

海陆经济竞合协同演化模型及策略分析^{*}

滕欣,董月娥

(1. 国家海洋技术中心 天津 300112)

摘要:文章分析了海洋经济和陆域经济的关联关系,从海陆经济发展中的竞合行为出发,运用复制者动态方程对海洋经济和陆域经济的竞合协同关系进行表征,获得系统的动态均衡点,并结合相位图分析法对各均衡点的稳定性进行解释,得到不同的演化稳定策略,进而运用 Matlab 对海陆经济竞合策略进行系统模拟仿真,得到不同初始状态参数下海洋经济和陆域经济竞合发展的不同策略。

关键词:海陆经济;竞争与合作;协同演化;策略分析

中图分类号:P74 **文献标志码:**A **文章编号:**1005—9857(2015)09—0090—06

1 引言

随着国家开发利用海洋战略的不断推进,海洋经济得到了迅速发展。21 世纪海上丝绸之路战略为我国海洋经济的发展提供了新的机遇,但是,要实现海洋经济的持续健康发展,需要运用系统思维将海陆经济的发展统一起来,国家提出的海陆统筹的“六个衔接”正是将陆地和海洋的发展定位、发展规划、资源有效利用、生态环境建设、管理、减灾防灾防控体系相衔接,统筹海陆各方面的发展。海洋经济作为国家实现海洋战略的重要保障,也是陆海统筹的重要组成部分,对实现国家战略目标尤为重要。

海陆统筹最早由海洋经济学家张海峰在 2004 年提出,海陆统筹是在综合考虑海陆资源环境特点、海陆社会经济和生态功能以及海陆资源环境生态系统的承载力、社会经济系统的活力和潜力的基础上,以海陆两系统协调为基础进行的区域经济发展战略^[1-2],海陆统筹是从地域整体的角度来研究海陆发展的问题。孙吉亭等提出要从决定机制、作用机制、调节机制 3 个方面深入研究海陆统筹机制,探讨海陆系统的协调和平衡^[3]。范斐等认为海洋经济与陆域经济协同发展是实现海陆统筹、推进海陆经济一体化发展的

重要途径^[4]。也有一些学者运用博弈论研究合作博弈行为、演化路径和稳定性^[5-7]。

2 海陆经济的关联关系

2.1 陆域经济对海洋经济的基础关系

海洋经济由于自身的特点要较多的依赖于陆域经济,陆域经济为海洋经济提供诸多要素,支撑海洋经济的发展,这奠定了陆域经济对海洋经济的基础关系。

2.1.1 为海洋经济发展提供资源保证

海洋经济发展需要各种自然资源作为保障,由于海洋经济区与陆地经济区的交叉重叠性,海洋经济的发展在增加海洋空间、海面、海洋生物和海底矿产等资源开发利用有效性的同时,还需要借助沿海地区陆地资源。

2.1.2 为海洋经济发展提供劳动力和科学技术

陆地地区提供了从事海洋产业活动的所有劳动人口。沿海陆域劳动力的数量和质量直接影响提供给各海洋产业劳动力的状况,从而对海洋产业的发展速度和发展规模造成影响。科学技术是影响经济增长的关键因素和最活跃的因素,决定了经济增长速度和发展方向。现代海洋经济的持续发展,同世界经济发展的总趋势一样,越来越依赖于知识和技术。因为海洋环境的

^{*} 基金项目:海洋公益性行业科研专项子任务(201505001—5)“基于生态系统的区划实施效果评价与辅助决策系统开发”;教育部人文社会科学研究规划基金项目(13YJA630119)“海洋经济与陆域经济协同发展机制及产业共生路径研究”。

复杂性、多变性和高风险性,决定了海洋的开发和海洋经济的发展需要依靠高新技术的发展,陆域科技力量的强弱直接影响到海洋经济创新能力的高低,进而影响到海洋经济的产业结构、生产效率和发展速度。

