

数理金融方法与建模译丛

[英] 特伦斯·C·米尔斯 / 著

俞卓菁 / 译



金融时间序列的经济计量学模型

(第二版)

The Econometric Modelling of
Financial Time Series

(Second Edition)



经济科学出版社
Economic Science Press

作者: 陈金枝, 李国平, 陈金枝, 李国平

ISBN: 978-7-309-05485-2

定价: 48.00元

金融时间序列的经济计量模型

【第二版】

The Econometric Modeling of
Financial Time Series



东财出版社

金融时间序列的 经济计量学模型

(第二版)

[英] 特伦斯·C·米尔斯 / 著

俞卓菁 / 译

数理金融方法与建模译丛



数理金融学是 20 世纪后期迅速发展起来的一门学科。数理金融学是人们观察、研究与认识金融问题的一种独特方法。它为创造性地研究、解决各种金融问题提供基础与指导。数理金融学的基本特点是运用数学工具去研究和分析金融交易中的各种问题，从而精确地刻画出金融交易过程中的各种行为及其可能的结果，使有关金融交易的决策更为简洁和精确。数理金融学也是金融学自身发展而衍生出来的一个新的分支，是数学与金融学相结合而产生的一门新的学科，是金融学由定性分析向定性分析与定量分析相结合，由规范研究向实证研究为主转变，由理论阐述向理论与实用研究并重，金融模糊决策向精确化决策发展的结果。

数理金融学的迅速发展，也是现代金融实践发展推动的结果。现代金融市场的发展实质上是一个金融产品不断地快速创新的过程。20 世纪 70 年代开始以来，各种衍生工具的产生和发展是数理金融学产生和发展的基本推动力。随着金融产品的不断创新，金融交易的范围和层次更具多样性，同时也使金融产品的交易价格更具不确定性。因此，金融交易过程实际上就是一个以金融产品价格为核心的风险与收益的度量与决策问题，本质上是一个如何把交易行为量化并进而研究量与量的问题，这是数理金融得以产生和发展的现实基础。在现代的金融交易中，任何一项金融决策特别是金融交易的决策都要面对许多不确定性因素，这些不确定性因素都将影响并反映在金融产品的



风险与收益上，因此，任何金融决策都必须在权衡收益与风险之后才能做出抉择。所以，如何精确地度量金融交易过程中的收益和风险，就成为金融交易决策的核心。为使决策做到科学和精确，就必须对各种不确定性因素进行定量分析，这种现实和不断发展的需求促进了数学在金融活动中的应用和发展，从而衍生出数理金融学这一新的学科。

金融创新还包括金融制度创新。任何事物的运动规律必然通过量的关系反映出来。金融制度创新也是如此。反过来，透过这些量的关系，可以深刻地研究和分析现象背后的本质。对金融制度用数理金融方法加以研究分析，可以从量的方面更精确地把握金融制度的深层结构和制度变迁的基本决定因素及其变化规律。因此，数理金融学还可以对金融制度创新有着巨大的推动作用。数理金融学可以把决定金融制度创新的因素量化，从而对金融制度的发展进行定量分析并揭示其内在规律。数理金融学可以通过建模、模拟分析等方法模拟市场的制度运行和制度安排本身的内在机理并揭示其特征，从而推动金融制度创新。

数理金融学是金融工程的理论基础，可以说，金融工程就是把数理金融的基本原理工程化、产品化。前者是基础理论，后者是理论的应用。金融工程的核心内涵包括两个方面：一是如何组合已有的金融产品，以改变原有金融产品的风险与收益特性，从而达到有效地利用与开发风险，实现金融交易收益最大化的目的。能否通过金融产品的不同组合来实现开发风险、提高收益的目的，关键在于能否精确地刻画与预测金融产品的风险与收益变化的规律。二是开发新的金融产品。开发新的金融产品，说到底就是根据市场的需要创新出具有新的收益与风险特性，或者能对已有产品形成替代，或者可与已有金融产品结合而产生更令人满意的风险与收益特性，或者能适应某种特殊的需要的新金融品种。总之，金融工程的关键是要能定量地精确刻画出金融产品的风险。要实现这样的目的，除了应用数学工具与思维方法之外，别无他径。同时，在精确地刻画金融



