

# 基于行为金融实验的非线性证券价格动态模型

王立民 刘祥东 刘澄 田飞  
(北京科技大学东凌经济管理学院)

**摘要:** 为了研究交易者资产结构与股价波动之间的关系,设计并实施了10场内容相同的行为金融实验。根据实验现象以及交易者持仓状态反映其对市场的投资态度,构建了描述市场平均投资态度和股票价格的数学模型。首先利用离散动力系统的相关理论研究了模型的稳定性,然后根据金融市场稳定与否对传染效应进行界定。数值模拟发现,在理性传染效应区间内,存在最优传染效应。在此基础上,进一步探讨了资产结构与股价波动之间的关系。具体而言,在理性传染效应的作用下,当市场中满仓交易者数量与空仓交易者数量相当时,股价呈现小幅水平趋势波动;当满仓交易者数量远高于(低于)空仓交易者数量,股价呈现大幅下跌(上涨)趋势波动。

**关键词:** 资产结构; 股价波动; 实验; 传染效应

**中图分类号:** C93; F830 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-884X(2012)07-1036-10

## Nonlinear Dynamic Model of Security Price Based on Behavioral Finance Experiments

WANG Limin LIU Xiangdong LIU Cheng TIAN Fei

(University of Science and Technology Beijing, Beijing, China)

**Abstract:** To explore the relationship between traders' capital structure and stock price volatility, we design and implement ten behavioral finance experiments with the same contents. According to the experimental phenomena and the principle that the positions of traders reflect their investment attitude towards market, this paper constructs a mathematical model describing the average market investment attitude and stock price. We first study the stability of the model by the related theory of nonlinear discrete dynamic system, and then identify contagion effect based on whether financial market is stable. Numerical simulations indicate that there exists an optimal contagion effect in the region of rational contagion effect. Furthermore, it also investigates the relationship between capital structure and stock price volatility when contagion effect is rational. Specifically, under the influence of rational contagion effect, when the numbers of long position traders and short position traders are roughly equal in the market, share price volatility shows a parallel trend with slight amplitude; when the number of long position traders are more (less) than the number of short position traders, share price volatility shows a decline (an upward) trend in huge amplitude.

**Key words:** capital structure; stock price volatility; experiments; contagion effect

股票价格波动是金融时间序列的最显著特征之一,对投资者的投资决策产生重要影响。一方面,股价波动幅度的大小直接体现出获得股票收益所需承担的风险;另一方面,股价波动状态的3种主要表现形式:上涨趋势波动、下跌趋势波动和水平趋势波动,决定了投资者的潜

在收益。

## 1 研究背景

近年来,对市场中各种因素及刺激与股票价格波动关系的研究已经相当丰富。该领域的研究大致可以分为3类:①各种信息刺激与股

收稿日期: 2012-05-20

基金项目: 国家社会科学基金资助重大项目(10ZD&029); 国家自然科学基金资助项目(71173012); 北京科技大学博士研究生科研基金资助项目(06106061)

价波动性的关系,这些信息涵盖宏观经济政策、货币政策、公司变化等。许均华等<sup>[1]</sup>认为,连续性政策与我国股市之间存在正相关关系,但其解释程度较小;股市运行受短期性的政策事件影响较大,但政策事件对股市冲击作用在逐步弱化。通过建立协整的 VAR 系统,CASSOLA 等<sup>[2]</sup>认为,欧元区货币政策对股票价格产生正向积极影响。张媚等<sup>[3]</sup>通过研究公司治理与非系统性股价波动之间的关系发现,第一大股东持股比例与股价的非系统性波动呈“U”形关系。②市场中的其他交易特征,如交易量、换手率等对股价波动率的影响。LAMOUREUX 等<sup>[4]</sup>在股价波动的混合分布假说(MDH)理论基础上,把交易量作为信息流的替代指标加入到 GARCH 模型的条件方差方程,得出交易量与价格波动存在着较强的正相关关系。OM-RAN 等<sup>[5]</sup>和 ANDREW 等<sup>[6]</sup>的研究也得出相同的结论,但董秀良等<sup>[7]</sup>采用多元 GARCH 模型从信息传递的角度进行实证研究,结果显示将交易量视为股价变动信息的代理变量还缺乏稳健的统计证据。佟孟华等<sup>[8]</sup>以换手率度量股票流动性,指出无论在横盘时期、牛市时期还是熊市时期,股票流动性与价格波动都显著正相关。只有在熊市时期以流通市值衡量的公司规模与股票价格波动显著负相关,即存在小盘股效应。③市场机制如价格形成方式、涨跌停板制度、卖空制度等对股票波动率的影响。YAKOV 等<sup>[9]</sup>通过分析纽约证券交易所的 30 只道琼斯指数成分股的开盘价格收益率(代表集合竞价方式)和收盘价格收益率(代表做市商方式),发现开盘价格收益率具有更大的波动性。廖士光等<sup>[10]</sup>利用中国香港股票市场数据的研究表明,卖空机制推出后,市场波动性加大,但 GRANGER 因果检验结果证实市场波动性的增加并非是由卖空交易引发的。

尽管如此,目前还没有学者从交易者的资产结构<sup>①</sup>视角研究其对股票价格波动的影响。主要原因并不是缺乏研究兴趣,而是真实市场中交易者资产结构的数据是保密的。值得庆幸的是,实验室的真人实验为这一视角的研究提供了一条可行之路。利用自主开发的投资者行为测试与分析平台(Investors behavior test and analysis platform, IBTAP),组织具备一定金融基础知识的在校大学生作为被试群体参加模拟炒股大赛。在实验中,各个被试者的初始资产是等量的股票和现金,他们在 IBTAP 上仅能够交易一只股票。通过多次重复实验,并细致地

分析被试者在实验平台的交易数据,发现了被试者的资产结构与股票价格波动的一些现象:当某一时段大多数被试者的风险资产比例很高(低)时,下一时段股票价格呈现下降(上升)趋势。此外,在交易过程中,被试者所表现出的一定的行为传染现象也引起了重视,具体表现为,当股票价格上升或下跌时,部分被试者逐渐加大单笔成交量,个别被试者几乎和盘托出。本文的目的是通过构建一个数学模型来解释这一现象,试图挖掘出其中更为深刻的金融意义。当然,如果想要较为合理地解释这一现象,必须充分考虑被试者的心理及行为因素。对此,不想过多探讨行为金融学中对投资者行为的众多理论,化繁为简,利用经典的传染效应来刻画投资者的交易行为。

