

经济学、管理学研究

数字经济热潮下中国 ICT 制造业的发展质量及区域特征*

——基于省域数据的实证分析

陈楠 蔡跃洲

【提要】本文运用 DEA 及 DEA-Malmquist 指数方法,对中国 ICT 制造业运行效率和 TFP 变化情况进行实证分析。结果表明:(1)数字经济兴起带来中国 ICT 制造业快速成长,但其 TFP 提升不足,平均技术水平甚至出现负增长;(2)2001 年加入 WTO 为中国扩大市场、提高技术水平提供了契机,2005 年以后梯度转移则让中西部欠发达省域获得较大技术和效率提升;(3)北京、上海、广东三地 ICT 制造业整体 TFP 都出现明显负增长,北京和上海成本高企,但却发挥出对周边省域的技术溢出效应,而广东则仍要归因于中低端环节规模膨胀。

【关键词】ICT 制造业 DEA-Malmquist 指数 技术变化 技术效率 规模效率

〔中图分类号〕F49 〔文献标识码〕A 〔文章编号〕1000-2952(2019)05-0023-17

一、引言

数字经济概念早在 1996 年便由加拿大人唐·塔普斯科特(Don Tapscott)在其专著《数字经济:网络智能时代的希望和危险》中首次提出。^①当时,互联网热潮已经在美国及北美地区兴起,并在 2000 年

* 本文系国家自然科学基金面上项目“新一代信息技术影响增长动力及产业结构的理论与经验研究”(71873144)和国家社会科学基金重点项目“数字经济对中国经济发展的影响研究”(18AZD006)的阶段性成果。

① Tapscott, D., *The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence*. New York: McGraw Hill, 1996, p. 1.

前后席卷中国,由此开启了中国数字经济快速发展的进程。^①从1999年到2017年,中国互联网上网人数由890万人增加到7.72亿人,增长约85.7倍;电子商务交易额由1.8亿元增加到29.16万亿元,增长约16.2万倍。^②信息技术(information and communication technology, ICT)制造业既是数字经济的重要组成部分,也是推动产业数字化的物质和技术基础。伴随着中国互联网与数字经济的蓬勃发展,ICT制造业规模也呈现快速增长势头,增加值由1999年的1519.2亿元提升至2016年的27218亿元,增长约17倍。^③然而,2018年发生的“中兴事件”及中美经贸摩擦也暴露出中国ICT制造业的技术短板,其中在以高端通用芯片为代表的核心领域尤为突出。事实上,中国ICT制造业虽然内需旺盛、产业体系相对健全、产业规模庞大,但高端产品和高附加值产业链上游缺失、大而不强的状况一直存在。

当前,由新一代信息技术主导推动的全球新一轮科技革命和产业变革正在加速演进,中国数字经济发展也进入到新阶段,对ICT制造业技术水平和产业竞争力提出了更高要求。在关注产业规模的同时有必要综合考虑技术进步和生产效率等因素,对产业发展质量、产业集聚、区域分布等状况进行全面客观评价。为此,本文利用省域数据,运用数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)及DEA-Malmquist指数方法开展实证分析,以期客观评价我国ICT制造业的发展质量及变化趋势,为出台有针对性的产业政策提供参考。

二、文献综述及研究思路

ICT作为通用目的技术和近两次技术革命的核心支撑,早在20世纪80年代便为经济学界所广泛关注。经济学界有关ICT的研究大体分为两类:一是ICT与经济发展的关系,包括ICT对经济增长、产业结构、企业效率等的影响;二是ICT产业发展状况和运行效率。接下来将比照上述分类梳理国内外文献,并结合中国ICT产业研究现状提出本文后续实证的基本思路。

(一) ICT对宏观增长及微观效率的影响

1987年,“索洛悖论”^④提出后,很多美国学者着手从实证的角度考察ICT对经济增长和生产率的影响。Oliner等从增长核算出发测算ICT资本对美国经济增长和生产率的贡献,发现1970~1992年间,ICT资本对美国经济增长和劳动生产率贡献很小,主要原因在于ICT资本规模相对于经济总量太小。^⑤Stiroh利用美国1947~1991年分产业数据进行的实证结果表明,ICT对经济增长替代效应显著,是20世纪80年代美国经济复苏的重要原因;在全要素生产率(total factor productivity, TFP)方面,计算机生产部门显现出强劲增长势头,而计算机使用部门则不明显。^⑥2000年前后,美国主流文献基本形成共识,认为ICT在1995~2000年美国复苏中发挥了重要作用。^⑦美国并

① 1997年6月网易成立,并于1998年推出免费邮箱;1998年2月至12月,搜狐、腾讯、新浪先后成立;阿里巴巴、携程、51job、当当等均成立于1999年;2000年1月百度成立,同年网易、搜狐、新浪均在纳斯达克上市。

② 笔者根据国家统计局数据、《中国电子商务报告(2017)》及网络零星数据整理而得。

③ 蔡跃洲、牛新星:《数字产业化与产业数字化视角的中国数字经济测算——基于ICT特征和增长核算的理论方法及实证分析》,首届互联网与数字经济论坛会议论文,中央财经大学,2019年3月2日。

④ 1987年,诺贝尔经济学奖得主罗伯特·索洛在《纽约时报》撰文指出:“你可以在任何领域感受到计算机时代,唯独在生产率的统计测算中不能(We see the computer age everywhere except in the Productivity Statistics)”,此即著名的“索洛悖论”。

⑤ Oliner, S. D. and Sichel, D., Computers and Output Growth Revisited: How Big Is the Puzzle? *Brookings Papers on Economic Activity*, Vol. 25 (2), 1994, pp. 273-334.

⑥ Stiroh, K. J., Computers, Productivity, and Input Substitution. *Economic Inquiry*, Vol. 36 (2), 1998, pp. 175-191.

⑦ Jorgenson, D. W. and Stiroh, K. J., Information Technology and Growth. *The American Economic Review*, Vol. 89 (2), 1999, pp. 109-115; Oliner, S. D. and Sichel, D., The Resurgence of Growth in the Late 1990s: Is Information Technology the Story? *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 14 (4), 2000, pp. 3-22; Jorgenson, D. W., Information Technology and the U. S. Economy. *The American Economic Review*, Vol. 91 (1), 2001, pp. 1-32; Stiroh, K. J., Information Technology and the U. S. Productivity Revival: What Do the Industry Data Say? *The American Economic Review*, Vol. 92 (5), 2002, pp. 1559-1576.

不是唯一获益于 ICT 技术进步和 ICT 资本增长的经济体。在后期研究中, Jorgenson 等把研究对象拓展到全球, 考察了 1989~2003 年 ICT 投资对世界经济复苏产生的影响, 结果表明 ICT 投入增长主导了各国经济增长, 所有地区 ICT 投资都出现增长, 而发达经济体和亚洲新兴国家增长更为明显。^①此后, 国外经济学者相继对不同国家和地区的 ICT 投入与经济增长的关系进行了测算, ICT 资本的正向效应得到普遍验证。^②

国内关于 ICT 对经济产出和生产率影响的定量研究始于 2000 年前后。徐升华等依托索洛增长模型估算技术进步、劳动投入、资本投入对中国信息产业增长的贡献度, 并测算信息产业对中国经济增长的拉动作用。^③王宏伟借鉴 Jorgenson 的相关定义将各产业划分为 IT 生产业、IT 应用业和非 IT 业三大类, 测算信息产业 TFP 及其对经济增长的贡献。^④蔡跃洲等依托 Jorgenson 及 OECD 的增长核算框架, 对 1977~2012 年中国经济增长的来源进行细致分解, 分析了 ICT 对经济增长的替代效应和渗透效应。^⑤渠慎宁利用新经济增长理论建立 ICT 对经济增长贡献的理论模型, 并扩展为适合中国国情的分析框架, 以此测算 ICT 的资本深化效应及其对 TFP 增长的贡献。^⑥尽管测算方法不同, 但国内研究基本都充分肯定了 ICT 对于中国经济增长的贡献。

在宏观层面测算分析的同时, 不少国外学者也开始关注在微观层面 ICT 对企业的影响, 基于跨国企业微观数据, 从实证层面分析影响企业 ICT 投入决策和应用效果的各类因素, 探讨如何进行技术互补型投入, 在完善配套的基础上充分释放 ICT 技术红利。^⑦国内学者对于 ICT 配套机制的研究相对较少, 更多关注 ICT 如何渗透和影响其他产业, 特别是 ICT 对制造业、金融等服务业的提升作用。^⑧

(二) ICT 产业及细分行业发展的跨国比较

国内外针对 ICT 产业发展状况的研究相对较晚。Shao 等聚焦 ICT 产业自身发展状况, 运用 DEA-Malmquist 方法测算了 1978~1990 年 14 个 OECD 国家 ICT 产业的 TFP 指数并对其进行分解,

① Jorgenson, D. W. and Vu, K., Information Technology and the World Economy. *The Scandinavian Journal of Economics*, Vol 107 (4), 2005, pp 631-650.

