

DOI: 10.13504/j.cnki.issn1008-2700.2023.06.004

老龄化能否促进中国劳动 节约型技术创新?

魏嘉辉¹, 顾乃华²

(1. 仲恺农业工程学院 经贸学院, 广东 广州 510230;

2. 暨南大学 产业经济研究院, 广东 广州 510632)

摘要: 构建包含中间投入嵌套的三部门模型, 理论分析结果显示老龄化对劳动节约型技术创新存在倒逼研发投入、技术应用干中学和人力资本积累三种影响路径。选取中国2003—2021年机器人专利数据进行实证检验, 结果表明人口老龄化整体对劳动节约型技术创新存在正向的促进作用, 在一系列稳健性和安慰剂检验下结论依然显著。中介效应检验发现, 三种影响路径均显著存在, 并且人力资本积累效应最强, 研发投入倒逼效应次之, 技术应用干中学效应较弱。异质性研究发现, 工业男女性别比更低、中西部地区的老龄化倒逼创新效应更强。进一步匹配微观工业企业数据发现, 在老龄化趋势影响下, 机器人创新企业的研发要素投入显著增加。

关键词: 劳动节约型技术创新; 人口老龄化; 机器人专利; 倒逼效应; 干中学; 人力资本

中图分类号: F124.3; F240 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-2700(2023)06-0048-15

一、问题提出

改革开放以来, 中国凭借着劳动力比较优势, 常年以7%以上的国内生产总值(GDP)增速创造了世界经济增长奇迹。但近年来, 老龄化程度不断加剧, 人口红利也逐渐消失, 以往粗放型经济增长方式逐渐显现出疲态。为应对人口年龄结构问题, 国家从2011年开始逐步放开计划生育约束。根据《中国统计年鉴》的数据, 2011年11月起中国实施“双独二孩”政策, 2012年和2013年的人口出生率分别为1.457%和1.303%, 相较以往略有增长; 为了进一步提高出生率水平, 2013年12月起实行“单独二孩”政策, 2014年和2015年的人口出生率分别为1.383%和1.199%; 2015年12月起推行“全面二孩”政策, 2016年和2017年的人口出生率分别为1.357%和1.264%。然而, 人口自然出生率并未随政策变动而表现出明显的增长态势, 老龄化趋势愈发严峻。

过去很长一段时间里, 中国凭借人口数量优势承担着世界加工厂的角色, 为众多国家提供产品, 但中国与全球价值链对接多为中间投入的最后一环, 中国制造业出口产品相对低值^[1], 其中一个重要原因就是过于依赖劳动力数量。经济增长具有单一性和脆弱性, 即增长更多来自成本优势而缺乏真正具有竞争力和创新性的产品。根据资源诅咒理论, 对资源过度依赖可能导致人力资本和创新投入不足, 使资源

收稿日期: 2023-01-29; 修回日期: 2023-07-04

基金项目: 广东省哲学社会科学规划青年项目“工业智能化背景下广东高质量就业的机制与对策研究”(GD23YYJ31)

作者简介: 魏嘉辉(1991—), 男, 仲恺农业工程学院经贸学院讲师, 通信作者; 顾乃华(1977—), 男, 暨南大学产业经济研究院研究员。

丰富地区的经济、技术长期发展不如资源匮乏地区。从这一理论视角来看,21世纪以来的人口老龄化趋势既给中国带来了劳动力供给下降、抚养压力上升的严峻挑战,也可能为中国技术进步和创新事业带来机遇^[2]。一方面,出于对长寿风险的担忧,代表性的微观个体会增加人力资本投资,促进整个生命周期的消费效用最大化^[3]。此时,人口数量红利的下降由人口质量补充,进而为科技创新创造供给条件^[4]。另一方面,为了弥补劳动力缺口,微观企业会转变生产方式,投入更多的数字设备替代人力劳动,以降低生产成本和提高劳动生产效率,为技术创新创造需求基础^[5]。

人口老龄化对技术创新的倒逼作用最可能体现在一些劳动节约型技术上。根据希克斯要素偏向技术理论,劳动节约型技术创新是指能够在生产过程中减少和节约人力劳动投入的技术创新,其目的在于降低单位用人成本、提高企业生产效率和竞争力^[6]。劳动节约型技术通常包括各个行业范畴内的自动化、机械化、数字化和机器人化等技术手段。国际机器人联合会(IFR)网站数据显示,21世纪以来中国大规模引进机器人,从2000年930台的机器人保有量增长至2019年的78万台,成为世界上最大的机器人需求国,体现了中国企业“机器换人”的迫切需求。机器人技术作为典型的劳动节约型技术,能在汽车、电子、食品等工业行业中替代人类完成组装、焊接、喷漆、包装等重复性任务,也能在物流、仓储、运输等服务业中实现狭小空间内的货物搬运、库存管理等工作,进而起到劳动节约的目的。

中国大规模应用机器人在一定程度上反映了人口红利下降对劳动节约型技术应用的倒逼作用,但无法体现其对创新的诱发效应。实际上,通过对比IFR机器人应用数据和海关数据发现,中国安装的机器人大部分来自海外进口^[7]。进口机器人由于关税等问题可能无法实现真正意义上的成本节约,也难以满足中国实际生产过程中非标准、多维度的任务需要,因而在老龄化趋势和外部贸易摩擦加剧的环境下,中国劳动节约创新愿望比以往更加强烈。在这样的背景下,人口老龄化能否为中国劳动节约型技术创新带来机遇,具有重要的研究价值。

为了探究这个问题,本文以机器人技术为例,收集了2003—2021年中国本土机器人专利微观申请授权数据,如图1、图2所示。共得到254 162个样本,其中发明专利有126 085项(占比49.608%),实用新型104 663项(占比41.180%),外观设计专利23 414项(占比9.212%),数据来自中国知网专利数据库。从申请数量的时间趋势来看,在2011年以前机器人专利申请数相对较少,而2012年以后开始快速增长,三种专利申请均呈现出随时间的增长趋势,其中公开发明和实用新型专利的增速更快。从专利申请结构变化趋势来看,2012年以前机器人专利申请占全部专利比例相对平稳,而在2012年以后也逐渐提高。中国机器人专利申请数量和申请占比的扩大趋势与2011年后生育政策效果不佳是否存在相关性,值得进一步探讨。

