

ICT投资、装备制造业全要素生产率

——基于技术吸收能力异质性的量化研究

董景荣 苏美文

(重庆师范大学 经济与管理学院,重庆 401331)

摘要:本文实证研究 ICT 投资影响装备制造业全要素生产率的路径,并考虑各省吸收能力对两者关系的调节作用。实证研究发现,ICT 投资对装备制造业全要素生产率有显著的正向促进作用,相比于技术效率路径,技术进步路径对于 ICT 投资提升装备制造业全要素生产率更具依赖性。因各省吸收能力异质性,ICT 投资的正向影响也会表现出显著的差异性。面板门限回归模型进一步分析表明,人力资本、技术差距会左右 ICT 投资对装备制造业全要素生产率的作用。伴随着高人力资本水平和低技术差距的地区发展,ICT 提高装备制造业全要素生产率的促进作用将逐步增强。

关键词:ICT 投资;吸收能力;装备制造业;全要素生产率

中图分类号:F42

文献标识码:A

文章编号:1673-0429(2022)02-0005-13

doi:10.19742/j.cnki.50-1164/C.220201

一、引言

现代经济增长理论的索罗模型认为,一个国家经济增长最终可归因于要素增长和全要素生产率(total factor productivity, TFP)的增长,中国经济发展历程正是如此。随着“人口红利”优势和有利的金融投资周期逐步消失,想要依靠要素投入拉动经济持续高速增长的模式已成为过去式,中国经济有没有可能再创造一个奇迹?刘俏(2020)认为继续保持全要素生产率的增速并非易事,必须要找到中国全要素生产率增速的源泉:中国经济的“再工业化”及其所需的基础设施“新基建”。这提醒我们:工业产业需要利用互联网大数据、人工智能等信息与通讯技术(information and communication technology, ICT)驱动产业变革。

从资本角度出发,已有研究发现 ICT 投资对经济增长具有上升趋势的贡献(Cardona et al, 2013 年; Inani & Tripathi, 2017; 郭美晨和杜传忠, 2019),其影响可以分解为替代效应和渗透效应(蔡跃洲和张钧南, 2015)。那么,ICT 与全要素生产率之间是否也存在积极关系?“生产率悖论”认为计算机的出现并不能提高生产率(Jorgenson et al, 2008),同时, Kettinger & Grover(1994)、张之光和蔡建峰(2012)和 Carr(2003)的结论也证实了悖论的存在。但是,随着技术的不断创新,信息技术更加广泛深入地融合产业发展,也有越来越多的研究发现:ICT 对生产率存在积极显著的影响(Acharya, 2016),其中不乏对制造

收稿日期:2021-11-26

作者简介:董景荣(1966—),男,重庆人,经济学博士,重庆师范大学经济与管理学院教授,硕士研究生导师,主要研究方向:产业经济增长。

苏美文(1996—),女,四川自贡人,重庆师范大学硕士研究生,研究方向:产业经济增长。

业全要素生产率的影响(Mitra et al., 2016; 肖利平, 2018; 黄群惠等, 2019)。

从技术效能出发, ICT 以智能制造为突破口, 加快信息技术与制造技术、产品、装备融合创新, 推广智能工厂和智能制造模式, 全面提升企业研发、生产、管理和服务的智能化水平。而我国各地区能多大程度地吸收、运用 ICT 技术实现装备制造业高质量发展, 归根结底还取决于自身的吸收能力。因此, 仅讨论 ICT 投资对全要素生产率产生的影响缺乏现实意义, 应充分考虑各省技术吸收能力, 明晰充分释放 ICT 效能的适配条件。目前已有众多研究关注到吸收能力在技术外溢效能中的作用, 如技术吸收能力对 FDI 技术外溢效果有着决定性作用(赖明勇等, 2005), 能积极促进 OFDI 逆向技术溢出(李梅和柳士昌, 2012; 尹东东和张建清, 2016)。但除了韦影(2007)在分析企业社会资本影响技术创新的同时, 考虑吸收能力的作用外, 很少有研究从资本的角度出发, 考虑吸收能力在其中的作用。事实上, 由于各地区的技术吸收能力差异, 对 ICT 投资所带来的先进技术进行有效的学习吸收和模仿程度也会不同, 进而 ICT 投资对各地区全要素生产率的影响可能也不尽相同。而作为提供技术装备的装备制造业, 其生产率水平是各行业产业升级、技术进步的重要保障(任曙明和吕镛, 2014)。所以, 本文将从资本存量的角度, 利用门槛模型进一步检验影响 ICT 对全要素生产率提升作用的各吸收能力因素的门槛特征, 并从人力资本和技术差距两个方面测算引发积极提升作用的门槛水平。

与现有文献相比, 本文的边际贡献存在以下几点: (1) 研究角度。将装备制造业全要素生产率的分解指标和 ICT 投资进行更加细致地研究, 从技术进步、技术效率两个维度揭示 ICT 投资发挥作用的路径和条件; (2) ICT 投资的度量。近期文献有测算省级行业层面的 ICT 资本投入, 其方法是采用各地区投入产出表中分行业 ICT 中间投入占行业投入之和的比值作为分行业 ICT 资本投入强度(谢莉娟等, 2020), 而本研究基于各地区投入产出表采用永续盘存法(PIM)分别从 ICT 硬件和 ICT 软件两方面对省级层面的生产性 ICT 资本存量进行估算, 增加估算结果的合理性; (3) 关于全要素生产率的非线性研究中, 已有学者用网民人口比例、手机普及率及互联网普及率作为门限变量探索以互联网或 ICT 作为核心解释变量对全要素生产率的非线性效应(郭家堂和骆品亮, 2016; Asongu & Acha-Anyi, 2020)。但鲜有学者考虑到 ICT 促进装备制造业高质量发展还受其自身技术吸收能力的影响。本研究从人力资本和技术差距两个维度考虑不同区域间技术吸收能力的差异, 利用面板门限回归模型进一步考察 ICT 投资对装备制造业全要素生产率增长存在的非线性效应。

