
资本深化、有偏技术进步与全要素生产率增长

余东华 张鑫宇 孙婷*

内容提要 本文探讨资本深化和有偏技术进步对全要素生产率的交互影响机制,并利用1999-2016年中国制造业大中型企业分行业数据,采用增长核算和计量回归两种方法对理论机制进行检验。研究表明,资本深化程度、技术进步偏向性及二者对全要素生产率的交互影响效应在制造业行业间具有明显的异质性特征;与基期相比,中国制造业资本深化程度呈现上升趋势且技术进步偏向资本,资本深化程度和技术进步偏向性相匹配,从而推动了全要素生产率的增长;资本偏向型技术进步有助于削弱资本深化对全要素生产率增长的不利影响,但是未能完全抵消资本深化对全要素生产率增长的直接抑制作用。

关键词 资本深化 技术进步偏向性 全要素生产率 交互影响效应

一 引言

随着中国经济进入“新常态”,推动经济增长方式由主要依靠要素投入数量增长转向依靠全要素生产率(Total Factor Productivity,以下简称TFP)提高,对于实现中国

* 余东华、张鑫宇(通讯作者):山东大学经济学院 山东省济南市山大南路27号 250100 电子信箱:ydh-wz@sdu.edu.cn(余东华),506761398@qq.com(张鑫宇);孙婷:山东财经大学经济学院 山东省济南市舜耕路40号250014 电子信箱:379397570@qq.com。作者感谢教育部人文社会科学研究规划基金项目(19YJA790109)、教育部人文社会科学研究青年基金项目(19YJC790119)和山东省自然科学基金面上项目(ZR2019MG018)的资助,感谢匿名审稿人的宝贵意见。当然,文责自负。

经济高质量发展至关重要。新古典经济增长理论假定技术进步是外生、中性的,并且在技术进步与要素投入相互独立的假设下,将 TFP 增长归因于技术进步,甚至将 TFP 提高作为技术进步的替代变量。然而,技术进步并非 TFP 变化的全部,要素投入结构与技术进步的匹配是提高 TFP 的重要来源。要素投入与技术进步的耦合发展表明,技术进步与要素投入之间的作用并不是单向的,两者呈现出相互影响和相互制约的内在共生特性(王林辉和董直庆,2012)。在要素投入与技术进步相耦合的情形下,偏向性技术进步和要素投入结构具有较为复杂的变迁路径。以新机器设备等为载体的耦合于要素投入的技术进步和通过研发投入等方式取得的未耦合于要素投入的技术进步是中国技术进步的两个重要来源,两类技术进步共同改变了要素投入质量和生产率水平,从而对资本和劳动的边际产出产生非对称影响,使中国技术进步表现出明显的偏向性特征。产业间或企业间技术进步方向的异质性特征,会改变要素相对有效价格,推动生产要素由低利润的产业或企业转移至高利润的产业或企业,进而改变产业或企业的要素投入结构(孔宪丽等,2015;陆菁和刘毅群,2016)。某一产业或企业的要素投入结构不仅取决于价格机制引导下的成本最小化决策,还受技术进步偏向性等因素的影响。因此,选择资本深化程度并调整技术进步偏向性,进行适宜的技术选择,实现要素投入结构与技术进步偏向性相匹配,能够提高 TFP,进而推动经济高质量发展。

伴随着大规模的固定资产投资,中国经历了持续的快速资本深化过程。尤其是2008年之后,受大规模经济刺激计划的影响,以资本劳动比衡量的资本深化程度显著上升。本文从资本深化程度大幅提高的特征事实出发,着重探讨以下问题:(1)资本深化与有偏技术进步对 TFP 增长具有怎样的交互影响机制?(2)大幅提高的资本深化程度是否对 TFP 产生不利影响?有偏技术进步能否缓解这种不利影响?(3)中国经济进入高质量发展阶段后,如何综合协调实现要素投入结构与技术进步偏向性相匹配,以最大化发挥要素投入和技术进步的作用并提高 TFP?

本文剩余部分的结构安排如下:第二部分为文献综述;第三部分讨论影响机制,构建计量回归模型,并提出理论假说;第四部分是参数估计、变量选取和数据处理方法;第五部分对参数估计、指标测度以及计量回归的结果进行讨论;最后总结全文。

二 文献综述

学界对资本深化、技术进步与 TFP 之间的关系有广泛讨论,Basu 和 Weil(1998)、Acemoglu 和 Zilibotti(2001)、林毅夫和张鹏飞(2006)等强调适宜性技术(appropriate

technology) 理论, Antonelli (2016)、Antonelli 和 Feder (2019) 等强调技术一致性 (technological congruence) 理论, 两种理论均强调要素投入结构 (或要素禀赋结构) 与技术进步、特别是有偏技术进步的协调性, 对提升技术效率和 TFP 有突出作用。张军等 (2009) 认为, 要素投入可以通过资本积累的数量效应和结构调整的要素配置效应来提高工业 TFP。孔宪丽等 (2015) 探讨了资本深化程度与技术进步偏向性的匹配对产业结构调整的影响, 认为某一生产部门选择的技术进步能否最有效地带动其部门生产率的增长, 取决于技术进步偏向是否与要素投入结构 (资本深化程度) 相匹配, 而这种匹配性会影响生产部门的技术创新投入效率, 进而影响创新投入结构对产业结构变动的引致效应。

关于技术进步偏向性及其对 TFP 的影响效应的测度, 现有文献主要采用四类方法: 第一类是数据包络分析 (DEA) 方法。DEA 方法从 Malmquist、Luenberger 等 TFP 指数中分离出技术进步偏向性指数 (Färe 等, 1997; 杨翔等, 2019), 以测度有偏技术进步对 TFP 的影响。该方法是一种非参数方法, 不需要设定参数模型的具体形式, 因而更为稳健, 但这种方法只能测度出有偏技术进步对 TFP 的综合影响, 不能直接反映技术进步对某一种要素投入的具体偏向性 (李静等, 2018), 不利于分析有偏技术进步对 TFP 的具体影响机制。

第二类是改进的索洛增长核算方法。该方法放松柯布-道格拉斯 (C-D) 生产函数中要素产出弹性为常数的假定, 利用时变要素产出弹性来捕捉有偏技术进步, 并进一步测度有偏技术进步对 TFP 的直接和间接影响效应 (Antonelli, 2016; Feder, 2018a、2018b; 封永刚等, 2017; Antonelli 和 Feder, 2019)。利用这种方法能够判断技术进步是否为中性, 判断有偏技术进步与要素配置或人力资本的使用等因素是否适宜。其缺陷体现在以下 4 个方面: 首先, 这种方法不能直接反映技术进步对某一种要素投入的具体偏向性; 其次, 由于要素产出弹性的影响因素不仅仅是有偏技术进步, 用时变要素产出弹性来反映有偏技术进步的合理性受到质疑 (Zuleta, 2012); 再次, 该方法只有在要素替代弹性为 1, 且技术进步为中性时才有效 (李小平和李小克, 2018); 最后, 该方法假定要素投入与技术进步相互独立, 割裂了有偏技术进步和要素投入对 TFP 的影响。

第三类是随机前沿分析 (SFA) 方法。这种方法基于超越对数生产函数或超越对数成本函数的随机前沿分析, 测度多要素投入中任意两个要素之间的技术进步偏向性以及 TFP 增长率 (王班班和齐绍洲, 2014; 杨振兵等, 2016)。虽然超越对数生产函数是具有一般性的可变替代弹性生产函数, 具有易估计和包容性等优点, 但是也存在待估计参数过多导致严重的多重共线性、将要素产出弹性假定为要素投入对数值的线性

组合等问题。

第四类是基于 CES 生产函数的增长核算方法。Klump 等(2007、2012)、León-Ledesma 等(2010、2015)、Jiang 和 León-Ledesma(2018)提出并逐渐完善了两要素 CES 生产函数三方程标准化供给面系统估计方法,为基于 CES 生产函数分析资本深化、有偏技术进步与 TFP 之间的作用机制提供了理论基础。董直庆和陈锐(2014)、袁礼和欧阳晓(2018)、李小平和李小克(2018)从对数线性化展开 CES 生产函数的角度出发,将 TFP 增长率分解成包含资本深化程度和技术进步偏向性的函数,并基于全国时间序列数据、东中西部地区时间序列数据和工业部门面板数据进行了检验,在理论和经验上分析了资本深化与有偏技术进步对 TFP 增长率的交互影响。

