

国家自然科学基金项目 (71771042, 71371044)

金融关联网络结构、演化及 系统性风险研究

STUDY ON THE STRUCTURE AND EVOLUTION OF
FINANCIAL NETWORKS AND SYSTEMIC RISK

黄玮强 © 著

非
外
借

中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

金融关联网络结构、演化及 系统性风险研究

STUDY ON THE STRUCTURE AND EVOLUTION OF
FINANCIAL NETWORKS AND SYSTEMIC RISK

黄玮强 © 著

图书在版编目 (CIP) 数据

金融关联网络结构、演化及系统性风险研究/
黄玮强著. —北京: 经济科学出版社, 2018. 6
ISBN 978 - 7 - 5141 - 9519 - 4

I. ①金… II. ①黄… III. ①金融网络 - 研究
IV. ①F830. 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 155253 号

责任编辑: 李 雪
责任校对: 徐领柱
责任印制: 邱 天

金融关联网络结构、演化及系统性风险研究

黄玮强 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 010 - 88191217 发行部电话: 010 - 88191522

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

天猫网店: 经济科学出版社旗舰店

网址: [http: //jjkxcbs. tmall. com](http://jjkxcbs.tmall.com)

固安华明印业有限公司印装

710 × 1000 16 开 17.75 印张 260000 字

2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 9519 - 4 定价: 66.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 010 - 88191510)

(版权所有 侵权必究 打击盗版 举报热线: 010 - 88191661)

QQ: 2242791300 营销中心电话: 010 - 88191537

电子邮箱: [dbts@ esp. com. cn](mailto:dbts@esp.com.cn))

前 言

复杂网络是研究自然界中存在的大量现实复杂系统的有力工具，具体方法是将系统中研究对象的元素抽象为节点，将元素之间的关系抽象为网络中的边。从本质上看，金融市场是一个具有大量相互作用单元的典型的复杂系统。特别地，作为现代金融市场的重要组成部分，股票市场内部具有大量交易活跃的股票，股票价格波动之间存在复杂的线性或非线性关联。近年来，复杂网络理论方法被越来越广泛地用于研究股票市场复杂系统，股票关联网络已经成为该领域的重要研究方向。一方面，股票价格波动关联模式及其变化，直接影响股票投资组合风险及股票资产定价；另一方面，对于金融机构来说，其受到风险传染而出现的经营困境甚至破产倒闭，是机构间各种关联渠道相互交织和相互作用的结果，其最终将反映在上市金融机构的二级市场数据中，例如表现为股票价格的极端波动关联，而这种关联性又与金融系统性风险密切相关。因此，对股票关联网络的建模分析，有利于深入挖掘大量股票及其之间复杂的相互关联规律。这里将一般性的股票关联网络与基于股票关联渠道而产生的金融机构关联网络，统称为金融关联网络。

网络结构决定网络功能，并进而影响发生在网络上的动力学行为。本书主要以我国股票市场为背景，利用线性相关及信息溢出（收益溢出、波动溢出及尾部风险溢出），较为全面地刻画股票间的线性及非线性相互关系，在此基础上构建金融关联网络，深入分析关联网络的静态拓扑结构特征及网络稳定性、关联网络动态演化规律、关联网络与金融机构风险传染、关联网络与系统性风险等问题。该研究立足于复杂网络

理论方法,综合利用金融学、金融计量学特别是金融时间序列模型等领域成果。研究拓展了复杂网络的应用研究范围、丰富了已有的股票价格波动关联及金融系统性风险研究范式,研究结果可为股票投资组合构建及风险管理、股票资产定价、金融机构风险传染及系统性风险管理提供一定的理论及实证支持。

本书共由七章构成,具体内容如下:

