

基于 SEM—模糊综合评价的集成电路 产业链韧性评价研究

吴松强,戴颖茏,潘 杰

(南京工业大学经济与管理学院,江苏 南京 211816)

摘 要:集成电路产业作为国民经济的重要支柱,兼具高技术、高投入与高风险特征。针对当前产业链韧性不足导致的“断链”风险,从抵抗吸收能力、调整适应能力和恢复更新能力 3 个维度构建包含 9 个二级指标及 29 个三级指标的集成电路产业链韧性评价体系。通过结构方程模型(SEM)量化指标权重,揭示各维度间的内在关联,并结合模糊综合评价法,以南京江北新区为实证案例,评估其产业链韧性水平。研究表明:江北新区集成电路产业链总体韧性表现良好,其中恢复更新能力显著优于抵抗吸收能力与调整适应能力,与区域创新驱动发展现状相符。这个模型突破了传统方法对数据变异和主观判断的依赖,通过 SEM—模糊综合评价的融合方法,实现了指标权重的客观赋权与韧性等级的科学划分,为产业链韧性动态监测与精准提升提供了理论工具和实践范式。

关键词:集成电路产业链;产业链韧性;结构方程模型;模糊评价

中图分类号:F426. 63;F273. 1

文献标识码:A

文章编号:1005-0566(2025)05-0166-13

Research on the resilience evaluation of the integrated circuit industry chain based on SEM-fuzzy comprehensive evaluation

WU Songqiang, DAI Yinglong, PAN Jie

(College of Econoomics and Management, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China)

Abstract: The integrated circuit (IC) industry is a vital pillar of the national economy, characterized by high technology, high investment, and high risk. This paper addresses the “supply chain disruption” risks arising from the insufficient resilience of the current IC industry chain. It constructs an evaluation system for the resilience of the IC industry chain, incorporating three dimensions: resistance absorption, adjustment adaptability, and recovery renewal capacity, with 9 secondary indicators and 29 tertiary indicators. The Structural Equation Model (SEM) is applied to quantify the weights of the indicators and reveal the intrinsic correlations among the dimensions. Additionally, the Fuzzy Comprehensive Evaluation method is employed, with the Jiangbei New District of Nanjing used as an empirical case to assess the resilience of its industry chain. The study shows that the overall resilience of Jiangbei New District’s IC industry chain is good, with the recovery renewal capacity significantly outperforming the resistance absorption and adjustment adaptability, aligning with the region’s innovation-driven development status. This model breaks through traditional methods that rely on data variability and subjective judgment, achieving objective assignment of indicator weights and scientific classification of

收稿日期:2025-02-27 修回日期:2025-04-24

基金项目:国家社会科学基金项目“集成电路产业集群韧性测度、影响因素和提升路径研究”(21BJY020);国家统计局课题项目“新形势下我国产业链供应链韧性监测研究”(2023LY073);江苏高校哲学社会科学研究重大项目“中国式现代化江苏新实践:新兴行业产业链供应链韧性与安全水平研究”(2024SJZD055)。

作者简介:吴松强(1975—),男,湖北汉川人,博士,教授,硕士生导师,研究方向为数字经济与产业创新、技术经济与管理。

resilience levels through the SEM-Fuzzy Comprehensive Evaluation integration method, providing theoretical tools and practical paradigms for dynamic monitoring and precise enhancement of industry chain resilience.

Key words: integrated circuit industry chain; industry chain resilience; structural equation model; fuzzy evaluation

集成电路产业作为国民经济的基础性、战略性新兴产业,其技术密集性与全球供应链深度嵌套特征使得产业链韧性直接关乎国家经济安全与科技主权。尽管我国已将集成电路发展上升至国家战略高度,但因起步较晚,核心技术长期匮乏,产业链仍呈现“大而不强”的困境,关键环节如高端光刻机、电子设计自动化(EDA)工具等严重依赖进口,自主可控能力薄弱。

近年来,中美科技博弈加剧,以美国对华为、中芯国际等企业的实体清单制裁为标志^[1-2],全球供应链震荡与地缘政治冲突叠加,导致我国集成电路产业链“断链”风险从潜在威胁演变为现实挑战。数据显示,2023年我国集成电路进口额高达3 494亿美元,对外依存度仍超70%,其中7 nm以下先进制程芯片几乎完全依赖进口。若关键环节遭遇技术封锁或供应中断,将直接冲击通信、人工智能、国防等战略领域,威胁国家经济安全与科技主权。这一严峻现实倒逼学界与产业界亟需突破传统评估范式,构建科学量化的韧性评价体系,为破解“卡脖子”困境、实现产业链自主可控提供决策依据。

一、文献综述

(一)产业链韧性的形成机制

现有研究主要围绕产业链韧性的形成机制,形成了“韧性—脆弱性双重视角”与“综合韧性分析”两类研究路径。其中,“韧性—脆弱性”视角强调产业链系统的内在矛盾性:崔娟娟等^[3]通过解构江苏装备制造产业的创新、结构、政府功能与产业文化4个维度,揭示了产业系统在外部冲击下稳定性失衡的本质在于“韧性—脆弱性”的动态博弈。“综合韧性分析”则侧重系统性诊断:单媛等^[4]从外部风险冲击、抵御能力与协同效率3个层面建立分析框架,指出产业链韧性是风险传导机制与系统自适应能力的函数;陈晓东等^[5]通过产业基础能力、要素市场化与创新生态的关联分析,揭示了我国产业链韧性薄弱的结构性成因。

这些研究为解析集成电路产业链的“断链”风险提供了理论基石,但尚未形成针对高技术产业的脆弱性识别框架^[6-7]。

(二)产业链韧性的评价体系构建

随着全球产业链重构与技术封锁加剧,构建兼具理论深度与实践价值的产业链韧性评价体系,对于诊断产业薄弱环节、制定精准补链策略具有重要意义^[8]。学界基于产业链韧性内涵的演进特征,从产业特性、评价维度和方法工具3个层面展开了系统性探索,形成了多视角的研究范式^[9-10]。

在产业特性方面,现有研究呈现出“共性框架与特性适配”相结合的特征。学者以典型产业为样本,验证了韧性理论在不同产业链场景中的解释力:吕雅辉等^[11]从断裂韧性、冲击韧性、演化韧性3个维度构建了农业产业链韧性评价指标体系;王泽宇等^[12]以海洋船舶业为对象,揭示了全球化程度高的长链条产业抵御地缘风险的关键机制;韩增林等^[13]针对海洋渔业资源依赖性强、生态约束显著的特点,构建了包含环境承载力的韧性评估框架。在数字经济领域,李茂等^[14]聚焦北京数字产业的创新生态特征,特别强调了技术迭代速度对韧性评价指标的修正作用;朱永光等^[15]则针对铜资源产业的战略金属属性,构建了包含国际定价权、储备调节能力的特色指标体系。这些案例表明,产业技术特征、市场结构和政策导向共同塑造着韧性评价的差异化维度^[16-17]。

