

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2020.7.026

# 利益嵌入视角下的半导体产业培育路径研究

谢泓材, 周志中

(上海交通大学安泰经管学院, 上海 200030)

**摘要:** 基于我国半导体产业现状的剖析, 以半导体产业协同创新为现实基础, 以利益嵌入视角提出该问题的分析框架, 并运用演化博弈模型对国产化采购的可行性、监督式政企博弈的合理性和产业链协同结盟的有效性给予探讨。最后根据博弈分析结果设计“整合产业群、升级技术层、融合工艺链”三位一体的半导体产业国产化培育路径。

**关键词:** 半导体; 国产化; 演化博弈; 培育路径

**中图分类号:** F204; G301; F124.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-7695(2020)7-0200-12

## Research on Cultivation Path of Semiconductor Industry from Perspective of Interest Embedding

Xie Hongcai, Zhou Zhizhong

(Antai College of Economics and Management, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** Based on the analysis of the status quo of China's semiconductor industry, this paper proposes the analysis framework of this problem based on the localization of semiconductor industry. The evolutionary game model is used to explore the feasibility of localized procurement, the rationality of the game between government and enterprises, and the effectiveness of synergy in the industrial chain. Finally, according to the results of game analysis, the three-in-one semiconductor industry localization cultivation path of "integrated industrial group, upgraded technology layer and integrated process chain" was designed.

**Key words:** semiconductor; localization; evolutionary game; cultivation path

以集成电路为核心的半导体产业是制造强国的重要支柱。2018年3月5日, 集成电路被写入政府工作报告并位列实体经济发展第1位。2018年4月17日, 美国商务部宣布对中兴通讯进行芯片停售和全面封杀, 时长7年, 使之当即休克。经过一系列斡旋和付出沉痛代价后, 中兴通讯得以在2018年6月恢复运营。2018年10月29日, 美国商务部限制福建晋华集成电路公司出口并列入禁售清单。中兴事件和晋华事件直击我国半导体产业软肋, 教训惨痛, 引发各界深思。加快半导体产业国产化配套进程, 是从制造大国迈向制造强国的必由之路; 探索半导体产业国产化的有效培育路径, 是确保国家信息安全自主可控的当务之急。

中国大陆半导体企业的国产化进程或者说进口替代之路是无数厂商从小规模试探性采购验证起步, 逐步扩大采购进而实现全产业链配套的缓慢渐进的学习行为, 故采用演化博弈的分析方法是行之有效的。基于演化博弈的视角, 本文提出一个半导体产

业国产化培育路径的分析框架并据此建模分析: (1) 长期演化博弈下, 国产产品能否在禁运封锁情况下起到替代用途或达到商用标准? 视本土厂商的采购意愿和国产产品的综合性能而定。这是国产产品实现进口替代的前提, 是国产化路径的合理性所在。(2) 如何有效动用政府力量扶持产业? 重要的工具是补贴。为防止骗补, 实现精准补贴扶持, 使国家用于发展半导体产业的大量资金有效地投入运转, 这是企业创新研发和政府监督评估之间的利益博弈行为, 是国产化路径中政府力量的有效性所在。(3) 通过产业链协同联盟, 是否有助于推进产业国产化配套? 引入上下游合作机制, 发挥协同效应, 达成合作共赢, 这将使产业链内部协调形成合力, 这是国产化路径的有效抓手和加速器。本文以我国半导体产业国产化培育为现实基础, 运用演化博弈模型对国产化采购的可行性、带监督的政企博弈的合理性和产业链协同结盟的有效性进行探讨, 并根据博弈分析结果设计了“整合产业群、升级技术层、融合工艺链”

收稿日期: 2019-06-05, 修回日期: 2019-07-09

基金项目: 国家自然科学基金委创新研究群体基金项目“运营与创新管理”(71421002)

三位一体的半导体产业国产化培育路径。

## 1 产业现状和文献回顾

### 1.1 产业现状

半导体是当今科技信息时代的基础原材料，被誉为“工业的粮食”，是电子工业和信息产业的命脉<sup>[1]</sup>。按产品归类，半导体产品包括集成电路、光电元件、传感器、分类器件四大类，其中核心部分集成电路的产业价值占比达82%。集成电路具备可靠性高、轻薄微型等优点，且产业具备规模效应，使得电子元件得以实现了微型化、高可靠性、低功耗以及智能化的飞跃。芯片作为集成电路的载体，由硅晶圆切割而成，是半导体元件的统称。

作为战略性新兴产业，半导体产业是具备附加值高、技术密集、竞争力强以及产值巨大<sup>[2]</sup>等特点的先导性、基础性的高科技产业。发展半导体产业，提升国产化水平，实现巨额产品进口替代，兼具多重战略意义。一方面，实现半导体核心环节的国产化，是确保包括产业安全在内的国家安全自主可控的必然需要。拥有国产化能力或自主知识产权的半导体产业已日益成为经济发展的命脉、社会进步的基础、国际竞争的筹码甚至国家安全的保障。另一方面，提升半导体产业国产化率，进口替代空间巨大，且助力产业转型升级，具备经济意义。长期以来，我国通过附加值低、技术含量低的劳动密集型产业切入全球分工，处于微笑曲线低端，但随着用工成本攀升、人口老龄化等全生产要素原料成本上升，区位优势逐渐消失，容易陷入“比较优势陷阱”<sup>[3]</sup>，亟需经济结构转型升级，实现向制造强国的转变。在顶层设计上，半导体产业等基础先导产业被列为优先发展方向，战略发展意义非凡。

目前我国集成电路供需严重错配，尤其高端半导体产品严重依赖进口。我国既是全球最大的集成电路应用市场，更是全世界最大的集成电路产品进口国。根据海关总署的统计数据，自2013年起，我国进口集成电路价值超2000亿美元；2017年中国集成电路进口高达2601亿美元，占高新技术产品进口额的44.5%，远超原油（1623亿美元）、农产品（1247亿美元）、铁矿石（763亿美元）等进口额。自给率低，特别是许多高端核心产品完全无法国产，是我国集成电路的致命软肋所在。截至2017年，包括计算机系统里的MPU、通用电子系统中的FPGA/EPLD和DSP、通信装备中的Embedded MPU和DSP、存储设备中的DRAM和NAND Flash、显示及视频系统中的Display Driver在内的多项国产芯片占有率都是零<sup>[4]</sup>。核心半导体或高端半导体产品长

期被国外垄断，不仅直接制约中国产业发展，而且使我国随时面临停产断档、禁运或限制进口等直接威胁国家安全的局面。

具体到产业链视角，我国半导体软肋更加凸显。当前，我国半导体产业虽然进步明显但产业链整体实力依然薄弱，尤其上游关键设备和材料严重依赖进口。从产业链角度看，半导体产业链包括由IC设计、晶圆制造、封装测试等环节构成的核心制造链，以及由材料、设备、洁净室等构成的支撑产业链。知识产权（IP, Intellectual Property）、关键设备及材料、先进制程/封测技术、技术人才是半导体产业最重要的竞争壁垒所在。近年来，我国芯片设计、制造和封测业快速发展，进步明显。设计方面，据中国半导体行业协会的统计数据，2016年集成电路设计业销售额为1644亿元，同比增长24%，跃居全球第2位，华为海思、紫光展锐分列全球设计业第6、第10位。制造方面，中芯国际现为大陆技术最先进的晶圆代工企业，在全球排名第5，但2017年收入却不到台积电的10%。

