

# Analysis of the Characteristics of the Network Structure of Domestic Banks in China

Guipu Wang, Yan Xu, Chen Guo

School of Economics, Zhejiang University of Technology, Hangzhou Zhejiang

Email: wgp@zjut.edu.cn

Received: Apr. 17<sup>th</sup>, 2020; accepted: May 5<sup>th</sup>, 2020; published: May 12<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Based on the inter-bank lending data of 12 domestic banks from 2013 to 2017, this paper uses the complex network theory and threshold method to analyze the topological characteristics of the inter-bank lending network, such as node degree, average path length and aggregation coefficient, and then infers the characteristics of the domestic bank network through its analysis results. The empirical results show that the inter-bank lending network of domestic banks in China has the characteristics of large node degree, small average path length and high aggregation coefficient, showing the characteristics of a small world. On the one hand, it shows that the inter-bank lending market of domestic banks in China has high efficiency and wide distribution, the banks in the network can obtain financing quickly and conveniently, and the market also has a highly reasonable resource allocation. On the one hand, it shows that the banking network in China has a high risk contagion, which is easy to lead to the whole body, light will lead to the paralysis of the whole banking network, and heavy will lead to the national financial crisis.

## Keywords

Domestic Bank, Complex Network, Topological Network Features, Small World Network

---

# 境内银行网络结构的特征分析

汪贵浦, 徐燕, 郭辰

浙江工业大学经济学院, 浙江 杭州

Email: wgp@zjut.edu.cn

收稿日期: 2020年4月17日; 录用日期: 2020年5月5日; 发布日期: 2020年5月12日

---

## 摘要

本文基于12家我国境内银行2013年至2017年资产负债表中的同业拆借数据, 采用复杂网络理论、阈值法对其构成的银行同业拆借网络的节点度、平均路径长度以及聚集系数等拓扑特征进行研究分析, 并通

过其分析结果进而推断出我国境内银行网络的特性。实证结果发现,我国境内银行的同业拆借网络有着节点度大、平均路径长度小且聚集系数高的特点,呈现小世界特征,一方面表明我国境内银行网络的同业拆借市场效率高、分布广,网络中的银行可以较快较便捷地获得融资,市场也有着高度合理的资源配置;另一方面表明我国境内银行网络有着较高的风险传染性,容易牵一发而动全身,轻则导致整个银行网络的瘫痪,重则引发全国性的金融危机。

## 关键词

境内银行, 复杂网络, 拓扑网络特征, 小世界网络

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着经济全球化和技术的不断进步,金融市场发展迅速,金融创新的出现丰富了金融交易渠道,促进了资本在全球范围内的快速流通。不断扩大的流动范围也在各种金融机构以及银行之间创造了一个庞大而复杂的网络,而复杂网络也逐渐成为重要的金融研究工具,它在金融市场中扮演着不可磨灭的角色。作为研究现实世界中各种复杂系统之间共同属性的一种方法,复杂网络已经渗透到许多不同的领域,如数学,生命科学和工程学科[1]。近年来,它在经济和金融领域如雨后春笋般涌现,成为研究复杂金融体系的武器,而银行同业拆借市场作为我国银行体系的一个重要组成部分,是复杂网络研究的重要范围。在我国同业拆借市场中,银行可以通过较低的利率获得贷款以弥补资金流动性问题,所以该市场通常较为活跃,通过研究我国境内银行的同业拆借市场,我们可以较好的了解到各个银行之间的业务活动来往,这有利于分析各金融机构之间错综复杂的网络关系。如果可以通过拓扑网络分析了解到各个金融机构之间的复杂关系,那么国家就可以因此对金融市场实行准确的监管,并且制定防止风险传染和金融危机的措施,保持金融市场的长期稳定发展。

## 2. 文献综述

网络拓扑是网络的形状或网络的物理连接,是指将各种设备与传输介质互连的物理布局,即如何连接网络中的计算机等设备。拓扑图显示了网络服务器和工作站的网络配置以及它们之间的连接。网络拓扑结构有多种,如星形结构,环形结构,总线结构,分布式结构,树形结构,网状结构,蜂窝结构等。而近年来,网络拓扑结构分析开始在金融界广泛运用,复杂网络理论在经济金融领域异军突起,它已成为研究复杂金融体系的武器,并为促进经济发展带来了新的力量。

本文主要对银行利用网络拓扑结构进行研究,相关文献综述也集中在这方面。Kimmo、Morten (2007) [2]等人探讨了联邦基金服务下商业银行间同业支付的网络拓扑结构。通过GWCC组件,对网络的大小、连通性和互易性进行分析,研究发现该网络具有低平均路径长度和低连通性且包括一个紧密相连的核心银行,大多数其他银行都与之相连。Masi和Gallegati (2012) [3]通过拓扑网络研究意大利银行和公司信用关系。实证分析发现,小银行之间有一些信贷联系,而大银行之间有大量的合同。此外,大公司往往从大银行获得贷款,但也从小银行获得贷款;相反,小公司则从当地的小银行获得贷款。汪贵浦、余雷鸣(2015) [4]等人以中国光大银行为例,通过分析该银行不同时间段的拓扑结构演进路径和该银行不同地区不同网点的空间市场力来了解该银行的发展方式以及其合理发展路径。研究表明,光大银行在北京、江浙沪、山东、广东等经济发达地区不具备优势,光大银行在其发展进程中,应该要考虑空间市场力地位。牛晓健,吕潇潇

