

文章编号: 1000-5862(2017)01-0028-07

# 供应链中绿色技术创新合作的演化博弈分析

周永圣 梁淑慧

(北京工商大学商学院, 北京 100048)

**摘要:** 基于演化博弈理论研究供应链系统中制造商与供应商进行绿色技术创新合作的不同策略选择. 研究表明: 企业采取绿色技术创新合作与双方进行绿色技术创新合作的投入产出比密切相关, 当投入产出比在一定范围浮动时, 制造商与供应商便会出现多种演化稳定均衡策略. 引入政府的惩罚机制进行调控, 对于投机取巧、搭便车的企业进行惩罚, 迫使他们实施绿色技术创新合作.

**关键词:** 绿色技术创新; 搭便车; 演化博弈

**中图分类号:** F 272.3 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2017.01.05

## 0 引言

随着我国环境污染严重、全球变暖、雾霾天气以及生态系统失衡等问题频发, 面对目前环境的压力, 政府必须加快整治环境, 企业也要在长期发展中考虑环境因素. 虽然政府已经制定了部分关于环境问题的法规, 但是监督和执行的力度不足, 仍然有很多国内企业只追求利益至上, 不考虑绿色供应链的管理. 其原因是多方面的, 从企业的角度来说, 企业研发的投入不足以及自身的研发实力、技术设备等都制约了企业绿色供应链的实施. 从国家发展现状来说, 随着全球经济一体化及我国经济政治体制改革进一步深化, 企业间的竞争更多地体现在管理和技术方面. 但是随着社会的进步, 技术创新压力越来越大, 不仅开发成本高, 复杂性也更强, 而且由于产品生命周期的缩短, 企业需要面对更大的新产品开发风险, 因此单个企业很难独立完成技术创新. 许多企业开始倾向于选择合作伙伴共担风险以实现共同利益最大化, 尤其是当企业双方同处于一个供应链上下游时更是如此. 但是另一方面, 企业间的创新合作的持续性又比较差, 尤其是在面对企业间的利益纠纷时<sup>[1]</sup>.

## 1 文献综述

随着世界多数国家和地区人民开始注重环境保护, 绿色供应链的发展逐渐成熟起来, 学术界开始广

泛关注绿色技术的发展, 绿色技术最早是由布朗和怀尔德提出的, 之后对“绿色技术”等方面的研究层出不穷.

国内外许多学者主要从以下方面研究了绿色技术创新: 罗良文等<sup>[2]</sup>建立企业绿色技术创新过程中的2个阶段, 分析不同阶段的中国企业在不同地区的效率的绿色技术创新. 曹霞等<sup>[3]</sup>基于演化博弈的方法分析了政府、企业以及消费者3方对于绿色技术创新行为及扩散的影响. 李国祥等<sup>[4]</sup>通过对中国30个省份连续8年的数据分析, 研究表明在环境规制背景下对绿色技术创新的提高与对外直接投资有密切关系. T. Requate等<sup>[5]</sup>认为税收激励对企业采用绿色技术有更大的作用; 王建明等<sup>[6]</sup>研究分析得出绿色消费和绿色技术创新很难达到理想的均衡状态. 李婉红等<sup>[7]</sup>以纸制品企业为例, 运用SEM研究方法, 结果表明市场化型规制工具和相互沟通型规制工具对企业绿色技术的创新有显著的正向影响. De M. Valentina<sup>[8]</sup>研究发现在新产品开发过程中更容易产生生态创新的倾向. 罗建锋<sup>[9]</sup>基于演化博弈的理论和方法, 针对如何相互合作、如何解决企业的合作问题, 建立了默认机制模型; Yue Jinfeng等<sup>[10]</sup>应用演化博弈论的方法, 研究了制造商和供应商在广告补贴比率、收益分配和价格折扣等方面的决策. R. Y. K. Chan等<sup>[11]</sup>认为外部和内部的绿色导向能够促进企业与顾客、企业与供应商的绿色合作创新. J. Horbach等<sup>[12]</sup>认为低成本的能源需求和潜在的绿色市场是促进企业选择绿色技术创新的重要因素; 朱建峰等<sup>[13]</sup>分析了3种不同的政府奖惩措施对企

收稿日期: 2016-11-06

基金项目: 北京市社会科学基金(15JGB093)资助项目.

作者简介: 周永圣(1978-), 男, 江苏如东人, 副教授, 博士, 主要从事物流与供应链管理的研究. E-mail: zhoubtbu@126.com

业绿色技术创新以及经济和环境绩效的作用. 通过对我国电子制造企业数据的分析, S. K. S. Wong<sup>[14]</sup>研究了绿色技术的创新以及绿色产品创新与企业利润的关系. 李怡娜等<sup>[15]</sup>则通过对中国长三角的一部分制造企业的数据分析, 认为绿色创新会促进绿色绩效.

