

# 资本市场复杂网络特性与资产定价新视角

张自力 赵学军 陈莹

**摘要：**资本市场价格运动是多因素共同作用、多变量协调运动的结果，不同子市场、市场参与主体和金融资产之间都具有复杂的关联关系。这种关联关系可以抽象为一个具有高维交互信息的复杂网络系统，从网络视角研究不同市场主体以及相关金融资产之间的关联关系，是系统性风险测度与资产定价研究的新视角。

**关键词：**资本市场 网络结构 系统性风险 资产定价

## 引言

金融资产定价的核心问题是风险收益关系，在分析资产承担的风险与其回报之间的关系时，系统性风险是至关重要的因素。其中，系统性风险是指无法通过多样化投资分散的风险，是金融资产的核心定价因素。关于投资组合收益率决定与归因分析，从CAPM模型到Fama & French三因子模型和五因子模型都无法解释金融市场中的所有“异象”。对这一问题的解释主要分为两个学派，分别是市场非有效和资产定价模型设定偏误。

为了解释金融市场当中的“异象”，改进资产定价模型，众多学者开始从实证资产定价的视角挖掘引起股票横截面差异的风险因子，出现“因子动物园”现象（Harvey & Liu, 2019）。然而，经研究发现，后期构建的部分因子并不具备长期稳健性，且随着“因子动物园”规模

的不断扩大，资产定价模型的科学性备受质疑。与此同时，又有学者从定价模型出发，改进模型估计方法，并将机器学习算法引入资产定价领域，出现“因子大战”现象（Gu et al., 2020; Giglio et al., 2022）。不论是“因子动物园”还是“因子大战”，都提高了已有资产定价模型的有效性，并有效解释了金融市场中存在的大多数异象。

总体而言，相关学者对资产定价模型的改进多集中在增加资产定价模型解释变量和优化模型估计方法两个领域，这使得对于金融资产横截面收益影响因素的挖掘陷入无止境的循环当中。此外，系统性风险的生成路径极具复杂性，具有动态演变、非线性和网络化特征。传统线性模型无法刻画不同资产之间的网络关联特性，致使风险测度有偏，直接影响定价模型的准确性。且相

张自力，嘉实基金管理有限公司首席科学家；赵学军，嘉实基金管理有限公司董事长；陈莹（通讯作者），北京大学光华管理学院与嘉实基金联合培养博士后，E-mail: chenying03@jsfund.cn。



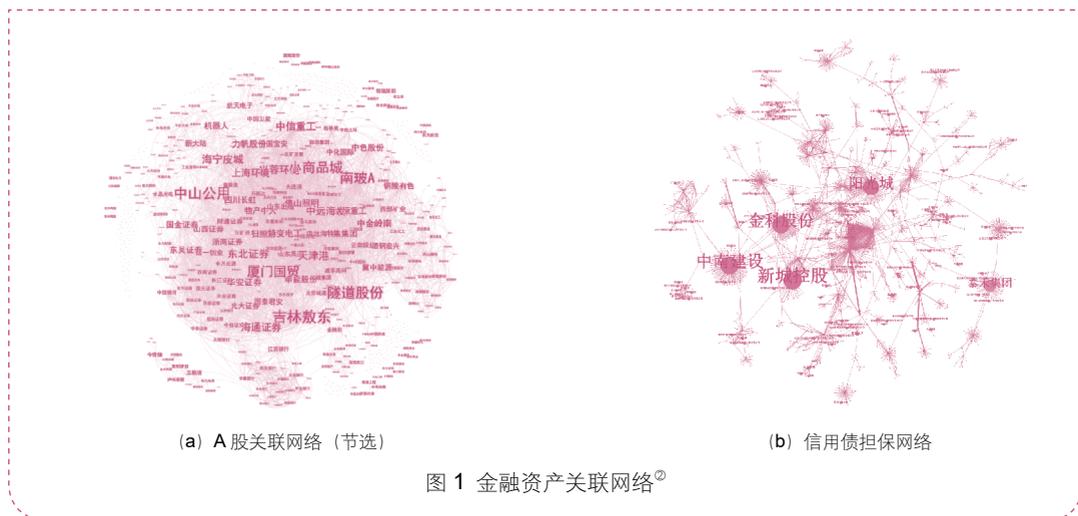
关研究成果已证明多资产价格运动并非相互独立的随机过程，其背后拥有共有的结构性驱动因素（Pollet & Wilson, 2010；张自力 等，2019）。图1展示了A股市场的股票关联网络和信用债担保网络，不同股票（信用债券）之间的关联关系具有复杂的网络化特征。金融资产之间的相关性有方向差异，且相关性的强弱对网络总体状态的影响也并不相同（Acemoglu, 2015）。网络结构不仅对金融资产之间总体关联特征的刻画更加全面，其对局部资产之间真实相关关系的测度也更加精确。

