

强制减排下政府与港口企业的演化博弈

徐艳¹, 孟燕萍²

(1. 上海海事大学物流科学与工程研究院, 上海 201306; 2. 上海财经大学国际工商管理学院, 上海 200433)

摘要: 近年港口环境污染日益严重, 港口企业作为港口供应链上的核心企业, 在推动绿色港口建设上具有重要作用. 在强制减排的基础上, 将经济绩效与环境绩效考虑在内, 构建了地方政府与港口企业的减排演化博弈模型. 模型中引入碳税作为惩罚因子, 同时考虑政府的监管成本与企业寻租成本, 通过对不同均衡状态进行分析, 讨论政府监管与惩罚对双方策略的影响. 结果表明: 政府不完全监管而港口企业减排为最优纳什均衡策略, 政府可以通过调节监管力度与单位碳税之间的关系来决定是否采取完全监管, 从而影响港口企业的减排决策. 一定程度上, 这将为今后推动绿色港口的建设提供有效参考.

关键词: 强制减排; 绿色港口; 演化博弈; 监管成本; 企业寻租

中图分类号: F403.3; X321 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.0253-2778.2019.09.009

引用格式: 徐艳, 孟燕萍. 强制减排下政府与港口企业的演化博弈[J]. 中国科学技术大学学报, 2019, 49(9): 762-772.

XU Yan, MENG Yanping. Evolution game between government and port enterprises under mandatory emission reduction[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2019, 49(9): 762-772.

Evolution game between government and port enterprises under mandatory emission reduction

XU Yan¹, MENG Yanping²

(1. Institute of Logistics Management Science and Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;
2. International Business School, Shanghai University of Finance and Economics, Shanghai 200433, China)

Abstract: In recent years, port environmental pollution has become increasingly serious. As a core enterprise in the port supply chain, port enterprises play an important role in promoting the construction of green harbors. Based on mandatory emission reductions, economic performance and environmental performance have been taken into account to build an evolutionary game model of a local government with port companies' emission reductions. The model introduces carbon tax as a penalty factor and considers the government's regulatory costs and corporate rent-seeking costs. By analyzing different equilibrium states, the effects of government regulation and punishment on both parties' strategies were discussed. The results show that the optimal Nash equilibrium strategy is the government does not fully supervise and port companies reduce emissions. The government can decide whether to adopt full supervision by adjusting the relationship between the intensity of supervision and the unit carbon tax, which will affect

收稿日期: 2019-02-21; **修回日期:** 2019-05-16

基金项目: 国家社科基金一般项目(18BGL103), 上海市社科基金面上项目(2017BGL015)资助.

作者简介: 徐艳, 女, 1995年生, 硕士. 研究方向: 港口减排与供应链管理. E-mail: 18916138931@163.com

通讯作者: 孟燕萍, 博士/讲师. E-mail: 1458821448@163.com

the decision of port enterprises to reduce emissions. To a certain extent, it provides an effective reference for promoting the construction of green ports in the future.

Key words: compulsory emission reduction; green port; evolution game; regulatory cost; enterprise rent-seeking

0 引言

港口作为交通运输系统的重要组成部分,在对外贸易中起着至关重要的作用,带动着周边地区经济的发展.中国作为港口大国,船舶、港口所用的燃料含硫量高,其排放的二氧化硫、氮氧化物、PM_{2.5}等,已成为大气污染重要来源之一,环境治理面临着巨大的压力.根据原环境保护部发布的《中国机动车环境管理年报》数据显示,2015年我国船舶排放二氧化硫、碳氢化合物、氮氧化物、颗粒物分别为78.8万吨、2.8万吨、121.4万吨、11.9万吨,其中,氮氧化物和颗粒物分别占移动源排放的10%和12%.这严重影响着居民健康以及周边环境,引起了政府高度重视,港口减排刻不容缓.

针对如何推动港口企业减排、构建绿色港口这类问题,国内外学者都展开了许多研究.坚持经济生态环境和谐发展^[1],这是港口未来发展趋势. Park和Yeo^[2]运用因子分析与模糊法,定性和定量地对韩国几个主要港口进行绿色度评价.从经济和环境的角度,Puig等^[3]、Woo等^[4]研究港口环境政策对港口成本效益影响,通过制定的最优排放标准来增加港口码头运营商的利润、降低环境损害^[5].我国港口大气污染防治仍处于起步阶段,李丽平等^[6]、彭传圣^[7]通过借鉴美国经验与我国港口现状相结合,提出符合我国港口实际的大气污染防治的建议.为了增强港口竞争力,聂鲸邛^[8]、吴丹等^[9]提出运用先进的技术与管理经验推进低碳港口设备设施改造,促进绿色港口建设,例如增加岸电、“油改电”、利用智能系统及信息技术实时监管检查等.赵谓博^[10]、彭传圣^[11]从经济、社会、环境、生态、资源等角度提出了绿色低碳港口的具体评价指标.在低碳绿色港口的构建中,董国松等^[12]研究了油港企业与政府双方合作博弈模型,鲁渤和王辉坡^[13]指出应降低政府的介入程度,提高港口居民的参与度,为企业与政府进一步决策提供参考.

上述研究大都集中在港口绿色度评价指标体系的构建以及政府如何制定最优财政补贴、税收引导港口减排,而有关政府监管效率对于港口企业减排效果的影响研究较少.现实中,减排需要大量资金的

投入,港口企业大都不愿参与,在面对政府惩罚时,企业可能产生寻租成本.此外,地方政府在绩效考核体系中需要考虑经济发展和环境质量指标.本文将从上述三点出发构建强制减排下政府与港口企业的演化博弈模型,探讨不同条件下最优结果,寻求双方最优策略.

1 模型假设与构建

1.1 研究思路

港口在带动当地区域经济发展的同时也加重了当地污染,主要表现为港口地区在开发建设过程中以及港口在运营过程中对环境所造成的危害.在构建绿色港口过程中需要地方政府和港口企业共同参与.由于信息不对称以及参与人足够理性,政府与港口企业目标不同.政府想通过企业主动减排实现区域社会福利最大化,而对于港口企业来说,想要实现自身盈利最大.由于减排技术的投入对于企业来说是一笔较大支出,且在短期内运营成本高,通过权衡,部分港口企业会发生违规行为;但随着可持续发展理念的推行,港口企业如若不进行减排转型,可能会逐渐丧失原有的市场地位,面临淘汰.

