

文章编号:1672-9331(2018)03-0040-08

基于改进 L—V 模型的多货种多港口竞合关系

陈丽玲¹, 雷智鸫¹, 朱逸凡¹, 马陵², 蒋柳鹏¹

(1.河海大学 港口海岸与近海工程学院,江苏 南京 210098; 2.南京水利科学研究院,江苏 南京 210098)

摘要:针对多港口多货种竞争的情形,借鉴自然界生态种群竞争合作关系,对 Lotka—Volterra 模型进行了改进,提出了适合分析多港口多货种的 Lotka—Volterra 模型。该模型基于多港口多货种的吞吐量、年平均增长率、潜在吞吐量增长空间以及其他港口同货类吞吐量影响,通过构建竞争系数矩阵来判断不同港口之间的竞争合作模式。用该模型分析了福建 4 个港口不同货种的竞争合作形式,结果显示,该模型能够反映多个港口多类货种竞争与协作的相互影响机制。

关键词: Lotka—Volterra 模型; 多港口; 多货种; 吞吐量; 竞合

中图分类号: F55

文献标识码: A

Competition and cooperation relationship of multi—category ports based on L—V model

CHEN Li—ling¹, LEI Zhi—yi¹, ZHU Yi—fan¹, Ma Ling², JIANG Liu—peng¹

(1.College of Harbour Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2.Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210098, China)

Abstract: The Lotka—Volterra model for the multi—goods of the multi—ports is proposed and improved based on the two—species Lotka—Volterra model and the competition of kinds of ecological populations in nature. Based on the analysis of the current throughput, annual average growth rate, potential throughput growth space, and the impacts of other port cargo throughput, the model establishes a competition coefficient matrix to determine the competitive cooperation model between different ports. The model was used to analyze the competition and cooperation relationship of different cargo types in four ports of Fujian. The results show that the model can reflect the mutual influence mechanism of competition and collaboration of multiple types of cargo in multiple ports.

Key words: Lotka—Volterra model; multi—ports; multiple types of cargo; throughput; cooperation

Lotka—Volterra 模型研究的是不同变量在同一环境容量下的相互作用关系,能够较直观地

反应不同变量之间的关系。Vladimir Balaz^[1]用 Lotka—Volterra 模型分析了 1948—2009 年捷克

收稿日期:2018—04—20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51409088)

通讯作者:雷智鸫(1974—),女,江苏南京人,河海大学副教授,博士,主要从事水运经济规划、海岸带资源开发与保护等方面的研究。E—mail: lei_zhiyi@hhu.edu.cn

和斯洛伐克共和国关于电话通信技术的竞合演变动态。唐秋生^[2]将传统的灰色模型与 Lotka—Volterra 结合来判断综合交通体系竞合情况。孙冰^[3]运用 Lotka—Volterra 模型和演化博弈模型分别剖析了核心企业间的竞合关系和尾端企业间的竞合关系。仇魁^[4]运用共生理论建立了 Lotka—Volterra 模型,分析了新疆的资源型产业和非资源型产业的互动关系。于璐^[5]基于种群生态学理论的相关基础,构建了反映两港口相互作用的 Lotka—Volterra 模型,并结合结果提出了相关建议。苗晴^[6]借用 Lotka—Volterra 模型分析了近年来大连港与营口港集装箱业务的竞争及其演变,并提出了相关建议。韩二东^[7]对 Lotka—Volterra 模型加以改进,添加反映港务集团和码头公司对自身阻滞作用的项,构建更为实际的反映港口产业集群内部港务集团与码头公司之间依托型互利共生关系的非线性时滞模型。周志翔^[8]证明了 Lotka—Volterra 模型可以用于分析两个港口之间关于集装箱运输的竞合情况。以上文章多是利用 Lotka—Volterra 分析两个种群的竞合关系,情况比较单一。也有学者尝试利用 Lotka—Volterra 模型分析多种群竞合关系,如:仇魁^[9]采用 Lotka—Volterra 模型,对三次产业、碳排放与经济发展三者之间的动态竞争关系进行了深入分析;张亮^[10]根据 Lotka—Volterra 模型,分析判断了多种微博舆论之间的竞合模式,反映了微博舆论不同观点之间竞争与合作的传播机制;陈璐^[11]通过构建 Lotka—Volterra 模型,研究了专利创新生态系统中多主体间的竞合关系。

