股票市场, 货币市场和外汇市场非线性演化研究

张卫国, 李家铭, 刘勇军*, 张 群
(华南理工大学工商管理学院, 广东 广州 510640)

摘要: 研究了我国股票、货币及外汇三个金融子市场间相互演化的方式和机理. 基于我国金融市场 2000–01∼2014–05 期间的月度数据, 选取能够反映各个市场特征的十九个重要指标进行了因果关系检验, 从中选取了十二个既反映所在市场状况又与另外两个市场紧密联系的决策指标. 在此基础上, 构建了股票、货币及外汇市场综合指数, 建立两个基于常微分方程理论的三市场非线性演化模型, 并结合 COMDE 算法提出了模型的求解方法. 最后进行了实证分析, 实证结果表明, 构建的综合指数较好地反映了市场波动; 带约束非线性演化模型较好地刻画了三个市场的非线性演化结构; 揭示了三个市场之间的相互影响关系. 研究结果能够为政府和投资者提供决策咨询支持.

关键词: 金融市场; 非线性演化; 因果关系检验; 综合指数
中图分类号: F830 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000−5781(2017)06−0761−13
doi: 10.13383/j.cnki.jse.2017.06.005

Non-linear evolution research for stock market, money market and foreign exchange market

Zhang Weiguo, Li Jiaming, Liu Yongjun*, Zhang Qun
(School of Business Administration, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: This paper studies the mechanism of mutual evolution in the stock market, money market and foreign exchange market in China. Based on monthly data from January 2000 to May 2014 in Chinese financial markets, the cause-effect relationships between 19 important indexes are tested, and 12 decision indexes which not only can reveal their market conditions but also are closely related to the other two markets are obtained. Then, this paper designs three composite indexes for the three markets respectively and proposes two non-linear evolution models based on ordinary differential equation for the three markets. Furthermore, a COMDE algorithm is given to solve these models. The empirical results show that the three composite indexes can better reflect the fluctuations of the markets, and the constrained non-linear evolution model can better depict the non-linear evolution structure among the three markets and the interaction relationships. The results can provide decision supports for governments and investors.

Key words: financial market; non-linear evolution; causality test; composite index

1 引 言

金融子市场间的密切联系和相互作用影响各个市场的发展变化和运行规律, 形成了整体联动的发展态

收稿日期: 2014−11−27; 修订日期: 2016−06−13.
基金项目: 国家社会科学基金重大资助项目(11&ZD156); 国家自然科学基金资助项目(71501076; 71720107002); 广东省自然科学基金资助项目(2014A030310454; 2017A030312001); 中央高校科研基本业务费重点资助项目(2017ZD102).
*通信作者

势. 已有的研究结果充分说明了股票市场、外汇市场及货币市场三个市场之间具有显著的相互影响关系, 一个市场的变化直接或间接地影响另外两个市场的变化. 本文试图运用演化金融学与系统动力学的思想与分析方法, 挖掘出金融市场的演化特征和相互作用关系, 进而揭示金融市场的运行规律、市场波动方向及非线性演化机理. 众所周知, 外汇市场上人民币贬值将会导致资本外流, 造成股票市场的低迷; 利率下调时, 大批资金从货币市场涌入股票市场, 增强了股票市场的吸引力. 那么, 货币贬值和利率同时下调时, 股票市场又将如何变化? 在三个市场之间, 此类问题不胜枚举, 研究此类问题具有重要的理论意义和现实意义. 对政府而言, 当一个市场发生突发事件时, 可通过调整另外两个市场间接地使异常波动的市场恢复正常. 对于投资者而言, 当一个市场发生波动时, 投资者可通过非线性演化结构预期另外两个市场的变化, 从而进行风险规避. 由此可见, 研究三个市场的非线性演化问题尤为重要.

目前, 有关市场间影响关系的研究已经取得一些有意义的成果. 首先, 从两个市场间的影响关系入手. 石对股票和货币市场进行实证分析,得出我国股票市场对货币总需求函数具有显著的正相关影响, 也就是说股票市场对增加货币需求的力量超过了降低货币需求的力量[1]; 赵进文等[2]从理论和实证上揭示中国股票市场与货币市场的非线性演化过程: 人民币升值导致短期国际资本流出, 货币供给剪刀差扩大, 股票价格下跌, 短期资本持续流出, 反之亦然成立; Granger 等[3]对亚洲大多数国家的汇率与股票价格进行实证分析, 研究结果表明亚洲大多数国家的汇率与股票价格有很强的互动关系; 谢赤等[4]认为人民币汇率波动与股票价格波动的低频信号具有协整关系, 短期内股票市场向外汇市场单向波动溢出, 长期内表现出双向波动溢出效应; Bahmani 等[5]指出美国股票市场和外汇市场之间存在双向因果作用; Andries 等[6]阐述了利率与股价有着显著关系, 在不同的时间段股价先行于利率或利率先行于股价, 而且汇率与股价之间同样存在显著关系, 同样在不同时间段股价先行于汇率或汇率先行于股价; 侯县平等[7]通过 Granger 因果检验分析了金融危机对中国证券市场动态风险传染效应的影响, 其认为金融危机显著强化了中国债券市场与股票市场动态风险传染效应; Zheng 等[8]分别对美国和中国股票市场建立动力学自适应系统, 进而研究美国与中国股票市场的演化结构并对其走势进行预测. 可见, 许多文献中已证实股票市场、货币市场和外汇市场间两两之间均具有显著的影响关系, 这也给研究三个市场间的非线性演化打下了扎实的理论基础.

近年, 许多学者对三个市场间的影响关系进行了深入研究, 比如说, Sensoy 等[9]提出了动态相关性模型研究美国股票、利率和汇率之间的非线性演化关系, 研究结果证明, 当发生波动冲击时, 三者具有显著的短期动态相关性, 但不具有长期传染效应. 该研究证明了美国的股票、货币和外汇市场具有显著的非线性演化关系, 该文着重研究市场间的相关性, 仅给出了三者之间简单的线性演化结构; Kasman 等[10]利用 OLS 和 GARCH 模型研究了土耳其的利率、汇率对银行股票收益的影响, 他们认为利率和汇率变动对银行股票收益具有显著的负向影响, 但其并未研究股票市场对利率和汇率的影响; 钟永红等[11] 等利用SVAR 模型和 DCC-GARCH 模型考察了货币市场、股票市场和外汇市场之间的价格溢出效应及动态相关关系, 研究结果表明, 金融危机后, 股票市场向货币市场和外汇市场的价格溢出效应开始显现, 且三者之间的联动关系存在显著的时变特征, 但其研究并未给出三个市场之间演化的具体形式; 田波平等[12]对股市上涨的因素进行了分析, 其认为我国人民币升值和外汇储备占款快速增长造成了流动性过剩, 同时也推动了我国股市的上涨, 其研究只给出了两两市场间重要指标的演化方程, 但对三个市场间的演化方程并未进行研究; 李成[13]等分析了我国股票市场、债券市场、外汇市场及货币市场的溢出关系, 研究发现: 四者之间具有很强的波动聚集性和持续性, 大多数金融市场间存在显著的双向均值溢出、市场间均具有显著的双向波动溢出, 其还提出市场间的溢出可能来自于市场传染效应. 虽其并未给出市场间溢出的具体方式, 但其研究成果亦说明了研究三个市场间非线性演化的可行性; 蔡则祥等[14]对我国债券市场、股票市场、外汇市场和货币市场之间的风险传导问题进行研究, 研究结果表明债券市场、货币市场和股票市场在上涨和下跌阶段具有非常强烈的风险传导能力, 而外汇市场在下跌阶段对所有市场均具有风险传导能力, 他们给出了四个市场之间的风险传导形式. 但该研究以市场内的某个指标代表整个市场, 丢失了大量的市场信息; 肖卫国等[15]对我国货币需求函数特征进行研究, 发现通货膨胀预期、股票价格波动和人民币汇率是影响长期货币需求的重要因素, 同

时其认为人民币汇率波动的短期国际资本流动效应是造成中国 A 股市场动荡加剧的重要因素. 已有的研究充分说明了三个市场间具有紧密的非线性演化规律, 但研究对象均为单个市场指标, 且部分文献的研究目标集中于三个市场间的某些特殊现象, 无法全面、充分地说明市场之间的非线性演化.

