

复杂网络理论在银行系统中的应用研究进展

黄飞鸣[†]

(1. 江西财经大学 金融学院, 南昌 330013; 2. 江西财经大学 金融发展与风险防范研究中心, 南昌 330013)

摘要: 在现代经济中, 银行间的业务往来关系形成了错综复杂的网络系统, 基于复杂网络理论来研究银行系统的问题已成为一个研究热点. 对此, 通过系统地梳理研究文献, 分别从复杂网络理论在银行网络结构特征、银行系统风险传染、银行系统性风险评估和银行系统稳健性等方面的应用研究进展进行述评, 并指出在银行系统中应用复杂网络理论需要进一步探究的方向.

关键词: 复杂网络理论; 银行系统; 银行网络结构; 系统性风险; 银行系统稳健性; 研究进展

中图分类号: O231.5

文献标志码: A

Research of progress in application of complex network theory in bank system

HUANG Fei-ming[†]

(1. School of Finance, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China; 2. Research Center of Financial Development and Risk Prevention, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China)

Abstract: In the modern economy, the inter-bank business relationship forms a complicated network system. It has become a hotspot that studies the problem of banking system based on the complex network theory in recent years. This paper sorts out the research progress of research literature, and reviews the research progress of this theory on the characteristics of banking network structure, the risk infection of banking system, the systematic risk assessment of banking system and the robustness of banking system. Finally, the paper points out the direction of further exploration for the application of the complex network theory in the banking system.

Keywords: complex network theory; bank system; banking network structure; systematic risk; banking system robustness; research progress

0 引言

复杂网络理论(Complex networks theory)强调系统的结构并从结构角度分析系统的功能, 现已成为一套研究复杂系统的有效方法. 它将复杂系统内的元素视为节点、元素间的相互关系抽象为连边从而形成的复杂网络^[1]. Erdős和Rényi^[2]的随机图给出了一种完全随机的网络结构(ER). 此后40余年, ER随机网络模型一直是研究复杂网络结构的基石, 直到Watts等^[3]提出了小世界网络、Barabási等^[4]提出了无标度网络. 此后, 复杂网络理论得到了快速发展, 已广泛地应用于许多学科及跨学科领域中各种实际问题的解决.

在现代经济中, 规模大小不一的银行之间通过同业拆借、支付清算、贴现、承兑和担保等往来业务建立了纷繁复杂的关系, 构成相互联系与相互依存的网络系统. 在这个复杂的网络系统中, 各家银行成为网络的节点, 不同节点银行之间连接成边. 随着经济全球化的进展, 加之各种各样的金融创新活动和衍生工具使得现代银行网络更加复杂化, 且这种网络结构随着银行系统的演化而渐变^[5]. 由于传统的经济学方法在分析系统内部结构方面乏力, 而复杂网络理论的方法则为研究银行系统的结构问题和稳健性问题开启了新的视角, 已成为近年金融稳定研究领域非常重要的前沿课题和新兴的研究热点. 对于银行复杂网络,

收稿日期: 2017-08-26; 修回日期: 2018-03-13.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71263017); 江西省高校人文社科重点研究基地项目(JD16055); 江西省教育厅科技项目(GJJ150469); 江西省社科规划项目(15YJ27); 江西省学位与研究生教育教学改革研究项目(JXYJG-2015-069).

责任编辑: 王光臣.

作者简介: 黄飞鸣(1973—), 男, 教授, 博士生导师, 从事货币经济学、金融风险管理等研究.

[†]通讯作者. E-mail: huangfeiming@jxufe.edu.cn.

利用网络理论研究方法,可以获得银行间的网络结构以及网络从整体上显示的特性和功能等信息。

已有的研究表明,银行间的网络结构具有典型的复杂网络结构特征,而且银行的风险传染与银行的网络拓扑结构密切相关,加之银行系统是现代金融体系的核心部分,因此,基于复杂网络理论探析我国银行间的网络关系、网络拓扑结构的基本特征以及不同网络拓扑结构下外部冲击对银行系统性风险和系统稳定性的影响,对于监管当局建立有效的银行系统性风险防范机制,维护银行系统稳定性具有积极的现实意义。

目前,将复杂网络理论应用于银行系统主要是针对银行网络结构特征、银行系统的风险传染和银行系统性风险评估进行研究. 本文将着重对其在银行系统的应用进行文献的梳理和评述。

1 基于复杂网络理论对银行网络结构特征的研究

近年来,基于 Eisenberg 等^[6]提出的衡量金融传染损失大小的违约算法, Boss 等^[7]、Inaoka 等^[8]、Harrison 等^[9]、van Lelyveld 等^[10]分别对奥地利、荷兰、英国和日本等国的银行网络结构做了实证研究,结果表明,现有的银行网络结构具有复杂网络结构特征. 随着研究的深入,逐渐发现了真实世界中银行间网络的一些普遍特征:小世界特征和无标度特征. 在 Barabási 等^[4]指出现实世界的网络是“无标度”的之后, Inaoka 等^[8]的研究表明,银行网络是一种典型的无标度网络. Boss 等^[7]研究发现,奥地利的银行网络具有小世界网络的特征,以及网络的度(包括入度、出度)都服从双幂律(Two-power-law)分布,从而为 Watts 等^[3]的小世界网络模型提供了一个佐证. Iori 等^[5]对意大利的银行网络结构与 Cajueiro 等^[11]对巴西银行网络结构的研究结论与 Boss 等^[7]的研究结论类似。

