

集群风险与结构演化的复杂网络 仿真研究

蔡宁,黄纯

(浙江大学公共管理学院,浙江 杭州 310027)

摘要:集群风险被视为影响区域经济发展的重要因素,然而构成关系的复杂性和研究过程的动态性导致现有研究难以从定量的角度分析集群网络结构的演化和风险。文章基于复杂网络的分析视角,揭示了集群网络结构与复杂网络模型之间的耦合关系,并运用仿真模拟方法构建了集群结构模型,刻画了两种风险类型下集群结构演化过程。主要结论有:内生性风险和外生性风险影响了集群内企业微观个体及网络关系的变动,使得集群风险鲁棒性具有显著差异;外生性风险下,三类集群风险鲁棒性强弱分布为中卫型>混合网络型>市场型;内生性风险下,三类集群风险鲁棒性强弱分布为市场型>混合网络型>中卫型。

关键词:集群风险;网络结构;结构演化;复杂网络;仿真模型

中图分类号:F269.23

文献标志码:A

文章编号:1008-5831(2012)01-0005-07

一、引言

2008年世界金融危机带来的金融市场的动荡,硅谷经济的衰退,以及中国绍兴纺织业集群和广东东莞玩具业集群的危机等,使人们逐渐认识到集群区域的专业化是一种带有风险的战略。因此,进一步加强对集群风险的研究,促进区域经济持续发展是亟待解决的现实问题。

从理论上讲,集群作为一种超越企业的网络组织^[1-2],在带来资源整合效应的同时,也存在着负面的作用,即可能把企业锁定在非生产性的关系上,或者阻止企业寻求更为有效的合作伙伴,由此导致集群发展的风险^[3]。现有研究大多从环境因素、集群特征因素和集群网络关系三个方面来诠释集群风险的形成,而通过集群演进过程来研究风险的文献相对较少,且主要集中在某一静态的时间点上对集群风险的研究^[4-6]。究其原因,主要有以下两点:第一,不同类型集群内企业所构成的网络关系是特有的,因而其网络结构具有显著差异,更由于现实影响因素的复杂性,使得研究者很难从中提取一般模型,进而对集群整体网络结构进行实证研究。第二,集群网络结构演化是一个时间函数,因而结构演化过程具有动态性,更由于现有研究方法的局限性,使研究者很难从定量的角度研究集群风险。

收稿日期:2011-09-21

基金项目:国家自然科学基金项目“基于焦点企业的集群风险传导与扩散及其控制研究”(70973103);国家自然科学基金项目“多重多层网络与产业集群创新及其协同演化研究”(70973109);教育部新世纪优秀人才计划项目

作者简介:蔡宁(1963-),浙江大学公共管理学院教授,博士研究生导师,浙江省公共政策研究院常务副院长,浙江大学政府与企业研究所所长,主要从事区域经济、企业集群研究;黄纯(1983-),浙江大学公共管理学院博士研究生,主要从事企业集群、技术创新研究。

网络关系是集群的本质特征,不但体现于集群内部企业间的效应中,还表现在与外部环境之间的关系上。企业集聚的过程是各种关系形成的过程,这是构成集群内部网络结构的基础。笔者基于以上研究,将集群网络结构视作复杂网络结构^[7-8],并通过建立集群复杂网络结构模型^[9],运用计算机仿真,模拟得出不同风险类型下集群风险鲁棒性的强弱分布,以检验相关命题。

二、集群网络结构与集群风险

(一) 三种类型集群

Markusen 对不同国家的产业区进行研究,将集群分成四种类型:马歇尔式集群、轮轴式集群、卫星平台式集群和国家力量依赖型集群,成为集群分类的经典范式^[10]。然而现实中集群可能是几种类型的混合形式,也可能是现在属于其中一种,经过一段时间后转变为另一种。笔者以互惠性和同质性两个指标作为集群划分标准,互惠性用于描述集群成员之间依赖程度的对等性,同质性用于描述集群内企业的相似性。Piore 等^[11]、Saxenian^[12]、Freeman^[13]、Lozano 等^[14]使用过该类指标描述集群特征。在此基础上,笔者将集群类型分为市场型、中卫型和混合网络型(表1)。

