

中国金融机构波动溢出动态关联网络研究

黄玮强¹, 李 方¹, 姚 爽²
(1. 东北大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110169; 2. 沈阳化工大学 经济与管理学院, 辽宁 沈阳 110142)

摘 要: 基于 VAR-GARCH-BEKK 模型, 构建金融机构波动溢出动态关联网络, 分析网络的关联拓扑结构指标, 挖掘金融行业间的波动溢出动态关联规律. 结果表明: 银行业内部金融机构间的波动溢出水平比较稳定; 绝大多数时期, 银行业和证券业金融机构在网络中表现为独立的关联“社团”; 从受到外部波动溢出影响方面看, 证券业的平均系统关联最强, 信托业的平均跨行业关联最强; 从对外波动溢出影响方面看, 各行业的平均系统关联强弱差异不大, 保险业的平均跨行业关联最强; 从网络总体“嵌入”程度看, 信托业的平均系统关联及跨行业关联均最强, 其网络“嵌入”程度最深.

关 键 词: 波动溢出网络; 关联分析; 金融机构; 金融行业; 网络拓扑结构

中图分类号: F 830.91 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2019)04-0596-06

Dynamic Volatility Spillover Network of Chinese Financial Institutions

HUANG Wei-qiang¹, LI Fang¹, YAO Shuang²
(1. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China; 2. School of Economics and Management, Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang 110142, China.
Corresponding author: HUANG Wei-qiang, E-mail: wqhuang@mail.neu.edu.cn)

Abstract: A dynamic volatility spillover network of financial institutions was constructed on the basis of the VAR-GARCH-BEKK model, whose associated topology indicators were analyzed, and the dynamic correlation laws of volatility spillover between financial industries were investigated. The results showed that the volatility spillover levels are more stable in the bank industry than those in other industries. During most of the periods, the banks and security companies form independent correlated communities. From the perspective of receiving volatility spillover, the security industry has the strongest average systemic correlation, and the trust industry has the strongest average inter-industry correlation. From the perspective of sending volatility spillover, the insurance industry has the strongest average inter-industry correlation, and the average systemic correlations are not significantly different among different industries. From the perspective of network embeddedness, the trust industry has the strongest average systemic correlation and inter-industry average correlation, whose embeddedness is the greatest.

Key words: volatility spillover network; correlation analysis; financial institution; financial industry; network topology structure

近年来,越来越多的学者通过网络化建模方式研究金融系统性风险问题.网络构建主要包括基于金融机构实际业务数据或市场收益数据,前者集中关注银行间借贷关联^[1-2]、交叉持股^[3]、持有共同资产^[4]等渠道下的风险传染问题;后者建立金融机构市场收益间的关联网络,关联建模主要基于计量经济模型如向量自回归模型^[5-7]、主成分分析^[8]、聚类分析^[9]、多元 GARCH 模型^[10]等.相较于业务数据,市场数据能更迅速地反映金融机构的实时信息.纵观基于市场数据的金融网络研究,从研究内容上看,这些研究主要构建的是银行网络^[2,7],较少关注隶属于不同金融行业的

机构间关联及由此引发的金融行业间的关联性。从研究方法上看,这些研究侧重于市场收益的一阶矩关联(收益溢出),而较少关注市场收益的二阶矩关联(波动溢出)。本文利用我国不同金融行业中的金融机构市场数据,基于VAR-GARCH-BEKK模型,分析金融机构间的波动溢出关联性,进而构建金融机构波动溢出动态关联网络。在此基础上通过分析网络的关联拓扑结构,挖掘由机构关联信息所蕴含的金融行业间的关联规律。研究创新之处在于,通过聚焦于金融机构间的波动溢出关系,进一步研究了金融行业间的波动溢出关联规律。

1 金融机构波动溢出网络及关联拓扑结构指标

1.1 金融机构波动溢出模型

利用VAR-GARCH-BEKK模型研究金融机构收益 r_t (k 维列向量)的波动溢出效应^[11],其均值方程对应的随机扰动向量为 ε_t ,且 $E\varepsilon_t=0$ 。假设 ε_t 满足如下条件异方差过程:

$$\varepsilon_t = H_t^{1/2} \eta_t. \quad (1)$$

式中: $k \times k$ 维矩阵 $H_t = [h_{ij,t}]$ 是 ε_t 的条件协方差矩阵; η_t 是独立同分布的误差向量过程,且 $E\eta_t\eta_t' = I$,其中 I 是单位矩阵; $H_t^{1/2}$ 是矩阵根,在BEKK(1,1)模型中,