因此，笔者认为将股票市场、债券市场视为一个统一的整体<sup>①</sup>，从系统论视角出发测度不同市场的系统性风险和不同资产的系统性风险暴露，提出网络视

角下的资本资产定价模型，是实证资产定价研究的新视角，有助于改进和优化现有估值体系。

### 资本市场网络关联特征与系统性风险生成的内生性

在资本市场，不同金融资产之间的关联关系日趋复杂，具有网络化特征，金融资产之间不仅会通过直接关联产生价格协同，还会因为间接关联发生价格依赖，资本市场呈现出小世界网络特征（Watts & Strogatz, 1998）。金融机构以及各个金融主体之间的关联不再局限于资产负债链条，还会通过信息溢出和经济环境等渠道相互关联（Francis & Longstaff, 2010）。随着资本市场广度和深度的不断发展，资本市场内在联系日趋广泛，金



① 基于市场分离假设，不同市场的系统性风险水平具有异质性，在构建资产关联网络时，也应遵循市场分离定理。文中提到的资产关联网络均遵循这一假定，指代同一子市场内部的资产关联网络。

② 注：数据来源于嘉实基金博士后科研工作站、Wind。



融风险源的复杂性和潜伏性越来越强，这进一步加剧了金融风险识别的难度，金融市场和金融资产之间的联动效应趋于复杂化（Dornbusch et al., 2000; Guidolin et al., 2019）。网络科学的发展，使得对金融风险生成和传染复杂性的刻画成为可能，金融风险相关研究更加深入、全面（Acemoglu, 2012）。宫晓琳（2012）分步骤、分层次解析了系统性风险的酝酿及演化，探索负面冲击升级演变为系统性金融危机的轨迹和过程。此外，鉴于仿真技术在金融风险传染过程中不仅可以有效识别核心变量也有助于构建更稳健的金融网络体系，邓超和陈学军（2014）基于复杂网络理论，采用模拟方法对金融风险传染模型进行系统研究，形成一个包括网络模拟方法、模型解析结论等较全面的计算算法工具集合。随着金融风险管理工具的不断丰富和发展，关于中国金融风险管理的相关研究也不断丰富和更新<sup>①</sup>。金融风险生成和传染的相关研究已经证明资本市场和相关金融资产之间的风险关联关系具有复杂的网络化特征，在风险网络化特征

下，资产定价相关研究必须重新审视风险收益关系。

金融资产价格运动的共有驱动因素可以概括为不同资产的共同风险暴露，这种风险暴露是多维的，包括金融市场内外部经济环境、宏观经济周期、市场流动性、资产负债关联、交叉持股和产业链上下游等。依据金融风险生成和传染的网络化特征，金融资产价格的协同运动也具有相应的网络化特征。这种网络关联效应不仅发生在同类型金融资产中，还存在于不同的资产类别之间，股票市场、外汇市场和期货市场之间都存在很强的风险溢出关系（陈声利等，2019；黄琳珊等，2021）。因此，金融资产横截面收益和风险溢价，不仅会受到特质风险暴露的影响，还会因为高度关联的金融资产产生联动效应，而这种联动效应的底层逻辑就是金融风险传染，即资本市场系统性风险的内生机制<sup>②</sup>。

从风险收益关系出发，资产价格运动背后共有驱动因素的本质是共有风险暴露。资产价格协同运动的产生，正是因为

① 杨子暉等（2018）采用VaR、MES、CoVaR以及 $\Delta$ CoVaR四类风险测度方法，结合风险溢出网络方法，利用覆盖房地产等56家金融机构的股票收益率和资产负债表数据，研究跨部门的风险传染，发现“钱荒事件”和“股市熔断”事件有不同的风险中心。此外，杨子暉和周颖刚（2018）采用“有向无环图技术方法”以及网络拓扑分析方法，从网络关联视角考察全球系统性金融风险的动态演变。张宗新和陈莹（2022）构建中国金融市场跨部门风险溢出网络，研究发现不同部门之间的风险溢出效应不仅具有空间异质性，还具有时序演变特征。