集群类型1——市场型:企业之间的关系以平等市场交易为主,各生产商以水平联系来完成产品生产的集群类型。该类型集群企业同质性较高,因此双边的依赖性弱,互惠性低。

集群类型2——中卫型:以大企业为中心、众多中小企业为外围而形成的集群类型。大企业处于支配地位,中小企业处于外围或下属角色,主要为“核心企业”进行特定的专业化加工,或根据需要提供专门化产品,或进行限制性销售。该类型集群企业同质性低,因此企业相互依赖性强,互惠性高,企业之间的关系主要是上下游的分工合作。

集群类型3——混合网络型:介于市场型和中卫型之间,同时具备两者特征的集群类型。该类集群内企业同质性居中,企业之间既有上下游的分工合作关系也有竞争关系,因此依赖性和互惠性也居中。

表1 三种类型集群对比分析

	市场型	中卫型	混合网络型
互惠性	低	高	中
同质性	高	低	中

资料来源:笔者整理。

(二) 两种集群风险的攻击实质

集群风险可以归纳为内生性风险和外来性风险^[15]。内生性风险指由企业集群内部力量所累积的风险,包括网络性风险,主要以集群网络中集散结点为研究点,以集群内企业及其企业关系为研究对象,对

集群内微观个体特别是焦点企业导致的内生性风险进行的研究。例如:Lazerson 等研究了集群结构演进规律中,从供应商成长起来的焦点企业的更替以及其在集群多元化中起到的作用,并指出供应商战略能力的导向必须与集群战略性关系网络相匹配,否则不利于集群经济的持续发展^[16]。Cristina 进一步以意大利包装业集群结构演进为例,分析焦点企业在生产链、资金链、技术链和管理溢出效应中的作用,从而有效推动集群的演进,并指出焦点企业的功能缺失可能引起集群风险。外来性风险是由企业集群外部力量所引致的风险,包括结构性风险和周期性风险。它以整个集群宏观总体为研究对象,以集群受外界整体性经济波动(周期性风险)和集群内产品生命周期(结构性风险)为研究点,主要分析风险对集群内每个企业的共性影响,进而研究集群整体风险,例如 Fritz 等人对外部经济周期性波动导致风险的研究,Dalum 等在波特技术间断论基础上,以北欧的无线通讯工具集群为例,从实证角度研究了该集群内企业共性技术的生命周期如何使区域集群崩溃从而丧失竞争力的问题。

表2 两种集群风险特征

	属性	作用对象	作用方式
内生性风险	微观个体	焦点企业	特定
外来性风险	宏观总体	所有企业	随机

资料来源:笔者整理。

(三) 三类集群对风险的鲁棒性分析

不同类型集群的网络结构是有差异的。Markusen 从集群风险的角度分析了不同类型集群的强势和弱势^[10]。王缉慈在 Markusen 的基础上,以集群网络为研究视角,提出意大利新产业区(市场型集群)相对于其他类型产业区更具优势。而后,蔡宁等^[17]运用社会网络方法分析了集群的网络性风险,认为集群网络结构是网络性风险形成的重要因素。王发明等则运用网络结构中分布、集聚系数以及平均最短路径长度定性描述了美国 128 公路(中卫型集群)衰退和硅谷集群(混合网络型)的兴起。

这种网络结构的差异性导致了三种集群在外生性风险和内生性风险下,对风险的鲁棒性和脆弱性是不同的。Saxenian^[12]以美国两个高技术产业区:硅谷——混合网络型集群和 128 公路——中卫型集群为研究对象,描述了两个集群在经历外来性风险(20 世纪 70 年代末日本半导体工业对美国电子工业的影响)后,发现 128 公路比硅谷受到的冲击更小。而在经受内生性风险(美国电子工业由半导体进入微电脑)后,发现硅谷比 128 公路更成功。Lozano 则进一步在刻画两类集群的网络结构后,得出两类集群

在不同阶段对风险的鲁棒性是不一样的^[14]。

Becattini 分析了在经历内生性风险后,意大利纺织业集群中以数量巨大、小型家庭作坊式为集群发展模式(市场型)的兴起与以福特模式为集群发展模式(中卫型)的失败。Amin 等研究得到,经历过 1980 年的经济危机(外生性风险)后,意大利纺织产业集群受到了极大的冲击,与此同时,以大工业为主导的集群模式却得到了比较好的发展。

以上的研究比较了两种风险情况下三类集群对风险的鲁棒性的差异,并得出以下结论:(1) 外生性风险:中卫型 > 混合网络型,中卫型 > 市场型;(2) 内生性风险:中卫型 < 混合网络型,中卫型 < 市场型。