从以上分析可以看出,基于 CES 生产函数的增长核算方法为探讨资本深化、有偏技术进步与 TFP 三者之间的关系提供了较为成熟的理论和经验分析框架,但既有研究在三者之间具体作用机制、资本深化与有偏技术进步对 TFP 交互影响程度的量化测度方面还存在以下值得拓展的空间:(1)作用机制方面。既有研究倾向于将 TFP 增长率分解成包含资本深化程度和技术进步偏向性的函数,此时资本深化程度与技术进步偏向性对 TFP 增长率的影响,既取决于资本深化程度与技术进步偏向性的匹配性,又取决于资本深化程度的调整速度与资本-劳动相对生产效率水平的匹配性,即这两项是资本深化程度和要素生产效率的水平值及其增长率的组合,本质上反映了资本投入与劳动投入、资本效率水平与劳动效率水平的相对变化。由分解 TFP 增长率转换成分解 TFP 水平值可以在不失上述本质内涵的同时,为结合增长核算方法和计量回归模型进一步检验此作用机制创造条件。(2)克服增长核算方法局限性方面。在基于 CES 生产函数的增长核算框架中,TFP 增长率是资本深化程度、技术进步偏向性指数的函数,仅受要素投入和技术进步的影响。然而,TFP 还受技术溢出、行业规模、所有制类型、盈利水平等其他因素影响(Syverson,2011;孙早和许薛璐,2017)。以 CES 生产函数增长核算为基础的计量回归模型,可以在考虑其他影响因素的基础上,进一步量化测度资本深化和有偏技术进步对 TFP 的直接影响效应,资本深化和有偏技术进步对 TFP 的交互影响效应,以及资本深化对 TFP 的净影响效应,从而克服增长核算方法未考虑其他影响因素的局限性。(3)行业或地区异质性特征方面。要素替代弹性乃至资本深化、有偏技术进步与 TFP 三者之间的作用机制在行业和区域间的异质性仍缺乏足够重视,既有研究较多采用地区或行业加总数据估计要素替代弹性,其中暗含不同行业、不同地区的要素替代弹性相同的假定(袁礼和欧阳晓,2018;李小平和李小克,2018),以此为基础测度技术进步偏向性以及资本深化和有偏技术进步对 TFP

的交互影响效应,会在一定程度上掩盖各指标在行业和区域间的异质性特征(陈登科和陈诗一,2018),不利于准确刻画资本深化和有偏技术进步对 TFP 的交互影响。

本文可能的贡献体现在以下 4 点:第一,基于标准化 CES 生产函数增长核算方法,在对数线性化展开标准化(或指数化)CES 生产函数的基础上,将标准化 TFP 水平的对数值分解成包含标准化资本深化程度和标准化技术进步偏向性指数的函数,阐述资本深化和有偏技术进步对 TFP 的交互影响机制。第二,建立以标准化 CES 生产函数增长核算框架为基础的计量回归模型,在一定程度上克服了增长核算方法未考虑 TFP 其他影响因素的局限性。第三,采用制造业分行业大中型企业数据,运用三方方程标准化供给面系统估计方法,测算各制造业行业的要素替代弹性以及以 1999 年为基期的资本深化程度、技术进步偏向性指数、TFP 水平,并探讨上述指标随时间的变化趋势和行业异质性特征。第四,利用面板数据模型进行经验检验,在考虑 TFP 其他影响因素的基础上,量化测度资本深化、有偏技术进步对 TFP 的直接影响效应,资本深化与有偏技术进步对 TFP 的交互影响效应,以及资本深化对 TFP 的净影响效应。

三 影响机制分析与理论假说的提出

(一) 基于标准化 CES 生产函数的增长核算方法

1. 标准化 CES 生产函数与增长核算。为探究资本深化、有偏技术进步与 TFP 三者之间的关系,本文在标准化(或指数化)要素增强型 CES 生产函数中分析资本深化和有偏技术进步对 TFP 的交互影响机制^①。要素增强型 CES 生产函数的完整形式为:

$$Y_t = C[\pi(\Gamma_t^K K_t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\pi)(\Gamma_t^L L_t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (1)$$

其中,下标 t 为时间, Y_t 为实际产出, K_t 为资本投入, L_t 为劳动力投入, Γ_t^K 和 Γ_t^L 分别是资本和劳动的生产效率水平,通常称为资本增强型技术进步和劳动增强型技术进步; C 为广义技术进步参数; $\pi \in (0,1)$ 为资本分配参数,是资本产出弹性的一种推广; $\sigma \in [0, +\infty]$ 为要素替代弹性,假定其在样本期内保持不变。本文以资本和劳动相对投入关系及其变迁为出发点,将资本深化(浅化)界定为资本-劳动投入比例的

^① 李小平和李小克(2018)指出,基于非标准化 CES 生产函数的分解和测度结果会受到产出和要素投入的衡量单位的影响,产生“指数基准问题”(index number problem),而在标准化 CES 生产函数中进行分解和测算可以缓解这一问题(León-Ledesma 等,2010;Feder,2018a)。

持续上升(下降)过程,以反映资本投入增长速度快于(慢于)劳动力投入增长速度的趋势,并采用资本-劳动比(K_t/L_t)来衡量资本深化程度。

假定要素增强型技术进步呈指数增长形式,指数 $g_i(t, t_0)$ 为经 Box-Cox 转换后的可变形式,其具体形式在估计式(1)时代入以规避“Diamond-McFadden 不可能定理”。要素增强型技术进步可以表示为如下形式:

$$\Gamma_t^j = \Gamma_0^j e^{g_j(t, t_0)}; g_j(t, t_0) = \gamma_j \lambda_j^{-1} t_0 \left[\left(\frac{t}{t_0} \right)^{\lambda_j} - 1 \right]; j = K, L \quad (2)$$

式(2)中, $t = t_0$ 是标准化的基期,下文用下标 0 简化表示; γ_K 和 γ_L 分别为资本增强型技术进步和劳动增强型技术进步的增长速率; λ_K 和 λ_L 分别为资本-技术曲率和劳动-技术曲率,它们表征了 Γ_t^K 和 Γ_t^L 的增长趋势。由式(2)可知, $g_K(t, t_0) = \ln(\Gamma_t^K/\Gamma_0^K)$, 即 $g_K(t, t_0)$ 是 t 期资本增强型技术进步(Γ_t^K)相对于其基期水平(Γ_0^K)的对数值,其经济含义是, $g_K(t, t_0) > 0$ 表明资本生产效率相对于基期水平上升,反之反是。 $g_K(t, t_0)$ 越大,资本生产效率水平较基期水平越高。

式(1)中要素增强型 CES 生产函数的完整形式可以写成如下标准化形式:

$$Y_t = Y_0 \left[\pi \left(\frac{\Gamma_t^K K_t}{\Gamma_0^K K_0} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\pi) \left(\frac{\Gamma_t^L L_t}{\Gamma_0^L L_0} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (3)$$

式(3)中,资本分配参数 π 的表达式未知,通过标准化基准点的合理选择可以建立要素分配参数和要素收入份额之间的联系(León-Ledesma 等,2010),即在标准化基准点满足资本分配参数 π_0 等于资本收入份额 α_0 , 即 $\pi_0 = \alpha_0 = r_0 K_0 / (r_0 K_0 + w_0 L_0)$ 。

为计算 TFP,并分析资本深化和有偏技术进步影响 TFP 的作用机制,本文将标准化要素增强型 CES 生产函数取对数后,在 $\sigma = 1$ 处做二阶泰勒级数展开,将 TFP 的对数值表示成如下超越对数形式:

$$\begin{aligned} \ln TFP_t = y_t - \pi k_t - \frac{\pi(1-\pi)(\sigma-1)}{2\sigma} k_t^2 &= \frac{\pi(1-\pi)(\sigma-1)}{\sigma} [g_K(t, t_0) - g_L(t, t_0)] k_t \\ &+ \frac{\pi(1-\pi)(\sigma-1)}{2\sigma} [g_K(t, t_0) - g_L(t, t_0)]^2 + \pi g_K(t, t_0) + (1-\pi) g_L(t, t_0) \end{aligned} \quad (4)$$