(2016) [5]建立中国的银行间借贷网络, 识别和监督银行间借贷市场的体系。通过阈值法和非阈值法研究发现: 具有不同核心地位的金融机构的“一刀式”全面统一的流动性要求将使网络成为可能; 国有商业银行在中国银行间借贷网络中占据中心地位。陈少炜, 李旻(2016) [6]基于复杂网络理论, 依据银行间债权债务关系构建了我国银行网络模型, 绘制了我国银行网络结构图, 并对其网络统计性质进行了分析。研究发现, 我国银行网络符合无标度网络结构的特征, 是一个拥有少数货币中心且具有三层结构特征的银行网络。隋新, 何建敏(2017) [7]等基于银行主体和企业主体间银行信贷连接及企业主体间的商业信贷连接, 构建了同时嵌入银企间市场和企业间市场的内生信贷网络模型。内生信贷网络模型的仿真结果表明: 企业规模的上尾服从幂率分布; 银企信贷网络的银行入度服从双幂律分布。Ldasoro 和 Alves (2018) [8]对银行间网络和系统重要性的研究发现, 联系银行资产负债表的风险敞口网络比单一风险敞口方法所显示的更为复杂, 在一个网络中连接良好或重要的银行也倾向于在其他网络中连接良好。并提出了系统重要性的措施, 这些措施允许将任何银行的全球系统重要性指数分解为每个子网络的贡献, 为银行监管机构和监管机构确定有针对性的政策反应提供了潜在的有用工具。黄玮强, 范铭杰(2019) [9]等基于我国银行间市场的总体借贷数据, 首次综合运用最大熵法和最小密度法间接推断银行间借贷关联网络。实证研究表明, 最小密度法下的银行间借贷关联网络具有实际网络的连接稀疏性、异向连接匹配和无标度分布等特征; 与最大熵法所推断的网络相比, 基于最小密度法网络的银行倒闭风险传染范围更广、传染强度更强, 风险传染效应也越强。

综上所述, 可以发现学者们从银行市场力、银行同业拆借市场、银行业务等角度, 运用复杂网络、GWCC 组件、方差分解(VAR)等方法对各国银行业或是银行业务进行了深入的探讨和分析。银行间借款市场是银行体系的重要组成部分。银行可以以较低的利率获得贷款以弥补流动性问题, 反之亦然。且通过研究同业拆借市场, 可以比较好的了解到各个银行之间的交易来往, 有利于分析各金融机构之间的错综复杂的网络关系。如果可以通过拓扑网络分析了解到各个金融机构之间的复杂关系, 那么国家就可以对金融市场实行准确的监管, 反过来, 防止金融危机的发生, 保持金融市场的长期稳定。

### 3. 数据获取与处理方法

#### 3.1. 数据获取

本文选取了 12 家我国境内规模较大的银行进行网络构建, 其中有 4 家国有银行以及 8 家股份制银行, 这些银行均在我国上市, 且大多资本雄厚, 业务范围广, 信息披露充分。没有选取其他类型银行的原因有以下几点: 首先, 其他银行的同业拆借数据较少, 难以构建矩阵进行分析, 其次, 有些银行并未上市, 其资产负债表处于未公开状态, 没有信息披露, 导致数据难以收集, 无法进行研究, 但是未选取并不表示这些银行没有参与我国的银行同业拆借业务。

本文为方便起见, 对所研究的 12 家银行进行了编号: v1 为中国银行, v2 为中国工商银行, v3 为中国农业银行, v4 为中国建设银行, v5 为中信银行, v6 为浦发银行, v7 为华夏银行, v8 为中国民生银行, v9 为广东发展银行, v10 为招商银行, v11 为兴业银行, v12 为中国光大银行。

这些银行的同业拆借数据均来自各银行 2013~2017 年年报中的资产负债表, 其中包括资产表的“存放同业及其他金融机构款项”和“拆出资金”以及负债表中的“同业及其他金融机构存放款项”和“拆入资金”, 并以 1978 年的 CPI 为基数进行了数据可比性处理, 所有头寸单位均为百万元人民币。全文数据处理通过 Excel、pajek 等软件实现。

#### 3.2. 网络分析方法

复杂网络是对特定对象进行研究的方法。在理论的研究中, 复杂网络是一个由节点来展现、反映其之间错综复杂的关系的网络结构。复杂网络遍布于现实生活中的各个角落, 它反映着个体之间的相互作用

用,反映着个体之间复杂的关联性,有着一定的规律和拓扑特征。复杂网络具有规模庞大、连接结构复杂、时空演化过程多样,多重重复性融合的特点,学术界采用统计描述的方式去刻画其特性,也就是复杂网络的拓扑特征(Topological characteristics)。根据 Barabási 和 Albert (2002) [10]年的归纳总结,本文要计算的境内银行关联网络的拓扑特征主要有以下几类:

#### 1) 节点度

节点度是拓扑网络结构中一个重要的性质,节点度  $k_i$  表示该复杂网络中与该节点  $i$  连接的其他所有节点的数目。节点度分为入度和出度,入度表示银行  $i$  拥有的债权银行个数,出度表示银行  $i$  的拥有的债务银行个数。通常来说,节点  $i$  的节点度越大,就说明在该网络中与之相连的节点就越多,节点  $i$  在网络中就越核心。每个网络都有其网络中心度,即所有节点的度的平均值,也就是

$$\langle K \rangle = \frac{1}{N} \sum_i k_i$$

#### 2) 平均路径长度

平均路径长度表示两个节点之间的最短路径上边的数量。在最原始的矩阵中,所有节点都两两相连,如果设定每个相连的节点之间距离为 1,那么平均路径长度也为 1。但是经过一些处理,比如说阈值法,那么有些节点之间是无法连接的,需要通过共同连接的节点形成相连路径,此时两个节点之间的距离就有可能为 2 或者更大。通常平均路径长度  $L$  就可以表示为