另一层面，半导体设备和材料位于产业链最上游，其兴衰沉浮直接牵动着产业的进程<sup>[5]</sup>。而半导体上游设备和材料的国产化之路则荆棘密布。目前，研发成本指数增长且技术密集的半导体设备市场主要被美日荷垄断<sup>[6]</sup>，市场集中度高：2016年全球前十名半导体设备供应商市占率超80%。上游材料业细分行业众多、技术门槛高、产业规模大。以硅片为例，硅晶片对材料纯度、清洁度、表明平坦度要求严苛，进入壁垒极高，目前全球90%的硅晶片市场被日本的信越和SUMCO、德国的Siltronic、台湾的环球晶圆以及韩国的SK Siltron占据。设备和材料是晶圆制造厂的支撑基石。根据国际半导体行业协会（SEMI）的统计数据，2017—2020年间全球将投产62座半导体晶圆厂，其中26座位于中国大陆，占全球投产总数的42%，是全球新建最积极、投资最大的地区；而我国半导体设备和材料自给率按金额计算不足10%，而在建立半导体生产线时则随时面临设备和材料短缺的风险。

综合看，技术和资金是半导体产业最核心的要素，持续的研发投入、完善的产业生态和国家强力支持，缺一不可。纵观世界半导体强国崛起之路，由于半导体产业投资庞大、回报期长的特点，国家力量是产业发展的基石和关键。换言之，探索我国半导体产业国产化水平的提升路径，必须统筹考虑企业技术研发、产业链配套意愿、国家力量等众多维度。基于此视角，推进半导体产业国产化进程，实质是各方利益的协调与博弈。

## 1.2 文献回顾

国产化,意指当地生产的配套供应,即本地化;狭义层面则是本国所属企业的配套供应<sup>[7]</sup>,是一个自20世纪50年代起伴随国际贸易的发展而出现的现象。所谓国产化政策,又称国产化率保护(domestic content protection, DCP),也叫本地含量要求(local content requirement),是指政府对企业中间投入品的本地化供应比例设定一定要求,不符合要求的厂商进口中间投入品则被征收高昂的惩罚性关税<sup>[8]</sup>。国产化率用以评价产品或行业的国产化水平,是衡量一国科技创新能力的重要指标,当前的计算方法是:国产零部件替代进口部分占该产品全部散件的比例<sup>[7]</sup>。国产化率保护政策是发展中国家在促进自主创新、保护本土不成熟产业的普遍做法。叶静怡等<sup>[9]</sup>研究指出,依市场结构的不同,国产化率对东道国福利、本土中间品产出、租金分配等均有不同程度的影响。黄焕山<sup>[10]</sup>提出,国产化的核心包括品牌和商标的民族所有、核心技术自主化两个层面。在全球化浪潮和经济一体化大背景下,带有本土保护色彩的国产化等概念逐渐被淡化甚至弱化,而随着中美贸易摩擦连带的中兴通讯事件,让缺芯之痛和半导体产业国产化等议题重回公众视野,引发产学研界热议。

演化博弈是分析人类社会经济行为有效的工具。Kandori等<sup>[11]</sup>指出人类社会经济行为是无数社会经济主体动态博弈和适应性进化的过程。演化博弈模型更注重群体规模,更能充分反映现实议题的复杂性和长期性,在包括企业间信任关系研究<sup>[12]</sup>、上下游库存管理模式研究<sup>[13]</sup>、分布式制造研究<sup>[14]</sup>、知识产权电子商务交易研究<sup>[15]</sup>等诸多方面均有应用。

我国半导体国产化的进程是无数厂商从小规模试探性采购验证起步,逐步扩大采购,进而实现产业链国产化配套的缓慢渐进的学习行为,采用演化博弈的分析方法是行之有效的。郭本海等<sup>[16]</sup>基于演化博弈研究了我国自主品牌轿车机制重构问题,在政府、企业和消费者间建立博弈模型;而本文在半导体产业中建立的是产业链上下游合作博弈模型,将政府因素视为外生变量剥离,以研究政府力量可逐步退出的长效机制。崔雅雯等<sup>[17]</sup>运用演化博弈分析研究了供给侧改革下的企业标准化生产,得出政府行为具有无可取代的作用;而本文的研究则着眼于产业链安全建言产业发展,给出发挥政府扶持力量的依据和路径,理论与实践意义兼备。

此外,目前国内关于半导体产业发展的文献聚焦于外国经验的研究:周建军<sup>[18]</sup>通过对日本、韩国、美国半导体产业发展的案例分析,提出产业政策推

动并购重组的模式以实现赶超的建议。张荣楠<sup>[19]</sup>通过剖析日美半导体战争,提出加快实施创新立国的建议。杨娟<sup>[20]</sup>聚焦美国半导体行业的发展历程,提出应建立多样化的贸易伙伴关系的建议。以上政策建言是在详实的史料研究基础上提出的,但是没有通过建模分析对半导体产业发展建言进行论证,本文将通过演化博弈建模结果来评估和建言产业发展,从国产化商用的可行性、政府补贴扶持的合理性、产业链协同结盟的有效性三个维度从短期到中长期逐层建言,目前还鲜见这方面的研究,这是本文的创新贡献所在。

## 2 中断情景下晶圆制造商国产化采购的演化博弈模型

### 2.1 问题描述及模型假设

基于晶圆制造在半导体产业链中的核心地位,选取晶圆制造为建模情境具备典型意义。按照生产流程,半导体产业链可分为支撑链和核心制造链。支撑链即半导体上游的设备和材料,是中游晶圆制造的支撑原料,也是国内半导体产业的薄弱环节。根据国际半导体产业协会(SEMI)的统计数据,2017—2020年间全球将投产62座半导体晶圆厂,其中26座位于中国大陆,占全球投产总数的42%。晶圆制造在产业链中占据重要位置,工艺需求向上驱动设备材料业研发,制造规模向下决定后段封测业的发展空间,所以芯片制造技术及规模强弱决定整个半导体产业链的强弱。大陆优先发展中游晶圆制造,以期快速获得足够市场空间,通过垂直传导驱动全产业链的良性联动,有效提升产业竞争力。

本部分选择晶圆制造商对上游厂商原料(包括半导体设备、材料等)的采购选择行为进行博弈分析。博弈双方为晶圆制造商和提供晶圆制造原料的供应商。为模拟最真实的类似中兴事件的供应链中断事件,假设供应环节遭到海外先进厂商的禁运封锁,长期不能恢复进口,国内晶圆厂商开始考虑向国内发展较为滞后、技术较为落后的原料供应商采购以实现进口替代,如此便可建立一个随时间变化的较为长期的动态博弈系统。

为便于演绎推理,对演化模型可作出三条合理假设:(1)两两博弈。尽管采购商在决策时面对国内群体中所有其他企业,仍可假设为两两企业随机配对反复博弈进行。(2)对称博弈。假定得益对双方为无差异的对称分布,即博弈方获得不同收益仅仅取决于不同方案策略。(3)不完全理性假设。假设博弈双方均为不完全理性,无法完全预测对方行动而采取最优策略。由非完全理性假设,可忽略博弈双方的行动次序,博弈双方依据上一阶段得益和

