

海洋环境风险的生态补偿博弈分析^{*}

张继伟^{1,2} 黄歆宇³

(1. 北京师范大学环境学院 北京 100875; 2. 国家海洋局第三海洋研究所 厦门 361005;
3. 厦门市环境保护局 厦门 361004)

摘 要 日益严重的海洋环境风险问题,从根本上来讲是海洋环境管理部门与潜在的风险企业等利益主体从个体理性的角度博弈的结果。文章从博弈论角度分析海洋管理部门保护行为和化工企业是否采取风险防范措施之间的内在经济学关系。结果显示,影响化工企业是否采取风险防范措施的关键因素是政府的处罚力度和政府的监管成本,从有效激励企业规范自身行为,促使其主动采取有效的风险防范措施角度看,管理部门对化工企业的强制生态补偿是必须的,基于环境风险的生态补偿机制的建立将有效提升海域环境风险管理水平,减少化学品泄漏发生的概率。

关键词 博弈;海洋环境风险;生态补偿

随着船舶海运有毒有害液体化学物质运量的不断加大,化学品泄漏的环境风险问题已经成为威胁我国海洋生态安全的重要因素之一。然而,面对不合理的海洋资源利用方式,海洋环境管理部门主要采取法律和行政手段实施禁止,基本上不采用经济手段。由于缺乏相应的经济政策与经济机制的保障,法律手段或行政手段难以发挥其正常效用,对潜在的环境风险缺乏有效的应对机制。

日益严重的海洋环境风险问题,从根本上来讲是海洋环境管理部门与潜在的风险企业等利益主体从个体理性的角度博弈的结果^[1]。针对风险企业个体理性与海域集体理性的矛盾,将基于环境风险的生态补偿理念纳入到海洋环境管理之中,能够在海洋生态保护实施者(如,海洋保护区)和受益者(风险企业)之间重新分配生态保护产生的社会净

效益,从源头入手解决海岸带经济发展与海洋环境保护的冲突。在构建海洋生态补偿机制时,可以借助博弈论这一手段,预测各博弈方理性条件下的行为选择,从而为补偿过程中涉及的成本分担、补偿对象和补偿模式等问题提供理论依据和决策支持^[2]。

目前,国内外生态补偿的研究主要集中在森林、湖泊和水资源生态补偿方面,对海洋资源生态补偿研究相对较少。溢油事故的生态损害补偿是海洋生态补偿中研究较多的方面,研究重点主要集中在海洋生态损害计量评价和计量模型建立、补偿依据与补偿标准等方面^[3-13],对于海洋生态补偿政策中补偿主体与补偿对象之间的行为决策分析罕见报道。

笔者拟从博弈论角度分析海洋环境管理部门保

^{*} 基金项目:国家海洋局青年海洋科学基金资助项目(2008121);海洋三所基本科研业务费专项资助项目(海三科2007008)。

护行为和化工企业是否采取风险防范措施之间的内在经济学关系, 以期为政府制定海洋环境风险的生态补偿政策提供参考。

1 博弈模型

一个完整的博弈问题包括参与人、行动、策略、得益、结果和均衡等基本要素, 参与人、行动和结果统称为“博弈规则”^[14]。针对海洋环境风险的生态补偿问题, 博弈模型可设计为:

$$G = \{P, S, I, U\}$$

参与人是博弈中的决策主体, 他的目的是通过选择行动 (或策略) 以最大化自己的得益水平^[15]。本模型中参与人 $P = P_i (i = 1, 2)$, P_1 为带来海洋生态环境风险的化工企业 (以下简称“企业”), P_2 为海洋环境管理部门 (以下简称“管理部门”)。需要特殊说明的是当海洋水体由于化学品泄漏被污染后, 为不使污染者增加的收益 (或者说对海洋生态环境的破坏) 由公众承担, 管理部门必须作为代表公众利益的博弈方, 其主要措施是监督处罚。博弈模型中参与人均均为理性经济人, 管理部门和企业均满足理性经济人假设。

在生态补偿过程中, 笔者认为管理部门有“是否对海洋生态资源受到环境风险威胁时进行保护”的选择权, 这种保护不是指管理部门进行的日常保护, 而是指在受到环境风险威胁时进行的一种特定保护或追加保护。

