

# 金融危机传染的非线性相似模型

惠晓峰<sup>1</sup>, 刘琳<sup>1</sup>, 邵颖峰<sup>2</sup>

(1. 哈尔滨工业大学经济与管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 中国科学院力学研究所 非线性力学国家重点实验室, 北京 100190)

**摘要:** 采用相空间重构和改进符号的非线性动力学相似性模型, 研究了 2007—2012 年全球金融危机前后美国与英国、法国、德国、日本、中国金融股指的相似性. 计算数据表明, 各国的市场指数都在不同时段和不同程度对美国指数表现出动力学相似性, 即经济繁荣阶段, 美国经济影响其他国家; 金融危机时期, 危机也确实从美国传染到了他国市场. 模型计算的走势及反应的现象证明使用改进符号的非线性动力学相似性模型适用于金融市场, 是一种研究金融危机传染的可行新方法.

**关键词:** 金融危机传染; 非线性相似性; 相空间; 相似性指数

中图分类号: F830.9 文献标志码: A

## Empirical analysis of financial contagion based on nonlinear similarity

HUI Xiaofeng<sup>1</sup>, LIU Lin<sup>1</sup>, SHAO Yingfeng<sup>2</sup>

(1. School of Economics and Management, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150001, China;

2. State Key Laboratory of Nonlinear Mechanics (LNM), Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** We modify the dynamical similarity method of nonlinear time series, and apply G-C method of phase space reconstruction and the sign-modified dynamical similarity model to estimate the similarity index between the financial markets of US and Britain, France, Germany, Japan and China respectively. The results show that nonlinear similarity between each country's stock index and that of US exists in different time and different degrees, which means US economy influences other countries in periods of economic prosperity, and also infects these countries in financial crises. The trends of model calculations and the phenomenon they present indicate that the sign-modified nonlinear dynamical similarity model is suitable for the financial market, and it is a practicable new method to analysis financial contagion.

**Key words:** financial contagion; nonlinear similarity; phase space; similarity index

随着全球经济一体化与金融一体化的发展, 金融危机爆发愈加频繁, 影响的范围也更加广大. 它的表现特征之一是具有强烈的危机传染效应. 作为世界最大的经济体, 美国次贷危机的爆发引发了大规模的经济震动, 到 2008 年导致全球性的金融危机,

对世界主要经济体都产生了不同程度的影响. 从 2010 年来, 欧债危机也牵动着欧元区各国及与其有贸易、金融关系的经济体, 将世界经济又一次牵引至震动的边缘. 这使得对金融危机传染效应的研究表现出更加现实和重要的意义.

收稿日期: 2013-03-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71173060)

作者简介: 惠晓峰(1957—), 男, 陕西西安人, 教授, 博士生导师. 研究方向为汇率理论与汇率预测、资本市场、金融风险管理等. email:

xfhui@hit.edu.cn China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Forbes 和 Rigobon<sup>[1]</sup> 定义金融危机传染为某一国家引发的冲击造成他国与该国的市场联动. 如果两个市场在危机时期, 相较于稳定时期表现出相关性的显著增加, 则两市场间出现了传染. 国内外学者针对金融传染进行了大量研究, 提出了众多研究方法. Bekaert 和 Wu<sup>[2]</sup> 首先提出用多元 GARCH-M 模型分析金融危机. 其后, Longin 和 Solnik<sup>[3]</sup> 使用多元极值理论, Calvo 和 Reinhart<sup>[4]</sup> 应用资产价格相关性方法, Eichengreen<sup>[5]</sup> 等人运用 Probit 模型, 国内学者使用 VAR<sup>[6-7]</sup> 系统, Copula 模型<sup>[8-9]</sup> 分析了金融危机传染的表现和效应.

2008 年的全球金融危机又催生了新的研究方法. Blancheton 和 Bordes<sup>[10]</sup> 引入结构断裂的 BEKK 模型标示出美国、英国及欧元区货币市场的传染. Gallegati<sup>[11]</sup> 应用基于小波的方法检测美国次贷危机时是否存在金融传染. Madaleno 和 Pinho<sup>[12]</sup> 用莫来小波方法考察金融危机时期股票指数的变化. 上述金融危机传染的研究准确性, 受到所构建模型的合理性和适用范围的制约, 侧重金融危机的某一方面特征时, 往往因模型的设计造成度量的高估或低估.