本文中地方政府将同时考虑地方经济与环境绩效,并以监管港口企业碳排放的形式介入,监管企业是否进行减排.在强制减排下,引入碳税作为惩罚因子,对超出政府规定标准的企业进行惩罚,即征收差额碳税;实行减排的港口企业会获得额外的收益,不减排的企业在面对政府惩罚时,会产生投机行为,即寻租.因此,本文建立一个有政府和港口企业两个参与人的演化博弈模型.政府的策略组合为完全监管和不完全监管;港口企业根据自身利益最大化原则,其策略组合为减排和不减排.

1.2 基本假设

①港口企业的经济效益与减排水平反映临港城市经济发展与环境质量.地方政府以监管港口企业碳排放的形式介入,同时考虑监管成本、环境效益以及惩罚收益.假设港口企业的年吞吐量 q ,不减排的实际排放量为 e_2 ;港口企业减排后的实际排放量为 e_1 ,港口企业单位碳排放标准为 e_0 ;完全监管时监管成本为 μ ,不完全监管时为 $\mu\pi$,其中 π 为政府

的监管力度 $0 \leq \pi < 1$, 即不完全监管策略下 π 越大, 政府监管越严格. 若存在违规, 政府会根据企业排放差额进行惩罚, 惩罚成本为 $\pi t(e_2 - e_0)q$, t 为惩罚因子即单位碳税; 当港口企业减排时, 环境损害与治理费用降低, 政府可从中获得一定的环境效益, 即 $\delta_2(e_0 - e_1)q$, δ_2 为环境质量指标的权重系数, $0 < \delta_2 < 1$. 同时政府会考虑当地的经济与环境绩效, 其中 δ_1 为政绩考核体系中经济发展指标的权重系数, $0 < \delta_1 < 1$. 根据演化博弈理论, 假设地方政府选择完全监管策略的比例为 x ($0 \leq x \leq 1$), 不完全监管策略的比例为 $1 - x$.

②港口企业作为理性人, 以自身利益为前提, 选

表 1 地方政府与港口企业支付矩阵

Tab. 1 Payment matrix of local government and port enterprise

参与人及其策略	港口企业		
	实行减排 y	不减排 $(1 - y)$	
地方 政府	完全监管 x	$-\mu + \delta_1(r_b - \eta(e_2 - e_1)^2) + \delta_2(e_0 - e_1)q$	$-\mu - \delta_1[t(e_2 - e_0)q + m] - \delta_2(e_2 - e_0)q + t(e_2 - e_0)q$
	不完全监管 $(1 - x)$	$r_b - \eta(e_2 - e_1)^2$	$-t(e_2 - e_0)q - m$
		$-\mu\pi + \delta_1(r_b - \eta(e_2 - e_1)^2) + \delta_2(e_0 - e_1)q$	$-\mu\pi - \delta_1[\pi t(e_2 - e_0)q + m] - \delta_2(e_2 - e_0)q + \pi t(e_2 - e_0)q$
		$r_b - \eta(e_2 - e_1)^2$	$-\pi t(e_2 - e_0)q - m$

1.3 模型建立

政府完全监管和不完全监管两种策略下的期望收益以及整体期望收益分别为 $U_{GY}, U_{GN}, \overline{U}_G$.

$$U_{GY} = y[-\mu + \delta_1(r_b - \eta(e_2 - e_1)^2) + \delta_2(e_0 - e_1)q] + (1 - y)\{-\mu - \delta_1[t(e_2 - e_0)q + m] - \delta_2(e_2 - e_0)q + t(e_2 - e_0)q\} \quad (1)$$

$$U_{GN} = y[-\mu\pi + \delta_1(r_b - \eta(e_2 - e_1)^2) + \delta_2(e_0 - e_1)q] + (1 - y)\{-\mu\pi - \delta_1[\pi t(e_2 - e_0)q + m] - \delta_2(e_2 - e_0)q + \pi t(e_2 - e_0)q\} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \overline{U}_G &= xU_{GY} + (1 - x)U_{GN} = \\ &xy[\delta_1(1 - \pi)(e_2 - e_0)q - (1 - \pi)(e_2 - e_0)q] + \\ &x[(1 - \pi)(e_2 - e_0)q - (1 - \pi)\mu - \delta_1 t(1 - \pi)(e_2 - e_0)q] + \\ &y\{\delta_1[r_b - \eta(e_2 - e_1)^2 + \pi t(e_2 - e_0)q + m] + \\ &\delta_2(e_2 - e_1)q - \pi t(e_2 - e_0)q\} - \\ &\mu\pi - \delta_1[\pi t(e_2 - e_0)q + m] - \\ &\delta_2(e_2 - e_0)q + \pi t(e_2 - e_0)q \quad (3) \end{aligned}$$

港口企业实行减排和不减排两种策略下的期望

是否减排. 企业减排需要一次性投入减排成本, 且与减排量成二次关系, 即 $\eta(e_2 - e_1)^2$, 减排效果越好, 成本投入越高. r_b 为企业减排后的额外收益, 如企业品牌形象的提升; 潜在客户的增加等 ($e_1 < e_0 < e_2$). 在强制减排下, 政府对于港口企业违规行为的惩罚可能会致命, 因此企业可能会选择寻租来逃避罚款^[14], 假设寻租成本为 $m = \theta\eta(e_2 - e_1)^2$, 其中 θ 为寻租因子. 根据演化博弈理论, 假设港口企业选择减排策略的比例为 y ($0 \leq y \leq 1$), 选择不减排策略的比例为 $1 - y$.

双方收益矩阵如表 1 所示.

收益以及整体期望收益分别为 $U_{EY}, U_{EN}, \overline{U}_E$.

$$U_{EY} = x(r_b - \eta(e_2 - e_1)^2) + (1 - x)(r_b - \eta(e_2 - e_1)^2) = r_b - \eta(e_2 - e_1)^2 \quad (4)$$

$$U_{EN} = x[-t(e_2 - e_0)q - m] + (1 - x)[- \pi t(e_2 - e_0)q - m] = -\pi t(e_2 - e_0)q - m - x(1 - \pi)(e_2 - e_0)q \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \overline{U}_E &= yU_{EY} + (1 - y)U_{EN} = \\ &xy(1 - \pi)(e_2 - e_0)q + \\ &y[r_b - \eta(e_2 - e_1)^2 + \pi t(e_2 - e_0)q + m] - \\ &x(1 - \pi)(e_2 - e_0)q - \\ &\pi t(e_2 - e_0)q - m \quad (6) \end{aligned}$$

2 政企演化博弈的均衡分析

2.1 政府策略稳定性分析

政府复制动态方程为

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_{GY} - \overline{U}_G) = -x(1 - x)\{[y(1 - \delta_1)(1 - \pi)(e_2 - e_0)q] - [(1 - \delta_1)(1 - \pi)(e_2 - e_0)q - (1 - \pi)\mu]\} \quad (7)$$

当 $y = y^* = \frac{(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q - \mu}{(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q}$ 时,

$F(x) \equiv 0$, 政府无论采取什么措施, 该状态都是稳定的.

