

# 市场预期下碳税政策与货币政策的经济效应

## ——兼论最优政策组合设计

陈若愚 李硕实 丁忠明

(安徽财经大学金融学院, 安徽蚌埠 233030)

**摘要:**碳税作为重要的减排政策工具可能带来宏观经济波动和收缩,如何应对冲击以平衡减排目标与经济稳定发展是一个值得深入研究的重要议题。本文将市场预期纳入NK-DSGE模型,系统研究了两种预期行为下三种碳税政策模式对宏观经济的影响及内在机制,并运用最优货币政策规则来应对碳税冲击以促进经济平稳发展。(1)在理性预期模型下,永久性碳税政策是最优的碳税模式;在异质性预期模型下,递增式碳税是最优的碳税模式。(2)无论是理性预期还是异质性预期,加强货币政策的实施力度都能够有效缓解由碳税政策冲击引起的宏观经济波动,特别是在异质性预期模型下,加强货币政策的实施力度有助于形成稳定的市场预期,减少宏观经济波动。(3)在理性预期模型下,后顾性泰勒规则的货币政策能够有效缓解由永久性碳税冲击引起的宏观经济波动,改善社会福利水平;在异质性预期模型下,前瞻性泰勒规则的货币政策能够有效平抑市场预期,缓解由递增式碳税冲击引起的宏观经济波动,改善社会福利。本文的研究为中国通过碳税政策实现碳减排和宏观经济目标协同发展提供了政策依据。

**关键词:**碳税政策;理性预期;异质性预期;货币政策

**中图分类号:**F822.0;F812.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-5230(2025)06-0103-16

## 一、引言及文献综述

党的二十届三中全会强调,要“健全绿色低碳发展机制”。2024年7月31日,《中共中央 国务院关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》进一步指出要“研究支持碳减排相关税收政策”。完善碳减排相关税收政策是实现我国“双碳”目标的制度保障,也是推动我国经济社会发展全面绿色转型的关键举措<sup>[1]</sup>。碳税具有覆盖面广和价格稳定等特点<sup>[2]</sup>,是中国碳市场发展初期不充分的有益补充,国际货币基金组织等国际多边机构均多次在公开场合表达过“碳税是最有效的减排工具之一”的观点。

根据世界银行发布的《State and Trends of Carbon Pricing 2024》,全球已有32个国家和地区推

**收稿日期:**2024-12-26

**基金项目:**国家社会科学基金青年项目“中国金融业扩大开放与宏观审慎政策的国际协调研究”(21CJY074)

**作者简介:**陈若愚(1989—),男,安徽怀远人,安徽财经大学金融学院副教授;

李硕实(1999—),男,山东临沂人,安徽财经大学金融学院博士生;

丁忠明(1962—),男,江苏海安人,安徽财经大学金融学院教授。

广和实施了碳税政策。从各国实践来看,碳税在促进碳减排方面发挥了重要作用,芬兰 1990 年实施碳税,截至 2019 年,人均二氧化碳排放量减少约 23.64%;瑞士 2008 年实施碳税,截至 2019 年,人均二氧化碳排放减少约 25%。开征碳税虽然能够取得碳减排的环境效益,但会对经济造成负面冲击<sup>[3][4][5]</sup>。现有研究表明,实施碳税将增加企业的生产成本,为应对这一额外增加的碳排放成本,企业会减少投资<sup>[6]</sup>;为降低碳排放成本,企业会缩减生产规模,从而导致社会总产出水平下降<sup>[7][8]</sup>;生产规模的缩减也会导致劳动市场需求减少,进而引发失业率上升,对就业市场造成负面影响<sup>[9]</sup>。此外,实施碳税还会增加经济通货膨胀压力<sup>[10]</sup>,带来社会福利损失<sup>[11]</sup>。危平等提出开征碳税可能会使企业碳密集型资产面临搁浅的风险<sup>[12]</sup>。随着企业碳密集型资产价值下降,企业价值将遭受损失,进而增加企业违约风险<sup>[13]</sup>。在此情况下,企业需向金融机构提供更高的风险补偿以获取融资,从而进一步抑制了企业的投资活动,放大了碳税对宏观经济的负面影响<sup>[14]</sup>。由此可见,开征碳税可能面临碳减排与宏观经济稳定发展的短期目标冲突,那么,货币政策作为促进宏观经济稳定发展的重要调控工具,是否能够应对碳税政策所带来的负面冲击?碳税政策与货币政策之间是否存在有效政策组合以平稳推进“双碳”目标的实现?

为解决上述问题,现有文献主要从以下两个方面展开研究:一是碳税制度的设计,二是碳税政策与宏观经济政策的协调。关于碳税制度设计的研究表明,碳税税率设定、政策节奏和政策预期等因素都会影响碳税的政策效果。在碳税税率设计上,采用动态调整税率的方法开征碳税有利于实现碳减排和宏观经济稳定目标的协同<sup>[15]</sup>,如日本、乌克兰和新加坡等国均采用该种碳税征收方案,即在碳税开征之初以低税率落实,并在后续逐步提升税率<sup>[16][17]</sup>。同时,加强碳税政策的前期沟通,有助于形成稳定的市场预期,进而减少碳税政策导致的宏观经济波动<sup>[18]</sup>。关于碳税政策与货币政策协调的研究表明,货币政策与经济发展状态、经济周期具有明显相异性<sup>[19][20]</sup>,总量货币政策以及结构性货币政策在实行碳减排过程中能够积极调动金融资源,满足低碳项目的融资需求,货币政策与碳税政策的有效组合可以实现碳减排目标和宏观经济目标的协同发展<sup>[21]</sup>;绿色信贷<sup>[22]</sup>、绿色量化宽松<sup>[23][24]</sup>、绿色资产购买和央行降低绿色债券抵押率<sup>[25]</sup>等政策也可以有效地缓解碳税政策带来的宏观经济冲击,有利于“双碳”目标的平稳实现;“绿色支持”和“棕色惩罚”的资本充足率<sup>[5]</sup>、存款准备金率<sup>[1]</sup>和资产风险权重<sup>[26]</sup>等宏观审慎政策有助于降低碳税政策引发的潜在风险。

事实上,货币政策与碳税政策的协调配合问题始终是各国央行关注的焦点问题。货币政策的制定在追求充分就业、物价稳定、经济增长以及金融稳定目标的同时,有必要将碳税政策带来的外生冲击考虑在内,以实现降低经济波动、最大化社会福利的目标。尽管已有文献认识到公众的政策预期会对碳税的政策效果产生影响,但大多数的研究还是建立在代理人完全理性假设的模型分析框架下,忽视了代理人有限理性这一更符合现实的情况。理性预期假说认为公众具有高度理性,能够准确利用所有可用信息预测到除随机冲击以外经济变量的未来走势,对经济变量做出无偏和一致估计。然而,在现实生活中,受认知局限、信息成本和信息处理能力等因素影响,个体预期并非是完全理性和高度一致的<sup>[27]</sup>,而是存在明显的有限性和异质性<sup>[28][29]</sup>。异质性公众预期对经济总体的影响不能通过个体预期对经济的影响简单加总得到,个体预期对经济的影响会相互作用,使得公众预期对整体经济的影响复杂多变<sup>[30]</sup>。虽然碳税政策作为气候治理工具,其目标在于长期碳减排和结构转型,但在实施初期往往会对价格、产出和就业等宏观变量造成明显的扰动。这些结构性冲击在形式上类似于供给冲击或成本推动型通胀,易被货币政策误判为持续性通胀压力,进而引发不当加息,加剧经济波动<sup>[31][32]</sup>。在“双碳”目标下,构建兼顾绿色转型的货币政策框架成为重大挑战。如果央行在制定货币政策规则时忽视碳税等气候治理政策的宏观效应,可能导致中短期政策反应偏离社会最优路径。

本文通过构建包含市场预期的 NK-DSGE 模型,在更加全面地分析碳税政策对宏观经济影响机理的同时,引入社会福利函数,从碳税政策引发的宏观波动出发,探讨最优货币政策规则,分析货币政策在应对碳税冲击中的调节机制,为实现“碳减排”与“宏观经济稳定”双重目标提供理论与政策支持。

相较于现有文献,本文存在三点边际贡献。第一,现有文献较少考虑代理人有限理性这一现实情况,本文引入异质性预期,在代理人有限理性情境下厘清了三种碳税政策(永久性碳税政策、递增量碳税政策和提前发布但滞后三期实施的碳税政策)对碳减排及宏观经济影响的内在机理,为碳税政策分析提供了更加丰富的视角。第二,考虑到市场预期在碳税政策影响中的重要作用,为更贴近真实经济,将市场预期纳入 NK-DSGE 模型,通过模型优化的方式分析和探讨了碳税政策实施效果,以期实现更准确的政策预估,丰富了市场预期视角下经济绿色转型相关研究,为有效引导市场预期、平稳推进经济绿色转型提供了理论依据。第三,探寻了不同预期视角下碳税模式与货币政策的最优组合,通过引入社会福利函数的方式评估了每种政策组合的实施效果,为中国实施碳税政策实现碳减排和宏观经济稳定目标的协同提供政策依据。

