

# 创新链视角下高技术产业创新韧性及其空间网络结构分析

张慧, 刘家树, 崔书会

(安徽工业大学商学院, 安徽马鞍山 243032)

**摘要:** 结合创新和韧性理论, 基于创新链视角构建高技术产业创新韧性评价指标体系, 以 1997—2020 年中国 30 个省(区、市)为样本, 采用熵权-TOPSIS 模型对高技术产业创新韧性进行综合测度, 并采用社会网络分析法和修正引力模型, 探究其空间关联网络特征及其驱动因素。结果表明: 高技术产业创新韧性的空间关联日趋紧密, 网络关联数和网络密度呈阶段性小幅波动, 网络等级度较为稳定; 空间网络结构呈现“核心-边缘”特征, 东部处于核心位置, 而中、西部在网络中处于边缘位置; 产业结构升级、研发投入和产业化能力等因素显著影响高技术产业创新韧性的形成与演变。根据研究结论, 提出政策建议: 以整体观推动各省(区、市)要素协同、技术协同、产业协同, 推动区域协同创新发展; 发挥核心区域和边缘区域自身优势, 促进各区域协调发展; 发挥空间溢出效应, 促进区域高技术产业创新韧性增强; 优化创新环境, 提高资源配置效率。

**关键词:** 创新链韧性; 空间关联网络; 社会网络分析; 二次指派程序; 高技术产业

**中图分类号:** F 424.3 **文献标志码:** A **doi:** 10.12415/j.issn.1671-7872.23147



## An Analysis of High-tech Industry Innovation Resilience and Its Spatial Network Structure from the Perspective of Innovation Chain

ZHANG Hui, LIU Jiashu, CUI Shuhui

(School of Business, Anhui University of Technology, Maanshan 243032, China)

**Abstract:** Based on the theory of innovation and resilience, an evaluation index system of high-tech industry innovation resilience was constructed from the perspective of innovation chain, taking 30 provinces (regions and cities) of China as a sample from 1997 to 2020, the entropy weight and TOPSIS model was used to comprehensively measure the high-tech industries innovation resilience, and the social network analysis method and the modified gravity model were used to explore the characteristics and driving factors of its spatial association network. The results show that the spatial correlation of the resilience of the high-tech industry innovation chain is getting closer and closer, the number of network connections and the density of the network fluctuate slightly in phases, and the degree of the network is relatively stable. The structure of spatial network shows the characteristic of “core-edge”, with the east in the core position and the middle and west in the edge position factors such as industrial structure upgrading, R&D investment and industrialization capability significantly affect the formation and evolution of high-tech industry innovation chain resilience. Based on the research conclusions, policy recommendations are put

收稿日期: 2023-10-07

基金项目: 国家社会科学基金重点项目(22AJL002); 安徽省哲学社会科学规划一般项目(AHSKY2022D107)

作者简介: 张慧(1998—), 女, 安徽宿州人, 硕士生, 主要研究方向为科技金融。

通信作者: 刘家树(1975—), 男, 安徽六安人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为技术创新管理。

引文格式: 张慧, 刘家树, 崔书会. 创新链视角下高技术产业创新韧性及其空间网络结构分析[J]. 安徽工业大学学报(自然科学版), 2024, 41(3):328-341.

forward as follows: foster provincial (district and municipal) synergy in factors, technology, and industries with an overarching perspective, driving regional collaborative innovation; leverage the inherent strengths of core and peripheral regions to promote balanced development across all areas; harness spatial spillover effects to enhance the resilience of regional high-tech industry innovation chain; and optimize the innovation environment to boost resource allocation efficiency.

**Keywords:** innovation chain resilience; spatial correlation network; social network analysis; quadratic assignment procedure; high-tech industry

《国家创新驱动发展战略纲要》指出,通过构建跨区域创新网络,打造区域协同创新共同体,提升区域核心创新能力。在以创新为导向的发展战略中,高技术产业技术对区域创新能力有明显的促进作用<sup>[1]</sup>,提升其持续创新能力尤为重要。然而,在地缘政治不稳定、关键技术“卡脖子”等冲击下,高技术产业链存在“一剑封喉”风险;同时,高技术产业创新过程具有高投入、高风险、收益不确定性等特征,极易受到资源投入约束与外部环境因素制约<sup>[2]</sup>。全球竞争前锋是创新角逐,而创新角逐的本质是创新链博弈。高技术产业发展水平关键取决于其创新链的竞争能力,某个节点发生风险,均可能导致创新链断裂。这就要求创新链各主体强化协作,保障各创新环节紧密联系,促进创新过程顺畅进行<sup>[3]</sup>。高技术产业创新链功能演化必须适应外部系统环境变化,区域性制度分割和要素配置孤岛化等因素极易引致创新链韧性治理窘境<sup>[4]</sup>,需要不同主体跨区域协作,促进知识流动、信息共享、协同攻关,提升创新链的衔接与整体运行效能。且科技创新资源分布与高技术产业网络结构具有很强的空间相似性<sup>[5]</sup>,提升资源配置效率、技术效率、产品质量等是强化高技术产业创新链韧性的重要路径<sup>[6]</sup>。

目前,学者们基于创新链的内涵与特征<sup>[7]</sup>、创新链阶段划分<sup>[8]</sup>、创新链的竞争力评价<sup>[9]</sup>以及创新链价值创造过程<sup>[10]</sup>等方面进行了探究,随着研究的深入,创新链与供应链、产业链等的关系受到广泛关注。Oke等<sup>[11]</sup>认为创新链是供应链合作伙伴为提升创新能力形成的链条关系;刘家树等<sup>[12]</sup>认为创新链与资金链融合影响经济高质量发展;黄莉芳等<sup>[13]</sup>认为全球价值链与全球创新链的双链关系对制造业增长产生影响;黄瑶等<sup>[14]</sup>在提出产业链与创新链融合思路的基础上,认为产业创新链构建的实质是强化信息在产业链各个环节的扩散,以及环境与各主体之间的高效率互动。同时,曲冠楠等<sup>[15]</sup>结合创新链边界及其共识,研究认为创新链是一个动态过程,在这一过程中,企业利用其内部和外部资源进行互动,

通过多节点主体和要素的共同参与,沿着创新链创造价值并实现可持续的竞争优势。

韧性概念来源于材料学领域,随着社会各界的普遍关注,区域韧性的研究逐步扩展到经济、社会、环境等领域。创新作为发展的第一动力,是经济社会实现高质量发展的强大支柱。然而,基于内外部各种不确定性冲击,保持创新链韧性尤为重要。可持续创新能力<sup>[16]</sup>、环境变化<sup>[17]</sup>、资金连续性累积性<sup>[18]</sup>、人才储备、科技服务有效供给和政策集成性<sup>[19]</sup>等均影响创新链韧性。同时,主体间的信任程度、双方关系、沟通有效性等<sup>[20]</sup>对创新链韧性也产生影响。

高技术产业作为创新最活跃的领域,不仅是国民经济的战略性先导产业,而且在世界科技创新中具有重要地位。学者对其研究聚焦在增强高技术产业创新能力和增加高技术产业出口两方面。首先,基于高技术产业自身角度,企业规模<sup>[21]</sup>、数字化转型和校企合作<sup>[22]</sup>等对提升高技术产业成果转化能力以及创新能力均有重要影响。其次,在高技术产业出口方面,服务贸易协定条款深度<sup>[23]</sup>、东道国知识产权保护和高技术产业集聚<sup>[24]</sup>等都会影响出口效率,进而影响我国高技术产业出口贸易竞争力以及创新进程。然而,一方面,高技术产业创新过程具有高投入、高风险、收益不确定性等特征,极易受到资源投入约束与外部环境因素制约;另一方面,高技术产业创新是创新链各个节点环环相扣,相互影响的过程。因此,增强高技术产业创新链系统能够借助区域协作形成合力以应对外部冲击的抵抗能力,以及通过适应转型恢复到冲击前的发展路径,甚至转换到更优发展路径的恢复能力以及转型能力尤为重要。