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

$N$  代表网络的节点数,  $d_{ij}$  表示各个节点之间的路径长度[11]。

#### 3) 聚类系数

聚类系数表示同一个节点的相邻两个节点本身共享一个链接的概率,是节点之间常见的相关度量。这相当于观察到两个人,每个人都是你的朋友,那么他们很可能成为彼此的朋友。假设网络中有一个节点  $i$  的节点度是  $k_i$ ,那么这些节点之间最多存在  $\frac{K_i(K_i-1)}{2}$  条边,同时假设网络中节点  $i$  与这  $k_i$  个节点之间的连边数是  $E$ ,那么节点  $i$  的聚类系数  $C$  就等于  $E$  和  $\frac{K_i(K_i-1)}{2}$  之间的比值,即

$$C_i = \frac{2E_i}{K_i(K_i-1)}$$

上式称为 Watts-Strogatz 聚集系数。

已知  $C_i$  的取值范围为[0,1],那根据聚类系数的定义可得到,若  $C_i = 0$ ,则表明整个网络各个节点之间两两都没有链接,即整个网络只有点而没有边;相对的,若  $C_i = 1$ ,则表明整个网络各个节点之间两两都有链接,是一个完全网络。在银行网络体系中,若有着较高的聚集系数,表明网络中的银行之间有着密切的业务往来。

## 4. 模型构建与网络拓扑分析

### 4.1. 银行同业拆借矩阵的构建

根据各个银行每年的同业拆借数据,本文利用最大熵模型,将同业拆借头寸作为约束条件,并假设整个银行体系中,熵值最大,以此建立最优银行网络矩阵。由于我国银行市场同业拆借完整数据难以获得,所以利用银行间的部分信息来测算银行同业拆借矩阵。

假设我国境内银行总数为  $N$ ,则银行同业拆借矩阵可以表示为  $X = (x_{ij})_{N \times N}$ ,其中  $x_{ij}$  表示银行  $i$  对银

行  $j$  的同业拆借头寸。由于我国的政策原因, 银行之间具体的  $x_{ij}$  我们是无从得知的, 但我们可以利用已知的总资产  $a_i$  和总负债  $l_j$  来对其进行计算。 $a_i$  表示银行  $i$  资产负债表中的存放同业和其他金融机构款项, 可表示为  $a_i = \sum_{j=1}^N x_{ij}$ ;  $l_j$  则表示银行  $j$  资产负债表中同业和其他金融机构存放款项, 可表示为  $l_j = \sum_{i=1}^N x_{ij}$ 。

我们可以根据已有的  $a_i, l_j$  将所得矩阵进行标准化。假设  $a$  和  $l$  分别为边际分布函数  $f(a)$  和  $f(l)$  的现实值,  $X$  为联合分布函数  $f(a, l)$  的现实值。假设  $f(a)$  和  $f(l)$  相互独立, 则  $x_{ij} = a_i \times l_j$ 。但是标准化以后, 矩阵的对角线不为 0, 但是根据我们所研究的银行间同业拆借网络结构可知, 银行与自己是不存在借贷关系的, 即银行同业拆借矩阵对角线为 0。所以修正独立性假设, 规定  $x_{ij} = 0 (i=1, 2, \dots, N), i=j$ , 同时将修正后的银行同业拆借矩阵设为  $X^* = (x_{ij}^*)_{N \times N}$ , 求解  $X^*$  等同于求解以下公式:

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ij}^* \ln \left( \frac{x_{ij}^*}{x_{ij}^0} \right)$$

其中有如下约束条件:  $a_i = \sum_{j=1}^N x_{ij}^*, l_j = \sum_{i=1}^N x_{ij}^*, x_{ij}^* \geq 0$ , 式中  $x_{ij}^0 = a_i \times l_j, i \neq j, x_{ij}^0 = 0, i = j$ 。另, 当  $x_{ij}^0 = 0$  时,  $x_{ij}^* = 0$ , 且  $0 \ln(0/0) = 0$ 。

现实中的银行同业拆借市场是一个不完全市场, 市场中并不是每家银行之间都有同业拆借业务往来。但是根据上述构建的同业拆借矩阵, 其中数据除了主对角线为 0 以外, 其他数据均为大于 1 的实数, 这表示任何两家银行之间都有着同业拆借业务往来, 所构建的银行网络是一个完全网络。

为了使构建的同业拆借矩阵更能反映现实情况, 使数据分析更贴近现实, 本文将利用阈值法来对构建的网络模型进行优化, 为了方便进行数据的研究, 本文将上述建立的银行同业拆借矩阵中的头寸经过处理变成了权重, 并通过设定不同的阈值, 对我国境内 12 家银行 2013~2017 年间的同业拆借网络进行研究, 并逐一分析其拓扑特征。

本文根据我国境内银行同业拆借矩阵构建的结果, 拟定以下 3 个阈值:  $t_1 = 0.001, t_2 = 0.002, t_3 = 0.003$ , 并将所构建银行网络中权重低于阈值  $t$  的设为 0, 即在网络中不显示节点相关性(无链接)。