当 $y \neq y^* = \frac{(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q - \mu}{(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q}$ 时, 令

$F(x) = 0$, 则 $x = 0$ 和 $x = 1$ 是方程 $F(x)$ 的两个稳定点. 对 $F(x)$ 关于 x 求一阶导, 得

$$F'(x) = (2x - 1)\{y(1 - \delta_1)(1 - \pi)t(e_2 - e_0)q - [(1 - \delta_1)(1 - \pi)t(e_2 - e_0)q - (1 - \pi)\mu]\} \quad (8)$$

$$F'(0) = -\{y(1 - \delta_1)(1 - \pi)t(e_2 - e_0)q - [(1 - \delta_1)(1 - \pi)t(e_2 - e_0)q - (1 - \pi)\mu]\} \quad (9)$$

$$F'(1) = y(1 - \delta_1)(1 - \pi)t(e_2 - e_0)q - [(1 - \delta_1)(1 - \pi)t(e_2 - e_0)q - (1 - \pi)\mu] \quad (10)$$

根据演化稳定性要求, 需要满足 $F'(x) < 0$, 接下来对 $(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q - \mu$ 的不同情况进行讨论:

当 $(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q < \mu$ 时, $\frac{(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q - \mu}{(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q} < 0$. 由于 $0 \leq y \leq 1$, 恒有 $y > \frac{(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q - \mu}{(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q}$. 此时 $F'(0) < 0$, $F'(1) > 0$, 所以 $x = 0$ 是演化稳定策略.

当 $(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q > \mu$ 时, $\frac{(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q - \mu}{(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q} > 0$. 由于 $0 \leq y \leq 1$, 需要对 y 分情况讨论:

① 当 $y < \frac{(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q - \mu}{(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q}$ 时, $F'(0) > 0$, $F'(1) < 0$, 所以 $x = 1$ 是政府在该情况下的演化稳定策略.

② 当 $y > \frac{(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q - \mu}{(1 - \delta_1)t(e_2 - e_0)q}$ 时, $F'(0) < 0$, $F'(1) > 0$, 所以 $x = 0$ 是政府在此情况下的演化稳定策略.

2.2 港口企业策略的稳定性分析

港口企业的复制动态方程为

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(U_{EY} - \overline{U_E}) = y(1 - y)\{x(1 - \pi)(e_2 - e_0) tq + r_b - \eta(e_2 - e_1)^2 + \pi t(e_2 - e_0)q + m\} \quad (11)$$

当

$$x = x^* = \frac{(\eta(e_2 - e_1)^2 - r_b) - [\pi t(e_2 - e_0)q + m]}{(1 - \pi)(e_2 - e_0) tq}$$

时, $F(y) \equiv 0$, 即港口企业无论是否减排, 都是无差别的.

当

$$x \neq x^* = \frac{(\eta(e_2 - e_1)^2 - r_b) - [\pi t(e_2 - e_0)q + m]}{(1 - \pi)(e_2 - e_0) tq}$$

时, 令 $F(y) = 0$, 则 $y = 0$ 和 $y = 1$ 可能是方程 $F(y)$ 的两个稳定点. 对 $F(y)$ 关于 y 求一阶导, 得

$$F'(y) = (1 - 2y)\{x(1 - \pi)(e_2 - e_0) tq + r_b - \eta(e_2 - e_1)^2 + \pi t(e_2 - e_0)q + m\} \quad (12)$$

$$F'(0) = x(1 - \pi)(e_2 - e_0) tq + r_b - \eta(e_2 - e_1)^2 + \pi t(e_2 - e_0)q + m \quad (13)$$

$$F'(1) = -\{x(1 - \pi)(e_2 - e_0) tq + r_b - \eta(e_2 - e_1)^2 + \pi t(e_2 - e_0)q + m\} \quad (14)$$

根据演化稳定性要求, 需要满足 $F'(y) < 0$, 接下来对 $\eta(e_2 - e_1)^2 - r_b - [\pi t(e_2 - e_0)q + m]$ 的不同情况进行讨论:

当 $(\eta(e_2 - e_1)^2 - r_b) < [\pi t(e_2 - e_0)q + m]$ 时, $\frac{(\eta(e_2 - e_1)^2 - r_b) - [\pi t(e_2 - e_0)q + m]}{(1 - \pi)(e_2 - e_0) tq} < 0$. 由于 $0 \leq x \leq 1$, 恒有

$$x > \frac{(\eta(e_2 - e_1)^2 - r_b) - [\pi t(e_2 - e_0)q + m]}{(1 - \pi)(e_2 - e_0) tq}$$

此时 $F'(0) > 0$, $F'(1) < 0$, $y = 1$ 是演化稳定策略.

当 $(\eta(e_2 - e_1)^2 - r_b) > [\pi t(e_2 - e_0)q + m]$ 时, $\frac{(\eta(e_2 - e_1)^2 - r_b) - [\pi t(e_2 - e_0)q + m]}{(1 - \pi)(e_2 - e_0) tq} > 0$. 由于 $0 \leq x \leq 1$, 需要对 x 分情况讨论:

① 当

$$x < \frac{(\eta(e_2 - e_1)^2 - r_b) - [\pi t(e_2 - e_0)q + m]}{(1 - \pi)(e_2 - e_0) tq}$$

时, $F'(0) < 0$, $F'(1) > 0$, $y = 0$ 是港口企业在该情况下的演化稳定策略.

② 当

$$x > \frac{(\eta(e_2 - e_1)^2 - r_b) - [\pi t(e_2 - e_0)q + m]}{(1 - \pi)(e_2 - e_0) tq}$$

时, $F'(0) > 0$, $F'(1) < 0$, $y = 1$ 是港口企业的演化稳定策略.