银行间网络是服从幂律指数的无标度网络,即大多数银行只与较少的银行交易,只有少数大型银行拥有较大的网络连接. 但是,学者们对银行间无标度网络研究得出的幂律指数存在差异. Goh 等^[12]提出了一种构建无标度网络的方法,并指出其度分布服从指数为 γ 的幂律分布,幂律指数 γ 的变化范围为 $[2, +\infty)$. Boss 等^[7]对奥地利银行间风险敞口网络的研究表明,其节点度分布服从指数为 -1.87 的幂律分布,整个网络的平均路径和聚集系数均较小. Soramäki 等^[13]研究表明:美国银行业的支付网络较为稀疏,具有较低的平均路径水平和连接度的无标度网络特征;并发现美国的银行间债务网络的节点

出度和入度都服从幂律分布,且幂律指数分别为2.11和2.15. Edson 等^[14]研究发现,巴西银行间债务网络中的节点出度和入度也服从幂律分布,平均来看节点服从幂律分布的幂律指数分别为2.84和2.46。

Bech 等^[15]研究指出:美国联邦基金市场网络具有小世界网络的特征;但是网络节点度的分布并非幂律分布,而是一种肥尾分布. Martinez 等^[16]对墨西哥的银行间资金网络的研究发现,其特征体现了小世界网络的半随机性. Mistrulli^[17]研究发现,欧洲银行间隔夜拆借市场的网络非常稀疏,节点度的分布服从幂律分布,具有小世界网络特征. 此外, Lazzetta 等^[18]对意大利银行同业存款市场网络、Cont 等^[19]对巴西金融机构网络以及 Craig 等^[20]对德国银行间市场网络的研究均表明,网络具有高度中心化且相对稀疏的特征,处于网络的中心位置的大银行拥有较大的度数,节点的度较小的银行倾向于与节点度较大的银行相连。

2 基于复杂网络模型对银行系统的风险传染问题的探讨

银行系统的风险传染存在直接和间接两种机制. 间接传染机制是基于公众信心的金融恐慌自致的非接触式传染,如著名的 Diamond 和 Dybvig^[21]的银行挤兑模型揭示的恐慌情绪机制. 直接传染机制则是建立在交易、清算、债权债务以及持股关系基础上的接触式传染. 如 Kiyotaki 等^[22]提出的债务链违约模型:当一家银行遭到存款者的挤兑而破产时,恐慌的情绪很可能使得挤兑蔓延到整个银行系统,从而使那些本来具有偿付能力的银行也可能破产. 目前,银行间大额支付系统因其使用的广泛性有可能成为流动性风险在银行间扩散的重要渠道. Bech 等^[23]分析了支付链式传导机制可能产生的银行间支付系统堵塞现象(gridlocks),即时支付结算系统中可能出现大量支付延迟,流动性匮乏. 在接触式的直接传染中,银行网络的拓扑结构特征对风险传染至关重要,节点连接越紧密、越类聚,平均路径较短的网络往往风险传染的更快、更强. Müller^[24]研究认为,银行系统的网络结构在风险传染中起到了很大作用,若忽视网络结构,则会造成银行风险的错误分析或银行体系风险传染效应的低估. Turner 等^[25]通过研究对比了几种网络结构下的银行间的危机传染发现,危机传播严重依赖于网络的拓扑结构。

最早提出银行间的危机传染与网络结构有关的是 Allen 等^[26]和 Freixas 等^[27]. Allen 等^[26]基于 DD 银行挤兑模型研究了流动性冲击对银行间存款市场网

络的金融传染. 银行同业存放市场是银行分担风险的一种方式; 分处不同空间的银行同业间的借贷有助于银行系统抵御流动性冲击和风险传染, 避免系统性风险. Freixas 等^[27] 的研究与 Allen 等^[26] 类似, 但在流动性冲击设定上二者不同, 前者设定为消费者消费地点的不确定性, 而后者则设定为消费者消费时间的不确定性. 此后, 许多学者利用网络理论来研究银行系统性风险问题. Aleksiejuk 等^[28] 构建一个随机有向的银行网络模型, 分析了侵透机制下大规模银行破产倒闭的传染性问题. 但是, 文献[25-27] 都假定银行网络是具有规则网络结构或随机网络结构, 与现实情况不符. Elsinger 等^[29] 认为, 把银行网络划分为完全结构与不完全结构并不能确切说明网络结构与银行系统性风险的关系.

