

数字产业渗透、全球生产网络与非对称技术溢出

刘维林, 程倩

[摘要] 数字产业带有鲜明的技术进步外部性特征,通过生产网络对各产业部门形成的技术溢出是推动宏观全要素生产率增长的重要动力源。本文构建了一个包含中性技术进步和成本加成的生产网络一般均衡模型,剖析了技术进步网络传导的机理和数字产业与非数字产业技术溢出的异质性,进而利用两区制空间自回归估计方法和世界投入产出数据,实证考察了数字产业在全球生产网络中的技术进步及数字产业渗透所带来的非对称溢出效应。研究发现:①研究期间全球数字产业的全要素生产率年平均增长率为1.69%,而通过数字产业渗透所提供和吸收的技术溢出效应分别为2.95%和0.97%;②中国数字产业的自身技术进步速度低于美国、日本等发达国家,但为全球生产网络提供的技术溢出效应较大,在推动全球产业技术进步方面发挥了重要作用;③不同数字细分产业的技术进步与溢出效应存在较大差异,计算机电子和光学产品制造业是全要素生产率增长最快的产业,也是产生技术溢出最多的产业;④数字产业的技术溢出效应存在非对称性,绝大多数数字产业提供的技术溢出大于吸收的技术溢出。从全球生产网络的视角考察数字产业的技术溢出效应,对于更好地利用数字经济赋能高质量发展具有重要意义。

[关键词] 全球生产网络; 数字产业; 全要素生产率; 非对称技术溢出; 空间计量

[中图分类号]F424 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1006-480X(2023)03-0096-19

一、引言

数字经济作为当前中国经济发展中最为活跃的领域,与各产业的深度融合使得新组织、新业态、新模式的应用潜能无限释放,促进了新知识与新技术的模仿、应用和传播,增进了产业之间中间品、资本和劳动市场的互联互通,所形成的技术进步溢出效应推动了经济体系全要素生产率(TFP)

[收稿日期] 2022-10-11

[基金项目] 教育部哲学社会科学重大课题攻关项目“新时代区域协调发展战略研究”(批准号 20JZD028)。

[作者简介] 刘维林,南开大学经济与社会发展研究院、数字经济交叉科学中心副研究员,经济学博士;程倩,南开大学经济与社会发展研究院硕士研究生。通讯作者:刘维林,电子邮箱:liuwl@nankai.edu.cn。感谢南开大学亚洲研究中心项目“新发展格局下中国制造产业链高质量发展的动力来源、传导机理与升级路径”支持;感谢中国工业经济学会2022年学术年会与会学者的宝贵意见;感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵建议,文责自负。

的提升,并将成为中国经济高质量发展的重要动力来源。而从全球视野看,在20世纪90年代末和21世纪初,伴随着全球价值链分工的迅速推进,各国产业日益联结成为一个密切联动的全球生产网络,推动了技术进步在各参与主体间扩散,从而打破了各国产业技术进步相互独立的假设,导致各国经济增长路径呈现出相互依赖的关系。2008年国际金融危机后,在全球化逆流、全球公共卫生冲击等一系列新的挑战下,全球产业分工正呈现内向化收缩、本土化转移等消极趋向,而数字技术的渗透和融合则成为推动价值链协同的积极因素,从价值链前端的研发设计,到后端的交付服务,数字技术将价值链的各个节点与生态关联打通,是重塑全球价值链的重要力量。如何充分利用数字产业融合渗透的机遇以应对全球价值链收缩所引发的技术脱钩挑战,成为党的二十大提出的中国式现代化进程中的重要议题。因此,理解和认识数字产业的技术进步溢出机制,并构建实证模型对其影响进行评估测算,进而发挥数字产业对TFP提升的促进作用,具有重要的现实意义。

近年来涌现的大量研究基于不同思路与方法讨论了数字经济对生产率的促进作用,然而鲜有文献深入探讨数字产业的技术溢出效应,仅有个别文献考虑到数字经济发展在地理空间上的溢出作用,如赵涛等(2020)利用全国地级及以上城市的空间面板数据,运用固定效应模型和空间模型等进行实证分析,发现数字经济存在正向的空间溢出效应。也有少量文献在产业层面探讨了数字产业的技术溢出作用,蔡跃洲和张钧南(2015)认为信息通信技术发展可以渗透到各个产业部门促进其TFP提升,许恒等(2020)考察了数字经济对传统经济的溢出作用与二者竞合发展的动态路径。尽管上述研究从不同角度涉及数字经济的溢出效应对TFP增长的影响,但是很少涉及数字经济技术溢出的生产网络传导机制。Hulten(1978)认为,当一个产业出现技术进步时,不仅会增加产业的自身产出,同时还会通过中间品价格的降低而使得其他产业受益,进而影响整个经济体系的运行。Acemoglu et al.(2012)提出在全球生产网络体系下,产业间中间品投入的关联和互动是生产率变动传导进而影响总产出波动的重要机制。Acemoglu et al.(2016)通过构建全球生产网络模型,证明了TFP的变动会通过生产网络由上游产业向下游产业传导。Baqae and Farhi(2020)提出了包含技术进步和成本加成的生产网络一般均衡模型,为考察技术进步和资源错配在生产网络中的传导机制提供了一个更为一般化的模型框架。Jorgenson et al.(2012)认为,作为数字经济代表的ICT相关产业往往是全球生产网络中技术进步最快的产业,也是推动长期经济增长的重要引擎。尽管以往研究对全球生产网络下的技术进步关联效应进行了探讨,但仍缺乏一个规范的模型框架来测算数字产业的技术进步及其关联溢出效应,也难以评估数字产业通过全球生产网络对各国TFP增长的贡献。

近年来,国内外的一些学者开始尝试利用空间计量分析结合索洛余值法来研究生产主体间的技术溢出效应。Ertur and Koch(2007)在索洛模型的基础上构建了包含国家间技术溢出的经济增长模型并使用空间计量方法进行了实证研究。Tientao et al.(2016)提出了TFP关联溢出增长的理论模型,并利用空间计量模型计算索洛余值,对国家层面的TFP增长和技术溢出进行了估计。Liu and Cheng(2021)将技术溢出效应纳入新古典的经济增长框架,考虑了产业层面中间品投入产出关联产生的技术溢出对经济增长的影响。刘维林(2022)构建了包含技术溢出效应的生产模型,利用空间随机前沿估计方法考察了全球价值链分工下中美两国产业的技术进步及其溢出效应。这种将包含技术溢出的生产模型与空间计量模型有机结合的方法为剖析技术溢出的理论机制并量化评估溢出效应提供了新的思路,但如何通过构造合适的空间权重矩阵来全面刻画产业间的技术溢出关联仍有待深入研究。一方面,以往研究多采用地理距离或空间临近为权重来构造空间权重矩阵,但是Keller(2002)认为将空间关联特征设定为地理距离上的相关或相邻存在一定的局限,因为国家间的

技术溢出强度往往与地理空间上的距离并不具有相关性。在一些研究国家间技术外溢的经典文献中(Grossman and Helpman, 1991; Coe et al., 1997),国际贸易被视为技术外溢的主要渠道。近期很多文献选择使用贸易流量来反映区域间的技术外溢强度(Ertur and Koch, 2011)。但对于生产网络中的产业主体而言,与技术外溢更为紧密的是中间品的流动, Lee(2020)认为中间品贸易是技术溢出的重要载体。Liu and Cheng(2021)也是利用中间品流量矩阵构造空间权重矩阵,作为测度产业间空间联系的权数。因此,本文也将基于世界投入产出表中的中间贸易品流量来构造空间权重矩阵,进而对技术进步的溢出效应展开测算和分析。另一方面,以往文献基本上都是采用单一的空间权重矩阵,其隐含假设是所有产业之间在同样的中间品关联强度下的技术溢出效应是相同的,而由于数字产业在成本加成和中间品使用结构上的不同特征,数字产业与传统产业对技术溢出的推动作用存在异质性,进而导致技术溢出的非对称特征。因此,本文将通过构建两区制的空间计量模型对这种异质性进行实证考察。

鉴于上述分析,本文首先利用生产网络一般均衡模型刻画技术进步的网络传导机理,进而结合数字产业在技术进步速度、中间品渗透和成本加成率方面的特殊性,解析技术溢出非对称性的理论机理,结合两区制空间计量估计方法提出技术进步和非对称溢出效应的估算方法,通过搜集整理2000—2014年全球43个经济体产业层面的面板数据,对数字产业的TFP增长率和技术溢出效应的变动趋势和特征进行实证考察。

本文的边际贡献主要包括以下三个方面:①构建了包含数字产业与非数字产业技术溢出异质性的生产网络一般均衡模型,剖析了技术溢出非对称性的成因及其作用机制,丰富了关于数字产业技术进步和溢出传导理论机理的研究;②基于理论模型所得出的生产函数形式,采用两区制空间自回归模型和世界投入产出数据(WIOD),实证估计了生产函数的主要参数和索洛余值,利用产出弹性乘数矩阵,测算了数字产业技术进步的直接效应和间接效应,解决了以往研究中技术溢出效应难以量化测度的问题;③将全球生产网络下数字产业和非数字产业间的技术溢出效应进行多角度的量化分析和来源追溯,从提供和吸收两个角度对数字产业与非数字产业间的非对称技术溢出效应进行考察,为更有效评估数字产业对长期经济增长潜力的贡献提供了依据。

