

数字经济如何赋能产业结构优化升级

——基于 ICT 对三大产业全要素生产率贡献的视角

徐伟呈^{1,2}, 周 田³, 郑雪梅⁴

(1. 中国海洋大学经济学院, 山东 青岛 266100; 2. 中国海洋大学海洋发展研究院, 山东 青岛 266100;
3. 南京大学商学院, 江苏 南京 210008; 4. 西南财经大学中国西部经济研究院, 四川 成都 611130)

摘 要:以信息通信技术(ICT)为基础的数字技术是当前有效配置生产要素, 重塑产业结构的中坚力量。构建由 ICT 驱动的产业结构变迁模型, 使用遗传算法对模型进行参数校准, 探究数字经济赋能中国产业结构优化升级的内在机理。研究发现: 由于 ICT 对第三产业全要素生产率(TFP)的贡献大于第二产业, ICT 的扩散效应能驱动产业结构升级; 由于 ICT 对第一产业 TFP 的贡献最小, 家庭的消费结构呈现工业品和服务品的消费权重大于农产品, 且服务品具有最大消费权重的特征, ICT 的扩散效应和替代效应能共同驱动产业结构优化。进一步研究发现, 与赋有“工业化”特征的地区相比, ICT 对具有“服务化”倾向或特征地区的产业结构优化升级的驱动作用更显著。

关键词:数字经济; ICT; 产业结构优化升级; 扩散效应; 替代效应

中图分类号: F49 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0566(2022)09-0027-12

How does digital economy promote the optimization and upgrading of industrial structure? ——Based on the perspective of ICT contribution to total factor productivity of the three major industries

XU Weicheng^{1,2}, ZHOU Tian³, ZHENG Xuemei⁴

(1. School of Economics, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;
2. Institute of Marine Development, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;
3. School of Business, Nanjing University, Nanjing 210008, China;
4. Institute of Western China Economic Research, Southwestern University of Finance and Economics, Chengdu 611130, China)

Abstract: Based on information and communication technology (ICT), digital technology is the core force for effectively allocating production factors and reshaping industrial structure. This paper constructs an ICT driven industrial structure change model, uses genetic algorithm to calibrate the parameters of the model, and explores the internal mechanism of the digital economy promoting the optimization and upgrading of China's industrial structure. It is found that since ICT

收稿日期: 2022-03-24 修回日期: 2022-07-18

基金项目: 青岛市哲学社会科学规划项目“数字金融驱动下青岛市经济高质量发展的机理、效应与政策优化研究”(QDSKL2101029); 国家社会科学基金项目“人民币国际化视角下我国汇率对就业和工资影响的机理、量化与预测研究”(18CJY008)。

作者简介: 徐伟呈(1984—), 女, 山东济南人, 博士, 中国海洋大学经济学院副教授, 中国海洋大学海洋发展研究院研究员, 研究方向为数字经济与产业经济。通信作者: 郑雪梅。

contributes more to the total factor productivity (TFP) in the tertiary industry than in the secondary industry, the diffusion effect of ICT can drive the upgrading of industrial structure. As ICT has the smallest contribution to the TFP of the primary industry, the household consumption structure shows the characteristics that the consumption weight of industrial products and service products is higher than that of agricultural products, and the consumption weight of services is largest, the diffusion effect and substitution effect of ICT can jointly drive the optimization of industrial structure. Further study has found that ICT has a more significant driving effect on the optimization and upgrading of industrial structure in regions with “service-oriented” tendencies or characteristics, compared with regions with “industrialized” characteristics.

Key words: digital economy; ICT; industrial structure optimization and upgrading; diffusion effect; substitution effect

在全球新一轮产业革命兴起的背景下,中国正处于转变经济发展方式、优化经济结构的攻关期。在这一关键时期,国内产业结构存在的问题将表现地更为突出,但也面临着诸多有利条件。主要表现在,随着新一轮产业革命与技术革命蓬勃兴起,我国以数字技术为引擎,推动经济发展从以传统生产要素向数据、技术等新生产要素转变。数字经济已从数字技术层面拓展到经济结构调整、发展方式转变等阶段性特征的复杂综合体^[1],这将为我国产业结构调整提供新的机遇。

由于数字经济的核心在于数字技术的应用,而作为数字技术的重要基础,以人工智能、大数据、云计算等为代表的新一代信息通信技术(information and communication technology, ICT)日新月异。因此,准确识别新一代信息通信技术带来的产业变革,并科学探究其赋能产业结构优化升级的作用机理尤为重要。为此,国家发展改革委、中央网信办印发了《国家数字经济创新发展试验区实施方案》,指出“要促进大数据、区块链、人工智能等新一代信息技术集成应用,着力壮大数字经济生产力,培育新动能”。党的十九届五中全会审议通过了《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》,提出“要培育壮大人工智能、大数据、云计算等新兴数字产业,加快建设数字经济,从而赋能传统产业转型升级”。

值得注意的是,虽然信息通信业的发展能促进 ICT 在各产业中的应用,但由于“索洛悖论”的存在,可能表现出 ICT 投资高速增长与产业增长率缓慢发展的矛盾关系,导致 ICT 对产业结构调整的影响较为复杂。因此,在数字经济蓬勃发展的背

景下,以 ICT 对三大产业全要素生产率的贡献为研究视角,具体探究 ICT 将通过何种作用机制影响中国产业结构调整?细致考察 ICT 能否驱动中国产业结构优化升级并打破“索洛悖论”?深入探讨对于赋有不同经济结构特征的地区,ICT 对其产业结构调整的影响是否存在异质性?这对于中国加快推进产业结构调整具有重要意义。

一、文献综述

技术进步对产业结构调整的影响一直是经济学领域研究的焦点。较早的研究可以追溯到 Baumol (1967)^[2]建立的“进步部门”和“停滞部门”两部门模型,研究表明,随着时间的推移,两部门产出的比值会逐渐趋于零,劳动力会向“停滞部门”转移。Ngai 等(2007)^[3]通过构建多部门增长模型对不同行业的全要素生产率(total factor productivity, TFP)差异进行分析,发现不同部门 TFP 的差异是驱动产业结构变迁的重要动力。蔡昉等(2009)^[4]对中国不同地区的 TFP 进行了测算,研究显示,推动东部地区产业结构升级并鼓励中西部地区进行产业承接,能够实现国内劳动密集型产业的延续。王林辉等(2018)^[5]研究认为,技术进步会导致生产要素向 TFP 较高的部门流动,从而有利于资源有效配置并促进产业结构变迁。郭凯明等(2021)^[6]研究发现,产业内部有偏技术进步改变了产业内的技能密集程度和产业间的相对产出比重,从而会对产业结构转型产生影响。文海漓等(2021)^[7]研究表明,对于中国—东盟区域经济产业结构而言,技术进步偏向资本能够促进产业结构合理化,而技术进步偏向劳动则不利于产业结构优化。

