

文章编号: 1673-1646(2026)02-0154-10

人口老龄化对中国劳动节约型技术创新的影响机制 ——基于倒逼机制及经济可持续发展视角

丁佐琴^{1,2}, 千东必^{2*}, 汪小龙¹

(1. 无锡太湖学院 会计学院, 江苏 无锡 214064; 2. 国立釜庆大学 经济学院, 韩国 釜山 48547)

摘要: 针对人口老龄化对中国劳动节约型技术创新的影响问题, 基于2006—2022年中国31个省级面板数据, 构建劳动节约型技术创新动态理论模型和中介效应实证模型。研究发现: 首先, 人口老龄化通过技术应用、人力资本积累和研发投入“倒逼效应”显著促进劳动节约型技术创新。其中, 人力资本积累在促进劳动节约型技术创新方面发挥最为显著的作用; 研发投入对技术创新具有积极影响; 技术应用的学习效应相对较弱。其次, 异质性分析显示, 在经济发展相对落后的区域, 人口老龄化对促进劳动节约型技术创新具有显著潜力。最后, 在人口老龄化挑战下, 通过加强技术创新与知识产权保护、平衡经济结构与区域发展以及提升人力资本水平等措施, 促进劳动节约型技术创新, 进一步提高生产效率最终实现经济的可持续发展。

关键词: 人口老龄化; 劳动节约型技术创新; 内生增长理论; 人力资本积累

中图分类号: F061.3

文献标识码: A

doi: 10.62756/xbsk.1673-1646.2026047

引用格式: 丁佐琴, 千东必, 汪小龙. 人口老龄化对中国劳动节约型技术创新的影响机制: 基于倒逼机制及经济可持续发展视角[J]. 中北大学学报(社会科学版), 2026, 42(2): 154-163.

Study on the Impact Mechanism of Population Aging on Labor-saving Technological Innovations in China ——From the Perspective of Forced Mechanism and Sustainable Economic Development

DING Zuoqin^{1,2}, CHUN Dongphil^{2*}, WANG Xiaolong¹

(1. School of Accounting, Wuxi Taihu University, Wuxi 214064, China;

2. School of Economics, Pukyong National University, Fusan 48547, Korea)

Abstract: Addressing the issue of the impact of population aging on labor-saving technological innovation in China, this study constructs a dynamic theoretical model, and a mediation effect empirical model of labor-saving technological innovation based on panel data from 31 provinces in China from 2006 to 2022. The research findings are as follows: Firstly, population aging significantly promotes labor-saving technological innovation through the “forced effect” of technological application pathways, human capital accumulation, and research and development (R&D) investment. Among these, human capital accumulation plays the most significant role in promoting labor-saving technological innovation; R&D investment has a positive impact on technological innovation. The learning effect of technological application is relatively weak. Secondly, heterogeneity analysis shows that in regions with less developed economies, population aging has significant potential to promote labor-saving technological innovation. Lastly, in the face of the challenges posed by population aging, measures such as strengthening technological innovation and intellectual property protection, balancing economic structure and regional devel-

收稿日期: 2024-10-17

基金项目: 国家哲学社会科学基金项目: 金融周期对中国经济周期波动影响的动态影响机制研究(19BJL020)

作者简介: 丁佐琴(1982—), 女, 博士生, 从事专业: 技术经济学。E-mail: dingzq@wxu.edu.cn。

*通信作者: 千东必(1985—), 男, 教授, 博士生导师, 从事专业: 技术经济学。E-mail: feel7322@gmail.com。

opment, and enhancing the level of human capital can promote labor-saving technological innovation, further improve production efficiency, and ultimately achieve sustainable economic development.

Key words: population aging; labor-saving technological innovation; endogenous growth theory; human capital accumulation

人口老龄化已成为当代中国社会热点问题之一。2020年国家统计局发布的数据显示,在“第七次全国人口普查”中,我国总人口达到141 178万人,其中65岁及以上的老年人口为19 059万人,占总人口的13.5%;0~14岁的少儿人口为25 341万人,占总人口的17.95%。与2010年的“第六次全国人口普查”相比,老年人口比例上升4.63%,而少儿人口比例仅上升1.35%^[1]。这说明中国的人口结构正处于低生育水平,人口红利正在逐渐消失,人口老龄化问题日益严峻。改革开放以来,中国社会经济的快速发展在很大程度上依赖以市场换技术、引进外资等方式,自主研发能力欠缺。然而,低附加值商品价值较低,依赖廉价劳动力和低附加值产品的加工贸易模式是不可持续的^[2,3]。随着人口老龄化加剧,适龄劳动人口的比例下降,劳动力成本上升,这促使企业寻求通过技术创新来减少对劳动力的依赖。这一趋势推动了劳动节约型技术的发展,并为产业结构的转型与升级提供了动力。从这个角度来看,中国的人口老龄化和低生育率形成了一种倒逼机制,推动劳动节约型技术创新及产业结构优化。

人口老龄化的加剧和劳动力成本的上升,促进了人工智能和自动化技术的飞速发展,以资本要素的生产效率提升快于劳动的生产效率提升为典型的劳动节约型技术应运而生。例如,数字经济提高劳动生产率,在制造业中尤为重要^[4,5],将AI技术应用在生产过程中,显著降低人力成本,提高生产效率^[6]。2022年,中国工业机器人产量超过44万套,装机量占全球比重超过50%,充分体现了劳动节约型技术在制造行业中的广泛应用^[7]。劳动节约型技术的核心优势在于能够替代或辅助人类完成重复性高、危险或精细的工作。例如,在机械工程和电气工程领域,机器人可执行精确的组装和焊接任务;在信息工程和计算机工程领域,自动化系统可处理大量数据和执行复杂的算法;在生物工程和电子学领域,机器人技术被用于精密的实验室操作和电路板制造。工业机器人的应用不仅能提升生产效率,还能改善工作条件、减少工伤事故,同时为工人提供更多的学习和成长机会。随着劳动节约型技术的不断进步,未来工业机器人将更加智能化、