在港口领域,目前使用较多的是 Lotka—Volterra 二种群模型,用于分析两个港口对于单一货种的竞合情况。而在现实中,同一区域的港口往往不止两个;且由于地理位置临近和市场资源有限,港口的货种结构相似,港口功能雷同,港口间的竞合模式并不单一,因此有必要对多港口多货种的竞合模式进行全面分析,确定各港口的优势货种。因此,作者尝试对 Lotka—Volterra 模型进行改进,定性、定量地分析同一区域内不同港口不同货种之间的竞合关系,对协调整个区域的货物分配和港口合理布局提供思路和方法,为港口的管理与发展提供有效依据。

1 多港口多货种 L—V 模型的构建

在一定地域内,一个港口可以看做一个种群,港口的吞吐量类似于种群的数量,二者存在共性。种群在一定的自然环境中繁殖生长,短期内不会突然灭亡或爆发式增长,增长速度也相对稳定。由于资源的稀缺性,不同的种群会因为彼此间的相互作用而表现出不同的关系,种群的数量最终会达到环境容量。而一定区域内的港口,吞吐量主要依赖于腹地的资源,在一定时间内港口的货源市场相对稳定,吞吐量增长速度相对平稳。由于腹地资源的有限性,港口的吞吐量不能无限地增长,同时又因为地理位置的临近和货种结构的相似,同一区域内的不同港口可能相互合作,互赢共生,也可能恶性竞争,抢夺有限的市场资源,最终各港口的吞吐量会趋于稳定。

1) 假设在没有第二个港口参与竞争的区域,港口吞吐量与有限的资源之间存在一定的规律。用 Logistics 模型来描述港口吞吐量的变化,以 $X(t)$ 表示 t 时刻港口吞吐量, $\frac{dX(t)}{dt}$ 表示吞吐量增长率。在现实中,港口吞吐量不可能无限地增长,假设 N 为市场的最大容量, r 为港口吞吐量的自然增长率,则港口吞吐量的增长可表示为:

$$\frac{dX(t)}{dt} = rX(t) \left[1 - \frac{X(t)}{N} \right]. \quad (1)$$

2) 假设市场中存在第二个港口,第二个港口的出现威胁到了第一个港口的垄断地位,对第一个港口的吞吐量的增长产生不利的影响。在标准的 Lotka—Volterra 模型中引入促进系数 α 和阻滞系数 β ,则两个港口吞吐量的增长可表示为:

$$\begin{cases} \frac{dX_1(t)}{dt} = r_1 X_1(t) \left[1 - \frac{X_1(t)}{N_1} + \alpha_2 \frac{X_2(t)}{N_2} - \beta_2 \frac{X_2(t)}{N_2} \right] \\ \frac{dX_2(t)}{dt} = r_2 X_2(t) \left[1 - \frac{X_2(t)}{N_2} + \alpha_1 \frac{X_1(t)}{N_1} - \beta_1 \frac{X_1(t)}{N_1} \right] \end{cases}. \quad (2)$$

式中: $X_1(t)$ 和 $X_2(t)$ 分别表示两个港口 t 时刻的吞吐量; r_1 和 r_2 分别表示两个港口吞吐量的自然

增长率,设为常数; $\frac{X_1(t)}{N_1}$ 和 $\frac{X_2(t)}{N_2}$ 分别表示两个港口市场规模密度,对港口1来说,港口2的市场规模密度对其产生阻滞作用 $\beta_2 \frac{X_2(t)}{N_2}$,同时又可通过合作对其产生促进作用 $\alpha_2 \frac{X_2(t)}{N_2}$;同理, $\alpha_1 \frac{X_2(t)}{N_1}$ 和 $\beta_1 \frac{X_2(t)}{N_1}$ 分别表示港口1的市场规模密度对港口2产生的促进作用和阻滞作用。

对港口1来说,它的潜在吞吐量增长空间由 $\left[1 - \frac{X_1(t)}{N_1}\right]$ 变成 $\left[1 - \frac{X_1(t)}{N_1} + \alpha_2 \frac{X_2(t)}{N_2} - \beta_2 \frac{X_2(t)}{N_2}\right]$;对港口2来说,它的潜在吞吐量增长空间由 $\left[1 - \frac{X_2(t)}{N_2}\right]$ 变成 $\left[1 - \frac{X_2(t)}{N_2} + \alpha_1 \frac{X_2(t)}{N_1} - \beta_1 \frac{X_2(t)}{N_1}\right]$ 。