随着行为金融的兴起,市场中交易者之间的传染效应对市场稳定性的影响,也引起了许多学者的关注。LUX<sup>[11,12]</sup>根据协同学的相关理论将传染效应引入到金融系统建模中。协同学是由德国物理学家 HAKEN<sup>[13]</sup>提出的,主要研究由大量子系统组成的系统在什么样的条件下产生相变以及相变规律。它把一切研究对象看成由“组元、部分或子系统”构成的系统,这些系统之间会通过交互作用形成一种整体效应或新型的宏观结构。此后,协同学逐渐应用到社会科学中。LUX<sup>[11,12]</sup>认为,市场中的投机者为了一些资产在市场中运作,是金融系统中的组元。投机者态度和观点的彼此感染表明他们之间存在交互作用。根据交易者观点的转变和行为传染,LUX 构建了一个基本的金融模型,该模型阐述了交易者同时依据价值信息和其他交易者的行为形成价格预期。通过对模型的定性分析,他认为交易者之间的传染行为导致了资产泡沫的产生、膨胀和崩溃。KAIZOJI<sup>[14]</sup>的研究表明,交易者之间的传染效应很强并且达到临界值时,将给金融市场带来泡沫和危机。FORONI 等<sup>[15]</sup>指出,市场中传染效应的增大会造成股票价格波动幅度增大,当传染效应超过临界值时,将会给市场带来灾难性的冲击。付强等<sup>[16]</sup>和袁晨等<sup>[17]</sup>认为,随着传染效应的不断增大,价格趋于更长时间地偏离价值,当传染效应逐渐接近不包含价值信息的临界值时,价格呈现出复杂的运动轨迹而难以稳定。

与以往研究不同,根据行为金融实验中的

① 借鉴企业资产结构的观念,本文假设市场中的交易者仅存在风险资产和无风险资产,将交易者的资产结构定义为其无风险资产及风险资产与总资产的比例关系。

现象以及 LUX<sup>[11,12]</sup> 的经典金融系统建模思想, 本文利用投资者持仓状态表示其投资态度, 并考虑在交易过程中投资者之间的传染行为, 构建一个全新的描述投资者平均投资态度和股票价格时间序列的金融模型, 研究在不同的传染行为作用下, 交易者资产结构对股票价格波动的影响。

## 2 行为金融实验

证券市场中交易者的资产一般由 2 个部分组成: ① 无风险资产, 如现金、政府债券等; ② 风险资产, 如股票、期货等证券资产。从交易成交的本质来看, 投资者资产结构的状态对其交易有约束作用: 如果交易者持有的全是现金, 称其为空仓, 那么只可能买入股票; 如果交易者持有的全是股票, 称其为满仓, 那么只可能卖出股票。从投资者行为及心理来看, 空仓和满仓是 2 种极端的资产结构状态, 十分明确地反映了投资者对市场的态度。

在真实市场中, 交易者往往有合理配置资产的行为倾向。他们调整仓位时, 在还没达到极端的空仓或满仓时, 就已经有了泾渭分明的买卖股票态度。为此, 选择 80% 的无风险资产比例作为交易者心目中的空仓, 20% 的无风险资产比例作为交易者心目中的满仓。即一旦交易者的仓位低至 20%, 就不会再卖出股票; 而当交易者的仓位高达 80% 时, 就不会再买入股票。

假定在  $t$  时刻市场中共有  $m_t$  个交易日者, 每个交易者的初始资产相等。 $\alpha_{i,t}$  表示  $t$  时刻第  $i$  个交易者的空仓状态, 若此时第  $i$  个交易者的无风险资产比例  $\geq 80\%$ , 则记为  $\alpha_{i,t} = 1$ , 否则记为  $\alpha_{i,t} = 0$ ;  $\beta_{i,t}$  表示  $t$  时刻第  $i$  个交易者的满仓状态, 若此时第  $i$  个交易者的无风险资产比例  $\leq 20\%$ , 则记为  $\beta_{i,t} = 1$ , 否则记为  $\beta_{i,t} = 0$ 。由此,  $t$  时刻市场中无风险资产比例不小于 80% 与不大于 20% 的交易者数量分别为  $\sum_{i=1}^m \alpha_{i,t}$  和  $\sum_{i=1}^m \beta_{i,t}$ 。

若交易者的无风险资产比例越高, 其就有更大的可能购买股票, 从而引起股票价格的上涨; 若交易者的无风险资产比例越低, 其购买股票的可能性就越小, 相反, 卖出股票的可能性就会增大, 从而很可能引起股票价格的下跌。那么, 在整个市场中, 若无风险资产比例很高的交易者人数非常多, 则他们购买股票的意愿就会很强烈; 若无风险资产比例很低交易者人数非常多, 则他们购买股票的意愿就会明显下降, 甚至卖出股票的可能性会增大, 从而导致股票

价格的变动。下面将通过行为金融实验, 观察市场中资产结构变化与股票价格波动之间的现象。

### 2.1 实验设计及过程

在 2011 年 3 月 13~26 日期间, 先后做了 10 场设计相同的实验。实验对象包括北京科技大学校内以及其他学校选修《中国股票市场》课程的学生、会计 08 级本科生、金融 08 级本科生、MBA 实验课程学生。各场实验都得到了基本相同的结果, 本文仅以 2011 年 3 月 15 日会计 08 级本科生的实验为例, 说明资产结构对股票价格波动的影响。根据本文的研究目的, 简要介绍一下实验设计及过程。

(1) 投资者行为测试与分析平台 IBTAP 是由北京科技大学金融工程实验室独立开发的。它是基于计算机技术和互联网而建立的, 可以完全模拟真实的市场环境, 包括独立的交易撮合成交系统、实验管理信息系统、独特的资金管理系统和实验信息分析系统。所有实验均在 IBTAP 上进行, 在交易过程中, 实验数据会被自动记录并存储, 以供后期研究之用。

(2) 实验主体及激励机制 实验主体为北京科技大学经济管理学院学习过基础金融课程的本科生以及 MBA 学生。针对实验经济学对以学生为被试群体的实验有效性的质疑, MOORE 等<sup>[18]</sup> 对学分制和货币激励制度进行了比较, 发现以学生为主体的实验群体, 对学分制和货币激励制度的态度无差别。学分激励制度和现金激励制度的无差异特性使得以学生作为实验群体的实验成本大大降低, 实验的可行性也大大提高。

