

研究领域：行为金融与经济物理
市场群体的交易性条件反射及其量化方法

ACCEPTED BY

CRSP Forum 2010 at the University of Chicago Booth School of Business

Modern Finance – Past, Present and Future

November 4 ~ 5, 2010, Chicago, USA (accepted and registered)

<http://www.crsp.com/forum/program/papers.html>

Econophysics Colloquium 2010 at Institute of Physics, Academia Sinica

November 4~6, 2010, Taipei, Taiwan (presented by Tongkui Yu)

<http://www.phys.sinica.edu.tw/~socioecono/econophysics2010>

《第十届（2010）中国经济学年会》

河南财经政法大学，2010 年 11 月 19~21 日 (presented by Leilei Shi)

郑州，中国

《第七届（2010）中国金融学年会》

中山大学，2010 年 12 月 3~5 日 (presented by Yiwen Wang)

广州，中国

2011 Annual Meeting of the Midwest Finance Association

March 2~5, 2011, Chicago, USA (presented by Leilei Shi)

<http://www.mfa2011.com/>

International Conference on Econophysics (2011)

June 4~6, East China University of Science and Technology

Shanghai, China (presented by Leilei Shi)

<http://rce.ecust.edu.cn/index.php/en/ice2011>

2011 North American Summer Meeting of the Econometric Society

June 9~12, Washington University in St. Louis, USA (accepted but withdrawn)

<http://artsci.wustl.edu/~econconf/EconometricSociety/>

2011 China International Conference in Finance

July 4-7, 2011, Wuhan, China (presented by Leilei Shi)

<http://www.ccf.org.cn/cicf2011/>

市场群体的交易性条件反射及其量化方法

(曾用标题“证券价格波动的交易性条件反射模型”)

石磊磊^{*1,2}、王毅文^{2,4}、陈定³、韩立岩²、朴燕²、苟成玲⁵

¹中国科学技术大学近代物理系复杂系统研究组

²北京航空航天大学经济管理学院

³嘉实基金管理公司

⁴复旦大学经济学院

⁵北京航空航天大学物理系

(2011 年 1 月 28 日修改稿)

(2009 年 12 月 29 日初稿)

(欢迎讨论)

摘要

本文通过我国股市的高频数据和相关性分析来研究市场群体的学习和心理行为。我们根据心理学中的操作性条件反射，首次提出一个交易性条件反射的概念，用成交量-价概率波方程中的成交量概率来计量市场群体交易性条件反射的强度。我们发现：总体来说，平均收益率与交易性条件反射强度变化之间具有显著的正相关性，市场群体对收益率的心理预期显著地表现了卖出的处置效应和买入的羊群行为，并且该“羊群”对价格趋势的心理预期明显地大于其反转的；第二，我们还发现在细分后的某一时期，它们之间具有显著的负相关性。我们用条件反射来解释他们的交易行为“异象”。

关键词：行为金融，经济物理，群体行为，交易性条件反射，成交量-价概率波
JEL 分类：G12, D03, D83

* 联系作者：在某著名证券公司工作，电子信箱 Shileilei8@yahoo.com.cn 或 leilei.shi@hotmail.com

作者感谢与王怀玉、汪秉宏、王亚平、周春生、于同奎、刘劲、郭有江、刘发民、狄增如、王有贵、王大辉、李红刚、刘定平、Yannick Malevergne、Stephen Figlewski、Pengjie Gao、Tao Wu 和毛菊英等非常有意义的讨论。作者还要感谢《2010 年经济物理学年会》、《2010 年第十届中国经济学年会》、《2010 年第七届中国金融学年会》以及 2011 Annual Meeting of the Midwest Finance Association (USA) 参与者的有益讨论，特别要感谢于同奎帮助我们在《2010 年经济物理学年会》上做该文章的报告。

Market Crowd's Trading Conditioning and Its Measurement

Leilei Shi^{*1,2}, Yiwen Wang^{2,4}, Ding Chen³, Liyan Han², Yan Piao², and Chengling Gou⁵

¹Complex System Research Group, Department of Modern Physics,
University of Science and Technology of China (USTC)

²School of Economics and Management, Beihang University

³Harvest Fund Management Co. Ltd.

⁴School of Economics, Fudan University

⁵Department of Physics, Beihang University

This Draft is on January 28, 2011

The First Draft was on December 29, 2009

(Comments welcome)

Abstract

In this paper, we study market crowd's learning and psychological behavior by correlation analysis, using high frequency data in China stock market. We introduce a notion of trading conditioning for the first time in terms of operant conditioning in psychology and use transaction volume probability in a transaction volume-price probability wave equation to measure the intensity of market crowd's trading conditioning. We find that there is, in general, significant positive correlation between the rate of mean return and the change in the intensity of trading conditioning. They behave notably disposition effect in stock selling and herd behavior in stock buying with expectancy on return. Specifically, "the herd" have significant stronger expectancy on price momentum than its reversal. Second, there is also a significant negative correlation between them in a subdivided term. We explain their "abnormal" trading behavior by conditioning.

Key words: behavioral finance, econophysics, crowd's behavior, trading conditioning, transaction volume-price probability wave

JEL Classifications: G12, D03, D83

*Corresponding author works in a prestigious securities company in China. His E-mail address: Shileilei8@yahoo.com.cn or leilei.shi@hotmail.com

The authors appreciate valuable discussion with Huaiyu Wang, Binghong Wang, Yaping Wang, Chunsheng Zhou, Tongkui Yu, Jing Liu, Youjiang Guo, Famin Liu, Zengru Di, Yougui Wang, Dahui Wang, Honggang Li, and Juying Mao etc. We thank workshop participants at Econophysics Colloquium 2010, The 10th Chinese Economics Annual Conference (2010), and The 7th Chinese Finance Annual Meeting (2010). We especially thank Tongkui Yu to help us for the paper presentation at Econophysics Colloquium 2010.

一、引言

美国耶鲁大学希勒教授 (Shiller, 2006) 把过去半个世纪的金融理论史概括成两次不同的革命。第一次起源于上个世纪六、七十年代的新古典金融学革命和第二次起源于上个世纪八十年代的行为金融学革命。

新古典金融理论基于三个基本假说: (1) 价格波动是独立随机游走的 (Bachelier, 1900; Samuelson, 1965); (2) 投资者是理性的, 决策依据是预期效用最大化的 (Samuelson, 1937; Von Neumann 和 Morgenstern, 1944); (3) 市场对信息的反应是有效的 (Fama, 1970)。其中预期效用最大化假说是指对未来预期收益贴现值的决策效用最大化, 它通过变分法解决了效用函数的极值问题, 在建立规范的 (normative) 数理金融模型中发挥了非常重要的作用, 实现了金融研究从宏观到微观、从定性描述到定量分析的跨越。

但是, 新古典金融理论无法合理地解释金融交易市场中许多异常现象, 例如价格波动频率分布的尖顶 (leptokurtosis)、胖尾 (heavy tail) 和聚集 (cluster) 特征 (Mandelbrot, 1963), 或者说, 价格波动很大和很小的量经常出现的标度 (scaling) 现象 (Mantegna 和 Stanley, 1995), 与独立随机游走的正态分布明显不同; 再例如价格过度波动、金融泡沫、市场过度反应和不足反应、过度交易 (量)、以及人们在交易决策时表现出的处置效应和羊群行为等等。新古典金融理论针对这些异常现象的研究方法主要采用 ARCH 系列模型 (Engle, 1982; Bollerslev, 1986) 对价格波动的频率分布进行修正, 用三因素系列模型 (Fama 和 French, 1993) 找出影响股市平均回报率共同风险因素, 并且用不完整信息 (incomplete information) 给予解释 (Friedman, 1979; Merton, 1987)。它既没有考虑市场群体的相互作用, 也没有考虑投资者的主观行为和情绪变化对市场的影响, 因此, 无法正确应对金融危机给一个国家、一个地区乃至世界经济造成巨大危害的“小”概率事件, 例如在上个世纪九十年代初期发生的日本金融市场泡沫破裂, 之后爆发的东南亚金融危机, 以及最近波及全球的美国次贷金融危机。

所以, 人们早在新古典金融理论形成的初期就开始对它的价格形成机制提出了质疑 (Kahneman 和 Tversky, 1972; Tversky 和 Kahneman, 1973, 1974; Shiller, 1981), 并且开始将心理因素和相互作用行为融合到金融市场的研究之中 (DeBondt 和 Thaler, 1985), 引发了第二次行为金融学革命。Sewell (2008) 认为: 行为金融学是研究心理学对金融市场参与者行为的影响并且由此产生的市场效应, 它有助于解释市场为什么以及怎样无效的。

目前, 一系列行为金融学的理论研究成果已经在两个方面取得了显著的成功 (Barberis 和 Thaler, 2003)。一方面, 在一个理性与非理性同时参与和相互作用的市场中, 非理性行为能够对价格产生显著和长久的影响, 理性套利行为的影响是有限的, 即有限套利 (De Long 等, 1990; Shleifer 和 Vishny, 1997); 另一方面, 认知心理学家大量的实验证据表明当人们作出判断 (beliefs) 时存在偏差 (biases), 在同样偏差的条件下人们如何决策也有不同的偏好 (preference), 并不是依据单一复杂的预期效用最大化的规则进行投资和交易决策的 (Kahneman 和 Tversky, 1979; Tversky 和 Kahneman, 1992)。

然而, 目前行为金融学还存在许多缺陷, 处于起步阶段。首先, 由于预期效用 (Expected Utility--EU) 最大化假说以及由此得到的数理模型与实际情况都不

符合，这样引发了许多对该假说的修正和非预期效用理论的研究（non-EU theories），例如，权重效用理论（Chew 和 MacCrimmon, 1979）、后悔理论（Bell, 1982）以及不同偏好理论（Loewenstein 和 Prelec, 1992; Laibson, 1998）等等，试图用规范的（normative）数理金融模型来定量描述包含心理因素的市场行为。这些行为金融理论模型对 Samuelson 主观理想化的预期效用最大化假说进行了某些修正（Shiller, 2006），但是无法摆脱与事实不符合的原有假说缺陷的束缚，在数理模型和可预测方面与传统理性金融理论非常相似、难以区分、没有本质上的区别（Brav 和 Heaton, 2002），结果在数理模型的建立和心理行为的描述这两个方面都做的不好（Barberis 和 Thaler, 2003）。

于是，包括一些著名的思想家和实践家都否定了规范性的金融理论和模型。Tversky 和 Kahneman（1986）得出的结论是规范性分析和描述性分析无法调和，没有一个选择理论既能够非常规范地用数理模型来表示，又能够正确描述客观事实；基于这个结论，Barberis 和 Thaler（2003）认为由于人们几乎不可能在每天的生活中都是依据规范原则做出判断和选择，而会违背这种不变性原则，因此用规范性的方法来研究金融市场的行为现象注定会失败；Soros（1998, 2010a）一直坚信由于在社会科学研究的事件中，存在着具有思考能力的参与者，而在自然科学中却没有，因此，经济现象不可能用普遍有效的规律来预测，无法用物理学的方法来描述，经济学不可能成为一门科学…

第二，目前行为金融学模型有代表性地扑捉到投资信念（beliefs）、偏好（preferences）或有限套利（the limits of arbitrage）三个方面中的某一特征，而不能涵盖全部三个方面；第三，目前行为金融学对同一个实证结果又有明显不同的行为解释（Barberis 和 Thaler, 2003）。第四，行为金融学需要找到一个统一的理论将完全理性与非理性这两种极端情况衔接起来，以增强其解释能力（董志勇, 2009）。

科学的进步往往是螺旋式向前的。具有好奇心的人们从来就没有放弃用严谨规范的科学方法来探索、研究和发现金融交易市场中的行为现象。

我们注意到近 10 年来，金融学理论研究呈现出新的发展特点和趋势：从宏观和定性描述，到微观和用高频数据定量分析检验；从单一理性的交易决策行为、价格独立随机游走、以及严谨的数学研究方法，到多元有限理性的交易决策行为、市场群体相互作用和干涉的概率波、并且涉及多交叉学科的研究方法；从只注重价格行为，到逐步重视交易量、研究它所包含心理行为的内容和信息、并且将成交量和价格作为一个整体对资本市场进行分析。我们将沿着这些新的发展特点和趋势，深入开展行为金融学的理论和实证研究。

影响股票价格波动的因素有许多，例如，公司经营状况、宏观经济因素、政策因素、心理行为因素等等。它们对价格波动的影响有大有小。但是，没有交易就没有价格的波动，各种因素只有通过交易传导才能造成价格的波动，是间接的作用。价格波动的直接因素是交易（量）。因此，价格波动与所有这些因素的关系就归结为价格波动与交易（量）的关系。

