

Doi: 10.11840/j.issn.1001-6392.2022.02.012

渤海海洋环境治理的演化博弈分析

沈娜娜, 张祖平

(上海海洋大学 海洋文化与法律学院, 上海 201306)

摘 要: 随着海洋强国战略的提出, 海洋经济进入快速发展期。尽管海洋开发的不断深入带来了巨大的经济效益, 但也造成了海洋生态环境的不断恶化。本文基于演化博弈分析方法, 首先探究了渤海海洋环境治理面临的问题, 并就其治理的主体(政府、企业和公众)构建演化博弈模型, 进一步分析三者达到均衡点所需要的条件, 最后提出相关主体参与海洋环境治理的建议。结果显示, 监管成本是影响政府参与监管的主要因素, 企业是否非法排污取决于政府监管效率、非法排污再治理的成本、罚款与按照标准排污成本的利益比较, 而公众是否参与监督则取决于监督成本和回报。因此为了实现渤海海洋环境的有效治理, 应该降低政府监管成本以提高监管效率, 加大对企业非法排污的惩处力度, 畅通公众投诉渠道。

关键词: 渤海; 海洋环境治理; 演化博弈

中图分类号: P76; F224.32

文献标识码: A

文章编号: 1001-6932(2022)02-0224-08

The evolutionary game analysis of the Bohai Sea marine environmental governance

SHEN Nana, ZHANG Zuping

(College of Marine Culture and Law, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: With the proposal of the maritime power strategy, marine economy has entered a period of rapid development. The continuous deepening of marine development, although has brought huge economic benefits, has also caused the continuous deterioration of the marine ecological environment. Based on the evolutionary game theory, this article first explores the problems faced by the marine environmental governance of the Bohai Sea, and constructs an evolutionary game model for the governing bodies (government, enterprises, and the general public). The conditions required for the three to reach an equilibrium point are further analyzed, and the suggestions for relevant entities to participate in marine environmental governance are finally put forward. The results show that the cost is the main factor that affects the government's participation in supervision. Whether a company discharges illegally depends on the comparison among the efficiency of government supervision, the cost of re-treatment of illegal discharge, and fines and standard discharge costs. Whether the public participates in supervision depends on the cost and return of supervision. Therefore, in order to achieve effective management of the Bohai Sea's marine environment, the government should reduce the cost of government supervision to improve supervision efficiency, increase the punishment for enterprises' illegal pollutant discharge, and unblock public complaint channels.

Keywords: Bohai Sea; marine environmental governance; evolutionary game

渤海作为我国唯一的半封闭型内海, 曾是中国著名的渔场和黄金海岸。在地理位置上, 渤海三面环陆, 属于瓶颈形内海, 其封闭性强, 导致海水交

换周期长, 自净能力差, 环境承载能力弱^[1]; 在经济上, 环渤海经济圈是中国重要的海水养殖区、海产品出产区 and 沿海工业区^[2]。根据《2020 年中国海

收稿日期: 2021-05-25; 修订日期: 2021-09-24

基金项目: 农业农村部长江办课题 (D-8021-20-0068); 长江生态保护基金会课题 (D-8006-20-0050)

作者简介: 沈娜娜 (1995—), 硕士, 主要从事渔业环境保护与治理研究。电子邮箱: shennazhe@163.com

通讯作者: 张祖平, 博士, 教授。电子邮箱: zhangzuping@vip.163.com

洋生态环境状况公报》显示,渤海未达到第一类海水水质标准的海域面积为13 490 km²,同比增长750 km²^[3]。不可否认,渤海地区经济的快速发展提高了当地居民的生活质量,但是发展经济绝对不能以牺牲海洋环境为代价。

为了改善渤海的生态环境,2001年国务院批复了《渤海碧海行动计划》,要求到2005年环境污染得到初步控制,2015年近岸海域污染得到控制,生态系统初步改善^[4]。2018年,生态环境部、国家发展和改革委员会、自然资源部联合印发了《渤海综合治理攻坚战行动计划》,目的就是进一步提高渤海生态环境质量。同年,天津市出台了《天津市打好渤海综合治理攻坚战三年作战计划(2018—2020)》。2019年辽宁省制定了《辽宁省渤海综合治理攻坚战实施方案》,要求坚决抓好渤海生态保护修复工作。这些措施虽然在一定程度上改善了渤海环境,但并未达到预期效果,因此探究最佳的渤海海洋环境治理模式意义重大。从治理主体上看,渤海海洋环境的治理一直由政府主导,而其他利益相关者,如企业和公众并没有过多的参与。然而,企业是渤海环境污染的主要制造者,公众是直接的受害者,因此在治理渤海海洋环境的过程中,企业和公众的参与至关重要,否则渤海海洋环境很难得到有效治理。

1 研究现状

有关渤海海洋环境污染的研究已有很多,渤海海洋环境主要面临的问题集中在近岸水体富营养化^[5-6]、陆源污染加重^[7-8]等方面。造成渤海海洋环境污染的原因也多种多样,主要包括陆源入海排污口排放超标、沿海区域开发无序、渔业资源过度捕捞^[1,9]、工业结构重型化、农业污染以及海洋意识淡薄^[10-11]等,其中产业结构不合理是造成渤海海洋环境污染的主要原因。

