编者按 金融活动高度发达的现代市场经济，在经济全球化和经济一体化的进程中，不仅存在着产能过剩、需求不足的经济危机，而且存在着金融信贷行为失控、新金融工具使用过度、资本市场投机过度而监管机制不健全引发的金融危机. 过去的两年多以来，由美国次级房贷危机作为导火索引发的一系列的金融风暴席卷全球，并愈演愈烈，其影响的深度和广度至今仍无法准确评估. 许多银行、投资基金等金融机构、乃至一些国家和地区的整体金融体系深陷泡沫经济的泥潭，一时难以脱身. 包括美国、欧盟、英国、澳大利亚、日本等多数发达国家及中国、巴西、印度、俄罗斯等新兴市场经济体在内的全球实体经济都遭受不同程度的打击. 各国政府和世界金融组织不断推出各种货币政策、金融政策和财政政策，借以应对目前的危局.

物理学是通过物理实验对物质运动变化的现象进行归纳演绎，总结其规律而后再通过实验进行检验的一门实验科学. 经济物理学是利用统计物理、复杂系统理论等概念和方法研究经济活动的机制、理解并预测市场行为，是一门新兴的交叉学科. 狭义上讲，特别针对金融活动的研究可以被称为金融物理学. 物理学家在市场经济的许多领域发挥出越来越大的作用. 华尔街上有很多物理学博士，已经对金融风险管理、银行信用指数、金融资产定价等实务界产生了重要影响. 例如，传统经济理论并无框架可以解释市场的风暴行为，而金融物理学家则从唯象角度，试图阐述市场运行机制，理解并预测市场行为. 在当前全球金融海啸背景下，金融物理学将大有可为. 从更广泛的意义上讲，针对社会现象乃至虚拟网络等为研究对象的物理学框架下的交叉学科可以称之为社会物理学. 其实，早期的社会学本质上就是社会的物理学. 值得提出的是，经济学和社会学研究中的许多概念，如弹性、杠杆原理、张力等，本身就是起源于物理学中的相同的概念的.

近三十年来，我国经济进入快速增长期. 可以说，具有中国特色的社会主义市场经济已经成为一个重要的和有差异性的市场经济的实验平台. 可喜的是，不仅许多国际与国内金融机构逐步加大力度引入物理人才加盟，而且一些综合性高等学校已经开始尝试设置经济物理学本科或本科以上的有关专业或方向，以满足未来社会在更广泛的层面上对有关复合型物理人才的需求. 本期和下期发表的经济物理学专题文章，通过介绍经济物理学、社会物理学等基本概念和研究领域，提供一些研究实例，反映当前的一些研究热点，旨在提供读者一些基本的资料和研究思路.

金融风险管理与物理学家*

李红刚† 张 钰

（北京师范大学管理学院系统科学系 北京 100875）

摘 要 作为经济物理学的一个重要专题，文章简要介绍了金融风险管理的基本框架和主要内容，包括风险界定、风险来源、风险度量、风险处置等. 特别地，展示了物理学在金融风险管理中的可能应用，讨论了物理学家对金融风险管理可能做出的贡献.

关键词 金融风险管理，经济物理学，综述

Financial risk management and physicists

LI Hong-Gang† ZHANG Yu

(*Department of Systems Science School of Management, Beijing Normal University, Beijing* 100875, *China*)

Abstract A general outline of financial risk management, an important topic in econophysics, is presented, including main issues such as the definition, resources, measurement and treatment of risk. In particular, various possible applications of physics in financial risk management are identified, and the possible contributions that physicists can make to financial risk management are discussed.

Keywords financial risk management, econophysics, review

常言道，天有不测风云，人有旦夕祸福，这句话真实反映了人们对风险的朴素认知：未来是不确定

* 国家自然科学基金（批准号：70871013）、教育部新世纪优秀人才支持计划（批准号：NCET－07－0089）资助项目

2009－06－02 收到

† 通讯联系人. Email：hli@bnu.edu.cn

的，而且不确定性会影响我们的人生. 然而，对于未来的不确定性，我们并非只能宿命式地去接受. 事实上，在大多数情形下，我们对不确定性是可以有所作为的，而这也正是风险管理的由来和使命. 风险管理是金融工程核心内容之一，其基本范畴包括风险辨识、度量和处置. 风险管理最初主要关注保险，自1970年代以来，金融风险管理日益成为其重要的关注对象，也正是在这一时期，一些物理学家开始进入风险管理领域，把物理学的一些思想和方法引入风险管理，使得风险管理也成为所谓“火箭科学家”的事业，这也让风险管理的“科学性”有长足进步. 但是，2008年美国次贷危机引发的世界性金融危机暴露了当今金融风险管理存在的深层次问题，也引起人们对当代“高技术型”风险管理的反思以及对风险管理中炙手可热的高技术选手角色的争议. 无疑，反思和争议并非坏事，这也许意味着一个新的契机，把风险管理推进新的历史阶段，让物理学家在其中更好地定位. 为了让更多的物理学工作者和学生了解风险和风险管理，本文拟对相关知识和方法做一个入门的介绍，并对物理学在风险管理中可能发挥的作用做些初步的讨论.

1 风险界定与金融风险现象

什么是风险？经济学和金融学中一般把风险界定为不确定性，也就是经济行为主体（如个人、企业等）面临行为的不确定结果，而且，不同结果对行为主体意味着不同的福利后果. 比如，股票价格涨跌无常，对持股人而言，涨则财富增值，跌则财富缩水. 有时人们使用较为狭义的风险涵义，即只把不确定变动中不利的变动视为风险. 例如，只有股价下跌才视为风险，股价上涨不算风险.

