

# 设备质量投资、技术等级阶梯与全要素生产率增长

吴福象,刘彤彤,段巍

(南京大学经济学院,江苏南京 210093)

**摘要:**在形成国内国际双循环相互促进的新发展格局的过程中,设备资本现代化发挥的作用与单纯增加这种设备所起的作用一样大。基于体现型技术进步速率内生视角,分析了设备质量投资对技术等级阶梯升级和经济增长的影响,并在此基础上进一步研究了技术等级阶梯异质性下,设备质量投资对技术升级和经济增长的作用路径。研究发现:第一,设备质量投资对全要素生产率增长有积极效应,且主要为短期效应;第二,已发生设备质量投资和新增设备质量投资对全要素生产率增长分别起主导作用和调节作用;第三,设备质量投资可以通过模仿创新促进位于技术低阶的企业全要素生产率增长,但难以通过自主创新推动位于技术高阶的企业全要素生产率增长。为此,应立足于当前完备的工业体系基础,加快完成新旧动能转换,以构建国内大循环圈,并参与国际大循环圈。同时,应通过持续改善营商环境,激发微观主体的创新活力,保证国内国际双循环圈畅通。

**关键词:**设备质量投资;技术等级阶梯;模仿创新;自主创新;全要素生产率增长

**中图分类号:**F062.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-9301(2021)01-0015-14

DOI:10.13269/j.cnki.ier.2021.01.002

## 一、引言

受新冠肺炎疫情影响,国际物流、资金、服务和人员往来受限,全球产业链和供应链循环受阻,跨境投资和国际贸易明显放缓,加之“逆全球化”思潮兴起,全球资源配置效率下降等,全球经济呈现明显的下行趋势,世界经济开始进入深度调整阶段。如此情势之下,国家提出了立足国内大循环、畅通国内国际双循环的战略举措,以应对世界百年未有之大变局和当前国内外经济形势的变化,这对于推动我国经济行稳致远及实现经济高质量发展具有重大意义。在国内国际双循环战略的众多政策内涵中,突破制造业关键核心技术缺失的困境是关键部分。

中国制造业关键核心技术缺失主要表现在先进设备制造的关键技术缺失等方面,而设备制造关键技术缺失的根本原因主要有以下几点:一是在设备制造投入方面重量不重质。受政绩考核方式等因素的影响,政府和企业通常只注重设备存量的增加,却忽视了设备质量的提升和设备投资结构的合理性,导致设备研发投入不足。二是在设备制造产出方面研发成果的实用性不强。目前国内专利成果数量虽多,但成果转化滞后,创新链与产业链脱节,无法有效提高实际生产力。三是在设备制造战略方面缺少统筹的顶层设计。各级部门未结合自身实际情况进行选题和探索,导致重复立项或是彼此制约的现象层出不穷。此外,现阶段的科研选题基本上是跟进战略,不具备研发的前瞻性。四

收稿日期:2020-10-16;修回日期:2020-12-20

**作者简介:**吴福象(1966—),男,安徽安庆人,经济学博士,南京大学经济学院教授、博士生导师,研究方向为产业经济学、区域经济学;刘彤彤(1993—),女,山东日照人,通讯作者,南京大学经济学院博士研究生,研究方向为产业经济学、区域经济学;段巍(1990—),男,湖南郴州人,经济学博士,南京大学经济学院助理研究员,研究方向为产业经济学、区域经济学。

**基金项目:**国家自然科学基金面上项目(72073061);国家社会科学基金重大项目(20&ZD123);国家自然科学基金青年项目(71903086);教育部人文社会科学研究青年项目(19YJC790024)

是在设备制造主体方面创新人才匮乏。目前国内人才培养体系存在缺陷,学生只学会如何使用先进设备,却不知道怎样制造先进设备。

部分经典文献通过模型构建研究设备资本品中体现型技术进步对经济增长的作用。Solow<sup>[1]</sup>最早在时期性模型中提出“有效资本”的概念,并将各项设备资本按照建造日期进行区分,其中有效资本表示为  $J_t = \sum_0^t J_{it} e^{-\delta(t-v)} e^{\lambda_k v}$ ,  $\lambda_k$  表示不变的体现型技术进步速率,技术权数为  $e^{\lambda_k v}$ 。这样便可以把有效资本的指数引入总量生产函数,并估计出设备投资与体现型技术进步对经济增长的相对贡献。Nelson<sup>[2]</sup>简化了 Solow<sup>[1]</sup>的模型,将有效资本函数设定为  $J_t = \sum_0^t K_{it} (1 + \lambda_k)^v$ ,并求得有效资本增长率近似为  $\dot{J}_t/J_t = \dot{K}_t/K_t + \lambda_k (1 - \Delta \bar{a})$ ,  $\Delta \bar{a}$  表示资本存量的平均役龄,因此可得经济增长的体现型技术进步源泉为  $\alpha \lambda_k (1 - \Delta \bar{a})$ ,  $\alpha$  为资本产出弹性。之后,Ke and Luger<sup>[3]</sup>在总结前人研究的基础上,将有效资本函数形式设定为  $J_t = \sum_0^t K_{it} e^{\lambda_k v}$ ,并通过近似替换求出有效资本增长率为  $\dot{J}_t/J_t = \lambda_k + \dot{K}_t/K_t - x \dot{A}_t/A_t$ ,其中  $A_t$  表示有效资本的平均年龄。此外,国内学者黄先海和刘毅群<sup>[4]</sup>也深入研究了体现型技术进步,他们借鉴 Nelson<sup>[2]</sup>的有效资本函数形式,求解均衡增长路径上的技术进步率和经济增长率。上述学者的研究均假定体现型技术进步速率恒定,但就实际情况而言,设备投资品中的体现型技术进步速率并非不变常数,每个时期的技术进步速度有所不同。目前,只有少数学者研究了体现型技术进步速率内生问题,比如 Campbell<sup>[5]</sup>将有效资本函数设定为  $J_t = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{v_t} K_t(v_t) dv_t$ ,这里的  $v_t$  符合正态分布,但其并未给出具体函数形式。

基于上述分析,本文从体现型技术进步速率内生角度,从原理和机制上解释设备质量投资通过技术创新驱动经济发展的客观条件和可能路径。可能的边际贡献包括以下三点:一是提出了设备有效资本、技术等级阶梯和设备质量投资等概念。对于设备有效资本,本文借鉴了 Solow<sup>[1]</sup>的“有效资本”,将其定义为经技术指数调整后的设备资本品存量;对于技术等级阶梯,本文借鉴了 Grossman and Helpman<sup>[6-7]</sup>的“质量阶梯”,将其定义为设备资本中体现型技术进步所处的技术等级;同时,本文将设备质量投资定义为用于提升设备有效资本所处技术等级阶梯的研发投入。二是以内生的体现型技术进步速率为逻辑起点,借鉴前人理论研究成果,构造均衡增长路径上设备质量投资影响技术等级阶梯升级和经济增长的模型框架。三是借鉴 Aghion and Howitt<sup>[8]</sup>的研究,引入模仿创新和自主创新两个变量,分析不同技术等级阶梯下设备质量投资对技术升级和经济增长的影响机制。

体现型技术进步是引起设备资本品异质性的主要原因,不同时期的设备投资品位于不同的技术等级阶梯,所以新机器比旧机器生产效率更高。本文要解决的关键问题在于:设备质量投资和技术等级阶梯的内在联系是什么?设备质量投资能否促进技术等级阶梯升级和经济增长?不同技术等级阶梯下,设备质量投资推动技术升级和经济增长的作用机制是什么?解答这些问题对于经济发展由要素驱动和投资驱动转向创新驱动,以及突破中国制造业关键核心技术缺失的困境有重要意义。

本文余下部分的结构安排如下:第二部分是理论分析,推导设备质量投资影响技术等级阶梯升级和经济增长的理论机制;第三部分为研究设计,进行变量定义并构建实证模型;第四、五部分为基准回归分析和中介效应检验;第六部分是结论与建议。

