

能源结构调整中政府、新能源产业和传统能源产业的演化博弈分析

赵 昕 朱连磊 丁黎黎

摘 要: 通过构建政府和能源产业、新能源产业和传统能源产业两个演化博弈模型,研究政府是否应参与能源结构调整问题,探讨在政府参与下新能源产业和传统能源产业的合作竞争发展关系,结果表明,政府参与能源结构调整和发展新能源产业是最优均衡策略选择。其中,社会福利水平、能源结构调整对社会福利影响系数、政府的税收和补贴、传统能源和新能源产业的盈利水平都是影响演化均衡的重要影响因素,政府补贴对演化均衡的影响存在不确定性;在政府参与下新能源产业和传统能源产业均选择合作策略是最优均衡策略,政府的税收和补贴、合作竞争的不同策略所导致的盈利和损失影响着演化均衡的达成。

关键词: 能源结构调整; 能源产业; 新能源; 传统能源

中图分类号: F062.1; F062.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7320(2018)01-0145-12

基金项目: 国家社科基金重大项目(15ZDB171); 国家自然科学基金(71373147); 泰山学者工程专项经费资助项目(tsqn20161014)

一、引言

近年来,大面积的重度空气污染使雾霾成为全社会关注的焦点,雾霾天气不仅严重威胁着居民的健康和日常生活,还直接降低了社会的整体幸福指数。雾霾天气的频发反映的深层次问题是能源结构不合理和能源使用效率低下。我国是富煤少油的国家,长期以来能源结构以化石能源为主,尤其以煤炭为主,且生产和使用方式粗放,久而久之造成了严重的环境问题。与此同时,中国还面临严峻的碳减排压力,哥本哈根会议上中国政府承诺2020年万元GDP碳排放量比2005年减少40%至45%,能源结构调整是解决环境污染问题和实现碳减排目标的必然选择。

顾名思义,能源结构调整是指调整能源总生产量或总消费量中各类一次能源、二次能源的构成及其比例关系,能源组成包括原油、煤、天然气、核能、水力发电和再生能源等。据BP公司《世界能源统计2016》显示中国2015年能源结构为煤炭63.7%、原油18.6%、天然气5.9%、核能1.3%、水电8.5%、可再生能源2.1%,对比美国的能源结构为煤炭17.4%、原油37.3%、天然气31.3%。能源结构调整应加快核电、风电、太阳能等新能源开发利用,逐渐减少煤炭、石油等传统能源的比重。能源结构调整不是一蹴而就的,新能源开发利用中存在各种各样的问题,且当前新能源的成本大于传统能源,新能源产业的发展相比传统能源产业充满更多的挑战。因此,研究政府对能源产业发展的影响,新能源产业与传统能源产业之间演化关系,对能源结构调整和经济结构转型具有重要意义。

二、文献回顾

研究表明,政府主要通过税收和补贴等财政手段参与能源结构调整,政府在能源结构调整中起

着关键作用。一是税收, Hill & Hadley 对比分析了税收对新能源和传统能源的影响, 认为税收政策可以使新能源技术有竞争力, 以促进新能源产业的发展^[1](P593-597); Wissema & Dellink 研究表明碳税可降低煤炭等传统能源的使用, 并激励可再生能源的使用^[2](P671-683); Andersson et al. 研究显示全球碳税是一项减少碳排放的重要政策工具, 但是根本解决方式是经济增长方式的转变^[3](P1285-1294); Pereira et al. 研究了葡萄牙碳税在碳减排方面的应用, 讨论了如何改善环境、宏观经济和财政状况^[4](P110-118); Jeremy & David 调查显示一部分碳税收入补贴了绿色能源效率的改进和可再生能源支出^[5](P50-77); Tang et al. 构建了含有煤炭资源税的 CGE 模型, 结果显示政策的变革会推动能源结构的改变^[6](P33-44)。罗能生等^[7]、徐晓亮等^[8]、何凌云^[9]等的研究表明资源税等税收政策可以促进资源产业的变革, 通过政策引导产业升级, 提高节能减排效果。二是补贴, Graham et al. 提出政府研发资金的财政投入和补贴的增多可以促进可再生能源的发展^[10](P1589-1608); Sawangphol & Pharino 研究了财政扶持政策对泰国可再生能源发展的影响^[11](P564-573); Bhide & Monroy 分析了印度能源消耗方面的问题, 提出印度政府应实行新的能源政策以推进可再生能源技术的研究^[12](P1057-1066); Nicolini & Tavoni 显示能源补贴政策不论在长期还是短期内都有效的促进了可再生能源的发展^[13](P412-423); Zhang et al. 提出了一种实物期权模型估计可再生能源项目的最优补贴, 以促进可再生能源行业的竞争^[14](P873-883)。姚昕等^[15]、李庆^[16]、孙鹏和张力^[17]、周亚虹等^[18]、戚聿东和姜莱^[19]分析了政府补贴对于新能源产业的推动作用, 有助于改变传统的能源结构, 同时应注意补贴造成的同质化产能过剩问题。

能源结构调整中不仅涉及政府和能源产业的博弈, 而且也涉及新能源产业与传统能源产业的博弈。刘亦红的分析显示政府和企业发展新能源产业是纳什均衡策略组合, 政府补贴、技术创新等都会影响新能源产业的发展^[20]。张卫国等运用演化博弈模型分析了政府在新能源投资系统中的作用, 前期扮演引导、扶植角色, 后期向市场角色转换^[21]。综上所述, 目前运用演化博弈模型分析能源产业发展的文献较少。笔者尝试构建政府与能源产业、新能源产业和传统能源产业两个的演化博弈模型, 分析政府在能源结构调整背景下的能源产业发展中的作用及演化稳定策略的影响因素, 分析新能源产业与传统能源产业的演化稳定策略, 探讨未来能源产业的发展方向。

三、政府与能源产业的演化博弈模型

(一) 模型基本假设

能源产业可分为传统能源产业和新能源产业, 两类产业产品最终都能转化为电力, 产品是同质的。当前甚至很长时间内, 传统能源的使用成本都会小于新能源。但是传统能源的大量使用造成了雾霾、酸雨和温室效应等环境问题, 并且面临传统能源枯竭的问题; 新能源的使用则不会产生环境污染问题, 但存在成本高昂、新能源技术水平尚不够先进等问题。如果能源市场没有政府的参与, 新能源企业在这样的背景下无法与传统能源企业竞争, 只能被市场淘汰, 因此, 有必要考虑政府在新能源和传统能源的能源结构调整中的作用。

假设 1 博弈双方是政府和能源产业, 是有限理性且均是有限信息, 政府和能源产业做出各自决策时难以确认是利益最大化的选择。

假设 2 能源产业有两种策略选择, 新能源或传统能源。政府有两种策略, 参与或不参与, 参与策略代表政府在能源产业结构调整中发挥作用, 对新能源产业提供补贴等, 对传统能源产业征税; 不参与策略代表政府不参与能源产业结构调整, 能源产业的发展由市场决定。