阈值法不仅仅可以使构建的同业拆借矩阵反映现实情况, 还可以找到整个银行网络中的核心银行。

## 4.2. 银行网络拓扑特征分析

### 4.2.1. 阈值 $t = 0.001$ 情况下的银行网络拓扑特征

设定我国境内银行网络的阈值  $t = 0.001$ , 研究在此阈值下, 我国境内银行网络的拓扑特征性质, 并对结果进行分析。

#### 1) 银行同业拆借网络节点度分析

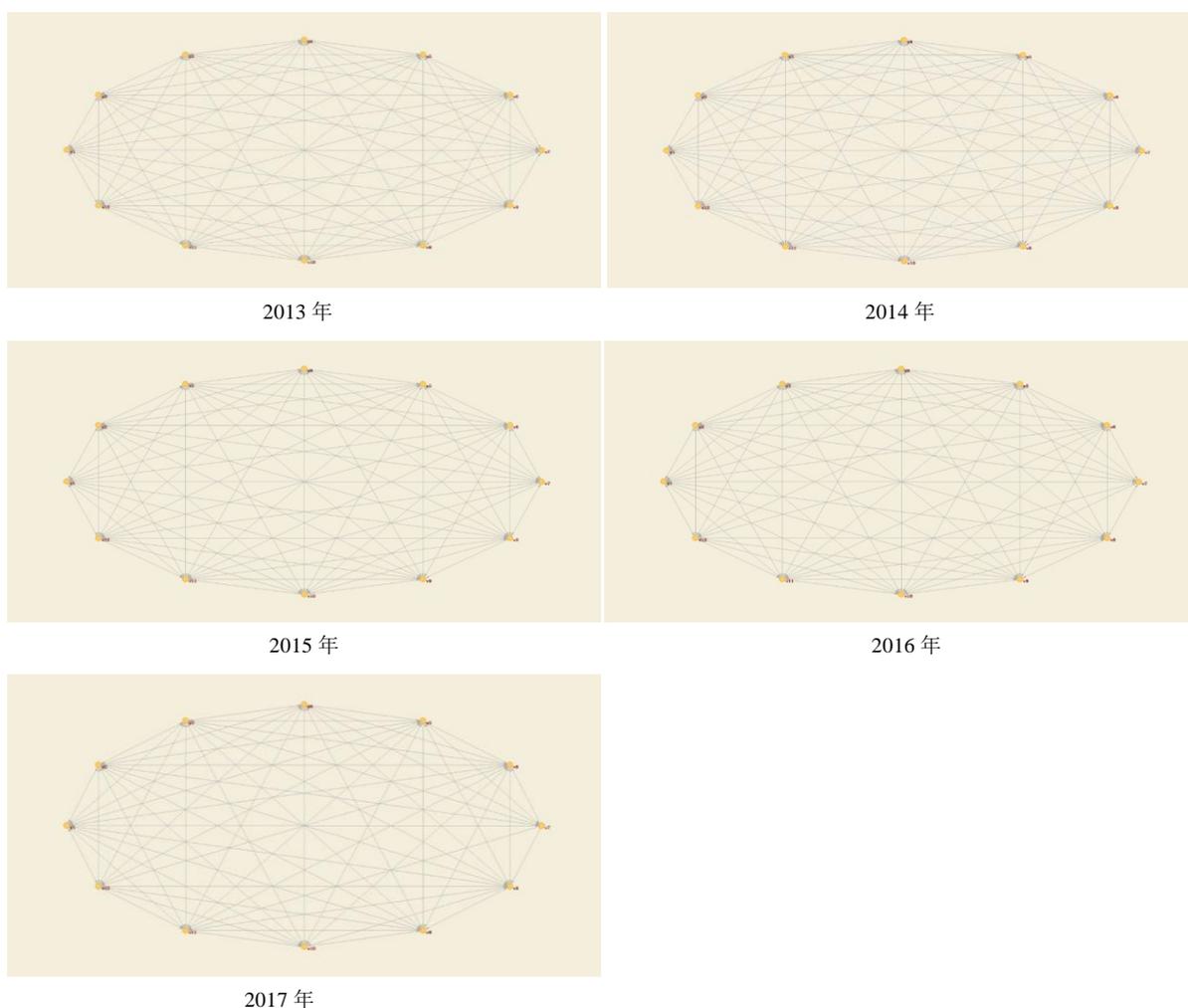
**Table 1.** Node degree distribution of domestic banking network in 2013-2017 ( $t = 0.001$ )

**表 1.** 2013~2017 年我国境内银行网络节点度分布( $t = 0.001$ )

节点	2013	2014	2015	2016	2017
V1	22	22	22	22	22
V2	22	22	22	22	22
V3	22	22	22	21	22
V4	22	22	22	22	22
V5	21	20	21	20	21
V6	22	21	22	21	21
V7	17	18	15	18	13

Continued

V8	20	22	22	21	21
V8	16	16	18	13	17
V10	20	21	21	19	19
V11	22	22	19	17	21
V12	20	20	18	20	19
平均度	20.5	20.6	20.3	19.7	20.0



**Figure 1.** 2013-2017 distribution of network nodes of domestic banks

**图 1.** 2013~2017 我国境内银行网络节点度分布图

由表 1 可知, 在阈值  $t=0.001$  的 2013~2017 年我国境内银行网络中, 节点 v1 (中国银行)、v2 (中国工商银行)、v3 (中国农业银行)、v4 (中国建设银行)、v5 (中信银行)、v6 (浦发银行)、v8 (中国民生银行) 有着较高的度值, 在我国境内银行的同业拆借市场中有着活跃的表现, 与其他银行之间的同业拆借业务往来频繁。由于阈值较小, 还没有出现度值较小的节点, 故在此阈值下, 本文研究的所有银行在同业拆借市场上都较为活跃。

由于阈值较小, 从图 1 中, 本文并不能明显观察到图形的变化以及节点链接数的变化, 所以本文将在后续提高阈值, 进一步的观察节点度分布图的图形变化。

## 2) 银行同业拆借网络平均路径长度分析

**Table 2.** Average path length of domestic banking network in 2013-2017 ( $t = 0.001$ )**表 2.** 2013~2017 年我国境内银行网络平均路径长度( $t = 0.001$ )

	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
平均路径长度	1.068	1.061	1.076	1.106	1.091

