

都国雄◎著



Financial physics

金融物理学 基础

——金融时间序列的
统计特性

河海大学出版社

Financial physics

金融物理学 基础

都国雄◎著

——金融时间序列的
统计特性

河海大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

金融物理学基础 / 都国雄著. —南京: 河海大学出版社, 2008. 2

ISBN 978-7-5630-2461-2

I. 金... II. 都... III. 物理学—应用—金融学
IV. F830

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 012930 号

书 名 / 金融物理学基础——金融时间序列的统计特性

书 号 / ISBN 978-7-5630-2461-2/F·261

著 者 / 都国雄

责任编辑 / 铁龙海

封面设计 / 杭永鸿

出版发行 / 河海大学出版社

地 址 / 南京市西康路 1 号(邮编: 210098)

电 话 / (025)83737852(总编室) (025)83722833(发行部)

电子信箱 / hhup@hhu.edu.cn

照 排 / 南京紫藤制版印务中心

印 刷 / 南京玉河印刷厂

开 本 / 787 毫米×960 毫米 1/16 8.75 印张 187 千字

版 次 / 2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

定 价 / 30.00 元



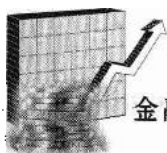
序 1

20 世纪 90 年代提出来的金融物理学是一门新兴的交叉学科。它将物理学的理论和方法应用于金融领域,研究分析金融系统中大量的实证数据之间的变化规律及其遵循的微观动力学机理。它运用不同于传统数理金融学或计量经济学的研究方法,而是从客观事实出发,用实证的方法研究这些事实之间的关系,从而揭示存在的变化规律。也就是从事物的本质出发,研究其发生、发展及其变化的规律。

国外许多物理学家、经济学家和金融学家致力于金融物理学的研究,研究内容包括不同国家或地区股票市场波动的行为特征、微观动力学规律,股票市场突变时的波动特征,以及不同股票之间相关矩阵的研究。研究成果不断被刊登在《Nature》、《Science》、《Physical Review Letters》等国际著名的学术期刊上。但在国内,研究的人还很少,研究的深度还不够。令人高兴的是,都国雄博士的新作——《金融物理学基础》在这一方面有了新的进展,成为国内这一领域难得一见的代表作。

该书汇集作者多年研究成果,从统计物理学的角度,以我国沪深两地股票市场收盘指数序列作为主要研究对象,同时对比其他股票市场的研究结果,着重分析了股票市场的行为特征,内容包括时间序列的标度特性、收益及波动率序列的变化特性、中国股市的日效应现象、波动所具有的多重分形特性,以及股票市场中的序参量及其遵循的变化规律。

随着近年来计算机技术和网络技术的发展,采集高频数据已并非



序

1

难事。针对海量的高频数据,一是可以用新的方法、新的模型来研究数据间的关系;二是使得通过数据去检测模型的准确性及其预测能力成为可能;三是高频数据更能反映股票市场波动的微观结构,更能体现其本质特征。作者在该书中应用了连续七年的高频数据,使研究结果更具说服力和准确性。

全书结构清晰,层次分明,资料翔实,研究深入,获得了许多有较高理论水平和应用价值的研究成果,对推动我国学者在这一领域的研究,应能发挥很好的促进和引导作用。

东南大学经济管理学院教授、博士生导师

何建敏

2007.12



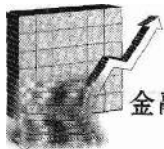
序 2

复杂性无处不在,可分为机械复杂性、生物复杂性和社会复杂性等三个层次。从某种意义上说,社会复杂性处于最高层次,其规律性较其余二者更难把握。金融系统是一个复杂的社会系统,上世纪末金融学传统范例的失效和新范例的建立,客观上为金融物理学的发展提供了空间。

金融物理学是一门研究金融市场宏观规律及其复杂性的新兴交叉学科,在20世纪90年代兴起,已取得了很多创新性的成果,也为传统金融学研究提供了新的视角。在国内,金融物理学研究方兴未艾,相关学者主要来自物理学和管理科学与工程领域。从学科划分上看,金融物理学与金融工程、管理复杂性、预测理论与方法等领域均有交叉。与管理科学其他学科比较,当前的金融物理学研究更侧重于理论探索,但在实际应用方面亦有较多涉及。事实上,国内外金融物理学家已在资产定价、风险管理等领域进行了深入研究。因此,金融物理学与其他相关领域的界限并不十分清晰。