非线性动力学相似性方法是一种对时间序列数据进行分类<sup>[13]</sup> 和分析的方法, 之前主要应用于自然科学和工程领域, 特别是生物学和神经科学<sup>[14-15]</sup>. 一方面它不需要更多的指标数据辅助描述, 不受辅助数据采集难度影响; 另一方面, 由于它能很好地涵盖时间序列数据的非线性特征, 以某一时间段而非单个时点为研究单元, 从而有效的避免模型设计不合理的问题. 金融市场数据是长时间的时间序列, 金融危机时期表现出强烈的非线性特征. 将不同市场视作不同的动力学系统, 各国市场的股票指数数据即是它们可观测的特征时间序列. 研究不同市场间股指时间序列的动力学相似性, 通过相似性指数可以分析金融危机传染的时间与程度.

本文作者应用非线性时间序列的动力学相似性模型, 研究金融危机期间金融市场间的传染. 并对 2007-2012 年全球金融危机前后, 美国对多国的金融市场之间的传染进行实证研究和探讨.

### 1 相空间重构的 G-C 算法

对非线性时间序列进行动力学分析, 首要的步骤是相空间重构. 时间序列数据的计算, 动力学相似性分析、预测等研究, 都以相空间重构为基础进行. 延迟坐标法<sup>[16]</sup> 奠定了相空间重构理论的基础. 对于非线性时间序列

$$x = \{x_i | i = 1, 2, \dots, N\},$$

重构的相空间表示为

$$X = \{X_i | X_i = [x_i, x_{i+t}, \dots, x_{i+(m-1)t}]^T, i = 1, 2, \dots, N_0\} \quad (1)$$

式中:  $t$  表示时延;  $m$  是嵌入维数;  $N_0 = N - (m - 1)t$  为重构的相空间  $X$  中相点的个数.

利用相空间重构的 G-C 算法<sup>[17]</sup>, 可以通过关联积分的概念, 同时优化得出嵌入窗  $\tau_w$  和最优时延  $\tau_d$ . 关联积分为

$$C(m, N, r, t) = \frac{2}{N_0(N_0 - 1)} \sum_{1 \leq i < j \leq N_0} \Theta(r - \|X_i - X_j\|), r > 0 \quad (2)$$

式中:  $r$  是某一给定的距离;  $\|\cdot\|$  为两相点间的欧几里得距离;  $\Theta(x)$  是 Heaviside 跃阶函数, 即

$$\Theta(x) = 0, \text{ 若 } x < 0; \\ \Theta(x) = 1, \text{ 若 } x \geq 0.$$

下面定义统计量

$$S_1(m, N, r, t) = C(m, N, r, t) - C^m(1, N, r, t) \quad (3)$$

将  $N$  进行  $t$  等分, 则

$$S_2(m, N, r, t) = \frac{1}{t} \sum_{s=1}^t \left[ C_s \left( m, \frac{N}{t}, r, t \right) - C_s^m \left( 1, \frac{N}{t}, r, t \right) \right] \quad (4)$$

当  $N \rightarrow \infty$ , 可以得到

$$S(m, r, t) = \frac{1}{t} \sum_{s=1}^t [C_s(m, r, t) - C_s^m(1, r, t)], m = 2, 3, \dots \quad (5)$$

然后选择相应  $r$  值, 定义

$$\Delta S(m, t) = \max\{S(m, r_j, t)\} - \min\{S(m, r_j, t)\} \quad (6)$$

由上述定义, 计算下列统计量

$$S(t) = \frac{1}{16} \sum_{m=2}^5 \sum_{j=1}^4 S(m, r_j, t) \quad (7)$$

式中:  $r_j = j * \frac{\sigma}{2}$ ,  $\sigma$  为时间序列的标准差.

$$\Delta S(t) = \frac{1}{4} \sum_{m=2}^5 \Delta S(m, t) \quad (8)$$

$$S_{cor}(t) = \Delta S(t) + |S(t)| \quad (9)$$

根据  $\Delta S(t)$  的第一个局部极小值所对应的时延  $t$ , 计算最优时延  $\tau_d = t\tau_s$ . 根据  $S_{cor}(t)$  的全局最小值对应的时延  $t$ , 计算嵌入窗  $\tau_w = t\tau_s$ , 其中  $\tau_s$  为采样间隔. 那么根据 Kugiurmtzis<sup>[18]</sup> 提出的嵌入窗与最优时延的关系理论, 即可求出  $m$ . 以  $\tau_d$  和  $m$

为参数, 得到重构的相空间.