2.1.3 为海洋经济发展提供发展资金

生产资金是陆域产业发展的重要影响因素。生产资金包括固定资金和流动资金两部分。生产资金对陆域产业发展的作用具体表现在3个方面:①资金投入的增加可提高陆域的产出水平。陆域投入的生产资金越多,能容纳的劳动力越多,生产增长越快。②资金产出率的提高可加快陆域产业发展。③固定资产投资增加可使陆域不断采用先进技术装备,提高生产能力,降低消耗,改善生产条件,合理布局生产力等。

2.2 海洋经济对陆域经济的拉动关系

由于海洋经济与陆域经济的密切联系,作为沿海经济体系的一部分,海洋产业的发展,也会带动陆域产业的发展。

2.2.1 能够缓解陆域资源和能源危机

开发利用海洋资源是人类未来发展的重要途径。海洋油气资源、海洋矿产资源、温差能、潮汐能、海流能、化学能、波浪能等海洋资源和能源的开发利用有利于缓解世界能源危机;盐和海水是提炼镁、溴、钾的重要化工原料;滨海砂矿和海底金属矿产资源可以提炼锰、铜、镍、钴、金红石等工业原料。这些海洋资源可有效补充陆地相关产业所需原料和能源,从而保证陆域经济的发展。

2.2.2 产生“乘数效应”

“乘数效应”是指投资的增加将会引起更大的乃至数倍的增加值的增加。由于海陆产业的相互渗透和相互关联性,海洋产业的发展会带动相关陆域产业的发展,从而获得“乘数效应”。

2.2.3 发展海洋产业可以缓解区域就业压力

发展海洋产业不仅可以直接吸引劳动力就业,而且还可以间接带动陆域产业就业能力的提高,例如钢铁、装备制造、造船、化工、服务业等^[8]。

3 海陆经济竞合协同演化模型构建

由上述分析可知,海洋经济和陆域经济存在着互相补充、互相促进的关联关系,这是一种海

陆经济发展的理想状态,在现实的海洋经济和陆域经济的发展中,二者的发展是竞争与合作并存的,若要达到二者的协同发展,需要一个演化的过程和条件。海陆经济竞合协同演化是一个非常复杂的过程,从中寻找到一条支配性的、内生性的规律非常重要。海洋经济与陆域经济竞争与合作关系的不同,导致了不同的海陆经济组织、结构的演化路径。

3.1 基本假设

(1)经济活动中的参与者海洋和陆域经济是有限理性的,而并非“全知全能”。即海洋和陆域经济只能通过分析历史状况,提取对自己有利的信息,为下一步的策略提供参考。

(2)海洋和陆域经济都具备搜寻、选择、模仿以及学习的技能。

(3)海洋和陆域经济都有“独立”和“合作”两个选择策略。

“独立”是指海洋或陆域经济致力于自身的发展,而不考虑自身发展对对方的影响,同时也损失了由于协同合作而带来的额外收益的一种行为策略。

“合作”是指海洋经济或陆域经济考虑自身的发展可能对其他产业造成的影响,从而加入到海陆相关产业组中,与海陆产业组中产业在政策、资源分配方式、活动方式等方面达成一致,进而共同承担风险并分享由于协同合作而带来的额外收益的一种行为策略。

3.2 参数设定

M 为参与者 X 选择“独立”策略的概率,则 X 选择“合作”策略的概率是 $1 - M$; N 为参与者 Y 选择“独立”策略的概率,则 Y 选择“合作”策略的概率是 $1 - N$; λ 为产业选择独立发展导致产业间矛盾产生的损失值; π 为产业选择独立发展获得的正常收益。

α 为海洋或陆域经济加入产业组后,由于法律法规、活动空间以及其他方面的限制导致自身能力无法尽情施展的损失率。这里假定一段时期内所有产业的 α 值为既定的且相等,具体损失值与经济的发展水平 (L_1 、 L_2) 密切相关。

β 为海洋与陆域经济的相关度,相关度越高,协同效应越高。这里假定一段时期内海洋与陆域经济的 β 为既定的,两产业的协同效用值的大

小与相关产业组的发展水平(L)相关。

3.3 模型构建

A 为海洋经济系统中任意产业, B 为陆域经济系统中任意产业, 并且二者存在相关关系, S 为可能的策略集, $S = \{ \text{“独立”}, \text{“合作”} \}$ 。