## 二、DSGE 模型构建

本文将异质性预期纳入新凯恩斯动态随机一般均衡分析框架,考虑了代理人理性预期和有限理性预期两种情境。模型主要包含家庭部门、生产部门和政府部门三类经济主体。

### (一)家庭部门

家庭部门消费最终产品  $C_t$ 、向中间品生产商提供劳动  $N_t$ 、购买债券  $B_t$  (即名义储蓄),来实现自身效用最大化,可以得出:

$$\max_{C_t, N_t, B_t} \tilde{E}_{i,0} \sum_{t=0}^{\infty} (e^{v_t}) \beta^t \left[ \frac{(C_t - h_c C_{t-1})^{1-\gamma} - 1}{1-\gamma} - \chi \frac{N_t^{1+\varphi}}{1+\varphi} - \frac{\ell}{2} \left( \frac{B_t}{P_t} \right)^2 \right] \quad (1)$$

$$\text{s.t. } P_t C_t = W_t N_t + T_t + D_t + R_{t-1} B_{t-1} - B_t \quad (2)$$

$\tilde{E}_0$  表示第 0 期的主观期望算子,  $v_t$  为跨期偏好冲击,且服从对数 AR(1) 过程,  $v_t = \rho_v v_{t-1} + \xi_{v,t}$ ,  $\xi_{v,t} \sim N(0, \sigma_v^2)$ 。  $\beta$  为贴现因子 ( $0 < \beta < 1$ ),  $\gamma$  为消费跨期替代弹性,  $\varphi$  为劳动供给弹性,  $h_c$  为消费惯性系数,  $\chi$  为家庭提供劳动的厌恶程度。此外,借鉴 Kurz 等的研究<sup>[33]</sup>,在式(1)中引入  $\frac{\ell}{2} \left( \frac{B_{i,t}}{P_t} \right)^2$ ,表示对家庭部门过度借贷的惩罚 ( $\ell > 0$ )<sup>[34]</sup>。  $P_t$  表示价格水平,  $W_t$  表示名义工资,  $T_t$  表示政府的转移支付,  $D_t$  表示从企业中获得的股息,  $R_{t-1}$  表示名义利率。

### (二)生产部门

#### 1. 中间品生产商

中间品生产商  $i$  使用劳动  $N_{i,t}$  和化石资源  $Z_{i,t}$  生产中间品。假设生产商使用 CES 生产函数生产中间品  $Y_{i,t}$ ,可以得出:

$$\min_{N_{i,t}, Z_{i,t}} (W_t N_{i,t} + P_{Z,t} Z_{i,t}) \quad (3)$$

$$\text{s.t. } Y_{i,t} = \Delta_t \left[ \zeta Z_{i,t}^{\frac{\varphi-1}{\varphi}} + (1-\zeta) (A_t N_{i,t})^{\frac{\varphi-1}{\varphi}} \right]^{\frac{\varphi}{\varphi-1}} \quad (4)$$

借鉴 Nordhaus 的研究<sup>[35]</sup>,定义损耗函数  $\Delta_t$  为碳排放造成的产出损失,  $\Delta_t = \exp(-\eta(M_t - \bar{M}))$ 。  $\eta$  表示碳排放负外部性的强度 ( $\eta > 0$ )。借鉴 Golosov 等的研究<sup>[36]</sup>,大气中碳排放存量  $M_t$  的动态演化方程为:  $M_t - \bar{M} = Z_t + (1 - \delta_M)(M_{t-1} - \bar{M}) + Z_t^{R_{0W}}$ 。借鉴 Diluiso 等的研究<sup>[23][24]</sup>,假定  $Z_t$  等于中间品生产商总排放量,即  $Z_t = \int_0^1 Z_{i,t} di$ ,  $\bar{M}$  表示工业前排放量,  $\delta_M$  表示碳排放自然衰减系数 ( $0 < \delta_M < 1$ ),  $Z_t^{R_{0W}}$  表示本国以外其他地区的碳排放量。  $A_t$  表示劳动生产率,且服从对数 AR(1) 过程,  $A_t = \rho_A A_{t-1} + \xi_{A,t}$ ,  $\xi_{A,t} \sim N(0, \sigma_A^2)$ ,  $\zeta$  表示生产过程中能源投入的准份额参数 ( $0 < \zeta < 1$ ),  $\varphi$  表示能源和劳动之间的替代弹性 ( $0 < \varphi < 1$ ),  $P_{Z,t}$  表示化石资源的名义价格。

中间品生产商生产的边际成本为:

$$MC_t = \Delta_t^{-1} \left[ \zeta^\chi \left( \frac{P_{Z,t}}{P_t} \right)^{1-\varphi} + (1-\zeta)^\varphi A_t^{\varphi-1} \left( \frac{W_t}{P_t} \right)^{1-\varphi} \right]^{\frac{1}{1-\varphi}} \quad (5)$$

借鉴 Calvo 提出的交错定价方式,引入价格粘性<sup>[37]</sup>,设每期可以调整价格的生产商比例为  $1 - \bar{\omega}$ ,使用  $p_{i,t}^*$  表示调整价格生产商的设定价格。当生产商无法调整其价格时会综合历史通胀和稳态通胀水平来制定价格,即  $p_{i,t+s} = p_{i,t+s-1} \Pi^k \Pi_{t+s-1}^k$ ,  $\Pi_{t+1} = p_{t+1}/p_t$ ,  $k$  表示价格指数化参数。中间品生产商通过确定中间品销售价格来实现利润最大化,可以得出:

$$\max_{p_{i,t}^*} \tilde{E}_{i,t} \sum_{t=0}^{\infty} \bar{\omega}^s [Q_{i,t,t+s} (p_{i,t+s} Y_{i,t+s|t} - MC_{t+s} Y_{i,t+s|t})] \quad s=1, \dots, n, \quad (6)$$

最优价格的一阶条件为:

$$p_{i,t}^* = \frac{\sigma}{\sigma-1} \frac{\tilde{E}_{i,t} \sum_{t=0}^{\infty} \bar{\omega}^s \beta^s \lambda_{i,t+s} Y_{t+s} (\prod_{k=1}^s \Psi_{t+k})^{-\sigma} MC_{t+s}}{\tilde{E}_{i,t} \sum_{t=0}^{\infty} \bar{\omega}^s \beta^s \lambda_{i,t+s} Y_{t+s} (\prod_{k=1}^s \Psi_{t+k})^{1-\sigma}} \quad (7)$$

## 2. 最终品生产商

假设最终品生产商处于完全竞争市场,最终品生产商购买中间品  $Y_{i,t}$  生产最终品  $Y_t$ ,  $Y_t = (\int_0^1 Y_{i,t}^{(\sigma_t-1)/\sigma_t} di)^{\sigma_t/(\sigma_t-1)}$ ,  $\sigma_t$  表示中间品替代弹性。中间品需求函数为  $Y_{i,t} = \left(\frac{P_{i,t}}{P_t}\right)^{-\sigma_t} Y_t$ 。由零利润条件可得最终品价格方程:  $P_t = (\int_0^1 (P_{k,t})^{1-\sigma_t} dk)^{1/1-\sigma_t}$ 。

### (三) 政府部门

假定政府部门能够无偿取得化石资源并将能源出售给中间品生产商,同时将获得的收益通过转移支付分配给家庭部门,那么政府的预算约束将始终保持平衡。政府通过设定化石资源价格  $P_{z,t}$  控制碳排放,在这种情况下,政府设定每单位碳排放量的实际价格就是碳税。同时,政府部门运用泰勒规则制定货币政策来实现宏观经济调控。

货币政策遵循泰勒规则:

$$\frac{R_t}{R} = \left(\frac{R_{t-1}}{R}\right)^{l_R} \left[\left(\frac{\pi_t}{\pi}\right)^{l_\pi} \left(\frac{Y_t}{Y_t^*}\right)^{l_y}\right]^{1-l_R} e^{u_t} \quad (8)$$

$R$  表示名义利率稳态值,  $\pi$  表示通胀稳态值,  $Y_t^*$  表示经济潜在产出水平,  $l_R \in [0, 1]$  表示利率平滑系数,  $l_\pi > 0$  和  $l_y > 0$  分别表示名义利率对通货膨胀和产出缺口变化的响应。货币政策冲击  $u_t$  服从对数 AR(1) 过程,  $u_t = \rho_u u_{t-1} + \xi_{u,t}$ ,  $\xi_{u,t} \sim N(0, \sigma_u^2)$ 。

因为化石资源是无偿获得,所以经济的资源约束条件为:

$$Y_t = \int_0^1 C_{i,t} di \quad (9)$$

### (四) 市场出清

根据上述三部门方程,本文涉及的内生变量包括产出、消费、劳动、通货膨胀、利率和工资等,外生变量包括跨期偏好冲击、全要素生产率冲击、碳税政策冲击和货币政策冲击。为进一步简化,本文在市场出清的均衡稳态下对系统进行对数线性化处理。具体模型见表 1。

