

【产业发展】

生产网络的理论与应用研究进展

余典范 王超 龙睿

【摘要】在生产高度分工、全球贸易联系不断加强的背景下,一国经济活动的开展往往需要多个国内外企业的中间产品予以支持。企业间形成的复杂供应、销售网络不仅便利了贸易来往、降低生产成本,也带来了外部负面冲击跨区域、跨行业传播的潜在风险。梳理和分析近年来逐渐兴起的生产网络研究发现:(1)生产网络理论的发展在考虑要素替代弹性、市场扭曲和网络内生调整后对现实的解释力增强;(2)生产网络分析在准确刻画产业网络结构特征、合理评估外部冲击上具有重要应用价值;(3)中国复杂的国内外产业网络体系、产业政策的应用、数字经济的发展以及面临的不确定性冲击都为生产网络研究提供了丰富的场景;(4)生产网络除了广泛应用于评估各类冲击的传播外,未来的研究方向主要还在于挖掘大样本的供应网络数据、考虑网络内生变化及其对经济增长和企业经营的影响。

【关键词】生产网络;投入产出;供应链;产业关联;外部冲击

【作者简介】余典范,上海财经大学商学院副教授、博士生导师,研究方向为产业经济学;王超,龙睿,上海财经大学商学院博士研究生,研究方向为产业经济学。

【原文出处】《产经评论》(广州),2022.4.5~18

【基金项目】国家社会科学基金一般项目“我国核心技术自主创新突破口与实现路径的体制机制研究”(项目编号:20BJY039);上海市哲学社会科学规划课题一般项目“上海先进制造业发展面临的主要问题与对策研究”(项目编号:2018BJB022)。

一、引言

党的十九届五中全会将“提升产业链供应链现代化水平”作为加快发展现代产业体系、推动经济优化升级的重点任务。在经济政策不确定性增强、逆全球化趋势加深的背景下,提升产业链供应链的稳定性和韧性尤为迫切。一方面,生产的全球分工水平不断提升。随着全球价值链的深化,国际贸易不再局限于最终产品,而是更多地体现为中间产品的投入(Johnson和Noguera, 2012)^[1]。由于新技术的应用,企业可以与跨区域、跨行业甚至跨国界的其他生产经营单位发生贸易联系(George et al., 2021)^[2]。另

一方面,频发的负面冲击给各国经济发展带来挑战。在中间品贸易日益复杂的全球生产网络中,负面冲击的国际传播广度和深度都在强化。不论是2020年爆发并肆虐全球的COVID-19疫情(Luo et al., 2020^[3]; Baqaee和Farhi, 2020^[4]),还是中美贸易摩擦、俄乌冲突,都通过生产网络的传导对各国经济稳定性造成巨大威胁。许多研究表明,自然灾害和贸易冲突的跨国传播具有明显的网络效应(George et al., 2021^[2]; Bonadio et al., 2021^[5]; Das et al., 2021^[6])。发生在一国(地区)的经济危机和负面事件很有可能蔓延至另外一国(地区)。从政府施策的角度来看,传统产

业政策往往聚焦于某一产业部门,并未对其网络溢出效应进行合理评估。在复杂的中间品投入产出关系中,产业政策的实施可能具有正向或负向的外部性,从而产生非线性扩散效应。例如,2011年福特首席执行官艾伦·穆拉利(Alan R. Mulally)就请求政府对福特的竞争对手通用汽车和克莱斯勒提供紧急援助。穆拉利认为,由于三家汽车制造企业的供应商和经销商存在大量重叠,通用汽车或克莱斯勒的倒闭会在整个行业产生连锁反应,导致福特的生产运营在几天甚至几小时内受到严重干扰。在2007-2008年的金融危机中,美国政府救助几家大型金融机构的关键论据之一,就是这种相互关联的“级联效应(Cascade Effect)”的可能性。因此,从生产网络视角分析外部冲击的网络传播,并针对性施策具有很强的理论与现实意义。

实际上,早在20世纪80年代,相关研究就将中间品纳入生产函数,考虑部门技术进步对总体生产率的影响(Long和Plosser,1983)^[7]。在复杂网络理论不断完善的基础上,以Acemoglu et al.(2012)^[8]和Carvalho(2014)^[9]为代表的生产网络研究大量涌现。研究者们从生产网络的理论模型和实证应用角度评估了微观冲击的宏观影响、外部冲击的网络传播等重要问题。而外部冲击的增加和复杂化使得学术界对生产网络理论和应用方面的关注度不断提高。但在中国,这一领域的研究仍然较少。中国作为世界上最大的发展中国家,有着庞大的国内市场,数以千万计的企业之间形成错综复杂的供应和销售网络。此外,中国作为全球重要的消费国和中间产品制造国,是100多个国家(地区)的最大贸易伙伴。随着中国在全球价值链中地位的攀升(George et al., 2021)^[2],中国在全球生产网络中的地位越来越重要。特别是在新冠肺炎疫情期间,中国的进出口封锁对欧美各国的生产造成极大冲击(Lafrogne-Joussier et al., 2021)^[10],也影响国内企业的正常运转(Ding et al., 2022)^[11]。因此,从生产网络的角度全面评估、识别外部冲击的大小和在生产体系中的传导尤为重要。部分研究(齐鹰飞和李苑菲, 2019^[12], 2020^[13], 2021^[14];倪红福, 2021^[15])基于Acemoglu et al.(2012)^[8]、Carvalho和Voigtländer(2014)^[9]的生产网络模型分析宏观调控政策对社会

福利的影响。一些研究基于上市公司供应链信息,从生产网络溢出的角度评估产业政策。总体来看,国内理论分析和实证研究对生产网络的关注仍然处于萌芽阶段。因此,如何利用生产网络的复杂特征精准施策,发挥政策的网络溢出效应是值得关注的重要话题。本文主要通过生产网络经典和最新文献的梳理与展望,以此抛砖引玉,为相关研究提供一定参考。

后续内容安排如下:第二部分介绍生产网络的基本模型及拓展;第三部分提出生产网络分析中涉及到的概念和指标;第四部分梳理生产网络的实证研究进展;第五部分为总结及未来研究方向。

二、生产网络的基本模型及拓展

(一)基本模型

尽管对生产网络的研究最近几年才大量出现,但其研究起源可以追溯到20世纪80年代。与传统Cobb-Douglas生产函数 $Y=AL^{\alpha}K^{\beta}$ 的形式不同,Long和Plosser(1983)^[7]创新地将中间产品引入生产函数,从而把研究重点转向跨部门的投入产出联系,为研究部门冲击对宏观经济的影响提供了基础。同时,Long和Plosser(1987)^[17]运用要素分析法证明,产出波动除了可以被总体干预所解释外,也可以部分地归因于独立的部门冲击。但是,由Lucas(1977)^[18]提出的“多样化论断”对生产网络研究形成了较大挑战。依据大数定理,在部门被无限细分后,微观冲击会在众多部门中被平均掉而无法产生宏观影响。对于这一质疑,Horvath(1998)^[19]给予了回应。他认为不同行业在投入产出关系中的地位存在差异,发生在主导部门的特定冲击难以被抵消,部门冲击的衰减速度是由主导部门增长率而非部门总数决定的。尽管Dupor(1999)^[20]提出各行业在投入产出关系中地位相似、部门关联平均时,部门冲击无法向宏观层面有效传导,但其也并没有否认主导部门的重要性。Horvath(2000)^[21]随后以美国投入产出数据证明,美国生产网络存在投入产出的轴心外围结构,大数定理所预示的衰减速度并不完全正确。Forni和Reichlin(1998)^[22]沿用这一方法,着眼于技术冲击的溢出效应,证明了部门冲击与宏观波动的强相关性。可见,在相当长的一段时间内,相关研究都在致力于证明微观冲击