风险源于变化的不确定性，而变化的不确定性可处于不同的水平等级. 如果变动结果只有一个并可精确预测，则意味着不确定性等级为0，即没有不确定性. 如果变动结果不止一个，而且都可能发生，不确定性就来了. 如果我们确切地知道变动的结果可能是哪几个，并且几个结果有可知的稳定概率分布，则不确定性等级为1，比如扔硬币等所谓公平赌博游戏属于该水平的不确定性. 如果我们确切地知道变动的结果可能是哪几个，但几个结果的概率分布不可知，则不确定性等级为2. 如果我们连变动到底有什么可能结果都不知道，那么不确定性等级就归为3了. 显然，不确定性等级越高，也意味着风险处置和管理难度越大.

风险按来源可以分为很多种类型. 金融机构关注的风险主要包括市场风险、信用风险和操作风险[1]. 市场风险主要源于外汇汇率、利率、商品价格和股票价格等市场变量的变化. 信用风险主要源于贷款的借贷方、债券发行人以及衍生产品等交易对手违约的可能性. 在这次美国次贷危机引发的金融危机中，主要的风险就是市场风险和信用风险. 而操作风险主要源于业务操作中的不确定性，其中包括“无赖交易员”的交易及其他雇员的诈骗等许多内控失效等带来的意外损失. 由于市场交易数据的可得性最好以及其具有相对较好的风险属性，风险管理中讨论最多的就是市场风险. 在本文以下部分，也多以市场风险作为举例对象.

显然，我们处在一个风险世界之中. 仅自上世纪下半叶以来，世界就经历了1970年代的市场动荡、1990年代的亚洲金融危机和2008年以来的世界金融危机. 在1970年代，由于石油冲击和世界货币布雷登森林体系的瓦解，利率和通货膨胀率水平高涨（见图1，2），而且波动率也攀升，使得市场似乎突然显得变幻莫测，险象环生，连债券这种经典低风险投资产品的价格风险都大得令人难以想象，风险管理顿时成为经济主体更加迫切的需求，这也使得现代风险管理方法和产品应运而兴. 在1990年代的东南亚金融危机中，经济失衡的东南亚国家在外界投机基金攻击下，货币币值（汇率）遭受重创（见图3），进而引致这些国家股市暴跌，国民财富缩水，经济衰退. 而在最近的世界金融危机中，由美国信用衍生产品过度膨胀所支撑的房地产泡沫破裂反过来又击破虚旺的信用衍生产品市场（见图4），引发了影响世界的金融海啸，并导致世界性的经济大幅衰退（见图5）. 其实，不用放眼世界，就看我们中国2007—2008年的股市变幻就如同坐了一趟过山车（见图6），也像上演了一场夸张的人间悲喜剧.

2 对风险的描述和度量

2.1 变量的随机行为

风险本质是不确定性，而这种不确定性一般可表述为一些变量的随机性. 比如，市场风险常体现为价格的随机波动. 我们知道，对随机变量的基本描述方式包括概率分布和随机过程.

早在1900年，法国巴黎大学数学系巴舍利耶（Louis Bachelier）就在其博士论文中对随机游动行为进行了正式表述，而且他描述的对象就是股票价格波动. 他认为股票价格的变化量是一个独立随机变量，服从高斯分布，而价格遵循布朗运动. 当然，现

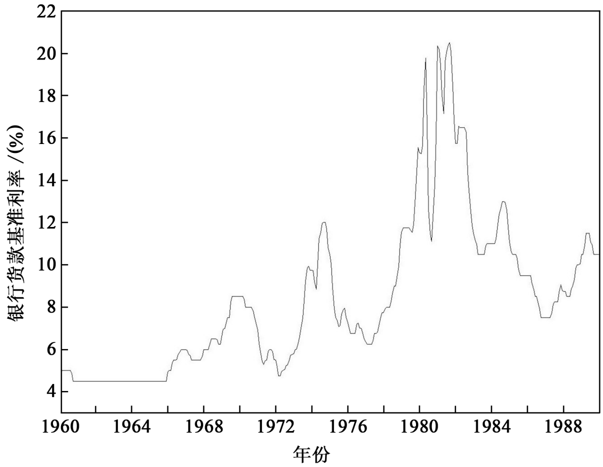

图 1 1960—1980 年代美国利率水平

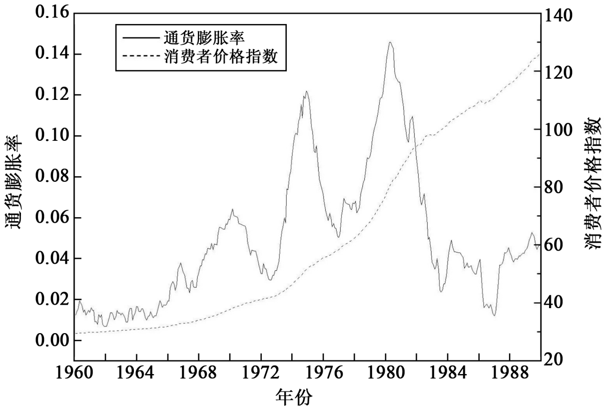

图 2 1960—1980 年代美国通货膨胀率

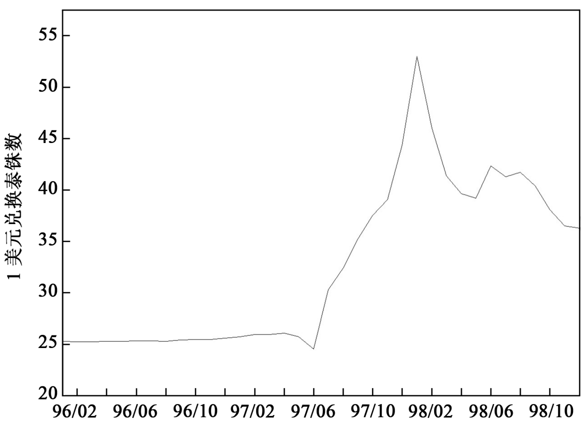

图 3 1996—1998 年泰铢/美元汇率走势(横坐标的 96,97 和 98 代表 1996 年,1997 年和 1998 年)

