

- 唐承丽, 宋关东, 周国华, 贺艳华. 2023. 高新技术产业开发区创新生态系统韧性的内涵及测度——以湖南省为例. 热带地理, 43 (10): 1903-1916.
- Tang Chengli, Song Guandong, Zhou Guohua, and He Yanhua. 2023. The Connotation and Measurement of the Resilience of Innovation Ecosystem in High-Tech Industrial Development Zones: A Case Study of Hunan Province. *Tropical Geography*, 43 (10): 1903-1916.

高新技术产业开发区创新生态系统韧性的 内涵及测度——以湖南省为例

唐承丽^a, 宋关东^a, 周国华^{a,b}, 贺艳华^{a,b}

(湖南师范大学 a. 地理科学学院; b. 地理空间大数据挖掘与应用湖南省重点实验室, 长沙 410081)

摘要: 高新区创新生态系统作为一个动态、开放的复杂系统, 在发展过程中会遇到各种风险, 如何有效应对外部冲击与扰动, 保持系统稳定性、可持续性, 成为高新区发展面临的现实问题。文章引入韧性理念, 探讨了高新区创新生态系统韧性的内涵、特征, 运用适应性循环理论分析其演化过程, 从抵抗力、吸收力、恢复力和转型力4个维度构建其测度指标体系。并运用TOPSIS方法, 以湖南省46家高新区为研究对象, 对其创新生态系统韧性水平、时空格局特征进行了实证分析。研究发现: 1) 高新区创新生态系统韧性是系统受到扰动后, 维持原有特性、原有功能和进一步成长的能力, 具有复杂性、动态演化性、尺度关联性和可调节性等特征。2) 高新区创新生态系统韧性在内外环境的作用下不断演化, 呈现出开发、存储、释放、更新4个阶段, 并与所在城市、区域以及内部企业共同作用, 构成多尺度嵌套的自适应循环。3) 2012—2020年湖南省高新区创新生态系统韧性水平不断提升, 应对扰动的能力持续增强, 但整体水平仍然不高, 从各维度指标看, 转型力增长幅度最为明显, 其次是吸收力和抵抗力, 恢复力增长幅度最小, 成为系统整体韧性提升的短板; 空间格局上, 呈现明显的空间分异现象, 韧性较高的高新区集聚在长株潭城市群地区以及岳阳、郴州、常德等城市, 较低的分布在湘西地区, 近年来, 空间分异程度逐渐缩小。

关键词: 高新技术产业开发区; 创新生态系统; 内涵界定; 韧性测度; 适应性循环; 湖南省

中图分类号: F127

文献标志码: A

文章编号: 1001-5221(2023)10-1903-14

DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.003760

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



当前, 中国正处在经济建设由高速增长转向高质量发展阶段, 创新是推动发展的第一动力, 创新驱动是经济高质量发展的重要基石。党的二十大报告提出, 到2035年“实现高水平科技自立自强, 进入创新型国家前列, 建成科技强国”。要实现这一目标, 需加快实施创新驱动发展战略, 提升国家综合性创新能力, 而衡量综合性创新能力的主要标准则是是否具备有效的创新生态系统。高新技术产业开发区(下文简称“高新区”)作为区域经济转型发展的重要引擎、创新型产业集群发展的核心载体、科技引领发展的创新高地, 在支撑经济增长、

驱动产业升级、辐射带动发展等诸多方面扮演重要角色。新的时代背景下, 对高新区践行新发展理念, 依靠创新引领发展新常态提出了更高的要求。然而, 目前国际环境和国内条件复杂多变, 创新生态系统作为一个开放式的系统, 在发展过程中遇到各种风险, 创新和风险是一个不可分割的统一体, 外部环境与主体自身的因素都有可能从不同侧面直接或间接对主体的持续创新过程造成风险, 例如, 由于内外部各种不利因素影响, 导致创新链断裂、创新项目失败、创新主体利益受损等。高新区作为创新活动的核心载体, 亟需构建创新生态系统, 才

收稿日期: 2022-10-15; **修回日期:** 2023-03-08

基金项目: 国家自然科学基金项目“开发区韧性的测度及形成机制”(42171183)

作者简介: 唐承丽(1964—), 女, 湖南浏阳人, 教授, 博士生导师, 研究方向为区域经济与开发区发展, (E-mail) tclxy68@163.com。

能在不确定性加大的环境中生存下来。韧性理念从动态和发展的角度为高新区创新生态系统适应环境及内部变化提供新思路、新方向。

“韧性”(Resilience)理念源于19世纪50年代的物理学领域,指物体受外力作用变形后恢复至原来状态的一种性质(Tobin et al., 2018)。随着相关研究的不断深入,“韧性”已从早期一维的工程韧性、生态韧性向包含生态、工程、经济、社会等多维视角的演化韧性转变(Wang et al., 2021; 关衷效等, 2022; Sutton et al., 2022)。Martin (2012)作为演化经济地理学的代表学者之一,其将区域经济韧性演化概括为“创新适应”和“转型”两大特征,推动了演化韧性的发展。Folke等(2021)长期致力于社会生态系统弹性研究,并开始关注社会福祉和发展。随着韧性理念不断补充丰富,学者逐步关注本地特征,并融入文脉环境思维,韧性研究也开始融入制度经济地理、关系经济地理等多个范式,考虑系统演变的时空特征和文化背景,承认系统的差异性与特定性,关注地域系统的适应能力(彭翀等, 2019; 胡晓辉等, 2021; 张跃胜等, 2022)。目前,韧性研究成果主要集中在区域、城市、乡村、社区等不同尺度(谭俊涛等, 2020; 李玉恒等, 2021; 石龙宇等, 2022; 袁丰等, 2023),有关开发区韧性研究的成果鲜少。针对不同研究客体,学者着重分析其社会经济系统韧性,研究内容包括韧性概念界定、定量测度、演化过程与形成机制分析等方面(魏冶等, 2020; 杜文瑄等, 2022; 张亚丽等, 2023; 吕一清等, 2023; 朱媛媛等, 2023)。从已有相关文献对韧性概念及内涵阐述看,具有代表性的观点有能力恢复说、系统说、外部扰动说、阶段演进说、能力提升说、学习适应说等(孙久文等, 2017; 李艳等, 2019; 贺灿飞等, 2023)。从韧性测度看,主要从韧性概念(Folke et al., 2021)以及韧性阶段过程(李玉恒等, 2021)角度构建指标体系,并以综合指标值判断韧性的相对大小。关于韧性实证研究主要集中在资源型城市(Tan et al., 2020)、东部沿海(杜志威等, 2019)和东北老工业基地(Hu et al., 2022)等地区。如李连刚等(2021)以辽宁省为例,探讨了东北老工业基地区域经济韧性变化特征;杜志威等(2019)通过测量珠三角各城市的收缩阶段的阻力和生长阶段的恢复性,分析快速城市化地区的城市增长和收缩,并从空间的角度探讨其特征。目前对于系统韧性形成机制的理解,主要是基于适应性循

环理论(李可昕等, 2022),探讨复杂系统演化过程,依赖系统性的分析工具来理解系统中的动态关系,并据此管理复杂系统,使其朝着理想的轨迹发展演化。也有学者从能动性视角出发,探讨短期冲击下区域经济韧性的动态演化与影响机制。如杜志威等(2022)通过访谈东莞市43家中小制造企业,重点关注新冠肺炎疫情冲击下企业能动主体的响应与行动,基于能动性视角对较短时期内经济韧性的动态演化进行分析,并构建“结构-能动性”的分析框架,揭示影响经济韧性重塑的微观机制。

国内外对高新区创新发展相关的研究起步较早,取得较为丰富的成果。理论研究主要涉及高新区技术创新的作用机理、网络与科技创新的关系、高新区创新与区域经济、产业结构的关系等(张京祥等, 2019; 高春东等, 2019; 万源星等, 2022)。实证研究主要是对高新区创新能力或创新绩效的测度,以及对其影响因素进行探讨(马淑燕等, 2022; 唐开翼等, 2022)。研究对象既有微观层面以典型高新区作为样本进行剖析,也有从省域、区域等中宏观层面出发对其高新区进行分析,测度指标体系涉及经济效益、产业结构、创新环境等方面或基于创新投入和创新产出衡量高新区创新效率(刘和东等, 2021)。近年来,创新生态系统研究不断丰富,主要集中在3个方面:1)创新生态系统内涵明晰,学者多从系统学、协同学等角度对其概念及内涵进行阐述(曾刚等, 2018);2)创新生态系统的基础理论研究,包括创新生态系统价值共创、构成要素、特征以及运行与演化规律等(赵作权等, 2016; 吕拉昌等, 2021);3)创新生态系统测度,包括系统适宜度、协同度、运行效率等,研究尺度涉及国家、区域、城市或企业(马宗国等, 2019; 梁林等, 2020),而开发区层面的创新生态系统研究较少。

综上所述,学术界对高新区、创新生态系统以及对韧性的研究已取得较为丰富的成果,但在不可预知的复杂环境下,如何客观认知高新区创新生态系统所面临的风险和挑战,如何测度其韧性等问题还处于摸索阶段。基于此,本文将韧性的理念引入高新区创新生态系统,探讨高新区创新生态系统韧性内涵、特征,分析其演化过程,从抵抗力、吸收力、恢复力和转型力4个维度构建其测度指标体系,并以湖南省46家省级及以上高新区为实证对象,对其创新生态系统韧性进行测度。以期构建和优化高新区创新生态系统提供决策参考。

