

低碳转型、绿色再贷款与宏观审慎政策

曹春玉 朱孟楠

内容提要:本文构建环境动态随机一般均衡模型,通过参数校准和数值模拟,研究绿色再贷款与宏观审慎政策应对低碳转型冲击的政策组合效应。研究发现,引入碳税有助于减排,降低银行棕色资产规模,但对实体经济投资及产出的低碳转型效应不足。对碳税逆周期调节可提升绿色投资与产出,但造成银行资产规模及价格波动。绿色再贷款规模的逆周期调节能够减少碳排放和污染存量,但以银行资产波动为成本。再贷款利率逆周期调节在助力减排和提升产出的同时,导致银行净资产波动。再贷款搭配准备金率及资本充足率等宏观审慎政策的逆周期调节有效促进低碳转型,且对银行净资产具有温和的提升效应,有助于应对气候风险,维持金融稳定。进一步分析结果表明,对再贷款的鼓励性调节比惩罚性调节导致的宏观经济及金融波动更小。当低碳转型成为长期政策后,再贷款搭配宏观审慎政策组合有效促进减排,缓解转型冲击带来的宏观经济金融波动。在再贷款逆周期调节的基础上,准备金率和资本充足率逆周期调节的动态协调能够有效减少宏观经济和金融体系的福利损失。

关键词:气候变化 低碳转型 绿色再贷款 宏观审慎政策 碳税

中图分类号:F124.5;F830.2

文献标识码:A

文章编号:1000-7636(2025)05-0014-23

一、问题提出

气候变化对全球经济的影响日益严重。近年来气候变化急剧加速,2011—2020年成为有记录以来最温暖的十年^[1]。根据世界气象组织发布的《2022年亚洲气候状况报告》,极端天气事件造成重大损失,2022年全球洪水经济损失超过了2002—2021年的平均水平,干旱经济损失达到76亿美元,比2002—2021年平均水平高出近200%。在第二十八届联合国气候变化大会上,有140多个国家提出了与零排放和碳中和有关的目标。中国气象局发布的《2023年中国气候公报》显示,2023年,中国气候状况总体偏差。促进绿色低碳转型,应对气候变化风险成为重要关切。2023年7月,习近平总书记在全国生态环境保护大会上强调,要“加快推动发展方式绿色低碳转型,坚持把绿色低碳发展作为解决生态环境问题的治本之策”“完善绿色低碳发展经济政策,强化财政支持、税收政策支持、金融支持、价格政策支持”。中国近年来以积极应对气候变化作为重要发展战略,密集出台“双碳”相关政策,通过各种渠道重点支持可再生能源的开发利用,提升绿色低碳产业竞争优势,推动经济结构转型升级。

收稿日期:2024-06-13;修回日期:2025-04-09

基金项目:国家自然科学基金面上项目“重大突发公共卫生事件冲击下的全球金融风险溢出及其管理研究”(72073113)

作者简介:曹春玉 上海立信会计金融学院金融学院副教授,上海,201209;

朱孟楠 厦门大学经济学院教授、博士生导师,通信作者,厦门,361005。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

目前,多数国家在其货币政策框架内直接或间接地纳入了可持续发展目标,探索在央行政策框架内考虑气候变化因素^[2]。央行将气候因素纳入货币政策的实践涵盖绿色再贷款工具、直接信贷干预、资产购买计划及相应抵押品框架管理等方面。例如,中国人民银行根据商业银行绿色信贷绩效,实施差异化存款准备金率要求和推出碳减排支持工具,后者通过先贷后借的直达机制,重点支持低碳领域的融资需求。

在政策目标上,与传统货币政策的价格稳定及产出增长目标相比,以再贷款为主的货币政策将低碳转型的信贷需求与结构性供给因素相结合,具有战略性引导资金流向,促进绿色低碳转型和高质量发展的目标。然而,单一依靠再贷款等供给侧的政策调节效果有限,金融机构投放绿色信贷的制约因素有时并非受制于流动性不足。绿色再贷款有必要搭配碳税政策、基于银行资产绿色转型周期性因素的其他宏观审慎调节政策,从金融激励角度促进实体经济的低碳转型。再贷款等政策工具亦可参考传统货币政策的逆周期调节,根据低碳转型进程,建立对实体企业的激励惩罚机制,同时针对银行资产绿色转型进程,相应调节准备金率及资本充足率要求,双管齐下,通过金融资源的导向性扶持,助力实体经济的绿色低碳转型。在实施传统货币政策的基础上,深入理解碳税、再贷款工具的政策效应及与其他宏观审慎政策的协调配合,成为有必要进一步研究的问题。

鉴于此,本文构建环境动态随机一般均衡(环境 DSGE)模型,拟合中国低碳转型的宏观政策实践,研究绿色再贷款与宏观审慎政策应对低碳转型冲击的政策组合效应。模型的政策背景包含钉住产出和通货膨胀的常规货币政策、对棕色企业征收碳税、对银行棕色资产征税及绿色资产补贴的宏观审慎调节、基于银行资产低碳转型的存款准备金率及资本充足率的逆周期调节。首先,评估碳税冲击及逆周期调节对宏观经济和金融稳定的影响,以及绿色再贷款的逆周期调节应对气候风险冲击的绿色转型效应。其次,研究再贷款工具与针对银行的存款准备金率、资本充足率等宏观审慎调节协调应对气候风险冲击的宏观经济及金融稳定效应。最后,比较再贷款逆周期调节的惩罚与激励机制,以及再贷款的宏观审慎调节应对气候风险冲击的短期及长期效应,在此基础上对再贷款结合宏观审慎调节的不同政策组合,进行福利损失分析。相比已有研究,本文重点讨论了再贷款逆周期调节及配合其他以低碳转型为目标的针对银行体系的宏观审慎调节的政策效应,研究结果对央行应对气候风险及促进低碳转型的宏观政策协调具有较强的参考价值。

二、文献综述

气候变化是金融体系新的风险来源,气候变化影响金融稳定^[3]和导致宏观经济波动^[4],气候政策冲击和市场条件相互作用导致金融损失^[5]。财政政策、货币政策及宏观审慎政策等多种政策工具可以用来应对气候风险。财政政策方面,碳定价是应对气候变化的核心措施,恰当设计的碳定价措施对缓解气候变化战略至关重要^[6]。引入碳定价的两种主要选项是碳税和碳排放交易方案^[7]。碳税方案要求在适当的水平上引入碳税,该税必须等于社会成本碳量^[8]。国内研究也确认了节能减排财政政策对示范城市绿色技术创新质量与数量的提升效应,以及对相邻城市绿色技术创新的正向空间溢出效应^[9]。

货币政策方面,市场中性的货币政策难以实现环境治理目标,货币政策工具可在气候稳定方面发挥作用^[10]。央行职责也应包括缓解气候变化^[2]。金融市场往往低估气候风险,导致资本配置偏向高碳经济活动。例如,银行为了资产安全考虑,更愿意持有高碳资产^[11]。央行资产组合中也含有高碳资产^[12],央行对其资产开展碳风险评估有助于减少气候风险敞口^[13]。宏观政策协调需要将气候变化应对和货币政策实施同时考虑在内^[14],对此需要调整货币政策框架以支持绿色低碳转型^[15]。

首先,货币政策的再分配作用有助于应对气候变化^[2]。央行可结构性重新分配金融资源以支持绿色经济活动,将资产和抵押品的配置导向低碳部门。央行可确保商业银行增加低碳资产的融资计划更顺畅^[16],

并利用其资产负债表为低碳转型所需的大规模投资提供担保^[17]。已有研究发现,当央行的资产和担保框架中等程度倾向于低碳资产时,可将其债券投资组合中的碳排放减少一半以上^[18]。基于货币政策的再分配作用,从央行层面促进低碳转型的相关政策建议还包括修改央行的前瞻性指导政策、提高市场对绿色投资的预期^[11]等方面,以上政策措施有助于降低低碳行业的融资成本^[18]。

其次,货币政策的绿色量化宽松措施有助于支持低碳经济转型。实施针对绿色企业的量化宽松有助于减少气候引起的金融不稳定,并限制全球变暖^[19]。具体措施包括调整央行的抵押品框架,在央行资产购买中采用环境、社会、治理(ESG)标准,通过绿色量化宽松积极购买绿色资产,或实施专门针对低碳资产的平行资产购买计划^[20]。

针对气候风险的宏观审慎工具包括存款准备金、流动性及资本充足率要求、贷款价值比、信贷增长上限,以及针对特定气候敏感行业的资本缓冲要求等方面^[21-22]。与促进低碳转型的财政货币政策工具相比,宏观审慎政策可以内部化系统性气候风险,其作用机制在于通过在宏观政策中纳入气候风险因素,改变绿色投资和棕色投资的相对需求及价格以缓解气候变化,从而在低碳转型中发挥关键作用。比如,调整金融监管规则以增加对绿色资产的需求。欧盟可持续金融高级别专家组建议在宏观审慎规则内引入绿色支持因子和棕色惩罚因子,促使银行增加绿色投资,减少碳密集型投资^[23];也可通过对银行资产征税或补贴的宏观审慎政策来缓解气候风险^[4]。另外,对气候友好型信贷或绿色债券的资本要求也可以降低^[24]。

关于财政货币政策的宏观审慎协调方面,研究集中在气候信息披露、气候风险认知、金融系统压力测试以及央行如何前瞻性地有效应对气候相关风险等方面^[25]。例如,可通过财政金融政策增加低碳投资,其中货币政策起到支持作用^[26];将宏观审慎政策和货币政策整合到统一的宏观金融稳定框架,以应对气候风险^[16];央行应负责气候风险应对的财政货币宏观审慎协调^[27]。

国内文献就结构性再贷款及低碳转型的政策效应进行了研究。不利冲击时,降低再贷款利率、增加再贷款额度及降低再贷款费用均可缓解企业所面临的融资约束^[28]。绿色再贷款增加有助于减少碳存量^[29]。绿色信贷的贴息、定向降准、调整再贷款利率与质押率可以实现经济与环境双赢^[30]。国内文献也就应对低碳转型的政策协调进行了研究。关于结构性货币政策的绿色转型效应方面,定向降准、绿色再贷款和碳税的正向冲击明显抑制碳存量,但对产出均有较明显的负面影响^[29]。结构性货币政策有助于促进转型,扶持科技创新和绿色发展等重点领域^[31]。绿色量化宽松政策、宏观审慎政策、合格抵押品政策及再贷款政策都降低了碳排放的经济负外部性^[32]。绿色金融改革创新具有节能效应,有助于促进低碳转型^[33]。

已有研究证实了绿色再贷款等结构性货币政策的低碳转型效应,但对结构性货币政策的绿色转型效应的配合协调方面研究较少,就绿色再贷款的低碳转型效应与其他促进金融体系绿色低碳转型的宏观审慎调节的政策组合效应方面的研究还不多。本文研究了碳税及绿色再贷款的逆周期调节对低碳转型的影响、绿色再贷款与促进低碳转型的准备金率要求及资本充足率要求等宏观审慎调节的政策组合效应,模拟了绿色转型政策组合的短期与长期效应。本文的边际贡献在于:一是研究了气候风险冲击下促进绿色低碳转型的碳税及再贷款逆周期调节的宏观经济及金融稳定效应;二是研究了绿色再贷款逆周期调节搭配针对商业银行的准备金率及资本充足率逆周期调节的政策组合效应;三是比较再贷款逆周期调节的激励及惩罚机制,以及绿色低碳转型政策组合的短期与长期效应,对应对气候风险冲击的宏观政策权衡提供了理论解释。

三、理论分析

气候变化不仅是金融体系新的风险来源,在影响金融稳定的同时,也导致宏观经济波动。针对气候风险背景下低碳转型冲击导致的金融及宏观经济波动,本文重点探讨了再贷款结构性货币政策与基于低碳转

型周期的宏观审慎调节促进经济低碳转型的政策效应,主要理论机制如图 1 所示。从低碳转型冲击对实体经济的影响来看,碳税导致棕色部门生产成本提升和绿色部门成本相对下降,从约束棕色产出间接鼓励绿色产出的途径促进实体部门的绿色低碳转型。