2.3 均衡比较

根据双方的复制动态方程得到系统雅可比矩阵

$$J = \begin{bmatrix} (2x-1)[(y-1)(1-\delta_1)(1-\pi)(e_2-e_0) tq + (1-\pi)\mu] & -x(1-x)(1-\delta_1)(1-\pi)(e_2-e_0) tq \\ y(1-y)(1-\pi)(e_2-e_0) tq & (1-2y)[x(1-\pi)(e_2-e_0) tq + r_b - \eta(e_2-e_1)^2 + \pi(e_2-e_0) tq + m] \end{bmatrix} \quad (15)$$

矩阵 J 的行列式为

$$\det J = (2x-1)\{(y-1)(1-\delta_1) \cdot (1-\pi)t(e_2-e_0)q + (1-\pi)\mu\} \cdot (1-2y)\{x(1-\pi)(e_2-e_0) tq + r_b - \eta(e_2-e_1)^2 + \pi t(e_2-e_0)q + m\} + y(1-y)(1-\pi)(e_2-e_0) tq x(1-x) \cdot (1-\delta_1)(1-\pi)t(e_2-e_0)q \quad (16)$$

矩阵 J 的迹为

$$\text{tr } J = (2x-1)\{(y-1)(1-\delta_1)(1-\pi) \cdot t(e_2-e_0)q + (1-\pi)\mu\} + (1-2y)\{x(1-\pi)(e_2-e_0) tq + r_b - \eta(e_2-e_1)^2 + \pi t(e_2-e_0)q + m\} \quad (17)$$

令 $F(x)=0$ 和 $F(y)=0$, 得到均衡点: $(0,0)$, $(1,0)$, $(1,1)$, $(0,1)$, 分别代入矩阵 J 的行列式和迹中, 结果如表 2 所示.

表 2 均衡点处雅可比矩阵行列式和迹的表达式

Tab. 2 Equations of the Jacobian matrix determinant and trace at the equilibrium point

均衡点	矩阵的行列式和迹的表达式
$(0,0)$	$\det J = (1-\pi)[(1-\delta_1)t(e_2-e_0)q - \mu] \cdot [\pi t(e_2-e_0)q + m - (\eta(e_2-e_1)^2 - r_b)]$ $\text{tr } J = (1-\pi)[(1-\delta_1)t(e_2-e_0)q - \mu] + [\pi t(e_2-e_0)q + m - (\eta(e_2-e_1)^2 - r_b)]$
$(1,0)$	$\det J = -(1-\pi)[(1-\delta_1)t(e_2-e_0)q - \mu] \cdot [(e_2-e_0) tq + m - (\eta(e_2-e_1)^2 - r_b)]$ $\text{tr } J = -(1-\pi)[(1-\delta_1)t(e_2-e_0)q - \mu] + [(e_2-e_0) tq + m - (\eta(e_2-e_1)^2 - r_b)]$
$(1,1)$	$\det J = -(1-\pi)\mu \cdot [(e_2-e_0) tq + m - (\eta(e_2-e_1)^2 - r_b)]$ $\text{tr } J = (1-\pi)\mu - [(e_2-e_0) tq + m - (\eta(e_2-e_1)^2 - r_b)]$
$(0,1)$	$\det J = (1-\pi)\mu \cdot [\pi t(e_2-e_0)q + m - (\eta(e_2-e_1)^2 - r_b)]$ $\text{tr } J = -(1-\pi)\mu - [\pi t(e_2-e_0)q + m - (\eta(e_2-e_1)^2 - r_b)]$

表 2 的表达式中令

$$\pi_1 = (1-\delta_1)(e_2-e_0) tq - \mu, \\ \pi_2 = \pi t(e_2-e_0)q + m - (\eta(e_2-e_1)^2 - r_b), \\ \pi_3 = t(e_2-e_0)q + m - (\eta(e_2-e_1)^2 - r_b).$$

其中 π_1 为港口企业不减排的情况下, 地方政府完全监管的净收益; π_2 为政府在不完全监管下, 企业不减排较减排下所产生的支付净差额; π_3 为政府在完全监管下, 企业不减排较减排下所产生的支付净差额. 根据上述表达式, 得出 $\pi_2 < \pi_3$. 根据演化博弈理论, 当满足 $\det J > 0$, $\text{tr } J < 0$ 时, 该均衡点为系统演化的稳定点 (evolutionarily stable strategy, ESS). 我们根据以下不同情形, 对于不同均衡点下的演化稳定策略进行讨论.

图 1 中分别按照 x, y 的取值 0, 1, 可以得到(地方政府, 港口企业)的四个策略 $(0,0)$ $(1,0)$ $(1,1)$ $(0,1)$ 分别为(不完全监管, 不减排)、(完全监管, 不减排)、(完全监管, 实行减排)、(不完全监管, 实行减

排), 而 A, B, C, D 分别表示这四个策略在坐标轴上的区域面积.

情形 1 $\pi_1 > 0, \pi_3 < 0, \pi_2 < 0$.

如图 1(a) 状态 I 所示, ESS 为 $(1,0)$, 此时稳定策略为(完全监管, 不减排), 即政府选择完全监管, 企业选择不减排. 对于企业来说, 不管政府是否完全监管, 减排所付出的成本比不减排所付出的成本高, 作为一个理性人, 考虑到企业自身利益, 港口企业不会选择减排, 此阶段是港口企业违规的高发期; 而政府为了促进地方综合发展, 对企业进行完全监管, 同时加大对与企业不减排违规行为的处罚, 促使状态 I 向状态 III 发展.

情形 2 $\pi_1 > 0, \pi_3 > 0, \pi_2 > 0$.

如图 1(b) 状态 II 所示, ESS 为 $(0,1)$, 此时稳定策略为(不完全监管, 实行减排), 即政府选择不完全监管, 港口企业实行减排. 此时企业与政府双方进入一个相对稳定状态, 此时减排比不减排下的成本低, 企业减排不仅可以避免由于躲避罚款选择寻租的风

险,同时还取得额外的效益,不仅体现在利润的增加,还包括企业品牌形象,成功完成绿色港口的转型,增加了自身的竞争力;由于 $\frac{\partial y^*}{\partial t} > 0$, 地方政府在此状态下,会逐渐降低监管力度以及对企业的违

规的惩罚,逐步减少政府在监管过程中的人力、物力、财力等支出,实现自身目标最大化. 一定程度的监管和处罚力度使得政府与企业能有更好的合作空间,最终向状态 V 发展.

