

“断链”冲击、数字赋能与技术的系统性涌现 ——基于四个芯片制造企业的发现

张化尧¹,叶晨莹¹,孟好²,史小坤³

(1. 浙江工业大学管理学院,浙江杭州 310032;2. 辽宁理工职业大学教务处,辽宁锦州 116052;

3. 浙江工商大学金融学院,浙江杭州 310018)

摘要:我国芯片制造业的多项技术突破不仅标志着自2018年以来美国“断链”举措的失败,也使芯片产业成为数字经济环境下系统性技术突破研究的宝贵案例。本研究以技术发展的系统性涌现理论为分析视角,对四家典型芯片制造业进行研究。研究发现,“断链”冲击推动了广泛的开放创新合作,数字技术与数字平台在促进技术突破中发挥了重要作用。理论上,研究揭示了数字赋能开放创新的内在机制,分析了企业特征的调节作用,给出了三者结合的理论模型。在实践中,该研究为不同层面的数字技术应用提供了启示,以促进高端技术突破。

关键词:芯片产业;开放创新;技术突破;数字赋能;系统性涌现

中图分类号:F124.3

文献标识码:A

自2018年起,美国通过“脱钩”“断链”和“去中国化”等措施,对中国产业技术升级进行全面封锁,尤其在高端芯片制造领域展开全方位打压,重现了发达国家利用技术垄断优势对我国企业进行“卡脖子”遏制^[1]的传统局面。然而,以2023年8月华为Mate60系列高端手机的发布为代表,我国芯片领域在系统集成方面的核心关键技术突破接连不断,为数字经济环境下的技术突破研究提供了宝贵研究场景^[2]。

关于“卡脖子”技术或核心关键技术的研究由来已久,尽管在问题界定和技术攻克路径上存在不同看法,但多数研究认为系统性导致的攻克困难是它们的共同特征^[2-4]。从当前现实来看,经过数十年的发展,我国产业技术取得长足进步,制造业的数字化转型初见成效,核心关键技术突破不再仅仅是技术攻关问题,而是要利用数字技术赋能创新整合,芯片制造业的高度系统性和数字原生性^[5]使其成为最佳研究对象。

在“断链”环境下,将技术突破置于数字赋能的思维模式已成共识。主流观点强调数字技术创新对

产业发展模式和治理的重要性,包括构建共享开放的宏观数字市场^[6]、赋能产业研发体系、提升全要素生产率、发展数字创新平台的中观产业策略^[7],以及以龙头企业为支点的微观机制^[8]。但当前对数字赋能技术创新的作用机制缺乏实证研究,对中国企业如何通过开放创新实现技术突破及数字技术的具体作用仍需进一步探索。

前期研究中,我们通过对34家上市公司的分析发现,加强研发和协作创新是企业应对“脱钩”冲击的有效策略^[9]。谢在阳、吴宝也证实了加大研发投入应对“脱钩”影响的普遍性^[10]。本研究以这些发现为基础,聚焦典型企业的内部创新机制,由于芯片产业的数字原生性,这一研究将有助于洞察冲击环境与数字环境并存的技术突破问题。

后续研究将采用理论与数据对话的逻辑^[11],进行理论抽样和迭代,具体安排如下:第二部分将从当前现实问题特征出发,引出本文的认识论和分析框架;第三部分详细介绍研究设计、案例选择和数据分析的逻辑与过程;第四部分展示研究发现;第五部分在讨论基础上构建理论模型;最后是本文的结论。

收稿日期:2024-10-27;修回日期:2025-01-18

基金项目:国家社会科学基金重点项目(22AGL003)

作者简介:张化尧(1971-),男,博士。叶晨莹(1999-),女,硕士研究生。孟好(1992-),女,教师。史小坤(1970-),女,教授,通讯作者, E-mail:shixaokun3@163.com。

1 研究框架

1.1 技术发展中的系统性涌现

系统性技术表现为嵌套性和相互依赖性。新兴数字技术增强了个体间信息的可获得性,改变了技术的作用方式和能力,从而可能通过改变组织关系来降低技术攻关的难度。这一转变为研究系统性技术发展提供了新视角,Bailey 等将其称为技术与组织研究的关系视角^[12]。在此视角下,技术是关系发展的产物,而组织是多种关系的集合体,新关系的建立通过系统性涌现(systematic emerging)推动技术发展^[13]。本文将此观点称为系统涌现理论。

系统涌现理论为技术发展提供了一种解释逻辑,其思想可追溯至技术的社会镜像论和架构创新论。前者视技术发展为政治、经济、制度和职业压力的互动结果^[14],后者则认为组织间关系推动技术变革^[15]。两者均强调组织/实体间关系对技术发展的重要性。

从知识角度分析,关系承载的功能反映了实践积累的知识^[16],而知识的流动性常受组织边界限制^[17,18]。在系统涌现理论看来,新关系的出现使知识流动得以实现,为技术突破创造机会,这为解决系统性问题导致的技术创新难题提供了有力解释。

1.2 数字环境中的开放创新

开放创新理论认为,知识的有目的流入和流出加速了企业创新和成果应用^[19]。根据创新主体在供应链中的位置,开放创新分为纵向和横向资源整合。纵向整合包括与客户协同开发^[20]和与供应商协同制造^[21],而横向整合通常指形式多样的产学研协同,包括委托研究、联合攻关、共建科研基地等^[23],并可按合作方式、层面和意图分类^[24,25]。

数字技术的特性,如可重新编程、数据同质性和软硬件嵌入性,创造了一个开放灵活的平台环境^[26]。数字技术环境对技术发展的影响体现在两个方面:一是促进了资源多元整合机制的形成^[27];二是扩展了资源概念,改变了价值创造方式^[28]。因此,平台环境不仅泛化了关系的内涵,也拓展了其边界,对开放创新产生了深远影响。

