

# 环保政策、治污努力程度与生态环境质量

## ——基于三部门 DSGE 模型的数值分析

武晓利

(河南财经政法大学经济学院, 河南 郑州 450000)

**摘要:** 本文通过构建包含环保政策因素的三部门动态随机一般均衡(DSGE)模型, 研究环保政策、政府治污支出及环境消费偏好等措施对宏观经济的动态效应, 尤其是对实际碳排放量和生态环境质量的影响, 并在此基础上分析各项措施的传导机制。研究发现: (1) 环保技术改善能够在保持经济增长的基础上, 显著降低碳排放, 提高环境质量; (2) 征收碳税以及提升环境消费偏好均能够显著改善环境质量, 但对经济增长存在一定的负效应; (3) 政府治污支出能够显著降低碳排放量和提高环境质量, 但中长期内会对宏观经济产生负效应, 通过调整政府治污支出转化系数, 能够显著提高政府治污支出措施的有效性。总体上, 环保技术与治污支出是保持经济增长与环境质量协调发展的关键, 提升厂商的环保技术研发水平与加大治污力度应是现阶段政策制定的参考重点。

**关键词:** 环保政策; 治污努力程度; 环境质量; DSGE 模型

中图分类号: F015

文献标识码: A

文章编号: 1004-4892(2017)04-0101-12

### 一、引言及文献回顾

气候变化关乎人类的生存和发展, 近年来我国生态环境质量的持续恶化, 已严重影响经济的可持续发展。环保技术更新、政府治污支出以及包含碳税在内的环保政策制定成为近年来我国治理环境污染的重要手段, 关于如何实现经济增长与生态环境质量的协调发展也获得众多学者的广泛关注。2014年6月7日, 国务院印发《能源发展战略行动计划(2014~2020)》指出, 能源发展要坚持“节约、清洁、安全”的战略方针, 重点实施节约优先、立足国内、绿色低碳、创新驱动四大战略。十八届五中全会提出的绿色发展理念倡导生态、绿色、低碳、循环的理念, 彻底改变现有的以资源耗竭、环境污染支撑的经济增长方式, 坚持走可持续发展的道路。

那么, 面对生态环境日益恶化的严峻形势, 应如何更有效地进行环境治理, 实现经济的绿色发展, 已成为中国面临的一项重大挑战。在此背景下, 研究经济系统和生态环境系统中影响生态环境质量的因素, 深入揭示其内在影响机理和传导机制, 对提高环境质量、寻找最优环保政策、实现“环境-资源-经济”的可持续发展具有重要的实际应用价值。从研究现状来看, 目前的学术观点存在较大分歧, 首先, 家庭消费所带来的汽车尾气排放对生态环境的影响日趋严峻, 同时废弃物的再

收稿日期: 2016-06-15

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(16YJC790111); 国家自然科学基金青年项目(71603243)

作者简介: 武晓利(1985-), 女, 河南安阳人, 河南财经政法大学经济学院讲师, 博士。

回收利用也直接影响到土壤污染和水污染治理；其次，企业层面的环保技术更新及减排努力程度也直接影响到工业废气与废水的排放规模，进而对整体生态环境造成影响；最后，政府层面的治污支出分配及相关环保政策的合理实施也影响到家庭与企业环保观念的转变与减排努力程度的强弱，进而从根本上促进生态环境质量的改善。

古典经济理论中，通常认为环境治理对经济增长以及居民就业存在一定的负效应，碳排放作为影响环境质量的重要因素，其对宏观经济的影响也表现为负面性。然而，在经济转型背景下的中国，随着环境质量问题的日趋严峻，如何有效实现经济可持续增长与生态环境质量改善的双重目标，已成为现阶段政府所面临的主要任务。从现有研究结论来看，在保持经济增长基础上，有效降低碳排放规模，主要通过以下两条途径：一是改善环保技术，技术更新能够在保持企业生产力的基础上降低其碳排放量，关键点在于如何有效降低设备更新周期以及员工技术培训的时间成本；二是增加治污支出及征税等财政措施，设置合理的碳税征收比率以及碳排放上限，能够在中长期促进企业转变生产方式和经营理念，从而降低碳排放规模，改善环境质量，并减缓对企业生产规模和营业利润的短期冲击。

国外对生态环境治理方面的研究相对较早，其研究思路主要基于两个方面：一是从税收的角度进行研究，如 Pizer(1999)、Bovenberg & Goulder(2001) 基于一般均衡框架，探讨不确定性情况下比例控制以及税收政策对环境治理的作用机制<sup>[1][2]</sup>；Bárcena-Ruiz & Garzón(2006)、Kato(2006, 2011)、Wang 等(2009)通过最优排污税与“庇古税”等税收形式，从社会福利最大化的角度分析最优环境政策工具的选择问题<sup>[3][4][5][6]</sup>，Wissema & Dellink(2007)在 CGE 模型中引入碳排放税因素，考察碳税征收对爱尔兰经济的影响<sup>[7]</sup>，Fried et al. (2013)、Annicchiarico & Dio(2013)在动态随机一般均衡框架下，研究碳排放量、碳税政策等对经济增长与社会福利的影响等等<sup>[8][9]</sup>。二是从行业标准、碳排放交易的视角进行分析，如 Helfand(1991)、Ebert(1998)等分别从环境标准、污染配额等方面研究不同策略下的经济效率问题<sup>[10][11]</sup>；Angelopoulos(2010)在动态随机一般均衡的框架下考察协议规则在环境污染治理中的作用<sup>[12]</sup>；Mandell(2008)、Mackenzie & Ohndorf(2012)从碳排放交易的角度研究碳减排政策对环境质量的影响等等<sup>[13][14]</sup>。

该领域的相关问题也得到国内众多学者的关注，已有文献的研究思路与国外较为相似。如杨翱等(2014)、徐文成等(2015)分别基于碳排放政策、碳排放强度、污染排放税和碳税等环境政策进行研究<sup>[15][16]</sup>；姚昕和刘希颖(2010)、张友国等(2015)基于可计算一般均衡模型，分别引入碳排放税、碳关税等因素，研究碳税政策对我国社会福利水平及宏观经济的整体影响<sup>[17][18]</sup>；石敏俊等(2013)、魏庆坡(2015)考察碳交易与碳税之间的兼容性与互补性，探讨两种政策的减排效果及对宏观经济的影响<sup>[19][20]</sup>；郑丽琳和朱启贵(2012)、齐结斌和胡育蓉(2013)分别探讨环保技术冲击、环境质量偏好对宏观经济的影响等等<sup>[21][22]</sup>。

