人工智能、就业与货币政策目标*

吴立元　王　忏　傅春杨　龚六堂

内容提要:本文在标准新凯恩斯货币模型中引入人工智能,研究人工智能对最优货币政策及货币政策设计的影响。基于推导出的二阶福利损失函数,本文首先分析了央行面临权衡的变化,然后以福利为标准分析了人工智能对央行货币政策规则选择的影响。研究发现:第一,在标准新凯恩斯货币模型中,央行在通胀和产出缺口之间权衡,而引入人工智能后,就业与人工智能投资波动也成为央行重要的权衡项。第二,引入人工智能后,相对于盯住通胀和产出缺口的泰勒规则,盯住通胀和就业缺口的货币政策规则带来更小的福利损失。这主要是因为,在人工智能可以高度替代劳动的情况下,过度重视产出缺口会导致人工智能投资和就业的巨大波动,并显著增加名义价格和工资粘性带来的福利损失。这一发现改变了央行应盯住通胀和产出缺口的结论,具有明确的政策含义。

关键词:人工智能　最优货币政策　福利损失　货币政策规则

一、引　言

随着技术的不断突破、市场投资的不断加大以及政府支持力度的不断加强,人工智能成为一种新的重要生产要素已经是确定的趋势。在中央政府的高度重视与大力支持下,中国人工智能快速发展。根据国际机器人联合会(International Federation of Robotics,IFR)的数据,2010 年世界工业机器人安装量为 12 万单位,中国安装量为 1.5 万单位,所占比例仅为 12.4%。到 2021 年,世界工业机器人安装量达到 51.7 万单位,中国安装量达 26.8 万单位,占比达 50% 以上,超过美国、日本、德国等人工智能大国。根据 2020 年中国人工智能产业年会上发布的《中国人工智能发展报告 2020》统计,过去十年全球人工智能专利申请量为 521264 件,呈逐年上升趋势。其中,中国人工智能专利申请量为 389571 件,位居世界第一,占全球总量的 74.7%,是排名第二的美国申请量的 8.2 倍。中国科学技术信息研究所联合北京大学共同发布的《2020 全球人工智能创新指数报告》显示,中国人工智能创新指数综合得分从 2019 年的第 3 名上升至 2020 年的第 2 名,仅次于美国。上述一系列事实表明,中国人工智能发展已经达到世界领先水平,人工智能在中国经济生活中已经开始发挥重要作用。那么,一个自然的问题是,人工智能会如何影响货币政策制定呢?

作为一种新的生产要素,人工智能与传统资本和劳动都有显著差异。传统资本和劳动之间总体是互补的(Chirinko,2008;Berg et al.,2018),而人工智能与劳动是高度替代的(Acemoglu &

* 吴立元,中国社会科学院世界经济与政治研究所,邮政编码:100732,电子信箱:wuly@cass.org.cn;王忏(通讯作者),中央财经大学金融学院,邮政编码:102206,电子信箱:wangchanist@126.com;傅春杨,中国社会科学院大学经济学院,邮政编码:100732,电子信箱:jimidwq123@163.com;龚六堂,北京工商大学、北京大学光华管理学院,邮政编码:100871,电子信箱:ltgong@gsm.pku.edu.cn。本研究得到国家社会科学基金重大项目(19ZDA069)、国家自然科学青年基金项目(72203234)以及中央财经大学标志性科研成果培育项目的资助。作者感谢匿名审稿专家的宝贵建议,文责自负。

Restrepo,2018a;Berg et al.,2018;Zhou et al.,2020;王永钦和董雯,2020;周广肃等,2021)。人工智能虽然能高度替代劳动,但与劳动也有很大差异。例如工资调整存在很大粘性,而人工智能粘性则小得多。人工智能的积累需要一个过程,而劳动则不需要积累。人工智能与传统资本和劳动的上述差异会对货币政策造成重要影响。首先,人工智能与劳动之间的高度替代性将显著改变奥肯法则。经典的奥肯法则表明,GDP每增加1%,就业率大约上升0.5%。因此,稳定产出与稳定就业具有非常明显的一致性。在人工智能高度替代劳动的背景下,产出缺口与就业缺口之间可能发生巨大的背离,导致稳定产出与稳定就业之间出现冲突。因此,引入人工智能后,货币政策可能面临新的权衡,即在充分就业与产出之间的权衡,而在没有人工智能时两者基本可以同时实现。其次,人工智能会对菲利普斯曲线产生重要影响。菲利普斯曲线刻画了通胀和实际边际成本之间的关系,是影响货币政策制定的核心。引入人工智能后,通胀与产出缺口之间的关系会弱化,这是因为,当经济中发生冲击时,企业可以通过调整人工智能投入来减少边际成本的变动(Fueki & Maehashi,2019)。再次,人工智能会对经济波动产生重要影响,而货币政策的重要目标就是稳定经济,熨平经济波动(Lin & Weise,2019)。综上所述,人工智能作为一种新的生产要素,对就业、奥肯法则、菲利普斯曲线以及经济波动都会产生重要影响,而这些都与货币政策密切相关,因此研究人工智能对货币政策的影响具有非常重要的理论和现实意义。然而,当前文献对此的研究还较为缺乏,本文尝试填补这一空白。

在标准新凯恩斯货币模型中(Woodford,2003;Galí,2015),劳动是唯一的生产要素且名义价格粘性是唯一的摩擦(垄断扭曲可以通过最优补贴消除)。当发生TFP冲击时,最优货币政策要求在价格通胀、工资通胀和产出缺口之间进行权衡,央行会忍受一定的价格与工资通胀从而实现一个相对较小的产出缺口。在标准新凯恩斯货币模型中,劳动作为唯一的生产要素是一个简化假设。[①]现实中,资本和劳动同样重要,但资本和劳动之间是互补关系,总体上两者与产出的变动是一致的,因而对产出、资本和就业波动的稳定具有一致性。当只引入传统资本时,央行可以在稳定产出波动的同时较好地稳定消费、就业、传统资本投资和存量的波动,因而总体来看,央行仍是在价格通胀、工资通胀与产出缺口波动之间进行权衡。从这一意义上说,相对于只有劳动的标准模型,资本的引入并没有本质性地改变央行面临的权衡。但人工智能则大不相同,由于人工智能与劳动的高度替代性,稳定产出、消费、就业、资本波动与稳定人工智能投资波动之间存在冲突,因而人工智能的引入将显著改变央行面临的权衡,相应的货币政策规则选择也会发生改变。因此,研究人工智能对货币政策的影响无论在理论上还是现实中都非常重要。

基于以上分析,本文在标准新凯恩斯货币模型(Erceg et al.,2000; Christiano et al.,2005; Galí,2015)中引入人工智能,同时引入价格粘性和工资粘性,研究人工智能对最优货币政策权衡以及货币政策规则选择的影响。模型假设生产中需要资本、劳动和人工智能,人工智能与劳动是替代关系,两者形成复合劳动,资本与复合劳动之间是互补关系。家庭户进行传统资本和人工智能的积累并提供异质性劳动,工资的调整存在粘性。根据本文推导出的二阶福利损失函数,央行不仅要考虑稳定价格通胀、工资通胀以及产出、消费、就业与资本的波动,人工智能投资与存量的波动也成为央行需要考虑的重要福利损失来源。同时,稳定产出缺口并不会导致就业缺口、传统投资缺口的大幅波动,却会带来人工智能投资缺口的大幅波动,反过来,稳定人工智能投资缺口也会导致产出缺口、就业缺口、传统投资缺口等的大幅波动。这验证了上文的分析,即

① 为了推导出显示的福利损失函数并清晰地分析央行面临的权衡,研究最优货币政策与货币政策设计的文献常常假设生产中只有劳动(Blanchard & Galí,2010;Engel,2011;Gong et al.,2016;Cúrdia & Woodford,2016;王胜和郭汝飞,2012;王频和侯成琪,2017;金春雨等,2018)。

在只有资本和劳动时,央行需要在价格通胀、工资通胀和产出缺口之间权衡,而引入人工智能后,稳定人工智能投资与存量的波动成为央行重要的权衡项,这显著改变了标准新凯恩斯货币模型的结论。

本文用福利损失函数作为评价标准,进一步研究了如何选择货币政策规则以更好地实现上述权衡。具体来说,比较了盯住加权通胀和产出缺口的泰勒规则与盯住加权通胀与就业缺口的货币政策规则下的福利损失。结果发现,在没有人工智能的情况下,央行应该采用盯住通胀和产出缺口的泰勒规则。而在引入人工智能后,央行应该采用盯住通胀和就业缺口的货币政策规则。这是因为在不存在人工智能的情况下,由于传统资本和劳动是互补关系,互相促进对方的边际产出,过度重视就业缺口不利于资本和劳动的有效配置。而当存在人工智能时,人工智能与劳动的高度替代性导致其互相降低对方的边际产出,因而过度重视产出缺口会导致较大的人工智能投资和就业波动,同时带来通胀的较大波动,因而导致更大的福利损失。最后,本文从参数、冲击、模型设置等多个方面进行了稳健性检验,发现结论非常稳健。

