

# 一类金融系统行为的非线性混沌分析\*

林勇新, 陈予恕, 曹庆杰

(哈尔滨工业大学 航天学院 137 信箱, 哈尔滨 150001)

(本刊编委陈予恕来稿)

**摘要:** 利用相位随机化的替代数据方法对中国商品期货市场某些品种特性进行了判定,此方法用于随机时序与非线性混沌时序所得的判据值有明显差异.并应用混沌时序的奇异值分解技术对混沌时序的噪声进行了剥离,将相空间分解为值域空间和虚拟的噪声空间,在值域空间内重构了原混沌时序.进一步采用建立在改进的一般约束随机化方法基础之上强扰动的方法再次判定.根据计算结果对商品期货市场的走势进行了分析,结果表明中国商品期货市场是具有明显非线性混沌特性的一类复杂非线性混沌系统.

**关键词:** 非线性混沌时序; 随机时序; 相位随机化; 奇异值分解; 一般约束随机化

**中图分类号:** O175;O241      **文献标志码:** A

**DOI:** 10.3879/j.issn.1000-0887.2010.10.011

## 引 言

众所周知,现实世界的动力系统往往是非线性的.事实上,在一个线性的世界里,量变永远都不能产生质变的.换言之,物理学的相变,生物学的细胞突变,经济学的收益递减等等都会失于线性世界里.线性模型毫无疑问曾经起过非常积极的作用,例如线性模型(AR模型、MA模型、ARMA模型、ARMAV模型)的研究<sup>[1]</sup>.但是,多数动力系统中都存在非线性因素.上个世纪60、70年代以前,由于科学理论发展阶段性等因素使非线性研究受到制约.直到20世纪的70年代末和80年代初,在经济学领域才开始看到以(ARCH)模型和门限自回归(TAR)模型为典型代表的非线性时间序列模型陆续出现<sup>[2-4]</sup>.尤其90年代以来 Tjvstheim, Yao 和 Tong, Chen, Masry 和 Fan 等人发展起来的非参数和半参数技术使整个时间序列的研究焕然一新,这类方法的一个优点是对模型结构的先验信息要求很少,而且为进一步的参数拟合提供有用的感性认识<sup>[5-8]</sup>. ARCH/GARCH 模型和门限模型等的近期研究成果也体现了参数和非参数方法在时间序列分析中的整合性<sup>[9]</sup>.采用非线性动力学的方法对时序进行研究已开展了近30年,其中包括反映低自由度混沌动力系统和高自由度斑图动力系统的研究<sup>[10-11]</sup>.

观测时序如果是随机序列,就应该采用统计学的方法加以研究.如果序列是确定性混沌的,非线性模型能更好的刻画该动力学系统的行为.即使一个确定系统产生的混沌时序,也不

\* 收稿日期: 2010-04-04; 修订日期: 2010-09-03

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(10632040)

作者简介: 林勇新(1974—),男,哈尔滨人,博士生(联系人, E-mail: linyongxin7406@126.com);  
陈予恕(1931—),教授,博士生导师,院士(E-mail: yschen@hit.edu.cn).

可避免含有噪声,到底序列中混入的噪声比例如何,这是一个必须要解决的问题.综上所述,自然要提出这样的问题:如何判断时序是确定性的还是随机性的,是线性的还是非线性的.本文首先利用相位随机化的替代数据方法<sup>[12-14]</sup>对中国商品期货市场7个品种的混沌特性进行了判定.然后又采用基于非线性动力学技术的奇异值分解技术对中国商品期货市场时序的噪声进行了剥离<sup>[15-17]</sup>.进一步采用建立在一般约束随机化方法<sup>[18]</sup>基础之上强扰动的方法进行非线性混沌判定.本文应用扰动的方法对中国商品期货市场这一复杂系统进行非线性混沌检测,分别通过对系统进行弱扰动、去除噪声、强扰动进行判定.用此方法分析了一类复杂系统的非线性混沌行为,并做了相应可供投资者参考的结论.

## 1 理论与方法

### 1.1 替代数据的生成和判据确立

根据文献[12]给出的不同分布的相位随机化方法.所得时间序列为  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ , 时间序列采样时间分别为  $0, \Delta T, 2\Delta T, \dots, (N-1)\Delta T$ , 其中  $\Delta T$  为采样时间间隔.应用离散的 Fourier 变换,得到

$$X(f) = \sum_{n=0}^{N-1} x(t_n) e^{2\pi i f n \Delta T} = A(f) e^{i\phi(f)}, \quad (1)$$

