

技术“卡脖子”的影响与对策:基于融合技术关联的生产网络分析框架

余壮雄, 董洁妙, 程嘉嘉

[摘要] 在中美科技竞争日益加剧的背景下,深入理解技术“卡脖子”的影响及其传导机制,对制定适当的应对对策极其重要。本文将产品网络的技术关联特征引入生产网络框架,识别生产率冲击通过技术关联与投入产出关联传导的双重路径,并量化“卡脖子”影响(负向生产率冲击)的大小、趋势、分布和传导机制。研究表明,被“卡脖子”行业不仅面临更高的产品网络“断链”风险,而且大多处于信息流通密集的关键节点。在现有生产结构中,由技术“卡脖子”所引发的负向生产率冲击主要通过提高行业相对价格、降低行业总产出,进而导致GDP下降;但这一负向冲击对行业销售份额(多马权重)的影响较小。平均看,受限行业生产率每下滑1%,GDP下降约0.04%。进一步分析网络传导机制发现,生产网络的再分配效应可以减缓负向生产率冲击,但不会动摇Hulten定理的广泛性;而产品网络的技术关联效应不仅会放大负向冲击的影响,而且推翻了Hulten定理的广泛性。本文揭示了技术限制冲击通过不同网络层级影响经济系统的路径差异,并就防范和应对技术“卡脖子”提出有益的政策启示。

[关键词] 生产网络; 投入产出关联; 技术关联; 技术“卡脖子”; 韧性和安全

[中图分类号] F424 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-480X(2025)06-0101-20

一、引言

自21世纪以来,中国实现了对外贸易的跨越式发展,迅速从贸易小国成长为“世界工厂”,并在全球贸易中形成众多具有中国特色的“中国故事”。在这一过程中,中国生产技术显著提升,主要得益于中国与发达国家,尤其是美国的贸易合作和交流。但随着中美技术差距不断缩小,中美之间的技术竞争正在不断加剧。2017年,美国对外科技竞争战略全面升级,并将中国视为其战略竞争对

[收稿日期] 2024-08-29

[基金项目] 国家社会科学基金重点项目“产品空间视域下中国制造业实现绿色发展的机制与对策研究”(批准号22AJY018);国家自然科学基金青年项目“数字经济赋能视域下中国制造业企业实现出口稳定的机制与对策研究”(批准号72073039);中央高校基本科研业务费专项资金项目“双循环视角下中国融入与重塑全球价值链研究”(批准号23NJYH01)。

[作者简介] 余壮雄,暨南大学产业经济研究院、产业大数据应用与经济决策研究实验室研究员,博士生导师,经济学博士;董洁妙,广东外语外贸大学经济贸易学院讲师,经济学博士;程嘉嘉,广东外语外贸大学国际经济贸易研究院讲师,经济学博士。通讯作者:董洁妙,电子邮箱:dongjiemiao@126.com。感谢广东外语外贸大学特色创新项目专项资金的资助,感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见,文责自负。

手;2018—2019年,美国实施了四轮关税上调,调整范围主要涵盖中国高技术产业的进口;2020年,美国发布《关键和新兴技术清单》,并于2022年、2024年多次更新清单内容。这一系列措施给中国的经济安全与发展稳定带来了巨大挑战。因此,深入探究技术“卡脖子”影响及其传导机制,对于中国有效识别、防范与应对相关风险至关重要。

近年来,诸多研究重点分析了中美贸易竞争所造成的影响。这些研究的一个新兴趋势是,以Costinot and Rodríguez-Clare(2014)、Caliendo and Parro(2015)、Baqae and Farhi(2019)为基准,通过高度细分的投入—产出数据分析关税或生产率所引起的部门价格变化、资源配置调整的部门分布情况,识别中美贸易竞争所引发的总体福利影响(王霞,2019;樊海潮等,2020;Fajgelbaum et al., 2020)。与简化式实证分析聚焦分析局部关系不同,这一类研究可以通过高度细分的投入—产出数据分析,更加全面地捕捉经济福利在全球层面的系统性变化。此外,这一类文献还积极挖掘冲击在网络内部的传导影响。其中,Bernard and Moxnes(2018)、Carvalho and Tahbaz-Salehi(2019)指出,随着产业链条的不断延长和产业分工的日益细化,不同产业之间的联系更加紧密,冲击在行业间的传导作用会深刻地影响整个宏观经济的安全和稳定。

然而,上述研究仍有两点不足:①当前的分析框架在分析冲击传导机制时忽略了技术关联的传导路径。理论上,产业间的联系既来自投入产出的关联,也会受产业间技术关联的影响(Bernard and Moxnes, 2018;郭琪等,2020),但技术关联路径尚未得到足够重视。事实上,产品空间理论指出,产品本身可被视为知识的载体,不同产品依据其生产技术和知识的相似度构成一个网络连接结构;产品间的技术关联代表生产知识迁移的可能性。与生产网络相比,产品空间网络的信息溢出并不依赖于交易流程,而是强调生产知识和技术能够跨越物理限制与交易壁垒、直接在产品之间发生流动(Hidalgo et al., 2007;Hidalgo, 2021)。虽然有个别研究探讨了技术冲击沿生产网络传导的过程(Acemoglu et al., 2016;刘维林和程倩,2023),但其更关注技术冲击如何通过投入产出关联传导,忽视了冲击通过技术关联传导的可能。②已有生产网络研究大多探讨双边关税或生产率变动引起的价格变化、资源配置调整对宏观经济的整体影响(Costinot and Rodríguez-Clare, 2014;Caliendo and Parro, 2015;Baqae and Farhi, 2019),但技术限制在行业间的影响异质性和多层级网络响应技术冲击传导的差异并未得到深入研究。基于上述不足,本文构建了一个多部门投入产出的生产网络一般均衡模型,通过引入行业间技术关联特征,刻画技术冲击通过生产网络和产品网络传导的双层路径,进而量化技术限制引发的负向生产率冲击对宏观经济造成的影响大小、趋势、分布和传导特征。

与已有研究相比,本文的边际贡献在于如下三个方面:①建立了一个融合技术关联的生产网络分析框架,刻画并识别了冲击沿着生产网络和产品网络传导的双层路径。这拓展了生产网络模型的研究边界,也进一步推进了产品空间理论和生产网络理论的有机融合。②通过构建引入技术关联的生产网络模型框架,量化技术限制通过不同网络路径对不同行业所造成的非对称性影响,有利于更深入地认识美国实施技术限制所带来的生产率冲击如何在中国内部传导。③扩展Hulten(1978)的基本定理。与以往研究将负向生产率冲击对宏观经济的影响重要性归结于行业销售份额(多马权重)的观点不同(Carvalho and Tahbaz-Salehi, 2019),在引入技术关联特征后,技术限制引发负向生产率冲击对宏观经济的影响不仅与销售份额(多马权重)相关,而且会受到不同部门间技术关联的影响,凸显了微观生产结构对宏观经济增长的重要性。

二、文献综述

1. 技术“卡脖子”与中美贸易竞争的研究梳理

随着中国经济实力持续上升,中美科技竞争成为全球经济中的关键议题。大量研究围绕技术“卡脖子”展开,相关主题^①主要聚焦于供应链安全(Acemoglu and Tahbaz-Salehi, 2024)、传导机制(Carvalho et al., 2021)和经济影响(寇宗来和孙瑞,2023;Han et al., 2024;李宁静和李春顶,2024)。总体而言,技术“卡脖子”导致不确定性上升、贸易成本增加,使企业生产率下降,并通过生产网络扩散至其他行业。尽管部分研究指出其可能激发企业韧性与潜力(寇宗来和孙瑞,2023;李宁静和李春顶,2024),但技术封锁限制关键技术与零部件获取,导致成本上升和供应链不稳,最终仍以负面影响为主。

在这些研究中,技术限制在中美贸易竞争背景下受到广泛关注(Han et al., 2024)。不过早期研究关注的是中美贸易一体化的影响(Autor et al., 2013;Acemoglu et al., 2016),并通过最惠国关税差值衡量贸易自由化对中国经济的作用(Handley and Limão, 2017),但这些研究过于依赖局部数据,难以准确预测事后冲击影响。为此,后续研究采用GTAP模型(Corong et al., 2017)和DSGE模型(Itakura, 2020)模拟冲击,并进一步探讨其动态影响。但这些模型需要设定众多参数,结构简化较多,缺乏明确的解析解,因此,难以揭示研究事件背后的内在机制。随着全球经济网络化加深,部分文献将生产网络特征引入建模过程。这些研究主要基于Caliendo and Parro(2015)、Carvalho and Tahbaz-Salehi(2019)的思路构建分析框架,通过结合细化的投入—产出数据分析关税或生产率变动对价格与资源配置的影响,并以此评估中美贸易竞争对两国经济的总体福利影响(樊海潮等,2020;Fajgelbaum et al., 2020;Chor and Li, 2024)。与传统方法相比,该类研究可识别关键传导部门,揭示冲击内部传导机制(王群勇等,2023);并且,上述两种框架结论可以相互验证,有效增强了研究可信度(Fajgelbaum and Khandelwal, 2022)。当然,这两种框架的关注重心并不完全相同;前者更关注关税变化的影响,后者则更关注技术变化的影响。综上,现有文献尚未充分探讨生产网络视角下的中美技术竞争问题。当前,鉴于技术博弈已经逐步成为贸易竞争的焦点,在中美技术竞争相关议题下引入Carvalho and Tahbaz-Salehi(2019)框架,将提供更细致、有价值的结论。

