

# 中国碳排放治理的绿色财政政策研究： 基于异质性电力生产系统的E-DSGE模型\*

李天宇 杨 旗 齐亚东 王宝玲

**内容提要：**高质量发展要求平衡好经济发展与环境质量之间的关系，电力行业是我国最大的碳排放部门，面临巨大的减排压力。本文通过构建包含异质性电力生产系统和环境要素在内的DSGE模型，对比分析了碳税政策和环境公共支出政策的传导机制与治理效应，并结合现实背景考察了“保增长”和“控碳排”双重偶然紧约束下非线性联合政策规则的调控机制，利用福利分析方法进一步揭示了政策规则盯住系数的设定规律。研究发现，第一，盯住碳排放的碳税政策和环境公共支出政策都能实现碳排放的治理；第二，碳税政策通过激发电力生产商提高自主减排的努力程度实现碳减排，但代价是在一定程度上抑制经济增长，而环境公共支出政策具有治理碳排放和拉动总需求的双重红利，但减排效果不如碳税政策；第三，偶然紧约束下的非线性联合政策规则能够有效应对现实经济在“保增长”和“控碳排”之间的权衡取舍，实现经济的合理调控，但福利分析发现政策规则盯住系数设定时要充分考虑两种政策间的相互影响，合理搭配使用才能取得更好的效果。

**关键词：**碳排放 绿色财政政策 电力生产系统 DSGE模型

**作者简介：**李天宇，吉林大学数量经济研究中心副教授，130012；

杨 旗，吉林大学数量经济研究中心硕士研究生，130012；

齐亚东（通讯作者），吉林大学数量经济研究中心博士研究生，130012；

王宝玲，吉林大学数量经济研究中心博士研究生，130012。

**中图分类号：**F124；F206 **文献标识码：**A **文章编号：**1002-8102(2024)08-0068-18

## 一、引 言

高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务，高质量发展中面临的一个重要议题是如何平衡好经济发展与环境质量之间的关系。2022年《BP世界能源统计年鉴》数据显示，中国

\* 基金项目：国家社会科学基金重点项目“促进全体人民共同富裕的路径研究”（22AZD018）；教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“新时期共同富裕方向的经济高质量发展的宏观调控体系协同优化研究”（22JD790021）；吉林大学基本科研业务费“碳达峰碳中和”专项研究项目（2022ST02）。感谢匿名审稿专家的宝贵意见，文责自负。齐亚东电子邮箱：qiyadong0420@126.com。

是全球碳排放量最大的国家,且由于经济发展离不开煤炭能源供应,碳排放量仍在持续增长,中国目前面临巨大的减排压力。能源减排是我国治理碳排放的主战场,图1为1990—2021年中国能源碳排放量占碳排放总量的比例及电力行业碳排放量占碳排放总量的比例。可以看出,尽管能源碳排放量占比总体呈下降趋势,但其均值仍高达88.18%。而能源燃烧的主要用途是发电,电力行业是我国最大的碳排放部门,电力行业碳排放量大且占比总体不断提高,2021年已高达44.44%。在此背景下,电力行业实现碳达峰、碳中和目标仍面临巨大挑战,电力行业减排刻不容缓。

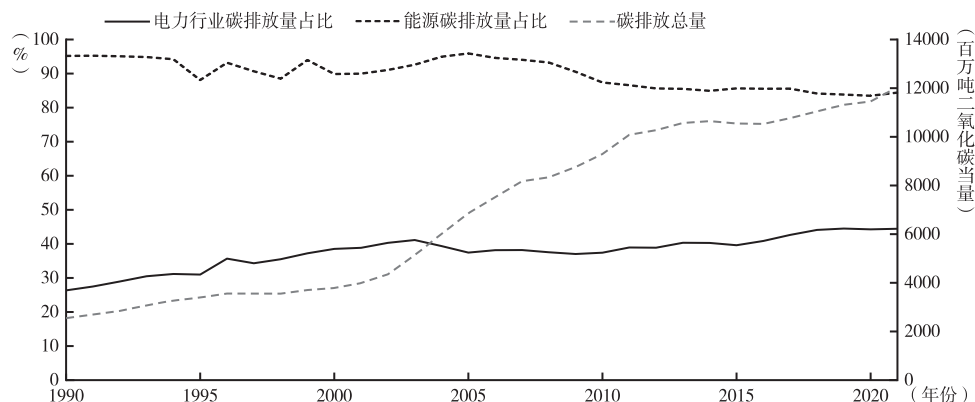


图1 1990—2021年中国能源碳排放量占比与电力行业碳排放量占比

注:能源碳排放量仅反映了与燃烧相关的石油、天然气和煤炭消费所产生的碳排放量,不包括任何被封存的碳、其他碳排放源或其他温室气体的排放;碳排放总量是能源产生的二氧化碳排放量、燃烧产生的二氧化碳排放量,以及以二氧化碳当量计算的甲烷排放量和碳排放量之和。

资料来源:能源碳排放量和碳排放总量原始数据来源于2022年《BP世界能源统计年鉴》(<http://www.bp.com/statisticalreview>);电力行业碳排放量原始数据来源于Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR) 数据库([https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report\\_2022](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2022))。

碳排放相关政策的制定是实现减排目标的关键。目前的减排政策可归纳为两类:一类是非市场化政策,如行政命令监管,其特征是监管方式较为僵化,难以发挥竞争性市场的作用;另一类是市场化政策,如基于价格激励的减排策略,其特征是落实起来更为灵活精准,有利于市场竞争机制的建立。其中,基于价格激励的减排策略具体可以分为总量控制(如碳排放交易等)和价格控制(如碳税、能源税等)两种形式,与总量控制相比,价格控制更容易实施,且可以更有效地控制碳排放(Lin和Jia,2018)。基于上述分析,本文将聚焦碳税政策展开研究。

碳排放量在很大程度上与财政支出政策密切相关(杨翱,2022)。图2比较了1990—2021年中国电力行业碳排放量增长率与国家财政支出增长率。可以看出,二者总体呈相反的变化态势。这是因为碳排放具有显著的顺周期性(肖伯文、范英,2022),而政府在经济衰退期间往往会通过财政刺激政策来支持经济复苏,国家财政支出增长率变化是逆周期的。除碳税政策外,作为财政支出一部分的环境公共支出政策对碳排放也产生了较大影响,但在现有研究中通常被忽略。因此,本文将考虑环境公共支出政策的碳排放治理效果。

“保增长”和“控碳排”是我国在实现高质量发展道路上需要平衡的一大难题。一方面,近年来我国经济增速从高位出现回落,经济进入转型期。2023年的中央经济工作会议提出“要坚持稳中求进、以进促稳、先立后破”,这表明稳定经济增速已成为当前经济发展的第一要务。另一方面,当前我国已由

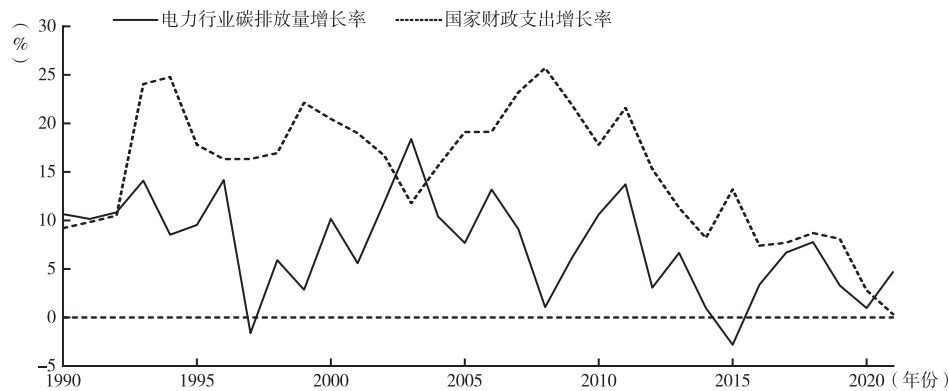


图2 1990—2021年中国电力行业碳排放量增长率与国家财政支出增长率

资料来源:国家财政支出原始数据来源于国家统计局官方网站(<http://www.stats.gov.cn/>)。

高速增长阶段转向高质量发展阶段,推动碳达峰、碳中和是构建新发展格局、实现高质量发展的内在要求。在此现实背景下,亟须探讨碳排放政策如何在“保增长”和“控碳排”双重目标中实现平衡。

本文参考 Chan (2020a)、Schreiner 和 Madlener (2022) 的研究构建环境动态随机一般均衡 (E-DSGE) 模型。相较于现有文献,本文的边际贡献主要体现在以下三个方面:第一,在模型构建上,本文将异质性电力生产系统和环境要素纳入 DSGE 模型中,将电力生产系统分为清洁电力和传统电力两部分,并在传统电力生产商中加入了企业减排的自主治理和政府环境公共支出的行政治理两大核心机制;第二,在线性政策规则的设定上,构建了盯住碳排放的碳税政策和环境公共支出政策,通过数值模拟分析比较了二者作用机理的差异,为理解碳税政策和环境公共支出政策治理碳排放的内在逻辑与传导路径提供了新的理论解释;第三,在非线性政策规则的设定上,结合我国的实际情况,探索了考虑“保增长”和“控碳排”的联合政策规则,分析了非线性联合政策规则的调控效应。