灵活化地适应多变的生产需求,推动产业结构转型升级,从而为社会经济可持续发展提供强有力的技术支持。由此可见,劳动节约型技术创新有望成为缓解人口老龄化对经济可持续发展负向影响的驱动力量。基于此,深入探讨在人口老龄化背景下,通过何种方式促进劳动节约型技术创新,其内在作用机制为何,这对于在智能化时代更好地应对人口老龄化冲击、推动经济结构调整和科技创新,促进经济可持续发展具有重要的理论价值与现实意义。

1 相关研究

劳动节约型技术在当前学术界逐渐受到关注。国内学者从宏观和微观两个层面进行了深入探讨。宏观层面,一些学者基于全球价值链(global value chain, GVC)的异质性嵌入视角,通过CES(constant elasticity of substitution)生产函数分析发现,GVC的双向参与能深化促进劳动节约型技术的进步,但这种进步更倾向于资本要素的积累。这表明在GVC中,资本和技术的积累对于劳动节约型技术的发展具有重要作用。微观层面,通过实证研究发现,劳动节约型技术的进步是导致劳动密集型和资本密集型产业劳动收入比重下降的主要原因。国外学者主要从劳动节约型技术的应用视角出发,采用一般均衡理论模型,将劳动节约型技术与农业发展相结合,得到技术应用显著提高农业劳动生产率的结论^[8]。例如,自动挤奶系统在美国的普及,通过提高生产效率,间接影响了劳动力配置^[9];智能农业机械、精准农业技术和农业物联网的应用,减轻了小农和女性农民的工作负担,从而提升了家庭福利^[10]。服务业领域中,基于银行业数据,实证验证劳动节约型技术应用极大提高了人力资源的使用效率^[11]。同时,劳动力成本的上升被认为是刺激劳动节约型技术应用的重要因素^[12]。

现有的关于人口老龄化对劳动节约型技术创新的内在机制研究,主要从人口学和技术创新视角分析,分为两类观点:第一类,研究发现,人力资本作为新思想和新技术的主要来源,是衡量一个国家或地区劳动力数量和质量的综合指标,并通过健康人力资本、教育人力资本对创新效率产生影响^[13]。人口老龄化

通过优化资本与劳动力的资源配置,推动技术革新,并通过反馈机制增强社会的人力资本积累,逐步促进劳动力资源质量的提升^[14]。尽管人口老龄化可能通过“年龄效应”对技术创新产生负向影响,但通过“产业转型效应”和“环境效应”对技术创新产生正向影响^[15]。从人口结构的三个维度(年龄、供给、质量)出发,是人口老龄化促进科技创新推动经济可持续性发展的关键^[16]。第二类,从技术创新视角出发,在人口老龄化和第四次工业革命背景下,数字技术的广泛应用及其创新互补性能显著提高研发效率且通过模块化处理非传统认知任务,降低创新难度,使技术创新更灵活^[17]。数字经济主要是通过作用于需求侧和供给侧两端有效地减弱老龄化对产业结构优化的负向影响^[18]。人工智能技术可通过缓解人口老龄化对劳动生产率、人力资本积累和技术创新效率的负向影响,进而促进产业结构升级进而促进经济发展^[19]。人工智能的发展不仅通过智能化机械替代大量低技能型劳动力,缓解了劳动力短缺问题,同时催生出了新的就业岗位,有利于提高技能型劳动力的高质量就业,进而推动社会消费结构的转型升级^[20,21]。为进一步深化分析,一些学者基于动态一般均衡模型发现,工业自动化对于老龄化的负向影响具有调节机制。劳动节约型技术在短期内可强化替代效应,但长期来看,可能引发过度替代等问题,对劳动力市场和社会经济产生深远影响,因此,需要加强研发投入。研究表明,研发机构规模对技术创新质量的贡献作用随着创新质量水平、创新数量水平的提高而增大^[22-24]。

当前,关于中国人口老龄化对劳动节约型技术创新及经济发展影响的研究已取得一定成果,但仍存有不足之处。首先,现有文献多采用实证分析方法,对于内生性动力机制和深层次影响因素的理论探讨不足;其次,研究多集中于老龄化对个体层面的影响,或对中国整体技术创新与经济增长的影响,缺乏对老龄化程度与经济发展水平差异较大地区间的比较分析。基于此,本研究将人口老龄化与劳动节约型技术创新相结合,从老龄化的倒逼效应和经济可持续性角度出发,通过数理模型推导与实证模型验证相结合的方法,对相关数据进行深入分析,旨在进一步验证已有结论,并识别影响劳动节约型技术创新的关键因素,为政策制定者和企业提供参考依据。

2 理论机制与研究假设

本文采用罗默的内生性增长理论和“干中学效应”

的技术应用^[25],建立劳动节约型技术应用动态分析模型,结合人力资本积累效应和研发投入倒逼效应,构建劳动节约型技术创新动态理论模型,基于老龄化倒逼效应和经济可持续发展视角,探讨人口老龄化影响中国劳动节约型技术创新的内在机制。

2.1 劳动节约型技术创新应用

2.1.1 最终商品生产部门

式(1)是关于最终商品生产部门的产出函数,其中产出由两部分构成:一部分是与原材料或中间商品的投入相关的产出,另一部分是与耐用消费品的投入相关的产出。如下所示:

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

其中, Y 代表最终商品生产部门的总产出; C_K 代表与原材料或中间商品相关的一个系数或消费率; Z_K^{ρ} 代表原材料或中间商品的数量或投入; C_L 代表与耐用消费品相关的另一个系数或消费率; Z_L^{ρ} 代表耐用消费品的数量或投入与价格 p 的乘积。

2.1.2 中间商品生产部门

式(2)是关于中间商品生产部门的函数,其中产出由劳动力和资本的投入决定,生产率参数如下所示:

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

其中, Z_K 代表最终中间商品的产出; A_K 代表与最终中间商品产出相关的某个常数或生产率参数; K^{α} 代表资本投入; Z_L 代表中间商品的产出; A_L 代表生产率参数,与技术水平或效率有关。

式(3)描述了中间商品的生产依赖于劳动力投入及其效率的高低。函数如下所示:

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

其中, Z_L 代表中间商品的产出; A_L 代表生产率参数,与技术水平或效率有关; θ 代表劳动力效率参数; L 代表劳动力投入; α 为弹性系数,表示劳动力对产出的弹性影响。

2.1.3 研发部门

式(4)–(5)描述研发部门的生产函数或效率函数,如下所示:

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

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

其中, b_K 代表与研发产出相关的常数或效率参数; $X_K^{1-\alpha}$ 代表研发投入,包括资金、人力或其他资源; X 代表针对特定领域或项目的研发投入; $1-\alpha$ 代表特定领域或项目研发投入的产出效率弹性。

式(6)–(7)描述经济模型中的价格决定机制,其

中产出、成本和价格之间的关系是关键因素,如下所示:

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

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

其中, P_{ZK} 代表商品或服务的价格; $Y^{\frac{1}{\rho}} C_K$ 代表与成本相关的产出,或者是成本加成后的产出; $Z_K^{\rho-1}$ 代表与价格相关的某种投入或产出; P_{ZL} 代表商品或服务的总产出与总成本的比率。

式(8)表示部门的价格乘以资本投入等于该部门产出的价格乘以产出或收益,是一种成本加成定价模型,或者是描述资本投入与产出收益之间关系的模型。式(9)表示部门的价格乘以劳动力投入等于某种中间商品或投入品的价格乘以其数量,描述劳动力投入与中间商品使用之间的关系,或者是劳动力成本与中间商品成本之间的关系。公式描述不同部门或行业之间的价格和产出如何相互作用,以及资本和劳动力投入如何影响产出和成本,如下所示:

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

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

式(10)表明,资本和劳动力的边际产出率的比率通过一系列因素来调整,包括成本比率、技术水平比率、资本与劳动力的投入比率以及一些参数的指数。公式用于分析在不同的生产条件下,资本和劳动力投入的相对效率,以及它们对产出的贡献,如下所示:

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

其中, MP_K 代表资本的边际产出率; MP_L 代表劳动力的边际产出率; A_K 代表与资本相关的生产率参数或技术水平; A_L 代表与劳动力相关的生产率参数或技术水平; $\alpha\rho-1$ 代表资本或劳动力的产出弹性。

式(11)表明,资本和劳动力的生产率或技术水平的比率通过多个因素来调整,包括成本比率、价格比率、不同生产要素的参数比率、投入比率、产出弹性以及与效率相关的指数。公式用于分析在不同的生产条件下,资本和劳动力投入的相对效率,以及它们对产出的贡献,如下所示:

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

式(12)是一个偏导数表达式,用于分析生产率比

率相对于参数的变化率,以及变化是由哪些部分驱动的。这里的 $\delta 1, \delta 2, \delta 3$ 是与 θ 相关的系数或权重,表示不同因素对 A_K/A_L 变化的贡献度。公式如下所示:

$$\frac{\partial \frac{A_K}{A_L}}{\partial \theta} = \delta 1 \left[\frac{\partial \left(\frac{K}{L} \right)}{\partial \theta} \right] + \delta 2 \left[\frac{\partial \left(\frac{b_K}{b_L} \right)}{\partial \theta} \right] + \delta 3 \left[\frac{\partial \left(\frac{X_K}{X_L} \right)}{\partial \theta} \right] + \delta 3 \quad (12)$$

通过分析有助于了解在生产过程中,哪些因素对生产率比率最为敏感,以及如何通过调整因素来优化生产效率。

2.1.4 技术应用学习“干中学效应”

在人口老龄化背景下,劳动节约型技术的应用在现代生产过程中扮演着越来越重要的角色,其中“干中学”效应是其核心优势之一。在考虑低技能劳动力的干中学效应后,新任务的创造在提升对高技能劳动力需求的同时,会更大幅度地提升对低技能劳动力的需求^[26],随着工作时间的积累,通过实践不断提高技能和效率,降低单位成本,提升整体生产效率。例如,自动化生产线上,初期需要对机器进行监控和简单操作,但随着时间的推移,能够更熟练地对机器设备进行操作和维护,出现问题时能够快速诊断并解决,并且人工智能作为劳动节约型技术之一,其“干中学”效应使得更高水平的经济平衡增长路径得以存在并保持稳定。劳动节约型技术通过引入新工艺和新流程,并辅以持续的培训和技能提升,进一步激发“干中学”效应,使劳动力能更好地适应技术变革,提升生产竞争力,促进经济可持续发展。

通过前面最终商品,中间商品和研发部门的协同运作并结合技术应用学习的“干中学效应”提出假设:

H1: 人口老龄化可通过“干中学”技术动态应用倒逼劳动节约型技术创新。

2.2 人力资本积累效应

人力资本积累是推动经济增长和社会进步的关键因素之一,通过教育、健康和工作经验等方面的积累,能够提升个体的基本技能,增加其经济价值和社会贡献。首先,教育是人力资本积累的基石。个体通过教育获得必要的知识和理论基础,为未来的职业生涯打下坚实的基础。高等教育不仅提高个人的批判性思维能力,还能拓宽视野,适应快速变化的工作环境。教育公平帮扶政策有助于促进人力资本积累,推动教育公平^[27]。终身学习以

及由此形成的学习型社会理念在人力资本积累中扮演着重要角色^[28]。终身学习有助于维持和提升劳动者在劳动力市场中的竞争力,同时也有助于促进人力的灵活性和适应性。其次,健康是人力资本的重要组成部分。一个健康的劳动力能更有效地参与生产活动,存有疾病和健康问题的劳动力则会降低工作效率和生产力。健康积累需要加强健康教育、增加公共健康产品的供给、持续推进城乡环境卫生整洁行动、加强国际医疗卫生合作,最终推动经济高质量发展的政策建议^[29]。最后,随着工作年限的增长,劳动者能够积累宝贵的行业知识和实际操作技能,这不仅增强了个体的人力资本,也提高了劳动效率。当前“少子化、老龄化、不婚化”的社会现象,对技术创新、经济增长和社会结构均产生了负面的影响。而人力资本的积累还可通过提高技术进步、增加储蓄、优化劳动力供给结构,并辅以鼓励生育、延迟退休等政策,以及推动经济结构调整,来缓解人口老龄化对经济增长的负面影响。因此,提出假设:

H2: 人口老龄化可通过人力资本积累效应倒逼劳动节约型技术创新。

2.3 研发投入倒逼效应

研发投入的倒逼效应是指在外部环境压力或内部需求的驱动下,企业或国家增加研发投入以促进技术创新和提升竞争力的现象。一般高管激励机制中薪酬激励对企业研发投入和公司绩效的关系具有显著的正向调节效应,在技术密集型行业中,这一效果尤为明显^[30],通常研发投入倒逼效应在面临激烈的市场竞争、技术变革或政策导向时表现得尤为明显。首先,市场竞争是推动研发投入倒逼效应的重要因素。在全球化的经济环境中,为保持或增强市场地位,企业必须不断创新以满足消费者的需求和应对竞争对手的挑战。研发活动成为企业获取新产品、新工艺和新服务的关键途径,使企业在激烈的市场竞争中获得

优势。其次,技术变革本身也是倒逼研发投入的动力。随着科技的快速发展,旧的产品和技术会迅速过时。为了不被市场淘汰,企业需要不断进行研发投入,开发新技术和新产品以适应技术进步带来的冲击。最后,政策导向同样对研发投入倒逼效应有着显著影响,政府干预市场限制恶性竞争也很重要^[31]。例如,通过制定研发补贴、税收优惠等政策,鼓励企业和研究机构增加研发投入。同时,这也为企业传递一个明确的信号,即创新是提升竞争力和可持续发展的关键。研发资源的合理分配需要与企业发展战略和市场需求紧密结合,以确保研发投入能够转化为实际的创新成果。总之,研发投入的倒逼效应是推动经济创新和产业升级的重要力量。通过有效的市场机制、政策支持和企业战略等的协同作用,加大技术创新力度,为社会经济的持续健康发展提供强大的动力。

式(13)表明,研发资本和劳动力的产出或投入量比率通过一系列因素来调整,包括效率参数比率的 ρ 次幂、成本比率、价格比率、经过 θ 调整后的资本与劳动力投入比率的 ρ 次幂。最后,整个表达式被调整,反映不同参数对研发资本和劳动力投入比率的综合影响,如下所示:

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

其中, P_{XL} 代表与研发资本相关的商品或服务的价格; P_{XK} 代表与劳动力相关的商品或服务的价格; $\alpha\rho$ 代表资本或劳动力的产出弹性; K 代表资本投入量; L 代表劳动力投入量。基于此,提出假设:

H3: 人口老龄化可通过研发投入倒逼劳动节约型技术创新。

3 实证检验

据上述理论机制和公式推导出劳动节约型技术创新动态理论模型,如图1所示。

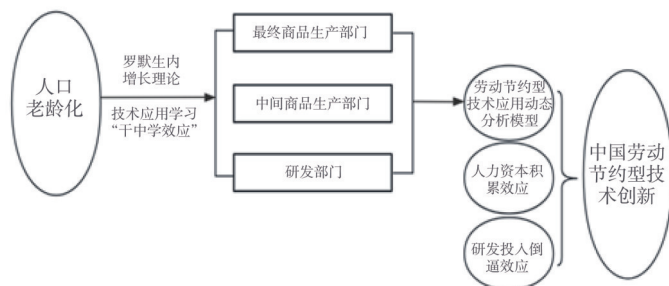


图1 劳动节约型技术创新动态理论模型

人口老龄化通过劳动节约型技术动态应用、人力资本积累和研发投入三条路径对中国劳动节约型技术创新产生影响,为进一步检验各中介路径的影响程度和研究假设,本研究参考温忠麟等学者的中介效应模型进行实证分析^[32]。

3.1 实证模型建立

基本模型由式(14)表示,其中效应系数 c 的显著性是关键指标。如果 c 显著,表明机器人专利申请通过中介变量促进劳动节约型技术创新,从而支持人口老龄化加剧背景下的技术进步假设。为验证以上假设,基本模型见式(14)所示:

$$INO_{it} = \beta_0 + c * OLD_{it} + \beta_1 * CONT_{it} + \epsilon_{it} \quad (14)$$

