



第5章

区域港口群复杂竞合网络的 博弈行为分析

在全面解析了区域港口群竞合网络的结构特性之后,我们从经济博弈的角度来解析在区域港口群形成的竞合网络之上,应该采取何种交互方式即竞合策略来保证自身及区域港口群网络整体的效用最优化,形成最优的“博弈格局”。博弈论是一种研究博弈方行为的相互作用及其均衡态的理论方法,分析竞合,必谈博弈。博弈论分析可以助力港口在网络化的竞合大环境下,更透彻地分析区域内其他竞合对象的决策行为,来指导自身的战略决策,洞察竞合行为更深刻的含义,为自身赢得最大的市场利益。

5.1 问题重述

1) 网络视角下区域港口群竞合博弈过程及问题界定

区域港口群内的港口竞合博弈问题,从微观静态的角度来讲,是一个“完全信息静态博弈”问题,处在竞合网络中的港口,两两之间进行静态博弈。各港口从不同的方面,如价格、装卸时间和宣传力度等,采取竞争或者合作的策略来提升自己的效益。从博弈论角度来讲港口采取竞争或合作的策略,对港口收益会产生不同的影响。

从演化的角度来讲,港口之间的单次静态博弈均衡并不能代表港口长期的选择,港口的完全信息静态博弈会重复进行,通过建立一定奖惩机制,港口间的竞争和合作会在长期的演化当中形成一定的模式,这是一个基于时间序列的“演化博弈问题”。本书基于“一报还一报”(tit-for-tat, TFT)策略,分析了当出现“合作触发者”时,区域港口群内部的重复博弈过程、其均衡态及竞合关系的走向。

从宏观的角度来讲,如果港口之间的竞合长期缺乏一定的整体目标和管理

机制,港口的竞合模式也随时会被打破,形成的自主合作也很难维持稳定的状态。因此有必要建立合理的、公平的合作机制,以及正式的合作协议,以激励港口间形成稳定的联盟,获得更多更稳定的收益,使得港口复杂竞合网络也维持在更稳定的状态。此时,区域港口群内港口竞合博弈问题的关注点转移到了如何在正式合作联盟中公平合理地分配联盟收益上,这是典型的“合作博弈”问题。

综上,如图 5.1 所示,区域港口群网络上的竞合博弈过程从微观到宏观,从单次到重复,从短期到长期,分别可以用“完全信息静态博弈”“重复演化博弈”“合作博弈”三类模型来描述。

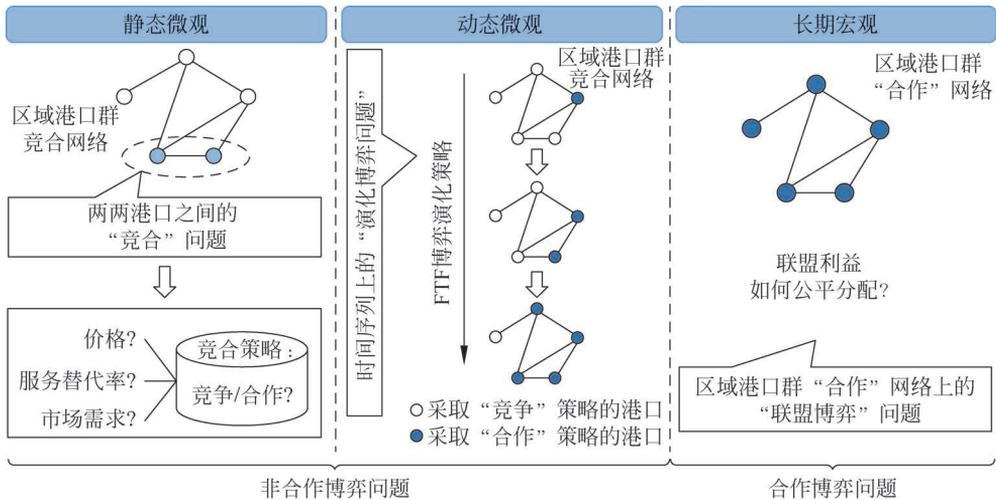


图 5.1 区域港口群网络上的竞合博弈过程及问题界定

2) 网络视角下区域港口群博弈模型的特点

(1) 完全信息静态博弈模型的特点。

第一,在区域港口群网络中,发货人对港口的选择主要取决于港口价格及港口服务质量两方面,而发货人的这种选择具有网络外部性,即发货人会优先选择已有业务量较大的港口。网络的外部性使得大港业务量保持增长,而为满足客户不断增长的需要,大港将不断从提高集疏运效率、减少服务时间及提升服务质量等方面改善港口服务现状,给发货人和港口都带来额外的增益;进一步地,鉴于规模经济效应,港口愿意进一步调低各种收费,从而降低了货主产品的成本,使得所有的货主都受益,形成良性循环。港口价格和服务质量在网络外部性影响下具有极大的相关性,可选择其中一个作为博弈策略参数。第二,在区域港口群竞合网络中,港口节点由于结构的对等性所产生的可替代因素(服务替代率),会使得可替代性强的港口更倾向于选择竞争以争夺市场。

基于以上特点,本书在 5.2 节建立的港口基于价格策略的完全信息静态博弈模型,分析了港口采取不同的价格策略时港口的收益,并通过服务替代率参数的分段分析,得出该博弈模型的纳什均衡解。

(2) 重复演化博弈的特点。

但完全信息静态单次博弈很难获得全局意义上的最优均衡,容易陷入“囚徒困境”,从港口竞合的角度上讲,容易陷入低质价格战。

因此从演化的角度,基于 TFT 策略,一旦区域港口群网络中出现一个“合作触发者”,情况将发生较大变化,港口为规避“双输”的风险,将跳出单次非合作博弈,选择合作策略,从而触发整个网络保持(合作,合作)策略的选择趋势,取得双赢。

基于以上特征,本书在 5.3 节中,建立了区域港口群竞合网络内部基于 TFT 策略的重复博弈分析,通过分析贴现系数 δ ,尝试证明了面向未来考虑长期利益且贴现系数较大时,港口将服从集体利益选择长期合作策略,且竞合博弈发展终将形成分工合理、联系紧密、层次分明的竞合共存良性关系。

(3) 合作博弈模型的特点。

基于网络视角的区域港口群合作博弈模型,相比一般合作博弈有四个特点。第一,以往的模型中,将研究的全体作为博弈方集合;而网络上的合作博弈集合,可以基于网络的结构划分结果(“社会圈”子群),将更可能产生合作博弈的港口子群作为初始合作博弈研究对象,不是完全虚拟或随机的,更加精确,更加具有现实可参考性,得到的研究结果也更加合理。第二,港口竞合网络中的关系连接强度尤其是合作关系连接强度对子联盟效用有较大影响,竞合系数越大,对联盟的效用贡献越大。第三,若子联盟中的港口在对应子网络中为孤立港口,则这些港口节点不能产生对联盟的边际贡献,即边际效用为 0。第四,网络合作博弈的特征函数中,除了包括港口设施等资源效用,还应包含港口“网络地位”等重要的“隐形”社会资本(Social Capital)效用。