② Vu, K., Information and Communication Technology (ICT) and Singapore's Economic Growth. *Information Economics and Policy*, Vol 25 (4), 2013, pp 284-300; Welfens, P. J. J. and Perret, J. K., Information & Communication Technology and True Real GDP: Economic Analysis and Findings for Selected Countries. *International Economics and Economic Policy*, Vol 11 (1-2), 2014, pp 5-27; Niebel, T., ICT and Economic Growth—Comparing Developing, Emerging and Developed Countries. *World Development*, Vol 104, 2018, pp 197-211.

③ 徐升华、毛小兵:《信息产业对经济增长的贡献分析》,《管理世界》2004 年第 8 期,第 75~80 页。

④ 王宏伟:《信息产业与中国经济增长的实证分析》,《中国工业经济》2009 年第 11 期,第 66~76 页。

⑤ 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》,《经济研究》2015 年第 12 期,第 100~114 页。

⑥ 渠慎宁:《ICT 与中国经济增长:资本深化、技术外溢及其贡献》,《财经问题研究》2017 年第 10 期,第 26~33 页。

⑦ Hollenstein, H., Determinants of the Adoption of Information and Communication Technologies (ICT): An Empirical Analysis Based on Firm-Level Data for the Swiss Business Sector. *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol 15 (3), 2004, pp 315-342; Arduini, D., Nascia, L. and Zanfei, A., A Sectoral Approach to the Diffusion of ICT: Empirical Evidence on Italian Firms. Paper to Be Presented at the DRUID Summer Conference 2007 on Appropriability, Proximity, Routines and Innovation, Copenhagen, CBS, Denmark, June 18-20, 2007; Haller, S. A. and Siedschlag, I., Determinants of ICT Adoption: Evidence from Firm-Level Data. *Applied Economics*, Vol 43 (26), 2011, pp 3775-3788; Gallego, J. M., Gutiérrez, L. H. and Lee, S. H., A Firm-Level Analysis of ICT Adoption in an Emerging Economy: Evidence from the Colombian Manufacturing Industries. *Industrial and Corporate Change*, Vol 24 (1), 2015, pp 191-221.

⑧ 谢康等:《中国工业化与信息化融合质量:理论与实证》,《经济研究》2012 年第 1 期,第 4~16 页;田杰、刘勇、刘蓉:《信息通信技术、金融包容与农村经济增长》,《中南财经政法大学学报》2014 年第 2 期,第 112~118 页;贾军、邢乐成:《信息通信技术与中小企业融资约束——基于金融制度边界的分析框架》,《中国经济问题》2016 年第 3 期,第 123~135 页;王康周、彭波、江志斌:《新一代信息通信技术在装备制造业服务化中的作用:基于我国 4 家企业的案例研究》,《中国机械工程》2018 年第 18 期,第 2259~2267 页;余东华、信婧:《信息技术扩散、生产性服务业集聚与制造业全要素生产率》,《经济与管理研究》2018 年第 12 期,第 63~76 页。

结果显示,大部分国家 ICT 产业的 TFP 增长源自技术进步,技术效率变化的正向效应非常有限,规模效率多为负面影响。^①随着 ICT 产业的战略意义日益凸显,发展中国家 ICT 产业状况也受到更多关注。Mathur 使用 DEA-Malmquist 方法测算了印度 IT 软件和通信企业的 TFP 变化趋势,分析了企业 TFP 的影响因素,又将印度与 11 个国家和地区的 ICT 产业进行了 DEA 效率排名。其研究结果表明,中国台湾的 DEA 效率值为 1,排名第一;印度的 DEA 效率值最低(0.72),当地 ICT 基础设施薄弱限制了产业发展。^②此后,Mathur 延续 DEA-Malmquist 方法,对比了 45 个国家和地区 2002~2003 年和 2006~2007 年的 ICT 产业的 TFP 变化,进一步拓展了 ICT 产业跨国比较的实证研究。^③

另有研究针对 ICT 细分行业开展跨国比较。Lee 等以半导体制造业为研究对象,收集了 1995~2000 年全球 10 家半导体制造企业微观数据,采用 DEA-Malmquist 方法测算和分解了行业生产率变化,结果显示,企业生产率进步主要源自需求波动效应(规模变化),而不是技术水平提升。^④Chou 等同样采用 DEA-Malmquist 方法,对 OECD 国家 1995~2007 年 IT 服务业进行实证分析,结果表明,IT 服务业既是技术进步的创新主力,也是生产率提升的主要驱动力。^⑤

(三) 中国 ICT 产业及细分行业的相关研究

2000 年以后,随着中国数字经济的蓬勃兴起,中国 ICT 产业及细分行业的发展也开始受到国内外经济学者的关注。穆荣平建立了一套高技术产业国际竞争力评价指标体系,评估 1996~1998 年中国通信设备制造业的国际竞争力,指出该产业与发达国家相比存在较大差距。^⑥吴灼亮等使用同一套指标体系评估 1998~2002 年中国通信设备制造业竞争力,认为行业运行良好,国际竞争力不断增强,但竞争优势依然集中于中、低端产品,需要加大研发投入。^⑦

除了基于指标体系的综合评估外,更多学者从效率和生产率测度的角度开展实证研究。董晓辉等基于 1996~2007 年中国电子信息产业省域数据和 DEA-Malmquist 方法对中国电子信息产业 TFP 变动进行了分析,结果显示,该产业 TFP 波动较大,生产率增长机制不稳定。^⑧许多学者尝试利用企业微观数据,分析中国 ICT 产业发展态势和运行效率。^⑨其中,Chen 等、浦正宁等在收集 ICT 上市公司数据基础上,运用 DEA-Malmquist 方法测算和分解产业整体 TFP 变化。Chen 等分析发现中国 IT 企业大多面临管理、技术和规模的非效率,普遍存在知识资本缺失、R&D 人力资本缺失、专有技术和专利不足等问题。浦正宁等的实证结果则表明,2005~2011 年中国 ICT 产业的 TFP 虽然

① Shao, B. B. M. and Shu, W. S., Productivity Breakdown of the Information and Computing Technology Industries across Countries. *The Journal of the Operational Research Society*, Vol 55 (1), 2004, pp 23-33.

② Mathur, S., Indian IT and ICT Industry: A Performance Analysis Using Data Envelopment Analysis and Malmquist Index. *Global Economy Journal*, Vol 7 (2), 2007, pp 1-40.

③ Mathur, S., Financial Analysis of the ICT Industry: A Regulatory Perspective. *Journal of Infrastructure Development*, Vol 1 (1), 2009, pp 17-43.

④ Lee, C. and Johnson, A. L., A Decomposition of Productivity Change in the Semiconductor Manufacturing Industry. *International Journal of Production Research*, Vol 49 (16), 2011, pp 4761-4785.

⑤ Chou, Y. and Shao, B. B. M., Total Factor Productivity Growth in Information Technology Services Industries: A Multi-Theoretical Perspective. *Decision Support Systems*, Vol 62, 2014, pp 106-118.

⑥ 穆荣平:《中国通信设备制造业国际竞争力评价》,《科学学研究》2000年第3期,第54~61页。

⑦ 吴灼亮、穆荣平:《中国通信设备制造业竞争力态势分析》,《科学学与科学技术管理》2005年第3期,第83~87页。

⑧ 董晓辉、原毅军:《基于 Malmquist 指数法的我国电子信息产业全要素生产率增长分析》,《工业技术经济》2010年第3期,第103~105页。

⑨ 李双杰、颜伦琴:《中国电子行业上市公司效率的数据包络分析》,《数量经济技术经济研究》2003年第3期,第131~136页;肖岳峰、李德春:《基于 DEA 的电子企业业绩评价》,《生产力研究》2006年第3期,第246~248页;袁晓玲、张宝山、方莹:《通信设备制造业全要素生产率增长与技术进步》,《经济管理》2009年第1期,第126~132页;Chen, X et al., Analysing Firm Performance in Chinese IT Industry: DEA Malmquist Productivity Measure. *International Journal of Information Technology and Management*, Vol 10 (1), 2011, pp 3-23; 浦正宁、孙霄凌、金晓月:《信息产业行业内生产率变动及影响因素的差异化探究——基于中国上市公司公开数据的实证》,《审计与经济研究》2014年第6期,第94~102页。

呈现稳定上升态势，但增长主要依赖规模效率变化。

在 ICT 细分行业研究领域，国内学者大多将 ICT 产业划分为 ICT 服务业和 ICT 制造业，分别进行测度和分析。在 ICT 服务业类别中，原毅军等利用 DEA-Malmquist 方法测算了 1997~2005 年中国各省份包括 ICT 服务业在内的生产性服务业 TFP，认为中国生产性服务业整体 TFP 呈现负增长。相对而言，ICT 服务业 TFP 高于其他生产性服务业。^① 徐盈之等的研究利用 DEA-Malmquist 方法测算了 1997~2006 年中国信息服务业 TFP 变动和区域差异，并运用趋同理论深入分析了区域差异演变规律、内在机制及影响因素。^②