二、影响机制分析

(一) ICT 与全要素生产率

现有研究基本上证实了 ICT 投资能推动经济增长。但是, 关于 ICT 投资对装备制造业全要素生产率提升的研究还缺乏足够的实证证据。理论上讲, ICT 投资可以通过以下两个途径影响装备制造业全要素生产率: 第一, ICT 投资可以推动技术进步, 进而提升全要素生产率。ICT 技术除自身具备的普遍适用性、创新互补性及溢出效应外, 还可以通过提供信息通信技术交流平台, 突破时空限制, 缩小地域差异。在此过程中, ICT 可以不断促进全社会的人力资本积累和加速要素流动速度, 减少要素市场扭曲和研发投入与人力资本错配。实现人力资本与研发投入的有效配置推动技术进步(李静等, 2017)。此外, ICT 与装备制造业的相互融合, 使创新互补性和技术溢出效应发挥作用; 存在 ICT 创新推动互补性生产条件优化升级的可能性, 并与其他共同投资通过在企业之间产生互补创新进一步改变生产过程, 使得生产前沿面向外移动(Brynjolfsson, 2000; 樊茂清等, 2012)。第二, ICT 可以提高技术效率, 进一步提升全要素生产率。ICT 与市场深度融合, 为市场提供更加对称性的信息, 加快劳动和资本的配置效率。企业利用 ICT 技术, 能更精确及时地获取、传递信息, 使得决策效率显著提升。此外, 积极运用智能制造系统, 在技术、产品、模式、业态和组织等方面开展全方位的创新, 逐步实现生产方式的智能化、定制化、

柔性化、绿色化和网络化,提升装备制造业的竞争新优势。我国装备制造业与 ICT 技术融合步伐不断加快,在激发“双创”活力、培育新模式新业态、推进供给侧结构性改革等方面也已初显成效。基于此,本文提出:

假说 1:ICT 对装备制造业全要素生产率有着不可忽视的正向作用,主要通过技术进步和技术效率两个路径发挥其作用。

(二)ICT 与人力资本

众多学者从不同角度解释了技术吸收能力的构成因素,人力资本和技术差距是目前经济学者们公认的两个决定性因素(刘明霞,2010)。不可忽视的是不同区域间存在资源禀赋的差异,人力资本作为生产投入要素不仅对产出有着直接的水平效应,还可以促进各地区对 ICT 技术的吸收、学习、模仿或实施。除重视作为信息技术传播和应用主体的人力资本的区域差异外,尤其重视 ICT 投资对装备制造业全要素生产率增长的影响,这可能会随着人力资本水平的不同而呈现非线性效应。如果某地区人力资本水平较低,那么该地区劳动力的文化水平和信息素养不高,他们应用装备制造业信息资源和信息技术的能力也就越欠缺。受自身文化素质低的限制,劳动力很难利用网络平台发布和搜集产品信息,更无法实现对装备制造业信息技术的深层次应用,从而阻碍装备制造业全要素生产率增长。反之,如果某地区有较高的人力资本水平,该地区的劳动力能更有效地学习信息通信技术,从而促进全要素生产率增长。基于此,本文提出:

假说 2:ICT 投资对装备制造业全要素生产率增长的影响会随着自身技术吸收能力的不同而呈现非线性效应,表现为 ICT 对全要素生产率的提升作用会随着人力资本水平的提高而越来越明显。

(三)ICT 与技术差距

同样,技术差距之所以影响 ICT 对全要素生产率的提升主要是因为它影响 ICT 技术吸收的潜力、效果及应用动力。一方面技术差距越大,技术落后地区的企业学习、利用 ICT 技术的空间就越大,进而提升装备制造业的全要素生产率;另一方面技术差距过大时,落后地区缺乏消化吸收、学习模仿 ICT 技术的能力,进而 ICT 投资对装备制造业全要素生产率的提升效果有限;此外,ICT 投资体现的是 ICT 产业的资本投入强度和服务水平高低,通过构建信息平台,改变企业融入的竞争氛围。竞争环境的改变会对不同技术差距地区企业的创新动力产生不同程度影响,即不同技术差距地区的企业对 ICT 的应用动力有所不同。更少的同质化竞争和供应链内的企业合作,使得落后地区企业更有可能利用 ICT 模仿和改进技术达到对先进地区企业的赶超,更有动力利用 ICT 更新设备、管理理念,提高效率。而对于先进地区企业来说,由于自身技术水平较前沿、企业之间技术差距不大及落后地区企业的追赶,从而加剧先进地区企业的竞争强度。使得先进地区企业不得不以更强的动力利用 ICT 技术创新和研发新一代的专利技术以有利竞争和追赶,树立竞争优势及获取超额利润。鉴于此,本文提出:

假说 3:由于存在技术吸收能力差异,ICT 投资对装备制造业全要素生产率的非线性作用还表现为随着技术差距的缩小而越来越明显。

三、省级 ICT 生产性资本存量估算

(一)估算框架

永续盘存法(PIM)的非传统途径应用的中间过程有关于生产性资本存量的测算,这种测算方法在国外得到广泛使用。首先,资本存量总额 K_{it} 公式表达为:

$$K_{it} = K_{i,t-1} + I_{it} - R_{it} = \sum_{\tau=0}^{T-1} S_{it} I_{i,t-\tau} \quad (1)$$

其中, K_{it} 表示 i 省在 t 时期的资本存量, T 表示资产使用年份, I_{it} 表示固定资本形成总额, R_{it} 表示重

置需求, $R_{it} = K_{i,t-1} \times \delta$; δ 为折旧率。 S_{it} 表示 τ 时期固定资产投资的残值率, 由退役模式确定。考虑到 ICT 资本品的特性, 选择钟形退役更加合理。

$$f_t = \frac{1}{\sqrt{2\pi}S} \times e^{-\frac{(t-\bar{T})^2}{2S^2}} \quad (2)$$