这样形成了博弈策略集合:

$$\begin{pmatrix} S_{11} S_{12} \\ S_{21} S_{22} \end{pmatrix}$$

S_{ik} 表示第 i 个参与人所做出的第 k 个策略, 其中 S_{11} 表示企业采取风险防范措施, S_{12} 表示企业不采取风险防范措施, S_{21} 表示管理部门实施环境保护, S_{22} 表示管理部门不实施环境保护。

支付函数。管理部门如果发现企业造成化学品泄漏事故带来一定的海洋生态损失, 必须根据相关法律法规给予处罚; 如果没有造成生态损失则对企业不罚款也不奖励。无论有没有发现化学品泄漏污染, 监管成本都相同, 但是如果不保护, 则监管成

本为零。

1.1 海洋环境风险管理博弈模型

假设 C_0 代表管理部门的监管成本, C_1 代表企业采取风险防范措施成本, F 表示发现企业造成化学品泄漏后的罚款额, L 表示企业由于化学品泄漏造成的损失, P 表示企业用海收益, 其中 $C_i (i = 0, 1)$ 、 F 、 L 、 P 均大于零。另外, 认为管理部门的监管成本 C_0 主要包括设备投入、技术投入、法律环境和人员工资及其他劳务费用等投入。这样, 企业和管理部门在化学品泄漏损失这一问题上的博弈模型支付矩阵可如表 1 所示。

表 1 海洋环境风险管理博弈模型支付矩阵

		企 业	
		采取风险防范措施	不采取风险防范措施
管理部门	保护	$-C_0, -C_1$	$-C_0 + F, P - F - L$
	不保护	$0, -C_1$	$0, P$

1.2 实施生态补偿后的海洋环境风险管理博弈模型

实际上, 管理部门的监管成本不能无限制的提高^[16-17]。因此, 提出如下假设: 每年由企业出资 M , 用于管理部门加强对海域的监管以及提高执法水平和化学品泄漏的应急反应水平等能力建设。若当年企业没有发生泄漏事故, 则在第二年返还给企业 M ; 若当年企业发生了泄漏事故, 则该资金不返还。 M 也可以看做是企业对其使用海域的一种生态补偿。根据以上混合战略纳什均衡计算结果, 假设海域化学品泄漏事故发生概率为 θ , 博弈模型支付矩阵见表 2。

表 2 采取补偿措施后的海洋环境风险管理博弈模型支付矩阵

		企 业	
		采取风险防范措施	不采取风险防范措施
管理部门	保护	$-C_0 + \theta M, -C_1 - \theta M$	$-C_0 + F + \theta M, P - F - L - \theta M$
	不保护	$0 + \theta M, -C_1 - \theta M$	$0 + \theta M, P - \theta M$

2 结果与讨论

2.1 博弈模型结果

在表 1 中, 如果 $-C_0 + F < 0$, 即管理部门选择保护的效用为负值时, 从自身利益考虑, 管理部门会选择不保护, 而当企业知道管理部门对环境保护缺乏动力时, 他们会选择尽量逃避各种风险防范措施, 从而造成化学品泄漏事故的发生; 如果 $P - F - L$ 远大于采取风险防范措施的成本, 即化学品泄漏污染处罚力度较小, 无论管理部门是否采取措施加强监管防止化学品泄漏污染, 企业选择依然是有利可图。排除这两种情况后, 不存在纳什均衡。

根据表 1 的博弈模型结果分析, 当管理部门采取“保护”这一策略时, 企业会比较“采取风险防范措施”和“不采取风险防范措施”时自己收益的大小, 而只有当 $-C_1 > P - F - L$ 时, 企业才会“采取风险防范措施”; 当管理部门采取“不保护”这一策略时, 由于企业“不采取风险防范措施”获得的收益 P 始终大于“采取风险防范措施”获得的收益 $-C_1$, 因此企业一定会“不采取风险防范措施”。

