

引用格式: 闫佳彤, 黄书培, 李文龙. 双碳目标下基于演化博弈的高耗能企业节能降碳机制[J]. 资源科学, 2022, 44(8): 1723-1734. [Yan J T, Huang S P, Li W L. Energy conservation and carbon reduction mechanism of high energy consumption enterprises based on evolutionary game under the dual carbon goals[J]. Resources Science, 2022, 44(8): 1723-1734.] DOI: 10.18402/resci.2022.08.14

# 双碳目标下基于演化博弈的高耗能企业 节能降碳机制

闫佳彤<sup>1,2</sup>, 黄书培<sup>1,2</sup>, 李文龙<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学(北京)经济管理学院, 北京 100083;

2. 自然资源部资源环境承载力评价重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 节能降碳技术的推广涉及政府和企业等多方主体博弈。为探究“双碳目标”下各级政府与高耗能企业之间的博弈关系, 本文构建了高耗能企业、地方政府以及中央政府的三方演化博弈模型, 并进行数值仿真, 探讨了三方主体在节能降碳工作中的策略选择。研究发现: ①在影响企业是否选择使用节能技术的众多因素中, 节能降碳技术的使用成本和降碳效率起着最为关键的作用; ②在使用碳税政策促进企业降碳的过程中, 补贴设置过高或过低都会对政策效果产生消极影响; ③提高地方政府对碳税收入的共享比例可以保障其对当地企业的监管力度; ④主体选择某种策略的初始概率不会影响博弈的结果。同时针对性地提出了政策建议: 首先, 应围绕使用成本和降碳效率两个关键因素, 加大绿色技术的研发力度; 其次, 征收碳税的同时应分行业进行差异性补贴发放; 最后, 因地制宜地保障地方政府对碳税收入的共享比例。

**关键词:** 节能降碳; 双碳目标; 高耗能企业; 演化博弈; 数值仿真; 碳税政策; 绿色转型

DOI: 10.18402/resci.2022.08.14

## 1 引言

2020年9月, 习近平同志在第75届联合国大会上提出双碳目标。次年10月, 中共中央、国务院发布相关文件, 指出要大力推动节能降碳, 提升低碳发展水平<sup>[1]</sup>。十三五时期以来, 中国在绿色转型领域取得了一些成果, 但是双碳目标的任务依然比较艰巨。中国的CO<sub>2</sub>排放量由2015年的 $9254 \times 10^6$  t增长到2019年的 $9795 \times 10^6$  t; 单位GDP能耗在2015—2019年间增长了15.26%<sup>[4]</sup>。在双碳目标下, 节能降碳技术的推广在中国等发展中国家具有更大的潜力空间和更小的成本代价<sup>[5]</sup>。同时, 高耗能企业的转型、节能降碳技术的推广不仅需要技术进步等因素驱动, 更需要政府政策的帮助<sup>[6]</sup>。有学者

提出, 政府的环境规制强度对节能技术的推广有着巨大影响, 规制强度的提高可以推动节能技术的创新与应用<sup>[7]</sup>, 但同时企业会因为节能技术带来的额外成本等原因抵制节能降碳技术, 该过程必然会涉及到政府与企业间的利益博弈。鉴于环境规制政策由中央政府制定、地方政府实行的实际情况<sup>[8]</sup>, 且各地方政府出于地方财政收入等因素的考虑, 会在实施环境规制政策的力度上表现出差异, 该过程必然会涉及到中央政府与地方政府间的利益博弈, 因此, 在研究过程中将中央政府、地方政府和企业结合起来, 处理好三者节能技术推广问题中的关系, 尽快达到政府积极引导、企业主动使用节能降碳技术的理想状态是实现双碳目标的关键所在。

收稿日期: 2022-05-19; 修订日期: 2022-07-15

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(18YJCZH058); 国家自然科学基金项目(71991481; 71991480); 大学生创新训练项目(202211415052)。

作者简介: 闫佳彤, 男, 河北张家口人, 本科生, 研究方向为信息管理与信息系统。E-mail: yanjiatong86@163.com

通讯作者: 黄书培, 女, 湖南湘乡人, 副教授, 研究方向为资源与环境经济。E-mail: hspburn@163.com

政府与高耗能企业之间关系的处理涉及多重共治主体的利益博弈和策略选择<sup>[9]</sup>,在该问题的研究中,由于中央政府、地方政府和高耗能企业作出的最终选择是需要随着时间推移不断学习和修正的<sup>[10]</sup>,所以三方演化博弈的方法非常适用于三者之间关系的研究。当前国内外使用三方演化博弈方法的节能降碳机制研究中,主要将政府的策略集设定为以下三个方面来进行分析:

①政府的策略集为是否介入管理的研究。例如,徐乐等<sup>[11]</sup>在企业进行绿色技术创新的研究中,将政府的策略选择设定为是否履责对企业进行引导,研究发现不同类型的政府行为能够显著加速企业绿色创新;吴君民等<sup>[12]</sup>通过设定政府是否参与新能源汽车的协同创新,对后补贴时代政府、高校和企业在新新能源汽车创新上的博弈关系进行了探讨;罗福周等<sup>[13]</sup>通过设定政府是否参与引导农村环境协同治理的策略集,对政府、村镇企业和农户在环境治理上的关系进行了分析;聂丽等<sup>[14]</sup>将中央政府的策略集设定为是否协调地方政府间的合作关系,对地方政府在合作治理大气污染问题上的博弈关系进行了分析。②政府的策略集为是否提供补贴的研究。例如,肖忠东等<sup>[15]</sup>通过设定地方政府是否提供补贴的策略,研究了制造商群体和政府节能减排要求下工业共生链形成问题上的关系;咎欣等<sup>[16]</sup>将政府策略选择设定为是否提供补贴,对刺激性政策退却后的新能源汽车行业的发展进行了分析;周晓阳等<sup>[17]</sup>研究了在地方政府提供补贴与不提供补贴两种情形下,制造业企业加入工业互联网平台过程中的问题,界定了最优的补贴力度。③政府的策略集为是否进行监管的研究。例如,张凯泽等<sup>[18]</sup>将政府的策略集合设定为是否监管,构建了政府、企业和第三方监督主体的博弈模型对影响企业碳排放的相关因素进行了分析;刘新民等<sup>[19]</sup>对中央和地方两级政府双重监管治理下的企业碳排放意愿的演化情况进行了分析;崔萌<sup>[20]</sup>构建了企业、公众和作为监管主体的政府的演化博弈模型,对环保信用的监管问题进行了分析;李晓华等<sup>[21]</sup>将是否进行监管作为政府的策略选择,对促使企业积极提供绿色产品和鼓励消费者主动选择低碳消费的关键因素进行了讨论;武小平等<sup>[22]</sup>从政府是否进行监管的视角入手,对政府、企业和第三方核查机构在企业碳排放数据不

准确问题上的关系进行了分析。

综上所述,当前国内使用三方演化博弈模型进行节能降碳分析的研究通常将中央政府的策略集设定为是否介入管理、是否提供补贴或者是否进行监管3个方面。碳税作为一种增加企业碳排放成本从而控制碳排放的政策工具,对节能降碳工作具有重要影响,本文将碳税政策纳入中央政府的策略集合,能够从碳税视角对政府和企业节能降碳工作中的利益博弈关系进行分析,从而为碳税政策的实行提供理论基础。此外,前人研究通常把政府的策略设定为{监管、不监管},这与中国当前双碳目标下的国情不符,鉴于中国当前高度重视节能降碳的实际情况,在研究过程中引入变量监管力度来表示监管的强度。本文构建三方演化博弈模型,并通过数值仿真探讨不同情况下三方博弈主体的策略选择,以期节能降碳技术的推广使用、双碳目标的高质量实现总结出有意义的结论和政策建议。