二、理论机制

本文在Acemoglu et al.(2016)和Baqaee and Farhi(2020)的基础上,构建一个包含中性技术进步和成本加成的全球生产网络一般均衡模型,在此基础上剖析技术进步在全球生产网络中的传导机制,进而加入数字产业渗透的作用,考虑数字产业和非数字产业网络溢出的异质性,剖析数字产业渗透如何通过引领技术进步、促进产业融合等推动技术溢出,从而提升经济系统TFP以及导致技术溢出非对称性的作用机制,为构建两区制空间计量实证模型提供理论基础。

1. 生产网络技术进步传导的理论模型

(1)生产部门。假设全球生产网络由 G 个经济体和 N 个产业部门所组成,产业 i 的代表性厂商采用包含希克斯中性技术进步的Cobb-Douglas生产函数形式,得到产业 i 的生产函数为如下形式^①:

$$y_i = A_i k_i^{\alpha} l_i^{\beta} m_i^{\gamma}, \quad i = 1, \dots, GN \quad (1)$$

① 本部分重点考察结构性因素对技术进步传导的影响,因此,主要基于静态一般均衡进行理论推导。

其中, A_i 代表产业 i 的自身技术进步, y_i 表示产业 i 的总产出, k_i 、 l_i 和 m_i 分别为相应的资本、劳动和复合中间品投入, α_i 、 β_i 和 γ_i 分别表示资本、劳动和复合中间品的产出弹性, 在规模报酬不变时, 有 $\alpha_i + \beta_i + \gamma_i = 1$ 。复合中间品 m_i 同样采用 Cobb-Douglas 生产方式, $m_i = \prod_{j=1}^{GN} x_{ij}^{s_{ij}}$, x_{ij} 代表产业 i 的复合中间品生产过程中所使用的来自产业 j 的中间品投入, $s_{ij} \geq 0$ 是来自产业 j 的中间投入对复合中间品 m_i 的相对产出弹性, 且符合一阶齐次条件, 由此可以得到 $\sum_{j=1}^{GN} s_{ij} = 1$, 当厂商利润最大化时, s_{ij} 代表了中间品投入 x_{ij} 的相对支出份额, 即产业 i 来自上游产业 j 的中间品支出占其全部中间品支出的份额。

代表性厂商通过选择资本、劳动和中间品投入来最大化如下利润函数:

$$\max \left[p_i y_i - \mu_i \left(r k_i + \omega l_i + \sum_{j=1}^{GN} p_j x_{ij} \right) \right] \quad (2)$$

式中, p_i 、 p_j 为产业 i 或产业 j 的产品价格, μ_i 为产业 i 的成本加成, ω 和 r 分别表示劳动的工资和资本的利率。

(2) 家庭。设代表性家庭最大化如下效用函数:

$$U = \prod_{i=1}^{GN} c_i^{b_i} \quad (3)$$

其中, c_i 为家庭对产业 i 最终产品的消费量, b_i 为产业 i 的最终产品消费支出在全部最终消费中的占比, 且 $\sum_{i=1}^{GN} b_i = 1$ 。家庭的预算约束为:

$$\sum_{i=1}^{GN} p_i c_i = \omega l + r k \quad (4)$$

其中, 家庭的收入包括工资收入和利息收入, k 为家庭提供的总资本。

(3) 最优条件和均衡。根据生产部门和家庭的最优选择以及市场出清条件, 可以得到均衡条件下产业自身的技术变动与生产网络各产业部门产出之间的关系如下^①:

$$d \ln y = \left[I - \text{diag}(\boldsymbol{\mu}) \text{diag}(\tilde{\boldsymbol{\gamma}}) S \right]^{-1} d \ln A \quad (5)$$

其中, $\tilde{\boldsymbol{\gamma}}$ 为不考虑成本加成的中间品支出份额向量。式(5)代表在不考虑要素投入变动情况下因技术进步及其关联溢出所带来的产出增长, 其中, 矩阵 $\left[I - \text{diag}(\boldsymbol{\mu}) \text{diag}(\tilde{\boldsymbol{\gamma}}) S \right]^{-1}$ 刻画了通过使用来自上游产业的中间品投入所形成的技术进步关联情况, 即 Acemoglu et al. (2016) 所提出的供给侧技术进步关联。这表明在生产网络下产业 i 的产出增长不仅取决于产业 i 自身的技术进步 $d \ln A_i$, 还取决于关联产业技术进步通过矩阵 $\left[I - \text{diag}(\boldsymbol{\mu}) \text{diag}(\tilde{\boldsymbol{\gamma}}) S \right]^{-1}$ 所形成的溢出效应。根据 Solow (1957) 关于索洛余值的定义, TFP 是指产出增长中剔除各要素投入以外的剩余影响, 因此, 可以将式(5)左侧的产出增长率定义为考虑了生产网络溢出效应的系统 TFP 变化率, 以便与传统的 TFP 概念相区分。这里通过式(5)求产出对时间 t 的导数, 得到式(6)产业的系统 TFP 变化率如下:

$$\hat{\boldsymbol{g}} = \frac{d \ln y}{dt} = \left[I - \text{diag}(\boldsymbol{\mu}) \text{diag}(\tilde{\boldsymbol{\gamma}}) S \right]^{-1} \frac{d \ln A}{dt} \quad (6)$$

其中, $\hat{\boldsymbol{g}}$ 表示系统 TFP 变化率, 将产业自身的技术变动与来自关联产业的技术进步溢出拆分, 可得到:

① 详细的推导过程参见《中国工业经济》网站 (<http://ciejournal.ajcass.org>) 附件。

$$\hat{g}_i = \underbrace{g_i}_{\text{自身技术进步}} + \underbrace{\sum_{j=1}^{GN} (u_{ij} - 1_{j=i}) \times g_j}_{\text{技术进步网络溢出}} \quad (7)$$

其中, g_i 表示产业 i 自身的技术变化率, u_{ij} 是矩阵 $[I - \text{diag}(\boldsymbol{\mu}) \text{diag}(\tilde{\gamma}) S]^{-1}$ 中的第 i, j 个元素, $1_{j=i}$ 表示当 $j=i$ 时的指示函数。

从式(7)可知,产业 i 的系统 TFP 变动由五方面因素共同决定,即:①产业 i 自身的技术进步速度 g_i ;②关联产业的技术进步速度 g_j ;③产业 i 所使用的来自上游产业 j 的中间品相对占比 s_{ij} ;④产业 i 的成本加成率 μ_i ;⑤产业 i 的中间品支出总份额 $\tilde{\gamma}_i$ 。上述五方面因素第一项代表了产业自身技术经济特征所决定的自身效应,而后四项因素则决定了网络溢出效应的大小,且从函数形式看,这四方面因素均与技术溢出呈正向相关关系,以下本文结合数字产业渗透情景对技术进步溢出机制作进一步分析。

2. 数字产业渗透下生产网络中的技术进步溢出

数字经济作为一种新的经济形态,贯穿于全球生产网络的各个环节,由于数字技术的通用性特征,深化了产业之间的链接与融合,促进了生产工序不断细化与合作水平不断深化,数字产业化和产业数字化的发展大大降低了分工成本,为产业部门间的技术溢出提供了强劲的动力支撑,本文将上述生产网络中的技术传导模型应用于数字产业与非数字产业之间的交叉渗透情景下,进而剖析二者之间技术溢出存在非对称性的逻辑机理。

(1) 数字产业提供与吸收的技术溢出测算。本文参考 Elhorst and Fréret (2009) 和龙小宁等 (2014) 考察空间溢出关联强度存在异质性的处理方法,将所有产业分为数字产业和非数字产业两大类,假设全球生产网络中有 n_1 个数字产业和 n_2 个非数字产业,那么将 GN 个产业部门按照数字产业和非数字产业重新排列,产业间的中间品关联矩阵 S_{GN} 可以表示为:

$$S_{GN} = \begin{bmatrix} S_{n_1 n_1} & S_{n_1 n_2} \\ S_{n_2 n_1} & S_{n_2 n_2} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} S_{n_1 n_1} & S_{n_1 n_2} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_{\text{数字产业中间使用}(S_D)} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ S_{n_2 n_1} & S_{n_2 n_2} \end{bmatrix}}_{\text{非数字产业中间使用}(S_{nonD})} \quad (8)$$

其中, $S_{n_1 n_1}$ 、 $S_{n_1 n_2}$ 、 $S_{n_2 n_1}$ 和 $S_{n_2 n_2}$ 分别为 $n_1 \times n_1$ 、 $n_1 \times n_2$ 、 $n_2 \times n_1$ 和 $n_2 \times n_2$ 阶的矩阵, $S_{n_1 n_1}$ 和 $S_{n_2 n_2}$ 分别表示数字产业内部和非数字产业内部的关联关系, $S_{n_1 n_2}$ 表示下游数字产业与上游非数字产业间的关联关系, $S_{n_2 n_1}$ 代表了下游非数字产业与上游数字产业之间的关联关系,也是产业数字化程度的代表。按行拆分后 S_D 代表了数字产业的中间使用结构, S_{nonD} 代表了非数字产业的中间使用结构。