策略调整现阶段的策略，经过反复的试错、更新，最终达成演化博弈均衡，获取各自策略的最优收益。

依据上述假设和分析，选择对称复制动态博弈模型。假设国内半导体晶圆制造商在面临制造用设备、材料等原料的进口封锁时，采购国内原料供应商的比例为  $x$ ，选择不采购的比例即为  $1-x$ 。将该晶圆制造国产化采购的演化博弈模型涉及的变量解释如下：

$R$ ：表示晶圆制造商选择采购国产供应商策略，并进行生产销售所获得的总收益。表现为恢复制造销售所获得直接和间接的总经济收益。 $R$ 值大小与终端需求的市场规模大小、先进制造工艺的产品领先溢价相关。

$Q$ ：表示采购技术较为不成熟或落后的国内原料供应商所导致的质量损失。如国内半导体设备商生产的刻蚀机等设备因为技术不成熟，缺乏大规模商用化的反馈优化从而经验不足，导致晶圆制造环节发生良率下降，影响生产效益造成的损失。 $Q$ 值大小与技术成熟度、设备可靠度、国产技术代差等因素相关。极端情形下，该项工艺所需设备或材料完全依靠进口无法国产替代，此时  $Q$  值趋向于正无穷大。

$M$ ：表示采购国产原料供应商所付出的运维费用。包括大型设备运输费用（较海外进口存在地理优势）、操作不当造成的运转维修等后续售后服务费用，以及因设备故障造成的期间停产损失。 $M$ 值大小与地理运输路程（购置运输费、维修差旅费等）、专业操作人员的业务水平以及工程师文化素质相关。

### 2.2 构建演化博弈模型

根据演化博弈的理论知识和上述模型假定，可得晶圆制造商进行原料国产化采购的随机配对博弈的收益矩阵如下：其中，博弈方 1、博弈方 2 即为 2.1 两两博弈假设中的采购商。

		博弈方 2	
		采购	不采购
博弈方 1	采购	$(\frac{R-Q}{2}-M, \frac{R-Q}{2}-M)$	$(R-Q-M, 0)$
	不采购	$(0, R-Q-M)$	$(0, 0)$

图 1 晶圆制造商采购国产原料供应商的收益矩阵

选用复制动态方程分析该模型可确保演化稳定策略为演化均衡。记晶圆制造商选择采购国产原料策略的期望收益为  $R_1$ ，选择不采购国产原料策略的期望收益为  $R_2$ ，制造商的平均期望收益为  $\bar{R}$ 。

$$R_1 = x(\frac{R-Q}{2} - M) + (1-x)(R-Q-M)$$

$$R_2 = 0$$

$$\bar{R} = xR_1 + (1-x)R_2$$

则复制动态方程为：

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(R_1 - \bar{R}) = x(1-x)R_1 =$$

$$x(1-x)[x(\frac{R-Q}{2} - M) + (1-x)(R-Q-M)]$$

### 2.3 复制动态方程求解及演化稳定均衡分析

当  $F(x) = 0$ ，即博弈方学习速度为 0 时，此时博弈达到相对稳定的均衡状态。

由  $F(x) = \frac{dx}{dt} = x(R_1 - \bar{R}) = x(1-x)R_1$  可知，该复制动态最多有三个稳定状态，分别是：

$$x_1^* = 0, x_2^* = 1 \text{ 和 } x_3^* = \frac{2(R-Q-M)}{R-Q}$$

并不都是进化稳定策略 ESS，稳定状态需要满足抗扰动要求，即  $F'(x) < 0$ 。

$$F'(x) = (1-2x)R_1 + x(1-x)\frac{Q-R}{2}$$

由此可得： $F'(0) = R-Q-M$ ， $F'(1) = -\frac{R-Q-2M}{2}$ ，

$$F'(x_3^*) = \frac{(R-Q-M)(R-Q-2M)}{R-Q}$$

下面分情形讨论相应的演化稳定策略：

(1) 当  $R < Q+M$  时， $F'(0) < 0$ ， $F'(1) > 0$ ， $F'(x_3^*) > 0$ ，此时  $x_1^* = 0$  为演化稳定策略 (ESS)。意即，国内制造商即使面临生产销售中断都将逐步选择不采购国内原料供应商，该复制动态的相位图如图 2 所示。

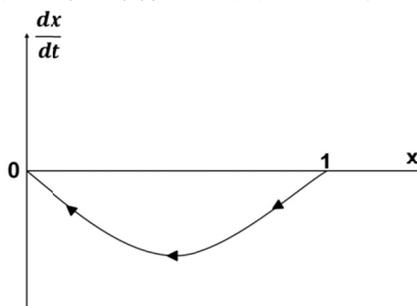


图 2 制造商国产化采购的复制动态相位图 ( $R < Q+M$ )

(2) 当  $R > Q+2M$  时， $F'(0) > 0$ ， $F'(x_3^*) > 0$ ， $F'(1) < 0$ ，此时  $x_2^* = 1$  为 ESS。此时国内晶圆制造商将逐步选择采购国内原料供应商的策略，该复制动态的相位图如图 3 所示。

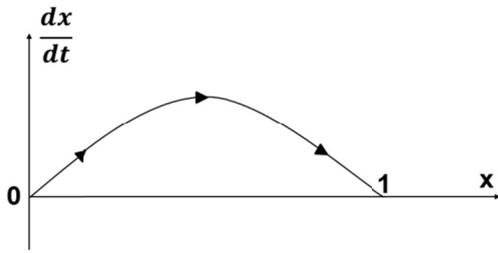


图3 制造商国产化采购的复制动态相位图 ( $R > Q + 2M$ )

(3) 当  $Q + M < R < Q + 2M$  时,  $F'(0) > 0, F'(1) > 0, F'(x_3^*) < 0$ ,

此时  $x_3^* = \frac{2(R-Q-M)}{R-Q}$  为 ESS。意即, 最终有占  $\frac{2(R-Q-M)}{R-Q}$  比例的国内晶圆制造商采购本土供应商原料, 有  $1 - \frac{2(R-Q-M)}{R-Q}$  比例的国内晶圆制造商不采购本土供应商原料, 该复制动态的相位图如图 4 所示。

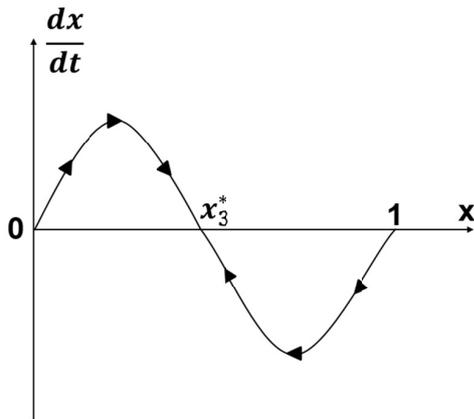


图4 制造商国产化采购的复制动态相位图 ( $Q + M < R < Q + 2M$ )

