



经济理论与经济管理

工作论文系列

Working Paper Series

信息通信技术产业断链脱钩的宏观效应研究

——来自生产网络的视角

王 彬 贺金玲 王 航

ETBMWP2024093

* 本刊编辑部推出工作论文项目，将“拟用稿”而尚未发表的稿件，以工作论文的方式在官网呈现，旨在及时传播学术成果，传递学术动态。

本刊所展示的工作论文，与正式刊发版可能会存在差异。如若工作论文被发现存在问题，则仍有被退稿的可能。各位读者如有任何问题，请及时联系本刊编辑部，期待与您共同努力、改进完善。

联系人：李老師；联系电话：010-62511022

信息通信技术产业断链脱钩 的宏观效应研究^{*}

——来自生产网络的视角

王 彬 贺金玲 王 航

[提 要] 二十大报告进一步强调了产业链安全问题，在中美科技竞争背景下，中国 ICT（信息通信技术）产业链供应链存在明显的卡脖子问题。本文构建了一个多部门的生产网络一般均衡模型，刻画了 ICT 产业生产率断链脱钩负向冲击的宏观传导效应，并在 ICT 产业为互补品的前提下分析针对 ICT 产业的外生生产率冲击对宏观经济的一阶技术效应和二阶结构效应。研究发现，与一阶效应比，ICT 产业受到的负向生产率冲击的宏观影响被放大，而正向生产率冲击的影响被削弱。其次，本文使用投入产出数据测算 ICT 产业的替代弹性，并对 ICT 产业生产率冲击的宏观传导效应进行模拟。结果显示，针对 ICT 产业 10% 的生产率冲击会带来 2.08% 的一阶技术效应，且 ICT 产业在生产网络中位于关键位置，替代弹性小于 1，生产率冲击产生了非对称的二阶结构效应，导致 10% 的负向生产率冲击造成的宏观影响放大至 2.14%，正向生产率造成的宏观影响减少至 2.02%。进一步研究发现，为了抵消美国制裁的负面冲击，中国需要更大力度的补贴，且补贴 ICT 产业作用最大，其次是补贴 ICT 产业的上游产业。中国应重视 ICT 产业链安全，并加强产业数字化建设，以提升宏观经济稳定。

[关键词] 生产网络；ICT 产业；替代弹性；技术效应；结构效应

一、引言

面对百年未有之大变局，党的二十大报告明确指出要加快发展数字经济，并多次强调产业链供应链安全问题。党中央高度重视信息通信技术产业（ICT 产业），相继出台了新基建等政策大力支持，并成立了国家数据局，将数据要素和数字基础设施列为“两大基础”^①。数字经济是中国经济增长的重要支撑（蔡跃洲和牛新星，2021）。ICT 产业作为数字经济的基础，对产业数字化提供必要的算力、算法和数据服务支持（蔡跃洲和张钧南，2015），促使传统产业升级和提高企业绩效（陈晓红等，2022），也是数据要素发挥价值的必要条件（徐翔和赵墨非，2020），在整

^{*} 王彬、贺金玲，暨南大学经济学院；王航（通讯作者），中国人民大学农业与农村发展学院，电子邮箱：cdwh2017@163.com，邮政编码：100872。文责自负。

^① 2023 年 2 月 27 日，中共中央、国务院发布《数字中国建设整体布局规划》，指出要夯实数字中国建设基础，一是打通数字基础设施大动脉，并系统优化算力基础设施布局；二是畅通数据资源大循环。

个数字经济中具有难以替代的重要地位。

然而，我国 ICT 产业链供应链面临明显的“卡脖子问题”，对外依存度较高，尤其在芯片设计和制作的核心环节（盛朝迅，2021）。自 2018 年美国对华实施贸易制裁以来，其手段和策略逐渐升级，从加征关税转向对关键产业链的战略霸凌，并出台《芯片法案》等政策以支持本国 ICT 产业发展。这些举措的本质是为了压制中国在科技领域的发展，主导全球产业分工，从而维护美国的全球领先地位（张其仔和许明，2022）。尽管我国对 ICT 产业提供了大量支持，但在关键核心技术上仍难以实现国产替代，这严重影响了我国 ICT 产业的生产能力，造成产业链安全问题。同时，随着数字经济规模的扩大和产业关联的加强，ICT 产业的受损可能对整个宏观经济的发展产生负面影响。

本文利用 Gephi 软件对中国 ICT 产业的投入产出关联进行了初步分析，结果显示 ICT 产业在中国的生产网络中占据重要位置，与其他产业密切关联，并且自身形成了庞大的产业循环。根据 Acemoglu *et al.* (2012) 的研究，当产业位于生产网络的关键位置时，受到的冲击会通过投入产出关联传导至宏观层面，形成整体的经济冲击。中国的 ICT 产业链较长，多个环节受到中美科技竞争的影响，短期内难以突破核心关键技术，因此，其替代弹性较低。针对中国 ICT 产业的断供将导致明显的生产率冲击，进而显著影响相关产品的价格，导致国内 ICT 下游产业成本增加。这种效应会通过生产网络多级传导，在宏观层面产生影响，不仅威胁宏观经济稳定，还可能严重阻碍人工智能的发展和产业数字化进程。

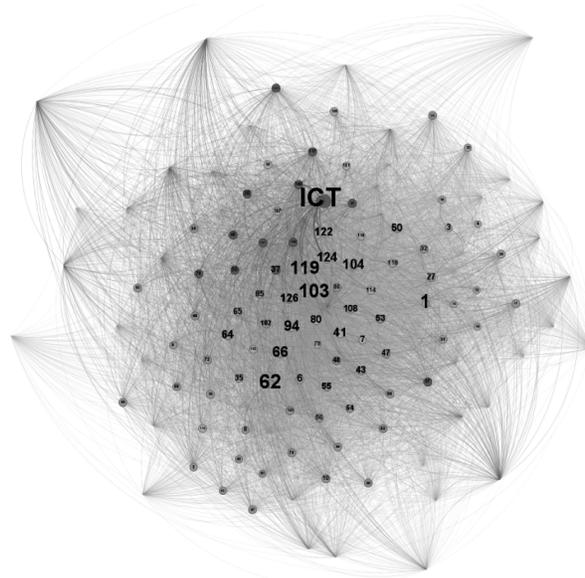


图 1 中国 ICT 产业投入产出关联图

资料来源：中国国家统计局 2020 年 153 部门竞争投入产出表（根据《国民经济行业分类（GB/T 4754—2017）》划分 ICT 产业，合并后共有 141 个部门）。说明：①由 Gephi 软件绘制，每个节点代表一个产业，连线代表投入产出关联，连线的粗细表示权重的大小。②计算了每个产业节点的特征向量中心度（Eigenvector Centrality），用于衡量节点在网络中的重要性和影响力，并据此调整节点大小。③使用 Modularity 算法将产业划分为 11 个聚类，用红色表示与 ICT 产业关联紧密的聚类，其余聚类用灰色表示。④稳健性检验中调整了参数，划分产业为 6 个或 22 个聚类，结论类似。

不仅如此，投入要素的替代弹性会对生产网络产生结构性影响。Baqae & Farhi (2019) 发现，由于关键产业对其他产业来说生产投入具有明显互补性，负向生产率冲击对宏观经济的影响被进一步放大，而正向生产率冲击对宏观经济的影响被削弱。此外，Acemoglu *et al.* (2023) 的

研究发现,在过去几十年中,ICT 专利数量的大幅增加并没有带来全要素生产率的显著提升。他们认为,在投入要素之间存在较强互补性的情况下,单一产业的生产率进步由于短板效应或瓶颈效应而不一定能够提升整体的生产率。ICT 产业对传统产业的赋能作用同样可能存在短板效应。例如,数字基础设施缺乏、企业的数字化程度低都可能限制 ICT 产业生产率进步对整体生产率的提升效果,对 ICT 产业投资和补贴的经济效益产生一定程度的阻碍作用。因而有必要针对 ICT 产业的低替代弹性特点展开深入探讨,厘清 ICT 产业生产率冲击的传导机制,这有助于深刻理解中美科技竞争下卡脖子问题和补贴问题对于宏观经济的影响,具有较突出的现实意义和理论意义。

基于上述讨论,本文构建了一个多部门的生产网络一般均衡模型,刻画了 ICT 产业断链脱钩情境下的负向生产率冲击的宏观传导效应,并在 ICT 产业低的替代弹性的条件下分析针对 ICT 产业的外生生产率冲击对宏观经济的一阶技术效应和二阶结构效应,从理论上定义了产业链安全水平。研究发现,ICT 产业受到的负向生产率冲击的宏观影响被放大,正向生产率冲击的宏观影响被削弱,导致针对 ICT 产业的制裁和补贴的影响不对等。其次,本文使用投入产出数据对 ICT 产业替代弹性进行测算,发现中国 ICT 产业替代弹性小于 1,并在此基础上对 ICT 产业生产率冲击的宏观传导效应进行模拟。结果显示,针对 ICT 产业 10% 的生产率冲击会带来 2.08% 的一阶技术效应,且 ICT 产业在生产网络中位于关键位置,替代弹性小于 1,生产率冲击产生了非对称的二阶结构效应,导致 10% 的负向生产率冲击造成 2.14% 的宏观影响,正向生产率造成 2.02% 的宏观影响。具体来说,负向生产率冲击导致 ICT 产业价格上升,由于替代弹性低,ICT 产业的价格上升幅度大于需求量下降幅度,导致其份额变大,进而放大了负向冲击对宏观经济的影响。相反地,当 ICT 产业获得正向冲击时,ICT 产业价格下降幅度高于需求量上升幅度,因而表现为 ICT 产业的份额下降,进而减小了正向冲击对宏观经济的影响,并且通过生产网络逐级削弱。这可能导致针对 ICT 产业的制裁和补贴的影响不对等。进一步研究发现,为了抵消美国制裁的负面冲击,中国需要更大力度的补贴。针对不同行业的补贴中,补贴 ICT 产业作用最大,其次是补贴 ICT 产业的上游产业,补贴 ICT 产业下游的作用较弱。

二、文献综述和本文贡献

本文主要和三脉文献相关:1、产业链供应链韧性和安全的研究。第一,从产业链供应链韧性的角度看,供应链安全是产业链安全和国家安全的重要保障(李天健和赵学军,2022)。相关研究对供应链韧性进行了测算(樊雪梅和卢梦媛,2020;吕越和邓利静,2023),也有研究从数字化的角度进行深入探讨(张树山等,2021);第二,从产业链供应链安全的角度看,中美竞争对产业链供应链安全的影响主要体现在核心关键环节(盛朝迅,2021;张杰和陈容,2022)。相关研究通过多个角度测算了其影响,例如对中美福利的测算(倪红福,2022;樊海潮等,2020)、对创新的影响(杨飞,2021)、对产业的影响(郭晴,2020;崔晓敏等,2022)。张志明和杜明威(2018)发现中美制裁的效果不对等;第三,从全球价值链及其重构角度看,全球产业链、供应链和价值链正在因中美科技竞争、新冠疫情等因素而加速调整和重构(倪红福和田野,2021;赵瑞娜和倪红福,2020)。寇宗来和孙瑞(2023)认为芯片断供将改变国内厂商创新激励,加速重构 ICT 产业链。

2、关于 ICT 产业的经济影响的研究。第一,从经济增长的角度看,大量研究论证了 ICT 产业对经济增长的促进作用(Jorgenson, 2001; Shiu & Lam, 2008; 蔡跃洲和张钧南, 2015; Cardona *et al.*, 2013),而且 ICT 产业能产生溢出效应,提高其他要素的生产率(Brynjolfsson & Hitt, 2000; Jorgenson *et al.*, 2008; Liao *et al.*, 2016),并促使传统产业升级和提高企业

绩效 (Benitez *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2022), 也有研究探讨了 ICT 基础设施建设在促进经济增长和企业投资的促进作用 (郭美晨和杜传忠, 2019; 许启凡等, 2022; Niebel, 2018)。第二, 从经济结构的角度看, ICT 产业对各种生产要素的使用均存在明显影响。已有研究发现 ICT 产业对能源使用规模和结构存在明显影响 (Ren *et al.*, 2021; Zhong *et al.*, 2022), 也有研究发现 ICT 产业对传统资本产生替代 (蔡跃洲和陈楠, 2019), 对劳动要素也存在影响 (郭凯明, 2019), 例如对中等技能劳动力高度替代 (Yeo *et al.*, 2023), 但和高技能劳动力明显互补 (Michaels *et al.*, 2014)。此外, ICT 资本还会影响数据要素形成数据资本的过程 (徐翔和赵墨非, 2020)。

3、生产网络对宏观经济的影响的研究。第一, 多部门实际周期模型开始于 Long & Plosser (1983), Gabaix (2011) 以及 Acemoglu *et al.* (2012), 他们发现当企业或者产业的分布存在厚尾时, 微观冲击将具有宏观影响, 尤其是大企业或者产业的波动会产生“颗粒效应”。第二, Acemoglu *et al.* (2016)、Demir (2022) 等文献认为冲击沿产业链向下游传导, 而 Liu (2019)、Lane (2022)、林晨等 (2023) 等文献认为针对上游企业的补贴将对下游企业乃至宏观经济产生重要影响。第三, Baqaee & Farhi (2019; 2020)、倪红福 (2022) 等研究从替代弹性的角度探讨产业生产率冲击的宏观传导过程, 他们发现, 由于关键产业对其他产业的生产投入来说具有明显互补性, 负向生产率冲击对宏观经济的影响会被进一步放大, 而正向生产率冲击对宏观经济的影响会被削弱。Atalay (2017) 测算了美国产业之间的替代弹性, 发现了美国的产业之间的互补关系, 从因果推断上证实了替代弹性对宏观经济的重要影响。Miranda-Pinto & Young (2022) 和 Carvalho *et al.* (2021) 的研究进一步证实了低替代弹性对于冲击传导的影响。

