

股指极端波动下中国股票市场网络拓扑结构

张伟平, 庄新田, 李延双
(东北大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110169)

摘 要: 采用最小生成树方法构建股票市场网络, 研究中国股市网络在股指极端波动前、中、后阶段 MST 结构的演化、拓扑指标与关键节点不同时期的个体行为特征. 结果表明: 中国股市行业内有很强的聚集性和行业间的匀质性; 在极端波动时 MST 网络收缩, 波动后网络又伸展扩张; 极端波动中后期, 材料业和信息技术业异军突起占据网络重要位置; 不同传染源引起的极端波动其风险传播途径不同. 股指极端波动加剧了股票市场股票间的联动性, 市场中资产发生重新配置, 网络结构产生新的调整.

关 键 词: 最小生成树方法; 股指极端波动; 股票市场; MST 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(2018)10-1511-05

Network Topology Struture of China Stock Market Under Extreme Volatility of Stock Indexes

ZHANG Wei-ping, ZHUANG Xin-tian, LI Yan-shuang
(School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China. Corresponding author: ZHANG Wei-ping, E-mail: wpzhang0904@foxmail.com)

Abstract: Stock market network was constructed by using the minimum spanning tree method to study the evolution of MST structure, the topological indicators and individual behavior characteristics of the key nodes at different periods before, during and after the extreme volatility of stock indexes. The results showed that the China's stock market industry has a strong concentration and industry-wide homogeneity. The MST network shrinks during extreme volatility, and the network expands after volatility. In the middle and late periods of extreme volatility, the sudden emergence of the materials industry and information technology industry occupies an important position in the network. The extreme volatility caused by different infectious sources has different ways of transmission risk. Extreme volatility in stock indexes exacerbates the linkage between stocks, assets are reconfigured in the market and the network structure is undergone new adjustments.

Key words: minimum spanning tree method; stock index extreme volatility; stock market; MST network; topological structure

在股票市场繁荣发展的同时,也避免不了像金融危机、股市危机等带来的股指极端波动,引起不同性质的股票在同一时间表现出不同涨跌,各股票的价格波动也产生了错综复杂的关联.那么股指极端波动下股票市场的网络结构是如何演变的、单个节点的特性及投资者如何做出正确的投资决策、把握不同股票间的相互关系、分散化投资规避风险显得尤为重要.针对股票市场网络结构的动态演化等特点,复杂网络科学方法的兴起正好为研究此问题提供了一个很好的途径^[1].网络科学的研究内容主要有揭示网络的拓扑统计性质^[2-4],构建股市网络模型^[5-6],分析股票网络特点. Onnela 等^[7]首次使用最小生成树理论研究“黑色星期一”经济危机带来的影响,发现股市受到冲击不同时期网络结构的进化调整. Jung 等^[8]研究了亚洲金融危机前后股市网络内特定的行业

或节点重新配置组合. Roy 等^[9]使用最小生成树方法研究雷曼兄弟公司破产对全球股指网络产生的影响. 黄飞雪等^[10]发现金融危机爆发后, 全球股指间地域聚集效应更加明显, 各股指间的相关程度显著提高、联动性增强. 徐晓萍等^[11]分析了金融危机前后 2 个不同时期对中国证券市场的影响.

已有研究在股票关联网络的静态方面比较完善, 对于股票市场上的不确定事件引起的股市行情的极端波动情况, 大多数研究多选择亚洲金融危机或者美国次贷危机单一时间段, 且多集中在发达国家的成熟市场股票间的相关性, 研究时间短且平稳, 较少对不同传染源引起的非平稳时期的中国股票市场的拓扑特征及时间演化过程进行研究. 因此本文选取 2013 - 10 ~ 2016 - 09 及 2006 - 06 ~ 2010 - 12 时间段, 探究不同传染源下中国股票市场网络结构变化的异同点及关键节点在不同时期的个体行为特征.