其中, c 为人口老龄化的总效应系数; OLD_{it} 为地区人口老龄化的程度; $CONT_{it}$ 控制变量; ϵ_{it} 为残差,为研究内在机制,借助中介效应模型,在式(14)基础上提出模型,如式(15)–(16)所示:

$$MED_{it} = \gamma_0 + a * OLD_{it} + \beta_2 * CONT_{it} + \epsilon_{it} \quad (15)$$

$$INO_{it} = \delta_0 + c' * OLD_{it} + b * MED_{it} + \beta_3 * CONT_{it} + \epsilon_{it} \quad (16)$$

其中, MED_{it} 为中介变量,包括研发投入、技术应用和人力资本积累; γ_0 为截距; a 为人口老龄化的间接效应系数; c' 为人口老龄化的直接效应系数; b 为中介变量的间接效应系数; ϵ_{it} 为残差,在公式(14)–(16)组合模型下,如果回归系数 a 显著而 c' 小于 c ,则说明中介效应存在。

3.2 变量来源与描述性统计

本文的研究分为几个关键部分,包括基准分析、稳健性检验、异质性分析以及中介效应检验。在这些部分中,使用不同的数据样本和时间范围,以增强研究结果的准确性和可靠性。基于样本数据的可得性,数据涵盖 2006—2022 年,来自中国大陆 31 个省份的面板数据^①。数据来源包括但不限于省级专利数据、研发人员全时当量数据,数据主要来源于《中国科技统计年鉴》。时间区间设置为 2012—2021 年,以匹配 HS2012 分类系统的数据可用性。对于数据部分缺失问题,采用多重插补法,获得最终的统计推断,充分考虑了由于缺失值而产生的不确定性,从而确保数据的完整性和处理方式的可靠性,如表 1 所示。

表 1 描述性统计结果

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:劳动节约型技术创新(INO)	INO	机器人专利占全部专利的比/%	526	2.67	3.44	1.12	14.56
解释变量:人口老龄化(OLD)	OLD	退休社保支出/亿元	526	13.67	6.88	8.23	36.46
	RD	研发人员/人	526	10.57	6.43	6.02	22.14
中介变量(MED)	NUM	机器人数量/台	526	13.23	5.18	7.34	32.21
	EDU	教育经费支出/百万元	526	10.54	5.23	7.01	33.24
	OPEN	对外开放程度/%	526	2.53	1.12	1.87	7.52
控制变量(CONT)	INP	工业化程度/%	526	1.01	0.48	0.43	6.43
	FDI	外商投资水平/%	526	0.51	0.24	0.31	4.33
	INSCH	高等院校数/所	526	2.87	1.34	0.32	5.23

通过综合利用上述数据源,旨在深入探讨机器人技术领域的发展及其与地区经济和人口结构变化之间的关系。根据前文理论分析,被解释变量:劳动节约型技术创新,选取机器人专利占全部专利比,能够较为精准地反映劳动节约型技术创新的活动和趋势;核心解释变量:目前常用的老龄化指标,人口老龄化(OLD),选取退休社保支出为代表,可直接将人口老龄化对社会经济的影响具象化。中介变量(CONT):选取研发人员(RD)反映研发投入的主体;机器人数量(NUM)反映节约型技术的实际应用;教育经费支出(EDU)直接关系到教育的质量和可及性,并且教育是人力资本积累的核心途径。控制变量,参考已有

学者做法,将对外开放程度用(OPEN)表示,工业化程度用(INP)表示,外商投资水平(FDI)和高等院校数(INSCH)作为控制变量。

3.3 基准回归

如表 2 所展示的数据,研究结果显示,当老年人抚养比率上升 1%,机器人专利在所有专利中所占的比重平均提高约 0.078%,这一发现与《2021 年度国家老龄事业发展公报》中的数据相呼应。公告指出,我国 65 岁及以上老年人口的抚养比已经达到 20.8%,相较于 2012 年的 12.7%,增加了 9.1 个百分点^[33]。这一增长不仅凸显人口结构

① 中国共有 34 个省级行政区,包括 23 个省(含台湾省)、5 个自治区、4 个直辖市和香港、澳门两个特别行政区。由于香港、澳门两个特别行政区具有特殊的政治和法律地位,且数据获取和处理存在一定的复杂性。同时,统计年鉴中未含有中国台湾省的历史面板数据,因此在本文的研究中,数据选择不包括香港、澳门两个特别行政区及中国台湾省,而专注于 31 个省级行政区的数据。此外,我国第七次全国人口普查只包含了大陆 31 个省级行政区的人口总数,进一步说明了本文以这 31 个省级行政区作为研究对象的合理性。

的变化,也对经济增长带来挑战,并推动技术革新向节省劳动力的方向发展。进一步分析表明,人口老龄化对发明专利的正面影响尤为明显,这表明老龄化在实质上促进技术创新。随着老年抚养比的提高,企业和研究机构更有动机去开发和申请机器人技术领域的专利,以应对劳动力市场的变化和劳动力成本的上升。这一趋势不仅促进了劳动节约型技术的发展,也成为了推动经济结构转型和产业升级的关键因素。综上所述,人口老龄化对技术创新的影响是多维度的,它不仅影响专利申请的数量和质量,而且引导技术发展的方向,使之更适应当前和未来的劳动力市场状况。此发现对于理解人口老龄化如何塑造经济发展和技术进步具有重要意义,为相关政策制定提供实证依据。

表2 人口老龄化影响中国节约型技术创新的回归结果

变量	无控制变量组	加入控制变量组
	机器人专利占比(INO)	机器人专利占比(INO)
人口老龄化程度 (OLD)	0.047*** (3.247)	0.078*** (4.761)
截距	4.602** (5.021)	3.515*** (6.324)
F 值	9.031***	10.053**
地区固定	控制	控制
时间固定	控制	控制

