

# 经典金融理论的困境与金融物理学研究的兴起<sup>①</sup>

王 鹏<sup>1,2</sup>, 魏 宇<sup>3</sup>

(1. 西南财经大学中国金融研究中心, 成都 610074; 2. 金融安全协同创新中心, 成都 610074;  
3. 西南交通大学经济管理学院, 成都 610031)

**摘要:** 经典金融理论在解释实际市场所发现的众多异象(anomalies)方面显示出了较大的局限性, 而以非线性动力学、复杂系统及统计物理学的研究成果为基础, 力争对这些异常现象进行理论解释和建模研究的“金融物理学”(econophysics)却逐渐成为金融学研究中的重要领域. 文章在简要介绍经典金融理论演进的基础上, 提炼总结了几种已被普遍接受但却无法为经典金融理论所解释的金融异象, 由此阐释了金融物理学兴起的原因, 并评述了金融物理学的定义、研究内容、最新进展等问题, 最后对经典金融理论与金融物理学的关系进行了探讨.

**关键词:** 经典金融理论; 金融物理学; 金融异象

**中图分类号:** F830; F224      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-9807(2014)09-0040-16

## 0 引 言

20世纪70年代初, 随着布雷顿森林体系(Bretton woods system)的瓦解, 世界经济进入到不受物质生产增长约束的时代. 随着金融市场化、自由化的兴起和相关技术进步的加快, 金融活动突破了原有的机构和国界的藩篱, 众多金融创新, 如期权(option)、期货(future)等衍生产品层出不穷. 沧海桑田式的巨大变迁, 不仅冲击着传统的经济金融思想, 而且还给世界经济环境和金融系统带来了多次的剧烈震荡, 如1982年的拉美国债务危机; 1994年的墨西哥比索(Peso)危机; 1997-1998年的东南亚金融危机; 1999年和2002年分别由巴西和乌拉圭金融动荡引起的拉美金融危机; 2008年由美国次贷问题所引发的全球性金融危机等等.

上述几次震惊世界的大规模金融危机带给人们最重要的启示在于要保障金融复杂系统的健康

平稳运行, 防止其大幅波动给国民经济带来的不利影响, 必须开展对金融波动(风险)机理的精确描述及深入探索. 因此, 深入研究金融市场波动产生的内在机理, 并由此探讨能够全面描述金融波动运行规律的相关方法, 可以为有效的金融风险、准确的金融资产定价等提供最关键的决策支持, 进而为保障金融复杂系统和国民经济健康平稳运行提供坚实的知识基础.

实际上, 长久以来, 人们都在对金融市场的基本运行规律进行着艰苦的探索, 并由此发展出了以资本资产定价模型(capital asset pricing model, CAPM)、有效市场假说(efficient market hypothesis, EMH)等为代表的经典金融理论. 然而, 近年来的研究却逐渐发现, 经典金融学在解释实际市场所发现的众多异象(anomalies)方面显示出了较大的局限性, 而与此同时, 以非线性动力学、复杂系统及统计物理学研究成果为基础, 力争对这些异常现象进行理论解释和建模研究的“金融物

<sup>①</sup> 收稿日期: 2012-10-24; 修订日期: 2013-12-05.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71101119); 四川省教育厅创新团队建设资助项目(JBK130401); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(JBK140153; JBK131109).

作者简介: 王 鹏(1981—), 男, 山东宁阳人, 博士, 副教授. Email: wangpengcd@126.com

理学”(econophysics)却逐渐成为金融学中的重要领域.本文希望能从较为宏观的角度对金融物理学的产生、发展和基本研究框架做出相对完整的描述,并就经典金融理论与金融物理学的关系提出一点自己的看法.

## 1 经典金融理论的简要发展历程

最早对资本市场价格波动行为进行研究的是法国数学博士 Bachelier,这一工作可以追溯到 1900 年.他在自己的博士论文《投机理论》(theory of speculation)中,率先将随机游走理论(random walk theory)应用于股票价格行为的研究,这比 Einstein 在自然科学领域的类似工作早了 5 年.

Bachelier 论文的中心观点是股票市场的价格波动是无法预测的,应当用概率的观点去考虑股票市场,且投机者获得收益的数学期望严格等于零.在 Bachelier 之后,大多数的金融学研究是以会计和财务报表分析为主要内容的,直到 20 世纪中叶,金融学研究才得到了迅猛发展.这期间产生了大量至今仍为理论界和实务界所广泛接受和使用的经典金融理论与模型,从而基本奠定了现代金融学研究大厦的理论基础.

具体来讲,如果将 20 世纪 50 年代以来金融理论的快速发展看作是一场对早期金融理论的革命的话,那么这场革命的第一枪是由 1952 年 Markowitz<sup>[1]</sup>(1990 年诺贝尔经济学奖得主)的“现代资产组合理论”(modern portfolio theory, MPT)打响的,然后是 1958 年 Tobin<sup>[2]</sup>(1986 年诺贝尔经济学奖得主)发展和提出“两基金分离定理”(two-fund separation theorem),以及 1964 年 Sharpe(1990 年诺贝尔经济学奖得主)和另外一些经济学家<sup>[3-5]</sup>提出并完善的“资本资产定价模型”,这使得金融市场上的任何资产都开始有一个均衡条件下的定价公式.与此同时,从 1958 年起,Modigliani(1985 年诺贝尔经济学奖得主)和 Miller<sup>[6-7]</sup>(1990 年诺贝尔经济学奖得主)提出了作为公司金融(corporate finance)理论基础的一系列“M-M 定理”(核心内容是公司市场价值与其资

本结构无关),并从中开创了用“无套利”(no-arbitrage)条件来为资产定价的论证方法.这一方法最终促使 1973 年 Black(1997 年诺贝尔经济学奖事实上的得主,但不幸的是,他于 1995 去世)-Scholes(1997 年诺贝尔经济学奖得主)-Merton(1997 年诺贝尔经济学奖得主)的期权定价理论的出现<sup>[8]</sup>.另一方面,也促使 Fama<sup>[9]</sup>提出“有效市场假说”,并运用实际数据来检验金融理论的可靠性.这些工作又被 Ross<sup>[10]</sup>上升为“套利定价理论”(arbitrage pricing theory, APT),它不但为整个金融经济学提供了统一的基础,也在资产定价的实证分析上为 CAPM 做出了有力的补充.至此,经典金融理论的大厦已经巍然耸立,现代金融学已经成为一门基础扎实、系统完整、理论鲜明、应用广泛的学科.它既有作为科学理论标志的公理化体系,又有对金融业界无孔不入的应用模型和公式<sup>[11]</sup>.

从现代经典金融学的这一发展历程来看,基本上遵循了一条逐渐背离被经济学奉若神明的一般均衡思想的路径,即脱离了由理性的个体最优化到所有个体最优化行为达到彼此均衡的一般均衡范式.然而,现代经典金融学仍然是一种均衡理论——关于参与者的理性行为导致无套利均衡的理论<sup>[12]</sup>.可以说,集现代金融均衡理论研究之大成者就是“有效市场假说”(EMH).该假说(及其推论)认为:资本市场中的投资者都是完全理性的,他们追求在一定风险水平下的最大收益,或在一定收益水平下的最小风险;金融资产价格已经反映了所有公开信息,因此价格的变化互不相关,它们遵循随机游走(random walk)或者布朗运动(Brown motion),即市场是一个鞅(Martingale)或“公平博弈”;金融资产的收益率是独立且均服从正态分布(normal distribution)的随机变量等等.

