

# 集群自组织的复杂网络仿真研究<sup>①</sup>

谭劲松<sup>1</sup>, 何 铮<sup>2</sup>

(1. 约克大学舒立克商学院, 加拿大多伦多; 2. 电子科技大学经济与管理学院, 成都 610059)

**摘要:** 集群演进过程是一个很难进行实证研究的问题, 影响因素的复杂性以及动态数据的匮乏严重制约了对集群演进的定量研究. 基于传统管理理论和方法的局限性, 尝试从复杂理论角度研究集群演进过程. 首先认为集群演进实质上是自组织过程, 然后再通过复杂网络聚类系数、度分布、平均路径长度、网络的时效和质量等指标, 采用仿真模拟方法对集群自组织过程进行了量化研究. 主要结论有: (1) 在集群自组织过程中, 企业会首先利用地理位置的优势广泛地与群内其他企业接触, 通过不断学习过程, 从而建立相对稳定的交流圈层; (2) 给定企业不同的能力, 每个企业所享受到的集群优势是有差异性的, 而同一集群内部企业在自组织过程中会逐步产生趋同性; (3) 集群自组织过程是企业总体从无序逐步到有序的自发过程, 企业与环境之间, 以及企业与企业之间都会呈现出相互适应而逐步稳定的趋势.

**关键词:** 集群演进; 自组织; 复杂网络; 仿真模拟

**中图分类号:** F207   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1007-9807(2009)04-0001-14

## 0 引言

作为普遍存在的企业集聚现象, 产业集群长期以来吸引着学术界的密切关注. 从 Marshall 提出集群的存在主要源于其能够使知识产生外溢<sup>[1]</sup>, 到 Porter 将集群竞争提升到国家竞争层面上加以认识<sup>[2]</sup>, 众多学者都试图从不同角度来诠释集群发生的原因. 其中大多数文献都从企业选址、制度文化、生产成本、以及知识外溢等方面阐述了集聚经济的不同表现形式, 而以集群整个演进过程为研究对象的文献相对较少, 且这方面文献又主要集中在对集群演进的定性研究如集群发展阶段的划分标准上, 对集群演进进行定量研究的文献就更加少见, 其中比较具有代表性的有: Sorenson 从社会网对机会甄别和新企业诞生的作用角度提出, 企业集聚过程反映了人们在知识信息、人力资源以及资金获取方面对已有社会关系的依赖性, 以制鞋业和生物技术集群为例, 研究了

这两个行业在美国几十年的集聚情况, 主要是地理位置变迁, 得出集群之所以能持续存在某一特定地域主要取决于不可移植的社会关系<sup>[3]</sup>. Staber 则以德国巴登针织品集群演进为例, 通过实证研究其 40 年集群内企业倒闭率来揭示集群衰落的原因, 认为地理上接近对企业的影响是复杂和多方面的, 当同行业激烈竞争而不是合作和创新成为主导现象时, 集群衰落就成为必然<sup>[4]</sup>. Baum 和 Mezias 对美国曼哈顿旅馆业集聚现象进行了实证研究, 运用近百年的数据, 指出企业在地理位置、规模和价格的相似性会大大增加集群内部竞争强度, 从而增加失败率, 强调集群内部企业差异性对其生存率的影响<sup>[5]</sup>. 同样以该服务业集群为例, Baum 和 Haveman 进一步研究表明, 地理上的集聚会同时产生两种相反的作用, 即竞争加剧和信息外溢<sup>[6]</sup>. Delacroix 等研究了美国加尼福尼亚酿酒集群在大约半个世纪时间内衰落原因, 认为企业的高失败率与种群生态理论所强调的企

① 收稿日期: 2007-10-22; 修订日期: 2007-04-24;

作者简介: 谭劲松 (Justin Tan), 男, 博士, 讲席教授. Email: jtan@schulich.yorku.ca

业地域密度高低之间不存在显著的相关性,而集群环境的好坏却对群内企业密度和失败率都有较大影响<sup>[7]</sup>. Rauch研究了集群由成本高向成本低地域转移的时间问题,指出了土地价格变化对集群发展的影响,利用美国战后近50年各种产业园区土地价格变化与集群发展状况,说明了某些自然资源如土地对集群转移的作用<sup>[8]</sup>.

从以上文献可以看出,现有研究大都以集群某一特定阶段为研究对象,通过相关指标如失败率来分析集群演进过程.对集群不同阶段的定量研究主要停留在对集群企业增长的logistic曲线拟合上<sup>[9]</sup>,或者仍然停留在理论模型建立阶段如Tan根据对中国中关村集群的案例提出了集群演化的理论模型<sup>[10]</sup>,而没有更深刻地揭示企业总体数量变化与集群其他特征变化之间相互影响的动态关系.究其原因,本文认为主要有以下两点:首先由于集群演进一般需要较长时间,从而为定量研究其动态过程设置了很高的难度;其次,集群产生原因、内部组织结构以及不同期间影响因素的复杂性都导致很难从中抽象出一般模型,进而选取合适的指标来对集群整体发展进行相应的实证研究.

针对传统研究方法在集群演进过程研究中的局限性,近年来,部分学者开始尝试从新的角度来研究集群演进过程,即借鉴复杂理论的概念和思想,将集群视为一个复杂适应性系统,认为集群演进过程实质上是系统自组织过程,其基本特征表现为在一定的环境压力下,微观企业会进入临界状态,呈现出较强的创新能力.虽然系统内每个企业的具体行为由于还受制于许多随机因素干扰很难准确估计,但整体而言会表现出集群特定的成长轨迹.尽管复杂理论中自组织思想为管理领域集群现象的研究展示了新的视角,但相关研究才刚刚起步,究竟应该如何研究集群自组织过程就成为值得深入探讨的问题.Chiles等从复杂理论耗散结构角度建立了一个分析框架来研究密苏里音乐剧院集群的诞生和成长过程,他们主要从动荡性、正反馈、稳定性和重新组合4个方面来阐述集群自组织过程<sup>[11]</sup>.在此基础上,何铮和谭劲松提出将集群作为复杂适应性系统来探讨,然后从环境设计、正反馈、边界约束以及不确定性结果4个角度考察自组织过程的不同机理,提出集群内

各组织相互作用、共同演进是集群形成和发展的根本动因,同时强调单个因素的有限作用<sup>[12]</sup>.而本文正是基于以上研究,将集群演进过程视为复杂系统自组织过程,尝试从复杂网络角度建立起基本分析框架,并构建相应理论模型,再利用计算机仿真结果对相关命题进行检验.文章的主要贡献有以下4点:(1)借用复杂理论中自组织概念,将集群演进过程视为自组织过程进行研究;(2)将复杂网络的分析思路引入到集群领域,用以研究集群自组织过程;(3)从复杂网络角度建立了集群自组织的理论分析框架;(4)运用计算机仿真对集群自组织过程进行了定量研究,并检验了相关命题.

