

# 不确定条件下中国半导体产业链韧性的一般均衡分析

范金<sup>1</sup> 唐兰青<sup>1</sup> 张晓兰<sup>2</sup>

(1. 南京林业大学, 江苏 南京 210037; 2. 国家信息中心, 北京 100080)

**摘要:** 本文利用投入产出技术和随机可计算一般均衡模型测度和模拟研究了不确定条件下中国半导体产业链韧性问题, 得到如下主要研究结论: 产业链上中游短板较为明显, 下游的加工优势呈现弱化趋向; 中国在全球半导体产业链分工中依然处于供应者而非终端消费者地位, 在实现建链、延链、升链目标中, 升链之路最为艰辛; 产业链初具一定应对外部冲击的韧性, 对硅、镓、锗等出口反制政策效果精准且有效; 产业链上下游应综合有效市场与有为政府的作用, 中游应发挥市场在资源配置上的决定性作用。为此提出政策建议: 发挥新型举国体制制度优势, 加强原创性引领性科技攻关; 强化企业科技创新主体地位, 构建高效的创新生态体系; 厚植人才沃土, 进一步提升创新创造水平; 实施高水平双向开放, 统筹国内外产业链协同布局。

**关键词:** 半导体; 产业链; 韧性; 一般均衡分析

**中图分类号:** F49

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-1894 (2026) 05-0036-14

半导体产业是近三届美国政府产业布局的核心领域, 也是其对中国科技竞争的关键赛道。<sup>①</sup>自2018年以来, 美方对华半导体遏制政策持续迭代升级、层层加码: 2018年发起对华301贸易调查, 开启对华产业打压序幕; 2019年将华为等70家科技企业列入实体清单, 实施技术与零部件断供限制; 2022年出台《芯片与科学法》, 通过立法形式构筑排他性芯片产业壁垒; 2023年底借供应链安全审查炒作对华风险, 持续恶化产业外部环境。针对美方关税壁垒、芯片出口管制、胁迫荷兰限制光刻机对华出口等举措, 中方在2023年8月、2024年1月两次中美商务部长会谈中提出严正关切。2025年美方管控进一步升级, 落地AI芯片分级管制规则、封堵高端算力芯片对华出口, 并加征延迟生效的301半导体关税, 中方随即启动集成电路反歧视调查予以回应。2026年美方持续加码封锁, 收紧高端AI芯片审批门槛、推进MATCH法案胁迫盟友联合围堵、扩容涉军实体清单, 相关举措呈现极强的针对性、系统性与突发性。在此多重外部不确定冲击下, 基于产业链演化、外部冲击与一般均衡分析的政策模拟视角, 探究半导体产业链韧性, 契合“十五五”规划集成电路核心技术攻关的战略要求, 对推动产业技术突破与成果转化具有重要理论与现实意义。

## 一、文献综述

### (一) 半导体产业链研究回顾

研究者一般认为由于半导体产业链具有科学技术引领、复杂组织关联和战略性产业政策导向等独特特征, 成为各国和地区创新产业和战略性新兴产业最具代表性的竞争对象(薛澜等, 2022; 牛

**作者简介:** 范金(通信作者), 南京林业大学经济管理学院教授, 博士生导师, 研究方向: 国民经济学、产业经济学; 唐兰青, 南京林业大学经济管理学院硕士生, 研究方向: 产业经济学; 张晓兰, 国家信息中心研究员, 研究方向: 世界经济、产业经济学。

**基金项目:** 国家社会科学基金重大项目“‘十四五’时期我国经济有效防范滞胀风险路径研究”(项目编号: 21&ZD081)。

① 本文中的中国指的是中国大陆地区, 不含中国台湾、香港特区、澳门特区。

华等, 2025)。产业链迭代快、技术壁垒高、重资产周期长, 集中体现区域科教硬实力(吴艳等, 2023)。全链条跨国分层布局、环节耦合紧密, 直接检验区域产业协同治理水平(汪小龙, 2023; 任亚文和杨宇, 2022)。要素配置、产业发展与国家安全存在多重权衡, 集中考验政府战略调控能力(宫小飞, 2023; 姜子莹等, 2023; 于亚笛等, 2025)。现有研究多聚焦产业特征、技术封锁与产业扶持政策, 而立足一般均衡框架系统剖析半导体产业链韧性的研究仍较为稀缺, 具备充足拓展空间。

## (二) 产业链韧性研究回顾

新冠肺炎疫情、大国博弈引发的逆全球化趋势, 使产业链韧性成为当前经济学领域的重点研究议题(肖兴志和李少林, 2022)。现有研究主要从概念内涵、影响因素、量化测度3个维度展开。在概念界定层面, 产业链韧性与产业链安全高度关联, 核心是产业链抵御外部风险冲击、实现灾后恢复的能力, 体现为产业体系遭受扰动时规避断链风险、保障各环节稳定运行的水平。产业链韧性外延覆盖范围更广, 能够应对供应链断链、产业链外迁、高技术掉链、创新链脱钩、政策壁垒与人才断档等多重风险, 反映产业系统的动态适应能力与安全保障水平(刘晓星等, 2021; 李连刚等, 2019; 肖兴志和李少林, 2022; 徐美娜和汤志旻, 2025)。在影响因素方面, 学界将产业链韧性驱动机制划分为经济与自然两类因素。经济因素涵盖产业结构、核心技术、销售渠道、知识协同、地缘政治博弈等市场结构、网络组织与体制机制变量(Altomonte et al., 2012; 王明利和鄢朝辉, 2022; 蒋雪梅和刘轶芳, 2018; 李春顶等, 2018; 裴长洪和刘斌, 2020; 易小准等, 2022; 汪红驹和张馨羽, 2023); 自然因素则主要包括公共卫生事件、自然灾害等外生突发冲击(朱靖, 2013; 王永贵和高佳, 2020; 李强, 2020)。在量化测度层面, 现有方法主要分为单指标法与多指标法两类。多指标法依托统计与计量方法对影响因素分层拆解, 单指标法则凭借简洁直观的优势开展综合评价。学界普遍通过构建增长指数、敏感指数与多维评价体系完成经济韧性测算, 形成了成熟的实证研究范式(Simmie and Martin, 2010; Martin and Sunley, 2015; 李连刚和胡晓辉, 2023; 韩爱华等, 2021)。

综上, 包括半导体在内的产业链韧性是大国博弈背景下经济学核心研究领域之一, 相关理论体系已较为成熟。但现有测度多采用局部均衡框架, 缺乏一般均衡视角, 难以适配中美科技冲突带来的突发、随机、动态多重风险, 亟需引入新的分析方法开展针对性研究。

## (三) 一般均衡分析引入半导体产业链研究回顾

现有围绕全球价值链分工地位、产业链冲击效应的量化研究, 主要依托投入产出(Input-Output, IO)与可计算一般均衡(Computable General Equilibrium, CGE)两大一般均衡分析工具展开, 两类模型各有适用场景与固有缺陷。

在IO模型应用层面, 垂直专业化、上游度测算、KPWW增加值分解等IO衍生方法已成为价值链分工识别的标准范式, 大量文献借助上述工具研判全球产业链重构态势(Hummels et al., 2001; Koopman et al., 2010; Antràs et al., 2012; 刘遵义等, 2007; 王直等, 2015; 黎峰, 2016; 刘志彪和吴福象, 2018; 段玉婉等, 2021)。但传统IO模型设定消耗系数恒定、采用线性分析框架, 叠加统计数据滞后性, 难以匹配半导体行业特征: 产业遵循摩尔定律呈现指数式工艺迭代, 同时后摩尔时代依托华为 $\tau$ (韬)定律形成逻辑折叠、多层集成等非线性技术演进路径,<sup>①</sup>单一IO

① 何庭波: 多层电子系统的时间缩放理论[EB/OL]. 2026, ChinaXiv:202605.00224, 2026-07-03(V2). DOI:10.12074/202605.00224.