本次实验选用学分作为实验报酬。在实验前规定, 被试者期末成绩的 40% 由模拟炒股的收益率来确定。按照收益率排名高低, 以递减的等差数列形式为被试者打分。打分的规则如下: 假定一场实验有  $n$  位被试者, 收益率排名第  $m$  位的被试者的得分为  $100 - 60(m-1)/n$ 。通过这种打分机制, 激励被试者积极参与交易, 以获取更高的考试成绩。在实验开始前, 实验主体被告知参加模拟炒股大赛, 并可以依据收益率获得相应的成绩。在整个实验过程中, 实验主体并不知道自己是—个被试者。

(3) 交易规则 IBTAP 根据交易者的委托指令, 采用连续竞价方式, 按照价格优先、时间优先的原则配对成交, 形成交易价格。其他的交易规则如下: ① 交易制度, 采用  $T+0$  交易制度, 以便更好地模拟真实市场中连续的交易情

形;②涨跌幅限制,涨幅最高限制为 500%,跌幅最高限制为-99%;③交易场所:北京科技大学金融工程实验室;④交易股票的种类数量,只提供一只可以交易的股票(股票名称:飞飞科技,股票代码:100083);⑤单笔交易数量,100股或为其整数倍;⑥交易费用,对买卖双方均不收取手续费。

(4) 实验过程 本次试验大约经历 1 个小时,共分为 4 个阶段,相邻 2 个阶段之间有一定的休息时间,以缓解被试者的疲劳和厌倦。在实验开始时,为每位被试者提供了 50 万元的现金和 1 万股的股票,股票的开盘价定为 50 元每股。实验的基本信息见表 1。根据研究的需要,注册了若干控制账户,供后台操作人员使用。每个账户的现金和股票数量都非常大,可以起到控制市场的作用。

表 1 实验基本信息表

实验时间	股票名称及代码	被试人群	被试人数	开盘价格	初始资产
8:38:59 ~9:37:21	飞飞科技 (100083)	会计 08 级 本科生	46 人	50 元每股	50 万元、 1 万股股票

在 4 个阶段的实验中,利用控制账户对市场的控制状况见表 2。IBTAP 将自动保存并存储 4 个阶段的所有交易信息,包括交易者的委托记录、成交记录以及账户中股票和现金的即时数量、股票即时价格等。

表 2 实验过程设计表

实验阶段	实验时间	控制与否
1	8:38:59~8:48:57	不控制
2	8:54:57~9:04:44	控制
3	9:10:37~9:20:55	不控制
4	9:27:03~9:37:21	控制

## 2.2 实验现象

实验目的是研究交易者的资产结构对股票价格波动的影响。在实验结果的记录中,重点统计交易者资产结构状态并计算股票价格波动幅度。分别统计各个实验阶段的下列数据:无风险资产比例  $\geq 80\%$  的人数  $\sum_{i=1}^m \alpha_{i,t}$ , 无风险资产比例  $\leq 20\%$  的人数  $\sum_{i=1}^m \beta_{i,t}$ , 并记录各个实验阶段的股价变化趋势及幅度(见表 3)。

在第 1 阶段中,没有通过控制账户对股市施加任何干预,被试者在试验平台中自由交易。表 3 中该阶段的实验数据显示,无风险资产比例不低于 80% 和不高于 20% 的交易者数量都

相当少,而这一阶段的股价波动也较为平缓,呈现小幅度的水平波动趋势。

表 3 4 个实验阶段的统计结果

实验阶段	$\sum_{i=1}^m \alpha_{i,t}$	$\sum_{i=1}^m \beta_{i,t}$	股价变化趋势	股价变化幅度/%
1	1	2	水平波动	7.9
2	13	1	单边上升	286.3
3	10	3	水平波动	11.1
4	1	12	单边下降	-67.8

在第 2 阶段中,利用控制账户间接促进股价上涨。第 2 阶段的实验数据表明,市场中已经有相当多交易者的无风险资产比例超过 80%,而仅有极个别投资者的无风险资产比例低于 20%。在这种资产结构的影响下,该阶段股价呈现大幅的单边上升趋势。

在第 3 阶段中,没有使用控制账户干预市场,被试者可以通过自由交易调节资产结构。设计第 3 阶段实验的目的是避免第 2 阶段结束时空仓与满仓交易者数量直接纳入第 4 阶段实验的统计,干扰实验结果。由于受第 2 阶段实验的影响,仍然采用全过程中 2 类交易者数量来描述市场中资产结构分布显然不合适。实际上,经过第 3 阶段的调整,市场中的股价最终徘徊在新的均衡价格附近,2 类交易者的数量在接近第 3 阶段尾声时都只有 1。在第 3 阶段的实验中,股价依然保持小幅度的水平波动。

在第 4 阶段的实验中,利用控制账户间接地拉低股价。表 3 中的统计数据显示,2 类交易者的数量与第 2 阶段的相比,发生了相反的变化。无风险资产比例高于 80% 的交易者数量相当少,而无风险资产比例低于 20% 的交易者数量相当大。此时市场中股票价格呈现单边大幅下跌趋势。

值得注意的是,实验中被试者的交易行为具有一定的传染性,在实验的第 2 和第 4 阶段尤为突出。当股价一路上升或下跌时,被试者无论是买进还是售出股票都表现出一定的跟风现象。个人的单笔交易量也由最低的 100 股,逐渐攀升,甚至个别被试者几乎全盘售出或买进。

