

动态宏观经济视角下的环境规制政策研究

贾楠亭¹, 冯宗宪²

(1. 西安交通大学 金禾经济研究中心, 西安 710049; 2. 西安交通大学 经济与金融学院, 西安 710061)

摘要: 通过引入环境质量、污染排放、环境规制政策等因素对经典的动态随机一般均衡模型进行拓展, 构建了一个包含环境因素, 并可用于比较不同环境规制政策作用的分析框架, 以此来研究环境税、排污许可证和排放强度三种不同类型的环境规制政策对经济和环境的不同影响。结果表明, 环境规制政策对经济活动有抑制作用, 在经济波动时能发挥“自动稳定器”作用, 其中排放强度政策造成的经济损失最大, 环境收益最为明显, 排污许可证政策对环境质量提升作用最小, 造成的经济损失也最小, “自动稳定器”作用也最为显著; 同时, 企业单位排放强度的降低能有效减少污染排放, 提升环境质量和社会福利, 而政府环保投入转化率的提高, 对环境和经济的影响非常有限。

关键词: 环境规制; 宏观经济; DSGE模型

中图分类号: F205 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002—980X(2022)10—0122—16

一、引言

环境问题是当前世界各国都面临的重大挑战, 对人类的生存和可持续发展造成了巨大的影响和威胁。2021年2月召开的第五届联合国环境大会指出, 气候变化、生物多样性丧失和环境污染是当前人类面临的三重环境危机, 其中环境污染问题每年会造成约900万人死亡, 各国必须立即采取行动, 与自然和谐共处, 实现可持续发展。近年来党中央、国务院高度重视生态环境保护工作, 党的十九大报告中明确指出, 要实行最严格的生态环境保护制度, 要提供更多优质生态产品以满足人民日益增长的优美生态环境需要。在“绿水青山就是金山银山”的理念指导下, 中国根据自身基本国情和社会发展特征, 大力推进生态文明建设, 推动绿色循环和低碳发展, 实施积极应对气候变化的国家战略, 取得了显著的成效, 然而不可否认的是, 中国多年来的粗放式发展形成的高能耗、高排放、低效能等问题突出, 转型升级难度较大, 仍面临较为严重的环境问题。当前, 中国第二产业在国民经济中所占比重较大, 2021年11月公布的《中国上市公司碳排放排行榜(2021)》显示, 第二产业中石化、化工等高污染行业的碳排放总量约占全国碳排放总量的80%, 同时, 在这些行业的生产过程还排放了大量大气污染物。因此, 现阶段中国面临的改善环境质量的任務依然严峻。

在关注环境问题的同时, 中国的经济发展也面临一系列挑战。2019年底出现的新冠疫情导致全球经济下行和不确定性增加, 部分国家和地区的冲突也让国际形势变得波橘云诡, 这些因素都给中国的稳定发展带来了巨大的外部挑战, 而国内的经济也面临着需求收缩、供给冲击等多重压力, 在这样的内外部环境, 经济的稳定增长就显得尤为重要。环境规制政策的实施, 势必会对经济造成影响, 在考虑环境收益的同时, 必须考虑到政策对经济发展和经济波动的作用。鉴于此, 本文拟基于动态宏观经济的视角, 比较不同的环境规制政策对经济和环境的影响, 以期对环境规制政策的制定、选择和实施提供有价值的参考。

二、文献综述

为了应对越来越严重的环境问题, 各类环境政策应运而生, 基于现实需要, 20世纪90年代以后, 学者们开始关注对于环境规制政策的研究。在理论研究方面, 将政府行为引入环境增长模型, 探讨了政府、厂商和消费者的最优化行为(Ploeg和Withagen, 1991; Kort和Gradus, 1992), 将环境因素引入经典的IS-LM模型, 构建并拓展了包括环境均衡曲线的IS-LM-EE模型(Heyes, 2000; Lawn, 2003)。在实证研究方面也颇多建树, 环境税作为最早实施的市场型环境规制政策得到了极大关注, 学者们利用不同的计量方法研究了以碳税为代

收稿日期: 2022-07-20

基金项目: 国家社会科学基金重点项目“基于低碳绿色发展的‘一带一路’区域产业链研究”(19AJY001)

作者简介: 贾楠亭, 西安交通大学金禾经济研究中心博士研究生, 研究方向: 环境经济与可持续发展、一般均衡理论; 冯宗宪, 博士, 西安交通大学经济与金融学院教授, 研究方向: 贸易经济、宏观经济管理与可持续发展。

表的环境税在欧洲各国的应用(Hassan et al, 2020; Runst 和 Thonipara, 2020; Metcalf 和 Stock, 2020)。可交易排放制度作为科斯定理在实践中的运用,也引起了学者们的重视,Bayer 和 Aklin(2020)、Calel(2020)对目前最大的可交易排放许可证市场——欧盟的总量管制和排放交易体系进行了研究,Qi et al(2021)利用双重差分的方法考察了中国碳排放交易制度在试点城市的运行情况。这些研究大多都是基于微观经济的视角和分析方法,将环境因素纳入传统的微观模型进行分析,但正如Lawn(2003)的研究所展示的,环境问题不应该是微观经济研究的专属领域,它们应该被纳入宏观经济模型,因为在宏观经济研究中才能充分考虑到环境规制政策与宏观经济之间的相互作用,避免研究结果出现偏差。

在现实经济中,环境规制政策的作用对象虽然一般只是特定的污染型企业,但势必会对上下游企业以及经济中的其他部门或主体造成影响,进而对整个宏观经济产生影响,同时经济对政策的实施也有反馈作用。使用局部分析的方法,往往会得到与现实经济不符的结果,这就需要通过一般均衡的框架来对环境规制政策及其宏观经济效应进行分析,以便更好地考虑政策和经济的相互影响,更科学地制定和实施环境规制政策。

动态一般均衡(DGE)模型在定量评价环境规制政策的研究中得到了大量应用。Acemoglu et al(2012, 2016)在一个有环境约束且资源有限的增长模型中引入了内生和定向技术变革,研究了碳税和研究补贴对经济的影响,并进一步从理论和实证两方面研究了向清洁技术过渡的本质。Costinot et al(2016)在宏观层面模拟了气候变化对全球粮食产业的影响,发现政策调整在很大程度上减轻了气候变化的不良影响。

动态随机一般均衡(DSGE)模型可以在短期和长期均衡中模拟动态行为对随机冲击的响应,从简化形式建模转向结构形式建模,因而在政策模拟和分析的应用中脱颖而出。越来越多的学者开始关注环境和宏观经济的动态效应,并将环境因素纳入动态随机一般均衡模型进行研究。Angelopoulos et al(2010)最早尝试用动态随机一般均衡模型来分析环境规制政策,他们评估了三种不同的环境政策,发现即便排污许可证带来的收入可用于公共减排,但它仍然是最糟糕的政策选择。Heutel(2012)使用一个包含污染外部性的动态随机一般均衡真实商业周期(RBC)模型来考察环境规制政策如何应对持续的生产率冲击所导致的经济波动。Annicchiarico 和 Dio(2015)、Annicchiarico et al(2018)在一个具有名义和实际不确定性的新凯恩斯模型中研究了不同环境规制政策下经济的动态行为,发现价格调整程度和货币政策在很大程度上影响了环境政策的作用。Barrage(2020)利用含有环境因素的动态随机一般均衡模型从理论上描述了最佳碳税和次优财政状况下的最优气候政策,并量化了最佳碳税,还发现扭曲性税收会对最佳碳税的数量产生影响。Diluiso et al(2021)在一个带有金融摩擦和环境政策的新凯恩斯模型中研究了低碳转型的可能风险并评估了货币政策和金融监管的作用。Roach(2021)在动态随机一般均衡的框架下,利用美国的数据模拟了二氧化碳排放量的累积,探讨了在次优环境中的动态碳税并衡量了其福利效应。

随着国内对环境问题的关注度不断提高,近年来国内学术界也涌现出大量对环境规制政策的研究。颜建军等(2021)以“两型社会”试验区设立作为准自然实验,研究环境规制对污染物排放的影响,发现试点政策显著降低了工业废水的排放强度,他们的研究证实了环境规制政策的实施确实能改善自然环境。吴磊等(2020)就不同类型环境规制政策对绿色全要素生产率影响的研究和于亚卓等(2021)就实施清洁生产标准对工业企业全要素生产率影响的研究,则表明了环境规制政策除了环境收益,对生产率也有积极影响,虽然这种影响作用存在地区和企业的异质性,而环境规制政策对企业绩效的另一面——工资水平,也具有显著的提升作用(汪海凤等,2022)。更进一步,罗知和齐博成(2021)关于水污染治理政策的研究发现严格的环境规制不仅能显著带动银行业的发展,还推动了地区产业结构的升级。另外,对企业技术创新的促进作用,也是环境规制政策的一大功效,陶锋等(2021)利用双重差分的方法研究了环保目标责任制对绿色技术创新的影响,发现环境规制政策能提高绿色创新的数量,但也会导致创新活动质量的下滑;孙金花等(2021)研究了非正式环境规制对企业绿色技术创新的影响,发现公众关注和媒介关注对绿色技术创新具有不同的作用关系,并存在显著的交互作用和替代效应,而环境责任和环保投资则在其中起到了中介作用。