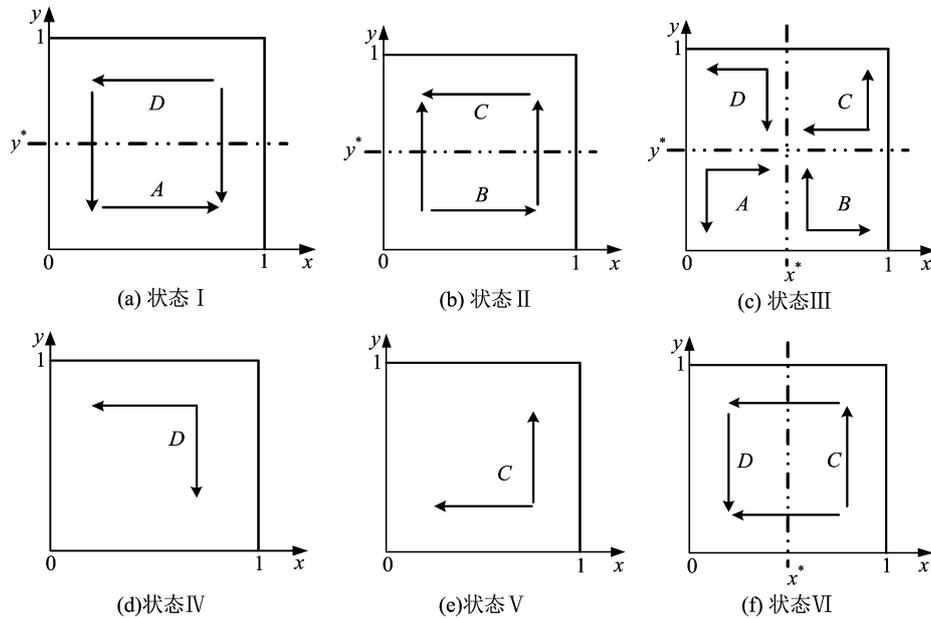


图 1 不同情形下的演化状态图

Fig. 1 Evolutionary state diagram in different situations

情形 3 $\pi_1 > 0, \pi_3 > 0, \pi_2 < 0$.

当港口企业不减排,地方政府完全监管的净收益大于 0;在政府完全监管下,港口企业不减排与减排下相比所产生的支付净差额大于 0;政府不完全监管下,港口企业不减排与减排下相比所产生的支付净差额小于 0 时,如图 1(c) 状态 III 所示,此时,所有的均衡点都为鞍点,不存在均衡点 ESS, 双方处于博弈过渡阶段. 从企业角度考虑,在不完全监管下,若政府的处罚因子不高,且企业可以通过相对较低的寻租成本来躲避罚款,此时违规成本比减排成本低,出于理性角度,企业会选择违规,此时,状态 III 中 CD 部分的面积会增大,出现状态 III 向状态 VI 发展,这是政府不愿意看到的. 在此阶段中,政府可以分阶段制定策略,由于 $\frac{\partial x^*}{\partial t} < 0, \frac{\partial y^*}{\partial \pi} < 0$, 起初可以加大处罚力度,推动企业减排,同时加强监管,降低企业为了逃避处罚选择寻租的概率,使得状态 III 中的 BC 面积逐步变大,使得状态 III 逐步向状态 II 演变,待稳定后,企业已完成转型,政府可适度降低监管力度.

情形 4 $\pi_1 < 0, \pi_3 < 0, \pi_2 < 0$.

当港口企业不采取减排措施,地方政府完全监管的净收益小于 0;政府完全监管下,港口企业不减排与减排下相比所产生的支付净差额小于 0;政府不完全监管下,港口企业不减排与减排下相比所产生的支付净差额小于 0 时,ESS 的稳定策略为 (0, 0), 此时稳定策略为 (不完全监管, 不减排), 即政府选择不完全监管,企业选择不减排. 状态 IV 是政府最不愿意看到的,在该状态下,企业是违规的高发期,由于政府的监管力度以及惩罚措施不够,企业违规成本较低,且在政府监管不足的空隙下,企业可能会选择寻租来逃避处罚,此时政府为了改变现状,开始采取措施,逐步加强处罚力度与监管水平,制定减排标准供企业参考,状态 IV 逐步向状态 VI 发展.

情形 5 $\pi_1 < 0, \pi_3 > 0, \pi_2 > 0$.

从图 1 状态 V 可以看出,此时 ESS 的稳定策略为 (0, 1), 此时稳定策略为 (不完全监管, 实行减排), 即政府选择不完全监管,港口企业实行减排. 状态 V 是政府最想看到的理想状态,政府与企业双方实现共赢,企业不仅获得效益,也顺应时代要求,顺利转型,较不减排的港口企业,增强行业竞争力,提升一定的市场份额;从政府角度考虑,在尽可能低的成本

下,完成上级政府要求的政绩考核.这不仅改善了港口城市环境污染问题,并且成功拉动企业转型,促进了当地经济的发展,给当地区域贴上绿色标签,不仅如此,港口企业的成功转型同时也给周围的城市带来一定程度的发展福利.

情形 6 $\pi_1 < 0, \pi_3 > 0, \pi_2 < 0$.

当港口企业不减排,地方政府完全监管的净收益小于 0;在政府完全监管下,港口企业不减排与减排下相比所产生的支付净差额大于 0;政府不完全监管下,港口企业不减排与减排下相比所产生的支付净差额小于 0 时,此时,ESS 的稳定策略为(0,0),

此时稳定策略为(不完全监管,不减排),即政府选择不完全监管,港口企业不实行减排.从状态 VI 中可以看出,政府开始重视企业减排,在加强监管的同时,对于不减排的违规企业进行处罚,并且加大处罚力度,同时不断完善减排标准,加大减排宣传力度,促使企业强制减排,状态 VI 逐步向状态 III 转变.

在表 2 的基础上,对 $\det J$ 和 $\text{tr} J$ 在正负情况下进行分析得到的 6 种不同情形,结果如表 3 所示.在表 3 的基础上与双方的减排策略相结合,进一步得到不同情形下的演化稳定策略,结果如表 4 所示.

表 3 不同情形下均衡点稳定性

Table 3 Equilibrium point stability under different conditions

均衡点	情形 1			情形 2			情形 3		
	$\det J$	$\text{tr} J$	稳定性	$\det J$	$\text{tr} J$	稳定性	$\det J$	$\text{tr} J$	稳定性
(0,0)	-	不定	鞍点	+	+	不稳定	-	不定	鞍点
(1,0)	+	-	ESS	-	不定	鞍点	-	不定	鞍点
(1,1)	+	+	不稳定	-	不定	鞍点	-	不定	鞍点
(0,1)	-	不定	鞍点	+	-	ESS	-	不定	鞍点
均衡点	情形 4			情形 5			情形 6		
	$\det J$	$\text{tr} J$	稳定性	$\det J$	$\text{tr} J$	稳定性	$\det J$	$\text{tr} J$	稳定性
(0,0)	+	-	ESS	-	不定	鞍点	+	-	ESS
(1,0)	-	不定	鞍点	+	+	不稳定	+	+	不稳定
(1,1)	+	不定	鞍点	-	不定	鞍点	-	不定	鞍点
(0,1)	-	不定	鞍点	+	-	ESS	-	不定	鞍点

表 4 不同情形下的演化稳定策略

Table 4 Evolutionary stability strategies in different situations

情形	π_1	π_2	π_3	演化稳定策略
1	+	-	-	(完全监管,不减排)
2	+	+	+	(不完全监管,减排)
3	+	-	+	无 ESS
4	-	-	-	(不完全监管,不减排)
5	-	+	+	(不完全监管,减排)
6	-	-	+	(不完全监管,不减排)

命题 2.1 当满足 $\pi t(e_2 - e_0)q + m > \eta(e_2 - e_1)^2 - r_b$ 时,港口企业在不完全监管下的净成本大于减排下的净成本,通过提高 π_2 ,降低政府采取完全监管策略的比例临界值 x^* ,以增大 BC 的面积,推动港口企业逐渐倾向于采取减排策略.