在 ICT 制造业类别中，徐盈之等将电子及通信设备制造业定义为“信息制造业”，使用 DEA-Malmquist 方法研究了 1996~2005 年各地区信息制造业 TFP 变动、区域差异及影响因素。其研究结果表明，全国信息制造业 TFP 实现了年均 8.6% 的高增长，大规模研发投入带来的技术进步是 TFP 增长的主要动力；而纯技术效率水平并不理想，在实际生产过程中未能发挥应有潜力；东、中、西部 TFP 增长存在显著差异，各地区在分解后的技术进步指数、规模效率变化指数和纯技术效率变化指数等方面呈现明显地域差异，且技术效率存在收敛趋势。^③ 王开良等首先通过 DEA 方法测算我国 30 个省市区电子信息制造业效率，后利用面板 Tobit 回归分别构建了全国、东部、中部与西部效率影响因素模型，结果显示环境因素对于各区域效率确实发挥了不同影响。^④ 刘芹等基于 2009~2015 年全国 25 个省域面板数据，使用 DEA-Malmquist 方法测算了电子及通讯设备制造业 TFP，并重点研究了产业集聚对 TFP 的影响。^⑤

（四）既有研究简评及本文的实证研究思路

总体来说，早期国内外经济学对 ICT 的研究聚焦于其对经济增长和全要素生产率的影响。2000 年前后，ICT 的重要性日益凸显，其运行效率开始受到关注，相关研究才逐步推进。既有研究从效率评价和 TFP 测算分解入手进行实证，为把握中国 ICT 产业及细分行业的发展状况提供了有力支撑，但在以下几个方面仍有改进空间：（1）聚焦 ICT 制造业的实证研究略显不足。ICT 制造业是数字经济发展的物质基础，随着产业互联网深入发展，其基础性作用将进一步强化，ICT 制造业发展质量值得深入研究。（2）时间跨度较短。短则 2~3 年，长则 5~6 年，无法有效展示中国 ICT 制造业不同阶段发展质量和动态趋势。（3）区域划分有待完善。既有研究或直接将各省级行政区划作为决策单位，或按照传统东、中、西部划分。前者没有充分考虑省域 ICT 产业发展差异，使 DEA-Malmquist 方法失去了决策单元基本同质的假设前提，易产生测算偏差；后者忽略了东部地区内部长三角、珠三角、京津冀区域集聚特征。

鉴于 ICT 制造业在数字经济中的基础性作用，本文的实证研究将聚焦 ICT 制造业发展，重点关注发展质量方面的技术进步和运行效率。首先，采用 DEA 方法测算 2000~2016 年间各年各省域 ICT 制造业的相对效率和排名；并根据产业集聚情况将各省域划分为不同区域，进而识别和分析不同区域 ICT 制造业的发展趋势特征。其次，采用 DEA-Malmquist 指数方法测算各省域 ICT 制造业的 TFP 指数并进行分解。再次，在 TFP 指数测算分解基础上，分析产业效率变化趋势，并结合指数分解结果剖析可能的原因，从整体及区域分布的角度评价中国 ICT 产业发展状况，为提升 ICT 产业

① 原毅军、刘浩、白楠：《中国生产性服务业全要素生产率测度——基于非参数 Malmquist 指数方法的研究》，《中国软科学》2009 年第 1 期，第 159~167 页。

② 徐盈之、赵玥：《中国信息服务业全要素生产率变动的区域差异与趋同分析》，《数量经济技术经济研究》2009 年第 10 期，第 49~60 页。

③ 徐盈之、赵豫：《中国信息制造业全要素生产率变动、区域差异与影响因素研究》，《中国工业经济》2007 年第 10 期，第 45~52 页。

④ 王开良、秦慧：《我国省域电子信息制造业效率测算及影响因素分析——基于 DEA 和面板 Tobit 模型》，《工业技术经济》2017 年第 6 期，第 36~40 页。

⑤ 刘芹、陈玉璞：《电子及通讯设备制造业集聚对其全要素生产率影响研究》，《物流科技》2018 年第 1 期，第 30~34 页。

发展质量提供实证依据。

在测算过程中，我们将结合前述改进方向进行更为细致的设计和處理：（1）以不同区域作为决策单元，识别其效率差异，并对中国 ICT 制造业整体 TFP 指数变化、技术进步等进行测度。（2）基于决策单元同质性和区域可比性考虑，在省级行政区划层面将产业规模过小的省份合并至规模合理且特征相似的省份，减少效率测算误差。（3）在东、中、西部基础上，将区域板块细分出长三角、珠三角和京津冀，并分析各板块内部的不同省份差异。（4）实证研究时间跨度扩大为 2000~2016 年，以期对中国 ICT 制造业变化趋势和特征有全景式把握。

三、数据测算方法与测算过程

（一）DEA 效率评价与生产率测算分解

DEA 是解决多投入、多产出情形下同类型决策单元（decision making unit, DMU）相对效率排名的运筹学方法（线性规划方法）。其基本思想是通过参与评价的决策单元构造生产前沿面，以生产前沿面为基准比较各决策单元的相对效率。在经济学中，这种依托生产前沿面进行效率测算的思想最早可以追溯到 20 世纪 50 年代 Farrell 的相关研究。^① Farrell 注意到微观企业多投入、多产出的特征，认为劳动生产率仅关注劳动力而忽略了其他投入。为了实现更为客观的测算，Farrell 借助“两种投入、一种产出”情形下的等产量线，进行效率测度。其核心思想是：等产量线即是代表最高技术水平的生产前沿面，前沿面上的投入产出组合在技术上最具效率；其他组合距离等产量线越近，相对技术效率越高。由于多投入、多产出情形下生产前沿面函数形式不易刻画，Farrell 的上述测度思想在很长时间都未得到有效应用，直到 20 世纪 70 年代末，Charnes 等提出了适用于规模报酬不变（constant returns to scale, CRS）情形的 DEA 模型。^② 此后，Banker 等对模型进行了改造，使之适用于规模报酬变化（variable returns to scale, VRS）情形。^③ 结合这两个模型，又可以进一步测算出规模效率（scale efficiency）。

Farrell 的前沿面测度思想恰恰对应于数学上的距离函数（distance function）概念；而 DEA 线性规划求解得到的相对效率值，其倒数正好是距离函数值。DEA 效率值测算（或距离函数求解）对应的线性规划问题如下：

$$\begin{cases}
 (D_o^t - CRS) \begin{cases} [D_o^t(\bar{x}_0^t, \bar{y}_0^t)]^{-1} = \text{Max}_{\varphi, \lambda} \varphi \\
 \text{s. t. } -X_{m \times n}^t \bar{\lambda}_{n \times 1} + \bar{x}_0^t \geq 0_{m \times 1} \\
 Y_{s \times n}^t \bar{\lambda}_{n \times 1} + 0_{s \times 1} \varphi \geq \varphi \bar{y}_0^t \\
 \varphi > 0, \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} & (1) \\
 (D_o^t - VRS) \begin{cases} [D_o^t(\bar{x}_0^t, \bar{y}_0^t)]^{-1} = \text{Max}_{\varphi, \lambda} \varphi \\
 \text{s. t. } -X_{m \times n}^t \bar{\lambda}_{n \times 1} + \bar{x}_0^t \geq 0_{m \times 1} \\
 Y_{s \times n}^t \bar{\lambda}_{n \times 1} + 0_{s \times 1} \varphi \geq \varphi \bar{y}_0^t \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\
 \varphi > 0, \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} & (2)
 \end{cases}$$

① Farrell, M. J., The Measurement of Productivity Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, Vol 120 (3), 1957, pp 253-281.

② Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E., Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, Vol 2 (6), 1978, pp 429-441.

③ Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W. W., Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, Vol 30 (9), 1984, pp 1078-1092.

