

# 资本不可逆、技术不确定性与产业结构分化——来自半导体产业的启示

冯锦锋

上海兴橙投资管理有限公司

DOI:10.32629/ej.v9i1.3281

**[摘要]** 在高资本密集、技术高度复杂的产业中,产业结构长期呈现多路径、多层次并存形态,而非向单一“最优”技术路径收敛。半导体产业的实践对传统资源配置与效率理论提出了挑战。本文从资本不可逆性与技术不确定性并存的视角出发,探讨产业结构分化的内生逻辑。研究指出,在投资一旦作出便难以撤回、技术路径存在非连续性和失效风险条件下,集中配置资源将显著放大系统性失败的代价。相较之下,多路径并存通过分散技术与路径风险,构成一种具有理性基础的稳健配置结果。以半导体产业为案例,结构分化并非市场失灵或效率损失,而是高端制造业在不确定环境中实现长期稳定演进的重要机制。为重新理解产业结构、创新路径与产业政策目标提供了理论启示。

**[关键词]** 资本不可逆性; 技术不确定性; 产业结构分化; 风险分散; 半导体产业

**中图分类号:** F121.3 **文献标识码:** A

## Capital Irreversibility, Technological Uncertainty, and Industrial Structure Differentiation: Insights from the Semiconductor Industry by

Jinfeng Feng

Shanghai Xingcheng Investment Management Co., Ltd.

**[Abstract]** In capital-intensive and highly complex industries, industrial structures persistently exhibit a multi-path, multi-tiered coexistence rather than converging toward a single "optimal" technological trajectory. The semiconductor industry's practices challenge traditional resource allocation and efficiency theories. This paper explores the endogenous logic of industrial structure differentiation from the perspective of coexisting capital irreversibility and technological uncertainty. The study demonstrates that under conditions where investments are irreversible, technological paths exhibit discontinuity and failure risks, centralized resource allocation significantly amplifies the cost of systemic failures. In contrast, the coexistence of multiple paths creates a rationally grounded robust allocation outcome by dispersing technological and path risks. Using the semiconductor industry as a case study, structural differentiation is not market failure or efficiency loss, but rather a critical mechanism enabling long-term stable evolution of high-end manufacturing in uncertain environments. This provides theoretical insights for reinterpreting industrial structures, innovation pathways, and industrial policy objectives.

**[Key words]** irreversibility of capital; technological uncertainty; industrial structure differentiation; risk diversification; semiconductor industry

### 引言

在高资本密集、技术高度复杂的产业中,产业结构往往呈现出多路径、多层次并存的形态,而非向单一“最优”技术路径持续收敛。半导体产业尤为典型: 尽管技术前沿不断推进,不同制程节点、工艺路线和应用导向却长期共存,且这种结构并未随时

间自然消失。这一现象对传统经济学关于资源配置与效率的直觉提出了挑战。

在标准分析框架中,若市场主体理性且竞争有效,资源应向预期回报最高的技术路径集中,产业结构趋于收敛。由此,多路径并存通常被视为协调失败、信息不对称或政策干预所导致的

次优结果。然而,在现实中的高端制造业中,结构分化却表现出显著的长期稳定性,表明上述解释忽略了关键约束条件。

本文关注的核心问题是:在资本高度不可逆、技术路径存在显著不确定性的条件下,产业结构分化是否仍然可能是一种理性结果?当投资一旦作出便难以撤回,且技术演进存在不连续性和路径失效风险时,集中配置资源是否仍然构成最优选择,值得重新审视。

半导体产业为回答这一问题提供了高度契合的研究场景。其生产过程投资规模巨大、回收周期漫长,技术路径频繁受到物理极限、工程复杂性及外部环境变化的冲击。同时,下游需求高度异质,不同应用对性能、成本和可靠性的权重差异显著,为多层次结构的存在提供了现实基础。

## 1 文献综述

关于产业结构、技术选择与投资决策的研究,相关文献主要集中于三个脉络:不可逆投资理论、技术路径与产业演进研究,以及半导体等高端制造业的经验分析。

首先,在不可逆投资与不确定性研究中,Dixit 和 Pindyck (1994)提出实物期权理论,指出在不确定环境下,不可逆性会导致投资延迟,以保留决策灵活性。该框架随后被广泛用于分析投资时机问题,但其关注重点主要在“是否投资”与“何时投资”,而较少讨论在多技术路径并存时,投资如何在不同路径之间进行结构性配置。

其次,关于技术路径选择与产业演进的文献,Arthur(1989)和后续研究强调正反馈与规模经济可能导致路径锁定,产业结构最终向单一主导技术收敛。然而,这一预测在半导体等高资本密集产业中并未完全得到验证。相关文献在解释长期存在的多路径并存结构时,解释力明显不足。

