

绿色工艺创新扩散波动对经济增长的冲击

印 浩, 田贵良, 钱晓燕

(河海大学 商学院, 南京 211100)

摘 要:构建了一个动态随一般均衡(DSGE)模型,同时考虑了绿色工艺创新的“S型曲线”扩散规律与其本身的特征(节能作用和减排作用),模拟绿色工艺创新扩散的负向波动对经济增长的冲击效应。结果表明,各经济变量对绿色工艺创新扩散的负向波动呈现出不同的响应路径:资本存量的响应具有明显的滞后性,而资本报酬率的收敛过程出现了“倒U型”曲线;资本报酬率的波动幅度最大;资本存量的波动率较小,而资本报酬率的波动率较大;环保税税负水平的提升可以加速经济收敛。

关键词:绿色工艺创新;S型扩散;经济增长

中图分类号:F061.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-980X(2019)11-0109-08

改革开放以来,我国制造业进步显著、整体实力不断增强。与此同时,厂商在产品生产过程中大量排污所导致的环境污染问题,以及能源结构不合理、生产效率低下所显现出来的高碳特征逐渐为人们所关注^[1]。创新驱动和绿色引领道路可以克服稀缺性资源的瓶颈制约问题,解决生态环境约束压力,进而推动可持续发展^[2]。而创新对经济增长的影响是通过创新扩散来实现的^[3]。

绿色技术创新包括绿色工艺创新和绿色产品创新。一方面,其扩散过程所产生的经济效应会受到市场各方理性预期的影响;另一方面,政府的环境規制政策也会影响市场主体的预期,从而波及整个经济系统。因此,绿色技术创新扩散的变化通常不能在局部分析的框架中进行研究,创新的重要特征之一就是会影响整个经济系统^[4]。

就绿色工艺创新而言,其扩散过程既应该符合一般创新扩散的“S型曲线”扩散规律^[5],同时其本身又具有节能作用和减排作用。因此绿色工艺创新扩散所引致的经济效应与其他类型的创新扩散有所不同。具体来说,绿色工艺创新的扩散过程会逐步缓解厂商污染物排放的负外部性,而这种变化又会反映到厂商的利润函数中(如缓解了环保税负的壓力)。这种政府、市场主体和自然环境的互动过程,是其他类型的创新扩散所不具备的。

综合上述两点,本文结合绿色工艺创新扩散的规律及其本身的特点,将其纳入到一个包含了理性

预期的经济系统中进行分析。这样做有利于我们从宏观层面了解绿色工艺创新扩散的波动对于整个国民经济增长的影响。本文贡献有:①首次提出将创新扩散的一般规律——“S型曲线”扩散引入到一个两部门动态随一般均衡(DSGE)模型中来表征绿色工艺创新存量的积累过程;②与以往研究不同的是,本文认为即便政府环保税率存在刚性而产出水平内生增长,厂商部门照样可以享受因为绿色工艺创新扩散所带来的环保税负减轻,因为随着绿色工艺创新的扩散,厂商的排污量会逐渐降低,污染物排放的负外部性也会得到缓解,从而环保税负的壓力也会随之减小。

1 文献综述

1.1 概念区分

绿色创新(包括绿色技术创新和绿色制度创新)是指在整个生命周期内能有效降低环境风险、污染和资源使用过程中其他负面效应的新的产品和服务、生产工艺流程、市场方法、组织结构和制度安排^[6]。“双重外部性”是绿色创新不同于一般创新的独特之处。即绿色创新在生产环节和扩散环节都具有溢出效应,从而不仅仅是厂商的内部成本,外部环境成本也有了一定程度的降低^[7]。国外很多学者对以节能减排为特征的绿色创新进行了深入研究。这些研究可以按照熊彼特的经济学定义,区分为微观、中观和宏观三个层面^[8]。

收稿日期:2019-10-25

基金项目:国家社会科学基金重大项目“跨境水资源确权与分配方法及保障体系”(17ZDA064)

作者简介:印浩(1994—),男,江苏泰州人,河海大学商学院硕士研究生,研究方向:资源技术经济;田贵良(1982—),男,江苏徐州人,博士,河海大学商学院副教授,研究方向:水资源经济与管理、创新管理;钱晓燕(1990—),女,江苏盐城人,河海大学商学院博士研究生,研究方向:环境行为、创新扩散。

绿色技术创新属于绿色创新的一部分,其可以区分为两种类型^[9]:一种是绿色工艺创新,这种类型涉及单种绿色技术或者多种绿色技术在厂商生产中的单个或者多个阶段的应用,如节约资源、能源的绿色设备或绿色工艺的创新、降低污染排放的末端污染治理技术的创新等;另一种则是绿色技术创新发展的高级阶段——绿色产品,该阶段的特点是从设计、采购、生产、销售以及消费的全过程来节能降耗、消除污染,这种创新既要求厂商各项活动的环境相容性,又要求实现最终产品对消费者的无危害化^[10]。绿色产品创新的研究更侧重于市场结构的影响,因为产品创新往往涉及到消费者部门。例如, Rennings^[11]通过区分绿色产品创新和绿色工艺创新来探究技术、规制和市场因素等对绿色创新的影响,结果表明绿色产品创新主要由顾客需求和市场竞争等市场因素推动,而绿色工艺创新则更多地由环境规制驱动^[12]。

