

# CAS 视角下创新生态系统韧性测度和预警研究

张姝逸<sup>1</sup>, 胡伟鸿<sup>2</sup>, 罗季<sup>1\*</sup>

1. 浙江财经大学数据科学学院, 浙江 杭州 310018

2. 浙江财经大学研究生联合培养学院, 浙江 杭州 310018

DOI:10.61369/ASDS.2025060021

**摘 要 :** 创新生态系统是孕育、支持和推动科技创新发展的新摇篮, 构建较高韧性的创新生态系统有利于科技创新适应外部变化、实现高质量发展。本文基于复杂适应系统 (CAS) 视角, 对创新生态系统理论内涵和层级机构进行剖析, 将创新生态系统的韧性定义为其对外界各类变化进行“适应”的具体能力, 构建了包含聚集性、多样性、流动性、进化性、适应性的五维韧性特征, 基于韧性强度和韧性协同度双指标, 设计了创新生态系统韧性监测体系与动态预警模型。应用上述方法, 对2010—2022年中国省域的创新生态系统韧性水平进行测算, 得出如下结论: (1) 从时间维度来看, 中国各地区创新生态系统韧性水平呈现出波动型增长态势, 广东省、江苏省、浙江省、山东省始终保持领先地位, 各地韧性警戒大体处于安全状态, 警戒度在2019年疫情后有一定程度上升; (2) 从空间分布来看, 韧性强度呈现“两高两低”分布态势, 不同地区间韧性发展水平存在显著差异, 但近年来不平衡状况有所改善; (3) 从全国范围来看, 中国四大经济区域在韧性各维度上体现出多层次、非均衡的区域发展现状, 东部、中部地区始终处于领先地位, 而东北地区和西部地区在五个维度上均表现不佳。综上所述, 中国创新生态系统韧性总体水平较高且发展态势良好, 具有一定的抵御外部冲击的能力, 但仍存在区域发展不平衡现象, 需因地制宜、因材施教。

**关 键 词 :** 复杂适应系统; 创新生态系统; 韧性; 协同度; 聚集性; 适应性

## A Study on the Measurement and Early Warning of Innovation Ecosystem Resilience from the Perspective of Complex Adaptive Systems

Zhang Shuyi<sup>1</sup>, Hu Weihong<sup>2</sup>, Luo Ji<sup>1\*</sup>

1.School of Data Science, Zhejiang University of Finance and Economics, Hangzhou, Zhejiang 310018

2.School of Joint Postgraduate Training, Zhejiang University of Finance and Economics, Hangzhou, Zhejiang 310018

**Abstract :** Innovation ecosystems are the new cradles for nurturing, supporting, and promoting the development of technological innovation. Building innovation ecosystems with higher resilience is conducive to adapting to external changes and achieving high-quality development in China's technological innovation. Based on the perspective of complex adaptive systems (CAS), this paper deeply analyzes the theoretical connotations and hierarchical structure of innovation ecosystems. It defines the resilience of innovation ecosystems as their specific ability to "adapt" to various external changes as CAS, thereby constructing a five-dimensional resilience characteristic that includes aggregation, diversity, mobility, evolution, and adaptability. Further, based on the dual indicators of resilience intensity and resilience synergy, a monitoring system and dynamic early warning model for the resilience of innovation ecosystems are designed. After calculating the resilience levels of innovation ecosystems of 31 provinces, cities and autonomous zones from 2010 to 2022, the following conclusions are drawn: (1) From a temporal perspective, the resilience levels of innovation ecosystems in various regions of China show a fluctuating growth trend. Guangdong Province, Jiangsu Province, Zhejiang Province, and Shandong Province have always maintained a leading position, and the overall resilience alert level is in a safe state, with a slight increase in the alert level only after the 2019 pandemic; (2) In terms of spatial distribution, the resilience intensity shows a "two highs and two lows" pattern, with significant differences in resilience development levels between regions, but the imbalance has improved in recent years; (3) From a national perspective, four economical regions of China reflect

基金项目: 全国统计科学研究计划项目 (2018380); 浙江省教育厅科研项目 (ZT099324033)。

作者简介:

张姝逸 (2002—), 女, 安徽宿州人, 浙江财经大学数据科学学院硕士研究生;

胡伟鸿 (2001—), 男, 浙江嘉兴人, 浙江财经大学研究生联合培养学院硕士研究生。

通讯作者: 罗季 (1975—), 女, 辽宁抚顺人, 浙江财经大学数据科学学院教授。

a multi-level and unbalanced regional development status in each dimension of resilience. The eastern and central regions have always been in a leading position, while the northeastern and western regions perform poorly in all five dimensions, with obvious shortcomings. In summary, the overall level of resilience of China's innovation ecosystems is relatively high and the development trend is good, with certain capabilities to resist external shocks, but there are still imbalances in regional development, which requires targeted and tailored policies.

**Keywords :** complex adaptive systems; innovation ecosystems; resilience; synergy; aggregation; adaptability

## 引言

在高质量发展背景下，科技创新已成为现代经济发展的主要驱动力，也是全球经济发展不均衡的重要原因之一。创新生态系统是孕育、支持和推动科技创新的新摇篮，通过整合政策、资本、人才、技术等资源，为科技创新提供了必要的条件和环境。因此，完善创新生态系统理论，构建具有较高韧性的创新生态系统，对促进科技创新、实现资源优化配置、提升国家竞争力具有重大意义。

目前学术界关于创新生态系统的研究分别从内涵、特点和水平测度等方面切入，整体理论框架尚缺乏统一认识，导致研究视角和结论多样化但缺乏系统性。目前对创新生态系统的定义视角主要包含：网络视角<sup>[1,2]</sup>、生态系统视角<sup>[3-5]</sup>、复杂系统视角<sup>[6-8]</sup>，对特征的阐述主要包含：多样性<sup>[9-11]</sup>、复杂性<sup>[12,13]</sup>、动态性<sup>[9-11]</sup>、开放性<sup>[14,15]</sup>。创新生态系统韧性则是韧性的概念在科技创新领域的自然引申，指一个创新生态系统在面对各种内外部挑战和压力时，能够保持其结构和功能的稳定性，迅速适应、恢复并持续发展的能力。现有对创新韧性的研究普遍遵循“识别特征-设计体系-提出策略”的路线，已有众多学者构建了创新生态系统韧性的评价指标体系<sup>[16]</sup>。