## 2 金融市场异象与金融物理学研究的兴起

尽管上述经典金融理论在一定程度上解释了金融市场的运行机理和金融资产的定价机制,但

是不容忽视的是 20 世纪 70 年代以来,随着金融市场大量实证数据的可获取性、计算机运算性能的大幅度提升以及金融计量研究方法的迅猛发展,在实际金融市场中观察到了许许多多经典金融理论无法解释的异象<sup>[13-19]</sup>。更加值得关注的是,这些异常的复杂波动特征似乎并非某个特定市场的专有属性,而是普遍存在于不同国家和不同类型的金融市场当中,因此又被称为金融市场波动的“典型事实”(stylized facts)。

金融市场的这些典型的复杂波动特征主要包括:

#### 1) 收益率分布的(条件)有偏胖尾特征

以 EMH 为代表的主流金融理论一般认为资产收益率服从正态分布,即便原始收益率的经验分布有可能与正态分布存在较大差别,在消除了收益率中的条件波动(conditional volatility)以后,金融资产的收益率(即条件收益率)就应该服从正态分布。但是,众多实证研究表明<sup>[20-23]</sup>,实际市场的非条件收益率即使在消除了条件波动后,仍然呈现出明显的“有偏”(skewed)和“尖峰胖尾”(leptokurtic and fat tailed)等典型特征。

#### 2) 价格波动的聚集性及长记忆性

金融市场典型事实研究的一个重要发现就是价格波动存在“聚集性”(clustering)和“持久性”(persistence)特征,即市场在发生大幅度波动后,往往会紧跟着另外一个大幅波动,并且这种波动的聚集现象会持续相当长的一段时间<sup>[24-28]</sup>。

#### 3) 价格运动的跳跃性

在证券市场中,价格运动经常会发生一些大的急转和不连续变化。如在 1987 年 10 月 19 日所发生的著名的“黑色周一”股灾中,标准普尔 500 (S&P500) 指数的收益率波动幅度达到了难以想象的 34 倍标准差;1992 年 5 月 21 日,上证综指 (SSEC) 的收益率波动幅度也突然达到了几十倍的标准差等等。这些都显示大的价格变化倾向于突然的、不连续的发生,这与正态分布中一个大的变化是因为很大数目的小变化累积而发生的理念完全不同。

#### 4) 价格波动的自相似性和标度不变性

“标度不变性”(scale invariance)广泛存在于物理、化学、生物等自然系统和经济等社会系统中。具体到金融市场,标度的经济含义一般是指不同长度的时间比例尺(如每日、每周、每月、每年等)而标度不变性也就是指资产价格在这些不同时间比例尺上动力学行为的统计相似性。换句话说,如果对某一资产价格的数据每周采样一次,然后作出价格关于时间变化的曲线,与每月采样一次作出的曲线在统计学意义上是相似的。

主流金融理论很少注意到不同时间标度(time scales)之间价格(或收益率)波动的关系,而实际上不同时间标度之间的价格(收益率)变化具有某种统计学意义上的相似性,即标度不变性特征。众多学者的研究表明<sup>[29-32]</sup>,作为典型的混沌系统,金融市场的行为模式一般都具有标度不变性,即金融市场在一段时间内的波动经历可以在更长的时间标度上重演。黄登仕<sup>[33]</sup>曾对金融市场的标度理论作出了全面而深刻的综述,而 Matto<sup>[34]</sup>更深入细致地评论了金融时间序列标度结构的主要研究范式和一些分析方法,并提出了用于描述金融市场多标度特征的新工具——广义赫斯特指数(generalized Hurst exponent)。

#### 5) 金融收益高阶矩的时变性

经典 CAPM 模型中,投资者被假定为仅对收益率的前两阶矩(期望收益和方差)感兴趣。同时,由于在常用的日收益率及更高频率上,收益的条件均值往往很小,因此收益的二阶矩(方差)就在资产定价、风险管理等领域得到了特别的重视。然而在现实世界中,投资者的偏好却远不是收益的前两阶矩所能完全描述的,并且许多研究<sup>[35-38]</sup>都发现,与二阶矩一样,收益的高阶矩(偏度和峰度)往往也具有时变性(time varying),并且这种时变性对资产定价、最优资产组合选择、期权定价等也有着较为显著的影响。

上面仅仅列举了金融市场实证研究中普遍发现的一些复杂波动特征,当然除此之外,金融市场还存在“周末效应”(weekend effect)、“一月效应”(January effect)、“日内效应”(intra-daily effect)等等其它许许多多无法为主流金融理论所能解释的

异象,且这些异象目前也已被大多数研究者所承认。

更为重要的是,这些典型事实的发现,对经典金融理论以及根植于经典金融理论的众多现代金融市场建模技术提出了严峻的挑战<sup>②</sup>。正如 Cont<sup>[14]</sup>在一篇有关金融市场典型事实(stylized facts)的经典文献中所指出的那样,由于这些“典型事实”并没有对价格或者收益服从的随机过程有任何参数上的假设,而展现的是上述过程的更为广义的定量特征,因此这些“典型事实”是不依赖于任何模型的(mode free)。换句话说,任何有关价格或者收益过程的金融理论或模型都必须将这些“典型的统计规律”作为其模型的“约束条件”(constraints)。

因此,金融市场典型事实的不断涌现,至少证明了经典金融理论在关于金融市场波动的实际表征刻画及内在机理表述方面都存在着非常大的局限性,对于金融市场出现的种种异象的解释也常常无能为力,而基于经典理论发展起来的波动率测度及风险管理方法、资产配置方法、衍生产品定价方法等技术,能否对重大金融波动(风险)起到有效的预警与管理作用,也是非常值得怀疑的。

那么,到底是什么原因导致了经典金融学的理论(推论)结果与实际市场特征存在如此严重冲突的呢?金融复杂性研究领域的先驱 Peters<sup>[41-42]</sup>认为,出现这一问题的原因在于主流金融理论是建立在以市场有效、价格随机游走与理性投资者等假设条件所构筑的线性范式基础上的。在这样标准的分析框架下,投资者被假定为是理性的、有秩序的,能掌握与资产定价的所有信息且对信息的反应是线性的,即他们在接到信息后立即做出准确、无偏的反应,不可能出现对信息的误解、遗漏或滞后反应,从而资产定价是及时的、

无偏的、连续的,信息不能被用来在市场上获利。基于此,金融价格的波动将遵循随机游走模型,而收益率的分布也将是熟悉的正态分布,从而金融市场的波动(风险)可以通过收益率变量的二阶矩——方差(variance)来衡量。

然而,现实的金融市场却不是简单、有秩序的,它们既混乱又复杂;金融价格波动的复杂性也远不是纯粹的随机游走模型所能解释的。相反,金融市场在本质上是开放型的复杂系统(complex system),它具有内部结构层次多、参与要素多且性质复杂、变量关系多、内部因果关系多样且存在时间上或空间上的分离(滞后性)等特性,这些特性决定了金融系统往往以非线性(nonlinear)方式对外界作用起反应。

为了寻找对金融市场更具解释力的新理论和新模型,众多学者开始从不同角度进行了积极的探索,并取得了巨大进展。其中,由非线性动力学(nonlinear dynamics)、复杂系统(complex system)及统计物理学(statistical physics)原理角度出发的金融物理学(econophysics)应运而生,并在20世纪90年代后获得了蓬勃发展。目前,这一研究领域已经聚集了一大批研究者,并组织了多次有关金融物理研究的专题学术会议<sup>③</sup>。可以说,作为一门新兴的、充满挑战魅力的交叉学科,已经受到了越来越多理论研究者及实务操作者的推崇和重视。

其实,由非线性、复杂系统角度研究经济现象的思路由来已久。如早在20世纪30年代至50年代,Hicks、Hayek和Samuelson等著名经济学家都曾在线性模型的基础上加进了非线性项,从而在一定程度上解决了经济系统中周期波动的存在性问题。但是这些分析结果都没有从整体上把握非线性的经济系统,这与当时非线性和复杂性科学

② 以目前主流的风险价值指标(VaR)为例,在经典金融理论所认为的正态分布假设下计算的VaR值,常常会低估实际的风险,而在低估的风险值下进行运作,可能会使金融机构遭受巨大的损失<sup>[39-40]</sup>。

③ 2011金融物理学国际会议(International Conference on Econophysics)于2011年6月在华东理工大学(中国·上海)召开,会议邀请到H. E. Stanley、D. Sornette、张翼成等多位在金融物理学领域中做出卓越贡献的知名学者进行主题发言。在此之前,其它几次在国外已经成功召开的金融物理学会议包括:2004年在德国Konstanz大学召开的第一届金融物理学冬季学校、始于2005年的金融物理研讨会(Econophysics Colloquium)(每年一届,2012年研讨会于2012年9月11日在瑞士联邦理工大学召开)等。另外,在许多主题为统计物理(statistical physics)、复杂系统(complex system)的学术会议上也有金融物理学领域的论文宣讲和讨论。

没有得到充分发展有关。

直到20世纪80年代以后,经济系统的复杂性研究才获得了较快发展,并取得了一系列的研究成果。这其中包括在经济复杂性研究和非线性经济学的理论模型方面的研究<sup>[43-46]</sup>;对非线性经济学的学科体系和方法论的研究<sup>[47-48]</sup>;对经济复杂性、非线性经济学的实证研究和预测研究<sup>[49-51]</sup>等等。近年来,随着计算机运算能力的不断提升以及金融市场高频数据(high-frequency data)保存的完整性大幅提高,运用非线性科学方法、复杂性科学方法和统计物理学方法开展对金融市场运行机理研究的金融物理学已成为相对独立的领域,并已在实务界产生了较大的影响力<sup>④</sup>。