综上所述, 以上文献从不同方面对绿色技术创新进行了分析, 但大部分只是对单个企业在环境政策以及消费者需求下的绿色技术创新, 对于企业之间共同合作进行绿色技术创新的研究以及对系统均衡动态刻画比较少. 本文将从供应链系统的角度出发, 建立制造商和供应商组成的供应链博弈模型, 分析双方在进行绿色技术创新合作过程中的策略选择, 并在最后引入了政府的惩罚机制, 使供应链双方进行绿色技术创新合作的信心更加坚定, 加快绿色供应链体系的建立与完善.

## 2 演化博弈模型构建

### 2.1 模型假设

1) 若制造商与供应商都不选择绿色技术创新

合作策略, 则双方的正常收益分别为  $R_1$  和  $R_2$  ( $R_1, R_2 > 0$ );

2) 若制造商和供应商选择绿色技术创新合作, 则它们不仅会获得合作创新的正常回报和投入产出比的增加, 还会获得因 2 者进行绿色技术创新合作所获得的合作收益  $\Delta R$ , 制造商获得的合作收益为  $\Delta R_1$ , 供应商获得合作收益为  $\Delta R_2$ ;

3) 制造商绿色技术创新投入的成本为  $C_1$ , 投入产出比为  $\alpha$ , 供应商进行绿色技术创新的成本为  $C_2$  ( $C_1, C_2 > 0$ ), 投入产出比为  $\beta$ ;

4) 若供应商和制造商都有选择搭便车的可能性, 则选择搭便车的企业可以获得一定的额外收益  $e$  (制造商搭便车行为获得的额外收益是  $e_1$ , 供应商搭便车行为获得的额外收益是  $e_2$ ), 但同时也要遭受违约惩罚  $P$  的风险  $\delta$ ;

5) 假设制造商绿色技术创新合作的概率为  $x$  ( $0 \leq x \leq 1$ ), 供应商绿色技术创新合作的概率为  $y$  ( $0 \leq y \leq 1$ ), 则制造商、供应商不进行绿色技术创新合作的概率分别为  $(1-x)$  和  $(1-y)$ .

### 2.2 模型建立

建立供应商和制造商演化博弈模型如表 1 所示.

表 1 供应商和制造商绿色技术创新合作的博弈矩阵

| 制造商           | 供应商   |   |
|---------------|---|---|
|               | 合作 ( $y$ )  | 不合作 ( $1-y$ )   |
| 合作 ( $x$ )    | $R_1 + \alpha R_1 + \Delta R_1 - C_1, R_2 + \beta R_2 + \Delta R_2 - C_2$ | $R_1 + \alpha R_1 - C_1 + \delta P, R_2 + e_2 - \delta P$ |
| 不合作 ( $1-x$ ) | $R_1 + e_1 - \delta P, R_2 + \beta R_2 - C_2 + \delta P$                  | $R_1, R_2$  |

由表 1 可知, 制造商“合作”、“不合作”的期望收益及群体平均收益分别为  $U_{1M}$ 、 $U_{2M}$  和  $\bar{U}_M$ , 则

$$U_{1M} = y(R_1 + \alpha R_1 + \Delta R_1 - C_1) + (1-y)(R_1 + \alpha R_1 - C_1 + \delta P),$$

$$U_{2M} = y(R_1 + e_1 - \delta P) + (1-y)R_1,$$

$$\bar{U}_M = xU_{1M} + (1-x)U_{2M},$$

制造商的复制动态方程:

$$dx/dt = x(U_{1M} - \bar{U}_M) = x(1-x)[(\Delta R_1 - e_1)y + (\alpha R_1 - C_1 + \delta P)]. \quad (1)$$

供应商“合作”、“不合作”的期望收益及群体平均收益分别为  $U_{1S}$ 、 $U_{2S}$  和  $\bar{U}_S$ , 则

$$U_{1S} = x(R_2 + \beta R_2 + \Delta R_2 - C_2) + (1-x)(R_2 + \beta R_2 - C_2 + \delta P),$$

$$U_{2S} = x(R_2 + e_2 - \delta P) + (1-x)R_2,$$

$$\bar{U}_S = yU_{1S} + (1-y)U_{2S}.$$

供应商的复制动态方程:

$$dy/dt = y(U_{1S} - \bar{U}_S) = y(1-y)[(\Delta R_2 - e_2)x + (\beta R_2 - C_2 + \delta P)], \quad (2)$$

把 (1) 式和 (2) 式联立成一个 2 维离散动态系统, 该 2 维离散动态系统描述了制造商和供应商在绿色技术创新的合作过程中, 双方博弈的动态过程:

$$\begin{cases} F(x) = dx/dt = x(U_{1M} - \bar{U}_M) = x(1-x) \cdot [(\Delta R_1 - e_1)y + (\alpha R_1 - C_1 + \delta P)], \\ F(y) = dy/dt = y(U_{1S} - \bar{U}_S) = y(1-y) \cdot [(\Delta R_2 - e_2)x + (\beta R_2 - C_2 + \delta P)]. \end{cases} \quad (3)$$