式中,  $A(f)$  为幅值;  $\phi(f)$  为相位;  $f$  分别取  $\dots -N\Delta f/2, \dots, -\Delta f, 0, \Delta f, \dots, N\Delta f/2$ , 其中  $\Delta f = (1/N)\Delta T$ . 然后将  $\phi(f)$  随机地旋转一相位角  $\psi(f)$ , 这里分别对  $\psi(f)$  用计算机在  $[0, 2\pi]$  内取任意随机所生成的服从均匀分布或 Gauss 分布的随机数, 可以得到

$$\hat{X} = A(f) e^{i[\phi(f) + \psi(f)]} = X(f) e^{i\psi(f)}, \quad (2)$$

再对式(2)进行 Fourier 逆变换可以得到

$$\hat{x}(f) = F^{-1} \{ \hat{X}(f) \} = F^{-1} \{ X(f) e^{i\psi(f)} \}. \quad (3)$$

这样得到的替代数据  $\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3, \dots, \hat{x}_N$  称之为原始数据的替代数据. 这里要求得到的替代数据的虚部必须为 0. 下面给出建立判定数据特性的方法. 根据文献[14]对时间序列相空间重构, 令

$$\bar{v}_i = [x_i, x_{i+\tau}, x_{i+2\tau}, \dots, x_{i+(m-1)\tau}], \quad (4)$$

其中  $\bar{v}_i \in R^m$ . 为减少由于实际问题中所产生的数据间的自相关性,  $c(r, N, W, m)$  应采用如下式子:

$$c(r, N, W, m) = \frac{2}{(N-W)(N-W+1)} \sum_{n=W}^N \sum_{i=1}^{N-n} H[r - |v_{i+n} - v_i|], \quad (5)$$

式中,  $H$  为 Heaviside 函数, 即

$$H(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0, \end{cases} \quad (6)$$

这里要求  $W$  应满足

$$W \geq \tau \left( \frac{2}{N} \right)^{2/m}, \quad (7)$$

式中,  $\tau$  为时序之间的时间间隔,  $m$  为嵌入维数. 采用时序的关联维数

$$d = \lim_{r \rightarrow 0} \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{d \ln c(r, N, W, m) / dr}{d[\ln r] / dr}, \quad (8)$$

式中  $m$  在  $d$  与  $2d+1$  之间取值. 分别对原始数据和替代数据依据公式  $\ln c(r, N, m, W) / (\ln r)$  求

关联维,记为  $s_{ori}$  和  $s_{sur}$ ,定义判值  $Z$ :

$$Z = |\langle s_{sur} \rangle - \langle s_{ori} \rangle| / \sigma_{sur}, \quad (9)$$

其中,  $\langle \rangle$  为统计平均;  $\sigma_{sur}$  为替代数据的均方差. 临界值  $Z = 1.96$ , 若  $Z < 1.96$ , 则实测数据以 95% 的置信水平为随机因素为主的时序,  $Z \geq 1.96$  时为非线性因素为主的时序.

## 1.2 奇异值分解技术降噪

由于相位随机化方法对复杂系统进行非线性混沌检测容易受到噪声的影响, 所以应对时间序列进行降噪. 对时间序列消除噪声后再对序列进行检测来进一步证明非线性混沌特性, 传统的滤波理论是假定观测时间序列中的有用数据和噪声数据具有不同的频谱, 即有用数据和噪声数据是频谱分离的, 从而可以设计一种理想的滤波器进行噪声滤波. 显然这种滤波器没有考虑系统其他特性, 例如系统的运行演化规律、信号与噪声的统计特征, 因而这种方法存在较多缺陷. 这类方法对观测时间序列的降噪是不准确的, 从而需要采用基于非线性动力学奇异值分解技术来处理实际复杂系统的观测时间序列中的噪声. 这类方法主要是通过重构非线性动力系统相空间, 研究吸引子的演化轨迹特征, 从而进行噪声降低<sup>[15-17]</sup>. 降噪后的信号具有很强的鲁棒性, 而相位随机化方法只适用于抗扰能力差的敏感系统, 我们建议采用建立在一般约束随机化方法<sup>[18]</sup>基础之上强扰动的方法对降噪后的信号进行非线性混沌特性判定.

## 1.3 一般约束随机化方法与判值

设  $\{\tilde{x}_n\}_{n=1}^N$  表示  $\{x_n\}_{n=1}^N$  的替代时间序列, 可考虑替代时间序列的自关联函数  $\tilde{C}(\tau) = \langle \tilde{x}_n \tilde{x}_{n-\tau} \rangle$  与原时间序列的自关联函数  $C(\tau) = \langle x_n x_{n-\tau} \rangle$  相同这一要求, 则可定约束为

$$F_\tau(\{\tilde{x}_n\}) = \tilde{C}(\tau) - C(\tau), \quad \tau = 1, 2, \dots, \tau_{max}. \quad (10)$$

这样成本函数是

$$E(\{\tilde{x}_n\}) = \max\{|\tilde{C}(\tau) - C(\tau)| : \tau = 1, 2, \dots, \tau_{max}\} \quad (11)$$