当前,信息通信技术在一定程度上代表着先

进生产力的发展方向,自“索洛悖论”提出之后,许多学者探讨了 ICT 对经济发展的作用。Jorgenson 等(1999)^[8]通过研究美国经济增长状况,发现 ICT 的替代效应能够较好地促进经济增长和复苏。David 等(1999)^[9]研究则表明,ICT 的渗透效应有助于使用部门的 TFP 提升。Vu(2013)^[10]也探究了 ICT 对经济增长的影响,但在研究过程中没有区分 ICT 的替代与渗透效应。蔡跃洲等(2015)^[11]基于经济增长核算框架考察了中国经济增长状况,得出 ICT 能对经济增长产生显著的替代效应和渗透效应的结论。随后,有不少学者基于产业融合的视角,考察了信息产业对产业结构调整的影响。左鹏飞等(2020)^[12]使用 GMM 模型考察了中国信息化与城镇化融合对产业结构的影响,研究表明,信息化与城镇化融合有利于产业结构合理化,对高度化的影响则呈现倒“U”型特征。郑江淮等(2021)^[13]的研究发现,智能制造技术水平只有不断提升,且伴随较大的投资规模增加,其对产业结构调整和经济增长的影响才越显著。

在数字经济时代,数字技术和数据已成为重要的生产要素,不少文献以数字技术赋能传统产业以及数字产业化为切入点进行研究^[14]。Nambisan(2017)^[15]研究发现,数字技术正在改变企业的生产和运作模式以及劳动者的创业过程。Laudien 等(2019)^[16]则认为,数字技术能促使制造业和服务业的融合,从而有助于产业发展模式的转变。此外,还有一些学者采用不同的研究方法和研究视角,针对数字经济对产业结构调整的影响进行了探析。陈小辉等(2020)^[17]利用中国省际面板数据测算了数字经济发展水平指数,并进行了相关的实证检验,发现数字经济发展有利于中国产业结构水平提升。费越等(2021)^[18]探究了数字经济对中国制造业产业升级的影响,认为对于资本和技术密集型行业而言,数字经济对其全球价值链地位攀升的促进作用较大,而对资源密集型行业的作用较小。

现有文献对本文研究具有较强的借鉴意义,但大多直接研究 ICT、数字技术或数字经济对产业结构调整的影响,较少基于数字经济背景,从 ICT

对产业 TFP 贡献的视角,探讨其对产业结构调整的影响。鉴于此,本文的边际贡献在于:①基于数字经济的背景,在传统的柯布—道格拉斯(C-D)生产函数中创新性引入 ICT 及其对三大产业 TFP 的贡献这两个变量,构建了由 ICT 驱动的结构变迁模型。从而对 ICT 对产业结构优化升级的作用机制进行准确推演,并深度挖掘 ICT 对产业结构调整的影响机理。②根据研究问题,突破已有文献大都运用传统实证分析或统计分析方法的局限,建立包含两类拟合目标的双层拟合模型,采用基于遗传算法的多元非线性回归进行参数校准,从而对中国产业结构优化升级的演进路径进行数值模拟,进而细致剖析 ICT 对中国产业结构调整的影响作用。③创新性地以 ICT 对三大产业 TFP 的贡献为研究视角,从 ICT 的扩散效应和替代效应两条作用机制出发,探究 ICT 对中国产业结构优化升级的总体影响。同时,依据 ICT 对三大产业 TFP 贡献的序关系对研究样本进行划分,重点考察 ICT 对中国产业结构调整影响的区域异质性。

二、理论分析与研究假设

随着以 ICT 为重要组成和关键支撑的数字经济的迅速发展,各产业进入“数字化”时代。已有研究表明,ICT 会对农业 TFP 增长产生积极作用^[19],亦会提升工业和服务业的 TFP^[20-21],ICT 可作为三大产业 TFP 增长的共同驱动因素。本文参考 Duarte 等(2010)^[22]的理论模型,在传统的 C-D 生产函数中创新性引入 ICT 及其对三大产业 TFP 的贡献这两个变量,构建了由 ICT 驱动的结构变迁模型。该模型假设一国在一定时期内仅使用劳动力和资本,只生产农产品、工业品和服务品,并以三大产业产出表示其所生产产品的数量。

(一)三大产业经济均衡模型

1. 生产部门

假设三大产业代表性厂商的生产函数为 C-D 函数形式:

$$Y_i = A^{\gamma_i} A_i L_i^{\alpha_i} K_i^{\beta_i} \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

式(1)中, Y_i 、 L_i 、 K_i 和 A_i 分别表示第 i 产业的产出、劳动力投入、资本投入和除 ICT 之外的全要素生产率; A 表示 ICT 进步率, γ_i 表示 ICT 对第 i 产

业 TFP 的贡献; α_i 和 β_i 分别表示劳动力和资本对第 i 产业产出的贡献。

由于每一产业仅生产一种产品,将第 i 产业产品的价格记为 p_i 。假设生产要素能够在三大产业间自由流动,故各产业具有相同的工资和利率水平,分别记为 w 和 r 。为了达到利润最大化,厂商能够通过调整劳动力投入 L_i 和资本投入 K_i 来实现:

$$\max_{L_i \geq 0, K_i \geq 0} \{p_i A_i^{\gamma_i} L_i^{\alpha_i} K_i^{\beta_i} - w L_i - r K_i\} \quad (2)$$

2. 家庭部门

假设一国经济由一定数量的家庭组成,劳动力总供给为 L ,家庭总储蓄为 K 。代表性家庭通过消费三大产业所生产的产品来获取效用。并且,消费效用函数为 CES 函数形式:

$$U(c_1, c_2, c_3) = (\lambda_1 c_1^\rho + \lambda_2 c_2^\rho + \lambda_3 c_3^\rho)^{\frac{1}{\rho}} \quad (3)$$

式中, c_i 表示家庭对第 i 产业产品的消费量; λ_1 、 λ_2 和 λ_3 表示家庭消费农产品、工业品和服务品所获效用的权重, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \in (0, 1)$ 且 $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$; ρ 为替代参数, $\rho < 1$ 。

