

冯大晨
王文明 编著
郭荣光

混沌学

理论方法及其应用

——在石油价格非线性分析中的应用

HUN DUN XUE LI LUN FANG FA
JI QI YING YONG

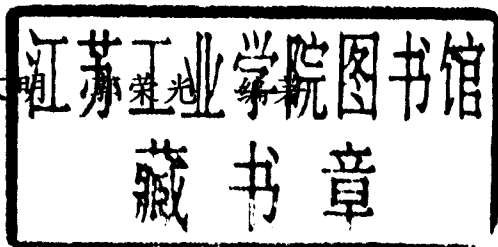


北方文艺出版社

混沌学理论、 方法及其应用

——在石油价格非线性分析中的应用

冯大晨 王文明



北方文艺出版社

图书在版编目(CIP)数据

混沌学理论、方法及其应用/冯大晨,王文明,郭荣光编.
—哈尔滨:北方文艺出版社,2004.12
ISBN 7-5317-1768-9

I.混... II.①冯... ②王... ③郭... III.混沌学—研究 IV.0415.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第132344号

混沌学理论、方法及其应用

Hundunxue Lilun Fangfajiqi Yingyong

作者 / 冯大晨 王文明 郭荣光

责任编辑 / 郭淑杰

封面设计 / 张娟

出版发行 / 北方文艺出版社

地址 / 哈尔滨市道外区大方里小区105号楼

网址 / <http://www.bfwy.com>

邮编 / 150020

电子信箱 / bfwy@bfwy.com

经销 / 新华书店

印刷 / 哈尔滨禹程商务印刷有限公司

开本 / 850 × 1168 1/32

印张 / 4.5

字数 / 110千

版次 / 2004年12月第1版

印次 / 2004年12月第1次印刷

定价 / 9.80元

书号 / ISBN 7-5317-1768-9/TE·2

编 委 会

冯大晨 王文明 郭荣光
杨志宏 郎咸金

内 容 简 介

本书对混沌理论及其在石油价格复杂性分析中的应用进行了系统深入的研究。本书研究的目的在于通过分析传统的混沌理论,针对其中的某些不足进行合理改进,其中着重研究了时间序列的相空间重构理论及其预测方法。在理论和方法研究的基础上,本书对石油价格序列的混沌特性、复杂程度以及波动的持续性和长记忆性进行了深入的研究,并揭示了隐藏在石油价格序列中的一些规律。本书可作为大专院校有关专业本科生与研究生的教材,也可供有关的科研人员阅读参考。

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 本书研究的背景、目的与研究意义	(1)
1.1.1 本书研究的背景及目的	(1)
1.1.2 本书研究的意义	(2)
1.2 国内外研究动态与评述	(3)
1.2.1 国内外混沌理论研究动态	(3)
1.2.2 研究中存在的问题	(8)
1.3 本书的结构与创新点	(9)
第二章 相空间重构理论	(11)
2.1 基于时间延迟的相空间重构方法	(11)
2.2 时间延迟的确定	(13)
2.2.1 现有的确定时间延迟的方法	(13)
2.2.2 一种新的确定时间延迟的方法	(14)
2.3 嵌入维数的确定	(20)
2.3.1 FNN-L 算法	(21)
2.3.2 基于神经网络模型的嵌入维数求取方法	(25)
2.4 基于多变量时间序列的相空间重构	(28)
2.4.1 重构相空间	(28)
2.4.2 参数的选择	(29)
本章小结	(32)
第三章 混沌系统的 Lyapunov 指数和分形维数	(34)
3.1 Lyapunov 指数及其扩展	(34)

