。

乔天宇、张蕴洁、李铮、赵越、邱泽奇,2022,《国际数字生态指数的测算与分析》,《电子政务》第3期。

邱泽奇,2021,《数字平台企业的组织特征与治理创新方向》,《人民论坛·学术前沿》第21期。

——,2024a,《数字化与社会学的时代之变》,《中国社会科学评价》第2期。

——,2024b,《人机互生:范式革命与知识生产重构》,《探索与争鸣》第11期。

——,2025,《数智时代的人类团结——技术变革与理论重构》,《智能社会研究》第1期。

泰格马克,迈克斯,2018,《生命3.0》,汪捷舒译,杭州:浙江教育出版社。

涂尔干,埃米尔,2000,《社会分工论》,渠东译,北京:生活·读书·新知三联书店。

王芳、郭雷,2022,《数字化社会的系统复杂性研究》,《管理世界》第9期。

王娟、张一、黄晶、李由君、宋洁、张平文,2022,《中国数字生态指数的测算与分析》,《电子政务》第3期。

王天夫,2021,《数字时代的社会变迁与社会研究》,《中国社会科学》第12期。

王永贵、汪淋淋、李霞,2023,《从数字化搜寻到数字化生态的迭代转型研究——基于施耐德电气数字化转型的案例研究》,《管理世界》第8期。

魏江、赵雨茜,2021,《数字创新生态系统的治理机制》,《科学学研究》第6期。

西贝尔,托马斯,2021,《认识数字化转型》,毕崇毅译,北京:机械工业出版社。

项猛、王志刚,2023,《基于数字生态视角的数据要素市场治理策略研究》,《新疆社会科学》第6期。

谢子龙、乔天宇、张蕴洁、邱泽奇,2024,《数字治理实践与风险规制异同——基于欧洲28国的分析》,《社会学评论》第4期。

徐清源,2021,《数字企业平台组织的结构、行动和治理》,北京大学社会学系博士学位论文。

阎学通,2019,《数字时代的中美战略竞争》,田野主编《世界政治研究》第2辑,北京:中国社会科学出版社。

杨伟、刘健、武健,2020,《“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》,《科学学研究》第11期。

曾德麟、蔡家玮、欧阳桃花,2021,《数字化转型研究:整合框架与未来展望》,《外国经济与管理》第5期。

翟云、蒋敏娟、王伟玲,2021,《中国数字化转型的理论阐释与运行机制》,《电子政务》第6期。

张平文、邱泽奇编,2022,《数据要素五论:信息、权属、价值、安全、交易》,北京:北京大学出版社。

张蕴洁、冯莉媛、李铮、艾秋媛、邱泽奇,2022,《中美欧国际数字治理格局比较研究及建议》,《中国科学院院刊》第10期。

赵国栋,2017,《数字生态论》,杭州:浙江人民出版社。

周冬梅、朱璇伟、陈雪琳、鲁若愚,2024,《数字平台生态系统:概念基础、研究现状与未来展望》,《科学学研

究》第2期。

庄荣文, 2021, 《营造良好数字生态》, 《人民日报》11月5日。

Azuaje, Francisco 2001, "Adaptation and Reverse Evolution in a Digital Ecosystem." Cat. No. 01CH37236, 2001 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. e-Systems and e-Man for Cybernetics in Cyberspace.

Bradford, Anu 2023, *Digital Empires: The Global Battle to Regulate Technology*. New York: Oxford University Press.

Briscoe, Gerard, Suzanne Sadedin & Philippe De Wilde 2011, "Digital Ecosystems: Ecosystem-oriented Architectures." *Natural Computing* 10.

Brown, James H. 1997, "An Ecological Perspective on the Challenge of Complexity." EcoEssay Series No. 1, National Center for Ecological Analysis and Synthesis.

Burrell, Jenna 2020, "On Half-Built Assemblages: Waiting for a Data Center in Prineville, Oregon." *Engaging Science, Technology, and Society* 6.

Callon, Michel 1987, "Society in the Making: The Study of Technology as a Tool for Sociological Analysis." In Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes & Trevor J. Pinch (eds.), *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press.

Chiot, Daniel & Thomas D. Hall 1982, "World-System Theory." *Annual Review of Sociology* 8.