2. 生产网络研究梳理

梳理生产网络相关的研究可知,这一类文献最早是为了解释为什么微观冲击可以积累并反映到经济宏观层面(Acemoglu et al., 2012)。这些研究发现,部门内部的冲击会通过部门间的生产网络进行传导,从而对总体经济产生难以忽略的影响。现有文献围绕生产网络如何引致产业间价格波动(Auer et al., 2019)、如何影响经济增长(Jones, 2011),以及在产业间传导政策的支持作用(Rubbo, 2023)、垂直结构特征(王勇,2021)等方面展开分析。这些文献的视角各不相同,但只关注生产网络,几乎不结合其他层级网络展开交叉分析。这使得在原有的生产网络的分析框架中,现有研究仅能观察技术冲击如何沿着上下游产业的投入产出关联传导,进而影响整个经济系统的增长

① 实际上,学者们对技术“卡脖子”的名称界定各不相同,包含技术限制、技术断供、技术制裁等。但这些名词含义相近,均指的是先进上游国外制造商通过限制核心技术分享、关键零部件供应、中间投入品出口等方式,对下游目标国施加贸易压力的经济行为。

表现。然而,产业间的关联性不仅由上下游的投入产出关联决定,也由产业之间的技术关联决定(Hidalgo et al., 2007)。换言之,产业层级的经济网络不仅涵盖了投入产出关系对应的生产网络,而且包含产业间技术关联所对应的产品网络(刘守英和杨继东,2019;Hidalgo, 2021)。生产率冲击将不仅沿着生产网络对外溢出,也会沿着产品网络对其他行业产生影响。但现有研究尚未将二者结合展开分析,限制了生产网络模型的研究边界。

3. 产品网络研究梳理

产品网络是解释产品结构变化和产业转型升级的核心分析框架。产品网络为分析国家经济增长、产品多样化及创新能力提供了重要工具。Hidalgo et al.(2007)首次提出该概念,将产品间的技术相关性用网络表示,探讨了产品复杂性对经济发展的影响。近年来,该领域的研究持续不断地深入,现已覆盖区域经济增长(Cicerone et al., 2020)、产品出口表现(程嘉嘉等,2024)、政策制定(Desmarchelier et al., 2018)、绿色发展(董洁妙和余壮雄,2021)等主题。这些研究形成并拓展了产品空间理论,其核心的思路是:产品是信息的载体,不同维度(企业、地区等)的产品存在着某些内在的联系,从而带来生产技术等信息在产业间的传导。在产品空间理论的相关研究中,产品相似性(技术关联性)的测算是研究的关键。在早期的研究中,如果两种产品能被同一国家以较高的概率同时出口,则认为其认知距离较为接近,生产技术知识可以从其中一种产品较为顺畅地传导到另一种产品(Hidalgo et al., 2007)。但当研究视角转向微观时,该方法难免会包含大量与企业行为调整无关的信息噪音。因此,使用两种产品被同一企业出口或生产的概率计算产品相似性成为主流思路(余壮雄和董洁妙,2020;郭琪等,2020)。Hidalgo(2021)对此补充解释,如果两种产品被同一企业出口或生产的概率更大,其将共享相似的生产条件、技术水平等,即拥有较高的技术关联(或生产信息流通)。整体上,这一技术关联的表现形式与投入产出关联在结构上相似,但内涵极为不同;前者侧重于生产知识在不同产品间的可迁移性,后者侧重于交易行为在不同产品间的流转过程。这种形式上的类似和内涵上的差异,为进一步融合产品空间理论和生产网络理论提供了可能。

总体上,现有研究已经围绕中美贸易竞争展开丰富的研究,但仍有不足之处:①在美国技术限制的话题中,已有研究既未能结合产品网络的技术关联特征展开分析,也未能定位中国技术“卡脖子”的关键部门,难以挖掘其影响和传导特征。②生产网络可以结合其他网络理论获得更细致的研究结论,但这一研究角度进程较慢,并未得到重视。

三、理论模型构建

本文以 Carvalho and Tahbaz-Salehi(2019)的生产网络模型为基础,通过引入部门间技术关联特征进行建模,构建一个生产网络与产品网络交织的经济系统,用以分析负向生产率冲击的影响。

1. 模型环境设定

(1)生产部门设定。本文参考 Carvalho and Tahbaz-Salehi(2019),采用柯布一道格拉斯(CD)生产函数嵌套 CES 生产函数,以考虑生产率冲击导致行业各类投入的支出占比发生调整的特征:

$$y_i = z_i \xi_i l_i^{\alpha_i} \left(\sum_{j=1}^n a_{ij}^{\frac{1}{\sigma_i}} x_{ij}^{1-\frac{1}{\sigma_i}} \right)^{(1-\alpha_i)\sigma_i/(\sigma_i-1)} \quad (1)$$

其中, y_i 为行业 i 的产出, z_i 为行业 i 的技术水平, l_i 为行业 i 中投入的劳动力数量; x_{ij} 为用于生产产品 i 所需的中间品 j 的数量。 α_i 为行业 i 的劳动力投入占比; a_{ij} 为直接消耗系数, 表示行业 i 总投入中的产品 j 投入占比, 且满足规模报酬不变: $\sum_{j=1}^n a_{ij} = 1 - \alpha_i$ 。 σ_i 表示各种投入要素之间的替代弹性, 归一化/标准化常数 $\xi_i = \alpha_i^{-\alpha_i} (1 - \alpha_i)^{(1-\alpha_i)\sigma_i/(\sigma_i-1)}$ 。

给定技术关联度 $\varphi_{ij} = \varphi_{ji} \in [0, 1]$ 、相同行业的技术相关度为 $\varphi_{ii} = 1$, 定义所有行业的技术水平对数 $\ln z = (\ln z_1, \dots, \ln z_n)'$ 、初始生产率水平 $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n)'$, 各行业的技术关联矩阵 $r = (\varphi_{ij})$ 满足如下关系:

$$\ln z = \Phi \varepsilon \sim (0, r) \quad (2)$$

其中, $\Phi = (\phi_{ij}) = r^{1/2}$, $\ln z_i = \sum_{j=1}^n \phi_{ij} \varepsilon_j$ 。

(2) 家庭部门设定。沿用 Carvalho and Tahbaz-Salehi (2019) 的思路, 本文假定代表性家庭提供 1 单位的劳动, 并消费所有品种的商品, 其效用函数设定为:

$$u(c_1, \dots, c_n) = \sum_{i=1}^n \beta_i \ln \left(\frac{c_i}{\beta_i} \right) \quad (3)$$

其中, c_i 为代表性家庭对商品 i 的消费量; β_i 反映了商品 i 在居民消费效用方面的重要性, 满足 $\sum_{i=1}^n \beta_i = 1$ 。那么, 代表性家庭的总预算为: $\sum_{i=1}^n p_i c_i = w$ 。

(3) 市场出清和一般均衡条件。假定市场是完全竞争的, 可以得到产品市场出清的条件为:

$$y_i = c_i + \sum_{j=1}^n x_{ji} \quad (4)$$

对于劳动力市场而言, 满足出清条件: $1 = \sum_{i=1}^n l_i$ 。

2. 投入产出结构及其概念引入

首先, 用 $A_{N \times N} = (a_{ij})$ 表示直接消耗系数矩阵, 那么直接消耗系数 a_{ij} 的计算过程如下:

$$a_{ij} = x_{ij} / X_i \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

其中, x_{ij} 为 i 部门消耗 j 部门产品的价值量; X_i 为部门 i 的总投入。进一步, 本文定义基于成本的直接消耗系数矩阵为 $\tilde{A}_{N \times N} = (\tilde{a}_{ij})$, 其中, $\tilde{a}_{ij} = a_{ij} / (1 - \alpha_i)$ 。由定义, 有 $\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} = 1$ 。

接着, 使用 $L_{N \times N} = (l_{ij})$ 表示 Leontief 逆矩阵, L 与直接消耗系数矩阵 A 满足如下关系:

$$L = (I - A)^{-1} \quad (6)$$

最后, 用 $\lambda_{N \times 1}$ 表示多马权重矩阵, 其中, λ_k 表示为:

$$\lambda_k = \frac{p_k Y_k}{\sum_{k=1}^n p_k c_k} = \frac{p_k Y_k}{GDP} \quad (7)$$

由于部门 i 的产出不仅可以作为最终消费品, 也可以作为中间投入品, 必有 $\sum_{k=1}^n \lambda_k > 1$ 。

3. 均衡求解

(1) 生产率冲击对产品相对价格的影响。本文构建代表性企业的利润最大化函数:

$$\max \pi_i = p_i z_i \xi_i l_i^{\alpha_i} \left(\sum_{j=1}^n a_{ij}^{\sigma_i} x_{ij}^{1-\sigma_i} \right)^{(1-\alpha_i)\sigma_i/(\sigma_i-1)} - w l_i - \sum_{j=1}^n x_{ij} p_j \quad (8)$$

那么, 由最优化可求解得到:

$$l_i = \frac{\alpha_i p_i Y_i}{w}; \quad x_{ij} = (1 - \alpha_i) p_i Y_i a_{ij} p_j^{-\sigma_i} \left(\sum_{k=1}^n a_{ik} p_k^{1-\sigma_i} \right)^{-1} \quad (9)$$

将式(9)代入式(1),可以得到产品价格的表达式:

$$p_i = z_i^{-1} \cdot w^{\alpha_i} \left(\sum_{k=1}^n \tilde{a}_{ik} p_k^{1-\sigma_i} \right)^{(1-\alpha_i)/(1-\sigma_i)} \quad (10)$$

定义相对价格 $\hat{p}_i = p_i/w$, 对式(10)进行对数线性化处理, 可得:

$$\ln \hat{p}_i = -\ln z_i + \frac{1-\alpha_i}{1-\sigma_i} \times \ln \left(\sum_{k=1}^n \tilde{a}_{ik} \hat{p}_k^{1-\sigma_i} \right) \quad (11)$$

由于 $\ln z_i = \sum_{j=1}^n \phi_{ij} \varepsilon_j$, 可知, 当所有行业的初始生产率冲击等于0时, $p = w$ 在所有行业中成立。