## 2 非线性相似性

### 2.1 相似性指数

非线性时间序列的动力学相似性基于如下思想: 在科学、工程和其他许多领域, 可通过研究对象观察性质的特征时间进化来研究系统. 对不同动力学系统, 或单一动力学系统的不同状态, 分析它们可观测时间序列的相似性和相异性, 进而可得出数个系统间或单一系统不同阶段间的变化特征.

非线性时间序列的动力学相似性以关联和函数为基础. 对于两个相同长度  $N$  的不同时间序列  $\{x_i | i = 1, 2, \dots, N\}, \{y_j | j = 1, 2, \dots, N\}$ , 分别重构相空间矩阵  $X, Y$ , 则  $X$  连续  $N_1$  个相点和  $Y$  中连续  $N_2$  个相点的交互关联和 (cross correlation sum)<sup>[19]</sup> 为

$$C_{XY} = \frac{1}{N_1 \times N_2} \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} \Theta(\varepsilon - \|X_i - Y_j\|) \quad (10)$$

相应的, 对于相空间矩阵  $X$ , 其连续  $N_1$  个相点的自关联和

$$C_{XX} = \frac{1}{N_1^2} \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_1} \Theta(\varepsilon - \|X_i - X_j\|) \quad (11)$$

式中:  $N_1, N_2$  分别为相空间  $X, Y$  中用于计算相似性指数的相点个数;  $\varepsilon$  是根据相空间中不同点所取阈值.

为了能更清晰直观地表示两个动力学系统的相似性, 将相似性指数<sup>[13, 18]</sup> 定义为

$$\gamma = \frac{C_{XY}}{\sqrt{C_{XX} \times C_{YY}}} \quad (12)$$

在这里,  $\gamma$  是一个数值,  $0 \leq \gamma \leq 1$ . 它代表了两个动力学系统间相似性的敏感度. 即当两个动力学系统的相似性越高时,  $\gamma$  越接近 1; 反之, 当两系统的差异性显著,  $\gamma$  减小.

### 2.2 相似性指数的符号判定与选取

动力学相似性指数在多学科的研究中均采用正数, 数值取 0~1 之间. 但金融数据的特性决定, 区分金融时间序列的上升和下降, 在研究中具有重要和特殊的意义, 金融危机中尤其如此. 在此对相似性指数  $\gamma$  赋值, 以正负号区分, 相似性数值取 -1~1 之间.

对危机时的金融指数做平滑, 去除噪声, 以极值为分割点对指数分段.

金融危机时期, 股票等证券市场受冲击, 主要特征表现为急剧的下跌, 因而对金融时间序列下降时的相似性指数  $\gamma$ , 取正号, 相反, 金融时间序列上升

时, 相似性指数  $\gamma$  取负号.

## 3 实证研究

### 3.1 样本选取

为考察 2007-2012 年间金融危机的传染效应, 特别是美国次贷危机引发的全球金融危机的传染, 本文选取美国道琼斯指数、英国富时 100 指数、法国 FCHI 指数、德国 GDAXI 指数、日经 N225 指数和上海上证综合指数共 6 个股指为样本, 以各国具有代表性的股票指数的每日收盘价作为研究对象. 时间上取 2007 年 1 月 4 日至 2012 年 5 月 30 日数据. 股票指数数据来源雅虎金融 (<http://finance.yahoo.com>), 模型研究使用的软件为 Matlab R2011a.

对于各国部分交易日期出现的不吻合的情况, 采用分段线性插值的方法调整. 插值后共有  $N = 1405$  组样本数据.

把样本带入 2.1 相空间重构的 G-C 算法模型, 采样间隔  $\tau_s = 1$ , 计算各序列的最优时延  $\tau_d$  和嵌入窗  $\tau_w$ , 进一步求出嵌入维数  $m$ . 所得值在表 1 给出.