## 2 变量设置与模型构建

在节能降碳过程中,碳税是一种增大企业碳排放成本的降碳方法。有很多学者建议中国应尽早实行碳税政策<sup>[23]</sup>,为了探讨碳税政策在中国实行后可能出现的若干种情况,分析碳税政策在中国国情下是否具有合理性,本文将其纳入中央政府的策略选择中。由于中央政府、地方政府、企业都是有限理性的主体,他们在系统内都有两个策略可以选择,中央政府可以选择征收碳税和不征收碳税,策略集合为{征收,不征收};企业可以选择使用节能降碳技术和不使用节能降碳技术,策略集合为{使用,不使用};鉴于当前中国对节能降碳情况的高度重视,本文引入了监管力度这一变量,地方政府可以选择严格监管和宽松监管,策略集合为{严格监管,宽松监管}。

### 2.1 变量设置

模型假设涉及政府对企业提供的补贴和惩罚办法等要素,主要依据各地方政府为响应中央政府号召而发布的相关政策。例如,北京市在2022年1月提出对参与高效节能设备利用项目的企业应给予一定奖励<sup>[24]</sup>,上海市徐汇区在2022年3月也提出对实施节能技改及节能产品应用项目的企业应给予一定的资金支持<sup>[25]</sup>。除了鼓励高耗能企业主动进行节能降碳,地方政府还会对碳排放量过高、未完

2022年8月

成碳排放配额履约的企业进行罚款并责令限期改正<sup>[26]</sup>。对节能降碳工作推进不力的地区,国家发展改革委在2021年9月发布了《完善能源消费强度和总量双控制度方案》,强调对能耗双控目标完成不力的地区加大处罚问责力度<sup>[27]</sup>。

结合以上中国节能降碳技术推广的实际状况,本文作出以下变量设置:

(1)对于高耗能企业:企业选择使用节能降碳技术,产生使用成本 $C_1$ ,同时使得企业的原碳排放量 $Q$ 减少 $N$ ;不使用技术导致碳排放量过高会受到来自地方政府的惩罚 $W$ ;地方政府的监管力度设为 $r(0 < r \leq 1)$ ,因此当地方政府选择宽松监管时企业受到惩罚为 $rW$ 。

(2)对于地方政府:当地方政府选择严格监管时 $r=1$ ,付出监管成本 $C_2$ ;当地方政府选择宽松监管时 $0 < r < 1$ ,监管成本为 $rC_2$ 。当企业采用节能降碳技术导致企业利润减少时,地方政府会损失财政收入 $R$ ;当企业不使用节能降碳技术导致地方碳排放量过高,地方政府会受到中央政府的惩罚 $F$ 。

(3)对于中央政府:当中央政府选择征收碳税时,产生了执行碳税政策以及检查地方政府执行碳税政策情况的成本 $C_3$ 和为企业使用节能降碳技术提供的补贴 $S$ ,碳税税率为 $k(0 < k < 1)$ ;中央政府获得的碳税收入占总碳税收入的 $\alpha(0 < \alpha < 1)$ ,地方政府占 $1-\alpha$ ;企业不使用节能降碳技术导致碳排放量过高会使中央政府产生环境损失 $P$ 。

各变量定义详见表1。

表1 企业、地方政府和中央政府涉及的变量定义

Table 1 Definitions of variables concerning the enterprises, local government, and central government

变量	定义
$C_1$	企业使用节能降碳技术增加的成本
$C_2$	地方政府付出的监管成本
$C_3$	中央政府检查地方碳排放情况付出的成本
$Q$	企业不使用节能降碳技术的碳排放量
$N$	企业使用节能降碳技术减少的碳排放量
$W$	企业由于碳排放量过高受到的惩罚
$r$	地方政府的监管力度
$R$	由于节能降碳技术的使用,企业利润减少导致地方政府损失的财政收入
$F$	地方政府由于碳排放过高受到的惩罚
$\alpha$	中央政府对碳税收入的共享比例
$S$	企业使用节能降碳技术获得的补贴
$k$	碳税税率
$P$	碳排放量过高导致中央政府产生的环境损失

## 2.2 三方主体支付矩阵的构建

根据现实条件和模型假设,可以构建出企业、地方政府和中央政府关于节能降碳机制的支付矩阵,如表2所示。

## 2.3 模型的均衡点

在高耗能企业节能降碳过程中,中央政府、地方政府和企业并不是完全理性的,每个博弈主体在系统最终稳定时作出的选择是在演化过程中随着时间推移不断学习、不断修正的。经过各主体不断

表2 三方博弈主体支付矩阵

Table 2 Three-party game subject payoff matrix

博弈方				中央政府	
				征收碳税 ( $z$ )	不征收碳税 ( $1-z$ )
企业	使用 ( $x$ )	地方政府	严格监管 ( $y$ )	$-C_1-k(Q-N)+S$	$-C_1$
				$-C_2+(1-\alpha)k(Q-N)-R$	$-C_2-R$
				$-C_3+\alpha k(Q-N)-S$	0
		宽松监管 ( $1-y$ )	$-C_1-rk(Q-N)+S$	$-C_1$	
			$-rC_2+(1-\alpha)rk(Q-N)-R$	$-rC_2-R$	
			$-C_3+\alpha rk(Q-N)-S$	0	
企业	不使用 ( $1-x$ )	地方政府	严格监管 ( $y$ )	$-kQ-W$	$-W$
				$-C_2+(1-\alpha)kQ-F+W$	$-C_2-F$
				$-C_3+\alpha kQ+F-P$	$-P+F$
		宽松监管 ( $1-y$ )	$-rkQ-rW$	$-rW$	
			$-rC_2+(1-\alpha)rkQ-F+rW$	$-rC_2-F+rW$	
			$-C_3+\alpha rkQ+F$	$-P+F$	



学习和修正后三方主体作出的最终策略组合的状态被称作演化过程的均衡点。

### 2.3.1 企业的损益情况

企业选择使用节能降碳技术时的期望收益  $U_{11}$  可表示如下:

$$U_{11} = yz[-C_1 - k(Q - N) + S] + y(1 - z)(-C_1) + (1 - y)z[-C_1 - rk(Q - N) + S] + (1 - y)(1 - z)(-C_1) \quad (1)$$

式中:  $y$ 、 $z$  分别表示地方政府选择严格监管和中央政府选择征收碳税的概率;  $-C_1 - k(Q - N) + S$  表示中央政府征收碳税且地方政府严格监管时企业的损益情况。

企业选择不使用节能降碳技术时的期望收益  $U_{12}$  可表示如下:

$$U_{12} = yz(-kQ - W) + y(1 - z)(-W) + (1 - y)z(-rkQ - rW) + (1 - y)(1 - z)(-rW) \quad (2)$$

企业两种策略选择的平均收益  $\bar{U}_1$  可表示如下:

$$\bar{U}_1 = xU_{11} + (1 - x)U_{12} \quad (3)$$

式中:  $x$  表示企业选择使用节能技术的概率。

### 2.3.2 地方政府的损益情况

地方政府选择严格监管时的期望收益  $U_{21}$  为:

$$U_{21} = xz[-C_2 + (1 - \alpha)k(Q - N) - R] + x(1 - z)(-C_2 - R) + (1 - x)z[-C_2 + (1 - \alpha)kQ - F + W] + (1 - x)(1 - z)(-C_2 - F) \quad (4)$$

地方政府选择宽松监管时的期望收益  $U_{22}$  为:

$$U_{22} = xz[-rC_2 + (1 - \alpha)rk(Q - N) - R] + x(1 - z)(-rC_2 - R) + (1 - x)z[-rC_2 + (1 - \alpha)rkQ - F + rW] + (1 - x)(1 - z)(-rC_2 - F + rW) \quad (5)$$