其中, f_t 为 ICT 资本品在役龄 t 时的退出比例, \bar{T} 表示资本的平均使用年限, S 为标准差, 一般取 $S = \bar{T}/4$ 。由退出模式得到相应的存活函数为:

$$S_t = 1 - \int_0^t f_\tau d\tau \quad (3)$$

基于以上公式, 深入考虑资本在使用过程中的效率损失和磨损, 筛选符合资产效率实际损失情况的“年龄—效率”函数。将其转化为标准效率单位的生产性资本存量。参考国内外理论实践, 本研究考虑双曲线函数:

$$d_t = d_0 \frac{T-t}{T-\beta t} \quad (4)$$

其中, d_0 表示初始年份相对效率, 默认为 1。 β 表示斜率, 根据相关研究和已有假设, 将 ICT 软件和硬件设为 0.5。通过对不同役龄阶段的投资序列进行加总, 得出标准效率单位的 ICT 生产性资本存量:

$$K_{it}^P = \sum_{\tau=0}^{T-1} d_\tau S_\tau I_{i,t-\tau} = \sum_{\tau=0}^{T-1} d_\tau K_{it} \quad (5)$$

(二) 相关指标构建

1. 统计范围界定

OECD 将信息通信技术 (ICT) 定义为“旨在通过电子手段 (包括传输和显示) 实现或实现信息处理和通信功能的产品”, 主要由硬件和软件组合而成。在中国经济行业分类 (GB/T 4754—2017) 中, 硬件对应于我国的计算机、通信和其他电子设备制造业, 软件对应于我国服务业信息传输、软件和信息技术服务。

2. 投资序列

由于全社会固定资产投资是不包含计算机软件等无形生产资产方面的支出, 因此选用固定资本形成总额作为测算资本存量的投资序列 (许宪春, 2010)。省级层面的投资序列, 可以通过各省投入产出表得出 ICT 制造业和 ICT 服务业的固定资本形成总额数据。但投入产出表不是每年编制, 需要对间隔年份的数据进行估算, 借鉴筱崎彰彦 (2003) 和孙川 (2013) 的做法。如表 1。

表 1 估计投资序列的方法步骤

指标	定义	算法	来源
$I\dot{O}$	间隔年份投资数据年平均增长率	ICT 制造业和服务业的固定资本形成总额数据 间隔年份投资数据年均增长率 $= \sqrt[T]{\text{报告期资本形成额} / \text{基期资本形成总额}} - 1$	2007、2012 年省级投入产出表
$I\dot{N}F$	间隔年份内需平均增长率	内需 = 产值 - 净出口 相邻年份内需年均增长率	《中国电子信息产业统计年鉴》
$INF_{t,t-1}$	相邻年份内需增长率	$= \sqrt{\text{报告期内内需} / \text{基期内需}} - 1$	《第三产业统计年鉴》
$\dot{\gamma}$	转化系数	$\dot{\gamma} = I\dot{O} - I\dot{N}F$ (6)	——
IO_t	投资序列	$IO_t = IO_{t-1} \times (1 + INF_{t,t-1} + \dot{\gamma})$ (7)	——

考虑数据的可得性,本研究的产值由 ICT 制造业和软件信息服务业的业务收入衡量,全国 ICT 服务业的进口数据由我国国际收支平衡表中计算机和信息服务的借方数据表示。由于省级层面没有更多年份的投入产出延长表,所以本研究对投资序列数据进行外推,通过以上数据和方法,估算出 2007—2016 年我国各省的 ICT 制造业和服务业的资本存量。

3. 资产使用年限、折旧率与价格指数

据相关学者研究,将 ICT 软件、ICT 制造业的使用年限分别确定为 5 年和 8 年。综合各国对硬件和软件折旧率的测定,将硬件折旧率确定为 0.315,软件折旧率定为 0.369。此外,资本存量的估算,还需要对每年投资序列进行价格指数平减使其有可比性。用固定资产价格指数进行平减,不符合 ICT 资本品的“摩尔定律”。所以采用美国 BEA 官网上公布的 ICT 硬件和软件的价格指数对每年投资序列进行平减。

4. 基期资本存量

估算初期资本存量的方法:整体法、倒推法、增长率法。整体法未考虑资本折旧,导致基期资本存量的高估;倒推法对早期数据的完整性和可获得性要求高而难以满足,故这两种方法都排除而选择增长法。增长法的具体公式如下:

$$K_0 = I_1 / (\bar{g} + \delta) \quad (8)$$

K_0 为基期资本存量,本研究以 2007 年为基期。 I_1 为基期后一年的投资额, \bar{g} 表示区间内投资额的平均增长率,这里选择 2007—2012 年的平均投资增长率, δ 表示资产折旧率。

四、变量、数据与模型

(一) 变量与数据说明

1. 被解释变量的测算

被解释变量是装备制造业各省份全要素生产率 (TFP) 及其分解项技术效率 (EFF)、技术进步 ($TECH$)。运用以产出导向可变规模报酬的 DEA-Malmquist 模型和软件 DEAP2.1 测算以上被解释变量。

由于装备制造业细分行业进行了多次微调,所以将 2011 版“汽车制造业”和“铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业”数据合并处理。然后将装备制造业各细分行业对应的投入产出变量对应着省份和年份进行加总,最终形成装备制造业 2007—2016 年的分省份的面板数据。对于产出变量的选择常分为工业增加值和工业总产值两种。由于工业增加值考虑了中间投入部分,作为产出变量更具代表性。但 2008 年以后《中国工业经济统计年鉴》不再公布分行业增加值数据,这里参照王卫和綦良群 (2017) 的方法:2000—2007 年装备制造业细分行业的工业增加值在工业总产值占比变化不大,故采用 2000—2007 年的平均比重估算 2008 年以后的工业增加值;自 2012 年开始,装备制造业细分行业工业总产值不再公布,改为对工业销售产值的统计,这里假定工业总产值与工业销售产值增长率相同,进而估算出 2012—2016 年的工业总产值;最终估算出 2007—2016 年的产出变量工业增加值。考虑到数据可得性,用总资产和装备制造业年平均从业人员衡量资本和劳动两个投入变量。为了消除价格因素的影响,分别用出厂价格指数、固定资产投资价格指数对工业增加值及总资产进行平减。