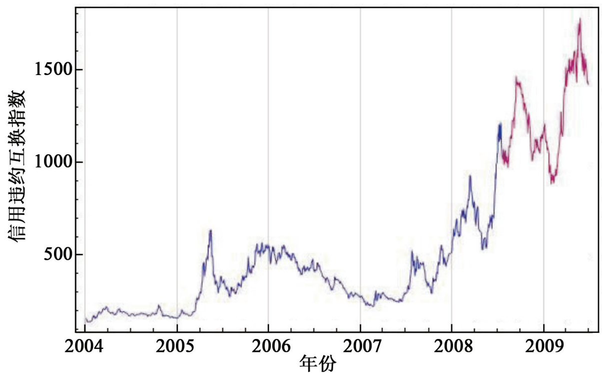

图 4 美国汽车行业信用违约互换(CDS)指数(单位为基点,每基点代表万分之一).指数表示为补偿债务违约风险所要求的利息报酬(利差),其中浅色部分是预测值.图中可看出金融危机前该指数开始大幅攀升,意味市场预测债券违约概率快速增加

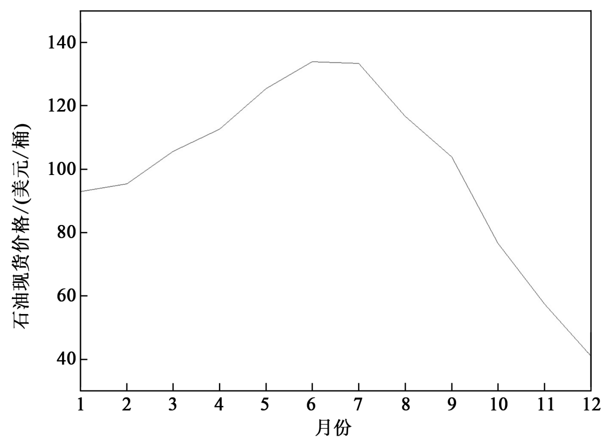

图 5 2008 年世界石油价格走势

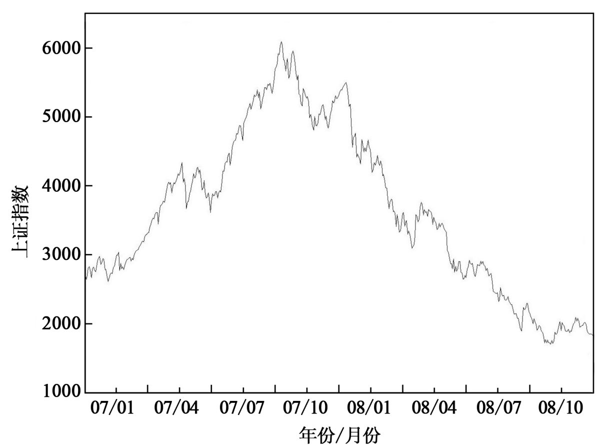

图 6 2007—2008 年中国上证指数(对应上海证券交易所交易股票加权平均股价,横坐标的 07 和 08 分别代表 2007 年和 2008 年)

在看来,巴舍利耶的结论不太准确,更确切的说法应该是股票价格 P 的变化率 $\Delta P/P$(而非变化量 ΔP)是一个独立随机变量,服从高斯分布,价格遵循几何布朗运动.股票价格变化率在金融学中一般对应收益率,在实际计算中有时也采用对数收益率 $\Delta(\ln P)$,在 $\Delta P/P$ 不太大时,$\Delta(\ln P)$ 与前者很接近.

实际上,资产价格变化率统计分布的实证研究表明,即使是变化率服从高斯分布这一说法也只能算是一种合理的一级近似,因为价格变化率的实际

分布远比高斯分布复杂. 例如,人们发现,与高斯分布比起来,实际价格变化率分布是"尖峰胖尾"的. 也就是说,相对高斯分布拟合而言,实际价格变化率在中心部位和两端有更多的分布(如图 7). 这意味着价格的小变化和大变化都比高斯分布预测的要高. 而且实证表明,实际分布还表现出负偏斜性,即左尾比右尾存在更多观测值,这意味着赚钱和亏钱的概率分布是不对称的. 对于风险管理而言,胖尾和负偏斜性具有非常重要的意义,它们表明用高斯分布描述价格变化率很可能会低估风险.