综上所述,国外对于环境规制政策的研究已经开始大量使用动态随机一般均衡模型来进行,而国内使用动态随机一般均衡方法的研究仍处于起步阶段,相关的研究比较匮乏,大多都是在微观经济层面研究单一或不同环境规制政策对单一经济现象的影响,没有考虑环境政策与整个宏观经济的相互作用。鉴于此,本文拟构建一个包括环境质量、污染排放、环境规制政策等因素的动态随机一般均衡模型来对不同类型的环境规制政策进行研究,通过静态分析比较不同政策环境下宏观变量的稳态值,通过动态分析比较不同政策环境下,宏观变量面对不同的市场不确定性时的动态响应路径,并通过调整模型相关参数值进行敏感性分析。

与以往研究相比,本文可能的贡献在于:第一,国内对环境规制政策的研究多在微观经济层面进行,本文从宏观视角出发构建动态随机一般均衡模型,研究环境政策对经济和环境的影响;第二,本文在同一框架下刻画了环境税、排污许可证和排放强度三种不同的环境规制政策,研究不同政策对经济发展、环境质量和福利的影响和作用机理;第三,本文在构建模型时将环境变量纳入家庭效用函数中,反应了环境质量对社会福利的影响,同时考虑到自然环境具备自我修复能力,通过设定环境演化方程反应了环境的真实变化过程;第四,本文利用中国的相关数据对参数进行校准,模拟了不同环境规制政策下宏观变量的动态响应路径;第五,本文通过敏感性分析,验证了企业单位排放强度和政府环保投入转化率的变化对宏观变量的不同影响。

三、理论模型

本文参考 Annicchiarico 和 Dio (2015) 使用的动态随机一般均衡分析框架来构建模型,本文理论模型的不同之处体现在以下几个方面:一是在家庭部门、企业部门和政府部门之外,纳入了自然环境的演化;二是在家庭效用函数中纳入了环境质量因素;三是在模型中纳入了政府治理环境污染的活动,并刻画了四种不同的环境政策情形。

(一) 家庭部门

经济中存在代表性家庭,代表性家庭提供劳动和资本从事生产,从最终产品企业处购买商品。代表性家庭通过商品消费、闲暇和环境质量获得效用,其效用与消费量和环境质量成正比,与劳动供给量成反比。代表性家庭的跨期贴现效用函数表示如式(1)所示。

$$U = E_t \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left(\ln C_t - \gamma \frac{L_t^{1+\psi}}{1+\psi} + \ln Q_t \right) \quad (1)$$

其中: U 为跨期贴现效用; E_t 为期望算子; β 为贴现率; C_t 为家庭在 t 期的消费量; L_t 为家庭在 t 期的劳动供给量; Q_t 为 t 期的环境质量; γ 为劳动供给的效用系数; ψ 为劳动供给弹性的倒数。

代表性家庭的收入有劳动收入、资本利息和政府债券本息,支出有消费、投资和购买政府债券。劳动收入和资本利息需要分别缴纳劳动所得税和资本所得税,消费和投资需要缴纳商品税,政府债券利息免征税额。因此,代表性家庭面对的预算约束为

$$(1 + \tau_c)(C_t + I_t) + B_{t+1} = (1 - \tau_L)W_t L_t + (1 - \tau_K)R_t K_t + (1 + R_t^B)B_t \quad (2)$$

其中: τ_c 、 τ_L 、 τ_K 分别为商品税税率、劳动所得税税率和资本所得税税率; K_t 为家庭在 t 期的资本存量; I_t 为家庭在 t 期的投资; W_t 为实际工资率; R_t 为资本的实际利率; B_t 为家庭在 $t-1$ 期购买的政府债券; R_t^B 为政府债券的实际利率。家庭在 $t-1$ 期购买政府债券 B_t ,在 t 期获得本息收入 $(1 + R_t^B)B_t$,在 t 期购买政府债券 B_{t+1} ,则在 $t+1$ 期获得本息收入 $(1 + R_{t+1}^B)B_{t+1}$ 。

代表性家庭的资本积累方程为

$$K_{t+1} = I_t + (1 - \delta^K)K_t \quad (3)$$

其中: δ^K 为资本折旧率。

此时代表性家庭可通过对消费、劳动、投资和购买政府债券的配置实现效用最大化,即在约束条件式(2)、式(3)下,求式(1)的最优化问题,可构建拉格朗日 La 函数如下:

$$La = E_t \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[\left(\ln C_t - \gamma \frac{L_t^{1+\psi}}{1+\psi} + \ln Q_t \right) + \lambda_t^1 \left\{ (1 - \tau_L)W_t L_t + (1 - \tau_K)R_t K_t + (1 + R_t^B)B_t - (1 + \tau_c)[C_t + K_{t+1} - (1 - \delta^K)K_t] - B_{t+1} \right\} \right] \quad (4)$$

可解得:

$$L_t^\psi = \frac{(1 - \tau_L)W_t}{\gamma(1 + \tau_c)C_t} \quad (5)$$

$$\frac{1}{C_t} = \frac{\beta E_t \left[(1 - \tau_K)R_{t+1} + (1 + \tau_c)(1 - \delta^K) \right]}{(1 + \tau_c)C_{t+1}} \quad (6)$$

$$\frac{1}{C_t} = \frac{\beta E_t(1 + R_{t+1}^B)}{C_{t+1}} \quad (7)$$

(二) 企业部门

经济中有两类企业从事生产活动,一类是处在完全竞争市场结构中的最终产品企业,它们以中间产品作为生产要素,生产出的最终产品供居民消费;一类是处在垄断竞争市场结构中的中间产品企业,它们以资本和劳动作为生产要素,生产出有差别的中间产品,供最终产品企业使用。

1. 最终产品企业

假设存在一个中间产品企业的连续统(用 $i \in [0, 1]$ 来度量),并且每个中间产品企业都生产一种差异化的产品。在第 t 期,中间产品企业的连续统($Y_{i,t}, i \in [0, 1]$)被完全竞争的最终产品企业“打包”生产成第 t 期的最终产品 Y_t , 则最终产品企业的生产函数可采用 Dixit-Stiglitz 函数形式表示,如式(8)所示。

$$Y_t = \left(\int_0^1 Y_{i,t}^{\frac{\omega-1}{\omega}} di \right)^{\frac{\omega}{\omega-1}} \quad (8)$$

其中: Y_t 为代表性企业在 t 时期的最终产品产量; $Y_{i,t}$ 为第 i 个中间产品企业生产的中间产品产量; ω 为中间产品的替代弹性。最终产品企业面对的利润最大化问题可表示为

$$\max_{Y_{i,t}} P_t Y_t - \int_0^1 P_{i,t} Y_{i,t} di \quad (9)$$

其中: P_t 为最终产品价格; $P_{i,t}$ 为第 i 个中间产品企业生产的中间产品价格。最终产品企业可以通过调整生产资料,即中间产品的使用量来实现利润最大化。将式(8)代入式(9),可得一阶条件为

$$Y_{i,t} = Y_t \left(\frac{P_t}{P_{i,t}} \right)^{\omega} \quad (10)$$

将式(10)代入式(8),可得

$$Y_t = \left\{ \int_0^1 \left[Y_t \left(\frac{P_t}{P_{i,t}} \right)^{\omega} \right]^{\frac{\omega-1}{\omega}} di \right\}^{\frac{\omega}{\omega-1}} = Y_t P_t^{\omega} \left(\int_0^1 P_{i,t}^{1-\omega} di \right)^{\frac{\omega}{\omega-1}} \quad (11)$$

则可得最终产品价格

$$P_t = \left(\int_0^1 P_{i,t}^{1-\omega} di \right)^{\frac{1}{1-\omega}} \quad (12)$$

2. 中间产品企业

中间产品企业面对完全竞争的劳动力市场和资本市场。因此劳动力和资本的价格是给定的,中间产品企业的生产函数采用 Cobb-Douglas 函数形式表示,如式(12)所示。

$$Y_{i,t} = A_t K_{i,t}^{\alpha} L_{i,t}^{1-\alpha} \quad (13)$$

其中: $K_{i,t}$ 和 $L_{i,t}$ 分别为第 i 个中间产品企业在 t 时期投入的资本和劳动; α 为资本的产出份额; A_t 为 t 时期的技术水平,服从一阶自回归[AR(1)]过程,其运动方程为

$$\log A_t = (1 - \rho_A) \log A + \rho_A \log A_{t-1} + \varepsilon_{A,t} \quad (14)$$

其中: ρ_A 为技术冲击的一阶自回归系数; $\varepsilon_{A,t}$ 为技术的外生冲击; A 为技术水平的稳态值,本文利用技术冲击来表示经济中生产技术的变化,代表不同的技术水平。