由于 DEA-Malmquist 指数法测算出来的装备制造业全要素生产率是以相邻两期数据作为对比而来的环比指数,只能反映短期内变化而不能反映长期变化,若直接代入测算可能带来结果偏差。因此构造以基期年份为基准的累积全要素生产率指数,即将各省年度环比指数进行累乘,其分解的两个指数 ($TECH$ 、 EFF) 也做类似处理。计算公式如下:

$$TFP_{i,t} = \prod_{i=1}^t TFPCH_{i,t} \quad (9)$$

2. 解释变量

纵观已有文献,信息通信技术(*ICT*)的度量指标包括网站数目、国际互联网用户数、人均移动电话数、信息化综合评价指标体系等。其次就是直接对 *ICT* 资本存量的估计,这种做法的好处在于将 *ICT* 资本从总量资本中剥离出来,能进行更加准确地区分相较于其他生产要素的不同,更好地体现 *ICT* 的发展现状与未来趋势。

3. 门限变量

一个地区的教育投资水平从一定程度上反映该地区的人力资本水平,故用各地区财政教育经费占 *GDP* 比重作为对人力资本(*Human*)的衡量。另外技术差距的度量常以前沿国的全要素生产率/中国全要素生产率,一般前沿国选择美国的全要素生产率作为技术前沿(李蕾蕾等,2018)。但这样的方法不可避免地存在着依照经验选择前沿面,而忽视数据本身的选择。*DEA* 方法生成一个非参数分段曲面,评估出技术效率水平,即决策单元到技术前沿的距离,与技术差距的含义是一样的。因此利用数据包络方法(*DEA*)测度投入产出技术效率衡量技术差距,这里的投入产出变量的选择,和上文计算装备制造业全要素生产率的变量一样。由于实际生产条件时常不符合规模报酬不变的假设条件,因此对技术效率(*TE*)的测算选择 *DEA-BCC* 模型。为了更加直观衡量技术差距(*Tgap*),其测算方法为: $Tgap = 1 - TE$ 。

4. 控制变量

全要素生产率作为国家和地区经济持续增长和发展的决定性力量,其增长因素众多,包括研发、贸易、*ICT*(Franz et al.; 2020)、人力资本、工业化、国有企业比重、投资率(徐盈之和赵豫,2007)、行业出口值、*FDI*、制度变量、信息基础设施(李春顶,2009)等。综上,*TFP* 的影响因素考虑以下三类:一、贸易(*EX*)和对外开放(*FDI*)。以装备制造业规模以上出口交货值占规模以上主营业务收入和实际外商直接投资占 *GDP* 比重作为贸易和对外开放的代理变量;二、制度背景(*SO*)。采用各地区国有全社会固定资产投资在全社会固定资产投资中所占的比重作为制度背景;三、科技创新(*RD*)与人力资本(*Human*),采用各地区的研究与试验发展经费内部支出作为当期 *R&D* 支出的衡量,并借鉴朱平芳和徐伟民(2003)的方法对其进行处理;教育提高了人力资本,故用各地区财政教育经费占 *GDP* 比重作为对人力资本的衡量。(以上数据来源于《中国统计年鉴》《中国工业经济统计年鉴》《中国科技统计年鉴》、*EPS* 数据库、*CSMAR* 数据库)

(二) 模型

为了消除异方差影响以及缩小数量级,将所有变量取自然对数。本文构建的回归模型如下所示:

$$\ln Y_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \ln ICT_{i,t} + \beta_c \ln Controls_{i,t} + f_i + \varepsilon_{i,t} \quad (10)$$

其中,*i* 表示各省份,*t* 表示年份,*Y* 表示被解释变量,在后文的计量分析中分别代入全要素生产率变量(*TFP*)、技术进步变量(*TECH*)、技术效率变量(*EFF*),*ICT* 表示信息通信技术,*Controls* 表示控制变量,*f_i* 表示非观测的个体固定效应, $\varepsilon_{i,t}$ 表示随机误差项。从人力资本和技术差距门限效应角度,进一步检验 *ICT* 投资在不同技术吸收能力条件下对全要素生产率的呈现的非线性影响,在(10)式的基础上构建门限模型:

$$\begin{aligned} \ln Y_{i,t} = & \beta_0 + \beta_1 \ln ICT_{i,t} I(q_{i,t} \leq \gamma) + \beta_2 \ln ICT_{i,t} I(q_{i,t} > \gamma) \\ & + \beta_c \ln Controls_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \end{aligned} \quad (11)$$

其中, $I(\cdot)$ 为指示函数,括号内的条件满足时取值 1,反之为 0; $q_{i,t}$ 为门限变量,在后文的计量分析中带入人力资本(*Human*)和技术差距(*Tgap*); γ 为特定的门槛值;(11)式为单门限模型,本研究将依据门限效应检验确定为几重门限模型。

五、实证结果分析

(一) 基本回归分析

表 2 报告了模型的基本回归结果。其中模型 1 报告的是混合回归面板模型,模型 2 报告的是固定效应。F 统计量为 0,即相较于混合回归模型研究采用固定效应模型效果更佳。以下分析针对模型 2 展开。