再次,针对半导体产业的研究,多从技术追赶、国家创新体系或产业政策视角展开。这些研究揭示了政府角色、市场规模和制度环境的重要性,但往往将多层次结构视为过渡状态,或归因于制度性干预,而未将其视为可能的理性均衡结果。

总体而言,现有文献虽分别讨论了不可逆投资、技术不确定性与产业演进,但较少将三者整合起来解释产业结构分化的内生逻辑。本文正是在这一缺口上展开,将结构分理解释为在不可逆投资和技术不确定性条件下形成的理性配置结果。

## 2 理论机制:不可逆投资、不确定性与结构分化

核心问题在于资本高度不可逆、技术路径存在显著不确定性的条件下,产业结构为何不会收敛于单一“最优”形态,而是内生地走向多层次分化。结构分化并非源于协调失败或资源错配,而是一种在特定约束条件下具有理性基础的均衡结果。

### 2.1 资本不可逆性如何改变“最优选择”的含义

在存在不可逆投资的情形下,经济主体的决策逻辑与可逆投资条件下存在根本差异。不可逆投资意味着一旦资本投入完成,退出或调整路径将付出高昂的沉没成本,错误选择的代价被显著放大。在这种条件下,“最优选择”不再仅取决于期望收益的大小,而高度依赖于不同路径之间的风险分布及其潜在下行空间。

传统分析往往隐含这样一种直觉,若某一技术路径在长期内具有更高的预期回报,理性资本应当向其集中配置。然而,在不可逆条件下,这一直觉并不必然成立。原因在于,预期回报的差异往往不足以抵消路径选择错误所带来的不可逆损失。理性主体因此会倾向于避免将全部资源集中押注于单一路径,即便该路径在事前看似具有更高的技术潜力。

由此,不可逆性并不会简单导致投资延迟,而是改变了投资配置的结构特征:资本更可能在多条具有不同风险—回报特征的路径之间进行分散配置。这一逻辑为产业层面的结构分化提供了微观基础。

### 2.2 技术不确定性与路径风险的放大效应

技术不确定性进一步强化了上述分散配置的激励。在高度复杂的技术体系中,技术演进往往并非连续、平滑的过程,而是伴随着跳跃、断裂以及由外部环境引发的突变。这意味着,即便在事前拥有充分信息,经济主体仍难以对不同技术路径的长期表现作出准确判断。

在此背景下,路径风险不再仅体现为收益波动,而表现为路径本身可能失效的可能性。当技术前沿存在被“截断”的风险时,集中押注单一路径将面临系统性失败的可能,而这种失败在不可逆投资条件下具有毁灭性后果。技术不确定性因此并非简单地提高了风险水平,而是改变了风险的性质,使其更具非线性特征。

在这种情形下,分化配置不同技术层级或生产路径,成为一种降低路径风险暴露的理性策略。不同路径之间的相关性越低,结构分化在风险管理中的价值就越大。由此,技术不确定性并不会促使产业“等待最优路径显现”,而是推动产业结构向多层次并存的方向演进。

### 2.3 结构分化作为产业层面的风险分散机制

将上述逻辑提升至产业层面,可以将结构分理解释为一种“产业层面的投资组合配置”。在这一视角下,不同技术路径、工艺层级或生产环节对应着不同的风险—回报分布,产业体系通过维持这些路径的并存,实现对技术不确定性和不可逆损失的分散。

与个体投资者构建资产组合以分散金融风险类似,产业结构分化在本质上是一种对技术路径风险的配置结果。其关键差异在于,这种配置并非通过金融市场完成,而是嵌入在生产组织结构之中。结构分化因此不是低效率状态,而是一种在特定约束条件下具有理性基础的稳定结构。

这一逻辑同时解释了为何在高度资本密集的产业中,结构分化往往呈现出长期性。由于资本高度不可逆,一旦形成多层次并存的生产体系,回到单一路径反而意味着重新暴露于集中风险之下,从而在经济上缺乏吸引力。结构分化因此具有自我强化的特征。

### 2.4 产业结构分化与“效率”概念的再审视

上述分析对传统效率观念提出了挑战。在标准静态分析中,资源向单一最优路径集中往往被视为效率提升的体现。然而,

在不可逆投资与技术不确定性并存的条件下,静态效率标准难以反映真实的决策环境。集中配置可能在静态意义上看似高效,却在动态意义上显著提高了系统性失败的概率。

从动态视角看,结构分化通过降低极端不利结果的发生概率,提高了产业体系在长期内的生存能力。这种“稳健性”并不必然表现为短期效率最大化,却在面对高度不确定的技术环境时具有明确的经济合理性。因此,结构分化不应被简单理解为资源配置失衡,而应被视为一种以稳健性为目标的理性结果。

可见,在资本不可逆性与技术不确定性共同作用下,产业结构分化并非市场失灵的结果,而是理性决策在产业层面的自然延伸。不可逆投资放大了错误路径选择的代价,技术不确定性提高了路径风险的非线性特征,而结构分化则通过分散这些风险,为产业体系提供了一种稳健的演进方式。