Upper 等^[30] 在假设银行间市场为完全市场结构的前提下, 利用矩阵法对德国银行系统性风险进行研究, 发现德国的银行危机传染与金融安全网的建立有直接关系, 金融安全网可以明显降低但不能消除银行危险的蔓延. Viver-Lirimont^[31] 基于 DD 银行挤兑模型证明了银行网络的连通性越高, 风险传染就越快、越严重. 因此, 表面上看可以降低单个银行风险的分散化投资行为, 实际上会因为增加了银行间的关联度而提升风险的传染. Degryse 等^[32] 通过对 1993~2002 年比利时银行系统的网络结构的考察发现, 经历了从近似完全连接结构到以多家银行为货币中心的结构转变, 可以降低风险传染发生的可能性和影响程度.

Brusco 等^[33] 在文献[26-27] 的基础上加入一项投机性长期资产, 通过银行的道德风险使传染引发机制内生. 他们利用道德风险研究区域间金融危机的蔓延问题, 指出大量风险投资必然导致银行倒闭的概率为正, 银行之间互相持有资金会增加传染风险, 一旦某项风险投资失败, 危机将通过金融机构间的信用连接扩散至其他银行; 同时他们还提出银行只在风险不太高时才会建立银行间联系网络. Hasman 等^[34] 通过把信息传染引入模型来考察银行间市场结构的危机传染, 分析表明, 完全市场结构对基本面的冲击是有弹性的. 对于不完全市场结构, 银行结构越不完整, 传染越不容易, 如岛屿结构. 然而, 相比于岛屿结构, 存款者更偏好邻里结构. 类似于文献[33] 的结论: 当风险不太大时银行才建立联系并接受风险的蔓延.

Eboli^[35] 将 Rochet-Tirole 模型^[36] 扩展到了多家银行构成的网络结构中来研究银行间借贷形成的

风险敞口的传染. 若一家银行遭受冲击破产, 则风险将通过银行间的借贷形成的敞口扩散至其邻近银行 (Neighbour bank). 在冲击足够大、银行间敞口比足够高的情况下, 甚至会导致银行网络系统的崩溃. Nier 等^[37] 在文献[35] 的基础上运用模拟法研究了同质性银行网络中, 银行净值、银行间市场敞口规模、系统的连接度和集中度等几个重要参数对风险传染的影响. Gai 等^[38] 也沿袭文献[35] 的研究思路, 探究了网络结构特征对银行风险传染的影响.

Krause 等^[39] 研究认为, 银行网络中节点的大小, 即大银行与小银行的破产引发的风险传染程度有所不同. Battiston 等^[40] 研究表明, 在借贷联结的紧密网络里, 交易对手越多的个体风险多样化不太可能出现系统性违约的观点并不总是真实的. Ladley^[41] 认为: 对于较大的经济冲击, 较多的银行间借贷关系恶化了系统性事件; 而对于较小的冲击则观察到相反的效果. Lenzu 等^[42] 研究了不同的银行网络拓扑结构对银行系统性风险的影响, 他们发现, 在流动性冲击和节点选择的随机性冲击下, 随机网络结构比无标度网络结构具有更小的系统性风险. Caccioli 等^[43] 研究了当银行网络中的节点遭受随机冲击和选择性冲击的情况下, 网络拓扑结构对系统性风险的影响. 他们发现: 当银行网络中的节点遭受随机冲击时, 无标度网络结构比随机网络结构产生的系统性风险小; 而当冲击选择连接度高的节点时, 无标度网络结构比随机网络结构产生的系统性风险大. 银行系统性风险有可能是通过多种非独立的、相互作用的传染渠道共同冲击形成的^[44]. 文献[44] 利用一个动态多主体的银行系统模型研究发现, 银行系统风险传染会随着共同冲击的增加而增强.

银行网络结构与风险传染之间并非是单调的线性关系. Minoiu 等^[45] 利用 184 个国家的跨国银行数据构建网络, 通过 1978~2010 年发生的几次银行危机作为时间节点的研究发现: 不同国家银行的关联性在每次银行危机发生前趋于上升, 危机后趋于下降; 全球金融危机是对全球银行网络的异常大扰动, 2007 年的网络密度与早期的峰值相当, 2008 年网络密度指标达到历史最低点. Bluhm 等^[46] 利用动态银行间网络建立了一个跨期的主体银行模型, 用来关注个体银行对整体的系统性风险的贡献. Teteryatnikova^[47] 研究发现, 与其他类型的系统相比, 具有银行网络度分布负相关的分层网络系统的优势在于发生系统性危机的风险和潜在危机的范围都较低. 类似地, 对于无标度银行网络而言, 系统对冲击

的弹性随着分层的水平而增加。

最近,对银行网络与系统性风险的探讨已发展到通过银行间交易行为而内生网络的形成上。这种源自个体间信息沟通的成本差异催生了内生网络的形成(网内成本低、网间成本高)。Acemoglu等^[48]通过信息沟通成本矩阵架构了一个内生性社会网络模型,研究信息交换的动力学,并提出一个两阶段的博弈。与文献[48]相似,Aymanns等^[49]基于文献[6]研究了银行网络中内生网络形成与危机传染同步性的关系。Acemoglu等^[50]的研究表明:自然契约假设下,银行无法内化与其不能直接立契的放贷决策的影响,而网络形成的过程存在金融网络的外部性;并说明这种外部性的存在可以作为系统性风险产生的渠道。

