网络首发时间：2019-07-22 14:19:58
网络首发地址：http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1081.f.20190719.1621.008.html

人工智能、老龄化与经济增长*

陈彦斌　林　晨　陈小亮

内容提要：历史和国际经验表明，长期中老龄化会给经济增长带来较为严重的冲击，由于中国的老龄化程度正在不断提高，因此很有必要探寻应对老龄化的有效之策。本文通过构建含有人工智能和老龄化的动态一般均衡模型，研究了人工智能是否能够有效应对老龄化对经济增长的不利影响。研究结果表明，人工智能主要通过三条机制应对老龄化的冲击，进而促进经济增长：一是提高生产活动的智能化和自动化程度从而减少生产活动所需的劳动力，二是提高资本回报率从而促进资本积累，三是提高全要素生产率。数值模拟结果进一步显示，人工智能可以较好地应对老龄化对经济增长的不利影响，而且其效果明显优于延迟退休政策。有鉴于此，本文认为中国可以通过发展人工智能来应对老龄化对经济增长的冲击。不过，要想实现这一目标并非易事，政府部门一方面需要为人工智能提供良好的发展环境；另一方面需要事先防范人工智能可能引发的失业和收入分配失衡等问题，确保经济与社会的平稳运行。

关键词：人工智能　老龄化　经济增长　延迟退休政策　动态一般均衡模型

一、引　言

历史和国际经验表明，虽然老龄化在短期内给一个国家或地区的经济增长带来的影响并不明显，但在长期中的影响不容忽视。日本在高增长时期之后，之所以经济增速显著放缓，重要原因之一就是老龄化给经济带来了较大冲击。中国的老龄化程度不断加剧，而且面临“未富先老”、“未备先老”的局面，如果不采取有效对策，那么老龄化对中国经济的冲击可能比其他国家更严重。在中国经济增速持续放缓，而“两个一百年”等重要目标的实现都需要经济增速保持在一定水平的背景下，很有必要深入研究如何才能有效应对老龄化对经济增长的不利影响，以促进经济与社会的平稳运行。

已有研究主要建议通过延迟退休年龄、调整生育政策、加快推进户籍制度改革等举措应对老龄化的影响，这些对策的本质是从供给端进一步“挖掘”劳动力。不过，现实情况表明，从供给端“挖掘”劳动力的难度越来越大，从需求端入手或许能够找到长期有效的应对之策。例如，人工智能的不断发展和推广应用，将会越来越多地实现机器人和自动化设备对劳动力的替代，从而减少劳动力需求，理论上可以成为应对老龄化的新思路。有鉴于此，本文将从需求端入手，研究人工智能究竟能否有效应对老龄化给中国经济增长带来的不利影响。

近年来学术界关于人工智能的研究成果大量涌现，包括人工智能对经济增长、生产率与技术创新、就业、收入分配与不平等、市场结构与产业组织等诸多方面的影响（曹静和周亚林，2018）。之所以人工智能引起了广泛关注，是因为它能够进行“机器学习”（machine learning），从更大范围、更

* 陈彦斌，中国人民大学经济学院，邮政编码：100872，电子信箱：cyb@ruc.edu.cn；林晨，中国人民大学应用经济学院，邮政编码：100872，电子信箱：c_lin@ruc.edu.cn；陈小亮（通讯作者），中国社会科学院经济研究所，邮政编码：100836，电子信箱：chenxiaoliang2200@126.com。本文是中国人民大学科学研究基金（中央高校基本科研业务费专项资金资助）项目（15XNI006）、教育部人文社会科学重点研究基地重大项目（18JD790015）、国家自然科学基金应急管理项目（71850003）和国家自然科学基金青年项目（71603274）的阶段性成果。作者感谢匿名审稿专家的建设性意见，但文责自负。

大程度上实现对劳动力的替代。而且,各界普遍预期人工智能会成为通用技术,从而给全世界带来深刻变革。正如 Brynjolfsson et al.(2017)所言,通用技术需要满足三大条件,一是能够大范围推广使用;二是能够不断更新升级;三是能够引发与之相配套的创新活动。人工智能所具备的学习能力使其较好地满足了这三个条件,从而能够发展成为通用技术。

不过,到目前为止,鲜有文献专门研究人工智能究竟能否应对老龄化给经济增长带来的不利影响。Acemoglu & Restrepo(2017a)通过实证研究初步发现,老龄化越严重的国家,越倾向于更早、更多地使用人工智能(机器人)从事生产活动。Acemoglu & Restrepo(2018a)基于模型和实证研究进一步指出,老龄化将导致 21—55 岁的劳动人口数量减少,而该年龄段人群对生产活动而言是最重要的。为了减弱老龄化对生产活动的冲击,企业将更多地使用机器人替代劳动。这两篇文献较早地明晰了老龄化与人工智能应用之间的关系,但是并没有系统研究老龄化对经济增长的影响机制,以及人工智能究竟是否可以有效应对老龄化给经济增长带来的负面影响,这也给本文研究提供了契机。

本文通过构建含有人工智能和老龄化的动态一般均衡模型,并且基于中国的实际情况对模型参数进行校准,研究了人工智能究竟能否应对老龄化给中国经济增长带来的冲击。之所以选择动态一般均衡模型而非计量分析和统计分析作为本文的研究方法,主要有两点考虑。一是,人工智能目前尚处于发展初期阶段,相关数据较为匮乏,这会限制计量分析和统计分析方法的使用,而动态一般均衡模型和数值模拟对数据的要求相对偏弱。二是,本文尝试将人工智能和延迟退休政策对老龄化的影响进行对比分析,与计量分析和统计分析相比,基于动态一般均衡模型的数值模拟实验在这方面具有明显优势。

研究结果表明,人工智能主要通过三条机制应对老龄化对经济增长的冲击。一是,提高生产的智能化和自动化程度,减弱生产活动对劳动的依赖,从而减轻老龄化背景下劳动力供给减少对经济增长的不利影响。二是,提高资本回报率,进而提高储蓄率和投资率,以减缓老龄化背景下储蓄率和投资率下降对经济增长的冲击。三是,促进全要素生产率的提升,从而进一步对冲老龄化对经济增长的冲击。数值模拟结果显示,如果不考虑人工智能的影响,老龄化将使得 2035 年的中国经济增速下滑至 4.70%(如果考虑国内与国外其他不利因素的冲击,经济增速的下滑幅度将会更大)。而在本文设定的三种人工智能发展情景下,到 2035 年中国经济增速将分别比老龄化情形高出 0.95 个、1.77 个和 2.68 个百分点。而且,本文对人工智能促进全要素生产率提升幅度的设定相对保守和谨慎,长期来看人工智能对全社会技术进步和全要素生产率的提升效果将越来越明显,从而进一步提高人工智能对经济增长的拉动能力。此外,本文还发现,人工智能应对老龄化冲击的效果明显优于延迟退休政策的效果。

本文的学术贡献主要体现在三个方面。第一,Aghion et al.(2017)等文献通过构建模型考察了人工智能对经济增长的影响,但并没有将老龄化考虑在内,本文构建了同时包含人工智能和老龄化的模型,从而能够回答人工智能究竟能否应对老龄化给中国经济增长带来的冲击这一重要问题。第二,Aghion et al.(2017)等文献主要通过理论模型对人工智能的影响进行定性分析,本文在理论建模的基础上结合中国实际情况进行参数校准,并且进行了丰富的数值模拟实验,从而可以较好地对人工智能的影响进行定量分析。第三,本文还基于所构建的模型研究了延迟退休政策应对老龄化的效果,并将其与人工智能的影响进行对比,从而进一步明确了人工智能应对老龄化的显著效果,这有助于为政府应对老龄化提供可靠的决策依据。

二、老龄化对经济增长的影响以及人工智能的作用

本部分的主要目的是,基于理论和国际经验,概括出老龄化对经济增长的主要影响,并探寻人

工智能是否能够减弱老龄化所带来的影响,从而为下文在模型中刻画人工智能及其对经济增长的影响机制打下基础。考虑到劳动力供给、资本积累和全要素生产率提升是长期经济增长的主要动力源泉,本文从这三方面展开分析。

(一)劳动力供给层面的影响

劳动力是生产和经济增长不可或缺的要素投入,然而老龄化却会导致劳动力供给减少。这是因为,老龄化会使得劳动年龄人口不断减少,而且伴随着老龄化的不断加剧,全社会的劳动参与率会越来越低。以老龄化率最高的日本为例,截至 2016 年底,日本劳动年龄人口数量已经比 1995 年的峰值减少了 11.82%。① 而且,老龄化导致日本劳动参与率明显偏低,周祝平和刘海斌(2016)通过国际对比发现,2013 年日本的劳动力参与率比中国低 12.1 个百分点,其中接近 80% 归咎于老龄化。上述两方面因素导致劳动力对日本经济增长的贡献日益减弱:JIP 数据库的数据显示,日本劳动投入对经济增长的贡献度在 1980—1985 年间为 34.17%,1986—1990 年间已经降至 10.56%,而 1990 年以后则持续为负。