1.3 开放创新中的数字赋能

数字赋能突显了数字技术赋予使用者的能力^[26],如在网络社会中的参与和表达能力^[29]、组织资源整合的效率、敏捷性和灵活性等^[30,31]。简而言

之,数字赋能是数字技术应用带来的竞争优势,其效果可以是直接或间接的,如将数字赋能定义为连接、智能和分析能力就兼顾两种效果^[32]。

从系统涌现理论来看,数字赋能是数字技术与平台拓展关系内涵和边界的体现。具体体现为数字技术在成本、效率、监测定位等方面具有优势^[33],数字信息系统能够实现信息的纵向、横向和端到端联通,数字平台在资源生成和结构效率方面带来独特优势^[28]。虽然数字技术和平台在本质上难以严格区分,例如 Bereznoy 等将数字平台视为一种技术赋能的商业模式^[33],但它们以不同的方式促进关系路径的功能实现或提供新型关系路径,本研究将它们视为两种不同的赋能机制。

1.4 研究评述

从系统性涌现理论看,生产者参与开放创新项目时,关系组合为知识整合创新提供了条件,而数字技术和平台则会赋能知识结合及新知识的产生。在“断链”冲击下,随着新产业链的形成,系统性涌现不断发生,推动了技术突破。然而,企业具体采取了哪些开放创新举措,数字技术在其中扮演了什么角色,以及对技术突破的促进程度如何,这些问题仍需进一步研究。

2 方法论

2.1 案例筛选

本研究聚焦于“断链”冲击下企业供应链关系整合,将核心技术突破视为“断链”后关系重构的成功事件。研究基于 Eisenhardt 的理论饱和要求^[34],以 A 股上市企业为样本,通过结构性抽样从芯片和半导体元器件概念股中筛选 20 个案例,并对 2018–2022 年年报中显著受“断链”影响的 12 家企业进行深入调研,并观察这些企业在开放创新和数字赋能方面的表现,依据复制性共现逻辑,确定 4 个典型案例为研究对象,如图 1 所示。所选 4 家企业在芯片制造环节高度相似,有助于凸显“断链”与技术突破之间的因果关系。

2.2 典型案例概况

本研究通过分析 4 家典型案例企业的年度报告,挖掘相关文本,并结合公司官网、公开报道等二手数据及多方访谈,验证并收集素材以还原事实。案例基本情况和数据来源详见表 1,因保密协议,企业名称未公开。

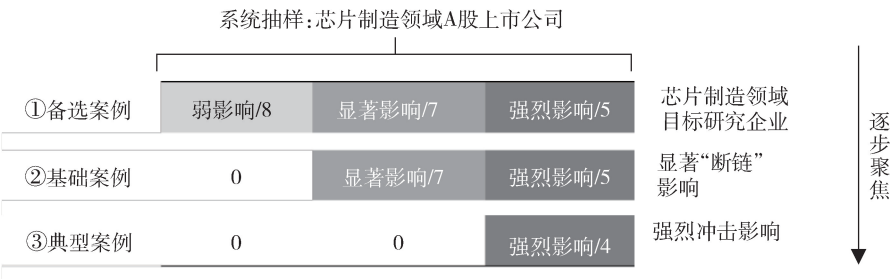


图 1 案例筛选过程

Figure 1 Case selection process

表 1 案例概况

Table 1 Case overview

	A	B	C	D
企业概况	· 2000 年创立 · 规模 3051 亿元,年均增长 37.14% · 主营集成电路晶圆代工及配套服务	· 2004 年创立 · 规模 200 亿元,年均增长 23.02% · 主营半导体设备及泛半导体设备	· 2007 年创立 · 规模 54.8 亿元,年均增长 23.63% · 主营光纤激光器及关键器件与材料	· 2012 年创立 · 规模 93.4 亿元,年均增长 35.76% * · 主营射频集成电路
断链冲击影响	· 10nm 及以下技术节点(包括极紫外光技术)的产品或技术离不开美国,对高端芯片研发及产能建设构成威胁	· 主要生产设备离不开美国技术,刻蚀机 10%、MOCVD 5%的零部件需要从美国进口,供应链存在稳定性风险	· 核心元器件存在依赖进口的问题,离不开美国技术,制约高功率光纤激光器的设计和生产	· 部分设备和配件依赖国外技术,射频关键器件(滤波器)被美国垄断,制约高端 PA 模组设计和生产
技术突破概况	· 实现 28nm、14nm、12nm、N+1 技术规模量产 · 7nm 工艺完成开发,稳定性达到国际水平,且不需要用到 ASML 极紫外光刻机	· 刻蚀设备已进入全球龙头企业台积电 5nm 产线 · 2023 年 80% 被限制进口的零部件可在国内替代生产,有望一年内实现 100% 国产化	· 成功研制国内首台 120kW 超高功率光纤激光器 · 国内唯一能够实现所有核心器件自研自产的激光器厂家	· 成为华为供应商,在 Mate60 系列中提供射频芯片模组 · 搭建完成滤波器生产线
资料来源途径	· 2018 - 22 年报 · 官网资料 · 2021 - 22 行业报告 · 28 篇新闻资料 · 1 经理人员/2 关键客户访谈	· 2018 - 22 年报 · 官网资料 · 2021 - 22 行业报告 · 25 篇新闻资料 · 2 技术人员/1 关键客户访谈	· 2018 - 22 年报 · 官网资料 · 24 篇新闻报道 · 1 经理人员访谈 · 1 关键客户/1 友商访谈	· 2018 - 22 年报 · 官网资料 · 2022 行业报告 · 21 篇新闻报道 · 1 市场经理访谈
探索阶段调研(含对基础案例的调研)				
· 10 余家芯片设计、制造和研究单位的实地考察/20 余场次的现场访谈				
· 10 余家供应商/关键客户的通讯调研				

