文章编号:1003 - 2053(2026)05 - 1067 - 10

多重风险下中国芯片产业网络冲击效应研究

顾 洁[1],姚欣林[2],胡安安[3]
(1. 上海社会科学院,上海 200235;2. 南开大学商学院,天津 300071; 3. 复旦大学旅游学系,上海 200433)

摘 要:芯片产业是支撑现代科技和经济发展的关键产业,但其绵长的产业链、错综复杂的全球竞合格局,使其面临的外部冲击的影响倍加凸显。尤其是近年来,新冠疫情和中美贸易摩擦风险叠加,对中国芯片产业造成了巨大影响。面对复杂多变的外部环境,亟需从网络结构视角审视我国芯片产业面临的风险。基于复杂网络理论,从业务、技术和组织三个维度构建了多层次的芯片产业网络,运用网络分析方法,对比分析了疫情冲击和贸易冲击对产业网络结构的影响。研究结果表明,疫情冲击和贸易摩擦都会导致芯片产业网络离散度和碎片化程度的上升;不同城市受疫情冲击后,芯片产业的三类网络受影响程度不同;相较于疫情冲击,贸易封锁造成的芯片产业网络损耗更严重。研究拓展了复杂网络视角下的产业风险研究边界,为提升我国芯片产业韧性提供了决策参考。

关键词:芯片产业;网络结构;冲击效应;新冠疫情;贸易封锁
中图分类号:F416.63;F204 **文献标识码**:A

全球经济环境日益呈现 VUCA 特征,新冠疫情与中美贸易摩擦等多重风险冲击暴露了产业网络的脆弱性[1,2]。产业网络结构特性决定了其应对外部冲击的能力,网络节点的抗毁性、链接关系的冗余性以及整体的自组织能力构成了抵御冲击的基础[3]。芯片产业是国民经济的战略性、基础性和先导性产业,是支撑信息技术、人工智能、5G 通信等领域发展的关键[4]。然而,芯片产业链条冗长复杂,竞合格局错综交织。近年来新冠疫情和贸易封锁的多重冲击,更是对中国芯片产业的稳定性和安全性提出了严峻挑战。一方面,新冠疫情扰动了全球产业格局,供需失衡加剧了芯片短缺问题;另一方面,中美贸易摩擦加剧,美国对中国芯片产业实施技术封锁,导致产业链、供应链、创新链循环受阻[4,5]。面对复杂多变的外部环境,亟需从网络结构视角审视我国芯片产业面临的风险,优化完善产业体系,提升风险防控能力。

在此背景下,本研究从网络结构视角出发,深入探究多重冲击对芯片产业网络结构的影响。首先,立足复杂网络理论,基于芯片企业间业务网络、技术网络和组织网络,构建多维度、多层次的芯片产业网络图谱,运用网络分析方法刻画网络结构特征;其次,针对疫情冲击和贸易冲击两类典型情景,设计多情景风险参数,模拟不同冲击下产业网络结构韧性的变化;最后,基于研究结论提出增强产业抗风险能力的对策建议。

1 文献回顾

过去,中国芯片产业凭借成本优势嵌入全球价值链中低端环节,形成较大规模但整体“大而不强”的产业格局[6,7]。面对先发国家“高端垄断”和后发国家“中低端分流”的双向挤压的困局,大量学者开始关注芯片产业稳健性、安全性和可持续发展的问题。例如,蔡跃洲等[8]指出芯片产业整体处于脆弱的“刃锋平衡”状态,疫情冲击叠加国际防控合作机制缺失,导致产业链断裂风险大幅增加。张云涛等[9]以暴露性、敏感性、恢复性作为供应链脆弱性的三个主要测度,建立指标评价体系,对我国芯片产业脆弱性进行量化评价。张晴和于津平[10]检验了依赖不同来源的投入数字化对企业全球价值链分工地位的影响,指出数字化智能转型是企业后发赶超的重要途径。刘江会等学者[11]发现,中国高附加值

收稿日期:2025 - 04 - 03;**修回日期**:2025 - 08 - 13
基金项目:国家社会科学基金重大项目(21&ZD119);上海“科技创新行动计划”软科学研究项目(22692111300,25692107600)
作者简介:顾洁(1988 -),女,副研究员,博士。姚欣林(1990 -),男,副教授,博士。胡安安(1980 -),男,教授、博士生导师,通讯作者,E - mail: huanan@fudan.edu.cn。

制造业的海外关联产业的集中度较高,应打造“替代来源产业备份系统”,提升产业路径中关键环节的自主可控性。刘家国和许浩楠[12]基于地缘政治和新冠疫情背景,提出动态迭代、四位一体、一体两翼的芯片产业供应链韧性建设路径,抵御外部风险冲击。