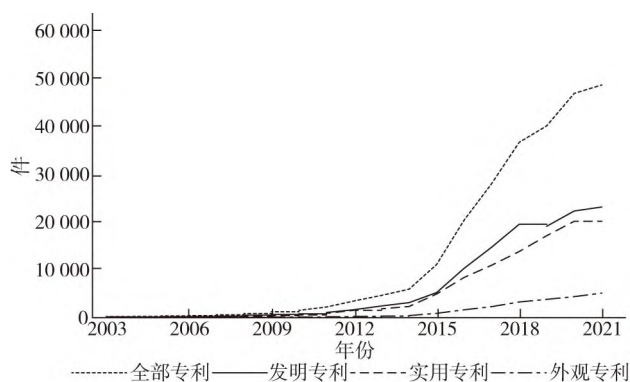


图1 中国机器人专利申请趋势

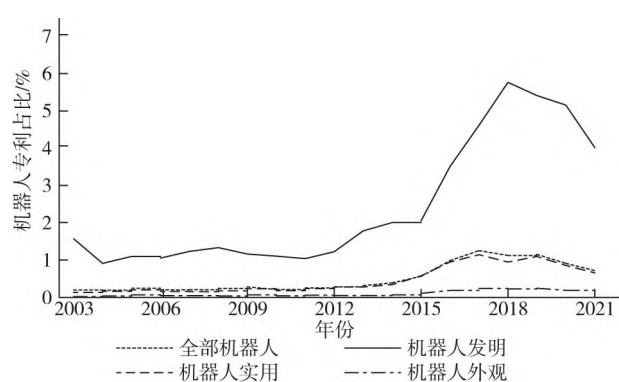


图2 中国机器人专利与全部专利申请比值演化趋势

本文将构建包含最终商品、中间商品和研发的多部门模型, 分析劳动力老化对劳动节约型技术创新的倒逼机制, 并结合中国省级面板数据和工业企业数据进行实证检验。与已有文献相比较, 本文主要的贡献如下: 第一, 在研究视角上, 重点分析老龄化对中国劳动节约型技术创新的影响。相关文献主要研究了老龄化对一般创新的倒逼作用, 而较少考察其对劳动节约型技术创新的影响, 事实上, 相较于其他方面的技术创新, 能够替代劳动力进行生产任务的机器人创新要更加紧迫。第二, 在一般性假设下构建多部门模型框架, 丰富了老龄化的倒逼作用的数理基础。第三, 在研究数据和方法上, 收集 2003—2021 年机器人专利数据, 分别从省级层面和微观企业层面考察老龄化影响机器人创新的具体机制。

二、文献综述

目前研究中国劳动节约型技术创新的文献较少。刘青和肖柏高 (2023) 基于人工智能 (AI) 语言模型识别的方法进行实证研究, 揭示了劳动力成本上升对劳动节约型技术创新的促进作用^[8], 对本文有重要的启示意义。从劳动力成本视角来看, 老龄化促进创新的机制离不开劳动节约型技术与人类劳动的替代关系。阿西莫格鲁和雷斯特雷波 (Acemoglu & Restrepo, 2018) 从理论角度探讨了机器和人类的替代关系, 建立了一个包含旧工作任务替代和新工作任务创造的均衡模型^[9], 为后续实证研究提供了理论基础。阿西莫格鲁等 (Acemoglu et al., 2020)、阿西莫格鲁和雷斯特雷波 (2020) 分别基于法国和美国工人数据, 发现自动化技术应用和劳动力存在明显的替代关系^[10-11]。在以上研究的基础上, 国内学者从多个角度展开实证研究。王永钦和董雯 (2020)、闫雪凌等 (2020) 分别验证了中国机器人应用对制造业就业的挤出效应^[12-13]; 孔高文等 (2020) 从地区整体就业的角度出发, 实证发现机器人技术与地区就业存在滞后一年的替代关系^[14]; 何小钢等 (2023) 研究认为, 机器人与劳动力的替代关系降低了企业的劳动收入份额^[15]。这些研究均发现机器人与传统劳动力存在替代关系。

以上研究揭示了劳动节约型技术与劳动力数量的天然补充关系, 是老龄化背景下寻求中国本土劳动节约型技术创新的基本逻辑。基于这种数量上的补充关系, 一些研究关注老龄化、人口红利下降、劳动力成本上涨等问题对劳动节约型技术应用的影响。陈彦斌等 (2019) 通过构建一个动态一般均衡框架, 认为人工智能应用能有效地应对老龄化对经济的不利影响^[16]; 龚遥和彭希哲 (2020) 通过职业数据库和随机森林算法, 预测了未来 20 年 59% 的中国就业岗位要受到智能技术冲击, 而老龄化趋势下, 智能技术应用能有效缓解劳动力规模下降问题^[17]; 阿西莫格鲁和雷斯特雷波 (2017、2022) 研究发现, 应用自动化技术是过去老龄化国家经济持续增长的重要原因^[18], 而中年劳动者的年龄老化促进了国家和地区投入更多的机器人^[19]。陈秋霖等 (2018)、邓翔等 (2018)、王瑞瑜和王森 (2020) 等通过实证研究发现, 老龄化程度同样也显著促进了中国地区自动化技术投入^[20-22]。可以发现, 这部分研究更关注设备应用层面的影响, 但没有进一步分析是否引致劳动节约型技术创新。

还有研究立足于老龄化视角, 探究各个方面对创新的影响, 虽然没有直接关注劳动节约型技术, 但全面分析了老龄化在人口红利、长寿风险、人力资本和体力上的特性, 为本文理论分析提供了很好的思路。谢雪燕和朱晓阳 (2020)、刘洋等 (2020)、随淑敏和何增华 (2020) 分别从数理模型和实证分析方面论证了老龄化对企业、政府研发投入的倒逼作用, 认为老龄化趋势有利于企业加大研发投入, 进而有利于技术创新^[23-25]; 布卢姆等 (Bloom et al., 2003)、俞锦等 (2020)、刘成坤和林明裕 (2020)、符建华和曹晓晨 (2021) 认为, 为了应对人口老龄化和长寿风险, 劳动人口在青年时期增加人力资本投资和储蓄, 这为技术创新带来促进作用^[26-29]。然而, 也有学者认为, 研发人员的年龄老化和养老压力会对技术创新带来抑制作用。贝哈格尔和格里南 (Behaghel & Greenan, 2010)、金昊和赵青霞 (2019) 等认为老年人口接受知识和技术的能力不如青年人, 因而难以在技术创新中发挥作用^[30-31]; 刘成坤 (2021) 基于省级面板数据, 发现人口老龄化可能会通过挤占政府研发投入弱化相关产业政策效果, 进而降低高技术产业创新效率^[32]。

总体看来, 既有文献更多关注老龄化对劳动节约型技术应用的倒逼作用, 也分析了老龄化对一般性

创新的影响,但较少探讨老龄化与劳动节约型技术创新的关系。老龄化趋势能否为中国劳动节约型技术创新带来机遇?围绕这个问题,本文立足于倒逼创新理论、干中学理论和长寿风险管理理论,分别从研发投入、设备应用和人力资本积累三个路径进行理论分析和实证检验。