那么, 在 $\varepsilon = 0$ 处, 将式(11)对 ε_j 求一阶微分, 并通过矩阵改写, 可以得到:

$$\left. \frac{d \ln \hat{p}}{d \varepsilon_j} \right|_{\varepsilon=0} = -\Phi_{\cdot j} + A \frac{d \ln \hat{p}}{d \varepsilon_j} \Rightarrow \left. \frac{d \ln \hat{p}}{d \varepsilon_j} \right|_{\varepsilon=0} = -(I - A)^{-1} \Phi_{\cdot j} = -L \cdot \Phi_{\cdot j} \quad (12)$$

其中, $\ln \hat{p} = [\ln \hat{p}_1, \dots, \ln \hat{p}_n]'$, $\Phi_{\cdot j}$ 为行业技术关联矩阵 Φ 中的第 j 列向量。因此, 可以解得生产率冲击 ε_j 对产品相对价格 $\hat{p}_i$ 的影响, 为:

$$\left. \frac{d \ln \hat{p}_i}{d \varepsilon_j} \right|_{\varepsilon=0} = -\sum_{i=1}^n l_{it} \phi_{ij} \quad (13)$$

(2) 生产率冲击对多马权重的影响。代表性家庭效用最大化问题可以表示为:

$$\max u(c_1, \dots, c_n) = \sum_{i=1}^n \beta_i \ln \left(\frac{c_i}{\beta_i} \right) + \rho \cdot \left(w - \sum_{i=1}^n p_i c_i \right) \quad (14)$$

其中, ρ 为拉格朗日乘子。由此, 可进一步解得代表性家庭对商品 i 的需求函数:

$$c_i = \beta_i w / p_i \quad (15)$$

将市场出清条件代入式(7), 可得: $\lambda_i = p_i y_i / GDP = p_i (c_i + \sum_{k=1}^n x_{ki}) / GDP$, 那么, 将式(15)和 $w = GDP$ 进一步代入 λ_i , 可得:

$$\lambda_i = \beta_i + \sum_{k=1}^n \left(\frac{p_k y_k}{GDP} \cdot \frac{p_i x_{ki}}{p_k y_k} \right) = \beta_i + \sum_{k=1}^n \left(\lambda_k \cdot \frac{p_i x_{ki}}{p_k y_k} \right) \equiv \beta_i + \sum_{k=1}^n \lambda_k \cdot \omega_{ki} \quad (16)$$

其中, $\omega_{ki} = (p_i x_{ki}) / (p_k y_k)$ 为行业 k 使用行业 i 的产品作为中间投入的支出份额。

那么, 在等式两侧同时对 ε_j 求微分, 则有:

$$\frac{d \lambda_i}{d \varepsilon_j} = \sum_{k=1}^n \left(\lambda_k \cdot \frac{d \omega_{ki}}{d \varepsilon_j} \right) + \sum_{k=1}^n \left(\frac{d \lambda_k}{d \varepsilon_j} \cdot \omega_{ki} \right) \quad (17)$$

其中, 将 x_{ij} 的最优解代入 ω_{ki} , 可以得到:

$$\omega_{ki} = (1 - \alpha_k) a_{ki} \hat{p}_i^{1-\sigma_k} \left(\sum_{r=1}^n a_{kr} \hat{p}_r^{1-\sigma_k} \right)^{-1} \quad (18)$$

将支出份额 ω_{ki} 对生产率 ε_j 进行求导, 在 $\varepsilon = 0$ 处代入 (相当于一阶近似), 可得:

$$\left. \frac{d \omega_{ki}}{d \varepsilon_j} \right|_{\varepsilon=0} = a_{ki} \cdot (1 - \sigma_k) \cdot \left[\frac{d \ln \hat{p}_i}{d \varepsilon_j} - \sum_{r=1}^n \left(\tilde{a}_{kr} \cdot \frac{d \ln \hat{p}_r}{d \varepsilon_j} \right) \right] \quad (19)$$

当 $\varepsilon = 0$ 时, 有 $\omega_{ki} = a_{ki}$, 将式(19)代入式(17)可得:

$$\left. \frac{d \lambda_i}{d \varepsilon_j} \right|_{\varepsilon=0} = \sum_{k=1}^n \lambda_k a_{ki} (1 - \sigma_k) \left[\frac{d \ln \hat{p}_i}{d \varepsilon_j} - \sum_{r=1}^n \left(\tilde{a}_{kr} \frac{d \ln \hat{p}_r}{d \varepsilon_j} \right) \right] + \sum_{k=1}^n \left(a_{ki} \frac{d \lambda_k}{d \varepsilon_j} \right) \quad (20)$$

使用矩阵求逆的方式, 可进一步解得:

$$\begin{aligned} \left. \frac{d\lambda_i}{d\varepsilon_j} \right|_{\varepsilon=0} &= \sum_{k=1}^n \lambda_k (\sigma_k - 1) (1 - \alpha_k) \left[\sum_{s=1}^n \tilde{a}_{ks} l_{si} \sum_{t=1}^n l_{st} \phi_{tj} - \sum_{s=1}^n \tilde{a}_{ks} l_{si} \sum_{r=1}^n \tilde{a}_{kr} \sum_{t=1}^n l_{rt} \phi_{tj} \right] \\ &\equiv \sum_{k=1}^n \lambda_k (\sigma_k - 1) (1 - \alpha_k) \cdot \text{Cov}_{\tilde{A}_k} \left(l_{\cdot i}, \sum_{t=1}^n l_{\cdot t} \phi_{tj} \right) \end{aligned} \quad (21)$$

其中, $\tilde{A}_k$ 和 $l_{\cdot i}$ 分别表示对应矩阵的 k 行和 i 列。

(3) 生产率冲击对行业总产出的影响。由 $\lambda_i = p_i y_i / \text{GDP}$ 、 $\text{GDP} = w$ 可知, $y_i = (\hat{p}_i)^{-1} \lambda_i$ 。那么, 将行业产出等式左右两侧进行线性化处理, 可得:

$$\ln y_i = -\ln \hat{p}_i + \ln \lambda_i \quad (22)$$

由此, 将式(22)对生产率 ε_j 进行求导可得:

$$\frac{d \ln y_i}{d \varepsilon_j} = -\frac{d \ln \hat{p}_i}{d \varepsilon_j} + \frac{1}{\lambda_i} \cdot \frac{d \ln \lambda_i}{d \varepsilon_j} \quad (23)$$

将式(13)和式(21)代入上式, 可以得到生产率冲击 ε_j 对总产出 y_i 在 $\varepsilon = 0$ 处的影响:

$$\left. \frac{d \ln y_i}{d \varepsilon_j} \right|_{\varepsilon=0} = \frac{1}{\lambda_i} \sum_{k=1}^n \lambda_k (\sigma_k - 1) (1 - \alpha_k) \cdot \text{Cov}_{\tilde{A}_k} \left(l_{\cdot i}, \sum_{t=1}^n l_{\cdot t} \phi_{tj} \right) + \sum_{t=1}^n l_{it} \phi_{tj} \quad (24)$$

不考虑技术关联, 即 Carvalho and Tahbaz-Salehi(2019)讨论的情况下, 上式变为:

$$\left. \frac{d \ln y_i}{d \varepsilon_j} \right|_{\varepsilon=0} = \frac{1}{\lambda_i} \sum_{k=1}^n \lambda_k (\sigma_k - 1) (1 - \alpha_k) \cdot \text{Cov}_{\tilde{A}_k} (l_{\cdot i}, l_{\cdot j}) + l_{ij} \quad (25)$$

而在不考虑技术关联及 CD 生产函数设定下, 上式可进一步变为:

$$\left. \frac{d \ln y_i}{d \varepsilon_j} \right|_{\varepsilon=0} = l_{ij} \quad (26)$$

式(26)、式(25)、式(24)依次反映了 j 行业冲击通过投入产出关联对 i 行业的直接效应、由产品之间的互补替代关系(生产网络连通性)带来的再分配效应、引入产品网络后的技术关联效应。那么, 对比式(24)和式(26)可知, 技术关联的引入使生产网络的冲击传导变得更加复杂: 冲击既会通过技术关联进行传导, 也会通过生产网络影响其他行业。比较式(25)和式(26)可知, 式(24)加号前第一项实际上捕捉的是再分配效应。对此, 不失一般性, 本文以简化的图1说明不同网络的传导效应。

假设存在一个同时位于 i 行业和 j 行业下游的行业 k , 那么式(24)中协方差第一项对应图1(a)的传导路径: 行业 j 先通过技术关联影响其他行业的生产率, 再通过生产关联经过供应商 s 影响客户

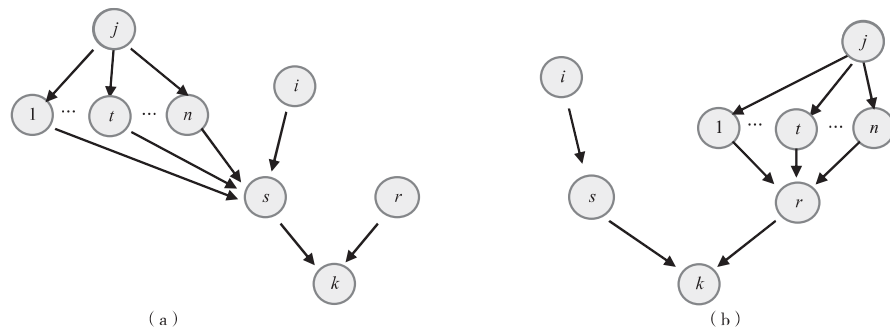


图1 包含技术关联的“再分配渠道”工作原理

行业 k ；行业 i 直接经过供应商 s 影响客户行业 k 。由于行业 i 和行业 j 都通过相同的供应商 s 影响客户行业 k ，这部分实际上捕捉了互补关系下的冲击传导过程。式(24)协方差的第二项对应图 1(b)的传导路径：行业 j 先通过技术关联影响其他行业的生产率，再经过供应商 r 影响客户行业 k ；行业 i 直接通过经过供应商 s 影响客户行业 k 。由于行业 i 和行业 j 是通过不同的供应商影响客户行业 k ，这部分实际上捕捉了替代关系下的冲击传导过程。