3 基于复杂网络理论对银行系统性风险测评的研究

基于网络视角评估银行的系统性风险是研究银行网络系统的一个主要方向。考察一家或多家银行破产引发的风险传染问题可以通过银行间的资产负债数据直接构建网络来识别系统性风险^[32,51]。但是,现实中银行之间每一笔交易所形成的资产负债信息较难获得,因而一些文献利用最大信息熵矩阵模型法来估算银行间资产负债头寸^[32,51-52]。

Sheldon等^[53]是最早用矩阵法测量银行系统性风险大小的。他们用矩阵模型模拟银行同业拆借市场结构,分别对一个银行破产和多个银行破产两种情况进行瑞士银行业系统性风险的测算,得出瑞士银行业面临的系统性风险较小的结论。文献[30]将信息熵应用到银行网络结构的构建上,引入交叉熵方法优化矩阵模型,估算德国银行之间的资产负债头寸,构建银行网络并研究银行体系的风险传染。文献[17]通过对比利用真实数据构建的网络和基于最大熵方法估算的数据构建的网络发现,最大熵方法建立的网络会高估风险传染的程度。尽管通过信息熵构建的银行间拆借网络结构与现实情况存在偏差,但因该方法解决了数据可得性问题而被广泛使用。Upper^[54]利用矩阵法研究了在有、无安全网的两种状态下不同损失率的系统性风险。结果表明:金融安全网对降低系统性风险的作用明显;当损失率较小时不会造成银行的系统性风险,当损失率增大到0.4时系统性风险会急剧放大。在银行间风险敞口数据不确定的地方使用最大熵技术的矩阵法包含了银行网络的思想内核。最大熵方法是假设银行网络中相互连接概率为1的完全网络,即每家银行都与其他银行交易的完全市场结构,这与文献[26]的假设一致;但这显然与现实

中不存在双边风险敞口的银行网络结构不符。因此,基于最大熵方法构建的银行网络模型无法准确评估系统性风险。

基于Eisenberg等^[6]的算法,Müller^[51]开创了利用网络分析方法测算银行业的系统性风险的先河。用网络分析方法测算银行系统性风险的思想认为:在银行间市场上存在一个或几个交易中心与多家银行进行信贷交易关联,由此形成潜在的传染渠道;先识别出不同类型的银行网络结构,再利用模拟法测算系统性风险的传染。Jackson^[55]认为,复杂网络技术能够将网络构建和参数估计很好地结合起来以拟合真实世界的网络,能够记录冲击在系统不同银行间的传染过程。这就为通过模拟技术研究金融网络结构的特征提供了理论支持。Elsinger等^[29]的模型正是如此。他们开创性地提出了一种评估整个银行系统稳定性的新方法——将现代风险管理工具和银行间借贷市场网络模型相结合。他们以整个银行体系作为考察对象,通过使用奥地利银行业的特有数据库发现:银行资产组合的相关性主导着系统性风险的传染;更多样化的银行间市场并不一定降低风险的传染。Elsinger等^[29]的模型可以较好地解决问题,但是,该模型对权威、精确数据的要求造成了使用上的局限性。

目前,以网络结构为基础计算系统风险的贡献度有两种方法:一种是边际风险价值法(Conditional value at risk),另一种是网络量化指标法(Network quantitative indicators)。Cont等^[19]提出了“风险传染指标”(Contagion index, CI),CI代表一家银行机构倒闭时通过级联效应对整个银行网络造成的损失期望值。因此,根据每一家银行机构的CI指数就可以确定系统风险的贡献度。Bonollo等^[56]对文献[19]的网络结构模型和CI指标进行了改进,使CI指标更加贴近现实。他们一方面对每个节点(银行)考虑其所面临的共同风险因素(Common risk factors)和特质风险因素(Idiosyncratic risk factor);另一方面在建立模型和计算指标时要区分不同类型银行机构:投资银行、大型商业银行、小型银行等。Adrian等^[57]在风险价值法(VaR)的基础上提出了针对个体金融机构风险评估的边际风险价值法,利用边际风险价值来衡量一家银行机构对整个金融系统风险价值的边际影响。Hautsch等^[58]采用边际风险价值法,将每一家银行的风险因素划分为宏观经济、机构自身和来自其他机构的风险溢出等因素,引入金融网络结构特征对系统风险贡献度进行衡量。

4 基于复杂网络理论视角的银行系统稳定性研究

系统的稳健性是伴随不确定性问题普遍存在的现象^[59]。目前,网络稳健性正在成为复杂网络研究的一个重要方向,基于网络视角对银行系统稳健性的研究正在成为研究热点。

Albert等^[60]基于ER模型比较了随机网络和无标度网络两类网络的连通性以及随机故障与蓄意攻击下去除两类节点策略的稳健性。此后,Callway等^[61]、Bollobas等^[62]对网络稳健性进行研究,其结果几乎都与文献[60]的发现一致。Cohen等^[63]利用广义随机图上的渗流理论(Percolation theory),采用随机攻击和选择性攻击的研究方法研究Internet网,得出了Internet网络稳健性的理论阈值^[64]。这为研究网络稳健性打下了基础。