但是,在这两种风险情况下,混合网络型与市场型集群对风险的鲁棒性如何比较,三类集群对风险的鲁棒性如何判断,已成为当下研究所面临的难题之一。

解决以上问题的关键点在于:第一,都以不同类型的集群总体为研究对象,整体网络结构的构建需要大样本数据。第二,都是针对不同集群网络动态的攻击过程,因此需要建立一个足够的时间跨度函数才能加以检验。第三,现实中,集群网络受攻击的对象以及受攻击的强度难以观察,因此很难研究攻击对集群整体影响程度。这些特点使得传统的研究方法难以定量描述风险对集群网络结构的动态影响过程,这不仅表现在数据收集上,而且也表现在研究对象的有效选择、具体指标的描述以及模型整体的构建上。基于以上不足,笔者尝试采用复杂网络理论来分析不同的集群类型,这种研究方法能通过微观个体的具体行为准则构建宏观总体,从而有效识别研究对象,进而对集群风险和网络结构演化进行定量研究。

三、集群仿真模型的研究设计

基于复杂网络视角,集群内部网络结构是由网络中结点(代表集群中企业)、网络边(代表企业之间的关系)而构成。集群通过这些结点和边显示出异质性个体间的集聚,非线性和相互作用的特性,并且通过分布式控制、信息流共享、知识传递和学习、多样化行为特征、创新能力以及行为个体间的复杂关系和结构演进表现出来^[18]。在复杂网络研究中,学者通过建立动态网络模型,研究度分布、平均路径长度(或最短路径长度)、集聚系数、网络密度等相关指标的变化,分析一个或少数几个结点或边在发生故障时通过结点之间的拟合关系(边)引起其他结点发生故障,从而产生连锁效应,最终导致相当一部分结点甚至整个网络的崩溃^[19]。

本部分揭示了集群网络结构与复杂网络之间的耦合关系,并选取常用的网络度量指标度分布、平均路径长度、最大连通子图相对值,作为刻画集群网络及风险的三个指标。同时,建立研究模型,作为分析

集群网络结构的基础。

(一) 相关属性指标

为确保测量工具的效度及信度,笔者采用复杂网络理论中最常用的测度指标,再根据研究目的加以适当的补充,作为计算机仿真研究的工具。

度分布(P):结点 i 的度 k_i 是该结点连接的其他结点的数目。网络中结点的度分布情况可用分布函数 $P(k)$ 来表示。 $P(k)$ 表示的是一个随机选定结点的度恰好为 k 的概率。

$$P_k = \sum_{k'=k}^{\infty} P(k')$$

该公式表示的是度不小于 k 的结点概率分布。度分布反映的是网络整体结构,少量结点度分布越高,网络结构越不均匀;结点之间度分布同质性越高,网络结构越均匀。

平均路径长度(L):网络中两个结点 i 和 j 之间的距离 d_{ij} 定义为连接这两个结点的最短路径长度。网络的平均路径长度 L 定义为任意两个结点之间的距离平均值,即

$$L = \frac{1}{\frac{1}{2}N(N-1)} \sum_{i \neq j} d_{ij}$$

其中 N 为网络结点数,并不考虑结点到自身的距离。在网络中,结点 i 和 j 之间有多条路径,中断其中一些路径可能会使这两个结点之间的距离 d_{ij} 增大,同时整个网络的平均路径长度 L 也会增大。

最大连通子图相对值(G):该参数是在去掉发生故障的结点后,衡量网络中最大连通的子网络中的结点个数。将最大连通子图的相对值 G 定义为:

$$G = N'/N$$

其中 N' 表示相继故障结束后网络的最大连通子图包含的结点个数。该参数 G 表示网络性能。

(二) 研究模型构建

笔者首先分析市场型、中卫型和混合网络型集群的特征,并与复杂网络经典模型:ER 模型、BA 模型和局域世界演化模型进行耦合性比较。其次,通过各模型的连接规则,运用计算机仿真模型构建三类集群的网络结构。