海洋与陆域经济博弈的收益情况进行分析如表 1 所示:

表 1 A、B 博弈的收益情况分析

A、B 策略选择	“独立”策略	“合作”策略	“独立”、 “合作”策略
收益	双方均可获得正常收益	双方在政策、行为方式、活动空间等方协商一致, 从而在减少因矛盾产生所造成的损失值 λ , 获取由于协同作用而产生的额外收益 βL	双方不能获得额外收益, 而采用“联合”策略的一方由于加入相关产业组而获取一定的额外收益
损失	双方均由于活动领域交叉、资源有限、公地悲剧的发生等原因, 承受的额外损失值 λ	双方均由于自身发展受限而遭受一部分损失, 损失值与本产业的发展水平有关	双方免受矛盾产生所带来的损失, 采用“联合”策略的一方由于自身发展受限而遭受一部分损失

基于此, A 、 B 的支付矩阵如表 2 所示。

表 2 参与者的支付矩阵

参数	独立(B_1)	合作(B_2)
独立(A_1)	$\pi_1 - \lambda, \pi_2 - \lambda$	$\pi_1, \pi_2 - aL_2 + \beta L$
合作(A_2)	$\pi_1 - aL_1 + \beta L, \pi_2$	$\pi_1 - aL_1 + \beta L, \pi_2 - aL_2 + \beta L$

海洋经济采取独立发展策略的期望收益为

$$U_{1c} = N(\pi_1 - \lambda) + (1 - N)\pi_1$$

海洋经济采取合作发展策略的期望收益为

$$U_{1u} = N(\pi_1 - aL_1 + \beta L) + (1 - N)$$

$$(\pi_1 - aL_1 + \beta L) = \pi_1 - aL_1 + \beta L$$

海洋经济的平均收益为:

$$U_s = M(U_{1c}) + (1 - M)(U_{1u})$$

所以, 海洋经济选择独立发展策略的复制者动态为:

$$F(M) = \frac{dM}{dt} = M(U_{1c} - U_{1u}) = M(1 - M)(aL_1 - N\lambda - \beta L) \tag{1}$$

同理:

$$F(N) = \frac{dN}{dt} = N(U_{2c} - U_{2u}) = N(1 - N)(aL_2 - M\lambda - \beta L) \tag{2}$$

4 海陆产业耦合系统协同演化动态分析

海洋与陆域经济各部门之间的竞争与合作的演化博弈过程可以由式(1)、式(2)构成的微分方程组来描述。复制者动态方程反映了博弈方学习的速度和方向, 当复制者动态方程为 0 时, 则表明学习的速度为 0, 此时该博弈已达到一种相对稳定的均衡状态。

$$\begin{cases} F(M) = \frac{dM}{dt} = M(1 - M)(aL_1 - \beta L - \lambda N) = 0 \\ F(N) = \frac{dN}{dt} = N(1 - N)(aL_2 - \beta L - \lambda M) = 0 \end{cases} \tag{3}$$

因此, 当式(3)成立时, 海洋与陆域经济系统达到一种相对均衡的状态。解方程组可求得海洋产业系统与陆域产业系统有 5 个可能的动态均衡点: $(0, 0)$, $(0, 1)$, $(1, 0)$, $(1, 1)$, $(\frac{aL_2 - \beta L}{\lambda}, \frac{aL_1 - \beta L}{\lambda})$, 而系统平衡点的稳定性可由海陆产业系统相应的 Jaconbian(雅克比)矩阵的局部稳定分析获得。对式依次求 M, N 的偏导数, 可得动态系统的 Jaconbian 矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} (1 - 2M)(aL_1 - \beta L - \lambda N) - \lambda M(1 - M) \\ -\lambda N(1 - N)(1 - 2N)(aL_1 - \beta L - \lambda M) \end{bmatrix} \tag{4}$$

