

# 基于复杂网络理论的供应链网络研究综述\*

许乃如<sup>1</sup>,阮冰花<sup>1</sup>,刘家保<sup>2</sup>

(1.安徽文达信息工程学院 财经学院,合肥 231201;2.安徽新华学院 公共课教学部,合肥 230088)

**摘要:**本文介绍了供应链网络具有复杂网络特征的认识发现过程、供应链网络的复杂网络属性及其具体内涵、基于复杂网络理论的供应链建模技术拓展和重构、基于复杂网络理论的供应链网络行为和现象专题研究、相关实践应用研究,并对未来研究方向提出了建议。

**关键词:**复杂网络;复杂适应系统;供应链;供应链网络

**中图分类号:**F25 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-0598(2015)05-0036-08

## 引言

复杂网络是复杂性科学的研究对象,是有别于随机网络和规则网络的网络类型。复杂网络定义尚不统一,一般认为具有网络规模大、结构复杂、演化过程复杂、连接多样性、节点多样性、多重复杂性融合等特征。复杂适应系统(Kauffman,1993;Holland,2002)是复杂网络理论中的一个概念<sup>[1][2]</sup>,其核心思想是适应性,即系统主体能够与环境以及其他主体进行交互作用。主体在这种持续不断的交互作用中,不断地“学习”,并根据学到的经验改变自身的结构和行为方式,由此引起新层次的产生、分化和多样性的出现。复杂网络和复杂适应系统都具有复杂性特征,在本文中,复杂网络理论统指复杂网络和复杂适应系统。复杂网络理论在物理、生态、社会、经济、管理等各个领域有着广泛的运用<sup>[3]</sup>。

本文就复杂网络理论在物流与供应链管理领域的应用进行梳理分析。选取复杂网络、复杂适应系统、供应链、供应网络等关键词,利用 ProQuest 数

据库、SSCI、Springer LINK、Emerald 期刊全文数据库(管理学全集)、BSCO—BSC 期刊全文数据库以及中国知网数据库进行检索,得出部分关联性较强的论文,再选择其中关联性较强且有代表性的论文,对它们的参考文献和引证文献再梳理一遍,挑选出与主题关联性强的文献 57 篇,下面按研究内容分类进行分析。

## 一、对供应链网络具有复杂网络特征的认识

Choi(2001)首次将供应链网络视作复杂适应系统(CAS),介绍了从复杂适应系统的角度去管理供应网络的思路。CAS 的概念使人们把供应网络理解为一种生物系统,它与其所存在的动态竞争的环境共同演化并产生鲜明的演化模式。作者说明了供应网络中个体行为模式如何与网络中动态涌现有关,认为管理者进行供应网络管理时应该合理的平衡控制程度和涌现程度。但是他的这些观点属

\* [收稿日期]2015-04-21

[基金项目]安徽省高等学校省级优秀青年人才基金重点项目(2013SQRW090ZD);安徽省高等学校省级自然科学基金项目(KJ2013B105)

[作者简介]许乃如(1979—),男,安徽六安人;硕士,安徽文达信息工程学院讲师,主要从事物流与供应链管理研究。

于理论推测,没有给出这种推测下验证和归纳的具体框架<sup>[4]</sup>。

Surana 等(2005)系统而正式地将 CAS 理论运用于供应链网络情境问题研究,提出供应链中出现市场原子化和组织实体原子化趋势,以及在这些趋势下信息技术对于减少合作和协调成本,快速建立信息交流网络起着关键性作用,认为信息技术的出现使得供应链具有了像生物系统那样的复杂能力。然而,要设计这样的信息系统去处理供应链节点的信息需求以实现有效、灵活和分散的供应链管理是有难度的,一个主要的障碍就是缺少对于供应链的组织、功能和演化原理的理解。作者提出应该从 CAS 的角度来理解供应链网络,认为复杂适应系统与供应链网络有很多相似之处,为处理供应链网络中涌现动态现象提供了一套新颖有效的方法<sup>[5]</sup>。但是他们就供应网络是复杂适应系统也没有给出确凿的证据证明。