渤海海洋环境污染因素的多样性导致了渤海环境治理的复杂性和困难性,一些学者已经对此展开研究^[12-14]。在渤海海洋环境治理问题上,国内学者从利益相关者角度提出协同治理的观点,如郑建明等指出治理渤海环境污染的困难在于地方政府间合作程度低、污染治理动力不足、公众及环保组织参与度低等,因此要通过构建政府-市场-社会的多

中心治理模式,促进渤海海洋环境的可持续发展^[15]。曲亚因等从法律的角度指出环渤海海洋环境治理面临的困境为区域性法规体系不健全、海上协同执法机制不完善以及公益诉讼机制不健全,有必要通过建立健全区域性海洋治理法律体系、完善海上协同执法机制和制订海上环境公益诉讼制度等方式来破解困境^[16]。王炎等则通过与国际治理经验的对比,得出渤海海洋环境治理的难点有以下三个方面:渤海治理机制不完善、治理能力不足及执法部门不协调,由此提出完善治理机制、创新污染治理技术和提高政策法规权威性等相关对策^[17]。王利明等认为渤海海洋环境治理存在的主要问题是联动机制不健全、治污成本高、社会公众力量薄弱等,进而提出健全海洋环境污染联动机制、提升环境污染应急措施、确保法律法规的适应性和保证执法过程公正性等措施^[18]。

博弈论被广泛应用于海洋环境治理中,郑冬梅建立了政府、有关海洋环境的企业和保险公司的博弈模型,并得出政府与保险公司、政府与企业、企业与保险公司两两博弈中的均衡解^[19]。吴瑞明等对于流域污染问题,通过建立上游排污方、政府监管方和下游受害群体三方博弈参与主体,发现环境质量决定政府行为^[20]。张继平等通过对海洋环境排污收费的政府主体之间的博弈分析,提出应在排污收费执行方式上设计激励机制,以激励各方利益主体主动配合该制度的有效执行^[21]。Gao等运用演化博弈论的方法,分析了南水北调东线工程中上游政府、下游政府和中央政府之间的相互作用,发现若没有中央政府的监督,上下游政府就不会自发合作地执行流域生态补偿制度^[22]。Hu等运用演化博弈理论的分析方法,构建了具有“奖惩”机制的博弈模型,对流域生态补偿的上下游利益相关者的利益相关决策行为进行了比较,进而根据湘江水质计算出了不同的惩罚区间^[23]。Zhou等则从理论上探讨了财政政策对第三方环境污染治理的作用路径,并建立了地方政府、污染企业和第三方企业三方参与的博弈模型,通过分析复制因子动力学,演化稳定策略以及三个参与者行为的数值模拟,进一步研究了财政政策在第三方环境污染治理中的作用机制^[24]。曹红军等基于演化博弈理论,构建了地方政府间海洋生态环境治理策略的演化博弈分析模型^[25]。

通过上述研究可以发现,有关渤海海洋环境

污染和治理的研究较多,但利用演化博弈理论对渤海进行研究的报道却较少。演化博弈理论已经被证明是研究海洋环境治理的有力工具,然而关于多个主体的博弈互动以及公众参与到博弈过程的研究较少,对于政府、企业和公众三者的博弈研究更不多见。在信息化时代,公众参与社会治理已经成为普遍现象,所以积极引导公众参与到渤海海洋环境治理中,对改善渤海海洋环境至关重要。因此本文采用演化博弈理论来探讨政府、企业和公众之间战略行为变化的影响,以期渤海海洋环境治理提供一种新思路。

2 演化博弈模型的构建与分析

演化博弈的思想来源于生物学领域,摒弃了经典博弈理论中人的完全理性,认为人类是有限理性经济人,因此参与人有限的知识水平、推理能力以及信息收集和处理能力使得其对信息变化不能迅速做出最优化反应,也不能最大化自己的利益。演化博弈理论的基本概念最早由 Smith 等提出:演化稳定均衡,是指如果占群体绝大多数的个体选择了此策略,那么对于任意小的、采用其他策略的突变群体就不能侵入这个群体^[26]。也就是说,随着时间的变化突变群体会消失,而原群体选择的策略则达到演化稳定均衡。因此,演化博弈论更适合探究有限理性经济人在参与渤海海洋环境治理过程中的动态博弈。本文根据渤海海洋环境治理的基本情况提出假设,分析参与者达到演化稳定均衡的条件。

2.1 基本假设

(1) 假设有政府、企业和公众三个博弈群体,参与渤海海洋环境治理的政府、企业和公众都是有限理性经济人,三个群体进行策略交往,政府可以

选择监管或者不监管,其中选择监管的概率为 X ,不监管的概率为 $(1-X)$;企业选择按照标准处理污水的概率为 Y ,非法排放污水的概率为 $(1-Y)$;公众监督的概率为 Z ,不监督的概率为 $(1-Z)$ (X 、 Y 、 Z 都是关于时间 t 的函数)。