## 1 理论基础

### 1.1 集群自组织过程

集群演进过程是指产业集群从产生到消亡的时间历程.通常可以将其分为4个阶段:起始阶段、成长阶段、成熟期和衰退期.但根据复杂理论,自组织是指系统处于“远离平衡点”的临界状态,在此期间,系统会逐步打破原有的秩序,通过创造性活动来寻求更好地发展.因此,集群自组织过程主要涵盖集群演进的前3个阶段,即起始、成长和成熟阶段.对于起始阶段,由于资源禀赋或外界有利条件的诱导,如政府特殊的政策导向,外来企业开始逐渐迁入或本地企业逐步缓慢裂变,集聚现象开始呈现,区域原有的生产格局开始变化,系统开始逐步脱离其原有的平衡状态,但此时集群内企业数量及其联系都较少,推动其发展因素的主导力量可能是一些外生变量;而在成长期,集群企业数量急剧增加,出现吸引效应,相应配套环境、创新环境和合作网络环境得到很大改善,劳动力市场逐步形成,伴随着企业自身壮大发展,各种中介和服务机构的大量涌现,集群开始出现弹性专精(flexibility plus specialization)和知识外溢现象,表现为群内组织间联系快速增加,此时,集群发展的主导力量逐步由外生变量转向内生变量,如集群自身的创新能力、特殊合作方式、对外界市场的应变机制、集群的独特文化等,集群整体呈现出活跃态势,新的秩序开始建立;值得注意的是成熟期,相对于前两个时期,成熟期一般是指系统进入比较稳定的状态,这种稳定根据传统观点主要是

指企业总数变化不大, 由此被认为处于相对平衡的阶段. 但从复杂网络角度, 认为集群仍然处于不平衡状态, 其主要表现在节点自身的扩展和连接的优化上. 虽然企业总体数量的增长相对缓慢, 但此阶段集群在经历了前面发展后, 市场竞争日趋激烈, 环境选择会导致优胜劣汰, 企业会强化各种创新行为以获得自身的增长, 同时不断优化其连接对象以寻求更有效地利用集群的环境优势. 因此, 本文认为成熟期集群还是远离均衡状态, 只是自组织的具体表现形式可能不同于前面阶段. 总之, 集群演进从复杂理论角度其实就是一个系统自组织过程, 那么该过程究竟是如何进行的就成为研究的核心问题.

针对这个问题, 现有的理论流派已经在不同程度上对其进行了研究. 种群生态学认为集聚过程是选择与适应过程, 集聚密度将对企业的生存率产生重要影响, 相对于整个种群而言, 特定集群将形成一个子群, 并按照其自身的规律进行演变, 集群内企业与群外企业之间将在成本结构、竞争行为以及绩效方面都有所不同<sup>[13-16]</sup>; 新制度学派强调在降低成本和共享资源的基础上, 企业集聚还为了获取一定的合法性, 特别是新企业, 可以通过与群内其他企业建立联系来迅速融入群体, 从而获得发展所需的制度支持, 寻求这种联系和支撑也是导致集群诞生的重要原因, 并成为集群规模扩展的主要动力<sup>[17]</sup>. 然而, 伴随着群内结构深化、系统和控制的完善, 企业不断调整以适应集群环境, 成功的企业各种惯性增加, 竞争警戒性降低<sup>[18]</sup>, 产生所谓的战略盲区<sup>[19]</sup>. 这种认知模式的同质性逐渐引导出一种趋同的思维方式, 即集群特定的“宏观文化”<sup>[20]</sup>, 从而逐步降低集群在形成和成长阶段所表现出来的创新能力<sup>[16]</sup>; 产业组织理论从产业选择和企业定位角度认为集聚是为了获取地区整体的竞争优势, 地区间的竞争和产业特性是集群成长的主要动因, 各种专业化知识的集中, 共同分享的基础投入和相关制度, 企业间近距离的合作等形成了集群特有的竞争优势<sup>[21-23]</sup>; 新经济地理学派主要集中于集聚效应和企业选址两个问题, 强调诸如劳动力供给等要素市场的完备对集聚经济所产生的决定性作用, 认为根本性的创新活动更容易在产业集群内发生, 其主要原因是集群在资本获得、产业链上下游相

互影响、知识外溢等方面都可以创造更有利的环境<sup>[24-26]</sup>.

以上各流派主要从宏观层面对集群自组织过程进行了定性分析, 对于这样一个由多因素共同作用的复杂过程, 其集群整体发展过程中是否存在一些基本规律? 企业在此过程中是如何相互影响以推动集群演进? 集群自组织主要体现在哪些方面? 企业通过什么方式来创造和享受集聚优势? 这一系列的问题的定量研究将对更加深入揭示集群现象具有重要意义. 围绕这些问题, 根据现有理论, 特别是 Poudier 和 St John 的理论研究成果<sup>[16]</sup>, 结合组织学习理论, 对集群自组织的具体表现提出以下 3 个命题:

**命题 1** 在集群自组织过程中, 企业会首先利用地理位置的优势广泛地与群内其他企业接触, 通过不断学习过程, 建立起相对稳定的交流圈层.

**命题 2** 给定企业不同的能力, 每个企业所享受到的集群优势有差异性, 而同一集群内部企业在自组织过程中会逐步产生趋同性.

**命题 3** 集群自组织过程是企业总体从无序逐步到有序的自发过程, 企业与环境之间, 以及企业与企业之间都会呈现出一个相互适应而逐步稳定的趋势.

以上命题的共同特点在于: 其一, 都是针对集群演进的动态过程而言的, 因此需要足够的时间跨度才能加以检验; 其二, 都是以集群总体为考察对象, 所以需要大样本数据加以研究. 这些特点都为定量研究带来了很大的困难, 它不仅体现在数据采集上, 而且涉及具体指标的构建和选择. 传统研究方法和指标仅能从某个侧面反映企业的特定行为, 而不能很好地从整体角度把握集群的演变过程, 正是基于这些缺陷, 本文才试图寻找新的方法来研究集群演进问题. 借鉴于复杂理论的思路, 尝试从复杂网络角度来分析集群自组织过程, 这种研究方法最突出的特点是能够在微观个体与宏观总体之间建立桥梁关系, 既能在一定程度上表现微观企业的行为方式, 又能测度集群总体变化趋势. 将复杂网络引入到集群研究这方面, 国内已经有学者进行了探索. 如池仁勇采用横截面数据, 通过测算浙江省中小企业集群的创新网络结构的程度中心性, 中介性和亲近中心性等指标, 提出网络的脆弱性问题<sup>[27]</sup>. 蔡宁等认为产业集群具有大

规模复杂网络的结构特征, 通过将集群网络划分为投入产出网络、技术合作网络和劳动力网络, 结合对温州鞋革业和北京中关村 II 集群的分析, 考察了集群结构与功能的关系<sup>[28]</sup>. 但以上的研究更多地停留在一个静态分析层面, 而集群自组织是一个动态演进过程而非静止状态, 展示了一系列事件随着时间推移如何在暂时的有序和无序状态之间转变以及各种要素之间的影响方式. 在这里, 以期运用复杂网络思路, 通过计算机仿真模拟的方法来对集群自组织进行定量研究, 并对相关的命题进行检验.

### 1.2 理论分析框架

从复杂网络角度, 集群自组织可以视为节点变化和连接变化两个方面综合作用的结果. 其中节点变化又包含着集群企业数目的增减和企业本身的扩展两种情况; 连接变化则包含企业间连接性质改变以及关系强度的增减. 本文将采用复杂网络的统计指标来研究集群网络节点和连接变化过程的一些基本规律, 其理论分析框架如图 1 所示.