对宏观经济波动的重要性。因此,基本分析模型未有较大改变。由于缺乏完善的分析工具,直到21世纪初生产网络的实证研究仍未有突破性进展。2008年金融危机爆发后,起始于美国的次贷危机快速传导至各国,相关研究再次意识到微观冲击对宏观波动的巨大影响。Acemoglu et al.(2012)^[8]和Carvalho(2014)^[9]在完全竞争环境下构建了基于C-D技术的静态多部门经济体系。这已成为当今学术界广泛认可的生产网络基本模型。在该模型中,部门生产函数定义为:

$$y_i = z_i \zeta_i l_i^{\alpha_i} \prod_{j=1}^n x_{ij}^{a_{ij}} \quad (1)$$

其中, z_i 是行业*i*希克斯中性的生产冲击, ζ_i 是取决于模型参数的标准化常量^①, l_i 是该行业雇佣的劳动力, x_{ij} 是行业*i*生产中使用的行业*j*产品的数量, α_i 代表行业*i*生产技术中的劳动份额,而 a_{ij} 则是行业*j*的中间品份额。技术的规模报酬不变要求对于所有行业*i*,有 $\alpha_i + \sum_{j=1}^n a_{ij} = 1$ 。而消费端的对数偏好形式由式(2)给出:

$$u(c_1, \dots, c_n) = \sum_{i=1}^n \beta_i \log \left(\frac{c_i}{\beta_i} \right) \quad (2)$$

其中, c_i 是行业*i*的最终消费产品数量, β_i 衡量行业*i*的产品在效用函数中占的份额,且 $\sum_{i=1}^n \beta_i = 1$ 。在竞争性均衡中,厂商实现利润最大化,即 $\max_{l_i, x_{ij}} \pi_i = p_i y_i - \omega l_i - \sum_{j=1}^n p_j x_{ij}$,消费者在预算约束 ωL 下实现效用最大化。结合市场出清条件 $y_i = c_i + \sum_{j=1}^n x_{ji}$,得到每个行业的产出以及GDP的表达式:

$$\log(y_i) = \sum_{j=1}^n l_{ij} \varepsilon_j + \delta_i \quad (3)$$

$$\log(\text{GDP}) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \varepsilon_i \quad (4)$$

其中, l_{ij} 是里昂惕夫逆矩阵中的第(*i*,*j*)个元素,它涵盖了行业*j*到行业*i*所有可能的投入路径,用以衡量*j*作为*i*直接和间接供应商的重要程度。 ε_i 是生产冲击的对数形式,而 δ_i 是独立于冲击的常数。 $\lambda_i = \frac{p_i y_i}{\text{GDP}}$,是行业*i*的销售额在GDP中占的比重,通常称之为多玛权重,其是完全竞争条件下微观冲击影响总产出的充分统计量(Gabaix, 2011^[23]; Stella, 2015^[24])。多玛权

重意味着单个部门的冲击对宏观经济的影响完全取决于其在GDP中占的比例(也被称为Hulten定理)。这一定理在生产网络研究中有着广泛应用,然而从直觉上看,其与现实情况可能存在一定差距。Baqae和Farhi(2020)^[4]研究发现,Hulten定理仅仅反映了微观冲击的一阶影响,当冲击较小或者没有表现出非线性时,多玛权重是冲击影响的良好近似,而在二阶效应较大的扭曲经济中这一定理并不完全成立。同时,Bigio和La'ò(2020)^[25]也研究发现,Hulten定理并不适用于效率低下的经济体。现实中,微观冲击的影响也可能因为市场中扭曲的存在而放大。如美国等对我国关键技术和重要产业链环节的断供行为不仅影响了相关企业,还通过“长鞭效应”在生产网络中传导,对我国其他产业造成较大的冲击。新冠肺炎疫情期间因供应链中物流运输和人员流动受限导致这一冲击在各个产业中扩散,最终对各国宏观经济带来较大的负面冲击。因此,引入高阶项和市场扭曲因素才能更好地刻画生产网络。

(二)模型的扩展

基本模型体现了生产网络的理论思想,即微观冲击向宏观层面的传播,但仍存在可拓展的空间。例如在现实生产活动中,并非所有要素都以固定不变的比例使用,随着技术进步和成本降低,各要素投入份额会发生变化。除此之外,生产网络的基本模型建立在完全竞争条件下,金融摩擦、市场扭曲都有可能对基本结论产生影响。因此,后续研究扩展这一模型,主要体现为以下几方面。

1. 改变生产技术

柯布—道格拉斯生产技术意味着微观冲击不会改变行业的中间投入份额,劳动力与中间投入之间的替代弹性恒为1。实际上,不同要素之间的替代弹性会因为投入重要性的不同而有较大差异。Baqae和Farhi(2018)^[26]放宽生产技术的限制,将生产函数改为CES形式,可变的替代弹性丰富了冲击的传导模式,Carvalho和Tahbaz-Salehi(2019)^[27]将冲击传导分解为产出效应、劳动替代效应以及中间投入替代效应,涵盖了冲击向上下游的纵向传播以及向其他生产部门的横向传播。这意味着当一个部门遭受冲击时,既有可能通过中间产品和产出渠道影响上下

游部门,也有可能因为要素使用的重新配置,减少或增加劳动投入,进而通过横向传播影响其他部门。因此,为减少负面冲击在生产网络中的传导,需要特别重视关键中间品的供应与畅通,防止在产业内与产业间形成断链的共振。例如在新冠肺炎疫情、战争等突发外部冲突情形下,保供与复工复产首先应保障重点产业链环节、重点企业的运行与安全,并以此形成全产业链协同才能降低宏观经济的损失。

2. 引入市场扭曲

以上研究在完全竞争市场下考察厂商和消费者的行为,但完全竞争市场对现实经济运行的解释力较弱。随后的文献放宽了这一假设,引入不同形式的市场扭曲,以分析不完全竞争市场下生产网络中冲击的传播。Bigio和Jennifer(2016)^[28]考虑C-D技术下的金融摩擦,并认为公司面临抵押品约束,当发生金融摩擦时,部门中心度对总产出波动有重要影响。Acemoglu et al.(2016)^[29]的研究将政府购买纳入模型中,市场出清条件变为 $y_i=c_i+g_i+\sum_{j=1}^n x_{ij}$,其中 g_i 是外生的政府购买水平。它通过税收影响消费者的预算约束,进而实现需求侧冲击向上游的传播。Bigio和La'o(2020)^[25]考虑行业补贴和税收的影响,将扭曲在宏观层面的传播分解为生产率效应^②和劳动楔效应^③,进一步论证了在政府干预下,扭曲会产生要素错配,进而导致全要素生产率和经济配置效率的下降。