$$H_t = CC' + A\varepsilon_{t-1}\varepsilon_{t-1}'A' + BH_{t-1}B'. \quad (2)$$

其中: A, B 和 C 是 $k \times k$ 维参数矩阵, C 是下三角矩阵。BEKK模型优势在于其模型构建本身可以确保条件协方差矩阵是正定的^[12]。通过检验矩阵 A 和 B 的元素 $a_{ij} = b_{ij} = 0$ 的原假设来分析金融机构间的波动溢出效应。模型可通过拟极大似然估计(QML)方法进行参数估计,其假定 ε_t 的条件分布遵循联合高斯分布,对数似然函数形式为

$$\lg L = -\frac{1}{2} \sum_{t=1}^T [k \lg(2\pi) + \ln |H_t| + \varepsilon_t' H_t^{-1} \varepsilon_t]. \quad (3)$$

式中: L 为似然函数; T 为样本时间长度; k 为模型维数(由金融机构数量决定)。

1.2 网络构建

在考察的样本期间内,金融机构 i 在第 t 日的对数收益率 $r_{i,t} = \ln(p_{i,t}/p_{i,t-1})$,其中 $p_{i,t}$ 为该机构在第 t 日的收盘价。将样本期间内各金融机构间的波动溢出关系用网络 $G(V, E)$ 刻画,其中节点集合 $V = \{1, 2, \dots, N\}$,代表 N 家金融机构,连边集合 $E = \{e_{ij} = 1(0), i \neq j\} (i = 1, 2, \dots, N, j = 1,$

$2, \dots, N)$ 代表该时期金融机构间的波动溢出关联, $e_{ij} = 1(0)$ 表示机构 i 对机构 j (不)具有波动溢出效应。由于 $e_{ij} \neq e_{ji} (i \neq j)$, $G(V, E)$ 为有向网络。 $e_{ij} = 1$ 表示为“ $i \rightarrow j$ ”,即存在一条由节点 i 指向节点 j 的连边。 $G(V, E)$ 的构建需要建立并估计 $(N^2 - N)/2$ 个VAR-GARCH-BEKK(1,1)模型。

1.3 网络关联拓扑结构指标^[8]

1) 总体关联度:

$$DGC = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{j=1}^N \sum_{i \neq j} (i \rightarrow j). \quad (4)$$

总体关联度DGC越大,金融机构之间存在越多的波动溢出关系,金融系统性风险的溢出水平越高。

2) 机构的系统关联数:

$$OUT: (i \rightarrow S) = \sum_{i \neq j} (i \rightarrow j), \quad (5)$$

$$IN: (S \rightarrow i) = \sum_{j \neq i} (j \rightarrow i), \quad (6)$$

$$IN+OUT: (i \leftrightarrow S) = \sum_{j \neq i} (j \rightarrow i) + (i \rightarrow j). \quad (7)$$

式中: S 为金融系统;OUT为由节点 i 直接指向其他节点的连边数量,衡量金融机构 i 收益率的波动对整个金融系统的影响程度;IN为由其他节点直接指向节点 i 的连边数量,衡量系统中其他金融机构收益率的波动对机构 i 的影响程度;IN+OUT为两者之和,该指标越大,金融机构 i 在网络中的波动溢出“嵌入”程度越深。

3) 机构的跨行业关联数:

$$OUT-TO-OTHER: ((i|P) \rightarrow \sum_{Q \neq P} (S|Q)) = \sum_{Q \neq P} \sum_{j \neq i} ((i|P) \rightarrow (j|Q)), \quad (8)$$

$$IN-FROM-OTHER: (\sum_{Q \neq P} (S|Q) \rightarrow (i|P)) = \sum_{Q \neq P} \sum_{j \neq i} ((j|Q) \rightarrow (i|P)), \quad (9)$$

$$IN+OUT-OTHER: ((i|P) \rightarrow \sum_{Q \neq P} (S|Q)) = \sum_{Q \neq P} \sum_{j \neq i} ((j|Q) \rightarrow (i|P)) + ((i|P) \rightarrow (j|Q)). \quad (10)$$

式中: P, Q 为金融行业类型,包括银行、证券、保险、信托;OUT-TO-OTHER为金融机构 i 对其他金融行业中的金融机构存在的波动溢出关系数量,刻画了机构 i 对跨行业金融机构的波动溢出影响程度;IN-FROM-OTHER为其他金融行业中的金融机构对金融机构 i 的波动溢出关系数量,刻画了跨行业金融机构对机构 i 的波动溢出影响程度。IN+OUT-OTHER是上述两者之和,

刻画了机构 i 在网络中的跨行业波动溢出“嵌入”程度.