2.4 相关结论及证明

在上述讨论的基础上, 逐个分析影响博弈得益的参数, 将得到一些指导加速产业国产化的定性结论。

结论 1: 通过在国内新建晶圆厂房等方式提升市场规模, 有利于产业配套国产化提速, 提升产业国产化程度。

证明: 由上述分析易知,  $R$  越大, 厂商选择国产替代的可能性越大。而厂商生产总收益  $R$  与产品所面向的市场规模大小密切相关。通过新建晶圆厂房, 抬升产品的动态市场空间, 将直接促进产业国产配套程度的提升。事实上, 半导体产业第三次产业转移浪潮正在进行, 根据国际半导体产业协会 (SEMI) 的统计数据, 2017—2020 年间全球将投产 62 座半导体晶圆厂, 其中 26 座位于中国大陆, 占全球

投产总数的 42%, 大规模半导体晶圆的建厂潮为原材料供应商带来了广阔的市场空间。

结论 2: 技术和产品质量的提升是国产产品逐步实现进口替代的关键。

证明: 由上述分析易知,  $Q$  越小, 厂商选择国产替代的意愿更强。而损失  $Q$  源于产品技术不成熟, 导致产出品良率不高; 同时技术落后反映的工艺代差将降低生产效率和减少产品附加值。提升技术和产品质量, 能使  $Q$  降低; 另外随着下游市场规模在新建厂房拉动提升下, 产品能得到更多的售后反馈优化, 弥补设计和生产的经验不足, 也能降低  $Q$  值。

结论 3: 研发人员和售后团队等人力资源能力的提升, 将促进产品实现进口替代。

证明: 由上述分析易知,  $M$  越小, 厂商更倾向于采购国产产品。运转维护费用  $M$  值大小与设备发生故障停产的概率以及售后服务的运维费均相关, 进一步地, 如果研发环节专业技术人员业务水平、文化素质等人力资源要素提升, 叠加国内厂商在售后服务方面具备响应及时、快速机动的地理区位优势, 将利于降低运维费用  $M$ , 加速产品国产化的进程。

2.5 验证政府补贴的促进机制

以上模型构建仅考虑企业在有限理性假设下, 进行缓慢博弈学习, 并运用复制动态方程的刻画方式对采购国产产品的行为进行建模与分析, 但尚未包含国家政府行为的影响, 考虑到涉及国家安全的半导体产业是国家坚定优先发展的重要战略方向, 政府通过制定战略性新兴产业的发展规划主要扮演引导者的角色, 并一系列财税政策以及产业基金投资等组合拳鼓励、支持和培育国产半导体产业, 简化不改变实质, 我们可将政府支持的行为抽象成政府通过补贴等行为支持产业的国产化, 从而构成原模型的外生激励。下面分析该行为是否改变企业的决策。

引入政府补贴支持采购国产化, 加速全产业链国产化进程 (同时也是恢复产业中断的有效途径)。在上述博弈模型基础上引入变量  $S$  表示政府对采购国产原材料行为的补贴。则采购博弈的收益矩阵如图 5 所示。

		博弈方 2	
		采购	不采购
博弈方 1	采购	$(\frac{R-Q}{2} - M + S, \frac{R-Q}{2} - M + S)$	$(R - Q - M + S, 0)$
	不采购	$(0, R - Q - M + S)$	$(0, 0)$

图5 政府补贴下的国产化采购博弈的收益矩阵

仍然采用复制动态方程分析和求解该模型。

$$R_1 = x\left(\frac{R-Q}{2} - M + S\right) + (1-x)(R-Q-M+S)$$

$$R_2 = 0$$

$$\bar{R} = xR_1 + (1-x)R_2$$

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(R_1 - \bar{R}) = x(1-x)R_1 =$$

$$x(1-x)\left[x\left(\frac{R-Q}{2} - M + S\right) + (1-x)(R-Q-M+S)\right]$$

$$\text{由 } F(x) = \frac{dx}{dt} = x(R_1 - \bar{R}) = x(1-x)R_1 \text{ 可知}$$

知，该复制动态最多有三个稳定状态，分别是：

$$x_1^* = 0, x_2^* = 1 \text{ 和 } x_3^* = \frac{2(R-Q-M+S)}{R-Q}$$

。但这三个状态并不都是进化稳定策略 ESS，稳定状态需要满足抗扰动要求，即  $F'(x) < 0$ 。

$$F'(x) = (1-2x)R_1 + x(1-x)\frac{Q-R}{2}, \text{ 由此可得:}$$

$$F'(0) = R - Q - M,$$

$$F'(1) = -\frac{R-Q-2M}{2},$$

$$F'(x_3^*) = \frac{(R-Q-M)(R-Q-2M+2S)}{R-Q}$$

下面分情形讨论相应的演化稳定策略：

(1) 当  $R < Q + M$  时， $F'(0) < 0, F'(1) > 0,$

$F'(x_3^*) > 0$ ，此时  $x_1^* = 0$  为演化稳定策略 (ESS)。该复制动态的相位图依然如图 1 所示。

(2) 当  $R > Q + 2M$  时， $F'(0) > 0, F'(x_3^*) > 0,$

$F'(1) < 0$ ，此时  $x_2^* = 1$  为 ESS。该复制动态的相位图依然如图 2 所示。

(3) 当  $Q + M - S < R < Q + 2M - 2S$  时，

$F'(0) > 0, F'(1) > 0, F'(x_3^*) < 0$ ，此时  $x_3^* = \frac{2(R-Q-M+S)}{R-Q}$

为 ESS。该复制动态的相位图如图 6 所示。

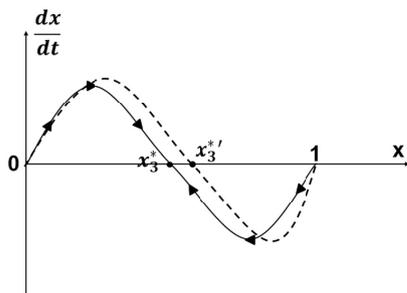


图 6 政府补贴行为下制造商国产化采购的复制动态相位图 ( $Q + M - S < R < Q + 2M - 2S$ )

注：虚线表示图 5 所示情形，以方便对比。

结论 4：政府对国产采购行为给予补贴等奖励，将提升产品的国产化水平。

证明：由图 4，易知：引入补贴因素后，政府对国产采购行为给予补贴  $S$  后，演化博弈结果趋向于采购国产设备的概率提升。

### 3 政府扶持下半导体厂商国产化研发的政企博弈分析

#### 3.1 政企博弈建模及基本假设

国家政府大力发展半导体产业，而半导体本土厂商是否大力投入研发和国产化可视为政府与企业博弈之结果。考虑到博弈双反的有限理性及涉及商业机密的信息不完全对称，政府将不定期评估本土半导体厂商的研发效果和国产化进程（以下简称“评估”），但由于涉及高新技术的评估需要专家团队以及配套实验，如考虑到评估所需成本，政府也可能采取不评估策略（以下简称“不评估”）。对企业而言，具备研发基础、进展顺利且对政府给予的扶持举措满意的情况下可能为国产化专门投入研发力量（以下简称“研发”），而对企业运作不佳或对政府给予的扶持举措不够满意时可能不会专门投入国产化研发（以下简称“不研发”）。不改变实质，可对所建模型做如下假设：

(1) 政府组织力量进行专项评估，需要付出组建专家团队等评估的成本，如对所评估企业的研发投入、研发进程等满意，将给予财税支持，包括优惠贷款、税收减免、直接补贴、纳入优先采购链等支持；反之，如不满意，将削减原先给予的优惠政策。

