

文章编号: 1000-2472(2008)05-0085-04

## 股票市场的非线性结构与混沌效应检验 ——基于 BDS 与 CR 方法\*

马超群<sup>1</sup>, 邹琳<sup>1†</sup>, 李红权<sup>2</sup>

(1. 湖南大学工商管理学院, 湖南长沙 410082; 2. 湖南师范大学商学院, 湖南长沙 410081)

**摘要:** 在传统研究方法的基础上, 运用 Rosenstein 提出的小数据量算法计算最大李雅普诺夫指数, 进而引入 BDS 与返回临近检验(CR), 从不同角度对中国股票市场的混沌动力学结构进行分析. 为了避免破坏混沌吸引子的分形结构, 采用对数线性趋势消除法(LLD)进行数据处理. 研究表明, 中国股市具有低维混沌吸引子、对初值敏感依赖性、准周期性等显著的非线性混沌特征. 并就市场混沌的经济含义与应用价值进行了探讨.

**关键词:** 混沌理论; 非线性分析; 对数线性趋势消除法; BDS 检验; 返回临近检验

**中图分类号:** F830.9

**文献标识码:** A

## Testing Nonlinear Structure and Chaos Effect of Chinese Stock Markets Based on BDS and CR Methods

MA Chao-qun<sup>1</sup>, ZOU Lin<sup>1†</sup>, LI Hong-quan<sup>2</sup>

(1. College of Business Administration, Hunan Univ, Changsha, Hunan 410082, China;

2. School of Business, Hunan Normal Univ, Changsha, Hunan 410081, China)

**Abstract:** Based on the analysis of the traditional methods, the small data algorithm originated by Rosenstein was introduced to calculate the maximum Lyapunov exponent, and two types of tests-BDS and close return (CR) were used to further analyze the dynamical characteristic of chaotic of Chinese stock markets. For avoiding destroying the fractal structure, we utilized a special method of log-linear detrended (LLD) to process the sample data. The conclusions indicate that the notable chaos dynamics characteristic appear to exhibit in Chinese stock markets, such as a low dimensionality chaos attractor, sensitive dependence on initial values, quasi-periodicity. And the economical implication and application value of chaos was also investigated.

**Key words:** chaos theory; nonlinear analysis; logarithm linear detrended analysis; BDS test; close return test

20 世纪 70 年代以来, 世界性金融危机不断爆发, 让许多经济学家逐渐认识到金融系统是一个开放的系统, 并且是一个高度复杂的非线性系统. 混沌理论为金融运行的复杂变化提供了理论和方法. 1980 年, 美国经济学家 Stutzer 首次在哈维尔谟经济增长方程中揭示了混沌现象. 陈平等从 1984 年起就开始在经济时间序列中寻找混沌的经验证据<sup>[1]</sup>. Peters 等人计算了美、英、德和日本的股票指

数, 发现美、英、德三国的分形维在 2 和 3 之间, 而日本的分形维为 3.05<sup>[2]</sup>. David 等国外学者采用相关维、Kolmogorov 熵、BDS、CR 等方法来检验股票市场的混沌特性, 并没发现强有力的证据支持混沌特征的存在<sup>[3-6]</sup>. 国内学者王卫宁等人通过计算最大李雅普诺夫指数和相关维, 证明了中国股票市场具有混沌特征<sup>[7,8]</sup>; 但张永东通过 CR 检验发现, 上海股票市场虽是非线性的, 但不具有混沌特征<sup>[9]</sup>.

\* 收稿日期: 2007-10-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70471030); 国家社会科学基金资助项目(030JBY56); 教育部博士点基金资助项目

作者简介: 马超群(1963-), 男, 湖南岳阳人, 湖南大学教授, 博士生导师

† 通讯联系人, E-mail: zoulin2800@126.com

上述研究有些只检验了股市的分数维和对初始值的敏感依赖性,有些只检验了股市的拓扑结构,就得出股票市场不存在混沌特征或混沌特征不显著的结论,并没有对股市的混沌特征进行全面深入的检验分析.鉴于混沌具有分数维、对初始值的敏感依赖性、内随机性和准周期的特性,本文运用相关维检验、李雅普洛夫指数检验、BDS 检验和返回临近检验(CR 检验)对中国股市的混沌特征进行系统全面的分析,以期深入挖掘中国股市的混沌动力学结构和特征,为监管层稳定股票市场,避免股市泡沫的产生提供有价值的理论依据.

1 基于结构特征的混沌检验方法

1.1 相关维检验与李雅普诺夫指数检验

相关维是测量给定空间中各个数据点的相关程度,它是通过度量混沌吸引子的维数来确定时间序列中是否存在混沌的方法之一.而混沌运动的一个基本特征就是对于初始条件的敏感依赖.最大李雅普诺夫指数为正数则可以作为混沌的判据.本文将采用小数据量方法计算中国股票市场的最大的 Lyapunov 指数.