由表 2 可知, 在阈值  $t = 0.001$  的情况下, 在 2013~2017 年, 我国境内银行各年份的平均路径长度相差无几, 且在 1.08 附近徘徊, 这表明整个银行网络中, 某一银行平均只要通过 1 个其他银行即可与没有业务往来的银行形成链接。这一现象不仅说明我国境内银行网络总体呈现平稳态势, 还说明在 2013~2017 年各银行之间业务交流密切, 整体凝聚力高。为了验证这个观点, 本文将在后续提高阈值的情况下, 对该拓扑特性进行进一步地研究。

### 3) 银行同业拆借网络聚集系数分析

**Table 3.** Network aggregation coefficient of domestic banks in 2013-2017 ( $t = 0.001$ )**表 3.** 2013~2017 年我国境内银行网络聚集系数( $t = 0.001$ )

	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
Watts-Strogatz 聚集系数	0.937	0.944	0.934	0.900	0.927

由表 3 可知, 在阈值  $t = 0.001$  的情况下, 2013~2017 年我国境内银行的聚集系数均高于 0.9, 处在一个非常高的水平, 这说明我国境内银行之间有着非常紧密的联系, 银行间同业拆借业务往来频繁。并且根据表 3 数据, 本文发现 2015~2017 年我国境内银行的聚集系数较 2013~2014 年有所下降, 这说明随着我国经济的发展, 我国境内银行在保持交流密切的同时, 小幅降低了各个银行之间的业务往来频繁度, 开始注重密切联系背后所带有的风险传染性, 这也间接表明我国境内银行网络的内部连接机制逐年完备。为了验证这个观点, 本文也将在后续提高阈值, 对该拓扑特性进行进一步研究。

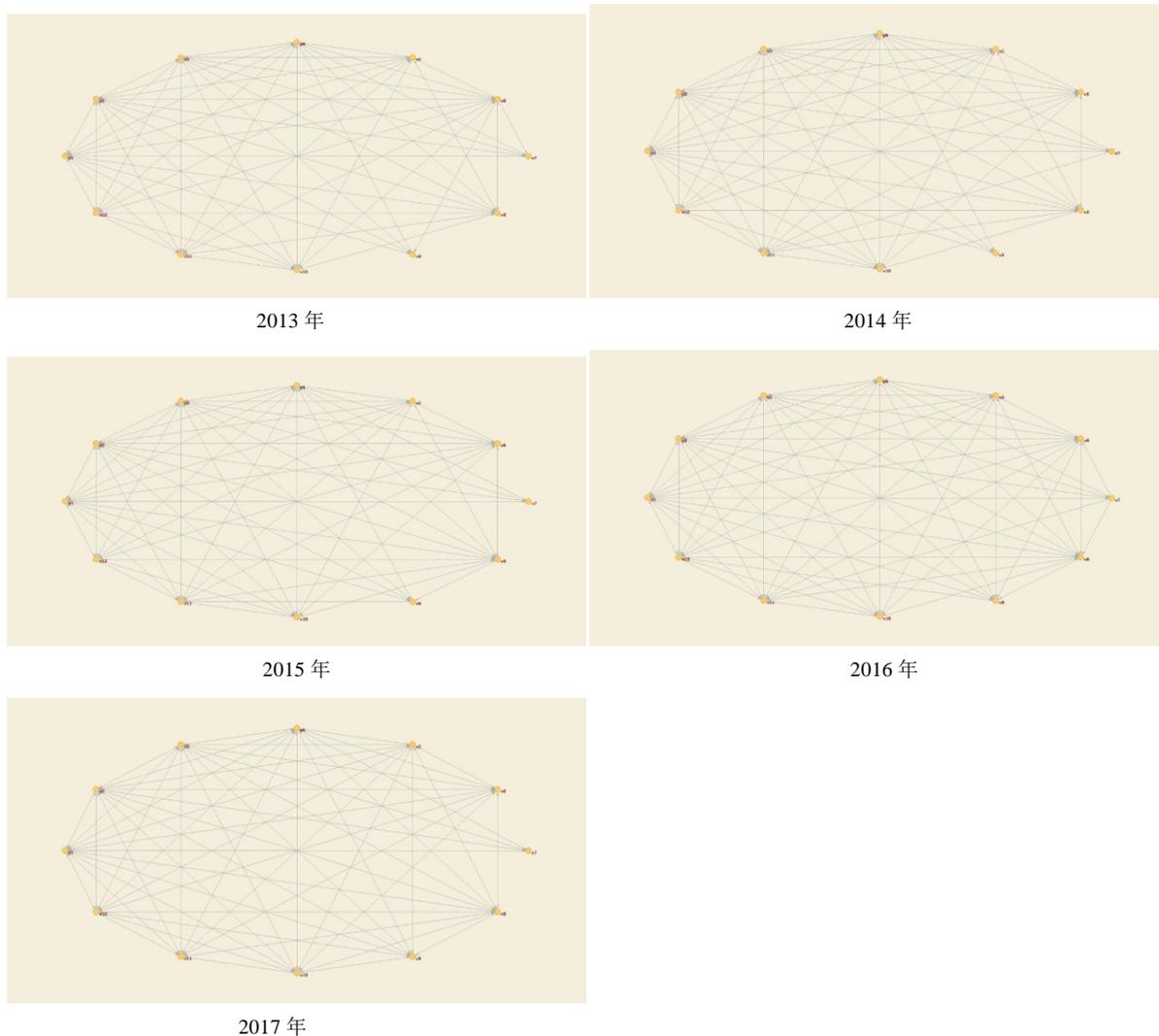
#### 4.2.2. 阈值 $t = 0.002$ 情况下的银行网络拓扑特征

现将阈值  $t$  由 0.001 调整为 0.002, 研究在阈值扩大的情况下, 银行网络之间的相关性是否会较阈值  $t = 0.001$  时有所改变。

### 1) 银行同业拆借网络节点度分析

**Table 4.** Node degree distribution of domestic banking network in 2013-2017 ( $t = 0.002$ )**表 4.** 2013~2017 年我国境内银行网络节点度分布( $t = 0.002$ )

