

环境规制促进企业绿色技术创新的政策仿真研究

卞晨¹ 初钊鹏^{2,3} 孙正林¹

¹ (东北大学工商管理学院, 沈阳 110819) ² (东北大学文法学院, 沈阳 110819)

³ (东北大学秦皇岛分校经济学院, 秦皇岛 066004)

【摘要】 本文基于政府干预的演化博弈视角, 提出了解决绿色技术创新市场失灵的多重利益交错和各种政策工具交织的研究假设, 构建了市场激励型环境规制政策工具促进企业绿色技术创新的非合作演化博弈模型, 开展了单一环境规制政策工具的有效性和多种政策工具组合交互性的政策仿真。研究发现, 渐进提高环境税征收和创新专项补贴政策效果更优, 政府必要监管强度下激励型环境规制工具促进企业绿色技术创新的理想演化稳定均衡更容易实现。进一步在考虑企业创新水平和知识产权保护的科技政策情景、环境税改革结合宏观税负的税收政策情景的仿真表明, 政府实施激励型环境规制工具促进企业绿色技术创新存在“帕累托改进”政策效果。

【关键词】 激励型环境规制 绿色技术创新 政府干预 政策仿真 演化稳定均衡 知识产权保护
DOI: 10.3969/j.issn.1004-910X.2021.07.002

【中图分类号】 F204; F224.32 **【文献标识码】** A

引言

党的十九大报告提出要“构建市场导向的绿色技术创新体系”, 并明确要求“有效引导企业转型升级, 推进技术创新, 走向绿色生产”。根据国家发展改革委与科技部关于构建市场导向的绿色技术创新体系的指导意见, 绿色技术创新是指企业通过产品设计、生产、消费、回收利用等环节的技术创新, 实现降低消耗、减少污染、改善生态, 促进生态文明建设的可持续发展目标。但由于绿色技术创新兼具环境和创新的双重正外部性, 其公共产品特性往往会导致市场失灵^[1], 必须通过政府干预才能促进绿色产品供给与社会福利改善。

环境规制是政府干预解决绿色技术创新市场失灵的有效工具。政府干预的环境规制政策主要划分为命令控制型和市场激励型两种类型^[2]。波特假说认为环境规制能够激励企业技术创新, 通过“创新补偿 (innovative compensation)”效应提高企业生产效率和竞争力, 同时实现环境保护和

经济增长的双赢 (win-win)^[3]。张彩云和吕越提出应以能否产生“创新补偿”效应作为环境规制合理性验证标准, 强调“创新补偿”效应能够为企业技术创新带来显著的经济绩效^[4]。命令控制型环境规制具有强制性, 要求企业必须达到事先制定的标准才能从事生产经营, 多数企业会选择以末端治理的方式快速达到环境规制要求^[5], 而末端治理投资多属于挤占性投资, 因污染物处理耗费大量资金、增加生产成本而难以产生“创新补偿”效应^[6]。相比之下, 市场激励型环境规制有助于激励企业进行绿色产品创新和清洁工艺创新^[7,8]。由于激励型环境规制是政府借助市场信号引导企业排污行为, 通过环境税、政府补贴等政策为污染者提供创新激励, 客观上降低了企业技术创新的研发风险预期, 其实质是内部化了企业绿色创新的外部性^[9]。国内外相关研究表明激励型环境规制对企业技术创新环境绩效和经济绩效均有显著正向影响, 但命令控制型环境规制效果并不明显^[10,11]。在激励型环境规制工具中, 政府补贴能够促进绿色技术创新达到社会最优效率

收稿日期: 2020-12-27

基金项目: 国家社会科学基金一般项目“空间正义视域下京津冀协同发展的城市群治理研究”(项目编号: 17BJY054)。

作者简介: 卞晨, 东北大学工商管理学院博士研究生。研究方向: 区域科学和政策仿真。初钊鹏, 通讯作者, 东北大学文法学院教授, 博士, 博士生导师, 东北大学秦皇岛分校经济学院院长。研究方向: 公共治理、资源环境经济与政策。孙正林, 东北大学工商管理学院教授, 博士, 博士生导师。研究方向: 农林经济管理。

水平,有效解决技术创新的外部溢出性及企业技术创新资金短缺问题^[12]。环境税开征则具有“双重红利”效应,环境税具有波特“创新补偿”效应,因此会显著地促进企业绿色技术创新^[13],实现环境税的“绿色红利”;另外,环境税还具有调整税收结构、促进经济增长的“蓝色红利”效应^[14]。实践中,政府通过综合采用财、税、费等以市场调控为载体的环境规制工具更能够实现促进企业绿色技术创新的多重政策效果^[15]。

尽管大量研究表明市场激励型环境规制对促进企业绿色技术创新有积极影响,但现阶段中国多数企业由于绿色技术创新高壁垒及预期付出的高昂研发成本而对创新持消极态度^[16],在政府补贴和环境税征收方面与政府展开讨价还价博弈^[17]。企业绿色技术创新可促使独特竞争优势的产生^[18],但耗费高额研发成本的技术因溢出效应极易被其他竞争者搭便车,大大减少了创新企业的投资回报^[19],这也导致企业面临技术创新抉择的“囚徒困境”^[20]。尤其是,政府对于市场激励型环境规制工具的有效性和企业是否开展了绿色技术创新活动存在信息不对称^[21],采取必要的监管措施是解决信息不对称问题的有效手段,也会对企业执行环境规制和开展技术创新产生制度压力。现实中,企业的创新水平和知识产权保护力度也会使得激励型环境规制促进企业绿色技术创新的影响具有不确定性。可见,在这种多重利益交错和各种政策工具交织的博弈情景下,对政府干预企业绿色技术创新的激励型环境规制政策提出了更高的要求;也决定了政府和企业的策略选择会受到种群内外部的模仿、学习和变异等动态演化影响。

当前,已有学者从演化博弈视角研究政府与企业绿色技术创新互动^[22,23],但是尚未有学者基于现实赋值、立足于政策仿真,对促进企业绿色技术创新的市场激励型环境规制政策路径进行研究。区别于既往研究,本文的贡献在于以政府外部性激励企业绿色技术创新为切入点构建演化博弈模型、立足于政策仿真模拟,对现行政策变量与参数进行冲击,验证了单一环境规制政策工具的有效性和多种政策工具组合的交互性,并在拓展的科技政策与税收政策等相关情景中寻找政府必要监管强度下激励型环境规制工具促进企业绿