假设 3 政府要保证经济增长、就业等社会福利, 社会福利代表政府的收益。政府支持新能源产业发展, 鼓励低碳经济, 采用碳税、环境税、补贴等财政手段, 可改善环境质量, 促进经济转型, 提高经济增长质量, 但会对经济增长速度产生影响。

假设 4 新能源产业的低碳生产特性使得污染较少, 且新能源产业代表未来的发展方向, 具有良好

公众口碑和发展前景等间接收益,对新能源产业本身有一定的正效应。

(二) 损益变量选取与设定

经济增长、就业等社会福利 W ,即模型中政府的收益,由于当前低碳生产成本较高,能源结构调整会增加生产者负担,间接影响经济增长和就业等,使社会福利降低 $\beta W(0 < \beta \leq 1)$, β 为参与能源结构调整对社会福利的影响系数;政府参与能源结构调整促进新能源产业使政府获得一定的声誉和经济转型的正效应 b ,政府不参与能源结构调整下传统能源产业的发展使政府存在一定的负效应为 $-c$ 。政府对新能源产业提供一定的补贴和税率优惠等总和为 S ,对传统能源产业征收碳税或环境税为 T 。新能源产业收益为 π_1 ,新能源产业获得发展前景、社会声誉等间接收益 a ;传统能源产业收益为 π_2 。

假设政府参与能源结构调整的比例为 p ,不参与能源结构调整的比例为 $(1-p)$;能源产业中新能源的比例为 q ,传统能源的比例为 $(1-q)$ 。政府与能源产业演化博弈收益矩阵如表 1 所示。

表 1 政府与能源产业的演化博弈收益矩阵

博弈参与者		能源产业 ($j=2$)	
		新能源 q	传统能源 ($1-q$)
政府 ($j=1$)	参与 p	$\beta W - S + b, \pi_1 + S + a$	$\beta W + T, \pi_2 - T$
	不参与 ($1-p$)	$W, \pi_1 + a$	$W - c, \pi_2$

(三) 政府和能源企业的演化博弈分析:

1. 期望收益函数

基于演化博弈的收益矩阵

(1) 政府选择参与时的期望收益为: $O_{11} = q(\beta W - S + b) + (1 - q)(\beta W + T)$

政府选择不参与时的期望收益为: $O_{12} = qW + (1 - q)(W - c)$

政府的平均收益为: $\bar{O}_1 = p O_{11} + (1 - p) O_{12}$

(2) 能源产业选择新能源时的期望收益为: $O_{21} = p(\pi_1 + S + a) + (1 - p)(\pi_1 + a)$

能源产业选择传统能源时的期望收益: $O_{22} = p(\pi_2 - T) + (1 - p)\pi_2$

能源企业平均收益为: $\bar{O}_2 = q O_{21} + (1 - q) O_{22}$

2. 基于复制动态方程的演化博弈稳定策略分析

政府的复制动态方程为:

$$\dot{p} = \frac{dp}{dt} = L(p) = p(1 - p)(O_{11} - O_{12}) = p(1 - p)[\beta W - W + T + c + (b - c - T - S)q]$$

$$L'(p) = (1 - 2p)[\beta W - W + T + c + (b - c - T - S)q]$$

$$\text{令 } L(p) = 0, \text{ 得 } p = 0, p = 1, q = \frac{W - \beta W - T - c}{b - c - T - S}$$

若 $q = \frac{W - \beta W - T - c}{b - c - T - S}$, 则 $L(p) \equiv 0$, 意味着所有水平都是稳定状态, 即策略选择不随时间变化而变化;

若 $q \neq \frac{W - \beta W - T - c}{b - c - T - S}$

(1) 若 $\frac{W - \beta W - T - c}{b - c - T - S} > 1$, 则 $\frac{W - \beta W - T - c}{b - c - T - S} > q, L'(p)|_{p=1} > 0, L'(x)|_{p=0} < 0$, 则 $p = 0$ 恒是稳定策略。

(2) 若 $\frac{W - \beta W - T - c}{b - c - T - S} < 0$, 则 $\frac{W - \beta W - T - c}{b - c - T - S} < q, L'(p)|_{p=1} < 0, L'(x)|_{p=0} > 0$, 则 $p = 1$ 恒是稳定策略。

(3) 若 $0 < \frac{W - \beta W - T - c}{b - c - T - S} < 1$

当 $q < \frac{W - \beta W - T - c}{b - c - T - S}$ 时, 可知 $L'(p)|_{p=1} > 0, L'(p)|_{p=0} < 0$, 所以 $p = 0$ 是稳定策略。

当 $q > \frac{W-\beta W-T-c}{b-c-T-S}$ 时,可知 $L'(p)|_{p=1} < 0, L'(x)|_{p=0} > 0$,所以 $p=1$ 是稳定策略。

能源产业的复制动态方程为

$$\dot{q} = \frac{dq}{dt} = M(q) = q(1-q)(O_{21} - O_{22}) = q(1-q)[\pi_1 - \pi_2 + a + (T+S)p]$$

$$M'(q) = (1-2q)[\pi_1 - \pi_2 + a + (T+S)p]$$

令 $M(q) = 0$,得 $q=0, q=1, p = \frac{\pi_2 - \pi_1 - a}{T+S}$

若 $p = \frac{\pi_2 - \pi_1 - a}{T+S}$,则 $M(q) \equiv 0$,意味着所有水平都是稳定状态,即策略选择不随时间变化而变化;

若 $p \neq \frac{\pi_2 - \pi_1 - a}{T+S}$

(1)若 $\frac{\pi_2 - \pi_1 - a}{T+S} < 0$,则 $\frac{\pi_2 - \pi_1 - a}{T+S} < p, M'(q)|_{q=1} < 0, M'(q)|_{q=0} > 0$,则 $q=1$ 恒是稳定策略。

(2)若 $\frac{\pi_2 - \pi_1 - a}{T+S} > 1$,则 $\frac{\pi_2 - \pi_1 - a}{T+S} > p, M'(q)|_{q=1} > 0, M'(q)|_{q=0} < 0$,则 $q=0$ 恒是稳定策略。

(3)若 $0 < \frac{\pi_2 - \pi_1 - a}{T+S} < 1$

当 $p < \frac{\pi_2 - \pi_1 - a}{T+S}$ 时,可知 $M'(q)|_{q=1} > 0, M'(q)|_{q=0} < 0$,所以 $q=0$ 是稳定策略。

当 $p > \frac{\pi_2 - \pi_1 - a}{T+S}$ 时,可知 $M'(q)|_{q=1} < 0, M'(q)|_{q=0} > 0$,所以 $q=1$ 是稳定策略。

