

产业数字化与企业规模经济效应

——基于非位似CES生产函数的研究

刘庆林 王明晖

摘要: 产业数字化的发展使数据成为一种重要生产要素,企业可以通过数据与传统生产要素的相互作用实现规模经济效应。理论上,非位似CES生产函数模型通过引入数字要素分析出规模经济效应的实现机制;实证上,数理分析的结果为构建实证模型提供理论基础,在此基础上测算出2012—2020年中国4912家制造业上市公司的数字化转型指数可用于定量分析。研究表明:产业数字化对实现企业规模经济效应具有显著的正向影响,通过数字与非数字生产要素结合来提高企业生产效率、降低生产成本是激发企业规模经济效应的重要机制。后续 DID 外生冲击检验发现,激励政策对数字化转型具有显著推动作用,但政策效果受地区差异以及企业异质性的影响。这一研究结论可以帮助政策制定者探索更合理的指导方针来放大产业数字化的规模经济效应。

关键词: 数字经济; 产业数字化; 规模经济效应; 非位似函数

DOI: 10.19836/j.cnki.37-1100/c.2023.05.012

一、引言与文献综述

根据国家信息中心信息化和产业发展部与京东数字科技研究院联合发布的《携手跨越 重塑增长——中国产业数字化报告2020》,产业数字化是指在新一代数字科技支撑和引领下,以数据为关键要素,以价值释放为核心,以数据赋能为主线,对产业链上下游的全要素数字化升级、转型和再造的过程。自20世纪90年代以来数字经济和数字贸易成为推动全球经济复苏的重要驱动力;后疫情时代,全球数字经济也在新冠疫情和贸易保护主义的双重围剿下实现逆势增长。根据中国信息通信研究院2021年发布的《全球数字经济白皮书——疫情冲击下的复苏新曙光》,2020年,全球数字经济增长达到32.6万亿美元之多,同比增长3%,占GDP比重达到43.7%;2019年,中国的产业数字化规模高达28.8万亿元,占GDP的比重接近三成。党的二十大报告明确指出:“加快发展数字经济,促进数字经济和实体经济深度融合,打造具有国际竞争力的数字产业集群。”^①数字经济与实体经济通过什么途径融合?二者融合对于打造“具有国际竞争力的数字产业集群”有何意义?数据作为一种生产要素在这一过程中发挥着怎样的作用?本文将针对上述问题展开分析。

经济规模对应着需求市场的大小,Krugman通过构建贸易模型,认为拥有更大需求市场的国家更有利于实现规模经济^②。但与传统经济实现规模经济效应的方式不同,数字经济是“第三象限经济”,市

基金项目: 国家社科基金一般项目“基于贸易限制指数的我国虚拟水贸易利益评价及政策优化研究”(18BJY186)。

作者简介: 刘庆林,山东大学经济学院教授,博士生导师(济南 250100; liuqinglin@sdu.edu.cn);王明晖,山东大学经济学院博士研究生(济南 250100; wangminghuihorse@163.com)。

① 习近平:《高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告》,《人民日报》2022年10月26日,第1版。

② Krugman P., “Scale Economies, Product Differentiation, and the Pattern of Trade”, *The American Economic Review*, 1980, 70(5), pp.950-959.

场规模的重要性变得更加突出,超大规模的需求市场有利于充分发掘基于消费者偏好的需求差异^①,更好地发挥各类网络交易平台的长尾效应^②,以极低的数字化成本满足消费者的异质性需求,进而通过各个平台之间的相互关联产生规模效应^③;甚至在一些发达国家,信息技术应用率的上升推动了产业集聚和部分大型企业的垄断^④,这是因为互联网交易平台属于经济学意义上的双边市场^⑤,存在网络外部性,平台中的消费者越多,厂商才能获得越大的利益^⑥。后期极易实现范围经济(多产品、整条或部分产业链的规模经济)以及需求侧规模经济^⑦。其他的研究还发现,数字贸易中的规模经济效应比传统贸易更突出,从而促进贸易沿集约边际增长^⑧。

基于上述分析,本文认为企业在数字化转型的过程中,随着数字要素相对价格下降、数字要素成本份额提升,进一步促进企业扩大生产规模,在互联网平台长尾效应的影响下,企业可以极低的数字化成本满足消费者的异质性需求,进而通过各个平台之间的相互关联产生规模经济效应,且数字化转型程度越深,产业集聚所引发的规模经济效应越强。与已有研究相比,本文可能的创新之处在于:(1)以往关于产业数字化实现规模经济的文献大多为定性分析,或者是通过机制分析和实证分析检验的方式来说明问题,而本文利用非位似生产函数构建数理模型,进而通过实证检验,分析逐渐加深的产业数字化程度对不同规模企业的影响;(2)将数据作为一种生产要素引入生产函数中,并以此作为分析数字化企业行为的重要指标;(3)已有研究产业数字化的文献以研究企业盈利行为、消费者行为为主,很少研究数字化对企业规模的影响,本文重点关注产业数字化过程中企业集聚并实现规模经济的变化趋势,为弥补这方面理论的缺失作出贡献;(4)为了便于计算分析,过去的经济学理论大多基于变量之间具有同位相似性的假设,而本文将非位似假设引入CES效用函数,构建非位似CES生产函数,与现实中企业的生产行为更加相符,可以更好地解释企业数字化转型过程中的行为问题。

二、理论模型与作用机制分析

非位似CES生产函数在分析存在要素异质性的问题时更为有效,通过在改进的模型中对数字要素和非数字要素进行有机结合,可以更加方便地分析该模型与传统位似生产函数模型的差别。本文将参考这一方法,将非位似特征由消费者端转移到生产者端,通过嵌套非位似的CES生产函数构建数理模型,分析产业数字化过程中的规模经济效应。Caron等在先前的研究中已经测算出消费者在非位似偏好情况下的需求收入弹性,并利用这一项数据推演出不同消费者群体的需求结构^⑨。随后,更

① 裴长洪、刘斌:《中国对外贸易的动能转换与国际竞争新优势的形成》,《经济研究》2019年第5期。

② Brynjolfsson E., Hitt L., Yang S., “Intangible Assets: How the Interaction of Computers and Organizational Structure Affects Stock Market Valuations”, *Brookings Papers on Economic Activity*, 2011, 65(1), pp.137-198.