现有研究为创新生态系统的研究奠定了坚实的基础，但是仍存在以下问题：（1）对创新生态系统理论框架尚缺乏统一认识，导致研究视角和结论多样化但缺乏系统性；（2）创新生态系统韧性的指标体系多基于经验分析，缺乏系统的理论支撑；（3）对韧性的测度侧重于韧性强度指标，忽视了韧性的均衡性指标，这在一定程度上限制了研究成果的普适性和解释力。

本文旨在基于复杂适应系统（简称CAS）理论<sup>[17]</sup>，对创新生态系统概念和特点进行深入剖析，把创新生态系统视为一个复杂适应系统，把“韧性”看作系统“适应”外界变化的具体能力，构造创新生态系统韧性的评价指标体系，进一步基于韧性强度和协同度双指标，实现对中国省域创新韧性水平的监测预警。

## 一、基于CAS理论的创新生态系统的概念及属性

创新生态系统具备CAS相同的复杂适应模式<sup>[18]</sup>：大量创新主体通过相互选择确定集群模式（合作、竞争、价值共创等），通过内部作用机制不断交互，促使相互关联的创新主体在不同的创新环境下，共同向更优的新状态努力。

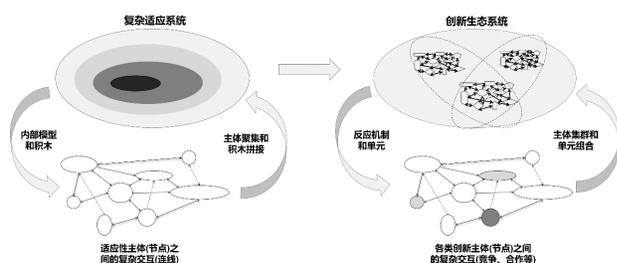


图1 CAS和创新生态系统对比图<sup>[19]</sup>

从系统定义来看，创新生态系统是由涵盖创新过程的所有异质性创新主体（以企业、高校、科研机构等为主）、创新资源（人力、资金、信息、技术等）和创新环境（政策环境、市场环境、基础设施等）共同组成的，具有动态演进特征的复杂适应系统，

和CAS具有相似的复杂多层次结构和特征。因此创新生态系统本质上是CAS的概念在创新领域的延伸，可以从CAS的视角研究创新生态系统的运行机制和发展规律。本文给出创新生态系统的基本属性如下表1：

表1 创新生态系统要素与CAS要素对照表

序号	CAS要素 <sup>[17]</sup>		创新生态系统要素	
	要素	要素的概念	要素	要素的概念
1	聚集	主体通过聚集形成更高级的介主体，并产生新的特性	集群	创新主体的集群和涌现，从而产生新的集群特性
2	多样性	一种动态模式，是主体不断适应的结果	多样化	指创新要素的多样化，使系统呈现不同特征
3	流	资源在各节点间通过连接者进行流动	资源流	流动性资源在各创新主体间的流动
4	非线性	系统整体效能 > 各部分效能和	整体性	整个系统具有其单个组成部分所不具备的性质
5	标识	促进选择性的相互作用	标签	创新主体集群行为的选择依据

6	内部模型	主体的内部结构，决定着主体对外界变化的反应	反应机制	创新主体的反应机制，应对创新环境变化
7	积木	复杂事物的若干基本组成元素	单元	复杂机制的基本组成要素

创新生态系统的七个属性，按照创新过程的特点可分为四大特性和三大机制：

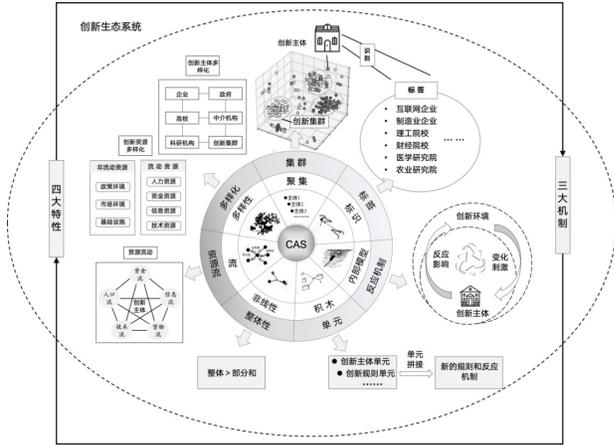


图2 CAS 视角下的创新生态系统运行机制

如图2，在创新生态系统中，各异质性创新主体通过识别标签确定竞争与合作对象，形成创新集群；创新主体和创新集群拥有各自反应机制应对创新环境（政策环境、市场环境、基础设施等）变化；在整个系统中存在人才、资金、技术和产品等创新资源的流动，创新主体的适应性促使系统整体以非线性方式不断动态演进；“积木特性”使得主体和规则单元可以通过拼接产生新的集群和机制，从而形成各类创新要素的多样化，这就是创新生态系统的基本要素和运行机制。

## 二、创新生态系统的韧性监测体系

在CAS理论下，通过识别的创新生态系统的基本要素和运行机制，构建韧性强度的五维特征体系，确定韧性强度评价体系的41个具体指标，之后构建韧性强度和韧性协同度的双指标监测体系，最后完成韧性的动态预警模型构建。