## 二、文献综述

从财政政策的碳排放治理方向来看,有两大类文献:一类聚焦财政收入下的碳税政策;另一类聚焦财政支出下的环境公共支出政策。Fang 等 (2024) 根据投入产出表,通过模拟研究发现碳税政策虽然能够有效减少碳排放,但会抑制经济增长。而 Guo 和 Qin (2023) 利用 CGE 模型对我国的碳税政策实施结果进行了估算,发现碳税政策不仅能够实现减排的目标,而且可以进一步促进经济增长,提升居民的福利水平。可见,在静态视角下,碳税政策是否具有“双赢”效应并未形成共识。从动态视角出发,大量研究利用 DSGE 模型对碳税政策进行动态分析。杨翱等 (2014) 构建了 RBC 模型,在相同减排目标下,通过比较稳态分析了没有碳排放政策、盯住碳排放强度、盯住碳排放上限和盯住碳税四种场景的碳排放政策优劣,但模型对碳排放部门的刻画比较粗糙,只是将污染中间品引入生产函数,也并未分析碳税规则。Dissou 和 Karnizova (2016) 通过构建 DSGE 模型,在生产函数中引入电力要素,并将生产部门加入异质性,分为能源密集型产品和非能源密集型产品,发现在上述四种碳政策中碳税政策产生的福利最大。Xiao 等 (2018) 在中间品生产时引入了能源投入和碳排放,探讨了不同环境政策的宏观经济波动效应,发现当政府征收碳税时,会因推高生产成本而抑制企业的生产活动,其负面效应会造成国内生产总值的巨大损失。但上述研究都是基于外生冲击的形式引入碳税,并未形成逆周期盯住碳排放的碳税规则。本文研究了制定碳税规则时盯住碳排放量的情景,并在此基础上考察了“保增长”和“控碳排”双

重偶然紧约束下的非线性政策调控,模拟了碳税规则的动态传导机制和有效性问题。

也有大量研究聚焦财政公共支出政策对碳排放的影响,Halkos和Paizanos(2013)对1980—2000年77个国家进行研究发现,政府支出对碳排放量的影响尚无定论。Adewuyi(2016)运用1990—2015年国家层面面板数据,发现政府支出每增加1%会导致碳排放量减少1.15%。Halkos和Paizanos(2016)使用1973—2013年的美国数据研究表明,提高政府支出水平可以减少消费和生产过程中产生的碳排放量。然而,并非所有研究都认为政府支出与碳排放量之间存在负相关关系。Yu和Chen(2010)通过对中国29个省份1996—2006年的面板数据进行研究发现,政府支出与能源强度之间存在正相关关系。Zhang等(2017)、Li等(2022)的研究也表明政府支出与碳排放量正相关。上述实证研究没有明确政府支出如何影响碳排放量的作用机制。Krajewski和Mackiewicz(2019)通过构建E-DSGE模型,考虑政府支出影响碳排放量的机制,发现扩张性财政政策可以缓解污染问题,这是因为较高的政府支出会挤出私人投资,从而导致投资从资本密集型技术转向劳动密集型技术,后者对大气的污染较小。Chan(2020b)利用DSGE模型,对比分析了货币政策、公共支出政策和碳税政策的减排效果,发现三种政策都能有效治理碳排放,但作用机制差异巨大。虽然现有文献对政府支出影响碳排放量的机制进行了初步阐释,但其政策设定仍局限在线性形式上,不能对政策的非线性特点进行刻画。本文不仅考虑了盯住碳排放量增长率的财政支出政策规则,而且将政策规则设为分段形式,比较了线性规则和非线性规则的传导机制与政策效果。

### 三、理论模型

本文构建了一个包括家庭部门、最终品厂商、电力供应商、电力生产系统和政府部门的DSGE模型。最终品厂商利用电力供应商提供的总电力和家庭部门提供的资本进行最终品的生产,并向电力供应商和家庭部门分别支付电力回报和资本回报。电力供应商对收购的私营电力进行整合以生产总电力供给最终品厂商,电力生产系统由清洁电力生产商和传统电力生产商构成,二者生产的电力是同质的。政府部门向电力供应商提供电网基础设施,并通过制定碳税政策和环境公共支出政策治理碳排放。

#### (一)家庭部门

参照Chan和Punzi(2023)的设定,将碳排放量 $Q_t$ 引入家庭部门效用函数中。代表性家庭最大化终身效用函数为:

$$\max_{C_t, K_{t+1}^F, K_{t+1}^{EP1}, K_{t+1}^{EP2}, B_{t+1}} E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left( \ln C_t - \psi \frac{Q_t^{1+\mu}}{1+\mu} \right)$$

其中,变量 $C_t$ 表示消费,变量 $K_{t+1}^F$ 、 $K_{t+1}^{EP1}$ 、 $K_{t+1}^{EP2}$ 分别表示最终品厂商资本、清洁电力生产商资本和传统电力生产商资本,变量 $B_{t+1}$ 表示 $t$ 期期末持有的债券,参数 $\beta$ 表示家庭部门主观贴现因子,参数 $\mu > 0$ 表示碳排放量的弹性,参数 $\psi > 0$ 表示环境质量偏好系数。

家庭部门的跨期预算约束为:

$$C_t + I_t^F + I_t^{EP1} + I_t^{EP2} + B_{t+1} - B_t = R_t^F K_t^F + R_t^{EP1} K_t^{EP1} + R_t^{EP2} K_t^{EP2} + R_{t-1} B_t + \Pi_t^F + \Pi_t^{EG} + \Pi_t^{EP1} + \Pi_t^{EP2} - T_t$$

其中,变量 $I_t^F$ 、 $I_t^{EP1}$ 、 $I_t^{EP2}$ 分别表示最终品厂商投资、清洁电力生产商投资和传统电力生产商投

资, 变量  $R_t^F, R_t^{EP^1}, R_t^{EP^2}$  分别表示上述三类投资对应的实际收益率, 变量  $R_{t-1}$  表示实际债券利率, 变量  $\Pi_t^F, \Pi_t^{EG}, \Pi_t^{EP^1}, \Pi_t^{EP^2}$  分别表示最终品厂商利润、电力供应商利润、清洁电力生产商利润和传统电力生产商利润, 变量  $T_t$  表示一次性总量税。三类资本的演化方程分别为:  $I_t^F = K_{t+1}^F - (1 - \delta_F)K_t^F, I_t^{EP^1} = K_{t+1}^{EP^1} - (1 - \delta_{EP^1})K_t^{EP^1}, I_t^{EP^2} = K_{t+1}^{EP^2} - (1 - \delta_{EP^2})K_t^{EP^2}$ 。

## (二) 最终品厂商

假设经济中最终品厂商的生产函数为 C-D 形式, 具体形式表示为:  $Y_t = A_t^F (K_t^F)^\alpha (E_t)^{1-\alpha}$ 。其中, 参数  $\alpha$  表示最终品资本产出弹性; 变量  $E_t$  表示总电力供应; 变量  $A_t^F$  表示最终品厂商全要素生产率, 其对数服从 AR(1) 过程。

## (三) 电力供应商

电力供应商是国有企业, 同样采用 C-D 生产函数形式:  $E_t = A_t^{EG} (EP_t)^\zeta (K_t^{EG})^{1-\zeta}$ 。其中, 参数  $\zeta$  表示私营电力的产出弹性; 变量  $EP_t$  表示私营电力, 包含清洁电力生产  $EP_t^1$  和传统电力生产  $EP_t^2$ ,  $EP_t = EP_t^1 + EP_t^2$ ; 变量  $K_t^{EG}$  表示政府拥有的电网基础设施; 变量  $A_t^{EG}$  表示电力供应商全要素生产率, 其对数服从 AR(1) 过程。

## (四) 电力生产系统

### 1. 清洁电力生产商

清洁电力生产商生产清洁电力  $EP_t^1$ , 生产函数表示为:  $EP_t^1 = A_t^{EP^1} (K_t^{EP^1})^{\theta^1}$ 。其中, 参数  $\theta^1$  表示清洁电力的资本产出弹性; 变量  $A_t^{EP^1}$  表示清洁电力生产商全要素生产率, 其对数服从 AR(1) 过程。

在给定资本收益率的条件下, 最大化其利润:

$$\max_{K_t^{EP^1}} \Pi_t^{EP^1} = P_t^{EP^1} EP_t^1 - R_t^{EP^1} K_t^{EP^1} - \Omega^1 - \frac{\Theta}{2} \left( \frac{EP_t^1 - \overline{EP^1}}{\overline{EP^1}} \right)^2$$

其中, 变量  $P_t^{EP^1}$  表示清洁电力的出厂价格, 参数  $\Omega^1$  表示清洁电力生产的固定成本。

此外, 清洁能源受天气、温度等的影响, 电力生产相比传统能源电力不稳定, 因此设定惩罚函数为  $\frac{\Theta}{2} \left( \frac{EP_t^1 - \overline{EP^1}}{\overline{EP^1}} \right)^2$ 。其中,  $\overline{EP^1}$  表示清洁电力的稳态,  $\Theta$  为惩罚参数。

