

复杂适应系统视角下区域数字创新生态系统构建研究

马帅¹, 邓丹青^{2*}, 蒙杰¹, 谢灵¹

¹浙江越秀外国语学院国际商学院, 浙江 绍兴

²浙江省科技信息研究院(智江南), 浙江 杭州

收稿日期: 2025年3月17日; 录用日期: 2025年4月10日; 发布日期: 2025年4月17日

摘要

数字技术的快速发展推动了区域创新模式的深刻变革, 区域数字创新生态系统已成为促进区域经济高质量发展的重要载体。本文以复杂适应系统(CAS)理论为基础, 系统分析了区域数字创新生态系统的要素构成与运行特征, 提出其由创新主体子系统、数字资源子系统与创新环境子系统三个相互协同的子系统构成; 进一步指出, 该生态系统具备多主体异质性、适应性学习能力、非线性交互特性、自组织涌现机制和动态开放平衡能力等典型的复杂适应系统特征。研究不仅为理解区域数字创新生态系统的动态演化机制提供了新的理论视角, 也为区域政府、企业及科研机构制定有效的创新政策与战略提供了实践指导与理论依据。

关键词

复杂适应系统, 区域数字创新生态系统, 数字创新, 生态系统, 系统构建

Research on the Construction of Regional Digital Innovation Ecosystems from the Perspective of Complex Adaptive Systems

Shuai Ma¹, Danqing Deng^{2*}, Jie Meng¹, Ling Xie¹

¹School of International Business, Zhejiang Yuexiu University, Shaoxing Zhejiang

²Institute of Scientific and Technical Information of Zhejiang Province (Zhijiangnan Think Tank), Hangzhou Zhejiang

Received: Mar. 17th, 2025; accepted: Apr. 10th, 2025; published: Apr. 17th, 2025

Abstract

The rapid development of digital technology has profoundly transformed regional innovation

*通讯作者。

文章引用: 马帅, 邓丹青, 蒙杰, 谢灵. 复杂适应系统视角下区域数字创新生态系统构建研究[J]. 服务科学和管理, 2025, 14(3): 263-268. DOI: 10.12677/ssem.2025.143034

paradigms, making regional digital innovation ecosystems an essential driver for high-quality regional economic development. Grounded in the theory of Complex Adaptive Systems (CAS), this paper systematically analyzes the structural components and operational characteristics of regional digital innovation ecosystems. It proposes that such ecosystems comprise three interrelated subsystems: the innovation subject subsystem, the digital resource subsystem, and the innovation environment subsystem. Furthermore, it identifies key CAS features embodied in these ecosystems, including multi-agent heterogeneity, adaptive learning, nonlinear interactions, self-organization and emergence, and dynamic open equilibrium. This study not only offers a new theoretical lens to understand the dynamic evolution mechanisms of regional digital innovation ecosystems, but also provides practical guidance and theoretical foundations for regional governments, enterprises, and research institutions in formulating effective innovation policies and strategies.

Keywords

Complex Adaptive System, Regional Digital Innovation Ecosystem, Digital Innovation, Ecosystem, System Construction

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

数字技术的迅猛发展正在深刻改变创新活动的模式和生态。研究指出,创新过程的数字化和数字化产出的广泛渗透动摇了传统创新管理理论的基础假设,要求我们以全新的逻辑审视数字时代的创新[1]。在区域经济发展中,数字创新生态系统(Digital Innovation Ecosystem, DIE)作为融合数字技术与创新生态的新范式受到广泛关注。DIE 强调多元主体在数字环境下的协同和互动[2],通过数字技术和数据要素驱动创新活动,为区域经济注入新动能。已有研究将数字创新生态系统视为一种新兴的多层面经济系统,以数字技术和数据为基础,由各类主体协同作用,促进数字资源的流动与组合,从而产生新的产品和服务[3]。数字创新生态系统具有高度的不确定性和动态性,其内涵模糊、边界开放、演化复杂。区域层面的数字创新生态系统更是集成了区域内企业、用户、政府、科研机构等要素,如何构建并促进其健康演化对提升区域创新能力和实现高质量发展具有重要意义。