### （一）韧性强度五维特征体系构建

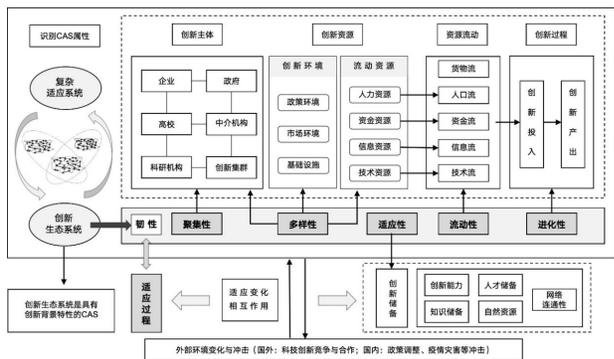


图3 CAS 视角下创新生态系统的五维韧性特征

目前学术界总结的创新生态系统核心特征有：多样性、流动性、进化性、复杂性，这些特性为研究创新生态系统韧性提供了

坚实基础。本文进一步结合CAS的基本属性，构建创新生态系统的五维韧性特征分别是：聚集性、多样性、流动性、进化性、适应性。其中，聚集性的构建来源于创新主体的聚集行为；多样性的构建来源于创新主体、资源和环境的多样化；流动性是各类资源在创新主体间的流动；进化性和适应性是系统三大运行机制和非线性的体现。具体见下图3：

基于CAS理论和创新生态系统韧性的特征分析，遵循客观性、系统性、可行性和数据可获得性，最终构建创新生态系统韧性强度评价体系，如表2：

表2 创新生态系统韧性五维评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标属性
聚集性 (创新主体集聚)	创新主体密度	地区创新主体数(企业+高校+科研机构)	正向指标
		每平方公里创新主体数	正向指标
	创新集群数	众创空间数	正向指标
		火炬计划特色产业基地数	正向指标
		创新产业集群内企业个数	正向指标
多样性 (创新要素多元化)	创新主体多元化	有R&D活动工业企业数	正向指标
		高等院校数量	正向指标
		县级以上研究与开发机构数量	正向指标
	创新资源多元化	就业人数(万人)	正向指标
		R&D人员数量(万人年)	正向指标
		R&D经费支出(亿元)	正向指标
		每百人使用计算机台数	正向指标
		每百家企业拥有网站数	正向指标
	创新环境多元化	技术合同登记数(项)	正向指标
		科技孵化器数量	正向指标
流动性 (创新资源调动)	人口流	地区客运总量(万人)	正向指标
		地区货运总量(万吨)	正向指标
	货物流	货物进出口额(亿美元)	正向指标
		资金流	外资合同金额(亿美元)
	信息流	实际利用外资金额(亿美元)	正向指标
		邮电业务总量(亿元)	正向指标
	技术流	互联网宽带接入端口数(万个)	正向指标
		技术市场成交额(万元)	正向指标
	进化性 (创新资源配置)	创新投入量	R&D人员全时当量
科技论文综合指标			正向指标
发明专利授权量(项)			正向指标
有效发明专利数			正向指标
创新产出量	新产品开发项目数	正向指标	

适应性 (创新要素储备)	地区创新能力	创新能力综合指标得分	正向指标
	人才储备量	在校本专科生数(万人)	正向指标
		在校研究生数(万人)	正向指标
		每万人口中在校大学生数	正向指标
	知识储备量	公共图书馆藏书量(万册件)	正向指标
		高校教职员工数(万人)	正向指标
	自然资源	公园绿地面积(公顷)	正向指标
		人均公园绿地面积(平方米)	正向指标
	网络连通性	铁路营业里程(公里)	正向指标
		公路通车里程(公里)	正向指标
		内河通航里程(公里)	正向指标

(二) 创新生态系统韧性的双指标监测体系

创新生态系统韧性是指系统在面对外部冲击和内部变化时,能够维持其基本功能、结构和秩序,并最终实现恢复和发展的能力。现有研究对其韧性的衡量主要集中在“韧性强度”测算上,忽略了系统内部各创新要素之间的协同效应。根据均衡发展理论,系统内各要素发展越均衡,所产生的总效应就越好。基于此,本文在“韧性强度”指标的基础上,引入“韧性协同度”指标,从而构建双指标监测体系,更全面、深入地反映创新生态系统的整体韧性水平。

基于上述分析,首先基于五维指标体系得到韧性强度指标,进一步借鉴系统耦合协调度模型,测算韧性协同度指标。最终根据韧性强度和协同度双指标得到韧性综合测度值,具体计算公式如下:

$$C = \left( \frac{R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5}{\left( \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5}{5} \right)^5} \right)^{\frac{1}{5}}, T = \beta_1 R_1 + \beta_2 R_2 + \beta_3 R_3 + \beta_4 R_4 + \beta_5 R_5, \quad (1)$$

$$D = \sqrt{C \times T}$$

其中,  $R_1、R_2、R_3、R_4、R_5$  分别表示聚集性、多样性、流动性、进化性、适应性得分;  $C$  是韧性协同度,取值范围为  $0 < C < 1$ ,当  $R_1=R_2=R_3=R_4=R_5$  时,  $C$  取最大值 1,表示韧性四个维度处于最佳的相互协调状态;当  $R_1、R_2、R_3、R_4、R_5$  不相等时,五个维度差异越大,  $C$  值越小。 $T$  表示五个维度下韧性强度得分,即韧性强度,  $\beta_1、\beta_2、\beta_3、\beta_4、\beta_5$  为待定系数,视各因素为同等重要,取  $\beta_1=\beta_2=\beta_3=\beta_4=\beta_5=0.2$ ;  $D$  表示创新生态系统韧性值,其值越大表示韧性越强。

(三) 创新生态系统韧性的动态预警模型构建

根据均衡发展理论,创新生态系统韧性的预警研究既要考虑各地区韧性五维度的发展水平,也要兼顾各维度的差异,更要反映韧性的动态变化趋势。本研究借鉴其他社会系统预警模型<sup>[20]</sup>,以每年全国范围内韧性五维指标中各维度的最大值作为理想状态,构成理想值五维列向量,之后计算真实值与理想值之间向量夹角余弦值,之后结合韧性综合测度值构建动态预警模型,计算过程如下所示。