根据我们在(10)式中的规范,我们研究了 ICT 投资对全要素生产率及其分解项的影响。表 2 显示,ICT 投资对于装备制造业全要素生产率及其分解项技术进步和技术效率的回归系数分别为 0.108 0、0.066 4、0.041 8,其中全要素生产率及技术进步项均通过了 1%水平显著性检验,技术效率项通过了 10%水平显著性检验,表明加大 ICT 投资能够促进装备制造业全要素生产率增长,假说 1 得到了验证。从影响程度来看,ICT 投资对技术进步指数(0.066 4)的影响要大于技术效率指数(0.041 8)。表明实践过程中,加大 ICT 投资更有助于 ICT 产业与装备制造业深度融合,使创新互补性和技术溢出效应发挥作用,进而有效地提高技术进步指数。也印证了 ICT 投资能够激发装备制造业创新主体的积极性,消除个体之间的信息不对称。因受自身主观管理经验、企业管理能力等因素影响,ICT 投资对技术效率促进作用要稍弱一些。

表 2 ICT 投资对全要素生产率及其分解指标的 OLS 和 FE 回归结果

变量	模型 1			模型 2		
	<i>lnTECH</i>	<i>lnEFF</i>	<i>lnTFP</i>	<i>lnTECH</i>	<i>lnEFF</i>	<i>lnTFP</i>
<i>lnICT</i>	0.036 2 *** (0.010 3)	0.047 7 *** (0.010 7)	0.083 8 *** (0.013 7)	0.066 4 *** (0.015 6)	0.041 8 * (0.020 7)	0.108 0 *** (0.028 2)
<i>lnEX</i>	-0.016 2 (0.015 8)	-0.108 0 *** (0.012 4)	-0.124 0 *** (0.015 1)	0.003 0 (0.018 7)	-0.052 5 ** (0.025 5)	-0.049 6 * (0.024 2)
<i>lnRD</i>	0.020 0 *** (0.007 6)	-0.029 1 *** (0.008 3)	-0.009 1 (0.009 8)	0.084 0 * (0.042 2)	0.047 9 (0.047 2)	0.132 0 ** (0.057 2)
<i>lnHuman</i>	0.238 0 *** (0.028 5)	0.111 0 *** (0.040 0)	0.348 0 *** (0.041 1)	0.084 6 (0.096 5)	0.054 5 (0.119 0)	0.138 0 (0.157 0)
<i>lnFDI</i>	0.017 9 (0.014 8)	0.069 7 *** (0.015 9)	0.088 1 *** (0.017 1)	-0.013 7 (0.028 5)	0.096 0 *** (0.031 1)	0.082 6 *** (0.022 7)
<i>lnSO</i>	-0.060 5 * (0.034 9)	0.090 0 *** (0.032 0)	0.029 9 (0.041 7)	-0.130 7 *** (0.048 8)	0.132 0 (0.081 6)	-0.004 9 (0.106 0)
个体效应	否	否	否	固定	固定	固定
<i>Constant</i>	0.389 0 *** (0.138 0)	0.639 0 *** (0.217 0)	1.030 0 *** (0.201 0)	-1.282 0 * (0.668 0)	-0.157 0 (0.701 0)	-1.441 0 (0.860 0)
<i>N</i>	290	290	290	290	290	290
<i>R2</i>	0.298 1	0.354 0	0.431 1	0.603 0	0.255 3	0.580 0

说明:括号里的数值均是经过稳健性调整后的 *t* 值,***、**、* 分别表示 $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$ 、 $p < 0.1$

(二) 技术吸收能力对 ICT 投资效用发挥的影响

首先对(11)式模型进行门限效应检验,以此来确定门限模型的具体设定形式。设定自举 400 次迭代,依次搜寻 400 个样本点得到模拟分布。分别以人力资本(*Human*)和技术差距(*Tgap*)为门限变量进

行回归。检验结果如表 3 显示,可以看出 *Human* 和 *Tgap* 对应的单门限检验可以在 5%显著性水平下拒绝模型不存在门限值的原假设;双门限检验在 10%显著性水平下拒绝模型存在单一门限的原假设。最终,三门限检验结果表明人力资本和技术差距对应的模型在 10%显著性水平下均存在两个门限值。因此,模型设定为双门限模型:

$$\ln Y_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \ln ICT_{i,t} I(q_{i,t} \leq \gamma_1) + \beta_2 \ln ICT_{i,t} I(\gamma_1 \leq q_{i,t} < \gamma_2) + \beta_3 \ln ICT_{i,t} I(q_{i,t} \geq \gamma_2) + \beta_c \ln Controls_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (12)$$

表 3 门限检验结果

检验类型	统计量	人力资本(<i>Human</i>)	技术差距(<i>Tgap</i>)
单门限检验	γ	0.068 2	0.003 0
	95%置信区间	[0.067 2, 0.068 5]	[0.001 0, 0.006 0]
	F 值	31.31	58.94
	P 值	0.012 5	0.000 0
	γ_1	0.068 2	0.003 0
双门限检验	95%置信区间	[0.067 2, 0.068 5]	[0.001 0, 0.006 0]
	γ_2	0.046 2	0.438 0
	95%置信区间	[0.045 5, 0.046 2]	[0.434 0, 0.439 0]
	F 值	21.06	36.05
	P 值	0.097 5	0.000 0
三门限检验	γ_3	0.023 4	0.342 0
	95%置信区间	[0.022 7, 0.023 7]	[0.319 5, 0.350 0]
	F 值	10.90	11.36
	P 值	0.710 0	0.520 0