基于市场扭曲的广泛存在,相关文献开始在生产网络模型中关注政策缓解市场扭曲的有效性。一方面,政策效果能够通过生产网络实现溢出。Lane(2021)^[30]发现,韩国“重工业促进计划”所产生的生产冲击不仅会直接作用于目标行业,还会对其下游行业产生正向的溢出效应。另一方面,政策的有效性也与政策实施对象的网络地位息息相关。Liu(2019)^[31]在研究中定义了扭曲中心度,即部门影响力与多玛权重的比值,是政府实行产业政策的重要参考标准。这一指标体现了扭曲在生产网络中的累积。通过后向需求联系的传播,上游部门往往具有较高的扭曲中心度。研究证明,产业政策的目标选择不应是那些看起来比较扭曲的部门,而应是那些扭曲中心度较高的上游部门。其研究认为,中国和韩国

实行的某些产业政策之所以能够成功,很大程度上得益于选择了扭曲中心度高的行业予以干预,充分发挥了政策的正向生产网络溢出效应。作为分析政策效果的重要工具,生产网络为全面评估产业政策特别是对功能性产业的效果提供了很好的方法论。改革开放以来,我国实行了一系列支持创新发展、产业转型和环境保护的政策,这些政策涉及到多个行业领域,以往对产业政策的评估往往只是考虑直接受政策冲击的产业,并未考虑政策通过网络传导对其他产业的溢出效应,因此,从生产网络视角评估政策效果,是合理认识产业政策的重要维度。

3. 考虑网络内生性

上述研究主要基于静态网络,但经济环境会从多方面影响网络结构,生产网络中的节点和边都会因技术进步、外部冲击等因素而发生内生调整,从而带来生产网络的动态变化。一些文献在生产函数中加入异质性参数研究网络结构调整的内生效应。对生产网络内生性的考察主要分为两类:一类是在网络节点不变的情况下,考察企业如何调整供应商和客户,即发生“边”的增减;另一类是考虑当网络节点发生变化时,企业如何对应调整投入和产出组合,即发生“节点”的增减。Oberfield(2018)^[32]在生产函数中加入技术参数 φ 区分不同投入产出关系。在仅使用一种中间投入的生产框架下,生产函数演变为 $y_i(\varphi)=z_i(\varphi)\xi_i(\varphi)^\alpha x_i(\varphi)^{1-\alpha}$,当中间投入品的份额 $1-\alpha$ 较高时,中间产品相对劳动投入更为重要,从而会产生专业从事中间产品生产的企业,即明星供应商。如在汽车生产过程中,需要装配大量零部件,因此会产生专业生产零部件的企业,这些企业在细分领域作为隐形冠军而存在。Miranda-Pinto(2021)^[33]引入成本参数,认为从多种供应商获得中间投入的企业具有更高的复杂性成本。当中间投入和劳动力是替代投入时,企业能够通过加大劳动投入(自行生产)来减少对其他企业中间产品的依赖,避免中间产品减产或者涨价带来的负面冲击,生产网络的多样化降低了波动性。这也是不少经济体以及产业为了应对日益多发的不确定性时采用供应链多样化、分散化策略的重要原因所在。

由于经济环境的变化,企业可能破产退出生产网络,而新的企业会不断创立,并提供更高质量的中间产品。Atalay et al.(2011)^[34]研究企业自由进入退出情况下的网络节点连接问题,认为生产网络中的幸存企业会通过随机连接和偏好优先连接两种方式实现边缘重组,从而降低节点退出对生产流程的影响。Carvalho和Voigtländer(2014)^[16]构建的模型指出,每个时点会有一个新厂商作为节点加入经济。它将随机选择提供必要投入的供应商,并从现有供应商附近搜索其他可用的供应商,随后通过权衡收益和成本来确定整个供应链的选择。Acemoglu和Azar(2020)^[35]也考虑这种动态演化,认为新节点的进入将显著增加现有企业的投资组合选择,有效降低成本,并通过更低的投入价格将成本优势传递到整个生产网络。这将鼓励其他企业建立新的投入产出关系并实现可持续的经济增长。

综上,目前对生产网络的理论研究一方面在模型上逐渐逼近现实,对现实产业链供应链发展的解释力增强。另一方面,现有研究主要聚焦于经济波动的领域,关注不同技术和经济环境下,微观冲击经由生产网络带来宏观经济波动的传导机制。但现有生产网络模型仍然建立在传统的经济学分析框架下,少有文献考虑生产网络与经济增长之间的关系。无论是大数定理还是多玛权重,往往只聚焦于单个部门,评估部门波动对宏观经济的影响,对不同部门之间的经济互动并没有较好地刻画。实际上,生产网络的结链过程与网络优化本身就是资源的重置,对经济系统也具有一定的促进作用。在更长的时间跨度上,部门之间的投入产出联系处在不断变化之中,各国经济增长的差异是否可以由上述变动所解释?对于这一问题,现有理论文献尚未进行严谨的论证。如何将经济增长纳入到生产网络模型当中,分析生产网络在经济发展中的价值,也是未来研究的方向之一。

三、生产网络分析的核心参数

生产网络研究虽然发源于经济学领域,但其在实证方面的进展很大程度上得益于复杂网络理论的应用。这方面的研究将生产函数中不同行业与社会网络分析中的“节点”相对应,投入产出关系与连接

节点的“边”对应^④。在此基础上,将抽象的行业投入产出关系可视化为网络图形,并利用社会网络分析工具刻画不同行业节点的重要性和分布特征。这些指标不仅能表征生产网络中有向的联系,也能体现不同环节在产业中的位置与影响力。

(一)网络中的度

在以行业或者企业为节点的生产网络中,节点之间形成的连接数量并不相同。对应于社会网络分析中,生产网络根据连接的类型可以定义“出度”和“入度”。在不考虑边的权重(即投入产出联系强弱)情况下,某一行业向其他行业提供中间产品的部门数即行业节点的出度,行业使用其他行业中间产品的部门数即行业节点的入度。根据Carvalho(2014)^[9]的研究,美国生产网络中零售业、房地产、电力生产、企业管理等是重要的中间产品供应行业。一般而言,生产网络中出度的分布呈现幂律特征,节点的入度分布具有正态分布特征。大多数节点具有较小的出度,而少数部门(通用性部门,如商务服务、零售批发)具有极大的出度。这一特征意味着Lucas(1977)^[18]所预测的大数定律可能因中心部门的存在而并不成立。Horvath(2000)^[21]基于美国投入产出数据的分析将其总结为网络的“轴心外围”特征。除用0和1来表示节点之间的连接情况外,节点之间连接边的权重也可以被定义。加权出度和加权入度的合理性在于,两行业供给和投入行业数量相同的情况下,由于投入和供给的份额差异,二者的网络重要性可能也并不相同。因此,使用0~1之间的权重能够更为合理地度量网络位置。例如,加权出度的公式为: $d_{out} = \sum_{j=1}^n \omega_{ij}$,即所有使用行业j的产出作为中间投入的行业份额加权, $\omega_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_i}$, x_{ij} 为行业i使用的来自行业j的中间产品, X_i 为行业i的总投入。

(二)网络距离和密度

出度和入度能够衡量不同生产部门在网络中的活跃程度,而对网络整体特征的刻画有赖于网络距离和网络密度指标的引入。将投入产出关系可视化为网络图的优点在于,不同部门之间的网络距离可以被直观地度量。生产网络中的距离被定义为一节点到达另一节点的最短路径长度。这一距离越短,