1 股票关联网络

网络中每个节点代表一家公司(股票), 距离代表公司间的关联强度. 样本为市场内 N 支股票的日收盘价 P_i , 计算 t 时刻股票 i 的对数收益率 R_i , 则任意股票 i 和 j 在时间间隔 Δt 内的 Pearson 相关系数为 $\rho_{i,j}$. 因为 Pearson 相关系数不满足度量空间 (metric space) 的 3 个条件, 故将 $\rho_{i,j}$ 转换为相应的度量距离 d_{ij} :

$$d_{ij} = \sqrt{2(1 - \rho_{i,j})} . \tag{1}$$

最小生成树 T 是关联网络的一个子网络, 该子网络通过 $N - 1$ 条边将 N 个节点连在一起, 并满足这 $N - 1$ 条边的距离之和最小^[12]:

$$T = \sum_{(i,j) \in T} d_{ij} . \tag{2}$$

采用以下拓扑指标研究中国股市极端波动下网络的演化和结构特征.

1) 归一化树长度. 它是计算所研究时期的 MST 长度 ($L(t)$), 描述网络中节点间的平均分离程度, 即网络有多小, $L(t)$ 越小节点间连接越接近, 说明股票间的波动关联性越强:

$$L(t) = (1/(N - 1)) \times \sum_{(i,j) \in T} d_{ij} . \tag{3}$$

2) 度及度分布. 度是描述单独节点属性简单而重要的概念. 在网络中, 节点 v_i 的度 k_i 定义为与该节点连接的边数. 节点的度越大, 该节点在网络中越重要. 定义度分布 $P(k)$ 为网络中度为 k 的节点在整个网络中所占的比例.

2 实证研究及结果

2.1 样本数据

为获取多时段股指极端波动非平稳股价记录, 选取 2008 年金融危机和 2015 年股市震荡前后 (依次记为“样本区间 1”和“样本区间 2”) 上证 180 指数和深证 300 指数成分股日收盘价, 据股票收益率波动强度, 分别划分为近似等长度的三个阶段. 波动前: 2006 - 06 - 02 ~ 2007 - 11 - 30 和 2013 - 10 - 10 ~ 2014 - 09 - 30. 波动中: 2007 - 12 - 03 ~ 2009 - 06 - 30 与 2014 - 10 - 10 ~ 2015 - 06 - 15. 波动后: 2009 - 07 - 01 ~ 2010 - 12 - 30 与 2015 - 10 - 08 ~ 2016 - 09 - 30. 选取始终处于上市状态并剔除连续停盘超过 24 天的股票, 得到上证 89 支、深证 83 支股票. 将上市公司分为 10 大行业: 金融、材料、工业、公用事业、能源、可选消费、电信服务、医疗保健、信息技术、日常消费.

2.2 股指波动下股票市场网络结构演化

采用 Kruskal 算法构建上海和深圳股市的 MST 网络. 分析在不同传染源引起的股指极端波动前、中、后 3 个不同时期网络的演化过程和网络拓扑指标特征.

1) 相关系数: 上海、深圳股市网络在股指极端波动下节点间的相关系数统计结果见表 1.

表 1 上海、深圳三阶段相关系数统计结果

Table 1 Shanghai and Shenzhen three phase correlation coefficient statistics

波动阶段	样本区间 1						样本区间 2					
	上海			深圳			上海			深圳		
	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大
前	0.340	-0.027	0.823	0.419	0.022	0.761	0.266	-0.073	0.768	0.259	-0.125	0.862
中	0.542	0.227	0.904	0.519	0.154	0.888	0.425	-0.150	0.902	0.402	-0.112	0.928
后	0.418	-0.039	0.903	0.433	0.048	0.901	0.467	0.053	0.922	0.484	-0.083	0.906
整体	0.444	0.151	0.869	0.489	0.191	0.838	0.406	0.015	0.885	0.404	0.024	0.878

注: 此处自身公司节点对之间相关系数的最大值和距离的最小值取 0.

由表 1 可知,两个股票市场均表现出在极端波动发生前网络中各公司的相关系数平均值较低,说明各公司间在极端波动前拥有较弱的聚集性,而在极端波动中公司间的相关系数平均值较高.