1 高新区创新生态系统韧性的内涵及特征

1.1 高新区创新生态系统韧性内涵

自 Moore (1993) 提出“创新生态系统”概念后, 得到学者广泛认可。之后, 学者尝试对区域(城市)创新生态系统的概念及内涵进行阐述, 普遍认为区域(城市)创新生态系统是不同的创新群落(企业、大学、科研院所等创新主体)与所处的创新环境之间的相互作用, 形成可持续性生态化发展的动态系统(黄鲁成, 2003)。

高新区创新生态系统是区域(城市)创新生态系统的重要组成部分, 是以高新区为空间边界, 以高新技术企业、创新平台、服务机构等组成的创新联盟, 通过创新要素集聚和聚合反应、创新链和创新网络形成与拓展, 并与创新环境之间相互作用形成的小尺度开放系统(马宗国等, 2019; 蔡杜荣等, 2022)。本文认为高新区创新生态系统韧性是系统受冲击扰动或前瞻性自我变革调整下, 系统内高新技术企业、创新平台、服务机构、高新区管委会等主体之间相互联系、相互影响, 在共生演进的网路关系中, 通过彼此间的相互作用和外界环境联系, 依靠各种创新资源与条件, 如资本、人才、技术以及政策等, 进行自我调适与转型, 以增强创新主体对环境变化的适应性, 提高其对资源的获取能力和利用效率, 最终以创新驱动引领高新区及区域经济高质量发展。即高新区创新生态系统应对冲击与扰动, 积极进行自我调适与转型的能力(图1)。具体可以从4个方面理解: 1) 抵抗力。即系统受扰动冲击时, 抵抗外界冲击及内部扰动所具备维持自身结构和功能稳定的能力, 强调创新要素的集聚和协同共生; 2) 吸收力。即系统在遭受冲击与扰动时, 能吸收这些干扰, 消除或缓解这些不利因素的能力, 使得系统不受影响; 3) 恢复力。即系统在偏离平衡状态, 恢复原有功能与特性的能力, 关键是创新生态功能和创新生态环境的维系与恢复; 4) 转型力。即系统通过自我更新而进入更好状态, 构建新的发展模式和路径, 从而实现系统功能和价值创新。

1.2 高新区创新生态系统韧性特征

基于高新区基本特征, 结合区域创

新生态系统和韧性特征(马宗国等, 2019; 梁林等, 2020; 马淑燕等, 2022), 认为高新区创新生态系统韧性具有以下特征:

1.2.1 复杂性 创新生态系统韧性具有明显的复杂性特征, 主要表现在2个方面。1) 系统构成主体的复杂性。其构成主体包括高企、创新平台、金融机构、中介机构等多元创新主体, 各创新要素以人才、技术和资本为媒介, 通过交流合作逐步形成复杂的创新网络。不同主体间属性、特征具有较大的差异性, 因此, 在系统发展过程中, 应对风险的能力也有所差异, 同时, 多元化的创新主体有利于分担风险, 有利于系统多种能力如冲击前准备、冲击后抵抗、冲击后吸收、恢复和转型的周期适应。2) 面临外部环境复杂性。创新生态系统的外部环境包括制度环境、文化氛围、经济基础、市场环境等因素, 这些因素都是多元、多维、多层次的。因此, 创新生态系统面临的外部环境比高新区内的内部环境具有更明显的复杂性。

1.2.2 动态演化性 高新区创新生态系统韧性不是静止的, 而是处于动态平衡中。无论是高水平韧性平衡还是低水平韧性平衡, 均强调韧性系统不同演化路径, 这条路径可以由低水平韧性至高水平韧性、也可以由高水平韧性至低水平韧性、还可以是经历低水平后恢复到原有水平。无论是哪种演化路径、或是韧性水平高低, 都是某一时段高新区创新

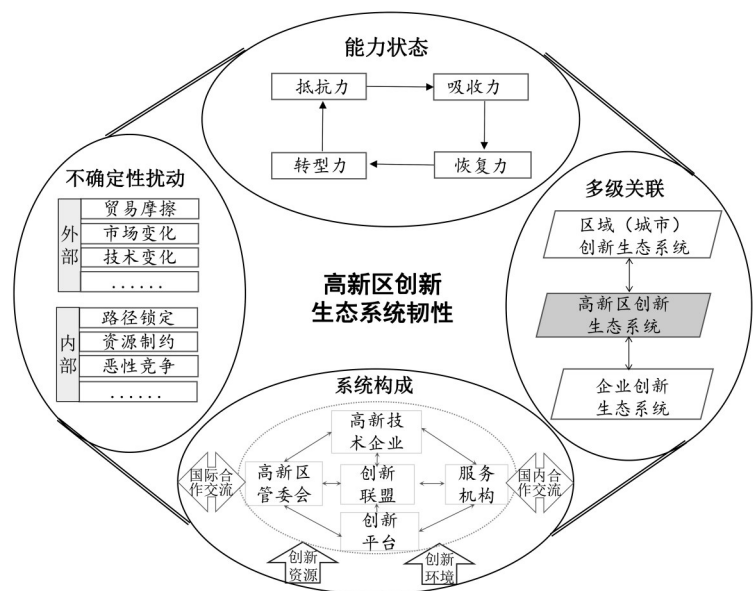


图1 高新区创新生态系统韧性内涵解析框架

Fig.1 Framework for analyzing the connotation of innovation ecosystem resilience in high-tech zones

生态系统韧性在内外调节作用下的一种相对平衡状态,并跟随内外部新变化进入下一时段调整改变。高新区创新生态系统不断的发展过程是创新主体和创新资源、创新环境间相互适应、动态调整的过程。从韧性视角看,动态演化的意义在于系统通过学习、更新,以适应环境变化,并促使系统结构优化升级,表现为系统不断成长、进化。

1.2.3 尺度关联性 高新区创新生态系统实际上是一个知识、技术、人才等创新要素相互作用的多重嵌入创新网络。从韧性视角看,高新区创新生态系统、城市创新生态系统、区域创新生态系统具有显著的层级化与关联性特征,强调韧性尺度垂直结构与相互关系。每一级系统由企业、创新平台、服务机构和区域创新环境等要素构成。这些要素是高新区创新生态系统最基本的成分,也是其存在的基础,这些要素既有分工、也有合作,在其分工及合作的过程相互作用、相互制约、相互影响,当高新区创新生态系统内外某一要素变动时,势必引起各尺度层级要素改变,各尺度迅速反馈至高新区创新生态系统,使得高新区创新生态系统实现由简单到复杂的变化。

1.2.4 可调节性 高新区创新生态系统韧性通过引导、调控以及创新主体的学习、积累实现系统韧性的提升。在受到内外部环境动态干扰时,创新主体能进行有效的调整和自我恢复,保持系统的稳定发展。而良好的主体间协作关系是系统实现自我调节的基础。当政策调整、市场需求变动或竞争环境复杂化等环境因素发生变化时,通过创新主体间互动关系的调整,能形成更为稳定的创新生态系统结构,使系统向复杂有序的方向演进。因而,可调节性特征是主动适应内外部环境变化,建设高韧性创新生态系统的重要途径。

2 高新区创新生态系统韧性演化

2.1 高新区创新生态系统演化过程

系统是否真正具有韧性以及韧性大小变化,需一定的历史过程来判断。在监测系统韧性演化方面,适应性循环是一个被普遍认可的理论工具,较好地描述了复杂适应系统面临扰动时的动态变化过程。适应性循环理论的核心是潜力(potential)、连通性(connectedness)与韧性(resilience)3个关键属性和开发(r)、储存(K)、释放(Ω)与更新(α)4个循环阶段,3个关键属性随着循环阶段的不同而发生变化(Gunderson et al., 2002)。作为社会

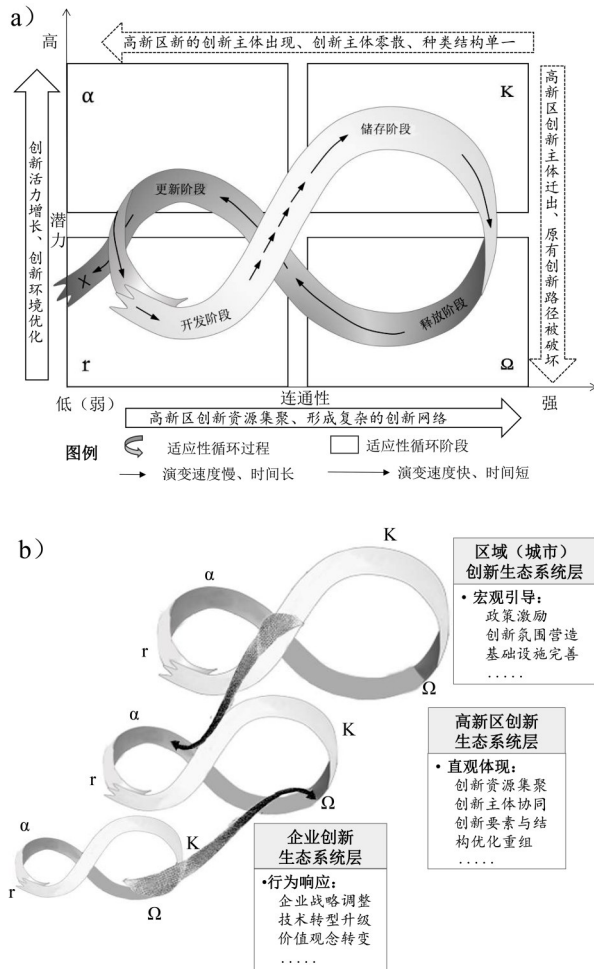
经济系统的重要组成部分,高新区创新生态系统各主体在不断地相互作用、动态交互、主动适应的过程中形成非平衡态复杂系统。本文将适应性循环理论应用于高新区创新生态系统,在此基础上分析各个阶段系统韧性的演化,能很好地识别、理解创新生态系统的结构、模式和因果关系。创新生态系统韧性在演化的过程中亦呈现4个阶段(图2-a)。