注: * $p < 0.1$ 、** $p < 0.05$ 、*** $p < 0.01$, 分别在 10%、5% 和 1% 置信水平下显著相关。

3.4 机制检验

如表 3 所示,通过式(14)一式(16)的计算,中介效应分析结果揭示了人口老龄化程度与中介变量——研发投入、技术应用和人力资本积累——之间的关系。结果显示,人口老龄化对中介变量的回归系数都是显著正相关的,意味着人口老龄化对它们产生积极的推动作用。将中介效应纳入基础回归模型中后,发现人口老龄化对机器人专利产出的影响在数值和统计显著性上都有所减弱。这表明中介变量在人口老龄化和机器人专利产出之间起

到部分中介作用。同时,结果显示研发投入、技术应用和人力资本积累三个中介路径对机器人专利产出的影响都是显著的。进一步对比各中介路径的效应大小发现,人口老龄化通过促进人力资本积累对机器人技术创新的推动作用最为显著,其系数乘积大约为 6.754。这表明人力资本积累是连接人口老龄化与技术创新的关键中介变量。相较之下,技术应用路径的系数乘积约为 2.874,研发投入路径的系数乘积为 4.374,表明虽然两个路径也对机器人专利产出有积极影响,但其效应相对较小。综上所述,中介效应分析结果强调了人口老龄化在推动技术创新方面的复杂作用机制,尤其是通过人力资本积累途径。此发现为理解人口结构变化如何通过影响技术创新进而影响经济发展提供了新的视角,并为制定相关政策提供依据。

表3 人口老龄化对中国节约型技术创新的中介效应

变量	未加中介变量	技术应用	人力资本	研发投入	同时加入三种中介变量
OLD	0.183*** (1.320)	2.874* (2.324)	6.754*** (9.114)	4.374** (5.764)	0.015*** (0.324)
NUM					0.003* (1.857)
EDU					0.026** (3.874)
RD					0.006** (4.856)
截距	4.784*** (1.364)	5.820** (1.283)	6.021*** (0.924)	1.846*** (2.576)	5.937*** (0.578)
F 值	9.584***	7.905**	5.973***	9.654***	8.764**
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定	固定	固定	固定	固定	固定
时间固定	固定	固定	固定	固定	固定

注: * $p < 0.1$ 、** $p < 0.05$ 、*** $p < 0.01$, 分别在 10%、5% 和 1% 置信水平下显著相关。

如图 2 所示,实证结果验证了上述假设 1、2、3 提出的人口老龄化可通过“干中学”技术应用、人力资本积累和研发投入三条中介路径倒逼劳动节约型技术创新,从另一个角度佐证了人口老龄化可以推动中国劳动节约型技术创新的基本论断。

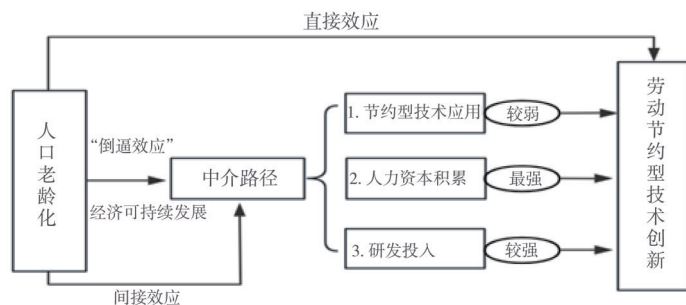


图2 直接效应与间接效应作用机制路径图

4 稳健性检验

4.1 替代变量检验

如表 4 所示,为验证模型的稳健性和结果的可靠性,本文采用变量替换的方法来加强模型的稳健性检验。在评估人口老龄化水平时,除原有的指标外,本文引入老年人口抚养比,即老年人口数量与劳动年龄人口数量的比值,作为一个补充代理变量^[34]。比例的上升,象征着人口老龄化趋势的加强。

表 4 稳健性检验结果

变量	替换被解释变量	替换解释变量
人口老龄化(OLD)	0.132*** (3.950)	0.424** (2.861)
截距	3.772*** (1.381)	3.980*** (1.783)
F 值	4.683***	5.910***
地区固定	固定	固定
时间固定	固定	固定

注: * $p<0.1$ 、** $p<0.05$ 、*** $p<0.01$, 分别在 10%、5% 和 1% 置信水平下显著相关。

同时,对于被解释变量,本文也进行相应的替换,选择机器人专利申请的数量作为衡量技术创新活动的新代理变量^[35]。这一替换有助于从不同角度捕捉技术创新的动态。在进行变量替换后,对模型进行进一步的回归分析,以验证模型的稳健性。汇总分析结果进行稳健性检验表明人口老龄化对推动劳动节约型技术创新确实具有正面且显著的

影响。这一结果不仅与原始模型的结果一致,而且进一步证实了研究结果的稳定性和可信度。通过稳健性检验,本文的研究结果更加坚实,为理解人口老龄化如何影响技术创新提供有力的证据。此发现对于制定应对人口老龄化挑战和促进技术创新的战略具有重要的现实意义。