在评价指标构建方面,研究形成了“核心维度稳定、衍生指标拓展”的动态发展格局。通过对现有的文献比较发现,大多文献以“抵抗能力及恢复能力”构成基础性指标,这反映了学界对产业链韧性的基本逻辑为“抗冲击—复原”的共识。而在对具体产业链韧性进行评价时,学者选取的指标则呈现创新性分化,包括王泽宇等^[12]提出的“再组织能力”强调产业链节点重构效率,韩增林等^[13]发展的“创新转型能力”侧重技术代际跃迁潜力,李茂等^[14]界定的“适应再生能力”则融合了市场

响应与政策调控的交互作用。这种“基础 + 衍生”的指标架构,既保证了理论体系的延续性,又增强了特定场景的解释力^[18-19]。

在方法工具层面,现有研究呈现出“模型组合创新、权重算法优化”的技术演进路径。基础熵值法的广泛应用体现了对指标客观赋权的重视。张旻^[20]基于熵权 TOPSIS 法测度高技术产业链韧性,揭示了区域差距的显著性及更新力不足的结构性矛盾;朱永光等^[15]运用的经独立性调整熵权法,通过指标关联度修正有效解决了信息重叠问题。在复杂系统建模方面,Li 等^[21]在广义三阶段 DEA 模型的基础上,结合灰色关系分析理论和视差分解模型,构建了衡量半导体产业创新效率的新框架;劳晓云等^[22]从复合系统视角剖析半导体产业链韧性,指出企业关联强度与创新能力对韧性的非线性影响,为构建动态评价体系提供了方法论启示。然而,既有方法在应对集成电路产业技术迭代加速与地缘政治风险叠加时,仍存在关键指标权重失真、风险预警滞后等局限^[23-24]。

另外,韧性动态模型以及复杂网络理论等方法也被广泛运用于产业链、供应链韧性研究当中。Ivanov 等^[25]提出的“数字孪生—韧性控制塔”框架,通过实时数据映射与蒙特卡罗仿真,实现了供应链中断风险的动态推演与自适应响应。在集成电路产业场景中,该模型可量化关键节点中断对全链条的级联效应。此外,学界通过实证数据与理论模型构建供应链网络研究体系^[26],系统分析其拓扑结构特性^[27]与组织演化规律,精准识别网络中的关键控制节点及潜在风险传导路径等。复杂网络理论的深度融入,不仅揭示了产业链、供应链系统的结构本质与动态行为特征,更为增强系统抗冲击能力、优化资源配置效率开辟了方法论创新路径。

既有研究虽构建了多产业韧性评价框架,但针对集成电路产业的适配性研究明显滞后。在理论层面,当前成果多聚焦于海洋船舶、战略金属等传统领域,对集成电路产业特有的技术密集型、迭代周期短等属性缺乏响应;在方法层面,主流研究采用的熵值法与层次分析法存在一定局限,熵值法

过度依赖数据离散度,层次分析法受限于专家主观偏好。这导致既有模型在评估集成电路产业链时,易出现关键指标权重失真、风险预警滞后等问题。

相比之下,结构方程模型(SEM)具有显著优势。它能够同时处理多个因变量,并有效剔除测量误差,避免了因测量误差累积对结果的干扰^[28]。SEM 可以整合测量题目、因子间的复杂关系,全面反映集成电路产业链韧性各指标之间的内在联系,而非孤立地分析单个指标。鉴于此,本文在前人研究的基础上,融合 SEM 与模糊综合评价法,构建集成电路产业链韧性评价模型。SEM 与模糊综合评价的耦合机理体现在:SEM 通过验证性因子分析(CFA)可有效识别潜变量间的结构关系,解决传统模糊评价中指标独立性假设的偏差;同时,模糊数学处理定性指标的能力弥补了 SEM 对主观判断数据的量化局限。在集成电路产业链场景中,这种组合既能解析风险传导的多路径依赖,又能通过隶属度函数刻画政策支持等软性指标的渐变效应,较单一方法能有效提升评估效度。

综上,该模型不仅能系统识别和评估产业链潜在的“断链”风险,为风险防控提供坚实的理论支撑,更能突破传统方法对数据变异和主观判断的依赖,实现指标权重的客观赋权与韧性等级的科学划分,为产业链韧性动态监测与精准提升提供了理论工具和实践范式。

二、集成电路产业链韧性评价模型构建

(一)模型构建思路

随着逆全球化趋势加剧,我国集成电路产业链外部环境日趋复杂,“断链”风险日益上升,强化产业链韧性成为我国推动高质量发展的关键路径。深入剖析产业链韧性机制,对提升应对风险能力至关重要。本文筛选并归纳了产业链韧性研究中的核心维度关键词,如表 1 所示^[29]。

通过对国内外关于产业链韧性评价文献的梳理,根据产业链韧性的自适应性、阶段性及动态性特征,本文以断链为时间节点将风险冲击划分为事前、事中和事后 3 个阶段,从抵抗吸收能力维度、调整适应能力维度以及恢复更新能力 3 个维度构建集成电路产业链评价指标体系,如图 1 所示。

表1 集成电路产业链韧性维度划分

研究方面	维度划分	代表学者
产业链韧性	敏捷、鲁棒性	Wieland 等 ^[30]
	抵御能力、恢复能力、再组织能力和更新能力	王泽宇等 ^[12]
	抵抗恢复能力、适应调整能力和创新转型能力	韩增林等 ^[13]
	应对断链能力、恢复重连能力、适应再生能力和创新升级能力	李茂等 ^[14]
	抵御能力、恢复能力、再组织能力和更新能力	朱永光等 ^[15]
	预测能力、抵抗能力、恢复能力	王平等 ^[31]
	冲击吸收、冲击适应、恢复更新、再组织	吴松强等 ^[32]

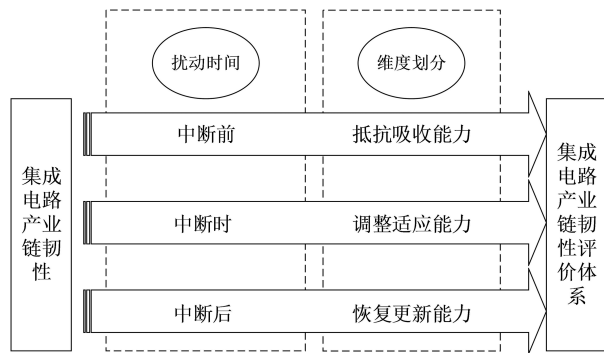


图1 集成电路产业链韧性评价模型构建思路

(二) 指标体系构建

集成电路产业链韧性评价体系的构建需兼顾理论深度与实践导向,其核心在于科学解构韧性内涵并实现多维度的可操作化。基于产业链韧性理论框架与集成电路产业特征,本文通过文献计量与专家咨询法,系统梳理了抵抗吸收能力、调整适应能力及恢复更新能力三大核心维度(见表1)。这一定义与 Holling^[34]提出的生态系统韧性“扰动—适应—再生”三阶段理论相呼应。

在维度划分的基础上,本文进一步结合集成电路产业的技术密集性、全球分工嵌套性及迭代周期短等特有属性,对一级指标进行细化解构。

其一,抵抗吸收能力(A):反映产业链在风险冲击前的预防能力与冲击发生时的缓冲能力,包含风险管理水平(A_1)、产业链结构水平(A_2)、应急管理能力和产业协同集聚效应(A_4)4个二级指标。例如,风险管理水平的测量指标涵盖风险识别(A_{11})、风险控制(A_{12})与风险监督(A_{13}),旨在量化企业对技术封锁、供应链中断等风险的预警