而就宏观层面的经济影响而言,绿色产品创新相较于绿色工艺创新的影响范围更为广泛。消费者部门会分享绿色产品带来的红利,而绿色工艺创新的影响主要局限于生产部门,仅仅有可能涉及部分消费者(如靠近污染源的消费者);此外,绿色工艺创新和绿色产品创新其自身的扩散规律有明显区别:绿色产品创新的扩散可能涉及重复采纳(消费者重复购买)的情况,而绿色工艺创新的重复采纳率往往不明显(很少有厂商重复购买同一项技术)。本文主要针对绿色工艺创新扩散的波动情况进行分析。

1.2 绿色工艺创新扩散

绿色工艺创新扩散是指在一定环境作用条件下,绿色工艺创新成果通过一种或几种渠道在制造业产业内部各成员或各组织之间传播并推广应用的过程,也是创新扩散源提供新绿色工艺、中介渠道传递新绿色工艺、扩散接受体接收并采用新绿色工艺的过程^[13]。

包含绿色工艺创新扩散在内的绿色技术创新的研究侧重于两个方面:一类研究在实证应用的基础上对厂商绿色技术创新的采纳与扩散理论进行了扩展或验证,以丰富相关的创新理论^[14-15]。另一类研究侧重于对于某一特定行业绿色技术创新扩散的特征进行探索。例如, Praetorius 和 Schumacher^[16]介绍了能源行业 CCS(碳捕获和存储)技术的扩散,并解释了该项技术在这个碳约束的世界中对温室气体所起到的减排作用。然而,大多数文献并没有区分绿色工艺创新扩散和绿色产品创新扩散的不同。一般认为二者的扩散规律是类似的——均符合创新的“S型曲线”扩散规律。

1.3 创新扩散的经济效应

创新的产生与扩散在经济社会变革中的作用一直是创新研究的主要焦点之一。现有研究利用规范或实证的手段分析了创新扩散对国民经济的影响,其中主要有时间维度效应和空间维度效应两种观点:时间维度效应观点认为随着时间的推移,创新扩散有助于提升全要素生产率^[17],而这种效应可能是通过加速资本深化^[18]、推动技术进步^[19]或者促进产业结构调整^[20-21]等中间过程传导的;空间维度效应观点认为创新扩散具有显著的空间溢出效应,是经济外在性的一种表现^[22],这种效应主要与创新主体之间的距离有关^[23],如中心城市的创新扩散会带动区域经济增长^[24]。值得一提的是,在空间溢出效应的研究领域中,很多学者关注通过贸易或者 FDI(外商直接投资)的方式来推动创新扩散,从而促进东道主国(尤其是发展中国家)经济增长,甚至反过来作用于母国的全要素生产率(逆向绿色溢出)现象^[25-26]。此外,在分析创新扩散的经济效应时,政府的政策对于技术创新扩散会产生深远影响,从而传导至整个经济系统。例如,政府补贴提升了技术创新扩散强度,进而提高了资源配置效率^[27];而不同的环境规制政策对于绿色生产全要素生产率会产生不同影响^[28]。

尽管创新扩散的经济效应一直是学术界研究的重点,但是从经济学的角度来分析绿色工艺在内的技术创新扩散与经济增长的理论和方法仍然是有限的^[29]。应当认识到,绿色工艺创新的扩散涉及政府、厂商和自然环境的互动,这是其他类型的创新扩散所不具备的。现有的研究侧重于绿色技术创新(包括绿色工艺创新和绿色产品创新)扩散本身的过程,大都考虑了政府部门的行为^[30-31]。但是很少有研究将创新扩散固有的特征同时纳入到宏观经济分析框架之中。例如,郑丽琳和朱启贵^[32]通过构建包含环境约束的动态随机一般均衡模型,分析了生产技术和环保技术冲击对一国主要宏观变量的影响。然而,他们的研究将环保技术冲击视为一个简单的 AR(1)过程,并没有考虑到创新扩散本身的“S型曲线”扩散规律。

2 理论模型

现有的研究反映出 DSGE 模型在研究技术创新扩散的经济效应方面具有独特优势:一方面,DSGE 模型反映出了宏观经济现象的动态性并且反映了市场主体之间的联系^[33],具有很好的扩展性;另一方面,DSGE 强调宏观经济的微观基础,考虑了经济主体对未来的“理性预期”,通过最优化经济主

体的跨期决策函数实现宏观经济均衡^[32],从而避免了卢卡斯批判。综合这两点,DSGE 框架不失为分析绿色工艺创新扩散波动对经济增长冲击的有力工具之一。

本文针对绿色工艺创新扩散与经济增长之间的关系设定一个两部门 DSGE 模型,同时考虑绿色工艺创新的节能作用、减排作用和政府的环保税收政策。绿色工艺创新节能作用体现在厂商的生产函数中,表现为提升了劳动生产效率。具体而言,本文借鉴徐舒等^[34]的做法,在厂商的生产函数中引入“绿色工艺创新存量”,它可以理解为:厂商在过往生产过程中获得的关于绿色工艺创新的生产和管理经验,以及积累或购买的绿色技术,其直接作用是提高了厂商的非资本生产率(显然属于劳动增强型技术进步之一)。而“绿色工艺创新存量”在整个经济系统中的积累过程(即扩散过程)则应当体现创新扩散的一般规律——“S 型曲线”扩散。