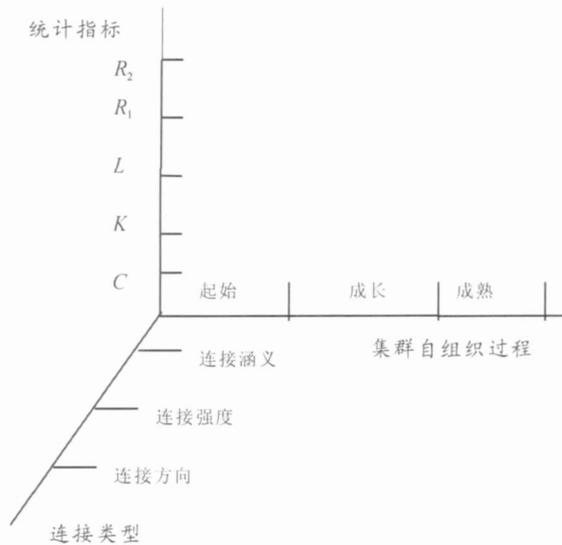


图 1 集群自组织的复杂网络分析框架

Fig. 1 Analytical framework of cluster self-organization

#### 1.2.1 组织间连接类型

节点间连接关系是复杂网络的重要特征. 一般可通过以下 3 方面加以分析: 连接涵义、连接强度和连接方向. 连接涵义是指节点连接的具体内容, 如信息、产品、研发等; 连接强度是指连接的权重关系; 而连接方向是指节点间连接是单向还是双向的. 在这里, 本文将连接涵义、强度和方向统称为连接类型. 对于集群, 常见的连接涵义主要有

两类: 一类是产品网, 如上下游产品配套、合作研发和分包等关联, 这种连接所构成的网络可视为有形网, 意指企业间存在可追溯的显性关系, 这种关系在公司的财务记录上会留下相关记录; 另一类是信息网, 指集群各组织之间的信息传递渠道. 这类连接由于缺乏明显的记录, 绝大多数交流比较隐讳而不易观察, 如在非正式场合与陌生人讨论某种技术或一个生意念头, 带有偶然性和随机性, 但它可能对企业决策产生特殊影响, 并且只有决策者本人才能够衡量不同信息的作用, 故而相对于产品网, 可视其为无形网. 同时, 有形关系与无形关系之间又存在相互促进, 相互转化的可能性, 这涉及到不同类型网络之间关系问题. 例如企业间的产品供给可能伴随着合同完成而结束有形的关系, 但在合作过程中所建立的个人关系依然延续, 此时有形关系转化为无形关系, 这种无形关系可能影响到企业将来的某些决策行为, 虽然暂时没有明显的记录, 或许在沉寂一段时间后, 这种关系又会带来企业间的重新合作, 无形关系又转化为有形关系.

#### 1.2.2 相关统计指标

根据复杂理论, 集群自组织的一个重要性质是虽然群内每个企业由于受各种因素影响会导致其具体行为的不可测, 但集群通过自组织过程会表现出某种整体发展趋势. 由此本文通过借鉴复杂网络的某些统计指标包括聚类系数、度分布、平均路径长度和网络的时效和质量来研究集群自组织特点<sup>[29, 30]</sup>. 以下首先给出各指标基本定义, 然后再给出其在集群领域的具体涵义.

##### 1) 聚类系数 (clustering coefficient)

假设网络中的任意一个节点  $i$  有  $k_i$  条边将它与其他节点直接相连, 而这  $k_i$  个节点之间实际存在相互联系的边数为  $E_i$ . 则  $i$  点的聚类系数  $c_i$  可定义为

$$c_i = \frac{2E_i}{k_i(k_i - 1)} \quad (1)$$

这里, 当  $k_i = 0$  或  $k_i = 1$  时, 令  $c_i = 0$  而整个网络的聚类系数  $C$  为

$$C = \frac{1}{N} \sum_i c_i \quad (2)$$

聚类系数反映了集群内部的群落特征, 即小团体特征. 网络整体的聚类系数较大, 意味着群落特征比较明显, 一方面可能表现为群落的数量比较多,

另一方面也可能表现为单个群落的规模较大。

### 2) 度分布 (degree distribution)

任意节点  $i$  的度  $k_i$  定义为与该节点直接连接的其他节点数目, 网络中节点的度分布情况可以用函数  $P(k)$  来描述,  $P(k)$  表示一个随机选定节点的度恰好为  $k$  的概率, 即

$$P(k) = \frac{\text{度为 } k \text{ 的节点个数}}{N} \quad (3)$$

有些文献采用平均度指标, 它是指网络中所有节点度的平均值, 记为  $\langle k \rangle$ , 即

$$\langle k \rangle = \frac{1}{N} \sum_i k_i \quad (4)$$

由定义可见, 度分布的均值即为平均度, 因此相对于平均度, 本文认为度分布可以更好地描述网络的特征. 度分布表现了集群内部各组织间联系程度, 反映了企业利用集群环境进行资源整合的广度. 针对不同连接类型, 可以给出不同的经济解释. 例如对于产品网, 它反映了集群弹性专精程度; 对于信息网, 可用于测度其知识外溢程度.

### 3) 平均路径长度 (average path length)

网络中任意两个节点  $i$  和  $j$  之间的距离  $d_{ij}$  定义为连接这两点的最短路径的边数, 特别地,  $d_{ij} = 0$  而网络的平均路径长度  $L$  定义为任意连接节点之间距离的平均值, 即

$$L = \frac{1}{N(N-1)} \sum_i \sum_j d_{ij} \quad (5)$$

其中,  $N$  为网络节点总数, 同时上式中不考虑节点到其自身的距离. 平均路径长度反映了集群内各组织资源整合效率. 路径越长, 企业获取资源的成本越高, 效率就越低; 反之, 路径越短, 资源利用的成本越低, 效率越高.

### 4) 网络的时效 $R_1$ (time efficiency)

网络的时效可以通过时效熵来度量, 时效熵定义如下

$$H_1 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left( - \frac{d_{ij}}{\sum_i \sum_j d_{ij}} \log \frac{d_{ij}}{\sum_i \sum_j d_{ij}} \right) \quad (6)$$

这里对数以 2 为底 (本文中所有对数都以 2 为底). 而网络的最大时效熵定义为

$$H_{1m} = \log \left( \sum_i \sum_j d_{ij} \right) \quad (7)$$

由此网络的时效  $R_1$  为

$$R_1 = 1 - \frac{H_1}{H_{1m}} \quad (8)$$

时效反映了集群内各组织间信息流通的迅速程度, 时效越大, 信息流通越迅速.

### 5) 网络的质量 $R_2$ (quality)

网络的质量可以通过质量熵来度量, 质量熵定义为

$$H_2 = \sum_{i=1}^N \left( - \frac{k_i}{\sum_i k_i} \log \frac{k_i}{\sum_i k_i} \right) \quad (9)$$

而网络的最大质量熵定义为

$$H_{2m} = \log \sum_i k_i \quad (10)$$

由此网络的质量  $R_2$  为

$$R_2 = 1 - \frac{H_2}{H_{2m}} \quad (11)$$

质量反映了信息流通的准确性程度, 质量越大, 信息传递越准确. 综合网络的时效和质量可以表现出集群在信息流通方面的效率.

## 2 理论模型构建

上面阐述了从复杂网络角度分析集群自组织的基本框架. 作为一个地理位置上的集聚现象, 集群的各种优势都是基于企业间不同的联系而言的, 从复杂网络角度, 正是这种与地理位置密切相关的连接方式构成了集群整体独特的竞争力. 连接方式的选择受制于多种因素, 包括企业行为偏好、学习能力、连接成本、维系关系成本、地域文化等方面, 而且每个集群所体现出来的网络拓扑结构也是独特的, 其动态过程更是无法复制的, 从而产生出集群自身的路径依赖性. 因此, 确定企业间连接方式或连接偏好是集群自组织的关键问题所在, 它决定着集群网络的形成及其最终的结构形态, 也成为不同集群相互区别的重要原因. 这里本文根据大量实地调查和访谈将众多的连接方式归纳提炼为以下 5 种类型 (虽然这并不能涵盖所有的连接方式), 并建立相应的理论模型<sup>[29]</sup>.

### 模型 1 CL\_ER 模型

该模型描述了集群企业间联系是完全随机的, 没有任何偏好的情况, 即一个集群在位企业  $i$  与一个新进入企业相连接的概率  $\Pi_i$  为

$$\Pi_i = \frac{1}{N(t)}$$

这里  $N$  是与时间相关的动态变量, 指集群演进在

特定期企业总数,即网络节点数.