地方政府两种策略选择的平均收益  $\bar{U}_2$  为:

$$\bar{U}_2 = yU_{21} + (1 - y)U_{22} \quad (6)$$

### 2.3.3 中央政府的损益情况

中央政府选择征收碳税时的期望收益  $U_{31}$  为:

$$U_{31} = xy[-C_3 + \alpha k(Q - N) - S] + x(1 - y)[-C_3 + \alpha rk(Q - N) - S] + (1 - x)y(-C_3 + \alpha kQ + F - P) + (1 - x)(1 - y)(-C_3 + \alpha rkQ + F) \quad (7)$$

中央政府选择不征收碳税时的期望收益  $U_{32}$  为:

$$U_{32} = (1 - x)y(-P + F) + (1 - x)(1 - y)(-P + F) \quad (8)$$

中央政府两种策略选择的平均收益  $\bar{U}_3$  为:

$$\bar{U}_3 = zU_{31} + (1 - z)U_{32} \quad (9)$$

### 2.3.4 复制动态方程和均衡点

在演化博弈理论中,当一种选择表现出对当前情形的适应时,它会吸引其他同类主体纷纷学习和模仿,这使得这种选择在种群中出现的频率不断增大直至稳定,描述这个过程的动态微分方程就叫作复制动态方程<sup>[28]</sup>。

当前学界较多地使用马尔萨斯(Malthusian)方程来进行复制动态方程的推导,在马尔萨斯方程中,一个种群的数量变化等于种群的自然增长率和此时种群数量的乘积<sup>[29]</sup>。基于马尔萨斯方程的推导,在高耗能企业节能降碳的过程中,企业、地方政府和中央政府的复制动态方程分别为  $F(x)$ 、 $F(y)$ 、 $F(z)$ 。

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = (U_{11} - \bar{U}_1)x = x(1 - x) \{-C_1 + rW + (1 - r)Wy + [(1 - r)ykN + rkN + S]z\} \quad (10)$$

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = (U_{21} - \bar{U}_2)y = y(1 - y) \{-(1 - r)C_2 - rW + [(1 - \alpha)(1 - r)(kQ - xN) + W]z + rWx\} \quad (11)$$

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = (U_{31} - \bar{U}_3)z = z(1 - z) \{C_3 + P + \alpha rkQ + [(1 - r)(Q - xN)\alpha k + (P + 2C_3)(x - 1)]y - (\alpha rkN + S + P + 2C_3)x\} \quad (12)$$

当主体选择的学习和修正过程结束,整个系统趋于稳定,即式(10)-(12)同时为0时,求解  $x$ 、 $y$ 、 $z$  得到9个均衡点,分别为  $E_1=(0, 0, 0)$ ,  $E_2=(0, 0, 1)$ ,  $E_3=(0, 1, 0)$ ,  $E_4=(1, 0, 0)$ ,  $E_5=(1, 0, 1)$ ,  $E_6=(1, 1, 0)$ ,  $E_7=(0, 1, 1)$ ,  $E_8=(1, 1, 1)$ , 以及一个混合策略鞍点  $E_9=(x^*, y^*, z^*)$ 。其中,  $x^*$ 、 $y^*$ 、 $z^*$  的取值均为0~1,分别代表了此时企业选择使用节能降碳技术、地方政府选择严格监管和中央政府选择征收碳税的概率。



2022年8月

## 2.4 均衡点的稳定性分析

根据 Lyapunov 稳定性理论,当均衡点的 3 个雅可比矩阵的特征值全都小于 0 时,该均衡点是渐进稳定的;当 3 个雅可比矩阵的特征值均大于 0 时,该均衡点是不稳定的;如果 3 个雅可比矩阵的特征值有正有负,此时该均衡点是鞍点。为了分析均衡点的渐进稳定性,分别计算了均衡点处的雅可比矩阵和对应的 3 个特征值,如表 3 所示。

由表 3 可知,根据模型假设中参数的取值范围, $C_3 + P + arkQ$ 、 $(1-r)C_2 + rW$ 、 $(1-r)C_2$  都不存在小于 0 的情况,所以  $E_1$ 、 $E_3$ 、 $E_6$  都不能成为演化稳定点。其余平衡点  $E_2$ 、 $E_4$ 、 $E_5$ 、 $E_7$ 、 $E_8$  可以成为演化稳定点,分别对应 5 种不同的策略选择情形,但是需要满足以下条件,详见表 4。

## 3 模型仿真分析

考虑到主体初始选择概率对博弈结果产生影响的可能性,设定了不同数值的博弈主体初始值,测试在不同初始值的情况下群体策略演化结果的变化。当前进行演化博弈数值仿真的研究在设置主体的初始概率时主要有以下两种情况:①设置多个仿真组,控制大部分博弈主体的初始概率不变,

只修改一个博弈主体的初始概率,将各组的仿真结果相互对照以检验初始概率对结果的影响<sup>[30]</sup>;②设置多个仿真组,修改所有博弈主体的初始概率,设定其中一组各博弈主体的初始策略选择是随机的(即该组所有博弈主体的初始概率为 0.5),将该组作为对照,根据其他各实验组的仿真结果判断初始概率的影响<sup>[31]</sup>。

根据前人研究经验,将企业选择使用节能降碳技术、地方政府选择严格监管、中央政府选择征收碳税的初始概率  $x$ 、 $y$ 、 $z$  分别设定为(a)-(d)4种,即(0.5, 0.5, 0.5)、(0.5, 0.3, 0.7)、(0.3, 0.5, 0.7)和(0.3, 0.7, 0.5)。将初始概率(a)设置为基础对照,其他 3 组分别保留一个主体的初始概率为 0.5,剩余两个主体的概率分别高于和低于 0.5。通过对比分析 4 种初始概率的演化路径即可判断博弈主体的初始概率相较于其他主体处于较高或较低水平会对演化结果有哪些影响。以下 5 个情形是企业、地方政府、中央政府选择不同策略,且该均衡点为演化稳定点时的数值仿真结果。

### 3.1 情形 1 的数值仿真结果

情形 1:企业选择不使用节能降碳技术、地方政

表 3 系统各平衡点对应的特征值

Table 3 Eigenvalues corresponding to equilibrium points of the system

平衡点	特征值		
	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$
(0, 0, 0)	$-(1-r)C_2 - rW$	$-C_1 + rW$	$C_3 + P + arkQ$
(0, 0, 1)	$-C_3 - P - arkQ$	$(W - C_2)(1-r) + (1-\alpha)(1-r)kQ$	$-C_1 + rW + rkN + S$
(0, 1, 0)	$(1-r)C_2 + rW$	$-C_3 - (1-r+k)akQ$	$-C_1 + W$
(1, 0, 0)	$-(1-r)C_2$	$C_1 - rW$	$-C_3 + (Q-N)ark - S$
(1, 0, 1)	$-(1-r)C_2 - (1-\alpha)(1-r)(N-kQ) + W$	$C_3 - (Q-N)ark + S$	$C_1 - rW - rkN - S$
(1, 1, 0)	$C_1 - W$	$(1-r)C_2$	$-C_3 + (Q-N)ak - S$
(0, 1, 1)	$C_3 - akQ$	$(1-r)C_2 - (1-r)[W + (1-\alpha)kQ]$	$-C_1 + kN + W + S$
(1, 1, 1)	$(1-r)C_2 + (1-\alpha)(1-r)(N-kQ) - W$	$C_3 - ak(Q-N) + S$	$C_1 - kN - W - S$