考虑到同一区域存在多个港口多类货种竞争合作关系,将 Lotka-Volterra 模型进行改进,刻画多个港口之间的竞争合作关系。假设在一定区域内有 n 个港口,各个港口的货物吞吐量的变化均符合 Logistics 增长模型,以 $X_i(t)$ 表示 t 时刻港口 i 的货物吞吐量, $\frac{dX_i(t)}{dt}$ 表示港口 i 的货物吞吐量的增长速度,则多个港口货物吞吐量的增长过程及相互关系可以用多种群 Lotka-Volterra 模型来描述:

$$\frac{dX_i(t)}{dt} = X_i(a_{i0} + \sum_{j=1}^n a_{ij} X_i X_j) \quad (3)$$

式中: $i, j=1, 2, \dots, n$, 即

$$\begin{cases} \frac{dX_1}{dt} = a_{10}X_1 + a_{11}X_1^2 + a_{12}X_1X_2 + \dots + a_{1n}X_1X_n \\ \frac{dX_2}{dt} = a_{20}X_2 + a_{21}X_2X_1 + a_{22}X_2X_2^2 + \dots + a_{2n}X_2X_n \\ \vdots \\ \frac{dX_n}{dt} = a_{n0}X_n + a_{n1}X_n^2 + a_{n2}X_nX_2 + \dots + a_{nn}X_n^2 \end{cases} \quad (4)$$

式中: a_{ij} 表示第 j 个港口的货物吞吐量对第 i 个港口货物吞吐量的影响。

在 n 个港口构成的 L-V 模型参数估计中,

以第一行的方程为例,参数求解如下:

$$\begin{aligned} \frac{dX_1}{dt} &= a_{10}X_1 + a_{11}X_1^2 + a_{12}X_1X_2 + \dots + \\ & a_{1n}X_1X_n = X_1(a_{10} + a_{11}X_1 + \\ & a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n) \end{aligned} \quad (5)$$

由于 X_1, X_2, X_3, X_4 都是时间 t 的函数,在区间 $[t_0, t_m]$ 对式(5)两边同时积分可得:

$$\int_{t_0}^{t_m} \frac{dX_1}{dt} dt = X_1(t) \Big|_{t_0}^{t_m} = \int_{t_0}^{t_m} X_1(t) [a_{10} + a_{11}X_1(t) + a_{12}X_2(t) + \dots + a_{1n}X_n(t)] dt \quad (6)$$

将区间 $[t_0, t_m]$ 以一个交易月为单位划分为更小的 m 个区间,即 m 个交易月,在每个区间都有:

$$X_1(t) \Big|_{t_j}^{t_{j+1}} = \int_{t_j}^{t_{j+1}} X_1(t) [a_{10} + a_{11}X_1(t) + a_{12}X_2(t) + \dots + a_{1n}X_n(t)] dt \quad (7)$$

式中: $j=1, 2, 3, \dots, m-1$ 。

于是,有

$$\begin{aligned} X_1(t_{j+1}) - X_1(t_j) &= a_{10} \int_{t_j}^{t_{j+1}} X_1(t) dt + \\ & a_{11} \int_{t_j}^{t_{j+1}} X_1^2(t) dt + a_{12} \int_{t_j}^{t_{j+1}} X_1(t) X_2(t) dt + \\ & \dots + a_{1n} \int_{t_j}^{t_{j+1}} X_1(t) X_n(t) dt \end{aligned} \quad (8)$$

式中: $j=1, 2, 3, \dots, m-1$ 。

由梯形法可得:

$$\begin{aligned} a_{10} \int_{t_j}^{t_{j+1}} X_1(t) dt &\approx \frac{t_{j+1} - t_j}{2} \{a_{10} [X_1(t_{j+1}) + \\ & X_1(t_j)]\} = \frac{a_{10}}{2} [X_1(t_{j+1}) + X_1(t_j)] \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} a_{11} \int_{t_j}^{t_{j+1}} X_1^2(t) dt &\approx \frac{t_{j+1} - t_j}{2} \{a_{11} [X_1^2(t_{j+1}) + \\ & X_1^2(t_j)]\} = \frac{a_{11}}{2} [X_1^2(t_{j+1}) + X_1^2(t_j)] \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} a_{12} \int_{t_j}^{t_{j+1}} X_1(t) X_2(t) dt &\approx \frac{t_{j+1} - t_j}{2} \{a_{12} [X_1(t_{j+1}) \cdot \\ & X_2(t_{j+1}) + X_1(t_j) X_2(t_j)]\} = \frac{a_{12}}{2} [X_1(t_{j+1}) \cdot \\ & X_2(t_{j+1}) + X_1(t_j) X_2(t_j)] \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} &\vdots \\ a_{1n} \int_{t_j}^{t_{j+1}} X_1(t) X_n(t) dt &\approx \frac{t_{j+1} - t_j}{2} \{a_{1n} [X_1(t_{j+1}) \cdot \\ & X_n(t_{j+1}) + X_1(t_j) X_n(t_j)]\} = \frac{a_{1n}}{2} [X_1(t_{j+1}) \cdot \\ & X_n(t_{j+1}) + X_1(t_j) X_n(t_j)] \end{aligned} \quad (12)$$