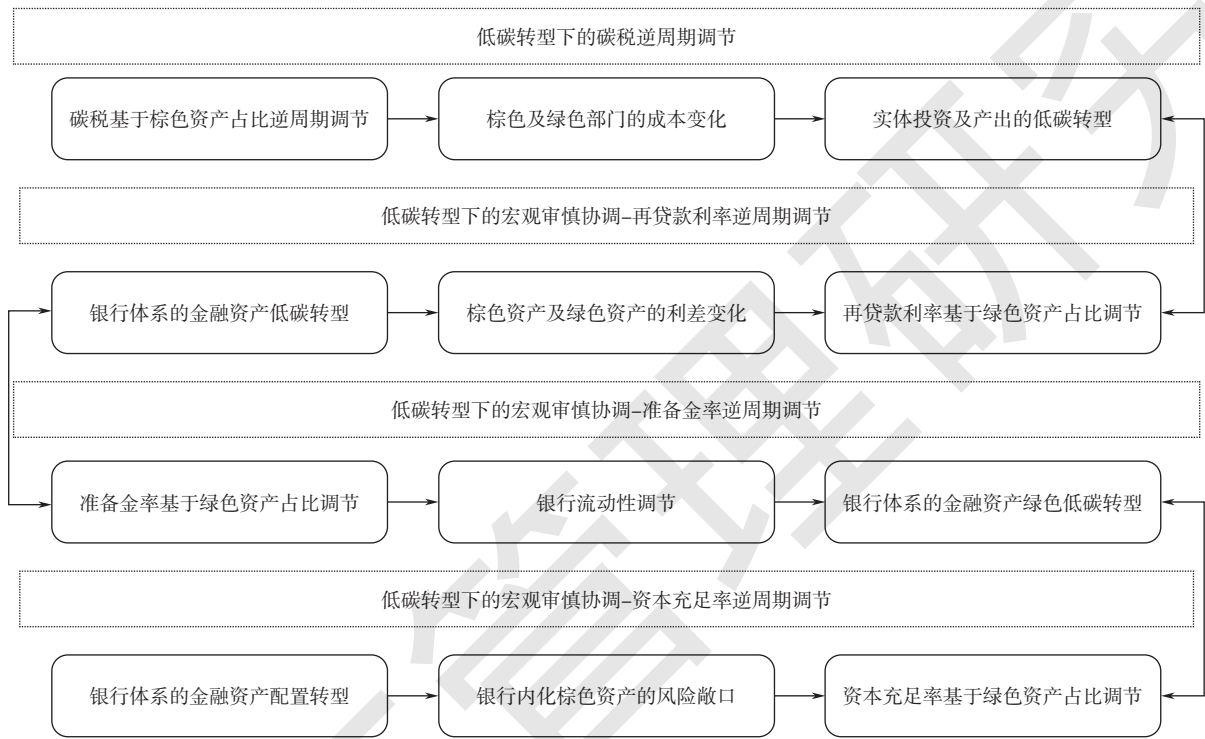


图 1 理论机制

政府部门通过政策协调促进实体部门及金融体系的绿色低碳转型。首先,对于实体经济,政府部门可通过税收或补贴调节棕色及绿色企业的生产成本^[23],通过企业的成本效益途径,促进实体部门的低碳转型。政府部门向棕色企业征收碳税,将棕色企业污染的外部性内部化,提高棕色企业生产成本,促使其减少碳排放,实现实体部门绿色低碳转型的目标。

其次,对于金融体系,结构性货币政策主要通过定向影响金融机构的流动性成本,进一步起到调整信贷结构和促进产业结构升级的作用,非对称地实施结构性货币政策更能兼顾经济稳定和产业结构升级的目标^[34]。央行对商业银行发放绿色再贷款,鼓励其增持绿色资产,以优化金融体系资产配置,促进金融体系的低碳转型。央行通过绿色再贷款等结构性货币政策,向愿意持有更多绿色信贷资产的商业银行提供流动性补充,促进金融部门的低碳转型,继而通过商业银行的绿色资产偏好,引发实体经济的绿色低碳转型,即结构性货币政策通过更直接的类财政手段,通过定向信贷支持渠道及对金融机构的成本效益路径传递货币政策倾向,促进金融及实体的绿色低碳转型。

最后,政府对绿色低碳转型政策进行动态调节。关于碳税的动态调整方面,当实体部门的棕色资产占比提升时,碳税相应提升,导致棕色部门生产成本增加,逆周期抑制棕色部门产出,促进实体部门的低碳转型。此外,绿色再贷款的利率基于商业银行绿色资产占比情况进行逆周期调节,引起棕色资产及绿色资产的利差变化,进一步增强商业银行持有绿色资产的积极性,即当商业银行的绿色资产占比提升时,可降低绿色再贷款利率,提升商业银行的绿色资产配置偏好。在碳税动态调整及再贷款逆周期调节的基础上,针对

商业银行实施宏观审慎调节,提升金融支持实体低碳转型的积极性。基于商业银行绿色资产占比,调节商业银行存款准备金率要求,从流动性支持角度,促进商业银行增持绿色信贷资产,激励实体部门的绿色低碳转型。因此,可根据商业银行绿色资产占比变化,逆周期调节商业银行的资本充足率,内化银行棕色资产的环境风险敞口,促进银行体系的金融资产配置的低碳转型。

四、理论模型

本文在卡拉蒂尼等(Carattini et al., 2023)^[4]模型的基础上,引入央行钉住产出及通货膨胀的传统货币政策背景,添加财政部门针对碳税的动态调整,构建针对商业银行绿色资产和棕色资产的宏观审慎调节机制,包括基于商业银行绿色资产转型的再贷款规模及利率的逆周期调节,以及对商业银行存款准备金率及资本充足率的逆周期调节等宏观政策环境,以此研究再贷款工具及其宏观审慎协调促进低碳转型的政策效应。

(一) 家庭

家庭效用函数及预算约束如式(1)和式(2)所示。家庭成员可选择成为工人或银行家,银行家占比设为 ρ 。企业分为棕色和绿色两种类型,工人向棕色和绿色企业分别提供劳动 L_t^b 和 L_t^g , ω_t^b 和 ω_t^g 是棕色和绿色部门的工资水平。银行家向家庭转移银行股息 e_t 。企业向家庭转移利润 Π_t 。 T_t 是政府的一次性税收转移支付。家庭整体消费为 C_t ,有银行存款 D_t , R_{t-1} 是银行存款利率。参数 $\beta \in (0, 1)$ 是家庭的主观贴现因子, $\bar{\omega} > 0$ 是劳动的负效用参数, $\eta > 0$ 是家庭的相对风险厌恶系数。 ξ 是劳动力供给的弗里希弹性(Frisch elasticity)的倒数。 ρ_L 是部门内劳动的不变替代弹性系数。

$$U_t = E_0 \left\{ \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \frac{1}{1-\eta} \left[C_t - \bar{\omega} \frac{((L_t^b)^{1+\rho_L} + (L_t^g)^{1+\rho_L})^{\frac{1+\xi}{1+\rho_L}}}{1+\xi} \right]^{1-\eta} \right\} \quad (1)$$

$$C_t + D_t = \omega_t^b L_t^b + \omega_t^g L_t^g + R_{t-1} D_{t-1} + e_t + \Pi_t + T_t \quad (2)$$

$M_{t,t+1} \equiv \beta \frac{U_{c,t+1}}{U_{c,t}}$ 是家庭随机贴现因子,其中 $U_{c,t} = \left(C_t - \bar{\omega} \frac{L_t^{1+\xi}}{1+\xi} \right)^{-\eta}$ 是 t 时期家庭消费产生的边际效用,

L_t 是家庭向企业提供的劳动总和。根据家庭效用最大化条件,可得家庭最优消费及其劳动供给决定条件,如式(3)和式(4)所示。

$$E_t(M_{t,t+1} R_t) = 1 \quad (3)$$

$$\bar{\omega} L_t^{\xi-\rho_L} (L_t^i)^{\rho_L} = \omega_t^i, \text{ 其中 } i = \{g, b\} \quad (4)$$

(二) 银行

银行部门由许多个体银行组成。其中,代表性银行 j 的资产负债平衡如式(5)所示,右侧是其资金来源净值 $N_{j,t}$ 、家庭存款 $D_{j,t}$ 和央行再贷款 $L_{j,t}^{cb}$ 。从式(5)左侧看, j 银行分别以单位价格 Q_t^b 和 Q_t^g 购买棕色和绿色企业各自发行的债券 $S_{j,t}^b$ 和 $S_{j,t}^g$,政府基于宏观审慎原则对银行购入的棕色资产征税 τ_t^b ,对购入的绿色资产补贴 τ_t^g 。欧盟可持续金融高级别专家建议在宏观审慎规则内引入绿色支持因子和棕色惩罚因子,促使银行增加绿色投资并减少碳密集型投资^[23]。为了增加与已有研究的可比性,本文模型保留了这一设定。

$\Psi(Q_t^g S_{j,t}^g, W_{j,t}) = \frac{\psi}{2} \left(\frac{Q_t^g S_{j,t}^g}{W_{j,t}} - \bar{s}^g \right)^2$ $W_{j,t}$ 是 j 银行的资产调整成本函数, $W_{j,t} = Q_t^b S_{j,t}^b + Q_t^g S_{j,t}^g$ 是 j 银行持有的棕色及绿色资产, $R_{j,t}^r$ 为 j 银行在央行缴存的存款准备金。

$$(1 + \tau_t^b) Q_t^b S_{j,t}^b + (1 + \tau_t^g) Q_t^g S_{j,t}^g + \Psi(Q_t^g S_{j,t}^g, W_{j,t}) + R_{j,t}^r = N_{j,t} + D_{j,t} + L_{j,t}^{cb} \quad (5)$$

银行净值变化如式(6)所示。 $R_{k,t}^b$ 和 $R_{k,t}^g$ 分别是银行棕色资产及绿色资产在 t 时期的报酬率, R_t^c 是再贷款利率。为了简化模型,不失一般性地假定商业银行在央行的存款准备金及家庭存款的利率均为 R_t 。原因是央行对法定存款准备金的利率和商业银行活期存款利率都较低,二者同属安全性和流动性较强的资产,基于经济实践将其简化设定为一种利率。由于本文主要关注宏观审慎调节促进低碳转型的政策效应,这种简化并不影响模型的核心结论。

$$N_{j,t+1} = R_{k,t+1}^b Q_t^b S_{j,t}^b + R_{k,t+1}^g Q_t^g S_{j,t}^g + R_t R_t^c - R_t D_{j,t} - R_t^c L_{j,t}^{cb} \quad (6)$$

银行在 t 期末的存续价值设为 $V_{j,t}$, 假设其与银行净值呈线性关系 $V_{j,t} = \varphi_t N_{j,t}$, 其中 $\varphi_t \geq 1$ 是个体银行净值的时变影子价值。参考格特勒和卡拉迪 (Gertler & Karadi, 2011)^[35] 的研究,引入银行道德风险限制银行外源融资的能力。银行家在 t 时期筹集存款并购买资产之后,可挪用总资产的一定比例 κ 自用,其代价是存款人收回剩余资产后关停银行。家庭的存款条件是银行的持续经营价值 $V_{j,t}$ 不小于挪用资金损失,通过参数校准确保该约束始终在稳态附近收紧,进而可得式(7),这是捕捉金融加速器和金融部门低效性的关键方程。当银行面临融资约束时,经济中对资本的需求受到金融中介机构净资产的约束,经济冲击通过银行业股本的波动而放大。

$$Q_{j,t}^b S_{j,t}^b + Q_{j,t}^g S_{j,t}^g = \frac{\varphi_t}{\kappa} N_{j,t} \quad (7)$$

每期结束时,银行家以 $1 - \gamma$ 的外生概率退出业务。退出的银行家将留存收益以股息的形式转移给家庭,并成为一名工人。幸存的银行家将全部净资产用于再投资。退出的银行将会被相同数量的新银行所取代,每个新银行都会从家庭获得初始启动资金 $\frac{\zeta}{1 - \gamma_{i \in \{g,b\}}} \sum Q_t^i S_t^i$ 。银行业整体的净值方程如式(8)所示。

$$N_{t+1} = \gamma \left(\sum_{i \in \{g,b\}} R_{k,t+1}^i Q_t^i S_t^i + R_t R_t^c - R_t D_t - R_t^c L_t^{cb} \right) + \zeta \sum_{i \in \{g,b\}} Q_t^i S_t^i \quad (8)$$

以递归形式表示银行最优化问题,如式(9)所示,其约束条件为式(5)一式(8)。银行家选择资产 $S_{j,t}^i$ 、存款 $D_{j,t}$ 和央行再贷款 $L_{j,t}^{cb}$, 以最大化可持续经营价值 $V_{j,t}$ 。令 $s_t^g = Q_t^g S_{j,t}^g / W_{j,t}$ 为银行绿色资产占比,可将银行最优化问题转化为信贷资产 $W_{j,t}$ 及绿色资产占比 s_t^g 的选择问题。假设时变性系数 φ_t 在所有银行间保持一致,使用猜解法求得银行的最优化问题并加总得到式(10)一式(12)。其中,式(10)决定银行信贷资产与其净值的关系,式(11)决定银行的信贷资产配置,式(12)是银行净值的时变性影子价值。

$$V_{j,t} = \max_{W_{j,t}, s_t^g} E_t \left[(1 - \gamma) M_{t,t+1} N_{j,t+1} + \gamma M_{t,t+1} V_{j,t+1} \right] \quad (9)$$

$$W_t = \frac{\nu_t}{\kappa - \gamma_t} N_t \quad (10)$$

$$s_t^g = \frac{\chi_t^g}{\nu_t \varphi} + s^g \quad (11)$$

$$\varphi_t = \frac{\kappa \nu_t}{\kappa - \gamma_t} \quad (12)$$

定义信用利差为资产预期收益率与无风险利率之差,即 $Spread_t^i = E_t(R_{k,t+1}^i - R_t)$ 。定义 $\chi_t^b \equiv E_t \{ \Omega_{t+1} [R_{k,t+1}^b - (1 + \tau_t^b) R_t] \}$ 为考虑税收因素的棕色资产贴现收益率与无风险收益率之差, $\chi_t^g \equiv E_t \{ \Omega_{t+1} [(R_{k,t+1}^g - R_{k,t+1}^b) - (\tau_t^g - \tau_t^b) R_t] \}$ 是考虑宏观审慎调节后绿色资产与棕色资产的贴现收益率之差。定义 $\nu_t = E_t \{ \Omega_{t+1} R_t \}$ 是银行单位存款的贴现成本, $\Omega_{t+1} = M_{t,t+1} (1 - \gamma + \gamma \varphi_{t+1})$ 是银行有效随机贴现因子。