## 3 模型构建及分析

为了能较合理地解释以上行为金融实验中的现象,进而深入地探讨在投资者心理及行为因素的作用下,资产结构与股价波动之间的关系,下面将构建一个金融系统的数学模型加以

说明。

### 3.1 模型构建

为了简化研究,根据 LUX<sup>[11,12]</sup> 的经典市场平均投资态度理论,假设在封闭的金融市场中只存在一只股票可供交易者交易,并且交易者只能在空仓和满仓中选择一种状态。假定市场中共有  $n$  个交易日,每个交易者的初始资产几乎相等。市场中股票的总数量为  $s$  股,现金流总量为  $M$ 。在  $t$  时刻,交易者  $i$  的持仓状态记为  $x_i^{(t)}$ ,若此时交易者  $i$  是满仓,则  $x_i^{(t)} = 1$ ;若此时交易者  $i$  是空仓,则  $x_i^{(t)} = -1$ 。由于交易者在认为股票价格将要上升时才会保持满仓,所以满仓的交易者被定义为乐观投资者,空仓的交易者被定义为悲观投资者。将市场中投资者的持仓状态汇总平均,可以得到市场中投资者的平均投资态度  $X_t = \sum_{i=1}^n x_i^{(t)} / n$ 。显然,对于任意时刻  $t$ ,都有  $X_t \in (-1, 1)$ 。若  $X_t > 0$ ,则表示乐观投资者的数量大于悲观投资者的数量;若  $X_t < 0$ ,则情况相反。在极端的情况下,即  $X_t$  趋向于 1 或者 -1 时,分别代表几乎所有的投资者都是满仓者或空仓者。

记  $n_l$  和  $n_s$  分别为满仓者和空仓者的数量,市场上所有交易者数量为  $n = n_l + n_s$ 。由此,可以将市场上所有交易者的平均投资态度表示为

$$X_t = \sum_{i=1}^n x_i^{(t)} / n = \frac{n_l - n_s}{n} \quad (1)$$

随着时间的推移,每个投资者都可能修改投资态度,但在任意相邻时段  $t \sim t+1$  之间最多做 1 次修改。记  $Pr_b$  为满仓者向空仓者转变的概率, $Pr_d$  为空仓者向满仓者转变的概率。继而可以得到,满仓者向空仓者转化的数量为  $n_l Pr_b$ ,空仓者向满仓者转变的数量为  $n_s Pr_d$ 。于是,在任意时刻  $t \sim t+1$  之间,满仓者变动的数量为  $n_s Pr_d - n_l Pr_b$ 。同理,在任意时刻  $t \sim t+1$  之间,空仓者变动的数量为  $n_l Pr_b - n_s Pr_d$ 。由此,在任意时刻  $t \sim t+1$  之间,市场中所有交易者的平均投资态度的变动量为

$$X_{t+1} - X_t = \frac{(n_s Pr_d - n_l Pr_b) - (n_l Pr_b - n_s Pr_d)}{n} \quad (2)$$

结合式(1)和式(2)可得,市场平均投资态度变化的动态表达式为

$$X_{t+1} - X_t = (1 - X_t)Pr_d - (1 + X_t)Pr_b \quad (3)$$

借鉴 WEIDLICH 等<sup>[19]</sup>、LUX<sup>[11,12]</sup> 和 KAIZOJI<sup>[14]</sup> 构建转换概率的思想,定义投资者持仓状态的转换概率表达式分别为

$$\begin{cases} Pr_d = v \exp\left[rX_t + \alpha\left(\frac{(M/s) - P_t}{v}\right)\right]; \\ Pr_b = v \exp\left[-rX_t - \alpha\left(\frac{(M/s) - P_t}{v}\right)\right], \end{cases} \quad (4)$$

式中, $v$  表示交易者持仓观点转变的速度,是一个正数,因为在一个流动的市场中,交易者的仓位状态会不断发生变化; $r$  为传染效应,表示交易者根据市场平均投资态度进行决策的度量权重; $m$  为市场中的总现金流与股票份额的比值,即  $m = M/s$ , $m$  在此的意义为市场均衡状态下每股股票的价格,可以将其理解为股票的基础价值;指数项中用股票的基础价值与价格之差除以  $v$ ,是为了反映动态传染过程中的平均时滞; $\alpha$  为交易者对股票市场价格和基础价值之间差异的反应强度,度量了套利效应。 $\alpha$  和  $r$  都为正的常数。

将式(4)代入式(3)可得市场平均投资态度的动态关系式

$$X_{t+1} - X_t = v\{e^{rX_t + \alpha[(m - P_t)/v]} - e^{-rX_t - \alpha[(m - P_t)/v]}\} - vX_t\{e^{rX_t + \alpha[(m - P_t)/v]} + e^{-rX_t - \alpha[(m - P_t)/v]}\} \quad (5)$$

市场的平均投资态度反映了交易者的平均超额需求,进而影响股票的价格。当超额需求为正时,价格上涨,反之则下跌;当没有超额需求时,价格保持不变。对于任意时刻  $t$ ,市场中交易者的平均资产规模为  $(M + sP_t)/n$ ,于是  $X_{t+1}(M + sP_t)/n$  就代表  $t+1$  时刻整个市场的平均超额需求。可以给出股票价格的动态关系式

$$P_{t+1} = P_t + f[X_{t+1}(M + sP_t)/n], \quad (6)$$

式中,函数  $f$  为非线性单调递增函数,满足  $f(0) = 0$ ;  $f[X_{t+1}(M + sP_t)/n]$  表示  $t+1$  时刻投资者平均超额需求  $X_{t+1}(M + sP_t)/n$  的价格调整函数。根据 FORONI 等<sup>[15]</sup> 的研究,本文选择  $f(x) = \lambda \arctan x$ ,进而可得具体的股票价格动态关系式

$$P_{t+1} = P_t + \lambda \arctan[X_{t+1}(M + sP_t)/n], \quad (7)$$

式中, $\lambda > 0$  表示基于投资者态度的价格固定调整尺度。

联立式(5)和式(7),得到一个描述市场投资态度与股票价格动态演变的复杂金融系统

$$\begin{cases} X_{t+1} = X_t + v\{e^{rX_t + \alpha[(m - P_t)/v]} - e^{-rX_t - \alpha[(m - P_t)/v]}\} - vX_t\{e^{rX_t + \alpha[(m - P_t)/v]} + e^{-rX_t - \alpha[(m - P_t)/v]}\}, \\ P_{t+1} = P_t + \lambda \arctan[X_{t+1}(M + sP_t)/n]. \end{cases} \quad (8)$$

### 3.2 稳定性分析

下面将利用非线性离散动力系统稳定性的相关理论探讨式(8)的稳定性。假设  $E^* = (X^*, P^*)$  为式(8)的均衡点,则  $X^*, P^*$  需要满

足下列关系式

$$\begin{cases} 0 = v \{ e^{rX_t + a[(m-P_t)/v]} - e^{-rX_t - a[(m-P_t)/v]} \} - \\ vX_t \{ e^{rX_t + a[(m-P_t)/v]} + e^{-rX_t - a[(m-P_t)/v]} \}, & (9) \\ 0 = \lambda \arctan [X_{t+1} (M + sP_t) / n]. \end{cases}$$