总的来说, 已有研究从不同方面探讨了中美竞争和全球价值链重构, 但目前对 ICT 产业链供应链韧性和安全的定量研究不够充分。相较于已有研究, 本文可能的边际贡献如下: 第一, 本文通过生产网络理论对 ICT 产业低替代弹性的特征加以分析, 丰富了关于 ICT 产业对宏观经济影响的研究。第二, 本文从产业关联的角度, 通过生产网络理论探讨了 ICT 产业链供应链安全问题, 为理解“卡脖子问题”提供了新颖的视角。第三, 本文定量刻画制裁和补贴带来的 ICT 产业生产率冲击对我国宏观经济的非对称影响, 为如何制定合理的应对政策提供一定的理论依据, 具有强烈的政策含义和现实意义。

余下部分安排如下: 第三章为典型事实, 详细梳理了中国 ICT 产业发展历程和中美科技竞争过程, 并初步分析了中国 ICT 制造业、集成电路产业发展趋势; 第四章构建了一个多层级的生产网络模型, 并推导了 ICT 产业生产率冲击的宏观传导的一阶技术效应和二阶结构效应命题; 第五章使用中国和世界的投入产出数据测算了中国 ICT 产业的替代弹性, 并对 ICT 产业生产率冲击的宏观传导加以测算和模拟; 第六章为结论和政策启示。

三、典型事实

(一) 中国 ICT 产业迅猛发展

中国芯片产业发展可以追溯到 2002 年 8 月 10 日, 龙芯一号芯片正式调试成功, 这标志着中国信息产业无芯历史的终结, 是中国芯片产业发展的重要里程碑之一。2006 年, 《国家中长期科学和技术发展规划纲要 (2006—2020 年)》提出通过科技创新支撑经济社会的持续协调发展。2013 年, 中国政府开始加大对科创领域的重视^②。2014 年, 《国家集成电路产业发展推进纲要》

^② 《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》提出深化科技体制改革; 《国务院关于促进信息消费扩大内需的若干意见》(国发〔2013〕32 号) 提出加快信息基础设施升级、增强信息产品供给和需求。

出台，同年9月，国家集成电路产业投资基金成立（被称为第一轮大基金）^③。

2016年开始，中国政府提出将战略性新兴产业作为经济社会发展新引擎^④。2017年，在党的十九大报告中，进一步强调了创新的重要性，并将建设科技强国作为战略目标。2019年，第二轮大基金正式成立，相比第一轮大基金扩大了45%的规模，投资于晶圆制造、芯片设计等多个领域，并加强了供应链的投资。第二轮大基金同样取得明显成效，例如中芯国际等著名ICT企业也是大基金成立初期的几项重点投资之一^⑤。

2020年，“十四五规划”提出要强化国家战略科技力量，多个地方政府也在其“十四五”规划中提出了集成电路产业的发展目标和支持措施，旨在打造具有国际影响力的集成电路产业聚集区^⑥。同年，《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策》（国发〔2020〕8号）对于集成电路产业提供了包括财税、投融资、研发、进出口、人才、知识产权、市场应用、国际合作等方面的支持；商务部《“十四五”利用外资发展规划》，提出引导外商投资投向集成电路、数字经济、新材料等13个产业。2021年，工信部发布《基础电子元器件产业发展行动计划（2021—2023年）》（工信部电子〔2021〕5号），旨在推动基础电子元器件产业的发展，提升产业的自主创新能力。同年，《“十四五”数字经济发展规划》（国发〔2021〕29号）提出优化和创新“揭榜挂帅”等制度以集中突破高端芯片等关键核心技术。《“十四五”国家信息化规划》指出要加快集成电路关键技术攻关。这些政策措施显著推动了中国芯片的国产替代，促进集成电路产量、进口大幅提升，并吸引韩国SK等大量半导体公司在华设立芯片工厂。中国发改委表示，2021年国内芯片产量快速增长，中国数字经济发展呈现更强的“创新”特征，数字科技自立自强的号角全面吹响^⑦。

2024年，《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》（国发〔2024〕7号）提出了设备更新行动，推动生产设备、用能设备、发输配电设备等更新和技术改造，进一步扩大半导体产品的需求，并推进中国产业数字化转型。同年，第三轮大基金正式成立，更可能将HBM等高附加值DRAM芯片、AI相关芯片、算力芯片作为投资的新重点。

（二）ICT产业的断链脱钩的负向冲击

为了遏制中国的ICT产业的迅猛发展，2016年，美国总统顾问委员会成立了“半导体工作

^③ 大基金由中国财政部、国开金融等牵头注资。截至2019年，第一轮大基金累计有效投资项目70个左右，芯片制造类约占67%，芯片设计类约占17%，封测类约占10%，设备材料类约占6%。详情请参见《国家集成电路产业投资基金正式设立》，中央政府门户网站，2014年10月14日，https://www.gov.cn/xinwen/2014-10/14/content_2764849.htm。

^④ 《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》提出要加快壮大战略性新兴产业，打造经济社会发展新引擎。同年，《国家创新驱动发展战略纲要》强调了创新在国家发展中的核心地位。

^⑤ 截至2023年，大基金二期共投资1197亿元，涵盖了晶圆制造、集成电路设计工具、芯片设计、封装测试等多个领域，其中流向晶圆制造的资金占比83.2%。详情参见《3440亿，年内最大规模芯片基金诞生》，36氪，2024年5月29日，<https://www.36kr.com/p/2796503120703107>。

^⑥ 《上海市先进制造业发展“十四五”规划》提出，在集成电路方面，以自主创新、规模发展为重点，提升芯片设计、制造封测、装备材料全产业链能级。《上海市人民政府关于印发新时期促进上海市集成电路产业和软件产业高质量发展若干政策的通知》提出，对于自主研发重大突破、EDA、集成电路重大项目的支持金额最高1亿元。深圳市“十四五规划”提出，建设世界级新一代信息技术产业发展高地，推进中芯国际12英寸晶圆代工生产线建设。

^⑦ 参见《专家观点“十四五”数字经济开局呈现新特征》，中国发改委官网，2021年8月20日，https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/wsdwhfz/202108/t20210820_1294147.html。

组”，将“中国竞争力的增强”视为对美国的挑战^①。2016年3月，美国商务部对中兴通讯实施出口限制措施。2018年，中美贸易战爆发，美国对中国芯片征收25%的关税^②。随后，中美科技战逐步升级，美国对中国的高科技企业实施了严厉的限制措施，禁止美国企业向其出售芯片，将大量企业纳入实体清单，阻止其获得美国技术和产品^③。

华为成为中美科技战的焦点之一。2019年，美国将华为及其全球分公司列入“实体清单”，限制其获取关键的美国技术和产品，特别是在半导体和5G技术领域^④。美国牵制的领域主要集中在华为供应链的上游，例如美国禁止华为使用美国的电子设计自动化（EDA）软件，并在8月正式禁售该软件。EDA作为芯片设计的关键工具，其市场虽然不大，但对芯片设计至关重要。中国对EDA软件的依赖性极高，约85%的使用软件来自美国公司。2020年，美国切断了台积电与华为海思的合作，导致华为芯片业务进一步收缩。另外，美国不仅限制了华为在国内的发展，还游说其他国家抵制华为和中兴的5G设备，并以国家安全和过度补贴为由起诉华为。

2021年末，美国政府开始进一步提高制裁强度，并阻止SK、ASML等公司向中国提供芯片制造设备^⑤。2022年，美国进一步加强对中国半导体的遏制，并加大对本国半导体产业的扶持^⑥，这一系列措施逐渐达到高潮。2022年，美国商务部要求所有美国芯片生产设备制造商不得向中国出口14纳米及以下的芯片制造设备。美国还向荷兰ASML公司施压，禁止其向中国出口先进的光刻机，同时，推动“技术脱钩”，进一步加强对中国的技术封锁。2022年，美国商务部对EDA、ECAD等关键技术的实施出口限制^⑦。2022年8月，美国通过《芯片和科学法案（H. R. 4346-CHIPS and Science Act）》，提供2780亿美元资金提升美国芯片产业的研发能力和核心竞争力，并限制获得美国补贴的企业在中国等国投资或扩建14纳米以下的芯片制造，为期

① 参见美国白宫官网：<https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2016/10/31/presidents-council-launches-semiconductor-working-group>。

② 美国贸易代表办公室（USTR）于2018年6月发布了《China Section 301-Tariff Actions and Exclusion Process》，包括对500亿美元中国商品的关税列表，详见<https://ustr.gov/issue-areas/enforcement/section-301-investigations/tariff-actions>；美国白宫发布《FACT SHEET: President Biden Takes Action to Protect American Workers and Businesses from China's Unfair Trade Practices》，称2025年后针对中国半导体的关税将提升至50%，详见<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2024/05/14/fact-sheet-president-biden-takes-action-to-protect-american-workers-and-businesses-from-chinas-unfair-trade-practices/>。

③ 实体清单（《Entity List Rule》）是指被美国政府认定为对美国国家安全或外交政策构成威胁的外国公司或个人的名单，禁止美国公司向其出售技术和产品、禁止美国公司与其进行商业往来，详见美国商务部网站：<https://www.bis.doc.gov/>。

④ 参见美国商务部网站：<https://www.bis.gov/ear/title-15/subtitle-b/chapter-vii/subchapter-c/part-744/supplement-no-4-part-744-entity-list>。

⑤ Patricia Zengerle, “U. S. Senate leader will add China tech bill to defense measure,” November 16, 2021, <https://www.reuters.com/world/us/us-senate-leader-will-add-china-tech-bill-defense-measure-2021-11-15/>; Stephen Nellis, Joyce Lee and Toby Sterling, “Exclusive: U. S. -China tech war clouds SK Hynix's plans for a key chip factory,” November 18, 2021, <https://www.reuters.com/technology/exclusive-us-china-tech-war-clouds-sk-hynixs-plans-key-chip-factory-2021-11-18/>; Reuters, “ASML still has no licence to ship newest machines to China-CEO,” January 19, 2022, <https://www.reuters.com/technology/asml-still-has-no-licence-ship-newest-machines-china-ceo-2022-01-19/>。

⑥ Katie Lobosco, “What's in the House's China competition bill,” CNN, February 4, 2022, <https://edition.cnn.com/2022/02/01/politics/china-competition-bill-house/index.html>。

⑦ 参见美国商务部网站：<https://www.bis.gov/press-release/commerce-implements-new-multilateral-controls-advanced-semiconductor-and-gas-turbine>。

十年。此举迫使台积电、三星和海力士等半导体公司大幅减少与中国的合作^①。同时，美国还颁布法案禁止向中国出口芯片，限制其发展与创新^②。美国通过这些措施切断了中国与其他地区的芯片技术合作，吸引芯片企业向美国转移，推动全球产业链重构，加剧了中美之间的摩擦。迄今为止，美国商务部宣布了超过 300 亿美元的芯片产业投资计划，涉及 15 个州的 23 个项目，包括 16 个新的半导体制造工厂^③。

美国还通过与其他国家合作，进一步打击中国的 ICT 产业链。例如，2023 年，日本和荷兰联合限制对中国的芯片技术出口^④。此外，美国与日本、韩国等国合作构建了“芯片联盟”，在知识产权和技术保护、芯片技术研发、芯片生态系统重塑等方面加强与盟友协作，进而强化美国主导的芯片产业和创新生态^⑤。

此外，美国还通过 SDN 名单等措施限制中国高科技领域的企业和个人^⑥。2023 年，美国商务部进一步加强了对先进计算半导体、半导体制造设备和超级计算项目的限制。2024 年，美国继续保持高压态势，严厉管控美国公司向中国提供相关产品^⑦，这些措施也导致苹果等公司加速转移在华产业链。

总体来看，自特朗普政府时期以来，美国对中国半导体产业的打压措施愈发严厉和全面，两党在此问题上的态度一致。这些措施主要表现为“前端断供、后端抵制”。美国通过封锁芯片制造的前端技术，尤其是高端技术，遏制中国芯片产业的生产，导致中国 ICT 产业面临“卡脖子”问题。同时，通过抵制华为等后端产品，抑制其销量，以实现对中国 ICT 产业的最大制裁效果。此外，美国还通过产业政策和外交政策吸引芯片产业回流，阻止其他国家与中国合作，重构 ICT 产业链。

（三）中国发展与美国制裁的结果

根据中国信通院的估算，自 2012 年起，随着对科技重视程度的提高，中国数字经济规模不断扩大，数字技术对全要素生产率的贡献也逐渐增加，并在 2012 年后迅速扩大。到 2015 年，数字资本投资的回报率首次超过传统资本投资。这一趋势可能反映了芯片产业对经济增长的溢出效应正在逐步增强（Jorgenson *et al.*，2008）。然而，在 2018 年和 2022 年，由于美国制裁，这一

① 参见美国国会网站：<https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/4346?q=%7B%22search%22%3A%22CHIPS+and+Science+Act%22%7D&s=10&r=1>。

② 《H. R. 9039-No Chips for China Act》是美国政府为了限制中国芯片产业的发展而制定的一项法案。该法案将禁止向中国出口芯片，限制中国芯片产业的发展和创新，详见 <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/9039?q=%7B%22search%22%3A%22CHIPS+and+Science+Act%22%7D&s=9&r=2>。