Holme等^[65]使用4种不同的攻击策略研究了复杂网络在受到顶点和边缘攻击时的响应,以及网络结构随着重要的顶点或边缘被去除的稳健性。Kwon等^[66]研究发现:网络的稳健性特征与网络的反馈结构有着紧密联系;与随机网络相比较,无标度网络表现出的反馈结构更多,且其稳健性也更好。Paul等^[67]研究了如何以最小代价对网络的稳健性进行优化的问题。Ash等^[68]首次使用了演化算法来研究如何优化网络结构,他们发现网络的模块性、聚类性及路径长度都会影响网络的稳健性特征。Schneider等^[69]针对攻击(attack)对网络的破坏给出了一种有效的缓解方法——网络重构,只需要很小的代价就可以显著提升网络的稳健性。同时,他们发现这种对攻击呈现出高稳健性的网络结构具有明显的类洋葱(Onion-like)特点。Herrmann等^[70]、Wu等^[71]的研究也验证了类洋葱网络结构的稳健性。Peng等^[72]认为,稳健性和小世界效应是复杂网络的两个关键结构特征,但二者在对设计或优化网络的拓扑结构方面存在冲突的关系。他们研究得出最优网络拓扑结构呈现出明显的核心——外围结构。

银行网络是服从幂律分布的无标度网络。这种网络结构对随机冲击具有稳健性,但对于系统重要性节点的目标冲击却是脆弱的^[4]。Hendricks^[73]指出,新的金融稳定模型强调将金融体系作为一种网络和种群进行研究。网络模型解释了复杂的不透明的系统比简单的更透明的系统更脆弱,以及高度连接的系统在正常时期会增加风险的耗散,但在非正常时期则使风险传播得更快更远。种群模型则把金融体系视为一个随着条件变化间演化的由机构(产品、

实践或过程)组成的多样化种群。在这些模型中稳定意味着拥有一个健康的种群。与许多自然科学中真实的复杂网络相比,银行网络的演化较弱,特别不稳定^[74]。Langfield等^[75]也指出,高度相互关联的金融机构所形成的复杂系统本质上是不稳定的。Allen等^[76]认为,金融系统网络分析是一种评估金融稳定特别重要的方法,也是一种捕获因单一机构风险而引发整个系统外部性效应的工具。

Gai等^[38]的研究也发现,金融系统具有一种“强而脆(Robust-yet-fragile)”的倾向。他们认为,大多数冲击不会导致系统压力,但对金融系统特定部位的“针对性”目标冲击可能是灾难性的。因此,应强调识别系统重要性金融机构的重要性。Dette等^[77]通过随机攻击和恶意攻击的研究方法对全球金融网络结构的稳健性进行了研究。研究发现:一个相对小而单的国家(如希腊)违约时能够被网络吸收;但是当其他几个PIGS(葡萄牙、爱尔兰和西班牙)国家联合违约时,竟会对全球经济带来毁灭性的影响。Haldane等^[74]利用生态食物网的动态和传染病蔓延的网络类比,探讨了金融网络的故意简化模型中复杂性与稳定性之间的相互作用。Toivanen^[78]利用流行病学法研究银行间网络的风险传染时,分析了单一银行特定因素对金融稳定的重要性。Loepfe等^[79]研究发现,金融系统对任何细小的结构性变化都很敏感。银行网络稳健性不仅是银行个体的作用,更是他们互相间的关系。

文献[42]发现:在一个为“小冲击”设置的静态网络里,网络连通性高有助于系统稳定;而在大冲击的静态网络里,网络连通性高则会放大初始冲击。文献[6]和文献[38]都是采用这种静态分析方法。而Bluhm等^[46]用动态银行间网络建立了一个跨期的主体银行模型,用来关注个体银行对整体系统性风险的贡献。文献[44]构造了一个银行系统的动态模型用于分析银行间网络结构对金融稳定的影响,该模型里的银行首先最优化它们的资产负债表结构,进而最优化实际的银行网络结构。该研究比较了不同的银行间网络结构对金融稳定的影响,认为货币中心网络比随机网络更加稳定。

Aymanns等^[49]指出,以往研究不考虑代理人之间的(投资)战略互动(代理人对相邻者行为的学习),模型的均衡是机械的。他们采用一个通过赋予私人信念与社会信念不同权重而构建的内生网络形成过程模型,得出了一个最大化期望效用的成对稳健的网络结构。Bagrow等^[80]指出,在稳健性方面的现有研究没有考虑由小而密连接成组的节点构成的模块化

网络重叠、网络模块结构的作用. 他们对系统稳健性的研究表明, 模块本身有可能在网络分解之前成为非耦合或非重叠. 如果重叠的模块化组织在整体功能中发挥了作用, 则网络可能会比传统渗流理论预测的更脆弱. Bardoscia等^[8]使用数学建模方法对50家银行资产负债表的原始数据进行研究, 结果表明, 金融系统复杂性增加或许不能增强其内在稳定性. 他们发现, 在金融机构及其相互间合约形成的网络中, 通过扩大参与金融系统的银行数量, 并增强它们之间的联系, 个别机构成为多层合同中的一部分, 将有可能扩大金融冲击的影响, 导致银行系统不稳定性.