企业的污染排放是其生产活动的副产品,排放量是产量的一定比例,企业可通过减排措施来减少污染排放,本文参考 Annicchiarico 和 Dio(2015)、Annicchiarico et al(2018)将企业的污染排放量表示为

$$X_{i,t} = (1 - \eta_{i,t}) \mu Y_{i,t} \quad (15)$$

其中: $X_{i,t}$ 为第 i 个中间产品企业在 t 时期的污染排放量; $\eta_{i,t}$ 为企业的减排努力程度; μ 为企业的污染排放系数,即单位排放强度。在政府施行环境规制政策时,中间产品企业需根据污染排放量支付一定费用。因此其排放成本可表示为

$$T_{i,t} = d_t X_{i,t} = d_t (1 - \eta_{i,t}) \mu Y_{i,t} \quad (16)$$

其中: $T_{i,t}$ 为第 i 个中间产品企业在 t 时期的排放成本; d_t 为单位排放成本, 与政府施行的具体环境规制政策有关。参考 Annicchiarico 和 Dio (2015)、Annicchiarico et al (2018), 企业的减排活动也会付出一定的成本, 其减排成本可表示为

$$D_t = \phi_1 \eta_{i,t}^{\phi_2} Y_{i,t} \quad (17)$$

其中: ϕ_1, ϕ_2 都为企业减排成本的技术参数, $\phi_1 > 0, \phi_2 > 1$ 。

垄断竞争的中间产品企业不仅可以调整生产要素的使用量, 也可以调整产品的价格和数量。因此中间产品企业可以通过调整劳动、资本的投入量和减排努力程度, 以及中间产品的价格和产量来实现利润最大化, 在约束条件式 (10)、式 (13) 下, 可构建拉格朗日函数如下:

$$La = P_{i,t} Y_{i,t} - W_t L_{i,t} - R_t K_{i,t} - d_t (1 - \eta_{i,t}) \mu Y_{i,t} - \phi_1 \eta_{i,t}^{\phi_2} Y_{i,t} + \lambda_t^2 (A_t K_{i,t}^\alpha L_{i,t}^{1-\alpha} - Y_{i,t}) + \lambda_t^3 \left[Y_t \left(\frac{P_t}{P_{i,t}} \right)^\omega - Y_{i,t} \right] \quad (18)$$

可解得:

$$\frac{K_{i,t}}{L_{i,t}} = \frac{\alpha W_t}{(1 - \alpha) R_t} \quad (19)$$

$$W_t = \left[\frac{\omega - 1}{\omega} P_{i,t} - d_t (1 - \eta_{i,t}) \mu - \phi_1 \eta_{i,t}^{\phi_2} \right] (1 - \alpha) A_t K_{i,t}^\alpha L_{i,t}^{1-\alpha} \quad (20)$$

$$R_t = \left[\frac{\omega - 1}{\omega} P_{i,t} - d_t (1 - \eta_{i,t}) \mu - \phi_1 \eta_{i,t}^{\phi_2} \right] \alpha A_t K_{i,t}^{\alpha-1} L_{i,t}^{1-\alpha} \quad (21)$$

$$\eta_{i,t} = \left(\frac{d_t \mu}{\phi_1 \phi_2} \right)^{\frac{1}{\phi_2 - 1}} \quad (22)$$

则中间产品企业的总成本可表示为

$$TC_{i,t} = W_t L_{i,t} + R_t K_{i,t} + d_t (1 - \eta_{i,t}) \mu Y_{i,t} + \phi_1 \eta_{i,t}^{\phi_2} Y_{i,t} = \frac{\omega - 1}{\omega} P_{i,t} Y_{i,t} \quad (23)$$

因为中间产品企业面对相同的单位减排成本, 而其减排努力程度取决于单位减排成本, 所以中间产品企业有相同的减排努力程度, 同时, 因为中间产品企业面对相同的劳动力和资本价格, 使用相同的生产技术, 受到相同的技术冲击, 所以中间产品企业的边际成本都相同。根据边际成本的定义, 中间产品企业的边际成本

$$\text{可表示为 } MC_{i,t} = \frac{\partial TC_{i,t}}{\partial Y_{i,t}} = \frac{\omega - 1}{\omega} P_{i,t}。$$

所以中间产品企业的最优定价为

$$P_{i,t} = \frac{\omega}{\omega - 1} MC_{i,t} \quad (24)$$

由式 (24) 可知中间产品价格为其边际成本上的一个价格加成, 因为边际成本都相同, 所以其产品价格 $P_{i,t}$ 也都相同, 则根据式 (12), 有 $P_t = P_{i,t}$ 。

即最终产品的价格与中间产品的价格相等, 根据式 (10), 有 $Y_t = Y_{i,t}$ 。

由式 (19) 可知中间产品企业都有相同的资本劳动比率, 又因为它们生产相同的产出, 所以每个中间产品企业也要投入相同的劳动和资本: $L_t = L_{i,t}; K_t = K_{i,t}$ 。

所以总的生产函数就可以表示成与单个中间产品企业的生产函数相同的形式:

$$Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha} \quad (25)$$

所以经济中所有企业总的污染排放量就可表示为

$$X_t = (1 - \eta_t) \mu Y_t \quad (26)$$

企业总的排放成本、减排成本和减排努力程度也可分别表示为

$$T_t = d_t X_t = d_t (1 - \eta_t) \mu Y_t \quad (27)$$

$$D_t = \phi_1 \eta_t^{\phi_2} Y_t \quad (28)$$

$$\eta_i = \left(\frac{d_i \mu}{\phi_1 \phi_2} \right)^{\frac{1}{\phi_2 - 1}} \quad (29)$$

因为中间产品的价格都相同,都等于最终产品价格,所以可以把价格标准化为1,则要素的需求函数可表示为

$$W_i = \left[\frac{\omega - 1}{\omega} - d_i(1 - \eta_i)\mu - \phi_1 \eta_i^{\phi_2} \right] (1 - \alpha) A_i K_i^\alpha L_i^{1-\alpha} \quad (30)$$

$$R_i = \left[\frac{\omega - 1}{\omega} - d_i(1 - \eta_i)\mu - \phi_1 \eta_i^{\phi_2} \right] \alpha A_i K_i^{\alpha-1} L_i^{1-\alpha} \quad (31)$$

(三) 自然环境

自然环境具备一定的自我修复能力,企业的污染排放对环境造成破坏,政府的治理活动对环境进行修复。因此自然环境的演化可用式(32)来表示:

$$Q_{i+1} = (1 - \delta^q) \bar{Q} + \delta^q Q_i - X_i + \theta Z_i \quad (32)$$

其中: $\bar{Q}$ 为初始环境质量,即无污染时的环境质量; δ^q 为自然环境的可持续程度,即环境的自我修复能力; Z_i 为政府在*t*时期治理环境污染的投入; θ 为治理效果参数,即环保投入的转化率。

(四) 政府部门

政府的支出包括提供公共服务、偿还债券本息和治理环境污染,政府的收入包括征收的劳动所得税、资本所得税、商品税、发行债券的收入及对企业污染排放征收的费用,其中污染排放收费专款专用于治理环境污染。因此,政府的预算约束为

$$G_i + (1 + R_i^b) B_i = \tau_L W_i L_i + \tau_K R_i K_i + \tau_C (C_i + I_i) + B_{i+1} \quad (33)$$

$$Z_i = T_i \quad (34)$$

其中: G_i 为政府用于公共服务的支出。

假设政府用于公共服务的支出为稳态产出的固定份额 ξ ,且公共支出服从AR(1)过程,其运动方程如下:

$$\log G_i = (1 - \rho_c) \log(\xi Y) + \rho_c \log G_{i-1} + \varepsilon_{G,i} \quad (35)$$

其中: ρ_c 为公共支出冲击的一阶自回归系数; $\varepsilon_{G,i}$ 为公共支出的外生冲击。

根据一般均衡理论,此时产品市场也应该达到均衡,即需求等于供给:

$$Y_i = C_i + I_i + G_i + Z_i \quad (36)$$

(五) 环境规制政策

1. 基准情形

在基准情形下,政府不实施任何环境规制政策,即政府不向企业征收排污费用,也不从事环境治理活动,因为企业的排放成本为0,所以企业没有激励从事减排活动,其减排努力程度也为0。因此在基准情形下,有 $d_i = 0, \eta_i = 0$ 。

2. 环境税情形

在环境税情形下,政府根据企业的污染排放量征税,并用收缴的税费进行环境治理。因此在环境税情形下,企业的单位排放成本 d_i 就等于环境税率。

3. 排污许可证情形

在排污许可证情形下,政府规定一个总排放额度,在额度内向企业售卖排污许可证,每一许可证代表一单位排放量,企业根据需要进行一定数量的许可证,政府将售卖许可证获得的收入用于环境治理。因此在排污许可证情形下,企业总的污染排放量为确定值,即 $X_i = \bar{X}$,企业的单位排放成本 d_i 等于排污许可证的价格。

4. 排放强度情形

在排放强度情形下,政府规定排放强度目标,要求企业按期达到目标值,同时利用向企业收缴的排放费用从事环境治理。因此在排放强度情形下,强度目标为确定值,即 $X_i/Y_i = \bar{x}$ 。

四、参数校准

为了对本文构建的模型进行求解,需要先获得模型中所有参数的值。目前国内外关于动态随机一般均衡模型研究和应用的文献中,主要有两种获得模型参数值的方法:一是校准法,即利用经济数据估算或根据已有文献的研究结果对参数值进行校准;二是估计法,即利用贝叶斯估计或极大似然估计等计量方法对参数值进行估计。其中校准法是大多数文献中使用的方法,本文也使用校准法来获得模型各参数的取值。