Cliff, Dave & Stephen Grand 1999, "The Creatures Global Digital Ecosystem." *Artificial Life* 5(1).

Dong, Hai & Farookh Khadeer Hussain 2007, "Digital Ecosystem Ontology." Paper presented at 2007 IEEE International Symposium on Industrial Electronics.

Friederichs, Karl 1958, "A Definition of Ecology and Some Thoughts About Basic Concepts." *Ecology* 39(1).

Fu, Huaiguo 2006, "Formal Concept Analysis for Digital Ecosystem." In 2006 5th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA'06).

Hannan, Michael T. & John Freeman 1989, *Organizational Ecology*. Cambridge: Harvard University Press.

Küster, Marc W., Christoph Ludwig, Yahya Al-Hajj & Thomas Selig 2011, "TextGrid Provenance Tools for Digital Humanities Ecosystems." Paper presented at 5th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies.

Li, Wenbin, Youakim Badr & Frédérique Biennier 2012, "Digital Ecosystems: Challenges and Prospects." Paper presented at Proceedings of the International Conference on Management of Emergent Digital Ecosystems.

Márton, Attila 2022, "Steps Toward a Digital Ecology: Ecological Principles for the Study of Digital Ecosystems." *Journal of Information Technology* 37(3).

McPherson, Miller 1983, "An Ecology of Affiliation." *American Sociological Review* 48(4).

Moore, James F. 1993, "Predators and Prey: A New Ecology of Competition." *Harvard Business Review* 71(3).

Nachira, Francesco, Paolo Dini & Andrea Nicolai 2007, "A Network of Digital Business Ecosystems for Europe: Roots, Processes and Perspectives." Introductory Paper 106, European Commission.

Neff, Gina & Peter Nagy 2018, "Agency in the Digital Age: Using Symbiotic Agency to Explain Human-

- Technology Interaction.” In Zizi Papacharissi (ed.), *A Networked Self and Human Augmentics, Artificial Intelligence, Sentience*. New York: Routledge.
- Park, Robert Ezra 1936, “Human Ecology.” *American Journal of Sociology* 42(1).
- Popielarz, Pamela A. & Zachary P. Neal 2007, “The Niche as a Theoretical Tool.” *Annual Review of Sociology* 33.
- Rajagopalan, Radhika & Runa Sarkar 2008, “A Digital Ecosystem Approach to Using ICT for Sustainable Development in Communities.” Paper presented at 2008 2nd IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies.
- Riva, Federico, Caio Graco-Roza, Gergana N. Daskalova, Emma J. Hudgins, Jayme M. M. Lewthwaite, Erica A. Newman, Masahiro Ryo & Stefano Mammola 2023, “Toward a Cohesive Understanding of Ecological Complexity.” *Science Advances* 9(25).
- Smith, Joel M. & Jared L. Cohon 2005, “Managing the Digital Ecosystem.” *Issues in Science and Technology* 22 (1).
- Song, Jie, Guanna He, Jianxiao Wang & Pingwen Zhang 2022, “Shaping Future Low – Carbon Energy and Transportation System: Digital Technologies and Applications.” *iEnergy* 1(3).
- Tsvetkova, Milena, Taha Yasseri, Niccolo Pescetelli & Tobias Werner 2024, “A New Sociology of Humans and Machines.” *Nature Human Behaviour* 8(10).
- Valdez-de-Leon, Omar 2019, “How to Develop a Digital Ecosystem: A Practical Framework.” *Technology Innovation Management Review* 9(8).
- van Es, Karin, Daan van der Weijden & Jeroen Bakker 2023, “The Multifaceted and Situated Data Center Imaginary of Dutch Twitter.” *Big Data & Society* 10(1).
- Wallerstein, Immanuel 1987, “World-Systems Analysis.” In Anthony Giddens & Jonathan H. Turner (eds.), *Social Theory Today*. Cambridge: Polity Press.

作者单位:北京大学中国社会与发展研究中心、
 北京大学社会学系(邱泽奇)
 北京大学社会学系(乔天宇)
 北京大学先进制造与机器人学院(宋洁)
 武汉大学人工智能学院(张平文)

责任编辑:政光景