创新要素在空间流动可使资源配置得到优化,促进形成创新合作网络<sup>[25]</sup>。如采用建立和发展外部联系的方式引导能力或知识流入<sup>[26]</sup>,加速知识的空间传播,并促进其在区域间扩散<sup>[27]</sup>,从而进一步提升区域创新能力。可见,创新链韧性空间网络结构对增强区域创新能力,促进经济发展具有重要的作用。

学者将空间因素引入到韧性相关研究中,王松茂等<sup>[28]</sup>使用核密度估计等方法探究城市生态韧性的演进规律和时空差异;黄杰等<sup>[29]</sup>分析多个城市群经济韧性的分布特征和空间差异,发现他们均呈多极或两极化特征。

综上所述,关于韧性的研究不断拓展,但相对缺乏涵盖创新各环节的韧性测度及其驱动因素分析;在研究方法上多采用指标系统评价法、空间分析法,鲜见网络结构特征与社会网络分析法的综合运用。基于此,选择创新链的视角,开展高技术产业创新韧性空间关联网络系统性研究,构建高技术产业创新链韧性评估框架,借助熵权-TOPSIS模型、修正引力模型、社会网络模型等,测度分析高技术产业创新链韧性,探析高技术产业创新链韧性的空间关联网络结构特征及其驱动因素,为提升高技术产业的持续创新能力提供政策借鉴,助力推动高质量发展在我国高技术产业中实现。

## 1 研究设计

### 1.1 数据来源

选取1997—2020年中国除西藏和港澳台地区以外的其他30个省(区、市),基于创新链视角对其高技术产业创新韧性进行研究。其中,高技术产业创新链韧性各阶段测度需要的相关指标数据,如地区生产总值(gross domestic product, GDP)和高技术产业技术市场成交额来自国家统计局,其他来自《中国高技术产业统计年鉴》。由于2017年《中国高技术产业统计年鉴》数据缺失,相应指标数据采用插值法补齐。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 韧性测度

创新链韧性注重创新链系统对冲击的积极应对以及减轻负面影响并快速恢复的能力,侧重间隔期内各指标相较于基期的变化。然而,创新链作为链式结构,所谓“牵一发而动全身”,因此需考虑节点中各创新主体的变化及相互影响。基于此,对其测度既要囊括指标变化,又要突出链式结构。熵权法能够有效克服主观性对指标权重设定的干扰<sup>[30]</sup>;TOPSIS模型通过比较评价对象与理想点之间的相对距离,进而作逼近理想解的量化排序,熵权-TOPSIS模型能够在客观赋权创新链各阶段指标的基础上实现对变化差异的度量,故文中采用熵权-TOPSIS模型对中国30省(区、市)高技术产业创新链韧性进行测度,具体计算过程如下:

1) 数据标准化。对各指标去量纲化处理,得到第 $t$ 年 $i$ 省(区、市)第 $j$ 项指标 $x_{tij}$ ;  $x'_{tij} = \frac{x_{tij} - \min x_{tj}}{\max x_{tj} - \min x_{tj}}$ ,为各指标数据标准化的值。

2) 求各指标的信息熵。设第 $j$ 项指标的比重 $z_{tij} = x'_{tij} / \sum_t \sum_i x'_{tij}$ ,则第 $j$ 项指标的信息熵 $e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_t \sum_i z_{tij} \ln z_{tij}$ 。

3) 求各指标的差异系数。通过信息熵计算各指标的差异系数 $d_j = 1 - e_j$ ,以此测度第 $j$ 项指标的变化情况。

4) 确定各指标的权重。通过差异系数计算各指标的权重 $w_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j$ 。

5) 计算创新链韧性。在上面各步骤的基础上,得到各省(区、市)高技术产业创新链韧性 $R_{it} = \sum_j w_j x'_{tij}$ 。

#### 1.2.2 数据处理

社会网络分析法的基础是“关系数据”,研究的关键是区域间高技术产业创新链韧性空间关联关系的确定。考虑到研究高技术产业创新链韧性网络的动态演化特征,采用修正引力模型并将其改进,基本引力模型<sup>[27]</sup>为

$$F_{uv} = k \frac{M_u M_v}{D_{uv}^b} \quad (1)$$

式中: $F_{uv}$ 为地区 $u$ 和 $v$ 之间的引力; $M_u$ ,  $M_v$ 分别为地区 $u$ ,  $v$ 的质量; $D_{uv}$ 为地区 $u$ 和 $v$ 之间的距离; $b$ 为距离衰减系数; $k$ 为经验常数。

为增强引力模型在高技术产业创新链韧性空间关联网络研究中的适用性,对其进行修正。本文的研究对象是区域间高技术产业创新链韧性的关联关系,需确定衡量高技术产业创新链韧性“质量”的指标。高技术产业创新链作为链式结构,在充分考虑创新链各节点特征的基础上,结合韧性概念,分别基于抵抗能力、恢复能力和转型能力构建指标体系衡量高技术产业创新链韧性质量( $M_u$ ,  $M_v$ );用各省会(直辖市)之间的直线地理距离表示两地区之间距离( $D_{uv}$ );距离衰减系数一般取2;经验常数用地区 $u$ 的高技术产业创新链韧性( $R$ )与地区 $u$ 和 $v$ 的高技术产业创新链韧性之和的比重修正。借鉴邵汉华等<sup>[31]</sup>修正的引力模型,结合研究需要,修正引力模型以确定各省(区、市)高技术产业创新链韧性的空间关联关系,计算公式如下:

$$F_{uv} = k_{uv} \frac{R_u R_v}{D_{uv}^2} \quad (2)$$

$$k_{uv} = \frac{R_u}{R_u + R_v} \quad (3)$$

$$F(u, v) = \begin{cases} 0, & F_{uv} < f^* \\ 1, & F_{uv} > f^* \end{cases} \quad (4)$$

为防止微弱的创新链关联关系影响省(区、市)创新链韧性网络的整体分布,对省(区、市)间创新链联系矩阵的元素设定每行的阈值 $f^*$ (去除引力矩阵异常值的均值),利用式(4)将省(区、市)间创新链联系矩阵转化为二值矩阵。

### 1.2.3 社会网络分析

借鉴刘佳等<sup>[32]</sup>的做法,运用网络关联度、网络密度、网络效率和网络等级度分析高技术产业创新链韧性空间关联关系;利用度数中心度、中间中心度和接近中心度刻画个体网络结构特征;采用块模型分析各省(区、市)在高技术产业创新链韧性空间关联网络中的空间集聚特征,将其划分为净受益板块以及双向溢出板块,并对板块间的关联特征进行

分析;运用二次指派程序(quadratic assignment procedure, QAP),借鉴黄颖利等<sup>[33]</sup>方法,探析高技术产业创新链韧性网络结构的关键影响因素。

### 1.3 高技术产业创新链韧性评价指标的选取

Hansen等<sup>[34]</sup>提出了创新价值链的概念,将其划分为创意的产生、创意的发展和已开发概念传播三个阶段;Rothwell<sup>[35]</sup>将创新链划分为科学创意、研发、样品生产、制造及市场化销售五个阶段。创新过程需创新资源和要素的投入,还需企业、科研工作者、政府和中介机构等多主体协同合作,重点是创新成果如何实现产业化市场化<sup>[36]</sup>。因此,认为创新链是从创新投入到创新产出的全过程,包括创新基础、创新投入、创新成果及产业化4个阶段。选取创新活力和产业结构升级水平等指标衡量创新基础阶段能力;创新投入阶段的测度指标选择研发资金投入和研发人员投入;创新成果的测度指标为专利授权数、知识流动以及新产品销售收入;产业化能力的测度指标选取主营业务收入占比和新产品出口占比。具体指标与说明如表1。

表1 高技术产业创新链韧性评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of high-tech industry innovation chain resilience

