

The Study on Oil Field Enterprises' Intention of Energy Conservation and Emissions Reduction Based on Evolutionary Game

Hao Ding, Rufeng Dai*, Rong Rong

China University of Petroleum, Qingdao
Email: *dairufeng111@163.com

Received: Jan. 17th, 2013; revised: Jan. 24th, 2013; accepted: Feb. 8th, 2013

Abstract: Energy conservation and emission reduction has become a hot spot in the study of domestic and foreign scholars. As a high energy consumption industry, it is important to study the control of government intervention, whether the oilfield enterprise take actions for energy conservation and emission reduction work. In this paper, on the basis of the traditional game, we use the bounded rationality and incomplete information game theory, and divide the oilfield enterprise into emissions reduction enterprise and the enterprises that don't has the intention of energy conservation and emission reduction. Through the setting of the performance of oil field enterprises and the government control of the parameters, it establishes the dynamic replication equation, and it concludes that the size of the fitness of the two groups in the entire oil industry. With different parameters, it is concluded that oilfield enterprises' intention of energy saving and emission reduction is directly related to the size of the degree of the government regulation. By formulating rational policy, the government can be a good guide for oilfield enterprises to develop the energy conservation and emissions reduction work.

Keywords: Oil Field Enterprise; Energy Conservation and Emissions Reduction; Evolutionary Game

基于演化博弈的油田企业节能减排意愿研究

丁浩, 代汝峰*, 荣蓉

中国石油大学, 青岛
Email: *dairufeng111@163.com

收稿日期: 2013年1月17日; 修回日期: 2013年1月24日; 录用日期: 2013年2月8日

摘要: 节能减排已经成为国内外学者研究的热点, 对于高耗能的石油产业来说, 研究油田企业在政府干预下是否具有节能减排的意愿对节能减排工作的开展具有重要的意义。本文在传统博弈的基础上, 使用具有非完全理性和非完全信息的演化博弈理论, 将油田企业分为进行节能减排和不进行节能减排两大群体。通过对油田企业效益与政府管制程度参数的设定, 建立动态复制方程, 得出两个群体在整个石油行业中适应度的大小。对不同参数的比较得出结论: 在政府管制下, 油田企业节能减排的意愿与政府管制程度的大小有直接关系。政府通过制定合理的政策能够很好的引导油田企业进行节能减排工作的进行。

关键词: 油田企业; 节能减排; 演化博弈

1. 引言

我国是世界的“制造工厂”, 高耗能产业在国民

*通讯作者。

生产总值中占有重要的地位, 但是高耗能产业的迅速发展已经对我国的环境造成了严重的破坏。如果不能改变现行发展方式, 只重经济发展, 继续扶持高耗能、

高污染的工业,将会对我国环境以及气候造成破坏性的影响。石油化工业作为能源消耗和三废排放的重点产业,是进行节能减排改造,发展低碳生产的重点行业。但是我国油田企业现在的生产方式普遍存在效率低、能耗高的问题,如何通过改进生产措施、提高管理水平,加快油田企业节能减排的改造,对提升油田企业生产效率、具有重要的意义^[1]。

目前国家已经把节能减排作为调整产业结构、加快转变经济发展方式的重要任务。国家从政策和财政方面等方面加强节能减排工作的开展,大力支持节能减排基础性和前沿性技术的研发,推展先进成熟的新技术、新工艺。国务院近日正式印发《节能减排“十二五”规划》,并提出了十个方面的保障措施。作为高耗能的油田企业,其节能减排工作的开展同样也受到了政府和社会的强烈关注。油田企业采取加大资金投入,研发高新技术设备等措施保证节能减排目标的完成。但是研发新的技术设备需要投入大量资金,而且投资回收期较长,油田单位作为盈利性企业在日常的经营之中会追求利润最大化,倘若没有国家的支持油田企业节能减排工作的进展将会非常缓慢。所以国家如何把握对高耗能企业的支持与监督,成为现在急需考虑的问题^[2]。