③ 邱泽奇、张树沁、刘世定等:《从数字鸿沟到红利差异——互联网资本的视角》,《中国社会科学》2016年第10期。

④ Bajgar M., et al. “Industry Concentration in Europe and North America”, *OECD Productivity Working Papers*, 2019.

⑤ Rochet, J. C., Tirole, J., “Platform Competition in Two-sided Markets”, *Journal of the European Economic Association*, 2003, 1(4), pp.990-1029.

⑥ Armstrong M., “Competition in Two-sided Markets”, *RAND Journal of Economics*, 2006, 37(3), pp.668-691.

⑦ 张新、徐继玉、马良:《中小企业数字化转型影响因素的组态效应研究》,《经济与管理评论》2022年第1期。

⑧ 马述忠、房超:《跨境电商与中国出口新增长——基于信息成本和规模经济的双重视角》,《经济研究》2021年第6期。

⑨ Caron J., Fally T., Markusen J. R., “International Trade Puzzles: A Solution Linking Production and Preferences”, *Quarterly Journal of Economics*, 2014, 129(3), pp.1501-1552.

多的研究分别从消费者群体异质性^①、收入异质性^②以及产品质量差异^③等角度分析消费者偏好异质性。在此基础上,Markusen^④和Matsuyama^⑤分别构建了存在部门异质性的需求收入弹性,以分析不同部门的需求结构。上述研究均为利用消费者的非位似偏好特征研究消费者需求问题,而在分析垄断竞争企业行为时,Comin等人在借鉴Sato论文中构建的非位似CES生产函数基础上,对生产结构嵌套重组,建立了具有嵌套结构的非位似CES生产函数^⑥。

(一)基本模型构建

为了印证上述猜想,本文将常用的CES效用函数应用到企业层面的生产函数,构建嵌套的CES生产函数。该模型的核心思路是推导企业在发展过程中对数字化要素的需求和企业规模之间的非位似关系。为了简化计算,本文假设消费者的需求是同质的,并且消费者具有无限寿命的属性;每一位消费者在每一期提供一单位同质劳动,获得工资收入 $W_{L,t}$ 。消费者的目标是最大化自身的效用:

$$\sum_t \rho^t \log Y_t \quad (1)$$

其中 ρ 为折旧因子, Y_t 为标准的CES效用函数:

$$Y_t = \left(\int_{i \in I_t} Y_{it}^{\frac{\lambda-1}{\lambda}} di \right)^{\frac{\lambda}{\lambda-1}} \quad (2)$$

定义 $i \in I_t$ 为连续统中的商品。

企业层面,假设垄断竞争的市场,因此,每家企业均会在市场中生产差异化产品。企业生产使用四种投入要素:劳动 L_{it} ,资本 K_{it} ,数字化软硬件投入 G_{it} 和数据 D_{it} ;在构建企业生产函数的过程中本文使用嵌套结构对数字要素投入(数字化软硬件设备投入、数据投入)和非数字要素投入(劳动投入、资本投入)进行分类集中:

$$Y_{it} = F(e^{\theta_{it}} X_{N,it}, e^{\theta_{it} + \varphi_{it}} X_{I,it}) \quad (3)$$

θ_{it} 和 φ_{it} 是两个与企业生产率相关的系数,其中 θ_{it} 作用于所有生产要素,而 φ_{it} 只与数字化生产要素相关。两个投入要素集 $X_{N,it}$ 和 $X_{I,it}$ 均采用具有规模报酬不变特征的Cobb-Douglas函数:

$$X_{N,it} = K_{it}^\alpha L_{it}^{1-\alpha}, \quad X_{I,it} = G_{it}^\beta D_{it}^{1-\beta} \quad (4)$$

为引入两类要素非位似特征,常规方法是引入“近乎位似”的非位似函数,但为了获得非位似特征更明显的模型,本文参考Comin et al. 的做法^⑦,添加如下约束条件:

$$\left(\frac{e^\theta X_N}{Y^\gamma} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \left(\frac{e^{\theta+\varphi} X_I}{Y^{\gamma+\varepsilon}} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} = 1 \quad (5)$$

通过假设 γ, σ 为正,且 $\gamma + \varepsilon > 0$ (若 $\varepsilon = 0$,该式即为位似条件下的投入产出约束条件,因此本文中

① Ju J. D., “Consumer Heterogeneity, Free Trade, and the Welfare Impact of Income Redistribution”, *Review of International Economics*, 2011, 19(2), pp.288-299.
 ② Bohman H., Nilsson D., “Income Inequality as a Determinant of Trade Flows”, *CESIS Electronic Working Paper Series*, 2006.
 ③ Picard P. M., Okubo T., “Firms Locations under Demand Heterogeneity”, *Regional Science and Urban Economics*, 2012, 42(6), pp.961-974.
 ④ Markusen J., “Putting Per-capita Income Back into Trade Theory”, *Journal of International Economics*, 2013, 90(2), pp.255-265.
 ⑤ Matsuyama K., “Engel’s Law in the Global Economy: Demand-Induced Patterns of Structural Change, Innovation, and Trade”, *Econometrica*, 2019, 87(2), pp.497-528.
 ⑥ Comin D., Lashkari D., Mestieri M., “Structural Change with Long-Run Income and Price Effects”, *Econometrica*, 2021, 89(1), pp.311-374.
 ⑦ Comin D., Lashkari D., Mestieri M., “Structural Change with Long-Run Income and Price Effects”, *Econometrica*, 2021, 89(1), pp.311-374.