注:*, 基于 2019 - 2022 数据,2018 - 2019 期间有难以解释的增长率。

A 企业是中国集成电路制造的领军企业。2020 年被美国列入实体清单后,面临先进工艺研发和产能建设的挑战。为此,A 企业加强数字平台建设,与供应链企业合作,共享技术资源,最终在功率和稳定性方面实现与 7nm 制程工艺相似的突破,不再依赖 ASML 的极紫外光刻机。

B 企业是全球芯片加工设备的重要供应商。由

于部分核心零部件需从美国进口,成为“脱钩”政策的冲击对象。通过搭建数字平台、整合资源和技术并购,B 企业实现了“补链”和“强链”,在刻蚀机领域达到世界领先水平,其 5nm 刻蚀机通过台积电认证,零部件实现 100% 国产化。

C 企业是光纤激光器领域的研发和生产供应商。2021 年被美国列入实体清单后,面临核心零部

件采购的限制。C 企业利用数字技术构建生态产业链,协同多方资源,于 2023 年底成功发布 120kW 超高功率光纤激光器,突破了美国的技术封锁。

D 企业是中国射频集成电路的龙头企业,也是华为 Mate60 系列射频技术突破的关键企业。面对美日企业的垄断和美国的出口管制,D 企业深化横向资源整合,加强供应链管理,于 2023 年 9 月实现技术突破,建立了国际先进的 6 英寸 SAW 滤波器晶圆生产线,并推进 12 英寸 IPD 滤波器产品的生产制造能力。

2.3 数据分析

数据分析是一个与理论持续对话的过程,具体步骤如下:

(1)理论领域确定。通过文献检索和案例素材分析,确定系统性涌现理论、开放创新和数字技术/平台为研究的理论领域。

(2)一阶编码梳理。从案例素材中提取关键信息,将相似信息概括为一阶编码。具体步骤包括:在

年报中发现相关事实,通过官网和二手数据进行确认,以及与企业相关人员(或通过供应商/客户等间接确认)进行核实。

(3)二阶编码聚类。结合理论,将一阶编码聚类为二阶编码,遵循持续比较和理论抽样原则。具体步骤包括:至少三个作者独立进行编码,然后在所有作者范围内充分研讨,确保理论反映的一致性。

(4)二阶编码调整。审视编码与理论的关系,对一阶和二阶编码进行迭代调整。研究中还与芯片产业经理人员讨论编码结果,充分引入产业内部人士的理解,以确保对新现象的分析更符合理论本意。

数据分析最终得到 9 个显著不同的一阶编码类别,分别从 4 个二阶编码体现开放创新和数字赋能机制。其中,开放创新以纵向和横向资源整合为显著特征进行区分,而数字赋能分别体现在数字技术的信息处理优势导致的数字技术赋能,和数字平台特征导致的数字平台赋能。4 个典型案例中对基础案例反映的现象均有体现。

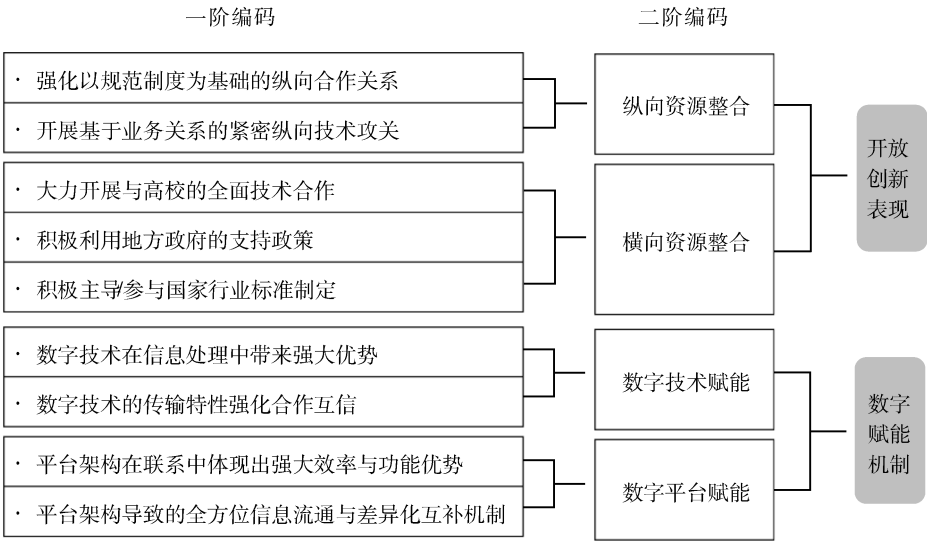


图 2 数据结构图
Figure 2 Data structure

3 研究发现

3.1 “断链”冲击下的开放创新途径

“脱钩”政策并非针对特定企业,而是对所有企业发出的挑战,这促使中国企业在供应链构建和技术攻关上加速行动,开放创新活动也变得异常活跃。我们根据开放创新的纵向和横向资源整合分类,对

4 个典型案例素材进行了整理,详见表 2。

开放创新涉及广泛的合作关系,其中基于产业链的业务联系是其主要表现形式和基础。在“脱钩”冲击下,规范管理下的技术合作成为纵向资源整合的特征,包括建立完善的供应商管理流程、拓展业务链整合、强化合作关系管理,最终实现与供应链的紧密技术合作,推动技术攻关。同时,横向资源整合也变得活跃,如企业与高校的战略合作,利用高校