其中, $\ln TFP_t = \ln TFP_t$, 即 $\ln TFP_t$ 是标准化 TFP 水平的对数值; $y_t = \ln\left(\frac{Y_t/Y_0}{L_t/L_0}\right)$; $k_t = \ln\left(\frac{K_t/K_0}{L_t/L_0}\right)$, 是资本劳动比相对于基期水平的对数值(下文简称标准化资本深化程度),其经济含义是: $k_t > 0$ 表明资本深化程度相较基期有所提高, k_t 值越大资本深化程度越高。 $g_K(t, t_0) = \ln(\Gamma_t^K/\Gamma_0^K)$, $g_L(t, t_0) = \ln(\Gamma_t^L/\Gamma_0^L)$, $g_K(t, t_0) -$

$g_L(t, t_0) = \ln\left(\frac{\Gamma_t^K/\Gamma_0^K}{\Gamma_t^L/\Gamma_0^L}\right) = \ln\left(\frac{\Gamma_t^K/\Gamma_t^L}{\Gamma_0^K/\Gamma_0^L}\right)$, $g_K(t, t_0) - g_L(t, t_0)$ 是资本与劳动的增强型技术进步水平之比 (Γ_t^K/Γ_t^L) 相对于基期水平 (Γ_0^K/Γ_0^L) 的对数值, 其经济含义是: $g_K(t, t_0) - g_L(t, t_0) > 0$ 表明资本与劳动的增强型技术进步水平之比相对于基期水平上升, 即资本-劳动相对生产效率水平相较基期水平上升; $g_K(t, t_0) - g_L(t, t_0)$ 值越大 (与基期相比的) 资本-劳动相对生产效率水平就越高。

2. 资本深化和有偏技术进步对 TFP 的交互影响机制。在式(1)中将实际产出分别对资本投入和劳动力投入求偏导, 整理可得资本-劳动边际技术替代率 $MRTS_t^{KL}$ (即资本-劳动相对边际产出), 可以表示为如下形式:

$$MRTS_t^{KL} = \frac{\partial Y_t / \partial K_t}{\partial Y_t / \partial L_t} = \frac{\pi}{1 - \pi} \left(\frac{\Gamma_t^K}{\Gamma_t^L} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \left(\frac{K_t}{L_t} \right)^{\frac{-1}{\sigma}} \quad (5)$$

由式(5)可知, 影响资本-劳动边际技术替代率 $MRTS_t^{KL}$ 方向和大小的因素有要素替代弹性 σ 、资本-劳动相对效率水平 (Γ_t^K/Γ_t^L)、资本深化程度 (K_t/L_t)。根据 Acemoglu (2002) 定性判断技术进步偏向性的方法, 在资本深化程度 (K_t/L_t) 不变的情况下, 当要素替代弹性大于 (小于) 1 时, 若 Γ_t^K/Γ_t^L 上升, 即资本-劳动相对生产效率水平增加, 则资本-劳动边际技术替代率 $MRTS_t^{KL}$ 提高 (降低)。此时, 资本 (劳动) 偏向型技术进步使得资本-劳动边际技术替代率上升 (下降), 从而削弱 (增强) 了资本-劳动边际技术替代率递减规律。此外, 资本-劳动相对生产效率水平 (Γ_t^K/Γ_t^L) 不变的情况下, 资本深化程度提高使得资本-劳动边际技术替代率下降。

技术进步偏向性的判断与要素替代弹性 σ 的数值大小以及要素生产效率水平的相对变化有关, 结合对式(5)的分析以及式(4)右端的第一项, 本文用(6)式定义标准化形式的技术进步偏向性指数 (Biased Technical Change Index, BTCl), 用来定量测度技术进步偏向性。

$$BTCl_i(t_0) = \frac{\sigma - 1}{\sigma} [g_K(t, t_0) - g_L(t, t_0)] = \frac{\sigma - 1}{\sigma} \ln\left(\frac{\Gamma_t^K/\Gamma_t^L}{\Gamma_0^K/\Gamma_0^L}\right) \quad (6)$$

式(6)所定义的标准化技术进步偏向性指数从本质上反映了技术进步对资本-劳动边际技术替代率的影响方向和影响程度。在资本深化程度 (K_t/L_t) 保持不变的情况下, 如果 $\sigma > 1$ 且 $g_K(t, t_0) - g_L(t, t_0) > 0$ 或者 $\sigma < 1$ 且 $g_K(t, t_0) - g_L(t, t_0) < 0$, 即标准化技术进步偏向性指数 $BTCl_i(t_0) > 0$ 时, 技术进步使资本-劳动边际技术替代率相较基期值增加。此时, 与基期相比技术进步偏向资本, 其经济含义是: 若资本和劳动之间是替代 (互补) 关系, 资本-劳动相对生产效率相较基期水平上升即 $\Gamma_t^K/\Gamma_t^L > \Gamma_0^K/\Gamma_0^L$

(下降即 $\Gamma_t^K/\Gamma_t^L < \Gamma_0^K/\Gamma_0^L$) 提高了相对于劳动边际产出的资本边际产出,使资本-劳动边际技术替代率 $MRTS_t^{KL}$ 相较基期值增加。简言之,若标准化技术进步偏向性指数 $BTCL_t(t_0) > 0$,则技术进步使资本-劳动边际技术替代率相较基期值增加,与基期相比技术进步偏向资本;若 $BTCL_t(t_0) < 0$,则技术进步使资本-劳动边际技术替代率相较基期值减小,与基期相比技术进步偏向劳动。

通过上述分析可知,资本-劳动边际技术替代率递减规律取决于资本深化与有偏技术进步的交互影响。其中,资本深化和劳动偏向型技术进步对资本-劳动边际技术替代率递减规律起到增强作用,而资本偏向型技术进步对资本-劳动边际技术替代率递减规律起到削弱作用。当资本深化程度在短时间内大幅提高时,资本偏向型技术进步可以在一定程度上削弱资本深化对资本-劳动边际技术替代率递减规律的增强效应。若资本偏向型技术进步对资本-劳动边际技术替代率递减规律的削弱效应弱于(强于)资本深化对资本-劳动边际技术替代率递减规律的增强效应,则表现为资本-劳动边际技术替代率递减(递增)。

资本深化、有偏技术进步对资本边际产出、劳动边际产出和资本-劳动边际技术替代率产生影响,因而资本深化和有偏技术进步也必然会对 TFP 产生影响(杨振兵等,2016)。那么,资本深化、有偏技术进步影响 TFP 的机制,是否跟两者对资本-劳动边际技术替代率的作用机制相类似?为进一步探究资本深化和有偏技术进步对 TFP 的影响机制,本文将式(4)对 k_t 求偏导,整理可得:

$$\frac{\partial tfp_t}{\partial k_t} = \pi(1 - \pi)(\sigma - 1)[g_k(t, t_0) - g_L(t, t_0)]/\sigma = \pi(1 - \pi)BTCL_t(t_0) \quad (7)$$

由式(4)和(7)可知,TFP 增长不仅取决于资本生产效率、劳动生产效率以及资本-劳动相对生产效率相较于基期水平的上升幅度,还受资本深化与有偏技术进步的交互影响。资本深化和有偏技术进步对 TFP 交互影响效应的正负性,取决于资本深化程度和技术进步偏向性的匹配程度。当资本深化程度持续提高时,若标准化技术进步偏向性指数 $BTCL_t(t_0)$ 大于0,即与基期相比技术进步偏向资本,则资本深化程度与技术进步偏向性相匹配,资本深化和有偏技术进步对 TFP 的交互影响效应为正。此时,资本深化程度越高且标准化技术进步偏向性指数的值越大,交互影响效应越大。当资本深化程度持续提高时,若与基期相比技术进步偏向劳动,则资本深化程度与技术进步偏向性不匹配,资本深化和有偏技术进步对 TFP 的交互影响效应为负。

为探讨资本深化程度、技术进步偏向性及二者对 TFP 的交互影响效应随时间的变化趋势和行业异质性特征,本文提出待检验的理论假说1和假说2。其中,假说1

侧重分析各指标的时间变化趋势,而假说2侧重分析各指标的行业异质性特征。

假说1:与基期相比,资本深化程度持续提高且技术进步偏向资本时,资本深化程度和技术进步偏向性相匹配,资本深化和有偏技术进步对TFP的交互影响效应为正。

假说2:资本深化程度、技术进步偏向性及二者对TFP的交互影响效应在行业间具有异质性。资本密集型行业的资本深化程度上升较快,技术进步偏向资本的程度较高,资本深化和有偏技术进步对TFP的交互影响效应较大。