色技术创新的“帕累托改进”政策路径。

1 演化博弈模型构建

根据上述问题描述,博弈参与方的政府与企业是有限理性个体,具备一定的学习能力和行为选择能力,分别记作 G 、 E 两类种群,其策略选择是政府 {严格监管, 宽松监管} 和企业 {创新, 不创新^①}。在时刻 t , 企业选择“创新”比例为 $x(t)$, 政府选择“严格监管”的比例为 $y(t)$, 并满足条件 $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ 。

假设 1: 政府实施激励型环境规制政策引导企业绿色技术创新。专项资金是用于补贴企业绿色产品创新以及清洁生产技术、循环工艺开发及其它绿色工艺创新的成本,企业可根据政府规定的受补贴创新类型及自身创新实践向政府申请补贴。专项补贴资金对于企业“创新”是一种正向激励,环境税则通过增加“不创新”损失,从负向提高企业“创新”净收益。专项补贴资金于企业创新活动前下拨,以克服企业技术创新启动资金困难。

假设 2: 企业绿色技术创新成本为 C_1 , 创新活动会带来环境质量改善的净收益 Δ ; 若无技术溢出效应,创新活动为企业带来营业利润 R 。但技术溢出效应的存在会导致营业利润下降,以 α 量化营业利润下降率,则考虑技术溢出效应后的营业利润为 $(1-\alpha)R$ 。政府以税率 t 征收企业所得税 $(1-t)(1-\alpha)R$ 。

假设 3: 政府采取环保督查方式监管环境规制政策执行情况和企业绿色技术创新情况。当政府严格监管时:若企业创新,则补贴资金 J 归企业所有,且被征收较低环境税 F_1 ,若企业不创新,补贴会被政府追回,被征收较高环境税 F_2 ;当政府宽松监管时:若企业创新,仍可获得补贴 J ,以概率 β 被征收环境税 F_1 ,若企业不创新会存在“骗补”可能性,将以概率 $1-\beta$ 获得 J ,以概率 β 被征收环境税 F_2 。政府监管成本为 C_2 。

根据上述假设,企业和政府的支付矩阵见表 1。

根据表 1,参数表述如下:

C_1 是企业绿色技术创新成本; C_2 是政府监管成本。 $C_2 < C_1$ 。 β 是政府监管概率, $0 < \beta \leq 1$, 当政府严格监管时 $\beta = 1$ 。 R 是无技术溢出时企业创新活动带来的营业利润。 F_1 是企业创新时应征环境

表1 企业、和政府博弈支付矩阵

		政府 G	
		严格监管 y	宽松监管 1-y
企业 E	创新 x	$\begin{pmatrix} J+(1-t)(1-\alpha)R-C_1-F_1, \\ F_1+t(1-\alpha)R+\Delta-J-C_2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} J+(1-t)(1-\alpha)R-C_1-\beta F_1, \\ \beta F_1+t(1-\alpha)R+\Delta-J-\beta C_2 \end{pmatrix}$
	不创新 1-x	$\begin{pmatrix} -F_2, \\ F_2-C_2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} (1-\beta)J-\beta F_2, \\ \beta F_2-(1-\beta)J-\beta C_2 \end{pmatrix}$

税额, F_2 是企业未创新时应征环境税额, $F_1 < F_2$ 。 Δ 是企业绿色技术创新的环境净收益。 J 是政府拨付企业绿色技术创新专项补贴资金。 α 是技术溢出效应导致营业利润下降率, $0 < \alpha < 1$ 。 t 是企业所得税税率, $0 < t < 1$ 。

2 演化均衡分析

2.1 单种群演化稳定策略

企业选择创新和不创新策略的期望效用和群体效用分别记作 U_E 、 $\overline{U_E}$ 和 $\overline{U_E}$ ：

$$U_E = y[J+(1-t)(1-\alpha)R-C_1-F_1] + (1-y)[J+(1-t)(1-\alpha)R-C_1-\beta F_1] \quad (1)$$

$$\overline{U_E} = y(-F_2) + (1-y)[(1-\beta)J-\beta F_2] \quad (2)$$

$$\overline{U_E} = xU_E + (1-x)\overline{U_E} \quad (3)$$

根据 Malthusian 方程, 当博弈中选取某一策略的收益高于该群体其他策略的平均收益时, 则认为该策略能够适应该群体演化过程, 具备较强抵抗力防止突变策略侵入^[24]。企业策略选择的复制动态方程为:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_E - \overline{U_E}) = x(1-x)(U_E - \overline{U_E}) = x(1-x)[-C_1 + \beta(F_2 - F_1 + J) + (1-t)(1-\alpha)R + y(1-\beta)(F_2 - F_1 + J)] \quad (4)$$

同理可得政府复制动态方程为:

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(U_G - \overline{U_G}) = y(1-y)(U_G - \overline{U_G}) = y(1-y)[(1-\beta)(F_2 + J - C_2) - x(1-\beta)(F_2 - F_1 + J)] \quad (5)$$

在式(4)中, 令:

$$y_0 = \frac{C_1 - \beta(F_2 - F_1 + J) - (1-t)(1-\alpha)R}{(1-\beta)(F_2 - F_1 + J)}$$

情形 1: 若 $y = y_0$, 则 $F(x) \equiv 0$, 这种情况下所有水平都是稳定的。

情形 2: 若 $y \neq y_0$, 则 $F(x) = 0$, 则 $x = 0$ 和 $x = 1$ 是两个稳定点。

对 $F(x)$ 求导可得:

$$\frac{dF(x)}{dx} = (1-2x)[-C_1 + \beta(F_2 - F_1 + J) + (1-t)(1-\alpha)R + y(1-\beta)(F_2 - F_1 + J)] \quad (6)$$

当 $y > y_0$ 时, $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=0} > 0$, $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=1} < 0$, $x = 1$ 是演化均衡点。

当 $y < y_0$ 时, $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=0} < 0$, $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=1} > 0$, $x = 0$ 是演化均衡点。

同理根据式(5)得到政府的演化稳定条件。图1是博弈参与方策略选择演化相位图, 图1(a)和(b)分别对应企业和政府各自策略选择的相位图变化。

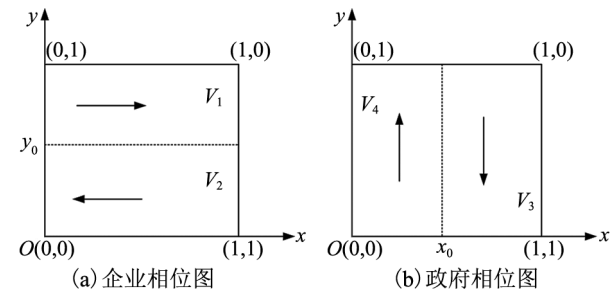


图1 博弈方策略选择演化相位图

企业策略初始状态处于空间 V_1 时, $x = 1$ 是演化均衡点, 企业选择“创新”策略; 当企业策略初始状态处于空间 V_2 时, $x = 0$ 是演化均衡点, 企业选择“不创新”策略。 V_1 和 V_2 的变化与 y_0 有关, 当 F_2 、 J 和 R 增大时, y_0 变小, 导致 V_1 变大而 V_2 变小的分界线向下移动, 即企业未创新时应征环境税额、政府拨付企业绿色技术创新专项补贴资金和无技术溢出时企业创新活动带来的营业利润的提高有助于促进企业选择“创新”策略。当企业绿色技术创新成本 C_1 增加、企业所得税税率 t 上升、技术溢出效应导致营业利润率 α 下降和企业创新时应征环境税额 F_1 提高时, V_1 变小

