

中国期货市场混沌结构的实证分析

文/郭鲁

一、引言

在线性范式下得到的有效市场假说在金融学发展历程中扮演着重要的角色，并取得了很大成功，但这一研究范式也存在很多局限。一方面，线性假设导致对现实世界的过分简化，它通过分解的办法将复杂事物简化为多个组成部分，但对个体特征的叠加未必能还原整体的性质。另一方面，线性模型假设随机扰动为外生变量，而对于许多复杂的、非线性的系统而言，扰动常常来自系统内部。因此线性范式并不能帮助我们全面而深刻的了解期货市场，我们有必要引入非线性动力学来对其进行进一步的深入分析。

经济系统的动态行为是否为混沌，一般可以从系统吸引子的两个基本特征来判断：系统相空间中的吸引子是否具有分数维；系统对初始条件是否具有敏感依赖性。对于系统吸引子的第一个特征，可以在相空间重构技术上来计算吸引子的关联维来分析；对于第二个特征，可以通过计算时间序列的最大Lyapunov指数来分析。如果所研究的吸引子具备这两个特征，那么，就可以认为该吸引子是混沌吸引子，系统行为是混沌的。

本文以沪铜、连豆和郑麦的日收益率序列数据为研究对象，根据G-P算法分别计算出其分数维值，根据Wolf (1985) 提出的方法求出其最大L指数，从而判断各时间序列的混沌行为。

二、数据来源及研究方法

1、数据来源

下文是以2000年5月8日到2006年4月28日的上海期货交易所铜期货合约（沪铜）、大连商品交易所黄大豆2号期货合约（连豆）和郑州商品交易所的硬冬白小麦期货合约（郑麦）日收盘价对数收益率为样本，其中沪铜日收益率数据1445个，连豆日收益率数据1435个，郑麦日收益率数据1365个。计算关联维和Lyapunov指数时，日收盘价的对数收益率为 $R_t = \log(P_t/P_{t-1})$ ，其中 P_t 为 t 时期的期货合约收盘价。

2、研究方法

(1)关联维

Packard (1980) 等¹建议用原始系统中某变量的延迟坐标来重构相空间，Takens² (1981) 证明了如果延迟坐标的维数是动力系统的维数，那么可以找到一个适合的嵌入维数，在这个嵌入维空间里可以恢复吸引子。相空间重构原理是对一个经济时间序列为 $\{x_t\}$ ，通过选择一个延滞时间参数 τ 和一个的嵌入维数 m ，建立起一个多维的相空间。在重构相空间中，延滞时间参数以及嵌入维参数的选取对分析结果有较大的影响。

构建好相空间对其关联维 d 进行计算时，我们采用的是由Grassberger和Procaccia提出的G-P算法³：

对于收益率时间序列先尝试取一个较小的嵌入维值来重构相空间并计算关联积分：

是Heaviside函数：

对于 r 的某个适当范围，对于所有点进行线性拟合，求出对应于的分数维的估计值。

增加嵌入维数，取 m ，重复计算步骤2和3，直到相应的维数估计值在一定误差范围内不再随 m 的增长而增长，此时得到的即为吸引子的关联维。

关联维给出了描述系统动力学模型所需要自变量的最少个数。我们可以采用多项式来对系统的动力学模型进行模拟，大于分数维值的最小整数即是所需自变量的最少个数。在没有噪声影响和期货市场的动力学模型不变的假定条件下，采用刚好大于分数维值个数的变量就可以对期货市场的价格变动作出很好的描述。

(2)Lyapunov指数

Lyapunov指数是度量系统对初始条件的敏感依赖程度的有效指标。它表示重构相空间中的相邻两点随时间演化的发散或收敛程度。Lyapunov指数为负意味着系统在相空间内的轨迹是收敛的，相空间中的相邻近两点随各自轨道的运动终究要靠拢，系统是完全可以预测的。混沌吸引子发散的轨迹产生正的Lyapunov指数，意味着相邻近两点最终要分离，这是对初始条件敏感依赖性的后果，因此对应混沌运动，而系统可预测的程度取决于Lyapunov指数值的大小。

我们可以根据Wolf算法⁴来测算我国期货市场的最大Lyapunov指数。

在重构的 m 维相空间中，以初始相点为基点，选取一个与相距至少一个轨道周期的最近相点为

端点，构成一个初始向量，求出该向量的长度，记为；经过一个进化时间（根据Wolf等人的经验，进化时间长度不应大于系统相空间的平均轨道周期的10%），初始向量运动发展到另一个向量，其相应的起点为，计算出其相长度为，相长度在时间内由变为，如果用表示在此时间段内相长度的指数增长率，则有：