表 1 对数线性化模型

含义	方程
总需求(新凯恩斯 IS 曲线)	$y_t(1+h) = \tilde{E}_t y_{t+1} + h y_{t-1} - \frac{1-h}{\gamma} (r_t - \tilde{E}_t \pi_{t+1}) + v_t$
总供给(新凯恩斯菲利普斯曲线)	$\pi_t = \frac{1-\bar{\omega}\beta}{1+\beta\kappa} \frac{1-\bar{\omega}}{\bar{\omega}} mc_t + \frac{\beta}{1+\beta\kappa} \tilde{E}_t \pi_{t+1} + \frac{\kappa}{1+\beta\kappa} \pi_{t-1}$
中间品生产商边际成本	$mc_t = mc_y y_t - mc_\delta \delta_t - mc_z Z_t - mc_a a_t - mc_{y-1} y_{t-1}$
碳排放	$Z_t = \varphi mc_t + (\varphi-1) \delta_t + y_t - \varphi P_{z,t}$
碳排放存量	$m_t = \delta_M \frac{Z}{Z+Z^{RoW}} Z_t + (1-\delta_M) m_{t-1} + \delta_M \frac{Z}{Z+Z^{RoW}} Z_t^{RoW}$
环境损失	$\delta_t = -\eta (M - \bar{M}) m_t$
泰勒规则	$r_t = l_\pi \pi_t + l_y (y_t - y_t^*) + u_t$

$y_t$ ,  $mc_t$ ,  $Z_t$ ,  $P_{z,t}$ ,  $m_t$ ,  $y_t^*$  和  $\delta_t$  分别表示产出、边际成本、排放流、碳价格、碳排放存量、潜在产出和环境损失。从表 1 可以发现,当碳价  $P_{z,t}$  增加时,碳排放  $Z_t$  减少,边际成本  $mc_t$  增加;边际成本的增加会通

过 NK 菲利普斯曲线推动通胀率上升。因此,碳税政策可以通过提高中间品生产商的边际成本来推动通胀上升,对经济潜在产出产生负面影响。

### (五)引入异质性预期

经典的新凯恩斯模型通常假定个体为理性预期,尽管该假定为研究提供了简化与便利,但与真实经济脱离较大,无法准确刻画现实公众预期。在现实生活中,受认知局限、信息成本和信息处理能力等因素影响,个体预期并非是完全理性和高度一致的<sup>[27]</sup>,而是存在明显的有限性和异质性<sup>[26][27]</sup>。个体认知能力有限但又想做出尽可能准确的预测,因此,他们使用启发式的方法对未来经济变量进行预测并根据事后误差进行调整<sup>[38]</sup>。借鉴 De Grauwe 的研究<sup>[39][40]</sup>,本文采用两种预期规则:一种是外推型规则 e,即代理人基于产出和通胀的历史信息对未来经济进行预期, $\tilde{E}_{e,t}(y_{t+1}) = y_{t-1}$ , $\tilde{E}_{e,t}(\pi_{t+1}) = \pi_{t-1}$ ;另一种是基本型规则 f,即代理人预期未来产出等于潜在产出,未来通胀将回到央行目标水平, $\tilde{E}_{f,t}(y_{t+1}) = E_t y_{t+1}^*$ , $\tilde{E}_{f,t}(\pi_{t+1}) = 0$ 。根据上述两种代理人预期规则,最终社会总体预期可以表示为:

$$\tilde{E}_t(y_{t+1}) = a_{y,t}^f \tilde{E}_{f,t}(y_{t+1}) + a_{y,t}^e \tilde{E}_{e,t}(y_{t+1}) \quad (10)$$

$$\tilde{E}_t(\pi_{t+1}) = a_{\pi,t}^f \tilde{E}_{f,t}(\pi_{t+1}) + a_{\pi,t}^e \tilde{E}_{e,t}(\pi_{t+1}) \quad (11)$$

$a_{y,t}^e, a_{y,t}^f$  分别表示使用两种产出预期规则下代理人的比例, $a_{\pi,t}^e, a_{\pi,t}^f$  分别表示两种通胀预期规则下代理人的比例, $a_{y,t}^f + a_{y,t}^e = 1, a_{\pi,t}^f + a_{\pi,t}^e = 1$ 。

借鉴 Brock 等的异质性期望设定<sup>[41]</sup>,代理人根据测度成绩来选择最优的预期规则,成绩测度方程  $U_x^i$  表示为:

$$U_x^i = - \sum_{k=0}^{\infty} \gamma_k (\chi_{t-k-1} - \tilde{E}_{i,t-k-2} \chi_{t-k-1})^2 \quad (12)$$

式(12)表明  $t-1$  期的预期成绩为过去每期均方预测误差的加权平均值, $\gamma_k$  为权重,设  $\gamma_k = (1-\rho)\rho^k, 0 \leq \rho \leq 1$ 。 $\rho$  表示代理人的记忆能力,当  $\rho=1$  时,赋予代理人每期均方误差相等权重;当  $\rho=0$  时, $t-1$  期预测成绩完全由当期均方误差决定。

代理人在选择预期规则时,受到心理状态以及测量误差等因素的影响,选择预期规则  $i \in \{f, e\}$  的概率为  $P$ ,则有:

$$a_{\chi,t}^f = P [U_{\chi,t}^f + \zeta_{\chi,t}^f > U_{\chi,t}^e + \zeta_{\chi,t}^e] \quad (13)$$

$a_{\chi,t}^f$  表示使用基本型规则 f 的可能性, $\zeta_{\chi,t}^f$  和  $\zeta_{\chi,t}^e$  表示代理人在两种预期规则相互替代时的所有不可测因素。 $a_{\chi,t}^i$  比例可按照 Gibbs 概率规则调整参数,则有:

$$a_{\chi,t}^i = \frac{e^{\theta U_{\chi,t}^i}}{\sum_j e^{\theta U_{\chi,t}^j}} \quad (14)$$

式(14)中, $\theta$  主要反映代理人根据成绩测度规则选择最优策略的敏感性,即调整策略的速度。当  $\theta=0$  时,代理人选择每种预期规则的比重均等,代理人不根据过往测度成绩调整当期预期策略;当  $\theta \in (0, \infty)$  时,代理人根据过去测度成绩变化选择最优预期策略;当  $\theta=\infty$  时,代理人选择同种最优预期规则。

## 三、参数校准与估计

### (一)参数校准

本文根据中国实际数据和已有文献的设定对静态结构参数进行校准。参考已有研究的做法<sup>[10]</sup>,将时间贴现因子  $\beta$  校准为 0.99,对应季度实际利率为 1%;中间品替代弹性  $\sigma$  校准为 6<sup>[42]</sup>;将劳动和化石资源之间的替代弹性  $\varphi$  校准为 0.3;将中间品生产商价格调整的概率  $\omega$  校准为 0.75;将生产商定价的价格指数程度化参数  $\kappa$  校准为 0.2<sup>[43]</sup>;将全球年二氧化碳排放量校准为 416.85 亿吨<sup>[44]</sup>;将碳排放自然衰减系数  $\delta_M$  校准为 0.0021<sup>[42]</sup>;将因气候变化造成的产出损失比例  $\Delta$  校准为 0.026<sup>[10]</sup>;将测量代

理人记忆能力的参数  $\rho$  校准为 0.41;将学习参数  $\theta$  校准为 4685<sup>[44]</sup>;基础模型中使用标准泰勒利率规则。同时,本文利用《中国能源统计年鉴》和市场能源价格计算得到,2022 年我国能源支出与 GDP 之比约为 4%,为此将 CES 生产函数中化石资源投入贡献的准份额参数  $\zeta$  校准为 0.04。根据 IEA 统计,2021 年中国占全世界二氧化碳排放的 31.72%。本文将使用外推型规则制定预期的代理人比例初始值设置为 0.5。具体参数校准情况见表 2。

表 2 相关参数校准

参数	参数含义	校准	参数	参数含义	校准
$\beta$	时间贴现因子	0.99	$\rho$	记忆能力	0.41
$\sigma$	中间品替代弹性	6	$\theta$	学习参数	4685
$\varphi$	生产要素替代弹性	0.3	$l_R$	利率平滑系数	0
$\bar{\omega}$	价格调整概率	0.75	$l_\pi$	通胀反应系数	1.5
$\kappa$	价格指数程度化	0.2	$l_y$	产出反应系数	0.125
$\zeta$	准份额参数	0.04	$\Delta$	产出损失比例	0.026
$\delta_M$	自然衰减系数	0.0021	$\rho_{PZ}$	碳税冲击滞后系数	0.999

## (二)参数估计

本文将选取产出、通胀率和利率三个观测变量对剩余参数进行贝叶斯估计,具体选取 2007 年第一季度至 2023 年第四季度的中国实际 GDP、通胀率和银行同业拆借加权平均利率(三个月)进行计算<sup>②</sup>。对 GDP 季度数据进行季节调整并取对数,随后使用 HP 滤波方法进行去趋势处理;将银行同业拆借加权平均利率(三个月)月度数据化计算,得到名义利率;通胀率的季度数据直接来自 trading economics 网站。通胀率和名义利率是平稳变量,直接与模型中的变量等价。本文中的先验分布设定均与已有文献保持一致。估计结果见表 3。