Christine, Wycisk 等(2008)根据 Kauffman (1993)和 Holland (2002)对 CAS 属性的定义,对供应网络和复杂适应系统在属性和行为两个方面的相似性进行归纳<sup>[6]</sup>。两者的属性相似之处包括智能体的异质性、互动性、自主性、学习能力,行为相似之处包括自组织、融化区(有序边界和混乱边界之间的区域)、协同演化。并认为仅根据以上相似性就判断供应网络是复杂适应系统是不够的,因为复杂适应系统最适合生物系统,供应网络通常只有部分属于生命——社会技术系统,大部分需要人工单元去管理非生命物流要素,物流系统不是百分之百的自组织,它们仍然依赖人的主观能动性,并且它们还依赖于人工设计的运营架构。目前,物流系统的自组织大部分都是人工分散决策。应用于物流系统新的概念和方法如自主物流流程(Freitag et al., 2004; Scholz-Reiter et al., 2004; Langer et al., 2006)<sup>[7][8][9]</sup>、分形企业(Warnecke, 1993)<sup>[10]</sup>、全能制造(Tharumarajah et al., 1996)<sup>[11]</sup>等,开始赋予设备和产品智能化,这些被称作智能单元。这些智能单元依赖于信息和通信技术如智能标签和 RFID,能开展非人工决策和解决问题,进而产生自组织协调。但是基于智能单元完全无人的自组织是不存在的。基于信息和通信技术的智能单元提高了包含物流系统在内的供应链网络自组织能力。

Edward J.S. Hearnshaw 等(2011)对已有的关于供应链网络属性的观点进行综合整理,将现实供应链网络属性映射到复杂网络模型中,从理论和现实相结合的角度上深入分析阐述了供应链网络的复杂网络属性,认为现实供应链网络类似无标度网络,具有短特征路径长度、高集聚系数、幂律连接分布特征<sup>[12]</sup>。至此,供应链网络的复杂网络特征有了清晰系统的论述。

国内学者叶笛(2011)讨论了将复杂网络理论引入供应链网络研究领域的重要性,剖析了供应链的复杂网络特征,认为可利用复杂网络理论深入分析供应链系统整体运行规律和宏观行为、供应链网络的特征以及供应链网络动态生长演化规律<sup>[13]</sup>。

上述学者的努力使得人们对于将复杂网络理论应用于供应链网络研究达成了共识。

## 二、基于复杂网络理论的供应链网络属性研究

供应链网络具有复杂网络一般性特征,又具有自身具体内涵。

### (一)连接以及连接权重遵循幂律分布,并呈现截短状态

对于核心企业存在下的供应链网络所有连接类型,其连接分布遵循幂律分布。城市物资供应网络(Christian Kuhnert, 2006)<sup>[14]</sup>、汽车产业的物流(Kim et al., 2011)<sup>[15]</sup>、商业通信系统的信息流(Wang et al., 2009)<sup>[16]</sup>、制药行业的合同关系(Baker et al., 2008; Goyal, 2007)<sup>[17][18]</sup>等这些不同的连接类型都表现出幂律分布。

供应链网络所有连接关系重要性呈幂律分布。许多真实网络表现出连接权重也遵循幂律分布(Onnela et al., 2007)<sup>[19]</sup>。供应链网络包括紧密耦合关系和松散耦合关系,紧密耦合关系属于关系重要性强的一种关系,松散耦合关系属于关系重要性弱的一种关系,并呈长尾状,二者的集合体现了幂律分布特点,即连接权重遵循幂律分布(Goyal, 2007)<sup>[18]</sup>。

供应链网络的幂律连接分布对于所有连接类型都是截短过的。含有一些老龄化公司的成熟供应链经过扩张期后拥有的公司数量相对固定,而在固定的节点数量下,只要连接保持动态,持续的增

加连接(Paperin et al., 2008)<sup>[20]</sup>或者持续重构连接(Xie et al., 2008),无标度网络也可以实现截短状态。公司的老化和贬值会限制所有连接类型的增长,从而使得连接分布表现出截短状态(Edward J.S. et al., 2011)<sup>[21]</sup>。

## (二) 适者愈富的增长机制

供应链网络表现出适者愈富的增长机制。偏好连接导致富者愈富的现象仅仅考虑节点的同质性,而供应链里的节点企业是异质性的,这表明直接套用偏好连接的模型是不符合供应链网络属性的。另外,偏好连接的增长机制没有考虑节点不持续增加的情况,而在供应链网络中,进入成熟期的供应链网络内企业节点数量相对稳定,所以说单纯的偏好链接的增长机制没法解释供应链系统的自组织过程。可以通过确定节点企业的适应性来解释这个问题。公司适应性是企业内外因素共同作用的结果(Simon, 1997)<sup>[22]</sup>,包含了不同适应度的企业节点会形成一个幂律连接分布,即无标度分布,而更高适应性的企业具有更大的连接机会,从而产生了适者愈富的增长机制(Bianconi and Baraba'si, 2001)<sup>[23]</sup>。