关于绿色工艺创新的减排作用,本文借鉴郑丽琳和朱启贵^[32]的研究,在厂商的利润函数中引入环保税。不同的是,本文认为绿色工艺创新的减排作用经过扩散所带来的经济效应应该直接体现在减轻厂商的环保税税负这一点上,而不是对污染所损害的生产效率的弥补(现实中污染的排放存在外部性,很少对厂商的生产效率产生直接损失)。换言之,即便政府环保税率存在刚性而厂商产出水平内生增长,厂商照样可以享受因为绿色工艺创新扩散所带来的环保税负的减轻。因为随着绿色技术创新的扩散,其排污量会逐渐降低。

此外,本文假定不考虑绿色工艺创新扩散的总量环保税税负水平与绿色工艺创新扩散过程的波动一样都是外生变量。

2.1 消费者部门

假设消费者部门中的单个消费者是同质的并且具有无限的生存期限。个体通过消费获得效用并储蓄以积累资本存量。用 U 表示消费者部门的效用函数(该效用函数的设定形式在真实经济周期研究与双对数模型一样,并被广泛采用^[34]),则消费者部门在每一个时期选择消费和提供劳动以最大化其未来效用的折现值:

$$\max U_0(C_t, H_t) = \max E_0 \left[\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left(\ln C_t - \xi_t \frac{H_t^{1+\phi}}{1+\phi} \right) \right]. \quad (1)$$

其中: E_0 为期望算子; β 体现消费者部门的主观贴现率且 $\beta' \in (0, 1)$; 假设 $\xi_t > 0$ 并且为常数,表示消费者在劳动和闲暇间进行权衡的相对权重; ϕ 为家庭的 Frisch 劳动供给弹性;消费者部门在 t 期

的消费水平 C_t 和投资水平 I_t 取决于如下的预算约束(Y_t 为经济系统的总产出):

$$C_t + I_t \leq Y_t. \quad (2)$$

2.2 生产部门

同样假设生产部门中的单个厂商是同质的,并且与大多数文献一样,本文假定生产部门的生产函数服从 C-D 形式:

$$Y_t = A_t K_t^\alpha (N_t^\gamma L_t^{1-\gamma})^{1-\alpha}. \quad (3)$$

其中: A_t 在表示中性生产技术进步水平,并且其对数服从平稳的随机过程:

$$\ln A_t = \rho \ln A_{t-1} + \varepsilon_{1t}. \quad (4)$$

K_t 为资本存量并且服从如下的资本积累过程:

$$K_{t+1} = (1 - \delta_t) K_t + I_t. \quad (5)$$

其中: $\delta_t \in (0, 1)$ 为资本折旧率并假定为常数,厂商本期新增的投资来源于家庭部门; L_t 为人力资本投入; $\alpha \in (0, 1)$ 为资本在生产中的份额; N_t 中表示“绿色工艺创新存量”; $\gamma \in (0, 1)$ 表示“绿色工艺创新存量”在非资本投入中的份额,其积累过程不再与资本的积累过程一致,而是与大多数创新扩散过程一致,符合“S 型曲线”扩散规律。具体来说应该符合如下的积累过程:

$$N_t = N_{t-1} + pm + (q - p)N_{t-1} - \frac{q}{p}N_{t-1}^2 + \varepsilon_{2t}. \quad (6)$$

根据 Bass 提出的时间域创新扩散模型^[35],绿色创新扩散在经济系统中的扩散受到两种力量的左右:一是扩散系统中具有冒险精神且独立于前期采纳者决策的创新者群体力量,可以用创新系数 p 来表示;二是扩散系统中容易受到前期采纳者决策影响的模仿者群体力量,可以用模仿系数 q 来表示。当然整个绿色工艺创新扩散的最终结果也受到整个经济系统中可能采纳绿色工艺创新的厂商数目 m (即绿色工艺创新的市场潜力)的影响(注意此处的 m 并非代表整个经济系统的厂商数目)。需要强调的是,在现实情况下,绿色工艺创新扩散在创新扩散过程常常具有不确定性并且时常受到政府政策的影响。

与消费者部门不同的是,典型生产部门的最优化选择不涉及跨期问题^[36]。用 Π 表示生产部门的利润函数,则生产部门在每一个时期雇佣劳动和租用资本以实现各期利润的最大化:

$$\Pi_t = Y_t - \Gamma_t Y_t - W_t L_t - (R_t + \delta_t) K_t. \quad (7)$$

其中: Γ_t 代表的是考虑绿色工艺创新扩散的、以产出为计量基础的总量环保税税负水平(我国环保税采用定额税率,计税依据区分不同污染物:应税大气污染物的排放当量数、应税水污染物的污染当量数、应税固体废物的排放量和应税噪声的超标分