### 2. 传统电力生产商

传统电力生产商生产传统电力  $EP_t^2$ , 生产函数表示为:  $EP_t^2 = A_t^{EP^2} (K_t^{EP^2})^{\theta^2} (M_t)^{1-\theta^2}$ 。其中, 变量  $M_t$  为传统能源, 供给函数为  $M_t = (P_t^M)^\gamma \phi$ , 参数  $\gamma$  表示传统能源供给价格弹性; 变量  $A_t^{EP^2}$  表示传统电力生产商全要素生产率, 其对数服从 AR(1) 过程。

传统电力生产过程中会排放二氧化碳, 其影响因素包括传统能源使用量、政府碳排放治理力度与自主减排努力程度。碳排放量的决定方程为:  $Q_t = (A_t^Q)^{\Delta^Q} (1 - D_t) (M_t)^{\Delta^1} (G_t)^{\Delta^2}$ 。其中,  $(M_t)^{\Delta^1}$  是传统能源使用的排放效应,  $(G_t)^{\Delta^2}$  是政府环境公共支出的减排效应, 参数  $\Delta^1 > 0, \Delta^2 < 0$ ; 变量  $D_t \in (0, 1)$  表示传统电力生产商在时间  $t$  所做的自主减排努力程度; 变量  $A_t^Q$  表示传统电力生产商的减排技术, 其对数服从 AR(1) 过程。

传统电力生产商采取减排措施会产生减排成本:  $CQ_t = s^1 D_t s^2 (M_t)^{\sigma^1} (G_t)^{\sigma^2}$ 。其中, 参数  $s^1$  表示减排成本的规模, 参数  $s^2$  表示减排成本对自主减排努力的敏感度。  $s^2 > 1$  意味着减排成本随着减排努力程度的提高边际递增。此时, 征收碳税可以通过增加传统电力生产商的成本、鼓励传统电力生产商付出更多自主减排努力来加速减排。在给定资本收益率和传统能源价格的条件下, 传统电



力生产商最大化当期利润：

$$\max_{K_t^{EP^2}, M_t, D_t} \Pi_t^{EP^2} = P_t^{EP^2} EP_t^2 - R_t^{EP^2} K_t^{EP^2} - P_t^M M_t - \tau_t Q_t - CQ_t - \Omega^2$$

其中,参数 $\Omega^2$ 表示传统电力生产的固定成本,变量 $P_t^{EP^2}$ 表示传统电力的出厂价格,变量 $\tau_t$ 表示单位碳排放的碳税。

(五)政府部门

政府部门的预算约束为：

$$I_t^{EG} + R_{t-1}B_t + G_t + GG_t = R_t^{EG} K_t^{EG} + B_{t+1} - B_t + T_t + \tau_t Q_t$$

其中,电网基础设施供给方程简化为 $I_t^{EG} = R_t^{EG} K_t^{EG}$ ;资本积累方程为 $K_{t+1}^{EG} = (1 - \delta_{EG})K_t^{EG} + I_t^{EG}$ ;变量 $G_t$ 表示政府环境公共支出;变量 $GG_t$ 表示不包含环境公共支出的一般性政府支出,其对数服从AR(1)过程。

关于政府制定碳税政策规则和环境公共支出政策规则,以往文献将二者都设置为恒定或外生AR(1)过程(肖伯文、范英,2022),本文在此基础上设定了三种不同盯住类型的碳税政策规则和一种环境公共支出政策规则。

基准碳税政策规则设定如下：

$$\ln \frac{\tau_t}{\bar{\tau}} = \rho_\tau \ln \frac{\tau_{t-1}}{\bar{\tau}} + \varepsilon_t^\tau \quad (1)$$

其中, $\rho_\tau$ 为持续性参数, $\bar{\tau}$ 是 $\tau_t$ 的稳态, $\varepsilon_t^\tau \sim N(0, \sigma_\tau^2)$ 是白噪声。在基准碳税政策规则的基础上,分别设定盯住产出、盯住碳排放以及同时盯住产出和碳排放三类扩展型碳税政策规则,具体如下：

$$\ln \frac{\tau_t}{\bar{\tau}} = \rho_\tau \ln \frac{\tau_{t-1}}{\bar{\tau}} + \varphi_Y \ln \frac{Y_t}{\bar{Y}} + \varepsilon_t^\tau \quad (2)$$

$$\ln \frac{\tau_t}{\bar{\tau}} = \rho_\tau \ln \frac{\tau_{t-1}}{\bar{\tau}} + \varphi_{Q\tau} \ln \frac{Q_t}{\bar{Q}} + \varepsilon_t^\tau \quad (3)$$

$$\ln \frac{\tau_t}{\bar{\tau}} = \rho_\tau \ln \frac{\tau_{t-1}}{\bar{\tau}} + \varphi_Y \ln \frac{Y_t}{\bar{Y}} + \varphi_{Q\tau} \ln \frac{Q_t}{\bar{Q}} + \varepsilon_t^\tau \quad (4)$$

其中,上横线“ $\bar{\cdot}$ ”标识的是相应变量的稳态值,参数 $\varphi_Y$ 表示税收对产出的盯住系数,参数 $\varphi_{Q\tau}$ 表示税收对碳排放的盯住系数。

基准环境公共支出政策规则设定如下：

$$\ln \frac{G_t}{\bar{G}} = \rho_G \ln \frac{G_{t-1}}{\bar{G}} + \varepsilon_t^G \quad (5)$$

其中, $\rho_G$ 为持续性参数, $\bar{G}$ 是 $G_t$ 的稳态, $\varepsilon_t^G \sim N(0, \sigma_G^2)$ 是白噪声。本文在基准环境公共支出政策规则的基础上,设定盯住碳排放的扩展型环境公共支出政策规则如下：

$$\ln \frac{G_t}{\bar{G}} = \rho_G \ln \frac{G_{t-1}}{\bar{G}} + \varphi_{QG} \ln \frac{Q_t}{\bar{Q}} + \varepsilon_t^G \quad (6)$$

其中,参数 $\varphi_{QG}$ 表示环境公共支出盯住碳排放权重的政策系数。

(六)市场出清

市场出清设定如下：

$$Y_t = C_t + I_t^F + I_t^{EP^1} + I_t^{EP^2} + I_t^{EG} + G_t + GG_t + P_t^M M_t + CQ_t + \Omega^1 + \Omega^2 + \frac{\Theta}{2} \left( \frac{EP_t^1 - \overline{EP^1}}{\overline{EP^1}} \right)^2$$

四、参数设定

本文有关参数估计采取两种方法：对于可以根据国内外已有研究设定的参数，采用校准方法；对于缺乏可信经验支撑的参数，利用我国经济数据通过贝叶斯估计法得到。所有参数均在季度频率上进行校准和估计。

(一)结构参数校准

参考庄子罐等(2016)的设定，家庭部门主观贴现因子 $\beta$ 校准为0.9883。对于最终品资本季度折旧率 $\delta^f$ ，陈昆亭和龚六堂(2006)、Christiano等(2010)将其设定为0.025。Argentiero等(2022)将可回收的清洁资本年度折旧率和不可回收的传统资本年度折旧率均设定为0.1，因此本文将清洁能源资本季度折旧率 $\delta^{EP^1}$ 和传统能源资本季度折旧率 $\delta^{EP^2}$ 均校准为0.025。依据Schreiner和Madlener(2022)的设定，将电网基础设施资本季度折旧率 $\delta^{EG}$ 取值为0.0167；将减排成本函数中参数 $\zeta^1$ 设定为0.185，幂项 $\zeta^2$ 取值为2.8(Chan, 2020a)；将减排技术参数 $\Delta^0$ 设定为-1(Chan和Punzi, 2023)；将最终品的资本产出弹性 $\alpha$ 校准为0.33(Xiao等, 2018)。通过稳态求解计算得到政府减排支出稳态值与产出稳态值之比 $\overline{G}/\overline{Y}$ 为0.005，与本文参考朱军(2015)的研究并查阅2012—2022年《中国统计年鉴》《中国税务年鉴》《中国财政年鉴》采取比值平均法估计得到的结果基本一致，这表明本文对结构参数的校准值符合我国经济现实情况。传统能源供给函数中的调整参数 $\phi$ 由稳态计算决定，结果为0.0391。

(二)贝叶斯估计

对于剩余参数，本文均采用贝叶斯方法进行估计。根据贝叶斯估计法则，选取消费、总产出、传统电力生产量和总电力作为观测变量，收集和整理社会消费品零售总额(亿元)、名义GDP(亿元)、火力发电量(亿千瓦时)和总发电量(亿千瓦时)作为观测数据。样本数据的时间跨度为2000年第一季度至2022年第四季度，所有数据均来源于国家统计局官方网站和Wind数据库。由于上述数据是季度频率数据，往往会呈现季节性特点，因此为了剔除季节性因素，本文利用Census-X12方法进行季节调整，并将其转化为与模型中观测变量相对应的样本数据。贝叶斯估计结果如表1所示。