③ 美国商务部长 Gina Raimondo 表示，预计到 2032 年，美国将生产全球近 30% 的前沿芯片，而拜登总统和哈里斯副总统上任时这一比例为 0%，详见 <https://www.commerce.gov/news/blog/2024/08/two-years-later-funding-chips-and-science-act-creating-quality-jobs-growing-local>。

④ 《晶片大战：日本荷兰限制对华晶片技术出口，光刻机巨头进一步面临两难》，BBC News 中文，2023 年 1 月 30 日，<https://www.bbc.com/zhongwen/simp/world-64450379>。

⑤ 参见《中美竞合 | 谁怕“芯片联盟”？》，赵明昊，2023 年 12 月 27 日，https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_25808093。

⑥ 特别指定国民名单（SDN List）是由美国财政部外国资产控制办公室（OFAC）针对威胁美国国家安全、外交政策或经济的个体实施的制裁。2023 年 12 月，OFAC 更新了 SDN 名单，新增了中国及中国香港的半导体行业人员，理由是他们向俄罗斯供给半导体产品，详情参见 <https://ofac.treasury.gov/recent-actions/20231212>；<https://ofac.treasury.gov/recent-actions/20240223>。

⑦ 2024 年 8 月，BIS 对宾夕法尼亚州公司处以 580 万美元的罚款，原因是该公司向与中国高超音速、无人机和军用电子计划有关的各方运送物品，详情参见 <https://www.shine.cn/opinion/2203112994/>。

回报率显著下滑。

本文使用 Gephi 软件分析芯片产业的产业关联变化。图 2 依次展示了 2012 年、2015 年和 2018 年 ICT 制造业的产业关联情况。如图 2 所示，2012 年的产业关联图显示聚类较少，而到 2015 年和 2018 年，聚类数量明显增加，与其他产业的连线也变得更加粗壮。这表明，随着中国经济的发展，ICT 制造业与其他产业的关联性在不断增强。这种趋势意味着，对 ICT 产业的制裁可能对中国整体经济的影响也在逐渐扩大。

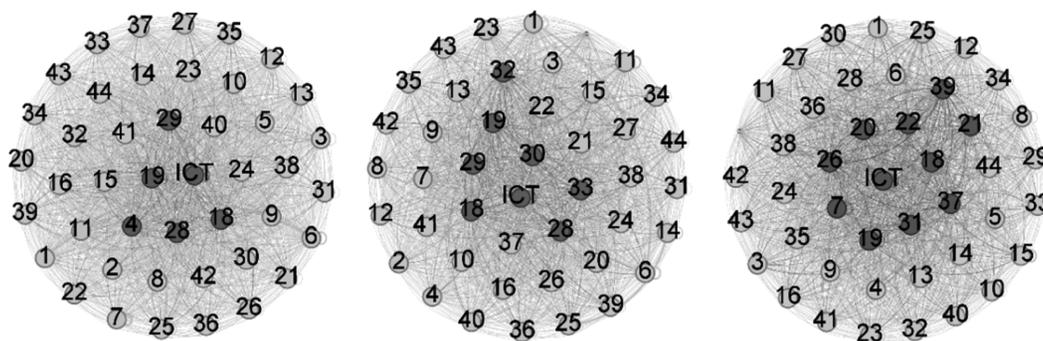


图 2 2012 年到 2018 年间 ICT 制造业的产业关联图

资料来源：OECD 公布的中国 46 部门投入产出表。说明：由 Gephi 软件绘制，ICT 制造业为“TTL_26: Computer, electronic and optical equipment”。为了保证结果的有效性，本文使用 Modularity 算法时解析度均设置为 0.6，其余设置同引言部分的 Gephi 分析。

为了直观反映中美科技战的影响，本文对芯片产业的发展进行初步分析。根据《国民经济行业分类（GB/T 4754—2017）》，集成电路包括封装系列、MOS 微器件、逻辑电路、存储器等，涵盖了半导体制造的大部分，尤其是先进技术的部分。从中美科技战情况来看，集成电路领域的大部分高端或关键技术产品是美国制裁的重点，尤其是涉及先进制造工艺、尖端封装技术，以及用于高性能计算、通信和国防的集成电路产品。集成电路作为 ICT 行业的上游领域，其关键技术被美国及其“友”掌握，因此美国的制裁极易导致中国 ICT 产业的“卡脖子”问题，并可能对下游产业产生深远影响。因此，本文选择集成电路的产量和进口情况作为衡量中美科技战强度的代理变量。数据来源于国家统计局 2012—2024 年的集成电路产量月度数据和手工整理的中国海关总署 2015—2024 年的集成电路进口月度数据。

如图 3 所示，自 2012 年起，中国的集成电路产量逐渐上升，特别是 2015 年后增速加快。然而，受美国制裁影响，2018 年和 2022 年集成电路的产量和进口显著下滑，尤其自 2022 年美国全面加大制裁力度以来，对中国集成电路产业产生了巨大冲击。这一趋势与制裁措施的实施时间高度相关。2018 年 6 月的中兴事件和特朗普签署的对半导体征收 25% 关税标志着制裁的开始。2019 年 5 月，华为事件进一步加剧了制裁，造成中国集成电路的产量和进口下滑。自 2020 年 7 月起，《十四五规划》的提出及一系列政策推动了中国芯片的国产替代，促进了集成电路的产量和进口大幅提升。然而，自 2021 年末起，美国政府开始进一步加大制裁力度，2022 年对中国半导体产业的遏制行动达到高潮。2022 年 8 月，拜登政府签署《芯片法案》，全面遏制中国半导体产业。如图 4 所示，中国集成电路的产量和进口急剧下降，但集成电路的进口金额却上升。这可能是由于集成电路的替代弹性较低，中国 ICT 企业为了维持生产，不得不以更高成本采购芯片。

总的来说，面对美国的强力制裁，中国政府对 ICT 产业提供了大量政策支持，并采取了断供重要原材料等反制措施。近年来，中国的 ICT 产业迅猛发展，特别是在 5G、人工智能和云计算等领域取得了显著进展，产业规模和技术水平不断提升。然而，芯片产业仍面临核心技术自主创

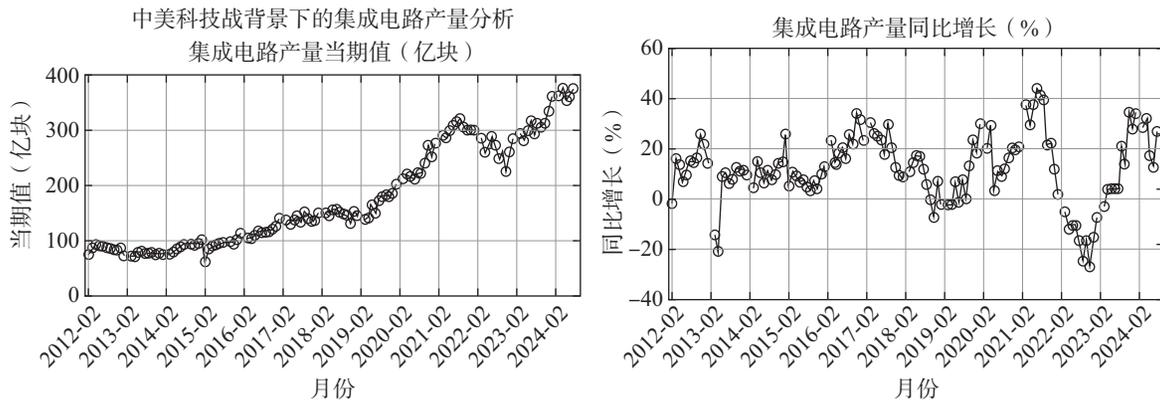


图3 2012—2024年集成电路产量

资料来源：国家统计局 2012—2024 年集成电路产量的月度数据。说明：从 2012 年开始，中国的集成电路产量逐渐上升，尤其是 2015 年后上升速度加快，但受到美国制裁影响，在 2018 年、2022 年显著下滑，尤其自 2022 年美国全面加大制裁力度以来，对中国集成电路产业产生了巨大的冲击。

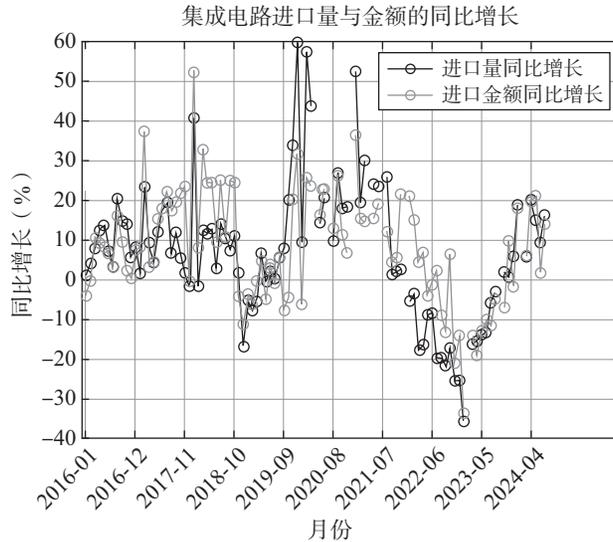


图4 2015—2024年集成电路进口情况

资料来源：手工整理的中国海关总署 2015—2024 年集成电路进口月度数据。说明：2022 年，拜登政府签署《芯片法案》，全面遏制中国半导体产业，中国集成电路的进口急剧下降，但与此同时，集成电路的进口金额却上升。这可能是由于集成电路的替代弹性较低，中国 ICT 企业为了维持生产，不得不以更高的成本采购芯片所致。

新能力不足、关键设备和材料依赖进口以及供应链安全性脆弱等问题。在美国的技术封锁和制裁压力下，这些短板尤为突出，限制了中国 ICT 产业的进一步发展。此外，随着中国 ICT 产业的迅速壮大和产业关联的增强，在面临重大生产率冲击时，其对宏观经济的影响逐渐加大，因此，厘清其中的机制显得尤为重要。

四、理论模型

本文将整个生产系统划分为两类行业：ICT 行业和非 ICT 行业，ICT 行业和非 ICT 行业中均

有大量行业，为避免混淆，本文将两大类行业中包含的行业称为该类行业中的生产部门。假设 ICT 行业和非 ICT 行业中的生产部门集合分别为 $N_1 = \{1, 2, \dots, N_1\}$ ， $N_2 = \{1, 2, \dots, N_2\}$ ， N_1 为 ICT 行业内生产部门的数量， N_2 非 ICT 行业内生产部门的数量。从而构建了一个包含 2 大类行业， $N_1 + N_2$ 个生产部门，1 种要素部门的竞争型生产网络一般均衡模型。并在 Baqaee & Farhi (2019) 的基础上剖析部门生产率冲击在整个生产网络中的传导机制，进而深入探究 ICT 行业对整个宏观经济的渗透作用。

(一) 模型设定

1. 家庭。代表性家庭通过提供劳动获得工资报酬 W ，并从企业中转移利润 Π^f 。作为最终需求部门，代表性家庭选择最优数量的最终消费品 C 来实现自身效用最大化：

$$\max_C C \quad (1)$$

$$s. t. PC = WL + \Pi^f - T \quad (2)$$

其中， C 为对最终消费品的需求， L 为提供的劳动水平； P 为最终消费品的价格， W 为工资； Π^f 为从企业转移的利润，由于生产函数规模报酬不变的假设，利润为 0。此处 W 和 Π^f 都是名义值。 T 为家户所上交的人头税，政府转移支付或者补贴给产业链，用以提高生产部门层面的生产率，在没有补贴的情况下，人头税等于 0。

在给定的价格水平下，代表性家庭选择最优的消费，达到效用最大化的均衡状态。可以得到最终消费品的需求为：

$$C = \frac{WL + \Pi^f - T}{P} \quad (3)$$

2. 最终消费品生产。为了简化分析，我们不妨将生产系统分为两类行业：信息与通信技术 (ICT) 行业 1 和非信息与通信技术 (non-ICT) 行业 2，简记为行业 $h = \{1, 2\}$ ，分别生产行业最终消费品 $Y(1)$ 和 $Y(2)$ 。最终消费品由两个行业生产的最终品作为要素投入，采用 C-D 生产技术得到：

$$Y = Y(1)^\alpha Y(2)^{1-\alpha} \quad (4)$$

其中， Y 为生产得到的最终消费品； α 为 ICT 行业最终品在生产最终消费品的投入份额。根据最终生产商追求利润最大化，设定 $P(h)$ 为行业 h 最终品价格指数，可以得到最终消费品生产中投入的 ICT 行业和非 ICT 行业最终品数量以及最终消费品的价格：

$$Y(1) = \alpha \frac{P}{P(1)} Y \quad (5)$$

$$Y(2) = (1 - \alpha) \frac{P}{P(2)} Y \quad (6)$$

$$P = \left(\frac{P(1)}{\alpha} \right)^\alpha \left(\frac{P(2)}{1 - \alpha} \right)^{1-\alpha} \quad (7)$$

3. 行业最终品生产。每个行业生产的最终品由该行业中 N_i 个生产部门的产成品作为中间品投入，采用 C-D 生产技术进行生产：

$$Q(h) = \prod_{i=1}^{N_h} Q(h, i)^{\epsilon_{hi}} \quad (8)$$

其中， $h = \{1, 2\}$ 分别代表 ICT 行业与非 ICT 行业， $Q(h, i)$ 为行业 h 中的生产部门 i 生

产的产成品； ε_{hi} 为行业 h 中生产部门 i 的产成品的投入份额。不失一般性，假设生产的规模效应不变， $\sum_{i=1}^{N_h} \varepsilon_{hi} = 1$ 。行业选择中间品投入，实现利润最大化目标。设定 $P(h, i)$ 为行业 h 中生产部门 i 的产成品的价格，可以得到各中间品投入和行业最终品价格的均衡条件：

$$Q(h, i) = \frac{\varepsilon_{hi} P(h)}{P(h, i)} Q(h) \quad (9)$$

$$P(h) = \prod_{i=1}^{N_h} \left(\frac{P(h, i)}{\varepsilon_{hi}} \right)^{\varepsilon_{hi}} \quad (10)$$