获取 n 个港口和对应的 m 个月的货物吞吐量

数据,将式(8)表述为矩阵形式:

$$\begin{bmatrix} d_{1,0} \\ d_{2,1} \\ \vdots \\ d_{m,m-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{X}_{1,0} & \bar{X}_{1,0}^2 & \bar{X}\bar{Y}_{1,0} & \cdots & \bar{X}\bar{W}_{1,0} \\ \bar{X}_{2,1} & \bar{X}_{2,1}^2 & \bar{X}\bar{Y}_{2,1} & \cdots & \bar{X}\bar{W}_{2,1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{X}_{m,m-1} & \bar{X}_{m,m-1}^2 & \bar{X}\bar{Y}_{m,m-1} & \cdots & \bar{X}\bar{W}_{m,m-1} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{11} \\ a_{12} \\ \vdots \\ a_{1n} \end{bmatrix} \quad (13)$$

式中:定义

$$d_{j+1,j} = X_1(t_{j+1}) - X_1(t_j);$$

$$\bar{X}_{j+1,j} = [X_1(t_{j+1}) + X_1(t_j)]/2;$$

$$\bar{X}_{j+1,j}^2 = \{[X_1(t_{j+1})]^2 + [X_1(t_j)]^2\}/2;$$

$$\bar{X}\bar{Y}_{j+1,j} = [X_1(t_{j+1})X_2(t_{j+1}) + X_1(t_j)X_2(t_j)]/2;$$

⋮

$$\bar{X}\bar{W}_{j+1,j} = [X_1(t_{j+1})X_n(t_{j+1}) + X_1(t_j)X_n(t_j)]/2。$$

于是,将式(13)简化后,有

$$d = Xa_1 \quad (14)$$

式中:向量 $d = [d_{1,0}, d_{2,1}, \dots, d_{m,m-1}]$ 为货物吞吐量增量向量;向量 $a_1 = [a_{10}, a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}]$ 为待估参数向量;矩阵 X 为 m 行 n 列线性无关矩阵。

由此可以解得:

$$\hat{a}_1 = (X'X)^{-1}X'd \quad (15)$$

对数据进行处理后代入 MATLAB 软件求解参数,同理可以估计出向量 $a_2 = [a_{20}, a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2n}]'$, $a_3 = [a_{30}, a_{31}, a_{32}, \dots, a_{3n}]'$, \dots , $a_n = [a_{n0}, a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{nn}]'$ 的值,可对若干个港口间的关系进行分析判断。

当 $a_{ij} > 0$ 时,港口 j 对港口 i 起促进作用;当 $a_{ij} < 0$ 时,港口 j 对港口 i 起阻滞作用。参数 a_{ij} 和 a_{ji} 的正负符号决定了港口 i 和港口 j 之间竞争合作关系,具体如下。

①当 $a_{ij} > 0$ 且 $a_{ji} > 0$ 时,港口 i 和港口 j 彼此相互促进,则港口 i 和港口 j 是互惠共存关系,

相互间利益一致,是一种稳定的均衡,最终双方互利共赢。

②当 $a_{ij} > 0$ 且 $a_{ji} < 0$ 时,港口 j 对港口 i 起促进作用,港口 i 对港口 j 起阻滞作用,则港口 i 和港口 j 是“捕食—被捕食”关系,相互间利益不完全一致,是一种不稳定的均衡。放任不管的话,可能有两种后果,一是形成过度竞争,发展为恶性竞争,最终导致两败俱伤;二是发展为极端局面,港口 j 被打败,退出市场,港口 i 一家独断,成垄断状态。

③当 $a_{ij} < 0$ 且 $a_{ji} > 0$ 时,港口 j 对港口 i 起阻滞作用,港口 i 对港口 j 起促进作用,则港口 i 和港口 j 是“被捕食—捕食”关系,相互间利益不完全一致,是一种不稳定的均衡。放任不管的话,可能有两种后果,一是形成过度竞争,发展为恶性竞争,最终导致两败俱伤;二是发展为极端局面,港口 i 被打败,退出市场,港口 i 一家独断,成垄断状态。

④当 $a_{ij} < 0$ 且 $a_{ji} < 0$ 时,港口 i 和港口 j 彼此相互阻滞,则港口 i 和港口 j 是完全竞争关系,处于恶性竞争状态,最终导致两败俱伤。