对于青年科研工作者而言,金融物理学作为一门新兴交叉学科,无疑具有较大的吸引力。然而,初学者将面临诸多问题:什么是金融物理学?其主要研究内容和方法是什么?如何能在较短时间内进入该领域的一些前沿?等等。都国雄博士主要从事金融物理学研究,其专著无疑为这些问题提供了很好的解答,是初学者很好的入门教科书。

本书内容涉及金融物理学研究的核心问题,即金融时间序列的程式化规律,主要涉及以下5个专题:第二章研究市场波动的概率分布,



特别关注(截尾)利维分布,探讨分布的普适标度行为;第三章介绍赫斯特分析和降趋脉动分析法及其在检测金融时间长期记忆性中的应用;第四章研究波动率的日内模式,分析其对长期记忆性的影响;第五章介绍分形和多重分形理论及其在金融市场中的应用;第六章将统计物理学中序参量的概念引入证券市场,表征市场其动力学行为。对每一专题,都国雄博士既有对相关理论和方法的介绍,也有对国内外实证研究情况的综述,并给出自己的研究成果。

本书的实证研究,主要针对我国股票市场。因此,本书不但可资科研人员参考,亦能使实务界从业人员获益。由于本书涉及的内容颇有创新性,对一些问题的研究在学术界尚无定论,读者或可从不同角度加以研究,并对中国股市的金融物理学研究提出自己的观点和看法。

可以预料,本书的出版,将会激发更多青年学者的兴趣,吸引他们投身金融物理学研究,从而推动该领域在我国的发展。

华东理工大学商学院教授、博士生导师

周炜星

2007.12

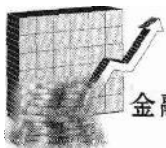


前言

学科和领域的交叉、渗透是当今科学发展的潮流,物理学也不例外。当代物理学的两个主要发展方向,一是运用计算机技术模拟研究复杂系统和微观世界,二是与相关学科结合和向相关领域渗透。以现代统计物理学为基础,物理学家从化学和生物学开始,正逐渐进入经济学和社会学等领域,经济物理学就是其中一个崭新的研究领域。

经济物理学(econophysics)一词是由美国波士顿大学物理学教授斯坦利(H. E. Stanley)等人在 20 世纪 90 年代初提出来的。作为物理学或经济学的一个分支,从广义上讲,经济物理学是将物理学的理论、方法、技术和模型,例如统计物理学、非线性动力学、流体力学、量子力学和分形学(fractals)等等,应用于经济学领域,解决经济社会中一些问题。从狭义上讲,又称为金融物理学,是指将统计物理学、量子力学、量子场论和非线性动力学的理论和方法,应用于金融领域(如金融市场建模、资本性资产定价、风险管理等等),研究分析金融系统中大量的实证数据之间的宏观特征和微观机理,解释金融现象,揭示客观规律,从而预测发展趋势,避免金融风险。

金融学本身是研究如何在不确定性的环境下,通过资本市场,对资源进行跨期最优配置的一门经济科学。金融工程学作为金融学的一个分支,侧重于衍生金融产品的定价和实际应用,它最关心的是如何利用创新金融工具,来更有效地分配和再分配个体所面临的形形色色的经济风险,以优化它们的风险/收益特征。数理金融学是 20 世纪后期迅速发展起来的、数学与金融学相结合的一门新的学科,其基本特点是运用数学工具研究和分析金融交易中的各种问题,精确刻画金融交易过程中的各种行为及其可能的结果,从而使金融交易的决策更



前 为正确和精确。

与经济学家和金融数学家的研究不同的是,物理学家针对保存下来的大量的金融数据进行经验分析。他们主要是用统计力学和计量的方法探究数据中隐藏的统计性质,特别是普遍性的特征。这是理解金融市场的第一步。此后,物理学家开始想像金融市场运作的模式,并用理论物理学的知识(如量子力学、规范场理论、非线性动力学、分形学等等)构造描述某一特定市场的动力学模型,并用该模型模拟市场的运作以产生数据;然后,用经验分析研究这些数据的统计性质,比较它们与真实数据反映的性质是否一致;最后,根据一致性的程度,修正、完善或重构模型。最重要的是理想的模型可以帮助我们理解现象背后的原因与关联,把握事物的本质。目前,物理学家大多以这种方法探究金融市场。

金融物理学作为一门新兴的交叉学科,主要运用物理学的思想,将物理学的理论、方法应用于金融工程领域,研究金融产品运动变化的微观动力学规律,有效预测金融产品的风险与收益的变化规律,最终实现提高收益,降低风险的目的。数理金融学侧重于将数学理论与金融工程的结合,理论抽象性比较强;而金融物理学将研究客观世界的物理学方法和理论应用于金融工程,既注重理论性,但更注重实际应用性;既尊重客观事实,但又能预测客观变化规律。因此,金融物理学从事物的本质出发,研究其发生、发展及变化的规律。这是金融物理学与数理金融学的本质区别。