与管控能力;产业链结构水平则通过链条完整性(A_{21})、稳定性(A_{22})与灵活性(A_{23})反映产业链节点冗余度与架构健壮性^[35-36],契合 Wieland 等^[30]提出的供应链鲁棒性理论。

其二,调整适应能力(B):表征产业链在冲击持续阶段的动态调整能力,重点考察数字化转型与政策支持的协同效应。其中,数字化成熟度(B_1)从战略与组织(B_{11})、基础设施(B_{12})、业务流程与管理数字化(B_{13})及绩效产出(B_{14})4个层面衡量企业数字化渗透水平^[33];政府支持力度(B_2)则通过政策扶持(B_{21})、生产要素供给(B_{22})与服务配套(B_{23})评估政策工具对产业适应能力的赋能效果,呼应李茂等^[14]关于数字技术加速韧性重构的研究结论。

其三,恢复更新能力(C):聚焦冲击后产业链的再生与升级潜力,包含科技创新能力(C_1)、资源整合能力(C_2)及企业文化建设水平(C_3)^[37]3个二级指标。科技创新能力下设创新投入(C_{11})、产出(C_{12})与环境(C_{13}),直接关联集成电路产业“卡脖子”技术的突破效率;资源整合能力则通过外部资源协同(C_{21})与内部资源优化(C_{22})反映产业链重构能力,契合王泽宇等^[12]提出的“再组织能力”理论。此外,企业文化建设水平(C_3)下设使命导向、核心价值观一致性等指标,借鉴 Schein 等^[38]的组织文化三层次理论,其作用机理为:核心价值观一致性(C_{32})能有效降低内部摩擦成本,增强危机响应的决策效率;员工参与度(C_{34})直接影响知识共享水平,在一定程度上会影响组织韧性。其次,Nonaka 等^[39]指出,参与性文化通过社会化机制促进隐性知识的流动,进而促进创新能力提升以增强组织韧性。该维度设置呼应了 Khojasteh^[37]提出的“韧性文化”构念,证实了软性指标对硬技术创新力的调节作用,同时印证了王国红等^[40]的“文化—行为—能力”的理论模型,企业文化能够通过促进企业创新效率、创新质量和知识宽度的提升,进而对组织韧性的稳定性和灵活性产生积极作用。

最终形成的评价体系包含3个一级指标、9个二级指标及29个三级指标(见表2)^[29]。以下是创新性特征。

其一,动态适配性。指标体系覆盖风险冲击的事前、事中、事后全周期,突破了传统静态评估的局限。例如,应急管理能力(A_3)中的“应急预案匹配程度(A_{33})”与恢复更新能力(C)中的“创新环境(C_{13})”形成闭环,体现韧性从被动防御到主动升级的动态衔接。

其二,产业特异性。针对集成电路产业技术迭代快、生态依赖性强的特点,增设“知识溢出效应(A_{43})”“数字化绩效产出(B_{14})”等指标,弥补了以往研究中指标泛化导致的解释力不足问题。

由此可见,该指标体系不仅为集成电路产业链韧性提供了系统化诊断工具,还可为其他高技术产业的韧性研究提供范式参考。

表 2 集成电路产业链韧性评价体系

一级指标	二级指标	测量指标
抵抗吸收能力 A	风险管理水平 A_1	风险识别 A_{11}
		风险控制 A_{12}
		风险监督 A_{13}
	产业链结构水平 A_2	链条完整性 A_{21}
		链条稳定性 A_{22}
		链条灵活性 A_{23}
	应急管理能力 A_3	应急预案完善程度 A_{31}
		应急响应速度 A_{32}
		应急预案匹配程度 A_{33}
		应急效果评估机制 A_{34}
	产业协同集聚效应 A_4	劳动市场共享 A_{41}
		规模经济效应 A_{42}
		知识溢出效应 A_{43}
调整适应能力 B	数字化成熟度 B_1	数字化战略与组织 B_{11}
		数字化基础设施 B_{12}
		业务流程与管理数字化 B_{13}
		数字化绩效产出 B_{14}
	政府支持力度 B_2	政策支持 B_{21}
		生产要素供给 B_{22}
恢复更新能力 C	科技创新能力 C_1	服务配套 B_{23}
		创新投入 C_{11}
		创新产出 C_{12}
	资源整合能力 C_2	创新环境 C_{13}
		外部资源协同 C_{21}
		内部资源优化 C_{22}
	企业文化建设水平 C_3	使命导向 C_{31}
		核心价值观一致性 C_{32}
		适应性文化 C_{33}
		员工参与度 C_{34}

(三) 问卷设计与数据分析

1. 问卷设计

根据文献梳理、专家学者意见询问等方式获得的相关信息,本文设计了集成电路产业链韧性

调查问卷。问卷分为两部分:第一部分主要搜集包括受访者个人信息方面和企业信息方面的数据内容,为后续的问卷内容提供基础数据支持;第二部分是问卷的主体部分,旨在通过题项广泛征集集成电路产业链相关人员对指标影响产业链韧性能力强弱的看法意见。问卷具体采用李克特五级评分法,从 1 分“完全无影响”至 5 分“影响非常大”,对指标与产业链韧性能力的影响程度打分。本文在问卷初步设计完成后,于 2023 年 11 月—2023 年 12 月,先后咨询了上游芯片材料和设备制造商、中游设计、封装及测试有关企业、下游应用商及产业链领域的专家学者,得到了最终的集成电路产业链韧性调查问卷。

2. 数据分析

本文调研对象为集成电路产业链上下游企业,对被调研者进行严格筛选以确保问卷数据的准确可靠;以企业管理层工作人员作为调研对象,要求被调研者必须有至少 3 年的工作经验。调研时间为 2023 年 12 月—2024 年 2 月。并且为了使量表更具合理性,本文依次开展预调研和正式调研。预调研共计发放问卷 60 份,回收 48 份,并请受访者在有疑义的题项上做出标记。正式调研委托半导体产业协会向有关企业管理层人员发送电子问卷的形式进行,总共发放了 420 份,剔除无效样本 20 份,最后获得有效问卷为 400 份,有效回收率为 95.23%。

在样本的描述性统计分析中,本文统计了参与调查的受访者及其所属企业的基本信息,为深入探究集成电路产业链韧性评价提供了基础数据支持。统计结果见表 3 所示。

(四) 信度与效度分析

为评估测度问题的稳定性和可靠性,常采用克隆巴赫 α 系数衡量信度,通常认为 α 需大于 0.5。

通过 SPSS 27.0 工具对抵抗吸收能力维度量表的信度进行分析,如表 4 所示。在抵抗吸收能力维度中,每个测量题目的克隆巴赫 α 系数值都大于 0.9,所以该量表具有良好的内部一致性。各题项删除项后的克隆巴赫 α 系数均小于抵抗吸收能力的克隆巴赫 α 系数,故该题选可以保留。