② 以流动性为例，当A银行出现挤兑和流动性风险时，与其具有资产负债关联和股权关系的B银行会受到该机构流动性危机负外部性的影响，流动性水平恶化，A和B的股票价格不再服从相互独立的随机过程，而是具有协同运动趋势。此外，A银行的挤兑危机还会通过投资者情绪的恶化，在全市场形成流动性恐慌，从而引发全市场挤兑和流动性危机。例如，2022年第四季度银行理财产品的大面积赎回就是投资者对流动性局部担忧扩散至全市场恐慌的典型案例。



共有风险暴露诱发的风险传染与扩散。其中，关于金融风险传染的研究主要分为三个渠道：第一，资产负债关联引发信用链条风险传染；第二，风险事件发生诱发恐慌情绪，从而发生风险传染；第三，经济基本面冲击催化风险传染。金融风险传染和系统性风险的生成具有网络化特征。首先，潜在风险源的出现引发单一资产价格出现异常波动；其次，与该资产相关的其他资产出现异常波动；最后，在全市场形成系统性风险。在资产定价理论中，系统性风险是指无法通过多样化投资分散的风险，而不可分散性风险本身也是一个系统性概念。在资本市场中，关联关系的存在具有一体两面的效果：一方面关联企业可以通过流动性支持等手段帮助困境企业纾困，另一方面关联关系也会加剧风险传染，放大风险水平，带来局部或全市场共振，形成系统性风险。特别地，当下资本市场同质化交易和机构抱团行为进一步加剧了金融市场内部的风险传染效应，相应资产的价格运动具有更加显著的协同运动特征。金融资产之间的相依性，使整个资本市场形成一个相互连接的依赖网络。

综上，资本市场风险生成和传染极具复杂性，多资产价格运动也具有显著的网络关联特征。因此，系统性风险测度和资产定价研究不应局限于个体和局部效应分析。从相互独立的视角研究资产定价会忽视关联关系背后的规模效应，且金融资产系统性风险测度失灵将直接导致定价和投资组合管理失效。当下，网络科学的发

展使得从系统论和整体效应出发研究金融资产之间的关联和协同效应成为可能。笔者认为应该开拓实证资产定价的新视角：基于网络视角构建资本市场系统性风险因子，结合网络拓扑结构研究不同金融资产的风险暴露。网络视角下的系统性风险测度和资产定价研究，能够综合考究不同资产之间的关联关系，解释资本市场中各个子市场的内在运动机制，其对资产系统性风险暴露的测度更具科学性和有效性。

### 网络视角下的资本资产定价

实证资产定价研究沿着风险因子的构建、风险因子对股票横截面收益的解释能力、风险因子收益率对证券或投资组合收益率解释能力这一逻辑主线展开研究。系统性风险的不可分散性是指穷尽市场上所有投资标的也无法分散的风险，其本身就是一个全局概念，但是传统资产定价研究并未从股票市场和债券市场整体出发去分析系统性风险，而是直接使用资产加权指数作为系统性风险因子的代理变量。那么，值得我们深思的问题是：资本市场系统性风险是否满足外生给定这一假定？依据资产加权指数的计算过程，市场风险溢价的代理变量是单一资产线性加权的結果，但是不同金融资产之间的系统性风险暴露是否满足线性可加性？要想回答这些问题，就必须要考虑系统性风险生成机制，从金融风险生成和传染的网络特征出发构建系统性风险因子，重新分析金融资产的风险收益关系。



基于金融资产构建的关联网络中，网络结构的截面异质性反映了不同资产承担风险水平的大小，而网络结构的时序差异性反映了市场整体的风险演变特征和不同时期金融资产对系统性风险贡献的变化。其中，单个资产的风险暴露程度及系统重要性水平与其在网络当中总体、局部关联程度和网络层级结构直接相关。该资产与其他资产的关联效应越强，其在整个网络当中重要性越大，处于网络结构的中心位置。网络中心度越高，系统重要性水平越高的资产，对市场整体的影响力越强，其风险传染能力越强，承担的系统性风险水平也越大。因此，基于网络视角的实证研究可以以资产在网络当中的中心度水平作为资产系统性风险暴露的代理变量，替换CAPM模型当中的 $\beta$ 测度，重构资产定价模型，分析资产承担的风险对资产回报的影响。