而 V_2 变大, 则企业群体将向“不创新”策略演化。就政策参数而言, 企业未创新时应征环境税额、政府拨付企业绿色技术创新专项补贴资金的提高会对企业绿色技术创新带来正向冲击, 但是政府增加对企业创新时应征环境税额和提高企业所得税征收税率则会产生负向冲击, 降低企业选择“绿色技术创新”的积极性。

当政府策略初始状态处于空间 V_4 时, $y=1$ 是演化均衡点, 政府选择“严格监管”策略; 当政府策略初始状态处于空间 V_3 时, $y=0$ 是演化均衡点, 政府选择“宽松监管”策略。 V_3 和 V_4 的变

化与 x_0 有关, 当 F_2 、 J 增大时 x_0 变大, 导致 V_4 变大而 V_3 变小的分界线向右移动, 即企业未创新时应征环境税额、政府拨付企业绿色技术创新专项补贴资金的提高有助于促进政府选择“严格监管”策略, 降低企业“逃税”、“骗补”倾向。而当政府监管成本 C_2 上升时, V_3 变大而 V_4 变小, 则政府群体将向“宽松监管”演化。

2.2 演化博弈系统稳定性

企业和政府两个单种群复制动态方程构成演化博弈复制动态系统:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(1-x) [-C_1 + \beta(F_2 - F_1 + J) + (1-t)(1-\alpha)R + y(1-\beta)(F_2 - F_1 + J)] \\ \frac{dy}{dt} = y(1-y) [(1-\beta)(F_2 + J - C_2) - x(1-\beta)(F_2 - F_1 + J)] \end{cases} \quad (7)$$

式(8)系统的雅可比矩阵为:

$$(J) = \begin{bmatrix} (1-2x) \begin{bmatrix} -C_1 + \beta(F_2 - F_1 + J) + (1-t)(1-\alpha)R \\ +y(1-\beta)(F_2 - F_1 + J) \end{bmatrix} & x(1-x)(1-\beta)(F_2 - F_1 + J) \\ -y(1-y)(1-\beta)(F_2 - F_1 + J) & (1-2y) \begin{bmatrix} (1-\beta)(F_2 + J - C_2) \\ -x(1-\beta)(F_2 - F_1 + J) \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad (8)$$

根据雅可比矩阵的局部稳定分析法^[25], 不同情形下各均衡点的渐进稳定性且存在纯策略演化

稳定均衡情况如表2所示。

表2 系统演化均衡点渐进稳定性

均衡点 (x,y)	情形1			情形2			情形3		
	$\pi_1 < 0, \pi_3 < 0$			$\pi_1 < 0, \pi_3 > 0, \pi_4 < 0$			$\pi_1 > 0, \pi_2 < 0, \pi_3 < 0$		
	detI	trI	稳定性	detI	trI	稳定性	detI	trI	稳定性
(0,0)	+	-	ESS	-	不定	鞍点	+	-	ESS
(0,1)	-	不定	鞍点	+	-	ESS	+	+	不稳定
(1,0)	-	不定	鞍点	-	不定	鞍点	-	不定	鞍点
(1,1)	+	+	不稳定	+	+	不稳定	-	不定	鞍点
均衡点 (x,y)	情形4			情形5			情形6		
	$\pi_2 > 0, \pi_3 < 0$			$\pi_2 > 0, \pi_3 > 0, \pi_4 < 0$			$\pi_2 > 0, \pi_4 > 0$		
	detI	trI	稳定性	detI	trI	稳定性	detI	trI	稳定性
(0,0)	-	不定	鞍点	+	+	不稳定	+	+	不稳定
(0,1)	+	+	不稳定	-	不定	鞍点	-	不定	鞍点
(1,0)	+	-	ESS	+	-	ESS	-	不定	鞍点
(1,1)	-	不定	鞍点	-	不定	鞍点	+	-	ESS

在表2所示的6种情形中, 演化博弈系统将收敛到一个ESS点。如在情形1中, 当 $\pi_1 < 0$ 、 $\pi_3 < 0$

0时, (0,0)点是ESS, 代表企业选择不创新策略, 政府选择宽松监管。综合纯策略演化均衡结

果来看, (0,1) 点对应企业选择不创新策略而政府选择严格监管, 是非合作的最差演化均衡状态。相反, (1,0) 点代表企业在政府宽松监管下进行创新, 是合作的最优演化稳定均衡, 也是博弈双方尤其是政府实现环境规制政策期望调控目标总成本最低的最佳方案。尤其是, 政府持续高压监管企业绿色技术创新并不是可持续的解决方案^[26], 政府应集中精力通过精心设计的环境规制工具来激励企业开展绿色技术创新活动。由此, 点(0, 0)和(1,1)分别认为是系统演化的次劣和次优均衡状态。除了表2的6种情形, 情形7为当 $\pi_1 > 0$ 、 $\pi_2 < 0$ 、 $\pi_3 > 0$ 、 $\pi_4 < 0$ 时, 系统所有均衡点均为鞍点。

综上所述, 从政府干预企业绿色技术创新来看, 如何设计行之有效的环境规制政策使(1,0)点成为企业与政府动态博弈系统演化中的ESS, 即有效发挥激励型环境规制工具作用以降低政府环境监管强度是系统收敛的理想演化稳定均衡。本文将通过数值模拟技术开展激励企业绿色技术创新进而降低政府对企业监管强度的政策仿真。

3 政策仿真分析

本文采用MATLAB系统仿真工具来对博弈参与方策略动态演化仿真。首先根据公开信息和统计数据为演化博弈模型政策参数赋值, 然后仿真环境规制工具在不同政策情景中对系统收敛于理想演化稳定均衡的影响和有效性。