为了便于雅克比矩阵的迹和行列式的符号分析, 令

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= (C_1 - \delta P)/R_1, \quad \alpha_2 = (C_1 - \delta P + e_1 - \Delta R_1)/R_1, \\ \beta_1 &= (C_2 - \delta P)/R_2, \quad \beta_2 = (C_2 - \delta P + e_2 - \Delta R_2)/R_2, \\ x^* &= (\beta R_2 - C_2 + \delta P)/(e_2 - \Delta R_2), \quad y^* = (\alpha R_1 - C_1 + \delta P)/(e_1 - \Delta R_1). \end{aligned}$$

## 3 演化博弈模型分析

### 3.1 平衡点的稳定性分析

对 (3) 式的离散动态系统的稳定点进行分析,

$O(0, 0)$ 、 $A(0, 1)$ 、 $B(1, 0)$ 、 $C(1, 1)$ 、 $D(x^*, y^*)$  都是供应商和制造商绿色技术创新合作的博弈动态系统的平衡点. 雅可比矩阵为

$$J = \begin{pmatrix} (1-2x)t_1 & x(1-x)(\Delta R_1 - e_1) \\ y(1-y)(\Delta R_2 - e_2) & (1-2y)t_2 \end{pmatrix},$$

其中  $t_1 = \alpha R_1 - C_1 + \delta P + y(\Delta R_1 - e_1)$   $t_2 = \beta R_2 - C_2 + \delta P + y(\Delta R_2 - e_2)$ . 矩阵  $J$  的平衡点的局部稳定性如表 2 所示.

表 2 平衡点演化稳定结果

| 平衡点          | $a_{11}$                    | $a_{12}$ | $a_{21}$ | $a_{22}$                    |
|--------------|-----------------------------|----------|----------|-----------------------------|
| $(0, 0)$     | $s_1$                       | 0        | 0        | $s_2$                       |
| $(0, 1)$     | $s_1 + \Delta R_1 - e_1$    | 0        | 0        | $-s_2$                      |
| $(1, 0)$     | $-s_1$                      | 0        | 0        | $s_2 + \Delta R_2 - e_2$    |
| $(1, 1)$     | $-(s_1 + \Delta R_1 - e_1)$ | 0        | 0        | $-(s_2 + \Delta R_2 - e_2)$ |
| $(x^*, y^*)$ | 0                           | $M$      | $N$      | 0                           |

其中

$$s_1 = \alpha R_1 - C_1 + \delta P, s_2 = \beta R_2 - C_2 + \delta P,$$

$$M = \frac{\beta R_2 - C_2 + \delta P}{e_2 - \Delta R_2} \left( 1 - \frac{\beta R_2 - C_2 + \delta P}{e_2 - \Delta R_2} \right) (\Delta R_1 - e_1),$$

$$N = \frac{\alpha R_1 - C_1 + \delta P}{e_1 - \Delta R_1} \left( 1 - \frac{\alpha R_1 - C_1 + \delta P}{e_1 - \Delta R_1} \right) (\Delta R_2 - e_2).$$

根据表 2 的行列式和迹的计算值分析各平衡点的局部稳定性. 有 5 种情形:

- (i) 当  $0 < \alpha < \alpha_1$   $0 < \beta < \beta_1$  时 (不合作, 不合作) 为演化稳定策略;
- (ii) 当  $0 < \alpha < \alpha_1$   $\beta_1 < \beta < \beta_2$  时 (不合作, 合作) 为演化稳定策略;
- (iii) 当  $\alpha_1 < \alpha < \alpha_2$   $0 < \beta < \beta_1$  时 (合作, 不合作) 为演化稳定策略;
- (iv) 当  $\alpha > \alpha_2$   $\beta > \beta_2$  时 (合作, 合作) 为演化稳定策略;
- (v) 当  $\alpha_1 < \alpha < \alpha_2$   $\beta_1 < \beta < \beta_2$  时 (不合作, 合作) 或 (合作, 不合作) 为演化稳定策略.

具体情形如表 3 所示.

表 3 不同情形下平衡点的稳定性

| 平衡点      | (i)  | (ii) | (iii) | (iv) | (v)  |
|----------|------|------|-------|------|------|
| $(0, 0)$ | ESS  | 不稳定点 | 不稳定点  | 不稳定点 | 不稳定点 |
| $(0, 1)$ | 鞍点   | ESS  | 鞍点    | 鞍点   | ESS  |
| $(1, 0)$ | 鞍点   | 鞍点   | ESS   | 鞍点   | ESS  |
| $(1, 1)$ | 不稳定点 | 鞍点   | 鞍点    | ESS  | 鞍点   |

### 3.2 演化结果分析

通过上述分析, 制造商和供应商存在在 5 种情形下的稳定性, 各种情形下的系统动态演化相位图如图 1 所示.