不过,人工智能可以减少生产过程中的劳动力需求,从而减弱老龄化对经济增长的不利影响。这是因为,人工智能可以提高生产过程的自动化程度,用智能系统和设备替代劳动力,而且人工智能对劳动力的替代比传统的机械自动化对劳动力的替代幅度更大,从而减少劳动力的需求量。Acemoglu & Restrepo(2017b)利用 1990—2007 年间美国的数据进行了定量研究,发现每 1000 个工人所拥有的机器人数量增加 1 个,就会减少 0.18%—0.34% 的劳动需求。Chui et al.(2015)的预测结果进一步表明,如果人工智能系统的表现可以达到人类的中等水平,那么在美国将会有 58% 的工作可以通过使用人工智能系统完成。

(二)资本积累层面的影响

老龄化会降低储蓄率和投资率,进而降低资本积累速度,阻碍经济增长。根据生命周期理论,一个国家的劳动年龄人口占比越高则储蓄率和投资率越高,老年人占比越高则储蓄率和投资率越低。② 不仅如此,老龄化过程中劳动供给减少,会使得资本边际产出递减规律的影响更加明显,进而降低投资回报率,投资率和储蓄率也就随之下行。大量实证研究发现,老龄化的确会降低一国的储蓄率(陈彦斌等,2014a),而储蓄率的下降不可避免地会导致投资率下滑。以日本为例,WDI 数据显示,日本投资率已经从 1970 年的 40.9% 下降到 2010—2016 年的 22.96%。

相比之下,人工智能则会提高资本回报率,从而提高储蓄率和投资率,进而减弱老龄化的冲击。伴随着人工智能水平的提高,生产过程的智能化和自动化水平会不断升高,而且越来越多的生产任务可以用资本代替劳动加以完成,从而使得生产过程中资本相对于劳动变得更加重要,投资回报率将因此而上升。除此之外,人工智能的发展还可以促进全社会技术进步和全要素生产率的提升(具体见下一小节的分析),这同样有助于提高资本回报率。

(三)全要素生产率层面的影响

国内外已经有大量文献研究了老龄化对技术进步和全要素生产率的影响,汪伟和姜振茂(2016)对相关文献进行了梳理,发现到目前为止这些研究并未达成共识。一部分研究认为,老龄化不仅会减弱劳动者的脑力机能、影响劳动者的人力资本积累,而且还会通过增加企业用工成本和

① 参照国际通行做法,本文将 15—64 岁的人口定义为劳动年龄人口,将 65 岁及以上的人口定义为老年人口,将 65 岁及以上人口占总人口的比重定义为老龄化率。

② 老龄化过程中,养老制度改革等因素可能会使得老龄化对储蓄率产生正向影响,不过本文研究的重点是老龄化本身和人工智能的发展对储蓄率所带来的影响,因此暂不考虑养老制度改革等因素对储蓄率的影响。

政府养老支出进而挤占研发投入,因此老龄化不利于技术进步和全要素生产率的提高。另一部分研究则认为,老龄化促使人们更加重视人力资本投资,并激励一国转变经济发展方式,进而对技术进步和全要素生产率产生积极影响。

尽管学术界关于老龄化对技术进步和全要素生产率的影响尚未达成共识,但是我们仍然可以研究人工智能对技术进步和全要素生产率的影响。由于老龄化会通过减少劳动供给和资本积累抑制经济增长,只要人工智能可以促进技术进步和全要素生产率的提高,那么就会减弱老龄化对经济增长的不利影响,而不管老龄化对技术进步和全要素生产率的影响是正是负。考虑到人工智能本身就是技术不断进步的结果,而且人工智能还会通过"机器学习"以及激发配套创新科技等方式促进全社会技术进步(Brynjolfsson et al.,2017),因此长期来看人工智能将有助于全要素生产率的提升,从而进一步减弱老龄化对经济增长的不利影响。

三、基准模型构建与求解

为了研究人工智能是否能够减轻老龄化对中国经济增长的不利影响,本文将构建含有人工智能和老龄化的动态一般均衡模型。本文模型以 Aghion et al.(2017)为基准,并在此基础上做了四方面改进。第一,Aghion et al.(2017)假设人口年龄结构不变,而本文需要考察老龄化的影响,因此将老龄化引入模型。第二,Aghion et al.(2017)假设储蓄率外生,然而人工智能会影响储蓄率,因此本文模型将储蓄率内生化。第三,Aghion et al.(2017)外生给定了人工智能的演进轨迹,而本文则使用 Logistic 函数刻画了人工智能的演进轨迹,从而为数值模拟提供了基础。第四,Aghion et al.(2017)没有刻画政府部门,而本文则引入了政府部门。究其原因,长期以来中国政府部门的投资活动对经济增长而言至关重要,而老龄化的推进则会加剧政府的财政养老负担,使得政府拉动投资的能力越来越弱,如果不引入政府部门,很可能会低估老龄化对中国经济增长的负面影响,也就无法准确判断人工智能是否可以应对老龄化的冲击。

(一)居民部门与老龄化

耿志祥和孙祁祥(2017)等文献在研究老龄化对经济增长的影响时,一般使用 OLG 模型刻画居民部门,通过出生率的下降和死亡率的上升来刻画老龄化走势,并且重点分析居民个体在年轻时期和老年时期的差异化行为决策。与之不同,本文主要关注的是老龄化导致全社会劳动供给总量减少,而单一个体所提供劳动的差异以及年轻时期和老年时期个体的其他行为差异并非本文关注的重点。如果使用两期或多期 OLG 模型,需要对不同时期的个体进行加总,这会使得模型刻画和求解更为复杂,但模型对现实问题的解释能力并不会因此而提高。为了简化表达,本文直接抽象出一个"加总个体",该个体的劳动投入量是已有文献的 OLG 模型中所有个体提供劳动的总和。"加总个体"劳动投入量的变化体现的就是老龄化对劳动供给的影响,伴随着老龄化的不断加剧,"加总个体"所能够提供的劳动量不断减少。①

假设"加总个体"可以无限期存活,其一生中的每一期所面临的最优化问题的形式是相同的:

$$\max \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t U(C_t) \tag{1}$$

其中,β 为时间贴现因子,C_t 为"加总个体"在第 t 期的消费。假设效用函数形式为 $C_t^{1-\sigma}/(1-\sigma)$,$\sigma$ 为相对风险规避系数。需要说明的是,本文效用函数只引入了消费,而没有引入劳动与闲暇的内生决定问题。这是因为,本文将基于所构建的模型,模拟老龄化对经济增长的冲击,而数值模拟的

① 理论上,本文刻画的无限期"加总个体"模型等价于符合以下两个特殊条件的 OLG 模型。一是模型中的个体具有代际利他偏好(Barro,1974)。一般而言,含有代际利他偏好个体的 OLG 模型等价于无限期的代表性个体模型。二是模型中的每一个个体在年轻时期无弹性地供给一单位劳动力。此时,"加总个体"的劳动供给恰好等于全社会劳动力的数量之和。

一个重要前提就是外生给定老龄化过程中劳动供给量的变化轨迹。而且,后文并没有直接使用《联合国世界人口展望 2017》所预测的中国劳动年龄人口的数量进行数值模拟实验,而是将劳动参与率的影响考虑在内,①这相当于在模型外间接考虑了劳动与闲暇的决定问题。

"加总个体"在每一期面临的预算约束如下:

$$C_t + I_t^H = (1-\tau)(w_t N_t + r_t K_t^H) + TR_t \tag{2}$$

其中,I_t^H 代表"加总个体"在第 t 期的投资,用于企业生产活动,K_t^H 为"加总个体"在第 t 期所拥有的资本存量;N_t 为"加总个体"在第 t 期提供的劳动,全部用于生产活动;w_t 为工资率,r_t 为利率,$w_t N_t$ 和 $r_t K_t^H$ 分别给出了"加总个体"在第 t 期的劳动工资收入和资本收入;τ 代表税率,TR_t 为政府在第 t 期支付给"加总个体"的养老金。此外,"加总个体"的资本存量变动方程可以表示为:$K_{t+1}^H = I_t^H + (1-\delta)K_t^H$,其中 δ 为资本折旧率。