2 实证研究过程及结果

2.1 样本数据

各上市金融机构股票收盘价的收集期间确定为 2008-10-06~2017-09-29,共 2 192 个交易日. 根据中国证监会制定的《上市公司行业分类指引》,实证研究了 27 家上市金融机构,包括 14 家银行、8 家证券公司、3 家保险公司及 2 家信托公司. 数据来源于 Wind 资讯数据库,波动溢出建模及网络构建分析通过 Winrats 和 Matlab 软件实现. 以每个季度为子样本期间,分别构建子样本期间内的金融机构波动溢出网络,最终共构建 36 个网络.

2.2 总体关联度

从 2008 第 4 季度到 2012 年第 4 季度,网络总体关联度的变动幅度较小,说明金融机构间的波动溢出关系相对稳定;从 2012 年第 4 季度以后,网络总体关联度的变化幅度明显加大,金融机构间的波动溢出关系变得更不稳定. 总体来看,在 2008 年第 4 季度、2010 年第 4 季度、2013 年第 2 季度、2014 年第 4 季度、2015 年第 1 季度和 2017 年第 3 季度,网络总体关联数均达到局部峰值,说明这 6 个时期金融机构间的总体波动溢出关系较多,金融系统性风险的溢出水平较高. 下面将针对这 6 个时期的网络做进一步的分析.

2.3 金融行业间的波动溢出关联分析

计算各网络中不同行业间或同一行业内部的波动溢出关联数量及其占比,如表 1 所示.

表 1 金融行业间的波动溢出数量及其占比
Table 1 Volatility spillover relationships among financial industries

金融行业		波动溢出接收行业			
		银行(14)	证券(8)	保险(3)	信托(2)
波动溢出源行业 (2008 年第 4 季度)	全部加总	57.98% (407)			
	银行	54.95% (100)	38.84% (87)	22.62% (19)	30.36% (17)
	证券	70.53% (79)	29.47% (33)	18.75% (9)	15.63% (5)
	保险	25.00% (21)	22.29% (11)	33.33% (2)	16.67% (2)
	信托	28.34% (17)	12.50% (4)	0(0)	50.00% (1)
波动溢出源行业 (2010 年第 4 季度)	全部加总	62.68% (440)			
	银行	57.69% (105)	32.15% (72)	32.15% (27)	26.79% (15)
	证券	33.48% (75)	57.14% (32)	29.17% (14)	37.50% (12)
	保险	33.34% (28)	35.42% (17)	66.67% (4)	25.00% (3)
	信托	35.72% (20)	40.63% (13)	16.67% (2)	50.00% (1)
波动溢出源行业 (2013 年第 2 季度)	全部加总	69.37% (487)			
	银行	68.13% (124)	37.06% (83)	29.76% (25)	37.50% (21)
	证券	38.84% (87)	67.86% (38)	37.50% (18)	50.00% (16)
	保险	32.15% (27)	31.25% (10)	16.67% (1)	33.33% (4)
	信托	37.50% (21)	21.88% (7)	25.00% (3)	100.00% (2)
波动溢出源行业 (2014 年第 4 季度)	全部加总	72.08% (506)			
	银行	67.03% (122)	38.40% (86)	38.10% (32)	32.15% (18)
	证券	42.41% (95)	60.71% (34)	35.42% (17)	37.50% (12)
	保险	46.43% (39)	33.33% (16)	100.00% (6)	33.33% (4)
	信托	33.93% (19)	12.50% (4)	8.34% (1)	50.00% (1)
波动溢出源行业 (2015 年第 1 季度)	全部加总	69.66% (489)			
	银行	71.98% (131)	30.81% (69)	35.72% (30)	33.93% (19)
	证券	38.84% (87)	55.36% (31)	43.75% (21)	43.75% (14)
	保险	25.00% (21)	43.75% (21)	33.33% (2)	50.00% (6)
	信托	35.72% (20)	31.25% (10)	41.67% (5)	100.00% (2)
波动溢出源行业 (2017 年第 3 季度)	全部加总	65.24% (458)			
	银行	59.34% (108)	38.84% (87)	29.76% (25)	44.65% (25)
	证券	26.79% (60)	69.64% (39)	20.84% (10)	25.00% (8)
	保险	39.29% (33)	37.50% (18)	100.00% (6)	33.33% (4)
	信托	39.29% (22)	31.25% (10)	25.00% (3)	0(0)

注:“全部加总”是指网络中实际存在的所有波动溢出关联数量之和.