产品风险的基础上,如何进行金融产品组合,仍然是一个应用数学工具与思维方法的问题。因此,数理金融学与金融工程两者是相互依赖和促进的。金融工程学的发展为数理金融不断提出新的研究课题,促进了数理金融学的发展;另一方面,数理金融学的发展也日益拓宽金融工程的创新空间,不断为金融工程学提供新的理论和方法。

数理金融学和金融工程学在我国的发展是近几年的事。随着我国市场经济的发展特别是证券市场的发展,实际上已为金融工程产品的开发与创新及应用提供了现实的土壤和发展空间,中国金融市场的国际化发展也预示着金融工程在中国有着广阔的发展前景。与此同时,作为金融工程基础理论的数理金融学,也必将获得迅速发展。事实上,数理金融学和金融工程学正在我国呈加速发展的态势,不少高等院校已开办了数理金融专业,不少金融企业都设立了专门的金融工程研究小组,这标志着数理金融学和金融工程学已植根于我国的金融市场土壤之中,其发展前景不可限量。

由经济科学出版社和香港皇权集团共同组织翻译的《数理金融方法与建模译丛》这一套丛书,对推动数理金融学和金融工程学在我国的发展,无疑将发挥巨大的促进作用。这套丛书不但涵盖了数理金融学的基本理论和介绍了数理金融学的一些主要应用领域,还提出了数理金融学的许多前沿发展方向和许多值得进一步深入研究的课题。这对促进数理金融学和金融工程学在我国的发展,使我国在这个领域尽快赶上世界的领先水平,无疑有着巨大的帮助。同时,本套丛书不但可作为大学本科、研究生教材和参考读物,也是金融部门的理论研究人员和实务人员值得深入研读的著作。我深信,任何阅读了本译丛的读者,必将从中获得思维的闪电和启迪。

汪良忠

于广发证券股份有限公司

2002年6月



中文版序言

自 20 世纪 80 年代起，近代数理统计在国外金融领域已得到广泛的应用。在与国外银行界的交往中，令我们感到震惊的是他们的研究人员将近代数理统计和其他数学分支的研究成果应用到金融领域中去，取得了明显的经济效益。中国自改革开放以来，经济体系逐渐从计划经济走向市场经济，在金融、证券等领域与国外的交往也日渐增多，中国的经济、金融等相关领域如何学习国外的先进思想、经验和技術就成了十分迫切的一大课题。

20 世纪 90 年代中期，国内银行系统曾希望对其业务骨干进行培训，主要内容是介绍金融时间序列分析。为此目的，希望能从图书馆或图书市场上找到一本将数学与金融结合得比较好的参考书，结果令我感到很失望。在过去的十几年间，国内出版的与计量经济、金融等方面有关的著作也不算太少。就我本人的了解，大致可将它们分为两类：一类是以定性理论和文字叙述为主的著作，但它们缺乏较严格的定量分析，对于许多近代统计学成果未能给予介绍，进一步的深入研究成果也很少见；另一类则与之相反，书中虽然提到了许多与“经济”、“金融”等相关的名称，也有少量的应用实例，但通篇几乎主要是数学的定义、定理和渐近理论。明显地，后一类作者还未能真正地将数学与金融两个领域的知识融会贯通，对所运用的数学理论还缺乏有说服力的实际背景的解释和阐述。