或

$$E(\{\tilde{x}_n\}) = \left( \sum_{\tau=1}^{\tau_{max}} |\tilde{C}(\tau) - C(\tau)|^q \right)^{1/q}. \quad (12)$$

在这一方法中, 替代时间序列的选取是在原时间序列中取相同的值但不同的时间阶, 这可保证替代时间序列和原时间序列取自同一(未知)密度分布的随机过程, 通过对原时间序列重新排序可完成这一步. 为了对  $\{x_n\}_{n=1}^N$  的各种不同排序求成本函数的最小解, 可以利用模拟退火法, 通过交换  $\{x_n\}_{n=1}^N$  中的次序, 构形被更新, 退火计划将确定是接受还是拒绝<sup>[18]</sup>. 对中等长度和较长的时间序列, 一般约束随机化方法生成的替代时间序列可以非常精确, 但这是以非常大的计算时间为代价的. 本文在原有基础上进行改进, 可以更加方便地进行判断.

取

$$E(\{\tilde{x}_n\}) = \left( \sum_{\tau=1}^{\tau_{max}} |\tilde{C}(\tau) - C(\tau)|^q \right)^{1/q} \quad (13)$$

和

$$\tilde{E}(\{\tilde{x}_n\}) = \left( \sum_{\tau=1}^{\tau_{max}} |\tilde{C}_i(\tau) - \tilde{C}_j(\tau)|^q \right)^{1/q}, \quad (14)$$

成本函数(13)、(14)取  $q$  等于 1 时通过优化求其最大值、最小值从而得到一个区间. 成本函数(13)是原始数据和替代数据自相关函数差求和, 成本函数(14)是原始数据打乱后得到的两组随机数的自相关函数差求和, 通过比较两个成本函数极值的不同区间可以判定非线性混沌特

性,如果区间相同就是随机的,否则就是非线性混沌的.这一非线性混沌特性的判定对于未来的建模等都具有重要的理论和实际应用价值.

## 2 计算结果与分析

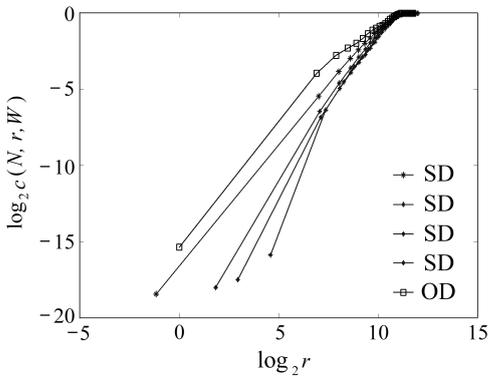
我们分别取中国商品期货市场沪铜、沪铝、天然橡胶、大连豆二、大连豆粕、郑州硬麦、郑州强麦 7 个品种从建立之初到 2008 年末交割期为一月份的日收盘价序列数据,数据来自国泰安 CSMAR 数据库.对贵金属、橡胶、谷物三类商品期货的随机特性或非线性混沌特性进行检验.

第 1,根据式(1)~(3)分别对各品种的时间序列利用相位随机化方法产生对应的替代数据.

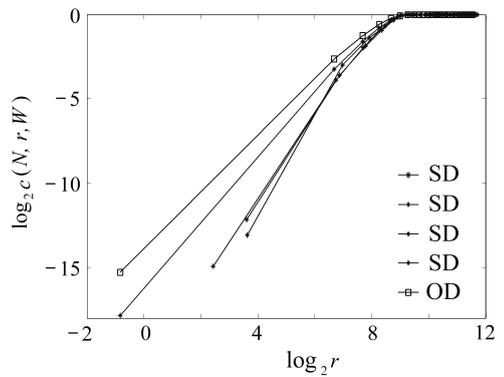
第 2,依据文献[14]分别把原时间序列和替代时间序列进行相空间重构,依据式(4)~(8)求得关联维并作出关联维图 1,根据式(9)求得判值  $Z$  并列于表 1.

表 1 判 值

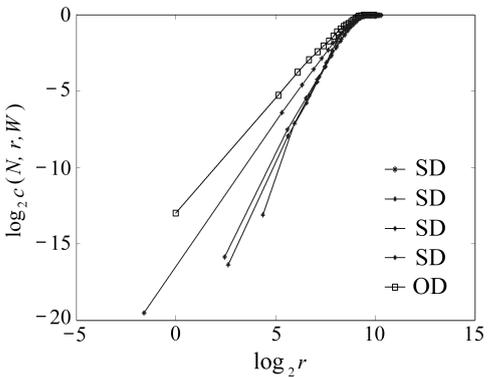
	大连豆二	大连豆粕	郑州强麦	郑州硬麦	沪铝	沪铜	天然橡胶
$\langle S_{orig} \rangle$	0.783 6	1.160 8	1.234 4	1.071 1	1.356 9	1.044 4	1.121 0
$\langle S_{surr} \rangle$	1.693 2	1.749 8	1.849 8	1.944 2	1.868 5	1.501 1	1.727 7
$\sigma_{sur}$	0.206 3	0.112 0	0.152 3	0.280 1	0.125 6	0.092 2	0.063 1
$Z$	4.409 3	5.258 3	4.041 3	3.116 8	4.073 3	4.953 4	9.920 5