3.1 系统参数赋值与初始状态

3.1.1 参数赋值来源

模型需要赋初值的参数包括博弈参与方成本、企业创新利润、环境税和政府补贴, 其中 F_2 、 C_1 、 C_2 是主要参数。根据《中国统计年鉴2019》, 采用2017年的工业企业“当年完成环保验收项目环保投资额”为企业绿色技术创新成本赋值。根据《中国环境年鉴2018》, 采用2017年“排污费入库数额”为企业未创新时应征环境税额赋值, 2017年“当年环境监管部门监管预算”为政府监管成本赋值, 经计算 $F_2:C_1:C_3$ 比值为1:12:0.2, 令 $F_2=1$, $C_1=12$, $C_2=0.2$ 。其余参数根据与主要参数关系确定赋值。《环境保护税法》对污染物排放低于规定标准和其他一些情形有明确税收减免政策。因此, 假设企业因绿色技术创新使污染物

排放符合国家和地方环境保护标准而免征环境保护税, 令 $F_1=0$ 。 R 表示无技术溢出效应时, 创新活动为企业带来的营业利润, 引入创新成本绩效指数表示既定研发成本投入转化为企业营业利润的能力, 即 $R_2=\lambda C_1=12\lambda$ 量化企业绿色技术创新利润。通常制造业创新绩效难以补偿创新成本, 令 $\lambda=0.5$ ($0<\lambda<1$)。 J 是政府拨付企业专项补贴资金, J 的取值区间是 $[0.1, 12]$, 初始状态 $J=5$ 。 α 是技术溢出效应导致的企业创新利润下降率, 政府对知识产权保护力度越大, α 越小, 反之则越大, 初始状态下令 $\alpha=0.5$ ($0<\alpha<1$)。 β 是政府监管概率, 初始状态下令 $\beta=0.5$ 。 t 是企业所得税征收税率, 根据一般企业按25%的法定税率征收企业所得税的规定, 令 $t=0.25$ 。

3.1.2 系统收敛状态

系统演化初始点设定为 $[0.3, 0.7]$, 纵轴代表企业(x)、政府(y)的协作比例 P , 横轴代表时间 t 。当 $C_1=12$, $C_2=0.2$, $R=6$, $F_1=0$, $F_2=1$, $J=6$, $\alpha=0.5$, $\beta=0.5$, $t=0.25$ 时, 系统初始状态演化趋势见图2。

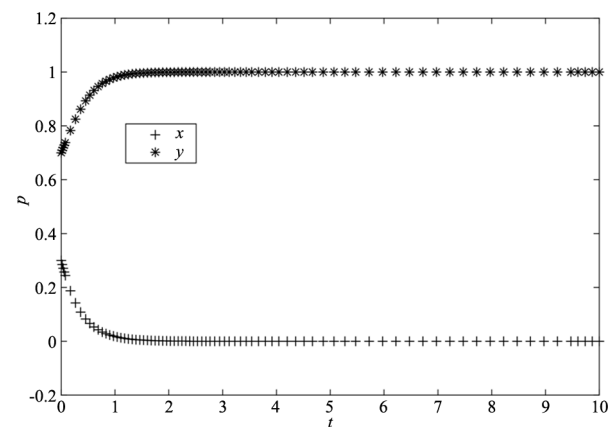


图2 系统初始收敛状态

根据图2, 企业群体选择“不创新”的比例为0, 政府群体选择“严格监管”的比例为1, (0,1)点成为演化稳定点。博弈双方的演化稳定状态表明, 初始状态($t=0$)下若政府以0.5的概率监管环境规制执行情况则无法起到促进企业创新的效果, “不创新”是企业的演化稳定策略。进一步, 政府为了防止不创新企业“骗补”、“逃税”现象发生, 策略会向“严格监管”演化。

3.2 基准情景模拟

3.2.1 政府监管概率模拟

政府监管概率会影响激励型环境规制工具的

政策效果。在初始状态下 ($t=0$), 政府监管不力将减弱专项补贴资金和环境税减免激励企业绿色技术创新的政策效果, 系统收敛至最劣演化稳定均衡(0,1)点。本文模拟政府不改变环境税征税标准和专项补贴资金补贴标准, 提高监管概率对博弈双方演化稳定趋势影响, 见图3。

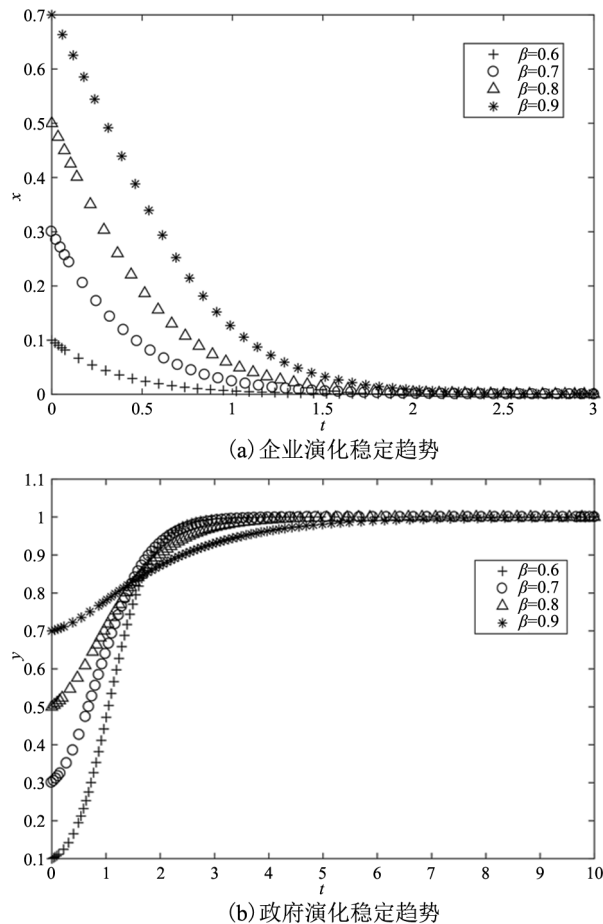


图3 政府监管概率变化的系统演化稳定趋势

根据图3, 当政府监管概率 β 在区间 $[0.6, 0.9]$ 变化时, 并没有改变博弈双方企业“不创新”和政府“严格监管”的策略选择, 系统演化稳定均衡与初始状态保持一致, 收敛于(0,1)点。模拟结果表明, 当激励型环境规制工具的专项补贴资金和环境税征收强度有限时, 仅提高政府监管概率难以补偿企业绿色技术创新成本和净收益。因此, 政府有必要提高对企业的环境规制强度。