从样本区间 1 整体看上海股市相关性最大的两节点同属材料业(武钢股份和宝钢股份).深圳股市中分属信息技术和可选消费行业的东旭光电和苏宁云商的相关系数最小为 0.022,而同属材料行业的铜陵有色和鞍钢股份相关系数最大为 0.888.在样本区间 2 上海 MST 图中,波动相关性最大的是山东黄金和中金黄金.在极端波动发生前后相关性最小的节点是属于不同行业的四川长虹和金地集团.深圳 MST 网络中,波动中相关性最大值是 0.928 的两家公司冀中能源和西山煤电,它们同属于能源行业.在极端波动发生前后相关性最小的两家公司是泛海控股(金融类行业)和航天发展(信息技术).由此可知:在股票关联网络中,同行业的公司间的相关性会明显高于不同行业的公司间相关性,且在股指极端波动时此现象更为明显.

2) MST 网络结构的演化:图 1a,1b 是金融危机波动前沪深两市的 MST 图,在极端波动前 MST 网络除了几个主要的行业集群外,大多数行业还是比较均匀地分散于整个网络.图 1a 中连通性关键节点有 6 个:上海电力(16 条连边),华域汽车(9),中海发展(8),四川长虹(7),冠城大通和雅戈尔(5).其中金融业节点连通性关键节点占比较多,所以金融业在危机来临时成为主要的传播点.图 1b 中连通性关键节点有 8 个:分众传媒(14 条连边),长城电脑(11),浪潮信息、银河生物、中通客车、美年健康和冀中能源(6),其中分众传媒处于网络中心位置.图 1c,1d 是国内股市异常波动前沪深两市的 MST 图.图 1c 中重要

连通性节点有 6 个:武钢股份(9 条连边),南京高科(8),航天信息和江西铜业(6),南方航空(5).其中连通性最强的武钢股份属第二产业,处于网络的中心位置并连通了许多行业,如工业(三一重工)、金融业(城投控股)、电信业(中国联通).图 1d 中连通性关键节点有 4 个:南玻 A 和西山煤电(9 条连边),华兰生物和中信国安(6).其中连通性最强的公司仍属于第二产业,且占据网络重要位置.说明 2015 年国内股市风险由材料业传播,不同于 2008 年金融危机(金融业为主要传播途径).对于分布在网络边缘的节点,在波动到来时受到的冲击也相对较小.例如图 1a 中的同方股份、航天信息、用友网络等信息技术公司.

图 2 为股指波动中和波动后上海、深圳两样本区间内 MST 图.波动时期最大的特点就是各行业分布不再像危机前那样分散,而是相对比较集中.图 2a 中上海电力受金融危机的影响连通性迅速下降且脱离网络中心开始下移,转而以巨化股份和南山铝业为代表的材料业异军突起与金融业平分秋色.除北京城建等以房地产为支柱的金融业连通性仍较强外,像浦发、华夏、民生等银行类金融业受金融危机的冲击最严重.图 2b 分析结果与图 2a 类似.图 2c,2d 中连通性最强的分别是同方股份和华工科技,均属信息技术行业,说明 2015 年国内股市异常波动发生时信息技术行业的地位迅速上升.在样本 2 的连通性重要节点中,两市场都表现出金融业公司在波动中数目较波动前数目有所增加,这与 2008 年金融危机时期金融业受到严重冲击导致波动发生时金融业公司连通性显著降低不同.图 2e~2h 刻画了股指极端波动后两股市 MST 图的演化过程.发现两个样本区间上海和深圳股市在波动后网络的连通性都要远好于波动中网络的连通性.