网络视角下金融资产之间关联关系的研究比较丰富<sup>①</sup>。已有研究大多停留在市场共振和风险分析层面，并未将这一思想引入资产定价领域。从金融风险生成和传染的网络化特征出发，研究股票市场、债券市场风险共振，并基于风险生成网络构建系统性风险因子是网络资产定价研究的

首要任务。

网络视角下的资产定价研究将金融风险分析和资产定价统一到同一体系之内，那么如何基于资本市场网络关联性构建系统性风险因子？这一研究可以分为三个步骤：首先，确定金融资产作为关联网络节点；其次，以关联关系为权重构建金融资产之间的连边；最后，基于网络拓扑结构构建网络视角下的系统性风险因子。嘉实基金博士后科研工作站在前人的基础上，基于网络视角分析金融资产之间的风险收益关系，开创了系统性风险内生、网络资产定价研究的先河。相关研究已经从理论和实证分别证明股票网络中心度是其系统性风险暴露的有效测度，并与传统资产定价模型进行对比（张自力等，2019）。研究发现，股票组合的回报随组合网络中心度的提高而提高，网络视角的风险测度对股票回报具有显著的解释能力。此外，网络视角下的风险测度不仅包含了CAPM、三因子、五因子定价模型中的风险测度，其对股票特质波动率之谜也具有一定的解释能力，在网络视角下，股票具有高风险高收益的回报特征。

在债券市场，资产关联的网络特征

<sup>①</sup> Zhao et al. (2018) 提出金融网络描述复杂金融系统结构非常有效，可以使用时间网络框架来表征股票市场相关性网络的时序演变特征，其中市场的不稳定性可以通过金融网络拓扑结构的变化来检测。Wang et al. (2021) 利用2008—2018年24家中国上市金融机构的日股票回报，构建静态和动态多层信息溢出网络，分析不同层的相似性、唯一性和重叠性。研究发现具有系统重要性的金融机构会随着时间的推移而变化，但银行通常具有高度的互联性。杨子暉等 (2021) 对全球18个主要国家和地区的股票市场展开深入研究，基于最新发展的非对称断点方法对风险共振关系与风险分散关系进行准确区分，并考察极端事件下股市风险传染。



也会影响债券定价。除了直接的关联关系，金融资产定价因子，例如无风险利率等的演变也具有复杂性特征。收益率曲线是债券投资者的重要参考指标，但是在市场套利活动的作用下，跨期限和信用等级的债券收益率具有很强的内生联系，其变动规律具有整体性和连续性（王雷等，2021）。对于利率债而言，其核心影响因素是利率期限结构，而神经网络模型的引进有助于提升利率期限结构的预测效率，提升债券定价效率（闫红蕾和张自力，2018）。关于信用债，其收益率曲线一般被拆分成无风险利率曲线和信用利差两部分，前者关注利率期限结构的影响，后者关注债券主体信用评级的影响。考虑到信用债券的价格决定应是利率期限结构和债券信用评级共同作用的结果，王雷等（2021）在收益率曲线的基础上增加信用等级维度，将信用债收益率曲线视为一个相互关联的整体，并定义为信用债收益率曲面。相比收益率曲线，收益率曲面包含了跨等级的系统性预测信息，而且实证结果证明，通过预测收益率曲面能够构建具有较高收益的投资管理策略。

信用债定价由期限结构和信用评级同时确定，不同的信用债券之间又因为担保等信用主体的关联关系相互影响，因而债券市场定价逻辑背后也存在共有的结构性驱动因素。担保关系是信用主体之间关联关系的直接表现形式，具有担保关系的两个信用主体之间有着密切