模型存在显著适配短板。

CGE 模型则是评估外部冲击宏观经济后果的主流工具，国内自 20 世纪 90 年代引入该框架后，诸多研究运用其模拟中美贸易摩擦、公共卫生事件、跨境资本流动等外部扰动的全域影响（吴先华等，2020；张友国，2021；杨振山和魏嘉男，2024；张晓娣和沈桂龙，2024）。但 CGE 模型内部传导逻辑不透明，存在“黑匣子”局限，难以精细化拆分半导体建链、补链、升链的分层传导路径。

综合两类方法的优劣，本文整合 IO 与 CGE 模型开展联合分析，以 IO 模型刻画产业链微观细分传导机制，弥补 CGE 模型微观解构能力不足的缺陷，实现两种一般均衡分析工具优势互补，兼顾价值链定位测算与多情景外部冲击模拟。

## 二、特征事实

借鉴任亚文和杨宇（2022）的做法，本文将半导体产业链分为上游、中游、下游。上游由半导体设计、材料和设备构成，中游主要包括半导体制造，下游则主要体现在终端产品应用。其中，半导体主要原材料镓、锗的伴生矿主要是铝矿和锌矿，源自 Nassar 等（2015）扇形图。目前中国半导体产业链具有以下特点。

### （一）上游设备对外依存度整体下降，但底子薄构成的风险依旧存在

比较国家统计局公布的 2017~2024 年月度用于制造半导体装置和半导体器件分别对应海关商品编码 HS8486 和 HS8541 数据，半导体产业链上游进口在受疫情冲击和中美博弈冲击之下呈现振荡式下降，且从 2022 年开始持续低水平负增长，但半导体材料进口增速的振荡幅度小于半导体设备进口的幅度。

半导体上游产业受疫情、地缘博弈冲击脆弱性突出，半导体设备短板最为明显。中国上游自美国、日本、韩国等的进口占比持续下行，进口依存度不断走低，产业链安全程度有所改善。但产业链核心环节短板仍十分突出：EDA 软件市场由新思（Synopsys）、楷登（Cadence）、西门子三大外企垄断，合计市场份额达 88.5%，国产工具仅占 11.5%，关键设计工具供给存在巨大缺口。在制造端，工艺领先的中芯国际制程落后国际顶尖水平近 4 代；清洗设备国产化率为 29%、热处理设备国产化率为 45%，仅在两类设备取得少量技术突破，但产业化规模有限；高端 ArF 光刻胶国产化率为 0.85%、高端湿电子化学品自给率为 11.36%、12 英寸大尺寸硅片国产化率为 24.72%，高端材料配套国内供给近乎空白，光刻机、离子注入机（国产化率 13%）等核心设备长期被海外垄断。ChipInsights 2025 榜单显示，全球前 10 家委外封测企业里有大陆企业 5 家、中国台湾企业 3 家、美国和韩国企业各 1 家，大陆封测厂商合计占全球 34%，现阶段仅封测环节实现局部自主可控，半导体全链条自主化建设仍存在明显瓶颈。

### （二）中游产品自给率稳中向好，但差距和发展阻力不可忽视

集成电路设计、制造、封装构成半导体中游，可依托集成电路产量、进出口数据研判中游产业韧性。疫情冲击下国内集成电路产量呈 V 型波动，阶段性负增长；进出口同比波动与产量走势同步，震荡幅度更大。经自给率公式测算，中国芯片自给率从 2016 年 47% 升至 2024 年 6 月 64.64%；截至 2026 年上半年，国内全品类芯片综合自给率达 41%，28nm 及以上成熟制程自给率提升至 81.35%，成熟制程成为产业链稳定缓冲底盘。可见在疫情与中美博弈双重冲击下，中游供给短期承压，但对外依赖持续降低。作为产业链核心纽带，集成电路产业显著增强国内半导体链条整体稳定性与抗冲击韧性。

表 1 显示，中国半导体产业整体与国际顶尖水平存在明显代差，仅封测环节具备规模竞争力。

2025 年大陆封测厂商全球市占率为 32.6%，5 家企业跻身全球前十，美国（Amkor Technology）市占率仅为 14.3%；国内企业经并购扩产，全面掌握 28nm、14nm 及 2.5D/3D 先进封装工艺，成熟封测基本自主可控。晶圆代工赛道差距持续扩大，2025 年台积电依托先进 AI 制程拿下全球近 71% 市场；中芯国际、华虹宏力市占率分别为 5.1%，与龙头体量悬殊。行业分化显著：28nm 及以上成熟制程自给率超 80%，12 英寸成熟产能全球第 1，全行业综合自给率约 41%。中芯国际 2018 年末实现 14nm 量产，现阶段良率稳定超 95%；受 EUV 设备管制约束，7nm 及以下工艺难以规模化投产，与国际前沿相差三代以上。

表 1 国产半导体上中游产业链对外依赖程度

| 产业链环节    | 产品领域     |        | 自主程度         | 企业替代能力                |
|----------|----------|--------|--------------|-----------------------|
| 设计       | 高端通用芯片   | 处理器    | < 1%         | 有部分替代能力，但差距较大，对美依赖程度高 |
|          |          | 存储器    | < 5%         | 有部分替代能力，对韩有依赖         |
|          |          | FPGA   | < 1%         | 对美完全依赖                |
|          |          | 高端模拟   | < 5%         | 对美高端有依赖               |
|          |          | GPU    | < 1%         | 对美完全依赖                |
|          | 专用芯片     | 车用芯片   | < 3%         | 对美高端有依赖               |
|          |          | 手机芯片   | 20%          | 对美高端有依赖               |
|          |          | 图像和多媒体 | 15%          | 有部分替代能力，对美不依赖         |
|          |          | 显示芯片   | 4.5%         | 有部分替代能力，对美不依赖         |
|          |          | 人工智能   | 10%          | 对美有部分依赖               |
|          | 光电子      |        | < 3%         | 对美高端有依赖               |
|          | 功率器件     |        | < 5%         | 对美高端有依赖               |
| 传感器      |          | < 5%   | 对美高端有依赖      |                       |
| 制造       |          | 8%     | 对美不依赖        |                       |
| 设备       |          | 3%     | 中低端替代，对美较高依赖 |                       |
| 封装       |          | 19%    | 开始替代，不依赖     |                       |
| 材料       | 传统材料     |        | < 3%         | 对日严重依赖                |
|          | 第三代半导体材料 |        | < 5%         | 对美较大依赖                |
| 软件工具和 IP |          |        | < 3%         | 对美完全依赖                |

资料来源：作者整理。

（三）下游行业产值稳定发挥，但终端生产优势呈现弱化趋向

半导体产业高度依赖下游应用需求拉动。依托国内超大规模市场，新能源、计算机电子等集成电路相关产业完成本土孵化并形成全球竞争优势，出口主力也由纺织品等低附加值传统品类，转向新能源汽车、光伏、电子设备等高附加值“新三大件”。

国家统计局的数据显示，物联网、新能源汽车、5G、人工智能是当前半导体行业核心增长引擎，其中新能源汽车下游拉动效应最为突出，比亚迪、理想等龙头企业集聚国内。疫情周期内，以新能源车为代表的下游产业整体表现稳健，尽管 2022 年初受影响出现短期大幅波动，但依旧展现出强劲产业韧性与稳定增长潜力。