表3 样本描述

变量	选项	频率	百分比/%
性别	男	233	58.25
	女	167	41.75
文化程度	本科以下	91	22.75
	本科	206	51.50
	硕士	72	18.00
	博士及以上	31	7.75
所在领域	芯片材料和设备制造领域	104	26.00
	设计、制造及封装测试领域	180	45.00
	集成电路产品应用领域	116	29.00
企业类型	初创企业	131	32.75
	成长型企业	180	45.00
	成熟型企业	55	13.75
	行业领导者	34	8.50
企业年龄	小于1年	77	19.25
	1~5年	163	40.75
	6~10年	125	31.25
	超过10年	35	8.75
企业规模	小于100人	135	33.75
	100~500人	154	38.50
	501~1000人	83	20.75
	超过1000人	28	7.00
	总计	400	100.00

表4 抵抗吸收能力克隆巴赫 Alpha 系数检验

一级指标	二级指标	题选编号	删项后克隆巴赫 Alpha	克隆巴赫 Alpha
抵抗吸收能力	风险管理水平	A ₁₁	0.947	0.951
		A ₁₂	0.948	
		A ₁₃	0.947	
	产业链结构水平	A ₂₁	0.947	
		A ₂₂	0.947	
		A ₂₃	0.947	
	应急管理能力	A ₃₁	0.947	
		A ₃₂	0.947	
		A ₃₃	0.948	
		A ₃₄	0.947	
	产业协同集聚效应	A ₄₁	0.947	
		A ₄₂	0.947	
		A ₄₃	0.947	

同理,运用 SPSS 27.0 工具对调整适应能力与恢复更新能力进行信度分析,每个测量题目的克隆巴赫 α 系数值均大于 0.9,即以下 2 个量表均具有良好的内部一致性。结果如表 5、表 6 所示。

表5 调整适应能力克隆巴赫 Alpha 系数检验

一级指标	二级指标	题选编号	删项后克隆巴赫 Alpha	克隆巴赫 Alpha
调整适应能力	数字化成熟度	B ₁₁	0.903	0.915
		B ₁₂	0.903	
		B ₁₃	0.901	
		B ₁₄	0.902	
	政府支持力度	B ₂₁	0.902	
		B ₂₂	0.903	
		B ₂₃	0.903	

表6 恢复更新能力克隆巴赫 Alpha 系数检验

一级指标	二级指标	题选编号	删项后克隆巴赫 Alpha	克隆巴赫 Alpha
恢复更新能力	科技创新能力	C ₁₁	0.929	0.935
		C ₁₂	0.929	
		C ₁₃	0.927	
	资源整合能力	C ₂₁	0.928	
		C ₂₂	0.927	
		C ₃₁	0.929	
	企业文化建设水平	C ₃₂	0.927	
		C ₃₃	0.927	
		C ₃₄	0.928	

综上,在经过量表各维度信度检验后,该量表总体及 3 个维度的克隆巴赫 α 系数如表 7 所示。

表7 总体及各维度克隆巴赫 Alpha 系数

维度	克隆巴赫 Alpha	项数
抵抗吸收能力维度	0.951	13
调整适应能力维度	0.915	7
恢复更新能力维度	0.935	9
总体	0.947	29

同时,为验证效度,即因子间及因子内的有效性,本文亦采用 SPSS 25.0 进行检验。如表 8 所示,KMO 值为 0.966,远超 0.7 门槛,表明数据高度相关,适合因子分析。Bartlett 检验 p 值极接近 0,显著性高,确认量表能准确反映变量特性。

表8 KMO 和 Bartlett 球形检验结果

KMO 取样适切性量数		0.966
Bartlett 球形度检验	近似卡方	7 876.821
	自由度	406
	显著性	0.000

综上,该问卷的信度和效度均达标,为后续研究奠定了坚实基础。

三、结构方程模型构建及评价指标权重确定

SEM 是分析因果关系的有效工具,其显著优势在于:一是能同时处理多因变量并剔除测量误差;二是整合测量题目、因子间复杂关系;三是通过多模型拟合分析同一数据,优选模型以增强权重分析的可信度。鉴于集成电路产业链韧性影响因素复杂难测,SEM 为研究其提供了更为科学的分析方法。

(一) 提出假设

基于文献调研与测量指标的研究,本文对集成电路产业链韧性进行如表 9 所示的模型假设。

表 9 模型假设

假设项	假设内容	影响取向
H ₁	风险管理水平对抵抗吸收能力有显著正向影响	+
H ₂	产业链结构水平对抵抗吸收能力有显著正向影响	+
H ₃	应急管理能力和对抵抗吸收能力有显著正向影响	+
H ₄	产业协同集聚效应对抵抗吸收能力有显著正向影响	+
H ₅	数字化成熟度对调整适应能力有显著正向影响	+
H ₆	政府支持力度对调整适应能力有显著正向影响	+
H ₇	科技创新能力对恢复更新能力有显著正向影响	+
H ₈	资源整合能力对恢复更新能力有显著正向影响	+
H ₉	企业文化建设水平对恢复更新能力有显著正向影响	+

(二) 验证性因子分析

运用 AMOS 21.0 对测量模型进行验证性因子分析,结果汇总于表 10 和表 11^[29]。表 10 显示,各变量的因子荷载、AVE 及 CR 均达标,表明模型聚敛效度和建构信度良好。表 11 则验证区分效度,显示变量间相关系数小于潜变量 AVE 平方根,说明模型既具关联性又具区分度,区分效度佳。基于此,可进一步检验结构方程整体模型的拟合度。

表 10 验证性因子分析结果

路径		因子荷载	AVE	CR
A ₁₁	← 抵抗吸收能力	0.777	0.599	0.951
A ₁₂	← 抵抗吸收能力	0.759		
A ₁₃	← 抵抗吸收能力	0.77		
A ₂₁	← 抵抗吸收能力	0.791		
A ₂₂	← 抵抗吸收能力	0.789		
A ₂₃	← 抵抗吸收能力	0.779		
A ₃₁	← 抵抗吸收能力	0.769		
A ₃₂	← 抵抗吸收能力	0.771		
A ₃₃	← 抵抗吸收能力	0.758		
A ₃₄	← 抵抗吸收能力	0.797		
A ₄₁	← 抵抗吸收能力	0.777		
A ₄₂	← 抵抗吸收能力	0.761		
A ₄₃	← 抵抗吸收能力	0.762		
B ₁₁	← 调整适应能力	0.772	0.606	0.915
B ₁₂	← 调整适应能力	0.769		
B ₁₃	← 调整适应能力	0.797		
B ₁₄	← 调整适应能力	0.782		
B ₂₁	← 调整适应能力	0.786		
B ₂₂	← 调整适应能力	0.769		
B ₂₃	← 调整适应能力	0.775		
C ₃₄	← 恢复更新能力	0.791	0.617	0.936
C ₃₃	← 恢复更新能力	0.8		
C ₃₂	← 恢复更新能力	0.796		
C ₃₁	← 恢复更新能力	0.762		
C ₂₂	← 恢复更新能力	0.813		
C ₂₁	← 恢复更新能力	0.78		
C ₁₃	← 恢复更新能力	0.801		
C ₁₂	← 恢复更新能力	0.769		
C ₁₁	← 恢复更新能力	0.758		