近年来国内相关研究都把主观贴现率的值设定为 0.99(张开和龚六堂,2018;王立勇和纪尧,2019;王遥等,2019;马勇和吕琳,2021),本文也采用 0.99 作为主观贴现率的取值。劳动供给弹性的倒数取值在 1~3(朱军和姚军,2017;王立勇和纪尧,2019;肖伯文和范英,2022;马勇和吕琳,2021),本文设定为 2。国内大多数研究者都把资本折旧率的取值设定为 0.025(朱军和姚军,2017;王遥等,2019;纪尧等,2021;马勇和吕琳,2021),本文也采用 0.025 的取值。至于生产函数中的资本产出份额,国内许多学者用不同方法进行了估算,其取值范围在 0.4~0.5(王立勇和纪尧,2019;蔡栋梁等,2019;王遥等,2019;李戎和刘力菲,2021;马勇和吕琳,2021),本文采用 0.45 的取值。

许多学者对中国各项税收的有效税率都进行了测算,根据梁红梅和张卫峰(2014)的研究,本文将商品税率设定为 0.1284,根据黄麒麟和朱保华(2015)的研究,本文将劳动税率和资本税率分别设定为 0.051 和 0.266。根据本文研究的实际情况,环境税应采用狭义环境税的定义,即对排污收取的费用,参考李香菊和贺娜(2018)的研究,本文将环境税率设定为 0.0547。

参照张开和龚六堂(2018)的研究,本文把劳动效用系数设定为 4。参照卢洪友等(2016)的研究,本文把企业的单位排放强度和政府的环保投入转化率分别设定为 0.6 和 0.345。参照纪尧等(2021)的研究,本文把中间产品替代弹性设定为 7。参照马勇和吕琳(2021)的研究,本文把技术冲击和财政支出冲击的一阶自回归系数分别设定为 0.778 和 0.877。参照 Annicchiarico 和 Dio(2015)的研究,本文把减排成本函数中的两个技术参数分别设定为 0.185 和 2.8。

国内外有许多学者对自然环境的自我修复能力进行了估算,如肖伯文和范英(2022)将其设定为 0.99986,Chan(2022)将其设定为 0.992,本文将其取值定为 0.9。国内外学者对中国公共支出占国内生产总值的比例进行了测算,取值在 0.15~0.235(王立勇和纪尧,2019;Chan,2022;李戎和刘力菲,2021;马勇和吕琳,2021),本文利用《中国统计年鉴》的相关数据进行了计算,得出结果为 0.215,符合之前研究的取值范围。本文模型中所有参数的取值见表 1。

表 1 参数校准

参数	说明	校准值	参数	说明	校准值
β	贴现率	0.99	α	资本产出份额	0.45
ψ	劳动供给弹性的倒数	2	μ	单位排放强度	0.6
γ	劳动供给的效用系数	4	θ	环保投入转化率	0.345
τ_c	商品税税率	0.1284	ξ	公共支出占比	0.215
τ_L	劳动税税率	0.051	ω	中间产品替代弹性	7
τ_K	资本税税率	0.266	ϕ_1	减排成本的技术参数	0.185
d	环境税税率	0.0547	ϕ_2	减排成本的技术参数	2.8
δ^K	资本折旧率	0.025	ρ_a	技术冲击自回归系数	0.778
δ^g	环境自我修复能力	0.9	ρ_g	公共支出冲击自回归系数	0.877

五、不同环境规制政策下的静态分析

本文利用设定好的参数值,通过 Dynare 软件计算出了不同环境规制政策下各宏观经济变量和环境变量的稳态值,以及环境税情形、排污许可证情形和排放强度情形的稳态值分别与基准情形的稳态值相比较的变化率(表中括号内数字),结果见表 2。

从表 2 中宏观变量的稳态值和变化率可以看出,与基准情形相比,在实施了环境规制政策后,产出、消费、投资和生产要素投入等经济变量都出现了不同程度的下降,经济活动的水平受到了抑制。造成这一变化的主要原因是环境规制政策给中间产品企业带来了额外的生产成本,从式(22)中可以看出,在基准情形下,中间产品企业的总成本中最后两项——企业的排放成本和减排成本都为零,在实施了环境规制政策后,这两项都为正值,即中间产品企业的总成本增加了,面对总成本的提高,中间产品企业的应对措施是减少生产要素的投入,从而降低要素成本。从式(12)的中间产品企业生产函数可知,生产要素投入的减少造成了产出的下降,从式(35)的产品市场均衡可知,产出的下降和政府治理环境污染支出的增加造成了家庭消费、投资和政府财政支出水平的下降。在经济变量普遍下降的同时,环境变量出现了向好的变化。环境规制政策使得企业的污染排放量有了大幅减少,环境质量明显提升,家庭效用也有了提高。

具体来看,排放强度情形无疑是最严格的环境规制政策,在排放强度情形下,中间产品企业有最高的减排努力程度、减排成本和排放成本,但这也造成了各经济变量的大幅下滑,和基准情形相比,产出下降了17.330%,中间产品企业的资本投入和家庭投资都下降了近30%,家庭消费下降了24.771%,工资水平下降了28.296%,政府的公共支出也下降了17.329%,与此同时,企业的污染排放量减少了68.435%,环境质量提高了24.808%,但由于家庭消费水平下降过多,家庭效用下降了近1个百分点。

表2 宏观变量稳态值及变化率

变量	说明	基准情形	环境税情形	排污许可证情形	排放强度情形
<i>K</i>	资本存量	33.785	31.591(-6.494%)	33.169(-1.822%)	23.651(-29.996%)
<i>I</i>	投资	0.845	0.790(-6.495%)	0.829(-1.822%)	0.591(-29.996%)
<i>L</i>	劳动	0.536	0.536(-0.009%)	0.536(0.021%)	0.523(-2.371%)
<i>C</i>	消费	2.495	2.333(-6.469%)	2.448(-1.883%)	1.877(-24.771%)
<i>W</i>	工资	3.404	3.183(-6.486%)	3.341(-1.842%)	2.441(-28.296%)
<i>Y</i>	产出	4.254	4.113(-3.306%)	4.215(-0.905%)	3.517(-17.330%)
<i>X</i>	污染排放量	2.552	1.935(-24.186%)	2.272(-11.000%)	0.806(-68.435%)
<i>Q</i>	环境质量	74.477	81.015(8.779%)	77.395(3.919%)	92.953(24.808%)
<i>G</i>	公共支出	0.915	0.884(-3.306%)	0.906(-0.905%)	0.756(-17.329%)
<i>U</i>	家庭效用	501.977	503.709(0.345%)	503.907(0.385%)	497.097(-0.972%)
<i>T</i>	排放成本	0	0.106	0.032	0.293
<i>D</i>	减排成本	0	0.010	0.001	0.169
η	减排努力程度	0	0.216	0.102	0.618
<i>d</i>	单位排放成本	0	0.055	0.014	0.363

环境税情形的严格程度弱于排放强度情形,中间产品企业的减排努力程度、减排成本和排放成本都小于排放强度情形,尤其是减排成本;和基准情形相比,产出下降了3.306%,中间产品企业的资本投入、家庭投资、消费和工资水平都下降了约6.5%,而企业的污染排放量减少了24.186%,环境质量提高了8.779%,不同于排放强度情形,环境税情形下的家庭效用有了提高,增加了0.345%。

相比前两种情形,排污许可证情形是最温和的环境规制政策。在排污许可证情形下,中间产品企业的减排努力程度、减排成本和排放成本比起前两种情形都进一步减少,排放成本只有排放强度情形下的11%,减排成本更是只有排放强度情形下的0.79%,这就使得各经济变量的下滑并不严重,和基准情形相比,中间产品企业的资本投入、家庭投资、消费和工资水平都下降了约1.8%,同时,企业的污染排放量减少了11.000%,环境质量只提高了3.919%,和前两种情形相比,排污许可证情形下的家庭效用提高的最多,比基准情形提高了0.385%。

通过以上分析可以看出,环境规制政策对经济活动有抑制作用,不同的政策对宏观经济的影响也有较明显的差异,从经济发展的角度来看,排污许可证情形对经济的负面影响最小,而排放强度情形对经济的负面影响最大;从环境保护的角度看,排放强度情形下污染排放量减少得最多,环境质量提升最多,而排污许可证情形下污染排放减少得最少,环境质量提升的也最少;从社会福利的角度看,排放强度情形甚至造成了一部分福利损失,而排污许可证情形下社会福利增加的最多。

