

人口老龄化、自动化技术与产业结构转型*

马 超¹, 李 豪², 刘相波³

(1. 中国社会科学院 人口与劳动经济研究所, 北京 100006;

2. 北京大学 未来技术学院, 北京 100871;

3. 中国人民大学 劳动人事学院, 北京 100872)

【摘 要】当前中国正面临人口结构深刻变革与产业结构加速转型的双重挑战, 如何应对人口老龄化带来的劳动力供给冲击、实现产业结构优化升级, 已成为学界与政策制定者共同关注的焦点。本研究探讨了人口结构变化的产业结构调整效应, 分析了技术进步在人口老龄化背景下如何影响产业结构调整。利用2009—2023年省级面板数据进行实证检验发现, 人口老龄化显著促进了第三产业的发展, 但对第二产业发展有显著的负向影响, 推动了产业结构转型。与中西部地区相比, 人口老龄化对产业结构的影响在东部沿海省份更为明显。机制分析表明, 人口老龄化的产业结构转型效应主要集中在机器人密度增长较快的省份, 即人口老龄化通过自动化技术应用推动了产业结构转型, 凸显了人口结构变化与技术进步的叠加效应。研究建议: 加强技术创新与产业升级的政策支持; 优化产业结构布局, 推动服务业高质量发展; 加强区域政策协调, 推动均衡发展; 促进人口有序流动, 减少人口老龄化对产业结构的负向影响。

【关键词】人口老龄化; 机器人; 产业结构

【中图分类号】F121.3; C924.24

【文献标识码】A

【文章编号】1673-2375(2026)02-0025-13

一、引言

中国经济已进入由高速增长转向高质量发展的新发展阶段。习近平总书记在党的二十大报告中指出:“高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务。”由此可见, 推动高质量发展是当前和今后一个时期确定发展思路、制定经济政策、实施宏观调控的根本要求。作为培育和发展新质生产力、实现高质量发展的关键路径, 推动产业结构转型升级的重要性日益凸显。一方面, 中国经济在经历新一轮科技革命与产业革命的同时, 也面临传统增长动力减弱、国际竞争加剧等多重挑战, 迫切需要以产业结构转型升级为抓手推动技术创新、提高生产力, 为高质量发展提供坚实支撑。另一方面, 中国消费结构正经历从以商品消费为主向商品和服务消费并重、从生存型消费向发展型消费升级的多元化消费需求转变。升级产业结构可以提供更高质量、更多样化产品和服务以满足人民群众日益增长的美好生活需要, 促进供需两端同时发力、协调配合, 进而推动中国经济高质量发展。因此, 深入分析产业结构变迁的原因, 有助于更好理解经济发展背后的深

* [收稿日期] 2026-01-18

[基金项目] 本文系国家社会科学基金一般项目“人口结构变化、人工智能与经济增长的理论分析、实证检验与对策研究”(项目编号: 23BJL038)的阶段性研究成果。

[作者简介] 马超(1987—), 男, 北京人, 经济学博士, 中国社会科学院人口与劳动经济研究所助理研究员, 研究方向为劳动经济学; 李豪(1992—), 男, 山西太原人, 区域国别学博士生, 北京大学未来技术学院讲师, 研究方向为前沿技术产业政策; 刘相波(1981—), 男, 山西长治人, 经济学博士, 中国人民大学劳动人事学院教授, 研究方向为宏观经济学、劳动经济学。本文通讯作者: 刘相波。

层驱动力,为践行新发展理念提供理论依据与实践指导。

随着人口转变进程的持续推进,人口结构变化日益成为影响经济增长和产业结构变迁的重要因素。传统经济增长理论认为,人口红利的消退将对经济增长和产业结构转型升级形成约束,但相关结论在不同模型设定和不同时间和地区呈现出显著差异。这一现象表明,人口结构变化并非以线性方式作用于经济增长和产业结构,其影响结果在很大程度上依赖其他关键因素的共同作用。

技术进步通常被视为推动产业结构变迁的核心动力,但其与人口结构变化之间的交互关系尚未得到充分重视。一方面,已有研究侧重从要素禀赋角度分析人口结构变化对产业结构的直接影响,强调劳动力供给减少和消费需求结构转变带来的产业结构转型压力。另一方面,技术进步往往被作为外生变量单独纳入分析框架,缺乏对其在缓解劳动力短缺、放大需求效应以及重塑产业组织结构方面作用机制的系统刻画。由此导致现有研究在解释人口老龄化背景下不同经济体产业结构变迁差异时无法达成一致结论。Acemoglu 和 Restrepo 的开创性研究突出了技术进步在分析人口结构变化经济增长效应中的重要机制作用。基于跨国数据,他们发现人口老龄化程度与经济增长并无显著负相关关系。随着自动化技术的引入,人口老龄化较为严重的国家通常会更广泛地应用自动化技术,以弥补中青年劳动力的短缺,有效缓解劳动力不足对经济增长的不利影响^[1]。

事实上,技术进步与中国的人口老龄化不仅同步推进,而且相互交织,深刻影响着经济与社会各个层面。与多数发达国家相比,中国在应对人口老龄化过程中呈现出独有的特征。中国的人口老龄化进程不断加速,且远快于多数发达国家。这意味着中国在应对老龄化挑战时,必须更加注重技术进步与产业结构调整的结合。不同于其他老龄化国家,中国进入深度老龄化社会恰逢技术革命的高峰期,技术进步不仅解决了老龄化社会中劳动力短缺的问题,也为产业升级和结构优化提供了新的动能。因此,忽视技术进步与人口结构变化之间的互动关系,可能低估了经济体在老龄化进程中实现结构性转型的潜力空间。

已有研究将人口结构作为影响产业结构变迁的重要因素,相关结论对本研究有重要借鉴意义。汪伟等验证了人口老龄化在增加消费需求、加速人力资本积累以及通过“倒逼”机制推动企业采用资本和技术替代劳动方面的作用,及其促进产业结构升级的机制^{[2][47]}。方雯和李雯娟证实,人口老龄化通过劳动力供给规模效应和消费结构效应加速了中国产业结构转型,又通过劳动生产率效应和消费规模效应延缓了该进程^{[3][102]}。Hashimoto 和 Tabata^[4]与 Momota^[5]从理论上证实,人口老龄化有助于劳动力从非养老服务领域向养老服务领域的转移。