(2) 假设企业在正常情况下收益为 P_1 ,企业按照标准处理污水的成本为 C_0 ,若企业非法排污,被政府监管后不但要求进行治理(成本为 C_1 ,且 $C_1 > C_0$),还要罚款 F_1 (监管成功的概率为 $0 < \alpha < 1$)。公众监督情况下,企业非法排污致其社会形象损失为 L_1 ,企业按照标准处理污水获得认可带来的收益为 E_1 。政府实行监管的成本为 C_2 ,在政府监管情况下,对按照标准处理污水的企业给予奖励为 F_2 。若政府不作为,其公信力降低损失为 L_3 ,渤海海域污染量增加为政府带来损失 F_3 ,污染量减少为政府带来收益 F_4 。企业按照标准排放污水为公众带来收益为 P_3 ,企业非法排污为公众带来损失为 L_4 ,公众监督对自己产生积极的影响为 E_3 ,如果监督到企业非法排污,提起诉讼,企业不仅要治理,还要对公众赔偿 E_2 ,公众监督到非法排污得到政府奖励 F_5 ,政府也会罚款 F_1 ($F_1 > F_5$),公众监督成本为 C_3 。

(3) 假设上述所有数据均大于 0。

2.2 模型构建

根据上述假设,构建一个 $2 \times 2 \times 2$ 的非对称重复博弈矩阵,其博弈矩阵如表 1 所示。

2.3 演化稳定策略分析

根据表 1 可以计算出以下等式:

政府监管策略的期望收益为:

$$U_1 = YZ(F_4 - C_2 - F_2) + Y(1-Z)(-C_2 + F_4 - F_2) + (1-Y)(1-Z)(-C_2 + \alpha F_1 - F_3) + Z(1-Y)(-C_2 + F_1 - F_3 - F_5) \quad (1)$$

政府不监管的期望收益为:

表 1 政府、企业和公众三方博弈支付矩阵

策略组合	政府收益	企业收益	公众收益
$\{X, Y, Z\}$	$-C_2 + F_4 - F_2$	$P_1 - C_0 + E_1 + F_2$	$P_3 - C_3 + E_3$
$\{X, Y, (1-Z)\}$	$-C_2 + F_4 - F_2$	$P_1 - C_0 + F_2$	P_3
$\{X, (1-Y), (1-Z)\}$	$-C_2 + \alpha F_1 - F_3$	$P_1 - \alpha C_1 - \alpha F_1$	$-L_4$
$\{X, (1-Y), Z\}$	$-C_2 + F_1 - F_3 - F_5$	$P_1 - C_1 - F_1 - L_1 - E_2$	$-L_4 - C_3 + F_5 + E_2 + E_3$
$\{(1-X), Y, Z\}$	$-L_3 + F_4$	$P_1 - C_0 + E_1$	$P_3 - C_3 + E_3$
$\{(1-X), Y, (1-Z)\}$	$-L_3 + F_4$	$P_1 - C_0$	P_3
$\{(1-X), (1-Y), Z\}$	$-L_3 - F_3 - F_5 + F_1$	$P_1 - L_1 - C_1 - E_2 - F_1$	$-C_3 - L_4 + E_3 + F_5 + E_2$
$\{(1-X), (1-Y), (1-Z)\}$	$-L_3 - F_3$	P_1	$-L_4$

$$U_2 = YZ(F_4 - L_3) + Y(1 - Z)(F_4 - L_3) + (1 - Y)(1 - Z)(-L_3 - F_3) + Z(1 - Y)(-L_3 - F_3 - F_v + F_1) \quad (2)$$

政府群体的平均收益为:

$$\bar{U}_{1,2} = XU_1 + (1 - X)U_2 \quad (3)$$

企业参与治理的期望收益为:

$$U_3 = XZ(P_1 - C_0 + E_1 + F_2) + X(1 - Z)(P_1 - C_0 + F_2) + (1 - X)(1 - Z)(P_1 - C_0) + Z(1 - X)(P_1 - C_0 + E_1) \quad (4)$$

企业非法排污的期望收益为:

$$U_4 = XZ(P_1 - C_1 - F_1 - L_1 - E_2) + X(1 - Z)(P_1 - \alpha C_1 - \alpha F_1) + (1 - X)(1 - Z)P_1 + Z(1 - X)(P_1 - L_1 - C_1 - E_2 - F_1) \quad (5)$$

企业群体的平均收益为:

$$\bar{U}_{3,4} = YU_3 + (1 - Y)U_4 \quad (6)$$

公众参与监督的期望收益为:

$$U_5 = XY(P_3 - C_3 + E_3) + X(1 - Y)(-L_4 - C_3 + F_5 + E_2 + E_3) + (1 - X)(1 - Y)(-C_3 - L_4 + E_3 + F_5 + E_2) + Y(1 - X)(P_3 - C_3 + E_3) \quad (7)$$