(2) 企业大力投入国产化研发并积极运作，一方面加大研发支持增加企业费用，另一方面也将提升包括价格、高端产品市占率、品牌在内的产品竞争力。

依据上述假定，可建立涉及博弈收益的主要变量如下：

$C_1$ ：政府评估的成本费用。如组织专家团队、开展检测试验等人力物力费用。

$C_2$ ：企业投入的专项研发费用。这里指专门为填补技术空白、产品国产化进行的研发费用，不包括其他研发费用。

$S$ ：政府评估后对企业所采取的国产化研发满意，追加的各类支持效益总和，包括直接追加补贴、加大财税优惠政策、以产业资本的形式入股等扶持举措。

$M$ ：政府评估后对企业所采取的国产化研发不满意，不给予进一步支持的基础上适当减少原先给予的财税优惠等，如下调企业的扶持优先级，将企业适用的优惠税率下调一个档次，同时等效于政府获取这部分效益弥补评估费用；此时企业损失潜在的追加补贴和承担政府转而加大力度支持达标的

其他同行所带来的市场损失。

$R$ : 企业投入专项研发费用所得的相应收益。如研发突破产品的定价议价权、市场占有率提升等产品竞争力增强的效益之和。

根据上述假定和指标描述, 可得政企博弈双方的收益矩阵如图 7 所示。

		企业	
		研发	不研发
政府	评估	$(-C_1 - S, S - C_2 + R)$	$(M - C_1, -M)$
	不评估	$(0, R - C_2)$	$(0, 0)$

图 7 政府 - 企业博弈的收益矩阵

### 3.2 政企博弈模型求解

假设在博弈的初始阶段, 政府选择“评估”的概率为  $p$ , 选择“不评估”的概率为  $1 - p$ ; 企业选择“研发”的概率为  $q$ , 选择“不研发”的概率为  $1 - q$ 。

政府选择“评估”的期望收益为  $U_1$ , 选择“不评估”的期望收益为  $U_2$ , 平均期望收益为  $\bar{U}$ 。

$$U_1 = q(-C_1 - S) + (1 - q)(M - C_1)$$

$$U_2 = 0$$

$$\bar{U} = pU_1 + (1 - p)U_2 = p(M - Sq - Mq - C_1)$$

政府方的复制动态方程为:

$$F(p) = \frac{dp}{dt} = p(U_1 - \bar{U}) = p(1 - p)U_1 =$$

$$p(1 - p)(M - Sq - Mq - C_1)$$

接下来, 求解政府的复制动态方程。当学习速度为 0 时, 博弈达到一种相对稳定均衡状态。故令  $F(p) = 0$ , 有:

$$(1) \text{ 当 } q < \frac{M - C_1}{M + S} \text{ 时, } p = 0, p = 1 \text{ 为 } p \text{ 的两个}$$

稳定状态;

$$(2) \text{ 当 } q > \frac{M - C_1}{M + S} \text{ 时, } p = 0, p = 1 \text{ 为 } p \text{ 的两个}$$

稳定状态;

$$(3) \text{ 当 } q = \frac{M - C_1}{M + S} \text{ 时, 无意义。}$$

上述稳定状态并非都是进化稳定策略 (ESS)。

ESS 还需满足抗扰动功能, 即  $\frac{\partial F(p)}{\partial p} < 0$ 。

$$\frac{\partial F(p)}{\partial p} = (1 - 2p)(M - Sq - Mq - C_1)$$

$$(1) \text{ 当 } q < \frac{M - C_1}{M + S} \text{ 时, 需满足 } (1 - 2p) < 0 \text{ 即 } p > \frac{1}{2}, \text{ 所以 } p^* = 1 \text{ 为 ESS;}$$

$$(2) \text{ 当 } q > \frac{M - C_1}{M + S} \text{ 时, 需满足 } (1 - 2p) > 0 \text{ 即 } p < \frac{1}{2}, \text{ 所以 } p^* = 0 \text{ 为 ESS。}$$

同理, 设企业选择“研发”的期望收益为  $V_1$ , 选择“不研发”的期望收益为  $V_2$ , 平均期望收益为  $\bar{V}$ 。

$$V_1 = p(S + R - C_2) + (1 - p)(R - C_2)$$

$$V_2 = -pM$$

$$\bar{V} = qV_1 + (1 - q)V_2 = pq(S + M) + q(R - C_2) - pM$$

企业方的复制动态方程为:

$$F(q) = \frac{dq}{dt} = q(V_1 - \bar{V}) = q(1 - q)(V_1 - V_2) =$$

$$q(1 - q)(pS + pM + R - C_2)$$

接下来, 求解企业的复制动态方程。当学习速度为 0 时, 博弈达到一种相对稳定均衡状态。故令  $F(q) = 0$ , 有:

$$(1) \text{ 当 } p > \frac{R - C_2}{S + M} \text{ 时, } q = 0, q = 1 \text{ 为 } q \text{ 的两个}$$

稳定状态;

$$(2) \text{ 当 } p < \frac{R - C_2}{S + M} \text{ 时, } q = 0, q = 1 \text{ 为 } q \text{ 的两个}$$

稳定状态;

$$(3) \text{ 当 } p = \frac{R - C_2}{S + M} \text{ 时, 无意义。}$$

上述稳定状态并非都是进化稳定策略 (ESS)。

ESS 还需满足抗扰动功能, 即  $\frac{\partial F(q)}{\partial q} < 0$ 。

$$\frac{\partial F(q)}{\partial q} = (1 - 2q)(pS + pM + R - C_2)$$

$$(1) \text{ 当 } p > \frac{C_2 - R}{S + M} \text{ 时, 需满足 } (1 - 2q) < 0 \text{ 即 } q > \frac{1}{2}, \text{ 所以 } q^* = 1 \text{ 为 ESS;}$$

$$(2) \text{ 当 } p < \frac{C_2 - R}{S + M} \text{ 时, 需满足 } (1 - 2q) > 0 \text{ 即 } q < \frac{1}{2}, \text{ 所以 } q^* = 0 \text{ 为 ESS。}$$

综上, 可知系统有 5 个平衡点, 分别是  $E_1(0, 0)$ ,  $E_2(0, 1)$ ,  $E_3(1, 0)$ ,  $E_4(1, 1)$ ,  $E_5(m, n)$ 。其中,

$$m = \frac{C_2 - R}{S + M}, n = \frac{M - C_1}{M + S}.$$

有上述分析知，平衡点中对应 ESS 的为  $E_1(0,0)$  和  $E_4(1,1)$ ，分别对应的策略为（不评估，投入），（不评估，不投入），鞍点为  $E_5(\frac{C_2 - R}{S + M}, \frac{M - C_1}{M + S})$ 。

可绘制该非对称复制动态进化博弈的动态演化过程如图 8 所示。

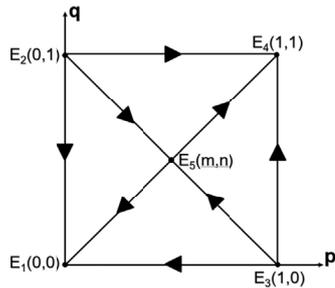


图 8 政企演化博弈的博弈相位

演化博弈的最终结果取决于博弈双方的初始状态。不妨记图 5 中由  $E_1, E_2, E_3, E_5$  连线组成的区域为 A，由  $E_2, E_3, E_4, E_5$  连线组成的区域为 B。若初始状态位于 A 区域，则最终动态博弈后将稳定于  $E_1(0,0)$ ，即（不评估，不投入），此为劣等策略；若初始状态位于 B 区域，则最终动态博弈后将稳定于  $E_4(1,1)$ ，即（评估，投入），此为可良性循环的策略。