当前半导体下游产业优势逐步弱化：一方面，行业同质化恶性竞争加剧，市场持续向头部集中，大量中小企业面临出清风险，企业承受高额沉没成本与跨境电商红海竞争的双重压力（李太平和余正昊，2018）；另一方面，数智技术驱动破坏式创新持续拆分存量市场，重塑终端产业与产业链组织模式，产业边界弹性提升，市场不断细化，催生大量点状细分赛道（渠慎宁等，2023）。

（四）以“芯片法案”等为代表的相关条款对中国高端芯片相关技术升级影响很大，但中国反制手段初见成效

2018 年 7 月中美贸易战开启，美国政府以国家安全为由全面围堵中国高端半导体产业，搭建

芯片联盟，出台多重关税及非关税管制政策，打压手段系统且突发，大幅提升全球产业链供给不确定性（单宇等，2023；姜子莹等，2023）。台积电、英伟达、SK 海力士、阿斯麦长期构成全球半导体核心供给体系，分别提供晶圆代工、AI 图形芯片、存储产品与光刻设备，过去十余年全球上下游深度协同配套（曲永义和李先军，2022）。在美国层层技术封锁下，国内半导体制造行业受到全方位冲击。

中兴公司最先遭遇限制，2016 年美方切断美企软硬件、设备供货渠道，2017 年实施 7 年全面禁售。Wind 数据显示，中兴公司 2018 年净利润同比降幅超 30%，核心经营活动近乎停摆。随后美方将打压重心转向华为，施压台积电等厂商停止芯片供应。华为被迫拆分荣耀缓解压力，供应链重构抬升经营成本，营收大幅下滑，手机出货量由全球榜首跌出前十。产能跨国转移趋势同步显现，2021 年中国手机产量全球占比 67%，相较 2016 年下降 7 个百分点；同期印度手机产能占比提升 7 个百分点，承接外迁终端制造产能，直观反映美国技术限制推动全球制造业布局重构。

中国反制措施分为企业、政府两个层面。企业依靠自主创新应对美方持续加码的芯片管制，以华为为代表，通过在岸、友岸、近岸外包优化供应链渠道，对冲美方政策冲击。政府出台系列对等反制政策：2023 年 8 月 1 日实施镓、锗出口管制，两月后欧洲金属镓现货涨价 18%；2025 年 9 月对美模拟芯片发起反倾销、对华半导体歧视措施开展专项调查；同年 10 月加码稀土出口管制，对用于 14nm 以下先进芯片的稀土实行逐案审批，精准制衡美国半导体封锁。

新冠疫情、地缘博弈叠加需求收缩、供给冲击、预期转弱“三重压力”，给中国半导体产业高质量发展带来诸多难题。各类外部冲击具备偶发、突发特征，是检验国内半导体产业链供应链韧性的关键标尺，由此凸显产业链韧性研究的重要价值。

本文立足于一般均衡分析框架：一是借助上游度指标测算对比中国半导体产业在全球价值链中的分工位置；二是依托随机情景模拟开展 CGE 模型稳健性检验（范金等，2009），提升产业抗冲击能力测算结果可信度；三是发挥 CGE 模型宏观闭合优势（范金等，2023；张欣，2023；Traoré，2012），从体制机制层面剖析半导体产业链存在的制度短板。

### 三、升链路径

依据 Antràs 等（2012）的定义，上游度指标能够刻画各行业在产业链中的相对位置，量化中间品流转至终端需求的平均距离，是全球价值链分工研究的核心衍生指标，也为本文的政策情景模拟提供测算基础。本文借鉴 Fally（2011）、Antràs 和 Chor（2018）与 Baldwin 等（2023）构建的上游度标准测算框架，分别从封闭经济、开放经济两个维度测算狭义半导体产业链上游度，并进一步拓展测算覆盖全球分工网络的广义半导体全产业链上游度。为降低模型运算复杂度，本文基于投入产出表进行部门归并处理，将计算机、通信电子设备等关联产业整合至半导体大类，聚焦集成电路设计、制造、封测核心细分环节，完成多组上游度系列指标的量化核算。

#### （一）中国半导体产业链上游度纵向对比

按照国家统计局颁布的 2007 年、2010 年、2012 年、2015 年、2017 年、2018 年、2020 年投入产出表，我们将这 7 张投入产出表统一成 42 部门。

本文对中国半导体产业链进行纵向对比的方法主要是分别模拟封闭经济体系和开放经济体系两种情况，两者的区别在于是否考虑进出口的存在。在封闭状态下，不需要考虑进出口和存货量，上游度测算公式见式（1）：

$$U_i = 1 + \sum_{j=1} \frac{e_{ij} Y_j}{Y_i} U_j \quad (1)$$

在开放状态下，上游度测算公式将式（1）中的  $Y_i$  调整为  $Y_i - X_i + M_i - I_i$ 。

其中， $U_i$  和  $U_j$  分别表示行业  $i$  和行业  $j$  的上游度， $Y_i$  表示行业  $i$  的总产值， $e_{ij}$  表示中间投入产出系数，即生产单位产值的产品  $j$  需要投入行业  $i$  的产值。运用矩阵代数方法，将式（1）矩阵转化为  $U = 1 + RU$ ，其中， $R = \frac{e_{ij} Y_j}{Y_i}$ 。

计算结果显示，2007~2015 年中国半导体国内产业链上游度整体呈上升态势，产业逐步趋近中间投入端，并于 2015 年达到峰值后持续回落，逐步向产业链终端靠拢。2015 年以前，国内半导体产业处于成长阶段，集成电路供给不足有效拉动了制造业扩张；2015 年后，数字化转型加速、新能源汽车等下游应用需求持续释放，推动半导体创新企业快速成长，产业逐步向服务型转型，对第三产业的带动作用更为显著。

对比不同核算体系的上游度数值可见，两类维度的标准差在 2015 年前基本保持一致，2015 年后封闭经济体系下上游度标准差持续收窄，反映国内半导体产业深度融入全球产业链。伴随芯片自给率稳步提升，中国半导体产业在全球分工中的定位逐步由劳动力密集型向资本密集型转型升级。

## （二）中国半导体产业链上游度横向对比

UIBE GVC 数据库提供了 2007~2021 年包括中国大陆、日本、韩国、美国、中国台湾、荷兰和德国的半导体产业链数值。<sup>①</sup>据此，我们测算得到主要经济体上游度。

第一，中国处于全球半导体产业链上游区间，产业链嵌入度变动主要由中美贸易战主导，疫情反而小幅缓释外部遏制压力。2017 年前中国产业链参与度持续走高，此后断链风险加剧；2018 年贸易战爆发，上游度指标一路下行直至 2021 年。2020 年后首轮疫情分散各国对华管控注意力，短期对冲了美及其盟友的封锁。

第二，美日联合围堵或将延缓国内产业链升级。2019 年日本限制 3 类关键半导体原材料出口，直接导致韩国产业上游度大幅下滑。中国同样高度依赖日本半导体材料，2023 年日本新增 23 类成膜、蚀刻、清洗设备对华出口管制，限制力度超过日韩摩擦时期，短期阻碍全产业链自主构建。

第三，中国成熟制程赛道深度绑定全球市场。美国牵头成立 CHIP4 联盟，隔绝中国高端半导体分工，严控先进制程晶圆、光刻机等核心品，并胁迫荷兰、韩国收紧设备出口。国内企业加码成熟芯片量产与低端设备采购，2023 年对韩半导体贸易实现顺差，核心动因是韩国大量采购国内成熟制程芯片。全球汽车、家电、工业设备高度依赖国内成熟芯片供给，成熟制程产业优势成为中国补链强链的关键缓冲支撑。