表 4 为以人力资本和技术差距作为门限变量的回归结果。模型 3 是以人力资本为门限变量,模型 4 是以技术差距为门限变量,被解释变量为 $\ln TFP$ 。从模型 3 的回归结果可以看出,当地区处在低人力资本水平区间(0, 0.046 2)时,我们定义该阶段为低技术吸收能力阶段,在该阶段,随着人力资本水平的提升,ICT 有效促进装备制造业全要素生产率的提升;当进入人力资本水平中级阶段(0.046 2, 0.068 2)时,ICT 对装备制造业全要素生产率的提升效用继续发挥作用,并且提升趋势更加明显;对于高人力资本水平阶段(0.068 2, 1),提升趋势更进一步的大幅度的上升,假说 2 得到了验证。从模型 4 的回归结果看,当技术差距较小时($Tgap < 0.003 0$),回归系数为正,并且在三个阶段中系数最大,表明先进地区更具有潜力和动机利用吸收、学习模仿 ICT 技术,并且效果更加显著;当技术差距变大时($0.003 0 \leq Tgap < 0.438 0$),ICT 仍然对全要素生产率有提升作用,但这种提升作用有所减弱;当技术差距扩大到一定程度时($Tgap \geq 0.438 0$),ICT 对全要素生产率的提升作用就更弱,表明落后地区仍然有动机利用信息通讯技术实现高质量发展,但受限于自身技术能力,其提升效果弱于先进地区,假说 3 得到了验证。

表 4 不同技术吸收能力下 ICT 投资的效用发挥

	模型 3		模型 4
	$\ln TFP$		$\ln TFP$
$\ln ICT(Human < 0.046 2)$	0.089 8 *** (0.015 4)	$\ln ICT(Tgap < 0.003 0)$	0.125 0 *** (0.014 7)

续表4

模型 3		模型 4	
$\ln ICT(0.0462 \leq Human < 0.0682)$	0.1150 *** (0.0149)	$\ln ICT(0.0030 \leq Tgap < 0.4380)$	0.1010 *** (0.0152)
$\ln ICT(Human \geq 0.0682)$	0.1510 *** (0.0160)	$\ln ICT(Tgap \geq 0.4380)$	0.0626 *** (0.0152)
常数项	-1.9160 *** (0.2840)	常数项	-1.8580 *** (0.5500)
控制变量	控制	控制变量	控制
R ²	0.6450	R ²	0.6880
N	290	N	290

(三) 稳健型检验与内生性

1. 地区差异分析

将我国划分为东部、中部和西部(香港、澳门、台湾地区不纳入本文统计和分析)。东部地区包括:北京、福建、广东、海南、河北、江苏、辽宁、山东、上海、天津、浙江;中部地区包括:安徽、河南、黑龙江、湖北、湖南、吉林、江西、内蒙古、山西;西部地区包括:甘肃、广西、贵州、宁夏、陕西、四川、新疆、云南、重庆。由于宁夏、西藏数据缺失严重,故不考虑在内。本研究进一步探究 ICT 投资对全要素生产率及分解项的作用是否存在地区差异,同时也验证本研究的研究假设是否稳健。表 5 为地区差异的回归结果,可以发现:整体上,ICT 投资对东中西的装备制造业全要素生产率增长均有提升作用并存在差异性,其中对东部地区的提升作用高于中部和西部,除技术进步项外对西部地区的提升作用最弱;这样的结果和前文研究结果相差不大,进一步证实了结论的可靠性。

表 5 地区差异回归结果

变量	西部			东部			中部		
	$\ln TECH$	$\ln EFF$	$\ln TECH$	$\ln TECH$	$\ln EFF$	$\ln TECH$	$\ln TECH$	$\ln EFF$	$\ln TECH$
$\ln ICT$	0.0559 ** (0.0221)	0.0462 * (0.0243)	0.0638 ** (0.0249)	0.0779 * (0.0365)	0.0374 ** (0.0143)	0.0954 ** (0.0340)	0.0511 * (0.0234)	0.0191 (0.0234)	0.0921 *** (0.0309)
Constant	2.753 * (1.300)	0.213 (0.305)	-0.415 (0.605)	-2.223 * (1.146)	-0.350 * (0.189)	-2.424 (1.357)	0.483 (1.473)	1.704 *** (0.472)	1.611 ** (0.617)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
N	90	90	90	110	110	110	90	90	90
R ²	0.895	0.456	0.685	0.652	0.605	0.461	0.618	0.287	0.411

2. 稳健性分析

由于考虑到 ICT 投资估算误差给实证结果带来的影响,我们再次对时间段 2007—2012 年和 2013—2016 年的样本数据分别进行回归。表 6 实证结果显示,两个时间段对应的回归均是显著且为正的,除回归系数有所波动外和前文分析得出的结论相差不大,一定程度上缓解了对于变量估计误差造成的实验结果不可信的问题。

表 6 稳健性检验回归结果

变量	2007—2012 年			2013—2016 年		
	<i>lnTECH</i>	<i>lnEFF</i>	<i>lnTFP</i>	<i>lnTECH</i>	<i>lnEFF</i>	<i>lnTFP</i>
<i>lnICT</i>	0.021 5 *	0.020 2 *	0.033 5 ***	0.284 0 ***	0.055 4 **	0.348 0 ***
	(0.011 3)	(0.012 2)	(0.010 5)	(0.062 0)	(0.024 8)	(0.082 5)
Constant	-0.518	0.223	0.473 **	-1.646	1.188 ***	-2.240
	(0.458)	(0.231)	(0.202)	(1.099)	(0.415)	(1.516)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
<i>N</i>	174	174	174	116	116	116
<i>R</i> ²	0.169	0.222	0.317	0.546	0.491	0.391

3. 内生性修正

为了分析因果关系中的主因,我们采用 *lnICT* 的滞后期作为核心解释变量进行回归分析,其逻辑是当期的全要素生产率对 *lnICT* 滞后期的影响几乎全无,若 *lnICT* 的滞后期对当期全要素生产率及其分解项仍然存在着前文所分析的对应关系,说明在双向因果关系中,主因是 ICT 投资。表 7-①对应的固定效应模型结果显示,滞后期 *lnICT* 对全要素生产率及其分解项依旧显著,说明 ICT 投资是主因。