页数。由此可见,我国应税污染物的应征税额都与厂商的产出有密切的联系)。另外, W_t 代表工资水平,而 R_t 代表资本报酬率。

考虑到污染的排放存在外部性,很少对厂商的生产效率产生直接损失,本文认为绿色工艺创新的减排作用经扩散所带来的经济效应直接体现在减轻环保税税负上:

$$\Gamma_t = \Theta_t(1 - N_t/m). \quad (8)$$

其中: Θ_t 为不考虑绿色工艺创新扩散的、以产出为计量基础的总量环保税税负水平。

2.3 模型均衡条件

本文构建的 DSGE 框架的竞争性均衡条件要求:所有市场(产品市场和劳动力市场)达到出清;消费者部门的效用最大化决策和生产部门的利润最大化决策分别在各自的约束下达到一阶条件。均衡条件可以由式(9)~式(15)表示:

$$C_{t+1}/C_t = \beta E_t[A_{t+1}(N_{t+1}^\gamma H_{t+1}^{1-\gamma})^{1-\alpha} \times \alpha K_{t+1}^{\alpha-1} + 1 - \delta_{t+1}]; \quad (9)$$

$$K_{t+1} = A_t K_t^\alpha (N_t^\gamma H_t^{1-\gamma})^{1-\alpha} - C_t + (1 - \delta_t) K_t; \quad (10)$$

$$\ln A_t = \rho \ln A_{t-1} + \varepsilon_{1t}; \quad (11)$$

$$N_t = N_{t-1} + pm + (q - p)N_{t-1} - \frac{q}{p} N_{t-1}^2 + \varepsilon_{2t}; \quad (12)$$

$$R_t = [1 - \Theta_t(1 - N_t/m)]A_t(N_t^\gamma H_t^{1-\gamma})^{1-\alpha} \times \alpha K_t^{\alpha-1} - \delta_t; \quad (13)$$

$$W_t = [1 - \Theta_t(1 - N_t/m)]A_t K_t^\alpha N_t^{(1-\alpha)\gamma} \times \alpha L_t^{(1-\alpha)(1-\gamma)-1}; \quad (14)$$

$$H_t = L_t. \quad (15)$$

3 参数校准与数值模拟

3.1 参数估计

在 DSGE 模型的政策函数求解之前必须确定模型的结构参数。本文模型的结构参数可以分为两类:一类是与绿色工艺创新扩散有关的结构参数;另一类是其他一般性结构参数。

关于绿色工艺创新扩散的结构参数校准,本文参考刘娜和周敏^[37]的做法,采用 2004—2017 年我国境内通过环境管理体系(ISO14001)认证的厂商个数作为绿色工艺创新采纳数目的代理变量,代表采纳绿色工艺创新的厂商个数。考虑到如果直接对绿色技术创新扩散模型线性化后的式(6)进行 OLS 估计可能会存在严重的多重共线性,本文将式(6)还原为如下的指数形式:

$$N_t = m \times [1 - e^{-(p+q)t}]/[1 + q/p \times e^{-(p+q)t}] + \varepsilon_{2t}. \quad (16)$$

然后利用 MATLAB 进行拟合,结果见表 1。关于式(6)中所展现的绿色工艺创新扩散的不确定性,参考郑丽琳和朱启贵^[32]利用官方公布的环境污染治理投资总额数据测算出的结果,将其标准差定为 0.080。

其他一般性结构参数的估计,本文综合参考徐舒等^[34]的研究和郑丽琳、朱启贵^[32]的研究,将具体数值确定见表 2。关于中性生产技术的波动,本文在数值模拟中设为 0。考虑到环保税的税率具有刚性并且《环保税法》自 2018 年 1 月 1 号起开始实施,本文将不考虑绿色工艺创新扩散的、以产出为计量基础的总量环保税税负水平定为 0.059%。这一结果是根据 2018 年全国预期征收的 500 亿环保税税收总额除以当年的 GDP 数值得到的。

表 1 绿色技术创新扩散的结构参数估计结果

m	p	q	可决系数 R^2
2333000.000	0.002	0.059	0.994

表 2 一般性结构参数估计结果

β	ξ_t	ϕ	α	γ	δ_t	ρ
0.960	0.667	3.000	0.617	0.200	0.098	0.875

3.2 数值模拟

对结构参数进行估计后,本文利用 Dynare 提供的基于扰动项的泰勒近似求解算法求解模型的政策函数。然后,以模型的稳态为初值模拟绿色工艺创新扩散的波动与经济增长中的相关变量(如消费、资本和产出等)之间的关系。由于模拟的初值被设置为模型的稳态,所以模拟结果可能会出现跳跃情况。此外,不考虑人口增长且劳动力总量被标准化为 1。

3.2.1 绿色工艺创新扩散的负向暂时性波动

如表 3 所示,国家统计局的数据显示 2018 年我国劳动力总数已经出现了下降的趋势,这无疑会影响到市场中各个厂商的预期,从而对绿色工艺创新的扩散和经济增长产生一定的影响。而这种影响很可能持续到一个临界点的出现。根据中国社会科学院 2019 年初发布的《人口与劳动绿皮书:中国人口与劳动问题报告 No. 19》中的预测,中国总人口将在 2028 年左右出现负增长的态势。因此 2028 年以后,市场对于劳动力减小的负面预期很可能会被消化完全。

表 3 劳动力人口

年份	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
劳动力 (万人)	79690	80091	80694	80686	80567

注:数据来源于中华人民共和国国家统计局网站。

基于这个背景,本文将绿色技术创新扩散的波动期设置为9期(初始期设为2019年),来观察相关经济变量的响应情况。需要指出的是,分析的基准期假设初始期经济系统已经达到现有中性技术水平之下的均衡(因此会与现实数据有所出入,如GDP),并且绿色技术创新扩散也已经达到了市场最大潜力(此时绿色工艺创新扩散的减排作用达到最大并且厂商缴纳的环保税应该为0)。

