

DOI:10.3969/j.issn.1674-8131.2021.06.003

# 资本深化、要素技术效率与产业升级

## ——基于1998—2019年中国35个工业行业的实证分析

李爱<sup>1</sup>, 盖晓敏<sup>2</sup>

(1. 山东工商学院 经济学院, 山东 烟台 264005; 2. 山东大学 经济学院, 山东 济南 250100)

**摘要:**生产资料的不断积累和更新带来经济系统中各产业的资本深化,资本深化又带来资本体现式技术进步,有偏技术进步则使不同要素的技术效率发生不同的变化,影响各要素的投入结构和产出效率,进而推动产业升级。采用1998—2019年中国35个工业行业的面板数据,运用标准化供给面系统方程估计要素替代弹性,并测算各行业的劳动技术效率和资本技术效率,结果表明,多数行业的劳动技术效率高于资本技术效率,且劳动技术效率呈现上升趋势,而资本技术效率先上升后下降。进一步采用中介效应模型分析发现,要素技术效率在资本深化促进产业升级中具有显著的部分中介效应:资本深化、劳动技术效率提高和资本技术效率提高均可促进产业升级,资本深化可以通过提高劳动技术效率促进产业升级,但也可能通过降低资本技术效率抑制产业升级。因此,要加快技术进步,提高人力资本水平,适度推进资本深化,优化要素配置,充分发挥要素技术效率提高对产业转型升级的促进作用,进而通过产业升级推动经济高质量发展。

**关键词:**资本深化;有偏技术进步;劳动技术效率;资本技术效率;产业升级;要素配置

**中图分类号:**F062.4;F421 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-8131(2021)06-0034-15

### 一、引言

经济发展不仅仅是社会财富的积累和增长,还伴随着生产资料(机器设备)的不断更新和积累。从产业发展的层面来看,机器设备的更新是产业技术进步的结果,生产资料的积累加上劳动力用工成本上升和劳动力流转加快使得产业发展表现出资本深化的特征(宁光杰等,2021)<sup>[1]</sup>。在技术进步和资本深化的推动下,要素技术效率和生产效率不断提高,进而驱动产业结构的优化和产业素质及效率的提升,实现产业升级。需要注意的是,资本深化会对技术进步的方向产生影响,导致有偏技术进步,而有偏技

\* 收稿日期:2021-08-22;修回日期:2021-10-11

基金项目:国家社会科学基金青年项目(17CJL025)

作者简介:李爱(1980),女,山东烟台人;讲师,博士,主要从事宏观经济与产业经济研究;E-mail: liai\_liai@163.com。盖晓敏(1973),女,山东烟台人;教授,博士生导师,主要从事产业经济研究。

术进步对不同要素(资本和劳动等)技术效率的影响存在异质性;同时,在不同的资源禀赋、发展水平以及产业特性下,资本深化可能导致不同的有偏技术进步(偏向劳动或偏向资本),进而对要素技术效率产生不同的影响。因此,有必要从理论上深入探究资本深化、要素技术效率与产业升级三者之间的关系及其影响机理,并通过对特定区域和产业的经验分析来寻求促进产业升级的策略优化。

1932年约翰·希克斯(John Richard Hicks)在《工资理论》(*The Theory of wages*)中提出“技术非单一中性”思想后,许多研究发现技术进步可以节约劳动,也可以节约资本,表现为有偏技术进步。Acemoglu(2002)等人的研究为有偏技术进步提供了微观理论基础<sup>[2]</sup>。在其理论模型中,技术进步可以偏向任何要素,并对要素技术效率产生不同影响,表现为资本偏向性技术进步、劳动偏向性技术进步以及技能偏向性技术进步等。有偏技术进步使得不同要素的技术效率有不同变化,必然会改变各要素的投入数量和比例,并通过收入效应影响需求与消费,进而影响产业升级。因此,资本技术效率和劳动技术效率等直接体现了技术进步对要素的不同作用,具有重要的研究价值。

Hayami和Ruttan(1985)指出,如果某一要素相对丰富,企业就会更有动力研发偏向这一要素的技术,产生要素偏向性技术进步<sup>[3]</sup>。伴随着机器设备的研发和使用,有偏技术进步最初表现为资本深化导致的资本偏向性技术进步,早期研究形象地称之为资本体现式技术进步。朱轶和曾春琼(2016)研究发现,在持续的资本深化下中国各地区工业技术进步呈现显著的资本偏向性<sup>[4]</sup>。许多研究表明,资本深化和有偏技术进步通过提高生产率促进产业升级和经济增长。Foley和Michel(2001)认为,资本深化可以通过推动生产中的技术进步来提高生产率<sup>[5]</sup>。Hulten(1992)分析发现,超过20%的全要素生产率变化与物质资本体现式技术进步直接相关,资本体现式技术进步对美国制造业的增长具有重要的促进作用<sup>[6]</sup>。Ngai和Pissarides(2007)指出,技术进步带来的部门全要素生产率差异会推动一国产业结构变迁<sup>[7]</sup>。Alvarez-Cuadrao等(2018)分析发现,产业间资本偏向性技术进步的差异、资本劳动间替代弹性以及部门要素生产率差异都会引起产业结构变迁<sup>[8]</sup>。孔宪丽等(2015)分析发现,工业技术进步的偏向方向和程度将直接影响创新投入驱动工业结构调整的效率<sup>[9]</sup>。Acemoglu和Guerrieri(2008)研究表明,不同的资本深化使得部门劳动生产率出现差异,带来结构变迁和经济非均衡增长<sup>[10]</sup>。涂正革和陈立(2019)分析发现,资本深化与有偏技术进步的融合将带动全要素生产率增长,有利于促进产业结构从低级向高级转变<sup>[11]</sup>。郭凯明等(2020)研究发现,合理的资本深化可以促进结构转型升级、提高技能溢价水平<sup>[12]</sup>。另外,也有部分文献考察了技术进步偏向指数或要素技术效率对产业结构优化升级的影响(孙学涛等,2017;盖骁敏等,2021)<sup>[13-14]</sup>。

资本深化带来有偏技术进步进而影响产业升级,虽然已被相关研究所证实,但多数文献还是沿用技术进步的研究框架,从全要素生产率角度考察有偏技术进步对产业升级或经济增长的影响,没有深入研究要素技术效率在其中所起的作用,未能真正体现技术进步的“要素偏向”这一特性。Färe等(1997)利用数理模型将Malmquist指数的全要素生产率分解出产出变化的技术进步偏向和投入变化的技术进步偏向<sup>[15]</sup>,为后续研究有偏技术进步作用下的全要素生产率提供了重要思路和方法。但这一方法更多地用于测算有偏技术进步对全要素生产率变化的总效应(李小平等,2018)<sup>[16]</sup>,且无法测算有偏技术进步下的各要素技术效率变化。因此,本文在借鉴Acemoglu(2002)的理论模型的基础上<sup>[2]</sup>,重点分析在资本深化导致的有偏技术进步下,要素(资本和劳动)技术效率的变化及其对产业升级的影响。具体来讲:基于资本深化带来的有偏技术进步对资本和劳动技术效率变化有不同的影响这一逻辑起点,首先对资本深化、要素技术效率与产业升级之间的关系进行理论分析,然后对有偏技术进步下的要素技术效率进行数理推导、参数估计和典型事实分析,最后进行实证检验。

改革开放四十多年来,中国经济主要依靠投资拉动和资源消耗迅速增长,取得显著成效。但粗放型发展方式已不能适应新发展阶段的要求,当前,中国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段。作为