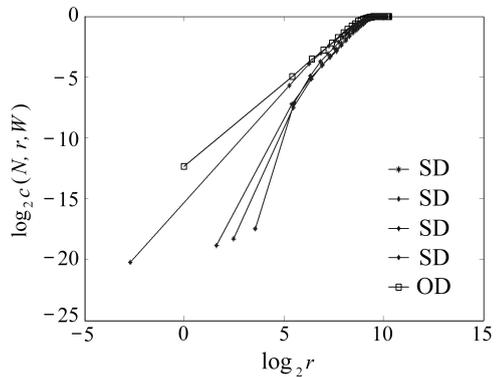
(a) 大连豆二



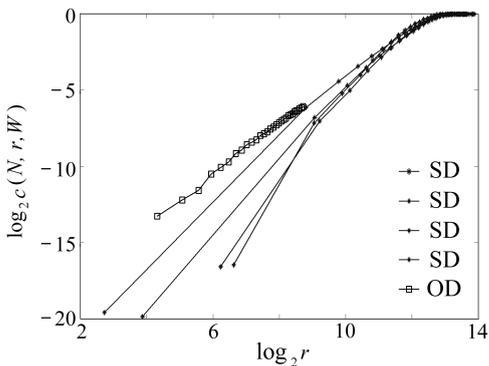
(b) 大连豆粕



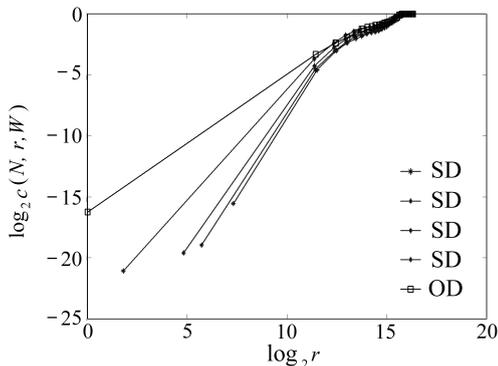
(c) 郑州强麦



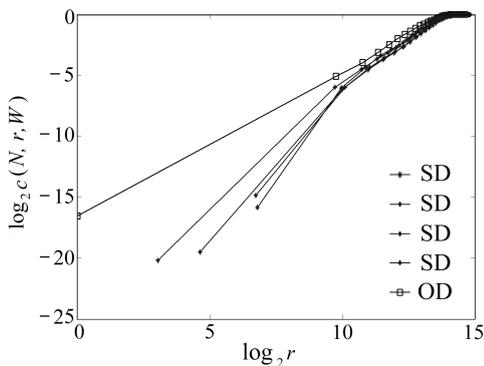
(d) 郑州硬麦



(e) 沪铝



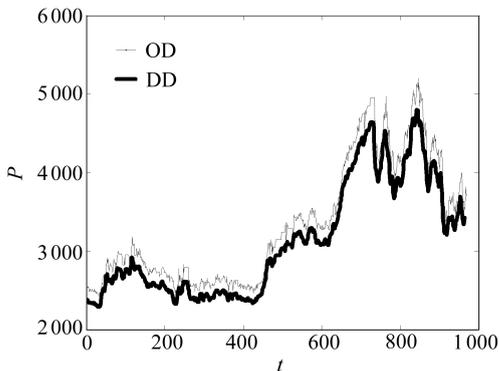
(f) 沪铜



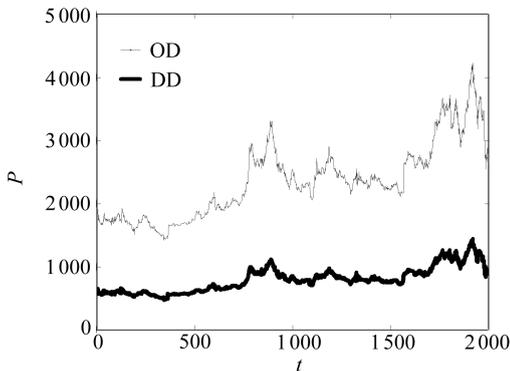
(g) 沪天然橡胶

图 1  $(\log_2 r - \log_2 c)$  关联维图

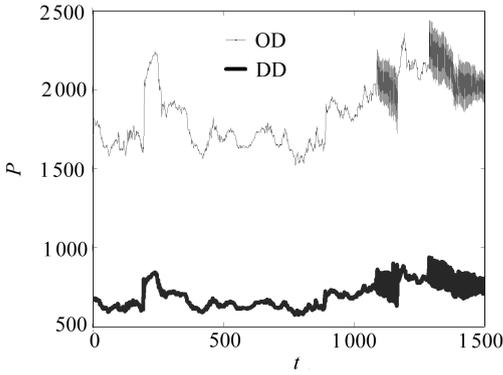
图 1 中依次为大连豆二、大连豆粕、郑州强麦、郑州硬麦、沪铝、沪铜、沪天然橡胶  $(\log_2 r - \log_2 c)$  关联维图, 图中曲线在一定区间内趋于稳定的斜率为关联维。每图中最上方是嵌入维等于 2(3、4、5 未画) 的原始数据, 下面 4 条分别是嵌入维等于 2、3、4、5 时的替代数据。从图可观察到原始数据与替代数据关联维的差别。具体计算结果可看表 1, 判值  $Z$  都大于 1.96, 一定程度上说明以上品种都具有非线性混沌特性。