尽管现有研究成果丰富,但相关研究主要集中于分析产业自主创新能力的不足。然而,对于长期被锁定在价值链低端环节的本土芯片产业而言,创新并非“投入 - 产出”短期研发回报过程,而是需要长时间的探索与积累。在自主创新能力尚未形成的阶段,如何通过产业网络系统的优化配置提升产业安全性和竞争能力,成为重要的探索方向[13]。产业网络结构视角将产业视为一个相互关联的网络系统,关注外部风险冲击对产业网络结构的影响,强调产业抵御风险的能力取决于其网络结构特性[14]。新冠疫情爆发与地缘政治摩擦叠加,对中国芯片产业产生巨大冲击。芯片产业链绵长、竞合关系错综复杂,形成了庞大且复杂的产业网络体系,适宜借助网络结构视角对其产业韧性展开分析。在此背景下,分析中国芯片产业网络特征,研究多重风险冲击对产业网络结构的影响,对识别并强化网络薄弱环节,提升芯片产业网络安全性和抗风险能力至关重要。

2 研究设计与网络构建

2.1 研究对象和样本筛选

本文以我国芯片产业为研究对象,融合多源数据构建研究样本。从第三方企业数据库、投融资数据库和招投标数据库等渠道获取初始样本,以“芯片”为关键词检索,共获得 20 余万家相关企业。为聚焦于技术水平高、服务能力强的企业,本研究采用两个标准对样本进行筛选:一是企业需要有融资记录,二是企业需要有招投标记录。这两个标准分别代表了金融机构和行业需求方对企业的评估,能够有效识别出优质企业。根据上述标准,截至 2023 年 4 月,共获得 1563 家涉及芯片业务的企业样本。

然而,对 1563 家企业进行复核后发现样本存在噪声,部分传统企业虽在智能化转型中应用芯片技术,但主营业务仍为传统制造,严格意义上不属于芯片产业。为提高样本准确性,引入自然语言处理和语义理解算法,对企业简介和业务描述进行语义分析,最终筛选出 878 家以芯片业务为主营的代表性企业。

2.2 产业网络构建

现有研究主要采用三种方法构建产业网络。(1)基于价值创造流程划分功能模块[15]。该方法可粗略刻画产业链上中下游的链式结构关系,但难以细分企业微观层面的产业网络图谱。(2)利用投入产出表构建产业网络[16]。该方法以“产业”为节点,以产业间投入产出关系为边,主要用于分析产业间关联和协调性,无法构建产业内部微观网络。(3)从技术合作和知识转移视角,以专利为要素探索企业间技术合作网络[17]。该方法能灵活构建产业内企业技术合作网络[18],但仅关注企业间的技术关联,忽视了企业间在资本、技术、组织等方面的多重关联[19],难以全面刻画产业内部企业间错综复杂的网络结构。

本研究在技术合作网络的分析思路的基础上,进一步纳入对企业间组织关系和业务关系的分析,形成内容更加丰富的产业网络图谱。具体而言,利用 878 家芯片企业作为网络生成的种子节点,通过广探法获取关联机构信息,构建多重产业网络,包括:利用专利数据,构建专利合作网络;利用对外投资和控制企业数据,构建企业间组织合作网络;利用招投标数据,构建企业间业务合作网络。

3 产业网络结构与特征分析

3.1 产业链分布

图 1 展示了芯片产业链上、中、下游的基本结构。上游包括 IP 授权、电子设计自动化(Electronic Design Automation,简称 EDA)工具和其他设计软件;中游涵盖装备材料、制造和封测;下游涉及应用软件设计、产品解决方案和集成平台。

通过以下步骤对芯片产业链环节进行判定:(1)获取企业简介和经营范围文本,在文本数据清洗、分词后,创建包含如“主营”“专注于”“核心业务”“主要从事”等与主营业务相关表述,采用依存句法分析,提取企业核心业务信息。(2)在去除敏感的技术细节及公司名称之后,使用大语言模型将提取的业务信息转换成相应的产业链环节分类①。

① 大语言模型指令如下:“芯片产业链环节包括上游、中游和下游三个基本结构。上游包括 IP 授权、电子设计自动化(EDA)工具和其他设计软件;中游涵盖装备材料、制造和封测;下游涉及应用软件设计、产品解决方案和集成平台。根据所提供的企业业务信息,对每家企业所属产业链环节进行判断,如果企业的业务信息涉及多个环节,请输出所有涉及的环节。”

(3)人工审核来验证产业链环节分类的结果,确保其分析的准确性和可靠性。



图 1　芯片产业链结构

Figure 1　Chip industry chain structure

表 1 展示了芯片产业链各环节的企业数量。需要注意的是,部分芯片企业专注于单一环节业务,而另一些企业的业务同时覆盖多个环节。例如,芯片集成设备制造商(Integrated Device Manufacturer,简称 IDM)兼顾设计和制造,集设计、采购、制造、封测、出货于一体。在 878 家样本企业中,672 家(77%)业务覆盖多个环节,仅 206 家(23%)专注于单一环节。对于多环节经营的企业而言,即使芯片市场波动,也可从其他环节获得收入,减轻外部冲击的负面影响。因此,相较于专注单一环节,涉足多个环节的企业韧性更强,更能适应外部环境变化。

表 1　产业链不同环节的企业数量

Table 1　Number of enterprises in different segments of the industrial chain

环节	上游		中游		下游	
	授权及工具	芯片设计	材料和装备	制造	封测	芯片应用
数量	188	551	352	564	439	365
总计	739		1355		365	