节点	2013	2014	2015	2016	2017
V1	22	22	22	20	21
V2	20	21	22	20	21
V3	20	20	21	20	20
V4	20	20	21	20	21
V5	18	17	15	18	18
V6	20	17	17	19	18
V7	6	7	6	11	7
V8	18	18	18	19	19
V8	6	5	10	8	8
V10	18	18	16	17	18
V11	18	18	14	10	15
V12	18	15	16	18	18
平均度	17.0	16.5	16.5	16.7	17.0



**Figure 2.** Distribution of network node degree of domestic banks in 2013-2017 ( $t = 0.002$ )  
**图 2.** 2013~2017 年我国境内银行网络节点度分布图( $t = 0.002$ )

由表 4 可知, 在阈值  $t = 0.002$  的 2013~2017 年我国境内银行网络中, 节点 v1 (中国银行)、v2 (中国工商银行)、v3 (中国农业银行)、v4 (中国建设银行) 依旧有着较高的度, 在阈值扩大的情况下, 仍在我国境内银行的同业拆借市场中表现活跃, 与其他银行之间有着密切的业务往来。而随着阈值的扩大, 不活跃的银行开始显现, 可以从表中看到, 节点 v7、v9 即华夏银行和广东发展银行的度值明显小于其他银行, 这表明在阈值提高的情况下, 这两家银行与其他银行之间的业务往来密切程度降低, 在同业拆借市场上表现欠佳。

由图 2 也可知, 在阈值增加到 0.002 的 2013~2017 年我国境内银行网络中, 左上角 v1~v4 节点均依旧保持较高的链接数, 而右下角的 v6~v8 节点的链接数则有明显减少, 整个网络图呈现左上密集右下稀疏的状态, 这说明在阈值增加的情况下, 中国银行、中国工商银行、中国农业银行、中国建设银行依旧保持较高的集中度, 有作为核心银行的潜质, 但是还不能确定是否为核心银行, 需要进一步验证。

## 2) 银行同业拆借网络平均路径长度分析

**Table 5.** Average path length of domestic banking network in 2013-2017 ( $t = 0.002$ )**表 5.** 2013~2017 年我国境内银行网络平均路径长度( $t = 0.002$ )

	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
平均路径长度	1.227	1.250	1.250	1.091	1.157

由表 5 可知, 在阈值  $t = 0.002$  的情况下, 2013~2017 年我国境内银行的平均路径长度相较于阈值  $t = 0.001$  的情况有所增加, 但是增加的幅度并不是很大, 各年份的平均路径长度相近, 在 1.2 附近徘徊, 这说明某一节点  $i$  依旧是平均通过 1 个节点即可与未连接的节点形成链接。这一结果表明随着阈值增加到 0.002, 我国境内银行网络总体依旧呈现一个稳定的状态, 且网络中的银行依旧在同业拆借市场中有着活跃的表现, 网络凝聚力较高。

### 3) 银行同业拆借网络聚集系数分析

**Table 6.** Network aggregation coefficient of domestic banks in 2013-2017 ( $t = 0.002$ )**表 6.** 2013~2017 年我国境内银行网络聚集系数( $t = 0.002$ )

	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
Watts-Strogatz 聚集系数	0.892	0.879	0.852	0.801	0.860

由表 6 可知, 在阈值  $t = 0.002$  的情况下, 2013~2017 年我国境内银行的聚集系数较阈值  $t = 0.001$  的情况有所下降, 但是依旧处在一个较高的水平上, 这也进一步说明我国境内银行网络中各银行之间有着非常紧密的联系。