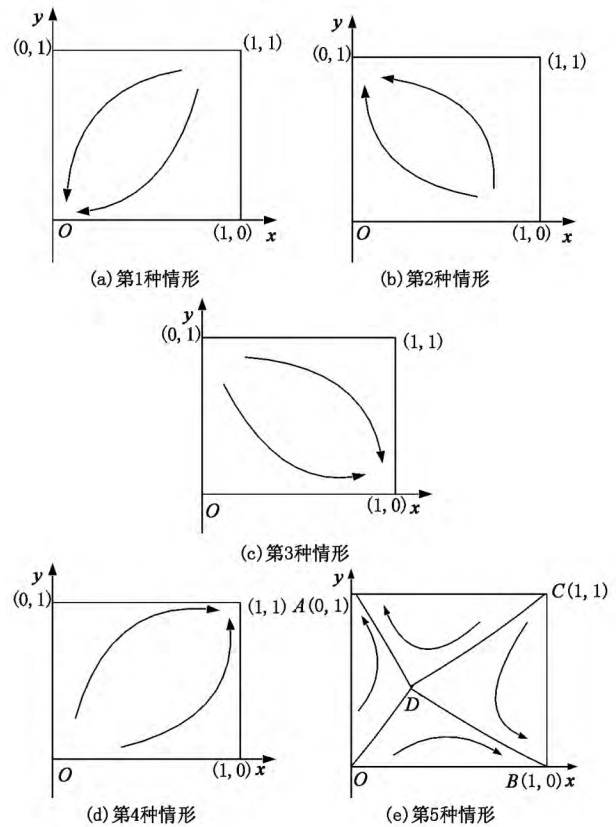


图 1 系统动态演化相位图

由在 5 种情形下的动态相位图, 有如下分析:

1) 当  $0 < \alpha < \alpha_1$   $0 < \beta < \beta_1$  时, 即制造商与供应商进行绿色技术创新合作的产出比  $\alpha, \beta$  都较小, 甚至都不足以弥补为进行绿色技术创新合作所付出的成本. 如图 1(a) 所示, 制造商与供应商都不进行绿色技术创新合作为演化稳定策略. 这种状态适用于一些较小的新兴企业, 这些企业迫于品牌、规模效应及市场份额的束缚, 实施绿色技术创新合作需要付出较大的创新成本, 且投资回报期比较长, 故他们进行绿色技术创新合作的动机较小, 所以双方都不进行绿色技术创新.

2) 当供应商进行绿色技术创新合作的产出比  $\beta$  增加到一定的程度 ( $\beta_1 < \beta < \beta_2$ ) 且  $0 < \alpha < \alpha_1$  时, 这表示当供应商采取绿色技术创新合作策略所获得的收益增大到一定的程度 (收益值大于其所投入的成本, 但仍小于其采取不合作策略而进行“搭便车”时的额外收益) 时, 供应商虽有进行“搭便车”的动机, 但是由于制造商采取绿色技术创新合作策略的收益远不足以抵消其所付出的投入成本, 因此制造商不会采取绿色技术创新合作, 所以供应商的“搭便车”行为无法实施, 如图 1(b) 所示. 此种状态适用于处于供应链核心位置的供应商发展比较稳定, 且在该行业中已经初具规模和品牌. 随着企业的品牌效应在客户心中的慢慢渗入, 客户对企业品牌

的忠诚度也着逐渐增加,企业采取绿色技术创新合作能够带来一定的收益增加。而下游的制造商为该行业新兴企业,尚不被本行业中的原材料供应商所熟知,而该制造商的产品相对于已经在市场上竞争和发展多年的其他制造商,在价格和渠道上都不占优势。因此在由该类型的供应商和制造商构成的供应链中,供应商有进行绿色技术创新合作的动机,而制造商却没有进行绿色技术创新合作的动机。

3) 当制造商进行绿色技术创新合作的产出比 $\alpha$ 增加到一定程度( $\alpha_1 < \alpha < \alpha_2$ ),且 $0 < \beta < \beta_1$ 时,即当制造商采取绿色技术创新合作策略所获得的收益增大到一定的程度(收益值大于其所投入的成本,但却仍小于其采取不合作策略而进行“搭便车”的额外收益)时,制造商虽有进行“搭便车”的动机,但是由于供应商采取绿色技术创新合作策略的收益并不足以抵消其所付出的投入成本,因此供应商不会采取绿色技术创新合作,所以制造商的“搭便车”行为便无法实施,如图1(c)所示。该种状态适用于在供应链中处于核心位置却是行业新兴企业的供应商和如同2)中分析的制造商,此种情形下的供应商迫切地希望依靠有实力的大制造商,打开其市场需求大门,从而“搭便车”成为此种状况下的供应商最先考虑也是最容易做出的选择。