或

以为新的基点，选取一个新的向量，称为发展向量，发展向量应具有小的长度并与保持较小的夹角，再以为初始向量，用同样的方法可得指数增长率：

将上述过程一直发展到点集终点，一共进行次演化，形成一个指数增长率序列：。计算出指数增长率序列的平均值，作为最大李雅普诺夫指数的估计值，即：

增加嵌入维 m ，重复其计算步骤，直到指数估计值随 m 保持平衡为止，最终得到的计算结果，即为所求的最大李雅普诺夫指数。

三、实证结果

我们通过Matlab6.5和Eviews5计算处理所有研究对象。

首先我们去除三个品种收益率序列中的趋势。为了能直观地观测期货价格变量的演化趋势，我们采用重构相空间法把时间序列嵌入到二维和三维空间中，如下图。

图1a 沪铜序列的演化二维相图 图1b 沪铜序列的演化三维相图
图2a 连豆序列的演化二维相图 图2b 连豆序列的演化三维相图
图3a 郑麦序列的演化二维相图 图3b 郑麦序列的演化三维相图

从上面的相空间图我们看到，将沪铜、连豆和郑麦经消除趋势后的收益率序列不论是在嵌入二维相空间还是三维相空间当中，都保持有一个明显的吸引子，而不是充满整个相空间，符合Takens的数学证明。

在进行了相图观察之后，我们下面分别计算沪铜、连豆和郑麦收益率时间序列的关联维。由于嵌入维 m 和延滞时间是不能随便改变的，我们的实证是基于嵌入维与延滞时间的关系，先增加嵌入维 m ，求出相应的延滞时间，再估计出分数维。结果如下表：

表1 分数维的估计

m	2			3			4			5		
	沪铜	连豆	郑麦									
d	242	150	197	161	100	131	121	75	98	96	60	79
d	1.943	1.499	2.444	1.958	1.491	2.435	1.964	1.495	2.442	1.964	1.490	2.440
m	6			7			8			9		
	沪铜	连豆	郑麦									
d	80	50	65	69	43	56	60	37	49	53	33	43
d	1.965	1.492	2.440	1.970	1.492	2.439	1.973	1.490	2.436	1.973	1.492	2.435
m	10			11			20			29		
	沪铜	连豆	郑麦									
d	48	30	39	44	27	35	24	15	19	16	10	19
d	1.978	1.494	2.434	1.982	1.494	2.434	1.991	1.492	2.426	1.987	1.494	2.428

从上表中可以看到，沪铜、连豆和硬麦三种期货产品的收益率序列分数维与嵌入维之间的变动关系，可以清楚的看到，一开始，随着嵌入维 m 的增加，分数维 d 也增加，而后慢慢收敛于一个稳定的值。三种期货产品的分数维都一直在一个1至2之间的分数值间变动，其中，，。这表明期货市场上，沪铜和连豆的非线性动力学模型至少由2个主要状态变量决定，而郑麦的非线性动力学模型可以建立至少由3个主要状态变量决定。

2、Lyapunov指数计算结果

通过计算，我们得到了三个正的L指数值（见表2）。我们知道，具有正的L指数是混沌吸引子的一个基本特征。最大Lyapunov指数还代表了对资本市场系统演化预测能力的衰减速度。Peters发现，正的L指数的倒数非常接近我们用R/S分析得到的平均循环长度 m ，我们的实证也证实了这一判断。这意味着如果我们可以度量初始条件到1比特的精度，我们将分别以0.00201比特/日、0.00336比特/日和0.00244比特/日的速率或者说在大约484天、301天和395天后失去对沪铜、连豆和郑麦收益率的预测能力。

表2 L指数的估计

	L 指数	关联维	H 指数	平均循环周期
沪铜	0.00201	1.98	0.599916	484
连豆	0.00336	1.49	0.578943	301
郑麦	0.00244	2.44	0.512802	395

三、结论

通过非线性动力学分析，我们发现了期货市场存在混沌行为的两个证据。一是存在分数维，沪铜、连豆和郑麦的关联维值分别是1.98、1.49和2.44，它也暗示了描述系统运动模型所需要变量的最少数目；二是存在正的L指数，它预示了系统长记忆性耗散的速率。实际的期货市场应该是一个包含点吸引子、极限环和混沌吸引子的复杂系统，它既具有回归均衡的动力，又存在循环波动的轨迹，还表现出扩展拉伸趋势(作者单位：湖南工业大学)

相关链接

中美石油天然气会计准则若干比较与分析
 论市场经济与民主政治的冲突及协调
 消费者体育消费心理的分析及调控
 中国期货市场混沌结构的实证分析
 创新设计与市场现状思考
 经济社会中家庭理财现状初探
 社会主义市场经济与情报信息
 当前我国经济增长与就业关系研究
 探究外资在华设立研发机构动因的一个假定
 高校与附属企业产学研结合的问题与对策探讨

本网站为集团经济研究杂志社唯一网站，所刊登的集团经济研究各种新闻、信息和各种专题专栏资料，均为集团经济研究版权所有。

地址：北京市朝阳区关东店甲1号106室 邮编：100020 电话/传真：(010) 65015547/ 65015546

制作单位：集团经济研究网络中心