表 4 均衡点为演化稳定点的条件

Table 4 Conditions under which the equilibrium point is an evolutionary stable point

均衡点	稳定条件	情形
(0, 0, 1)	$C_3 + P + arkQ > 0$ , $W + (1-\alpha)kQ < C_2$ , $r(W + kN) < C_1 - S$	情形 1
(1, 0, 0)	$C_2 > 0$ , $C_1 < rW$ , $(Q-N)ark < C_3 + S$	情形 2
(1, 0, 1)	$W < (1-r)[C_2 + (1-\alpha)(N-kQ)]$ , $C_3 + S < (Q-N)ark$ , $C_1 - S < r(W + kN)$	情形 3
(0, 1, 1)	$C_3 < akQ$ , $C_2 < W + (1-\alpha)kQ$ , $kN + W < C_1 - S$	情形 4
(1, 1, 1)	$(1-r)[C_2 + (1-\alpha)(N-kQ)] < W$ , $C_3 + S < ak(Q-N)$ , $C_1 - S < kN + W$	情形 5

府选择宽松监管、中央政府选择征收碳税,即企业、地方政府和中央政府选择第一种策略的概率为(0, 0, 1)。

在满足  $C_3 + P + arkQ > 0$ ,  $W + (1 - \alpha)kQ < C_2$ ,  $r(W + kN) < C_1 - S$  的条件下,将参数取值情况设定为  $C_1 = 10$ ,  $C_2 = 15$ ,  $C_3 = 10$ ,  $Q = 8$ ,  $N = 4$ ,  $k = \alpha = r = 0.5$ ,  $S = 2$ ,  $P = 4$ ,  $W = 4$ 。随着时间推移,企业将会倾向于选择不使用节能降碳技术,地方政府将会倾向于选择宽松监管,中央政府将会倾向于选择征收碳税,且该条件下的策略选择组合具有稳定性。这说明,在中央政府选择征收碳税的情况下:对于企业而言,自身的节能降碳成本、地方政府的监管力度和中央政府的补贴对其策略选择有着直接影响。当使用节能降碳技术所带来的成本越大,或者地方政府的监管力度越小,中央政府所提供的补贴越少时,企业越倾向于选择不使用节能降碳技术。对于地方政府而言,当其需要付出的在严格监管状态下的监管成本大于对企业因碳排放过高而收取的罚金和严格监管状态下获取的碳税收入之和时,会逐渐选择宽松监管。数值仿真结果见图1。

### 3.2 情形2的数值仿真结果

情形2:企业选择使用节能降碳技术、地方政府选择宽松监管、中央政府选择不征收碳税,即企业、

地方政府和中央政府选择第一种策略的概率为(1, 0, 0)。

在满足  $C_1 < rW$ ,  $(Q - N)ark < C_3 + S$  的条件下,将参数取值情况设定为  $C_1 = 5$ ,  $C_2 = 10$ ,  $C_3 = 10$ ,  $Q = 20$ ,  $N = 4$ ,  $k = \alpha = r = 0.5$ ,  $S = 5$ ,  $P = 4$ ,  $W = 20$ 。随着时间推移,企业将会倾向于选择使用节能降碳技术,地方政府将会倾向于选择宽松监管,中央政府将会倾向于选择不征收碳税,且该条件下的策略选择组合具有稳定性。这说明,对于企业而言,当使用节能降碳技术增加的成本小于在地方政府宽松监管状态下的由于碳排放过高承受的罚金时,会倾向于选择使用节能降碳技术。对于中央政府而言,当由于检查地方碳排放情况付出的成本和承担的补贴金额大于企业使用节能降碳技术时的碳税收入后,会倾向于不征收碳税。这反映了在没有碳税驱动的情况下,企业因使用节能降碳技术付出的成本在该演化系统中的驱动作用。同时反映出不应该一味寻求高额补贴,过高的补贴会使中央政府承担巨大的经济压力从而影响碳税政策的实行效果,还有可能导致企业骗补现象的出现<sup>[32]</sup>。数值仿真结果见图2。

### 3.3 情形3的数值仿真结果

情形3:企业选择使用节能降碳技术、地方政府选择宽松监管、中央政府选择征收碳税,即企业、地方

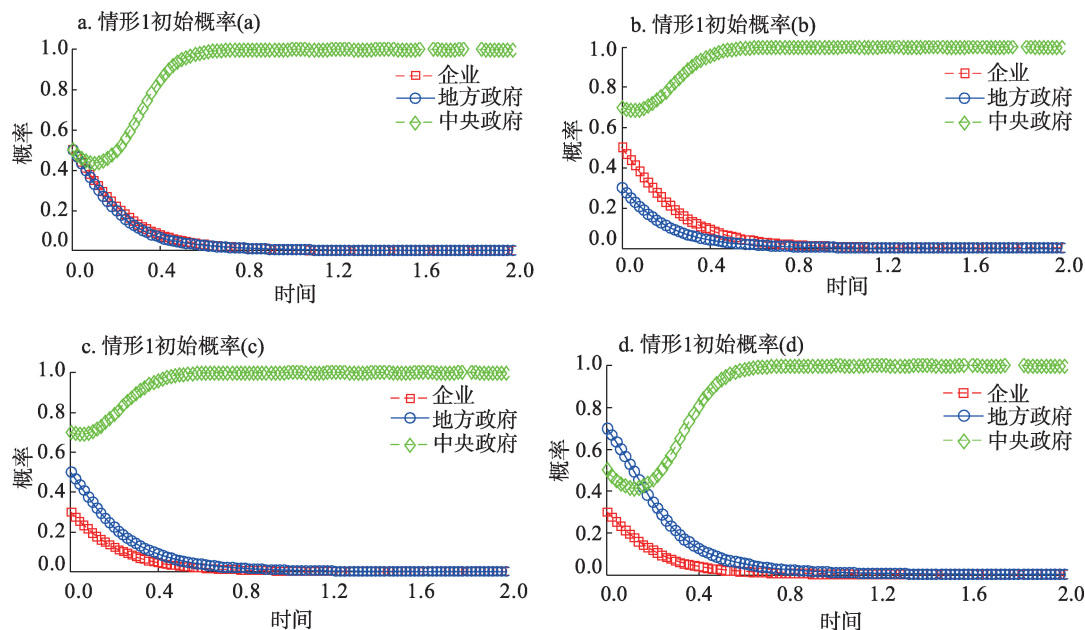


图1 情形1(不使用技术,宽松监管,征收碳税)数值仿真结果

Figure 1 Numerical simulation results of case 1 (no technology, light regulation, carbon tax)