表 3 贝叶斯估计结果

参数	先验分布	先验均值	先验标准差	后验均值	后验标准差	90%置信区间
$h$	Beta	0.5	0.05	0.3482	0.0106	(0.3333,0.3670)
$\gamma$	Gamma	1.0	0.05	1.0369	0.0508	(0.9602,1.1238)
$\varphi$	Gamma	1.0	0.05	1.0099	0.0516	(0.9177,1.0834)
$\rho_a$	Beta	0.8	0.1	0.7940	0.1009	(0.6450,0.9538)
$\rho_u$	Beta	0.8	0.1	0.6999	0.0224	(0.6644,0.7339)
$\rho_v$	Beta	0.8	0.1	0.7990	0.0973	(0.6537,0.9481)
$\sigma_a$	Inv.Gamma	0.01	4	0.0106	0.0030	(0.0060,0.0158)
$\sigma_u$	Inv.Gamma	0.01	4	0.0167	0.0014	(0.0145,0.0190)
$\sigma_v$	Inv.Gamma	0.01	4	0.0021	0.0002	(0.0017,0.0025)

## 四、数值模拟与机制分析

碳税作为一种有效的碳减排工具,已在全球 32 个国家和地区推广和实施,并取得积极成效。为实现碳减排和宏观经济稳定的双重目标,各国的碳税征收方案不尽相同,主要体现在碳税税率、政策节奏和政策预期等方面。为此,本文引入三种碳税政策模拟情境,情境一:考虑气候治理的长期性以及政策的稳定性,碳税政策出台后并不会在短期内变化,本文首先引入永久性碳税政策冲击  $P_{z_t} = \rho_{PZ} P_{z_{t-1}} + \xi_{PZ,t}$ ,  $\xi_{PZ,t} \sim N(0, \sigma_{PZ}^2)$ ;情境二:为研究碳税征收节奏的政策效果,本文引入一个递增式的碳税政策冲击,即随着碳税征收时间延长碳税逐渐提高;情境三:为研究政策预期对碳税政策效果的影响,本文引入提前发布但滞后 3 期实施的碳税。

### (一)碳税政策冲击的宏观经济动态影响

经过上述的参数校准和冲击设置,本文将在理性预期和异质性预期两种预期行为下模拟三种碳税政策对宏观经济的影响。在永久性碳税冲击下,两种模型(异质性预期模型和理性预期模型)中主要宏观经济变量的动态响应如图 1 所示。

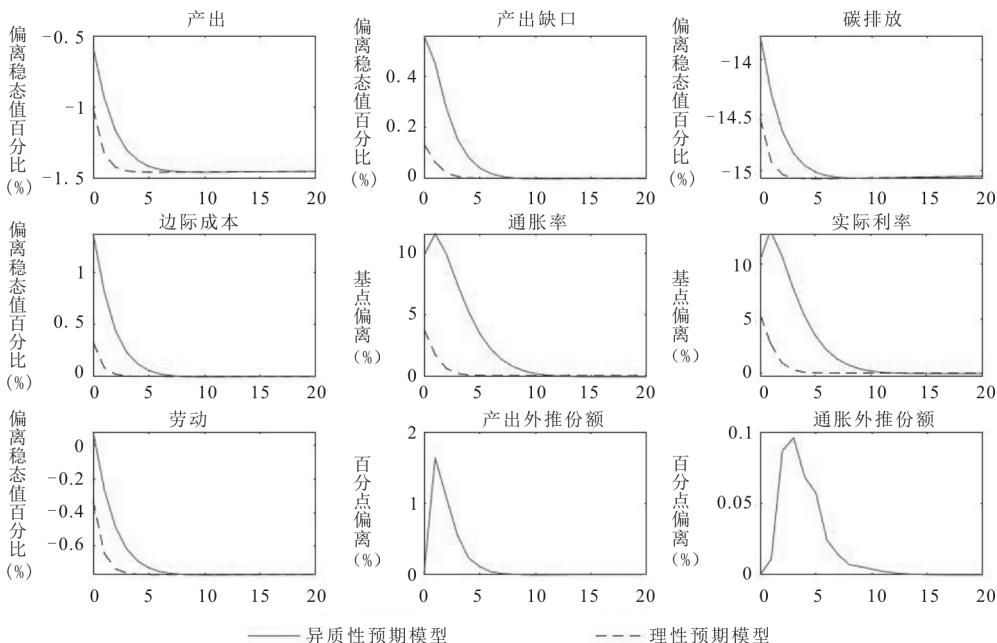


图1 永久性碳税冲击的影响

永久性碳税政策要实现 15% 的碳减排目标,碳税要提高 46%。在异质性预期模型下,实施永久性碳税要达到 15% 的碳减排目标所需的时间是理性预期模型下的两倍,理性预期下实现减排目标仅需二期,而异质性预期下需要五期。同时,在不同预期模型下,宏观经济变量的动态反应也存在区别。虽然宏观经济变量的变动趋势基本相同,但与理性预期模型相比,异质性预期模型中宏观经济变量的波动幅度和时长都有明显扩大和延长。

碳税政策实施后,化石能源投入价格上涨推动中间品生产商的边际成本上升,导致产出下降。相较于异质性预期模型,理性预期模型下产出在碳税政策实施初期下降幅度更大。上述结果产生的原因在于:理性预期代理人能够准确预见碳税政策的未来路径,及时调整其最优决策,从而迅速减少能源使用和劳动投入,以应对未来相对价格与收入水平的变化。这种前瞻性行为虽然提升了碳减排的即时效应,但也加剧了短期内的经济收缩。与此同时,理性代理人也预期到碳税将永久性地改变生产成本结构和劳动市场供需关系,进而对未来收入形成持续性负面预期,从而提前压缩了消费支出,进一步放大了产出下降幅度。

相比之下,在异质性预期模型中,代理人的反应更为迟缓。由于部分代理人(特别是采用外推型预期规则者)依据过去变量的变化趋势进行预期更新,在政策初期往往低估碳税的持续性与强度,因此对生产与消费决策的调整更为保守。这种“滞后适应”行为,使得宏观经济变量的整体调整路径更加平缓,碳税政策的短期效应在一定程度上被削弱。一方面,使用基本型规则的代理人认为产出将恢复到潜在产出水平,但代理人并未考虑到短期内实际产出与潜在产出之间的缺口,从而产生预测误差,致使外推型预期规则的代理人比例份额增加。随着产出缺口逐渐收窄,基本型预期规则得到验证,致使外推型预期规则的代理人比例份额逐渐回落。另一方面,采用外推型预期规则的代理人是完全后向的,认为碳税政策只是暂时性冲击。因此,在转型过程中,代理人缓慢调整其消费水平,维持过去的总需求和生产水平,这减缓了向绿色经济过渡的速度,延长了实现减排目标的时间。碳税政策冲击对边际成本和潜在产出的影响在经济中传导,从而导致通胀率上升和产出下降,形成正向的产出缺口。价格刚性一定程度上抑制了产出的下降幅度,使产出下降幅度小于价格完全灵活时的情况。通胀率上升导致央行提高名义利率水平以维持通胀目标,但异质性预期延缓了调整过程。同时,通胀外推份额的增加,使通胀压力更加明显。因此,相较于理性

预期的标准假设, 异质性预期通过影响经济整体调整速度, 加剧了宏观经济波动, 特别是在短期内更加明显。

在递增式碳税冲击下, 两种模型(异质性预期模型和理性预期模型)中主要宏观经济变量的动态响应如图 2 所示。递增式的碳税政策要实现 15% 的碳减排目标, 碳税在第四期时要累计提高至 47%。从图 2 中可以发现, 递增式的碳税政策要实现 15% 的碳减排目标所花费的时间在两种模型中基本相同。但在不同预期模型下, 宏观经济变量的动态反应存在区别。产出缺口、边际成本、通胀率和真实利率在两种模型中出现了相反的变动趋势, 产出和劳动具有相同的变动趋势。但相较于理性预期而言, 异质性预期模型下产出和劳动的波动更为平缓, 其中可能的原因是, 异质性预期使社会经济调整放缓, 致使产出和劳动的波动幅度小于理性预期的情况。