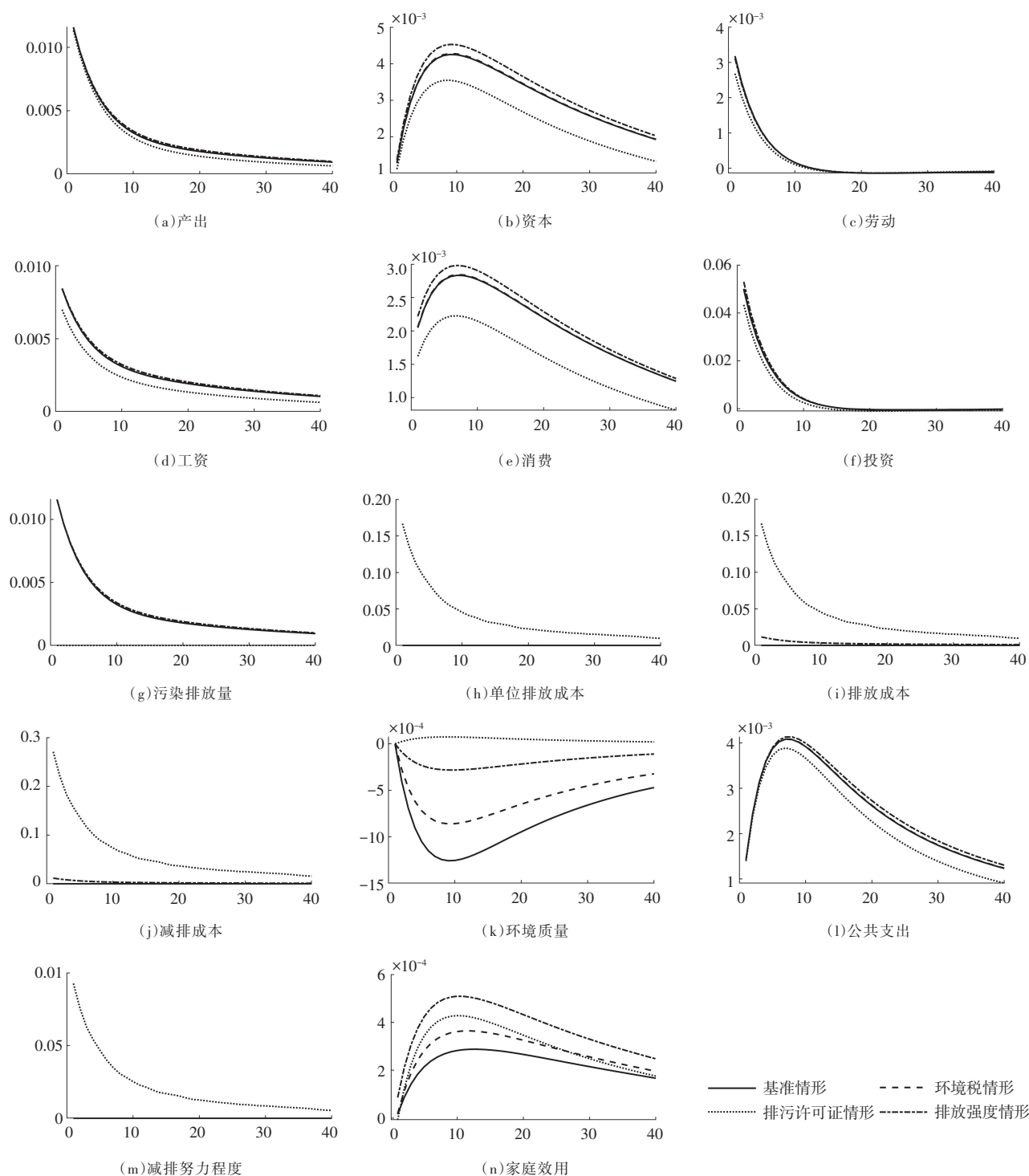
六、不同环境规制政策下的动态分析

本节利用模型的动态性质,继续通过Dynare软件来分析不同环境规制政策下各宏观变量面对市场不确定性时的动态响应路径。本文利用脉冲响应函数分析在面对两种临时性冲击——技术冲击和公共支出冲击时,宏观变量的变化方向、变化程度和动态演变路径。脉冲响应图中的曲线是脉冲响应函数,代表各宏观变量面对冲击时的动态调整路径,横轴表示模拟的时间跨度为40期,纵轴表示变量的稳态偏离百分比。

(一)技术冲击

各宏观变量在不同环境规制政策下对技术冲击的动态响应路径如图1所示。在面对临时性的正向技术冲击时,四种情形下产出、劳动、工资、消费和投资的变化率都迅速呈现正向调整的趋势,之后随着技术冲击的衰减速率,逐渐回归稳态。随着投资的增加,资本存量也随之出现了正向变化,不同的是,资本存量在第10期左右才达到最大值,之后随着投资的增量小于资本折旧,资本存量的增量也逐渐下降,回归到稳态。在资源约束的影响下,消费的变化与资本存量相关,其动态路径也显示出与资本存量相似的特征,在第7期左右达到峰值,之后下降到稳态。同样,公共支出因受到市场均衡的影响,其变化依赖于消费,也呈现出在第8期左右达到最大值,之后回归稳态的特征。总体来看,各经济变量都出现了正向的变化,表现出顺周期性。

从图1中可以发现,基准情形、环境税情形和排放强度情形下各经济变量的变化率基本相同,排污许可证情形下各经济变量调整的幅度是最小的。这是由于排污许可证情形下排放成本和减排成本增加最多,给企业带来了额外的生产成本,这些额外的成本反过来会降低用于消费和投资的产出,抑制了正向的技术冲击带来的经济扩张效应。



脉冲响应图中的曲线是脉冲响应函数,代表各宏观变量面对冲击时的动态调整路径,

横轴表示模拟的时间跨度为40期,纵轴表示变量的稳态偏离百分比

图1 不同环境规制政策下宏观变量对技术冲击的响应

环境变量的变化并不一致。基准情形、环境税情形和排放强度情形下,污染排放量都是随着产出的变化立即出现正向调整,并按照产出变化的趋势逐渐回归稳态,而排污许可证情形下污染排放量是固定的。因此其变化率始终为0,不受技术冲击的影响。基准情形下,因为没有任何环境规制政策,所以单位排放成本、排放成本、减排成本和减排努力程度都为0,因此其变化率也都为0。环境税情形下,单位排放成本为固定的环境税率,根据单位排放成本计算的减排努力程度也为固定值,因此其变化率都为0;而排放成本和减排成本

不仅分别受到固定的单位排放成本和减排努力程度影响,也受到产出影响,因此其变化率都呈现出小幅的增长。排放强度情形下,污染排放量和产出的比值为固定值,根据其计算的减排努力程度和单位排放成本也都为固定值。因此其变化率都为0;和环境税情形相似,排放成本和减排成本也受到产出的影响,因此其变化率有小幅增长。而排污许可证情形下,减排努力程度的变化依赖于产出变化,根据减排努力程度计算的单位排放成本、排放成本和减排成本也都依赖于产出,因此都呈现出和产出相似的变化特征。

这四种情形中,由于排污许可证情形下,污染排放量增加最少,而排放成本增加最多,所以环境质量呈现增长态势;其他三种情形下,环境质量都出现了不同程度的下降,其中基准情形由于不采取任何环境规制政策,环境质量下降最多;而排放强度情形下环境质量的下降要少于环境税情形。

最后,可以看到家庭效用与消费、劳动和环境质量有关。排放强度情形下消费的增长率是最高的,劳动的增长率与其他三种情形基本相同,同时环境质量的下降率是最低的,因此排放强度情形下家庭效用的增长率最高;虽然排污许可证情形下消费的增长率最低,但环境质量是四种情形下唯一正向变化的,同时还有最低的劳动增长率,所以排污许可证情形下家庭效用的增长率排在第二位;基准情形和环境税情形下消费和劳动的增长率都基本相同,而基准情形下环境质量的下降率明显大于环境税情形,所以基准情形下家庭效用的增长率最低,环境税情形下家庭效用的增长率排在第三位。