表1 参数的贝叶斯估计

参数	先验分布类型	先验分布	后验均值	90% 后验区间
$\Delta^1$	Norm	[0.5, 0.1]	0.4968	[0.3500, 0.6454]
$\Delta^2$	Norm	[-0.5, 0.1]	-0.4560	[-0.5929, -0.3322]
$\Theta$	Norm	[10, 1.5]	10.6856	[8.6039, 12.7087]
$\zeta$	Norm	[0.8, 0.05]	0.8278	[0.7968, 0.8661]
$\theta^1$	Norm	[0.35, 0.1]	0.2212	[0.1573, 0.2857]
$\theta^2$	Norm	[0.3, 0.02]	0.3126	[0.2789, 0.3412]
$\gamma$	Norm	[2, 0.2]	1.6718	[1.2643, 1.9691]
$\sigma^1$	Norm	[0.5, 0.02]	0.5001	[0.4712, 0.5304]
$\sigma^2$	Norm	[-2, 0.05]	-2.0170	[-2.0931, -1.9460]

注：先验分布一列中括号内的值分别为分布的先验均值和标准差，Norm表示正态分布。

## 五、数值模拟分析

前文构建了引入异质性电力生产系统和环境要素的DSGE模型,经参数估计和模型求解后,得到离散时间动力系统,为传导机制研究奠定了基础。接下来的数值模拟分析将从线性政策情形和非线性政策情形两个角度入手,考察在不同外生冲击下碳税政策规则和环境公共支出政策规则的传导路径与治理效果,并对比分析两类碳排放政策的机制差异。<sup>①</sup>

### (一)线性政策情形下碳排放政策规则的传导机制

#### 1. 碳税冲击的传导机制分析

在碳税冲击下,本文比较分析了基准碳税政策规则与三种不同盯住类型的扩展型碳税政策规则的传导路径以及电力行业碳排放污染中的治理效果。图3给出了在1单位标准差的碳税冲击下产出、消费、投资等实体经济变量的动态响应。

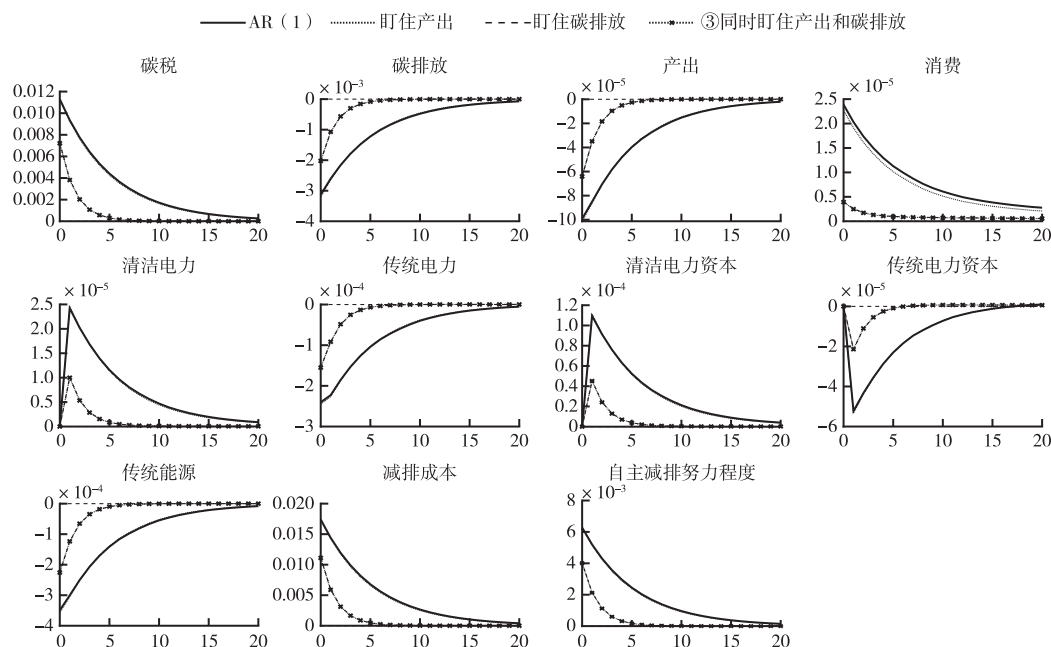


图3 碳税冲击下基准碳税政策规则与扩展型碳税政策规则比较

注: $\varphi_{QY} = 0$ 和 $\varphi_{Qr} = 0$ 表示服从AR(1)过程的基准碳税政策规则; $\varphi_{QY} = 0.6$ 和 $\varphi_{Qr} = 0$ 表示盯住产出的扩展型碳税政策规则; $\varphi_{QY} = 0$ 和 $\varphi_{Qr} = 2$ 表示盯住碳排放的扩展型碳税政策规则; $\varphi_{QY} = 0.6$ 和 $\varphi_{Qr} = 2$ 表示同时盯住产出和碳排放的扩展型碳税政策规则。

从图3可以看出,第一,从厂商的角度来看,碳税税率上调能够有效减少碳排放量,但同时抑制了总产出,给经济活动带来额外成本。具体而言,最终品厂商产出的下降导致电力供应商生产规模缩小,进而导致私营电力需求下降。私营电力从传统电力生产商和清洁电力生产商构成的电力生产系统获得。对于传统电力生产商来说,碳税税率上调通过更高的碳减排成本促使其提高自主减排努力程度以抑制碳排放,并减少传统能源投入和传统电力资本租赁,

<sup>①</sup> 本文还进一步考察了厂商全要素生产率冲击下碳税政策和环境公共支出政策的作用机制与治理效应。限于篇幅,正文中未展示,留存备索。



最终导致传统电力产出下降。对于清洁电力生产商来说,由于正向碳税冲击对传统电力生产造成负向影响,这相当于清洁电力生产商占据更大的生产份额,因此清洁电力生产商投入更多的清洁电力资本以扩大生产。碳税冲击对电力生产部门生产活动的影响导致传统能源价格和传统电力资本收益率大幅下降,而清洁电力资本收益率则小幅上升。从家庭部门的角度来看,代表性家庭收入下降导致消费减少,会根据各类资本收益率变化调整自身的投资配置。规模上,由于产出下降,家庭部门总投资规模缩小;结构上,资本收益率大幅下降的传统电力投资占比相对下降,而资本收益率小幅上升的清洁电力投资占比则相对上升。综上所述,正向碳税冲击具有减少碳排放量但抑制经济增长的双重效应:一方面,更高的碳税税率调动了传统电力生产商做出自主减排努力的积极性,具有很好的碳排放治理效果;另一方面,更高的碳税税率相当于成本推动冲击,在中短期会给经济活动带来额外成本,进而抑制经济体的总产出。换言之,碳税政策规则具有较好的碳排放治理效果,但代价是会在一定程度上抑制经济增长。

第二,不同形式的碳税政策冲击对实际经济变量的影响程度不同。首先,对比基准碳税政策规则和盯住碳排放的扩展型碳税政策规则可以看出,碳排放水平的降低将对碳税过程造成下行压力,进而导致碳税税率的初始上升幅度较小,较低的碳税税率进一步阻碍了传统电力生产商的减排力度。因此,随着碳排放盯住系数 $\varphi_{qc}$ 的变大,碳排放水平下降得更少。其次,对比基准碳税政策规则和盯住产出的扩展型碳税政策规则可以看出,所有变量的变动幅度相差很小,这表明盯住产出的扩展型碳税政策规则并不会对碳税冲击的脉冲响应函数产生很大影响。通过对比盯住碳排放的扩展型碳税政策规则与同时盯住产出和碳排放的扩展型碳税政策规则也可以得到一致发现。总之,通过对比不同形式的碳税政策冲击可以发现,在碳税政策规则的制定中盯住碳排放是有效的,而盯住产出是无效的。

## 2. 环境公共支出冲击的传导机制分析

在环境公共支出冲击下,对比分析基准环境公共支出政策规则与不同强度盯住碳排放的扩展型环境公共支出政策规则传导机制和治理效果的差异性特征。图4给出了不同盯住强度下1单位标准差环境公共支出冲击的脉冲响应。

从图4可以看出,第一,从厂商的角度来看,政府环境公共支出增加使得总需求增加,拉动总产出增加,使得最终品厂商对总电力的需求量上升。需求带动供给,电力供应商对作为生产要素的私营电力需求增加。私营电力由传统电力和清洁电力两部分构成。根据减排成本的表达式可知,政府环境公共支出的增加会导致传统电力生产商的减排成本下降,故传统电力生产商将租赁更多的传统电力资本并购买更多的传统能源以扩大生产,在私营电力生产中占据更高的生产份额。相比之下,清洁电力生产商产出被挤出,清洁电力生产规模小幅缩减,对清洁电力资本的需求量有所减少。环境公共支出冲击对电力生产部门生产活动的影响导致传统能源价格和传统电力资本收益率大幅上升,而清洁电力资本收益率则小幅下降。从家庭部门的角度来看,债券利率上升,家庭部门被鼓励持有更多的无风险债券,因此消费和投资被挤出。值得注意的是,从总量上看,家庭部门的总投资规模缩小;但是从结构上看,传统电力投资增加,而清洁电力投资则有所下降。此外,对环境公共支出冲击下不同盯住强度的环境公共支出政策规则进行比较可知,随着 $\varphi_{qc}$ 的增大,碳排放对环境公共支出冲击的反应减弱,因此政府更容易实现碳排放目标。