第1章 首先阐述了本书的研究背景、问题提出、国内外研究现状及评述、本书的研究内容、研究方法及结构安排。

第2章 简要介绍了与本书研究相关的基本理论与方法,包括复杂网络理论与方法、金融关联网络相关理论与方法、金融系统性风险相关理论与方法等。

第3章 首先基于简单收益关联刻画股票间的关联性,分别利用阈值法、最小生成树法和平面最大过滤图方法,构建股票关联网络,研究网络拓扑结构特征、聚类结构及稳定性等问题;然后利用信息溢出效应刻画股票关联性,建立关联网络并从拓扑结构角度研究股票市场内股票间的信息溢出关系及其影响因素,最后研究了股权分置改革事件对于我国股票关联网络稳定性的影响。

第4章 首先通过建立动态演化的股票关联网络,研究网络整体及个体节点拓扑结构特征的动态演化规律、市场整体及个体股票价格行为与网络拓扑结构特征间的内在关系;然后研究了网络基本拓扑结构特征和网络弹性的动态演化规律,并分析了网络拓扑结构特征、股票收益率及其波动性水平是如何影响网络弹性的;最后利用计量经济模型全面研究网络弹性与市场运行状态的动态相互关系。

第5章 首先以股票信息溢出关系作为风险关联渠道,并将网络拓扑结构与个体金融机构的风险传染特征紧密结合起来。具体地,基于金融机构股票收益溢出关系,构建收益溢出网络。利用网络节点中心性拓扑结构特征指标,刻画金融机构的风险传染强度及风险承受强度,并挖掘其影响因素。其次,利用我国金融机构市场收益数据,基于 VAR -

GARCH-BEKK 模型, 构建金融机构波动溢出动态关联网, 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。

第 6 章 首先利用 CoVaR 动态模型对我国上市金融机构的系统性风险贡献进行动态估计及分析; 然后提出了一种新的系统性风险贡献度量方法即 CoCVaR; 其次, 从动态条件关联网结构视角出发, 研究影响金融机构系统性风险贡献的网络因素; 最后, 利用 CoVaR 指标及分位数回归方法, 衡量金融机构之间的尾部风险传染强度, 建立金融机构尾部风险动态网络, 研究网络拓扑结构特征对金融机构系统性风险贡献的影响。

第 7 章 总结了本书的主要研究内容和结论, 并指出了本研究的局限性和进一步研究的方向。

本书的主要内容系国家自然科学基金项目 (71771042、71371044) 资助的研究成果。上述一些研究成果已发表在 *Journal of Risk*、*Physica A*、*Chaos, Solitons & Fractals* 和《管理科学》《系统工程学报》等国内外重要学术期刊上。在本书的写作过程中, 曾参考和引用了国内外学者有关的研究成果和文献, 在此一并向他们表示诚挚的感谢! 由于作者理论修养和自身能力的局限性, 本书必然存在种种的不足与缺陷, 敬请各位读者不吝指正。

黄玮强

2018 年 6 月

目 录

第1章 绪论 / 1

1.1 研究背景及问题提出 / 1

1.1.1 研究背景 / 1

1.1.2 问题提出 / 3

1.2 国内外研究现状及评述 / 7

1.2.1 复杂网络国内外研究现状 / 7

1.2.2 金融关联网络国内外研究现状 / 9

1.2.3 网络视角下的金融系统性风险国内外 研究现状 / 14

1.2.4 相关研究的综合评述 / 18

1.3 本书的研究内容及研究方法 / 20

1.3.1 研究内容 / 20

1.3.2 研究方法 / 22

1.4 本书结构安排 / 22

第2章 基础理论 / 24

2.1 复杂网络理论与方法 / 24

2.1.1 复杂网络的研究历程 / 24

- 2.1.2 复杂网络的表示方法 / 26
- 2.1.3 复杂网络的统计描述 / 27
- 2.1.4 网络模型 / 31
- 2.1.5 复杂网络的统计物理学方法 / 36
- 2.1.6 复杂网络的辅助分析软件 / 39
- 2.2 金融关联网络 / 42
 - 2.2.1 有效市场 / 42
 - 2.2.2 股票关联机理 / 45
 - 2.2.3 股票关联度量方法 / 46
 - 2.2.4 投资组合理论 / 50
 - 2.2.5 股票关联网络构建方法 / 54
- 2.3 金融系统性风险 / 58
 - 2.3.1 定义及特征 / 58
 - 2.3.2 银行系统性风险传染 / 59
 - 2.3.3 系统重要性金融机构监管 / 60
 - 2.3.4 金融机构系统性风险贡献度量方法 / 67