由于 s 行业和 r 行业均有可能等于客户行业 k ，也有可能不等于客户行业 k ，这进一步表明，行业 j 所发出的冲击，既可以直接作用目标对象，也可以分别经由互补性质和替代性质的“再分配渠道”，间接作用目标对象；而后的再分配效应，显著放大了行业 j 的冲击影响。

此外，不管替代弹性更趋近完全替代关系 ($\sigma > 1$)、抑或更趋近完全互补关系 ($\sigma < 1$)，式(24)第一项(再分配效应)总是为负^①。进一步地，由于 $\sum_{i=1}^n l_{ui} \phi_{ij}$ 捕捉了引入技术关联的直接效应，且大于 l_{ij} ，而再分配效应与 $\sum_{i=1}^n l_{ui} \phi_{ij}$ 的作用相反。这表明，技术关联的引入放大了负向生产率冲击的影响，但再分配效应可以缓冲生产率冲击的作用。

(4) 生产率冲击如何重塑总经济变量。由 $GDP = w$ ，居民最优消费 $c_i = \beta_i w / p_i$ ，可知：

$$\ln GDP = - \sum_{i=1}^n \left[\beta_i \ln \left(\frac{p_i}{GDP} \right) \right] = - \sum_{i=1}^n \beta_i \ln \hat{p}_i \quad (27)$$

其中，综合价格指数设定为 1。式(27)两边同时对生产率 ε_j 求导，可得：

$$\frac{d \ln GDP}{d \varepsilon_j} = \sum_{i=1}^n \beta_i \frac{d \ln \hat{p}_i}{d \varepsilon_j} = \sum_{i=1}^n \beta_i \sum_{i=1}^n l_{ui} \phi_{ij} \quad (28)$$

由于多马权重 $\lambda_i = \beta_i + \sum_{k=1}^n \lambda_k \cdot \omega_{ki}$ ，且当 $\varepsilon = 0$ 时，有 $\omega_{ki} = a_{ki}$ ，可得 $\lambda_i = \sum_{j=1}^n \beta_j l_{ji}$ 。将其代入上式，可以推导式(28)变化如下：

$$\frac{d \ln GDP}{d \varepsilon_j} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \phi_{ij} \quad (29)$$

可见，行业 j 的生产率变化对 GDP 的影响不再等于 λ_j ，而是受到技术关联 ϕ_{ij} 的影响。这反驳了 Carvalho and Tahbaz-Salehi(2019)的推论：在一个有效率的经济中，对于任何家庭偏好和生产技术，行业 i 生产率变化对 GDP 的影响总等于行业 i 的多马权重(Hulten 定理的广泛性)。

四、数据处理、数据来源和参数估计

1. 技术“卡脖子”行业识别

2008 年国际金融危机造成世界贸易急剧下滑，全球价值链遭受重大挫折。以美国为首的发达国家开始提出“工业回流”发展计划，动摇了全球贸易自由化的发展信心。2017 年 8 月，美国对中国的贸易行为启动“301 条款”调查，并于 2018 年 3 月 22 日宣称中国采取不公平贸易行为。基于这些理由，美国从 2018 年 7 月开始对中国出口产品实施了五轮加关税行为。2019 年 12 月，为迎接第一阶段协议，美国和中国取消了第六轮关税。2020 年 1 月协议签署后，双方同意将 2019 年 9 月的关税减半。但随着美国总统特朗普第二次入主白宫，美国对华关税提升再次席卷而来。

随着中美贸易竞争不断加剧，中国企业不得不考虑自身及其所属行业是否会进入技术限制的范围，即使现在未落入限制的范围，也会担心未来限制扩大的潜在威胁。特别是，在中美竞争持续

^① 不同替代弹性下生产率冲击影响大小的推导，参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

升级期间,美国于2020年颁布《关键和新兴技术清单》,明确将中国列为重点关注对象之一,随后该清单于2022年、2024年进行多次修订和调整,至今仍为对中国技术限制的主要文件之一。为此,本文根据《关键和新兴技术清单》,识别美国实施技术“卡脖子”的行业。

以2017年《中国投入产出表》的149部门为行业标准,受限行业名单包括:①金属制品行业(大类15行业;对应小类33066行业);②电气机械和器材行业(大类19行业;对应小类38082、38083、38084、38085、38086和38087行业);③通信设备、计算机和其他电子设备业(大类20行业;对应小类39088、39089、39090、39091、39092和39093行业);④仪器仪表业(大类21行业;对应小类40094行业);⑤电力、热力生产和供应行业(大类24;对应小类44098行业);⑥信息传输、软件和信息技术服务业(大类31行业;对应小类63121、63122、64123、65124和65125行业);⑦研究和试验发展业、综合技术服务业(大类35和36行业;对应小类73132、74133和75134行业);⑧通用、专用设备制造行业(大类16和17行业;对应小类34067、34068、34069、34070、34071、34072、35073、35074、35075和35076行业)。这些行业与美国实施出口管制实体清单、2018年《科技日报》公布的“卡脖子”技术目录等列示行业清单都十分相近。这表明,这些行业可以反映美国实施技术限制的真实倾向。

2. 数据说明与行业清洗

本文主要使用2000—2016年的中国海关贸易数据库和2017—2020年国家统计局公布的《中国投入产出表》。具体匹配和清洗过程如下:①将IO表的行业部门都统一为2017年149部门标准(简称IO2017)。②将海关编码统一为1996年版本HS编码(简称HS1996)。③由于IO2017的前两位代码与GB/T 4754—2017(简称CIC2017)的前两位代码基本一致(在IO2017中,仅有81行业“其他服务”与CIC2017不一致),且后三位代码顺序与CIC四位码顺序一一对应,本文以此匹配IO2017和CIC2017。④根据Brandt et al.(2017)给出CIC2002与HS1996的匹配规则,本文先将CIC2017转换为CIC2002,得到CIC2017—HS1996的匹配关系,并最终得到IO2017—CIC2017—HS1996匹配关系。最后,本文参考Ahn et al.(2011)识别中间商,并使用剔除中间商的样本展开后续测算。

3. 参数估计

(1)行业技术关联矩阵。早期的研究通过两个产品被同一国家出口的条件概率来测算产品间的相似性(Hidalgo et al., 2007)。而随着研究视角从宏观转入微观,新近文献开始通过两种产品被同一企业出口的条件概率,测算产品间的技术关联程度(余壮雄和董洁妙,2020;郭琪等,2020)。因此,沿用最新思路,具体计算式如下:

$$\varphi_{j'it} = \min \left\{ \text{Num}_{(j \cap j'),t} / \text{Num}_{j,t}, \text{Num}_{(j \cap j'),t} / \text{Num}_{j',t} \right\} \quad (30)$$

其中, j 和 j' 对应2017年投入—产出行业版本的149部门行业; $\text{Num}_{j,t}$ 表示 t 年行业 j 出口的企业数量, $\text{Num}_{(j \cap j'),t}$ 表示 t 年同时在行业 j 和行业 j' 出口的企业数量。

基于2002—2016年海关数据,本文共计得到91个部门两两之间的技术关联程度,数据缺失的部门主要集中在农业,以及其他服务业。图2展示了部门间技术关联特征,颜色越浅,技术关联程度越强,越深则越弱,对角线部分表示完全关联(关联程度取值为1)。结果表明:①对角线上部门内部的技术关联度最高。②在更靠近制造业的部门(图中右下侧)中,热力图的颜色更浅。这表明,制造业内部生产技术关联度更强,对生产过程其他部门的依赖程度更高。

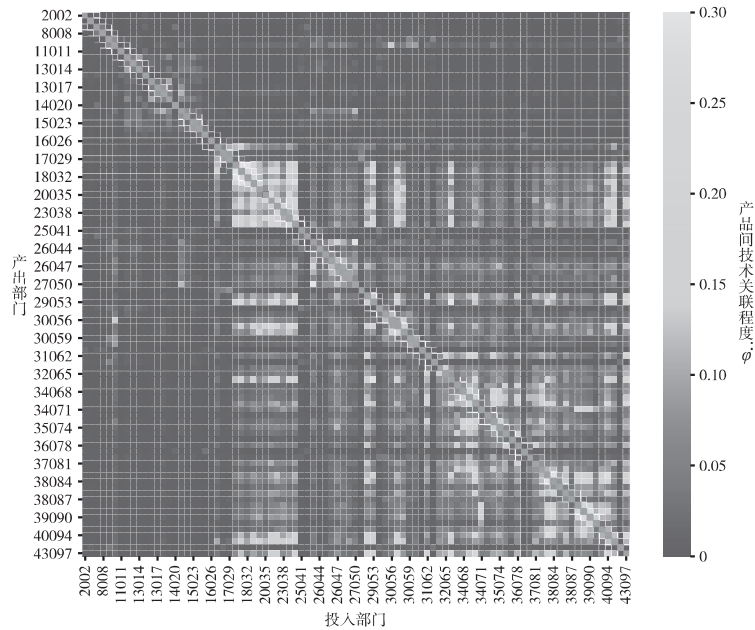


图2 行业间技术关联程度热力图

为了更直观地展示技术关联特征,图3绘制了技术关联程度的最小生成树骨架图,并对技术关联程度大于0.1的所有链路进行连接。深色节点(受限行业)正位于整个产品网络信息流动主脉络(骨架)的中心;被“卡脖子”行业刚好处于产业网络的信息流通“中心”。一旦这些行业部门受限,不仅会加大产品网络发生“断裂”的风险,而且会迅速向其他部门传播,造成更大的负面影响。