同时,本文将数字产业和非数字产业的自身技术进步分别用 g_D 和 g_{nonD} 表示,同理对成本加成和中间品支出总份额加入下标,则可以将系统 TFP 变化率 \hat{g} 展开为矩阵形式 $[\hat{g}]$,以体现任意两个产业之间的技术进步关联关系。

$$\begin{aligned} [\hat{g}] &= [I_{GN} - \boldsymbol{\mu}_D \text{diag}(\tilde{\gamma}_D) S_D - \boldsymbol{\mu}_{nonD} \text{diag}(\tilde{\gamma}_{nonD}) S_{nonD}]^{-1} \begin{bmatrix} \text{diag}(g_D) & 0 \\ 0 & \text{diag}(g_{nonD}) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \boldsymbol{\psi}_{n_1 n_1} \text{diag}(g_D) & \boldsymbol{\psi}_{n_1 n_2} \text{diag}(g_{nonD}) \\ \boldsymbol{\psi}_{n_2 n_1} \text{diag}(g_D) & \boldsymbol{\psi}_{n_2 n_2} \text{diag}(g_{nonD}) \end{bmatrix} \quad (9) \end{aligned}$$

其中, $\boldsymbol{\psi}$ 表示矩阵 $[I - \text{diag}(\boldsymbol{\mu}) \text{diag}(\tilde{\gamma}) S]^{-1}$ 按照数字产业和非数字产业分块后的子矩阵,基于式(9)本文可以对数字产业提供和吸收的技术溢出效应分别进行测算。①数字产业提供的技术溢

出效应。式(9)纵向上非对角线元素反映了产业技术进步提供的溢出效应(g_{ii}^{off}),即产业自身技术进步对关联产业的技术溢出。对数字产业所在的列求非对角线元素列和的均值,即可得到数字产业技术进步的平均溢出效应,表示数字产业技术进步对关联产业的溢出影响。根据吸收产业的产业类型,可以进一步将其分解为两部分:一是数字产业*i*对其他数字产业的技术溢出(g_{ii}^{off-D}),通过求矩阵 $\psi_{n1n1}diag(g_D)$ 的第*i*列上非对角线元素的和来测算;二是数字产业*i*对非数字产业的技术溢出($g_{ii}^{off-nonD}$),通过求矩阵 $\psi_{n2n1}diag(g_D)$ 的第*i*列元素的和来测算。②数字产业吸收的技术溢出效应。式(9)横向上非对角线元素反映了产业技术进步吸收的溢出效应(g_{ii}^{rec}),即本产业从关联产业技术进步获得的技术溢出。对数字产业所在的行求非对角线元素行和的均值,即可得到数字产业平均吸收的技术溢出效应,表示关联产业技术进步对数字产业的溢出影响。根据提供方的产业类型,这里同样可以进一步将其分解为两部分:一是数字产业*i*从其他数字产业吸收的关联技术溢出(g_{ii}^{rec-D}),可以通过求矩阵 $\psi_{n1n1}diag(g_D)$ 的第*i*行上非对角线元素的和进行测算;二是数字产业*i*从非数字产业吸收的关联技术溢出($g_{ii}^{rec-nonD}$),可以通过求矩阵 $\psi_{n1n2}diag(g_{nonD})$ 的第*i*行元素的和来测算。

(2)数字产业与非数字产业之间技术溢出的非对称性。从式(7)和式(9)所概括的数字产业与非数字产业之间的技术关联结构可以看出,技术溢出效应的大小主要取决于关联产业技术进步、中间品支出结构、成本加成率和中间品占比四方面因素的影响,数字产业在上述四方面与非数字产业存在的不同特征决定了其技术溢出的非对称性。①数字产业是数字技术率先得到转化和应用的领域,在数字产业化的推动下,计算机、电子信息、通讯设备制造以及电信广播电视服务往往都是各国技术进步最快的产业(Jorgenson et al., 2012; Liu et al., 2022),成为各国技术进步的引领,因此,也能够为关联产业提供更多的技术溢出。②由于数字技术的通用性、融合性、平台性等特征,对国民经济各产业具有较强的渗透能力,这种产业数字化有助于提升上下游产业链的协作效率,降低交易成本,从而优化中间品支出结构,促进技术进步的传导。③数字产业的规模经济和范围经济特征更为明显,属于高研发强度和高市场集中度产业,因此,相对于非数字产业具有更高的成本加成率(Calligaris et al., 2018),这也进一步放大了数字产业技术进步溢出的乘数。④数字产业突破了生产协作的时空边界,改变了产业链上下游的分工形态,扩大了垂直专业化分工水平,这种中间品投入占比的提升也同样放大了数字产业的技术进步溢出乘数。由此可见,数字产业在技术溢出的四方面影响因素上都具有明显的优势,使得数字产业向非数字产业提供的技术溢出大于数字产业从非数字产业所吸收的技术溢出。

三、研究设计

本部分在理论分析基础上构建了两区制空间自回归模型进行实证,进而通过各项要素的产出弹性矩阵来测算全球产业关联的溢出效应,并给出吸收视角和提供视角下数字产业技术溢出的测算方法,最后介绍了本文的数据搜集和处理过程。

1. 两区制空间计量模型构建

为了便于后续对技术进步传导机理进行考察,对产业自身的中性技术进步作进一步设定,本文沿用新古典增长模型的设定将产业的外生中性技术水平定义为时间趋势*t*的函数,考虑到数字经济条件下技术进步在“摩尔定律”的作用下呈现的非线性特征,本文参考 Glass et al. (2016)和 Liu and Cheng (2021)的设定,采用时间趋势的一次项和二次项相结合的函数形式, $A_{it} = e^{\delta_0 + \delta_1 t + \delta_2 t^2}$ 。那么,对

技术水平函数取对数,并将其用向量形式表示如下:

$$\ln A = \delta_0 + \delta_1 t + \delta_{\parallel} t^2 \quad (10)$$

根据 Solow (1957), TFP 为产出增长中扣除要素投入增长的剩余部分,即索罗余值,而由 Baqaee and Farhi (2020) 可知,在生产网络的关联条件下,要素 f 的变动对于产出的冲击为 $d\ln y/d\ln f = \Omega_f [I - \text{diag}(\boldsymbol{\mu}) \text{diag}(\tilde{\gamma}) S]^{-1}$, Ω_f 为要素 f 的产出弹性,则总产出可以近似为系统 TFP 和要素投入的产出贡献之和。

$$\begin{aligned} \ln y \approx & [I - \text{diag}(\boldsymbol{\mu}) \text{diag}(\tilde{\gamma}) S]^{-1} (\delta_0 + \delta_1 t + \delta_{\parallel} t^2) \\ & + [I - \text{diag}(\boldsymbol{\mu}) \text{diag}(\tilde{\gamma}) S]^{-1} (\alpha \ln k + \beta \ln l + \gamma \ln m + v) \end{aligned} \quad (11)$$

其中, α 、 β 和 γ 分别表示资本、劳动和中间品的自身产出弹性,设定 v 为其他导致产出变动的随机扰动和偏差,两侧左乘以 $[I - \text{diag}(\boldsymbol{\mu}) \text{diag}(\tilde{\gamma}) S]$, 设 $\boldsymbol{\rho} = \text{diag}(\boldsymbol{\mu}) \text{diag}(\tilde{\gamma})$, 可以将式(11)改写为如下空间自回归的函数形式:

$$\ln y = \boldsymbol{\rho} S \ln y + \alpha \ln k + \beta \ln l + \gamma \ln m + \delta_0 + \delta_1 t + \delta_{\parallel} t^2 + v \quad (12)$$

考虑到大多数数字产业在成本加成率和中间品占比两方面均高于非数字产业,为了体现这种异质性,本文对数字产业和非数字产业分别设 $\boldsymbol{\rho}_1 = \text{diag}(\boldsymbol{\mu}_D) \text{diag}(\tilde{\gamma}_D)$, $\boldsymbol{\rho}_2 = \text{diag}(\boldsymbol{\mu}_{nonD}) \text{diag}(\tilde{\gamma}_{nonD})$, 将式(12)按照式(8)进行拆分并代入 $\boldsymbol{\rho}_1$ 和 $\boldsymbol{\rho}_2$, 对参数适当简化,可以构建如下形式的空间计量估计模型:

$$\ln y = \underbrace{\boldsymbol{\rho}_1 S_D}_{\text{数字产业关联}} \ln y + \underbrace{\boldsymbol{\rho}_2 S_{nonD}}_{\text{非数字产业关联}} \ln y + \alpha \ln k + \beta \ln l + \gamma \ln m + \delta_0 + \delta_1 t + \delta_{\parallel} t^2 + v \quad (13)$$

2. 要素投入与技术进步溢出效应的测算方法

由于溢出效应的存在,传统生产函数中以投入要素的系数 α 、 β 和 γ 分别来表示该要素的产出弹性将是有所偏的。LeSage and Pace (2009) 建议使用直接效应和间接效应来衡量投入要素对产出的直接影响和间接影响。以资本为例,将式(13)中 $\ln y$ 对 $\ln k$ 求偏导,即可得到年份 t 下各产业的资本产出弹性^①。

进一步考察由于技术进步所引起的外溢效应,将式(10)对时间趋势 t 求导数,得到 $g = d\ln A/dt = \delta_1 + 2\delta_{\parallel} t$, 代入式(9),可以得到产业间的技术进步溢出的表达式:

$$[\hat{g}] = \begin{bmatrix} \psi_{11}(\delta_{11} + 2\delta_{\parallel 1} t) & \psi_{12}(\delta_{12} + 2\delta_{\parallel 2} t) & \cdots & \psi_{1GN}(\delta_{1GN} + 2\delta_{\parallel GN} t) \\ \psi_{21}(\delta_{11} + 2\delta_{\parallel 1} t) & \psi_{22}(\delta_{12} + 2\delta_{\parallel 2} t) & \cdots & \psi_{2GN}(\delta_{1GN} + 2\delta_{\parallel GN} t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \psi_{GN1}(\delta_{11} + 2\delta_{\parallel 1} t) & \psi_{GN2}(\delta_{12} + 2\delta_{\parallel 2} t) & \cdots & \psi_{GNGN}(\delta_{1GN} + 2\delta_{\parallel GN} t) \end{bmatrix} \quad (14)$$