目标层	准则层	一级指标	二级指标	指标解释	单位
高技术产业创新链韧性	抵抗能力	高技术产业创新基础	创新活力	高技术企业数	个
			产业结构升级水平	第三产业增加值占GDP比重	%
	恢复能力	高技术产业创新投入	研发资金投入	高技术产业研发投入/高技术产业主营业务收入	%
			研发人员投入	高技术产业R & D人员全时当量	人年
	转型能力	高技术产业创新成果	专利授权数	高技术产业有效发明专利数量	件
			知识流动	高技术产业技术市场成交额	万元
	恢复能力	高技术产业创新成果	新产品销售收入	高技术产业新产品销售收入	万元
			主营业务收入占比	高技术产业主营业务收入/GDP	%
	转型能力	高技术产业化能力	新产品出口占比	高技术新产品出口额/货物总出口额	%

### 1.4 高技术产业创新链韧性空间关联网络结构驱动因素的选取

影响高技术产业创新链韧性空间关联网络形成和演变因素多样。文中将高技术产业创新链韧性空间网络矩阵作为因变量,表1中的影响因素指标矩阵作为自变量,探究省际内部影响高技术产业创新链韧性网络形成的因素。其中,新技术在省(区、市)之间的吸收和扩散会受省际间创新活力水平的影响<sup>[37]</sup>;产业结构升级水平一定程度上决定高技术产业创新链韧性的抵抗能力和恢复能力;研发资金投入一定程度上决定创新领域和创新发展速度;研发人员投入存在较大的地区差异,会通过创新效率和创新领域影响高技术产业创新链韧性的空间关联

网络结构;专利授权数反映省(区、市)的创新能力;知识流动作为研究与试验发展(research and development, R&D)的重要组成部分,通过影响技术创新能力进而决定技术市场成交额<sup>[38]</sup>,是省际间技术市场情况和创新发展情况的综合表征;新产品销售收入是市场消费能力和创新能力双重作用的结果,有助于增强创新链韧性;主营业务收入占比反映省际间产品创新产生的盈利能力;新产品出口占比一定程度上反映新产品在国际上的竞争力,能够提升省(区、市)间的溢出效应,进而增强创新链韧性。此外,借鉴陈晓东等<sup>[39]</sup>对产业链韧性的相关研究,将创新链韧性评价指标根据其特性划分为抵抗能力、恢复能力和转型能力3个准则层。

概括来说,以高技术产业创新链韧性空间关联  $S$  为被解释变量,以 9 个影响因素为解释变量。其中:  $E$  为创新活力,以高技术企业数表示;  $U$  为产业结构升级水平,以第三产业增加值占 GDP 比重表示;  $I$  为研发资金投入,以高技术产业研发投入与主营业务收入之比表示;  $P$  为研发人员投入,以高技术产业 R&D 人员全时当量表示;  $G$  为专利授权数,以高技术产业有效发明专利数量表示;  $T$  为知识流动,以高技术产业技术市场成交额表示;  $O$  为新产品销售收入,以高技术产业新产品销售收入表示;  $M$  为主营业务收入占比,以高技术产业主营业务收入与 GDP 之比表示;  $N$  为新产品出口占比,以高技术新产品出口额与货物总出口额之比表示。构建 QAP 回归模型(式(5)),对高技术产业创新链韧性网络结构的关键影响因素进行分析。

$$S = f(E, U, I, P, G, T, O, M, N) \quad (5)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 时空演化特征分析

#### 2.1.1 时间演变

根据 1997—2020 年高技术产业创新链韧性均值变化的趋势特点,选取 1997, 2004, 2010, 2020 年 4 个时间截面,并依此分析时间演变特征。各省份高技术产业创新链韧性发展水平如表 2。由表 2 可看出:1997—2020 年我国高技术产业创新链韧性发展水平总体上有小幅度提升,但水平整体不高,高技术产业创新链韧性在 0.2 以下的省份比例占总体样本比例的 72.08%,处于不同程度的失调状态,且中西部<sup>①</sup>有较多地区处于失调状态,东部地区较少。

表 2 1997—2020 年各省份高技术产业创新链韧性发展水平  
Tab. 2 Resilience development level of high-tech industry innovation chains in various provinces from 1997 to 2020

地区	1997年	2004年	2010年	2020年
北京	0.524	0.450	0.420	0.379
天津	0.399	0.472	0.305	0.184
河北	0.171	0.062	0.059	0.125
山西	0.108	0.025	0.040	0.086
内蒙古	0.097	0.025	0.029	0.050
辽宁	0.376	0.153	0.105	0.105
吉林	0.152	0.067	0.052	0.083

续表

地区	1997年	2004年	2010年	2020年
黑龙江	0.212	0.065	0.167	0.117
上海	0.450	0.419	0.278	0.236
江苏	0.524	0.354	0.383	0.400
浙江	0.277	0.244	0.210	0.258
安徽	0.098	0.052	0.096	0.186
福建	0.381	0.266	0.179	0.150
江西	0.238	0.112	0.082	0.178
山东	0.316	0.190	0.167	0.182
河南	0.160	0.095	0.065	0.264
湖北	0.290	0.119	0.143	0.192
湖南	0.341	0.105	0.077	0.143
广东	0.651	0.601	0.686	0.726
广西	0.073	0.056	0.038	0.049
海南	0.133	0.066	0.081	0.103
重庆	0.126	0.106	0.075	0.179
四川	0.489	0.191	0.100	0.152
贵州	0.267	0.082	0.171	0.112
云南	0.089	0.052	0.061	0.049
陕西	0.452	0.200	0.144	0.145
甘肃	0.210	0.034	0.199	0.208
青海	0.102	0.058	0.106	0.035
宁夏	0.091	0.204	0.112	0.129
新疆	0.060	0.030	0.063	0.046
东部均值	0.382	0.298	0.261	0.259
中部均值	0.200	0.080	0.090	0.156
西部均值	0.187	0.094	0.100	0.105
全国均值	0.262	0.165	0.156	0.175

#### 2.1.2 空间差异

为直观地观察和比较各区域高技术产业创新链韧性发展水平的变化,使用折线图呈现东部、中部、西部和全国高技术产业创新链韧性发展趋势,如图 1。从图 1 可发现:东部地区的高技术产业创新链韧性发展水平最高,2012 年前西部高于中部,2012 年后中部高于西部;东部和中部、西部之间的发展水平差距较大,三大地区中只有东部的高技术产业创新链韧性发展水平在全国平均水平之上。结合表 2 可知,高技术产业创新链韧性的最高值为 2020 年广东省的 0.726,最低值为 2011 年青海省的 0.013,高技术产业创新链韧性差距较大。整体看来,我国各省份的高技术产业创新链韧性发展水平呈现“东部>中部>西部”的空间特征,说明我国高技术产业创新链韧性发展水平空间差异明显,区域差异大。

① 本文将 30 个省(市、区)划分为东、中、西三大地区。东部地区:北京、上海、广东、天津、河北、辽宁、江苏、浙江、福建、山东和海南;中部地区:山西、安徽、吉林、黑龙江、河南、江西、湖北和湖南;西部地区:内蒙古、重庆、四川、云南、广西、陕西、甘肃、贵州、青海、宁夏、新疆。

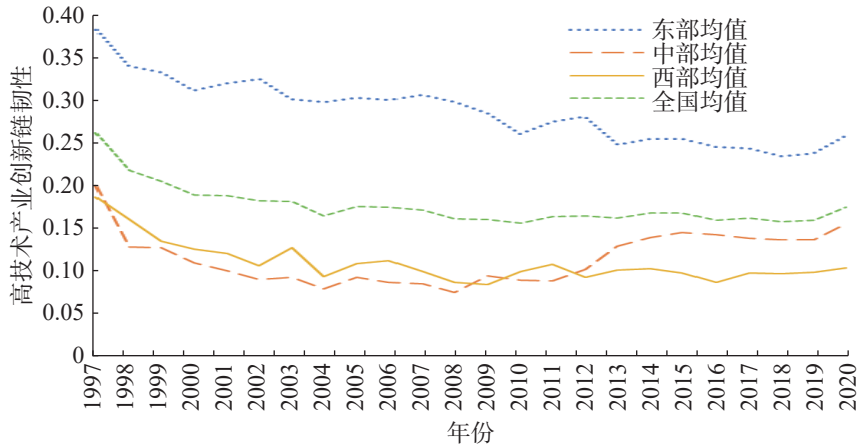
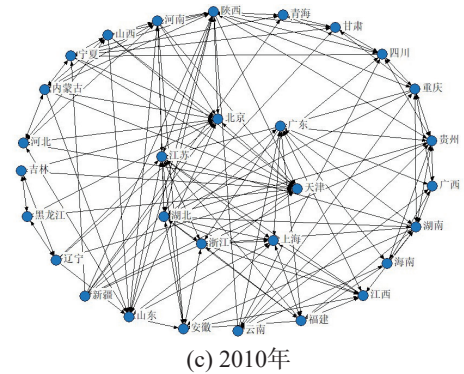