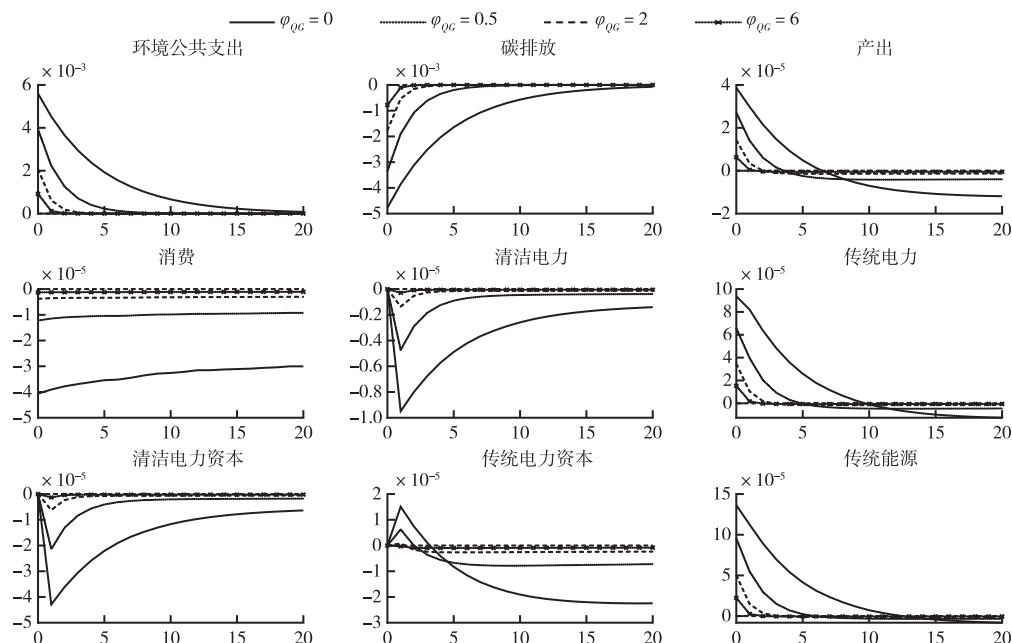


图4 环境公共支出冲击下不同盯住强度的环境公共支出政策规则比较

第二,环境公共支出政策规则对环境污染的治理具有双重政策效果。一方面,政府环境公共支出的增加对环境污染具有一定的治理作用,能够抑制碳排放,这是政策的直接效应。另一方面,由于财政支出乘数效应的存在,政府环境公共支出的增加能够刺激社会总需求,提高总产出,推动经济增长。而经济增长势必造成碳排放量增加,这会对碳排放的治理产生负向作用,影响环境公共支出政策的治理效果,这是政策的间接效应。值得注意的是,考虑到在政府支出总量不变的情况下,环境公共支出的增加导致其他政府支出减少,所以环境公共支出政策在刺激经济增长的同时,由于其他政府支出政策对经济增长的推动作用变得相对较小,总财政政策对经济的刺激作用有限。总结来看,环境公共支出政策能够在一定程度上治理碳排放,但由于乘数效应的存在,该政策对碳排放的治理作用有限。

## (二)非线性政策情形下碳排放政策规则的调控机制

上述数值模拟分析考察了碳税政策和环境公共支出政策的传导路径与治理效果,重点比较分析了两类政策规则作用机制的差异,并进一步深入探讨了两类政策的适用特征。然而,不同类型的碳排放政策适用于不同的现实情况,碳排放政策的选取应该随着现实情况的变化及时做出调整。本部分在线性政策的基础上进一步考察了“保增长”和“控碳排”双重偶然紧约束下的非线性政策情形下碳排放政策规则的调控机制,并对比分析了非线性政策与线性政策的不同之处。

### 1. 非线性政策规则的设定

为了进一步挖掘“保增长”和“控碳排”目标的潜在影响,本文以分段线性函数的形式引入“产出增长率下限”及“碳排放量上限”两种偶然紧约束。<sup>①</sup>鉴于常规对数线性求解技术无法处理非线

<sup>①</sup> 鉴于后文福利分析的结果表明盯住碳排放的碳税政策规则优于其他盯住型碳税政策规则及AR(1),盯住碳排放的环境公共支出政策规则优于AR(1),因此仅给出上述两种规则的具体偶然紧约束形式,其余规则不再考虑偶然紧约束形式。

性 DSGE 模型,本文利用 Guerrieri 和 Iacoviello (2015) 提出的扩展完美预见路径算法 (Extended Perfect Foresight Path Algorithm) 进行求解。<sup>①</sup>

$$\left\{ \begin{array}{ll} \left\{ \begin{array}{l} \ln \frac{\tau_t}{\bar{\tau}} = \rho_{\tau} \ln \frac{\tau_{t-1}}{\bar{\tau}} + \varphi_{Q\tau} \ln \frac{Q_t}{\bar{Q}} \\ \ln \frac{G_t}{\bar{G}} = \rho_G \ln \frac{G_{t-1}}{\bar{G}} + \varphi_{QG} \ln \frac{Q_t}{\bar{Q}} \end{array} \right. & \ln \frac{Y_t}{Y_{t-1}} > g_Y^*, \ln \frac{Q_t}{\bar{Q}} < \ln \frac{Q^*}{\bar{Q}} \quad \text{情形 1} \\ \left\{ \begin{array}{l} \ln \frac{\tau_t}{\bar{\tau}} = \rho_{\tau} \ln \frac{\tau_{t-1}}{\bar{\tau}} + \varepsilon_t^{\tau} \\ \ln \frac{G_t}{\bar{G}} = \rho_G \ln \frac{G_{t-1}}{\bar{G}} + \varphi_{QG} \ln \frac{Q_t}{\bar{Q}} \end{array} \right. & \ln \frac{Y_t}{Y_{t-1}} \leq g_Y^*, \ln \frac{Q_t}{\bar{Q}} < \ln \frac{Q^*}{\bar{Q}} \quad \text{情形 2} \\ \left\{ \begin{array}{l} \ln \frac{\tau_t}{\bar{\tau}} = \rho_{\tau} \ln \frac{\tau_{t-1}}{\bar{\tau}} + \varphi_{Q\tau} \ln \frac{Q_t}{\bar{Q}} \\ \ln \frac{G_t}{\bar{G}} = \rho_G \ln \frac{G_{t-1}}{\bar{G}} + \varepsilon_t^G \end{array} \right. & \ln \frac{Y_t}{Y_{t-1}} > g_Y^*, \ln \frac{Q_t}{\bar{Q}} \geq \ln \frac{Q^*}{\bar{Q}} \quad \text{情形 3} \\ \left\{ \begin{array}{l} \ln \frac{\tau_t}{\bar{\tau}} = \rho_{\tau} \ln \frac{\tau_{t-1}}{\bar{\tau}} + \varepsilon_t^{\tau} \\ \ln \frac{G_t}{\bar{G}} = \rho_G \ln \frac{G_{t-1}}{\bar{G}} + \varepsilon_t^G \end{array} \right. & \ln \frac{Y_t}{Y_{t-1}} \leq g_Y^*, \ln \frac{Q_t}{\bar{Q}} \geq \ln \frac{Q^*}{\bar{Q}} \quad \text{情形 4} \end{array} \right.$$

其中,  $g_Y^*$  和  $Q^*$  分别表示产出增长率下限和碳排放量上限。<sup>②</sup>

在“保增长”和“控碳排”双重目标的约束下,政策区制的设定分为以下四种情形。情形 1: 当产出增长率和碳排放量均未触及目标临界值时,偶然紧约束为“双松”,此时政府同时实施盯住碳排放的碳税政策规则和盯住碳排放的环境公共支出政策规则。情形 2: 当产出增长率触及目标下限但碳排放量未触及目标上限时,偶然紧约束为“一松一紧”,这意味着“保增长”是当前经济的首要目标。根据两类政策规则的适用特征可知,政府应优先考虑具有减碳排和拉动总需求双重效应的环境公共支出政策,故此时碳税政策规则服从 AR(1) 过程,而环境公共支出政策规则仍盯住碳排放。情形 3: 当产出增长率未触及目标下限但碳排放量触及目标上限时,偶然紧约束为“一松一紧”,这意味着“控碳排”是当前经济发展的首要目标。政府应优先考虑治理效果更好的碳税政策,故此时碳税政策规则盯住碳排放,而环境公共支出政策规则服从 AR(1) 过程。情形 4: 当产出增长率下限和碳排放量上限同时触及目标临界值时,偶然紧约束为“双紧”,这意味着当前经济面临“产出下滑、污染加剧”的两难困境,此时政府不采取任何盯住型碳排放政策规则,以避免对经济造成负面干预,故此时碳税政策规则和环境公共支出政策规则均服从 AR(1) 过程。

## 2. 非线性政策规则的调控机制

在全要素生产率冲击下,考察“保增长”和“控碳排”双重偶然紧约束下的非线性碳排放政策规

<sup>①</sup> 完美预见路径算法 (Perfect Foresight Path Algorithm) 和全局算法 (Global Algorithm) 都是较为常见的非线性求解方法,但就实际操作的便利性而言, Guerrieri 和 Iacoviello (2015) 提出的扩展完美预见路径算法应用相对更广泛。