### 3 机制验证: 半导体产业作为结构分化的案例

半导体产业为检验前文提出的“不可逆投资—技术不确定性—结构分化”机制提供了一个高度契合的现实场景。其生产过程资本强度极高、投资回收周期漫长、技术路径频繁受到内外部冲击,因而成为观察产业如何在高度不确定条件下形成稳定结构的理想案例。本节并不试图全面回顾半导体产业的发展历史,而是围绕若干具有代表性的结构性事实,说明产业结构分化如何作为一种理性配置结果,在现实中反复出现并长期存在。

#### 3.1 多技术路径与多工艺层级的长期并存

一个最直观的事实是,半导体产业并未围绕单一技术路径持续收敛。相反,不同制程节点和工艺路线在长期内并存,并分别服务于差异化的应用需求。即便在技术前沿不断推进的阶段,成熟工艺和专用工艺也未被系统性淘汰,而是与前沿工艺共同构成多层次生产体系。

从理论机制的角度看,这种并存并非“技术落后尚未被清除”的暂态现象,而是对技术不确定性的内生回应。不同工艺层级在资本强度、良率爬坡速度以及技术失败风险方面存在显著差异。先进工艺具备潜在高回报,但路径失败或被截断的风险亦最高;成熟与专用工艺的技术不确定性相对较低,但回报上限有限。产业体系通过维持这些层级的并存,在整体层面实现了对路径风险的分散。

#### 3.2 资本配置呈现“非集中化”的结构特征

半导体产业的资本配置并未呈现出向单一技术路径持续集中的趋势。相反,在长期投资周期中,资本往往被分散配置于不同技术层级与生产环节。这一现象并不能简单归因于资源配置效率不足,而应理解为不可逆投资条件下的理性选择。

由于半导体制造设备与厂房具有高度专用性,一旦对应技术路径失效,资本损失将难以回收。在此背景下,将大量资本集中押注于单一前沿路径,会显著放大系统性失败的风险。相较之下,将资本分布于不同工艺层级,尽管可能牺牲部分潜在高回报,却能够降低整体损失的尾部风险。这一配置逻辑与前文提出的

“产业层面投资组合”机制高度一致。

#### 3.3 技术前沿的不连续性与路径失效风险

半导体技术演进并非一条平滑、可预测的连续轨道。无论是制程缩放所面临的物理极限,还是由外部环境变化引发的技术中断,都使得技术前沿存在被“截断”的现实可能性。这种不连续性意味着,即便在事前具备优势的技术路径,也可能在事后迅速丧失经济可行性。

在不可逆投资条件下,路径失效的后果尤为严重。对产业而言,一旦将生产体系高度集中于某一前沿路径,当该路径遭遇技术或环境冲击时,调整成本将极其高昂。由此,维持多路径并存并非保守策略,而是一种针对不连续性风险的理性防御。

#### 3.4 应用需求异质性对结构分化的支撑作用

结构分化之所以能够长期存在,还与半导体下游需求的高度异质性密切相关。不同应用领域对性能、成本、可靠性和供给稳定性的权重差异显著,使得不存在一种工艺能够在所有维度上占优。这种需求侧的多样性为多层次结构提供了现实基础。

从机制上看,需求异质性降低了单一路径“支配全局”的可能性,也减少了产业回归单一结构的激励。在不可逆投资和技术不确定性并存的条件下,需求侧的分化进一步强化了结构分化作为稳健配置的合理性。

#### 3.5 结构分化的稳定性与自我强化

一旦多层次结构形成,其稳定性往往高于单一路径结构。这是因为,结构分化降低了产业对任何单一技术路径的依赖,使得外部冲击被限制在局部层级内,而不会迅速传导为系统性危机。在这种条件下,回到单一路径不仅无法显著提高预期收益,反而会重新暴露于集中风险之下。

## 4 结论

展示了多路径并存如何作为产业层面的风险分散机制发挥作用。该分析拓展了对产业结构和创新的理解决,也提示在高度不确定的技术环境中,应重新审视“最优结构”与“效率”的含义。未来研究可在更广泛产业样本中检验本文提出的机制,并结合形式化模型或数据分析,进一步探讨结构分化与长期绩效之间的关系。

### [参考文献]

[1]姜丽莎,姚超,邓伟.数实融合对企业新质生产力的影响研究——基于创新、资源配置和产业升级的视角[J].科技创业月刊,2024,37(12):108-123.

[2]陆晓明.经济政策不确定性对半导体市场的影响[J].中国银行业,2025(06):11.

[3]岳思诗,杨墨,董大勇.基于机构调研的投资决策对盈余管理的影响研究[J].管理现代化,2023,43(3):100-110.

### 作者简介:

冯锦锋(1977--),男,汉族,江苏靖江人,博士,研究方向:半导体产业、创业投资。