表 11 区分效度分析结果

维度	抵抗吸收能力	调整适应能力	恢复更新能力
抵抗吸收能力	0.599	—	—
调整适应能力	0.339	0.606	—
恢复更新能力	0.355	0.376	0.617
AVE 平方根	0.774	0.778	0.785

(三) 模型检验

使用 AMOS 21.0 构建集成电路产业链韧性模型,选取 X²/df、RMSEA、GFI 等关键指标评估模型与数据的拟合度。表 12 显示,所有指标均达标。其中,X²/df 的值为 1.014,小于 2,且 RMSEA 为 0.006,小于 0.01。此外,GFI、AGFI、IFI、TLI、CFI 的值均大于 0.9,说明模型与数据高度拟合。图 2 揭示,抵抗、调整、恢复三大能力对产业链韧性有显著正向影响,标准化路径系数均超 0.5,验证全部 9 项假设,该模型既通过适配性也通过显著性检验,确认为最优模型,即该评价体系能够为加速集成电路产业生态高质量发展提供理论依据和实践指导。

表 12 拟合指标分析结果

X ² /df	RMSEA	GFI	AGFI	CFI	IFI	TLI
1.014	0.006	0.958	0.935	0.999	0.999	0.999

(四) 权重确定

为更直观地研究潜变量、观察变量及集成电路产业链韧性之间的相关关系,依据模型的标准化路径系数,确定各潜变量和观察变量的权重,见表 13。计算公式为:

$$W_{U_i} = \frac{\lambda_{U_i}}{\sum_{i=1}^n \lambda_{U_i}} \tag{1}$$

式(1)中,W_{U_i}为第*i*个一级评价指标的权重系数;λ_{U_i}为第*i*个一级评价指标的路径系数,即一级评价指标的因子荷载;U_i为第*i*个一级评价指标;*i*为评价指标序号。同理,可计算二级评价及三级指标的权重。

四、案例研究

(一) 案例背景

南京江北新区作为国家级新区和江苏省集成电路产业核心承载区,在我国半导体领域具有典型示范和战略地位。自 2016 年台积电先进制程晶圆厂落户以来,已形成“设计—制造—封装—测试—

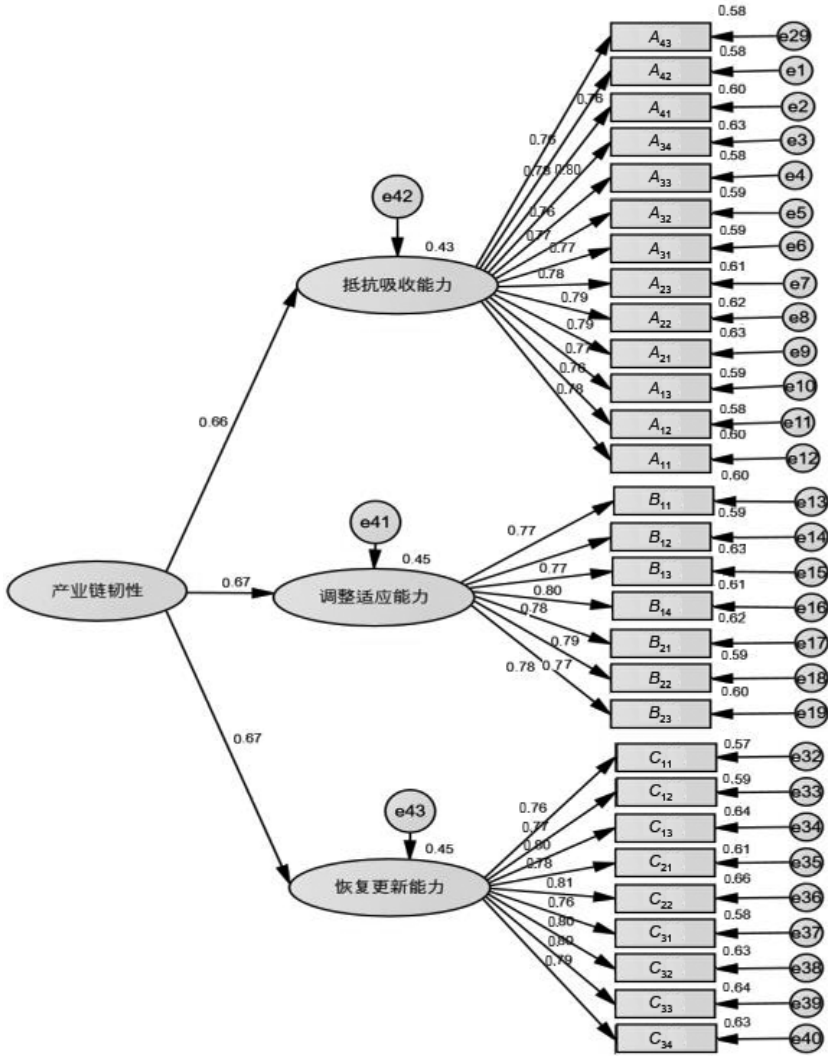


图2 模型标准化路径

表 13 指标权重结果

抵抗吸收能力维度下各题项权重							
A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{21}	A_{22}	A_{23}	A_{31}	A_{32}
0.078	0.075	0.077	0.078	0.078	0.078	0.077	0.077
A_{33}	A_{34}	A_{41}	A_{42}	A_{43}			
0.075	0.079	0.078	0.075	0.075			
调整适应能力维度下各题项权重							
B_{11}	B_{12}	B_{13}	B_{14}	B_{21}	B_{22}	B_{23}	
0.141	0.141	0.146	0.143	0.145	0.141	0.143	
恢复更新能力维度下各题项权重							
C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{21}	C_{22}	C_{31}	C_{32}	C_{33}
0.108	0.109	0.113	0.110	0.114	0.108	0.113	0.113
C_{34}							
0.112							
集成电路产业链韧性评价各维度权重							
抵抗吸收能力 A		调整适应能力 B		恢复更新能力 C			
0.330		0.335		0.335			

应用”全产业链生态,集聚企业超 600 家,贡献江苏省 35% 的集成电路产值,呈现强集聚辐射效应。

其产业链布局深度覆盖:上游突破光刻胶、高纯靶材等关键材料研发;中游汇聚中芯国际、华天科技等制造封测龙头;下游延伸至 AI、5G 通信等高端应用。创新生态构建方面,依托南京大学、东南大学等高校形成“环高校知识经济圈”,建成中国 EDA 创新中心等国家级平台。

在全球化变局中,江北新区风险特征极具代表性:7 nm 以下制程设备进口依赖度极高,深度嵌入全球分工体系使其易受地缘政治冲击;同时美国技术封锁倒逼国产替代加速。作为观察样本,其既揭示高技术产业链共性风险,又通过自主创新实践形成可复制的韧性提升方案,为破解“卡脖子”难题提供重要经验范式。

(二) 模糊综合评价法步骤

1. 确定评价指标和模糊评价集

集成电路产业链韧性评估涉及复杂多变因素,需精选指标以构建精准评价体系。指标量需适中,过多则体系复杂且难控,过少则不具代表性。评价集 Q 基于韧性表现划分为{优秀,中等,良好,较差,差},对应分值为{100,80,60,40,20},以全面反映韧性水平。