公众不参与监督的期望收益为:

$$U_6 = XYP_3 + X(1 - Y)(-L_4) + (1 - X)(1 - Y)(-L_4) + Y(1 - X)P_3 \quad (8)$$

则公众群体的平均收益为:

$$\bar{U}_{5,6} = ZU_5 + (1 - Z)U_6 \quad (9)$$

分别对政府、企业和公众三个群体进行复制动态分析:

$$F(X) = \frac{dX}{dt} = X(U_1 - \bar{U}_{1,2}) = X(1 - X)(U_1 - U_2) \quad (10)$$

$$F(Y) = \frac{dY}{dt} = Y(U_3 - \bar{U}_{3,4}) = Y(1 - Y)(U_3 - U_4) \quad (11)$$

$$F(Z) = \frac{dZ}{dt} = Z(U_5 - \bar{U}_{5,6}) = Z(1 - Z)(U_5 - U_6) \quad (12)$$

分别对 $F(X)$ 、 $F(Y)$ 、 $F(Z)$ 求导得到 $f'_{(X)}$ 、 $f'_{(Y)}$ 、 $f'_{(Z)}$:

$$\begin{cases} f'_{(X)} = (1 - 2X)[YZ(\alpha F_1) + Y(-F_2 - \alpha F_1) - Z(\alpha F_1 - C_2 + \alpha F_1 + L_3)] \\ f'_{(Y)} = (1 - 2Y)[X(F_2 + \alpha C_1 + \alpha F_1) - XZ(\alpha C_1 + \alpha F_1) + Z(C_1 + E_2 + F_1 + E_1 + L_1) - C_0] \\ f'_{(Z)} = (1 - 2Z)[Y(-E_2 - F_5) - C_3 + E_3 + F_5 + E_2] \end{cases} \quad (13)$$

根据式(13)可得出如下结论:

(1) 当 $0 < Y < \frac{\alpha Z F_1 + C_2 - \alpha F_1 - L_3}{\alpha Z F_1 - F_2 - \alpha F_1}$ 时, $\frac{dF(X)}{dX}|_{X=1} < 0$,

$\frac{dF(X)}{dX}|_{X=0} > 0$, 此时 $X = 1$ 为稳定点, 即政府采取监管策略;

当 $1 > Y > \frac{\alpha Z F_1 + C_2 - \alpha F_1 - L_3}{\alpha Z F_1 - F_2 - \alpha F_1}$ 时, $\frac{dF(X)}{dX}|_{X=1} > 0$,

$\frac{dF(X)}{dX}|_{X=0} < 0$, 此时 $X = 0$ 为稳定点, 即政府采取不监管策略。政府选择演化的相位图如图 1 所示:

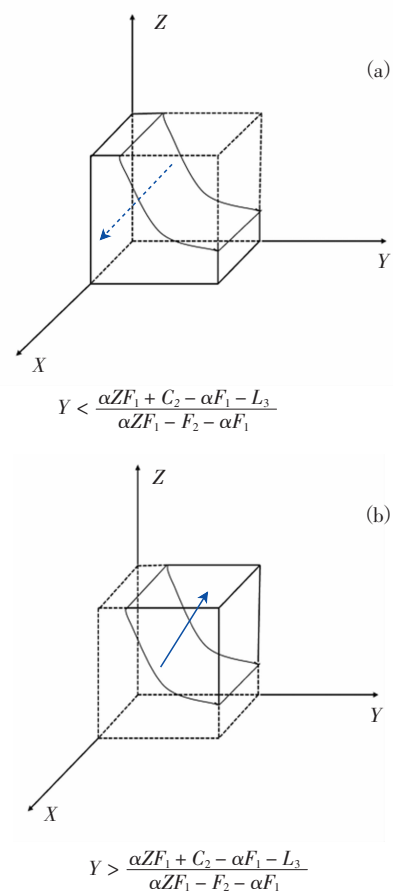


图 1 政府群体动态趋势示意图

(2) 当 $1 > X > \frac{C_0 - Z(C_1 + E_2 + F_1 + E_1 + L_1)}{F_2 + \alpha C_1 + \alpha F_1 - \alpha Z(C_1 + F_1)}$ 时,

$\frac{dF(Y)}{dY}|_{Y=1} < 0$, $\frac{dF(Y)}{dY}|_{Y=0} > 0$, 此时 $Y = 1$ 为稳定点,

即企业选择按照标准排放污水策略。当 $0 < X < \frac{C_0 - Z(C_1 + E_2 + F_1 + E_1 + L_1)}{F_2 + \alpha C_1 + \alpha F_1 - \alpha Z(C_1 + F_1)}$ 时, 此时 $Y = 0$ 为稳定点,