资源进行技术攻关和人才培养,建设生产能力,并参与行业标准制定,实现技术共享。此外,与国际优势

互补企业的合作也在推进,例如 B 企业与德国在半导体环保科技方面的合作。

表 2 企业开放创新表现

Table 3 Open innovation performance of typical cases

二阶编码	一阶编码	事实依据
纵向资源整合	强化以规范制度为基础的纵向合作关系	· 建立供应商相关机制,完善考核评价机制,奠定与工商合作基础。[A]
		· 制定完备制度,覆盖供应商合作全流程各环节,降低供应链风险,保障生产运营与服务质量。[B]
	开展基于业务关系的紧密纵向技术攻关	· 制定内部制度,规范引入流程,通过认证、管理及帮扶,推动供应链可持续发展,确保生产运营稳定。[D]
		· 加强供应链体系建设,构建供需平衡合作模式,利用 SRM 系统线上竞价促市场效率。[C]
横向资源整合	大力开展与高校的全面技术合作	· 与领先 EDA 供应商密切合作,提高设计能力,加快客户产品上市时间。[A]
		· 2020 年,企业与供应商合作完成射频滤波器模组量产开发,双方协作克服难题,建立生产能力。[D]
	积极利用地方政府的支持政策	· 与行业上下游协同合作,提升产品开发效率,加速碳化硅外延功率器件制造高质量发展。[B]
		· 2021 年与南华大学联合设立实验室,研制光纤激光器及配套设备,突破国外垄断技术瓶颈,提升我国装备制造水平。[C]
	积极主导/参与国家行业标准	· 2021 年与中科大签订“集成电路英才班”合作协议,共建班级,输送产业精英人才。[B]
		· 推动校企合作,共同建社会实践基地,为学生提供技术指导与实践平台。[B]
		· 2020 年 11 月与江苏园区签协议,建设半导体产业化生产基地及相关配套设施、购置软硬件设备。[D]
		· 积极利用上海市集成电路及软件产业高质量发展若干政策政策条款,争取在集成电路、软件重大项目以及集成电路装备材料、EDA 等软件重大项目中获取资金与政策支持。[A]
		· 2023 年,全国集成电路标准化技术委员会成立,联合华为等 90 家大厂制定中国标准。[A]
		· 推动碳化硅外延功率器件国家标准制定……积极参与“功率器件用碳化硅同质外延片缺陷分类”国家标准编制项目。[B]

其结果是,“脱钩”为技术突破提供了前提条件,促使企业快速重建供应链体系,加速了纵向和横向资源整合,打破了知识流动的限制,推动了技术创新。例如,C 企业供应商指出,若无“脱钩”,新的供应链体系难以迅速重建;B 企业技术人员也提到,与高校的合作对刻蚀机关键技术的研发至关重要,而仅靠企业间的合作是不够的。

3.2 开放创新中的数字赋能机制

在开放创新的各种资源整合活动中,数字赋能起到了关键作用。数字平台的特征显现依赖于数字技术的可供性,平台赋能也基于技术赋能,而技术赋能中又蕴含平台架构带来的信息流通特征,因此两者紧密相关。但从系统性涌现的创新机制来看,区分两者有助于更清晰地揭示数字赋能开放创新的机制,具体事实依据见表 3。

数字技术赋能主要体现在信息处理优势和信任强化机制上。其信息处理优势通过促进全产业链的

信息共享与协同,极大地提升了信息流通,为企业知识管理和技术创新创造了更多可能。例如,A 企业通过数字技术参与行业标准制定,促进产业内知识协同,推动技术创新,B 企业利用区块链技术促进企业间知识共享,信任强化机制,突破产业链协同的壁垒。

数字技术的应用还完善了平台特性,为创新活动提供了纵向、横向和端到端的信息联通优势,扩展了资源整合的空间和范围,实现了平台赋能。与传统供应链和开放创新关系相比,数字平台具有低成本、高效率、强网络联通和强监测功能等优势,表现在研发、供应链、分布式生产、质量溯源和流程协同等方面,使原本难以实现的沟通成为可能。例如,A 企业的数字平台连接了全产业链上下游企业,实现了多功能、多主体的实时互通,提升了技术改进与质量控制的效率。

表 3 开放创新中的赋能机制体现

Table 3 Embodiment of the empowerment mechanism in open innovation

二阶编码	一阶编码	事实依据
数字技术赋能	数字技术在信息处理中带来强大优势	· 依托数字化运营平台整合贸易流、资金流、货物流、信息流,构建横向系统化、纵向深入化业务链体系,为客户提供全球物流、国际国内结算、供应链金融等一站式协同服务。[A] · 数字化平台为供应链企业提供多方面支持及全方位数字化赋能,其知识管理平台和专利管理系统促进企业内部及成员间知识相关活动。[B] · 利用计算 + SaaS 平台打通企业内部数据流程,对外进行中心化管理组织,完善相关信息,也为用户提供产品咨询等服务。[C]
	数字技术的传输特性强化合作互信	· 引入集成供应链管理 ISC,控制协调物料流、信息流、决策流,协同管理内外部供应链以实现效率最大化。[D] · 建立供应链协同共创共享模式:一是建立信任链接,应用区块链节点标识赋予供应链上游企业可信身份,降低互信互认壁垒;二是实现产权存证……对企业创新成果和相关专利进行确权保护……;三是激发创新协同……[B] · 运用数字化手段对内外部供应链进行协同管理,由于信息传输更为丰富全面,企业内外部对相关信息的充分了解,消除了以往在业务合作中的顾虑,极大促进了行动的自觉性。[D] · 通过计算 + SaaS 平台……与外界供应商及合作伙伴进行中心化的管理和组织……“合作方行动的自觉性大大提高”……[C]
	平台架构在联系中体现强大效率/功能优势	· 为满足国际客户供应链多级质量溯源要求,利用区块链技术建立“1 + n + n”质量溯源体系,同步设立质量标准并共享数据,实现全链条穿透式质量追溯。[A] · 借助 SaaS 微服务,让半导体生产实现数据本地、服务端,按需订制管理系统,以微服务构架提高生产效率、降低制造成本、打通信息孤岛。[B]
	平台架构导致的全方位信息流通与差异化互补机制	· 建立综合服务平台,便于产业链全方位沟通,促进各方直接交流。[A] · 打造数字平台汇聚产业资源共享数据,形成四大产业级服务及丰富企业级服务应用,面向应用主体提供订阅,还能从多方面给予供应商和客户全方位支撑。[B] · 搭建起以自身为供应核心的生态产业链……通过 SRM 系统针对通用件与标准件的供需双方对接与线上竞价体系,提高了多主体参与中信息流通与决策效率。[C] · 实现设计与制造的全平台联通,通过线上协同打造高自动化、高稳定性、高良率和高效率的半导体研发与生产模式。[D]