4) 当制造商和供应商进行绿色技术创新合作的收益率都很大时,即 $\alpha > \alpha_2, \beta > \beta_2$ ,这意味着双方进行绿色技术创新合作的收益都大于选择“搭便车”所获得的额外收益,如图1(d)所示,选择绿色技术创新合作策略是制造商与供应商的理想策略。这种状态适用于市场占有率居先,且已经在市场中树立了较好的品牌形象的供应商和制造商。由于企业的管理方法和管理理念都趋于成熟,消费者已经接受企业品牌,且生产和技术装备均处于先进水平,企业选择绿色技术创新的产出也会比较大,甚至超过采取“搭便车”行为所增加的额外收益。因此最终制造商和供应商的博弈演化均衡结果是:双方都选择绿色技术创新合作策略。

5) 当绿色技术创新合作的制造商和供应商获得的收益大于其投入成本,但却仍小于其采取不合作策略而进行“搭便车”的额外收益时,企业双方都有进行“搭便车”的动机。当企业获得绿色技术创新合作的好处小于对方采取绿色技术创新合作战略和自己的“搭便车”行为的额外收入时,演化稳定策略为:制造商和供应商其中一方将选择绿色技术创新合作,而另一方是免费搭车,但双方最终的选择与初始状态和支付矩阵有关,如图1(e)所示。此种状态适用于处于发展中的供应链企业,由于双方企业都

具有一定的规模,已经在本领域中形成了较为完备的市场供应体系以及比较良好的产品质量和品牌效应,在消费者中也获得了较高的信任度,在这些前提下,上下游企业都拥有“搭便车”的动机。所以供应链双方都倾向于对方采取绿色技术创新合作策略,而自身只是在原有体系的保证下采取“搭便车”的策略便会获得超额的收益。

### 3.3 第5种条件下的参数对系统稳定平衡的影响分析

对情形5进行分析,(合作,不合作)和(不合作,合作)都是系统的演化稳定策略。系统最终收敛于哪种状态,可以根据图1(e)中面积 $S_{AODC}$ 和 $S_{ODCB}$ 的大小决定。当 $S_{AODC} < S_{ODCB}$ 时,系统收敛于(1,0)点,即(合作,不合作)为制造商与供应商的稳定策略;当 $S_{AODC} > S_{ODCB}$ 时,系统收敛于(0,1)点,即制造商与供应商的稳定策略为(不合作,合作);当 $S_{AODC} = S_{ODCB}$ 时,系统收敛于(0,1)点和(1,0)点的可能性相同,且

$$S = S_{AODC} = \frac{1}{2}(x^* - y^* + 1) = \frac{1}{2} \left[ \frac{\beta R_2 - C_2 + \delta P}{e_2 - \Delta R_2} + \frac{e_1 - \Delta R_1 - \alpha R_1 + C_1 - \delta P}{e_1 - \Delta R_1} \right]. \quad (4)$$

下面结合(4)式分别讨论参数变化对合作演化行为的影响,可得如下结论。

**结论1** 企业进行绿色技术创新的成本越小,企业选择绿色技术创新合作策略的概率越大。

证  $\partial S / \partial C_2 = -1 / [2(e_2 - \Delta R_2)] < 0$ ,  $\partial S / \partial C_1 = 1 / [2(e_1 - \Delta R_1)] > 0$ ,故 $S$ 是关于 $C_1$ 的增函数和关于 $C_2$ 的减函数。

随着制造商绿色技术投入成本增大和供应商绿色技术创新成本减小,系统收敛于(0,1)点的可能性增大,即制造商倾向于不进行绿色技术创新合作策略而供应商倾向于选择绿色技术创新合作策略。这表明,最初制造商和供应商获得的收益都小于其选择“搭便车”行为所获得收益,但是随着双方绿色技术创新合作的持续和深化,供应商采取了有效管理,其绿色技术创新成本会降低,且收益增加到有可能超过“搭便车”所获得的收益,所以供应商选择进行绿色技术创新合作,而制造商却选择不进行绿色技术创新合作但其进行“搭便车”的可能性增大。

**结论2** 当 $\alpha_1 < \alpha < \alpha_2, \beta_1 < \beta < \beta_2$ 时,若制造商绿色技术创新投入产出比 $\alpha$ 增大,供应商投入产出比 $\beta$ 减小,则制造商选择绿色技术创新合作策略且供应商不进行绿色技术创新合作的概率增大。

证  $\partial S / \partial \alpha = -R_1 / [2(e_1 - \Delta R_1)] < 0$ ,  $\partial S / \partial \beta = R_2 / [2(e_2 - \Delta R_2)] > 0$ 。

当制造商的绿色技术创新投入产出比增加, 供应商的绿色技术创新投入产出比下降时, 系统收敛到平衡点(1, 0) 的概率提高. 这表明, 供应商由于管理不当或者技术使用不当等因素造成了成本控制的无效, 降低了其绿色技术创新投入产出比, 而制造商由于采取比较有效的管理策略, 相应地增大了投入产出比, 从而制造商相同单位的绿色技术创新投入带来了更多的收益, 则制造商选择绿色技术创新合作策略且供应商选择不进行绿色技术创新战略的可能性增大.