三、理论分析

(一) 理论模型

为了分析老龄化对劳动节约型技术创新的倒逼影响,本文建立一个包含最终商品生产部门、中间商品生产部门和研发部门的三部门嵌套模型。设置如下常数替代弹性(CES)形式的最终商品生产函数:

$$Y = (C_K Z_K^\rho + C_L Z_L^\rho)^{\frac{1}{\rho}} \quad (1)$$

其中, Y 表示最终商品; Z_K 和 Z_L 为资本、劳动两种中间商品数量,由中间商品生产部门提供; C_K 和 C_L 为外生决定的中间商品产出弹性; ρ 为要素替代弹性参数,有 $0 < \rho < 1$ 。

假设中间商品厂商生产函数为以下形式:

$$Z_K = A_K K^\alpha \quad (2)$$

$$Z_L = A_L (\theta L)^\alpha \quad (3)$$

其中, K 、 L 分别表示投入的资本和劳动人口; A_K 、 A_L 为资本和劳动力中间商品生产效率; α 为参数,有 $0 < \alpha < 1$,表示满足资本和劳动力投入的边际报酬递减规律; θ 衡量了雇佣劳动力的整体老化程度,有 $0 < \theta < 1$,其越接近0,劳动力老化程度越高,越接近1,劳动力老化程度越低。因此,由式(3)可知,劳动中间产品的生产并不取决于劳动人口投入的多少,而是取决于有效劳动力 θL 的大小。

假设研发部门的活动能够影响中间商品生产的技术效率,但无法改变人口老化的事实,那么研发部门生产函数可以设置为:

$$A_K = b_K X_K^{1-\alpha} \quad (4)$$

$$A_L = b_L X_L^{1-\alpha} \quad (5)$$

其中, b_K 、 b_L 为参数,有 $b_i > 0$; X_K 和 X_L 分别为资本、劳动的研发投入品。按照式(4)和式(5)的设置,研发投入品与研发产出存在凹向原点的正相关关系,同样满足边际报酬递减规律。研发部门生产函数的设置内生化了技术进步,是本文理论模型推导的关键假设。

不失一般性地,假设最终商品市场、中间品市场、劳动力市场和资本市场完全竞争,而研发部门的生产要素由供给方垄断,并由政府规划制定外生的研发要素价格,那么在最终商品厂商利润最大化下得到:

$$P_{ZK} = Y^\rho C_K Z_K^{\rho-1} \quad (6)$$

$$P_{ZL} = Y^\rho C_L Z_L^{\rho-1} \quad (7)$$

其中, P_{ZK} 和 P_{ZL} 分别为资本和劳动中间商品价格。式(6)和式(7)表示了两种中间商品的市场需求函数,说明在既定的最终商品需求下,中间商品价格与中间商品需求数量负相关。

类似地,把式(4)和式(5)代入式(2)和式(3)中,可以在中间商品部门利润最大化下得到:

$$P_{ZK} = \frac{P_{XK} X_K^\alpha}{(1-\alpha) b_K K^\alpha} \quad (8)$$

$$P_{ZL} = \frac{P_{XL} X_L^\alpha}{(1-\alpha) b_L \theta^\alpha L^\alpha} \quad (9)$$

其中, P_{XK} 和 P_{XL} 为研发部门生产要素价格。

假设 MP_K 和 MP_L 分别表示资本和劳动的边际产出,根据希克斯要素偏向型技术进步的定義,在既定的资本劳动比下,当资本边际产出相对于劳动边际产出有更快的增长时则发生了劳动节约型技术进步^[6]。

根据式(1)一式(3)可以得到:

$$\frac{MP_K}{MP_L} = \frac{1}{\theta^{\alpha\rho}} \frac{C_K}{C_L} \left(\frac{A_K}{A_L}\right)^\rho \left(\frac{K}{L}\right)^{\alpha\rho-1} \quad (10)$$

从式(10)来看,劳动节约型技术进步可以来自四个方面的影响:第一,劳动力的老化程度 $\frac{1}{\theta^{\alpha\rho}}$ 。人口老化越严重, $\frac{1}{\theta^{\alpha\rho}}$ 越大,这将直接提高资本劳动边际产出比。然而,这种变化并不能算作真正的劳动节约型技术进步,因为这只是有效劳动力收缩引起的相对要素比例变化,并没有对生产效率带来影响。第二,来自 $\frac{C_K}{C_L}$ 中间商品收入份额的变化。阿西莫格鲁和雷斯特雷波(2018)认为,一些自动化技术创新可能会改变企业生产要素投入的最佳比例,进而对要素产出弹性带来影响,即存在 $\frac{C_K}{C_L}\left(\frac{A_K}{A_L}\right)$ 的正相关函数关系^[9]。第三,来自 $\left(\frac{K}{L}\right)^{\alpha\rho-1}$ 的边际递减效应。由于 $\alpha\rho - 1 < 0$,人均资本的不断积累一定程度上会降低资本和劳动的相对边际产出^[26]。第四,资本技术水平和劳动技术水平增长的相对变化 $\left(\frac{A_K}{A_L}\right)^\rho$,与 $\frac{MP_K}{MP_L}$ 存在正相关关系,表示劳动节约型技术创新引致劳动节约型技术进步。这部分为本文探究的主要内容。

结合式(2)一式(9),在最优要素投入比例下可以得到^①:

$$\frac{A_K}{A_L} = \left[\frac{C_K}{C_L} \frac{P_{XL}}{P_{XK}} \left(\frac{b_K}{b_L}\right)^{\frac{2-\alpha}{1-\alpha}} \left(\frac{K}{L}\right)^\alpha \frac{1}{\theta^{\alpha\rho}} \left(\frac{X_K}{X_L}\right)^{1-\alpha} \right]^{\frac{1-\alpha}{(1-\rho)(1-\alpha)+1}} \quad (11)$$

式(11)为劳动节约型技术创新的决定方程。考虑到老龄化程度对资本积累、人口数量、人力资本水平的可能影响,假设研发效率 $\frac{b_K}{b_L}$ 、相对资本劳动投入比 $\frac{K}{L}$ 为老龄化程度 θ 的函数,那么,比较静态分析下有:

$$\frac{\partial \frac{A_K}{A_L}}{\partial \theta} = \xi_1 \left[\frac{\partial \left(\frac{K}{L}\right)}{\partial \theta} \right] + \xi_2 \left[\frac{\partial \left(\frac{b_K}{b_L}\right)}{\partial \theta} \right] + \xi_3 \left[\frac{\partial \left(\frac{X_K}{X_L}\right)}{\partial \theta} \right] + \xi_4 \quad (12)$$

其中, ξ 为求导后的参数^②。基于式(12),可以把老龄化促进劳动节约型技术创新分为干中学、人力资本积累和倒逼研发投入三种影响路径。

(二) 劳动节约型技术应用的干中学效应

式(12)等号右边第一项表示劳动节约型技术创新的干中学效应。在动态的经济变化中,随着人口老龄化程度加剧,研发要素偏向投入而发生劳动偏向型技术进步时,生产部门的下一周期将增加设备投入比例,使资本劳动比内生地提高,即存在 $\frac{\partial \frac{K}{L}}{\partial \theta} < 0$,由于 θ 越接近0时老龄化越严重,这表示经济稳