即企业采取非法排污策略。由此, 企业选择演化的相位图如图 2 所示。

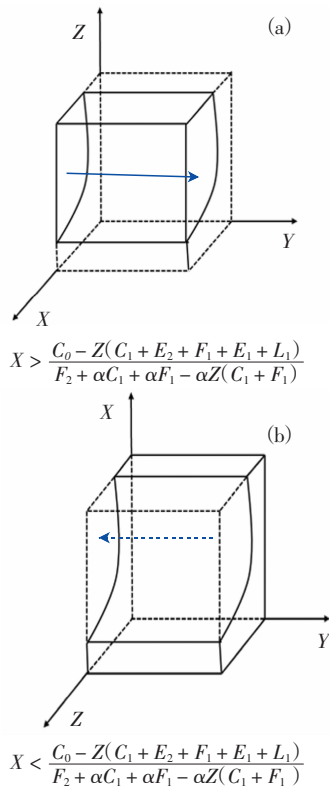


图2 企业群体动态趋势示意图

(3) 当 $0 < Y < \frac{C_3 - E_3 - F_5 - F_2}{-E_2 - F_5}$ 时, $\frac{dF(Z)}{dZ}|_{Z=1} < 0$, $\frac{dF(Z)}{dZ}|_{Z=0} > 0$, 此时 $Z = 1$ 为稳定点, 即公众选择监督策略; 当 $1 > Y > \frac{C_3 - E_3 - F_5 - F_2}{-E_2 - F_5}$ 时, $\frac{dF(Z)}{dZ}|_{Z=1} > 0$, $\frac{dF(Z)}{dZ}|_{Z=0} < 0$, 此时 $Z = 0$ 为稳定点, 即公众选择不监督策略。由此, 公众选择演化的相位图如图3所示。

2.4 三方均衡点及稳定性分析

根据等式 (13), 令 $(F(X), F(Y), F(Z)) = (\frac{dX}{dt}, \frac{dY}{dt}, \frac{dZ}{dt}) = (0, 0, 0)$ 得到动态系统的 8 个

$$J = \begin{bmatrix} (1-2X)G_1 & X(1-X)(\alpha ZF_1 - F_2 - \alpha F_1) & X(1-X)(Y-1)\alpha F_1 \\ Y(1-Y)G_2 & (1-2Y)G_3 & Y(1-Y)G_4 \\ 0 & -Z(1-Z)(E_5 + F_5) & (1-2Z)G_5 \end{bmatrix} \quad (14)$$

其中:

$$\begin{aligned} G_1 &= \alpha YZF_1 + Y(-F_2 - \alpha F_1) - \alpha ZF_1 - C_2 + \alpha F_1 + L_3 \\ G_2 &= (\alpha F_1 + F_2 + \alpha C_1) - Z(\alpha C_1 + \alpha F_1) \\ G_3 &= [X(F_2 + \alpha C_1 + \alpha F_1) - XZ(\alpha C_1 + \alpha F_1) + Z(C_1 + E_2 + F_1 + E_1 + L_1) - C_0] \\ G_4 &= [-\alpha X(C_1 + F_1) + C_1 + E_2 + F_1 + E_1 + L_1] \\ G_5 &= Y(-E_2 - F_5) - C_3 + E_3 + F_5 + E_2 \end{aligned}$$

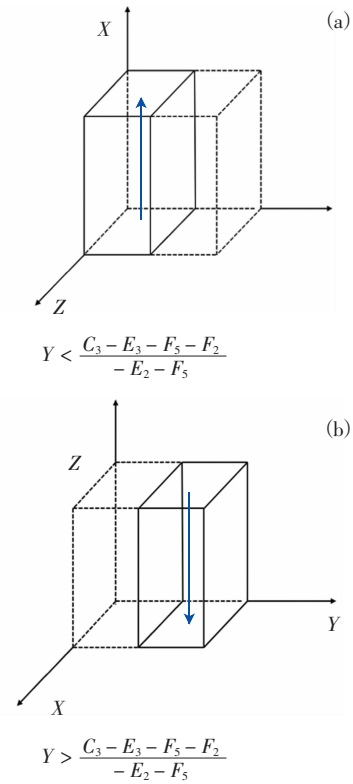


图3 公众群体动态趋势示意图

纯策略解, 分别为 $A(0, 0, 0)$ 、 $B(0, 1, 0)$ 、 $C(0, 0, 1)$ 、 $D(0, 1, 1)$ 、 $E(1, 0, 0)$ 、 $F(1, 1, 0)$ 、 $G(1, 0, 1)$ 和 $H(1, 1, 1)$, 这 8 个点构成了三方演化策略的边界, 进而通过三者复制动态方程组的雅克比矩阵特征值的分布来判断该系统在某点处的稳定性。三者的雅克比矩阵为式(14)。

根据式 (14) 可以得出所有平衡点的特征值, 李雅普诺夫第一法 (间接法) 的基本思想是利用系统特征方程解的性质来判断系统的稳定性, 即当且仅当在该点处的雅克比矩阵的所有特征值都为负数时, 该点为渐进稳定点。由此可得式(15)。

$$J_A = \begin{bmatrix} -C_2 + \alpha F_1 + L_3 & 0 & 0 \\ 0 & -C_0 & 0 \\ 0 & 0 & -C_3 + E_3 + F_5 + E_2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