图 1 东部、中部、西部和全国高技术产业创新链韧性发展趋势

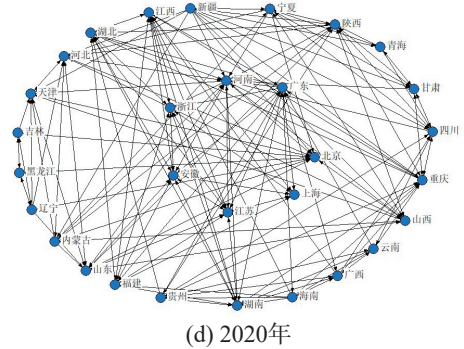
Fig. 1 Resilience development trend of high-tech industry innovation chain across eastern, central, western regions, and nationwide

2.2 整体网络特征分析

同样选取 1997, 2004, 2010, 2020 年 4 个时间截面, 采用 Ucinet 绘制中国区域高技术产业创新链韧性空间关联网图 (不含西藏、港澳台数据), 结果如图 2。图 2 表明: 高技术产业创新链韧性存在显著的空间关联性, 且整体网络关系日趋密切; 北京、上海、广东、江苏和天津与其他省 (区、市) 有更多的关联关系, 在高技术产业创新链韧性空间关联网体系中的中心位置, 而中、西部地区则与其他区域关联比较少, 在网络中居于边缘位置。



(c) 2010年

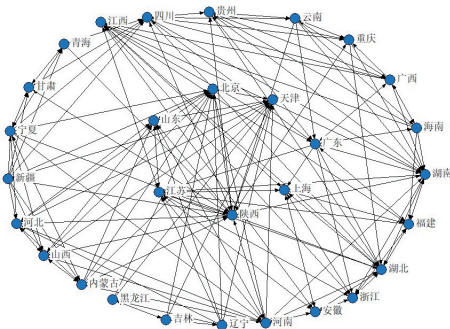


(d) 2020年

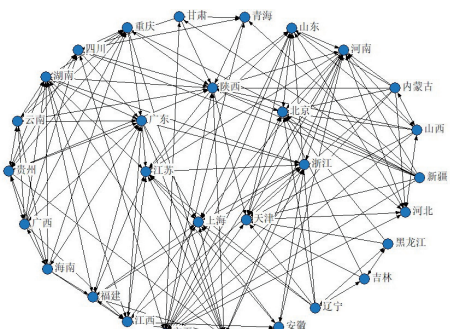
图 2 高技术产业创新链韧性空间关联网演变

Fig. 2 Evolution of spatial association networks in the resilience of high-tech industry innovation chain

图 3 为 1997—2020 年高技术产业创新链韧性空间关联网结构指标。由图 3(a) 可知: 区域高技术产业创新链韧性的空间网络关联数与网络密度在 1997—2020 年分别绕 206 和 0.236 9 上下波动, 1997, 2004, 2010, 2020 年的网络关联数分别为 209, 202, 200, 208, 对应的网络密度分别为 0.240 2, 0.232 2, 0.229 9, 0.239 1, 说明各省 (区、市) 高技术产业创新链韧性的空间关联关系比较稳定; 但网络关联数在 1997—2020 年最大值是 213, 理论上最大值是 870, 两者相差很大, 说明高技术产业创新链韧性的空间



(a) 1997年

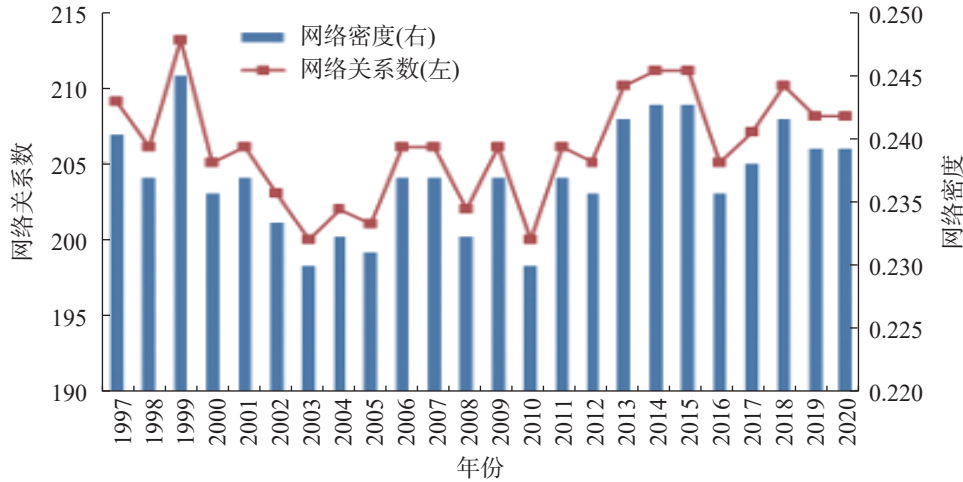


(b) 2004年

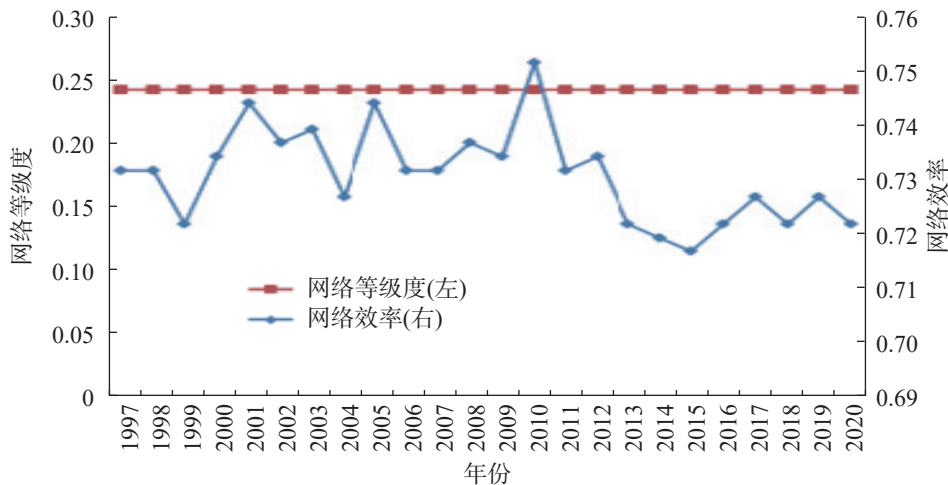
关联并非最佳状态,提升空间较大。

由图3(b)可知:高技术产业创新链韧性的空间网络关联度在1997—2020年始终是1,表明其网络稳健性较高,省际高技术产业创新链韧性联系非常紧密,有较显著的空间关联和空间溢出效应;网络等级度始终保持在0.2407不变,说明高技术产业创新

链韧性空间关联网中省(区、市)间可实现自主跨区域协同创新发展,且相互作用和联系较稳定;网络效率呈下降态势,网络效率由0.7315降至0.7217,即逐步降低网络冗余关系数,日益增加省际空间溢出关系数,不断提升网络稳定性。



(a) 网络密度与网络关系数



(b) 网络效率与网络等级度

图3 1997—2020年高技术产业创新链韧性的空间关联网结构指标

Fig. 3 Spatial association network structure indicators for the resilience of high-tech industry innovation chain from 1997 to 2020