1. 计算两个五维向量之间夹角的余弦值(真实值向量与理想

值向量)

$$M_t = \frac{\bar{R}(0) \cdot \bar{R}(t)}{|\bar{R}(0)| \cdot |\bar{R}(t)|} = \frac{\sum_{i=1}^5 R_i(0) R_i(t)}{\sqrt{\sum_{i=1}^5 R_i^2(0)} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^5 R_i^2(t)}}, \quad (2)$$

其中,  $\bar{R}(0)=(R_1(0), R_2(0), R_3(0), R_4(0), R_5(0))'$  表示 t 年度的理想值向量;  $\bar{R}(t)=(R_1(t), R_2(t), R_3(t), R_4(t), R_5(t))'$  表示 t 年度的真实值向量。 $M_t$  表示两向量夹角的余弦值,其值越大,表明该地区创新生态系统韧性就越接近理想情况。

2. 定义警戒度

结合夹角余弦值和韧性综合测度值,构建创新生态系统韧性警戒度模型:

$$J_t = (1 - D) \times (1 - M_t), \quad (3)$$

其中,  $J_t$  表示 t 年度创新生态系统韧性的警戒度;  $D$  表示创新生态系统韧性综合测度值,  $1-D$  表示创新生态系统韧性五维度失衡水平;  $1-M_t$  表示韧性实际值与理想值偏离程度。

3. 预警区间划分

结合中国创新生态系统韧性的实际情况,参考相关预警研究的划分方法<sup>[21]</sup>,最终划分韧性警戒区间如下:当  $0 \leq J_t \leq 4\%$  时,处于安全状态;当  $4\% < J_t \leq 10\%$  时,处于关注状态;当  $J_t > 10\%$  时,处于警告状态。

三、创新生态系统韧性的实证研究

本文对 2010—2022 年中国创新生态系统的韧性进行了全面评估,选取了创新主体数、众创空间数等 41 个指标。数据主要来源于《中国统计年鉴》、《中国火炬统计年鉴》、各省市统计年鉴以及中华人民共和国教育部官方网站等。对于部分年份的少量缺失数据,采用了线性插补法进行补充。需要注意的是,由于资料获取的限制,数据未包含中国的台湾地区、香港特别行政区和澳门特别行政区。

(一) 创新生态系统的韧性强度水平

图 4 是 2010—2022 年全国韧性强度变化情况。整体来看,江苏、广东、浙江等地创新能力突出,韧性强度始终位居前列;从全国平均水平线可见,韧性强度整体呈现波动型增长态势,但黑龙江、河南等地区出现了局部下降的情况。

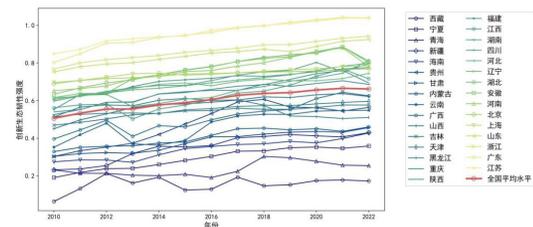


图 4 2010—2022 年全国韧性强度变化

图 5 为分地区的韧性强度水平及年平均增速,面积大小表示各地区的韧性强度均值,颜色表示增速。可见中国创新生态系统韧性强度呈现“两高两低”分布态势,“两高”指东、中部地区韧性强度相对较高,“两低”指西部和东北地区韧性强度相对较低。具体而言,西藏、宁夏、贵州的年平均增速最快,分别达到 8.61%、

5.40%、5.43%，仅黑龙江地区相较于2010年下降了0.06%。这一成绩反映了西部大开发战略在促进区域创新能力方面的巨大成效，而黑龙江省作为东北老工业基地的重要组成部分，需要进一步优化产业结构，加大科技创新投入。

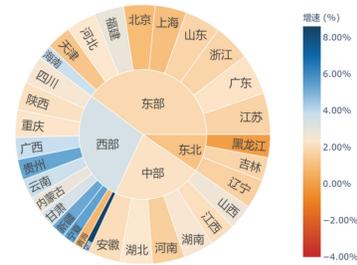


图5 全国韧性强度及增速

图6为2022年全国31个省市的韧性强度水平，颜色越深代表该省市韧性强度越高。由图可知，韧性强度较高的是广东、江苏、浙江等地（其中广东和江苏达1.04和1.03），强度较低的是西藏、青海、宁夏等地（西藏最低为0.17），可见创新生态系统存在明显区域差异，发展不平衡问题仍然较为突出。

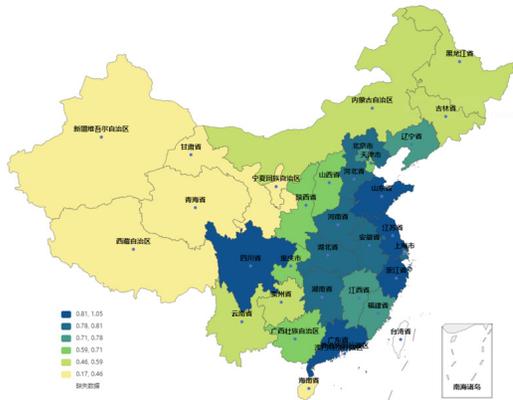


图6 2022年全国韧性强度

## （二）创新生态系统的韧性协同度水平

根据2010—2022年全国31个省市的面板数据，通过熵权法计算各指标权重，最终得到各省市地区的五维韧性得分，进一步计算中国四大经济区域的各维度得分。图7和表3分别是全国四大经济区域的五维特征平均得分和年平均增长率。

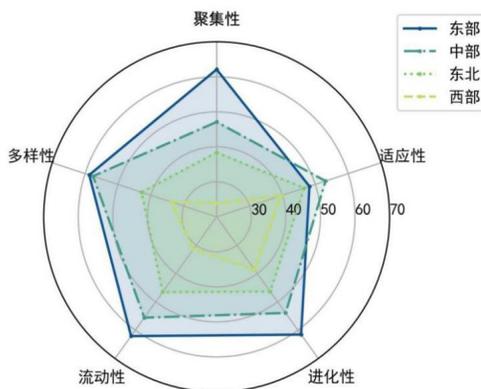


图7 四大经济区域韧性的五维特征对比

表3 四大经济区域五维韧性特征年平均增长率

地区	聚集性	多样性	流动性	进化性	适应性
东北	3.15%	0.49%	-1.34%	2.27%	1.44%
东部	3.85%	2.69%	1.47%	2.67%	1.67%
中部	5.81%	2.78%	0.33%	3.22%	2.22%
西部	6.24%	3.10%	1.74%	8.01%	2.71%