故 $A(0,0,0)$ 的三个特征值分别为: $\lambda_1 = -C_2 + F_1 + L_3$, $\lambda_2 = -C_0$, $\lambda_3 = -C_3 + E_3 + F_5 + E_2$ 。同理可求得 B、C、D、E、F、G、H 所对应的雅可比矩阵的特征值 (见表 2)。

表 2 演化稳定策略分析

均衡点 (X,Y,Z)	特征值	渐进稳定条件
A(0,0,0)	$\lambda_1 = -(C_2 - \alpha F_1 - L_3)$ $\lambda_2 = -C_0$ $\lambda_3 = -(C_3 - E_3 - F_5 - E_2)$	若 $C_2 > \alpha F_1 + L_3$, 则为鞍点 (不稳定); 若 $\alpha F_1 + L_3 < C_2$ 且 $E_3 + F_5 + E_2 < C_3$, 则稳定
B(0,1,0)	$\lambda_1 = -(C_2 + F_2 - L_3)$ $\lambda_2 = C_0$ $\lambda_3 = -(C_3 - E_3)$	因 C_0 恒大于零, 所以不存在渐近稳定点
C(0,0,1)	$\lambda_1 = -(C_2 - L_3)$ $\lambda_2 = C_1 + E_2 + F_1 + E_1 + L_1 - C_0$ $\lambda_3 = C_3 - E_3 - F_5 - E_2$	因 $C_1 > C_0$, 所以 $\lambda_2 > 0$, 故不存在渐近稳定点
D(0,1,1)	$\lambda_1 = -(F_2 + C_2 - L_3)$ $\lambda_2 = C_0 - E_1 - L_1 - F_1 - C_1 - E_2$ $\lambda_3 = C_3 - E_3$	若 $L_3 > F_2 + C_2$, 则为鞍点 (不稳定); 若 $L_3 < F_2 + C_2$ 且 $C_3 < E_3$, 则稳定
E(1,0,0)	$\lambda_1 = C_2 - \alpha F_1 - L_3$ $\lambda_2 = F_2 + \alpha F_1 + \alpha C_1 - C_0$ $\lambda_3 = -(C_3 - E_3 - F_5 - E_2)$	若 $C_2 < \alpha F_1 + L_3$, $F_2 + \alpha F_1 + \alpha C_1 < C_0$ 且 $E_3 + F_5 + E_2 < C_3$ 时稳定
F(1,1,0)	$\lambda_1 = C_2 + F_2 - L_3$ $\lambda_2 = C_0 - \alpha F_1 - F_2 - \alpha C_1$ $\lambda_3 = -(C_3 - E_3)$	若 $C_2 + F_2 < L_3$, $C_0 < \alpha F_1 + F_2 + \alpha C_1$ 且 $E_3 < C_3$ 时稳定
G(1,0,1)	$\lambda_1 = C_2 - L_3$ $\lambda_2 = F_2 + F_1 + E_2 + C_1 + E_1 + L_1 - C_0$ $\lambda_3 = C_3 - E_3 - F_5 - E_2$	因 $C_1 > C_0$, 所以 $\lambda_2 > 0$, 故不存在渐近稳定点
H(1,1,1)	$\lambda_1 = F_2 + C_2 - L_3$ $\lambda_2 = C_0 - F_2 - F_1 - C_1 - E_1 - L_1 - E_2$ $\lambda_3 = C_3 - E_3$	若 $F_2 + C_2 > L_3$, 则为鞍点 (不稳定); 若 $F_2 + C_2 > L_3$ 且 $C_3 < E_3$, 则稳定

2.5 参数分析

基于表 2 对各主体的演化博弈分析可知, 存在渐近稳定情况的点分别为 A (0, 0, 0)、D (0, 1, 1)、E (1, 0, 0)、F (1, 1, 0)、H (1, 1, 1); 而 B (0, 1, 0)、C (0, 0, 1) 和 G (1, 0, 1) 不存在稳定均衡点。根据均衡点的情况分析如下:

(1) 政府监管策略的选择主要取决于监管成本 (C_2)、对按照标准排污企业的奖励 (F_2)、政府公信力损失 (L_3)、监管效率 (α) 以及对非法企业的惩处力度 (F_1)。监管需要制定专业可行的实施细

则, 培养专门人才, 采买能够分析不同污染物的设备, 这些前期成本巨大, 监管过程中需要大量的人力、物力、财力的支撑, 由此造成监管成本 (C_2) 较高。拥有良好的生态环境是增加民众对政府信任的标准之一, 企业是否按标准排污则直接影响生态环境的优劣, 企业按标准排污与政府公信力之间相互作用, 影响政府在公众中的信任程度。若政府选择不监管对其损失的公信力 (L_3) 影响不大, 相关政府部门则不会因为企业排污而感受到压力, 更不会对企业的非法排污行为使用“硬手段”, 这间接纵容了企业的非法排污行为。监管的效率和处罚的力度是企业是否按标准排污的重要考量因素, 监管效率低、违法成本低导致了企业非法排污的猖獗, 需要政府的重视。因此, 通过降低政府监管成本, 增加对企业的惩罚力度, 提高监管效率, 提升政府公信力以促进政府监管的概率。