$\gamma_t \equiv \chi_t^b + \chi_t^g s_t^g - \frac{\nu_t \varphi}{2} (s_t^g - \bar{s}^g)^2$ 为银行资产组合扣除资产管理成本后的平均超额收益。将 χ_t^g 和 ν_t 代入式(11), 不同类型资产需求由绿色资产占比的最优投资组合份额确定, 如式(13)所示。式(13)右侧第一项的分子是绿色资产相对于棕色资产的预期贴现超额回报。当其他条件相同时, 增加 τ_t^b 或减少 τ_t^g 能够提升银行资产组合中绿色资产的最优占比。因此, 通过对棕色资产的宏观审慎征税及绿色资产的补贴调节, 监管部门可以影响银行投资组合中棕色资产与绿色资产的相对持有成本。

$$s_t^g = \frac{E_t \{ \Omega_{t+1} [(R_{k,t+1}^g - R_{k,t+1}^b) - (\tau_t^g - \tau_t^b) R_t] \}}{\psi E_t \{ \Omega_{t+1} R_t \}} + \bar{s}^g \quad (13)$$

(三) 企业部门

产品生产商包含棕色企业和绿色企业两类。二者分别投入资本 K_{t-1}^i 和劳动力 L_t^i , 其生产函数如式(14)所示, A_t 表示整个经济的全要素生产率, 其冲击如式(15)所示。棕色企业生产过程通过碳排放存量 X_t 造成污染损失 $d(X_t) = d_0 + d_1 X_t + d_2 X_t^2$ 。假设绿色企业生产时不产生碳排放, 其生产外部性为 0。

$$Y_{i,t} = [1 - d(X_t)] A_t K_{i,t-1}^{\alpha^i} L_{i,t}^{1-\alpha^i}; 0 < \alpha^i < 1 \quad (14)$$

$$\log A_t = \rho_A \log A_{t-1} + \varepsilon_{A,t}, \varepsilon_{A,t} \in N(0, 1) \quad (15)$$

棕色部门污染物存量的动态方程为 $X_t = \delta_X X_{t-1} + e_t + e_t^w$, 国内排放量为 $e_t = (1 - \mu_t)(Y_t^b)^e$, 即棕色部门产出 Y_t^b 越高, 减排比例 μ_t 越低, 则排放量 e_t 越高。世界其他国家和地区的排放量设为常数 e^w 。减排成本为 $Z_t = \theta_t \mu_t^{\theta_2} Y_t^b$, 即与减排比例及棕色产出同向变化。

t 期结束时, 棕色部门的最终产品企业以市场价格 Q_t^b 从资本品生产商购买资本 K_t^b 。参考格特勒和卡拉迪(2011)^[35]的研究, 企业通过调整其债券存量 S_t^b 向银行融资以支持本期生产投资。假定债券与资本价格相同, 则有 $Q_t^b I_t^b = Q_t^b (S_t^b - S_{t-1}^b)$ 。在 $t+1$ 时期后, 企业可以价格 Q_{t+1}^b 在市场上出售折旧后资本 $(1 - \delta^b) K_t^b$ 。假设企业和银行之间无融资摩擦, 银行持有企业债券的预期收益率为 $R_{k,t+1}^i$ 。

棕色企业受到碳税 τ_t^e 的影响, 在 t 时期的利润如式(16)所示。求解棕色企业的利润最大化问题, 劳动投入 L_t^b 和减排比例 μ_t 的最优条件如式(17)和式(18)所示。满足一阶最优条件的棕色资产的状态相关回报如式(19)所示。

$$\Pi_t^b = p_t^b Y_t^b - \tau_t^e e_t - Z_t - w_t^b L_t^b - R_{k,t}^b Q_{t-1}^b K_{t-1}^b + (1 - \delta^b) Q_t^b K_{t-1}^b \quad (16)$$

$$w_t^b = (1 - \alpha^b) \frac{Y_t^b}{L_t^b} [p_t^b - f(\mu_t) - \tau_t^e (1 - \mu_t) h'(Y_t^b)] \quad (17)$$

$$\tau_t^e h(Y_t^b) = Y_t^b f'(\mu_t) \quad (18)$$

$$R_{k,t}^b = \frac{\alpha_b \frac{Y_t^b}{K_{t-1}^b} [p_t^b - f(\mu_t) - \tau_t^e (1 - \mu_t) h'(Y_t^b)] + (1 - \delta^b) Q_t^b}{Q_{t-1}^b} \quad (19)$$

与棕色企业融资途径一致, 绿色企业调整其债券存量后借入资金, 以价格 Q_t^g 购买资本 K_t^g , 结合家庭劳动力 L_t^g 进行生产。绿色企业利润最大化的最优条件如式(20)和式(21)所示。

$$w_t^g = (1 - \alpha^g) \frac{p_t^g Y_t^g}{L_t^g} \quad (20)$$

$$R_{k,t}^g = \frac{\alpha^g \frac{p_t^g Y_t^g}{K_{t-1}^g} + (1 - \delta^g) Q_t^g}{Q_{t-1}^g} \quad (21)$$

总产出 Y_t 是棕色部门与绿色部门产出的组合,如式(22)所示。其中, $\rho_Y > 0$ 是替代弹性, π^b 是棕色产品权重。棕色与绿色产出的需求函数如式(23)所示。其中, p_t^b 和 p_t^g 表示棕色和绿色产品的相对价格。最终价格被标准化为 1。

$$Y_t = [(\pi^b)^{\frac{1}{\rho_Y}} (Y_t^b)^{\frac{\rho_Y-1}{\rho_Y}} + (1 - \pi^b)^{\frac{1}{\rho_Y}} (Y_t^g)^{\frac{\rho_Y-1}{\rho_Y}}]^{\frac{\rho_Y}{\rho_Y-1}} \quad (22)$$

$$Y_t^b = \pi^b \frac{Y}{(p_t^b)^{\rho_Y}}, Y_t^g = (1 - \pi^b) \frac{Y}{(p_t^g)^{\rho_Y}} \quad (23)$$

资本品生产商每生产单位投资品 I_t^i 需要 $[1 + \varphi^i/2(I_t^i/I_{t-1}^i - 1)^2]$ I_t^i 的投资调整成本。资本品生产商的利润最大化问题见式(24),其一阶条件如式(25)所示。棕色产品和绿色产品资本动态方程如式(26)所示。其中, δ^i 是资本折旧率。

$$\max_{\{I_t^i\}_{i=\{g,b\}}} E_0 \sum_{t=0}^{\infty} M_{0,t} \sum_{i=\{g,b\}} \left\{ Q_t^i I_t^i - \left[1 + \frac{\varphi^i}{2} \left(\frac{I_t^i}{I_{t-1}^i} - 1 \right)^2 \right] I_t^i \right\} \quad (24)$$

$$Q_t^i = 1 + \frac{\varphi^i}{2} \left(\frac{I_t^i}{I_{t-1}^i} - 1 \right)^2 + \varphi^i \left(\frac{I_t^i}{I_{t-1}^i} - 1 \right) \frac{I_t^i}{I_{t-1}^i} - E_t \left[M_{t,t+1} \varphi^i \left(\frac{I_{t+1}^i}{I_t^i} - 1 \right) \left(\frac{I_{t+1}^i}{I_t^i} \right)^2 \right], i = \{g, b\} \quad (25)$$

$$K_t^i = (1 - \delta^i) K_{t-1}^i + I_t^i \quad (26)$$

(四) 政府部门及市场出清

政府部门包括财政部门 and 央行。财政部门负责实施碳税及对银行棕色资产征税及绿色资产补贴,并将碳税及对棕色资产征税或绿色资产补贴的净收入 $T_t = \tau_t^e e_t + \tau_t^b Q_t^b S_t^b + \tau_t^g Q_t^g S_t^g$ 一次性转移支付给家庭。

央行货币政策如式(27)所示。 $\pi \geq 0$ 是通货膨胀目标。 $\rho_R \in (0, 1)$ 是利率自回归系数, ε_1 和 ε_2 分别是利率对通胀和产出偏离的反应系数。央行绿色再贷款的规模 $L_t^{cb} = \tau_t^c Q_t^g S_t^g$, τ_t^c 是央行向商业银行发放再贷款的抵押比率。

$$\frac{R_t}{R} = \left(\frac{R_{t+1}}{R} \right)^{\rho_R} \left[\left(\frac{\pi_t}{\pi} \right)^{\varepsilon_1} \left(\frac{Y_t}{Y} \right)^{\varepsilon_2} \right]^{1-\rho_R} \quad (27)$$

此外,央行负责对银行的准备金率及资本充足率进行宏观审慎调节。准备金率 μ_t^r 的逆周期调节规则如式(28)所示,即当银行绿色资产占比增加时,降低银行的准备金率要求。基于银行绿色资产占比,对其资本充足率 $R_t^v = N_t/W_t$ 要求如式(29)所示,即 R_t^v 基于银行绿色资产占比进行逆向调节。当银行绿色资产占比增加时,央行降低银行的股权融资比例要求。通过放宽资本充足率要求和存款准备金率要求,鼓励银行持有更多绿色资产,支持企业部门的低碳转型。

$$\frac{\mu_t^r}{\mu^r} = \left(\frac{\mu_{t-1}^r}{\mu^r} \right)^{\chi_\mu} \left[\left(\frac{q_t^g s_t^g}{W_t} \right)^{-\varphi_u} \right]^{1-\chi_\mu} \quad (28)$$

$$\frac{R_t^v}{R^v} = \left(\frac{R_{t-1}^v}{R^v} \right)^{\chi_R} \left[\left(\frac{q_t^g s_t^g}{W_t} \right)^{-\varphi_v} \right]^{1-\chi_R} \quad (29)$$

总产出由消费、投资、减排成本、投资调节成本及银行资产管理成本等支出组成,如式(30)所示。

$$Y_t = C_t + \sum_{i=\{g,b\}} I_t^i + Z_t + \sum_{i=\{g,b\}} \frac{\varphi^i}{2} \left(\frac{I_t^i}{I_{t-1}^i} - 1 \right)^2 I_t^i + \frac{\psi}{2} (s_t^g - \bar{s}^g)^2 W_t \quad (30)$$

五、参数校准

模型静态结构参数基于季度数据进行参数校准。参数主要涉及家庭、企业、商业银行以及政府部门。鉴于中国人民银行于2021年11月推出碳减排支持工具,且本文主要讨论绿色再贷款及其宏观审慎协调应对碳税冲击的绿色转型效应,参数校准主要使用2022年以来的数据。表1展示了在所有政策工具为零($\tau_t^e = \tau_t^b = \tau_t^g = 0$)时的参数校准值。家庭主观折现率 β 设为0.995 0,即稳态下季度无风险利率为2%,接近2022年全年的3个月期国债收益率。家庭的相对风险厌恶系数 η 参照康立和龚六堂(2014)^[36]的研究设为2,劳动力供给的弗里希弹性的倒数 ξ 参照庄子罐等(2016)^[37]的研究设为1.6。

企业方面,根据伯南克等(Bernanke et al., 1999)^[38]的研究,将棕色部门和绿色部门的资本折旧率设为 $\delta^b = \delta^g = 0.025 0$,已有DSGE经典文献多数采用这个参数设定。由于棕色部门比绿色部门资本密集程度更高,参考陈国进等(2023)^[39]的研究,绿色部门资本份额 α^g 设置为0.500 0,而棕色部门资本份额 α^b 设置为0.520 0。参考霍瓦特(Horvath, 2000)^[40]的估计,家庭劳动在棕色及绿色部门间的替代弹性 ρ_L 的参数设为1,已有国内研究做了同样的校准^[41]。校准劳动的负向效用参数 $\bar{\omega}$,设定稳态下家庭工作时长约为1/3。对于企业部门,根据帕帕耶奥尔尤等(Papageorgiou et al., 2017)^[42]和陈国进等(2023)^[39]的研究,校准绿色产出和棕色产出之间的替代弹性 $\rho_Y = 2$ 。参考陈国进等(2023)^[39],将棕色资本占全部资本的比例 π^b 设为0.711 0,两个部门的投资调整成本参数 φ^i 设为1.728 0。企业部门参数与环境DSGE文献中使用的参数数值相符^[43]。

对于碳排放及碳减排成本函数涉及的有关参数,本文参考陈国进等(2023)^[39]的做法,基于已有研究参数,结合模型稳态进行调整。关于碳排放有关参数方面,根据吉布森和赫特尔(Gibson & Heutel, 2023)^[44]的参数估计值, $d_0 = -0.007 6$, $d_1 = 8.100 0 \times 10^{-6}$, $d_2 = 1.050 0 \times 10^{-8}$,其中污染物存量 X_t 以10亿吨为单位。由于模型未使用具体单位,根据吉布森和赫特尔(2023)^[44]模型中第一个250年的碳排放存量值,将稳态污染水平设置为2 030。参考卡拉蒂尼等(2023)^[4]的校准方法,使用模型稳态下,碳排放存量除以2 030作为参数调整因子,分别乘以原参数值作为模型参数校准值。碳减排成本函数方面,参考诺德豪斯(Nordhaus, 2018)^[45]的研究,将指数 θ_2 设置为2.600 0。与诺德豪斯(2018)假定棕色部门与绿色部门均产生碳排放不同,模型中减排成本仅适用于棕色部门。与稳态污染水平校准的策略类似,使用稳态下棕色部门占总产出的比例作为调整系数,校准 $\theta_1 = 0.015 0 \bar{Y}/\bar{Y}_b = 0.025 0$ 。

模型中排放量取决于棕色产出,假设排放量相对于棕色产出具有单位弹性,即 $\varepsilon = 1$ 。该数值与单一部门的环境真实商业周期模型文献中的估计值一致。污染物衰减参数 δ_x 为0.996 5,来自世界其他国家和地区的排放量假设为常数 e^w 。据国际能源署数据,2022年中国二氧化碳排放量为114.8亿吨,占比31.2%。全球排放量为368亿吨,因此校准世界其他国家和地区的排放量 e^w 为中国排放量的2.200 0倍。