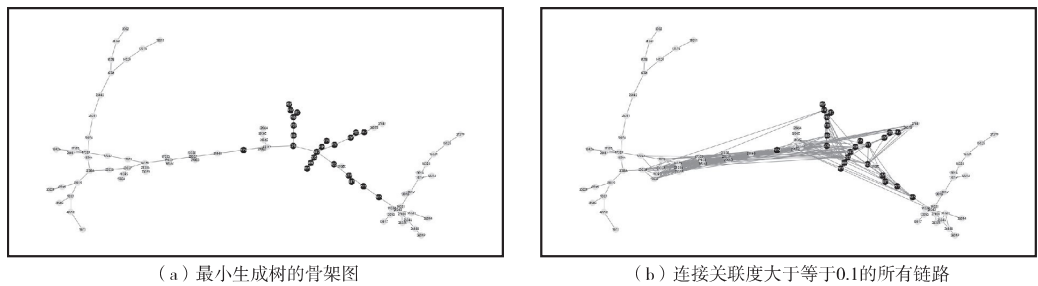


图3 行业间技术关联程度的骨架图

(2)其他参数。本文还进一步测算了直接消耗系数 a_{ij} ,使用 j 行业到 i 行业的投入品占 i 行业总投入之比计算得到;多马权重 λ ,使用行业 i 产出占GDP之比计算得到;中间投入的替代弹性参考Baqae and Farhi(2019)的设定,使用 $\sigma_i = 0.2$ 。

五、技术限制冲击的影响测算

1. 负向生产率冲击的整体影响

图4展示了负向生产率冲击对行业相对价格、多马权重、总产出和宏观GDP的影响。其中,

本文以2000—2016年技术关联度平均值作为标准,对于存在缺失值的部门,使用各年均值作为替代。

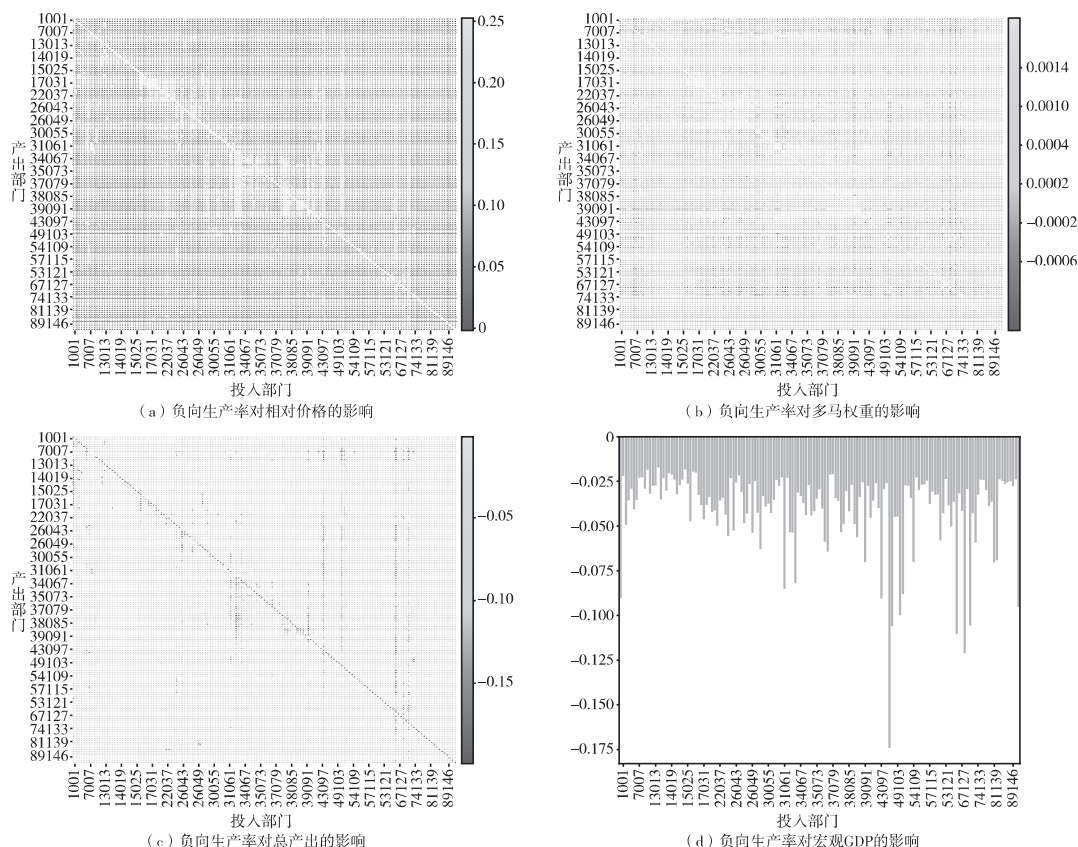


图4 负向生产率冲击的整体影响

注:图中横轴表示行业部门,相关代码参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件,下图同。

如图4所示,基于不同图例取值可知,负向生产率冲击会提高行业相对价格、降低行业总产出,带来宏观GDP的明显下降,但对行业多马权重的影响有正有负。进一步分析发现,负向生产率冲击对行业多马权重的影响,远远小于其对行业相对价格、行业总产出的影响。这说明,负向生产率是通过提高行业的相对价格、降低行业总产出,进而造成GDP的明显下降。

此外,图4结果还表明,不止对角线节点对负向生产率冲击最为敏感,越靠近中间地带的节点对负向生产率冲击也更为敏感。行业间技术关联在对角线上最强,表明技术关联的引入会显著放大负向生产率的冲击影响。鉴于图4中技术“卡脖子”的行业处于产品网络中间地带,上述结果可能是因为,技术“卡脖子”行业具有较强的扩散效应(单一行业发生冲击对其他行业的影响之和)和感应效应(单一行业接受其他行业冲击的影响之和)。

为了验证上述论点,本文计算总产出相关的扩散效应和感应效应,并以图5(a)和图5(b)展示。在扩散效应部分,受限部门的负效应更突出;而在感应效应部分,受限部门和非受限部门比较接近。这表明,虽然所有部门的感应效应基本接近,但大部分受技术限制部门都具有更高的扩散效应。

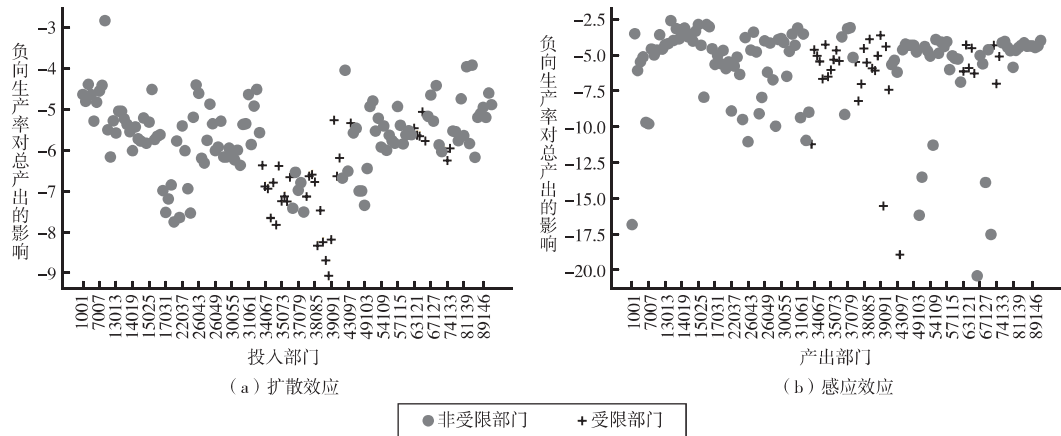


图5 受限制部门与非受限部门的对比

2. 行业受技术“卡脖子”冲击的整体影响

为了展示美国技术限制的冲击影响,本文锁定受限行业展开进一步分析。图6(a)、图6(b)和图6(c)分别绘制了负向生产率对行业相对价格、多马权重和总产出的影响,图6(c)添加了各个行业受到的感应效应;图6(d)绘制了受限行业的负向生产率冲击对宏观GDP的影响。对于技术“卡脖子”部门而言,负向生产率冲击会使行业相对价格提高、总产出下降,继而带来宏观GDP的显著