代表性家庭的消费受到收入预算的约束。收入包括劳动力投入所带来的工资收入和资本投入所带来的利息收入,可得预算约束的表达式:

$$p_1 c_1 + p_2 c_2 + p_3 c_3 = wL + rK \quad (4)$$

此时,家庭所要实现的消费效用最大化的函数为式(3),约束条件为式(4)。

3. 经济均衡

当生产部门和家庭部门达到局部均衡时,农产品、工业品和服务品的价格集合 $\{p_1, p_2, p_3\}$, 三大产业的劳动力投入组合 $\{L_1, L_2, L_3\}$ 、资本投入组合 $\{K_1, K_2, K_3\}$, 以及家庭对三大产业产品的消费组合 $\{c_1, c_2, c_3\}$ 满足如下均衡条件:①当产品价格、工资和利率既定时,厂商通过调整 $\{L_1, L_2, L_3\}$ 和 $\{K_1, K_2, K_3\}$ 使得利润函数式(2)实现最大化。②在预算约束式(4)下,家庭的消费组合 $\{c_1, c_2, c_3\}$ 使得消费效用函数式(3)实现最大化。③要素市场和商品市场出清,即式(5)、式(6)成立。

$$L_1 + L_2 + L_3 = L; K_1 + K_2 + K_3 = K \quad (5)$$

$$c_i = Y_i = A_i^{\gamma_i} L_i^{\alpha_i} K_i^{\beta_i} \quad i = 1, 2, 3 \quad (6)$$

本文需要在市场出清条件下求解厂商的利润

最大化问题及家庭的效用最大化问题。

首先,在厂商实现利润最大化时各生产要素的边际产出与要素价格之比相等,由此可得:

$$\frac{\alpha_i K_i}{w} = \frac{\beta_i L_i}{r} \quad (7)$$

进一步地,当各产业生产函数规模报酬不变,即 $\alpha_i + \beta_i = 1$ 时,可解得产品价格为:

$$p_i = \frac{r^{\beta_i} \alpha_i^{\beta_i-1}}{A_i^{\gamma_i} L_i^{\beta_i} w^{\beta_i-1}} \quad (8)$$

其次,当消费效用实现最大化时,三大产业产品的边际替代率等于产品价格之比:

$$\frac{\lambda_i c_i^{\rho-1}}{\lambda_j c_j^{\rho-1}} = \frac{p_i}{p_j} \quad i, j = 1, 2, 3 \quad (9)$$

最后,将式(4)和式(9)联立,可解得经济均衡时的家庭消费组合 $\{c_1, c_2, c_3\}$, 即产出组合 $\{Y_1, Y_2, Y_3\}$, 进而可得劳动力投入组合 $\{L_1, L_2, L_3\}$ 和资本投入组合 $\{K_1, K_2, K_3\}$ 。

(二) 产业结构变迁模型

1. ICT 对产业结构高度化的影响

参考干春晖等(2011)^[23]的做法,本文将产业结构高度化指标 HR 定义为第三产业与第二产业的产值之比:

$$HR = \frac{Y_3}{Y_2} \quad (10)$$

HR 上升意味着经济在向服务化的方向发展,产业结构在不断升级。结合式(6)、式(8)和式(9),可以推导出 HR 的具体表达式:

$$HR = A^{\frac{\gamma_3 - \gamma_2}{1-\rho}} \left(\frac{r}{w} \right)^{\frac{\beta_3 - \beta_2}{1-\rho}} \left(\frac{A_3 \beta_3^{\beta_3} \alpha_2^{\beta_2-1} \lambda_3}{A_2 \beta_2^{\beta_2} \alpha_3^{\beta_3-1} \lambda_2} \right)^{\frac{1}{1-\rho}} \quad (11)$$

2. ICT 对产业结构合理化的影响

参考干春晖等(2011)^[23]的做法,本文采用泰尔指数来度量产业结构合理化指标 RT :

$$RT = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{Y_i}{Y} \right) \ln \left(\frac{Y_i}{L_i} / \frac{Y}{L} \right) \quad (12)$$

式中,总产出 $Y = Y_1 + Y_2 + Y_3$; Y_i/Y 表示三大产业的产出结构;将 Y_i/L_i 记为第 i 产业的劳动生产率。此外,本文将 $\left(\frac{Y_i}{Y} \right) \ln \left(\frac{Y_i}{L_i} / \frac{Y}{L} \right)$ 记为 RT_i , 表示第 i 产业的泰尔指数分量。

根据古典经济学假设, RT 的绝对值越大,意

味着各产业生产率存在较大差异,经济越偏离均衡状态,产业结构没有实现合理化。由式(1)和式(7)可得:

$$\frac{Y_i}{L_i} = A^{\gamma_i} A_i \left(\frac{w \beta_i}{r \alpha_i} \right)^{\beta_i} \quad (13)$$

又由式(9)可得:

$$\frac{Y_i}{Y} = \frac{\lambda_i^{1/\rho} p_i^{1/\rho-1}}{\lambda_1^{1/\rho} p_1^{1/\rho-1} + \lambda_2^{1/\rho} p_2^{1/\rho-1} + \lambda_3^{1/\rho} p_3^{1/\rho-1}} \quad (14)$$

结合式(8)、式(13)和式(14),并记 $\kappa_i = \left(\frac{\lambda_i}{p_i} \right)^{\frac{1}{1-\rho}}$,可以推导出 RT 的具体表达式:

$$RT = \sum_{i=1}^3 \left\{ \left[\frac{\kappa_i}{\kappa_1 + \kappa_2 + \kappa_3} \right] * \ln \left[\frac{A^{\gamma_i} A_i (w \beta_i / r \alpha_i)^{\beta_i}}{A^{\gamma} A L^{\alpha-1} K^{\beta}} \right] \right\} \quad (15)$$

(三)ICT 对产业结构优化升级的影响机理

由理论模型可知,在数字经济背景下,ICT 将通过扩散效应和替代效应两条作用机制来影响产业结构调整,下文将根据这两条机制来分析 ICT 对产业结构优化升级的影响机理。

1. ICT 通过扩散效应对产业结构优化升级的影响机理

ICT 属于通用目的技术,具有通用性、渗透性等特点,能广泛应用于三大产业。在 ICT 应用产业的生产过程中,ICT 在信息产生、数据传递等方面的作用显著,能缓解由于信息不对称造成的市场失灵,促进生产要素实现协同合作,有助于产业 TFP 提升,这是 ICT 的扩散效应^[11]。从理论模型来看,ICT 的扩散效应能通过 ICT 对三大产业 TFP 的贡献 γ_i 来体现。由式(1)和式(13)可知, γ_i 越大,ICT 对第 i 产业 TFP 的贡献越大,其在第 i 产业中的扩散效应越强,愈能推动该产业的产出增长。这是由于, γ_i 越大,ICT 在第 i 产业的生产过程中发挥的作用越大,越能缓解由于信息不对称带来的市场失灵和资源错配等问题,愈能加强不同要素的协同合作,愈能实现该产业的 TFP 提升和产出增长。由此,提出假设 1:

假设 1:当三大产业的生产函数具有规模报酬

不变的性质时,当 $\gamma_3 > \gamma_2$ 时,ICT 的扩散效应能够驱动产业结构趋于高度化。

2. ICT 通过替代效应对产业结构优化升级的影响机理

ICT 在某一产业进行应用会促进该产业 TFP 提升,导致该产业产品价格下降。结合消费者效用理论,会促使家庭对该产业产品需求量上升,实现该产业产品对其他产业产品的替代,这正是 ICT 的替代效应。从理论模型来看,一方面,ICT 的替代效应仍然能通过 ICT 对三大产业 TFP 的贡献 γ_i 来体现。由式(8)可知,随着 γ_i 增大,第 i 产业产品的价格随之下降,从而促使家庭对该产业产品的需求量增加,进而实现该产业产品对其他产业产品的替代。另一方面,当经济处于均衡状态时,由于式(14)刻画了代表性家庭的消费结构,因而 ICT 的替代效应还可以通过家庭对第 i 产业产品消费效用的权重 λ_i 来体现。结合上述两方面分析, γ_i 和 λ_i 越大,则 λ_i/p_i 越大,从而家庭对第 i 产业产品的消费比重 Y_i/Y 越高,ICT 在第 i 产业中的替代效应越强,第 i 产业产品愈能替代其他产业产品。综合上述对 ICT 扩散效应和替代效应的分析,提出假设 2:

假设 2:当三大产业的生产函数具有规模报酬不变的性质时,当 $\gamma_1 < \gamma_2 < \gamma_3$ 且 $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$ 时,ICT 扩散效应和替代效应的共同作用能够驱动产业结构趋于合理化。

三、ICT 进步率的测算

(一)ICT 进步率的测算方法

本文使用 Malmquist 指数法来测算 ICT 进步率。假设地区 k 在时期 t 的产出为 y_k^t ,生产要素投入为 $x_k^t = (L_k^t, K_k^t)$ 。其中, L_k^t 和 K_k^t 分别表示劳动力投入和资本投入。参照 Caves 等(1982)^[24] 的做法,各地区的 Malmquist 指数为:

$$M^t = D^t(x^t, y^t) / D^t(x^{t+1}, y^{t+1}) \quad (16)$$

式(16)中, $D(\cdot, \cdot)$ 为距离函数。式(16)表示从时期 t 到 $t+1$ 的相对技术效率的变化。同理,可以得到从时期 t 到 $t+1$ 的相对技术效率的变化:

$$M^{t+1} = D^{t+1}(x^t, y^t) / D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}) \quad (17)$$

本文使用两个时期 Malmquist 指数的几何平

均值来测算 TFP:

$$M(x^{t+1}, y^{t+1}; x^t, y^t) = \left\{ \left[\frac{D^t(x^t, y^t)}{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})} \right] \left[\frac{D^{t+1}(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right] \right\}^{1/2} \quad (18)$$

需要注意的是,当生产函数的规模报酬不变时,本文使用 Malmquist 指数法测算出的信息通信业的 TFP 作为 ICT 进步率。基于上述分析,本文参考《国民经济行业分类》(GB/T4754-2011)标准,选取信息传输、计算机服务和软件业(下文简称信息通信业)的数据对 ICT 进步率进行测算。具体而言,采用 2001—2019 年中国 31 个省(自治区、直辖市)(不含港澳台)的信息通信业的国内生产总值和城镇单位就业人员数来度量产出和劳动力投入。各地区信息通信业的资本存量使用永续盘存法来计算。参考张军等(2004)^[25]的做法,计算公式为:

$$K_k^t = K_k^{t-1}(1 - \delta) + I_k^t \quad (19)$$

式中, K 、 δ 和 I 分别表示资本存量、折旧率和投资, k 表示地区, t 表示时间。首先,在式(19)中,采用信息通信业固定资产投资额来衡量投资 I 。其次,选取折旧率 $\delta = 12.1\%$,并参考徐现祥等(2007)^[26]的做法,以 2000 年的资本存量作为初始资本存量,计算公式为:

$$K_k^{2000} = \frac{I_k^{2000}}{0.03 + g_y} \quad (20)$$

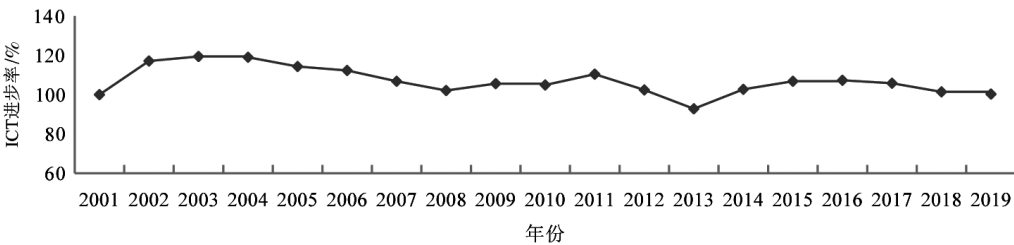


图1 2001—2019 年全国 ICT 进步率的变动趋势

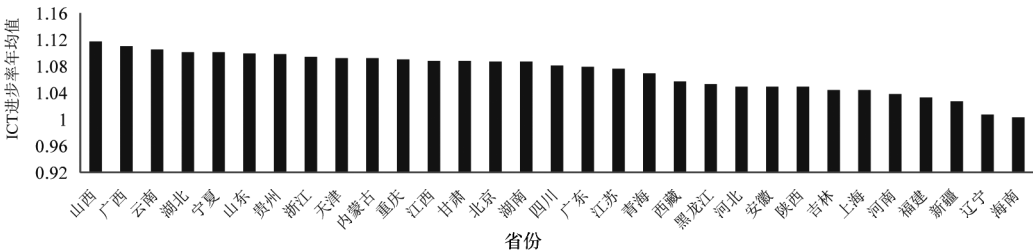


图2 2001—2019 年 31 个省份 ICT 进步率年均值的变动趋势

式(20)中, g_y 表示第三产业的经济增长速度,取 $g_y = 0.12$ 。最后,利用式(19)可以测算出 2001—2019 年中国 31 个省份信息通信业的资本存量。

(二)ICT 进步率的测算结果

本文使用 DEAP 2.1 软件测算出全国及各地区的 ICT 进步率,结果如图 1、图 2 所示。

从图 1 可以看出,全国 ICT 进步率除了在 2013 年略有下滑之外,其他年份均大于 1。这主要是由于 2013 年正值党的十八届三中全会召开并提出加快转变经济发展方式之际,为了响应号召,国内企业纷纷寻求转型升级,过剩资本涌入新兴的信息通信行业,导致该行业的生产要素出现大量冗余,致使 ICT 进步率下降。近年来,随着中国新时代网络强国战略的深入实施,数字经济逐渐兴起并快速发展,信息通信业亦保持蓬勃发展态势,投资者开始理智面对信息通信业的投资机遇,ICT 进步率再次回升并逐渐趋于稳步增长。

由图 2 可知,ICT 进步率较高的地区依次是山西、广西和云南,北京、浙江和广东等地的 ICT 进步率虽然较高,却没有拔得头筹。这可能是由于,在早期,山西、广西和云南等地的信息通信业发展程度较低,而近年来其对技术变革和产业变革的引领已逐渐突破区域边界,信息通信业的产出增速呈现较猛烈的发展势头,ICT 进步率迅速增长。然而,北京、浙江和广东等地的信息通信业的基础设