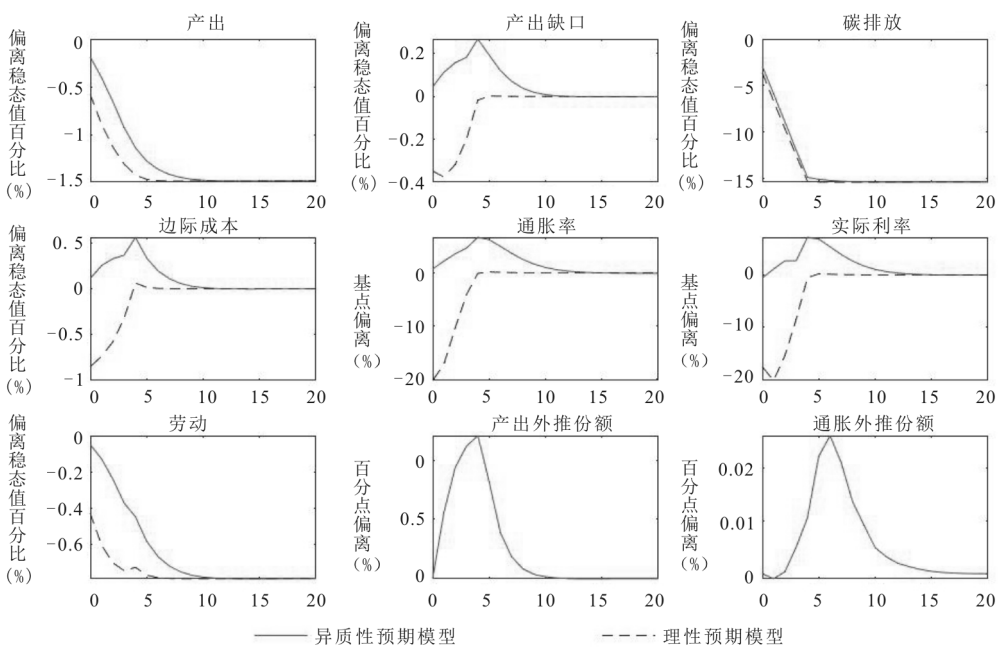


图 2 递增式碳税冲击的影响

对比永久性碳税冲击可以发现, 在异质性预期下, 主要宏观经济变量对两种碳税政策的动态反应趋势基本相同, 相关机制与上述永久性碳税政策情境相同, 此处不再赘述。但在递增式的碳税冲击下主要宏观经济变量的波动明显收窄。同时, 产出缺口、边际成本、通胀率和真实利率都经历了先上升后下降的过程, 且在第四期时发生转折, 这是由碳税在前四期递增引起的。

在理性预期模型下, 主要宏观经济变量对上述两种碳税政策冲击的动态反应有所不同, 甚至相反。尽管碳税在初期以较小的幅度递增, 但也提高了中间品生产商的边际成本。由于在碳税政策执行初期碳排放的成本较低, 所以企业对化石能源需求的下降幅度较小, 导致初期碳排放下降幅度也较小。理性预期的中间品生产商可以内化碳税政策冲击并迅速做出经济调整, 为降低生产成本而选择减少生产规模, 导致产出和就业减少。劳动市场的供给过剩导致工资水平下降, 生产商通过压低工资来缓解碳税冲击导致的边际成本上升压力。产出收缩和工资下降的压力共同作用于边际成本, 两者合力大于碳税引致的边际成本上升, 使初期边际成本下降。随着碳排放的成本越来越高, 中间品生产商的边际成本在第四期也略高于稳态值。同时, 生产收缩抑制了企业资金需求, 导致实际利率下降。经济活动水平下降产生负向的产出缺口, 表明经济处于低迷状态, 存在生产能力未被充分利用的问题。为应对通货紧缩现象, 央行会采取降息政策刺激经济, 但这可能导致实际利率进一步下降。

在提前发布但滞后 3 期实施的碳税冲击下, 两种模型(异质性预期模型和理性预期模型)中主要

宏观经济变量的动态响应如图 3 所示。提前发布但滞后实施的碳税政策要实现 15% 的碳减排目标，碳税要提高至 46.5%。从图 3 中可以发现，在异质性预期模型下，提前发布但滞后实施的碳税政策要达到 15% 的碳减排目标所需时间相较于理性预期模型下多了 2 期。两种预期模型下主要宏观经济变量对碳税政策冲击的动态反应趋势基本相同。在前 3 期内，主要宏观经济变量均呈明显的下降趋势，随着碳税政策的实施，主要宏观经济变量开始上升。

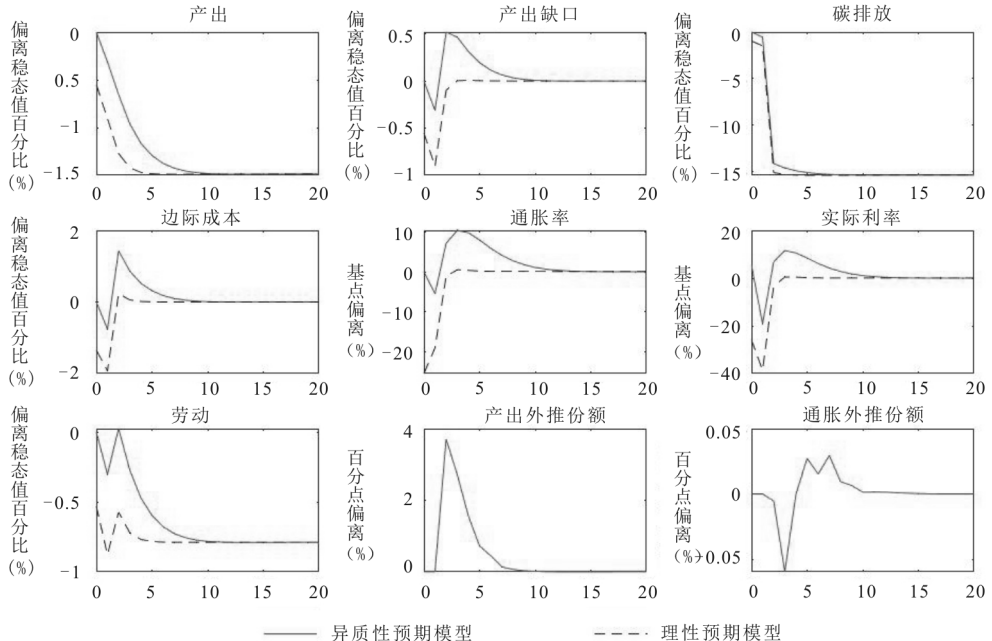


图 3 滞后三期碳税冲击的影响

对比前两种碳税政策发现，提前发布但滞后三期实施的碳税政策冲击加剧了主要宏观经济变量的波动，边际成本、产出缺口、通胀率和实际利率在异质性预期模型中都经历了先下降后上升再下降的过程，而在其他两种碳税政策冲击下只经历了先上升后下降的过程，其中可能的原因是：提前发布但滞后三期实施的碳税政策影响了代理人预期，虽然初期碳税政策没有实施，但代理人为了应对未来碳税实施导致的边际成本上升压力会选择提前减产，致使生产要素需求减少，边际成本下降。当碳税政策实施后，中间品生产商的边际成本提高推动了通胀率上升，此时的情境与上文在分析永久性碳税冲击导致的宏观经济变量波动时观察到的传导机制相同。通胀外推份额的变动与前两种碳税政策冲击引起的变动趋势有显著差异，其中可能的原因是，提前发布碳税政策使采用外推型预期规则的代理人意识到这种冲击是长期的，而不是暂时的，致使通胀外推比例份额下降。

(二)福利分析

为更好比较上述三种碳税政策在经济低碳转型过程中的表现，设定社会福利损失函数为：

$$L = \vartheta \sigma_{\pi} + (1 - \vartheta) \sigma_{y-y^*} \tag{15}$$

$\sigma_{\pi}$  表示通胀的标准差， $\sigma_{y-y^*}$  表示产出缺口的标准差， $\vartheta$  衡量了对物价稳定的偏好，为便于解释本文的结果，将该参数设定为 0.5。表 4 展示了两种模型下(异质性预期模型和理性预期模型)，上述三种碳税政策冲击引起的主要宏观经济变量波动和社会福利损失情况。可以发现，三种碳税政策冲击都会造成宏观经济波动和社会福利损失，而不同的碳税政策冲击在不同的预期模型下所造成的宏观经济波动和社会福利损失有所不同。比较社会福利损失发现，在理性预期模型下，永久性碳税是最优的碳税模式。而在异质性预期模型下，递增式碳税政策则成为最优的碳税模式。

理性预期模型			
	永久性碳税	递增式碳税	滞后三期的碳税
产出缺口标准差	0.1532	0.6413	1.0659
通胀标准差	0.0500	0.2931	0.3169
福利损失	0.1016	0.4672	0.6914
异质性预期模型			
	永久性碳税	递增式碳税	滞后三期的碳税
产出缺口标准差	0.8169	0.5033	0.9043
通胀标准差	0.2153	0.1481	0.2167
福利损失	0.5161	0.3257	0.5605

## 五、货币政策调控

从上述模拟结果来看,碳税政策会引起宏观经济波动和社会福利损失。为此,本文在上述基准模型中引入不同泰勒规则下的多种货币政策,探讨多种货币政策规则的调控效果,并通过计算社会福利找到最优政策组合。