另外从判值  $Z$  来看: 天然橡胶的  $Z$  值最大, 故最为敏感, 抗扰能力相对较弱。其它品种按敏感强弱程度由大到小(抗扰能力由小到大)依次为大连豆粕、沪铜、大连豆二、沪铝、郑州强麦、郑州硬麦。抗扰能力适度的品种容纳资金的能力强, 就会吸引越多的资金进入该市场, 可以提供更好、更稳定的投资环境、减小投资风险、避免对市场的操纵垄断行为发生, 使市场健康发展。而过度敏感的品种投资风险会很大, 抗扰能力过强的品种不利于投资和价格发现。所以从判值  $Z$  来看, 7 个品种中沪铜、大连豆二、大连豆粕相对较好(抗扰能力适度), 适于投资、发展。以上分析与市场相应时期的实际状况也是吻合的。此类复杂系统具有时变性, 还应根据具体情况具体分析。



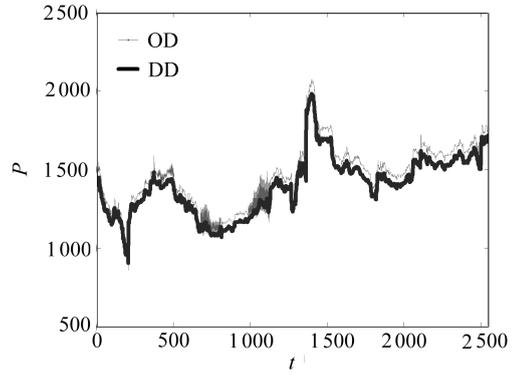
(a) 大连豆粕



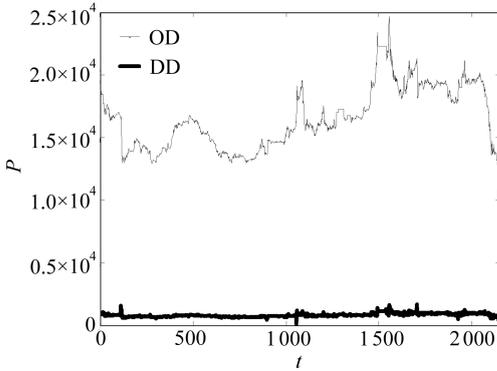
(b) 大连豆粕



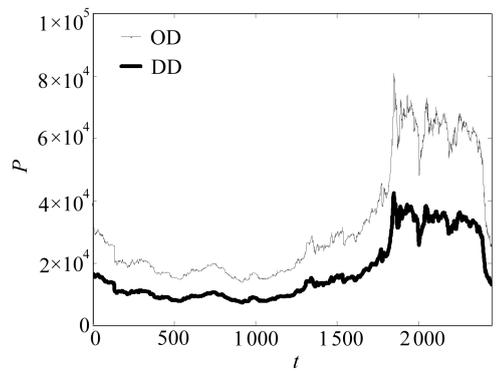
(c) 郑州强麦



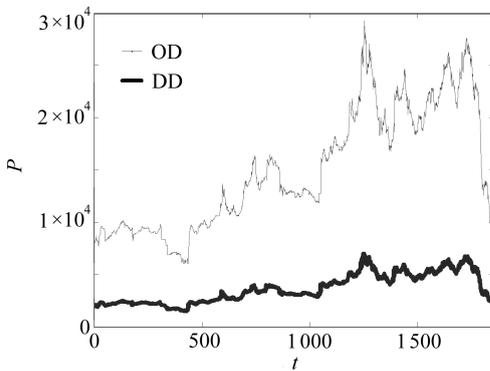
(d) 郑州硬麦



(e) 沪铝



(f) 沪铜



(g) 沪天然橡胶

图2 奇异值分解技术去除噪声  
(图中 $P$ 的单位为:元/吨)

第3,根据文献[14-16]应用奇异值分解技术分别对7个品种进行降噪并作图2.