此外,需要将绿色工艺创新扩散的波动区分为暂时性波动和永久性波动两种类型。如果绿色工艺创新扩散在波动后的第10期恢复至初始均衡状态则为暂时性波动,否则为永久性波动。学术界在研究技术创新扩散的波动效应时出现了两种不同的思路:徐舒等^[34]的研究中采用了永久性波动来分别模拟各经济变量对中性生产技术波动和技术扩散波动的响应情况;而郑丽琳和朱启贵^[32]的研究中采用了暂时性波动来分别模拟各经济变量对生产技术波动和环保技术波动的响应情况。

就本文而言,虽然人口的负增长对于市场中各主体的预期会产生非常大的影响,但是绿色工艺创新扩散是否可以维持在变动之后的水平难以预测(很可能负面影响会在2028年以后被消化完全)。因此,本文拟对绿色工艺创新扩散的施加负向暂时性波动(即假设到2028年,所有影响绿色工艺创新扩散不确定性的因素均会消失,经济系统慢慢趋向原来的均衡)。

当前我国经济增速放缓、厂商收益的不确定性增大,并且这种趋势很有可能持续到人口负增长阶段的到来。客观来看,原本采纳绿色工艺创新的厂商很可能因为某些压力而放弃或者搁置已经实施的绿色工艺创新(假设这种负面的情况出现完全是外生随机的)。因此,本文为绿色工艺创新扩散设定一个为期9期的、累计3%的负向波动。

如图1~图6所示,在为期9期的负向绿色工艺创新扩散波动的影响之下,第1期期末除了资本存量以外,整个经济系统中的其他主要变量都立刻出现了下滑,其中下滑最为明显的是资本报酬率(下滑幅度超过初始值的0.672%)。资本存量响应比较迟缓的原因是资本的积累具有滞后性:负向的绿色工艺创新扩散波动首先对于厂商的生产函数产生影响,绿色工艺创新节能作用所产生的生产效率提升效应减弱,所以整个经济系统的产出会立刻响应并出现下降的态势;随之出现消费和新增投资下滑的现象,从而影响到下一期的资本积累。另一方面,资本报酬率下滑最为明显的原因是:随着负向绿色工艺创新扩散波动的出现,厂商开始排放污染物并

开始缴纳环保税,从而立刻影响到厂商的利润函数。产出的下滑和环保税收的约束,将导致经济系统中的资本报酬率出现更为严重的下滑趋势。

本文将绿色工艺创新扩散的“S型曲线”扩散规律引入到整个经济系统中,这一点也可以从图1中体现出来:当负向绿色工艺创新扩散波动消失以后,绿色工艺创新厂商累计数目的增长趋势的确符合“S型曲线”扩散规律。随着生产函数中绿色工艺创新扩散的节能作用得到恢复,整个经济系统的产出本应随之增长。但是,由于资本存量响应的滞后性,同时本文所设置的参数显示资本投入的重要性要高于非资本投入,所以整个经济系统的GDP并不会随着负向绿色工艺创新扩散波动的消失立刻步入增长的轨道。同样由于资本存量响应的滞后性,工资水平的反弹也出现迟滞。

此外,工资水平和资本报酬率在负向绿色工艺创新扩散波动消失以后的增长轨迹不一致:工资水平在短期的跳跃以后呈现平滑的增长态势,而资本报酬率的收敛过程出现了“倒U型”曲线。原因是资本存量响应的滞后性对两者的负面影响大小不一致,这一点可以从式(13)和式(14)中体现出来。在大概38期以后资本报酬率出现了从高点逐渐收敛至均衡状态,这应该是绿色工艺创新扩散恢复过程趋于平缓,其所带动的劳动生产效率提升作用在后期的影响逐渐减小。由于资本存量响应的滞后性,生产效率上升的速度慢于新增投资的上升速度(可以从图2和图4的对比中看出)。