开发阶段:开发阶段初期时,入驻高新区的企业及研发机构数量少,创新能力较弱,系统发展规模较小、内部结构单一且不稳定,主体要素之间的联系微弱,表现为零散式创新,此时系统无韧性或韧性较弱,容易受外部干扰的影响,难以应对复杂的市场环境。随着创新资源不断地注入系统,系统结构变得更加复杂,逐步形成相互联系的创新网络。人力、技术、知识、资本等资源要素交流活动频繁,创新主体之间协调度不断提高,基础设施、政策制度逐步完善,可在一定程度上解决系统结构性带来的脆弱问题。总的来说,由于自身发展规模扩大,系统结构发展完善,系统韧性在此阶段呈上升趋势。

存储阶段:随着创新主体持续增长、创新要素不断积累,系统渐趋成型,系统韧性达到最大值。逐利性导致系统中大量主体基于同一规则采取相同或相近的行为,加强了系统主体要素间的连通性,同时,系统发展到一定阶段逐步形成历史路径依赖,各创新主体间因缺乏有价值的知识交换,导致创新力降低,演化到新路径的能力较弱。此外,过高的内在关联性会导致系统发展模式逐步僵化,在面临扰动时难以进行适应性调整,一旦面临扰动因素,可能出现衰退和丧失增长动力的现象,创新生态系统容易衰退或崩溃。

释放阶段:系统步入释放期时,一方面存储阶段形成的发展模式被解开,大量的企业相继迁出高新区或者倒闭,系统内部紧密连接的创新资源被释放,系统进入杂乱无序的状态;另一方面,系统内部企业和机构转移或退出,为新创新主体重组新的系统创造无限潜能和机会。在此阶段系统韧性虽有所下降,但有增长的潜力和趋势。

更新阶段:在经历了释放阶段后,系统迎来更新与重组,伴随着创造性破坏、重构等过程,新的创新主体在高新区聚集,新的创新模式逐渐出现,此时系统内部的主体连通度低,创造新路径的潜力巨大,新技术的开发、新的比较优势的发现以及新的创新要素不断集聚,促使系统的更新、重组能力



图注：r、K、Ω、α分别表示开发、储存、释放与更新4个循环阶段。

图2 高新区创新生态系统适应性循环过程(a)和多尺度适应性循环过程(b)

Fig.2 Adaptive cycle process(a) and multi-scale adaptive cycle process(b) of innovation ecosystem in high-tech zone

不断加强，系统韧性不断提升。此阶段，强韧性的系统借助创新而得到重构机会以向前发展，又一次投入利用阶段，达到适应性循环的新的开发状态。还有另外一种可能，居于重组阶段的系统能力储备不足，导致脱离循环，进而致使系统韧性演化失败。

高新区创新生态系统韧性演化也存在不遵循适应性循环规律的系统发展过程，有可能发生跨阶段跳跃的情况，或是不重复上一循环，进入新的循环。扰沌（多尺度适应性循环）为系统演化提供了跨尺度的分析框架，体现了韧性“关注变化中连续性和层次性”的特性（Gunderson et al., 2002）。高

新区创新生态系统包含企业、研发机构等创新主体，同时又是所在区域（城市）创新生态的组成部分，高新区创新生态系统韧性能力、状态及其变化会影响其他层级，其他层级系统有机会接收相邻层级的刺激，各尺度韧性系统产生复杂联系并进入新一轮循环（图2-b）。从演化视角看，高新区创新生态系统发展经历了由简单到复杂的动态演进过程，体现为简单、零散的创新到共生网络共生式创新，空间上由高新区内部创新主体交流到高新区之间、跨区域之间的互动。当受到扰动与冲击时，往往通过上级尺度逐渐向上传导，具有层级累积效应，而韧性主要来自下级尺度的应对，具有层级扩散效应，表现为多层次联动。在宏观上体现为高新区创新生态系统外部联动，即高新区与更高尺度——区域（城市）的衔接以及与其他高新区的协同。在区域（城市）尺度，外界扰动在该层面累计到一定程度，逐渐向下一级高新区尺度传导，高新区则通过政策配合、技术支撑、设施对接等与上级尺度的纵向衔接，以应对潜在风险与挑战；高新区与其他高新区横向协同表现在彼此间的交通联系、人才流动、服务共享、平台共建等方面。在微观上体现为高新区内部联动，是高新区下级韧性主体（创新个体）之间的协同。

2.2 高新区创新生态系统韧性演化路径

高新区创新生态系统韧性是系统不断适应风险与扰动的结果，系统在调整适应环境过程中，呈现不同的演化路径（图3）。扰动前系统按照正常发展路径运行，并通过市场信息收集与分析、创新技术筛选与比较等预备环境变化。当面对压力与扰动时，各创新主体积极应对，通过创新资源配置、政策优化与调整、创新网络强化、创新文化建设等进行自我调整，最大程度上降低整个系统的风险，维护系统的正常运行。在调整过程中会出现路径分异，韧性低的系统无法抵抗外来冲击，会走向衰退甚至可能发生系统崩溃灭亡（路径a），而韧性一般的系统虽然能抵抗冲击，但无法恢复到原有正常水平，而是进入低于原有运行水平的另一个均衡稳定状态（路径b）。韧性高的系统具有抵抗冲击扰动的缓冲性，并能快速恢复到稳定状态，适应新的变化（路径c），甚至系统能长期吸引其他地区的企业、技术、资本创新要素流入，促进创新活动的不断进行，不断从压力中积累经验并学习，演化到更高阶段（路径d）并进一步增强其韧性，以有效承受未来或潜在压力带来的冲击。

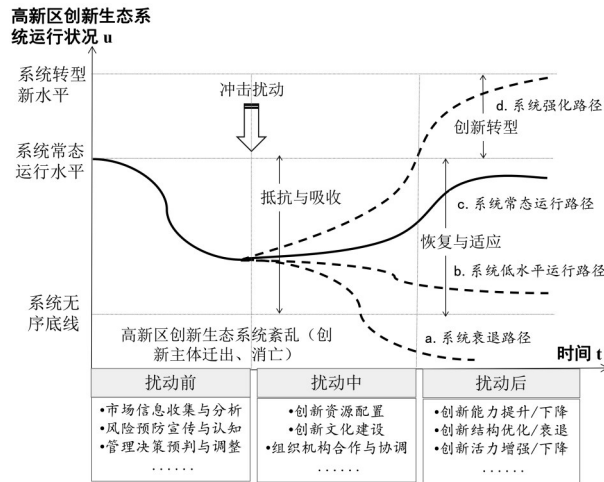


图3 扰动前后高新区创新生态系统韧性演化路径

Fig.3 Evolutionary path of innovation ecosystem resilience in the high-tech zone before and after the disturbance

3 高新区创新生态系统韧性测度

3.1 指标体系构建

基于高新区创新生态系统韧性的内涵,结合其韧性特征,遵循科学性、系统性和可操作性原则,从抵抗力、吸收力、恢复力、转型力4个维度,构建测度指标体系(表1),共16项指标(均为正指标)。抵抗力从系统规模、系统结构反映。系统的冗余性与结构决定抵抗能力的高低,该过程是系统自身被动承受扰动施加的压力。选取高新区利润总

额、高新区所有企业数量等指标表示。吸收力用主体多样性和资源流动性体现。主体多样性越丰富,越有利于分担、吸收风险,从人才多样性、企业多样性考虑,运用香农-威纳指数(H)作为人才和企业多样性的测度模型(梁林等,2020)。计算公式为:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad (1)$$

式中: p_i 代表*i*种类数量占总数量的比重; n 代表种类数目。

资源流动性反映创新要素间互动与交流,在面对风险时,各要素可以相互补充,从而保障系统快速恢复调整到原有或新的状态。选取协同创新指数、高新区内外部联系水平表示。其中,协同创新指数基于联合专利数据,借鉴李琳等(2020)的研究,运用修正引力模型构建创新合作的引力矩阵,衡量高新区之间协同创新水平。高新区内外部联系水平借鉴周晓艳等(2020)研究,从上市企业的内外部联系视角,通过企业总部-分支机构的关系构建高新区与城市的联系网络,运用社会网络分析方法测算高新区内外部联系水平。恢复力从资源支撑、发展效率及质量反映。创新资源支撑能力越强,越能帮助系统从困境中恢复。高新区发展效率越好、质量越高,其系统韧性恢复状况越好。选取全员劳动生产率、单位面积税收产出反映。转型力从环境支撑和发展活力2个维度反映。主要指创新主体具有创新活力,并且具备再次成长发展的潜