其中,式(14)矩阵对角线元素为各产业自身技术进步的直接效应(g_u^{dir})。非对角线元素反映了产业间技术进步的交互影响,例如 $\psi_{12}(\delta_{12} + 2\delta_{\parallel 2} t)$ 表示在年份 t , 产业 2 的技术进步对产业 1 的溢出影响。本文定义第 i 列非对角线元素的和为产业 i 技术进步提供的技术溢出效应(g_u^{off}), 表示当产业 i 技术水平发生变化时,通过产业关联对其他 $GN - 1$ 个产业产生的技术溢出影响;定义第 i 行非对角线元素的和为产业 i 吸收的技术溢出效应(g_u^{rec}), 表示当其他 $GN - 1$ 个产业技术水平发生变化

① 详细的测算方法参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。

时,产业*i*通过产业关联吸收的技术溢出效应。进一步将该矩阵按式(9)分解方法对数字产业和非数字产业进行区分,则可以得到数字产业和非数字产业各自吸收与提供的技术溢出效应。

3. 数据来源与处理

本文主要使用世界投入产出数据库(World Input-Output Database, WIOD)的数据进行生产函数模型估计和技术溢出效应分析。该数据库包括31个欧洲国家以及世界其他地区的12个主要国家(地区),每个国家(地区)细分为56个产业部门,数据年份涵盖2000—2014年。WIOD中包含的这43个经济体每年的GDP总和约为全球GDP的85%,因此,能够很好地反映当前的全球生产格局。本文参照国家统计局发布的《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》,将数字经济产业与WIOD的行业进行匹配归并,得到四个数字产业^①,分别为计算机电子和光学产品制造业、电气设备制造业、电信业、信息技术和服务业。由于2000年之后数字产业进入快速发展阶段,并不断渗透到其他产业,因此,本文的数据能够体现出这一阶段数字产业发展的现状和特征^②。

总产出、资本存量和劳动力等数据来源于WIOD的社会经济账户(SEA),本文使用SEA表提供的产业部门层面的总产出和中间产品投入的价格指数、9.1版PWT数据库中的资本投入的价格指数以及各个国家在各个年份的PPP汇率与WIOD的数据进行匹配,将产出和投入数据折算为按照不变价格美元计价的数据序列。主要变量的描述性统计见表1。

表1 样本数据变量的描述性统计

变量		变量名称	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
全部产业	lny	总产出对数值	17262	9.7557	2.0796	0.1740	15.2409
	lnk	资本对数值	17262	9.3169	2.1767	-0.1744	14.8912
	lnl	劳动力对数值	17262	4.4625	2.2260	-4.6052	12.7024
	lnm	中间品对数值	17262	9.2260	2.0735	-2.0336	14.9179
数字产业	lny	总产出对数值	2380	9.3105	1.9728	0.1740	14.7020
	lnk	资本对数值	2380	8.7597	2.1974	1.1184	13.9388
	lnl	劳动力对数值	2380	3.8677	1.9702	-2.8134	9.4860
	lnm	中间品对数值	2380	8.6916	2.0038	-0.9252	14.4545
非数字产业	lny	总产出对数值	14882	9.8269	2.0874	0.2390	15.2409
	lnk	资本对数值	14882	9.4060	2.1602	-0.1744	14.8912
	lnl	劳动力对数值	14882	4.5576	2.2497	-4.6052	12.7024
	lnm	中间品对数值	14882	9.3115	2.0718	-2.0336	14.9179

注:总产出、资本和中间品的单位是百万美元,劳动力的单位是千人。

在进行模型估计时,本文剔除了非市场化和零产出的产业部门。此外,本文在实证模型中引入了年度虚拟变量,以过滤掉因共同冲击所引起的截面相关,从而削弱因产出空间滞后项的内生性可能造成的偏误。同时为了避免要素投入变量的内生性,本文还将要素投入变量滞后一期。

① 根据《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》,数字经济核心产业是指为产业数字化发展提供数字技术、产品、服务、基础设施和解决方案,以及完全依赖于数字技术、数据要素的各类经济活动。具体范围为4个大类:01数字产品制造业、02数字产品服务业、03数字技术应用业、04数字要素驱动业。本文将该分类对应到国民经济行业代码及名称,建立《国民经济行业分类》(GB/T 4754-2017)与WIOD(2016年版)行业的对应关系,因数据所限,最后得到4个数字产业。

② 限于数据的可得性,本文只考察了2000—2014年数字产业的技术溢出效应。

空间权重矩阵来源于 WIOD 数据库提供的国家—产业层面的中间品流量矩阵。具体地,利用 WIOD 数据库中世界投入产出表中的中间品流量矩阵,为了减少内生性的影响,本文使用了 2000—2014 年中间品流量的均值(Ertur and Koch, 2011)。对中间品流量矩阵进行转置,将对角线元素设置为零后,对其施行行标准化,即可得到本文的空间权重矩阵 S 。其中,第 i 行第 j 列的元素表示产业 i 使用的来自上游供应商产业 j 的中间品投入占总中间品投入的比重,该值近似等价于前文生产网络理论模型中的中间品支出占比 s_{ij} 。最后,按式(8)的分解方式对空间权重矩阵 S 进行拆分,得到两区制空间计量模型中的二阶空间权重矩阵 S_D 和 S_{nonD} 。

四、实证估计结果

借鉴 Elhorst and Fréret(2009)提出的两区制空间面板模型最大似然估计法并放松规模报酬不变假设,本部分对式(13)两区制空间自回归模型形式的生产函数进行了估计。

1. 样本的空间相关性检验

在空间计量模型进行估计之前,首先需要检验截面个体的空间相关性。本文采用以往研究常采用的 Moran's I 指数和 Geary's C 指数两种方法来检验全球产业间的空间相关性。根据前文理论分析,产业之间的关联可以体现在生产要素和中间品在产业之间的流动,也可以体现在生产技术等在产业之间的传播,而这些关联所引致的结果均可以在产业的产出中得到反映,因此,可以选取总产出作为测度产业相关性的指标(程名望等, 2019)。测算结果表明^①, 2000—2014 年,总产出的 Moran's I 指数介于(0.53, 0.54),均在 1% 显著性水平上显著,说明产业间存在着较强的正向空间相关。同时, Geary's C 指数也均强烈拒绝全球产业间无空间相关性的假设,也表明全球产业间各个年份都存在较强的空间正相关性,因此,需要使用上文设定的空间计量模型进行估计。

2. 生产网络技术溢出模型的估计结果

根据上文的理论设定,为了控制产业个体效应对估计结果可能带来的偏误,本文在模型中控制了产业层面的固定效应。首先,本文采用极大似然估计法对没有区分数字产业与非数字产业技术溢出强度差异的单区制空间自回归(SAR)模型形式的生产函数式(12)进行估计,然后采用最大似然估计法对两区制 SAR 模型形式的生产函数式(13)进行估计,进而利用对数似然比检验进行取舍。表 2 中第(1)和(2)列分别对应单区制 SAR 模型回归结果,第(3)和(4)列为相应的两区制 SAR 模型的回归结果。在技术进步趋势的设定上,本文主要考虑了线性和非线性两种设定。

从表 2 可以看到,两种技术进步趋势设定下,单区制 SAR 和两区制 SAR 模型的投入要素系数的估计结果均相差不大,表明参数识别比较稳健,考虑到线性技术进步设定下技术进步速度是固定的,是一种更为严格的假设,本文认为非线性技术进步的设置更为合理,因此选择非线性技术进步的估计结果作为主要的讨论对象。表 2 的估计结果显示,第(2)列中空间自相关系数 ρ 为正且显著,表明样本之间存在显著的截面相关关系,这种相关性所产生的外溢效应是影响经济增长的一个重要因素。第(4)列报告了两区制模型的估计结果, LR 检验的估计值约为 78.74, $p < 0.01$,说明应该拒绝单区制 SAR 模型而应该采用两区制 SAR 模型,可以看到数字产业关联的空间自相关系数 ρ_1 约为 0.53,而非数字产业关联的空间自相关系数 ρ_2 约为 0.32,在 1% 的水平上显著,数字产业的空间相关性高于非数字产业,结合式(9)和式(13)可知, ρ 代表了成本加成率和中间品占比的乘积,说明数