世界第一制造大国,工业是中国经济发展的主要支柱,工业供给规模、供给质量和供给能力的提升成为实现高质量发展、提高综合国力的关键。根据《中华人民共和国 2020 年国民经济和社会发展统计公报》,2020 年中国工业增加值占 GDP 比重为 37.8%,制造业利润占工业利润的 86.5%。近年来,尽管中国工业增加值保持上升趋势,但增长速度下降,2020 年增速降为 2.4%。与此同时,多数发达国家面临经济下滑和竞争力下降等问题,纷纷将工业这个最主要的物质生产部门作为发展之本,《美国先进制造业领导战略》《德国工业 4.0 战略》《英国工业 2050》《新工业法国计划》等一系列制造业重构计划加快实施,工业强国成为各国加快发展的主要目标和手段。中国要实现从“制造大国”向“制造强国”的转变,工业转型与升级成为必然。基于此,本文选择中国的工业行业作为实证研究样本。

本文的边际贡献主要在于以下 3 个方面:一是基于资本深化导致有偏技术进步,有偏技术进步改变要素技术效率,要素技术效率变化影响产业升级的传导机制,从理论上探究资本深化促进产业升级的路径,拓展了以往多数文献主要从全要素生产率角度进行考察的研究思路和框架,为相关研究的进一步深化提供理论参考;二是基于 CES 生产函数对有偏技术进步下的要素技术效率进行推导,并采用 1998—2019 年中国 35 个工业行业的数据,运用标准化供给面系统方程估计要素替代弹性,进而对工业行业的劳动技术效率和资本技术效率进行测算和分析,为相关研究提供经验数据和方法借鉴;三是同样以 1998—2019 年中国 35 个工业行业为样本,运用中介效应模型实证检验资本深化、劳动技术效率和资本技术效率对产业升级的影响以及要素技术效率在资本深化影响产业升级中的中介效应,为促进中国工业转型升级和高质量发展提供策略启示。

## 二、理论机制与研究假说

### 1. 资本深化对产业升级的影响

资本深化能够促进产业结构变迁和升级(于泽等,2014; Alvarez-Cuadras et al, 2018)<sup>[17][8]</sup>。首先,资本深化带来物质资本积累和机器设备的更新,直接促进产业转型升级。正如马克思主义政治经济学所言,物质资本的更新将带来产业新一轮的生产扩张和新的需求增长点。一方面,新的机器设备可以提高产出质量,改变供给结构;另一方面,新产品或新工艺的出现通过供给优化引致消费升级,进而改变需求结构;供需市场的变化将直接带来产业转型升级。其次,资本深化会通过物质资本与劳动的结合提高劳动生产率,劳动生产率提高进一步优化要素投入比例,并对产出具有乘数效应,进而优化就业结构和供给结构,促进产业升级。最后,资本深化通过物质资本的优化提升要素配置需求,进而促进劳动技能的提高和人力资本的积累。设备资本的投入和物化技术的使用需要与之匹配的劳动力,无论是主动学习还是被动接受,生产者劳动技能的提高和专业知识的掌握都会提高劳动生产率,进而加快产业升级(孙海波等,2018)<sup>[18]</sup>。因此,资本深化在促进物质资本积累和提升人力资本提升的同时,必然提高劳动生产率,促进产业升级;物质和人力资本积累又正向作用于技术研发和产出增长,进一步促进偏向性技术进步和资本深化;进而形成资本深化不断推动产业升级的良性循环。

基于上述分析,本文提出研究假说 H<sub>1</sub>:资本深化程度的加深会促进产业升级。

### 2. 资本深化对要素技术效率的影响

已有文献认为,资本深化是资本体现式技术进步的主要动因,资本深化导致有偏技术进步(董直庆等,2014;李琦,2016)<sup>[19-20]</sup>。各国经济发展的实践也证实,资本深化带来的资本体现式技术进步能够提高全要素生产效率(Antonelli et al, 2010; 王士香等, 2015)<sup>[21-22]</sup>,进而促进经济增长和产业升级(Sato et al, 2009; 钟世川, 2017)<sup>[23-24]</sup>。正如 Acemoglu (2002) 所言,在资本深化过程中有偏技术进步对要素边际

产出的增强幅度不同,若资本相对劳动的边际产出上升(下降),技术进步偏向资本(劳动),则称为资本(劳动)偏向性技术进步<sup>[21]</sup>。资本深化带来有偏技术进步使得不同要素的技术效率有不同的变化,进而影响要素配置和产出效率。随着资本深化程度的提高,有偏技术进步与劳动力高效匹配,提高劳动技能和劳动收入份额,带来劳动技术效率的提高,进而大幅提高产出规模和产出质量。有偏技术进步同样会提高资本技术效率,但资本边际效率递减使得资本边际产出下降,这可能抵消有偏技术进步带来的资本技术效率增长,进而总体上表现为资本技术效率不变或下降。

基于上述分析,本文提出研究假说 H<sub>2</sub>:资本深化会促进劳动技术效率提高,但不利于资本技术效率的提高。

### 3. 资本深化影响产业升级的要素技术效率路径

要素技术效率的变化将改变投入和产出结构,因此,资本深化可以通过有偏技术进步影响要素技术效率,进而影响产业升级。要素技术效率的提高会促使产业调整要素投入比例,通过要素合理流动和有效配置改善就业结构和供给结构,促进产业升级;同时,要素技术效率的提高在改变要素投入比例时,也会改变要素收入结构,收入效应和需求弹性引致需求多样化和消费结构升级,进而“倒逼”产业升级(参见图1)。一方面,资本深化导致的有偏技术进步会带来劳动节约并提升劳动技能,劳动技术效率的提高将通过要素流动与有效配置改善产业供给结构,进而促进产业升级。另一方面,资本深化导致的有偏技术进步也会吸引更多资本流入,提高资本技术效率,更多资本与更优质劳动的匹配将提高产出规模和质量并改善产出结构,进而推动产业升级。同时,尽管资本深化也可能导致资本技术效率下降,但有偏技术进步带来的要素技术效率正向增量还是会使其在总体上表现为对产业转型升级具有促进效应。

基于上述分析,本文提出研究假说 H<sub>3</sub>:资本深化可以通过影响要素技术效率促进产业升级。

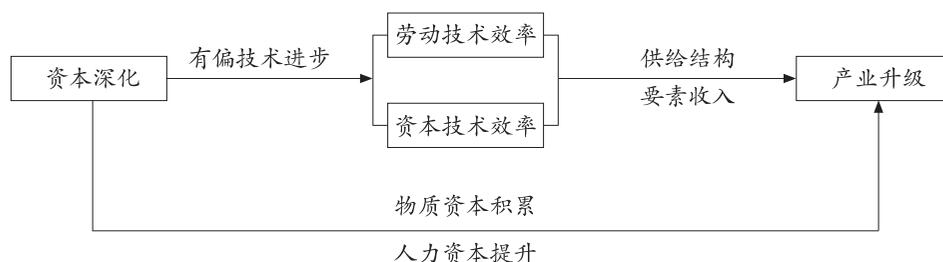


图1 资本深化、要素技术效率与产业升级

## 三、数理推演与典型事实

### 1. 要素技术效率推导

借鉴 David 和 Klundert (1965)、Acemoglu (2002) 的研究<sup>[25][2]</sup>, 设定如式(1)所示 CES 生产函数:

$$Y_t = [(1-\gamma)(A_L L_t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \gamma(A_K K_t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (1)$$