施完善,发展处于成熟期,造成 ICT 进步空间相对较小。图 2 体现了 ICT 在全国的扩散和应用势头,说明信息通信业落后的地区在持续赶超。

四、模型校准与结果分析

本文使用 2001—2019 年中国 31 个省份的数据,通过构建一个可以相互修正优化的双层拟合模型,使用基于遗传算法的非线性回归对三大产业经济均衡模型和产业结构变迁模型进行参数校准,以细致探究 ICT 对中国产业结构调整的影响作用。

(一)参数校准方法及数据说明

1. 参数校准方法

本文构建了包含两类拟合目标的双层拟合模型,该模型分为上层拟合模型和下层拟合模型,分别对应三大产业经济均衡模型和产业结构变迁模型。

具体而言,上层拟合模型是对式(1)进行校准,对于每一个产业,基于已知的 ICT 进步率 A 、劳动力和资本投入 L_i 和 K_i 以及产出 Y_i ,对未知参数 A_i 、 γ_i 、 α_i 和 β_i 进行校准,拟合目标为产出 Y_i 。上层拟合模型接受来自下层拟合模型校准参数的返回值,以重复进行模型校准,使得拟合目标 Y_i 的估计值与实际值尽可能相同。下层拟合模型是利用上层拟合模型所校准出的参数对式(11)和式(15)进行校准,待校准参数为 A_i 、 γ_i 、 α_i 、 β_i 、 λ_i 和 ρ ,拟合目标为产业结构高度化 HR 和合理化 RT 指标。同时,在不考虑上层拟合模型的情况下,直接对式(11)和式(15)进行校准,并将两次校准结果进行比较。若不相同,则按照遗传算法使两次校准所确定的参数值互相交叉,产生新的参数值并返回上层拟合模型重新进行参数校准,直到校准的参数同时满足双层拟合模型的拟合目标为止。

2. 数据说明

①采用 2001—2019 年 31 个省份按三次产业分就业人员数及三大产业的产值来度量双层拟合模型中的劳动力投入 L_i 和产出 Y_i 。②采用使用 Malmquist 指数法测算出的各地区 ICT 进步率来度量模型中的 ICT 进步率 A 。③采用使用永续盘存法测算出的各地区三大产业的资本存量来度量资本投入 K_i 。④采用各地区城镇单位就业人员平均工资来

度量工资 w 。⑤采用一年期人民币法定贷款基准利率来度量利率 r 。上述价格指数均经过 CPI、PPI 等价格指数的调整,并以 2000 年为基期。数据来源于《中国统计年鉴》和各地区统计年鉴,《中国固定资产投资统计年鉴》以及 wind 数据库。

(二)参数校准结果

1. 上层拟合模型的参数校准结果

本文使用 2001—2019 年中国 31 个省份共计 589 组数据对参数进行校准。上层拟合模型所得参数值和拟合目标见表 1。以此为基础,通过对各地区三大产业产出 Y_i 的拟合值进行加总,得到全国三大产业产出的拟合效果,见图 3。参数校准使用 Matlab R2018a 软件完成。

表 1 上层拟合模型的参数值和拟合目标

参数	参数值	拟合目标	参数	参数值	拟合目标	参数	参数值	拟合目标
A_1	1.008 6	Y_1	A_2	2.062 5	Y_2	A_3	2.011 7	Y_3
γ_1	0.019 6	Y_1	γ_2	0.043 8	Y_2	γ_3	0.144 0	Y_3
α_1	0.599 6	Y_1	α_2	0.499 3	Y_2	α_3	0.326 3	Y_3
β_1	0.416 5	Y_1	β_2	0.500 1	Y_2	β_3	0.749 0	Y_3

从表 1 可以看出,就全国整体而言,第二、三产业的除 ICT 之外的全要素生产率显著高于第一产业。并且,ICT 对三大产业 TFP 的贡献也具有显著差异,ICT 对第三产业 TFP 的贡献最大,第二产业次之,而第一产业最小。此外,对于三大产业而言,劳动力投入和资本投入对各产业产出的贡献之和近似等于 1,意味着理论模型中的生产函数具有规模报酬不变的性质,说明本文理论分析的前提假设是成立的。

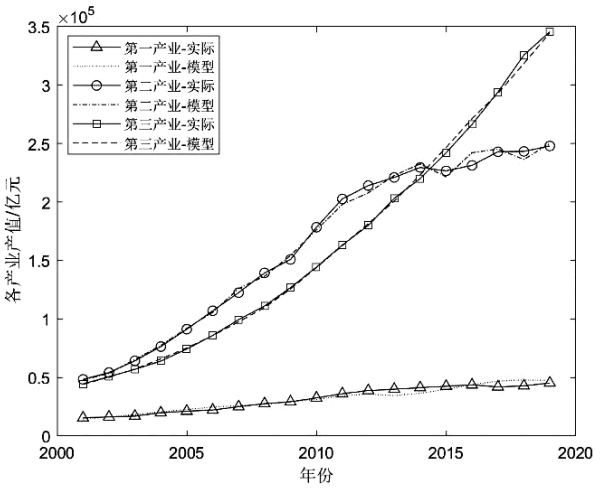


图 3 全国三大产业产出的拟合效果

图 3 展示了全国三大产业产出随时间推移的实际变动路径以及由双层拟合模型所确定的模拟路径。可以看出,模型所拟合的三大产业产出与中国三大产业的实际产出高度吻合,说明本文的理论模型能够较好地模拟中国各产业产出的实际变动趋势。

2. 下层拟合模型的参数校准结果

下层拟合模型所得的参数值见表 2。在此基础上,得到全国产业结构高度化和合理化的拟合效果,见图 4。

下层拟合模型中 A_i 、 γ_i 、 α_i 和 β_i 的数值与上层

拟合模型的参数值相同,在表 2 中不再赘述。此外,可以看出,代表性家庭消费工业品和服务品所获效用的权重明显高于农产品。

表 2 下层拟合模型的参数值							
参数	参数值	参数	参数值	参数	参数值	参数	参数值
ρ	0.602 8	λ_1	0.226 5	λ_2	0.385 1	λ_3	0.388 4