根据价格  $P_t$  的经济含义,均衡价格应该为一个正数。由此,可以得到式(8)唯一具有经济含义的均衡点  $E^* = (X^*, P^*) = (0, m)$ 。

令  $\omega = M/n$ ,则式(8)在均衡点  $E^* = (X^*, P^*)$  处的 Jacobi 矩阵为

$$J = \begin{bmatrix} 1 + 2v(r-1) & -2a \\ 2\lambda\omega + 4\lambda\omega v(r-1) & 1 - 4a\lambda\omega \end{bmatrix}. \quad (10)$$

记  $\det(J)$  为矩阵  $J$  的行列式,  $\text{tr}(J)$  为矩阵  $J$  的迹,进而由式(10)可得

$$\begin{cases} \det(J) = 1 + 2v(r-1), \\ \text{tr}(J) = 2 + 2v(r-1) - 4a\lambda\omega. \end{cases}$$

由此可以得出,式(8)局部渐近稳定的条件为

$$\begin{cases} 1 - \text{tr}(J) + \det(J) = 4a\lambda\omega > 0, \\ 1 + \text{tr}(J) + \det(J) = 4 + 4v(r-1) - 4a\lambda\omega > 0, \\ 1 - \det(J) = -2v(r-1) > 0. \end{cases} \quad (11)$$

由于参数  $\alpha, \lambda, \omega$  都为正数,式(11)中的第1个不等式显然成立,因此,式(11)可以进一步简化为

$$\begin{cases} 1 + v(r-1) - a\lambda\omega > 0, \\ v(r-1) < 0. \end{cases} \quad (12)$$

由式(12)可知,均衡点  $E^* = (X^*, P^*)$  在下列2种情况下会由稳定状态转变为不稳定状态:第1种情况是穿过翻转分叉曲线  $v = (\alpha\lambda\omega - 1)/(r-1)$ ;第2种情况是穿过 Neimark Sacker 分叉曲线  $r-1=0$ 。图1展示了式(8)均衡点的稳定区域,它由翻转分叉曲线和坐标轴所围成。只有当参数取值范围属于稳定区域时,股票价格时间序列和市场投资态度时间序列才会逐步趋向经济均衡点  $E^* = (X^*, P^*)$ ,一旦参数取值穿过稳定区域,2个变量将会呈现无止境的振荡状态,股票价格远离基础价值,市场平均投资态度频繁转变。

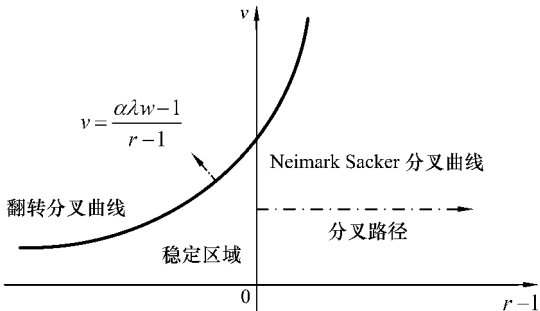


图1 式(8)均衡点的稳定性区域

为了研究传染效应对市场稳定性的影响,把式(12)转化为如下不等式

$$1 - \frac{1 - a\lambda\omega}{v} < r < 1. \quad (13)$$

由式(13)可知,在特定的金融系统中,保证系统稳定性的传染效应会处于一个固定的区间。

为了清晰地表达传染效应对金融市场稳定性的影响,本文进一步对传染效应进行分类。在式(8)中,除传染效应外其他参数都固定的情况下,本文定义保证金融系统稳定<sup>①</sup>的传染效应为该金融系统的中度传染效应,把小于中度传染效应下确界的传染效应称为轻度传染效应,把大于中度传染效应上确界的传染效应叫做重度传染效应。一般而言,在给定的式(8)中,轻度传染效应会造成股票价格产生小幅度的周期波动;中度传染效应会促使股票价格在短暂的波动后收敛至均衡价格;重度传染效应则会破坏金融市场的稳定性,导致股票价格持续震荡,造成市场出现大的泡沫或者崩盘。显然,无论是轻度传染效应还是中度传染效应都属于理性传染效应。理性传染效应加快了股价对价值信息的吸收速度,促进了股票价格向价值的逼近速度。而当传染效应越过阈值时,则会表现为重度的非理性传染效应。这种非理性的传染效应导致股票价格的剧烈震荡,造成市场的不稳定。

### 3.3 数值模拟

下面将利用数值模拟实现2个方面的工作:①展示传染效应参数的变化对金融系统稳定性的影响;②探讨在不同传染效应作用下,金融市场中交易者资产结构的变化对股票价格波动性的影响。为此,分别设计3个系列的数值模拟加以说明。

在进行数值模拟时,首先要确立初始值。关于初始值选取问题,需要强调以下3点:①前文证明了金融系统局部渐渐稳定性,根据离散动力系统稳定性理论可知,选取的初值需要在均衡点附近,远离均衡点的初值会引起金融系统的不稳定。当然在均衡点附近选择初始值也比较符合实际情况,毕竟在通常情况下,市场平均投资态度与股票价格都会在一定范围内波动。②根据本文对市场平均投资态度的定义可

<sup>①</sup> 这里专指金融系统均衡点局部渐近稳定,即经济变量经历一段时间的运行后,最终收敛至唯一的均衡点。

知,市场平均投资态度值的大小,取决于满仓交易者数量的多少。由此,在数值模拟中,选用不同的初始市场平均投资态度可以表示资产结构的变化。③结合文中每个交易者初始资产相等的假设,可以得出初始市场平均投资态度  $X_0$  与初始股票价格  $P_0$  满足下列关系式:

$$\begin{cases} X_0 = (n_l - n_s)/n; \\ P_0 s/n_l = M/n_s; \\ n_s + n_l = n, \end{cases} \quad (14)$$

式中,  $n_s, n_l$  分别指初始时刻市场中空仓与满仓交易者数量。在下文的数值模拟中,除初始值  $(X_0, P_0)$  和传染效应  $r$  外,其他参数的取值见表4。