**结论 3** 当制造商或者供应商选择搭便车获得的收益越接近合作收益时, 搭便车行为被发现的风险越大, 且被发现后惩罚越大, 双方选择绿色技术创新合作策略的可能性越大.

$$\text{证 } \frac{\partial S}{\partial \delta} = \frac{P}{2} \cdot \frac{(e_1 - \Delta R_1) - (e_2 - \Delta R_2)}{(e_1 - \Delta R_1)(e_2 - \Delta R_2)},$$

$$\frac{\partial S}{\partial P} = \frac{\delta}{2} \cdot \frac{(e_1 - \Delta R_1) - (e_2 - \Delta R_2)}{(e_1 - \Delta R_1)(e_2 - \Delta R_2)},$$

当  $(e_1 - \Delta R_1) - (e_2 - \Delta R_2) > 0$  时,  $\partial S / \partial \delta > 0$ ,

表 4 基于政府惩罚机制的供应商和制造商的收益矩阵

| 制造商      | 供应商  |  |
|----------|--|--|
|          | 合作(y)  | 不合作(1-y)   |
| 合作(x)    | $R_1 + \alpha R_1 + \Delta R_1 - C_1$ $R_2 + \beta R_2 + \Delta R_2 - C_2$ | $R_1 + \alpha R_1 - C_1 + \delta P$ $R_2 + e_2 - \delta P - V$ |
| 不合作(1-x) | $R_1 + e_1 - \delta P - V$ $R_2 + \beta R_2 - C_2 + \delta P$              | $R_1$ $R_2$  |

系统的复制动态方程组为

$$\begin{cases} F(x) = dx/dt = x(U_{1M} - \bar{U}_M) = x(1-x) \cdot \\ \quad [(\Delta R_1 - e_1 + V)y + (\alpha R_1 - C_1 + \delta P)], \\ F(y) = dy/dt = y(U_{1S} - \bar{U}_S) = y(1-y) \cdot \\ \quad [(\Delta R_2 - e_2 + V)x + (\beta R_2 - C_2 + \delta P)]. \end{cases} \quad (5)$$

2 维离散动态方程组(5) 的平衡点为(0, 0)、(0, 1)、(1, 0)、(1, 1). 它们为系统的平衡点当且仅

表 5 系统的平衡点分析

| 平衡点    | trJ   | detJ  |
|--------|---|---|
| (0, 0) | $(\alpha R_1 - C_1 + \delta P) + (\beta R_2 - C_2 + \delta P)$  | $(\alpha R_1 - C_1 + \delta P)(\beta R_2 - C_2 + \delta P)$   |
| (0, 1) | $(\alpha R_1 - C_1 + \delta P + \Delta R_1 - e_1 + V) - (\beta R_2 - C_2 + \delta P)$                         | $-(\alpha R_1 - C_1 + \delta P + \Delta R_1 - e_1 + V)(\beta R_2 - C_2 + \delta P)$                       |
| (1, 0) | $-(\alpha R_1 - C_1 + \delta P) + (\beta R_2 - C_2 + \delta P + \Delta R_2 - e_2 + V)$                        | $-(\alpha R_1 - C_1 + \delta P)(\beta R_2 - C_2 + \delta P + \Delta R_2 - e_2 + V)$                       |
| (1, 1) | $-(\alpha R_1 - C_1 + \delta P + \Delta R_1 - e_1 + V) - (\beta R_2 - C_2 + \delta P + \Delta R_2 - e_2 + V)$ | $(\alpha R_1 - C_1 + \delta P + \Delta R_1 - e_1 + V)(\beta R_2 - C_2 + \delta P + \Delta R_2 - e_2 + V)$ |

通过表 5, 可以判断(1, 1) 为上述系统唯一的 ESS 的充要条件是

$$V > \max(e_1 - \delta P - \alpha R_1 - \Delta R_1 + C_1, e_2 - \delta P - \beta R_2 - \Delta R_2 + C_2). \quad (6)$$

证 由表 5 可知, (1, 1) 是(5) 式中唯一 ESS 的充要条件是  $\det J > 0$ ,  $\mu J < 0$ , 即

$$-(\alpha R_1 - C_1 + \delta P + \Delta R_1 - e_1 + V) - (\beta R_2 -$$

$\partial S / \partial P > 0$ ,  $S$  是  $\delta$  和  $P$  的增函数.