## 二、理论分析

### (一) 封闭条件下的设备质量投资、技术等级阶梯升级和经济增长

本文基于 Solow<sup>[1]</sup>和 Nelson<sup>[2]</sup>关于有效资本的函数设定,构建内生体现型技术进步速率的均衡模型,用以描述设备质量投资对技术升级和经济增长的作用机制。本文首先考虑一个封闭经济体,整个经济体包括三个部门:家庭部门、最终产品生产部门、设备研发与制造部门。模型假设产品市场、劳动力市场和资本市场是完全竞争的。

## 1. 家庭部门

假设代表性家庭在无限时域上有一个标准的固定弹性效用函数:

$$U = \int_0^{\infty} \frac{C^{1-\theta} - 1}{1-\theta} e^{-\rho t} dt \quad (1)$$

其中  $\theta$  为边际效应弹性参数,是跨期替代弹性的倒数,  $\theta > 0$ ;  $C$  是人均消费,  $\rho$  是时间偏好率。家庭在资产上获得了报酬率  $r$ , 在劳动总数  $L$  上获得了工资率  $w_t$ , 家庭的总资产等于企业的市场价值。消费者的全部收入都用于消费、设备投资和研发投入, 即  $C_t = Y_t - I_t - R_t$ 。其中  $Y_t$  表示消费者的全部收入,  $I_t$  表示最终产品生产部门用于设备投入的部分,  $R_t$  表示设备研发与制造部门用于设备研发的部分。

## 2. 最终产品生产部门

对于最终产品生产部门, 本文作出三个标准假设: (1) 最终产品生产部门使用设备有效资本作为中间品进行生产活动, 而设备有效资本是指由不同技术水平的设备组成的复合资本品; (2) 设备有效资本中的体现型技术进步是整个经济中唯一的技术来源; (3) 最终产品部门只能从国内的设备研发与制造部门购买设备有效资本品。假设最终产品生产部门的生产函数满足 C-D 生产函数, 具体可表示为:

$$Y_t = J_t^\alpha L_t^{1-\alpha} \quad (2)$$

其中  $J_t$  表示  $t$  期投入到最终产品生产部门的设备有效资本,  $L_t$  表示  $t$  期投入到最终产品生产部门的劳动力,  $\alpha$  表示资本产出弹性,  $0 < \alpha < 1$ 。借鉴 Solow<sup>[1]</sup> 和 Nelson<sup>[2]</sup> 关于有效资本函数的设定, 同时结合 Grossman and Helpman<sup>[6-7]</sup> 的质量阶梯概念, 本文将设备有效资本的函数形式设定为:

$$J_t = \sum_0^t K_{vt} \lambda^{n_v} \quad (3)$$

其中  $K_{vt} = (1-\delta)^{t-v} I_v$  表示  $v$  期生产出来且  $t$  期仍在使用的资本存量;  $\lambda^{n_v}$  表示设备有效资本中的体现型技术进步, 即在技术等级阶梯中的位置,  $\lambda^{n_v} > 1$ , 首次被发明的资本品所蕴含的技术标准化为 1;  $n_v$  表示  $v$  期内生的体现型技术进步速率,  $\partial n_v / \partial v > 0$ 。将式 (3) 变形为:

$$J_t = K_t \sum_0^t \frac{K_{vt}}{K_t} \lambda^{n_v} \quad (4)$$

其中,  $\sum_0^t (K_{vt}/K_t) \lambda^{n_v}$  代表各期设备有效资本的技术加权平均, 实际反映设备有效资本平均年龄与体现型技术进步水平的关系。借鉴 Ke and Luger<sup>[3]</sup> 的研究, 设备平均年龄与体现型技术进步水平的具体函数关系式不确定, 但总体表现为设备平均年龄与体现型技术进步负相关, 因此本文将各期设备有效资本技术加权平均的函数关系设定为:

$$T_t = Q_t A_t^{-x} \quad (5)$$

其中  $Q_t = \lambda^{n_t}$  代表  $t$  期设备投资品的体现型技术进步水平,  $A_t$  代表  $t$  期的设备平均年龄,  $-x$  代表设备平均年龄对体现型技术进步的负向影响。  $Q_t$  能够根据设备平均年龄调整设备有效资本的总体技术水平, 因而有:

$$\sum_0^t \frac{K_{vt}}{K_t} \lambda^{n_v} = T_t = Q_t A_t^{-x} \quad (6)$$

将式 (6) 代入式 (4) 可得:

$$J_t = K_t Q_t A_t^{-x} \quad (7)$$

因此可得:

$$\frac{\dot{J}_t}{J_t} = \frac{\dot{K}_t}{K_t} + \frac{\dot{Q}_t}{Q_t} - x \frac{\dot{A}_t}{A_t} \quad (8)$$

式 (8) 说明, 设备有效资本增长率受资本存量增长率、体现型技术进步增长率和设备平均年龄增

长率的影响。假设最终产品生产部门存在一个代表性厂商, 每个时期的设备投资以当前的最高质量水平为基础, 其中不同的技术等级阶梯可以完全替代, 技术等级更高的设备将取代次技术等级设备, 其决策规划为:

$$\max_{L_t, I_t} \pi_t = \left( \sum_0^t (1 - \delta)^{t-v} I_v \lambda^{n_v} \right)^\alpha L_t^{1-\alpha} - w_L L_t - P_t I_t \quad (9)$$

其中, 最终产品  $Y$  的价格单位化为 1,  $P_Y = 1$ ;  $w_L$  代表投入到最终产品生产部门的劳动力工资;  $P_t$  代表设备有效资本的价格指数, 表示获取一单位设备有效资本的最小生产成本。由式(9)得到最终产品生产部门的利润最大化条件为:

$$w_L = (1 - \alpha) \frac{Y_t}{L_t} P_t = \alpha \lambda^{n_t} \frac{Y_t}{J_t} \quad (10)$$

### 3. 设备研发与制造部门

本文借鉴黄先海和刘毅群<sup>[4]</sup>的研究, 设定一个设备研发与制造部门。首先, 设备研发与制造部门对设备有效资本的技术等级阶梯进行升级, 升级情况取决于该部门已达到的技术水平和研发投入。本文沿袭 Jones<sup>[9]</sup>的模型, 将设备有效资本中技术等级阶梯的增长函数设定为:

$$\dot{Q}_t = \mu Q_t^u R_t^\omega \quad (11)$$

其中,  $Q_t$  为已经达到的技术等级阶梯水平;  $R_t$  为设备研发投入, 即设备质量投资;  $\mu$  为研发的生产率参数;  $u$  表示技术等级阶梯的正外部性参数  $0 < u < 1$ ;  $\omega$  表示设备质量投资对技术等级阶梯升级的影响程度  $0 < \omega < 1$ 。技术等级阶梯的增长率为:

$$g_Q = \frac{\dot{Q}_t}{Q_t} = \mu Q_t^{u-1} R_t^\omega \quad (12)$$

其次, 设备研发与制造部门也是设备的制造商, 假设制造一单位设备有效资本的直接成本是一单位的最终产品, 那么创新者能够按照公式(10)对设备有效资本定价。与技术等级阶梯  $Q_t$  相关的净利润最大化问题是:

$$\max \pi_t = (P_t - 1) I_t \frac{1 - e^{-r\phi_t}}{r} - R_t \quad (13)$$

其中,  $\phi_t$  代表保持技术等级阶梯  $Q_t$  的时间,  $(P_t - 1) I_t (1 - e^{-r\phi_t}) / r$  代表生产设备所获得的收益现值。将式(10)代入式(13)可以获得设备研发与制造部门短期内的垄断利润。在长期中, 研发工作可以自由进入, 若  $R_t > 0$ , 则必须保证  $\pi_t = 0$ , 垄断利润消失。假设一次技术升级持续时间为一年, 且利率  $r$  很小 ( $1 - e^{-r} \approx r$ ), 则有  $P_t = (R_t + I_t) / I_t$ 。可以发现, 长期中设备有效资本定价可以使设备研发与制造部门获得设备研发投入补偿。