2.2 混合战略纳什均衡

假设管理部门采取保护的概率为 α , 企业采取风险防范措施的概率为 β , 有以下两种情形。

(1) 给定管理部门采取执法检查的概率 α , 那么企业采取风险防范措施 ($\beta = 1$) 或者不采取风险防范措施 ($\beta = 0$) 的期望收益分别为:

$$U_{\text{企业}}(\alpha, 1) = -C_1$$

$$U_{\text{企业}}(\alpha, 0) = (P - F - L)\alpha + P(1 - \alpha)$$

联立上两式解得 $\alpha = \frac{P + C_1}{F + L}$ 。方程的解表示:

如果管理部门保护的概率小于 α , 企业的最优选择不采取风险防范措施, 从而导致化学品泄漏发生事故概率提高; 如果管理部门保护的概率大于 α , 企业的最优选择是随机选择采取或者不采取风险防范措施。

(2) 给定企业采取风险防范措施的概率 β , 那么管理部门采取保护 ($\alpha = 1$) 或者不采取保护 ($\alpha = 0$) 的期望收益分别为:

$$U_{\text{管理部门}}(1, \beta) = -C_0\beta + (-C_0 + F)(1 - \beta)$$

$$U_{\text{管理部门}}(0, \beta) = 0$$

联立上两式解得 $\beta = \frac{F - C_0}{F}$ 。方程的解表示:

如果企业采取风险防范措施的概率小于 β , 管理部门的最优选择是实施保护; 如果企业采取风险防范措施的概率大于 β , 管理部门的最优选择是随机选择保护或者不保护。

因此, 该博弈的混合战略纳什均衡为: $\alpha = \frac{P + C_1}{F + L}$ 、 $\beta = \frac{F - C_0}{F}$, 即管理部门采取 $\alpha = \frac{P + C_1}{F + L}$ 的概率进行保护, 企业采取 $\beta = \frac{F - C_0}{F}$ 的概率采取风险防范措施。

从理论上分析, 只有当不采取风险防范措施的收益为 0 或负数时, 企业才会 100% 地采取措施防范化学品泄漏事故发生。如果管理部门实施保护的目的是为了获取正收益, 而是为了有效减少化学品泄漏给海洋生态环境造成的损失, 为达到此目的甚至宁可接受负收益^[18], 当管理部门实施保护的收益为 0 时, 既节省了多余的监管成本又可以有效遏制化学品泄漏事故的发生。因此, 管理部门实施保护的收益等于 0 时, 其监管效率最高。

2.3 实施生态补偿后的博弈结果分析

根据以上混合战略纳什均衡计算结果, 实施生态补偿后的博弈模型的混合战略纳什均衡依然为:

$$\alpha = \frac{P + C_1}{F + L}、\beta = \frac{F - C_0}{F}, \text{即管理部门采取 } \alpha = \frac{P + C_1}{F + L}$$

的概率进行监管保护, 企业采取 $\beta = \frac{F - C_0}{F}$ 的概率采取风险防范措施。这样的结果与表 1 比较, 实际上是企业每年出资 θM 用于补偿自身使用海域的损失, 管理部门每年增加了 θM 的经费用于海域监管能力建设和海洋生态保护。

3 结论

博弈分析是一种解决冲突的有效工具^[19]。体现在海洋自然保护区管理中的关键作用在于预测博弈方理性条件下的行为选择, 从而为海洋生态保护过程中的成本和利益问题的解决以及生态补偿的实施提供一定的理论依据和决策支持。从以上的博弈分析, 可以得出以下结论。

(1) 无论管理部门是否采取“保护”这一策略, 只有当企业化学品泄漏后带来的收益减去企业由于泄漏污染行为被管理部门罚款和泄漏自身造成的损失后的结果不大于零时, 企业才会“采取风险防范措施”。当管理部门采取“不保护”这一策略时, 由于企业“不采取风险防范措施”所获得的收益始终大于“采取风险防范措施”所获得的收益, 那么企业一定“不采取风险防范措施”。因此, 管理部门的监管对于防范海上化学品泄漏行为是必须的。

(2) 影响企业是否采取风险防范措施的关键因素是管理部门的处罚力度和监管成本, 管理部门处罚力度越大, 企业采取风险防范措施的概率就越

高; 影响管理部门是否进行监管保护的因素在于管理部门的处罚力度、化学品泄漏后的损失大小、企业造成泄漏后的收益水平和企业采取风险防范措施的成本, 管理部门处罚力度和化学品泄漏后损失越大, 管理部门采取监管保护的概率就越低。