2 实例分析

以福建省的福州港、厦门港、泉州港和湄洲湾港为例,对应 4 种群的 L-V 模型如下,并用线性回归估计求解参数:

$$\begin{cases} \frac{dX_1}{dt} = a_{10}X_1 + a_{11}X_1^2 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{14}X_1X_4 \\ \frac{dX_2}{dt} = a_{20}X_2 + a_{21}X_2X_1 + a_{22}X_2^2 + a_{23}X_2X_3 + a_{24}X_2X_4 \\ \frac{dX_3}{dt} = a_{30}X_3 + a_{31}X_3X_1 + a_{32}X_3X_2 + a_{33}X_3^2 + a_{34}X_3X_4 \\ \frac{dX_4}{dt} = a_{40}X_4 + a_{41}X_4X_1 + a_{42}X_4X_2 + a_{43}X_4X_3 + a_{44}X_4^2 \end{cases} \quad (16)$$

2.1 干散货

福州港、厦门港、泉州港和湄洲湾港 4 个港口 2017 年的干散货吞吐量见表 1。对数据进行处

理,求解参数,可得4个港口对于干散货的竞合状态(见表2)。

$$a_1 = [a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}] = [-1.534\ 1, -0.000\ 6, -0.000\ 4, 0.002\ 4, 0.002\ 6]。$$

$$a_2 = [a_{20}, a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24}] = [-2.219\ 0,$$

$$0.000\ 9, -0.000\ 2, 0.002\ 2, 0.003\ 4]。$$

$$a_3 = [a_{30}, a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}] = [0.583\ 3, 0.000\ 1, -0.000\ 4, -0.002\ 7, -0.000\ 3]。$$

$$a_4 = [a_{40}, a_{41}, a_{42}, a_{43}, a_{44}] = [0.890\ 9, -0.000\ 5, 0.000\ 6, -0.003\ 8, -0.001\ 2]。$$

表1 2017年福建4个港口1—12月份的干散货吞吐量

Table 1 Dry bulk throughputs of 4 ports in Fujian from Jan to Dec ($\times 10^4$ t)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月份	11月份	12月份
福州港	581.79	560.39	587.72	588.62	605.49	603.94	574.95	705.73	680.42	810.30	737.06	685.84
厦门港	563.42	632.26	616.55	623.82	628.84	624.67	487.79	471.71	502.02	690.26	575.74	568.16
湄洲湾港	299.75	335.71	361.13	319.53	327.45	332.84	283.42	327.73	305.40	308.15	292.01	220.66
泉州港	264.47	238.03	247.50	214.91	228.45	254.73	266.90	223.40	253.66	227.01	201.59	287.79

表2 2017年福建4个港口的干散货竞争模式

Table 2 Dry bulk competition mode of 4 ports in Fujian in 2017

	福州港 1	厦门港 2	湄洲湾港 3	泉州港 4
福州港 1	—	1和2是“被捕食—捕食”	互惠共存	1和4是“捕食—被捕食”
厦门港 2	1和2是“被捕食—捕食”	—	2和3是“捕食—被捕食”	互惠共存
湄洲湾港 3	互惠共存	2和3是“捕食—被捕食”	—	完全竞争
泉州港 4	1和4是“捕食—被捕食”	互惠共存	完全竞争	—

2.2 集装箱

态(见表4)。

福州港、厦门港、泉州港和湄洲湾港4个港口2017年的集装箱吞吐量见表3。对数据进行处理,求解参数,可得4个港口对于集装箱的竞合状

$$a_1 = [a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}] =$$

$$[-3.074\ 8, -0.19, 0.013\ 3, 0.527\ 3, 0.059\ 4]。$$

表3 2017年福建4个港口1—12月份的集装箱吞吐量

Table 3 Container throughputs of 4 ports in Fujian from Jan to Dec ($\times 10^4$ t)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月份	11月份	12月份
福州港	25.28	19.95	25.06	22.00	25.20	26.56	24.59	15.77	15.06	14.69	15.43	27.49
厦门港	79.65	61.75	81.81	80.81	86.17	90.96	94.59	69.30	70.94	69.57	64.33	89.43
湄洲湾港	0.29	0.36	0.20	0.38	0.28	0.46	0.45	0.19	0.13	0.15	0.16	0.37
泉州港	14.73	13.12	19.22	17.57	20.20	19.98	18.87	1.11	1.12	1.20	1.09	15.28