^① 测算结果参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。

字产业相对于非数字产业而言,由于其在成本加成和中间品占比上的优势而在技术溢出强度上明显高于非数字产业,成为二者之间技术溢出非对称性的一个重要来源。

表2 生产网络技术溢出模型回归结果

变量	单区制 SAR 模型		两区制 SAR 模型	
	(1)	(2)	(3)	(4)
$\ln k$	0.0449*** (0.0038)	0.0480*** (0.0039)	0.0445*** (0.0038)	0.0476*** (0.0038)
$\ln l$	0.0792*** (0.0053)	0.0772*** (0.0053)	0.0793*** (0.0052)	0.0774*** (0.0052)
$\ln m$	0.6139*** (0.0044)	0.6140*** (0.0044)	0.6100*** (0.0044)	0.6104*** (0.0044)
t	0.0070*** (0.0007)	0.0259*** (0.0030)	0.0067*** (0.0007)	0.0249*** (0.0030)
t^2		-0.0024*** (0.0004)		-0.0023*** (0.0004)
$\rho(\rho_1)$	0.3450*** (0.0100)	0.3570*** (0.0101)	0.5267*** (0.0226)	0.5333*** (0.0227)
ρ_2			0.3056*** (0.0108)	0.3161*** (0.0109)
$\rho_1 - \rho_2$			0.2211*** (0.0237)	0.2171*** (0.0238)
σ^2	0.0135	0.0135	0.0134	0.0134
对数似然值	12633	12653	12673	12693
R^2	0.9969	0.9969	0.9969	0.9969
个体固定效应	控制	控制	控制	控制
时间虚拟变量	是	是	是	是
观测值	17262	17262	17262	17262
LR 检验			81.4604	78.7383

注:***、**、*分别表示在1%、5%和10%的统计水平上显著。括号内为标准误差。以下各表同。

$\ln k$ 、 $\ln l$ 和 $\ln m$ 的系数均在0—1之间,且通过了1%显著性水平的检验。但需要说明的是,不同于非空间模型,在空间模型下用三者的系数来衡量投入要素的产出弹性是有偏的,而应该采用直接和间接效应来衡量投入要素的产出弹性(LeSage and Pace, 2009),这些效应的估计结果将在后面部分专门加以分析。此外,可以看到,用于反映产业自身中性技术进步的时间趋势一次项 t 的系数显著为正,二次项 t^2 的系数显著为负,说明在2000—2014年,全球总体看,产业自身的技术进步对产出增长的贡献呈现出“倒U型”趋势,这与多数研究关于全球TFP增长放缓的观点相一致(Feenstra et al., 2015; Inklaar and Diewert, 2016; Liu and Cheng, 2021)。

3. 不同空间权重矩阵设定的稳健性检验

本文通过考察不同空间权重矩阵设定对全球关联生产模型估计的影响,以检验估计结果的稳健性^①。首先,以中间品的分配量(或输出量)为权数构造空间权重矩阵 W_1 ,其中元素 w_{ij} 表示产业 i

① 稳健性检验结果参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。

提供给产业 j 的中间投入,可直接通过中间品流量矩阵得到,这种技术溢出的方向与需求侧拉动型技术进步的方向一致,即为生产网络下游的产业提供中间品而发生的技术溢出,且同样按照式(8)的分解方式对其进行拆分,回归结果在投入要素系数和空间相关系数上,均与基准回归结果一致,同时,LR检验的估计值也同样拒绝单区制SAR模型的假设,应该采用两区制SAR模型。数字经济相关产业的关联系数大于非数字产业的关联系数,且通过了1%显著性水平的检验。其次,考虑到中间品贸易在全球生产网络下的循环流转,按照传统贸易统计方式所得到的中间品流量存在“重复统计”的情况,可能会影响产业间关联强度的判断,本文利用WIOD的投入产出表和Johnson and Noguera(2012)的方法计算得到两国产业间的国内增加值流量矩阵作为空间权重矩阵,以避免采用中间品流量测度技术溢出可能带来的偏差,对其进行拆分后的两区制模型估计结果也与基准回归呈现出较好的一致性,其中基于增加值流量矩阵的空间相关系数略高于基准模型,表明在剔除了中间品流量中的重复计算成分后,单位国内增加值所承载的技术溢出强度可能比单位中间品投入所承载的技术溢出强度更大。

4. 投入要素产出弹性的直接和间接效应

本文参考LeSage and Pace(2009)对直接和间接效应的估计方法,对空间计量模型中生产要素投入对产出的影响进行测算,并利用蒙特卡洛模拟的方法,得到估计系数的显著性水平。表3列出了考虑溢出效应后投入要素对于产出的影响,可以看到,对于全部产业,三种投入要素的直接效应都大于零,且通过了显著性检验,其中,中间品的直接产出弹性最高,约为0.61,劳动力和资本投入的直接产出弹性分别约为0.08和0.05,系数的相对大小与相关文献的估计结果总体一致^①(Liu and Cheng, 2021;步晓宁等,2019)。从间接效应的估计结果看,中间品、劳动和资本的间接效应分别约为0.32、0.04和0.02,均在1%水平上显著,意味着在全球生产网络体系下,产业投入的各项生产要素均具有正向的空间外部性,且中间品是传递溢出效应最重要的渠道。

为了进一步区分数字产业关联和非数字产业关联的溢出效应,本文利用式(8),提取两类产业所在的行,将三种生产要素的直接效应和间接效应按产业类型进一步分解,结果见表3。从直接效应看,数字产业的三种投入要素的直接效应均与非数字产业十分接近。在本文重点考察的反映要素关联溢出大小的间接效应中,数字产业和非数字产业三种生产要素的间接效应均显著大于零。对于数字产业,资本、劳动和中间品的间接效应分别约为0.04、0.06和0.51,远大于相应的非数字产

表3 投入要素的直接和间接效应

		直接效应	t值	间接效应	t值	总效应	t值
全部产业	lnk	0.0477 ***	12.56	0.0247 ***	11.52	0.0725 ***	12.59
	lnl	0.0777 ***	15.92	0.0402 ***	13.46	0.1179 ***	15.74
	lnm	0.6128 ***	148.58	0.3175 ***	23.29	0.9303 ***	67.71
数字产业	lnk	0.0477 ***	12.56	0.0397 ***	11.02	0.0875 ***	12.44
	lnl	0.0777 ***	15.92	0.0647 ***	12.34	0.1424 ***	15.08
	lnm	0.6130 ***	148.72	0.5104 ***	18.77	1.1234 ***	41.51
非数字产业	lnk	0.0477 ***	12.56	0.0223 ***	11.15	0.0701 ***	12.53
	lnl	0.0777 ***	15.92	0.0363 ***	13.00	0.1140 ***	15.70
	lnm	0.6128 ***	148.54	0.2867 ***	21.06	0.8994 ***	65.11

① 由于不同研究选取的样本在国家范围、时间范围以及数据的层级均有所不同,加之生产函数的形式和假定上存在差异,因此结果不尽相同。但总体而言,中间品投入的系数通常较大,劳动和资本的系数相对较小。

业的间接效应,说明数字产业渗透使要素投入产生了更强的关联溢出效应。从三种生产要素的总效应之和看,全部产业的规模报酬系数约为1.12,说明在考虑了要素的溢出效应后,全球产业整体表现为略微的规模报酬递增,而数字产业的规模报酬系数约为1.35,明显高于非数字产业的1.08,进一步反映出数字产业在“梅特卡夫定律”支配下所呈现出的规模报酬递增特性。

五、数字产业的技术进步及其非对称溢出分析

本部分将重点转向产业技术进步及其溢出效应的测算上,基于索洛余值来测算全球数字产业TFP增长率及其溢出效应,并从不同层面考察数字产业的技术溢出影响。

1. 数字产业技术进步及其非对称溢出的总体情况

基于生产模型式(13)的估计结果可以得到所有产业的索洛余值,进而测算出全球产业技术进步的增长率,然后根据式(14)计算各产业的技术溢出效应,并以产出为权重计算全球和各国产业平均的TFP增长率和技术溢出效应。

(1)全球数字产业的技术进步及其非对称技术溢出。表4给出了2001—2014年全球产业平均的技术进步及其溢出效应的测算结果。从产业自身技术进步的增幅看,全球产业TFP年平均增长率为0.80%,其中,数字产业的年均增长率为1.69%,高于非数字产业平均0.74%的年均增长率,表明在新一代信息技术为主导的科技革命引领下,数字经济相关产业具有较快的技术进步速度(Liu et al., 2022)。结合式(9)可知,数字产业较快的技术进步速度能够为其他关联产业提供更多的技术溢出,进一步加深了技术溢出的非对称性。

表4 全球数字产业与非数字产业的技术进步及其溢出效应 单位:%

产业类型	自身效应 (g^{Dir})	提供的技术溢出效应			吸收的技术溢出效应		
		全部产业 (g^{off})	数字产业 ($g^{off,D}$)	非数字产业 ($g^{off,nonD}$)	全部产业 (g^{rec})	数字产业 ($g^{rec,D}$)	非数字产业 ($g^{rec,nonD}$)
全部产业	0.80	1.10	0.36	0.75	0.48	0.10	0.38
数字产业	1.69	2.95	1.78	1.17	0.97	0.36	0.61
非数字产业	0.74	0.96	0.24	0.73	0.43	0.08	0.36

从技术溢出效应的测算结果看,全球产业在考察期内所提供的技术进步溢出效应均值为1.10%,即全球产业的技术进步带动关联产业产出增加之和为1.10%,其贡献超过了产业技术进步的直接效应,表明产业间技术溢出是推动世界经济增长不可忽视的一种动力源。具体地,数字产业技术进步提供的技术溢出效应年平均值为2.95%,说明数字产业的技术进步带动了其关联产业获得年平均2.95%的产出增长,远大于数字产业技术进步的自身效应,表明数字产业的技术进步通过全球生产网络的传导广泛渗透到关联产业,已成为全球TFP增长的重要影响因素。从提供的技术溢出效应的构成看,数字产业的技术进步推动了关联数字产业的产出提高1.78%,促进了关联非数字产业的产出提高1.17%。由此可见,数字产业的技术进步对关联数字产业的总溢出影响大于关联非数字产业,表明数字产业内部各产业间的技术溢出比数字产业与非数字产业之间的技术溢出更大一些,意味着数字产业内部更容易发生技术溢出。主要原因可能是,数字产业同类产业间的相互依赖程度较深,投入产出关联比较紧密,更容易相互渗透、相互学习,产业间更容易发生技术溢出。