此外,数字技术的运用有助于精准匹配知识流向,形成知识产生和使用的差异化互补及端到端联通优势。这种优势与数字平台的差异化互补架构密切相关,产生了广泛影响。例如,B企业的数字平台汇聚产业资源和企业数据,提供产业图谱、联合创新服务、交易服务、金融服务等产业级服务,以及与制造管理和供应链协同相关的丰富企业级服务应用,并向用户开放订阅。这表明数字平台赋能使知识管理呈现新模式,有效促进了系统性涌现机制的实现。

3.3 企业异质性影响

通过对四个案例企业的比较分析,发现相对技术优势和企业规模是影响其表现的两个显著因素。以营业额是否达到 1000 亿元和是否达到 7nm 制程工艺标准为依据进行划分(如图 3 所示)。

一方面,相对技术优势是差异的主要原因。A 和 B 企业因技术水平先进,在平台生态系统建立中

表现突出,意味着更多国际供应链的参与,依靠数字技术的多维信息传递能力开展业务成为趋势,技术先进性与数字平台完善度相关。同时,技术越先进,在产业标准联盟建立中话语权越大,利于用国际经验指导国内产业链整合,从而更积极地参与产业标准联盟,影响开放创新程度。

另一方面,企业规模也对数字平台完善和开放创新有影响。规模大的企业如 A 企业,管理烦琐、难度大,对基于数字技术手段处理日常业务的需求更迫切。A 企业将业务转线上后,显著提高了处理效率,并通过内部数据聚合和共享实现知识的系统性涌现,而其他企业无此显著收益,说明企业规模在系统性涌现中具有调节作用。

C 和 D 企业作为规模较小、技术不先进的代表,数字平台还在起步阶段,在产业标准联盟中处于从属地位。但它们满足选择标准的原因不同:C 企业

通过横向的产学研联合、战略合作、技术收购等方式,在高端制造领域推动技术攻坚和产品国产全替代;D企业则通过加强产业链上下游的纵向联系,与供应商和客户打造联合开发模式,借助供应链整合

实现关键技术研发和多方共赢。这表明,无论是横向还是纵向的关系路径,都对开放创新中的系统性涌现产生积极作用。

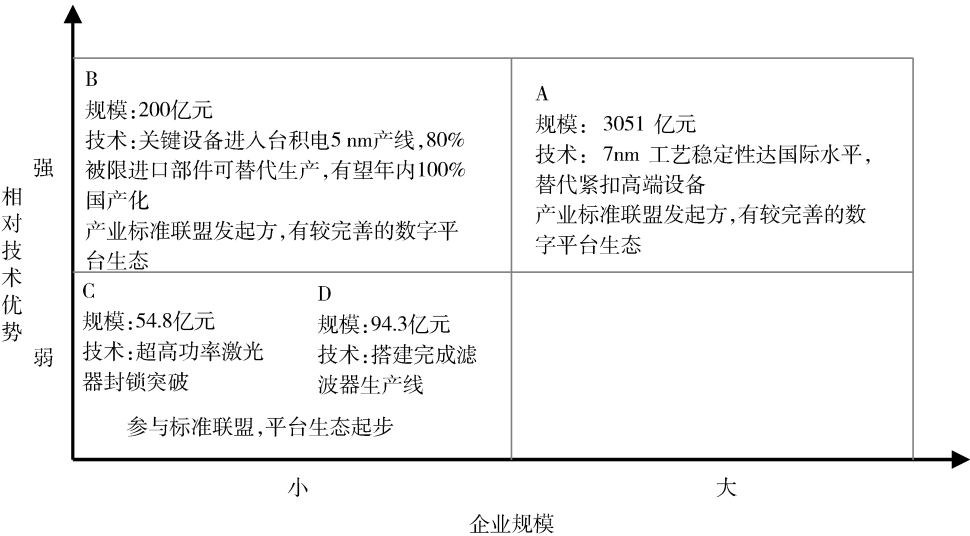


图3 典型案例的二维特征分布
Figure 3 Distribution of two – dimensional features of typical cases

4 讨论

“断链”冲击虽然短期内给中国高端芯片制造带来困难,甚至导致部分生产活动停滞,但也存在长远的积极影响。4个企业的实践表明,不利环境反而增强了协作动力,降低了协作难度,推动了中国芯片产业的高端技术突破。“断链”冲击强化了跨主体协作意愿,促进了相关实体的关系构建,从而促进了技术突破中的系统性涌现。2023年以来芯片行业的大量高端技术突破现象反映了这一作用。本文的案例研究通过深入调查揭示了技术突破的根源,肯定了“断链”冲击的积极影响。

高端技术具有多层次嵌套性和相互依赖性,涉及广泛学科和领域,因此产学研合作、产业标准联盟及产业链上下游合作成为促进知识跨领域流通的必然选择。“断链”冲击为技术突破提供了机制:企业承载多条供应链中的大量知识,新供需关系建立后,这些知识在供应链整合中发挥作用;巨大的“断链”预期促使各知识主体突破合作障碍,形成纵向、横向合作联盟,确立新的技术标准,进一步推动基于系统性涌现的开放创新。这一发现揭示了“缺芯”问题在被美国高压严防的背景下得以快速解决的原因,

根本在于“断链”冲击带来了正常经济运行中不具备的系统性关系重建动力。

由此,“断链”冲击与技术突破之间的联系得到了肯定,其作用路径如图4所示。中国制造业经过数十年的发展,制造能力已跻身世界前列,为企业知识的系统性涌现创造了条件。“断链”冲击为技术知识重组提供了动力,开放创新活动则促进了知识整合,催生了基于系统性涌现原理的创新突破。其中,系统性涌现基于关系路径的知识涌现,数字技术作为信息联通的最新发展,其赋能作用显而易见,在形式上体现为数字技术赋能和数字平台赋能的不同方式,在增强开放创新关系路径的数量与质量、强化特定关系路径中的信息整合作用机制两方面有所体现。