## (三) 短特征路径长度

特征路径长度是指任何随机选择的两个节点之间平均距离。供应链特征路径长度表示经过随机选择的两个公司之间的平均公司数量或层级。有效的供应链网络的连接类型通常呈现出短特征路径长度。信息流里面短特征路径长度表示供应链信息能够通过整个网络快速扩散和循环,使得物流和资金流更有效率。缩短特征路径长度可以增加网络的效率(Kajikawa et al., 2010)<sup>[24]</sup>。

## (四) 信息流的高集聚系数

供应链网络的信息流表现出高集聚系数。企业间横向关系可以提高信息分享水平和协调水平,比如交换价格和销售点信息。本田公司经常有意指导它的第一层供应商和第二层供应商建立交易关系,本田与他们就形成三角关系,这样可以增加供应链的集聚系数(Choi & Wu, 2009)<sup>[25]</sup>。分散协调机制是系统范围协调的一条途径,这也有助于提高集聚系数。丰田公司供应链就是分散协调的例子,大量的公司能够自组织他们的交易关系而较少

需要丰田的指导。这种自组织是显著的,即很少正式的合同存在(Brintrup et al., 2011)<sup>[26]</sup>。

## (五) 鲁棒性

关于鲁棒性特征研究包括三个方面:影响鲁棒性因素及其影响过程;鲁棒性改善技术及其改善过程;鲁棒性和其他属性之间的关系。刘小峰、陈国华(2007)在给出基于复杂供应链网络的稳定鲁棒性和性能鲁棒性的基础上,采用多智能体建模方法设计了供应链网络结构,实际模拟了供应链的结构变化过程,分析了该供应链网络在受到不同干扰(随机/有意)以及有无局部联盟的情形下,稳定鲁棒性和性能鲁棒性表现<sup>[27]</sup>;李靖、张永安(2011)利用复杂网络理论建立物流网络表示方法与分析手段之间相互联系的桥梁,考察局部互动关系及程度与物流网络鲁棒性和适应性之间的关系,分析物流网络的内部协调机制以及局部互动与全局演化之间的关系<sup>[28]</sup>;CHEN Hui-huang(2012)对复杂供应链网络抗毁性进行建模,对随机故障和蓄意攻击两种情况脆弱性进行仿真,并设计算法,得出供应链网络具有无标度特征,使得对随机故障具有强的抗毁性,对供应链网络中重要节点如核心企业节点进行破坏会对整个供应链产生极大的破坏,因此,针对核心企业要做好应急计划,同时核心企业要选择多个供应商节点,因为原材料供应商的波动不仅影响到核心企业,还影响到供应链网络中其他企业,进而影响到供应链网络绩效,造成整个供应链网络效率的降低,甚至瘫痪<sup>[29]</sup>;张怡、熊杰、冯春(2012)采用复杂网络理论构建了带有可调参数的供应链网络演化模型,通过调整模型中的参数,改变网络的演化机制,达到改善供应链网络鲁棒性的目的<sup>[30]</sup>。

## (六) 社团性

横向连接的存在是社团的本质属性。供应链网络由于信息流而表现出边界重叠的社团性,这种社团性有助于横向信息流以及创新的扩散。位于同一或相邻的地区或者产业间的社团更易互动而产生连接,他们有着共同的特定供应商,这些供应商可以表现出社团内的连接,整体网络具有明显的社团性(Danon et al., 2008)<sup>[31]</sup>。

### 三、基于复杂网络理论的供应链网络建模技术拓展和重构

单纯利用传统的复杂网络理论研究中所使用的涉及非线性动力学、统计物理学、社会网络分析方法等方面的概念、工具、方法去建模,难以完全捕

捉供应链网络属性,现有的研究文献把它们和传统建模中的数学分析和仿真方法相结合,实现对供应链网络建模技术的拓展和重构。我们对这方面文献进行梳理,从重构的背景、方法、应用情境、结论、评价等方面进行列表说明(表 1),展现了一些典型的做法。