(二)生产部门与人工智能

刻画生产部门的关键在于对人工智能进行刻画。目前,已有研究刻画人工智能的方式主要有两种。第一种是基于任务式(task-based)的刻画,假设人工智能会使得更多的任务可以实现自动化生产,然后使用已经实现自动化的生产任务占所有生产任务的比重反映人工智能的发展程度(Aghion et al.,2017;Acemoglu & Restrepo,2018a)。第二种是基于资本异质性的刻画,假设人工智能的发展使得生产函数中出现了与普通资本不同的智能资本,然后通过智能资本及其变化来刻画人工智能的发展程度(Lankisch et al.,2017;Pretter,2019)。本文选择了第一种方法,这是因为,如果使用异质性资本刻画人工智能,后续参数校准工作将面临很大的难度。我们很难对初始时期的普通资本和智能资本进行准确分割,而且两种资本的折旧率可能会有较大差别,但是目前仍无法知悉智能资本的折旧率到底是多少。相比之下,基于任务式的刻画则避免了不同资本的分割和折旧率的区分,在参数校准时的可行性较高。

对于生产函数的形式,本文参照 Aghion et al.(2017)所使用的 CES 函数进行刻画。假设存在无数家竞争性厂商生产最终产品,最终产品的生产函数为:

$$Y_t = A_t\left(\int_0^1 X_{nt}^{\rho} dn\right)^{1/\rho} \tag{3}$$

其中,Y_t 代表最终产品的产出,A_t 代表全要素生产率,X_{nt} 代表第 t 期第 n 类中间品的数量。参数 $\rho<0$,$1/(1-\rho)$ 给出了资本与劳动的替代弹性(下文简称为要素替代弹性)。假设中间品要么用资本生产,要么用劳动生产。如果相应的生产任务实现了自动化,那么就假设该中间品全部使用资本进行生产。如果相应的生产任务没有实现自动化,那么就假设该产品全部使用劳动投入进行生产。具体用下式表示:

$$X_{nt} = \begin{cases} K_{nt} & \text{如果生产任务实现了自动化} \\ L_{nt} & \text{如果生产任务没有实现自动化} \end{cases} \tag{4}$$

进一步地,假设生产任务实现自动化的中间品占全部中间品的份额为 α_t,实现自动化的中间品总额为 $\int_0^1 K_{nt}dn = K_t$,没有实现自动化的中间品总额为 $\int_0^1 L_{nt}dn = L_t$。而且,假设资本在所有实现自动化的中间品之间均匀分配,劳动在所有未实现自动化的中间品之间均匀分配(Aghion et al.,2017),即每一类实现自动化的中间品生产所需的资本投入为 K_t/α_t,每一类未实现自动化的中间品生产所需的劳动投入为 $L_t/(1-\alpha_t)$。据此,(4)式可以改写为:

① 考虑到男性和女性的老龄化状况与劳动参与率存在明显差别,本文基于马忠东等(2010)预测的男性和女性劳动参与率数据,分别计算了每一年的男性劳动力和女性劳动力数量,将其加总得到每一年的劳动力总量。

$$Y_t = A_t\left[\alpha_t\left(\frac{K_t}{\alpha_t}\right)^{\rho} + (1-\alpha_t)\left(\frac{L_t}{1-\alpha_t}\right)^{\rho}\right]^{1/\rho} = A_t\left[\alpha_t^{1-\rho}K_t^{\rho} + (1-\alpha_t)^{1-\rho}L_t^{\rho}\right]^{1/\rho} \quad (5)$$

(5)式在本质上与 Acemoglu & Restrepo(2018b)对生产函数的刻画是相同的。伴随着人工智能水平的提高,原来无法用智能系统替代劳动的生产任务将越来越多地实现自动化生产,α_t 随之提高。有鉴于此,可以用 α_t 反映人工智能给自动化程度带来的变化。由于 $\rho<0$,人工智能水平越高,CES 生产函数中资本 K_t 前面的系数 $\alpha_t^{1-\rho}$ 越大,这意味着资本对全社会生产过程而言变得越来越重要,越来越多的生产任务可以用资本代替劳动加以完成。需要强调的是,人工智能还会通过"机器学习"、创造新思想、激发配套创新和技术进步等途径,提高全要素生产率 A_t 的增长率(Aghion et al.,2017)。

在刻画完生产函数后,要想深入考察人工智能对经济增长带来的影响,还要进一步确定人工智能影响之下自动化程度 α_t 和全要素生产率的增长率 $g_t=\dot{A}_t/A_t$ 的函数表达式。由于人工智能的发展尚处于起步阶段,究竟人工智能对自动化水平和全要素生产率的影响是什么样的函数形式,目前难以清晰确定。不过,我们仍然可以从已有文献中总结出一定的规律。一方面,刻画 α_t 和 g_t 的函数需要呈现出"先凸后凹"的演化趋势。根据 Brynjolfsson et al.(2017)的分析,人工智能发展初期对全要素生产率的促进作用相对有限,因为与人工智能相配套的技术创新和生产体系的转型升级需要一定时间才能完成。但是,长期而言人工智能将显著促进技术进步和全要素生产率的提升。Mckinsey(2018)进一步预测了人工智能在全世界企业的普及率演化曲线,总体上呈现"先凸后凹"的趋势,即:人工智能发展初期阶段,在企业的普及相对较慢;伴随着人工智能的发展,其普及程度会快速升高;当达到一定程度之后,人工智能发展的态势将会趋缓。另一方面,自动化程度 α_t 的取值一定处于0—1的区间内,这要求所选择的函数存在上下限。考虑到 Logistic 函数同时满足"先凸后凹"和存在上下限这两个特点,本文尝试采用 Logistic 函数刻画人工智能对 α_t 和 g_t 的影响,具体函数形式如下:

$$\alpha_t = \alpha_0 + (\bar{\alpha}-\alpha_0)/\left[1+e^{-\zeta(t-h)}\right];g_t = g_0 + (\bar{g}-g_0)/\left[1+e^{-\eta(t-\mu)}\right] \quad (6)$$

其中,α_0 和 g_0 分别代表自动化程度和全要素生产率增长率的起始值;$\bar{\alpha}$ 和 $\bar{g}$ 分别代表自动化程度和全要素生产率增长率的极限值;ζ 和 η 分别代表自动化程度和全要素生产率增长率变化趋势的曲率;h 和 μ 分别代表自动化程度和全要素生产率增长率变化趋势由凸转凹的时间节点。

需要强调的是,虽然本文模型对人工智能的刻画以生产任务的自动化为支撑,但是本文所刻画的人工智能与传统的自动化存在根本差别。第一,本文根据人工智能的特征,使用 Logistic 函数刻画 α_t,当人工智能从发展初期逐渐达到成熟阶段时,α_t 将加速上升("凸状"走势),这根源于人工智能的"机器学习"等独有特点。相比之下,自动化本身难以带来 α_t 的加速上升("凸状"走势)。① 第二,人工智能可以通过"机器学习"以及激发配套创新科技等方式,促进全社会技术进步,从而提高全要素生产率的增长率 g_t,而且人工智能从发展初期逐渐达到成熟阶段的过程中同样会使 g_t 加速上升("凸状"走势)。相比之下,自动化则难以促进全社会的技术进步。

(三)政府部门

之所以引入政府部门,主要基于两点考虑。一是,与绝大多数国家明显不同,中国的政府部门很大程度上是增长型政府而非服务型政府,政府部门所拉动的投资活动对于中国经济增长而言是

① 与历史上出现的其他通用技术类似,当人工智能逐渐成熟并在全社会推广使用以后,其影响将会逐渐减弱,α_t 随之进入"凹状"走势阶段。

非常重要的。二是,以往很长一段时间内,中国处于“人口红利”阶段,政府部门不需要支付太多养老金,但是伴随着老龄化的快速推进,中国出现了越来越大的养老金缺口,需要政府部门予以补贴,而这无疑会削弱政府部门的投资能力。根据刘学良(2014)的预测,如果不采取其他应对措施,并且使用财政资金补贴养老金缺口,那么到 2030 年财政养老补贴占 GDP 的比重将达到 2.71%,到 2050 年财政养老补贴占 GDP 的比重将达到 9.55%,由此给政府部门带来的负担可想而知。如果不引入政府部门,将会低估老龄化对中国经济增长的冲击。有鉴于此,本文引入政府部门,这也是本文与 Aghion et al.(2017)的主要区别之一。

为了便于模型求解和机制分析,本文对政府部门进行简化处理。具体而言,现实中政府部门除了从事投资活动和支付养老金之外,在教育、医疗、科技、环保等方面也担负着不少责任,不过这些活动并不是本文关注的重点,因此本文不再刻画政府在投资和养老之外的其他活动。假设政府部门的预算约束为:

$$I_t^G + TR_t = \tau(w_t L_t + r_t K_t^H) + r_t K_t^G \tag{7}$$

其中,(7)式左侧为政府部门的各项支出,I_t^G 和 K_t^G 分别为政府部门的投资和资本存量,TR_t 为政府部门支付的养老金。(7)式右侧为政府部门的各项收入,$\tau(w_t L_t + r_t K_t^H)$ 是与政府投资和养老活动相对应的税收收入,$r_t K_t^G$ 是政府投资获得的回报。需要强调的是,由于本文模型中政府征税的目的是为投资和养老活动融资,而与教育、医疗、科技、环保等相对应的税收不在其中,因此模型中的税率 τ 将会明显低于实际经济中的宏观税负。此外,政府部门资本存量的变动方程可以表示为:$K_{t+1}^G = I_t^G + (1-\delta)K_t^G$。