本研究从人口结构变化与技术进步的交互视角出发,系统考察二者叠加作用对产业结构的影响。本研究利用2009—2023年省级面板数据,通过双向固定效应模型实证检验人口老龄化对产业结构的影响,并进一步剖析以自动化技术为代表的技术进步的重要机制作用。考虑到实证模型可能存在的内生性问题,本研究通过控制省级特征、初始产业结构与时间趋势、基于历史年龄结构构建虚拟人口老龄化程度指标作为人口老龄化的工具变量等方式,得到了较为可靠的研究结论。

本研究的贡献主要体现在两方面:一是在分析人口老龄化的产业结构效应时突出了人口结构变化与技术进步的交互作用,有助于深化对人口转变背景下产业结构调整内在逻辑的理解,也为在人口老龄化加速阶段如何推动产业高质量发展提供了新的分析框架和政策启示;二是基于各省历史年龄结构、全国人口完全生命表、出生率、死亡率数据,构建虚拟的人口老龄化指标作为工具变量,解决人口老龄化的内生性问题,厘清人口老龄化对产业结构的因果效应。

二、实证研究设计

(一) 计量模型设定

为了评估人口老龄化对产业结构的影响,本研究设定的双向固定效应模型如下:

$$Y_{pt} = \alpha Aging_{pt} + \beta X_{pt} + \gamma W_{p,2000} \times T + \delta_t + \mu_p + \varepsilon_{pt} \quad (1)$$

其中: p 表示省份, t 表示年份; Y_{pt} 为度量产业结构的相关变量; $Aging_{pt}$ 为核心解释变量人口老龄化程度; X_{pt} 为一组控制变量, 包括可能影响产业结构的省级层面社会经济特征; $W_{p,2000} \times T$ 为 2000 年各省初始产业结构与时间趋势项 T 的交互项; δ_t 和 μ_p 分别表示年份和省份固定效应; ε_{pt} 代表误差项。 α 是本研究关心的核心系数, 如果该系数显著为正, 则说明人口老龄化促进了产业发展, 反之则抑制了产业发展。

虽然模型 (1) 通过加入一系列控制变量在一定程度上缓解了遗漏变量问题导致的估计结果偏差, 但人口老龄化程度依然存在内生性问题。一方面, 劳动力流动受到地区产业结构的影响, 青年劳动力会更多流入劳动密集型产业分布较多的地区。因此, 人口老龄化程度与产业结构之间存在反向因果关系。另一方面, OLS 模型还可能存在遗漏变量问题, 存在随时间变动省级层面因素, 例如地区间的产业政策差异等无法被省份固定效应吸收。

已有研究通常使用工具变量法解决内生性问题, 工具变量的选择以滞后期的人口年龄结构或出生率较为常见^{[6][7]20}。本研究参考封进和李雨婷构造工具变量的方法^{[8]178}, 根据 2000 年第五次全国人口普查微观数据计算的各省人口年龄结构、全国各年龄段生存率、历年人口出生率和死亡率, 预测在没有人口流动的情况下虚拟的各省 65 岁及以上常住人口占比以及老年人口抚养比, 将此作为人口老龄化程度的工具变量。主要基于以下两方面考虑: 第一, 根据历史人口年龄结构、分年龄段死亡率及人口总量变动数据构建的虚拟人口结构指标与当期人口结构间有较强的相关性, 满足工具变量的相关性条件; 第二, 各省历史人口年龄结构和分年龄段死亡率与当时各省经济发展水平相关, 难以直接对当下地区产业结构造成影响, 即便有影响也是通过当前人口结构间接发挥作用, 一定程度上满足外生性条件。

(二) 数据来源

本研究使用的数据来源主要有四个: 一是历年《中国统计年鉴》, 二是 2000 年第五次全国人口普查微观数据和以此计算的 2000 年全国人口完全生命表, 三是 2009—2017 年国际机器人联合会 (IFR) 发布的中国分行业机器人保有量数据, 四是北京大学中国社会科学调查中心收集的中国家庭追踪调查 (China Family Panel Study, CFPS) 数据。

《中国统计年鉴》包含各省人口、经济发展、产业结构、外贸、财政等数据, 研究基于此构建包含中国除港澳台地区以外的 31 个省(区、市)2009—2023 年面板数据。鉴于 IFR 数据的可得性, 本研究在计算各省机器人密度时将样本覆盖区间限定在 2009—2017 年。2000 年第五次全国人口普查微观数据记录了个人出生年份以及所在省份信息, 是构建各省历史人口年龄结构的数据来源。2000 年全国人口完全生命表包含了 0—100 岁及以上各年龄死亡率数据, 结合历年全国人口出生率和死亡率, 本研究可以基于 2000 年各省初始人口年龄结构预测在无人口流动的情形下 2001—2023 年人口年龄结构。IFR 提供的中国分行业机器人数据是计算地区层面机器人密度的权威数据, 结合地区初始就业分布可以构建地区层面潜在机器人密度^{[9]106-107[10]2201-2204}。CFPS 家庭经济问卷包括详尽的家庭消费支出以及家庭关系数据, 便于度量家庭成员年龄结构和消费支出结构。

(三) 核心指标的构建

1. 产业结构的度量

Herrendorf 等提出了以就业人数占比、增加值占比以及最终消费品支出占比三个指标衡量产业结构变迁的描述性统计分析框架^{[11]858}。基于数据可得性, 在回归分析中本研究以历年《中国统计年鉴》中各省第二、第三产业增加值占地区生产总值的比重衡量第二、第三产业发展状况, 以第三产业增加值与第二产业增加值之比衡量产业结构转型^{[3]106}。在描述性统计分析部分, 本研究辅以第二、第三产业就业人数占比描述人口老龄化与产业结构的关系。