分区域来看，东部地区各项特征得分均居前列且保持较高的增长率，其中聚集性指标显著高于其他地区，说明东部地区在人才集聚、产业集群等方面优势显著；中部和东北地区位于中游，其中中部地区在多样性与适应性维度表现优秀且聚集性增长率较高，说明其丰富的人力资源和较低的成本优势，加之国家战略支持，为创新活动提供了良好的土壤和动力；西部地区各项特征得分目前均处于较低水平，但其各项指标的增长率超越了其他地区，可见尽管西部地区当前的创新生态系统发展相对滞后，但存在巨大发展潜力。

图8为2018—2022年各地区韧性协同度得分，31个地区分布在扇形的31条半径上，越靠近圆心，数值越小，越远离，数值越大。不同的颜色代表不同的年份，以2022年韧性协同度得分为依据排名从上到下排列。2018—2022年间，广东省、江苏省等地区在此期间持续展现出较高的韧性协同度，反映出这些区域在科技创新方面的均衡发展，而青海、宁夏和新疆等地的协同度较低，说明这些地区在创新驱动发展、资源配置等方面存在一定短板。图中阴影区域表示相邻年份创新生态系统韧性协同度的下降程度，面积越大表示下降程度越多。特别地，2022年安徽、河南、湖北等地区韧性协同度都出现了显著下降，这可能是由于武汉疫情的滞后辐射影响，导致创新生态系统韧性各维度发展出现不均衡。

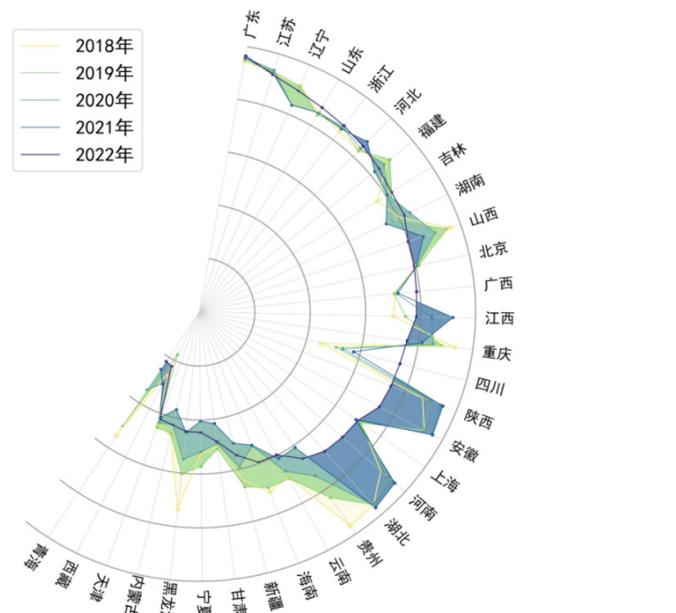


图8 2018—2022年韧性协同度

## （三）韧性综合测度值

本节通过绘制三维动态核密度曲线图，展示各地创新生态系统韧性的动态演进过程。从表4可以看出，广东省、江苏省、山东

省和浙江省始终处于领先地位，西藏、青海等地创新生态系统韧性整体较差。

表4 韧性综合测度值

省份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
北京	0.73	0.74	0.75	0.78	0.78	0.79	0.78	0.77	0.77	0.78	0.78	0.78	0.78
天津	0.52	0.57	0.56	0.52	0.53	0.53	0.54	0.55	0.50	0.51	0.50	0.49	0.50
河北	0.75	0.75	0.75	0.77	0.77	0.78	0.77	0.76	0.77	0.78	0.80	0.83	0.83
山西	0.54	0.62	0.68	0.73	0.75	0.76	0.76	0.76	0.77	0.76	0.75	0.74	0.70
内蒙古	0.24	0.26	0.23	0.22	0.26	0.28	0.38	0.46	0.46	0.45	0.44	0.40	0.44
辽宁	0.61	0.61	0.64	0.66	0.69	0.80	0.78	0.79	0.81	0.80	0.77	0.77	0.82
吉林	0.54	0.56	0.57	0.60	0.62	0.63	0.63	0.67	0.65	0.68	0.67	0.68	0.69
黑龙江	0.59	0.59	0.59	0.59	0.58	0.62	0.62	0.65	0.65	0.56	0.53	0.48	0.48
上海	0.76	0.76	0.77	0.78	0.77	0.74	0.74	0.73	0.73	0.74	0.73	0.73	0.74
江苏	0.87	0.88	0.91	0.91	0.92	0.92	0.96	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98
浙江	0.82	0.84	0.84	0.85	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90
安徽	0.75	0.77	0.76	0.75	0.78	0.83	0.85	0.86	0.87	0.88	0.91	0.92	0.77
福建	0.63	0.75	0.75	0.79	0.81	0.82	0.81	0.81	0.80	0.81	0.81	0.79	0.81
江西	0.70	0.70	0.68	0.49	0.59	0.61	0.65	0.69	0.68	0.71	0.78	0.84	0.75
山东	0.82	0.84	0.84	0.86	0.87	0.88	0.89	0.87	0.87	0.85	0.87	0.88	0.90
河南	0.76	0.72	0.71	0.78	0.78	0.81	0.81	0.83	0.84	0.87	0.90	0.91	0.74
湖北	0.64	0.66	0.63	0.78	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90	0.90	0.93	0.75
湖南	0.64	0.67	0.70	0.74	0.73	0.71	0.75	0.78	0.78	0.77	0.82	0.75	0.81
广东	0.77	0.83	0.91	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00
广西	0.40	0.47	0.57	0.39	0.50	0.47	0.55	0.61	0.62	0.63	0.66	0.68	0.70
海南	0.36	0.37	0.34	0.30	0.38	0.44	0.47	0.50	0.51	0.52	0.45	0.46	0.50
重庆	0.63	0.62	0.70	0.69	0.76	0.77	0.77	0.76	0.80	0.77	0.77	0.76	0.72
四川	0.61	0.62	0.60	0.40	0.42	0.47	0.49	0.56	0.55	0.60	0.62	0.65	0.78
贵州	0.29	0.34	0.36	0.38	0.46	0.57	0.67	0.76	0.76	0.69	0.64	0.58	0.61
云南	0.35	0.47	0.58	0.29	0.25	0.29	0.55	0.60	0.60	0.61	0.60	0.58	0.57
西藏	0.00	0.21	0.38	0.27	0.32	0.16	0.16	0.29	0.19	0.16	0.23	0.23	0.20
陕西	0.62	0.63	0.69	0.66	0.73	0.74	0.75	0.77	0.77	0.80	0.84	0.85	0.72
甘肃	0.31	0.32	0.31	0.28	0.31	0.37	0.44	0.43	0.46	0.47	0.46	0.42	0.47
青海	0.33	0.27	0.25	0.23	0.21	0.22	0.17	0.23	0.41	0.39	0.31	0.26	0.24
宁夏	0.13	0.19	0.22	0.21	0.25	0.31	0.37	0.42	0.42	0.45	0.43	0.37	0.40
新疆	0.16	0.15	0.18	0.34	0.43	0.40	0.41	0.51	0.51	0.53	0.49	0.45	0.48