Shi（2006）在用经济物理学方法来研究价格波动与累计交易量之间相互关系时，取得了非常有意义的进展，虽然在过去这一研究成果一直没有引起人们的注意。Shi（2006）首先根据成交资金量（累计交易资金量）对价格波动和成交量（累计交易量）的约束关系，建立了一个成交资金能量、价格波动能量和成交量分布能量之间相互关系的数学表达式，即成交能量关系假说；接着，将股市中的

交易规则——“价格优先，时间优先”的交易价格最小波动原理用一个变分方程表示出来，即在一个完全自由竞争和连续竞价的金融交易市场，由市场供需关系决定的交易价格依照“价格优先，时间优先”的价格最小波动原理波动，也就是说，交易价格波动的路径依照成交资金能量对价格和成交量的约束关系函数的泛函，在各种可能的价格变化中，选择对当前价格变化最小，对描述价格波动的成交量函数取极值。基于这两个客观事实，Shi（2006）推导出一个解析的、不含时间变化的成交量-价概率波方程，并且得到两组解析的成交量在价格波动区间的分布函数（以下简称“成交量分布函数”）。其一，当使得价格偏离定态均衡价格的趋势力与供需平衡回归力之和在价格波动区间等于本征值常数、发生干涉行为时，也就是说趋势力、供需平衡力与相互作用力之和等于零，并且相互作用力的数值在价格波动区间等于本征值常数，处于定态均衡状态时，成交量分布服从带本征值的零阶贝塞尔函数的绝对值分布；其二，当供需平衡回归力的数值等于常数，没有相互作用力，并且供需平衡回归力的数值与成交资金能量成正比时，成交量分布服从一组包含指数分布的多阶本征值函数的绝对值分布。通过实证检验，Shi（2006）初步证明了该方程和成交量分布函数的有效性，成交量-价的行为类似一种概率波。

成交量分布函数既能描述相互作用条件下价格波动频率和成交量分布的尖顶、胖尾、聚集和标度行为，与实际观察到的现象一致，也能描述独立随机条件下的指数分布和均匀分布的特殊情况。在成交量分布函数中，成交量概率用于描述价格波动的不确定性和强度，其解析表达式中的本征值都是可观察和可测量的量，能够用市场真实数据来检验其有效性。例如，成交量概率分布出现尖顶、胖尾、聚集和标度现象是由于市场参与者群体出现相互作用和干涉的结果。本征值常数越大，市场群体的相互作用力越大，尖顶、胖尾、聚集和标度现象就越显著；反之，这种现象就越不显著，越接近正态分布^①。

成交量-价概率波方程可以描述市场完全理性和非理性两种极端条件下的行为特征。当市场供需关系决定的交易价格始终与标的基本价值一致时，市场群体的行为是完全理性的，例如国债净值交易；当市场供需关系决定的交易价格与标的基本价值毫无关系时，市场群体的行为是非理性的，例如一些没有任何价值的权证交易。显然，在绝大多数情况下，金融交易市场的群体行为介于这两者之间，投资者是有限理性的。在这里，与新古典金融理论首先假设市场是理性的、都是按照单一的决策效用最大化要求从事交易活动不同，成交量-价概率波理论用市场交易价格和行为来判断交易者群体是否是理性的，每一个参与者都可以有各自的行为和决策方式。

因此，我们用规范的方法来研究股票市场中价格波动的行为时，已经不再需要在现实世界中是不正确的理性预期效用最大化的教条假说，而是利用“价格优先，时间优先”的价格最小波动原理，通过一个变分方程将影响价格波动的各种因素都通过交易（量）纳入到一个统一规范的成交量-价概率波方程之中，采用严谨的经济物理学方法来研究股票市场的价格波动行为已经取得了富有成效的新进展。

在此基础上，我们试图深入开展行为金融学的理论研究，诠释成交量-价概率波方程中成交量概率所包含心理学行为的内涵，并且用成交量概率来量化市场群

^①根据概率统计学的大数定律，当总成交量远远大于单笔成交量时，价格波动的成交量概率近似等于频率。

体的心理行为。这是用价格波动和收益率（强化物和惩罚物）来定量分析市场群体心理行为的关键。

索罗斯（1998；Soros，2010b）起初从抽象的哲学思考出发研究反射理论，随后逐步察觉到它与股票价格行为的相关性，最早用一个描述性的反射理论来研究股票价值与市场交易价格之间的相互作用关系。他认为股票市场可以成为研究反射现象的最佳起点。索罗斯定性描述的反射是指股票价值与交易价格之间通过人们的认知和交易决策形成一个相互作用的反馈循环（Feedback loop），属操作性条件反射中的第三类强化（惩罚）物（库恩，2007）。

在本文中，我们根据生理学中的经典性条件反射和心理学中的操作性条件反射，首次提出一个交易性条件反射的概念，用成交量-价概率波方程中的成交量概率表示交易性条件反射的强度，并且诠释了成交量概率所包含交易群体心理行为的内涵。由此，我们以美国次贷金融危机为背景，采用我国股市从泡沫膨胀、破裂、萎缩一直到市场重新复苏整个过程的每笔交易的高频数据来分析价格波动的平均收益率（以下简称“平均收益率”）与交易性条件反射强度变化之间的相关性，研究市场群体在股票市场中的学习和心理行为。我们发现：总体来说，前后交易日的平均收益率与交易性条件反射强度变化之间存在着显著的正相关性，说明了平均收益率改变了交易频率，对市场群体来说具有显著的交易性条件反射的强化或惩罚作用，市场群体对收益率的心理预期显著地表现出卖出的处置效应和买入的羊群行为，并且该“羊群”对价格趋势的预期明显地大于它反转的预期；第二，我们还发现将样本时间进一步细分之后，它们之间在某一时期具有显著的负相关性；第三，在泡沫破裂前后两个时期，它们之间的正相关缺乏显著性。我们用条件反射来解释市场群体的交易行为。

以下是本文的结构：第二部分是关于经典性条件反射、操作性条件反射和过度交易（量）的心理行为研究文献的回顾；第三部分是成交量-价概率波方程和成交量分布函数简介；第四部分提出了一个交易性条件反射的概念，找到了一种计量交易性条件反射强度的方法，诠释了成交量-价概率波方程和成交量分布函数中成交量概率所包含心理行为的内涵，并且通过一组联立方程来说明前后交易日的平均收益率与交易性条件反射强度变化之间关系的动态机制和原理；第五部分采用华夏上证 50ETF 每笔交易的高频数据，用成交量分布函数模型进行实证检验；接着，我们实证分析前后交易日的平均收益率和交易性条件反射强度变化之间的相关性；第六部分是讨论实证结果，这包括：（1）关于价格波动的定态均衡理论、心理行为解释以及成交量-价概率波方程的有效性；（2）平均收益率对市场群体的强化或惩罚作用以及市场群体的学习和心理行为；（3）应用前景；最后一部分是总结和结论。

二、文献回顾

为了诠释成交量-价概率波方程中成交量概率所包含市场群体心理行为的内涵，我们基于经典性条件反射、操作性条件反射和目前行为金融学的研究，首次提出了交易性条件反射的概念。

1904 年诺贝尔生理与医学奖获得者、俄国生理学家巴甫洛夫（Pavlov，1904）在研究动物生理反应和反射时用狗的唾液量来表示反射的强度，首先提出了经典性条件反射。经典性条件反射是当条件反射刺激出现时预期非条件反射刺激物的

一种生理反应。

Thorndike (1913) 最早研究了操作性条件反射。之后, Skinner (1938) 为了研究大鼠操作性条件反射专门设计了一个装置,“斯金纳箱”(Skinner box)。实验发现:经过几次操作获取食物(强化物)之后,大鼠便形成了稳定的频率来按压杠杆、获取食物的行为模式。现在,心理学家把操作性强化物定义为“伴随一个反应发生并能增加这个反应再次发生的可能性事件”。

与经典性条件反射一样,操作性学习也是建立在信息和期望基础之上的。操作行为的条件化是指当不同刺激(discriminative stimulus)出现时,如果而且也只有特定操作反应(operant response)发生之后,强化物(reinforcement)才会出现(Dragoi, 1997);或者说,在特定刺激(certain stimulus)出现时,有操作性条件反射行为,并且总是随后产生特定的结果(Irons and Buskist, 2008)。Skinner 将不同刺激、操作行为和强化物之间的这种关系称之为三项相互联系、可能发生的事件(three-term contingency)。Pierce 和 Cheney (2004) 把操作性条件反射归纳成“在不同刺激营造出来的一个已知环境下,从事特定的操作,随后产生特定结果(强化物)”的行为反应。在操作性条件反射中,强化物可用于改变反应频率:强化物出现的不确定性(例如不确定反应次数后出现强化物的“可变比率模式”和不确定时间间隔后出现强化物的“不定时间间隔模式”)使得条件反射的频率很高、消退的抑制力很强(库恩, 2007)。

颅内刺激(intracranial stimulation, ICS)能够直接激活大脑中的快乐中枢,有着最强、最特殊的强化作用(Olds 和 Fobes, 1981)。实验发现许多大鼠为获得愉快感每小时能按压杠杆几千次,远远大于为获取食物按压的频率(相差几个数量级),全然不顾对食物、水和性的需求。在操作性条件反射实验中,认知心理学家用大鼠操作杠杆的频率来表示操作性条件反射的强度。

由此,我们看到强化物和对强化物反应强度的计量方法是用条件反射来研究学习过程和心理行为的两个关键问题。

库恩(Coon, 2007)将操作性强化物分成三类:一级强化物、二级强化物和反馈。一级强化物是自然形成的和非习得性的,具有生理基础,能产生舒适感和消除不适感,或能满足即时的生理需求。金钱、赞扬、赞同、情感以及其他的奖赏都可以成为强化物,即习得的二级强化物。一些二级强化物具有“代币物”的功能,可用以交换一级强化物,因此就有了更直接的价值。例如,钱币本身没有太大的价值,既不能充饥也不能解渴,但是,我们可以用它换取商品和服务,也许是最重要的经济强化物(Pierce 和 Cheney, 2004)。研究者曾通过实验教黑猩猩为获得代币物而工作(Cowles, 1937)。反馈是指主观认知对操作结果信息的接收和处理之后再影响操作的一个循环过程。

交易性条件反射是一种操作性条件反射,它的不同刺激(discriminative stimulus)是价格波动和收益信息,操作类别(operant class)是交易,强化或惩罚物(reinforcement or punishment)是收益率,其中正收益率赚钱对应于强化物,负收益率亏损对应于惩罚物。与以往操作性条件反射研究的对象主要是动物不同(例如狗、大鼠、猩猩或蜜蜂等),交易性条件反射是研究人类在金融交易市场中的学习和心理行为,是本文研究的重点。

在金融研究领域,人们长期以来都十分关注价格波动行为和回报率的研究,很少关注交易量,甚至完全忽视了对它的认识。例如,新古典金融理论的资本资产定价模型(Sharpe, 1964)、价格随机布朗运动(Samuelson, 1965)以及期权

定价理论 (Black and Scholes, 1973) 中根本就没有供需量和交易量的信息。近 10 年来这种现象有所改变, 人们开始逐步重视和研究在金融交易市场中交易量所包含的内容和信息。例如, 在新古典金融理论的框架内, Lo 和 Wang (2006) 基于 ICAPM 模型 (Merton, 1973) 建立了一个多重资产的 ICAPM 模型来研究交易量和资产回报率所包含的内容。在新兴发展的行为金融学范畴内, 我们开始将交易量与投资者的情绪、信念和偏好联系在一起。Lee 和 Swaminathan (2000) 发现以前的成交量在趋势投资策略和价值投资策略之间提供了重要的连接, 它有益于调和价格在中期反应不足而在长期反应过度的效应; Benos (1998) 和 Odean (1998) 认为过于自信 (overconfidence) 导致市场的过度交易 (excessive trading); Odean (1999) 例举三个理由说明过于自信的投资者产生过度的交易量: 职业选择偏差、生存能力偏差以及对预期收益的不现实理念, 并通过对客户交易收益和交易成本的研究来检验过于自信导致过度交易的假说; Barber 和 Odean (2000) 进一步的实证发现活跃的交易行为会降低收益率, 这种非理性行为只能用过于自信来解释; Graham 等 (2009) 则从那些自认为比别人更具竞争力的群体交易更加频繁来解释过于自信导致过度交易假说。Statman 等 (2006) 用过于自信模型对交易量的预测性进行检验, 发现个股的换手率与滞后回报率以及与滞后市场回报率之间持续数月的关系分别显示了处置效应和过于自信。Barber 等 (2009) 用个人投资者系统地买入近期表现好的股票而不卖亏损的股票 (使得净交易量非常大) 的心理偏差来解释个体对价格表现的交易行为存在着高度持续的相关性。Grinblatt 和 Keloharju (2001) 通过实证发现过去的回报率、参照价格效应、避税卖出和持有期间盈亏的大小都是影响交易的因素, 而过于自信和寻求兴奋感 (sensation seeking) 的人交易都更加频繁和活跃 (Grinblatt 和 Keloharju, 2009)。Hong 和 Stein (2007) 认为交易量似乎是反应投资者观点的指标, 价格偏离基本价值越高, 交易者对价格的分歧就越大, 交易量就表现出异常地大, 由此, 提出了一个可以将股价和交易量统筹考虑的意见分歧交易量模型 (disagreement model)。