理论上,伴随着老龄化的不断加剧,退休人数越来越多,而缴纳养老保险金的人数相对减少,从而会导致财政养老收入和支出之间的缺口变大。再加上退休人员领取退休金的时间越来越长,政府部门需要支付的养老金总额 TR_t 显著升高。在保持税率 τ 不变的前提下,政府投资总额 I_t^G 将随之降低。当然,由于政府部门已经积累了大量的资本存量 K_t^G,这些资本的收益能够在一定程度上延缓 I_t^G 下降所出现的时间节点和下降幅度,因此老龄化推进过程中,政府投资 I_t^G 不会立刻下降,而是伴随着时间的推移逐步显现出来。

(四)市场均衡条件和模型求解

1. 市场出清条件。模型经济体包含三个市场,均衡时需要三个市场全部出清:最终产品市场出清要求 $C_t + I_t^H + I_t^G = Y_t$,资本市场出清要求 $K_t^H + K_t^G = K_t$,劳动市场出清要求 $L_t = N_t$。

2. 居民部门最优化问题的求解。通过求解(1)式中给出的居民部门效用最大化问题,可得:

$$(C_t/C_{t-1})^{\sigma} = \beta[(1-\tau)r_t + (1-\delta)] \tag{8}$$

从(8)式给出的一阶条件可知,消费的增长率随着利率和时间贴现因子的提高而提高,随着税率和折旧率的提高而降低。

3. 生产部门最优化问题的求解。通过求解基于(5)式的生产部门利润最大化问题,可得:

$$r_t = A_t[\alpha_t^{1-\rho} K_t^{\rho} + (1-\alpha_t)^{1-\rho} L_t^{\rho}]^{1/\rho-1} \alpha_t^{1-\rho} K_t^{\rho-1} \tag{9}$$

$$w_t = A_t[\alpha_t^{1-\rho} K_t^{\rho} + (1-\alpha_t)^{1-\rho} L_t^{\rho})]^{1/\rho-1} (1-\alpha_t)^{1-\rho} L_t^{\rho-1} \tag{10}$$

其中,(9)式给出了均衡状态下投资回报率的表达式,(10)式给出了均衡状态下工资率的表达式。当人工智能发展水平不断提高时,α_t 和 A_t 均提高,根据(9)式可知,二者都会抬升投资回报率,全社会的投资率和储蓄率也会随之提高。因此,理论上人工智能的发展会减缓老龄化所带来的储蓄率和投资率的下滑趋势,从而对冲老龄化给经济增长带来的不利影响。

4. 模型求解策略。求解本文模型的均衡解,等价于求解由生产函数、居民部门预算约束、政府部门预算约束、政府部门资本存量变动方程、市场出清条件,以及居民部门和生产部门最优化问题

一阶条件所构成的差分方程组。由于变量较多并且存在非线性函数,我们难以求得模型的解析解。因此,主要通过数值模拟实验回答本文关注的核心问题。

四、参数校准

本文模型经济体中的一期代表现实经济中的一年,而且接下来数值模拟实验选择的时间段是2016—2035 年。之所以选择 2016 年作为起始时期,是为了结合 2016—2018 年中国的实际 GDP 增速,更准确地校准出中国经济增速的走势。① 之所以选择 2035 年为终止时期,主要是因为校准人工智能对经济增长的影响时会用到埃森哲发布的两份研究报告(Purdy & Daugherty,2017;Purdy et al.,2017)中的数据,其预测的终止时期是 2035 年。

(一)人工智能相关参数的校准

如模型部分(6)式所述,本文采用"先凸后凹"的 Logistic 函数刻画了人工智能对自动化程度和全要素生产率增速的影响,其中参数$\{\bar{\alpha},\bar{g},\zeta,\eta,h,\mu\}$由人工智能的演进轨迹决定,②因此需要获得人工智能演进轨迹的信息才能校准这些参数。Purdy & Daugherty(2017)和 Purdy et al.(2017)预测了人工智能对美国、日本和中国等国家劳动生产率的影响幅度,为本文研究提供了参考标准。根据他们的预测结果,到 2035 年人工智能会使得美国、日本等 10 余个发达经济体的劳动生产率额外提高 11%—41%,③使得中国的劳动生产率额外提高 27%。本文基于上述测算结果对人工智能的影响进行了三种情景分析,分别假设到 2035 年人工智能使中国的劳动生产率额外提高 10%、20%和 30%。而且,假设在每一种情形下,劳动生产率的涨幅中都有 10%归因于人工智能带来的全要素生产率的提升,90%归因于人工智能带来的智能化和自动化水平的提高,这与 Purdy & Daugherty(2017)和 Purdy et al.(2017)的测算结果是一致的。

笔者认为,上述情景设定是较为谨慎与合理的。一方面,三种情景下人工智能所带来的劳动生产率最低增幅小于上述 10 余个发达经济体的最低增幅(11%),最高增幅也明显小于上述 10 余个发达经济体的最高增幅(41%)。另一方面,人工智能作为一项通用技术,未来会通过大幅加快技术进步和提高全要素生产率以促进经济增长,而本文只将劳动生产率额外涨幅中的 10%归因于人工智能,这同样是较为严谨的。将三种情景下人工智能对劳动生产率的影响幅度及其在全要素生产率和自动化水平之间的分解纳入生产函数,并结合 α_t 和 g_t 的表达式,即可反推出相关参数的取值。具体校准结果如表 1 所示。

表 1　　不同情景下人工智能相关参数的校准结果

情景设定	参数校准值	
情景 1:到 2035 年,人工智能使得中国的劳动生产率额外提高 10%	$\bar{\alpha}=1$ $\bar{g}=0.050$ $\zeta=0.055$ $\eta=0.1$	$h=100.0,\mu=57.5$
情景 2:到 2035 年,人工智能使得中国的劳动生产率额外提高 20%		$h=89.0,\mu=50.5$
情景 3:到 2035 年,人工智能使得中国的劳动生产率额外提高 30%		$h=80.0,\mu=48.5$

(二)其余参数的校准

除了上述参数,还需校准$\{\beta,\rho,\alpha_0,g_0;\delta,\tau,\sigma\}$。其中,$\{\beta,\rho,\alpha_0,g_0\}$参照已有文献予以确

① 不过,后文汇报模拟结果时从 2019 年开始,即重点关注对未来的预测结果。

② α_0 和 g_0 与人工智能的未来演进轨迹无关,因此无需根据劳动生产率的变化进行校准,而是根据已有文献加以确定,具体参见下文。

③ 所谓额外增长,指的是考虑人工智能情形下 2035 年的劳动生产率比不考虑人工智能情形下 2035 年的劳动生产率所提高的幅度。

定。关于时间贴现因子 β,参照庄子罐等(2012),令 $\beta=0.99$。关于参数 ρ 的取值,需要通过要素替代弹性 $1/(1-\rho)$ 加以确定,袁礼和欧阳峣(2018)估算发现 1950—2014 年间中国、巴西、埃及、伊朗等发展中国家的要素替代弹性介于 0.965 和 1 之间,本文选择中间值 0.985 作为参照,据此求得 $\rho=-0.015$。关于初始期自动化程度 α_0,通过资本密集度 $\alpha_0^{1-\rho}$ 间接校准得到:章上峰等(2017)估算得出 1978—2013 年中国的资本密集度为 0.5 左右,再结合 $\rho=-0.015$,可知 $\alpha_0=0.51$。关于初始期的全要素生产率增速 g_0,参照陈宇峰等(2013),令 $g_0=0.025$。

剩余的三个参数 $\{\delta,\tau,\sigma\}$ 通过模型内校准得到。校准用到的三个矩条件分别是初始期的储蓄率、政府投资占 GDP 的比重以及资本产出比。究其原因,这三个参数与居民投资行为和消费行为以及政府投资行为密切相关,因此会共同决定经济体的储蓄率、政府投资规模和资本产出比。校准结果显示:$\delta=0.05$,[①] $\tau=0.05$,$\sigma=1.1$。[②] 而且,从表 3 可以清晰地看到,模型生成的三个矩条件的数值与中国的实际情况较为接近。此外,模型经济体 2016—2018 年的经济增速平均为 7.00%,与中国的实际情况(6.73%)也比较一致。可见,本文所构建的模型经济体能够较好地拟合中国的现实经济特征,适用于本文的研究。

表 2　　模型经济体的矩条件与现实数据的对比

	初始期的储蓄率(%)	初始期政府投资占 GDP 的比重(%)	初始期的资本产出比
模型数值	45.00	9.40	2.92
实际数值	47.97	9.25	3.17