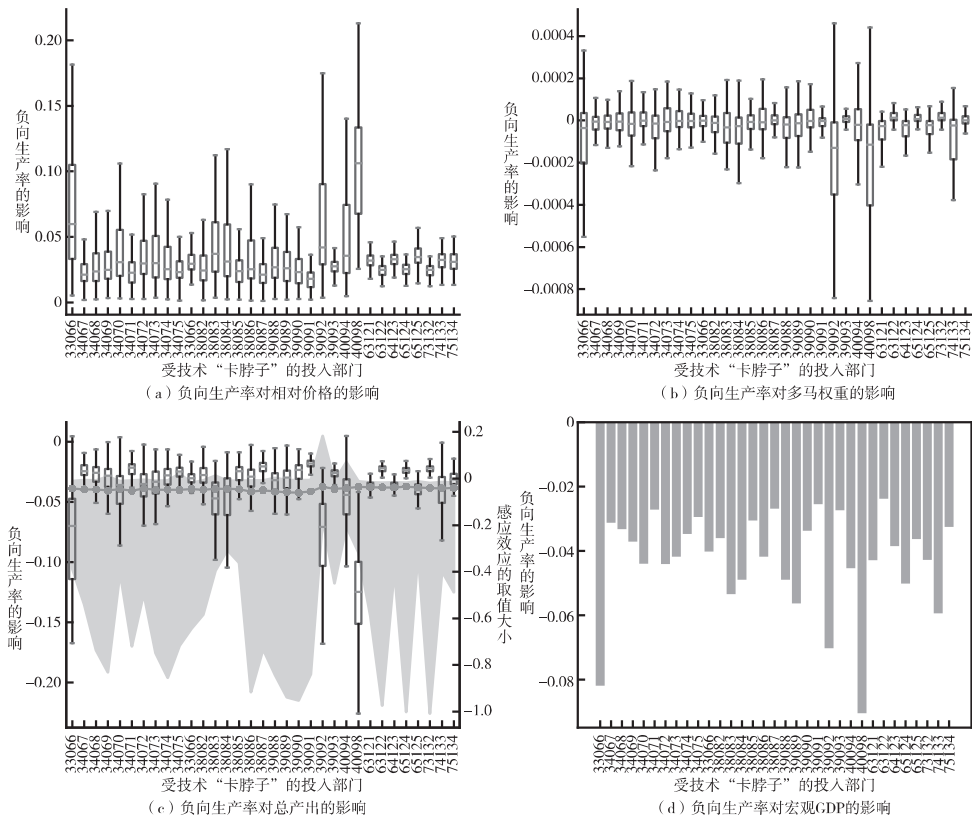


图6 受技术“卡脖子”行业的负向生产率冲击的影响

下降,但对多马权重的影响较小。具体地,在这些行业中,行业生产率每下滑1个百分点,将导致GDP下降的幅度为0.02个百分点至0.09个百分点,平均约下降0.04个百分点;平均到投入产出结构的149个部门,该影响是非常大的。

此外,比较各个箱子的取值高低范围可知,负向生产率冲击影响较强的部门是33066(金属制品业)、39092(电子元器件业)和44098(电力、热力生产和供应业)。这可能与行业的特性相关:①金属制品业一直是中国对美国出口占比前五大行业之一,且金属制造业对美国GDP的贡献超过0.5%,是美国扩大就业规模的重要回流行业,促使其成为中美贸易竞争的重点领域。②电子元器件业包含半导体、集成电路、光电子等高端芯片、电子产品的制造范畴,是中美进行技术博弈的重要领域。③电力、热力生产和供应业不仅包含新能源的生产,而且所有行业的生产都需要这一行业的供应。该行业生产率下降将对其他行业部门产生明显的负向影响。

3. 行业受技术“卡脖子”冲击的时间趋势分析

为了进一步掌握美国技术限制所造成的冲击影响的规律,本文保留技术“卡脖子”行业,图7绘制了冲击影响的趋势。结果表明,2017—2020年,美国技术限制所引发的负向生产率冲击正在持续走强。这可能与该时期中美贸易竞争不确定性增加的背景有关。但这一负向生产率冲击的负向影响增速存在轻微缩小的趋势。可能是因为,中国积极与世界其他国家开展贸易与技术合作;特别是“一带一路”倡议的提出,有效降低了对美国经济与技术的依赖。整体上,由技术限制所引发的负向影响始终维持在一个比较稳定的幅度。这意味着,使用2017—2020年数据估算技术限制的影响,对现阶段理清中美贸易关系变动的的影响具有较强的指导意义。

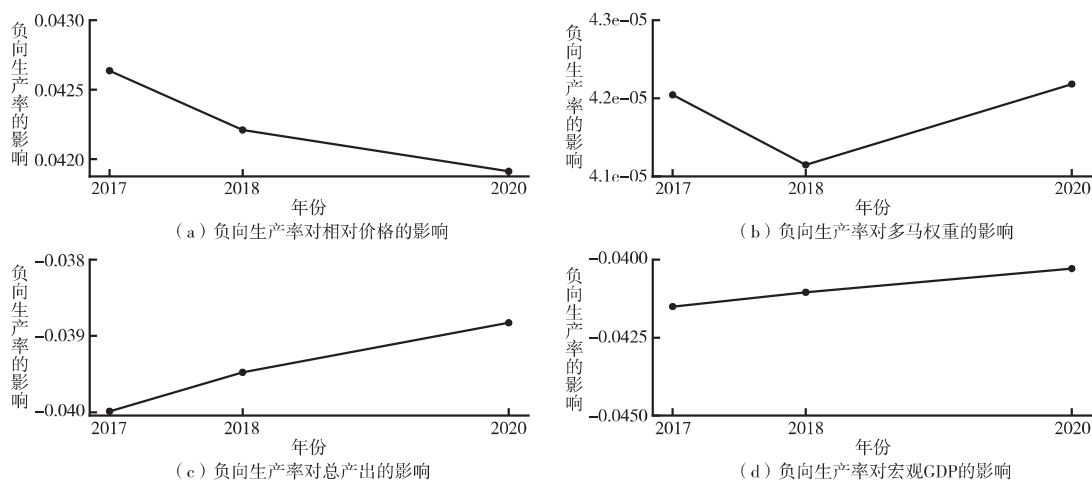


图7 技术“卡脖子”行业的负向生产率冲击的影响趋势

六、技术限制冲击的传导特征分析

1. 投入产出关联的传导路径分析

鉴于CD生产函数的设定意味着冲击不会改变部门之间的投入产出结构,明显不符合现实,因

此,最新研究(Carvalho et al., 2021)普遍使用CD嵌套CES的生产函数建模,并将这种结构变化所产生的影响称为再分配效应(Baqae and Farhi, 2019)。对此,本文通过比较不同生产函数设定下的冲击差异,识别再分配效应。在不考虑技术关联的前提下,图8^①分别基于CD生产函数和CD嵌套CES生产函数,绘制了冲击平均影响的面积图。

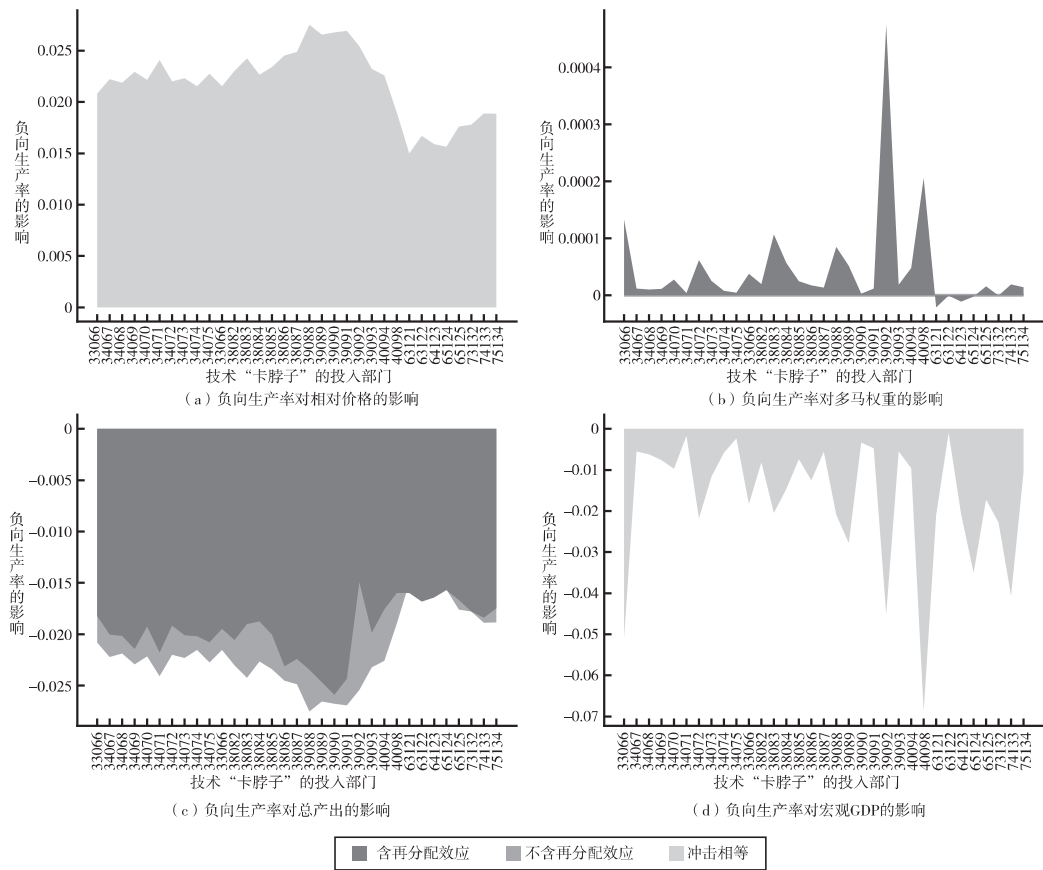


图8 负向生产率冲击的投入产出关联传导路径

如图8(a)所示,负向生产率对行业相对价格的影响始终完全一致。这表明,再分配效应并不通过调整行业要素价格影响行业总产出,进而影响宏观GDP。图8(b)显示,在CD生产函数下,负向生产率冲击对行业多马权重的影响为0,但在CD嵌套CES生产函数下,负向生产率冲击对行业多马权重的影响为正。这表明,在生产网络框架下,行业 j 是通过改变行业间的销售分配(多马权重)发挥后续影响。图8(c)显示,与CD生产函数相比,在CD嵌套CES生产函数中,负向生产率冲击对行业总产出的负向影响相对较弱。这表明,再分配效应可以削弱负面生产率冲击所带来的影响。最后,图8(d)显示,负向生产率冲击对宏观GDP的影响在两种生产函数设定下完全一致。这表明,在不引入技术关联的前提下,Hulten定理的成立具有广泛性。