2. 文献综述

目前国际上对于节能减排方面的研究主要集中在经济理论模型、减排技术模型和政策评价模型三方面。首先,在低碳经济的经济理论模型上,国内外学者主要自上而下进行建模,关注总体经济指标对部门的影响以及各个生产运作部门之间的相互作用,使用的模型也主要包括宏观经济计量模型和投入产出模型等。Wei 运用简化的多区域投入产出模型,结合情景分析技术预测了我国八大经济区的 CO₂ 排放^[3]; Duarte 运用投入产出模型对西班牙贸易隐含 CO₂ 排放量进行预测。其次在节能减排技术模型上,主要采用系统仿真模型、动态优化模型和综合评估模型等进行建模。师华定使用 GIS 技术对低碳经济模型进行可视化,分析我国低碳经济的时空格局^[4]。博弈论作为解决不同主体之间碳排放合作与冲突问题的有效工具,广泛应用于低碳经济、环境保护、气候谈判等方面。Fankhauser 使用互惠外部博弈模型对世界五个国家的

CO₂ 减排问题进行分析^[5]; Jaehn 通过构建碳购买者与发电厂之间的合作博弈模型,解释欧盟碳交易过程中出现碳价突然暴跌的现象^[6]; Forgó 在完美信息下使用拓展式博弈模型,对京都议定书规定下各个国家温室气体减排问题进行讨论^[7]。国内学者肖兴志讨论中央与地方政府,地方政府与煤矿企业讨论了我国煤矿事故频发的根本原因^[8]; 郁林林采用多种博弈模型对国际气候谈判进程分析与讨论; 刘德海使用动态博弈模型对我国出口面临碳关税等贸易壁垒进行了两个方面的博弈分析^[9]。

综上所述,国外学者关于节能减排问题的博弈文献较为丰富,同时使用的博弈论模型较为广泛,国内学者多在传统博弈研究框架下(包括合作博弈模型互惠博弈模型、重复博弈模型、扩展式动态博弈模型、Bertrand 动态博弈模型等)对政府与企业以及企业间的博弈情况进行分析。目前节能减排研究主要是对国际减排政策、碳交易机制等进行讨论,但是对于某一具体行业例如石油行业缺乏研究。而且石油企业作为高耗能企业集群,制定节能减排策略具有很大的主观性,传统博弈模型基于“完全理性”决策框架之下,偏离了油田企业主观决策的方式,对决策结果会产生一定影响。演化博弈论基于非完全理性和非完全信息条件下,强调一种动态演化均衡,对决策过程中不能一直保持完全理性的人和企业做出决策能够提供很好的博弈结果。但是目前国内对演化博弈应用于高耗能行业节能减排政策选择上的文献很少。

3. 演化博弈模型构建

3.1. 演化博弈模型假设

本文建立了油田企业在政府干预下是否进行节能减排改造的博弈模型:在油田企业中存在一部分企业选择采取包括采用新设备机械,推广新技术在内的节能减排措施;而另一部分则继续保持原来生产方案,不进行节能减排的政策调整,即将所有油田企业分为独立的两个群体:油田企业群 A、油田企业群 B,而这两个群体均可独立进行决策。

因为两个群体为随机选取,假设他们在不进行节能减排前的平均收益相同都为 u_a 。在选择是否进行节能减排后,油田企业的收益将会发生改变。如果两群企业同时选择进行节能减排改造,那么节能减排改造

后两个群体的平均收益均为 u_b 。因为油田企业在进行节能减排时，需要投入巨大的资金进行技术改进和设备更新，所以虽然企业采用节能减排措施后能耗费用降低，但是其降耗成本依然会高于节约收益，即 $u_b < u_a$ 。若其中有一企业群进行节能减排，收益为 u_c ，另一家不进行节能减排，收益为 u_d ，双方在选择策略上出现差异，那么考虑到企业之间存在竞争与比较， u_d 和 u_b 、 u_a 和 u_c 大小不会相同。因为油田企业大多是国有企业，在企业决策之中会存在一定的社会效益，即上级会对进行减排的油田企业有一定的政策和资金倾斜，社会也会对于减排的油田企业提升印象。因为在我国油田企业大多具有较高的社会关注度，企业领导也具有一定的行政级别，在这里我们设定相关收益大小为 $u_d > u_b$ ， $u_a > u_c$ 。那么结合油田企业具体实际，建立没有政府干预下油田企业实行节能减排措施的博弈双方收益矩阵，如图 1 所示，其中