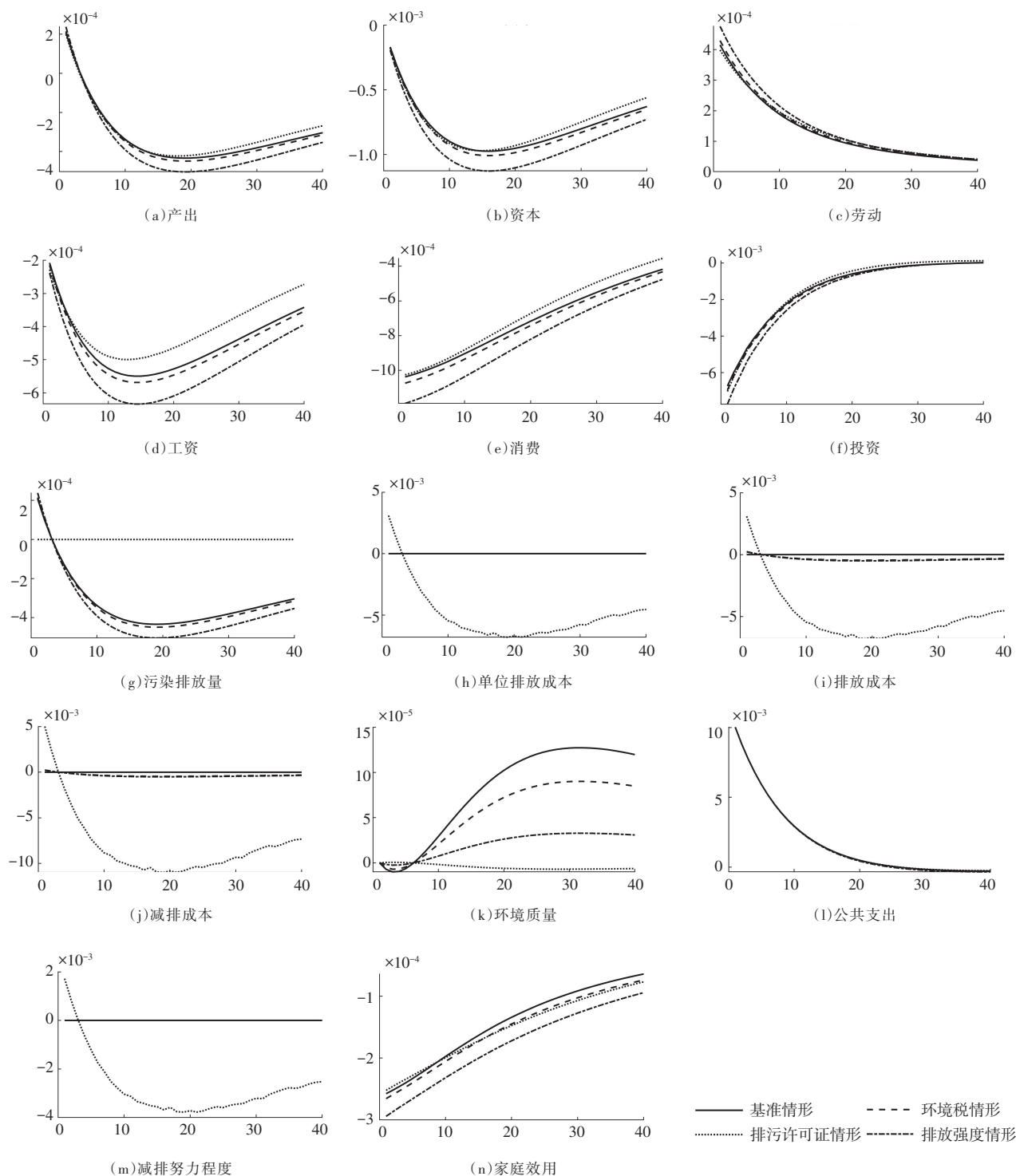
(二)公共支出冲击

各宏观变量在不同环境规制政策下对公共支出冲击的动态响应路径如图2所示。在面对临时性的正向公共支出冲击时,四种情形下经济变量的变化都呈现相同的趋势。产出都立即出现正向调整,随后增长率逐渐降低为0,开始出现负向变化,在第20期左右下降率达到最大值,之后下降率不断减小,最终回归稳态。这是由于产出的变化依赖于资本存量和劳动的变化,劳动在面对临时性的公共支出增加时,立即出现正向调整,随后恢复到稳态;资本存量的变化又依赖于投资的变化,而投资的变化率受公共支出增长的影响,迅速呈现负向变化,随后下降率不断减小,直至回到稳态,这就使得资本存量的变化率也迅速呈现负向变化,和受到技术冲击时类似,其下降率在资本折旧的作用下先增大后减小,最终其变化路径呈“U”型。在资本存量和劳动变化的共同作用下,产出的变化呈现先增长后下降,最终回到稳态的“U”型特征。由于劳动的瞬时增加,工资立即出现了负向调整,并随着劳动的变化回归稳态水平。而由于公共支出的挤出作用,家庭消费立即减少,并随公共支出的变化回归稳态。

从图2中可以发现,和受到技术冲击时的情况相似,排污许可证情形下的各经济变量调整的幅度是最小的。这是由于排污许可证情形下,在产出增长阶段,排放成本和减排成本增长率最高;在产出下降阶段,排放成本和减排成本下降率也最高,这就抵消了公共支出冲击带来的经济扩张和收缩效应。

环境变量的变化和受到技术冲击时有相同之处。排污许可证情形下的污染排放量是固定值,不受公共支出冲击的影响,其他三种情形下的污染排放量和产出具有相同的变化趋势,也是立即出现正向调整,随后增长率开始降低,直到出现负增长,在第20期左右负增长达到最大值后,再逐渐回归到稳态。和受到技术冲击时相似,基准情形下,单位排放成本、排放成本、减排成本和减排努力程度的变化率都为0。环境税情形下,单位排放成本和减排努力程度为固定值,其变化率也都为0;排放成本和减排成本因分别受到固定的单位排放成本和减排努力程度影响,并同时受到产出影响,因此其变化率都呈现出小幅的先增长后下降的趋势。排放强度情形下,单位排放成本和减排努力程度也都为固定值,其变化率都为0;和环境税情形相似,排放成本和减排成本的变化率有小幅的先增后减趋势。而排污许可证情形下,减排努力程度、单位排放成本、排放成本和减排成本的变化率都呈现出和产出相似的变化路径。

环境质量的变化与受到技术冲击时的变化有较大的不同,排污许可证情形下,由于污染排放量保持不变,而排放成本和减排成本都呈现先增长后下降的趋势,所以环境质量的变化也呈现这种先增后减的趋势,只是变化的幅度相对较小。其他三种情形下,环境质量的变化趋势都是先下降再增长,之后增长率逐渐减小,最终回归稳态。基准情形、环境税情形和排放强度情形下污染排放量在正向调整阶段的变化路径基本相同,而基准情形下排放成本始终为0,其他两种情形下排放成本都有小幅上升,所以基准情形下环境质量变化率下降最多;同时,虽然基准情形下的污染排放量下降程度小于其他两种情形,但由于其他两种情形下排放成本的下降程度更为显著,所以基准情形下环境质量的正向变化程度是最大的,同理,环境质量的增长率在环境税情形下也要大于在排放强度情形下。



脉冲响应图中的曲线是脉冲响应函数,代表各宏观变量面对冲击时的动态调整路径,

横轴表示模拟的时间跨度为40期,纵轴表示变量的稳态偏离百分比

图2 不同环境规制政策下宏观变量对公共支出冲击的响应

最后,可以看到家庭效用的变化同样与消费、劳动和环境质量的变化有关。基准情形下的消费增长幅度排在第二位,劳动增长幅度最小,环境质量增长幅度最大,所以基准情形下的家庭效用增长幅度最大;排放强度情形下的消费增长幅度最小,劳动幅度增长最大,环境质量增长幅度最小,所以排放强度情形下的家庭效用增长幅度最小;而环境税情形和排污许可证情形下消费、劳动和环境质量的变化幅度都较为接近,所以这两种情形下家庭效用的增长幅度也较为接近。

(三)环境规制政策的比较

不同环境规制政策下的宏观变量在面对不同来源的市场不确定性时,表现出不尽相同的动态响应路径,从不同的角度比较,各环境规制政策也表现出不同的特点。

从减小经济波动,保持经济稳定发展的角度来看,不论是面对技术冲击还是公共支出冲击,排污许可证情形下的经济波动幅度都是最小的,而排放强度情形下的经济波动幅度最大。

从环境质量变化的角度来看,面对技术冲击时,只有在排污许可证情形下,环境质量的变化率为正,其他三种情形下环境质量都出现了负向调整;面对公共支出冲击时,也只有在排污许可证情形下,环境质量在初始阶段有正向变化,其他三种情形下,环境质量都呈现先下降后增加的变化趋势。

从社会福利变化的角度来看,面对技术冲击时,排放强度情形下家庭效用的增长率最大,排污许可证情形下家庭效用的增长率次之,环境税情形下家庭效用的增长率最小;面对公共支出冲击时,排放强度情形下家庭效用的下降率最大,排污许可证情形下家庭效用的下降率最小,但回到稳态的路径和环境税情形几乎一致。

(四)环境规制政策组合的宏观效应

通过以上的分析和比较可以看出,三种环境规制政策对经济发展、环境质量和社会福利的影响各有优劣,在具体的实施过程中,单一的环境政策可能缺乏效率甚至无法达到预期的效果,这时就需要通过运用多种政策的组合,最大限度地减少可能的意外影响,促进政策干预的可行性,更有效地实现政策目标。

政策组合的设计和运用是目前政策设计研究的一个趋势,在环境政策领域越来越受欢迎(Li and Taeihagh, 2020)。中国在环境保护领域的实践中一直坚持使用不同的政策组合,并根据社会经济发展过程中出现的新情况、新问题进行政策的调整和置换,以实现不同的社会发展目标。因此我们需要对环境规制政策组合的宏观效应加以分析,以期更高效地运用政策组合。

根据前文的分析可以看出,各宏观变量在不同环境规制政策下的变化趋势相同或相近时,政策组合无疑会加剧这种变化趋势,而当各宏观变量在不同环境规制政策下的变化趋势不尽相同时,政策组合则会减弱甚至改变原有的变化趋势,我们的分析也基于此展开。

在面对临时性的正向技术冲击时,三种环境规制政策下产出、资本、劳动、工资、消费、投资、公共支出和家庭效用的变化都呈现相同或相近的趋势。因此不管是哪种类型的政策组合,都会加剧这种变化趋势,即使得产出、劳动、工资和投资瞬时正向调整的幅度更大,而资本、消费、公共支出和家庭效用等正向调整较慢的变量,其变化率也会达到更大的最大值后再逐渐回到稳态。由于排污许可证情形下污染排放量的变化率为0,所以当政策组合中有排污许可证政策时,会降低污染排放量的变化率。而在环境税和排放强度情形下,单位排放成本、排放成本、减排成本和减排努力程度的变化率为0或很小,所以当政策组合中有环境税或排放强度政策时,会降低这四项变量的变化率。环境质量只有在排污许可证情形下有较小的正向变化率,在其他两种政策情形下,变化率都为负,所以当政策组合中有排污许可证政策时,会减弱环境质量的负向变化程度。

在面对临时性的正向公共支出冲击时,和面对技术冲击时相同,三种环境规制政策下产出、资本、劳动、工资、消费、投资、公共支出和家庭效用这几项经济变量的变化都呈现相同或相近的趋势,各种政策组合的结果都会加剧原有的变化趋势,即瞬时的正向调整或负向调整都会有更大的幅度,变化率也会达到更小的最小值后再逐渐回到稳态。污染排放量、单位排放成本、排放成本、减排成本和减排努力程度的变化率也和面对技术冲击时相似,当政策组合中有排污许可证政策时,会降低污染排放量的变化率,当政策组合中有环境税或排放强度政策时,会降低单位排放成本、排放成本、减排成本和减排努力程度的变化率。排污许可证情形下环境质量的变化趋势与其他两种政策情形相反,但由于其他两种政策情形下环境质量的变化率先呈现较小的负向变化,后呈现较大的正向变化,所以当政策组合中有排污许可证政策时,会较明显地减弱环境质量的负向变化,而对环境质量的正向变化作用有限。