### 2.3 节点网络特征分析

为探析各省(区、市)在高技术产业创新链韧性空间关联网中的作用及地位,分别采用度数中心

度( $C_1$ )、接近中心度( $C_2$ )和中间中心度( $C_3$ )对1997—2020年高技术产业创新链韧性空间关联网结构进行中心性分析,结果如表3。

表3 高技术产业创新链韧性空间关联网结构中心性分析

Tab. 3 Centrality analysis of spatial association network structure for the resilience of high-tech industry innovation chain

省(区、市)	1997年			2004年			2010年			2020年		
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
北京	75.862	45.313	11.804	44.828	28.431	19.046	58.621	40.845	41.873	51.724	28.713	28.075
天津	65.517	43.284	6.554	48.276	28.713	22.505	31.034	35.802	5.033	20.690	24.576	0.066

续表

省(区、市)	1997年			2004年			2010年			2020年		
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
河北	37.931	37.179	0.412	10.345	23.200	0	13.793	30.526	0.082	20.690	24.576	0.066
山西	27.586	35.802	0.082	6.897	23.016	0	10.345	30.208	0	17.241	24.167	0
内蒙古	20.690	34.940	0	6.897	23.016	0	3.448	29.592	0	3.448	22.835	0
辽宁	31.034	36.250	1.039	10.345	23.770	12.315	6.897	29.897	0	6.897	23.577	12.315
吉林	13.793	32.955	0	6.897	19.863	6.404	3.448	23.577	0	6.897	19.728	6.404
黑龙江	13.793	32.955	0	3.448	16.860	0	6.897	30.208	6.650	3.448	16.763	0
上海	55.172	41.429	0.860	41.379	27.103	4.523	34.483	36.250	1.970	34.483	26.852	0.868
江苏	65.517	43.284	3.064	44.828	27.358	5.840	44.828	37.662	6.152	51.724	28.155	5.322
浙江	44.828	39.726	0.041	37.931	26.852	3.716	27.586	35.366	1.046	37.931	27.103	1.219
安徽	44.828	39.726	0.041	13.793	22.481	0	20.690	34.524	0	34.483	26.852	0.542
福建	44.828	39.726	0.297	24.138	23.967	0	17.241	30.851	0	17.241	24.370	0
江西	48.276	40.278	0.082	24.138	23.967	0	24.138	31.522	0.255	31.034	25.664	0.286
山东	62.069	42.647	2.233	24.138	24.786	0.636	24.138	34.940	1.525	34.483	26.852	1.814
河南	51.724	40.845	0.729	20.690	25.000	0.166	13.793	31.522	0.000	55.172	28.431	8.471
湖北	58.621	42.029	1.408	31.034	26.364	1.705	27.586	35.366	1.298	34.483	26.852	0.872
湖南	55.172	41.429	0.903	24.138	23.967	0	13.793	30.526	0	27.586	25.439	0.148
广东	65.517	43.284	14.561	51.724	27.885	25.783	55.172	40.278	39.157	62.069	29.293	29.450
广西	6.897	31.183	0	3.448	22.308	0	3.448	29.293	0	3.448	23.200	0
海南	3.448	30.851	0	3.448	22.308	0	3.448	29.293	0	3.448	23.200	0
重庆	24.138	35.802	0	13.793	23.577	0.265	6.897	30.208	0	27.586	25.439	1.938
四川	62.069	42.647	7.871	13.793	23.577	0.265	3.448	23.967	0	10.345	23.967	0.164
贵州	34.483	37.179	2.209	10.345	22.656	0	13.793	30.851	13.054	6.897	23.387	0
云南	10.345	32.584	0	0	—	0	3.448	23.967	0	0	—	0
陕西	79.310	46.032	12.067	27.586	26.606	6.928	13.793	34.118	2.472	20.690	26.126	2.111
甘肃	17.241	34.940	0.246	3.448	20.000	0	13.793	30.851	6.773	17.241	24.370	7.147
青海	10.345	33.333	0	3.448	20.000	0	3.448	23.967	0	3.448	20.000	0
宁夏	13.793	34.524	0	17.241	24.370	6.928	6.897	30.208	0	10.345	24.576	1.345
新疆	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0
均值	38.161	38.350	2.217	19.080	24.000	4.089	17.011	31.593	4.245	21.839	24.824	3.621

### 2.3.1 度数中心度

1997—2020年,度数中心度均值浮动较大,1997年的均值最大,2004年与2010年有明显下降趋势,2020年有较大回升,表明各省(区、市)高技术产业创新链韧性与其他省(区、市)的空间关联数表现出先减后增的趋势,省际之间的联系越来越紧密。1997—2020年,北京、天津、江苏、广东和上海的度数中心度始终在全国均值之上,在高技术产业创新链韧性空间关联网中居于核心位置,表明东部沿海省(区、市)凭借地理位置、经济发展水平及科技

创新能力等综合优势而虹吸效应显著,和其他省(区、市)的空间关联较密切。而经济发展相对落后、科技创新能力不足以及地理位置比较偏远的中、西部地区在高技术产业创新链韧性的空间关联网中多居边界位置。

### 2.3.2 接近中心度

1997—2020年,接近中心度的均值呈现先下降后上升再下降趋势,各省(区、市)的接近中心度差异较小,多数省(区、市)的接近中心度总体上有所下降,说明省际高技术产业创新链韧性的联系还有

待进一步加强。超过均值的区域不仅有北京、上海、江苏、浙江、广东和天津等东部沿海省(区、市),还有陕西、湖北和山东这些有较大潜力并亟待发展壮大的省(区、市)。东部沿海区域经济发达且科技创新能力强,但在创新发展中需要的一些基础资源有赖于外省的支持;陕西、湖北和山东有一定的实力并致力于创新和发展,但总体创新能力有待进一步提高。因此,这些区域在创新过程中加强了与其他区域的联系,有强烈的创新合作意愿,并在网络中占据中心地位。山西、河北、辽宁和内蒙古等区域的接近中心度在全国均值之下且数值略有下降,说明这些区域获取要素资源的能力较弱,创新能力不强,在空间网络中处于被动地位。

### 2.3.3 中间中心度

1997—2010年期间各省(区、市)中间中心度差距不断加大,中间中心度区间整体呈现出扩大态势,2010—2020年期间各省(区、市)的中间中心度数值差距略有下降,中间中心度的区间范围呈缩小态势,

表明高技术产业创新链韧性的网络结构均衡程度略有提高。中间中心度均值整体从2.217升至3.621,北京、广东和江苏的中间中心度始终在均值之上,说明这3个省(区、市)对其他区域的高技术产业创新链韧性的空间关联关系有显著的控制及调节作用,是网络中的关键节点;云南、新疆、青海等省(区、市)的中间中心度始终居于最低水准,说明这些省(区、市)的高技术产业创新链韧性较低,在空间网络中处于边界地位,对其他区域的影响力较弱。

### 2.4 块模型分析

利用Ucinet软件中的CONCOR工具,选择最大深度为2、集中度为0.2的标准,将30个省(区、市)分为4个板块,对高技术产业创新链韧性空间关联网络进行块模型分析,结果如表4。高技术产业创新链韧性空间关联网络中关联关系共有208个,其中板块内部的关联关系数为134个,板块之间的关联关系数为74个,表明高技术产业创新链韧性空间关联及空间溢出效应在板块间较为显著。

表4 高技术产业创新链韧性空间关联板块划分

Tab. 4 Spatial sectoral segmentation of the resilience of high-tech industry innovation chain

板块	接收关系数		发出关系数		期望内部 关系比例/%	实际内部 关系比例/%	溢出强度	接收强度	板块属性
	板块内	板块外	板块内	板块外					
I	39	26	39	11	27.586	78.000	0.379	0.897	净受益
II	26	12	26	28	20.690	48.148	0.966	0.414	双向溢出
III	45	26	45	7	24.138	86.538	0.241	0.897	净受益
IV	24	10	24	28	17.241	46.154	0.966	0.345	双向溢出