式(1)中,  $Y_t$  为产出,  $L_t$  和  $K_t$  分别为劳动投入和资本投入,  $\gamma$  为生产中资本要素的分配参数,  $\sigma$  为资本与劳动的替代弹性,  $A_L$  和  $A_K$  分别为劳动技术效率和资本技术效率(也称为劳动增强性技术进步和资本增强性技术进步)<sup>①</sup>。已有文献在研究有偏技术进步下的全要素生产率或技术进步偏向指数时,都要先

① 部分学者也称其为劳动效率和资本效率(陈晓玲等,2012;李小平等,2018)<sup>[26][16]</sup>。

测算分析资本技术效率和劳动技术效率(雷钦礼等,2015;余东华等,2019)<sup>[27-28]</sup>。

由式(1)可得到资本的边际产出( $MP_K$ )和劳动的边际产出( $MP_L$ )。人均资本的变化或积累就是资本深化的过程(Samuelson,1965)<sup>[29]</sup>,可以用资本劳动比( $K_t/L_t$ )表示资本深化( $kl_t$ ),进而可以用式(2)计算资本与劳动的边际产出比( $M_t$ ):

$$M_t = \frac{MP_K}{MP_L} = \frac{\gamma}{1-\gamma} \left( \frac{A_{Kt}}{A_{Lt}} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \left( \frac{L_t}{K_t} \right)^{\frac{1}{\sigma}} \quad (2)$$

由式(2)可得式(3):

$$\frac{A_{Kt}}{A_{Lt}} = \left( \frac{1-\gamma}{\gamma} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \left( \frac{K_t}{L_t} \right)^{\frac{1}{\sigma-1}} M_t^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (3)$$

可见,资本深化影响了要素技术效率。假定资本和劳动按其边际产出取得报酬,分别定义资本回报率和劳均工资为  $r_t$  和  $w_t$ , 则  $r_t K_t$  和  $w_t L_t$  分别为资本所得和劳动所得,可得式(4):

$$\frac{r_t}{w_t} = \frac{MP_K}{MP_L} = \frac{\gamma}{1-\gamma} \left( \frac{A_{Kt}}{A_{Lt}} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \left( \frac{L_t}{K_t} \right)^{\frac{1}{\sigma}} \quad (4)$$

结合式(1)和式(4)可得出式(5)和式(6):

$$A_{Lt} = \frac{Y_t}{L_t} \left[ \frac{w_t L_t}{(1-\gamma)(w_t L_t + r_t K_t)} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (5)$$

$$A_{Kt} = \frac{Y_t}{K_t} \left[ \frac{r_t K_t}{\gamma(w_t L_t + r_t K_t)} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (6)$$

只要已知  $Y_t, L_t, K_t, r_t, w_t, \sigma, \gamma$ , 就可以测算出资本技术效率和劳动技术效率。因此,对资本与劳动替代弹性等参数的估算成为测算要素技术效率的关键。

## 2. 参数估计

借鉴 Klump(2007)、陈晓玲和连玉君(2013)的研究<sup>[30][26]</sup>, 本文采用标准化供给面系统方程来估计要素替代弹性等参数。供给面系统方程专门针对 CES 生产函数, 将生产函数、资本和劳动所得的方程表达式进行标准化、对数化处理形成三个标准化方程, 进而进行参数估计<sup>①</sup>。作为一种多方程联立法, 标准化供给面系统方程是目前估计要素替代弹性等最有效、最稳健的方法之一。通过式(7)到式(11)对  $A_{Kt}$  和  $A_{Lt}$  进行 Box-Cox 变换:

$$A_{Kt} = \frac{Y_0}{K_0} e^{g_K(t, t_0)}, A_{Lt} = \frac{Y_0}{L_0} e^{g_L(t, t_0)} \quad (7)$$

$$\ln\left(\frac{r_t K_t}{Y_t}\right) = \ln(\gamma) + \frac{\sigma-1}{\sigma} \ln(\xi) - \frac{\sigma-1}{\sigma} \ln\left(\frac{\frac{Y_t}{Y}}{\frac{K_t}{K}}\right) + \frac{\sigma-1}{\sigma} g_K(t, t_0) \quad (8)$$

$$\ln\left(\frac{w_t L_t}{Y_t}\right) = \ln(1-\gamma) + \frac{\sigma-1}{\sigma} \ln(\xi) - \frac{\sigma-1}{\sigma} \ln\left(\frac{\frac{Y_t}{Y}}{\frac{L_t}{L}}\right) + \frac{\sigma-1}{\sigma} g_L(t, t_0) \quad (9)$$

① 限于篇幅,具体推导过程略,备索。

$$\ln\left(\frac{Y_t}{\bar{Y}}\right) = \ln\xi + \frac{\sigma}{\sigma-1} \ln\left[ (1-\gamma) \left(\frac{e^{g_L(t,t_0)} L_t}{\bar{L}}\right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \gamma \left(\frac{e^{g_K(t,t_0)} K_t}{\bar{K}}\right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right] \quad (10)$$

$$g_i(t, t_0) = \frac{\tau_i t_0 \left( \left(\frac{t}{t_0}\right)^{\lambda_i} - 1 \right)}{\lambda_i}, i = K, L \quad (11)$$

其中,  $\xi$  为规模因子,  $\bar{Y}, \bar{K}, \bar{L}, \bar{t}$  分别为相应变量的均值,  $Y_0 = \xi \bar{Y}, K_0 = \bar{K}, L_0 = \bar{L}, t_0 = \bar{t}$ 。  $\tau_i$  是资本和劳动的技术效率参数,  $\lambda_i$  为资本和劳动的技术曲率。式(8)、式(9)和式(10)组成标准化供给面系统方程组, 基于方程组的非线性特征, 运用非线性似不相关方法(NLSUR)估计替代弹性等参数。

本部分的基础数据为1998—2019年中国的工业行业数据。鉴于数据的可得性和连续性, 在对工业行业进行合并、调整之后, 最终考察35个细分行业, 行业分类见表1<sup>①</sup>。

表1 工业行业分类

编号	代码	名称	编号	代码	名称
1	B06	煤炭开采和洗选业	19	C26	化学原料和化学制品制造业
2	B07	石油和天然气开采业	20	C27	医药制造业
3	B08	黑色金属矿采选业	21	C28	化学纤维制造业
4	B09	有色金属矿采选业	22	C29	橡胶和塑料制品业
5	B10	非金属矿采选业	23	C30	非金属矿物制品业
6	C13	农副食品加工业	24	C31	黑色金属冶炼和压延加工业
7	C14	食品制造业	25	C32	有色金属冶炼和压延加工业
8	C15	酒、饮料和精制茶制造业	26	C33	金属制品业
9	C16	烟草制品业	27	C34	通用设备制造业
10	C17	纺织业	28	C35	专用设备制造业
11	C18	纺织服装、服饰业	29	C36	交通运输设备制造业
12	C19	皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	30	C38	电气机械和器材制造业
13	C20	木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业	31	C39	计算机、通信和其他电子设备
14	C21	家具制造业	32	C40	仪器仪表制造业
15	C22	造纸和纸制品业	33	D44	电力、热力生产和供应业
16	C23	印刷和记录媒介复制业	34	D45	燃气生产和供应业
17	C24	文教、工美、体育和娱乐用品制造业	35	D46	水的生产和供应业
18	C25	石油加工、炼焦和核燃料加工业			