2022年8月

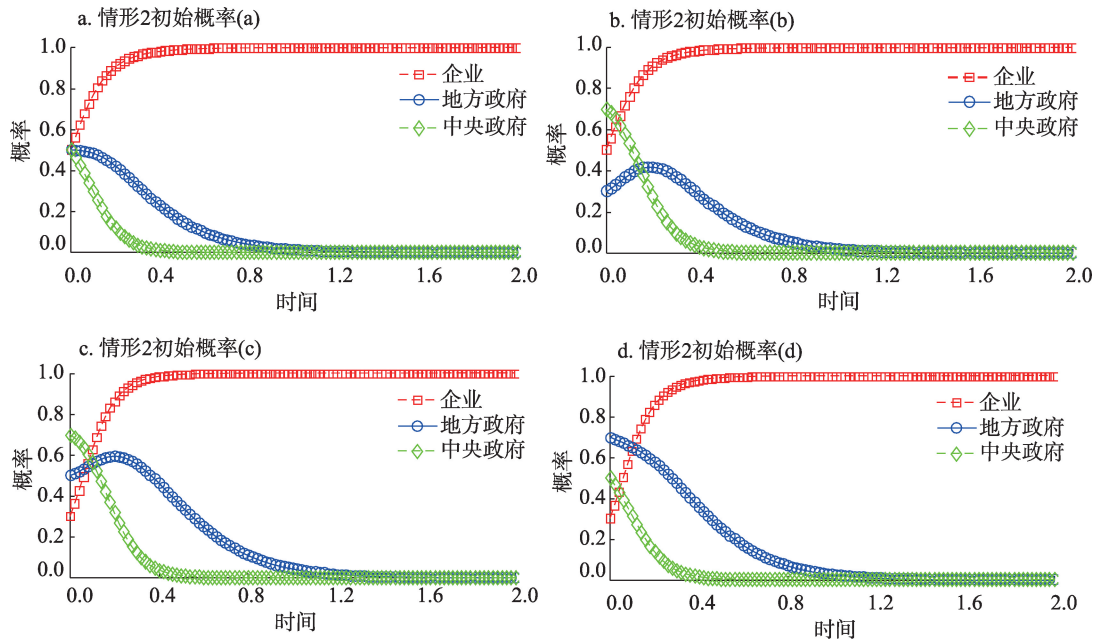


图2 情形2(使用技术,宽松监管,不征收碳税)数值仿真结果

Figure 2 Numerical simulation results of case 2 (technology, light regulation, no carbon tax)

政府和中央政府选择第一种策略的概率为(1, 0, 1)。

满足  $W < (1-r)[C_2 + (1-\alpha)(N-kQ)]$ ,  $C_3 + S < (Q-N)ark$ ,  $C_1 - S < r(W+kN)$  的条件下,将参数取值情况设定为  $C_1=1$ ,  $C_2=48$ ,  $C_3=1$ ,  $Q=40$ ,  $N=8$ ,  $k=a=r=0.5$ ,  $S=1$ ,  $P=4$ ,  $W=14$ 。随着时间推移,企业将会倾向于选择使用节能降碳技术,地方政府将会倾向于选择宽松监管,中央政府将会倾向于选择征收碳税,且该条件下的策略选择组合具有稳定性。这说明对于企业来说,除了使用节能降碳技术的成本和补贴,节能降碳技术的降碳效率对企业的决策也有影响,当节能降碳技术效率越高,其产生的单位碳排放减少量越大,企业也会越倾向于选择使用节能降碳技术。对于地方政府来说,其需要付出的监管成本越大,或者中央政府对碳税收入的共享比例越高,越会倾向于选择宽松监管。对于中央政府而言,当由于检查地方碳排放情况付出的成本和承担的补贴金额小于企业使用节能降碳技术时的碳税收入后,会倾向于征收碳税。数值仿真结果见图3。

### 3.4 情形4的数值仿真结果

情形4:企业选择不使用节能降碳技术、地方政府选择严格监管、中央政府选择征收碳税,即企业、地方政府和中央政府选择第一种策略的概率为(0, 1, 1)。

在满足  $C_3 < akQ$ ,  $C_2 < W + (1-\alpha)kQ$ ,  $kN + W < C_1 - S$  的条件下,将参数取值情况设定为  $C_1=20$ ,  $C_2=10$ ,  $C_3=10$ ,  $Q=48$ ,  $N=4$ ,  $k=a=r=0.5$ ,  $S=2$ ,  $P=4$ ,  $W=5$ 。随着时间推移,企业将会倾向于选择不使用节能降碳技术,地方政府将会倾向于选择严格监管,中央政府将会倾向于选择征收碳税,且该条件下的策略选择组合具有稳定性。这说明对于企业而言,如果使用节能降碳技术的成本过高,或者碳税税率和由于碳排放量过高受到的惩罚很小,即使在地方政府严格监管的状态下,仍然不会使用节能降碳技术。对于地方政府来说,当付出的监管成本小于企业因碳排放过多的罚金和对碳税税收的共享收入之和时,会倾向于选择严格监管。对于中央政府而言,当付出的检查地方碳排放情况的成本小于对碳税税收的共享收入时,会倾向于选择征收碳税。数值仿真结果见图4。

### 3.5 情形5的数值仿真结果

情形5:企业选择使用节能降碳技术、地方政府选择严格监管、中央政府选择征收碳税,即企业、地方政府和中央政府选择第一种策略的概率为(1, 1, 1)。

满足  $(1-r)[C_2 + (1-\alpha)(N-kQ)] < W$ ,  $C_3 + S < ak(Q-N)$ ,  $C_1 - S < kN + W$  的条件下,将参数取值



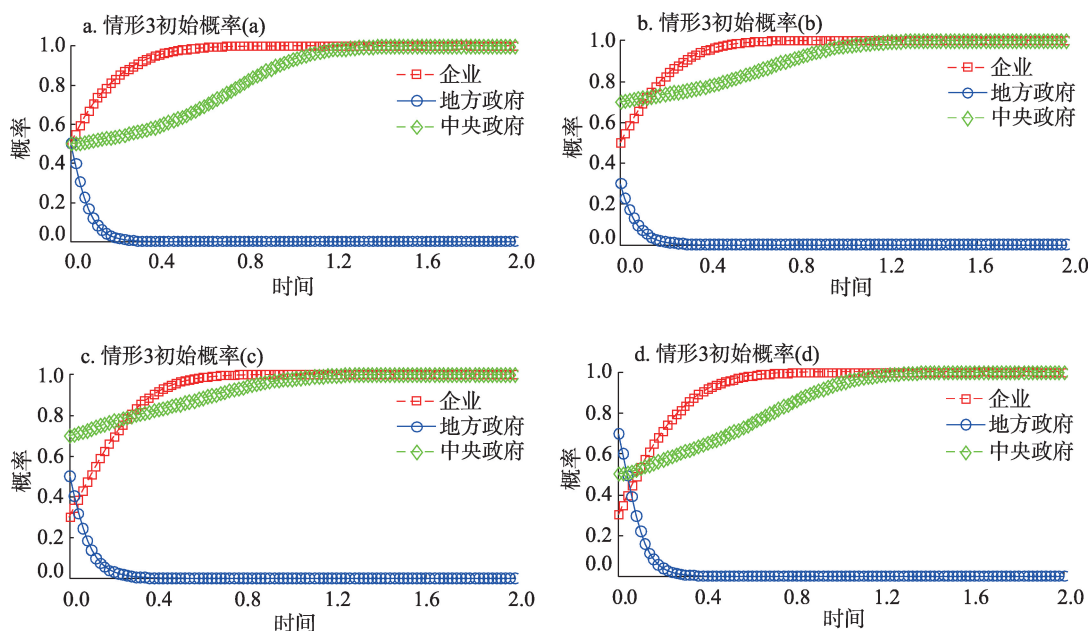


图3 情形3(使用技术,宽松监管,征收碳税)数值仿真结果

Figure 3 Numerical simulation results of case 3 (technology, light regulation, carbon tax)

情况设定为  $C_1=10$ ,  $C_2=10$ ,  $C_3=2$ ,  $Q=40$ ,  $N=4$ ,  $k=a=r=0.5$ ,  $S=2$ ,  $P=4$ ,  $W=10$ 。随着时间推移,企业将会倾向于选择使用节能降碳技术,地方政府将会倾向于选择严格监管,中央政府将会倾向于选择征收碳税,且该条件下的策略选择组合具有稳定性。这说

明对于企业而言,使用节能技术的成本越小,技术的降碳效率越高或者碳税税率和企业因碳排放过多受到的罚金越高,越会倾向于选择使用节能降碳技术。对于地方政府而言,当其收取的罚金与监管成本的差值越小或者中央政府对碳税收入的共享