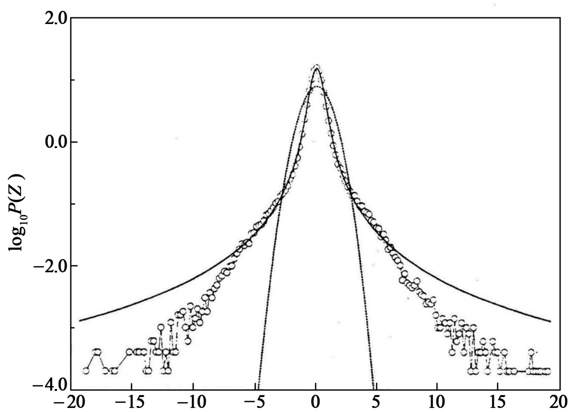

图 7　尖峰胖尾:高频 S&P500 价格变化概率密度函数与相应的高斯分布(图中虚线)和列维稳定分布(图中实线)的比较. (本图引自参考文献[2],图中横坐标 Z 为价格变化值,σ 为 Z 的标准差,P 为概率密度函数)

表 1　实际发生率与高斯分布发生率(SD 为标准差,本表引自文献[1])

	历史数据/(%)	高斯分布/(%)		历史数据/(%)	高斯分布/(%)
>1SD	25.04	31.73	>4SD	0.29	0.01
>2SD	5.27	4.55	>5SD	0.08	0.00
>3SD	1.34	0.27	>6SD	0.03	0.00

什么样的概率分布函数可以展示胖尾和负偏斜特性呢? 理论研究表明,列维稳定分布(Lévy stable distribution)是一个有力的候选者[3]. 其实,高斯分布和列维稳定分布都是更一般的稳定分布中的一类,而该稳定分布统一由特征指数(尾指数)α、偏斜度指数 β、标度因子 γ 和位置参数 μ 所规定,当 $\alpha=2$ 时,对应高斯分布,当 $\alpha<2$ 时,对应列维稳定分布(也称为非高斯稳定分布). 柯西分布($\alpha=1,\beta=0$)、列维分布($\alpha=1/2,\beta=1$)都是列维稳定分布的特例. 特别是,列维稳定分布的渐近尾分布为指数 $-\alpha$ 的幂率分布,使其有较多的应用. 例如,曼德博(Benoit Mandelbrot)早在 1960 年代就用列维稳定分布去拟合棉花价格对数收益率分布,发现拟合效果很好,随后其他人陆续用它去拟合股票价格和汇率等收益率,发现其拟合效果远好于高斯分布.

近 10 年来,一些物理学学者倾向于用各种截尾列维飞行(truncated Levy flight)分布[2]来拟合股票价格等金融市场收益率,取得不少成果. 截尾列维飞行分布是列维稳定分布的变形,它一般在分布函数中间部位采用对称列维稳定分布($\beta=0$)去拟合,两端部分则采取其他函数甚至干脆舍弃掉[3]. 这样做的原因是,列维稳定分布并不能很好地拟合实际数据分布的尾端,需要进行局部修正. 大量实证研究表明,很多金融市场收益率尾端分布可以用幂率分布近似,但幂率指数($\alpha>2$)并非前述的列维稳定分布的渐近尾幂率分布的指数($\alpha<2$). 因而,一种比较常用的截尾列维飞行分布就是在尾端直接采用 $\alpha>2$ 的幂率进行拟合.

在事件不确定性分析中,有一类事件发生的概率很小,但该事件的发生对经济行为主体有重大影响,这就是所谓的极端事件. 在市场风险分析中,极端事件的典型例子是资产价格的不同寻常(如几年、几十年一遇)的暴涨或暴跌. 从风险管理的角度来看,极端事件的处理是个富有挑战性的课题. 由于它发生的概率非常小,人们常常有意或无意地忽略它,但一旦它真的发生,没有充分防备的主体就可能陷入绝境,甚至直接破产消亡. 从统计学的角度看,极端事件就是对应尾端分布的样本. 探究尾端分布是风险描述的一个重要课题,极值理论(EVT)[4]就是专门研究样本极端值的理论,特别是研究数据分布的尾部特征. 探索尾端分布的一个天然不利条件是样本数据稀少,这就使得人们对尾端的分布很难把握. 很多情况下人们试图用幂率分布去近似尾端分布,但由于样本数据限制,即使去确认幂率分布的幂指数也不是一件容易的事情. 然而,考虑到极端事件对风险管理的重要性,对极值分布的探寻又是回避不了的.

探索更精确的价格变化率分布一直是实证研究的一项经典工作. 特别是由于计算机和信息技术的发展,数据的可得性和对数据的处理能力都大大提升了,这赋予统计分析更好的历史机会. 但是,试图用一个易处理的分布函数统一描述实际价格变化率分布的梦想仍难以实现,根本原因还是实际分布太复杂了. 在不同的市场(比如,成熟市场或新兴市场,股票市场或商品市场等),或者在同一市场不同时期,收益率都可能表现出不同的统计分布特征. 另外,计算收益率的时间尺度不同,所得到收益率的分布也不同,表现出一定时间标度特性:越是高频数据(对应短时间尺度收益率),越显

示出尖峰胖尾特征，而随着时间尺度增大，收益率分布趋于高斯分布．比如，股票的月收益率数据就能用高斯分布很好地描述了．

对收益率这类时间序列数据的统计分布，其背后的动力学可以用随机过程来表述．如布朗运动可产生高斯分布，稳定过程产生稳定分布，列维过程产生列维稳定分布．实际的时间序列数据可以看作是某个随机过程的一个实现．在对金融市场收益率时间序列数据分析中，我们不仅关心其分布，而且还关心其时间相关性．实证数据表明，股票收益率的自相关函数是一个快速衰减函数，其特征相关时间为几分钟量级，因而日收益率（即每天收益率）基本是序列线性无关的．然而，这并不意味着日价格变化率是时间独立的随机变量．实证研究表明，收益率的非线性函数，如绝对值或平方值的自相关函数是有长时间记忆（长程相关）的．这种时间关联特征在收益率时间序列上的表现就是波动聚集（如图 8），即大波动一般相伴大波动，小波动常常跟随小波动．另外，某个资产价格的收益率不仅自身存在时间关联，而且不同资产之间还存在“空间”关联，这种关联可用相关系数来度量．在我们构造描述收益率动态随机行为的随机过程统计模型时，无论时间相关性还是“空间”相关性，都是必须嵌入的特征[2]．