针对以上问题, 本文通过因果关系检验从三个市场的 19 个重要指标中选取出 12 个具有重要影响的决策指标. 在此基础上, 建立了能够充分反映三个市场变化的综合指标. 然后, 以三个整体市场作为研究对象, 建立了基于常微分方程组的三市场非线性演化模型, 并结合 COMDE 算法提出了模型的求解方法. 常微分方程组能够充分地体现变量之间的时变特点, 能够较为全面地体现三个市场之间的演化关系. 最后, 使用我国 2000–01∼2014–05 期间的月度数据模拟三市场之间的具体演化形式, 建立的带约束非线性演化模型较好地刻画了三个市场的非线性演化结构和三个市场之间的相互影响关系.

2　市场指标选取及因果关系检验

众所周知, 金融决策往往受到决策指标的影响, 决策指标选取的好坏直接关系到所建立模型的性能好坏. 因此, 如何从众多指标中提炼出一些重要的市场指标是研究三个市场非线性演化问题的关键所在. 为了保证选取的指标既能够最大化地反映自身所在市场的信息, 同时又保证跨市场指标之间具有紧密的联系, 本文从理论分析和参考文献两方面入手, 既考虑指标在真实市场中的经济意义, 又考虑已有研究中经常使用的市场指标, 围绕三个因素选取本文的市场指标: 1) 单市场重要指标. 股票市场的股票成交额能够体现出股票市场的交易状况, 是股票市场的重要指标之一; 2) 市场间重要指标. 货币市场货币供应量 M0 和 M2 可以在一定程度上解释股票市场价格的变化. 所以, 选取 M0 和 M2 作为货币市场指标能够同时反映股票市场的部分信息; 3) 选取能够获得且完整的指标. 根据以上三个因素的考虑, 从股票、货币及外汇市场中选出能准确反映市场特征的 19 个市场指标如表 1 所示.

表 1　选取的市场指标

Table 1　The selected market indexes

市场	市场指标
股票市场	上证综合指数(SHCI)[4], 深证成份指数(SZCI)[4], 股票成交额(ST)[16], 股票流通市值(SCC)[16], 股票总市值(STC)[17], 换手率(TR)[18]
货币市场	流通现金(M0)[19], 广义货币(M2)[19], 银行间同业拆借利率(IBOR)[20], 存贷款基准利率(FTD)[20], 狭义货币(M1)[21], 存款准备金率(RRR)[22], 再贴现率(RR)[22]
外汇市场	美元对人民币加权平均汇率(U/C)[23], 日元对人民币加权平均汇率(J/C)[23], 港币对人民币加权平均汇率(H/C)[23], 进出口贸易额(IEV)[24], 外汇占款(FOFE)[25], 外汇储备(FER)[26]

选取的市场指标是否能够反映市场之间的相互作用十分重要, 由于已有研究并未对 19 个市场指标的相互作用进行全面检验, 所以本文对指标进行了全面的因果关系检验, 筛选出既能反映所在市场状况又与另外两个市场紧密联系的决策指标. 目前已有的因果关系检验方法主要有: 1) 理论分析法, 指在没有掌握变量数据的情况下, 根据经济理论确定变量之间是否存在因果关系; 2) Granger 因果关系检验(线性)方法; 3) sims 检验; 4) 非线性 Granger 因果关系检验方法, 包括 H-J 检验和 M-G 检验. 其中 Granger 因果关系检验和非线性 Granger 因果关系检验应用最为广泛. 其中 M-G 检验需要保证残差服从标准正态分布, 而股票市场中却存在显著的尖峰厚尾现象, 所以该方法不适用于该研究.

Granger[31] 曾指出“世界几乎肯定是由非线性关系构成”. 股票、货币和外汇市场均具有多因素影响、时变和非线性的特点, 单单使用线性 Granger 因果关系检验无法准确地寻找出潜在的、非线性的关系. 非线性 Granger 因果关系检验方法建立在线性 Granger 因果关系检验的基础上, 具有更强的因果关系检验能力. 由于非线性因果关系检验(H-J 检验)需要与线性 Granger 因果关系检验配套使用, 所以本文使用下图 1 所示的因果关系检验流程. 该因果关系检验方法一方面加快了运算速度, 另一方面又对指标进行了充分的因果关系判断.

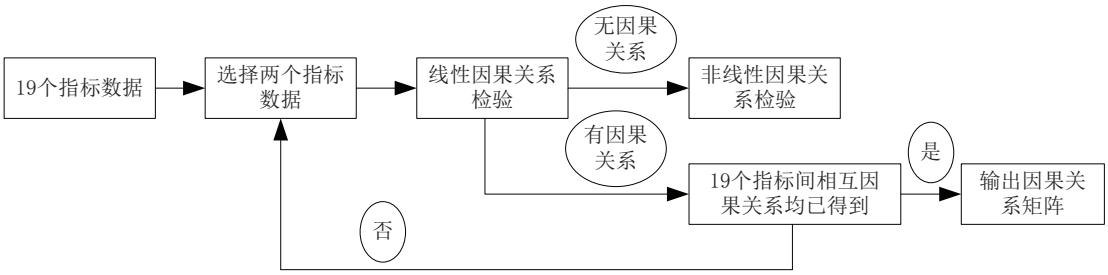

图 1 因果关系检验流程

Fig. 1 Causal relationship testing process

2.1 线性因果关系检验

带阈值的线性因果关系检验[27]是一种通过对 AR 模型与二元AR模型误差项的方差进行比较, 进而判断两个时间序列是否存在因果关系的方法. 该方法针对两个时间序列即时序 X 和时序 Y, 分别建立了如下AR 模型和二元 AR 模型

$$\begin{cases} x(n)=\sum\limits_{i=1}^{q_{\rm r}}\alpha_{1,i}(n)x(n-i)+\theta_1(n),\ \ \sigma_{11}=\mathrm{Var}(\theta_1) \\ y(n)=\sum\limits_{i=1}^{q_{\rm e}}\beta_{1,i}(n)y(n-i)+v_1(n),\ \ \sigma_{21}=\mathrm{Var}(v_1), \end{cases} \tag{1}$$

$$\begin{cases} x(n)=\sum\limits_{i=1}^{q_{\rm r}}\alpha_{2,i}(n)x(n-i)+\sum\limits_{i=1}^{q_{\rm e}}\beta_{2,i}(n)y(n-i)+\theta_2(n),\ \ \sigma_{12}=\mathrm{Var}(\theta_2) \\ y(n)=\sum\limits_{i=1}^{q_{\rm e}}\beta_{3,i}(n)y(n-i)+\sum\limits_{i=1}^{q_{\rm r}}\alpha_{3,i}(n)x(n-i)+v_2(n),\quad \sigma_{22}=\mathrm{Var}(v_2), \end{cases} \tag{2}$$

其中 x 和 y 分别代表时序 X 和时序 Y 的观测值; $q_{\rm e}$, $q_{\rm r}$ 为滞后阶数.