图2中依次分别是大豆二、大豆粕、郑州强麦、郑州硬麦、沪铝、沪铜、沪天然橡胶、通过奇异值分解技术去除噪声的图像.每图上方是原始数据,下方是去噪声后的数据.利用奇异值分解技术对信号进行处理与其把它看做是去除噪声技术不如说是信号分解技术,奇异值分解技术的特点是通过重构非线性动力系统相空间,研究吸引子的演化轨迹特征,从而进行信号分解.对时序进行奇异谱分解,选取不同的奇异熵的阶,经过奇异值分解的反过程,所达到的去除噪声的效果也是不同的.在不同奇异谱降噪阶次条件下,所得的信号

降噪效果明显不同.当所选奇异谱降噪阶次较低时,降噪信号包含的信息不完整,甚至有波形畸变现象发生,难以对原信号的有效信息特征作出准确反映;而当所选奇异谱降噪阶次较高时,在降噪后的信号中仍保留了一部分噪声信息,又无法达到信号充分降噪的目的.在对数据进行奇异谱分解的同时所得到的阶可以作为确定时序数据有效嵌入空间的维数 $m$ 的依据(为明显大于0的本征值的个数),这一数值可作为确立系统混沌模型阶数的重要依据.

本文在第二阶段应用奇异值分解技术对期货市场数据分解得到的信号带有随机成分并不影响我们对此类复杂系统的判断和分析,而是完美地将市场中的主要力量展示出来(套期保值者或投机者作为主力),在此应用奇异值分解技术的目的是把系统进行剖分,除了前一步利用相位随机化方法对整个系统进行混沌检测以外进一步对复杂系统的主要组成部分再进行混沌判定。

对于噪声这样的概念源于工程机械中的震动等等,由于设备或者结构出现故障、变形而产生噪声,往往是以一种带有高频成分的状态展示出来,所以一般的去噪方法是把序列的高频成分剥离而得到的相对平滑、平稳的数据,而本文把噪声概念延用到资本市场这样一个复杂系统却有不同于前者的意义,在此类金融复杂系统中表面上似乎表现为随机的因素可视为噪声,但这种噪声却不能简单地认为是所谓的故障或者无意义,因为这正是混沌的特征,表面上看似随机混乱但混沌中自有其规律,从对7个期货品种进行奇异值分解的图上看,分解后得到的信号仍带有高频成分,只是与分解前的信号比较起来稍平稳,所以给人以误解并怀疑是否去除噪声,其实质是利用奇异值分解技术对混沌系统进行信号分解从而获得复杂系统主要影响因素的数据信号,具体说就是我们通过奇异值分解技术探测并获得了期货市场中的主要力量的信息,虽然我们获得的信号仍带有高频成分,但我们的目的已经达到。

这里的去除噪声是指通过奇异值分解技术尽量追寻最大特征值而去除其他小的特征值和零特征值从而提取出主要影响因素的数据,在实际操作中有的品种很容易提取出主要力量的信号来,有的不易提取,原因是利用奇异值分解技术对信号分解时,不易分解的数据说明这个复杂系统中影响因素单一,本身市场中的主力占有绝对的优势,当然易分解的品种情况则相对要复杂一些,如果是随机信号应用奇异值分解技术时将没有明显大于0并稳定的特征值出现,而混沌信号是可以找到的,这一点可以体现出随机信号和混沌信号的区别。

通过奇异值分解技术对各品种进行信号分解可看出沪铝的噪声和信号耦合的很强,也说明市场中套期保值者作为主力的绝对领导地位,大连豆二、郑州硬麦类似,而沪铜、天然橡胶等其他品种投机者作为主力较活跃,市场中投机者较多,此类复杂系统具有时变性,应根据具体情况进一步分析。

最后,采用一般约束随机化的方法分别对各品种的原始数据和降噪后的数据依据式(13)和式(14)进行处理并列于表2和表3。

表2 原始数据的一般约束随机化成本函数值比较

		大连豆二	大连豆粕	郑州强麦	郑州硬麦	沪铝	沪铜	天然橡胶
$\tilde{E}(\{\tilde{x}_n\})$	最小值	1.66E+07	1.34E+07	2.10E+07	2.60E+06	3.26E+08	1.28E+10	1.15E+09
	最大值	1.41E+08	1.15E+08	3.17E+07	3.18E+07	3.50E+09	5.49E+10	6.66E+09
$E(\{\tilde{x}_n\})$	最小值	1.68E+08	1.25E+08	6.49E+07	4.77E+07	4.36E+09	2.18E+11	1.69E+10
	最大值	2.66E+08	2.11E+08	9.62E+07	6.47E+07	6.46E+09	2.53E+11	2.37E+10