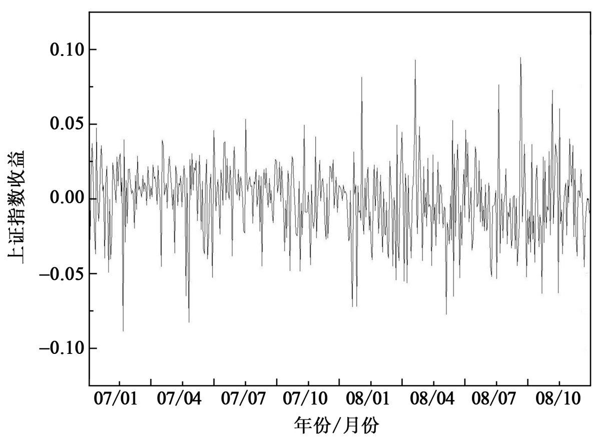

图 8　2007—2008 年中国上证指数收益率时间序列

2.2　风险度量

了解了市场变量的随机行为和概率分布，我们对其蕴含的风险就有一个基本的认识．但是，要对其中风险有一个更直观、更易于比较的认知，仍需在以上随机分析的基础上抽象出一个确定数值，以表示风险的大小，这就是风险定量度量的任务．

风险度量的一个经典指标是市场变量的标准差或波动率．著名的马柯维茨（Harry Markowitz）投资组合理论[5]就是建立在平均值－标准差的基础上．假设多种资产组合中个别资产标准差为 σ_i，资产间相关系数为 p，其组分权重为 w_i，则资产组合方差为 $\sigma_p^2=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}w_iw_j\rho_{ij}\sigma_i\sigma_j$．标准差指标的优势在于其直观易懂，特别是对于高斯分布的市场变量，它完全抓住了其风险特征：方差越大，不确定性越大，风险也越大．但是，标准差指标也有其内在的问题．首先，标准差把绝对值相等的正收益率和负收益率当作同样的风险，这在风险管理实务中显得并不合理，很多人更倾向于使用较为狭义的风险界定，只把意味损失的负收益率视为风险．其次，有些分布（如列维稳定分布和幂指数小于 2 的幂率分布）中变量方差并不存在，有些严重偏斜的分布尽管方差存在但标准差也不再是一个有效的风险度量指标．再次，当衡量涉及很多不同类型资产的金融机构总体风险时，标准差并不是一个很好用的度量指标．

1990 年代，J. P. 摩根推出了 VaR 指标，试图用它对金融机构的资产组合提供一个单一风险度量，而且该度量指标能体现金融机构的总体风险．VaR 是 Value at Risk 的缩写，常被译为“在险价值”，它在一定程度上克服了标准差指标的弱点．具体而言，VaR 被定义为在一定置信水平（c）和一定展望期（如 1 日、1 月或 1 年等）内，某金融资产（或其组合）在未来资产价格波动下所面临的最大损失额，相应的数学表示为 $\mathrm{VaR}(c)=\inf\{v\in\mathrm{R}:p(l>v)\leqslant 1-c\}$，其中 l 表示金融资产（或其组合）的可能损失额，v 是一个数．实际上，VaR 就是对应分位数 $1-c$ 的一个数值，图 9 是标示 VaR 的示意图（图中 $\alpha=1-c$ 表示损失大于 VaR 的概率）．显然，特定置信水平下 VaR 越大，可能损失越大，风险也越大．现在，VaR 已经被银行的资产部、基金公司以及其他金融机构广泛采用．

3　风险处置

风险处置（risk treatment）是风险管理的核心内容，它旨在把风险控制在一个“可以接受”甚至是“最优”的水平．这里，“可以接受”的水平强调的是防止遭受无法承受的损失，是风险管理的最低目标，而“最优”水平强调的是风险成本最小化的风险水平．其中风险成本既包括风险事件导致的期望损失成本（直接成本＋间接成本），也包括风险控制和管理本

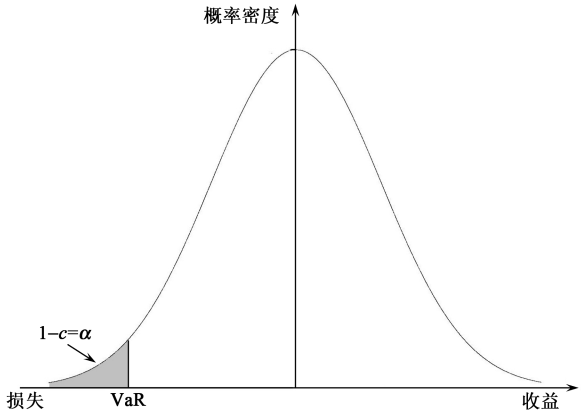

图 9　在险价值(VaR)标示图

身所需要的成本.显然,最优风险水平一般不会是零风险,因为,零风险的代价可能大大超过期望损失成本.从更深层的机理看,风险处置方法有两类:一类是直接干预风险事件的发生和发展(随机过程),也就是影响风险事件引致损失的自然分布概率(如下面文中所述的风险控制措施);另一类是在接受风险事件及其损失发生的前提下,通过风险组合(如分散化和对冲)或风险转移(如保险)的形式减少风险事件对行为主体的最终影响.下面我们简单介绍一些风险处置的基本技术方法.