公式 (1) 和 (2) 中, X 、 Y 分别表示所有决策单元投入、产出向量组成的矩阵; n 、 m 和 s 分别代表决策单元、投入指标和产出指标的个数; t 和 φ 分别代表生产时期和相对效率值, 最终求解的是在 t 时期, 第 0 个决策单元 $(\bar{x}_0^t, \bar{y}_0^t)$ 的相对效率值; 下标 O 表示效率值的测算以产出为导向, 即给定相同投入 (组合), 通过产出大小进行效率比较。

DEA 解决了单个时点 (或给定时间段) 决策单元投入产出效率测算问题。将 DEA 效率测算与 Malmquist 指数相结合, 在连续时点 DEA 效率测算基础上, 利用前后时点的效率值构造 Malmquist 指数, 便可测算出决策单元及被考察对象整体的效率变化情况, 即 DEA-Malmquist 全要素生产率指数 (以下简称“TFP 指数”); 通过代数变换并考虑不同规模报酬情形, 又可将 TFP 指数进一步分解成技术变化指数、技术效率变化指数、规模效率变化指数。^① 指数构造及分解的相关表达式如下:

$$M_o(\bar{x}^{t+1}, \bar{y}^{t+1}, \bar{x}^t, \bar{y}^t) = \left\{ \left[\frac{D_o^t(\bar{x}^{t+1}, \bar{y}^{t+1})}{D_o^t(\bar{x}^t, \bar{y}^t)} \right] \left[\frac{D_o^{t+1}(\bar{x}^{t+1}, \bar{y}^{t+1})}{D_o^{t+1}(\bar{x}^t, \bar{y}^t)} \right] \right\}^{1/2} \quad (3)$$

公式 (3) 刻画了 $t+1$ 期投入产出组合 $(\bar{x}^{t+1}, \bar{y}^{t+1})$ 相对于 t 期投入产出组合 (\bar{x}^t, \bar{y}^t) 的生产率变化。若 M_o 值大于 1, 则表明从 t 期到 $t+1$ 期全要素生产率出现了正向变化。其中, $D_o^t(\bar{x}^t, \bar{y}^t)$ 代表 t 期投入产出组合的距离函数, 可由公式 (1)、(2) 计算而得。

公式 (3) 还可以做进一步的代数变换如下:

$$\begin{aligned} M_o(\bar{x}^{t+1}, \bar{y}^{t+1}, \bar{x}^t, \bar{y}^t) &= \left\{ \left[\frac{D_o^t(\bar{x}^{t+1}, \bar{y}^{t+1})}{D_o^t(\bar{x}^t, \bar{y}^t)} \right] \left[\frac{D_o^{t+1}(\bar{x}^{t+1}, \bar{y}^{t+1})}{D_o^{t+1}(\bar{x}^t, \bar{y}^t)} \right] \right\}^{1/2} \\ &= \frac{D_o^{t+1}(\bar{x}^{t+1}, \bar{y}^{t+1})}{D_o^t(\bar{x}^t, \bar{y}^t)} \times \left\{ \left[\frac{D_o^t(\bar{x}^{t+1}, \bar{y}^{t+1})}{D_o^{t+1}(\bar{x}^{t+1}, \bar{y}^{t+1})} \right] \left[\frac{D_o^t(\bar{x}^t, \bar{y}^t)}{D_o^{t+1}(\bar{x}^t, \bar{y}^t)} \right] \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (4)$$

公式 (4) 中第一项代表技术效率变化指数, 第二项代表技术变化指数。利用公式 (1) 和 (2) 可以分别计算出规模报酬不变和规模报酬变化两种情形下的效率值和 TFP 指数, 据此可以由规模报酬变化情形下的 TFP 指数进一步分解出规模效率变化指数。

$$M_o(\bar{x}^{t+1}, \bar{y}^{t+1}, \bar{x}^t, \bar{y}^t) = TECHCH \times EFFCH = TECHCH \times PEFFCH \times SCH \quad (5)$$

公式 (5) 中的 TECHCH、EFFCH、PEFFCH、SCH 分别代表技术变化指数、技术效率变化指数、纯技术效率变化指数和规模效率变化指数。上述公式 (1) ~ (5) 将是本文后续测算分解的主要依据。

(二) DEA 方法发展动态及本文适用性

自上述基本模型提出以来, 围绕 DEA 理论、方法和应用的研究在学术界持续进行, 并取得长足发展, DEA 也被广泛应用于诸多行业领域。Emrouznejad 等基于 Scopus 学术期刊数据库与 DEA 专题网站 (www.DEAzone.com) 数据的文献分析表明, 2004~2016 年, DEA 年均发表数量由前期不足 100 篇升至 680 篇。其中, 2014、2015 和 2016 三年增速更加显著, 年均发表数量约 1000 篇。^② 伴随成果数量的不断增长, DEA 研究逐步发展出许多分支和趋势。Liu 等利用网络聚类方法 (network clustering) 对 1978~2010 年 DEA 学术论文进行了聚类分析, 识别出两阶段 DEA 是重点前沿方向。^③ 而在 Liu 等的后续研究中, DEA 相关领域在 2010~2014 年又出现更多研究热点, 自助法 (bootstrapping)、非期望要素分析 (undesirable factors)、交叉效率排序模型 (cross-efficiency rank-

① Caves, D. W., Christensen, L. R. and Diewert, W. E., The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity. *Econometrica*, Vol 50 (6), 1982, pp 1393-1414; Fare, R. et al., Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries. *The American Economic Review*, Vol 84 (1), 1994, pp 66-83; Fare, R., Grosskopf, S and Mary, N., Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries; Reply. *The American Economic Review*, Vol 87 (5), 1997, pp 1040-1044.

② Emrouznejad, A and Yang, G., A Survey and Analysis of the First 40 Years of Scholarly Literature in DEA: 1978-2016. *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol 61, 2018, pp 4-8.

③ Liu, J. S et al., Data Envelopment Analysis 1978-2010: A Citation-Based Literature Survey. *Omega*, Vol 41 (1), 2013, pp 3-15.

ing)、网络 DEA 模型 (network DEA)、动态 DEA 模型 (dynamic DEA)、基于松弛变量的测算方法 (slacks-based measure, SBM) 等都得到广泛关注。^①

需要指出的是, 前沿面效率测算思路的实现方式可分为参数方法和非参数方法, 非参数方法除 DEA 外还有自由处置壳 (free disposal hull, FDH) 等; 而参数方法则包括随机前沿法 (stochastic frontier approach, SFA)、厚前沿法 (thick frontier approach, TFA)、自由分布法 (distribution free approach, DFA) 等, 其中以 SFA 应用更为广泛。不同的测算方法各有特点和优势。就 DEA 而言, 最大特点是可用于多投入、多产出分析, 且无需设定具体生产函数形式和假定误差项分布。这使得 DEA 相对效率评价及 DEA-Malmquist 生产率指数测算分解特别适合本文的实证分析, 具体理由如下:

第一, 无需预设生产函数, 克服了因函数选择错误和误差项分布假设错误等造成的测算偏差。本文的测算对象是 2000~2016 年各省域的 ICT 制造业, 设定生产函数可能与不同阶段、不同区域的发展差异化特征冲突, 独立于生产函数的 DEA 非参数效率评价更加合适。

第二, 无需预设投入和产出指标权重, 投入产出 (相对) 效率值可通过数学规划直接得出, 避免对指标重要性的主观评估, 提升模型评价结果的客观性。

第三, 无需考虑投入产出指标量纲, 适用于多投入、多产出效率分析。就 ICT 制造业效率测算而言, 不仅需考量多个投入要素, 还需尽可能全面考察产出情况。单一财务指标仅反映行业体量变化, 而忽略对发展质量的评估。

第四, 拟考察的省级行政区划可视为同类型决策单元, 其构成的观测前沿面由于数量较多而比较接近真实前沿面。另外, 为提升测算结果的准确性, 本文又对省级行政区划做了进一步调整, 具体调整步骤和依据后续将给出详细说明。

(三) 决策单元及数据指标

DEA 方法的分析对象是同类型 DMU, 其判定需满足三个特征: 一是具有同样目标和任务; 二是具有同样投入和产出指标; 三是处于相同外部环境。^② 本文拟通过不同区域 ICT 制造业的效率及 TFP 指数测算来考察中国 ICT 制造业发展质量及区域特征; 出于数据可得性等原因, 我们以中国大陆除西藏自治区以外的 30 个省级行政区划作为考察对象和 DMU 设定基础。^③ 然而, 比较各省域 ICT 制造业的产业规模可知, 内蒙古、吉林、黑龙江、海南、云南、甘肃、青海、宁夏、新疆 9 省份 ICT 制造业体量非常小。2016 年, 这 9 省份的 ICT 制造业主营业务收入累计占比在千分之一左右, 与其他省域体量相差 1~2 个数量级, 不具可比性 (见图 1)。

为解决可比性问题, 可采用两种方法: 一是直接剔除上述 9 省份, 对其余 21 省份进行效率测算和排名; 二是将内蒙古、吉林、黑龙江与辽宁合并为“东北”DMU, 将云南归入贵州作“云贵”DMU, 将甘肃、青海、宁夏、新疆与陕西合并为“西北”DMU, 再将海南归入广西作“琼桂”DMU。省域合并的方法解决了 DMU 体量差距悬殊问题, 同时, 被合并省份在经济、社会等方面具有相似特征。例如, “东北”4 省份地理环境相似、自然资源丰富、面临产业结构落后等老工业基地困境, 而“琼贵”2 省份少数民族人口多、工业基础相对较差、旅游资源丰富。在两种数据处理的基础上, 我们分别进行了 DEA 相对效率测算, 结果基本一致, 也从侧面反映出体量过小的省域确实与其他省域不属于同类型 DMU。为更全面展示我国 ICT 制造业的发展态势, 我们选择省域合并方法, 将效率测算对象最终确定为 21 个 DMU。

在投入产出指标选择方面, ICT 制造业生产投入主要包括资本、劳动力和研发, 产出测量需既能反映生产数量又能反映经营效益 (或运行质量)。据此, 结合数据可得性, 我们将 ICT 制造业边界

① Liu, J. S., Lu, L. Y. Y. and Lu, W., Research Fronts in Data Envelopment Analysis, *Omega*, Vol 58, 2016, pp. 33-45.