经济物理学以金融市场为主要研究对象,这时又称为金融物理学。在这方面的研究主要包括两个方面,一是对股票收益的微观动力学的统计特性和股票收益的互相关特性的研究;二是对市场变化动力学的微观定量建模。

近几年,经济物理学的研究取得了很大进展,其研究成果为银行和经纪人估计风险、防范风险提供了实际应用。许多研究成果不断刊登在《Nature》、《Science》、《Physical Review Letters》、《Physics Review》、《Physica A》等著名的学术期刊上。

1996年,在罗马尼亚首都布达佩斯召开了由物理学家、经济学家



和金融学家共同参与的首届国际经济物理学专题研讨会,标志着经济物理学这一新兴学科的正式诞生。此后,各种国际性学术会议也频繁召开。这些会议给专门从事经济物理学研究的学者提供了研讨、发表研究成果的机会。其中如何准确预测未来金融市场运动的科学建模成为众多物理学家研究的领域,不仅包括理论物理学家,而且金融界的物理学家对此也很感兴趣。对于大量可得金融数据,物理学家运用物理学的知识、研究方法和洞察力,得出了许多经验研究成果。

本书以统计物理学为基础,以我国沪深两地股票市场收盘指数序列作为主要研究对象,同时对比其他股票市场的研究结果,着重分析股票市场的行为特征,包括时间标度特性、收益和波动率序列变化特性、波动所具有的多重分形特性等等,分析了这些波动所遵循的微观动力学规律,并将统计物理学中的序参量概念引入股票市场,分析股票市场中的序参量及其遵循的变化规律。

令我十分敬佩和感激的是,东南大学经济管理学院博士生导师何建敏教授为此书写了序,并予以高度评价;师承经济物理学先驱者之一、美国加利福尼亚大学索内特教授(Didier Sornette)完成博士后研究的华东理工大学商学院博士生导师周炜星教授在百忙中也欣然为此书写序。两位教授多年从事这一领域的研究,是国内这一领域资深专家,能得到他们对此书的评价是对我莫大的鼓舞和鞭策。在此,对两位教授表示深深的敬意和衷心感谢!

最后,本书只是应用了统计物理学中的一部分理论和知识,对其他理论的应用还有待进一步研究。由于笔者水平有限,研究的问题还不够深入,甚至有些地方还有待商榷。笔者只是希望,此书能引起一些学者对经济物理学的兴趣,或者为开始研究经济物理学的学者提供一些帮助。

都国雄

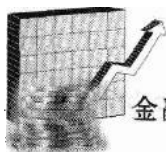
2007年冬于南京

(欢迎广大读者来信指教。来信请寄 dugx@niit.edu.cn。)



目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 问题的提出	(1)
1.2 经济物理学简介	(2)
1.3 本书的内容	(4)
第二章 波动与标度特性	(6)
2.1 波动与标度	(6)
2.1.1 金融时间序列	(6)
2.1.2 标度	(8)
2.1.3 标度不变性	(8)
2.2 收益及其标度特性	(9)
2.2.1 理论模型	(9)
2.2.2 标度特性	(12)
2.2.3 利维指数 α 值的估计	(24)
2.2.4 重标概率分布曲线	(25)
2.3 其他领域的标度特性	(26)
2.3.1 公司增长的标度行为	(27)
2.3.2 GDP 增长的标度行为	(28)
2.3.3 R&D 费用增长的标度行为	(28)
2.3.4 外汇交换率的波动特性	(30)
第三章 持久性与非周期循环	(32)
3.1 分形时间序列	(32)
3.2 基于 R/S 的持久性特征	(34)
3.2.1 重标度极差分析法简介	(35)
3.2.2 实证研究	(37)
3.2.3 本节简要结论	(40)