演化均衡是指在动态系统中局部渐进的均衡点, 在两种群两策略的双矩阵演化博弈中, 演化均衡等价于演化稳定策略(evolutionarily stable strategy, EES)。若动态系统中, 某稳定点满足 $\det(\varphi) > 0, \text{tr}(\varphi) < 0$, 则为局部渐进稳定点, 为演化博弈的稳定策略。动态稳定点 $\varphi(0, 0)$ 的 Jaconbian 矩阵为:

$$J\varphi(0, 0) = \begin{bmatrix} aL_1 - \beta L & 0 \\ 0 & aL_2 - \beta L \end{bmatrix}$$
$$\begin{cases} \det(\varphi) = (aL_1 - \beta L)(aL_2 - \beta L) \\ \text{tr}(\varphi) = (aL_1 - \beta L) + (aL_2 - \beta L) \end{cases} \tag{5}$$

同理: $\varphi(0, 1)$

$$\begin{cases} \det(\varphi) = -(aL_1 - \beta L - \lambda)(aL_2 - \beta L) \\ \text{tr}(\varphi) = aL_1 - aL_2 - \lambda \end{cases} \tag{6}$$

同理: $\varphi(1,0)$

$$\begin{cases} \det(\varphi) = -(\alpha L_1 - \beta L)(\alpha L_2 - \beta L - \lambda) \\ \text{tr}(\varphi) = \alpha L_2 - \alpha L_1 - \lambda \end{cases} \quad (7)$$

同理: $\varphi(1,1)$

$$\begin{cases} \det(\varphi) = (\alpha L_1 - \beta L - \lambda)(\alpha L_2 - \beta L - \lambda) \\ \text{tr}(\varphi) = -\alpha L_2 - \alpha L_1 + 2\lambda + 2\beta L \end{cases} \quad (8)$$

同理: $\varphi(\frac{\alpha L_2 - \beta L}{\lambda}, \frac{\alpha L_1 - \beta L}{\lambda})$

$$\begin{cases} \det(\varphi) = (\lambda - \alpha L_1 + \beta L)(\lambda - \alpha L_2 + \beta L) \\ \quad (\alpha L_1 - \beta L)(\alpha L_2 - \beta L) \\ \text{tr}(\varphi) = 0 \end{cases} \quad (9)$$

不同初始状态下各均衡点的稳定性分析如下:

(1)当 $\alpha L_i < \beta L (i = 1,2)$ 时,各局部均衡点的稳定性分析如表 3 所示。

表 3 $\alpha L_i < \beta L (i = 1,2)$ 时模型的演化博弈结果				
均衡点	$\det(\varphi)$ 的符号	$\text{tr}(\varphi)$ 的符号	结果	含义
$p = 0, q = 0$	+	-	ESS	海陆经济耦合发展策略
$p = 0, q = 1$	-	无法确定	鞍点	海洋经济选择合作而陆域经济选择不合作策略
$p = 1, q = 0$	-	无法确定	鞍点	海洋经济选择不合作而陆域经济选择合作策略
$p = 1, q = 1$	+	+	不稳定	海陆经济双方均采取不合作策略

海洋或陆域经济加入海陆产业组后,获得额外收益高于加入产业组的成本,即 $\alpha L_i < \beta L (i = 1,2)$ 时,点 $(0,0)$ 为演化博弈的稳定点,也就是(合作,合作)策略为系统长期演化的稳定策略。虽然在相当长的时期内不合作和合作的策略并存,但随着时间的推移,海洋和陆域经济通过观察学习和模仿会不断调整自己的策略选择,逐步向合作方向发展,如图 1 所示。

按照限定条件,对 $\alpha、\beta、L_1、L_2、L$ 设置相应的数值,运用 Matlab 进行数值验证,由于此种情况与 λ 无关,所以 λ 为任意数值。结果显示,不