注:表 1 中,对于多环节经营的企业,如同时从事芯片设计和制造的企业,在设计和制造两个环节均计入一次。因此表中产业上、中、下游不同环节企业数量总和大于 878,这是由于多环节企业在不同产业链环节上重复计数所导致的结果。

从产业链各环节分布来看,样本企业在上中下游不同环节呈现出“倒 U 型”结构特征:中游企业数量最多,而上下游企业相对较少。这一结构表明,我国芯片产业体系虽已初步完善,但主要业务集中于中游加工制造环节,在上游芯片设计以及下游应用软件开发、平台集成等高附加值环节的企业数量相对不足。

3.2　产业网络结构特征

系统韧性研究认为,网络拓扑结构能够反映网络的结构韧性特征。本文借助企业招投标数据、知识产权数据和企业投融资数据构建不同关系属性的芯片产业网络。产业网络 $G(V,W_k)$ 是以企业为节点单元的多重关系网络,$V=\{v_1,v_2...v_n\}$ 表示节点企业,$W^k=[w_{ij}^k](k=1,2,3;i=1,2...n;j=1,2...n)$ 表示企业之间的合作关系。k 表示企业之间的关系类型,$k=1$ 表示企业间由招投标构成的业务关系,$k=2$ 表示企业间以联合申请专利形成的技术合作关系,$k=3$ 表示企业间由对外投资和控制形成的组织关系。若企业 i 和企业 j 之间在 k 类型上存在关系,则 $w_{ij}^k=1$,否则 $w_{ij}^k=0$。为简化分析,将产业合作网络均视为无向去权网络。

表 2 展示了以招投标为表征的业务网络、以联合申请专利为表征的技术网络以及以对外投资和控制为表征的组织网络的结构特征。

表 2 网络结构统计特征

Table 2 Statistical characteristics of the network structure

项目	业务网络	技术网络	组织网络
节点数	991	1460	9377
平均度	2.343	2.771	1.891
同配性	-0.197	-0.147	-0.358
网络直径	16	13	16
平均聚类系数	0.001	0.622	0.109
平均路径长度	5.575	5.141	5.185
连通子图数	63	177	599

注:表中节点数包含以代表性芯片企业为种子节点利用广探法获取的节点单元,因此数量大于种子节点数量 878。

比较三类网络的结构特征,可以获得以下洞见:

首先,从节点数量所代表的网络规模的角度看,业务网络、技术网络和组织网络三类网络呈现出明显差异:业务网络规模最小,技术网络规模居中,组织网络规模最大。造成这一差异的主要原因在于三类网络的功能定位和形成机制不同。(1)业务网络的主要目的是支持企业的商业运作。由于业务往来需要考虑效率和成本,企业会有选择地与关键合作伙伴建立紧密联系,而不是盲目扩大业务网络的规模。(2)技术网络的规模居中,反映了技术创新的特点。与单纯的商业合作不同,技术创新往往需要企业与更多元化的合作伙伴协作,以获取互补性的技术能力、研发资源和行业洞见。因此,技术网络通常比业务网络涵盖更广泛的主体。(3)组织网络规模最大,体现了企业战略发展的复杂性。企业的发展离不开外部资源的获取和优化配置。通过投资不同行业和地区的企业,公司可以快速进入新的市场,获得稀缺资源,分散经营风险。随着企业的不断发展和投资版图的扩大,组织网络的规模也会随之扩大。

其次,三类网络节点中心度的同配系数(assortativity)均为负值,反映了网络中的"异质性匹配"特征,即高中心度节点倾向于与低中心度节点相连。这种连接模式增加了网络的多样性和鲁棒性。具体而言,在业务网络中,大型公司(高中心度)选择与小型公司(低中心度)合作,以降低成本、提高灵活性;在技术网络中,高中心度的公司通常拥有强大的技术能力和丰富的研发资源,而低中心度公司可能在某些特定领域具有独特的专长或创新思路。二者合作能够实现优势互补,促进技术融合与创新;在投资网络中,资本雄厚的企业(高中心度)更倾向于投资风险较低、机会较多的领域(低中心度)。这种投资策略有助于企业分散投资风险,实现资源的优化配置。

最后,三类网络在聚类特征上差异度较大。以专利合作为表征的技术网络的聚类系数高达 0.622。技术网络的高度聚集现象可能反映了该领域内的研究和创新趋势,例如企业共同利用的特定技术和方法影响了产业未来的技术发展态势。在三类网络中,企业之间的招投标业务网络的聚类系数仅为 0.001,表明芯片企业业务网络的连接紧密程度相对较低。这一现象可能受到多种因素的影响,如企业间的竞争关系、区域壁垒、标准差异等,都有可能限制企业间的业务互动和合作。

4 产业网络结构在不同冲击下的变化与影响分析

为评估芯片产业网络在不同冲击下的变化,重点关注网络分析中的两个关键的结构指标:平均度和连通子图数量。平均度反映了网络中节点之间的连接关系。度值越高,表明网络节点间的连接越紧密。当网络受到冲击,平均度降低时,意味着节点间的直接联系减少,网络的离散性增加,网络结构变得更加松散。连通子图数量反映了网络的整体连通性和完整性。当网络受到冲击,连通子图数量增加时,表明网络被分裂为更多的独立子部分,碎片化程度上升,网络结构的完整性受到破坏。平均度的降低和连通子图数量的增加共同揭示了网络在外部冲击下连通性和完整性的下降趋势,表明网络的脆弱性上升。相反,如果网络在冲击下,平均度和连通子图数量的变化幅度较小,则表明该网络具有较强的结