表 1 各国股票指数相空间重构参数

Tab. 1 Phase space reconstruction parameters of 6 countries stock indices

参数	美国 DJI	英国 FTSE100	法国 FCHI	德国 GDAXI	日本 N225	上海 SSI
最优时延 $\tau_d$	9	9	21	7	18	12
嵌入窗 $\tau_w$	30	30	30	30	20	30
嵌入维数 $m$	4	4	2	5	2	3

各序列的最优时延  $\tau_d$  和嵌入维数  $m$  不同, 所以选择表 1 中作为传染源的美国的最优时延  $\tau_d = 9$  和嵌入维数  $m = 4$ , 重构各序列相空间. 由于样本长度  $N = 1405$ , 对每个市场得到  $N_0 = 1378$  个相点.

### 3.2 相似性指数的计算

由于全球金融市场营业时间的时差, 美国的股指只能对亚洲市场第二天的数据产生影响, 因此将亚洲市场日本和中国上海的股指上提一天与传染源美国的数据计量相似性. 欧洲市场在营业时间上与美国有重叠, 受美国当日数据影响, 因此不需做特别变换.

根据非线性时间序列的动力学相似性方法, 分别计算 5 国股指样本与美国的非线性相似性指数. 取  $N_1 = N_2 = 33$ , 即每 33 个相点计算一个相似性指数. 阈值  $\varepsilon$  随时间序列移动取美国同时段的累积邻域分布值的 30%<sup>[15]</sup>. 随时间序列向后移动, 每 33 个相点得一组相似性指数值, 因为每个市场有 1378 个相点, 这样我们对每个市场得出 1346 个符号为正的相似性指数  $\gamma$ .

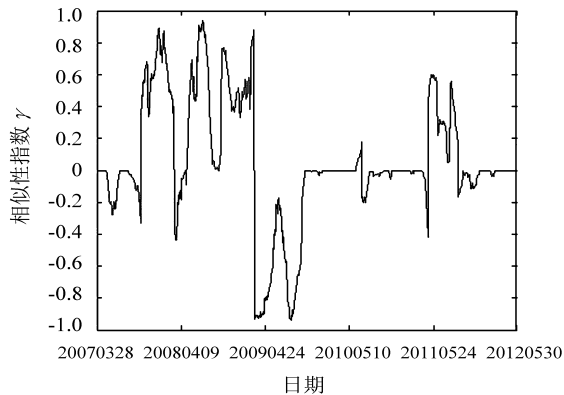
鉴于美国是世界最大经济体和次贷危机引发世界金融危机的传染源,故以美国道琼斯股票指数的变化趋势取相似性指数  $\gamma$  的符号. 经过平滑,以极值为分割点,将指数曲线分段. 得出美国道琼斯指数的相关时间结构,如表 2 所示.

表 2 美国 DJI 指数的时间结构

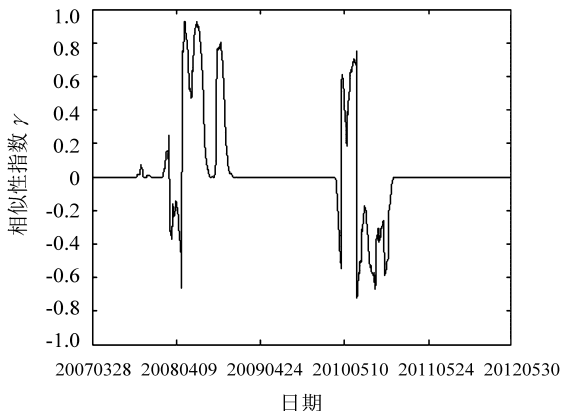
Tab. 2 Time structure of US DJI

序列	起始日期	终止日期	正号	负号
1	2007-03-28	2007-10-09	-	
2	2007-10-10	2008-03-07	+	
3	2008-03-10	2008-05-02	-	
4	2008-05-05	2009-03-05	+	
5	2009-03-06	2010-04-26	-	
6	2010-04-27	2010-07-02	+	
7	2010-07-05	2011-04-28	-	
8	2011-04-29	2011-09-09	+	
9	2011-09-12	2012-04-02	-	
10	2012-04-03	2012-05-30	+	