### 3.3 演化稳定均衡分析及结论

记区域 A 的面积为  $S_A$ ，区域 B 的面积为  $S_B$ 。根据上述分析，政府和企业的演化博弈的稳定策略为（不评估，不投入），（评估，投入），且该博弈的帕累托最优结果应该是（评估，投入）。但由于上述两策略组合均稳定，最终结果往哪一个方向发展，由  $S_A$  和  $S_B$  的大小决定：（1）当  $S_A < S_B$  时，结果为（评估，投入）的概率大于结果为（不评估，不投入）的概率；（2）当  $S_A > S_B$  时，结果为（评估，投入）的概率小于结果为（不评估，不投入）的概率；（3）当  $S_A = S_B$  时，结果为（评估，投入）的概率与结果为（不评估，不投入）的概率相等。

结合图形，易得  $S_A$  的计算公式如下：

$$S_A = \frac{1}{2}(m+n) = \frac{1}{2} \left( \frac{C_2 - R}{S + M} + \frac{M - C_1}{M + S} \right) = \frac{M + C_2 - R - C_1}{2(M + S)}$$

由此出发，可对各参数对 ESS 稳定均衡状态的影响进行逐一分析并得出推论。

结论 5：政府评估满意后对企业追加支持力度

越大，企业投入国产化研发的概率越大。

证明：易得  $\frac{\partial S_A}{\partial S} < 0$ ，故  $S_A$  是  $S$  的单调减函数。

随着政府支持力度  $S$  的加大， $S_A$  的面积将减小（如图 9 所示），博弈结果向  $E_4(1,1)$  演化的概率加大，企业投入国产化研发的概率越大。不难理解，政府评估后追加支持越大，表明对企业当前进行国产研发的结果进行了正向的反馈激励，企业也从其研发中获取预期收益  $R$  之外的外部正激励，使其更有意愿进行国产化研发来强化企业竞争力。

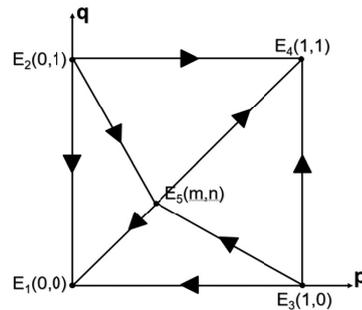


图 9 政企演化博弈的博弈相位 ( $S$  变大，其他参数固定不变时)

结论 6：企业投入国产化研发预期获取的收益越大，进行研发的概率越大。

证明：易得  $\frac{\partial S_A}{\partial R} < 0$ ，故  $S_A$  是  $R$  的单调减函数。

随着企业预期研发收益  $R$  的加大， $S_A$  的面积将减小，博弈结果向  $E_4(1,1)$  演化的概率加大，企业投入国产化研发的概率越大。容易理解，企业倾向于选择对其收益回报越大的行为决策。

结论 7：政府开展评估的成本费用越大，企业进行国产化研发的概率越大。

证明：易得  $\frac{\partial S_A}{\partial C_1} < 0$ ，故  $S_A$  是  $C_1$  的单调减函数。

随着政府开展评估的成本费用的加大， $S_A$  的面积将减小，博弈结果向  $E_4(1,1)$  演化的概率加大。该结论似乎不容易理解，但结合实际，作为战略新兴产业，半导体产业涉及研发的技术属于高精尖技术，门槛高，技术复杂，工艺精湛；政府组织相关专家团队，并开展先进技术的检测试验所耗费的人力物力费用越高，表明该技术越有看头，研发进展有较多基础并且技术或已处于较为先进的环节（相比评估费用不高的情况），由于先进技术所带来的高附加值和技术稀缺性的垄断溢价，企业开展国产化研发的动力越强，概率越大。

结论 8：企业投入研发的专项费用越高，企业

选择国产化研发的概率将降低。

证明：易得  $\frac{\partial S_A}{\partial C_2} > 0$ ，故  $S_A$  是  $C_2$  的单调增函数。

随着企业投入研发的专项费用越大（为填补国际先进技术的国产空白等开展的研发费用）， $S_A$  的面积将增大，博弈结果向  $E_4(1,1)$  演化的概率变小。事实上，半导体工艺制程按照摩尔定律演进，14nm 以下新制程的开发难度和投资幅度呈现出指数级增长。通常情况下<sup>[24]</sup>，一款 28nm 芯片设计的研发投入约 1 亿元 ~ 2 亿元，14nm 芯片约 2 亿元 ~ 3 亿元，研发周期约 1 ~ 2 年。高昂的研发费用并非每个企业所能负担，这也印证了政府给予补贴的必要性。

结论 9：政府评估后降低对企业支持力度，则企业选择国产化研发的概率将降低。

证明：易得  $\frac{\partial S_A}{\partial M} > 0$ ，故  $S_A$  是  $M$  的单调增函数。

随着政府减少对企业原先给予的支持举措， $S_A$  的面积将增大，博弈结果向  $E_4(1,1)$  演化的概率变小。这点是符合现实的，政府减少对企业原先给予的财税优惠，同时转而支持国内其他同行，两方面给企业造成市场收益损失，严重打击厂商自行进行高昂的国产化研发的积极性

#### 4 产业链上下游合作国产研发的演化博弈模型分析

##### 4.1 上下游合作博弈建模及基本假设

产业链闭环可控是自主可控的必要条件，加强产业链上下游合作将有效促进国产进程。考虑上下游合作博弈，国产半导体产业链上下游公司联动，以合资设立公司（等效于互相入股）的方式开展合作研发，一方面，研发收益根据入股比协商后按比例分配，另一方面，研发费用也按比例承担，达成减轻单独研发负担和共享合作果实的收效。按照半导体生产流程，可考虑供应商和制造商合作博弈模型来推演上下游合作的情形，由于先进生产工艺不仅需要制造端突破摩尔定律演进的新技术制程，还需要上游供应商成功研发与制程配套的设备或材料，故双方有合作研发动力。定期按照合资双方约定的路线时间表，进行阶段验收，完成既定的目标研发技术可视为研发顺利（以下简称“顺利”），未能成功研发则视为研发不顺利（以下简称“不顺利”）。结合实际情形，可对所建模型涉及的主要变量定义如下：

$R_1$ ：制造商在未成功研发时的原生产效益，一定程度上影响研发动力。

$R_2$ ：供应商在未成功研发时的原生产效益，一定程度上影响研发动力。

$\Delta R$ ：研发顺利所获得的研发收益。

$\alpha$ ：双方合作研发确定的研发收益分配系数， $\alpha \in (0,1)$ 。

$\alpha'$ ：某一方研发顺利而另一方不顺利，顺利方获取的研发收益分配， $\alpha' \in (0,1)$  且  $\alpha' < \alpha$ 。