无论是过于自信交易量假说, 还是寻求兴奋感或意见分歧交易量假说都认为交易量的大小反应了个体投资者情绪、信念和偏好的强弱程度。我们在本文交易性条件反射的研究中将会用到这一行为金融学的研究结果。

三、成交量-价概率波方程

本文将诠释成交量-价概率波方程中成交量概率所包含的交易群体心理行为的内涵, 因此, 我们首先简要介绍该方程的出处和它的解析成交量分布函数。

3.1 成交量-价概率波方程与解析分布函数

在股票交易体系中, 独立变量有两个, 价格和成交量, 成交金额是它们的约束量。根据经典力学原理 (周衍柏, 1985), 我们知道交易体系的独立自由度的数目等于 1 (独立变量数 2 减去约束方程数 1)。经济物理学先驱 Osborne (1977) 发现供需量是独立变量 (自变量), 价格是被解释变量 (因变量) 在实际中是不存在的, McCauley (2000) 从数学上证明了 Osborne 的这一结论。因此, 我们在研究中选择价格是独立变量 (自变量), 成交量是因变量。

Shi (2006) 在研究成交量-价行为时发现：在股票交易市场中普遍存在着定态均衡。定态均衡就是指交易价格始终围绕一个定态均衡价格波动的同时，定态均衡价格也会因为市场供需发生突变出现不连续和跳跃的变化，是一种动态均衡。定态均衡价格是在价格波动区间成交量峰值所对应的交易价格。

根据成交资金额 M 在价格 p 处对成交量（累计交易量） v 的约束关系

$$M = pv, \quad (1)$$

Shi (2006) 假设成交资金能量 E

$$E = pv_u; \quad (2)$$

由两部分组成，并且提出了成交能量关系假说

$$-E + p \frac{v_t^2}{V} + W(p) = 0, \quad (3)$$

其中 v_t 和 v_u 分别是在价格 p 处的成交动量（作用动量）和成交冲量， V 是在价格波动区间的总成交量， $W(p)$ 是价格波动能量和定态均衡项。

根据“价格优先，时间优先”的交易规则，即交易价格最小波动原理，我们有其数学表达式如下

$$\delta \int F(p, \psi) dp = 0, \quad (4)$$

其中

$$F(p, \psi) = (W - E) \psi^* \psi + \frac{B^2}{V} p \left(\frac{d\psi^*}{dp} \right) \left(\frac{d\psi}{dp} \right). \quad (5)$$

由方程 (3) 和 (4)，Shi (2006) 得到了成交量-价概率波方程如下

$$\frac{B^2}{V} \left(p \frac{d^2 \psi}{dp^2} + \frac{d\psi}{dp} \right) + [E - W(p)] \psi = 0. \quad (6)$$

在已知信息和有限理性的交易决策环境中，如果市场群体对某一交易价格的认同度最高，那么，当交易价格高于它时，卖量增加买量减少，供给大于需求，价格回落；同样，当交易价格低于它时，卖量减少买量增加，供给小于需求，价格上涨。这个被市场最认同的价格就是此间的定态均衡价格，交易价格围绕定态均衡价格上下波动的数学表达式是

$$W(p) = A(p - p_0) \approx A(p - \bar{p}), \quad (7)$$

其中 p_0 是定态均衡价格， \bar{p} 是成交量加权价格平均值， $-A$ 是供需平衡回归力，其中负号表示供需平衡力的方向始终指向定态均衡价格。

我们将方程 (7) 代入方程 (6)，并且利用自然边界条件

$$\psi(0) = 0, \psi(p_0) < \infty, \text{ 及 } \psi(+\infty) \rightarrow 0, \quad (8)$$

得到两组解析解；其一，当使得交易价格偏离定态均衡价格的趋势力 v_u 与供需平衡回归力 $-A$ 之和在价格波动区间等于本征值常数（相互作用力的数值）、发生干涉行为时，也就是说，趋势力、供需平衡力与相互作用力之和等于零，并且相互作用力的数值在价格波动区间等于常数，处于定态均衡状态时，其方程的解是带本征值的零阶贝塞尔函数

$$\psi_m(p) = C_m J_0[\omega_m(p - p_0)], \quad (m = 0, 1, 2, \dots), \quad (9)$$

其中

$$\omega_m^2 = v_u - A = \frac{v}{V} v_u, \quad (\omega_m > 0) \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (10)$$

$-\frac{v}{V} v_u$ 是相互作用力（负号表示相互作用力的方向始终指向定态均衡价格）， ω_m 是大于零的本征值常数， $J_0[\omega_m(p - p_0)]$ 是带本征值的零阶贝塞尔（Bessel）函数， C_m 是一无量纲归一化常数。波函数（9）的含义是它的绝对值 $|\psi_m(p)|$ 代表在价格 p 处的成交量概率（参见图 1）

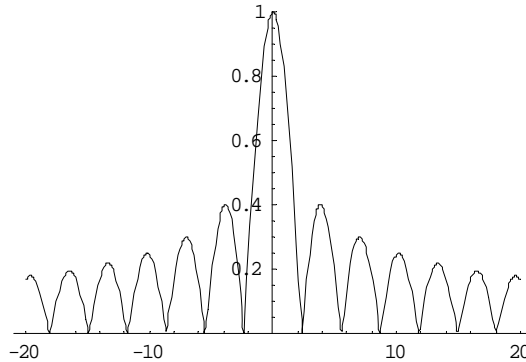


图 1：成交量概率在价格波动区间的零阶贝塞尔函数的绝对值分布

其二，当供需平衡回归力的数值等于常数，并且等于成交资金能量时（相互作用力等于零），其方程的解是一组包含指数分布的多阶本征值函数

$$\psi_m(p) = C_m e^{-\sqrt{A_m}|p - p_0|} \cdot F(-n, 1, 2\sqrt{A_m}|p - p_0|), \quad (n, m = 0, 1, 2, \dots), \quad (11)$$

其中

$$\sqrt{A_m} = \frac{E_m}{1 + 2n} = \text{常数} > 0, \quad (n, m = 0, 1, 2, \dots), \quad (12)$$

$F(-n, 1, 2\sqrt{A_m}|p - p_0|)$ 是一个 n 阶的合流超几何函数或第一类 Kummer 函数， C_m 是一无量纲（归一化）常数。波函数（11）的含义是它的绝对值 $|\psi_m(p)|$ 代表在

价格 p 处的成交量概率（参见图 2）。在图 1 和图 2 中，横坐标代表价格，纵坐标代表成交量概率，原点是定态均衡价格。

图 1 和图 2 的分布函数有几点不同：第一，图 1 的分布是随着价格不断偏离定态均衡价格表现出波浪式衰减的，而图 2 除了零阶是指数分布之外，其分布是一种波浪式均匀的，阶数越大，均匀性越显著；第二，图 1 的分布是开放的，能够描述股市中突发的、远离定态均衡价格的脉冲式交易，例如，利益输入或输出交易行为，而图 2 的分布是封闭的，能够描述随机均匀分布行为；第三，除了零阶分布，图 2 分布的本征值常数一般比图 1 的大一、二个数量级。但是，图 1 和图 2 分布的共同点是它们都能够很好地描述指数分布。

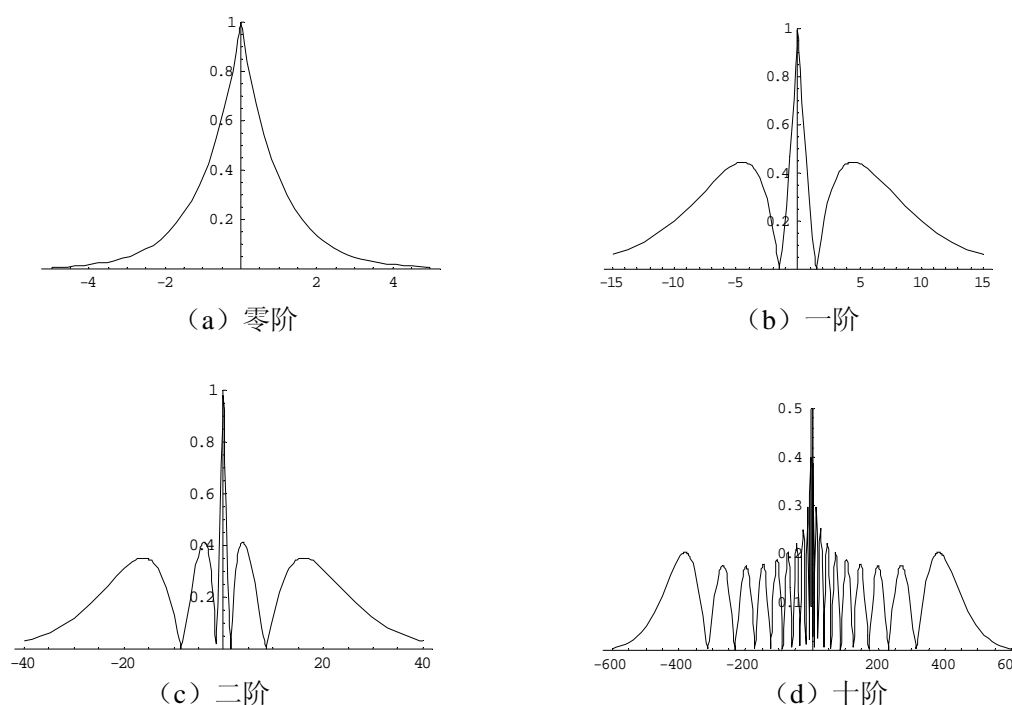


图 2：成交量概率在价格波动区间的多阶函数的绝对值分布

3.2 本征值、概率波和定态均衡

为了有助于非物理专业背景的读者阅读理解，我们在这里简单地介绍一下本征值和概率波。

本征值又称为特征值。在描述事件分布的函数中，本征值与参数是不同的。在绝大多数情况下，当我们观察到事件具有某种分布特征时，由于不清楚导致事件分布的机制，往往用一个带有参数的分布函数描述它的统计行为。在这种近似的描述中，我们并不知道该参数所包含的内容和实际意义。本征值是可观察和可测量的量，明确了产生分布的机制，因此能够对其正确与否进行定量检验。例如，在成交量分布函数中，本征值包含两种意义：在第一组解中，本征值常数表示市场群体相互作用力的数值，即趋势力与供需平衡回归力之和在价格波动区间等于本征值常数、发生干涉行为的结果，用方程 (10) 计量；在这样的定态均衡条件下，趋势力、供需平衡回归力和相互作用力之和等于零。在第二组解中，本征值

常数说明供需平衡回归力在价格波动区间等于常数，与成交资金能量常数成正比，成交量分布函数是指数或随机均匀分布，用方程（12）计量；在这样的定态均衡条件下，相互作用力为零，供需平衡回归力与趋势力之和近似等于零。

所谓概率波是用概率大小描述波的强弱程度和分布，例如在成交量-价概率波中，我们用成交量概率而不是价格波动的幅度描述价格波动的强度。

现在，让我们来比较概率波和经典波的不同点和共同点（参见图3）。首先，概率波的横坐标是价格或距离，纵坐标是数量概率，而经典波的横坐标是时间，纵坐标是振幅；第二，概率波是用数量分布概率的大小描述波动的强弱和变化，而经典波是用振幅的大小描述波动的强弱和变化；第三，概率波的强度大于或等于零，而经典波的强度可以是负的；第四，相对于平衡位置，概率波波动的强度随着偏离平衡位置呈现出波浪式的变化（除了零阶分布函数），波动的幅度越大，不等于波动的强度也越大；而在经典波中，波动的幅度越大，波动的强度就越大；第五，概率波描述群体之间的相互作用，不能独立存在，而经典波可以独立存在；第六，目前我们还没有发现概率波在时间上存在着严格的时间周期性，即预测重复的时间存在着不确定性，而经典波有传播速度，可以计量，因此存在着时间周期。