3.1.1	系统 Lyapunov 指数	(35)
3.1.2	渐近稳定系统 Lyapunov 指数及其在 PDB 点微小 临域内的变化规律	(36)
3.1.3	ASS 系统 Lyapunov 指数与系统稳态迭代步数	(39)
3.1.4	基于 Lyapunov 指数的系统转换	(39)
3.2	Lyapunov 指数的计算	(40)
3.2.1	确定时间序列 Lyapunov 指数谱的理论基础	(41)
3.2.2	基于组合策略的 Lyapunov 指数谱计算方法	(43)
3.3	系统的分形与分维	(47)
3.3.1	分形的概述	(47)
3.3.2	分形维数	(48)
	本章小结	(55)
第四章	混沌时间序列的预测	(57)
4.1	混沌时间序列预测方法概述	(58)
4.1.1	基于模型逼近的混沌序列预测方法	(58)
4.1.2	基于相邻点演化的混沌序列预测方法	(63)
4.2	混沌时间序列的可预测尺度	(65)
4.2.1	基于最大 Lyapunov 指数的可预报尺度确定法	(66)
4.2.2	基于 n 阶平均发散度的可预测尺度确定法	(68)
4.2.3	实例研究	(69)
4.3	基于加权平均一阶发散度的混沌序列预测法	(72)
4.3.1	基于最大 Lyapunov 指数预测法及其误差产生分析	(72)
4.3.2	基于加权平均一阶发散度的混沌序列预测法	(74)

4.3.3 实例研究	(76)
4.4 基于关联度的混沌序列局域加权线性回归预测法	(78)
4.4.1 基于关联度的局域加权线性回归预测法	(79)
4.4.2 实例研究	(81)
4.5 组合预测方法	(83)
4.5.1 传统组合预测方法简述	(83)
4.5.2 组合预测方法的优越性论证	(84)
4.5.3 基于神经网络的最优组合权重确定	(86)
4.5.4 实例研究	(87)
本章小结	(90)
第五章 石油价格序列复杂性研究	(92)
5.1 数据的选择及处理	(93)
5.2 石油价格序列的相空间重构	(95)
5.2.1 最优时间延迟的确定	(95)
5.2.2 最优嵌入维数 m_{opt} 的确定	(96)
5.3 石油价格序列混沌性及其复杂程度分析	(98)
5.3.1 石油价格序列混沌性判别	(98)
5.3.2 石油价格序列混沌性成因分析	(100)
5.3.3 石油价格序列复杂程度分析	(101)
5.4 石油价格的预测	(103)
5.4.1 石油价格序列的可预测尺度	(103)
5.4.2 石油价格的预测	(104)
本章小结	(105)
第六章 石油价格波动持续性和长记忆性检验	(106)
6.1 数据选择及预处理	(106)
6.2 石油价格波动的 ARCH 现象检验	(108)

6.3 石油价格波动长记忆性检验	(112)
本章小结	(115)
结束语	(117)
参考文献	(119)

第一章 绪 论

一门新学科的创立,不仅是理论进步的结果,而且是生产发展的需要和社会实践深化的必然。与此同时,还可能预示着一场深刻的科学革命。开始于20世纪70年代初的混沌学研究,正以其广度和深度的磅礴气势,揭开了物理学、数学乃至整个现代科学发展的新篇章。混沌学的创立,将在确定论和概率论这两大科学体系之间架起桥梁,它将改变人们的自然观,揭示一个形态和结构崭新的物质运动世界。二十多年过去了,混沌学仍在迅速发展并逐步走向成熟。混沌学给学术界带来了巨大的震撼,它将以其丰硕的研究成果和对社会的深刻影响确立自己在科学史上应有的地位。

1.1 本书研究的背景、目的与研究意义

1.1.1 本书研究的背景及目的

非线性混沌系统是自然界和社会经济领域广泛存在的一类系统,因此,非线性混沌理论的研究成果必然会渗透到各类自然系统和社会经济系统的研究中。目前,非线性混沌理论的基本框架已经形成,而且取得了很多研究成果,但不可否认的是,其中某些方面依然存在不足,需要进一步改进。本书研究正是在这样的背景

之下展开的。

本书研究的目的就在于:(1)发展已有的非线性混沌理论,针对其中某些方面存在的不足进行改进,提出一些新的理论和方法;(2)将非线性混沌理论应用于石油价格时序的复杂性研究中,以深刻揭示蕴藏在石油价格波动中的本质规律,从而为进一步认识石油市场奠定坚实基础。

1.1.2 本书研究的意义

本书的研究意义如下:

一、发展了传统的混沌理论

本书对混沌理论的发展表现在以下几个方面:(1)提出了一种新的混沌序列可预测尺度确定方法以及三种新的混沌时序预测方法,并借助于计算机模拟对这些方法的有效性进行了验证。这些研究有利于提高混沌序列预测的精度,从而为混沌系统的决策、规划及控制奠定基础;(2)提出了一种基于组合策略的 Lyapunov 指数谱计算方法,从理论上论证了其合理性,并利用实例检验了新方法的有效性。这有利于提高系统 Lyapunov 指数的计算精度,从而为系统混沌的准确判别提供保障;(3)对相空间重构理论进行了深入研究,就重构中的参数选择提出了一些新的方法,并论证了这些方法的有效性和优越性。这些研究有利于提高相空间的重构质量,从而为混沌时间序列的进一步分析奠定坚实的理论基础。

二、扩展了混沌理论的应用范围

由于混沌学起源于自然系统的研究,因此,目前对混沌理论的研究绝大多数都集中在自然系统中。然而,相对于自然系统而言,各种社会经济系统是更为复杂的非线性巨系统,而混沌是非线性系统所特有的现象,因此,非线性混沌理论必然应该在各类社会经济系统的研究中大显神通。然而长期以来,混沌理论在各类经济

系统中的应用研究非常少,而且都处于非常初级的阶段。基于此,本书第五章借助于混沌理论对石油价格时序进行了系统、全面、深入的分析,揭示了其中的演化规律,并给出了一些合理的经济学解释。这些应用从某种程度上冲破了传统的混沌理论的“自然科学”属性,必将推动这些理论更多、更为深入地应用到社会经济科学领域。

三、对经济学中一些假设提出了置疑

传统经济学模型成立的前提假设是:经济系统是稳定运行的。然而,本书对石油价格序列的分析表明,该序列是混沌的。也就是说,由该序列所决定的动力系统会出现混沌现象。因此,当混沌出现时,传统的经济模型就不再适用了。这样,就必须重新寻求新的动态经济模型对经济规律加以描述,并对其演化行为进行分析,以揭示隐含在系统内部的规律。

1.2 国内外研究动态与评述

1.2.1 国内外混沌理论研究动态

一、混沌理论研究的历史

混沌是一种貌似随机的运动,指在确定性非线性系统中,不需要附加任何随机因素亦可出现类似随机的行为,即:内在随机性。混沌系统最大的特点在于系统的演化对初始条件的极度敏感性,因此从长期意义上讲,系统的未来行为是不可预测的。

混沌科学是随着现代科学技术的迅猛发展,尤其是在计算机技术的出现和普及应用的基础上发展起来的新兴交叉学科^[1-10]。在现代的物质世界中,混沌现象无处不在,大至宇宙,小至基本粒

子,无不受混沌理论的支配。如气候变化会出现混沌,数学、物理学、化学、经济学、社会学中也存在混沌现象。因此,科学家认为,在现代的科学中普遍存在着混沌现象,它打破了不同学科之间的界限,它是涉及系统总体本质的一门新兴科学。人们通过对混沌的研究,提出了一些新问题,它向传统的科学提出了挑战。如1963年美国著名的气象学家 Lorenz E N 在数值试验中首先发现^[11],在确定性系统中有时会表现出随机行为这一现象,他称之为“决定论非周期流”。这一论点打破了拉普拉斯决定论的经典理论。在这一论点的支配下,Lorenz 曾提出:“气候从本质上是不可预测的。”这个论点一直困扰着动力气象学界。后来人们认识到,当时 Lorenz 所发现的“决定论非周期流”现象其实就是一种混沌现象,即:气候系统对初始条件非常敏感,初始条件的极微小差别就会导致巨大的气候变化。继 Lorenz 之后,于1975年“混沌”作为一个新的科学名词正式出现在文献中。随着对混沌现象的深入研究,混沌理论迅速发展起来。气象学家将它应用于气象系统中,发展成为混沌气象学。随着对混沌气候学的深入研究,人们逐渐认识到气候是一个有层次的复杂系统^[12]。这个系统在不同层次上,在一定范围内,还可以建立起各种预报模式,并已取得了较好的效果。因此,与传统的预报模式相比,人们深信,随着对气候系统各种层次结构的深入认识以及各种不同层次模式的建立,长期气候预测的精度也将会大有提高。