基于以上特征,本书在 5.4 节中建立的区域港口群竞合网络交流合作博弈模型改进了港口集合的界定、特征函数的建立方法及 Shapley 值分配方法,研究了港口联盟如何在协议条件下在网络环境中进行联盟效用分配,实现了嵌入区域港口群竞合网络的港口合作博弈分析与效益分配计算。

5.2 完全信息静态博弈分析

5.2.1 参数系统及基本假设

1) 博弈方

假设区域港口群网络中有 n 个港口,它们共同为客户提供服务。选取区域

港口群网络中的两个港口组成的港口对作为非合作博弈的分析对象。

2) 服务价格及需求函数

对于客户来讲,港口服务最重要的体现是港口服务价格,设港口 i 的服务价格为 $p_i (i=1,2,\dots,n)$ 。根据基本的价格-需求原理,港口需求与自身服务价格负相关,除此之外还与区域内其他港口的服务价格正相关。假设该港口的需求函数为线性函数,则可设为式(5.1)。

$$q_i = a - p_i + f(p_1, p_2, \dots, p_{i-1}, p_{i+1}, \dots, p_n) \quad (5.1)$$

其中,参数 $a > 0$ 。设港口 i 的固定成本为 c_i ,单位可变成本为 α_i ,由于区域港口群内港口地理位置相近,经济环境较为一致,因此假设 $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = \alpha$,则港口利润函数为式(5.2)。

$$u_i = (p_i - \alpha)q_i - c_i \quad (5.2)$$

3) 港口服务替代系数

设区域港口群内两个港口,港口 1 和港口 2,我们定义港口服务替代系数为 $\lambda, \lambda \in [0, 1]$, λ 越大,表明两个港口的服务替代性越强。在网络分析结果中我们不难找到与服务替代率含义类似的网络结构参数——结构对等性分析中的皮尔逊相关系数。

在 4.4.1 节中,我们分析了区域港口群竞合网络中的结构对等性,对于结构对等程度高的港口,它们与网络中所有其他行动者之间的关系相似性高,如果处于同一层次或较接近的港口层次,则其可以相互替代实现相同的服务目标。此时,港口间服务替代系数可由结构对等性分析中的皮尔逊相关系数矩阵中的对应元素代替(出现负值时,可设置为 0)。

这两个港口的需求函数可分别表示为 $q_1 = a - p_1 + \lambda p_2, q_2 = a - p_2 + \lambda p_1$ 。因此,两个港口的利润函数为式(5.3)、式(5.4)。

$$u_1 = (p_1 - \alpha)q_1 - c_1 = (p_1 - \alpha)(a - p_1 + \lambda p_2) - c_1 \quad (5.3)$$

$$u_2 = (p_2 - \alpha)q_2 - c_2 = (p_2 - \alpha)(a - p_2 + \lambda p_1) - c_2 \quad (5.4)$$

4) 完全信息假设

假设港口 1 与港口 2 具有相互的完全信息,即完全了解彼此的成本信息,且在不存在主从关系的前提下,会同时分别做出竞争或者合作的决策。

5.2.2 博弈策略集及收益分析

1) 完全信息下的(竞争,竞争)策略及其收益

此种策略是港口 1 和港口 2 同时分别做出了对另一方采取竞争的决策。此时港口分别以自身利润最大化为目标,则港口的价格决策和利润分别可以从式(5.5)、式(5.6)解得。

$$\frac{\partial u_1}{\partial p_1} = a - 2p_1 + \lambda p_2 + \alpha = 0 \quad (5.5)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial p_2} = a - 2p_2 + \lambda p_1 + \alpha = 0 \quad (5.6)$$

解得港口 1 和港口 2 的定价相同 $p_1^* = p_2^* = (a + \alpha)/(2 - \lambda)$ 。因此,该策略下港口 1 和港口 2 的收益为

$$u_1^* (\text{竞争, 竞争}) = \frac{(a + \alpha\lambda - \alpha)^2}{(2 - \lambda)^2} - c_1, \quad u_2^* (\text{竞争, 竞争}) = \frac{(a + \alpha\lambda - \alpha)^2}{(2 - \lambda)^2} - c_2$$

2) 完全信息下的(合作, 竞争)策略及其收益

此种策略是港口 1 和港口 2 同时做决策,却选择了相反的策略,港口 1 的决策基于合作的原则,即以两个港口利益之和最大化为目标;而港口 2 的决策则是基于竞争的原则,以其本身利益最大化为目标,则两个港口的价格决策和利润可分别从式(5.7)、式(5.8)解得。

$$\frac{\partial(u_1 + u_2)}{\partial p_1} = a - 2p_1 + 2\lambda p_2 + \alpha - \alpha\lambda = 0 \quad (5.7)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial p_2} = a - 2p_2 + \lambda p_1 + \alpha = 0 \quad (5.8)$$

解得港口 1 和港口 2 的定价分别为

$$p_1^* = \frac{a(\lambda + 1) + \alpha}{2 - \lambda^2}, \quad p_2^* = \frac{(a + \alpha)(\lambda + 2) - \alpha\lambda^2}{2(2 - \lambda^2)}$$

因此,该策略下港口 1 和港口 2 的收益分别为

$$u_1^* (\text{合作, 竞争}) = \frac{(a + \alpha\lambda - \alpha)^2(\lambda + 1)}{2(2 - \lambda^2)} - c_1$$

$$u_2^* (\text{合作, 竞争}) = \frac{(a + \alpha\lambda - \alpha)^2(\lambda + 2)^2}{4(2 - \lambda^2)^2} - c_2$$

3) 完全信息下的(竞争, 合作)策略及其收益

此种策略是港口 1 和港口 2 同时分别做出了(竞争, 合作)的决策,港口 2 的决策基于合作的原则,以两个港口利益之和最大化为目标;而港口 1 的决策则是基于竞争的原则,以自身利益最大化为目标。与(合作, 竞争)策略求解同理可得港口 1 和港口 2 的定价分别为

$$p_2^* = \frac{a(\lambda + 1) + \alpha}{2 - \lambda^2}, \quad p_1^* = \frac{(a + \alpha)(\lambda + 2) - \alpha\lambda^2}{2(2 - \lambda^2)}$$

该策略下港口 1 和港口 2 的收益分别为

$$u_1^* (\text{竞争, 合作}) = \frac{(a + \alpha\lambda - \alpha)^2(\lambda + 2)^2}{4(2 - \lambda^2)^2} - c_1$$

$$u_2^* (\text{竞争, 合作}) = \frac{(a + \alpha\lambda - \alpha)^2(\lambda + 1)}{2(2 - \lambda^2)} - c_2$$