表 1 基于复杂网络理论的供应链建模技术重构实例

来源	重构背景	重构方法	应用情境	结论	评价
范旭、马军海、修妍(2006) <sup>[32]</sup>	供应链中产品供应过程和需求传递过程存在不确定性。	利用复杂网络理论和分形理论构造了一个可能的供应链网络。	用于分析供应链中不确定性的传播机制与控制方法。	缩短交货提前期,加强信息交流能有效地提高核心企业应对不确定性的能力。	利用网络传播动力学对不确定性的传播规模分布以及概率有待进一步研究。
郭进利(2006) <sup>[33]</sup>	对由公司的供应看作入边,销售看作出边而构成的有向复杂网络拓扑结构研究还不清楚。	利用更新过程理论对供应链有向网络进行分析。	连续时间增加的供应链有向网络。	网络节点的稳态分布不存在,但是网络的稳态平均度分布具有双向幂律性。	对新增入边和出边数呈 Bernoulli 分布特征与现实供应链是否一致没有展开论证。
朱冰心、胡一竑(2007) <sup>[34]</sup>	如何设计和管理供应链,使得在危机情况下快速恢复正常状态,减少损失。	通过定义网络效率和节点重要性指数来判断节点受到破坏对网络效率的影响。	供应链应急管理	通过识别和重点保护关键节点来对供应链网络进行防护。	从单独节点和网络效率关系来看供应链应急管理,视角新颖。
于海生、赵林度、来向红(2009) <sup>[35]</sup>	将企业间的交易量作为连接权重来反映连接的重要程度。	优先连接的概率依据于随机函数和节点最短路径的线性组合。	可用于考察考虑企业理性、交易量、交易成本和环境等因素下的供应链网络演化情况。	度分布和点强度分布为幂率分布,交易成本影响供应链网络模型的集聚系数。	为深入研究供应链网络弹性提供了理论基础。
SURYA D.PATHAK 等(2009) <sup>[36]</sup>	分析和理解供应链网络结构演化和供应商数量涌现机制。	多元统计和时间序列分析相结合应用,来确定网络演化的类型。	为决策者在面临供应链网络变化时该如何应对提供参考价值。	供应链网络演化的环境类型是决定结构变化的关键;揭示了供应链网络演化的路径依赖。	该研究方法可以进一步用于分析产业之间和供应网络之间状况,还可以开展有效性实证研究。
徐兴、李仁旺、吴新丽、刘海霞(2011) <sup>[37]</sup>	对复杂供应链网络的拓扑结构和演化过程中稳健性的专门研究。	基于网络质量控制的复杂供应链网络结构管理方法。	为增强供应链网络稳健性提供了参考。	从网络质量控制的角度阐释了网络中枢节点和稳健性供应链网络。揭示了网络在增长过程中的动态稳健性和脆弱性。	将网络质量控制的原理初次引入到复杂供应链网络管理中,作为网络稳健性分析的开端和基础。

续表

来源	重构背景	重构方法	应用情境	结论	评价
柳虹、周根贵、傅培华(2013) <sup>[38]</sup>	节点之间的联系只发生在层与层之间,不发生跨层连接,同层节点间的连接表示竞争关系。	以节点多属性参数组合作为优先连接的依据,建立一个分层加权供应链网络模型。	分层供应链网络	该模型具有无标度特性,而且具有较大的集聚系数及较小的平均路径长度,表明了它具有小世界效应。	不发生跨层连接是一种简化假设,今后可以考虑发生跨层连接的情况。
李广、赵道致(2012) <sup>[39]</sup>	考虑供应链网络中企业节点增加和脱离情况下节点连接度的分布特征。	对 BA 模型的生成规则进行修正。	通过改善核心厂商的连接通道来提升供应链系统整体价值。	节点连接度的概率分布服从参数为 $y$ ( $1 < y \leq 2$ ) 的幂率分布。	可进一步研究供应链网络中流量分布特点及其规模的关键影响因素。
王道平、沈睿芳、和志强(2013) <sup>[40]</sup>	知识服务供应链中节点企业如何选择链接关系才能提高整个网络服务效率。	构建了基于知识相关度的改进型 BA 无标度敏捷供应链知识服务网络。	适用于知识服务领域供应链分析。	模型既考虑了网络中已知节点的度又考虑了节点之间核心知识相关度,提高了知识服务的效率。	缺少对实际的敏捷供应链知识服务网络进行实证研究。
傅培华、李进、刘燕楚(2013) <sup>[41]</sup>	以往研究对供应链网络的高集聚性关注不够。	基于度与路径优先连接的集聚型供应链网络演化模型。	集聚型供应链网络	该模型不仅能够反映集聚型供应链网络的无标度性,还能真实刻画其高集聚性特征。	弥补了优先连接仅依赖于节点度值的不足。