为了稳健起见,选择工具变量法对内生性问题进一步讨论,参照众多学者的做法,将核心解释变量 *lnICT* 的滞后一期作为当期 *lnICT* 的工具变量进行回归,考虑到异方差以及内生变量与工具变量之间的相关性比较高的情况下,使用以 *lnICT* 的滞后一期作为工具变量的 GMM 矩阵估计法存在一定的合理性。估计结果见表 7-②,在技术进步项 *lnTECH* 模型中,相比前文基础回归结果发现 *lnICT* 系数有所下降,但差别不大。对其结果进行内生性检验,D-W-H 和 WaldF 统计量结果显示内生性不显著。对技术效率 *lnEFF* 模型进行内生性检验,同样内生性不显著。但全要素生产率 *lnTFP* 的内生性检验结果,出现了 D-W-H 和 WaldF 统计量在 10% 显著性水平下显著,说明此模型内生性显著。可见,全要素生产率对 ICT 投资也有着一定的影响。对比①固定模型和②GMM 模型结果,被解释变量 *lnTECH* 和 *lnTFP* 的 *lnICT* 系数都有所下降,而 *lnEFF* 的系数却略有提高,系数符号均无改变,依然显著。由此可见,考虑了内生性问题后,得出 ICT 投资对全要素生产率及其分解项有着显著的促进作用,这一结论和上文回归得出的结果是一致的。

表 7 内生性问题分析回归结果

	①FE(用 <i>lnICT</i> 滞后一期作为核心解释变量)			②IV-GMM(用 <i>lnICT</i> 滞后一期作为工具变量)		
	<i>lnTECH</i>	<i>lnEFF</i>	<i>lnTFP</i>	<i>lnTECH</i>	<i>lnEFF</i>	<i>lnTFP</i>
L. <i>lnICT</i>	0.061 3 ***	0.051 1 ***	0.112 0 ***	—	—	—
	(0.016 1)	(0.018 0)	(0.026 2)	—	—	—
<i>lnICT</i>	—	—	—	0.037 5 ***	0.051 8 ***	0.089 1 ***
	—	—	—	(0.012 4)	(0.012 1)	(0.016 0)
Kleibergen-Paap rk	—	—	—	92.482	92.482	92.482
LM 统计量	—	—	—	[0.000 0]	[0.000 0]	[0.000 0]
Kleibergen-Paap rk	—	—	—	1 575.635	1 575.635	1 575.635
WaldF 统计量	—	—	—	{16.38}	{16.38}	{16.38}
Wu-Hausman F	—	—	—	0.628 31	2.336 43	3.466 83 *

续表5

	①FE(用 $\ln ICT$ 滞后一期作为核心解释变量)			②IV-GMM(用 $\ln ICT$ 滞后一期作为工具变量)		
D-W-H	—	—	—	0.646 58	2.388 25	3.528 10 *
N	261	261	261	261	261	261
R ²	0.587	0.237	0.564	0.258	0.368	0.416

说明:(1)括号内的 t 值或 $\ln ICT$ 值都是经过稳健性调整,*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平下显著;(2)Kleibergen-Paap rk LM 统计量检验显著,拒绝工具变量识别不足的原假设;Kleibergen-Paap rk Wald F 检验的原假设“H0:工具变量弱识别”,括号内是 10%显著性水平上的临界值,大于 10 通过检验;(3)L $\ln ICT$ 表示 $\ln ICT$ 滞后一期

六、结论与启示

本研究分析了 ICT 投资对全要素生产率增长的作用机理。利用 2007—2016 年中国装备制造业行业省级面板数据,实证考察了 ICT 在不同吸收能力下的效用发挥,得出如下结论:第一,在样本期间,ICT 投资对中国装备制造业的技术进步有着显著促进作用,对装备制造业的技术效率也有着显著的正向促进作用,总体上 ICT 投资对技术进步推动型的装备制造业全要素生产率有着显著促进作用。第二,由于存在人力资本和技术差距门限值,ICT 投资对全要素生产率促进作用是非线性的。实证发现,ICT 投资对全要素生产率促进作用在人力资本角度上存在两个门限值,分别是 0.046 2、0.068 2;在技术差距角度下也存在两个门限值,分别是 0.003、0.438。即在不同的吸收能力水平下,ICT 投资对全要素生产率提升存在异质性作用,表现为 ICT 投资回归系数在门槛值两端均显著且为正。随着人力资本水平的提升,促进作用的提升幅度越来越大;随着技术差距的不断扩大,促进作用的提升幅度越来越小。

为此,应加快 ICT 在装备制造业产业链各个环节的推广和应用力度,宣传和普及相关技术知识和操作过程,为提高装备制造业全要素生产率增势赋能。同时,重视装备制造业管理知识、技能的提高与运用。注重互联网数字技术、人工智能等信息通信技术的可得性与协同性。在各省市区加快落实信息与通信基础设施建设以扩展装备制造业生产的可行性边界,使 ICT 以低成本触达社会各阶层,为各产业领域的创新提供基础,促使技术更好地为装备制造业生产服务。此外,ICT 投资与各区域技术吸收能力相互耦合之后共同作用于装备制造业全要素生产率,即 ICT 投资是否能够有效促进装备制造业全要素生产率增长,还受到各省人力资本和技术差距的制约。因此,为了提高 ICT 投资对装备制造业全要素生产率增长的促进作用,不能单纯依靠盲目加大 ICT 投资,而应该为 ICT 发展提供良好的技术消化吸收和推广的环境,重点是加强人力资本水平低和技术差距大的地区利用 ICT 实现技术进步的应用动机,推进“再工业化”和“新基建”落地。

[参 考 文 献]

- [1] Acharya R. C., ICT use and total factor productivity growth: intangible capital or productive externalities? [J]. Oxford Economic Papers-New Series, 2016 (1).
- [2] Asongu S. A., Acha-Anyi, P. N., Enhancing ICT for productivity in sub-Saharan Africa: Thresholds for complementary policies[J], African Journal of Science Technology Innovation & Development, 2020 (2).
- [3] Brynjolfsson E., Hitt L. M., Beyond Computation: Information Technology, Organizational Transformation and Business Performance[J], Journal of Economic Perspectives, 2000 (4).
- [4] Carr N. G., IT Doesn't Matter, *Harvard Business Review*, 2003 (5).
- [5] Cardona M. K., T and S. Thomas, ICT and productivity: conclusions from the empirical literature[J], Information Eco-

nomics and Policy, 2013(3).

