

产业集群系统协同演化动力模型研究

方永恒, 许 晶

(西安建筑科技大学管理学院, 陕西 西安 710055)

摘 要: 针对产业集群演化与生态种群演化之间的高度相似性, 借鉴生态种群演化理论中的 Logistic 模型, 构建了集群产业竞争与合作的协同演化模型, 并对模型进行了实证研究. 研究表明, 集群主体间的协同是产业集群系统演化的主要动力. 在产业集群系统的演化过程中, 集群主体间既竞争又合作的协同机制, 推动集群发展演化, 并最终实现整个集群系统的稳定.

关键词: 产业集群; 演化; 竞争; 合作; 协同

中图分类号: F062.9

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2011)01-0113-06

产业集群是在某一行业既合作又竞争的相互联系的企业、专业性供应商、服务供应商、相关企业及相关制度(如大学、标准化部门及贸易协会)的地理集中.^[1]在产业集群内部, 大量企业集聚在一定的区域, 具有开放性、非线性、非均衡、涌现性、涨落与分岔等复杂系统的特征, 是一个典型的复杂系统. 复杂的产业集群系统具有生态种群相似的特征, 通过复杂的群内关系组成一个有机的统一体, 其内部各子系统(利益相关主体)之间既进行激烈的市场竞争, 又进行各种形式的合作. 通过竞争, 子系统间既分化又分工和分层, 系统不断得到生存和发展; 通过合作, 子系统构成一个均衡的有机整体. 因此, 子系统间既合作又竞争的特性使系统构成一个有机的整体, 也是系统得以发展演化的必要前提. 但是, 不同产业集群系统的演化, 子系统间合作与竞争的形式和内容各有异同. 本文从复杂系统理论的角度入手, 提出基于 Logistic 模型的产业集群系统协同演化动力模型, 并进行实证研究, 探讨产业集群系统演化的本质和规律.

1 单一产业集群的演化动力模型

在一定区域环境中的产业集群, 其演化不仅受到自身适应度的影响, 同时还会受到环境和其它集群相互竞争的影响. 如果不考虑集群间的相互作用, 可以用下面的 Logistic 方程来描述集群增长与环境间的动力学特征:

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right) \\ N(0) = N_0 \end{cases} \quad (1)$$

其中: K 表示环境的负荷量, 即 $K = \lim_{t \rightarrow \infty} N(t)$; r 表示产业集群个体增长率, 当集群利用各种资源的能力不随集群规模变化而变化时, r 可以被视为常数. N 是产业集群的规模. 这种单一产业集群的增长情况, 只考虑了种内竞争, 即产业集群内部每增加一个个体, 对集群本身增长的抑制作用为 $\frac{1}{K}$.^[2] 单一集群

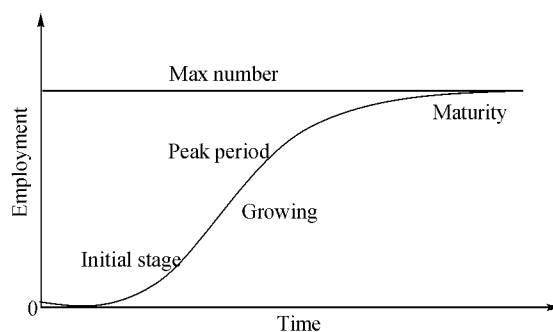


图 1 单一集群产业演化路径图

Fig. 1 The development path of an industrial cluster

收稿日期: 2010-04-31 修改稿日期: 2010-12-02

基金项目: 陕西省装备制造业产业集群发展研究资助项目(2008KR30)

作者简介: 方永恒(1968-), 男, 甘肃白银人, 博士生, 副教授, 研究方向为产业集群、循环经济等.