<sup>②</sup> 产出增长率下限通过 1980—2022 年我国 GDP 增长率与《政府工作报告》中 GDP 增长目标计算得到。碳排放量偏离稳态上限参考国家应对气候变化战略研究和国际合作中心 (NCSC) 提出的二氧化碳排放目标,收集整理 2013—2022 年我国实际二氧化碳排放量,利用线性插值法和 HP 滤波处理得到。限于篇幅,正文中未展示,留存备案。

则的调控机制,并对比分析非线性政策与线性政策的不同之处。图5描绘了在第1期给定1单位正向全要素生产率冲击下,非线性碳排放政策规则与线性政策规则的脉冲响应。其中,产出增长率下限预警 $dY$ 是表示产出水平是否触及目标下限的虚拟变量,触及产出增长率下限取值为1,否则取值为0;碳排放量上限预警 $dQ$ 是表示碳排放水平是否触及目标上限的虚拟变量,触及碳排放量上限取值为1,否则取值为0。

从图5可以看出,第一,碳排放水平在第1期触及目标上限,并持续到第19期结束。具体而言,第1期给定1单位正向全要素生产率冲击,产出随即增加,进而引起碳排放在第1期骤增并触及碳排放量上限。根据非线性政策区制设定可知,此时环境公共支出政策规则由盯住碳排放变成AR(1)过程,而碳税政策规则仍盯住碳排放,这意味着政府采取碳税政策治理碳排放,具体表现为上调碳税税率以抑制碳排放。相较于线性情形,碳税税率的上调意味着传统电力生产商面临更高的减排成本,传统电力生产规模扩大幅度相对较小,但这并不意味着传统电力生产将低于冲击前的初始水平,这是因为第1期的正向全要素生产率冲击通过产业上下游的供需关系给传统电力生产带来的正向刺激作用要远大于碳税税率上调带来的负向抑制作用。因此,非线性情形下传统电力生产商对传统能源和传统电力资本需求的增加幅度略小,进而导致传统能源价格和传统电力资本收益率的上升幅度同样略小于线性情形,这进一步抑制了非线性情形下传统电力的生产。

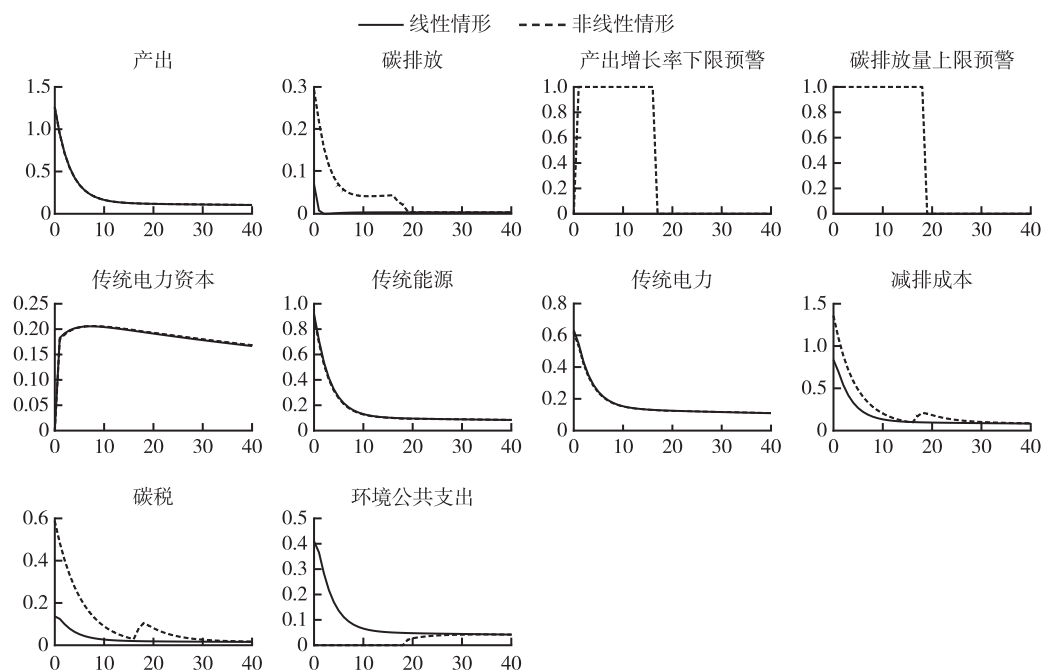


图5 全要素生产率冲击下非线性碳排放政策规则与线性政策规则比较

第二,产出增长率从第2期开始触及目标下限,并持续至第17期结束。具体而言,由于全要素生产率冲击只发生在第1期,产出在第2期开始逐渐减少至初始水平,因此产出增长率从第2期开始触及目标下限。与此同时,碳排放量仍未调控至正常范围内,故此时的联合政策规则变成碳税政策规则和环境公共支出政策规则均服从AR(1)过程的形式。碳排放量和产出增长率同时触及

目标临界值的情况一直持续到第17期结束。随着时间的推移,产出逐渐趋近于稳态水平,在第18期产出增长率已经恢复至正常范围内,但此时对碳排放的治理仍未达标,故联合政策规则在第18期变成碳税政策规则盯住碳排放、环境公共支出政策规则服从AR(1)过程的形式。而在随后的第20期,碳排放经过治理恢复正常水平,这意味着在碳排放联合政策规则调控以及市场调节作用下,碳排放量和产出增长率均已恢复至正常水平,此时联合政策规则再次变成碳税政策规则和环境公共支出政策规则均盯住碳排放的形式。此外,图5中碳税、环境公共支出、碳排放以及减排成本等关键实际经济变量的脉冲响应在第17期和第19期存在明显折点,这再一次印证了碳排放联合政策规则的制定能够有效应对现实经济在“保增长”与“控碳排”之间的权衡取舍,实现对外生冲击下经济波动的灵活调控。

## 六、福利分析

在福利分析中,近年来基于代表性家庭效用最大化的微观福利度量在文献中被广泛使用。本文参考李向阳(2018)的研究将条件福利水平设定为: $W = E_t \sum_{j=0}^{\infty} \beta^j [\ln C_{t+j}^* - \psi (Q_{t+j}^*)^{1+\mu} / (1+\mu)]$ 。其中, $C_{t+j}^*$ 、 $Q_{t+j}^*$ 分别表示位于鞍点路径上的最优消费和最优碳排放量。对于无条件福利水平,在计算时选择其无条件期望作为度量,定义无条件福利水平为: $E(W) = E \sum_{j=0}^{\infty} \beta^j [\ln C_{t+j}^* - \psi (Q_{t+j}^*)^{1+\mu} / (1+\mu)]$ 。应用条件福利水平进行政策比较,有利于考察短期内政策的过渡性或转换效应;而无条件福利水平依赖于长期的状态空间分布,短期的转换效应会消失,所以适用于考察政策的长期效果。

### (一)线性情形下单一政策规则的福利变动

本部分基于上述福利损失评价标准,探讨线性情形下随着盯住碳排放强度的增大,碳税政策规则和环境公共支出政策规则对应的福利水平变动情况,并进一步分析其背后蕴含的经济逻辑。图6展示了不同盯住强度下两类碳排放政策规则的福利变动情况。