银行及宏观监管部门的参数校准方面,参考格特勒和卡拉迪(2011)^[35]、王博和徐飘洋(2021)^[41]的研究,将银行生存率 γ 设置为0.972 0。参考陈国进等(2023)^[39]的研究,将银行业的杠杆比率稳态值设为4.5;参考格特勒和卡拉迪(2011)^[35]、格特勒和清泷(Gertler & Kiyotaki, 2010)^[46]的研究,校准金融摩擦参数 κ 与转移支付参数 ζ 。将银行的投资组合调整成本参数设置为 $\psi = 0.000 1$,确保银行资产组合具备稳态值,绿色资产占比参数 $\bar{s}^g$ 结合中国绿色信贷占比数据,设置为0.300 0。根据中国人民银行货币政策司发布的中国人民银行再贷款、再贴现利率表(2021年12月7日),1年期再贷款利率为2%,与稳态下1年期无风险利率保持一致。

对模型中涉及的动态参数采用贝叶斯估计。贝叶斯估计的变量集包括再贷款余额、商业银行资本充足

率、存款准备金率、二氧化碳排放量及银行间同业拆借利率(7 天)等变量。时间区间为 2014 年 1 季度到 2023 年 4 季度,数据来自香港环亚经济数据有限公司 CEIC 数据库和东方财富 Choice 金融终端。对所有观测数据进行季节调整后,进一步调整为对数稳态偏离数据。关于贝叶斯估计的先验分布,参数取值区间位于 0 到 1 采用贝塔分布或正态分布,参数取值区间位于 0 到无穷采用伽马分布,外生冲击标准差采用逆伽马分布。将模型中外生冲击的自相关系数先验均值设定为 0.900 0,其相应的标准差设定为 0.050 0。结合已有研究,利率规则对通胀及产出稳态偏离的反应系数、资本充足率及准备金率宏观审慎调节反应系数的先验均值使用参数校准值。贝叶斯估计抽样算法采用单块的随机游走梅特罗波利斯-黑斯廷斯(random walk Metropolis-Hastings, RWMH)算法,抽取 10 000 次的参数后验分布样本,同时将前 2 000 次样本作为预烧,避免初值影响。MH 抽样收敛性取决于接受率的大小。本文设定 RWMH 的尺度参数为 $c=0.400\ 0$,抽样接受率为 30.310 0%,处于合理接受率区间[25%,35%]^[47]。表 1 展示了贝叶斯估计结果。

表 1 贝叶斯估计结果

参数	先验分布	后验均值	90%置信区间
碳税自回归系数 ρ_τ	贝塔[0.900 0, 0.050 0]	0.897 2	[0.819 6, 0.975 3]
污染存量自回归系数 δ_x	贝塔[0.997 0, 0.000 5]	0.996 5	[0.995 8, 0.997 2]
资本充足率自回归系数 ρ_v	贝塔[0.900 0, 0.050 0]	0.888 8	[0.799 9, 0.969 0]
准备金率自回归系数 ρ_u	贝塔[0.900 0, 0.050 0]	0.902 5	[0.827 3, 0.978 9]
再贷款规模自回归系数 ρ_c	贝塔[0.900 0, 0.050 0]	0.906 5	[0.845 2, 0.973 2]
基准利率自回归系数 ρ_R	贝塔[0.900 0, 0.050 0]	0.902 4	[0.836 2, 0.979 2]
利率对通货膨胀偏离反应系数 ε_1	伽马[1.500 0, 0.050 0]	1.510 1	[1.426 0, 1.598 3]
利率对产出偏离反应系数 ε_2	伽马[0.500 0, 0.050 0]	0.499 3	[0.424 4, 0.577 8]
碳税对棕色资产占比反应系数 φ_e	正态[1, 0.050 0]	0.995 3	[0.915 2, 1.078 5]
资本充足率对绿色资产占比反应系数 φ_v	正态[1, 0.050 0]	0.997 8	[0.920 9, 1.069 5]
准备金率对绿色资产占比反应系数 φ_u	正态[1, 0.050 0]	1.007 6	[0.941 8, 1.086 0]
再贷款对绿色资产占比反应系数 φ_c	正态[1, 0.050 0]	0.993 0	[0.919 2, 1.071 3]
碳税冲击标准差 σ_1	逆伽马[0.050 0, 0.010 0]	0.048 1	[0.034 1, 0.060 6]
资本充足率冲击标准差 σ_2	逆伽马[0.050 0, 0.010 0]	0.049 2	[0.033 7, 0.064 5]
准备金率冲击标准差 σ_3	逆伽马[0.050 0, 0.010 0]	0.049 4	[0.034 8, 0.064 3]
再贷款利率冲击标准差 σ_4	逆伽马[0.050 0, 0.010 0]	0.052 3	[0.034 5, 0.068 4]
再贷款规模冲击标准差 σ_5	逆伽马[0.050 0, 0.010 0]	0.050 5	[0.035 5, 0.064 6]

六、数值模拟

(一) 碳税冲击对宏观经济和金融稳定的影响

1. 碳税冲击的影响

由于本文使用季度模型,本部分图中横轴表示季度,纵轴为变量的对数偏离。脉冲响应基于贝叶斯估计的后验均值作图。假设碳税冲击如式(31)所示。选取上海环境能源交易所、深圳排放权交易所和广州碳排放交易所 2022 年碳排放交易收盘价数据,计算得出 2022 年中国碳配额均价约为 57.360 0 元/吨,根据模

型产出稳态值,计算出模型中的碳税稳态值为 0.007 8。图 2 实线模拟碳税临时提升 0.007 8 对宏观经济及金融指标的影响。从低碳转型效应上来看,碳税提升的降碳减排效果明显,但对实体投资产出的低碳转型效应不足。原因是碳税提升了棕色部门的生产成本,导致棕色部门碳排放规模及污染存量明显下降,棕色企业减排比例明显提升。但碳税带来的成本制约对投资转型的影响有一定的滞后性。棕色部门的成本提升导致实体经济投资成本尤其是棕色部门的投资上升,相应挤占了绿色部门的投资,且碳税冲击导致绿色资产价格波动和风险提升,降低绿色投资吸引力。随着冲击结束,绿色投资规模稳态值提升到正向区间,表明碳税增加对绿色投资具有滞后的积极影响。从对宏观经济的影响来看,临时性的碳税提升对当期产出有不利影响,但最终带来产出提升,且以一定程度的通货膨胀为成本。通货膨胀的起因是来自棕色部门成本提升的推动因素。跟随棕色与绿色部门的投资变化,临时性碳税冲击导致棕色产出上升而绿色产出下降,碳税在临时提升当期对绿色产出具有负向影响,这与碳税冲击下绿色投资先降后升的滞后影响有关。总产出的滞后增加主要是棕色产出提升和绿色产出下降的综合作用导致。从临时性碳税冲击对金融系统的影响来看,临时性碳税冲击导致银行体系的净资产提升,但其中棕色资产占比逐步提升,棕色资产价格由于棕色部门碳税的成本推动而提升,冲击结束后棕色资产占比最终提升到新的稳态水平,而绿色资产价格在冲击当期上升,随着冲击结束带来较大程度的波动,碳税冲击造成绿色资产占比下降,表明针对棕色部门的碳税对金融体系的低碳转型效应不足,如有针对金融体系的低碳转型政策,可能会从融资支持层面为实体部门提供新的低碳转型的政策激励效应。

$$\log(\tau_t^e) = \rho_\tau \log(\tau_t^e) + \varepsilon_{\tau,t}, \varepsilon_{\tau,t} \in N(0,1) \quad (31)$$

2. 碳税的逆周期调节

稳妥推进碳达峰碳中和,需要不断完善环境税收政策,其中对环境税收进行逆周期与跨周期调节,也是积极财政政策的应有之义。基于实体部门的低碳转型周期,研究碳税逆周期调节能否提升碳税冲击下的低碳转型效率,是本部分的出发点。财政部门对碳税的逆周期调节规则的设定如式(32)所示,即碳税随着棕色企业融资在银行资产占比增加而提升。欧盟可持续金融高级别专家建议在宏观审慎规则内引入绿色支持因子和棕色惩罚因子,促使银行增加绿色投资,减少碳密集型投资^[23],本文在此建议的基础上,结合中国宏观审慎政策实践,在宏观审慎规则中锚定绿色资产占比及棕色资产占比,同时对绿色资产占比提升给予政策支持,对棕色资产占比提升给予政策惩罚,从宏观审慎政策的角度引入绿色支持因子和棕色惩罚因子,相较已有研究的建模方法,这样的模型设定研究具体政策效应更为便捷,能够提高政策组合设计及政策效应比较的直观性。

$$\frac{\tau_t^e}{\tau^e} = \left(\frac{\tau_{t-1}^e}{\tau^e} \right)^{\chi_{\tau^e}} \left[\left(\frac{q_t^b s_t^b}{w_t} \right)^{\varphi_e} \right]^{1-\chi_{\tau^e}} \quad (32)$$

图 2 显示,实施碳税逆周期调节后,碳税提升的绿色低碳转型效应更为明显。临时性碳税提升冲击下,当商业银行持有的棕色企业发行的棕色资产在银行资产占比提升时,惩罚性增加的碳税逆周期调节导致碳排放及污染存量下降的幅度更为明显。但碳税逆周期调节对棕色企业减排比例没有影响。从投资转型效应来看,绿色投资提升的幅度明显超出棕色投资,总投资在二者的共同作用下明显增加。从对宏观经济的影响来看,引入碳税的逆周期调节明显提升总产出,且绿色产出稳态随着冲击结束进入正值区间。这表明碳税的逆周期调节对实体产出的低碳转型有一定的促进作用。棕色投资与绿色投资的成本变化因素导致了通货膨胀更大幅度的波动。金融体系中,银行净资产规模逐步提升到新的正向稳态值,但对金融体系资产的绿色转型的积极作用并不明显。整体来看,与单一碳税相比,引入碳税针对金融体系的棕色资产进行逆周期调节,从棕色部门融资的碳税惩罚机制切入,通过对棕色部门和绿色部门的投资转型调整,对实体产

出的低碳转型具有一定的积极作用。

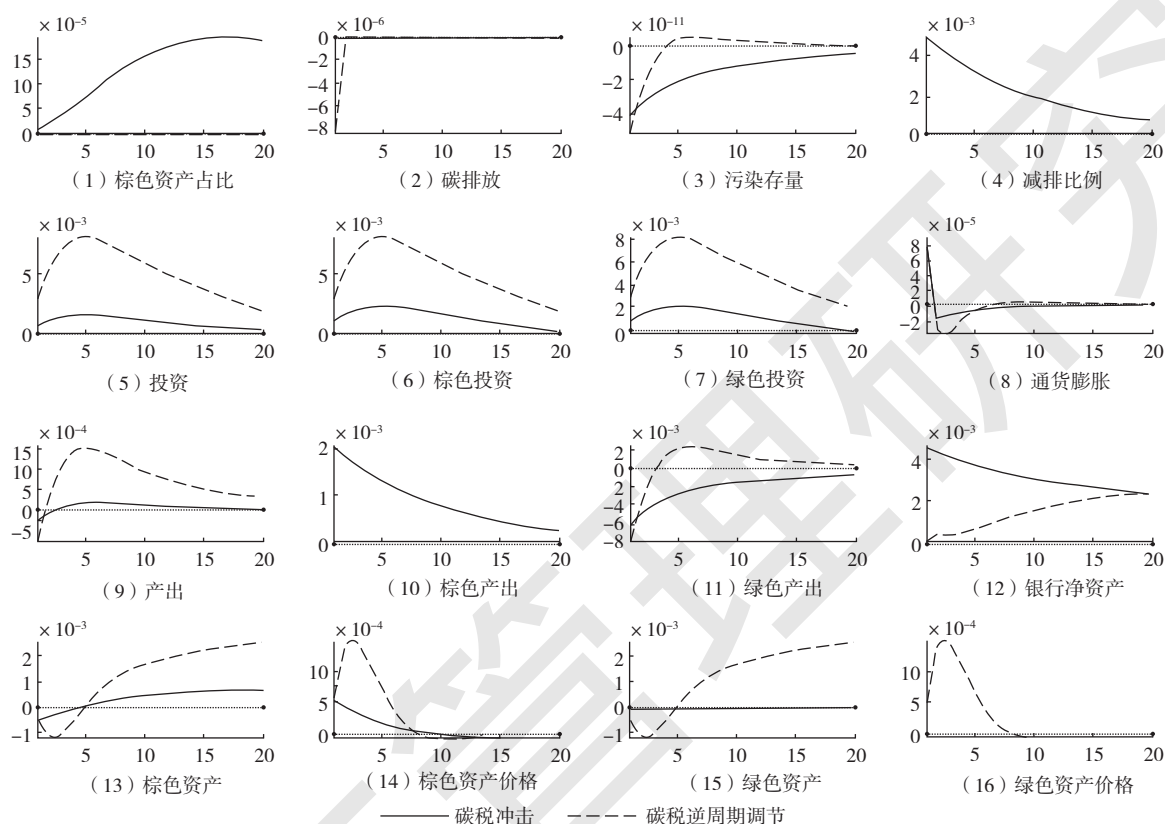


图2 碳税逆周期调节下的宏观经济与金融稳定

(二)再贷款的绿色转型效应

近年来,世界多国已经出现促进绿色低碳转型的结构性货币政策实践。绿色再贷款政策基于银行绿色信贷投放基础货币,定向支持绿色部门融资需求,以间接途径约束棕色部门碳排放,促进产业低碳转型。例如,日本央行2021年对金融机构的气候变化贷款提供零利率绿色再贷款。中国人民银行同年推出碳减排支持工具,对金融机构向碳减排重点领域内相关企业发放的符合条件的贷款,按贷款本金的60%提供资金支持,利率为1.75%。鉴于绿色再贷款的实践使用差异化的优惠利率,本部分引入央行绿色再贷款的规模及利率的逆周期调节机制,并比较了二者的政策效应。式(33)是通过调整央行绿色再贷款抵押比率 τ_t^c ,对再贷款规模进行逆周期调节,即当银行绿色资产占比提升时,央行提升绿色再贷款抵押比例,对商业银行增加绿色再贷款规模。

$$\frac{\tau_t^c}{\tau^c} = \left(\frac{\tau_{t-1}^c}{\tau^c} \right)^{\chi_{\tau_c}} \left[\left(\frac{q_t^g s_t^g}{W_t} \right)^{\varphi_c} \right]^{1-\chi_{\tau_c}} \quad (33)$$