注:考虑到 2008 年前后中国经济特征发生了较大变化,本文用 2008 年以来的宏观数据计算所需的矩条件。第一,由于本文构建的是封闭经济模型,因此模型经济体的储蓄率和投资率完全相等。WDI 数据库的数据显示,2008—2016 年中国的储蓄率平均为 49.67%、投资率平均为 46.26%,本文取二者的平均值(47.97%)作为初始期的储蓄率。第二,借鉴梁东黎(2013)的做法,通过考察资金流量表,将政府部门资金运用去向中的"资本转移"和"资本形成总额"视为政府投资,据此计算得到 2008—2015 年政府投资占 GDP 的比重平均为 9.25%,并将其视为该指标的初始值。第三,根据陈昌兵(2014)可以测算得出 2008—2012 年中国的资本产出比平均为 2.97,根据柏培文和许捷(2018)可以测算得出 2008—2013 年中国的资本产出比平均为 3.22,根据田友春(2016)可以测算得出 2008—2014 年(不含 2009 年和 2011 年数据)中国的资本产出比平均为 3.32,本文将三者的平均值(3.17)确定为初始期的资本产出比。

五、数值模拟结果分析

基于所构建的模型,本文主要试图回答如下问题。第一,人工智能究竟能够在多大程度上对冲老龄化对中国经济增长的不利影响?第二,人工智能影响经济增长的主要机制有哪些?第三,当前社会各界正在广泛讨论,试图通过延迟退休政策应对老龄化对中国经济增长的不利冲击,那么人工智能与延迟退休政策相比,谁能更好地应对老龄化的不利影响?为此,本文设置了多组数值模拟实验(表 3)。通过对比"实验 1"和"实验 2"的模拟结果,即可得出老龄化给中国经济增长带来的冲击及其影响机制。通过对比"实验 2"与"实验 3"的模拟结果,即可得出不同情景下人工智能对中

① 关于资本折旧率 δ,陈昌兵(2014)等研究的取值为 5%,本文模型内校准的结果与之一致。不过,金戈(2016)计算发现 2003—2011 年中国经济基础设施、社会基础设施与非基础设施资本的折旧率分别为 9.21%、8.51% 和 9.73%。为此,我们对折旧率 δ 进行了稳健性检验,发现当 δ 取值 6%、8%、10% 时,不同情景下人工智能对经济增速等的影响大小会有所变化,但是其作用机制和方向保持不变,本文的核心结论依然成立。

② 陈晓光和张宇麟(2010)、陈彦斌等(2014b)等对 σ 的赋值处于 1.0—3.5 之间,本文模型内校准得到的结果在该范围内。此外,还分别令 σ 取值 1.5 和 2.0 进行稳健性检验,发现不同情景下人工智能对经济增速等的影响大小会有所变化,但是其作用机制和方向保持不变,本文的核心结论依然成立。

国经济增长的影响大小及具体机制,进而判断人工智能是否能够对冲老龄化带来的冲击。通过对比“实验3”与“实验4”的模拟结果,即可得出人工智能和延迟退休政策应对老龄化的效果孰优孰劣。

表3　　数值模拟实验的情景设定和标识

编号	具体情景设定		标识
实验1	老龄化率保持在2016年的水平不变,并且不考虑人工智能的影响		no-aging
实验2	老龄化率按照联合国预测的轨迹演进,并且不考虑人工智能的影响		real
实验3	“老龄化+人工智能”	情景1:到2035年,人工智能使劳动生产率额外提高10%	AI_10%
		情景2:到2035年,人工智能使劳动生产率额外提高20%	AI_20%
		情景3:到2035年,人工智能使劳动生产率额外提高30%	AI_30%
实验4	“老龄化+延迟退休政策”,并且不考虑人工智能的影响		postponed retirement

(一)人工智能应对老龄化对经济增长冲击的总体效果

图1中的数值模拟结果显示,如果中国的老龄化率维持在2016年的水平,并且没有人工智能的影响(no-aging情形),那么中国的GDP增速将逐渐下降,到2035年降至5.43%。GDP增速下降的原因在于,资本深化程度不断提高,使得资本边际产出不断下降,这与理论预期相一致。如果中国的人口老龄化进程按照《联合国世界人口展望2017》的预测轨迹演进(real情形),那么2035年中国的GDP增速将会进一步下降至4.70%。这与陆旸和蔡昉(2014)等的结论是吻合的,即人口老龄化会使得中国经济增速出现明显下滑。需要强调的是,上述预测结果并没有考虑国内外其他不利因素可能带来的影响。比如,中国的资本存量中有很大一部分是住房投资所形成的资本存量,这些并非生产性资本,难以直接提升实体经济的生产能力。而且,中国住房的折旧率较高,伴随着住房资本存量的增加,资本折旧会越来越多,新增投资必须弥补折旧后才能形成新的资本存量,导致资本积累对经济增长的拉动能力越来越弱。如果将其他不利因素考虑在内,到2035年中国的经济增速预计还会进一步降低。

不过,从图1还可以看出,人工智能将会较为有效地应对老龄化对经济增长的不利冲击。在情景1之下(AI_10%),即假设到2035年人工智能可以使得中国的劳动生产率额外提高10%,那么2035年中国的GDP增速将会达到5.65%,已经足以抵消老龄化对经济增长的不利冲击。在情景2

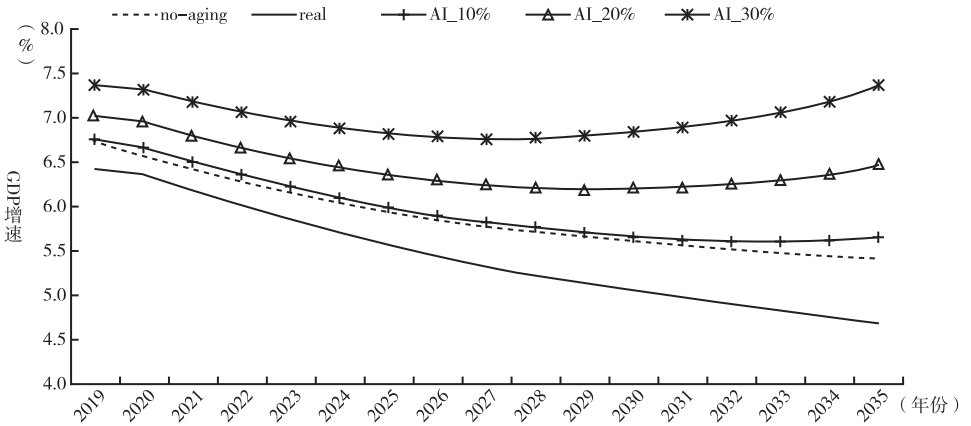

图1　不同情形下中国经济增长率的走势

之下(AI_20%),到 2035 年中国的 GDP 增速将升至 6.47%。在情景 3 之下(AI_30%),到 2035 年中国的 GDP 增速更是达到 7.37% 的相对较高水平。当然,这同样没有考虑国内与国外的其他不利因素可能带来的影响。不过,由于除了人工智能和老龄化之外,所有情景下考虑的其他因素是相同的,因此可以通过比较不同情形下 GDP 增速的差异来判断人工智能的影响,这也是动态一般均衡模型下的数值模拟实验相比实证分析和统计分析所具有的显著优势之一。通过计算可知,在三种情景之下,到 2035 年人工智能将分别使得中国的 GDP 增速比老龄化情形(real 情形)高出 0.95 个、1.77 个和 2.68 个百分点。据此可以看出,如果人工智能可以在全国范围内顺利地发展、应用和推广,那么它不仅能够完全对冲老龄化给经济增长带来的不利影响,还将给中国经济增长带来较为明显的促进作用。

(二)人工智能应对老龄化对经济增长冲击的核心机制

1. 人工智能可以提高生产的智能化和自动化程度,更大幅度地实现资本对劳动的替代,从而减轻老龄化背景下劳动力供给减少对经济增长的不利影响

老龄化会减少全社会劳动力的供给数量,而人工智能则会减少生产活动对劳动力的需求,从而弱化老龄化给经济增长所带来的不利影响,这是人工智能对冲老龄化所带来不利影响的最直接的作用机制。而且,由于人工智能系统具备自我学习能力,甚至还具备越来越完善的感知能力和认知能力,因此最新的人工智能系统对劳动的替代能力远远超过了以往的机械设备和自动化系统。这最终体现为资本劳动比率的不断升高(见表 4)。

表 4　　不同情形下资本劳动比率的走势

年份	不同情形下的资本劳动比率					
	no-aging	real	AI_10%	AI_20%	AI_30%	postponed retirement
2019	1.343	1.356	1.367	1.376	1.391	1.353
2020	1.468	1.489	1.505	1.518	1.539	1.485
2025	2.181	2.243	2.294	2.337	2.407	2.179
2030	3.069	3.192	3.315	3.421	3.590	3.116
2035	4.189	4.387	4.660	4.901	5.276	4.325