## （三）中国半导体产业链建链、延链与升链路径观察

借鉴于蕾和潘秋晨（2023）的测算框架，选用外循环增值率  $EVAR$ 、内循环增值率  $DVAR$ 、间接循环增值率  $HVAR$ ，分别衡量产业嵌链、延链与升链水平。实证数据采用 OECD 2007~2018 年跨国投入产出表，剔除受金融危机剧烈扰动的 2008 年。测算结果显示，中国半导体产业链循环增值整体呈 U 型走势，2016 年前建链推进缓慢，2016 年后提升显著。中国在全球成熟半导体环节嵌链程度较高；3 类指标里  $EVAR$  波动最小，2018 年在美国芯片断供打压下仍维持增长。这说明

① UIBE GVC 数据库网址：<http://gvcd.db.uibe.edu.cn/gvc.html>。

外循环是产业链建设中最稳定的支撑，印证前文判断：全球对中国半导体产品依赖性较强，新能源汽车芯片等中低端成熟产品需求尤为稳固。2016 年起中国半导体产业链确立国内国际双循环建链模式。2016 年前价值链内循环增速平稳，产业依靠外循环短链运行，虽不易与全球产业链完全切割，但本土链条韧性不足、对外依赖性强；2016 年后以内循环为核心的双循环体系逐步成型。

总之，在建链、延链、升链三大目标中，产业链升级进程阻力最大。测算得到的中间品循环增值率能够反映产业在价值链上的攀升层次，2017 年前升级态势顺畅，印证美国对华半导体打压早在 2017 年便已显现。从指标波动幅度看，外部限制对升链环节冲击最为突出，可见中国半导体产业链技术升级仍面临长期艰巨挑战（薛澜等，2022）。

## 四、情景模拟

### （一）CGE 理论模型设定

本文所用 CGE 模型包含价格、生产贸易、部门市场与宏观闭合四大模块，共设置 48 组分类方程。价格模块覆盖生产活动与要素市场，以生产者利润最大化与既定生产技术为基本假设；生产与贸易模块依托家庭、企业、政府及境外主体等经济机构搭建运行框架；部门模块对应商品市场，统筹国内产出与进口商品的市场流通与消费配置；宏观闭合模块包含新古典、新凯恩斯等 4 类闭合规则，可形成 90~120 种组合，实现不同宏观经济理论的现实适配与实证检验（Traoré，2012）。

### （二）数据来源与数据处理

1. 数据分类 依据《国民经济行业分类代码(2017)》《信息相关产业分类对照表》《高技术产业(制造业)分类(2017)》及《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录(2016)》，结合 2020 年国家统计局 149 部门投入产出表的行业口径、数据可得性与划分合理性，完成半导体产业链部门拆分与整合：上游涵盖硅、镓锗伴生矿、半导体专用设备三大部门；中游包含集成电路、光电器件、分立器件及传感器；下游整合计算机、通信等 16 个关联部门，合并其余部门，最终形成 42 部门投入产出分析框架。

2. 行业拆分 由于原始投入产出表未单独列示半导体细分产业，上下游相关部门嵌套在金属、化工、专用设备及电子设备制造业中，需进一步拆细分化。本文借鉴张同斌等（2011）的拆分方法，以半导体中游产业总产值占通信、计算机及其他电子设备总产值的比重为权重，对对应产业的中间使用、最终使用及相关制造业数据进行比例剥离，精准分离出半导体中游部门数据，行向与列向拆分保持统一标准。

3. 模型参数 基准 Armington 替代弹性、出口转换弹性均取自普渡大学 GTAP 10 数据库（Aguilar et al.，2019）。其中各部门生产弹性区间为 0.75~1.25，消费弹性区间为 0.65~1.35，出口替代弹性区间为 0.50~2.00，所有参数均按照整合后的 42 部门口径重新推导适配。完成数据拆分、部门合并与参数校准后，本文基于优化后的 42 部门投入产出表，结合半导体上中下游产业特征，设计多维度外部冲击情景，开展产业链韧性的实证模拟与检验分析。

### （三）情景模拟：外部冲击与政策效果

1. 情景设定 根据前半半导体产业链上游度测算结果，中美贸易摩擦是影响半导体产业链韧性的主要因素，也是长期因素，考察中美贸易摩擦的影响，需要在基准模型的基础上做出进一步的假设模拟。鉴于此，本部分的情景模拟主要分为两个部分，短期内分别从冲击和反制的两方关系来进行模拟，长期内通过税收优惠政策的单方关系来进行模拟，模拟出中国半导体产业链各环节的韧性

以及半导体全产业链韧性。3 种情景如表 2 所示。

表 2 情景模拟设计

| 情景代码 | 考察维度  | 针对行业        |
|------|-------|-------------|
| 情景 1 | 抗冲击能力 | 半导体设备       |
| 情景 2 | 恢复能力  | 半导体原材料和中游行业 |
| 情景 3 | 恢复能力  | 半导体设备和中游行业  |

第一种情景。考虑到当前国际科技博弈加剧，美国联合日本、韩国等半导体产业强国和地区组建四方芯片联盟（CHIP4），通过构建技术排他性壁垒，对中国半导体产业实施系统性、全方位的出口管制与技术封锁，同时中国半导体设备对外依存度较高，本场景假设中国半导体设备受到不同程度的进口限制，进口设备在总需求中的比重不断下降，选择 Armington 弹性作为变动参数，选取外生变量  $\rho_{cq}$  为 Armington 弹性变化的内在关联，具体见式（2），其中  $TRADELAS(C, SIGMAT)$  表示商品  $C$  的 Armington 弹性。Armington 弹性是商品贸易函数的替代弹性，描述了国内生产国内销售产品和进口产品之间的替代关系。作者按照均匀分布随机生成 50 组区间位于 0.50~1.50 的数据，作为半导体设备模拟 Armington 弹性。

$$\rho_{cq} = (1/TRADELAS(C, SIGMAT)) + 1 \quad (2)$$

第二种情景。中国在 CHIP4 的围剿下，分别从原材料和成熟集成电路两方面采取反制措施，即对硅、镓、锗和半导体中游产品进行出口管制，出口产品在总产出里的比重不断下降，选择 CET 弹性作为变动参数，选取外生变量  $\rho_{ct}$  为 CET 弹性变化的内在关联，具体见式（3），其中  $TRADELAS(C, SIGMAQ)$  表示商品  $C$  的 CET 弹性。CET 弹性是商品贸易函数的替代弹性，描述了国内生产的产品在出口和内销的替代关系。作者按照均匀分布随机生成 3 份数据，每份 50 组，区间位于 1.00~2.00，分别作为半导体原材料硅、铝及提炼出的镓锗、半导体中游的模拟 CET 弹性。

$$\rho_{ct} = (1/TRADELAS(C, SIGMAQ)) + 1 \quad (3)$$

第三种情景。纵观国内外近年来主要的半导体相关扶持政策，企业导向的政策主要分为财税政策和投融资政策。本情景模拟之所以选择税收优惠政策，是因为对于现金流充裕的企业来说，税收优惠政策优于投融资政策，半导体相关行业的特殊之处在于投资成本巨大，现金流不充足的企业不会涉足半导体产业链上中游部分。中国半导体产业的税收优惠政策，包括税额减免、留抵退税和增值税加计扣除等，通过降低企业研发成本，推动产业转型升级，进一步强化半导体产业链韧性的塑造。因此，本情景将主要针对半导体上中游产业链进行模拟，税收优惠幅度分别降低 10%、30%、50%、70% 和 90%，具体如式（4）所示：

$$ta0(A) = TAXPAR('ACTTAX', A) / (SAM(A, 'TOTAL')) \quad (4)$$

其中： $ta0(A)$  指 A 活动的税收参数， $TAXPAR('ACTTAX', A)$  指 A 活动的直接税收集， $SAM(A, 'TOTAL')$  指 SAM 表中 A 活动的数量集。