### 模型 2 CL\_BA 模型

该模型认为集群企业间联系是有选择性的,表现出特定的偏好.新进入企业偏好于与集群中连接已经较多的企业建立联系,以期获取相应的资源和信息.根据这种思路,一个集群在位企业  $i$  与一个新进入企业相连接的概率  $\Pi_i$  为

$$\Pi_i = \frac{k_i}{\sum_j k_j}$$

这里  $k_i$  表示企业  $i$  的度.

### 模型 3 CL\_SBA 模型

该模型是基于集群积聚过程中企业连接不完全服从度优先原则,认为在集群内与其他企业联系很少的企业,也有相当的可能性与新进入企业建立联系.因此,该模型实际上是模型 2 的扩展,其中一个集群在位企业  $i$  与一个新进入企业相连接的概率  $\Pi_i$  为

$$\Pi_i = \frac{k_i + \alpha}{\sum_j (k_j + 1)}$$

这里  $\alpha > 0$  在本文的具体算法中取  $\alpha = 1$

### 模型 4 CL\_FN 模型

该模型认为企业连接与其某些特殊性质相关,特别是与其在某种类型关系网络中的特定结构地位相关.例如,处于两个不同利益集团的桥梁位置的企业,将以较高的概率被新进入企业选择进行优先连接,即一个集群在位企业  $i$  与一个新进入企业相连接的概率  $\Pi_i$  为

$$\Pi_i = \frac{\eta_i k_i}{\sum_j \eta_j k_j}$$

其中

$$\eta_i = \frac{\sum_j d_{ij}}{1 - \sum_i \sum_j d_{ij}}$$
$$\eta_i = \frac{\sum_j d_{ij}}{N - 1}$$

这里  $\eta$  为适应度,它可以从不同的角度加以度量,如企业声誉和所占市场份额等.本文中以其在网络结构中所处地位为适应度来构建具体模型.

### 模型 5 CL\_LW 模型

该模型主要描述了集群内企业可以按一定标准分成几大类,而不同类别间企业将呈现出相互合作的关系.例如,可根据产业链分成上下游产品

关系,集聚过程所表现出来的弹性专精可降低成本,能实现该目标的企业将成为新进入企业优先连接的对象.具体算法为:从网络已有的节点中选取  $m$  个节点,作为新加入节点的局域世界 ( $LW$ ),其连接概率  $\Pi_i$  为

$$\Pi_{Local}(k_i) = \Pi'(i \in LW) \frac{k_i}{\sum_j Local k_j}$$

本文将集群中企业分成 3 类,因此,对任意新进入企业,首先按一定概率将其分在某一类,然后再让它与其他 2 类中的企业建立联系.

## 3 仿真过程及其结果分析

本文采用的仿真过程是首先针对特定产业集群,确定连接类型,例如企业间联系是产品还是信息关联,假设集群内关系网络是一个信息网,而且是无向图,不考虑不同企业间关系的强弱,即所有连接的权重相等.在具体参数选择上,从一个具有 2 个节点的网络开始,每次加入一个新节点,一直增加到 2 500 个节点.同时假设在集群自组织不同时期新进入企业与在位企业间建立连接的数量是不同的,其中起始阶段连接数量最少(均值为 1)而成长阶段连接数量最多(均值为 4),成熟阶段(均值为 2)介于二者之间,至于每个新进入企业实际的连接数量是均值加减一个随机数.然后依据前面不同的理论模型即集群网络在增长过程中不同的连接方式,对 5 个模型分别进行计算机仿真,每个模型都计算了 5 个统计指标,且每个指标都进行了 100 次计算,然后取其平均值.下面将按照聚类系数  $C$ , 度分布  $P(k)$ , 平均路径长度  $L$ , 网络的时效  $R_1$  和质量  $R_2$  的顺序来分别展示不同统计指标仿真结果,并针对相同指标进行 5 个模型的比较分析.

### 1) 聚类系数 $C$

聚类系数反映了集群网络中小团体现象的形成情况(见图 2).从仿真结果可以看出:CL\_ER 模型的聚类系数变化幅度较小,主要动荡期是在集群成长期的开始阶段,而且在很长的时间内聚类系数都维持在 5 个模型的最低水平,表明在完全随机连接的情形下,集群自组织中出現小团体现象的概率非常低.CL\_SBA 模型的聚类系数变

化幅度最小,基本围绕在一个很小的固定值(0.01)附近,说明这种连接方式所形成网络的聚类系数与集群企业数变化相关性很弱;CL\_FN模型的聚类系数变化幅度很大,表现出在集群演进的一定阶段,小团体现象很显著,但随着集群发展,小团体现象逐步减少并趋于稳定;CL\_LW模型的聚类系数在集群起始期之后会呈现出一个较大的增长过程,而且起伏波动较明显,总体趋势是小团体现象较明显;CL\_BA模型聚类系数具有最大的变动幅度,经历了很显著的衰减过程。5个模型的共同之处是在集群演进的起始阶段,由于新企业进入集群时与在位企业联系很少,所以形成小团体的可能性极小,这一点可以通过几乎为零的聚类系数来体现。可以推测,此时集群网络结构相对松散,大多呈现为树状;随着集群发展,地理优势开始体现,位置上的接近为信息极度不对称企业间交流提供了有利条件,企业开始积极广泛地相互接触,这一过程表现为所有模型聚类系数迅速升高,并在一定时期内维持在相对较高的水平上,这说明集群自组织是通过企业自身的主动性活动来创造出一个远离平衡点的状态,在这样的环境中,企业可以充分利用环境条件,更好地获取所需信息。同时,在频繁地交往过程中,企业逐步相互了解,从而形成集群内部相对稳定的信息共享团体。总之由5个模型聚类系数的演变趋势可以看出,无论连接方式如何,集群自组织都会经历一个由动荡逐步趋于稳定的过程,从而支持了命题 1。