4. 中间品生产。在每个行业中，生产部门 i 通过雇佣劳动，并从整个经济系统中所有生产部门中购买中间产品进行生产，生产函数均采用 CES 形式：

$$Q(h, i) = A(h, i) \left[\zeta_{h1} M(h, i, 1)^{\frac{\sigma_{hi} - 1}{\sigma_{hi}}} + \zeta_{h2} M(h, i, 2)^{\frac{\sigma_{hi} - 1}{\sigma_{hi}}} + \zeta_{hl} L(h, i)^{\frac{\sigma_{hi} - 1}{\sigma_{hi}}} \right]^{\frac{\sigma_{hi}}{\sigma_{hi} - 1}} \quad (11)$$

其中， $A(h, i)$ 为希克斯中性技术水平； $M(h, i, 1)$ 表示行业 h 中生产部门 i 生产中投入的 ICT 行业生产的产品数量； $M(h, i, 2)$ 表示行业 h 中生产部门 i 生产中投入的非 ICT 行业生产的产品数量； $L(h, i)$ 为行业 h 中生产部门 i 生产中投入的劳动数量。 ζ_{h1} 和 ζ_{h2} 表示行业 h 中生产部门 i 生产中使用的 ICT 行业和非 ICT 行业最终品的权重， ζ_{hl} 行业 h 中生产部门 i 生产中使用劳动的权重，三种权重反映了对应的投入要素对产出的贡献程度， $\zeta_{h1} + \zeta_{h2} + \zeta_{hl} = 1$ 。 σ_{hi} 是生产部门的产品与其他投入要素（非 ICT 中间产品和劳动投入）的替代弹性。行业内的生产部门完全竞争，由利润最大化，可以得到部门投入品的数量和产品价格：

$$\zeta_{hl} P(h, i) Q(h, i)^{\frac{1}{\sigma_{hi}}} L(h, i)^{-\frac{1}{\sigma_{hi}}} = W \quad (12)$$

$$M(h, i, h') = \left(\frac{\zeta_{h1}}{\zeta_{hl}} \right)^{\sigma_{hi}} \left(\frac{W}{P(h)} \right)^{\sigma_{hi}} L(h, i) \quad (13)$$

$$P(h, i) = A(i)^{-1} \left[\zeta_{h1} P(1)^{1-\sigma_{hi}} + \zeta_{h2} P(2)^{1-\sigma_{hi}} + \zeta_{hl} W^{1-\sigma_{hi}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_{hi}}} \quad (14)$$

6. 税收。税收为各行业生产部门的技术进步收益，即每个生产部门的产出因技术进步的增长而增加的部分：

$$T = \sum_{h,i} \Delta A(h, i) \left[\zeta_{h1} M(h, i, 1)^{\frac{\sigma_{hi} - 1}{\sigma_{hi}}} + \zeta_{h2} M(h, i, 2)^{\frac{\sigma_{hi} - 1}{\sigma_{hi}}} + \zeta_{hl} L(h, i)^{\frac{\sigma_{hi} - 1}{\sigma_{hi}}} \right]^{\frac{\sigma_{hi}}{\sigma_{hi} - 1}} \quad (15)$$

其中， $\Delta A(h, i)$ 表示行业 h 中第 i 个生产部门的技术进步程度，即 Hicks 中性技术水平的增量。技术进步的提升可以带来额外的生产效率，因此部门的产出相应提高。本文的税收 T 是基于各生产部门技术进步的增长，因此其定义强调了技术进步的增益效应。税收用于政府的补贴政策，当遇到 ICT 产业的巨大的负向的生产率冲击时，政府可以运用税收补贴提高 ICT 产业或者其他部门的生产率，其数额相等。

6. 市场出清。最终消费品市场出清，即最终消费品等于最终品：

$$C = Y \quad (16)$$

产品市场出清，即行业 h 的最终品一部分作为家庭最终消费，一部分作为两类行业中生产部

门生产的中间投入品：

$$Q(h) = Y(h) + \sum_{i=1}^{N_1} M(1, i, h) + \sum_{i=1}^{N_2} M(2, i, h) \quad (17)$$

劳动力市场出清，劳动供给标准化为 1：

$$\sum_{i=1}^{N_1} L(1, i) + \sum_{i=1}^{N_2} L(2, i) = 1 \quad (18)$$

7. 一般均衡。经济体的均衡由配置 $\{L(h, i), C, Y(h), Q(h), Q(h, i), M(h, i, h')\}$ 和 $\{W, P, P(h), P(h, i)\}$ 给定价格系统，该配置使得家庭在给定预算约束下最大化其效用，生产者实现了利润最大化，且每种产品和要素市场出清。

$$C = \frac{WL + \Pi^f - T}{P} \quad (19)$$

$$Y(1) = \frac{\alpha P}{Y} P(1) \quad (20)$$

$$Y(2) = \frac{(1-\alpha)P}{Y} P(2) \quad (21)$$

$$P = \left(\frac{P(1)}{\alpha}\right)^\alpha \left(\frac{P(2)}{1-\alpha}\right)^{1-\alpha} \quad (22)$$

$$Q(h, i) = \frac{\varepsilon_{hi} P(h)}{P(h, i)} Q(h) \quad (23)$$

$$Q(h) = \prod_{i=1}^{N_h} Q(h, i)^{\varepsilon_{hi}} \quad (24)$$

$$P(h) = \prod_{i=1}^{N_h} \left(\frac{P(h, i)}{\varepsilon_{hi}}\right)^{\varepsilon_{hi}} \quad (25)$$

$$\zeta_{hl} P(h, i) Q(h, i)^{\frac{1}{\sigma_{hi}}} L(h, i)^{-\frac{1}{\sigma_{hi}}} = W \quad (26)$$

$$M(h, i, h') = \left(\frac{\zeta_{h1}}{\zeta_{hl}}\right)^{\sigma_{hi}} \left(\frac{W}{P(h)}\right)^{\sigma_{hi}} L(h, i) \quad (27)$$

$$P(h, i) = A(i)^{-1} \left[\zeta_{h1}^{\sigma_{hi}} P(1)^{1-\sigma_{hi}} + \zeta_{h2}^{\sigma_{hi}} P(2)^{1-\sigma_{hi}} + \zeta_{hl}^{\sigma_{hi}} W^{1-\sigma_{hi}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_{hi}}} \quad (28)$$

(二) 投入产出结构及其概念

为了使模型更容易求解，我们需要介绍一些投入产出方法的符号、定义和相关处理技巧。与 Baqaee & Farhi (2020)、倪红福 (2021) 等文献类似，我们定义直接消耗系数矩阵、Leontief 逆矩阵和多马份额（也称为多马权重）。

1、直接消耗系数矩阵。直接消耗系数矩阵是投入产出分析中的一种衡量经济部门之间相互依赖关系的矩阵，用于衡量各个经济部门在生产过程中对各类投入品的直接需求。该矩阵表示每个经济部门为生产一单位产出所需的各类成本分配比例，这对于理解经济结构和政策影响至关重要。为了简化阐述，本文将生产要素视为一种不需要任何生产投入的特殊的禀赋生产者，连同最终消费品、行业最终品、部门产成品生产部门，形成 $(N_1 + N_2 + 3 + F)$ 个生产部门。

本文的直接消耗系数矩阵 Ω 是一个 $(N_1 + N_2 + 3 + F) \times (N_1 + N_2 + 3 + F)$ 的矩阵，其第 i 行

j 列元素 $\Omega_{ij} \equiv \frac{p_i x_{ij}}{p_i y_i}$, 其中 Ω_{ij} 表示生产部门 i 对生产部门 j 的中间投入需求量占生产部门 i 总收入的比重, 模型结构如下 6×6 的分块矩阵所示:

$$\Omega \equiv \begin{pmatrix} 0 & 0_{1 \times N_1} & 0_{1 \times N_2} & H_1 & H_2 & 0 \\ 0_{N_1 \times 1} & 0_{N_1 \times N_1} & 0_{N_1 \times N_2} & (A_1^1)_{N_1 \times 1} & (A_1^2)_{N_1 \times 1} & (L_1)_{N_1 \times 1} \\ 0_{N_2 \times 1} & 0_{N_2 \times N_1} & 0_{N_2 \times N_2} & (A_2^1)_{N_2 \times 1} & (A_2^2)_{N_2 \times 1} & (L_2)_{N_2 \times 1} \\ 0 & (B_1^1)_{1 \times N_1} & 0_{1 \times N_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0_{1 \times N_1} & (B_2^2)_{1 \times N_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

上述分块矩阵依次对应最终消费品部门(家庭)、ICT 行业内的生产部门、非 ICT 行业内的生产部门、ICT 行业最终品生产、非 ICT 行业最终品生产、劳动要素生产。因此, H_1 表示最终消费品生产所投入的 ICT 行业产品, H_2 表示最终消费品生产所投入的非 ICT 行业产品, A_1^1 表示 ICT 行业内的生产部门生产时使用的 ICT 行业最终品, A_1^2 表示 ICT 行业内的生产部门生产时使用的非 ICT 行业最终品, A_2^1 表示非 ICT 行业内的生产部门生产时使用的 ICT 行业最终品, A_2^2 表示非 ICT 行业内的生产部门生产时使用的非 ICT 行业最终品, L_1 表示 ICT 行业内的生产部门生产时使用劳动投入, L_2 表示非 ICT 行业内的生产部门生产时使用劳动投入, B_1^1 表示 ICT 行业最终品生产时使用的 ICT 行业生产部门产品, B_2^2 表示非 ICT 行业最终品生产时使用的非 ICT 行业生产部门产品。因为要素生产不需要投入, 所以最后一行的元素均为 0。

2、Leontief 逆矩阵。在生产网络研究中, Leontief 逆矩阵是分析不同部门间的依赖关系和系统性的传导效应的重要工具, 其是基于直接消耗系数矩阵 Ω 计算得出的矩阵, 因此, 本文定义 Leontief 逆矩阵 Ψ 如下: $\Psi \equiv (I - \Omega)^{-1}$ 。其中 Leontief 逆矩阵的元素 (i, j) 衡量了 j 部门作为 i 部门直接或间接供应商的重要性, 这一点可以通过 Leontief 逆矩阵无穷级数展开形式来说明。对于基于收入的 Leontief 逆矩阵 Ψ 而言, 当 $i \neq j$ 时, $\Psi_{ij} = \Omega_{ij} + \sum_{r=0}^{N_1+N_2+2+F} \Omega_{ir} \Omega_{rj} + \dots$, 第一项表示 j 部门作为 i 部门的直接供应商, 第二项表 j 部门作为 i 部门的供应商的供应商, 以此类推。其经济学含义为当 i 部门对投入品的需求增加 1 单位时, 对 j 部门的直接或间接需求影响, 因此这是一种需求的后向关联效应。

3、最终支出份额。在本研究的模型中, 家庭仅消费最终产品部门产品。本文定义 $b_{(N_1+N_2+3+F) \times 1}$ 为列向量, 第 i 个元素为产品 i 在最终消费者预算约束中的份额, 即 $b_i = \frac{p_i c_i}{\sum_{j=1}^{N_1+N_2+3} p_j c_j}$, 其中, $\sum_{j=0}^{N_1+N_2+2+F} p_j c_j$ 为最终支出总和, 即名义 GDP。

4、多马份额。多马权重 (Domar Weights) 是衡量一个部门在经济中重要性的指标, 通常用于理解部门在生产网络中的传导效应。多马权重的计算可以基于收入(销售)或者成本, 分别反映不同的经济角度。基于收入的多马份额 λ_i 为生产部门 i 的销售收入占整个 GDP 的比重, 即 $\lambda_i \equiv \frac{p_i y_i}{\sum_{j=0}^{N_1+N_2+2} p_j c_j}$, 一般来说, 由于生产部门 i 的总产出既作为最终需求品, 有作为中间投入品,

则有 $\sum_{i=1}^{N_1+N_2+3} \lambda_i > 1$ 。经计算可知 $\lambda = b' \Psi = b' I + b' \Omega + b' \Omega^2 + \dots$ 。

(三) 断链脱钩负向生产率冲击的宏观效应

本文将断链脱钩描述为负向的生产率冲击，尽管现实中的断链脱钩展示为中间品的可得问题，我们总是可以把短期的可得性问题转化为一个巨大的负向生产率冲击，我们这样做是因为：(1) 断链脱钩或者说投入品下降与生产率下降在生产函数的表示上是同构的，我们总是可以把某些投入品归结为技术或者生产率，例如在只有劳动的生产函数中可以将资本视为生产率的一部分，同样我们也可以把中间品视为生产率的一部分，断链脱钩或者生产率下降就是等同的；(2) 断链脱钩在短期是可得性的问题，而在长期，断链脱钩是可替代性的问题，我们可以用生产率下降以及互补的结构描述断链脱钩。