本文剩下部分安排如下:第二部分对相关文献做简要述评;第三部分介绍模型设定;第四部分进行参数校准;第五部分分析人工智能对最优货币政策的影响;第六部分讨论货币政策规则的选择;第七部分总结全文。

二、文献述评

与本文密切相关的有三支重要文献。首先是人工智能经济学方面的文献。近几年来,关于人工智能对经济影响的研究大量涌现,这些研究主要分析人工智能对经济增长、结构转型、不平等、就业、工资等的长期影响(Berg et al.,2018;Acemoglu & Restrepo,2018a,2018b;Aghion et al.,2017;Prettner & Strulik,2020;陈彦斌等,2019;郭凯明,2019)。以上研究主要关注人工智能的长期效应,充分强调了人工智能对就业的重大影响,为本文从就业渠道研究人工智能对货币政策的影响提供了一定的基础。此外,近期开始出现少量关于人工智能对经济波动影响的研究(Lin & Weise, 2019; Fueki & Maehashi, 2019; Leduc & Liu, 2020)。Fueki & Maehashi(2019)试图用人工智能的发展来解释过去十几年通胀与经济波动关系弱化的现象,文章发现人工智能的迅速发展弱化了边际成本对经济波动的反应,从而弱化了通胀与实际变量波动的关联。Leduc & Liu(2020)研究了人工智能对就业市场波动的影响,发现人工智能可以解释失业率和空缺职位波动较大而实际工资则相对稳定的现象,而这一现象难以用标准的劳动市场搜寻匹配模型来解释。Lin & Weise(2019)研究了人工智能对经济波动的影响,发现人工智能价格冲击对工资、产出、就业的影响不同于传统资本价格冲击,而且人工智能的引入也改变了就业和劳动收入份额对 TFP 冲击和货币政策冲击的反应。同时,文章还讨论了人工智能对货币政策制定可能造成的影响,发现引入人工智能后,央行会增大对产出的反应。这些研究提供了宝贵的洞见与启发,但没有系统地分析货币政策,也没有涉及最优货币政策问题,更没有研究具体的货币政策制定。因而,关于人工智能如何影响最优货币政策以及货币政策规则选择目前在文献中存在空白。

与本文研究密切相关的第二支文献是关于货币政策规则的研究。由于最优货币政策在现实中是无法执行的,因而遵循一定的货币政策规则成为央行的普遍选择。Taylor(1993)提出了央行政策利率对通胀和产出缺口做出反应的规则,即泰勒规则。泰勒规则很好地描述了格林斯潘早期美联储的货币政策,成为货币政策规则研究的基础。在泰勒规则的基础上,已有文献进行了两个方向的拓展讨论。第一个方向是讨论应该选择何种通胀指标作为央行的通胀目标。在标准新凯恩斯货币模型中,唯一的通胀指标便是 CPI,但现实中有很多其他的通胀指标,盯住 CPI 是否最优便成为

一个重要问题(Engel,2011;Huang & Liu,2005;Bodenstein et al.,2008;Gong et al.,2016;侯成琪和龚六堂,2013)。第二个方向是在标准新凯恩斯货币模型中加入其他机制,分析讨论央行是否要对除通胀和产出缺口以外的相关变量做反应,即货币政策规则中是否要包含其它相关变量。例如,Cúrdia & Woodford(2010)研究了信贷摩擦对货币政策的影响,发现货币政策应在泰勒规则的基础上对当前和预期未来的信贷利差做出反应。侯成琪和龚六堂(2014)以及 Notarpietro & Siviero(2014)引入房地产部门与金融摩擦讨论货币政策是否应该对房价变动作出反应。Campolmi & Gnocchi(2016)研究了失业与劳动参与决策对货币政策设计的影响,文章发现,当劳动参与决策内生时,对失业率做出反应优于不做出反应;而当劳动参与决策外生时,对失业率做出反应反而带来更大的福利损失。Davis & Presno(2017)在小国开放经济中引入金融摩擦与资本流动,研究了资本控制对货币政策独立性的影响,发现当考虑金融摩擦与资本流动时,最优货币政策规则要求利率对国外利率作出反应,而资本控制可以降低这一反应。邓贵川和彭红枫(2019)研究了定价货币可变动对经济波动和货币政策的影响,比较了央行对汇率作出反应的扩展泰勒规则与简单泰勒规则的优劣。由此可见,当前文献主要讨论盯住通胀和产出缺口的泰勒规则,各央行的政策实践也多重视产出缺口。当人工智能成为重要的生产要素的情况下,盯住通胀和就业缺口的货币政策规则是否更优呢?上述文献均没有研究这一重要问题。

与本文相关的第三支文献是关于生产技术因素对货币政策影响的研究。早期有部分文献评估了美联储应对技术冲击的反应。Galí et al.(2003)研究了美联储在不同时期对技术冲击的不同反应以及这种反应对产出、就业等经济变量的含义并评估了美联储的货币政策,研究发现 Volcker-Greenspan 时期美联储货币政策接近最优政策规则,而在前沃尔克时期,美联储则过于重视稳定产出,造成了通胀的较大波动。Petrella & Santoro(2011)在标准新凯恩斯货币模型中引入投入产出结构研究其对最优货币政策的影响,发现各部门之间的投入产出联系显著改变了冲击的传导并放大了最优货币政策下的福利损失。同时,最优货币政策要求央行兼顾通胀与增加值的稳定。文章还发现,此时盯住消费缺口波动的政策规则优于盯住产出缺口波动的政策规则。La'O & Tahbaz-Salehi(2020)研究了生产网络对最优货币政策的影响。研究发现,此时最优货币政策也无法实现有效配置(first-best allocation)。退而求其次,在给定生产网络存在条件下,最优政策要求央行盯住一个新的加权价格指数,该指数对规模更大、价格粘性更高、更偏上游的行业赋予更大权重。这些研究表明,生产技术方面的因素会对货币政策产生重要影响,而人工智能成为一种新的生产要素改变了生产结构,也必然会对经济波动与货币政策制定产生重要影响。

相比于已有文献,本文有三点主要贡献。第一,系统研究了人工智能对最优货币政策和货币政策规则选择的影响,并推导出包含资本与人工智能的新凯恩斯货币模型中显示的二阶福利损失函数,为人工智能对货币政策影响的研究搭建了一个基础框架。第二,发现人工智能显著改变了央行面临的最优权衡,确认了人工智能对货币政策具有重要影响,丰富了新凯恩斯最优货币政策的理论。第三,发现人工智能的引入显著改变了央行的货币政策规则选择,拓展了现有文献关于货币政策规则的研究,同时有助于为货币政策制定提供决策依据。

三、模型构建

本文在包含价格粘性与工资粘性的标准新凯恩斯货币模型(Erceg et al.,2000;Christiano et al.,2005;Galí,2015)中引入人工智能。具体来说,代表性家庭户提供劳动并积累传统物质资本和人工智能资本。企业用劳动、传统资本与人工智能生产消费品。其中,劳动和人工智能是替代关系,两者构成复合劳动,传统资本与复合劳动之间是互补关系。名义价格和工资的调整存

在粘性。

(一)家庭户

经济中存在测度为1的家庭户,每个代表性家庭有测度为1的成员 $j \in [0,1]$,提供异质性劳动 $N_t(j)$。① 假设存在一个劳动合成商,将不同家庭户提供的异质性劳动合成后再提供给企业。② 参考 Erceg et al.(2000)和 Bodenstein et al.(2008)的做法,劳动合成采用如下 Dixit Stiglitz 形式:

$$N_t = \left[\int_0^1 N_t(j)^{\frac{\varepsilon_w - 1}{\varepsilon_w}} dj\right]^{\frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_w - 1}} \tag{1}$$

其中,ε_w 为劳动之间的替代弹性。最小化劳动合成商的成本,可以得到工资指数:

$$W_t = \left[\int_0^1 W_t(j)^{1-\varepsilon_w} dj\right]^{\frac{1}{1-\varepsilon_w}} \tag{2}$$

以及家庭户面临的劳动需求:

$$N_t(j) = \left(\frac{W_t(j)}{W_t}\right)^{-\varepsilon_w} N_t \tag{3}$$

家庭户最大化以下效用函数:

$$\max E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[\frac{C_t^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \kappa \frac{\int_0^1 N_t(j)^{1+\varphi} dj}{1+\varphi}\right] \tag{4}$$