从图 4 可以看出,通过对中国产业结构高度化和合理化的实际路径和模拟路径进行比较,可知本文的理论模型亦能较好地刻画中国产业结构优化升级的实际演进路径。

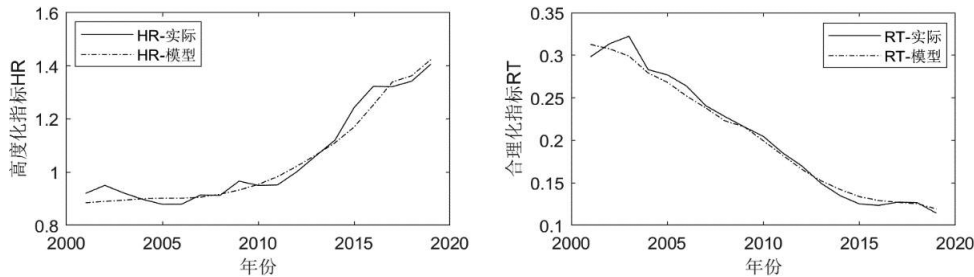


图 4 全国产业结构高度化和合理化的拟合效果

(三) 结果分析

1. ICT 对产业结构高度化的影响分析

从图 4 可看出,本文模拟出的全国产业结构高度化的曲线呈单调上升趋势,并且理论模型对产业结构升级的实际演进路径的拟合效果较好,说明中国产业结构不断趋于高级化。本文将基于 ICT 的扩散效应来研究 ICT 对产业结构高度化的影响。由表 1 可知,对于全国整体而言,ICT 对三大产业 TFP 的贡献具有显著差异,其对第三产业 TFP 的贡献为 0.144 0,远大于对第一和第二产业 0.019 6 和 0.043 8 的贡献。这意味着 ICT 的扩散效应在第三产业表现的尤为明显,能极大促进第三产业 TFP 上升,从而促使第三产业产出增长超过第二产业,进而驱动产业结构升级。由此,假设 1 得以验证。

多年来,全国第三产业一直保持较为迅猛的发展势头,而支持服务业快速发展的是生产性服务业,这正是 ICT 在第三产业的主要应用领域。近年来,ICT 对传统产业的改造,特别是在第三产业中的应用持续取得进展,这有利于提升第三产业

的技术水平和全要素生产率。未来,随着中国数字技术和数字经济进入更快的发展时期,ICT 的扩散效应在第三产业会表现得愈发显著,从而能持续推动产业结构升级。

2. ICT 对产业结构合理化的影响分析

从图 4 可以看出,本文模拟出的全国产业结构合理化的曲线呈单调下降趋势,并且理论模型对中国产业结构优化的实际演进路径的拟合效果亦较好,意味着中国的产业结构不断趋于合理化。本文将基于三大产业的视角,从 ICT 的扩散效应和替代效应两方面来分析 ICT 对产业结构合理化的影响。为了便于研究,本文将式(12)的泰尔指数分解为三大产业的泰尔指数分量 RT_1 、 RT_2 和 RT_3 ,其变动趋势见图 5。

从表 1 可以看出,三大产业除 ICT 之外的全要素生产率分别为 1.008 6、2.062 5 和 2.011 7,第二、三产业的较高,第一产业的最低。意味着第一产业的生产率 Y_1/L_1 可能低于总生产率 Y/L ,而第二、三产业的生产率 Y_2/L_2 和 Y_3/L_3 远高于总生产率 Y/L 。随着 ICT 的持续蓬勃发展,其在第一产业

的应用会推进农业生产、流通和销售方式的转变以及信息化生产和服务体系完善,ICT 的扩散效应会缩小第一产业生产率与总生产率的差距。而随着 ICT 在制造业和服务业中的应用程度不断深化,ICT 的扩散效应亦会缩小第二、三产业生产率与总生产率的差距。虽然扩散效应在三大产业中发挥的作用相似,但由表 1 可知,ICT 对第三产业 TFP 的贡献为 0.144 0,远大于对第一和第二产业 0.019 6 和 0.043 8 的贡献。说明扩散效应在第三产业最显著,第二产业次之,第一产业最弱。

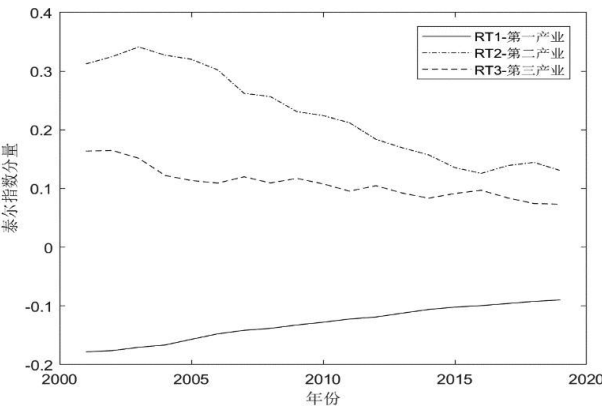


图5 三大产业泰尔指数分量的变动趋势

由于 ICT 对三大产业 TFP 的贡献具有较大差异,扩散效应所导致的服务品的价格降幅最大,其次是工业品,而农产品最小,从而导致家庭对农产品的消费量大幅上升,特别会增加对服务品的消费。并且,从表 2 可看出,家庭对农产品、工业品和服务品的消费效用权重为 0.226 5、0.385 1 和 0.388 4,工业品和服务品的消费权重明显大于农产品。综上分析,ICT 的替代效应在第一产业最显著,农产品会被非农产品大量替代,造成家庭对农产品的消费比重 Y_1/Y 明显降低。替代效应虽然也存在于第二产业,部分工业品会被服务品替代,导致家庭对工业品的消费比重 Y_2/Y 降低,但影响作用并不明显。而替代效应在第三产业最微弱,由于服务品会替代农产品和工业品,从而促使家庭对服务品的消费比重 Y_3/Y 显著上升。

由上述分析可知,在 ICT 扩散效应和替代效应的共同作用下,三大产业泰尔指数分量 RT_1 、 RT_2 和 RT_3 的绝对值逐渐变小,影响机理如表 3 所示。

从图 5 看出,在 2001—2019 年,第一产业泰尔指数分量的绝对值由 0.178 2 降到 0.089 8,第二、三产业的泰尔指数分量分别从 0.312 4 降至 0.130 7,以及从 0.163 9 降至 0.073 4。因此,在 ICT 两种效应的综合作用下,三大产业的结构偏离度均得到不同程度改善,从而驱动产业结构优化。由此,假设 2 得以验证。

表3 ICT 的扩散效应和替代效应对三大产业泰尔指数分量的影响

产业	扩散效应	替代效应	效应对比	泰尔指数分量
第一产业	$\frac{Y_1}{L_1} / \frac{Y}{L} \uparrow$	$Y_1/Y \downarrow$	扩散效应 < 替代效应	趋于 0
第二产业	$\frac{Y_2}{L_2} / \frac{Y}{L} \downarrow$	$Y_2/Y \downarrow$	扩散效应 > 替代效应	趋于 0
第三产业	$\frac{Y_3}{L_3} / \frac{Y}{L} \downarrow$	$Y_3/Y \uparrow$	扩散效应 > 替代效应	趋于 0