注:如果直接用模拟得到的 K/L 表示资本劳动比率,数值较大,不易于观察和比较。为便于分析,将各种情形下 2016 年的资本劳动比率标准化为 1,在此基础上得到其他年份的相关数值。此外,为了节省篇幅,表中只列出了部分年份的模拟结果,下表同。

从表 4 可以得到如下结论:第一,所有情形下的资本劳动比率都在不断升高,这是因为中国仍然处于资本深化的过程中。第二,考虑老龄化(real 情形)相比不考虑老龄化时(no-aging 情形),资本劳动比率上升得反而更快,因为老龄化过程中劳动力供给不断减少,而且资本投入相对于劳动投入变得便宜(Acemoglu & Restrepo,2018b),企业将更多地使用资本替代劳动,导致资本劳动比率被动升高。第三,人工智能的不断发展会使得资本劳动比率更加显著地升高。这与老龄化情形(real 情形)背后的机理明显不同,因为伴随着人工智能的不断发展,资本对劳动的替代能力显著提升,企业会主动用人工智能系统(智能资本)替代劳动力,而不是老龄化情形(real 情形)所发生的资本被动替代劳动。模拟结果显示,到 2035 年,三种不同人工智能发展情景下的资本劳动比例将分别比老龄化情形(real 情形)高出 6.21%、11.71% 和 20.26%;与老龄化率不变的情形(no-aging 情形)相比,更是分别高出了 11.24%、17.00% 和 25.95%。

2. 人工智能可以提高资本回报率,进而提高储蓄率和投资率,以减缓老龄化背景下储蓄率和投资率下降对经济增长的冲击

老龄化对经济增长的冲击并不仅仅局限于劳动力供给数量的减少,还会导致全社会投资率的下降。“人口红利”之所以能够促进中国经济增长,其本质在于劳动投入的持续增加避免了资本边际报酬递减规律的发生,而老龄化则会导致资本边际报酬递减规律的作用更快地体现出来。图 2 显示,伴随着老龄化的不断加剧,中国的资本回报率将会持续下降,储蓄率也随之下行。到 2035 年,老龄化情形(real 情形)下的全社会储蓄率将会降至 40.22%,这比不存在老龄化的情形(no-aging 情形)低了 1.91 个百分点。现实中,资本回报率和储蓄率的下降幅度将会比模拟结果更大。其一,由于企业部门和政府部门面临高债务负担,而且部分地区的房地产投资和基建投资已经相对过剩,因此现实中资本回报率将比模型经济体更低。其二,资本回报率的下降直接就会导致储蓄率下降,不仅如此,本文模型将政府进行了简化处理,没有考虑政府在教育、医疗等领域的支出,未来政府在这些领域的支出占 GDP 的比重会不断提高,从而进一步降低全社会储蓄率。此外,由于本文构建的是封闭经济模型,因此投资率与储蓄率走势相同,不再赘述。

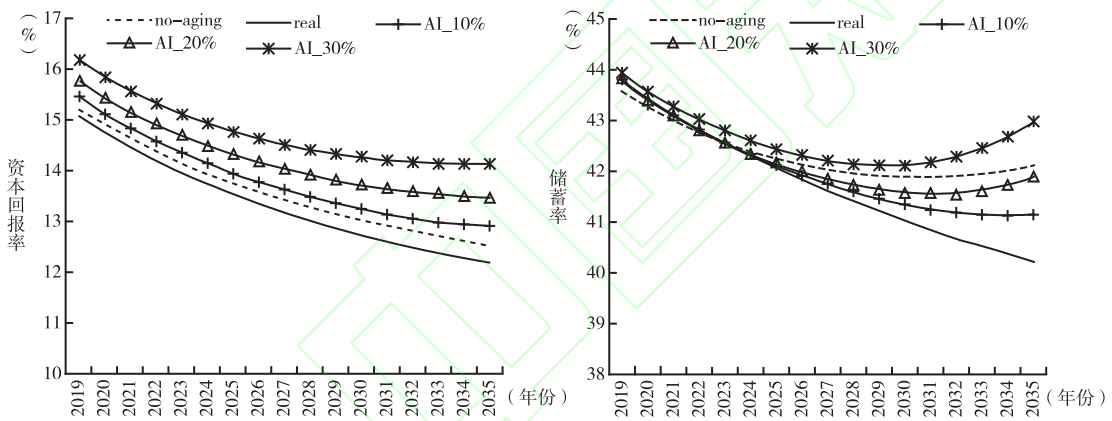

图 2　不同情形下资本回报率和储蓄率的走势

注:由于本文所构建的封闭经济体的储蓄率和投资率相等,故而不再专门绘制投资率的走势图。

相比之下,人工智能的发展则会提高投资回报率。一方面,人工智能有助于提高自动化和智能化程度(即模型中的 α_t 升高),使得生产过程中资本比劳动更加重要,因此有助于提高资本回报率。另一方面,人工智能还可以促进全社会技术进步和全要素生产率的提高(即模型中的 A_t 升高),从而进一步提高资本回报率。数值模拟结果显示,在情景 3(AI_30%)之下,到 2035 年资本回报率将达到 14.15%,比老龄化情形(real 情形)高出 1.96 个百分点。在相对较高的资本回报率的支撑下,全社会的储蓄率和投资率也摆脱了老龄化所带来的下滑态势。仍然以情景 3(AI_30%)为例,在人工智能的驱动下,到 2035 年全社会储蓄率和投资率将回升至 42.97%,比老龄化情形(real 情形)高出 2.75 个百分点。在情景 1(AI_10%)和情景 2(AI_20%)之下,由于人工智能的发展速度相对慢一些,因此储蓄率和投资率比情景 3(AI_30%)要低一些,但是与老龄化情形(real 情形)下的表现相比,同样有所好转。

需要强调的是,本文还专门探析了老龄化对政府投资率的影响,主要目的是论证在模型中引入政府部门的必要性。从图 3 可以发现,如果保持老龄化率不变(no-aging 情形),那么政府投资占 GDP 的比重将会持续升高,这也是一直以来中国经济增长的重要动力来源之一。但是,伴随着老龄化的加剧(real 情形),政府投资占 GDP 的比重则会表现出截然不同的走势,尤其是 2028 年之后

政府投资增速将会明显放缓,①导致在随后的年份中政府投资占 GDP 的比重基本稳定不变。将 no-aging 情形与 real 情形对比可知,到 2035 年,real 情形下政府投资占 GDP 的比重低了 5.40 个百分点之多。这意味着,如果模型中没有引入政府部门,那么将会明显低估老龄化对中国经济增长的负面冲击。可见,在研究老龄化对中国经济增长的影响时,的确有必要在模型中引入政府部门,也只有引入了政府部门才能更加准确地评估人工智能是否能够对冲老龄化给中国经济增长带来的不利影响。

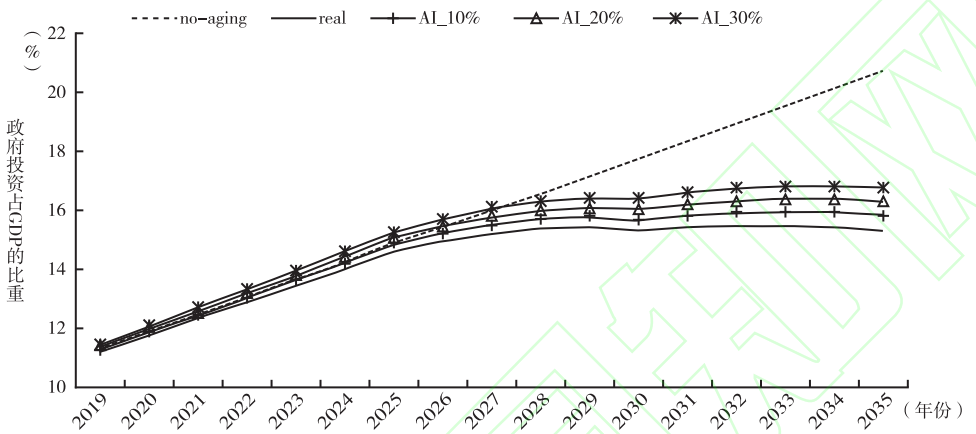

图 3　不同情形下政府投资占 GDP 比重的走势

3. 人工智能可以促进全社会的技术进步,提高全要素生产率,从而进一步对冲老龄化对经济增长的不利影响

遵循 Purdy & Daugherty(2017)和 Purdy et al.(2017)的思路,假设到 2035 年人工智能主要通过提高生产的智能化和自动化程度来提高劳动生产率,劳动生产率的额外涨幅中只有 10% 归因于人工智能带来的全要素生产率的提升。基于这一假定,本文模拟了三种情景下人工智能对全要素生产率的影响(参见表 5)。结果发现,到 2035 年人工智能将分别使得中国的全要素生产率额外提升 1.31%、2.58% 和 3.12%。从数值模拟结果来看,至少到 2035 年为止,人工智能通过促进技术进步和全要素生产率提升,进而提高经济增速的效果并不明显。