跨案例比较显示,企业的技术先进程度和规模对其在开放创新中的作用和数字赋能效果有显著影响。技术越先进,企业对开放创新关系路径的影响越明显,体现在参与程度、主导作用、数字技术应用的广泛性及平台功能完善性等方面;企业规模越大,开放创新和数字赋能的潜在收益也越大,参与开放创新、促进数字赋能的主观能动性也越强。总之,企业的特征差异对开放创新路径、数字赋能开放创新和数字赋能系统性涌现均有显著的调节作用。

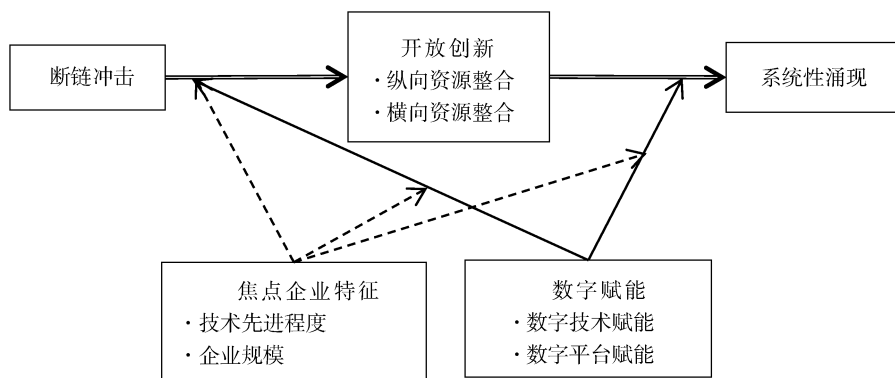


图4 “断链”冲击下的技术突破机制模型

Figure 4 Model of technological breakthrough mechanism under the impact of "chain breaking"

5 结论

本文通过研究芯片产业的4个案例,系统探讨了美国“脱钩”政策下中国企业实现系统性技术突破的机制,特别关注了数字技术的影响。研究发现,“脱钩”冲击促进了全产业链的关系重建,引发了广泛的纵向与横向开放创新活动,通过多方实体参与推动了知识的生成、流通和共享。数字赋能主要体现在数字技术和平台赋能,在开放创新关系建立和系统性涌现方面发挥了显著作用。企业的技术先进程度和规模是调节这些机制的重要特征变量,影响创新路径和数字赋能的效果。

研究的理论意义在于针对系统性强的技术突破问题,提出了数字经济时代的特征,详细阐述了“断链”冲击下的技术突破和数字赋能机制。与以往研究相比,本研究剖析了数字赋能的内在机制,并辨析了企业特征变量的调节作用,将开放创新路径、数字赋能机制与企业特征的相互作用结合,提出了理论模型。

实践启示包括充分利用数字技术赋能作用,促进关系构建和知识资源的生成、流通与整合,以实现高端技术突破。产业层面应推动数字基础设施建设和通用数字技术应用,加强产业链信息共享和产业内协作创新的政策支持;企业层面则需加强数字平台建设,支持大型企业探索数字化平台建设,带动中小企业数字化转型,采用数字技术进行供应链整合和知识库管理。

由于芯片领域的技术突破高度敏感,导致案例选择、数据获取和信息披露存在困难,采取了多元化

的数据获取策略和匿名化处理,可能影响研究说服力。此外,将数字技术应用视为外生变量,未深入探讨其作为战略目标对技术突破的影响,后续研究将关注这一方面。

参考文献:

- [1] 王敏,银路.突破关键核心技术“卡脖子”困境的路径研究[J].清华管理评论,2022(5):45-50. Wang M, Yin L. Research on the path to break through the "Neck-sticking" dilemma of key core technologies[J]. Tsinghua Business Review, 2022(5): 45-50.
- [2] 冯堃,李显君,熊昱,等.关键核心技术研究综述:概念、结构、突破路径与机制[J].科研管理,2023,44(12):21-30. Feng K, Li X J, Xiong Y, et al. A review of key core technologies: Concepts, structures, breakthrough paths and mechanisms[J]. Science Research Management, 2023, 44(12): 21-30.
- [3] 葛爽,柳卸林.我国关键核心技术组织方式与研发模式分析——基于创新生态系统的思考[J].科学学研究,2022,40(11):2093-2101. Ge S, Liu X L. Analysis of the organization and R&D modes of China's key core technologies - Based on the perspective of innovation ecosystem[J]. Studies in Science of Science, 2022, 40(11): 2093-2101.
- [4] 宋娟,谭劲松,王可欣,等.创新生态系统视角下核心企业突破关键核心技术“卡脖子”——以中国高速列车牵引系统为例[J].南开管理评论,2023,26(5):4-17. Song J, Tan J S, Wang K X, et al. Removing bottlenecks in critical core technologies from the perspective of innovation ecosystem: A case study of China's high-speed train traction system[J]. Nankai Business Review, 2023, 26(5): 4-17.
- [5] 李煜华,舒慧珊,向子威.数字原生企业与非原生企