由表 1 可知:在不同时期各不同金融行业间的波动溢出关系中,银行业和证券业金融机构间的波动溢出关系数量显著多于其他不同行业间的关系数量.例如 2008 年第 4 季度,银行业对证券业的波动溢出数量为 87,同时期证券业对银行业的波动溢出数量为 79,远多于其余不同行业间的波动溢出关系数量.这说明我国金融体系的系统性风险溢出很大部分来源于银行业和证券业之间的波动溢出关系.从相对值(数量占比)来看,不同行业间的波动溢出数量占比最大的分别为证券业对银行业(2008 年第 4 季度)、信托业对证券业(2010 年第 4 季度)、证券业对信托业(2013 年第 2 季度)、保险业对银行业(2014 年第 4 季度)、证券业对保险业或信托业(2015 年第 1 季度)及银行业对信托业(2017 年第 3 季度).

从不同时期同一金融行业内部机构间的波动溢出数量占比来看,银行业内部机构间的波动溢出数量占比区间为[54.95%,71.98%]、证券业内部机构间的波动溢出数量占比区间为[29.47%,69.43%]、保险业内部机构间的波动溢出数量占比区间为[16.67%,100%]、信托业内部机构间的波动溢出数量占比区间为[0,100%].这说明银行业内部的波动溢出水平比较

稳定,其他行业内部的波动溢出水平较不稳定.

对于波动溢出关联网络,如果某一金融行业内部机构间的波动溢出数量占比高于该行业与其他行业间的波动溢出数量占比,说明这一金融行业内部关联紧密性强于其与其他行业间的关联紧密性,即这一金融行业为独立的关联“社团”.由表 1 可知,除 2008 年第 4 季度外,银行业(证券业)内部的波动溢出数量占比均显著高于其与其他行业间的波动溢出数量占比.例如 2010 年第 4 季度,银行业内部的波动溢出数量占比为 57.69%,显著高于其与其他行业间的波动溢出数量占比(表中为与 57.69% 处于同一行或同一列的其他数量占比数据).这说明,银行业和证券业在波动溢出关联网络中为独立的关联“社团”.进一步分析发现,2008 年第 4 季度(金融危机期间),银行业和证券业的波动溢出数量占比均高于这两个行业内部机构间的波动溢出数量占比,即这两个行业各自的关联“社团”结构弱化,它们更趋向于形成一个更大的跨行业关联“社团”结构.

2.4 系统关联和跨行业关联拓扑结构指标分析

表 2 和表 3 分别给出了这 6 个时期,各行业金融机构的系统关联数及跨行业关联数等关联拓扑结构指标的最小值、平均值及最大值.

表 2 金融机构系统关联数
Table 2 Systemic correlation among financial institutions

金融行业		IN			OUT			IN + OUT		
		最小值	均值	最大值	最小值	均值	最大值	最小值	均值	最大值
2008 年 第 4 季度	银行	11	15.29	19	9	15.93	22	20	31.21	41
	证券	13	17.25	20	8	15.75	23	21	33	40
	保险	7	11	14	11	13	17	18	24	31
	信托	11	13	15	11	11.5	12	23	24.5	26
2010 年 第 4 季度	银行	9	16.29	26	7	15.65	21	18	31.93	41
	证券	14	16.75	20	12	16.63	21	28	33.38	40
	保险	14	15.67	17	14	17.33	21	28	33	38
	信托	9	15.5	22	17	18	19	28	33.50	39
2013 年 第 2 季度	银行	14	18.5	24	13	18.07	22	28	36.57	44
	证券	14	18	21	15	19.88	23	33	37.88	43
	保险	12	16	20	13	16.67	20	32	32.67	33
	信托	21	22	23	16	16.50	17	37	38.50	40
2014 年 第 4 季度	银行	16	19.64	24	9	18.43	25	25	38.07	44
	证券	12	17.50	23	14	19.75	25	32	37.25	48
	保险	18	18.67	19	20	21.67	23	39	40.33	42
	信托	13	17.5	22	8	12.5	17	21	30	39
2015 年 第 1 季度	银行	13	18.5	23	7	17.79	23	21	36.29	45
	证券	14	16.38	20	5	19.13	23	20	35.50	43
	保险	15	19.33	22	14	16.67	18	29	36	40
	信托	19	20.5	22	18	18.50	19	37	39	41
2017 年 第 3 季度	银行	6	15.93	21	12	17.50	21	27	33.43	40
	证券	8	19.25	25	9	14.63	20	28	33.88	41
	保险	12	14.67	16	19	20.33	21	31	35	37
	信托	17	18.50	20	17	17.50	18	35	36	37