4) 完全信息下的(合作,合作)策略及其收益

此种策略是港口 1 和港口 2 同时分别做出决策,都同样基于合作的原则,以两者利润之和最大化为目标,则两个港口的价格决策和利润分别可以从式(5.9)、式(5.10)解得。

$$\frac{\partial(u_1 + u_2)}{\partial p_1} = a - 2p_1 + 2\lambda p_2 + \alpha - \alpha\lambda = 0 \quad (5.9)$$

$$\frac{\partial(u_1 + u_2)}{\partial p_2} = a - 2p_2 + 2\lambda p_1 + \alpha - \alpha\lambda = 0 \quad (5.10)$$

解得港口 1 和港口 2 的定价分别为 $p_1^* = p_2^* = [a + \alpha(1 - \lambda)]/2(1 - \lambda)$ 。因此,该策略下港口 1 和港口 2 的收益分别为

$$u_1^* (\text{合作, 合作}) = \frac{(a + \alpha\lambda - \alpha)^2}{4(1 - \lambda)} - c_1$$

$$u_2^* (\text{合作, 合作}) = \frac{(a + \alpha\lambda - \alpha)^2}{4(1 - \lambda)} - c_2$$

经过以上求解,可以得到区域港口群内部,完全信息条件下,两个港口竞合的效用矩阵,如表 5.1 所示。令 $(a + \alpha\lambda - \alpha)^2 = X$,且 $X \neq 0$ 即 $\alpha \neq a/(1 - \lambda)$,则 $X > 0$ 。

表 5.1 完全信息下单对港口竞合博弈效用矩阵

		港 口 2	
		竞争(D)	合作(C)
港口 1	竞争(D)	$\frac{X}{(2-\lambda)^2} - c_1, \frac{X}{(2-\lambda)^2} - c_2$	$\frac{X(\lambda+2)^2}{4(2-\lambda^2)^2} - c_1, \frac{X(\lambda+1)}{2(2-\lambda^2)} - c_2$
	合作(C)	$\frac{X(\lambda+1)}{2(2-\lambda^2)} - c_1, \frac{X(\lambda+2)^2}{4(2-\lambda^2)^2} - c_2$	$\frac{X}{4(1-\lambda)} - c_1, \frac{X}{4(1-\lambda)} - c_2$

5.2.3 均衡态解析

由 $X > 0$ 及 $0 \leq \lambda \leq 1$,可以得到 $\frac{X}{(2-\lambda)^2} > \frac{X(\lambda+1)}{2(2-\lambda^2)}$,同样也可证明 $\frac{X}{(2-\lambda)^2} < \frac{X}{4(1-\lambda)}$ 。但是需要分区间讨论 $\frac{X(\lambda+2)^2}{4(2-\lambda^2)^2}$ 与 $\frac{X}{4(1-\lambda)}$ 之间的大小关系。

1) 港口服务替代系数 $\lambda \in [(\sqrt{5}-1)/2, 1)$

当以上条件成立时,有 $\frac{X(\lambda+1)}{2(2-\lambda^2)} < \frac{X}{(2-\lambda)^2} < \frac{X(\lambda+2)^2}{4(2-\lambda^2)^2} \leq \frac{X}{4(1-\lambda)}$, 则对于

港口 1, u_1^* (合作, 竞争) $< u_1^*$ (竞争, 竞争) $< u_1^*$ (竞争, 合作) $< u_1^*$ (合作, 合作); 对于港口 2, u_2^* (竞争, 合作) $< u_2^*$ (竞争, 竞争) $< u_2^*$ (合作, 竞争) $< u_2^*$ (合作, 合作)。在收益矩阵中使用划线法可求得该博弈的纯策略均衡解, 如表 5.2 所示。

根据划线法, 得到两个港口间的完全信息竞合博弈有两个 PNE (Pure Strategy Nash Equilibrium, 纯策略均衡解), 为 (竞争, 竞争)、(合作, 合作), 即在服务替代率较高时 (大于或等于 $(\sqrt{5}-1)/2 \approx 0.618$), 在给定的信息情况下, 如果每个港口只选择一种特定行为, 则可能出现以上两个较优的纯策略均衡解, 但博弈具体会达到哪个结果并不确定。

表 5.2 划线法求解港口服务替代系数 $\lambda \in [(\sqrt{5}-1)/2, 1)$ 时的均衡解

		港 口 2	
		竞争(D)	合作(C)
港口 1	竞争(D)	$\frac{X}{(2-\lambda)^2} - c_1, \frac{X}{(2-\lambda)^2} - c_2$	$\frac{X(\lambda+2)^2}{4(2-\lambda^2)^2} - c_1, \frac{X(\lambda+1)}{2(2-\lambda^2)} - c_2$
	合作(C)	$\frac{X(\lambda+1)}{2(2-\lambda^2)} - c_1, \frac{X(\lambda+2)^2}{4(2-\lambda^2)^2} - c_2$	$\frac{X}{4(1-\lambda)} - c_1, \frac{X}{4(1-\lambda)} - c_2$

为实现一定的预测效果, 我们同时求得一个 MNE (Mixed Strategy Nash Equilibrium, 混合策略均衡解)。在混合策略均衡解中, 港口 1 和港口 2 做出竞争或合作决策的概率分别为 P_1 (竞争, 合作) 和 P_2 (合作, 竞争)。

$$P_1(\text{竞争, 合作}) = \left(\frac{\lambda^2(2-\lambda)^2}{2(1-\lambda)^2(2-\lambda^2) + \lambda^2(2-\lambda)^2}, \frac{2(1-\lambda)^2(2-\lambda^2)}{2(1-\lambda)^2(2-\lambda^2) + \lambda^2(2-\lambda)^2} \right)$$

$$P_2(\text{合作, 竞争}) = \left(\frac{(\lambda^2 + \lambda - 1)(2-\lambda)^2}{2(1-\lambda)(2-\lambda^2) + (\lambda^2 + \lambda - 1)(2-\lambda)^2}, \frac{2(1-\lambda)(2-\lambda^2)}{2(1-\lambda)(2-\lambda^2) + (\lambda^2 + \lambda - 1)(2-\lambda)^2} \right)$$

2) 港口服务替代系数 $\lambda \in [0, (\sqrt{5}-1)/2)$

当以上条件成立时, 有 $\frac{X(\lambda+1)}{2(2-\lambda^2)} < \frac{X}{(2-\lambda)^2} < \frac{X}{4(1-\lambda)} < \frac{X(\lambda+2)^2}{4(2-\lambda^2)^2}$, 则对于