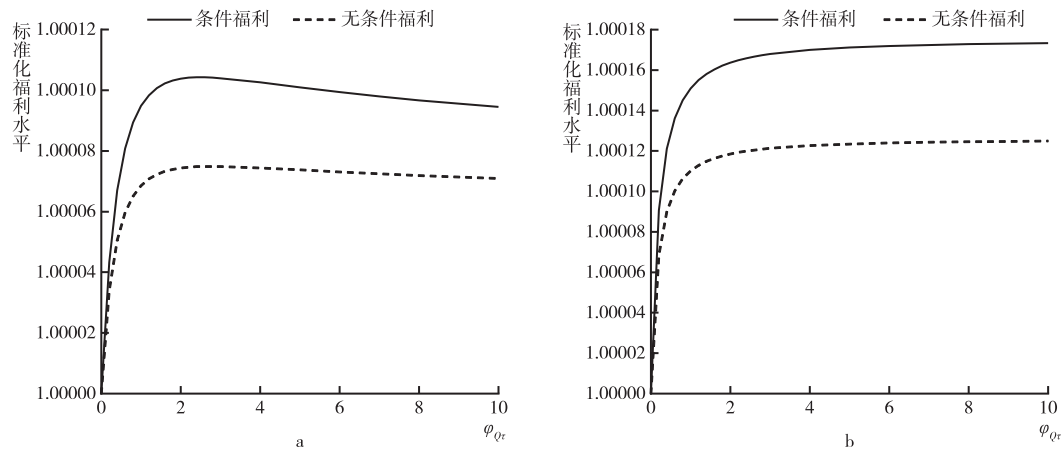


图6 不同盯住强度下两类碳排放政策规则的福利变动情况



从图 6a 可以看出,随着碳排放盯住强度的增大,无条件福利和条件福利均呈现倒“U”型的变化趋势。具体而言,当盯住强度较弱时,福利水平伴随盯住强度的增大而提高;而当盯住强度较强时,福利水平伴随盯住强度的增大而下降。这是由消费和碳排放之间的权衡关系对福利损失函数取值的影响造成的。碳排放盯住强度增大会导致消费水平下降,在碳税政策规则对碳排放盯住强度较弱的情况下,实体经济处于碳排放规模和消费水平“双高”的状态,“控碳排”成为当前经济发展的首要目标。此时,单位消费的减少对福利的负向影响明显小于单位碳排放量的减少对福利的正向影响,这意味着相较于消费而言,家庭部门更关注环境治理对居住幸福感的提升作用。因此,随着盯住强度的增大,盯住碳排放的碳税政策规则对环境污染的治理力度逐渐加大,同时社会福利水平也逐渐提高。而伴随盯住强度的持续增大,在碳税政策规则对碳排放盯住强度处于较高程度的情况下,碳税政策的实施在抑制碳排放的同时,还会产生抑制产出的效应,实体经济处于碳排放规模和消费水平“双低”的状态。此时,单位消费的减少对福利的负向影响将大于单位碳排放量的减少对福利的正向影响,这意味着相较于环境治理而言,家庭部门更关注增加消费对自身幸福感的影响。因此,当盯住强度较强时,随着盯住强度的继续增大,碳税政策规则对环境污染的治理力度将持续加大,但社会福利水平则逐渐下降。综上所述,无论是从短期还是长期来看,随着碳排放盯住强度的增大,碳税政策规则的福利水平均呈现倒“U”型的变化趋势。

从图 6b 可以看出,随着碳排放盯住强度的增大,无条件福利和条件福利均呈现单调递增的变化趋势,这与碳税政策规则形成的倒“U”型曲线有着明显区别。具体来说,在环境公共支出政策规则对碳排放缺口的盯住强度较弱的情况下,福利水平的变动趋势与碳税政策规则盯住碳排放强度较弱情形下的变动趋势基本一致。与碳税政策规则背后蕴含的经济逻辑相同,此时单位消费的减少对福利的负向影响明显小于单位碳排放量的减少对福利的正向影响,家庭部门更关注环境治理对居住幸福感的提升作用。但在盯住强度较大的情况下,不同于碳税政策规则,环境公共支出政策规则对应的福利水平不降反升。这是由环境公共支出政策和碳税政策传导机制的差别导致的。在单位消费的减少对福利的负向影响大于单位碳排放量的减少对福利的正向影响的情况下,环境公共支出政策还会直接拉动总需求,通过财政支出乘数效应刺激消费,从而提高福利水平,这也就解释了随着盯住强度的持续增大,环境公共支出政策规则对应的福利水平不降反升的原因。综上所述,无论是从短期还是长期来看,随着碳排放盯住强度的增大,环境公共支出政策规则的福利水平均呈现单调递增的变化趋势。

## (二)非线性情形下联合政策规则的福利变动

在上述线性情形下,盯住碳排放不同强度的政策福利变动规律再一次揭示了两种政策规则的作用机制和特点,本部分则从现实经济背景出发,研究非线性情形下联合政策规则福利水平的变动情况,并进一步深入探究两种政策的相互作用对政策设定的影响。图 7 展示了不同盯住强度下双重偶然约束的非线性联合政策规则的福利变动情况。

从图 7 可以看出,第一,在给定环境公共支出政策盯住系数  $\varphi_{qc}$  的情况下,碳税政策盯住系数  $\varphi_{qr}$  越大,福利水平越高。这意味着政府部门在不改变既有环境公共支出政策的前提下,完全可以通过改变碳税政策对碳排放的盯住强度来达到调整福利水平的目的。但值得注意的是,不同环境公共支出政策盯住系数  $\varphi_{qc}$  取值对应的福利水平的边际变动大小也不同, $\varphi_{qc}$  取值越小,福利水平对碳税政策盯住系数  $\varphi_{qr}$  的变动越敏感,政府通过增大碳税政策盯住强度来提升福利水平具有更

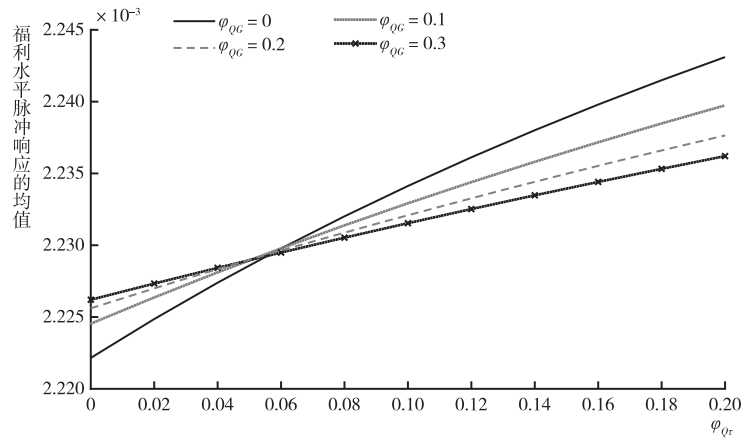


图7 给定不同盯住强度下联合政策规则的福利变动情况

为充裕的操作空间。第二,在给定碳税政策盯住系数 $\varphi_{Qr}$ 的情况下,环境公共支出政策盯住系数 $\varphi_{QG}$ 的变动对福利水平的影响并不是单调的。图7中各折线之间存在交会点,交会点对应的 $\varphi_{Qr}$ 取值在 $[0.05, 0.06]$ 区间内。以交会点为分界点,当碳税政策盯住系数 $\varphi_{Qr}$ 处于低位时,环境公共支出政策盯住系数 $\varphi_{QG}$ 与福利水平呈正相关关系;而当碳税政策盯住系数 $\varphi_{Qr}$ 处于高位时,环境公共支出政策盯住系数 $\varphi_{QG}$ 与福利水平呈负相关关系。这表明政府对环境公共支出政策盯住强度的设定密切依赖于碳税政策盯住强度的大小。当碳税政策对碳排放的盯住强度较弱时,应采取强盯住碳排放的环境公共支出政策规则以使得福利水平最高;而当碳税政策对碳排放的盯住强度较强时,则应采取弱盯住碳排放的环境公共支出政策规则。综上所述,通过对联合政策规则福利变动的分析可知,碳税政策和环境公共支出政策的制定存在一定的相互作用,政府在设定某一政策对碳排放的盯住强度时应充分考虑另一种政策盯住强度的影响,以期达到两种碳排放政策相互配合并在有限的范围内共同实现福利水平最大化的政策目标。

## 七、结论与启示

高质量发展要求平衡好经济发展与环境质量之间的关系,电力行业是我国最大的碳排放部门,面临巨大的减排压力。然而,学界对电力行业碳排放政策尚未给予充分的关注。在探讨碳税政策和环境公共支出政策设定合理性的基础上,进一步明确两类碳排放政策的传导机制和治理效应,对推动电力行业低碳转型、助力经济高质量发展具有重要的现实参考意义。

在此背景下,本文通过构建包含异质性电力生产系统和环境要素在内的DSGE模型,从财政收入和财政支出双重视角出发,制定不同盯住类型的碳税政策和环境公共支出政策,在外生冲击下考察了碳税政策和环境公共支出政策两类碳排放政策的传导路径与治理效果,重点比较分析了两类碳排放政策的机制差异。更进一步地,结合我国经济发展的现实背景,本文在基准线性政策规则基础上考察了“保增长”和“控碳排”双重偶然紧约束下非线性碳排放政策的调控效应,并探讨了应对电力行业碳排放污染的最佳政策。研究发现,(1)相较于将碳税严格固定或外生,盯住碳排放的碳税政策更能充分发挥价格政策的优势;对环境公共支出政策的设定,盯住碳排放的环境公共支出政策优于外生时的政策。(2)机制分析表明,碳税政策通过提高电力生产商自主减排努力程度

实现碳排放治理,但其代价是会在一定程度上抑制经济增长;环境公共支出政策具有治理碳排放和刺激经济增长的双重效果,但乘数效应导致的产出增加会抑制碳排放的治理效果。(3)考虑双重偶然紧约束的非线性联合政策规则能够有效应对现实经济在“保增长”和“控碳排”之间的权衡取舍,实现对外生冲击下经济波动的灵活调控。(4)福利分析发现,相较于单一使用碳税政策规则或环境公共支出政策规则,非线性联合政策规则能够有效提高福利水平,引入政策区制的非线性联合政策规则是应对电力行业碳排放污染的最优政策选择。但需要注意的是,在非线性政策规则设定时要充分考虑到两种政策的相互影响,以期达到两种碳排放政策相互配合、共同实现福利最大化的政策目标。