② 杨国梁、刘文斌、郑海军:《数据包络分析方法 (DEA) 综述》,《系统工程学报》2013 年第 6 期, 第 840~860 页。

③ 西藏自治区由于数据缺失较多且经济社会环境等均与其他省份存在较大差异, 未被列入考察范围。

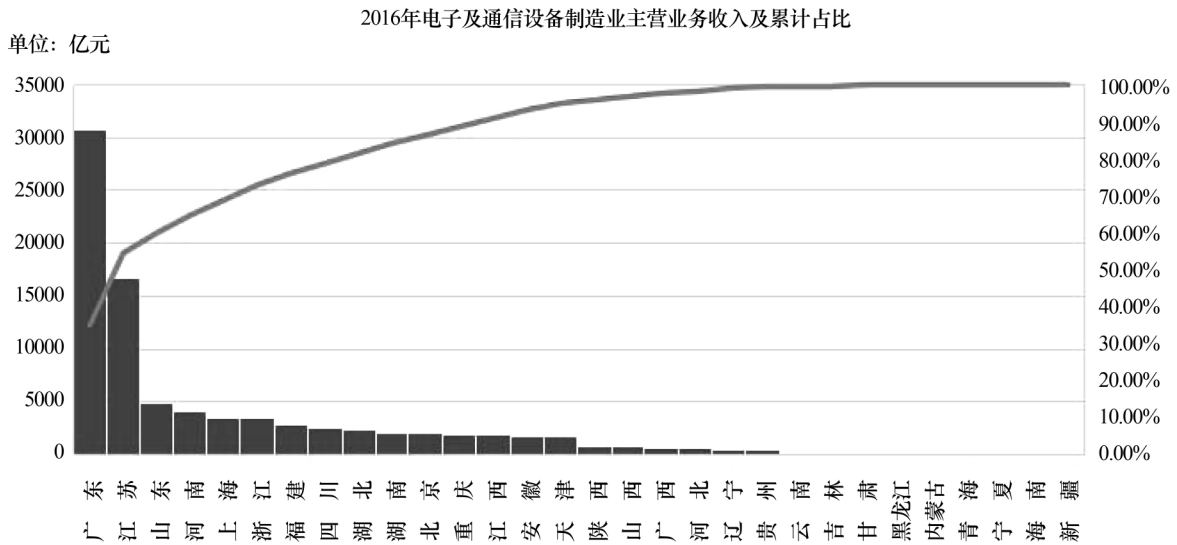


图 1 2016 年中国大陆 30 个省域 ICT 制造业规模

资料来源：国家统计局社会科技和文化产业统计司编：《中国高技术产业统计年鉴，2017：汉英对照》，中国统计出版社 2017 年版，第 82 页。

范围设定为 2001~2017 年《中国高技术产业统计年鉴》和《中国统计年鉴》中的电子及通信设备制造业；以新增固定资产、从业人员平均人数、R&D 经费内部支出作为资本、劳动力和研发投入指标，分别设为 X1、X2 和 X3；以利润总额和新产品销售收入作为产出指标，分别设为 Y1 和 Y2。

选取 2000~2016 年全国 30 个被测度省份的统计数据后，按照上述方法进行省域数据合并，得到 21 个 DMU 原始测算数据。因通货膨胀或紧缩会导致价格相关数据出现与行业运行效率无关的变化，需通过价格平减消除此类影响。为此，我们采用以 2000 年为基年的工业生产者购进价格指数对与价格相关的投入指标进行平减；采用以 2000 年为基年的工业生产者出厂价格指数对产出指标进行平减。DEA 测算中使用的投入、产出指标及数据处理和原始数据来源的具体信息汇总于表 1。

表 1 效率测算指标的数据处理和原始数据来源

指标名称	数据处理	原始数据来源
X1. 资本投入	2000~2016 年新增固定资产 (亿元) / 以 2000 年为基年的工业生产者购进价格指数	2001~2017 年《中国高技术产业统计年鉴》和《中国统计年鉴》
X2. 劳动力投入	2000~2016 年从业人员平均人数	
X3. 研发投入	2000~2016 年 R&D 经费内部支出 (万元) / 以 2000 年为基年的工业生产者购进价格指数	
Y1. 利润总额	2000~2016 年利润总额 (亿元) / 以 2000 年为基年的工业生产者出厂价格指数	
Y2. 新产品销售收入	2000~2016 年新产品销售收入 (亿元) / 以 2000 年为基年的工业生产者出厂价格指数	

(四) 效率值及 TFP 指数测算结果

在上述 DMU 及指标设定基础上，依据公式 (1) ~ (5)，利用 R 语言计算环境下的 Productivi-

ty 软件包编程, 对从 2000 年到 2016 年期间不同年份、不同阶段 21 个 DMU 的 ICT 制造业投入产出效率进行测算, 并对 ICT 制造业不同阶段 TFP 指数进行测算和分解。结果见表 2、表 3、表 4。

表 2 2000~2016 年各省域 ICT 制造业相对效率值及排名

省域	2000 年	排名	2001 年	排名	2002 年	排名	2003 年	排名	2004 年	排名	2005 年	排名
北京	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	0.4195	3
天津	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1
河北	0.2461	15	1.0000	1	1.0000	1	0.6519	14	1.0000	1	0.3932	6
山西	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1
东北	0.2179	18	0.2123	19	0.5735	13	0.5178	16	0.2044	17	0.0846	21
上海	0.8815	7	0.9956	5	0.7926	9	0.8229	6	0.4374	9	0.3084	9
江苏	0.4815	10	0.6352	13	0.5152	14	0.7293	7	0.4005	10	0.2174	13
浙江	0.4228	12	0.7504	9	1.0000	1	0.7100	8	0.2301	16	0.1735	17
安徽	0.5033	8	0.3845	15	0.2261	21	0.7033	9	0.7280	5	0.2744	11
福建	0.4772	11	0.7301	10	1.0000	1	0.8630	5	0.3143	12	0.4117	4
江西	0.4053	14	0.8596	6	0.3316	17	0.2849	20	0.1740	18	0.1377	18
山东	0.4856	9	0.5273	14	0.5012	15	0.5712	15	0.2740	14	0.2197	12
河南	1.0000	1	0.7711	7	0.7411	10	0.6834	11	0.3003	13	0.1865	16
湖北	0.4200	13	0.6599	12	0.7074	12	0.7012	10	0.1579	20	0.2075	14
湖南	1.0000	1	0.3822	16	1.0000	1	1.0000	1	0.6023	6	0.3615	7
广东	0.2249	17	0.2299	18	0.3308	18	0.5131	17	0.3301	11	0.2036	15
琼桂	0.2252	16	0.3279	17	0.2465	19	0.3735	19	0.5538	7	0.0853	20
重庆	0.1636	19	0.6888	11	1.0000	1	0.6790	12	0.4779	8	0.3276	8
四川	0.9970	6	0.7605	8	0.7315	11	0.6724	13	0.2425	15	0.4086	5
云贵	0.1347	20	0.1495	20	0.3618	16	0.4336	18	0.0457	21	0.3055	10
西北	0.1229	21	0.1347	21	0.2416	20	0.2081	21	0.1648	19	0.1038	19
省域	2006 年	排名	2007 年	排名	2008 年	排名	2009 年	排名	2010 年	排名	2011 年	排名
北京	0.7940	4	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1
天津	1.0000	1	1.0000	1	0.6653	13	0.9543	6	0.8175	11	1.0000	1
河北	0.7319	6	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	0.8532	10	0.6952	14
山西	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	0.4982	18	1.0000	1	1.0000	1
东北	0.4681	11	0.5768	6	0.8948	6	0.6104	14	1.0000	1	1.0000	1
上海	0.3779	14	0.2809	17	0.2471	21	0.5307	16	0.6643	16	0.6003	18
江苏	0.3720	15	0.4855	7	0.7814	10	0.7251	11	0.6900	14	0.6026	17
浙江	0.4894	10	0.4129	9	0.5525	16	0.5016	17	0.6473	17	0.6969	13
安徽	0.5504	7	0.3551	13	0.8070	9	0.8043	8	0.5199	20	0.5711	19
福建	0.8409	3	0.2516	19	0.4844	18	1.0000	1	0.7695	12	0.7554	11
江西	0.2656	19	0.3713	12	0.6768	12	0.5599	15	0.5214	19	0.7470	12
山东	0.2704	18	0.3945	10	0.6635	14	0.7899	9	0.6868	15	0.8561	8
河南	0.1137	21	0.2649	18	0.7556	11	0.1321	20	0.3286	21	0.3929	21
湖北	0.3453	16	0.3016	14	0.8456	7	0.9702	5	1.0000	1	0.8428	9
湖南	0.7666	5	0.1195	21	0.2614	20	0.3612	19	1.0000	1	0.8737	7
广东	0.4219	13	0.4405	8	0.5354	17	0.6183	12	0.8558	9	0.6061	16
琼桂	0.2818	17	0.3759	11	0.8307	8	0.9251	7	1.0000	1	1.0000	1
重庆	0.4543	12	0.1774	20	1.0000	1	1.0000	1	0.9373	8	1.0000	1
四川	0.5223	8	0.7682	5	1.0000	1	0.7330	10	0.6092	18	0.7773	10
云贵	0.5113	9	0.2959	15	0.6488	15	0.6141	13	1.0000	1	0.6150	15
西北	0.1685	20	0.2882	16	0.4113	19	0.1109	21	0.6995	13	0.4439	20