### 3 金融物理学研究概述

#### 3.1 金融物理学的定义

econophysics 这一名词最早由波士顿(Boston)大学的物理学教授 Stanley 等<sup>[52]</sup>提出。从字面上看,econophysics 应该指的是“经济物理学”,但由于该领域的研究主要侧重于金融市场,因此称其为“金融物理学”更为贴切<sup>[13,53]</sup>。后来,Stanley 在与 Mantegna<sup>[13]</sup>将 econophysics 正式定义为:运用一系列源自物理学的新概念、新方法进行研究经济问题(主要是金融问题)的物理学家的各种活动。

然而,Rosser<sup>[54]</sup>认为,与其说这一定义是“知识性导向”(intellectually oriented)的,还不如说是“社会学导向”(sociologically oriented)的。它仅仅指出了从事经济问题研究的是物理学家,却没有明确诸如所研究的问题是什么、采用的特定方法或理论是什么等等一系列理论定义的核心要素。

与 Mantegna 和 Stanley 对 econophysics 的定义相比,周炜星<sup>[53]</sup>提出了更具“知识性导向”的定义:金融物理学是指运用统计物理、理论物理、

复杂系统理论、非线性科学、应用数学等概念、理论和方法研究金融市场通过自组织而涌现的宏观规律及其复杂性的一门新兴交叉学科。

#### 3.2 金融物理学研究的发展历程

很多学者认为,金融物理学起源于 Mandelbrot 于1963年开展的对棉花价格收益率分布特征的研究<sup>[55]</sup>。但实际上,早在1942年,意大利物理学家 Majorara<sup>[56]</sup>就曾经指出过,物理变量与社会经济系统变量所遵循的统计规律具有相似性,只是这一观点在当时并未引起人们的重视。当然,比 Majorara 的研究更为具体的是,Mandelbrot<sup>[55]</sup>指出了棉花价格的收益率分布的概率密度函数(probability density function, PDF)尾部具有幂律(power law)特征,即如果用  $f(r)$  表示收益率  $r$  的 PDF,则当  $r$  的绝对值  $|r|$  较大时,有  $f(r) \sim r^{-\alpha}$  且  $\alpha \leq 2$ 。这种分布比正态分布的尾部要胖一些,即实际收益率呈现胖尾分布(fat tail)形态。所以,Mandelbrot 用列维稳定分布(Lévy stable distribution)代替正态分布来描述个人收入和某些实物资产、金融资产价格的变化。需要特别指出的是,正态分布对应着稳定分布中  $\alpha = 2$  的情形,此时收益率具有有限的一阶矩(总体均值)和二阶矩(总体方差),故可以通过总体方差度量收益率的波动。也就是说,运用方差度量波动是建立在收益率服从正态分布的基础上的。然而,当  $\alpha < 2$  时,二阶矩或总体方差变为无限的或不可定义的,这时再运用方差作为波动率的度量指标就是不合适的。另外,当  $1 < \alpha < 2$  时,一阶矩或总体均值存在;而当  $\alpha \leq 1$  时,总体均值也变为无限。

在 Majorara 和 Mandelbrot 之后,直到20世纪90年代,除了 Kadanoff<sup>[57]</sup>、Montroll 和 Badger<sup>[58]</sup>以及圣达菲研究所(Santa Fe Institute)的几位物理学家之外,几乎很少有专业物理学者从事与社会或经济系统有关的研究。然而,到了20世纪90年代,物理学家在经济和金融领域的研究活动不

④ 近年来,物理学家们在华尔街的众多投资机构中扮演着越来越重要的角色。美国哥伦比亚大学金融工程学系主任、物理学博士 E. Derman 曾在其自传《My Life as a Quant: Reflections on Physics and Finance》中对华尔街为什么需要物理学家这一问题进行了较为充分的阐述。

再是插曲,开始出现了专门的研究团体,出版了新的跨学科期刊,组织召开了专门的学术会议,金融物理学研究开始蓬勃兴起。

金融物理学在这一时期的快速发展,可能的原因包括:1) 信息技术的日臻成熟,使得交易所可以记录下详细到每笔交易的数据信息,这无疑为以处理数据为自身特殊优势之一的金融物理学研究提供了大展身手的基础;2) 计算机技术的迅猛发展,为实现大量(高频)数据的复杂计算提供了可能,从而使金融物理学家(econophysicist)可以通过对微观数据的研究来深入探索金融市场的典型事实及运行机制。举例来讲,Mantegna 和 Stanley<sup>[13, 50, 59-60]</sup>曾不只一次地研究了最短时间标度达 1 min 的标准普尔 500 指数价格增量和收益率两个时间序列,发现这两个时间序列在高频区域具有相同的统计性质,均可用对称的列维稳定分布(symmetric Levy stable distribution)来描述,价格变化的概率密度函数的中间部分与列维稳定分布非常接近。这些研究成果大都发表在《Nature》等国际权威学术期刊上。

除此之外,20 世纪 90 年代以来金融物理学的主要探索方向还包括:1) 价格时间序列的自相关性<sup>[61-63]</sup>;2) 不同证券的时间交叉相关性(cross correlation)<sup>[64-66]</sup>;3) 市场崩溃现象<sup>[67]</sup>;4) 金融市场价格波动的定量描述<sup>[68-70]</sup>;5) 金融市场的多标度分形现象<sup>[71-74]</sup>,等等。到了 1999 年夏天,爱尔兰首都都柏林(Dublin)举办了一场主题为“Applications of Physics in Financial Analysis”的国际会议,邀请了近 200 位物理学家和金融学家参会。学术界普遍认为,此次会议的成功举行标志着金融物理学(econophysics)这一新兴学科的正式诞生。

### 3.3 金融物理学研究内容

目前,学术界对于“金融物理学主要研究什么?”这一问题还存在着若干不同见解,但其研究范围已经基本稳定下来,并且相关方法和工具还在不断地进步之中,这从以下几位学者由不同角度出发对该问题的阐述中可以得到清晰的验证。

Mantegna 和 Stanley<sup>[13]</sup>认为,金融物理学研究应该主要集中在:1) 金融价格变化的分布特征;2) 短期记忆特征;3) 高阶统计特性;4) 发展能包容现实金融市场所有基本特征的理论模型;5) 放宽经典假设,讨论对衍生产品的合理定价;6) 资产组合的选择及其动态最优;7) 金融市场价格动力学与湍流等物理过程及生态系统的类同与差别。

而李平等<sup>[75]</sup>学者的观点是:1) 价格统计规律的经验研究;2) 价格涨落的随机过程模型研究;3) 价格形成和市场演化中经纪人的相互作用模型研究;4) 期权定价、风险控制与投资组合的研究。

与李平等更为贴近传统金融学研究范围的分类相比,周炜星<sup>[53]</sup>也提出了更为细致的分类:1) 金融变量(收益率、波动率等)的统计规律,特别是市场中涌现的具有普适性的标度律(scaling law),其中最基本的性质是关于收益率的尖峰胖尾分布;2) 证券的相关性、极端事件、金融风险管理和投资组合等;3) 宏观市场的建模与预测,包括用随机过程对收益率建模和对数周期性幂律模型等;4) 金融市场的微观模型,主要包括基本面投资者和噪声交易者博弈、逾渗模型(percolation models)、伊辛模型(Ising models)、少数者博弈模型(minority games),以及由以上各模型而衍生出来的其它模型等。

另外,还有若干学者出版了可以被视为属于金融物理学研究领域的个人专著。这些专著中,既有启发性和挑战性兼具的先驱性文献,也有对金融物理学研究进行全面综述的导论性作品,更有对金融物理学中某一子领域进行深入介绍的专题性探讨。其中,影响力最大的莫过于 Peters 所撰写的两本被认为具有明显向传统金融学术思想挑战倾向的著作,即文献[41][42],其中前者采用混沌理论(chaos theory)来研究金融市场,被美国《Business Weekly》杂志誉为“市场混沌学派的圣经”,而后者则基于分形分析(fractal analysis)提出了与有效市场假说(EMH)完全不同的分形市