冲击从另一节点到达该节点的速度越快,冲击的网络传播效果越大。由网络距离延伸出两个重要的网络指标:网络直径和网络平均距离。网络直径是指生产网络中最短路径的最长长度,网络平均距离是指生产网络中最短路径的平均长度。根据 Carvalho (2014)^[9]、Carvalho et al.(2021)^[36]、Acemoglu et al.(2012)^[8]、Foerster 和 Choi(2017)^[37]对美国、日本和法国的研究,生产网络具有“小世界”特征。以美国生产网络为例,任意两行业节点最多通过 10 个连接就可以发生联系,而网络中两节点连接的平均距离为 4 条边。在 Carvalho(2014)^[9]的测算中,2002 年美国生产网络有 417 个行业节点,小世界属性意味着初始冲击能够快速传播,进而影响总体经济表现。

除网络距离外,刻画网络特征的另一指标是网络密度。网络密度是指网络中实际边数与可能边数(节点数的平方)之比。如果网络中所有节点之间都有直接联系的边,那么网络密度为 1。对生产网络的相关实证研究发现,网络密度往往较小,具有“稀疏性”特征。根据 Carvalho(2014)^[9]的测算,2002 年美国生产网络的密度仅为 0.03。这意味着绝大多数部门只向少数部门提供中间产品,网络中各节点的连接比较稀疏。

(三)网络位置

除了节点之间的联系外,生产网络研究还关注节点的重要性。在使用出度和入度衡量网络位置的基础上,中心度也是网络研究中常用的测度指标。具体而言,研究中主要涉及接近中心度、介数中心度和特征向量中心度三个指标。

首先,接近中心度测算的是节点与网络中其他节点距离的倒数之和。测算方法如式(5)所示,其中 d_{iv} 为节点 i 与网络中其他节点的距离,节点与网络中其他节点距离越近时,这一指标越大。一般来说,依赖于市场需求的行业,接近中心度往往较高。

$$Centrality_c(i) = \sum_{v \neq i} \frac{1}{d_{iv}} \quad (5)$$

其次,介数中心度用于衡量节点作为其他两节点最短路径桥梁的次数。测算方法如式(6)所示, $g_{uv}(i)$ 表示 u 和 v 两点最短连线经过 i 点的数量, g_{uv} 表示任意两点之间的最短连线数量。介数中心度越

高说明该行业作为其他两行业连接枢纽的重要性越强。

$$Centrality_u(i) = \sum_{u, v \neq i} \frac{g_{uv}(i)}{g_{uv}} \quad (6)$$

最后,特征向量中心度将连接节点的质量考虑在内,而不仅仅关注其数量。即一个节点可能连接较少的节点,但如果其连接的节点都是重要节点,那么特征向量中心度要高于那些连接不重要节点的行业。特征向量中心度的表达式为:

$$x_i = c \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \quad (7)$$

其中, n 为节点总数, a_{ij} 表示中间投入 j 占行业 i 总投入的份额。上述表达式等价于向量形式 $\Lambda X = AX$, 其中 A 为矩阵 C 的逆矩阵, 矩阵 X 为矩阵 A 的特征值 Λ 对应的特征向量。特征向量中心度高的行业即使行业本身节点中心度比较低,在网络中也可能有重要作用。

现有文献对于社会网络指标的应用合理性源自生产网络与社会网络之间的内在共通性。二者均存在独立的个体(生产部门、社会成员)和个体之间的物质与信息联系(投入产出关系、社会关系)。因此,上述指标在生产网络分析中具有很高的应用价值。同时,网络指标的引入能够更加直观地展现生产网络特征,与传统研究中链式投入产出联系相区别。除此之外,社会网络中节点的重要性更多地通过其网络连接质量和数量体现。与此相区别的是,生产网络中部门的经济重要性还取决于其价值创造能力,面临价值的增值和贬值问题。这意味着即使在网络联系没有发生变化的情况下,部门的经济重要性也会呈现出明显不同。完全基于网络分析方法构建的指标可能遗漏经济活动的某些关键特征。正因如此,在未来研究中,构建具有生产网络特异性的网络指标也具有一定的现实意义。

(四)网络结构

生产网络中冲击的传播很大程度上取决于网络结构。除从网络指标角度分析网络特征外,不同节点组成的网络结构在研究中同样具有重要意义。Grassi 和 Sauvagnat(2019)^[38]研究认为生产网络通常存在三种网络结构:水平形、环形和星形。

1. 水平形,如图 1(a)所示。根据 Bigio 和 Jennifer (2016)^[28]的研究,水平形网络中各部门独立生产运作,中间产品供应和使用较少。这种网络结构在现实中较少存在(Carvalho, 2014)^[9]。一般而言,水平结构中行业受到的冲击难以通过生产网络扩散放大到整个经济体系。文化娱乐、公共服务等行业节点连接较少,某种意义上具备水平形特征。

2. 环形,如图 1(b)所示。此种结构下,距离较远的行业通过中间品供应实现间接的联系,环形网络上的部门可以被看作连接型部门,结构中任意部门受到的冲击均会通过生产网络传播至环上其他节点(企业),进而产生扩散。环形结构往往连接不同行业部门,环形结构上的企业大多具有连通性特征,如银行、交通运输等行业。

3. 星形,如图 1(c)所示。此种结构下,各企业由少数中心部门串联,均通过与该中心部门产生交易关系而间接连接至生产网络当中。冲击存在着由中心部门到边缘部门的连续性转移。星形结构中的中心部门可以被称作辐射型部门。根据 Carvalho(2014)^[9]的测度,星形结构中的网络乘数大于环形结构,水平形结构网络乘数最低,即在星形结构的网络中,源自中心部门的微观冲击更易产生显著的宏观影响。星形结构常常存在于中间产品使用较多、生产工艺复杂的行业,如钢铁行业。

四、生产网络的应用研究进展

(一)生产网络实证研究数据来源

受数据可用性限制,早期生产网络实证研究大多基于行业层面的投入产出关系。Acemoglu et al. (2016)^[29]将行业产出增长分解为直接效应和网络效应,研究中国进口冲击、TFP 冲击、政府支出波动、国

外专利申请的影响,发现上述冲击的网络效应远大于自身效应(但内生性问题没有很好解决)。其他研究依据行业数据评估微观冲击的重要性。Horvath (2000)^[21]研究发现三分之二的总波动率来自微观冲击;Foerster et al.(2011)^[39]研究发现行业生产率冲击占美国总工业波动的 50%;法国 80%的宏观波动归因于部门冲击,网络效应是直接效应的 3 倍(Di Giovanni et al., 2014)^[40]。也有部分研究使用上市公司公开披露的供应链信息例如 Compustat 进行实证研究。其中最具代表性的是 Atalay et al.(2011)^[34]的研究,他们使用企业供应链数据分析美国公司的供应商和客户网络,发现在美国生产网络中存在着核心企业(通用、沃尔玛),这些企业具有大量的网络连接,网络出度服从幂律分布。

使用自愿披露数据的一个潜在担忧在于,企业可能并不愿意公开他们的供应商和客户。因为这可能为其他竞争对手的破坏行为提供机会,竞争力较弱的小公司更是如此。因此,由于披露的自愿性和数据质量问题,基于此数据构建的生产网络并不完整,存在选择性偏差。目前也有研究开始从其他渠道寻找新的生产网络数据信息。私人信用报告机构东京商业研究(TSR)为企业层面的网络冲击研究提供了新的数据样本。Carvalho et al.(2021)^[36]使用这一数据研究 2011 年日本地震的溢出效应,结果表明:首先,通过考虑生产网络的影响,可以更好地理解为什么地震灾区 0.1%的 GDP 损失会导致日本 GDP 下降 0.4%。其次,负面冲击的网络传播具有递减特征。随着网络距离的增加,传导效应在减弱。可见,未来挖掘大样本企业层级的生产网络数据对于准确研究、刻画生产网络特征具有重要的意义,特别是对于