5 总结与研究动态分析

由于传统的经济学方法在分析系统内部结构方面乏力, 应用复杂网络理论的方法研究银行系统的结构问题和稳定性问题已成为近年风险管理、金融稳定等研究领域非常重要的前沿课题和新兴的研究热点. 目前, 基于网络理论对银行网络结构特征、系统性风险传染等问题的研究已取得了卓有成效的成果. 然而, 多数研究通常是预先假设一种网络结构, 或使用同质性节点网络, 如此设定的银行网络固然会起到平摊风险的作用, 但会导致网络系统受到外部冲击后网络传染效应相似, 响应趋于集中. 一些研究从网络视角研究银行系统的风险传染大多集中于外部风险传染效应的分析; 这些假设与真实的银行间资产和负债关系不符, 没有涵盖源自系统内部的风险传染问题, 致使一些研究得出的结论相异. 因此, 对银行网络结构与系统风险传染的探讨, 不能简单地预先假定一种网络结构, 尤其是设定同质化的银行网络关系, 而应结合现实银行网络的异质性特征进行研究.

已有研究在系统重要性银行的识别认定、银行系统稳定性的影响机理、以及如何架构银行网络结构才能提高银行系统的稳定性等问题尚未做出深入探究. 尽管一些研究提到了银行网络稳定性问题, 但是在什么样的银行网络拓扑结构稳健性最好, 以及如何提高银行网络拓扑结构的稳定性等问题上尚未做出深入探究. 另外, 目前的研究主要是在静态下分析银行网络系统的结构特征、系统性风险传染等, 但是, 银行网络结构是不断发展演变的, 银行主体行为也具有时变特征, 因而, 进一步的研究需要考虑时间动态性和银行行为的变化对银行危机的预测以及系统稳定性的影响.

参考文献(References)

- [1] Albert R, Barabási A L. Statistical mechanics of complex networks[J]. *Review of Modern Physics*, 2002, 74(1): 47-97.
- [2] Erdős P, Rényi A. On random graphs[J]. *Publicationes Mathematicae Debrecen*, 1959, 6: 290-297.
- [3] Watts D J, Strogatz S H. Collective dynamics of "Small-world" networks[J]. *Nature*, 1998, 393(6684): 440-442.
- [4] Barabási A L, Albert R. Emergence of scaling in random networks[J]. *Science*, 1999, 286(5439): 509-512.
- [5] Iori G, De Masi G, Precup O V, et al. A network analysis of the Italian overnight money market[J]. *J of Economic Dynamics and Control*, 2008, 32(1): 259-278.
- [6] Eisenberg L, Noe T H. Systemic risk in financial systems[J]. *Management Science*, 2001, 47(2): 236-249.
- [7] Boss M, Elsinger H, Summer M. Network topology of the interbank market[J]. *Quantitative Finance*, 2004, 4(6): 677-684.
- [8] Inaoka H, Ninomiya T, Taniguchi K, et al. Fractal network derived from banking transaction — An analysis of network structures formed by financial institutions[R]. Tokyo: Bank of Japan, 2004.
- [9] Harrison S, Lasaosa A, Tudel M. Tiering in UK payment systems: Credit risk implications[J]. *Financial Stability Review*, 2005, 12: 63-72.
- [10] van Lelyveld I, Liedorp F. Interbank contagion in the Dutch banking sector: A sensitivity analysis[J]. *Int J of Central Banking*, 2006, 2(2): 99-133.
- [11] Cajueiro D O, Tabak B M, Andrade R F S. Fluctuations in interbank network dynamics[J]. *Physical Review E*, 2009, 79(3): 037101-1-4.
- [12] Goh K I, Kahng B, Kim D. Spectra and eigenvectors of scale-free networks[J]. *Physical Review E*, 2001, 64(5): 051903-1-5.
- [13] Soramäki K, Bech M L, Arnold J, et al. The topology of interbank payment flows[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2006, 379(1): 317-333.
- [14] Edson B, Cont R. The Brazilian interbank network structure and systemic risk[R]. Brazil: Central Bank of Brazil, 2010.
- [15] Bech M L, Atalay E. The topology of the federal funds market[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2010, 389(22): 5223-5246.
- [16] Martinez-Jaramillo S, Perez O P, Embriz F A. Systemic risk, financial contagion and financial fragility[J]. *J of Economic Dynamics and Control*, 2010, 34(11): 2358-2374.
- [17] Mistrulli P E. Assessing financial contagion in the interbank market: Maximum entropy versus observed interbank lending patterns[J]. *J of Banking and Finance*, 2011, 35(5): 1114-1127.
- [18] Lazzetta C, Manna M. The topology of the interbank