的增长遵循 Logistic 方程,呈“S”形增长,集群的增长达到资源利用最大容量为止,此时产业集群规模达到平衡,如图 1 所示。

由(1)式可以看出,当集群较小时,接近于 0,括号中的部分接近于 1,因此 Logistic 过程大致表现为一个指数性增长;但是当接近时,括号中的部分接近于 0,表示集群增长速度减弱为 0。由上式可以解得:

$$N = \frac{KN_0 e^n}{K + N_0(e^n - 1)} \quad (2)$$

产业集群的 Logistic 增长过程与均衡规模的增长速率有关;是一个产业集群独自可以支持的盈利企业的最大数值,对于单一产业集群来说,代表了某一区域的产业承载能力。一个特定区域可以容纳的产业集群的最大规模是自然资源、基础设施、制度环境、劳动力资源、技术条件以及市场需求等因素所决定的。当值越大,图 1 中“S”曲线的上限越高。是一个产业集群的增长率,它取决于集群有机地利用各种资源的能力,其中主要包括核心竞争能力、网络学习能力和品牌建设能力等。当值越大,图 1 中的“S”形状越陡峭。^[3]

2 多种产业集群的协同演化动力模型

大量的实践证明,集群中往往不止存在一个产业,往往表现为不同产业集聚在一起。与生态系统中多种群关系类似,产业集群中各个产业间也存在着竞争、合作以及竞争合作型等多种协同演化关系,下面对产业集群中产业间这种关系分别进行详细分析。

2.1 竞争型协同演化动力模型

假设产业 N_1 、 N_2 同时存在于某集群区域,并且相互之间为争夺资源展开竞争,产业的演化表现为竞争型演化,造成产业之间因争夺资源而产生相互阻滞作用。因产业 N_2 争夺 N_1 的有限资源对 N_1 产生的影响,可以合理地在公式(1)的因子 $(1 - \frac{N_2}{K_2})$ 中再减去一项 $\frac{a_{12}N_2}{K_1}$,该项与产业 N_2 利用资源要素的数量成正比。由此可得产业 N_2 的竞争型协同演化模型为:^[4]

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(1 - \frac{N_1}{K_1} - \frac{a_{12}N_2}{K_1} \right) \quad (3)$$

式中 a_{12} 为竞争协同演化系数,表示产业 N_2 对产业 N_1 产生的相对抑制作用。一般来讲,竞争协同系数是 $0 < a_{12} < 1$ 的数值。竞争协同的结果将取决于 K_1 和 a_{22} 这两个值的相互关系。

同理可得,产业 N_2 的竞争型协同演化模型为:

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(1 - \frac{N_2}{K_2} - \frac{a_{21}N_1}{K_2} \right) \quad (4)$$

由此可以得到产业集群内 N_1 、 N_2 两产业的竞争型协同方程:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(1 - \frac{N_1}{K_1} - \frac{a_{12}N_2}{K_1} \right) \\ \frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(1 - \frac{N_2}{K_2} - \frac{a_{21}N_1}{K_2} \right) \end{cases} \quad (5)$$

令 $\frac{dN_1}{dt} = 0$; $\frac{dN_2}{dt} = 0$; 得到方程组的定态解:

$$E_1(0,0), E_2(0,K_2), E_3(K_1,0), E_4\left(\frac{K_1 - a_{12}K_2}{1 - a_{12}a_{21}}, \frac{K_2 - a_{21}K_1}{1 - a_{12}a_{21}}\right)。$$

同时可以得到每个集群产业的等值线:

$$N_1 + a_{12}N_2 = K_1 \quad (6)$$

$$N_2 + a_{21}N_1 = K_2 \quad (7)$$

由此可得集群产业 N_1 和产业 N_2 的增长平衡线如图 2 所示。

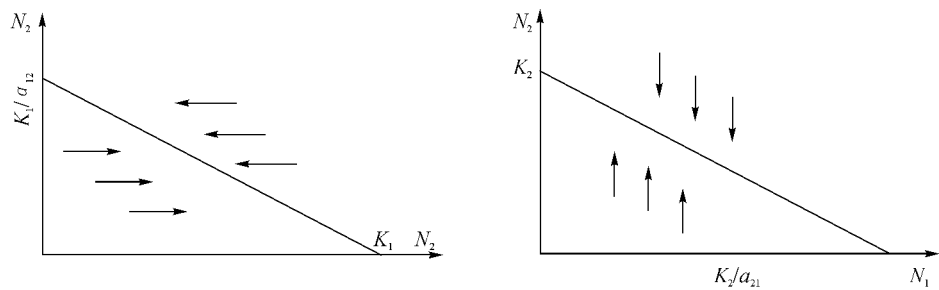


图 2 集群产业 N_1 和 N_2 的增长平衡线

Fig. 2 Balance line

如果把两个竞争性产业的平衡线放在同一张图上,就能得到两个产业在一起竞争时的 4 种可能结局,如图 3 所示。

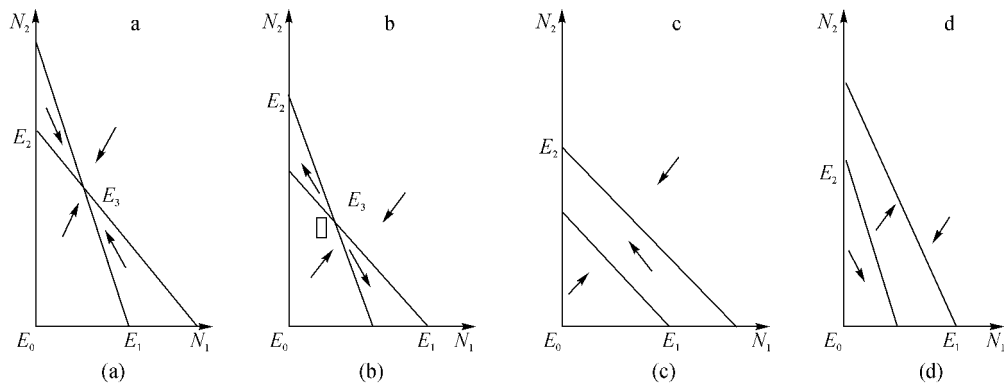


图 3 集群竞争型协同演化结果

Fig. 3 The results of the cluster cooperative co-evolution

由微分方程组(5)式可得,集群内产业间竞争的结果主要取决于双方的竞争抑制(a_{12} 和 a_{21} 的大小)及其值的相对大小.表 1 给出了两集群产业之间竞争可能产生的四种结果。

表 1 集群产业间竞争的四种结果与 a_{22} 、 a_{21} 和 K 的关系

Tab. 1 The relations between the results of four intere industry competition cluster a_{22} 、 a_{21} 、 K		
Industry N_2	Industry N_1	Competition Results
$K_1 > K_2/a_{12}$	$K_2 < K_1/a_{21}$	(a) N_1 win, N_2 die
$K_1 < K_2/a_{12}$	$K_2 > K_1/a_{21}$	(b) N_1 die, N_2 win
$K_1 < K_2/a_{12}$	$K_2 < K_1/a_{21}$	(c) Stable equilibrium, N_1 and N_2 coexist
$K_1 > K_2/a_{12}$	$K_2 > K_1/a_{21}$	(d) Unstable equilibrium, each winner may be

2.2 合作型协同演化动力模型

集群产业之间的协同关系除了竞争外,还有一种非常普遍的关系,即合作.在集群合作型协同演化中,集群产业之间是相互受益、相互制约、共同演化的^[5].假设集群产业 N_1 、 N_2 同时在某区域生存,并且相互之间为合作共生关系,集群产业的演化表现为合作型演化,造成产业之间因共享资源而产生相互促进作用.因集群产业 N_2 为 N_1 提供共享资源要素对产生的影响,可以合理地在公式(1)的因子 $(1 - \frac{N_1}{K_1})$ 中再加上一项 $\beta_{12} \frac{N_2}{k_1}$,该项与集群产业 N_2 提供共享资源要素的数量 N_2 成正比.由此可得集群产业 N_2 的合作性协同演化模型为^[6]:

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(1 - \frac{N_1}{K_1} + \frac{\beta_{12} N_2}{K_1} \right)$$

式中 β_{12} 为合作性协同演化系数, 表示集群产业 n_2 对集群产业 n_1 产生的相对促进作用. 一般来讲, 合作性协同系数是 $0 < \beta_{12} < 1$ 的数值. 合作性协同的结果将取决于 K_1 和 β_{12} 这两个值的相互关系.