图3显示,对再贷款规模针对绿色资产占比进行逆周期调节后,碳税冲击对宏观经济和金融稳定的影响。从低碳转型的角度来看,再贷款规模逆周期调节的低碳转型效应较好。虽然冲击当期碳排放规模及污染存量下降但波动程度增加,但与对碳税进行逆周期调节相比,碳税冲击下绿色产出的增加尤为明显,最终促进总产出的显著提升。再贷款规模的逆周期调节导致通货膨胀波动明显增加。从碳税和再贷款规模的

逆周期调节来看,二者面临着权衡的关系,更为激进的低碳转型效率伴随着较高的流动性激励和通货膨胀,这种结构性货币政策激励措施也反映在金融层面上。引入再贷款规模的逆周期调节后,碳税冲击导致银行净资产规模显著增加,但对银行体系的资产低碳转型效应并不明显,即再贷款规模的逆周期调节由于是针对银行绿色资产占比情况的奖励性流动性提供措施,难以从实体层面调节棕色部门与绿色部门的投资动力转型。

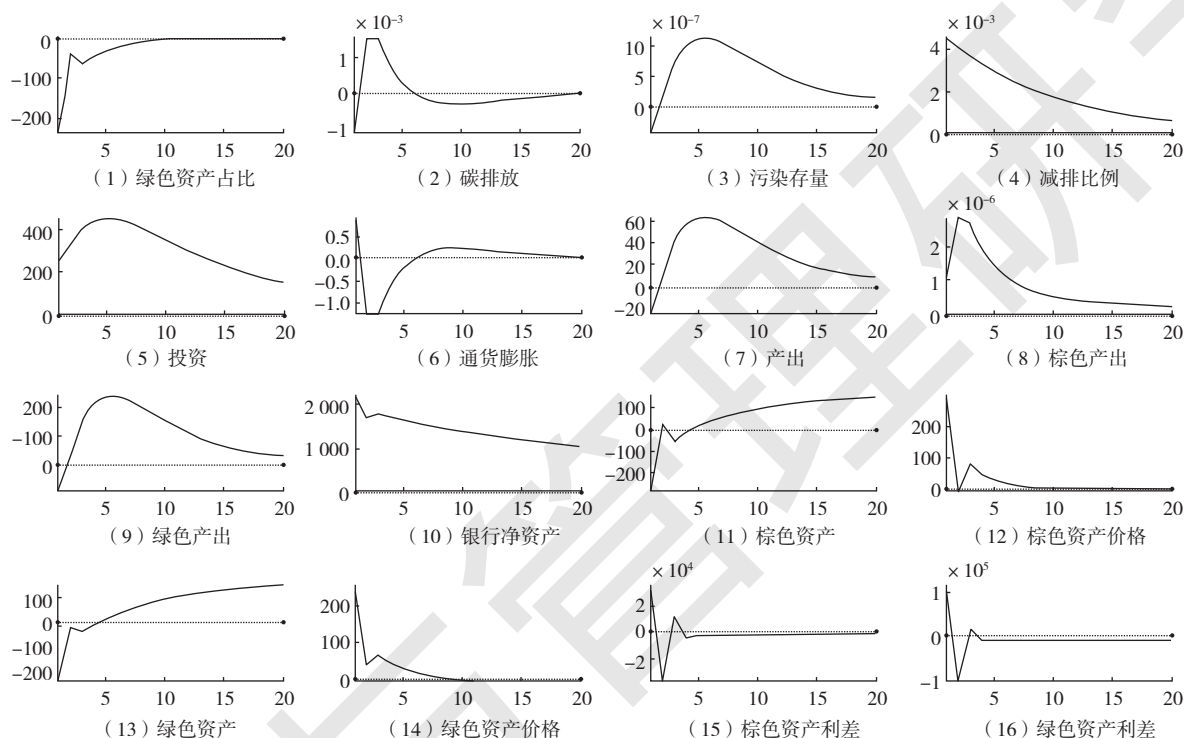


图3 绿色再贷款规模逆周期调节的宏观经济与金融稳定

式(34)是对绿色再贷款利率的逆周期调节。其中, φ_c 是再贷款利率基于银行绿色资产占比的逆向调节系数,其出发点是鼓励银行发放绿色信贷,即当银行绿色资产占比提升时,基于央行基准利率,降低商业银行的再贷款利率。

$$R_t^c = R_t(1 - \varphi_c Q^g S_t^g / W_t) \quad (34)$$

从图4来看,相比再贷款规模的逆周期调节,对利率的逆周期调节使得碳排放规模及污染存量在冲击当期出现了滞后的下降,这是因为对再贷款利率的价格调节要比起其规模调节的政策效应更为缓和。除了银行净资产在碳税冲击前期波动程度较大外,宏观经济及金融系统的波动程度明显减少,一定程度上缓解了经济金融的大幅波动带来的不确定性。再贷款利率的逆周期调节在降低宏观经济金融波动程度,维持实体经济产出的温和绿色转型之外,还有一个显著的积极政策效应,即促进了银行体系金融资产的低碳转型,棕色资产和绿色资产此消彼长。这主要是因为再贷款利率针对绿色资产占比进行逆周期调节,影响了银行资产配置的成本变化,进一步反映在棕色资产和绿色资产利差上,从而促进了银行金融资产的低碳转型。由于对再贷款利率进行逆周期调节的宏观经济及金融稳定程度好于对其规模的逆周期调节,下文基于绿色再贷款利率的逆周期调节,对再贷款与其他宏观审慎政策的协调效应进行评估。

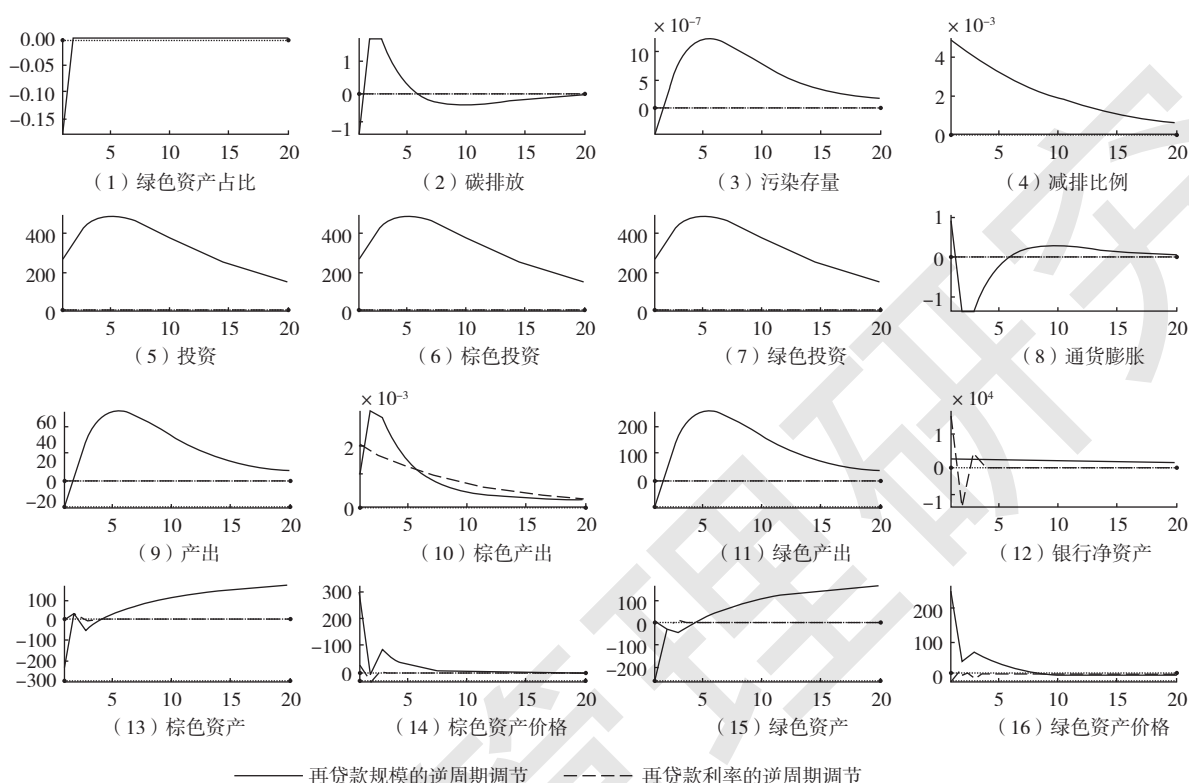


图4 绿色再贷款利率及规模的逆周期调节效应对比

(三) 绿色再贷款与其他宏观审慎政策的协调效应

1. 绿色再贷款与逆周期存款准备金率的协调

部分新兴经济体使用存款准备金率要求作为结构性货币政策工具,例如根据银行资产规模、财务状况和信贷投放行业不同,使用动态差异化存款准备金率要求。可以采用类似的方法引导信贷资源支持低碳转型产业,使用宏观审慎政策为低碳金融赋能。例如,可根据银行融资活动绿色程度,区分银行准备金率要求,激励其对低碳行业投放信贷^[10],或采取更为积极的立场,直接降低低碳信贷的存款准备金率^[11],例如中国人民银行根据商业银行的绿色信贷绩效得分情况,对更绿色的银行提供更优惠的存款准备金利率。基于中国人民银行绿色存款准备金率要求的实践,如前文式(28)所示,当银行绿色资产占比增加时,央行将会降低该银行的存款准备金率要求。

图5显示绿色再贷款利率结合逆周期准备金率应对碳税冲击的政策效应。准备金率叠加再贷款利率的逆周期调节使得碳税的减排效应出现了时滞。原因在于二者都对银行体系的融资激励角度促进低碳转型,弱化了碳税冲击对碳排放以及污染存量的即时缓解效应。从金融体系来看,当绿色资产占比下降时,再贷款利率和准备金率的双重逆周期调节强化了绿色资产相对于棕色资产的成本优越性,为了获得更多流动性支持,商业银行选择增持绿色资产,减持棕色资产,促进其金融资产配置的低碳转型进程。从商业银行信贷资产来看,碳税提升冲击当期银行净资产规模的增加主要来自绿色资产的增加,但逆周期准备金率带来棕色资产和绿色资产较大的利差波动。从实体的低碳转型来看,金融体系的绿色资产激励性措施虽然未能直接导致棕色产出下降,但却通过对绿色资产的增持,促进绿色产出的增加。这表明引入碳税后,再贷款叠加逆周期准备金率的产出绿色转型效应较为明显。由于准备金率属于基础性货币政策,准备金率的逆周期

调节带来了金融体系指标以及实体投资及碳排放更大幅度的波动。

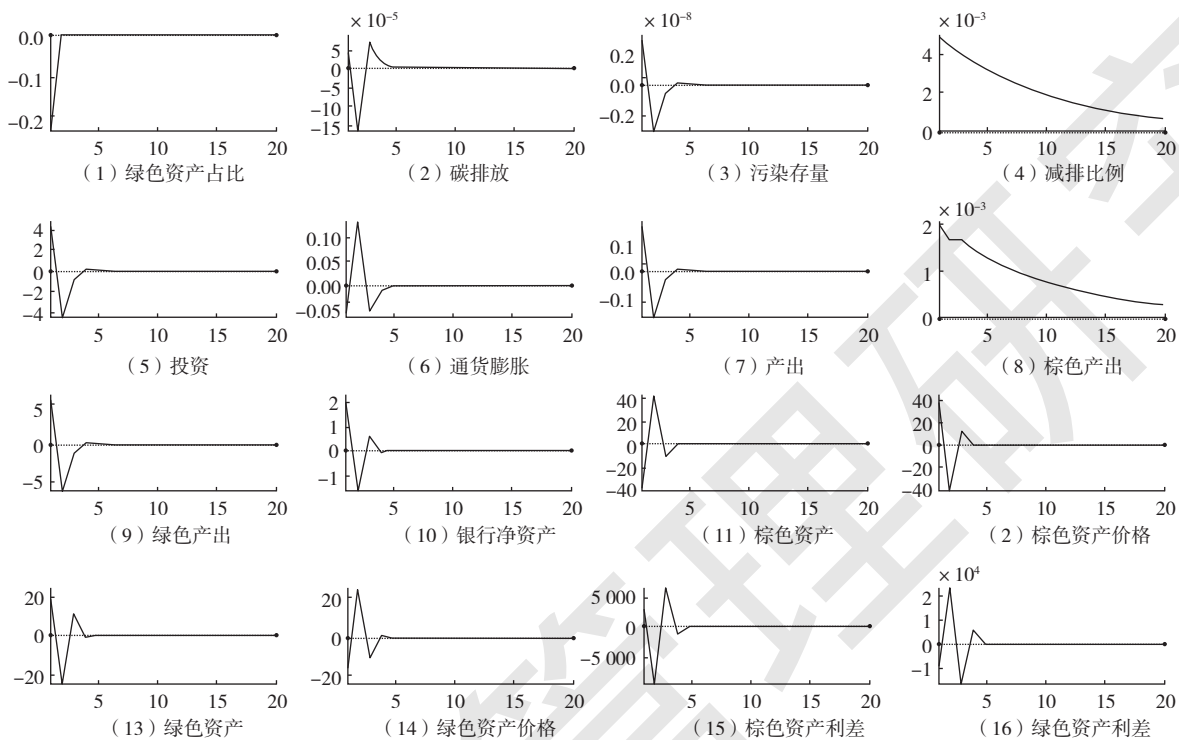


图5 绿色再贷款和准备金率政策组合应对碳税冲击的政策效应

2. 绿色再贷款与银行资本充足率的协调

除了对银行实施逆周期准备金率的宏观审慎调节外,还可以根据银行信贷资产的绿色转型情况,实施逆周期调节的资本充足率要求。如前文式(29)所示,银行资本充足率的逆周期调节因子是商业银行绿色资产占比。当商业银行绿色资产占比增加时,可以降低其资本充足率要求,并基于商业银行资产的低碳转型进程,降低商业银行的股权融资比例要求,从而相应降低银行的融资成本。