概率波和经典波的共同点就是都会出现干涉现象，都有周而复始的重复变化。

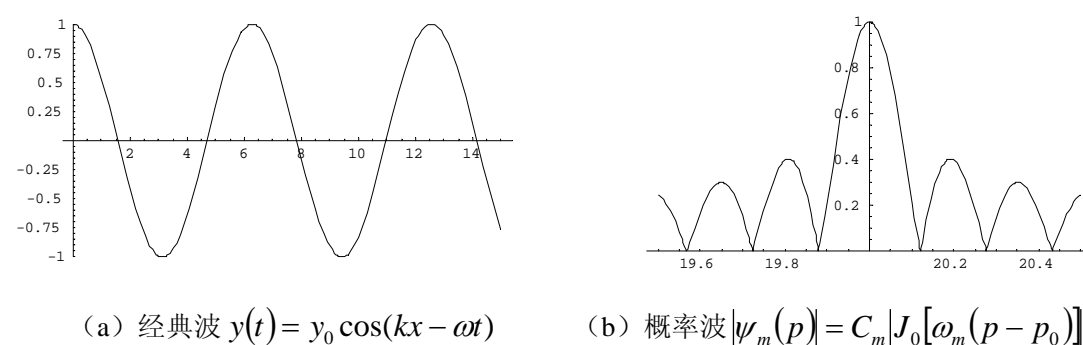


图 3：经典波与概率波的比较

在检验成交量-价概率波方程和定态均衡理论的有效性时，Shi（2006）采用我国股市每笔交易的高频数据，用成交量在价格波动区间的零阶贝塞尔函数绝对值分布回归模型对每日股票交易数据样本进行拟合并检验其显著性。对于通过显著性检验的样本，交易体系处于定态均衡状态，成交量在价格波动区间存在一个峰值，成交量峰值对应的交易价格就是定态均衡价格，并且能够从拟合数据中直接得到该交易日的定态均衡价格。对于没有通过显著性检验的样本，成交量在该交易日的分布形态中存在着两个或两个以上的成交量峰值，定态均衡价格出现了跳跃现象。实证结果表明：在股票交易市场，普遍存在着定态均衡状态^①，定态均衡价格也会出现跳跃变化^②，是一种动态均衡。成交量-价概率波方程和成交量

^① Shi（2006）对 618 个成交量分布进行拟合和显著性检验。这些样本价格不同、价格波动的路径和方向也各不相同，但是都表现出在成交量加权价格平均值附近出现峰化现象。

^② 与Poisson-diffusion（Aït-Sahalia, 2004）和Levy（Li, Wells & Yu, 2008）等跳跃不同，定态均衡价格有清晰的跳跃机制。例如，当有大量资金进入市场买入股票，供需关系突然发生

分布函数是有效的。

四、成交量-价概率波方程的心理行为内涵

我们先考虑没有人们主观变化、没有影响买卖交易行为的刚性交易体系。当价格围绕定态均衡价格波动时，在任意相同的时间间隔内总成交量都是相同的。如果有增量扰动资金进入市场买股票、打破供需平衡、导致定态均衡价格跳跃，那么增量资金与定态均衡价格跳跃幅度之间存在着——对应的关系（因为跳跃前后定态均衡的总成交量是相等的）。

在真实的金融交易市场中，有许许多多的因素都会影响人们的主观认知和成交量的变化。我们前期的研究工作已经将影响价格波动的各种因素都通过交易（量）纳入到一个统一规范的成交量-价概率波方程和成交量分布函数之中。因此，如何诠释成交量概率所包含心理学行为的内涵并且定量描述市场群体对价格波动和收益信息交易性条件反射的强度将是用价格波动和收益率（强化物或惩罚物）来定量分析市场群体心理行为的关键。

4.1 交易性条件反射

人类对衣、食、住、行和服务的生理需求是客观的，对它们的生理反应是一种非条件反射。印币既不能吃，也无法解渴，其本身几乎是没有任何价值。在商品经济中，当我们将货币、资产和收益率通过交换与人类赖以生存的物质必需品和服务紧密结合起来时，我们就已经被它们条件化了，就会对货币、资产和收益率需求形成同样的生理反应，即经典性条件反射。Pierce 和 Cheney（2004）认为在现代商品经济中钱可用于交换商品和服务，也许是最重要的经济强化物。

在股票交易市场，价格涨跌直接导致股票持有者账面资产的增加或减少。当人们接收到价格波动和收益信息时会产生对货币、资产和收益率需求的心理和生理反应就是一种经典性条件反射；而根据价格波动和收益信息进行分析、判断和决策从事买卖交易，并且伴随着对收益率（盈利或亏损）的心理预期，是一种操作性条件反射。

这种操作性条件反射就是交易性条件反射。它的不同刺激是价格波动和收益信息，操作类别是交易，强化物和惩罚物都是收益率。交易性条件反射有以下几个特点。第一，收益率强化物不会像一级强化物那样因生理需求已经得到满足而失去强化作用；第二，收益率不仅具有强化作用，而且还具有惩罚作用。正收益率（赚钱）对应于强化物（市场对持有股票行为的奖励），负收益率（亏损）对应于惩罚物（市场对持有股票行为的惩罚）。预期股票价格上涨会促使人们买入持有，预期股票价格下跌会促使人们卖出观望。无论是预期价格上涨还是下跌都会出现交易性条件反射，进行交易。第三，由于成交量-价概率波的价格波动行为没有确定的时间周期，类似与操作性条件反射中部分强化的不定时间间隔模式（库恩，2007），持有股票时间有长有短之后才出现收益或亏损，使得交易性条件反射消退的抑制力很强；第四，投资者从他的交易结果中得到反馈，会激发他

大的变化、打破平衡时，供需关系就会通过价格调节作用寻找新的价格平衡点，定态均衡价格随之出现不连续的跳跃；通过成交量在价格波动区间的分布，我们能够观察和测量其跳跃行为（Shi，2006）。

的情绪 (emotion)，影响他的判断，改变他的收益预期，并促成他的再交易。例如，投资者刚刚止损出来之后很容易会因为看到价格上涨导致他的收益预期变化，重新买入股票，而买入股票之后不久的投资客也会因为他已经获得微利作出卖出决定，甚至由于他对收益预期发生变化又立刻卖掉还处于亏损的股票。因此，在交易性条件反射的认知和决策过程中，除了预期收益和亏损之外，还包括反馈导致的收益预期的变化，这些都会促成人们再进行交易。

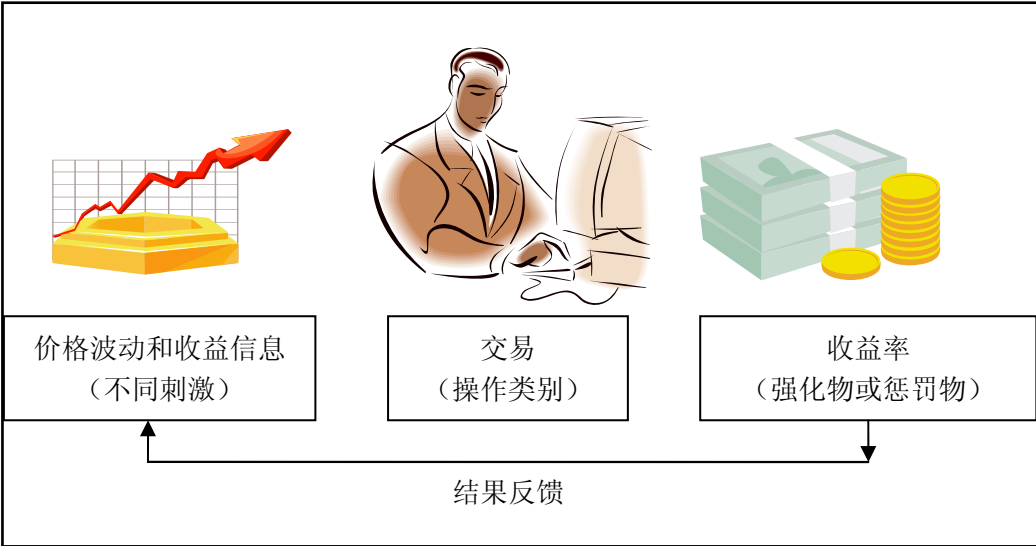


图 4：在交易性条件反射中三项相互联系、可能发生的事件

根据 Skinner 关于三项相互联系、可能发生的事件 (three-term contingency) 和操作性条件反射的定义 (Dragoi, 1997; Pierce 和 Cheney, 2004; Irons 和 Buskist, 2008)，并且考虑到影响交易行为的因素有许许多多，用“不同刺激”比用“特定刺激”的表述更恰当，我们给出交易性条件反射的定义是：在价格波动和收益信息（不同刺激）营造出来的一个已知环境下，人们通过分析、判断和决策进行交易（操作类别），并且伴随着对收益率（强化物或惩罚物）的心理预期；其市场结果反馈给交易者，激发他们的情绪 (emotion)，影响他们的判断，调整他们的收益预期，并且促成他们再进行交易活动（参见图 4）。

4.2 市场群体交易性条件反射强度与成交量概率的心理行为内涵

由于成交量-价概率波方程能够描述了市场群体相互作用和干涉行为(参见第三部分)，所以，我们试图通过该方程来诠释成交量概率包含心理行为的内涵，度量市场群体交易性条件反射的强度，并且用价格波动和收益率来研究他们的学习和心理行为。在这里，市场群体特指参与交易的群体，市场群体的大小不是用交易者的数量来衡量，而是用交易量的大小来衡量，其中每一个交易量单元都代表一个独立个体，每一个体都可以有各自不同的投资策略和交易决策行为。在某一交易事件中，少数机构投资者构成的市场群体可能远远大于大量个人投资者构成的市场群体，机构投资者对价格的影响远远大于个人投资者的 (Nofsinger 和 Sias, 1999)。

根据交易性条件反射，我们知道证券价格波动和收益信息会产生市场群体对该证券未来收益的预期，进行交易。成交量越大，市场群体的参与数量就越多，对未来价格波动和收益的心理预期就越强，交易频率也越高^①，交易性条件反射的强度也就越大，反之亦然。

成交量越大，买量越大，表明市场对未来正收益率（强化物）的心理预期越强；成交量越大，卖量越大，表明市场对未来负收益率（惩罚物）的心理预期越强。因此，我们用成交量概率表示市场群体受价格波动和收益信息影响，预期未来损益进行交易，表现出来的交易性条件反射的强度。

在生理学实验中，Pavlov（1904）用唾液量表示一只狗对食物条件反射的强度；在操作性条件反射实验中，认知心理学家用一只大鼠按压杠杆的频率表示操作性条件反射的强度（Olds 和 Fobes, 1981）；在目前的行为金融学中，人们将过度交易频率和过度交易量描述为投资者的过于自信、追逐兴奋和意见分歧的扩大，即用于描述心理反应和情绪的指标。因此，我们用成交量概率表示市场群体交易性条件反射的强度与这些计量方法都是一致的。

4.3 平均收益率与交易性条件反射强度的变化值

我们已经用价格波动区间的成交量概率表示市场群体受价格波动和收益信息刺激从事交易，并且伴随着对收益率（强化物或惩罚物）心理预期的交易性条件反射的强度分布。如果我们用前后交易日之间定态均衡价格跳跃的幅度来表示平均收益率，那么，我们能够用前后交易日总成交量的变化率近似表示市场群体对该平均收益率的交易性条件反射强度的变化值 ΔI ，即

$$\Delta I = \frac{V' - V}{V}, \quad (13)$$

其中 V 和 V' 分别是前后交易日的总成交量。显然，交易性条件反射强度的变化值可以是正的、负的或者是零。

关于前后交易日平均收益率与交易性条件反射强度变化的动态机制和原理如下：

如果在 T 交易日的定态均衡价格是 p_0 ，那么根据成交量-价概率波方程（6），我们知道在该日的成交量-价行为可以用以下方程表示

$$\frac{B^2}{V} \left(p \frac{d^2 \psi}{dp^2} + \frac{d\psi}{dp} \right) + [E - A(p - p_0)] \psi = 0, \quad (14)$$

相对于 T 交易日，如果在 $T+1$ 交易日市场供需发生突变，产生一个冲量 v_{tt}' ，也

^①根据概率统计学的大数定律，当总成交量远远大于单笔成交量时，成交量的概率近似等于频率。因为我们在下一部分的实证中使用样本期间的日平均成交量很大，为 3.6 亿股，所以在某一价格处成交量概率可近似等于交易频率。这样，在某一价格的成交量越大，成交量概率就越大，交易频率也就越大。对于一笔大单提升的交易量，即使诸多小单对应同样的交易量，虽然两者对应的信息可能不一样，但是成交量概率依然可以近似地描述交易的频率，由此出现的量价分布“异常”现象说明资金优势的扰动很容易破坏定态均衡、操纵价格，我们会进一步研究。

就是在成交量-价概率波方程(14)的哈密顿量中增加一个突变成交资金能量 M' ，那么，我们有

$$\frac{B^2}{V} \left(p \frac{d^2 \psi}{dp^2} + \frac{d\psi}{dp} \right) + [E - A(p - p_0) + M'] \psi = 0. \quad (15)$$