定状态下人均资本与老龄化程度的正相关关系。进一步地,由于 $\frac{1-\alpha}{(1-\rho)(1-\alpha)+1}$ 和 $\alpha\rho$ 分别大于0,

此时 $\frac{A_K}{A_L}$ 与 $\frac{K}{L}$ 路径正相关,即老龄化程度越高, $\frac{K}{L}$ 越高, $\frac{A_K}{A_L}$ 越大。

从经济含义看来,该影响来自老龄化程度加剧引起的设备-劳动要素投入比例的提高,即设备应用经验积累引致创新的过程,因而可以把其总结为技术应用下的干中学效应。过去,传统机器人设计来自特

① 推导过程略,备索。

② 推导过程略,备索。

定的生产任务和需求,在焊接、装配、涂装等单一任务下偏向采用成本较低、技术简单的单臂式的机器人,但随着应用规模的扩大和经验积累,人们开始研发和测试多关节、多臂式的机器人系统,使其具有更高的灵活性和适应性,可以完成更多的复杂任务和操作。基于此,本文提出以下假设:

假设 1: 老龄化倒逼工业部门增加机器设备使用,产生干中学效应,促进劳动节约型技术创新。

(三) 人力资本积累效应

过去部分研究指出,老龄化因带来长寿风险而迫使人们增加青年时期的人力资本投资,其对劳动节约型技术创新的影响体现在式(12)等号右边第二项上,表示人力资本积累效应。由于 $\frac{2-\alpha}{1-\alpha} > 0$, $\frac{A_K}{A_L}$ 与路径 $\frac{b_K}{b_L}$ 正相关。考虑到 $\frac{b_K}{b_L}$ 表示资本、劳动研发效率比值,此时,如果人力资本积累偏向于促进资本设备研发效率,则有利于促进劳动节约型技术创新,反之则有利于促进资本节约型技术创新。

从倒逼创新理论视角看来,由于人口老龄化趋势减少了劳动人口数量,相较于资本节约型技术,劳动节约型创新动机更强。这体现在近年的人工智能、互联网等技术不断发展,且相较于经济、管理等人文社会科学学科,机械、智能技术、自动化等理工类学科教育扩招幅度更大。由此,本文提出以下假设:

假设 2: 老龄化通过倒逼人力资本偏向积累,促进劳动节约型技术创新。

(四) 研发投入倒逼效应

式(12)等号右边第三项表示研发投入倒逼效应,由于 $1-\alpha > 0$, 所以 $\frac{A_K}{A_L}$ 与路径 $\frac{X_K}{X_L}$ 正相关。然而,研发投入比为内生变量,需要作进一步分析。基于式(4)、式(5)和式(11),可以进一步分离得到:

$$\frac{X_K}{X_L} = \left[\left(\frac{b_K}{b_L} \right)^\rho \frac{C_K P_{XL}}{C_L P_{XK}} \frac{1}{\theta^{\alpha\rho}} \left(\frac{K}{L} \right)^{\alpha\rho} \right]^{\frac{1}{1-\rho+\alpha\rho}} \quad (13)$$

由于 $1-\rho+\alpha\rho > 0$, $\partial \frac{K}{L} / \partial \theta < 0$ 和 $\partial \frac{b_K}{b_L} / \partial \theta$ 都小于 0, 研发投入要素比例 $\frac{X_K}{X_L}$ 与老龄化程度 $\frac{1}{\theta^{\alpha\rho}}$ 正相关,即老龄化的加剧将推动更多资本研发要素投入,进而倒逼劳动节约型技术创新。由此,本文提出以下假设:

假设 3: 老龄化通过倒逼创新部门偏向增加资本研发投入,进而推动劳动节约型技术创新。

四、实证检验

(一) 实证模型建立

为了验证以上假设,本文以中国机器人专利申请授权代理劳动节约型技术创新展开实证分析。由于中国工业企业数据样本在时间上相对滞后,而中国机器人专利在 2011 年以后才开始大量增长,现有数据不支持微观匹配,本文的基准分析将从省级层面展开。后文进一步研究分析时,考虑创新的时间滞后性再补充微观层面的实证分析。据此,本文提出以下基准回归模型:

$$ino_{it} = \beta_0 + \beta_1 old_{it} + \beta_2 X_{it} + v_i + \lambda_t + \varepsilon \quad (14)$$

其中,下标 i 和 t 分别表示地区和年份; ino 为劳动节约型技术创新; old 为地区老龄化程度; X 为一系列省级层面的控制变量; v_i 和 λ_t 分别表示个体和时间固定效应; ε 为估计误差; β 为回归系数。系数 β_1 指向了老龄化对劳动节约型技术创新的影响,如果显著为正,则说明老龄化对劳动节约型创新存在倒逼作用。

为了验证其中机制,参考温忠麟等(2004)^[33] 检验中介效应的三步法,在式(14)的基础上提出:

$$med_{it} = \delta_0 + \delta_1 old_{it} + \delta_2 X_{it} + v_i + \lambda_t + \varepsilon \quad (15)$$

$$ino_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 old_{it} + \gamma_2 med_{it} + \gamma_3 X_{it} + v_i + \lambda_t + \varepsilon \quad (16)$$

其中, med 为中介变量,包括研发投入、技术应用和人力资本积累; δ 和 γ 为回归系数。在式(14)一式(16)组合模型下,如果回归系数 δ_1 显著而 γ_1 小于 β_1 , 则说明中介效应存在。

(二) 变量的选取

被解释变量方面, 考虑到机器人外观发明专利多数应用于立体模型和玩具的制造, 与机器替代劳动的作用联系很小, 本文以去除外观发明专利后的地区机器人申请专利数据为研究对象, 而为了控制总体专利申请数量提高对机器人专利申请带来的趋势性影响, 以机器人专利申请占地区全部专利申请数量的比值为被解释变量。解释变量方面, 本文参考汪伟等 (2015)^[2], 以地区老年抚养比衡量老龄化程度。中介变量方面, 与理论分析相对应, 本文分别考察老龄化对劳动节约型技术创新的三种效应。其中, 研发投入倒逼效应和人力资本积累效应分别以地区研发 (R&D) 人员全时当量对数、区域大专及以上学历人数占比代理。设备应用于中学效应方面, 考虑到过去中国机器人大多来自海外进口, 同时为了区分本土研发投入效应, 本文以地区进口机器人数量对数进行衡量^[7]。