3.2.2 环境税征收标准模拟

政府提高环境规制强度的一个有效的手段是改变环境税征收标准。中国现阶段环境保护税的总体思路是环境保护“费改税”, 导致现行环境税征收标准无法使企业环境成本内部化, 合理的环境税征税标准应至少与环境治理成本相当^[27]。

以“工业污染治理项目投资额”量化治理成本, 工业污染治理项目投资额与排污费的比值约为6。保持初始状态其他参数不变, 令 $F_2=6$, 模拟政府监管概率 β 的变化对博弈双方演化稳定趋势的影响, 见图4。

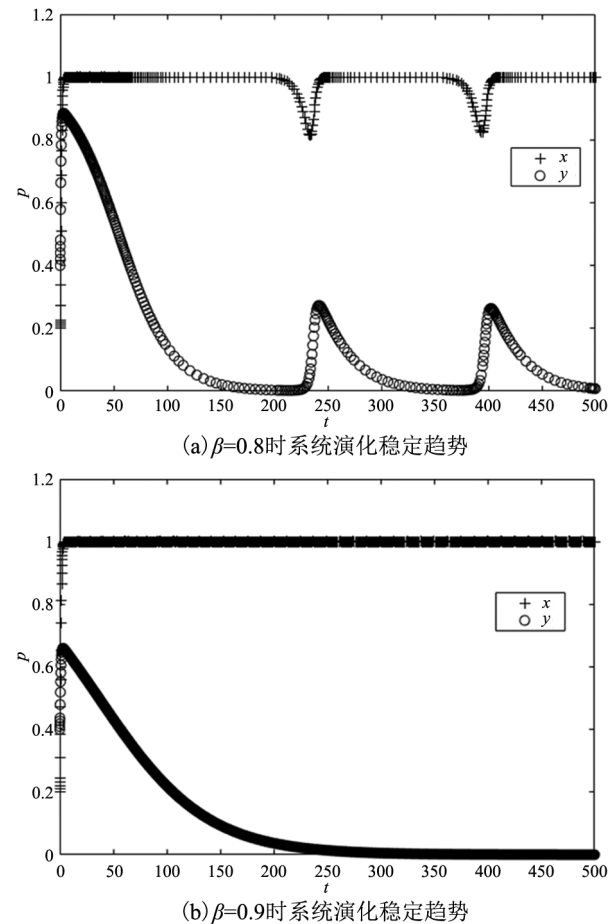
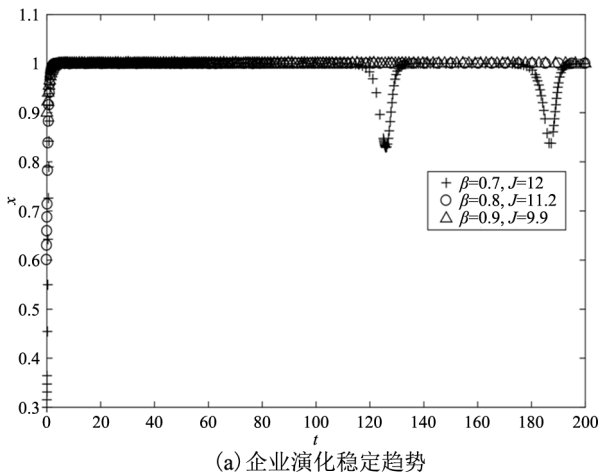


图4 环境税征收标准变化的系统演化稳定趋势

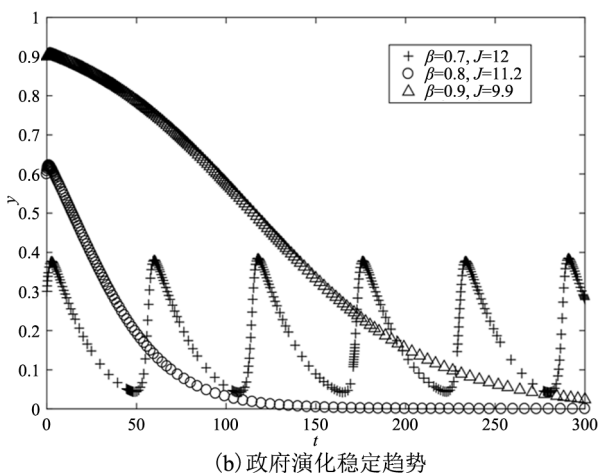
根据图4, 当环境税征收标准提高至与环境治理成本相当时, 在初始状态 ($t=0$) 下, 若 $\beta=0.8$, 系统不存在演化稳定均衡, 企业和政府围绕鞍点进行周期性演化博弈; 若 $\beta=0.9$, 企业群体演化稳定策略为“创新”, 政府群体演化稳定策略为“宽松监管”, 系统收敛至理想演化稳定均衡(1,0)点。进一步模拟发现, 当 $F_2=5, \beta=0.9$ 时, 系统将收敛至最劣演化稳定均衡(0,1)点。上述模拟结果验证了依据环境治理成本设定环境税征收标准的合理性, 也表明提高环境税征收标准必须保持高强度监管。尤其是, 政府征收与环境治理成本相当的环境税应充分考虑到企业的耐受程度, 该过程是一个长期动态的调整过程。因此, 单独提高环境税征收标准以实现激励型环境规制工具促进企业创新的目标在短期内较难实现。

3.2.3 专项补贴标准模拟

政府提高环境规制强度的另一个有效的手段是改变专项补贴标准。政府提高对企业专项补贴的目的是更多地补偿企业绿色技术创新成本，而在初始状态下($t=0$)政府监管概率直接影响专项补贴资金激励效果。本文模拟一定强度的政府监管下促使企业创新所需要专项补贴资金最小值。保持初始状态其他参数不变，模拟 β 和 J 的交互作用对博弈双方演化稳定趋势的影响，见图5。



(a) 企业演化稳定趋势



(b) 政府演化稳定趋势

图5 专项补贴标准变化的系统演化稳定趋势

根据图5，当政府拨付企业的专项补贴标准提高后，系统能够收敛至理想演化稳定均衡(1,0)点。但初始状态下($t=0$)政府监管强度至少要保证 $\beta=0.8$ ，说明提高专项补贴标准对企业创新的激励作用仍需要政府高强度监管作为执行保障。当 $\beta=0.8$ 时，使“创新”成为企业群体演化稳定策略的专项补贴最小值 $J=11.2$ ；当 $\beta=0.9$ 时，使“创新”成为企业群体演化稳定策略的专项补贴最小值降至 $J=9.9$ ，表明政府监管强度的提高可以替代专项补贴资金的减少。综合来看，