注:根据《国民经济行业分类》(2017), 其中 C13 ~ C40 为制造业。

所用变量说明如下:(1)产出( $Y_t$ ), 采用行业增加值来衡量, 并通过行业生产者出厂价格指数进行平减。2008年以后国家统计局不再给出行业增加值, 因此先得到行业总产值, 然后通过增加值对总产值占比均值分解得到。(2)劳动( $L_t$ ), 采用年末就业人数均值来衡量。(3)资本( $K_t$ ), 基于实际经济发展

<sup>①</sup>工业行业分类标准有过几次变动(分别为1998年、2003年、2011年、2017年), 为了保持数据的可得性、一致性, 将“汽车制造业”和“铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业”合并成“交通运输设备制造业”, 将“橡胶制品业”和“塑料制品业”合并为“橡胶和塑料制品业”, 最终留下35个行业。

和多数文献做法(李小平等,2008;余东华等,2019)<sup>[31][28]</sup>,采用固定资本净值年平均余额来衡量,并通过固定资本投资价格指数进行平减。其中,2009年后不再统计固定资本净值年平均余额,用前后两年的固定资本净值均值进行代替。(4)资本深化( $kl_t$ ),采用资本劳动比来衡量,即  $kl_t = K_t/L_t$ 。(5)劳动所得( $w_t L_t$ )和资本所得( $r_t K_t$ )分别用居民消费价格指数和生产者出厂价格指数进行平减。其中,劳动所得通过工资总额和社会保险基金总额计算得到,资本所得通过利润总额和本年折旧计算得到。本文所用数据来源于《中国统计年鉴》(1999—2020年)、《中国工业统计年鉴》(1999—2020年,缺少2018年和2019年)、《中国经济普查年鉴》(2018年)、《中国城市(镇)生活与价格年鉴》(2006—2012年)、《中国价格统计年鉴》(2013—2020年)等,部分缺失数据采用线性插值法计算。

本文通过标准化供给面系统方程来估计替代弹性等参数,基于方程的非线性特性,需要对参数赋予初始值。设  $\xi(0) = 1, \lambda_K(0) = 1, \lambda_L(0) = 1, \tau_K(0) = -0.001, \tau_L(0) = 0.001$ 。尝试多组初始值后,根据全局最优原则确定替代弹性等参数,估计结果见表2。依据 Acemoglu (2002, 2008) 的研究<sup>[21][10]</sup>,当替代弹性小于1时资本与劳动为互补关系,大于1时资本与劳动为替代关系。分行业来看,除了C19(皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业)、C26(化学原料和化学制品制造业)和C36(交通运输设备制造业)3个行业外,其他行业的替代弹性均小于1,说明多数行业的资本与劳动呈现互补关系。其他参数回归结果基本在预期区间内,表明参数的初始值设定合理。

表2 参数估计结果

行业代码	规模因子	替代弹性	资本要素分配参数	劳动技术效率参数	资本技术效率参数
B06	0.853 *** (25.79)	0.172 *** (5.20)	0.159 *** (4.38)	0.127 *** (20.68)	0.02 *** (2.80)
B07	1.098 *** (28.44)	0.729 *** (13.13)	0.721 *** (39.74)	-0.148 *** (-5.01)	-0.002 (-0.08)
B08	0.958 *** (18.09)	0.916 *** (5.48)	0.845 *** (42.66)	1.236 (0.54)	-0.170 (-0.42)
B09	1.039 *** (23.86)	0.606 *** (5.62)	0.721 *** (34.76)	0.200 *** (5.3)	-0.015 (-0.63)
B10	0.827 *** (12.72)	0.265 *** (2.92)	0.738 *** (11.78)	0.194 *** (8.10)	0.062 *** (4.37)
C13	1.052 *** (22.30)	0.867 *** (9.26)	0.896 *** (60.19)	0.234 *** (2.98)	-0.0001 (-0.53)
C14	0.931 *** (39.94)	0.943 *** (30.75)	0.854 *** (59.80)	0.484 *** (5.40)	-0.016 * (-1.63)
C15	0.826 *** (24.19)	0.657 ** (2.41)	0.873 *** (123.74)	0.175 ** (2.22)	0.065 *** (4.94)
C16	0.891 *** (20.83)	0.511 *** (5.55)	0.940 *** (424.35)	0.123 *** (11.67)	0.088 *** (11.38)
C17	0.926 *** (25.89)	0.315 * (1.77)	0.811 *** (19.96)	0.152 *** (6.73)	0.053 *** (6.31)
C18	0.89 *** (44.31)	0.966 *** (56.72)	0.550 *** (19.42)	1.221 *** (4.04)	-0.831 *** (-3.27)
C19	0.914 *** (43.04)	1.048 *** (5.40)	0.603 *** (14.71)	-0.699 (-0.21)	0.558 (0.25)
C20	0.808 *** (21.34)	0.262 *** (2.64)	0.850 *** (17.09)	0.168 *** (8.41)	0.075 *** (8.71)
C21	0.838 *** (23.52)	0.315 * (1.90)	0.726 *** (7.62)	0.112 *** (8.08)	0.045 *** (5.80)
C22	0.849 *** (17.81)	0.306 ** (2.16)	0.877 *** (42.85)	0.15 *** (8.06)	0.058 *** (7.05)
C23	0.737 *** (26.97)	0.397 *** (3.04)	0.813 *** (64.70)	0.157 *** (8.43)	0.082 *** (10.50)
C24	0.834 *** (13.90)	0.712 *** (8.55)	0.692 *** (21.63)	0.202 *** (5.25)	0.000 (0.08)
C25	0.965 *** (8.81)	0.984 *** (3.73)	0.379 *** (6.06)	0.000 (0.00)	0.096 (0.77)
C26	0.906 *** (42.87)	1.052 *** (5.24)	0.852 *** (51.27)	-0.998 (-0.22)	0.244 (0.31)

续表

行业代码	规模因子	替代弹性	资本要素分配参数	劳动技术效率参数	资本技术效率参数
C27	0.805 *** (26.79)	0.665 ** (2.50)	0.857 *** (75.89)	0.196 ** (1.99)	0.051 *** (2.73)
C28	0.823 *** (31.06)	0.647 * (1.82)	0.875 *** (87.58)	0.217 (1.42)	0.072 *** (2.93)
C29	0.864 *** (14.61)	0.307 * (1.75)	0.676 *** (7.57)	0.125 *** (5.97)	0.042 *** (2.96)
C30	0.821 *** (28.95)	0.149 * (1.75)	0.707 *** (4.07)	0.17 *** (14.87)	0.066 *** (11.37)
C31	0.940 *** (23.30)	0.836 *** (6.81)	0.845 *** (38.07)	0.447 ** (2.05)	-0.005 (-0.17)
C32	0.927 *** (23.81)	0.951 *** (8.67)	0.824 *** (35.57)	1.324 (0.53)	-0.214 (-0.41)
C33	0.891 *** (24.72)	0.281 ** (2.16)	0.719 *** (6.18)	0.138 *** (9.18)	0.033 *** (4.35)
C34	0.840 *** (23.19)	0.186 *** (2.77)	0.641 *** (6.39)	0.152 *** (15.93)	0.053 *** (6.30)
C35	0.817 *** (22.21)	0.164 ** (2.45)	0.450 *** (2.88)	0.155 *** (17.00)	0.047 *** (5.43)
C36	0.845 *** (42.91)	1.030 *** (8.37)	0.821 *** (46.19)	-1.562 (-0.22)	0.440 (0.27)
C38	0.878 *** (31.75)	0.289 *** (2.89)	0.781 *** (14.07)	0.118 *** (11.25)	0.047 *** (7.78)
C39	0.789 *** (38.65)	0.601 ** (2.20)	0.884 *** (92.42)	0.105 *** (3.36)	0.073 *** (14.04)
C40	0.853 *** (25.63)	0.300 ** (2.48)	0.633 *** (10.09)	0.142 *** (9.07)	0.046 *** (4.51)
D44	0.774 *** (19.01)	0.675 ** (2.49)	0.842 *** (66.98)	0.184 *** (3.23)	0.042 *** (3.00)
D45	0.744 *** (24.07)	0.887 *** (14.21)	0.608 *** (24.33)	0.798 ** (2.39)	-0.256 (-1.33)
D46	0.881 *** (62.18)	0.991 *** (140.93)	0.375 *** (21.90)	-1.307 ** (-2.17)	2.445 ** (2.39)