对比提供者角度和吸收者角度技术溢出效应的测算结果,研究期间数字产业技术进步提供的溢出效应均明显高于吸收的技术溢出效应,体现了数字产业提供和吸收的技术溢出具有非对称性,即数字产业技术进步对关联产业TFP增长的推动作用大于从关联产业技术进步所吸收的TFP增长效应。从表4还可以看到,数字产业对数字产业和非数字产业两类产业所提供的技术溢出效应都显著大于非数字产业对两类产业所提供的技术溢出效应,表明数字产业渗透增强了产业间技术溢出效应,主要原因可能正如前文理论分析指出的,数字产业自身具有通用性、渗透性和协同性等特征、技术进步较快、成本加成率较高以及中间品技术含量较高。

(2)主要国家数字产业的非对称技术溢出效应。从各国数字产业技术进步的自身效应看,2001—2014年,8个主要国家的数字产业TFP都出现了不同程度的上升,其中,美国、日本和法国的数字产业TFP升幅较大,年增长率分别为4.41%、2.90%和2.00%。中国数字产业的TFP年增长率仅为0.68%(见表5),这表明尽管近年来中国的数字经济快速发展,但数字产业的TFP增长速度仍不及美国、日本和法国等发达国家,数字产业核心技术的自主创新能力还有待提升。

表5 主要国家数字产业技术进步的自身效应 单位:%

时间段	中国	美国	日本	德国	英国	印度	法国	意大利
2001—2005	0.09	5.58	0.72	-0.09	-1.17	0.66	1.30	0.74
2005—2010	0.70	4.29	2.80	1.25	0.72	0.59	1.75	1.25
2010—2014	3.19	5.30	7.19	5.18	4.47	3.39	4.88	4.33
样本期均值	0.68	4.41	2.90	1.46	0.67	0.90	2.00	1.46

在全球生产网络下,某一数字产业的技术进步会传导到关联产业,推动关联产业的TFP提高。图1(a)中深灰和浅灰区域的总和代表了主要国家数字产业技术进步对全部关联产业提供的技术溢出效应,可以看到,美国、中国、日本和德国的溢出效应较高,分别为6.75%、3.63%、3.29%和2.92%,主要原因在于研究期间内,这4个国家分别为北美洲、亚洲、欧洲三大区域价值链的重要枢纽。一方面,这些国家深度嵌入全球生产网络,与其他国家的产业关联较为紧密;另一方面,这些国家的经济规模较大,是本地区以及全球中间品的主要提供者和需求者,数字产业自身技术进步通过全球生产网络的传导产生了溢出效应,推动了全球产业的TFP增长。值得一提的是,尽管中国提供的技术溢出效应小于美国,但中国数字产业的技术溢出与自身技术进步的比值即相对溢出乘数^①高达5.32,远高于美国和其他国家,表明中国数字产业在带动其他产业技术进步上发挥着重要的作用,这可能得益于中国完备的工业体系和相对完善的产业结构以及产业规模优势,通过广泛的国内和国际价值链分工推动了数字产业的技术溢出,也印证了中国打造数字经济新优势、促进数字技术与实体经济深度融合、赋能传统非数字产业转型升级、充分发挥数字产业的溢出效应,促进中国经济高质量发展的重要性。

基于技术溢出效应矩阵式(9),本文将数字产业的技术溢出效应 g^{off} 进一步分解为对数字产业的溢出 g^{off-D} 和对非数字产业的溢出 $g^{off-nonD}$ 。从图1(a)可以看到,美国数字产业的技术进步对推动全球数字和非数字两类产业产出增长的贡献均最大,使得全球数字产业和非数字产业的产出分别增长3.75%和3.00%。而中国数字产业的技术进步推动了全球数字产业和非数字产业的产出增长分

^① 本文以产业技术进步提供的技术溢出效应与自身效应的比值来衡量相对溢出乘数,即相对溢出乘数是指产业TFP增长1%时,推动关联产业产出增长的百分比。

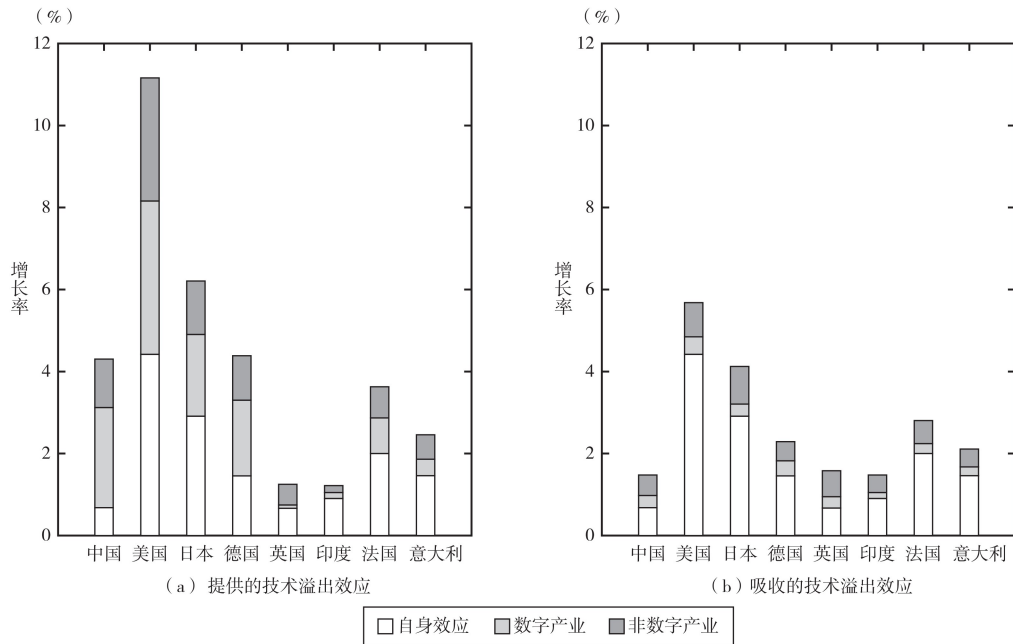


图1 主要国家数字产业技术进步及其溢出效应

注:(a)中浅灰色区域和深灰色区域分别表示提供给数字产业和非数字产业的技术溢出效应;(b)中的自身效应对应(a)中的自身效应,浅灰色区域和深灰色区域分别表示从数字产业和非数字产业吸收的技术溢出效应。

别为2.44%和1.19%。图1(b)灰色区域展示了各国数字产业吸收的技术溢出效应,相较于数字产业所提供的技术溢出效应,各国数字产业从全部关联产业所吸收的技术溢出大小比较相近,约为0.57%—1.25%。除英国和印度之外,其他6个国家数字产业提供的技术溢出均大于吸收的技术溢出,这意味着数字产业作为技术进步外部性的提供者和吸收者两种角色下所衡量的溢出效应具有非对称特征,数字产业技术进步对生产网络中关联产业产出增长的贡献大于从生产网络中关联产业的技术外溢所获取的产出增长收益,表明数字产业渗透到其他产业对促进TFP增长发挥着重要的作用。此外,对比这6个国家数字产业与非数字产业间的溢出效应,数字产业对非数字产业提供的技术溢出效应都大于数字产业从非数字产业吸收的技术溢出效应,验证了数字产业与非数字产业相互之间溢出效应的非对称性。而英国和印度数字产业提供的技术溢出小于吸收的技术溢出,其原因可能在于,一方面这两个国家数字产业自身的技术进步速度较低,带动关联产业TFP增长的作用有限;另一方面这两个国家的数字技术可能并未在社会经济各领域中得到充分运用,其技术进步还未对关联产业形成技术扩散和知识溢出,体现出数字技术溢出的滞后性(van Ark, 2016)。

2. 中国各细分产业的技术进步及其非对称溢出效应

本文进一步对中国各细分产业的技术溢出效应进行比较和考察^①,表6报告了2001—2014年各产业技术进步的年平均溢出效应情况。从产业技术进步的自身效应增幅看,数字产业中,计算机电子和光学产品制造业是技术进步最快的产业,TFP年均增长率达到1.95%,其次为电气设备制造业,TFP年均增长率为1.15%,而电信业、信息技术和服务业的TFP有所下降。非数字产业中,制造业技术进步相对较快,其中,食品饮料和烟草制造业是技术进步最快的产业,TFP年平均增长率达

① 本文还分别测算了全球和主要国家数字细分产业的非对称技术溢出的结果,参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。

到4.52%;第二产业中的电气燃气等和建筑业相关行业的TFP变化不大,供水业TFP有所下降;第三产业中批发零售业和金融服务的TFP年平均增长率分别为2.62%和0.96%,专业科学技术和行政辅助等行业的TFP年平均增长率为-3.53%,其他产业的TFP变化不大。