场假说(fractal market hypothesis, FMH)<sup>⑤</sup>。

在此之后,又有几位金融物理学家在其著作中各有侧重地讨论了金融物理学的若干研究方向。如 Mantegna 和 Stanley<sup>[13]</sup> 全面描述了在概率论、临界现象物理学和完全扰动湍流(fully developed turbulent)理论中广泛使用的标度等概念,并将这些概念运用于对金融时间序列的分析,以获得对金融市场行为的更新理解,并由此提出了新的随机模型,以描述在经验数据中观察到的金融时序的几项重要统计特征;Bouchaud 等<sup>[76]</sup> 运用统计物理学的方法,从实证角度严格分析了金融价格的实际统计学特征,由此质疑了以中心极限定理(central limit theory, CLT)为基石的经典金融风险理论的合理性,并批评了一些研究者在没有进行实证检验前就对这些经典金融理论的盲从与轻信;Ilinski<sup>[12]</sup> 将纤维束(fiber bundle)等物理学中的概念、技术引入金融学,提出了有关金融资产定价的全新方法。他认为,市场能否恢复均衡取决于市场反应的特征时间同信息到达间隔时间的关系。如果前者小于后者,则市场将恢复均衡;反之,如果两者相差不大,甚至前者大于后者,则市场将以复杂混沌的方式演化。另外,周炜星所著的《金融物理学导论》<sup>[53]</sup> 是该领域的第一本中文著作,其中对金融物理学所使用的众多统计物理方法进行了全面而深入的介绍。最近, Schinckus<sup>[77]</sup> 再次从“新实证主义者”(neopositivist)的角度对金融物理学和传统经济学(金融学)的研究框架差异进行了探讨。

### 3.4 金融物理学对传统金融学的贡献

金融物理学家们所开展的研究工作,为传统金融学中相应的理论发展提供了极好的比较和参照,不仅对传统金融学长期关注的某些问题(如金融资产价格变化的概率分布问题、价格行为的

长期记忆性和时间相关性等问题等)提出了新的解决方法和思路,并且在一些传统金融学尚未涉足的领域(如不同时间标度上资产价格变化的关系等)也有了较大的进展和突破。其中,发展较为成熟的几个研究主题包括<sup>⑥</sup>:

1) 对金融资产价格变化概率分布问题的研究。传统金融理论认为,金融市场中存在大量独立决策的个体,他们的行为彼此互不影响,因此按照统计学中的中心极限定理(central limit theory)可以自然地认为,金融资产价格的变化服从正态分布。然而,大量实证研究表明,在常用的抽样频率上(如日价格变化或周价格变化),金融资产价格变化的实际分布远远不是正态分布所能精确描述的<sup>[78-80]</sup>。在金融物理学中,研究者们采用了列维稳定分布(Levy stable distribution)<sup>[13, 50, 55, 59-60]</sup>、截尾列维飞行分布(truncated Levy flight distribution)<sup>[50, 81]</sup>、幂律尾分布(power law tail distribution)<sup>[82-83]</sup>、拉伸指数分布(stretched exponential distribution)<sup>[84-85]</sup>等方法来刻画金融资产价格的实际变化模式,并取得了较好的样本内刻画效果。另外,特别需要指出的是,不同时间尺度下的资产价格变化分布模式往往是不同的,而 Ghashghaie 等<sup>[86]</sup> 运用最初产生于湍流(turbulence)研究中的变分理论(vibrational theory)来研究这一性质,并取得了成功。该研究将外汇市场与湍流进行类比,是金融物理学的经典研究成果之一。

2) 对价格行为长期记忆性和时间相关性问题的研究。金融资产价格的随机游走(random walk)模型认为,价格变化(收益率)之间是不相关的,因而无法用历史记录预测未来的价格涨落,这与有效市场假说保持一致。然而,价格变化之间是否相关的争论持续了30余年,至今尚未形成统一的结论。

⑤ 与有效市场假说 EMH 相比,分形市场假说 FMH 可以更加广泛和准确地刻画金融市场的实际波动状态。在某些特定条件下,有效市场假说就是分形市场假说 FMH 的一个特例。另外, Peters 于 2001 年还出版了一本更为通俗的《Complexity, Risk and Financial Markets》,该书涉及复杂性和不确定性的本质特征、复杂性科学理论与奥地利学说之间的关系、如何用复杂性科学的观点来认识自由市场经济与计划经济的区别,以及如何看待计划经济国家的经济体制改革等内容。该书对认识社会经济系统中的复杂现象,特别是从复杂系统角度研究我国经济发展中的若干重大问题会有较好的启示作用。

⑥ 限于篇幅,本文只对下文中的几个研究主题进行了概述。除此之外,金融物理学对传统金融学的贡献还体现在另外的一些重要问题上,如金融市场微观模型、复杂系统灾变动力学、随机矩阵理论等等。对于这些问题的详细阐述可以参见文献[13]和[53]。

最早对金融资产收益是否具有长期记忆性进行研究的金融物理学者是 Mandelbrot. 他运用产生于地球物理现象(特别是水文学)研究中的重标极差分析法(rescaled range analysis, 通常简记为“R/S 分析”), 研究了股票价格和利率产品的收益率, 认为其中存在较为明显的长期记忆性<sup>[87-88]</sup>. 这对随机游走模型提出了极大的挑战<sup>[89]</sup>, 并使得 R/S 分析成为了资产价格变化长期记忆性研究的经典理论工具<sup>[90-92]</sup>. 另外, 对于跨市场之间的相关关系, Zhou 和 Sornette 曾采用热最优路径分析研究了 2000-10~2003-09 之间美国联邦基金利率及各种短期和长期国库券的收益率, 发现了“股票市场-美联储的调息行动-短期收益率-长期收益率”这样一种链式影响关系<sup>[93]</sup>.

3) 对不同时间标度上资产价格变化关系问题的研究. 如前所述, 传统金融学很少注意到不同时间标度上价格变化的关系. 在金融物理学中, 这一重要课题主要由“分形”(fractal) 工具刻画.

“分形”这一概念起源于 Mandelbrot 对于传统欧几里德几何体系的挑战. 他认为, 经典几何学都是以规则而光滑的几何形状为其研究对象的, 然而自然界中的很多物体, 如连绵的山峰、蜿蜒的河流、曲折的海岸线等等, 它们都表现出了极不规则、极不光滑的自然形态. 更为重要的是, 这些物体还广泛具有鲜为人知的特殊性质——自相似性(self-similarity) 或标度不变性(scale invariability), 即物体的局部以某种方式与整体相似, 且当测量单位变化时, 这种自相似结构保持不变, 只是原来分形对象的放大或缩小. 1975 年, Mandelbrot 将具有这种性质的对象命名为“分形”. 后来, 分形理论逐渐在自然科学、社会科学、经济科学、思维科学等各种领域中都得到了迅速的发展和广泛的应用, 并从最初所指的形态上具有自相似性的几何对象这种狭义分形, 扩展到了结构、功能、信息、时间上具有自相似性的广义分形, 而 Mandelbrot 也由于在这一全新领域的开创性贡献被人们称为“分形理论之父”. 鉴于分形理论在金融物理学研究中的广泛影响力, 这里对其进行较为详尽的论述.

分形系统自相似结构的规律性最初是通过单

一分形维数来定量刻画的(即单分形分析), 然而随着研究深入, 人们发现仅仅通过单一分形维数来描述复杂非线性动力学演化过程形成的结构是不够的<sup>[86, 94]</sup>. 应该看到, 在分形系统的形成过程中, 局域条件引起的参量波动会造成分形对象形态的较大差异. 为了反映分形系统形成过程中局域条件的作用, 人们提出了多标度分形(multifractal) 的概念, 用来描述分形系统在演化过程中的不同层次和特征.

多标度分形又被称为多分形和多重分形. 在文献[29]中, Mandelbrot 首次指出了多标度分形理论在金融学研究中的广阔应用前景. 之后, Mandelbrot 又在世界权威的科学杂志《Scientific American》上撰文指出<sup>[95]</sup>, 多标度分形理论是定量刻画金融市场各种复杂波动特征的有力工具, 且与一般的单分形描述相比, 多标度分形理论的工具和方法在金融市场中具有更强的实用性.

在 Mandelbrot 开创性思想的指导下, 近年来金融物理学的研究工作者们开始尝试运用多标度分形理论来刻画金融市场中那些令人眼花缭乱和琢磨不透的复杂波动行为<sup>[34, 96]</sup>. 具体来说, 国外学者的大量前期研究表明, 黄金价格、汇率、国际原油价格以及股票价格和收益率等的波动除了存在着混沌和单分形等非线性特征之外, 还普遍具有明显的多标度分形特征<sup>[97-101]</sup>. 与此同时, 文献[102-106]在对中国资本市场的类似研究中, 同样证实了多标度分形现象的普遍性.