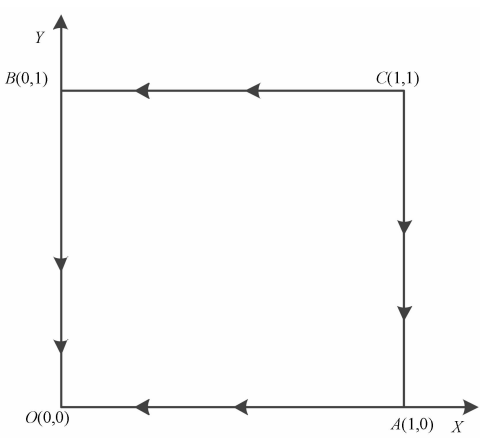


图 1 海陆经济合作策略动态演化相位图

论是何种初始值,通过多次博弈,动态收敛于稳定状态 $(0,0)$,海洋与陆域经济策略的动态演化过程和稳定状态如图 2 所示。

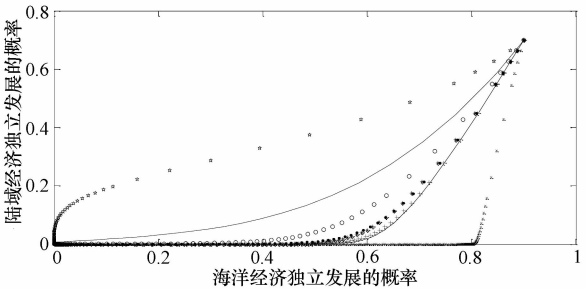


图 2 海陆产业合作策略的动态演化过程

(2)当 $\alpha L_i > \beta L$ 且 $\alpha L_i - \beta L < \lambda (i = 1,2)$ 时,各局部均衡点的稳定性分析如表 4 所示。

海洋和陆域经济加入海陆相关产业组时会考虑加入前后收益或成本的大小,由于 $\alpha L_i - \beta L < \lambda$,也就是说海陆经济加入海陆产业组后整体的损失值降低了,但是由于显性利润的驱使,参与者选择“合作”策略的动机并不强烈。此时,海洋和陆域经济会选择加入或不加入海陆产业组,此种情况下 $(0,1), (1,0)$ 均为海陆经济竞合协同演化的动态均衡点,即(合作,独立)和(独立,合作)都是海陆经济竞合协同演化的稳定策略。

如图 3 所示,平面 $AOBC$ 指海洋和陆域经济博弈的动态过程。临界线 ODC 标志了系统收敛于不同状态,即 $ODCA$ 部分表明系统收敛于(独立,合作)状态, $ODCB$ 部分表明系统收敛于(合作,独立)状态,由于系统的演化过程漫长,因此,哪个象限都不稳定,系统可能在很长时间内保持

一种独立与合作共存的局面。

表 4 $\alpha L_i > \beta L$ 且 $\alpha L_i - \beta L < \lambda (i=1,2)$ 时
模型的演化博弈结果

均衡点	$\det(\varphi)$ 的符号	$\text{tr}(\varphi)$ 的符号	结果	含义
$p=0, q=0$	+	+	不稳定	海陆经济耦合发展策略
$p=0, q=1$	+	-	ESS	海洋经济选择合作而陆域经济选择不合作策略
$p=1, q=0$	+	-	ESS	海洋经济选择不合作而陆域经济选择合作策略
$p=1, q=1$	+	+	不稳定	海陆经济双方均采用不合作策略
$p=\frac{\alpha L_2 - \beta L}{\lambda}, q=\frac{\alpha L_1 - \beta L}{\lambda}$	+	无法确定	鞍点	海陆产业动态系统当前状态演化点

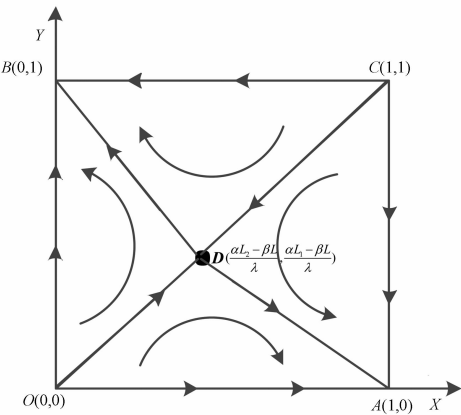


图 3 海陆经济竞争策略动态演化相位

同理,按照限定条件,对 α 、 β 、 L_1 、 L_2 、 L 、 λ 设置相应的数值,运用 Matlab 进行数值验证。结果显示,不论是何种初始值,通过多次博弈,动态收敛于稳定状态 $(0,1)$ 、 $(1,0)$ 点, $\alpha L_i > \beta L$ 且 $\alpha L_i - \beta L < \lambda (i=1,2)$ 时,海洋与陆域经济策略选择的动态演化过程和稳定状态见图 4。