从提供的技术溢出效应大小看,数字制造业中,计算机电子和光学产品制造业、电气设备制造业产生的技术溢出效应最大,而数字服务业中电信业、信息技术和服务业因产业自身的TFP增长为负值,对其他产业产生了负向的技术溢出效应;非数字产业中,化工和化学制品业、食品饮料和烟草制造业提供了较大的技术溢出效应,分别为4.74%和3.64%。从相对溢出乘数大小看,数字产业中的计算机电子和光学产品、电气设备位于前两位,其相对溢出乘数分别为3.35和1.64,这表明数字

表6 中国细分产业的技术进步及其溢出效应

产业类型	产业名称	自身效应	提供的技术溢出效应				吸收的技术溢出效应			
		g^{Dir} (%)	g^{off} (%)	g^{off-D} (%)	g^{off_nonD} (%)	g^{off}/g^{Dir}	g^{rec} (%)	g^{rec-D} (%)	g^{rec_nonD} (%)	g^{rec}/g^{Dir}
		(1)	(2)	(2a)	(2b)	(3)	(4)	(4a)	(4b)	(5)
数字产业	计算机电子和光学产品	1.95	6.54	4.47	2.07	3.35	0.96	0.39	0.57	0.49
	电气设备	1.15	1.89	1.02	0.87	1.64	0.67	0.14	0.53	0.58
	电信业	-2.49	-0.69	-0.30	-0.38	0.28	0.75	0.45	0.30	-0.30
	信息技术和服务业	-1.05	-0.07	-0.03	-0.04	0.06	0.50	0.22	0.28	-0.48
非数字产业	农林牧渔业	-3.01	-3.28	-0.20	-3.08	1.09	0.84	0.00	0.83	-0.28
	采矿业	-4.33	-5.93	-0.71	-5.22	1.37	0.43	0.04	0.39	-0.10
	食品饮料和烟草	4.52	3.64	0.45	3.19	0.81	-0.40	0.01	-0.41	-0.09
	纺织服装皮革	2.34	1.81	0.18	1.63	0.78	0.19	0.01	0.18	0.08
	木材及制品等	3.09	1.21	0.13	1.08	0.39	0.05	0.01	0.04	0.02
	纸和复制打印	0.82	0.47	0.16	0.32	0.57	0.31	0.02	0.30	0.38
	石油煤炭等	0.71	0.77	0.12	0.65	1.09	-0.66	0.02	-0.67	-0.93
	化工和化学制品	2.24	4.74	0.86	3.88	2.12	0.12	0.02	0.11	0.06
	医药产品制造	3.21	0.47	0.04	0.43	0.15	0.07	0.01	0.06	0.02
	橡胶和塑料制品	0.69	0.70	0.22	0.47	1.01	0.52	0.01	0.51	0.75
	非金属矿制品	4.27	2.29	0.61	1.67	0.54	0.12	0.02	0.10	0.03
	基本金属制造	0.30	0.60	0.21	0.38	1.98	-0.10	0.02	-0.12	-0.34
	金属制品(除机械设备)	2.74	2.53	0.76	1.78	0.92	0.24	0.02	0.22	0.09
	其他机械和设备制造	1.18	1.43	0.38	1.05	1.22	0.43	0.11	0.31	0.36
	运输设备	4.31	2.75	0.53	2.22	0.64	0.40	0.08	0.31	0.09
	家具、其他制造和维修等	-1.05	-0.23	-0.05	-0.18	0.22	0.53	0.02	0.51	-0.51
	电气燃气等	0.46	0.49	0.11	0.38	1.06	-0.14	0.10	-0.24	-0.31
	供水	-0.83	-0.05	-0.01	-0.04	0.05	0.41	0.04	0.37	-0.49
	建筑	-0.27	-0.03	-0.01	-0.02	0.10	0.56	0.03	0.53	-2.03
	批发零售	2.62	3.54	1.20	2.34	1.35	-0.04	0.04	-0.08	-0.02
	运输和储存	0.15	0.19	0.05	0.14	1.30	0.41	0.00	0.40	2.73
	住宿餐饮	0.44	0.22	0.06	0.16	0.50	0.65	0.00	0.65	1.47
金融服务	0.96	0.86	0.26	0.60	0.89	-0.06	-0.04	-0.03	-0.07	
专业科学技术和行政辅助等	-3.53	-6.36	-1.98	-4.39	1.80	0.60	0.13	0.48	-0.17	

产业确实能够产生较大的技术溢出作用,而非数字产业中相对溢出乘数较高的是化工和化学制品制造业、基本金属制造业,相对大小分别为2.12和1.98,主要原因是这两类产业属于能源密集型行业,处于产业链上游,通过中间品内嵌技术,更容易实现产业间技术知识的传递,对下游产业产生较大的技术溢出效应。

从技术溢出的吸收角度看,如表6后四列所示,中国大多数产业从生产网络中吸收了正向的技术进步溢出,各产业受关联产业带动所获得的TFP增长约为-0.66%—0.96%,比各产业所提供的技术溢出分布更为集中,进一步体现出技术溢出提供和吸收的非对称性。其中数字产业吸收的技术溢出效应大于非数字产业,主要原因是数字产业链的分工结构更为复杂,产业之间的融合渗透程度更高,关联产业的技术进步能够对其TFP提升产生更大拉动作用。其中,计算机电子和光学产品、电气设备制造业吸收的技术溢出均达到自身技术进步增幅的1/2左右,而电信业、信息技术和服务业所吸收的正向技术溢出缓解了二者自身技术进步的下降趋势。此外,非数字产业中的食品饮料和烟草、石油煤炭产业所吸收的负向技术溢出效应较大,主要原因在于这两个产业的主要上游产业即农林牧渔业和采矿业在考察期呈现出技术进步停滞甚至倒退的情况,进一步说明上游产业的关联结构对于技术进步具有重要影响。

六、结论与政策启示

本文首先通过构建生产网络一般均衡理论模型刻画了技术进步网络传导的机理,提出了包含数字产业与非数字产业的技术进步溢出异质性的生产函数模型,在此基础上利用两区制空间自回归模型,以全球产业间的中间品流量来反映产业间的关联强度,结合2000—2014年世界投入产出数据,对生产模型的主要参数进行了估计,进而基于索洛余值法测算了TFP,估计了全球数字产业和非数字产业的技术进步,同时基于空间网络效应估计方法从提供和吸收两个角度考察了数字产业的非对称技术溢出效应。主要结论如下:①产业间关联的溢出效应是经济增长的重要影响因素。实证估算结果发现,中间品相对于资本和劳动力的产出弹性最大,且是传递溢出效应最重要的渠道。数字产业投入要素的间接效应远大于相应的非数字产业的间接效应,表明数字产业具有更大的关联溢出效应。②研究期间,全球数字产业的TFP年平均增长率为1.69%,提供的技术溢出效应为2.95%,吸收的技术溢出效应为0.97%,而非数字产业的TFP年平均增长率仅为0.74%,提供的技术溢出效应为0.96%,吸收的技术溢出效应为0.43%,这表明数字产业不仅自身技术进步的速度较快,而且提供了较多的技术溢出效应。③中国数字产业的自身技术进步速度慢于美国、日本等发达国家,但中国数字产业提供的技术溢出效应相对较大,在推动其他产业技术进步上发挥着重要的作用。④全球数字经济中不同产业的技术进步与溢出效应存在较大差异。计算机电子和光学产品制造业的TFP增长最快,年平均增长率达到2.33%,提供的技术溢出效应高达5.82%,吸收的技术溢出效应相对较小,为1.06%。⑤数字产业的技术溢出效应存在非对称性。绝大多数数字产业提供的技术溢出都大于吸收的技术溢出,说明数字产业渗透对提升全球产业TFP发挥着重要作用,而关联产业技术进步对数字产业的TFP增长的带动作用有限。

基于以上研究结论,本文从提升中国的全球生产网络枢纽地位、充分发挥数字产业技术溢出效应和自立自强推动数字技术自主创新三个方面提出以下政策启示:

第一,深化高水平国际价值链分工合作,利用数字技术革命机遇提升中国在全球生产网络中的枢纽地位。积极倡导和构建新型国际产业分工格局,借助数字技术深化全球生产网络的交流与协

同,通过削减贸易壁垒、实施贸易便利化和降低贸易成本等措施,加强各产业领域的交流,充分释放数字产业的技术溢出效应。中国应该进一步实施高水平对外开放战略,扩大和参与更高质量、更大范围的区域性经贸协定和分工网络,可以首先考虑立足于强化与周边国家和“一带一路”沿线国家的合作,依托“一带一路”构建高层次、紧密协同的区域性价值链合作联盟等,逐渐掌握区域乃至全球生产网络的主导权。

第二,加强数字经济融合渗透,充分发挥数字产业的技术溢出作用。本文的研究表明,数字产业渗透对提升全球产业TFP发挥着重要作用,因此,应积极推进新一代信息技术与传统产业的深度融合,深化水平分工和跨产业融合,加快产业数字化、智能化转型,拓展生产可能性边界,提升制造业的创新力和竞争力,促进服务业与互联网深度融合与创新。同时培养壮大互联网、大数据、人工智能、云计算、区块链等新兴数字产业,鼓励发展新技术、新产业、新业态、新模式,充分释放数字产业对经济高质量发展的贡献能力,为提升产业链现代化水平和迈向全球价值链中高端创造条件。利用中国完备的产业体系、完整的产业链条和规模巨大的需求市场,加速构建数字时代的中国经济增长新优势,产业发展新优势和全球竞争力新优势。