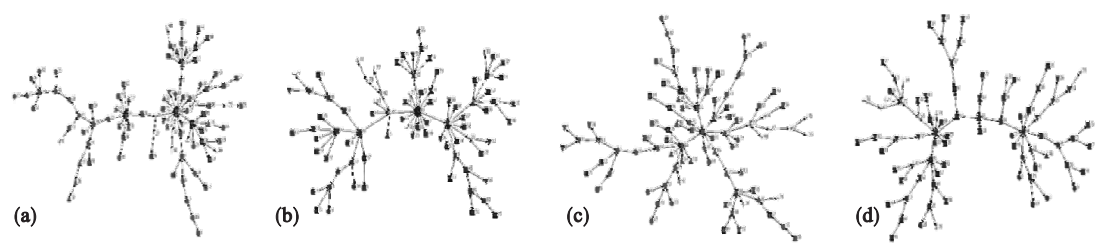
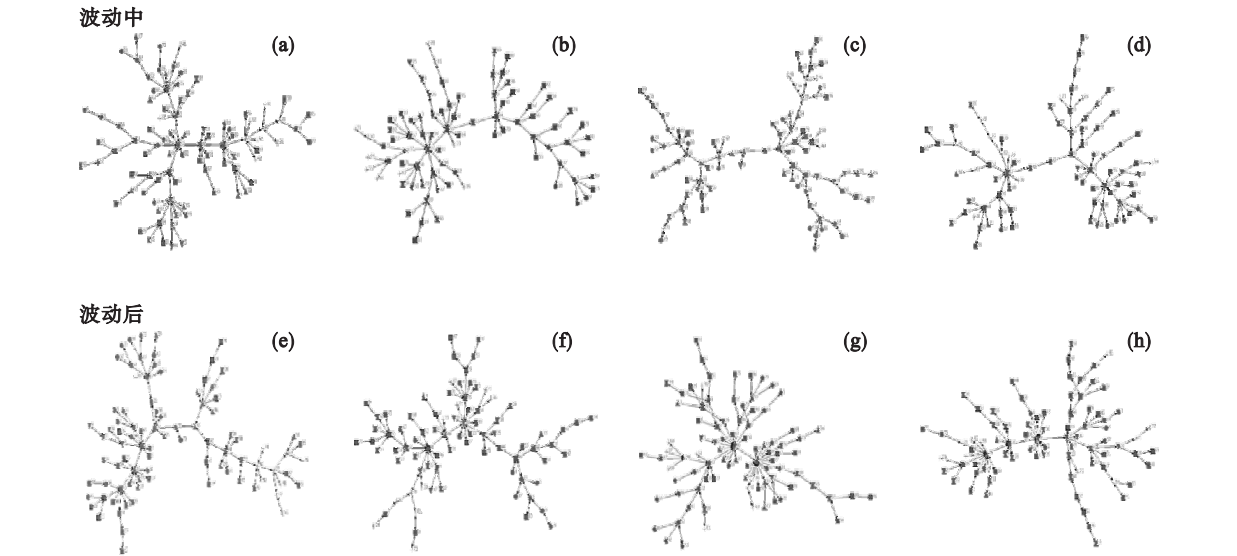


图 1 极端波动前上海、深圳股票市场 MST 网络图

Fig. 1 Shanghai and Shenzhen stock market MST network before extreme volatility

(a)—上海 MST(样本 1); (b)—深圳 MST(样本 1); (c)—上海 MST(样本 2); (d)—深圳 MST(样本 2).



节点形状代表的行业:圆形代表金融;正方形代表材料;上三角形代表工业;下三角形代表公用事业;盒形代表能源;方形中有圆圈代表可选消费;菱形代表电信服务;加号代表医疗保健;对角三角形代表信息技术;圆角正方形代表日常消费

图 2 极端波动中、波动后上海和深圳股票市场 MST 网络图

Fig. 2 Shanghai and Shenzhen stock market MST network during and after extreme volatility

(a)—上海 MST(样本 1); (b)—深圳 MST(样本 1); (c)—上海 MST(样本 2); (d)—深圳 MST(样本 2);
(e)—上海 MST(样本 1); (f)—深圳 MST(样本 1); (g)—上海 MST(样本 2); (h)—深圳 MST(样本 2)。

3) 归一化树长度:沿两样本时间轴方向划分近似长度的 9 个窗口,计算每个窗口的归一化树长度,结果如表 2 所示。表 2 中两个样本 MST 网络树长度在股市剧烈波动时期(W_5, W_6)收缩到最小。样本 1 中,上海 MST 归一化树长度从 W_1 的 108.451 减小到 W_5 的 81.371,深圳股市网络的归一化树长度从 W_1 窗口的 93.077 减小到 W_5 窗口的 71.382。由于 2015 年国内股市异常波动的特殊性,后期影响并没有使股市很快恢复良好,而是在低谷中波动发展才会出现 W_7 和 W_8 窗口的较小值。随着波动的结束,两市场 MST 图归一化树长度逐渐变大但仍小于初始值。说明中国股