本文加入以下控制变量: 政府干预程度, 地方政府的财政支持一定程度上对企业创新投入有正向作用, 本文以地方政府财政支出与 GDP 的比值衡量; 外商直接投资水平, 地区外商投资水平有利于外部技术引进, 对本土创新具有促进作用, 本文以当期平均汇率平价后的外商企业投资额 (万元) 与地区生产总值 (亿元) 的比值度量; 对外开放程度, 地区的对外开放水平会影响企业进口机器人设备的动机, 进而影响技术创新, 本文以进出口贸易总额占地区生产总值的比例衡量; 高等院校数, 从样本看来, 相当部分机器人专利申请人为地方高校, 高等院校分布可能对机器人创新存在显著促进作用, 本文以地区高等院校数量的对数衡量地区高等教育水平; 地区工业强度, 区域机器人创新需求相当部分来自市场, 为了控制这方面的影响, 本文以区域第二产业从业人数的自然对数代理区域工业强度。此外, 为了控制不随时间变化的地区差异, 如地理位置、资源、人文环境等对机器人创新的影响, 以及控制随时间变化的外部经济波动作用, 本文在回归中均加入了个体固定效应和时间固定效应。为了消除极端值对回归的影响, 对被解释变量、解释变量均做前后各 1% 的缩尾处理。

(三) 数据来源与描述性统计

本文基准研究、稳健性检验、异质性分析部分的样本为 2003—2021 年省级面板数据, 其中西藏、宁夏由于数据的缺失而予以剔除, 部分缺失但非连续缺失数据通过与时间插值的方法补充。而中介效应检验部分, 由于进口贸易数据中关于机器人的国际商品分类 (HS) 在 2012 年以后才新增 (HS2012), 本文的中介变量进口机器人数据的样本始于 2012 年, 并把中介效应检验样本区间时间设置为 2012—2021 年。机器人专利数据来自中国知网专利数据库; 省级专利数据、研发人员全时当量数据来自各年度《中国科技统计年鉴》; 进口机器人数据来自中国海关商品贸易数据库; 地区老龄化程度、高校数量、财政支出、对外贸易、人口出生率数据来自《中国统计年鉴》、各地方统计年鉴和《中国教育统计年鉴》; 稳健性检验中退休参保占比、异质性分析中的服务业就业数据来自《中国劳动统计年鉴》; 进一步研究中的企业层面变量全部来自《中国工业企业数据库》。

变量的描述性统计结果如表 1 所示。

表 1 描述性统计

变量类型	变量符号	变量说明	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量与 解释变量	<i>ino</i>	机器人专利占全部专利的比值	551	0.004	0.004	0.000	0.019
	<i>ino_inv</i>	机器人发明专利占全部发明专利比值	551	0.021	0.020	0.000	0.080
	<i>ino_utl</i>	机器人实用专利占全部实用专利比值	551	0.004	0.004	0.000	0.019
	<i>Ino_app</i>	机器人外观专利占全部外观专利比值	551	0.002	0.004	0.000	0.049
	<i>old</i>	老龄化程度	551	0.140	0.037	0.078	0.267

表1(续)

变量类型	变量符号	变量说明	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
稳健性、机制与 异质性分析变量	<i>you</i>	少儿抚养比	551	0.257	0.079	0.096	0.473
	<i>retire</i>	退休参保占比	551	0.281	0.065	0.106	0.434
	<i>lnrd</i>	工业 R&D 全时当量	290	10.735	1.363	7.054	13.472
	<i>lnrobotin</i>	进口机器人数量	290	4.658	3.228	0.000	11.321
	<i>high</i>	大专及以上学历占比	290	0.204	0.104	0.082	0.630
省级控制变量	<i>fis</i>	政府财政干预	551	0.214	0.096	0.087	0.593
	<i>open</i>	对外开放程度	551	0.259	0.335	0.007	1.669
	<i>fdi</i>	外商投资水平	545	0.212	0.180	0.000	0.796
	<i>lnind</i>	地区工业强度	551	6.199	0.971	3.570	7.850
	<i>lnsch</i>	高等院校数	551	4.237	0.602	2.197	5.118
企业层面控制变量	<i>Frd</i>	企业研发强度	1 252 568	-4.098	1.995	-12.288	7.944
	<i>Fage</i>	企业年龄	1 245 071	8.559	9.842	0.000	407
	<i>Fpro</i>	企业利润率	1 248 931	0.042	0.102	-0.405	0.390
	<i>Fexpt</i>	是否出口企业	1 256 949	0.259	0.438	0.000	1.000
	<i>Floan</i>	融资约束	1 248 905	0.031	0.065	-0.016	0.421

(四) 基准回归

基于式(14),可以得到表2回归结果。机器人创新与地区人口老龄化程度呈正向关系:加入控制变量后,老年抚养比每提高1%单位,机器人专利占全部专利的比值增加约0.023%,机器人发明专利占全部发明专利比值增加约0.074%,机器人实用新型专利占全部实用新型专利比值增加约0.010%。近年来,中国人口老龄化程度不断加剧,老年抚养比从1997年的9.689%增长至2021年的20.778%,为中国经济的发展带来极大的负担,使技术发展方面逐渐偏向劳动节约型创新。通过比较系数大小发现,人口老龄化对劳动节约型技术创新的促进作用突出表现在发明专利上,这一定程度上说明老龄化带来了实质性的影响。

表2 基准回归

变量	无控制变量组			加入控制变量组		
	总体专利占比	发明专利占比	实用新型占比	总体专利占比	发明专利占比	实用新型占比
<i>old</i>	0.025 ^{***} (3.234)	0.074 ^{**} (2.283)	0.010 [*] (1.656)	0.023 ^{***} (4.343)	0.202 ^{***} (8.877)	0.026 ^{***} (5.111)
样本量	545	545	545	551	551	551
R^2	0.631	0.723	0.784	0.443	0.573	0.521
地区固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制

注:*、**和***分别表示在10%、5%和1%水平上显著;括号内为*t*值。后表同。

(五) 稳健性检验

为了提高模型的稳健性,分别从以下几个方面进行稳健性检验:

第一,更换解释变量。分别以少儿抚养比、城镇养老保险参保人员中退休人数占比替代老年抚养比进行回归。少儿抚养比一定程度上反映了地区生育水平,与老龄化程度释放的劳动力供给信号相反,其

与劳动节约型创新应该存在负向关系; 城镇养老保险参保人员中的退休人数比例同样反映了地区的老龄化程度, 但与地区老年抚养比相比, 养老保险的供求关系能直接让企业感受到人口红利下降的压力。回归结果如表 3 所示, 少儿抚养比对劳动节约型创新具有负向作用, 而养老保险参保人员中退休人员占比对劳动节约型创新具有正向作用, 与基准回归结论一致。

表 3 稳健性检验 I

变量	少儿抚养比			退休参保占比		
	总体专利占比	发明专利占比	实用新型占比	总体专利占比	发明专利占比	实用新型占比
<i>you</i>	-0.023*** (-7.579)	-0.077*** (-5.646)	-0.029*** (-10.744)			
<i>retire</i>				0.015*** (3.546)	0.071*** (3.942)	0.010** (2.502)
样本量	545	545	545	545	545	545
R^2	0.502	0.578	0.627	0.459	0.564	0.547
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制