图6显示再贷款利率分别与银行准备金率和资本充足率政策组合的逆周期调节应对碳税冲击的政策效应对比。二者的政策效应较为一致,其不同之处是资本充足率逆周期调节要比准备金率调节导致的宏观经济和金融波动更为温和。作为调节商业银行流动性补充来源的基准货币政策,准备金率调节导致的宏观经济和金融波动更大。与准备金率调节相比,当绿色资产占比下降时,资本充足率逆周期增加,银行自有资本水平提升,从而约束银行信贷资产配置过度倾向于低碳资产。从图6可以发现,资本充足率逆周期调节通过增加银行绿色资产,间接促进实体投资的低碳转型。比起准备金率和再贷款利率逆周期调节,对实体投资和金融体系资产的低碳转型效应更为显著,同时避免了银行净资产及产出的大幅波动。这是因为,基于绿色资产占比调节的资本充足率,可将棕色资产的环境风险因素内化于资本充足率调节内,激励银行体系减持棕色资产,提升棕色部门融资成本,间接促进实体部门的低碳转型。

3. 宏观审慎政策协调的配合效应

图7模拟对绿色再贷款、银行资本充足率及准备金率进行逆周期调节的政策组合应对气候风险冲击的协调效应。碳排放规模及污染存量在冲击的第2期达到最小值,冲击结束后回归稳态水平。从对宏观经济的影响来看,宏观政策组合以一定程度的通货膨胀为成本,促进了整体投资提升和产出增加,且其中绿色产

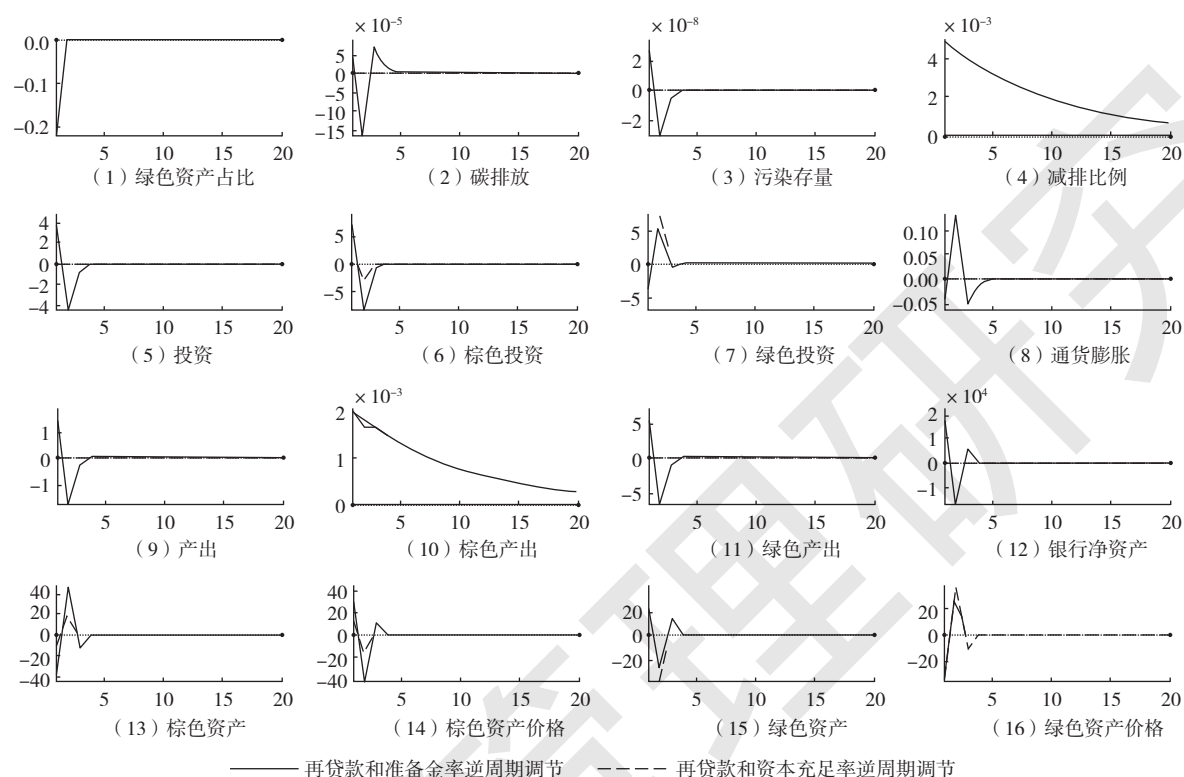


图6 准备金率和资本充足率逆周期调节的政策效应比较

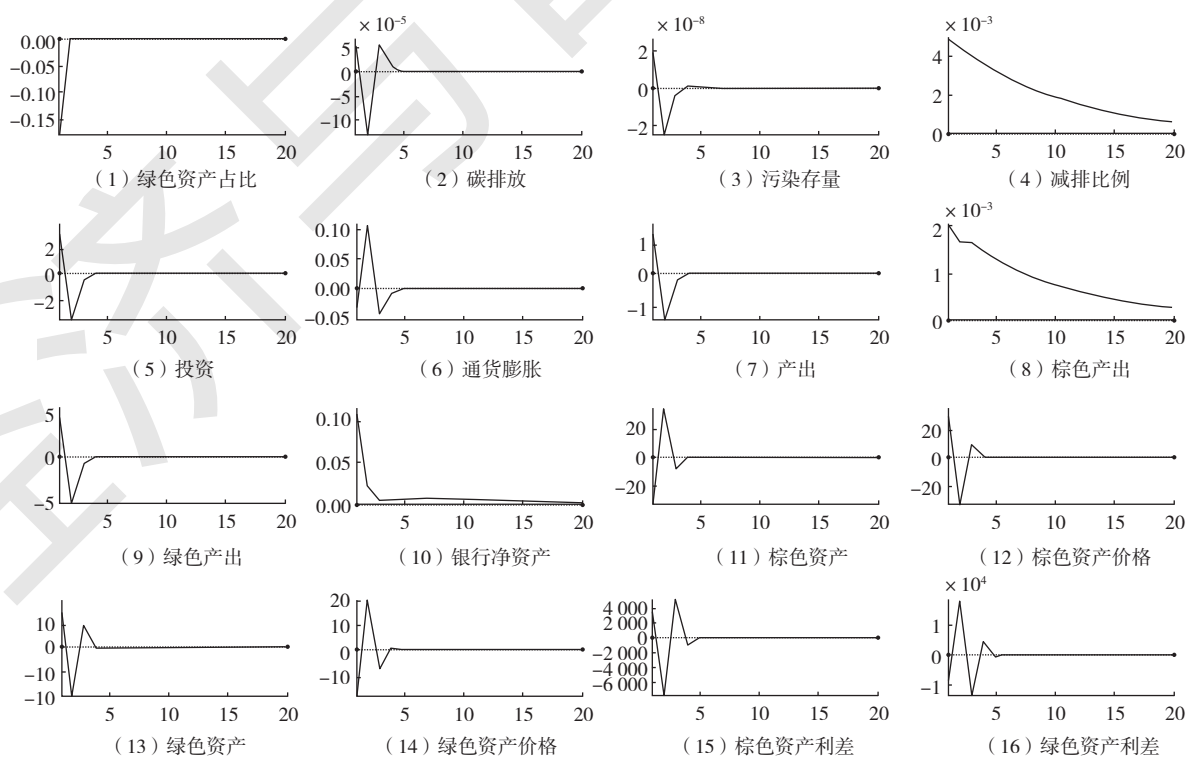


图7 宏观审慎调节应对碳税冲击的政策效应

出的短期提升效应更为明显。从对金融稳定的影响来看,冲击当期银行整体净资产为正,其中棕色资产规模下降而绿色资产规模提升,宏观政策组合有效促进了低碳转型,并有助于碳税冲击下的金融稳定。从政策叠加效应来看,引入碳税能够通过提升棕色部门成本带来降碳减排,但对实体投资产出的转型效应不足。通过再贷款利率针对绿色资产占比进行逆周期调节,影响了银行资产配置的成本变化,进一步反映在棕色资产和绿色资产利差上,从而促进了金融资产的低碳转型。准备金率在进一步对银行低成本流动性进行低碳转型激励的基础上,导致了金融体系指标、实体投资以及碳排放更大幅度的波动。资本充足率逆周期调节通过内化棕色资产的风险因素,促使银行增持绿色资产,间接促进实体投资的低碳转型,同时避免了银行净资产及产出的大幅波动。

(四) 进一步分析

1. 再贷款逆周期调节的惩罚与激励机制

以再贷款规模的逆周期调节为例,前文式(33)针对商业银行再贷款规模的调节机制是根据商业银行绿色资产比例,调升央行对商业银行的再贷款抵押比例。本部分则设为根据商业银行的棕色资产占比,调降央行对商业银行的再贷款规模。前者随着商业银行绿色资产占比提升,激励性增加再贷款规模,后者则随着商业银行棕色资产占比提升,惩罚性缩减再贷款规模。式(35)是对央行再贷款规模进行的惩罚性调节,即当商业银行持有的棕色资产比例提升时,减少央行再贷款规模。

$$\frac{\tau_t^c}{\tau^c} = \left(\frac{\tau_{t-1}^c}{\tau^c} \right)^{\chi_{\tau_c}} \left[\left(\frac{q_t^b s_t^b}{W_{j,t}} \right)^{-\varphi_c} \right]^{1-\chi_{\tau_c}} \quad (35)$$

图8显示,与对再贷款规模基于银行绿色资产占比的激励性调节相比,对再贷款规模基于银行棕色资产占比的惩罚性调节的政策效应类似,但导致宏观经济和金融系统的较大波动,而激励性调节导致的宏观经济波动和金融波动较小。这是因为,基于商业银行棕色资产冲击后逐渐降低再贷款规模,银行流动性补充成本下降,再贷款规模的惩罚性逆周期调节是针对银行棕色资产占比的惩罚性流动性提供措施,并未从根本上改变棕色资产和绿色资产的相对吸引力,从而无法通过金融激励改变棕色部门和绿色部门的相对融资成本,难以从实体层面改变棕色部门与绿色部门的融资能力。而且,随着冲击后棕色资产占比下降,增加再贷款规模导致流动性普遍宽松,带来了宏观经济和实体产出的较大幅度波动。

2. 绿色转型政策的短期效应与长期效应

随着气候风险日益突出,绿色转型政策也由临时性应对转向常态化。中国在2020年宣布“双碳”目标,并积极调整产业结构,大力发展绿色金融,完善财税货币政策的宏观审慎调节,促进应对绿色低碳转型的长期政策效应。本部分对比碳税冲击下绿色低碳转型政策的短期和长期效应。图9实线代表碳税临时提升到0.0078,而虚线代表碳税永久提升到0.0078。可以发现,绿色再贷款结合对银行的存款准备金率及资本充足率要求,以及促进产业转型的碳税逆周期调节,长期内有助于降低碳排放和污染存量波动,有效提升减排比例,促进绿色转型,缓解气候风险导致的宏观经济及金融波动。二氧化碳排放存量的回归系数为0.9965,说明期初碳税的永久性上升不仅会导致当期排放量永久性降低,而且会持续影响碳排放,使排放存量出现持续性的下降。永久性引入碳税提升了宏观审慎政策组合应对低碳转型的政策效应,在不断提升减排比例时,宏观经济及金融波动明显减少。