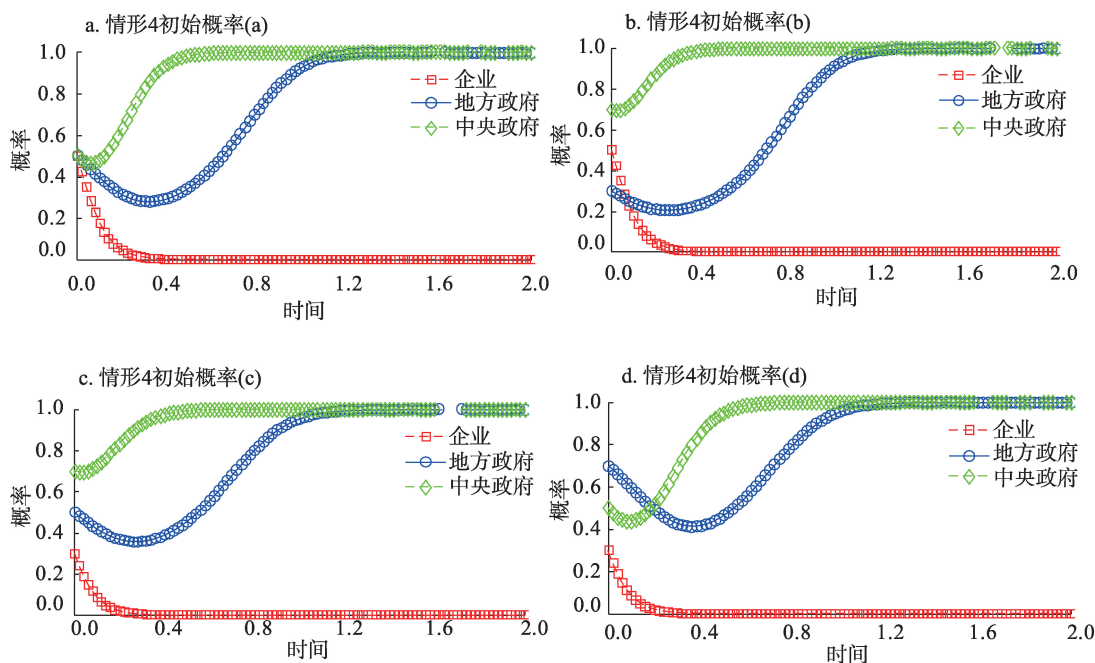


图4 情形4(不使用技术,严格监管,征收碳税)数值仿真结果

Figure 4 Numerical simulation results of case 4 (no technology, strict regulation, carbon tax)

2022年8月

比例越低,越会倾向于严格监管。对于中央政府,当共享的碳税收入大于由于检查地方碳排放情况

付出的成本和承担的补贴之和,会倾向于选择征收碳税。数值仿真结果见图5。

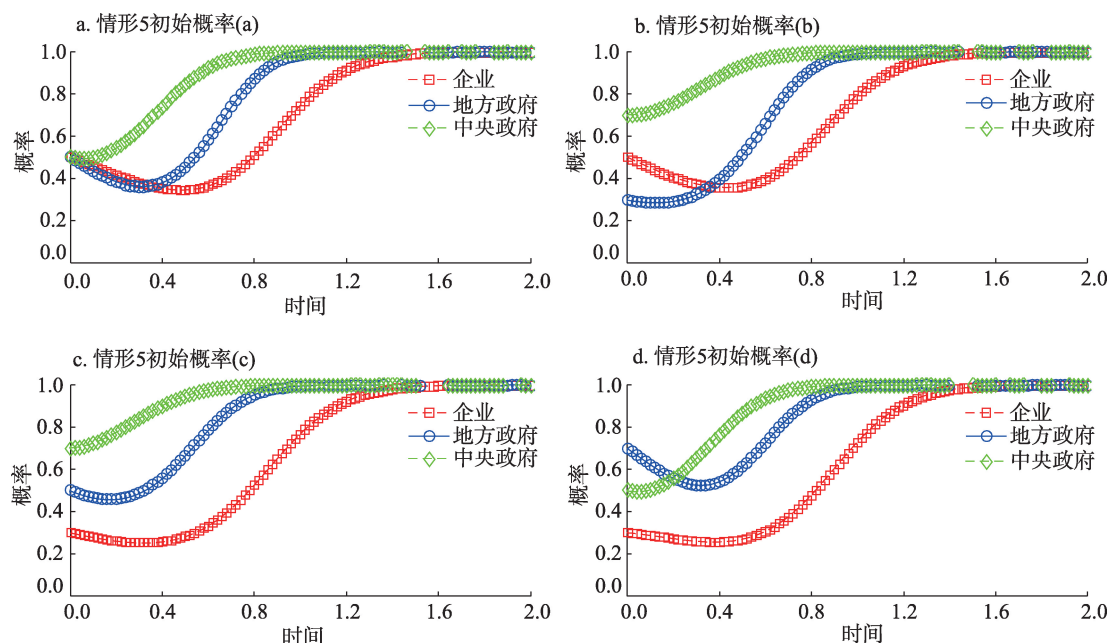


图5 情形5(使用技术,严格监管,征收碳税)数值仿真结果

Figure 5 Numerical simulation results of case 5 (technology, strict regulation, carbon tax)

## 4 结论与政策建议

### 4.1 结论

本文通过构建企业、地方政府以及中央政府的三方演化博弈模型,分析了高耗能企业节能降碳机制中企业、地方政府和中央政府三者之间的利益关系以及各自策略选择的演化过程,并对5种情形进行了数值仿真,对该博弈模型进行了进一步的实证分析。得到了以下几个方面的结论:

(1)影响企业决策的众多因素中,技术的使用成本和降碳效率最为关键。从数值仿真结果来看,对于企业而言,当除去补贴后的技术使用成本大于降碳效率所能够节省的碳税额与罚金之和时,即使地方政府严格监管,中央政府征收碳税,仍然不会使用节能降碳技术。

(2)提升地方政府对税收的共享比例能够增强其监管力度。地方政府是否选择严格监管与其能够获得的碳税收入有着直接关系,当其获得的碳税收入大于严格监管所需成本与罚金收入之差时,会倾向于选择严格监管从而促进当地企业使用节能技术。所以降低中央政府对碳税收入的共享比例、

提升地方政府比例能够促进地方政府进行严格监管。

(3)碳税政策下补贴额度的合理区间。补贴额度应大于节能技术的使用成本和节能技术所能节省的碳税额与惩罚额度之和,小于中央政府获取的碳税收入与检查地方碳排放情况付出的成本。补贴金额如果过高,中央政府会承担较重的经济压力,从而影响碳税政策的正常实施;如果补贴过低,会导致企业使用节能降碳技术成本过高,对中国基础工业行业的活力造成一定影响。

(4)主体初始选择比例不会改变演化结果。通过5种情形的仿真结果,本文发现主体初始选择比例的不同只会对演化过程的时间长度产生一定影响。也就是说不论中央政府、地方政府和高耗能企业一开始选择某种策略的概率是多少,只要各种参数的取值满足该均衡点成为演化稳定点的条件,那么演化结果最终会呈现出对应的情形,只是到达演化稳定状态所需的时间会有所改变。

### 4.2 政策建议

根据以上结论,本文归纳整理了关于高耗能企

业节能降碳的政策建议:

(1)围绕两个中心点加大绿色技术研发力度。针对使用成本和降碳效率这两个节能技术推广中的关键因素,政府应在此基础上针对性地鼓励高端绿色技术的发展,在各行业原技术进行更新的同时着眼于新型节能降碳技术的开发使用。