由以上分析各博弈主体的演化稳定条件可知,在假设前提下,政府的演化均衡状态随能源产业中新能源的比例 q 的变化而变化,能源产业的演化均衡状态随着政府参与能源结构调整比例 p 的变化而变化。由于 p, q 在演化过程中是变化的,所以无法只通过初始条件的改变使博弈达到稳定状态。传统能源的能源枯竭和环境污染问题使得新能源成为未来的最优社会经济发展模式,而能源结构的改变离不开政府的参与,应发挥政府的引导和干预经济增长的作用,因此,当 $q > \frac{W-\beta W-T-c}{b-c-T-S}$ 时,政府演化进程的结果是参与能源结构调整,鼓励低碳生产,政府参与能源结构调整恒是稳定策略。

3. 系统稳定性分析

令 $L(p) = 0, M(q) = 0$ 可以得到五个局部驻点, $E_1(0, 0), E_2(0, 1), E_3(1, 0), E_4(1, 1), E_5(p_0, q_0)$ (其中 $p_0 = \frac{\pi_2 - \pi_1 - a}{T+S}, q_0 = \frac{W-\beta W-T-c}{b-c-T-S}$)。根据 Friedman(1998) 均衡点的稳定性可由该系统的雅克比矩阵 (J) 的局部稳定性判定方法得到,分别计算矩阵的行列式 ($\det J$) 和矩阵的迹 ($\text{tr} J$),并判断 $\det J$ 和 $\text{tr} J$ 的符号,由符号判断该点的稳定性。如果行列式 ($\det J$) 和矩阵的迹 ($\text{tr} J$) 的符号相同则为不稳定驻点,如果两者符号不同则为稳定驻点,符号不确定则为鞍点。

雅克比矩阵 J 的表达式如下:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial \dot{p}}{\partial p} & \frac{\partial \dot{p}}{\partial q} \\ \frac{\partial \dot{q}}{\partial p} & \frac{\partial \dot{q}}{\partial q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1-2p)[\beta W - W + T + c + (b-c-T-S)q] & p(1-p)(b-c-T-S) \\ q(1-q)(T+S) & (1-2q)[\pi_1 - \pi_2 + a + (T+S)p] \end{bmatrix}$$

依据模型设定部分的假设进行推断,判断雅克比矩阵的行列式和迹。几个主要的判断关系包括: $\pi_2 - \pi_1 - a > 0$,即传统能源行业收益 π_2 大于新能源产业收益 π_1 、间接外部收益之和 a ,否则新能源产业发

展应占优势与现实不符; $\pi_1 + S + a \cong \pi_2 - T$, 新能源产业直接和间接收益加上政府补贴约等于(略大于)传统能源产业的收益减去税收, 略大于的目的在于克服传统能源发展的路径依赖, 政府起到均衡新能源产业和传统能源产业发展的作用, 所以 $T + \pi_1 - \pi_2 + a > 0$; $b - c - T - S > 0$, 碳减排和环境污染问题的压力越大, (政府参与、新能源)获得的正的外部收益越高, 假设获得的正效应大于传统能源的负外部收益和税收补贴之和; 因为 $0 < \frac{W - \beta W - T - c}{b - c - T - S} < 1$, 所以 $W - \beta W - T - c > 0$, $\beta W - W + b - S > 0$; 能源产业的收益和政府的整体社会福利相比总是较小的。基于以上假定和推断, 雅克比矩阵局部均衡分析结果如表 2 所示。

根据以上分析, $E_1(0, 0)$ 即(不参与, 传统能源)和 $E_4(1, 1)$ 即(参与, 新能源)为该博弈系统的均衡点, 其中 $E_4(1, 1)$ 即(参与, 新能源)代表了能源结构调整背景下系统的最优均衡点。政府和能源产业博弈的演化路径图如图 1 所示。

表 2 雅克比矩阵局部均衡分析

平衡点	Det J	符号	Tr J	符号	稳定性
$E_1(0, 0)$	$(\beta W - W + T + c)(\pi_1 - \pi_2 + a)$	+	$\beta W - W + T + c + \pi_1 - \pi_2 + a$	-	ESS
$E_2(0, 1)$	$(\beta W - W + b - S)(-\pi_1 + \pi_2 - a)$	+	$\beta W - W + b - S - \pi_1 + \pi_2 - a$	+	不稳定
$E_3(1, 0)$	$-(\beta W - W + T + c)(\pi_1 - \pi_2 + a + T + S)$	+	$-(\beta W - W + T + c) + (\pi_1 - \pi_2 + a + T + S)$	+	不稳定
$E_4(1, 1)$	$(\beta W - W + b - S)(\pi_1 - \pi_2 + a + T + S)$	+	$-(\beta W - W + b - S) - (\pi_1 - \pi_2 + a + T + S)$	-	ESS
$E_5(p_0, q_0)$	$\frac{\{-(\pi_2 - \pi_1 - a)(\pi_1 - \pi_2 + a + T + S)(\beta W - W + b - S)(W - \beta W - T - c)\}}{[(T + S)(b - c - T - S)}$	+	0	不定	鞍点

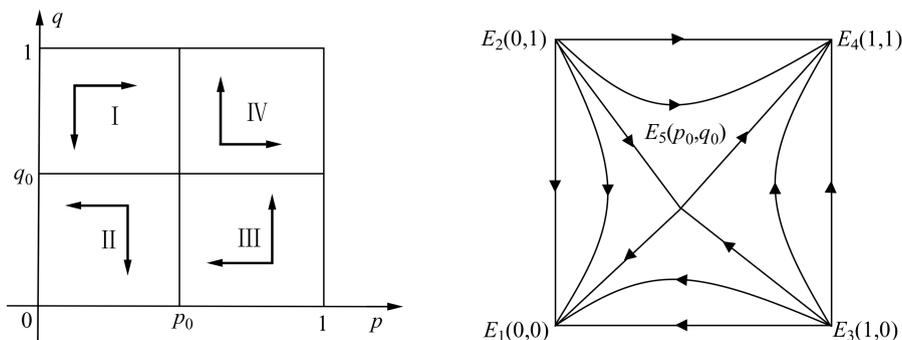


图 1 政府和能源产业的演化路径图

(四) 结果分析

系统相图 1 可以看出, $S_{E_4E_2E_5E_3}$ 面积内的点最终将演化收敛于最优稳态均衡点 $E_4(1, 1)$, 即(参与, 新能源)是政府参与能源结构调整促进能源产业向新能源转型的区域; 而 $S_{E_1E_2E_5E_3}$ 面积内的点最终将演化收敛到稳态均衡点 $E_1(0, 0)$, (不参与, 传统能源)是政府不参与能源结构调整, 能源产业仍以传统能源为主的区域, 虽然是稳态均衡点, 但存在社会福利的帕累托改进空间。两部分的面积之和为 1。