^① 两种生产函数设定下的推导结果,参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

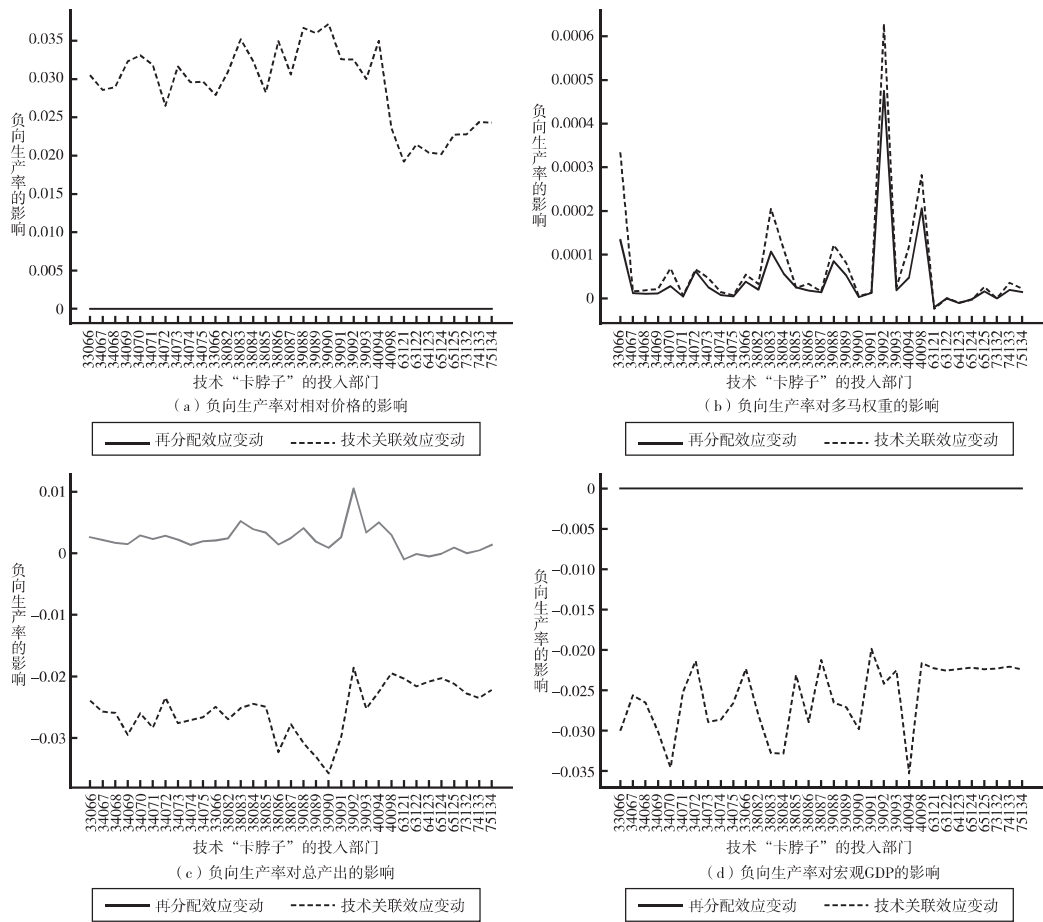


图 10 再分配效应和技术关联效应的对比分析

七、稳健性分析

在稳健性检验部分,本文使用新的技术关联度、中间弹性进行分析,以考察结果是否可靠。^①

1. 技术关联度的稳健性

在基准分析中,本文使用2000—2016年的平均技术关联度捕捉不同产业间的技术关联,进而量化美国实施技术限制所带来的影响。然而,不同年度的技术关联度测算是否会对结果造成较大的偏差,从而导致冲击量化结果的不稳健?为了回应这一问题,本文以2016年的技术关联度进行稳健性分析。一方面,与图6保持一致,基于技术“卡脖子”行业的负向生产率冲击影响的检验表明,更换技术关联度后,负向生产率冲击仍是通过降低行业相对价格和行业总产出,进而导致宏观GDP的下降;并且,负向生产率对外扩散较强的部门仍然是33066(金属制品业)、39092(电子元器件业)和44098(电力、热力生产和供应业)。另一方面,与图10保持一致,更换技术关联度后,再分配效应仍是通过改变行业多马权重影响行业总产出,但不改变Hulten定理的广泛性;并且,技术关联效应放大了负向生产率冲击对行业相对价格、总产出、宏观GDP的影响,但推翻了Hulten定理的广泛性。因此,整体上,更换技术关联

^① 稳健性检验结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

度的测算并不会动摇技术“卡脖子”的基础影响及其机制。

2. 不同弹性的稳健性

在基准量化分析的过程中,本文沿用了 Baqaee and Farhi(2019)的设定,设定不同中间投入之间的替代弹性为0.2进行了量化估计。但是,考虑到不同研究对替代弹性的测算结果存在差异,可能引发的一个担忧是,不同的替代弹性是否会动摇基准结果的结论?考虑到 Atalay(2017)曾测算不同行业生产中间投入的替代弹性,发现这些弹性总是低于0.2,不失一般性,本文此处设定不同中间投入之间的替代弹性为0.1进行稳健性分析。相关结果显示:一方面,与图6保持高度一致,基于“卡脖子”行业的负向生产率冲击的影响检验表明,更换替代弹性后,负向生产率冲击仍是通过降低行业相对价格、行业总产出,造成宏观GDP的下降;负向生产率对外扩散较强的部门仍然保持不变。另一方面,与图10保持高度一致,更换替代弹性后,再分配效应可以缓解冲击影响程度,但不改变 Hulten 定理的广泛性;而技术关联效应放大了负向生产率冲击的影响,但会推翻 Hulten 定理的广泛性。整体上,这些结果表明,在新的替代弹性下,技术“卡脖子”的影响测算结果仍然保持稳定。

八、结论与政策启示

当前,中美之间的贸易不确定性仍在增加,并伴随着美国技术限制程度的相应提高。为此,各大经济体都重点关注这些受技术限制行业的生产率变化,谨防其负向冲击通过生产网络和产品网络在整个经济系统中广泛传播,从而对宏观经济产生难以忽视的风险和挑战。在此背景下,本文在生产网络分析框架上,引入产品网络的技术关联矩阵,建立了一个糅合生产网络和产品网络传导特征的量化分析框架,探讨美国技术限制所引发的生产率下降将如何影响微观经济,进而引起宏观经济增长的变化。研究发现:①技术限制的目标行业大多处于产品网络信息流通和集聚的关键位置。一旦这些行业遭受技术限制,不仅导致更高的“断链”风险,还更容易通过网络传导。②在中国现有的生产网络结构中,负向生产率冲击主要通过提高行业相对价格、降低行业总产出,造成宏观GDP显著下降,但这一冲击对行业销售份额(多马权重)的影响较小。③针对受限制行业进行分析发现,技术限制引发的负向生产率冲击对这些行业的经济指标影响与整体保持一致。其中,受冲击影响最大的行业是:金属制品业,电子元器件业,电力、热力生产和供应业。平均看,行业生产率水平每下滑1%,GDP约下降0.04%,对宏观经济的影响不容小觑。④进一步研究网络的传导特征发现,生产网络的再分配效应可以缓冲负面生产率冲击的影响,但不会改变 Hulten 定理的广泛性。技术关联效应不仅放大了负向生产率冲击的影响,而且推翻了 Hulten 定理的广泛性。⑤稳健性分析发现,更换技术关联度、更换替代弹性的量化结果仍与上述结论保持一致。

本文的研究结论对于如何合理应对中美技术竞争冲击、提高中国经济系统的韧性具有如下几点政策启示:①构建自主创新体系,提升“源头”抗压能力。本文研究显示,部分行业技术限制的冲击会通过产品网络的技术关联和生产网络的投入产出关联传导,影响其他未受技术限制的行业,对宏观经济稳定产生难以忽视的影响。因此,提升负面冲击的抗压能力应从“源头”抓起,不仅要加强各行业的自主创新能力,而且要重点围绕受限制行业建设技术储备和推动产学研合作,以尽可能减轻技术限制带来的初始生产水平和效率受损。②强化产业链上下游安全体系,发挥生产网络的缓冲效应。本文研究表明,生产网络的再分配效应可以在一定程度上缓解负向生产率冲击所带来的影响。因此,应着重加强和维护产业链条的安全和韧性,建立比较完善的产业链和产品网络,以充分确保生产网络投入产出的流转顺畅,以更好发挥再分配效应的缓冲作用。③构建分层次的技术

关联治理体系。本文研究表明,技术关联对宏观经济的影响具有两面性。一方面,技术关联促进了技术的传播和应用,提高了经济的整体效率;另一方面,其也会放大负向冲击的影响,特别是在面对技术“卡脖子”冲击时,生产率的下降可能通过技术关联在经济中进一步传播和放大。因此,应充分认识技术关联的影响,建立起以核心产业为支点的多层次治理体系。例如,政府可以加强产品网络中信息流密集节点的安全防护,重点关注处于“卡脖子”风险高发位置的中间环节行业;可以设立专项技术应急基金,对受限企业给予即时财政、技术或市场支持,以避免局部冲击演变为系统性风险;还可以通过立法保护技术产权与数据安全,防止核心技术向外流失,增强产业系统的内生稳定性。

④重新评估小行业的系统重要性,完善风险识别体系。在经典 Hulten 定理中,行业生产率对 GDP 的影响强弱主要取决于行业的销售规模大小。但本文研究表明,如果目标行业处于产品网络信息流动集聚的关键节点,即使这个行业规模相对较小,其仍能对整个经济产生难以忽视的作用。因此,政府不仅应关注规模较大行业受冲击所带来的影响,也应识别不同层级网络的关键节点,并加以维护 and 风险管理,尽可能缓解负向生产率冲击对经济系统造成较大的负面影响。

⑤推动内外循环协调发展,构建开放安全的外部环境,以应对全球经济不确定性的挑战。例如,政府应加强与世界其他国家的贸易与技术合作,特别是与“一带一路”地区的深度合作,降低对单一国家经济与技术的过度依赖。