双方“搭便车” 获得的收益减去合作收益之差越小, 搭便车行为被发现的风险越大, 且被发现后惩罚越大, 双方选择绿色技术创新合作策略的可能性越大. 这表明, 当制造商或供应商的任何一方选择搭便车获得的额外收益比合作收益更大时, 一旦被发现的风险较大或者所受到的惩罚大到一定程度, 其不敢随意地选择“搭便车”, 而更倾向于选择进行绿色技术创新合作.

## 4 政府监督惩罚机制下的博弈分析

根据上述分析, 当  $R_1 + e_1 - \delta P > \alpha R_1 - \Delta R_1 - C_1 > R_1$ ,  $R_2 + e_2 - \delta P > \beta R_2 - \Delta R_2 - C_2 > R_2$  时, 供应商和制造商都会希望从对方绿色技术创新中获得额外收益(即选择搭便车行为), 因此政府应对这种情况实施一定的罚款金额  $V$ , 以刺激企业选择绿色技术创新, 双方的演化博弈矩阵如表 4 所示.

当下面的不等式成立:

$$\max(e_1 - \delta P - \alpha R_1 - \Delta R_1 + C_1, e_2 - \delta P - \beta R_2 - \Delta R_2 + C_2) < V < \min(e_1 - \delta P - e_2 - \delta P),$$

其中  $x^{**} = (\beta R_2 - C_2 + \delta P) / (e_2 - \Delta R_2 - V)$ ,  $y^{**} = (\alpha R_1 - C_1 + \delta P) / (e_1 - \Delta R_1 - V)$ .

为判断系统的稳定性, 系统平衡点的迹和行列式如表 5 所示.

$$C_2 + \delta P + \Delta R_2 - e_2 + V) < 0,$$

$$(\alpha R_1 - C_1 + \delta P + \Delta R_1 - e_1 + V)(\beta R_2 - C_2 + \delta P + \Delta R_2 - e_2 + V) > 0,$$

因此可得  $V > \max(e_1 - \delta P - \alpha R_1 - \Delta R_1 + C_1, e_2 - \delta P - \beta R_2 - \Delta R_2 + C_2)$ . 当(6) 式成立时, 由表 5 可知, (1, 1) 为系统唯一的 ESS 解.

当(6) 式成立时, 系统的演化相位图与图 1(d) 类

似 这表明 当  $R_1 + e_1 - \delta P > R_1 + \alpha R_1 - C_1 + \Delta R_1 > R_1$   $R_2 + e_2 - \delta P > R_2 + \beta R_2 - C_2 + \Delta R_2 > R_2$  时 供应商和制造商都选择不进行绿色技术创新合作 但若政府的惩罚金额  $V$  较大 即  $V > \max(e_1 - \delta P - \alpha R_1 - \Delta R_1 + C_1, e_2 - \delta P - \beta R_2 - \Delta R_2 + C_2)$  则双方会采取绿色技术创新合作策略 因此 政府应根据具体情况制定合理的惩罚机制 使企业搭便车行为无利可图 从根本上降低企业搭便车的可能性 从而提高企业实施绿色技术创新的积极性和主动性。

## 5 结论与政策建议

本文运用演化博弈模型解决制造商与供应商合作过程中构建绿色供应链的“搭便车”问题 从共同构建绿色技术创新合作机制出发 分析制造商和供应商进行绿色技术创新合作的行为决策 结果表明: 供应商和制造商的投入产出比与双方绿色技术创新合作的战略选择密切相关 并随着投入产出比增加 双方更愿意绿色技术创新合作; 在供应商和制造商的演化过程中 也会有很多可变因素 虽然双方最初订立了合同约束 但一旦企业选择“搭便车”行为 另一方企业选择绿色技术创新合作策略的积极性会显著下降 若供应商或制造商“搭便车”策略获得较大的额外收入 则该企业不进行绿色技术创新合作的概率增加 针对这种情况 政府将采取惩罚机制来调控供应链企业进行绿色技术创新合作的行为 并且只有当政府的惩罚力度能够满足(6)式时 政府的惩罚才是有效的。

基于上述结论 提出如下政策建议:

1) 提高供应链企业的创新能力 目前绿色技术创新合作遇到的最核心问题就是技术进步压力大 技术攻关困难 所以一方面要提高企业自身的技术成果转化能力 这需要供应链企业集体协作 努力达成科技成果共享和人才的自由流动 这样才能够提升其投入产出比 绿色技术创新合作也才能最终达成 而另一方面需要政府职能部门加大技术扶持力度 从资金、人才及其他软硬件设施方面提供有力支持;

2) 严格按照合同条款规定执行绿色技术创新合作内容 在合同签订之初就要加强对合同执行的监督 加大违约的惩罚力度 一方面提高违约被发现的概率 另一方面提升背叛的惩罚力度 将“搭便车”行为成为不可触碰的高压线;

3) 增强供应链企业的竞争活力 提高其盈利能力 使其在进行绿色技术创新合作时能够获得较大的经济利益 构建绿色供应链企业联盟 解决单个企业无力参与绿色技术创新合作的难题 提高其抗压