3.1　风险控制

风险控制旨在干预风险事件本身,或者说直接影响表征风险的随机变量.损失控制基本模式包括防损与减损,前者意在降低损失事件的发生频率,后者意在降低损失事件已经发生时损失的规模.一种极端的防损行为被称为损失规避(avoidance),它谋求完全规避可能导致损失的行为,最经典的例子要属“因噎废食”了.现实世界中,有些风险是可以完全规避的,如远离股市可以回避股市价格风险,但更多的风险要么是规避不了,要么是代价太高.因此,防损一般不追求消灭风险事件.比如,银行要贷款给别人就免不了遇上违约的,正确的想法不是取消贷款业务而是引入减少违约(风险事件)的方法,如按信用级别决定是否放贷就是一个不错方法,运行较好的银行可以将其违约率控制在1%以下.减损是风险事件发生后的行为,它力求防止进一步的损失.比如,银行设置抵押品和强化追索条款,可以减少贷款违约后银行的实际损失.事实上,风险期望损失取决于损失发生的频率和损失的严重程度,因此,损失控制能有效地减少风险期望损失.但是,正如本文前面所述,损失控制也是需要成本的,因此,合理的风险控制水平取决于风险期望损失和风险控制成本的权衡.

金融市场是一个风险市场,作为单个投资者,我们一般是不能影响市场价格的随机过程的.当然,我们可以通过规避这个市场风险(自然也规避了我们可能从这个市场得到的财富)或选择参与市场的程度(即投资头寸,也就是持有所投资资产的数量)来管理风险.但除此之外,我们还有更积极的方法来控制市场风险,如构造风险资产组合或通过风险交易转移风险.风险汇聚就是构造风险组合的基本方式之一,它强调的是构造分散化组合.另一种风险组合的基本方式是构造对冲组合.下面我们分别简要介绍这两种风险管理技术,它们也是金融风险处置的基本方法.

3.2　风险汇聚与分散化

风险汇聚与分散化的形象说法是“不要把所有鸡蛋放在一个篮子中”,意即我们搬运鸡蛋时应该把鸡蛋放在不同篮子里,不幸摔了其中一些篮子的鸡蛋还会剩下另外篮子的鸡蛋,否则,就会“全蛋覆没”.这里,我们用一个小例子来简要说明通过汇聚相互独立的损失来减少风险的基本原理.假设有两人A,B参加风险汇聚安排,每人遇到意外事件概率独立且各为50%,并导致2000元损失.则汇聚前每个人期望损失1000元,标准差1000元.汇聚安排要求A,B两人平分损失,汇聚后每个人支付事故损失的概率分布如表2所示.则汇聚后每个人期望损失仍为1000元,但标准差减少为707元.这里,汇聚安排虽没有改变损失的期望值,但减少了其标准差.事故的成本更具有预测性,因此降低了个人面临的不确定性,也就是减少了个人的风险.它佐证了“不把所有鸡蛋放在一个篮子中”的好处.当参与主体进一步增多时,平均损失的标准差愈益减小,而且分摊损失的分布更接近正态分布,极端损失的概率快速减小.

表 2　汇聚后每个人支付事故损失的概率分布

可能结果	总成本	分摊成本	概率
A否B否	0	0	0.5×0.5=0.25
A是B否	2000	1000	0.5×0.5=0.25
A否B是	2000	1000	0.5×0.5=0.25
A是B是	4000	2000	0.5×0.5=0.25

不相关风险分散化效应也可通过方差公式直接表述.例如,在组合方差公式 $\sigma_{\mathrm{p}}^2=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}w_iw_j\rho_{ij}\sigma_i\sigma_j$ 中,如果各个资产不相关,即 $\rho_{ij}=0(i\neq j)$,则 $\sigma_{\mathrm{p}}^2=\sum_{i=1}^{n}w_i^2\sigma_i^2$.如果进一步假定 $w_i=1/n,\sigma_i=\sigma$,则

$\lim\limits_{n\to\infty}\sigma_{\mathrm{p}} = \lim\limits_{n\to\infty}\sigma / \sqrt{n} = 0$. 当然，现实中构造分散组合时很难保证各资产不相关，因此，组合中存在的相关风险使得组合的总风险不可能通过分散化完全消除. 理论上可以把一种资产的风险分解为系统风险和非系统风险，其中非系统风险相互独立，可以通过足够多的资产聚合而消除，而系统风险是相关的，不能通过分散化而减弱. 图 10 是股票组合标准差与组合中股票种数的关系.