2. 人口老龄化水平的度量

本研究分别用历年《中国统计年鉴》中65岁及以上常住人口占比以及老年人口抚养比（65岁及以上常住人口占15—64岁常住人口比重）衡量各省人口老龄化程度。

3. 工具变量的构建方法

为了解决可能存在的内生性问题，研究基于2000年各省人口年龄结构和全国分年龄死亡率，以及历年出生率、死亡率和人口自然增长率预测无人流动时虚拟的人口老龄化程度。具体步骤如下：（1）利用2000年第五次全国人口普查微观数据计算各省分年龄人口数；（2）根据2001年全国人口出生率计算2001年各省新出生人数（0岁人数）；（3）以2000年全国人口完全生命表提供的分年龄死亡率计算分年龄死亡人数；（4）根据2001年全国人口死亡率对各省分年龄死亡人数进行调整，以此计算分年龄存活人数作为2001年各省1—100岁及以上分年龄人口数；（5）以2001年各省分年龄人口数为基数重复以上步骤计算2002年各省分年龄人口数，并以此类推计算虚拟的2023年各省分年龄人口数。根据虚拟的各省分年龄人口数可以计算虚拟的各省65岁及以上老年人口占比和老年人口抚养比，以此作为各省人口老龄化程度的工具变量。

4. 控制变量

本研究选择的控制变量主要包括城镇化水平、对外开放程度、财政分权以及初始产业结构与时间趋势的交互项，分别以历年《中国统计年鉴》提供的各省年末城镇人口占总人口比重、货物进出口总额的对数、地方人均财政支出占中央人均财政支出的比重，以及2000年各省第二、第三产业增加值比重与时间趋势的交互项度量。

5. 机器人密度指标的测度方法

已有研究证实，自动化技术应用引领的“机器换人”浪潮对部分劳动群体就业、收入以及劳动力市场收入分配格局产生负向影响^{[9][109-113][12][167-168][13][46-51][14]202-204}。由于IFR不提供中国各省机器人保有量数据，本研究以各省每千名非农就业人员中潜在机器人保有量作为各省实际机器人保有量的代理变量。参考Acemoglu和Restrepo关于地区层面机器人密度的设定^{[10]2201-2204}，中国省级层面各年度机器人密度表达式为：

$$robot_{exposure_{pt}} = \sum_{j \in J} \left(\frac{emp_{pj}}{emp_p} \times \frac{robots_{jt}}{emp_j} \right) \quad (2)$$

其中， J 是全部行业， $robots_{jt}$ 是 t 年 j 行业的机器人保有量， emp_{pj} 是 p 省份 j 行业基准年份的就业人数。式（2）表明，如果基准年份 j 行业在 p 省份所占就业份额 $\frac{emp_{pj}}{emp_p}$ 越大，且 j 行业为机器人应用较密集行业（ $\frac{robots_{jt}}{emp_j}$ 越高），则 p 省份的机器人密度越高，潜在机器人保有量越大。鉴于2005年以前中国机器人保有量较少，未对产业结构产生较大冲击，本研究选择2005年作为基准年份计算各省初始就业分布。

（四）描述性统计

主要变量的统计性描述见表1。平均而言，各省第二、第三产业增加值占比分别为42.62%和47.56%，第三产业占据国民经济主导地位。相比2000年，第二产业增加值占比均值下降1.10个百分点、第三产业增加值占比均值提高9.13个百分点，第三产业发展显著。人口结构方面，样本期内65岁及以上常住人口占比最高为21.06%、最低为4.82%，均值为10.99%；15—64岁常住人口占比最高为83.85%、最低为63.38%，均值为72.28%。人口结构变量的描述统计表明，人口结构存在显著的年份—省份差异，老年人口抚养比最高值是最低值的4.43倍。此外，虚拟65岁及以上常住人口比例和虚拟

老年人口抚养比均值都大于实际值, 这在一定程度上表明人口流动缓解了地区老龄化程度。自动化技术应用同样存在显著的年份—省份差异, 工业机器人密度最大值为 18.75 台 / 千名非农就业人员, 最小值仅为 0.07 台 / 千名非农就业人员。省级层面每年每千名非农就业人员平均拥有 3.58 台工业机器人。

表 1 主要变量统计性描述

		观测值	均值	标准差	最小值	最大值
因变量	第二产业增加值占比 (%)	465	42.62	8.85	14.91	59.05
	第三产业增加值占比 (%)	465	47.56	9.83	28.62	84.85
	第二产业 / 第三产业	465	1.25	0.72	0.50	5.69
自变量	65 岁及以上常住人口比例 (%)	465	10.99	3.15	4.82	21.06
	15—64 岁常住人口比例 (%)	465	72.28	3.94	63.38	83.85
	老年人口抚养比	465	0.15	0.05	0.07	0.31
	虚拟 65 岁及以上常住人口比例 (%)	465	11.57	3.43	6.24	25.02
	虚拟老年人口抚养比	465	0.17	0.06	0.08	0.42
控制变量	年末城镇人口占总人口比重 (%)	465	58.40	13.54	22.30	89.60
	货物进出口总额 (取对数)	465	15.23	1.77	10.24	18.81
	地方人均财政支出 / 中央人均财政支出	465	7.17	3.94	2.68	28.39
	2000 年第二产业增加值占比 (%)	465	43.72	7.76	19.80	57.40
	2000 年第三产业增加值占比 (%)	465	38.43	5.65	30.40	58.30
机制变量	每千名非农就业人员中潜在机器人数量	279	3.58	3.42	0.07	18.75

数据来源: 历年《中国统计年鉴》、2000 年第五次全国人口普查微观数据和 IFR 数据。

三、人口老龄化与产业结构变迁的描述性统计分析

本研究首先利用微观家庭成员年龄结构和家庭消费数据描述家庭年龄结构与消费支出结构的相关性, 再从宏观层面基于省级面板数据描述 2000—2020 年各省 65 岁及以上老年人口比例与制造业和服务业从业人数占比的关系^①。其次, 已有文献从理论和实证层面都证实了人口老龄化促进了自动化技术在制造业的应用, 推动了“机器换人”进程^{[7]17-23[15]}。以工业机器人为代表的技术进步将进一步强化人口老龄化对产业结构的影响。利用 2009—2017 年各省工业机器人密度以及制造业和服务业增加值占 GDP 比重数据, 本研究进一步描述了自动化技术应用与产业结构的相关性。描述性统计结果显示, 家庭年龄结构与医疗保健消费支出占比呈显著的正相关性, 地区 65 岁及以上人口比例与服务业就业人员占比呈显著正相关关系。工业机器人密度与服务业增加值占比呈显著正相关关系、与制造业增加值占比呈显著负相关关系。