续表

省域	2012年	排名	2013年	排名	2014年	排名	2015年	排名	2016年	排名
北京	1.0000	1	0.8568	7	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1
天津	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1
河北	0.3177	19	0.5047	17	0.8129	13	0.5956	16	0.5234	20
山西	1.0000	1	0.3809	19	1.0000	1	1.0000	1	0.6419	19
东北	0.9294	5	0.8657	6	1.0000	1	0.5454	17	0.7848	15
上海	0.6974	11	0.7878	9	1.0000	1	0.6696	12	0.8972	12
江苏	0.4309	17	0.6336	12	0.7151	15	0.6545	13	0.9283	10
浙江	0.5737	14	0.9620	5	0.9450	11	0.9595	8	0.9994	8
安徽	0.8524	7	0.8445	8	0.9647	10	0.8661	10	0.8046	14
福建	0.9173	6	0.5765	13	0.5448	17	0.5116	19	0.8500	13
江西	0.3830	18	0.5425	15	0.7496	14	0.5026	20	0.6774	17
山东	0.7636	9	0.7808	10	0.9126	12	0.9067	9	0.9091	11
河南	0.2094	21	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1
湖北	0.4506	16	0.3654	20	0.3877	21	0.4515	21	0.6626	18
湖南	0.6077	13	0.5614	14	0.4987	19	0.6001	14	0.6862	16
广东	0.7475	10	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1
琼桂	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1
重庆	0.6102	12	0.4771	18	1.0000	1	1.0000	1	0.9545	9
四川	0.8332	8	0.5184	16	0.5158	18	0.5123	18	1.0000	1
云贵	0.5335	15	0.7674	11	0.6549	16	0.8542	11	0.4682	21
西北	0.2643	20	0.3029	21	0.4850	20	0.5959	15	1.0000	1

表3 2000~2016年期间不同阶段全国 ICT 制造业平均 TFP 指数及分解

阶段	TFP	TECHCH	EFFCH	PEFFCH	SCH
2000~2004年	0.9512	1.0813	0.8797	1.0000	0.8797
2005~2009年	1.0470	0.8583	1.2198	0.9993	1.2206
2010~2016年	1.0198	0.9617	1.0604	1.0000	1.0604
2000~2016年	1.0052	0.9628	1.0440	0.9998	1.0442

注：TECHCH、EFFCH、PEFFCH、SCH 分别代表技术变化指数、技术效率变化指数、纯技术效率变化指数和规模效率变化指数。表4同。

表4 2000~2016年期间不同阶段各省域 ICT 制造业平均 TFP 指数及分解

省域	2000~2004年					省域	2005~2009年				
	TFP	TECHCH	EFFCH	PEFFCH	SCH		TFP	TECHCH	EFFCH	PEFFCH	SCH
北京	0.812	0.966	0.841	0.841	1.000	北京	1.169	0.982	1.190	1.190	1.000
天津	1.166	1.166	1.000	1.000	1.000	天津	0.877	0.849	1.033	1.045	0.989
河北	1.099	1.000	1.098	1.099	0.999	河北	1.196	1.064	1.124	1.115	1.009
山西	1.188	1.188	1.000	1.000	1.000	山西	1.003	0.843	1.190	1.189	1.001
东北	0.811	0.980	0.828	0.826	1.002	东北	1.196	0.958	1.248	1.267	0.985
上海	0.938	1.157	0.811	0.875	0.927	上海	0.922	0.896	1.029	1.048	0.981
江苏	0.947	1.110	0.853	1.006	0.848	江苏	1.151	0.844	1.364	1.119	1.219
浙江	0.898	1.073	0.837	0.836	1.001	浙江	1.346	0.986	1.365	1.362	1.002
安徽	0.937	1.058	0.886	0.892	0.993	安徽	1.016	0.874	1.162	1.154	1.007

续表

省域	2000~2004年					省域	2005~2009年				
	TFP	TECHCH	EFFCH	PEFFCH	SCH		TFP	TECHCH	EFFCH	PEFFCH	SCH
福建	1.088	1.121	0.971	0.971	1.000	福建	0.893	0.911	0.980	1.015	0.966
江西	0.878	1.090	0.806	0.807	0.998	江西	1.377	1.081	1.274	1.304	0.977
山东	0.965	1.131	0.853	0.909	0.939	山东	1.210	0.928	1.304	1.302	1.001
河南	0.665	0.930	0.715	0.715	1.000	河南	1.400	0.892	1.570	1.570	1.000
湖北	0.869	1.000	0.868	0.868	1.000	湖北	1.013	0.988	1.025	1.025	1.000
湖南	0.900	1.104	0.816	0.819	0.996	湖南	1.170	0.973	1.202	1.144	1.051
广东	0.964	0.983	0.980	1.062	0.923	广东	0.983	0.759	1.295	1.015	1.275
琼桂	0.770	0.935	0.824	0.824	1.000	琼桂	1.120	0.804	1.393	1.393	1.000
重庆	1.166	1.015	1.149	1.149	1.000	重庆	0.958	0.838	1.143	1.126	1.016
四川	0.920	1.099	0.837	0.836	1.001	四川	1.469	1.094	1.343	1.264	1.062
云贵	1.303	1.106	1.178	1.167	1.009	云贵	1.055	0.835	1.263	1.282	0.985
西北	0.919	0.950	0.967	0.938	1.031	西北	1.757	0.941	1.867	1.906	0.979
全国	0.951	1.081	0.880	1.000	0.880	全国	1.047	0.858	1.220	0.999	1.221
省域	2010~2016年					省域	2010~2016年				
	TFP	TECHCH	EFFCH	PEFFCH	SCH		TFP	TECHCH	EFFCH	PEFFCH	SCH
北京	0.953	0.953	1.000	1.000	1.000	北京	0.967	0.967	1.000	1.000	1.000
天津	0.996	0.963	1.034	1.021	1.013	天津	1.006	0.984	1.022	1.022	1.001
河北	0.972	1.054	0.922	0.926	0.995	河北	1.085	1.039	1.044	1.043	1.001
山西	0.832	0.896	0.929	0.929	1.000	山西	0.997	0.964	1.034	1.034	1.000
东北	0.957	0.996	0.960	0.960	1.000	东北	0.975	0.978	0.997	1.002	0.996
上海	1.041	0.990	1.051	0.998	1.053	上海	0.966	1.009	0.957	0.971	0.986
江苏	1.001	0.953	1.051	1.000	1.051	江苏	1.030	0.963	1.069	1.040	1.028
浙江	1.000	0.930	1.075	1.027	1.047	浙江	1.065	0.995	1.071	1.054	1.016
安徽	1.118	1.039	1.075	1.084	0.992	安徽	1.021	0.987	1.034	1.037	0.997
福建	0.996	0.979	1.017	1.002	1.014	福建	0.989	1.000	0.989	0.996	0.993
江西	1.080	1.034	1.045	1.084	0.964	江西	1.093	1.068	1.024	1.045	0.979
山东	1.078	1.029	1.048	1.015	1.032	山东	1.080	1.026	1.052	1.063	0.990
河南	1.278	1.062	1.204	1.204	1.000	河南	1.060	0.959	1.105	1.105	1.000
湖北	0.939	1.006	0.934	0.939	0.995	湖北	0.938	0.998	0.940	0.942	0.998
湖南	0.934	0.994	0.939	0.954	0.985	湖南	0.994	1.022	0.973	0.963	1.010
广东	0.945	0.921	1.026	1.000	1.026	广东	0.964	0.882	1.092	1.025	1.065
琼桂	1.076	1.076	1.000	1.000	1.000	琼桂	0.975	0.932	1.047	1.047	1.000
重庆	1.014	1.011	1.003	1.008	0.995	重庆	1.042	0.951	1.096	1.092	1.004
四川	1.088	1.002	1.086	1.075	1.010	四川	1.137	1.064	1.069	1.044	1.024
云贵	0.869	0.986	0.881	0.881	1.000	云贵	1.061	0.969	1.094	1.097	0.998
西北	1.130	1.065	1.061	1.061	1.000	西北	1.222	0.984	1.242	1.238	1.003
全国	1.020	0.962	1.060	1.000	1.060	全国	1.005	0.963	1.044	1.000	1.044