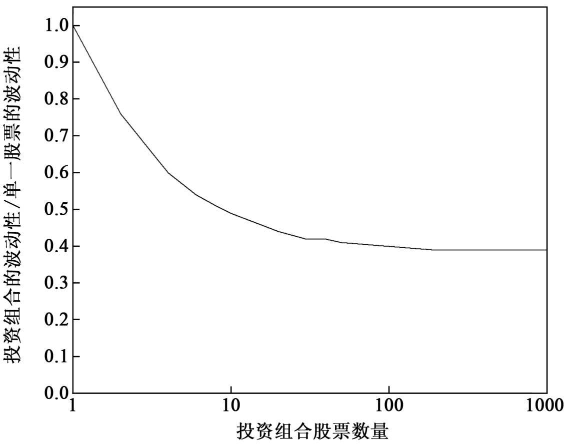

图 10　股票系统风险（不可分散风险）和非系统风险（可分散风险）

3.3　风险对冲

先举个简单例子来解释风险对冲. 民谚云，“旱瓜涝枣，香甜味好”，说明瓜枣质量都与气候相关，而且好质量瓜枣要求的气候相反. 如果质量好决定收入，则旱气候时种瓜收入高，涝气候植枣收入高. 由于事先没法知道来年气候，单一种植无论瓜还是枣都意味收入不确定. 为了减少收入风险，农夫可以决定一半地种瓜一半地植枣，假若瓜、枣丰收时收入相当，则不管气候如何，农夫收入基本稳定. 这里，农夫的种植决策就是对冲操作. 可以看出，对冲是针对资产间的关联风险的. 借用资产组合方差公式表述上例，假设两种资产（瓜和枣）收益相关系数为 $\rho_{12} = -1$，只要 $w_1\sigma_1 = w_2\sigma_2$，则 $\sigma_p^2 = \sum\limits_{i=1}^{2}\sum\limits_{j=1}^{2} w_i w_j \rho_{ij}\sigma_i\sigma_j = (w_1\sigma_1 - w_2\sigma_2)^2 = 0$. 值得注意的是，理论上通过分散化完全消除风险需要无穷多种资产，而通过对冲最少只需要两种资产.

在教科书上，对冲一般并非针对线性相关的基础资产组合而言的，而是特指衍生资产与基础资产或衍生资产与衍生资产的构造组合. 金融中衍生资产就是其价值依赖于更基础资产的金融资产，如小麦期货合约的价值依赖于小麦价格，股票期权（权证）的价值依赖于标的股票价格. 对冲的必要条件是两种资产（基础资产或衍生资产）价值受同一个随机变量影响，这意味着它们存在很强的线性或非线性相关. 例如，两种衍生证券价值 $V_1(S,t)$、$V_2(S,t)$ 都受同一个基础资产价格 S 的影响. 如果 S 是一个随机变量，则衍生证券价格的变化量可以写为：

$$\delta V_i \doteq \frac{\partial V_i}{\partial S}\delta S + \frac{\partial V_i}{\partial t}\delta t + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 V_i}{\partial S^2}(\delta S)^2$$

$$\equiv \Delta_i \delta S + \Theta_i \delta t + \frac{1}{2}\Gamma_i(\delta S)^2 \quad (i = 1, 2).$$

显然，式中衍生证券价值变化量的不确定性（风险）源于 δS. 如果我们构造两种衍生资产的组合 $\{w_1, w_2\}$，则资产组合价值为 $\pi = \sum\limits_{i=1}^{2} w_i V_i(S,t)$，组合价值变化量为 $\delta\pi = \sum\limits_{i=1}^{2} w_i \delta V_i(S,t) = [\sum\limits_{i=1}^{2}(w_i\Delta_i)]\delta S + [\sum\limits_{i=1}^{2}(w_i\Theta_i)]\delta t + \frac{1}{2}[\sum\limits_{i=1}^{2}(w_i\Gamma_i)](\delta S)^2$. 因此，只要选择 $\{w_1, w_2\}$，使得 $[\sum\limits_{i=1}^{2}(w_i\Delta_i)] = 0$ 和 $[\sum\limits_{i=1}^{2}(w_i\Gamma_i)] = 0$，则资产组合是瞬时无风险的. 这就是衍生资产对冲基本思想一种数学描述. 显然，式中 $\Delta = \frac{\partial V}{\partial S}$ 和 $\Gamma = \frac{\partial^2 V}{\partial S^2}$ 都是 S 的函数，且与资产定价方程 $V(S)$ 有关，因此，关于衍生资产的对冲操作需要对资产定价有充分的了解.

4　物理学家走进风险管理领域

前文简单介绍了风险管理的基本知识和理论框架，从中我们可以窥见物理学者可以在其中大显身手的空间. 从历史渊源看，正是 1970 年代金融及经济风险飙升所引致的对风险管理的新挑战，使得物理学家和物理学专业毕业生开始进入华尔街，并在 1980 年代成为时代潮流. 其实，风险管理的基础就是描述和理解金融市场变量变化，而关注物理变量的动态演化行为一直是物理学的核心内容，而动态与演化分析恰恰是传统经济学、金融学研究的弱项. 物理学家已经确立了一些经过实验和实际现象检验的可靠模型，并掌握了处理这类问题的方法和技术手段. 风险管理中需要面对的随机动力学虽然在计量经济学中也有大量的研究，但在物理学中则有更长的研究历史，而且物理学有着与计量经济学不太一样的视角和处理方式，可以丰富对金融市场变量随机动力学分析的手段，也有助于加深对相关随机现象的理解. 另外，物理学者特有的专业训练，使得物

理学者在数学解析分析、数据处理与建模、机制挖掘与模拟，甚至在计算机编程等方面都具备相当的能力，这让他们在风险管理特别是在定量风险管理领域很快就可以得心应手，表现出良好的适应性和卓越的创新能力. 因此，在过去的 20 多年间，一些物理学者和学生走出物理实验室，漫步在纽约华尔街、伦敦金融城或其他金融圣地，活跃在金融风险管理和金融工程领域，并成为这个领域的新成员. 他们以前曾被那些误认为只有火箭技术才是最尖端科学领域的人士称为“华尔街的火箭科学家”，现在，则通常被直接称为“宽客”(quant)[6]. 德曼(Emanuel Derman)写的《宽客人生》(My Life as a Quant)一书形象具体地反映了一个物理学家成为宽客之路以及宽客们在华尔街的传奇.