### (一)碳税政策与标准泰勒规则下不同货币政策实施力度的组合效果

本文考虑了参数 $l_r$ 、 $l_\pi$ 和 $l_y$ 的不同组合,模拟出标准泰勒规则下不同政策实施力度的效果,具体数值设定见表5和表6。其中,表5展示的是理性预期模型中碳税政策与标准泰勒规则下不同政策实施力度的政策组合效果;表6展示的是异质性预期模型中碳税政策与标准泰勒规则下不同政策实施力度的政策组合效果。相较于基准模型,加强货币政策对通胀和产出缺口的反应都会减缓由碳税政策冲击引起的宏观经济波动,改善社会福利。相反,弱化货币政策对通胀和产出缺口的反应则会加剧由碳税政策冲击引起的宏观经济波动,加重社会福利损失。同时,仅关注通胀的泰勒规则会放大通胀和产出缺口的波动。

在异质性预期模型中,货币政策对产出缺口和通胀的更强反应使货币政策更具有限制性,促使经济更快地恢复到长期均衡。在这种情况下,采用基本型规则的代理人效果得到了货币政策的验证,央行的努力稳定了市场预期,减少了宏观经济波动。随着利率平滑参数的提高,大多数模拟中碳税政策冲击导致的宏观经济波动得到了控制。当宏观经济受到滞后的碳税政策冲击时却面临更大的波动风险,可以看到,当利率平滑系数从0.3增加到0.7时,经济中的产出缺口波动更加剧烈,福利损失进一步加剧,其中可能的原因是,货币政策当局渐进式且较大幅度地调整利率无法有效应对宏观经济波动,此时需要较大幅度的货币政策调整。

在理性预期模型中,货币政策对通胀反应的略微下调会引起通胀的剧烈波动。而在异质性预期模型中,相同的下调幅度仅会导致轻微的通胀波动。上述结果产生的原因可能是,受异质性预期影响,

表 5 理性预期模型下碳税政策与标准泰勒规则下不同货币政策实施力度的组合效果

永久性碳税			
	$l_y = 0$	基准模型	$l_y = 0.5$
产出缺口标准差	0.1687	0.1532	0.1213
通胀标准差	0.0550	0.0500	0.0406
福利损失	0.1119	0.1016	0.0809
	基准模型	$l_r = 0.3$	$l_r = 0.7$
产出缺口标准差	0.1532	0.1375	0.1242
通胀标准差	0.0500	0.0349	0.0230
福利损失	0.1016	0.0862	0.0736
	$l_\pi = 1$	基准模型	$l_\pi = 2$
产出缺口标准差	0.2024	0.1532	0.1397
通胀标准差	1.8541	0.0500	0.0405
福利损失	1.0283	0.1016	0.0901

递增式碳税			
	$l_y=0$	基准模型	$l_y=0.5$
产出缺口标准差	0.7353	0.6413	0.4633
通胀标准差	0.3371	0.2931	0.2109
福利损失	0.5362	0.4672	0.3371
	基准模型	$l_r=0.3$	$l_r=0.7$
产出缺口标准差	0.6413	0.4971	0.3862
通胀标准差	0.2931	0.2047	0.1144
福利损失	0.4672	0.3509	0.2503
	$l_\pi=1$	基准模型	$l_\pi=2$
产出缺口标准差	0.7969	0.6413	0.5302
通胀标准差	1.9039	0.2931	0.2469
福利损失	1.3504	0.4672	0.3885
滞后三期实施碳税			
	$l_y=0$	基准模型	$l_y=0.5$
产出缺口标准差	1.1804	1.0659	0.8334
通胀标准差	0.3568	0.3169	0.2391
福利损失	0.7686	0.6914	0.5362
	基准模型	$l_r=0.3$	$l_r=0.7$
产出缺口标准差	1.0659	0.9345	0.8282
通胀标准差	0.3169	0.2471	0.1726
福利损失	0.6914	0.5908	0.5004
	$l_\pi=1$	基准模型	$l_\pi=2$
产出缺口标准差	1.1827	1.0659	0.9699
通胀标准差	1.8870	0.3169	0.2862
福利损失	1.5349	0.6914	0.6281

经济整体调整放缓,进而在一定程度上抑制了通胀波动,此时,货币政策对通胀反应的略微下调不会对物价稳定产生太大影响。

总的来说,传统货币政策与碳税政策的协同作用可以平抑市场预期并有效缓解碳税政策实施导致的宏观经济波动,但需要央行付出更大努力,央行可以在不过度发挥其政策调整力度的基础上支持碳税政策实施。

## (二)碳税政策与不同泰勒规则下货币政策的组合效果<sup>③</sup>

为进一步分析货币政策的调控效果,本文考虑了不同泰勒规则下的货币政策,并具体设定了不同的泰勒规则。

后顾性泰勒规则 $M_1$ :

$$r_t = l_\pi \pi_{t-1} + l_y (y_{t-1} - y_{t-1}^*) + u_t \quad (16)$$

表 6 异质性预期模型下碳税政策与标准泰勒规则下不同货币政策实施力度的组合效果

永久性碳税			
	$l_y=0$	基准模型	$l_y=0.5$
产出缺口标准差	0.9401	0.8169	0.5978
通胀标准差	0.2537	0.2153	0.1491
福利损失	0.5969	0.5161	0.3735
	基准模型	$l_r=0.3$	$l_r=0.7$
产出缺口标准差	0.8169	0.7504	0.7254
通胀标准差	0.2153	0.1882	0.1662
福利损失	0.5161	0.4693	0.4458
	$l_\pi=1$	基准模型	$l_\pi=2$
产出缺口标准差	0.9345	0.8169	0.7325
通胀标准差	0.2547	0.2153	0.1874
福利损失	0.5946	0.5161	0.4600

递增式碳税			
	$l_y=0$	基准模型	$l_y=0.5$
产出缺口标准差	0.5825	0.5033	0.3555
通胀标准差	0.1725	0.1481	0.1031
福利损失	0.3775	0.3257	0.2293
	基准模型	$l_r=0.3$	$l_r=0.7$
产出缺口标准差	0.5033	0.4319	0.3559
通胀标准差	0.1481	0.1242	0.0946
福利损失	0.3257	0.2780	0.2253
	$l_\pi=1$	基准模型	$l_\pi=2$
产出缺口标准差	0.5885	0.5033	0.4397
通胀标准差	0.1753	0.1481	0.1281
福利损失	0.3819	0.3257	0.2839
滞后三期实施碳税			
	$l_y=0$	基准模型	$l_y=0.5$
产出缺口标准差	0.9806	0.9043	0.7457
通胀标准差	0.2406	0.2167	0.1691
福利损失	0.6106	0.5605	0.4574
	基准模型	$l_r=0.3$	$l_r=0.7$
产出缺口标准差	0.9043	0.8775	0.9048
通胀标准差	0.2167	0.2007	0.1935
福利损失	0.5605	0.5391	0.5492
	$l_\pi=1$	基准模型	$l_\pi=2$
产出缺口标准差	0.9707	0.9043	0.8522
通胀标准差	0.2403	0.2167	0.1986
福利损失	0.6055	0.5605	0.5254

前瞻性泰勒规则 $M_2$  :

$$r_t = l_\pi E_t \pi_{t+1} + l_y E_t (y_{t+1} - y_{t+1}^*) + u_t \quad (17)$$

锚定产出增长泰勒规则 $M_3$  :

$$r_t = l_\pi \pi_t + l_y (y_t - y_{t-1}) + u_t \quad (18)$$

在理性预期模型中,后顾性泰勒规则的货币政策有利于改善上述三种碳税政策冲击引起的社会福利损失;前瞻性泰勒规则的货币政策会加剧上述三种碳税政策冲击导致的社会福利损失。

在永久性碳税政策冲击下,锚定产出增长泰勒规则的货币政策相较于基准模型表现不佳,可能的原因是,在永久性碳税政策冲击下,央行采取扩张性货币政策应对产出下降,即降低利率,将进一步推高通胀水平,加剧价格波动。在递增式碳税政策冲击下,锚定产出增长泰勒规则的货币政策相较于基准模型表现较好,可能的原因是,央行会采取扩张性货币政策刺激产出增长,但与永久性碳税政策冲击不同的是,递增式碳税政策冲击会导致通货紧缩,此时使用扩张性货币政策有利于减少通胀波动;在提前发布但滞后三期实施的碳税政策冲击下,锚定产出增长泰勒规则的货币政策相较于基准模型表现不佳,可能的原因是,在该种碳税政策冲击下,通胀率经历了先下降后上升的过程,但通胀率上升的持续时间更长,如果一直采用扩张性货币政策刺激经济增长,将极有可能进一步推高通胀,加剧通胀波动。

在异质性预期模型中,后顾性泰勒规则和锚定产出增长泰勒规则的货币政策会扩大上述三种碳税政策冲击导致的社会福利损失;前瞻性泰勒规则有利于改善递增式和滞后三期实施碳税政策冲击导致的社会福利损失,但前瞻性泰勒规则的货币政策会扩大永久性碳税政策冲击导致的社会福利损失。相较于理性预期模型,异质性预期模型展现了更为复杂的政策组合效果。