$$u_d > u_b > u_a > u_c。$$

根据以上假设条件 $u_d > u_b > u_a > u_c$ ，在没有政府干预条件下，油田企业为了追求最大收益 u_d ，都会选择不进行节能减排，最终的纳什均衡为 (u_b, u_b) ，也就是所有油田企业选择不进行节能减排。如果政府不进行干预，这种选择势必会影响到油田技术进步，油田的高耗能高污染情况将得不到解决。所以政府需要在节能减排方面进行干预与监督，才能改变这种情况，保证油田的可持续发展。而在现实中政府也是根据油田企业节能减排状况进行补贴与处罚。假设政府对于油田企业节能减排工作进行补贴以及其他方面的支持为 P ；政府对于不采取节能减排工作的油田企业收取碳税并进行处罚 Q ；那在有政府干预的情况下，油田企业的演化博弈收益模型如图 2。

		油田企业群 A	
		节能减排	不节能减排
油田企业群 B	节能减排	u_a, u_a	u_c, u_d
	不节能减排	u_d, u_c	u_b, u_b

Figure 1. oilfield enterprise income matrix under government non-intervention

图 1. 政府未干预下油田企业收益矩阵

$u_a + P, u_a + P$	$u_c + P, u_d - Q$
$u_d - Q, u_c + P$	$u_b - Q, u_b - Q$

Figure 2. The government intervention of oil field enterprise income matrix

图 2. 政府干预下油田企业收益矩阵

3.2. 油田企业间演化博弈模型的构建

在建立政府干预下油田企业节能减排收益矩阵的基础上，建立油田企业间节能减排演化博弈模型。假设选择进行节能减排的油田企业所占比例为 x ，那么就有 $(1-x)$ 比例的油田企业采用不进行节能减排改进的策略。在这里以油田企业 A 进行节能减排改造，油田企业 B 不进行节能减排改造为例(其他博弈情况同理)，结合图 2 博弈双方收益矩阵，采用两种策略的博弈双方期望收益以及群体平均收益分别如下：
进行节能减排收益油田企业群体 A：

$$R_1 = x*(u_a + P) + (1-x)(u_c + P) \quad (1)$$

不进行节能减排收益油田企业群体 B：

$$R_2 = x*(u_d - Q) + (1-x)(u_b - Q) \quad (2)$$

两个油田企业群体平均收益：

$$\bar{R} = x*R_1 + (1-x)*R_2 \quad (3)$$

演化博弈的基本原理是当某个种群在群体中发展的速度大于零，也就是种群的增长率大于零时，表明这种种群具有较高的生存适应度，种群将会以一定的速度增长下去。种群的增长可以通过复制动态方程进行表示。复制动态方程实际上就是某一策略在整个群体中使用的次数的动态微分方程，通过(1)，(3)可以到的油田企业策略的复制动态方程和复制动态相位图如下：

$$\frac{\dot{x}}{x} = (R_1 - \bar{R})$$

所以

$$\dot{x} = x(1-x)[(u_a + u_b - u_c - u_d)x + u_c - u_b + P + Q]$$

令 $F(x) = \dot{x}$ ，则油田企业节能减排策略的复制动

态方程为:

$$\frac{dF(x)}{dx} = (1-2x)[(u_a + u_b - u_c - u_d)x + u_c - u_b + P + Q] + (x-x^2)(u_a + u_b - u_c - u_d)$$

油田企业节能减排策略的复制动态相位图(图 3)。

在此将 $P+Q$ 定义为政府的干预程度, $P+Q$ 越大, 说明政府对油田企业政策补贴和惩罚措施越严厉, 也就是政府的干预程度越大, 反之相反。 $u_d - u_c$, $u_b - u_a$ 分别表示为油田企业在对方不进行改造和进行改造时是否选择节能减排措施企业效益差, 其大小与油田企业自身属性有关。

4. 油田企业节能减排的演化博弈分析

根据对已构建的演化博弈模型中的不同变量进行赋值, 结合演化博弈的动态复制方程, 对油田企业节能减排稳定演化策略进行以下探讨:

令 $F(x) = 0$, 可以得到油田企业节能减排复制动态方程有 3 个稳定状态分别为 $x_1 = 0$ 、 $x_2 = 1$ 和

$$x_3 = \frac{u_c - u_b + P + Q}{u_c - u_a + u_d - u_b}$$

根据微分方程的稳定性以及演化博弈性质可以得知 $\frac{dF(x^*)}{dx} \int_{x=x^*} < 0$ 时 x^* 为稳定演化策略。

1) 当 $P+Q$ 满足 $P+Q > \max(u_b - u_c, u_d - u_a)$ 时,

则有 $x_3 = \frac{u_c - u_b + P + Q}{u_c - u_a + u_d - u_b} > 1$, 此时恒有

$$x < x_3 = \frac{u_c - u_b + P + Q}{u_c - u_a + u_d - u_b}, \text{ 因此}$$

$$\frac{dF(x)}{dx} \int_{x=0} = u_c - u_b + P + Q > 0$$

所以 $x_1 = 0$ 不是稳定演化策略;

$$\frac{dF(x)}{dx} \int_{x=x_2} = u_c - u_b + P + Q < 0$$

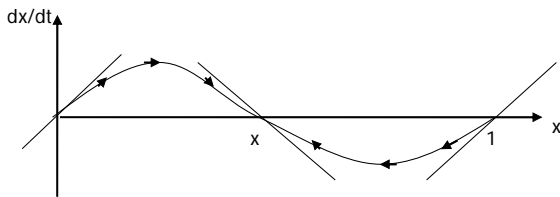


Figure 3. The replication dynamic phase diagram
图 3. 复制动态相位图

所以 $x_2 = 1$ 是稳定演化策略;

$$\frac{dF(x)}{dx} \int_{x=x_3} = u_c - u_b + P + Q > 0$$

所以 $x_3 = \frac{u_c - u_b + P + Q}{u_c - u_a + u_d - u_b}$ 不是稳定演化策略。

2) 当 $P+Q$ 满足条件

$$\min(u_b - u_c, u_d - u_a) \leq P + Q \leq \max(u_b - u_c, u_d - u_a)$$

时, 由于不知道 $u_b - u_c$, $u_d - u_a$ 的大小, 所以分为两种条件进行讨论:

a) 当 $u_b - u_c \leq P + Q \leq u_d - u_a$ 时,

$$\frac{dF(x)}{dx} \int_{x=0} = u_c - u_b + P + Q > 0$$

所以 $x_1 = 0$ 不是稳定演化策略;

$$\frac{dF(x)}{dx} \int_{x=x_2} = u_d - u_a - P - Q > 0$$

所以 $x_2 = 1$ 不是稳定演化策略;

$$\frac{dF(x)}{dx} \int_{x=x_3} = \frac{(u_c - u_b + P + Q)(u_d - u_a - P - Q)}{u_c - u_b + u_d - u_b} < 0$$

所以 $x_3 = \frac{u_c - u_b + P + Q}{u_c - u_a + u_d - u_b}$ 是稳定演化策略, 油田企业

最终稳定在 $x_3 = \frac{u_c - u_b + P + Q}{u_c - u_a + u_d - u_b}$ 状态。

当对方不进行节能减排改造时, 油田企业采用节能减排策略获得的增长收益较大, 整个博弈群体经过一系列地动态博弈后将会稳定, 将会有一定比例企业选择节能改造的措施。这个比例的大小取决于政府的干预程度以及油田企业自身效益的变化。

b) 当 $u_d - u_a \leq P + Q \leq u_b - u_c$ 时,

$$\frac{dF(x)}{dx} \int_{x=x_1} = u_c - u_b + P + Q < 0$$

所以 $x_1 = 0$ 是稳定演化策略;

$$\frac{dF(x)}{dx} \int_{x=x_2} = u_d - u_a - P - Q < 0$$

所以 $x_2 = 1$ 是稳定演化策略;

$$\frac{dF(x)}{dx} \int_{x=x_3} = \frac{(u_c - u_b + P + Q)(u_d - u_a - P - Q)}{u_c - u_b + u_d - u_b} > 0$$