1.2 BDS 检验

BDS 检验实际上是以时间序列服从独立同分布为原假设的检验,它的原理是:若时间序列服从独立同分布,则它的相关积分  $C_m(\epsilon) = C_1(\epsilon)^m$ , 我们可以利用 BDS 统计量来检验原假设

$$U_{m,n}(\epsilon) = \sqrt{n} [C_{m,n}(\epsilon) - C_{1,n}(\epsilon)^m] / \sigma_{m,n}(\epsilon) \tag{1}$$

其中  $n$  为样本数量;  $m$  为嵌入维;  $\epsilon$  为两点间的距离;  $\sigma_{m,n}(\epsilon)$  为  $C_{m,n}(\epsilon) - C_{1,n}(\epsilon)^m$  的标准差.

1.3 返回临近检验(CR 检验)

返回临近检验是以混沌基本的拓扑性质为基础的混沌检验方法,它是检验低维混沌的方法.这种检验方法保持了数据时间序列的原有顺序,我们可以用 CR 检验的第一部分定性来辨别时间序列的性质.在进行第一部分检验时,首先要在以  $t$  为  $x$  轴,以  $i$  为  $y$  轴的图中做出  $|x_t - x_{t+i}| < \epsilon$  的点.若  $|x_t - x_{t+i}| < \epsilon$ ,则在图上描黑点;若  $|x_t - x_{t+i}| > \epsilon$ ,则在图上描白点.若做出的图呈现出许多黑色的横向的直线段,则说明该时间序列具有混沌特征;否则,不能说明该时间序列具有混沌特征.因为混沌具有内随机性,CR 检验的第二部分是定量检验部分.统计对每一个  $I$ ,返回临近点的个数,并做直方图.若

时间序列是混沌的,则直方图会出现一系列的尖峰;若时间序列是随机游走的,则返回临近点的数目会服从均匀分布.以时间序列服从 IID 为原假设,建立统计量

$$\chi^2_t = \frac{\sum_{i=1}^k |H_i - H|^2}{np(1-p)} \sim \chi^2(k-1) \tag{2}$$

其中  $H_i = \sum_{j=1}^n \Theta(\epsilon - |x_t - x_{t+i}|)$ ,  $\Theta$  为 Heaviside 单位函数,  $\Theta(x) = 1$ , 当  $x > 0$ ;  $\Theta(x) = -1$ , 当  $x < 0$ .  $H$  为  $H_i$  的均值,  $p = \frac{\text{返回临近点的数目}}{\text{所有点的数目}}$ .

2 沪深股市样本选择和基于 LLD 的数据处理

采用 1997 年 1 月 1 日至 2007 年 5 月 24 日的上证综合指数和深圳成分指数的每日收盘价格进行检验.为了既保持价格时间序列的长期相关性,又不影响系统的非线性动力学结构,本文采用对数线性趋势消除法(LLD)来处理股票价格数据

$$x_i = \ln(P_i) - (ai + \text{常数}) \tag{3}$$

其中  $x_i$  为  $\ln(P_i)$  对  $i$  线性回归后的残差;  $P_i$  为股票原始价格序列;  $i$  为观测数(见图 1, 图 2).

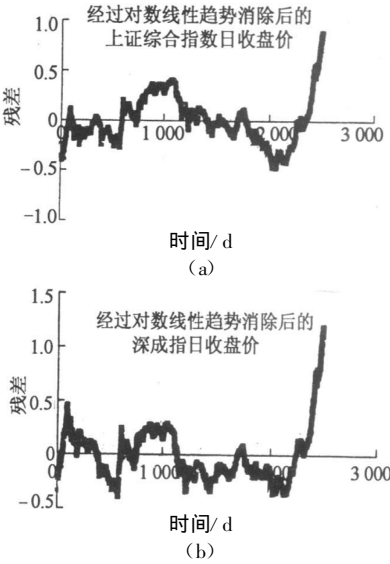


图 1 经过对数线性趋势消除后的上证综合指数与深成指日收盘价  
Fig. 1 Daily close price time series of SHCI(Shanghai composite index) and SZCI(Shenzhen Stock Exchange Component Index) processed by LLD method

3 沪深股市混沌动力学特征的实证分析

本文采用 G-P 算法计算中国股票市场的相关维数,中国股票市场的平均循环长度为  $Q = 126$  天

(18 周), 时间延迟  $\tau$  根据 WOLF 法则( $Q = m\tau$ )决定. 随着嵌入维  $m$  的增加, 相关维  $D(m)$  最终应该收敛到它的真实值  $D$ .