通过横向对比可以发现,前瞻性泰勒规则的货币政策在理性预期模型中表现不佳,而在异质性预期模型中表现较好的原因可能是,央行根据公众对经济形势的预期来调整利率,提高了货币政策的可信度和透明度,稳定了市场预期,平抑了宏观经济波动。后顾性泰勒规则的货币政策在理性预期模型中表现

较好,而在异质性预期模型中表现不佳的原因可能是,由于价格粘性和异质性预期的存在,市场预期调整缓慢,根据后顾性泰勒规则的适应性预期来调整名义利率,容易出现政策时滞,因而难以有效应对当前的宏观经济波动。锚定产出增长泰勒规则下的货币政策在异质性预期模型下表现均不佳的原因可能是,三种碳税政策冲击都会导致产出下降,产出缺口和通胀率上升。若使用锚定产出增长泰勒规则的货币政策,央行将会采取扩张性货币政策以促进经济恢复,但这将进一步推高通胀,加剧通胀波动。

通过比较社会福利损失发现,在理性预期模型中,后顾性泰勒规则的货币政策与永久性碳税政策搭配使用是最优的政策组合;而在异质性预期模型中,前瞻性泰勒规则的货币政策与递增式碳税政策搭配使用则是最优的政策组合。

### (三)稳健性检验<sup>①</sup>

在动态随机一般均衡(DSGE)模型中,稳健性检验是评估模型结果可靠性和稳定性的重要步骤。常见的稳健性检验方法包括参数敏感性检验和结构敏感性分析,我们将采用这两种方法检验模型的稳健性。

#### 1.参数敏感性检验

参数敏感性检验通过对模型参数进行微小的调整,检查模型结果如何变化。如果模型对参数变化不敏感,则说明模型结果是稳健的。本文中 DSGE 模型参数的处理方法是,对静态参数进行校准,对动态参数采用贝叶斯估计方法进行估计。部分参数具有较强敏感性,并且参数的校准存在差异,因此,本文对参数重新进行校准,以评估模型的稳健性<sup>[45][46]</sup>。通过对已有文献的整理,国内外研究者对家庭部门的主观贴现因子  $\beta$  的取值范围为  $[0.960, 0.998]$ ,中间品替代弹性  $\sigma$  的取值范围为  $[4, 8]$ ;生产要素替代弹性  $\lambda$  的取值范围为  $[0.3, 0.5]$ 。鉴于此,本文进行稳健性检验时,取家庭主观贴现因子为 0.98,中间品替代弹性为 5,生产要素替代弹性为 0.4。通过对部分参数重新进行校准,我们计算了三种碳税政策冲击下的社会福利损失。三种碳税政策所造成的社会福利损失与原模型结果基本一致,表明本文模型具有较好的稳健性。

#### 2.结构敏感性分析

结构敏感性分析的目的是评估模型在面对不同假设或结构性变化时的稳健性。一个稳健的模型应该能够在一定范围内承受各种结构性假设的变化,且其核心结果保持相对稳定。通过改变 Gibbs 概率规则,引入代理人异步更新预测规则的可能性,可以得到:

$$a_{i,t}^i = \delta_i a_{i,t-1}^i + \frac{(1 - \delta_i) e^{\theta U_{i,t}^k}}{\sum_i e^{\theta U_{i,t}^k}} \quad (19)$$

式(19)中,异步更新参数  $\delta_i$  表示代理人选择预测规则的惯性。改变模型结构后,永久性碳税政策冲击所造成的社会福利损失与原模型结果基本一致,表明本文模型具有较好的稳健性。综上所述,参数敏感性检验和结构敏感性分析的结果都证明了文中构建的 NK-DSGE 模型具有较好的稳健性。

## 六、结论及政策建议

### (一)研究结论

在积极推动经济低碳转型过程中如何有效进行气候治理并保证经济平稳过渡是实现“双碳”目标的重要议题。本文将两种预期行为下的三种碳税政策(永久性碳税政策、递增式碳税政策、提前发布但滞后三期实施的碳税政策)纳入 DSGE 模型,考察其对宏观经济的影响及内在作用机制,并在此基础上引入社会福利函数,探讨货币政策的调控效果。

在理性预期模型下,永久性碳税政策为表现最佳的碳税模式。理性预期代理人能够内化永久性碳税政策冲击并迅速做出经济调整,而对其他两种碳税政策,代理人则需要根据碳税变动做出频繁的经济调整,延长了经济适应时间,进而加剧了宏观经济波动。与此同时,在标准泰勒规则下引入不同货币政策实施力度,永久性碳税政策仍为最优的碳税政策模式,通过加强货币政策实施力度更能够有效应对由碳税政策冲击引起的宏观经济波动;在其他三种泰勒规则(前瞻性泰勒规则、后顾性泰勒规

则和锚定产出增长的泰勒规则)下,永久性碳税政策仍是最优的碳税政策模式,但后顾性泰勒规则的货币政策搭配永久性碳税政策是最优的政策组合。

在异质性预期模型下,递增式碳税政策为表现最佳的碳税模式。相较于理性预期,异质性预期减缓了社会经济调整速度,使宏观经济面对永久性和滞后三期实施的碳税政策冲击时产生更大的波动。在递增的碳税冲击下,代理人缓慢的经济调整速度可以与这种循序渐进的征收节奏相适应,产生的宏观经济波动更小。本文在标准泰勒规则下引入不同货币政策实施力度,发现递增式碳税政策仍为最优的碳税政策模式,但通过加强货币政策实施力度更能够有效应对由碳税政策冲击引起的宏观经济波动;在其他三种泰勒规则(前瞻性泰勒规则、后顾性泰勒规则和锚定产出增长的泰勒规则)下,递增式碳税政策仍是最优的碳税政策模式,但前瞻性泰勒规则的货币政策搭配永久性碳税政策是最优的政策组合。

## (二)政策建议

基于研究结论,本文提出四个方面的政策建议。(1)中国在探索碳税之路时,应深入借鉴国际先进经验。从当前国际实践来看,采取渐进式递增的碳税征收策略,能够在实现碳减排目标的同时,有效缓解宏观经济受到的冲击。因此,在碳税征收初期,可考虑设立一个缓冲期,在此期间逐步上调碳税税率,直至达到既定的政策目标。在碳税实施过程中,政府应充分考虑适度的冲击减缓机制,使公众的经济调整进程与碳税政策的征收节奏相匹配,以缓解市场预期带来的经济波动。此外,应建立健全相关监管体系,对碳税政策的执行情况进行监督,并定期开展政策效果评估。根据评估结果,及时调整政策参数,以确保碳税政策能够持续发挥其在促进经济低碳转型方面的积极作用。(2)中国碳税政策的实施应该遵循“渐进式”推行路径。政策初期,由于信息不对称、市场主体认知不一,社会经济更符合“异质性预期”特征,在异质性预期下,经济调整速度慢,递增式碳税可以给予企业充分的适应和调整时间,避免“永久性碳税”可能带来的突然剧烈冲击,从而最大限度地减少宏观经济波动,维护社会稳定和经济增长。当碳税政策运行一段时间,市场机制不断完善,社会对政策的理解和信任加深后,经济会逐渐趋向“理性预期”。同时,通过公布政策推行的长期路线图本身就是最强有力的预期管理工具,能够减少政策不确定性,帮助市场主体形成稳定预期,并逐步引导“异质性预期”向“理性预期”收敛,为未来转向更高效的碳定价模式奠定基础。(3)应加强货币政策与碳税政策的协同,实施“前瞻性”的货币政策调控。为确保碳税政策的顺利实施,有必要高度重视其与货币政策的协调配合,中国人民银行应明确将碳税因素纳入货币政策框架,并在碳税政策推行初期侧重于采用“前瞻性泰勒规则”。这意味着央行在调整利率等货币政策工具时,不应仅基于当前的通胀和产出数据,更要主动预判和评估未来因碳税实施可能引发的“绿色通胀”压力、产业结构调整对潜在产出的影响,并对此进行提前响应。(4)中国在实施碳税政策中应重视并构建一套常态化的、高质量的政策评估与反馈机制,规划从“递增式碳税”向“永久性碳税”的动态转换路径。政府可以通过设立专门机构,评估碳税政策的减排效果、宏观经济影响以及社会预期的演变情况,待评估结果显示市场已充分理解并内化了碳成本,企业低碳投资已成为稳定趋势,社会预期趋于理性时,就应积极筹备向“永久性碳税”模式的过渡,同时将货币政策的配合模式调整为“后顾性泰勒规则”,以此锁定减排成果,并以最低的社会总成本实现“双碳”目标。

## 注释:

①当经济脱离稳态时,异质性预期的代理人会相互借贷,该惩罚替代了限制借贷的制度安排。

②数据来自中经网和 trading economics 网站。

③④因篇幅所限,结果未展示,留存备索。

## 参考文献:

[1] 王博,徐飘洋.碳定价、双重金融摩擦与“双支柱”调控[J].金融研究,2021(12):57-74.

[2] 中国财政科学研究院课题组,傅志华,程瑜,等.在积极推进碳交易的同时择机开征碳税[J].财政研究,2018(4):2-19.