(2)征收碳税,分行业进行差异性补贴发放。针对碳税政策对节能降碳工作的驱动作用以及补贴额度对政策效果的影响,政府应提前分行业进行节能技术使用成本及碳排放量降低潜力的测定,以合理设置税率和补贴额度,做到因行业制宜地进行节能技术推广工作。

(3)因地制宜地保障地方政府对碳税收入的共享比例。针对与监管力度有直接关系的地方政府对碳税收入的共享比例,在碳税政策执行的过程中,中央政府首先要了解地方的产业结构,因地制宜地制定中央政府对碳税收入的共享比例。对于基础工业占据产业结构主体地位的地方,中央政府应适当提高地方政府对碳税收入的共享比例,以保障地方政府的监管力度,从而促进当地企业积极选择使用节能降碳技术。

## 参考文献(References):

- [1] 习近平. 在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话[N]. 人民日报, 2020-09-23(03). [Xi J P. Speech at the General Debate of the 75th United Nations General Assembly[N]. People's Daily, 2020-09-23(03).]
- [2] 中华人民共和国中央人民政府. 中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见[EB/OL]. (2021-10-24) [2022-07-02]. [http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content\\_5644613.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm). [The Central People's Government of the People's Republic of China. Opinions of the Central Committee of the Communist Party of China and the State Council on Completely, Accurately and Comprehensively Implementing the New Development Concept and Doing a Good Job in Carbon Neutralization[EB/OL]. (2021-10-24) [2022-07-02]. [http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content\\_5644613.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm).]
- [3] Guan Y R, Shan Y L, Huang Q, et al. Assessment to China's recent emission pattern shifts[J]. Earth's Future, 2021, DOI: 10.1029/2021EF002241.
- [4] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.]
- [5] 曹馨. 双碳目标下高耗能行业转型路径[R]. 北京: 中国石油大学(北京)碳中和与能源创新发展研究院, 2021. [Cao X. The Transformation Path of High Energy-Consuming Industries Under the Dual Carbon Goal[R]. Beijing: Institute of Carbon Neutrality and Energy Innovation and Development, China University of Petroleum (Beijing), 2021]
- [6] 翟东升, 蔡达. 绿色“一带一路”建设: 进展、挑战与展望[J]. 宏观经济管理, 2022, (8): 7-15. [Zhai D S, Cai D. Green "Belt and Road" initiative: Progress, challenge and prospect[J]. Macroeconomic Management, 2022, (8): 7-15.]
- [7] 修静, 张振华. “双碳”目标下环境规制的技术进步偏向效应研究[J]. 经济纵横, 2022, (5): 52-58. [Xiu J, Zhang Z H. Research on the bias effect of technological progress of environmental regulation under the "Double Carbon" goal[J]. Economic Review Journal, 2022, (5): 52-58.]
- [8] 黄涛珍, 商波. 可再生能源配额考核监管与主体行为策略选择[J]. 资源科学, 2020, 42(12): 2393-2405. [Huang T Z, Shang B. Assessment and supervision of renewable portfolio standards and strategic selection of stakeholders[J]. Resources Science, 2020, 42 (12): 2393-2405.]
- [9] 潘峰, 刘月, 王琳. 公众参与视角下的央地环境规制博弈分析[J]. 运筹与管理, 2020, 29(6): 113-123. [Pan F, Liu Y, Wang L. Game analysis of environmental regulation between central government and local government under the perspective of public participation[J]. Operations Research and Management Science, 2020, 29 (6): 113-123.]
- [10] 王亚萌, 田应东, 杜盼盼, 等. 演化博弈视角下海外耕地投资参与主体合作行为策略[J]. 资源科学, 2021, 43(9): 1849-1862. [Wang Y M, Tian Y D, Du P P, et al. Cooperative behavioral strategies of overseas farmland investment participants from the perspective of evolutionary game[J]. Resources Science, 2021, 43(9): 1849-1862.]
- [11] 徐乐, 马永刚, 王小飞. 基于演化博弈的绿色技术创新环境政策选择研究: 政府行为 VS. 公众参与[J]. 中国管理科学, 2022, 30 (3): 30-42. [Xu L, Ma Y G, Wang X F. Study on environmental policy selection for green technology innovation based on evolutionary game: Government behavior vs. public participation[J]. Chinese Journal of Management Science, 2022, 30(3): 30-42.]
- [12] 吴君民, 唐僖, 盛永祥, 等. 基于三方演化博弈的后补贴时代新能源汽车政产学研协同创新机制研究[J]. 运筹与管理, 2021, 30 (4): 96-102. [Wu J M, Tang X, Sheng Y X, et al. Research on the collaborative innovation mechanism among the government, enterprises and universities in the post-subsidy era of new energy automobiles based on tripartite evolutionary game theory[J]. Operations Research and Management Science, 2021, 30(4): 96-102.]
- [13] 罗福周, 李静. 农村生态环境多主体协同治理的演化博弈研究[J]. 生态经济, 2019, 35(10): 171-176. [Luo F Z, Li J. Research on evolutionary game of multi-agent cooperative governance of rural ecological environment[J]. Ecological Economy, 2019, 35(10): 171-176.]