(二)以增长核算为基础的计量回归模型

在上文基于标准化CES生产函数的增长核算框架中,TFP是资本深化程度、技术进步偏向性、资本-劳动相对生产率的函数。为克服增长核算方法未考虑其他影响因素的局限性,本文将增长核算框架与计量回归方法相结合,建立以标准化CES生产函数增长核算为基础的计量回归模型,探讨资本深化和有偏技术进步对TFP的交互影响机制。基于此,本文从式(4)和(7)出发,建立如下计量回归模型:

$$tfp_{it} = \beta_0 + \beta_1 k_{it} + \beta_2 BTCl_{it} + \beta_3 k_{it} \times BTCl_{it} + \lambda' Z_{it} + \mu_{it} \quad (8)$$

在上式中, tfp_{it} 为行业*i*在*t*年标准化TFP的对数值, k_{it} 为标准化资本深化程度,度量行业*i*在*t*年与基期相比的资本深化程度, $BTCl_{it}$ 为标准化技术进步偏向性指数,度量行业*i*在*t*年与基期相比的技术进步偏向性, μ_{it} 为随机误差项。 Z_{it} 为一系列控制变量,包括研发投入(*RD*)、国外先进技术溢出水平(*FDI*)、行业规模(*Size*)、国有企业占比(*State*)、盈利水平(*Profit*)。系数 β_1 和系数 β_2 分别度量资本深化和有偏技术进步对TFP的直接影响效应;系数 β_3 是本文最关心的系数,衡量资本深化与有偏技术进步对TFP的交互影响效应。为度量资本深化对TFP的净影响效应,可以基于式(8)计算资本深化对TFP的边际效应(或偏效应):

$$\partial tfp_{it} / \partial k_{it} = \beta_1 + \beta_3 BTCl_{it} \quad (9)$$

现有文献针对“资本深化是提高还是降低了TFP”“资本深化是促进还是抑制了劳动生产率、资本生产率增长”等问题存在争论。以吴敬琏(2006)、陈勇和李小平(2006)等为代表的一些学者认为,过早的资本深化除了会在资本边际报酬递减规律的作用下引发要素驱动型经济增长趋缓,还会使投资收益率恶化,造成整体经济效率下降,透支经济增长的潜力。以厉以宁(2004)、黄茂兴和李军军(2009)、毛丰付和潘加顺(2012)等为代表的一些学者则认为,资本深化是工业化的必经阶段,资本深化可以促进产业结构升级,提升劳动生产率,实现经济快速增长。在资本深化程度和技术进步偏向性对TFP的影响方面,董直庆和陈锐(2014)、袁礼和欧阳晓(2018)、李小平和李小克(2018)等基于CES生产函数增长核算的检验发现,资本深化程度与技术进

步偏向匹配性的逐渐改善有利于提高 TFP 增长率。基于资本深化程度大幅提高的典型化特征事实和上述分析,本文预期式(8)中 β_1 的符号显著为负, β_2 和 β_3 的符号显著为正,并提出待检验的理论假说3。

假说3:在控制 TFP 其他影响因素的条件下,现阶段资本深化程度提高对 TFP 的直接影响效应为负,资本偏向型技术进步对 TFP 的直接影响效应为正,资本深化与资本偏向型技术进步对 TFP 的交互影响效应为正,资本深化程度提高对 TFP 的净影响效应为负。

四 参数估计方法、变量选取与数据说明

(一) 标准化供给面系统方法

本文借鉴 Jiang 和 León-Ledesma(2018)的方法,基于标准化要素增强型 CES 生产函数式(3)建立如下三方方程标准化供给面系统:

$$\ln \frac{Y_t}{\bar{Y}} = \ln \xi + \frac{\sigma}{\sigma-1} \ln \left[\begin{aligned} & \pi \left(\frac{K_t}{\bar{K}} \exp \left\{ \frac{\gamma_K}{\lambda_K} \bar{t} \left[\left(\frac{t}{\bar{t}} \right)^{\lambda_K} - 1 \right] \right\} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \\ & + (1-\pi) \left(\frac{L_t}{\bar{L}} \exp \left\{ \frac{\gamma_L}{\lambda_L} \bar{t} \left[\left(\frac{t}{\bar{t}} \right)^{\lambda_L} - 1 \right] \right\} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \end{aligned} \right] \quad (10)$$

$$\ln S_t^K = \ln \pi + \frac{\sigma-1}{\sigma} \ln \xi - \frac{\sigma-1}{\sigma} \ln \left[\frac{Y_t/\bar{Y}}{K_t/\bar{K}} \right] + \frac{\sigma-1}{\sigma} \left\{ \frac{\gamma_K}{\lambda_K} \bar{t} \left[\left(\frac{t}{\bar{t}} \right)^{\lambda_K} - 1 \right] \right\} \quad (11)$$

$$\ln S_t^L = \ln(1-\pi) + \frac{\sigma-1}{\sigma} \ln \xi - \frac{\sigma-1}{\sigma} \ln \left[\frac{Y_t/\bar{Y}}{L_t/\bar{L}} \right] + \frac{\sigma-1}{\sigma} \left\{ \frac{\gamma_L}{\lambda_L} \bar{t} \left[\left(\frac{t}{\bar{t}} \right)^{\lambda_L} - 1 \right] \right\} \quad (12)$$

上式中, \bar{Y} 、 \bar{K} 和 \bar{L} 为各变量的几何平均值, \bar{t} 为时间 t 的算术平均值, ξ 为规模因子, S_t^K 为资本收入份额, S_t^L 为劳动收入份额。将采用标准化供给面系统方法估计得到的要素替代弹性 σ 和资本分配参数 π ,代入式(13)可得各期的资本生产效率水平 Γ_t^K 和劳动生产效率水平 Γ_t^L ,进一步代入式(5)可以得到标准化技术进步偏向性指数。

$$\Gamma_t^K = \frac{Y_t}{K_t} \left(\frac{r_t K_t}{\pi(r_t K_t + w_t L_t)} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}, \Gamma_t^L = \frac{Y_t}{L_t} \left(\frac{w_t L_t}{(1-\pi)(r_t K_t + w_t L_t)} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (13)$$

(二) 变量选取和数据说明

下文以1999年为基期,利用制造业分行业大中型企业数据对上述理论假说进行检验。原始数据来自历年《中国统计年鉴》《中国工业经济统计年鉴》(2013年及以后更名为《中国工业统计年鉴》)《中国劳动统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《工业企业

科技活动统计年鉴》《中国投入产出表》、国家统计局网站、EPS 数据库、CCER 数据库等。为保持数据统计口径的连续性,本文将 2012 年之前的橡胶制品业与塑料制品业合并为橡胶和塑料制品业,将 2012 年之后的汽车制造业,铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业合并为交通运输设备制造业,并删除其他制造业、废弃资源综合利用业以及金属制品、机械和设备修理业,最终得到 27 个二位码制造业行业,下面对主要数据进行说明。

1. 工业增加值。由于数据缺失,需要用工业总产值、工业销售产值和工业增加值率数据对 2004 年和 2008–2016 年的名义工业增加值进行估算。首先,假定 2012 年之后工业总产值与工业销售产值的增长率相同,用 2011 年的工业总产值和 2012–2016 年的工业销售产值增长率估算 2012–2016 年的工业总产值;其次,1999–2007 年(除 2004 年)的工业增加值率变化较小,故采用 1999–2007 年(除 2004 年)的平均工业增加值率估算 2008–2016 年的工业增加值率,并用 2003 和 2005 年的平均工业增加值率估算 2004 年的工业增加值率;最后,由工业总产值与工业增加值率的乘积补齐缺失年份的名义工业增加值。名义工业增加值用分行业工业生产者出厂价格指数(1999 年 = 100)进行平减。

2. 劳动力投入和工资水平。劳动力投入以全部从业人员年平均人数表示,2012 年的数据缺失,用相邻两年的均值替代;用 1999–2008 年城镇单位分行业平均劳动报酬表示工资水平,2009–2016 年采用城镇单位分行业平均工资表示。

3. 资本投入。用经固定资产投资价格指数(1999 年 = 100)平减后的固定资产净值年平均余额来衡量各行业的资本投入水平。1999–2007 年的固定资产净值年平均余额来自《中国工业经济统计年鉴》,2008–2016 年的固定资产净值年平均余额由相邻两年年末固定资产净值取平均值得到。