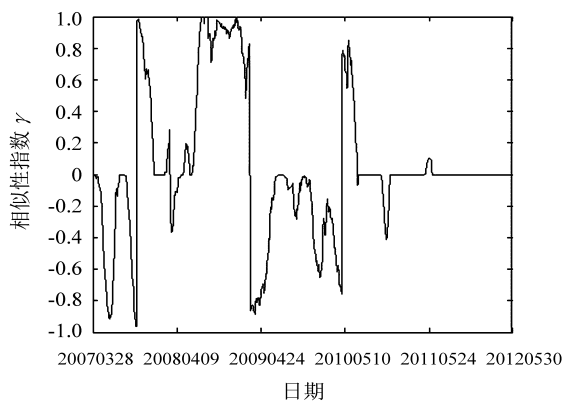
按照表 2 的时间结构,对相似性指数赋以符号,得出 2007 年 3 月 28 日至 2012 年 5 月 30 日的 5 国与美国的动力学相似性指数  $\gamma$ , 见图 1.



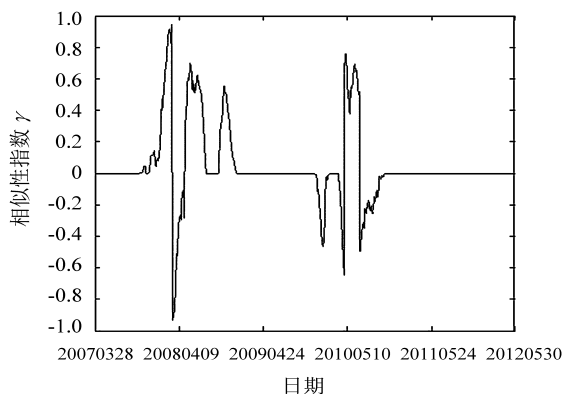
(a) 英国 FTSE 指数



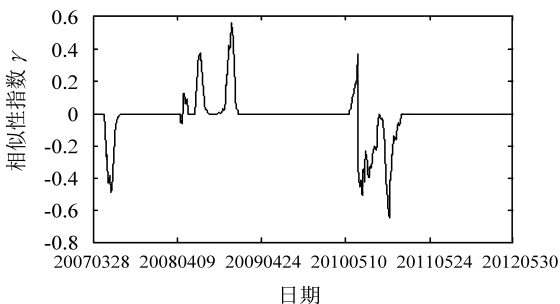
(b) 法国 FCHI 指数



(c) 德国 GDAXI 指数



(d) 日本 N225 指数



(e) 上海 SSI 指数

图 1 5 国股票指数与美国的非线性动力学相似性指数

Fig. 1 Nonlinear similarity index  $\gamma$  between five countries and US stock indices

计算整个样本期间,5 国金融市场与美国市场的动力学相似性指数  $\gamma$  的均值 Mean 与方差 Std, 结果如表 3 所示.

表 3 相似性指数  $\gamma$  的数量特征

Tab. 3 Statistical characteristics of nonlinear similarity index  $\gamma$

参数	英国 FTSE100	法国 FCHI	德国 GDAXI	日本 N225	上海 SSI
Mean	0.056 4	0.032 0	0.047 1	0.044 8	-0.016 3
Std	0.392 1	0.267 9	0.456 9	0.243 5	0.133 2

### 3.3 金融传染的特征分析

各国金融市场与美国的动力学系统相似性指数

度量了两国市场间的联动性,在金融危机期间,则刻画了金融危机传染的时间和程度。

图1显示,2007年上半年英国、德国、中国与美国市场的相似性指数为负。因相似性指数负号代表股指共同上升,意味着这是一段短暂的世界市场共同繁荣阶段。其中,德国表现出的与美国共同繁荣尤其明显,英国和中国也对美国表现出轻微的不同步,法国和日本则未表现出相关性。

2007年10月,我们看到德国、英国与美国的相似性指数迅速增长,说明两国与美国的联动性增加,根据Forbes和Rigobon<sup>[1]</sup>对金融危机的定义,联动性增加意味着两国金融市场受到美国的传染,这刚好对应着美国DJI指数由10月9日的最高点进入下跌阶段。也就是说,美国次贷危机在股市标志性的爆发刚显现,即迅速传染到德国和英国。

2008年5月,美国股市进入次贷危机后第二次大幅下跌,图1显示英国、法国、日本3国与美国相似性指数急速增长,即它们的联动性再一次增加,意味着3国被迅速传染;德国一个月后相似性指数增长,但在相当长的时间里相似性指数保持在0.8~1之间,说明德国传染特征出现稍晚,但传染持续时间长且程度剧烈;中国相似性指数幅度和时间跨度都较小,说明中国有传染表现,程度较轻且时间也较短。