由于在哈密顿量中增加突变量 M' 不会改变方程的性质，因此，在 $T+1$ 交易日的成交量-价概率波方程能够近似地简化成

$$\frac{B^2}{V'} \left(p \frac{d^2 \psi}{dp^2} + \frac{d\psi}{dp} \right) + [E' - A'(p - p_0')] \psi = 0, \quad (16)$$

其中 $p_0' = p_0 + \Delta p$ 是 $T+1$ 交易日的定态均衡价格， Δp 是定态均衡价格跳跃的变化值， A' 和 E' 分别是 $T+1$ 交易日定态均衡回归力的数值和成交资金能量。

于是，前后交易日价格波动的平均收益率 \bar{r} 是

$$\bar{r} = \frac{\Delta p}{p_0}. \quad (17)$$

方程(15)是前后交易日定态均衡价格的跳跃模型。联立方程组(14)和(16)，再利用方程(2)，是关于平均收益率的交易性条件反射模型。通过该模型，我们能够用方程(13)和(17)计算出平均收益率和市场群体对它的交易性条件反射强度的变化值。

在运用交易性条件反射模型来研究市场群体心理行为时，我们并不需要严格地用联立方程(14)和(16)来计算出前后交易日的平均收益率和交易性条件反射强度的变化，而是从交易数据中得到每天的总成交量，用成交量分布回归模型拟合得到每天的定态均衡价格，然后再用方程(13)和(17)计算平均收益率和交易性条件反射强度的变化，分析两者之间的相关性，并且研究市场群体在做交易决策时的学习和心理行为。

五、实证分析和相关性检验

在这一部分，我们用前后交易日定态均衡价格跳跃的幅度表示价格波动的平均收益率，用总成交量的变化表示交易性条件反射强度的变化。我们以华夏上证50ETF(510050)每笔交易的高频数据为例，用零阶贝塞尔绝对值分布回归模型对每个交易日的成交量在价格波动区间的分布进行拟合并检验其显著性。对于通过显著性检验的成交量分布，我们能够从拟合数据中直接得到该交易日的定态均衡价格。对于没有通过显著性检验的成交量分布“异常”现象，我们近似地选择成交量加权价格平均值。这样，我们就能够计算前后交易日价格波动的平均收益率，由此来研究前后交易日平均收益率与交易性条件反射强度变化之间的相关性。

5.1 数据

我们采用嘉实基金管理公司提供的嘉实高频 HF2 数据库中每笔交易的高频数据。样本区间为 2007 年 4 月 2 日至 2009 年 4 月 10 日。近 740 天，共 495 个交易日，即 495 个成交量-价分布。

我们分两步对原始数据进行了预处理。首先，在原始数据中价格保留了小数点后的三位数，我们采取四舍五入的原则保留到两位数，同时将相应的成交量相加，得到新的成交量分布数据。接着我们将每一价格处的成交量（累计交易量）除以当天总成交量，得到在该价格处的成交量概率。这样，我们就得到了每个交易日的成交量概率在价格波动区间的实际分布。

5.2 成交量分布检验和定态均衡价格

我们已知在定态均衡状态下，成交量分布的理论函数是

$$|\psi_m(p)| = C_m |J_0[\omega_m(p - p_0)]|, \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (18)$$

其中 C_m 、 ω_m 和 p_0 分别是归一化常数、本征值常数和定态均衡价格。它们在单变量非线性回归模型

$$|\psi_m(p_i)| = C_m |J_0[\omega_m(p_i - p_0)]| + \varepsilon_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (19)$$

中是三个待定常系数， n 是样本在交易价格区间内的价格数， ε_i 是服从 $N(0, \sigma^2)$ 分布的随机误差项， $|\psi_m(p_i)|$ 是在价格波动区间内任一价格处的成交量概率观察值，

$C_m |J_0[\omega_m(p_i - p_0)]|$ 是理论值。我们采用 Levenberg-Marquardt 非线性最小二乘法对每一个成交量分布样本进行拟合，确定其中的三个待定常系数并且得到成交量概率分布的理论结果。在拟合分析中，我们使用 Origin6.0 软件（参见图 6 (a)）。

对总体显著性检验，我们采用 F 检验的方法。可决系数(coefficient of determination)

$$R^2 = \frac{ESS}{TSS} = \frac{TSS - RSS}{TSS}, \quad (20)$$

其中 $ESS = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$ 是回归平方和(explained sum of squares), $RSS = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$

是残差平方和(residual sum of squares), $TSS = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$ 是总离差平方和(total

sum of squares)。

统计量

$$F = \frac{ESS/k}{RSS/(n-k-1)}, \quad (21)$$

其中， n 和 k 分别指样本个数和解释变量个数（独立自由度）。设定显著性水

平 $\alpha = 0.05$ ，当 $F > F_{0.05}$ 或

$$R^2 > R_{crit}^2 = \frac{k \cdot F_{0.05}}{k \cdot F_{0.05} + (n - k - 1)}, \quad (22)$$

即 R^2 大于临界值 R_{crit}^2 时，则回归模型 (19) 在 95% 的显著性水平下总体显著成立（在这里 $k=1$ ）。

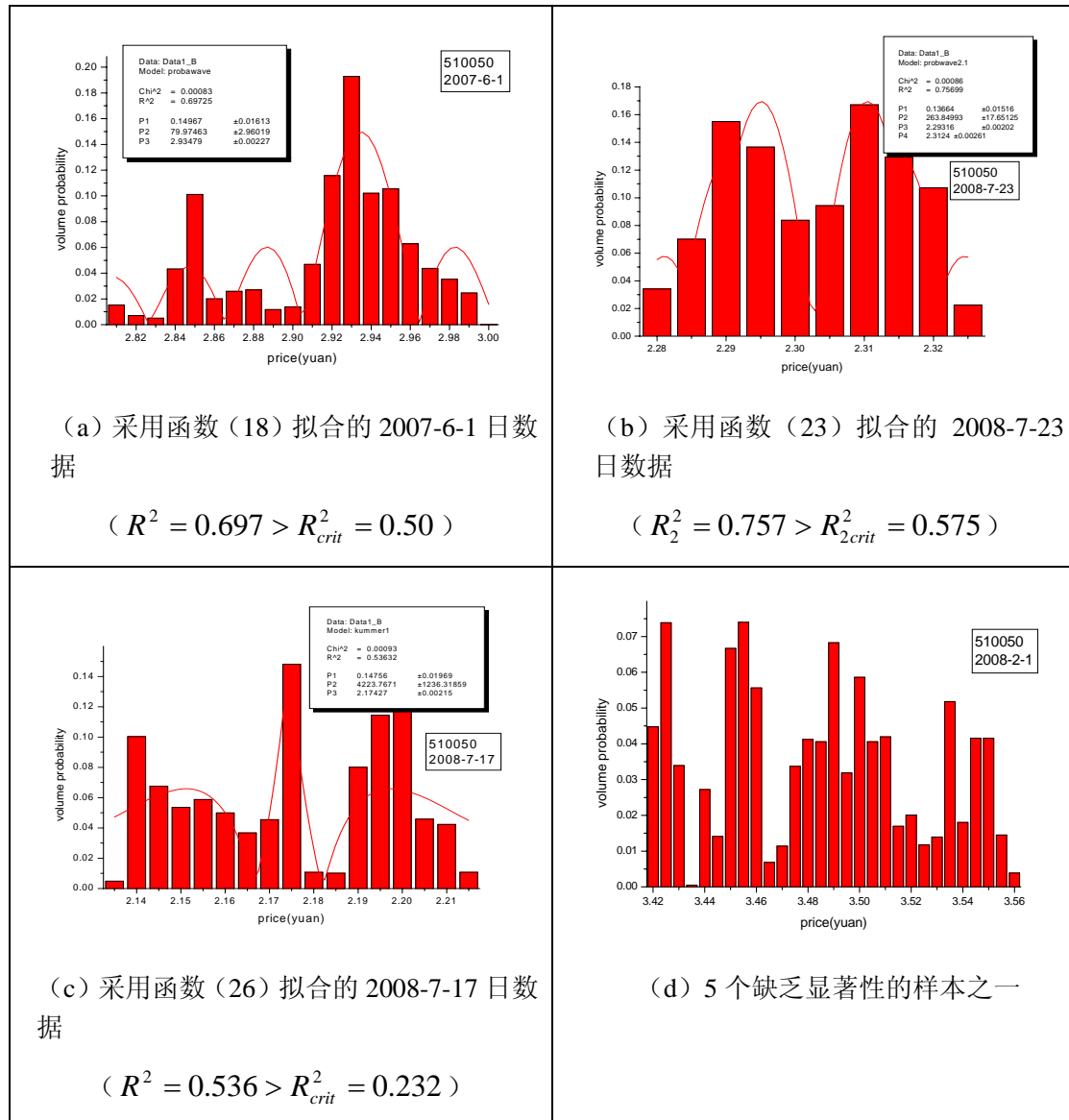


图 6: 用成交量价概率波回归模型拟合成交量在价格波动区间的分布并检验其显著性^①

检验结果显示自 2007 年 4 月 2 日至 2009 年 4 月 10 日的 495 个交易日中有

^① 在图 6 中，拟合结果中的 P1、P2 和 P3 分别代表归一化常数、本征值常数和定态均衡价格，在图 6 (b) 中，P3 和 P4 分别代表跳跃前后的定态均衡价格。

380 个样本通过显著性检验，即 $R^2 > R_{crit}^2$ 。其余 115 个，约 23.23% 的样本缺少显著性。

我们对缺少显著性的样本进行仔细的观测，发现这些样本有两个特征：第一，相当一部分未通过显著性检验的成交量分布，其成交价格太少，单日的样本数不足。这是因为我们在前期数据处理时只保留价格数据中小数点后的两位数，导致一些分布信息无法体现出来。为此，我们在小数点后第三位采用“二舍三入和七舍八入”的原则增加一个数值 0.005，相应的成交量也叠加到对应的交易价格中去，得到较明显的分布特征，并对它们进行拟合和显著性检验。结果有 28 天的分布样本通过零阶贝塞尔绝对值分布回归模型的检验。这样，我们总共有 408 (380+28) 个成交量分布样本，约占总数的 82.42%，通过零阶贝塞尔绝对值分布回归模型的检验。

第二个特征是成交量在交易价格区间内出现两个或两个以上的峰值。这是因为这些样本在交易日当天的供需平衡关系发生较大的变化，市场通过价格的调节，使得交易价格从围绕某一定态均衡价格上下波动调整到围绕另外一个或几个定态均衡价格上下波动。定态均衡价格在当日出现不连续的跳跃变化。在这种情况下，其成交量分布函数是 (18) 式的线性叠加，即

$$|\psi_m(p)| = \sum_n C_m |J_0[\omega_{m,n}(p - p_{0n})]|, \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (23)$$

其中 n 是定态均衡价格的数目。我们采用具有两个定态均衡价格的成交量分布函数回归模型

$$|\psi_m(p_i)| = \sum_i \sum_{n=1,2} C_m |J_0[\omega_{m,n}(p_i - p_{0,n})]| + \varepsilon_i \quad (i = 1, 2, \dots) \quad (24)$$

对剩余的 87 个成交量分布进行拟合和 $R_k^2 > R_{2crit}^2$ 显著性检验 (这里 $k = 2$)。结果显示 59 个样本，约占总数的 11.92% 在 95% 的水平下显著成立 (参见图 6 (b))。

对于还没有通过显著性检验的 28 分布样本，我们采用第二组解——含合流超几何函数 (第一类 Kummer 函数) 的成交量分布回归模型来拟合。该函数的表达式如下

$$|\psi_m(p)| = C_m e^{-\sqrt{A_m}|p-p_0|} \cdot |F(-n, 1, 2\sqrt{A_m}|p-p_0||) \quad (25)$$

由于这是一个多阶的分布函数，比较特殊和复杂，直接拟合比较困难，我们取定 $n = 1$ ，采用一阶函数的展开式

$$\begin{aligned} |\psi_m(p)| &= C_m e^{-\sqrt{A_m}|p-p_0|} \cdot |F(-1, 1, 2\sqrt{A_m}|p-p_0||) \\ &= C_m e^{-\sqrt{A_m}|p-p_0|} \cdot |1 - 2\sqrt{A_m}|p-p_0|| \end{aligned} \quad (26)$$

进行拟合和检验。结果显示 28 个样本中有 23 个 (约占总分布数的 4.65%) 在 95% 的水平下显著成立 (参见图 6 (c))。最后 5 个分布样本呈现 4 个或 4 个以上的峰值，这表明当日市场非常不稳定，市场群体的相互作用不显著 (见图 6 (d))。图 6 是分别是采用函数 (18)、(23) 和 (26) 拟合并检验显著性的一些典型样本。