港口 1, u_1^* (合作, 竞争) $< u_1^*$ (竞争, 竞争) $< u_1^*$ (合作, 合作) $< u_1^*$ (竞争, 合作); 对于港口 2, u_2^* (竞争, 合作) $< u_2^*$ (竞争, 竞争) $< u_2^*$ (合作, 合作) $< u_2^*$ (合作, 竞争)。在收益矩阵中使用划线法可求得该博弈的纯策略均衡解, 如表 5.3 所示。

表 5.3 划线法求解港口服务替代系数 $\lambda \in [0, (\sqrt{5}-1)/2)$ 时的均衡解

		港口 2	
		竞争(D)	合作(C)
港口 1	竞争(D)	$\frac{X}{(2-\lambda)^2} - c_1, \frac{X}{(2-\lambda)^2} - c_2$	$\frac{X(\lambda+2)^2}{4(2-\lambda^2)^2} - c_1, \frac{X(\lambda+1)}{2(2-\lambda^2)} - c_2$
	合作(C)	$\frac{X(\lambda+1)}{2(2-\lambda^2)} - c_1, \frac{X(\lambda+2)^2}{4(2-\lambda^2)^2} - c_2$	$\frac{X}{4(1-\lambda)} - c_1, \frac{X}{4(1-\lambda)} - c_2$

结果就是,当两港服务替代率较低(小于 $(\sqrt{5}-1)/2 \approx 0.618$)时,两个港口之间的完全信息竞合博弈仅存在一个 PNE,为(竞争,竞争)。

3) 均衡解的解析

(1) 由于 $X = (a + a\lambda - \alpha)^2$ 随着参数 a 的增大而增大,由博弈收益函数我们可以得出,在其他参数不变的情况下,两港的收益也将随着参数 a 的增大而增大。当 $\alpha > a/(1-\lambda)$ 时,求解所得的港口服务价格为负,所以这种情况排除在外不考虑;当 $\alpha < a/(1-\lambda)$ 时, X 随着 α 的增大而减小,即港口收益随着单位可变成本的增加而减少。参数 a 和可变成本 α 对博弈均衡的确定和求解都没有影响,但参数 λ 对均衡解有着显著影响。

(2) $\lambda \geq (\sqrt{5}-1)/2 \approx 0.6180$,其他参数不变时,博弈存在两个 PNE(竞争,竞争)、(合作,合作)和一个 MNE。这说明在两个港口服务替代率相对较大(大于或等于 0.618)时,它们之间的博弈均衡是采取与对方港口相同的竞合策略。

同时,我们很容易注意到收益矩阵中,无论对于港口 1 还是港口 2,(合作,合作)都是收益相对最高的博弈策略,在两个 PNE 中是总体帕累托效率明显更好的一个均衡态,即帕累托上策均衡。因此在区域港口群中,如果两个港口同时追求可能的最高利益,且两者服务替代率相对较大(大于或等于 0.618),它们就应该同时积极采取互相合作的策略。

但在现实情况中,当博弈双方港口都将风险因素加入决策当中,两个港口博弈的结果往往是另一种 PNE,即(竞争,竞争)策略,陷入囚徒困境。博弈双方会不得不放弃帕累托上策均衡中的合作策略。原因也非常现实,因为决策方港口若采取了合作策略,一旦对方港口不选择合作而是采取竞争策略,选择合作策略的一方收益将有较大损失。因此,在双方没有协议约定、没有违约条款的前提下,(竞争,竞争)策略成为一个风险上策均衡。

以上理论分析与港口在现实情况中的选择相符,当两个港口服务替代率很高时,它们处于区域港口群竞合网络中的对等位置,可替代性强,有着相同角色的港口在未有合作协议、不知道对方采取什么行为的情况下,往往都将选择竞争

策略以规避风险,反而陷入囚徒困境,无法获得收益的帕累托最优。

(3) $\lambda < (\sqrt{5}-1)/2 \approx 0.6180$,其他参数不变时,博弈只存在一个 PNE(竞争,竞争)。这说明当两个港口服务替代率系数相对较小时,港口的完全理性条件使得两个港口都只会选择(竞争,竞争)策略。

我们可以看到,无论参数 λ 如何改变,在没有约束机制或合作协议的情况下,港口的完全理性使港口始终选择了一种港口收益处于劣势的局部最优博弈策略(竞争,竞争),而无论 λ 处于哪个区间,都有 $u_1^*(\text{竞争,竞争}) < u_1^*(\text{合作,合作})$ 且 $u_2^*(\text{竞争,竞争}) < u_2^*(\text{合作,合作})$,港口的决策将因信任危机陷入著名的囚徒困境,陷入个体理性和集体理性的矛盾当中。

5.3 基于 TFT 策略的重复博弈分析

从以上分析可以看出,单次非合作博弈的结果很难产生全局最优结果,港口缺乏达成合作、组成联盟的驱动力。从博弈论的角度来讲,首要问题就在于如何冲破港口采取风险上策均衡——两方竞争,转而采取协同合作的策略。我们的解决方法是跳出单次非合作博弈,而采取重复博弈,并加入 TFT 机制,为港口规避风险,从而转变均衡态。区域港口群内港口间竞合博弈并非单次博弈,而是长期且重复进行的无限次重复博弈,此时一旦区域港口群网络中出现一个“合作触发者”,则情况将会发生变化。

对此我们引入著名的 TFT 策略,采用该策略的博弈方港口——“合作触发者”首先试图合作,选择符合双方利益的行为,如果对方港口也选择与之合作,则前者将在之后的博弈中坚持选择合作策略,之后两个港口则一直保持(合作,合作)策略选择趋势;一旦对方港口选择竞争(背叛)策略,则触发者在下一次博弈中也会选择竞争来应对,则双方将会保持(竞争,竞争)均衡。

仍以 5.2 节中的港口 1 与港口 2 的博弈为例。首先我们定义一个贴现系数 $0 < \delta < 1$,是指将未来收益折算成现值的利率,一般设当时的零风险利率为贴现率,但并不是绝对的。其次假设 $u_2^*(\text{竞争,竞争}) = A$, $u_2^*(\text{竞争,合作}) = B$, $u_2^*(\text{合作,竞争}) = C$, $u_2^*(\text{合作,合作}) = D$,则有 $\lambda \in [(\sqrt{5}-1)/2, 1)$ 时, $B < A < C < D$; $\lambda \in (0, (\sqrt{5}-1)/2)$ 时, $B < A < D < C$ 。当港口 1 开始触发合作策略时,如果港口 2 选择合作,则其未来收益计算如式(5.11)所示。

$$D(1 + \delta + \delta^2 + \dots) = D/(1 - \delta) \quad (5.11)$$

如果港口 2 依旧选择竞争,则其未来收益计算如式(5.12)所示。

$$C + A(1 + \delta + \delta^2 + \dots) = C + A\delta/(1 - \delta) \quad (5.12)$$

显然,当 $D/(1 - \delta) > C + A\delta/(1 - \delta)$ 即 $\delta > (C - D)/(C - A)$ 时,选择合