- [6] Franz H. R., K. F. Wirl, Total factor productivity, its components and drivers[J], *Empirica*, 2020 (2).
- [7] Inani S. K., and T. Manas, The nexus of ICT, electricity consumption and economic growth in India: an ARDL approach [J], *International Journal of Indian Culture and Business Management*, 2017 (4).
- [8] Jorgenson DW., H MS., and S. KJ. A., retrospective look at the U. S. productivity growth. resur-gence[J], *Econ Perspect*, 2008 (1).
- [9] Kettinger W., and Grover V., Strategic Information Systems Revisited: A Study in Sustainability and Performance[J], *MIS Quarterly*, 1994 (1).
- [10] Mitra A., Sharma. C. and Veganzones-Varoudakis, M. A. Infrastructure, information & communication technology and firms' productive performance of the Indian manufacturing[J], *Journal of Policy Modeling*, 2016 (2).
- [11] 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).
- [12] 樊茂清,郑海涛,孙琳琳,任若恩. 能源价格、技术变化和信息化投资对部门能源强度的影响[J]. *世界经济*,2012(5).
- [13] 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(3).
- [14] 郭家堂,骆品亮. 互联网对中国全要素生产率有促进作用吗? [J]. *管理世界*,2016(10).
- [15] 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).
- [16] 刘俏. 中国经济有没有可能再创造一个奇迹? [J]. *北京大学学报*,2020(2).
- [17] 赖明勇,包群,彭水军,张新. 外商直接投资与技术外溢:基于吸收能力的研究[J]. *经济研究*,2005(8).
- [18] 李梅,柳士昌. 对外直接投资逆向技术溢出的地区差异和门槛效应——基于中国省际面板数据的门槛回归分析[J]. *管理世界*,2012(1).
- [19] 李静,楠玉,刘霞辉. 中国研发投入的“索洛悖论”——解释及人力资本匹配含义[J]. *经济学家*,2017(1).
- [20] 刘明霞. 中国对外直接投资的逆向技术溢出效应——基于技术差距的影响分析[J]. *中南财经政法大学学报*,2010(3).
- [21] 李春顶. 中国制造业行业生产率的变动及影响因素——基于 DEA 技术的 1998—2007 年行业面板数据分析[J]. *数量经济技术经济研究*,2009(12).
- [22] 李蕾蕾,黎艳,齐丹丹. 基础研究是否有助于促进技术进步? ——基于技术差距与技能结构的视角[J]. *科学学研究*,2018(1).
- [23] 任曙明,吕镛. 融资约束、政府补贴与全要素生产率——来自中国装备制造企业的实证研究[J]. *管理世界*,2014(11).
- [24] 孙川. 中国省际信息技术资本存量估算[J]. *统计研究*,2013(3).
- [25] 韦影. 企业社会资本与技术创新:基于吸收能力的实证研究[J]. *中国工业经济*,2007(9).
- [26] 王卫,綦良群. 中国装备制造业全要素生产率增长的波动与异质性[J]. *数量经济技术经济研究*,2017(10).
- [27] 肖利平. ‘互联网+’提升了我国装备制造业的全要素生产率吗[J]. *经济学家*,2018(12).
- [28] 谢莉娟,陈锦然,王诗村. ICT投资、互联网普及和全要素生产率[J]. *统计研究*,2020(9).
- [29] 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[J]. *中国工业经济*,2007(10).
- [30] 许宪春. 准确理解中国经济统计[J]. *经济研究*,2010(5).
- [31] 尹东东,张建清. 我国对外直接投资逆向技术溢出效应研究——基于吸收能力视角的实证分析[J]. *经济研究*,2016(1).
- [32] 张之光,蔡建峰. 信息技术资本、替代性与中国经济增长——基于局部调整模型的分析[J]. *科研管理*,2012(9).
- [33] 朱平芳,徐伟民. 政府的科技激励政策对大中型工业企业 R&D 投入及其专利产出的影响——上海市的实证研究[J]. *经济研究*,2003(6).
- [34] 篠崎彰彦. 情報技術革新の経済効果—日米経済の明暗と逆転[J]. *日本評論社*,2003(1).

ICT Investment and Total Factor Productivity in Equipment Manufacturing: A Quantitative Study Based on the Heterogeneity of Technical Absorptive Capacity

Dong Jingrong Su Meiwen

(School of Economics and Management, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: This paper empirically studies the path of ICT investment affecting total factor productivity in equipment manufacturing industry, and considers the moderating effect of provincial absorptive capacity on the relationship between ICT investment and total factor productivity. The empirical study finds that ICT investment has a significant positive promoting effect on the total factor productivity of the equipment manufacturing industry. Compared with the technological efficiency path, the technological progress path is more dependent on the improvement of the total factor productivity of the equipment manufacturing industry by ICT investment. Due to the heterogeneity of absorptive capacity among provinces, the positive impact of ICT investment will also show significant differences. Panel threshold regression model further analysis shows that human capital, technology gap will affect the effect of ICT investment on the total factor productivity of equipment manufacturing industry. With the development of regions with high human capital level and low technology gap, the promoting role of ICT in improving total factor productivity of equipment manufacturing industry will gradually increase.

Keywords: ICT investment; absorption capacity; equipment manufacturing industry; total factor productivity

[责任编辑:左福生]