- market: Developments in Italy since 1990[R]. Bank of Italy Working Paper, 2009.
- [19] Cont R, Moussa A, Santos E B. Network structure and systemic risk in banking systems[Z]. Handbook of Systemic Risk, 2013.
- [20] Craig B, Von Peter G. Interbank tiering and money center banks[J]. *J of Financial Intermediation*, 2014, 23(3): 322-347.
- [21] Diamond D W, Dybvig P H. Bank runs, deposit insurance and liquidity[J]. *J of Political Economy*, 1983, 91(3): 401-419.
- [22] Kiyotaki N, Moore J. Balance-sheet contagion[J]. *American Economic Review*, 2002, 92(2): 46-50.
- [23] Bech M L, Soramäki K. Liquidity, gridlocks and bank failures in large value payment systems[R]. Basel: Bank for Int Settlements, 2002: 113-127.
- [24] Müller J. Two approaches to access contagion in the interbank market[R]. Bern: Swiss National Bank, 2003.
- [25] Thurner S, Hanel R, Pichler S. Risk trading, network topology, and banking regulation[J]. *Quantitative Finance*, 2003, 3(4): 306-319.
- [26] Allen F, Gale D. Financial contagion[J]. *J of Political Economy*, 2000, 108(1): 1-33.
- [27] Freixas X, Parigi B M, Rochet J C. Systemic risk, interbank relations, and liquidity provision by the central bank[J]. *J of Money, Credit and Banking*, 2000, 32(3): 611-638.
- [28] Aleksiejuk A, Holyst J A. A simple model of bank bankruptcies[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2001, 299(1/2): 198-204.
- [29] Elsinger H, Lehar A, Summer M. Risk assessment for banking systems[J]. *Management Science*, 2006, 52(9): 1301-1314.
- [30] Upper C, Worms A. Estimating bilateral exposures in the German interbank market: Is there a danger of contagion[J]. *European Economic Review*, 2004, 48(4): 827-849.
- [31] Vivier-Lirimont S. Contagion in interbank debt networks[R]. Paris: Paris Pantheon Sorbonne University Working Paper, 2006.
- [32] Degryse H, Nguyen G. Interbank exposures: An empirical examination of contagion risk in the Belgian banking system[J]. *Int J of Central Banking*, 2006, 3(2): 123-172.
- [33] Brusco S, Castiglionesi F L. Liquidity coinsurance, moral hazard, and financial contagion[J]. *J of Finance*, 2007, 62(5): 2275-2302.
- [34] Hasman A, Samartín M. Information acquisition and financial contagion[J]. *J of Banking and Finance*, 2008, 32(10): 2136-2147.
- [35] Ebohi M. Systemic risk in financial networks: A graph theoretic approach[D]. Mimeo: Department of Business Economics, University of Chieti Pescara, 2004.
- [36] Rochet J C, Tirole J. Interbank lending and systemic risk[J]. *J of Money Credit and Banking*, 1996, 28(4): 733-765.
- [37] Nier E, Yang J, Yorulmazer T, et al. Network models and financial stability[J]. *J of Economic Dynamics and Control*, 2007, 31: 2033-2060.
- [38] Gai P, Kapadia S. Contagion in financial networks[J]. *Proc of Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2010, 466(2120): 2401-2423.
- [39] Krause A, Giansante S. Interbank lending and the spread of bank failures: A network model of systemic risk[J]. *J of Economic Behavior and Organization*, 2012, 83(3): 583-608.
- [40] Battiston S, Gatti D D, Gallegati M. Default cascades: When does risk diversification increase stability?[J]. *J of Financial Stability*, 2012, (8): 138-149.
- [41] Ladley D. Contagion and risk-sharing on the interbank market[J]. *J of Economic Dynamics Control*, 2013, 37(7): 1384-1400.
- [42] Lenzu S, Tedeschi G. Systemic risk on different interbank network topologies[J]. *Physica A*, 2012, 391(18): 4331-4341.
- [43] Caccioli F, Catanach T A, Farmer J D. Heterogeneity, correlations and financial contagion[J]. *Advances in Complex Systems*, 2012, 15(S2): 2401-2415.
- [44] Georg C P. The effect of the interbank network structure on contagion and common shocks[J]. *J of Banking and Finance*, 2013, 37(7): 2216-2228.
- [45] Minoiu C, Reyes J A. A network analysis of global banking: 1978 ~ 2010[J]. *J of Financial Stability*, 2013, 9(2): 168-184.
- [46] Bluhm M, Faia E, Krahenen J P. Monetary policy implementation in an interbank network: Effects on systemic risk[R]. Goethe University Frankfurt, 2014.
- [47] Teteryatnikova M. Systemic risk in banking networks: Advantages of “Tiered” banking systems[J]. *J of Economic Dynamics and Control*, 2014, 47: 186-210.
- [48] Acemoglu D, Bimpikis K, Ozdaglar A. Dynamics of information exchange in endogenous social networks[J]. *Theoretical Economics*, 2014, 9(1): 41-97.
- [49] Aymanns C, Georg C P. Contagious synchronization and endogenous network formation in financial networks[J]. *J of Banking and Finance*, 2015, 50(1): 273-285.
- [50] Acemoglu D, Ozdaglar A, Tahbaz-Salehi A. Systemic risk and stability in financial networks[J]. *American Economic Review*, 2015, 105(2): 564-608.
- [51] Müller J. Interbank credit lines as a channel of