表 1 为相关维的计算结果与收敛情况, 结果显示上证综合指数、深成指分别具有维数为 2.17, 2.23 的吸引子, 分数维显示中国股市存在明显的低维

混沌, 同时还表明了中国股市的混沌吸引子的维度. 取股票市场的平均循环长度为  $Q = 126$  天, 嵌入维  $m = 37$ , 时间延迟  $\tau = Q/m = 3$ . 通过表 2 发现最大李雅普诺夫指数  $\lambda$  显著大于 0, 说明中国股市存在着混沌. 说明股市对初始条件的敏感依赖性, 内在的不可作长期预测.

表 1 相关维  $D(m)$  的计算与  $D$  的估计值  
Tab. 1 Correlation dimensions  $D(m)$  and the estimate value of  $D$

	$D(2)$	$D(4)$	$D(6)$	$D(8)$	$D(10)$	$D(12)$	$D(14)$	$D(16)$	$D(18)$	$D(20)$	$D$
上证综指	0.91	1.21	1.32	1.50	1.92	2.06	2.17	2.25	2.07	2.17	2.17
深成指	1.10	1.50	1.68	1.92	1.96	2.11	2.23	2.32	2.13	2.22	2.23

表 2 深沪股市的最大李雅普诺夫指数  $\lambda$   
Tab. 2 Largest Lyapunov exponents of Shanghai and Shenzhen stock markets

	$\lambda$	$t$
上证指数	0.000 16 *	6.31
深成指	0.000 36 *	13.14

注: \* 表示在 95% 的置信度下显著.

取嵌入维  $m = 2 \sim 5$ , 平均循环长度  $Q = 126$ , 时间延迟  $\tau$  根据  $Q = m\tau$  来决定,  $\epsilon$  取原始时间序列中两点  $|x_t - x_{t+i}|$  最大距离的 2%, 5%, 8%. 表 3 表明在 5% 的显著性水平下拒绝了股票收盘价格时间序列是独立同分布的原假设, 说明了中国股票市场不是随机游走的, 具有显著的非线性特征. 这个结果把貌似混沌的随机游走和真正的混沌区分开来.

表 3 深沪股市的 BDS 检验  
Tab. 3 The BDS test of Shanghai and Shenzhen stock markets

市场	$m$	$\epsilon$		
		2%	5%	8%
上证综指	2	50.60	41.75	38.99
	3	5 167.2	101.07	70.10
	4	1 340.70	323.44	164.20
	5	11 011	1 158.9	414.48
	2	60.19	49.62	45.51
深成指	3	268.89	133.20	93.70
	4	1 727.7	456.40	243.80
	5	14 534	1 804.4	702.11

由于 CR 检验对小数据量同样适合, 为了避免数据量过多导致图中的点过于密集, 而影响对图的判断, 本文将对 1997 ~ 2007 年的上证综合指数和深成指周收盘价格进行检验.  $\epsilon$  的值一般取为所有  $|x_t - x_{t+i}|$  值中最大值的 5%. 图 2 和图 3 为 CR 图的

一部分的放大, 这样可以清楚地发现许多黑色的横向的直线段, 说明上证综合指数和深成指周收盘价格时间序列中有许多非周期轨道, 具有明显混沌结构, 显示中国股市存在非周期循环. 图 4, 图 5 中出现的一系列的尖峰以及  $\chi^2_i$  统计量的值(上证指数的  $\chi^2_i = 1.105 \times 10^{14}$ , 深成值的  $\chi^2_i = 5.108 \times 10^{14}$ )显示返回临近点的个数对于每个间隔时间  $I$  并不是均匀分布的.