通过上表分析可以看出,建模技术的重构方法取决于所要研究的问题,或者和其他理论方法相结合,或者对复杂网络模型中的参数进行改造以满足研究问题的背景条件。这些重构模型虽然不全是完善,但是为供应链网络研究提供了新的思路。

#### 四、基于复杂网络理论的供应链网络行为、现象专题研究

##### (一) 外包

C. S. Langdon 等(2005)从复杂适应系统角度探讨了供应链动态外包和专业化战略问题。基本思想是运用交易成本理论说明信息技术投资可以刺激公司追求专业化战略以降低成本,把边缘业务拆分和外包出去并集中于核心竞争力。互联网技术为通讯联系提供了便利,可用于支持专业化战略和外包。当专业化的公司享受低的生产成本时,他们会更加依赖于市场状况及其交互作用。这种依赖性把专业化的企业置于市场失败和垂直交易障碍

的风险中。这些反过来又导致交易成本的增加。从建模角度的复杂性来看,产业结构和交易成本可以看作内生变量,从而把这个问题定义为复杂适应系统。作者以公司为分析单元,运用交易成本理论和非合作博弈理论结合前述的反馈原理,建立一种基于复杂适应系统的供应链外包协调研究模型<sup>[42]</sup>。

##### (二) 合作

对供应链网络企业合作行为研究多采用复杂网络动态博弈理论。张昕瑞、王恒山(2013)对复杂供应链网络中单供应链网络间存在的基于价值增值的动态合作联盟博弈问题进行了分析,在此基础上分析了复杂供应链网络中基于价值增值的单供应链网络之间动态合作联盟的形成条件,并对联盟利益分配进行了进一步思考<sup>[43]</sup>;丁青艳(2012)结合供应链网络生长的非均匀性增长特征,以企业个体选择行为和企业间交易成本作为演化的驱动因素,建立了供应链网络对等型企业间合作演化模型和非对等型企业间合作演化模型和复杂网络结构

下供应链企业间的动态均衡合作模型<sup>[44]</sup>。

### (三) 优化

Marco Laumanns(2006)等把供应链网络看成一个物料在其中动态流动的过程,每一个节点看成一个变换器,物流通过某个节点的时候发生变化,可以用一阶微分方程模拟,然后用鲁棒最优控制方法实现供应链的最优化目标<sup>[45]</sup>;贺磊(2012)对不确定条件下出现的运营效率降低问题,提出了新的网络效率计算方法,可以一定程度上模拟出个别企业出现问题时,对于整个网络的影响。根据不同企业对于网络整体效率的影响不同,计算网络效率的变化值,作为衡量供应链中节点重要性指数的判断依据,通过诊断并改善影响网络效率的弱项节点企业来提高整个供应链的网络效率<sup>[46]</sup>。

### (四) 牛鞭效应

Dirk Helbing(2006)研究发现供应链管理中的牛鞭效应,即信息放大效应和供应链网络拓扑结构性质有关。好的供应链结构可以减弱牛鞭效应,同时增加稳定性和抗攻击性<sup>[47]</sup>。

### (五) 级联效应

闫妍、刘晓、庄新田(2010)针对供应链网络中的级联效应问题,建立了系统化检测级联效应方法,提出供应链网络中重要性节点的界定规则,并给出动态的节点重要性评价方法,进而计算出最大连通子图规模,衡量了该节点失效对整个供应链造成的破坏性<sup>[48]</sup>。