由于演化博弈的均衡是渐进式的, 政府和能源产业会根据上阶段的收益决定下阶段的策略和比例, 因此策略选择处于一个动态调整过程。如果初始的均衡位于 $S_{E_1E_2E_5E_3}$ 区域, 系统未来演化的稳定均衡策略将延续能源产业中传统能源占优势的状态。如果初始的均衡位于 $S_{E_4E_2E_5E_3}$ 区域, 系统的均衡将促使能源产业中新能源的发展。演化系统状态的转换需要政府和能源产业部门共同的努力。

$$S_{E_4E_2E_5E_3} = \frac{1}{2}(1 - p_0 + 1 - q_0) = 1 - \frac{1}{2}(p_0 + q_0)$$

$S_{E_4E_2E_5E_3}$ 面积的大小取决于鞍点 $E_5(p_0, q_0)$ 的位置, $S_{E_4E_2E_5E_3}$ 的面积越大, 系统收敛于 $E_4(1, 1)$ 的可能性越大。通过比较静态分析法检验各参数对于 $S_{E_4E_2E_5E_3}$ 面积大小的影响, 假设任一参数为 ε , $S_{E_4E_2E_5E_3}$ 区

域面积对参数的变化率为:

$$\frac{\partial S_{E_4E_2E_5E_3}}{\partial \varepsilon} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial p_0}{\partial \varepsilon} + \frac{\partial q_0}{\partial \varepsilon} \right) \quad \text{由前可知, } p_0 = \frac{\pi_2 - \pi_1 - a}{T + S}, q_0 = \frac{W - \beta W - T - c}{b - c - T - S}$$

1. 政府

政府对博弈均衡的影响主要体现在参数 W、β、S、T 和 b 上。

结论 1: 整体社会福利越高,越不利于博弈向均衡(政府参与,新能源)的演化发展。

$$\text{证明: } \because \frac{\partial p_0}{\partial W} = 0, \frac{\partial q_0}{\partial W} = \frac{1 - \beta}{b - c - T - S} \geq 0, \therefore \frac{\partial S_{E_4E_2E_5E_3}}{\partial W} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial p_0}{\partial W} + \frac{\partial q_0}{\partial W} \right) \leq 0, \text{得证。}$$

结论 2: 政府因为参与能源结构调整对社会福利的影响系数越高,有利于博弈向均衡(政府参与,新能源)的演化发展。

$$\text{证明: } \because \frac{\partial p_0}{\partial \beta} = 0, \frac{\partial q_0}{\partial \beta} = \frac{-W}{b - c - T - S} < 0, \therefore \frac{\partial S_{E_4E_2E_5E_3}}{\partial \beta} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial p_0}{\partial \beta} + \frac{\partial q_0}{\partial \beta} \right) > 0, \text{得证。}$$

结论 3: 政府税收增加,有利于对博弈均衡(政府参与,新能源)的演化发展。

$$\text{证明: } \because \frac{\partial p_0}{\partial T} = -\frac{\pi_2 - \pi_1 - a}{(T + S)^2} < 0, \frac{\partial q_0}{\partial T} = \frac{\beta W - W + b - S}{(b - c - T - S)^2} < 0, \therefore \frac{\partial S_{E_4E_2E_5E_3}}{\partial T} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial p_0}{\partial T} + \frac{\partial q_0}{\partial T} \right) > 0, \text{得证。}$$

结论 4: 政府补贴增加,对博弈向均衡(政府参与,新能源)的演化存在不确定性。

$$\text{证明: } \because \frac{\partial p_0}{\partial S} = -\frac{\pi_2 - \pi_1 - a}{(T + S)^2} < 0, \frac{\partial q_0}{\partial S} = \frac{W - \beta W - T - c}{(b - c - T - S)^2} > 0, \therefore \frac{\partial S_{E_4E_2E_5E_3}}{\partial S} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial p_0}{\partial S} + \frac{\partial q_0}{\partial S} \right) \text{ 不能确定正负关系,}$$

得证。

结论 5: (政府参与,新能源)对政府正效应越高,有利于对博弈均衡(政府参与,新能源)的演化发展。

$$\text{证明: } \because \frac{\partial p_0}{\partial b} = 0, \frac{\partial q_0}{\partial b} = -\frac{W - \beta W - T - c}{(b - c - T - S)^2} < 0, \therefore \frac{\partial S_{E_4E_2E_5E_3}}{\partial b} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial p_0}{\partial b} + \frac{\partial q_0}{\partial b} \right) > 0, \text{得证。}$$

2. 能源产业

能源产业对博弈均衡的影响主要体现在 π_2 、 π_1 、a 和 $\pi_2 - \pi_1 - a$ 上。

结论 6: 传统能源产业的盈利水平越高,不利于均衡向(政府参与,新能源)的演化发展。

$$\text{证明: } \because \frac{\partial p_0}{\partial \pi_2} = \frac{1}{T + S} > 0, \frac{\partial q_0}{\partial \pi_2} = 0, \therefore \frac{\partial S_{E_4E_2E_5E_3}}{\partial \pi_2} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial p_0}{\partial \pi_2} + \frac{\partial q_0}{\partial \pi_2} \right) < 0, \text{得证。}$$

结论 7: 新能源产业盈利水平和正效应的增加,有利于均衡向(政府参与,新能源)的演化发展。

$$\text{证明: } \because \frac{\partial p_0}{\partial \pi_1} = \frac{-1}{T + S} < 0, \frac{\partial q_0}{\partial \pi_1} = 0, \therefore \frac{\partial S_{E_4E_2E_5E_3}}{\partial \pi_1} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial p_0}{\partial \pi_1} + \frac{\partial q_0}{\partial \pi_1} \right) > 0, \text{得证。}$$

$$\text{同理 } \frac{\partial S_{E_4E_2E_5E_3}}{\partial a} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial p_0}{\partial a} + \frac{\partial q_0}{\partial a} \right) > 0$$

结论 8: 传统能源产业和新能源产业盈利水平的差距增大,不利于均衡向(政府参与,新能源)的演化发展。

$$\text{证明: } \because \frac{\partial p_0}{\partial (\pi_2 - \pi_1 - a)} = \frac{1}{T + S} > 0, \frac{\partial q_0}{\partial (\pi_2 - \pi_1 - a)} = 0, \therefore \frac{\partial S_{E_4E_2E_5E_3}}{\partial (\pi_2 - \pi_1 - a)} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial p_0}{\partial (\pi_2 - \pi_1 - a)} + \frac{\partial q_0}{\partial (\pi_2 - \pi_1 - a)} \right)$$