4. 劳动和资本收入份额。劳动力投入与工资水平的乘积为名义工资总额,名义工资总额并未包含劳动力的非工资性补偿,会低估名义劳动者报酬。本文假设工资总额与非工资性补偿之间存在固定比例,对各行业的名义工资总额按照比例进行调整以估算名义劳动者报酬,使得调整后各行业 2007 和 2012 年名义劳动者报酬占名义工业增加值的平均比重与《中国投入产出表》中劳动者报酬占增加值的平均比重相同。名义劳动者报酬用居民消费价格指数(1999 年 = 100)进行平减,实际资本收入为实际工业增加值减去实际劳动者报酬,劳动收入份额和资本收入份额分别采用实际劳动者报酬和实际资本收入占实际工业增加值的比重计算得到。

5. 控制变量。研发投入(RD)用不变价研究与试验发展经费支出的对数值表示。

在《中国科技统计年鉴》中,2000年报告了技术开发经费内部支出总额,2001和2002年报告了科技活动经费支出总额,利用2003年科技活动经费支出总额与R&D经费支出的比例关系,近似估算2000-2002年的R&D经费支出,2003-2010年的R&D经费支出来自国家统计局网站,2011-2015年的R&D经费支出通过将《工业企业科技活动统计年鉴》中分行业大型企业R&D经费支出与中型企业R&D经费支出合并得到。根据朱平芳和徐伟民(2003)的方法得到研发支出价格指数,利用研发支出价格指数(1999年=100)对R&D经费支出数据进行平减得到其实际值。对于国外先进技术溢出水平(*FDI*),用港澳台资本与外商资本之和的对数值表示(采用1999年=100的固定资产投资价格指数平减),行业规模(*Size*)用资产总数与企业数的比值表示,国有企业占比(*State*)用国有资本与实收资本的比重表示,盈利水平(*Profit*)用营业利润与主营业务收入之比表示。

五 计量结果分析

(一)参数估计和指标测度结果分析

1. 要素替代弹性的估计结果分析。本文采用可行广义非线性最小二乘法(FGNLS)对各制造业行业的标准化供给面系统进行估计,FGNLS是一种非线性估计方法,对初始值的选取较为敏感,本文在一个最小值为0.2、最大值为6、公差为0.1的等差数列中从小到大依次取值作为要素替代弹性 σ 这一关键参数的初始值,并借鉴陈晓玲和连玉君(2013)、Jiang等(2019)的做法,选取残差-协方差矩阵行列式最小处的估计结果作为全局最优估计结果,从而得到各制造业行业要素替代弹性 σ 和资本分配参数 π 的估计值。资本-劳动替代弹性度量了资本-劳动相对价格变化对要素使用比例的影响,27个二位码制造业行业要素替代弹性的估计结果按从大到小的顺序呈现于表1中。

行业间资本-劳动替代弹性存在明显的异质性,估计值介于0.836-5.311之间,在27个制造业行业中资本-劳动替代弹性大于1的有19个。其中,纺织业、橡胶和塑料制品业、造纸和纸制品业的资本-劳动替代弹性较高,分别为5.311、3.639和3.225。这些行业2012年以来名义工资水平显著提高,劳动力投入大幅下降但资本投入却稳步上升,较高的资本-劳动替代弹性说明这些行业的劳动者技能水平较低,面对劳动价格相对资本价格上升的情况,容易采用资本来替代劳动。本文对资本-劳动替代弹性的估计很好地捕捉到了这些行业的资本-劳动相对投入变化特征。

表 1 27 个二位码制造业行业要素替代弹性的估计结果

行业代码	要素替代弹性	行业代码	要素替代弹性	行业代码	要素替代弹性
17	5.311***	24	1.685***	14	1.008***
29	3.639***	20	1.583***	40	0.983***
22	3.225***	15	1.525***	28	0.968***
30	2.789***	23	1.432***	34	0.957***
32	2.617***	16	1.173***	35	0.955***
25	2.453***	13	1.038***	26	0.948***
37	2.070***	19	1.034***	31	0.877***
39	1.949***	18	1.030***	33	0.836***
27	1.824***	21	1.030***	38	0.836***

说明：“***”、“**”和“*”分别表示显著性水平为 1%、5% 和 10%。行业代码所对应的行业名称如下：农副食品加工业(13)；食品制造业(14)；酒、饮料和精制茶制造业(15)；烟草制品业(16)；纺织业(17)；纺织服装、服饰业(18)；皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业(19)；木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业(20)；家具制造业(21)；造纸和纸制品业(22)；印刷和记录媒介复制业(23)；文教、工美、体育和娱乐用品制造业(24)；石油加工、炼焦和核燃料加工业(25)；化学原料和化学制品制造业(26)；医药制造业(27)；化学纤维制造业(28)；橡胶和塑料制品业(29)；非金属矿物制品业(30)；黑色金属冶炼和压延加工业(31)；有色金属冶炼和压延加工业(32)；金属制品业(33)；通用设备制造业(34)；专用设备制造业(35)；交通运输设备制造业(37)；电气机械和器材制造业(38)；计算机、通信和其他电子设备制造业(39)；仪器仪表制造业(40)。

2. 各指标的变化趋势。将要素替代弹性 σ 和资本分配参数 π 代入式(13), 计算各期的资本生产效率水平和劳动生产效率水平, 并采用式(4)和(6)计算 2000-2016 年各制造业行业的标准化技术进步偏向性指数、标准化 TFP 水平的对数值、资本深化程度与技术进步偏向性的交互影响效应等指标。各年度标准化资本深化程度、标准化技术进步偏向性指数和标准化 TFP 对数值的简单算术平均值, 分别用 $mean(k)$ 、 $mean(BTCI)$ 和 $mean(tfp)$ 表示, 以实际工业增加值为权重的制造业整体标准化 TFP 对数值, 用 $mean(tfp_weighted)$ 表示, 各指标的变化趋势见图 1。

从图 1 可知, 2000-2016 年标准化资本深化程度和标准化技术进步偏向性指数均大于 0, 说明与基期相比, 资本深化程度提高且技术进步偏向资本。从时间趋势看, 资本深化程度除个别年份略有下降之外, 整体

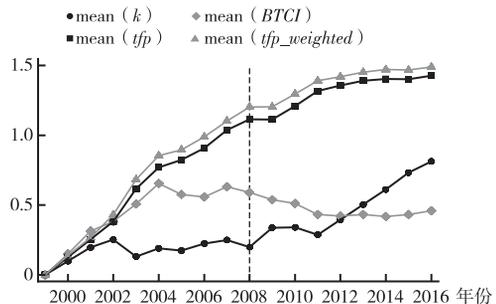


图 1 2000-2016 年制造业整体各指标的变化

呈现明显的上升趋势,特别是2009年以来资本深化程度大幅提高,27个制造业行业的平均资本劳动比从1999年的9.86万元/人上升至2008年的13.43万元/人,并进一步迅速增长至2016年的25.02万元/人。与此同时,标准化技术进步偏向性指数的行业均值在2000-2004年持续上升,2008年之后呈下降趋势,表明2008年以来制造业整体技术进步偏向资本的程度有所降低。本文采用两种方式衡量分年度制造业整体TFP水平,一种是简单算术平均,另一种是以实际工业增加值为权重进行加权平均。从图1可以看出,与基期相比,2000-2008年特别是2001-2004年中国制造业整体TFP持续快速增长,但自2009年以来制造业整体TFP增长乏力。

与基期相比,资本深化程度整体呈现上升趋势且技术进步偏向资本,即资本深化程度和技术进步偏向性相匹配。那么,资本深化和有偏技术进步对TFP的交互影响效应随时间变化的趋势如何?交互影响效应能在多大程度上推动制造业行业TFP增长?图2展现了资本深化和有偏技术进步的交互影响效应、交互影响效应占标准化TFP对数值的比重随时间变化的趋势。



图2 2000-2016年交互影响效应及其贡献

从图2可以看出,对制造业行业整体而言,2000-2016年资本深化和有偏技术进步对TFP的交互影响效应为正,且呈现明显的上升趋势。2000-2016年资本深化和有偏技术进步的交互影响效应对标准化TFP对数值的贡献介于3.66%-9.67%之间,平均贡献为5.28%。其中,交互影响效应的贡献在2012年探底,此后逐年增加。