面临的预算约束为:

$$C_t + I_t^k + I_t^z + \frac{B_t}{R_t} = \int_0^1 w_t(j) N_t(j) dj + \frac{B_{t-1}}{\Pi_t} + r_t^k K_{t-1} + r_t^z Z_{t-1} \tag{5}$$

其中,β 为家庭户的贴现因子,C_t 和 $N_t(j)$ 分别为家庭户的消费和劳动供给,$w_t(j) = \frac{W_t(j)}{P_t}$ 为实际工资。I_t^k 与 I_t^z 分别为传统资本投资和人工智能投资,③ r_t^k 与 r_t^z 分别为传统资本和人工智能的实际租金率。B_t 为家庭户的储蓄,R_t 为无风险利率,$\Pi_t = \frac{P_t}{P_{t-1}}$ 为通胀率。

传统物质资本 K_t 的积累方程为:

$$K_t = (1-\delta_k) K_{t-1} + I_t^k \tag{6}$$

人工智能资本 Z_t 的积累方程为:

$$Z_t = (1-\delta_z) Z_{t-1} + I_t^z \tag{7}$$

其中,δ_k 和 δ_z 分别为传统资本和人工智能的折旧率。

工资以 Calvo 方式进行调整,家庭户以每期 $1-\theta_w$ 的概率可以重新确定工资,不能调整工资时继续维持上期的工资。为便于理解,可以假设存在一个工会替家庭户做劳动定价决策。

(二)厂商部门

经济中有测度为1的厂商,代表性厂商 $i \in [0,1]$ 用传统资本、劳动以及人工智能生产异质性中间品 $Y_t(i)$。生产函数为:

① 参考文献的常见做法,假设每个家庭户有测度为1的成员,提供各种类型的劳动,这可以解释为在完备的金融市场中,家庭户之间可以实现完全的风险分担。

② 这与企业直接雇佣各种异质性劳动等价。

③ 参考相关文献,如 Christiano et al.(2005)、Iacoviello & Neri(2010)、Hansen(2018)等,本文假设家庭户进行物质资本与人工智能投资。在不考虑更多复杂因素的情况下,这与企业进行投资的模型设置具有相同效果,且能够推导出显示的二阶福利损失函数,避免了不必要的模型复杂性。

$$Y_t(i) = A_t[a^{\frac{1}{\sigma_1}}K_t(i)^{\frac{\sigma_1-1}{\sigma_1}} + (1-a)^{\frac{1}{\sigma_1}}V_t(i)^{\frac{\sigma_1-1}{\sigma_1}}]^{\frac{\sigma_1}{\sigma_1-1}} \tag{8}$$

其中，$V_t(i)$为劳动和人工智能形成的复合劳动，满足：

$$V_t(i) = [(1-e)^{\frac{1}{\sigma_2}}N_t(i)^{\frac{\sigma_2-1}{\sigma_2}} + e^{\frac{1}{\sigma_2}}Z_t(i)^{\frac{\sigma_2-1}{\sigma_2}}]^{\frac{\sigma_2}{\sigma_2-1}} \tag{9}$$

其中，a 和 e 分别为资本和人工智能的份额参数，[①]A_t 为生产率冲击，服从 AR(1)过程 $a_t = \rho_a a_{t-1} + \varepsilon_t^a$，其中 $a_t = \ln A_t$，ρ_a 代表冲击的持续性，ε_t^a 是一系列均值为 0，标准差为 σ_a 的独立同分布的正态过程。σ_1 为资本与复合劳动之间的替代弹性，σ_2 为劳动与人工智能之间的替代弹性。假设资本和劳动之间是互补的，而人工智能与劳动之间是替代的，即 $\sigma_1 < 1$，$\sigma_2 > 1$。这是人工智能与传统资本的关键区别。

求解厂商成本最小化问题，可以得到如下边际成本函数：

$$MC_t = [a(r_t^k)^{1-\sigma_1} + (1-a)(f_t)^{1-\sigma_1}]^{\frac{1}{1-\sigma_1}}/A_t \tag{10}$$

$$f_t = [(1-e)(w_t)^{1-\sigma_2} + e(r_t^z)^{1-\sigma_2}]^{\frac{1}{1-\sigma_2}} \tag{11}$$

对异质性中间品进行 CES 复合，可以得到如下最终消费品：

$$Y_t = \left[\int_0^1 Y_t(i)^{\frac{\varepsilon_p-1}{\varepsilon_p}}di\right]^{\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_p-1}} \tag{12}$$

其中，ε_p 为异质品之间的替代弹性，同时也决定了零售商的垄断力量的大小。ε_p 越大，表明异质品之间的替代弹性越大，因而零售商具有的垄断力量越小，价格加成越小。对应最终品的价格指数为 $P_t = [\int_0^1 P_t(i)^{1-\varepsilon_p}di]^{\frac{1}{1-\varepsilon_p}}$。中间品价格也以 Calvo 方式进行调整，这里不再赘述。

（三）市场出清

最终消费品市场出清条件为：

$$Y_t = C_t + I_t^k + I_t^z \tag{13}$$

传统资本市场出清条件为：

$$K_t = \int_0^1 K_t(i)di \tag{14}$$

同样地，人工智能市场出清条件为：

$$Z_t = \int_0^1 Z_t(i)di \tag{15}$$

四、参数校准

本文将模型参数分为三类，分别采用不同的方法确定取值。

第一类参数对本文数值模拟影响较小，而且文献中对其取值较为一致，本文参考现有文献确定取值。参考 Gong et al.(2016)以及 Christiano et al.(2005)，取家庭户贴现因子 $\beta = 0.99$。根据 Erceg & Levin(2006)，设定相对风险厌恶系数 $\sigma = 2$，对应跨期替代弹性为 0.5。参考 Bodenstein et al.(2008)，价格与工资不可调价概率设定为 0.75。设定异质性劳动与中间品之间的替代弹性为 9，对应加成为 12.5%。参考 Berg et al.(2018)以及 Lin & Weise(2019)，设定传统资本与劳动之间的替代弹性为 0.5。[②] 参考 Huang & Liu(2005)以及 Gong et al.(2016)，设定生产率冲击的持续性

① a 和 e 虽然直接决定了资本和人工智能的份额，但本身并不是资本和人工智能的份额。

② Chirinko(2008)总结了大量关于资本和劳动之间替代弹性的估计，指出多数研究认为这一替代弹性的合理取值在 0.4—0.6 这一范围。

系数和标准差分别为 0. 95 和 0. 02。参考 Taylor(1993),设定货币政策规则中利率对通胀和产出缺口的反应系数分别为 1. 5 和 0. 125。

第二类参数虽然在文献中较为常见,但对其取值存在一些争议,本文参考权威文献确定基准取值,然后进行较大范围的敏感性分析。参考 Barsky et al. (2007),取 Frisch 弹性的倒数 $\varphi = 1$。在基准校准中采用 Berg et al. (2018)的设定,取传统资本和人工智能的折旧率均为 0. 05,然后对传统资本的折旧率进行敏感性分析。对劳动和人工智能之间的替代弹性,参考 Berg et al. (2018),取 $\sigma_2 = 5$。

第三类是对于少量缺乏文献支撑的参数,本文用稳态比例反解。取稳态时资本收入占总收入比重为 50%,劳动收入占比为 46. 4%,人工智能占比为 3. 6%(Berg et al.,2018),由此确定 $a = 0.65$ 以及 $e = 0.15$。

五、最优货币政策分析

本文首先分析人工智能对最优货币政策的影响。采用最优货币政策研究中常用的线性二次框架(linear-quadratic framework),对家庭户效用函数进行二阶展开得到福利损失函数:

$$\mathbb{W} = \mathbb{E}_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t X_t + t.i.p + o(\| x \|^3) \tag{16}$$

其中:

$$\begin{aligned} X_t = & \frac{s_c \sigma}{2} c_t^2 + \Gamma_n n_t^2 + \left(\frac{s_k}{2} + \frac{\Gamma_k}{(1-\delta_k)^2}\right) k_t^2 + \frac{\delta_k^2 \Gamma_k}{(1-\delta_k)^2} i_{kt}^2 - \frac{2\delta_k \Gamma_k}{(1-\delta_k)^2} k_t i_{kt} + \left(\frac{s_z}{2} + \frac{\Gamma_z}{(1-\delta_z)^2}\right) z_t^2 \\ & + \frac{\delta_z^2 \Gamma_z}{(1-\delta_z)^2} i_{zt}^2 - \frac{2\delta_z \Gamma_z}{(1-\delta_z)^2} z_t i_{zt} - \frac{1}{\sigma_1} \theta_k \theta_n (k_t - \delta_k i_{kt}) n_t - \frac{1}{\sigma_1} \theta_k \theta_z (k_t - \delta_k i_{kt})(z_t - \delta_z i_{zt}) \\ & - \Gamma_{zn} (z_t - \delta_z i_{zt}) n_t - \bar{y}_t a_t + \frac{\varepsilon_p}{2\lambda_p} [1 + \varepsilon_p (\theta_k + \theta_z)] (\pi_t^p)^2 + \frac{\varepsilon_w}{2\lambda_w} \theta_n (1 + \varphi \varepsilon_w)(\pi_t^w)^2 + t.i.p \end{aligned} \tag{17}$$