多标度分形特征的发现对于现有众多的金融研究结果具有非同寻常的意义. 正如 Selcuk 和 Gencay<sup>[107]</sup>所指出的那样, 金融市场多标度分形特征的普遍存在, 说明金融收益率(波动率)的分布特征随时间标度(time scale)变化呈现非线性变化趋势, 而由于主流波动率研究中的众多统计推论都是基于某一特定的时间标度, 因此这些统计推论对于全面深刻了解市场波动机制的有效性和代表性就是一个非常值得怀疑的问题.

多标度分形分析方法恰好为上述问题的解决提供了强有力的分析工具. 举例来说, 多标度分形理论认为, 不同时间标度之间的价格(收益率)有着非常密切的联系. 不同时间标度上的价格(收益率)波动图往往具有某种统计学意义上相似

性,这种关于时间标度的相似性称为标度不变性(scale invariance).为了研究价格波动与时间标度 $\tau$ 的关系,可以考虑进行如下的多标度分形分析(multifractal analysis).首先定义在时间标度 $\tau$ 上的收益率为 $r_\tau$ ,其 $q$ 阶矩为 $\langle |r_\tau|^q \rangle$ (或者称为 $q$ 阶结构化分割函数, $q$ th order structure partition function),这里的 $\langle \cdot \rangle$ 表示关于时间的平均. $q$ 阶矩 $\langle |r_\tau|^q \rangle$ 有比较明确的经济含义,同时考虑两种比较极端的情形:一种情形是 $q$ 为负数且绝对值很大,这时那些较大的 $r_\tau$ 在求平均值时几乎不起作用,而那些较小的收益率在求平均值时则起了决定性的作用.可以这样说,这个时候的 $q$ 阶矩主要描述了收益率的小幅波动;另外一种极端情形是 $q$ 为正且绝对值较大,这时与刚才正好相反, $q$ 阶矩主要描述了收益率的大幅波动.因此,当时间标度一定时,不同阶矩刻画了不同幅度的收益波动信息.收益率的 $q$ 阶矩是 $q$ 和 $\tau$ 的函数,对于不同的 $q$ ,研究表明 $\langle |r_\tau|^q \rangle$ 关于 $\tau$ 呈标度关系<sup>[13]</sup>.所谓标度关系,就是一种相似关系,用数学表达式表示为 $\langle |r_\tau|^q \rangle \sim \tau^\alpha$ .其中 $\alpha$ 或者为常数,或者为 $q$ 的函数.如果 $\alpha$ 为常数,则称收益率关于时间标度呈单标度分形关系,它实际上说明了收益率的大幅波动和小幅波动完全相似.如果 $\alpha$ 是 $q$ 的函数,则称收益率关于时间标度呈多标度分形关系,它说明了收益率的大幅波动和小幅波动不完全相似<sup>[74]</sup>.

现实的金融市场,既不象传统理论所描述的那样,大幅波动的概率几乎为零,也不象单标度行为所描述的那样,大幅波动与小幅波动完全相似,而是要用多标度关系描述其行为.因此,运用多标度分形理论来刻画金融市场的波动状况,就好像用不同倍数的显微镜来观察同一对象一样,有助于提炼出不同幅度的精确波动信息.同理,通过连续选择不同的时间标度 $\tau$ (如每分钟、每小时、每天或者每月等等),多标度分形分析就可以提炼出这些不同时间标度上的不同幅度的连续波动率信息,从而将不同时间标度上(高频和低频)的波动率信息纳入一个整体分析框架来考察,进而为基于多标度分形理论的市场波动率测度及其建模

提供相应的技术支持.

实际上,已经有学者开始尝试从多标度分形分析过程中提炼相关信息,从而为更加准确的金融资产价格波动建模提供依据.其中,文献[108-112]等在这一方向上做出了探索性的创新工作.这一系列研究通过充分提炼金融价格序列多分形分析过程中所产生的对定量描述金融波动有益的间接统计信息,提出了新的波动率测度方法及其动力学模型——多(标度)分形波动率测度(multifractal volatility, MFV),然后进一步考察了其在波动率预测、金融风险管理、衍生产品定价等领域的实际表现,较好地弥补了传统的金融资产价格波动率研究将注意力仅放在某一特定时间标度上的明显缺陷.

总之,金融市场的分形结构不仅对以有效市场假说为代表的经典金融理论提出了巨大的挑战,而且将有力地解释有效市场理论无法解释的许多金融市场异象,极大地改变人们对于金融市场特性的认识,包括有效市场理论所未能包含的诸如自相似性、长期记忆性、标度不变性、非线性等.而对于金融市场均衡特性认识的改变,也将会对市场众多问题的分析与定量研究产生重要的影响.因此,运用多标度分形理论研究金融市场,不仅可以为相关理论与实践提供可靠依据,而且对波动描述、资产定价、风险控制、市场监管等一系列金融市场中的重大问题具有极其重要的理论价值和实际意义.

4) 对金融泡沫和反泡沫建模与预测的研究.长久以来,金融市场上出现了多次重大泡沫产生和破灭的重复过程.以美国市场为例,较为著名的包括形成于20世纪20年代初并于1929年10月崩溃的股市泡沫,1987年10月“黑色星期一”之前的泡沫,以及破灭于2000年3月的网络经济泡沫.传统金融学对这些泡沫的形成原因及内在演化机制的研究较多,但始终没有形成较为统一的研究结论<sup>[113-115]</sup>.金融物理学者Sornette等<sup>[116]</sup>通过将股票市场崩盘和材料断裂进行类比,采用一阶对数周期性模型研究了1987年10月“黑色星期一”之前的股票市场泡沫,发现该泡沫在趋向崩盘的过程中呈现出很好的对数周期性振荡,同时Feigenbaum和Freund<sup>[117]</sup>也独立地发现了类似

的规律. 后来, Sornette 和 Johansen<sup>[118]</sup> 提出了一个二阶朗道模型( the 2<sup>nd</sup> Landau model), 可以很好地描述崩盘前泡沫近 7 年的演化轨迹, Zhou 和 Sornette<sup>[119]</sup> 运用类似的方法对中国股票市场和房地产市场的泡沫现象进行了研究.

## 4 结束语

正像前面提到的那样, 现代经典金融学( 特别是有效市场假说) 是一种均衡理论——一种关于参与者的理性行为导致无套利均衡的理论, 然而金融物理学对于市场全新思考的出发点却与有效市场假说有着根本的不同, 它把金融市场看成一个复杂的非线性系统( complex nonlinear system), 用处理复杂性和非线性问题的方法来研究金融市场的总体运行特征. 在金融物理学的世界里, 系统在绝大多数时间内都以非线性、正反馈、自组织等状态进行演化, 而所谓的均衡状态只是“奢望”和“理想状态”.

然而, 必须指出的是, 金融物理学家对于现有的金融理论和实务缺乏足够的认识, 从而可能会重复发现一些经验规律, 或者提出一些过度简化并缺乏经济学内涵的模型, 从而为经济学家和金融学家所诟病. 因此, 金融物理学家在研究金融问题时, 不但要充分发挥自身在运用物理学和数学方面的理论及方法优势, 还应当尽可能地了解金融系统运行的实际情况, 了解学术界和实务界重点关心的金融问题, 并与其展开紧密合作, 这对金融物理学的发展将大有裨益. 同时, 也正是在这一方向上, 短短的几十年间, 金融物理学者在金融市场的实际动力学特征描述、运用物理模型解释金融现象等方面, 已经取得了令人瞩目的研究成果. 这反映了金融物理学研究视角所具有的强大生命力, 以及该研究路线良好的成长性.

但是, 这是否就说明金融物理学已经推翻了以有效市场假说为代表的经典金融理论大厦了

呢? 如果没有, 又应该如何认识两者之间的关系? 这些问题的回答, 对更为深刻地认识两条不同研究路线的关系, 以及金融实践当中的若干基础性问题, 都具有十分重要的理论和现实意义.

实际上, 与主流经济学、金融学界的争论始终伴随着金融物理学的发展历程. Rosser<sup>[54]</sup> 曾对此争端有过一段清晰且准确的描述: 一方面, 金融物理学家认为, 现实与那些陈旧的所谓“经典”经济金融理论所预测的情况经常出现不一致, 而主流的经济金融学家不愿意接受或研究这些理论与现实的冲突, 因此他们并不是真正的科学家; 另一方面, 主流经济金融学家指责金融物理学家对他们的工作及经典理论的本质并没有做到真正深入的了解, 并且金融物理学家所使用的模型、方法等没有任何的基础理论作支撑.