对式(1)和式(2)进行参数估计, 即可得出相应的方差 $\sigma_{11},\sigma_{21},\sigma_{12}$和 σ_{22}. 由下式, 可分别计算出 X 对 Y 和 Y 对 X 的线性因果关系强度

$$F_{X\to Y}=\ln\left(\frac{\sigma_{21}}{\sigma_{22}}\right),\ \ F_{Y\to X}=\ln\left(\frac{\sigma_{11}}{\sigma_{12}}\right).$$

通过 X 对 Y 的线性因果关系检验, 即可得出线性因果关系强度 $F_{X\to Y}$, 进而将其与阈值进行比较. 若 $F_{X\to Y}$ 比阈值大, 则认为 X 对 Y 有线性因果关系. 否则, 则认为 X 对 Y 无线性因果关系. 由此可见, 阈值的选定直接关系到检验效果. 阈值选定的具体步骤如下: 首先, 对时序 Y 进行随机排序得到 Y_k, 利用时序 X 和 Y_k 计算新统计量 $F_{X\to Y}\,\mathrm{new}(k)$, 重复 N 次. 接下来, 对 $F_{X\to Y}\,\mathrm{new}(1)$ 至 $F_{X\to Y}\,\mathrm{new}(N)$按降序进行排序, 设置第 5 % 个数值为阈值[8]. 与之相同的方法, 可计算出 Y 对 X 的线性因果关系检验结果.

2.2 非线性因果关系检验

非线性因果关系检验是指对时序 Y 进行预测时,若加入时序 X 的过去信息有助于对 Y 的预测, 则认为 X 对 Y 有非线性因果关系, 以此判断时序 X 对时序 Y 是否具有因果关系的方法[28]. 首先, 考虑如下两个时序 X 和 Y 如下

$$\begin{cases} X^{\rm Lr}(n-{\rm Lr})=(X_{n-{\rm Lr}},X_{n-{\rm Lr}+1},\ldots,X_{n-1}), & {\rm Lr}=1,2,\ldots;\ n={\rm Lr}+1,{\rm Lr}+2,\ldots \\ Y^{\rm Le}(n-{\rm Le})=(Y_{n-{\rm Le}},Y_{n-{\rm Le}+1},\ldots,Y_{n-1}), & {\rm Le}=1,2,\ldots;n={\rm Le}+1,{\rm Le}+2,\ldots \\ Y^{m}(n)=(Y_n,Y_{n+1},\ldots,Y_{n+m-1}), & m=1,2,\ldots;\ n=1,2,\ldots, \end{cases}$$

其中 $Y^m(n)$ 为 Y 在 n 时刻的 m 阶滞后; $X^{\rm Lr}(n-{\rm Lr})$ 和 $Y^{\rm Le}(n-{\rm Le})$ 分别为相应时刻 X 的 Lr 阶和 Y 的 Le 阶滞后.

当 $m \geqslant 1, \mathrm{Lr} \geqslant 1, \mathrm{Le} \geqslant 1$ 和 $\theta \geqslant 0$ 时, 若下面条件概率式(3)成立, 则说明 X 对 Y 不具有非线性因果关系, 即

$$\begin{aligned}&\Pr\left(||y^m(n)-y^m(s)||<\theta \,\middle|\, ||y^{\mathrm{Le}}(n-\mathrm{Le})-y^{\mathrm{Le}}(s-\mathrm{Le})||<\theta, ||x^{\mathrm{Lr}}(n-\mathrm{Lr})-x^{\mathrm{Lr}}(s-\mathrm{Lr})||<\theta\right)\\&\quad=\Pr\left(||y^m(n)-y^m(s)||<\theta \,\middle|\, ||y^{\mathrm{Le}}(n-\mathrm{Le})-y^{\mathrm{Le}}(s-\mathrm{Le})||<\theta\right),\end{aligned}\tag{3}$$

其中 $\Pr(\cdot)$代表概率; $||\cdot||$ 代表最大范数; x 和 y 分别代表 X 和 Y 的观测值; θ 为阈值.

$$\frac{C_1(m+\mathrm{Le},\mathrm{Lr},\theta)}{C_2(\mathrm{Le},\mathrm{Lr},\theta)}=\frac{C_3(m+\mathrm{Le},\theta)}{C_4(\mathrm{Le},\theta)},\tag{4}$$

$$\begin{cases}C_1(m+\mathrm{Le},\mathrm{Lr},\theta)=\Pr\big(||y^{m+\mathrm{Le}}(n-\mathrm{Le})-y^{m+\mathrm{Le}}(s-\mathrm{Le})||<\theta,\\ \qquad\qquad ||x^{\mathrm{Lr}}(n-\mathrm{Lr})-x^{\mathrm{Lr}}(s-\mathrm{Lr})||<\theta\big)\\ C_2(\mathrm{Le},\mathrm{Lr},\theta)=\Pr\big(||y^{\mathrm{Le}}(n-\mathrm{Le})-y^{\mathrm{Le}}(s-\mathrm{Le})||<\theta,\\ \qquad\qquad ||x^{\mathrm{Lr}}(n-\mathrm{Lr})-x^{\mathrm{Lr}}(s-\mathrm{Lr})||<\theta\big)\\ C_3(m+\mathrm{Le},\theta)=\Pr\big(||y^{m+\mathrm{Le}}(n-\mathrm{Le})-y^{m+\mathrm{Le}}(s-\mathrm{Le})||<\theta\big)\\ C_4(\mathrm{Le},\theta)=\Pr\big(||y^{\mathrm{Le}}(n-\mathrm{Le})-y^{\mathrm{Le}}(s-\mathrm{Le})||<\theta\big).\end{cases}\tag{5}$$

式(5)中的统计量由式(6)进行估计

$$\begin{cases}C_{l_1}(\mathrm{Le},\mathrm{Lr},\theta)=\dfrac{2}{n_{\mathrm{c}}(n_{\mathrm{c}}-1)}\displaystyle\sum_{s=\max(\mathrm{Le},\mathrm{Lr})+1}^{N-m+1}\sum_{n<s}^{N-m+1} I\left(||y^{\mathrm{Le}}(n-\mathrm{Le})-y^{\mathrm{Le}}(s-\mathrm{Le})||<\theta\right)\cdot\\ \left(||x^{\mathrm{Lr}}(n-\mathrm{Lr})-x^{\mathrm{Lr}}(s-\mathrm{Lr})||<\theta\right)\\ C_{l_2}(\mathrm{Le},\theta)=\dfrac{2}{n_{\mathrm{c}}(n_{\mathrm{c}}-1)}\displaystyle\sum_{s=\max(\mathrm{Le},\mathrm{Lr})+1}^{N-m+1}\sum_{n<s}^{N-m+1} I\left(||y^{\mathrm{Le}}(n-\mathrm{Le})-y^{\mathrm{Le}}(s-\mathrm{Le})||<\theta\right),\end{cases}\tag{6}$$

其中 $l_1=1,2$; $l_2=3,4$; $n=\max(\mathrm{Le},\mathrm{Lr})+1,\ldots,N-m+1$; $s=\max(\mathrm{Le},\mathrm{Lr})+1,\ldots,N-m+1$; $n_{\mathrm{c}}=N+1-m-\max(\mathrm{Le},\mathrm{Lr})$; $I(\cdot)$ 为示性函数.

上述形式为非线性因果关系检验的理想情况, 然而现实数据很难满足其严苛的要求. 所以, Hiemstra 等[29]对其进行了进一步的转换, 使其更加便于利用. 若 X 对 Y 没有非线性因果关系, 则有

$$\sqrt{n_{\mathrm{c}}}\left(\frac{C_1(m+\mathrm{Le},\mathrm{Lr},\theta,n_{\mathrm{c}})}{C_2(\mathrm{Le},\mathrm{Lr},\theta,n_{\mathrm{c}})}-\frac{C_3(m+\mathrm{Le},\theta,n_{\mathrm{c}})}{C_4(\mathrm{Le},\theta,n_{\mathrm{c}})}\right)\sim N(0,\sigma^2(m,\mathrm{Le},\mathrm{Lr},\theta)),\tag{7}$$

其中 $\sigma^2(m,\mathrm{Le},\mathrm{Lr},\theta)$ 的估计方法见 Hiemstra 等[29].