第二, 替换被解释变量。基准回归的被解释变量为地区机器人专利申请占全部专利申请的比值, 在此基础上得到的正相关关系一定程度上检验了理论分析的猜想, 但只能说明老龄化倒逼作用带来的专利结构性变化, 无法体现对创新绝对数量的影响。为此, 本部分以机器人专利申请数量作为被解释变量进一步回归分析。然而, 考虑到 21 世纪以来人工智能等技术不断发展, 机器人专利申请数量可能随时代背景而自然存在正向的增长趋势, 进而造成回归系数的高估。为了考察变量受时间趋势的影响程度, 本文进行去趋势化处理, 具体做法如下: 首先以机器人专利申请数的对数值为被解释变量, 以时间为解释变量进行回归, 再把得到的残差项作为去趋势后的被解释变量放回基准模型中, 以此剥离机器人专利申请数量随时间变化的趋势。具体回归结果如表 4 所示。时间变量回归结果表明, 总体专利数量与时间趋势相关性最高, 其次为机器人实用新型专利数量, 最后为发明专利数量, 三个专利绝对数量均与时间存在较强的相关性。以去趋势化处理的残差项为被解释变量的回归结果表明, 老年抚养比每增加 1% 个单位, 总体专利申请数量较原来增长约 2.014%, 发明专利申请数量较原来增长约 3.107%, 实用专利数量较原来增长约 2.851%。

表 4 稳健性检验 II

变量	时间变量回归			残差项回归		
	总体专利数量	发明专利数量	实用新型数量	总体专利数量	发明专利数量	实用新型数量
<i>old</i>				2.014* (1.933)	3.107*** (2.772)	2.851*** (2.651)
年份	0.321*** (71.138)	0.300*** (60.591)	0.311*** (65.883)			
样本量	551	551	551	545	545	545
控制变量	未控制	未控制	未控制	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定	未控制	未控制	未控制	控制	控制	控制

第三,考虑动态模型。由于专利发明是技术长时间积累的结果,知识和研发人员堆积的规模经济效应可能使机器人创新存在动态演化特征,即过去的专利申请数量对当期创新能力存在促进作用。为此,本文结合系统-广义矩估计(SYS-GMM)的方法考察动态模型下老龄化程度对机器人创新的影响。

表5的回归结果表明,滞后一期的机器人专利数量系数均显著为正,说明机器人专利申请可能具有干中学的动态特征;与静态模型相比较,动态模型下老龄化程度对机器人创新的系数变小,说明静态模型可能一定程度上高估了老龄化对机器人创新的影响;对扰动项差分一阶自相关系数检验显著拒绝为零的假设,而对扰动项差分二阶自相关系数检验无法拒绝,说明SYS-GMM估计结果是一致的。

表5 稳健性检验Ⅲ、Ⅳ

变量	动态模型			安慰剂检验	
	总体专利占比	发明专利占比	实用专利占比	外观专利占比	外观专利数量
$L.lnino_j$	0.480 *** (12.281)	0.522 *** (12.816)	0.479 *** (11.319)		
old	0.008 ** (2.101)	0.047 *** (2.684)	0.007 ** (2.207)	0.004 (0.436)	3.242 (1.494)
样本量	516	516	516	545	545
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定	控制	控制	控制	控制	控制
AR (1)	0.000	0.000	0.000		
AR (2)	0.970	0.820	0.147		

注: $L.lnino_j$ 分别表示滞后一期的机器人专利、机器人发明专利与机器人实用专利占比; AR (1)、AR (2) 分别表示对扰动项差分的一、二阶自相关系数检验。

第四,安慰剂检验。按照前文分析,老龄化趋势影响机器人创新的主要来自未来劳动力紧缺信号的传递,所以机器人外观设计创新应该与老龄化趋势的关系较小。

为此,分别以机器人外观设计专利占全部外观专利的比值、机器人外观设计专利申请数量的对数值为被解释变量,作为基准回归的对照作安慰剂检验。表5回归结果显示,老龄化趋势对机器人外观设计专利申请占比和绝对申请数量的影响都不显著,进一步提高了结论稳健性。

(六) 机制检验

通过式(14)一式(16),可以得到表6的中介效应检验结果。人口老龄化程度对中介变量研发投入、技术应用和人力资本积累的回归结果系数均显著为正,说明存在正向作用。

将三种影响效应同时加入基准回归模型,发现人口老龄化对机器人专利的影响系数大小和显著性下降,而研发投入、技术应用与人力资本积累三条路径影响显著。通过比较系数乘积发现,人口老龄化倒逼机器人技术创新的人力资本积累路径最强,系数乘积约为0.142,解释了约74.113%的总倒逼效应;其次为研发投入倒逼路径,系数乘积约为0.022,解释了约11.482%的影响;最后为技术进口路径,系数乘积为0.011,解释了约5.741%的影响。

表6 机制检验

变量	未加中介效应	研发投入	技术应用	人力资本	同时加入三种中介效应
old	0.191 *** (5.310)	2.745 *** (5.319)	5.407 ** (2.280)	0.834 *** (18.116)	0.016 6 (0.311)

表6(续)

变量	未加中介效应	研发投入	技术应用	人力资本	同时加入三种中介效应
<i>lnrd</i>					0.008* (1.891)
<i>lnrobotin</i>					0.002* (1.865)
<i>high</i>					0.170*** (3.540)
样本量	284	284	284	284	284
R^2	0.422	0.366	0.048	0.783	0.476
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定	控制	控制	控制	控制	控制

(七) 异质性分析

本文通过构建指标与解释变量交互项的方式进一步研究老龄化影响的异质性。如果解释变量与异质性指标的交互项系数显著, 则说明老龄化对劳动节约型创新的影响存在异质性作用。回归结果见表7。从表7可以看出:

一是工业男女性别比越高, 老龄化的倒逼影响效果越小。这是由于男性在重复性体力任务上存在生理优势所致, 而机器人专利中的码垛机器人、搬运机器人、喷漆机器人等主流的工业机器人设备为典型的劳动节约型设备, 使地区工业男性占比越高, 劳动节约创新紧迫性越低。

二是东部地区的老龄化倒逼作用显著小于中、西部地区, 说明相较于劳动力资源丰富的东部地区, 中、西部地区的劳动节约需求更高。

表7 异质性检验

变量	工业男女性别比	东部地区
$old \times var_j$	-1.895*** (-3.040)	-0.129** (-2.503)
样本量	545	545
R^2	0.526	0.548
控制变量	控制	控制
地区固定	控制	控制
时间固定	控制	控制

注: var_j 分别表示工业男女性别比和东部地区虚拟变量; var_j 和解释变量一阶回归结果略。东、中、西地区部按国家统计局标准划分。

五、进一步研究

专利的申请需要长时间的准备和投入, 企业研究开发相关支出随老龄化程度的加剧而增长。如果能找到劳动力市场的人口老龄化趋势与机器人研发企业研发投入上的正相关关系, 将在一定程度上从微观层面支持本文的结论。