第3章 金融关联网络拓扑结构研究 / 70

- 3.1 阈值法下股票关联网络拓扑结构及稳定性 / 70
 - 3.1.1 网络构建和拓扑统计量 / 70
 - 3.1.2 网络稳定性分析 / 80
- 3.2 最小生成树和平面最大过滤图拓扑性质及聚类结构 / 84
 - 3.2.1 最小生成树和平面最大过滤图拓扑性质 / 85
 - 3.2.2 最小生成树和平面最大过滤图聚类结构 / 91
- 3.3 股票信息溢出网络分析 / 96
 - 3.3.1 网络构建及拓扑结构 / 96
 - 3.3.2 网络总体信息溢出关系影响因素 / 99
 - 3.3.3 网络节点信息溢出能力影响因素 / 107

3.4 股权分置改革对我国股票关联网络稳定性的影响研究 / 110

3.4.1 网络构建及稳定性检验方法 / 110

3.4.2 股票收益同步性分析 / 111

3.4.3 随机矩阵分析 / 112

3.4.4 网络基本拓扑结构分析 / 114

3.5 本章小结 / 115

第4章 金融关联网络动态演化研究 / 118

4.1 价格行为与网络拓扑结构特征 / 118

4.1.1 动态网络构建 / 118

4.1.2 网络拓扑结构特征及其动态演化 / 121

4.1.3 市场价格行为与网络拓扑结构特征 / 132

4.1.4 个股价格行为与网络节点拓扑结构特征 / 137

4.2 网络弹性与网络拓扑结构特征 / 139

4.2.1 动态网络构建 / 139

4.2.2 网络弹性及网络拓扑结构特征指标 / 141

4.2.3 价格波动关联结构演化规律 / 143

4.2.4 网络弹性及其影响因素研究 / 148

4.3 网络弹性与市场运行的互动关系 / 150

4.3.1 互动关系分析模型 / 150

4.3.2 数据及其描述性统计分析 / 152

4.3.3 格兰杰因果关系检验 / 153

4.3.4 脉冲响应函数分析 / 156

4.4 本章小结 / 158

第5章 金融关联网络与金融机构风险传染 / 160

5.1 基于收益溢出网络的金融机构风险传染研究 / 160

- 5.1.1 金融机构收益溢出网络 / 160
- 5.1.2 金融机构风险传染及风险承受强度分析 / 164
- 5.1.3 金融机构风险传染影响因素分析 / 171
- 5.2 金融机构波动溢出动态关联网络研究 / 175
 - 5.2.1 金融机构波动溢出网络及关联拓扑结构指标 / 175
 - 5.2.2 实证结果及分析 / 178
- 5.3 本章小结 / 187

第6章 金融关联网络与系统性风险 / 189

- 6.1 基于 CoVaR 动态模型的我国金融机构系统性风险研究 / 190
 - 6.1.1 CoVaR 动态模型 / 190
 - 6.1.2 变量选取及数据来源 / 191
 - 6.1.3 金融机构系统性风险贡献分析 / 194
 - 6.1.4 向前的 ΔCoVaR 分析 / 196
- 6.2 CoCVaR——一种新的系统性风险贡献度量方法 / 199
 - 6.2.1 CoCVaR 定义 / 199
 - 6.2.2 动态环境下的 CoCVaR 估计 / 200
 - 6.2.3 系统性风险贡献估计 / 201
 - 6.2.4 实证结果及分析 / 203
- 6.3 金融机构关联网络结构与金融机构系统性风险贡献关系研究 / 210
 - 6.3.1 研究背景 / 210
 - 6.3.2 基于 DCC-MVGARCH 模型的 CoVaR 估计 / 211
 - 6.3.3 金融机构动态关联网络 / 213
 - 6.3.4 实证研究过程及结果 / 215
- 6.4 尾部风险网络视角下的金融机构系统性风险贡献研究 / 229
 - 6.4.1 研究背景 / 229
 - 6.4.2 金融机构尾部风险传染及尾部风险网络 / 230