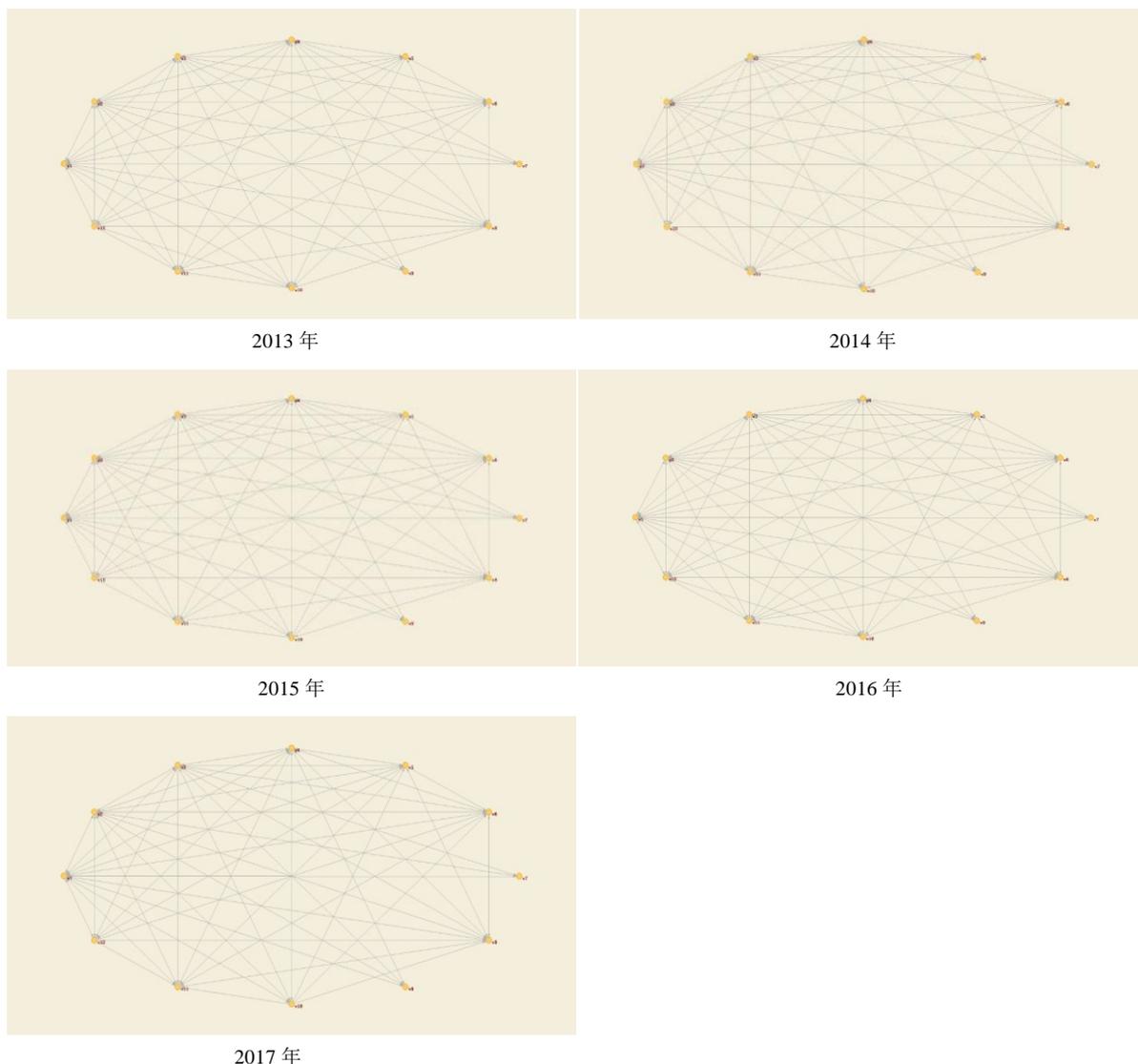
### 4.2.3. 阈值 $t = 0.003$ 情况下的银行网络拓扑特征

将阈值小幅提高一次还不能十分准确的说明我国境内银行网络拓扑特征, 所以本文在阈值  $t = 0.002$  的基础上, 将其再次进行了提升, 设定阈值  $t = 0.003$ 。

#### 1) 银行同业拆借网络节点度分析

**Table 7.** Node degree distribution of domestic banking network in 2013-2017 ( $t = 0.003$ )**表 7.** 2013~2017 年我国境内银行网络节点度分布( $t = 0.003$ )

节点	2013	2014	2015	2016	2017
V1	20	21	21	19	20
V2	20	20	21	20	20
V3	20	19	19	19	19
V4	20	20	19	19	19
V5	15	9	13	16	15
V6	18	12	14	17	14
V7	4	5	4	6	3
V8	15	16	15	17	15
V8	4	4	6	4	4
V10	14	12	13	16	12
V11	14	14	11	10	12
V12	14	10	12	17	13
平均度	14.8	13.5	14.0	15.0	13.8



**Figure 3.** Distribution of network node degree of domestic banks in 2013-2017 ( $t = 0.003$ )  
**图 3.** 2013~2017 年我国境内银行网络节点度分布图( $t = 0.003$ )

由表 7 可知, 在阈值  $t = 0.003$  的 2013~2017 年我国境内银行网络中, 节点  $v_1$  (中国银行)、 $v_2$  (中国工商银行)、 $v_3$  (中国农业银行)、 $v_4$  (中国建设银行) 仍有着较高的度, 在阈值再次扩大的情况下, 仍在我国境内银行的同业拆借市场中表现活跃, 与其他银行之间有着密切的业务往来。同时随着阈值进一步的扩大, 除之前所提到的广东发展银行和华夏银行以外, 其他银行在同业拆借市场上也开始不活跃, 这也进一步说明, 当阈值提高以后, 仅有 4 家银行依旧有着活跃的同业拆借业务往来, 这也说明了这 4 家银行在整个银行网络中处于一个核心地位。

由图 3 也可知, 在阈值扩大到 0.003 的 2013~2017 年我国境内银行网络中, 左上角  $v_1 \sim v_4$  节点均保持较高的链接数, 而右下角的  $v_6 \sim v_{10}$  节点以及左下  $v_{11} \sim v_{12}$  节点的链接数再次明显减少, 整个网络图更加呈现了左上密集右下稀疏的状态, 这也进一步验证了上述的说法, 即中国银行、中国工商银行、中国农业银行、中国建设银行是我国境内银行网络中的核心银行, 与各个银行之间都有着密切的业务往来。

## 2) 银行同业拆借网络平均路径长度分析

**Table 8.** Average path length of domestic banking network in 2013-2017 ( $t = 0.003$ )**表 8.** 2013~2017 年我国境内银行网络平均路径长度( $t = 0.003$ )

	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
平均路径长度	1.191	1.331	1.306	1.106	1.245

由表 8 可知, 在阈值  $t = 0.003$  的情况下, 2013~2017 年我国境内银行的总体平均路径长度相较于阈值  $t = 0.002$  的情况又有小幅增加, 但各年份之间的平均路径长度依旧相近, 且沿着 1.25 上下波动, 这说明网络中某一节点  $i$  依旧平均通过 1 个节点即可与未连接的节点形成链接。这一现象进一步验证了阈值  $t = 0.001$  时的观点: 我国境内银行网络在 2013~2017 年总体稳定, 网络中的银行在同业拆借市场中联系密切, 网络有着较高的凝聚力。

### 3) 银行同业拆借网络聚集系数分析

**Table 9.** Network aggregation coefficient of domestic banks in 2013-2017 ( $t = 0.003$ )**表 9.** 2013~2017 年我国境内银行网络聚集系数( $t = 0.003$ )

	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
Watts-Strogatz 聚集系数	0.834	0.813	0.788	0.802	0.806