作策略将是港口 2 在此时利益最大化的最优决策。这说明,在面向未来考虑长期利益,贴现系数较大时,港口 2 将因为具有较为可观的长期收益,而选择与港口 1 长期合作,服从集体利益,不会为了短期的自身收益而坚持局部风险上策均衡。

由以上分析,总结区域港口群竞合博弈发展的一般规律,如图 5.2 所示。

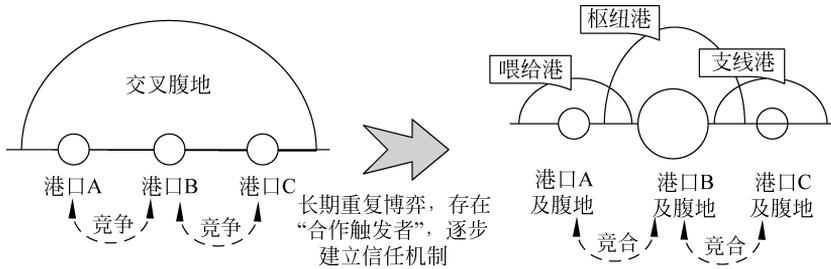


图 5.2 区域港口群竞合博弈发展的一般规律

(1) 最初阶段,港口孤立、零散、无序地进行两两博弈,港口之间不存在信任机制,关系是疏远的,以竞争为主。

(2) 在不断的发展壮大中,港口之间产生了重合腹地,竞争更加激烈;但是在不断地重复博弈中,合作触发者出现,已有港口也在规模上出现了差距,一些港口甚至在功能分工上产生了质的变化。

(3) 最后,无论是通过沟通协调,还是政府干预方式,产生了约束机制或者合作协议之后,经过一定的分工或规划,区域港口群发展形成联系紧密、层次分明、相互制约又有一定职能分工的竞合共存的良性关系。

在“合作触发者”的坚持下,在长期重复多次合作博弈行为后,区域港口群内各港口节点大多会考虑贴现因子放弃眼前的既得局部最优,转而选择长期获益的行为,使得单次博弈中不可能实现的(合作,合作)变成首选。可见,“合作触发者”的出现非常重要,且所有的港口联盟都是在长期的合作伙伴关系下形成的,如果进一步事先进行信息交流,建立具有强制性约束的协议机制,且规范化合作利益分配,就会形成更加牢固的港口合作联盟关系。

由此可见,从长期角度来看,现实中区域港口群网络上的竞合博弈过程最终会停留在“合作博弈”的状态,区域港口群网络上竞合博弈的终极问题是在合作联盟中如何进行利益公平分配的问题,这是保持港口联盟合作意向的关键。该问题属于合作博弈范畴我们将在 5.4 节进一步讨论。

5.4 竞合网络的交流合作博弈分析

以上对非合作博弈模型的分析表明,建立合作关系对于港口来讲属于上策均衡,具有很大的实质意义,且经过长期重复博弈,港口建立合作关系是可能实现的。一旦联盟建立,问题又有了实质性转变:各个港口在联盟中地位不同,贡献不同,所得利益也必然不同。此时,建立相对公平的利益分配机制来保证港口合作联盟的稳定性就非常必要,这正是合作博弈方法所关注的问题。

5.4.1 参数系统及基本假设

1) 博弈方: 港口集合 N

在某一特定区域港口网络中,依据 4.2.2 小节中对港口网络“社会圈”的划分结果,来确定区域港口中博弈方港口集合。之所以选择“社会圈”,是因为相比派系内港口已经形成的紧密合作联系,“社会圈”内港口具有合作倾向但并未完全实现,更需要合作博弈模型的研究,来确定其加入联盟的必要性,以及观察建立合理的联盟利益分配机制的过程和预期收益。

在区域港口群网络合作博弈模型中,假设网络社会圈划分结果中港口集合内港口个数为 n 。以简易为原则,我们将第 i 个港口物元节点 M_i 简化表示为 i ,则博弈方港口集合 N 用 $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 来表示。其中,博弈方 $i \in N$ 表示港口节点 i 来自集合 N 。

2) 合作可能假设

本模型中博弈方为港口“社会圈”,同一“社会圈”内港口之间联系紧密但又非全连接,虽未完全形成合作关系,但有很大可能为形成联盟而产生合作博弈,港口之间存在广泛合作的可能性。

3) 子联盟: S

整个区域内港口集合中的 n 个具有合作可能性的港口形成的联盟称为大联盟,部分港口之间构成的联盟称为子联盟。空联盟(不包含任何博弈方)的个数为 1 个,则所有可能出现的子联盟个数为 2^n 个,子联盟集合记为 2^N ,实质性的子联盟个数为 $2^n - 1$ 个。将任意一个子联盟记为 $S \in 2^N$,用 $|S|$ 表示子联盟 S 所包含的港口的个数。

4) 子联盟特征向量: e^S

一般情况下, S 泛指任何子联盟,区分子联盟不同之处的关键是它们包含了哪些港口。利用 n 维特征向量(Characteristic Rector) e^S 来指示子联盟 S 中有哪些港口成员,它的第 i 个元素定义如式(5.13)。

$$e_i^S = \begin{cases} 1, & i \in S \\ 0, & i \in N \setminus S \end{cases} \quad (5.13)$$

式(5.13)中,记号 $i \in N \setminus S$ 是合作博弈中常用的记号,表示港口 i 来自港口集合 N 但是不属于于子联盟 S 。

5) 特征函数: $v(S)$

特征函数,又称集值函数,与普通函数的自变量为数值不同的是,其自变量为一个集合——子联盟集合,函数值是联盟所能达到的最大效用。它将每一个子联盟 $S \in 2^N$ 与 S 中的成员共同努力所能获得的最大共同效用值联系起来。特征函数表示 S 中的成员无须求助于 $N \setminus S$ 中的局中人所能达到的可转移效用或盈利总量;同时 $N \setminus S$ 中的任何博弈方或联盟也不能阻止获得 $v(S)$ 。

6) 合作博弈: $\langle N, v \rangle$

特征函数形式的合作博弈是一个有序对偶 $\langle N, v \rangle$,它包含了所有局中人集合 N 和从 $2^N \rightarrow \mathbf{R}$ (实数)的特征函数 v 。

在本书中,每一个由不同港口构成的港口子联盟 $S \in 2^N$ 构成了区域港口群合作博弈问题的一个博弈策略,因此博弈策略空间相对来讲规模较大。但因为有了特征函数的映射关系,相较于非合作博弈,合作博弈可以直接关注最后结局中的效益,而简化了“策略空间”这一概念,简化了期待结局过程中具体的细节,直接获得从联盟到效用的分析结果。