< 0,得证。

四、政府参与下的新能源产业和传统能源产业的演化博弈分析

(一) 模型基本假设

假设 1 博弈双方是传统能源产业和新能源产业,是有限理性且均是有限信息,产品以发电量衡量,可以认为两种能源产业的产品是同质的,价格可以由两种能源产业决定,成本为每单位发电量金额。

假设2 博弈双方均有两种策略选择,合作或竞争。博弈双方可通过价格战的形式展开竞争或合作。其他假设与前一模型一致。

(二) 损益变量选取与设定

传统能源产业独立发展时收益为 π_1 ; 新能源产业独立发展时收益为 π_2 , 有一定的正效应 a 。传统能源和新能源的策略为(合作, 合作)时, 传统能源增加收益 $\Delta\pi_1$, 新能源增加收益为 $\Delta\pi_2$; 策略为(合作, 竞争)时, 传统能源减少收益 M_1 , 新能源减少 M_2 ; 策略为(竞争, 合作)时, 传统能源减少收益 N_1 , 新能源减少 N_2 ; 策略为(竞争, 竞争)时, 传统能源减少收益 C_1 , 新能源减少 C_2 。传统能源产业选择合作策略时的政府税收为 T_1 , 选择竞争策略时的政府税收为 T_2 ; 新能源产业选择合作策略时政府补贴为 S_1 , 选择竞争策略时政府补贴为 S_2 。

传统能源选择合作策略的比例为 x , 选择竞争策略的比例为 $(1-x)$; 新能源选择合作策略的比例为 y , 竞争策略的比例为 $(1-y)$ 。新能源与传统能源演化博弈收益矩阵如表1所示。

表3 新能源和传统能源的演化博弈收益矩阵

博弈参与者		新能源产业 ($k=2$)	
		合作 y	竞争 ($1-y$)
传统能源产业 ($k=1$)	合作 x	$\pi_1 + \Delta\pi_1 - T_1, \pi_2 + \Delta\pi_2 + S_1 + a$	$\pi_1 - M_1 - T_1, \pi_2 - M_2 + S_2 + a$
	竞争 ($1-x$)	$\pi_1 - N_1 - T_2, \pi_2 - N_2 + S_1 + a$	$\pi_1 - C_1 - T_2, \pi_2 - C_2 + S_2 + a$

(三) 新能源企业、传统能源企业的演化博弈分析

1. 期望收益函数

基于演化博弈收益矩阵

(1) 传统能源企业选择合作时的期望收益为: $U_{11} = y(\pi_1 + \Delta\pi_1 - T_1) + (1-y)(\pi_1 - M_1 - T_1)$

传统能源企业选择竞争时的期望收益为: $U_{12} = y(\pi_1 - N_1 - T_2) + (1-y)(\pi_1 - C_1 - T_2)$

传统能源企业的平均收益为: $\bar{U}_1 = x U_{11} + (1-x) U_{12}$

(2) 新能源企业选择合作时的期望收益为: $U_{21} = x(\pi_2 + \Delta\pi_2 + S_1 + a) + (1-x)(\pi_2 - N_2 + S_1 + a)$

新能源企业选择竞争时的期望收益为: $U_{22} = x(\pi_2 - M_2 + S_2 + a) + (1-x)(\pi_2 - C_2 + S_2 + a)$

新能源企业的平均收益为: $\bar{U}_2 = x U_{21} + (1-x) U_{22}$

2. 基于复制动态方程的演化博弈稳定策略分析

传统能源的复制动态方程为:

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = G(x) = x(1-x)(U_{11} - U_{12}) = x(1-x)[C_1 - M_1 + T_2 - T_1 + y(\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1)]$$

$$G'(x) = (1-2x)[C_1 - M_1 + T_2 - T_1 + y(\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1)]$$

$$\text{令 } G(x) = 0, \text{ 得 } x=0, x=1, y = \frac{M_1 - C_1 + T_1 - T_2}{\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1}$$

若 $y = \frac{M_1 - C_1 + T_1 - T_2}{\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1}$, 则 $G(x) \equiv 0$, 意味着所有水平都是稳定状态, 即策略选择不随时间变化而变化;

$$\text{若 } y \neq \frac{M_1 - C_1 + T_1 - T_2}{\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1}$$

(1) 若 $\frac{M_1 - C_1 + T_1 - T_2}{\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1} < 0$, 则 $\frac{M_1 - C_1 + T_1 - T_2}{\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1} < y$, $G'(x)|_{x=1} < 0$, $G'(x)|_{x=0} > 0$ 则 $x=1$ 恒是稳定策略。

(2) 若 $\frac{M_1 - C_1 + T_1 - T_2}{\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1} > 1$, 则 $\frac{M_1 - C_1 + T_1 - T_2}{\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1} > y$, $G'(x)|_{x=1} > 0$, $G'(x)|_{x=0} < 0$, 则 $x=0$ 恒是稳定策略。

(3) 若 $0 < \frac{M_1 - C_1 + T_1 - T_2}{\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1} < 1$

当 $y < \frac{M_1 - C_1 + T_1 - T_2}{\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1}$ 时,可知 $G'(x)|_{x=1} > 0, G'(x)|_{x=0} < 0$,所以 $x=0$ 是稳定策略。

当 $y > \frac{M_1 - C_1 + T_1 - T_2}{\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1}$ 时,可知 $G'(x)|_{x=1} < 0, G'(x)|_{x=0} > 0$,所以 $x=1$ 是稳定策略。

新能源的复制动态方程为:

$$\dot{y} = \frac{dy}{dt} = K(y) = y(1-y)(U_{21} - U_{22}) = y(1-y)[C_2 - N_2 + S_2 - S_1 + x(\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2)]$$

$$K'(y) = (1-2y)[C_2 - N_2 + S_2 - S_1 + x(\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2)]$$

$$\text{令 } K(y) = 0, \text{得 } y = 0, y = 1, x = \frac{N_2 - C_2 + S_1 - S_2}{\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2}$$

若 $x = \frac{N_2 - C_2 + S_1 - S_2}{\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2}$,则 $K(y) \equiv 0$,意味着所有水平都是稳定状态,即策略选择不随时间变化而变化;

$$\text{若 } x \neq \frac{N_2 - C_2 + S_1 - S_2}{\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2}$$

(1)若 $\frac{N_2 - C_2 + S_1 - S_2}{\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2} < 0$,则 $\frac{N_2 - C_2 + S_1 - S_2}{\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2} < x, K'(y)|_{y=1} < 0, K'(y)|_{y=0} > 0$,则 $y=1$ 恒是稳定策略。

(2)若 $\frac{N_2 - C_2 + S_1 - S_2}{\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2} > 1$,则 $\frac{N_2 - C_2 + S_1 - S_2}{\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2} > x, K'(y)|_{y=1} > 0, K'(y)|_{y=0} < 0$,则 $y=0$ 恒是稳定策略