上式中:

$$\Gamma_n = \frac{1}{2}\left[\theta_n (1+\varphi) - \frac{\sigma_2 - 1}{\sigma_2}\theta_n - \frac{1}{\sigma_1}\theta_n^2 - \left(\frac{1}{\sigma_2} - \frac{1}{\sigma_1}\right)\theta_n \theta_{vn}\right], \Gamma_{zn} \equiv \left[\frac{1}{\sigma_1}\theta_z \theta_n + \left(\frac{1}{\sigma_2} - \frac{1}{\sigma_1}\right)\theta_n \theta_{vz}\right]$$

$$\Gamma_k \equiv -\frac{1}{2}\left[s_k (1 - \delta_k) + \frac{\sigma_1 - 1}{\sigma_1}\theta_k + \frac{1}{\sigma_1}\theta_k^2\right]$$

$$\Gamma_z \equiv -\frac{1}{2}\left[s_z (1 - \delta_z) + \frac{\sigma_2 - 1}{\sigma_2}\theta_z + \frac{1}{\sigma_1}\theta_z^2 + \left(\frac{1}{\sigma_2} - \frac{1}{\sigma_1}\right)\theta_z \theta_{vz}\right]$$

在标准新凯恩斯货币模型中,劳动是唯一的生产要素且存在名义工资与价格粘性,对应的福利损失来源于价格通胀、工资通胀与产出缺口的波动。从(16)式可以看出,引入传统资本和人工智能后,福利损失不仅来源于价格通胀、工资通胀和产出缺口波动,还来源于消费、就业、传统投资以及人工智能投资的波动。但是,引入资本和人工智能有显著的差异。资本和劳动之间总体是互补的,两者总体上与产出的变动是一致的,稳定产出波动就能较好地稳定传统投资与就业的波动,因而央行仍是在价格通胀、工资通胀与产出缺口波动之间进行权衡。而人工智能与劳动之间高度替代,稳定产出与稳定就业和人工智能投资波动之间具有冲突性,稳定产出波动会导致较大的人工智能投资与就业波动,因而央行要在稳定产出、就业、传统投资波动与人工智能投资波动之间进行权衡。

为了验证上述逻辑,我们比较了严格稳定产出缺口与人工智能投资缺口时的脉冲反应,见图

1。可以看到,当产出缺口被严格稳定时,就业缺口与传统投资缺口波动较小,但人工智能投资会出现大幅波动,而当人工智能投资缺口被严格稳定时,产出缺口、就业缺口与传统投资缺口均会产生大幅波动。这表明,人工智能投资波动与产出、就业、传统投资等的波动有非常显著的此消彼长关系。因此引入人工智能后,央行要在价格通胀、工资通胀、产出缺口波动与人工智能投资波动之间进行权衡。这显著改变了标准新凯恩斯货币模型的结论,同时进一步证实了人工智能对最优货币政策具有重要含义。人工智能不仅对央行的最优权衡有重要影响,而且对货币政策规则的选择具有重要影响,本文将在下一部分详细讨论。

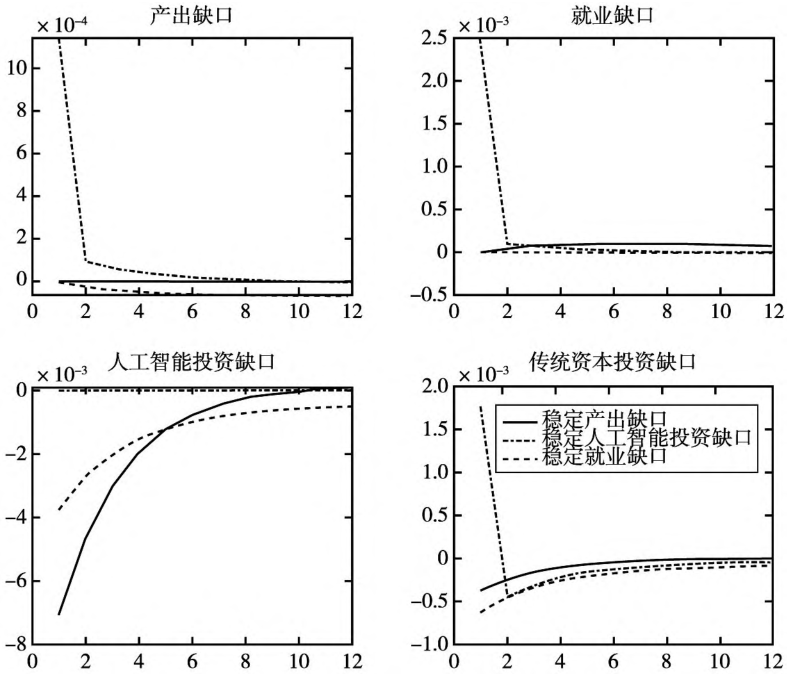

图 1　正向 TFP 冲击下相关变量在三类严格稳定政策下的脉冲反应

六、货币政策规则讨论

虽然最优货币政策带来的福利损失最小,但在现实中是不可执行的,因此央行普遍采用简单货币政策规则。在没有人工智能的模型中,央行在价格通胀、工资通胀与产出缺口之间进行权衡,对应地,盯住价格与工资加权通胀和产出缺口的泰勒规则是最优的货币政策规则。引入人工智能后,最优货币政策要求央行在价格通胀、工资通胀、产出缺口波动、就业波动与人工智能波动之间进行最优权衡,上文已经证实,稳定产出缺口与人工智能波动之间存在显著冲突,那么如何选择政策规则以较好地实现这一权衡呢? 由于人工智能与劳动之间是替代的,稳定就业缺口有利于稳定人工智能投资缺口。同时由于劳动也是重要的生产要素,稳定就业缺口也有利于稳定产出缺口,因此从直觉上看,盯住就业缺口的政策规则可以在稳定产出缺口与人工智能波动之间实现较好的平衡。如图 1 所示,严格稳定就业缺口的确在两者之间实现了平衡。具体来说,严格稳定就业缺口虽然小幅放大了产出缺口与传统投资缺口的波动,但显著降低了人工智能投资缺口的波动。这启发我们,相对于盯住产出缺口的泰勒规则,盯住就业缺口的货币政策规则可能会带来福利改进。

基于以上分析,下面具体讨论两类货币政策规则,即盯住加权通胀和产出缺口的泰勒规则与盯住加权通胀和就业缺口的货币政策规则。具体来说,两类规则定义如下:

第一类是盯住加权通胀与产出缺口的货币政策规则（output gap targeting，OGT）：

$$i_t = \rho_R i_{t-1} + (1 - \rho_R)(\phi_\pi \pi_t + \phi_y \tilde{y}_t) \tag{18}$$

第二类是盯住加权通胀与就业缺口的货币政策规则（employment gap targeting，EGT）：

$$i_t = \rho_R i_{t-1} + (1 - \rho_R)(\phi_\pi \pi_t + \phi_y \tilde{n}_t) \tag{19}$$

通胀 π_t 为价格通胀与工资通胀的加权：①

$$\pi_t = \omega \pi_t^p + (1 - \omega)\pi_t^w \tag{20}$$

其中，ω 为价格通胀的权重，参考 Galí（2015），该权重取决于价格粘性与工资粘性的相对大小。由于本文基准参数下两类粘性的大小相等，因此设定 $\omega = 0.5$。

（一）福利比较

以本文推出的福利损失函数为评价标准，可以计算出不同货币政策规则下的福利损失，进而对两类货币政策规则的优劣进行排序。在基准参数校准下，两种货币政策规则下的福利损失以及两者的福利差异见表 1。

表 1　　基准情形下两类货币政策规则的福利结果比较

货币政策规则	福利损失或福利差异（%）
OGT	2. 6092
EGT	2. 3713
OGT-EGT	0. 2379

从表 1 可以看出，在基准情况下，采用 EGT 规则的福利损失显著小于采用 OGT 的福利损失。具体来说，采用 EGT 规则可以获得相当于稳态产出 0. 2379% 的福利改进，即在有人工智能的情况下央行应该采用盯住通胀和就业缺口的货币政策规则，这与上文的理论分析一致。这一结果显著改变了没有人工智能时央行应采用盯住通胀与产出缺口的泰勒规则的结论，同时，也从数量上确认了人工智能对货币政策设计具有重要影响。