- contagion[J]. *J of Financial Services Research*, 2006, 29(1): 37-60.
- [52] Sokolov A, Webster R, Melatos A. Loan and non-loan flows in the Australian interbank network[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2012, 391(9): 2867-2882.
- [53] Sheldon G, Maurer M. Interbank lending and systemic risk: An empirical analysis for Switzerland[J]. *Swiss J of Economics and Statistics*, 1998, 134: 685-704.
- [54] Upper C. Simulation methods to assess the danger of contagion in interbank markets[J]. *J of Financial Stability*, 2011, 7(3): 111-125.
- [55] Jackson M O. Networks and economic behavior[J]. *Annual Review of Economics*, 2009, 1(1): 489-513.
- [56] Bonollo M, Crimaldi I, Flori A, et al. Systemic importance of financial institutions: From a global to a local perspective? A network theory approach[R]. *Lucca: IMT Institute for Advanced Studies*, 2014.
- [57] Adrian T, Brunnermeier M K. *CoVaR*[R]. Cambridge: National Bureau of Economic Research, 2011.
- [58] Hautsch N, Schaumburg J, Schienle M. Financial network systemic risk contributions[J]. *Review of Finance, European Finance Association*, 2015, 19(2): 685-738.
- [59] Pollack H N. *Uncertain science-uncertain world*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003: 1-23.
- [60] Albert R, Jeong H, Barabási A L. Error and attack tolerance of complex networks[J]. *Nature*, 2000, 406(6794): 387-482.
- [61] Callaway D S, Newman M E J, Strogatz S H, et al. Network robustness and fragility: Percolation on random graphs[J]. *Physical Review Letters*, 2000, 85(25): 5468-5471.
- [62] Bollobas B, Riordan O. Robustness and vulnerability of scale-free random graphs[J]. *Internet Mathematics*, 2003, 1: 1-35.
- [63] Cohen R, Erez K, Ben-Avraham D, et al. Breakdown of the internet under intentional attack[J]. *Physical Review Letters*, 2001, 86(16): 3682-3685.
- [64] Cohen R, Havlin S. *Complex networks: Structure, robustness and function*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2010: 1-238.
- [65] Holme P, Kim B J, Yoon C N, et al. Attack vulnerability of complex networks[J]. *Physical Review E*, 2002, 65(2): 056109-1-15.
- [66] Kwon Y K, Cho K H. Analysis of feedback loops and robustness in network evolution based on Boolean models[J]. *BMC Bioinformatics*, 2007, 8(9): 430-438.
- [67] Paul G, Tanizawa T, Havlin S, et al. Optimization of robustness of complex networks[J]. *European Physical J*, 2004, 38(2): 187-191.
- [68] Ash J, Newth D. Optimizing complex networks for resilience against cascading failure[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2007, 380(1): 673-683.
- [69] Schneider C M, Moreira A A, Andrade J S, et al. Mitigation of malicious attacks on networks[J]. *Proc of the National Academy of Sciences*, 2011, 108(10): 3838-3841.
- [70] Herrmann H J, Schneider C M, Moreira A A, et al. Onion-like network topology enhances robustness against malicious attacks[J]. *J of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2011, 1(1): 01027-1-9.
- [71] Wu Z X, Holme P. Onion structure and network robustness[J]. *Physical Review E*, 2011, 84(2): 026106-1-6.
- [72] Peng G, Tan S, Wu J, et al. Trade-offs between robustness and small-world effect in complex networks[J]. *Scientific Reports*, 2016(6): 37317-1-10.
- [73] Hendricks D. *Defining systemic risk*[R]. New York: World Bank, 2009.
- [74] Haldane A G, May R M. Systemic risk in banking ecosystems[J]. *Nature*, 2011, 469(7330): 351-355.
- [75] Langfield S, Soramäki K. Interbank exposure networks[J]. *Computational Economics*, 2016, 47(1): 3-17.
- [76] Allen F, Babus A. *Networks in finance, in the network challenge*[R]. London: FT Press, 2009: 383-419.
- [77] Dette T, Pauls S, Rockmore D N. Robustness and contagion in the int financial Network[R]. New York: IMF, 2011.
- [78] Toivanen M. *Contagion in the interbank network: An epidemiological approach*[R]. Helsinki: Bank of Finland, 2013.
- [79] Loeffe L, Cabrales A, Sánchez A. Towards a proper assignment of systemic risk: The combined roles of network topology and shock characteristics[J]. *Plos One*, 2013, 8(10): e77526-1-11.
- [80] Bagrow J P, Lehmann S, Ahn Y. Robustness and modular structure in networks[J]. *Network Science*, 2011, 3(4): 509-525.
- [81] Bardoscia M, Battiston S, Caccioli F, et al. Pathways towards instability in financial networks[J]. *Nature Communications*, 2017, 8(1): 14416-1-13.

(责任编辑: 李君玲)