同理可得, 集群产业 n_2 的合作型协同演化模型为:

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(1 - \frac{N_2}{K_2} - \frac{\beta_{21} N_1}{K_2} \right) \quad (9)$$

由此可以得到产业集群内 N_1 、 N_2 两个产业的合作型协同方程:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(1 - \frac{N_1}{K_1} - \frac{\beta_{12} N_2}{K_1} \right) \\ \frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(1 - \frac{N_2}{K_2} - \frac{\beta_{21} N_1}{K_2} \right) \end{cases} \quad (10)$$

系统等倾线 $r_1 N_1 \left[\frac{K_1 - N_1 + \beta_{12} N_2}{K_1} \right] = 0$ 和 $r_2 N_2 \left[\frac{K_2 - N_2 + \beta_{21} N_1}{K_2} \right] = 0$ 的相交情况及在等倾线上系统轨线的走向如图 4 所示.^[7]

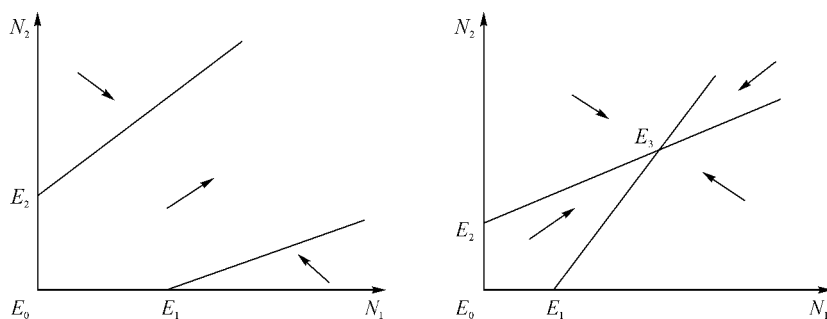


图 4 集群合作型协同演化结果

Fig. 4 The results of the cluster cooperative co-evolution

结论: 当 $\beta_{12}\beta_{21} < 1$ 时, 系统的定态解有 4 个: $E_1(0,0)$, $E_2(0,K_2)$, $E_3(K_1,0)$, $E_4\left(\frac{K_1 + \beta_{12}K_2}{1 - \beta_{12}\beta_{21}}, \frac{K_2 + \beta_{21}K_1}{1 - \beta_{12}\beta_{21}}\right)$. 其中 E_4 是集群合作型协同演化的稳定解. 这意味着, 两集群产业由于在技术、管理等方面的合作和信息资源共享、知识外溢等而扩大了各自的生产规模, 产生了协同发展效应.

2.3 竞争合作型协同演化模型

假设集群产业 N_1 、 N_2 同时某区域生存, 并且相互之间为竞争合作关系, 集群产业的演化表现为竞争合作型演化, 造成产业之间既因争夺资源而产生相互阻滞作用, 又因共享资源而产生相互促进作用. 根据公式(5)和公式(10), 可得集群产业 N_1 、 N_2 的竞争合作型协同演化模型为:^[8]

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(1 - \frac{N_1}{K_1} - \frac{a_{12} N_2}{K_1} + \frac{\beta_{12} N_2}{K_1} \right) \\ \frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(1 - \frac{N_2}{K_2} - \frac{a_{21} N_1}{K_2} + \frac{\beta_{21} N_1}{K_2} \right) \end{cases} \quad (11)$$

公式中符号的含义同前.