表 5　　不同情形下全要素生产率的走势

年份	不同情形下的全要素生产率水平			
	real	AI_10%	AI_20%	AI_30%
2019	13.577	13.586	13.594	13.598
2020	13.916	13.928	13.940	13.945
2025	15.745	15.785	15.825	15.842
2030	17.814	17.922	18.029	18.075
2035	20.155	20.418	20.675	20.784

① 之所以政府投资占 GDP 的比重在 2019—2027 年间仍然持续升高,是因为此前政府部门已经积累了大量的资本存量,这些资本的收益能够在一定程度上延缓政府新增投资规模收缩所出现的时间节点和下降的幅度。因此,老龄化推进过程中,政府投资不会立刻下降,而是伴随着时间的推移逐步显现出来。

上述设定和模拟结果并不会弱化,相反会强化本文的研究结论。历史经验表明,一项颠覆性的通用技术对全社会生产率的深远影响可能需要数年甚至数十年才能完全显现,电力和 IT 技术的发展和应用历程均是如此,人工智能很可能也是如此。到目前为止,人工智能对技术进步和生产率的影响并未显现出来,至少从统计数字来看,过去一段时期内美国等创新型国家的生产率并没有因为人工智能的发展而升高,这一现象被 Brynjolfsson et al.(2017)称为"现代生产率悖论"。究其原因,一方面,具备自我学习能力和创新能力的人工智能系统尚未得到充分发展和广泛应用;另一方面,人工智能要想显著提升生产率,依赖于大量配套创新科技的问世和应用。由于这两方面条件尚不具备,导致目前人工智能对生产率的促进作用仍然有限。不过,从更长远的视野来看,人工智能的不断发展将会显著提高全要素生产率(Brynjolfsson et al., 2017)。

(三)人工智能与延迟退休政策应对老龄化的效果对比

上文数值模拟实验已经证实,人工智能可以较好地对冲老龄化给经济增长带来的不利影响。不过,有可能其他政策的效果更好,例如近年来社会各界广泛讨论的延迟退休政策。有鉴于此,本文接下来将针对人工智能和延迟退休政策应对老龄化的效果进行对比分析,以探寻究竟孰优孰劣。关于延迟退休政策的具体方案,目前尚无定论,不过大多数研究建议的方案是逐步出台、循序渐进。参考刘晓光和刘元春(2017)等已有研究的设计思路,假设 2020—2024 年中国逐步提高退休年龄,到 2024 年男性和女性的退休年龄分别比 2019 年提高五岁,并在此设定下进行数值模拟实验。

从图 4 可知,延迟退休政策(postponed retirement 情形)实施的最初几年确实能够提高经济增速,2020—2024 年效果最为显著,延迟退休政策平均每年使得 GDP 增速比老龄化情形(real 情形)提高约 0.40 个百分点。但是,随后延迟退休政策的效果迅速衰减,2025—2035 年只能使得经济增速比老龄化情形(real 情形)高出约 0.09 个百分点。究其原因,延迟退休政策实施的初期,本应退休的劳动力不得不停留在劳动力市场,与老龄化情形(real 情形)相比,劳动力供给量有所增加,从而可以较为显著地促进经济增长。随着时间的推移,这些劳动力达到新的法定退休年龄后还是要退出劳动力市场。而且,在政策实施的过渡期结束之后,延迟退休政策所带来的相邻两年内的劳动力净增加量非常有限,也就无法显著推高经济增速。由此可知,延迟退休政策应对老龄化的效果明显不及人工智能。

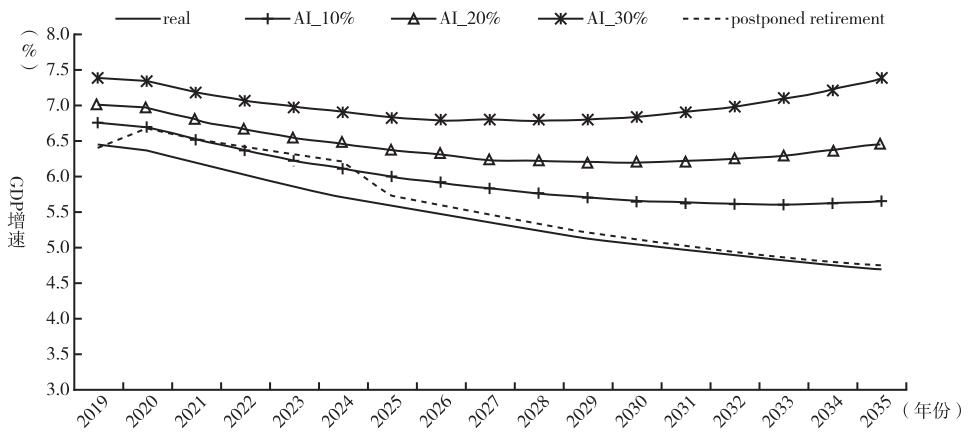

图 4　人工智能与延迟退休政策应对老龄化对经济增长影响的效果对比

可以通过人工智能影响经济增长的三条主要机制,进一步解释延迟退休政策的作用效果不及人工智能的原因。第一,延迟退休政策试图"挖掘"劳动供给,但是难以扭转老龄化背景下劳动供

给日趋减少的趋势。与之不同,人工智能可以提升生产的智能化和自动化程度,持续不断地减少劳动需求数量,从而使其可以长期可持续地应对老龄化的冲击。如表 4 所示,延迟退休情形下(postponed retirement 情形)的资本劳动比率与老龄化情形(real 情形)相比,略微有所降低,这归因于延迟退休所带来的劳动力供给的增加。相比之下,人工智能的发展使得企业可以摆脱劳动力供给不足的束缚,用先进的、智能化的设备替代劳动力,这体现为人工智能的三种发展情景下资本劳动比率的显著升高。第二,人工智能可以提高资本回报率,从而驱动储蓄率和投资率升高,这同样是延迟退休政策无法比拟的。数值模拟结果显示,延迟退休政策对资本回报率的影响微乎其微,① 而人工智能对资本回报率的影响则非常显著。第三,人工智能有助于提高技术进步速度和全要素生产率增速,这也是延迟退休政策难以实现的。

六、结 语

本文通过构建含有人工智能和老龄化的动态一般均衡模型,探寻了人工智能影响经济增长的主要机制,以判断人工智能究竟能否有效应对老龄化给中国经济增长带来的不利影响。本文研究发现,人工智能主要通过三条机制促进经济增长,进而应对老龄化的冲击。一是,人工智能可以不断提高生产的自动化和智能化程度,越来越多地实现资本对劳动的替代,从而减轻老龄化背景下劳动力供给减少对经济增长的不利影响。二是,人工智能可以提高资本回报率,进而提高储蓄率和投资率,以减缓老龄化背景下储蓄率和投资率下降对经济增长的冲击。三是,人工智能可以促进全要素生产率的提升,从而进一步对冲老龄化对经济增长的冲击。

数值模拟结果显示,人工智能的确可以较为有效地应对老龄化对中国经济增长的不利影响。老龄化背景下,到 2035 年中国的经济增速将会下滑至 4.70%(如果考虑国内与国外其他不利因素的冲击,经济增速的下滑幅度将会更大)。而在本文设定的三种人工智能发展情景下,到 2035 年中国经济增速将分别比老龄化情形下高出 0.95 个、1.77 个和 2.68 个百分点。而且,长期来看人工智能对全社会技术进步和全要素生产率的提升效果将越来越明显,从而进一步提高人工智能对经济增长的拉动能力。为了进一步评估人工智能应对老龄化的效果,本文还专门将其与延迟退休政策的效果进行了对比分析。结果显示,延迟退休只是在政策实施的最初几年较为有效,平均每年提高经济增速约 0.40 个百分点,此后的效果将大幅减弱,平均每年只能提高经济增速约 0.09 个百分点。可见,延迟退休政策应对老龄化的效果明显低于人工智能的效果。

有鉴于此,本文认为中国可以通过发展人工智能来应对老龄化对经济增长的冲击。不过,要想实现这一目标并非易事。其一,人工智能的发展高度依赖于先进半导体、微处理器和高性能计算技术,但是长期以来中国的微晶片高度依赖进口,部分类型的高端半导体则几乎完全依靠进口,因此人工智能的发展仍然面临技术难题。其二,虽然长期而言人工智能有助于促进经济增长和技术进步,但会带来短期失业问题。随着某项关键技术的突破,人工智能可以在短时间内导致个别工作岗位退出历史舞台,从而引发短期内的集中性失业问题。其三,人工智能的发展使得生产过程中资本相对于劳动更加重要,这意味着国民收入分配格局更加向资本倾斜,而不利于劳动者。② 有鉴于此,政府部门既需要增加对人工智能关键技术领