[3] 杨翱,刘纪显,吴兴弈.基于 DSGE 模型的碳减排目标和碳排放政策效应研究[J].资源科学,2014(7):

- [4] 王丹舟,王心然,李俞广.国外碳税征收经验与借鉴[J].中国人口·资源与环境,2018(S1):20—23.
- [5] 陈若愚,李硕实,丁志明.碳税政策、银行风险敞口与宏观审慎监管[J].华东经济管理,2025(8):38—49.
- [6] 胡小文,项后军.碳减排政策、银行系统性金融风险与“双支柱”调控[J].中国人口·资源与环境,2023(10):146—155.
- [7] Annicchiarico, B., Di Dio, F. Environmental Policy and Macroeconomic Dynamics in a New Keynesian Model[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2015, 69:1—21.
- [8] 黄孝武,赵鑫.国际贸易隐含碳转移溢出、转型风险与宏观金融稳定[J].中南财经政法大学学报,2024(5):84—96.
- [9] Mohommad, A. Employment Effects of Environmental Policies-Evidence from Firm-Level Data[Z]. IMF Working Paper, 2021(No.140).
- [10] 陈国进,陈凌凌,金昊,等.气候转型风险与宏观经济政策调控[J].经济研究,2023(5):60—78.
- [11] 朱民,彭道菊.创新内含碳中和目标的结构性货币政策[J].金融研究,2022(6):1—15.
- [12] 危平,舒浩,成静涛.气候变化背景下搁浅资产理论的演变[J].金融论坛,2021(9):70—80.
- [13] 张涛,侯宇恒,曲晓溪,张卓群.碳循环、气候变化与金融风险——基于 DSGE 模型[J].中国人口·资源与环境,2023(8):1—12.
- [14] 中国人民银行研究局课题组.气候相关金融风险——基于央行职能的分析[Z].中国人民银行工作论文,2020, No.2020/3.
- [15] 田方钰,刘海英,刘达禹.动态最优碳税、适度减排关注与经济绿色转型[J].财经科学,2024(3):73—88.
- [16] 刘家松.日本碳税:历程、成效、经验及中国借鉴[J].财政研究,2014(12):99—104.
- [17] 白彦锋,岳童,童健.碳税征管的理论与实践与策略选择[J].经济理论与经济管理,2023(11):17—29.
- [18] Carattini, S., Heutel, G., Melkadze, G. Climate Policy, Financial Frictions, and Transition Risk[Z]. NBER Working Paper, 2021, No.28525.
- [19] 程时雄,陈慧,汤李琛,等.绿色金融试点政策与企业碳排放——来自重污染企业的证据[J].技术经济,2025(9):111—125.
- [20] 张涛,侯宇恒,张卓群.低碳转型政策对宏观经济的影响研究——基于 DSGE 模型分析[J].产业经济评论,2022(6):57—70.
- [21] 卞晨,初钊鹏,孙正林.“双碳”目标与宏观经济政策目标何以兼顾? [J].华东经济管理,2024(3):58—73.
- [22] 王博,宋玉峰.气候变化的转型风险对宏观经济和金融稳定的影响——基于存量流量一致性模型视角[J].经济学动态,2020(11):84—99.
- [23] Diluio, F., Annicchiarico, B., Kalkuhl, M. Climate Actions and Stranded Assets: The Role of Financial Regulation and Monetary Policy[Z]. CESifo Working Paper, 2020, No. 8486.
- [24] Diluio, F., Annicchiarico, B., Kalkuhl, M. Climate Action and Macro-Financial Stability: The Role of Central Banks[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2021, 110:102548.
- [25] Giovanardi, F., Kaldorf, M., Radke, L. et al. The Preferential Treatment of Green Bonds[J]. Review of Economic Dynamics, 2023, 51:657—676.
- [26] 中国人民银行天津分行课题组.碳减排、转型风险与监管应对——基于 DSGE 的政策模拟研究[J].金融监管研究,2022(6):1—27.
- [27] 范从来,高洁超.适应性学习与中国通货膨胀非均衡分析[J].经济研究,2016(9):17—28.
- [28] Branch, W. A. The Theory of Rationally Heterogenous Expectations: Evidence from Survey Data on Inflation Expectations[J]. The Economic Journal, 2004, 114:592—621.
- [29] Hommes, C., Massaro, D., Weber, M. Monetary Policy under Behavioral Expectations: Theory and Experiment[Z]. Tinbergen Institute Discussion Paper, 2015.
- [30] 杨源源,张晓林,于津平.异质性预期、宏观经济波动与货币政策有效性——来自数量型和价格型工具的双重检验[J].国际金融研究,2017(9):25—34.
- [31] 张崇辉,黄婉翔,苏为华.工业能源需求、最优碳税与碳达峰——基于社会经济损益视角的分析[J].统计研究,2024(11):3—19.
- [32] 沈子夏.碳交易、碳排放权配额与绿色转型风险[J].经济学动态,2024(11):110—127.
- [33] Kurz, M., Piccillo, G., Wu, H. Modeling Diverse Expectations in an Aggregated New Keynesian Model[J]. Journal of Economic Dynamics & Control, 2013, 37(8):1403—1433.

- [34] Annicchiarico, B., Diluiso, F. International Transmission of the Business Cycle and Environmental Policy[J]. *Resource and Energy Economics*, 2019, 58(C):101112.
- [35] Nordhaus, D. Revisiting the Social Cost of Carbon[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2017, 114(7):1518—1523.
- [36] Golosov, M., Hassler, J., Krusell, P. et al. Optimal Taxes on Fossil Fuel in General Equilibrium[J]. *Econometrica*. 2014, 82(1):41—88.
- [37] Calvo, G. Staggered Prices in a Utility-Maximizing Framework[J]. *Journal of Monetary Economics*, 1983, 12(3):383—398.
- [38] 温兴春. 投资者情绪变化、货币政策调整对股市涨跌周期的影响——基于异质性预期的股市 DSGE 模型[J]. *中央财经大学学报*, 2017(8):23—36.
- [39] De Grauwe, P. Animal Spirits and Monetary Policy[J]. *Economic Theory*, 2011, 47(2):423—457.
- [40] De Grauwe, P. Booms and Busts in Economic Activity: A Behavioral Explanation[J]. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2012, 83(3):484—501.
- [41] Brock, A., Hommes, H. A Rational Route to Randomness[J]. *Econometrica*, 1997, 65(5):1059—1095.
- [42] 霍伟东, 陈晓娴, 陆震坤. 异质性碳定价政策的经济与环境福利效应[J]. *财经科学*, 2023(12):82—97.
- [43] 马勇. 植入金融因素的 DSGE 模型与宏观审慎货币政策规则[J]. *世界经济*, 2013(7):68—92.
- [44] Annicchiarico, B., Di Dio, F., Diluiso, F. Climate Actions, Market Beliefs, and Monetary Policy[J]. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2024, 218:176—208.
- [45] 庄子罐, 贾红静, 刘鼎铭. 货币政策的宏观经济效应研究: 预期与未预期冲击视角[J]. *中国工业经济*, 2018(7):80—97.
- [46] 郝大鹏. 极端天气冲击下的风险传导与“双支柱”调控策略研究[J]. *金融监管研究*, 2025(7):1—21.

## **Economic Effects of Carbon Tax Policy and Monetary Policy under Market Expectations: With Implication of Optimal Policy Design**

CHEN Ruoyu LI Shuoshi DING Zhongming

*(School of Finance, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu 233030, China)*

**Abstract:** As an important emission reduction policy tool, carbon tax may trigger macroeconomic fluctuations and contractions. How to address shocks and balance emission reduction targets with stable economic development is an important issue. This paper incorporates market expectations into the NK-DSGE model, systematically examines the impacts of three carbon tax policy models on the macroeconomy under two types of expectation behaviors and their internal mechanisms, and applies optimal monetary policy rules to respond to carbon tax shocks, so as to promote stable economic development. The findings are as follows. (1) Under the rational expectations model, a permanent carbon tax policy is the optimal carbon tax model; under the heterogeneous expectations model, an incremental carbon tax is the optimal carbon tax model. (2) Regardless of rational or heterogeneous expectations, strengthening the implementation of monetary policy can effectively mitigate macroeconomic fluctuations caused by carbon tax policy shocks. Particularly under the heterogeneous expectations model, enhancing monetary policy implementation helps form stable market expectations and reduces macroeconomic volatility. (3) Under the rational expectations model, a backward-looking Taylor rule monetary policy can effectively alleviate macroeconomic fluctuations induced by permanent carbon tax shocks and improve social welfare. Under the heterogeneous expectations model, a forward-looking Taylor rule monetary policy can effectively stabilize market expectations, mitigate macroeconomic fluctuations caused by incremental carbon tax shocks, and enhance social welfare. The research provides a policy basis to realize the coordinated development of carbon emission reduction and macroeconomic goals in the implementation of carbon tax policies.

**Key words:** Carbon Tax Policy; Rational Expectations; Heterogeneous Expectations; Monetary Policy

(责任编辑:郭 策)