## 2. 情景模拟结果

（1）情景 1 和情景 2。本文以行业总产值、细分产值占比为核心指标，对比情景 1、情景 2 两类模拟结果。在镓、锗出口管制情景下，半导体设备、原材料产值同步下滑，该方案是 3 类反制手段中产值波动最小的一项。除镓锗管控外，其余反制政策均可在一定程度上推动半导体产业链修复，可见该举措利弊并存。优势在于中国为镓、锗主产国，USGS2022 数据显示两类矿产全球产量占比分别达 90%、70%，加工配套完善，出口限制对外具备较强威慑效果；劣势是二者为中高端半导体刚需原料，国内配套设备与技术存在短板，出口收缩后本土产能难以弥补缺口，小幅削弱产业链自

身韧性。

为便于横向对比各类情景波动幅度，本文对产值变动值取绝对值绘图分析，结果见图1。情景1、情景2分别从外部冲击、政策反制双维度测算产业链韧性，对应文献定义中产业抗冲击能力与灾后恢复能力。将两类情景数值在图1中量化对比，通过恢复阶段与受冲击阶段的产值波动差值，直观测算中国半导体全产业链综合韧性水平。

图1模拟结果表明，两类反制措施中，半导体中游产业出口反制的产业链波动幅度最大。据《南华早报》数据，2023年中国成熟制程芯片全球市占率达31%，2024年一季度产量增幅达40%，预计2027年提升至37%。下游终端行业对成熟制程芯片需求旺盛，高市场份额有效保障了中游出口反制的实施效力。其次为硅材料出口反制，其冲击效果显著强于半导体设备进口限制。据硅业分会统计，2020年中国工业硅产量占全球69.3%，硅片国产率高达90%，资源与产能优势充分保障该反制措施的有效性。总体来看，两类措施的产业链恢复回弹幅度显著高于冲击损失，充分印证中国半导体产业链具备较强韧性与恢复能力。

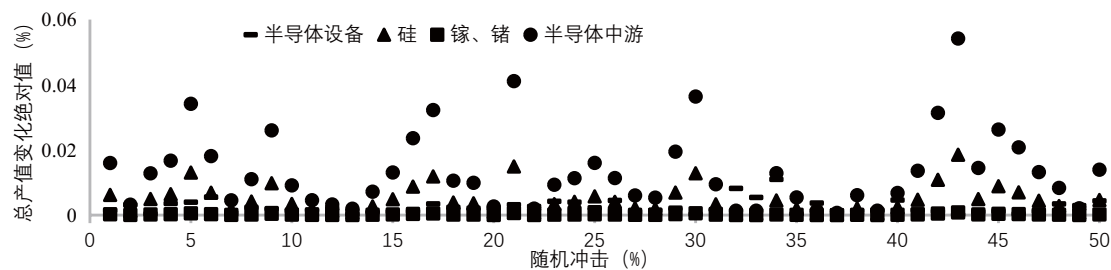


图1 冲击和反制下半导体上中下游的变化

说明：半导体上游——镓锗硅，半导体中游以及半导体下游——半导体设备；下同。  
资料来源：作者计算整理。

以上是对总产值变化的情景描述，半导体上中下游在受到随机程度的冲击时和采取随机程度的反制时，都会对总产值造成一定程度的影响，而不同的行业在总产值变化中占据的比例又不尽相同。以下是对半导体产业链下游行业进行情景冲击模拟分析。

表3 行业参照表

|   |         |   |             |   |             |   |         |
|---|---------|---|-------------|---|-------------|---|---------|
| A | 农林牧渔及服务 | E | 电气机械和器材     | I | 金属制品、机械和修理  | M | 金融      |
| B | 通用设备    | F | 通信设备、计算机和其他 | J | 交通运输、仓储和邮政  | N | 房地产     |
| C | 专用设备    | G | 仪器仪表        | K | 住宿和餐饮       | O | 租赁和商务服务 |
| D | 交通运输设备  | H | 其他制造产品和废品废料 | L | 信息传输、软件及其服务 | P | 研究和试验发展 |

在情景1的模拟中，图2中的S1~S9是指不同行业受到的随机冲击程度，具体行业参照表3。图2显示，半导体设备受到冲击时，在下游产业链中，通信设备、计算机和其他电子设备受间接的冲击程度最大，交通、电气制造业和服务业紧随其后，半导体下游产业链也受到了不同程度的少量冲击，而专用设备和通用设备则逆势挑起大梁。

(2) 情景3。情景3模拟结果如图3所示。总体而言，税收优惠政策能够有效推动半导体产业链发展，提升产业韧性。分产业链环节来看，针对半导体设备、集成电路等中游产业的税收扶持，使交通运输、软件服务等下游行业获益显著，但对上中游产业链产生反向抑制效应。其中半导体设备行业表现最为突出，产值由-1.25持续下滑至-11.23，表明中游税收优惠红利大量溢出至下游领域，未能有效赋能上中游产业发展，该结论与Pinelopi等（2024）研究相一致。究其原因，国内光刻机等核心半导体设备技术水平滞后，与国际差距显著，导致行业对税收优惠政策敏感度不足，政策赋能失效，也是当前国产半导体设备国产化进程缓慢的关键症结。