所以 $x_3 = \frac{u_c - u_b + P + Q}{u_c - u_a + u_d - u_b}$ 不是是稳定演化策略。在这

种情况下，油田企业选择节能减排具有两种演化策略，而具体选取哪一种策略依赖于政府干预的程度。

3) 当 $P+Q \leq \min(u_b - u_c, u_d - u_a)$ 时，
 $\frac{u_c - u_b + P + Q}{u_c - u_a + u_d - u_b} < 0$ ，恒有 $x > \frac{u_c - u_b + P + Q}{u_c - u_a + u_d - u_b}$
 $\frac{dF(x)}{dx} \Big|_{x=x_1} = u_c - u_b + P + Q < 0$

所以 $x_1 = 0$ 是稳定演化策略；

$$\frac{dF(x)}{dx} \Big|_{x=x_2} = u_d - u_a - P - Q > 0$$

所以 $x_2 = 1$ 不是稳定演化策略；

$$\frac{dF(x)}{dx} \Big|_{x=x_3} = \frac{(u_c - u_b + P + Q)(u_d - u_a - P - Q)}{u_c - u_b + u_d - u_b} > 0$$

所以 $x_3 = \frac{u_c - u_b + P + Q}{u_c - u_a + u_d - u_b}$ 不是稳定演化策略。

当政府的干预程度足够小，油田企业经过博弈之后会没有企业选择进行节能减排改造，因为节能减排改造的成本过高，会很大的影响到企业进行改造的积极性。

5. 结论

本文使用传统博弈理论和非完全理性的演化博弈理论对油田企业是否进行节能减排的意愿进行分析，着重讨论了在不同参数取值下演化博弈模型所预测的结果，并得出了一些有益结论：

1) 当政府干预程度足够大，也就是政府的补贴 P ，惩罚 Q 都变的足够大时，油田企业选择节能减排改造的收益将会大于不进行节能减排改造的企业，油田企业群 A 的适应能力较强，经过一系列的博弈之

后，所有的油田企业会选择进行节能减排改造。

2) 当政府干预程度较小时，即当 $u_b - u_c \leq P + Q \leq u_d - u_a$ 时，油田企业不会全部选择或者全部不选进行节能减排改造，而是存在一定比例企业进行节能减排改造，这个比例的大小与政府管制的程度以及企业自身效益有关。或当

$u_d - u_a \leq P + Q \leq u_b - u_c$ 时，油田企业会全部选择进行节能减排改造或者全部不选择节能减排改造，最后到底选择哪一种与政府管制程度有关系。

3) 当政府干预程度足够小，无论各个参数初始值选择多少，油田企业最终都会不选择进行节能减排改造，此时说明政府需要加大对油田企业节能减排的管制。

参考文献 (References)

- [1] 常兴华, 张建平, 杨国峰等. 部分省区节能减排工作调研报告[J]. 宏观经济管理, 2007, 23(11): 47-49.
- [2] 蔡昉, 王美艳. 经济发展方式转变与节能减排内在动力[J]. 经济研究, 2008, 54(6): 3-12.
- [3] Y.-M. Wei, Q.-M. Liang and H.-T. Tsai. A scenario analysis of energy requirements and energy intensity for China's rapidly developing society in the year 2020. *Technological Forecasting & Social Change*, 2006, 73(1): 405-421.
- [4] 师华定, 王占刚, 高庆先. 低碳经济模式 GIS 可视化与空间分析系统设计[J]. 资源科学, 2010, 32(2): 248-254.
- [5] S. Fankhauser, S. Kverndokk. The global warming game: Simulations of a CO₂ reduction agreement. *Resource and Energy Economics*, 1996, 18(1): 83-102.
- [6] F. Jaehn, P. Letmathe. The emissions trading paradox. *European Journal of Operational Research*, 2010, 202(1): 248-254.
- [7] F. Forgó, J. Fülöp and M. Prillb. Game theoretic models for climate change negotiations. *European Journal of Operational Research*, 2005, 160(1): 252-267.
- [8] 肖兴志. 中国煤矿事故频发的博弈解释[J]. 财经问题研究, 2007, 284(7): 28-34.
- [9] 刘德海. 技术性贸易壁垒的双重控制机制对我国出口贸易影响的博弈分析[J]. 运筹与管理, 2009, 18(3): 92-98.