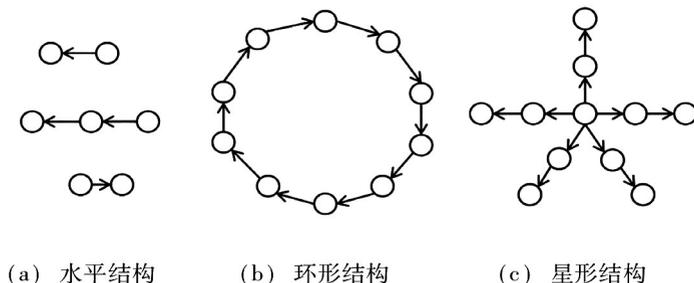


图1 不同网络结构示意图

资料来源:作者绘制。

研究中国复杂的生产网络。

从国内目前可用的数据源来看,以下数据为研究中国生产网络提供了机会。一是上市公司自愿披露的供应商和客户信息。按照2021年修订的《公开发行证券的公司信息披露内容和格式准则第2号——年度报告的内容和格式》,上市公司应当披露主要销售商和主要供应商的情况。尽管这一要求并非强制,但仍有不少上市公司选择对此进行披露。通过整理上市公司已披露的供应商和客户信息,可以构建上市公司的生产网络,进而分析其特征。但使用这一数据同样存在披露自选择的问题,少数企业构建的网络信息能否代表整体情况也是一个较大的挑战。二是国家税务总局发布的企业增值税数据。我国自2009年起实行增值税转型改革,允许企业抵扣新购入设备所含的增值税。为统计产品在不同企业之间的流转,我国建立了增值税发票系统。增值税发票数据反映了不同企业之间生产销售关系的具体情况,而且对其交易金额、行业和地区均有详细记录。因此,利用增值税数据构建中国生产网络具有较好的代表性,通过与其他企业微观数据库的匹配,可以进一步获得网络节点的特征。三是彭博供应链数据库(SPLC)。彭博金融数据库从新闻报道和公司披露信息中汇总企业上下游信息,并对部分供应商和客户的份额进行统计。通过该数据库可以获取企业参与跨国供应链的具体情况,有助于研究跨国供应链参与和冲击的国际传播。由于信息搜集的多元性特征,该数据库的准确性较低。

(二)外生冲击的生产网络传播

作为连接微观和宏观的桥梁,生产网络的一个重要研究领域是外生冲击的溢出效应。Carvalho et al. (2021)^[36]是研究外生冲击网络传播的经典文章。通过利用私人信用报告机构东京商业研究(TSR)提供的数据集,文章评估了地震负面影响的跨地区溢出,并证明自然灾害跨区域传播的可能性。然而Carvalho et al. (2021)^[36]认为公司的供应商和客户关系是同质的,这可能不符合实际的网络特征。Barrot 和 Sauvagnat (2016)^[41]使用美国上市公司数据研究自然灾害的网络传播。与以往研究不同,他们考虑了投入的专用性,即供应商之间存在差异,并非所有冲击都会通过

网络产生影响,专用性更强的投入会导致更大的负面冲击,而非专用性投入则可以随时被替代。既然专业化的投入会导致网络效应的放大,企业能否通过多元化来降低风险?Hsu et al. (2018)^[42]使用 Barrot 和 Sauvagnat (2016)^[41]提供的重大自然灾害和有毒物质排放清单(TRI)数据库中的工厂位置数据,实证检验自然灾害对企业经营业绩的影响,发现技术多样性显著降低自然灾害对企业的影响,提高了企业韧性。Todo et al. (2015)^[43]研究生产网络如何影响抵御灾害的能力,发现短期内与受影响地区以外企业的网络联系有助于提前恢复生产;而在中期,区域内的网络有助于销售的恢复,供应链的积极影响通常超过消极影响。这意味着在面临负面冲击时,生产网络链接的多元化能够降低这一消极效应。

Hsu et al. (2018)^[42]研究表明,大多数自然灾害是不可预测和不可避免的。各国政府面对挑战的唯一办法是做好充分准备,尽量减少自然灾害造成的死亡人数、财产损失和环境破坏。但是在应对人为造成的负面冲击上,政府可以主动作为。Korovkin 和 Makarin (2021)^[44]使用2013–2016年乌克兰公司之间的铁路交易数据研究克里米亚冲突如何蔓延到其他非战争地区,发现冲突会通过供应网络影响非战争地区的公司,而忽略这种传播会低估冲突约67%的负面影响。而且冲突切断了企业间的供应网络联系,使得部分企业网络位置变得更加核心,收入和利润也相对提高。他们还分别估算外生企业移除和随后的内生网络调整对企业收入分配的影响,认为网络的快速调整(快速寻找替代供应商和客户)是减少负面冲击的关键因素。

上述研究都集中于外生事件在国内网络中的传播。实际上,外部冲击还会在国际间传播。Boehm et al. (2019)^[45]发现,由于投入的不可替代性,日本地震对在美日资公司产生负面影响。Kashiwagi et al. (2021)^[46]研究发现,由于国际企业的快速调整能力,灾害的跨国传播不存在。Tian (2021)^[47]基于中国加工贸易企业数据研究不利冲击的跨境传递,发现2005年美国飓风导致中国加工贸易企业的进口暂时下降,但没有长期影响。企业和供应商之间的供应关系可能面临两种冲击(Grossman et al., 2021)^[48],一种

冲击仅针对特定供应链,另一种冲击针对供应商所在的整个国家(地区)。可见,如果对某条供应链进行精准打击,国际蔓延的可能性很大。Huang et al. (2018)^[49]研究发现,2018年中美贸易摩擦可能通过生产网络影响企业价值。一些美国企业即使不直接与中国企业进行交易,美国对中国征收的高关税仍有可能对其造成负面影响。这表明,研究冲击在生产网络中的传播不仅对理解微观冲击的宏观影响具有重要意义,而且有助于综合评估政策的福利效应。

在传统的生产网络研究中,企业之间连接的前提是中间品贸易的存在。然而,在现实中没有商业信用就无法维持供应网络。2008年金融危机的迅速蔓延很大程度上是由于信贷网络的崩溃。因此,一些研究关注了外部冲击通过企业间信用网络发生的传播。Altinoglu(2021)^[50]建立的模型表明,公司的财务冲击会影响其支付供应商的能力,从而放大整体网络传导效应。Delli Gatti 和 Grugni(2021)^[51]构建的模型中涵盖了连接银行和企业的信用网络,以及连接上下游企业的生产网络。当供应链中断时,企业除了会因为与受影响公司的生产联系而受到波及外,还可能因为银行不良贷款的增加而遭受损失。考虑到经济活动的复杂性,未来的生产网络研究应在关注企业间生产销售联系的基础上,增加对金融机构和企业之间联系的考察。