表4 数值模拟选用的参数值

参数	参数含义	参数取值
$M$	市场中的现金流总量	1 000 000 万元
$n$	市场中交易者数量	100 000 人次
$v$	交易者投资态度转变速度	0.5
$s$	市场中股票的总数量	200 000 万股
$\alpha$	交易者对股票市场价格和基础价值之间差异的反应强度	0.3
$\lambda$	基于交易者态度的价格固定调整尺度	0.2

根据表4中的参数值,可以得到均衡股价  $m = M/s = 5$  元,市场中人均现金流  $w = M/n = 10$  万元,金融系统的均衡点为  $E^* = (X^*, P^*) = (0, 5)$ 。由此,在进行数值模拟时,不需要再给出  $n_s, n_l$  的取值。一旦给定初始市场平均投资态度  $X_0$  后,就可以结合式(14),并利用  $n_s, n_l$  作为替换变量求出初始股票价格  $P_0$ 。

### 3.3.1 第1个系列的数值模拟

在第1个系列的数值模拟中,首先在满足式(14)的条件下,在均衡点附近任意选取金融系统的初始值  $(X_0, P_0) = (0.03, 5.0301)$ ,然后通过调节传染效应  $r$  的取值,利用 Matlab 软件作出相应的金融系统时间序列图,从而考察

单因素参数  $r$  的变化对金融系统稳定性的影响。根据式(13),容易计算出金融系统稳定的必要条件是  $0.2 < r < 1$ 。根据本文所给的定义,  $r \leq 0.2$  的传染效应值表示金融系统的轻度传染,  $r$  取值在  $(0.2, 1)$  之间的传染效应值为金融系统的中度传染,  $r \geq 1$  的传染效应值为金融系统的重度传染;  $r$  在区间  $(0, 1)$  的传染效应值属于理性传染效应,而超过 1 的传染效应值属于非理性传染。当传染效应值  $r$  属于理性传染时,金融系统稳定或呈现微幅的周期均衡状态,否则,金融系统不稳定。

当传染效应  $r = 0.1$  时,市场表现为轻度传染效应,金融系统呈现微幅的周期波动(见图2a)。对于出现这种情况的一个合理解释是,在轻度传染效应的影响下,股票价格对于市场信息吸收缓慢,而交易者具有异质性,对股票价格具有不同的预期。由此,市场中的股票难以形成一个固定的均衡价格,最终表现为,随着时间推移,股票价格持续性微幅振荡,交易者满仓或空仓的状态在小范围内频繁交替。当传染效应  $r = 1.1$  时,属于重度传染,金融系统不稳定,股票价格时间序列剧烈振荡,并且振幅远大于轻度传染效应的情况(见图2b)。此时金融系统中投资者表现出严重的传染效应,他们过度的跟风行为导致股票价格一旦偏离价值就很难回归并停留在均衡价格,从而造成金融市场的不稳定。这一现象与 KAIZOJI<sup>[14]</sup>、FORONI 等<sup>[15]</sup>的结果基本一致。本文的数值模拟进一步显示,取值非常大的重度传染能够诱发较大的股市泡沫甚至导致股市崩盘。由此,加强对投资者的价值理念教育和心理教育,以防止市场中出现严重的传染效应,对于稳定市场具有重要意义。

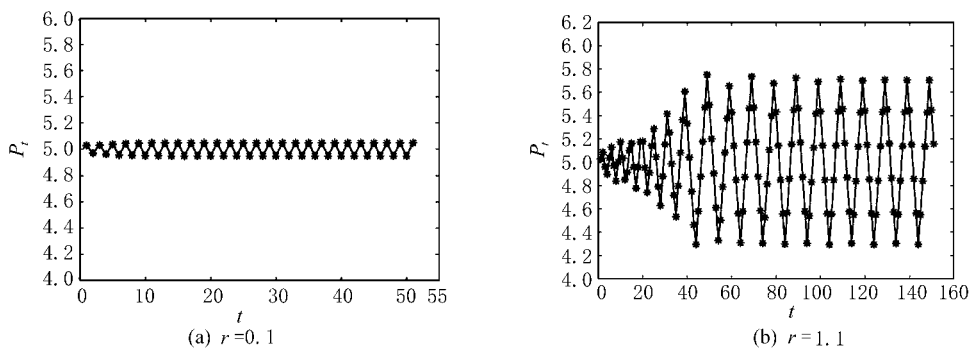


图2 当初始值为(0.03, 5.0301)股票价格时间序列图

当传染效应  $r = 0.5$  时,传染效应是理性

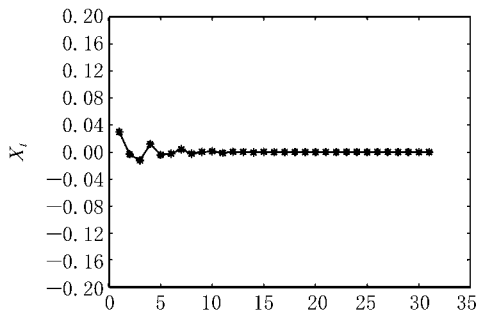
的,金融系统稳定(见图3a),图中分别展示了

市场平均投资态度和股票价格时间序列逐渐收敛至均衡。这一现象表明,在理性的传染效应范围内,交易者能及时合理地调整仓位,转变投资态度,最终使得市场平均投资态度收敛至均衡状态,股票价格回归至均衡价值。

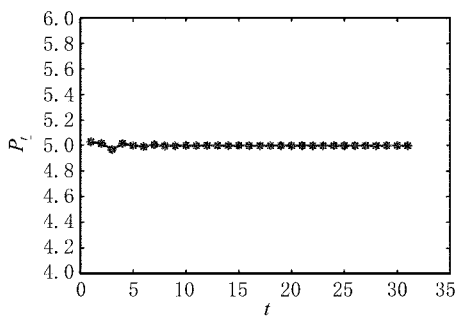
尽管如此,需要强调的是,即便在理性的传染效应范围内,不同的传染效应仍然会导致股票价格向均衡价格收敛的速度不同。对于这一问题,付强等<sup>[16]</sup>和袁晨等<sup>[17]</sup>认为,在理性的传染效应区间内,随着传染效应的增大,价格趋于更长时间地偏离均衡,但是本文的数值模拟结果并不支持这一观点。

### 3.3.2 第2个系列的数值模拟

在这个系列的数值模拟中,在满足式(14)