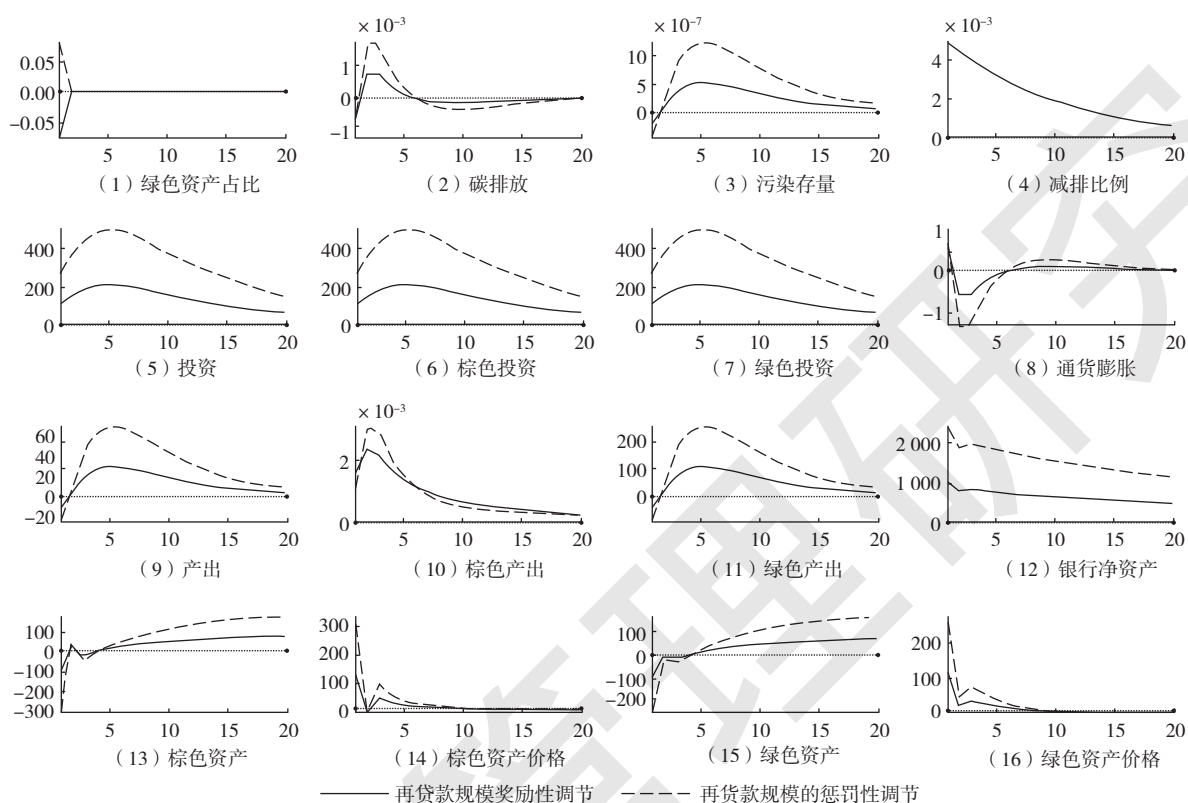


图8 再贷款规模调节的奖惩机制对比

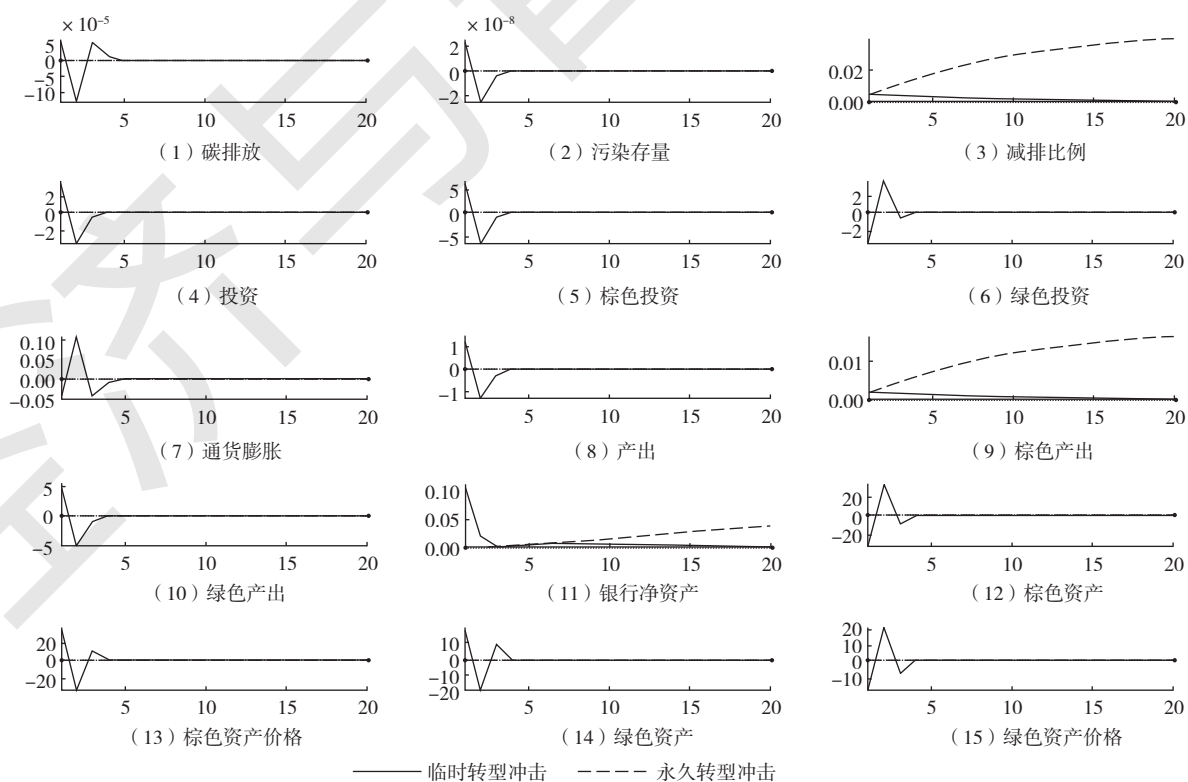


图9 绿色转型政策的短期效应与长期效应对比

七、福利损失分析

对于宏观政策组合的效应评估,衡量家庭代表的消费者的福利损失可能并不充分,政策实践者可能更为关注宏观政策组合在促进低碳转型的同时,对宏观经济与金融波动的影响。目前已有研究^[48]引入从政策效应视角考察的福利损失,本文在已有研究的基础上,从宏观经济稳定和银行体系资产及负债波动的金融稳定角度,对低碳转型冲击下宏观政策组合的福利损失进行比较。首先,基于央行保持货币币值的稳定并以此促进经济增长的货币政策目标,从宏观角度考察实体经济稳定的宏观经济福利损失,如式(36)所示,其中包含了产出波动和通胀波动两个指标。考虑到货币政策对产出波动的较高关注度,将产出波动和通胀波动的权重分别设为0.7000和0.3000。其次,从金融稳定角度考察银行资产波动福利损失,表现为银行持有的棕色资产、绿色资产以及存款准备金资产等三者波动的等权重加和,如式(37)所示。最后,考察银行负债波动福利损失,如式(38)所示,表现为商业银行获得的央行再贷款波动及银行获得的家庭存款波动的不同权重加和,考虑到存款是商业银行被动负债的主要来源,对其设置了较高权重。

宏观经济福利损失:

$$L_1 = - \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t E_0 (0.3 \hat{\pi}_t^2 + 0.7 \hat{y}_t^2) \quad (36)$$

银行资产波动福利损失:

$$L_2 = - \frac{1}{3} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t E_0 (\hat{s}_t^2 + \hat{s}_t^{g2} + \hat{R}_t^2) \quad (37)$$

银行负债波动福利损失:

$$L_3 = - \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t E_0 (0.3 \hat{L}_t^{cb2} + 0.7 \hat{d}_t^2) \quad (38)$$

在货币政策钉住产出和通货膨胀,以及财政部门针对银行绿色与棕色资产进行宏观审慎调节的政策背景下,图10模拟了低碳转型下央行绿色再贷款的逆周期调节、针对银行的逆周期资本充足率调节、配合针对流动性的存款准备金率政策组合的福利损失。分图的两横轴代表计算福利损失的政策组合,纵轴结合横轴数值计算出了福利损失的曲面数值。图10(1)代表控制其他宏观审慎政策逆周期调节参数不变,动态调整再贷款利率和准备金率逆周期调节系数时,对宏观经济、资产波动及负债波动福利损失的影响。图中的深色代表较低取值,而浅色代表较高取值。可以发现,同等条件下,单向增加准备金率逆周期程度,宏观经济和负债波动显著增加,而资产波动带来的福利损失显著减小。图10(2)是动态调整再贷款规模和资本充足率逆周期调节程度的福利损失模拟图,图10(3)则是动态调整准备金率和资本充足率的逆周期调节程度的福利损失模拟图。由图10可知,综合使用准备金率和资本充足率政策的逆周期调节时,能够取得明显的福利损失改善的整体效果,可以看出,宏观经济波动、银行资产波动和负债波动程度上限及区间都比再贷款利率逆周期调节分别搭配准备金率和资本充足率的福利损失明显减少。单独使用准备金率和资本充足率搭配再贷款利率调节的情境下,能够取得各种福利损失的最小值的政策效果。

三种政策组合的最小福利损失的政策协调解和福利损失见表2。较高度度的存款准备金率逆周期调节和适中的资本充足率逆周期调节配合较低程度的再贷款规模逆周期调节,在获得最小综合福利损失的同时,能够起到最小化银行负债波动,促进金融稳定的政策效果;而使用的宏观审慎政策调节工具越少,调节强度越低,则宏观经济波动最小。再贷款规模配合准备金率或资本充足率的逆周期调节,均能最小化宏观经济波动带来的实体福利损失。

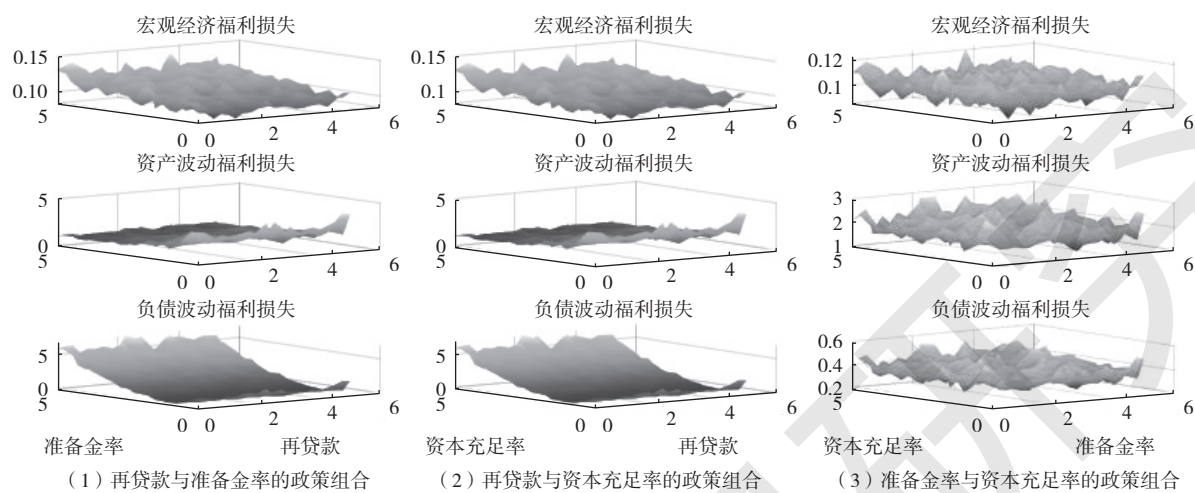


图 10 低碳转型下再贷款配合宏观审慎调节的福利损失模拟

表 2 政策协调解和最小福利损失绝对值

政策模拟场景	最小福利损失的政策协调解			福利损失			
	再贷款 逆周期程度	准备金率 逆周期程度	资本充足率 逆周期程度	宏观经济 波动	资产波动	负债波动	综合
再贷款+准备金率	1	0.500 0	1	0.084 0*	2.049 1	0.537 3	0.890 1
	4	4.500 0	1	0.105 6	0.772 8*	3.395 1	1.424 5
	0	1	1	0.097 1	1.484 7	0.307 5*	0.629 8
	4.500 0	1.250 0	1	0.096 5	1.252 0	0.324 4	0.557 6*
再贷款+资本充足率	1	1	0.500 0	0.084 0*	2.049 1	0.537 3	0.890 1
	4	1	4.500 0	0.105 6	0.772 8*	3.395 1	1.424 5
	0	1	1	0.097 1	1.484 7	0.307 5*	0.629 8
	4.500 0	1	1.250 0	0.096 5	1.252 0	0.324 4	0.557 6*
准备金率+资本充足率	1	1	0.500 0	0.085 4*	1.749 4	0.342 6	0.725 8
	1	3.750 0	2.500 0	0.100 7	1.160 0*	0.262 3	0.507 7
	1	3.750 0	2.500 0	0.100 7	1.160 0	0.262 3*	0.507 7
	1	3.750 0	2.500 0	0.100 7	1.160 0	0.262 3	0.507 7*

注：* 代表对应政策组合可以获得相应种类福利损失绝对值的最小值；综合福利损失是宏观经济、银行资产波动和银行负债波动福利损失的等权重加和。

八、研究结论与政策启示

(一) 研究结论

基于应对气候变化风险,促进低碳转型的背景,本文构建了企业碳排放环境外部性的动态随机一般均衡模型,引入了金融部门摩擦,研究了低碳转型冲击下绿色再贷款与其他宏观审慎政策协调应对气候风险的政策效应。研究发现,对棕色部门征税虽然能够有效提升减排比例,降低碳排放和污染存量,但通过提升棕色部门生产成本的渠道促进产出转型的作用不明显。临时提升碳税能够降低银行棕色资产占比,但对银行绿色资产规模及价格的提升效应不足。碳税的逆周期调节在放大低碳转型冲击的同时,能够提升绿色投资与产出,促使绿色资产在冲击结束后达到新的稳态,对绿色资产价格具备提升效应。对绿色再贷款的规模和利率进行逆周期调节,可以有效减少碳排放和污染存量,促进实体经济和金融系统的绿色转型;绿色再贷款利率的逆周期调节可以有效缓解气候转型带来的宏观经济和金融波动。再贷款加上准备金率的逆周期调节延缓了碳税冲击的减