（二）机制分析

由于人工智能与劳动高度替代，稳定产出缺口与人工智能投资波动之间存在冲突，稳定产出缺口的规则会导致人工智能投资与存量的大幅波动。而盯住就业缺口的政策规则可以在稳定产出缺口与人工智能波动之间实现较好的平衡，使资源配置更加接近有效水平，而资源的更有效配置也降低了通胀波动，这些都有助于产生较小的福利损失。为了进一步验证以上的机制，本文首先对福利损失变动的来源进行分解，然后对相关变量的脉冲反应做详细分析。

1. 福利变动的来源比较

根据福利损失函数，可以将福利损失划分为五个不同的来源，即价格通胀波动、工资通胀波动、人工智能投资波动、就业波动以及其他实体变量波动，并计算出两种货币政策规则下各个来源的福利损失。通过比较不同来源的福利损失在两种规则下的差异，就可以分析出两类规则带来的福利损失差异的来源，进而分析政策规则选择的背后机制。表 2 报告了两类货币政策规则的福利损失来源分解结果。可以看到，盯住就业缺口之所以显著改善福利，主要是因为其能更好地稳定通胀、人工智能投资波动与就业波动。具体来说，相对于 OGT 规则，EGT 规则在稳定价格通胀和工资通胀方面带来的福利改进分别占整体福利改进的 24. 55% 和 10. 38%，在稳定人工智能投资波动上带来的福利改进占整体福利改进的比例高达 59%，在稳定就业波动上带来的福利改进占整体福利改

① 在没有物质资本和人工智能的模型中，最优货币政策规则应该是盯住价格通胀和产出通胀的加权，其权重取决于价格粘性与工资粘性的相对大小（Erceg et al.，2000；Galí，2015）。

进的比例为 7. 32% 。①

这与上文关于货币政策权衡的分析是一致的,引入人工智能后,由于人工智能可以高度替代劳动,盯住产出缺口与就业缺口之间产生了较大矛盾。稳定产出缺口可以通过人工智能的变动来实现,因而 OGT 规则带来了人工智能投资的巨大波动,带来显著的福利损失。同时,由于人工智能可以替代劳动,两者的变动是反向的,人工智能变动的同时带来就业的波动,进而带来工资通胀的变动,从而工资通胀扭曲的福利损失也增大。而盯住就业缺口的政策规则可以更好地稳定就业,由于人工智能与就业之间的高度替代性,就业的稳定可以带来人工智能投资的稳定,从而在很大程度上降低了福利损失。同时,更小的就业和人工智能投资波动也避免了边际成本的大幅波动,从而减少了由于价格通胀带来的福利损失。值得注意的是,消费、产出、传统投资等的波动带来的福利损失在两种规则下并没有显著差异,这进一步验证了前文的分析,即传统资本的加入并没有从本质上改变央行的权衡,也没有改变最优的货币政策规则选择,而人工智能的引入显著改变了央行面临的权衡与货币政策规则选择。

表 2　　两类货币政策规则的福利损失来源分解

福利损失来源	OGT	EGT	福利损失变动占比
价格通胀	0. 7686	0. 7102	24. 55%
工资通胀	0. 8810	0. 8563	10. 38%
人工智能投资波动	1. 0856	0. 9444	59. 35%
就业波动	0. 3677	0. 3503	7. 32%
其他	－0. 4937	－0. 4899	－1. 60%
总福利损失	2. 6092	2. 3713	100%

2. 脉冲分析

为了进一步阐述上述福利结果背后的经济直觉,本文对冲击的脉冲反应进行分析。由于福利损失的原因在于资源配置的无效率,首先分析有效均衡下的资源配置,即价格和工资可以灵活调整且政府对企业进行了最优补贴后的均衡。图 2 画出了正向生产率冲击下有效均衡中产出、就业等宏观变量的脉冲反应。从图 2 中可以看出,劳动投入在短期显著增加,中长期快速减少,传统资本投资短期大幅上升而后下降,人工智能短期略有下降而后大幅上升。当全要素生产率上升时,收入效应占据主导地位,带动总需求与产出大幅上升,由于传统资本与复合劳动是互补关系,产出的显著上升要求增加传统资本和复合劳动,因而传统资本投资大幅上升,而对于复合劳动中到底是增加劳动还是增加人工智能,需要做出选择。生产率上升提高了实际工资,因而家庭增加劳动供给,而且劳动可以每期自由调整,这些都会导致短期劳动投入增加。人工智能则不相同,首先,人工智能作为一种资本,其积累和折旧需要一个过程;其次,由于家庭户在传统投资与人工智能投资收益之间做无套利选择,传统投资的增加推升了人工智能投资要求的收益率,因而人工智能租金大幅上升,在收入有限的情况下,传统投资对人工智能投资有一定的挤出效应。同时,由于劳动和人工智能之间是替代关系,短期劳动的增加会降低人工智能的边际产出,从而降低人工智能投资。但在中长期,人工智能投资会增加,劳动投入会逐渐下降,这是因为短期传统投资增加了中长期的资本存

① 有两点原因会导致上述结果低估了就业波动下降对福利改进的贡献。第一,从上表以及本文脉冲图可以看出,就业波动(标准差)本身就显著小于人工智能投资波动(标准差),因而其带来的福利损失改进占比也相对较小。这也与经济周期文献中发现的投资波动通常大于就业波动的事实一致。第二,就业波动下降带来的福利改进不仅限于就业波动本身,更为重要的是,就业波动的下降会带来工资通胀波动的下降。

量,资本投资需求下降,同时收入提高,对人工智能投资的挤出效应下降,人工智能租金下降幅度显著大于工资,投资人工智能更有优势,而人工智能存量的增加降低了劳动的边际产出。总体来说,在有效配置下,生产率提升要求短期增加传统投资和劳动投入,中长期增加人工智能投资以替代劳动。

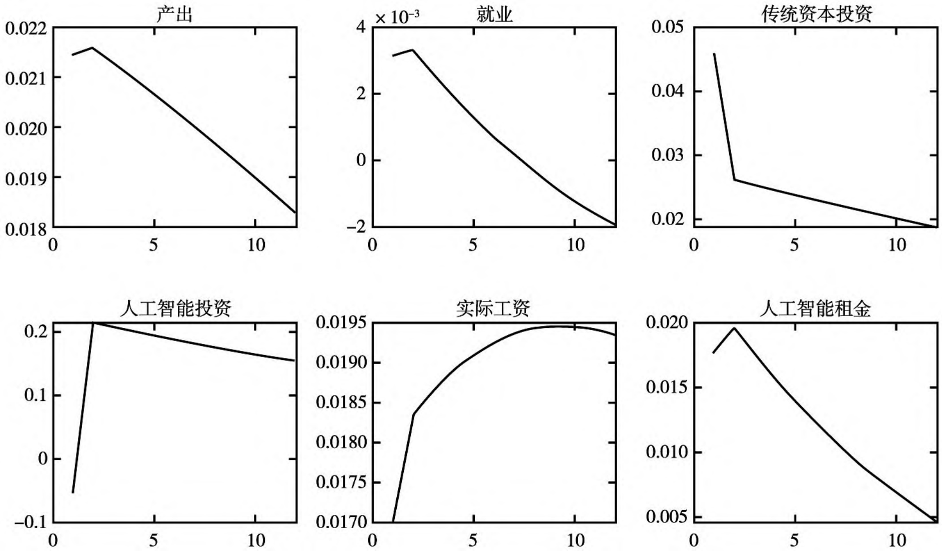

图 2　正向 TFP 冲击下有效均衡中重要宏观变量的脉冲反应

通过图 3 可以进一步分析粘性价格情况下不同货币政策的差异。引入人工智能后,需要考虑传统资本、劳动和人工智能的有效配置,由于传统资本和人工智能是存量,其积累和折旧都需要一个过程,因而其配置还要考虑长期和短期。当发生一个正向的 TFP 冲击时,正向收入效应导致家庭户需求上升,同时带来实际利率的上升。生产率上升对企业的生产要素需求有两方面的效应:一是产出不变情况下导致要素需求下降;二是正向收入效应导致需求上升进而拉动要素需求,因而要素需求的变动方向并不确定,取决于两种效应的相对大小。当价格和工资灵活调整时,有效配置要求短期增加传统资本和劳动供给,中长期逐渐增加人工智能投资。当存在价格粘性与工资粘性时,由于名义工资的上涨和名义价格的下降受到阻碍,实际工资不能充分上涨,因而劳动供给上升不足,从而出现负向的就业缺口。同时,价格粘性导致价格不能充分下降,有效需求不足导致产出缺口也为负。但从图 3 可以看出,短期就业缺口显著大于产出缺口,因而相对于 OGT 规则,EGT 规则短期的刺激力度更大,这有利于更好地实现资源有效配置。总需求的更大扩张导致资本和复合劳动投入更多,因而传统投资在 EGT 规则下上升更多,缺口更小。在复合劳动中,由于劳动调整更快,但实际工资相对于人工智能租金的上升幅度也较大,①因此就业与人工智能投资均有所增加。