(一) 人口老龄化与就业结构

库兹涅茨事实描述了劳动力从农业部门向制造业和服务业部门的大规模转移, 那么人口老龄化是否进一步改变了劳动力在制造业和服务业间的分布? 地区人口结构与就业结构间是否存在相关关系? 本研究首先从微观的家庭消费结构视角探讨人口老龄化对家庭消费的影响, 其次从宏观

^① 制造业部门对应国民经济第二产业, 包含采掘业、制造业、建筑业、电力热力燃气及水生产和供应业 4 个行业; 服务业部门对应国民经济第三产业, 包含金融业、房地产业等 14 个行业。

劳动力产业分布角度阐释人口老龄化与产业结构的关系。

由于不同年龄家庭成员的消费偏好存在差异^[16]，人口老龄化对产业结构的影响可以解释为家庭消费结构的年龄差异在宏观层面的加总。基于CFPS 2010—2018年数据，并参考Cravino等的研究^{[17]486-488}以及CFPS综合变量生成规则^①，本研究将家庭服务类消费支出占比定义为家庭服务类消费支出占家庭消费支出的比例。人口老龄化会增加家庭养老相关消费支出，因此本研究也将医疗保健支出占家庭消费支出比重作为另一重要因变量。解释变量方面，参考Cravino等的研究^{[17]486-488}，本研究采用户主年龄作为家庭人口老龄化程度的代理变量^②。除家庭年龄结构外，家庭收入与产品—服务的相对价格同样决定了家庭消费支出结构^[18]。因此，有必要将家庭老龄化程度与消费支出结构的相关分析放到回归模型的框架下加以讨论：

$$\omega_{hct} = \delta^a + \gamma X_{hct} + \delta_{ct} + \epsilon_{hct} \quad (3)$$

其中： ω_{hct} 为调查年 t 居住在区县 c 的家户 h 在服务类或医疗保健消费支出占比； δ^a 为户主年龄组虚拟变量； X_{hct} 为一系列家庭特征变量，包括家庭纯收入的对数、家庭人口数、家庭15岁及以下儿童数量，以及城市—农村虚拟变量； δ_{ct} 为区县—调查年虚拟变量，用以控制不同地区、时间消费品价格差异； ϵ_{hct} 为误差项。

本研究将CFPS 2010—2018年数据整合为混合横截面数据，分别将家庭服务类消费占比和医疗保健支出占比作为因变量估计了模型(3)，并将户主年龄组虚拟变量系数估计值及以聚类到家庭层面稳健标准误差计算的95%置信区间绘制在图1中。如图1所示，户主年龄与家庭服务类消费支出占比在30—54年龄组呈现倒U型关系，在55岁以上年龄段呈现平稳的单调递增关系。相较于户主年龄在25—29岁的家庭，中年户主家庭承担着养育子女和孝敬老年父母的责任，文化教育娱乐支出的增长提高了该年龄段家庭服务类消费支出占比。随着子女长大步入社会，家庭完成养育子女义务后家庭服务类支出也相应减少。当主要家庭成员步入老年，养老服务需求迅速增加，医疗保健支出成为家庭主要服务类支出。回归结果显示，户主年龄在70—79岁家庭的医疗保健支出占比显著高出户主年龄在25—29岁家庭相应支出占比10个百分点。以上结果从微观层面证实了人口老龄化与家庭服务类消费支出占比的正相关关系。

人口老龄化对家庭消费结构的影响在宏观产业结构上有何体现？参考Cravino等^{[17]483}和Herrendorf等^{[11]858}对产业结构的度量，本研究选择制造业和服务业就业人数占比度量产业结构，并以65岁及以上常住人口占比衡量人口老龄化程度。本研究选取2000—2020年30个省（区、市）的就业、人口和人均地区生产总值数据组成省一年混合横截面数据^③。考虑到经济增长对产业结构的影响^{[17]483}，本研究采用偏相关系数描述制造业和服务业就业人数占比与65岁及以上常住人口占比的相关关系。如图2所示，在控制了地区经济增长因素和省份固定效应后，服务业就业人数占比与65岁及以上人口占比呈现显著的正相关关系，而制造业人数占比与地区人口老龄化程度并无显著的相关关系。

宏观经验证据表明，地区人口老龄化与服务业就业人数占比显著正相关。随着人口老龄化程度持续加深，家庭养老相关服务需求增加。微观家庭层面的消费需求加总至宏观产业结构层面表现为服务业吸纳了大量第一、二产业劳动力。与此同时，从图1描述性统计分析结果看，人口老

① 家庭服务类消费支出包括文化教育娱乐支出、医疗保健支出、居住支出和交通通讯支出，家庭实物类消费支出包括食品支出、衣着支出和家庭设备及日用品支出。家庭总消费性支出为服务类消费支出与实物类消费支出之和。

② “户主”的定义因CFPS各问卷设计不同而存在差异。本文将2010年数据中“户主”定义为“家中主事者”，2012—2018年数据中“户主”定义为家庭经济模块主回答人。根据CFPS调查访问流程，只有家庭中最熟悉家庭经济状况的成员才有资格回答家庭经济模块问题。

③ 考虑地域特殊性，剔除西藏地区数据。

龄化引致的耐用品消费需求下降以及自动化技术在制造业的应用并未对制造业就业结构产生根本影响。技术进步带来的是岗位替代还是岗位创造, 取决于制造业从业者的技能结构以及自动化技术与制造业劳动力的替代弹性。因此, 从劳动力供给侧探究人口老龄化对产业结构的影响, 仍需进一步借助宏观理论模型以及实证识别策略和计量工具加以度量。