为研究企业中生产率冲击的二阶传导效应，本文借鉴 Baqaee & Farhi (2019) 中的嵌套 CES 生产网络的设定。标准的嵌套 CES 经济体是由元组 (ω, θ, F) 和一组标准化常数 (\bar{y}, \bar{x}) 所定义的。矩阵 ω 是一个 $(N_1 + N_2 + 3 + F) \times (N_1 + N_2 + 3 + F)$ 矩阵，其元素为 CES 函数中份额参数 (在整个模型框架中保持不变，通过校准方法可得到该参数值，其值等于直接消耗系数)。向量 θ 表示 CES 函数中 $(N_1 + N_2 + 3)$ 维替代弹性系数列向量。 F 为生产要素的数量 (无须投入进行生产)。

(1) $(N_1 + N_2 + 3) \times 1$ 个可生产部门的生产函数形式为：

$$\frac{y_i}{\bar{y}_i} = A_i \left(\sum_{j=1}^{N_1+N_2+2+F} \omega_{ij} \left(\frac{x_{ij}}{\bar{x}_{ij}} \right)^{\frac{\sigma_i-1}{\sigma_i}} \right)^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i-1}} \quad (29)$$

其中， ω_{ij} 为 CES 函数中份额参数，校准值为基于收入的直接消耗系数 Ω_{ij} ； ω_{0i} 的校准值为 b_i 。 $(\bar{x}_{ij}, \bar{y}_i)$ 为基期的中间品投入和产出， A_i 为生产率水平值，基期它们的数值一般标准化为 1。 x_{ij} 代表生产者 i 所使用的中间投入 j 的数量。为方便，本文令部门 0 代表最终需求部门，也就是上述的代表性家庭，可将其转化为 (24) 式的 CES 形式。它的生产函数为最终需求的集合，即 $\frac{Y}{\bar{Y}} = \frac{y_0}{\bar{y}_0}$ 。

(2) 对于外生固定供给要素部门 (劳动)，不可生产，其生产函数为其禀赋，即 $\frac{y_l}{\bar{y}_l} = 1$ 。

(3) 产品和要素 $(0 \leq i \leq N_1 + N_2 + 2 + F)$ 的市场出清条件为： $y_i = \sum_{j=0}^{N_1+N_2+2+F} x_{ji}$ 。

(4) 为了方便阐述基于 CES 标准形式的结论，有必要介绍一个投入产出协方差算子，这也是后续数学推导能写成紧凑显式表达式的关键处理技巧。其定义为：

$$Cov_{\Omega^{(k)}}(\Psi_{(i)}, \Psi_{(j)}) = \sum_{m=1}^{N_1+N_2+2+F} \Omega_{km} \Psi_{mi} \Psi_{mj} - \left(\sum_{m=1}^{N_1+N_2+2+F} \Omega_{km} \Psi_{mi} \right) \left(\sum_{m=1}^{N_1+N_2+2+F} \Omega_{km} \Psi_{mj} \right) \quad (30)$$

其中， $\Omega^{(k)}$ ， $\Psi_{(i)}$ ， $\Psi_{(j)}$ ，分别表示取对应矩阵的第 k 行、第 i 列和第 j 列。这里要求 $\Omega^{(k)}$ ， $\Psi_{(i)}$ ， $\Psi_{(j)}$ 的维度相同。由于 $\Omega^{(k)}$ 的行和为 1，(30) 式可解释为：以 $\Omega^{(k)}$ 为离散概率分布， $\Psi_{(i)}$ 和 $\Psi_{(j)}$ 的协方差。

(四) 结构模型相关命题

1、生产率冲击对总产出的技术效应。由 Hulten 定理可知，在完全竞争的经济中，某生产部门生产率的变动对总产出的影响等于该部门的多马份额 (Hulten, 1978)：

$$\frac{d \log Y}{d \log A_i} = \lambda_i \quad (31)$$

Hulten 定理将微观层面的生产率冲击与宏观经济的总产出相联系。通过研究微观层面的生产率变动,可以更好地理解宏观经济波动的起因和传导机制。基于 Hulten 定理,我们可以计算出总产出关于生产率冲击的一阶近似:

$$\log Y \approx \log \bar{Y} + \sum_{0 \leq i \leq N_1+N_2+2+F} \frac{d \log Y}{d \log A_i} \log A_i = \log \bar{Y} + \sum_{0 \leq i \leq N_1+N_2+2+F} \lambda_i \log A_i \quad (32)$$

基于上述分析,本文提出命题 1:

命题 1 (ICT 产业生产率冲击对总产出的技术效应):

$$\log Y = \log \bar{Y} + \lambda_{ICT} \log A_{ICT}. \quad (33)$$

这个命题表示,由于存在投入产出关联,宏观生产受到 ICT 产业生产率变动的影 响,且 ICT 产业占据的份额越大,宏观生产受到的影响越大。该效应为一阶效应,即没有考虑经济结构发生变化的效应,我们也称之为技术效应。

2、生产率冲击对总产出的结构效应。由于一阶近似忽略了微观经济生产力冲击对宏观经济影响的非线性特征,如:替代品的微观经济弹性、网络联系结构微观经济规模收益,以及要素重新分配程度,我们需要将 Hulten 定理扩展到一阶以外,以捕捉微观冲击的非线性特征:

$$\begin{aligned} \log Y \approx & \log \bar{Y} + \sum_{0 \leq i \leq N_1+N_2+2+F} \lambda_i \log A_i + \sum_{0 \leq i \leq N_1+N_2+2+F} \frac{1}{2} \frac{d \lambda_i}{d \log A_i} (\log A_i)^2 \\ & + \sum_{\substack{0 \leq i, j \leq N_1+N_2+2+F \\ i \neq j}} \frac{1}{2} \frac{d \lambda_i}{d \log A_j} \log A_i \log A_j \end{aligned} \quad (34)$$

为了更好地从经济逻辑上理解上式,我们只考虑一个针对 ICT 产业的冲击的影响,则上式的二阶近似中的交叉项可以消去,可以得到:

$$\log Y \approx \log \bar{Y} + \sum_{0 \leq i \leq N_1+N_2+2+F} \lambda_i \log A_i + \sum_{0 \leq i \leq N_1+N_2+2+F} \frac{1}{2} \frac{d \lambda_i}{d \log A_i} (\log A_i)^2 \quad (35)$$

为了求出上式的二阶近似,我们需要求出受冲击部门的多马份额。将上述直接消耗系数矩阵中的第一列($i=0$)家庭看做最终产出, $i \in \{1, \dots, N_1+N_2+2+F\}$ 代表生产投入,依次为生产部门的产成品 $Q(h, i)$ 、行业最终品 $Y(h)$ 和劳动要素 F 。从而考虑整个经济体利润最大化:

$$\max_{x_{im}, x_{if}, x_{il}} p_i y_i - \sum_{m=0}^{N_1+N_2} p_m x_{im} - \sum_{f=N_1+N_2+1}^{N_1+N_2+2} p_f x_{if} - \sum_{l=N_1+N_2+2}^{N_1+N_2+2+F} \omega_l x_{il}$$

其中 x_{im} 为生产部门的产成品 $Q(h, i)$; x_{if} 为行业的最终品 $Y(h)$; x_{il} 劳动要素投入。 p 为上述投入的价格。通过求利润最大化和市场出清条件可以得到各投入部门的多马份额:

$$\begin{aligned} \lambda_h = & \left(\frac{p_h}{p_0} \right)^{1-\sigma_0} \omega_{0h} \left(\frac{A_0 \bar{y}_0}{\bar{x}_{0h}} \right)^{\sigma_0-1} + \sum_{i=1}^{N_1+N_2} \left(\frac{p_h}{p_i} \right)^{1-\sigma_i} \omega_{ih}^{\sigma_i} \left(\frac{A_i \bar{y}_i}{\bar{x}_{ih}} \right)^{\sigma_i-1} \lambda_i \\ & + \sum_{i=N_1+N_2+1}^{N_1+N_2+2} \left(\frac{p_h}{p_i} \right)^{1-\sigma_i} \omega_{ih}^{\sigma_i} \left(\frac{A_i \bar{y}_i}{\bar{x}_{ih}} \right)^{\sigma_i-1} \lambda_i + \left(\frac{p_h}{p_l} \right)^{1-\sigma_l} \omega_{lh}^{\sigma_l} \left(\frac{A_l \bar{y}_l}{\bar{x}_{lh}} \right)^{\sigma_l-1} \lambda_l \end{aligned}$$

其中, λ_h , $h \in \{j, f, l\}$ 为上述最大化问题中最终品和部门产成品、行业最终品以及劳动

要素在整个生产中的多马份额。在命题 1 的基础上可通过求解生产率冲击对多马份额的影响来推导生产率冲击在整个经济系统中的二阶传导效应。

对于生产率冲击，基于成本的多马份额变化可由以下线性系统表示：

$$\frac{d\lambda_i}{d\log A_k} = \sum_{j=0}^{N_1+N_2+2} (\sigma_j - 1) \lambda_j \text{Cov}_{\Omega^{(j)}} \left(\Psi_{(k)} - \sum_{g=N_1+N_2+3}^{N_1+N_2+2+F} \Psi_{(g)} \frac{d\log \lambda_g}{d\log A_k}, \Psi_{(i)} \right) \quad (36)$$

上式表明了当部门 k 受到生产率冲击时对部门 i 多马份额的影响。事实上，上述结果包含了向前和向后的两种关联效应，因为从数学上来说上述的推导中用到了以下两个式子。一方面，价格影响的向前关联效应方程 (37) 描述了上游的生产率冲击通过降低下游中间品的投入成本从而影响下游部门的产品价格。具体来说，(37) 式右边第一项 $(-\Psi_{ik})$ 正好表示 k 部门正向生产率冲击导致 k 部门价格下降，由于 k 部门为其他部门提供中间品，经由中间品的投入产出网络结构联系来降低 i 部门的价格，即某一部门价格变化对另一部门价格的影响大小为 $(-\Psi_{ik})$ 。(37) 式右边第二项 $\sum_{l=N_1+N_2+3}^{N_1+N_2+2+F} \Psi_{il} \frac{d \log p_l}{d \log A_k}$ 表示 k 部门生产率冲击导致 l 要素价格变化进而对 i 部门价格产生影响。另一方面，多马份额影响的后向关联方程 (38) 式描述了生产率冲击对下游价格的影响如何通过替代效应影响外生固定的供给要素的多马份额。

$$\frac{d\log p_i}{d\log A_k} = -\Psi_{ik} + \sum_{l=N_1+N_2+3}^{N_1+N_2+2+F} \Psi_{il} \frac{d\log p_l}{d\log A_k} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_i}{d\log A_k} &= \frac{d^2 \log Y}{d\log A_k d\log A_i} = \\ &= \sum_{j=0}^{N_1+N_2+2} (\sigma_j - 1) \lambda_j \text{Cov}_{\Omega^{(j)}} \left(-\frac{d\log p_l}{d\log A_k}, \Psi_{(i)} \right) \end{aligned} \quad (38)$$

由于在本文模型假定中，ICT 行业与非 ICT 行业生产只有一种劳动要素，即 $\lambda_1 = 1$ ，并且可以得到 $\frac{d \log \lambda_i}{d \log A_k}$ ，则来自不同生产部门的生产率冲击对总产量的结构效应为：

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_i}{d\log A_k} &= \frac{d^2 \log Y}{d\log A_k d\log A_i} = \\ &= \sum_{j=0}^{N_1+N_2+2} (\sigma_j - 1) \lambda_j \text{Cov}_{\Omega^{(j)}} \left(-\frac{d\log p_l}{d\log A_k}, \Psi_{(i)} \right) \end{aligned} \quad (39)$$

来自相同生产部门的生产率冲击对总产量的结构效应为：

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \log Y}{d\log A_i^2} &= \frac{d\lambda_i}{d\log A_i} \\ &= \sum_{j=0}^{N_1+N_2+2} (\sigma_j - 1) \lambda_j \text{Var}_{\Omega^{(j)}} (\Psi_{(i)}) \end{aligned} \quad (40)$$

生产部门 i 的生产率冲击对总产量的宏观影响为：

$$\log Y \approx \log \bar{Y} + \lambda_i \log A_i + \frac{1}{2} \sum_{j=0}^{N_1+N_2+2} (\sigma_j - 1) \lambda_j \text{Var}_{\Omega^{(j)}} (\Psi_{(i)}) (\log A_i)^2 \quad (41)$$

在 CES 生产函数中 ($\sigma_{h_i} \neq 1$)，部门的多马权重会对冲击产生内生响应，即生产网络的经济

结构发生了变化,这种内生性导致了非线性效应,本文将其称为生产率冲击对总产出的结构效应(二阶效应)。这意味着,不同的冲击可能会在不同的条件下产生不同的影响,从而使得简单的线性模型无法完全捕捉到这些复杂的结构效应。特别地,在 Cobb-Douglas 生产函数下($\sigma_{h_i}=1$),则结构效应为 0,即经济中生产部门的多马权重不会发生改变,则(35)式只有第一项,即生产率冲击的直接影响,本文称为技术效应(一阶效应)。为研究 ICT 行业低替代弹性下生产率冲击的影响,本文令非 ICT 行业的替代弹性等于 1。

基于上述分析,本文提出命题 2:

命题 2 (ICT 产业生产率冲击对总产出的结构效应):

$$\log Y \approx \log \bar{Y} + \lambda_{ICT} \log A_{ICT} + \frac{1}{2} (\sigma_{ICT} - 1) \lambda_{ICT} \text{Var}_{\Omega(ICT)} (\Psi(ICT)) (\log A_{ICT})^2 \quad (42)$$