注:不含西藏、港澳台数据。

具体来说,板块I和III属于“净受益”板块;板块II和IV属于“双向溢出”板块。板块I包括北京、天津、山东、河北、黑龙江、辽宁、吉林、河南和山西9个省(区、市),共接收关系65个,来自其他板块溢出的关系数为26个,发出关系数50个,向其他板块溢出关系数11个,实际内部关系比例为78%,期望内部关系比例为27.586%,在接收板块内部成员关系的同时也接收其他板块成员关系,但此板块对外发出关系数显著少于接收板块外部关系数,故该板块属于“净受益”板块。板块III包括江苏、湖南、浙江、湖北、江西、安徽、上海和福建8个省(区、市),在接收板块内部成员关系的同时也接收其他板块成员关系,但此板块对外发出关系数显著少于接收板块外部关系数,亦属于“净受益”板块。这17个省(区、市)中既有经济发达、科技创新能力较强的

北京、上海等区域,也有具有较大经济发展潜力的山东、湖北等区域,他们在实现创新发展的过程中凭借经济和地理优势,利用其他地区供给的资金、人力资本、知识、技术等资源要素,助力自身发展。

板块II包括内蒙古、青海、陕西、四川、宁夏、甘肃和新疆7个省(区、市),发出关系数54个,向其他板块溢出关系数28个,接收关系38个,来自其他板块溢出的关系数为12个,实际内部关系比例为48.148%,期望内部关系比例为20.690%,既接收其他板块溢出关系又向其他板块发出关系,但很少接收其他板块关系,故该板块属于“双向溢出”板块。板块IV包括云南、广东、贵州、海南、重庆和广西6个省(区、市),与板块II类似,板块IV既接收来自其他板块溢出的关系数又向其他板块发出关系数,但较少接收其他板块的关系数,故该板块亦属于

“双向溢出”板块。属于此类型板块的区域多是边界地区, 主要分布在中国的西部, 这些区域经济发展滞后, 资金、人力资本、知识、技术等资源要素匮乏, 创新能力不足。为了加速创新进程、增强抗风险能力, 这些区域需要与其周边区域建立合作关系。与此同时, 西部大开发等国家战略的实施, 促使资源向内输入及产业内部转移增加, 并依靠倾斜政策获取资源, 进而向创新能力强的区域提供要素支撑, 溢出

效应显著。

为进一步研究高技术产业创新链韧性板块之间的空间关联关系, 根据测算的高技术产业创新链韧性空间关联网络结构的密度 (0.239 1), 网络板块的网络密度在 0.239 1 之上时, 表示该板块的高技术产业创新链韧性相较于其他板块更强劲, 若板块密度大于该值记为 1, 否则记为 0, 由此得到像矩阵, 具体如表 5。图 4 为四大板块间的关联关系。

表 5 高技术产业创新链韧性空间关联板块的密度矩阵和像矩阵

Tab. 5 Density matrix and image matrix for spatial sectoral segments of the resilience of high-tech industry innovation chain

创新链韧性板块	密度矩阵				像矩阵			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
I	0.542	0.079	0.083	0	1	0	0	0
II	0.333	0.619	0.018	0.143	1	1	0	0
III	0.042	0	0.804	0.083	0	0	1	0
IV	0.037	0.167	0.396	0.8	0	0	1	1

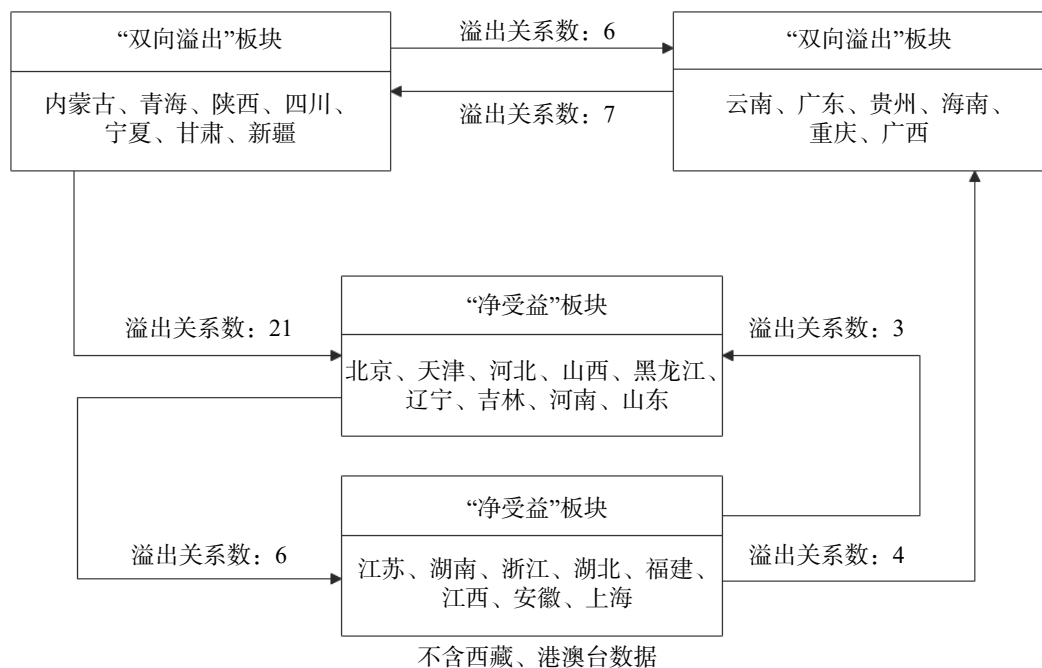


图 4 高技术产业创新链韧性板块关联关系

Fig. 4 Inter-sectoral relationship within the resilience of high-tech industry innovation chain

分析表 5 及图 4 可知: 不仅板块内部成员会产生影响, 各板块之间“关系传递性”明显, 联动效应紧密。板块 I 接收来自板块 II 的溢出关系, 板块 III 接收来自板块 IV 的溢出关系, 但板块 I 和 III 却发出溢出关系较少。可见板块 I 和 III 为典型的“净受益”板块, 其高技术产业创新链韧性的发展在很大程度上受到其他板块的溢出影响。板块 II 和 IV 分别向板块 I 和 III 发出溢出关系, 同时也向板块内部发送溢

出关系, 故为“双向溢出”板块。

## 2.5 影响因素分析

### 2.5.1 QAP 相关分析

表 6 为 1997—2020 年高技术产业创新链韧性空间关联网络结构影响因素的 QAP 相关分析结果。由表 6 可知: 1997—2020 年高技术产业创新链韧性空间关联网络结构与创新活力的相关系数为 0.868, 与产业结构升级水平的相关系数为 0.884, 与研发资

金投入的相关系数为 0.850, 与研发人员投入的相关系数为 0.853, 与专利授权数的相关系数为 0.835, 与知识流动的相关系数为 0.770, 与新产品销售收入的相关系数为 0.831, 与主营业务收入占比的相关系数

为 0.896, 与新产品出口占比的相关系数为 0.744, 且都通过了 1% 显著性水平检验。表明在 1997—2020 年, 高技术产业创新链韧性空间关联网络结构与这 9 个影响因素之间均存在一定相关性。

表 6 高技术产业创新链韧性空间关联影响因素的相关分析

Tab. 6 Correlation analysis of spatially associated influencing factors for the resilience of high-tech industry innovation chain

变量	<i>S</i>	<i>E</i>	<i>U</i>	<i>I</i>	<i>P</i>	<i>G</i>	<i>T</i>	<i>R</i>	<i>M</i>	<i>N</i>
<i>S</i>	1.000***	0.868***	0.884***	0.850***	0.853***	0.835***	0.770***	0.831***	0.896***	0.744***
<i>E</i>	0.868***	1.000***	0.802***	0.806***	0.951***	0.923***	0.821***	0.912***	0.890***	0.708***
<i>U</i>	0.884***	0.802***	1.000***	0.885***	0.776***	0.757***	0.710***	0.767***	0.862***	0.992***
<i>I</i>	0.850***	0.806***	0.885***	1.000***	0.773***	0.774***	0.759***	0.746***	0.851***	0.678***
<i>P</i>	0.853***	0.951***	0.776***	0.773***	1.000***	0.912***	0.799***	0.925***	0.862***	0.695***
<i>G</i>	0.835***	0.923***	0.757***	0.774***	0.912***	1.000***	0.850***	0.866***	0.839***	0.657***
<i>T</i>	0.770***	0.821***	0.710***	0.759***	0.799***	0.850***	1.000***	0.760***	0.761***	0.598***
<i>O</i>	0.831***	0.912***	0.767***	0.746***	0.925***	0.866***	0.760***	1.000***	0.847***	0.712***
<i>M</i>	0.896***	0.890***	0.862***	0.815***	0.862***	0.839***	0.761***	0.847***	1.000***	0.729***
<i>N</i>	0.744***	0.708***	0.992***	0.678***	0.695***	0.657***	0.598***	0.712***	0.729***	1.000***