环境质量改善与经济增长的协调性发展也是近年来社会关注的焦点问题。如何实现两者的互补与共赢，可概括为以下两条途径：一是改变企业的生产方式，提升资源利用效率，鼓励企业从粗放型发展模式向集约型转变(查建平，2015)<sup>[23]</sup>；二是改善居民与厂商的环境质量偏好，提升全社会的节能减排与环保意识，发挥其降低碳排放及污染物排放的主观能动性(齐结斌和胡育蓉，2013)<sup>[22]</sup>。本文通过将环境质量因素分解为消费偏好、环保技术以及治污支出三个层面，综合分析家庭、厂商以及政府行为方式的变动对经济增长的动态影响，寻求在保持经济可持续增长的基础上实现环境质量改善的有效途径。

本文的研究与以往研究的不同之处在于：第一，从环保技术、碳排放税以及治污支出三个层面研究其对经济中各个变量的动态影响，进而寻找兼顾经济增长和生态环境质量的绿色发展路径；第二，本文不仅把碳排放因素引入到家庭的效用函数中，以度量碳排放对家庭效用的影响；由于在整

个经济系统中, 厂商的生产行为是生态环境中碳排放的主要来源, 为了对厂商的碳排放行为进行惩罚, 依据其碳排放量征收碳排放税; 第三, 本文的研究不再局限于经济系统, 而且考察外生因素同时对经济系统和环境系统的动态效应和传导机制, 第四, 本文将环保技术从技术因素中分离出来, 分别研究环保技术革新与生产技术改进在生态环境及宏观经济中的影响。

本文的组织结构为: 第二部分构建包含环保政策因素的动态随机一般均衡(DSGE)模型; 第三部分为模型静态参数的校准和动态参数的贝叶斯估计; 第四部分为数值模型的动态模拟, 同时利用脉冲响应函数研究了不同冲击源对宏观经济、碳排放量及环境质量的动态效应和传导机制; 第五部分是敏感性分析; 第六部分给出结论和政策建议。

## 二、模型构建

本文在动态随机一般均衡框架下构建包含三个部门和两个系统的动态随机一般均衡(DSGE)模型, 其中, 三个部门分别是代表性厂商、家庭和政府, 两个系统分别是经济系统和环境系统。首先, 对于厂商部门而言, 雇佣劳动和租赁资本进行生产, 假设厂商的生产行为是环境系统中碳排放的主要来源, 直接降低环境质量, 厂商需要对其碳排放行为进行补偿, 从而缴纳碳排放税。其次, 对于家庭部门而言, 影响代表性家庭效用的不仅包括消费和劳动, 而且还包括环境质量和碳排放量, 家庭在每一期向厂商提供劳动和私人资本, 以获得劳动报酬和资本租金。最后, 对于政府部门而言, 收入全部来源于厂商所缴纳的碳排放税, 支出用于转移支付和治污支出。其中, 转移支付用于弥补代表性家庭由于碳排放和生态环境质量下降所带来的效用下降; 治污支出用于研发环保技术和改善环境质量。

### (一) 代表性厂商

在完全竞争的市场中, 厂商均是同质的, 每个厂商具有相同的技术条件。代表性厂商通过租借私人资本和劳动进行生产。假设厂商采用柯布-道格拉斯形式的生产函数, 即:

$$Y_t = A_t K_t^\alpha N_t^{1-\alpha} \quad (1)$$

其中,  $\alpha > 0$  表示资本产出弹性;  $Y_t$  表示  $t$  期的产出;  $K_t$  表示  $t$  期的资本存量;  $N_t$  表示  $t$  期的劳动投入;  $A_t$  表示  $t$  期的外生技术水平, 是一个随机变量, 假定其与稳态值的随机偏离  $\tilde{A}_t$  服从 AR(1) 过程, 可得:

$$\log A_{t+1} = (1 - \rho_A) \log A^* + \rho_A \log A_t + \varepsilon_{t+1}^A, \quad \varepsilon_{t+1}^A \sim N(0, \sigma_A^2) \quad (2)$$

其中,  $A^*$  表示技术水平的稳态值,  $\{\varepsilon_{t+1}^A\}_{t=0}^{+\infty}$  是白噪声过程。

假设厂商的生产行为是生态环境中碳排放的主要来源, 并且每一期碳排放量与当期厂商的产出量呈正向关系, 与当期的环保技术水平呈反比。参考 Annicchiarico & Dio(2015)、郑丽琳和朱启贵(2012)的观点, 设定第  $t$  期碳排放量  $X_t$  为<sup>[24][21]</sup>:

$$X_t = \frac{\varphi Y_t}{EP_t} \quad (3)$$

其中,  $\varphi$  表示基于产出的碳排放指标;  $EP_t$  表示第  $t$  期的环保技术水平, 环保技术改善对碳排放与生态环境质量的动态效应, 假设  $EP_t$  是一个随机变量, 服从 AR(1) 过程, 即:

$$\log EP_{t+1} = (1 - \rho_{EP}) \log EP^* + \rho_{EP} \log EP_t + \varepsilon_{t+1}^{EP}, \quad \varepsilon_{t+1}^{EP} \sim N(0, \sigma_{EP}^2) \quad (4)$$

其中,  $EP^*$  表示环保技术水平的稳态值,  $\{\varepsilon_{t+1}^{EP}\}_{t=0}^{+\infty}$  是白噪声过程。

在整个经济系统中, 为了对厂商的碳排放行为进行惩罚, 依据其碳排放量征收碳排放税, 故第  $t$  期厂商缴纳的碳排放税为  $\tau_t^X X_t$ 。其中,  $\tau_t^X$  表示  $t$  期碳排放税率。为了模拟碳排放税的动态效应, 在这里假设  $\tau_t^X$  是一个随机变量, 假定其与稳态值的随机偏离  $\tilde{\tau}_t^X$  服从 AR(1) 过程, 可得:

$$\log \tau_{t+1}^x = (1 - \rho_\tau) \log \tau^* + \rho_\tau \log \tau_t^x + \varepsilon_{t+1}^\tau, \quad \varepsilon_{t+1}^\tau \sim N(0, \sigma_\tau^2) \quad (5)$$

其中,  $\tau^*$  表示碳排放税率的稳态值,  $\{\varepsilon_{t+1}^\tau\}_{t=0}^{+\infty}$  是白噪声过程。

厂商的资本积累方程为:

$$K_{t+1} = I_t + (1 - \delta) K_t \quad (6)$$

其中,  $\delta$  表示资本折旧率,  $I_t$  表示  $t$  期的投资。

厂商在  $t$  期需要支付家庭的工资  $W_t$ 、资本租金  $r_t$ 、承担资本折旧率  $\delta$ , 向政府按税率  $\tau^x$  缴纳碳排放税。所以利润最大化问题可表达为:

$$\max_{\{K_t, N_t\}} \pi_t = Y_t - \tau_t^x X_t - W_t N_t - (r_t + \delta) K_t \quad (7)$$