这个命题表示,由于投入产出关联受到生产网络结构中的互补替代性的影响,ICT 产业生产率变动对宏观生产的影响产生了结构效应。等式中的第二部分反映了技术效应的大小,第三部分反映了结构效应的大小。可见,技术效应只和 ICT 产业生产率冲击 $\log A_{ICT}$ 、ICT 产业多马份额 λ_{ICT} 相关,而结构效应和 ICT 产业生产率冲击 $\log A_{ICT}$ 、ICT 产业中使用 ICT 中间品的替代弹性 σ_{ICT} 、ICT 产业多马份额 λ_{ICT} 、ICT 产业和其他产业关联效应 $\text{Var}_{\Omega(ICT)} (\Psi(ICT))$ 相关。

从经济学直觉上说,如果部门间商品是互补的,则在受到负向的生产率冲击时,技术效应为负,结构效应也为负,即商品价格上升,因为互补导致商品的需求量的下降,但幅度小于价格上升的幅度,导致商品的份额上升,从而放大了负向冲击的宏观效应;反之,当受到正向的生产率冲击时,技术效应为正,但结构效应为负,即商品价格下降,因为互补导致商品的需求量上升,但上升的幅度小于价格下降的幅度,导致商品的份额下降,从而削弱了正向冲击的宏观效应。从而,针对 ICT 产业的负向生产率冲击对总产出的影响被放大,而正向生产率冲击的影响被削弱,产生了非对称的影响。

五、低替代弹性视角下 ICT 产业冲击的生产网络传导效应

本部分基于前文分析对 ICT 产业的生产率冲击的宏观效应进行测算和数值模拟,参照《国民经济行业分类(GB/T 4754—2017)》,ICT 产业主要包括电信、计算机和其他信息技术服务业。ICT 产业可进一步分为 ICT 制造业和 ICT 服务业。ICT 制造业包括电子元器件、电脑、消费电子产品和通信设备等。ICT 服务业则包括电信、网络、软件和互联网服务等。此外,本文还参考了蔡跃洲和牛新星(2021)的研究,将新闻和广播业纳入了 ICT 产业范畴。详细分类标准请见表 1。

(一) 参数校准

参考 Atalay (2017) 和 Miranda-Pinto & Young (2022),本文采用以下方法来估计 ICT 产业生产投入的替代弹性: ICT 厂商面临多部门中间品投入的成本最小化问题,即在购买不同行业的中间品之间进行权衡。行业 j 的价格变化会影响 ICT 厂商选择其他行业的中间品作为替代品:

$$\log \frac{P(j,t) M_{ICTj,t}}{P^M(ICT,t) M(ICT,t)} = (1 - \sigma_{ICT}) \log \frac{P(j,t)}{P^M(ICT,t)} \quad (43)$$

其中, $P(j,t)$ 表示中间品供应商 j 在 t 期的价格指数, $P(j,t) M_{ICTj,t}$ 表示 ICT 厂商购买供应商 j 的中间品的名义支出。 $P^M(ICT,t)$ 表示 ICT 行业所有中间品的价格指数, $M(ICT,t)$ 表示 ICT 厂商购买的所有中间品的名义支出。 $\frac{P(j,t) M_{ICTj,t}}{P^M(ICT,t) M(ICT,t)}$ 表示 ICT

厂商购买供应商 j 的中间品的支出份额； $\frac{P(j, t)}{P^M(ICT, t)}$ 表示供应商 j 的相对价格。如果供应商 j 的价格相对上涨，替代效应意味着购买供应商 j 的中间品相对于购买其他行业的中间品变得更昂贵，理性的 ICT 厂商会减少购买供应商 j 的中间品，转而购买其他行业的中间品，总支出变化相对不大。但如果供应商 j 的中间品难以替代，例如高性能芯片或者芯片设计软件服务，那么他在这类产品上花费的代价随之提升，支出效应大于替代效应，总支出增大。在数值上，系数 $(1-\sigma_{ICT})$ 越大，说明支出受到相对价格影响越大，即 σ_{ICT} 越小，ICT 厂商的生产越互补。

表 1 ICT 行业类别

	ID	行业
ICT 制造业	39088	计算机
	39089	通信设备
	39090	广播电视设备和雷达及配套设备
	39091	视听设备
	39092	电子元器件
	39093	其他电子设备
ICT 服务业	63121	电信
	63122	广播电视及卫星传输服务
	64123	互联网和相关服务
	65124	软件服务
	65125	信息技术服务
	86143	新闻和出版
	87144	广播、电视、电影和影视录音制作

基于此，本研究通过测算中间品投入的相对价格变化对中间品支出份额的关系，即中间品支出的相对价格弹性，进而计算得到 ICT 行业的中间品投入的替代弹性：

$$\log share_{ICTj,t} = \beta_0 + \beta_1 \log pricechange_{ICTj,t} + \mu_{ICT,t} \quad (44)$$

其中， $share_{ICTj,t} = \frac{P(j, t) M_{ICTj,t}}{P^M(ICT, t) M(ICT, t)}$ ， $pricechange_{ICTj,t} = \frac{P(j, t)}{P^M(ICT, t)}$ ， $\beta_1 \equiv 1 - \sigma_{ICT}$ ， $\mu_{ICT,t}$ 为白噪声。

本文使用 WIOD 数据库 2000—2014 的中国投入产出数据测算中国 ICT 产业的替代弹性^①。由于缺少细分行业的价格指数数据，本文使用的行业中间品价格变化数据同样来自于 WIOD 数据库，具体由当年价格 IO 表和上期价格 IO 表的比值计算得到。由于缺少价格绝对量的比值数

① 本部分的 ICT 产业分类标准和表 1 类似，具体来说，ICT 产业对应 WIOD 投入产出表中的“Publishing activities; Motion picture, video and television programme production, sound recording and music publishing activities; programming and broadcasting activities; Telecommunications; Computer programming, consultancy and related activities; information service activities; Manufacture of computer, electronic and optical products; Manufacture of electrical equipment”。

据，本文将回归方程转化为下式：

$$\Delta \log share_{ICTj,t} = \beta_0 + \beta_1 \Delta \log pricechange_{ICTj,t} + \mu_{ICT,t} \quad (45)$$

其中，通过计算 $\frac{P(j,t)}{P(j,t-1)}$ 和 $\frac{P^M(ICT,t)}{P^M(ICT,t-1)}$ 可以近似得到 $\log pricechange_{ICTj,t}$ 。

参考 Atalay (2017) 进行初步分析，本文首先选取了 2000—2014 年中国 ICT 产业中间品的投入份额最大的五个上游行业，绘制了不同年份的 $(\log share_{ICTj,t})$ 和 $(\log pricechange_{ICTj,t})$ 的散点图和拟合线。结果显示，ICT 产业生产投入份额最大的五个行业分别为 ICT 行业、金属、化工、零售、橡胶行业，其中 ICT 行业的中间品投入最大，占 32.69%，并且 ICT 产业中间品相对价格的增加导致了 ICT 产业支出的增加。这种现象的原因在于 ICT 产业购买 ICT 中间品进行生产的时候替代性很低，ICT 产品价格上升的替代效应较小，支出效应较大，导致支出增加。另外四个供应行业对于 ICT 产业的生产来说同样具有这个关系，但显然，ICT 产业中间品的替代性最小。

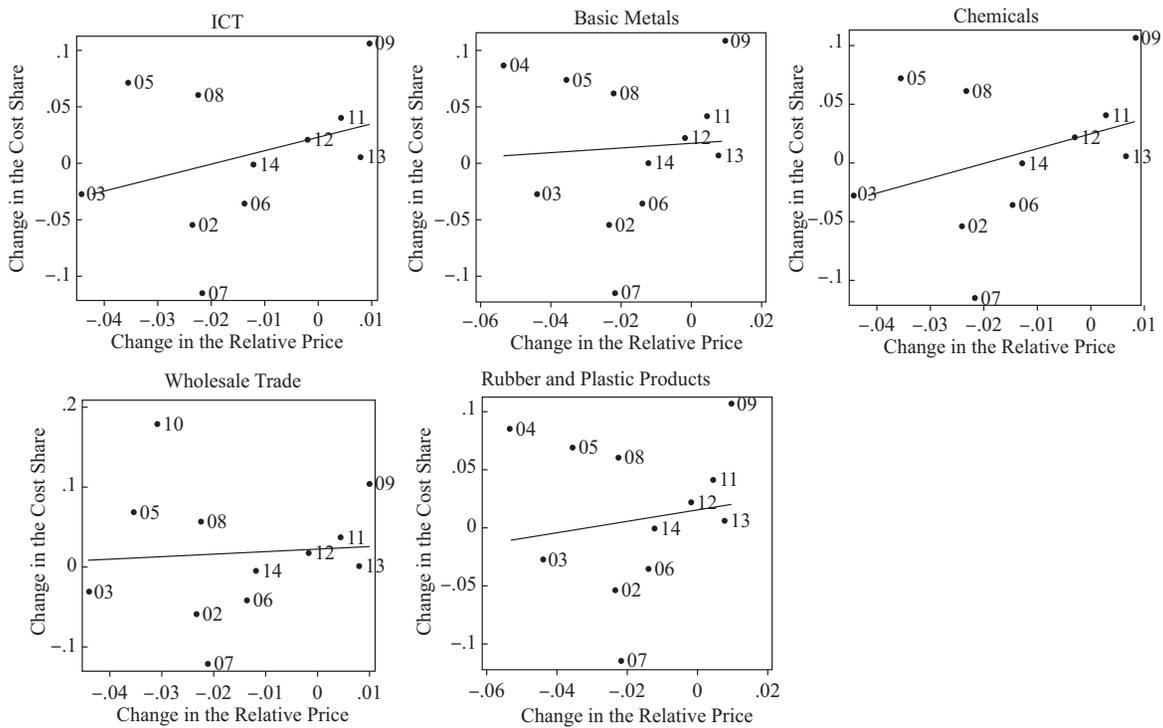


图 5：ICT 主要供应行业替代弹性

为了更准确地估计 ICT 产业生产面临的替代弹性，本文使用 WIOD 数据库的 2000—2014 年的 56 部门的投入产出表进行 OLS 估计。回归结果如表 2 所示，列 (1) 结果显示 ICT 中间品的价格变化在 1% 的水平下显著影响 ICT 产业支出份额；列 (2) 加入了时间固定效应；列 (3) 加入了时间和行业固定效应，结果显示，ICT 产业的上游行业的价格变化对份额变化在 1% 水平下产生了显著的正向影响。这意味着 ICT 产业生产时面临中间品价格冲击的支出效应明显大于替代效应，说明 ICT 产业的生产投入具有较弱的替代性。进一步通过回归系数计算得到 ICT 产业生产的替代弹性 σ_{ICT} 为 0.16，说明 ICT 产业的生产具有较强的互补性，受到冲击时难以通过购买替代品有效平滑。

表 2 回归结果

	(1)	(2)	(3)
	$\logshare_{ICTj,t}$	$\logshare_{ICTj,t}$	$\logshare_{ICTj,t}$
$\log pricechange_{ICTj,t}$	0.959***	0.835***	0.840***
	(4.57)	(4.32)	(2.98)
时间固定效应	否	是	是
行业固定效应	否	否	是
观测数	519	519	519
R^2	0.042	0.132	0.131

注：①括号内为 t 值。②***、**、* 分别表示回归系数在 1%，5%，10% 水平上显著。

(二) 非线性和非对称影响

本文使用中国国家统计局的 2020 年投入产出表 153 个行业数据，将表 1 中 13 个行业合并为 ICT 行业，形成 141 个行业的投入产出表，并基于此刻画 ICT 产业生产率冲击对宏观总产出的影响。根据命题 1，可知 ICT 产业的生产率冲击通过生产网络传导到宏观层面，对总产出的影响等于 ICT 产业的多马份额。同时，根据命题 2，本文描述由于 ICT 产业替代性较弱而产生的二阶效应。为简化起见，本文重点分析 ICT 产业的产业关联效应，即假设其他产业替代弹性等于 1。本文得到一阶效应和二阶效应加总的总产出对于 ICT 产业冲击的响应函数：

$$\log Y \approx \log \bar{Y} + \lambda_{ICT} \log A_{ICT} + \frac{1}{2} (\sigma_{ICT} - 1) \lambda_{ICT} \text{Var}_{\Omega(ICT)} (\Psi(ICT)) (\log A_{ICT})^2 \quad (46)$$

模拟结果如图 6 所示，黑色虚线表示在没有考虑生产互补性的情况下，外部生产率冲击对总产出的影响是线性的，外部生产率冲击的宏观效应与 ICT 产业的多马份额成正比，10% 的负向生产率冲击带来 2.08% 的一阶技术效应。图 6 红色曲线表示在考虑了生产互补性的情况下，ICT 生产率冲击对宏观生产造成了非对称的影响。由于 ICT 产业在生产网络中位于关键位置，替代弹性小于 1，生产率冲击造成了非对称的结构效应，导致 10% 的负向生产率冲击造成 2.14% 的宏观影响，正向生产率造成 2.02% 的宏观影响。

上述结果意味着当 ICT 产业面临外部负向冲击时，ICT 产业价格上升，由于生产互补性强，ICT 产业的价格上升幅度大于需求量下降幅度，导致其份额变大，进而放大了负向冲击对宏观经济的影响。相反地，当 ICT 产业获得正向冲击时，ICT 产业价格下降，同样由于互补性导致 ICT 产业需求量上升幅度较小，因而表现为 ICT 产业的份额下降，进而减小了正向冲击对宏观经济的影响，并且通过生产网络逐级削弱。