能力 也可以组建专门注重绿色技术突破的企业 提供相关的绿色技术创新合作的配套设施和服务支撑 构建供应链长期和谐发展的宏伟蓝图 促使供应链企业都为此目标开展经营活动。

## 6 参考文献

- [1] 张洪潮,何任. 非对称企业合作创新的进化博弈模型分析[J]. 中国管理科学, 2010, 18(6): 163-170.
- [2] 罗良文,梁圣蓉. 中国区域工业企业绿色技术创新效率及因素分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(9): 149-157.
- [3] 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.
- [4] 李国祥,张伟,王亚君. 对外直接投资、环境规制与国内绿色技术创新[J]. 科技管理研究, 2016, 36(13): 227-236.
- [5] Requate T, Unold W. Environmental policy incentives to adopt advanced abatement technology: will the true ranking please stand up[J]. European Economic Review, 2003, 47(1): 125-146.
- [6] 王建明,陈红喜,袁瑜. 企业绿色创新活动的中介效应实证[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(6): 111-117.
- [7] 李婉红,毕克新,曹霞. 环境规制工具对制造企业绿色技术创新的影响: 以造纸及纸制品企业为例[J]. 系统工程, 2013, 31(10): 112-122.
- [8] Valentina De Marchi. Environmental innovation and R&D cooperation: empirical evidence from Spanish manufacturing firms[J]. Research Policy, 2012, 41(3): 614-623.
- [9] Yue Jinfeng, Austin J, Huang Zhimin, et al. Pricing advertisement in a manufacturer retailer supply chain[J]. European Journal of operational research, 2013, 231(2): 492-502.
- [10] 罗剑锋. 基于演化博弈理论的企业间合作违约惩罚机制[J]. 系统工程, 2012, 30(1): 27-31.
- [11] Chan R Y K, He Hongwei, Chan H K, et al. Environmental orientation and corporate performance: the mediation mechanism of green supply chain management and moderating effect of competitive intensity[J]. Industrial Marketing Management, 2012, 41(4): 621-630.
- [12] Horbach J, Rammer C, Rennings K. Determinants of eco-innovations by type of environmental impact: the role of regulatory push/pull, technology push and market pull[J]. Ecological Economics, 2012, 78: 112-122.
- [13] 朱建峰,郝培丽,石俊国. 绿色技术创新、环境绩效、经济绩效与政府奖惩关系研究: 基于集成供应链视角[J]. 预测, 2015, 34(5): 61-66.
- [14] Wong S K S. Environmental requirements, knowledge sharing and green innovation: empirical evidence from the electronics industry in China[J]. Business Strategy and

the Environment 2013 22(5):321-338.

[15] 李怡娜,叶飞. 高层管理支持,环保创新实践与企业绩

效:资源评估承诺的调节作用[J]. 管理评论 2013 25  
(1):120-128.

## The Analysis of Evolutionary Game Model on Green Technology Innovation Cooperation in the Supply Chain

ZHOU Yongsheng, LIANG Shuhui

(Business School, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048)

**Abstract:** For the supply chain system consisting of manufacturers and suppliers, it is studied that manufacturers and suppliers decide whether to choose green technology innovation cooperation strategy based on evolutionary game theory. The results show that the investment strategies used by both suppliers and manufacturers are directly related to the ratio of input-output. When the input-output ratios change in different scope, some evolutionary-balanced strategies will be found. The government will use punish mechanisms to punish the free rider behavior and force the supplier or manufacturer to choose green technology innovation cooperation strategy.

**Key words:** green technology innovation; free rider; the evolutionary game

(责任编辑: 曾剑锋)

(上接第 27 页)

the loss aversion, the revenue sharing rate decided by the supplier, the marketing effort chosen by the retailer and their respective utilities all are decreasing with the loss aversion, and all are less than the case of complete rationality. While in the case of only considering the overconfidence, the opposite results are obtained. So, the separate individual influence of the loss aversion and overconfidence are contrary. Moreover, in the case of considering both the loss aversion and overconfidence, the revenue sharing rate, the marketing effort and respective utilities all decrease with the loss aversion but increase with the overconfidence also. Hereby, the influences of the loss aversion and overconfidence is relatively independent. The utilities of the supplier and the retailer are less than the case considering only the overconfidence but more than the case considering only the loss aversion, and less than the case of complete rationality when the degree of loss aversion is greater than a certain critical value but more than the case of complete rationality when the degree of loss aversion is smaller than the certain critical value. Hereby, there exist a cross effect between the influences of the loss aversion and overconfidence, which will change each other. Therefore, both the loss aversion and overconfidence are two important factors influencing the decision making of the supply chain, and it is incomplete if ignoring any one.

**Key words:** supply chain; loss aversion; overconfidence; Stackelberg game

(责任编辑: 曾剑锋)