图9为全国及东、中、西部地区韧性综合测度值的分布情况。从图9(a)中可见，全国创新韧性分布重心不断右移，揭示了各地韧性水平的稳步提升；全国创新韧性在2010—2016年期间存在双峰情况，说明此期间各省份韧性水平差异较大，但在16年之后低峰值逐渐平缓，反映了中国区域发展不平衡状况有所改善，但全国韧性分布的左拖尾的现象说明仍有一些地区的韧性水平相对较低。

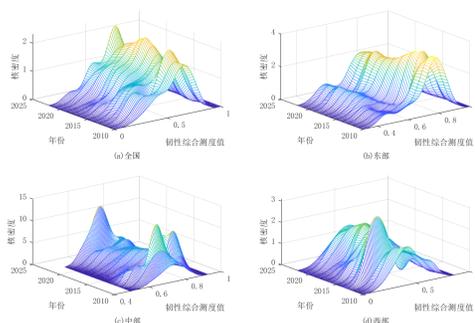


图9 全国韧性综合测度值动态演进

图9(b)—(d)是东、中、西部地区创新韧性动态演进图，对比发现，东部地区韧性水平整体较高，西部地区则普遍偏低。但值得注意的是，西部地区韧性水平重心分布呈现显著的右移趋势，表明其正保持着持续改善的良好发展态势；中部地区的韧性水平变化幅度更大，但集中趋势明显，大致集中在0.75左右，且未出现明显的拖尾现象，说明中部地区在韧性建设方面相对均衡。

(四) 创新生态系统韧性空间特征

在探讨创新生态系统韧性的空间特性时，本研究聚焦于对各省份韧性强度、协调性以及综合测度值的分类分析。最终如图10所示可将韧性情况分为4类。

表5 各省市自治区创新生态系统韧性分类情况

类别	名称	包含省份
1	稳健增长区	山西、重庆、陕西、吉林、上海、北京、江西、河北、湖南、福建、辽宁
2	发展瓶颈区	云南、贵州、广西、四川、天津、新疆、海南、黑龙江
3	优势突出区	安徽、山东、广东、江苏、河南、浙江、湖北
4	劣势明显区	内蒙古、宁夏、甘肃、西藏、青海

1. 稳健增长区：该类区域的韧性保持较好的水平，发展势头

强劲，如上海、北京等。针对此类地区，应继续发挥长板优势，寻求进一步向优势突出区的转化。

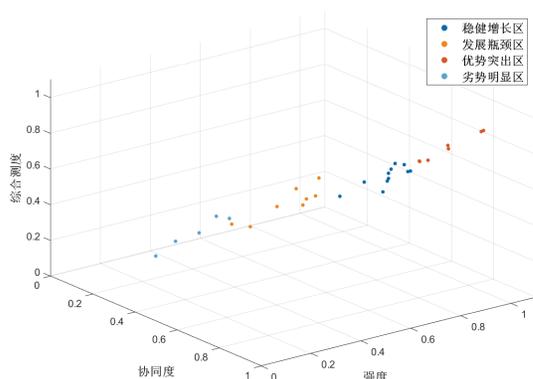


图10 各省市自治区历年均值的聚类结果

2. 发展瓶颈区：该类区域的韧性发展过程中经历不同程度的波动，尤其在某些维度上存在显著不足，如新疆、黑龙江等在某些年份的特定指标上表现不佳。针对此类地区，应精准识别问题所在，采取针对性措施。

3. 优势突出区：该类区域的韧性始终保持高水平，且不存在明显的短板，多为经济发达、创新生态体系完善的东南沿海地区，如广东、浙江等。针对此类地区，应持续探索创新模式，加强区域间的合作与交流，带动周边地区协同发展。

4. 劣势明显区：该类区域的韧性总体较低，主要集中在西部地区，如内蒙古、西藏等。针对此类地区，应根据地区特色，因地制宜发掘各地的潜在优势，优先取得某些维度的单点突破，以点带面促使整个地区的持续发展。