四、基于测算结果的中国 ICT 制造业状况分析

(一) ICT 制造业的发展质量及趋势

2000~2016 年，在互联网和数字经济热潮的拉动下，中国 ICT 制造业规模呈现快速增长态势。根据 2001~2017 年《中国高技术产业统计年鉴》的相关数据，2000 年中国 ICT 制造业主营业务收入为 5871.1 亿元，到 2016 年已增长 13.9 倍达 87304.7 亿元，年均增长 18.7%（见图 2）。

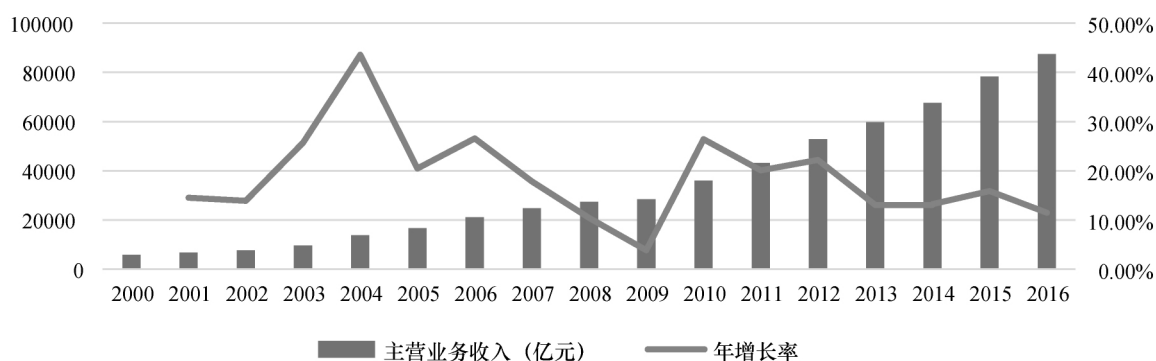


图 2 2000~2016 年中国 ICT 制造业规模发展情况

资料来源：2001~2017 年《中国高技术产业统计年鉴》。

然而，在产业规模快速膨胀的同时，中国 ICT 制造业的发展质量并没有取得与之匹配的突出成就，甚至存在很大隐忧。从表 3 列示的 TFP 指数测算结果可以看出，2000~2016 年，中国 ICT 制造业年均 TFP 增速仅为 0.52%。从 TFP 指数分解结果看，仅有的 0.52% 增速主要源于规模效率保持的较大增速，而纯技术效率水平基本保持不变；技术变化甚至出现较大幅度的负增长，年均增长-3.7%。事实上，上述状况还可从产业增加值率得到印证。从表 5 可看出，2000~2016 年，中国 ICT 制造业增加值率虽在加入 WTO 后经历过一段上升期，但在 2010 年后大幅下降，2016 年相比 2000 年下降超过 5%。这意味着中国 ICT 制造业整体附加值下降，在全球产业价值链中仍处于中低端。

表 5 2000~2016 年中国 ICT 制造业规模及增加值率情况

单位：亿元，%

年份	增加值	产值	增加值率	年份	增加值	产值	增加值率
2000	2145.9	5871.1	36.6	2009	12013.5	28465.5	42.2
2001	2372.2	6723.6	35.3	2010	14043.8	35984.4	39.0
2002	2714.9	7658.7	35.4	2011	15995.9	43206.3	37.0
2003	3545.5	9627.1	36.8	2012	17931.4	52799.1	34.0
2004	5193.0	13819.2	37.6	2013	19957.6	59688.8	33.4
2005	6700.5	16646.2	40.3	2014	22392.4	67584.2	33.1
2006	8155.4	21068.8	38.7	2015	24743.6	78310.0	31.6
2007	9947.9	24823.6	40.1	2016	27218.0	87304.7	31.2
2008	11407.9	27409.9	41.6				

注：(1) 产值数据取自 2001~2017 年《中国高技术产业统计年鉴》中的主营业务收入；(2) 增加值数据引自蔡跃洲等^①的测算结果。

^① 蔡跃洲、牛新星：《数字产业化与产业数字化视角的中国数字经济测算——基于 ICT 特征和增长核算的理论方法及实证分析》，首届互联网与数字经济论坛会议论文，中央财经大学，2019 年 3 月 2 日。

中国 ICT 制造业不同时期的增长质量阶段特征明显：(1) 2000~2004 年，ICT 制造业整体效率下降，但技术进步显著；尽管 TFP 指数出现负增长，但技术变化指数却有高达 8.13% 的年均增长，TFP 下降主要源于技术效率特别是规模效率下降；同期增加值率也有明显提升。(2) 2005~2009 年，ICT 制造业整体效率有较大提升，TFP 指数年均增长 4.7%，但提升主要来自技术效率特别是规模效率提升，技术变化指数反而出现较大幅度负增长；同期增加值率稳定在较高水平。(3) 2010~2016 年，尽管 TFP 指数仍保持年均近 2% 的增长，但技术变化指数负增长仍在继续，TFP 提升主要源自规模效率；同期增加值率持续显著下降。

(二) ICT 制造业的区域特征及差异

从 2000 年到 2016 年期间，中国 ICT 制造业在规模快速壮大的同时，不同区域 ICT 制造业运行效率和 TFP 指数也出现较大分化，产业区域分布出现新特征：

一是 21 个 DMU 相对效率具有明显的区域板块特征，以京津冀为核心的华北地区各 DMU 效率排名稳定靠前；以上海、江苏、浙江为核心的长三角地区及整个华东地区各 DMU 效率排名普遍不靠前，与其经济发展水平不对等；以广东为核心的珠三角及部分中南地区在 2010 年以前各 DMU 效率排名较靠后，但此后广东、琼桂等排名迅速上升；以重庆为代表的西南地区各 DMU 及东北 DMU 效率排名波动较大，而西北 DMU 效率排名长期靠后。

二是 ICT 制造业 TFP 变化呈现明显的区域板块特征，华北、东北和中南地区各省域 TFP 水平相对平稳，年均增长率较低甚至呈现负增长；华东、西南和西北地区各省域 TFP 多保持较高年均增速。

三是在 21 个 DMU 中仅有 12 个实现 TFP 增长，西北、四川、江西 3 个 DMU 最为突出，年均增长率分别为 22.2%、13.7% 和 9.3%；此外，河北、山东、浙江、云贵年均增长率也在 6% 以上。从 TFP 指数分解看，在这 7 个 DMU 中，江西、四川、河北、山东的技术变化呈现正增长，其余 3 个 DMU 的 TFP 增长均来自技术效率贡献；在 21 个 DMU 中真正实现正向技术变化的仅 6 个，另两个是湖南和上海，但其 TFP 年均增长为负。

四是北京、上海、广东作为三大科技创新中心，ICT 制造业 TFP 却出现明显负增长，年均增速分别为 -3.3%、-3.4% 和 -3.6%。从 TFP 指数分解来看，上海的负增长源于负向技术效率变化，北京、广东的负增长主要源于负向技术变化；广东的技术效率特别是规模效率增长显著，而北京的技术效率则保持不变。

(三) 对 ICT 制造业发展状况的进一步分析

对 2000~2016 年中国 ICT 制造业在运行效率、发展质量、区域分化、变化趋势等方面呈现出的状况做进一步归纳，并从重大经济社会事件、区域发展阶段、城市功能定位等角度给出可能的解释如下：

第一，中国 ICT 制造业发展具有较为典型的规模膨胀特征，发展质量不尽如人意，TFP 增长缓慢，技术变化呈现负增长。规模膨胀有一定必然性：互联网和数字经济热潮为中国 ICT 制造业快速增长提供了充足的国内外需求；同时，中国 ICT 制造业处于技术劣势，加入 WTO 正式融入全球价值分工体系后，凭借低劳动成本优势能占据的只有技术门槛和附加值较低的环节。当然，规模膨胀也使中国 ICT 制造业得以进入规模报酬递增阶段，实现规模效率不断增长。

第二，分阶段来看，中国 ICT 制造业仅在 2000~2004 年间实现较为显著的正向技术变化（进步）。一个可能的解释是，加入 WTO 后更多国外资本和先进技术进入中国，并在短期内推动中国 ICT 制造业整体技术水平迅速提升。而此后以中低端环节为主的规模膨胀必然拉低了产业整体平均

技术水平，加之 ICT 技术创新具有高复杂度，导致中国 ICT 制造业持续处于负向技术变化状况。

第三，在省域 DMU 层面，TFP 正增长的仅有 12 个，最突出的反而是中西部欠发达地区的西北、江西和四川。这与 ICT 制造业东、中、西部梯度转移有一定关联；中西部地区原有技术水平和产业基础较弱，在承接东部地区转移过程中，形成后发优势，能在相对更高的技术和规模起点上进行产业发展。事实上，从表 4 可看出，这 3 个 DMU 的 TFP 增长主要出现在 2005~2009 年、2010~2016 年两个阶段，而 2000~2004 年 TFP 均为负增长。