在中美科技竞争背景下，我们将 ICT 产业的断供和制裁视为负向生产率冲击，而将补贴视为正向生产率冲击，从而在本文框架中分析其影响。分析结果表明，美国对中国 ICT 产业的制裁不仅影响该产业本身，还通过产业关联扩散至宏观经济层面。这种扩散效应源于 ICT 生产率冲击对相关产业的技术影响，同时，由于生产的互补性，ICT 产业的市场份额可能会扩大，进一步加剧负向生产率冲击对宏观经济的影响。相对而言，补贴 ICT 产业可以提升整体生产水平，但由于结构效应的存在，在其他产业技术水平未提升的情况下，补贴的正向效应会逐级递减。这表明，即便对 ICT 产业投入大量资源以解决关键技术难题，若其他产业的数字化程度较低，对宏观经济的实际促进作用也会受到限制，从而产生“瓶颈效应”，削弱补贴的效率。

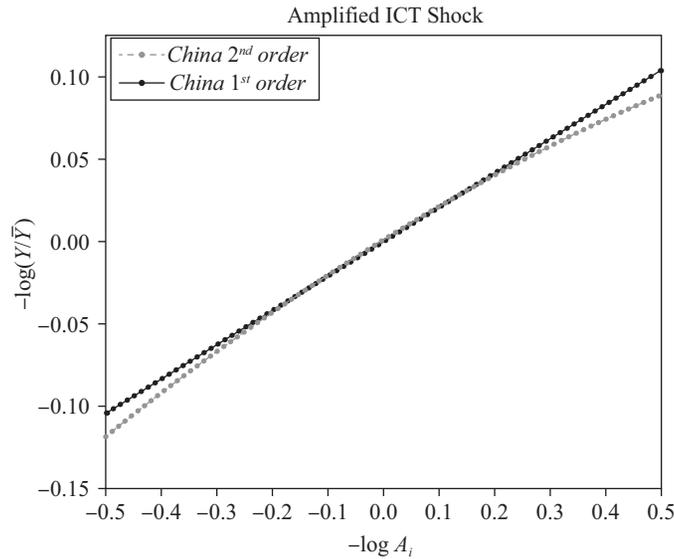


图 6 ICT 产业冲击的非对称影响

(三) 应对负向冲击的政策分析

本文的重点在于探究生产的互补结构导致的生产率冲击的非对称的结构效应，因此本文简化了其他部分的设置。与基准模型一致，我们也采用了简化的方式刻画政策分析中的补贴，将补贴直接描述为生产率的上升。考虑到补贴具有成本，我们采用了补贴的成本来自从家户所征收的人头税 T ，税收等于让各产业的技术提高的产值总和：

$$T = \sum_{h,i} \Delta A(h,i) \left[\zeta_{h1} M(h,i,1) \frac{\sigma_{hi}^{-1}}{\sigma_{hi}} + \zeta_{h2} M(h,i,2) \frac{\sigma_{hi}^{-1}}{\sigma_{hi}} + \zeta_{hi} L(h,i) \frac{\sigma_{hi}^{-1}}{\sigma_{hi}^{-1}} \right]$$

我们考虑以下两种补贴方式：1、非对称的补贴强度。为了进一步讨论 ICT 产业生产率冲击对宏观经济的非线性影响（结构效应），本文考察了在我国 ICT 产业面临不同程度负向冲击的情况下，需要对该部门提供何种力度的补贴，才能将产量恢复至冲击前的水平。

如图 7 所示，横坐标的负半轴代表 ICT 产业所受到的负向冲击强度，纵坐标表示不同程度的负向冲击对总产出减少量的影响。横坐标的右半轴则表示为抵消这些负向冲击所需的补贴强度。从图中可以看出，在相同的产量变化水平下，所需的正向补贴力度往往大于负向制裁的力度，且随着冲击力度的增加，总产出的减少程度显著加大。例如，当 ICT 产业受到 40% 的负向冲击时，需要 52% 的补贴力度来恢复到原有的产出水平，即补贴的力度需要达到制裁力度的 130%。

正向和负向的 ICT 生产率冲击对宏观经济产生了非对称的影响，负向冲击的影响被放大，正向冲击的影响被削弱。这种不对称性表明，负向冲击对经济的破坏性更大，恢复所需的成本也更高。这意味着美国可以用较低的成本对中国 ICT 产业进行制裁，就可以取得较大的成效，也意味着中国的产业链安全程度较低，容易受到外部冲击的影响。特别的，中国的 ICT 产业整体规模较大，存在华为、中兴这样的知名企业，然而，由于存在薄弱环节，尤其是 ICT 产业链的上游存在严重的卡脖子问题，这导致美国断供会对中国 ICT 产业造成严重的生产率冲击，进而扩大到宏观经济层面。ICT 产业作为中国产业链供应链的薄弱环节，同时也作为数字经济的核心部门，对于宏观经济的稳定和数字经济的进一步发展具有重要的战略意义。因此，针对 ICT 产业的补贴是有必要的，但何种补贴更有效率值得进一步挖掘。

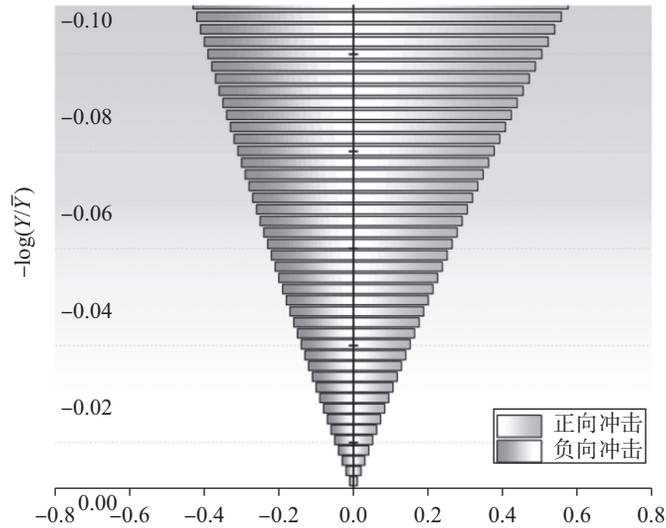


图 7 非对称的补贴强度

2、产业链补贴位置的选择策略。在应对 ICT 产业的负向冲击时，可以选择不同的补贴策略来缓解其对经济的负面影响，直接补贴 ICT 产业可以迅速提升这一关键部门的生产效率，从而减缓冲击的直接影响。然而，考虑到 ICT 产业在整个经济体系中的关联性和传导效应，补贴其他与之相关的产业也可能带来显著的宏观效应。因此，本文具体探讨沿着 ICT 产业链的位置进行补贴的政策效果：补贴结构效应影响最大的部门、补贴 ICT 产业的最大上游和最大下游部门，并对比这些策略对总产出的影响，以期提供更具前瞻性的政策指导。

结果如图 8 所示，横坐标表示 ICT 产业受到不同程度的负向冲击，纵坐标表示为了抵消这个冲击所需要的正向生产率提升程度。从图 8 可以看出，补贴效果最优的是直接补贴 ICT 产业，需要的正向生产率刺激最低，其次是补贴 ICT 产业的上游，最后是补贴 ICT 产业的下游。不仅如此，补贴下游部门在负向冲击较小时（低于 10%）时，可以通过较强力度的补贴抵消负向冲击的影响，但是当冲击强度过大时，则会出现无法弥补的现象。具体而言，补贴 ICT 产业的上游部门通过降低上游产品的销售价格，间接降低了 ICT 产业的生产成本，使得 ICT 产业在享受上游补贴收益的同时，能够增加产量，从而有效缓解因 ICT 产业断链带来的负向冲击。相反，补贴 ICT 产业的下游部门虽然能够提升下游部门的产量并降低产品价格，但这种补贴的收益主要通过价格传导给下游，无法有效减轻上游 ICT 产业低替代弹性的影响，故补贴上游的效果明显优于下游部门。

前文的分析表明，由于产业关联效应包括技术效应和结构效应，当 ICT 产业遭遇技术冲击时，补贴其他系统性重要产业可能对整体经济产生积极影响。本文考虑补贴总效应最大的 10 个部门的情况。如图 9 所示，当 ICT 产业遭遇 20% 的负向冲击时，需对这 10 个部门实施相应补贴以恢复宏观生产水平。横坐标列出这 10 个部门，纵坐标则表示为弥补 ICT 生产率冲击所需的补贴强度。可以看到，随着总效应降低，所需补贴力度逐渐增大，表明对系统性重要部门的补贴能更有效地缓解负向冲击。此外，直接补贴 ICT 产业的力度远低于其他部门，因为 ICT 产业的生产投入主要依赖 ICT 产品，替代弹性低，使其成为阻碍宏观生产的关键因素。

从直观上理解，结构效应导致的瓶颈效应使 ICT 产业的生产率提升反而增加关联产业的市场份额，类似于“鲍莫尔成本病”，阻碍整体生产进步。相对地，提升系统性重要产业的数字化程度不仅能提升其自身生产率（赵宸宇等，2021），还可更好地承接 ICT 产业技术进步的溢出效应

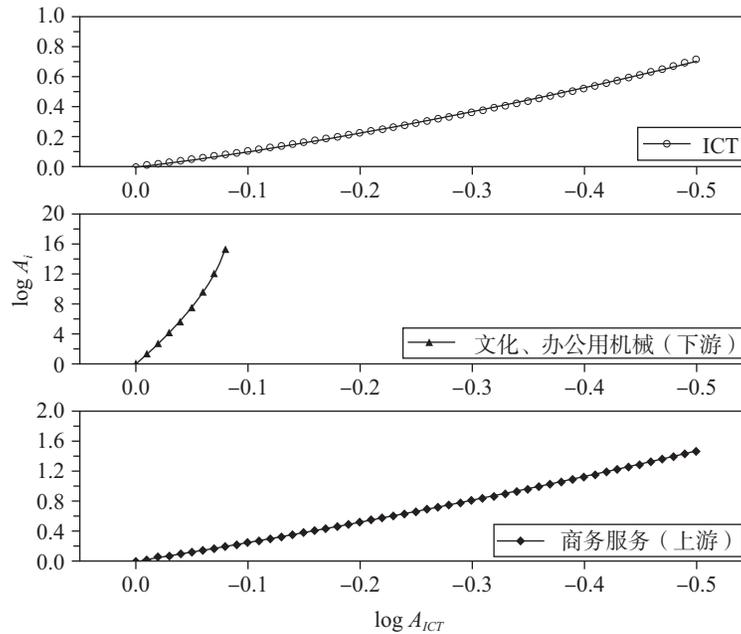


图 8 补贴不同部门的力度

(陶锋等, 2023), 缓解结构效应对宏观生产的阻碍。我们的测算可以加深对产业数字化的认识, 即补贴产业关联效应越大的产业的数字化进程可能带来的宏观影响越大。基于以上分析, 政策制定者应优先考虑直接支持 ICT 产业, 同时通过对其他系统性重要部门数字化的补贴, 进一步增强整体经济的韧性和恢复能力, 以最大化补贴的经济效率。

六、结论和政策建议

中国数字经济发展迅速, 占据国民经济的比重跃居世界前列, 其中 ICT 产业与其他产业的关联日益紧密。然而, 在中美科技竞争背景下, 中国 ICT 产业链安全问题突出, 可能对宏观经济稳定构成潜在风险。本文构建了一个多部门生产网络的一般均衡模型, 以刻画 ICT 产业生产率冲击的宏观传导效应。研究发现, ICT 产业受到的生产率冲击通过产业关联产生技术效应, 影响宏观经济。同时, 由于 ICT 产业处于生产网络的关键位置且替代弹性低, 结构效应会放大负向生产率冲击的影响并削弱正向冲击的效果。具体而言, 负向生产率冲击导致 ICT 产业价格上升, 因替代弹性低, 价格上涨幅度大于需求下降幅度, 从而扩大其市场份额, 进一步加大对宏观经济的负面影响。相反, 正向冲击时, ICT 产业价格下降幅度超过需求上升幅度, 导致市场份额下降, 从而减小正向冲击的影响, 并通过生产网络逐级削弱。理论上, 替代弹性越低的产业链, 其风险敞口越大, 安全水平越低, 因此可以定义产业链的安全水平。

定量上, 本文使用投入产出数据测算发现中国 ICT 产业的替代弹性明显小于 1, 意味着明显的生产互补性。基于此, 本文对 ICT 产业生产率冲击的宏观传导效应进行模拟。结果显示, 针对 ICT 产业 10% 的生产率冲击会带来 2.08% 的一阶技术效应, 由于 ICT 产业替代弹性小于 1, 生产率冲击还产生了非对称的二阶结构效应, 导致 10% 的负向生产率冲击造成 2.14% 的宏观影响, 正向生产率造成 2.02% 的宏观影响。进一步研究发现, 为了抵消美国制裁的负面冲击, 中国需要更大力度的补贴。针对不同行业的补贴中, 补贴 ICT 产业作用最大, 其次是补贴 ICT 产业的上