5.3 平均收益率与交易性条件反射强度变化的相关性分析

对于 408 个通过零阶贝塞尔绝对值分布回归模型检验的样本（约占总数的 82.42%），我们从拟合数据中直接得到该交易日的定态均衡价格。对于其他 87 个交易日，我们用成交量加权价格平均值来计算与前后交易日定态均衡价格之间的平均收益率。由此，我们能够计算出任意前后交易日之间的平均收益率，研究平均收益率与交易性条件反射强度变化之间的相关性。在这里，交易性条件反射强度变化值近似等于前后交易日总成交量的变化率，由方程（13）确定。

已知相关系数

$$r_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y}, \quad (27)$$

其中 σ_X 和 σ_Y 分别是变量 X 和 Y 的标准差， $\text{cov}(X,Y)$ 是协方差， $r_{X,Y}$ 是相关系数。

我们采用 t 分布对相关系数进行显著性检验。建立原假设和备择假设

$$H_0: \rho = 0; \quad H_1: \rho \neq 0, \quad (28)$$

计算统计量

$$t = \frac{|r - \rho|}{\sqrt{(1-r^2)/(n-2)}}, \quad (29)$$

其中 r 、 n 分别为样本相关系数和样本容量。取显著性水平为 $\alpha = 0.05$ ，当 $t > t_{\text{crit}} = t_{0.05/2}(n-2)$ 时，拒绝原假设，相关系数在该显著性水平下显著不为 0。

表：相关系数和显著性检验

	时期	样本数量	上证综合指数 (1A0001)	相关系数
A	2007.4.2—2009.4.10	494	3252.59—2444.23	0.1391 (t=3.115>t _{crit} =1.960)
B	2007.4.2—2007.6.29	59	3252.59—3820.70	-0.2567 (t=2.006>t _{crit} =2.001)
C	2007.7.2—2007.10.30	83	3836.29—5954.77	0.0729 (t=0.6583<t_{crit}=1.990)
D	2007.11.1—2008.4.30	122	5914.28—3693.11	0.1026 (t=1.130<t_{crit}=1.980)
E	2008.5.5—2008.10.31	123	3761.01—1728.79	0.1963 (t=2.202>t _{crit} =1.980)
F	2008.11.3—2009.4.10	107	1719.77—2444.23	0.4766 (t=5.556>t _{crit} =1.983)

标注：

- 1) 相关系数指前后交易日平均收益率与交易性条件反射强度变化之间的相关系数；
- 2) t_{crit} 指 $t_{0.05/2}(n-2)$ ，当 $t > t_{\text{crit}}$ 说明相关系数显著不为零；相反，不能拒绝相关系数为零的原假设；
- 3) 红色黑体标出的是检验结果的相关性缺乏显著性；
- 4) 上证综合指数以当日收盘值计量。

我们使用 Eviews6.0 软件，以美国次贷金融危机和上证综合指数走势为背景，

将华夏上证 50ETF (510050) 整个样本数据从 2007 年 4 月 2 日至 2009 年 4 月 10 日又分成为五个子样本: 2007 年 4 月 2 日(上证综合指数 3252.59 点)至 2007 年 6 月 29 日(上证综合指数 3820.70 点)为泡沫破裂前市场上升前期; 2007 年 7 月 2 日(上证综合指数 3836.29 点)至 2007 年 10 月 31 日(上证综合指数 5954.77 点)为泡沫破裂前市场上升后期; 2007 年 11 月 1 日(上证综合指数 5914.28 点)至 2008 年 4 月 30 日(上证综合指数 3693.11 点)为泡沫破裂后市场下跌前期; 2008 年 5 月 5 日(上证综合指数 3761.01 点)至 2008 年 10 月 31 日(上证综合指数 1728.79 点)为泡沫破裂后市场下跌后期; 2008 年 11 月 3 日(上证综合指数 1719.77 点)至 2009 年 4 月 10 日(上证综合指数 2444.23 点)为市场反转上升初期。这样细分有一个优点: 我们能够看出不同时期市场群体对平均收益率心理反应的变化。

从实证结果(参见表中数据), 我们看到: 1) 总体来说, 平均收益率与交易性条件反射强度变化之间呈现出显著的正相关(参见表中的 A 栏); 2) 在整个样本期间的 5 个不同阶段, 平均收益率与交易性条件反射强度变化之间的相关性明显不同: (a) 在泡沫破裂前后两个时期, 它们之间的正相关缺乏显著性(参见 C 和 D 栏); (b) 在泡沫破裂后的后半时期, 它们具有显著的正相关性(参见 E 栏); (c) 在泡沫破裂并且经过一年的持续下跌之后, 市场出现上升反转的初期, 正相关系数最高, 是 0.4766(参见 F 栏); (d) 比较特殊的是在牛市上升的前一段时期内, 即在泡沫破裂前市场上升的前期, 平均收益率与交易性条件反射强度变化之间存在着显著的负相关, 相关系数是 -0.2567(参见 B 栏)。我们将在下一部分详细讨论实证结果。

六、讨论

本文研究的内容包括三个部分: 第一部分是定态均衡理论; 第二部分是交易性条件反射的引入和定义; 第三部分是将第一部分和第二部分联系起来, 计量交易性条件反射的强度, 并且用一组联立方程建立一个交易性条件反射的理论模型, 由此通过高频数据和相关性分析来研究市场群体的学习和心理行为。该研究的理论基础是经济物理学中的成交量-价概率波方程、生理学中的经典性条件反射和心理学中的操作性条件反射。

在这部分, 我们将根据实证结果讨论以下主要内容: (1) 关于定态均衡理论、它的心理行为解释以及成交量-价概率波方程的有效性; (2) 平均收益率的强化(惩罚)作用和市场群体的心理行为; 以及 (3) 应用前景。

6.1 定态均衡理论和心理行为解释

Shi (2006) 在用经济物理学的方法来研究股票市场中的成交量-价行为时发现: 在股票市场普遍存在着定态均衡状态, 其成交量-价行为类似一种概率波, 能够用一个规范的成交量-价概率波方程来描述。

所谓定态均衡就是指交易价格始终围绕一个定态均衡价格上下波动的同时, 定态均衡价格也会因为市场供需发生突变出现不连续和跳跃的变化, 是一种动态均衡。定态均衡的条件是价格波动的趋势力、供需平衡力和相互作用力之和等于零, 并且相互作用力的数值在价格波动区间等于本征值常数或零。

在定态均衡理论中,市场交易价格波动的行为被分解成两个部分。第一,价格始终围绕某个定态均衡价格上下波动,其中定态均衡价格是成交量峰值对应的交易价格。我们用方程(7)来定量描述交易价格围绕定态均衡价格上下波动,用本征值常数方程(10)来定量描述市场群体的相互作用和干涉行为,用方程(12)定量分析市场群体相互独立的行为特征(参见3.1和3.2),并且用成交量-价概率波方程(6)来定量描述成交量-价的整体行为。

我们现在从市场群体的角度和他们获取收益的心理行为来解释在定态均衡价格出现成交量峰化的现象。在已知信息和有限理性的环境中,市场群体对某一价格认同度最高。当交易价格高于它时,卖量增加买量减少,供给大于需求,价格回落,出现回归均衡点;当交易价格低于它时,卖量减少买量增加,供给小于需求,价格上涨,同样也出现回归均衡点。这个被市场群体认同度最大的价格就是定态均衡价格。在定态均衡状态下,市场群体在定态均衡价格交易的时间最长,交易的频率最高,成交量最大,成交量概率和市场群体交易性条件反射的强度最大。

第二,定态均衡价格表现出不连续的跳跃(jump)变化。在定态均衡条件下,定态均衡回归力较弱,容易被克服。如果市场群体对交易价格的认同发生变化导致供需关系发生突变,产生一个冲量,例如有增量扰动资金进入市场大量买入股票,打破原有的定态均衡,那么,供需关系就会通过价格的调节作用寻找新的定态均衡点,定态均衡价格出现不连续的跳跃。此后,价格又开始围绕新的定态均衡价格上下波动。我们用一组联立方程(14)和(16)描述定态均衡价格跳跃前后的行为机制和原理,用定态均衡价格跳跃的幅度来表示市场价格波动的平均收益率。

我们对华夏上证50ETF近740天,共495个交易日,即495个成交量分布进行分析,用零阶贝塞尔绝对值分布函数对它们逐一拟合和显著性检验,其结果是408个成交量分布,占总数的82.42%,通过显著性检验。我们从拟合数据中能够直接得这些样本的定态均衡价格。这进一步表明了股票市场中普遍存在着定态均衡状态。对于没有通过显著性检验的样本,成交量在价格波动区间出现两个或两个以上的峰值,定态均衡价格在这些样本中发生了不连续的跳跃。

我们的实证结果进一步证明了成交量-价概率波方程和成交量分布函数是有效的,与前期研究的结果是一致的(Shi, 2006)。

6.2 平均收益率的强化(惩罚)作用与市场群体的心理行为

在第五部分,我们的实证结果表明:从2007年4月到2009年4月整个样本期间,平均收益率与交易性条件反射强度变化之间的相关系数是0.1391,具有显著的正相关性(参见表中A栏)。

为了进一步通过平均收益率与交易性条件反射强度变化来研究市场群体的心理行为,我们先了解一下股市中的处置效应和羊群行为。

Shefrin和Statman(1985)最早提出处置效应:投资者在处置处于不同赢利状态股票时,存在急于兑现收益、回避兑现亏损的倾向。之后,Odean(1998)在研究10000个股票帐户的交易记录后充分证实了处置效应,Weber和Camerer(1998)通过心理学实验来检验并且用前景理论(Kahneman和Tversky, 1979; 1992)来解释处置效应,Grinblatt和Keloharju(2001)用芬兰股市独特的数据

也进一步验证了市场中的处置效应。处置效应表现的是卖股票时的行为异象。

在人类社会活动中普遍存在着羊群行为 (Shiller, 1985; Banerjee, 1992), 理论上讲它与许多经济活动有关系 (Graham, 1999)。当模仿他人导致许多人采取同样的行为时, 我们说羊群行为出现了。在股票市场中有许多类型的羊群行为 (Hirshleifer 和 Teoh, 2001)。Lux (1995) 曾经用一个传染模型来描述投资者的羊群行为。

本文通过平均收益率与交易性条件反射强度变化的相关性来研究市场群体购买股票时的交易性条件反射羊群行为, 并且将它定义为“受价格波动和收益信息影响, 预期盈利的从众行为和规避亏损的观望行为”, 是一种买股票时的羊群行为。

对于卖方, 如果平均收益率增加越多, 交易性条件反射强度也增加越多, 成交量增加, 卖量增加, 并且如果平均收益率亏损越多, 交易性条件反射强度也减少越多, 成交量减少, 卖量减少, 那么, 这是处置效应。对于买方, 如果平均收益率增加越多, 交易性条件反射强度也增加越多, 成交量增加, 买量增加, 从众跟风的羊群行为越明显, 并且如果平均收益率亏损越大, 交易性条件反射强度也减少越多, 成交量减少, 买量减少, 大家观望回避市场亏损和惩罚的气氛越浓, 购买股票的交易性条件反射羊群行为越显著。

因此, 平均收益率与交易性条件反射强度变化之间显著的正相关特性表明市场群体同时具有显著的卖出的处置效应和买入的羊群行为。正相关系数的大小也能够用来衡量处置效应和羊群行为的显著程度。正相关系数越大, 这两种行为现象就越显著。

我们的实证表明: 总体来说, 平均收益率与交易性条件反射强度变化之间具有显著的正相关性 (参见表中的 A 栏)。这是因为在商品经济中, 市场群体已经被货币、资产和收益率条件化。他们在价格波动和收益信息不断刺激的环境中, 形成了一种交易性条件反射, 参与交易。正 (负) 平均收益率改变了交易频率, 提高 (降低) 了市场群体对未来收益率的心理预期和交易性条件反射强度, 对市场群体具有显著的交易性条件反射强化 (惩罚) 作用。市场群体对平均收益率 (强化物或惩罚物) 的心理预期显著地表现出卖出的处置效应和买入的羊群行为。

此外, 购买股票的羊群行为反映了购买群体对价格继续上涨或继续下跌 (趋势效应) 的心理预期明显增加。当价格上涨, 交易性条件反射的强度增加, 购买股票群体数量增加, 他们对未来价格继续上涨 (趋势效应) 和受到市场奖赏的预期增加, 也就是说对未来价格下跌 (反转效应) 的预期降低; 当价格下跌, 交易性条件反射的强度减小, 购买股票群体的数量减少, 他们对未来价格继续下跌 (趋势效应) 和受到市场惩罚的预期增加, 也就是说对未来价格上涨 (反转效应) 的预期降低。换句话说, 该“羊群”对价格趋势的预期明显地大于它反转的预期。我们将这种行为称之为“趋势作用量” (momentum action) 效应^①。