〔参考文献〕

- 〔1〕程嘉嘉,余壮雄,董洁妙.产品网络、信息流动与产品出口[J].统计研究,2024,(6):57-70.
- 〔2〕董洁妙,余壮雄.产品配置如何让出口企业变得更清洁[J].中国工业经济,2021,(8):171-188.
- 〔3〕樊海潮,张军,张丽娜.开放还是封闭——基于“中美贸易摩擦”的量化分析[J].经济学(季刊),2020,(4):1145-1166.
- 〔4〕郭琪,周沂,贺灿飞.出口集聚、企业相关生产能力与企业出口扩展[J].中国工业经济,2020,(5):137-155.
- 〔5〕寇宗来,孙瑞.技术断供与自主创新激励:纵向结构的视角[J].经济研究,2023,(2):57-73.
- 〔6〕李宁静,李春顶.技术断供与市场多元化开拓——基于贸易网络视角[J].中国工业经济,2024,(10):100-117.
- 〔7〕刘守英,杨继东.中国产业升级的演进与政策选择——基于产品空间的视角[J].管理世界,2019,(6):81-94.
- 〔8〕刘维林,程倩.数字产业渗透、全球生产网络与非对称技术溢出[J].中国工业经济,2023,(3):96-114.
- 〔9〕王群勇,李月,薛彦.国内国际双循环生产网络的冲击传播:特征与模拟[J].中国工业经济,2023,(7):26-45.
- 〔10〕王霞.中美贸易摩擦对全球制造业格局的影响研究[J].数量经济技术经济研究,2019,(6):22-40.
- 〔11〕王勇.“十四五”时期中国产业升级的新机遇与新挑战:新结构经济学的视角[J].国际经济评论,2021,(1):56-75.
- 〔12〕余壮雄,董洁妙.企业出口行业边际的扩张与收缩[J].世界经济,2020,(2):167-192.
- 〔13〕Acemoglu, D., and A. Tahbaz-Salehi. The Macroeconomics of Supply Chain Disruptions[J]. Review of Economic Studies, 2024, 92(2): 656-695.
- 〔14〕Acemoglu, D., V. M. Carvalho, A. Ozdaglar, and A. Tahbaz-Salehi. The Network Origins of Aggregate Fluctuations[J]. Econometrica, 2012, 80(5): 1977-2016.
- 〔15〕Acemoglu, D., S. Johnson, A. Kermani, and T. Mitton. The Value of Connections in Turbulent Times: Evidence from the United States[J]. Journal of Financial Economics, 2016, 121(2): 368-391.
- 〔16〕Ahn, J. B., A. K. Khandelwal, and S. J. Wei. The Role of Intermediaries in Facilitating Trade[J]. Journal of International Economics, 2011, 84(1): 73-85.
- 〔17〕Atalay, E. How Important Are Sectoral Shocks[J]. American Economic Journal: Macroeconomics, 2017, 9(4): 254-280.
- 〔18〕Auer, R. A., A. A. Levchenko, and P. Sauré. International Inflation Spillovers through Input Linkages[J]. Review of

- Economics and Statistics, 2019, 101(3): 507–521.
- [19] Autor, D. H., D. Dorn, and G. H. Hanson. The China Syndrome: Local Labor Market Effects of Import Competition in the United States[J]. American Economic Review, 2013, 103(6): 2121–2168.
- [20] Baqaee, D. R., and E. Farhi. The Macroeconomic Impact of Microeconomic Shocks: Beyond Hulten’s Theorem[J]. Econometrica, 2019, 87(4): 1155–1203.
- [21] Bernard, A. B., and A. Moxnes. Networks and Trade[J]. Annual Review of Economics, 2018, 10(1): 65–85.
- [22] Brandt, L., J. Van Biesebroeck, L. Wang, and Y. Zhang. WTO Accession and Performance of Chinese Manufacturing Firms[J]. American Economic Review, 2017, 107(9): 2784–2820.
- [23] Caliendo, L., and F. Parro. Estimates of the Trade and Welfare Effects of NAFTA[J]. Review of Economic Studies, 2015, 82(1): 1–44.
- [24] Carvalho, V. M., and A. Tahbaz-Salehi. Production Networks: A Primer[J]. Annual Review of Economics, 2019, 11(1): 635–663.
- [25] Carvalho, V. M., M. Nirei, Y. U. Saito, and A. Tahbaz-Salehi. Supply Chain Disruptions: Evidence from the Great East Japan Earthquake[J]. Quarterly Journal of Economics, 2021, 136(2): 1255–1321.
- [26] Chor, D., and B. Li. Illuminating the Effects of the US–China Tariff War on China’s Economy[J]. Journal of International Economics, 2024, 150: 103926.
- [27] Cicerone, G., P. McCann, and V. A. Venhorst. Promoting Regional Growth and Innovation: Relatedness, Revealed Comparative Advantage and the Product Space[J]. Journal of Economic Geography, 2020, 20(1): 293–316.
- [28] Corong, E. L., T. W. Hertel, R. McDougall, M. Tsigas, and D. Van Der Mensbrugghe. The Standard GTAP Model, Version 7[J]. Journal of Global Economic Analysis, 2017, 2(1): 1–119.
- [29] Costinot, A., and A. Rodríguez-Clare. Trade Theory with Numbers: Quantifying the Consequences of Globalization[A]. Gopinath, G., E. Helpman, and K. Rogoff. Handbook of International Economics[C]. Amsterdam: Elsevier, 2014.
- [30] Desmarchelier, B., P. J. Regis, and N. Salike. Product Space and the Development of Nations: A Model of Product Diversification[J]. Journal of Economic Behavior & Organization, 2018, 145: 34–51.
- [31] Fajgelbaum, P. D., P. K. Goldberg, P. J. Kennedy, and A. K. Khandelwal. The Return to Protectionism[J]. Quarterly Journal of Economics, 2020, 135(1): 1–55.
- [32] Fajgelbaum, P. D., and A. K. Khandelwal. The Economic Impacts of the US–China Trade War[J]. Annual Review of Economics, 2022, 14(1): 205–228.
- [33] Han, P., W. Jiang, and D. Mei. Mapping US–China Technology Decoupling: Policies, Innovation, and Firm Performance[J]. Management Science, 2024, 70(12): 8386–8413.
- [34] Handley, K., and N. Limão. Policy Uncertainty, Trade, and Welfare: Theory and Evidence for China and the United States[J]. American Economic Review, 2017, 107(9): 2731–2783.
- [35] Hidalgo, C. A. Economic Complexity Theory and Applications[J]. Nature Reviews Physics, 2021, 3(2): 92–113.
- [36] Hidalgo, C. A., B. Klinger, A. L. Barabási, and R. Hausmann. The Product Space Conditions the Development of Nations[J]. Science, 2007, 317(5837): 482–487.
- [37] Hulten, C. R. Growth Accounting with Intermediate Inputs[J]. Review of Economic Studies, 1978, 45(3): 511–518.
- [38] Itakura, K. Evaluating the Impact of the US–China Trade War[J]. Asian Economic Policy Review, 2020, 15(1): 77–93.
- [39] Jones, C. I. Intermediate Goods and Weak Links in the Theory of Economic Development[J]. American Economic Journal: Macroeconomics, 2011, 3(2): 1–28.
- [40] Rubbo, E. Networks, Phillips Curves, and Monetary policy[J]. Econometrica, 2023, 91(4): 1417–1455.

The Impact and Policy Responses to Technological Restrictions: A Production Network Framework with Embedded Technological Linkages

YU Zhuang-xiong¹, DONG Jie-miao², CHENG Jia-jia³

(1. Institute of Industrial Economics, Jinan University;

2. School of Economics and Trade, Guangdong Foreign Studies University;

3. Institute of International Trade and Economics, Guangdong Foreign Studies University)

Abstract: The economic impact of the US-China technological competition has extended beyond specific sectors, spreading more broadly through network linkages. However, existing studies pay limited attention to the interaction between technological linkages and input-output linkages. Therefore, the magnitude, trend, distribution, and transmission mechanism of the impact of the US technology restrictions on China under the joint effect of product and production networks remain insufficiently explored.

This paper incorporates technological linkages into the production network framework, theoretically identifying the dual transmission paths of productivity shocks through technological and input-output linkages. Using China's input-output tables (2017—2020) and customs data (2000—2016), it quantifies the impact of US technology restrictions on China. This paper finds that restricted sectors face higher risks of network disconnection and are mostly located at key nodes with high information flow density. Under the current production structure, negative productivity shocks caused by technology restrictions mainly lead to higher relative prices and lower total output in affected sectors, resulting in a decline in GDP, while their impact on sectoral Domar weight is limited. On average, a 1% decline in productivity in restricted sectors reduces GDP by about 0.04%. Further analysis shows that the reallocation effects within the production network can mitigate the shock, while technological linkages in the product network amplify the shock and invalidate the general applicability of Hulten's Theorem.

The results indicate that the government should accelerate the development of indigenous innovation systems in key constrained sectors, strengthen the security of upstream and downstream segments of industrial chains to leverage the buffering effect of reallocation within production networks, establish a tiered governance framework for technological linkages to fully recognize their dual role, and re-evaluate the systemic importance of small sectors in macroeconomic fluctuations. This paper advances the integration of product space theory and production network theory. By introducing a production network model with technological linkages, this paper quantifies the asymmetric effects of the US technology restrictions across industries through different network paths, contributing to the understanding of how the US technology restrictions are transmitted within China. Unlike existing studies that attribute the macroeconomic impact of productivity shocks to sectoral sales shares, this paper finds that the impact of US technology restrictions depends not only on sales shares but also on the degree of technological linkage between sectors.

Keywords: production network; input-output linkage; technological linkage; technology chokepoint; resilience and security

JEL Classification: F14 L15 L23

[责任编辑:李鹏]