排效应,导致了银行棕色和绿色资产的较大的利差波动。与再贷款和准备金率逆周期调节相比,再贷款和资本充足率的政策效应类似但较为缓和。再贷款利率、准备金率及资本充足率的逆周期调节能够有效促进低碳转型,且对银行净资产具有温和的正向效应,有助于促进低碳转型冲击下的金融稳定。进一步分析表明,对低碳转型的激励性再贷款规模逆周期调节带来的经济金融波动更小,当低碳转型成为长期政策后,再贷款搭配对银行的准备金率及资本充足率调节能够有效促进减排,缓解低碳转型带来的宏观经济及金融波动。福利损失分析的结果表明,在再贷款逆周期调节的基础上,单纯提升准备金率和资本充足率能够增加宏观经济和银行负债波动,降低银行资产波动,二者的动态协调有助于有效降低实体经济和银行金融波动带来的福利损失。

(二) 政策启示

首先,深化碳市场建设,扩大行业覆盖范围以增强价格发现功能,提升碳市场控排效能。推动自愿减排交易市场与碳排放权交易市场互补发展,构建多层次碳交易体系。适时引入碳税形成协同定价机制,可参考国际经验将碳税定位为能源环境税种,采取低起征税率和阶梯上调方式,覆盖化石能源及高耗能行业,形成生产链全环节定价体系。其次,创新金融支持机制,设立市场化运营的低碳转型与清洁能源专项基金,承接现有碳减排工具功能,为绿色技术投资提供优惠融资。在保持央行政策独立性前提下,通过风险共担机制降低绿色融资成本。实施动态差异化监管,根据银行绿色信贷规模及投向,差异化调整存款准备金率和资本充足率要求,引导信贷资源向低碳领域倾斜。最后,强化环境风险监管,将环境气候风险纳入金融决策体系,要求金融机构建立绿色投资标准。由于2024年新版《商业银行资本管理办法》尚未纳入棕色资产环境风险评估条款,可建立资本充足率环境调节机制,基于银行绿色资产与棕色资产比例动态调整资本要求,通过融资成本传导倒逼实体部门低碳转型。重点加强对高碳行业融资的风险约束,促进金融资源配置向可持续项目集中。

参考文献:

- [1] World Meteorological Organization. The global climate 2011–2020: a decade of acceleration[R]. Geneva: WMO, 2023.
- [2] DIKAU S, VOLZ U. Central bank mandates, sustainability objectives and the promotion of green finance[J]. Ecological Economics, 2021, 184: 107022.
- [3] BATTISTON S, DAFERMOS Y, MONASTEROLO I. Climate risks and financial stability[J]. Journal of Financial Stability, 2021, 54: 100867.
- [4] CARATTINI S, HEUTEL G, MELKADZE G. Climate policy, financial frictions, and transition risk[J]. Review of Economic Dynamics, 2023, 51: 778–794.
- [5] RONCORONI A, BATTISTON S, ESCOBAR-FARFÁN L O L, et al. Climate risk and financial stability in the network of banks and investment funds[J]. Journal of Financial Stability, 2021, 54: 100870.
- [6] LAGARDE C, GASPAR V. Getting real on meeting Paris climate change commitments[EB/OL]. (2019-05-03)[2024-07-11]. <https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2019/05/03/blog-getting-real-on-meeting-paris-climate-change-commitments>.
- [7] International Monetary Fund. Fiscal policies for Paris climate strategies—from principle to practice[Z]. IMF Policy Paper No. 2019/010, 2019.
- [8] AUFFHAMMER M. Quantifying economic damages from climate change[J]. Journal of Economic Perspectives, 2018, 32(4): 33–52.
- [9] 郑兰祥,郭娟,郑飞鸿. 节能减排财政政策促进了绿色技术创新的“量质齐升”吗? [J]. 首都经济贸易大学学报, 2023, 25(5): 3–19.
- [10] ROZENBERG J, VOGT-SCHILB A, HALLEGATTE S. Transition to clean capital, irreversible investment and stranded assets[J]. World Bank Policy Research Working Paper No. 6859, 2014.
- [11] CAMPIGLIO E. Beyond carbon pricing: the role of banking and monetary policy in financing the transition to a low-carbon economy[J]. Ecological Economics, 2016, 121: 220–230.
- [12] BATTISTON S, MONASTEROLO I. How could the ECB's monetary policy support the sustainable finance transition[EB/OL]. (2019-03-22)[2024-07-12]. <https://www.finexus.uzh.ch/dam/jcr:0103ed7b-71e9-4e81-9941-ee61feef851/ECB%20sustainable%20finance%2021%20March.pdf>.
- [13] MONNIN P. Central banks should reflect climate risks in monetary policy operations[Z]. SUERF Policy Note No. 41, 2018.
- [14] MCKIBBIN W, MORRIS A, PANTON A J, et al. Climate change and monetary policy: dealing with disruption[Z]. CAMA Working Paper No. 77/2017, 2017.

- [15] BONEVA L, FERRUCCI G, MONGELLI F P. Climate change and central banks: what role for monetary policy? [J]. *Climate Policy*, 2022, 22(6): 770–787.
- [16] AGLIETTA M, ESPAGNE É, FABERT B P. A proposal to finance low carbon investment in Europe[Z]. *La Note D'Analyse No. 24*, 2015.
- [17] DASGUPTA D, HOURCADE J C, NAFO S. A climate finance initiative to achieve the Paris Agreement and strengthen sustainable development [R]. Brussels: CIRED, 2019.
- [18] SCHOENMAKER D. Greening monetary policy[J]. *Climate Policy*, 2021, 21(4): 581–592.
- [19] DAFERMOS Y, NIKOLAIDI M. Fiscal policy and ecological sustainability: a post-Keynesian perspective [M]//ARETIS P, SAWYER M. *Frontiers of heterodox macroeconomics*. Cham: Palgrave Macmillan, 2019: 277–322.
- [20] OLOVSSON C. Is climate change relevant for central banks? [Z]. *Sveriges Riksbank Economic Commentaries No. 13*, 2018.
- [21] GALATI G, MOESSNER R. What do we know about the effects of macroprudential policy? [J]. *Economica*, 2018, 85(340): 735–770.
- [22] CERUTTI E, CLAESSENS S, LAEVEN L. The use and effectiveness of macroprudential policies: new evidence[J]. *Journal of Financial Stability*, 2017, 28: 203–224.
- [23] EU High-Level Expert Group on Sustainable Finance. Financing a sustainable European economy[R/OL]. [2024-07-15]. https://finance.ec.europa.eu/system/files/2017-07/170713-sustainable-finance-report_en.pdf.
- [24] LAMPERTI F, BOSETTI V, ROVENTINI A, et al. Three green financial policies to address climate risks[J]. *Journal of Financial Stability*, 2021, 54: 100875.
- [25] Network for Greening the Financial System. A call for action: climate change as a source of financial risk[R]. Paris: NGFS, 2019.
- [26] GRUBB M, HOURCADE J C, NEUHOFF K. The three domains structure of energy-climate transitions[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2015, 98: 290–302.
- [27] BOLTON P, DESPRÉS M, PEREIRA DA SILVA L A, et al. “Green Swans”: central banks in the age of climate-related risks[Z]. *Banque de France Bulletin No. 229*, 2020.
- [28] 项后军, 张清俊, 刘文革, 等. 金融系统向实体经济让利政策: 效果评价及宏观效应研究[J]. *管理世界*, 2023, 39(12): 70–89.
- [29] 王懋雄, 赵晟鹭, 张柏杨. 结构性政策对绿色低碳发展的作用——基于 DSGE 模型的分析[J]. *西南金融*, 2023(11): 58–72.
- [30] 王遥, 潘冬阳, 彭俞超, 等. 基于 DSGE 模型的绿色信贷激励政策研究[J]. *金融研究*, 2019(11): 1–18.
- [31] 封北麟, 孙家希. 结构性货币政策的中外比较研究——兼论结构性货币政策与财政政策协调[J]. *财政研究*, 2016(2): 34–40.
- [32] 何莎. 中央银行碳减排支持工具、政策模拟与评估——基于环境动态随机一般均衡模型分析[J]. *国际金融研究*, 2023(11): 16–27.
- [33] 马艳芹, 罗良文. 绿色金融改革创新的节能效应研究[J]. *经济与管理研究*, 2024, 45(9): 22–38.
- [34] 彭俞超, 方意. 结构性货币政策、产业结构升级与经济稳定[J]. *经济研究*, 2016, 51(7): 29–42.
- [35] GERTLER M, KARADI P. A model of unconventional monetary policy[J]. *Journal of Monetary Economics*, 2011, 58(1): 17–34.
- [36] 康立, 龚六堂. 金融摩擦、银行净资产与国际经济危机传导——基于多部门 DSGE 模型分析[J]. *经济研究*, 2014, 49(5): 147–159.
- [37] 庄子罐, 崔小勇, 赵晓军. 不确定性、宏观经济波动与中国货币政策规则选择——基于贝叶斯 DSGE 模型的数量分析[J]. *管理世界*, 2016(11): 20–31.
- [38] BERNANKE B S, GERTLER M, GILCHRIST S. The financial accelerator in a quantitative business cycle framework [J]. *Handbook of Macroeconomics*, 1999, 1: 1341–1393.
- [39] 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, 58(5): 60–78.
- [40] HORVATH M. Sectoral shocks and aggregate fluctuations[J]. *Journal of Monetary Economics*, 2000, 45(1): 69–106.
- [41] 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.
- [42] PAPAGEORGIOU C, SAAM M, SCHULTE P. Substitution between clean and dirty energy inputs: a macroeconomic perspective[J]. *The Review of Economics and Statistics*, 2017, 99(2): 281–290.
- [43] HEUTEL G. How should environmental policy respond to business cycles? Optimal policy under persistent productivity shocks[J]. *Review of Economic Dynamics*, 2012, 15(2): 244–264.
- [44] GIBSON J, HEUTEL G. Pollution and labor market search externalities over the business cycle[J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2023, 151: 104665.
- [45] NORDHAUS W. Evolution of modeling of the economics of global warming: changes in the DICE model, 1992–2017[J]. *Climatic Change*, 2018, 148(4): 623–640.
- [46] GERTLER M, KIYOTAKI N. Financial intermediation and credit policy in business cycle analysis[J]. *Handbook of Monetary Economics*, 2010, 3: 547–599.
- [47] HERBST E P, SCHORFHEIDE F. Bayesian estimation of DSGE models[M]. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2016.
- [48] AGÉNOR P R, ALPER K, PEREIRA DA SILVA L. External shocks, financial volatility and reserve requirements in an open economy[J]. *Journal of International Money and Finance*, 2018, 83: 23–43.

Low-Carbon Transition, Green Refinancing, and Macroprudential Policies

CAO Chunyu¹, ZHU Mengnan²

(1. Shanghai Lixin University of Accounting and Finance, Shanghai 201209;

2. Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract: Climate change increasingly impacts the global economy, making it essential to understand the policy effects of carbon taxes, green refinancing, and their coordination with other macroprudential policies for the low-carbon transition. This paper constructs an environmental dynamic stochastic general equilibrium (DSGE) model to examine the interplay of these policy measures and assess their combined effects on low-carbon transition and financial stability.

The findings reveal that carbon taxes help reduce emissions and the scale of banks' brown assets but exert insufficient effects on stimulating real investment and output for the low-carbon transition. Countercyclical adjustments to carbon taxes can enhance green investment and output but cause fluctuations in the scale and price of bank assets. However, the adjustments to the scale of green refinancing reduce carbon emissions and pollution stocks but come at the cost of increased bank asset volatility. Moreover, the adjustments to refinancing rates help reduce emissions and increase output, yet they also cause fluctuations in banks' net assets. Combining refinancing with countercyclical adjustments to reserve requirements and capital adequacy ratios effectively promotes the low-carbon transition and modestly enhances banks' net assets, thereby aiding financial stability amid climate risk shocks. Further analysis shows that incentive-based adjustments to refinancing lead to smaller macroeconomic and financial fluctuations compared to penalty-based ones.

Based on these conclusions, the paper offers the following policy implications: first, deepen the development of the carbon market by expanding industry coverage and building a comprehensive carbon trading system; second, introduce carbon taxes promptly to complement and reinforce existing carbon pricing mechanisms; third, formulate monetary and financial incentive policies to guide financial institutions in increasing financing support for low-carbon projects; and finally, strengthen environmental and climate risk assessment and supervision.

This paper focuses on the coordination effects between green refinancing and other macroprudential policies. It innovatively incorporates both incentive- and penalty-based mechanisms into the policy analysis framework, deepens the research on the dynamic effects of policy tools, expands the welfare analysis dimensions of low-carbon transition policies, and proposes a coordinated pathway that balances macroeconomic stability with financial stability. The potential contributions include investigating the macroeconomic and financial stability effects of carbon taxes and countercyclical refinancing adjustments under climate risk shocks; exploring the policy combination effects of green refinancing with countercyclical adjustments to reserve requirements and capital adequacy ratios for commercial banks; and comparing the incentive- and penalty-based mechanisms of countercyclical refinancing adjustments as well as the short-term and long-term effects of green low-carbon transition policy combinations, thereby providing valuable theoretical insights for balancing macroeconomic policies to address climate risk shocks.

Keywords: climate change; low-carbon transition; green refinancing; macroprudential policy; carbon tax

责任编辑:蒋 琰;周 斌