表4 2017年福建4个港口的集装箱竞争模式

Table 4 Container competition mode of 4 ports in Fujian in 2017

	福州港 1	厦门港 2	湄洲湾港 3	泉州港 4
福州港 1	—	互惠共存	1和3是“捕食—被捕食”	1和4是“捕食—被捕食”
厦门港 2	互惠共存	—	2和3是“捕食—被捕食”	完全竞争
湄洲湾港 3	1和3是“捕食—被捕食”	2和3是“捕食—被捕食”	—	完全竞争
泉州港 4	1和4是“捕食—被捕食”	完全竞争	完全竞争	—

$$a_2 = [a_{20}, a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24}] = [2.374\ 8, \\ 0.124\ 6, -0.015\ 1, 3.724\ 3, -0.032\ 12]。 \\ a_3 = [a_{30}, a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}] = [4.897\ 7, \\ -0.369\ 5, -0.006, -8.758\ 1, -0.067\ 5]。 \\ a_4 = [a_{40}, a_{41}, a_{42}, a_{43}, a_{44}] = [-5.404\ 3, \\ -0.457\ 6, -0.023\ 6, -5.878\ 1, -0.093\ 7]。$$

2.3 石油、天然气及制品

福州港、厦门港、泉州港和湄洲湾港 4 个港口 2017 年的石油、天然气及制品吞吐量见表 5。对数据进行处理,求解参数,可以求得 4 个港口对于

石油、天然气及制品的竞合状态(见表 6)。

$$a_1 = [a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}] = \\ [0.325\ 3, -0.005, -0.002\ 8, -0.001\ 3, 0.017\ 4]。 \\ a_2 = [a_{20}, a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24}] = \\ [2.764\ 2, 0.052, -0.005\ 7, -0.000\ 8, 0.199\ 9]。 \\ a_3 = [a_{30}, a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}] = \\ [-3.016\ 1, 0.002\ 1, 0.008\ 4, -0.008\ 6, 0.001\ 3]。 \\ a_4 = [a_{40}, a_{41}, a_{42}, a_{43}, a_{44}] = \\ [-3.568\ 1, 0.032\ 6, 0.040\ 1, 0.007, -0.041\ 1]。$$

表 5 2017 年福建 4 个港口 1—12 月份的液散货吞吐量

Table 5 Liquid bulk throughputs of 4 ports in Fujian from Jan to Dec ($\times 10^4$ t)

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
福州港	22.95	20.20	19.61	16.13	16.94	25.44	28.08	24.64	29.94	27.09	30.93	29.85
厦门港	35.76	27.65	38.22	37.82	44.50	30.67	43.43	37.38	18.21	32.71	36.83	32.19
湄洲湾港	316.46	285.67	339.53	291.82	298.16	278.34	310.71	298.05	330.68	276.21	331.86	211.88
泉州港	21.43	14.98	16.49	13.32	18.60	16.48	16.29	22.58	16.75	17.74	21.52	17.95

表 6 2017 年福建 4 个港口的液散货竞争模式

Table 6 Liquid bulk competition mode of 4 ports in Fujian in 2017

	福州港 1	厦门港 2	湄洲湾港 3	泉州港 4
福州港 1	—	1 和 2 是“被捕食—捕食”	1 和 3 是“被捕食—捕食”	互惠共存
厦门港 2	1 和 2 是“被捕食—捕食”	—	2 和 3 是“被捕食—捕食”	互惠共存
湄洲湾港 3	1 和 3 是“被捕食—捕食”	2 和 3 是“被捕食—捕食”	—	互惠共存
泉州港 4	互惠共存	互惠共存	互惠共存	—

2.4 福建省 4 个港口竞合关系分析

福建省政府印发的《关于加快港口发展的行动纲要(2014—2018)》(以下简称“纲要”)提出“两集两散两液”核心港区,即以集装箱运输为主的厦门港海沧和福州港江阴,以大宗干散货运输为主的福州港罗源湾可门和湄洲湾北岸,以液体散货运输为主的湄洲湾南岸和厦门港古雷等核心港区。

1) 集装箱运输。

根据数据及计算分析可知,集装箱运输以福州港和厦门港为主,两个港口的吞吐量占全省的 89.06%,基本与纲要目标一致。且二者的关系互惠共存,集装箱吞吐量均有较大业绩,应继续保持齐头并进、互利共赢的竞争态势。

分析显示,在两个重量级集装箱港口互惠共存的局势下,湄洲湾港、泉州港和福州港都是“被捕食—捕食”关系,湄洲湾港和厦门港是“被捕食—

捕食”关系。湄洲湾港的吞吐量仅占全省的 0.25%,泉州港的吞吐量占全省的 10.68%。同时,湄洲湾港和泉州港是完全竞争的关系,湄洲湾港和泉州港的生存环境相对恶劣。查阅数据资料可得,累计到 2017 年 12 月,全省的集装箱航线如表 7 所示。相较之下,湄洲湾港处于起步阶段,航线总共 4 条,占全省的 1.48%;泉州港在内贸占优势地位,内贸线总共 42 条,占全省的 37.17%,与厦门港的内贸线相当。