1997年我在日本早稻田大学进行学术访问时，看到了特伦斯·C·米尔斯写的这本《金融时间序列的经济计量学模型》的第一版，读后感到很兴奋。我将此书带回国后认真阅读，并推荐给北京大学金融数学系有关教员作为“金融时间序列分析”课程的主要参考书，很多教员授课时也多借鉴此书。米尔斯当时是在赫尔（Hull）大学经济系任应用经济学的教授，其著作已有近百篇，是一名有相当学术造诣的学者。米尔斯在本书第一版的序言中已明确指出“本书的目标是为金融市场的研究人员提供从事金融时间序列的经验分析所必需的技术”，并指出“时间序列分析在理论和经验方面都已成为金融市场研究不可分割的组成部分”。米尔斯的这一观点是非常正确的。近代计量经济学和金融市场的许多卓有成效的研究成果及许多市场决策中的理论依据愈来愈多地是建立在时间序列分析的基础上的，或者说是运用了时间序列分析这一数学工具的。本书最大的优点是：一方面能非常简明地介绍一元和多元时间序列分析中的许多数学理论结果；另一方面对这些结果运用于经济和金融的背景及其理论结果的实际解释给出了许多深入浅出的阐述，这对于数学系、统计系的学生是尤其重要的。从本书的内容可以看出，作者不是按内容的难易来选材的，而是依据其内容的实用性及重要性来决定的。只要是有用且重要，作者并不回避数学理论上的困难，而是用一种简明且“单刀直入”的方式加以介绍，如“鞅”、“ARCH模型”、“厚尾分布”、“VAR协整”等。本书的第二版和第一版相比有较大的补充，约增加了近百页的新内容。除本书作者所指出的有关第二版的变动之外，我这里再补充几点：其一是第5章“拟合收益率分布”（Modeling Return Distributions）是第一版所没有的，其中介绍了经典的厚尾（Fat-tailed）、尾指数（Tail Index）、稳定概率分布密度（Stable pdf）及如何确定一个收益率分布的尾部形状等一些在近代金融理论中十分重要的概念。另外，第7章也比第一版增加了两节，其中尤其重要的是对于VAR下的协整的关系有较多的阐述。谈到



“协整”往往就离不开单位根的检验，第二版在这方面对于一些新的研究成果也有简明的介绍。此外，对于非线性方法中的神经网络、参数稳定性、稳健估计等也都做了介绍。

总体来看，本书是一本理论和实践结合得比较好的著作，从理论到实践，从方法到技巧，数学工作者（首先是统计学家）和经济工作者都可以从本书中学习到很多东西。经济科学出版社将本书引进并译成中文，对于我国有志于研究现代金融理论与方法的研究人员，以及对于扩大金融数学的影响无疑是一件极为有益且值得称道的工作。本书也可作为本科高年级学生或研究生学习类似“金融时间序列分析”课程时的一本十分优秀的教学参考书。当然，如果将本书作为教材尚有一些困难之处，其原因是：本书所涉及的理论和技巧是十分现代的，仅从数学角度来讲就要求学生有相当深厚的数学功底，也就是说除本书之外还应有相关的预备知识或补充教材。也许国内的同仁们能在学习本书的优点的基础上写出具有中国特色的、高水平的“金融时间序列分析”的教科书。不仅在理论上可概括近年来中国学者在金融领域的研究成果，同时还可选择我国金融、证券市场上的实例为背景进行实证分析。作为一名关心金融领域的时间序列分析工作者，这是本人所热切期盼的。

谢衷洁

于北京大学数学科学学院

数理统计研究所

金融数学系

2002年4月



许多年来，金融市场的可预测性不仅吸引了市场专业人士和学术界经济学家的注意力，而且激发了众多（无论是富有天赋或资质平凡的）“业余”投资者的兴趣。Andrew Lo 提供的一个例子很好地说明了能够精确地预测金融市场变化所带来的益处，他对比了在 1926 年 1 月将 1 美元投资于一个月期美国短期财政债券与同时将 1 美元投资于 S&P500 家股市指数的收益率。假如我们在每个月对投资收入进行再投资，那么 1 美元的短期财政债券投资将在 1996 年 12 月增长至 14 美元，而在 S&P500 中的等额投资将价值 1371 美元。但是，我们能从股票投资，而不是从债券市场投资获取更高收益并不是这个例子的寓意。假设投资者在每个月初能够正确预测两种投资中哪种将在当月产生更高的收益，并且根据此项预测采取行动，将其投资的现时总量转换至收益更高的资产。如果我们忽略交易成本，那么截至 1996 年 12 月止，这种“完美预见”投资策略将价值 2 296 183 456 美元！很明显，极少投资者（假如他们存在的话）拥有这种“完美预见”，但 Lo 的论点是：即使是适度的金融资产收益预测能力也能够获取丰厚的回报，因为我们不需要 20⁺ 亿美元的很大比例就能超过 1371 美元！