以上的内容基于 Logistic 模型进行推导, 分析了产业集群中单一产业和竞争合作型协同的产业演化模型. 如果对以上的模型进行推广, 可以得到产业集群中 N 个产业间竞争合作协同演化模型为:

$$\frac{dN_i}{dt} = r_i N_i \left[\frac{K_i - \sum_{j=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} N_j + \sum_{j=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} N_j}{K_i} \right] \quad (12)$$

式中: α_{ij} 为企业间竞争协同演化系数, 当 $i=j$ 时, α_{ij} ; β_{ij} 为企业间合作协同演化系数; 当 $i=j$ 时, $\beta_{ij} = 1$.

3 实证研究

3.1 研究对象的选取

宝鸡钛业集群经过 40 多年的发展,形成了较为完善的工业体系,产业规模居全国之首,已经成长为当地较为成熟的产业集群.集聚了以钛及钛合金为主体的科研、生产、加工、贸易和流通等企业 385 家,其中规模以上钛加工类企业 65 家,规模以上贸易企业 50 家,销售收入过亿元的企业 9 家,从业人员 3 万余人.选取该集群中 A、B、C 三个销售收入过 10 亿元的龙头产业作为分析对象.其中 A 产业主要生产钛及锆等金属冶炼和加工设备;B 产业主要产品为钛、锆、钎、钨、钼、钽、铌、镍等金属及其合金的铸锭、铸件、锻件等粗加工产品;C 产业主要生产钛—铜、钛—钢等金属复合材制成品.

3.2 数据分析

文章仅分析同一集群中的两个产业之间的相互作用,即两个相互作用的集群产业之间的竞争与合作协同演化关系.产业集群选取宝钛产业集群,分析数据来源于宝鸡市统计年鉴,选取 A、B、C 三个产业 1999—2008 十年期间的就业人数进行分析.利用计量经济学分析方法,计算每个产业就业人数的等倾线,可以发现两个等倾线的交点就是一个稳定解.在同一个坐标空间,等倾线之间的关系既可以显示两个集群企业之间的协同演化关系,又可以预测两个集群企业未来演变的方向,如图 5、6 所示.^[9]