注: \*\*\*, \*\*, \* 分别代表在 1%, 5%, 10% 显著性水平上显著。

### 2.5.2 QAP 回归分析

经过 10 000 次随机置换计算出的调整后的  $R^2$  为 0.880, 且在 1% 水平上通过显著性检验, 表明 1997—2020 年高技术产业创新链韧性空间关联网络结构变化的 88% 能够用创新活力、研发人员投入、产业结构升级水平、研发资金投入、技术市场成交额、专利授权数、新产品销售收入、主营业务收入占比、新产品出口占比 9 个变量解释, 其 QAP 回归结果如表 7。

表 7 高技术产业创新链韧性空间关联影响因素的回归分析

Tab. 7 Regression analysis of spatially associated influencing factors for the resilience of high-tech industry innovation chain

变量	回归系数 1	回归系数 2	显著性概率
截距项	-0.004	0	
<i>E</i>	0.001	0.001	0.487
<i>U</i>	0.313	0.305	0
<i>I</i>	0.097	0.096	0.001
<i>P</i>	0.118	0.121	0.006
<i>G</i>	0.089	0.091	0.008
<i>T</i>	0.375	0.038	0.059
<i>O</i>	0.014	0.014	0.318
<i>M</i>	0.257	0.257	0
<i>N</i>	0.105	0.103	0

分析表 7 第三列可知:

1997—2020 年高技术产业创新活力 (*E*) 的标准化回归系数为 0.001, 但不显著。近年, 高技术企业数量迅速增长, 产业创新活力也愈加旺盛, 但由于各省高技术企业分布不均衡, 部分省份高新技术企业数量与其经济不匹配, 由此导致其对创新链韧性空间网络结构的影响不显著。产业结构升级水平 (*U*) 的标准化回归系数为 0.305, 且在 1% 水平上显著, 表明随高技术产业战略的深入推进, 我国高技术产业结构开始由传统的劳动密集型转向高技术密集型, 同时产业结构升级会给高技术产业带来新动能, 夯实高技术产业创新基础, 进而增强高技术产业创新链韧性。

1997—2020 年高技术产业研发投入 (*I*) 和研发人员投入 (*P*) 的标准化回归系数分别为 0.096 和 0.121, 且均在 1% 水平上显著, 表明高技术产业创新投入的增加可以提升其创新产出绩效, 增加创新成果的多样性, 促进高技术产业创新链韧性的抵抗能力。高技术产业研发投入的增加还会大幅提升生产力水平、提高投资效率、扩大经济总量、增强自主创新能力, 从而进一步推动高技术产业创新链韧性空间关联网络结构不断优化。

1997—2020 年高技术产业专利授权数 (*G*) 的标准化回归系数为 0.091, 在 1% 水平上显著, 表明专

利授权数的增加会促进本地和邻近省份的产业结构升级,促进区域间的协调合作,提升高技术产业创新能力。知识流动( $T$ )的回归系数为0.038,在10%的水平上显著为正,表明知识流动能够促进技术市场规模的发展,从而缩小区域创新差距<sup>[40]</sup>;随着技术市场的成熟与扩大,创新差距的缩小会反过来加速知识流动,提高技术市场管理水平,加快提升创新能力和创新速度。新产品销售收入( $O$ )的回归系数为0.014,但没有通过显著性水平检验。一方面新产品收入的提高意味着产品获利能力增强,高技术产业企业通过技术研发有助于降低生产成本、提高创新获利能力,另一方面我国高技术产业的技术过多依赖从引进购买,导致自身研发技术受制于人,由此导致其对高技术产业创新链韧性的影响并不明显。

1997—2020年高技术产业主营业务收入占比( $M$ )和新产品出口占比( $N$ )的标准化回归系数分别为0.257和0.103,且均通过1%水平的显著性检验,这两个变量分别反映了高技术产业抵抗国内与国外冲击的能力。主营业务收入占比越高,为高技术产业提供的资金支持越充足,对提升高技术产业创新绩效越有益,优化省际间高技术产业化能力。新产品出口占比越高,说明高技术产业主导研发国际化的能力越强,也扩大了高技术产业创新链韧性空间关联网络联系。

### 3 结论与建议

#### 3.1 结论

以1997—2020年中国30个省(区、市)为研究对象,在测度高技术产业创新链韧性的基础上,利用修正的引力模型构建高技术产业创新链韧性空间关联矩阵,采用社会网络分析方法分析高技术产业创新链韧性的空间关联网络结构特征和驱动因素,所得主要结论如下:

1)从整体网络特征看,网络关联数和网络密度呈阶段性小幅波动,网络等级度比较稳定,网络效率呈下降趋势,高技术产业创新链韧性的空间关联网络涵盖了所有省(区、市),网络结构总体较为稳定,但亟须进一步提升网络紧密度。

2)从个体网络特征看,北京、上海、广东、江苏和天津等东部省(区、市)的度数中心度、接近中心度和中间中心度均名列前茅,在网络结构中居核心地位,能够通过要素投入、技术创新及制度创新等实现关键核心技术突破,增强区域高技术产业创新链韧性;新疆、青海、云南等中、西部区域

在网络结构中居边界位置,对高技术产业创新链韧性发展所需的要素分配和掌控能力较弱,处于被支配地位。

3)从块模型分析看,板块之间的空间关联相对较为密切。北京、江苏、天津、浙江和上海等17省(区、市)属于“净受益”板块,内蒙古、青海等13省(区、市)属于“双向溢出”板块。

4)从驱动因素看,研发人员投入、研发资金投入、产业结构升级水平、专利授权数、主营业务收入占比和新产品出口占比对高技术产业创新链韧性的空间关联具有显著正向影响,知识流动对高技术产业创新链韧性的空间关联具有较显著正向影响,创新活力和新产品销售收入对高技术产业创新链韧性的空间关联没有显著影响。

本文的边际贡献在于:第一,基于创新链理论,采用熵权-TOPSIS测度出创新链韧性,可为客观评判高技术产业创新韧性提供方法借鉴。第二,基于社会网络分析方法,开展了高技术产业创新链韧性空间关联网络结构特征分析,可为深入厘清高技术产业创新网络特征提供参考。第三,探讨了高技术产业创新链韧性空间关联网络的驱动因素,在测度出韧性并进行空间关联网络研究的基础上分析导致空间差异的原因,并进一步给出政策建议,研究结果更有针对性,可为提升省际创新链韧性提供更为颗粒度的理论借鉴。

#### 3.2 建议

1)以整体观推动各省(区、市)要素协同、技术协同、产业协同,推动区域协同创新发展。各省(区、市)要促进国内市场和国际市场更好地互联互通,优化高技术产业创新链韧性的空间结构,建立跨区域联动机制,增强高技术产业的抵抗力和系统恢复力。

2)发挥核心区域和边缘区域自身优势,促进各区域协调发展。核心区域要与边缘区域开展多层次的交流与合作,构建具有本地特色的高技术产业创新链,提升高技术产业创新绩效;边缘区域要依据自身资源禀赋和角色定位制定科学的高技术产业发展政策,加快成为东部区域的高技术产业协作配套基地,缩小区域发展差距。

3)发挥空间溢出效应,促进区域高技术产业创新链韧性增强。对于经济发达且高技术产业创新链韧性相对较高的“净受益”板块,要充分利用自身具有的产业化能力优势,积极强化高技术产业的创新基础和创新能力,同时带动“双向溢出”板块的