表 3 金融机构跨行业关联数
Table 3 Inter-industry correlation among financial institutions

金融行业		IN - FROM - OTHER			OUT - TO - OTHER			IN + OUT - OTHER		
		最小值	均值	最大值	最小值	均值	最大值	最小值	均值	最大值
2008 年 第 4 季度	银行	5	8.14	11	5	8.79	12	11	16.93	21
	证券	9	13.13	16	5	11.63	17	15	24.75	32
	保险	5	9.67	13	9	11.67	16	14	21.33	29
	信托	11	11.50	12	11	11	11	22	22.50	23
2010 年 第 4 季度	银行	3	8.79	13	3	8.07	12	6	16.86	23
	证券	9	12.75	16	9	12.63	16	19	25.38	29
	保险	12	14.33	16	13	16	19	25	30.33	35
	信托	9	15.00	21	17	17.5	18	27	32.50	38
2013 年 第 2 季度	银行	6	9.64	13	6	9.21	12	13	18.86	24
	证券	10	13.25	15	10	15	17	24	28.25	32
	保险	11	15.33	19	13	16	19	30	31.33	32
	信托	20	21	22	15	15.50	16	35	36.5	38
2014 年 第 4 季度	银行	6	10.93	13	5	9.71	12	16	20.64	24
	证券	8	13.25	17	10	15.50	19	24	28.75	35
	保险	15	16.33	17	18	19.67	21	35	36	38
	信托	12	17	22	8	12	16	20	29	38
2015 年 第 1 季度	银行	6	9.14	12	4	8.43	12	10	17.57	24
	证券	8	12.50	16	5	15.25	19	16	27.75	34
	保险	14	18.67	21	13	16	18	27	34.67	39
	信托	18	19.50	21	17	17.50	18	35	37	39
2017 年 第 3 季度	银行	6	8.21	12	8	9.79	12	15	18	22
	证券	6	14.38	18	5	9.75	14	18	24.13	30
	保险	10	12.67	14	17	18.33	19	27	31	33
	信托	17	18.50	20	17	17.5	18	35	36	37

由表 2 和表 3 可知:2008 年第 4 季度证券行业的 IN 和 IN - FROM - OTHER 指标平均值最大,说明不管是从整个金融系统还是跨行业角度看,证券业受到其他金融机构的波动溢出影响最大.银行业的 OUT 指标均值最大,但保险业的 OUT - TO - OTHER 指标均值最大,这说明银行业对整个金融系统的波动溢出效应最强,而保险行业对其他跨行业金融机构的波动溢出效应最强.证券行业的 IN + OUT 和 IN + OUT - OTHER 指标均值均为最大,说明这一时期证券行业在网络中的(跨行业)波动溢出“嵌入”程度最深.

2010 年第 4 季度、2013 年第 2 季度、2015 年第 1 季度和 2017 年第 3 季度,信托行业的 IN + OUT 和 IN + OUT - OTHER 的指标均值均为最大,说明这 4 个时期信托行业在网络中的(跨行业)波动溢出“嵌入”程度最深.2013 年第 2 季度和 2015 年第 1 季度,证券业的 OUT 指标均值最大,但保险业和信托业的 OUT - TO - OTHER 指标均值最大,说明证券业对整个金融系统的波动溢出效应最强,而保险业和信托业的跨行业波动溢出效应最强.2010 年第 4 季度除了证券业的 IN

指标均值最大,其他指标均表现为信托行业最大.2017 年第 3 季度,证券业的 IN 指标均值最大,但信托业的 IN - FROM - OTHER 指标均值最大,说明证券行业受到整个金融系统的波动溢出影响最大,信托行业则受到较强的跨行业波动溢出影响.2014 年第 4 季度除 IN 指标外,保险业的其余关联指标均值均为最大,说明这一时期保险业的网络波动溢出“嵌入”程度最深.