默认 $\epsilon \neq 0$), 使该生产函数对任意一种投入要素都单调递增。经过上述处理, 便可发现企业对两类投入要素的相对需求关于产出的弹性是几乎不变的:

$$\frac{\partial \log(X_I/X_N)}{\partial \log Y} = \eta = (1 - \sigma)\epsilon, \quad \eta > 0 \quad (6)$$

为简化计算, 还需对要素市场做补充处理。根据上述分析, 模型中包含四种生产要素: 劳动、资本、数字化软硬件以及数据。与劳动类似, 假设其他三种要素的供给均是外生给定的。令 $W_{L,t}$ 、 $W_{K,t}$ 、 $W_{G,t}$ 、 $W_{D,t}$ 分别表示工资以及其他三种投入要素的租金, 标准化处理使非数字化生产要素集合的价格恒为 1, 数字化生产要素集合(以下简称数字要素集)的当前价格为 W_t :

$$\left(\frac{W_{L,t}}{\alpha}\right)^\alpha \left(\frac{W_{K,t}}{1-\alpha}\right)^{1-\alpha} \equiv 1, \quad \left(\frac{W_{G,t}}{\beta}\right)^\beta \left(\frac{W_{D,t}}{1-\beta}\right)^{1-\beta} = W_t \quad (7)$$

由于企业面对的是无摩擦的要素市场, 如果执行成本最小化决策, 企业将只需考虑要素价格, 因此企业的相对要素需求只与相对价格有关:

$$\frac{WX_I}{X_N} = (e^{-\varphi} W Y^\epsilon)^{1-\sigma} \quad (8)$$

可以看出, 式(8)中的相对要素需求取决于产出水平 Y , 而由式(6)可知相对需求关于产出水平 Y 的弹性为定值 $\eta = (1 - \sigma)\epsilon$, 对任意给定的替代弹性 $\sigma \neq 1$, 通过改变 ϵ 的值, 可以调整相对要素需求关于产出水平的弹性 η 。这一结果表明, 参数 ϵ 为非位似特征的来源, 关于该参数的具体分析将在后续部分说明。值得注意的是, 对于位似函数($\epsilon = 0$), 相对要素需求只与 $e^{-\varphi} W$ 有关; 而在非位似假设下, 相对要素需求由 $e^{-\varphi} W Y^\epsilon$ 决定, 便于本文研究企业数字化水平与规模经济之间的关系。因此, 为了避免出现分类讨论的情况, 本文将基于数字要素和非数字要素之间存在整体替代($\sigma < 1$)以及数字要素需求与企业规模正相关($\epsilon > 0$)的假设基础进行分析。根据 CES 函数的特征, 定义企业的成本函数:

$$C = e^{-\theta} c(Y; e^{-\varphi} W) = e^{-\theta} Y^\gamma \left[1 + (e^{-\varphi} W Y^\epsilon)^{1-\sigma}\right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (9)$$

本文可以通过成本弹性 δ 来衡量企业规模经济与投入要素之间的关系: 边际成本与平均成本之比越大, 规模报酬越低。根据式(9)可得, 成本弹性是关于数字要素成本份额的线性函数:

$$\delta(e^{-\varphi} W Y^\epsilon) \equiv \frac{MC}{AC} = \gamma + \epsilon \Omega(e^{-\varphi} W Y^\epsilon) \quad (10)$$

由式(10)可以看出, 在非位似函数中, 企业成本弹性(亦可理解为需求规模弹性)具有一定的内生性, 其大小与投入要素有关。其中 Ω 表示企业所有可变成本中数字要素投入所占比重, 由式(8)可知, 成本最小化时, 数字要素所占可变成本份额 $WX_I/C = WX_I/(WX_I + X_N)$, 整理可得:

$$\Omega(e^{-\varphi} W Y^\epsilon) \equiv \left(\frac{e^{\theta+\varphi} X_I}{Y^{\gamma+\epsilon}}\right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} = \frac{(e^{-\varphi} W Y^\epsilon)^{1-\sigma}}{1 + (e^{-\varphi} W Y^\epsilon)^{1-\sigma}} \in [0, 1] \quad (11)$$

同时, 数字要素份额 Ω 也是模型中分析企业规模和企业数字化水平之间关系的核心指标, 它是整个数字要素集的有效价格 $e^{-\varphi} W Y^\epsilon$ 的单调递增函数, 因此数字要素份额 Ω 关于企业规模 Y 也单调递增; 而通过构建式(6)时所用假设可知, 数字要素的投入增加会引起企业规模的扩大。换句话说, 随着要素市场中数字要素价格下降, 企业势必会增加生产环节中数字要素的投入, 从而促使那些密集使用数字要素的企业(数字化企业)规模扩大, 实现规模经济。此外, 由于本文假设生产率参数 φ 只与数字化生产要素相关, 结合式(10)和式(11)可知, 除了生产规模, 数字化要素的生产率大小也会影响企业生产成本中数字要素所占份额, 进而影响企业的成本弹性——由此可以预见, 企业异质性也是影响企业提升规模报酬、实现规模经济的因素之一。

为分析数字要素对生产率的作用机制, 根据式(9)和式(11), 分别求出式(10)中的边际成本和平

均成本表达式：

$$MC = \frac{Y^{\gamma-1} e^{-\theta}}{Z}, \quad AC = \frac{Y^{\gamma-1} e^{-\theta}}{\delta Z} \quad (12)$$

其中 $Z(e^{-\varphi} W Y^{\epsilon}) = \left[\delta \left(1 + (e^{-\varphi} W Y^{\epsilon})^{1-\sigma} \right)^{\frac{1}{1-\sigma}} \right]^{-1} = \delta^{-1} (1 - \Omega)^{\frac{1}{1-\sigma}}$, 用以衡量数字要素对生产率的边际贡献。由上述分析可以发现, 两条实现规模经济的途径—— $\delta(e^{-\varphi} W Y^{\epsilon})$ 和 $Z(e^{-\varphi} W Y^{\epsilon})$ ——均与数字要素的成本份额 $\Omega(e^{-\varphi} W Y^{\epsilon})$ 单调相关, 最终由数字要素集的有效价格 $e^{-\varphi} W Y^{\epsilon}$ 决定。本文余下部分将通过模型, 分别从局部均衡和一般均衡的视角, 研究产业数字化过程产生规模经济效应的理论机制和作用结果。