相反, 处置效应反映了卖出群体对价格将会反转的心理预期明显增。处置群体对价格反转的预期明显地大于价格趋势的预期。我们将这种行为称之为“反转趋势作用量” (reversal momentum action) 效应。

现在, 我们通过相关性进一步研究样本期间 5 个不同阶段, 市场群体的学习

^① Shi (2006) 采用经济物理学的方法, 通过作用量严格地推导并且给出了动量 (momentum) 的定义。在金融学领域, 动量赋予了价格波动趋势和惯性的内涵; 在金融英语中, 动量和趋势是同一个单词。

和心理行为（参见表）。我们通过这样的细分能够看到在不同环境和时期中市场群体对平均收益率（强化物和惩罚物）的心理行为和变化。

以下按照平均收益率与交易性条件反射强度变化之间相关性的特点，分别讨论不同时期市场群体对收益率强化物（惩罚物）的心理预期，并且用条件反射来解释他们的交易行为。

在泡沫破裂前疯狂上涨的末期和泡沫破裂后开始下跌的初期，平均收益率与交易性条件反射强度变化之间的相关系数分别是 0.0729 和 0.1026，它们的正相关都缺乏显著性，卖出的处置效应和买入的羊群行为不显著（参见表中 C 和 D 栏）。这表明在这两个阶段，正（负）平均收益率对市场群体不具有显著的强化（惩罚）作用。例如在 C 时期，市场群体对是否及时兑现盈利和落袋为安犹豫不决。一方面，他们已经意识到高价格和高风险，希望获利了结，保存投资收益；另一方面，他们因为在过去一段时期内一直受到市场奖赏，已经被正收益率条件化。这种条件化改变了他们的收益预期，具有很强的消退抑制力，使得他们仍然保持对收益率强烈的心理预期和旺盛的购买（或持有）欲望并且试图借助市场泡沫来博取更高的收益率。因此，市场群体的认知判断与交易行为之间出现了不协调，或者说平均收益率与交易性条件反射强度变化之间表现出很大的不确定性，平均收益率与交易性条件反射强度变化之间的正相关性不具有显著性。

同样道理，我们也可以解释 D 时期正（负）收益率对市场群体没有显著地产生出强化物（惩罚物）的心理预期，平均收益率与交易性条件反射强度之间不具有显著的正相关性。

在泡沫破裂后的后期，持续下跌和超跌期间，相关系数是 0.1963，具有显著的正相关性，市场群体对平均收益率的心理反应显著地表现出卖出的处置效应和买入的羊群行为。相对于泡沫破裂的初期，市场下跌的更多，亏损更大，市场群体的处置效应和羊群行为就更加显著（比较表中 D 栏与 E 栏的相关系数）。

在价格泡沫破裂、持续下跌之后出现反转的上涨初期，相关系数最大，是 0.4766，具有高度的正相关性，处置效应和羊群行为最显著（参见表中 F 栏）。这说明两个问题：第一，经历一年大幅下跌，股指从最高的 6124.04 点跌到 1664.93 点后，人们已经从前期的亏损和市场惩罚的过程中形成了熊市下跌的条件反射，市场短期获利了结的处置效应非常显著；第二，当下跌趋势形成之后，保持持续增量资金入市接盘、克服大量短期赢利兑现的处置效应、营造一个买入股票之后获取收益的市场环境，不断强化人们对收益率强化物的心理预期和信心，使得人们从已经形成的受到市场惩罚的心理预期转变成受到市场奖励的心理预期，是市场出现反转的必要条件。

现在，我们来关注实证中非常特殊的情况。在泡沫破裂前的市场上升前期，收益率与交易性条件反射强度变化之间存在着较强的负相关性，相关系数是 -0.2567，具有显著的负相关性（参见表中 B 栏）。

上证综合指数从 2005 年 6 月最低的 998.23 点开始几乎是一路上涨到 2007 年 3 月 30 日（样本选取区间起始日期）的 3183.98 点。当在牛市期间，持有股票与正收益率挣钱效应不断结合，不断受到市场奖赏，就会形成一种新的条件反射。

当价格上升，买的数量比卖的数量多，由于负相关性，交易性条件反射强度减弱，成交量萎缩。这时，对于卖方，尽管风险增加（价格增加且流动性变差），但是仍然显示出惜售，预期获取更高的收益率，对价格继续上涨（趋势）的期望

增加,表现出过于自信;对于买方,当风险增加时,买量减少,对价格将出现回调下跌的预期增加,显示出购买时的谨慎态度。

当价格下跌,卖的数量比买的数量多,由于负相关性,交易性条件反射强度增加,成交量放大。这时,对于卖方,尽管风险降低(价格降低且流动性增加),但是卖量却增加,急于卖出股票兑现和离场观望,表现出恐慌的情绪;对于买方,当风险降低时,买量增加,表现出对价格将会上涨的信心。

因此,这种显著的负相关性表明股票持有者对市场将继续维持趋势运行显著地表现出过于自信或恐慌,现金持有者对市场将发生转变显著地表现出谨慎态度或信心。

6.3 应用前景

首先,我们用成交量概率来计量市场群体交易性条件反射的强度,通过用高频数据来分析平均收益率与交易性条件反射强度变化之间的相关性来研究市场群体的学习和心理行为。这有助于今后通过收益率(强化物和惩罚物)来研究市场群体的条件化过程,例如习得和消退。因此,证券市场为我们提供了一个很好的交易性条件反射的实验场所(索罗斯, 1998);第二,我们的研究有助于认识和解释金融交易市场中的异常现象,例如过度价格波动(Shiller, 1981)和金融泡沫等等;第三,这有助于我们研究“处置群体”和“羊群群体”之间的博弈行为;第四,有助于科学地利用过度价格波动、金融泡沫和市场群体的心理行为来制定投资策略,管理投资中的风险和收益,长期获得高于股票红利和内在价值带来的收益;第五,通过在概率波框架内研究市场趋势反转的条件,有助于我们规避大的系统风险和扑捉主要的市场机遇,提高投资收益率;第六,有助于金融监管部门通过强化或惩罚政策和措施来有效地调控金融市场和交易行为,防止金融泡沫膨胀过大或枯竭,减少金融危机爆发,降低其对经济造成的巨大破坏(Soros, 2010b; Xiao和Houser, 2005);第七,有助于采用一些金融生理医学和金融心理学的方法指导和培训个人和机构投资者,使得他们的行为和活动能够很好地适应投资交易工作;第八,成交量-价概率波方程和交易性条件反射的量化方法有助于我们将经济学、物理学、数学、心理学、生理与医学、认知科学(Camerer、Loewenstein和Prelec, 2005)、生物学(Camelia, 2010)和计算机科学等学科联系起来,共同深入开展涉及多学科领域的(行为)金融学研究,建立一个统一规范的(行为)资本资产定价理论体系^①。

七、总结与结论

新古典金融理论模型假设价格波动是一种独立随机布朗运动,既没有包含供需关系和交易量也没有考虑市场群体的相互作用和非理性行为对市场的影响。行为金融学大量的实验和实证结果都表明投资者在做交易决策时会表现出许多的行为“异常”现象,非理性行为能够对价格产生显著和持久的影响,并且现实中的价格波动的频率分布与价格随机布朗运动的正态分布明显不同。如今,经济物理学的研究表明成交量和价格的整体行为是一种相互作用和干涉结果的概率波,

^① Thaler (1999) 预言在不久的将来,“行为金融学”一词将被共认为是多余的。经济学家们将会习惯地把尽可能多的行为融合到自己观察到的现实世界的模型之中。

能够用一个严谨规范的成交量-价概率波方程描述 (Shi, 2006)。然而, 我们对交易量的确切内涵和作用知之甚少 (Lee and Swaminathan, 2000)。

成交量-价概率波方程能够描述和解释价格波动频率分布的尖顶、胖尾、聚集和标度现象, 能够描述和解释市场群体的相互作用和干涉行为, 能够描述和解释市场群体理性与非理性两种极端条件下的行为特征, 这些特征都与市场的真实情况相符。因此, 我们试图通过认识累计交易量, 用成交量-价概率波方程进一步来研究市场群体的心理行为。

本文通过相关性分析来研究市场群体在做交易决策时的学习和心理行为。我们不仅首次提出了一个交易性条件反射的概念, 诠释了成交量-价概率波方程所包含市场群体的心理行为内涵, 而且还量化了市场群体的主要行为特征。这些包括: (1) 用经济物理学的方法严格地定义了成交量就是成交动量, 用生理学和心理学的方​​法用成交量概率表示市场群体交易性条件反射的强度; (2) 用本征值常数代表市场群体的相互作用力和干涉行为的大小; (3) 用交易性条件反射强度最大值对应的价格来表示定态均衡价格和市场群体在某一时期对交易价格的认同。

在实际分析中, 我们以美国次贷金融危机为背景, 采用我国股市从泡沫膨胀、破裂、萎缩一直到市场重新复苏整个过程的华夏上证 50ETF 高频数据。根据定态均衡价格跳跃模型和一组联立方程, 我们用定态均衡价格跳跃的幅度表示前后交易日的平均收益率, 用这两天总成交量的变化率来表示市场群体对该平均收益率的交易性条件反射强度的变化值, 从而分析平均收益率与交易性条件反射强度变化之间的相关性, 并由此研究市场群体的心理行为。

通过实证分析, 我们得到以下主要结果。首先, 总体来说, 平均收益率与交易性条件反射强度的变化值之间表现出显著的正相关性。这表明价格波动的正(负)收益率显著地改变了交易频率, 提高(降低)了市场群体对收益率的心理预期, 具有显著的交易性条件反射强化(惩罚)作用。这是因为在商品经济中, 当我们将货币、资产和收益率通过交换与人类赖以生存的物质必需品和服务紧密结合起来时, 我们就已经被它们条件化了, 就会对价格波动和收益信息产生交易性条件反射。市场群体对平均收益率强化物和惩罚物的心理预期显著地表现出卖出的处置效应和买入的羊群行为, 并且该“羊群”对价格趋势的心理预期明显地大于价格反转的心理预期, 即“趋势作用量”效应, 而处置群体对价格反转的心理预期明显地大于价格趋势的心理预期, 即“反转趋势作用量”效应; 第二, 在牛市期间, 当持有股票与正收益率挣钱效应不断结合, 不断受到市场奖赏, 就会形成一种新的条件反射, 平均收益率与交易性条件反射强度的变化值之间表现出显著的负相关性。股票持有者对市场将继续维持趋势运行显著地表现出过于自信或恐慌, 现金持有者对市场将发生转变显著地表现出谨慎态度或信心。第三, 在价格泡沫破裂、持续下跌之后出现反转的上涨初期, 平均收益率与交易性条件反射强度变化之间具有高度的正相关性。它表明在经历长期大幅度下跌之后, 股票持有者已经形成了一种价格会继续下跌的条件反射, 急于兑现盈利的处置效应最为显著。因此, 保持持续增量资金入市接盘、克服大量短期赢利兑现的处置效应、营造一个买入股票之后能够获得市场奖赏的环境, 不断强化人们对收益率强化物的心理预期和信心, 使得人们从已经形成的受到市场惩罚的心理预期转变成受到市场奖励的心理预期, 是市场出现反转的必要条件。最后, 在泡沫破裂前后两个时期, 正(负)平均收益率对市场群体不具有显著的强化(惩罚)作用。一方面, 市场群体已经意识到股票价格很高, 市场风险很大, 希望兑现收益、规避风险,

另一方面交易性条件反射对市场群体的作用具有很强的消退抑制力，市场群体继续保持强烈的购买欲望，以博取更高的收益率。因此，认知判断与交易行为之间出现了不协调，或者说平均收益率与交易性条件反射强度变化之间表现出很大的不确定性，其正相关不具有显著性。

综上所述，成交量-价概率波方程不仅能够描述成交量-价整体行为的动态机制和统计特征，而且还能够描述市场群体的心理行为。我们用该方程来描述交易价格始终围绕定态均衡价格上下波动的概率波行为和定态均衡价格常常出现的跳跃行为，用经济物理学的方法严格的定义成交量就是成交动量，并且用心理学的方法明确地用成交量概率来量化市场群体交易性条件反射的强度。通过分析平均收益率（强化物和惩罚物）与交易性条件反射强度变化之间的相关性，我们来研究市场群体的学习和心理行为，并且用条件反射来解释市场行为的“异常”现象。这有助于我们更好地认识和理解股票市场的行为特性，解释行为异常现象（例如价格过度波动、动量效应和资产泡沫），并且通过建立股票市场中的行为资本资产定价模型来为投资和风险管理提供有益的指导作用。一方面投资者可以利用价格过度波动（泡沫）和市场群体心理行为的“异常”现象来获取远远高于股票内在价值带来的收益率；另一方面金融监管部门可以适时地运用强化物和惩罚物的作用来有效地调控交易行为，避免市场泡沫膨胀太大或枯竭，防止和应对金融危机，降低它给经济带来的严重破坏。