2009年3月及随后的一年中,英国、德国与美国的相似性指数转为负数。负的相似性指数代表股指共同增长再一次到来,说明美国金融市场复苏,且美国一定程度上带动了德国和英国的金融市场回暖。

2010年4月底,德国、法国、日本与美国相似性指数正向增长,意味着联动性的增加,金融危机传染又一次发生。这对应着4月27日标准普尔公司将希腊和葡萄牙主权信用评级降级,即欧债危机爆发造成的传染。英国和中国在这次危机中与美国的相似性较小。

2010年7月,5国市场与美国的相似性指数都转入负数,代表了各国与美国金融市场进入共同上升阶段。

2011年5月至9月初,美国股指震荡下挫,图1显示除与美国金融市场联系最紧密的英国外,其他4国市场没有相似性指数的明显增长,代表其他各国未受到明显影响。因为影响范围有限,不视为新的金融危机。

由以上分析可知,2007-2012年间的金融危机传染主要分为两个阶段。第一阶段是2007-2009年

美国次贷危机引发的全球金融危机,在该阶段传染的到达时间上,英国和德国最快受到传染。原因是两国金融和贸易与美国联系紧密。同样,在经济繁荣阶段,这两个国家也最容易与美国形成共同繁荣。第二阶段为2010年4月起开始的欧债危机引发的传染,该阶段各国都是被传染国,传染到达时间上德、法、日、美4国同步性很强。

在传染程度上,从图1和表3相似性指数的统计数据可以看出,英国是受到金融危机传染最严重的国家;德国次之,大于法国、日本;4国都大于中国。这与其他学者通过其他方法得出的欧盟国家中“英国受到的冲击最为剧烈”的结论一致<sup>[20]</sup>。英国在金融危机传染上的脆弱性,与金融业是英国支柱产业有关。而德国对金融危机传染的巨大反应,是德国作为出口依赖程度高的国家<sup>[21]</sup>,经济受全球经济巨大影响的表现。

图1和表3都显示,中国在金融危机中受到的传染较小。究其原因,一方面源于中国政府对经济金融的监管较强,且资本市场未完全开放;另一方面,同样作为出口大国,德国内需市场小,缺乏国内经济增长动力<sup>[22]</sup>,而中国拥有较大内需市场。

## 4 结论

金融危机在经济一体化和金融一体化的当日,波及广泛,影响各国。美国次贷危机引发的全球金融危机令世界主要经济体都受到影响,欧债危机同样是巨大的威胁。本文利用非线性时间序列的动力学相似性分析方法,以英国、法国、德国、日本和中国为研究对象,计算2007-2012年间各国股指与美国道琼斯指数的相似性,结果显示各国的相似性指数都出现了明显的变化,其走势及反应的现象与其他研究者利用其他途径得出的结论相符,证明使用非线性动力学相似性指数研究和分析金融危机传染是可行和合理的。

另外通过分析得出两方面结论:

1) 市场联动是两方面的。金融市场与传染源共同繁荣的国家,在金融危机时也最容易受到传染。

2) 与传染源国家金融和贸易市场依赖性越强的国家,在传染中联动性越高,受传染效应越显著。这提醒我们在与世界经济一体化的过程中,也要加强必要的金融和资本监管,避免对单一国家贸易依存度过高,以防范金融危机传染的冲击。尤其在我国的资本市场尚不成熟的今天,适当控制资本市场的开放程度,有利于抵御金融传染。