综合来看,对于上述 6 个系统性风险水平较高的时期,从受到外部波动溢出影响方面看(IN 和 IN - FROM - OTHER),证券业的平均系统关联最强(3 个时期均值最大)、信托业的平均跨行业关联最强(5 个时期均值最大);从对外波动溢出影响方面看(OUT 和 OUT - TO - OTHER),各行业的平均系统关联强弱差异不大(均值最大出现的次数差异不明显)、保险业的平均跨行业关联最强(4 个时期均值最大);从网络总体“嵌入”程度看(IN + OUT 及 IN + OUT - OTHER),信托业的平均系统关联及跨行业关联均最强(分别有 4 个时期均值最大),其网络“嵌入”程度最深.

3 结 论

- 1) 相较于 2008 ~ 2012 年,2013 年以来,中国金融机构间的波动溢出关系数量变化较大,金融系统性风险的溢出水平较不稳定.
- 2) 中国金融体系的系统性风险溢出很大部分来源于银行业和证券业之间的波动溢出关系. 银行业内部机构间的波动溢出水平比较稳定,其他行业内部机构间的波动溢出水平较不稳定. 银行业和证券业在波动溢出关联网络中为独立的关联“社团”. 金融危机期间,这两个行业各自的关联“社团”结构弱化,它们并更趋向于形成一个更大的跨行业关联“社团”结构.
- 3) 从受到外部波动溢出影响方面看,证券业的平均系统关联最强、信托业的平均跨行业关联最强;从对外波动溢出影响方面看,各行业的平均系统关联强弱差异不大、保险业的平均跨行业关联最强;从网络总体“嵌入”程度看,信托业的平均系统关联及跨行业关联均最强,其网络“嵌入”程度最深.
- 参考文献:
- [1] Anand K,Craig B,Peter G V. Filling in the blanks: network structure and interbank contagion[J]. *Quantitative Finance*, 2015,15(4):1-12.
- [2] 杨海军,胡敏文. 基于核心-边缘网络的中国银行风险传染[J]. *管理科学学报*,2017,20(10):44-56.
- (Yang Hai-jun, Hu Min-wen. Risk contagion of Chinese

- interbank markets based on core-periphery network [J]. *Journal of Management Sciences in China*,2017,20(10):44-56.)
- [3] Elliott M, Golub B, Jackson M O. Financial networks and contagion[J]. *American Economic Review*,2014,104(10):3115-3153.
- [4] Greenwood R, Landier A, Thesmar D. Vulnerable banks[J]. *Journal of Financial Economics*, 2015,115(3):471-485.
- [5] Diebold F X, Yilmaz K. On the network topology of variance decompositions: measuring the connectedness of financial firms [J]. *Journal of Econometrics*, 2014, 182 (1): 119-134.
- [6] 李政,梁琪,涂晓枫. 我国上市金融机构关联性研究——基于网络分析法[J]. *金融研究*,2016(8):95-110.
- (Li Zheng, Liang Qi, Tu Xiao-feng. The connectedness of Chinese listed financial institutions;a study based on network analysis[J]. *Journal of Financial Research*,2016(8):95-110.)
- [7] 文凤,汪洋. 我国上市银行系统关联性研究——基于方差分解的网络拓扑分析[J]. *金融与经济*,2017(2):64-70.
- (Wen Feng, Wang Yang. The systemic connectedness of Chinese listed banks—an network topology analysis based on variance decompositions [J]. *Journal of Finance and Economics*,2017(2):64-70.)
- [8] Billio M, Getmansky M, Lo A W, et al. Econometric measures of connectedness and systemic risk in the finance and insurance sectors[J]. *Journal of Financial Economics*, 2012,104(3):535-559.
- [9] Yang J, Zhou Y. Credit risk spillovers among financial institutions around the global credit crisis: firm-level evidence [J]. *Management Science*,2013,59(10):2343-2359.
- [10] Huang W Q, Zhuang X T, Yao S, et al. A financial network perspective of financial institutions' systemic risk contribution [J]. *Physica A*,2016,456:183-196.
- [11] Engle R F, Kroner K F. Multivariate simultaneous generalized ARCH[J]. *Econometric Theory*,1995,11(1):122-150.
- [12] Andersen T G, Davis R A, Kreib J P, et al. *Handbook of financial time series*[M]. Berlin: Springer,2009.