### (六) 供应链风险管理

供应链风险研究包括三个方面:风险来源、风险预防策略、应对风险事件策略。李彬、季建华、陈娟、孟翠翠(2012)分析了供应链网络的复杂网络相关特性,揭示了供应链网络脆弱性的产生机理,基于复杂网络视角,研究了供应链网络脆弱性的预防策略,并运用牵制控制和弱连接理论研究了供应链网络发生中断或者发生突发事件后的应对策略<sup>[49]</sup>;Yi Cong-qin(2012)等通过复杂供应链网络建模演化揭示出供应链风险来源,由节点企业和外部环境间的内生动力驱动的内生风险引起的外部风险,通过鉴别出供应链网络中关键节点,并增强关键节点的业务联系和网络弹性来提高供应链网络抵抗风险的能力<sup>[50]</sup>;王文利、薛耀文(2009)针对企业的信息共享能提高供应链的绩效,但也面临着处于其他链上合作企业泄露信息以实现利益最大化的风险,用带记忆的遗传算法对动态博弈下各节点企业 Agent 行为进行建模,通过 Repast 仿真证明小世界网络中企业学习的

效率要高于规则网络和随机网络<sup>[51]</sup>。

## 五、实践应用研究

李守伟等(2006)在对我国产业网络的复杂性研究中提出我国的半导体产业供应链网络具有无标度的特性<sup>[52]</sup>;宋思颖(2010)通过应用复杂网络理论对成品油供应链网络整体拓扑特性研究,发现现实供应链网络模型并不能严格符合任何一个现有的网络理论模型,并设计加权网络指标识别出整个网络中最重要的节点所在的供应链级别及分布地点<sup>[53]</sup>;舒波(2010)提出了旅游服务供应链的复杂网络特征:有向图,节点随机增长但具有非对称性,遵循择优选择机制以及局域性<sup>[54]</sup>。

## 六、研究展望

从近年来发表的文献数量到研究课题的立项来看,复杂网络理论正在成为研究热点,也引起物流与供应链管理领域研究人员的极大兴趣。通过前文分析,我们认为以下几点是未来可以进一步深入研究的地方:

(1)从属性角度看,复杂网络理论是否充分反映了供应链网络的各种属性,有哪些属性没有准确地把握,有没有新的属性有待挖掘?

(2)从研究方法上看,复杂网络理论研究方法多来自于图论、统计物流学、社会网络分析方法,如何将传统供应链分析方法如运筹学、博弈论等工具相结合进而构建更为精确的分析框架?

(3)智能技术进步、经济网络化发展、产业结构转化升级等赋予供应链网络越来越显著的复杂网络特征。如何利用复杂网络理论进一步挖掘供应链网络里面的潜在规律和特点,以帮助改善供应链管理?

(4)如何将复杂网络理论与供应链管理领域具体实际问题联系起来,增强实用性?如物流网络规划与设计、供应商管理、客户关系管理、供应链集成与管理等。

### [参考文献]

- [1] Auffman S A. The Origins of Order: Self-organization and Selection in Evolution [M]. New York: Oxford University Press, 1993.
- [2] Holland J H. "Complex adaptive systems and spontaneous emergence" in Curzio A Q and Fortis M (Eds), Complexity and Industrial Clusters [J]. Physica, Heidel-