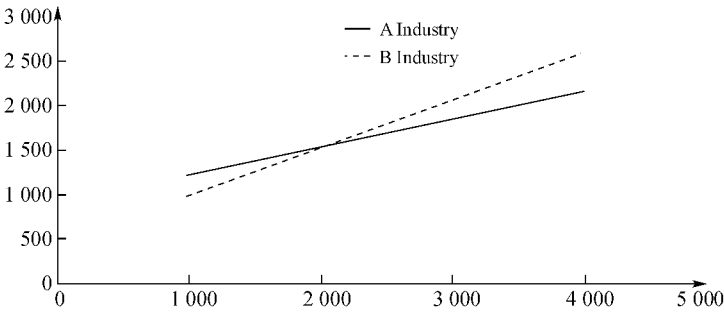


图 5 宝钛集群 A 产业和 B 产业运行演变及数值

Fig. 5 The evolution and values of Baoji Titanium Industry clusters A and B

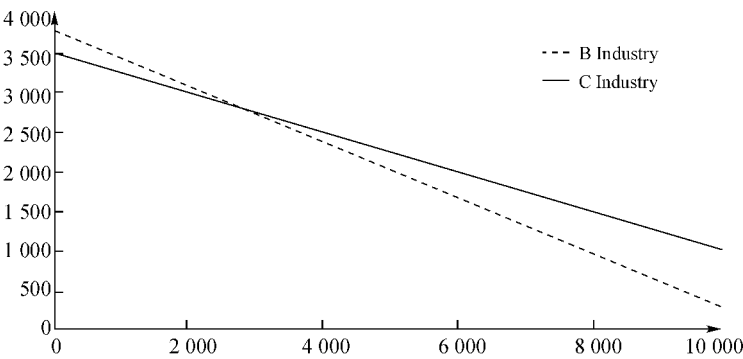


图 6 宝钛集群 B 产业和 C 产业运行演变及数值

Fig. 6 The evolution and values of Baoji Titanium Industry clusters B and C

图 5 显示了该地区的 A 产业和 B 产业之间属于合作型协同演化关系,交点即为两产业的均衡点.从两个产业等倾线位置关系可以看出,对于 B 产业而言,A 产业的存在是至关重要的,可以方便 B 产业就近配置设备,但却没有过多的必要.图 6 显示了 B、C 两个产业之间的竞争型协同演化关系,交点即为两产业的均衡点.集群中 A、B 两个产业之间虽然也可以通过共享基础设施、专业化分工、知识溢出等机制,来促进彼此的发展,但是彼此给予对方的贡献不大.

4 结 论

文章的研究显示了产业集群内产业之间既相互竞争又相互合作的协同演化关系,并利用个案集群产业横断面数据进行实证研究,获得了一组具有一般性的结果.文章所得出的模型能有效地分析集群产业间的演化关系,为解释集群演化动力提供了一个重要方法.但是,文章只强调了集群协同演化的类型和模型,对如何加强集群的协同演化没有进行深入探讨,这将是以后研究的方向.

参考文献 References

- [1] PORTER M. Location, competition, and economic development: local clusters in a global economy [J]. *Economic Development Quarterly*, 2000(14):15-34.
- [2] 焦李成,刘 静,钟伟才.协同进化计算与多智能体系统[M].北京:科学出版社,2006.
JIAO Li-cheng, LIU Jing, ZHONG Wei-cai. Co-evolutionary computation and multi-agent system [M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [3] 陈继祥,徐 超,史占中.产业集群与复杂性[M].上海:财经大学出版社,2005.
CHEN Ji-xiang, XU Chao, SHI Zhan-zhong. Industrial clusters and the complexity[M]. Shanghai: Finance University Press, 2005.
- [4] 王子龙,谭清美,许箫迪.基于生态位的集群企业协同进化模型研究[J].科学管理研究,2005(10):34-37.
WANG Zi-long, TAN Qing-mei, XU Xiao-di. A coordination evolution model of enterprises cluster based on niche [J]. *Scientific Management Research*, 2005(10):34-37.
- [5] 巩敦卫,孙晓燕.协同进化遗传算法理论及应用[M].北京:科学出版社,2009(6).
GONG Dun-wei, SUN Xiao-yan. Co-evolution theory and application of genetic algorithms [M]. Beijing: Science Press, 2009(6).
- [6] POTTER, M A. The design and analysis of a computational model of cooperative co-evolution[M]. Fairfax: George Mason University, 1997.
- [7] 芦彩梅.基于复杂系统视角的产业集群演化研究[M].北京:经济科学出版社,2010.
LU Cai-mei. The study on the evolution of industrial clusters: A complex systems perspective [M]. Beijing: Economic and Scientific Press, 2010.
- [8] FRENKEN K. Applied evolutionary economics and economic geography [M]. USA: Edward Elgar, 2007.
- [9] ALBERTO Q C, MARCO F. Complexity and Industrial Clusters-Dynamics and Models in Theory and Practice [M]. Heidelberg; New York: Physica-Verl, 2002.

Dynamic model of collaborative evolution of industrial cluster

FANG Yong-heng, XU Jing

(School of Management, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: According to the similarity between the evolution of industrial cluster and biological population evolution, and the Logistic model in the theory of ecological population evolution, cluster industries of competition and cooperation co-evolution model has been constructed and studied. The research shows that the co-evolution is the motive power of industrial cluster system evolution. During the evolution process, the competitive and cooperative system will finally stabilize the system.

Key words: industrial Cluster; evolution; competition; collaborative

Biography: FANG Yong-heng, Candidate for Ph. D., Associater Professor, Xi'an 710055, P. R. China, Tel: 0086-15029075065, E-mail: yhfang@xauat.edu.cn