(2) 企业按照标准排污的概率取决于按照标准排污成本、非法排污再治理成本和罚款。利润的最大化是一个企业生存发展的目标, 如何把握治污与经济利益的平衡, 企业掌握的信息要比政府更充分^[27]。当违法成本 (F_1) 较低时, 同样的资金投入可以增加利润 (P_1), 但是相同的资金投入按照标准排污当中却没能得到相同的利润回报, 这直接导致了企业在治理成本 (αC_1) 和政府罚款 (αF_1) 之间的权衡, 再加上回报利润的砝码, 会毫不犹豫地选择非法排污, 代价只不过是缴纳较低的罚款。缴纳过罚款的企业会心安理得地排污, 他们将其视为对非法排污的“认可”, 这间接导致了企业非法排污屡禁不止。因此为了使企业能够按照标准排污, 应该降低其按照标准排污的成本, 适当增加非法排污的罚款。

(3) 公众参与渤海海洋环境治理的概率与监督成本 (C_3)、政府奖励 (F_3)、企业赔偿 (E_5)、参与治理所产生的积极效应 (E_2) 有关。政府对于公众监督企业非法排污的奖励不足以弥补其监督的成本 (C_3), 或者企业对公众争取权益的赔偿不足以弥补其维权的成本时, 将会极大打击公众的参与积极性, 甚至降低政府公信力 (L_2), 也会使渤海海洋环境问题陷入企业非法排污、政府“柔性处罚”和公众漠不关心的恶性循环之中。因此, 为了提升公众参与概率, 应该降低公众参与成本, 提高奖励金额, 并通过舆论引导提高公众的参与意识。

3 建议

本文基于渤海海洋环境治理这一问题,构建了政府、企业和公众三者之间的演化博弈模型,分析了三者相互作用的机制,结果显示监管成本是影响政府是否监管的主要因素,按照标准排污的成本是影响企业是否非法排污的重要因素,监督的成本和得到的回报是公众是否积极参与的重要因素,研究发现公众的参与更有利于推动政府监管。由此,本文提出以下建议:

(1) 政府方面:第一,政府需充分运用互联网、大数据、人工智能等新技术以减少人力、物力、财力等成本(C_2)的浪费,如在各个排污口设置报警系统,若水质不达标,则会自动报警,提高监控系统智能化、自动化水平。第二,对按照标准排污的企业的奖励(F_2)要适当,可通过制定税费优惠政策以减少排污设备运行费用,保障企业利润,并对典型企业予以表彰,以起到模范标杆作用,增加企业按标准排污的意愿和自豪感。第三,建立生态修复司法机制以调节惩处力度,针对渤海环境污染事件,渤海环境破坏行为人应在司法机关的有效督促下,积极消除恶劣影响,尽最大努力减轻破坏行为带来的环境危害,将整改情况及带来的破坏后果纳入处罚指标,若整改有力可酌情减轻处罚。第四,适时进行公众满意度调查,落实整改、加强监管以提升民众对政府的信任程度。通过实地走访、电视问政、网络调查等方式了解民众对政府治理企业非法排污问题的满意程度,以促进政府整改,增加民众参与感。第五,通过对企业充分调查,制定合适的惩罚措施。通过对非法排污企业的曝光来降低企业诚信度,影响企业对排污的态度,运用加大罚款、减少税费优惠等措施打消企业以非法排污来换取利润的意图,用适当的惩处措施来规范企业按标准排污的行为。

(2) 企业方面:第一,鼓励企业引进先进排污处理系统。对于规范排污的企业给予奖励表彰和税费优惠,以抵减企业按照标准排污的成本(C_0)。第二,建立企业社会负责制。将渤海海域进行划分,如果所处渤海环境污染恶化,量化指标,时刻将相关数据向社会公众公布,增加公众对企业的了解,提高公众监督的便利度。第三,减少过失性排

污的惩罚,如企业可购买环境污染责任保险。环境污染责任保险是指企业非法排污造成的污染事故,对第三方造成影响和损失,以赔偿责任为标的的保险险种^[28]。企业购买环境污染责任保险,既会督促自身树立环境保护意识,又为过失性排污造成的损失提供了保障。

(3) 公众方面:第一,简化公众投诉渠道,降低公众监督成本(C_3),如通过宣讲渤海海洋环境保护的理论知识以及举行相关海洋保护活动等方式,鼓励公众时常关注渤海海洋生态环境变化,及时了解渤海环境治理的情况,公众可对污染加重或未改善区域及时通过互联网平台反映,实时监督整改进程。第二,制定公众监督奖励制度。可制定奖励措施,将公众参与渤海环境污染监管和治理纳入文明档案,制定星级评定、积分奖励制度,对于参与渤海环境治理的公众给予积分奖励,使用积分可以兑换物质或精神奖励,进而提高公众保护渤海环境的热情。第三,提升公众参与渤海海洋环境治理的积极效应(E_3),可发动群众的力量实时监控渤海污染程度,利用微信公众号、微博、短视频等新媒体,引导公众认识到渤海海洋环境保护的重要性,自觉地监督非法排污企业,树立保护渤海环境的意识。