表 7 2017 年福建 4 个港口的航线情况

Table 7 Routes of 4 ports in Fujian in 2017 条

航线名称	小计	福州港	湄洲湾港	泉州港	厦门港
外贸线	121	29	0	13	79
内支线	36	15	2	4	15
内贸线	113	28	2	42	41
全省合计	270	72	4	59	135

2) 干散货运输即煤炭及制品、金属矿石和矿建材料运输。

就“两散”港区所属的福州港和湄洲湾港来看,福州港占全省总量的 36.02%,湄洲湾港占 17.41%,湄洲湾港的吞吐量并非最佳。这两个港口是互惠共存的关系,在 4 个港口的竞合关系中占有一定的优势。在这种局势下,厦门港占全省总量的 32.25%,吞吐量远大于湄洲湾港,地位不容小觑,因此模型计算得出厦门港和福州港、湄洲湾港的关系都是“捕食—被捕食”的关系是合理的。说明厦门港在干散货市场占有优势,且在 4 个港口的竞合关系中也处于上风。

泉州港和福州港是“被捕食—捕食”的关系,和湄洲湾港是完全竞争的关系,和厦门港是互惠共存的关系。其吞吐量是 4 个港口最低的,仅占全省的 13.6%,在和其他港口的竞合关系中不占优势。由此可见,泉州港应当明确主要货种,积极打造有特色的港区。

由数据分析可见,福州港和湄洲湾港“两散”核心港区的地位并不十分明显,干散货港区建设有待加强。同时应加大与其他港口的合作,处理好与厦门港的关系。

3) 液散货运输,即石油、天然气及制品运输。

“两液”港区的湄洲湾港和厦门港,其液散货吞吐量之和占到全省的 88.73%。湄洲湾港的吞吐量大于厦门港,和厦门港是“捕食—被捕食”关系。湄洲湾港无论是数量还是和其他港口的关系都处于优势,可以看出湄洲湾港的发展势头优于厦门港。在这种局势下的福州港与厦门港、湄洲湾港都是“被捕食—捕食”的关系,泉州港和其余 3 个港口都是互惠共存的关系,福州港和泉州港的吞吐量相当。而在 4 个港口的竞合关系中,泉州港总体优于福州港,因此福州港应当主动加强与其他港口的合作。

2.5 各港口发展建议

单个港口应该明确自身的发展定位和核心业务,提升核心竞争力,立足自身主业,同时进行优势互补,对外开放,提升港口群的品牌效益,同时大幅降低港口的成本。

1) 福州港。

集装箱方面:与厦门港继续加强合作,实现共赢。干散货方面:与湄洲湾港继续加强合作,加强

抗风险能力,实现共赢。液散货方面:继续加强与泉州港的合作,提高自身的竞争力,避免在与厦门港、湄洲湾港的竞争一直处于下风。

2) 厦门港。

集装箱方面:与福州港继续加强合作,实现共赢。干散货方面:虽然不是“两散”中的其中一个,但无论是吞吐量,还是与福州港、湄洲湾港的关系,厦门港都占据优势,厦门港可加强干散货港区建设,与福州港、湄洲湾港形成“三足鼎立”的局势。液散货方面:厦门港的总吞吐量虽然低于湄洲湾港,但是厦门港在与泉州港和福州港的竞合关系中处于优势,应加强液散货港区建设,提高自身的竞争力。

3) 泉州港。

集装箱方面:重点发展内贸集装箱运输,巩固沿海内贸集装箱地位,与厦门港加强合作。干散货方面:只与厦门港是互惠共存的关系,在与福州港和湄洲湾港的竞合关系中处于劣势,泉州港应继续加强与厦门港的合作,提升自身港口竞争力,使自身与福州港和湄洲湾港的竞合关系朝着互惠共存的趋势发展。液散货方面:虽然总吞吐量不如其余 3 个港口,但是与其他港口关系有利,应当保持现有关系,进行更深入的业务合作,达到稳步增长的目的。

4) 湄洲湾港。

集装箱方面:逐步拓展近洋外贸航线,打造区域性现代商贸物流中心,可以通过相互考察、信息共享、业务技术交流等方式加强与泉州港合作,实现错位发展,避免恶性竞争。干散货方面:应该与福州港继续加强合作,加强双方抗风险能力,实现共赢。液散货方面:湄洲湾港的吞吐量最大,在与其他港口的竞合关系中也处于优势,应该继续加强与其他港口的合作,实现港口吞吐量的稳步增长。