### 4. 均衡增长路径上的技术与市场

均衡增长时, 设备有效资本的平均年龄不变, 即  $A_t$  为常数,  $\dot{A}_t / A_t = 0$ , 此时有  $\dot{J}_t / J_t = \dot{K}_t / K_t + \dot{Q}_t / Q_t$ 。此外, 假定储蓄率为  $s$ , 在模型中引入资本积累方程  $\dot{K}_t / K_t = (s Y_t / K_t) - \delta$ 。根据资本积累方程可知, 当且仅当  $Y_t / K_t$  的比值一定时,  $K_t$  的增长率为常数。此外, 若  $Y_t / K_t$  一定, 则人均产出之比  $y_t / k_t$  也一定,  $y_t$  和  $k_t$  以相同比例增长。

假定劳动增长率为  $n$ , 根据式(2)可得设备有效资本中体现型技术进步的均衡增长率为:

$$g_Q = \frac{1 - \alpha}{\alpha} (g_Y - n) \quad (14)$$

均衡增长路径上的  $g_Q$  为常数, 所以  $g_Q$  的增长率为 0, 则变换式(12)可得:

$$g_Q = \frac{\omega}{1 - u} g_R \quad (15)$$

由于消费者的全部收入都用于消费、设备投资和研发投入,因此,在均衡增长路径上有  $g_Y = g_C = g_I = g_R$ 。所以联立式(14)和式(15)可得:

$$g_Q = \frac{(1-\alpha)\omega n}{(1-\alpha)(1-u) - \alpha\omega} \quad g_Y = \frac{(1-\alpha)(1-u)n}{(1-\alpha)(1-u) - \alpha\omega} \quad (16)$$

观察式(16)可以发现:在均衡增长路径上,体现型技术进步水平的增长率  $g_Q$  与  $\omega$  和  $u$  正相关,说明现有技术等级水平和设备质量投资对技术等级阶梯升级存在正向影响;总产出的增长率  $g_Y$  也与  $\omega$  和  $u$  正相关,说明现有技术等级水平和设备质量投资对经济增长存在正向影响。

从整个生产过程来看,设备研发投入能够促进技术等级阶梯升级,并使最终产品生产部门获得更高的经济增长,其中部分收益可以支持设备研发投入。因此,在均衡增长路径上,设备质量投资、技术等级阶梯升级与经济增长可以形成一个良性循环。基于此,本文提出以下假说:

假说1:设备质量投资能够促进技术等级阶梯升级,从而实现经济持续增长。

## (二) 开放条件下技术等级阶梯升级和经济增长的路径选择

进一步地,本文考虑一个开放经济体,设备有效资本的体现型技术进步将受到技术扩散影响而加快,主要表现在两个方面。一是最终产品生产部门。以国外先进设备替代国内落后设备,能够实现技术跃迁,使整个设备有效资本的生产效率迅速提高。在开放经济下,  $t$  期投资的设备有效资本为:

$$\bar{Q}_t \bar{I}_t + Q_t I_t = \left(1 + \frac{Q_t}{\bar{Q}_t} \eta_t\right) \bar{Q}_t \bar{I}_t \quad (17)$$

其中  $\bar{I}_t$  和  $I_t$  分别代表进口和国内的设备投资,  $\bar{Q}_t$  和  $Q_t$  分别代表进口和国产的设备技术水平;  $Q_t/\bar{Q}_t$  反映国内和国际前沿技术差距  $\rho < Q_t/\bar{Q}_t < 1$ ;  $\eta_t$  为国产设备与进口设备的相对比例,反映两国间贸易情况。

二是设备研发与制造部门。设备有效资本贸易能够提高设备进口国的技术创新水平,通过接触在国际研究中积累起来的知识资本,代表性国家的创新速率将迅速加快。式(11)可以改写为:

$$\dot{Q}_t = \mu Q_t^\alpha R_t^\omega \left(\frac{Q_t}{\bar{Q}_t}\right)^{\eta_t \xi} \quad (18)$$

其中  $\xi$  代表外生的进口国的技术转移能力,技术等级阶梯升级与前沿技术差距  $Q_t/\bar{Q}_t$  和两国间的贸易情况  $\eta_t$  有关。假设国家间贸易情况不变 ( $\eta_t = 1$ ),那么最终产出增长和技术等级阶梯升级只受前沿技术差距  $Q_t/\bar{Q}_t$  的影响。根据 Aghion and Howitt<sup>[8]</sup> 的研究,设备研发与制造部门通过两种方式影响技术进步:一是模仿已经存在的前沿技术;二是在先前的当地技术的基础上创新。假定:

$$Q_t = \varphi Q_{t-1} + \beta \bar{Q}_{t-1} \quad (19)$$

其中  $\varphi$  表示设备研发部门通过自主创新对技术等级的提升程度,  $\beta$  表示设备研发部门通过模仿创新对技术等级的提升程度,  $\bar{Q}_{t-1}$  表示  $t-1$  期的前沿技术水平。假定前沿技术以不变速率  $g^*$  增长,即:

$$\bar{Q}_t = (1 + g^*) \bar{Q}_{t-1} \quad (20)$$

变换式(20)可得国家在  $t$  期的前沿距离和  $t-1$  期的前沿距离之间的关系:

$$\frac{Q_t}{\bar{Q}_t} = \frac{1}{1 + g^*} \left( \beta + \varphi \frac{Q_{t-1}}{\bar{Q}_{t-1}} \right) \quad (21)$$

式(21)说明,自主创新对技术升级和经济增长的相对重要性  $\varphi$  随着国家接近世界技术前沿的程度而增长,而模仿创新  $\beta$  则是当国家更远离前沿技术时才变得更加重要。

从另一方面来看,  $Q_t$  代表技术等级阶梯中的绝对位置,而  $Q_t/\bar{Q}_t$  则代表技术等级阶梯中的相对位置。  $Q_t/\bar{Q}_t$  越大,不仅说明距离前沿技术越近,还意味着在技术等级阶梯中的相对位置越高;

反之,距离前沿技术越远,则意味着相对位置越低。当所处技术等级较低时,设备技术复杂度不高,同业竞争激烈。为了从市场竞争中胜出,相关部门倾向于寻求能够在短期内快速提高生产力的模仿创新投资,比如直接购进国外先进设备。此外,与前沿技术的差距越大,通过技术引进或模仿所获得的生产力增长与知识积累的收益就越大,因为相对于自主创新,发明的模仿和使用更加便宜。当所处技术等级阶梯较高时,设备技术含量通常高于其他同类型设备资本,通过模仿创新难以有效实现设备技术升级。并且位于技术高阶的设备研发与制造部门通常已在市场中取得技术垄断的优势地位,出于长远发展考虑,它们会更倾向于投资自主创新与研发。基于此,本文提出以下假设:

假说 2: 设备质量投资促进技术升级和经济增长的作用机制存在阶梯异质性。位于技术低阶时,设备质量投资主要通过模仿创新促进技术升级和经济增长;位于技术高阶时,设备质量投资主要通过自主创新促进技术升级和经济增长。

### 三、模型设定与数据说明

#### (一) 计量模型设定

为了检验假说 1,即设备质量投资能够促进技术等级阶梯升级,从而影响经济增长,本文建立以下计量模型:

$$TFP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Equipment_{it} + Ctrl_{it} + YearFe_{it} + IndustryFe_{it} + \varepsilon_{it} \quad (22)$$

其中, $TFP_{it}$ 代表企业*i*在第*t*期的全要素生产率增长情况,包括技术进步(*TC*)和技术效率改进(*TEC*)。 $Equipment_{it}$ 代表企业*i*在第*t*期的设备质量投资,具体分为前期已完成的设备质量投资(*Stock*)和当期新增加的设备质量投资(*Invest*)。 $Ctrl_{it}$ 代表控制变量, $YearFe_{it}$ 代表年份固定效应, $IndustryFe_{it}$ 代表行业固定效应。