基于以上分析,理论假说1得到了验证,资本深化程度整体呈现上升趋势且技术进步偏向资本,资本深化程度和技术进步偏向性相匹配,2000-2016年资本深化和有偏技术进步对制造业行业TFP的交互影响效应为正,且呈现明显的上升趋势。

3. 各指标的行业异质性。1999-2016年27个制造业行业的资本劳动比均值为15.35万元/人。其中,石油加工、炼焦和核燃料加工业(25)、黑色金属冶炼和压延加工业(31)、烟草制品业(16)、化学纤维制造业(28)、有色金属冶炼和压延加工业(32)、化学原料和化学制品制造业(26)、造纸和纸制品业(22)、非金属矿物制品业(30)这8个行业资本劳动比的均值高于15.35万元/人,本文将这8个行业划分为资本密集型制造业行业,其他19个行业划分为劳动密集型行业,以探讨标准化资本深化程度、标准化技术进步偏向性指数和标准化TFP对数值等指标在两类行业之间的差别。

表2列出了各制造业行业标准化资本深化程度、标准化技术进步偏向性指数、标准化TFP对数值、资本深化与有偏技术进步的交互影响效应、交互影响效应占标准化TFP对数值的比重、各行业增加值占比,以上指标均取2000-2016年的均值。

表2 各指标2000-2016年均值的行业异质性

行业代码	mean(<i>k</i>)	mean(<i>BTCI</i>)	mean(<i>tfp</i>)	交互影响效应	交互影响效应占比(%)	工业增加值占比(%)
39	0.013	0.391	1.029	0.000	0.26	17.98
37	0.541	1.020	1.270	0.133	9.63	11.70
31	0.760	1.619	1.146	0.344	25.86	9.04
38	0.131	0.352	1.006	0.010	1.13	6.89
26	0.804	1.059	1.018	0.211	18.93	5.98
16	0.283	-0.063	0.988	-0.003	0.39	4.87
34	0.543	1.294	1.308	0.180	12.64	4.25
17	0.462	0.413	0.995	0.041	4.21	3.93
30	0.652	0.760	1.029	0.118	11.28	3.73
27	0.505	0.405	0.901	0.042	4.64	3.40
35	0.656	1.184	1.230	0.214	15.08	2.93
13	0.224	0.390	0.998	0.006	0.90	2.79
32	0.750	1.439	1.019	0.299	25.34	2.78
15	0.239	0.144	0.872	0.005	0.75	2.62
29	0.269	0.142	0.888	0.004	1.30	2.25
25	0.553	-0.785	0.333	-0.129	-23.41	2.21
14	0.223	0.370	1.023	0.011	1.40	1.95
33	0.250	0.478	1.041	0.028	2.97	1.93
18	0.000	-0.068	0.787	-0.003	-0.26	1.77
22	1.037	0.417	0.780	0.095	18.95	1.61
40	0.313	0.907	1.239	0.060	4.76	1.14
19	-0.248	-0.045	0.866	0.002	-0.02	1.14
28	0.268	0.471	0.818	0.037	3.94	0.89
24	0.003	0.017	0.740	0.009	1.18	0.66
23	0.196	0.045	0.855	0.002	0.88	0.63
20	-0.114	0.340	1.180	-0.011	-0.13	0.47
21	-0.208	0.014	1.094	-0.001	-0.13	0.46

说明:本表按行业实际工业增加值占比从大到小排列,表中粗体为资本密集型制造业行业。

由表2可知,造纸和纸制品业(22)、化学原料和化学制品制造业(26)、黑色金属冶炼和压延加工业(31)等资本密集型行业的标准化资本深化程度较高,表明与基期相比,资本密集型行业的资本深化程度上升较快。皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业(19)、木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业(20)、家具制造业(21)的标准化资本深化程

度为负,说明这3个劳动密集型行业的资本深化程度在2000-2016年间相较基期有所下降。从技术进步偏向性角度看,烟草制品业(16)、纺织服装、服饰业(18)、皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业(19)、石油加工、炼焦和核燃料加工业(25)等4个行业的标准化技术进步偏向性指数在2000-2016年的均值为负,即这些行业与基期相比技术进步偏向劳动的年份较多。对于除烟草制品业(16)以及石油加工、炼焦和核燃料加工业(25)之外的资本密集型行业,标准化技术进步偏向性指数在2000-2016年的均值为正且数值较大,说明与基期相比技术进步偏向资本的程度较高。

平均而言,样本期内各行业TFP相较基期均有所提高,但行业之间的TFP增长幅度呈现明显的异质性特征。通用设备制造业(34)、交通运输设备制造业(37)、仪器仪表制造业(40)、专用设备制造业(35)的TFP在样本期增长较快,这些行业均属于装备制造业,除交通运输设备制造业(37)之外的3个行业属于高技术产业。这4个行业的工业增加值在27个制造业行业中所占的比重达到20.02%,对于制造业整体TFP的提高起到了重要作用。就资本深化和有偏技术进步对制造业行业TFP的交互影响效应而言,木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业(20)、石油加工、炼焦和核燃料加工业(25)等5个行业的交互影响效应在2000-2016年的均值为负,即资本深化程度与技术进步偏向性不匹配,从而阻碍了行业TFP的提高。对于烟草制品业(16)、石油加工、炼焦和核燃料加工业(25)、化学纤维制造业(28)之外的5个资本密集型行业,资本深化和有偏技术进步的交互影响效应较大,并且交互影响效应对标准化TFP对数值的平均贡献在10%以上,更好地发挥资本深化与资本偏向型技术进步的匹配作用,对于提高制造业行业的TFP水平具有较为重要的作用。

通过上述分析可知,除烟草制品业(16)、石油加工、炼焦和核燃料加工业(25)之外的资本密集型行业,在2000-2016年资本深化程度上升较快且相较基期技术进步偏向资本的程度较高,资本深化和有偏技术进步对TFP的交互影响效应较大,并且交互影响效应对标准化TFP对数值的平均贡献较大。因此,理论假说2得到验证。

(二) 计量回归结果分析

本文进一步利用以标准化CES生产函数增长核算框架为基础的面板数据模型进行经验检验。因为行业层面的TFP并非企业TFP的水平加总,所以在行业层面上不存在生产决策问题,即不需要考虑行业TFP对行业要素投入的影响(鲁晓东和连玉君,2012)。因此,可以用普通最小二乘法(OLS)和固定效应(FE)方法对计量回归模型(8)式进行估计。为避免遗漏变量所导致的内生性问题,本文将被解释变量的滞后1期引入计量模型,并采用系统GMM(SYS-GMM)方法进行估计。系统GMM估计的

过度识别检验和序列相关检验表明可以在 5% 的显著性水平上接受“所有工具变量都有效”和“扰动项无自相关”的原假设,说明系统 GMM 估计是适用的。本文分别采用普通最小二乘法、固定效应和系统 GMM 三种方法对全样本(2000–2015 年)、子样本 1(2000–2008 年)和子样本 2(2009–2015 年)进行估计,回归结果见表 3。在下面的分析中主要采用表 3 第(3)(6)和(9)列的回归结果。