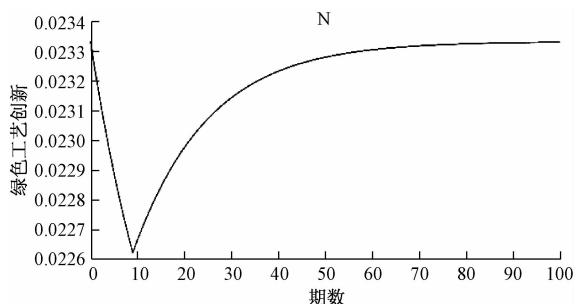


图1 绿色工艺创新扩散的波动及恢复

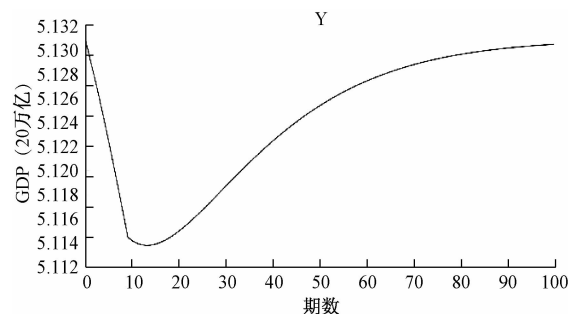


图2 GDP的响应路径

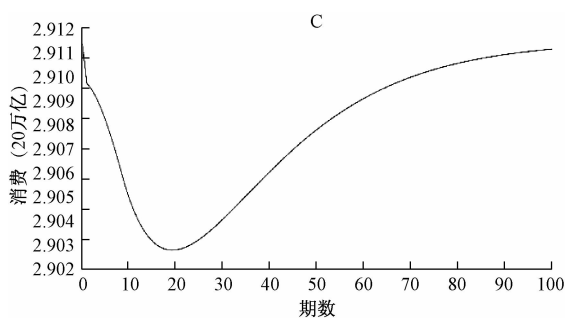


图 3 消费的响应路径

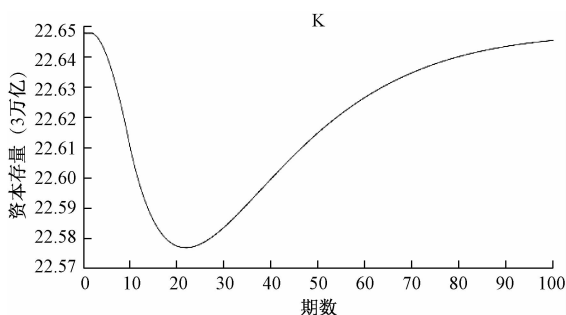


图 4 资本存量的响应路径

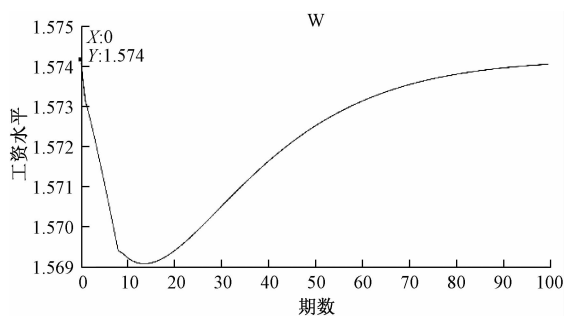


图 5 工资水平的响应路径

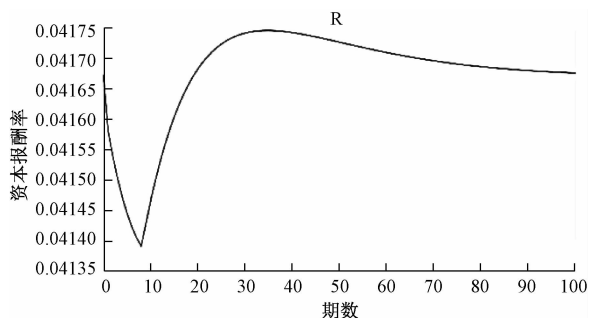


图 6 资本报酬率的响应路径

3.2.2 随机模拟分析

接下来对由于绿色工艺创新扩散的负向波动而引起的相关经济变量的响应路径进行随机模拟,其中绿色工艺创新扩散负向波动的标准差设置为 0.065,波动期设置为 1000 期。

表 4 揭示了各变量的波动大小(用变异系数来衡量)。其中,资本报酬率的波动幅度明显大于其他变量,这可以解释在上文为期 9 期,累计 3% 的绿色工艺创新扩散的负向暂时性波动影响下,资本报酬率下滑幅度最大(0.672%)的现象。

图 7 给出了各个经济变量对绿色工艺创新扩散负向波动的响应路径。其中,资本存量的波动频率要比 GDP 和消费的波动频率小,这可以解释图 4 中资本存量曲线的在绿色工艺创新负向波动产生和消失的节点都比较平滑的现象;资本报酬率的波动频率要比工资水平的波动频率大,这可以解释图 6 中第 9 期至第 10 期资本报酬率曲线明显的跳跃现象。波动率的不同根源在于均衡条件下各个经济变量的方程不同,首先资本存量方程中存在上一期消费波动的对冲效应,所以资本存量的波动频率较小;其次,就工资水平方程和资本报酬率方程而言,由于劳动力供给被标准化为 1(不存在波动),所以资本报酬率相比较工资水平而言波动频率较大。

表 4 各变量波动大小

变量	GDP	消费	资本存量	工资水平	资本报酬率
变异系数	1.142	1.056	1.095	1.122	2.12

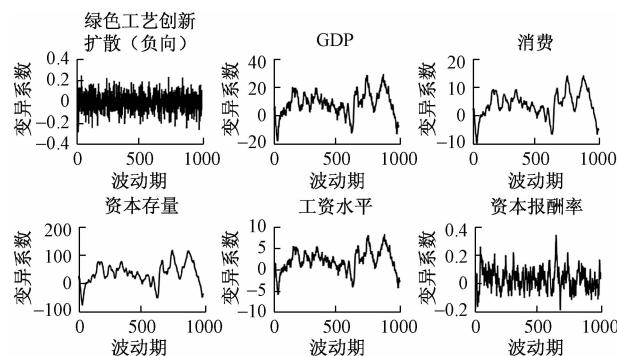


图 7 随机模拟下各变量的波动

3.2.3 提升环保税负水平的影响分析

政府很有可能针对市场的波动采取相应的政策措施。当绿色工艺创新扩散出现负向波动时,采取提升环保税税负水平的措施可以倒逼厂商采纳绿色工艺创新,从而加速绿色工艺创新扩散和整个经济系统向稳态收敛。