#### (二) 数据来源与样本划分

本文选取 2013—2018 年沪深交易所的上市公司数据进行实证研究,并对样本进行如下处理:(1) 选取证监会行业分类为制造业的公司;(2) 剔除 B 股公司;(3) 剔除 ST 和\*ST 类公司;(4) 剔除存在数据缺失的公司;(5) 对除虚拟变量以外的所有变量取对数,并进行标准化处理;(6) 2011 年会计准则发生较大修改,为了保证核算口径一致,样本数据选取范围为 2013—2018 年。本研究数据均来源于 Wind 数据库。

本文借鉴 Albrizio *et al.*<sup>[10]</sup>的研究,将企业现有技术 with 行业前沿技术的距离定义为技术等级阶梯,具体计算公式为  $Tech_i = \ln(TFP_i / TFP^*)$ 。其中, $Tech_i$  为代表性企业*i*与前沿性企业的技术距离; $TFP_i$  为代表性企业*i*的技术水平,以企业*i*的全要素生产率表示; $TFP^*$  为技术前沿指标,以当期行业内技术水平最高的企业的全要素生产率表示。 $Tech_i$  越小,说明代表性企业距离前沿技术越远,所处技术阶梯越低;反之, $Tech_i$  越大,则说明企业越接近前沿技术,所处技术阶梯越高。计算出每年各企业的技术等级阶梯之后,对每年的技术等级阶梯分别排序,并取二等分。将  $Tech_i$  值较小的企业划定为位于技术低阶的企业, $Tech_i$  值较大的企业划定为位于技术高阶的企业。

#### (三) 变量选取

1. 被解释变量:全要素生产率增长(*TFP*)。本文借鉴石奇和万建飞<sup>[11]</sup>的研究,通过 Dea-Malmquist 指数法,计算出全要素生产率的变化率,并将其分解为技术进步和技术效率改进,二者的作用机理和内涵不同。从长期效应来看,设备质量投资促进了技术进步,使生产前沿面外移,带来经济增长的可持续性;从短期效应来看,设备质量投资提升了技术效率,缩短了实际产出与生产前沿面上的最大产出之间的相对距离,能够显著提高短期的产出水平。所以,本文使用全要素生产率的变化率(*TFP*)衡量经济发展的总效应,技术进步(*TC*)衡量经济发展的长期效应,技术效率改进(*TEC*)衡量经济发展的短期效应。

2. 核心解释变量: 设备质量投资( *Equipment* )。设备有效资本的质量不仅与设备投资品的体现型技术水平有关,还与设备投资品的平均年龄有关,因此在衡量设备质量投资时,需要同时考虑技术创新投入和物质资本积累。设备有效资本由不同技术水平的设备投资品组成,实际上反映了不同时期设备投资品的技术水平和资本存量,因此,本文使用设备有效资本反映设备质量投资情况,并重点区分不同时期发生的设备质量投资。基于此,本文利用永续盘存法计算并分解当期设备有效资本存量,使用前期设备有效资本净存量表示已发生的设备质量投资,当期设备有效资本投资量表示新增的设备质量投资,当期设备有效资本存量表示全部的设备质量投资。

已发生的设备质量投资( *Stock* )的计算方法如下: 第一步,计算资本质量指数。借鉴赵志耘等<sup>[12]</sup>以及赵景和董直庆<sup>[13]</sup>的研究,假定资本质量指数等于设备投资品价格指数与建筑材料价格指数的比值。其中,设备投资品价格指数为七个装备制造业 PPI 的加权平均,权重为工业增加值占七个行业工业增加值之和的比重。2007 年后的工业增加值由前一年的工业增加值乘以当年的工业增加值累计同比增长率近似求出。第二步,选取前期固定资产净额代表折旧后的前期设备资本存量。第三步,将前期固定资产净额与当期资本质量指数相乘,结果表示经过设备总技术指数调整的前期折旧后设备资本净存量,即已发生的设备质量投资。

新增加的设备质量投资( *Invest* )的计算方法如下: 第一步,当期研发投入涉及购买先进机器设备、雇佣高技术人员和引进专利技术等,因此当期研发投入中的一部分代表当期设备有效资本投资量。第二步,估算研发投入中当期设备有效资本投资量占比。设备资本沉没成本高,面临折旧问题,且使用年数有限,只有预期设备资本带来的未来利润大于当期投资成本时,企业才会投资设备资本。借鉴何文韬<sup>[14]</sup>的研究,托宾 Q 值代表企业投资预期,Q 值越大,企业设备投资率越高。因而在考虑滞后性的前提下,本文使用前期的托宾 Q 值衡量企业当期设备有效资本投资力度。第三步,将当期研发投入与前期托宾 Q 值相乘,结果表示当期设备有效资本投资量,即新增加的设备质量投资。

3. 中介变量。(1) 模仿创新( *Intr* )。企业通过模仿和引进先进技术设备,能够节省高昂的研发费用,并且实现以较低的成本获得较大的产出从而获取更高利润的目标。劳动生产率是指劳动者在一定时期内创造的劳动成果与其相对应的劳动消耗量的比值,能够反映出模仿创新产生的低成本、高产出和高利润,所以本文使用劳动生产率衡量企业的模仿创新情况。具体计算公式为: 劳动生产率 = ( 营业收入 - 购买商品、接受劳务支付的现金 ) / 员工总数。(2) 自主创新( *Self* )。企业通过自主研发、改进和创造先进设备,能够长期维持在行业中的竞争地位,并适应错综复杂的市场环境变化,对企业的长远发展具有重要意义。企业可持续发展的能力是指企业在追求长久生存与永续发展的过程中,既能实现经营目标、确保市场地位,又能使企业在已经领先的竞争领域和未来的扩展经营环境中保持优势、持续盈利,并在相当长的时间内稳健成长的能力。本文参考 Higgins<sup>[15]</sup>和 Van Horne<sup>[16]</sup>对可持续增长率的研究,使用企业可持续发展指标衡量企业自主创新。具体计算公式为: 可持续增长率 =  $\rho / (1 - \rho)$ ;  $\rho =$  销售净利率  $\times$  总资产周转率  $\times$  留存收益率  $\times$  净资产收益率。

4. 控制变量。(1) 企业年龄( *Age* )。企业年龄会对全要素生产率产生影响,本文使用当年年份减去企业注册年份再加 1 来计算企业年龄。(2) 融资约束( *Fin* )。融资约束会显著影响企业的投资行为,本文使用经营性现金流量占比来代表资金约束状况。(3) 股权集中度( *Top* )。股权集中度对企业的投资决策有重要影响,本文使用前十大股东的持股比例衡量企业的股权集中度。(4) 资本收益率( *Roa* )。资本收益率能够影响企业生产规模的扩大、新技术的应用和研发创新投入,进而对生产率提升产生显著影响。本文使用企业净利润与所有者权益的比例衡量资本收益率。(5) 企业所有制( *Own* )。本文按照企业所有权属性对企业分类,非国有企业取值为 0,国有企业取值为 1。

本文主要变量的描述性统计结果见表 1。

表1 变量描述性统计

	变量名称	单位	均值	最小值	最大值	观测数	标准差
被解释变量	<i>TFP</i>	—	1.001	0.747	1.264	7 500	0.016
	<i>TC</i>	—	1.004	0.879	1.135	7 500	0.017
	<i>TEC</i>	—	0.997	0.841	1.209	7 500	0.022
核心解释变量	<i>Equipment</i>	百万元	3 123.933	-37 772.090	174 480.500	7 500	8 430.142
	<i>Stock</i>	百万元	2 844.419	0.266	167 947.400	7 500	8 019.452
	<i>Invest</i>	百万元	279.514	-37 788.050	27 026.230	7 500	1 296.229
中介变量	<i>Intr</i>	%	0.333	-5.552	7.040	7 500	0.446
	<i>Self</i>	%	5.002	-589.875	18 693.490	7 500	217.122
控制变量	<i>Age</i>	年	19.350	3	64	7 500	5.300
	<i>Fin</i>	%	3 723.137	1	7 432	7 500	2 146.705
	<i>Top</i>	%	55.306	9.150	94.330	7 500	14.344
	<i>Roa</i>	%	41.517	0.797	168.527	7 500	19.802
	<i>Own</i>	—	0.337	0	1	7 500	0.473
	<i>Human</i>	%	3 322.865	1	7 019	7 500	2 119.334
	<i>Intangible</i>	%	4.468	-5.305	83.590	7 500	8.433
	<i>Rate</i>	%	7.395	-464.299	471.159	7 500	24.919