构韧性,能够在一定程度上抵御外部冲击,维持自身的连通性和完整性。

4.1　疫情对芯片产业网络的冲击

新冠疫情对芯片产业网络造成了双重影响。首先,疫情直接影响特定地区的芯片企业[20]。例如,在新冠疫情期间,一些地区实施了封锁和隔离政策,致使当地芯片企业生产暂停和供应链受阻,暂时性地从产业网络中断开连接。本研究通过模拟分析了北京、上海和深圳这三个城市受到的冲击如何影响芯片产业网络的韧性。作为国内经济最繁荣、人口密度最高的城市,北京、上海和深圳分别是京津冀、长三角和珠三角地区的核心,同时也是国内芯片企业集聚的重要城市。因此,选择这三大城市进行模拟分析,具有代表性和典型意义。

其次,疫情对芯片产业链中不同环节的企业产生了不同程度的影响[21]。对于地理依赖性较强的生产制造业,封城和隔离政策带来的负面影响尤为显著,工厂的停工停产直接造成企业功能失效。相比之下,在芯片产业的上游设计部门和下游的应用开发领域,尽管员工的隔离和感染带来了项目延误和工作量减少的问题,但远程工作和企业数字化转型的加快在一定程度上抵消了疫情对设计环节的不利影响。

在公式(1)中,参数 α 表示疫情造成的企业功能失效参数。α 的取值在 0 - 1 之间,$\alpha = 1$ 表示节点企业受到疫情的直接冲击,造成企业停工停产,并由于功能失效而在网络中被移除;$\alpha = 0$ 表示节点企业未受到疫情的直接影响。在现实情境中表现为企业所在城市的疫情风险较低,企业仍然可以正常生产经营。需要注意的是,$\alpha = 0$ 时,尽管企业自身未受到当地疫情的直接影响,但企业有可能受到关联企业冲击的连带影响。

在确定参数 α 的取值进而模拟新冠疫情对芯片产业网络的冲击影响时,既要考虑到地理因素,又要考虑到产业链环节的特征。

$$\alpha = lockdown * position \tag{1}$$

其中,*lockdown* 为企业所在城市是否采取了封城隔离措施。*position* 为不同产业链环节受到的疫情影响程度。

$$\begin{aligned}
&if\ v_i(city) = \text{指定城市}\ then\ lockdown_i = 1;\\
&else\ lockdown_i = 0;\\
&if\ v_i(position) \in (upstream, downstream)\ then\ position_i = \delta, \delta \in (0,1);\\
&if\ v_i(position) = midstream\ then\ position_i = 1;\\
&\alpha_i = lockdown_i * position_i;\\
&remove\ node\ i\ from\ the\ network\ with\ a\ probability\ of\ \alpha_i
\end{aligned} \tag{2}$$

在上述计算(2)中,δ 为疫情对芯片产业链上游和下游影响的参数。得益于远程办公和数字化设计工具的支持,相较于地理依赖性较高的生产制造环节,上游的芯片设计和下游的芯片应用软件开发企业受到的疫情冲击相对较轻。在模拟分析中,将上下游受疫情影响的参数 δ 设定为 0.5。根据上述规则,依次对北京、上海和深圳这 3 个城市进行疫情冲击模拟分析,对比分析了冲击前后芯片产业的业务网络、技术网络和组织网络的结构韧性变化情况。

表 3　疫情冲击对芯片产业网络的影响

Table 3　The epidemic impact on the chip industry network

	业务网络		技术网络		组织网络	
	平均度	连通子图数	平均度	连通子图数	平均度	连通子图数
冲击前	2.343	63	2.77	177	1.891	599
北京	2.092	145	2.44	259	1.699	1369
上海	2.271	85	2.661	200	1.792	967
深圳	2.172	115	2.637	228	1.654	1530

表 3 展示了北京、上海和深圳三城市在疫情冲击下芯片产业网络平均度和连通子图数量的变化情况。数据表明,疫情后芯片产业的业务网络、技术网络和组织网络的平均节点度均有所降低,连通子图数量均有所上升,表明网络的离散性和碎片化程度上升。

然而,3 个城市在不同类型网络中表现出不同的脆弱性和结构韧性。在业务网络和技术网络中,北京受疫情影响最为严重。北京芯片企业停工停产导致网络平均度下降最为明显,网络离散度上升最

为严重,连通子图数量增加最多,表明其业务网络和技术网络的脆弱性最强。相比之下,上海在业务网络和技术网络中的结构韧性最强,虽然节点度有所下降、连通子图数有所上升,但变化相对较小。

在组织网络中,深圳受疫情冲击后的脆弱性最强。深圳芯片企业停工停产导致组织网络平均节点度下降最为明显,连通子图数量增加最多,从疫情前的 599 上升至 1530,表明其组织网络碎片化程度最为严重。而上海的组织网络结构韧性相对较强,变化较小。