表1 高新区创新生态系统韧性水平测度指标体系

Table 1 Indicator system for measuring the resilience level of innovation ecosystem in high-tech zones

维度	一级指标	二级指标	指标解释
抵抗力	系统规模(B1)	高新区利润总额(C1)/万元 高新区所有企业数量(C2)/个	表征系统的盈利能力,利润总额越大,对创新活动的支持力度越大。企业数量越多,组织网络越复杂,抵抗力越强。
	系统结构(B2)	高新技术企业从业人员占总从业人员比例(C3)/% 高新技术企业占高新区所有企业比例(C4)/%	体现人才创新资源的拥有量。 体现市场主体中高新技术企业数量。
吸收力	主体多样性(B3)	人才多样性指数(C5) 企业多样性指数(C6)	人才多样性是创新主体间进行合作的前提,能提升系统创新成功率。企业多样性指数越高,创新的功能越完善,组织结构越紧密,越能吸收不利干扰。
	资源流动性(B4)	协同创新指数(C7) 高新区内外部联系水平(C8)	创新要素之间发生高频率的互动和响应,使得冗余要素能快速补充缺口,从而保障系统在较短时间内完成调整恢复。
恢复力	发展效率及质量(B5)	全员劳动生产率(C9)/(万元·人 ⁻¹) 单位面积税收产出(C10)(万元/hm ²)	反映系统发展效率与质量,效率越好、质量越高,其恢复状况越好。
	资源支撑(B6)	R&D经费内部支出总额(C11)/% R&D人员数量(C12)/人	反映支持创新活动工作的资金投入力度。 反映创新人才对创新生态系统的支撑。
转型力	发展活力(B7)	当年高新区新增企业数量的增长率(C13)/% 专利授权数增长率(C14)/%	新增企业数越多,系统的创新活动就越多,系统的成长、升级就越有可能。 表征系统的创新成果发展活跃度。
		省级以上创新平台数量(C15)/个	反映创新平台支撑能力。
	创新环境(B8)	园区可更新利用空间(C16)/hm ²	反映创新活动所需要的空间载体。

力；同时，系统可以为该类成长发展提供必要的环境。选取当年高新区新增企业数量的增长率、专利授权数增长率、园区可更新利用空间等指标反映。

3.2 实证分析

3.2.1 实证对象 湖南省开发区始建于1988年，在国家与湖南省委省政府大力支持下，经过30多年的发展，现已形成由23家国家级开发区、80家省级开发区和40家省级产业开发区构成的开发区体系。目前，湖南省共有省级及以上高新区48家（国家级和省级分别为8和40家）。2020年，湖南省48家高新区集聚了全省53.71%的高新技术企业、68.45%的省级以上研发平台、47.8%的研发经费投入。以湖南省46家高新区为实证对象（望城高新区、开福高新区由于为筹建开发区，缺乏数据，故不纳入研究），研究湖南省高新区创新生态系统韧性，具有典型性和代表性，不仅有利于湖南省经济高质量发展与创新省份建设，也可以为中国中西部城市高新区研究及发展提供借鉴。

3.2.2 研究方法 TOPSIS是一种有限方案多属性（目标）决策方法，其基本原理是通过统计数据构建矩阵，在多个方案中比较、选择最优解。该方法多应用于多类别、多属性问题中的评价测度。高新区创新生态系统韧性测度中包含多个维度、多项指标，是确定性和不确定性属性的综合体现，将该方法运用到高新区创新生态系统韧性测度中，可以较好地刻画其变化特征。TOPSIS法主要步骤为：

1) 通过所构建指标体系建立评价矩阵 $X=(X_{ij})_{m \times n}$ ， m, n 分别表示测度样本和指标，对原始数据进行标准化处理。

2) 用标准化矩阵中的最大值作为测度样本的最优解 $X^+=(X_{ij}^+)_{1 \times n}$ ，最小值为最劣解 $X^-=(X_{ij}^-)_{1 \times n}$ ，计算各样本分别到最优解与最劣解之间的距离 $d_i^+=[\sum w_i (X_{ij}-X_{ij}^+)]^{1/2}$ 和 $d_i^-=[\sum w_i (X_{ij}-X_{ij}^-)]^{1/2}$ ，再测算得到综合值 $C_i=d_i^-/(d_i^++d_i^-)$ ，评价值 C_i 越大或越接近于1，说明测度样本效果越好，反之则越差。

3.2.3 数据来源 基础数据分为城市统计数据、开发区统计数据2部分，其中，城市统计数据来源于《中国县域统计年鉴》（国家统计局农村社会经济调查司，2013—2021）、《湖南统计年鉴》（湖南省统计局国家统计局湖南调查总队，2013—2021）、《湖南省科技统计年鉴》（湖南省科学技术厅等，2013

—2021a）、《湖南省科技年鉴》（湖南省科学技术厅，2013—2021b）、湖南省科技厅网站^①等。开发区统计数据来源于2013—2021《湖南开发区年鉴》（湖南省发展和改革委员会等，2013—2021）、湖南省产业园区公共服务信息平台^②；部分年份缺失数据通过插值法补齐。需要说明的是，本文对多样性的测度采用高新区所在城市的数据，其中，人才多样性用各城市各行业的单位从业人员计算，数据来自于《中国城市统计年鉴》（国家统计局城市社会经济调查司，2013—2021）企业多样性用企业类型数量表示，数据主要来源于企查查网址^③。

3.3 结果分析

3.3.1 湖南省高新区创新生态系统韧性总体演化特征 根据前文所述的方法与指标体系测算2012—2020年湖南省高新区创新生态系统韧性值（图4）。从总体层面看，全省韧性水平由2012年的0.316提升至2020年的0.604，整体呈现上升的趋势，反映创新主体应对扰动的能力不断增加，系统结构愈渐稳健，但距离理想值1还有一定距离，说明整体韧性还有待提升。从分维度指标看，2012—2020年，抵抗力、吸收力、恢复力、转型力的水平整体呈增长趋势，分别由2012年的0.442、0.254、0.201和0.271，增长至2020年的0.693、0.506、0.313和0.541，转型力的增长幅度最大，其次是吸收力和抵抗力，恢复力增长幅度最小，表明2012—2020年湖南高新区创新生态系统的保障能力和稳定性虽在不断提升，但整体上升不明显；而高新区创新生态系

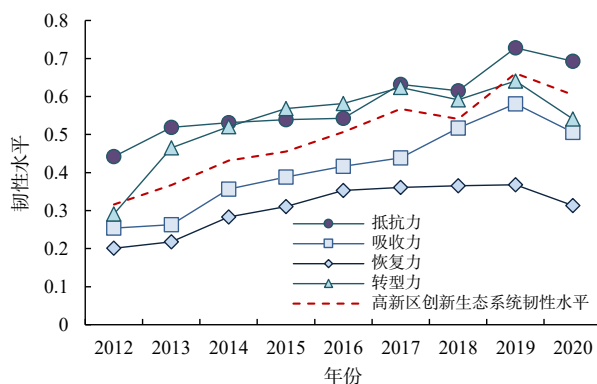


图4 2012—2020年湖南省高新区创新生态系统韧性水平
Fig.4 Innovation ecosystem resilience level of high-tech zones in Hunan Province from 2012 to 2020

① <http://kjt.hunan.gov.cn/>

② <http://cyyq.hunan.gov.cn:9000/>

③ <https://www.qcc.com>

统抵抗力水平表现较好,系统规模不断扩大,可预见未来抵抗力指标会呈现上升态势;转型力水平提升幅度最大,这是由于湖南省正处于创新型省份建设关键时期与高质量发展攻坚期,创新投入不断增加、创新环境不断改善,创新产出与创新能力逐步提升,也说明创新动力及潜力较大。

基于上文构建的分析框架和现实基础,将湖南省高新区创新生态系统韧性划分为2个阶段。2012—2017年为开发—存储期,创新生态系统韧性保持平稳增长。该时期湖南省高度重视开发区建设,2012年湖南在全国率先颁布实施《创新型湖南建设纲要》(中共湖南省委等,2012),高位布局重大平台建设,大力建设创新、金融、人才等平台载体,提高自主创新能力,开发区创新发展成效显著。随着创新资源的持续发展与积累,系统韧性值不断提升,创新主体间因为联系过度紧密,创新生态系统逐渐步入消极路径依赖阶段。2017—2020年为存储—释放期,受2018年中美贸易战和2019年底“新冠肺炎”疫情的影响,湖南省高新区创新生态系统韧性出现波动下滑态势。自党的十九大报告提出“我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段”以来,湖南省积极贯彻新发展理念,以创新为引领集聚高质量发展新动能,出台了系列绿色环保、创新转型的政策措施,各行各业处于创新转型的阵痛期,创新能力与创新意愿可能出现一定的背离,造成创新生态系统韧性值下降。此外,周边省份对人才、资金等创新资源争夺日趋激烈,导致湖南省企业、人才和资金部分外流,也影响湖南省创新发展。为应对外部冲击,在地方政府的引导下,以创新型省份建设为总揽,着力完善科技创新体系,大力推进战略性新兴产业培育、高新技术产业发展和优势传统产业升级,创新发展动能增强。同时,僵化的发展路径逐渐被打破,创新活力得以释放,为形成创新发展新路径创造了条件。