当采用 OGT 规则时,由于短期对总需求刺激不足,资本与复合劳动的增加较少,因而传统投资缺口更大,这不利于充分使用 TFP 进步带来的短期更加有利的生产条件。较少的消费和传统投资为短期人工智能投资提供了更多的空间,这导致短期人工智能投资的大幅上升和劳动的大幅减少。在中长期,产出的快速上升要求投资快速上升,同时工资的调整带动了劳动投入的增加,短期过多的人工智能投资也降低了人工智能的边际回报,这些都会导致人工智能投资的快速下降。总之,OGT 规则导致短期劳动下降过多,而人工智能投资短期大幅增加替代劳

① 这是因为相对于实际工资的上升,宽松的货币政策抑制了资本和人工智能租金的上升。

动,中长期大幅下降,同时资本投资短期增加不足,这些明显违背了资源有效配置的要求。由于资源配置无效率,随着时间的推移,OGT 规则下的生产成本高于 EGT,进而推升更大的通胀,同时较低的人工智能资本存量导致较高的劳动需求,从而推升更大的工资通胀,这些都导致较大的福利损失。

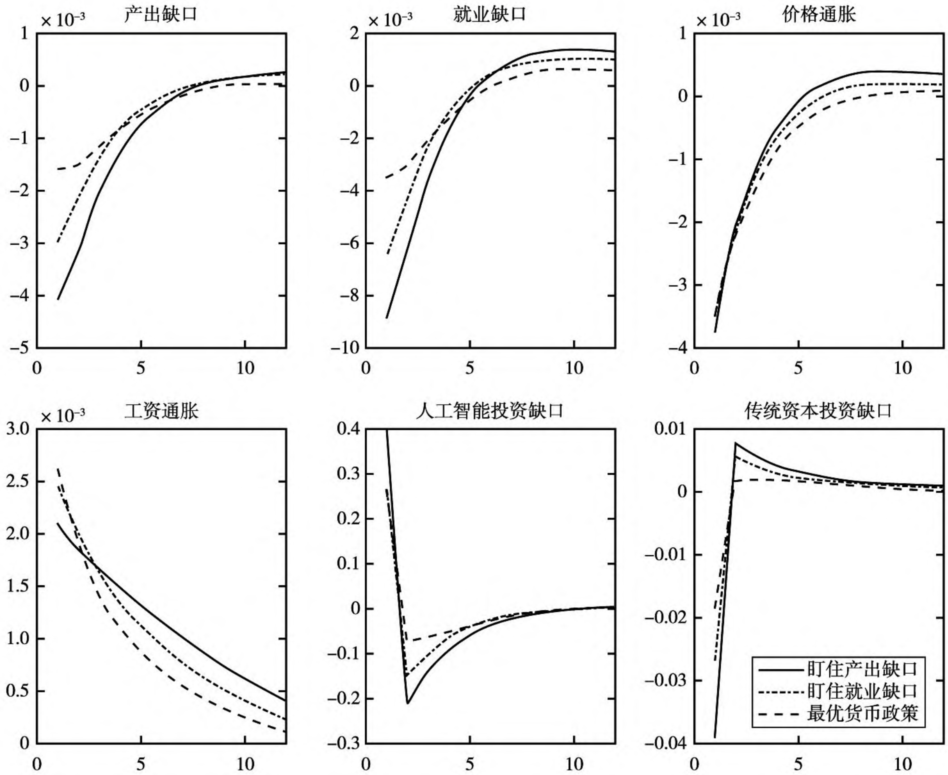

图 3　正向 TFP 冲击下不同货币政策均衡中重要宏观变量的脉冲反应

(三)稳健性检验

上述基准情形存在多个简化假设,为了检验上述基准结论的稳健性,本文进行了多方面的稳健性检验。本小节主要进行三方面的稳健性检验。第一,对冲击的稳健性检验。基准结果中,为了更加清晰地分析机制,本文只考虑了生产率冲击,而现实中会发生多种冲击,因此很有必要检验当多种冲击同时发生时上述结论是否仍然成立。第二,对政策规则反应系数的稳健性检验。本文基准模型中对 OGT 和 EGT 规则中产出缺口和就业缺口的反应系数取相同值,即央行对产出缺口与就业缺口的反应力度相同,这是为了在控制反应力度的情况下比较两种政策效果的差异。但要论证 OGT 优于 EGT,这显然是不够的,因为央行可以改变两种规则下的政策反应力度。因此,要想证明哪个规则更好,对政策反应系数进行稳健性检验也是必要的。① 第三,对人工智能相关参数的稳健性检验。关于人工智能的数据还比较缺乏,因此人工智能与劳动之间的替代弹性以及人工智能份额的取值并无权威的结论,而且人工智能所占份额是不断增多的,因此有必要对这两个参数进行稳健性检验。为了避免繁冗,将以上三方面的稳健性检验结合起来,即同时引入多种冲击,并考虑政

① 例如,如果固定 EGT 中对就业缺口的反应系数,央行调整 OGT 中产出缺口的反应系数能够取得更好的福利效果,则说明此时央行应该盯住产出缺口,本文结论不再成立。同理,央行也可以调整 EGT 规则中对就业缺口的反应系数。因此固定一个规则中的反应系数而调整另一个规则中的系数,然后比较福利结果的做法难以证明哪种规则更好。

策反应系数的调整,同时对关键参数进行敏感性分析。①

首先,对于冲击,这里同时考虑生产率冲击、投资冲击、成本冲击、人工智能技术冲击与偏好冲击,代表了供给和需求方面的重要常见冲击。② 其次,参考大量文献(Petrella & Santoro,2011;Notarpietro & Siviero,2015;Davis & Presno,2017),采用最优货币政策规则,即不预先设定货币政策反应系数,对于每种政策规则,找出使福利损失最小的政策反应系数,然后比较两种规则带来的最小福利损失,从而评价哪个规则更好。这一方法有效地避免了政策反应系数可以调整带来的难以比较不同货币政策规则的问题。最后,对于人工智能与劳动的替代弹性 σ_2,参考 Berg et al.(2018),考虑 σ_2 在 2—10 之间变化;对于人工智能份额,考虑稳态时人工智能占总收入份额为 2%—20%。

基于以上分析,本文在同时考虑多种冲击的情况下,计算出当替代弹性 σ_2 与人工智能份额 R_zZ/Y 在相应区间变化时最优 OGT 规则与最优 EGT 规则的福利损失之差,即 EGT 相对于 OGT 的福利收益,结果如表 3 所示。从表中可以明显看出,第一,本文的结论仍然非常稳健,即在多种冲击同时存在的情况下,当引入人工智能后($e>0$),最优 EGT 规则相对于最优 OGT 规则带来正的福利收益,因此央行应盯住通胀和就业缺口。而当没有人工智能时($e=0$),最优 EGT 规则相对于最优 OGT 规则带来负的福利收益,因而央行应该盯住通胀和产出缺口。③ 这说明,在引入多种冲击并考虑最优货币政策规则的情况下,本文基准结论仍然成立。第二,随着人工智能与劳动替代弹性的增强,盯住就业缺口的福利收益先增大后减小。具体来说,在替代弹性相当大范围内($\sigma_2\in[2,8]$),EGT 带来的福利收益单调递增,当替代弹性很大时,福利收益开始下降。这是因为:一方面,当人工智能成为生产要素后,盯住就业缺口之所以能带来福利收益是因为其可以较好地稳定就业波动从而降低工资粘性带来的福利损失;但另一方面,人工智能的充分使用有利于企业较好地应对冲击以减小边际成本的波动,从而减小价格粘性带来的福利损失。当人工智能与劳动的替代弹性变大时,由稳定就业导致人工智能难以充分波动而带来的生产效率损失也在加大,当替代弹性足够大时,不利效应可能会超过正向效应从而降低福利收益,但仍显著为正。第三,随着人工智能所占份额的上升,盯住就业缺口规则的福利收益在上升,这表明,随着人工智能渗透率的快速上升,央行货币政策更应该稳定就业。