外部冲击的生产网络传播研究对我国更是具有较强的现实意义。作为一个超大规模经济体,我国不仅在全球产业链中广泛布局,更是拥有庞大的国内市场,全产业链的优势使得不少企业更有可能选择将供应链布局在国内不同地区。由此形成了国际国内产业链互相衔接的格局,部分国内外负面冲击很有可能通过生产网络快速且深度地传播至全国。如新冠肺炎疫情的蔓延导致部分供应链运转受阻,波及国内汽车、芯片等产业;中美贸易摩擦影响集成电路、生物医药等产业的中间品供应;俄乌冲突影响我国关键能源、化工产品供应,进而波及到相关产业。从生产网络的视角研究和预测负面冲击的传播,在此基础上有针对性地加强产业链的政策协同,就能有效减少损失,增强产业链稳定性。此外,具有网络特征的技术如数字经济的发展也会产生较大的

生产网络传播,因此,评估其经济效应以及政策效果时,考虑网络溢出才能得到相对准确的结果。

(三)生产网络的内生调整

众所周知,生产网络中冲击传播的一个潜在假设是“冲击不影响网络本身”。基于这一假设,许多研究以外部冲击发生之前的网络关系为基础,避免同时考虑网络传播和网络结构变化。但正如Korovkin 和 Makarin(2021)^[44]发现的那样,乌克兰的地区冲突不仅会导致冲击跨地区蔓延,还会影响不同公司的网络位置。由于生产网络的调整,负面影响可能并非像预期的那样强烈。生产网络的内生性对准确估计冲击负面影响具有重要意义。Delli Gatti 和 Grugni(2021)^[51]研究发现,当影响仅发生在一些上游公司时,受到影响的上游公司将被其客户移除,客户将转向位于影响区域之外的供应商。企业会在中断后重建(至少部分)供应链。Acemoglu 和 Azar(2020)^[35]提出一种易于处理的内生生产网络模型,更好地解释企业在选择中间产品时的决策行为。其研究认为企业的生产是在劳动力和中间产品中选择最优组合,技术进步通过生产网络的传播能够降低投入价格,而新产品的到来扩大了技术范围和企业选择的可能性。生产网络的内生演化是实现经济持续增长的强大动力。与此类似,Kopytov et al.(2021)^[52]从不确定性的角度关注生产网络的内生选择,发现当不确定性增加时,企业更愿意从稳定性高的供应商处购买产品。可见,网络中断是微观冲击被放大的主要原因。如果生产网络在受到冲击时有更好的稳定性,那么负面影响就会减少。基于这一思路,Goldman(2020)^[53]以2008-2009年金融危机为准自然实验,证明联邦采购合同能够使政府承包商免受危机影响,发挥重要的“稳定器”作用。尽管网络多元化有助于企业降低风险,但并非所有企业都拥有像苹果那样强大的供应链管理能力和公司必须为多元化的网络付费,Bilgin(2020)^[54]引入网络成本的概念,即企业必须支付相应的固定成本才能与特定供应商建立联系,并讨论这种选择如何影响企业的生产率和出口决策。Bernard et al.(2019)^[55]研究高铁建设对企业供应商和客户搜索、企业绩效的影响。降低企业供应商和客户搜索的成本,减少网络资源错配可能是未来一个重要的研究方向。

生产网络内生调整的研究在我国同样具有较强的应用价值。在当前不确定性较高的环境下,供应链韧性对保持企业经营稳定具有重要意义。如何确保关键环节不被卡脖子、降低断链风险,在最短时间内强链和补链都与供应链的内生调整有关系。按照生产网络的特点,一方面,要识别生产网络中的薄弱环节,支持专精特新企业在产业链关键环节布局,为产业发展提供中间品支撑;另一方面,可以加大基础设施建设、降低供应链搜寻中的交易成本,鼓励企业在国内外布局和培育供应商,加强产业链合作,增强中间品供应的稳定性。

(四)中国生产网络的研究进展

相较于国外生产网络研究数十年的演变,关于中国生产网络的研究最近几年才引起关注,主要集中在对政府行为的福利效应分析上。齐鹰飞和李苑菲(2020)^[13]借鉴 Liu(2019)^[31]的研究,构建多部门一般均衡模型,分析财政支出部门配置对产业结构升级的影响,发现财政支出既能发挥稳增长的作用,又可以推动产业结构的优化。齐鹰飞和李苑菲(2021)^[14]进一步分析政府消费的生产作用及其放大机制,发现政府消费具有显著的生产作用,刺激了行业产出的增加。倪红福(2021)^[15]研究发现投入产出联系越复杂,减税降费的福利效应越大。此外,齐鹰飞和李苑菲(2019)^[12]以2018年中美贸易摩擦为背景,研究关税增加对福利和就业的影响。发现由于投入产出网络的传播,行业关税增幅和就业损失之间存在不一致性,中国因贸易摩擦造成的福利损失较大,而美国则损失了更多的就业。由于缺乏生产网络数据,现有文献主要基于数值模拟和理论分析来开展相关研究,一些文献已经开始寻找可能的生产网络数据进行实证研究。一类文献侧重于冲击在生产网络中的传播。例如,陈胜蓝和刘晓玲(2021)^[56]利用上市公司自愿披露的供应商和客户信息来研究高新区的建立如何通过生产网络跨区域溢出,发现客户转换成本、供应商吸收能力和地理距离是上述影响的主要驱动因素。卞泽阳等(2021)^[57]利用政府对国家级开发区主导产业的政策偏向构建外生冲击,考察这种外生冲击能否通过供应链关系缓解主导产业上下游企业的融资约束。其他研究集中在生产网络的影响上。

范剑勇等(2021)^[58]关注投入产出关系对产业集聚的影响,发现投入产出距离可能是企业选址的重要解释因素。

总体来看,中国生产网络研究主要集中在政策效果评价和影响传导方面。对以下几个方面尚未进行深入探讨:第一,评估产业政策的网络传播。由于企业之间复杂的供应链联系,产业政策效果的评估不能仅局限于目标产业。一些产业政策具有较强的外部性,关注其网络溢出效应有助于更好地理解政策成效。除此之外,产业发展离不开完善的供应链支持,某一产业的发展有赖于上下游产业的协同。基于生产网络的产业政策协同对完善政策支持有重要意义。第二,评估负面冲击的网络溢出。近年来爆发的新冠肺炎疫情、贸易摩擦和局部战争对相关产业的供应链产生了冲击。由于生产网络的联系,一地爆发的自然灾害和人为冲突可能对距离较远的企业产生影响。通过搜集整理企业产品交易信息,提前识别产业链薄弱环节,稳定关键链主,有助于积极应对负面冲击。第三,关注中间品统一大市场和省际产业链分工。改革开放以后实施的区域发展战略导致东部省份的企业与国外建立了比国内其他省份更为密切的供应关系。随着近年来产业的回流,许多企业开始在国内布局供应链。但是由于省际市场分割、交易成本高昂等诸多因素,国内中间品市场和供应商、客户匹配效率仍然不高,资源配置效率有待提升。因此,如何完善产品供应匹配和建设中介市场对于降低企业生产成本、加快国内循环也是需要深入研究的问题。

五、总结及未来研究方向

生产网络是连接微观和宏观的重要桥梁,国外学者自20世纪80年代以来持续推进该领域的理论和实证研究。但在我国,这一方面的研究仍然较为匮乏。本文通过梳理和分析生产网络研究中的理论模型、应用进展,主要得出以下结论和启示:首先,国际学术界对生产网络的研究方兴未艾,该领域正在成为新热点。自生产网络的基本模型提出以来,国外学者对其理论前提进行严谨的数学证明和实证探讨。此后,在复杂网络理论支持下,相关文献进一步调整生产技术设定、引入市场扭曲和生产网络内生