本文认为, 正如黄登仕<sup>[74]</sup> 曾经指出的那样, 任何一个学科的主流理论都不是一层不变的, 今天的非主流或许就是明天的主流. 可以相信, 尽管金融物理学目前尚未建立起如主流金融理论一样系统完整的理论体系, 但由于其本身所具备的数据处理能力、方法严谨性及高度的可操作性等优势, 在不久的将来, 必将会得到主流学术界的广泛重视和承认, 且双方必然会通过沟通与合作, 以克服异议, 并实现取长补短、共同发展<sup>⑦</sup>.

最后需要指出的是, 金融物理学和经典金融理论并非完全对立的, 金融物理学的发展过程本身即是对经典金融理论所严重依赖的基础研究假设不断放松的过程. 这些基础假设主要包括: 1) 理性投资者; 2) 证券交易过程中无交易费用; 3) 投资者获取信息无需成本等. 在这些严格的假设下, 金融市场被描述为一个无摩擦系统, 类似于物理学中经典力学所描述的系统特征. 尽管经典力学对于现实世界进行了相当程度的抽象和简化, 但其作为目前最为典型的决定论体系, 在物理学乃至整个自然科学范围内的重要价值和基础地位却是不可否认的. 因此, 进一步认为, 以有效市场假说为代表的经典金融理论提

⑦ 在 2011 年 6 月华东理工大学所举行的金融物理学国际会议和 2011 年 10 月华中科技大学所举行的第九届金融系统工程与风险管理国际年会期间, 曾与金融物理学家 Sornette 教授进行了交流. 近期, 又与 Sornette 教授通信, 征求其对金融物理学未来发展趋势和方向的想法. Sornette 教授指出, 未来金融物理学的发展绝不应固守在自己方法和工具的优势领域里, 而应该在经济金融领域中影响较大的重要问题上做出自己的成果和贡献.

供了对市场运行特征的基础理解和研究出发点,而金融物理学则在描述与解释市场实证特征方面具备无可比拟的优势,两者都应充分吸收对方的合理成分,互为补充,不可偏废。

### 参 考 文 献:

- [1]Markowitz H. Portfolio selection[J]. *The Journal of Finance*, 1952, 7(1): 77-91.
- [2]Tobin J. Liquidity preference as behavior towards risk[J]. *Review of Economic Studies*, 1958, 25(1): 65-86.
- [3]Sharpe W. Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk[J]. *Journal of Finance*, 1964, 19(3): 425-442.
- [4]Mission J. Equilibrium in a capital asset market[J]. *Econometrica*, 1966, 34(4): 768-783.
- [5]Black F. Capital market equilibrium with restricted borrowing[J]. *Journal of Business*, 1972, 45(3): 444-455.
- [6]Modigliani F, Miller M H. The cost of capital, corporation finance, and the theory of investment[J]. *The American Economic Review*, 1958, 48(3): 261-297.
- [7]Modigliani F, Miller M H. The cost of capital, corporation finance, and the theory of investment: Reply[J]. *The American Economic Review*, 1965, 55(3): 524-527.
- [8]Black F, Scholes M. The pricing of options and corporate liabilities[J]. *Journal of Political Economy*, 1973, 81(3): 637-654.
- [9]Fama E F. Efficient capital markets: A review of theory and empirical work[J]. *Journal of Finance*, 1970, 25(2): 383-417.
- [10]Ross S A. The arbitrage theory of capital asset pricing[J]. *Journal of Economic Theory*, 1976, 13(3): 341-360.
- [11]汪昌云. 金融经济学[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2006.  
Wang Changyun. *Financial Economics* [M]. Beijing: China Renmin University Press, 2006. (in Chinese)
- [12]Ilinski K. *Physics of Finance: Gauge Modeling in Non-equilibrium Pricing* [M]. Chichester: John Wiley & Sons Press, 2001.
- [13]Mantegna R N, Stanley H E. *An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance* [M]. New York: Cambridge University Press, 1999.
- [14]Cont R. Empirical properties of asset returns: Stylized facts and statistical issues[J]. *Quantitative Finance*, 2001, 1(2): 223-236.
- [15]李红刚. 有效市场假说后的资产价格波动研究[J]. *经济学动态*, 2002, 52(2): 71-75.  
Li Honggang. Research on asset price volatility after EMH[J]. *Economic Perspectives*, 2002, 52(2): 71-75. (in Chinese)
- [16]Christofferson P F. *Elements of Financial Risk Management* [M]. San Diego: Academic Press, 2003.
- [17]Challet D, Marsili M, Zhang Y. *Minority Games: Interacting Agents in Financial Market* [M]. Oxford: Oxford University Press, 2004.
- [18]Morone A. Financial markets in the laboratory: An experimental analysis of some stylized facts[J]. *Quantitative Finance*, 2008, 8(5): 513-532.
- [19]Li Y, Hamill P A, Opong K K. Do benchmark African equity indices exhibit the stylized facts? [J]. *Global Finance Journal*, 2010, 21(1): 71-97.
- [20]Mcneil A J, Frey R. Estimation of tail-related risk measures for heteroscedastic financial time series: An extreme value approach[J]. *Journal of Empirical Finance*, 2000, 7(3): 271-300.
- [21]Jondeau E, Rockinger M. Testing for differences in the tails of stock-market returns[J]. *Journal of Empirical Finance*, 2003, 10(5): 559-581.
- [22]Choi P, Nam K. Asymmetric and leptokurtic distribution for heteroscedastic asset returns: The  $S_{\alpha}$ -normal distribution[J]. *Journal of Empirical Finance*, 2008, 15(1): 41-63.

- [23] Asai M. Autoregressive stochastic volatility models with heavy-tailed distribution: A comparison with multifactor volatility models [J]. *Journal of Empirical Finance*, 2008, 15(2): 332 – 341.
- [24] Engle R F. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of UK inflation [J]. *Econometrica*, 1982, 50(4): 987 – 1007.
- [25] Bollerslev T. Generalized autoregressive conditional heteroscedasticity [J]. *Journal of Econometrics*, 1986, 31(3): 307 – 327.
- [26] Kim S, Shephard N, Chib S. Stochastic volatility: Likelihood inference and comparison with ARCH models [J]. *Review of Economic Studies*, 1998, 65(3): 361 – 393.
- [27] 韦立坚, 熊 熊, 车宏利. 试析最小报价单位对股指期货市场流动性和波动性的影响 [J]. *现代财经(天津财经大学学报)*, 2012, (5): 45 – 51.  
Wei Lijian, Xiong Xiong, Che Hongli. The effect of minimum tick size on the stock index futures markets' s liquidity and volatility [J]. *Modern Finance and Economics*, 2012, (5): 45 – 51. (in Chinese)
- [28] 王 安, 左浩苗. 沪深300股指期货合约活跃程度影响因素分析 [J]. *现代财经(天津财经大学学报)*, 2013, (7): 51 – 60.  
Wang An, Zuo Haomiao. Trading activity and analysis of Its determinants of CSI 300 index futures contracts [J]. *Modern Finance and Economics*, 2013, (7): 51 – 60. (in Chinese)
- [29] Mandelbrot B B. *Fractal and Scaling in Finance: Discontinuity, Concentration, Risk* [M]. New York: Springer, 1997.
- [30] Xu Z, Gencay R. Scaling, self-similarity and multifractality in FX markets [J]. *Physica A*, 2003, 323(4): 578 – 590.
- [31] Capobianco E. Multiscale stochastic dynamics in finance [J]. *Physica A*, 2004, 344(1): 122 – 127.
- [32] Ren F, Gu G F, Zhou W X. Scaling and memory in the return intervals of realized volatility [J]. *Physica A*, 2009, 388(22): 4787 – 4796.
- [33] 黄登仕. 金融市场的标度理论 [J]. *管理科学学报*, 2000, 3(2): 27 – 33.  
Huang Dengshi. Scaling and scale invariance in financial markets [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2000, 3(2): 27 – 33. (in Chinese)
- [34] Matto T D. Multi-scaling in finance [J]. *Quantitative Finance*, 2007, 7(1): 21 – 36.
- [35] Christine A B, David M R. Skewness and kurtosis implied by option prices: A correction [J]. *The Journal of Financial Research*, 2002, 25(2): 279 – 282.
- [36] Sun Q, Yan Y X. Skewness persistence with optimal portfolio selection [J]. *Journal of Banking and Finance*, 2003, 27(6): 1111 – 1121.
- [37] Post T, Vliet P, Levy H. Risk aversion and skewness preference [J]. *Journal of Banking and Finance*, 2008, 32(7): 1178 – 1187.
- [38] 王 鹏, 王建琼, 魏 宇. 自回归条件方差 – 偏度 – 峰度: 一个新的模型 [J]. *管理科学学报*, 2009, 12(5): 121 – 129.  
Wang Peng, Wang Jianqiong, Wei Yu. Autoregressive conditional volatility-skewness-kurtosis: A new model [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2009, 12(5): 121 – 129. (in Chinese)
- [39] Fernandez V. Risk management under extreme events [J]. *International Review of Financial Analysis*, 2005, 14(2): 113 – 148.
- [40] Lin C H, Shen S S. Can the student- $t$  distribution provide accurate Value-at-Risk [J]. *Journal of Risk Finance*, 2006, 7(3): 292 – 300.
- [41] Peters E E. *FractalMarket Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics* [M]. New York: John Wiley & Sons, 1994.
- [42] Peters E E. *Chaos and Order in The Capital Markets* [M]. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [43] Day R H. Irregular growth cycles [J]. *American Economic Review*, 1982, 72(3): 406 – 414.
- [44] Day R H, Shafer W. Ergodic fluctuation in deterministic economic model [J]. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 1987, 8(3): 339 – 361.