2022年8月

- [14] 聂丽, 张宝林. 大气污染府际合作治理演化博弈分析[J]. 管理科学, 2019, 32(6): 18-27. [Nie L, Zhang B L. An analysis of inter-government cooperative governance of air pollution based on the evolutionary game theory[J]. Journal of Management, 2019, 32(6): 18-27.]
- [15] 肖忠东, 曹全垚, 郎庆喜, 等. 环境规制下的地方政府与工业共生链上下游企业间三方演化博弈和实证分析[J]. 系统工程, 2020, 38(1): 1-13. [Xiao Z D, Cao Q Y, Lang Q X, et al. Evolutionary game and empirical analysis of the local governments and the upstream and downstream enterprises in the industrial symbiosis chain under environmental regulations[J]. Systems Engineering, 2020, 38(1): 1-13.]
- [16] 管欣, 欧国立. “补贴退坡”背景下补贴模式异质性与消费者购买行为的博弈研究[J]. 中央财经大学学报, 2021, (5): 94-108. [Zan X, Ou G L. Game study on the heterogeneity of subsidy models and consumers' purchase behaviors under the background of "Subsidy Regression"[J]. Journal of Central University of Finance and Economics, 2021, (5): 94-108.]
- [17] 周晓阳, 赵凡, 刘莹, 等. 政府补贴和成本共担如何影响平台和企业策略选择: 基于三方演化博弈[J]. 控制与决策, 2022, 37(2): 293-302. [Zhou X Y, Zhao F, Liu Y, et al. How do government subsidies and cost sharing affect platform and enterprise strategy choice? Based on tripartite evolutionary game[J]. Control and Decision, 2022, 37(2): 293-302.]
- [18] 张凯泽, 沈菊琴, 徐沙沙, 等. 碳排放监管中政府与企业演化博弈及策略研究: 基于第三方监督视角[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2020, 26(4): 82-92. [Zhang K Z, Shen J Q, Xu S S, et al. Research of evolutionary game and strategy between government and enterprises in carbon emission supervision: Based on the perspective of the third party[J]. Journal of Chongqing University (Social Science Edition), 2020, 26(4): 82-92.]
- [19] 刘新民, 孙向彦, 吴士健. 双重治理体制下企业碳排放的演化博弈分析: 基于初始意愿差异化视角[J]. 系统工程, 2019, 37(3): 31-47. [Liu X M, Sun X Y, Wu S J. Evolutionary of carbon emission game under dual governance system: Analysis from the perspective of initial willingness differentiation[J]. Systems Engineering, 2019, 37(3): 31-47.]
- [20] 崔萌. 协同治理背景下环保信用监管的三方演化博弈分析[J]. 系统工程理论与实践, 2021, 41(3): 713-726. [Cui M. Tripartite evolutionary game analysis for environmental credit supervision under the background of collaborative governance[J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2021, 41(3): 713-726.]
- [21] 李晓华, 邵举平, 孙延安. 绿色低碳产品消费市场活力激发研究: 基于绿色家电产品的演化博弈[J]. 生态经济, 2021, 37(1): 27-34. [Li X H, Shao J P, Sun Y A. Research on the stimulation of green and low-carbon products consumption market vitality: An evolutionary game based on green household appliances[J]. Ecological Economy, 2021, 37(1): 27-34.]
- [22] 武小平, 刘鹏, 杨琳, 等. 基于第三方核查的物流企业碳排放监管演化博弈分析[J]. 统计与决策, 2022, 38(1): 184-188. [Wu X P, Liu P, Yang L, et al. Evolutionary game analysis of carbon emission regulation of logistics enterprises based on third-party verification[J]. Statistics and Decision, 2022, 38(1): 184-188.]
- [23] 覃盈盈. “双碳”目标下中国碳税开征的逻辑起点、国际借鉴和政策设计[J]. 西南金融, 2022, (8): 27-42. [Qin Y Y. The logical starting point, international reference and policy design of China's carbon tax collection under the "carbon peaking and carbon neutrality" goal[J]. Southwest Finance, 2022, (8): 27-42.]
- [24] 北京市经济和信息化局. 北京市财政局关于发布《2022年北京市高精尖产业发展资金实施指南》的通知[EB/OL]. (2022-01-30) [2022-07-02]. [http://jxj.beijing.gov.cn/jxd/tzgg/202201/t20220130\\_2604192.html](http://jxj.beijing.gov.cn/jxd/tzgg/202201/t20220130_2604192.html). [Beijing Municipal Bureau of Economy and Information Technology. Notice of the Beijing Municipal Bureau of Finance on Issuing the "2022 Beijing High-tech Industrial Development Fund Implementation Guidelines" [EB/OL]. (2022-01-30) [2022-07-02]. [http://jxj.beijing.gov.cn/jxd/tzgg/202201/t20220130\\_2604192.html](http://jxj.beijing.gov.cn/jxd/tzgg/202201/t20220130_2604192.html).]
- [25] 上海市徐汇区人民政府. 关于印发《徐汇区节能减排降碳专项资金管理办法》的通知[EB/OL]. (2022-03-02) [2022-07-02]. [https://www.xuhui.gov.cn/H/xhxxgkN/xhxxgk\\_fw\\_bmwj\\_bmwj/Info/Detail\\_65425.htm](https://www.xuhui.gov.cn/H/xhxxgkN/xhxxgk_fw_bmwj_bmwj/Info/Detail_65425.htm). [The People's Government of Xuhui District, Shanghai. Notice on Printing and Distributing the "Administrative Measures For Special Funds For Energy Conservation, Emission Reduction and Carbon Reduction in Xuhui District" [EB/OL]. (2022-03-02) [2022-07-02]. [https://www.xuhui.gov.cn/H/xhxxgkN/xhxxgk\\_fw\\_bmwj\\_bmwj/Info/Detail\\_65425.htm](https://www.xuhui.gov.cn/H/xhxxgkN/xhxxgk_fw_bmwj_bmwj/Info/Detail_65425.htm).]
- [26] 中华人民共和国中央人民政府. 碳排放权交易管理办法(试行)[EB/OL]. (2020-12-31) [2022-07-02]. [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-01/06/content\\_5577360.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-01/06/content_5577360.htm). [The Central People's Government of the People's Republic of China. Measures for the Administration of Carbon Emissions Trading (for Trial Implementation)[EB/OL]. (2020-12-31) [2022-07-02]. [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-01/06/content\\_5577360.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-01/06/content_5577360.htm).]
- [27] 中华人民共和国中央人民政府. 国家发展改革委关于印发《完善能源消费强度和总量双控制度方案》的通知[EB/OL]. (2021-09-11) [2022-07-02]. [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/17/content\\_5637960.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/17/content_5637960.htm). [The Central People's Government of the People's Republic of China. Notice of the National Development and Reform Commission on Printing and Distributing the Plan for Improving the Dual Control System of Energy Consumption Intensity and Total Volume[EB/OL]. (2021-09-11) [2022-07-02]. [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/17/content\\_5637960.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/17/content_5637960.htm).]
- [28] Friedman D. Evolutionary games in economics[J]. Econometrica, 1991, 59(3): 637-666.
- [29] Taylor P D, Jonker L B. Evolutionary stable strategies and game dynamics[J]. Mathematical Biosciences, 1978, 40(1): 145-156.
- [30] 李国平, 延步青, 王奕淇. 黄河流域污染治理的环境规制策略演化博弈研究[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2022, 22(2): 74-85. [Li G P, Yan B Q, Wang Y Q. Study on environmental reg-

- ulation strategy evolutionary game for pollution control in the Yellow River Basin[J]. Journal of Beijing University of Technology (Social Science Edition), 2022, 22(2): 74–85.]
- [31] 吴美玲. 社区微更新利益相关者演化博弈模型与仿真研究[D]. 长春: 吉林大学, 2022. [Wu M L. Study on Evolutionary Game Model and Simulation of Stakeholders in Community Micro-Renewal[D]. Changchun: Jilin University, 2022.]
- [32] 任晓松, 马茜, 刘宇佳, 等. 碳交易政策对高污染工业企业经济绩效的影响: 基于多重中介效应模型的实证分析[J]. 资源科学, 2020, 42(9): 1750–1763. [Ren X S, Ma Q, Liu Y J, et al. The impact of carbon trading policy on the economic performance of highly polluting industrial enterprises: Empirical analysis based on multiple mediating effect model[J]. Resources Science, 2020, 42(9): 1750–1763.]

## Energy conservation and carbon reduction mechanism of high energy consumption enterprises based on evolutionary game under the dual carbon goals

YAN Jiatong<sup>1,2</sup>, HUANG Shupe<sup>1,2</sup>, LI Wenlong<sup>1,2</sup>

(1. School of Economics and Management, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Resource and Environmental Carrying Capacity Evaluation, Ministry of Natural Resources, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The promotion of energy-saving and carbon-reducing technologies involves the game of interests among various parties such as the government and enterprises. In order to explore the game relationship between government carbon regulation and carbon emission reduction strategies of high energy consumption enterprises under the dual carbon goals, this study constructed a tripartite evolutionary game model of high energy consumption enterprises, local governments, and the central government, and conducted numerical analyses. Through simulation, the strategic choices of the three parties in energy conservation and carbon reduction are discussed. The study found that: (1) Among the many factors that affect whether enterprises choose to use energy-saving technologies, the cost of use and carbon-reducing efficiency of energy-saving and carbon-reducing technologies play the most critical role; (2) In the process of using carbon tax policies to promote enterprise carbon reduction, subsidies that are set too high or too low will have a negative impact on the effect of the policies; (3) Increasing the share of carbon tax revenue of local governments can ensure their supervision of local enterprises. On this basis, policy recommendations are put forward: First, the research and development of green technologies should be strengthened around the two central points of cost of use and carbon-reducing efficiency; Second, carbon tax can be levied, and differentiated subsidies can be distributed by industry; Finally, policies should ensure that local governments share an appropriate proportion of carbon tax revenue according to local conditions. This article discussed the strategic choices of the government and enterprises in energy conservation and carbon reduction in various situations, and provided some suggestions for the development path of carbon reduction in the future.

**Key words:** energy conservation and carbon reduction; dual carbon goals; high energy consumption enterprises; evolutionary game; numerical simulation; carbon tax policy; green transition