## 参考文献(References):

- [1] Forbes K J, Rigobon R. No Contagion, Only Interdependence: Measuring stock markets comovements[J]. *The Journal of Finance*, 2002(5): 2223- 2261.
- [2] Bekaert G, WU G. Asymmetric volatility and risk in equity markets[J]. *Review of Financial Studies*, 2000(13): 1- 42.
- [3] Longin F M, Solnik B. Extreme correlations of international equity markets during extremely volatile periods[J]. *Journal of Finance*, 2001(56): 649- 676.
- [4] Calvo G A, Reinhart C. Fear of floating[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2002(117): 379- 408.
- [5] Eichengreen B, Rose A K, Wyplosz C. Contagious currency crises[J]. *National Bureau of Economic Research*, 1996(5681).
- [6] 张志波, 齐中英. 基于 VAR 模型的金融危机传染效应检验方法与实证分析[J]. *管理工程学报*, 2005(3): 115- 120.  
Zhang Z B, Qi Z Y. Analysis and empirical test methods of financial crisis contagion effect based on VAR model[J]. *Journal of Management in Engineering*, 2005(3): 115- 120. (in Chinese)
- [7] 李成, 王建军. 国际金融危机传染机制的三阶段周期动态效应分析——基于 VAR 系统的实证检验[J]. *统计与信息论坛*, 2009(8): 3- 10.  
Li C, Wang J J. Analysis of three phase dynamic effects of international financial crisis contagion mechanism: The empirical test based on VAR system[J]. *Statistics and Information Forum*, 2009(8): 3- 10. (in Chinese)
- [8] 韦艳华, 齐树天. 亚洲新兴市场金融危机传染问题研究[J]. *国际金融研究*, 2008(9): 22- 29.  
Wei Y H, Qi S T. Study on the contagion of financial crisis in Asian emerging markets[J]. *International Financial Research*, 2008(9): 22- 29. (in Chinese)
- [9] 叶五一, 缪柏其. 基于 Copula 变点检测的美国次级债金融危机传染分析[J]. *中国管理科学*, 2009(6): 1- 7.  
Ye W Y, Miu B Q. Analysis of the united states subprime financial crisis contagion based on change point testing of copula[J]. *Chinese Journal of management science*, 2009(6): 1- 7. (in Chinese)
- [10] Blancheton B, Bordes C, Maveyraud S, Rous P. Risk of liquidity and contagion of the crisis on the united states, united kingdom and Euro zone money markets[J]. *International Journal of Finance & Economics*, 2012(17): 124- 146.
- [11] Gallegati M. A wavelet-based approach to test for financial market contagion[J]. *Computational Statistics and Data Analysis*, 2012(56): 3491- 3497.
- [12] Madaleno M, Pinho C. International stock market indices comovements: A new look[J]. *International Journal of Finance and Economics*, 2012(17): 89- 102.
- [13] Schreiber T, Schmitz A. Classification of time series data with nonlinear similarity measures[J]. *Physical Review Letters*, 1997(79): 1475- 1478.
- [14] Le Van Quyen M, Martinerie J. Anticipation of epileptic seizures from standard EEG recordings[J]. *The Lancet*, 2001(357): 183- 188.
- [15] Navarro V, Martinerie J, Le Van Quyen M. Seizure anticipation in human neocortical partial epilepsy[J]. *Brain*, 2002(125): 640- 655.
- [16] Takens F. Determining strange attractors in turbulence[J]. *Lecture notes in Math*, 1981(898): 361- 381.
- [17] Kim H S, Eykholt R, Salas J D. Nonlinear dynamics, delay times and embedding windows[J]. *Physica D*, 1999(127): 48- 60.
- [18] Kugiumtzis D. State space reconstruction parameters in the analysis of chaotic times series—the role of the time window length[J]. *Physica D*, 1996(95): 13- 28.
- [19] Le Van Quyen M, Martinerie J, Baulac M, Varela F. Anticipating epileptic seizures in real time by a non-linear analysis of similarity between EEG recordings[J]. *Neuro Report*, 1999(10): 2149- 2155.
- [20] 钱小平. 欧洲应对金融危机的挑战[J]. *欧洲研究*, 2009(1): 41- 53.  
Qian X P. The european response to the challenges of the financial crisis[J]. *European Research*, 2009(1): 41- 53. (in Chinese)
- [21] 徐明棋. 全球经济危机与欧洲经济的困境[J]. *世界经济研究*, 2009(12): 29- 33.  
Xu M Q. The plight of the global economic crisis and the European economy[J]. *World Economic Research*, 2009(12): 29- 33. (in Chinese)
- [22] 杰克凯利尤. 金融危机源自美国, 却重创欧洲[J]. *国际金融研究*, 2008(12): 19- 25.  
Kailiyu J. The financial crisis originated in the United States has hit Europe[J]. *International Financial Research*, 2008(12): 19- 25. (in Chinese)