注: \*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%水平下显著,括号内数值为z值。

### 3. 典型事实分析

根据参数估计结果和式(5)(6)得到资本技术效率和劳动技术效率,进一步结合资本深化与产业升级进行工业行业的典型事实分析,见表3。C19(皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业)的资本深化水平最低,平均只有3.07;D44(电力、热力生产和供应业)的资本深化水平最高,平均高达103.21。总体上看,集约发展和规模经济要求带来了高资本深化水平。除了C13(农副食品加工业)、C14(食品制造业)和C31(黑色金属冶炼和压延加工业)外,其他行业的劳动技术效率高于资本技术效率,这与Klump等(2007)对1953—1998年美国要素技术效率的测算结果类似<sup>[30]</sup>。

#### (1) 多数行业的劳动技术效率上升

多数行业的劳动技术效率偶有波动,总体保持增长趋势。在产出增加值与就业之比保持增长的趋势下,劳动所得占比有所下降,但降幅小于劳均产出的增幅。工业行业的劳均产出基本保持8%~15%的增长速度,而劳动所得占比基本保持0.1%~8%的下降速度,所以多数行业的劳动技术效率是上升的。C31(黑色金属冶炼和压延加工业)的劳动技术效率最低,只有1.32;C38(电气机械和器材制造业)的劳动技术效率最高,高达14.50。

#### (2) 多数行业的资本技术效率先上升后下降,部分行业保持下降

多数行业的资本技术效率开始呈现上升趋势,但2011年以后转为下降。在产出增加值与资本之比上升的条件下,若资本所得占比提高,则资本技术效率上升。从实际看,2011年前多数行业的产出增加值与资本之比保持0.2%~9%的上升速度,资本所得占比也有2%~20%的增长速度,所以资本技术效

率呈现上升趋势。“十二五”规划实施以来,产业结构和要素配置调整加大,技术进步和资本市场化加快,资本技术效率的下降,既是资本持续深化的结果,也是资本边际效率下降的反映。D46(水的生产和供应业)的资本技术效率最低,只有0.14;C13(农副食品加工业)的资本技术效率最高,高达11.78。

### (3) 资本深化、要素技术效率变化与产业升级

工业强国的实现需要加快工业由粗放式发展向集约式发展转变,从劳动密集型、资本密集型向技术密集型、知识密集型转变。在这一过程中,产业升级表现为产出效率提高和供给结构优化。刘伟等(2008)认为工业化进程中产业结构演变的关键是产业结构高度化(升级),并提出结构高度化指数<sup>[32]</sup>。本文借鉴这一观点,使用行业劳动生产率作为衡量工业行业高级化水平( $h$ )的指标,并采用行业增加值占比进行加权,即: $h = (Y_{it}/Y_t) \times LP_{it}$ 。其中, $Y_{it}$ 为行业增加值, $Y_t$ 为工业增加值, $LP_{it}$ 为行业劳动生产率, $h$ 越大则行业高级化水平越高。在样本期间,行业高级化水平较高的前三个行业分别是D44(电力、热力生产和供应业)、C39(计算机、通信和其他电子设备)和C16(烟草制品业),行业高级化水平较低的后三个行业分别是D46(水的生产和供应业)、B09(有色金属矿采选业)和B10(非金属矿采选业)。总体来看,越是技术密集的行业高级化水平越高,越是劳动密集的行业高级化水平越低。从工业整体来看(如图2所示),虽然资本技术效率呈现下降趋势,但资本深化程度、劳动技术效率和工业高级化水平均呈现上升趋势,表现为同向关系。

表3 样本工业行业的劳动技术效率、资本技术效率和资本深化

行业代码	替代弹性	劳动技术效率	资本技术效率	资本深化	行业代码	替代弹性	劳动技术效率	资本技术效率	资本深化
B06	0.172	7.092	0.422	14.614	C26	1.052	2.885	0.698	23.712
B07	0.729	9.876	0.434	70.185	C27	0.665	9.749	2.477	13.274
B08	0.916	7.769	1.438	18.473	C28	0.647	6.761	0.999	25.644
B09	0.606	7.755	1.045	15.341	C29	0.338	9.828	1.285	9.539
B10	0.265	10.521	1.310	10.163	C30	0.149	13.356	1.097	13.627
C13	0.867	4.793	11.777	11.177	C31	0.836	1.324	3.109	28.686
C14	0.943	1.605	1.657	10.852	C32	0.951	3.198	1.058	24.212
C15	0.657	7.739	2.006	14.777	C33	0.281	12.029	1.607	8.595
C16	0.511	7.338	5.009	34.007	C34	0.186	13.079	1.600	9.052
C17	0.315	7.580	2.113	7.036	C35	0.164	14.044	1.468	9.574
C18	0.966	7.625	2.565	3.436	C36	1.030	8.556	1.783	13.523
C19	1.048	7.579	2.154	3.065	C38	0.289	14.499	2.143	8.529
C20	0.262	8.965	1.505	7.802	C39	0.600	7.833	4.685	9.813
C21	0.315	8.946	1.810	5.613	C40	0.300	13.655	2.149	6.855
C22	0.306	11.059	0.966	17.976	D44	0.675	13.363	0.555	103.208
C23	0.397	9.835	1.685	9.830	D45	0.887	8.596	1.829	43.808
C24	0.712	8.030	3.228	4.923	D46	0.991	5.062	0.135	41.567
C25	0.987	2.202	0.328	48.797					