参考文献

- Aït-Sahalia, Yacine (2004): "Disentangling Diffusion from Jump," *Journal of Financial Economics*, 74, 487-528.
- Bachelier, Louis (1900): "Théorie de la Speculation," Cauthier-Villars, Paris; or (1967): "Theory of Speculation" (English translation of 1900 French edition), Paul A. Cootner (ed.), *The Random Character of Stock Market Prices*, 17-78, Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Banerjee, Abhijit V. (1992): "A Simple Model of Herd Behavior," *Quarterly Journal of Economics*, CVII, Issue 3, 797-817.
- Benos, Alexandros V. (1998): "Aggressiveness and Survival of Overconfident Traders," *Journal of Financial Markets*, 1, 353-383.
- Barber, Brad M., AND Terrance Odean (2000): "Trading Is Hazardous to Your Wealth: The Common Stock Investment Performance," *Journal of Finance*, 55, 773-806.
- Barber, Brad M., Terrance Odean, AND Ning Zhu (2009): "Systematic Noise," *Journal of Financial Markets*, 12, 547-569.
- Barberis, Nicholas, AND Richard Thaler (2003): "A Survey of Behavioral Finance," *Handbook of the Economics of Finance* (Edited by G.M. Constantinides, M. Harris and R. Stulz), Elsevier Science B.V., 1051-1121.
- Bell, D. (1982): "Regret in Decision Making under Uncertainty," *Operation Research*, 30, 961-981.
- Black, Fischer, AND Myron Scholes (1973): "The Pricing of Options and Corporate Liabilities," *Journal of Political Economics*, 81, 637-654.
- Bollerslev, Tim (1986): "Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity," *Journal of Econometrics*, 31, 307-327.
- Brav, Alon, AND J. B. Heaton (2002): "Competing Theories of Financial Anomalies," *The Review of Financial Studies*, Special, 15 (2), 575-606.
- Camelia, Kuhnen (2010): "Affect and Learning in Financial Markets," SIFR Conference on Biology and Finance, May 19, Stockholm, Sweden.
- Camerer, Colin F., George Loewenstein, AND Drazen Prelec (2005): "Neurosciences: How Neuroscience Can Inform Economics?" *Journal of Economic Literature*, XLIII, 9-64.
- Chew, S., AND K. MacCrimmon (1979): "Alpha-nu Choice Theory: An Axiomatization of Expected Utility," *Working Paper* (University of British Columbia, Vancouver, BC).
- Cowles, J.T. (1937): "Food-tokens as Incentive for Learning by Chimpanzees," *Comparative Psychology Monographs*, 14 (5, Whole no. 71).
- DeBondt, Werner F. M., AND Richard Thaler (1985): "Does the Stock Market Overreact," *Journal of Finance*, 40, 793-807.
- De Long, J. Bradford, Andrei Shleifer, Lawrence H. Summers, AND Robert J. Waldmann (1990): "Noise Trader Risk in Financial Markets," *Journal of Political Economy*, 98 (4), 703-738.
- Dragoi, V. (1997): "A Dynamic Theory of Acquisition and Extinction in Operant Learning," *Neural Networks*, 10, 201-229.
- Engle, Robert F. (1982): "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation," *Econometrica*, 50, 987-1007;
- Fama, Eugene F. (1970): "Efficient Capital Markets: "A Review of Theory and empirical Work," *Journal of Finance*, 25, 383-417.

- Fama, Eugene F., AND Kenneth R. French (1993): "Common Risk Factors in the Returns on Stocks and Bonds," *Journal of Financial Economics*, 33(1), 3-56.
- Friedman, B. M. (1979): "Optimal Expectations and the Extreme Information Assumptions of Rational Expectations' Macromodels," *Journal of Monetary Economics*, 5, 23-41.
- Graham, John R. (1999): "Herding among Investment Newsletters: Theory and Evidence," *Journal of Finance*, 54, 237-268.
- Graham, John R., Campbell R. Harvey, AND Hai Huang (2009): "Investor Competence, Trading Frequency, and Home Bias," *Management Science*, 55, 1094-1106.
- Grinblatt, Mark, AND Matti Keloharju (2001): "What Makes Investors Trade?" *Journal of Finance*, 56, 589-616.
- Grinblatt, Mark, AND Matti Keloharju (2009): "Sensation Seeking, Overconfidence, and Trading Activity," *Journal of Finance*, 64, 549-578.
- Hirshleifer, David AND Siew Hong Teoh (2009): "Thought and Behavior Contagion in Capital Markets," *Handbook of Financial Markets: Dynamics and Evolution* (edited by Hens and Schenk-Hoppe), North-Holland/Elsevier.
- Hong, Harrison, AND Jeremy C. Stein (2007): "Disagreement and Stock Market," *Journal of Economic Perspectives*, 21, 109-128.
- Hsu, Ming, Meghana Bhatt, Ralph Adolphs, Daniel Tranel, AND Colin F. Camerer (2005): "Neural Systems Responding to Degrees of Uncertainty in Human Decision-Making," *Science*, 310 (5754), 1680-1683.
- Irons, Jessica G., and William Buskist (2008): "Operant Conditioning," 21st Century Psychology—A Reference Handbook (ed. by Davis and Buskist), 329-339.
- Kahneman, Daniel, AND Amos Tversky (1972): "Subjective Probability: A Judgment of Representativeness," *Cognitive Psychology*, 3, 430-454.
- Kahneman, Daniel, AND Amos Tversky (1979): "Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk," *Econometrica*, 47, 263-292.
- Laibson, David L. (1998): "Life-Cycle Consumption and Hyperbolic Discount Functions," *European Economic Review*, 42 (3-5), 861-871.
- Lee, Charles M.C., AND Bhaskaran Swaminathan (2000): "Price Momentum and Trading Volume," *Journal of Finance*, 55, 2017-2069.
- Li, Haitao, Martin T. Wells, AND Cindy L. Yu (2008): "A Bayesian Analysis of Return Dynamics with Levy Jumps," *The Review of Financial Studies*, 21, No.5, 2345-2378.
- Lo, Andrew W., AND Jiang Wang (2006): "Trading Volume: Implications of an Intertemporal Capital Asset Pricing Model," *Journal of Finance*, 61, 2805-2840.
- Loewenstein, George, AND Drazen Prelec (1992): "Anomalies in Intertemporal Choice: Evidence and Interpretation," *Quarterly Journal of Economics*, 107 (2), 573-597.
- Lux, Thomas (1995): "Herd Behavior, Bubbles and Crashes," *The Economic Journal*, 105 (July), 881-896.
- Mandelbrot, Benoit (1963): "The Variation of Certain Speculative Prices," *Journal of Business*, 36 (October), 394-419;
- McCauley J.L. (2000): "The Futility of Utility: How Market Dynamics Marginalize Adam Smith," *Physica A*, 285, 506-538.
- Mantegna, Rosario N. AND H. Eugene Stanley (1995): "Scaling Behaviour in the Dynamics of an Economic Index," *Nature*, 376, 6 July, 46-49.

- Merton, Robert C. (1973): "An Intertemporal Capital Asset Pricing Model," *Econometrica*, 41 (5), 867-887.
- Merton, Robert C. (1987): "A Simple Model of Capital Market Equilibrium with Incomplete Information," *Journal of Finance*, 42, 483-510.
- Nofsinger, John R. AND Richard W. Sias (1999): "Herding and Feedback Trading by Institutional and Individual Investors," *Journal of Finance*, 54 (6), 2263-2295.
- Odean, Terrance (1998a): "Volume, Volatility, Price, and Profit When All Traders Are Above Average," *Journal of Finance*, 53, 1887-1934.
- Odean, Terrance (1998b): "Are Investors Reluctant to Realize Their Losses?" *Journal of Finance*, 53, 1775-1798.
- Odean, Terrance (1999): "Do Investors Trade Too Much?" *The American Economic Review*, 89, 1279-1298.
- Olds, M.E. AND J.L. Fobes (1981): "The Central Basis of Motivation: Intracranial Self-stimulation Studies," *Annual Review of Psychology*, 32, 523-574.
- Osborne, M. F. M. (1977): *The Stock Market and Finance from a Physicist's Viewpoint*, Grossga, Mineapolis.
- Pavlov, Ivan (1904): "Physiology of Digestion," *Nobel Lectures—Physiology or Medicine 1901-1921*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1967.
(available at http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1904/pavlov-lecture.html)
- Pierce, W. D., AND C. D. Cheney (2004): *Behavior Analysis and Learning* (3rd.), Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Samuelson, Paul A. (1937): "A Note on Measurement of Utility," *The Review of Economic Studies*, 4, 155-161.
- Samuelson, Paul A. (1965): "Rational Theory of Warrant Pricing," *Industrial Management Review*, 6 (Spring): 13-31; or (1967): H. Cootner (Ed.), *The Random Character of Stock Market Prices*, Cambridge, Mass.: MIT Press, 506-536.
- Sewell, Martin (2008): "Behavioral Finance," Working Paper.
- Sharpe, Willian F. (1964): "Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk," *Journal of Finance*, 19, 425-442.
- Shefrin, Hersh, AND Meir Statman (1985): "The Disposition to Sell Winners Too Early and Ride Losers to Long: Theory and Evidence," *Journal of Finance*, 40, 777-790.
- Shi, Leilei (2006): "Does Security Transaction Volume-price Behavior Resemble a Probability Wave?" *Physica A*, 366, 419-436.
- Shiller, Robert J. (1981): "Do Stock Prices Move too Much to be Justified by Subsequent Changes in Dividends?" *The American Economic Review*, 71, 421-436;
- Shiller, Robert J. (1995): "Conversation, Information, and Herd Behavior," *Rhetoric and Economic Behavior*, 85 (2), 181-185.
- Shiller, Robert J. (2006): "Tools for Financial Innovation: Neoclassical versus Behavioral Finance," *The Financial Review*, 41, 1-8.
- Shleifer, Andrei, AND Robert W. Vishny (1997): "The Limits of Arbitrage," *Journal of Finance*, 52 (2), 35-55.
- Skinner, B.F. (1938): *The Behavior of Organisms: An Experimental Analysis*, New York: Appleton-Century-Crofts.
- Soros, George (2010a): "The Living History of the Last 30 Years: Economic Theory, Politics and

Policy,” Institute for New Economic Thinking Conference at King’s College, Cambridge University, UK, April 8-10.

Soros, George (2010b): “George Soros Speech,” The Spring Meeting of the Institute of International Finance in Vienna, Austria, June 10. Available at http://www.georgesoros.com/interviews-speeches/entry/iif_spring_membership_meeting_address_june_10_20101

Statman, Meir, Steven Thorley, AND Keith Vorkink (2006): “Investor Overconfidence and Trading Volume,” *The Review of Financial Studies*, 19, 1531-1565.

Thaler, Richard H. (1999): “The End of Behavioral Finance,” *Financial Analysts Journal* 56(6), 12-17.

Thorndike, E.L. (1913): *Educational Psychology* (Vol. 2), New York: Teachers College.

Tversky, Amos, AND Daniel Kahneman (1973): “Availability: A Heuristic for Judging Frequency and Probability,” *Cognitive Psychology*, 5, 207-232.

Tversky, Amos, AND Daniel Kahneman (1974): “Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases,” *Science*, 185, 1124-1131.

Tversky, Amos, AND Daniel Kahneman (1986): “Rational Choice and the Framing of Decisions,” *Journal of Business*, 59 (4), Part 2, S251-S278.

Tversky, Amos, AND Daniel Kahneman (1992): “Advances in Prospect Theory: Cumulative Representation of Uncertainty,” *Journal of Risk and Uncertainty*, 5, 297-323.

Von Neumann, J., AND O. Morgenstern (1944): *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press.

Weber, Martin, AND Colin F. Camerer (1998): “The Disposition Effect in Securities Trading: An Experimental Analysis,” *Journal of Economic Behavior and Organization*, 33, Issue 2, 167-184.

Xiao, Erte, AND Daniel Houser (2005): “Emotion Expression in Human Punishment Behavior,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102 (20), 7398-7401.

董志勇 (2009): 《行为金融学》，北京大学出版社，303-304.

库恩 (Coon 美) 等著，郑钢等译 (2007): 《心理学导论——思想与行为的认识之路》，第 11 版，中国轻工业出版社，283-323.

索罗斯 (Soros 美) 著，余济群、黄嘉斌译 (1998): 《金融炼金术》，吉林人民出版社，3-57.

周衍柏 (1985): 《理论力学教程》(第二版)，高等教育出版社，267-272.