求解该最优化问题, 可得如下关于  $K_t$  和  $N_t$  的最优一阶条件:

$$r_t = \alpha \left( 1 - \frac{\tau_t^x \varphi}{EP_t} \right) A_t K_t^{\alpha-1} N_t^\alpha - \delta \quad (8)$$

$$W_t = (1 - \alpha) \left( 1 - \frac{\tau_t^x \varphi}{EP_t} \right) A_t K_t^\alpha N_t^{1-\alpha} \quad (9)$$

## (二) 代表性家庭

假定经济系统中包含无数个同质的家庭, 每个家庭偏好相同且能够生存无穷期, 效用函数采用 CRRA 效用形式, 则代表性家庭在每一期规划其消费与劳动供给以最大化一生效用, 即:

$$\max_{\{C_t, N_t, S_{t+1}\}} E_0 \left\{ \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[ \xi_t \frac{(C_t^\lambda \mathcal{E}_t^{1-\lambda})^{1-\sigma_1}}{1 - \sigma_1} - \frac{N_t^{1+\sigma_2}}{1 + \sigma_2} - \ln X_t \right] \right\} \quad (10)$$

其中,  $E_0$  表示基于 0 期信息形成的条件期望算子;  $0 < \beta < 1$ , 表示主观贴现率;  $C_t$  表示第  $t$  期代表性家庭的消费量;  $\mathcal{E}_t$  表示第  $t$  期的生态环境质量;  $\lambda$  表示代表性家庭在消费和生态环境质量之间的权衡值;  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$  分别表示家庭消费和劳动的相对风险规避弹性;  $N_t$  代表第  $t$  期代表性家庭的劳动供给;  $X_t$  表示第  $t$  期的碳排放量, 其给代表性家庭带来负效用, 故以负对数的形式引入模型;  $\xi_t$  表示第  $t$  期代表性家庭的消费偏好, 是一个随机变量, 假定其与稳态值的随机偏离  $\xi_t$  服从 AR(1) 过程, 可得:

$$\log \xi_{t+1} = (1 - \rho_\xi) \log \xi^* + \rho_\xi \log \xi_t + \varepsilon_{t+1}^\xi, \quad \varepsilon_{t+1}^\xi \sim N(0, \sigma_\xi^2) \quad (11)$$

其中,  $\xi^*$  表示消费偏好的稳态值,  $\{\varepsilon_{t+1}^\xi\}_{t=0}^{+\infty}$  是白噪声过程。

在第  $t$  期, 家庭的预算约束为:

$$C_t + S_{t+1} = (1 + r_t) S_t + W_t N_t + G_{1t} \quad (12)$$

其中,  $G_{1t}$  表示政府在第  $t$  期的转移支付。

求解代表性家庭的效用最大化问题, 可得一阶条件与横截性条件如下:

$$\lambda_t = \xi_t C_t^{\lambda(1-\sigma_1)-1} \mathcal{E}_t^{(1-\lambda)(1-\sigma_1)} \quad (13)$$

$$N_t^{\sigma_2} = W_t \xi_t C_t^{\lambda(1-\sigma_1)-1} \mathcal{E}_t^{(1-\lambda)(1-\sigma_1)} \quad (14)$$

$$\xi_t C_t^{\lambda(1-\sigma_1)-1} \mathcal{E}_t^{(1-\lambda)(1-\sigma_1)} = \beta E_t [\xi_{t+1} C_{t+1}^{\lambda(1-\sigma_1)-1} \mathcal{E}_{t+1}^{(1-\lambda)(1-\sigma_1)} (1 + r_{t+1})] \quad (15)$$

$$\lim_{j \rightarrow \infty} E_t \beta^{t+j} \lambda_{t+j} S_{t+j} = 0 \quad (16)$$

其中,  $\lambda_t$  为约束条件(13)式的 Lagrange 乘子, 式(13)的右边代表家庭  $t$  期消费的边际效用; 式(14)为消费与劳动的 Euler 方程, 表示  $t$  期家庭劳动所带来的边际损失等于消费所产生的边际效用。式(15)反映家庭消费的最优规划, 即  $t$  期消费的边际效用等于  $t+1$  期消费所带来效用的贴现值。式(16)为家庭效用最大化需满足的横截性条件。

## (三) 政府

政府在每一期以  $\tau_t^x$  的税率向代表性厂商征收碳排放税作为其收入来源, 故:

$$G_t = \tau_t^X X_t \quad (17)$$

政府支出被用于两个方面：第一部分为政府转移支付  $G_{1t}$ ，用于弥补代表性家庭由于碳排放和生态环境质量下降所带来的效用下降；第二部分为政府治污支出  $G_{2t}$ ，用于开发环保技术和生态环境质量的改善，由于厂商的碳排放行为对生态环境质量和居民的效用造成负效应，在这里假定代表性家庭和厂商不会主动治理已经产生的环境污染。所以，政府必须承担起治污责任。则政府在  $t$  期的预算约束为：

$$G_{1t} + G_{2t} = \tau_t^X X_t \quad (18)$$

#### (四) 环境

假设在环境系统中，生态环境质量是一个动态演变过程，并与四个方面有关：第一，最初的无碳排放状态的生态环境质量  $\bar{\mathcal{E}}$ ；第二，上一期的生态环境质量  $\mathcal{E}_{t-1}$ ；第三，当期实际碳排放量  $X_t$ ；第四，当期政府治污支出  $G_{2t}$ 。设定生态环境质量的演变过程为：

$$\mathcal{E}_t = \eta \bar{\mathcal{E}} + (1 - \eta) \mathcal{E}_{t-1} - X_t + \gamma G_{2t} \quad (19)$$

其中， $\eta$  表示生态环境对碳排放的正常分解率； $\gamma$  表示政府治污支出为改善生态环境质量的转化系数。为了研究调整政府治污支出的动态效应，假设  $G_{2t}$  是一个随机变量，假定其与稳态值的随机偏离  $\bar{G}_{2t}$  服从 AR(1) 过程，可得：

$$\log G_{2t+1} = (1 - \rho_G) \log G_2^* + \rho_G \log G_{2t} + \varepsilon_{t+1}^G, \quad \varepsilon_{t+1}^G \sim N(0, \sigma_G^2) \quad (20)$$

其中， $G_2^*$  表示政府治污支出的稳态值， $\{\varepsilon_{t+1}^G\}_{t=0}^{+\infty}$  是白噪声过程。

#### (五) 市场出清

当市场达到出清状态时，有以下式子成立：

$$S_t = K_t \quad (21)$$

$$C_t + I_t + G_t = Y_t \quad (22)$$

#### (六) 均衡系统

给定经济中代表性家庭的偏好、厂商的技术水平和资源约束、政府支出分配、环境系统中的环保技术水平等，状态变量  $\{C_{t-1}, K_{t-1}, N^*, A_{t-1}, \mathcal{E}_{t-1}, G_{1t-1}, G_{2t-1}, X_{t-1}, EP_{t-1}\}$ ，以及消费偏好冲击、生产技术冲击、环保技术冲击、碳排放税冲击和政府治污支出冲击  $\{\xi_t, A_t, EP_t, \tau_t, G_{2t}\}$ ，当经济达到均衡状态时，代表性家庭实现效用最大化、代表性厂商实现利润最大化，并且消费品市场、资本市场以及劳动力市场均出清。