与此同时,复杂适应系统(Complex Adaptive System, CAS)理论[4]为理解此类复杂动态生态提供了有力的理论工具。复杂适应系统强调由众多互动且具有适应能力的主体所构成的动态网络,微观主体通过学习和调整行为实现对环境的适应,其交互作用产生宏观层面的复杂涌现现象[5]。换言之,系统整体的有序演化正是由各要素之间的非线性互动和自我调整所推动,这使得系统具备对扰动的弹性和进化能力。区域数字创新生态系统恰是一种典型的复杂适应系统:其中包含众多异质主体,主体能根据数字环境变化灵活调整策略,系统行为具有非线性和涌现特征。因此,将 CAS 理论引入区域数字创新生态系统的研究视角,有助于揭示该生态系统的结构要素、运行机制及演化规律。

本文在相关文献的基础上,运用复杂适应系统理论对区域数字创新生态系统的构建进行研究。首先梳理复杂适应系统理论内涵,并阐释区域数字创新生态系统与 CAS 特征的映射关系;其次分析了区域数字创新生态系统的结构要素以及特征;然后探讨生态系统的动态演化机制;最后给出结论与研究展望。通过上述分析,期望丰富区域数字创新生态系统的理论框架,为区域数字经济发展与创新生态构建提供参考。

2. 理论基础：CAS理论与区域数字创新生态系统

复杂适应系统(CAS)理论源于复杂性科学,由Holland等[4]学者于20世纪90年代提出并逐步完善,其核心观点强调系统的复杂性源于适应性主体的自主互动与动态演化。具体而言,CAS通常表现出以下典型特征:一是多主体性与异质性,即系统由大量属性不同的主体构成,其互动和反馈形成多层次的结构;二是适应性与学习能力,主体通过持续调整自身策略以适应环境变化,表现出动态进化的能力;三是非线性互动与反馈机制,主体间作用的非线性特征使微小变化可能导致整体巨大变化,产生累积性效应;四是自组织与涌现性,系统无中央控制,秩序通过主体的局部互动自发形成,宏观层面会涌现出新的结构与功能;五是开放性与动态平衡,系统与外部环境持续交换信息与资源,动态适应外部扰动,实现结构的稳定性与弹性恢复能力。

数字创新生态系统是数字时代背景下创新生态系统理论的发展与延伸。它以数字技术为基础、数据要素为核心驱动力,汇聚了多元的创新主体,通过协同互动实现数字化创新成果的共同创造和价值共享。国内外学者对数字创新生态系统的内涵进行了探索和定义。例如,Suseno等(2018)[6]从价值共创视角认为数字创新生态系统是由相互作用的组织和个人共同参与,利用数字技术协同创新产品和服务而建立起的复杂经济结构。Chae(2019)[7]通过整合“数字创新”和“创新生态系统”两个概念,提出数字创新生态系统是一种由数字创新相关的产业主体基于竞合关系所构成的社会生态系统。总体来看,区域数字创新生态系统由企业、高校、政府等多元主体组成,这些主体基于数字技术与数据要素进行频繁的非线性交互和动态适应,不断推动系统从初级集聚走向高级协同共生,呈现明显的自组织和涌现特征。同时,该生态系统具有开放性和动态平衡能力,能够适应外部环境变化并保持稳定。因此,区域数字创新生态系统在主体构成、互动模式、演化机制等方面与复杂适应系统(CAS)理论的核心特征高度契合,适合借助CAS理论框架深入分析。

3. 区域数字创新生态系统构成

区域数字创新生态系统的构建需以复杂适应系统(CAS)理论为指导,从结构维度解构其核心要素。本文将区域数字创新生态系统划分为创新主体子系统、数字资源子系统和创新环境子系统。其中,创新主体子系统是区域数字创新生态系统的行为载体,数字资源子系统是关键支撑,创新环境子系统是重要保障。区域数字创新生态系统的理论框架如图1所示。

创新主体子系统由企业、高校、科研机构及政府等多元主体构成,其核心功能是通过适应性行为驱动知识创造与扩散。企业作为核心主体,依托数字技术(如人工智能、区块链)动态调整创新策略。高校与科研机构则通过产学研协同,将基础研究成果转化为应用技术。政府的角色从“主导者”向“调节者”转变,通过政策工具(如数据确权立法、算力基础设施投资)为系统演化提供规则框架。