$C$ ：双方合作研发付出的研发成本。

$\beta$ ：双方合作研发确定的研发成本分担系数， $\beta \in (0,1)$ 。

根据上述假定和指标描述，可得上下游合作博弈双方的收益矩阵如图 10 所示。

		制造商	
		顺利	不顺利
供 应 商	顺 利	A	B
	不 顺 利	C	D

图 10 上下游合作博弈的收益矩阵

其中：

A:  $(R_1 + \alpha\Delta R - \beta C, R_2 + (1-\alpha)\Delta R - (1-\beta)C)$

B:  $(R_1 + \alpha'\Delta R - \beta C, R_2 - (1-\beta)C)$

C:  $(R_1 - \beta C, R_2 + (1-\alpha')\Delta R - (1-\beta)C)$

D:  $(R_1 - \beta C, R_2 - (1-\beta)C)$

##### 4.2 上下游合作博弈模型求解

假设在博弈的初始阶段，供应商研发“顺利”的概率为  $p$ ，研发“不顺利”的概率为  $1-p$ ；制造商研发“顺利”的概率为  $q$ ，研发“不顺利”的概率为  $1-q$ 。

供应商研发“顺利”的期望收益为  $U_1$ ，研发“不顺利”的期望收益为  $U_2$ ，平均期望收益为  $\bar{U}$ 。

$$U_1 = q(R_1 + \alpha\Delta R - \beta C) + (1-q)(R_1 + \alpha'\Delta R - \beta C) = R_1 - \beta C + [q(\alpha - \alpha') + \alpha']\Delta R$$

$$U_2 = q(R_1 - \beta C) + (1-q)(R_1 - \beta C) = R_1 - \beta C$$

$$\bar{U} = pU_1 + (1-p)U_2 =$$

$$R_1 - \beta C + [q(\alpha - \alpha') + \alpha']p\Delta R$$

供应商的复制动态方程为：

$$F(p) = \frac{dp}{dt} = p(U_1 - \bar{U}) =$$

$$p(1-p)[q(\alpha - \alpha') + \alpha']\Delta R$$

$$\frac{\partial F(p)}{\partial p} = (1-2p)[q(\alpha - \alpha') + \alpha']\Delta R$$

由于  $q(\alpha - \alpha') + \alpha' > 0$ ，根据稳定性定理， $p=1$  为稳定状态。

同理，设制造商研发“顺利”的期望收益为

$V_1$ , 研发“不顺利”的期望收益为 $V_2$ , 平均期望收益为 $\bar{V}$ 。

$$V_1 = p(R_2 + (1-\alpha)\Delta R - (1-\beta)C) + (1-p)(R_2 + (1-\alpha')\Delta R - (1-\beta)C) = R_2 - (1-\beta)C + [p(\alpha - \alpha') - \alpha' + 1]\Delta R$$

$$V_2 = p[R_2 - (1-\beta)C] + (1-p)R_2 - (1-\beta)C = R_2 - (1-\beta)C$$

$$\bar{V} = qV_1 + (1-q)V_2 = R_2 - (1-\beta)C + [p(\alpha - \alpha') - \alpha' + 1]q\Delta R$$

制造商的复制动态方程为：

$$F(q) = \frac{dq}{dt} = q(V_1 - \bar{V}) = q(1-q)[p(\alpha - \alpha') - \alpha' + 1]\Delta R$$

$$\frac{\partial F(q)}{\partial q} = (1-2q)[p(\alpha - \alpha') - \alpha' + 1]\Delta R$$

不难证明 $p(\alpha - \alpha') - \alpha' + 1 > 0$ , 则根据稳定性定理,  $q = 1$ 为稳定状态。

#### 4.3 演化稳定均衡分析及结论

结论 10: 半导体产业链上下游企业开展合作研发, 长期演化的结果是双方的国产化研发进展均顺利, 共同促进了产业的国产化程度。

证明: 由前文可得, 上下游合作博弈系统的雅可比矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(p)}{\partial p} & \frac{\partial F(p)}{\partial q} \\ \frac{\partial F(q)}{\partial p} & \frac{\partial F(q)}{\partial q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1-2p)\Delta R[q(\alpha - \alpha') + \alpha'] & p(1-p)(\alpha - \alpha')\Delta R \\ q(1-q)(\alpha' - \alpha)\Delta R & (1-2p)[q(\alpha - \alpha') + \alpha']\Delta R \end{bmatrix}$$

根据稳定性定理, 知: 该系统有四个平衡点  $A(0,0)$ ,  $B(1,1)$ ,  $C(0,1)$ ,  $D(1,1)$ , 根据局部渐进稳定不动点的判别条件 ( $tr(J) < 0$ ,  $|J| > 0$ ), 易得:

$D(1,1)$ 为进化稳定策略 (ESS), 可绘制该非对称复制动态进化博弈的动态演化过程如图 11 所示。

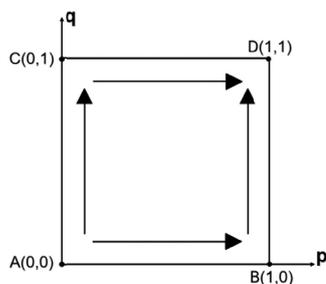


图 11 上下游合作博弈的博弈相位

## 5 结论及展望

### 5.1 研究结论及政策建言

本文从剖析我国半导体产业现状切入, 基于半导体产业国产化的现实基础, 开创性提出了一个半导体产业国产化培育路径的分析框架, 基于有限理性决策和缓慢演化假设, 分别构建演化博弈模型对国产化采购的合理性、带监督的政企博弈的有效性和产业链上下游合作研发的协调性给予探讨。基于演化博弈模型及其协调分析结果 (结论 1 ~ 10), 为了推动我国半导体产业国产化进程, 本文尝试综合上述结论, 设计了“整合产业群、升级技术层、融合工艺链”三位一体的半导体国产化培育路径作为研究结论。

(1) 以政府力量为后盾大力整合半导体产业群, 强力构建国产配套集群的产业生态。基于半导体产业重资产属性, 结合日韩半导体崛起之经验, 动用国家力量大规模投入扶持是各国争夺先进技术战略制高点的必要之举。

国家在半导体国产化中的职责在于统筹兼顾, 扮演整合产业群各方资源的角色。首先是出台政策组合拳。当前, 我国政府已出台多种针对国产集成电路的财税优惠政策、组建推动产业发展的大基金 (二期计划正在募集) 并撬动各类地方基金、民间资本介入国内半导体产业, 有效解决了国内半导体企业启动资金庞大的融资问题。以市场为导向, 改变传统投入科研机构模式, 组建母基金并引导社会资源通过资本市场参股、控股等多种形式支持国内半导体公司发展, 最大限度给予企业自主发展自由度。但同时政府还需要做好有效监督, 形成带有奖惩机制优化的反馈闭环。其次是统筹顶层设计。通过组织专家开发半导体各子行业的发展路线图, 着力推动重点环节的专项突破, 统揽半导体国产化的进程。最后是充当本土半导体企业国产化的坚实后盾。在贸易摩擦和技术封锁背景下, 坚定扶持国内半导体厂商逐步国产化。利用好背靠全球半导体产业最大市场的地缘优势, 承接第三次半导体产业转移浪潮, 有效运用补贴等手段引导产业链内企业实现国产配套。

(2) 集中投入技术层的升级, 突破国产空白, 大力鼓励技术自主研发和吸收转化。半导体是复合多学科的知识密集型产业, 知识产权、先进制造 / 封装技术、关键设备 / 原料、高级技术人才是主要的竞争壁垒, 技术、人才是研发的关键要素。