2. 构建模糊综合评判矩阵

确定模糊评价集后,针对各风险评价指标 $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 进行量化,计算其二级评价指标的隶属度,构建模糊评价矩阵,从而完成评价过程。

$$R = \begin{bmatrix} R/X_1 \\ R/X_2 \\ \vdots \\ R/X_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & r_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & r_{nm} \end{bmatrix} n \times m \quad (2)$$

式(2)中, R 为模糊评价矩阵; r_{ij} 为各指标对应评价集的隶属度值。

3. 确定评价指标权重

SEM 是一种验证一个或多个自变量与一个或多个因变量之间相关关系的多元分析方法,擅长分析处理测量误差及潜在变量之间的结构关系。SEM 的联立方程组为:

测量方程:

$$x = \Lambda_x \xi + \delta \quad (3)$$

$$y = \Lambda_y \eta + \varepsilon \quad (4)$$

结构方程:

$$\eta = \Psi \eta + \Gamma \xi + \zeta \quad (5)$$

式(2)~式(4)定义了观测变量 x, y 与潜在变量 η, ξ , 以及系数矩阵 $\Lambda_x, \Lambda_y, \Psi, \Gamma$ 和误差项 $\varepsilon, \delta, \zeta$ 。

基于评价指标体系,设计并发放问卷,对回收数据进行信效度检验。确认合格后,将一级指标设为潜在变量,二级指标为观测变量,运用 Amos 24.0 软件进行 SEM 分析,得出路径系数,体现各

指标对安全风险的影响。随后,依据路径系数计算一级评价指标权重,见式(1)。

4. 确定模糊评价向量

将集成电路产业链韧性评价指标的权重向量 W 与一级评价指标的模糊评价矩阵 R 相乘,得到一级评价指标的评价结果向量 B :

$$B_i = W \times R = (w_1, w_2, \dots, w_n) \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & r_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & r_{nm} \end{bmatrix} n \times m = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (6)$$

5. 确定韧性评价等级

$$F_i = B_i \times V^T \quad (7)$$

(三) 案例分析

1. 模糊隶属度的确定

从江北新区集成电路企业管理人员中抽取 10 人,对产业链韧性进行评分,涵盖差至优秀 5 个等级,对应分值为 20~100 分。依据评分结果,计算并得出各评价指标的模糊隶属度,详见表 14^[29]。

2. 产业链韧性评价结果

根据表 14 评价指标隶属度,可以得到江北新区集成电路产业链韧性的模糊判断矩阵。其中,抵抗吸收能力维度中每个测量题项所组成的模糊判断矩阵 R_1 为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.7 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.6 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.7 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.7 & 0.3 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

表 14 评价指标隶属度

一级评价指标	二级评价指标	测量指标	隶属度				
			优秀	良好	中等	较差	差
抵抗吸收能力	风险管理水平 A_1	风险识别 A_{11}	0.5	0.4	0.1	0	0
		风险控制 A_{12}	0.3	0.5	0.2	0	0
		风险监督 A_{13}	0	0.7	0.3	0	0
	产业链结构水平 A_2	链条完整性 A_{21}	0.2	0.5	0.3	0	0
		链条稳定性 A_{22}	0.1	0.6	0.3	0	0
		链条灵活性 A_{23}	0.1	0.5	0.3	0.1	0
	应急管理能力 A_3	应急预案完善程度 A_{31}	0	0.8	0.2	0	0
		应急响应速度 A_{32}	0.1	0.6	0.2	0.1	0
		应急预案匹配程度 A_{33}	0	0.8	0.2	0	0
		应急效果评估机制 A_{34}	0	0.6	0.4	0	0
	产业协同集聚效应 A_4	劳动市场共享 A_{41}	0.1	0.6	0.2	0.1	0
		规模经济效应 A_{42}	0.1	0.7	0.2	0	0
		知识溢出效应 A_{43}	0	0.7	0.3	0	0
调整适应能力	数字化成熟度 B_1	数字化战略与组织 B_{11}	0.1	0.6	0.3	0	0
		数字化基础设施 B_{12}	0.1	0.7	0.2	0	0
		业务流程与管理数字化 B_{13}	0.1	0.5	0.3	0.1	0
		数字化绩效产出 B_{14}	0.2	0.7	0.1	0	0
	政府支持力度 B_2	政策支持 B_{21}	0.2	0.5	0.3	0	0
		生产要素供给 B_{22}	0.2	0.3	0.5	0	0
		服务配套 B_{23}	0.2	0.3	0.5	0	0
恢复更新能力	科技创新能力 C_1	创新投入 C_{11}	0.4	0.5	0.1	0	0
		创新产出 C_{12}	0.4	0.5	0.1	0	0
		创新环境 C_{13}	0.1	0.8	0.1	0	0
	资源整合能力 C_2	外部资源协同 C_{21}	0.2	0.6	0.2	0	0
		内部资源优化 C_{22}	0	0.9	0.1	0	0
	企业文化建设水平 C_3	使命导向 C_{31}	0.3	0.6	0.1	0	0
		核心价值观一致性 C_{32}	0.3	0.6	0.1	0	0
		适应性文化 C_{33}	0.3	0.5	0.2	0	0
		员工参与度 C_{34}	0.3	0.6	0.1	0	0

调整适应能力维度中每个测量题项所组成的模糊判断矩阵 R_2 为:

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.6 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.7 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

恢复更新能力维度中每个测量题项所组成的模糊判断矩阵 R_3 为:

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.8 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

对抵抗吸收能力 F_A 进行计算。

权重集 W_1 为:

$$W_1 = (0.078, 0.075, 0.077, 0.078, 0.078, 0.078, 0.077, 0.077, 0.075, 0.079, 0.078, 0.075, 0.075)$$

$$B_1 = W_1 \cdot R_1 = (0.116, 0.614, 0.247, 0.023, 0)$$

引入相应的评分集 $V = (100, 80, 60, 40, 20)$, 最终计算抵抗吸收能力的得分情况为:

$$F_A = B_1 \cdot V^T = (0.116, 0.614, 0.247, 0.023, 0)$$

$$\begin{bmatrix} 100 \\ 80 \\ 60 \\ 40 \\ 20 \end{bmatrix} = 76.45$$

同理,对调整适应能力 F_B 进行计算可得:

$$B_2 = W_2 \cdot R_2 = (0.157, 0.514, 0.314, 0.015, 0)$$

$$F_B = B_2 \cdot V^T = (0.157, 0.514, 0.314, 0.015, 0)$$

$$\begin{bmatrix} 100 \\ 80 \\ 60 \\ 40 \\ 20 \end{bmatrix} = 76.28$$

同理,对恢复更新能力 F_C 进行计算可得:

$$B_3 = W_3 \cdot R_3 = (0.254, 0.624, 0.122, 0, 0)$$

$$F_C = B_3 \cdot V^T = (0.254, 0.624, 0.122, 0, 0)$$

$$\begin{bmatrix} 100 \\ 80 \\ 60 \\ 40 \\ 20 \end{bmatrix} = 82.63$$

综合抵抗吸收能力、调整适应能力和恢复更新能力 3 个维度所得评价得分对韧性总体进行计算可得:

$$R = \begin{bmatrix} 0.116 & 0.614 & 0.247 & 0.023 & 0 \\ 0.157 & 0.514 & 0.314 & 0.015 & 0 \\ 0.254 & 0.624 & 0.122 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = W \cdot R =$$

$$\begin{aligned} & (0.33, 0.335, \\ & 0.335) \begin{bmatrix} 0.116 & 0.614 & 0.247 & 0.023 & 0 \\ 0.157 & 0.514 & 0.314 & 0.015 & 0 \\ 0.254 & 0.624 & 0.122 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \\ & (0.18, 0.58, 0.23, 0.01, 0) F = B \cdot V^T = (0.18, \\ & 0.58, 0.23, 0.01, 0) \begin{bmatrix} 100 \\ 80 \\ 60 \\ 40 \\ 20 \end{bmatrix} = 78.46 \end{aligned}$$