式(7)中统计量的值落在正态分布两端时表示 X 对 Y 有非线性因果关系, 即预测时序 Y 时加入时序 X 的信息有助于提高预测精度. Y 对 X 的非线性因果关系使用相同的方法判断.

2.3　因果关系实证检验结果

本文利用中经网统计数据库, 聚源数据库和 CSMAR 数据库中 19 个市场指标在 2000 年 1 月至 2014 年 5 月间的月度数据进行实证研究, 采用单独两个指标之间的因果关系检验得到 19 阶因果关系矩阵(参数设置与 Zheng 等[8]一致).

参考宿成建等[30]的研究结果, 利用因果关系矩阵选出相互之间影响程度最大的 12 个市场指标, 且每个市场均为 4 个指标. 这样, 这12个市场指标既能体现其所在市场的特征, 又能体现其与另外两个市场的联系. 通过因果关系检验选出的 12 个决策指标如下表 2 所示. 该 12 个决策指标之间的因果关系如下表 3 所示. 表 3 中, “1”代表左侧指标对上侧指标具有因果关系, “0”代表左侧指标对上侧指标没有因果关系. 不难看出, 因果关系是非对称的.

表 2 筛选的12个决策指标

Table 2 The filtered 12 decision indexes

股票市场	货币市场	外汇市场
上证综合指数(SHCI)	流通现金(M0)	美元对人民币加权平均汇率(U/C)
深证成份指数(SZCI)	狭义货币(M1)	港币对人民币加权平均汇率(H/C)
股票流通市值(SCC)	广义货币(M2)	外汇储备(FER)
股票成交额(ST)	同业拆借利率(IBOR)	进出口贸易量(IEV)

表 3 12 个决策指标之间的因果关系矩阵

Table 3 The causal relationship matrix among the 12 decision indicators

	SCC	SHCI	SZCI	ST	M0	M1	M2	IBOR	U/C	H/C	FER	IEV
SCC	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
SHCI	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
SZCI	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
ST	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
M0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1
M1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
M2	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1
IBOR	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
U/C	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
H/C	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
FER	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
IEV	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1

通过因果关系检验筛选后的重要指标可以看出: 1) 重要指标涵盖了大部分的市场信息, 比如说, 股票市场筛选后的重要指标包括：上证综合指数、深证成指、股票流通市值和股票成交额, 包含了股价信息、市值信息和活跃度信息. 另两个市场具有类似的结果. 2) 重要指标之间的因果关系与前人的研究较为一致, 比如说, 货币供应量 M0、M1 和 M2 与上证综合指数和深证成指之间具有紧密的因果关系[16], 其余因果关系大多也与已有的研究相一致.

3 建立三市场综合指数

本研究以三个整体市场作为研究目标, 需把股票、货币及外汇市场的多个决策指标组合成相应的市场综合指数来代表各个市场, 构建方法类似于外汇市场压力指数[31]. 在股票市场上, 股票流通市值和股票成交额为极大型指标, 当其值越大, 则说明投资者投入在股票市场的资金越多, 股票交易越活跃. 同样, 上证综合指数和深证成份指数也为极大型指标, 当其值越大, 则说明投资者对股票市场的预期越高. 基于此, 本文建立如下股票市场综合指数

$$\mathrm{SMI}=\frac{\mathrm{SCC}-\mu_{\mathrm{SCC}}}{\sigma_{\mathrm{SCC}}}+\frac{\mathrm{SHCI}-\mu_{\mathrm{SHCI}}}{\sigma_{\mathrm{SHCI}}}+\frac{\mathrm{SZCI}-\mu_{\mathrm{SZCI}}}{\sigma_{\mathrm{SZCI}}}+\frac{\mathrm{ST}-\mu_{\mathrm{ST}}}{\sigma_{\mathrm{ST}}},$$

在货币市场上, 由于 M0、M1 和 M2 为极大型指标, 当它们的值越大, 说明货币供应量越多. 而同业拆借利率为极小型指标, 当其值越小, 银行能以更低的成本获得资金. 基于此, 建立如下货币市场综合指数

$$\mathrm{MMI}=\frac{\mathrm{M0}-\mu_{\mathrm{M0}}}{\sigma_{\mathrm{M0}}}+\frac{\mathrm{M1}-\mu_{\mathrm{M1}}}{\sigma_{\mathrm{M1}}}+\frac{\mathrm{M2}-\mu_{\mathrm{M2}}}{\sigma_{\mathrm{M2}}}-\frac{\mathrm{IBOR}-\mu_{\mathrm{IBOR}}}{\sigma_{\mathrm{IBOR}}},$$

在外汇市场上, 借鉴外汇市场压力指数建立了如下外汇市场综合指数

$$\mathrm{FMI}=\frac{\mathrm{FER}-\mu_{\mathrm{FER}}}{\sigma_{\mathrm{FER}}}+\frac{\mathrm{IEV}-\mu_{\mathrm{IEV}}}{\sigma_{\mathrm{IEV}}}-\frac{\mathrm{U/C}-\mu_{\mathrm{U/C}}}{\sigma_{\mathrm{U/C}}}-\frac{\mathrm{H/C}-\mu_{\mathrm{H/C}}}{\sigma_{\mathrm{H/C}}}.$$

为了说明三个市场综合指数的有效性, 本文给出了三个市场综合指数 2000 年 1 月至 2014 年 5 月间的历史趋势图(如图 2 所示).

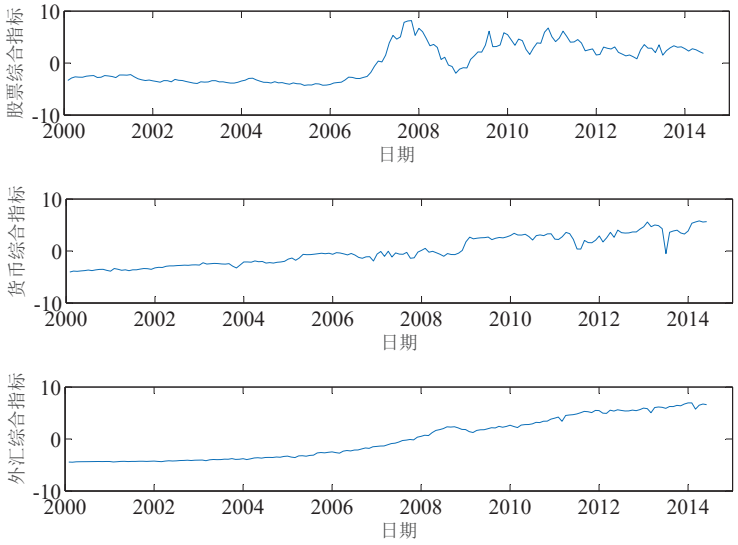

图 2　三个市场综合指数历史趋势

Fig. 2　Historical trend of three markets composite indexes

由图 2 可见, 股票市场综合指数在 2000 年初至 2005 年底间一直处于较低的水平, 这与同期中国股票市场低迷、投资者参与少、股票买卖不活跃相对应; 而股票综合指数在 2006 年初至 2009 年间先陡增后陡降, 这与同期中国股市先后经历牛熊市相对应; 股票综合指数从 2010 年至今一直处于波动状态, 这是因为沪深 300 ETF 的推出, 融资融券交易机制的建立, 使得股票交易更加活跃. 货币市场综合指数一直处于较为平稳的上升趋势中, 这与我国的实情相符. 货币综合指数在 2008 年底发生陡增, 这与同期同业拆借利率大幅度降低, 银行获得资金的能力提升相对应; 货币综合指数在 2011 年 6 月与 2013 年 6 月先陡降后陡增, 这是由于同期同业拆借利率大幅度增加从而导致货币供应量减少, 而随后利率降低, 货币供应量随之反弹. 外汇市场综合指数从 2005 年至今一直处于平稳的上升趋势, 这与外汇市场 2005 年汇改之后人民币稳步升值相对应. 而 2005 年之前外汇综合指数增长较慢, 这是由于 2005 年之前外汇汇率单一盯住美元汇率, 导致人民币汇率缺乏弹性, 且外汇储备较少、进出口贸易不活跃.