不仅上述气候变化受到混沌的支配,就连根深蒂固的牛顿力学也受到了冲击。众所周知,300多年前,牛顿的万有引力定律和他的三大力学定律将天体的运动和地球上物体的运动统一起来。牛顿这一科学贡献曾被视为近代科学的典范。然而,随着科学的发展,人们进一步认识到,牛顿力学的真理性受到了一定范围的限制^[13]。19世纪末20世纪初,人们发现牛顿力学不能反映高速运

动的规律,一切接近光速的运动应当用爱因斯坦的相对论方程来计算,光速 c 成为牛顿力学应用的第一个限制。在此前后,人们又发现,微观粒子的运动并不遵守牛顿力学规律,在微观世界中应当用量子力学中的薛定谔方程来代替牛顿力学方程,普朗克常数 h 就成为牛顿力学的第二个限制。

实际上,早在本世纪初研究复杂系统时就已经涉及到牛顿力学的第三个局限性问题,即:牛顿力学在研究复杂系统时遇到了困难。当时,法国数学家 Poincaré H 就发现,牛顿力学无法处理“三体问题”。直到 1963 年, Lorenz 发现,一个确定的含有三个变量的自治方程,却能导出混沌解,说明天气从原则上讲不可能作出精确的预报。因此,在复杂性面前,牛顿力学是无能为力的,从此就拉开了对混沌研究的序幕。

著名的比利时科学家、诺贝尔奖学金获得者 Prigogine I 等人在《探索复杂性》^[14] 专著中,又从多方面研究了混沌问题。他们通过对一些非平衡过程可以以不同的方式进入混沌以及对混沌特性的研究后发现,这种混沌不同于宇宙早期的混沌以及热力学平衡态的混沌,它是有序和无序的相对统一,既有复杂性的一面,又有规律性的一面。因此,这就意味着,当代对混沌科学的深入研究将会给自然科学带来新的突破。

正如日本著名统计物理学家久保在 1978 年所指出的:“在非平衡非线性的研究中,混沌问题揭示了新的一页。”美国一个国家科学机构,把混沌问题列为当代科学研究的前沿之一^[15]。混沌科学最热心的倡导者、美国海军部官员 Shlesinger M 说:“20 世纪科学将永远铭记的只有三件事:相对论、量子力学与混沌。”物理学家 Ford 认为混沌就是 20 世纪物理学第三次最大的革命。

与牛顿力学的应用经受相对论和量子力学革命性的突破有所不同,这次革命的实质就在于混沌是直接用于研究人们所感知的

真实宇宙,用在人类本身的尺度大小差不多的对象中所发生的过程。人们研究混沌时所探索的目标就处在日常经验与这个世界的真实图像之中。牛顿力学所描绘的世界是一幅静态的、简单的、可逆的、确定性的、永恒不变的自然图景,形成了一种关于“存在”的机械自然观。而人们真正面临的世界地质变迁、生物进化、社会变革这样一幅动态的、复杂的、不可逆的、随机性的、千变万化的自然图景,形成了关于“演化”的自然观。因此,混沌是一种关于过程的科学而不是关于状态的科学,是关于演化的科学而不是关于存在的科学^[16]。

混沌科学的研究表明^[17-27],现实的世界是一个有序与无序相伴、确定和随机统一、简单与复杂一致的世界。显然,以往那种只追求有序、精确、简单的观点是不全面的,因为牛顿所描述的世界是一个简单的、机械的、量的世界,而人们真正面临的却是一个复杂纷纭的质的世界。因此,只有抓住复杂性并对它进行深入研究,才能为人们描绘出一个客观的世界图景。