政府提高监管强度并提高专项补贴标准尽管可以达到促进企业绿色技术创新的政策目标，但加重了政策执行过程中的财政负担。

3.2.4 环境税征收与专项补贴标准交互模拟

实践中，政府渐进式提高环境税征收标准同时提高专项补贴标准，才能保证激励型环境规制促进企业绿色技术创新的政策效果。本文模拟环境税征收标准 F_2 在区间 $[1,6]$ 变化时，一定强度的政府监管促使企业创新所需专项补贴资金达到最小值，讨论 β 、 J 和 F_2 的交互作用对系统收敛于理想演化稳定均衡点的影响，见表3。

表3 系统收敛于(1,0)点的 β 、 J 和 F_2 值

J	$\beta=0.6$	$\beta=0.7$	$\beta=0.8$	$\beta=0.9$
$F_2=1$			11.2	9.9
$F_2=2$		12	10.2	8.9
$F_2=3$		11	9.2	7.9
$F_2=4$		10	8.2	6.9
$F_2=5$	11.3	9	7.2	5.9
$F_2=6$	10.3	8	6.2	4.9

根据表3，在政府既定监管强度 β 下，随着 F_2 值的连续增加，系统收敛于(1,0)点所需 J 值是递减的，说明政府渐进式提高环境税征收标准可以逐步降低激励企业创新所需要的专项补贴资金，有效减轻了政府财政负担。在既定环境税征收标准 F_2 下，随着 β 值的连续增加，系统收敛于(1,0)点所需 J 值也是递减的，说明在环境税征收标准渐进式改革中，政府可以通过提高监管概率强化专项补贴资金激励企业创新的效果，避免无效率资金漏出。整体来看，环境税征收标准的渐进式提高配合一定监管强度下政府补贴标准的提高，考虑到了企业对环境税征收标准的耐受程度，能够通过专项补贴冲抵征税标准提高带给企业的负面影响，从而调动了企业创新的积极性，实现了促进企业创新的目标；另外也增强了政府监管下专项补贴资金弹性，即政府可以选择不同监管强度和专项补贴资金的组合，用监管强度增加来换取专项补贴资金减少，或者用专项补贴资金增加来降低监管强度，从而达到增强企业绿色技术创新净收益的调控目标。因此，在环境税征收标准的渐进式提高过程中配合一定监管强度的

专项补贴标准提高,对博弈双方策略选择都具有帕累托改进效果,比单独实施提高环境税征收标准或专项补贴标准促进企业创新的政策更有效。

3.3 拓展情景模拟

3.3.1 企业创新绩效模拟

企业创新绩效差异是不同行业或企业间存在的现实问题,也必将影响激励型环境规制促进企业绿色技术创新的政策实施效果。在仿真设定中,表示企业绿色技术创新经济绩效指数,令 $\lambda=0.1$ 、 $\lambda=0.9$,模拟企业创新绩效差异对 β 、 J 和 F_2 政策组合作用于系统收敛至(1,0)演化稳定均衡的影响,结果见表4。

表4 $\lambda=0.1, \lambda=0.9$ 时系统收敛于(1,0)点的 β 、 J 和 F_2 值

J	$\beta=0.5$	$\beta=0.6$	$\beta=0.7$	$\beta=0.8$	$\beta=0.9$
$F_1=1$			10.4	9	7.9 (11.9)
$F_2=2$		11.3	9.4	8	6.9 (10.9)
$F_2=3$		10.3	8.4	7 (11.5)	5.9 (9.9)
$F_2=4$	12	9.3	7.4	6 (10.5)	4.9 (8.9)
$F_2=5$	11	8.3	6.4 (11.6)	5 (9.5)	3.9 (7.9)
$F_2=6$	10	7.3	5.4 (10.6)	4 (8.5)	2.9 (6.9)

注:括号内为 $\lambda=0.1$ 时的 J 值。

根据表4,企业较差的创新绩效($\lambda=0.1$)会限制渐进提高环境税和专项补贴标准促进企业创新的政策效果。限制效应表现为企业较差的创新绩效造成政府干预强度提高,监管概率 β 相较于表3($\lambda=0.5$)减少了1个步长;也表现为某时期环境税征收标准和政府监管强度一定时,激励企业创新所需的专项补贴资金相较于表3($\lambda=0.5$)增加。数值模拟表明当企业创新绩效较差时,绿色技术创新产生的“创新补偿”效应很弱,政府只有以支付高额成本为代价提高环境规制强度,才能实现倒逼企业绿色技术创新转型的调控目标。相比之下,企业较优的创新绩效($\lambda=$

0.9)会增强渐进提高环境税和专项补贴标准促进企业创新的政策效果。增强效应表现为企业较优的创新绩效会增强政策组合工具的灵活性,监管概率 β 相较于表3($\lambda=0.6$)增加了1个步长;也表现为某时期环境税征收标准和政府监管强度一定时,激励企业创新所需的专项补贴资金相较于表3($\lambda=0.5$)减少。这一结果表明当企业创新绩效较优时,绿色技术创新产生的“创新补偿”效应更强,渐进提高环境税和专项补贴标准促进企业创新的政策效果更有效。

3.3.2 知识产权保护力度模拟

技术溢出的模仿创新会导致企业自主创新动力减弱,而知识产权保护能抑制技术溢出的非竞争性及部分排他性问题,从而增强企业自主创新的积极性^[19]。本文模拟政府通过加强知识产权保护力度,抑制技术溢出的模仿创新效应、增加企业自主创新利润情景下,激励型环境规制工具促进企业技术创新的政策效果。即令 $\alpha=0.1$,模拟 β 、 J 和 F_2 的交互作用对系统收敛于理想演化稳定均衡点的影响,见表5。

表5 $\alpha=0.1$ 时系统收敛于(1,0)点的 β 、 J 和 F_2 值

J	$\beta=0.5$	$\beta=0.6$	$\beta=0.7$	$\beta=0.8$	$\beta=0.9$
$F_2=1$		10.4	9 (11.2)	7.9 (9.9)	
$F_2=2$		11.3	9.4 (12)	8 (10.2)	6.9 (8.9)
$F_2=3$		10.3	8.4 (11)	7 (9.2)	5.9 (7.9)
$F_2=4$	12	9.3	7.4 (10)	6 (8.2)	4.9 (6.9)
$F_2=5$	11	8.3 (11.3)	6.4 (9)	5 (7.2)	3.9 (5.9)
$F_2=6$	10	7.3 (10.3)	5.4 (8)	4 (6.2)	2.9 (4.9)

注:括号内为表3对应值。

根据表5,政府加强对企业技术创新知识产权保护($\alpha=0.1$)取得了与表4中提高企业创新绩效($\lambda=0.9$)一致的政策效果。政府对企业创新知识产权保护力度越高,企业技术创新活动越会创造超额利润,因技术溢出效应被其它企业模仿