- 业数字化转型组态路径研究——基于“技术-组织-环境”理论框架[J]. 软科学, 2023, 37(7): 58-65. Li Y H, Shu H S, Xiang Z W. Research on the configuration paths of digital native enterprises and non-native enterprises in digital transformation - Based on the "technology - organization - environment" theoretical framework [J]. Soft Science, 2023, 37(7): 58-65.
- [6] 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. Research on the construction of China's global supply chain resilience system from the perspective of double circulation [J]. China Soft Science, 2023(9): 1-12.
- [7] 裘莹, 晏晨景, 张利国. 数字经济时代我国产业链安全保障体系构建与对策研究[J]. 国际贸易, 2022(12): 32-43. Qiu Y, Yan C J, Zhang L G. Research on the construction and countermeasures of China's industrial chain security guarantee system in the digital economy era [J]. International Trade, 2022(12): 32-43.
- [8] 渠慎宁, 杨丹辉. 逆全球化下中美经济脱钩风险的领域与应对策略[J]. 财经问题研究, 2021(7): 102-109. Qu S N, Yang D H. Research on the areas and coping strategies of the risk of economic decoupling between China and the united states under reverse globalization [J]. Research on Financial and Economic Issues, 2021(7): 102-109.
- [9] 张化尧, 倪悦雨, 綦方中. 美国“脱钩”政策对我国智能制造的影响研究[J]. 科学学研究, 2024(7): 1409-1418. Zhang H Y, Ni Y Y, Qi F Z. Research on the impact of the United States' "Decoupling" policy on China's intelligent manufacturing [J]. Studies in Science of Science, 2024(7): 1409-1418.
- [10] 谢在阳, 吴宝. 对华“脱钩”抑制中国制造业企业创新发展吗? [J]. 科学学研究, 2024(8): 1749-1759. Xie Z Y, Wu B. Does the "Decoupling" policy towards China inhibit the innovation and development of Chinese manufacturing enterprises? [J]. Studies in Science of Science, 2024(8): 1749-1759.
- [11] Yin R K. Case Study Research: Design and Methods, 3rd ed [M]. Thousand Oaks, CA: Sage, 2003.
- [12] Bailey D E, Faraj S, Hinds P J, et al. We are all theorists of technology now: A relational perspective on emerging technology and organizing [J]. Organization Science, 2022(1): 1-18.
- [13] Arthur W B. The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves [M]. Penguin Books, 2009.
- [14] Bijke B E. Shaping Technology [M]. The MIT Press, 1992.
- [15] Henderson R M, Clark K B. Architectural innovation: The reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms [J]. Administrative Science Quarterly, 1990: 9-30.
- [16] Carlile P R. Transferring, translating, and transforming: An integrative framework for managing knowledge across boundaries [J]. Organization Science, 2004, 15(5): 555-568.
- [17] Orlikowski W J. Knowing in practice: Enacting a collective capability in distributed organizing [J]. Organization Science, 2002, 13(3): 249-273.
- [18] Kim S W. An investigation on the direct and indirect effect of supply chain integration on firm performance [J]. International Journal of Production Economics, 2009, 119(2): 328-346.
- [19] Chesbrough H. Open innovation: A new paradigm for understanding industrial innovation [J]. 2006: 1-19.
- [20] 王静, 杨育, 王伟立, 等. 客户协同创新实现机理及应用研究[J]. 科技进步与对策, 2009, 26(13): 1-4. Wang J, Yang Y, Wang W L, et al. Research on the realization mechanism and application of customer collaborative innovation [J]. Science & Technology Progress and Policy, 2009, 26(13): 1-4.
- [21] 马文建, 刘伟, 李传昭. 跨企业组织协同产品开发中供应商早期参与策略研究[J]. 中国管理科学, 2011, 19(2): 147-154. Ma W J, Liu W, Li C Z. Research on the early supplier involvement strategy in cross-enterprise collaborative product development [J]. Chinese Journal of Management Science, 2011, 19(2): 147-154.
- [22] Teece D J. Competition, cooperation, and innovation: Organizational arrangements for regimes of rapid technological progress [J]. Journal of Economic Behavior & Organization, 1992, 18(1): 1-25.
- [23] 鲁若愚, 张鹏, 张红琪. 产学研合作创新模式研究——基于广东省部合作创新实践的研究[J]. 科学学研究, 2012, 30(2): 186-193, 224. Lu R Y, Zhang P, Zhang H Q. Research on the innovation mode of industry-university-research cooperation - Based on the innovation practice of Guangdong Province - Ministry cooperation [J]. Studies in Science of Science, 2012, 30(2): 186-193, 224.
- [24] 何郁冰. 产学研协同创新的理论模式[J]. 科学学研究, 2012, 30(2): 165-174. He Y B. The theoretical

- mode of industry – university – research collaborative innovation[J]. *Studies in Science of Science*, 2012, 30(2): 165 – 174.
- [25] 高广文. 国际产业技术创新联盟的发展及启示[J]. *科技发展研究*, 2008, 12: 1 – 8. Gao G W. The development and enlightenment of international industrial technology innovation alliances[J]. *Science and Technology Development Research*, 2008, 12: 1 – 8.
- [26] Yoo Y, Boland JR R J, Lyytinen K, et al. Organizing for innovation in the digitized world[J]. *Organization science*, 2012, 23(5): 1398 – 1408.
- [27] Banu G. A Platform for Agent Behavior Design and Multi Agent Orchestration[C]. *Agent Oriented Software Engineering V*, 2004: 205 – 220.
- [28] Vargo S L, Maglio P P, Akaka M A. On value and value co – creation: A service systems and service logic perspective[J]. *European Management Journal*, 2008, 26(3): 145 – 152.
- [29] Makinen M. Digital Empowerment as a Process for Enhancing Citizens' Participation[J]. *E – Learning*, 2006, 3(3): 381 – 395.
- [30] 张国胜, 杜鹏飞, 陈明明. 数字赋能与企业技术创新——来自中国制造业的经验证据[J]. *当代经济科学*, 2021, 43(6): 65 – 76. Zhang G S, Du P F, Chen M M. Digital empowerment and enterprise technological innovation – Empirical evidence from China's manufacturing industry [J]. *Contemporary Economic Science*, 2021, 43(6): 65 – 76.
- [31] Li C Q. Digital enablement and its role in internal branding: A case study of huanyi travel agency[J]. *Industrial Marketing Management*, 2018, 72: 152 – 160.
- [32] Lenka S, Parida V, Wincent J. Digitalization capabilities as enablers of value co – creation in servitizing firms [J]. *Psychology & Marketing*, 2017, 34(1): 92 – 100.
- [33] Bereznay A, Meissner D, Scuotto V. The intertwining of knowledge sharing and creation in the digital platform based ecosystem. A conceptual study on the lens of the open innovation approach [J]. *Journal of Knowledge Management*, 2021, 25(8): 2022 – 2042.
- [34] Eisenhardt K. Building theories from case study research [J]. *Academy of Management Review*, 1989, 14(4): 532 – 550.