(3)当 $\alpha L_i > \beta L$ 且 $\alpha L_i - \beta L > \lambda (i=1,2)$ 时,各局部均衡点的稳定性分析如表 5 所示。

海洋和陆域经济在加入海陆产业组时依然会考虑加入前后收益或成本的大小,由于 $\alpha L_i > \beta L$ 且 $\alpha L_i - \beta L > \lambda (i=1,2)$,也就是说,海洋和陆域经济加入海陆产业组后整体损失值升高了。

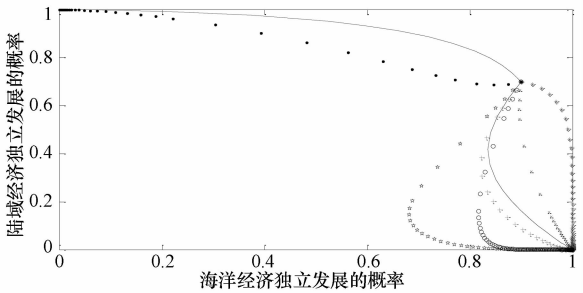


图 4 海陆产业竞争策略的动态演化过程

此时海洋和陆域经济会选择“独立”策略。此时,演化动态均衡点是 $(1,1)$,即(独立,独立)是系统演化稳定策略(图 5)。

表 5 $\alpha L_i > \beta L$ 且 $\alpha L_i - \beta L > \lambda (i=1,2)$ 时
模型的演化博弈结果

均衡点	$\det(\varphi)$ 的符号	$\text{tr}(\varphi)$ 的符号	结果	含义
$p=0, q=0$	+	-	不稳定	海陆经济耦合发展策略
$p=0, q=1$	-	无法确定	鞍点	海洋经济选择合作而陆域经济选择不合作策略
$p=1, q=0$	-	无法确定	鞍点	海洋经济选择不合作而陆域经济选择合作策略
$p=1, q=1$	+	-	ESS	海陆经济双方均采用不合作策略

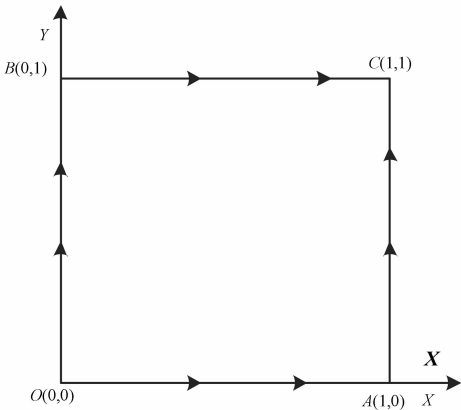


图 5 海陆经济独立策略动态演化相位

同理,对 α 、 β 、 L_1 、 L_2 、 L 、 λ 设置相应的数值,运用 Matlab 进行数值验证。结果显示,不论是何种初始值,通过多次博弈,动态收敛于稳定状态 $(1,1)$ 点, $\alpha L_i > \beta L$ 且 $\alpha L_i - \beta L > \lambda (i=1,2)$ 时,海洋与陆域经济竞争策略的动态演化过程

和稳定状态如图 6 所示。

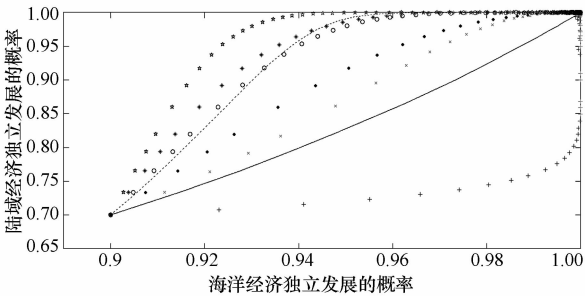


图 6 海陆经济独立策略的动态演化过程

模型的推导为进一步解释海洋与陆域经济的协同行为提供了有益借鉴。经分析得知,初始状态参数决定了鞍点 D 在演化博弈策略域中的位置,海洋与陆域经济的演化趋势可通过分析鞍点 $(\frac{\alpha L_2 - \beta L}{\lambda}, \frac{\alpha L_1 - \beta L}{\lambda})$ 来讨论^[9-10]。