本文把曾经申请机器人专利的工业企业作为机器人创新企业, 即样本区间内机器人专利申请数量至

少为1个的企业为研究对象展开回归分析。

由于中国工业企业数据库中只有2005—2007年和2010年提供了研发投入数据,本文微观层面实证分析以这几年为基础展开。具体数据处理步骤如下:第一,把机器人专利数据通过申请人和工业企业名称相匹配;第二,考虑到时间区间内,工业企业可能存在更改单位名称的情况,本文在剩余未匹配的样本中,通过邮政编码、地址和电话进行二轮匹配。实际操作后匹配得到2792个有效样本,机器人创新企业有860个。

本文构建以下实证模型:

$$Frd_{mt} = \eta_0 + \eta_1 old_{it} + \eta_2 Z_{mt} + \eta_3 X_{it} + v_m + \lambda_t + \varepsilon \quad (17)$$

其中, m 表示企业, η 为估计系数; Frd 表示工业企业研发强度,由人均研究开发费用的对数表示; X 为省级层面的控制变量,沿用式(14)基准回归中的控制变量; Z 为企业层面的控制变量,本文控制企业年龄、企业利润率、是否出口企业和企业融资约束几个方面的变量。

具体地,企业年龄以数据年份与企业开业年份的差额表示;企业利润率以营业利润与营业收入的比值衡量;是否出口企业以0-1虚拟变量表示,当企业出口交货值大于0时为出口企业,取值为1,否则为0;企业融资约束以企业利息支出与固定资产原价值比值衡量。同时,在模型中引入企业固定效应 v_m 和时间固定效应 λ_t 。

回归结果如表8所示。未加入控制变量、加入地区控制变量和加入地区与企业控制变量的回归结果显示,系数 η_1 全部显著为正,说明老龄化程度能够显著促进机器人创新企业加大研发投入强度。

表8 微观层面回归

变量	机器人创新企业		
	未加控制变量	加入地区控制变量	加入地区与企业控制变量
old	7.041* (1.773)	12.810*** (2.664)	11.600** (2.408)
样本量	2792	2792	2771
R^2	0.030	0.041	0.047
地区控制变量	未控制	控制	控制
企业控制变量	未控制	未控制	控制
时间固定	控制	控制	控制
企业固定	控制	控制	控制

六、研究结论与政策建议

改革开放以来,中国一直凭着劳动力比较优势充当世界加工厂的角色,实现了经济的快速增长。然而,随着人口出生率的不断下降,人口预期寿命不断延长,过去的人口红利也逐渐消退。

为了加快转变经济增长方式,推动创新驱动发展战略,本文探讨了人口老龄化对劳动节约型技术创新的影响。基于一个三部门理论模型研究发现,人口老龄化影响劳动节约型技术创新存在研发投入、技术应用和人力资本的三种影响路径。以中国机器人专利申请数据代理劳动节约型技术创新,本文从地区层面和企业层面实证分析了人口老龄化对中国劳动节约型技术创新的影响。

本文研究发现:

第一,总体上,人口老龄化趋势对劳动节约型创新具有显著的促进作用,其中对发明专利的影响最大,实用新型专利作用次之,而对外观专利影响不显著。

第二, 中介效应检验发现, 人口老龄化通过倒逼区域增加研发投入、技术应用、人力资本积累促进机器人技术创新, 影响效果从大到小依次为人力资本积累、研发投入和技术应用。

第三, 异质性检验发现, 由于劳动力供给差异, 男性占比高的地区和中西部人口非密集地区的老龄化倒逼效应更强。

第四, 进一步匹配微观企业数据发现, 相较于其他工业企业, 机器人创新企业因对未来劳动力状况的担忧而提前加大研发投入。

基于以上结论, 在人口老龄化的必然趋势下, 如何充分利用老龄化的倒逼效应, 排除制约机制传导的不良因素, 积极推动经济增长动能的转变、促进劳动节约型技术创新, 是实现经济可持续发展和高质量发展的关键。

为此, 本文提出以下建议:

第一, 加强科技创新交流, 鼓励相关成果转化应用。建议多举办科学技术交流论坛、科技展览会议和技术创新大赛等活动, 加强劳动节约型技术推广, 通过增加信息流通和技术合作破除因信息不对称等问题带来的创新制约。同时, 搭建连接科技人员和企业的科研创新平台, 鼓励校企合作, 加快技术成果向实际生产应用的转化, 引导创新成果流动, 以弥补老龄化带来的劳动力短缺, 推动经济的可持续发展。

第二, 建立健全相关制度, 保护创新。进一步完善知识产权法律法规, 加大对侵权行为的惩罚力度, 宣传创新理念和创新意识, 营造积极、健康和具有竞争性的创新环境, 激发企业创新动力。同时, 灵活搭配使用财政工具, 对于企业以人力资本培养、研发创新投入和技术进口投入等为目的的非经营性支出按影响效应比例适当给予退税优惠和创新补贴, 通过提高创新回报守护研发热情。

第三, 平衡地区发展。建议在中、西部人才短缺地区设立更多的研究机构, 通过提供优惠住房政策、社会保障等手段鼓励科研、技术和教育人才和资金往后发地区转移。适当引导创新要素流动, 促进产业合理空间布局, 以提高劳动力短缺地区技术水平和创新能力, 补充创新要素的同时促进区域经济平衡发展。

第四, 提升人力资本水平。建议从初等教育出发, 增加或设立计算机、人工智能、机器人应用等必修科目, 通过学科融合、交互等方式培育更多技术创新主体, 在人口数量红利下降的趋势下提升人口质量红利。同时, 增加职业培训和技能提升计划, 帮助劳动者适应技术进步和产业变迁, 以促进劳动力与数字技术、智能技术等劳动节约技术互补, 实现经济的高质量和可持续发展。

参考文献:

- [1] 袁凯华, 彭水军, 陈泓文. 国内价值链推动中国制造业出口价值攀升的事实与解释[J]. 经济学家, 2019(9): 93-103.
- [2] 汪伟, 刘玉飞, 彭冬冬. 人口老龄化的产业结构升级效应研究[J]. 中国工业经济, 2015(11): 47-61.
- [3] 姚海祥, 魏嘉辉, 马庆华. 人口预期寿命与退休年龄[J]. 财经研究, 2018, 44(4): 62-75.
- [4] 姚东旻, 宁静, 韦诗言. 老龄化如何影响科技创新[J]. 世界经济, 2017, 40(4): 105-128.
- [5] 魏嘉辉, 顾乃华. 老龄化与中国服务业就业结构[J]. 经济经纬, 2021, 38(1): 86-95.
- [6] 琼斯. 现代经济增长理论导引[M]. 郭家麟, 许强, 李吟枫, 译. 北京: 商务印书馆, 1999.
- [7] 王小霞, 李磊, 蒋殿春. 最低工资上升是否会加速工业企业自动化? ——来自中国机器人进口的思考[J]. 当代经济科学, 2021, 43(3): 32-43.
- [8] 刘青, 肖柏高. 劳动力成本与劳动节约型技术创新——来自 AI 语言模型和专利文本的证据[J]. 经济研究, 2023, 58(2): 74-90.
- [9] ACEMOGLU D, RESTREPO P. The race between man and machine: implications of technology for growth, factor shares, and employment[J]. The American Economic Review, 2018, 108(6): 1488-1542.
- [10] ACEMOGLU D, LELARGE C, RESTREPO P. Competing with robots: firm-level evidence from France [Z]. NBER Working Paper No. 26738, 2020.
- [11] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Robots and jobs: evidence from US labor markets[J]. Journal of Political Economy, 2020, 128(6): 2188-2244.