### (五) 创新生态系统韧性动态预警

基于创新生态系统韧性预警模型，本研究对各地区的韧性警

戒度及警情状态进行了评估。图11为韧性警戒度的变化趋势，图中的面积大小对应于各年份的警戒度水平，颜色则对应年平均警戒度，越接近红色表示其平均警戒度越高。

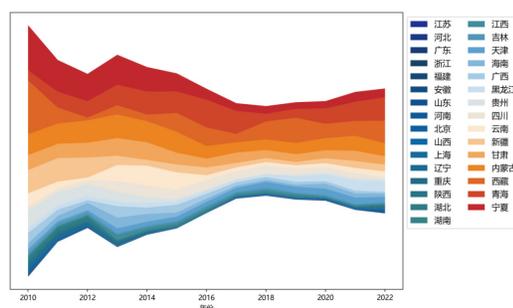


图11 韧性警戒度变化态势

从整体上看，中国创新生态系统的韧性警戒度在2010至2018年间呈现下降趋势，反映出该时期内系统韧性的整体提升，这得益于国家在科技创新上的持续投入和扶持，以及市场机制和知识产权保护机制的逐步成熟。然而，2019年起警戒度的上升揭示了潜在的风险和挑战。为维持创新生态系统的健康和韧性，建议持续深化科技创新体制改革，并提升创新主体的核心竞争力。

在对中国各省份创新生态系统韧性警戒度的分析中，发现内蒙古、宁夏、新疆等边疆省份始终维持在较高水平，其创新生态系统的稳定性可能面临更多挑战，需要着重关注，并采取加大科技创新财政支持力度、优化区域创新资源配置、加强人才培养与引进、改善科技创新环境等措施提升其韧性。

结合创新系统韧性警情状态的变化态势，可以划分为三类处理措施，选择代表年份展示各地区创新韧性警戒度及处理措施，具体见表6：

表6 代表年份创新系统韧性警戒度及处理措施

地区	2010	2013	2016	2019	2022	处理措施
内蒙古	4.53%	5.11%	2.74%	2.44%	2.78%	亮牌警告!
西藏	11.65%	1.98%	4.02%	5.45%	4.90%	亮牌警告!
青海	2.20%	4.45%	6.00%	1.92%	5.09%	亮牌警告!
天津	0.72%	1.06%	0.85%	1.24%	1.20%	密切关注 **
甘肃	3.24%	3.82%	1.89%	1.67%	1.82%	密切关注 **
宁夏	9.80%	6.52%	2.41%	1.46%	1.91%	密切关注 **
云南	2.98%	3.46%	1.09%	0.75%	1.30%	密切关注 **
黑龙江	0.95%	0.96%	0.68%	1.29%	2.26%	密切关注 **
江西	0.08%	1.02%	0.39%	0.32%	0.13%	密切关注 **
广西	2.25%	2.46%	1.07%	0.64%	0.35%	密切关注 **
海南	1.23%	2.34%	0.68%	0.41%	0.68%	密切关注 **
四川	0.79%	2.43%	2.06%	1.39%	0.49%	密切关注 **
贵州	3.90%	2.09%	0.18%	0.17%	0.39%	密切关注 **
新疆	5.00%	2.00%	1.67%	0.72%	1.46%	密切关注 **
北京	0.26%	0.05%	0.03%	0.06%	0.12%	常规监测 ---
上海	0.10%	0.06%	0.11%	0.16%	0.20%	常规监测 ---
江苏	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	常规监测 ---

浙江	0.04%	0.03%	0.03%	0.02%	0.01%	常规监测 ---
安徽	0.07%	0.09%	0.02%	0.01%	0.19%	常规监测 ---
福建	0.25%	0.01%	0.01%	0.03%	0.03%	常规监测 ---
山东	0.06%	0.04%	0.02%	0.12%	0.05%	常规监测 ---
河南	0.05%	0.02%	0.05%	0.02%	0.27%	常规监测 ---
湖北	0.78%	0.15%	0.04%	0.02%	0.34%	常规监测 ---
湖南	0.62%	0.19%	0.22%	0.31%	0.15%	常规监测 ---
广东	0.17%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	常规监测 ---
重庆	0.42%	0.26%	0.07%	0.10%	0.23%	常规监测 ---
辽宁	0.36%	0.36%	0.04%	0.01%	0.01%	常规监测 ---
河北	0.01%	0.00%	0.01%	0.04%	0.03%	常规监测 ---
陕西	0.64%	0.35%	0.12%	0.07%	0.26%	常规监测 ---
山西	0.71%	0.02%	0.01%	0.01%	0.10%	常规监测 ---
吉林	0.64%	0.35%	0.44%	0.28%	0.29%	常规监测 ---

1. 亮牌警告：内蒙古、西藏、青海。以上省份创新生态系统韧性经历过且仍处于警示状态。对于这些省份，建议立即采取行动，进行全面的评估和干预，采取包括加大政策支持、加强人才培养和引进等紧急措施，以迅速降低警戒度。

2. 密切关注：天津、黑龙江、江西、广西、海南、四川、贵州、云南、甘肃、青海、宁夏、新疆。以上省份均经历过警示状态，但近几年保持安全状态。建议提高监测频率，了解导致警戒度上升的具体原因，并制定相应的策略。

3. 常规监测：北京、上海、江苏、浙江、安徽、福建、山东、河南、湖北、湖南、广东、重庆、辽宁、河北、陕西、山西、吉林。以上省份韧性一直处于安全状态。建议定期检查创新生态系统的健康状况，以应对潜在的风险。

#### 四、研究结论与政策意见

本文基于 CAS 视角，以创新生态系统的理论内涵和层次结构为切入点，识别了创新生态系统在 CAS 框架下的七个基本属性，构建出包含聚集性、多样性、流动性、进化性、适应性的五维韧性特征，进一步基于韧性强度和协同度双指标，设计了创新韧性监测体系与动态预警模型。通过对 2010—2022 年中国 31 个省市自治区的韧性水平进行测算可知，现阶段中国创新生态系统的韧性呈现以下特点：

**（一）各地区韧性强度均呈现出波动型增长态势，建设水平不断提高。**

从韧性强度的排名情况来看，2010—2018 年江苏省始终保持领先地位，而 2018 年以后广东省则位居第一，江苏省、浙江省、山东省分别位列第二位、第三位、第四位且近四年来排名保持一致，排名下降最多的地区分别是北京市、黑龙江省、上海市，需重点关注。