表 3　对冲击、政策反应系数及人工智能相关参数稳健性检验的福利结果

参数	福利收益	参数	福利收益
$\sigma_2=2$	0.1498	$R_zZ/Y=0.02$	0.0369
$\sigma_2=4$	0.2925	$R_zZ/Y=0.065$	0.2373
$\sigma_2=6$	0.4546	$R_zZ/Y=0.11$	0.3748
$\sigma_2=8$	0.6340	$R_zZ/Y=0.155$	0.4836
$\sigma_2=10$	0.6194	$R_zZ/Y=0.2$	0.5825

① 显然,这是一种更加严格的稳健性检验。还有一种相对宽松的检验方法,即每次检验一个方面,另外两个方面与基准模型相同。例如在检验人工智能关键参数的稳健性时,仍然保持一个冲击的假设和基准模型中对产出缺口与就业缺口相同的假设。

② 引入投资冲击、成本冲击与偏好冲击的方法都是文献中的标准方法。

③ 值得说明的是,严格来说,并不是当没有人工智能时,福利结果发生了突然逆转。随着人工智能所占份额的下降,EGT 规则带来的福利改进越来越小,这是一个渐变的过程。实际上,当人工智能所占份额非常小的时候(0.1%以下),福利收益就已经变为负值。这显然更符合事实,但这并不影响上述基本结论,因为如果人工智能占比非常小,在现实中可以忽略不计。

值得说明的是,本文还从其他角度进行了稳健性分析。(1)基准情形中没有考虑投资调整成本,现实中传统物质资本与人工智能投资均存在调整成本。大量研究发现,投资调整成本会对经济波动产生显著影响,因而可能影响本文结论。对此本文引入传统物质资本与人工智能的投资调整成本进行稳健性分析。(2)基准情形中只考虑了一类劳动,假设人工智能高度替代劳动。现实中劳动具有异质性,人工智能在替代某些类型劳动的同时还会创造新的劳动,即人工智能同时具有就业替代效应与就业创造效应。因此,基于就业替代效应得到的基准结论在考虑就业创造效应后是否成立需要检验。对此本文考虑两类劳动,其中人工智能与一类劳动高度替代,而与另一类劳动互补。当人工智能与劳动互补时,人工智能的增加会提升该类劳动的边际报酬,因而提升对该类劳动的需求,即刻画了就业创造效应。(3)人工智能带来就业极化的情形。一种较为符合现实的情形是,人工智能将促进对高技能劳动的需求,更倾向于替代程式化的中等技能劳动力,而对低技能劳动影响较小,从而导致就业与工资的极化。为了检验基准结论在这种情况下是否仍然成立,本文考虑三类劳动,构建能够刻画就业极化的模型并进行货币政策分析。① 对于这些拓展情形的分析均表明,本文的基准结论依然成立。因而,引入人工智能后,盯住通胀与就业缺口的政策规则优于盯住通胀与产出缺口的政策规则的结论是较为稳健的。

七、结　语

标准新凯恩斯货币模型表明,央行要在通胀和产出缺口之间进行权衡。与此对应,采用盯住通胀和产出缺口的泰勒规则是央行在现实中的普遍选择。本文研究发现,引入人工智能显著改变了这一结论。本文在标准新凯恩斯货币模型中引入人工智能,推导出了显示的二阶福利损失函数。在标准新凯恩斯货币模型中,福利损失来源于通胀和产出缺口的波动。引入人工智能后,人工智能投资和存量的波动成为新的福利损失来源,因此央行还需要考虑人工智能投资的波动。以这一福利损失函数为评价标准,本文比较了盯住通胀和产出缺口与盯住通胀和就业缺口两类货币政策规则的福利效果,发现后者相对于前者能带来显著的福利改进,即央行应该采用盯住通胀和就业缺口的货币政策规则。这是因为,在没有人工智能时,无论是生产中只用劳动还是用资本和劳动,由于资本和劳动是互补关系,产出、就业与资本的波动总体上是一致的,盯住产出缺口更能全面引导资本和劳动的有效配置。而当引入人工智能后,由于人工智能与劳动之间的高度替代性,产出、就业、资本与人工智能的波动之间可能发生显著的冲突。此时,盯住产出缺口的货币政策导致人工智能大幅替代劳动,引起就业和人工智能同时发生大幅波动;而盯住就业缺口的货币政策则在更好地稳定就业缺口的同时更好地稳定了人工智能缺口,从而产生较小的福利损失。

本文研究具有以下政策启示:

第一,增强货币政策目标的清晰性并将稳定就业明确纳入货币政策规则。大量研究表明,遵循规则的货币政策有利于解决很多政策实践中的问题,例如货币政策透明度与独立性问题、预期引导、时间不一致性等。我国应逐步增强货币政策目标与规则的清晰性。在此基础上,将促进与稳定就业明确纳入货币政策框架。实际上,美联储已经将充分就业作为货币政策的双目标之一,欧洲央行在以稳定通胀为主要目标的基础上,也将就业作为货币政策决策的关键变量。本文研究结论表明,随着人工智能的快速发展,稳定就业对经济波动管理与资源有效配置会更加重要。尤其是当产出与就业发生较大偏离时,货币政策应对就业赋予更大权重,将就业市场状况作为经济周期研判的

① 限于篇幅,上述稳健性分析的结果没有列示在文中,感兴趣的读者可以向作者索取。

重要变量。

第二,完善就业统计体系,为稳定就业的货币政策提供统计基础。将就业纳入货币政策目标并有效实施,需要系统而健全的就业统计体系。目前我国在就业方面的统计体系还很不完善。可以借鉴国际经验,并结合我国国情,构建一套较为完善的就业统计体系。一方面,构建完善的就业指标体系,如不同群体就业状况、各口径失业率、工资、生产率、离职率、职位空缺率等衡量就业市场状况的基础指标。另一方面,完善以大样本调查为基础的统计方法,构建高质量的调查样本系统。我国人口与就业规模巨大,充分发挥人力资源优势至关重要,构建完善的就业统计是必要的制度基础设施,具有重要意义。

第三,加强金融市场建设以应对人工智能技术对就业市场的冲击。人工智能技术对就业市场的冲击主要表现在,高度替代了一些部门就业的同时刺激了另一些部门的就业,这不但会导致失业存在显著的结构性特征,还会拉大不同就业群体工资差距。这显然会对稳定就业与共同富裕带来巨大挑战。除了传统利率政策外,其他货币金融政策的配合也十分重要。对此,一方面,应通过健全资本市场让大众享受到人工智能巨大生产力的回报。人工智能虽然替代很多劳动,但能大幅提升生产率,让更多群体有机会参与人工智能投资并分享其回报至关重要。资本市场门槛较低,显然是实现这一目标的重要途径。另一方面,加强金融市场为就业受到较大冲击的部门、中小微企业以及职业教育转岗培训等部门的融资支持,促进就业供给结构的调整。应对人工智能对就业的冲击,很大程度上是人工智能技术与就业结构转换的赛跑,货币金融政策应着力支持就业结构的升级转换,加快适应人工智能快速发展对劳动力市场结构的重塑。

参考文献

陈彦斌、林晨、陈小亮,2019:《人工智能、老龄化与经济增长》,《经济研究》第7期。

邓贵川、彭红枫,2019:《货币国际化、定价货币变动与经济波动》,《世界经济》第6期。

郭凯明,2019:《人工智能发展、产业结构转型升级与劳动收入份额变动》,《管理世界》第7期。

侯成琪、龚六堂,2014:《货币政策应该对住房价格波动作出反应吗——基于两部门动态随机一般均衡模型的分析》,《金融研究》第10期。

金春雨、张龙、贾鹏飞,2018:《货币政策规则、政策空间与政策效果》,《经济研究》第7期。

王频、侯成琪,2017:《预期冲击、房价波动与经济波动》,《经济研究》第4期。

王胜、郭汝飞,2012:《不完全汇率传递与最优货币政策》,《经济研究》第S2期。

王永钦、董雯,2020:《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》,《经济研究》第10期。

周广肃、李力行、孟岭生,2021:《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》,《金融研究》第6期。

Acemoglu, D., and Restrepo, P., 2018a, "The Race Between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment", *American Economic Review*, 108(6), 1488—1542.

Acemoglu, D., and Restrepo, P., 2018b, "Artificial Intelligence, Automation and Work", The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda. University of Chicago Press, 197—236.

Aghion, P., Jones, B. F., and Jones, C. I., 2018, "Artificial Intelligence and Economic Growth", The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda. University of Chicago Press, 237—282.

Anand, R., Prasad, E. S., and Zhang, B., 2015, "What Measure of Inflation Should a Developing Country Central Bank Target?", *Journal of Monetary Economics*, 74(6), 102—116.

Barsky, R. B., House, C. L., and Kimball, M. S., 2007, "Sticky-price Models and Durable Goods", *American Economic Review*, 97(3), 984—998.