表 3 计量回归模型的全样本和子样本估计结果

解释变量	2000–2015 年			2000–2008 年			2009–2015 年		
	(1) OLS	(2) FE	(3) SYS-GMM	(4) OLS	(5) FE	(6) SYS-GMM	(7) OLS	(8) FE	(9) SYS-GMM
$L_t tfp$			0.523*** (0.067)			0.379*** (0.038)			0.634*** (0.049)
k	-0.047 (0.047)	-0.140*** (0.047)	-0.218*** (0.035)	-0.334*** (0.068)	-0.110 (0.067)	-0.244*** (0.046)	-0.070 (0.043)	-0.335*** (0.067)	-0.242*** (0.027)
$BTCL$	0.132*** (0.035)	0.377*** (0.031)	0.213*** (0.014)	0.467*** (0.056)	0.499*** (0.049)	0.295*** (0.016)	0.216*** (0.046)	0.242*** (0.053)	0.338*** (0.013)
$k \times BTCL$	0.122** (0.049)	-0.078** (0.032)	0.119*** (0.034)	-0.028 (0.099)	-0.319*** (0.080)	-0.006 (0.056)	0.035 (0.047)	0.122*** (0.030)	0.037* (0.020)
RD	0.197*** (0.018)	0.317*** (0.018)	0.152*** (0.022)	0.078*** (0.018)	0.237*** (0.026)	0.094*** (0.013)	0.154*** (0.027)	0.372*** (0.028)	0.127*** (0.028)
FDI	-0.137*** (0.027)	0.019 (0.025)	-0.046*** (0.017)	-0.043* (0.026)	0.095*** (0.030)	0.048*** (0.015)	-0.165*** (0.033)	0.078 (0.051)	-0.031 (0.022)
$Size$	0.000 (0.002)	0.004*** (0.001)	0.006*** (0.002)	0.014*** (0.004)	0.000 (0.004)	0.010*** (0.003)	-0.007*** (0.003)	0.008*** (0.001)	0.002 (0.001)
$State$	-1.657*** (0.107)	-0.664*** (0.089)	-0.167 (0.204)	-1.159*** (0.120)	-0.668*** (0.123)	-0.289*** (0.096)	-0.914*** (0.200)	-0.389* (0.200)	-0.012 (0.080)
$Profit$	3.261*** (0.456)	2.462*** (0.411)	1.246*** (0.432)	3.213*** (0.666)	2.997*** (0.560)	3.394*** (0.595)	0.558 (0.548)	0.050 (0.581)	1.007** (0.442)
常数项	-0.773*** (0.104)	-3.127*** (0.141)	-1.325*** (0.178)	-0.180 (0.110)	-2.596*** (0.229)	-1.152*** (0.118)	0.256 (0.222)	-4.113*** (0.411)	-1.166*** (0.299)
观测值	431	431	405	242	242	216	189	189	162
R^2	0.771	0.954		0.786	0.964		0.650	0.954	
Sargan 检验			25.353 [1.000]			20.009 [0.973]			24.300 [0.185]
AR(2) 检验			-1.736 [0.083]			0.225 [0.822]			1.820 [0.069]

说明:***、**、* 分别表示显著性水平为 1%、5% 和 10%;小括号内的值为稳健标准误,中括号内为 p 值。

标准化资本深化程度(k)的回归系数在全样本和两个子样本中均显著为负,即资本深化对制造业行业 TFP 的直接影响效应为负,表明在不考虑有偏技术进步调节作

用的条件下,资本深化对 TFP 的提升具有明显的拖累作用。标准化技术进步偏向性指数(*BTCI*)的回归系数显著为正,即在不考虑资本深化调节作用的条件下,与基期相比技术进步偏向资本显著促进了制造业行业 TFP 的提高。对于标准化资本深化程度与标准化技术进步偏向性指数交互项($k \times BTCI$)的回归系数,在全样本(2000–2015年)和子样本 2(2009–2015年)中显著为正,说明资本偏向型技术进步弱化了资本深化对制造业行业 TFP 的抑制作用,即资本深化对 TFP 的作用受到有偏技术进步的调节,但在子样本 1(2000–2008年)中交互项的回归系数不显著为负。

为度量资本深化对制造业行业 TFP 的净影响效应,本文基于式(9)在标准化技术进步偏向性指数的平均值处,计算资本深化对 TFP 的边际效应。2000–2015年、2000–2008年、2009–2015年标准化技术进步偏向性指数的均值分别为 0.472、0.485、0.455,与基期相比技术进步均偏向资本。在标准化技术进步偏向性指数的均值处,标准化资本深化程度(k)对标准化 TFP 水平对数值(tfp)的边际效应分别是 -0.162 (即 $-0.218 + 0.119 \times 0.472$)、 -0.244 (即 $-0.244 + 0 \times 0.485$)、 -0.225 (即 $-0.242 + 0.037 \times 0.455$),与基期相比资本深化程度提高 1% 使制造业行业 TFP 降低 0.162%、0.244% 和 0.225%。因此,理论假说 3 得到验证。

样本期内资本深化拖累制造业 TFP 增长的原因可能是:2000–2015年制造业整体的资本深化程度呈现明显的上升趋势,导致部分制造业行业可能出现较为严重的过度投资,在资本边际报酬递减规律的作用下,引发制造业产出增长趋缓并使得投资收益率恶化,从而拖累制造业 TFP 增长。虽然 2009–2015年资本偏向型技术进步削弱了资本深化对制造业行业 TFP 的不利影响,即资本深化程度与技术进步偏向性相匹配有利于 TFP 增长,但是综合来看资本深化程度的大幅提高对制造业行业 TFP 产生了显著的不利影响。

从表 3 中还可以看出其他控制变量的影响。前一期的制造业行业 TFP($L.tfp$)对当期的制造业行业 TFP 有显著促进作用,反映了制造业行业 TFP 增长具有一定的惯性特征;研发投入(RD)会推动技术进步进而提高 TFP。国外先进技术溢出水平(FDI)在 2000–2008 年对制造业行业 TFP 具有明显的推动作用,在 2009–2015 年却表现出不显著的抑制作用,而在全样本中国外先进技术溢出对中国制造业行业 TFP 提高具有明显的抑制作用,原因可能是 FDI 对东道国企业创新或 TFP 的影响同时存在溢出效应和挤出效应(覃毅和张世贤,2011)。制造业的行业规模($Size$)越大、盈利水平($Profit$)越高,其增加研发投入和改进生产技术水平的能力越强。在全样本和两个子样本中,行业盈利水平与制造业行业 TFP 之间均具有显著的正相关关系;而 2009 年

以后行业规模与制造业行业 TFP 之间的正向关系并不显著。原因可能是,部分规模较大的行业存在较为严重的产能过剩,生产经营面临困难,从而未能发挥其行业规模优势以提升 TFP。2000–2008 年国有企业占比(*State*)越高的制造业行业,其 TFP 水平越低,但 2009–2015 年和全样本中此负向影响并不显著。

六 研究结论与政策建议

本文基于标准化 CES 生产函数的增长核算方法,将标准化 TFP 水平的对数值分解成包含标准化资本深化程度和标准化技术进步偏向性指数的函数,从理论上阐述了资本深化和有偏技术进步对 TFP 增长的交互影响机制,并利用 1999–2016 年中国制造业分行业大中型企业数据进行检验。研究发现:(1)TFP 增长受资本深化与有偏技术进步的交互影响,资本深化和有偏技术进步对 TFP 交互影响效应的正负性,取决于资本深化程度和技术进步偏向性的匹配程度,与资本深化程度持续提高相匹配的是与基期相比技术进步偏向资本。(2)基于标准化 CES 生产函数增长核算的测算表明,与基期相比,制造业整体资本深化程度呈现上升趋势且技术进步偏向资本,此时资本深化程度和技术进步偏向性相匹配,因此 2000–2016 年资本深化和有偏技术进步对制造业 TFP 的交互影响效应为正,且呈现明显的上升趋势;但资本深化程度、技术进步偏向性及二者对 TFP 的交互影响效应在行业间具有明显的异质性特征。资本密集型行业的资本深化程度上升较快且相较基期技术进步偏向资本的程度较高,资本深化和有偏技术进步对 TFP 的交互影响效应较大。(3)面板数据模型的回归结果表明,在控制其他影响因素的条件下,资本深化对制造业行业 TFP 的直接影响效应为负,而资本偏向型技术进步有助于削弱资本深化对制造业行业 TFP 的不利影响;从净影响的角度看,资本深化程度的大幅提高整体上拖累了制造业行业 TFP 的增长。(4)增长核算方法和计量回归模型的结果都表明,虽然资本深化程度与技术进步偏向性的交互影响效应提高有利于制造业行业 TFP 增长,但是不能忽视经济刺激计划下大幅提高的资本深化程度对 TFP 增长的抑制作用。

本文的研究结论对于提高制造业 TFP,推动中国制造业乃至中国经济高质量发展具有深刻的政策含义:(1)要素投入与技术进步的耦合发展和相互影响意味着要素投入结构和技术进步偏向性并非单独影响 TFP,而是会对 TFP 产生交互影响。对于某一产业部门或企业来说,由于其要素投入结构和技术进步偏向性均具有较大的调整空间,需要综合协调实现要素投入结构与技术进步偏向性相匹配。(2)及时调整资本-