基于上述分析发现, 股票、货币和外汇市场综合指数均很好地反映所在市场的真实状况, 以下的研究均以三个综合指数为研究对象.

4　非线性演化模型

4.1　无约束非线性演化模型

为了揭示股票、货币及外汇市场之间的非线性演化结构, 考虑到金融市场之间不仅可能具有线性关系, 还可能具有非线性关系的情况, 本文构建了三个市场基于微分方程组的数据驱动模型, 具体形式见式(8).

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}X_1(t)}{\mathrm{d}t} = \boldsymbol{A}_1\boldsymbol{X} + \boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B}_1\boldsymbol{X} + C_1 \\ \dfrac{\mathrm{d}X_2(t)}{\mathrm{d}t} = \boldsymbol{A}_2\boldsymbol{X} + \boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B}_2\boldsymbol{X} + C_2 \\ \dfrac{\mathrm{d}X_3(t)}{\mathrm{d}t} = \boldsymbol{A}_3\boldsymbol{X} + \boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B}_3\boldsymbol{X} + C_3, \end{cases} \tag{8}$$

其中 $X_i(t), i = 1,2,3$ 为 t 时刻的三市场综合指数; $\boldsymbol{X} = (X_1(t-1), X_2(t-1), X_3(t-1), X_1(t-2), \cdots, X_3(t-m))^{\mathrm{T}}$ 为三市场综合指数的滞后项; m 为滞后阶数; $\boldsymbol{A}_i$ 为 $1 \times 3m$ 矩阵; $\boldsymbol{B}_i$ 为 $3m \times 3m$ 的上三角矩阵; C_i 为常数项; $i = 1,2,3$.

不难发现, 无约束非线性演化模型(8)既包含了变量之间的线性结构, 又包含了变量之间的非线性结构. 它与回归模型相比更加符合复杂多变的现实市场, 便于分析市场之间的非线性演化结构.

4.2 带约束非线性演化模型

在现实市场中由于基础模型(8)参数过多、结构复杂、无法清晰地判断三个市场之间的影响及关系, 给实际研究和分析带来不少困难. 事实上, 现有的研究成果表明真实市场中部分指标之间的影响关系并不显著[23], 同样, 在本文研究中综合指数及它们的滞后项间也可能存在不显著关系, 这就意味着这些指标间的权重参数应为零. 针对该问题, 提出了带约束非线性演化模型, 该模型在无约束模型的基础上增加基数约束, 假定只有影响关系最显著的少数变量间的参数非零. 鉴于上述分析, 构建如下带约束的非线性演化模型

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}X_1(t)}{\mathrm{d}t} = \boldsymbol{A}_1\boldsymbol{X} + \boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B}_1\boldsymbol{X} + C_1 \\ \dfrac{\mathrm{d}X_2(t)}{\mathrm{d}t} = \boldsymbol{A}_2\boldsymbol{X} + \boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B}_2\boldsymbol{X} + C_2 \\ \dfrac{\mathrm{d}X_3(t)}{\mathrm{d}t} = \boldsymbol{A}_3\boldsymbol{X} + \boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B}_3\boldsymbol{X} + C_3 \\ \text{s.t.} \\ \quad \boldsymbol{A}_i\text{中非零值} \leqslant K_1, i = 1,2,3 \\ \quad \boldsymbol{B}_i\text{中非零值} \leqslant K_2, i = 1,2,3, \end{cases} \tag{9}$$

其中 K_1, K_2 为非负整数, 其余符号与前文相同.

由式(9)易见, 加入约束条件之后矩阵 $\boldsymbol{A_i}$ 和矩阵 $\boldsymbol{B_i}$ 中的非零值大大减少, 权重集中在少数参数上, 结构更加清晰、便于使用.

4.3 参数估计

由于模型(8)和模型(9)的参数过多, 利用传统参数估计方法效率极低. 加之, 模型(9)中带有约束条件, 利用传统的参数估计方法不能对该问题进行有效求解. 本文利用改进的差分进化(COMDE)算法[32]对模型(8)和模型(9)进行参数估计. 差分进化算法是一种比较新的基于群体的随机优化方法. 它具有简单、快速、鲁棒性好等特点. 不同于其它进化算法, 它的变异算子由种群中任意选取的多对向量的差值得到的. 该算法主要用于实参数优化问题, 尤其对非线性和不可微的连续空间问题的求解较其它进化算法有明显的优势. 为了清晰地解释 COMDE 算法, 这里简要地给出该算法的步骤:

步骤 1 参数设置及初始化. 确定种群规模 popsize, 最大迭代次数 maxgen. 随机生成 popsize 个个体(待求解参数)作为初始种群, 计算当前种群适应度(误差的倒数), 记录当前最优个体和最差个体. 置进化代数计数器 $t \leftarrow 0$;

步骤 2 种群进化($t = 0:1:\mathrm{maxgen}$). 首先, 对每个个体, 产生一个随机数. 若其值小于 0.5, 对该个体运行 rand/1/bin进化操作(变异, 交叉); 否则运行改进的 best/1/bin 进化操作(变异, 交叉). 然后, 比较每个新个体与对应父代个体的优劣, 择优替代父代个体. 最后, 计算当前迭代次数最优个体和最差个体. 设置$t \leftarrow t+1$, 若 $t < \mathrm{maxgen}$ 时回到步骤 2, 否则进入步骤 3;

步骤 3 输出结果. 输出经过种群进化后的最优个体.

为了理解如何使用 COMDE 算法求解模型(8)和模型(9)的参数, 以模型(8)为例, 若已知 t' 时刻之前的信息, 即已知 $\boldsymbol{X}(t) = (X_1(t-1), X_2(t-1), X_3(t-1), X_1(t-2), \ldots, X_3(t-m))^{\mathrm{T}}, t = m+1, m+2, \ldots, t'$. 定义 $\Delta X_i(t) = X_i(t) - X_i(t-1)$ 为 $\dfrac{\mathrm{d}X_{i,t}}{\mathrm{d}t}$ 的离散化形式(现实市场数据为离散数据), 则模型(8) 可改写为

$$\begin{cases} \Delta X_1(t) = \boldsymbol{A}_1\boldsymbol{X}(t) + \boldsymbol{X}(t)^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B}_1\boldsymbol{X}(t) + C_1 \\ \Delta X_2(t) = \boldsymbol{A}_2\boldsymbol{X}(t) + \boldsymbol{X}(t)^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B}_2\boldsymbol{X}(t) + C_2 \\ \Delta X_3(t) = \boldsymbol{A}_3\boldsymbol{X}(t) + \boldsymbol{X}(t)^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B}_3\boldsymbol{X}(t) + C_3, \ \ t = m+1, m+2, \ldots, t'. \end{cases} \tag{10}$$

在 t' 时刻时, 易见式(10)中每个等式 t' 时刻之前的数据均已知, 可把式(10)的每个等式作为一个子问题, 以最小化误差为原理, 对模型(10)(模型(8) 的离散化形式)的第 i 个综合指数(即第 i 个等式)建立如下模型

$$\text{Min } \varepsilon_i = \sum_{t=m+1}^{t'} (X_i(t) - (X_i(t-1) + (\boldsymbol{A}_i\boldsymbol{X}(t) + \boldsymbol{X}(t)^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B}_i\boldsymbol{X}(t) + C_i)))^2,\ \ i = 1, 2, 3, \tag{11}$$