7) 效用假设

关于特征函数,需要其正常发挥作用,必须进行以下三方面的假设。

(1) 零效用假设。首先定义空集网络效用为 0,即 $v(\emptyset) = 0$ 。其次假设没有与其他港口合作的孤立港口特征函数为 0。只有与其他港口有合作关系,即存在网络连接,这个港口才对所在子联盟有效用贡献。

(2) 效用可转移假设。假设各联盟效用 $v(S)$ 是可转移的,即可以将联盟效用以任意方式分给联盟内部的各个港口,要注意的是,联盟效用也可以指成本(负效用),意味着联盟内部港口有时也需要共同承担一部分成本。

(3) 效用超可加性假设。任意港口联盟的特征函数满足超可加性原理。假设若 S, T 是两个不相交的子联盟,则它们联合在一起时的效用至少会与它们单独行动时各自所得效用持平,即 $v(S \cup T) \geq v(S) + v(T)$,其中 $S \cap T = \emptyset$ 。

8) 节点网络效用特征向量: e^{SG}

值得着重指出的是,针对港口竞合网络合作博弈效用函数的零效用假设,即孤立港口节点不能产生效用贡献的特征,理论源于 Myerson^[139] 提出的一个合作博弈子类——交流博弈。区域港口群竞合网络中的合作博弈非常符合交流博弈提出的观点:子联盟只能在它们可以沟通交流的条件下发挥作用。图 5.3 中,网

络上的博弈方集合为 $\{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10\}$ 。子联盟 $\{1,4,5\}$ 能够起作用是因为在节点1、4、5组成的子网络中,各博弈方是互相连通的,每个节点都有着对子联盟的效用贡献;相比之下,子联盟 $\{1,3,4\}$ 只能部分地起作用,因为在节点1、3、4组成的子网络中,节点1是一个孤立节点,它无法与节点3、4建立联系,也无法为子联盟 $\{1,3,4\}$ 做出贡献。因而,节点1的效用为0,即 $v(\{1,3,4\})=v(\{3,4\})$;而 $v(\{1,2,6,7\})=0$,因为在对应子网中这些博弈方节点没有任何联系。

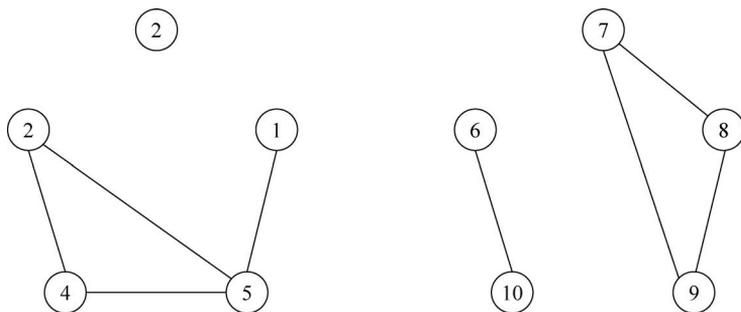


图 5.3 网络上的交流博弈示例

因此,我们还需要定义一个子联盟中港口节点的效用特征向量,来体现这一特征。设由 $N=\{1,2,\dots,n\}$ 中的港口节点构成的合作网络为简单图 $G=(N, E)$,节点为港口节点,边为港口间合作性质的关系——货物喂给合作关系,边的权重为3.2.1小节中定义的货物喂给合作系数 r_{ij}^f 。根据竞合关系元定义(3.2.1小节),我们可以确定边集 E 中的元素:当且仅当货物喂给合作系数值 $r_{ij}^f \neq 0$ 时,边 $ij \in E$ 。

因此,设子联盟中港口节点的效用特征向量为 e^{SG} ,在网络合作博弈中,它的第 i 个元素定义如式(5.14)所示。

$$e_i^{SG} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } i \in S, \text{ 且存在 } j \in S (i \neq j), \text{ 有 } ij \in E \\ 0, & i \in N \setminus S \text{ 或 } i \in S, \text{ 但对于任意 } j \in S (i \neq j), \text{ 有 } ij \notin E \end{cases} \quad (5.14)$$

5.4.2 合作子联盟网络效用解析

要建立区域港口群合作博弈特征函数,必须对子联盟网络可能产生的相关效用及价值进行解析。经过大量文献研究及调研,本书认为港口合作博弈产生的联盟效用主要包括四个核心要素:港口资源共享、港口服务提升、港口竞合网络中地位的攀升以及生态环境污染(负效用)。前两者属于增强港口竞争力的客

观成果,而后两点则属于港口运作中不能显而易见的“隐形”结果。我们还需要将这些要素进一步解析为可具体衡量的指标参数,指标参数及其含义可总结为表 5.4。

1) 港口资源 R_i

港口联盟内部的资源共享是港口合作的基本条件。港口资源包括了所有为促进港口业务发展而拥有的或建设的要素,具体由自然资源、基础设施、集疏运系统、资金、人员及品牌资源等要素组成,本书中重点分析容易量化的前 3 种要素。

港口的自然资源是港口拥有的一般无法改变或很难有很大改善的天然条件。相对来讲,比较重要的包括水深及岸线两个因素,可以分别从纵向和横向两个维度反映出港口的自然条件,因此我们选取最大吃水泊位水深及泊位长度两个指标来代表港口自然资源。

表 5.4 区域港口群合作博弈港口子联盟效用指标体系

联盟效用	效用要素	效用指标	运作机理
港口资源 R_i	自然资源	最大吃水泊位水深	限定了港口最大可通航船舶的级别,因此也限定了港口在港口联盟中所扮演的角色
		泊位长度	指港口泊位总长度,决定了可以布置多少泊位岸机
	基础设施	生产性码头泊位数	泊位数目越多,可同时服务的客户越多
		万吨级泊位数	反映港口的大型化、规模化的程度
		港航固定资产投资额	反映港口在建的基础设施投资力度
	集疏运系统	港口城市货运总量	反映直接腹地的货物集散能力
港口经营服务 S_i	腹地货源	港口城市 GDP	反映港口直接腹地的经济发展和货源生成能力
		港口城市限额以上贸易业商品销售总额	反映腹地贸易状况的活跃程度和货源生成能力
	装卸能力	堆场装卸机械数量	机械化水平影响港口装卸效率
	后方场所	堆场面积 + 生产用仓库面积	港口后方场所制约情况
	货物吞吐能力	港口货物吞吐量	在一段时间内(通常指一年)内输出、输入港区并经过装卸作业的货物吨位或数量,是反映港口生产能力、生产效率及服务能力的最综合体现

续表

联盟效用	效用要素	效用指标	运作机理
网络地位 C_i	货物喂给合作网络	货物喂给合作特征向量中心度	反映港口在区域港口群货物喂给合作网络中的重要程度
		货物喂给合作中间中心度	反映港口在区域港口群货物喂给合作网络中的“信息利益”及“控制利益”的占据程度
生态环境污染 E_i	废水	港口城市工业废水排放量	反映港口城市水污染的程度
	废气	港口城市工业二氧化硫排放量	反映港口城市有害气体污染的程度
	烟尘	港口城市工业烟(粉)尘排放量	反映港口城市颗粒物污染的程度