劳动相对投入关系。一方面,资本深化是工业化的必然阶段,适度的资本深化对于提高 TFP 提高有促进作用;另一方面,“不差钱式”的投资冲动和“大水漫灌式”的盲目投资容易引发资本对劳动的过度替代,人工智能和自动化科技的迅猛发展也显著增加了资本替代非技能劳动力的可能性,中国需要警惕资本深化程度的过早和过快提高,避免“过早资本深化”恶化劳资关系,损害整体经济效率,透支中国经济高质量发展潜力。(3)适时调整有偏技术进步的方向和偏向程度。需要根据资本深化程度和资本-劳动替代弹性的行业异质性,通过以新机器设备等为载体的耦合于要素投入的技术进步和以研发投入等方式取得的未耦合于要素投入的技术进步,适时调整有偏技术进步的方向和偏向程度,以最大化发挥资本深化和有偏技术进步对 TFP 的交互影响作用。具体而言,在资本深化程度不断提高的情况下,对于资本与劳动具有替代关系的行业,提高资本-劳动相对生产效率水平,即充分发挥与资本投入相耦合技术进步以及研发投入的作用,提高资本投入质量和资本生产效率水平;对于资本与劳动具有互补关系的行业,提高劳动-资本相对生产效率水平,即充分发挥与劳动投入相耦合技术进步以及研发投入的作用,提高劳动投入质量和劳动生产率水平。

参考文献:

- 陈登科、陈诗一(2018):《资本劳动相对价格、替代弹性与劳动收入份额》,《世界经济》第12期。
- 陈晓玲、连玉君(2013):《资本-劳动替代弹性与地区经济增长——德拉格兰德维尔假说的检验》,《经济学(季刊)》第1期。
- 陈勇、李小平(2006):《中国工业行业的面板数据构造及资本深化评估:1985~2003》,《数量经济技术经济研究》第10期。
- 董直庆、陈锐(2014):《技术进步偏向性变动对全要素生产率增长的影响》,《管理学报》第8期。
- 封永刚、蒋雨彤、彭珏(2017):《中国经济增长动力分解:有偏技术进步与要素投入增长》,《数量经济技术经济研究》第9期。
- 黄茂兴、李军军(2009):《技术选择、产业结构升级与经济增长》,《经济研究》第7期。
- 孔宪丽、米美玲、高铁梅(2015):《技术进步适宜性与创新驱动工业结构调整——基于技术进步偏向性视角的实证研究》,《中国工业经济》第11期。
- 李静、池金、吴华清(2018):《基于水资源的工业绿色偏向型技术进步测度与分析》,《中国人口、资源与环境》第10期。
- 李小平、李小克(2018):《偏向性技术进步与中国工业全要素生产率增长》,《经济研究》第10期。
- 厉以宁(2004):《我国能不能绕开重化工阶段》,《经济日报》2004年12月27日。
- 林毅夫、张鹏飞(2006):《适宜技术、技术选择和发展中国的经济增长》,《经济学(季刊)》第3期。
- 鲁晓东、连玉君(2012):《中国工业企业全要素生产率估计:1999~2007》,《经济学(季刊)》第2期。
- 陆菁、刘毅群(2016):《要素替代弹性、资本扩张与中国工业行业要素报酬份额变动》,《世界经济》第3期。

毛丰付、潘加顺(2012):《资本深化、产业结构与中国城市劳动生产率》,《中国工业经济》第10期。

孙早、许薛璐(2017):《前沿技术差距与科学研究的创新效应——基础研究与应用研究谁扮演了更重要的角色》,《中国工业经济》第3期。

覃毅、张世贤(2011):《FDI对中国工业企业效率影响的路径——基于中国工业分行业的实证研究》,《中国工业经济》第11期。

王班班、齐绍洲(2014):《有偏技术进步、要素替代与中国工业能源强度》,《经济研究》第2期。

王林辉、董直庆(2012):《资本体现式技术进步、技术合意结构和我国生产率增长来源》,《数量经济技术经济研究》第5期。

吴敬琏(2006):《中国应当走一条什么样的工业化道路》,《管理世界》第8期。

杨翔、李小平、钟春平(2019):《中国工业偏向性技术进步的演变趋势及影响因素研究》,《数量经济技术经济研究》第4期。

杨振兵、邵帅、杨莉莉(2016):《中国绿色工业变革的最优路径选择——基于技术进步要素偏向视角的经验考察》,《经济学动态》第1期。

袁礼、欧阳峤(2018):《发展中大国提升全要素生产率的关键》,《中国工业经济》第6期。

张军、陈诗一、Gary Jefferson(2009):《结构性改革与中国工业增长》,《经济研究》第7期。

朱平芳、徐伟民(2003):《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》,《经济研究》第6期。

Acemoglu, D. "Directed Technical Change." *The Review of Economic Studies*, 2002, 69(4), pp. 781-809.

Acemoglu, D. and Zilibotti, F. "Productivity Differences." *The Quarterly Journal of Economics*, 2001, 116(2), pp. 563-606.

Antonelli, C. "Technological Congruence and the Economic Complexity of Technological Change." *Structural Change and Economic Dynamics*, 2016, 38, pp. 15-24.

Antonelli, C. and Feder, C. "A Long-term Comparative Analysis of the Direction and Congruence of Technological Change." *Socio-Economic Review*, 2019.

Basu, S. and Weil, D. N. "Appropriate Technology and Growth." *The Quarterly Journal of Economics*, 1998, 113(4), pp. 1025-1054.

Färe, R.; Grifellatje, E.; Grosskopf, S. and Lovell, C. A. K. "Biased Technical Change and the Malmquist Productivity Index." *The Scandinavian Journal of Economics*, 1997, 99(1), pp. 119-127.

Feder, C. "A Measure of Total Factor Productivity with Biased Technological Change." *Economics of Innovation and New Technology*, 2018a, 27(3), pp. 243-253.

Feder, C. "The Effects of Disruptive Innovations on Productivity." *Technological Forecasting and Social Change*, 2018b, 126, pp. 186-193.

Jiang, M.; Shideler, J. and Wang, Y. "Factor Substitution and Labor Market Friction in the United States: 1948-2010." *Applied Economics*, 2019, 51(17), pp. 1828-1840.

Jiang, W. and León-Ledesma, M. "Variable Markups and Capital-labor Substitution." *Economics Letters*, 2018, 171, pp. 34-36.

Klump, R. ; McAdam, P. and Willman, A. "Factor Substitution and Factor-Augmenting Technical Progress in the United States: A Normalized Supply-Side System Approach." *Review of Economics & Statistics*, 2007, 89(1), pp. 183-192.

Klump, R. ; McAdam, P. and Willman, A. "The Normalized CES Production Function: Theory and Empirics." *Journal of Economic Surveys*, 2012, 26(5), pp. 769-799.

León-Ledesma, M. A. ; McAdam, P. and Willman, A. "Identifying the Elasticity of Substitution with Biased Technical Change." *The American Economic Review*, 2010, 100(4), pp. 1330-1357.

León-Ledesma, M. A. ; McAdam, P. and Willman, A. "Production Technology Estimates and Balanced Growth." *Oxford Bulletin of Economics & Statistics*, 2015, 77(1), pp. 40-65.

Syverson, C. "What Determines Productivity?" *Journal of Economic Literature*, 2011, 49(2), pp. 326-365.

Zuleta, H. "Variable Factor Shares, Measurement and Growth Accounting." *Economics Letters*, 2012, 114(1), pp. 91-93.

Capital Deepening, Biased Technological Progress and Total Factor Productivity Growth

Yu Donghua; Zhang Xinyu; Sun Ting

Abstract: Based on the growth accounting approach of standardised CES production function, this paper theoretically explores the interactive influence mechanism of capital deepening and biased technological progress on the TFP. Both the growth accounting approach and the econometric regression model are used to examine the preceding mechanism by using industrial-level panel data taken from large and medium-sized Chinese manufacturing enterprises from 1999 to 2016. The results suggest that the degree of capital deepening, the direction and degree of biased technological progress and their interaction effect on TFP are clearly heterogeneous among 27 manufacturing sectors. In addition, the overall degree of capital deepening shows an upward trend, while technological progress is capital-biased within China's manufacturing industry, which means that capital-biased technological progress is appropriate for capital deepening and promotes TFP growth. Capital-biased technological progress has a corrective effect on the directly adverse effect of capital deepening on TFP growth. However, the direct effect plays a dominant role in influencing TFP growth.

Key words: capital deepening, biased technical progress, total factor productivity, interaction effect

JEL codes: O30, O47, O14

(截稿:2019年6月 责任编辑:曹永福)