- 6.4.3 全连接尾部风险网络分析 / 233
- 6.4.4 阈值法下的尾部风险网络分析 / 241
- 6.4.5 尾部风险网络拓扑结构与系统性风险贡献的关系研究 / 242
- 6.5 本章小结 / 245

第7章 结论及展望 / 247

- 7.1 本书的主要成果及结论 / 247
 - 7.1.1 金融关联网络拓扑结构 / 247
 - 7.1.2 金融关联网络的动态演化 / 251
 - 7.1.3 金融关联网络与金融机构风险传染 / 253
 - 7.1.4 金融关联网络与系统性风险 / 254
- 7.2 展望 / 256

参考文献 / 257

第 1 章

绪 论

1.1 研究背景及问题提出

1.1.1 研究背景

复杂系统是复杂性科学的研究对象，其具有演化、涌现、自组织、自适应、自相似等共同特征。复杂系统的各个组成部分之间相互作用、相互影响，形成复杂的关系网。复杂网络已经成为刻画和分析复杂系统的有力工具，具体地，分别将系统内部主体及主体之间的关联描述成网络节点及节点间的连边。这种描述方法已被广泛应用于各种实际系统的研究，例如神经网络、食物链网络、因特网络、WWW 网络、各种社会关系网络、交通网等。

从本质上看，金融体系是一个复杂系统。例如，股票市场中大量股票的价格波动之间存在复杂的相互关联；大量金融机构之间通过借贷关系、支付系统、证券清算、衍生品交易等直接渠道，或共同资产持有、

投资组合收益关联、股票价格波动关联等间接渠道，形成了复杂的相互关联。近年来，越来越多的学者利用复杂网络对金融复杂系统进行建模分析。主要有两方面研究，第一类研究以股票市场中的股票为节点，股票间的价格波动关联为连边构建股票关联网络。通过分析股票关联网络的拓扑结构特征，深入研究股票间的价格波动关联模式，并试图挖掘该关联模式及结构对于组合投资及风险管理的重要意义。

第二类研究着眼于金融机构内在关联所导致的风险传染及金融系统性风险问题。金融系统性风险是指可能导致金融系统部分或者全部受损进而使其金融服务功能中断，并对实体经济产生严重危害的风险（金融稳定委员会，2011）。由于金融机构之间日益深入且复杂的相互关联和相互依赖，一家或若干家金融机构的经营困境甚至破产倒闭会造成其他金融机构的经营困境甚至破产倒闭，由此引发机构的经营困境或破产倒闭连锁反应并最终形成金融系统性风险。例如，在次级抵押贷款证券化产品的销售和购买中所形成的复杂相互关联，是2007~2009年源于美国次级抵押贷款机构的破产，会迅速引起其他金融机构（投资银行、商业银行和基金公司）倒闭的重要原因之一。金融危机之后，金融系统性风险已成为理论界、实务界和监管机构共同关注的焦点。这类研究以金融机构为节点，机构间的直接或间接关联为连边构建金融机构关联网络。以金融机构关联网络为载体，研究网络结构与风险传染的内在关系、网络上的风险传染过程及结果等，相应研究成果有利于理解金融系统性风险的形成演化内在机制。金融机构关联网络研究主要集中于银行网络。但是，实际操作中很难获取全面的银行间关联数据。例如，银行之间的借贷数据并不公开，甚至连监管机构也只能获得部分银行间借贷头寸信息。因此这些研究通常假设网络具有简单的拓扑结构（环形、星形等）、典型复杂网络（随机网络、小世界网络、无标度网络等）或利用已知数据间接推断得到网络（如最大熵法）等，这就影响了研究结论的可靠性。众所周知，金融机构股票的市场行为是宏观经济、行业及金融机构实际业务运营状况的综合体现。股票间的信息溢出（收益溢出、