截取2012和2020年2个时间点,分析湖南省高新区创新生态系统韧性变化特征。研究发现,9年间湖南省各高新区创新生态系统韧性水平普遍有所提升,韧性水平提升多在0.2~0.4(表2),各高新区韧性水平差异较为显著。具体地,长沙高新区和株洲高新区的创新生态系统韧性较高,排名一直位于全省高新区的前两位,作为成立时间较早、实力强的国家级高新区有着先发优势,积累、吸引了全省丰富的创新资源,创新发展成效显著。但与沿海省份或中部省份省会城市的高新区相比,如广州高新

区、合肥高新区,长沙高新区的科技创新综合实力仍稍显不足,尤其是在科技投入力度、科技人才支撑上依然有很大的提升空间,2020年长沙高新区R&D人员数量、R&D经费内部支出分别为51 673人、155.4亿元,低于广州高新区(125 507人、347.7亿元)和合肥高新区(63 655人、274.3亿元)(科学技术部火炬高技术产业开发中心,2021)。泸溪高新区、洪江高新区、湘西高新区等韧性水平虽得到一定提升,但一直居于全省后几位,该类高新区位于湘西地区,基础设施建设相对滞后,资源禀赋、创新环境等与省内其他地区差距较大,成为省内创新的“洼地”。

3.3.2 湖南省高新区创新生态系统韧性的空间特征 基于2012和2020年湖南省各高新区创新生态系统韧性测度值,利用几何间隔分级法将46家高新区分为5层(图5)。整体上,湖南省高新区创新生态系统韧性水平呈现东高西低的集聚态势,分层现象明显。创新生态系统韧性高和较高的高新区主要分布在长株潭城市群地区,且以国家级高新区为主;处于中等韧性水平的高新区的数量增加较多,在全省四大板块均有分布,基本均衡;较低韧性水平的高新区数量不断减少,主要分布在湘西地区。

高韧性的高新区(高位均衡类):2012年高韧性的高新区数量为0,2020年仅有长沙高新区和株洲高新区。这2家高新区抵抗力、吸收力、恢复力以及转型力水平均较高。这是由于长株潭城市群地区创新发展基础好、创新资源密集且交通便利,加之“三区叠加”的政策优势,因而其成为全省创新最活跃的区域。针对该类高新区,应继续巩固提升其优势,发挥其“长板效应”。

较高韧性的高新区(优势突出类):2012和2020年分别是3和9家。除常德高新区和郴州高新区外,其他主要位于长株潭城市群地区和临长株潭城市群地区,其中国家级高新区有5家。该层次的高新区在某一维度水平较高,优势明显。该类高新区,既要保持优势,给予一定的容错试错空间,又要关注其发展短板,防止某维度出现问题。

中韧性的高新区(良性均衡类):由2012年8家增长至2020年的25家,空间上逐渐由长株潭城市群地区向全省扩散,除湘西自治州外,其他各市均有分布。各维度韧性水平较均衡,均处于中等水平。该类高新区应重点培养其优势领域,带动其他维度韧性水平的提升。

较低韧性的高新区(劣势明显类):2012和

表2 2012、2020年湖南省各高新区创新生态系统韧性水平及排名

Table 2 Innovation ecosystem resilience level and ranking of high-tech zones in Hunan Province in 2012 and 2020

序号	高新区名称	所在市(州)	韧性水平及排名		序号	高新区名称	所在市(州)	韧性水平及排名	
			2012年	2020年				2012年	2020年
1	长沙高新区	长沙市	0.667(1)	0.918(1)	24	汨罗高新区	岳阳市	0.304(18)	0.609(24)
2	株洲高新区	株洲市	0.634(2)	0.898(2)	25	岳阳临港高新区	岳阳市	0.222(31)	0.604(25)
3	衡阳高新区	衡阳市	0.506(10)	0.796(3)	26	江华高新区	永州市	0.230(29)	0.594(26)
4	湘潭高新区	湘潭市	0.574(4)	0.789(4)	27	湖南双峰高新区	娄底市	0.198(39)	0.586(27)
5	宁乡高新区	长沙市	0.519(8)	0.764(5)	28	岳阳绿色化工高新区	岳阳市	0.248(26)	0.573(28)
6	益阳高新区	益阳市	0.561(5)	0.749(6)	29	衡山高新区	衡阳市	0.204(38)	0.568(29)
7	常德高新区	常德市	0.522(7)	0.734(7)	30	道县高新区	永州市	0.162(43)	0.561(30)
8	浏阳高新区	长沙市	0.518(9)	0.727(8)	31	湖南澧县高新区	常德市	0.227(30)	0.557(31)
9	攸县高新区	株洲市	0.365(13)	0.713(9)	32	湖南桂阳高新区	郴州市	0.289(19)	0.521(32)
10	郴州高新区	郴州市	0.550(6)	0.707(10)	33	湖南石门高新区	常德市	0.211(35)	0.519(33)
11	岳麓高新区	长沙市	0.626(3)	0.701(11)	34	湖南汉寿高新区	常德市	0.261(23)	0.508(34)
12	怀化高新区	怀化市	0.414(11)	0.692(12)	35	桃源高新区	常德市	0.274(21)	0.501(35)
13	韶山高新区	湘潭市	0.329(14)	0.687(13)	36	邵阳县高新区	邵阳市	0.260(24)	0.493(36)
14	华容高新区	岳阳市	0.264(22)	0.683(14)	37	临澧高新区	常德市	0.221(32)	0.488(37)
15	炎陵高新区	株洲市	0.310(17)	0.678(15)	38	隆回高新区	邵阳市	0.386(12)	0.465(38)
16	湖南沅江高新区	益阳市	0.327(15)	0.672(16)	39	祁阳高新区	永州市	0.197(40)	0.446(39)
17	湖南衡阳西渡高新区	衡阳市	0.248(27)	0.655(17)	40	津市高新区	常德市	0.278(20)	0.432(40)
18	湘阴高新区	岳阳市	0.135(45)	0.649(18)	41	新化高新区	娄底市	0.205(37)	0.421(41)
19	雨湖高新区	湘潭市	0.240(28)	0.638(19)	42	湘西高新区	湘西州	0.104(46)	0.411(42)
20	岳阳高新区	岳阳市	0.320(16)	0.631(20)	43	湖南宁远高新区	永州市	0.216(34)	0.407(43)
21	平江高新区	岳阳市	0.207(36)	0.628(21)	44	张家界高新区	张家界	0.193(42)	0.401(44)
22	临湘高新区	岳阳市	0.220(33)	0.624(22)	45	洪江高新区	怀化市	0.194(41)	0.382(45)
23	娄底高新区	娄底市	0.252(25)	0.616(23)	46	泸溪高新区	湘西州	0.147(44)	0.374(46)

2020年分别是27和10家,空间分布上逐渐向湘西地区收缩,是全省创新低洼地区,这与其基础设施建设相对落后、资源禀赋较差、创新氛围不浓有关。该类高新区在某一维度韧性水平较低,劣势明显,应将重点放在识别其劣势维度,采取针对性措施,改进其发展不足,补齐发展短板。

低韧性的高新区(低位均衡类):由2012年8家变为2020年0家,其各维度韧性水平均很低,应对危机能力较弱。对于该类高新区,一方面要识别各维度主要的难题与困境,据此进行提升与优化;另一方面也要挖掘培育其优势,进行单点突破,以此带动系统、均衡发展。

4 结论与讨论

4.1 结论

1) 基于复杂系统理论和演化韧性视角,本文认为高新区创新生态系统韧性是系统受冲击扰动或前瞻性自我变革调整下,内部多元主体之间相互联系、相互影响,不断进行自我调适与转型,以维持系统原有特性、原有功能和进一步成长的能力,具有复杂性、动态演化性、尺度关联性和可调节性等特征。

2) 高新区创新生态系统韧性在调整适应环境过程中,呈现开发、储存、释放、更新4个不同的演化阶段。在开发阶段,系统规模不断扩大、功能结构持续完善,韧性水平在此阶段呈上升趋势;在存储阶段,创新主体持续增长、创新要素不断积累,系统韧性达到最大值,但也容易出现衰退或崩溃;在释放阶段,创新主体企业不断迁出,韧性水平下降,但有增长的潜力和趋势;在更新阶段,新的创新主体在高新区聚集,新的创新模式逐渐出现,系统韧性不断提升。高新区创新生态系统韧性受所在区域(城市)和内部企业的影响,在多尺度嵌套中不断演化,各尺度对高新区创新生态系统韧性相互作用反馈,体现在自上而下的韧性传导和自下而上的韧性适应。

3) 湖南省高新区创新生态系统韧性水平由2012年的0.316提升至2020年的0.604,整体呈现上升的趋势,系统应对扰动的能力不断增强,但距离理想值1还有一定距离,韧性水平仍有待进一步提升。从各维度指标看,转型力增长幅度最为明显,其次是吸收力和抵抗力,恢复力增长幅度最小,成为系统整体韧性提升的短板。从空间分布来看,湖南省高新区创新生态系统韧性水平空间分异明显,