- [45] Sarri D G. Calculus and extension of arrow's theorem [J]. *Journal of Mathematical Economics*, 1991, 20(3): 271 – 306.
- [46] Carrera G, Moran M. General dynamics in overlapping generation models [J]. *Journal of Economics Dynamics and Control*, 1995, 19(4): 813 – 830.
- [47] Weidlich W, Braun M. The master equation approach to nonlinear economics [J]. *Journal of Evolutionary Economics*, 1992, 2(3): 233 – 265.
- [48] Baron B L. Chaos and nonlinear forecastability in economics and finance [J]. *Philosophical Transactions: Physical Sciences and Engineering*, 1994, 348(2): 397 – 404.
- [49] Chen P. Multiperiodicity and irregularity in growth cycles: A continuous model of monetary attractors [J]. *Mathematical, Computational and Modeling*, 1988, 10(9): 647 – 660.
- [50] Mantegna R N, Stanley H E. Scaling behavior in the dynamics of economic index [J]. *Nature*, 1995, 376(6535): 46 – 49.
- [51] Hsu C, Kugler P. A nonlinear analysis of forward premium and volatility [J]. *Studies in Nonlinear Economics and Econometrics*, 1996, 1(4): 186 – 201.
- [52] Stanley H E, Afanasyev V, Amaral L, et al. Anomalous fluctuations in the dynamics of complex systems: From DNA and physiology to Econophysics [J]. *Physica A*, 1996, 224(1): 302 – 321.
- [53] 周炜星. 金融物理学导论 [M]. 上海: 上海财经大学出版社, 2007.  
Zhou Weixing. An Introduction to Econophysics [M]. Shanghai: Shanghai University of Finance & Economics Press, 2007. (in Chinese)
- [54] Rosser J B. The Nature and Future of Econophysics [C]// Salzano M. Proceeding of the International Workshop on “Econophysics of Stock Market and Minority Games”. Italy: Springer Press, 2006: 225 – 234.
- [55] Mandelbrot B B. The variation of certain speculative prices [J]. *Journal of Business*, 1963, 36(4): 394 – 419.
- [56] Majorara E. Valore delle leggi statistiche nella fisica e nelle scienze social [J]. *Scientifica*, 1942, 36(1): 58 – 61.
- [57] Kadanoff L P. From simulation model to public policy: An examination of Forrester's urban dynamics [J]. *Simulation*, 1971, 16(6): 261 – 268.
- [58] Montroll E W, Badger W W. Introduction to Quantitative Aspects of Social Phenomena [M]. New York: Gordon & Breach Press, 1974.
- [59] Mantegna R N, Stanley H E. Turbulence and financial markets [J]. *Nature*, 1996, 383(6601): 587 – 588.
- [60] Mantegna R N, Stanley H E. Stock market dynamics and turbulence: Parallel analysis of fluctuation phenomena [J]. *Physica A*, 1997, 239(3): 255 – 266.
- [61] Sias R W, Starks L T. Return autocorrelation and institutional investors [J]. *Journal of Financial Economics*, 1997, 46(1): 103 – 131.
- [62] Safvenblad P. Trading volume and autocorrelation: Empirical evidence from the stockholm stock exchange [J]. *Journal of Banking and Finance*, 2000, 24(8): 1275 – 1287.
- [63] Gaunt C, Gray P. Short-term autocorrelation in Australian equities [J]. *Australian Journal of Management*, 2003, 28(1): 97 – 117.
- [64] Laloux L, Cizeau P, Bouchaud J, et al. Noise dressing of financial correlation metrics [J]. *Physical Review Letters*, 1999, 83(7): 1467 – 1470.
- [65] Plerou V, Gopikrishnan P, Rosenow B, et al. Universal and nonuniversal properties of cross correlations in financial time series [J]. *Physical Review Letters*, 1999, 83(7): 1471 – 1474.
- [66] Malliavin P, Mancino M E. Fourier series method for measurement of multivariate volatility [J]. *Finance and Stochastics*, 2002, 6(1): 49 – 61.
- [67] Ausloos M, Vandewalle N, Boveroux P. Applications of statistical physics to economic and financial topics [J]. *Physica A*, 1999, 274(2): 229 – 240.
- [68] Garrett I, Taylor N. Intraday and interday basis dynamics: Evidence from the FTSE 100 index [J]. *Studies in Nonlinear Economics and Econometrics*, 2001, 5(2): 132 – 152.

- [69] Robles M, Nieto L, Fernandez M. Nonlinear intraday dynamics in Eurostoxx50 index markets [J]. *Studies in Nonlinear Economics and Econometrics*, 2004, 8(4): 1–28.
- [70] Bacry E, Kozhemyak A, Muzy J. Continuous cascade models for asset returns [J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2008, 32(1): 156–199.
- [71] Matia K, Ashkenazy Y, Stanley H E. Multifractal properties of price fluctuations of stock and commodities [J]. *Europhysics Letters*, 2003, 61(3): 422–428.
- [72] Kim K, Yoon S M. Multifractal features of financial markets [J]. *Physica A*, 2004, 344(1): 272–278.
- [73] He Lingyun, Chen Shupeng. Multifractal detrended cross-correlation analysis of agricultural futures markets [J]. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2011, 44(6): 355–361.
- [74] 黄登仕. 经济复杂性研究评述 [J]. *经济学动态*, 2001, 42(1): 21–25.  
Huang Dengshi. Research review on financial complexity [J]. *Economic Perspectives*, 2001, 42(1): 21–25. (in Chinese)
- [75] 李平, 汪秉宏, 全红俊. 金融物理的若干基本问题与研究进展(1): 价格的统计分析与价格涨落的随机过程模拟 [J]. *物理*, 2004, 33(1): 28–33.  
Li Ping, Wang Binghong, Quan Hongjun. Some problem and progress about econophysics(1) [J]. *Physics*, 2004, 33(1): 28–33. (in Chinese)
- [76] Bouchaud J P, Potters M, Meyer M. Apparent multifractality in financial time series [J]. *European Physical Journal B*, 2000, 13(3): 595–599.
- [77] Schinckus C. Is Econophysics a new discipline? A neopositivist argument [J]. *Physica A*, 2010, 389(18): 3814–3821.
- [78] Linden M. A model for return distribution [J]. *International Journal of Finance & Economics*, 2001, 6(2): 159–170.
- [79] 黄德龙, 杨晓光. 中国证券市场股指收益分布的实证分析 [J]. *管理科学学报*, 2008, 11(1): 68–77.  
Huang Delong, Yang Xiaoguang. Empirical study on distribution of stock index returns in China's security market [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2008, 11(1): 68–77. (in Chinese)
- [80] Khalifa A, Miao H, Ramchander S. Return distribution and volatility forecasting in metal futures markets: Evidence from gold, silver, and copper [J]. *Journal of Futures Markets*, 2011, 31(1): 55–80.
- [81] Wang B H, Hui P M. The distribution and scaling of fluctuations for Hang Seng index in Hong Kong stock market [J]. *European Physical Journal*, 2001, 20(4): 573–579.
- [82] Gopikrishnan P, Plerou V, Amaral L, et al. Scaling of the distribution of fluctuations of financial market indices [J]. *Physical Review*, 1999, 60(5): 5305–5316.
- [83] Plerou V, Gopikrishnan P, Amaral L, et al. Scaling of the distribution of price fluctuations of individual companies [J]. *Physical Review*, 1999, 60(6): 6519–6529.
- [84] Malevergne Y, Pisarenko V, Sornette D. Empirical distributions of stock returns: Between the stretched exponential and power law? [J]. *Quantitative Finance*, 2005, 5(4): 379–401.
- [85] Malevergne Y, Sornette D. *Extreme Financial Risks: From Dependence to Risk Management* [M]. Berlin: Springer Press, 2006.
- [86] Ghashghaie S, Breyman W, Peinke J, et al. Turbulent cascades in foreign exchange markets [J]. *Nature*, 1996, 381(6585): 767–770.
- [87] Mandelbrot B B. Long-run interdependence in price records and other economic time series [J]. *Econometrica*, 1970, 38(1): 122–123.
- [88] Mandelbrot B B. Analysis of long-run dependence in economics: The R/S technique [J]. *Econometrica*, 1971, 39(1): 68–69.
- [89] Mandelbrot B B. When can price be arbitrated efficiently? A limit to the validity of the random walk and martingale models [J]. *Review of Economics and Statistics*, 1971, 53(3): 225–236.
- [90] Jin H J, Frechette D L. A new  $t$ -test for the R/S analysis and long memory in agricultural commodity prices [J]. *Applied Economics Letters*, 2004, 11(11): 661–667. *y & Practice*, 2009, 29(9): 7–15.