国家应加大对关键技术的自主研发支持力度, 比如, 出台专项计划, 以攻克核心技术问题为导向, 利用好工程师红利, 集中力量进行重点攻关。如有条件, 应动力量并购吸收国外前列公司的先进技术, 实现弯道超车。令人欣慰的是, 近年来国内半导体企业加大了人才引进力度, 晶圆制造龙头中芯

国际成功获得曾带领台积电和三星取得技术突破的梁孟松加盟、半导体设备龙头北方华创手拥千人计划专家 10 人，为技术研发奠定坚实基础。

此外，为防止研发和市场脱节，打通研发和应用的鸿沟也是必需之举。通常，研发成功的首台设备因成熟度和经验不足等诟病并不能得到厂商的有效认可，经过一系列验证后，随着摩尔定律演进，新技术制程又出现，进口替代之路艰巨。为此，可鼓励本土厂商优先小批量采购国内研发成果，在研发到商用环节帮扶达成从 0 到 1 的突破。

(3) 促进工艺链融合，鼓励产业上下游协同开展合作研发，打造利益共同体。庞大的投入使得半导体产业出现外包和协作分工体系，而服务外包等经济全球化分工协作使得供应链中断风险日益暴露。目前，我国半导体企业长期在全球分工体系中承接独立代工任务，上下游关联互动机制匮乏，对外依赖严重。为此，应在垂直分工的产业链格局中，强化上下游的协同关联，使研发与商用形成良性互动，打造利益共享的价值生态链，是加快推进我国半导体产业的多环节同步进化的首选。

此外，还应扶持本土 IDM（一体化）厂商，或在产业集群的联盟中以具备资源整合能力的企业为核心构建虚拟 IDM 企业群，打造子行业龙头，促进各环节间的信息交流、研发合作、技术融合和利益共享，进一步提升半导体产业自主可控程度。以台湾地区半导体发展为例，台湾半导体以形成“台积电 + 日月光”、“联电 + 矽品”等虚拟 IDM 合作模式，产业竞争力和风险抵御力大大增强。国内方面，设立于 2014 年 8 月的中芯长电是我国晶圆制造龙头中芯国际和我国封测龙头长电科技的合资公司，为全球首个专注于先进凸块制造技术的专业中段硅片加工企业，是半导体产业上下游达成商业共生联盟的典范。当前，我国半导体产业在国家支持下初步形成以紫光集团为首的“展讯科技 + 中芯国际 + 长电科技”虚拟 IDM，由中国电子 CEC 集团统合的“联发科 + 华虹宏力 + 通富微电”虚拟 IDM 以及“武汉新芯 + 中芯国际 + 华天科技”的虚拟 IDM，为我国半导体产业自主可控和产业链的优化做出了有益的尝试。

## 5.2 研究展望

确保半导体产业自主可控，是国家安全和产业发展的核心诉求。探究提升半导体产业国产化水平的路径，迫在眉睫。鉴于目前国内对半导体产业研究的文献较少，本文基于半导体产业国产化的现实基础，开创性提出了一个半导体产业国产化培育路径的分析框架，首次对半导体产业国产化进行建模分析，以中兴通讯事件为背景考虑中断风险下厂商进行国产化产业配套的意愿入手；并引入国家支持，构建带有奖惩监督的政府扶持下厂商研发的政企博

弈模型；最后建模分析了半导体产业链上下游合作研发促进国产化程度提升的有效性。创新之处包括：不同于已有文献仅对半导体产业进行定性描述，本文首次建模分析产业内厂商行为，并设计和分析了培育半导体产业国产化的激励机制，据此给出产业发展的政策建言。不过，如何基于我国半导体产业成长特征而制定动态化的支持政策、如何根据多方参与主体利益诉求的不同构建协调机制、如何实证分析产业外部影响因素的中介作用等议题仍有待进一步研究。

## 参考文献：

- [1] 何峻. 基于价值链的中国集成电路产业发展对策 [J]. 经济与管理, 2004(10):94-96.
- [2] 马磊, 张战国. 集成电路 (IC) 产业发展战略研究 [J]. 中小企业管理与科技 (上旬刊), 2017(3):175-176.
- [3] 肖峰, 张苏. 国际产业转移及其对发展中国家 (地区) 的机遇: 以集成电路产业为例的研究 [J]. 政治经济学评论, 2008(1):185-206.
- [4] 魏少军. 2017 年中国集成电路产业现状分析 [J]. 集成电路应用, 2017, 34(4):6-11.
- [5] 韩继国. 集成电路产业的振兴要从设备材料抓起 [J]. 集成电路应用, 2013(10):1.
- [6] 傅翠晓, 全利平. 集成电路装备产业的全球竞争格局与我国竞争态势分析 [J]. 世界科技研究与发展, 2017, 39(6):497-502.
- [7] 谷伟光. 对我国国产化率概念界定思考 [J]. 天津职业院校联合学报, 2011, 13(3):87-89.
- [8] GROSSMAN G M. The Theory of domestic content protection and content preference [J]. 1981, 96(4):583-603.
- [9] 叶静怡, 付明卫, 曹和平. 国产化率保护研究述评 [J]. 云南财经大学学报, 2012, 28(04):34-40.
- [10] 黄焕山. 论本土化、国产化与生产全球化 [J]. 武汉冶金管理干部学院学报, 2001(2):3-5.
- [11] KANDORI M, MAILATH G J, ROB R. Learning, mutation, and long run equilibria in games [J]. Econometrica, 1993, 61(1):29-56.
- [12] TOMASSINI M, PESTELACCI E, LUTHI L. Mutual trust and cooperation in the evolutionary hawks-doves game [J]. Biosystems, 2010, 99(1):50-59.
- [13] YU H, ZENG A Z, ZHAO L. Analyzing the evolutionary stability of the vendor-managed inventory supply chains [J]. Computers & Industrial Engineering, 2009, 56(1):274-282.
- [14] DEKKERS, ROB. Distributed manufacturing as co-evolutionary system [J]. International Journal of Production Research, 2009, 47(8):2031-2054.
- [15] 李开洲, 谢富纪. 基于演化博弈的知识产权电子商务交易研究 [J]. 上海管理科学, 2018, 40(1):57-62.
- [16] 郭本海, 王涵. 多方博弈情景下我国自主品牌轿车价值重构问题研究 [J]. 中国管理科学, 2018, 26(10):140-151.
- [17] 崔雅雯, 杨磊, 郭延禄. 供给侧改革下的政府规制与企业的标准化行为演化博弈分析 [J]. 技术与创新管理, 2018, 39(6):753-760.
- [18] 周建军. 寡头竞争与并购重组: 全球半导体产业的赶超逻辑 [J]. 国际经济评论, 2018(5):135-156, 8.
- [19] 张荣楠. 从日美半导体战争看中美高科技之争 [J]. 中国经贸导刊, 2018(13):12-14.
- [20] 杨娟. 美国半导体行业多样性对我国的启示 [J]. 全球科技经济瞭望, 2018, 33(4):73-76.

作者简介：谢泓材（1994—），男，福建漳平人，研究生，主要研究方向为科技产业政策、信息技术经济学；周志中（1975—），男，海南乐东人，副教授，博士，主要研究方向为信息技术经济学、信息安全。