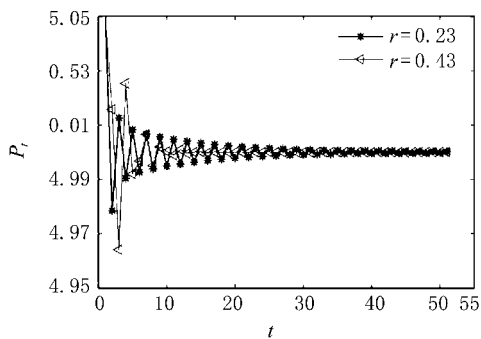


(a)  $r=0.5$  时市场平均投资态度

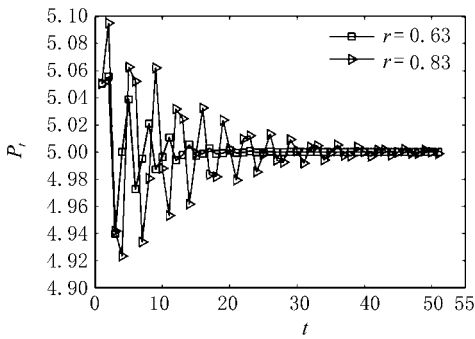


(b)  $r=0.5$  时股票价格时间序列

图3 当初始值为(0.03, 1.061 9)市场平均投资态度和股票价格时间序列图



(a)



(b)

图4 当初始值为(0.05, 5.050 3)股票价格时间序列图

### 3.3.3 第3个系列的数值模拟

第3个系列数值模拟主要分析股票市场资产结构的变化对股票价格波动性的影响。根据前文分析,利用不同的初始市场平均投资态度来表示资产结构的变化。

在图3中,市场平均投资态度为0.03,趋向于0。此时市场中满仓和空仓的交易者数量几乎相等,在多空双方力量势均力敌的情况下,市场中平均超额收益的需求比较平缓,股票价

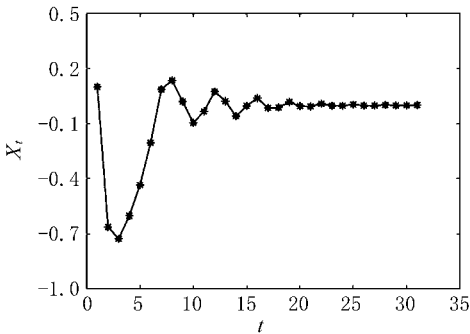
的条件下,选用的初始值为(0.05, 5.050 3)。为展示在理性传染效应区间内,不同传染效应对股票价格向均衡价格的收敛速度的影响,分别模拟了传染效应  $r=0.23, 0.43, 0.63, 0.83$  时,股票价格时间序列图。随着传染效应的增大,股票价格分别经历大约45步、13步、19步、48步迭代收敛至均衡(见图4)。这表明在理性的传染效应区间内,并不是传染效应越小,股票价格向均衡逼近的速度越快。通过改变模型中的参数与初始值,执行的大量数值模拟仍然显示与图3相同的现象。由此,在理性的传染效应区间内,存在一个最优的传染效应。在最优的传染效应的作用下,股票价格将以最快的速度收敛至均衡。

格不会出现大幅波动。图3b显示股票价格时间序列在短暂的小幅波动后收敛于均衡价格。在图5和图6的数值模拟中,在满足式(14)的条件下,选取的初始值分别为(0.1, 6.111 1)和(-0.1, 4.090 9),传染效应都为  $r=0.6$ 。由于传染效应值仍然属于理性传染效应,在这2组初值下,金融市场依旧保持稳定。图5中的市场平均投资态度为0.1,此时满仓交易者人数为空仓交易者人数的1.222 2倍,在多头数量比

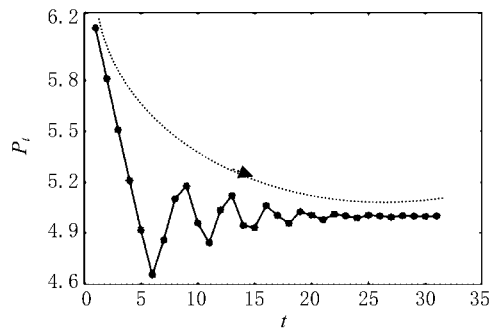


空头数量具有明显优势的市场资产结构下,股票价值被高估。随着股票的价值逐渐被挖掘,满仓者开始抛售股票,股票价格下跌,空仓者认为有利可图,开始买进股票。在此过程中,图5a显示了市场中满仓交易者数量逐渐下降,空仓交易者数量逐渐上升,最终达到一种对等的均衡状态,整个市场中的投资态度也由高度乐观逐渐转变为中性。图5b描述了随着市场中多空双方数量的逐渐对等,股票价格在震荡中渐近下跌至均衡价格。图6中的市场平均投资态度为-0.1,此时空仓交易者数量为满仓交易

者数量的1.222 2倍,市场中的空头数量比多头数量具有明显优势。在这种市场的资产结构状态下,股票价值被低估。随着股票的价值逐渐被发现,空仓者开始大肆买进股票,拉动了股票价格的上涨,满仓者认为有利可图,卖出股票。在这个过程中,图6a显示市场中空仓者数量逐渐下降,满仓者数量逐渐上升,最终趋向于对等的均衡状态,而市场的平均投资态度也由高度悲观逐渐转变为中性。图6b表明,随着市场中空多双方数量的逐渐对等,股票价格在振荡中渐近地上涨至均衡价格。