由情形 1,3,4,6 可得,当

$\pi_3 = t(e_2 - e_0)q + m - (\eta(e_2 - e_1)^2 - r_b) < 0$, 即 $t(e_2 - e_0)q + m < \eta(e_2 - e_1)^2 - r_b$ 时,此时不减排成本低于减排成本,港口企业有可能选择不减排策略;由情形 2,3,5 可知,当 $\pi_2 > 0, \pi_3 > 0$ 时,港口企业选择减排,又因为 $\pi_2 > \pi_3$,所以当满足 $\pi_2 > 0$ 时,港口企业会采取减排措施.在情形 3 中,双方策略处于不稳定状态,当 $\pi_2 > 0$,根据 x^* 表达式可知,通过提高 π_2 ,使得不完全监管下的港口不减排成本高于减排成本,来降低政府采取完全监管策略比例的临界值 x^* ,BC 面积逐渐增加,由于 $\frac{\partial x^*}{\partial \pi} < 0$,因此政府可以适当提高监管力度 π ,推动状态 III (图 1(c))向状态 II (图 1(b))发展,即政府不完全监管,企业减排的稳定策略,也是未来港口减排双方发展的良好趋势;当 $\pi_3 < 0$ 时, $x^* \geq 1$,而此时政府采取完全监管比例低于临界值 x^* ,AD 面积增加,状

态Ⅲ(图 1(c))向状态Ⅰ(图 1(a))发展,此时尽管政府倾向于完全监管,但由于监管力度不足,使得企业在不减排下的成本更低,因此稳定策略为不减排,若政府想一味地通过提高单位碳税,强制企业减排,企业势必产生逆反心理,出现寻租等行为,这是政府不愿意看到的,因此,政府需要综合考虑监管力度 π 、单位碳税 t 以及企业的寻租成本 m 这三者之间的关系,即当三者满足 $\pi t(e_2 - e_0)q + m > \eta(e_2 - e_1)^2 - r_b$ 时,企业才会逐渐倾向于减排策略。

命题 2.2 当 $\pi_1 > 0$, 即 $(1 - \delta_1)(e_2 - e_0)tq - \mu > 0$ 时, 此时地方政府完全监管的净收益大于 0, 通过增加 π_1 , 使得港口企业采取减排策略的临界值 y^* 逐渐增大, 使得状态图中的 AB 面积逐渐增加, 地方政府更倾向于完全监管。

根据情形 4, 5, 6 可得, 当

$$\pi_1 = (1 - \delta_1)(e_2 - e_0)tq - \mu < 0,$$

即 $(e_2 - e_0)tq < \delta_1(e_2 - e_0)tq + \mu$ 时, 地方政府完全监管的净收益小于 0, 此时地方政府倾向于不完全监管。由情形 1, 2, 3 可知, 当 $\pi_1 > 0$ 时, 即地方政府监管的净收益大于 0, 地方政府才有可能进行完全监管。根据港口企业采取减排策略比例的临界值 y^* 的值可以看出, 当降低 π_1 时, $y^* < 0$, 该状态下的政府不完全监管, 港口企业也不减排, 也可以被认为处于低碳绿色理念被提出前, 社会中双方最初始的状态。随着可持续发展理念的提出, 政府开始逐渐重视, 由表达式可看出地方政府的净收益与经济绩效指标 δ_1 、单位碳税 t 以及监管成本 μ 有关。政府考虑到地方区域发展, 在监管过程中, 需要对监管成本进行衡量, 过高, 政府的财政压力较大, 影响绩效考核; 过低, 企业减排意愿较弱。由于 $\frac{\partial y^*}{\partial t} > 0, \frac{\partial y^*}{\partial \delta_1} < 0$, 因此, 通过提高单位碳税 t 或者降低经济发展指标的权重系数 δ_1 , 使 y^* 增加, 此时 AB 区域的面积逐渐变大, 促使地方政府的稳定策略向完全监管方向发展。因此, 当满足 $(1 - \delta_1)(e_2 - e_0)tq - \mu > 0$ 时, 政府更倾向于完全监管。

命题 2.3 根据上述状态图及分析可以得到政府与港口企业的两条演化路径: 当初始状态为Ⅰ, 即图 1(a)时, 政府需要加强企业违规处罚力度, 使得演化路径为Ⅰ→Ⅲ→Ⅱ→Ⅴ; 当初始状态为Ⅳ(图 1(d))时, 政府需要加大监管力度以及宣传力度, 同时制定减排标准, 此时演化路径为:Ⅳ→Ⅵ→Ⅲ→

Ⅱ→Ⅴ。

3 数值分析

本节运用 MATLAB 在命题 2.3 中状态Ⅲ的基础上, 对命题 2.1、命题 2.2 做进一步分析, 促使双方达到最优的均衡状态, 以期为今后政府相关政策的制定提供参考性建议。

首先对影响港口企业策略选择的相关因素 δ_1 和 t 进行分析。假设: $e_2 = 4, e_0 = 2, e_1 = 1, q = 1, \mu = 1$; 为了看出不同经济绩效 δ_1 下, 单位碳税 t 对于港口企业减排策略的影响, 选取 $\delta_1 = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7$, 如图 2 所示。从图 2 可以看出, 当碳税较低则处罚效果不明显, 企业不会减排; 当单位碳税超过一定标准后, 企业采取减排策略的比例 y^* 随着单位碳税 t 的增加而增加, 但增长幅度却逐渐降低, 由于碳税在企业可承受范围内时, 具有一定的震慑作用, 但随着碳税增加, 处罚过重, 企业减排的积极性大大降低。随着经济绩效 δ_1 的降低, 环境绩效所占比例增加, 此时政府更注重港口城市的环境发展, 通过合理增加单位碳税来引导港口企业减排, 同时加大宣传力度, 制定和完善相关行业标准。