江北新区集成电路产业链韧性模糊综合评价得 78.46 分,接近良好水平。其抵抗风险、调整适应及恢复更新能力分别被评为中等、中等和良好,显示有较大提升空间。主要瓶颈在于抵抗吸收与调整适应能力不足。评分详情见表 15^[29]。

调查揭示,江北新区集成电路产业链韧性总体呈现中等偏上态势,恢复更新能力相对突出,处于良好区间,与其创新投入强度直接相关:南京 2023 年全社会研发经费支出占 GDP 比重超 3.82%。结构方程模型显示,南京对购买 EDA 设计工具软件进行高端芯片、先进或特色工艺研发的集成电路企业或集成电路公共服务平台进行每年最高 500 万元的补贴。此外,创新环境(C_{13})对恢复能力的路径系数达 0.81($p < 0.01$),印证了江北新区“新型研发机构—中试平台—产业基地”三级体系的有效性;而抵抗吸收与调整适应能力处于中等水平,反映出风险管理、产业链结构优化、数字化转型有待强化,主要体现在设备国产化水平较低等方面,存在提升空间以增强产业链应对复杂风险与市场变化能力,保障产业稳健前行。

由此,该评价结果较为精准地反映了江北新区集成电路产业链韧性实际状况,有力验证评价模型科学性与实用性,为后续产业韧性提升策略制定提供关键依据与精准导向。

表 15 评价得分结果

维度	权重	得分	等级
抵抗吸收能力	0.330	76.45	中等
调整适应能力	0.335	76.28	中等
恢复更新能力	0.335	82.63	良好
总体	1.000	78.46	中等

五、研究结论与展望

(一)主要研究结论

本文紧密围绕集成电路产业链韧性这一核心主题,将产业链韧性理论与实践需求深度融合,构建了系统全面且科学的评价体系与提升策略框架。

理论构建层面,本文对集成电路产业链韧性内涵进行了清晰界定,确定以抵抗吸收、调整适应、恢复更新能力为关键维度,并以此构建了逻辑严密、层次分明的评价指标体系。该体系包含 9 个二级指标与 29 个测量指标,从多个角度覆盖了产业链韧性的各个要素,为量化分析韧性特质提供了理论基础。

方法运用层面,借助 SPSS 25.0 与 AMOS 21.0 软件,对 400 份有效问卷数据(有效回收率为 95.23%)进行了深入分析。信度检验中,各维度及总量表的克隆巴赫 Alpha 值表现良好(总量表为 0.947),效度检验中 KMO 值达到 0.966 且 Bartlett 检验 p 值接近 0,以上均显示模型具有较好的信效度;结构方程模型的拟合指标也较为理想(如 X^2/df 为 1.014、RMSEA 为 0.006 等),能够准确地量化指标权重,在一定程度上证实了指标与韧性的因果关联以及模型的科学性。

实证分析层面,本文以南京江北新区为案例进行研究,取得了一定成果。通过模糊综合评价,测得江北新区集成电路产业链韧性得分为 78.46 分,接近良好水平。其中,恢复更新能力表现突出(82.63 分),体现了江北新区在创新驱动与资源整合方面的活力;抵抗吸收与调整适应能力处于中等水平(分别为 76.45 分、76.28 分)。模糊综合评价结果较为准确地诊断出江北新区集成电路产业链韧性存在的短板,为政府和企业针对性地制定策略、提升产业链韧性提供了重要参考,也证实了模型的实践价值。但值得注意的是,南京江北新区作为国家级新区,其政策支持与资源集聚程度高于一般区域。由此,本文的评价结果仅具有参考价值,特定企业、集群或区域可根据本文的评价体系结合自身实际数据进行评估。

(二)理论贡献

本文在理论方面同样具有一定贡献。其一,本

文基于以往专家学者关于产业链韧性的内涵及影响因素研究,创新性地构建了集成电路产业链韧性的评价体系,突破了传统评估方法的一些局限,拓宽了集成电路产业链韧性的研究视角,为集成电路产业链韧性的量化分析提供了一种方法示例。

其二,本文深入剖析了产业链韧性与各级指标之间的联系,结构方程模型的运用,更客观、直接地反映了各级指标间的影响关系,确保集成电路产业链韧性评价体系构建的科学性,以此揭示了集成电路产业链应对风险时的微观机制和宏观协同逻辑,在一定程度上填补了产业链韧性形成机理研究的空白,增强了理论的阐释能力和预测性。

其三,本文创新了实证研究范式,综合多种方法对韧性进行较为准确的评估,通过结构方程模型确定指标权重加运用模糊综合评价进行实证研究的研究方法组合为跨区域、跨产业的韧性研究提供了借鉴,拓展了理论应用的范围和深度,为该领域研究注入了新的活力。

(三) 实践启示

宏观政策规划方面,本文可为政府精准制定产业政策提供了依据。政府可根据研究结果,针对薄弱环节加强顶层设计,优化财政、税收、人才等政策组合,对关键环节的企业给予精准扶持,鼓励创新投入和产业协同,从而提升产业链的整体韧性,稳固产业战略地位,增强经济体系的抗风险能力。

中观产业布局方面,本文可为产业园区的科学规划和集群发展提供了指导。园区可依据韧性评价结果进行精准招商,优化产业生态,吸引补链强链企业,培育本土优质企业,完善产业配套和创新生态,提升区域产业集群的韧性和竞争力,打造产业升级的新引擎和区域经济的增长极。

微观企业运营方面,本文可为企业战略制定和风险管理提供了参考。企业可参照评价体系准确找到自身定位,弥补自身短板,强化风险管理体系,优化产业协同策略,提升自身韧性。

(四) 研究展望

集成电路产业链韧性研究具有广阔的前景,但也面临诸多挑战,未来可从多个维度进一步深入研究。

一是风险维度精细化分解,深入分析技术瓶

颈、贸易摩擦、自然灾害、政策变动等多种风险源对产业链的冲击路径以及量化损失模型。构建风险动态预警机制,实时监测风险的演变过程,较为准确地量化风险阈值,根据风险特性制定针对性的韧性策略,提高产业链精准风险防控和应急响应能力,增强产业链的抗风险敏捷性和韧性。