注:数据来源于 Wind 数据库,并经作者整理得到。

#### 四、实证结果与分析

##### (一) 基准回归结果

表2 报告了设备质量投资对企业全要素生产率增长的影响。列(1)至列(3)给出了设备质量投资对全要素生产率增长的总效应、长期效应和短期效应。列(1)显示,设备质量投资对 *TFP* 的影响系数在 10% 的水平上显著为正,这说明设备质量投资能够提升企业的全要素生产率。列(2)显示,设备质量投资对 *TC* 的影响系数在 5% 的水平上显著为负,这说明设备质量投资会对企业的技术进步产生不利影响。列(3)显示,设备质量投资对 *TEC* 的影响系数在 1% 的水平上显著为正,这说明设备质量投资有利于企业的技术效率改进。回归结果基本验证了假说 1,证明了设备质量投资对企业全要素生产率增长有积极影响,且影响主要是短期的。列(4)至列(6)给

表2 设备质量投资对全要素生产率增长的影响

	<i>TFP</i> (1)	<i>TC</i> (2)	<i>TEC</i> (3)	<i>TFP</i> (4)	<i>TC</i> (5)	<i>TEC</i> (6)
<i>Equipment</i>	0.043* (0.026)	-0.033** (0.016)	0.055*** (0.017)			
<i>Stock</i>				0.151*** (0.044)	0.007 (0.026)	0.100*** (0.020)
<i>Invest</i>				-0.078*** (0.018)	-0.027** (0.013)	-0.034** (0.014)
<i>Age</i>	0.009 (0.013)	0.001 (0.009)	0.006 (0.011)	-0.009 (0.011)	-0.006 (0.009)	-0.003 (0.010)
<i>Fin</i>	0.059*** (0.011)	-0.007 (0.009)	0.046*** (0.010)	0.054*** (0.011)	-0.007 (0.009)	0.043*** (0.010)
<i>Top</i>	-0.025* (0.013)	0.002 (0.009)	-0.019* (0.011)	-0.026** (0.012)	0.003 (0.010)	-0.021* (0.011)
<i>Roa</i>	-0.025 (0.021)	-0.007 (0.011)	-0.012 (0.016)	-0.036* (0.019)	-0.015 (0.013)	-0.014 (0.014)
<i>Own</i>	-0.008 (0.029)	-0.015 (0.021)	0.005 (0.024)	-0.027 (0.024)	-0.039* (0.023)	0.009 (0.023)
Obs	7 388	7 388	7 388	6 615	6 615	6 615
R <sup>2</sup> q	0.019	0.504	0.309	0.038	0.532	0.358

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示 1%、5% 和 10% 的显著性水平,括号内为聚类稳健标准误。以上回归均控制了行业固定效应和年份固定效应,下文表格与此相同,不再重复说明。

出了已发生设备质量投资和新增设备质量投资对全要素生产率增长的总效应、长期效应和短期效应。结果显示,已发生设备质量投资的影响系数全部为正,说明已发生设备质量投资会对 *TFP*、*TC* 和 *TEC* 产生积极影响,这意味着已发生设备质量投资对全要素生产率增长具有重要作用,所以应充分重视并利用现有机器设备和生产线等工业基础。与之相反,新增设备质量投资的影响系数全部显著为负,说明新增设备质量投资对 *TFP*、*TC* 和 *TEC* 产生了消极影响,这意味着现阶段设备投资存在问题,不仅无法促进企业生产率增长,而且不利于企业生产效率提升。可见,已发生设备质量投资对全要素生产率起主导作用,新增设备质量投资只起到了调节作用。原因可能在于旧设备存量远高于新设备,以至于覆盖了新增设备投资对生产效率的作用效果。由此可知,已经投入生产的机器设备构成了完备的工业基础,充分发挥了现有生产线和制造设备的潜力,能够保障企业规模化生产,促进生产率增长。

## (二) 稳健性检验

1. 工具变量法。为了克服反向因果关系导致的内生性问题,可以选取核心解释变量的滞后项作为自身有效的工具变量,进行工具变量法回归。因此,本文选取滞后一期的设备质量投资、已发生设备质量投资和新增设备质量投资作为工具变量,进行工具变量法回归。表3报告了工具变量法的回归结果,与表2的基准回归结果基本一致。设备质量投资对企业全要素生产率增长有积极的总效应;已发生设备质量投资和新增设备质量投资分别对企业全要素生产率增长产生了积极效应和消极效应。与表2结果不一致的是,表3第(2)列和第(3)列的回归结果显示,设备质量投资滞后一期对TC和TEC的影响系数分别为正和为负,这说明前一期设备质量投资对技术进步有滞后的积极影响,对技术效率改进有滞后的消极影响。

2. 控制其他技术变量的影响。现实中的技术进步不仅涉及体现型技术进步,还来源于人力资本中的知识资本、技术转化率,以及商誉和无形资产等非体现型技术进步因素。因此,为了控制其他技术变量的影响,本文引入知识资本(Human)、非体现型技术进步(Intangible)和技术转化率(Rate)三个控制变量进行稳健性检验。其中,知识资本使用高技能劳动力与低技能劳动力的雇佣比衡量,非体现型技术进步使用无形资产衡量,技术转化率使用成本费用利润率衡量。表4中控制其他技术变量影响后的实证结果,与表2基准回归结果基本一致。此外,从表4中还可以发现:知识资本对企业全要素生产率增长存在不利影响,原因可能是目前国内人才培养存在问题,许多创新人才不仅无法有效提升生产率,还会浪费资源,抑制生产率增长;非体现型技术进步对企业全要素生产率增长存在积极的短期效应

表3 稳健性检验1:工具变量法

	TFP (1)	TC (2)	TEC (3)	TFP (4)	TC (5)	TEC (6)
Equipment	0.020 (0.016)	0.023 ** (0.011)	-0.003 (0.013)			
Stock				0.077 *** (0.017)	0.037 *** (0.014)	0.025 * (0.015)
Invest				-0.056 *** (0.014)	-0.029 ** (0.011)	-0.016 (0.013)
Age	0.004 (0.015)	-0.009 (0.010)	0.010 (0.012)	0.006 (0.014)	-0.010 (0.011)	0.012 (0.012)
Fin	0.055 *** (0.013)	0.003 (0.009)	0.036 *** (0.011)	0.053 *** (0.012)	0.007 (0.010)	0.032 *** (0.011)
Top	-0.011 (0.013)	-0.004 (0.010)	-0.004 (0.011)	-0.004 (0.013)	-0.009 (0.010)	0.004 (0.011)
Roa	-0.033 ** (0.015)	-0.020 * (0.011)	-0.007 (0.013)	-0.039 *** (0.014)	-0.017 (0.011)	-0.014 (0.013)
Own	0.000 3 (0.030)	-0.022 (0.022)	0.016 (0.025)	-0.026 (0.028)	-0.025 (0.023)	0.000 4 (0.025)
Obs	6 156	6 156	6 156	5 493	5 493	5 493
R-sq	0.017	0.524	0.326	0.024	0.554	0.373

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示1%、5%和10%的显著性水平,括号内为聚类稳健标准误。