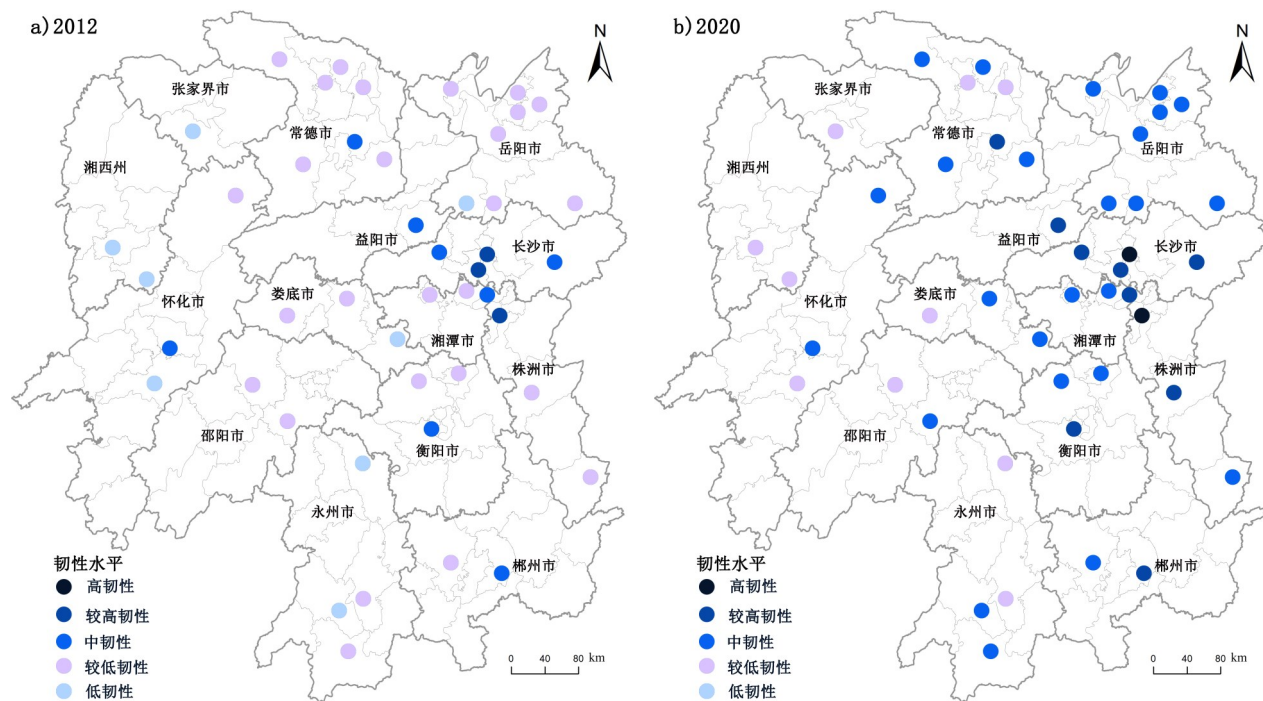


图5 2012和2020年湖南省高新区创新生态系统韧性水平分层及空间分布

Fig.5 Tiered and spatial distribution of innovation ecosystem resilience level of high-tech zones in Hunan Province in 2012 and 2020

注：该图基于湖南省标准地图服务网站下载的审图号湘S（2020）037号的标准地图制作，底图无修改。

韧性较高的高新区集聚在长株潭城市群地区，较低的分布在湘西地区。随着时间推移，逐步形成以长株潭城市群为核心，岳阳、郴州、常德等多中心并存的高韧性集聚的空间格局。

4.2 讨论

本文将“韧性”概念引入高新区创新生态系统研究，在探讨高新区创新生态系统韧性的内涵、特征的基础上，运用适应性循环理论分析其演化过程，基于抵抗力、吸收力、恢复力和转型力构建了高新区创新生态系统韧性测度指标体系，并以湖南省46家高新区进行实证研究，不仅拓展了创新生态系统研究领域，丰富了韧性研究理论成果，也为监测高新区创新生态系统发展状态，合理设计韧性提升路径提供了依据。研究发现湖南省高新区创新生态系统韧性不是静止、一成不变的，而是一个动态发展的过程，不同时期、不同区域差异明显，这与地理学的“演化转向”思维相契合（郭琪等，2018；李艳等，2019），也符合Boschma（2015）、Evenhuis（2017）演化韧性的观点。即区域面对外部扰动与冲击的应对能力是变化的，这与其自身属性和危机特征有关（Martin et al., 2019），也说明高新区创新生态系统与其他社会经济系统类似，能够

通过引导、调控实现系统韧性的提升。高新区创新生态系统韧性嵌入在区域（城市）多尺度的等级网络中，尺度间互相关联，存在等级交互作用。这与李鲁奇等（2022）关于开发区转型要考虑其所在区域和城市尺度的观点一致。高新区创新生态系统作为多尺度联结的复杂系统，提升其韧性水平应以尺度融合视角，加强政府、开发区管委会、企业等多元主体间协作，顺应外部变化及时作出适应性调整，从而有效应对日益复杂严峻的风险挑战。

囿于各方面的条件，本文仍存在亟需进一步深化的问题：1）由于统计数据可获得性，仅选取数据相对完整、连续的2012—2020年作为研究时段，缺乏更长时间序列的分析和比较。2）在指标选取上，更多选取“结构性”要素指标，有关“能动性”指标相对欠缺。3）尚未深入研究高新区创新生态系统韧性与区域经济的内在逻辑和作用机制。未来可进一步拓展研究时段，将信息通信技术手段融入测度中，加强基于计算机技术、大数据等新方法、新技术的定量研究，并结合调研访谈、问卷调查等方式，进一步完善指标体系。同时，未来可通过大量案例进行比较研究，剖析不同区域、不同主导产业、不同发展阶段的高新区适应性转型机制，

推动韧性研究的不断深化。

参考文献 (References):

- Boschma R. 2015. Towards an Evolutionary Perspective on Regional Resilience. *Regional Studies*, 49(5): 733-751.
- 蔡杜荣, 于旭. 2022. “架构者”视角下的区域创新生态系统形成与演化——来自珠海高新区的经验证据. 南方经济, (3): 114-130. [Cai Durong, and Yu Xu. 2022. Research on Incubation and Growth of Innovation Ecosystem under "Architect" Transformation: Empirical Evidence from Zhuhai High-Tech Zone. *South China Journal of Economics*, (3): 114-130.]
- 杜文瑄, 施益军, 徐丽华, 翟国方, 陈伟, 陆张维. 2022. 风险扰动下的城市经济韧性多维测度与分析——以长三角地区为例. 地理科学进展, 41 (6): 956-971. [Du Wenxuan, Shi Yijun, Xu Lihua, Zhai Guofang, Chen Wei, and Lu Zhangwei. 2022. Multidimensional Measurements and Analysis of Urban Economic Resilience under the Disturbance of Economic Risks: A Case Study of the Yangtze River Delta, China. *Progress in Geography*, 41(6): 956-971.]
- 杜志威, 金利霞, 刘秋华. 2019. 产业多样化、创新与经济韧性——基于后危机时期珠三角的实证. 热带地理, 39 (2): 170-179. [Du Zhiwei, Jin Lixia, and Liu Qiuhua. 2019. Industrial Diversity, Innovation, and Economic Resilience: Empirical Analysis of the Pearl River Delta in the Post-financial Crisis Era. *Tropical Geography*, 39(2): 170-179.]
- 杜志威, 文志敏, 金利霞. 2022. “结构-能动性”框架下短期经济韧性的动态演化与影响机制——基于新冠肺炎疫情冲击下对东莞企业的访谈. 热带地理, 42 (8): 1217-1227. [Du Zhiwei, Wen Zhimin, and Jin Lixia. 2022. Dynamic Evolution and Mechanism of Short-Term Economic Resilience from a Structure-Agency Framework: Based on In-Depth Interviews with Dongguan's Manufacturing Enterprises during COVID-19. *Tropical Geography*, 42 (8): 1217-1227.]
- Evenhuis E. 2017. New Directions in Researching Regional Economic Resilience and Adaptation. *Geography Compass*, 11(11): 1-15.
- Folke C, Haider L, Jamila H, Lade Steven J, Norström A V, and Rocha J. 2021. Commentary: Resilience and Social-Ecological Systems: A Handful of Frontiers. *Global Environmental Change*, 71(7): 1-3.
- 高春东, 魏颖, 金凤君. 2019. 国家高新区发展定位和思路探讨. 中国行政管理, 26 (3): 158-159. [Gao Chundong, Wei Ying, and Jin Fengjun. 2019. Discussion on the Development Orientation and Thinking of National High-Tech Zone. *Chinese Public Administration*, 26(3): 158-159.]
- 关衷效, 王钊. 2022. 中国区域经济韧性演进特征与路径选择. 兰州大学学报 (社会科学版), 50 (5): 13-26. [Guan Zhongxiao, and Wang Zhao. 2022. China's Regional Economic Resilience: Evolutionary Characteristics and Path Selection. *Journal of Lanzhou University (Social Sciences)*, 50(5): 13-26.]
- Gunderson L H, and Holling C S. 2002. *Panarchy: understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Washington D C: Island Press.
- 郭琪, 贺灿飞. 2018. 演化经济地理视角下的技术关联研究进展. 地理科学进展, 37 (2): 229-238. [Guo Qi, and He Canfei. 2018. Progress of Research on Technological Relatedness in the Perspective of Evolutionary Economic Geography. *Progress in Geography*, 37(2): 229-238.]
- 国家统计局城市社会经济调查司. 2013—2021. 中国城市统计年鉴. 北京: 中国统计出版社. [Urban Socio-Economic Investigation Department, National Bureau of Statistics. 2013—2021. *China City Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press.]
- 国家统计局农村社会经济调查司. 2013—2021. 中国县域统计年鉴. 北京: 中国统计出版社. [Department of Rural Socio-Economic Survey, National Bureau of Statistics of China. 2013—2021. *China Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press.]
- 贺灿飞, 盛涵天. 2023. 区域经济韧性: 研究综述与展望. 人文地理, 38 (1): 1-10. [He Canfei, and Sheng Hantian. 2023. Regional Economic Resilience: A Review and Future Development Outlook. *Human Geography*, 38(1): 1-10.]
- Hu X, Li L, and Dong K. 2022. What Matters for Regional Economic Resilience Amid COVID-19? Evidence from Cities in Northeast China. *Cities*, 120: 103440.
- 胡晓辉, 董柯, 杨宇. 2021. 战略耦合演化视角下的区域经济韧性分析框架. 地理研究, 40 (12): 3272-3286. [Hu Xiaohui, Dong Ke, and Yang Yu. 2021. An Analytical Framework on Regional Economic Resilience from the Perspective of Evolutionary Strategic Coupling. *Geographical Research*, 40(12): 3272-3286.]
- 湖南省发展和改革委员会, 湖南省统计局. 2013—2021. 湖南开发区年鉴. 长沙: 湖南地图出版社. [Hunan Provincial Development and Reform Commission, and Hunan Provincial Bureau of Statistics. 2013—2021. *Hunan Development Zone Yearbook*. Changsha: Hunan Map Publishing Press.]
- 湖南省科学技术厅, 湖南统计局. 2013—2021a. 湖南省科技统计年鉴. 长沙: 中南大学出版社. [Hunan Provincial Department of Science and Technology, and Hunan Bureau of Statistics. 2013-2021a. *Hunan Science and Technology Statistical Yearbook*. Changsha: Central South University Press.]
- 湖南省科学技术厅. 2013—2021b. 湖南省科技年鉴. 长沙: 湖南科学技术出版社. [Hunan Provincial Department of Science and Technology. 2013—2021b. *Hunan Science and Technology Yearbook*. Changsha: Hunan Science and Technology Press.]
- 湖南省统计局国家统计局湖南调查总队. 2013—2021. 湖南统计年鉴. 北京: 中国统计出版社. [Hunan Provincial Bureau of Statistics Survey China of the National Bureau of Statistics in Hunan. 2013-2021. *Hunan Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press.]
- 黄鲁成. 2003. 论区域技术创新生态系统的生存机制. 科学管理研究, 23 (2): 47-51. [Huang Lucheng. 2003. On the Subsistent Mechanism of Regional Technological Innovation Ecosystem. *Scientific Management Research*, 23(2): 47-51.]
- 科学技术部火炬高技术产业开发中心. 2021. 中国火炬统计年鉴. 北