- [91]郝清民. 中国股市收益率长记忆性 R/S 非线性分析[J]. 管理工程学报, 2007, 21(2): 115 – 117.  
Hao Qingmin. R/S nonlinear analysis on the long memory of Chinese stock markets return[J]. Journal of Industrial Engineer and Engineer Management, 2007, 21(2): 115 – 117. (in Chinese)
- [92]Doncel L M, Pilar G, Sainz J. On the long-term behavior of mutual fund returns[J]. Quantitative Finance, 2009, 9(6): 653 – 660.
- [93]Zhou W X, Sornette D. Causal slaving of the U. S. treasury bond yield antibubble by the stock market antibubble of August 2000[J]. Physica A, 2004, 337(3/4): 586 – 608.
- [94]Vassilicos J C, Demos A, Tata F. No Evidence of Chaos But Some Evidence of Multifractals in the Foreign Exchange and the Stock market[M]. Berlin: Springer, 1993.
- [95]Mandelbrot B B. A multifractal walk down Wall Street[J]. Scientific American, 1999, 280(2): 70 – 73.
- [96]Stanley H E, Amaral L A N, Gabaix X. Similarities and differences between physics and economics[J]. Physica A, 2001, 299(1): 1 – 15.
- [97]Bacry E, Delour J, Muzy F. Modeling financial time series using multifractal random walks[J]. Physica A, 2001, 299(1): 84 – 92.
- [98]Calvet L, Fisher A. Multifractality in asset returns: Theory and evidence[J]. Review of Economics and Statistics, 2002, 84(3): 381 – 406.
- [99]Norouzzadeh P, Jafari G R. Application of multifractal measures to Tehran price index[J]. Physica A, 2005, 356(4): 609 – 627.
- [100]Norouzzadeh P, Dullaert W, Rahmani B. Anti-correlation and multifractal features of Spain electricity spot market[J]. Physica A, 2007, 380(2): 333 – 342.
- [101]Boland L, Bouchaud J P, Muzy J F, et al. The Dynamics of Financial Markets: Mandelbrot's Multifractal Cascades, and Beyond[R]. Available at <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0501292>, 2008.
- [102]胡雪明, 宋学锋. 深沪股票市场的多重分形分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2003, 20(8): 124 – 127.  
Hu Xueming, Song Xuefeng. Multifractal analysis of Shanghai and Shenzhen stock market[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2003, 20(8): 124 – 127. (in Chinese)
- [103]庄新田, 黄小原. 证券市场的标度理论及实证研究[J]. 系统工程理论与实践, 2003, 23(3): 1 – 8.  
Zhuang Xintian, Huang Xiaoyuan. Scale theory and empirical research in the securities market[J]. System Engineering—Theory & Practice, 2003, 23(3): 1 – 8. (in Chinese)
- [104]魏宇, 黄登仕. 金融市场的多标度分形现象基于风险管理的关系[J]. 管理科学学报, 2003, 6(1): 87 – 91.  
Wei Yu, Huang Dengshi. Multifractal phenomenon and financial risk management[J]. Journal of Management Sciences in China, 2003, 6(1): 87 – 91. (in Chinese)
- [105]Jiang Z Q, Zhou W X. Multifractal analysis of Chinese stock volatilities based on the partition function approach[J]. Physica A, 2008, 387(19): 4881 – 4888.
- [106]Yuan Y, Zhuang X. Multifractal description of stock price index fluctuation using a quadratic function fitting[J]. Physica A, 2008, 387(3): 511 – 518.
- [107]Seleuk F, Gencay R. Intraday dynamics of stock market returns and volatility[J]. Physica A, 2006, 367(2): 375 – 387.
- [108]魏宇. 金融市场的多分形波动率测度、模型及其 SPA 检验[J]. 管理科学学报, 2009, 12(5): 88 – 99.  
Wei Yu. Multifractal volatility measure, its model and SPA test in financial market[J]. Journal of Management Sciences in China, 2009, 12(5): 88 – 99. (in Chinese)
- [109]魏宇. 基于多分形波动率测度的 VaR 计算模型研究[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(9): 7 – 15.  
Wei Yu. Volatility predicting models in Chinese stock market and SPA test[J]. System Engineering—Theory & Practice, 2009, 29(9): 7 – 15. (in Chinese)
- [110]Wei Yu, Wang Peng. Forecasting volatility of SSEC in Chinese stock market using multifractal analysis[J]. Physica A, 2008, 387(7): 1585 – 1592.

- [111]王 鹏,王建琼. 中国股票市场的多分形波动率测度及其有效性研究[J]. 中国管理科学,2008,16(6):9-15.  
Wang Peng,Wang Jianqiong. Multifractal volatility measure of China's stock market and its validity[J]. Chinese Journal of Management Science,2008,16(6):9-15. (in Chinese)
- [112]王 鹏,魏 宇. 基于多分形波动率测度的ES风险度量[J]. 系统管理学报,2012,21(2):192-200.  
Wang Peng,Wei Yu. Excepted shortfall estimation based on multifractal volatility[J]. Journal of Systems & Management,2012,21(2):192-200. (in Chinese)
- [113]Ganley W T. The theory of business enterprise and Veblen's neglected theory of corporation finance[J]. Journal of Economic Issues,2004,38(2):397-403.
- [114]Malkiel B G. Searching for rational investors: Explaining the lowenstein paradox[J]. Journal of Corporation Law,2005,30(3):567-572.
- [115]Lansing K J. Lock-in of extrapolative expectations in an asset pricing model[J]. Macroeconomic Dynamics,2006,10(3):317-332.
- [116]Sornette D,Johansen A,Bouchaud J P. Stock market crashes,precursors and replicas[J]. Journal of Physics I France,1996,6(1):167-175.
- [117]Feigenbaum J A,Freund P G O. Discrete scale invariance in stock markets before crashes[J]. International Journal of Modern Physics,1996,10(27):3737-3745.
- [118]Sornette D,Johansen A. Large financial crashes[J]. Physica A,1997,245(3/4):411-422.
- [119]Zhou W X,Sornette D. Antibubble and prediction of China's stock market and real-estate[J]. Physica A,2004,337(1/2):243-268.

## Dilemma of classical financial theory and the rising of econophysics

WANG Peng<sup>1 2</sup>, WEI Yu<sup>3</sup>

1. Institute of Chinese Financial Studies, Southwest University of Finance and Economics, Chengdu 610074, China;
2. Collaborative Innovation Center of Financial Security, Chengdu 610074, China;
3. School of Economics & Management, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

**Abstract:** Classic financial theories are far from the explaining lots of anomalies in real markets. Nevertheless the Econophysics, which is based on nonlinear dynamics, complex system and statistical physics and aims at explaining and modeling these anomalies, has been an important area in financial studies. Firstly, this paper briefly introduces the classic financial theory. Secondly, several anomalies which are accepted generally but can not be explained by classic financial theory are summarized and then the reason of the rising of Econophysics is proposed. We comment on several key aspects such as the definition, researching content and new evolution of econophysics. Finally, the relationship between the classic financial theory and econophysics is discussed.

**Key words:** classic financial theory; econophysics; financial anomalies