表4 稳健性检验2:控制其他技术变量

	TFP (1)	TC (2)	TEC (3)	TFP (4)	TC (5)	TEC (6)
Equipment	0.033 (0.030)	-0.017 (0.018)	0.037 ** (0.019)			
Stock				0.153 *** (0.049)	0.022 (0.029)	0.090 *** (0.022)
Invest				-0.086 *** (0.021)	-0.032 ** (0.015)	-0.036 ** (0.015)
Human	-0.015 (0.011)	-0.001 (0.009)	-0.020 (0.011)	-0.003 (0.011)	0.001 (0.010)	-0.003 (0.011)
Intangible	-0.009 (0.018)	-0.024 ** (0.011)	0.012 (0.013)	0.011 (0.014)	-0.014 (0.011)	0.019 (0.012)
Rate	0.003 (0.017)	0.020 (0.013)	-0.013 (0.013)	0.013 (0.013)	0.014 (0.011)	-0.001 (0.013)
Age	0.002 (0.013)	-0.001 (0.010)	0.002 (0.011)	-0.014 (0.012)	-0.006 (0.010)	-0.006 (0.011)
Fin	0.056 *** (0.012)	-0.004 (0.010)	0.041 *** (0.011)	0.047 *** (0.012)	-0.004 (0.01)	0.036 *** (0.011)
Top	-0.025 * (0.014)	0.004 (0.011)	-0.021 * (0.011)	-0.028 ** (0.013)	0.003 (0.011)	-0.022 * (0.011)
Roa	-0.002 (0.021)	-0.003 (0.015)	0.001 (0.017)	-0.024 (0.020)	-0.012 (0.014)	-0.008 (0.016)
Own	-0.033 (0.031)	-0.020 (0.024)	-0.008 (0.025)	-0.033 (0.033)	-0.039 (0.026)	0.006 (0.025)
Obs	6 386	6 386	6 386	5 883	5 883	5 883
R-sq	0.023	0.514	0.349	0.041	0.539	0.380

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示1%、5%和10%的显著性水平,括号内为聚类稳健标准误。

和消极的长期效应,这意味着专利等无形资产的研发缺少前瞻性,只能在短期内产生收益,无法支持企业长远发展;与之相反,技术转化率对企业生产率增长存在积极的长期效应和消极的短期效应,原因可能是技术转化需要时间,短期内无法使企业获得收益,但有利于企业长期发展。

3. 异质性检验。本文根据企业所处的技术等级阶梯,利用二分法,将样本企业划分为位于技术低阶的企业和位于技术高阶的企业,进行异质性检验。表5的PART 1和PART 2分别给出了位于技术低阶的企业和位于技术高阶的企业企业的回归结果。在PART 1中,除第(2)列中设备质量投资的影响方向与基准回归结果相反以外,其余回归结果均与基准回归结果相似;在PART 2中,除第(1)列中设备质量投资和第(5)列中已发生设备质量投资的影响方向与基准回归结果相反以外,其余回归结果均与基准回归结果相似。对比PART 1和PART 2可以发现,在第(1)列至第(3)列的回归结果中,设备质量投资对位于技术低阶的企业企业的总效应和长期效应大于位于技术高阶的企业,而对位于技术低阶的企业企业的短期效应则小于位于技术高阶的企业;在第(4)列至第(6)列的回归结果中,已发生设备质量投资对企业全要素生产率增长的影响与全部设备质量投资的影响基本一致,而新增设备质量投资对位于技术低阶的企业和位于技术高阶的企业均存在消极效应。上述结果说明,受已有设备基础的影响,现阶段设备质量投资总体表现为对位于技术低阶的企业全要素生产率增长的影响程度大于位于技术高阶的企业。

表5 稳健性检验3:异质性检验

	TFP (1)	TC (2)	TEC (3)	TFP (4)	TC (5)	TEC (6)
PART 1: 位于技术低阶的企业						
Equipment	0.059 (0.046)	0.051* (0.026)	0.006 (0.026)			
Stock				0.189* (0.111)	0.098* (0.059)	0.068 (0.045)
Invest				-0.088** (0.038)	-0.035 (0.021)	-0.039* (0.022)
Age	0.003 (0.019)	0.0004 (0.008)	0.002 (0.015)	-0.010 (0.018)	0.001 (0.009)	-0.008 (0.013)
Fin	0.042** (0.018)	0.002 (0.009)	0.029* (0.015)	0.048** (0.019)	-0.006 (0.010)	0.040*** (0.014)
Top	-0.035* (0.019)	-0.015 (0.010)	-0.015 (0.014)	-0.040** (0.020)	-0.026** (0.011)	-0.010 (0.014)
Roa	-0.035 (0.028)	0.003 (0.012)	-0.029 (0.021)	-0.069* (0.039)	-0.010 (0.019)	-0.043* (0.022)
Own	-0.049 (0.047)	-0.069*** (0.024)	0.013 (0.033)	-0.050 (0.057)	-0.081** (0.032)	0.021 (0.034)
Obs	2 942	2 942	2 942	2 672	2 672	2 672
R-sq	0.034	0.782	0.490	0.053	0.792	0.526
PART 2: 位于技术高阶的企业						
Equipment	-0.011 (0.038)	-0.101*** (0.018)	0.063** (0.028)			
Stock				0.118*** (0.028)	-0.036** (0.016)	0.115*** (0.024)
Invest				-0.064*** (0.020)	-0.044*** (0.013)	-0.016 (0.017)
Age	0.015 (0.017)	-0.0001 (0.010)	0.010 (0.014)	-0.008 (0.015)	-0.012 (0.010)	0.001 (0.014)
Fin	0.041*** (0.015)	-0.015 (0.010)	0.042*** (0.013)	0.048*** (0.014)	-0.015 (0.010)	0.046*** (0.013)
Top	-0.015 (0.017)	-0.002 (0.011)	-0.009 (0.014)	-0.005 (0.015)	0.011 (0.009)	-0.011 (0.013)
Roa	0.011 (0.033)	-0.004 (0.014)	0.011 (0.025)	-0.002 (0.021)	-0.022* (0.012)	0.015 (0.018)
Own	0.022 (0.039)	0.037* (0.022)	-0.011 (0.030)	-0.028 (0.035)	0.024 (0.022)	-0.040 (0.028)
Obs	3 685	3 685	3 685	3 299	3 299	3 299
R-sq	0.029	0.697	0.359	0.052	0.734	0.420

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示1%、5%和10%的显著性水平,括号内为聚类稳健标准误。

五、机制检验

(一) 计量模型设定

本文通过中介效应模型,检验设备质量投资促进技术升级从而提升全要素生产率的中介机制。技术升级的中介机制主要体现在两个方面:(1)设备质量投资主要通过模仿前沿技术实现技术改进,从而提高企业生产效率;(2)设备质量投资主要用于自主研发创新,以提高设备有效资本的技术等级,从而促进企业全要素生产率增长。基于上述分析,本文构建的中介效应模型为:

$$Innovation_{it} = \beta_0 + \beta_1 Equipment_{it} + Ctrl_{it} + \varepsilon_{it} \quad (23)$$

$$TFP_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 Equipment_{it} + \gamma_2 Innovation_{it} + Ctrl_{it} + \varepsilon_{it} \quad (24)$$

其中,中介变量  $Innovation_{it}$  表示模仿创新或自主创新。本文第三部分方程(22)中的  $\alpha_1$  代表设

备质量投资对全要素生产率增长的总影响。方程(24)中的 $\gamma_1$ 代表设备质量投资对全要素生产率增长直接影响。 $\beta_1$ 代表设备质量投资在影响机制方程(23)中的回归系数,方程(24)中的 $\gamma_2$ 代表中介变量对全要素生产率增长的影响系数, $\beta_1 \times \gamma_2$ 代表设备质量投资通过中介变量对全要素生产率增长的间接影响。