### 三、模型参数的校准、贝叶斯估计

模型中的参数根据其特征分两种方法进行相应的赋值，对于静态参数的估算，本文结合中国实际经济数据和已有文献，采用校准的方法进行赋值；对于动态参数，在模型的基础上采用贝叶斯 (Bayes) 方法进行估计。根据本文模型的设定，需要赋值的静态参数包括：消费和生态环境质量之间的权衡值  $\lambda$ ；消费与劳动供给的相对风险规避系数  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$ 、主观贴现因子  $\beta$ 、资本折旧率  $\delta$ 、资本产出弹性  $\alpha$ 、产出的碳排放指标  $\varphi$ 、生态环境对于碳排放的正常分解率  $\eta$  等；需要赋值的动态参数包括：消费偏好冲击、生产技术冲击、环保技术冲击、碳排放税冲击和政府治污支出冲击的一阶自回归参数  $\rho_\xi$ 、 $\rho_A$ 、 $\rho_{EP}$ 、 $\rho_\tau$ 、 $\rho_G$  和波动参数  $\varepsilon_t^\xi$ 、 $\varepsilon_t^A$ 、 $\varepsilon_t^{EP}$ 、 $\varepsilon_t^\tau$ 、 $\varepsilon_t^G$ 。

#### (一) 静态参数的校准检验

(1) 消费与劳动供给的相对风险规避系数  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$ 。关于消费的相对风险规避系数  $\sigma_1$ ，陈学彬等 (2005)、黄贇琳 (2005) 基于我国实际消费数据，估算出该参数取值在 0.7 ~ 1.0 之间，本文校准消费的相对风险规避系数  $\sigma_1 = 0.8^{[25][26]}$ 。关于劳动供给的相对风险规避系数  $\sigma_2$ ，Fuentes-Albero

(2009)利用微观数据估计出 $\sigma_2$ 的取值范围为0.2~0.72<sup>[27]</sup>；胡永刚和郭新强(2012)基于稳态平衡路径及效用函数估计出 $\sigma_2$ 的取值为2或者3，Hansan(1985)采用劳动不可分模型校准为100，根据本文模型和效用函数形式的设定，校准得到劳动供给的相对风险规避系数 $\sigma_2=5$ <sup>[28][29]</sup>。

(2)消费和生态环境质量之间的权衡值 $\lambda$ 。Angelopoulos(2010)将消费和生态环境质量之间的权衡值设定为0.6<sup>[12]</sup>；杨翱和刘纪显(2014)基于我国宏观经济数据，将 $\lambda$ 校准为0.6<sup>[15]</sup>；朱军(2015)指出在注重经济发展的经济体中，居民对于消费和生态环境质量的选择中更为短视，故其设定消费和生态环境质量之间的权衡值为0.7。基于以上结论，本文将消费和生态环境质量之间的权衡值 $\lambda$ 校准为0.7<sup>[30]</sup>。

(3)主观贴现因子 $\beta$ 、资本折旧率 $\delta$ 与资本产出弹性 $\alpha$ 。利用1979~2014年间的居民消费价格指数数据，可以估算得出该期间物价水平平均上升了4.5%，故将主观贴现因子 $\beta$ 校准为95%。国外已有文献对资本折旧率的估计值均在0.1左右。由于我国产业结构以及经济发展的特殊性，参考黄勇峰等(2002)、王玉凤和刘树林(2015)， $\delta$ 值校准为0.11<sup>[31][32]</sup>。国内文献对资本产出弹性的设定值一般在0.3~0.55之间，参考杨翱和刘纪显(2014)，本文校准为 $\alpha=0.4$ <sup>[15]</sup>。

(4)自然环境对于碳排放的正常分解率 $\eta$ 。Angelopoulos(2010)将生态环境对碳排放的正常分解率设定为0.1，朱军(2015)设定环境质量的持续性参数为0.9，结合生态环境质量的演变过程可计算得到生态环境对碳排放的正常分解率也为0.1<sup>[12][30]</sup>。故本文将 $\eta$ 设定为0.1。

(5)产出的碳排放指标 $\varphi$ 与劳动均衡值 $N^*$ 。Economides & Philippopoulos(2008)将碳排放作为产出的一种副产品，构建了碳排放和产出之间的线性关系，其设定产出的碳排放指标为0.5<sup>[33]</sup>；Angelopoulos(2010)和朱军(2015)认为碳排放与产出之间为动态关系，结合已有研究，本文设定产出的碳排放指标为 $\varphi=0.15$ <sup>[12][30]</sup>。参考Hansan(1985)，按照每周工作五天，每天8小时工作制计算， $N^*$ 校准为0.34<sup>[29]</sup>。

表1 静态参数的校准结果

参数	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\lambda$	$\beta$	$\delta$	$\alpha$	$\eta$	$\varphi$	$N^*$
值	0.80	5	0.7	0.95	0.11	0.4	0.45	0.15	0.34

## (二)动态参数的校准检验

本文选取1979~2014年间我国实际GDP和消费数据做为外部观察样本，并利用MATLAB对动态参数进行贝叶斯估计。首先关于先验均值的选取，根据已有文献的估算和冲击源的特征，本文设定生产技术冲击和环保技术冲击的一阶自回归系数的先验均值均为0.7，消费偏好冲击、碳排放税冲击和政府治污支出冲击的一阶自回归系数的先验均值均为0.5。对于冲击源随机扰动项的先验均值，本文均设定为0.1。其次是先验分布的选取，参考Smets & Wouters(2007)、Gerali et al.(2010)以及Khan & Tsoukalas(2012)等的做法，设定一阶自回归参数均服从Beta分布，波动参数均服从较为分散和平滑的逆伽玛(Inv. Gamma)分布<sup>[34][35][36]</sup>。

表2 动态参数的Bayes估计结果

参数	参数说明	先验均值	先验分布	后验均值	后验置信区间	
$\rho_\xi$	消费偏好冲击的一阶自回归系数	0.50	Beta	0.4939	0.4081	0.5886
$\rho_A$	生产技术冲击的一阶自回归系数	0.70	Beta	0.8515	0.7822	0.9117
$\rho_{EP}$	环保技术冲击的一阶自回归系数	0.70	Beta	0.7017	0.6110	0.7833
$\rho_\tau$	碳排放税冲击的一阶自回归系数	0.50	Beta	0.4901	0.4163	0.5801
$\rho_G$	政府治污支出冲击的一阶自回归系数	0.50	Beta	0.5204	0.4447	0.6259
$\varepsilon_i^\xi$	消费偏好冲击的随机扰动项	0.10	Inv. Gamma	0.0787	0.0231	0.1379
$\varepsilon_i^A$	生产技术冲击的随机扰动项	0.10	Inv. Gamma	0.1858	0.1440	0.2307
$\varepsilon_i^{EP}$	环保技术冲击的随机扰动项	0.10	Inv. Gamma	0.0860	0.0285	0.1479
$\varepsilon_i^\tau$	碳排放税冲击的随机扰动项	0.10	Inv. Gamma	0.0590	0.0272	0.0988
$\varepsilon_i^G$	政府治污支出冲击的随机扰动项	0.10	Inv. Gamma	0.0747	0.0279	0.1281