**（二）韧性强度呈现“两高两低”分布态势，不同地区间存在显著差异。**

从全国范围来看，四大经济区域在韧性各维度上体现出多层次、非均衡的发展现状，东、中部地区始终处于领先地位，而东北和西部地区存在明显短板；从地区层面来看，2022 年中国各地区韧性强度得分存在较大差异，空间分布的不平衡性可能会对中国创新生态系统的发展产生一定影响；从韧性协同度得分来看，韧性强度较高的地区通常也表现出较高的韧性协同度，可见二者相辅相成，均衡发展才能充分发挥稳健的竞争优势。

**（三）近年来各地区创新韧性综合水平稳步增长，区域发展不平衡状况有所改善，但弱势地区建设仍需加强。**

韧性动态演进历程显示，“双峰”情况不断减弱，但“左拖尾”现象仍然存在，对此“稳健增长区”和“优势突出区”要保持稳步均衡发展，而“发展瓶颈区”和“劣势突出区”需着力探究破局之道，补足短板，发掘潜在优势。

**（四）中国创新生态系统大体上处于安全状态，“劣势明显区”各地警戒度始终维持在较高水平。**

从警情变化来看，中国创新生态系统的韧性警戒度呈现先下降后上升趋势，分割点在 19 年附近，可能受疫情冲击，但大体上处于安全状态。处于警示状态的地区（内蒙古、西藏、青海）需加强监测，采取分类响应措施。

基于以上结论，本文提出以下政策建议：

**（一）各省市自治区应该坚持创新驱动发展，加快创新生态系统建设。**

各级政府应积极引导和推动创新生态系统的构建与完善，通过宏观调控能力加强创新主体间的合作与交流，实现资源的优化配置以及产学研的协同创新，从而保障创新活动的持续性和稳定性，为经济社会持续健康发展提供强大动力。

**（二）强化区域协调发展政策，优化创新生态体系建设。**

针对韧性强度“两高两低”分布态势，制定和实施区域协调

发展战略，加大对东北和西部地区的支持力度，促进资源合理分配，缩小地区间发展差距，鼓励各地区构建多元化的产业结构，以增强创新生态系统的整体韧性。

### （三）实施差异化政策支持，推动跨区域合作与交流。

对于韧性水平较低的地区，提供针对性的政策支持，如税收优惠、财政补贴、人才引进等，同时加大基础设施投入，鼓励

东、中部地区与东北、西部地区开展跨区域合作，通过资源共享、技术转移、人才交流等方式，提升创新能力和韧性。

### （四）建立韧性监测与预警机制，定期评估，及时调整。

建立全国性的创新生态系统韧性监测体系，定期评估各地区创新韧性水平，并根据监测结果，及时发现问题并调整和完善相关政策，优化政策执行。

## 参考文献

- [1]Iansiti, M., & Levien, R. (2004). Strategy as ecology. *Harvard Business Review*, 82(3), 68-81.
- [2]Zahra, S. A., & Nambisan, S. (2011). Entrepreneurship in global innovation ecosystems. *Academy of Marketing Science Review*, (1), 4-17.
- [3]任雪萍, 黄志斌. 国家创新体系建设的生态化审视 [J]. *自然辩证法研究*, 2008(11): 106-110.
- [4]史庭怡. 创新生态视角下的产业创新问题研究 [D]. 复旦大学, 2009.
- [5]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.
- [6]惠兴杰, 李晓慧, 罗国锋等. 创新型企业生态系统及其关键要素——基于企业生态理论 [J]. *华东经济管理*, 2014, 28(12): 100-103.
- [7]冉奥博, 刘云. 创新生态系统结构、特征与模式研究 [J]. *科技管理研究*, 2014, 34(23): 53-58.
- [8]杨荣. 创新生态系统的界定、特征及其构建 [J]. *科学与管理*, 2014, 34(03): 12-17.
- [9]陈畴镛, 胡泉峰, 周青. 区域技术创新生态系统的小世界特征分析 [J]. *科学管理研究*, 2010, 28(05): 17-20+30.
- [10]农添珍. 广西北部湾经济区技术创新生态系统适宜度评价研究 [D]. 广西大学, 2013.
- [11]苏屹, 姜雪松, 雷家驊等. 区域创新系统协同演进研究 [J]. *中国软科学*, 2016(03): 44-61.
- [12]唐开翼, 欧阳娟, 甄杰等. 区域创新生态系统如何驱动创新绩效? ——基于31个省市的模糊集定性比较分析 [J]. *科学学与科学技术管理*, 2021, 42(07): 53-72.
- [13]张立岩. 区域科技创新平台生态系统发展模式与机制研究 [D]. 哈尔滨理工大学, 2017.
- [14]朱晓霞. 区域创新系统中的“区域边界”问题研究 [J]. *科技进步与对策*, 2008(09): 24-27.
- [15]Li, J.-B., & Zhang, R. (2020). Summary of regional innovation ecosystem research. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 565(1), 012113.
- [16]梁林, 赵玉帛, 刘兵. 国家级新区创新生态系统韧性监测与预警研究 [J]. *中国软科学*, 2020, (07): 92-111.
- [17] [美]约翰·H. 霍兰著. 隐秩序：适应性造就复杂性 [M]. 上海科技教育出版社, 2000.
- [18]Ritala, P. (2017). In defense of ‘eco’ in innovation ecosystem. *Technovation*, 60-61, 39-42.
- [19]孙静林, 穆荣平, 张超. 创新生态系统价值共创：概念内涵、行为模式与动力机制 [J]. *科技进步与对策*, 2023, 40(02): 1-10.
- [20]查成伟, 陈万明, 唐朝永, 等. 区域人才聚集预警模型研究——以江苏省为例 [J]. *科技进步与对策*, 2014, 31(16): 152-156.
- [21]梁林, 赵玉帛, 刘兵. 国家级新区创新生态系统韧性监测与预警研究 [J]. *中国软科学*, 2020, (07): 92-111.