- berg,2002:25-34.
- [3] 何大韧,刘宗华,汪秉宏.复杂系统与复杂网络[M].北京:高等教育出版社,2009:8-29.
- [4] Choi T Y, Dooley K J, Rungtusanatham M. Supply networks and complex adaptive systems: control versus emergence[J]. *Journal of Operations Management*, 2001, 19(3):351-66.
- [5] Surana A, Wkumara S, Greaves M, Raghavanu N. Supply chain networks: a complex adaptive systems perspective [J]. *International Journal of Production Research*, 2005, 43(20):4235-4265.
- [6] Christine Wycisk, Bill Mckelvey, Michael Hu' Lsmann. "Smart parts" supply networks as complex adaptive systems: analysis and implications[J]. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2008, 38(2): 108-125
- [7] Freitag M, Herzog O, Scholz-reiter B. Selbststeuerung Logistischer Prozesse -Ein Paradigmenwechsel and seine Grenzen[J]. *Industrie Management*, 2004, 20(1):23-7.
- [8] Scholz-reiter B, Windt K, Freitag M. "Autonomous logistic processes: new demands and first approaches", in Monostori, L. (Eds.), *Proceedings of the 37th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*[C]. Budapest, 2004:357-362.
- [9] Langer H, Gehrke J D, Hammer J, Lorenz M, TIMM I J, HERZOG O. A framework for distributed knowledge management in autonomous logistic processes[J]. *International Journal of Knowledge-Based & Intelligent Engineering Systems*, 2006, (10)4:277-290.
- [10] Warnecke H. *The Fractal Company: A Revolution in Corporate Culture*[M]. Springer, Berlin, 1993.
- [11] Tharumarajah A, Wells A, Nemes L. Comparison of the bionic, fractal and holonic manufacturing system concepts [J]. *International Journal of Computer Einteegrated Manufacturing*, 1996, 9(3):217-226.
- [12] Edward J S, Hearnshaw W, Mark M J. Wilson. A complex network approach to supply chain network theory[J]. *International Journal of Operations & Production Management*, 2013, 33(4):442-469.
- [13] 叶笛.基于复杂网络视角的供应链网络研究[J]. *现代管理学*, 2011(8):111-113.
- [14] Christian Kuhnert, Dirk Helbing. Scaling laws in urban supply networks [J]. *Physica A*, 2006, 363(1).
- [15] Kim Y, Choi T Y, Yan T, Dooley K. Structural investigation of supply networks: a social network analysis approach[J]. *Journal of Operations Management*, 2011, 29(3):194-211.
- [16] Wang J, De Wilde P, Wang H. Topological analysis of a two coupled evolving networks model for business systems [J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(5):9548-56.
- [17] Baker G, Gibbons R, Murrhy K J. Strategic Alliances: Bridges Between Islands of Conscious Power[J]. *Journal of the Japanese and International Economics*, 2008, (22)2:146-163.
- [18] Goyal S. *Connections: An Introduction to the Economics of Networks*[M]. Princeton University Press, Princeton, NJ. 2007.
- [19] Oonncla J P, Sarama' Ki J, Hyvo' Nen J, Szabo' G, Lazer D, Wkaski K, Wkerte' SZ J, Baraba' si A L. Structure and tie strengths in mobile communication networks[C]. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 2007, 104(18):7332-7336.
- [20] Paperin G, Green D G, Leishman T G. "Dual phase evolution and self-organisation in networks" in Li X, WKirley M, Zhang M, Green D G, Ciesielski V, Abbass H, Michalewicz Z, Hendtlass T, Deb K, Tan K C, Branke J, Shi Y. (Eds), *Proceedings of 7th International Conference on Simulated Evolution and Learning, Lecture Notes on Computer Science* [C]. Springer, Berlin, 2008, 5361:575-84.
- [21] Xie Y B, Zhou T, Wang B H. Scale-free networks without growth[J]. *Physica A*, 2008, 387(7):1683-1688.
- [22] Simon H A. *An Empirically Based Microeconomics*[M]. Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- [23] Bianconi G, Baraba' si A L. Competition and multiscaling in evolving networks [J]. *Europhysics Letters*, 2001, 54(4):436-442.
- [24] Kajikawa Y, Takeda Y, Sakata I, Matsushima K. Multiscale analysis of interfirm networks in regional clusters [J]. *Technovation*, 2010, 30:168-80.
- [25] Choi T Y, Wu Z. Taking the leap from dyads and triads: buyer-supplier relationships in supply networks [J]. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 2009, 15(4):263-266.
- [26] Brintrup A, Wkito T, New S, Reed-tsochas F. From transaction cost economics to food webs: a multidisciplinary discussion on the length of supply chains[C]. *Proceedings of the 18th EurOMA Conference*, Cambridge, 2011(7).
- [27] 刘小峰, 陈国华. 基于复杂网络的供应链鲁棒性分析[J]. *东南大学学报:自然科学版*, 2007, 37(增刊2):237-242.
- [28] 李靖, 张永安. 复杂网络理论在物流网络研究中的应用[J]. *中国流通经济*, 2011, 5:38-41.
- [29] Hui-Huang Chen, Ai-Min Lin. Complex Network Charac-