同样地, 对模型(9)进行离散化, 得

$$\begin{cases} \Delta X_1(t) = \boldsymbol{A}_1\boldsymbol{X}(t) + \boldsymbol{X}(t)^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B}_1\boldsymbol{X}(t) + C_1 \\ \Delta X_2(t) = \boldsymbol{A}_2\boldsymbol{X}(t) + \boldsymbol{X}(t)^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B}_2\boldsymbol{X}(t) + C_2 \\ \Delta X_3(t) = \boldsymbol{A}_3\boldsymbol{X}(t) + \boldsymbol{X}(t)^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B}_3\boldsymbol{X}(t) + C_3 \\ \text{s.t.} \\ \quad \boldsymbol{A}_i\text{中非零值} \leqslant K_1 \\ \quad \boldsymbol{B}_i\text{中非零值} \leqslant K_2 \\ \quad t = m+1,\ m+2, \ldots, t'. \end{cases} \tag{12}$$

针对模型(12)(模型(9)的离散化形式)的第 i 个综合指数建立如下模型

$$\begin{cases} \text{Min } \varepsilon_i = \sum_{t=m+1}^{t'} (\boldsymbol{X}_i(t) - (\boldsymbol{X}_i(t-1) + (\boldsymbol{A}_i\boldsymbol{X}(t) + \boldsymbol{X}(t)^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B}_i\boldsymbol{X}(t) + C_i)))^2,\ \ i = 1, 2, 3 \\ \text{s.t.} \\ \quad \boldsymbol{A}_i\text{中非零值} \leqslant K_1 \\ \quad \boldsymbol{B}_i\text{中非零值} \leqslant K_2, \end{cases} \tag{13}$$

其中 $X_i(t)$ 为 t 时刻第 i 个综合指数的观测值; 其余符号同前.

通过模型(11)和模型(13)利用 COMDE 算法可计算出模型(8)和模型(9)中的未知参数.

5　实证检验与结果分析

为了讨论上述无约束和带约束的两个非线性演化模型的效果, 本文利用 BP 神经网络模型和多元线性回归模型在相同数据下进行建模, 与无约束非线性演化模型和带约束非线性演化模型效果进行对比分析. 数据为通过因果关系检验和指数构建过程得到的综合指数, 随机选取全样本的 80 % 作为学习样本, 剩余 20 %作为检验样本. 为了提高模型的精度, COMDE 算法的迭代次数选用 10 000 代, 种群个数为 200, 其余参数为默认值. BP 神经网络迭代次数设置为 10 000次, 其余参数为默认值. K_1 和K_2 的取值较为灵活, 当 K_1 和 K_2 取值较大时, 模型具有较高的学习精度, 但结构相对不清晰. 当 K_1 和 K_2 取值较小时, 模型有清晰的结构, 但学习精度较差. 本文综合考虑两方面因素设置 $K_1 = 5$, $K_2 = 10$. 通常, 过去一段时间内的信息对未来市场具有指导作用, 本文对 m 分别取值 3、6 和 12, 分别研究过去一季度、半年和一年时间内, 三个市场间的非线性演化. 四个模型的学习样本拟合误差和检验样本预测误差见表 4(以标准误衡量误差).

从模型精度的角度来看, 带约束非线性演化模型在 m 的不同取值下综合表现最优, 对学习样本的学习能力和检验样本的演化能力均较强. BP 神经网络模型效果其次, 在 m 的不同取值下精度较为稳定. 而无约束非线性演化模型由于变量过多, 导致其在 m 取值较小时具有优秀的表现, 但误差随着 m 的增大而增大. 最后, 线性回归模型的误差最大, 说明了股票市场、货币市场和外汇市场之间存在显著的非线性关系.

从模型形式的清晰度来说, 带约束非线性演化模型和多元线性回归模型具有最简单的结构. 带约束非

线性演化模型只有少数非零参数, 能清晰地分析出各个综合指数间的影响关系. 与之相比, 无约束非线性演化模型的结构相对不清晰. 而 BP 神经网络模型为黑箱操作, 模型结构最不清晰, 最不易分析和解释. 不难发现, 带约束非线性演化模型效果和结构均最优, 能很好地分析三个市场的非线性演化关系.

从 m 的不同取值来说, 带约束非线性演化模型的误差在 $m=6$ 时最小, 随着 m 的增大, 误差开始增加. 说明股票市场、货币市场和外汇市场短期内的相互影响关系最为显著. 政府对市场进行调控时, 应着重注意短期内的市场信息, 市场信息的有效性随着时间的推移而逐步降低.

$$
\begin{cases}
\begin{aligned}
\Delta \mathrm{SMI}_t = {} & 0.115\,6 - 0.309\,6\,\mathrm{FMI}_{t-2} - 0.491\,9\,\mathrm{FMI}_{t-3} + 0.923\,1\,\mathrm{FMI}_{t-4} - 0.164\,6\,\mathrm{SMI}_{t-6} + \\
& 0.050\,6\,\mathrm{FMI}_{t-6} + 0.118\,5\,\mathrm{FMI}_{t-1}\,\mathrm{FMI}_{t-2} - 0.147\,9\,\mathrm{FMI}_{t-1}\,\mathrm{FMI}_{t-4} + \\
& 0.590\,9\,\mathrm{SMI}_{t-2}\,\mathrm{FMI}_{t-3} - 0.807\,7\,\mathrm{SMI}_{t-2}\,\mathrm{FMI}_{t-5} + 1.015\,6\,\mathrm{SMI}_{t-3}\,\mathrm{FMI}_{t-5} - \\
& 0.716\,2\,\mathrm{SMI}_{t-3}\,\mathrm{FMI}_{t-6} - 0.332\,3\,\mathrm{FMI}_{t-3}\,\mathrm{FMI}_{t-6} + 0.305\,2\,\mathrm{FMI}_{t-4}\,\mathrm{FMI}_{t-5} - \\
& 1.076\,0\,\mathrm{SMI}_{t-4}\,\mathrm{FMI}_{t-5} + 0.916\,7\,\mathrm{SMI}_{t-4}\,\mathrm{FMI}_{t-6} \\
\Delta\,\mathrm{MMI}_t = {} & 0.120\,5 - 0.525\,9\,\mathrm{FMI}_{t-1} - 0.036\,6\,\mathrm{MMI}_{t-2} - 0.786\,1\,\mathrm{FMI}_{t-2} + 0.134\,3\,\mathrm{FMI}_{t-3} + \\
& 1.235\,5\,\mathrm{FMI}_{t-4} - 0.259\,1\,\mathrm{MMI}_{t-1}\,\mathrm{FMI}_{t-6} - 0.152\,9\,\mathrm{FMI}_{t-1}\,\mathrm{MMI}_{t-5} - \\
& 0.196\,8\,\mathrm{FMI}_{t-2}\,\mathrm{SMI}_{t-4} + 0.783\,1\,\mathrm{FMI}_{t-2}\,\mathrm{FMI}_{t-5} - 2.440\,3\,\mathrm{FMI}_{t-3}\,\mathrm{MMI}_{t-5} + \\
& 2.367\,2\,\mathrm{FMI}_{t-3}\,\mathrm{FMI}_{t-5} + 4.284\,3\,\mathrm{FMI}_{t-4}\,\mathrm{MMI}_{t-5} - 2.479\,1\,\mathrm{FMI}_{t-4}\,\mathrm{FMI}_{t-5} - \\
& 0.450\,6\,\mathrm{FMI}_{t-4}\,\mathrm{FMI}_{t-6} - 1.608\,9\,\mathrm{MMI}_{t-5}\,\mathrm{FMI}_{t-5} \\
\Delta\,\mathrm{FMI}_t = {} & 0.004\,1 - 0.191\,4\,\mathrm{FMI}_{t-1} + 0.233\,1\,\mathrm{FMI}_{t-2} + 0.164\,8\,\mathrm{FMI}_{t-4} - 0.149\,5\,\mathrm{FMI}_{t-5} - \\
& 0.055\,9\,\mathrm{FMI}_{t-6} + 0.039\,9\,\mathrm{FMI}_{t-1}\,\mathrm{FMI}_{t-4} - 0.267\,2\,\mathrm{FMI}_{t-1}\,\mathrm{FMI}_{t-6} - \\
& 0.599\,3\,\mathrm{FMI}_{t-2}\,\mathrm{MMI}_{t-3} + 0.458\,4\,\mathrm{FMI}_{t-2}\,\mathrm{FMI}_{t-6} + 0.557\,9\,\mathrm{MMI}_{t-3}\,\mathrm{FMI}_{t-3} + \\
& 0.074\,0\,\mathrm{MMI}_{t-3}\,\mathrm{FMI}_{t-4} - 0.321\,2\,\mathrm{FMI}_{t-3}^2 - 0.025\,2\,\mathrm{FMI}_{t-3}\,\mathrm{SMI}_{t-4} + \\
& 0.073\,5\,\mathrm{SMI}_{t-4}\,\mathrm{FMI}_{t-4} + 0.015\,5\,\mathrm{FMI}_{t-4}\,\mathrm{FMI}_{t-6},
\end{aligned}
\end{cases}
\tag{14}
$$