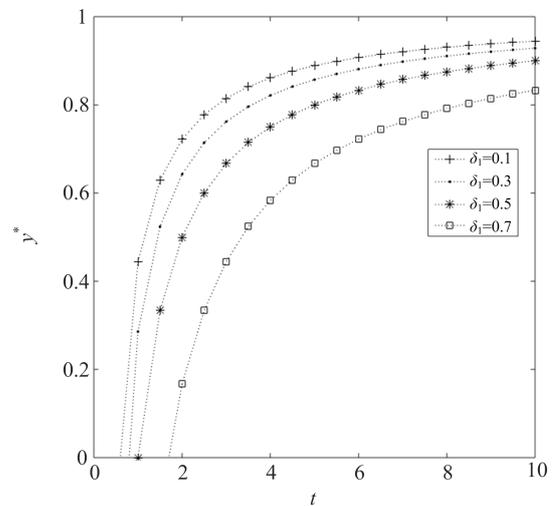


图 2 不同 δ_1 时 y^* 与 t 的关系

Fig. 2 Relationship between y^* and t under different δ_1

接着对影响政府决策的相关因素: π, t 以及 θ , 进行分析。假设: $e_2 = 4, e_0 = 2, e_1 = 1, q = 1, \mu = 1, r_b = 1, \eta = 4$; 为了分析政府监管力度 π 与单位碳税 t 对政府策略选择的影响, 在满足上述条件下, 假设 $\theta = 0.3$ 。如图 3 所示, x^* 与监管力度 π 凹性负相关, 在该情况下, 随着不完全监管下的监管力度增

强,港口企业所面临的不减排净成本随之增加,与减排后的成本收益相比,此时企业倾向于减排且取得较明显的减排效果,而政府的监管成本也相对较低.同理,当政府监管力度 π 相同时,可以发现随着碳税的增加,港口企业如若不减排所面临的惩罚会加大,当碳税增加幅度越大, x^* 所在的截距就越小,这是由于较高水平的碳税对企业具有一定的震慑作用,在该情况下政府可以在不完全监管下促进企业减排的同时,降低自身监管成本的投入,因此通过调节监管力度与单位碳税之间的关系可以降低政府监管成本,影响政府是否完全监管的决策.

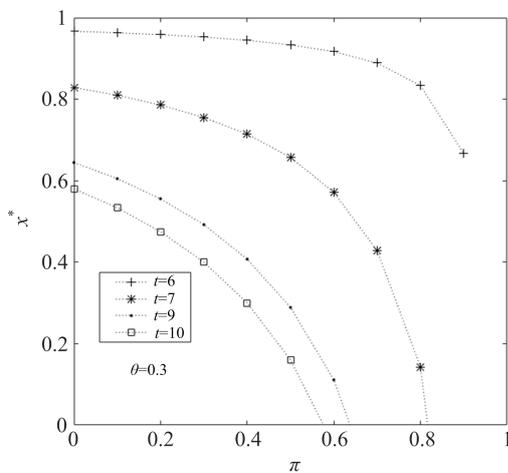


图 3 x^* 与 π, t 关系图示

Fig. 3 Relationship between x^* and π, t

从图 4 中进一步可以发现,当单位碳税较低时,尽管政府倾向于完全监管,但由于政府的处罚力度较低,对企业减排无法起到震慑作用,相对于较高减排成本,企业更愿意选择不减排,因此这也更有力地说明了单位碳税的制定不能过低.通过图 4 得知,当企业的寻租因子相同时,当政府监管力度 π 与单位碳税共同作用增加时, x^* 所在轴的截距下降越快,促使企业在减排的同时,政府也逐渐采取不监管的决策行为.从图 4 中还可发现,当单位碳税相同时,随着企业的寻租因子增加,意味着企业不减排就需要付出更多的寻租成本,当寻租成本过高,企业自然就会衡量利弊,放弃投机行为,当市场逐渐稳定,政府的策略也逐渐为不完全监管.企业的寻租成本受到多方面因素的影响,不仅仅局限于政府监管力度以及单位碳税的高低,还受到自身减排成本高低的影响.寻租行为是无法避免的,但可以通过有效手段来降低其发生的可能性.

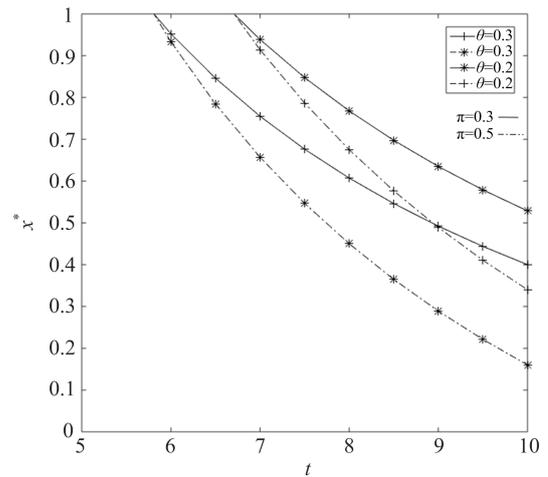


图 4 x^* 与 θ, π 关系图示

Fig. 4 Relationship between x^* and θ, π

4 结论

本文在强制减排的基础上,通过构建地方政府与港口企业减排的演化博弈模型,模型中引入碳税作为惩罚因子,同时考虑了政府的监管成本与企业的寻租成本对于双方决策行为的影响,通过对政府是否完全监管以及港口企业是否减排的行为决策进行分析,研究表明:

(I) 政府不完全监管与企业减排是最佳均衡状态,也是政府最愿意看到的结果.

(II) 当满足 $\pi t(e_2 - e_0)q + m > \eta(e_2 - e_1)^2 - r_b$ 时,即港口企业不减排的净成本大于减排的净成本,这时企业更倾向于减排.此时根据 x^* 可知,影响港口企业采取减排决策行为的主要因素为单位碳税 t 、经济发展权重系数 δ_1 以及政府的监管成本 μ .随着 δ_1 的增加,意味着地方政府受到政绩考核要求,对经济方面更加注重,但由于监管成本过高,使得总收益水平降低,此时政府通过采取提高单位碳税的方式来向不减排的港口企业进行征税,一方面弥补监管过程中的过高的成本投入,增加税收收入,另一方面可以更好地推动港口企业减排.