(3)若 $0 < \frac{N_2 - C_2 + S_1 - S_2}{\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2} < 1$

当 $x < \frac{N_2 - C_2 + S_1 - S_2}{\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2}$ 时,可知 $K'(y)|_{y=1} > 0, K'(y)|_{y=0} < 0$,所以 $y=0$ 是稳定策略。

当 $x > \frac{N_2 - C_2 + S_1 - S_2}{\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2}$ 时,可知 $K'(y)|_{y=1} < 0, K'(y)|_{y=0} > 0$,所以 $y=1$ 是稳定策略。

3. 系统稳定性分析

令 $G(x) = 0, K(y) = 0$ 可以得到五个局部驻点, $F_1(0,0), F_2(0,1), F_3(1,0), F_4(1,1),$

$F_5(x_0, y_0)$ (其中 $x_0 = \frac{N_2 - C_2 + S_1 - S_2}{\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2}, y_0 = \frac{M_1 - C_1 + T_1 - T_2}{\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1}$) 分别计算矩阵的行列式($\det J$)和矩阵的

迹($\text{tr } J$),并判断 $\det J$ 和 $\text{tr } J$ 的符号,由符号判断该点的稳定性。

雅克比矩阵进行分析:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial x} & \frac{\partial x}{\partial y} \\ \frac{\partial y}{\partial x} & \frac{\partial y}{\partial y} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} (1-2x)[C_1 - M_1 + T_2 - T_1 + y(\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1)] & x(1-x)(\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1) \\ y(1-y)(\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2) & (1-2y)[C_2 - N_2 + S_2 - S_1 + x(\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2)] \end{bmatrix}$$

依据模型设定部分的假设进行推断雅克比矩阵的行列式和迹。几个主要的判断关系包括:由于信息不完全,政府以能源产业的盈利作为征税和补贴的基准,由于传统能源选择“合作”比选择“竞争”时盈利能力大,所以 $T_1 > T_2$; 新能源的盈利大意味着政府的补贴越有效果,政府愿意增加补贴,因为新能源选择“合作”比选择“竞争”时盈利能力大,所以 $S_1 > S_2$; 当新能源产业选择“合作”、传统能源产业选择“竞争”时,新能源产业的损失应大于新能源产业选择“竞争”、传统能源产业选择“竞争”时新能源产业的损失,所以 $N_2 > C_2$,同理 $M_2 < C_2, M_1 > C_1, N_1 < C_1$; (合作,合作)时传统能源产业和新能源产业的收益最

大, $\pi_1 + \Delta\pi_1 - T_1 > \pi_1 - N_1 - T_2$ 、 $\pi_2 + \Delta\pi_2 + S_1 + a > \pi_2 - M_2 + S_2 + a$, 所以 $\Delta\pi_1 + N_1 + T_2 - T_1 > 0$ 、 $\Delta\pi_2 + S_1 + M_2 - S_2 > 0$ 。雅克比矩阵局部均衡分析结果如表 4 所示。

表 4 雅克比矩阵局部均衡分析

平衡点	DetJ	符号	TrJ	符号	稳定性
$F_1(0,0)$	$(C_1 - M_1 + T_2 - T_1)(C_2 - N_2 + S_2 - S_1)$	+	$C_1 - M_1 + T_2 - T_1 + C_2 - N_2 + S_2 - S_1$	-	ESS
$F_2(0,1)$	$-(T_2 - T_1 + \Delta\pi_1 + N_1)(C_2 - N_2 + S_2 - S_1)$	+	$T_2 - T_1 + \Delta\pi_1 + N_1 - (C_2 - N_2 + S_2 - S_1)$	+	不稳定
$F_3(1,0)$	$-(C_1 - M_1 + T_2 - T_1)(\Delta\pi_2 + M_2 + S_2 - S_1)$	+	$-(C_1 - M_1 + T_2 - T_1) + (\Delta\pi_2 + M_2 + S_2 - S_1)$	+	不稳定
$F_4(1,1)$	$(T_2 - T_1 + \Delta\pi_1 + N_1)(\Delta\pi_2 + M_2 + S_2 - S_1)$	+	$-(T_2 - T_1 + \Delta\pi_1 + N_1) - (\Delta\pi_2 + M_2 + S_2 - S_1)$	-	ESS
$F_5(x_0, y_0)$	$-(C_2 - N_2 + S_2 - S_1)(\Delta\pi_2 + M_2 + S_2 - S_1)$ $(C_1 - M_1 + T_2 - T_1)(T_2 - T_1 + \Delta\pi_1 + N_1) /$ $[(\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2)(\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1)]$	-	0	不定	鞍点

根据以上分析, $F_1(0,0)$ 即(竞争, 竞争)和 $F_4(1,1)$ 即(合作, 合作)为该博弈系统的均衡点。其中 $F_4(1,1)$ 即(合作, 合作)传统能源和新能源的收益最大, 代表了系统的最优均衡点。

(四) 结果分析

系统相图 2 可以看出, $S_{F_4F_2F_5F_3}$ 面积内的点最终将演化收敛于最优稳态均衡点 $F_4(1,1)$, 即(合作, 合作)是政府参与能源结构调整下新能源产业和传统能源产业合作共赢发展的区域; 而 $S_{F_1F_2F_5F_3}$ 面积内的点最终将演化收敛到稳态均衡点 $F_1(0,0)$, (竞争, 竞争)是新能源产业和传统能源产业相互竞争的区域, 虽然是稳态均衡点, 但存在社会福利的帕累托改进空间。两部分的面积之和为 1。

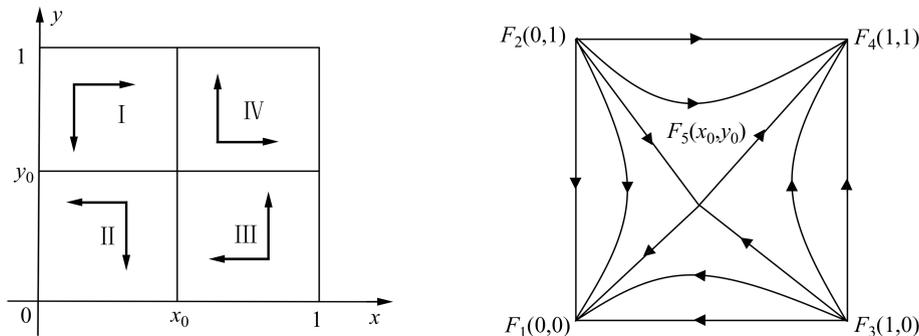


图 2 新能源产业和传统能源产业的演化路径图

新能源产业和传统能源产业会根据上阶段的收益决定下阶段的策略和比例。如果初始的均衡位于 $S_{F_1F_2F_5F_3}$ 区域, 系统未来演化的稳定均衡策略将延续竞争的状态。如果初始的均衡位于 $S_{F_4F_2F_5F_3}$ 区域, 系统的均衡将向合作共赢转换。演化系统状态的转换需要政府、新能源产业和传统能源产业共同的努力。

$$S_{F_4F_2F_5F_3} = \frac{1}{2}(1 - x_0 + 1 - y_0) = 1 - \frac{1}{2}(x_0 + y_0)$$