联系，任一主体出现信用违约都会影响另一主体的信用评级和债券市场价格表现。王雷等（2022）提出，在债券定价研究中不仅应该考虑企业自身的信用风险，还应该考虑相关网络组织的传染风险。基于债券信用主体之间的担保关系，可以构建债券市场担保网络，分析不同债券价格之间的协同运动，在网络视角下研究债券信用风险溢价和定价逻辑。该研究基于43万笔非金融企业间的担保数据，构建了企业信用担保网络，发现失信风险作为一种广义的信用风险，在担保网络中具有传染效应，且该传染效应能够影响债券的信用利差。网络关联关系的分析使得债券市场风险收益分析更加深入、全面，债券定价效率有所提升。

金融资产之间的关联方式多种多样，其中经济基本面关联也是不同资产价格协同运动的原因之一。例如，当两家上市公司同属于一个产业链或具有客户关系、供应商关系时，一家公司的营运情况会直接影响到另外一家公司，而这种关联关系在股票市场的表现就是两只股票之间存在共振效应。黄祖南和郑正喜（2021）基于投入产出表构建产业链网络，并基于网络拓扑结构分析探究不同产业的系统重要性水平。袁强等（2022）基于复杂网络视角，使用中国投入产出表数据构建行业关联网络，定量分析我国国民经济各行业在经济系统中的重要性，探索行业关联网络在资产定价领域的扩展。该文利用资本



资产定价模型对申万二级行业收益率作回归检验，以统计指标R方测度各行业在资本市场中承担的系统性风险。研究发现，R方与行业中心度的相关系数显著为正，说明中心度越高的行业在资本市场中暴露的系统性风险更高。王姝黛和杨子暉（2022）基于极值理论对各部门金融风险进行分解，构建贸易关联网络，并研究其网络结构与系统性风险之间的关系。研究发现，贸易网络结构对部门金融风险存在显著影响，贸易中心度与CAPM模型、三因子模型R方测度的系统性风险呈正相关，即基于贸易网络构建的中心度因子可以在一定程度上解释股票承担的系统性风险。金融资产背后的基金面关联多种多样，产业链关联、贸易关联只是资产背后基本面关联的某一方面。基于基本面关系构建资产关联网络，研究跨资产、跨市场风险共振和传染效应，分析基本面关联网络下资产的风险回报关系还有待进一步研究和扩展。

## 结论

复杂网络理论的发展使得社会科学的研究从个体走向整体，金融市场中复杂关

联关系的测度趋于成熟。基于金融资产之间的关联关系构建资产关联网络，将资本市场纳入同一研究框架之下，使得系统性风险测度和相应投资组合的风险收益分析更具科学性。金融资产关联网络不仅可以研究资产总体的联动效应，也具有严密的微观结构，金融资产关联网络具有局部和整体可计算特征，可以作为系统性风险因子的代理变量。在股票市场，所有股票共同构成股票关联网络，该网络不仅可以用于刻画股票市场的总体特征，网络中行业和个股的局部特征也能通过网络拓扑结构进行分析。

将网络科学引入金融市场研究，是社会科学迈出的关键一步。当下，复杂网络理论在金融领域的研究主要集中于金融风险传染、系统性风险生成和测度。资本市场的网络关联特性和系统性风险生成的复杂性已经得到验证，但是基于网络关联视角的资产定价研究还处于起步阶段。从网络视角出发，分析金融资产的联动效应，构建系统性风险因子，分析资产的风险收益关系是实证资产定价研究需要开拓的新视角。[N]

学术编辑：卢超群

### 参考文献：

- [1] 陈声利, 赵学军, 张自力. 全球视野的大类资产风险溢出研究[J]. 管理科学, 2019, 32(06): 3-17.
- [2] 邓超, 陈学军. 基于复杂网络的金融传染风险模型研究[J]. 中国管理科学, 2014, 22(11): 11-18.
- [3] 宫晓琳. 宏观金融风险联动综合传染机制[J]. 金融研究, 2012(05): 56-69.
- [4] 黄琳珊, 赵学军, 张自力. 美国国债风险溢价与金铂比、金铜比的关系——寻找资产价格衍生指标间的经济学联系[J]. 价格理论与实践, 2021(03): 70-74+167.
- [5] 王雷, 李晓腾, 张自力, 赵学军. 失信风险传染会影响债券定价吗?——基于担保网络大数据的实证研究[J]. 金融研究, 2022(07): 171-189.