市 MST 网络在股市剧烈波动时逐渐收缩,当股市行情最糟糕时 MST 网络收缩至最小,随着波动的减弱股市行情利好,MST 网络逐渐扩张。

4) 度与度分布:图 3 为在两个样本区间内上海、深圳股市网络不同波动阶段的度分布情况。

由图 3 可知,两样本中上海、深圳 MST 网络大多数公司的节点度值小于平均度值 2 且仅有少数节点的度值大于 5,这完全符合无标度网络的度分布为幂律分布的特征。发现两个样本中上海、深圳三个阶段 Hub 节点的变化情况相似,在股票市场剧烈波动时期,图 3a 和图 3b 中上海和深圳 MST 网络中节点最大度值为 9 和 8,明显要小于股市剧烈波动发生前的 16 和 14,且在剧烈波动时 Hub 节点度值等于 5~9 的概率要明显高于剧烈波动前高度值的概率,说明金融危机引起的股市剧烈波动使上海和深圳证券市场的网络结构发生显著调整,连通性很高的 Hub 节点显著降低,连通性中等的节点有所增加以抵抗股市的极端波动。图 3c 和 3d(样本区间 2)中波动发生时上海、深圳 MST 网络中 Hub 节点的度值分别为 6 和 9,也均小于波动前和波动后;且剧烈波动时连通性度值在 4 到 6 的节点数显著高于波动前和波动后。说明上海、深圳股票市场对股市危机行情较为敏感,具有一定的预判能力,在股指剧烈爆发之前,上海和深圳股票市场的网络结构已经发生了剧烈的变化,释放了预警信号;中国股票市场受股市波动的影响网络结构发生改变,在网络中起重

表 2 两个股票市场 MST 网络演化的归一化树长度
Table 2 Normalized tree length of two MST network evolution

窗口	样本区间 1		样本区间 2	
	上海	深圳	上海	深圳
W_1	108.451	93.077	105.733	99.898
W_2	101.541	89.239	106.032	100.043
W_3	100.407	90.688	111.600	105.019
W_4	82.682	72.939	106.955	100.276
W_5	81.371	71.382	104.752	102.389
W_6	97.559	88.798	78.103	76.574
W_7	91.123	84.886	83.112	83.188
W_8	98.272	90.742	91.326	88.252
W_9	99.911	93.116	102.840	93.074

要联通作用的 Hub 节点也会发生改变,以稳定网络结构,抵抗风险波动与传染.

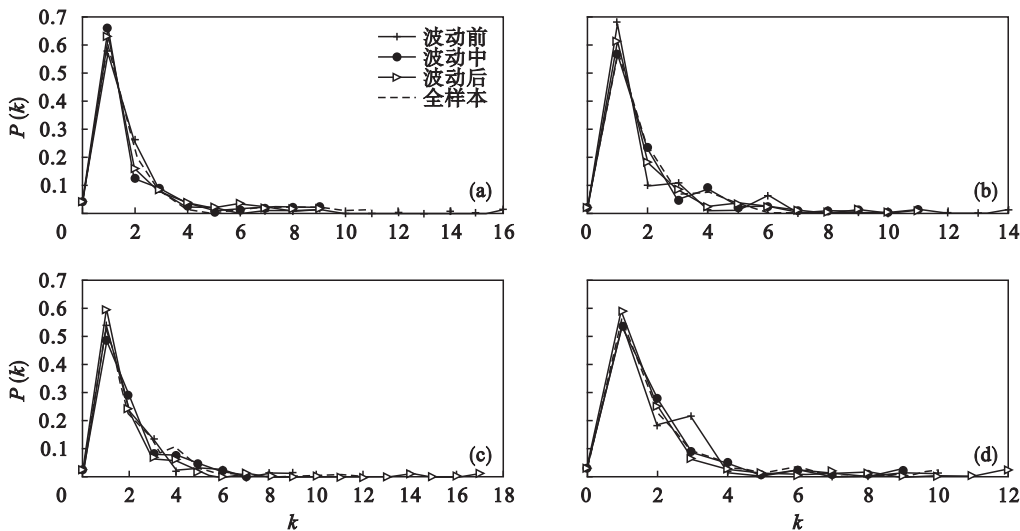


图 3 上海、深圳股票市场网络节点度分布
Fig. 3 Degree distribution of network nodes in Shanghai and Shenzhen stock markets
(a)—上海(样本 1); (b)—深圳(样本 1); (c)—上海(样本 2); (d)—深圳(样本 2).