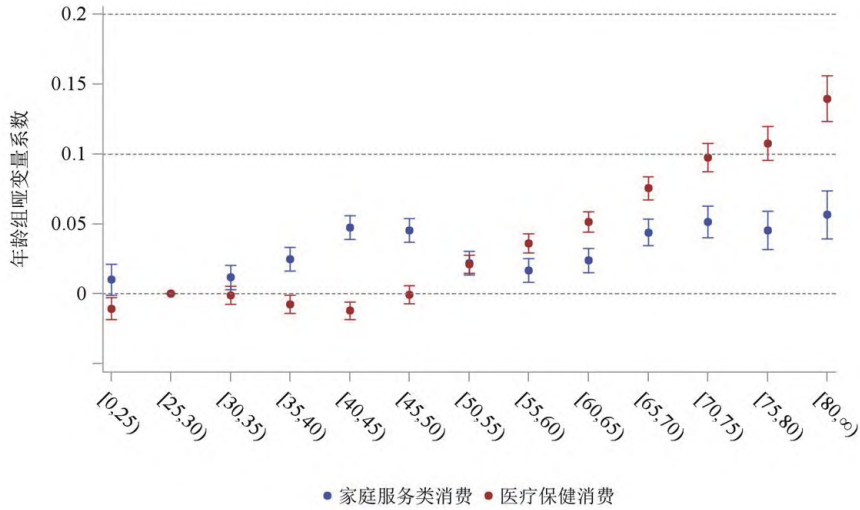


图 1 户主年龄对家庭服务类消费与医疗保健消费占比的影响

注: 图中数据根据 CFPS 2010—2018 年数据计算得到, 图中各点为模型 (3) 中年龄组虚拟变量的点估计值 (以 25—29 岁为参照组), 线段为以聚类到家庭层级稳健标准误差计算的 95% 置信区间。

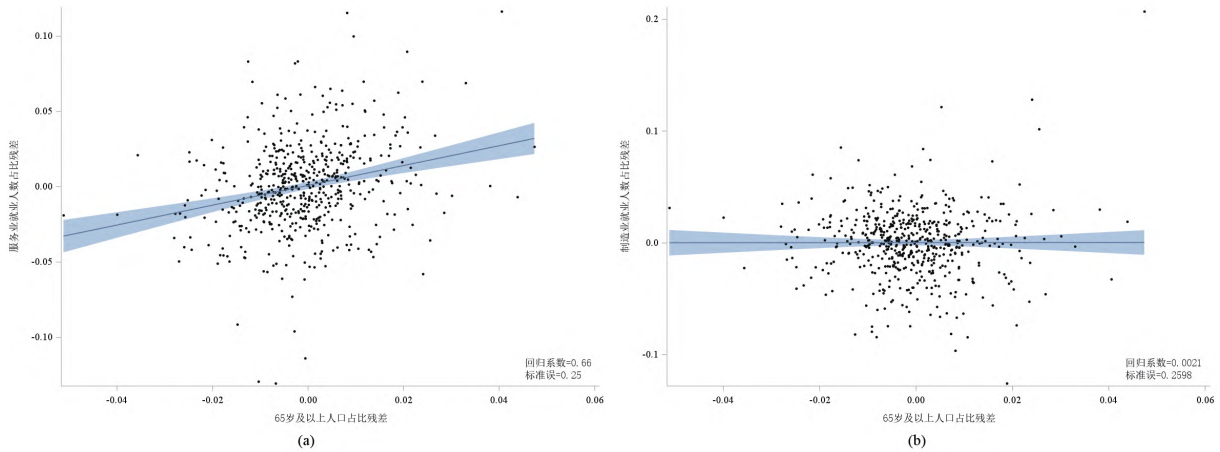


图 2 人口老龄化与制造业和服务业就业占比

注: 数据来自 2000—2020 年《中国统计年鉴》和各省统计年鉴。图中每点代表一个省一年观测。横轴为以各省各年份 65 岁及以上人口占比为因变量, 各省各年份人均 GDP 的对数、人均 GDP 对数的平方为自变量, 并控制了省固定效应的简单线性回归的残差项。纵轴为相应的各省各年份服务业和制造业就业人数占比为因变量的回归残差项。残差间斜率估计值和聚类在省级层面的稳健标准误差见图右下角。

(二) 机器人密度与产业结构

以自动化技术为特征的技术进步引领的“机器换人”浪潮已经引起学者的广泛关注 [7] [1] [9] [10] [5] [12] [16] [8] [13] [40] [14] [17] [9]。遵循人口老龄化与就业结构的分析框架, 本研究基于 IFR 提供的中国工业机器人保有量数据以及 2005 年各省各行业就业数据计算了 2009—2017 年各省机器人密度数据, 采用偏相关系数描述制造业和服务业增加值占比与工业机器人密度的相关关系。如图 3 所示, 在剔除了经济增长和省份固定效应影响后, 服务业增加值占比与工业机器人密度呈现显著的正相关

关系，而制造业增加值占比则呈现显著的负相关关系。该结果凸显出以工业机器人为代表的技术进步是人口老龄化影响产业结构的重要机制之一。以上描述性统计结果为后文实证分析人口老龄化的产业结构效应时突出技术进步的机制作用提供了经验支撑。