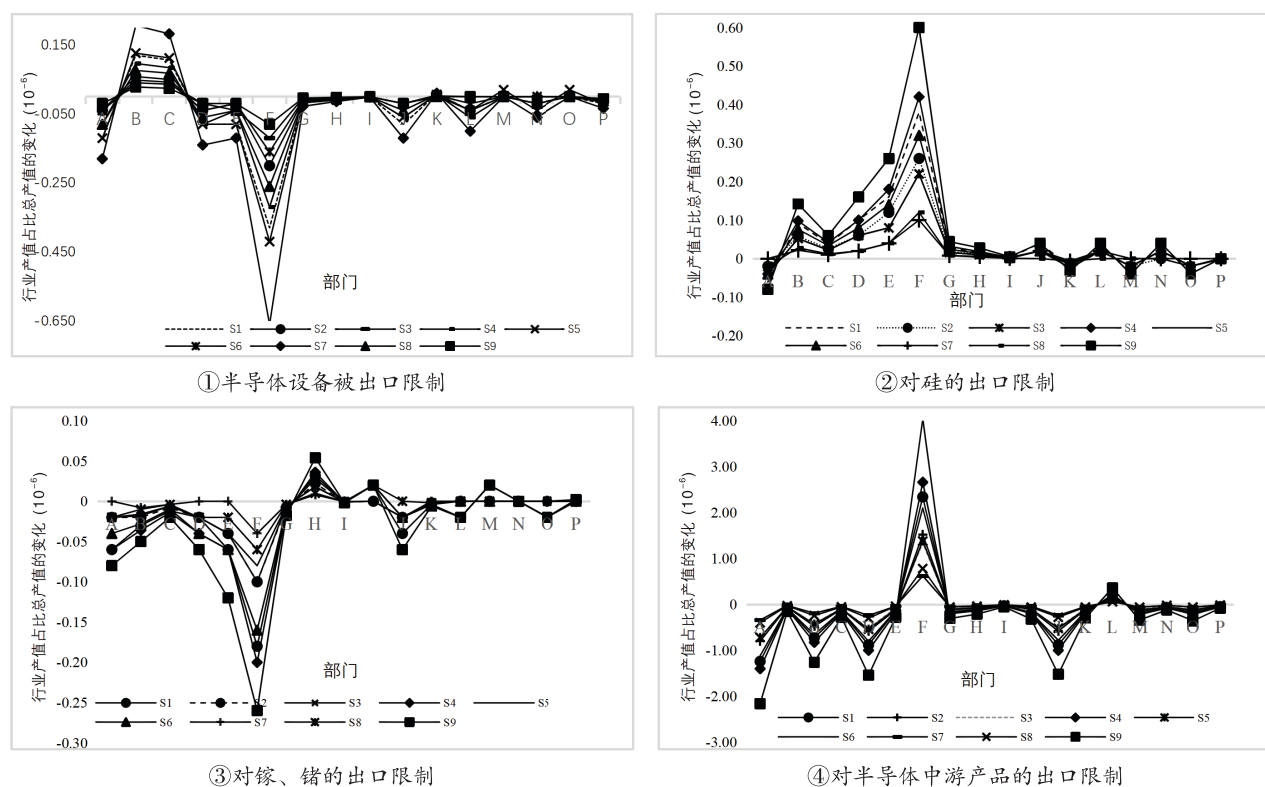


图2 情景1和情景2下半导体下游及其他行业产值占比变化

资料来源：作者计算整理。

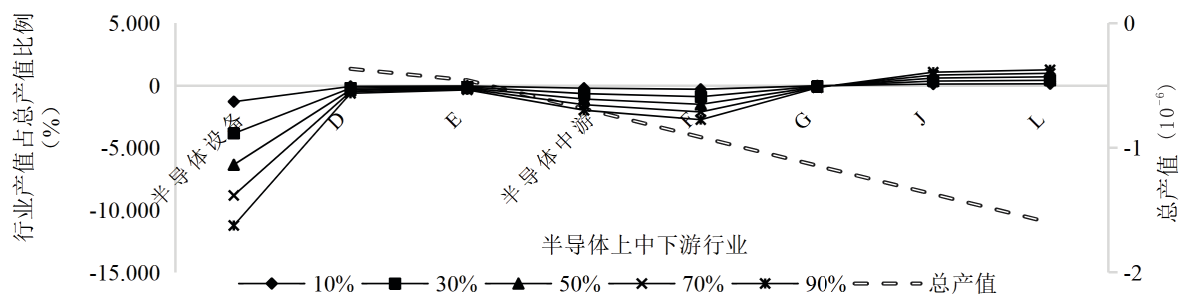


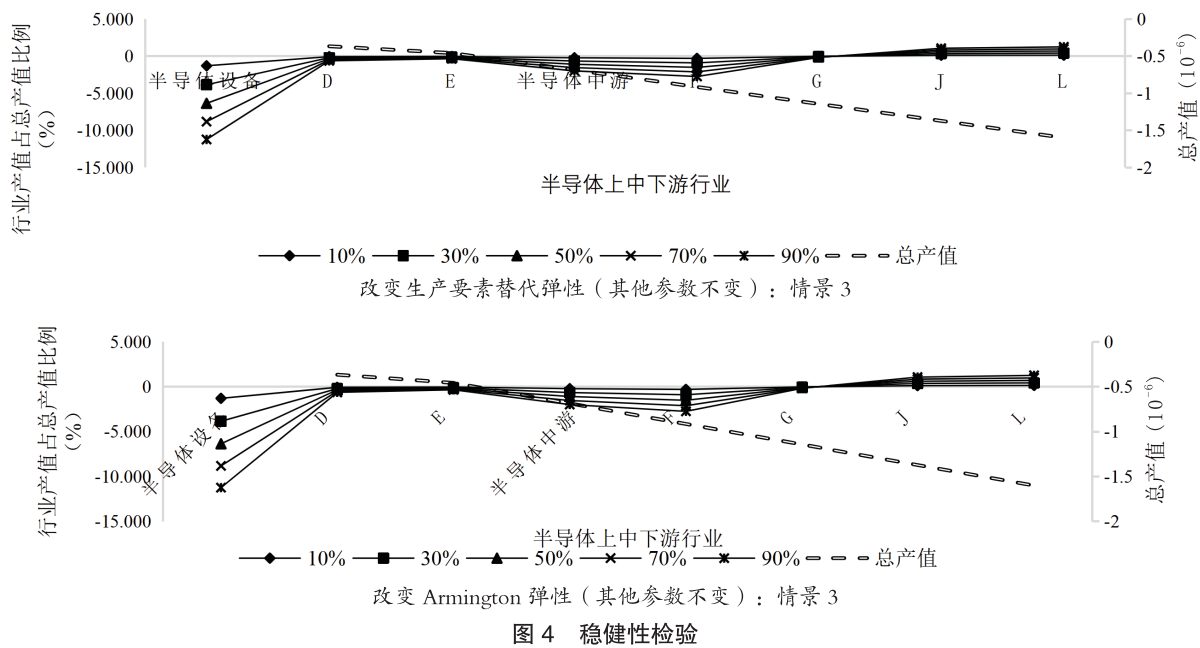
图3 情景3下半导体上中下游行业产值占比变化

资料来源：作者计算整理。

综上所述，3种情景模拟得到以下结论：在外部冲击下，半导体产业链显示较强的抗冲击性和恢复性，说明中国半导体产业链韧性较强。但对上中下游3个环节分开分析可以发现，上游的半导体设备韧性最差，中下游韧性普遍较强，特别是设备制造业（包括医疗设备、汽车制造等）和计算机制造服务业。换言之，半导体产业链上游的半导体设备在中国深化产业链国际协同发展中特别需要中国政府和头部企业的重点关注。

#### （四）模型的稳健性检验：可靠性与适应性

借鉴Atalay(2017)的稳健性检验方法，本文采用改变CES生产函数下的生产要素替代弹性（其他参数不变）和Armington弹性（其他参数不变）进行稳健性检验。图4显示，变化趋势基本一致，实证结果较为稳健。



（五）宏观闭合检验：宏观调控与市场调节的选择

本文借鉴严斌剑和范金（2009）的研究思路，采用逼近于理想解的排序法（TOPSIS）筛选最优宏观闭合形式。本研究把外部冲击下真实经济运行观测结果设定为理想解，把各经济指标维持基准不变的平稳状态设为负理想解，分别测算不同宏观闭合框架对应的核算结果与理想解、负理想解的距离并完成优劣排序。核算结果与理想解的距离越近，代表该闭合框架对现实经济的拟合效果越好，相关测算结果汇总为表 4。借助 TOPSIS 框架对多套闭合方案拟合度的量化对比，本文最终确定适配中国半导体产业外部冲击分析场景的最优宏观闭合设定。

表 4 不同要素市场闭合与宏观闭合的组合

| 宏观闭合类型                        | 约翰森闭合 | 新古典闭合 | 平衡闭合 |
|-------------------------------|-------|-------|------|
| 劳动力、资本和土地完全利用且部门间自由流动         | A     | B     | C    |
| 劳动力不完全就业，资本和土地完全利用且部门间自由流动    | D     | E     | F    |
| 要素完全利用，但部门间不流动                | J     | K     | L    |
| 要素完全利用，但部门间不流动，资本和土地完全利用且自由流动 | M     | N     | O    |