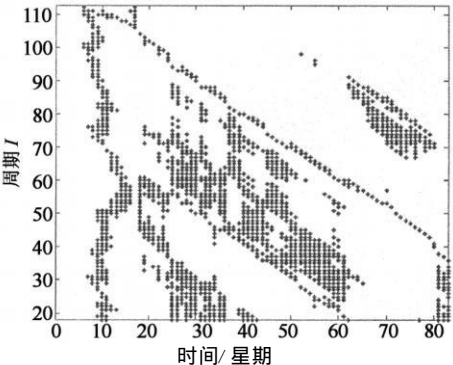


图 2 上证综合指数的 CR 图的放大  
Fig. 2 A part of amplifactory CR figure of SHCI

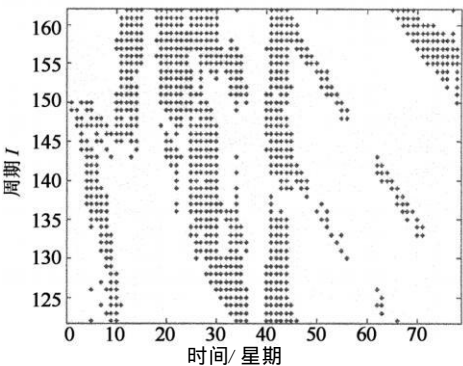


图 3 深成指的 CR 图的放大  
Fig. 3 A part of amplifactory CR figure of SZCI

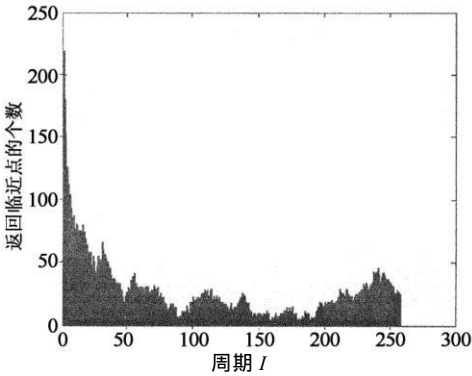


图4 上证综合指数的CR检验的直方图  
Fig. 4 The CR histogram of SHCI

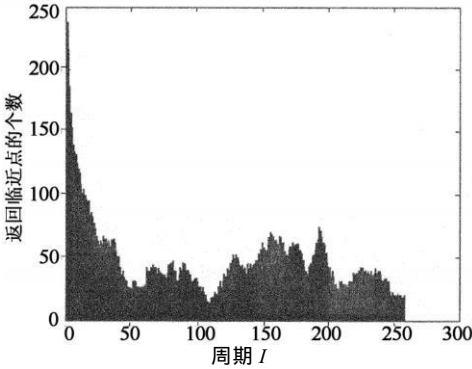


图5 深成指的CR检验的直方图  
Fig. 5 The CR histogram of SZCI

4 结 论

相关维检验、李雅普洛夫指数检验、BDS 检验以及 CR 检验结果都说明中国股票市场具有混沌特征. 相关维的计算找到了低维奇异吸引子的经验证据, 这意味着应该可以用最少三个动态变量为股票市场系统的运动建立模型; 李雅普洛夫指数检验证实了中国股市对于初始条件的敏感依赖; BDS 检验结果说明了中国股市具有非线性特征; 通过 CR 检验, 我们获得股市是混沌的有力证据, 证实了股市不仅具有非线性结构, 并且具有混沌拓扑结构. 因此, 当运用静态线性均衡的理论对中国股市进行解释时有可能会丢失大量重要的信息, 利用非线性混沌动力学理论才可能揭示出股市这一复杂动力学系统的演化实质.

参考文献

[ 1 ] 陈平. 文明分岔: 经济混沌和演化经济学[ M ]. 北京: 北京大学出版社, 2004.  
CHEN P. Civilization bifurcation: Economic chaos and evolution economics[ M ]. Beijing: Beijing University Press, 2004. (In Chinese)

[ 2 ] 埃德加·E·彼德斯. 资本市场的混沌与秩序[ M ]. 北京: 经济科学出版社, 1999.  
EDGAR E P. Chaos and order in the capital markets[ M ]. Beijing: Economic Science Press, 1999. (In Chinese)

[ 3 ] HSIEH D A. Chaos and nonlinear dynamics: application to financial markets[ J ]. The Journal of Finance, 1991, 46(5): 1839—1877.

[ 4 ] BARKOULAS J, TRAVLOS N. Chaos in an emerging capital market? The case of the athens stock exchange[ J ]. Applied Financial Economics, 1998: 231—243.

[ 5 ] MCKENZIE M D. Chaotic behavior in national stock market indices new evidence from the close returns test[ J ]. Global Finance Journal, 2001, 12: 35—53.

[ 6 ] CLAIRE G G. An examination of nonlinear dependence in exchange rates using recent methods from chaos theory[ J ]. Global Finance Journal, 2001, 12: 139—151.

[ 7 ] 李冻菊. 上海股票市场的混沌性检验[ J ]. 统计与决策, 2005 (2): 106—107.  
LI D J. An examination of chaos in the shanghai stock market[ J ]. Statistics and Decision, 2005(2): 106—107. (In Chinese)

[ 8 ] 王卫宁, 汪秉宏, 史晓平. 股票价格波动的混沌行为分析[ J ]. 数量经济技术经济研究, 2004(4): 141—147.  
WANG W N, WANG B H, SHI X P. Chaos behavior analysis of stock price fluctuating[ J ]. The Journal of Quantitative & Technical Economic, 2004(4): 141—147. (In Chinese)

[ 9 ] 张永东. 上海股票市场非线性与混沌的检验[ J ]. 管理工程学报, 2003, 17(3): 21—26.  
ZHANG Y D. An examination of nonlinearity and chaos in the Shanghai stock market[ J ]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2003, 17(3): 21—26. (In Chinese)