目 录	
3.3 基于 DFA 的持久性特征	(44)
3.3.1 消除趋势波动分析法简介	(44)
3.3.2 实证研究——上证综指和深证成指 DFA 分析	(46)
3.3.3 其他金融时间序列的 DFA 分析	(52)
第四章 波动率与日效应现象	(55)
4.1 波动率及其分布特性	(55)
4.1.1 波动率的定义	(55)
4.1.2 波动率的变化特性	(56)
4.2 上海股票市场的日效应现象	(62)
4.2.1 “W”型日效应现象	(62)
4.2.2 “反正弦”型随机日效应现象	(63)
4.3 波动率序列的相关特性	(64)
4.3.1 S&P500 指数波动率序列的相关特性	(64)
4.3.2 上证综指波动率序列的相关特性	(64)
4.4 消除日效应现象后收益波动的相关特性	(65)
4.4.1 绝对价格时间序列的相关特性	(65)
4.4.2 相对价格时间序列的相关特性	(66)
第五章 分形与多重分形	(67)
5.1 理论模型	(68)
5.1.1 分形布朗运动	(68)
5.1.2 多重分形布朗运动	(69)
5.2 多重分形的研究方法	(70)
5.2.1 配分函数(partition function)分析法	(70)
5.2.2 奇异谱(singular spectrum)分析法	(71)
5.2.3 多重分形趋势消除波动分析法(MF-DFA)	(71)
5.3 金融市场多重分形特性	(72)
5.3.1 上海股票市场多重分形特性	(72)
5.3.2 其他股票市场的多重分形特性	(79)
第六章 序参量与广义赫斯特指数	(83)
6.1 广义维数的概念	(83)
6.2 股票市场多重分形参量与热力学参量的对比	(84)



6.3 股票市场中的序参量及其特性	(85)
6.3.1 协同学	(85)
6.3.2 序参量的概念及其意义	(86)
6.3.3 股票市场中的序参量	(87)
6.3.4 股票市场中序参量的特性	(89)
附录 A 随机变量及其分布函数	(90)
附录 B 随机过程基础知识	(98)
附录 C 时间序列基础知识	(103)
参考文献	(107)
后记	(117)



图形目录

图 2.1	(a)标准普尔 500 指数、(b)上证综指和(c)深证成指波动图	(7)
图 2.2	美国标准普尔 500 指数每分钟收益序列的概率分布	(12)
图 2.3	S&P500 累积收益概率分布	(13)
图 2.4	S&P500 日指数、日经日指数和恒生日指数的累积收益概率分布	(13)
图 2.5	S&P500 指数的收益分布及其与高斯分布的对比	(14)
图 2.6	巴西圣保罗股票交易指数收益分布	(14)
图 2.7	巴西圣保罗股票交易指数收益序列的累积概率分布	(15)
图 2.8	概率分布与利维分布的比较	(16)
图 2.9	均值与时间标度的幂律关系(斜率=0.990741)	(16)
图 2.10	方差与时间标度的幂律关系(斜率=-0.4588)	(16)
图 2.11	布达佩斯证券交易指数 1998 年每笔交易数据序列的收益概率分布	(17)
图 2.12	S&P500 日收盘指数波动情况	(17)
图 2.13	分段收益概率分布及其拟合曲线	(18)
图 2.14	收益概率分布及其拟合曲线	(18)
图 2.15	时间标度增大时利维分布逐渐趋向高斯分布	(19)
图 2.16	上证综指收益概率分布与同方差正态分布的比较	(20)
图 2.17	收益概率的对数分布与同方差正态分布的比较	(20)
图 2.18	概率与收益的双对数曲线	(20)
图 2.19	标准差与时间标度的双对数曲线	(20)
图 2.20	美国标准普尔 500 指数不同时间标度收益序列概率分布	(21)
图 2.21	美国标准普尔 500 指数不同时间标度重标后收益序列概率分布	(21)
图 2.22	巴西股票指数不同时间标度的概率分布	(22)
图 2.23	巴西股票指数重标后的概率分布	(22)