由表 9 可知, 在阈值  $t = 0.003$  的情况下, 2013~2017 年我国境内银行的聚集系数较阈值  $t = 0.002$  的情况又有小幅下降, 但总体均高于 0.75, 依然处在较高水平。并且在阈值提高的情况下, 2015~2017 年的聚集系数依旧较之前有所降低, 这也验证了上述阈值  $t = 0.001$  时的观点: 随着我国经济的发展, 我国境内银行在保持密切联系的同时, 开始注重其背后所带有的风险传染性, 因此通过风险调控小幅降低了风险业务的往来频繁度, 进而导致聚集系数的小幅降低。这也进一步显示我国境内银行网络的内部连接机制在逐年完备。

## 5. 结论

本文总共选取了 12 家我国境内银行的同业拆借数据, 运用复杂网络理论、最大熵法以及阈值法构建了 2013~2017 年我国境内银行同业拆借网络结构, 并从该银行网络的节点度(平均度)、平均路径长度以及聚集系数三个网络拓扑特征角度入手, 对我国境内银行的网络结构进行了研究分析。实证研究发现, 我国境内银行的同业拆借网络有着节点度大、平均路径长度小且聚集系数高的特点, 呈现小世界特征[12], 而小世界特征即表示我国境内银行网络的同业拆借市场效率高、分布广, 网络中的银行可以较快较便捷的获得融资, 市场也有着高度合理的资源配置, 这对于中国这样的发展中国家来说是一个有利的因素, 可以帮助我国金融市场稳健发展。但是并不是说小世界特征对中国金融市场发展只有益处没有坏处, 较高的网络聚集度将意味着较高的风险传染性, 即若任意一家银行发生不良经营结果产生风险, 这个风险将会顺着网络对网络中其他的银行进行快速地“传染”, 轻则导致整个银行网络的瘫痪, 重则引发全国性的金融危机。

对此, 提出以下几点建议: 首先, 加强监管力度: 我国必须要对金融业的监管制度进行进一步完善, 并实行“因地制宜”政策, 对有着不良资产的银行以及处于核心地位的银行加强金融业务方面的监管力度, 并在此基础上提高对各个银行的资本要求。其次, 合理资源配置, 提高资源利用率: 在整个银行体系中, 4 家主要国有银行以及部分股份制银行有着雄厚的资金, 在日常的金融业务中有着活跃的表现, 但是有些中小银行却因为资金缺乏而被限制了发展, 在金融业务活动中表现泛泛。为了充分的调动各家银行的积极性, 保持我国银行业务体系的活跃性, 给中小银行一个发展的空间和机会, 增强中小银行的

信心和热情。最后, 壮大核心银行队伍, 使交易主体多样化: 核心银行在整个银行网络中起着重要的作用, 但是整个银行网络不能仅仅依靠着少数几个核心银行, 因为一旦这些屈指可数的核心银行发生问题, 那么整个网络将会陷入困境, 更甚将会引起全国性的金融危机。所以为了使得金融体系更加的稳健, 国家可以出台相关政策扶植一些资金雄厚的股份制银行成为一个网络的核心力量, 分担原有核心银行的压力和风险, 使得整个银行体系网络更加的稳健, 这也可以有效的预防金融危机的发生。

## 基金项目

教育部人文社会科学研究规划基金“垄断性企业空间拓扑网络分析及网络路径研究”(18YJA790075)。

## 参考文献

- [1] 左振宇, 李守伟, 何建敏. 我国银行网络拓扑结构特征的实证研究[J]. 华东经济管理, 2012, 26(2): 98-101.
- [2] Soramäki, K., Bech, M.L., Arnold, J., *et al.* (2006) The Topology of Interbank Payment Flows. *Physica: A Statistical Mechanics & Its Applications*, **379**, 317-333. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2006.11.093>
- [3] De Masi, G. and Gallegati, M. (2007) Bank-Firms Topology in Italy. *Empirical Economics*, **43**, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00181-011-0512-x>
- [4] 汪贵浦, 余雷鸣, 陈明亮, 周清. 商业银行空间市场力的演进规律——中国光大银行拓扑结构的分析[J]. 地理科学, 2015, 35(3): 275-282.
- [5] 牛晓健, 吕潇潇. 中国银行间同业拆借市场网络系统的研究——基于复杂网络方法的探索[J]. 盐城工学院学报(社会科学版), 2016, 29(4): 32-38.
- [6] 陈少炜, 李旸. 我国银行体系的网络结构特征——基于复杂网络的实证分析[J]. 经济问题, 2016(8): 56-63. <https://doi.org/10.1007/s35128-016-0145-z>
- [7] 隋新, 何建敏, 李守伟. 嵌入银企间和企业间市场的内生信贷网络模型构建[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2017, 19(3): 99-107.
- [8] Aldasoro, I. and Alves, I. (2016) Multiplex Interbank Networks and Systemic Importance: An Application to European Data. *Journal of Financial Stability*, **35**, 17-37. <https://doi.org/10.1016/j.jfs.2016.12.008>
- [9] 黄玮强, 范铭杰, 庄新田. 基于借贷关联网络的我国银行间市场风险传染[J]. 系统管理学报, 2019(5): 898-906.
- [10] Albert, R. and Barabási, A.L. (2002) Statistical Mechanics of Complex Networks. *Reviews of Modern Physics*, **26**, 47-97. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.74.47>
- [11] 李茂. 中国产业关联网络的拓扑特征演变[J]. 技术经济, 2016, 35(7): 80-89.
- [12] Watts, D., Strogatz, J. and Steven, H. (1998) Collective Dynamics of “Small-World” Networks. *Nature*, **393**, 440-442. <https://doi.org/10.1038/30918>