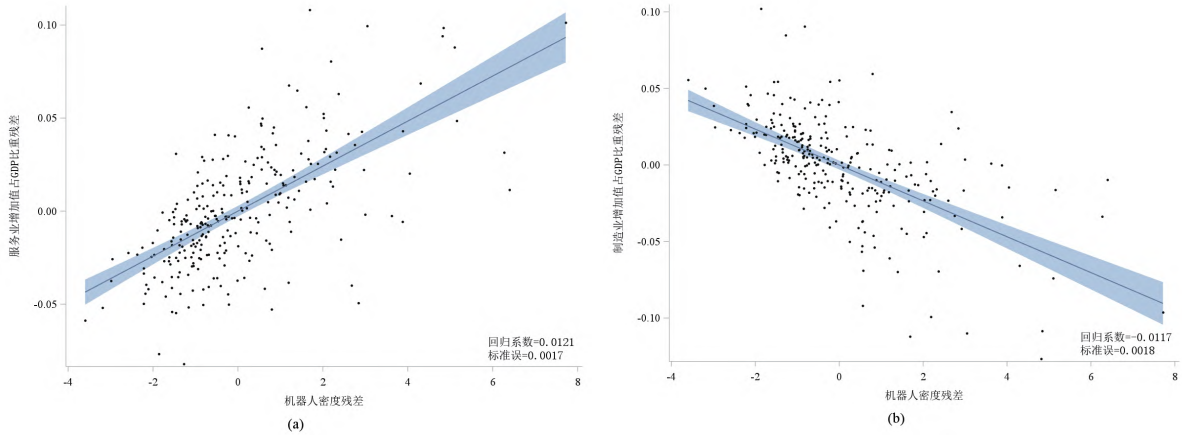


图3 工业机器人密度与制造业和服务业增加值占比

注：数据来自2009—2017年《中国统计年鉴》和IFR中国分行业工业机器人保有量数据。图中每点代表一个省一年观测。横轴为以各省各年份工业机器人密度为因变量，各省各年份人均GDP的对数、人均GDP对数的平方为自变量，并控制了省固定效应的简单线性回归的残差项。纵轴为相应的各省各年份服务业和制造业增加值占比为因变量的回归残差项。残差间斜率估计值和聚类在省级层面的稳健标准误见图右下角。

四、实证结果与分析

(一) 基准回归结果

表2报告了人口老龄化对产业结构影响的基准回归结果。第(1)、(2)列表明，在加入省份固定效应、年份固定效应、省级层面控制变量以及初始产业结构与时间趋势交互项后，65岁及以上人口占比和老年人口抚养比每提高1个百分点，第二产业增加值占比分别下降约0.4个百分点和0.3个百分点。第(3)、(4)列表明，虽然65岁及以上人口占比对第三产业发展的影响不显著，但老年人口抚养比每提高1个百分点第三产业增加值占比平均上升约0.2个百分点。第(5)、(6)报告了人口老龄化程度对中国产业结构转型的影响。在控制了城镇化水平、财政分权等变量后，人口老龄化程度的回归系数均在1%的统计水平上显著为正。这一结果表明，在样本观察期内以65岁及以上人口占比和老年人口抚养比刻画的人口老龄化加速了产业结构转型。

表2 人口老龄化对产业结构的影响

变量	第二产业增加值占比		第三产业增加值占比		第三产业 / 第二产业	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
65岁及以上人口占比	-0.421*** (0.147)		0.229 (0.149)		3.662*** (0.964)	
老年人口抚养比		-0.280*** (0.092)		0.231** (0.093)		2.315*** (0.602)
城镇化水平	0.004*** (0.001)	0.004*** (0.001)	-0.004*** (0.001)	-0.003*** (0.001)	-0.052*** (0.006)	-0.053*** (0.006)
对外开放程度	0.006 (0.005)	0.007 (0.005)	0.008 (0.005)	0.006 (0.005)	0.003 (0.031)	-0.002 (0.032)

续表 2 人口老龄化对产业结构的影响

变量	第二产业增加值占比		第三产业增加值占比		第三产业 / 第二产业	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
财政分权	0.012*** (0.002)	0.012*** (0.002)	-0.012*** (0.002)	-0.011*** (0.002)	-0.074*** (0.011)	-0.074*** (0.011)
省份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
初始产业结构 × 时间趋势	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	465	465	465	465	465	465
R ²	0.932	0.932	0.944	0.944	0.956	0.956

注: **、* 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平上显著, 括号内数据为标准误。下同。

数据来源: 历年《中国统计年鉴》。

(二) 内生性检验

鉴于人口老龄化程度可能存在反向因果和遗漏变量导致的内生性问题, 本研究以虚拟人口老龄化程度作为工具变量进行两阶段最小二乘法回归。表 3 第 (1)、(5) 列报告了第一阶段估计结果。结果显示, 根据 2000 年第五次全国人口普查微观数据和历年全国人口出生率、死亡率构建的虚拟人口老龄化程度指标与真实老龄化程度之间存在高度相关性。第一阶段 F 统计量分别为 284.190 和 300.816, 证实本研究使用的工具变量并非弱工具变量。第 (2)、(3) 列的两阶段最小二乘法回归结果显示, 采用工具变量排除内生性问题后人口老龄化对产业结构依然产生显著的影响。65 岁及以上人口占比平均每增加 1 个百分点, 第二产业增加值占比下降约 0.8 个百分点、第三产业增加值占比上升约 0.8 个百分点。第 (6)、(7) 列结果显示, 老年人口抚养比平均每增加 1 个百分点, 第二产业增加值占比下降约 0.5 个百分点、第三产业增加值上升约 0.6 个百分点。与基准回归结果相比, 两阶段最小二乘法估计系数绝对值较大, 说明基准回归模型低估了人口老龄化对产业结构的实际影响。

表 3 人口老龄化对产业结构的影响 (两阶段最小二乘法)

变量	第一阶段	第二阶段			第一阶段	第二阶段		
	65 岁及以上人口占比 (1)	第二产业增加值占比 (2)	第三产业增加值占比 (3)	第三产业 / 第二产业 (4)	老年人口抚养比 (5)	第二产业增加值占比 (6)	第三产业增加值占比 (7)	第三产业 / 第二产业 (8)
虚拟 65 岁及以上人口占比	0.927*** (0.055)							
65 岁及以上人口占比		-0.804*** (0.233)	0.825*** (0.239)	3.936*** (1.512)				
虚拟老年人口抚养比					0.731*** (0.042)			
老年人口抚养比						-0.530*** (0.143)	0.598*** (0.146)	2.599*** (0.929)

续表3 人口老龄化对产业结构的影响（两阶段最小二乘法）

变量	第一阶段	第二阶段			第一阶段	第二阶段		
	65岁及以上人口占比 (1)	第二产业增加值占比 (2)	第三产业增加值占比 (3)	第三产业/第二产业 (4)	老年人口抚养比 (5)	第二产业增加值占比 (6)	第三产业增加值占比 (7)	第三产业/第二产业 (8)
观测值	465	465	465	465	465	465	465	465
F值	284.190				300.816			