(二) 非位似 CES 生产模型比较静态(局部均衡)分析

假设要素市场中数字化生产要素集合的相对价格出现微小下降: $d \ln W = d w < 0$, 结合式(10)和式(11)可知, 将引起成本弹性 δ 减小, 规模报酬增加。降低的数字要素集的相对价格会促使企业提高生产要素中数字要素所占份额, 降低平均成本 AC 和边际成本 MC , 改善企业的收益水平。对于位似函数, 数字要素集相对价格下降对平均成本和边际成本的作用结果是类似的, 但是在非位似条件下, 这一变化对边际成本的影响更大:

$$M_z = -\frac{\partial \log Z}{\partial w} = \Omega + M_{\delta} \quad (13)$$

由式(13)可知, 数字要素集的相对价格下降, 将使企业边际成本相对平均成本下降更大幅度。则当企业以边际成本定价时, 要素市场中数字要素集的相对价格下降相同的水平, 大企业较之小企业将有明显的价格优势, 在市场竞争中更具竞争力, 从而迫使小企业退出或合并, 大企业逐渐占据更多的市场份额, 通过优胜劣汰的市场竞争形成产业集聚, 进而产生规模经济。

(三) 非位似 CES 生产模型一般均衡分析

本节将在一般均衡框架下, 基于垄断竞争和不变替代弹性(CES)的假设, 讨论企业的利润最大化问题。根据式(12), 假设该均衡模型(总产出为 Y , 价格水平为 P , 企业数量为 N , 数字要素集的相对价格为 W)中企业的定价策略如下:

$$P = \frac{\lambda}{\lambda - 1} \frac{Y^{\gamma-1} e^{-\theta}}{Z(e^{-\varphi} W Y^{\epsilon})} \quad (14)$$

即按照边际成本的 $\frac{\lambda}{\lambda - 1}$ 倍定价。同时, 假定模型中某一企业的生产规模由生产率参数 θ_i 和 φ_i 决定:

$$Y_i = \tilde{Y}(\vartheta_i), \quad \vartheta_i = (\theta_i, \varphi_i), \quad \sum Y_i = Y \quad (15)$$

事实上, $\tilde{Y}(\vartheta_i)$ 决定了均衡状态下不同生产率企业所具有的企业规模(即企业在均衡时按照生产率比例所“分配”的产出), 由此可以得到均衡时企业的数字要素成本份额 $\tilde{\Omega}(\vartheta_i) = \Omega \left[e^{-\varphi} W \tilde{Y}(\vartheta_i)^{\epsilon} \right]$, 边际生产率 $\tilde{Z}(\vartheta_i) = Z \left[e^{-\varphi} W \tilde{Y}(\vartheta_i)^{\epsilon} \right]$, 以及成本弹性 $\tilde{\delta}(\vartheta_i) = \delta \left[e^{-\varphi} W \tilde{Y}(\vartheta_i)^{\epsilon} \right]$ 。根据式(10)可知企业层面的成本弹性与企业成本中数字要素所占份额线性相关, 推而广之, 这一结论在一般均衡分析中仍然成立, 且对总量计算成立, 因此, 总成本弹性可表示为:

$$\bar{\delta} = \int \tilde{\delta}(\vartheta) \Lambda_c(\vartheta) d^2 \vartheta = \gamma + \epsilon \int \tilde{\Omega}(\vartheta) \Lambda_c(\vartheta) d^2 \vartheta = \gamma + \epsilon \bar{\Omega} \quad (16)$$

其中 $\Lambda_c(\vartheta)$ 是一个用来描述可变成本分布的密度方程。令 $\kappa = \frac{\lambda}{1 + \lambda(\gamma - 1)}$, 则根据一般均衡模型的假设, 可以用数字要素的总投入量 \bar{X}_1 和非数字要素的总投入量 \bar{X}_N 来表示总产出 Y 以及当前的价格水平 P :

$$Y = N^{\frac{1}{\gamma-1}} \frac{\delta \bar{Z}}{1-\bar{\Omega}} \bar{X}_k^{\lambda}, \quad P = \frac{\lambda}{\lambda-1} Y^{\gamma-1} N^{-\frac{1}{\gamma-1}} \frac{1}{\bar{Z}} \quad (17)$$

其中,设置 \bar{X}_k 项的目的是将所有非数字要素投入纳入统一的集合,以便后期将其作为可变投入这一整体指标体现在生产函数中; \bar{Z} 则是通过上述企业边际生产率 $\tilde{Z}(\vartheta_i)$ 求积分从而得到的总边际生产率。

为简化计算,定义 $\tilde{y} \equiv \log \tilde{Y}$, 于是企业产出规模关于数字要素价格的相对变化量可表示为 $d\tilde{y}(\vartheta)/dw$; 进而通过结合需求函数和企业的定价策略[见式(14)], 可以得出如下企业产出规模关于数字要素价格以及其他内生变量的内生响应方程:

$$-\frac{d\tilde{y}(\vartheta)}{dw} = -\bar{S} + (1 + \epsilon \bar{S}) \kappa \frac{\widetilde{M}_Z(\vartheta) - \bar{M}_Z}{1 + \kappa \epsilon \widetilde{M}_Z(\vartheta)} \quad (18)$$