综上,疫情冲击会导致芯片产业网络拓扑结构发生变化,但不同城市在不同类型网络中表现出不同的脆弱性和结构韧性。北京的业务网络和技术网络脆弱性最强,深圳的组织网络脆弱性最强,而上海在三类网络中的结构韧性整体上最强。

4.2 贸易封锁对芯片产业网络的冲击

美国针对中国芯片产业的贸易封锁对产业网络造成了两方面的影响。首先,美国以"实体清单"方式直接定向打击国内高端芯片企业[22]。在拜登总统任职后,美国议会共通过了 400 多条涉华议案,利用出口管制和实体清单来防止中国人工智能企业通过技术交流和贸易获得设备和技术。领先的中国芯片公司、超级计算机构以及软件和硬件供应商都被列入该名单。截至 2023 年 4 月,美国实体清单中的中国企业、研究机构和个人增至 1155 项。本文获取整理实体名单列表,与本文的代表性芯片样本集进行匹配,锁定样本集中被"实体清单"定向打击的代表性芯片企业共计 45 家。美国以"实体清单"为手段压制中国芯片产业发展,干扰中国芯片企业的正常经营。在分析这一逆向事件对产业网络的冲击时,考虑一种极端情况,即这 45 家芯片企业因实体清单无法正常经营,同时国产替代也难以快速跟进,最终导致被定向打击的企业暂时退出产业网络的最恶劣的风险情境。

其次,美国对芯片相关的物料出口管制,干扰了芯片产业链的正常运作[23]。2022 年 8 月 12 日,美国商务部工业和安全局(BIS)披露了一项新增的出口限制临时最终规则,对用于 3nm 及以下芯片设计的电脑辅助设计的 EDA/ECAD 软件实行出口管制。这一管制措施对中国芯片产业上游的 EDA 工具供给和芯片设计产生了重大的负面影响。美国还在试图拉拢日本、荷兰等国,在光刻、蚀刻环节限制中国芯片产业发展。《切断中国通向人工智能未来的路径》直接指出拜登政府正在通过管制芯片设计软件的使用权以及限制中国对美国制造的半导体制造设备和零部件的使用,限制中国芯片产业的未来发展。

综合以上分析,模拟中考虑美国贸易封锁对中国芯片的双重打击。一方面,"实体清单"定向打击部分芯片企业;另一方面,出口管制冲击特定的产业链环节。例如,EDA/ECAD 软件实行出口管制冲击上游芯片 EDA 工具和设计环节,对蚀刻技术的出口管制会压制中国中游芯片生产制造环节的发展。在模拟中,具体考虑出口管制对芯片产业链上游的 EDA 工具、设计,以及中游的制造环节负面冲击。

参数 β 表示贸易封锁造成的企业功能失效参数。β 的取值在 0 - 1 之间,$\beta = 1$ 表示节点企业受到美国贸易封锁影响,在模拟中设定极端情况,即 $\beta = 1$ 的节点企业暂时退出产业网络;$\beta = 0$ 表示节点企业未受到贸易封锁的直接影响。需要注意的是,$\beta = 0$ 时,尽管企业自身未受到贸易封锁的直接影响,但企业有可能受到关联企业冲击的连带影响。

$$
\begin{aligned}
&\textit{if 企业 } i \textit{ in } \{\textit{实体清单}\} \quad \textit{then } \beta_i = 1;\\
&\textit{elseif} \quad v_i(position) \in (upstream, midstream_manufacture)\\
&\textit{then } \beta_i = \mu, u \in (0,1);\\
&\textit{remove node } i \textit{ from the network with a probability of } \beta_i
\end{aligned} \tag{3}
$$

上述计算(3)中,μ 为芯片产业链上游的 EDA 工具和设计,以及中游的制造环节受到美国出口管制影响的参数。考虑到部分企业具有国产自主可控技术,受到出口管制的影响较小,模拟中将 μ 取值 0.5。

表 4 展示了三类贸易封锁对芯片产业的业务网络、技术网络和组织网络的拓扑结构的影响。可以看出,在所有网络中,平均节点度都明显下降,连通子图数量都显著上升,表明网络的离散性和碎片化程度增加。其中,实体清单叠加上游限制的贸易封锁影响最大,导致节点度下降和连通子图数量上升最为明显。例如,在该贸易封锁下,业务网络的连通子图数量从 63 个上升至 361 个,技术网络的连通子图数量从 177 个上升至 323 个,组织网络的连通子图数量从 599 个上升至 3259 个。这表明定点攻击和针对我国芯片产业链上游的软件使用限制两种贸易封锁策略相叠加后,对我国芯片产业链网络的结构造成了最严重的损耗。

表 4　贸易封锁对芯片产业网络的影响

Table 4　Impact of the trade blockade on the chip industry network

	业务网络		技术网络		组织网络	
	平均度	连通子图数	平均度	连通子图数	平均度	连通子图数
冲击前	2.343	63	2.77	177	1.891	599
实体清单	1.957	188	2.621	236	1.779	1120
实体清单 + 上游限制	1.375	361	2.412	323	1.301	3259
实体清单 + 中游限制	1.906	197	2.493	294	1.308	3235