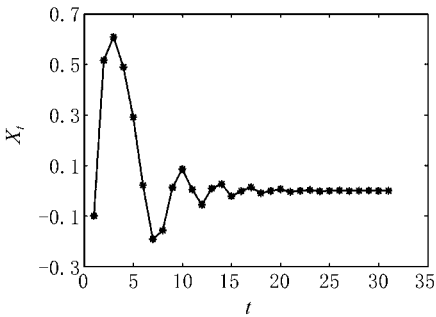


(a)  $r=0.6$  时市场平均投资态度

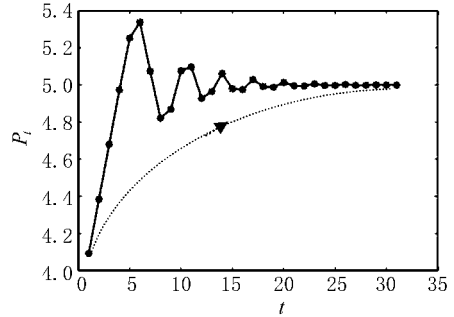


(b)  $r=0.6$  时股票价格时间序列

图5 当初始值为(0.1, 6.1111)市场平均投资态度和股票价格时间序列图



(a)  $r=0.6$  时市场平均投资态度



(b)  $r=0.6$  时股票价格时间序列

图6 当初始值为(-0.1, 4.0909)市场平均投资态度和股票价格时间序列图

事实上,由式(14)可知,只要初始的市场平均投资态度大于(小于)0,相应的股票价格就会高于(低于)均衡价格。在理性传染效应的作用下,股票价格逐渐收敛至均衡价格或者是小幅的周期均衡(可以近似地看作均衡价格)。由此,在理性传染效应的影响下,市场中满仓交易者数量高于(低于)空仓交易者数量,股票价格就有下降(上升)趋势。这与前文所提到的大学生模拟炒股实验中的现象一致。透过这一现象,还可以得出一个重要结论,即大学生在实验中表现出来的传染效应是理性的。这应该得益于大学生具备一定的金融基础知识,对金融市场有自己的见解,没有因盲目地跟风而形成重

度传染。

#### 4 结语

根据行为金融实验中的现象,利用交易者持仓状态能反映其对市场投资态度的原理,本文构建了一个描述市场平均投资态度和股票价格的非线性动态模型。首先利用离散动力系统的相关理论研究了模型的稳定性,然后根据金融市场稳定与否对投资者之间的传染效应进行界定,并利用相关的数值模拟重点研究传染效应对股票市场稳定性的影响,以及在稳定的市场中不同资产结构对股票价格波动的影响,主要得到以下结论:

(1)不同的传染效应会导致金融市场稳定性发生变化。在既定的金融市场中,本文定义保持金融系统稳定的传染效应为中度传染效应,小于中度传染效应下确界的传染效应为轻度传染效应,大于中度传染效应上确界的传染效应为重度传染效应。轻度传染效应和中度传染效应都属于理性传染效应,在理性的传染效应区间内,存在一个最优的传染效应,在其影响下,股票价格能够以最快的速度收敛至均衡;重度传染效应属于非理性的传染效应,它破坏金融市场稳定性、导致股票价格持续性大幅震荡。

(2)在理性传染效应的影响下,市场中的平均投资态度决定股票价格的波动趋势。具体而言,当市场中满仓交易者与空仓交易者数量相当时,股票价格呈现小幅的水平趋势波动;当市场中满仓交易者数量远小于空仓交易者数量时,股票价格有上涨趋势的波动;当市场中满仓交易者数量远大于空仓交易者数量时,股票价格有下跌趋势的波动。

本文首次从行为金融实验出发,研究在传染效应作用下,投资者的资产结构与股票价格波动之间的关系。本文的研究不仅丰富了行为金融理论,而且从新的视角分析股票价格波动机制,为金融监管机构和投资者提供了新的参考证据。

#### 参 考 文 献

[1] 许均华,李启亚. 宏观政策对我国股市影响的实证研究[J]. 经济研究,2001(9):12~21.

[2] CASSOLA N, MORANA C. Monetary Policy and the Stock Market in the Euro Area[R]. Milano: Università Degli Studi di Milano,2002.

[3] 张娟,孔爱国. 商业银行治理与股价波动关系的实证研究[J]. 复旦学报:社会科学版,2010(5):101~108.

[4] LAMOUREUX G L, LASTRAPES W D. Heteroskedasticity in Stock Return Data: Volume Versus GARCH Effects[J]. Journal of Finance, 1990, 45(1): 221~229.

[5] OMRAN M F, MCKENZIE E. Heteroskedasticity in Stock Returns Data Revisited: Volume Versus GARCH Effects[J]. Applied Financial Economics, 2000, 10(5): 553~560.

[6] ANDREW W L, WANG J. Trading Volume: Definition, Data Analysis, and Implications of Portfolio Theory[J]. The Review of Financial Studies, 2000, 13(2): 257~300.

[7] 董秀良,吴仁水. 交易量适合作为股价波动信息的代理变量吗?——来自中国沪深股市的证据[J]. 数量经济技术经济研究,2008(1): 97~108.

[8] 佟孟华,刘丽巍,蔡玲玲. 流动性对股票价格波动影响的实证分析[J]. 当代经济研究,2009(12): 60~64.

[9] YAKOV A, MENDELSON H. Trading Mechanisms and Stock Returns: An Empirical Investigation[J]. Journal of Finance, 1987, 42(3): 533~553.

[10] 廖士光,杨朝军. 卖空交易机制、波动性和流动性——一个基于香港股市的经验研究[J]. 管理世界,2005(12): 6~13.

[11] LUX T. Herd Behavior, Bubbles and Crashes [J]. Economic Journal,1995, 105(5): 881~896.

[12] LUX T. The Socio-economic Dynamics of Speculative Markets: Interacting Agents, Chaos, and the Fat Tails of Return Distributions [J]. Journal of Economic Behaviour and Organization, 1998, 33(2): 143~165.

[13] HAKEN H. Synergetics: An Introduction[M]. 3rd ed. Berlin: Springer, 1983.

[14] KAIZOJI T. Speculative Bubbles and Crashes in Stock Markets: An Interacting Agent Model of Speculative Activity[J]. Physica A, 2000, 287(3/4): 493~506.

[15] FORONI I, AGLIARI A. Complex Price Dynamics in a Financial Market with Imitation[J]. Journal of Computational Economics, 2008, 32(1/2): 21~36.

[16] 付强,袁晨,刘立安. 投资者买卖观点转换概率的非线性资产价格动态模型及实证研究[J]. 系统工程, 2009, 27(6): 23~30.

[17] 袁晨,付强. “T+1”交易制度下非线性证券价格动态模型及实证[J]. 管理科学学报,2011, 14(3): 83~96.

[18] MOORE A, TAYLOR M. Experimental Economics Research: Is There an Alternative to Having Huge Research Budgets[J]. Economics Bulletin, 2007, 3(4): 1~6.

[19] WEIDLICH W, BRAUN M. The Master Equation Approach to Nonlinear Economics[J]. Journal of Evolutionary Economics,1992, 2(3): 233~265.

(编辑 杨妍)

通讯作者:王立民(1962~),男,北京人。北京科技大学(北京市 100083)东凌经济管理学院副教授。研究方向为行为金融、金融物理。E-mail:wanglm@manage.ustb.edu.cn