为了研究三个市场之间的非线性演化关系, 这里给出了 m 为 6 时带约束非线性演化模型的结果, 见式(14), 同时也是三个市场之间的非线性演化结构. 其中 SMI, MMI 和 FMI 分别表示股票, 货币和外汇市场综合指数, 三个市场综合指数之间的相互关系如表 5 所示.

表 5 中各项代表左侧市场对上侧市场的影响方式和程度, 比如说: 股票市场以非线性形式影响货币市场, 在非线性演化公式(式 14)中包含 1 项; 货币市场以线性和非线性形式影响自身市场, 在公式中包含 6 项.

从表 5 可以得出如下结论: 1) 每个市场对自身的影响最为显著, 均以线性和非线性形式参与到自身市场的演化. 说明我国金融子市场的运作机制较为独立, 各个子市场间虽具有紧密的联系, 但仍以各子市场独立发展为主. 2) 外汇市场对股票市场和货币市场具有重要的影响, 外汇市场以线性和非线性形式参与到股票和货币市场的演化当中, 且影响程度巨大. 当外汇市场发生波动时, 另外两个市场在短期内也会随之发生波动. 3) 股票市场对另外两个市场的演化影响效果较小. 这是由于货币市场和外汇市场的政府调控力度较强, 股票市场的波动难以传递到货币和外汇市场. 4) 货币市场对股票市场无显著影响. 我国的货币政策以宏观调控为主, 尚未全面放开货币市场, 其市场波动难以对股票市场产生显著影响.

从结果中可以看出, 股票、货币和外汇市场之间相互独立、又相互联系. 每个市场具有独立的运作机制, 同时又受到另外两个市场的影响. 特别是外汇市场对另外两个市场具有重要的影响, 2001 年中国加入 WTO 之后, 国内与国际发展越发密切, 人民币升值导致大量投机资本的流动, 对股票市场和货币市场产生强烈冲击. 同时, 国际金融行业的健康发展会对中国金融市场带来积极影响, 而国际金融危机也会对中国金融市场带来消极影响.

表 4　不同模型标准误差对比

Table 4　Different model standard error contrast

滞后阶	模型	学习样本			检验样本		
		股票市场	货币市场	外汇市场	股票市场	货币市场	外汇市场
$m=3$	无约束非线性演化模型	0.180 633	0.192 624	0.041 951	0.294 137	0.204 788	0.112 337
	带约束非线性演化模型	0.201 927	0.225 039	0.046 058	0.267 204	0.226 351	0.072 233
	BP 神经网络模型	0.216 750	0.219 374	0.058 603	0.268 098	0.225 042	0.085 257
	线性回归模型	0.323 248	0.339 893	0.148 442	0.375 576	0.292 644	0.174 743
$m=6$	无约束非线性演化模型	0.214 631	0.206 433	0.179 215	0.592 164	0.475 074	0.326 809
	带约束非线性演化模型	0.201 904	0.183 242	0.053 440	0.220 927	0.196 823	0.057 153
	BP 神经网络模型	0.224 287	0.261 981	0.071 730	0.257 365	0.205 734	0.070 575
	线性回归模型	0.302 181	0.308 117	0.153 514	0.355 122	0.272 630	0.151 001
$m=12$	无约束非线性演化模型	0.430 798	0.375 195	0.466 094	0.777 581	0.632 086	1.079 754
	带约束非线性演化模型	0.223 305	0.203 559	0.050 844	0.227 926	0.240 116	0.077 057
	BP 神经网络模型	0.235 765	0.271 974	0.175 214	0.232 229	0.278 016	0.140 756
	线性回归模型	0.283 827	0.281 701	0.136 016	0.378 686	0.393 231	0.195 333

表 5　三市场之间的相互关系

Table 5　The relationship among three markets

	股票市场	货币市场	外汇市场
股票市场	7 项, 线性、非线性	1 项, 非线性	2 项, 非线性
货币市场	0 项	6 项, 线性、非线性	3 项, 非线性
外汇市场	14 项, 线性、非线性	14 项, 线性、非线性	15 项, 线性、非线性

6　结束语

本文通过指标选取、因果关系检验构建了股票、货币及外汇三个市场综合指数, 建立了以数据驱动的三个市场非线性演化模型, 利用 COMDE 算法获得了股票、货币和外汇市场的非线性演化结构和演化关系, 突破以理论研究为主的非线性演化研究. 主要研究结论有: 第一, 带约束非线性演化模型对三个市场之间的非线性演化问题具有较好的学习演化能力, 并且具有最清晰的结构; 第二, 三个市场既具有独立的运作机制, 又与另两个市场具有显著的影响关系. 特别的是, 外汇市场对股票和货币市场的影响在三个市场中最为明显. 第三, 三个市场在短期内具有显著的影响关系, 随着时间的推移, 过去信息的有效性逐渐降低. 在研究结论的基础上, 提出如下建议: 第一, 我国的货币政策在一定程度上限制了货币市场的运作, 建议政府以货币走廊等途径调控市场, 进一步放松对货币市场的管控. 第二, 外汇市场对股票和货币市场具有显著影响, 政府可通过调控外汇市场的方法对另外两个市场进行间接调控. 第三, 政府目前主要通过货币政策间接调控股票市场, 近年来进行了多次降准降息以实现对股市的刺激, 本研究认为该方法效果欠佳, 政府应适当寻找其他途径.

参考文献:

[1] 石建民. 股票市场、货币需求与总量经济: 一般均衡分析. 经济研究, 2001(5): 45–52.
Shi J M. Stock market, money demand and aggregate economy: A general equilibrium analysis. Economic Research Journal, 2001(5): 45–52. (in Chinese)

[2] 赵进文, 张敬思. 人民币汇率、短期国际资本流动与股票价格: 基于汇改后数据的再检验. 金融研究, 2013(1): 9–23.
Zhao J W, Zhang J S. The RMB exchange rate, the short-term international capital flows and stock price: An empirical test based on data after the exchange reform . Journal of Financial Research, 2013(1): 9–23. (in Chinese)

[3] Granger C W J, Huang B-N, Yang C W. A bivariate causality between stock prices and exchange rates: Evidence from recent Asian flu. The Quarterly Review of Economics and Finance, 2000, 40(3): 337–354.

[4] 谢 赤, 张 丽, 孙 柏. 外汇市场与股票市场间波动溢出效应－－基于汇改后数据的小波多分辨分析. 系统管理学报, 2012, 1(21): 13–21.
Xie C, Zhang L, Sun B. Volatility spillover effects between foreign exchange market and stock market: An wavelet multi-resolution analysis using data after exchange rate reform. Journal of Systems & Management, 2012, 1(21): 13-21. (in Chinese)

[5] Bahmani-Oskooee M, Sohrabian A. Stock prices and the effective exchange rate of the dollar. Applied Econmics, 1992, 24(4): 459–464.