表3 通过奇异值分解去除噪声后的一般约束随机化成本函数值比较

		大连豆二	大连豆粕	郑州强麦	郑州硬麦	沪铝	沪铜	天然橡胶
$\tilde{E}(\{\tilde{x}_n\})$	最小值	2.67E+06	7.37E+05	1.63E+05	1.24E+06	4.73E+05	3.20E+08	7.33E+07
	最大值	2.58E+07	4.32E+06	2.16E+06	1.44E+07	4.95E+06	2.09E+09	9.52E+07
$E(\{\tilde{x}_n\})$	最小值	4.17E+07	1.42E+07	4.62E+06	2.42E+07	5.42E+06	6.74E+09	2.21E+09
	最大值	4.60E+07	1.45E+07	6.86E+06	4.14E+07	9.29E+06	7.46E+09	2.23E+09

表2、表3是成本函数(13)和(14)取 $q$ 等于1时通过优化得到的最大值、最小值。前一个成本函数是原始数据和替代数据自相关函数差求和,后一成本函数是原始数据打乱后得到的两组随机数的自相关函数差求和,通过比较两个成本函数的极值的不同区间可以判定非线性混沌特性。具体结果可见表2(原始数据的一般约束随机化成本函数值比较)、表3(通过奇异值分解去除噪声后时序的一般约束随机化成本函数值比较)。计算结果表明以上7个品种都具有非线性混沌特性。

对于复杂系统中是否存在混沌吸引子是决定能否进一步应用混沌理论来研究混沌复杂系统的关键和前提,所以对此类复杂系统进行混沌检测显得尤其重要。经典的检测方法如BDS检验、R/S分析等等确实比较成熟,包括本文各阶段所用的方法单独拿出来也并不新鲜。但是否以上方法真的能检测出混沌呢?本文主张从复杂系统的物理特性和结构上入手去判定一类复杂系统的混沌存在。首先,从整体进行混沌判定。其次,通过对复杂系统进行结构剖分去除掉其他的非主要影响因素(噪声),得到复杂系统的主要影响力量,从而再进行混沌判定。通过应用弱扰动和强扰动的方法和逐步、逐层、循序渐进的组合策略对复杂系统各种可能包含的情况进行了混沌检测以防疏漏而得出错误答案。另外,混沌存在于非线性中,但非线性还不足以说明复杂系统中就存在混沌,而本文通过组合检测方法不但可以检测出系统的非线性而且可以检测出复杂系统隐含的系统机制特征的存在,从而更大可能性的判定复杂系统的混沌存在。当然,随着研究的深入,判定方法和策略还有待进一步完善。

### 3 结 论

a) 分析结果表明中国商品期货市场是具有明显的非线性混沌特性的一类复杂非线性混沌系统。这一非线性混沌特性的判定对于未来建模等都具有重要的理论和实际应用价值。

b) 通过奇异值分解技术对各品种进行信号分解可看出沪铝的噪声和信号耦合的很强,也说明市场中套期保值者作为主力的绝对领导地位。大连豆二、郑州硬麦类似,而沪铜、天然橡胶等其他品种投机者作为主力较活跃,市场中投机者较多。此类复杂系统具有时变性,应根据具体情况进一步分析。

c) 一般约束随机化方法可以检验原时间序列任何完全可观测集的性质导致的零假设,7个品种奇异值分解后得到的部分信号抗扰能力很强,我们建议采用建立在一般约束随机化方法基础之上强扰动的方法可以更方便进一步判定系统的非线性混沌特性,结果说明此类复杂系统显然具有非线性混沌特性。

d) 从判值 $Z$ 来看:天然橡胶最为敏感,抗扰能力相对较弱。其它品种按敏感强弱程度由大到小(抗扰能力由小到大)依次为大连豆粕、沪铜、大连豆二、沪铝、郑州强麦、郑州硬麦。抗扰能力适度的品种容纳资金的能力强,可以提供更好、更稳定的投资环境、减小投资风险、避免对市场的操纵垄断行为发生,使市场健康发展。而过度敏感的品种投资风险会很大,抗扰能力过强的品种不利于投资和价格发现。所以从判值 $Z$ 来看,7个品种中沪铜、大连豆二、大连豆粕相对较好,适于投资、发展。此类复杂系统具有时变性,还应根据具体情况具体分析。

e) 从关联维来看各品种复杂程度相近。去噪声前关联维在 $[1.55, 1.95]$ 范围内,通过奇异值分解技术对原时间序列进行信号分解后的关联维在 $[1.60, 1.87]$ 范围内。关联维在1到2之间说明我国商品期货市场的这7个品种的走势中隐藏有两类主要的影响因素,市场中有两种力量在起作用。再加上通过奇异值分解技术过程中的特征值来看明显大于0的特征值也是两

个,这也说明是两种力量在期货市场中占有主要的影响力.这些决定了商品期货市场的复杂程度和短期内未来市场走势所含内在影响因素.判值  $Z$  越大说明这个品种敏感,非线性强.判值结合关联维可估计期货市场各品种的风险程度,为投资者的风险投资和资本市场风险控制提供一些参考.