第四，以北京为核心的华北地区相对效率排名稳定在前列，但北京的 TFP（主要是技术水平）却呈现明显负增长；这与北京作为全国科技创新策源地有一定关联。长期以来，因结构转换、成本高企等原因，制造业不断外迁，但研发环节则被尽量保留；从表 6 可看出，2000~2016 年，其产值规模占全国的比重由 11.22% 大幅下降为 2.36%，但研发投入占比几乎不变。企业研发与公立高校院所基础性研究的巨大技术溢出效应易被周边省份吸收；北京自身产出规模缩小，平均效率水平和技术水平反被拉低。

第五，以上海、江苏、浙江为核心的华东地区多能实现 TFP 正增长与该区域市场化程度较高等因素应有重要关联。以江苏、浙江为代表的长三角地区民营企业众多、市场化程度较高，微观企业强化管理提高效率的动力和压力充足，加上规模膨胀速度较快，最终体现为技术效率的显著增长。除江苏、浙江以外，江西、安徽等亦具有这种特征。需要指出的是，长三角地区省域的技术水平普遍变化不大甚至呈现负增长，概因产业价值链分布偏向低端环节，在迅速扩张中反拉低整体技术水平。

第六，广东相对效率排名靠后、TFP 呈现负增长，与其作为 ICT 制造业规模最大省域且拥有深圳这个全国科创中心的地位很不匹配；主要原因可能在于产业价值链低端环节集聚，伴随规模快速膨胀，反而拉低技术水平，进而影响 TFP 增长。对照表 6 可看出，2016 年广东省 ICT 制造业规模占全国比重逾 1/3，较 2000 年有较大提升，规模膨胀特征尤为明显；与长三角类似，珠三角浓厚的市场意识加上规模迅速扩张确实能带来技术效率和规模效率提升，但整体技术水平也因低端环节迅速扩张而下降。

表 6 2000 年与 2016 年各省域 ICT 制造业产出与 R&D 规模及全国占比 单位：亿元，%

排名	2000 年					2016 年				
	省域	产值		R&D		省域	产值		R&D	
		规模	占比	规模	占比		规模	占比	规模	占比
1	广东	1837.50	31.30	28.01	41.22	广东	30802.26	35.28	806.56	45.65
2	江苏	700.90	11.94	3.77	5.55	江苏	16751.71	19.19	196.10	11.10
3	上海	693.08	11.80	8.41	12.38	山东	4926.73	5.64	75.70	4.28
4	北京	658.47	11.22	2.13	3.13	河南	4086.96	4.68	22.98	1.30
5	天津	524.65	8.94	5.48	8.06	上海	3528.78	4.04	77.41	4.38
6	浙江	267.24	4.55	2.24	3.30	浙江	3442.77	3.94	137.10	7.76
7	福建	208.72	3.56	1.36	2.00	福建	2881.25	3.30	76.71	4.34
8	山东	207.22	3.53	3.07	4.52	四川	2596.98	2.97	56.94	3.22
9	东北	192.71	3.28	2.04	3.00	湖北	2351.26	2.69	65.44	3.70
10	四川	181.15	3.09	1.16	1.71	湖南	2072.52	2.37	30.20	1.71

续表

排名	2000年					2016年				
	省域	产值		R&D		省域	产值		R&D	
		规模	占比	规模	占比		规模	占比	规模	占比
11	西北	105.08	1.79	5.53	8.14	北京	2063.74	2.36	53.78	3.04
12	湖北	74.99	1.28	3.19	4.69	重庆	1988.93	2.28	18.77	1.06
13	河南	53.60	0.91	0.55	0.81	江西	1958.05	2.24	17.87	1.01
14	湖南	41.37	0.70	0.07	0.10	安徽	1796.00	2.06	42.62	2.41
15	安徽	40.62	0.69	0.05	0.07	天津	1744.42	2.00	27.05	1.53
16	河北	34.08	0.58	0.24	0.35	西北	997.71	1.14	24.61	1.39
17	江西	12.83	0.22	0.16	0.24	山西	786.66	0.90	3.98	0.23
18	云贵	11.91	0.20	0.15	0.22	东北	714.14	0.82	14.62	0.83
19	琼桂	11.51	0.20	0.05	0.07	琼桂	664.08	0.76	1.72	0.10
20	重庆	9.62	0.16	0.29	0.43	河北	621.77	0.71	12.72	0.72
21	山西	3.89	0.07	0.00	0.00	云贵	527.97	0.60	4.14	0.23

五、总结性评论及建议

本文运用 DEA 及 DEA-Malmquist 指数方法，在整理省域数据的基础上，对 2000~2016 年间中国各省域 ICT 制造业相对效率、TFP 指数进行测算分解，为把握数字经济兴起以来中国 ICT 制造业发展质量、区域特征等状况提供了实证层面的参考依据。基于测算结果及相关分析，大致可以得出以下判断：

第一，伴随数字经济的兴起，中国 ICT 制造业迅速发展，但在产业体量快速增长的同时，发展质量不尽如人意；发展模式以规模膨胀为主，整体 TFP 略有提升，（平均）技术水平甚至出现较为显著的负增长。发展质量不高的根源是中国 ICT 制造业技术水平与发达经济体相比存在较大差距，数字经济的兴起和加入 WTO 虽为产业规模扩张提供了市场空间，但技术基础决定了其在全球价值链分布中仅占据中低端环节。

第二，2001 年加入 WTO 为中国 ICT 制造业提供了重大机遇，让较为先进的技术进入中国内地，短期内迅速提升了中国 ICT 制造业的技术水平；但后发优势（红利）消耗完毕后，技术差距使得中国 ICT 制造业的发展很快回到以规模膨胀为主的模式。

第三，2005 年后，伴随中国 ICT 制造业东、中、西部梯度转移，欠发达省域借助后发优势获得较大技术红利，为提升其 ICT 制造业 TFP 水平进而推动全国产业 TFP 增长提供了支撑。

第四，作为我国三大科技创新中心，北京、上海、广东（深圳）三地的 ICT 制造业并未取得与之地位相匹配的 TFP 提升，甚至呈现显著负增长。北京和上海的技术溢出带动周边省域 TFP 提升，自身负增长则归因于企业为应对高成本保留研发环节而将制造环节外迁等；广东则主要因低端环节扩张影响了省域整体 TFP 水平。

当前，伴随新一代信息技术加速商业化应用，ICT 制造业作为互联网和数字经济发展的物质技术基础，重要性日益凸显。提高 ICT 制造业发展质量，特别是提高其技术水平和 TFP，将直接影响

到国家核心竞争力。结合前述实证结果，应考虑从以下几个方面提高中国 ICT 制造业技术水平、TFP 和发展质量：一是引导企业加大对 ICT 制造业高端环节的研发投入和技术攻关，支持东部沿海发达省域率先向产业价值链中高端环节升级，不断缩小与发达经济体的技术差距。二是统筹好 ICT 制造业细分领域和环节的梯度转移，充分利用中西部欠发达地区后发优势，在产业区域重新布局过程中淘汰技术和效率水平较低的产能，通过结构性调整推动中国 ICT 制造业发展质量提升。三是排除中美经贸摩擦负面干扰，深化 ICT 制造业及整个数字经济领域的开放合作，为中国 ICT 制造业发展创新争取更大国际空间。四是培育产业创新生态体系，在产业集聚基础上，围绕北京、上海、广东等创新高地的龙头企业，推动上下游企业深度合作，打造自主可控的产业生态链条，提升中国 ICT 制造业整体竞争力。

本文作者：陈楠是中国社会科学院研究生院数技经系 2017 级博士研究生；蔡跃洲（通讯作者）是中国社会科学院数量经济与技术经济研究所研究员、博士生导师
责任编辑：任朝旺

The Development Quality and Regional Characteristics of China's ICT Manufacturing Industry in the Digital Economy Boom: An Empirical Analysis Based on Provincial Data

Chen Nan Cai Yuezhou

Abstract: Using Data Envelopment Analysis and DEA-Malmquist index, this article empirically analyzes the operational efficiency and total factor productivity (TFP) of China's information and communication technology (ICT) manufacturing industry between 2000 and 2016. Results show that: (1) China's ICT manufacturing industry has expanded rapidly with the rising digital economy. However, due to insufficient TFP upgrade, its average technical level has experienced negative growth. (2) Joining the WTO in 2001 has brought opportunities for China's market expansion and technological improvement, while gradient transfer since 2005 has also allowed underdeveloped provinces in central and western China to largely improve their technology and efficiency; (3) Beijing, Shanghai and Guangdong province have all experienced significant negative TFP growth in ICT manufacturing industry. Beijing and Shanghai are mainly facing unfavorably high cost, but their technology spillover effect is enjoyed by surrounding provinces. On the other hand, Guangdong's unsatisfactory performance is largely caused by excessive scale expansion in mid-and low-end sub-sectors.

Keywords: ICT manufacturing industry; DEA-Malmquist index; technology change; technical efficiency; scale efficiency