4.3　疫情冲击和贸易封锁对芯片产业网络影响的比较分析

为了对疫情冲击和贸易封锁造成的网络韧性损害进行比较,选择受到疫情冲击最大的城市(业务网路和技术网络中的北京,组织网络中的深圳)与贸易封锁造成网络结构韧性损耗最严重的类型(实体清单 + 上游限制)之间进行比较分析。表 5 列示了平均度和连通子图数量的比较结果。可以看出,相较于疫情冲击,贸易封锁造成的芯片产业网络结构韧性的损耗更严重。

表 5　疫情冲击和贸易封锁对三类网络的影响比较

Table 5　Comparison of the impacts of the epidemic and trade blockade on three types of networks

	冲击前	疫情影响	实体清单 + 上游限制
业务网络		北京	
平均度	2.343	2.092	1.375
连通子图数	63	145	361
技术网络		北京	
平均度	2.77	2.44	2.412
连通子图数	177	259	323
组织网络		深圳	
平均度	1.891	1.654	1.301
连通子图数	599	1530	3259

5　研究结论与对策建议

5.1　研究结论

本研究基于系统韧性理论和复杂网络方法,探讨了新冠疫情和贸易封锁对芯片产业网络的冲击效应。样本企业在产业链各环节呈现“倒 U 型”分布,中间装配制造环节发达,而上游芯片设计和下游应用开发等高附加值环节薄弱,这种结构性失衡限制了价值创造能力并增加风险暴露度。芯片产业的业务网络、技术网络和组织网络呈现规模差异化、异质性匹配连接模式以及显著的聚类特征差异。

(1) 新冠疫情的冲击机制与影响效应

新冠疫情通过地理封锁政策引发区域性网络断裂,迫使特定地区企业暂时退出产业网络,导致业务联系、技术合作和组织协同关系中断。制造环节因高度地理依赖性在停工停产政策下表现出极强脆弱性,而设计和应用开发等知识密集型环节因远程工作可行性和数字化转型加速,网络韧性相对较强。模拟分析显示,疫情冲击导致三类网络的离散性和碎片化程度显著上升,其中北京的业务网络和技术网络碎片化最严重,深圳的组织网络碎片化最严重,上海在三类网络中结构韧性最强。

(2) 贸易封锁的冲击机制与影响效应

贸易封锁体现为精准打击与链条阻断的双重破坏效应。美国通过“实体清单”精准打击关键节点企业,产生显著级联效应,而出口管制政策阻断关键技术和物料供应,对特定产业链环节形成系统性冲击。研究发现,三种贸易封锁形式中,实体清单叠加上游限制对产业链冲击最大,表现为三类网络平均

度下降最大、连通子图数量上升最多。

(3) 两种冲击机制的比较分析

两种冲击机制的本质差异在于影响的可逆性和持续性。疫情冲击主要为暂时性网络中断,具有重新恢复的可能性,而贸易封锁则是战略性长期约束,造成的网络结构变化往往不可逆。对比分析显示,贸易封锁造成的网络结构韧性损耗更严重,业务网络、技术网络和组织网络的平均度下降更大、连通子图数量上升更多,碎片化和离散化程度更严重,体现了战略性封锁政策的强大破坏力。

5.2 对策建议

针对疫情冲击和贸易摩擦对芯片产业网络结构造成的负面影响,建议采取以下综合性策略来提升产业的风险防控能力。

首先,通过产业链结构优化实现风险分散化布局。政府应加大对上游芯片设计和下游应用开发环节的政策支持和资源投入,通过税收优惠、研发补贴、人才引进等措施,鼓励企业向产业链高附加值环节拓展,逐步改变当前"倒 U 型"的产业结构,构建更加均衡和韧性的产业生态。同时,推动产业链关键环节的多元化发展,避免过度依赖单一技术路线或供应商,建立多层次、多路径的供应保障体系。

其次,强化产业网络的协同整合机制。面对贸易封锁等战略性冲击的持续威胁,企业应主动实施供应链多元化战略,减少对单一市场和技术的依赖,同时加大自主创新投入,提升关键核心技术的自主可控水平。政府和行业组织应搭建更多的产业合作平台,促进不同类型企业之间的深度协作,特别是加强业务网络的连接密度,提升企业间的合作水平。通过建立产业联盟、技术创新联合体等组织形式,推动业务合作从简单的买卖关系向战略伙伴关系转变,从技术合作向协同创新转变,从组织联系向深度融合转变。同时,建立产业网络健康监测机制,定期评估网络结构的稳定性和韧性水平,及时识别和处置网络中的脆弱节点和薄弱环节。

再次,构建差异化的区域协调发展格局。针对不同城市在产业网络中的地位和受冲击程度的差异,制定精准化的区域发展策略。对于像北京这样在业务和技术网络中表现出较高脆弱性的地区,应重点加强产业链协调能力建设,提升企业间的业务整合水平和技术协同效率。对于深圳等组织网络相对脆弱的地区,应着力完善产业治理体系,强化行业组织的协调功能。同时,发挥上海等韧性较强地区的辐射带动作用,通过产业转移、技术扩散、人才流动等方式,推动区域间产业资源的优化配置和协调发展。