二是动态协同机制深度挖掘,借助复杂系统仿真、动态网络分析等前沿技术,在现有基础上,引入韧性动态模型的时变参数分析框架,突破传统静态评估的时空局限;同时,也可结合复杂网络理论中的多层级耦合分析方法,深度解析解析企业、政府、科研机构等主体在协同创新、资源调配和战略协同方面的非线性机制,依据产业链的发展实时监测并动态调整韧性策略,实现创新驱动和韧性赋能的可持续发展。

参考文献:

- [1] 陶冶宇,刘雅菁,梁爽. 技术与政治双重视角下我国潜在“卡脖子”技术识别方法研究:以集成电路领域为例[J/OL]. 情报杂志, 1-11 (2025-01-17) [2025-04-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1167.g3.20250117.0955.004.html>.
- [2] 欧素华,刘鉴,杨青山. 全球半导体贸易依赖网络演变及风险关系识别:兼论中国地位变化[J]. 经济地理, 2024, 44(12): 101-112.
- [3] 崔娟娟,王英. 江苏省装备制造业产业脆弱性评价指标体系构建及评价研究[J]. 科技进步与对策, 2015, 32(20): 125-131.
- [4] 单媛,李红梅. 加快打造长三角新型更具韧性的产业链[J]. 宏观经济管理, 2021(12): 57-62, 70.
- [5] 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.
- [6] 倪红福,钟道诚,范子杰. 中国产业链风险敞口的测度、结构及国际比较:基于生产链长度视角[J]. 管理世界, 2024, 40(4): 1-26, 46, 27-45.
- [7] 刘鑫,李雪,陈凯华. 国家科技安全:风险解构、系统韧性与实现路径[J]. 科学学研究, 2025, 43(1): 14-25.
- [8] JOHNSON T E. Purchasing and supply management in an industrial marketing perspective [J]. Industrial marketing management, 2018, 69: 91-97.
- [9] 任保平,邹起浩. 新发展阶段中国经济发展的韧性:评价、影响因素及其维护策略[J]. 中国软科学, 2024(3): 15-25.
- [10] 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.

[11] 吕雅辉,袁佳伟,张斯琪,等. 农业产业链韧性、区域差异及动态演进[J]. 统计与决策,2025,41(3):87-93.

[12] 王泽宇,唐云清,韩增林,等. 中国沿海省份海洋船舶产业链韧性测度及其影响因素[J]. 经济地理,2022,42(7):117-125.

[13] 韩增林,朱文超,李博. 中国海洋渔业经济韧性与效率协同演化研究[J]. 地理研究,2022,41(2):406-419.

[14] 李茂,邹沐宏,侯常兴. 北京数字产业链韧性测度与提升路径研究[J]. 供应链管理,2023,4(10):33-50.

[15] 朱永光,张伍丰,王迪,等. 中国铜资源产业链供应链韧性评价[J]. 资源科学,2023,45(9):1761-1777.

[16] 陶锋,王欣然,徐扬,等. 数字化转型、产业链供应链韧性与企业生产率[J]. 中国工业经济,2023(5):118-136.

[17] 贺正楚,李玉洁,吴艳. 产业协同集聚、技术创新与制造业产业链韧性[J]. 科学学研究,2024,42(3):515-527.

[18] 孙成,李璆蔚,吴金希. “帽子效应”与产业链韧性[J]. 中国软科学,2024(9):44-55.

[19] 王娜,张倩肖,胡静寅. 产业链“链长制”如何影响企业韧性:理论依据与经验事实[J]. 中国软科学,2024(10):43-55.

[20] 张旻. 中国高技术产业链韧性测度及影响因素研究[J]. 统计与决策,2025,41(3):118-123.

[21] LI H K, HE H Y, SHAN J F, et al. Innovation efficiency of semiconductor industry in China: a new framework based on generalized three-stage DEA analysis [J]. Socio-economic planning sciences,2019,66:136-148.

[22] 劳晓云,杨伟,陈畴镛. 产业链韧性测度及其微观形成机制:复合系统视角下半导体产业的实证研究[J/OL]. 科学学研究,1-22(2024-09-20)[2025-04-23]. <https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20240919.001>.

[23] 杨浩昌,付庆波,李廉水. 数字化转型影响产业链韧性的机制与效应研究:兼议制造业产业链韧性的分维度比较[J/OL]. 科学学研究,1-14(2025-01-07)[2025-04-23]. <https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20250107.005>.

[24] 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.

[25] IVANOV D, DOLGUI A. A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0 [J]. Production planning & control, 2021(9/12):32.

[26] BORGATTI S P, XUN L I. On social network analysis in a supply chain context[J]. Journal of supply chain management, 2009,45(2):5-22.

[27] LEDWOCH A, YASARCAN H, BRINTRUP A. The moderating impact of supply network topology on the effectiveness of risk management [J]. International journal of production economics, 2018, 197(MAR.):13-26.

[28] 庄伟卿,刘震宇. 一种基于结构方程模型的模糊综合评价算法的改进与系统实施[J]. 统计与决策,2013(12):11-13.

[29] 潘杰. 集成电路产业链韧性评价与提升对策研究[D]. 南京:南京工业大学,2024.

[30] WIELAND A, WALLENBURG M C, TÖYLI J, et al. The influence of relational competencies on supply chain resilience: a relational view [J]. International journal of physical distribution logistics management,2013,43(4):300-320.

[31] 王平,俞媛. 基于 Fuzzy DEMATEL-ISM 的高技术船舶产业链韧性影响因素研究[J]. 科技管理研究,2023,43(19):196-204.

[32] 吴松强,吴梦倩. 基于适应性循环理论的集成电路产业集群韧性:演化逻辑与提升路径[J]. 科学管理研究,2024,42(4):64-72.

[33] 赵春明,杨宏举. 数字基础设施建设提升产业链供应链韧性了吗? [J/OL]. 当代财经,1-15(2024-11-29)[2025-04-23]. <https://doi.org/10.13676/j.cnki.cn36-1030/f.20241129.002>.

[34] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. Annual review of ecology and systematics,1973,4:1-13.

[35] ZHANG H, SUN X, ZHU X, et al. Structure stability analysis of industrial system and construction of eco-industrial chain: a case study of Lianyungang Xuwei New Area, China [J]. Acta ecologica sinica,2014,34(5):255-260.

[36] YU J, ZHANG S. Research on the measurement of Low-carbon competitiveness of regional cold chain logistics capacity based on triangular fuzzy evaluation rating-gray correlation analysis[J]. Sustainability,2024,16(2):926.

[37] KHOJASTEH Y. Supply chain risk management: advanced tools, models, and developments [M]. Springer, 2018: 269-288.

[38] SCHEIN E, FRANCISCO C. Organizational culture and leadership[M]. Jossey-bass publishers,1992.

[39] NONOKA I, TAKEUCHI H. The knowledge-creating company[J]. Nankai business review, 1998,482-484(2):175-187.

[40] 王国红,岳翔宇,黄昊. 合作文化、企业创新与组织韧性[J]. 工业技术经济,2023,42(12):105-114.

(本文责编:默 黎)