创新发展。对于经济落后、高技术产业创新链韧性相对较低的“双向溢出”板块,要和“净受益”板块加快建立技术合作机制,加大人力资本投入力度,通过共享各种创新资源要素,助推高技术产业创新链韧性提升。

4) 优化创新环境,提高资源配置效率。增强高技术产业创新链韧性,还应具体落实到驱动因素上。国家政策层面,制定相应的创新人才激励政策和创新资本引入政策,提高研发人员质量,增加研发资本投入,优化创新环境,为创新主体从事创新活动提供源泉和保障。市场层面,发挥市场在资源配置中的决定性作用,充分发挥各地区优势资源,做到取长补短、优势互补,在促进创新要素流动,以保证创新链各节点高效衔接的基础上,增强高技术产业创新链韧性。

#### 参考文献:

- [1] 梁丽娜,于渤. 技术流动、创新网络对区域创新能力的影响研究[J]. 科研管理, 2021, 42(10):48-55.
- [2] 李柏洲,夏文飞. 知识属性、技术创新能力与企业创新绩效关系的实证研究:基于环境动态性的调节效应[J]. 预测, 2019, 38(6):17-23.
- [3] 李志遂,聂常虹,刘倚溪,等. 大科学装置(集群)驱动型创新生态系统的理论模型与实证研究[J]. 管理评论, 2023, 35(1):121-133.
- [4] 范旭,刘伟. 基于创新链的区域创新协同治理研究:以粤港澳大湾区为例[J]. 当代经济管理, 2020, 42(8):54-60.
- [5] 王燕,高静,刘邦凡. 高新技术产业集聚、科技创新与经济增长[J]. 华东经济管理, 2023, 37(4):56-64.
- [6] 赵蓉,王鉴雪,李强. 融合发展视角下高技术产业升级韧性研究[J]. 软科学, 2023, 37(2):1-9.
- [7] ROPER S, DU J, JAMES H L. Modelling the innovation value chain[J]. Research Policy, 2008, 37(6/7):961-977.
- [8] 王嘉丽,赵杭莉,张夏恒. 创新链视角下中国高技术产业创新效率研究[J]. 技术经济与管理研究, 2022(2):41-46.
- [9] 丁雪,杨忠. 基于生态位理论的我国创新链竞争力评价[J]. 统计与决策, 2023, 39(4):173-177.
- [10] 杨忠,巫强,宋孟璐,等. 美国《芯片与科学法案》对我国半导体产业发展的影响及对策研究:基于创新链管理的视角[J]. 南开管理评论, 2023, 26(1):146-158.
- [11] OKE A, PRAJOGO D I, JAYARAM J. Strengthening the innovation chain: the role of internal innovation climate and strategic relationships with supply chain partners[J]. Journal of Supply Chain Management, 2013(4):43-58.
- [12] 刘家树,石洪波,齐昕. 创新链与资金链融合的路径研究:基于区域创新生态系统共生理论框架的组态研究[J]. 科学管理研究, 2022, 40(1):153-161.
- [13] 黄莉芳,吴福象,王芳. 全球双链与中国制造业增长:事实与启示[J/OL]. 科学学研究, 2024, 42(2):266-277 [2023-01-25]. <https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20230110.002>.
- [14] 黄瑶,李佳. 农业产业创新链构建:实质、依托与模式[J]. 经济纵横, 2022(10):89-95.
- [15] 曲冠楠,陈凯华,陈劲. 面向新发展格局的意义导向“创新链”管理[J]. 科学学研究, 2023, 41(1):134-142,180.
- [16] CHEUNG K Y, LIN P. Spillover effects of FDI on innovation in China: evidence from the provincial data[J]. China Economic Review, 2004, 15(1):25-44.
- [17] RENNINGS K, ZIEGLER A, ANKELE K, et al. The influence of different characteristics of the EU environmental management and auditing scheme on technical environmental innovations and economic performance[J]. Ecological Economics, 2006, 57(1):45-59.
- [18] BRONWYN H H, ROSEMARIE H Z. The patent paradox revisited: an empirical study of patenting in the US semiconductor industry, 1979-1995[J]. RAND Journal of Economics, The RAND Corporation, 2001, 32(1):101-128.
- [19] 孙红军,张路娜,王胜光. 科技人才集聚、空间溢出与区域技术创新:基于空间杜宾模型的偏微分方法[J]. 科学学与科学技术管理, 2019, 40(12):58-69.
- [20] MOURA D C, MADEIRA M J, DUARTE F A P, et al. Absorptive capacity and cooperation evidence in innovation from public policies for innovation[J]. International Journal of Innovation Science, 2019, 11(1):2-19.
- [21] 胡甲滨,俞立平. 企业规模对高技术产业创新韧性的影响效应检验[J]. 统计与决策, 2023, 39(22):168-172.
- [22] 金晟男,武力超,薛洲,等. 校企合作、企业创新与企业价值:来自高技术产业的新证据[J]. 南方经济, 2023(10):127-144.
- [23] 张辽,马翊凡. 服务贸易协定、条款深度与出口效率:来自高技术产业的证据[J]. 浙江社会科学, 2023(11):17-27,155.
- [24] 潘康,何枫,刘荣. 高技术产业集聚促进进出口产品升级了吗?基于技术创新和对外开放的视角[J]. 北京工商大学学报(社会科学版), 2023, 38(2):28-39.
- [25] 王钺,刘秉镰. 创新要素的流动为何如此重要?基于全要素生产率的视角[J]. 中国软科学, 2017(8):91-101.
- [26] HUGGINS R, THOMPSON P. Entrepreneurship,

- innovation and regional growth: a network theory[J]. *Small Business Economics*, 2015, 45:103-128.
- [27] 白俊红, 蒋伏心. 协同创新、空间关联与区域创新绩效[J]. *经济研究*, 2015(7):174-187.
- [28] 王松茂, 牛金兰. 山东半岛城市群城市生态韧性的动态演化及障碍因子分析[J]. *经济地理*, 2022, 42(8):51-61.
- [29] 黄杰, 李倩倩, 钟朋舒. 中国八大城市群经济韧性的空间差异与动态演进[J]. *统计与决策*, 2022(17):91-96.
- [30] 王山, 刘文斐, 刘玉鑫. 长三角区域经济一体化水平测度及驱动机制: 基于高质量发展视角[J]. *统计研究*, 2022, 39(12):104-122.
- [31] 邵汉华, 周磊, 刘耀彬. 中国创新发展的空间关联网络结构及驱动因素[J]. *科学学研究*, 2018, 36(11):2055-2069.
- [32] 刘佳, 宋秋月. 中国旅游产业绿色创新效率的空间网络结构与形成机制[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(8):127-137.
- [33] 黄颖利, 娄国祯, 么甲滨. 碳排放约束下中国省域生态资本效率空间网络结构特征及影响因素[J]. *经济纵横*, 2023(4):45-54.
- [34] HANSEN M T, BIRKINSHAW J. The innovation value chain[J]. *Harvard Business Review*, 2007, 85(6):121-130,142.
- [35] ROTHWELL R. Successful industrial innovation: critical factors for the 1990s[J]. *R & D Management*, 1992, 22(3):221-240.
- [36] 曲永义, 李先军. 创新链赶超: 中国集成电路产业的创新与发展[J]. *经济管理*, 2022, 44(9):5-26.
- [37] 王凯, 余芳芳, 胡奕, 等. 中国旅游业碳减排潜力的空间关联网络结构及其影响因素[J]. *地理科学*, 2022, 42(6):1034-1043.
- [38] 白俊红, 王铖, 蒋伏心, 等. 研发要素流动空间知识溢出与经济增长[J]. *经济研究*, 2017(7):109-123.
- [39] 陈晓东, 刘洋, 周柯. 数字经济提升我国产业链韧性的路径研究[J]. *经济体制改革*, 2022(1):95-102.
- [40] 周灿, 曾刚, 宓泽锋, 等. 区域创新网络模式研究: 以长三角城市群为例[J]. *地理科学进展*, 2017, 36(7):795-805.

责任编辑:丁吉海