的可能性就越低, 利润留存会加大企业自主研发投入, 专项补贴资金需要补偿的企业创新净成本 $(1-t)(1-\alpha)R-C_1$ 就会越小。

3.3.3 所得税征收标准模拟

环境税具有控制环境污染、改善环境的“绿色红利”效应^[28]和增加财政收入进而调整税收结构, 减轻原有税制给资本和劳动造成的扭曲, 推动经济持续增长的“蓝色红利”效应^[29]。但实现环境税的蓝色红利效应需要与宏观税负问题结合起来, 政府可以依据环境税收增加来综合减免企业生产过程中的税收以避免单方面成本上升^[30]。本文根据“高新技术企业减按15%的税率征收企业所得税”的规定, 模拟当 $t=0.15$ 时, β 、 J 和 F_2 的交互作用对系统收敛于理想演化稳定均衡点的影响, 见表6。

表6 $t=0.15$ 时系统收敛于(1,0)点的 β 、 J 和 F_2 值

J	$\beta=0.6$	$\beta=0.7$	$\beta=0.8$	$\beta=0.9$
$F_2=1$			10.9 (11.2)	9.6 (9.9)
$F_2=2$		11.6 (12)	9.9 (10.2)	8.6 (8.9)
$F_2=3$		10.6 (11)	8.9 (9.2)	7.6 (7.9)
$F_2=4$	11.8	9.6 (10)	7.9 (8.2)	6.6 (6.9)
$F_2=5$	10.8 (11.3)	8.6 (9)	6.9 (7.2)	5.6 (5.9)
$F_2=6$	9.8 (10.3)	7.6 (8)	5.9 (6.2)	4.6 (4.9)

注: 括号内为表3对应值。

根据表6, 当企业所得税征收标准降低后, 激励型环境规制促进企业技术创新的政策效果增强, 具体表现为在既定的环境税征收标准和一定监管强度下, 政府激励企业创新所需专项补贴资金减少。这说明降低企业所得税征收标准可以强化企业创新的内在动力, 减轻政府补贴企业创新的财政支出。整体来看, 尽管所得税征收标准的降低使得政府财政收入有所减少, 但同时政府激励企业创新所需的专项补贴资金的减少可冲抵财政收入损失, 更重要的是能够实现环境税的“双

重红利”效应和企业创新的经济增长效应。

4 结论和政策建议

市场激励型环境规制是政府干预有效引导企业转型升级、推进技术创新、走向绿色生产的有效工具。本文以环境规制政策执行过程中的实际问题为导向提出研究假设, 构建了激励型环境规制政策工具促进企业绿色技术创新的非合作演化博弈模型, 分析了政府实施环境税制和政府补贴政策促进企业绿色技术创新外部激励机制的理想演化稳定均衡, 开展了政府必要监管强度下激励型环境规制工具促进企业绿色技术创新政策仿真。

研究发现, 渐进提高环境税征收和创新专项补贴促进企业创新效果更优。具体而言, 在现行环境税征收和政府补贴标准下, 政府仅提高监管强度无法促进企业绿色技术创新。当环境税征收标准提高、专项补贴标准不变时, 政府需要实施高强度监管并将环境税征收标准提高至与环境治理成本相当才能达到促进企业绿色技术创新的调控目标。当环境税征收标准不变、专项补贴力度增加时, 促进企业绿色技术创新的调控目标得以实现需要政府高强度监管并对企业支付高额专项补贴, 因而加重了政府的财政负担。但当渐进提高环境税征收和专项补贴标准时, 政策组合工具对博弈双方都具有“帕累托改进”效果。渐进式提高环境税征收标准在倒逼企业技术创新的同时也相应减轻了政府专项补贴支出的财政负担, 政府提高专项补贴扶持力度更具效率可以抵消环境税征收标准提高带给企业技术创新的负面影响, 由此政府因激励型环境规制工具的有效性而降低了监管强度。进一步研究表明, 在考虑企业创新水平和知识产权保护影响的科技政策情景中, 提高企业创新绩效和加强知识产权保护能够产生波特的“创新补偿”效应, 增强了激励型环境规制政策促进企业绿色技术创新的实施效果。在考虑环境税改革结合宏观税负的税收政策情景中, 降低企业所得税不仅使政府拨付专项补贴资金减少、财政压力减轻, 还有利于实现环境税开征的“双重红利”效应, 使政府获得创新驱动、税收结构驱动带来的多重经济增长红利。

上述结论为政府干预促进企业绿色技术创新提供了政策建议:

(1) 强化环境税和专项补贴政策联动配合。长期内,政府应通过渐进提高环境税征收标准引导企业走向绿色生产,在环境税渐进提高的每个周期内,政府为了保证环境规制促进企业绿色技术创新效果,可相应提高对企业绿色技术创新的专项补贴资金,以短期内可接受的财政支出实现企业创新驱动经济增长和长期内减轻财政负担的政策调控目标。

(2) 实行政府监管和专项补贴动态调整。在环境税征收标准既定下,政府可根据自身财政情况选择必要的政府监管和专项补贴强度。当政府财政盈余、预算资金充裕时,可实施“低监管、高补贴”政策激励企业绿色技术创新,当政府财政紧张、预算资金缺乏时,可实施“高监管、低补贴”政策倒逼企业绿色技术创新。

(3) 进一步完善环境保护税征收管理过程。企业绿色技术创新只有在适宜的环境税征收标准下才能更好地实现双重红利效应。政府开征环境税要征税于污染企业、让税于创新企业,并实行环境保护税专款专用制度。为了防止环境税征收增加企业整体税负的影响,政府在对创新企业实施税收优惠政策的同时还应采取降低企业所得税、增值税等结构性减税政策,以激发企业绿色技术创新活力。

(4) 加强知识产权保护提高企业创新能力。完善的专利保护制度能够补偿技术溢出效应造成的企业技术创新损失,有效增加创新企业绿色技术投资回报,打破企业技术创新研发投入的“囚徒困境”;另外,鼓励创新企业有偿技术转让,以技术创新扩散提高行业内企业整体创新能力,进而推动产业链协同创新和产业集群技术创新。

注释:

①企业的创新策略可视为在绿色创新公共物品供给不足的状况下,寄希望于其它企业创新完成后自身进行“模仿”的“搭便车”机会主义行为,即享受创新企业技术的正外部性溢出。

参 考 文 献

[1] 张江雪, 张力小, 李丁. 绿色技术创新: 制度障碍与政策提示 [J]. 中国行政管理, 2018, (2): 153~155.
[2] Li R, Ramanathan R. Exploring the Relationships Between Different Types of Environmental Regulations and Environmental Performance: Evidence from China [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 196: 1329~1340.
[3] Porter M E, Van Der Linde C. Toward a New Conception of the