港口基础设施是指码头泊位、防波堤、集疏运道路、堆场装卸机械及其轨道等港口生产与生产辅助设施设备。其中码头泊位数,是衡量港口基础设施规模的重要指标,数量越多,意味着可同时在港口挂靠、装卸的船舶就越多,港口服务等待时间就越少,成本就越低,效率则越高。近年来伴随着港口超大型化的趋势,拥有万吨级泊位的数量则反映了港口现代化、大型化的程度。因此,本书采用生产性码头泊位数、万吨级泊位数及港航固定资产投资额来代表已有及在建基础设施的情况。

港口集疏运系统的能力和效率也是港口资源中非常关键的一个因素,它决定着港口是否能够将货物及时地周转,以降低单位货物的存储及运输成本,大大提升对腹地货源的吸引力。我们选用港口城市货运量作为反映港口集疏能力的一个指标。以上6个指标分别记为 R_{i1} 、 R_{i2} 、 R_{i3} 、 R_{i4} 、 R_{i5} 和 R_{i6} 。

2) 港口经营及服务 S_i

首先港口的经营环境最主要表现为腹地经济发展状况,腹地货源是港口作为运输终端的业务源头,腹地经济发展水平较高,则货源生成充足,贸易活动活跃,物流、资金流密度较高。选取反映腹地综合能力的港口城市GDP指标及反映腹地贸易状况的港口城市限额以上贸易业商品销售总额指标,作为港口经营环境的重要指标。

港口服务主要指货物集散及装卸活动,这两者关乎船舶在港停泊作业时长,以及货物运输成本,是货主、船东选择挂靠港口时主要关注的要素之一。更短的装卸时间意味着更短的停泊时间,更长的运输时间,更高的船舶利用率及更好的资金运作。本书选取了堆场装卸机械数量、堆场面积加生产用仓库面积及港口吞吐量来反映一个港口的服务水平。以上5个指标分别记作 S_{i1} 、 S_{i2} 、 S_{i3} 、 S_{i4}

和 S_{i5} 。

3) 网络地位 C_i

网络地位是指港口在区域港口群网络中的核心程度、重要程度,是港口在各子联盟中具有的“隐形”社群资本效用。本书将最主要的两方面纳入效用范畴:港口重要程度及“控制”其他港口的能力。本书选取港口货物喂给合作子网中各个港口的特征向量中心度及中间中心度指标来反映港口的网络地位。特征向量中心度高的港口节点连接的重要节点最多,系统地位最为突出,信息交互能力最强;中间中心度高的港口占据着“结构洞”的位置,处于信息和资源流通的桥梁位置,具有较强的“信息利益”及“控制利益”^[129]。以上两指标分别记为 C_{i1} 、 C_{i2} 。

4) 生态环境污染 E_i

在我国港口业和航运业高速发展的同时,其带来的环境污染问题也成了我国港口综合竞争力提升的最大阻碍。船舶使用的原油燃料所产生的细微颗粒物、臭氧、氮和硫的污染物对港口城市的空气造成了污染;水陆联运、船舶装卸、中转集输等港口作业产生了大量废弃物及生活垃圾,导致水质恶化和海洋生态环境遭到破坏;同时,港口城市人口密集,业务繁忙,生产、制造和服务类企业众多,加重了废水、废气等污染物的排放。因此,在分析港口子联盟效用时,我们必须将环境对污染的承载力考虑在内。本书选取港口城市工业废水排放量、港口城市工业二氧化硫排放量及工业烟(粉)尘排放量作为港口城市对生态环境污染的衡量指标,分别记作 E_{i1} 、 E_{i2} 和 E_{i3} 。需要注意的是,生态环境污染效用为负效用,即联盟内的环境污染将对联盟总获益产生负面效用。

5.4.3 合作子联盟网络特征函数定义

根据以上解析结果,特征函数的构建也必须体现表 5.4 中的各核心要素指标。首先是标准化后的各港口效用指标将有可能贡献于所在港口子联盟;为确定博弈方港口节点 i 在联盟 S 中是否具有有效的效用贡献,必须考虑其效用特征向量 e_i^{SG} ,见式(5.14)。其次,港口子联盟效用还与联盟内部港口之间的连接紧密度有关,每个港口都基于自身在子联盟网络中与其他港口的连接紧密程度来贡献自身的效用,当这个连接存在时($e_i^{SG}=1$ 时),说明港口间存在喂给航线关系,那么港口间的联系紧密程度就可以选用港口-港口腹地竞合系数 r_{ij}^h ,即当两个港口与相同腹地的关联更加紧密时,港口间联系就更加紧密,子联盟内与其他港口联系更紧密的港口对效用的贡献则越大。

按照上述分析,港口联盟网络效用示意图如图 5.4 所示。根据这些原则建立区域港口群合作博弈的特征函数,定义如式(5.15)所示。

$$v(S) = \sum_{S_i: i \in S} \frac{e_i^{SG} R_i S_i C_i \sum_{j \in S} r_{ij}^h}{E_i} \quad (5.15)$$