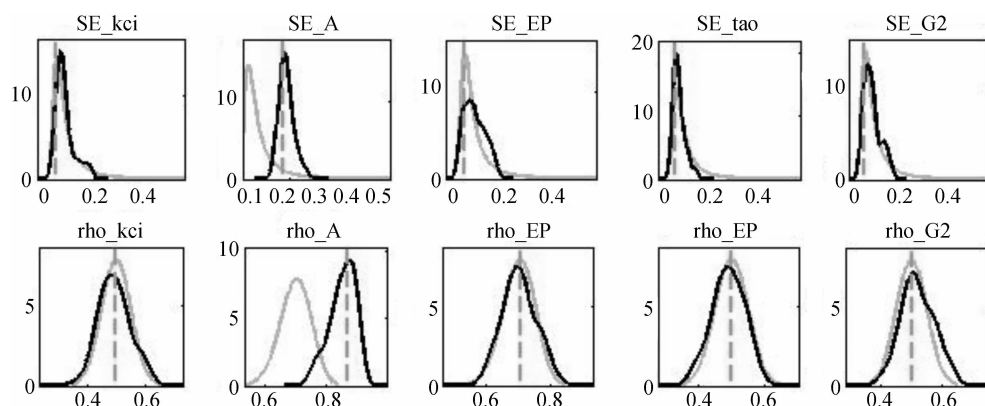


图1 Bayes估计的先验分布和后验分布

#### 四、动态效应与传导机制分析

本部分利用 MATLAB 软件对数值模型进行动态模拟，主要从以下几个方面进行具体分析：第一，考察环保技术、碳排放税、政府治污补贴及消费偏好等冲击对居民消费的动态效应；第二，考察各个冲击源对企业产出的动态效应；第三，分析各个冲击源对环境质量及碳排放量的动态影响；第四，通过上述动态模拟结果，分析各种政策冲击对宏观经济变量以及碳排放量、环境质量等环境系统变量的传导机制。

##### (一)不同冲击源对各变量的动态效应

由图 2 所示，给定 1% 单位正向的环保技术冲击，居民消费在冲击发生的当期立即正向偏离初始状态，并在第 5 期达到正向偏离的峰值，随后缓慢回归，大约在第 36 期左右回归到初始状态；给定 1% 单位正向的碳排放税冲击，居民消费在冲击发生的当期立即负向偏离初始状态，并在第 4 期达到负向偏离的低谷，随后缓慢回升，大约在 32 期左右回到初始状态；给定 1% 单位正向的政府治污支出冲击，居民消费当期负向偏离，之后立即回升，并在第 4 期达到正向偏离的峰值，随后逐步回归，约在 12 期左右回到初始状态，之后一段时间内微幅负向偏离；给定 1% 单位正向的消

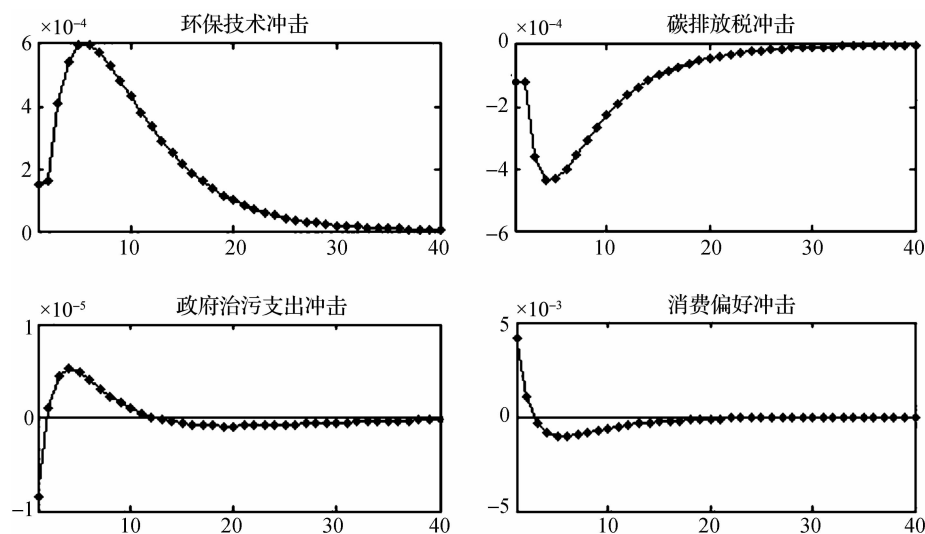


图2 居民消费对各种冲击的脉冲响应分析

费偏好冲击,居民消费当期正向偏离,随后立即下降,并在第5期达到负向偏离的低谷,之后逐步回升,约在18期回到初始状态。

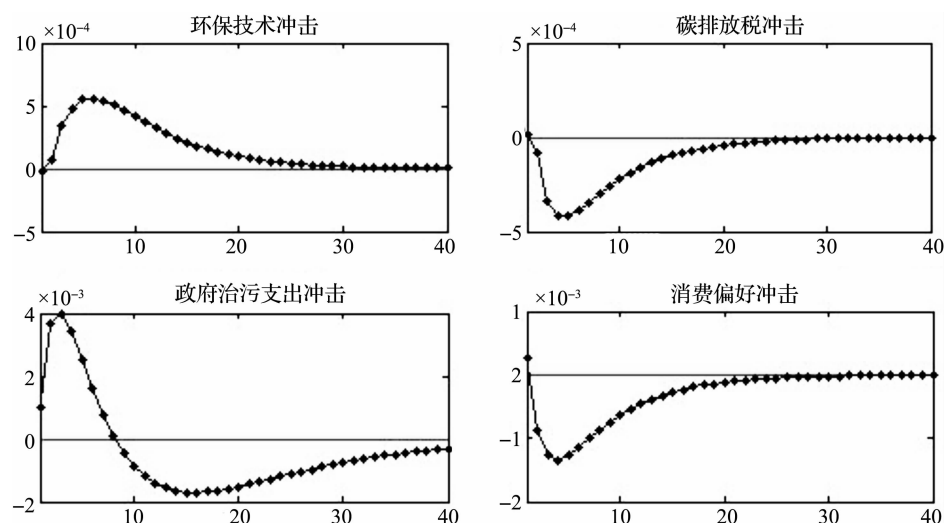


图3 产出对各种冲击的脉冲响应分析

由图3所示,给定1%单位正向的环保技术冲击,产出正向偏离初始状态,并在第5期达到正向偏离的峰值,随后缓慢回归,大约在27期左右回归到初始状态;给定1%单位正向的碳排放税冲击,产出负向偏离初始状态,并在第5期达到负向偏离的低谷,随后缓慢回升,大约在25期左右回到初始状态;给定1%单位正向的政府治污支出冲击,产出当期正向偏离,并在第3期达到正向偏离的峰值,随后快速回归,约在第8期回到初始状态,之后继续负向偏离,并在第15期达到负向偏离的低谷,随后逐步回升;给定1%单位正向的消费偏好冲击,产出当期正向偏离,随后立即下降,并在第4期达到负向偏离的低谷,之后逐步回升,约在26期回到初始状态。