对金融市场的详尽分析正式始于 20 世纪 20 年代的美国，此后一个茁壮成长的行业随即开始运转，尽管这并未阻止许多从业者（以及学术界人士，最著名的是 Irving Fisher）错过对 1929 年大崩溃的预测！这些分析家集中于利用历史价格行情图所提供的信息对历史价格变化进行研究，这赋予了他们行情图分析家的称号，尽管这个课题现在通常被冠名为技术分析。行情图分析家通常将价格变化分为三种类型。主要趋势是市场在“寻找‘正确’价格”的过程中采取的主要方向；这些趋势变化的持续时间通常大于一年，有时更为漫长。次要趋势曲折上下地穿越主要趋势的轴线，这些是市场在为期至少数周甚至多月的时期内为寻求正确价格而采取的方向。最后，三级趋势徘徊穿越次要趋势的轴线，其持续时间为 1~2 日，至多不超过数周。

长期投资者查看图表以决定主要趋势的方向，并且及早确定它是否发生变化。而另一方面，投机者和短期投资者试图确定三级和次要趋势是否已发生变化。因此，行情图分析的“艺术”在于：通过评估行情图分析家认为具有预见意义（即他们认为通常会先于趋势变化出现）的某些价格图形模式，辨别趋势变化是否已经发生或正在发生。我们有许多不同复杂程度的图形模式，它们被冠以诸如“缺口”、“旗形”、“三角旗形”、“对称三角形”、“上升楔形”、“阻力线”、“反射障碍”之类的响亮术语，其中最著名的也许是“头肩形”。在最近数年中，技术分析得到了进一步演变，人们试图为这项表面上纯粹是描述性的预测技术提供一个理论支柱。例如，分析家援用群体行为心理学和螺旋数学（主要是极限周期和费波纳奇数列）为技术分析提供正式支撑。毋需说，许多学术研究者强烈反对这类分析，例如，Burton Malkiel 就一直在对行情图分析提出严厉的批评。

确实，尽管这种为发现可能的预见意义而对历史价格图形模式进行的“目测”考察已成为投资分析的标准惯例，但学术界开始利用统计技术分析金融价格序列。Maurice Kendall 发现，



金融价格变化的表现就好像它们是由一个设计恰当的轮盘赌转盘生成的，在轮盘赌中，每个结果与历史结果在统计上是独立的，结果的发生概率在时间上也相当稳定。这个发现的含义是：一旦投资者积累了足够证据以对转盘上不同结果的概率作出较好估计时，其预测只能建立在这些概率的基础之上，他根本毋需注意最近几次旋转的结果模式。这些旋转与预测的相关性仅限于它们能帮助得到更精确的概率估计——用赌博术语表达，Kendall 的轮盘赌转盘“没有记忆”。

事实上，研究者远在 1953 年 Kendall 的研究之前就得出类似结论，最主要的成果是 1934 年 Holbrook Working 的论文。他集中考虑了金融价格的相关特征，即它们与纯随机变化的累积相似。1959 年，Harry Roberts 和 M.M.Osborne 发表的论文进一步推动了价格可预测性的研究。前者提供了连续价格变化为何应该呈独立性的探索性论证，而后者发展了呈独立性的变量不是实际价格变化，而是对数价格变化的命题。在对数变化本身为正态分布的辅助假设下，这意味着价格是由布朗运动生成的。

这些论文所提供的鼓舞如此之大，以致在随后数年中涌现出了大量考察价格变化（或对数价格变化）为独立变量这一假设的文章。因价格序列的演变与醉汉的随机晃步十分相似，这个假设后来被称为随机漫步模型。确实，人们相信“随机漫步”一词的首次使用是在 1905 年刊登于《自然》杂志的信函交换中，这些信函考虑的是寻找一个被留在野地中央的醉汉的最佳搜索策略。解决方案是从醉汉被放下的确切地点开始，这一点是醉汉未来位置的无偏估计，因为我们假定他会以不可预测的随机方式蹒跚而行。这个例子说明了随机漫步的关键性质：假如价格为随机漫步，那么利用历史价格所含的信息对任何未来价格作出的最优预测不过是今天的价格。因此，历史上观察到的任何模式都只是偶然发生的，其再次发生的概率等于 0。