(3) 如果管理部门实施保护的目的是为了获取正收益, 而是为了有效减少化学品泄漏给海洋生态环境造成的损失, 为达到此目的甚至宁可接受负收益, 这样管理部门监管效率最高时为管理部门实施保护收益为0时。

(4) 如果管理部门出台制度规定企业必须为其使用海域可能造成的海洋生态损失进行生态补偿时, 代表公众利益的管理部门每年将从企业得到 θM 的经费用于海域监管能力建设和生态保护, 从而提升海洋生态环境质量, 减少化学品泄漏发生概率。

(5) 建议管理部门将基于环境风险的生态补偿的概念纳入到海洋自然保护区的管理之中, 针对可能发生的化学品泄漏环境风险建立相应的海洋自然保护区生态补偿机制, 真正实现环境管理模式从“应急反应型”向“预防创新型”的战略转变。

参考文献:

- [1] 梁丽娟, 葛颜祥, 傅奇蕾. 流域生态补偿选择性激励机制——从博弈论视角的分析 [J]. 农业科技管理, 2006, 25 (4): 49-52.
- [2] 张向前. 海洋经济建设中若干现象的博弈分析 [J]. 石油大学学报: 社会科学版, 2002, 18 (2): 24-27.
- [3] Cowell R. Substitution and scalar politics: Negotiating environmental compensation in Cardiff Bay [J]. Geoforum, 2003, 34: 343-358.
- [4] Elliott M, Cutts N D. Marine habitats: Loss and gain, mitigation and compensation [J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 49: 671-674.
- [5] French D, McCay J J, Rowe N W, et al. Estimation of potential impacts and natural resource damages of oil [J]. Journal of Hazardous Materials, 2004, 107: 11-25.
- [6] Johst K, Drechsler M, Witzold F. An ecological-economic modelling procedure to design compensation payments for the efficient spatio-temporal allocation of species protection measures [J]. Ecological Economics, 2002, 41: 37-49.
- [7] R Geenier, M D Young, A D McDonald, et al. Incentive instruments for the sustainable use of marine resources [J]. Ocean & Coastal Management, 2000, 43: 29-50.
- [8] 高振会, 杨建强, 崔文林. 海洋溢油对环境与生态损害评估技术及应用 [M]. 北京: 海洋出版社, 2005.
- [9] 韩秋影, 黄小平, 施平. 生态补偿在海洋生态资源管理中的应用 [J]. 生态学杂志, 2007, 26 (1): 126-130.

- [10] 纪大伟, 杨建强, 高振会, 等. 海洋溢油生态损害评估研究进展 [J]. 水道港口, 2006, 27 (2): 115 - 119.
- [11] 刘文剑. 海洋资源、环境开发使用补偿费核算探讨 [J]. 中国海洋大学学报: 社会科学版, 2005 (2): 14 - 17.
- [12] 彭本荣. 海岸带生态系统服务价值评估及其在海岸带管理中的应用研究 [D]. 厦门: 厦门大学, 2005.
- [13] 王荭, 何广顺, 高中文. 关于海洋资源的资产属性与资产化管理 [J]. 海洋环境科学, 2004, 23 (2): 47 - 50.
- [14] 张维迎. 博弈论与信息经济学 [M]. 上海: 上海人民出版社, 1996.
- [15] 毛显强, 钟瑜, 张胜. 生态补偿的理论探讨 [J]. 中国人口、资源与环境, 2002, 12 (4): 38 - 41.
- [16] 吕一河, 陈利顶, 傅伯杰, 等. 自然保护区管理的博弈分析 [J]. 生物多样性, 2004, 12 (5): 546 - 552.
- [17] 李镜, 张丹丹, 等. 岷江上游生态补偿的博弈论 [J]. 生态学报, 2008, 28 (6): 2 792 - 2 798.
- [18] 李权昆, 祁春节. 提高海洋监察效率的博弈分析 [J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2005 (1): 46 - 48, 52.
- [19] 杨光梅, 闵庆文, 等. 我国生态补偿研究中的科学问题 [J]. 生态学报, 2007, 27 (10): 4 289 - 4 300.