数字资源子系统涵盖数据、技术、平台等要素,其本质是通过流动性重组实现价值跃迁。数据作为新型生产要素,具有非竞争性和可共享性,例如工业互联网平台汇聚产业链数据后,可通过机器学习优化生产调度,降低边际成本。技术资源则通过模块化架构(如微服务、API接口)支持快速组合创新。数字平台作为资源整合枢纽,通过连接多边市场形成网络效应,例如阿里巴巴的“犀牛智造”平台通过聚合设计师、供应商与消费者需求,实现服装产业的柔性定制与按需生产。

创新环境子系统包括政策、市场与文化等外生条件,其功能是通过制度设计调节系统动态平衡。政策环境通过“激励-约束”机制引导创新方向,例如欧盟《数字市场法》强制平台企业开放数据接口,打破了大型科技公司的生态垄断。市场环境通过需求拉动与技术推动的双向作用驱动系统演化。文化环境则通过价值观渗透影响主体行为,例如深圳“敢为人先”的创业精神,塑造了独特的区域创新生态模式。

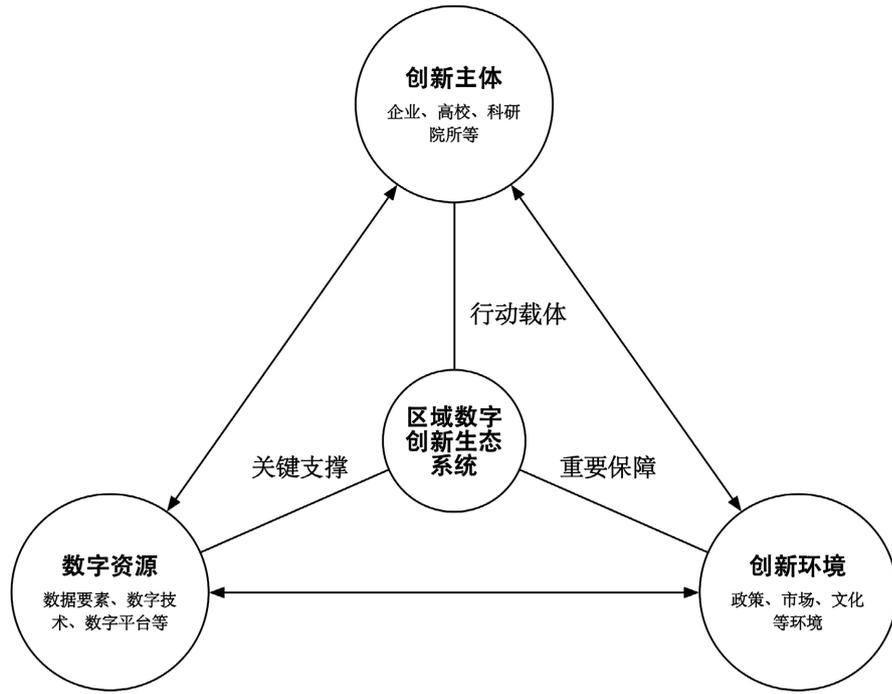


Figure 1. Theoretical framework of regional digital innovation ecosystems
图 1. 区域数字创新生态系统理论框架

4. 区域数字创新生态系统特征分析

基于复杂适应系统(CAS)理论的视角, 区域数字创新生态系统表现出五个明显的特征, 即多主体异质性、适应性学习、非线性交互、自组织涌现与动态开放平衡。复杂适应系统(CAS)理论视角下区域数字创新生态系统特征如表 1 所示。

Table 1. Mapping of CAS characteristics in regional digital innovation ecosystems
表 1. 区域数字创新生态系统的 CAS 特征映射表

CAS 理论核心特征	区域数字创新生态系统特征
多主体异质性	系统由大量类型各异且拥有不同资源、目标与行为模式的主体构成, 各主体相互作用并相互影响
适应性学习	系统内各主体能够根据环境变化持续调整自身策略, 通过学习实现创新能力提升与持续演化
非线性交互	系统内主体之间的相互作用方式复杂, 微小局部变化可能引发系统整体较大幅度的变化, 互动效果并非线性叠加
自组织涌现	系统内缺乏明确的中央控制和统一规划, 主体通过局部互动自主形成整体结构与功能, 系统整体涌现出新的模式和特性
动态开放平衡	系统具有开放边界, 能够与外部环境持续交换信息和资源, 实现对外部扰动的快速反应与动态适应, 保持相对稳态与持续演化