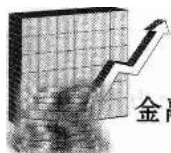


图 2.24	不同时间标度下收益的累积概率分布	(23)
图 2.25	时间标度为 1 min 和 60 min 时收益的累积概率曲线	(23)
图 2.26	不同 Δt 时上证综指收益的概率分布曲线	(23)
图 2.27	不同 Δt 时深证成指收益的概率分布曲线	(24)
图 2.28	上证综指拟合曲线(斜率 $\lambda_p = -0.794 \pm 0.024$)	(25)
图 2.29	深证成指拟合曲线(斜率 $\lambda_{深} = -0.573 \pm 0.082$)	(25)
图 2.30	重标后上证综指的概率分布曲线	(26)
图 2.31	重标后深证成指的概率分布曲线	(26)
图 2.32	美国贸易公司年销售额的波动特性	(27)
图 2.33	GDP 的波动特性	(28)
图 2.34	大学研究与开发(R&D)经费波动特性	(29)
图 2.35	美国大学发表的论文数的波动特性	(30)
图 2.36	五种情形的汇总	(30)
图 2.37	德国马克与美国美元兑换率的概率分布	(31)
图 3.1	不同分形维的分形布朗运动的模拟曲线	(33)
图 3.2	挪威奥斯陆股票交易指数 1983~1995 年间日收盘指数 波动	(37)
图 3.3	挪威奥斯陆股票交易指数 R/S 回归图, $H=0.6140$	(38)
图 3.4	样本一日收盘指数变化曲线	(39)
图 3.5	样本一日收盘指数 R/S 回归图	(39)
图 3.6	样本一日收盘指数 V_n 变化曲线	(40)
图 3.7	样本二(沪市)不同时间标度收盘指数序列分析图	(40)
图 3.8	样本一日收盘指数自相关函数曲线	(41)
图 3.9	沪市收益率相关函数曲线图	(41)
图 3.10	沪市收益率绝对值自相关函数曲线	(41)
图 3.11	样本一日收盘指数分段 R/S 回归图	(42)
图 3.12	样本一日收盘指数收益序列 DFA1 回归图	(47)
图 3.13	α 值随数据量的变化曲线	(48)
图 3.14	上证综指 40 min 收益序列 DFA1 回归图	(48)
图 3.15	S&P500 指数每分钟收益序列的自相关函数	(52)
图 3.16	收益绝对值序列的频率谱分析	(53)



图 3.17 德国马克(DEM)与日本元(JPY)兑换率的 DFA 分析	(53)
图 4.1 S&P500 指数的波动曲线和收益变化曲线	(56)
图 4.2 S&P500 指数波动率变化曲线	(57)
图 4.3 波动率概率分布的拟合曲线	(57)
图 4.4 S&P500 指数波动率的概率分布	(58)
图 4.5 波动率的累积概率分布	(59)
图 4.6 S&P500 指数的日效应现象	(59)
图 4.7 上证综指波动情况:(a) 波动率,(b) 收益,(c) 收盘指数	(60)
图 4.8 上证综指波动率的概率分布	(61)
图 4.9 上证综指波动率的累积概率分布	(61)
图 4.10 波动率概率分布及其拟合曲线	(61)
图 4.11 波动率累积概率分布及其斜率	(61)
图 4.12 上海股票市场“W”型日效应现象	(62)
图 4.13 “反正弦”型随机日效应现象	(63)
图 4.14 S&P500 指数波动率序列的 DFA 分析	(64)
图 4.15 上证综指波动率的 DFA 分析图	(65)
图 4.16 价格变化 $g(t)$ 的 DFA 分析图	(65)
图 4.17 相对价格变化 $g(t)'$ 的 DFA 分析图	(66)
图 4.18 对数差分收益序列的 DFA 分析图	(66)
图 5.1 $f(\alpha) \sim \alpha$ 曲线随时间标度的变化	(74)
图 5.2 $\ln \chi_q(\epsilon) \sim \ln \epsilon$ 曲线	(74)
图 5.3 $\tau(q) \sim q$ 曲线	(74)
图 5.4 $f(\alpha) \sim \alpha$ 曲线随 q 的变化	(74)
图 5.5 MF-DFA 分析结果	(77)
图 5.6 MF-DFA 拟合结果	(78)
图 5.7 $h(q)$ 随 q 的变化曲线	(78)
图 5.8 $f(\alpha)$ 随 q 的变化曲线	(78)
图 5.9 TOPIX 日收盘指数的波动	(79)
图 5.10 TOPIX 多重分形分析图	(80)
图 5.11 德国六只股票的 $\tau(q) \sim q$ 曲线	(80)
图 5.12 德国六只股票的奇异谱	(81)

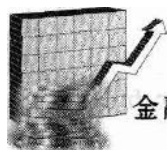


图 5.13	台湾股票价格指数波动情况	(81)
图 5.14	TSPI 多重分形分析图(a: $\tau-q$ 曲线, b: $f-\alpha$ 曲线)	(82)
图 6.1	$\alpha(q)$ 随 q 的变化曲线	(84)
图 6.2	$\ln h(q)$ 随 $\ln q$ 的变化	(88)
图 6.3	$h(q)$ 随 q 的变化	(88)
图 6.4	准周期轨道动力系统中 D_q 随 q 的变化	(88)
图 6.5	磁化强度 m 随温度的变化	(88)
图 6.6	准周期轨道动力系统中 $f(\alpha)$ 随 α 的变化	(88)
图 6.7	$h(q)$ 随 q 变化的拟合曲线	(88)
图 6.8	双曲正切函数的演变	(89)