但是，为什么人们受到愚弄，在不过是随机数字累积的序

列中看到模式，就像技术分析员在随机漫步假设下的行为那样呢？这种自欺行为似乎是由于人们通常归因于单个随机变量本身的典型独立随机变量行为的总和。确实，Working 在其人工生成的随机漫步中确切指出了所有的“图形分析”效果。因此，假如价格变化确实是随机的，那么我们预期价格水平（即变化幅度的总和）也是随机的，尽管它事实上将会与历史价格水平呈现高度的相关性。反之，当我们在价格水平中观察到图形模式时，我们将预期连续的价格变化是相关的。事实上，这个反直观的结果是概率的第一反正弦定理导致的，是许多牵涉到偶然波动之累积的问题的典型结果。

这些开创性论文导致了今天被称为金融经济计量学的学科的发展。时间序列的经济计量学分析是经济学中最重要的领域之一，它转变了经济学家和统计学家对随时间变化的变量的演变和相互作用的分析方法。由于金融时间序列变化的分析对于制定精确的定价和预测决策是至关重要的，所以本书所发展的技术是所有对严肃分析金融市场感兴趣的人士所需要的重要工具。随着中国金融市场的发展以及更多数据的取得，利用这些技术的范围将会扩大，人们对推动投机价格变化的因素的理解也会更加深刻。

特伦斯·C·米尔斯

2002 年 2 月



FOREWORD TO THE CHINESE EDITION

The predictability of financial markets has engaged the attention of both market professionals and academic economists for many years, but has also attracted the interest of numerous 'amateur' investors, whether gifted or otherwise. The benefits of being able to accurately forecast movements in financial markets are aptly demonstrated by an example presented by Andrew Lo, who contrasted the returns from investing \$ 1 in January 1926 in one-month US Treasury bills with that of investing \$ 1 at the same time in the S&P 500 stock market index. If the proceeds were reinvested each month, then the \$ 1 investment in Treasury bills would have grown to \$ 14 by December 1996, while the same investment in the S&P 500 would have been worth \$ 1371. But the greater returns obtained from investing in the stock rather than the bond market is not the point of the example, for suppose that at the start of each month the investor was able to forecast correctly which of these two investments would yield a higher return for that month, and acted on this forecast by switching the running total of his investment into the higher-yielding asset. Ignoring transaction costs, such a 'perfect foresight' investment strategy would have been worth \$ 2 296 183 456 by December 1996! Obviously, few, if any, investors have perfect foresight, but Lo's point was that even a modest ability to forecast financial asset returns would have been handsomely rewarded, for it does not take a large fraction of \$ 2 billion plus to beat \$ 1371!

Detailed analysis of financial markets began in earnest in the 1920s in the United States, and a thriving industry was soon in operation, although this did not prevent many practitioners (and indeed academics, most notably Irv-



ing Fisher) from failing to forecast the 1929 Crash! These analysts focused on the study of past price movements and patterns using the information provided by charts of the price history, which led to them being called *chartists*, although the subject now often goes under the name *technical analysis*. Chartists typically regard price movements as falling into three classes. The primary trend is the main direction in which the market carries out its "search for the 'right' price"; these trend movements usually last for more than a year and sometimes for much longer periods. Secondary trends zig-zag up and down across the axis of the primary trend; these are the directions in which the market seeks the right price for periods of at least several weeks and perhaps many months. Finally, tertiary trends wander across the axis of the secondary trends and endure for a day or two and at most for a few weeks.