- 京：中国统计出版社. [Torch High Technology Industry Development Centre, Ministry of Science and Technology. 2021. *China Torch Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press.]
- 李可昕, 胡宏, 赵慧敏. 2022. 基于适应性循环理论与压力-状态-响应框架的区域社会-生态系统演进研究. 生态学报, 42 (24): 10164-10179. [Li Kexi, Hu Hong, and Zhao Huimin. 2022. Evolution Analysis of Regional Social-Ecological Systems Based on Adaptive Cycle Theory and Pressure-State-Response Framework. *Acta Ecologica Sinica*, 42(24): 10164-10179.]
- 李连刚, 张平宇, 王成新, 程钰. 2021. 区域经济韧性视角下老工业基地经济转型过程——以辽宁省为例. 地理科学, 41 (10): 1742-1750. [Li Lianggang, Zhang Pingyu, Wang Chengxin, and Cheng Yu. 2021. Economic Transformation Process of Old Industrial Bases from the Perspective of Regional Economic Resilience: A Case Study of Liaoning Province. *Scientia Geographica Sinica*, 41(10): 1742-1750.]
- 李琳, 彭臻. 2020. 长江中游城市群协同创新空间关联网络结构时空演变研究. 人文地理, 35 (5): 94-102. [Li Lin, and Peng Can. 2020. Study on the Structure of Collaborative Innovation Network of Urban Agglomeration in the Middle Reaches of the Yangtze River and Its Evolution. *Human Geography*, 35(5): 94-102.]
- 李鲁奇, 孔翔. 2022. “第四次创业”中开发区跨界联系的网络特征与微观机制. 地理研究, 41 (10): 2648-2662. [Li Luqi, and Kong Xiang. 2022. Characteristics and Micro-Mechanisms of Cross-Border Connections among Development Zones in Their "Fourth Transition". *Geographical Research*, 41(10): 2648-2662.]
- 李艳, 陈雯, 孙阳. 2019. 关联演化视角下地理学区域韧性分析的新思考. 地理研究, 38 (7): 1694-1704. [Li Yan, Chen Wen, and Sun Yang. 2019. New Reflections on the Analysis of Regional Resilience in Geographical Sciences from a Relational-Dynamic Perspective. *Geographical Research*, 38(7): 1694-1704.]
- 李玉恒, 黄惠倩, 王晟业. 2021. 基于乡村经济韧性的传统农区城乡融合发展路径研究——以河北省典型县域为例. 经济地理, 41 (8): 28-33, 44. [Li Yuheng, Huang Huiqian, and Wang Shengye. 2021. Path of Urban-Rural Integrated Development in Traditional Agricultural Zones Based on Rural Economic Resilience: The Study of Typical Counties of Hebei Province. *Economic Geography*, 41(8): 28-33, 44.]
- 梁林, 赵玉帛, 刘兵. 2020. 国家级新区创新生态系统韧性监测与预警研究. 中国软科学, 35 (7): 92-111. [Liang Lin, Zhao Yubo, and Liu Bing. 2020. Research on Monitoring and Early Warning of the Resilience of the Innovation Ecosystem in the China's National New Districts. *China Soft Science*, 35(7): 92-111.]
- 刘和东, 陈洁. 2021. 创新系统生态位适宜度与经济高质量发展关系研究. 科技进步与对策, 38 (11): 1-9. [Liu Hedong, and Chen Jie. 2021. Research on the Relationship between Niche Suitability of Innovation System and Economic High-Quality Development. *Science & Technology Progress and Policy*, 38(11): 1-9.]
- 吕拉昌, 赵彩云. 2021. 中国城市创新地理研究述评与展望. 经济地理, 41 (3): 16-27. [Lu Lachang, and Zhao Caiyun. 2021. Review and Prospect of the Urban Innovation Geography of China. *Economic Geography*, 41(3): 16-27.]
- 吕一清, 刘晶晶. 2023. 经济政策不确定性对经济韧性的影响及作用机制. 东北大学学报 (社会科学版), 25 (1): 14-24. [Lu Yiqing and Liu Jingjing. 2023. The Impact and Mechanism of Economic Policy Uncertainty on Economic Resilience. *Journal of Northeastern University (Social Science)*, 25(1): 14-24.]
- Martin R. 2012. Regional Economic Resilience, Hysteresis and Recessionary Shocks. *Journal of Economic Geography*, 12(1): 1-32.
- Martin R, and Gardiner B. 2019. The Resilience of Cities to Economic Shocks: A Tale of Four Recessions (and the Challenge of Brexit). *Papers in Regional Science*, 98(4): 1801-1832.
- 马淑燕, 赵祚翔, 王桂玲. 2022. 中国国家高新技术产业开发区时空格局特征及影响因素. 经济地理, 42 (8): 95-102, 239. [Ma Shuyan, Zhao Zuoxiang, and Wang Guiling. 2022. Spatio-Temporal Evolution and Driving Factors of China's National High-Tech Industrial Development Zones. *Economic Geography*, 42(8): 95-102, 239.]
- 马宗国, 丁晨辉. 2019. 国家自主创新示范区创新生态系统的构建与评价——基于研究联合体视角. 经济体制改革, 37 (6): 60-67. [Ma Zongguo, and Ding Chenhui. 2019. Evaluation on the Innovation Ecosystem of National Independent Innovation Demonstration Zone Based on RJVs. *Reform of Economic System*, 37(6): 60-67.]
- Moore J F. 1993. Predators and Prey: A New Ecology of Competition. *Harvard Business Review*, 72(3): 75-83.
- 彭翀, 陈思宇, 王宝强. 2019. 中断模拟下城市群网络结构韧性研究——以长江中游城市群客运网络为例. 经济地理, 39 (8): 68-76. [Peng Chong, Chen Siyu, and Wang Baoqiang. 2019. Analyzing City Network's Structural Resilience under Disruption Scenarios: A Case Study of Passenger Transport Network in the Middle Reaches of Yangtze River. *Economic Geography*, 39(8): 68-76.]
- 石龙宇, 郑巧雅, 杨萌, 刘玲玉. 2022. 城市韧性概念、影响因素及其评估研究进展. 生态学报, 42 (14): 6016-6029. [Shi Longyu, Zhneq Qiaoya, Yang Meng, and Liu Lingyu. 2022. A Review of Definitions, Influence Factors and Assessment of Urban Resilience. *Acta Ecologica Sinica*, 42(14): 6016-6029.]
- 孙久文, 孙翔宇. 2017. 区域经济韧性研究进展和在中国应用的探索. 经济地理, 37 (10): 1-9. [Sun Jiuwen, and Sun Xiangyu. 2017. Research Progress of Regional Economic Resilience and Exploration of Its Application in China. *Economic Geography*, 37 (10): 1-9.]
- Sutton J, and Arku G. 2022. Regional Economic Resilience: Towards a System Approach. *Regional Studies, Regional Science*, 9(1): 497-512.
- Tan J, Hu X, Hassink R, and Ni J. 2020. Industrial Structure or Agency: What Affects Regional Economic Resilience? Evidence