$S_{F_4F_2F_5F_3}$ 面积的大小取决于鞍点 $F_5(x_0, y_0)$ 的位置, $S_{F_4F_2F_5F_3}$ 的面积越大, 系统收敛于 $F_4(1,1)$ 的可能性越大。通过比较静态分析法检验各参数对于 $S_{F_4F_2F_5F_3}$ 面积大小的影响, 假设任意参数为 θ , $S_{F_4F_2F_5F_3}$ 区域面积对参数的变化率为:

$$\frac{\partial S_{F_4F_2F_5F_3}}{\partial \theta} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial x_0}{\partial \theta} + \frac{\partial y_0}{\partial \theta} \right) \text{ 由前可知, } x_0 = \frac{N_2 - C_2 + S_1 - S_2}{\Delta\pi_2 + N_2 + M_2 - C_2}, y_0 = \frac{M_1 - C_1 + T_1 - T_2}{\Delta\pi_1 + N_1 + M_1 - C_1},$$

1. 政府

政府对能源产业和新能源产业博弈均衡的影响主要体现在参数 $S_1 - S_2$ 和 $T_1 - T_2$ 上。

结论 1 新能源产业合作策略和竞争策略的补贴差别越大, 不利于均衡向(合作, 合作)的演化发展。

证明: $\because \frac{\partial x_0}{\partial(S_1-S_2)} = \frac{1}{\Delta\pi_2+N_2+M_2-C_2} > 0, \frac{\partial y_0}{\partial(S_1-S_2)} = 0, \therefore \frac{\partial S_{F_4F_2F_5F_3}}{\partial(S_1-S_2)} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial x_0}{\partial(S_1-S_2)} + \frac{\partial y_0}{\partial(S_1-S_2)} \right) < 0,$
得证。

结论 2 政府对传统能源产业合作策略和竞争策略的税收差别越大,不利于均衡向(合作,合作)的演化发展。

证明: $\because \frac{\partial x_0}{\partial(T_1-T_2)} = 0, \frac{\partial y_0}{\partial(T_1-T_2)} = \frac{1}{\Delta\pi_1+N_1+M_1-C_1} > 0, \therefore \frac{\partial S_{F_4F_2F_5F_3}}{\partial(T_1-T_2)} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial x_0}{\partial(T_1-T_2)} + \frac{\partial y_0}{\partial(T_1-T_2)} \right) < 0,$ 得证。

2. 传统能源产业

传统能源产业对博弈均衡的影响主要体现在 $\Delta\pi_1$ 、 N_1 和 M_1-C_1 上

结论 3 新能源产业选择合作时,传统能源产业获益越多,有利于均衡向(合作,合作)的演化发展。

证明: $\because \frac{\partial x_0}{\partial\Delta\pi_1} = 0, \frac{\partial y_0}{\partial\Delta\pi_1} = -\frac{M_1-C_1+T_1-T_2}{(\Delta\pi_1+N_1+M_1-C_1)^2} < 0, \therefore \frac{\partial S_{F_4F_2F_5F_3}}{\partial\Delta\pi_1} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial x_0}{\partial\Delta\pi_1} + \frac{\partial y_0}{\partial\Delta\pi_1} \right) > 0,$ 得证。

同理 $\frac{\partial S_{E_4E_2E_5E_3}}{\partial N_1} - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial x_0}{\partial N_1} + \frac{\partial y_0}{\partial N_1} \right) > 0$

结论 4 新能源产业选择竞争时,传统能源产业选择合作的损失与选择竞争的损失相差越大,不利于均衡向(合作,合作)的演化发展。

证明: $\because \frac{\partial x_0}{\partial(M_1-C_1)} = 0, \frac{\partial y_0}{\partial(M_1-C_1)} = -\frac{T_1-T_2-\Delta\pi_1-N_1}{(\Delta\pi_1+N_1+M_1-C_1)^2} > 0, \therefore \frac{\partial S_{F_4F_2F_5F_3}}{\partial(M_1-C_1)} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial x_0}{\partial(M_1-C_1)} + \frac{\partial y_0}{\partial(M_1-C_1)} \right) < 0,$ 得证。

3. 新能源产业

新能源产业对博弈均衡的影响主要体现在 $\Delta\pi_2$ 、 M_2 和 N_2-C_2 上

结论 5 传统能源产业选择合作时,新能源产业获益越多,有利于均衡向(合作,合作)的演化发展。

证明: $\because \frac{\partial x_0}{\partial\Delta\pi_2} = -\frac{1}{(\Delta\pi_2+N_2+M_2-C_2)^2} < 0, \frac{\partial y_0}{\partial\Delta\pi_2} = 0, \therefore \frac{\partial S_{F_4F_2F_5F_3}}{\partial\Delta\pi_2} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial x_0}{\partial\Delta\pi_2} + \frac{\partial y_0}{\partial\Delta\pi_2} \right) > 0,$ 得证。

同理 $\frac{\partial S_{E_4E_2E_5E_3}}{\partial M_2} - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial x_0}{\partial M_2} + \frac{\partial y_0}{\partial M_2} \right) > 0$

结论 6 传统能源产业选择竞争时,新能源产业选择合作的损失与选择竞争的损失相差越大,不利于均衡向(合作,合作)的演化发展。

证明: $\because \frac{\partial x_0}{\partial(N_2-C_2)} = -\frac{S_1-S_2-\Delta\pi_2-M_2}{(\Delta\pi_2+N_2+M_2-C_2)^2} > 0, \frac{\partial y_0}{\partial(N_2-C_2)} = 0, \therefore \frac{\partial S_{F_4F_2F_5F_3}}{\partial(N_2-C_2)} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial x_0}{\partial(N_2-C_2)} + \frac{\partial y_0}{\partial(N_2-C_2)} \right) < 0,$ 得证。

五、结论与建议

笔者基于演化博弈理论,其一分析了政府是否应参与能源结构调整和能源产业未来的发展方向,其二对能源产业中传统能源产业和新能源产业的合作竞争关系进行了分析,并探讨了演化均衡策略的影响因素。研究表明,政府参与能源结构调整和发展新能源产业是最优均衡策略,社会福利的高低、能源结构调整对社会福利的影响系数、政府发展新能源的正效应、政府税收和补贴、传统能源和新能源产业的盈利水平都是影响演化均衡的重要影响因素,其中政府补贴对演化均衡的影响存在不确定性;在政府参与下新能源产业和传统能源产业均选择合作策略是最优均衡策略,政府的税收和补贴、合作竞争