- [12]王永钦,董雯. 机器人的兴起如何影响中国劳动力市场?——来自制造业上市公司的证据[J]. 经济研究,2020,55(10):159-175.
- [13]闫雪凌,朱博楷,马超. 工业机器人使用与制造业就业:来自中国的证据[J]. 统计研究,2020,37(1):74-87.
- [14]孔高文,刘莎莎,孔东民. 机器人与就业——基于行业与地区异质性的探索性分析[J]. 中国工业经济,2020(8):80-98.
- [15]何小钢,朱国悦,冯大威. 工业机器人应用与劳动收入份额——来自中国工业企业的证据[J]. 中国工业经济,2023(4):98-116.
- [16]陈彦斌,林晨,陈小亮. 人工智能、老龄化与经济增长[J]. 经济研究,2019,54(7):47-63.
- [17]龚遥,彭希哲. 人工智能技术应用的职业替代效应[J]. 人口与经济,2020(3):86-105.
- [18]ACEMOGLU D, RESTREPO P. Secular stagnation? The effect of aging on economic growth in the age of automation[J]. The American Economic Review, 2017, 107(5): 174-179.
- [19]ACEMOGLU D, RESTREPO P. Demographics and automation[J]. The Review of Economic Studies, 2022, 89(1): 1-44.
- [20]陈秋霖,许多,周羿. 人口老龄化背景下人工智能的劳动力替代效应——基于跨国面板数据和中国省级面板数据的分析[J]. 中国人口科学,2018(6):30-42.
- [21]邓翔,张卫,王文静. 人口老龄化能否引致自动化[J]. 现代经济探讨,2018(12):17-24.
- [22]王瑞瑜,王森. 老龄化、人工智能与产业结构调整[J]. 财经科学,2020(1):80-92.
- [23]谢雪燕,朱晓阳. 人口老龄化、技术创新与经济增长[J]. 中国软科学,2020(6):42-53,76.
- [24]刘洋,汪奕鹏,陈广汉. 基于研发投入视角下人口老龄化的经济增长效应研究[J]. 经济问题探索,2020(9):43-57.
- [25]随淑敏,何增华. 人口老龄化对企业创新的影响——基于人口普查数据与微观工业企业数据的实证分析[J]. 人口研究,2020,44(6):63-78.
- [26]BLOOM D E, CANNING D, GRAHAM B. Longevity and life-cycle saving[J]. The Scandinavian Journal of Economics, 2003, 105(3): 319-338.
- [27]俞锦,杨红英,周大辉,等. 人口老龄化与企业家精神的时空差异与路径机制——基于省级面板数据的回归模型研究[J]. 经济问题探索,2020(12):66-78.
- [28]刘成坤,林明裕. 人口老龄化、人力资本积累与经济高质量发展[J]. 经济问题探索,2020(7):168-179.
- [29]符建华,曹晓晨. 人口老龄化对中国经济高质量发展的影响研究[J]. 经济问题探索,2021(6):44-55.
- [30]BEHAGHEL L, GREENAN N. Training and age-biased technical change[J]. Annals of Economics and Statistics, 2010, 99/100: 317-342.
- [31]金昊,赵青霞. 人口结构转变如何影响技术创新——基于省级面板数据的实证分析[J]. 宏观经济研究,2019(12):130-147.
- [32]刘成坤. 人口老龄化与高技术产业创新效率——基于调节中介效应的实证分析[J]. 云南社会科学,2021(3):93-102.
- [33]温忠麟,张雷,侯杰泰,等. 中介效应检验程序及其应用[J]. 心理学报,2004(5):614-620.

Can Population Aging Promote Innovation in Labor-saving Technologies in China?

WEI Jiahui¹, GU Naihua²

(1. Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510230;

2. Jinan University, Guangzhou 510632)

Abstract: Since the reform and opening up, China has played an indispensable role as the global epicenter of manufacturing, capitalizing on its comparative advantage in labor to propel itself towards an era of rapid economic expansion. However, according to the resource curse theory, an excessive reliance on labor quantity may result in insufficient investments in human capital and innovation, consequently hindering the progress of innovation, especially in labor-saving technologies. China is experiencing a continuous aging of population, with gradually diminishing demographic dividend. Can this demographic shift serve as an inducement for China to innovate in labor-saving technologies?

This paper constructs a three-sector model with nested intermediate inputs. By employing the optimization approach, it examines the impact of the aging population trend on innovation in labor-saving technologies and analyzes potential pathways. This paper also collects China's patent data related to robotics from 2003 to 2021, and conducts empirical analyses by matching the data with provincial-level economic variables in China. Additionally, it uses a mediation analysis method in the form of the three-step method to analyze the influencing mechanisms.

The solution of the theoretical model reveals three distinct impact pathways of aging on innovation in labor-saving technologies: driving R&D investment, fostering learning-by-doing in technology application, and accumulating human capital. Through empirical testing, it is found that population aging positively promotes innovation in labor-saving technologies. This conclusion remains valid in a series of robustness and placebo tests. Mediation analysis demonstrates that all three impact pathways analyzed in the theoretical model are significant. The effect of human capital accumulation is the strongest, followed by the impact of R&D investment, while the impact of learning-by-doing effect is comparatively weaker. Heterogeneity analysis reveals that regions with a lower gender ratio in industrial employment and those situated in the central and western regions experience a more pronounced innovation effect driven by aging. Furthermore, the analysis using micro-level industrial enterprise data reveals that under the influence of aging trends, R&D inputs for robot innovation enterprises significantly increase and are notably greater than those for non-robot innovation enterprises.

This paper recommends several proactive measures, including actively dismantling rigid mechanisms that constrain the transmission of market demand, enhancing information transparency, offering tax rebates and subsidies for non-operational expenditures such as human capital enhancement, R&D investment, and technology import, so as to unblock innovation channels and comply with the positive impact of aging on innovation in labor-saving technologies. Furthermore, this paper recommends further encouraging scientific research in economically less developed regions to stimulate regional innovation vitality and promote balanced regional economic development.

Keywords: innovation in labor-saving technology; population aging; robot-related patent; driving effect; learning by doing; human capital

(责任编辑: 姜 菜)