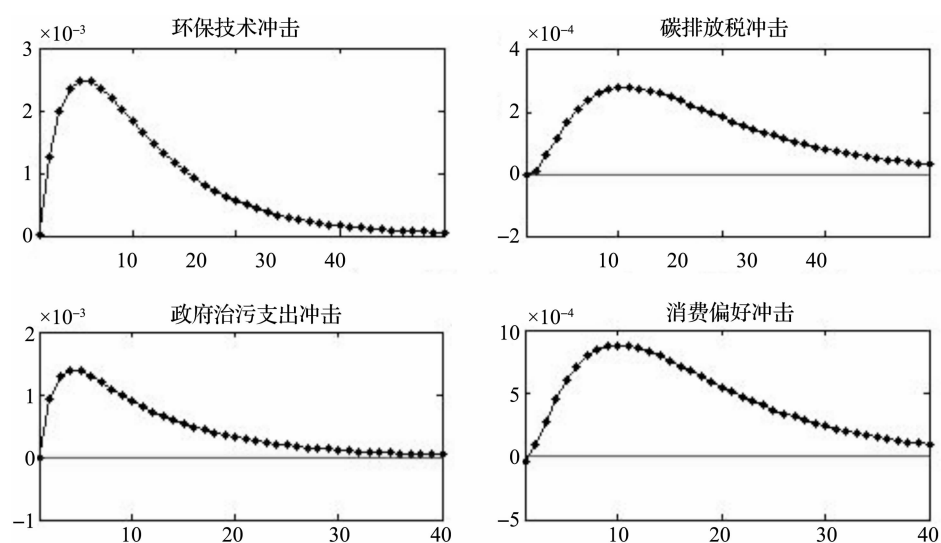


图4 环境质量对各种冲击的脉冲响应分析

由图4所示,给定1%单位正向的环保技术冲击,环境质量正向偏离初始状态,并在第5期达到正向偏离的峰值,随后缓慢回归,大约在39期左右回归到初始状态;给定1%单位正向的碳排



放税冲击, 环境质量正向偏离初始状态, 并在第 10 期达到正向偏离的峰值, 随后缓慢回归; 给定 1% 单位正向的政府治污支出冲击, 生态环境质量当期正向偏离, 并在第 4 期达到正向偏离的峰值, 随后缓慢回归, 约在 36 期作用回归到初始状态; 给定 1% 单位正向的消费偏好冲击, 环境质量当期正向偏离, 并在第 10 期达到正向偏离的峰值, 随后缓慢回归。

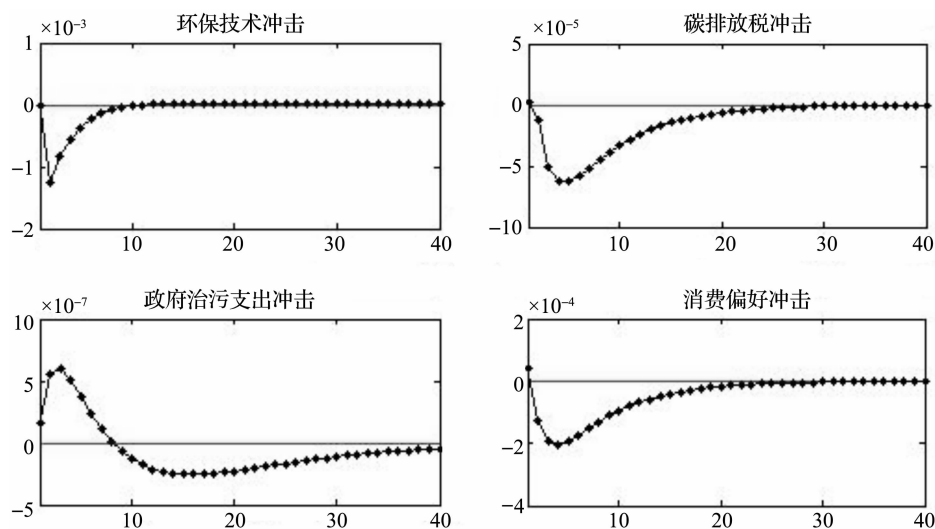


图 5 碳排放量对各种冲击的脉冲响应分析

由图 5 所示, 给定 1% 单位正向的环保技术冲击, 碳排放量负向偏离初始状态, 并在第 2 期达到负向偏离的低谷, 随后逐步回升, 大约在 10 期左右回到初始状态; 给定 1% 单位正向的碳排放税冲击, 碳排放量负向偏离初始状态, 并在第 5 期达到负向偏离的低谷, 随后缓慢回升; 给定 1% 单位正向的政府治污支出冲击, 碳排放了立即正向偏离初始状态, 并在第 3 期达到正向偏离的峰值, 之后逐步回归, 并在第 8 期回到初始状态, 但下降趋势并未停止, 而是继续负向偏离初始状态, 并约在 15 期左右达到负向偏离的低谷, 之后缓慢回归; 给定 1% 单位正向的消费偏好冲击, 碳排放量负向偏离初始状态, 并在第 4 期达到负向偏离的低谷, 之后缓慢回归。

## (二) 不同冲击源对各变量的传导机制分析

对上述模拟结果进行归纳总结, 可以得出环保技术冲击、碳排放税冲击、政府治污支出冲击和消费偏好冲击对各变量的传导机制如下:

第一, 对于正向的环保技术冲击, 居民消费、产出和环境质量的反应均为正向的, 碳排放量的反应为负向的。(1) 环保技术更新提升企业的生产效率, 边际产出上升, 从而促进企业产出规模扩大; 同时, 企业盈利状况出现改善, 工人薪资水平上升将刺激居民消费; (2) 环保技术更新使得企业产出的单位碳排放量下降, 从而从总体上改善环境质量。

第二, 对于正向的碳排放税冲击, 居民消费和产出的反应为负向的, 环境质量和碳排放的反应为一正一负。(1) 征收碳税在短期内必将抑制厂商扩大生产规模的积极性, 从而导致总产出水平下降, 同时碳税上升导致厂商利润下降, 居民收入与消费水平同步下降; (2) 环境质量与碳排放呈负相关关系, 碳税征收使得碳排放规模在短期内显著下降, 从而利于环境质量的快速改善。