第一, 多主体异质性。区域数字创新生态系统中的主体多元且异质性明显, 包括不同类型企业、科研院所、政府机构和用户群体等, 每一主体在资源禀赋、创新目标与行为模式等方面各不相同。主体间的差异性为系统内部形成多元化互动关系与协同创新模式奠定了基础, 使生态系统能够应对复杂多变的

市场需求和技术挑战。

第二，适应性学习。生态系统内的各主体在与环境的互动中表现出较强的适应性，能够不断积累经验、调整战略与行为，以更好地适应技术和市场环境的变化。例如，企业通过实时数据反馈快速调整产品研发与市场定位，高校和科研机构则通过产学研合作及时调整研究方向，这种适应性学习能力使生态系统持续具备创新活力。

第三，非线性交互。区域数字创新生态系统中的主体间交互以非线性方式表现，微观层面的微小调整可能会通过交互网络迅速扩散，从而导致宏观层面的巨大变化与创新涌现。例如，数字平台上的数据共享与技术互动打破行业界限，形成全新的跨领域融合创新模式，实现“1 + 1 > 2”的创新效应。

第四，自组织涌现。生态系统的整体秩序主要通过大量主体之间的本地互动与自主协调自发形成。这种自组织特征体现为生态系统在局部互动中产生宏观层面的结构与功能涌现，如开源社区自发形成标准与网络结构，推动生态系统不断向高级阶段演化。

第五，动态开放平衡。区域数字创新生态系统具有显著的开放性，能够与外部环境进行持续的物质、信息和能量交换，从而维持生态系统的动态平衡与长期稳定发展。在不断遭遇市场需求变化、技术迭代与政策调整等外部扰动时，生态系统仍能迅速适应变化，实现快速调整和恢复，保持系统整体功能的持续运行。

5. 结论

本文基于复杂适应系统(CAS)理论，系统地分析了区域数字创新生态系统的构成要素及特征，提出该生态系统主要由创新主体、数字资源与创新环境三个子系统构成，三者之间相互作用、协同演化，共同形成具有复杂适应性的动态网络结构。同时，区域数字创新生态系统表现出鲜明的CAS特征，包括多主体异质性、适应性学习能力、非线性交互特性、自组织涌现机制和动态开放平衡能力。本文的研究从理论层面丰富了数字创新生态系统的研究框架，为深入理解区域创新系统的动态演化提供了新视角；从实践层面有助于区域政府、企业与科研机构更加清晰地认识数字时代的创新发展规律，指导其更好地制定政策与管理措施，以有效提升区域创新生态系统的韧性与适应性，推动区域经济的持续创新和高质量发展。

基金项目

本文系教育部人文社会科学研究规划基金“生成式人工智能企业的社会责任评价、风险成因以及治理策略研究”(项目编号: 24YJCZH209)、浙江省软科学研究计划“从‘承接地’到‘策源地’: 产业转移中承接地创新能力同步提升策略研究(项目编号: 2024C35078)”的研究成果之一。

参考文献

- [1] Nambisan, S., Lyytinen, K., Majchrzak, A. and Song, M. (2017) Digital Innovation Management: Reinventing Innovation Management Research in a Digital World. *MIS Quarterly*, **41**, 223-238. <https://doi.org/10.25300/misq/2017/41:1.03>
- [2] Tamayo-Orbegozo, U., Vicente-Molina, M. and Villarreal-Larrinaga, O. (2017) Eco-Innovation Strategic Model. A Multiple-Case Study from a Highly Eco-Innovative European Region. *Journal of Cleaner Production*, **142**, 1347-1367. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.174>
- [3] Li, L., Zeng, Y. and Xia, D. (2024) How Does the Digital Innovation Ecosystem Enable Green Regional Development? A Dynamic QCA Study in China. *Systems*, **12**, Article No. 551. <https://doi.org/10.3390/systems12120551>
- [4] Holland, J.H. (1992) Complex Adaptive Systems. *Daedalus*, **121**, 17-30.
- [5] Holland, J.H. (2011) Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity.
- [6] Suseno, Y., Laurell, C. and Sick, N. (2018) Assessing Value Creation in Digital Innovation Ecosystems: A Social Media Analytics Approach. *The Journal of Strategic Information Systems*, **27**, 335-349.

<https://doi.org/10.1016/j.jsis.2018.09.004>

- [7] Chae, B. (2019) A General Framework for Studying the Evolution of the Digital Innovation Ecosystem: The Case of Big Data. *International Journal of Information Management*, **45**, 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.10.023>