最后,需要深化国际合作与开放发展的战略布局。在维护产业安全的前提下,继续推进高水平对外开放,积极参与全球产业链分工合作,通过"一带一路"倡议等平台,加强与相关国家和地区的产业合作,构建更加多元化和稳定的国际合作网络。同时,加强在国际标准制定、技术规范统一等方面的话语权争取,通过规则制定权的获得来降低未来面临技术封锁的风险。通过内外并举的策略组合,实现芯片产业在复杂国际环境下的可持续健康发展。

参考文献:

[1] 安树伟,黄艳. 突发公共卫生事件对区域经济韧性的影响机制与应对:来自中国新冠病毒感染疫情的证据[J]. 中国软科学, 2024(1): 76 – 85. An S W, Huang Y. How to empower organizational resilience and reshape the dual innovation model in crisis situations: Exploratory research based on the context of the US entity list[J]. China Soft Science, 2024(1): 76 – 85.

[2] 袁振邦,张群群. 贸易摩擦和新冠疫情双重冲击下全球价值链重构趋势与中国对策[J]. 当代财经, 2021(4): 102 – 111. Yuan Z B, Zhang Q Q. The trend of global value chain reconstruction under the double impacts of trade frictions and Covid – 19 pandemic and china's countermeasures[J]. Contemporary Finance & Economics, 2021(4): 102 – 111.

[3] Hallegatte S. The indirect cost of natural disasters and an economic definition of macroeconomic resilience[R]. World Bank Policy Research Working Paper, 2015: 7357.

[4] 张桐赫,何海燕,孙磊华,等. 产业链核心技术堵点识别与分析研究——以芯片产业为例[J]. 中国科技论坛, 2024, 40(1): 38 – 49. Zhang T H, He H Y, Sun L H, et al. Identification and analysis of core technology blockage points in the industrial chain——Taking the IC industry as an example[J]. Forum on Science and Technology in China, 2024, 40(1): 38 – 49.

[5] 陈旭,江瑶,熊焰,等. 关键核心技术"卡脖子"问题的识别及应用:以 AI 芯片为例[J]. 中国科技论坛, 2023, 39(9): 17 – 27. Chen X, Jiang Y, Xiong Y, et al. Identification and application of "bottleneck" Issues in key core technologies: Taking AI chips as an example[J]. Forum on Science and Technology in China, 2023, 39(9): 17 – 27.

[6] 周骁,郭树华. 商业模式创新视角下我国芯片产业转型升级路径研究[J]. 财经理论与实践, 2023, 44(3): 102 - 111. Zhou X, Guo S H. Research on the transformation and upgrading path of China's chip industry from the perspective of business model innovation [J]. The Theory and Practice of Finance and Economics, 2023, 44(3): 102 - 111.

[7] 陈玲,薛澜. 中国高技术产业在国际分工中的地位及产业升级:以集成电路产业为例[J]. 中国软科学, 2010(6): 36 - 46. Chen L, Xue L. China's high - tech industry in the international division of labor and its industrial upgrading strategies: A case study of IC industry [J]. China Soft Science, 2010(6): 36 - 46.

[8] 蔡跃洲,马晔风,牛新星. 新冠疫情对集成电路产业的冲击与中国面临的挑战[J]. 学术研究, 2020, 51(6): 86 - 93,178. Cai Y Z, Ma Y F, Niu X X. The impact of COVID - 19 pandemic on IC industry and the challenge for China[J]. Academic Research, 2020, 51(6): 86 - 93,178.

[9] 张云涛,陈家宽,温浩宇. 中国集成电路制造供应链脆弱性研究[J]. 世界科技研究与发展, 2021, 43(3): 356 - 366. Zhang Y T, Chen J K, Wen H Y. Research on vulnerability of Chinese IC supply chain [J]. World Sci - Tech R&D, 2021, 43(3): 356 - 366.

[10] 张晴,于津平. 制造业投入数字化与全球价值链中高端跃升——基于投入来源差异的再检验[J]. 财经研究, 2021, 47(9): 93 - 107. Zhang Q, Yu J P. Input digitization of manufacturing industry and upgrading in GVC: Reexamination based on the difference of input source[J]. Journal of Finance and Economics, 2021, 47(9): 93 - 107.

[11] 刘江会,卢海燕,黄国妍. "双循环"格局演进过程中的风险产业识别研究[J]. 中国软科学, 2022(12): 153 - 164. Liu J H, Lu H Y, Huang G Y. Research on risk industry identification in the evolution of "dual circulation" pattern[J]. China Soft Science, 2022(12): 153 - 164.

[12] 刘家国,许浩楠. 双循环视角下我国全球供应链韧性体系建设研究[J]. 中国软科学, 2023(9): 1 - 12. Liu J G, Xu H N. Construction of China's global supply chain resilience from the perspective of Dual - Circulation[J]. China Soft Science, 2023(9): 1 - 12.