截至目前为止，物理学理论和方法应用于金融市场卓有成效的具体领域大致涉及以下几个方面：(1)金融市场变量描述与风险度量，主要表现在金融市场变量和经济变量时间序列的统计性质分析，包括市场变量分布概率密度、变量之间的线性和非线性关联、变量的自相关特性、以及概率分布中的标度特性、金融市场的普适性规律等；(2)随机动力学建模，常用模型包括几何布朗运动，跳过程(如泊松过程)、GARCH 模型、帕累托－列维过程等以及相应的蒙特卡罗模拟；(3)金融市场动力学机制的探索与模拟，它既包括直接描述市场宏观动力学的模型，如 1980 年代时兴起的非线性动力学模型，也包括基于多主体互动的微观市场模型，如借鉴物理学中渗流模型、伊辛自旋模型的股票市场价格机制模拟模型；(4)股票市场崩盘的理论和预测. 这其实是更广义的灾变理论在金融领域的体现. 股票市场的崩盘发生概率很低，但对投资者损伤力巨大，是典型的金融极端事件，对其理解、预测和干预是一个富于挑战性的课题. 一些物理学理论(如相变理论、自组织临界性理论等)也被尝试引入作为借鉴；(5)在金融市场实务中应用研究. 金融物理学在风险管理领域的应用主要体现在资产组合管理与风险分散化、衍生产品(如期权)定价和对冲. 现在，一些物理学者开始涉足的金融工程应用也主要在此领域. 综上所述，金融风险管理已经给物理学者提供了一个很大的施展功夫的平台，而且一些先行者已经在这个平台上踩出了一条可行的路. 未来这个平台能有多大，路能走多宽，将由后来者来回答.

5 结束语

在一阵摇旗呐喊、擂鼓助威之后，本文也不忘给有意进入华尔街的物理学者一点提醒. 现实中，物理学家常常怀揣着一些物理学模型进入华尔街，并力图把它们类推到金融市场. 但是，需要特别注意的是，常用的物理学模型具有很高的准确性，而金融学模型误差则大得多. 在风险管理领域具有重要地位并被推崇为金融学乃至经济学最成功的 Black-Scholes 期权定价模型[7]其误差也可达 30%. 自从 Black-Scholes 模型在 1973 年发表以来，人们投入极大的热情试图推广和改善它，并普遍认为不久就可以开发出一个更完善的新模型. 但是，30 多年过去了，理想中的新模型并没有出现. 正如著名宽客德曼所言，这并不意味着金融研究者没有物理学家“棒”，而只表明金融学更“难”，因为经济金融系统更复杂. 在物理学中，物理学家是在认识自然，自然的规则是永恒的. 而金融市场的演化与人类自身行为有关，它是人们策略互动的结果，这里似乎存在着金融学家和市场参与者的某种“博弈”. 在有些情形下，正是人们对“规律”的发现和利用改变了“规律”；而在另一些情形下，却是因为人们相信存在某个“规律”并据此采取行动就真的可能导致“规律”涌现，这在物理学中是不可思议的事情. 金融规律是有历史性的，它不是因为人们认识的历史局限，而是因为人们的互动行为本身具有历史性. 因此，当今的金融学模型只能算是对市场行为的当前最好的描述或估计而已，千万别把它当“真”——当作客观对象的本性揭示. 基于对此的深刻认知，风险管理中专门提出了模型风险的概念[8]. 模型风险就是利用理论模型进行风险管理(如对冲等)所导致结果与理想目标偏差的不确定性. 在业界一直有因为使用错误模型而导致金融机构损失巨大的案例，甚至有人揶揄一个数学公式引发了 2008 年的全球金融危机[9]. 有鉴于此，大部分金融机构在其风险管理部门中设立模型检验部门，专门负责检验模型的假设是否合适，评估模型结构以及所采用的参数估计，勘察模型实施过程是否正确，将模型与用于其他目的相同的模型进行对比，阐明模型的局限性. 但是，需要牢记的是，即使做了最严格的模型检测，模型风险常常仍然存在. 这是物理学者应该认识的基本事实，它时时提醒物理学工作者在进入华尔街后，既要胸怀抱负，也要保持一份敬畏之心.

美国总统奥巴马在竞选中核心口号是“Change”，他的潜台词是改变才有希望. 但从风险管理的角度看，变动也蕴涵风险. 在筹划未来时，我们常常更自然地着眼于机遇，但是，也不可忽视面临

的风险.也就是说,心中充溢欲望之际,也须空余一席恐惧的空间.这层意思也适用于物理学工作者进入金融、进入风险管理领域.物理学家走进华尔街,道路是通的,但也并非一马平川.

参考文献

[1] 约翰·赫尔.风险管理与金融机构.北京:机械工业出版社,2008[Hull J C. Hull. Risk management and Financial Institutions. Beijing:China Machine Press,2008(in Chinese)]

[2] 罗萨里奥·N·曼特尼亚,H·尤金·斯坦利.经济物理学导论.北京:中国人民大学出版社,2006[Manegna R N, Stanley H E. An introduction to econophysics. Beijng:China Renmin University Press,2006 (in Chinese)]

[3] 周炜星.金融物理学导论,上海财经大学出版社,2007[Zhou W X. An introduction to econophysics. Shanghai:Shanghai University of Finance and Economics Press,2007 (in Chinese)]

[4] Embrechts P, Klüppelberg C, Mikosch T. Modelling extremal events for insurance and finance. Berlin: Spring Verlag,1997

[5] Markowitz H M. Journal of Finance , 1952 ,7(1):77

[6] 伊曼纽尔·德曼.宽客人生,中信出版社,2007[Derman E. My Life as a Quant. Beijing:China CITIC Press,2007 (in Chinese)]

[7] Black F, Scholes M. Journal of Political Economy ,1973,81:637

[8] Rebonato R. "Managing Model Risk" in Handbook of Risk Management. FT-Prentice Hall, 2001

[9] 康兰.摧毁华尔街的秘密数学公式.和讯期货网,http://futures.hexun.com/2009-03-12/115556218.html