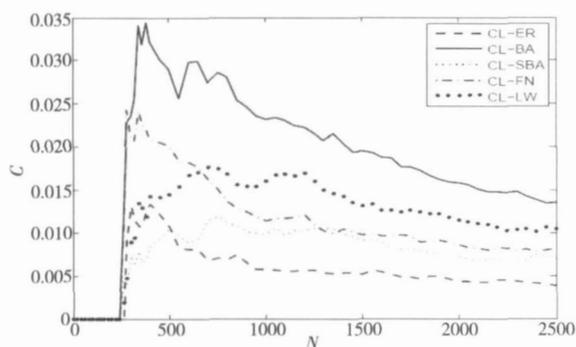


图 2 5个模型聚类系数  $C$  比较

Fig 2 Comparisons of 5 models'  $C$

## 2) 度分布 $P(k)$

对于集群网络的度分布,可以从均值和方差两个方面来解释。均值反映了集群内部集聚经济程度,包括平均信息来源渠道的数量,而方差反映

了企业在联系方面的差异性。无论是信息交流还是产品关联,这种差异性可以源于多种因素。首先是企业规模不同,企业规模可能影响与群内其他企业之间的联系,体现在规模大的企业可能投入更多的资源来开发和维系比较广泛的联系,而规模小的企业受制于成本约束,可能在信息或产品渠道上比较单一;其次是企业类型和经营方式的不同,如果是外包性企业,那么与其他企业在信息和产品沟通上就比较多。如果是生产高度一体化企业,与群内其他企业的联系可能较少。因此需要根据集群的实际情况来分析度分布指标的具体经济涵义。图 3 显示了当集群企业总数增长到 2500 个时,按 5 种不同连接方式形成的不同网络度分布情况。其中小图展示的是模型中度特别大的企业情况(从  $k = 60$  到 500),采用的是散点图表示方式。综合 5 个模型的仿真结果可以发现,除了 CL\_ER 模型,其他 4 个模型在集群自组织过程中都显示出共同的趋势。首先是各模型众数都围绕一个共同数值,反映出一个集群内部企业通过密切的交流和接触,最终可能表现出一种趋同性,如大多数企业主要的信息交流渠道个数,即连接度都集中在同一数值,尽管他们开始可能由于不同的连接偏好和目的产生较大的差异;其次是方差,CL\_ER 模型的度分布方差最小,而 CL\_BA 模型方差最大,其他模型的方差介于其间。一方面,较小的方差反映了如果一个集群内企业在选择连接对象的偏好上表现出多样化偏好,则整个集群网络将呈现出比较均匀的态势,所以随机连接方式的 CL\_ER 会产生相对均匀的度分布;另一方面,如果集群内部由于相互影响而产生所谓的“共同意识”,那么就会形成正反馈机制,连接越多的企业越有可能成为其他企业期望连接的对象,经过相当时间的积累,就将表现出比较大方差如 CL\_BA 模型。由此可以看出,在集群自组织过程中,企业在联系方面具有很大差异性,但同时大多数企业在经历相当时间之后又会呈现出在信息来源渠道上的相识性,从而表现出集群特定的信息获取方式。尽管不同连接方式对集群内企业联系建立的具有不同影响,但除 CL\_ER 模型之外的其它 4 个模型所呈现出的共同度分布趋势在很大程度上支持了命题 2。

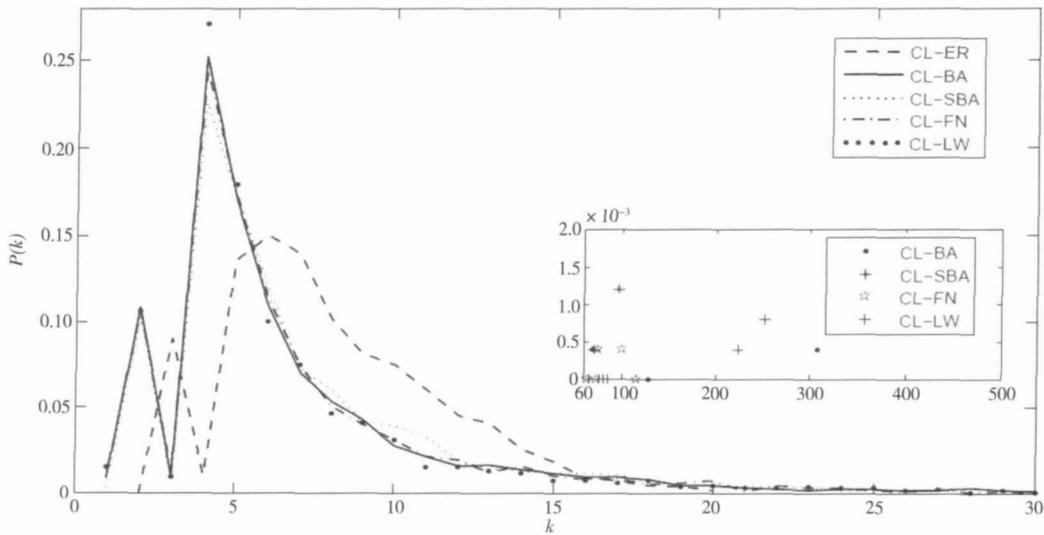


图 3 5个模型度分布  $P(k)$  比较:  $N = 2500$

Fig. 3 Comparisons of 5 models'  $P(k)$ :  $N = 2500$

### 3) 平均路径长度 $L$

集群网络的平均路径长度  $L$ 反映了集群内部资源整合效率,  $L$ 的长短可以在一定程度上度量企业间资源利用成本. 从图 4可以看出, 在其他条件相同的情形下, CL\_ER模型的平均路径长度最长, 说明以随机方式连接的资源获取成本最高; 而 CL\_BA模型在集群自组织的很长时间内  $L$ 都最短 ( $N < 1500$ ), 表明完全以度大小为偏好进行选择的成本最低, 这一点可以通过信息收集成本加以解释. 随机选择是基于信息完全不对称条件下所采取方式, 所以风险很高, 最终企业能够建立联系的可能性从概率意义上来讲是很小的. 而采用某种特定规则如度偏好进行连接可以在一定程度上解决信息不对称问题. 一般而言, 度较大的节点会是一个信息相对集中的企业, 与这样的企业建立联系能够有较大可能取的企业所需资源; 而且由

于这些企业已经具备较强的沟通能力和良好信誉, 交流或交易的成本较低. 从集群整个网络而言, 如果存在所谓的焦点企业, 则很多企业可以通过焦点企业比较容易地建立联系, 而且焦点企业还可能充当监督角色, 为不诚信行为设立较高的机会成本, 这都有助于集群信用机制的建立. 作为一类比较特殊的连接方式, CL\_LW模型是基于集群不同类别企业之间相互合作而建立的联系, 例如居于产业链不同位置的企业会利用集聚的地理优势, 优先考虑集群内是否有合适厂商能够提供所需产品, 与之建立起相应的联系. 因此, 在集群自组织开始阶段, 由于集群内部专业化分工正在逐步形成和完善, 企业还没有表现出在某个环节上的明显优势, 所以 CL\_LW模型平均路径长度比 CL\_BA模型高, 但很快由于集群内部各类企业分工的日趋明显, 为企业的连接选择提供了较为完

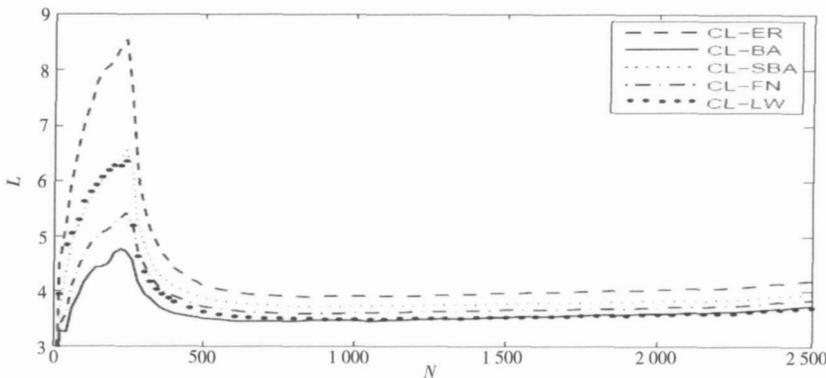


图 4 5个模型平均路径长度  $L$ 比较

Fig. 4 Comparisons of 5 models'  $L$

善的信息,从而提高了企业整合集群资源的效率, CL\_LW 模型  $L$  开始下降并逐步显示出比 CL\_BA 更短的平均路径长度,可见寻求高效率的合作是集群自组织过程的一个基本特征.而 CL\_SBA 和 CL\_FN 模型虽然一直处于中间位置,但与其他模型的差距逐步缩小,表明虽然在一定阶段企业不同的连接方式会影响资源整合的效率和成本,但最终这种差异会通过集群自组织过程大大降低,显示出微观企业对环境很强的主动性和适应性.因此,从这个角度,命题 2 也可以从 5 个模型平均路径长度的仿真结果得到支持.