数据来源：历年《中国统计年鉴》和2000年第五次全国人口普查微观数据。

（三）人口老龄化影响产业结构的区域差异

中国的人口结构和产业结构具有较强的区域特征，社会经济发展也具有不平衡性。本研究基于省份所属区域进行异质性讨论。表4汇报了分区域估计结果。虽然人口老龄化对不同区域产业结构的影响方向与基准回归一致，但东部地区的估计系数明显大于中西部地区，且更为显著。该结果有别于已有研究人口老龄化的产业结构升级效应主要集中在中西部地区的结论^{[2]57-58}，也说明了区域产业结构与人口结构的变动趋势发生了根本变化。可能的解释是，初始老龄化程度决定了人口结构变化对产业结构的影响程度。在人口老龄化进程加速推进时期，人口因素日益成为推动东部地区产业结构转型的决定因素。

表4 人口老龄化影响产业结构的区域差异（两阶段最小二乘法）

变量	中西部地区			东部地区		
	第二产业增加值占比 (1)	第三产业增加值占比 (2)	第三产业/第二产业 (3)	第二产业增加值占比 (4)	第三产业增加值占比 (5)	第三产业/第二产业 (6)
面板1						
65岁及以上人口占比	-0.614* (0.348)	0.514 (0.365)	2.628 (1.803)	-1.177*** (0.228)	1.154*** (0.217)	7.493*** (1.692)
观测值	300	300	300	165	165	165
第一阶段F值	271.826			114.462		
面板2						
老年人口抚养比	-0.507** (0.221)	0.509** (0.232)	2.472** (1.148)	-0.673*** (0.136)	0.676*** (0.130)	4.392*** (1.030)
观测值	270	270	270	195	195	195
第一阶段F值	254.701			115.661		

数据来源：历年《中国统计年鉴》和2000年第五次全国人口普查微观数据。

五、机制分析

为了验证技术进步是人口老龄化影响产业结构的“放大器”，本研究参考封进和李雨婷关于影响机制的检验方法^{[8]181-184}，从技术进步渠道分析人口老龄化影响产业结构的机制。国际金融危机后的2009年是中国企业加速转型升级元年，也是中国机器人装机量、保有量开始快速增长的年份。因此，本研究将样本窗口期设定为2009—2017年。那么，在机器人密度快速增长的省份，

人口老龄化对产业结构的影响是否更显著? 自动化技术应用是否增强了人口老龄化的产业结构效应?

为了回答以上疑问, 本研究首先根据公式(2)计算了2009—2017年各省机器人密度增长情况。数据显示^①, 2008—2017年各省每千名非农就业人员潜在机器人保有量平均增加了9.653台。在31个省(区、市)中, 机器人密度增长量存在一定差异, 位于95%分位数省份的机器人密度增长量约为5%分位数上省份的2.7倍。本研究将各省机器人密度增长量大于均值的省份界定为机器人密度增长较快省份, 小于均值的省份定义为机器人密度增长较慢省份, 进行分组回归^②。

表5回归结果表明, 人口老龄化对产业结构的影响主要体现在机器人密度增长较快省份。相对于机器人密度增长较慢省份, 人口老龄化对机器人密度增长较快省份的产业结构影响更强。这一结果也验证了以自动化技术为代表的技术进步对人口老龄化产业结构调整效应的放大作用。人口老龄化导致地区劳动力减少, 家庭消费需求结构发生改变。劳动力供给侧和消费需求侧的变化成为产业结构转型升级的原动力, 技术进步加速了这一进程。劳动力供给减少导致企业用工成本上升, 人口老龄化提高了以工业机器人为代表的自动化技术的相对收益, 激励企业加速“机器换人”, 制造业从劳动密集型向资本、技术密集型转变。此外, 自动化技术的替代效应加速了劳动力从制造业向服务业的转移, 间接促进了服务业发展, 强化了地区产业结构转型。

表5 人口老龄化、机器人密度与产业结构(两阶段最小二乘法)

变量	机器人密度增长较慢省份			机器人密度增长较快省份		
	第二产业增加值占比 (1)	第三产业增加值占比 (2)	第三产业 / 第二产业 (3)	第二产业增加值占比 (4)	第三产业增加值占比 (5)	第三产业 / 第二产业 (6)
面板 1						
65岁及以上人口占比	-0.238 (0.380)	0.403 (0.379)	1.353 (2.069)	-1.204*** (0.293)	1.139*** (0.297)	5.229*** (1.975)
观测值	270	270	270	195	195	195
第一阶段F值		181.235			115.692	
面板 2						
老年人口抚养比	-0.239 (0.214)	0.381* (0.213)	1.477 (1.160)	-0.749*** (0.195)	0.783*** (0.197)	2.769** (1.318)
观测值	270	270	270	195	195	195
第一阶段F值		211.998			110.398	

数据来源: 历年《中国统计年鉴》、2000年第五次全国人口普查微观数据和IFR数据。

六、结论及政策建议

深入探究人口结构变化对经济发展的影响及其作用机制, 是以人口高质量发展支撑中国式现代化的根本要求。本研究通过实证分析探讨了人口老龄化与技术进步对中国产业结构转型的叠加

① 限于篇幅, 相关统计描述留存备案。

② 机器人密度增长较快省份根据增长量由高到低分别为: 重庆市、天津市、上海市、北京市、广东省、吉林省、辽宁省、陕西省、江苏省、黑龙江省、甘肃省、浙江省和贵州省。其余省份为机器人密度增长较慢省份。

效应,揭示了二者在推动产业结构调整中的关键作用。研究表明,人口老龄化显著促进了第三产业发展,并对第二产业的发展形成了一定的抑制效应。人口老龄化的产业结构调整效应表现出显著的区域异质性,东部地区产业结构受人口老龄化的影响更为显著,且主要集中在机器人密度增长较快省份。以上结论凸显了以自动化技术为代表的技术进步的重要机制作用。