3 结 论

1) 中国股票市场表现出很强的行业内的聚集性和行业间的匀质性. 极端波动前后网络节点的聚集性相对较弱, 极端波动时期节点间的相关系数明显增加.

2) 中国股票市场的 MST 图表现出在极端波动时期最小生成树图严重缩小, 而极端波动后逐渐扩张伸展.

3) 极端波动时期和波动后期, 材料行业 and 信息技术业异军突起在整个网络中占据重要位置, 特别是材料业和(房地产)金融类公司联系紧密, 暗示了两者在极端行情影响下股票价格波动关联性增强.

4) 中国股票市场在股指剧烈波动时网络中 Hub 节点度值明显小于波动发生前后, 说明上海、深圳股票市场对股指极端波动行情较为敏感, 具有一定的预判能力, 在极端波动爆发前, 网络结构已经发生了剧烈变化, 释放了预警信号, 以此可警示投资者对证券市场行情做出预测, 重新调整投资组合结构.

5) 两次极端行情下风险传染途径不同, 2008 年风险波动主要是由金融行业传播, 2015 年风险波动主要是由材料行业传播.

参考文献:

[1] Dorogovtsev S N, Mendes J F F. Evolution of networks [J]. *Advances in Physics*, 2002, 51 (4) : 1079 – 1187.

[2] Huang W Q, Zhuang X T, Yao S. A network analysis of the Chinese stock market [J]. *Physica A*, 2009, 388 (14) : 2956 – 2964.

[3] Thomas K D P, Luciano F C, Francisco A R. The structure and resilience of financial market networks [J]. *Chaos*, 2012, 22 (1) : 113 – 117.

[4] Namaki A, Jafari G R, Raei R. Comparing the structure of an emerging market with a mature one under global perturbation [J]. *Physica A*, 2011, 390 (17) : 3020 – 3025.

[5] Coelho R, Hutzler S, Repetowicz P. Sector analysis for a FTSE portfolio of stocks [J]. *Physica A*, 2007, 373 (1) : 615 – 626.

[6] 黄玮强, 庄新田, 姚爽. 我国股票关联网络的动态演化研究 [J]. *系统工程学报*, 2014, 29 (2) : 192 – 201.
(Huang Wei-qiang, Zhuang Xin-tian, Yao Shuang. Study of dynamic evolution of Chinese stock price correlation network [J]. *Journal of Systems Engineering*, 2014, 29 (2) : 192 – 201.)

[7] Onnela J P, Chakraborti A, Kaski K, et al. Dynamic asset trees and black monday [J]. *Physica A*, 2003, 324 (1) : 247 – 252.

[8] Jung W S, Chae S, Yang J S. Characteristics of the Korean stock market correlations [J]. *Physica A*, 2006, 361 (1) : 263 – 271.

[9] Roy R B, Sarkar U K. Identifying influential stock indices from global stock markets; a social network analysis approach [J]. *Procedia Compute Science*, 2011 (5) : 442 – 449.

[10] 黄飞雪, 谷静, 李延喜, 等. 金融危机前后的全球主要股指联动与动态稳定性比较 [J]. *系统工程理论与实践*, 2010, 30 (10) : 1729 – 1740.
(Huang Fei-xue, Gu Jing, Li Yan-xi, et al. Linkages and dynamic stability of the national of global primary stock index before and after the financial crisis [J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2010, 30 (10) : 1729 – 1740.)

[11] 徐晓萍, 杨欢, 韩定定. 金融危机对中国证券网络的实证研究 [J]. *复杂系统与复杂性科学*, 2012, 9 (2) : 13 – 22.
(Xu Xiao-ping, Yang Huan, Han Ding-ding. Empirical study on Chinese stock networks under financial crisis [J]. *Complex Systems and Complexity Science*, 2012, 9 (2) : 13 – 22.)

[12] Onnela J P, Kaski K, Kertesz J. Clustering and information in correlation based financial networks [J]. *The European Physical Journal B*, 2004, 38 (2) : 353 – 362.