[6] Andries A M, Ihnatov I, Tiwari A K. Analyzing time-frequency relationship between interest rate, stock price and exchange rate through continuous wavelet. Economic Modelling, 2014, 41: 227–238.

[7] 侯县平, 黄登仕, 徐 凯, 等. 金融危机对中国证券市场传染效应的影响. 系统工程学报, 2015, 30(3): 331–343.
Hou X P, Huang D S, Xu K, et al. Impact of financial crisis on contagion effect between China's securities markets. Journal of Systems Engineering, 2015, 30(3): 331–343. (in Chinese)

[8] Zheng X L, Chen B M, Identification of stock market forces in the system adaptation framework. Information Sciences, 2014, 265: 105–122.

[9] Sonsoy A, Sobaci C. Effects of volatility shocks on the dynamic linkages between exchange rate, interest rate and the stock market: The case of Turkey. Economic Modelling, 2014, 43: 448–457.

[10] Kasman S, Vardar G, Tunc G. The impact of interest rate and exchange rate volatility on banks' stock returns and volatility: Evidence from Turkey. Economic Modelling, 2011, 28: 1328–1334.

[11] 钟永红, 王其发. 我国金融市场动态关联性研究: 基于货币市场、股票市场、外汇市场日度数据的实证分析. 价格理论与实践, 2015(10): 96–98.
Zhong Y H, Wang Q F. Research on dynamic relevance of financial market in China: based on day data of money market, stock market and foreign exchange market. Price Theory & Practice, 2015(10): 96–98. (in Chinese)

[12] 田波平, 房 雷. 流动性过剩与股市上涨的因素分析. 系统工程理论与实践, 2010(2): 277– 286.
Tian B P, Fang L. Factors analysis on liquidity surplus and a rise of Chinese stock markets. Systems Engineering: Theory & Practice, 2010(2): 277–286. (in Chinese)

[13] 李 成, 马文涛, 王 彬. 我国金融市场间溢出效应研究: 基于四元 VAR-GARCH(1,1)-BEKK 模型的分析. 数量经济技术经济研究, 2010(6): 3–19.
Li C, Ma W T, Wang B. Research on spillover effect within financial markets. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2010(6): 3–19. (in Chinese)

[14] 蔡则祥, 曹源芳. 金融危机以来国内金融市场风险传导机制研究: 基于偏 t-APARCH 模型的实证分析. 审计与经济研究, 2014(5): 88–96.
Cai Z X, Cao Y F. A research on the risk transmission mechanism in domestic financial market after crisis: Empirical analysis on APARCH model with skewed-t distributions. Audit & Economy Research, 2014(5): 88–96. (in Chinese)

[15] 肖卫国, 袁 威. 股票市场、人民币汇率与中国货币需求. 金融研究, 2011(4): 52–64.
Xiao W G, Yuan W. Relation among stock market, RMB exchange rate and China's money demand. Journal of Financial Research, 2011(4): 52–64. (in Chinese)

[16] 田利辉, 王冠英. 我国股票定价五因素模型: 交易量如何影响股票收益率. 南开经济研究, 2014(2): 54–75.
Tian L H, Wang G Y. Asset pricing model of the Chinese stock market: How trading volumes influence the returns. Nankai Economic Studies, 2014(2): 54-75. (in Chinese)

[17] 范龙振, 余世典. 中国股票市场的三因子模型. 系统工程学报, 2002, 6(17): 537–546.
Fan L Z, Yu S D. Three-factor model in China stock market. Journal of Systems Engineering, 2002, 6(17): 537–546. (in Chinese)

[18] Chordia T, Subrahmanyam A, Anshuman V R. Trading activity and expected stock returns. Journal of Financial Economics, 2001, 59(1): 3–32.

[19] 蒋振声, 金 戈. 中国资本市场与货币市场的均衡关系. 世界经济, 2001(10): 32–35.
Jiang Z S, Jin G. The equilibrium relationship between the capital market and money market in China. World Economy, 2001(10): 32–35. (in Chinese)

[20] 金德环, 李胜利. 我国证券市场价格与货币供给量互动关系的研究. 财经研究, 2004, 4(30): 5– 15.
Jin D H, Li S L. An empirical analysis on the interactive relationship between stock price and money supply in China. Journal of Finance and Economics, 2004, 4(30): 5–15. (in Chinese)

[21] 耿中元, 惠晓峰. M1 和 M2 作为货币政策中介目标的适用性研究. 统计研究, 2009, 9(26): 64– 69.
Geng Z Y, Hui X F. Study of the applicability of M1 and M2 as a monetary policy intermediate target. Statistical Research, 2009, 9(26): 64–69. (in Chinese)

[22] Cassola N, Marana C. Monetary policy and the stock market in the euro area. Journal of Policy Modeling, 2004, 26(3): 387–399.

[23] 张碧琼, 李　越. 汇率对中国股票市场的影响是否存在: 从自回归分布滞后模型(ARDL-ecm) 得到的证明. 金融研究, 2002(7): 26–35.
Zhang B Q, Li Y. Whether exchange rate impacts Chinese stock market or not: Proof from the autoregressive distributed lag model(ARDL-ecm). Journal of Financial Research, 2002(7): 26–35. (in Chinese)

[24] 梁　琦, 徐　原. 汇率对中国进出口贸易的影响: 兼论 2005 年人民币汇率机制改革. 管理世界, 2006(1): 48–56.
Liang Q, Xu Y. The impact of exchange rate on China's import and export trade-also on the reform of RMB exchange rate mechanism in 2005. Management World, 2006(1): 48–56. (in Chinese)

[25] 曾秋根. 央行票据对冲外汇占款的成本、经济后果分析: 兼评冲销干预的可持续性. 财经研究, 2005, 5(31): 63–72.
Zeng Q G. An analysis of the cost of the central bank notes offsetting position for forex purchase and its economic influence. Journal of Finance and Economics, 2005, 5(31): 63– 72. (in Chinese)

[26] 刘　荣. 汇率波动及其对我国经济的影响和对策. 国际金融, 1996(6): 7–8.
Liu R. The fluctuation of exchange rate and its impact on China's economy and countermeasures. International Finance, 1996(6): 7–8. (in Chinese)

[27] Hesse W, Moller E, Arnold M, et al. The use of time-variant EEG granger causality for inspecting directed interdependencies of neural assemblies. Journal of Neuroscience Methods, 2003, 124(1): 27–44.

[28] Baek E G, Brock W A. A General Test for Non-Linear Granger Causality: Bivariate Model. Korea Development Institute, University of Wisconsin-Madison, 1992.

[29] Hiemstra C, Jones J D. Testing for linear and nonlinear granger causality in the stock price-volume relation. Journal of Finance, 1994, 49(5): 1639–1664.

[30] 宿成建, 缪晓波, 刘　星. 中国证券市场的非线性特征与分形维分析. 系统工程理论与实践, 2005, 25(5): 68–73.
Su C J, Miao X B, Liu X. Nonlinear characteristics and fractal dimension analysis of chinese stock markets. Systems Engineering: Theory & Practice, 2005, 25(5): 68–73. (in Chinese)

[31] Weymark D N . Measuring the degree of exchange market intervention in a small open economy. Journal of International Money and Finance, 1997, 16(1): 55–79.

[32] Mohamed A W, Sabry H Z. Constrained optimization based on modified differential evolution algorithm. Information Sciences, 2012, 194(1): 171–208.

作者简介:

张卫国 (1963—), 男, 陕西安康人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 金融工程与风险管理, Email: wgzhang@scut.edu.cn;

李家铭 (1991—), 男, 河南周口人, 硕士生, 研究方向: 金融工程 Email: jmli_scut@163.com;

刘勇军 (1981—), 男, 湖南邵阳人, 博士, 教授, 研究方向: 投资组合与风险管理, Email: yjlgx0202@126.com;

张　群 (1989—), 女, 福建福州人, 博士生, 研究方向: 金融复杂系统与风险管理, Email: qunzhang@ethz.ch.