二、混沌理论的体系及方法论

混沌理论最初起源于人们对产生于简单确定的非线性动态系统行为的研究,历史较为短暂,其研究还处于观察、描述、实验积累的阶段,理论体系与方法体系并不完整,但其发展潜力和在其他学科中应用的潜力都是巨大的。这一理论的产生,是不同时代科学家们努力的结晶,是不同学科科学发展综合的必然结果,是现代科学技术研究手段、尤其是计算机应用的产物。混沌理论是继“老三论”、“新三论”之后的第三代系统科学理论的一部分。一般认为,混沌理论的体系涉及以下三个部分^[28-30]:

1. 非线性动力学。这是判断混沌能否出现及研究系统动力学行为的基础。

2. 耗散结构理论。所谓耗散结构是指在开放和远离平衡的条

件下,在与外界环境交换物质、信息、能量的过程中,通过能量耗散和内部的非线性动力学机制来形成和维持宏观时空有序的结构。这一理论为理解系统有序与无序之间的关系提供了一种理论与方法,混沌的研究与此密切相关。

3.分形几何理论。分形作为自然界一种普遍现象,并存在于事物的时、空混沌之中,它所揭示的规律和研究的方法可用于混沌研究。

有关混沌研究的主要方法,一般包括:Lyapunov 指数计算、各种分形维数计算、熵计算、功率谱计算、与混沌研究相应的独特的计算机应用方法与技巧、数值计算、Li-Yorke 定理、符号动力学以及软件科学领域的学者常使用的反演方法等。

三、混沌理论的要点

混沌运动的基本特征是具有确定性、非线性、对初始条件敏感依赖性和非周期性。已有的研究表明了以下观点^[31-37]:

1.从长期的演化过程看,系统的运行轨迹具有对初始条件的敏感依赖性。初始条件的细微变化能够导致系统未来长期运动轨迹之间的巨大差异,即小的原因能够引起大的结果。

2.简单的系统可以产生复杂的现象,而复杂现象的背后可以是有序的。一个系统貌似随机的输出并不一定是随机输入造成的,一个确定的简单系统除了能够产生稳定平衡的、周期性的和不稳定发散行为之外,还能产生貌似随机的混沌行为。混沌的背后拥有精细的结构,如在状态空间上表现为混沌吸引子,混沌吸引子具有分形性,有普适性常数存在等。

3.一个系统有三种进入混沌状态的可能道路:倍周期分岔、间隙变换和锁频(或称之为准周期运动)。

4.系统的整体行为可以不同于系统的部分行为。从微观角度考察,系统的部分行为可以是杂乱无章的,而从宏观角度考察,系

系统的整体行为又可能呈现出一定的规律性。

5. 系统行为在不同状态之间的转换可以是渐进的,也可以是突然的。因此,根据系统状态变化的历史趋势来推测其未来,是危险的。

1.2.2 研究中存在的问题^[38-50]

纵观目前国内外有关系统混沌理论、混沌控制方法的研究动态,可以发现尚存在以下不足:

1. 有关“混沌”的统一定义尚未形成。

从混沌研究的历史回顾中可知,直到 20 世纪 50 年代末,混沌学创立之前,混沌概念还是极其含糊的。而且即使在现在,不同领域对混沌的理解也很不相同。这样,就使得在不同学科的交流中出现了许多歧义。因此,为“混沌”下一个严格的、能够适用于不同学科要求的数学定义是当务之急。

2. 对于混沌理论及混沌控制方法尚需做进一步的深入研究。

无穷无尽的 UPO's 组成了混沌系统的基本框架,因此,对 UPO's 的深入研究无疑会加深我们对混沌系统本质的理解。因此,这方面需要做的研究有:(1)设计一些算法,使得 UPO's 搜索速度能够显著提高;(2)建立 UPO's 与系统变量之间的联系。

目前已有的混沌控制方法非常多,但都有一个缺点:每种方法往往仅仅适用于一个或一类混沌系统。因此,基于混沌系统的共同特性,提出一个通用(至少是适用范围比较广的)的控制方法,并且给予理论上的严格推理或证明,这是目前学术界所面临的一个挑战。这个问题的解决必将对混沌控制理论的重大发展。

3. 混沌理论的应用有待于进一步扩展。

混沌理论起源于自然科学的研究中,这部分地决定了混沌理论的研究绝大部分集中在自然科学领域这一事实。但相对于自然