第三,打破数字关键核心技术的“依附性”,自立自强推动数字技术的自主创新。本文的TFP测算结果显示,中国数字产业的自身技术进步与处于科技领先地位的发达国家仍有一定差距,但新一轮科技革命为中国进入国际科技前沿地带创造了机遇。中国应该充分利用数字技术革命契机实现弯道超车,构建科技攻关的新型举国体制来提升通信设备、关键软件、核心电子元器件等关键技术环节的研发能力和重要中间投入的自给率。数字科技作为新一轮产业革命的核心领域,已经成为一个国家竞争力的体现,中国应该发挥集中力量办大事的制度优势,加大对数字科技领域人力资本的投资,加强创新型、应用型、技能型人才培养,培育高水平数字研究人才队伍,壮大高水平工程师和高技能人才队伍,完善人才激励和保障机制,健全科技人才评价体系,构建充分体现知识、技术等创新要素价值的收益分配机制,激发人的创造潜能和创新活力。

〔参考文献〕

- [1]步晓宁,张天华,张少华.通向繁荣之路:中国高速公路建设的资源配置效率研究[J].管理世界,2019,(5):44-63.
- [2]蔡跃洲,张钧南.信息技术对中国经济增长的替代效应与渗透效应[J].经济研究,2015,(12):100-114.
- [3]程名望,贾晓佳,仇焕广.中国经济增长(1978—2015):灵感还是汗水[J].经济研究,2019,(7):30-46.
- [4]刘维林.中美价值链分工的技术溢出效应与脱钩冲击[J].国际经贸探索,2022,(1):68-82.
- [5]龙小宁,朱艳丽,蔡伟贤,李少民.基于空间计量模型的中国县级政府间税收竞争的实证分析[J].经济研究,2014,(8):41-53.
- [6]许恒,张一林,曹雨佳.数字经济、技术溢出与动态竞合政策[J].管理世界,2020,(11):63-84.
- [7]赵涛,张智,梁上坤.数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J].管理世界,2020,(10):65-76.
- [8]Acemoglu, D., U. Akcigit, and W. Kerr. Networks and the Macroeconomy: An Empirical Exploration [J]. NBER Macroeconomics Annual, 2016, 1: 273-335.
- [9]Acemoglu, D., V. M. Carvalho, A. Ozdaglar, and A. Tahbaz-Salehi. The Network Origins of Aggregate Fluctuations [J]. Econometrica, 2012, 80(5): 1977-2016.
- [10]Baqaee, D. R., and E. Farhi. Productivity and Misallocation in General Equilibrium [J]. Quarterly Journal of Economics, 2020, 135(1): 105-163.

- [11] Calligaris, S., C. Criscuolo, and L. Marcolin. Mark-ups in the Digital Era [R]. OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2018.
- [12] Coe, D. T., E. Helpman, and A. W. Hoffmaister. North-South R&D Spillovers [J]. *Economic Journal*, 1997, 107: 134-149.
- [13] Elhorst, J. P., and S. Fréret. Evidence of Political Yardstick Competition in France Using a Two-Regime Spatial Durbin Model with Fixed Effects [J]. *Journal of Regional Science*, 2009, 49(5): 931-951.
- [14] Ertur, C., and W. Koch. A Contribution to the Theory and Empirics of Schumpeterian Growth with Worldwide Interactions [J]. *Journal of Economic Growth*, 2011, 16(3): 215-255.
- [15] Ertur, C., and W. Koch. Growth, Technological Interdependence and Spatial Externalities: Theory and Evidence [J]. *Journal of Applied Econometrics*, 2007, 22(6): 1033-1062.
- [16] Feenstra, R. C., R. Inklaar, and M. P. Timmer. The Next Generation of the Penn World Table [J]. *American Economic Review*, 2015, 105(10): 3150-3182.
- [17] Glass, A. J., K. Kenjegaliev, and R. C. Sickles. A Spatial Autoregressive Stochastic Frontier Model for Panel Data with Asymmetric Efficiency Spillovers [J]. *Journal of Econometrics*, 2016, 190(2): 289-300.
- [18] Grossman, G. M., and E. Helpman. *Innovation and Growth in the Global Economy* [M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.
- [19] Hulten, C. R. Growth Accounting with Intermediate Inputs [J]. *Review of Economic Studies*, 1978, 45(3): 511-518.
- [20] Inklaar, R., and W. E. Diewert. Measuring Industry Productivity and Cross-Country Convergence [J]. *Journal of Econometrics*, 2016, 191(2): 426-433.
- [21] Johnson, C. R., and G. Noguera. Accounting for Intermediates: Production Sharing and Trade in Value Added [J]. *Journal of International Economics*, 2012, 86(2): 224-236.
- [22] Jorgenson, D.W., M. S. Ho, and J. D. Samuels. A Prototype Industry-Level Production Account for the United States, 1947-2010 [R]. Presentation to the Final World Input-Output Database Conference, Groningen, the Netherlands, 2012.
- [23] Keller, W. Geographic Localization of International Technology Diffusion [J]. *American Economic Review*, 2002, 92(1): 120-142.
- [24] Lee, D. The Role of R&D and Input Trade in Productivity Growth: Innovation and Technology Spillovers [J]. *Journal of Technology Transfer*, 2020, 45(3): 908-928.
- [25] LeSage, J., and R. K. Pace. *Introduction to Spatial Econometrics* [M]. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC, 2009.
- [26] Liu, W., and Q. Cheng. Global Production Network, Technology Spillover, and Shock Transmission [J]. *Applied Economics*, 2021, 53(60): 7020-7036.
- [27] Liu, W., Q. Cheng, and R. C. Sickles. Productivity Growth and Spillover across European and American Industries: A Global Value Perspective Based on EU KLEMS [J]. *International Productivity Monitor*, 2022, 43(2): 86-109.
- [28] Solow, R. Technical Change and the Aggregate Production Function [J]. *Review of Economics and Statistics*, 1957, 39(3): 312-320.
- [29] Tientao, A., D. Legros, and M. C. Pichery. Technology Spillover and TFP Growth: A Spatial Durbin Model [J]. *International Economics*, 2016, 145(2): 21-31.
- [30] van Ark, B. The Productivity Paradox of the New Digital Economy [J]. *International Productivity Monitor*, 2016, 31: 3-18.

Digital Industry Penetration, Global Production Network and Asymmetric Technology Spillover

LIU Wei-lin^{1,2}, CHENG Qian¹

(1. College of Economic and Social Development, Nankai University;
2. Digital Economy Interdisciplinary Science Center, Nankai University)

Abstract: Due to the rapid development of the global value chains (GVCs) over the past three decades, industries in various countries have been increasingly integrated into the global production network, promoting the diffusion of technological advances among participants. However, the technology spillover effect of the global production network in recent years has weakened because of the increasing uncertainty about the international environment, the COVID-19 pandemic, and the backlash against globalization since the 2008 financial crisis. Fortunately, the penetration and integration of digital technology become a positive factor in improving value chain collaboration. The integration of the digital economy and industry has promoted the imitation, application, and dissemination of new knowledge and technologies, and the technology spillover from digital industries in the production network has become one of the important driving forces for total factor productivity (TFP) growth. As a result, a better understanding of the mechanism of technology spillovers and an accurate measure of these spillovers are conducive to promoting the high-quality development of China's economy.

The idea of this paper is as follows. To begin with, a general equilibrium model of the production network with Hicks-neutral technologies and a markup over cost is constructed to examine the mechanism of transmitting technological progress. Then, considering the difference between digital industries and non-digital industries in technological progress, intermediates penetrations, and markups, the asymmetry spillovers among industries are analyzed from a theoretical perspective. After that, the paper develops the production function with a spatial autoregressive model and measures the spillover effects of the global digital industries by using the matrices of output elasticities for the factor inputs.

This paper uses the maximum likelihood estimation method for parameter estimation of the production function which explicitly takes into account heterogeneous technology spillovers among industries. Further, following the spatial econometric methodology, the paper first obtains the partial derivative of the output with respect to time, and then examines the total factor productivity and its technology spillover effects. The panel data at the industry level are drawn from the World Input-Output Database, and the sample contains 170 digital industries and 1063 non-digital industries from 43 economies between 2000 and 2014.

The results are as follows. Firstly, the average annual growth rate of TFP in the global digital industries was 1.69% during 2000—2014, and the spillover offered and received were 2.95% and 0.97%, respectively. Secondly, the own technological progress for China's digital industry was slower than that of developed countries, such as the United States and Japan. However, the spillover offered for China's digital industry was large, which played an important role in driving productivity improvements of other industries. Thirdly, there were great differences in technological progress and spillovers among industries in the digital economy. The computer, electronic and optical products industry had the fastest productivity growth and offered the most spillovers. Fourthly, there existed noticeable asymmetry in the spillovers between digital industries. Most digital industries offered the technology spillovers more than they received.

Examining the technology spillover effect of digital industries from the perspective of the global production network is of great significance to achieve the high-quality development of China's economy. The findings of this paper provide some policy implications to upgrade the position of China in GVC networks, serve spillover effects well, and promote independent innovation in digital technology.

The main contribution of this paper is to develop a general equilibrium model of the production network and examine the mechanism of asymmetry technology spillovers, enriching research on technology spillovers for digital industries. A contribution to empirical literature is to provide a novel approach for measuring the asymmetric technology spillovers for digital industries by using a two-regime spatial autoregressive model.

Keywords: global production network; digital industry; total factor productivity; asymmetric technology spillover; spatial econometric

JEL Classification: O47 F63 C31

[责任编辑:王燕梅]