基于以上主要结论,本文得出如下政策启示。(1)在我国已实施碳排放权交易试点的背景下,应考虑开征专款专用的碳税作为重要的碳排放政策选项,这将有助于火电技术转型升级和新能源创新发展。碳税税率的设定应参考电力行业的碳减排成本,从而将碳税与电力企业减排成本挂钩,充分调动电力企业自主减排的积极性。此外,不应严格固定碳税,而应与碳排放目标结合起来实施碳税改革,这样既可充分发挥其灵活性、保持宏观税负稳定并减少增税阻力,又有助于实现电力行业碳减排和经济高质量发展的“双重红利”。(2)政府应将电力行业节能、提效和减碳三个目标密切结合,逐步将节能政策导向过渡到以减碳政策为统领的导向上,助力电力行业转型发展。本文的研究结果强调了碳排放政策相互协调的重要性,相较于实施单一碳税政策或环境公共支出政策,使用考虑政策区制的联合政策规则可以兼顾“保增长”和“控碳排”的双重目标,并提高社会福利水平,建议政府部门优先考虑这一联合政策规则。(3)要加快构建新能源占比逐渐提高的新型电力系统,推动清洁电力资源大范围优化配置。但当前各项技术还不足以对新型电力系统建设提供有效支撑,有必要超前布局,加大产业培育投入和系统性产业政策扶持力度,同时还要从实际出发,避免“一刀切”限电限产或运动式“减碳”。只有处理好发展与减排、整体与局部、短期与中长期的关系,加快构建清洁低碳、安全高效的能源体系,才能更加有效地推进电力行业低碳转型发展和碳达峰、碳中和目标如期实现。

#### 参考文献:

- 1.陈昆亭、龚六堂:《粘滞价格模型以及对中国经济的数值模拟——对基本RBC模型的改进》,《数量经济技术经济研究》2006年第8期。
- 2.李向阳:《动态随机一般均衡(DSGE)模型:理论、方法和Dynare实践》,清华大学出版社2018年版。
- 3.肖伯文、范英:《新冠疫情的经济影响与绿色经济复苏政策评估》,《系统工程理论与实践》2022年第2期。
- 4.杨翱:《不同碳配额分配方式的中国经济波动效应研究》,《数量经济技术经济研究》2022年第6期。
- 5.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》,《资源科学》2014年第7期。
- 6.朱军:《基于DSGE模型的“污染治理政策”比较与选择——针对不同公共政策的动态分析》,《财经研究》2015年第2期。
- 7.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》,《管理世界》2016年第11期。
- 8.Adewuyi, A. O., Effects of Public and Private Expenditures on Environmental Pollution: A Dynamic Heterogeneous Panel Data Analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.65, No.11, 2016, pp.489-506.
- 9.Argentiero, A., D'Amato, A., & Zoli, M., Waste Recycling Policies and Covid-19 Pandemic in an E-DSGE Model. *Waste Management*, Vol.141, No.3, 2022, pp.290-299.
- 10.Chan, Y. T., Are Macroeconomic Policies Better in Curbing Air Pollution than Environmental Policies? A DSGE Approach with Carbon-dependent Fiscal and Monetary Policies. *Energy Policy*, Vol.141, No.6, 2020a, 111454.
- 11.Chan, Y. T., Collaborative Optimal Carbon Tax Rate under Economic and Energy Price Shocks: A Dynamic Stochastic General

Equilibrium Model Approach. *Journal of Cleaner Production*, Vol.256, No.5, 2020b, 120452.

12. Chan, Y. T., & Punzi, M. T., E-DSGE Model with Endogenous Capital Utilization Rate. *Journal of Cleaner Production*, Vol.414, No.8, 2023, 137640.

13. Christiano, L. J., Trabandt, M., & Walentin, K., DSGE Models for Monetary Policy Analysis. *Handbook of Monetary Economics*, Vol.3, 2010, pp.285–367.

14. Dissou, Y., & Karnizova, L., Emissions Cap or Emissions Tax? A Multi-sector Business Cycle Analysis. *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.79, No.9, 2016, pp.169–188.

15. Fang, X., He, W., Wen, F. G., An, M., Song, M. F., Wang, B., & Ramsey, T. S., Simulation Study on the Effect of Differentiated Carbon Tax Adjustment on CO<sub>2</sub> Emissions Reduction in China from the Perspective of Carbon Footprint. *Journal of Cleaner Production*, Vol.434, No.1, 2024, 140071.

16. Guerrieri, L., & Iacoviello, M., A Toolkit for Solving Dynamic Models with Occasionally Binding Constraints Easily. *Journal of Monetary Economics*, Vol.70, No.3, 2015, pp.22–38.

17. Guo, Y., & Qin, Z. J., Impact of Carbon Tax on Energy Sector Segmentation under Different Closures: A Case Study of China via CGE Model. *Energy Reports*, Vol.9, No.9, 2023, pp.500–510.

18. Halkos, G. E., & Paizanos, E. A., The Effect of Government Expenditure on the Environment: An Empirical Investigation. *Ecological Economics*, Vol.91, No.7, 2013, pp.48–56.

19. Halkos, G. E., & Paizanos, E. A., The Effects of Fiscal Policy on CO<sub>2</sub> Emissions: Evidence from the USA. *Energy Policy*, Vol.88, No.1, 2016, pp.317–328.

20. Krajewski, P., & Mackiewicz, M., The Role of Capital and Labour in Shaping the Environmental Effects of Fiscal Stimulus. *Journal of Cleaner Production*, Vol.216, No.4, 2019, pp.323–332.

21. Li, G. X., Ahmad, M., & Khattak, S. I., Impact of Innovation in Marine Energy Generation, Distribution, or Transmission-related Technologies on Carbon Dioxide Emissions in the United States. *Energy Reviews*, Vol.159, No.5, 2022, 112225.

22. Lin, B. Q., & Jia, Z. J., The Energy, Environmental and Economic Impacts of Carbon Tax Rate and Taxation Industry: A CGE Based Study in China. *Energy*, Vol.159, No.9, 2018, pp.558–568.

23. Schreiner, L., & Madlener, R., Investing in Power Grid Infrastructure as a Flexibility Option: A DSGE Assessment for Germany. *Energy Economics*, Vol.107, No.3, 2022, 105843.

24. Xiao, B. W., Fan, Y., & Guo, X. D., Exploring the Macroeconomic Fluctuations under Different Environmental Policies in China: A DSGE Approach. *Energy Economics*, Vol.76, No.10, 2018, pp.439–456.

25. Yu, X. K., & Chen, Z. C., Government Expenditure and Energy Intensity in China. *Energy Policy*, Vol.38, No.2, 2010, pp.691–694.

26. Zhang, Q. X., Zhang, S. L., Ding, Z. Y., & Hao, Y., Does Government Expenditure Affect Environmental Quality? Empirical Evidence Using Chinese City-level Data. *Journal of Cleaner Production*, Vol.161, No.9, 2017, pp.143–152.

## **Research on the Green Fiscal Policy of Carbon Emissions Governance in China: Based on the E-DSGE Model of the Heterogeneous Electricity Production System**

LI Tianyu, YANG Qi, QI Yadong & WANG Baoling (Jilin University, 130012)

**Summary:** By constructing a DSGE model containing heterogeneous power production systems and environmental factors, this paper compares and analyzes the transmission mechanism and the governance effect of the carbon tax policy and the environmental public expenditure policy, and examines the regulation mechanism of non-linear joint policy rules under the dual occasional tight constraints of maintaining growth and controlling carbon emissions. The welfare analysis method was used to further reveal the setting law of

the pegged coefficient of policy rules. The findings are as follows. First, the carbon tax policy and the environmental public expenditure policy that focus on carbon emissions are effective in carbon emissions governance. Second, the carbon tax policy reduces carbon emissions by stimulating power producers to voluntarily cut carbon emissions, but at the cost of economic growth to a certain extent, while the environmental public expenditure policy can control carbon emissions and stimulate aggregate demand at the same time, but has less emissions reduction effect than the carbon tax policy. Third, the non-linear joint policy rules with occasional tight constraints can effectively deal with the trade-off between maintaining growth and controlling carbon emissions in the real economy and achieve reasonable economic regulation. However, welfare analysis found that the policy rules should fully consider the interplay between the two policies when setting the targeting coefficient, and their reasonable use can lead to better results.

This paper has the following three contributions. First, in terms of model construction, this paper incorporates heterogeneous power production systems and environmental factors into the DSGE model, divides the power production system into two parts: clean power and conventional power, and adds two core mechanisms of independent governance of enterprises' voluntary emissions reduction efforts and the governance of environmental public expenditure to traditional power producers. Secondly, in the setting of linear policy rules, the carbon tax policy and the environmental public expenditure policy are formulated to target carbon emissions. Through numerical simulation analysis, the differences in the mechanism of action between the two were compared and analyzed, which provided a new theoretical explanation for understanding the internal logic and transmission path of these two policies to control carbon emissions. Thirdly, in the setting of non-linear policy rules, combined with the actual situation of China, a joint policy rule considering maintaining growth and controlling carbon emissions was constructed, and the regulatory effect of non-linear joint policy rules investigated for the first time.

This paper has the following policy implications. First, in the context of China's pilot implementation of carbon emissions trading, a special carbon tax should be considered as a key carbon emissions policy, which will facilitate the transformation and upgrading of thermal power technology and the research and development of new energy. Secondly, the government should closely align the three goals of energy conservation, efficiency improvement and carbon reduction in the power industry, and gradually shift from the energy conservation policy to the carbon reduction policy, so as to facilitate the transformation and development of the power industry. The results of this paper emphasize the importance of coordinating carbon emissions policies.

**Keywords:** Carbon Emission, Green Fiscal Policy, Power Production System, DSGE Model

**JEL:** E61, H53

责任编辑:非 同