Environment Competitiveness Relationship [J]. Journal of Economic Perspectives, 1995, 9 (4): 97~118.
[4] 张彩云, 吕越. 绿色生产规制与企业研发创新——影响及机制研究 [J]. 经济管理, 2018, 40 (1): 71~91.
[5] 杨洪涛, 李瑞, 李桂君. 环境规制类型与设计特征的交互对企业生态创新的影响 [J]. 管理学报, 2018, 15 (10): 1019~1027.
[6] 张慧玲, 盛丹. 前端污染治理对我国企业生产率的影响——基于边界断点回归方法的研究 [J]. 经济评论, 2019, (1): 75~90.
[7] Li D Y, Zheng M, Cao C C, et al. Impact of Legitimacy Pressure and Corporate Profitability on Green Innovation: Evidence from China Top 100 [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 141: 41~49.
[8] Caravella S, Crespi F. Unfolding Heterogeneity: The Different Policy Drivers of Different Eco-innovation Modes [J]. Environmental Science & Policy, 2020, 114: 182~193.
[9] 李广培, 李艳歌, 全佳敏. 环境规制、R&D投入与企业绿色技术创新能力 [J]. 科学学与科学技术管理, 2018, 39 (11): 61~73.
[10] 伍格致, 游达明. 环境规制对技术创新与绿色全要素生产率的影响机制: 基于财政分权的调节作用 [J]. 管理工程学报, 2019, 33 (1): 37~50.
[11] Frondel M, Horbach J, Rennings K. End-of-Pipe or Cleaner Production? An Empirical Comparison of Environmental Innovation Decisions Across OECD Countries [J]. Business Strategy and Environment, 2007, 16 (8): 571~584.
[12] Mamuneas T P, Nadiri M I. Public R&D Politics and Cost Behavior of the US Manufacturing Industries [J]. Journal of Public Economics, 1996, 63 (1): 57~81.
[13] Montero J P. Market Structure and Environmental Innovation [J]. Journal of Applied Economics, 2002, (2): 293~325.
[14] 范丹, 梁佩凤, 刘斌, 等. 中国环境税费政策的双重红利效应——基于系统GMM与面板门槛模型的估计 [J]. 中国环境科学, 2018, 38 (9): 3576~3583.
[15] 郭进. 环境规制对绿色技术创新的影响——“波特效应”的中国证据 [J]. 财贸经济, 2019, 40 (3): 147~160.
[16] 曹霞, 张路蓬. 企业绿色技术创新扩散的演化博弈分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25 (7): 68~76.
[17] 陈真玲, 王文举. 环境税制下政府与污染企业演化博弈分析 [J]. 管理评论, 2017, 29 (5): 226~236.
[18] 解学梅, 霍佳阁, 王宏伟. 绿色工艺创新与制造业行业财务绩效关系研究 [J]. 科研管理, 2019, 40 (3): 63~73.
[19] 刘钧霆, 曲丽娜. 政府补贴、国际知识产权保护与企业创新——来自战略性新兴产业上市公司的证据 [J]. 商业研究, 2020, (3): 20~28.
[20] 徐建中, 赵亚楠, 朱晓亚. 基于复杂网络演化博弈的企业低碳创新合作行为网络演化机理研究 [J]. 运筹与管理, 2019,

- 28 (6): 70~79.
- [21] 杜建国, 吴东静. 基于演化博弈的企业环境创新行为研究 [J]. 科技管理研究, 2018, 38 (17): 143~149.
- [22] 徐建中, 贾君, 朱晓亚. 政府行为对制造企业绿色创新模式选择影响的演化博弈研究 [J]. 运筹与管理, 2017, 26 (9): 68~77.
- [23] 聂丽, 张利江. 政府与排污企业在绿色技术创新中的演化博弈分析与仿真 [J]. 经济问题, 2019, (10): 79~86.
- [24] Friedman D. Evolutionary Games in Economics [J]. *Econometrica*, 1991, 59 (3): 637~666.
- [25] Yalcinkaya I, Cinar C, Simsek D. Global Asymptotic Stability of a System of Difference Equations [J]. *Applicable Analysis*, 2008, 87 (6): 677~687.
- [26] 杨朝均, 刘冰, 毕克新. 政府管制下内外资企业绿色创新扩散的演化博弈研究 [J]. 软科学, 2019, (12): 86~91.
- [27] 初剑鹏, 卞晨, 刘昌新, 等. 基于演化博弈的京津冀雾霾治理环境规制政策研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28 (12): 63~75.
- [28] Takeda S. The Double Dividend from Carbon Regulations in Japan [J]. *Journal of the Japanese & International Economies*, 2007, 21 (3): 336~364.
- [29] 田淑英, 徐杰芳. “双重红利”下地方绿色税收体系的优化 [J]. 河北大学学报(哲学社会科学版), 2017, 42 (4): 103~110.
- [30] 何平林, 乔雅, 宁静, 等. 环境税双重红利效应研究——基于 OECD 国家能源和交通税的实证分析 [J]. 中国软科学, 2019, (4): 33~49.

A Policy Simulation Analysis on the Effects of Environmental Regulation on Enterprise's Green Innovation in Technology

Bian Chen¹ Chu Zhaopeng^{2,3} Sun Zhenglin¹

(1. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

2. School of Humanities and Law, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

3. School of Economics, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao 066004, China)

[Abstract] Based on the perspective on evolutionary game of government intervention, this paper proposes research hypotheses to solve the market failure of green innovation in technology, a non-cooperative evolutionary game is employed to conduct policy simulations to promote enterprise's green innovation in technology by means of incentive-based environmental regulation. Numerical simulations show that the policy of gradually increasing environmental tax collection combined with the special subsidy for innovation are more effective than policies implemented separately. Therefore, it is easier for the government to achieve the ideal evolutionarily stable equilibrium of policy control target, in which enterprises motivated by incentive-based environmental regulation are willing to pursue green innovation in technology under government's necessary regulatory intensity. In addition, three explorative scenarios are investigated with regard to the level of corporate innovation and intellectual property protection, and the environmental tax reform combined with macro tax burdens of enterprises. It is found that the policy control target of government intervention would be Pareto improved when these long-term aspirations are embraced.

[Key words] incentive-based environmental regulation; green innovation in technology; government intervention; policy simulation; evolutionarily stable equilibrium; intellectual property protection

[Jel classification] O33; Q56

(责任编辑: 杨 婧)