如何理解技术进步在分析人口老龄化对产业结构影响的机制作用?一方面,人口老龄化加速了自动化技术的应用,有效缓解了制造业劳动力短缺的问题,推动了产业结构向技术密集型和高附加值转型。另一方面,自动化、数字化和智能化的快速发展不仅弥补了劳动力不足的短板,还通过提升劳动生产率和优化资源配置,进一步促进了产业结构的升级。技术进步与人口老龄化相互作用,形成了一种“倒逼机制”,推动产业从劳动密集型向技术密集型转型,优化了服务业的内部结构,最终提升了整体经济效益。

基于上述研究结论,本研究提出以下政策建议:首先,加强技术创新与产业升级的政策支持。政府应加大对自动化、人工智能、数字化等关键技术的研发投入,推动企业通过技术创新与生产方式的深度变革,提升产业整体竞争力。其次,优化产业结构布局,推动服务业高质量发展。人口老龄化将加速服务业,尤其是健康医疗、养老产业等领域的扩张。通过推动“互联网+养老”等创新模式,进一步提升服务业的供给能力与质量,满足日益增长的老龄化社会需求。再次,加强区域政策协调,推动均衡发展。由于人口老龄化在不同地区的进程存在显著差异,政府应根据各地的人口结构特征实施差异化的产业政策:对于人口老龄化较为严重的地区,应加大对服务业与健康产业的扶持力度,推动相关产业的快速发展;对于人口结构较为年轻的地区,应聚焦制造业与高新技术产业的发展,推动区域产业结构的优化与转型,实现区域间的协调发展与资源共享。最后,促进人口有序流动以缓解人口老龄化对产业结构的负向影响。通过科学引导人口流动,特别是促进城乡及区域间的劳动力迁移,实现资源配置的优化,缓解部分地区的劳动力短缺问题,并有效为人口老龄化严重地区注入年轻劳动力,从而推动区域经济与社会的可持续发展。在政策层面,应加强基础设施建设、实施人才引进、推动城市群建设等,吸引年轻人口流向经济欠发达或老龄化严重的地区。此外,产业结构的战略性调整,特别是加速技术密集型产业和现代服务业的发展,已成为应对人口老龄化的关键举措。这一转型有助于减少对传统劳动力的依赖,提升经济技术创新能力。

[参考文献]

- [1] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Secular stagnation? The effect of aging on economic growth in the age of automation [J]. *American Economic Review*, 2017, 107(5): 174-179.
- [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).
- [3] 方雯,李雯娟.人口老龄化对中国产业结构转型的影响[J].*人口研究*,2025(5).
- [4] HASHIMOTO K I, TABATA K. Population aging, health care, and growth [J]. *Journal of Population Economics*, 2010, 23(2): 571-593.
- [5] MOMOTA A. Population aging and sectoral employment shares [J]. *Economics Letters*, 2012, 115(3): 527-530.
- [6] ZHANG H F, ZHANG H L, ZHANG J S. Demographic age structure and economic development: Evidence from Chinese provinces [J]. *Journal of Comparative Economics*, 2015, 43(1): 170-185.
- [7] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Demographics and automation [J]. *The Review of Economic Studies*, 2022, 89(1).
- [8] 封进,李雨婷.人口老龄化与企业进入:基于中国地级市的研究[J].*世界经济*,2023(4).
- [9] 葛鹏,赵忠.机器人的崛起与就业变动:2009—2017[J].*中国人民大学学报*,2023(1).
- [10] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Robots and jobs: Evidence from US labor markets [J]. *Journal of Political Economy*, 2020, 128(6).
- [11] HERRENDORF B, ROGERSON R, VALENTINYI Á. Growth and structural transformation [M]// AGHION P, DURLAUF S N. *Handbook of economic growth*. Amsterdam: Elsevier, 2014.
- [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(10).

- [13] 周广肃, 李力行, 孟岭生. 智能化对中国劳动力市场的影响——基于就业广度和强度的分析 [J]. 金融研究, 2021(6).
- [14] HÉMOUS D, OLSEN M. The rise of the machines: Automation, horizontal innovation and income inequality [J]. American Economic Journal: Macroeconomics, 2022, 14(1).
- [15] ABELIANSKY A L, PRETTNER K. Automation and population growth: Theory and cross-country evidence [J]. Journal of Economic Behavior & Organization, 2023, 208(4): 345-358.
- [16] 颜色, 郭凯明, 段雪琴. 老龄化、消费结构与服务业发展 [J]. 金融研究, 2021(2): 20-37.
- [17] CRAVINO J, LEVCHENKO A, ROJAS M. Population aging and structural transformation [J]. American Economic Journal: Macroeconomics, 2022, 14(4).
- [18] COMIN D, LASHKARI D, MESTIERI M. Structural change with long-run income and price effects [J]. Econometrica, 2021, 89(1): 311-374.

Population Aging, Automation and Structural Change

MA Chao¹, LI Hao², LIU Xiangbo³

(1. Institute of Population and Labor Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100006;

2. Institute for Future Technologies, Peking University, Beijing 100871;

3. School of Labor and Human Resources, Renmin University of China, Beijing 100872)

Abstract: China is currently grappling with the dual challenges of profound demographic shifts and accelerated industrial structure transformation. How to address the labor supply shocks brought about by population aging while achieving industrial structure optimization and upgrading, thus, has become a focal point of common concern for both academia and policymakers. This study explores the effect of demographic changes on industrial structure adjustment and analyzes how technological progress influences industrial structure adjustment in the context of population aging. Empirical tests using provincial panel data from 2009 to 2023 reveal that population aging significantly promotes the development of the tertiary industry while exerting a significant negative impact on the development of the secondary industry, thereby driving industrial structure transformation. Compared with the central and western regions, the impact of population aging on industrial structure is more pronounced in the eastern coastal provinces. Mechanism analysis indicates that the effect of population aging on industrial structure transformation is mainly concentrated in provinces with faster growth in robot density. That is, population aging drives industrial structure transformation through the application of automation technology, highlighting the combined effect of demographic changes and technological progress. The study recommends strengthening policy support for technological innovation and industrial upgrading; optimizing the industrial structure layout to promote high-quality development of the service sector; enhancing regional policy coordination to promote balanced development; and facilitating orderly population mobility to mitigate the negative impacts of population aging on industrial structure.

Key words: population aging; robotics; industrial structure

[责任编辑: 孙蕊]