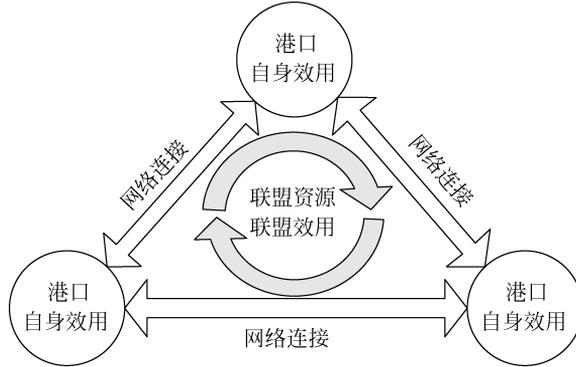


图 5.4 港口联盟网络效用示意图

其中, e_i^{SG} 为博弈方港口节点 i 的网络效用特征向量, 当 i 在子联盟网络中为孤立节点时, 该向量为 0; 非孤立点港口的 e_i^{SG} 为 1。 $\sum_{j \in S} r_{ij}^h$ 中的 r_{ij}^h 是港口间基于交叉腹地的竞合系数, 即港口 i 通过交叉腹地的竞合与其他子联盟内部港口产生的相互联系, 决定了该港口对港口子联盟的网络效用的贡献程度, 与其他港口联系越紧密, 该港口的贡献越大。 $R_i = \sum_j R_{ij}$ 代表了港口节点 i 的资源效用之和, R_{ij} 则是每一个效用指标标准化后的值, R_{i1} 代表自然资源效用中的最大吃水泊位水深指标, R_{i2} 代表泊位长度指标, R_{i3} 代表基础设施效用中的生产性码头泊位数指标, R_{i4} 代表万吨级泊位数指标, R_{i5} 代表港航固定资产投资指标, R_{i6} 代表反映港口集疏能力的港口城市的货运量指标。 同样地, $S_i = \sum_j S_{ij}$ 代表了港口节点 i 的港口经营管理和效用, S_{ij} 则是每一个效用指标标准化后的值, S_{i1} 代表港口经营环境中货源腹地经济发展的港口城市 GDP 指标, S_{i2} 代表港口城市限额以上贸易业商品销售总额指标, S_{i3} 、 S_{i4} 分别代表港口装卸效率的堆场装卸机械数量指标及堆场面积 + 生产用仓库面积指标, S_{i5} 代表港口货物吞吐量指标。 $C_i = \sum_j C_{ij}$ 代表了港口节点 i 的网络结构效用, C_{ij} 是每一个效用指标标准化后的值, C_{i1} 代表港口结构效用中反映港口在货物喂给网络中地位的特征向量中心度指标, C_{i1} 代表港口结构效用中反映港口在货物喂给网络中“控制权”的中间中心度指标。 分母中的 $E_i = \sum_j E_{ij}$ 代表了港口节点 i 的生态环境污染负效用, E_{ij} 是每一个效用指标标准化后的值, E_{i1} 代表反映港口城市水污染程度的港

口城市工业废水排放量指标, E_{i2} 代表反映港口有害气体污染程度的港口城市工业二氧化硫排放量指标, E_{i3} 代表反映港口城市颗粒物污染程度的港口城市工业烟(粉)尘排放量指标。

5.4.4 基于改进 Shapley 值的网络效用分配规则

港口联盟显然会提升港口群整体效用,但是各个港口在港口子联盟中地位却是不同的,必须建立一定的效用分配原则来维持联盟稳定性。若有分配不公,就有可能出现合作伙伴临时反悔的情况,从而给联盟造成损失,所以合作博弈中公平地解决效用分配问题是非常关键的。最终敲定的效用分配原则,实质上相当于各个博弈方共同认可的、具有约束力的协议条款,对港口联盟的长期持续紧密合作至关重要。一般来讲,这种效用分配协议的达成是通过子联盟港口间定期的有效协商形成的。当协议达成时,港口子联盟成员通过效用分配达到了自身效用和联盟效用的长期平衡。在合作协议执行过程中,前期既得效用较少的港口(一般是规模较大的港口)明确地知晓,短暂的效用缺失将会从长期稳定的合作中得到补偿,且从长远来讲利于港口的进一步发展壮大,产生显著规模效应以获取更多收益;获得效用较多的港口,则会自愿在某些方面为其他港口利益承诺做出一些让步,如更倾向于选择联盟内部的合作伙伴或增加用以改善生态环境的资金投入比例。

Shapley 值是合作博弈的通用解,其在合作博弈中的地位等同于纳什均衡在非合作博弈中的地位^[140]。本书研究采用改进的 Shapley 值效用分配机制分配区域港口群内合作博弈的联盟效用。在经典 Shapley 值方法中,Shapley 值给出了合作博弈 $\langle N, v(S) \rangle$ 中,博弈方港口节点 i 应得的效用,它基于博弈方港口节点 i 对联盟效用的离散分布,即计算出港口节点 i 对每一个它参与的港口子联盟 S 的边际贡献的平均期望。本书研究对此经典模型的改进体现在,由于特征函数 $v(S)$ 中加入了博弈方港口节点 i 的网络效用特征向量 e_i^{SG} ,来确定 i 在子联盟 S 所对应的港口合作子网中是否具有有效贡献。若该港口节点为孤立点,无有效贡献,此时 $e_i^{SG} = 0$,表达式 $v(S) - v(S - i)$ 计算得 0,边际贡献不存在,该港口也不能分得这一部分收益;反之,如果该节点与子联盟内其他港口节点有喂给合作关系,则该港口节点能为子联盟带来效用贡献,贡献程度取决于港口节点 i 与其他港口节点的连接紧密程度。

博弈方港口节点 i 的 Shapley 值具体计算,基于统计学离散分布期望值的原理,方法如式(5.16)所示。

$$\Phi_i(N, v) = \sum_{S \in N} \frac{(|S| - 1)! (n - |S|)!}{n!} [v(S) - v(S - i)] \quad (5.16)$$

Shapley 值的计算的基本假设是博弈方港口节点以随机的顺序形成子联盟, 则各种顺序发生的概率相等, 为 $\frac{1}{n!}$; 博弈方港口节点 i 与在其前面的 $(|S| - 1)$ 个港口形成联盟 $S, S/i$ 和 N/S 的博弈方港口节点相继排列的次序共有 $(|S| - 1)!(n - |S|)!$ 种。从而可以得出组合成各个联盟的概率为 $\frac{(|S| - 1)!(n - |S|)!}{n!}$; 另外, 博弈方港口节点 i 对这个联盟的边际贡献为 $v(S) - v(S - i)$, 且当该节点为孤立点时, 该边际贡献为 0。边际贡献与对应发生概率相乘后连加, 就得到 i 的收益分配值的平均期望。

本章小结

为探究区域港口群在竞合网络上的博弈行为特征, 本章从微观静态、微观演化及宏观角度, 利用三类博弈模型, 解析了区域港口群中的复杂竞合网络上, 港口竞合博弈的各个发展阶段、博弈特点及其均衡态。首先, 区域港口群竞合网络上的完全信息静态非合作博弈模型中, 加入了网络中港口之间“结构对等”导致“服务替代率”参数增加的因素, 且区域内港口的服务价格之间也有相互影响, 但均衡态分析的结论是, 无论替代率与港口价格如何改变, 在没有约束机制或合作协议情况下, 港口的完全理性会使其始终陷入局部最优的(竞争, 竞争)策略, 港口的决策将因信任危机陷入囚徒困境。其次, 基于 TFT 策略的重复博弈模型, 通过对贴现率参数的分析, 提出了港口间形成合作联盟的可能性, 即从长期演化角度, 在“合作触发者”的坚持下, 区域内各港口节点会转而选择长期获益的(合作, 合作)策略。最后, 港口竞合网络上的合作博弈模型, 将问题的侧重点放在如何建立相对公平的利益分配机制来保证港口合作联盟的稳定性。将港口在网络中的竞合“交流”贡献, 计入联盟效用特征函数, 以改进联盟效用分配 Shapley 值, 对具有合作倾向的区域港口竞合网络“社会圈”内的联盟博弈过程进行建模, 定义了基于网络交流博弈理论的合作博弈模型, 提出了基于网络视角的改进联盟效用分配机制的新路径。