波动溢出)及尾部风险溢出能够较全面地反映金融机构间的市场关联性,相关数据易得且时效性强。若仅聚焦于股票关联渠道的金融机构关联网络,上述两类研究实质上可统一至同一框架,只是由于研究目的的不同,相应的股票关联建模方式有所差异,将这两类关联网络统称为金融关联网络。

1.1.2 问题提出

本书将分别基于我国股票关联网络及依托股票关联渠道的金融机构关联网络,研究金融关联网络结构、网络演化以及系统性风险问题,具体包括如下五大方面问题:

1.1.2.1 股票关联网络的拓扑结构

网络的拓扑结构决定网络功能,并影响发生在网络上的动力学行为。网络基本的拓扑性质有平均路径长度、聚集系数、度分布和相关性等。根据网络连边属性(权值、方向)的特点这些统计量又具有不同的定义和计算方法。现实的网络拓扑结构普遍具有“小世界性”和“无标度性”,另外社会网络和技术网络呈现不同的相关性特点。同一拓扑统计量在不同的网络环境下具有不同的含义,以股票关联网络为背景挖掘该网络的拓扑性质,有利于研究网络的功能和动力学行为。

随着对网络性质的物理意义和数学特性的深入研究,人们发现许多实际网络都具有一个共同性质,即聚类结构。整个网络是由若干个聚类构成的,每个聚类内部的顶点之间的连接相对非常紧密,但是各个聚类之间的连接却相对来说比较稀疏。一般而言,聚类可以包含派系(clique)、成分(component)、宗派(clan)、块(block)等各种含义,实践中分别有不同的算法来实现各种含义下的聚类分析。揭示网络中的聚类结构,对于了解网络结构与分析网络特性都很重要。特别地,股票关联网络聚类结构的分析,可以帮助我们从价格波动相关性方面了解股票之间深层次的关联结构,这对于股票组合投资、风险管理均具有重要

的指导价值。

网络的稳定性问题是复杂网络研究的另一重要内容。它是指在随机攻击和选择性攻击下（去点或去边）网络结构的稳定性，分别称为网络的容错能力和抗攻击能力。研究表明，对于规则网络和随机网络，随机攻击和选择性攻击的效果相当；小世界网络对于长程联接攻击非常敏感；无标度网络对于随机攻击具有很强的鲁棒性，但是对于选择性攻击却很脆弱。股票关联网络也存在稳定性问题，如股票代表的上市公司发生极端风险（退市或破产），其对应于上述的网络去点攻击。特定股票的退出将会引起整体关联网络的结构变化。对这种结构变化的研究可以深入了解股票之间的关联模式，为投资风险管理提供有益的借鉴。

1.1.2.2 股票关联网络的动态演化

随着时间的推进，市场外部环境、行业以及上市公司自身情况都在不断变化，股票间的价格波动关联也会发生相应的变化。股票关联网络动态演化研究，能够有效地揭示股票间的动态价格波动关联、市场整体及个体股票价格行为与网络拓扑结构特征间的内在关系。

股票关联网络弹性为在不确定性事件出现后，关联网络结构所具有的容错能力和抗攻击能力。因此，有必要研究网络弹性的动态演化规律，并研究网络拓扑结构特征、股票收益率及其波动性水平是如何影响网络弹性的。

股票关联网络拓扑结构及网络弹性的变化，直接影响股票价格波动的关联模式，并导致投资组合风险收益特征及投资决策的变化，这将会影响市场运行状态。因此有必要全面研究网络弹性与市场运行状态的动态相互关系。研究结果一方面可帮助我们一般意义理解市场运行状态对网络弹性的影响；另一方面将有利于从关联网络弹性角度，把握市场运行状态。