注: $\uparrow$ 和 $\downarrow$ 表示 ICT 的扩散效应和替代效应对指标变动的影响方向,分别代表促进指标增长以及导致指标下降。

近年来,随着中国深入开展“上云用数赋智”行动,加强新一代人工智能研发应用等,ICT 在第一、二产业迅速渗透。这有利于发展智慧农业,推进农业生产经营和管理服务数字化改造,提升第一产业的生产率和增值空间;亦有利于提升制造业质量,促使“中国制造”由大做强,提高第二产业的全要素生产率。因此,在当前加快数字化发展,建设数字经济的宏观语境下,ICT 不仅能催生第三产业新业态,亦能赋能传统的第一、二产业转型,从而实现三大产业均衡协调发展及产业结构优化,这将壮大经济发展的新动能和新引擎。

五、进一步讨论

(一)地区分类

考虑到全国 31 个省(自治区、直辖市)的信息化水平具有较大差异,以及各地区 ICT 与三大产业的融合程度不同,会导致 ICT 对不同地区三大产业 TFP 的贡献不尽相同。因此,本章仍然以 ICT 的扩散效应和替代效应为视角,结合各地区的产业结构特征,来探讨 ICT 对产业结构调整影响的区域异质性。首先,本文基于 2001—2019 年 31 个省份的数据,通过建立双层拟合模型,使用遗传算法对 ICT 对各地三大产业 TFP 的贡献进行测算,并根据贡献度的序关系,将 31 个省份划分为两类区域,结果见表 4。

表 4 31 个地区按照 ICT 对三大产业 TFP 贡献序关系的分类结果

情形分类	ICT 对三大产业 TFP 贡献的序关系	省份
情形 1	$\gamma_1 < \gamma_2 < \gamma_3$	北京、天津、上海、浙江、江苏、广东、贵州、黑龙江、云南、海南、西藏、甘肃、新疆、重庆、山西、内蒙古、吉林、辽宁、湖南、湖北、河北、广西、山东、四川、福建、安徽、宁夏、陕西、江西、青海、河南
情形 2	$\gamma_1 < \gamma_3 < \gamma_2$	

从表 4 可以看出,ICT 对两类地区第一产业 TFP 的贡献均最小,差别体现在 ICT 对情形 1 的地区第三产业 TFP 的贡献大于第二产业,情形 2 地区的情况恰好相反。通过分析可知,在 2001—2019 年,31 个省份第一产业产值在三大产业总产值中所占比重与第二三产业相比均最小。并且,对于情形 1 中的北京、上海、海南和重庆而言,第三产业产值所占比重一直稳居高位;对于天津、浙江、江苏和广东等地而言,虽然前十余年第二产业的产值占比较高,但近五年被第三产业超越;对于情形 2 中的山西、内蒙古、辽宁和吉林等大多数地区,第二产业产值比重一直高于第三产业。这意味着 ICT 与各地三大产业的融合程度是以各地产业结构的发展状况为现实基础。

(二) 参数校准结果及分析

基于上述分析,本章采用与上文相同的步骤对两类情形的地区进行模型校准,并得到两类地区产业结构高度化和合理化的拟合效果,见图 6。

从图 6 可以看出,模型所拟合的两类地区的产业结构高度化和合理化指标与实际情况较吻合,说明理论模型能够较好地模拟两类地区产业结构优化升级的实际演进路径。并且,ICT 对两类地区产业结构高度化和合理化的影响表现出显著的区域异质性。具体而言,随着时间推移,情形 1 地区

的高度化指标呈明显的上升态势,情形 2 地区则呈先降后升的变动趋势,并且情形 1 地区的高度化水平始终高于情形 2 地区,差距也愈加明显。对于合理化指标而言,两类地区均呈下降趋势,且情形 1 地区的合理化水平始终低于情形 2 地区。

近年来,情形 1 地区的第三产业发展迅猛,产业结构大都表现出较为明显的“服务化”倾向或特征。由于 ICT 在三大产业中的应用是以各产业的实际发展状况为基础,因而 ICT 更易利用计算机通讯网络、大数据和云服务平台等技术手段对上述地区传统的邮电通信业、交通运输业和物流仓储业等进行改造,故 ICT 对该地区第三产业 TFP 的贡献较大,扩散效应较显著,从而能促进产业结构不断升级。然而,情形 2 中大部分地区的经济结构仍以工业为主,产业结构表现出较明显的“工业化”特征。意味着上述地区更易借助 ICT 进行大规模的工业智能协作生产,ICT 的应用更易引发第二产业的技术变革和产出增长。由于 ICT 在该地区第二产业中的扩散效应较明显,导致对产业结构升级的驱动效应并不显著。

此外,对于上述两类情形的地区,ICT 的扩散效应还会缩小三大产业生产率与总生产率的差距,并且替代效应会导致第一产业的产值占比下降,从而有利于第一产业结构偏离度的改善。然而,对于情形 2 的地区,ICT 对第二产业结构偏离度的优化作用并不明显,但仍会改善第三产业的结构偏离度。与之相比,情形 1 地区的产业结构具有明显的“服务化”倾向或特征,该地区 ICT 与服务业的深度融合导致 ICT 的扩散效应强于替代效应,最终会同时改善第二、三产业的结构偏离程度。综上分析,ICT 均能促进两类地区的产业结构趋于合理化,但对情形 1 地区产业结构的优化作用更加显著。

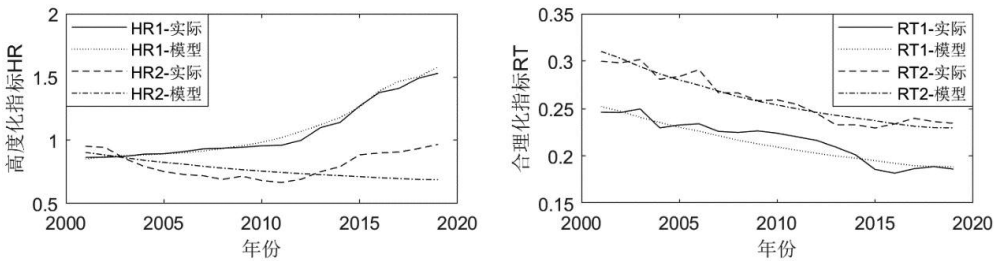


图 6 两类地区产业结构高度化和合理化的拟合效果

六、研究结论与政策建议

基于数字经济背景,本文将 ICT 及其对三大产业 TFP 的贡献引入 C-D 生产函数,构建了由 ICT 驱动的产业结构变迁模型;然后利用 2001—2019 年中国省域面板数据,建立双层拟合模型,采用基于遗传算法的多元非线性回归进行参数校准,从 ICT 的扩散和替代效应两个角度探讨了 ICT 对产业结构调整的影响作用及区域异质性。