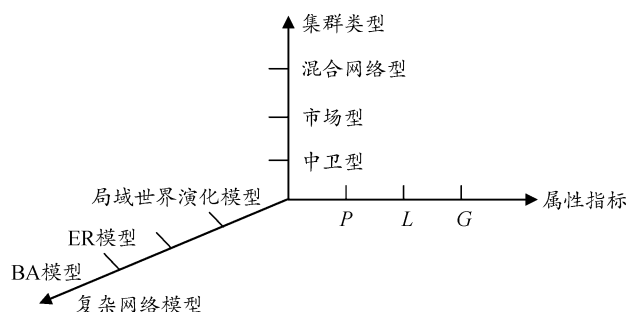


图1 理论模型构建图

资料来源:笔者整理。

模型1——MC-ER模型(市场型集群与ER模型):ER模型是完全随机网络,是由Erdos等开发,该网络结点度分布近似服从Poisson分布,且具有两个重要特性:(1)度分布趋于平均;(2)结点之间边的连接是以概率事件出现。

表3 ER模型与市场型集群耦合性判断

	特性1	特性2
ER模型	度分布平均	概率连接
市场型	同质性高	互惠性低

资料来源:笔者整理。

笔者将以ER模型的网络结构来耦合市场型集群网络结构(MC-ER模型)。

MC-ER模型的新进入企业与原企业连接的概率为:

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

其中 N 为在 t 时间的企业总数,即网络结点总数。

模型2——CC-BA模型(中卫型集群与BA模型):BA模型是一个无标度网络模型,是由Barabasi等提出的,该网络连接度分布函数具有幂律形式,且具有两个重要特性:(1)增长特性:网络规模是不断扩大的;(2)优先连接特性:新的结点更倾向于与那些具有较高连接度的“大”结点相连接。

表4 BA模型与中卫型集群耦合性判断

	特性1	特性2
BA模型	具有较高连接度的“大”结点	优先连接
中卫型	同质性低	互惠性高

资料来源:笔者整理。

笔者将以BA模型的网络结构来耦合中卫型集群网络结构(CC-BA模型)。

CC-BA模型的新进入企业与原企业连接的概率为:

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

其中 k_i 表示结点 i 的度, k_j 表示结点 j 的度。

模型3——IC-LN模型(混合网络型集群与局域世界演化模型):局域世界演化模型是在BA无标度网络模型的基础上改进而来的,由Li等提出,每一个结点都有各自的局域世界(局域世界间以概率连接),因而也只占有和使用整个网络的局部连接信息。其有两个重要特性:(1)增长特性:网络规模是不断扩大的;(2)局域世界优先连接特性:新的结点与特定结点相连接构成局域世界。

表5 局域世界演化模型与混合网络型集群耦合性判断

	特性1	特性2
局域世界演化模型	局域世界内优先连接	局域世界间以概率连接
混合网络型	中卫型集群特征	市场型集群特征

资料来源:笔者整理。

笔者将以局域世界演化模型的网络结构来耦合混合网络型集群网络结构(IC-LN模型)。

IC-LN模型的新进入企业与原企业连接的概率为:

$$\prod_{\text{Local}}(k_i) = \frac{M k_i}{m_0 + t \sum_{\text{Local}} k_j}$$

其中 M 表示从网络中已有的结点中选取 M 个结点($M \geq m$),作为新加入结点的局域世界。 m_0 表示网络初始结点数, k_i 表示结点 i 的度, k_j 表示结点 j 的度。

三类模型仿真模拟图:笔者采用仿真模拟首先区分三类集群各自的网络结构,由此建立三个模型:MC-ER模型、CC-BA模型和IC-LN模型。我们假设集群内企业之间是通过企业关系连接的,集群网络在正常情况下,运行于一种自由流(free-flow)状态,而且是一种无向图,不考虑企业间强弱关系,即连接边之间的权重相等。在具体模型构建上,我们从一个具有初始结点的网络开始,按照各类集群网络结构结点连接概率规则,每次加入一个新节点,一直增加到500个节点。

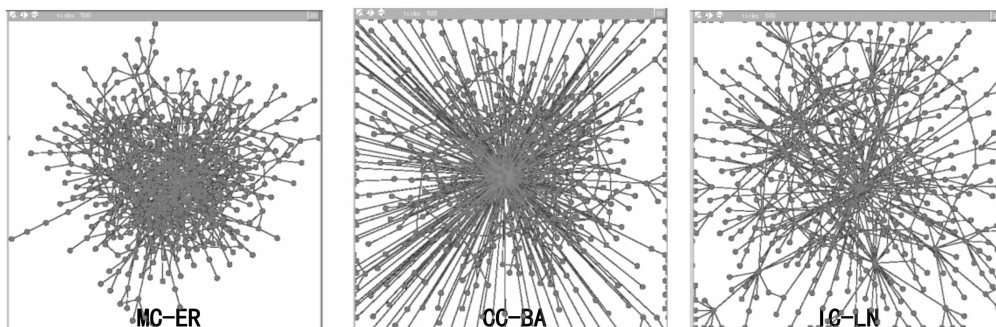


图2 集群网络结构模型

(仿真模拟, $N=500$ agents 随机连接)