1.1.2.3 信息溢出视角下的股票关联网络

随着互联网和通信技术的高速发展，股票市场内部交易的大量股票

之间的联系越来越紧密。例如一家上市公司的破产事件会影响同一股票市场上其他相关的上市公司。这种紧密的联系源于股票之间的迅速而便捷的信息传递,既包括市场整体、行业和公司层面的信息,也包括一些突发的消息或冲击。因此,研究股票间的信息溢出现象具有重要的意义。首先,投资者具有在股票市场内部分散投资的需求。若股票间的相关性较弱,那么分散投资可以有效地降低组合的风险,而股票间的信息溢出又会减小组合投资策略的收益。其次,股票之间较强的信息溢出易使一些极端风险迅速地在各股票之间传染扩散,进而造成市场的系统性风险。市场的这种整体波动将影响股市的稳定,并增加股市监管的难度。因此,研究股票之间的信息溢出现象,有利于深入挖掘它们的内在关联性。这对于构建有效降低风险的投资组合、防范极端风险在股票间的传染扩散有着十分重要的意义。

已有研究多关注的是金融市场间的信息溢出,且大多选择市场指数作为研究对象。因此有必要通过构建股票间信息溢出关系复杂网络,在整体上把握股票市场内部众多股票间的信息溢出复杂关联结构,并进一步挖掘影响股票间信息溢出关系的收益率时间间隔、市场因素以及市场行情因素。

1.1.2.4 金融机构关联网络与金融机构风险传染

已有研究在构建金融机构关联网络时,大多是以资产负债关系作为金融机构之间的关联渠道。由于实际操作中很难获取全面的两两金融机构之间的资产负债关系,现有研究多采用网络间接推断(如最大熵法)或是仿真方法。这在一定程度上影响了结论的可靠性。股票价格是金融机构经营状况的市场表现,股票信息溢出是金融机构风险关联的重要渠道。因此,有必要基于股票信息溢出关系构建金融机构关联网络。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风险传染规律。

1.1.2.5 金融机构关联网络与系统性风险

金融机构的系统性风险贡献度量是金融系统性风险管理的前提和基

础。近年来,相关研究主要从两方面展开:一是基于金融机构市场及财务数据,直接对单家金融机构与金融系统的极端事件相关性进行建模分析,如条件在险价值(conditional value-at-risk, CoVaR)、边际期望损失(marginal expected shortfall, MES)、SRISK等度量方法;二是构建业务层面的金融机构关联网络,通过模拟机构间风险传染过程,评估金融机构的系统重要性。对于第一方面研究,CoVaR方法因其简单易估计得到广泛应用。但是,该指标并未考虑到相关变量的尾部分布情况,进而会低估或高估实际的系统性风险贡献。因此有必要考虑变量的实际尾部分布状况,对CoVaR方法进行改进研究。对于第二方面研究,其主要局限于网络整体拓扑结构对系统性风险的影响,并没有关注单个金融机构的局部网络拓扑结构特征与其系统性风险贡献之间的内在关系。金融机构在关联网络中所处的位置及其局部网络拓扑结构会对其系统性风险贡献产生重要影响,因此有必要深入挖掘两者之间的内在关系。

金融机构受到风险传染而出现的经营困境甚至破产倒闭,是机构间各种关联渠道相互交织和相互作用的结果,其最终反映在机构公开披露的财务报表及上市金融机构的二级市场数据中。例如表现为资产、所有者权益或股票价格等的极端波动。财务或市场数据等的极端波动称为金融机构的尾部风险(tail risk)。金融机构相继出现经营困境甚至破产倒闭实质上是尾部风险传染,即当某一家金融机构出现尾部风险时,会造成另一家或数家金融机构也出现尾部风险。以金融机构为网络节点,机构间的尾部风险关联为连边构建的网络称为金融机构尾部风险网络。有必要基于金融机构尾部风险网络,在研究网络的拓扑结构及演化规律基础上,分析影响金融机构系统性风险贡献的尾部风险网络结构因素。该研究将充分体现“金融机构尾部风险的网络化关联产生系统性风险”这一重要特征,并且有利于考虑金融机构尾部风险网络的动态演化,及其与尾部风险传染的协同演化过程。