3 结论

1) 由于同一区域存在多个港口,各个港口的货种结构都相似,港口之间的竞争模式并不单一,因此作者对 Lotka—Volterra 模型进行了改进,不仅考虑了港口当前的吞吐量、年平均增长率、潜在吞吐量增长空间,还考虑了其他港口同货类吞吐

量的促进和阻滞作用,并将一般的二种群模型推广到多种群模型分析,不同港口之间的竞合关系可以由竞争系数矩阵直观地得到。

2) 以福建 4 个港口 3 类货种为例进行了实证分析,理清了不同港口不同货种的竞合情况,结果直观清楚,为 4 个港口的货种结构优化提供了有针对性的依据,证明了改进 L-V 模型对多港口多货种的适用性。

〔参考文献〕

- [1] Vladimir Balaz, Allan M Williams. Diffusion and competition of voice communication technologies in the Czech and Slovak Republics: 1948 - 2009 [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2012 (2): 393-404.
- [2] 唐秋生,汪勇,聂化东.基于“灰色 L-V”模型的综合交通竞合体系预判[J].公路工程,2017,42(1):96-100,114.
TANG Qiu-sheng, WANG Yong, NIE Hua-dong. Forecast on the competition relationship between medes of transportation based on "Gray L-V" model[J]. Highway Engineering, 2017, 42(1): 96-100, 114.
- [3] 孙冰,姚洪涛.全球化背景下核型创新网络竞争机制研究:基于改进 LV-EG 模型的仿真分析[J].运筹与管理,2016,25(1):192-202.
SUN Bing, YAO Hong-tao. Study on competition mechanism of core-structure innovation network under the circumstance of globalization: a simulation study based on LV-EG Model [J]. Operations Research and Management Science, 2016, 25(1): 192-202.
- [4] 仇隼,李金叶.资源型产业与非资源型产业互动关系研究:以新疆为例[J].新疆大学学报:自然科学版,2018,35(1):22-29.
QIU Wei, LI Jin-ye. Research on the interaction relationship between resource-based industries and non-resource-based industries: a case study of Xinjiang[J]. Journal of Xinjiang University: Natural Science Edition, 2018, 35(1): 22-29.
- [5] 于璐.基于种群生态理论的中国港口业演化分析[D].青岛:中国海洋大学,2010.
YU Lu. Analyze on the evolution of China's port industry based on synecology[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010.
- [6] 苗晴,马小剑.大连港与营口港集装箱业务竞争态势及其演化:基于 Lotka-Volterra 模型的分析[J].物流技术,2015,34(19):83-86.
MIAO Qing, MA Xiao-jian. Analysis of competitive situation and evolution of container business of Dalian port and Yingkou port: an analysis based on Lotka Volterra model [J]. Logistics Technology, 2015, 34(19): 83-86.
- [7] 韩二东,郭鹏.生态学视角下港口产业集群共生模型的稳定性[J].华中师范大学学报:自然科学版,2013,47(6):819-823.
HAN Er-dong, GUO Peng. Stability of the symbiosis model of port industrial cluster under the perspective of ecology[J]. Journal of Central China Normal University: Natural Science, 2013, 47(6): 819-823.
- [8] 周志翔.基于 Lotka-Volterra 模型的集装箱港口竞合关系研究[D].西安:长安大学,2015.
ZHOU Zhi-xiang. Study on the coopetition relationship between container ports based on the Lotka-Volterra model[D]. Xi'an: Chang'an University, 2015.
- [9] 仇隼,李金叶.基于 Lotka-Volterra 模型的我国三次产业、碳排放与经济发展之间动态竞争关系实证研究[J].生态经济,2017,33(10):22-28.
QIU Wei, LI Jin-ye. An empirical study on the dynamic competition between three industries, carbon emissions and economic development in china based on the lotka-volterra model[J]. Ecological Economy, 2017, 33(10): 22-28.
- [10] 张亮,任立肖.基于多种群 Lotka-Volterra 的微博舆论竞争传播分析[J].情报杂志,2015,34(10):112-116.
ZHANG Liang, REN Li-xiao. A study on competitive spreading of weibo opinions based on multi-species lotka-volterra model[J]. Journal of Intelligence, 2015, 34(10): 112-116.
- [11] 陈璐,吴洁,盛永祥.专利创新生态系统中多主体竞合关系研究[J].情报杂志,2017,36(12):82-84.
CHEN Lu, WU Jie, SHENG Yong-xiang. Research on multi-agent coopetition in patent innovation ecosystem[J]. Journal of Intelligence, 2017, 36(12): 82-84.