如前文所述,一项绿色创新扩散在经济系统中的扩散受到创新系数(扩散系统中具有冒险精神且独立于前期采纳者决策的创新者群体力量)和模仿系数(扩散系统中容易受到前期采纳者决策影响的模仿者群体力量)的影响。政府作为独立于扩散系统的外部力量,其政策措施对创新者群体产生影响

更大。因为模仿者群体的采纳行为主要受前期采纳群体的影响,而创新群体会独立评估政府政策对其预期收益产生的影响而做出绿色工艺创新采纳与否的决策。

由于环保税税负水平的变动具有刚性,不可能随着市场的变化而随时变动,为了揭示政府提升环保税负水平的影响,本文假设不考虑绿色工艺过程创新扩散的、总量环保税负水平提升 20%,并且由于乘数效应假设创新系数随之增强 100%(这种调整发生于初始期,并且之后不会发生变动)。依然为绿色工艺创新扩散设定一个为期 9 期的、3%的负向波动。结果见表 5。

表 5 各变量响应提前情况

变量	扩散	GDP	消费	资本存量	工资水平	资本报酬率
期数	-3	-3	-1	-2	-1	-2

加速绿色工艺创新扩散速度的政策手段不止提升环保税税负水平这一种手段,其他诸如宣传、补贴、标准制定等政策也会促进绿色工艺创新扩散向稳态收敛。并且,在负向冲击的 9 期之内政府如果可以适时调整环保税收政策(即降低环保税政策的刚性)也会加大乘数效应,从而创新系数的增强幅度会更大。

4 结论与启示

本文认为绿色工艺创新扩散的过程符合创新扩散的一般规律——“S 型曲线”扩散并且将该规律引入到 DSGE 框架之中,同时将绿色工艺创新的节能作用(提升劳动生产效率)和减排作用(缓解环保税税负压力)体现在经济增长中。利用 Dynare 模拟分析在绿色工艺创新扩散出现负向波动时,主要经济变量所做出的响应路径。基于实际数据校准的研究结果表明:①在负向绿色工艺创新扩散的波动下,绿色工艺创新扩散恢复至均衡状态的过程符合“S 型曲线”的特征;②在负向绿色工艺创新扩散的波动之下,资本存量的响应具有滞后性,并且导致工资水平和 GDP 的均衡恢复过程出现对应的滞后响应现象;③工资水平和资本报酬率的均衡恢复过程呈现明显的不一致,资本报酬率的收敛过程出现了“倒 U 型”曲线;④资本报酬率的波动幅度相较其他变量而言最大;⑤资本存量的波动率要比 GDP 和消费的波动率小,而资本报酬率的波动率较之工资水平的波动率大;⑥提升环保税税负水平可以加速绿色工艺创新扩散负向波动下的经济收敛。

本研究具有一定的政策启示:第一,政府需要在稳定市场中各主体绿色工艺创新采纳的预期中发挥

更主动的作用。应该认识到,负向绿色工艺创新扩散的波动对于经济系统各变量的影响是深远的:短短 9 期的绿色工艺创新扩散的波动,经济系统需要几倍的时间来消化。第二,如果出现绿色工艺创新扩散的负向波动,对于波动较大的资本市场需要予以额外的关注,必要时可以采取预调机制。当然本文也有一些不足之处,如未考虑绿色工艺创新扩散的正向波动情形(包括政策驱动型和新旧绿色工艺创新竞争型)等,这也是未来研究的方向之一。

参考文献

[1] 许士春,何正霞,龙如银. 环境规制对企业绿色技术创新的影响[J]. 科研管理, 2012, 33(6): 67-74.

[2] 孙丽文,曹璐. 中国制造业绿色创新系统构建及协同度分析[J]. 技术经济, 2017, 36(7): 48-55.

[3] BLAUT J M. Diffusionism: a uniformitarian critique[J]. Annals of the Association of American Geographers, 1987, 77(1): 30-47.

[4] 海因茨·D·库尔茨,李酣. 技术进步和创新的扩散:古典经济学家和熊彼特的不同视角[J]. 江海学刊, 2017 (5): 24-30.

[5] 童昕,陈天鸣. 全球环境管制与绿色创新扩散——深圳、东莞电子制造企业调查[J]. 中国软科学, 2007(9): 69-76.

[6] 张静进,黄宝荣,王毅,等. 绿色技术扩散的典型商业模式、案例及启示[J]. 工业技术经济, 2015, 34(2): 77-85.

[7] RENNINGS. Redefining innovation—eco-innovation research and the contribution from ecological economics[J]. Ecological Economics, 2000, 32(2): 319-322.

[8] SHI Q, LAI X D. Identifying the under-pin of green and low carbon technology innovation research: a literature review from 1994 to 2010[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2013, 80(5): 839-864.

[9] 邢丽云,俞会新. 企业绿色创新驱动因素的跨层次分析——以建筑企业为例[J]. 技术经济, 2018, 37(11): 49-55, 115.

[10] 曹束,吴晓波,周根贵,等. 制造企业绿色产品创新与扩散过程中的博弈分析[J]. 系统工程学报, 2012, 27 (5): 617-625.