Long term investors read charts to decide on the direction of the primary trend and to determine, as early as possible, if it changes. Speculators and short-term investors, on the other hand, attempt to determine whether tertiary and secondary trends have changed. The 'art' of chartism is thus to identify trend changes by assessing whether certain price patterns, regarded by chartists as having prophetic significance, in the sense that they are believed regularly to precede trend changes, have occurred or, indeed, are occurring. There are many chartist patterns, of varying degrees of complexity, and going by such evocative terms as 'gaps', 'flags', 'pennants', 'symmetrical triangles', 'rising wedges', 'resistance lines', 'reflecting barriers' and, perhaps the most celebrated of all, the 'head-and-shoulders'. Technical analysis has, in recent years, evolved further in the sense that attempts have been made to provide a theoretical underpinning to what, on the face of it, is a purely descriptive forecasting technique. For example, the psychology of crowd behaviour and the mathematics of spirals, notably limit cycles and Fibonacci Sequences, have been invoked to provide formal underpinnings to technical analysis. Needless to say, many academics have been vehemently opposed to this type of analysis and Burton Malkiel, for example, continues to provide a trenchant critique of chartism.

Indeed, even while this 'eyeball' examination of past price patterns for possible prophetic significance was becoming standard practice for investment



analysts, academics had begun to analyse financial price series using statistical techniques. Maurice Kendall found that *changes* in financial prices behaved nearly as if they had been generated by a suitably designed roulette wheel for which each outcome was statistically independent of past outcomes and for which the probabilities of occurrence were reasonably stable through time. This has the implication that, once the investor accumulates enough evidence to make good estimates of the probabilities of different outcomes of the wheel, his forecasts can be based only on those probabilities, and he need pay no attention to the pattern of recent spins. Such spins are relevant to forecasting only insofar as they contribute to more precise estimates of probabilities—in gambling terms, Kendall's roulette wheel 'has no memory'.

Similar conclusions had, in fact, been reached long before Kendall's 1953 study, notably by Holbrook Working in 1934, who had focused on the related characteristic of financial prices, that they resemble cumulations of purely random changes. Further impetus to research on price forecastability was provided by the publication in 1959 of papers by Harry Roberts and M. M. Osborne. The former presented a largely heuristic argument for why successive price changes should be independent, while the latter developed the proposition that it is not the actual price changes, but the logarithmic price changes, which are independent of each other. With the auxiliary assumption that the logarithmic changes themselves are normally distributed, this implies that prices are generated as Brownian motion.

The stimulation provided by these papers was such that numerous articles appeared over the next few years investigating the hypothesis that price changes (or logarithmic price changes) are independent, a hypothesis that came to be termed the random walk model, in recognition of the similarity of the evolution of a price series to the random stagger of a drunk. Indeed, the term 'random walk' is believed to have first been used in an exchange of correspondence appearing in *Nature* in 1905 which was concerned with the optimal search strategy for finding a drunk who had been left in the middle of a field. The solution is to start exactly where the drunk had been placed, as that point is an unbiased estimate of the drunk's future position since he will presumably stagger along in an unpredictable and random fashion. This example



illustrates the crucial property of a random walk: if prices follow a random walk, then the optimal forecast of *any* future price, made using the information contained in past prices, is simply today's price. Any patterns observed in the past have thus occurred by chance, and will therefore have zero probability of ever occurring again.

Why, though, should people be fooled into seeing patterns in series that are no more than accumulations of random numbers, as must technical analysts under the random walk hypothesis? This self-deception seems to be because there is a tendency to ascribe to *sums* of independent random variables behaviour which is typical of the individual random variables themselves. Indeed, Working noted precisely all the "chartist" effects in his artificially generated random walks. Hence, if price changes are indeed random, the price level, which is the sum of the changes, will be expected to be random as well, although it will, in fact, be highly correlated with past price levels. Conversely, when patterns are observed in the levels, successive price changes will be expected to be related. This counter-intuitive result is, in fact, a consequence of the *first arc sine law* of probability and is typical of many problems involving the cumulation of chance fluctuations.

These seminal papers led to the development of much of what is now known today as financial econometrics. The econometric analysis of time series is one of the most important areas of economics, and has transformed the way economists and statisticians analyse the evolution and interaction of variables that move over time. Since analysing the movements of financial time series is essential for making accurate pricing and forecasting decisions, the techniques developed in this book are important tools for anyone interested in seriously analysing financial markets. As the financial markets develop in China and more data become available, the scope for using these techniques will grow and allow a much deeper understanding of the factors that drive the movements in speculative prices.

Terence C. Mills

Feb, 2002