综上所述,环境规制政策组合会加剧经济变量在对外生冲击时的变化程度,从社会福利变化的角度来看,政策组合的作用明显优于单一政策;同时,三种环境政策的灵活组合,也可以降低环境变量的变化率,从环境质量变化的角度来看,政策组合里可以优先考虑加入排污许可证政策。

七、敏感性分析

为了进一步完善本文的研究,本文将分析其他可能的因素对环境规制政策作用的影响,具体来说,本文从企业单位排放强度和政府环保投入转化率的变化来进行敏感性分析。

(一)单位排放强度的变化

单位排放强度即产出每增长一单位所产生的污染排放量,一般与企业的生产技术和使用能源有关。单位排放强度不仅代表了企业的生产效率,也直接关系到企业的生产成本,较低的单位排放强度不但可以直接提高企业的经济收益,还表明企业的生产技术有了提升,同时也有利于环境保护。本文在参数校准部分根据以往研究将企业的单位排放强度设定为0.6,为了比较较低的单位排放强度对宏观变量的影响,本文在敏感性分析中将其设定为0.3,比初始值下降50%,此时不同环境规制政策下各宏观变量的稳态值及其与初始设定稳态值相比较的变化率(表中括号内数字)见表3。

表3 单位排放强度降低时宏观变量稳态值及变化率

变量	基准情形	环境税情形	排污许可证情形	排放强度情形
<i>K</i>	33.785	32.631(3.293%)	33.169	31.243(32.103%)
<i>I</i>	0.845	0.816(3.293%)	0.829	0.781(32.103%)
<i>L</i>	0.536	0.536(0.031%)	0.536	0.535(2.398%)
<i>C</i>	2.495	2.408(3.195%)	2.448	2.309(23.038%)
<i>W</i>	3.404	3.287(3.261%)	3.341	3.149(29.009%)
<i>Y</i>	4.254	4.181(1.649%)	4.215	4.090(16.306%)
<i>X</i>	1.276(-50.000%)	1.070(-44.702%)	1.136(-50.000%)	0.937(16.306%)
<i>Q</i>	87.238(17.135%)	89.502(10.475%)	88.753(14.675%)	91.046(-2.052%)
<i>G</i>	0.915	0.899(1.649%)	0.906	0.879(16.306%)
<i>U</i>	517.793(3.151%)	516.797(2.598%)	517.601(2.718%)	514.351(3.471%)
<i>T</i>	0	0.059(-44.701%)	0.032	0.121(-58.784%)
<i>D</i>	0	0.004(-65.419%)	0.001	0.013(-92.121%)
<i>η</i>	0	0.147(-31.961%)	0.102	0.236(-61.765%)
<i>d</i>	0	0.055	0.028(100.000%)	0.129(-64.562%)

可以看到,因为没有实施任何环境规制政策,基准情形下的经济变量不受单位排放强度变化的影响,而污染排放量等比例下降50%,并导致环境质量提升17.135%,因为消费保持不变,所以环境质量的提升导致家庭效用提高3.151%。环境税情形下,环境税率保持不变,各经济变量都有一定程度的提升,污染排放量下降近45%,这使得环境质量提升了10.475%,企业的排放成本、减排成本和减排努力程度都有大幅下降,消费和环境质量的提升导致家庭效用提升了2.598%。排污许可证情形下,污染排放量根据基准情形的污染排放量确定,所以此情形下的污染排放量同样下降50%,因为单位排放强度和污染排放量同比例下降,所以企业的产出和减排努力程度都保持不变。因此各经济变量和排放成本、减排成本都没有发生变化,单位排放成本则翻了一倍,环境质量和家庭效用都有了一定提升。排放强度情形下,各经济变量都有较大幅度的提升,但由于强度目标为确定值,当产出增长时,污染排放量也会有相同比例增长;单位排放强度的下降大大降低了减排努力程度,单位排放成本也随之减少,受其影响,排放成本和减排成本都大幅下降;污染排放量的提高降低了环境质量,但由于消费增长幅度较大,所以家庭效用仍然上升了3.471%。

(二)环保投入转化率的变化

环保投入转化率即用于环境保护的资金每增加一单位时环境质量的提升,一般与政府的行政工作效率和环境保护技术水平有关。较高的环保投入转化率可以用同样多的资金实现更多的环保收益,也表明政府有较强的工作能力和较高的工作效率,同时也掌握了更先进的环境保护技术。本文在参数校准部分根据以往研究将环保投入转化率设定为0.345,为了比较较高的环保投入转化率对宏观变量的影响,本文在敏感性分析中将其设定为0.518,比初始值提高50%,此时不同环境规制政策下各宏观变量的稳态值及其与初始设定稳态值相比较的变化率(表中括号内数字)见表4。

表4 环保投入转化率提高时部分宏观变量稳态值及变化率

变量	基准情形	环境税情形	排污许可证情形	排放强度情形
<i>Q</i>	74.477	81.198(0.225%)	77.451(0.072%)	93.458(0.543%)
<i>U</i>	501.977	503.934(0.045%)	503.979(0.014%)	497.638(0.109%)

四种情形下,环保投入转化率的变化都只对环境质量和家庭效用产生了影响。因此表4没有将其他变量包括进来。可以看到,基准情形下,因为没有实施任何环境规制政策,环保投入转化率的变化对环境质量和家庭效用并没有任何影响。在其他三种情形下,环保投入转化率的提高都只是略微提高了环境质量和家庭效用,提高最多的是排放强度情形,在这种情形下,环境质量提升了0.543%,家庭效用提升了0.109%。

八、结论与启示

本文将环境质量、污染排放、环境规制政策等因素纳入到经典的动态随机一般均衡模型中,构建了一个包含环境因素,并可用于分析、比较不同环境规制政策作用的动态一般均衡分析框架,在静态分析中比较了不同环境规制政策下宏观变量的稳态值,通过引入技术冲击和公共支出冲击两种市场不确定性,利用模型的动态性质,分析了不同环境规制政策下各宏观变量的动态响应路径,同时又通过改变模型中单位排放强度和环保投入转化率的参数值进行了敏感性分析。综合本文的分析,可得到以下结论:

(1)环境规制政策在改善自然环境的同时,对经济活动有明显的抑制作用。和没有实施任何环境规制政策的基准情形相比,三种环境规制政策下的经济变量水平都有了较明显的下降,“双重红利”并没有表现出来。

(2)不同环境规制政策的作用效果不同。排放强度政策带来的环境质量提升最为明显,但同时造成的经济损失最大,以致降低了由家庭效用所代表的社会福利水平;排污许可证政策对经济造成的负面影响最小,但同时对环境质量的提升作用也是最小的。

(3)环境规制政策在经济波动中可以发挥“自动稳定器”的作用。从脉冲响应图中可以看出,当面对市场不确定性时,企业排放成本和减排成本的变化始终是顺周期的,这就可以抑制经济波动。其中排污许可证情形下,企业的排放成本、减排成本和减排努力程度都表现出最为明显的顺周期性,因此这种环境规制政策的“自动稳定器”作用也最为显著。

(4)相同的环境规制政策在面对不同来源的市场不确定性因素时,对宏观经济的影响有较大差异。从脉冲响应图中可以看出,面对不同来源的市场不确定性因素,同一种环境规制政策下的各宏观变量,不论是变化的方向、程度,还是路径轨迹,都有着明显不同。

(5)企业单位排放强度的降低,能有效减少污染排放量,提升环境质量和社会福利水平,配合适当的环境规制政策,还能有效提高经济变量水平,促进经济发展;而政府环保投入转化率的提高,对环境质量水平和社会福利水平的变化影响不大,更是难以对经济发展造成影响。

根据以上结论,可以得到一些关于在中国治污减排、绿色发展方面的启示:

(1)决策部门在选择和实施环境规制政策的过程中既要考虑经济发展,也要考虑环境保护,对当前发展的重点要有清晰的研判,如果以经济为重,可以优先使用排污许可证政策,尽可能降低对经济发展的负面影响;如果以环境为重,可以优先使用排放强度政策,有效降低污染排放量,提高环境质量。

(2)为了保证经济运行的稳定性,兼顾环境保护和经济发展及社会福利的提高,决策部门可以倾向于使用排污许可证政策。中国碳配额交易市场在2013年开始试点,取得了一定成效,目前还有很大的发展空间,需要进一步明确定价机制,完善市场规则,推动交易体系、涉及行业和市场主体的扩容。

(3)针对不同来源的市场不确定性因素对宏观经济的差异化影响问题,决策部门应该对市场不确定性因素进行及时的研判,根据其来源和社会发展重点实施合适的环境规制政策或政策组合,在保证经济稳定增长的同时,实现环境质量的提升。

(4)比起促进政府相关部门环境保护技术的发展,决策部门应将工作的重点放在对企业的监督和管理上,制定相关的政策,通过强制、鼓励、补贴和帮扶等手段,促进企业生产技术和减排技术的提高,以有效降低企业的单位排放强度,这样可以更有效地保证经济发展,保护生态环境,提高社会福利。

本文的研究还存在一定局限性:首先,本文只考虑了企业生产造成的污染,未考虑家庭生活造成的污染,生活污染目前也是造成环境污染问题的重要原因,未来的研究可以考虑将其纳入环境演化方程和效用函数中。其次,本文参数值的确定使用的是校准法,未来的研究可以考虑用贝叶斯估计或极大似然估计等方法对参数值进行估计。

参考文献

- [1] 蔡栋梁, 闫懿, 程树磊, 2019. 碳排放补贴、碳税对环境质量的影响研究[J]. 中国人口·资源与环境, 29(11): 59-70.
- [2] 黄贇琳, 朱保华, 2015. 中国的实际经济周期与税收政策效应[J]. 经济研究, 50(3): 4-17.
- [3] 纪尧, 周圆, 樊凯欣, 2021. 中国研发创新的影响因素及技术提升效果——基于内生增长DSGE模型的分析[J]. 经济问题探索, (11): 1-14.
- [4] 李戎, 刘力菲, 2021. 制度优势、货币政策协调与财政拉动效应[J]. 中国工业经济, (10): 20-38.
- [5] 李香菊, 贺娜, 2018. 地区竞争下环境税对企业绿色技术创新的影响研究[J]. 中国人口·资源与环境, 28(9): 73-81.