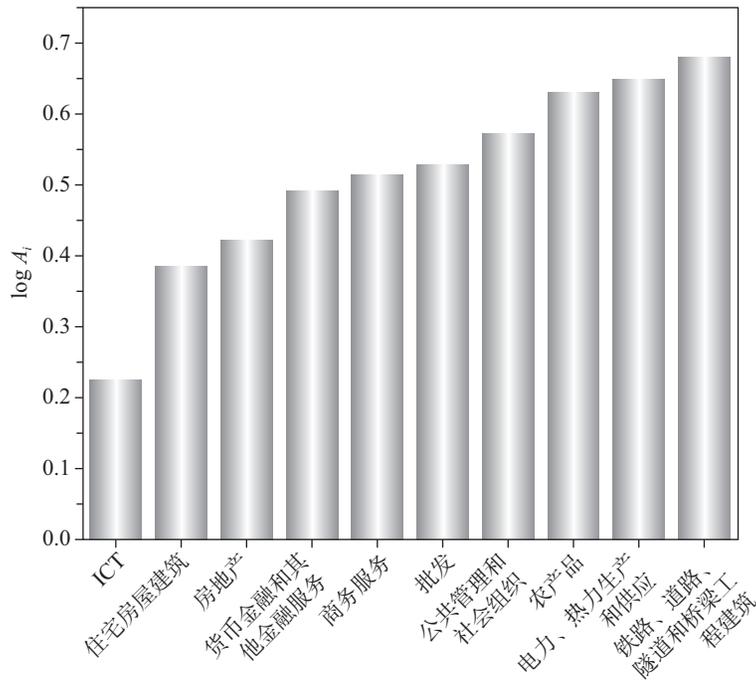


图9 补贴总效应不同的部门所需力度

游产业，补贴 ICT 产业下游的作用较弱。

本文研究结果表明，ICT 产业链安全对宏观经济稳定至关重要，且由于 ICT 产业作为关键产业，针对其制裁的影响将被放大，而补贴的效果则会被削弱。这一发现有助于深入理解“卡脖子问题”，并解释了中美科技战为何聚焦于 ICT 产业，尤其是芯片产业。ICT 产业作为战略性新兴产业，不仅是现代经济的关键引擎，还深刻影响国防、金融和制造等领域。芯片产业位于 ICT 产业的上游，具有高技术含量和低替代弹性，其制裁可能引发整个生产网络的连锁反应。这些因素使得 ICT 产业，特别是芯片产业，成为制裁的重点目标。此外，由于结构效应，补贴和制裁的效果不对等，导致产业链安全问题影响宏观稳定。因此，ICT 产业的可替代性和关联产业的数字化程度成为影响整体生产网络安全和发展的关键。基于全文分析，本文提出如下有针对性的政策建议：

第一、本文结果直观地显示，针对 ICT 产业的生产率冲击会通过生产网络传导至宏观层面。由于 ICT 产业处于上游且替代弹性低，结构效应会放大负面冲击并削弱补贴效果，从而对宏观经济稳定产生显著的非对称影响。因此，维护 ICT 产业链和供应链的安全，以及增强核心技术的自主可控能力，应作为国家安全的重要组成部分，且是构建新发展格局和发展数字经济的必然要求。此外，位于上游且替代弹性低的战略新兴产业易受制裁，因此应加强对上游关键技术的扶持，提升产业链韧性，这对其他未来产业的发展也具有重要指导意义。

第二、面对美国的强力打压，我国 ICT 产业面临严重安全隐患。国家层面的对等制裁措施需进一步加强，但考虑到美国对 ICT 产业链的控制，即使加大制裁力度，也可能难以产生足够效果。因此，制定策略时应关注其相对脆弱的环节，尤其是替代弹性低的部分，以实现更高效的打击效果，类似于我国对镓和锗的制裁措施。

第三、为防止“卡脖子问题”和应对断链风险，建议加大对 ICT 龙头企业在技术、人才、市场和资金等方面的支持，充分发挥新型举国体制的优势，集中攻克关键核心技术，提升自主创新

能力,增强对核心技术和知识产权的控制。同时,推动 ICT 龙头企业建立备份机制,提高产品的替代弹性,以增强产业链安全性和宏观经济的稳定性。

第四、鉴于 ICT 产业在生产网络中的特殊地位,正向补贴的效果会受到其他生产投入互补性的影响,产生短板效应,从而削弱补贴对宏观经济的促进作用并降低其经济效益。虽然我国在数字产业化方面处于世界领先,但产业数字化程度较低,这同样制约了数字技术创新对整体生产率的提升。因此,在攻克关键核心技术后,应进一步强调其他产业对这些技术的应用,重视产业数字化,鼓励企业和供应链的数字化转型,充分利用 ICT 产业技术进步的溢出效应,优化产业结构,以降低瓶颈效应对补贴的削弱,最大化经济效益。

参考文献

- 蔡跃洲、陈楠,2019:《新技术革命下人工智能与高质量增长、高质量就业》,《数量经济技术经济研究》第 5 期。
- 蔡跃洲、牛新星,2021:《中国数字经济增加值规模测算及结构分析》,《中国社会科学》第 11 期。
- 蔡跃洲、张钧南,2015:《信息通信技术对中国经济增长的替代效应与渗透效应》,《经济研究》第 12 期。
- 陈晓红、李杨扬、宋丽洁等,2022:《数字经济理论体系与研究展望》,《管理世界》第 2 期。
- 崔晓敏、熊婉婷、杨盼盼、徐奇渊,2022,《全球供应链脆弱性测度——基于贸易网络方法的分析》,《统计研究》第 8 期。
- 樊雪梅、卢梦媛,2020:《新冠疫情下汽车企业供应链韧性影响因素及评价》,《工业技术经济》第 10 期。
- 郭凯明,2019:《人工智能发展、产业结构转型升级与劳动收入份额变动》,《管理世界》第 7 期。
- 郭美晨、杜传忠,2019:《ICT 提升中国经济增长质量的机理与效应分析》,《统计研究》第 3 期。
- 寇宗来、孙瑞,2023:《技术断供与自主创新激励:纵向结构的视角》,《经济研究》第 2 期。
- 李天健、赵学军,2022:《新中国保障产业链供应链安全的探索》,《管理世界》第 9 期。
- 吕越、邓利静,2023:《着力提升产业链供应链韧性与安全水平——以中国汽车产业链为例的测度及分析》,《国际贸易问题》第 2 期。
- 倪红福、田野,2021:《新发展格局下中国产业链升级和价值链重构》,《China Economist》第 5 期。
- 倪红福,2022:《中国间接税的效率损失——基于中国生产网络结构一般均衡模型方法》,《管理世界》第 5 期。
- 盛朝迅,2021:《新发展格局下推动产业链供应链安全稳定发展的思路与策略》,《改革》第 2 期。
- 徐翔、赵墨非,2020:《数据资本与经济增长路径》,《经济研究》第 10 期。
- 许启凡、邹甘娜、甘行琼,2022:《财政投资、5G 产业与经济增长》,《改革》第 8 期。
- 杨飞,2021,《贸易摩擦、国内市场规模与经济高质量发展:国际技术竞争的视角》,《中国软科学》第 8 期。
- 张杰、陈容,2022:《中国产业链供应链安全的风险研判与维护策略》,《改革》第 4 期。
- 张树山、胡化广、孙磊、夏铭璐,2021,《供应链数字化与供应链安全稳定——一项准自然实验》,《中国软科学》第 12 期。
- 张其仔、许明,2022:《实施产业链供应链现代化导向型产业政策的目标指向与重要举措》,《改革》第 7 期。
- 张志明、杜明威,2018:《全球价值链视角下中美贸易摩擦的非对称贸易效应——基于 MRIO 模型的分析》,《数量经济技术经济研究》第 12 期。
- 赵震宇、王文春、李雪松,2021:《数字化转型如何影响企业全要素生产率》,《财贸经济》第 7 期。
- 赵瑞娜、倪红福,2021:《全球价值链重构的经济效应——兼论中美经贸摩擦的影响》,《中国流通经济》第 5 期。
- Acemoglu, D., D. Autor, and C. Patterson, 2023, "Bottlenecks: Sectoral Imbalances and the US Productivity Slowdown", *NBER Macroeconomics Annual*, 38 (1): 153 - 207.
- Acemoglu, D., U. Akcigit, and W. Kerr, 2016, "Networks and the Macroeconomy: An Empirical Exploration", *NBER Macroeconomics Annual*, 30 (1): 273 - 335.

王彬等：信息通信技术产业断链脱钩的宏观效应研究

- Acemoglu, D. , V. M. Carvalho, A. Ozdaglar, and A. Tahbaz - Salehi, 2012, “The Network Origins of Aggregate Fluctuations”, *Econometrica* , 80 (5): 1977 - 2016.
- Atalay, E. , 2017, “How Important Are Sectoral Shocks?”, *American Economic Journal: Macroeconomics* , 9 (4): 254 - 280.
- Baqee, D. R. , and E. Farhi, 2019, “The Macroeconomic Impact of Microeconomic Shocks: Beyond Hulten’s Theorem”, *Econometrica* , 87 (4): 1155 - 1203.
- Benitez, J. , J. Llorens, and J. Braojos, 2018, “How Information Technology Influences Opportunity Exploration and Exploitation Firm’s Capabilities”, *Information and Management* , 55 (4): 508 - 523.
- Gabaix, X. , 2011, “The Granular Origins of Aggregate Fluctuations”, *Econometrica* , 79 (3): 733 - 772.
- Hulten, C. R. , 1978, “Growth Accounting with Intermediate Inputs”, *The Review of Economic Studies* , 45 (3): 511 - 518.
- Jorgenson, D. W. , 2001, “Information Technology and the US Economy”, *American Economic Review* , 91 (1): 1 - 32.
- Liao, H. , B. Wang, B. Li, and T. Weyman-Jones, 2016, “ICT as a General-Purpose Technology: The Productivity of ICT in the United States Revisited”, *Information Economics and Policy* , 36 (1): 10 - 25.
- Liu, E. , 2019, “Industrial Policies in Production Networks”, *The Quarterly Journal of Economics* , 134 (4): 1883 - 1948.
- Long, J. J. B. , and C. I. Plosser, 1983, “Real Business Cycles”, *Journal of Political Economy* , 91 (1): 39 - 69.
- Michaels, G. , A. Natraj, and J. Van Reenen, 2014, “Has ICT Polarized Skill Demand? Evidence from Eleven Countries over Twenty-Five Years”, *Review of Economics and Statistics* , 96 (1): 60 - 77.
- Miranda-Pinto, J. , and E. R. Youngs, 2022, “Flexibility and Frictions in Multisector Models”, *American Economic Journal: Macroeconomics* , 14 (3): 450 - 480.
- Niebel, T. , 2018, “ICT and Economic Growth-Comparing Developing, Emerging and Developed Countries”, *World Development* , 104 (1): 197 - 211.
- Ren, S. , Y. Hao, L. Xu, H. Wu, and N. Ba, 2021, “Digitalization and Energy: How Does Internet Development Affect China’s Energy Consumption?”, *Energy Economics* , 98 (1): 105220.
- Shiu, A. , and P. L. Lam, 2008, “Causal Relationship Between Telecommunications and Economic Growth in China and Its Regions”, *Regional Studies* , 42 (5): 705 - 718.
- Yeo, Y. , W. S. Hwang, and J. D. Lee, 2023, “The Shrinking Middle: Exploring the Nexus Between Information and Communication Technology, Growth, and Inequality”, *Technological and Economic Development of Economy* , 29 (3): 874 - 901.
- Zhong, M. R. , M. Y. Cao, and H. Zou, 2022, “The Carbon Reduction Effect of ICT: A Perspective of Factor Substitution”, *Technological Forecasting and Social Change* , 181 (1): 121754.

Research on the Macroeconomic Effects of Decoupling in the Information and Communication Technology Industry: A Perspective from Production Networks

WANG Bin¹ HE Jinling¹ WANG Hang²

(1. Jinan University;
2. Renmin University of China)

Summary: China's digital economy has rapidly developed to occupy a prominent share of the national economy, forming increasingly close links with other industries. However, under U. S. - China technological competition, China's ICT supply chain faces significant security challenges, which may pose potential risks to macroeconomic stability through industry interconnections. This paper constructs a multi-sector production network general equilibrium model to characterize the macroeconomic transmission effects of ICT productivity shocks. Our findings reveal that productivity shocks in the ICT sector impact the macroeconomy through technical effects driven by industry interconnections. Additionally, due to the ICT sector's critical position and low substitution elasticity within the production network, structural effects amplify negative productivity shocks' macroeconomic impact while dampening positive shocks, leading to asymmetric effects of sanctions and subsidies. Quantitatively, our input-output analysis shows a substitution elasticity for China's ICT sector markedly below 1, indicating substantial production complementarities. A 10% productivity shock in ICT yields a 2.08% first-order technical effect. Due to the low elasticity, a 10% negative shock results in a 2.14% macro impact, while a positive shock yields a 2.02% impact. To offset adverse effects from U. S. sanctions, China would require more substantial subsidies, with ICT sector subsidies being most effective, followed by upstream and then downstream ICT industries. Our research highlights that ICT supply chain security is critical to macroeconomic stability, with ICT substitutability and digitalization in related industries as key factors in production network security and development.

Policy recommendations include: First, ICT supply chain security should be a national priority, with resilience-building in upstream technology and industry. Second, to counter sanctions, targeted strikes on segments with low substitution elasticity should be prioritized. Third, increased support for ICT leaders is advised, focusing on critical technology breakthroughs and backup mechanisms to improve product substitutability. Fourth, ICT subsidies are influenced by complementary input effects, limiting economic efficiency, thus underscoring the need to drive digital transformation, harness ICT technology spillovers, and maximize subsidy efficacy.

This paper makes the following contributions: First, by analyzing low substitution elasticity in ICT through production network theory, it enriches research on ICT's macroeconomic impact. Second, it offers a novel perspective on ICT supply chain security through industry interconnection, advancing understanding of the "bottleneck" issue. Third, it quantitatively depicts the asymmetric macroeconomic effects of ICT productivity shocks from sanctions and subsidies,

王彬等：信息通信技术产业断链脱钩的宏观效应研究

providing a theoretical basis for sound policy formulation.

Key words: Production network; ICT industry; Elasticity of substitution; Technical effect; Structural effect