(一) 结论

(1) ICT 能够通过扩散效应和替代效应两条作用机制来影响产业结构优化升级。ICT 的扩散效应通过其对三大产业 TFP 的贡献来体现,贡献度越大则扩散效应越强,愈能推动产业的产出增长。ICT 的替代效应则通过其对三大产业 TFP 的贡献以及家庭对三大产业产品的消费结构来体现,贡献度越大且消费效用权重越高则替代效应越弱,愈能替代其他产业产品。

(2) 本文的理论模型能较好地模拟中国产业结构优化升级的实际演进路径。由于 ICT 对第三产业 TFP 的贡献大于第二产业,故 ICT 的扩散效应能推动中国产业结构升级。又由于 ICT 对第一产业 TFP 的贡献最小,家庭对三大产业产品的消费结构呈现出工业品和服务品的消费权重明显大于农产品,且服务品的消费权重最大的特征,故 ICT 扩散效应和替代效应的共同作用能驱动中国产业结构优化。

(3) ICT 对不同地区产业结构优化升级的影响表现出明显的区域异质性。ICT 能持续驱动具有“服务化”倾向或特征地区的产业结构升级,且影响效应更大,而对具有“工业化”特征地区的产业结构高度化呈现先抑制后推动的影响趋势。并且 ICT 对前一类地区产业结构合理化的驱动作用比后一类地区更加显著。

首先,中国信息通信领域仍有许多关键技术和核心技术有待突破,需要大胆创新和探索。以此为基础,加快 ICT 向传统农业、高端制造业与现代服务业的渗透,促进 ICT 与三大产业的深度融合,形成技术、应用与产业良性互动的协同创新发展格局,从 ICT 的扩散效应方面发挥其对中国产业

结构优化升级的支撑作用。

其次,加快资本市场建设,加速金融资源向 ICT 领域配置,并实现 ICT 领域与金融领域创新的互融互通。同时,合理引导 ICT 资本在三大产业间的配置,力争实现资金链、创新链和产业链的融通,增强创新资本投放和承接的效率和供需的均衡^[27],从 ICT 的替代效应方面为产业结构优化升级提供支撑。

最后,对于经济发展具有“服务化”倾向或特征的地区,应继续深化 ICT 在第三产业中的应用,加强高端产业引领功能。对于具有“工业化”特征的地区,则应利用 ICT 改变传统的固有发展模式,化解过剩产能,改造提升装备制造等传统优势产业。不同地区在选择适宜发展道路的基础上,还应做好区域间产业转移和承接,助力全国形成均衡可持续发展的产业结构与形态,从而为未来的产业结构优化升级积蓄更大的动力。

参考文献:

- [1] 戚聿东,褚席. 数字经济发展促进产业结构升级机理的实证研究[J]. 学习与探索, 2022(4): 111-120.
- [2] BAUMOL W J. Macroeconomics of unbalanced growth: the anatomy of urban crisis[J]. American economic review, 1967, 57(3): 415-426.
- [3] NGAI R, PISSARIDES A. Structural change in a multisector model of growth[J]. American economic review, 2007, 97(1): 429-443.
- [4] 蔡昉,王德文,曲玥. 中国产业升级的大国雁阵模型分析[J]. 经济研究, 2009, 44(9): 4-14.
- [5] 王林辉,袁礼. 有偏型技术进步、产业结构变迁和中国要素收入分配格局[J]. 经济研究, 2018, 53(11): 115-131.
- [6] 郭凯明,罗敏. 有偏技术进步、产业结构转型与工资收入差距[J]. 中国工业经济, 2021(3): 24-41.
- [7] 文海漓,夏惟怡,陈修谦. 技术进步偏向视角下中国——东盟区域海洋经济产业结构特征及合作机制研究[J]. 中国软科学, 2021(6): 153-164.
- [8] JORGENSEN D W, STIROH K J. Information technology and growth[J]. American economic review, 1999, 89(2): 109-115.
- [9] DAVID P A, WRIGHT G. General purpose technologies and productivity surges: historical reflections on the future of the ICT revolution [R]. Oxford: Oxford University Press,

- 2003:135-166.
- [10] VU K M. Information and communication technology (ICT) and Singapore's economic growth [J]. *Information economics and policy*, 2013, 25(4): 284-300.
- [11] 蔡跃洲,张钧南. 信息通信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, 50(12): 100-114.
- [12] 左鹏飞,姜奇平,陈静. 互联网发展、城镇化与我国产业结构转型升级[J]. *数量经济技术经济研究*, 2020, 37(7): 71-91.
- [13] 郑江淮,冉征. 智能制造技术创新的产业结构与经济增长效应——基于两部门模型的实证分析[J]. *中国人民大学学报*, 2021, 35(6): 86-101.
- [14] 刘洋,陈晓东. 中国数字经济发展对产业结构升级的影响[J]. *经济与管理研究*, 2021, 42(8): 15-29.
- [15] NAMBISAN S. Digital entrepreneurship: toward a digital technology perspective of entrepreneurship[J]. *Entrepreneurship theory and practice*, 2017, 41(6): 1029-1055.
- [16] LAUDIEN S M, PESCH R. Understanding the influence of digitalization on service firm business model design: a qualitative-empirical analysis [J]. *Review of managerial science*, 2019, 13(3): 575-587.
- [17] 陈小辉,张红伟,吴永超. 数字经济如何影响产业结构水平[J]. *证券市场导报*, 2020(7): 20-29.
- [18] 费越,张勇,丁仙,等. 数字经济促进我国全球价值链地位升级——来自中国制造业的理论与证据[J]. *中国软科学*, 2021(S1): 68-75.
- [19] 朱秋博,白军飞,彭超,等. 信息化提升了农业生产率吗[J]. *中国农村经济*, 2019(4): 22-40.
- [20] 江小涓. 高度联通社会中的资源重组与服务业增长[J]. *经济研究*, 2017, 52(3): 4-17.
- [21] 黄群慧,余泳泽,张松林. 互联网发展与制造业生产率提升: 内在机制与中国经验[J]. *中国工业经济*, 2019(8): 5-23.
- [22] DUARTE M, RESTUCCIA D. The role of the structural transformation in aggregate productivity[J]. *Quarterly journal of economics*, 2010, 125(1): 129-173.
- [23] 干春晖,郑若谷,余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. *经济研究*, 2011, 46(5): 4-16.
- [24] CAVES D W, CHRISTENSEN L R, DIEWERT W E. Multilateral comparisons of output, input, and productivity using superlative index numbers[J]. *The economic journal*, 1982, 92(365): 73-86.
- [25] 张军,吴桂英,张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000[J]. *经济研究*, 2004(10): 35-44.
- [26] 徐现祥,周吉梅,舒元. 中国省区三次产业资本存量估计[J]. *统计研究*, 2007, 24(5): 6-13.
- [27] 郭美晨,杜传忠. ICT 提升中国经济增长质量的机理与效应分析[J]. *统计研究*, 2019, 36(3): 3-16.

(本文责编:王延芳)