其中, $\bar{S} = E_R[d\tilde{y}(\vartheta)/dw]$ 表示因变量 $d\tilde{y}(\vartheta)/dw$ 的期望值, \bar{M}_Z 是式(13)中过渡量 M_Z 的总量形式, 式中期望值的大小主要取决于企业的收入分布, 在此不再赘述。由式(13)可知, 过渡量 M_Z 关于数字要素成本份额 Ω 单调递增, 而式(18)表明, 在一般均衡框架下, 均衡时的总产出与过渡量 $\widetilde{M}_Z(\vartheta)$ 正相关, 与企业规模正相关; 结合式(13)和式(18)的结果可以得出如下结论: 当行业中数字要素集的相对价格降低时, 会直接引起企业数字要素成本份额提升, 即产生了数字化转型的激励; 数字要素成本份额的提升进一步促进企业生产规模扩大, 在数字经济的背景下, 基于网络平台交易的长尾效应, 企业可以极低的数字化成本满足消费者的异质性需求, 进而通过各个平台之间的相互关联产生规模经济效应。

三、实证模型及数据来源

(一) 模型设定

为检验数理分析结论的正确性, 本文分别从宏观和微观层面设定如下基准回归模型:

$$ASCA_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 Infil_{i,t} + \alpha_2 Controls_{i,t} + \theta_T + \mu_i + \epsilon_{i,t} \quad (19)$$

$$ISCA_{j,t} = \beta_0 + \beta_1 Db_{j,t} + \beta_2 Controls_{j,t} + \theta_T + \mu_j + \lambda_p + \epsilon_{j,t} \quad (20)$$

利用式(19)进行宏观层面的回归分析。其中被解释变量 $ASCA_{i,t}$ 为宏观规模经济指数, 用来衡量产业规模经济效应的大小; 解释变量 $Infil_{i,t}$ 为三大产业的数字渗透率, 由中国信息通信研究院发布, 用以衡量产业数字化水平。 $Controls_{i,t}$ 为若干控制变量, θ_T 表示时间固定效应, μ_i 表示行业固定效应, $\epsilon_{i,t}$ 则表示随机扰动项。

利用式(20)进行微观层面的回归分析。其中被解释变量 $ISCA_{j,t}$ 为微观规模经济指数, 用来衡量企业规模经济效应的大小; 解释变量 $Db_{j,t}$ 为企业数字化转型指数, 用以衡量企业数字化转型程度。 $Controls_{j,t}$ 为若干微观层面的控制变量, θ_T 、 μ_j 和 λ_p 则分别用以表示时间固定效应、行业固定效应以及省份固定效应, $\epsilon_{j,t}$ 为随机扰动项。

控制变量方面, 本文在宏观层面上选取了产业规模(VAD)、三大产业专利申请数(PAT)以及经济拉动率($Pull$)等三个指标作为控制变量, 分别反映了一国产业发展的程度、倾向性和技术发展水平; 在微观层面上则选取了企业规模($Size$)、资产负债率($Debt$)、净资产收益率($Nrev$)、总资产周转率(TR)、现金流比率(CR)以及研发经费投入(RD)等六个指标作为控制变量。

(二) 规模经济指数测算

企业的规模经济效应, 又称规模效应, 是指在一定范围内企业规模扩大所带来的生产成本降低、效率提升等效益的总和。根据上述理论模型分析, 定义规模经济指数 $SCA = \frac{1}{\delta} = \frac{AC}{MC} = \frac{\Delta Y/Y}{\Delta C/C}$ 。其

中 Y 为总产出,用总销售收入表示; C 为总成本,数值上统计为固定资本投入、劳动投入、存货投入、研发投入、管理费用以及税金之和。

(三)数据来源

本文分别从宏观和微观层面研究产业数字化的规模经济效应。宏观层面,本文分析了2015—2021年中国三大产业数字渗透率与产业规模之间的关系。其中,2015—2021年中国三大产业的数字渗透率分析整理于中国信息通信研究院发布的《中国数字经济发展白皮书》,其他宏观数据均为国家层面数据,通过国家统计局年度统计数据、《中国统计年鉴》整理计算而来;微观层面,本文分析了2012—2020年4912家中国制造业企业数字化转型的规模经济效应。其中,企业层面的微观数据来源于中国工业企业数据库(更新至2015年)和国泰安数据库,同时,为了测算企业数字化转型指数^①,以及填补2015年之后微观数据的缺失,本文从巨潮资讯网下载并使用了2012—2020年上市公司年报数据。

四、产业数字化对规模经济影响的实证分析

(一)基准回归结果

表1报告了数字渗透率影响产业规模效应的宏观整体回归结果。通过模型(1)和模型(2)的回归结果可以发现,核心解释变量数字渗透率的回归系数显著为正,并且在加入控制变量之前,在1%的水平上显著激发了产业规模经济效应;模型(3)在加入了行业固定效应后,核心解释变量虽系数减小但依然显著,尽管经济拉动率 LnPull 这一指标的系数显著性变差,且方向发生改变。

表1 产业数字化的规模经济效应宏观回归结果

变量	(1) ASCA	(2) ASCA	(3) ASCA	(4) LnEmploy	(5) ASCA	(6) ASCA
LnInfil	2.1554*** (9.8434)	1.5287*** (5.1104)	1.2126*** (4.4416)	1.6552*** (8.6472)		
LnInvest					0.8812*** (6.1267)	
LnVAD		1.0273*** (6.2348)	0.8132*** (2.6517)	0.7351*** (3.7425)	1.0182*** (3.7261)	0.6124*** (9.6153)
LnPAT		0.3621*** (1.7451)	0.5449*** (0.6723)	0.4243*** (0.1084)	0.8913** (1.3611)	0.9263*** (8.7453)
LnPull		-0.1823*** (-1.7365)	0.1028** (0.6522)	-0.0628* (-1.9623)	-0.1463** (-0.6235)	-0.1745*** (-0.9582)
_cons	5.8326*** (19.2384)	4.9462*** (13.6521)	3.8463*** (5.8342)	4.1723*** (10.6461)	8.6345*** (33.1589)	9.7346*** (46.3591)
时间固定	Y	Y	Y	Y	Y	
行业固定	N	N	Y	N	N	
N	120	120	120	120	120	120
R^2	0.837	0.896	0.887	0.898	0.901	