### 参考文献:

- [1] Abarbanel Henry D I, Brown R, Kadtke J B. Prediction in chaotic nonlinear systems: methods for time series with broadband fourier spectra [J]. *Phys Rev A*, 1990, **41**(4):1782-1807.
- [2] Engle R F. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of UK inflation[J]. *Econometrica*, 1982, **50**(4): 987-1008.
- [3] Bollerslev T. Generalized autoregressive conditional heteroscedasticity[J]. *Journal of econometrics*, 1986, **31**(3): 307-327.
- [4] Tong H. *Non-Linear Time Series: A Dynamical Systems Approach*[M]. Oxford: Oxford University Press, 1990.
- [5] Tjvstheim D. Non-linear time series: a selective review[J]. *Scandinavian Journal of Statistics*, 1994, **21**(2): 97-130.
- [6] Yao Q, Tong H. On initial-condition sensitivity and prediction in nonlinear stochastic systems [J]. *Bull Int Statist Inst*, 1995, **50**(4): 395-412.
- [7] Yao Q, Tong H. On prediction and chaos in stochastic systems[C]//Tong H. *Chaos and Forecasting*. Singapore: World Scientific, 1994, **348**(1688): 357-369.
- [8] Masry E, Fan J. Local polynomial estimation for stationary stable processes[J]. *Scandinavian Journal of Statistics*, 1997, **24**(2): 165-179.
- [9] Gourieroux C. *ARCH Models and Financial Applications*[M]. New York: Springer-Verlag, 1997.
- [10] Cabrera J L, Jzvier F. Numerical analysis of transient behavior in the discrete random Logistic equation with delay[J]. *Phys Lett A*, 1995, **197**(1): 19-24.
- [11] Grassberger Peter. Finite sample corrections to entropy and dimension estimates[J]. *Phys Lett A*, 1988, **128**(6/7): 369-373.
- [12] 马军海,陈予恕,刘曾荣.不同随机分布的相位随机化对实测数据影响的分析研究[J].应用数学和力学,1998, **19**(11): 955-964.
- [13] Rapp P E, Albano A M. Phase-randomized surrogates can produce spurious identifications of non-random structure[J]. *Phys Lett A*, 1994, **192**(1): 27-33.
- [14] 陈国华,陈春旺,盛昭瀚,马军海.经济时序动力系统最佳嵌入维数的选取及应用研究[J].天津大学学报(自然科学与工程技术版),2001, **34**(2):158-162.
- [15] Albano A M, Muench J M, Schwartz C. Singular value decomposition and the Grassberger Procaccia algorithm[J]. *Phys Rev A*, 1988, **38**(6): 3017-3026.
- [16] 马军海,陈予恕.低维混沌时序非线性动力系统的预测方法及其应用研究[J].应用数学和力学,2001, **22**(5): 441-448.
- [17] Casdagli Martin, Eubank Stephen, Farmer J Doyme, Gibson J. State space reconstruction in the presence of noise[J]. *Phys Ser D*, 1991, **51**(10): 52-98.
- [18] Scjreiber T. Constrained randomization of time series data[J]. *Physical Review Letters*, 1998, **80**(10): 2105-2108.

## Nonlinear and Chaotic Analysis of a Financial Complex System

LIN Yong-xin, CHEN Yu-shu, CAO Qing-jie

(*The School of Astronautics, Harbin Institute of Technology,  
P. O. Box 137, Harbin 150001, P. R. China*)

**Abstract:** A determination on the characteristics of futures market of commodity of China was presented by the method of the phase-randomized surrogate data. There was a significant difference in critical values obtained when this method was used in random timeseries and nonlinear chaotic timeseries. The technology of the singular value decomposition was used to reduce noise of chaotic timeseries and then the phase space of chaotic timeseries was decomposed to range space and null noise space, and the original chaotic timeseries in range space was restructured. The method of strong disturbance on the basis of the improved general constrained randomized method was further adopted to re-determine. According to the calculated result an analysis on the trend of futures' s market of commodity is made. The results indicate that the Chinese futures' s market of commodity is a complicated nonlinear system with obvious nonlinear chaotic characteristic.

**Key words:** nonlinear chaotic timeseries; random timeseries; phase-randomized; singular value decomposition ; general constrained randomization