(III) 当满足 $(1 - \delta_1)(e_2 - e_0)tq > \mu$ 时,政府完全监管下的净收益大于 0,政府会选择完全监管的稳定策略.此时根据 y^* 可知,政府行为主要受到单位碳税 t 、监管力度 π 以及企业寻租因子 θ 的影响,这三种因素相互作用,随着单位碳税的增加,意味着不减排的港口企业会面临较高的处罚,企业为了降低处罚成本,往往会采取寻租的形式,即投机行为,

而政府为了应对企业寻租行为,督促企业减排,通过不断增加监管力度 π ,来降低企业寻租事件几率的发生.对此,地方政府可以通过提高监管力度与单位碳税来增加港口企业不减排下的成本支出,该项举措一定程度上也增加了企业寻租成本,当风险过高时,便会选择减排.当整个市场逐渐稳定时,政府的决策行为也逐渐由完全监管向不完全监管发展.

(IV)根据经济发展权重系数 δ_1 以及监管成本 μ 来制定合理的单位碳税 t ,当三者满足 $(1 - \delta_1)(e_2 - e_0) t q > \mu$ 时,不仅能够降低地方政府在监管过程中总成本的投入,又能促进港口企业减排.在我国当前情形下,受到上级政府的政绩考核要求,当环境指标较大时,地方政府会采取一系列措施积极推动港口企业减排,如制定单位碳税或加强不完全监管下的监管力度.企业则会综合考虑收益得失,选择是否减排,当单位碳税过高时,企业反而更不愿减排,同时政府受到政绩考核要求,其监管成本也需要纳入考量,因此政府在制定单位碳税时需要综合考虑上述因素.

针对上述结论,给出如下具体建议:

地方政府需要综合考虑经济发展权重系数 δ_1 以及监管成本 μ 来制定合理的单位碳税 t ,在保证监管过程中地方政府绩效的基础上,更好地促进港口企业减排.除此以外相关部门需要制定并不断完善港口减排标准和惩罚机制.对于企业的违规行为,政府实施的处罚要确保能够起到震慑作用.

根据企业减排情况适当调整监管力度.在港口企业没有树立减排观念的情况下,政府采取完全监管或加强不完全监管下的监管力度,通过引进专业技术和管理人才,提高监管水平使得监管支出效益最大;当企业实现减排时,政府可逐渐降低监管力度,由市场发挥作用.

由于“油改电”、“岸电”等设施的投入较大,港口企业在减排方面面临着巨大压力,对此政府可以给予港口企业一些相关技术、资金或优先政策等方面的支持,缓解港口企业由于减排所带来的资金压力,从而降低企业不减排的寻租行为发生的概率;同时对于政府人员,应加强思想道德教育,严厉处罚官员受贿违规行为.

加大绿色低碳宣传力度,增强消费者环保意识,让越来越多的人具有低碳绿色偏好,更愿意选择低碳、清洁、高效的港口进行作业,从而使得减排的港口由于减排所获得的额外收益增加,市场份额不断

得到提升,从根本上调动港口减排积极性.

对于港口企业来说,应放眼未来,积极参与减排,在可持续发展理念下,低碳、绿色已逐渐成为影响港口竞争力的主要因素,尽可能地降低由于不减排所带来的处罚以及寻租成本的投入,从长远角度来看,能够给企业自身以及当地和周围城市带来新的发展与机遇.

本文研究的是由地方政府与港口企业的减排演化博弈研究,在未来可以进一步研究港口企业与港口企业之间的减排博弈研究,共同组成区域港口供应链上的减排研究;此外,政府在促进减排方面除了碳税政策以外还有补贴政策、碳限额等,这些政策对于港口企业减排的影响也是今后研究的主要方向.

参考文献(References)

- [1] 刘翠莲, 郁蔚兰. 论我国绿色港口建设[J]. 武汉理工大学学报(社会科学版), 2011, 24(3): 328-331.
LIU Cuilian, YU Toulun. On the construction of green ports in China[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Social Sciences Edition), 2011, 24(3): 328-331.
- [2] PARK J Y, YEO G T. An evaluation of greenness of major Korean ports: A fuzzy set approach[J]. Asian Journal of Shipping & Logistics, 2012, 28(1): 67-82.
- [3] PUIG M, MICHAIL A, WOOLDRIDGE C. Benchmark dynamics in the environmental performance of ports[J]. Marine Pollution Bulletin, 2017, 121: 111-119.
- [4] WOO J K, MOON D S H, LAM J S L. The impact of environmental policy on ports and the associated economic opportunities[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2017, 110: 234-242.
- [5] PARK H, CHANG Y T, ZOU B. Emission control under private port operator duopoly[J]. Transportation Research Part E: Logistics & Transportation Review, 2018, 114: 40-65.
- [6] 李丽平, 李媛媛, 高佳. 美国船舶和港口污染防治经验及对中国的建议[J]. 环境与可持续发展, 2017, 42(5): 111-115.
LI Liping, LI Yuanyuan, GAO Jia. Prevention and control experiences of pollution from vessels and ports in United States and suggestions for China[J]. Environment and Sustainable Development, 2017, 42(5): 111-115.
- [7] 彭传圣. 借鉴美国加州经验推动靠港船舶使用岸电[J]. 港口经济, 2016(2): 10-13.

- [8] 聂鲸郦. 绿色港口建设:深圳如何推进[J]. 开放导报, 2017(6):67-69.
- [9] 吴丹, 翟剑峰, 李巍. 江苏绿色港口引擎持续升级[J]. 中国港口, 2016(10):30-31.
- [10] 赵谓博. 绿色低碳港口指标评价模型及发展模式研究[J]. 港工技术, 2017, 54(5): 80-83.
ZHAO Xubo. Study on the index evaluation model and development patterns of green low-carbon port[J]. Port Engineering Technology, 2017, 54(5): 80-83.
- [11] 彭传圣. 绿色港口等级评价方法研究[J]. 港口经济, 2013(11):5-9.
- [12] 董国松, 范厚明, 张晓楠. 油港企业与政府构建低碳绿色油港的合作博弈[J]. 大连海事大学学报, 2012, 38(1):62-64, 68.
DONG Guosong, FAN Houming, ZHANG Xiaonan. Cooperation and coordination game between oil port enterprises and government in constructing low carbon and green oil port [J]. Journal of Dalian Maritime University, 2012, 38(1):62-64, 68.
- [13] 鲁渤, 王辉坡. 基于演化博弈的政府推动绿色港口建设对策[J]. 华东经济管理, 2017, 31(8):153-159.
LU Bo, WANG Huipo. Counter measures of the government to facilitate green port construction based on evolutionary game theory[J]. East China Economic Management, 2017, 31(8):153-159.
- [14] 李友东, 赵道致, 夏良杰. 低碳供应链环境下政府和核心企业的演化博弈模型[J]. 统计与决策, 2013(20): 38-41.