## (二) 中介效应检验

表6报告了设备质量投资通过模仿创新机制对企业全要素生产率增长的中介效应。其中,第(1)列至第(4)列为位于技术低阶的企业样本的回归结果。第(1)列的结果显示,设备质量投资的回归系数在1%的水平上显著为正,这说明设备质量投资能够促进位于技术低阶的企业模仿创新。第(2)列的结果显示:设备质量投资的回归系数为正但不显著,说明设备质量投资对位于技术低阶的企业全要素生产率增长有较弱的直接影响;模仿创新的回归系数在1%的水平上显著为正,说明模仿创新有利于位于技术低阶的企业全要素生产率增长。结合第(1)列的结果可知,设备质量投资可以通过模仿创新机制间接促进位于技术低阶的企业全要素生产率增长。第(3)列的结果显示,已完成设备质量投资和新增设备质量投资的回归系数均在1%的水平上显著为正,这说明已完成设备质量投资和新增设备质量投资可以促进位于技术低阶的企业模仿创新。第(4)列的结果显示:已完成设备质量投资的回归系数在1%的水平上显著为正,说明已完成设备质量投资能够直接促进位于技术低阶的企业全要素生产率增长;模仿创新变量的回归系数在1%的水平上显著为正,说明模仿创新有利于位于技术低阶的企业全要素生产率增长。结合第(3)列的结果可知,已完成设备质量投资和新增设备质量投资会通过模仿创新机制对位于技术低阶的企业产生有利影响。

表6 设备质量投资提升全要素生产率的模仿创新机制检验

	技术低阶				技术高阶			
	Intr (1)	TFP (2)	Intr (3)	TFP (4)	Intr (5)	TFP (6)	Intr (7)	TFP (8)
Equipment	0.192*** (0.020)	0.017 (0.020)			0.162*** (0.020)	-0.051*** (0.018)		
Stock			0.167*** (0.022)	0.118*** (0.021)			0.102*** (0.022)	0.076*** (0.018)
Invest			0.106*** (0.019)	-0.082*** (0.018)			0.111*** (0.018)	-0.059*** (0.015)
Intr		0.130*** (0.018)		0.137*** (0.018)		0.204*** (0.015)		0.153*** (0.014)
Age	0.059*** (0.017)	0.003 (0.017)	0.044** (0.018)	-0.009 (0.017)	0.030* (0.017)	0.040** (0.015)	0.023 (0.017)	0.020 (0.014)
Fin	0.173*** (0.018)	0.039** (0.018)	0.166*** (0.018)	0.024 (0.018)	0.104*** (0.017)	0.010 (0.016)	0.106*** (0.017)	0.014 (0.014)
Top	0.056*** (0.017)	-0.045*** (0.017)	0.049*** (0.018)	-0.051*** (0.017)	0.067*** (0.017)	-0.036** (0.015)	0.069*** (0.017)	-0.018 (0.014)
Roa	-0.078*** (0.019)	-0.020 (0.019)	-0.093*** (0.020)	-0.051*** (0.019)	-0.069*** (0.019)	0.037** (0.017)	-0.073*** (0.020)	0.028* (0.016)
Own	0.026 (0.039)	-0.022 (0.037)	0.042 (0.040)	-0.052 (0.038)	-0.006 (0.037)	-0.038 (0.034)	-0.020 (0.038)	-0.091*** (0.031)
Obs	2 834	2 834	2 592	2 592	3 457	3 457	3 116	3 116

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示1%、5%和10%的显著性水平,括号内为聚类稳健标准误。

表6第(5)列至第(8)列为位于技术高阶的企业样本的回归结果。第(5)列的结果显示,设备质量投资的回归系数在1%的水平上显著为正,这说明设备质量投资能够促进位于技术高阶的企业模仿创新。第(6)列的结果显示,模仿创新的回归系数在1%的水平上显著为正,这说明模仿创新有利于位于技术高阶的企业全要素生产率增长。结合第(5)列的结果可知,设备质量投资可以通过模仿创新对位于技术高阶的企业产生间接影响。第(7)列的结果显示,已完成设备质量投资和新增设备质量投资的回归系数均在1%的水平上显著为正,这说明已完成设备质量投资和新增设备质量投

资可以促进位于技术高阶的企业模仿创新。第(8)列的结果显示:已完成设备质量投资的回归系数在1%的水平上显著为正,说明已完成设备质量投资能够直接促进位于技术高阶的企业全要素生产率增长;模仿创新变量的回归系数在1%的水平上显著为正,说明模仿创新有利于位于技术高阶的企业全要素生产率增长。结合第(7)列的结果可知,已完成设备质量投资和新增设备质量投资可以通过模仿创新对位于技术高阶的企业产生有利的间接影响。

表7报告了设备质量投资通过自主创新机制对企业全要素生产率增长产生的中介效应。其中,第(1)列至第(4)列为位于技术低阶的企业的回归结果。第(1)列的结果显示,设备质量投资的回归系数在1%的水平上显著为正,这说明设备质量投资能够促进位于技术低阶的企业的自主创新。第(2)列的结果显示:设备质量投资的回归系数在5%的水平上显著为正,说明设备质量投资对位于技术低阶的企业全要素生产率增长有显著的直接影响;自主创新的回归系数为负但不显著,说明自主创新有可能不利于位于技术低阶的企业全要素生产率增长。结合第(1)列的结果可知,设备质量投资无法通过自主创新提升位于技术低阶的企业的全要素生产率。第(3)列的结果显示,已完成设备质量投资和新增设备质量投资的回归系数在1%的水平上分别显著为负和为正,这说明已完成设备质量投资不利于位于技术低阶的企业的自主创新,而新增设备质量投资有利于位于技术低阶的企业的自主创新。第(4)列中,自主创新变量的回归系数为正但不显著,这说明自主创新对位于技术低阶的企业全要素生产率增长有较弱的正向影响。结合第(3)列的结果可知,已完成设备质量投资和新增设备质量投资通过自主创新机制对位于技术低阶的企业有相互抵消效应。

表7 设备质量投资提升全要素生产率的自主创新机制检验

	技术低阶				技术高阶			
	<i>Self</i>	<i>TFP</i>	<i>Self</i>	<i>TFP</i>	<i>Self</i>	<i>TFP</i>	<i>Self</i>	<i>TFP</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
<i>Equipment</i>	0.069*** (0.022)	0.046** (0.021)			0.090*** (0.02)	0.024 (0.017)		
<i>Stock</i>			-0.097*** (0.022)	0.147*** (0.022)			-0.049** (0.022)	0.090*** (0.019)
<i>Invest</i>			0.289*** (0.019)	-0.059*** (0.020)			0.255*** (0.018)	-0.025 (0.016)
<i>Self</i>		-0.004 (0.018)		0.005 (0.019)		-0.010 (0.014)		0.007 (0.015)
<i>Age</i>	0.071*** (0.018)	0.011 (0.017)	0.049*** (0.017)	-0.004 (0.017)	0.057*** (0.017)	0.039*** (0.014)	0.039** (0.016)	0.024* (0.014)
<i>Fin</i>	0.165*** (0.018)	0.059*** (0.017)	0.192*** (0.018)	0.045** (0.018)	0.106*** (0.017)	0.041*** (0.014)	0.110*** (0.017)	0.036** (0.014)
<i>Top</i>	0.125*** (0.018)	-0.030* (0.017)	0.113*** (0.018)	-0.040** (0.018)	0.105*** (0.017)	-0.021 (0.015)	0.113*** (0.017)	-0.011 (0.015)
<i>Roa</i>	-0.145*** (0.021)	-0.043** (0.019)	-0.121*** (0.020)	-0.071*** (0.020)	-0.166*** (0.019)	0.020 (0.016)	-0.169*** (0.019)	0.008 (0.016)
<i>Own</i>	-0.151*** (0.041)	-0.015 (0.039)	-0.105*** (0.039)	-0.041 (0.039)	-0.258*** (0.038)	-0.075** (0.032)	-0.224*** (0.037)	-0.090*** (0.032)
Obs	2 663	2 663	2 472	2 472	3 269	3 269	2 998	2 998

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示1%、5%和10%的显著性水平,括号内为聚类稳健标准误。