#### 4) 时效 $R_1$

集群网络的时效  $R_1$  可以用来测度信息交流速度的大小.由于  $R_1$  与网络的时效熵密切相关,而时效熵是反映了信息在网络各节点间流通时效性不确定性的分布有关,网络中每个节点的最短路径越接近,即最短路径的分布越均匀,时效熵越大,其  $R_1$  也就越小,即信息流通越缓慢.从仿真结果可以看出(见图 5),总体而言,5 个模型的时效  $R_1$  首先会表现出一个比较陡峭的下降过程,然后再逐步减缓下降,趋于稳定,最后随着企业数增长呈现出极其缓慢的下降趋势.集群起始阶段,企业数量很少,信息的传递渠道单一,企业最短路径差异很大,所以  $R_1$  很大.随后  $R_1$  的单调下降反映出集群内信息流通时效方面的效率会随着企业联系的增加而降低.对比 5 个模型,CL\_BA 与 CL\_LW 模型的  $R_1$  都很小,这主要是基于 CL\_BA 连接方式所导致的网

络结构中节点最短路径都比较接近,而且很短,说明这种连接方式所产生的网络结构中存在极少数度很大的企业,即无标度特征,如果将这些企业定义为桥梁企业,那么正是由于桥梁企业与众多企业建立了联系,一方面大大缩短了非桥梁企业之间平均最短路径,另一方面也增加非桥梁企业对最短路径搜索的难度,面临多种可能的途径,很难迅速发现最短传播渠道,即使信息是通过桥梁企业传递,由于桥梁企业的连接很广泛,所以信息最终能够快速到达特定企业的概率很小,从而增加了网络在时效性方面的不确定性,正是这种多渠道产生的不确定性导致网络呈现较大的时效熵,从而降低了信息流通速度,表现为  $R_1$  在相当长时间内比其他模型都小.相比而言,CL\_ER 模型企业间最短路径的差距很大,其分布很不均匀,说明信息在企业间传播的可能渠道很有限,每个企业都不具备特别多的选择,从而降低了信息中途扩散的可能性,使得信息能够比较迅速地流向特定企业,所以  $R_1$  较大,表现出在信息传播速度方面的优越性.而 CL\_SBA 和 CL\_FN 模型介于 CL\_ER 和 CL\_BA 模型之间,其信息传播速度也介于二者之间.综上所述,从时效的不同模型仿真结果可以发现,集群最短路径分布的方差会经历一个逐步缩小的过程,表明集群内企业在自组织过程中会通过不断探索和学习,逐步建立稳定的联系,从而总体上表现为从无序到有序的自发过程,命题 3 也由此得到支持.

#### 5) 质量 $R_2$

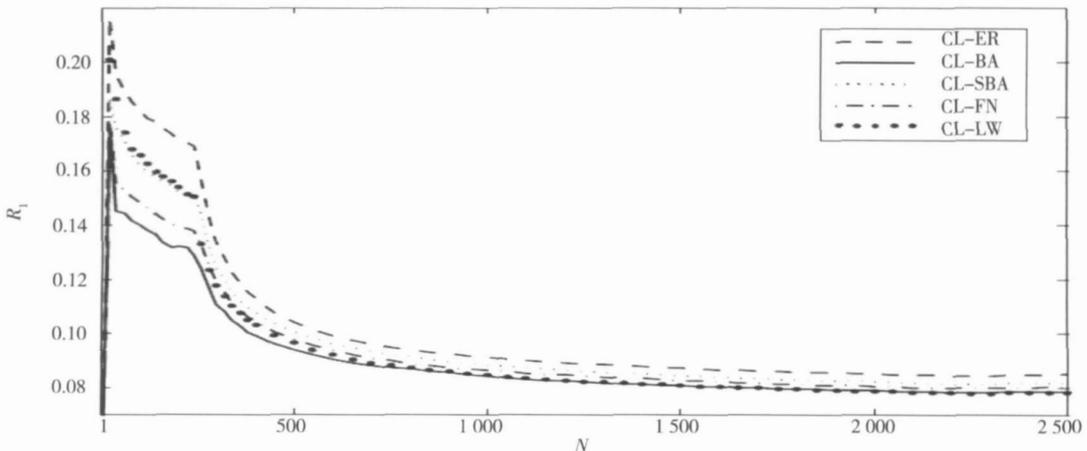


图 5 5 个模型时效  $R_1$  比较

Fig 5 Comparisons of 5 models'  $R_1$

集群网络的质量  $R_2$  反映了集群信息流通的准确性. 连接偏好的不同可以导致网络拓扑结构的不同, 进而影响到信息在集群内部传播的准确性. 这种准确性可以通过网络的质量指标来测度.  $R_2$  越大, 则信息传播准确度越高. 从仿真结果可以看出 (见图 6), 总体而言, 5个模型在集群自组织过程中都会首先经历一个下降过程, 随即呈现出振荡, 然后逐步上升到一定数值, 继而出现极其平缓地下降趋势. 可以推测, 在集群萌芽期, 由于企业个数极少, 所以网络结构比较单一, 信息传播路径较少, 其准确性较高; 伴随着集群发展, 集群内企业数非线性地增长, 企业间联系急剧增加, 信息传播渠道得到大幅度拓展, 但信息传播的准确性逐渐降低. 又由于企业间不是很了解, 所以整个集群网络呈现出一种无序状态, 表现为  $R_2$  波动性下降过程. 通过不断试错, 企业逐步修正各自的选择标准, 从而根据自身情况寻找到相对可靠的信息渠道, 整个集群逐步显示出一种与特定行业和地域特征相匹配的运作方式, 网络也日趋有序化, 表现为  $R_2$  的逐渐增大. 当然, 由于集群内企业数量是逐步增加的, 在企业数量达到一定量时, 就很

难对其结构性产生较大影响, 从而表现出非常缓慢地变化趋势.

对比 5个不同模型可以进一步发现, CL\_ER 模型  $R_2$  最低, 说明完全随机的连接方式会降低企业间信息传播准确性程度; 而 CL\_BA 模型  $R_2$  在一定时期内最高, 然后被 CL\_LW 模型取代, 说明网络信息质量与度分布密切相关, 例如在 2500 点, 度分布 CL\_LW 具有最高值, 由此可以部分解释  $R_2$  发展趋势, 即 CL\_LW 模型在集群规模扩展到一定规模后信息质量最高, 这说明集群内局域世界的存在和基于弹性专精的联系可以提高集群整体信息的准确性. CL\_SBA 和 CL\_FN 模型度分布介于 CL\_ER 和 CL\_BA 之间, 其网络信息传播的准确性也介于二者之间. 总之, 从 5个模型网络质量  $R_2$  的变化过程也可以看出, 集群自组织过程信息传播准确性会经历从动荡上升到相对稳定的过程, 反映出集群内单个企业不断学习和探索, 以发现最有效信息渠道的自组织行为, 体现在集群总体层面上就是一个无序到有序的自发过程, 也表现出了企业与其生存环境之间逐步适应过程, 这也从另一个角度上支持了命题 3

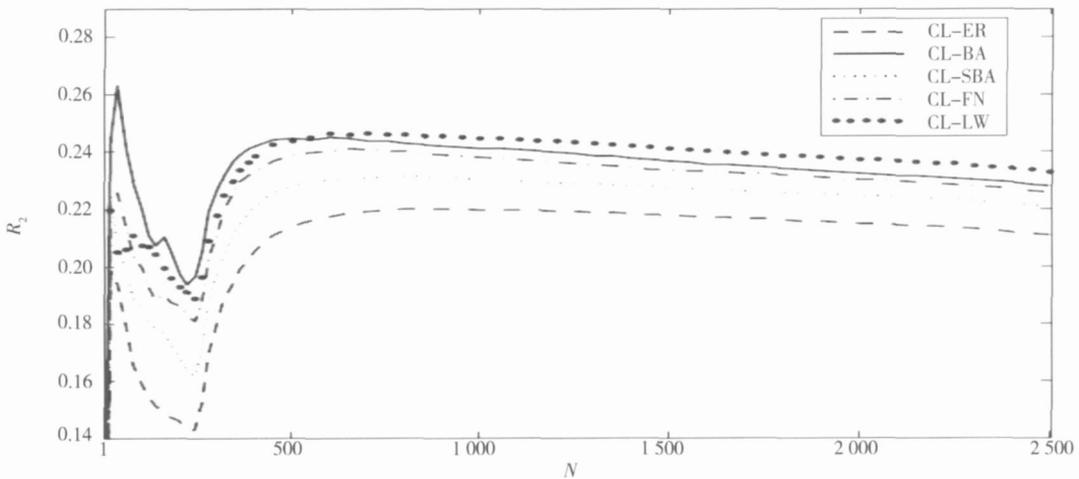


图 6 5个模型质量  $R_2$  比较

Fig 6 Comparisons of 5 models'  $R_2$

#### 4 结论及进一步研究方向

作为一个复杂适应性系统, 企业在集群自组织过程中所表现出来的相互之间联系是极其复杂和多变的, 追踪单个企业在不同时间的具体行为是不太可能的, 并且不能从全局角度把握集群整