注:除了替代弹性外,其他数据为样本期间各行业的均值。

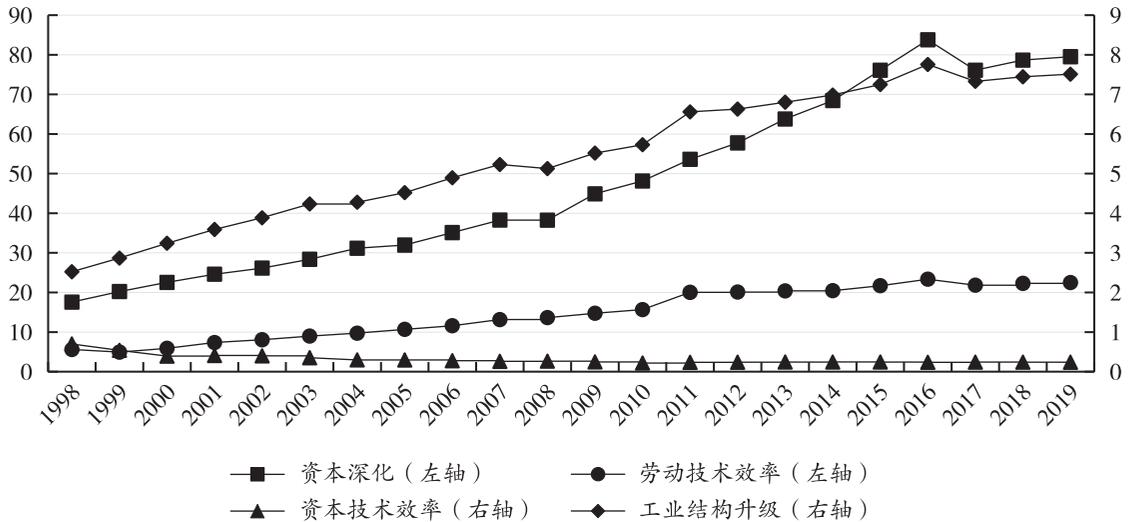


图2 1998—2019年中国工业的资本深化、要素技术效率与产业升级趋势

## 四、实证检验

### 1. 模型设定与变量说明

为检验资本深化是否对产业升级产生直接影响,并通过影响要素技术效率对产业升级产生间接影响,本文采用中介效应模型进行实证分析。以“产业升级”为被解释变量,“资本深化”为核心解释变量,“资本技术效率”和“劳动技术效率”为中介变量,构建中介效应模型如式(12)~(15)所示:

$$\ln h_{it} = a_0 + a_1 \ln kl_{it} + cX_{it} + u_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (12)$$

$$\ln el_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln kl_{it} + cX_{it} + u_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (13)$$

$$\ln ek_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln kl_{it} + cX_{it} + u_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (14)$$

$$\ln h_{it} = b_0 + b_1 \ln kl_{it} + b_2 \ln el_{it} + b_3 \ln ek_{it} + cX_{it} + u_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (15)$$

其中, $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 为变量系数, $X$ 为控制变量集, $u_i$ 为个体效应, $\mu_t$ 为时间效应, $\varepsilon_{it}$ 为随机扰动项。模型(12)主要考察“资本深化”(kl)对“产业升级”(h)的影响,模型(13)(14)考察“资本深化”对“资本技术效率”(el)和“劳动技术效率”(ek)的影响,模型(15)考察要素技术效率对“资本深化”影响“产业升级”的作用(中介效应)。根据温忠麟和叶宝娟(2014)的研究<sup>[33]</sup>,如果回归系数 $a_1$ 、 $\beta_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ 均显著,则中介效应显著;若 $b_1$ 不显著,存在完全中介效应;若 $b_1$ 显著,存在部分中介效应。

本部分分析的数据来源包括两个部分:产出、资本、劳动等基础数据采用前文用于参数估计的面板数据,“资本深化”“劳动技术效率”“资本技术效率”和“产业升级”(即工业行业高级化水平)等为前文测算结果。根据理论机制和研究目的,并参考孔宪丽等(2015)和余东华等(2019)的研究<sup>[9][28]</sup>,引入5个行业层面的控制变量:(1)“人力资本水平”(hr),采用“科技人员平均人数占总从业人员的比重”来衡量;(2)“研发投入”(rd),采用“行业R&D经费支出与主营业务收入之比”来衡量;(3)“贸易开放度”(trade),采用“行业出口交货值与行业总产值之比”来衡量;(4)“国有企业占比”(soe),采用“国有控股企业的平均从业人员数占全部从业人员数的比重”来衡量;(5)“企业资产规模”(scale),采用“行业资产总数与企业数之比”来衡量。原始数据来自相应年度的《中国统计年鉴》《中国城市(镇)生活与价格年鉴》《中国工业统计年鉴》和《中国价格统计年鉴》;同时,为了尽量减少内生性和异方差等问题的影响,对所有变量进行对数化处理。主要变量的描述性统计分析结果见表4。

表4 主要变量的描述性统计

	变 量	均值	标准差	最小值	最大值	样本数
被解释变量	产业升级( <i>h</i> )	0.685	1.248	0.001	10.566	770
	资本深化( <i>kl</i> )	20.865	27.256	1.938	238.805	770
解释变量	资本技术效率( <i>ek</i> )	1.754	1.735	0.062	14.599	770
	劳动技术效率( <i>el</i> )	12.946	12.038	0.007	58.508	770
控制变量	人力资本水平( <i>hr</i> )	0.027	0.021	0.002	0.116	770
	研发投入( <i>rd</i> )	0.005	0.004	0.000	0.030	770
	贸易开放度( <i>trade</i> )	0.126	0.151	0.000	0.669	770
	国有企业占比( <i>soe</i> )	0.332	0.296	0.003	1.302	770
	企业资产规模( <i>scale</i> )	5.634	18.517	0.203	189.650	770

## 2. 模型回归结果

表5报告了中介效应模型的回归结果,其中,第(1)(2)(3)(4)列分别为模型(12)(13)(14)(15)的回归结果。

从表5第(1)列的回归结果看,“资本深化”对“产业升级”的回归系数为正,且在1%的水平下显著,表明样本工业行业资本深化程度的提高会促进其高级化水平提升,即资本深化可以促进产业升级。该结论既符合典型事实的描述,也验证了研究假说H<sub>1</sub>。

从表5第(2)(3)列的回归结果看,“资本深化”对“劳动技术效率”的回归系数在1%水平下显著为正,对“资本技术效率”的回归系数在1%水平下显著为负,表明资本深化程度的提高可以促进行业劳动技术效率提高,但不利于资本技术效率的提高,验证了研究假说H<sub>2</sub>。资本主要以机器设备为载体,随着技术进步,资本有机构成提高,带来劳动生产率和劳动技术效率提高;但当资本深化带来的资本增量效应也会降低资本技术效率,进而导致资本技术效率下降。这也与部分学者的研究结论一致,即过度资本深化产生的资本错配会造成资本生产率下滑(贺京同等,2016)<sup>[34]</sup>。

从表5第(4)列的回归结果看,“资本深化”“劳动技术效率”和“资本技术效率”的回归系数均为正且在1%水平下显著,说明劳动技术效率和资本技术效率的提高都会促进产业升级。一方面资本深化降低了资本技术效率,进而抑制产业升级;另一方面,资本深化提高了劳动技术效率,进而促进产业升级;由于劳动技术效率提高的促进效应大于资本技术效率下降的抑制效应,因而资本深化总体上表现为具有产业升级促进效应。

综合表5各列的回归结果,部分中介效应显著,即资本深化通过影响要素技术效率间接促进产业升级,研究假说H<sub>3</sub>得到验证。资本深化和有偏技术进步对产业升级具有正向驱动作用,符合内生经济增长理论和产业结构理论中技术进步作为重要动力源对产业结构高度化和经济可持续发展具有积极作用的观点。但在加快工业转型升级的过程中,也要注意保持各行业资本深化水平的适度。

从控制变量的回归结果看:“人力资本水平”“企业资产规模”和“贸易开放度”对“产业升级”的回归系数显著为正,表明物质资本积累、人力资本提升以及对外开放对产业升级具有正向促进作用(孙海波等,2018)<sup>[18]</sup>。但“国有企业占比”的回归系数显著为负,表明工业行业的国有企业占比过高不利于其产业升级,需要进一步深化国有企业改革,促进国有经济高质量发展;“研发投入”的回归系数也显著为负,其原因有待进一步考察,但也在一定程度上反映出中国工业企业的技术进步可能更多地源自先进技术的引进,企业自主研发的效率和效益不高。

表5 资本深化、要素技术效率与工业结构产业升级(中介效应检验)