注:表中括号内数值为稳健标准误,* $p < 0.1$,** $p < 0.05$,*** $p < 0.01$,下同。

模型(4)和模型(5)通过变量替换法进行了稳健性检验。其中,模型(4)以从业人员数量的对数值 LnEmploy 作为被解释变量替换原变量,结果显示数字渗透率在1%的置信水平上与新的被解释变量

① 赵宸宇、王文春、李雪松:《数字化转型如何影响企业全要素生产率》,《财贸经济》2021年第7期。

仍然存在显著的正相关关系;模型(5)则以数字化投资的对数值 $\ln Invest$ 作为衡量产业数字化程度的指标替换原变量,估计系数仍为正,并且在1%的水平上显著。通过模型(4)和模型(5)的检验,可以认为宏观模型的基准回归结果是稳健的,并且进一步证明产业数字化程度对产业的规模经济效应具有显著的正向影响,说明积极发展数字经济有利于促进产业集聚,形成产业规模经济效应。针对可能存在的内生性问题,利用Heckman两阶段模型进行检验,检验结果(6)中,控制变量的相关系数仍然显著,表明在现有模型分析中,基本可以认为不存在内生性问题。宏观检测为后续研究提供了思路,在一般情况下,数字化程度高意味着更易产生规模经济效应,之后的微观实证分析将验证这一假设是否准确。

表2报告了企业数字化转型指数对企业规模经济效应影响的微观整体回归结果。模型(1)为只对被解释变量和核心解释变量在时间固定效应下的回归,回归结果表明数字化转型指数(Db)对激发企业的规模经济效应具有显著的正向作用。模型(2)为添加其他控制变量后的回归,采用时间固定效应和行业固定效应来控制时间滞后或行业间作用可能带来的影响,从回归结果中可以看出,数字化转型指数对企业规模经济效应仍然保持显著的正向影响,再一次证明产业数字化过程将推动产业集聚而非离散;企业规模($\ln Size$)的回归系数显著为正,表明大企业通过数字化转型更易实现规模经济;资产负债率($Debt$)的回归系数也为正,且在1%的置信水平下保持显著,说明通过借贷、融资等途径吸引投资是实现企业规模扩张的重要路径之一;净资产收益率($Nrev$)和现金流比率(CR)虽然获得较为显著的回归系数,但是从系数大小上看,二者对企业规模的影响整体不大;总资产周转率(TR)是唯一一个与被解释变量之间存在显著负相关关系的控制变量,表明具有更强销售效率的企业反而更不利于通过扩大规模的方式产生经济效应;研发经费投入($\ln RD$)对企业规模经济效应有显著的正向作用,说明进行产业研发创新对企业扩张、提高企业经济效应具有重要作用。

表2 企业数字化转型的规模经济效应微观回归结果

变量	(1) ISCA	(2) ISCA	(3) ISCA	(4) ISCA	(5) LnReV	(6) ISCA
Db	1.8645*** (47.3864)	0.6348*** (26.3875)	0.2683*** (10.5756)	0.2854*** (17.4765)	1.5836*** (5.0207)	
Da						0.2536*** (3.2108)
$\ln Size$		1.6334*** (19.5561)	1.3764*** (32.2567)	1.3278*** (28.3764)	0.2367*** (3.4643)	1.2737*** (30.5287)
$Debt$		0.3206*** (31.0628)	0.4187*** (29.6234)	0.5116*** (32.4012)	1.4021*** (6.7265)	0.5621*** (35.2819)
$Nrev$		0.0073*** (10.0867)	0.0182*** (9.8687)	0.0191*** (12.3862)	0.1557** (4.0021)	0.0163*** (9.3059)
TR		-0.3068*** (-27.4104)	-0.2883*** (-24.2864)	-0.2534*** (-24.8236)	0.8960** (7.3847)	-0.3019*** (-23.9034)
CR		0.1273*** (4.2474)	0.0625* (1.6968)	0.1532* (3.8915)	1.1026* (0.1846)	0.0137* (0.1176)
$\ln RD$		0.5732*** (62.3133)	0.4456*** (43.7614)	0.4927*** (40.8263)	-0.0937*** (-0.7936)	0.4602*** (48.9164)
$_{-}cons$	5.8366*** (1.2375)	4.3842*** (56.8365)	4.9574*** (55.8236)	4.2834*** (81.7345)	8.6767* (1.1724)	4.8963*** (52.7901)
时间固定	Y	Y	Y	Y	Y	Y
省份固定	N	N	Y	N	Y	Y
行业固定	N	Y	Y	N	Y	Y
企业固定	N	N	N	Y	N	N

续表 2

变量	(1) ISCA	(2) ISCA	(3) ISCA	(4) ISCA	(5) LnReV	(6) ISCA
<i>N</i>	11053	11008	10865	11008	9857	10865
<i>R</i> ²	0.137	0.600	0.612	0.585	0.089	0.633

(二)稳健性检验

为确保回归结果的稳健性,本文进行了一系列稳健性检验。首先,在基准回归模型中加入省份固定效应,回归结果如表2第(3)列所示:解释变量的系数仍显著为正,虽然在数值上有所减小。这再一次印证了本文理论模型结果的合理性——产业数字化推动产业集聚形成规模经济效应。但系数值减小意味着这一作用效果可能会受到省际政策等的影响而带来外部冲击。其次,受到模型(3)的启发,本文在模型(4)中改变了模型设定,在控制时间固定效应和企业固定效应的条件下进行回归分析,回归结果表明,数字化转型指数对企业规模经济效应应具有显著的正向作用。