[11] RENNING K, ZIEGLER A, ANKELE K, et al. The influence of different characteristics of the EU environmental management and auditing scheme on technical environmental innovations and economic performance[J]. Ecological Economics, 2005, 57(1): 45-49.

[12] 李旭. 绿色创新相关研究的梳理与展望[J]. 研究与发展管理, 2015, 27(2): 1-11.

[13] 田红娜,李香梅. 制造业绿色工艺创新扩散过程研究[J]. 科技进步与对策, 2014, 31(4): 50-55.

[14] MUKHERJ A, MUGA H. An integrative framework for studying sustainable practices and its adoption in the AEC industry: a case study[J]. Journal of Engineering and Technology Management, 2010, 27(3-4): 197-214.

[15] CANTONO S, SILVERBERG G. A percolation model

- of eco-innovation diffusion: the relationship between diffusion, learning economies and subsidies[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2009, 76 (4): 487-496.
- [16] PRAETORIUS B, SCHUMACHER K. Greenhouse gas mitigation in a carbon constrained world: the role of carbon capture and storage[J]. *Energy Policy*, 2009, 37 (12): 5081-5093.
- [17] 余东华, 信婧. 信息技术扩散、生产性服务业集聚与制造业全要素生产率[J]. *经济与管理研究*, 2018, 39 (12): 63-76.
- [18] BERGEAUD A, CETTE G, LECAT R, et al. The role of production factor quality and technology diffusion in twentieth-century productivity growth[J]. *Cliometrica*, 2018, 12(1): 61-97.
- [19] 别朝霞. 经济增长中的技术扩散: 基于中国与韩国的比较[J]. *科技进步与对策*, 2015, 32(4): 24-29.
- [20] 丁焕峰. 技术扩散与产业结构优化的理论关系分析[J]. *工业技术经济*, 2006(5): 95-98.
- [21] 余东华, 李捷. 人力资本积累、有效劳动供给与制造业转型升级——基于信息网络技术扩散的视角[J]. *经济科学*, 2019(2): 79-91.
- [22] 李平. 技术扩散中的溢出效应分析[J]. *南开学报*, 1999 (2): 29-34.
- [23] ANDERGASSEN R, NARDINI F, RICOTTILLI M. Innovation diffusion, general purpose technologies and economic growth[J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2017, 40: 72-80.
- [24] 程水红, 曾菊新. 中心城市技术空间扩散与经济增长实证分析——以海峡西岸经济区为例[J]. *经济地理*, 2017, 37(10): 143-150.
- [25] 张海洋. 中国工业部门 R&D 吸收能力与外资技术扩散[J]. *管理世界*, 2005(6): 82-88.
- [26] 梁圣蓉, 罗良文. 国际研发资本技术溢出对绿色技术创新效率影响的门槛效应——基于人力资本视角[J]. *技术经济*, 2019, 38(4): 23-32.
- [27] 李苗, 刘启雷. 政府补贴和技术扩散对资源配置效率的影响——基于产学研协同创新视角[J]. *技术经济*, 2019, 38(2): 9-15.
- [28] 冯志军, 陈伟, 杨朝均. 环境规制差异、创新驱动与中国经济绿色增长[J]. *技术经济*, 2017, 36(8): 61-69.
- [29] KARAKAYA E, HIDALGO A, NUUR C. Diffusion of eco-innovations: a review[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, 33: 392-399.
- [30] 吕希琛, 徐莹莹, 徐晓微. 环境规制下制造业企业低碳技术扩散的动力机制——基于小世界网络的仿真研究[J]. *中国科技论坛*, 2019(7): 145-156.
- [31] 游达明, 宋姿庆. 政府规制对产学研生态技术创新及扩散的影响研究[J]. *软科学*, 2018, 32(1): 1-6.
- [32] 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, 38(7): 37-48.
- [33] 李向阳. 动态随机一般均衡(DSGE)模型——理论、方法与实践[M]. 北京: 清华大学出版社, 2018: 7.
- [34] 徐舒, 左萌, 姜凌. 技术扩散、内生技术转化与中国经济波动——一个动态随机一般均衡模型[J]. *管理世界*, 2011(3): 22-31.
- [35] BASS F M. A new product growth for model consumer durables [J]. *Management Science*, 1969, 15 (5): 215-227.
- [36] 袁志刚, 宋铮. 高级宏观经济学[M]. 第二版. 上海: 复旦大学出版社, 2010: 69.
- [37] 刘娜, 周敏. 绿色供应链管理创新扩散趋势研究——基于中国省际面板数据[J]. *管理现代化*, 2018, 38(4): 37-40.

Volatility of Green Process Innovation Diffusion and Economic Growth

Yin Hao, Tian Guiliang, Qian Xiaoyan

(Business School, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: In this paper, a dynamic stochastic general equilibrium(DSGE) model is constructed to simulate the impact of negative fluctuation of green process innovation diffusion on economic growth, taking into account the “S-shaped curve” diffusion law of green process innovation and its own characteristics (energy saving and emission reduction). The results show that each economic variable has different response paths to the negative fluctuation of the diffusion of green process innovation. The response of capital stock lags behind and the convergence process of return on capital shows an “inverted U-shaped” curve. Return on capital fluctuates the most. The fluctuation frequency of capital stock is smaller while that of capital return is larger. The increase of environmental tax burden can accelerate economic convergence.

Keywords: green process innovation; S type diffusion; economic growth