体演变过程. 根据复杂理论, 自组织是一个强调微观主体形态各异的自我行为总体对系统影响的过程, 虽然单个企业不能决定系统整体的走向, 但系统整体呈现出一一定发展趋势. 复杂理论中的自组织概念运用于集群领域, 其实是表现了企业个体选择行为总体而言对集群演进的作用, 测度集群网络相关统计指标的正是希望了解集群整

体的变化过程和发展趋势,并从中发现一些基本的规律.本文主要的创新之处在于从复杂理论出发,运用了复杂网络思路,通过对企业不同连接方式的聚类系数、度分布、平均路径长度、网络的时效和质量指标仿真模拟,定量研究了集群自组织过程,提出并检验了有关集群自组织的 3 个命题,并得出以下主要结果:

1) 在集群自组织过程中,企业会首先利用地理位置的优势广泛地与群内其他企业接触,通过不断学习过程,从而建立相对稳定的交流圈层;

2) 给定企业不同的能力,每个企业所享受到的集群优势是有差异性的,而同一集群内部企业在自组织过程中会逐步产生趋同性;

3) 集群自组织过程是企业总体从无序逐步到有序的自发过程,企业与环境之间,以及企业与企业之间都会呈现出一个相互适应而逐步稳定的趋势.

需要特别指出的是,本文是根据企业间连接方式的不同构建了不同的模型,而这种连接方式对集群而言具有十分重要的意义,反映了集群现象的本质所在. CL\_ER 模型表现了完全随机的连接方式,对集群而言,地理上接近大大增加了不同企业间交往的可能性,特别是在各种非正式环境.而且由于集群内企业一般处于相同或某种相关行业,又为这种所谓的随机选择设定了一个特殊的集合,使得存在一个很高的概率接触到对自身有用的企业或人员,从而有相当可能通过这种不经意的的方式获取到有价值的信息.理论和实证研究发现,许多创新性活动都是由偶然事件触发的, CL\_ER 模型正是描述了这种可能性.例如, Saxenian 列举了硅谷企业通过各种随机交流而产生创新灵感的过程,指出这种非正式接触对于地理位置接近的依赖性,特别是高技术产业集群<sup>[31]</sup>; CL\_BA 模型描述了以企业已经建立联系多少为标准的选择行为.集群内某些企业由于其特殊性,如掌握了某种稀缺资源、提供不可替代产品服务以及出色的组织交往能力,而占据集群中产品网或信息网的关键位置.与这类企业建立联系,可以很快获取集群中的一些公共信息等资源,而且具有很低的搜寻成本.例如在大唐袜业集群中的少数贸易公司,它自身具有很好的市场营销能力,能够从市场上获取大笔订单,同时也与集群内

部大批企业有联系,与之建立联系,一方面可以期望获取一些订单;另一方面,可以通过它跟踪市场发展潮流,逐步培育自身的市场把握能力,为企业长期发展铺垫基础;相对于完全取决于已有企业联系的 CL\_BA 模型, CL\_SBA 和 CL\_FN 模型可以视为是其扩展形式,都描述了对度偏好的不完全依赖性,从而更加接近现实情形,表现了集群自组织过程中企业行为的复杂性和不可测性. CL\_SBA 模型更多地显示了两个企业间连接建立的过程中,主动方在选择连接对象时,虽然可能考虑到对方已经存在的关系网对自身的作用,但可能还取决于一些随机因素,如能否在合适的时间有恰当的机会进行沟通.而 CL\_FN 模型采用适应度因子对度进行了修正,这个适应度可以取决于很多因素如信誉、沟通能力、亲缘关系、各种社会关系等.考虑到这些因素对企业建立联系的影响,连接偏好对度的依赖性降低了,而倾向于一些集群所在地域的社会文化特征.例如硅谷中普遍存在的校友关系对企业间联系的影响;作为比较特殊的类型, CL\_LW 模型反映了一种与集群产业链密切相关的连接方式,特别是对于制造业集群,集群优势的重要体现就是弹性专精和较低的交易成本,因此,上下游不同生产环节的企业间会表现出很多的联系和合作关系,而同类型企业间更多地表现为竞争关系,相互间信息沟通较少, CL\_LW 模型正是描述了这种情况下连接方式的变化.首先将企业进行分类,然后不同类别间企业按照 CL\_BA 的度连接偏好进行连接.例如,中山沙溪休闲服装集群就表现出比较明显的 CL\_LW 局域世界连接特征.

构架在复杂理论的基础上<sup>[32]</sup>,本文运用复杂网络研究方法对集群自组织过程进行了初步的探讨.作为一篇探索性文章,所建立的模型是相当简单和理想化的,与现实情况还有很大的距离.目前战略管理领域的一个重要研究方向就是探讨环境和企业战略共同演进<sup>[33,34]</sup>.本文认为将集群视为复杂适应性系统为研究环境和战略的共同演进提供了一个全新的视角.而本文的其中一个重要贡献就在于比较系统地建立了从复杂网络角度研究集群演进的整体框架,从而为将来研究指明了方向,并奠定了必要的基础.今后的研究主要可以从以下两个方面进行更深入的探讨.首先是对理论

模型的扩展和完善. 对于集群复杂网络而言, 其复杂性既可以表现在企业间连接上, 也可以表现为节点本身的变化上. 一方面, 连接又包括连接涵义、连接强度、连接方式和连接方向. 针对实际不同的连接涵义, 应该考虑其特殊性. 本文是以集群信息网为研究对象, 但集群的合作网、产品网与信息网的关系如何, 其差异性表现在哪里? 本文仅从连接方式上对企业间连接进行了研究, 如果考虑连接强度和连接方向<sup>[35]</sup>, 应该如何改进现有的模型或者重新建立理论模型都是值得深入研究的问题; 另一方面, 节点本身的变化也是一个很有潜力

的研究问题. 目前, 基于复杂网络的研究主要都关注于连接部分, 其实, 企业本身变化对连接的影响, 以及反过来网络结构对企业的反作用, 这种共同演进过程正是集群自组织的重要表现形式. 这些都将促使本文不断改进理论模型. 其次是关于实证研究问题. 本文仅仅是对理论模型进行了计算机仿真, 如何进行这方面的实证研究就成为亟待解决的难题. 未来研究可以尝试从案例研究开始, 选择具有典型意义的集群, 然后逐步收集所需数据, 并且不断跟踪集群发展, 以期获得相对比较长期的一手和二手资料进行动态研究.