4.2 异质性检验

4.2.1 经济发展水平异质性

如表 5 所示,在分析中国各地区经济发展水平的多样性时,本文采用人均 GDP 作为衡量经济活动的关键指标,以此将研究样本划分为高经济发展地区和低经济发展地区。具体操作中,将年人均 GDP 超过 4 万元人民币的地区界定为经济发达地区,人均 GDP 未达到此标准的地区则被视为经济欠发达地区。划分方式有助于识别不同经济背景下的技术创新行为。通过对列(1)和列(2)的回归分析,研究发现,在经济欠发达地区,劳动节约型技术的创新受到的影响更为明显。此外,分析结果还表明,技术创新并非仅在经济发达地区发生,经济相对落后的地区通过适当的政策激励和资源配置,同样能够激发劳动节约型技术的创新潜力。因此,通过制定有针对性的政策,有助于促进经济欠发达地区的技术进步和产业升级,帮助它们打破发展瓶颈,实现可持续发展。

表 5 异质性分析结果

变量	经济发达地区	经济欠发达地区	东部地区	中部地区	西部地区
人口老龄化程度(OLD)	0.321** (0.147)	0.043 (1.537)	0.387*** (1.974)	0.005* (1.893)	0.016 (1.923)
技术应用(T)	0.134*** (0.213)	0.102* (0.210)	2.103*** (1.020)	1.920* (1.870)	1.780 (1.748)
人力资本(H)	0.324** (0.313)	0.285* (0.240)	1.103*** (0.020)	0.820 (1.570)	0.880* (1.748)
研发投入(R)	0.584*** (0.223)	0.017 (0.343)	0.426*** (0.235)	0.022* (0.392)	0.010 (0.238)
截距	0.484*** (0.223)	0.017** (0.243)	0.026** (0.265)	0.032 (0.342)	0.030 (0.438)
F 值	10.575	9.487	11.382	9.028	8.927
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定	固定	固定	固定	固定	固定
时间固定	固定	固定	固定	固定	固定

注: * $p<0.1$ 、** $p<0.05$ 、*** $p<0.01$, 分别在 10%、5% 和 1% 置信水平下显著相关。

4.2.2 地理位置异质性

如表 5 所示,异质性分析结果为深入理解中国不同地区经济发展水平影响下技术创新行为提供了依据。结果显示,在东部地区,人口老龄化程度对劳动节约型技术创新具有显著的正向影响,这表明随着老龄化的加剧,东部地区在技术创新方面表

现出更强的动力和适应性。技术应用和人力资本在东部地区的影响尤为显著,这与地区较为成熟的市场环境和教育水平有关,能够有效地促进技术的应用和教育高质量发展促进人力资本积累。相较之下,中西部的人口老龄化程度对技术创新的影响虽然为正,但不显著。这意味着中西部地区在利用

老龄化带来的潜在创新机会方面还存在一些障碍,例如基础设施不足、教育水平较低或研发资源有限。然而,技术应用和人力资本在各地区都显示出正向影响,尽管幅度较小,这提示政策制定者应重视这些因素的潜在价值。研发投入在东部地区显示正向显著性,这强调了持续的科研经费支持对于推动技术创新的重要性。中西部地区,虽然研发投入的系数不显著,但并没有削弱它对长期技术进步的贡献潜力。整体而言,分析结果揭示了中国不同地区在面对人口老龄化和技术发展时的异质性反应,指出经济发达地区在技术创新上的领先优势,同时也指出经济欠发达地区在促进技术创新方面是需要额外关注和支持的领域。

5 研究结论与政策建议

5.1 研究结论

本文基于罗默内生性增长理论,在人口老龄化和经济可持续发展视角下,探讨了如何通过增加研发投入、促进人力资本积累和技术应用来推动劳动节约型技术创新。实证结果表明,人力资本积累对技术创新的影响最为显著,而研发投入和学习效应的影响相对较小。异质性分析表明,在中西部及经济欠发达地区,人口老龄化对技术创新的推动作用较弱。本文强调,劳动节约型技术创新是提高生产效率和经济增长质量的关键,为应对人口老龄化提供了策略支持,可从三条路径实施:首先,通过合理分配研发资源,激发技术创新潜力;其次,提升劳动者技能和知识水平,以增强劳动节约型技术创新能力;最后,在经济发达地区,加强顶层设计,优化整体布局并强化示范带动作用,以实现“先富带动后富”的目标,在经济欠发达地区,加强技术应用,以提高生产效率和经济增长质量,最终推动经济的可持续发展。

5.2 政策建议

针对在人口老龄化的背景下促进中国劳动节约型技术创新的倒逼效应的问题,本文提出以下综合性建议:第一,强化技术创新与知识产权保护,改革科技评价体系,激励高质量创新,完善立法保护创新成果;第二,针对经济欠发达地区,通过产业政策引导有效激励节约型技术创新,如税收减免、财政补贴,增加STEM教育投入,以培养技术人才,并建立与发达地区的离岸创新合作模式,促

进技术资源转移和创新环境改善等;第三,制定适应老龄化趋势的社会政策,如延迟退休、鼓励生育,同时加强国际科技合作,引进先进技术和管理经验;第四,加大教育与人才培养投入,增设计算机、人工智能等课程,提升人力资本,以适应技术变革,推动经济可持续发展。这些措施旨在激发技术创新活力,优化经济结构,从而为中国经济可持续发展奠定基础。