第三, 对于正向的政府治污支出冲击, 居民消费和环境质量在整体上的反应为正向的, 产出和碳排放量的反应均为先正后负。(1) 政府治污支出作为财政支出的一部分, 短期内对公共消费具有显著的刺激作用; 不同的是, 治污支出短期内难以改变厂商原有生产策略, 生产规模仍保持较高水

平,随着政府治污支出强度的不断加大,刺激厂商加大减排力度,生产规模出现下降,同时政府补贴提升其净利润水平;(2)部分政府治污支出将直接投放于对污染物的处理,从而使得环境质量出现显著改善;而碳排放量与企业产出保持同步,短期内维持较高水平,中长期逐渐下降。

第四,对于正向的消费偏好冲击,居民消费、产出和碳排放量的反应均为负向的,环境质量的反应为正向的。(1)环境消费偏好改善使得居民消费环保意识的上升,消费需求出现下降,并进而导致厂商产出规模回落;(2)居民环保意识增强抑制居民总消费水平,企业产出规模下降使得碳排放量也同步回落,环境质量出现好转。

## 五、模型的敏感性分析

本节通过调整政府治污支出转化系数考察模型的稳健性,同时基于模型分析政府治污支出冲击对居民消费、产出、碳排放量和环境质量的动态影响。在这里,令政府治污支出的转化系数分别取 $\gamma=0.10$ 、 $\gamma=0.15$ 和 $\gamma=0.20$ ,结果如下:

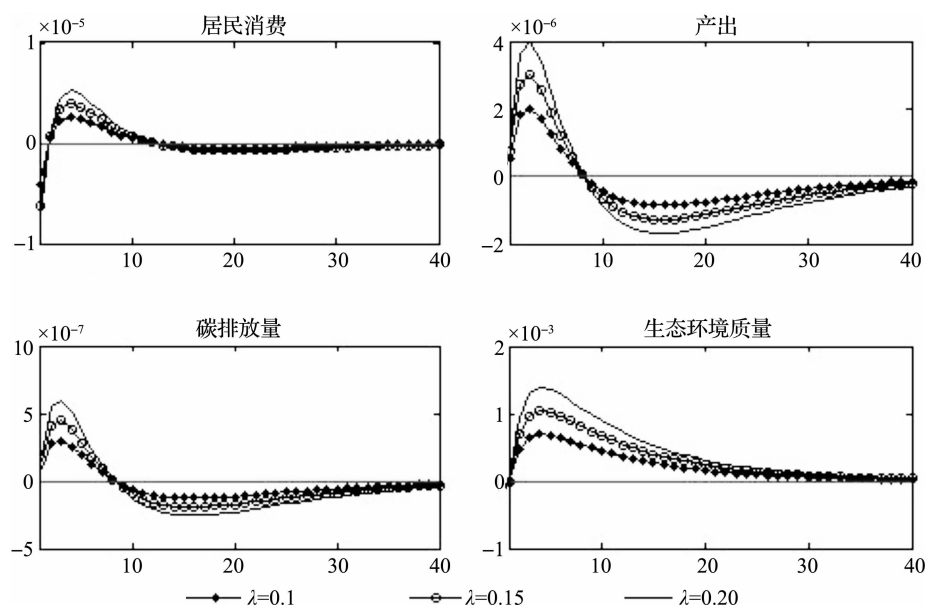


图6 政府治污支出冲击的脉冲响应分析

由图6所示,随着政府治污支出的转化系数从0.10升至0.20,给定1%单位正向的政府治污支出冲击,居民消费总体反应为正向的,并且偏离初始状态的幅度也不断增大;产出和碳排放量的反应均为先正后负,而且正负偏离的幅度均有增大的趋势;生态环境质量的反应为正向的,随着转化系数的提高,其正向偏离的幅度明显增大。结果表明,在现阶段环境质量日益严重的情况下,提高政府治污支出转化系数,使政府治污支出物尽其用,从长期来看,能够降低碳排放量,并且有效地改善环境质量。同时,由数值模拟结果可以看出,政府治污支出冲击的宏观经济波动在区间内保持稳定,数值模型是稳健的。

## 六、结论与政策建议

本文通过构建一个包含经济系统与生态环境系统的双系统三部门动态随机一般均衡(DSGE)模

型, 分别将环境质量、碳排放及碳排放税引入到代表性家庭的效用函数和代表性厂商的利润函数中, 分析环保技术、碳排放税、环境消费偏好和政府治污支出等外生冲击对经济系统和环境系统的动态影响和传导机制。研究表明: (1) 环保技术水平改善能够在不降低居民消费和产出的基础上, 显著地降低碳排放量, 提高环境质量; (2) 提高碳排放税虽然能够降低碳排放量, 提高环境质量, 但是对经济增长的负面作用较为明显; (3) 环境消费偏好的提高能够一定程度上降低碳排放量, 提升环境质量, 但在一定时期内对企业产出存在负效应; (4) 提高政府治污支出不仅能够提高居民消费, 而且能够显著地降低碳排放量和提高环境质量, 但会对产出产生微弱负效应。本文同时模拟了调整政府治污支出转化系数的动态效应, 发现提高政府治污支出转化系数, 能够使政府治污支出措施的有效性提高, 环境质量得到显著改善。

本文结论为研究环境质量与经济增长的协调性提供了一定的理论支持。显然, 征收碳排放税和提升家庭的环境消费偏好能够在一定程度上降低碳排放量, 提升环境质量, 但对经济增长的负面作用也较为明显, 而环保技术改善以及政府治污支出力度加强能够兼顾环境质量改善与经济增长。基于此, 在本文研究的基础上, 从以下几个方面提出一些政策建议: 第一, 加大环保研发力度, 推动企业对生产设备的优化升级, 在保持生产效率的基础上降低碳排放规模; 第二, 加强政府治污支出力度, 同时提高治污支出使用效率, 从直接支出(如建设污染物处理厂等公共设施)与间接支出(如提高企业减排补贴)两方面同时入手, 改善生态环境质量; 第三, 积极进行舆论宣传, 提升企业与家庭的环保意识, 从思想层面主动降低污染物排放。