## 参 考 文 献:

- [1] Marshall A. Principles of Economics [M]. (8th ed), London Macmillan, 1920
- [2] Porter M. The Competitive Advantage of Nations [M]. New York Free Press, 1990
- [3] Sorenson O. Social network and industrial geography [J]. Evolutionary Economics, 2003 (13): 513—527.
- [4] Staber U. Spatial proximity and firm survival in a declining industrial district: The case of knifewear firms in Baden-Württemberg [J]. Regional Studies, 2001, 35(4): 329—341.
- [5] Baum J A C, Mezas S J. Localized competition and organizational failure in the Manhattan hotel industry, 1898—1990 [J]. Administrative Science Quarterly, 1992, 37(4): 580—604
- [6] Baum J A C, Haveman H A. Love thy neighbor? Differentiation and agglomeration in Manhattan hotel industry, 1898—1990 [J]. Administrative Science Quarterly, 1997, 42(2): 304—338
- [7] Delacroix J, Swan Nathan A, Solt M E. Density dependence versus population dynamics: An ecological study of failings in the California wine industry [J]. American Sociological Review, 1989, 54(2): 245—262
- [8] Rauch J E. Does history matter only when it matters little? The case of city-industry location [J]. Quarterly Journal of Economics, 1993, 108(3): 843—867
- [9] Maggioni M A. Clustering Dynamics and The Location of High-Tech Firms [M]. New York: Physica-Verlag Heidelberg, 2002
- [10] Tan J. Industry clustering, innovation, and technology transfer: Evidence from Beijing Zhongguancun Science Park [J]. Journal of Business Venturing, 2006, 21(6): 827—850
- [11] Childs T H, Meyer A D, Hensch T J. Organizational emergence: The origin and transformation of Banson, Missouri's musical theaters [J]. Organization Science, 2004, 15(5): 497—519
- [12] 何 铮, 谭劲松. 复杂理论在集群领域的研究——基于东莞 PC 集群的初步探讨 [J]. 管理世界, 2005 (12): 108—115  
He Zheng, Justin Tan. The appliance of complexity theory to the study of industrial cluster [J]. Management World, 2005 (12): 108—115 (in Chinese)
- [13] Hannan M, Freeman G. The population ecology of organizations [J]. American Journal of Sociology, 1977, (5): 929—940
- [14] Hannan M, Carroll G. Dynamics of Organizational Populations: Density, Legitimation, and Competition [M]. New York: Oxford University Press, 1992
- [15] Lomi A. The population ecology of organizational founding: Location dependence and unobserved heterogeneity [J]. Administrative Science Quarterly, 1995, 40(1): 11—144
- [16] Pouder R, St John C H. Hot spots and blind spots: Geographical clusters of firms and innovation [J]. Academy of Management

- ment Review, 1996, 21(4): 1192—1225
- [17] Scott A J. New Industrial Spaces: Flexible Production Organization and Regional Development in North American and Western Europe[M]. London: Pion Ltd., 1989.
- [18] Tushman M L, Romanelli E. Organizational Evolution: A Metamorphosis Model of Convergence and Reorientation[M]. B. M. Staw, L. L. Cummings (eds). Research in Organizational Behavior. JAI: Greenwich, CT: 171—222, 1985.
- [19] Porter M E. Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors[M]. New York: Free Press, 1980.
- [20] Abrahamson E, Fombrun C. Macrocultures: Determinants and consequences[J]. Academy of Management Review, 1994 (19): 728—755.
- [21] Porter M E. Competitive advantage, agglomeration economies, and regional policy[J]. International Regional Science Review, 1996 (19): 85—94.
- [22] Porter M E. Clusters and the new economics of competition[J]. Harvard Business Review, 1998, 76(6): 77—90.
- [23] Glaeser E L, Kallal H D, Scheinkman J A, et al. Growth in cities[J]. Journal of Political Economy, 1992, 105(5): 889—927.
- [24] Kuguan P. Development Geography and Economic Theory[M]. Cambridge: MIT Press, 1995.
- [25] Kuguan P. Space: The final frontier[J]. Journal of Economic Perspectives, 1998, 12(2): 161—174.
- [26] Venables A J. Equilibrium locations of vertically linked industries[J]. International Economic Review, 1996, 37: 341—359.
- [27] 池仁勇. 区域中小企业创新网络形成、结构属性与功能提升: 浙江省实证考察[J]. 管理世界, 2005 (10): 102—112.  
Chi Ren-yong. The formation, structure and function of SME's innovation network[J]. Management World, 2005 (10): 102—112 (in Chinese).
- [28] 蔡宁, 吴结兵, 殷鸣. 产业集群复杂网络的结构与功能分析[J]. 经济地理, 2006, 26(3): 378—382.  
Cai Ning, Wu Jiebing, Yin Ming. The structure and function of industrial clusters' complex networks[J]. Economic Geography, 2006, 26(3): 378—382 (in Chinese).
- [29] 汪小帆, 李翔, 陈关荣. 复杂网络理论及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.  
Wang Xiaofan, Li Xiang, Chen Guanrong. Complex Network Theory and Application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006 (in Chinese).
- [30] 邱菀华. 项目管理学——工程管理理论、方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2001.  
Qiu Yuanhua. Project Management: Engineering Management Theory, Method and Practice[M]. Beijing: Science Press, 2001. (in Chinese).
- [31] Saxenian A. Regional networks and the resurgence of Silicon Valley[J]. California Management Review, 1990 (33): 89—112.
- [32] 李良, 郭耀煌. 组织理论对复杂系统理论的借鉴[J]. 管理科学学报, 2002, 5(6): 77—82.  
Li Liang, Guo Yaohuang. How can organization theory benefit from complexity systems theory[J]. Journal of Management Sciences in China, 2002, 5(6): 77—82 (in Chinese).
- [33] Tan J, Tan D. Environment-strategy coevolution and alignment: A staged model of Chinese SOEs under transition[J]. Strategic Management Journal, 2005, 26(2): 141—157.
- [34] 何铮, 谭劲松, 陆园园. 组织环境与组织战略关系的文献综述及最新研究动态[J]. 管理世界, 2006 (11): 144—151.  
He Zheng, Justin Tan, Lu Yuan-yuan. Literature review on the relationship between organization environment and strategy and its latest development[J]. Management World, 2006 (11): 144—151. (in Chinese).
- [35] 安世虎, 聂培尧, 贺国光. 节点赋权网络中节点重要性的综合测度法[J]. 管理科学学报, 2006, 9(6): 37—52.  
An Shi-hu, Nie Pei-yao, He Guo-guang. Comprehensive importance measurement for nodes within a node-weighted network[J]. Journal of Management Sciences in China, 2006, 9(6): 37—52 (in Chinese).

## Self-organization of industrial cluster: A computer simulation from complex network perspective

TAN Justin<sup>1</sup>, HE Zheng<sup>2</sup>

1. Schulich School of Business, York University, Toronto, Canada

2. School of Management and Economics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, China

**Abstract** Industrial cluster evolution has long been a challenge for scholars, especially for quantitative research, in part due to both the complexity of simulating the evolutionary process and the demand for longitudinal data. To partially fill this gap, we attempt to introduce insights from complexity theory perspective and to examine the mechanism by applying computer simulation. Taking the cluster evolution as a self-organizing process, we first develop an analytical framework, and then simulate the evolutionary process by employing five statistic indexes drawn from complex network domain. The preliminary results indicate that (1) in the self-organizing process of industrial cluster, an enterprise will at the beginning make full use of geographic proximity to connect with the incumbents, and through the learning process, the enterprise will establish its stable communication circle; (2) different enterprises vary in their benefits from cluster, yet there appears to be a tendency of convergence with the deepening of self-organizing process, and (3) as part of an autonomous self-organizing process in which individual firm's behavior appears to be random, yet collectively certain kind of order emerges in a cluster, a industrial cluster will exhibit a tendency toward temporary equilibrium through the adaptations between firms as well as between firms and their environment.

**Key words** cluster evolution, self-organization, complex network, computer simulation