参考文献

- [1] 国家统计局,国务院第七次全国人口普查领导小组办公室. 第七次全国人口普查公报[EB/OL]. 2021-05-13[2026-03-29]. https://www.gov.cn/guoqing/2021-05/13/content_5606149.htm.
- [2] 张小溪,张葭. 老龄化来临“中国制造”如何保持比较优势:立足于制造业出口复杂度的分析[J]. 江汉学术, 2023, 42(1): 60-71.
- [3] 余长林,邵飞飞. 工业机器人、技能结构升级与企业劳动收入份额[J]. 吉林大学社会科学学报, 2024, 64(3): 144-165.
- [4] 孙湘湘,陈章旺. 数字经济对劳动生产率的影响研究:基于马克思主义政治经济学的视角[J]. 中北大学学报(社会科学版), 2024, 40(1): 13-21.
- [5] 赵瀚穹,刘亚丽. 数字经济与制造业高质量发展耦合协调研究:基于黄河流域的实证分析[J]. 中北大学学报(社会科学版), 2024, 40(2): 31-45.
- [6] 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.
- [7] 朱玥颖. 全球工业机器人市场规模扩大[N]. 人民日报, 2024-07-09(17).
- [8] FEUERBACHER A, LUCKMANN J. Labour-saving technologies in smallholder agriculture: An economy-wide model with field operations[J]. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, 2023, 67(1): 56-82.
- [9] DU X X, TEJEDA H, YANG Z L, et al. A general-equilibrium model of labor-saving technology adoption: Theory and evidences from robotic milking systems in Idaho[J]. Sustainability, 2022, 14(13): 7683.
- [10] VEMIREDDY V, CHOUDHARY A. A systematic review of labor-saving technologies: Implications for women in agriculture[J]. Global Food Security, 2021, 29: 100541.
- [11] FUNG M K. To what extent are labor-saving technologies improving efficiency in the use of human resources? Evidence from the banking industry [J].

- Production and Operations Management, 2008, 17(1): 75-92.
- [12] DE SOUZA J P A. Real wages and labor-saving technical change: Evidence from a panel of manufacturing industries in mature and labor-surplus economies [J]. International Review of Applied Economics, 2017, 31(2): 151-172.
- [13] 陈燕儿, 周建芳. 人口老龄化是否抑制了创新效率: 基于人力资本的角度[J]. 南方人口, 2023, 38(1): 34-45.
- [14] 吴建飞, 韩程, 张文英, 等. 人口老龄化对技术创新和经济增长的影响研究: 基于要素禀赋视角的再检验[J]. 华东经济管理, 2023, 37(2): 103-110.
- [15] 昌忠泽, 姜珂, 魏诗谣. 人口老龄化对技术创新的影响研究[J]. 财贸研究, 2022, 33(11): 55-68.
- [16] 司怀涛, 蒋长流. 人口结构、科技创新与经济高质量发展[J]. 调研世界, 2023(1): 61-69.
- [17] 张苏, 朱媛. 人口老龄化、数字化转型与新质生产力发展[J]. 北京工商大学学报(社会科学版), 2024, 39(3): 28-39.
- [18] 梁雅楠, 张成. 人口老龄化、数字经济与我国产业结构优化[J]. 经济问题探索, 2022(12): 114-131.
- [19] 于鑫, 丛屹. 人口老龄化、人工智能与产业结构转型升级[J]. 贵州社会科学, 2023(5): 136-144.
- [20] 尚婷, 王红霞, 尉肖帅. 人口老龄化对消费升级的影响: 兼论人工智能的调节作用[J]. 商业经济研究, 2023(3): 56-59.
- [21] 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.
- [22] 韩永辉, 刘洋. 少子老龄化、工业智能化与宏观经济波动: 基于内生经济增长理论的 DSGE 模型分析[J]. 管理世界, 2024, 40(1): 20-37.
- [23] 郭旭龙, 谭强. 工业机器人技术将给制造业带来巨变[J]. 中国商界, 2024(5): 30-31.
- [24] 俞立平, 金珍珍. 研发机构规模扩大能够提高创新质量吗?[J]. 中北大学学报(社会科学版), 2024, 40(1): 1-12.
- [25] 黄浩权, 戴天仕, 沈军. 人工智能发展、干中学效应与技能溢价: 基于内生技术进步模型的分析[J]. 中国工业经济, 2024(2): 99-117.
- [26] 马骁, 王军, 张毅. 大数据环境下人工智能的“干中学”效应研究[J]. 华中科技大学学报(社会科学版), 2024, 38(2): 43-56.
- [27] 张庆, 宋弘, 罗吉罡. 教育公平与人力资本积累: 基于高考招生专项计划的实证研究[J]. 经济学(季刊), 2024, 24(5): 1444-1459.
- [28] 朱敏, 高志敏. 终身教育、终身学习与学习型社会的全球发展回溯与未来思考[J]. 开放教育研究, 2014, 20(1): 50-66.
- [29] 李海明, 张晓莉. 健康人力资本与内生经济增长[J]. 当代经济科学, 2023, 45(5): 103-114.
- [30] 尹美群, 盛磊, 李文博. 高管激励、创新投入与公司绩效: 基于内生性视角的分行业实证研究[J]. 南开管理评论, 2018, 21(1): 109-117.
- [31] 江飞涛, 李晓萍. 直接干预市场与限制竞争: 中国产业政策的取向与根本缺陷[J]. 中国工业经济, 2010(9): 26-36.
- [32] 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, 22(5): 731-745.
- [33] 2021 年度国家老龄事业发展公报[EB/OL]. 2022-10-24 [2026-03-29]. <https://www.nhc.gov.cn/ljks/c100157/202210/bd22366653f04cd782e04bb0cad9f445.shtml>.
- [34] 张卫. 人口老龄化、产业结构与劳动力技能结构[J]. 西北人口, 2021, 42(5): 67-79.
- [35] 魏嘉辉, 顾乃华. 老龄化能否促进中国劳动节约型技术创新?[J]. 首都经济贸易大学学报, 2023, 25(6): 48-62.

声 明

本刊已许可国家哲学社会科学文献中心、哲学社会科学预印本平台、中国知网、万方、维普、超星、长江文库等数据库以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含以上单位或数据库的著作权使用费, 所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。如有异议, 请在投稿时说明, 本刊将按作者说明处理。