资料来源:笔者整理。

四、集群风险与网络结构演化

在构建三类模型的基础上,笔者通过计算机仿真模拟,比较模型受攻击后网络结构的演化,通过演化结果得出不同集群的风险鲁棒性强弱分布。笔者采取两类攻击策略:随机攻击和蓄意攻击。随机攻击就是完全随机地去除网络中结点,实验中每次只攻击一个结点;蓄意攻击就是有意

识地逐步去除网络中最高度的结点,实验中每次攻击度相同的所有结点。同时将受攻击的结点和该结点与其他结点相连的边去除,直至整个网络连通性为零。假设去除的结点数占原始网络总结点数的比例为 f ,可以用最大连通子图相对值 G 和平均路径长度 l 与 f 关系来度量网络的鲁棒性。模拟结果如图3。

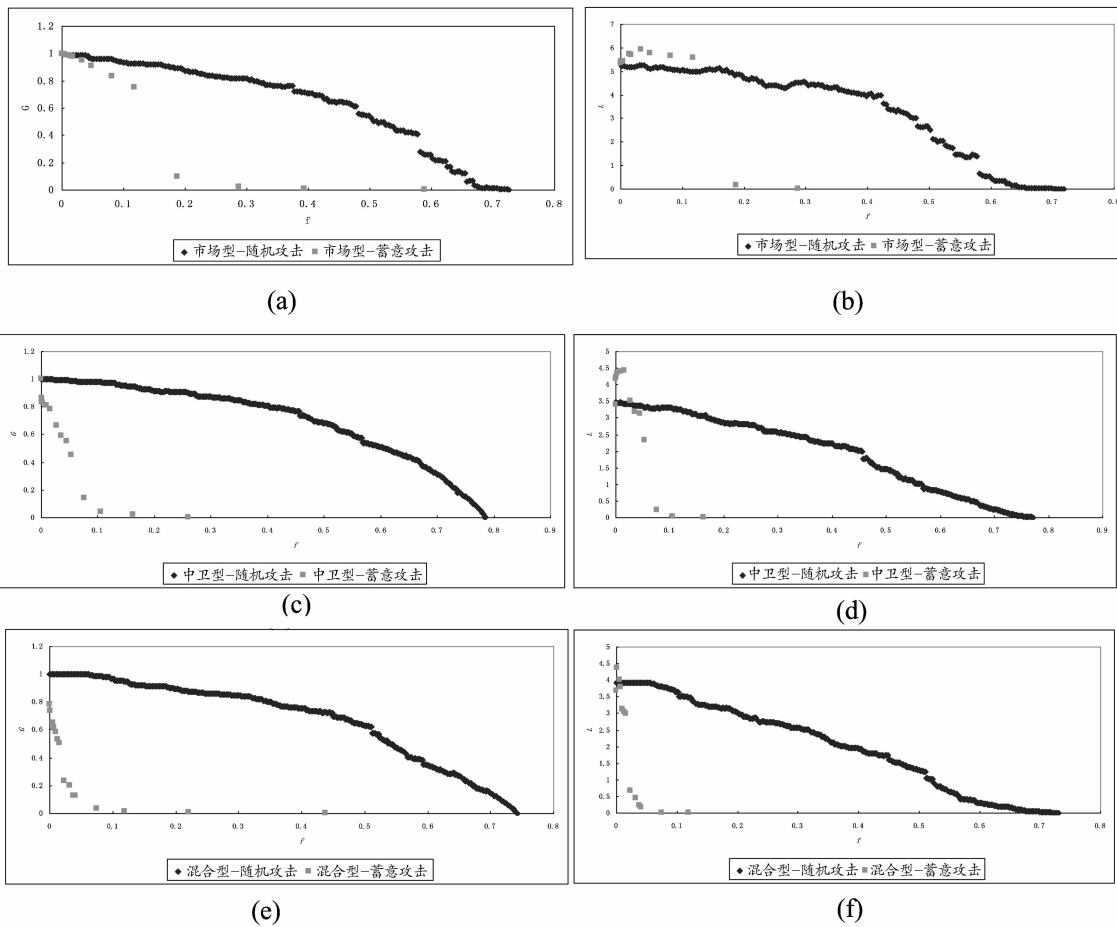


图3 MC-ER模型,CC-BA模型,IC-LN模型的鲁棒性和脆弱性

注:曲线(a)、(b)对应MC-ER模型,曲线(c)、(d)对应CC-BA模型,曲线(e)、(f)对应IC-LN模型;三角形对应蓄意攻击,方块对应随机攻击。资料来源:笔者绘制。