性,提出对现实经济活动更具解释力的理论框架和实证思路。近年来频发的贸易摩擦、战争冲突和自然灾害具有极强的网络溢出效应,基于生产网络方法可以充分评估外部冲击的影响和传播路径,对现实经济活动有重要的启示意义。其次,国内对生产网络的研究逐渐兴起,挖掘大样本的供应网络数据是重要突破点。作为世界上最大的发展中国家,生产网络在我国有非常丰富的应用场景。借鉴经典的生产网络模型,国内相关研究已经对多项政策的福利效应进行严密分析,发现生产网络结构的复杂特征有助于放大政策效果,政府可以依据行业联系的具体特征针对性施策。根据行业在生产网络中的重要性确定产业政策的扶持目标能够以最低成本实现最大的政策效果。除此之外,中国庞大的经济体系背后隐含着复杂的生产网络数据。如果能够在现有自愿披露数据的基础上,进一步挖掘出类似TSR的数据集,相关研究将更贴近实际,也能更好地阐释、制定各种政策以及预测外部冲击,为经济社会发展提供更为精准的决策支持。

未来生产网络研究可从以下几方面拓展:第一,考察生产网络内生变化对经济增长和企业经营的影响。现有实证研究大多聚焦于冲击在生产网络中的传播与应对,分析建立在网络给定的基础之上。随着新企业的进入和旧企业的退出,企业如何调整供应和销售网络,降低网络中的搜寻匹配成本可能是突破的方向。此外,现有分析大多聚焦于生产网络的静态特征,尚未在较长时间段内考察网络特征和结构演变以及这种变化对经济增长的影响。第二,关注生产网络在产业政策选择中的重要作用。在传统产业政策研究中,政策评估方法往往是线性的,仅关注其对目标产业的影响。在生产网络分析框架下,对某些关键行业部门或企业的支持可能具有显著的网络效应,因此,对环境规制、产业政策等实施过程中的网络溢出效应的研究至关重要。第三,关注新技术在生产网络中的传播与协同效应。数字技术作为驱动新一轮经济增长的重要支撑,具有明显的网络效应。一方面,数字技术的应用不仅使所在行业受益,还能够通过生产网络溢出到其他行业,具有正外部性。另一方面,数字时代管理的效率不仅

来自于分工,更来自于协同。企业应用数字技术进行数字化改造时往往需要上下游企业予以协同。若产业链上下游的供应商和客户没有相应地推进数字化,企业自身的数字化很有可能带来交易成本和生产成本的上升。因此,从生产网络视角关注数字技术也是未来重要的研究方向。

注释:

①在Carvalho(2014)^[9]的研究中, $\zeta_i = \alpha_i^{-\alpha_i} \prod_{j=1}^n a_{ij}^{-\alpha_{ij}}$ 。这个常数的唯一目的是在不影响结果的情况下简化解析表达式。

②生产率效应是指扭曲(例如信息不对称和逆向选择带来的交易摩擦)的存在可以直接造成产出损失,降低全要素生产率。

③劳动楔效应是指扭曲会对劳动力配置产生影响。垄断的销售商为获取更大利润会在制造商定价基础上进行加价,并将其转嫁给消费者。由此产生的扭曲将导致消费者获得的实际工资低于劳动产出,由此形成的劳动楔会影响劳动力要素在行业之间的配置,放大扭曲的宏观影响。回扣是劳动楔效应产生的原因之一。例如胰岛素制造商赛诺菲为了获得医疗保险公司更多的处方使用,往往需要支付高额回扣。美国参议院的报告显示,消费者购买的一款价值425美元的胰岛素中有339美元为制药企业向医疗保险公司支付的回扣。药品定价公司46Brooklyn得出的结论是,如果取消回扣,糖尿病患者平均每年可节省1000美元,而消费者承担的高额成本正是由扭曲在生产网络中放大而形成的。

④在企业层级的网络中,企业被视为网络节点,而不同企业之间的供应和销售联系形成节点之间的连接。

参考文献:

[1]Johnson, R. C., Noguera, G.. Accounting for Intermediates: Production Sharing and Trade in Value Added[J]. Journal of International Economics, 2012, 86(2): 224-236.

[2]George, A., Li, C., Lim, J. Z., et al.. From SARS to COVID-19: The Evolving Role of China-ASEAN Production Network[J]. Economic Modelling, 2021, 101(C): 105510.

[3]Luo, S., Tsang, K. P., Yang, Z.. The Impact of Stay-at-Home Orders on US Output: A Network Perspective[R]. Working Paper, 2020.