- [6] 梁红梅, 张卫峰, 2014. 中国消费、劳动和资本收入有效税率估算研究[J]. 中央财经大学学报, (12): 3-12.
- [7] 卢洪友, 张靖好, 许文立, 2016. 中国财政政策的绿色发展效应研究[J]. 财政科学, (4): 100-111.
- [8] 罗知, 齐博成, 2021. 环境规制的产业转移升级效应与银行协同发展效应——来自长江流域水污染治理的证据[J]. 经济研究, (2): 174-189.
- [9] 马勇, 吕琳, 2021. “双支柱”政策、政府债务与财政政策效果[J]. 经济研究, 56(11): 30-47.
- [10] 孙金花, 徐琳霖, 胡健, 2021. 环境责任视角下非正式环境规制对企业绿色技术创新的影响——一个有中介的调节模型[J]. 技术经济, 40(10): 10-22.
- [11] 陶锋, 赵锦瑜, 周浩, 2021. 环境规制实现了绿色技术创新的“增量提质”吗——来自环保目标责任制的证据[J]. 中国工业经济, (2): 138-156.
- [12] 汪海风, 李修玉, 马志琴, 2022. 环境规制、劳动生产率与企业工资水平——基于 223 个地级及以上城市 A 股工业上市公司的实证分析[J]. 技术经济, 41(3): 115-127.
- [13] 王立勇, 纪尧, 2019. 财政政策波动性与财政规则: 基于开放条件 DSGE 模型的分析[J]. 经济研究, 54(6): 121-135.
- [14] 王遥, 潘冬阳, 彭俞超, 等, 2019. 基于 DSGE 模型的绿色信贷激励政策研究[J]. 金融研究, (11): 1-18.
- [15] 吴磊, 贾晓燕, 吴超, 等, 2020. 异质型环境规制对中国绿色全要素生产率影响研究[J]. 中国人口·资源与环境, 30(10): 82-92.
- [16] 肖伯文, 范英, 2022. 新冠疫情的经济影响与绿色经济复苏政策评估[J]. 系统工程理论与实践, 42(2): 273-288.
- [17] 颜建军, 李军艳, 徐雷, 2021. 政府环境规制对污染物排放的影响研究——以“两型社会”试验区为例[J]. 南开经济研究, (4): 209-233.
- [18] 于亚卓, 张惠琳, 张平淡, 2021. 非对称性环境规制的标尺现象及其机制研究[J]. 管理世界, 37(9): 134-147.
- [19] 张开, 龚六堂, 2018. 开放经济下的财政支出乘数研究——基于包含投入产出结构 DSGE 模型的分析[J]. 管理世界, 34(6): 24-40.
- [20] 朱军, 姚军, 2017. 中国公共资本存量的再估计及其应用——动态一般均衡的视角[J]. 经济学(季刊), 16(4): 1367-1398.
- [21] ACEMOGLU D, AGHION P, BURSZTYN L, et al, 2012. The environment and directed technical change[J]. American Economic Review, 102(1): 131-166.
- [22] ACEMOGLU D, AKCIGIT U, HANLEY D, et al, 2016. Transition to clean technology[J]. Journal of Political Economy, 124(1): 52-104.
- [23] ANGELOPOULOS K, ECONOMIDES G, PHILIPPOPOULOS A, 2010. What is the best environmental policy? Taxes, permits and rules under economic and environmental uncertainty[J]. CESifo Working Paper Series No. 2980(3).
- [24] ANNICCHIARICO B, CORREANI L, DI DIO F, 2018. Environmental policy and endogenous market structure[J]. Resource and Energy Economics, 52: 186-215.
- [25] ANNICCHIARICO B, DI DIO F, 2015. Environmental policy and macroeconomic dynamics in a new Keynesian model[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 69: 1-21.
- [26] BARRAGE L, 2020. Optimal dynamic carbon taxes in a climate-economy model with distortionary fiscal policy[J]. The Review of Economic Studies, 87(1): 1-39.
- [27] BAYER P, AKLIN M, 2020. The european union emissions trading system reduced CO₂ emissions despite low prices[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 117(16): 8804-8812.
- [28] CALEL R, 2020. Adopt or innovate: Understanding technological responses to cap-and-trade[J]. American Economic Journal: Economic Policy, 12(3): 170-201.
- [29] CHAN Y T, 2022. The macroeconomic impacts of the COVID-19 pandemic: A SIR-DSGE model approach[J]. China Economic Review, 71: 101725.
- [30] COSTINOT A, DONALDSON D, SMITH C, 2016. Evolving comparative advantage and the impact of climate change in agricultural markets: Evidence from 1.7 million fields around the world[J]. Journal of Political Economy, 124(1): 205-248.
- [31] DILUIO F, ANNICCHIARICO B, KALKUHL M, et al, 2021. Climate actions and macro-financial stability: The role of central banks[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 110: 102548.
- [32] HASSAN M, OUESLATI W, ROUSSELIÈRE D, 2020. Exploring the link between energy based taxes and economic growth[J]. Environmental Economics and Policy Studies, 22(1): 67-87.
- [33] HEUTEL G, 2012. How should environmental policy respond to business cycles? Optimal policy under persistent productivity shocks[J]. Review of Economic Dynamics, 15(2): 244-264.
- [34] HEYES A, 2000. A proposal for the greening of textbook macro: IS-LM-EE[J]. Ecological Economics, 32(1): 1-7.
- [35] KORT P, GRADUS R H J M, 1992. Optimal taxation on profit and pollution within a macroeconomic framework[J]. Dynamic Economic Models and Optimal Control, 313-327.
- [36] LAWN P A, 2003. On Heyes' IS-LM-EE proposal to establish an environmental macroeconomics[J]. Environment and Development Economics, 8(1): 31-56.

- [37] LI L, TAEIHAGH A, 2020. An in-depth analysis of the evolution of the policy mix for the sustainable energy transition in China from 1981 to 2020[J]. *Applied Energy*, 263(1): 114611.
- [38] METCALF G E, STOCK J H, 2020. Measuring the macroeconomic impact of carbon taxes [J]. *AEA Papers and Proceedings*, 110: 101-106.
- [39] PLOEG F, WITHAGEN C, 1991. Pollution control and the ramsey problem[J]. *Environmental and Resource Economics*, 1(2): 215-236.
- [40] QI S, CHENG S, CUI J, 2021. Environmental and economic effects of China's carbon market pilots: Empirical evidence based on a DID model[J]. *Journal of Cleaner Production*, 279(10): 123720.
- [41] ROACH T, 2021. Dynamic carbon dioxide taxation with revenue recycling[J]. *Journal of Cleaner Production*, 289(20): 125045.
- [42] RUNST P, THONIPARA A, 2020. Dosis facit effectum why the size of the carbon tax matters: Evidence from the Swedish residential sector[J]. *Energy Economics*, 91: 104898.

Research on Environmental Regulation Policy from the Perspective of Dynamic Macroeconomics

Jia Nanting¹, Feng Zongxian²

(1. Jinhe Center for Economic Research, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. School of Finance and Economics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China)

Abstract: The classical dynamic stochastic general equilibrium model was expanded by introducing factors such as environmental quality, pollution emissions and environmental regulation policies, and constructing an analytical framework including environmental factors and could be used to compare the effects of different environmental regulation policies, so as to study the different impacts on economy and environment of three different types of environmental regulation policies, namely, environmental taxes, emission permits and emission intensity. The results show that the environmental regulation policy has an inhibitory effect on economic activities, and can play an “automatic stabilizer” role in economic fluctuations. Among them, the emission intensity policy causes the largest economic losses, and the environmental benefits are the most obvious. The emission permit policy has the smallest effect on the improvement of environmental quality, but its economic losses are the smallest, and its “automatic stabilizer” role is also the most obvious. At the same time, the decrease in the unit emission intensity of enterprises can effectively reduce pollution emissions and improve environmental quality and social welfare, while the increase in the conversion rate of government environmental protection input has a very limited impact on the environment and economy.

Keywords: environmental regulation; macro economy; DSGE model