Berg, A., Buffie, E. F., and Zanna, L., 2018, "Should we Fear the Robot Revolution? (The Correct Answer is Yes)", *Journal of Monetary Economics*, 97, 117—148.

Blanchard, O., and Galí, J., 2010, "Labor Markets and Monetary Policy: A New Keynesian Model with Unemployment", *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2(2), 1—30.

Bodenstein, M., Erceg, C. J., and Guerrieri, L., 2008, "Optimal Monetary Policy with Distinct Core and Headline Inflation Rates", *Journal of Monetary Economics*, 55(3), S18—S33.

Bullard, J., and Dicecio, R., 2019, "Optimal Monetary Policy for the Masses", FRB St. Louis Working Paper, (2019—9).

Campolmi, A., and Gnocchi, S., 2016, "Labor Market Participation, Unemployment and Monetary Policy", *Journal of Monetary Economics*, 79(3), 17—29.

Chirinko, R. S., 2008, "σ: The Long and Short of It", *Journal of Macroeconomics*, 30(2), 671—686.

Christiano, L. J., Eichenbaum, M., and Evans, C. L., 2005, "Nominal Rigidities and the Dynamic Effects of a Shock to Monetary Policy", *Journal of Political Economy*, 113(1), 1—45.

Cúrdia, V., and Woodford, M., 2016, "Credit Frictions and Optimal Monetary Policy", *Journal of Monetary Economics*, 84(8), 30—65.

Davis, J. S., and Presno, I., 2017, "Capital Controls and Monetary Policy Autonomy in a Small Open Economy", *Journal of Monetary Economics*, 85(1), 114—130.

Engel, C., 2011, "Currency Misalignments and Optimal Monetary Policy: A Reexamination", *American Economic Review*, 101(6), 2796—2822.

Erceg, C. J., Henderson, D. W., and Levin, A. T., 2000, "Optimal Monetary Policy with Staggered Wage and Price Contracts", *Journal of Monetary Economics*, 46(2), 281—313.

Erceg, C., and Levin, A., 2006, "Optimal Monetary Policy with Durable Consumption Goods", *Journal of Monetary Economics*, 53(1), 1341—1359.

Fueki, T., and Maehashi, K., 2019, "Inflation Dynamics in the Age of Robots: Evidence and some Theory", *Bank of Japan Working Paper*, No. 19—E—9.

Galí, J., 2015, Monetary Policy, Inflation, and the Business Cycle: An Introduction to the New Keynesian Framework and its Applications, Princeton University Press.

Galí, J., López-Salido, J. D., and Vallés, J., 2003, "Technology Shocks and Monetary Policy: Assessing the Fed's Performance", *Journal of Monetary Economics*, 50(4), 723—743.

Gong, L., Wang, C., and Zou, H., 2016, "Optimal Monetary Policy with International Trade in Intermediate Inputs", *Journal of International Money and Finance*, 65(6), 140—165.

Hansen, J., 2018, "Optimal Monetary Policy with Capital and a Financial Accelerator", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 92(7), 84—102.

Huang, K. X., and Liu, Z., 2005, "Inflation Targeting: What Inflation Rate to Target?", *Journal of Monetary Economics*, 52(8), 1435—1462.

Iacoviello, M., and Neri, S., 2010, "Housing Market Spillovers: Evidence from an Estimated DSGE Model", *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2(2), 125—164.

La'O, J., and Tahbaz-Salehi, A., 2022, "Optimal Monetary Policy in Production Networks", *Econometrica*, 90(3), 1295—1336.

Lin, T. T., and Weise, C. L., 2019, "A New Keynesian Model with Robots: Implications for Business Cycles and Monetary Policy", *Atlantic Economic Journal*, 47(1), 81—101.

Leduc, S., and Liu, Z., 2020, "Robots or Workers? A Macro Analysis of Automation and Labor Markets", Federal Reserve Bank of San Francisco Working Paper 2019—17.

Notarpietro, A., and Siviero, S., 2015, "Optimal Monetary Policy Rules and House Prices: The Role of Financial Frictions", *Journal of Money, Credit and Banking*, 47(S1), 383—410.

Petrella, I., and Santoro, E., 2011, "Input-output Interactions and Optimal Monetary Policy", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 35(11), 1817—1830.

Prettner, K., and Strulik, H., 2020, "Innovation, Automation, and Inequality: Policy Challenges in the Race Against the Machine", *Journal of Monetary Economics*, 116(8), 249—265.

Taylor, J. B., 1993, "Discretion Versus Policy Rules in Practice", *Carnegie-Rochester Series on Public Policy*, 39(2), 195—214.

Woodford, M., 2003, Interest and Prices: Foundations of a Theory of Monetary Policy, Princeton University Press.

Zhou, G., Chu, G., Li, L., and Meng, L., 2020, "The Effect of Artificial Intelligence on China's Labor Market", *China Economic Journal*, 13(1), 24—41.

Artificial Intelligence, Employment and Monetary Policy Objectives

WU Liyuan[a], WANG Chan[b], FU Chunyang[c] and GONG Liutang[d,e]
(a: Institute of World Economics and Politics, Chinese Academy of Social Science;
b: School of Finance, Central University of Finance and Economics;
c: School of Economics, University of Chinese Academy of Social Sciences;
d: Beijing Technology and Business University;
e: Guanghua School of Management, Peking University)

Summary: With the breakthroughs of related technology, the persistent increase of market investment, and the strengthening of government support, it is a certain trend that artificial intelligence (AI) has become a new and important factor of production. AI, as a factor of production, is significantly different from traditional capital and labor. On the one hand, the comprehensive substitution of labor by AI is significantly different from that of traditional capital; on the other hand, the way of AI adjustment is similar to capital stock; and unlike labor, there is no wage stickiness. After AI becomes one of the main factors of production, the classical Okun's law and Phillips curve need to be revised, and thus economic fluctuations show a different pattern. Therefore, as an important policy tool to stabilize economic fluctuations, monetary policy needs to be modified to consider the effects of AI on economic fluctuations. Therefore, a natural question arises: how does AI affect the optimal trade-offs faced by central banks? Since the optimal monetary policy is not feasible in reality, what are the simple monetary policy rules to achieve the optimal trade-off? Obviously, these questions are of important theoretical and practical significance.

In order to answer the above questions, we introduce AI into the basic New-Keynesian monetary model, describe in detail the differences between AI and traditional physical capital and labor, and derive the second-order approximation of welfare loss function faced by the central bank. Through the welfare loss function, we analyze the changes of trade-offs faced by the central bank. On this basis, we discuss the simple rules to achieve the optimal trade-off of the central bank, and compare the classical Taylor rule of stabilizing inflation and output gap with the policy rule of stabilizing inflation and employment gap from the perspective of welfare.

The welfare loss function shows that after the introduction of AI, in addition to inflation and output gap, the fluctuations of AI investment and employment have become an important trade-off for the central bank. In particular, in the absence of AI, the output gap is consistent with the fluctuation of employment. After the introduction of AI, there are conflicts among the output gap, the employment gap and the AI investment gap, and thus monetary policy is needed for balance. Through the comparison of different policy rules, we find that the policy rule pegged to the employment gap is better than that pegged to the output gap. The economic mechanism behind this is intuitive. According to the logic revealed by the welfare loss function, stabilizing output gap leads to significant fluctuations in employment and AI investment, while stabilizing employment gap helps to stabilize both output gap and AI investment gap at the same time. This paper has very clear policy implications, that is, in the era of AI, the central bank should regard stabilizing employment as an important policy goal. In the sense of managing economic fluctuations, stabilizing employment is more important than stabilizing output to a certain extent. We make robustness tests with respect to parameters, shocks, investment adjustment costs and labor heterogeneity, and find that the conclusions are robust.

Compared with existing literature, the innovation and contribution of this paper are mainly reflected in the following aspects. First, we systematically investigate the influence of AI on the optimal monetary policy and the choice of monetary policy rules, and derive the analytical second-order approximation of welfare loss function in the New-Keynesian monetary model including AI. This paper builds a basic framework for the study of the impact of AI on monetary policy. Second, we find that AI significantly changes the optimal trade-offs faced by the central bank, confirming that AI has an important impact on monetary policy, and enriching the theory of New-Keynesian optimal monetary policy. Third, we find that the introduction of AI significantly changes the choice of monetary policy rules of the central bank. Therefore, we add to existing literature on monetary policy rules by providing a reference for the formulation of monetary policy.

Keywords: Artificial Intelligence (AI); Optimal Monetary Policy; Welfare Loss; Monetary Policy Rules
JEL Classification: E30, E24, E42

(责任编辑:陈小亮)(校对:晓　欧)