最后,本文通过变量替换的方式进行稳健性分析:(1)替换被解释变量,用企业年度营收的对数值(LnReV)代替原被解释变量来衡量企业规模经济效应的大小,从表2第(5)列的回归结果可以发现,改变被解释变量没有改变核心解释变量的显著程度,且核心解释变量的系数增大,二者之间的相关性更强。(2)替换核心解释变量,通过变换词典中的关键词,对五个维度共计76个关键词进行词频统计^①,通过与前述类似的计算过程得到新的数字化转型指数(Da),新解释变量的回归结果见第(6)列,除系数值相对较小外,其他方面几乎与原回归结果一致,这证明了回归结果的稳健性,尽管利用新词典构建数字化转型指数的解释力度不如原词典,产生这一结果的原因是显而易见的:新词典的76个关键词远少于原来的99个,并且多为近年新生数字词汇,没有考虑到数字经济兴起之前年报中隐含的、可能涉及数字经济的词汇,在词频统计的过程中作者也发现,由于词典的限制,许多企业2015年或2016年以前的年报,在词频统计中的结果为0。

(三)内生性检验

本文选择采用两种方法对可能存在的内生性问题进行检验。第一种方法为对核心解释变量进行滞后期回归。考虑到政策调整的时间滞后性,本文将数字化转型指数(Db)滞后一期(Db1)和滞后二期(Db2)进行回归,回归结果如表3列(7)和列(8)所示。通过观察Db1和Db2的系数可以看出:滞后一期的模型(7)中,核心解释变量与被解释变量之间仍然存在显著的正相关关系;滞后二期的模型(8)中,这种正相关关系明显减弱——置信水平从1%下降到10%,且系数变小。关于这一问题的解释是:上市公司年报总结的是过去一年中企业的业绩,以及对未来一年的指导方针,因此,通过整理上市公司年报、匹配关键词词频的方式获得的数字化转型指数,原则上应只对当期以及滞后一期的企业业绩负责,因此得到表3中的内生性检验结果是合理的。

表3 内生性检验回归结果

变量	(7) ISCA	(8) ISCA	(9) ISCA
<i>Db1</i>	0.1864*** (10.7354)		0.2176* (4.2276)
<i>Db2</i>		0.0219* (0.7612)	
<i>_cons</i>	1.7344*** (19.6327)	0.1642*** (25.9173)	1.6001*** (8.2073)

① 吴非、胡慧芷、林慧妍等:《企业数字化转型与资本市场表现——来自股票流动性的经验证据》,《管理世界》2021年第7期。

续表 3

变量	(7) ISCA	(8) ISCA	(9) ISCA
N	8643	6251	4252
R ²	0.614	0.535	0.506
Kleibergen—Paap rk LM			912.33***
Kleibergen—Paap rk Wald F			586.91***
P			0.53

注:表中各模型均设定时间固定效应、省份固定效应和行业固定效应。

第二种方法是通过构建工具变量进行检验。数字经济的发展离不开宽带和移动电话业务的普及,而这些业务的普及也会增加电信行业的收入。因此,本文使用互联网接入端口密度、移动电话基站密度和电信业务总量作为工具变量进行内生性检验,回归结果见表3第(9)列,结果显示,工具变量的选取是有效的。整体来看,在滞后期回归和工具变量检验中,核心解释变量与被解释变量之间仍然存在显著的正相关关系,可以基本消除内生性问题的存在。

(四)外部冲击检验

通过经验分析可知,各地区数字经济的发展一方面可以为当地企业带来规模经济效应,而另一方面也会受到地区经济发展水平、数字化基础设施建设进程以及开放程度等因素的制约,这些因素也同时影响着企业规模经济效应。为排除这些外部冲击的影响、进一步探究数字化转型与规模经济效应之间的直接关系,本文利用省级数字经济指数模拟外部因素冲击,构建双重差分(DID)基本模型研究这一问题。模型设定如下:

$$ISCA_{p,t} = \gamma_0 + \gamma_1 did_{p,t} + \gamma_2 time_p + \gamma_3 area_t + \gamma_4 Controls_{p,t} + \theta_T + \mu_l + \lambda_P + \delta_F + \epsilon_{p,t} \quad (21)$$

其中, p 代表企业所在省份, t 代表时间,双重差分项 $did = time \times area$; $time$ 代表省级数字经济指数发生较大变动的年份,在这一年之后取1,否则取0; $area$ 代表企业所在省份的省级数字经济排行,所在省的排行为前十名取1,否则取0。 $Controls$ 为一系列影响规模经济效应的变量, θ_T 、 λ_P 、 μ_l 和 δ_F 则分别指代时间、省份、行业以及企业固定效应, $\epsilon_{p,t}$ 为随机扰动项。

本文筛选出3个数字经济指数出现较大变动的时间点作为DID回归分析的分组依据,这三个时间点分别是: $time1$ (2015年,国家最早提出“国家大数据战略”,推开了数字经济发展和数字化转型的大门)、 $time2$ (2018年,最早的一批关于鼓励发展数字经济的地方性政策法规落地,省级数字经济发展与数字化转型政策为地方企业提供政策导向与技术支持)和 $time3$ (2019年,河北雄安新区、浙江省、福建省、广东省和四川省等地区被选为国家数字经济创新发展试验区),根据这三个时期的省级数字经济指数排行结果和企业分类特征,进行了一系列回归检验,回归结果见表4。

表4 外部冲击检验回归结果

变量	(1) ISCA	(2) ISCA	(3) ISCA	(4) ISCA	(5) ISCA	(6) ISCA	(7) ISCA
did	0.0582*** (8.2543)	0.0371*** (5.0017)	0.0105* (1.7364)	0.0263** (3.7482)	0.0483*** (5.5231)	0.0098 (1.1438)	0.0272*** (3.1716)
控制变量	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y
时间固定	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
省份固定	Y	Y	Y	Y	N	N	N
行业固定	Y	Y	Y	Y	N	N	N
企业固定	N	N	N	N	Y	Y	Y
N	11009	11008	11008	11008	10865	10865	10865
R ²	0.482	0.427	0.575	0.514	0.596	0.581	0.530