参 考 文 献

- [1] 李保磊,赵玉慧,杨琨,等. 渤海海洋环境状况及保护建议[J]. 海洋开发与管理,2016,33(10):59-62.
- [2] 王亚民,钟齐旺. 新时代渤海环境污染治理的挑战[J]. 中华环境,2018(9):49-51.
- [3] 中华人民共和国生态环境部. 2020年中国海洋生态环境状况公报[R/OL]. (2021-05-24) [2021-05-30]. P020210526318015796036.pdf (mee.gov.cn).
- [4] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于渤海碧海行动计划的批复:国函[2001]124号[A/OL]. (2001-10-01) [2021-05-20]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2001/content_61148.htm.
- [5] 于春艳,李冕,鲍晨光,等. 渤海海域富营养化评价及风险预测[J]. 海洋环境科学,2015,34(3):373-376.
- [6] 杨一,李维尊,张景凯,等. 渤海湾天津海域海洋污染防治策略探讨[J]. 海洋环境科学,2016,35(1):49-54.
- [7] 曾容,路文海,杨翼,等. 渤海生态环境问题与管理对策分析[J]. 海洋开发与管理,2015,32(5):91-96.
- [8] 王诺,李慧,卢月,等. 渤海沿岸地区经济发展与入海排污量关系研究[J]. 海洋湖沼通报,2016(5):28-36.
- [9] 卜志国,郑琳,崔文林,等. 渤海海洋环境污染现状与管理对策研究[J]. 海洋开发与管理,2009,26(8):34-36.

- [10] 陈航,黄杰,张春雨. 社会经济活动对渤海海洋环境影响的压力分析[J]. 经济师, 2015(2): 63-64.
- [11] 马宏伟. 渤海海洋生态环境问题特征与整治策略[J]. 黑龙江科学, 2020, 11(22): 158-159.
- [12] 王琪,赵海. 基于复合生态系统的渤海环境管理路径研究[J]. 海洋环境科学, 2014, 33(4): 619-623.
- [13] 王子玥,李博. 环渤海地区海洋经济与海洋环境污染关系研究[J]. 资源开发与市场, 2017, 33(9): 1051-1057.
- [14] 张晓丽,姚瑞华,徐昉. 陆海统筹协调联动助力渤海海洋生态环境保护[J]. 环境保护, 2019, 47(7): 13-16.
- [15] 郑建明, 刘天佐. 多中心理论视域下渤海海洋环境污染治理模式研究[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2019(1): 22-28.
- [16] 曲亚囡,段穷,李佳. 环渤海海洋生态环境治理法律问题研究[J]. 环渤海经济瞭望, 2019(11): 122-124.
- [17] 王炎,裴兆斌. 环渤海环境污染治理与国际治理经验的启示[J]. 沈阳农业大学学报(社会科学版), 2019, 21(6): 663-668.
- [18] 王利明,马蕾,杨晓飞,等. 渤海环境污染的治理与保护对策[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(3): 109-111.
- [19] 郑冬梅. 海洋环境责任相关者的博弈分析[J]. 保险研究, 2008(10): 31-37.
- [20] 吴瑞明,胡代平. 流域污染治理中的演化博弈稳定性分析[J]. 系统管理学报, 2013, 22(5): 664-672.
- [21] 张继平,彭馨茹,郑建明. 海洋环境排污收费的利益主体博弈分析[J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(6): 894-899.
- [22] GAO X, SHEN J, HE W, et al. An evolutionary game analysis of governments' decision-making behaviors and factors influencing watershed ecological compensation in China[J]. Journal of Environmental Management, 2019(251): 109-128.
- [23] HU D B, LIU, H W, et al. Research on the ecological compensation standard of the basin pollution control project based on evolutionary game theory and by taking Xiangjiang River as a case[J]. Frontiers of Engineering Management. 2019(6): 575-583.
- [24] ZHOU C H, XIE H L, ZHANG X M. Does fiscal policy promote third-party environmental pollution control in China an evolutionary game theoretical approach[J]. Sustainability, 2019(16): 11-19.
- [25] 曹洪军,蔡学森. 地方政府海洋生态环境治理策略选择的演化博弈分析[J]. 中国渔业经济, 2021, 39(1): 22-30.
- [26] SMITH, PRICE. The logic of animal conflicts[J]. Nature, 1973(246): 15-18.
- [27] 张林姣,沈满洪. 东海陆源污染治理的演化博弈分析[J]. 海洋开发与管理, 2017, 34(4): 3-12.
- [28] 李文玉,郭权,徐明. 环境污染责任保险的美国经验及中国实践[J]. 中国环境管理, 2020, 12(2): 50-55.

(本文编辑:王少朋)