[13] 周霞,于娱,施琴芬. 基于专利引用的通信芯片产业创新网络韧性研究[J]. 软科学, 2024, 38(8): 94 - 104. Zhou X, Yu Y, Shi Q F. Resilience of the innovation network in the communication semiconductor industry based on patent citations[J]. Soft Science, 2024, 38(8): 94 - 104.

[14] Helbing D. Globally networked risks and how to respond [J]. Nature, 2013, 497(7447): 51 - 59.

[15] 甄珍,王凤彬. 逆境事件冲击下全球价值链系统韧性的动态演化——基于嵌入性多案例的纵向研究[J]. 中国工业经济, 2022(10): 174 - 192. Zhen Z, Wang F B. Evolution of GVC system resilience in response to the impact of adverse events——A longitudinal study based on embedded multi - cases[J]. China Industrial Economics, 2022(10): 174 - 192.

[16] 贺灿飞,陈韬. 外部需求冲击、相关多样化与出口韧性[J]. 中国工业经济, 2019(7): 61 - 80. He C F, Chen T. External demand shocks, related variety and resilience of export[J]. China Industrial Economics, 2019(7): 61 - 80.

[17] 郭剑明,王婧怡,周云峰,等. 基于专利网络节点重要性的核心专利识别方法研究[J]. 情报杂志, 2023, 42(5): 162 - 168,191. Guo J M, Wang J Y, Zhou Y F, et al. Research on the core patents identification method based on node importance of patents network [J]. Journal of Intelligence, 2023, 42(5): 162 - 168, 191.

[18] 刘晓燕,李金鹏,单晓红,等. 动态视角下集成电路产业创新网络演化特征分析[J]. 中国科技论坛, 2019(11): 48 - 55. Liu X Y, Li J P, Shan X H, et al. Analysis of evolution characteristics of integrated circuit industry innovation network from dynamic perspective [J]. Forum on Science and Technology in China, 2019(11): 48 - 55.

[19] 刘晓燕,李金鹏,单晓红,等. 多维邻近性视角下集成电路产业技术交易网络演化机制研究[J]. 中国科技论坛, 2022(5): 49 - 57,70. Liu X Y, Li J P, Shan X H, et al. Research on the evolution mechanism of IC industry technology trading network from the perspective of multi - dimensional proximity [J]. Forum on Science and Technology in China, 2022(5): 49 - 57,70.

[20] 李连刚,胡晓辉. 新冠肺炎疫情下中国区域经济韧性时空格局与影响因素分析[J]. 世界地理研究, 2023, 32(3): 64 - 75. Li L G, Hu X H. Analysis on the spatial - temporal pattern and influencing factors of regional economic resilience in China under the COVID - 19 pandemic[J]. World Regional Studies, 2023, 32(3): 64 - 75.

[21] 黄群慧. 新冠肺炎疫情对供给侧的影响与应对:短期和长期视角[J]. 经济纵横, 2020(5): 46 - 57,2. Huang Q H. Impact of COVID - 19 epidemic on supply

side and countermeasures: Short – term and long – term perspectives[J]. Economic Review Journal, 2020(5): 46 – 57,2.

[22] 徐示波,仲伟俊. 危机情境下双元创新模式如何赋能组织韧性重塑:基于美国实体清单情境的探索性研究[J]. 中国软科学, 2024(3): 26 – 36. Xu S B, Zhong W J. How dual innovation model empowers organizational resilience rebuilding in crisis situations: An exploratory study based on the context of the US entity list[J]. China Soft Science, 2024(3): 26 – 36.

[23] 尹西明,张贝贝,陈泰伦,等. 我国集成电路现代化产业体系构建的战略与路径思考[J]. 中国科学院院刊, 2024, 39(7): 1 – 14. Yin X M, Zhang B B, Chen T L, et al. Insights on strategy and approach for China to construct a modern integrated circuits industrial system[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(7): 1 – 14.

Network shock effects on China′s chip industry under multiple risks

GU Jie[1], YAO Xin – lin[2], HU An – an[3]

(1. Shanghai Academy of Social Sciences, Shanghai 200235, China; 2. Nankai University business school, Tianjin 300071, China; 3. Fudan University Tourism Department, Shanghai 200433, China)

Abstract: The chip industry is a key industry supporting modern science and technology and economic development, but its long industrial chain and complex global competition and cooperation pattern make it being significantly impacted by external shocks. Especially in recent years, the coronavirus epidemic and the Sino – US trade frictions have a huge impact on China′s chip industry. Facing complex and changeable external environment, it is urgent to examine the risks faced by China′s chip industry from the perspective of network resilience. Based on the complex network theory, this study constructed a multi – dimension industrial network from business, technology and organization, and used the social network analysis method to compare and analyze the change of industrial networks under the epidemic impact and trade impact scenarios. The impact of the epidemic and trade friction will lead to the increase of the degree of dispersion and fragmentation of the chip industry network. After different cities were affected by the epidemic, the three types of networks in the chip industry were affected to different degrees. Compared with the impact of the epidemic, the loss of the toughness of the chip industry network structure caused by the trade blockade is more serious. This study has enriched the theory of industrial toughness and provided decision – making reference for improving the risk prevention and control ability of the chip industry.

Key words: chip industry; network resilience; multiple risks; COVID – 19; trade friction