- [6] 王雷,闫红蕾,张自力.收益率曲面预测及其在信用债投资组合管理中的应用[J].统计研究,2021,38(04):145-160.
- [7] 王姝黛,杨子晖.产业贸易中心性、贸易外向度与金融风险——兼论新发展格局下的金融风险防范机制[J].中国工业经济,2022(08):63-81.
- [8] 闫红蕾,张自力.利率期限结构预测、国债定价及国债组合管理[J].统计研究,2018,35(03):23-37.
- [9] 杨子晖,陈雨恬,谢锐楷.我国金融机构系统性金融风险度量与跨部门风险溢出效应研究[J].金融研究,2018(10):19-37.
- [10] 杨子晖,张平森,陈雨恬.风险共振还是风险分散?——基于尾部事件下风险结构的关联研究[J].经济学(季刊),2021,21(06):27-52.
- [11] 杨子晖,周颖刚.全球系统性金融风险溢出与外部冲击[J].中国社会科学,2018(12):69-90+200-201.
- [12] 袁强,张自力,陈姝,赵学军.我国行业投入产出网络结构与资产收益率关系研究[J].工业技术经济,2022,41(10):77-84.
- [13] 张自力,闫红蕾,张楠.股票网络、系统性风险与股票定价[J].经济学(季刊),2019,19(01):329-350.
- [14] 张宗新,陈莹.系统性金融风险动态测度与跨部门网络溢出效应研究[J].国际金融研究,2022(01):72-84.
- [15] Acemoglu D,Ozdaglar A,Tahbaz-Salehi A.Systemic Risk and Stability in Financial Networks[J].American Economic Review,2015,105(02):564-608.
- [16] Acemoglu D,Carvalho V M,Ozdaglar A.Tahbaz-Salehi A.The Network Origins of Aggregate Fluctuations[J].Econometrica,2012,80(05):1977-2016.
- [17] Dornbusch R,Park Y C,Claessens S.Contagion: Understanding How It Spreads[J].The World Bank Research Observer,2000,15(02):177-197.
- [18] Francis A,Longstaff.The Subprime Credit Crisis and Contagion in Financial Markets[J].Journal of Financial Economics,2010,97(03):436-450.
- [19] Giglio S,Kelly B T,Xiu D.Factor Models, Machine Learning, and Asset Pricing[J].Annual Review of Financial Economics,2022,14(01):337-368.
- [20] Gu S,Kelly B,Xiu D.Empirical Asset Pricing via Machine Learning[J].Review of Financial Studies, 2020,33(05):2223-2273.
- [21] Guidolin M,Hansen E,Pedio M.Cross-Asset Contagion in the Financial Crisis: A Bayesian Time-Varying Parameter Approach[J].Journal of Financial Markets,2019,45(09):83-114.
- [22] Harvey C R,Liu Y.A Census of the Factor Zoo[J].Social Science Electronic Publishing,2019.
- [23] Pollet J M,Wilson M.Average Correlation and Stock Market Returns[J].Journal of Financial Economics,2010,96(03):364-380.
- [24] Wang G,Yi S,Chi Xie H,Eugene Stanley.Multilayer Information Spillover Networks: Measuring Interconnectedness of Financial Institutions[J].Quantitative Finance,2021,21(07):1163-1185.
- [25] Watts D,Strogatz S.Collective Dynamics of 'Small-world' Networks[J].Nature,1998,393:440-442.
- [26] Zhao L,Wang G,Wang M,et al.Stock Market as Temporal Network[J].Physica A: Statistical Mechanics and its Applications,2018,506:1104-1112.

## The Network Nature of Capital Market and New Perspectives on Asset Pricing

ZHANG Zili<sup>1</sup> ZHAO Xuejun<sup>1</sup> CHEN Ying<sup>2,1</sup>

(1. Harvest Fund Management; 2. Guanghua School of Management, Peking University)

**Abstract** Price movements of capital markets are the results of a combination of multiple factors and coordinated movements of numerous variables. Different sub-markets, market participants and financial assets have complex relationships with each other. Such relationships can be described as a complex network system with high-dimensional interactive information. It is a new perspective using a network approach for systemic risk measurements and asset pricing research on the inter-connectedness among different market agents and related financial assets.

**Keywords** Capital Market, Network Structure, Systemic and Systematic Risk, Asset Pricing

**JEL Classification** G12 G11 G14