表7第(5)列至第(8)列为位于技术高阶的企业的回归结果。第(5)列的结果显示,设备质量投资的回归系数在1%的水平上显著为正,这说明设备质量投资能够促进位于技术高阶的企业的自主创新。第(6)列的结果显示:设备质量投资的回归系数为正但不显著,说明设备质量投资对位于技术高阶的企业全要素生产率增长存在较弱的直接影响;自主创新的回归系数为负但不显著,说明自主创新不利于位于技术高阶的企业全要素生产率增长。结合第(5)列的结果可知,设备质量投资可能通过自主创新对位于技术高阶的企业产生不利影响。第(7)列的结果显示,已完成设备质量投资和

新增设备质量投资分别显著为负和为正,这说明已完成设备质量投资不利于位于技术高阶的企业的自主创新,而新增设备质量投资可以促进位于技术高阶的企业的自主创新。第(8)列中,自主创新变量的回归系数为正但不显著,这说明自主创新有提升位于技术高阶的企业全要素生产率的倾向。结合第(7)列的结果可知,已完成设备质量投资和新增设备质量投资可能通过自主创新机制对位于技术高阶的企业产生相互抵消效应。

对比表6和表7的结果可以发现,模仿创新系数均显著为正,而自主创新系数为正或为负但均不显著,这说明目前企业全要素生产率增长主要依靠模仿创新驱动,而自主创新对生产率增长没有显著促进作用。原因可能是自主创新缺少统筹一致的战略规划,现阶段的科研方向主要是工业化国家关键技术有什么,目前国内缺什么,就跟着去突破什么。科研选题基本是采取跟进战略,不具备研发的前瞻性。与此同时,各级部门没有结合自身实际情况进行选题和探索,重复列项或彼此制约的现象层出不穷,造成研发经费浪费、研发成果实用性不强等问题,这使得自主创新无法有效驱动经济增长。

## 六、研究结论与启示

本文基于体现型技术进步速率内生视角,构建了均衡增长路径下设备质量投资影响技术等级阶梯升级和经济增长的模型框架,对技术等级阶梯异质性下设备质量投资影响技术升级和经济增长的作用机制进行了理论分析和实证检验。主要结论包括:第一,设备质量投资对企业全要素生产率增长有积极效应,且主要为短期效应;第二,已发生设备质量投资对企业全要素生产率增长起主导作用,而新增设备质量投资主要起调节作用;第三,设备质量投资能够通过模仿创新促进位于技术低阶的企业全要素生产率增长,但无法通过自主创新提升位于技术高阶的企业的全要素生产率。

当前,全球正处于百年未有之大变局,为紧跟全球化浪潮深度调整的步伐,并满足国内经济高质量发展的总体要求,中国未来经济发展需要更强的内生动力,传统的要素成本优势已不可持续,亟待补齐技术短板。在此背景下,应通过构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局,解决中国制造业关键技术缺失的问题。本研究的启示意义在于:第一,立足于完备的工业体系,加快完成新旧动能转换。在技术水平较低的情况下,以往积累起来的机器设备在早期的工业化生产中发挥重要作用,所以,为快速构建国内大循环,必须先立足于现有完备的工业体系,充分利用已有的机器设备。随着技术水平的提高,新型设备资本的影响力逐渐增强,为顺利融入国际大循环,应重视优质资产供给,努力推动新旧机器设备的更新换代,从而实现新旧动能转换。第二,持续改善营商环境,激发微观主体的创新活力。在总体布局方面,畅通国际国内双循环互动发展的新格局,最根本的是持续改善营商环境,以科技推动中国产业链基础能力和现代化水平的提升。在具体措施方面,企业既是参与国内国际大循环的主体,也是技术创新的主体,为了发挥企业在国内国际大循环中的主导地位,必须激发企业的创新活力,引导不同类型的企业采取不同方式进行技术创新。在学习国外先进技术的同时加强自主创新,支持关键产业链及其核心环节和龙头企业的布局和发展。

## 参考文献:

- [1] SOLOW R M. Technical progress, capital formation, and economic growth [J]. The American economic review, 1962, 52(2): 76 - 86.
- [2] NELSON R R. Aggregate production functions and medium-range growth projections [J]. The American economic review, 1964, 54(5): 575 - 606.
- [3] KE S, LUGER M I. Embodied technological progress, technology-related producer inputs, and regional factors in a firm-level model of growth [J]. Regional science and urban economics, 1996, 26(1): 23 - 50.

- [4]黄先海,刘毅群.物化性技术进步与我国工业生产率增长[J].数量经济技术经济研究,2006(4):52-60.
- [5]CAMPBELL J R. Entry ,exit ,embodied technology ,and business cycles [J]. Review of economic dynamics ,1998 ,1( 2) : 371 - 408.
- [6]GROSSMAN G M ,HELPMAN E. Quality ladders in the theory of growth [J]. The review of economic studies ,1991 ,58 ( 1) : 43 - 61.
- [7]GROSSMAN G M ,HELPMAN E. Quality ladders and product cycles [J]. The quarterly journal of economics ,1991 ,106 ( 2) : 557 - 586.
- [8]AGHION P ,HOWITT P. Appropriate growth policy: a unifying framework [J]. Journal of the European Economic Association 2006 4( 2 - 3) : 269 - 314.
- [9]JONES C I. R&D-based models of economic growth [J]. Journal of political economy ,1995 ,103( 4) : 759 - 784.
- [10]ALBRIZIO S ,KOZLUK T ,ZIPPERER V. Environmental policies and productivity growth: evidence across industries and firms [J]. Journal of environmental economics and management 2017 81: 209 - 226.
- [11]石奇,万建飞.服务业全要素生产率增长率测算方法的比较研究[J].南京财经大学学报,2019(4):98-108.
- [12]赵志耘,吕冰洋,郭庆旺,等.资本积累与技术进步的动态融合:中国经济增长的一个典型事实[J].经济研究,2007(11):18-31.
- [13]赵景,董重庆.中国工业物化型技术进步测度及其就业转移效应研究[J].产业经济研究,2019(5):27-38.
- [14]何文韬.“新常态”下制造业设备投资峰值波动及其内在机制研究——基于我国上市公司的微观视角[J].产业经济研究,2016(5):69-77.
- [15]HIGGINS R C. Sustainable growth under inflation [J]. Financial management ,1981 ,10: 36 - 40.
- [16]VAN HORNE J C. Sustainable growth modeling [J]. Journal of corporate finance ,1988 ,1: 19 - 25.

(责任编辑:李敏)

## Equipment quality investment , technology level ladder and total factor productivity growth

WU Fuxiang , LIU Tongtong , DUAN Wei

( School of Economics , Nanjing University , Nanjing 210093 , China)

**Abstract:** In the process of forming a “dual circulation” development pattern , in which domestic and international circulation complements each other , the role of equipment capital modernization is as great as the role of simply increasing this equipment. Based on the endogenous perspective of the embodied technological progress rate , this paper analyzes the impact of equipment quality investment on technological upgrading and economic growth. And on this basis , this paper further studies the effect path of equipment quality investment on technology upgrade and economic growth under the heterogeneity of technological level. The results are as follows. Firstly , the equipment quality investment has a positive effect on the total factor productivity growth , and it is mainly a short-term effect. Secondly , the completed equipment quality investment plays a leading role in the total factor productivity growth and the new equipment quality investment plays a moderating role in the total factor productivity growth. Thirdly , the equipment quality investment can promote the total factor productivity growth of low-tech enterprises through imitative innovation , but it cannot promote the total factor productivity growth of high-tech enterprises through independent innovation. Therefore , we should base on the current complete industrial system foundation , speed up the conversion of new and old kinetic energy to build a domestic circulation and participate in the international circulation. And we should improve the business environment and stimulate the innovation vitality of micro-subjects to ensure the smooth flow of the domestic and international dual circulation.

**Key words:** equipment quality investment; technology level ladder; imitate innovation; independent innovation; total factor productivity growth