的不同策略所导致的盈利和损失影响着演化均衡。基于演化分析笔者提出以下建议:

第一,政府在提高整体社会福利同时应大力推进新能源产业发展。本研究表明整体社会福利越高越不利于博弈均衡向政府参与新能源演化,社会福利越高对以往社会发展的路径依赖性越强。政府作为社会经济中不可或缺的参与主体,应积极发挥政府的引导和干预经济增长的作用,打破旧有的发展路径,引导社会福利往新的均衡发展。

第二,合理运用补贴税收等财政手段促进新能源产业的发展。政府对积极推进新能源进行合理的补贴鼓励其发展,对传统能源采用收取碳税或环境税等限制其发展。研究显示政府补贴对博弈最优均衡的演化形成存在不确定性,因此应使补贴水平在适度的范围内。合理的政府补贴有助于新能源的发展。

第三,充分发挥政府的干预引导作用,推动新能源产业和传统能源产业合作发展模式的形成。合作竞争不同策略组合所导致的盈利和损失是影响新能源产业和传统能源产业博弈均衡的重要因素,政府差别化的税收和补贴政策也影响均衡的演化发展。因此,当市场自发的均衡不能形成最优均衡时,应发挥政府“有形的手”的引导和推动作用,这样不仅可以使新能源产业和传统能源产业各自获得最优的收益,社会的福利也会增加。

第四,鼓励企业的科技创新,提高新能源产业的盈利水平。研究结果显示新能源和传统能源的盈利水平的高低也是影响博弈均衡的重要因素。当前传统能源产业的盈利水平高于新能源产业,政府补贴可以平衡传统能源产业和新能源产业的盈利水平,短期内支撑新能源的发展,但是长期而言,新能源产业的技术进步和盈利水平的增加才是影响新能源产业发展的决定性因素,因此,当新能源产业的综合盈利能力超过传统能源产业时,演化的最优均衡将自然而然达成。

参考文献:

- [1] L. J. Hill, S. W. Hadley. Federal Tax Effects on the Financial Attractiveness of Renewable Versus Conventional Power Plants. *Energy Policy*, 1995, 23(7).
- [2] W. Wissema, R. Dellink. AGE Analysis of the Impact of a Carbon Energy Tax on the Irish Economy. *Ecological Economics*, 2007, 61(4).
- [3] F. N. G. Andersson & P. Karpestam. CO₂ Emissions and Economic Activity: Short-and Long-run Economic Determinants of Scale, Energy Intensity and Carbon Intensity. *Energy Policy*, 2013, 61.
- [4] A. M. Pereira, R. M. Pereira, P. G. Rodrigues. A New Carbon Tax in Portugal: A Missed Opportunity to Achieve the Triple Dividend? *Energy Policy*, 2016, 93.
- [5] J. Carl, D. Fedor. Tracking Global Carbon Revenues: A Survey of Carbon Taxes Versus Cap-and-trade in the Real World. *Energy Policy*, 2016, 96.
- [6] Ling Tang, J. Shi, L. Yu. Economic and Environmental Influences of Coal Resource Tax in China: A Dynamic Computable General Equilibrium Approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 2017, 117.
- [7] 罗能生, 张希, 肖丽丽. 资源税改革对我国矿产资源产业发展的长期影响研究. *经济地理*, 2013, (12).
- [8] 徐晓亮, 程倩, 车莹等. 煤炭资源税改革对行业发展和节能减排的影响. *中国人口·资源与环境*, 2015, (8).
- [9] 何凌云, 杨雪杰, 严芳等. 能源价格及资源税杠杆的减排效应比较研究. *资源科学*, 2016, (7).
- [10] G. A. Davis, B. Owens. Optimizing the Level of Renewable Electric R&D Expenditures Using Real Options Analysis. *Energy Policy*, 2003, 31(15).
- [11] N. Sawangphol, C. Pharino. Status and Outlook for Thailand's Low Carbon Electricity Development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15(1).
- [12] A. Bhide, C. R. Monroy. Energy Poverty: A Special Focus on Energy Poverty in India and Renewable Energy Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15(2).
- [13] M. Nicolini, M. Tavoni. Are Renewable Energy Subsidies Effective? Evidence from Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 74.

- [14] M. M. Zhang, D. Q. Zhou, P. Zhou. Optimal Design of Subsidy to Stimulate Renewable Energy Investments: The Case of China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 71.
- [15] 姚昕, 蒋竺均, 刘江华. 改革化石能源补贴可以支持清洁能源发展. *金融研究*, 2011, (3).
- [16] 李庆. 新能源消费补贴的微观分析. *财贸经济*, 2012, (12).
- [17] 孙鹏, 张力. 新能源产业价格补贴该由谁来买单. *财经论丛*, 2014, (2).
- [18] 周亚虹, 蒲余路, 陈诗一等. 政府扶持与新型产业发展——以新能源为例. *经济研究*, 2015, (6).
- [19] 戚聿东, 姜莱. 中国新能源产业政府补贴优化方向研究. *财经问题研究*, 2016, (11).
- [20] 刘亦红. 新能源产业发展中政府与企业的博弈均衡. *求索*, 2013, (9).
- [21] 张卫国, 郑月龙, 汪小钊. 政府在新能源投资系统中的角色——基于演化博弈的分析. *科技管理研究*, 2015, (23).

Evolutionary Game Analysis of Government, New Energy Industry and Traditional Energy Industry in Energy Structure Adjustment

Zhao Xin & Zhu Lianlei & Ding Lili (Ocean University of China)

Abstract: This paper studies the government's decision-making in the process of energy structure adjustment. Firstly, two evolutionary game models are presented among the government, energy industry, new energy industry and traditional energy industry in order to answer the question whether the government should participate in the energy structure adjustment. Secondly, the cooperative and competitive relation between the new energy industry and the traditional energy industry is analyzed. The results show that government's participation in energy structure adjustment and the development of new energy industry are the optimal equilibrium strategies. The level of social welfare, the coefficient of the adjustment of energy structure to social welfare, the government positive effect, government tax and subsidy, traditional energy and new energy industry profitability are the important factors to equilibrium. However, the impact of government subsidies on the evolution equilibrium is uncertainty. When the government involves, the new energy industry and the traditional energy industry choose the cooperation strategy. The taxes and subsidies, the profit and loss caused by different cooperative strategies play an important role on the evolutionary equilibrium.

Key words: energy structure adjustment; energy industry; new energy; traditional energy

■ 收稿日期: 2017-05-19

■ 作者简介: 赵昕, 中国海洋大学经济学院教授, 山东 青岛 266100。

朱连磊, 中国海洋大学经济学院博士生。

丁黎黎, 中国海洋大学经济学院博士生。

■ 责任编辑: 刘金波