(一)最大连通子图相对值分析

最大连通子图相对值反映的是网络整体的连通性,连通子图变化速度的快慢可以在一定程度上反映模型受攻击后的鲁棒性。从图3最大连通子图三个图可以发现,在其他条件相同的情况下,三种模型演化过程及结果存在显著差异。

随机攻击的情况:MC-ER模型的最大连通子图数最先为零,其次是IC-LN模型,最后是CC-BA模型。由此得出,模型受到随机攻击时,三种模型的鲁棒性比较为:CC-BA模型 > IC-LN模型 > MC-ER模型。

蓄意攻击的情况:CC-BA模型的最大连通子图数最先为零,其次是IC-LN模型,最后是MC-ER模型。由此得出,模型受到蓄意攻击时,三种模型的

鲁棒性比较为:MC-ER模型 > IC-LN模型 > CC-BA模型。

(二)平均路径长度分析

平均路径长度反映的是网络连通效率,平均路径长度的长短变化可以在一定程度上反映模型受攻击后的鲁棒性。从图3平均路径长度的三个图可以发现,在其他条件相同的情况下,三种模型演化过程及结果存在显著差异。

随机攻击的情况:MC-ER模型的平均路径长度最先为零,其次是IC-LN模型,最后是CC-BA模型。由此得出,模型受到随机攻击时,三种模型的鲁棒性比较为:CC-BA模型 > IC-LN模型 > MC-ER模型。

蓄意攻击的情况:CC-BA模型的平均路径长度

在相对高的 f 后降为零,其次是IC-LN模型,最后是MC-ER模型;同时CC-BA模型的平均路径长度最先为零,其次是IC-LN模型,最后是MC-ER模型。由此得出,模型受到蓄意攻击时,三种模型的鲁棒性比较为:MC-ER模型>IC-LN模型>CC-BA模型。

(三) 集群风险与结构演化结果分析

1. 集群风险与结构演化

内生性风险以特定的方式作用于集群内微观企业个体,因此可以将蓄意攻击视为内生性风险的一种表现形式,譬如广东东莞最大的玩具厂商和俊集团的倒闭,对该地区玩具业集群造成的巨大冲击。外生性风险以随机的作用方式作用于集群内宏观企业总体,因此可以将随机攻击视为外生性风险的一种表现形式,譬如2008年金融危机对绍兴纺织业集群的整体威胁,导致大量企业倒闭。两种风险影响了集群内企业微观个体及网络关系的变动,从而导致集群网络结构的演化。在模型中,集群内企业微观个体的变动表现为对网络中结点的攻击,即最大连通子图相对值的变化;网络关系的变动表现为对网络中边的攻击,即平均最短路径的变化。

2. 集群风险鲁棒性比较

集群网络结构演化过程和结果的不同,导致集群风险鲁棒性具有显著差异。笔者根据最大连通子图相对值和平均路径长度的分析,认为当集群网络受到外生性风险(随机攻击)时,市场型集群对随机攻击具有高度的脆弱性,中卫型具有高度的鲁棒性,混合网络型介于两者之间,即三种集群的鲁棒性分布为:中卫型>混合网络型>市场型;当集群网络受到内生性风险(蓄意攻击)时,中卫型集群对蓄意攻击具有高度的脆弱性,市场型具有高度的鲁棒性,混合网络型介于两者之间,即三种集群的鲁棒性分布为:市场型>混合网络型>中卫型。

表6 集群对风险的鲁棒性比较

风险类型	集群类型		
	市场型	中卫型	混合网络型
内生性风险	强	弱	中
外生性风险	弱	强	中

资料来源:笔者整理。

3. 比较结果分析

(1)中卫型集群对随机攻击的高度鲁棒性,来自于网络中结点度分布的极端非均匀性,即少量结点的度相对较大,绝大多数结点度很小。当 f 较小时,随机选取攻击的结点都是度相对较小的结点,这些结点的去除对整个网络的连通性并不会产生较大的影响。然而,正是这种极端非均匀性使得中卫型集群对蓄意攻击具有高度的脆弱性,在攻击时逐步去