The systematic emergence of "Broken Chain" impact and digital empowerment on technological breakthroughs: Based on four chip manufacturing cases

ZHANG Hua – yao¹, YE Chen – ying¹, MENG Hao², SHI Xiao – kun³

(1. School of Management, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China;

2. Liaoning Vocational University Of Technology, Jinzhou 121000, China;

3. Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Since 2018, the United States has adopted means such as "decoupling", "breaking supply chains", and "de – Sinicization" to block and suppress China's industrial technology upgrading, especially in the high – end chip manufacturing field. This has put China in a "chokepoint" dilemma. Against this backdrop, China has still achieved key technological breakthroughs in the chip field, as demonstrated by the release of the Huawei Mate60 series of mobile phones. Although previous studies have focused on tackling core and key technologies, most of them concentrated on problem definition and approaches, lacking empirical research on digital – enabled technological innovation. This study focuses on issues that urgently need to be explored, such as how enterprises can use digital technologies to achieve technological breakthroughs in an environment where "broken supply chains" coexist with the digital economy, what open – innovation measures to take, the specific role of digital technologies in this process, and the extent to which they promote technological breakthroughs.

Taking A – share listed companies as samples, 20 cases were structurally sampled from chip and semiconductor component concept stocks according to the requirements of theoretical saturation. In – depth research was conducted on 12 enterprises significantly affected by "broken supply chains", and based on the logic of replicative co – occurrence, 4 typical cases with similar chip – manufacturing links were determined, covering enterprises in fields such as integrated circuit manufacturing, chip processing equipment, fiber lasers, and radio – frequency integrated circuits, to highlight the causal relationship between "broken supply chains" and technological breakthroughs.

Data was collected by analyzing second – hand data such as annual reports, official websites, and public reports of typical case en-

terprises, as well as through interviews from multiple parties. The data analysis followed a process of dialogue with theory. First, the theoretical fields of systematic emergence theory, open innovation, and digital technology/platform were determined. Then, key information was extracted from the cases and summarized into first – order codes, which were verified through multiple channels. Subsequently, the first – order codes were clustered into second – order codes in combination with the theory. The authors independently coded and discussed to ensure theoretical consistency. Finally, the relationship between the codes and the theory was reviewed and iteratively adjusted, and discussions were also held with industry managers to ensure compliance with the original intention of the theory. Ultimately, nine first – order code categories and four second – order codes were obtained to reflect the open – innovation and digital – enabling mechanisms.

The main findings of this study can be summarized in three aspects. Firstly, discovery of Open – Innovation Approaches under the Impact of "Broken Supply Chains": "Decoupling" has prompted enterprises to respond actively, with active open innovation. Vertical resource integration is manifested in standardizing supplier management, expanding the business chain, and strengthening cooperative relationships to achieve close technological cooperation. Horizontal resource integration includes strategic cooperation with universities, participation in industry standard – setting, and cooperation with internationally advantageous enterprises. For example, Company C rebuilt its supply chain, and Company B collaborated with universities to tackle key etching machine technologies, indicating that "decoupling" breaks the restrictions on knowledge flow and promotes technological innovation and the reconstruction of the supply – chain system.

Secondly, discovery of the Digital – Enabling Mechanism in Open Innovation: The digital – enabling of digital technology is reflected in the advantages of information processing and the trust – strengthening mechanism, promoting information sharing and collaboration across the entire industrial chain. For example, Company A participated in standard – setting, and Company B used blockchain to share knowledge. The digital – enabling of digital platforms depends on technological enabling and has advantages such as low cost, achieving information connectivity and resource integration and expansion. For example, the platform of Company A connected the industrial chain to improve efficiency. Digital technology also accurately matches the flow of knowledge. For example, the platform of Company B provides diversified services to promote systematic emergence.

Thirdly, discovery of the Impact of Enterprise Heterogeneity: Relative technological advantages and enterprise size significantly affect enterprise performance. Companies A and B, with advanced technologies, are outstanding in platform ecosystems and standard alliances. Technology affects the improvement of the platform and the right to speak. The large – scale Company A uses digital technology to improve efficiency, reflecting the moderating role of scale in systematic emergence. Companies C and D are small – scale and have less advanced technologies, but Company C's horizontal integration and Company D's vertical integration have both promoted innovation, indicating that different relationship paths have a positive impact on systematic emergence.

Regarding the issue of systematic technological breakthroughs, by integrating the characteristics of the digital economy era, this study deeply analyzes the technological breakthrough and digital – enabling mechanisms under the impact of "broken supply chains", differentiates the moderating effects of characteristic variables such as enterprise technological advantages and scale, combines open innovation, digital enabling, and enterprise characteristics to construct a theoretical model, filling the gaps in previous research on the internal mechanisms of digital enabling and the role of enterprise characteristics, and providing a new perspective and theoretical support for related research.

At the industrial level, efforts should be made to strengthen the construction of digital infrastructure and the application of general digital technologies, promote policies to support information sharing and collaborative innovation in the industrial chain, and create a good industrial digital ecosystem to help enterprises achieve technological breakthroughs. At the enterprise level, enterprises should be encouraged to strengthen the construction of digital platforms. Large enterprises should play a demonstrative and leading role in exploring digital transformation paths, drive the coordinated development of small and medium – sized enterprises, use digital technologies to optimize supply – chain and knowledge – base management, improve innovation capabilities and efficiency, and respond to external shocks to achieve technological upgrading.

Key words: chip industry; open innovation; technological breakthroughs; digital empowerment; systemic emergence