- from Resource-Based Cities in China. *Cities*, 106: 102906.
- 谭俊涛, 赵宏波, 刘文新, 张平宇, 仇方道. 2020. 中国区域经济韧性特征与影响因素分析. *地理科学*, 40 (2): 173-181. [Tan Juntao, Zhao Hongbo, Liu Wenxin, Zhang Pingyu, and Qiu Fangdao. 2020. Regional Economic Resilience and Influential Mechanism during Economic Crises in China. *Scientia Geographica Sinica*, 40(2): 173-181.]
- 唐开翼, 欧阳娟, 任浩, 程建青. 2022. 何种高新区创新生态系统产生高创新绩效? ——基于 116 个案例的模糊集定性比较研究. *科学学与科学技术管理*, 43 (7): 116-134. [Tang Kaiyi, Ou Yangjuan, Ren Hao, and Cheng Jianqing. 2022. What Kind of Innovation Ecosystem Can Produce High Innovation Performance in High-Tech Zones? A Fuzzy Set Qualitative Comparative Analysis Based on 116 Cases. *Science of Science and Management of S& T*, 43(7): 116-134.]
- Tobin H, Klimas J, Barry T, Egan M, and Bury G. 2018. Opiate Use Disorders and Overdose: Medical Students' Experiences, Satisfaction with Learning, and Attitudes Toward Community Naloxone Provision. *Addictive Behaviors*, 86(2): 11-22.
- Wang Z, and Wei W. 2021. Regional Economic Resilience in China: Measurement and Determinants. *Regional Studies*, 55(7): 1228-1239.
- 万源星, 郑秀田, 林霞. 2022. 国家高新区是地区“稳外资”的有效载体吗——来自我国 276 座城市的证据. *科研管理*, 43 (9): 1-9. [Wan Yuanxing, Zheng Xiutian, and Lin Xia. 2022. Can National High-Tech Zones Act as an Effective Carrier to Stabilize FDI: The Evidence from 276 Chinese Cities. *Science Research Management*, 43(9): 1-9.]
- 魏冶, 修春亮. 2020. 城市网络韧性的概念与分析框架探析. *地理科学进展*, 39 (3): 488-502. [Wei Ye, and Xiu Chunliang. 2020. Study on the Concept and Analytical Framework of City Network Resilience. *Progress in Geography*, 39(3): 488-502.]
- 袁丰, 熊雪蕾, 徐紫腾, 于灵慧. 2023. 长江经济带经济韧性空间分异与驱动因素. *地理科学进展*, 42 (2): 249-259. [Yuan Feng, Xiong Xuelei, Xu Ziteng, and Yu Linghui. 2023. Spatial Differentiation and Driving Factors of Economic Resilience in the Yangtze River Economic Belt, China. *Progress in Geography*, 42 (2): 249-259.]
- 曾刚, 王秋玉, 曹贤忠. 2018. 创新经济地理研究述评与展望. *经济地理*, 38 (4): 19-25. [Zeng Gang, Wang Qiuyu, and Cao Xianzhong. 2018. Review on Innovation Economic Geography. *Economic Geography*, 38(4): 19-25.]
- 张京祥, 姜克芳, 何鹤鸣. 2019. 精明收缩视角下产业园区转型再生. 南京: 东南大学出版社, 34-39. [Zhang Jingxiang, Jiang Kefang, and He Heming. 2019. *The Transformation and Regeneration of Industrial Parks from the Perspective of Shrewd Contraction*. Nanjing: Southeast University Press, 34-39.]
- 张亚丽, 项本武. 2023. 数字经济发展对中国市域经济韧性的影响效应. *经济地理*, 43 (1): 105-113. [Zhang Yali, and Xiang Benwu. 2023. The Impact of Digital Economy Development on Urban Economic Resilience. *Economic Geography*, 43(1): 105-113.]
- 张跃胜, 邓帅艳, 张寅雪. 2022. 城市经济韧性研究: 理论进展与未来方向. *管理学刊*, 35 (2): 54-67. [Zhang Yuesheng, Deng Shuaiyan, and Zhang Yingxue. 2022. Research on Urban Economic Resilience: Theoretical Progress and Future Directions. *Journal of Management*, 35(2): 54-67.]
- 赵作权, 赵璐. 2016. 基于创新能力的我国“十三五”集群创新战略研究. *中国科学院院刊*, 31 (1): 24-33. [Zhao Zuoquan, and Zhao Lu. 2016. Innovative Capacity and Cluster-Based Innovation Strategy of China for 13th Five-Year Plan. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 31(1): 24-33.]
- 中共湖南省委, 湖南省人民政府. 2012. 创新型湖南建设纲要. (2012-02-09) [2022-07-20]. <http://www.hnid.org/archives/1254>. [CPC Hunan Provincial Committee, and Hunan Provincial People's Government. 2012. Outline for the Construction of Innovative Hunan. (2012-02-09) [2022-07-20]. <http://www.hnid.org/archives/1254>.]
- 周晓艳, 侯美玲, 李霄雯. 2020. 独角兽企业内部联系视角下中国城市创新网络空间结构研究. *地理科学进展*, 39 (10): 1667-1676. [Zhou Xiaoyan, Hou Meiling, and Li Xiaowen. 2020. Spatial Structure of Urban Innovation Network Based on the Chinese Unicorn Company Network. *Progress in Geography*, 39 (10): 1667-1676.]
- 朱媛媛, 罗源, 陈京, 蒋子龙. 2023. 资源枯竭型城市产业转型及其经济韧性——以湖北省大冶市为例. *自然资源学报*, 38 (1): 73-90. [Zhu Yuanyuan, Luo Yuan, Chen Jing, and Jiang Zilong. 2023. Research on Industrial Transformation and Its Economic Resilience in Resource-Exhausted Cities: A Case Study of Daye City, Hubei Province. *Journal of Natural Resources*, 38 (1): 73-90.]

作者贡献声明:

- 唐承丽:** 负责文章选题、研究思路与方案设计、理论框架构建, 论文撰写与修改, 提供科研资金支持;
- 宋关东:** 明确研究思路, 数据整理、处理与分析, 论文修改与完善;
- 周国华:** 完善框架结构及内容体系;
- 贺艳华:** 完善研究框架。

The Connotation and Measurement of the Resilience of Innovation Ecosystem in High-Tech Industrial Development Zones: A Case Study of Hunan Province

Tang Chengli^a, Song Guandong^a, Zhou Guohua^{a,b}, and He Yanhua^{a,b}

(a. College of Geographic Science; b. Hunan Provincial Key Laboratory of Geospatial Big Data Mining and Application, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: At present, the economy of China is in a new stage, shifting from high-speed growth to high-quality development. Accordingly, high-tech industrial development zones (hereinafter referred to as "high-tech zones") have developed as clusters of innovative resources, high-tech enterprises, and industries. These high-tech zones serve as demonstration zones for national and regional innovation development. Building a resilient innovation ecosystem in high-tech zones and enhancing their ability to cope and adapt to an uncertain environment are important for promoting the high-quality development of these zones as well as the regional economy. There are few academic studies on the resilience of innovation ecosystems in high-tech zones. Incorporating the concept of resilience and enhancing the ability of innovation ecosystems in high-tech zones to cope with risk is a topic worthy of attention in academic research. Here we introduce the concept of resilience, explore the connotation and characteristics of the resilience of the innovation ecosystem in the high-tech zone, analyze its evolution process by applying adaptive cycle theory, and construct a measurement index system in four dimensions: resistance, absorption, recovery, and transformation power. From this perspective, resilience is considered the ability of the zone to maintain and restore its original characteristics and functions and also to continue to grow after the system has been disturbed. The zone characteristics considered are complexity, dynamic evolution, scale correlation, and regulation, as evident through four evolutionary stages: exploitation, storage, release, and renewal. Using the TOPSIS method, 46 high-tech zones in Hunan Province were selected as research objects, and their innovation ecosystem resilience levels and spatiotemporal pattern characteristics were analyzed. It was found that the innovation ecosystem resilience level of the Hunan high-tech zone increased from 0.316 in 2012 to 0.604 in 2020, showing an overall upward trend in resilience. In terms of the increase in the level of resilience in each dimension, the most significant increase was that of transformation power, followed by absorption and resistance powers. The smallest increase was that of recovery power. The spatial pattern showed obvious divergence, with the more resilient high-tech zones clustered in the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration and the less resilient zones distributed in the western Hunan region. Over time, the degree of spatial differentiation gradually shrank, forming the characteristics of a highly resilient agglomeration, with the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration as the core, and Yueyang, Chenzhou, Changde, and other multi-centers coexisting. In this study the innovation ecosystem of high-tech zones was examined from the perspective of dynamic development; the results are expected to broaden the concept of urban development resilience in theory and promote the high-quality development of high-tech zones in practice.

Keywords: high-tech industrial development zone; innovation ecosystem; connotation definition; resilience measurement; adaptive cycle; Hunan Province