除网络中度最大的结点会对整个网络的连通性产生重大影响。(2)市场型集群对蓄意攻击的高度鲁棒性,来自于网络中结点度分布的高度均匀性,即绝大多数结点度的大小相同。在攻击时逐步去除网络中度最大的结点对整个网络的连通性几乎不产生影响。然而,正是这种高度的均匀性使得市场型集群对随机攻击具有相对脆弱性。(3)混合型集群对随机攻击和蓄意攻击的鲁棒性居中,来自于网络中结点以局域世界连接的特性以及度分布趋中,因此无论遭受哪种攻击,它的鲁棒性都处于其他两类集群中间。

五、结论

作为一个复杂网络系统,集群风险所导致的网络结构演化过程中的相互关系是极其复杂和多变的,因此从动态角度去定量分析集群网络结构的变动,以揭示三类集群整体的风险鲁棒性和脆弱性是理论上值得探讨的领域。笔者从复杂理论出发,构造了市场型、中卫型和混合网络型三种集群网络结构模型,采用度分布、平均路径长度、最大连通子图相对值三个指标,通过仿真模拟来定量研究在不同攻击策略下模型的动态演化,进而研究不同类型集群对风险的鲁棒性和脆弱性。笔者得出以下主要结论:(1)蓄意攻击可视为内生性风险的一种表现形式,随机攻击可视为外生性风险的一种表现形式。这两种风险影响了集群内企业个体及企业间的关系,从而导致集群网络结构的演化,然而演化过程和结果的不同,使得集群风险鲁棒性存在强弱分布。(2)集群网络受到外生性风险(随机攻击针对集群内所有企业)时,三种集群的鲁棒性分布为:中卫型>混合网络型>市场型。(3)集群网络受到内生性风险(蓄意攻击针对集群内焦点企业)时,三种集群的鲁棒性分布为:市场型>混合网络型>中卫型。

笔者的研究在理论上进行了有益的探索:(1)将复杂网络理论运用在集群网络结构的刻画中,在ER模型和BA模型的基础上加入局域世界演化模型,从而清晰地定义三种类型集群的内部网络构成关系,以此区分不同类型企业集群的网络结构,从而为社会网络理论在集群研究中的应用提供了全新的视角。(2)区分内生性风险和外生性风险两种类型不同的风险,进而将复杂网络理论中产生的网络故障的两种攻击策略(随机攻击和蓄意攻击)与集群风险有机结合,以此辨别两种集群风险的攻击实质。(3)运用动态的观点将集群风险的整个过程视为一个时间函数,得出网络结点企业与其他企业网络关系的断裂,是集群风险产生的根源,从而为定量描述集群风险奠定了基础。(4)笔者依据不同类型风险对集群内网络结构的影响,运用复杂网络模型,比较不同类型集群的风险鲁棒性和脆弱性,为集群风险研究

提供了理论借鉴。

笔者建立在理论推演下的模型与现实中的集群结构仍有较大差距,未来的研究主要可从以下三方面进行深入探讨:首先是理论模型的拓展和完善,不仅不同类型的风险对集群影响不同,即使相同风险对集群的影响也有差异,对于复杂网络而言,这种差异性可以表现为攻击强度。笔者仅仅考虑了不同类型的风险,如何改进模型反映不同攻击强度对三种集群类型的影响,这是一个需要进一步研究的问题。其次是研究对象问题,集群风险不仅影响企业本身,同时也影响企业之间的关系,在复杂网络理论中既可以反映在结点的变化上,也可以反映在边的连接上。一方面不同结点本身的负荷和容量不同,对风险的鲁棒性也不同;另一方面连接强度、连接方式和连接方向的不同对风险的表现也不一样。这种两者之间的变化对模型的影响也是一个需要进一步研究的问题。再次是实证研究问题,笔者仅仅是对理论模型进行了仿真实验,未来研究可以选择与三类集群相对应的实证案例作为研究对象,分析其网络结构,在此基础上做演化实验,并长期跟踪实际案例,以此进行对比分析的动态研究。

参考文献:

- [1] POWELL W W, KOPUT K W, SMITH D L. Interorganizational collaboration and the local of innovation-networks of learning in bio-technology[J]. *Administrative Science Quarterly*, 1996, 41: 116 - 145.
- [2] GORDON I, MCCANN P. Industrial clusters; Complexes, agglomeration and/or social networks[J]. *Urban Studies*, 2000, 37(3): 513 - 532.
- [3] UZZI B. Social structure and competition in inter firm networks: the paradox of Embeddedness[J]. *Administrative Science Quarterly*, 1997, 42: 35 - 67.
- [4] TICHY G. A sketch of a probabilistic modification of the product-cycle hypotheses to explain the problems of old industrial areas [C]. *England: England International Economic Restructuring and the Regional Community*, 1987.
- [5] 吴晓波. 区域集群的自稳性风险成因分析[J]. *经济地理*, 2003(6): 726 - 730.
- [6] 邓明然, 夏喆. 企业风险传导及其载体研究[J]. *财会通讯*, 2006(1): 20 - 22, 33.
- [7] CHILES T H, MEYER A D, HENCH T J. Organizational emergence: The origin and transformation of branson, missour's musical theaters[J]. *Organization Science*, 2004, 15(5): 499 - 519.
- [8] 谭劲松, 何铮. 集群自组织的复杂网络仿真研究[J]. *管理科学学报*, 2009(8): 1 - 14.
- [9] 吴结兵, 徐梦周. 网络密度与集群竞争优势: 集聚经济与集体学习的中介作用[J]. *管理世界*, 2008(8): 69 - 76.
- [10] MARKUSEN A. Sticky places in slippery space: A typology of industrial districts[J]. *Economic Geography*, 1996(3): 293 - 313.
- [11] PIORE M, SABEL C. The second industrial divide: Possibilities for prosperity [M]. *New York: Basic Books*, 1984.
- [12] SAXENIAN A. Regional advantage: Culture and competition in silicon valley and route 128 [M]. *Cambridge, MA, USA: Harvard University Press*, 1994.
- [13] FREEMAN C. The 'national system of innovation' in historical perspective[J]. *Cambridge Journal of Economics*, 1995, 19: 5 - 24.
- [14] LOZANO S, ARENAS A. A model to test how diversity affects resilience in regional innovation networks[J]. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2007, 10(48).
- [15] 朱瑞博. 模块化抗产业集群内生性风险的机理分析[J]. *中国工业经济*, 2004(5): 54 - 60.
- [16] LAZERSON M H, LORENZONI G. The firms that feed industrial districts: a return to the Italian source[J]. *Industrial and Corporate Change*, 1999, 8: 235 - 266.
- [17] 蔡宁, 杨闫柱, 吴结兵. 企业集群风险的研究: 一个基于网络的视角[J]. *中国工业经济*, 2003(4): 59 - 64.
- [18] HOLLAND J H, HIDDEN O. How adaptation builds complexity[M]. *New York: Perseus Books*, 1995.
- [19] NEWMAN M E J, STROGATZ S H, WATTS D J. Random graphs with arbitrary degree distributions and their applications[J]. *Phys. Rev. E*, 2001, 64: 026118.
- [20] BECATTINI G. The marshallian industrial district as a socio-economic notion [C]//*Industrial Districts and Inter-Firm Cooperation, Italy Geneva: International Institute for Labor Studies*, 1978.

Risk and Structure Evolving of Industry Cluster: A Computer Simulation from Complex Network Perspective

CAI Ning, HUANG Chun

(School of Public Administration, Zhejiang University, Hangzhou 310027, P. R. China)

Abstract: Clusters risk is the key factor in regional economic development. However, it's hard to study the evolution and risk of cluster network structure directly due to the dynamic of complexity of structure and research process. In this paper, we find the clusters network structure coupled with the complex networks model and build clusters structure model by the simulation method. Also, we portrait different kinds of clusters structure evolution processes based on two risk types by the three indices. The preliminary results indicate that: 1) Evolution processes and results differ significantly confronting different exogenous risks and endogenous risks, which lead to different risk robust. 2) Subject to exogenous risks, the distribution of risk robust is: Center - satellite Cluster > Integrate-based Cluster > Market-based Cluster; 3) Subject to endogenous risk, the distribution of risk robust is: Market-based Cluster > Integrate-based Cluster > Center - satellite Cluster.

Key words: clusters risk; network structure; structural evolution; complex networks; simulation model