#### 参考文献:

- [1] Pizer W. A. The Optimal Choice of Climate Change Policy in the Presence of Uncertainty [J]. *Resource & Energy Economics*, 1999, 21(3-4): 255-287.
- [2] Bovenberg A. L., Goulder L. H. Environmental Taxation and Regulation [J]. *Handbook of Public Economics*, 2001, 3: 1471-1545.
- [3] Búrceña-Ruiz J. C., Garzón M. B. Mixed Oligopoly and Environmental Policy [J]. *Spanish Economic Review*, 2006, 8(2): 139-160.
- [4] Kato K. Can Allowing to Trade Permits Enhance Welfare in Mixed Oligopoly? [J]. *Journal of Economics*, 2006, 88(88): 263-283.
- [5] Kato K. Emission Quota Versus Emission Tax in a Mixed Duopoly [J]. *Environmental Economics & Policy Studies*, 2011, 13(1): 43-63.
- [6] Wang L. F. S., Wang J. Environmental Taxes in a Differentiated Mixed Duopoly [J]. *Economic Systems*, 2009, 33(4): 389-396.
- [7] Wissema W., Dellink R. A CGE Analysis of the Impact of a Carbon Energy Tax on the Irish Economy [J]. *Ecological Economics*, 2007, 61(61): 671-683.
- [8] Fried S., Johnson J., Morris S. D. Environmental Policy and Short Run Macroeconomic Tradeoffs [R]. San Diego: University of California, 2013.
- [9] Annicchiarico B., Dio F. D. Environmental Policy and Macroeconomic Dynamics in a New Keynesian Model [J]. *Journal of Environmental Economics & Management*, 2013, 69(1): 1-21.
- [10] Helfand G. E. Standards versus Standards: The Effects of Different Pollution Restrictions [J]. *American Economic Review*, 1991, 81(3): 622-634.
- [11] Ebert U. Relative standards: A Positive and Normative Analysis [J]. *Journal of Economics*, 1998, 67(1): 17-38.
- [12] Angelopoulos K. What is the Best Environmental Policy? Taxes, Permits and Rules under Economic and Environmental Uncertainty [J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2010, (3): 35-42.
- [13] Mandell S. Optimal Mix of Emissions Taxes and Cap-and-Trade [J]. *Journal of Environmental Economics & Management*, 2008, 56(2): 131-140.
- [14] Mackenzie I. A., Ohndorf M. Cap-and-trade, Taxes, and Distributional Conflict [J]. *Journal of Environmental Economics & Management*, 2012, 63(1): 51-65.
- [15] 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): 1452-1461.
- [16] 徐文成, 薛建宏, 毛彦军. 宏观经济动态性视角下的环境政策选择——基于新凯恩斯 DSGE 模型的分析 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, (4): 101-109.
- [17] 姚昕, 刘希颖. 基于增长视角的中国最优碳税研究 [J]. *经济研究*, 2010, (11): 48-58.
- [18] 张友国等. 征税标准与碳关税对中国经济和碳排放的潜在影响 [J]. *世界经济*, 2015, (2): 167-192.
- [19] 石敏俊等. 碳减排政策: 碳税、碳交易还是两者兼之? [J]. *管理科学学报*, 2013, (9): 9-19.
- [20] 魏庆坡. 碳交易与碳税兼容性分析——兼论中国减排路径选择 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, (5): 35-43.

- [21] 郑丽琳, 朱启贵. 技术冲击、二氧化碳排放与中国经济波动——基于 DSGE 模型的数值模拟 [J]. 财经研究, 2012, (7): 37-47.
- [22] 齐结斌, 胡育蓉. 环境质量与经济增长——基于异质性偏好和政府视界分析 [J]. 中国经济问题, 2013, (5): 28-38.
- [23] 查建平. 环境规制与工业经济增长模式——基于经济增长分解视角的实证研究 [J]. 产业经济研究, 2015, (3): 92-101.
- [24] Annicchiarico B., Dio F. D. Environmental Policy and Macroeconomic Dynamics in a New Keynesian Model [J]. Journal of Environmental Economics & Management, 2015, 69(1): 1-21.
- [25] 陈学彬, 杨凌, 方松. 货币政策效应的微观基础研究——我国居民消费储蓄行为的实证分析 [J]. 复旦学报, 2005, (1): 42-54.
- [26] 黄毓琳. 中国经济周期特征与财政政策效应——一个基于三个部门 RBC 模型的实证分析 [J]. 经济研究, 2005, (6): 27-39.
- [27] Fuentes-Albero C. Financial Frictions, the Financial Immoderation, and the Great Moderation. Manuscript, University of Pennsylvania, 2009.
- [28] 胡永刚, 郭新强. 内生增长、政府生产性支出与中国居民消费 [J]. 经济研究, 2012, (9): 57-71.
- [29] Hanson G. D. Indivisible Labor and the Business Cycle [J]. Journal of Monetary Economics, 2010, 16(3): 309-327.
- [30] 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 [J]. 财经研究, 2015, (2): 41-53.
- [31] 黄勇峰, 任若恩, 刘晓生. 中国制造业资本存量永续盘存法估计 [J]. 经济学(季刊), 2002, (2): 377-396.
- [32] 王玉凤, 刘树林. 财政支出结构对居民消费的动态影响——基于 DSGE 的实证分析 [J]. 系统工程理论与实践, 2015, (2): 300-307.
- [33] Economides G., Philippopoulos A. Growth Enhancing Policy is the Means to Sustain the Environment [J]. Review of Economic Dynamics, 2008, 11(1): 207-219.
- [34] Smets F., Wouters R. Shocks and Frictions in US Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach [J]. American Economic Review, 2007, 97(3): 586-606.
- [35] Gerali A., Neri S., Sessa L, et al. Credit and Banking in a DSGE Model of the Euro Area [J]. Journal of Money, Credit and Banking, 2010, 42(s1): 107-141.
- [36] Khan H., Tsoukalas J. The Quantitative Importance of News Shocks in Estimated DSGE Models [J]. Journal of Money Credit & Banking, 2012, 44(8): 1535-1561.

## Environmental policy, Anti-pollution Effort Degree and Ecological Environment Quality —Simulation Analysis Based on Three-sector DSGE Model

WU Xiaoli

(School of Economics, Henan University of Economics and Law, Zhengzhou 450000, China)

**Abstract:** This paper build a dynamic stochastic general equilibrium(DSGE) model containing environmental policy factors, to research the dynamic effects of environmental policy, government spending and environment consumer preferences on macro economy, especially for the actual carbon emissions and ecological environment quality, and analysis the transmission mechanism of measures. The study showed that: (1) Improving environmental protection technology can reduce the actual carbon emissions and emission reductions, improve the quality of the ecological environment effectively with economic growth. (2) Levying the carbon tax and improving the environment consumer preferences can significantly improve the quality of environment, but have a certain negative effects on economic growth. (3) The government spending of pollution treatment can significantly reduce carbon emissions and improve the environment quality, but has the negative effects on macroeconomic in a long term. Adjusting the government spending conversion coefficient of pollution treatment can significantly improve the effectiveness of government spending measures. In short, the environmental protection technology and pollution spending are the key to sustain economic growth and environmental quality coordinated development. Enhancing the technology research level and increasing the pollution regulation intensity will be the policy guidance's reference point at the present stage.

**Key words:** Environmental Policy; Anti-Pollution Effort Degree; Environmental Quality; Dynamic Stochastic General Equilibrium (DSGE) Model

(责任编辑: 风 云)