5 海陆经济竞合策略选择

由式(3)可知,影响海陆经济竞合协同演化的参数有:海洋和陆域经济获得正常收益的同时,选择“独立”而承受的额外损失 λ ;一个海洋产业或陆域产业加入产业组后,由于法律法规,活动空间以及其他方面的限值,导致自身能力无法尽情施展而受到的损失率 α ;此海洋产业或陆域产业与海陆产业组的相关度 β 、海陆产业组的发展水平 L 。

若 α 值偏大,相对于固定的经济规模,海洋产业或陆域产业加入海陆产业组的损失值就会大,如果 α 偏小,损失值就会小。 α 大小的影响因素有技术水平和资源,当海陆产业技术水平高,资源相对匮乏时, α 值较高;反之, α 值较低。 α 值高促

使海洋产业和陆域产业偏向于选择“独立”发展策略, α 值低则推动海洋和陆域经济偏向于选择“合作”发展策略。

如果 β 值偏大,说明海洋产业和陆域产业与即将加入的海陆产业组间存在技术共用、资源共享等比较有利的关系; β 值越大,则加入相关产业组获得的额外收益也就越大,反之,收益越小,较高的 β 值促使海陆经济偏向于选择“合作”发展策略。

如果 λ 值偏大,说明产业越有动力与其他产业联合, λ 值偏小,说明产业与其他产业合作的动力不足, λ 大小与经济发展水平紧密相关,经济发展水平较低,则资源相对充足,各产业各得其所,相安无事, λ 值越小;经济发展水平较高时,新增产业及技术水平提高均会导致矛盾的增多。 λ 值较高会促使产业倾向于选择“合作”策略。

如果 L 值偏大,说明海陆相关产业组发展水平越高,海洋产业加入产业组中获得的额外收益越高;反之,海陆相关产业组发展水平较低,产业加入产业组获得额外收益就越低。较高的 L 促使产业偏向于选择“合作”策略。

6 结论

文章通过分析海陆经济的关联关系,以海陆经济发展中的竞合协同关系为着眼点,运用复制者动态方程对海洋经济与陆域经济的竞合协同关系进行模拟,获得系统的动态均衡点,进而结合相位图分析法对各均衡点的稳定性进行解释,对不同初始状态参数下海洋经济和陆域经济竞合策略的动态演化过程及稳定状态进行仿真,得到不同的演化稳定策略。

参考文献

[1] 张海峰,胡奎.实施“海陆统筹”战略 树立科学的能源观:提交首届中国工业节能大会[C]//2004 年中国太平洋学会年会. 2004:132-137.

[2] 张海峰.再论海陆统筹兴海强国[J].太平洋学报,2005(7):14-17.

[3] 孙吉亭,赵玉杰.我国海洋经济发展中的海陆统筹机制[J].广东社会科学,2011(5):41-47.

[4] 范斐,孙才志.辽宁省海洋经济与陆域经济协同发展研究[J].地域研究与开发,2011,30(2):59-63.

[5] 曹兴,张琰飞.“两型”技术研发主体演化博弈及其稳定性分析[J].系统工程,2014,32(2):64-70.

[6] 潘峰,西宝,王琳.地方政府间环境规制策略的演化博弈分析[J].中国人口·资源与环境,2014,24(6):97-102.

[7] 韦文雯.基于演化博弈模型的产学研联盟合作稳定性分析[J].科技管理研究,2014(13):66-69.

[8] 滕欣.海陆产业耦合系统分析与评价研究[D].天津:天津大学,2013.

[9] 刘金芳,徐枫巍,高波.供应链整合创新的演化博弈分析[J].系统工程,2011,29(8):8-13.

[10] 董瑞华.基于产业间竞合关系的海洋经济系统演化路径研究[D].青岛:中国海洋大学,2011.