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)
	产业升级	劳动技术效率	资本技术效率	产业升级
资本深化	1.023 *** (12.92)	1.120 *** (8.42)	-0.878 *** (-11.18)	0.632 *** (10.08)
劳动技术效率				0.435 *** (23.06)
资本技术效率				0.484 *** (15.55)
人力资本水平	0.206 *** (4.03)	0.133 (1.52)	0.410 *** (8.09)	0.191 *** (4.88)
研发投入	-0.147 *** (-3.16)	-0.554 *** (-7.10)	0.005 (0.11)	-0.047 (-1.33)
贸易开放度	0.082 *** (2.95)	0.107 ** (2.38)	-0.076 *** (-2.74)	0.022 * (1.74)
企业资产规模	0.132 ** (2.09)	0.279 *** (2.64)	0.634 *** (10.14)	0.138 *** (2.76)
国有企业占比	-0.606 *** (-18.70)	-0.881 *** (-16.92)	-0.204 ** (-6.34)	-0.107 *** (-3.52)
常数项	-4.947 *** (-17.26)	0.470 *** (-10.00)	3.264 *** (11.51)	-3.663 *** (-16.19)
R <sup>2</sup>	0.770	0.633	0.433	0.882
样本量	770	744	765	744

注:\*\*\*、\*\*、\*表示1%、5%、10%的显著性水平,括号内数值为t值,下表同。

### 3. 稳健性检验

本文通过替换核心变量进行稳健性检验,包括替换被解释变量和解释变量。(1)替换被解释变量。借鉴徐鹏杰等(2019)的方法<sup>[35]</sup>,采用“行业总产值与固定资本总额之比”来衡量“产业升级”,重新进行中介效应检验,结果见表6。(2)更换解释变量。采用新的测算公式,前文分析中的“资本技术效率”和“劳动技术效率”由式(5)和式(6)测算得到,改用式(7)进行测算,重新进行中介效应检验,结果见表7。表6和表7的回归结果与表5基本一致,表明本文的研究结论具有稳健性。

表6 替换“产业升级”指标的中介效应检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	产业升级	劳动技术效率	资本技术效率	产业升级
资本深化	0.261 *** (7.95)	1.120 *** (8.42)	-0.878 *** (-11.18)	0.151 *** (4.99)
劳动技术效率				0.166 *** (18.27)
资本技术效率				0.169 *** (11.31)
人力资本水平	0.001 (0.000)	0.133 (1.52)	0.410 *** (8.09)	0.017 (0.93)
研发投入	-0.110 *** (-5.71)	-0.554 *** (-7.10)	0.005 (0.11)	-0.064 *** (-3.79)
贸易开放度	0.011 (0.95)	0.107 ** (2.38)	-0.076 *** (-2.74)	-0.007 (-0.75)
企业资产规模	-0.076 *** (-2.97)	0.279 *** (2.64)	0.634 *** (10.14)	-0.199 *** (-8.30)
国有企业占比	-0.333 *** (-24.82)	-0.881 *** (-16.92)	-0.204 ** (-6.34)	-0.150 *** (-10.28)
常数项	-1.790 *** (-15.10)	0.470 *** (-10.00)	3.264 *** (11.51)	-1.396 *** (-12.81)
R <sup>2</sup>	0.598	0.633	0.433	0.734
样本量	770	744	765	744

表7 替换“劳动技术效率”和“资本技术效率”指标的中介效应检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	产业升级	劳动技术效率	资本技术效率	产业升级
资本深化	1.023*** (12.92)	1.345*** (2.88)	-1.272** (-2.25)	0.959*** (12.67)
劳动技术效率				0.008*** (2.85)
资本技术效率				0.023* (1.69)
人力资本水平	0.206*** (4.03)	-0.075 (-1.34)	0.259 (1.40)	0.235*** (4.80)
研发投入	-0.147*** (-3.16)	0.660 (0.97)	-0.242* (1.67)	-0.164*** (-3.70)
贸易开放度	0.082*** (2.95)	0.293 (1.39)	0.581 (1.37)	0.083*** (3.06)
企业资产规模	0.132** (2.09)	0.014*** (3.24)	0.334* (1.70)	0.165*** (2.71)
国有企业占比	-0.606*** (-18.70)	-1.794** (-1.99)	-1.200*** (-2.75)	-0.579*** (-18.70)
常数项	-4.947*** (-17.26)	-4.796*** (-2.65)	7.341** (2.01)	-4.730*** (-17.26)
R <sup>2</sup>	0.670	0.725	0.413	0.792
样本量	770	770	770	770

## 五、结论与启示

资本深化带来资本体现式技术进步,在有偏技术进步作用下,不同要素的技术效率具有差异性变化,进而对产业升级产生影响。本文对1998—2019年中国35个工业行业的分析表明:多数行业的要素替代弹性小于1,资本与劳动呈现互补关系;多数行业的劳动技术效率高于资本技术效率,劳动技术效率保持上升趋势,而资本技术效率呈现先上升后下降趋势;资本深化、劳动技术效率提高和资本技术效率提高均有利于产业升级;资本深化可以促进劳动技术效率提高,但会抑制资本技术效率提高;资本深化带来的物质资本积累和人力资本提升可以显著促进产业升级,资本深化还可以通过提高劳动技术效率有效促进产业升级,但也可能通过降低资本技术效率抑制产业升级。依据上述结论,提出如下启示:

第一,要重视要素技术效率提高对产业升级的正向促进作用。通过技术创新或技术引进加快技术进步,大力提高劳动技术效率和资本技术效率,促进产业转型升级。第二,要重视人力资本提升对要素技术效率提高和产业升级的正向促进作用。尤其是在当前数量型人口红利弱化的形势下,应积极通过职业教育、专业培训有效提高劳动力技能,加快质量型人口红利的形成。第三,要关注资本深化对劳动技术效率提高的正向促进作用和对资本技术效率提高的负向抑制作用。资本深化应通过有偏技术进步优化要素配置和产出效率,进而促进产业转型升级;同时,也要防止过度资本深化导致资本技术效率过快降低,以减小资本深化的负面效应。第四,要继续深化要素市场化配置改革,不断提高要素配置效率。通过户籍制度和社保制度改革,畅通劳动力流动渠道;通过资本市场改革和治理,改善金融服务环境,提升资本流动效率;通过产业转移将适宜技术和投资向欠发达地区和劳动密集型产业转移,提高劳动技术效率,增强劳动边际产出,以弥补劳动要素不足;通过产业政策引导资本跨区域流动,缓解地区间劳均资本的不平衡,进而有效抑制资本技术效率下降。

本文尝试对中国工业行业的资本技术效率和劳动技术效率进行了测算,并基于有偏技术进步视角分析了资本深化对资本技术效率和劳动技术效率的异质性影响以及要素技术效率在资本深化促进产业升级中的中介效应,是对已有研究的拓展和深化,但也存在不足,需要进一步地深入研究。除了通过研究方法以及指标选取的改进提高分析结果的准确性外,还可拓展研究范围:资本深化和有偏技术进步是各产业发展中的普遍现象,但由于产业性质和区域特征差异,其可能产生不同的经济效应,因而,有必要对工业以外的其他产业也进行分析,同时还需要进一步分析可能存在的区域和产业异质性,以进一步探究其内在的影响机制和传导路径。

参考文献:

- [1] 宁光杰,张雪凯. 劳动力流转与资本深化——当前中国企业机器替代劳动的新解释[J]. 中国工业经济,2021(6): 42-60.
- [2] ACEMOGLU D. Directed technical change[J]. the Review of Economic Studies,2002,69(4):781-809.
- [3] HAYAMI Y,RUTTAN V W. Agricultural development: An international perspective[M]. 2nd Edition, Baltimore: Johns Hopkins University Press,1985.
- [4] 朱轶,曾春琼. 中国工业的资本深化与技术进步偏向是否互为关联——基于省际面板数据的实证检验[J]. 现代财经:天津财经大学学报,2016(9):49-63.
- [5] FOLEY D K,MICHL T R. The production function and productivity: Comment[J]. Journal of Economic Perspectives, 2001,15(3):257-258.
- [6] HULTEN C. Growth accounting when technical change is embodied in capital[J]. American Economic Review,1992,82(4):964-980.
- [7] NGAI L R,PISSARIDES C A. Structural change in a multisector model of growth[J]. American Economic Review,2007,97(1):429-443.
- [8] ALVAREZ-CUADRADO F, LONG N V, POSCHKE M. Capital-labor substitution, structural change and the labor income share[J]. Journal of Economic Dynamics & Control,2018,87(2):206-231.
- [9] 孔宪丽,米美玲,高铁梅. 技术进步适宜性与创新驱动工业结构调整——基于有偏技术进步偏向性视角的实证研究[J]. 中国工业经济,2015(11):62-77.
- [10] ACEMOGLU D, GUERRIERI V. Capital deepening and non-balanced economic growth[J]. Journal of Political Economy, 2008,116(3):467-498.
- [11] 涂正革,陈立. 技术进步的方向与经济高质量发展——基于全要素生产率和产业结构升级的视角[J]. 中国地质大学学报:社会科学版,2019(3):124-140.
- [12] 郭凯明,杭静,颜色. 资本深化、结构转型与技能溢价[J]. 经济研究,2020(9):90-105.
- [13] 孙学涛,王振华,张广胜. 技术进步偏向对产业结构的影响及其溢出效应[J]. 山西财经大学学报,2017(11):56-68.
- [14] 盖晓敏,李爱. 要素技术效率与产业结构优化的空间效应研究——基于技术进步偏向的视角[J]. 财经论丛,2021(1):3-13.
- [15] FÄRE R,GRIFELL-TATJÉ E,GROSSKOPF S,LOVELL C A K. Based technical change and the malmquist productivity index[J]. Microeconomics,1997,99(1):119-127.
- [16] 李小平,李小克. 偏向性技术进步与中国工业全要素生产率增长[J]. 经济研究,2018(10):82-96.
- [17] 于泽,徐沛东. 资本深化与我国产业结构转型——基于中国1987—2009年29省数据的研究[J]. 经济学家,2014(3):37-45.
- [18] 孙海波,刘忠璐,林秀梅. 人力资本积累、资本深化与中国产业结构升级[J]. 南京财经大学学报,2018(1):56-68.
- [19] 董直庆,陈锐. 技术进步偏向性变动对全要素生产率增长的影响[J]. 管理学报,2014(8):1199-1207.
- [20] 李琦. 经济转型、资本体现型技术进步与要素收入分配[J]. 学海,2016(5):144-149.
- [21] ANTONELLI C,QUATRARO F. The effects of biased technological change on total factor productivity: empirical evidence from a sample of OECD countries[J]. The Journal of Technology Transfer,2010,35(4):361-383.
- [22] 王士香,董直庆. 资本体现式技术进步视角下的资本质量提升[J]. 东北师大学报(哲学社会科学版),2015(3):58-62.
- [23] SATO R,MORITA T. Quantity or quality: The impact of labour saving innovation on us and Japanese growth rates,1960—2004[J]. Japanese Economic Review,2009,60(4):407-434.
- [24] 钟世川. 中国制造业要素市场扭曲程度的测算及其分解——基于技术进步偏向和资本深化的视角[J]. 经济经纬,2017(1):88-93.
- [25] DAVID P A, KLUNDERT T V D. Biased efficiency growth and capital-labor substitution in the U. S., 1899—1960[J]. American Economic Review,1965,55(3):357-394.
- [26] 陈晓玲,连玉君. 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[J]. 经济学(季刊),2013(1):93-118.
- [27] 雷钦礼,徐家春. 技术进步偏向、要素配置偏向与我国TFP的增长[J]. 统计研究,2015(8):10-16.

- [28] 余东华,张鑫宇,孙婷. 资本深化、有偏技术进步与全要素生产率增长[J]. 世界经济,2019(8):50-71.
- [29] SAMUELSON P A. A theory of induced innovation along Kennedy-Weinscher lines [J]. Review of Economics and Statistics,1965,47(4):343-356.
- [30] KLUMP R, MCADAM P, WILLMAN A. Factor substitution and factor-augmenting technical progress in the united states: A normalized supply-side system approach[J]. The Review of Economics and Statistics,2007,89(1):183-192.
- [31] 李小平,卢现祥,朱钟棣. 国际贸易、技术进步和中国工业行业的生产率增长[J]. 经济学(季刊),2008(2):549-564.
- [32] 刘伟,张辉,黄泽华. 中国产业结构高度与工业化进程和地区差异的考察[J]. 经济学动态,2008(11):4-8.
- [33] 温忠麟,叶宝娟. 中介效应分析:方法和模型发展[J]. 心理科学进展,2014(5):731-745.
- [34] 贺京同,何蕾. 要素配置、生产率与经济增长——基于全行业视角的实证研究 [J]. 产业经济研究,2016(3):11-20.
- [35] 徐鹏杰,马中东,王金河. 金融去杠杆、污染防治与中国制造业转型升级[J]. 经济体制改革,2019(6):102-108.

## Capital Deepening, Factor Technical Efficiency and Industrial Structure Upgrading: Based on Empirical Analysis of 35 Industrial Sectors in China from 1998 to 2019

LI Ai<sup>1</sup>, GAI Xiao-min<sup>2</sup>

(1. *Economic School, Shandong Technology and Business University, Yantai 264005, Shandong, China;*

2. *School of Economics, Shandong University, Jinan 250100, Shandong, China*)

**Abstract:** The continuous accumulation and renewal of the means of production have brought about the deepening of capital in various industries in the economic system. Capital deepening has brought about capital-embodied technological progress. Biased technological progress causes different changes in the technical efficiency of different elements, affecting the input structure and output efficiency of each element, and then promoting industrial upgrading. Based on the panel data of 35 industrial industries in China from 1998 to 2019, the standardized supply-side system equation is used to estimate the elasticity of factor substitution, and the labor technical efficiency and capital technical efficiency of each industry are measured. The results show that the labor technical efficiency is higher than the capital technical efficiency in most industries, and the labor technical efficiency presents a rising trend, while the capital technical efficiency increases first and then decreases. Further analysis of the mediating effect model shows that factor technical efficiency has a significant partial mediating effect on capital deepening to promote industrial upgrading. Capital deepening, labor technical efficiency improvement, and capital technical efficiency improvement can all promote industrial upgrading. Capital deepening can promote industrial upgrading by improving labor technical efficiency, but it may also inhibit industrial upgrading by reducing capital technical efficiency. Therefore, it is necessary to accelerate technological progress, increase the level of human capital, appropriately promote capital deepening, optimize the allocation of factors, and give full play to the positive effects of the improvement of technical efficiency of factors on industrial transformation and upgrading, and then promote high-quality economic development through industrial upgrading.

**Key words:** capital deepening; biased technological progress; labor technical efficiency; capital technical efficiency; industrial upgrading; factor allocation

**CLC number:** F062.4; F421

**Document code:** A

**Article ID:** 1674-8131(2021)06-0034-15

(编辑:黄依洁)