- teristics and Invulnerability Simulating Analysis of Supply Chain[J]. Journal of Networks, 2012, 7 (3): 591-597.
- [30] 张怡,熊杰,冯春.基于复杂网络的供应链网络鲁棒性分析[J].计算机仿真,2012,29(11):370-373.
- [31] Danon L, Arenas A, Di'az-guilera A. Impact of community structure on information transfer[J]. Physical Review E, 2008, 77 (3): 036103.
- [32] 范旭.复杂供应链网络中的不确定性分析[J].复杂系统与复杂性科学,2006,3(3):20-25.
- [33] 郭进利.供应链型网络中双幂律分布模型[J].物理学报,2006,55(8):3916-3921.
- [34] 朱冰心,胡一斌.基于复杂网络理论的供应链应急管理研究[J].物流技术,2007,26(11):147-150.
- [35] 于海生,赵林度,来向红.基于交易量的供应链网络演化模型演技[J].管理学报,2009,6(2):187-191.
- [36] Pathak S D, Dilts D M, Mahadevan S. Investigating population and topological evolution in a complex adaptive supply network [J]. Journal of Supply Chain Management, 2009, 45(3): 54-67.
- [37] 徐兴,李仁旺,吴新丽,刘海霞.基于网络质量控制的复杂供应链网络稳健性研究[J].中国机械工程,2012,23(8):941-946.
- [38] 柳虹,周根贵,傅培华.分层供应链复杂网络局部演化模型研究[J].计算机科学,2013,40(2):270-273.
- [39] 李广,赵道致.供应链网络的无标度特性研究[J].工业工程,2012,15(1):28-32.
- [40] 王道平,沈睿芳,和志强.敏捷供应链知识服务网络建模研究[J].2013,22(3):420-424.
- [41] 傅培华,李进,刘燕楚.基于度与路径优先连接的集聚型供应链网络演化模型[J].运筹与管理,2013,22(1):120-125.
- [42] Langdon C S, Sikora R T. Conceptualization co-ordination and competition in supply chain as complex adaptive system[J]. Information systems and business management, 2006, 4(1): 71-81.
- [43] 张昕瑞,王恒山.基于价值增值的复杂供应链网络动态合作联盟研究[J].工业技术经济,2013,2:56-60.
- [44] 丁青艳.复杂网络结构下供应链企业间合作关系研究[D].北京:北京交通大学,2012.
- [45] Marco Laumanns, Erjen Lefeber. Robust optimal control of material flows in demand- driven supply networks [J]. Physica A, 2006, 363(1): 24-31.
- [46] 贺磊.基于复杂网络的供应链建模与网络效率研究[D].上海:东华大学,2012.
- [47] Dirk Helbing. Information and material flows in complex networks [J]. Physica A, 2006, 363(1): xi-xvi.
- [48] 闫妍,刘晓,庄新田.基于复杂网络理论的供应链级联效应检测方法[J].上海交通大学学报,2010,44(3):322-331.
- [49] 李彬,李建华,陈娟,孟翠翠.基于复杂网络视角的供应链脆弱性预防和应对策略[J].上海管理科学,2012,34(3):53-56.
- [50] Yi Cong-qin, Meng Shao-dong, Zhang da-min. Studies on the Supply Chain Risk Management Using Complex Network [C]. Z. Zhang et al. (eds.), LISS 2012: Proceedings of 2nd International Conference on Logistics, Informatics and Service Science, DOI 10.1007/978-3-642-32054-5\_27, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
- [51] 王文利,薛耀文.供应链复杂网络企业间信息共享风险的仿真[J].系统仿真学报,2009,21(19):6276-6279.
- [52] 李守伟,钱省三.产业网络的复杂性研究与实证[J].科学学研究,2006,24(4):529-533.
- [53] 宋思颖.基于复杂网络理论的成品油供应链加权网络实证研究[J].技术与市场,2010,1717(4):36-40.
- [54] 舒波.国内外旅游服务供应链及复杂网络相关研究综述与启示[J].旅游科学,2010,24(6):72-83.

(责任编辑:朱德东)

## A Literature Review on Supply Chain Network Research Based on Complex Network Theory

XU Nai-ru<sup>1</sup>, RUAN Bing-hua<sup>1</sup>, LIU Jia-bao<sup>2</sup>

(1. Finance & Economics College, Anhui Wonder University of Information Engineering, Hefei 231201, China;

2. Public Course Department, Anhui Xinhua University, Hefei 230088, China)

**Abstract:** This paper introduces the progress that people recognize the supply chain network possesses complex network characteristics, complex network properties of supply chain network and particular connotations, expansion and reconfiguration of supply chain modeling techniques based on complex network theory, monographic research on behaviors and phenomena on supply chain network based on complex network theory, relevant practical application research. Finally, the paper proposes suggestions on future research.

**Key words:** complex network; complex adaptive systems; supply chain; supply chain network