在表 5 中，Ci+ 表示理想解与负理想解的接近程度。第一，在半导体产业链上游、下游部分，宏观闭合 L、O 与理想解的接近程度是最大的，即平衡闭合的结果与现实最接近。这意味着平衡闭合更适合中国半导体产业链上游、下游行业的实际情况，市场和政府都是重要的主导力量，需要相互协作、共同调节产业生态环境。第二，在半导体产业链中游部分，宏观闭合 K 与理想解的接近程度最大，即新古典闭合的结果与现实最接近。这意味着市场在集成电路中游行业发展中起主导作用，这与中国当前国情是一致的。

表 5 不同情景下与理想解的接近程度

| Ci+      | A      | B      | C      | D      | E      | F      | J      | K      | L      | M      | N      | O      |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 情景 1（上游） | 0.54,5 | 0.54,7 | 0.54,9 | 0.53,8 | 0.54,5 | 0.53,5 | 0.56,2 | 0.49,8 | 0.57,4 | 0.50,2 | 0.50,0 | 0.49,4 |
| 情景 2（中游） | 0.50,2 | 0.49,2 | 0.49,6 | 0.50,3 | 0.50,7 | 0.50,0 | 0.45,5 | 0.60,4 | 0.00,0 | 0.49,7 | 0.49,8 | 0.49,9 |
| 情景 3（下游） | 0.50,3 | 0.50,9 | 0.51,8 | 0.50,7 | 0.50,7 | 0.50,3 | 0.50,2 | 0.50,0 | 0.52,9 | 0.50,0 | 0.50,6 | 0.54,2 |

## 五、结论与启示

### （一）研究结论

一是结构差异性。半导体上游设备对外依存度逐步下降，但产业基础薄弱的固有风险仍然突出；中游产品自给率稳步提升，但技术短板与外部发展阻力持续存在；下游行业产值整体保持稳定，具备成熟的生产加工优势，但该竞争优势正逐步弱化。

二是阶段差异性。上游度测算结果表明，中国在全球半导体产业链中占据较高嵌入位置。2016年中国半导体产业取得阶段性突破，引发美国战略忌惮，美方提前酝酿并出台技术封锁、出口限制等打压政策，早于2018年中美贸易战。在产业链建链、延链、升链的发展进程中，升链环节受阻最为显著，面临的外部冲击与发展阻碍最为严峻。

三是外部冲击韧性差异性。整体来看，中国半导体产业链具备较强的风险抵御能力与修复能力，硅材料出口反制的产业恢复幅度显著优于半导体设备进口受限的冲击波动。分环节来看，上游半导体设备对外依存度高，产业韧性偏弱；中下游产业链韧性整体较强，其中设备制造、计算机制造服务等领域的抗风险与恢复能力尤为突出。

四是政策响应定位差异性。半导体上下游产业发展需依托有效市场与有为政府的协同赋能，依托市场优化资源配置，同时发挥政府宏观调控与市场监管职能，优化研发费用加计扣除等扶持政策，助力产业链升级突破。集成电路中游产业市场化程度更高，主要由新能源汽车等下游终端市场需求驱动，产业发展模式成熟，因此以市场主导发展为主。

### （二）研究启示

一是发挥新型举国体制优势，开展原创引领性科技攻关。依托集中力量办大事的制度优势，结合国内资源与超大市场规模，掌握半导体产业链发展主导权。一方面做强设计、封测等现有长板，联动上游材料、设备与中游制造协同发展，同步扩大技术与市场优势；另一方面瞄准高端芯片、核心设备等“卡脖子”短板，以产业需求为导向加大资金、人才投入，加快科研成果产业化，缩短技术迭代周期，依靠基础研究与核心技术突破实现全产业链升级。

二是强化企业创新主体地位，构建高效协同创新生态。依托国内广阔市场培育行业龙头，充分释放企业创新动能。建立龙头企业、高校、科研院所协同创新机制，搭建联合研发、成果共享、风险共担的合作平台，合力攻坚。依托国家重点研发计划、科技重大专项布局研发项目，推行龙头牵头的联合研发模式，打通技术商业化路径。健全创新服务与成果转化机制，持续激励企业提高研发投入。

三是健全分层人才培养体系，筑牢产业创新人才底座。人才是突破芯片核心技术的关键，需完善配套政策填补人才缺口。依托集成电路一级学科建设，围绕产业战略调整高校专业布局，鼓励具备条件的院校增设半导体相关专业，搭建完整学科培养体系。深化产学研融合育人，对接龙头企业用工需求，深化校企合作，推动政府、高校、科研院所人才向企业流动，推行定制化定向培养，最大化释放人才创新价值。

四是实施高水平双向开放，统筹国内外产业链布局。坚持“引进来”与“走出去”并重，依靠国际科技合作缓解技术脱钩压力。构建中日韩半导体产业协同机制，深化三地高校、科研机构人才与技术交流，吸引日韩企业来华设立研发中心，推动区域上下游配套协同。依托行业协会拓宽中欧技术对接渠道，组织企业互访、技术研讨，积极引进欧洲先进制造技术与高端人才，补齐国内产业技术短板，持续增强本土企业自主创新能力。

参考文献:

- [1] 段玉婉,洪彬瀚,陈斌开.全球价值链视角下的“距离之谜”探究[J].世界经济,2021(10).
- [2] 范金,严斌剑,坂本博.随机 CGE 模型研究述评[J].中国管理科学,2009(5).
- [3] 范金,张晓兰,严斌剑.中美贸易摩擦与新冠肺炎疫情形成供给冲击压力的宏观闭合检验[J].工业技术经济,2023(1).
- [4] 宫小飞.拜登政府半导体产业政策:路径、影响与制约[J].美国研究,2023(5).
- [5] 韩爱华,李梦莲,高子桓.疫情冲击下经济韧性测度及影响因素分析[J].统计与决策,2021(18).
- [6] 洪永淼.形成具有鲜明中国特色的原创性经济理论[N].人民日报,2024-06-03(09).
- [7] 姜子莹,封凯栋,陈俊廷.创新经济转型中政府与市场的动态关系:以半导体产业的创新融资为例[J].中国软科学,2023(7).
- [8] 蒋雪梅,刘轶芳.全球价值链视角下的中、美高新技术产业出口效益及环境效应分析[J].管理评论,2018(5).
- [9] 刘晓星,张旭,李守伟.中国宏观经济韧性测度——基于系统性风险的视角[J].中国社会科学,2021(1).
- [10] 李连刚,张平宇,谭俊涛,等.韧性概念演变与区域经济韧性研究进展[J].人文地理,2019(2).
- [11] 李春顶,何传添,林创伟.中美贸易摩擦应对政策的效果评估[J].中国工业经济,2018(10).
- [12] 黎峰.增加值视角下的中国国家价值链分工——基于改进的区域投入产出模型[J].中国工业经济,2016(3).
- [13] 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(3).
- [14] 李强.新冠肺炎疫情下的经济发展与应对——基于韧性经济理论的分析[J].财经科学,2020(4).
- [15] 李太平,余正昊.供给侧结构性改革下制造业去产能与市场集中度关系[J].企业经济,2018(7).
- [16] 刘遵义,陈锡康,杨翠红,等.非竞争型投入占用产出模型及其应用——中美贸易顺差透视[J].中国社会科学,2007(5).
- [17] 刘志彪,吴福象.“一带一路”倡议下全球价值链的双重嵌入[J].中国社会科学,2018(8).
- [18] 牛华,葛昀,宋香凝.全球芯片供应链韧性与中断风险研究[J].地理研究,2025(9).
- [19] 裴长洪,刘斌.中国经济应对当前全球两大挑战的韧性、潜力与长期趋势[J].经济纵横,2020(5).
- [20] 渠慎宁,杨丹辉,兰明昊.高端芯片制造存在“小院高墙”吗——理论解析与中国突破路径模拟[J].中国工业经济,2023(6).
- [21] 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(9).
- [22] 任亚文,杨宇.珠三角地区半导体产业布局特征及其区位关联模式[J].地理科学进展,2022(9).
- [23] 单宇,刘爽,马宝龙.国产替代过程中关键核心技术的适应性重构机制——基于海信集团 1969~2022 视像技术的纵向案例研究[J].管理世界,2023(4).
- [24] 徐美娜,汤志旻.数字技术赋能贸易便利化与全球供应链脆弱性研究[J].国际贸易问题,2025(7).
- [25] 肖立志,李少林.大变局下的产业链韧性:生成逻辑、实践关切与政策取向[J].改革,2022(11).
- [26] 薛澜,魏少军,李燕,等.美国《芯片与科学法》及其影响分析[J].国际经济评论,2022(6).
- [27] 吴艳,尹灿,任宇新,等.产业政策对半导体企业商业模式创新的影响及作用机制[J].中国软科学,2023(8).
- [28] 汪小龙.区域一体化、经济韧性与科技创新[J].科学学与科学技术管理,2023(12).
- [29] 王明利,鄢朝辉.俄乌冲突对世界及中国食物安全的影响与应对策略[J].经济纵横,2022(7).
- [30] 王直,魏尚进,祝坤福.总贸易核算法:官方贸易统计与全球价值链的度量[J].中国社会科学,2015(9).
- [31] 吴先华,曹诗语,谭玲,等.基于动态 CGE 模型的 COVID-19 疫情灾害综合经济损失评估研究[J].中国软科学,2020(12).
- [32] 汪红驹,张馨羽.化解“三重压力”,促进经济发展质量与增长速度共同提升[J].财贸经济,2023(1).
- [33] 王永贵,高佳.新冠疫情冲击、经济韧性与中国高质量发展[J].经济管理,2020(5).
- [34] 严斌剑,范金.中国 CGE 模型宏观闭合的实证检验[J].统计研究,2009(2).
- [35] 杨振山,魏嘉男.“双循环”背景下中国疫情经济影响及政策评估——基于全球贸易模型分析[J].中国软科学,2023(4).
- [36] 易小淮,李晓,盛斌,等.俄乌冲突对国际经贸格局的影响[J].国际经济评论,2022(3).
- [37] 于蕾,潘秋晨.新发展格局下中国制造业价值链升级路径——基于里昂惕夫分解的测度分析[J].复旦学报(社会科学版),2023(3).
- [38] 于亚笛,贾媛媛,张育润,等.标准化支撑半导体产业链破解“卡脖子”难题的路径研究——基于国家标准制修订情况的分析与思考[J].标准科学,2025(7).
- [39] 张同斌,刘敏,高铁梅.中国高新技术产业投入产出表和社会核算矩阵编制的方法与应用[J].数学的实践与认识,2011(10).
- [40] 张晓娣,沈桂龙.RCEP 贸易自由化如何影响成员国技术效率与产业结构——基于企业与劳动者技术异质性的 CGE 模拟[J].社会科学研究,2024(4).
- [41] 张欣.可计算一般均衡模型的基本原理与编程(第三版)[M].上海:格致出版社,2023.
- [42] 张友国.疫情对中国碳脱钩进程的潜在影响——基于动态 CGE 模型的分析[J].中国软科学,2021(8).
- [43] 朱靖.基于投入—产出模型的灾后经济非均衡与路径恢复研究[J].中国管理科学,2013(4).
- [44] Antràs, P., Chor, G. On the Measurement of Upstreamness and Downstreamness in Global Value Chains[R]. NBER Working Paper, No.24185,2018.

- [45] Altomonte, C., Nicolini, M. Economic Integration and the Dynamics of Firms' Competitive Behavior[J]. Structural Change and Economic Dynamics, 2012, 23(4).
- [46] Antràs, P., Fally, T., Chor, D., et al. Measuring the Upstreamness of Production and Trade Flows[J]. American Economic Review, 2012, 102(3).
- [47] Atalay, E. How Important Are Sectoral Shocks?[J]. American Economic Journal: Macroeconomics, 2017, 9(4).
- [48] Aguiar, A., Chepeliev, M., Corong, E. The GTAP Data Base: Version 10[J]. Journal of Global Economic Analysis, 2019, 4(1).
- [49] Baldwin, R., Freeman, R., Theodorakopoulos, A. Hidden Exposure Measuring US Supply Chain Reliance[R]. NBER Working Paper, No. 31820, 2023.
- [50] Fally, T. On the Fragmentation of Production in the US[R]. University of Colorado Mimeo, 2011, 7.
- [51] Pinelopi, K., Réka, J., Nathan, J., et al. Industrial Policy in the Global Semiconductor Sector[R]. NBER Working Paper, No. 32651, 2024.
- [52] Hummels, D., Ishii, J., Yi, K. M. The Nature and Growth of Vertical Specialization in World Trade[J]. Journal of International Economics, 2001, 54(1).
- [53] Koopman, J. S., Mallee, M. I. P., Wel, D. V. M. Analyzing the Term Structure of Interest Rates Using the Dynamic Nelson-Siegel Model with Time-varying Parameters[J]. Journal of Business & Economic Statistics, 2010, 28(3).
- [54] Martin, R., Sunley, P. On the Notion of Regional Economic Resilience: Conceptualization and Explanation[J]. Journal of Economic Geography, 2015, 15(1).
- [55] Nassar, N. T., Graedel, T. E., Harper, E. M. By-product Metals Are Technologically Essential but Have Problematic Supply[J]. Science Advances, 2015, 1(3).
- [56] Simmie, J., Martin, R. The Economic Resilience of Regions: Towards An Evolutionary Approach[J]. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 2010, 3(1).
- [57] Traoré, F. A Comparison between the PEP 1-1 Model and the IFPRI Standard Model[R]. AGRODEP Technical Note 01. Washington, DC: International Food Policy Research Institute, 2012.

## General Equilibrium Analysis of China's Semiconductor Industry Chain Toughness under Uncertain Conditions

FAN Jin TANG Lanqing ZHANG Xiaolan

**Abstract:** This paper employs input-output analysis and a stochastic computable general equilibrium model to measure and simulate the resilience of China's semiconductor industrial chain under uncertain conditions, and arrives at the following key conclusions. First, the upstream and midstream segments of the industrial chain feature conspicuous shortcomings, while the processing advantages of downstream sectors are on the decline. Second, China still acts as a supplier rather than an end consumer in the global semiconductor division of labor. Among the objectives of establishing, extending and upgrading the industrial chain, industrial upgrading poses the greatest challenges. Third, the industrial chain has developed initial resilience to external shocks, and China's countermeasures of imposing export restrictions on silicon, gallium, germanium and related materials are targeted and effective. Fourth, both efficient market mechanisms and proactive government governance should be integrated for the upstream and downstream links, whereas the market shall play the decisive role in resource allocation within the midstream segment. To this end, the policy recommendations are put forward: First, leverage the institutional strengths of the new nationwide system to intensify original and pioneering scientific and technological research. Second, consolidate enterprises' principal role in technological innovation and foster an efficient innovation ecosystem. Third, cultivate high-end talent reserves to further elevate innovative capacity. Fourth, advance high-level two-way opening-up and coordinate the collaborative layout of domestic and global industrial chains.

**Keywords:** semiconductor; industrial chain; toughness; general equilibrium analysis

(责任编辑: 张建华)