- [4]Baqaee, D., Farhi, E.. Nonlinear Production Networks with an Application to the COVID-19 Crisis[R]. National Bureau of Economic Research CEPR Discussion Paper, No. DP14742, 2020.
- [5]Bonadio, B., Huo, Z., Levchenko, A. A., et al.. Global Supply Chains in the Pandemic[J]. Journal of International Economics, 2021, 133: 103534.
- [6]Das, M. S., Wingender, M. P., Pugacheva, E., et al.. Sectoral Shocks and Spillovers: An Application to COVID-19[R]. IMF Working Paper, No. 2021/204, 2021.
- [7]Long, J. B., Plosser, C. I.. Real Business Cycles[J]. Journal of Political Economy, 1983, 91(1): 39-69.
- [8]Acemoglu, D., Carvalho, V. M., Ozdaglar, A.. The Network Origins of Aggregate Fluctuations[J]. Econometrica, 2012, 80(5): 1977-2016.
- [9]Carvalho, V. M.. From Micro to Macro via Production Networks[J]. Journal of Economic Perspectives, 2014, 28(4): 23-48.
- [10]Lafrogne-Joussier, R., Martin, J., Mejean, I.. Supply Shocks in Supply Chains: Evidence from the Early Lockdown in China [R]. CEPR Discussion Papers 16813, 2021.
- [11]Ding, H., Fan, H., Lin, S.. COVID-19, Firm Exposure, and Firm Value: A Tale of Two Lockdowns[J]. China Economic Review, 2022, 71: 101721.
- [12]齐鹰飞, 李苑菲. 跨国投入产出网络中的贸易摩擦——兼析中美贸易摩擦的就业和福利效应[J]. 财贸经济, 2019, 40(5): 83-95.
- [13]齐鹰飞, 李苑菲. 财政支出的部门配置与中国产业结构升级——基于生产网络模型的分析[J]. 经济研究, 2020, 55(4): 86-100.
- [14]齐鹰飞, 李苑菲. 政府消费的生产性——基于生产网络模型的刻画、分解和检验[J]. 管理世界, 2021, 37(11): 56-70, 105.
- [15]倪红福. 生产网络结构、减税降费与福利效应[J]. 世界经济, 2021, 44(1): 25-53.
- [16]Carvalho, V. M., Voigtländer, N.. Input Diffusion and the Evolution of Production Networks[R]. National Bureau of Economic Research, 2014.
- [17]Long, J. B., Plosser, C. I.. Sectoral vs. Aggregate Shocks in the Business Cycle[J]. American Economic Review, 1987, 77(2): 333-336.
- [18]Lucas, R. E.. Understanding Business Cycles[J]. Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy, 1977, 5: 7-29.
- [19]Horvath, M.. Cyclical and Sectoral Linkages: Aggregate Fluctuations from Independent Sectoral Shocks[J]. Review of Economic Dynamics, 1998, 1(4): 781-808.
- [20]Dupor, B.. Aggregation and Irrelevance in Multi-Sector Models[J]. Journal of Monetary Economics, 1999, 43(2): 391-409.
- [21]Horvath, M.. Sectoral Shocks and Aggregate Fluctuations [J]. Journal of Monetary Economics, 2000, 45(1): 69-106.
- [22]Forni, M., Reichlin, L.. Let's Get Real: A Factor Analytical Approach to Disaggregated Business Cycle Dynamics[J]. The Review of Economic Studies, 1998, 65(3): 453-473.
- [23]Gabaix, X.. The Granular Origins of Aggregate Fluctuations [J]. Econometrica, 2011, 79(3): 733-772.
- [24]Stella, A.. Firm Dynamics and the Origins of Aggregate Fluctuations[J]. Journal of Economic Dynamics and Control, 2015, 55: 71-88.
- [25]Bigio, S., La'ò, J.. Distortions in Production Networks[J]. The Quarterly Journal of Economics, 2020, 135(4): 2187-2253.
- [26]Baqaee, D. R., Farhi, E.. Macroeconomics with Heterogeneous Agents and Input-Output Networks[R]. National Bureau of Economic Research, 2018.
- [27]Carvalho, V. M., Tahbaz-Salehi, A.. Production Networks: A Primer[J]. Annual Review of Economics, 2019, 11: 635-663.
- [28]Bigio, S., Jennifer, L. O.. Financial Frictions in Production Networks[R]. National Bureau of Economic Research, 2016.
- [29]Acemoglu, D., Akgigit, U., Kerr, W.. Networks and the Macroeconomy: An Empirical Exploration[J]. NBER Macroeconomics Annual, 2016, 30(1): 273-335.
- [30]Lane, N.. Manufacturing Revolutions: Industrial Policy and Industrialization in South Korea[R]. Working Paper, 2021.
- [31]Liu, E.. Industrial Policies in Production Networks[J]. The Quarterly Journal of Economics, 2019, 134(4): 1883-1948.
- [32]Oberfield, E.. A Theory of Input-Output Architecture[J]. Econometrica, 2018, 86(2): 559-589.
- [33]Miranda-Pinto, J.. Production Network Structure, Service Share, and Aggregate Volatility[J]. Review of Economic Dynamics, 2021, 39: 146-173.
- [34]Atalay, E., Hortacsu, A., Roberts, J., et al.. Network Structure of Production[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2011, 108(13): 5199-5202.

- [35]Acemoglu, D., Azar, P. D.. Endogenous Production Networks[J]. *Econometrica*, 2020, 88(1): 33–82.
- [36]Carvalho, V. M., Nirei, M., Saito, Y. U., et al.. Supply Chain Disruptions: Evidence from the Great East Japan Earthquake[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 2021, 136(2): 1255–1321.
- [37]Foerster, A., Choi, J.. The Changing Input–Output Network Structure of the US Economy[J]. *Economic Review–Federal Reserve Bank of Kansas City*, 2017, 102(2): 23–49.
- [38]Grassi, B., Sauvagnat, J.. Production Networks and Economic Policy[J]. *Oxford Review of Economic Policy*, 2019, 35(4): 638–677.
- [39]Foerster, A. T., Sarte, P.–D. G., Watson, M. W.. Sectoral versus Aggregate Shocks: A Structural Factor Analysis of Industrial Production[J]. *Journal of Political Economy*, 2011, 119(1): 1–38.
- [40]Di Giovanni, J., Levchenko, A. A., Mejean, L. Firms, Destinations, and Aggregate Fluctuations[J]. *Econometrica*, 2014, 82(4): 1303–1340.
- [41]Barrot, J.–N., Sauvagnat, J.. Input Specificity and the Propagation of Idiosyncratic Shocks in Production Networks[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 2016, 131(3): 1543–1592.
- [42]Hsu, P.–H., Lee, H.–H., Peng, S.–C., et al.. Natural Disasters, Technology Diversity, and Operating Performance[J]. *Review of Economics and Statistics*, 2018, 100(4): 619–630.
- [43]Todo, Y., Nakajima, K., Matous, P.. How Do Supply Chain Networks Affect the Resilience of Firms to Natural Disasters? Evidence from the Great East Japan Earthquake[J]. *Journal of Regional Science*, 2015, 55(2): 209–229.
- [44]Korovkin, V., Makarin, A.. Production Networks and War [R]. Working Paper, 2021.
- [45]Boehm, C. E., Flaaen, A., Pandalai–Nayar, N.. Input Linkages and the Transmission of Shocks: Firm–Level Evidence from the 2011 Tōhoku Earthquake[J]. *Review of Economics and Statistics*, 2019, 101(1): 60–75.
- [46]Kashiwagi, Y., Todo, Y., Matous, P.. Propagation of Economic Shocks Through Global Supply Chains—Evidence from Hurricane Sandy[J]. *Review of International Economics*, 2021, 29(5): 1186–1220.
- [47]Tian, R.. Impacts of Climate Policy and Natural Disasters: Evidence from China[D]. Sweden: University of Gothenburg, 2021.
- [48]Grossman, G. M., Helpman, E., Lhuillier, H.. Supply Chain Resilience: Should Policy Promote Diversification or Reshoring? [R]. National Bureau of Economic Research, 2018.
- [49]Huang, Y., Lin, C., Liu, S., et al.. Trade Linkages and Firm Value: Evidence from the 2018US–China Trade War[R]. Graduate Institute of International and Development Studies Working Paper, 2018.
- [50]Altinoglu, L.. The Origins of Aggregate Fluctuations in a Credit Network Economy[J]. *Journal of Monetary Economics*, 2021, 117: 316–334.
- [51]Delli Gatti, D., Grugni, E.. Breaking Bad: Supply Chain Disruptions in a Streamlined Agent Based Model[R]. CESifo Working Paper, 2021.
- [52]Kopytov, A., Mishra, B., Nimark, K., et al.. Endogenous Production Networks under Uncertainty[J]. 2021, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3936969>.
- [53]Goldman, J.. Government as Customer of Last Resort: The Stabilizing Effects of Government Purchases on Firms[J]. *The Review of Financial Studies*, 2020, 33(2): 610–643.
- [54]Bilgin, N. M.. Endogenous Production Networks and Learning–by–Networking[J]. 2020, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3542371>.
- [55]Bernard, A. B., Moxnes, A., Saito, Y. U.. Production Networks, Geography, and Firm Performance[J]. *Journal of Political Economy*, 2019, 127(2): 639–688.
- [56]陈胜蓝, 刘晓玲. 生产网络中的创新溢出效应——基于国家级高新区的准自然实验研究[J]. *经济学(季刊)*, 2021, 21(5): 1839–1858.
- [57]卞泽阳, 李志远, 徐铭遥. 开发区政策、供应链参与和企业融资约束[J]. *经济研究*, 2021, 56(10): 88–104.
- [58]范剑勇, 刘念, 刘莹莹. 地理距离、投入产出关系与产业集聚[J]. *经济研究*, 2021, 56(10): 138–154.