注:表中DID回归模型均通过了平行趋势假设检验。

根据 *time1* 划分的 DID 模型为第(1)(2)(5)列,其中模型(1)在未添加控制变量的条件下回归;根据 *time2* 划分的 DID 模型为第(3)(6)列,而根据 *time3* 划分的 DID 模型则为第(4)(7)列。模型(1)–(4)控制了时间固定效应、省份固定效应以及行业固定效应,模型(5)–(7)则控制了时间固定效应和企业固定效应。从回归结果中可以发现,2015年的政策实施对被解释变量产生了显著的正向作用,造成了一定外部冲击,并且控制企业固定效应的回归结果比控制省份固定效应的回归结果系数更大,符合2015年“国家大数据战略”全国部署的方针,不具有明显地域性;2018年地方性政策法规的冲击作用最不显著,表明省级数字经济发展与数字化转型政策并未对本土企业数字化转型提供有效的政策导向与技术支持;2019年国家数字经济创新发展试验区的建成在一定程度上展现了对企业数字化转型和推动规模经济发展的作用,且当模型控制了企业固定效应后,回归结果在1%的水平上显著,对企业数字化转型发挥了重要作用,展现了试验区精准定位、以点带面的政策效果。上述结果表明,全国性的数字化转型政策以及较为精准的区域政策确实会对企业数字化转型以及规模经济效应产生正向影响,而区域性一般政策对推动企业数字化转型则没有明显外部冲击作用;值得注意的是,从控制企业固定效应的结果来看,企业异质性或者企业间相互作用可能是阻碍政策在企业间发挥效果的原因。

五、结论与建议

党的十九届五中全会、国家“十四五”规划和2035远景目标纲要均指出,要推动数字经济和实体经济深度融合,加快构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局。在这样的政策背景下,企业进行数字化转型对于保持核心竞争力、实现企业扩张都至关重要。本文通过理论分析,厘清了数字经济发展激发规模经济效应的内在机制,进而通过实证分析,分别从宏观和微观层面检验了数字化转型升级影响产业、企业规模经济效应的路径和效果。从宏观角度分析,三大产业数字渗透率依次递增,数字经济规模逐年增长,而其中产业数字化占比超过80%,起到了扩大产业规模、促进就业等显著的积极影响,成为促进经济发展的核心动力,同时也缓解了疫情对国内经济的冲击;从微观角度来看,企业数字化转型改变了企业原始的IT基础框架,大幅提高了企业生产效率,同时降低了成本,推动企业朝向更大规模、更高效率、更低成本的生产运营模式发展。在这一过程中,通过融资等途径增加企业研发投入成为促发展的关键,鼓励发展数字经济的政策法规对促进企业数字化转型升级具有显著的推动作用,但政策的落实效果会受到地区、企业异质性以及企业间相互作用的影响。

根据上述结论,在疫情过后市场活力不足、国际关系紧张导致市场存在极大不确定性的背景下,政府应加快推动国内三大产业的数字化转型升级,加速数字基础设施建设,完善数字经济相关法律法规,规范数字交易,推动全产业链数字化赋能;同时,各级政府应为企业在数字化转型融资方面提供便利,甚至可以开辟专项通道鼓励企业为构建信息技术框架融资;地方政府应根据当地的经济状况、开放程度、数字基建水平以及企业异质性等因素,制定符合本土企业数字化转型的政策。

Research on Industrial Digitalization and Scale Economy Effect of Enterprises —An Analysis Based on Non-homotheticity CES Production Function

Liu Qinglin Wang Minghui

(School of Economics, Shandong University, Jinan 250100, P.R.China)

Abstract: As an important driving force for global economic growth in the post pandemic era, the

digital economy and trade has shown the world a new hope of recovery. Driven by information technology, the digital transformation of industries is a key part in digital economy. It not only improves production efficiency, but also exerts an important role in promoting cross-border integration among different industries and restructuring the competitive ecology. The development of industrial digitization has made data an important factor of production, and enterprises can achieve economies of scale through the interaction between data and traditional production factors.

Our research questions are: by what kind of mechanism is such interaction achieved? What are the impacts of industrial digitization on achieving economies of scale? And what role does data play in this process? We may get the answer from theoretical analysis with the help of non-homothetic CES production function model. We subdivide production factors into digital and non-digital ones by constructing a nested non-homothetic CES Production function in a monopolistic competitive market, then we deduce the mechanism of digital factors in the production process to achieve industrial digitalization and economies of scale. The price decline of digital production factors is the key factor to promote the digital transformation of enterprises. Besides, digital transformation helps enterprises improve production efficiency, reduce production costs, then expand market share so that enterprises can achieve economies of scale.

The results of mathematical analysis provide a stable theoretical basis for constructing empirical models. In order to facilitate analysis, this article constructs and calculates the scale economy index, the digital economy index and the digital transformation index of 4912 listed manufacturing companies in China from 2012 to 2020. The research shows that industry digitalization has a significant positive influence on the realization of enterprise scale economy effect. Improving enterprise production efficiency and reducing production costs through the combination of digital and non-digital production factors constitutes an important mechanism to stimulate enterprises' scale economy effect. The subsequent DID exogenous impact test finds that incentive policies significantly promoted digital transformation, but policy effects are affected by regional differences and enterprise heterogeneity. This result can help policymakers explore more reasonable guidelines to amplify the economies of scale effects of industrial digitization.

Compared with the existing research, the marginal contributions of this article are as follows. On the one hand, DATA is introduced into the production function as a factor of production and is used as an important indicator to analyze the behavior of digital enterprises, which is rarely attempted in the previous article; On the other hand, in order to facilitate calculation and analysis, most of the past economic papers assume that variables are homotheticity. However, this paper introduces the non-homothetic hypothesis into the CES utility function, and constructs the nested non-homothetic CES production function, which is more consistent with the production behavior of enterprises in reality, and can better explain the behavior problems in the process of enterprises' digital transformation.

Keywords: Digital economy; Industry digitalization; Scale economy effect; Nonhomothetic function

[责任编辑:郝云飞]