① 延迟退休政策也会略微提高资本回报率,因为该政策少量增加了劳动力供给,使得资本边际报酬递减规律的作用效果略有减弱。囿于篇幅所限,暂不汇报具体模拟结果,感兴趣者可向作者索取。

② 数值模拟结果显示,人工智能发展水平越高,全社会资本报酬相对于劳动报酬就越高。例如,在情景 3(AI_30%)之下,2035 年资本报酬与劳动报酬之比将会升至 96.18%,比 real 情形高出 6.65 个百分点之多。囿于篇幅所限,暂不汇报具体模拟结果,感兴趣者可向作者索取。

域的基础性研发投入从而为人工智能创造良好的发展环境,又需要未雨绸缪以防范人工智能可能带来的失业和收入分配问题,这样才能使得人工智能更加有效地应对老龄化对中国经济增长的不利影响。

参考文献

柏培文、许捷,2018:《中国三大产业的资本存量、资本回报率及其收敛性:1978—2013》,《经济学(季刊)》第3期。

曹静、周亚林,2018:《人工智能对经济的影响研究进展》,《经济学动态》第1期。

陈昌兵,2014:《可变折旧率估计及资本存量测算》,《经济研究》第12期。

陈晓光、张宇麟,2010:《信贷约束、政府消费与中国实际经济周期》,《经济研究》第12期。

陈彦斌、郭豫媚、姚一旻,2014a:《人口老龄化对中国高储蓄的影响》,《金融研究》第1期。

陈彦斌、陈小亮、陈伟泽,2014b:《利率管制与总需求结构失衡》,《经济研究》第2期。

陈宇峰、贵斌威、陈启清,2013:《技术偏向与中国劳动收入份额的再考察》,《经济研究》第6期。

耿志祥、孙祁祥,2017:《人口老龄化、延迟退休与二次人口红利》,《金融研究》第1期。

金戈,2016:《中国基础设施与非基础设施资本存量及其产出弹性估算》,《经济研究》第5期。

梁东黎,2013:《我国财政支出结构的失衡与优化》,《探索与争鸣》第3期。

刘晓光、刘元春,2017:《延迟退休对我国劳动力供给和经济增长的影响估算》,《中国人民大学学报》第5期。

刘学良,2014:《中国养老保险的收支缺口和可持续性研究》,《中国工业经济》第9期。

陆旸、蔡昉,2014:《人口结构变化对潜在增长率的影响:中国和日本的比较》,《世界经济》第1期。

马忠东、吕智浩、叶孔嘉,2010:《劳动参与率与劳动力增长:1982—2050年》,《中国人口科学》第1期。

田友春,2016:《中国分行业资本存量估算:1990—2014年》,《数量经济技术经济研究》第4期。

汪伟、姜振茂,2016:《人口老龄化对技术进步的影响研究综述》,《中国人口科学》第3期。

袁礼、欧阳峣,2018:《发展中大国提升全要素生产率的关键》,《中国工业经济》第6期。

章上峰、董君、许冰,2017:《中国总量生产函数模型选择——基于要素替代弹性与产出弹性视角的研究》,《经济理论与经济管理》第4期。

周祝平、刘海斌,2016:《人口老龄化对劳动力参与率的影响》,《人口研究》第5期。

庄子罐、崔小勇、龚六堂、邹恒甫,2012:《预期与经济波动——预期冲击是驱动中国经济波动的主要力量吗?》,《经济研究》第6期。

Acemoglu, D., and P. Restrepo, 2017a, "Secular Stagnation? The Effect of Aging on Economic Growth in the Age of Automation", Working Paper.

Acemoglu, D., and P. Restrepo, 2017b, "Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets", NBER Working Paper No. 24119.

Acemoglu, D., and P. Restrepo, 2018a, "Demographics and Automation", Working Paper.

Acemoglu, D., and P. Restrepo, 2018b, "Artificial Intelligence, Automation and Work", Working Paper.

Aghion, P., B. F. Jones, and C. I. Jones, 2017, "Artificial Intelligence and Economic Growth", NBER Working Paper 23928.

Barro, R. J., 1974, "Are Government Bonds Net Wealth?", *Journal of Political Economy*, 82(6), 1095—1117.

Brynjolfsson, E., D. Rock, and C. Syverson, 2017, "Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics", NBER Working Paper No. 24001.

Chui, B. M., J. Manyika, and A. M. Miremadi, 2015, "How Many of Your Daily Tasks Could Be Automated?", https://hbr.org/2015/12/how-many-of-your-daily-tasks-could-be-automated.

Lankisch, C., K. Prettner, and A. Prskawetz, 2017, "Robots and the Skill Premium: An Automation-based Explanation of Wage Inequality", Working Paper.

McKinsey, 2018, "Modeling the Impact of AI on the World Economy", Discussion Paper.

Prettner, K., 2019, "A Note on the Implications of Automation for Economic Growth and the Labor Share", *Macroeconomic Dynamics*, 23, 1294—1301.

Purdy, M., and P. Daugherty, 2017, "How AI Boosts Industry Profits and Innovation", Accunture Research Paper.

Purdy, M., S. Qiu, and F. Chen, 2017, "How Artificial Intelligence Can Drive China's Growth", Accunture Research Paper.

Artificial Intelligence, Aging and Economic Growth

CHEN Yanbin[a], LIN Chen[b] and CHEN Xiaoliang[c]

(a: School of Economics, Renmin University of China; b: School of Applied Economics, Renmin University of China; c: Institute of Economics, CASS)

Summary: Historical and international evidence indicates that although the short-term impact of aging on the economic growth of a country or region is insignificant, the long-run impact cannot be ignored. The aging of China's population is accelerating. If no effective measures are taken, the impact of aging on China's economic growth may be more severe than in other countries. Current policy suggestions to address the impacts of aging include postponing the retirement age, adjusting the birth policy, and accelerating the reform of the household registration system. The essence of these measures is to expand the labor force from the supply side. However, in reality, it is becoming increasingly difficult to do so. Starting from the demand side, it may be possible to find an effective long-term solution. The development and application of artificial intelligence (AI) has the potential to replace labor with intelligent equipment, thereby reducing labor demand to cope with the impact of aging. Based on this background, this paper focuses on whether AI can effectively cope with the negative effects of aging on China's economic growth.

In recent years, there has been much academic research on AI, including studies of its impact on economic growth, productivity, technological innovation, employment, income distribution and inequality, market structure, and industrial organization. However, few studies have been devoted to whether AI can cope with the negative effects of aging on economic growth. Based on a dynamic general equilibrium model of AI adaptation and population aging, this paper finds that AI can deal with the impact of aging on economic growth through the following three mechanisms. First, AI increases the degree of automation, reduces the dependence of production activities on labor, and thus offsets the negative impact of aging on economic growth. Second, AI can increase the rate of return on capital, and thus increase the savings rate and investment rate. Therefore, AI buffers the impact of the reduction of labor supply on economic growth by changing the savings and investment rates. Third, AI raises total factor productivity (TFP), and thus further offsets the negative impact of aging on economic growth.

The numerical simulation results show that if the influence of AI is not considered, aging will cause China's economic growth rate to fall to 4.70% in 2035; if we consider the impact of other unfavorable factors at home and abroad, the economic growth rate will decline even more. Under the three scenarios of AI development considered in this paper, China's economic growth rate will be 0.95, 1.77, and 2.68 percentage points higher by 2035 than this baseline projection. In addition, the effect of AI on the impact of aging is significantly better than that of postponing retirement. Consequently, we should consider accelerating the development of AI to cope with the aging workforce. However, AI development will also bring about problems, such as short-term unemployment and imbalance in income distribution. Therefore, it is necessary for governments to prepare carefully for this transition.

The academic contributions of this paper are as follows. First, Aghion et al. (2017) and other related studies explore the impact of AI on economic growth by constructing models, but do not take aging into account. This paper develops a model that includes both AI and aging. It answers the question of whether AI can cope with the negative impact of an aging population on China's economic growth. Second, Aghion et al. (2017) and other related studies mainly qualitatively analyze the influence of AI using a theoretical model. This paper calibrates the parameters of its model and uses it to conduct a numerical simulation based on the current situation in China. The numerical simulation quantitatively analyzes the effects of AI on China. Third, based on the model, this paper studies the effect of the postponed retirement policy on the aging problem, and compares it with the effect of AI. This analysis further clarifies the significant ability of AI to mitigate the economic consequences of an aging population. Our results provide reliable evidence to help governments in developing policies for dealing with the issues of an aging workforce.

Keywords: Artificial Intelligence; Aging; Economic Growth; Postponed Retirement Policy; Dynamic General Equilibrium Model

JEL Classification: E17, E24, J26

(责任编辑:谢 谦)(校对:曹 帅)