复旦大学

中国波指的动态特征及具体应用

院　　系：经济学院

专　　业：金融专硕-基金管理

学　　生：金含

指导老师：张宗新 教授

时　　间：2018 年 1 月 3 日

中国波指的动态特征及具体应用

内容提要：2015 年上交所发布基于上证 50ETF 股票期权编制的 iVX 指数，以估计投资者对未来 30 天市场波动状况的预期。本文通过各波动率理论的优劣分析，发现无模型隐含波动率相较于历史波动率和已实现波动率更能反映未来一个月的市场波动预期；通过 ARMA-GARCH 模型的实证检验，发现 iVX 指数与标的指数收益率间不存在负相关关系，但存在非对称性，且美国股市对大陆市场存在显著的溢出效应，并提出 iVX 指数在风险预测及波动溢出方面的应用。

关 键 词：波动率指数；无模型隐含波动率；波动溢出

The Dynamic Characteristics and Specific Application of Volatility Index in China

Abstract: In 2015, the SSE issued the iVX Index based on the SSE 50ETF Stock Options to estimate investors’ expectations for market volatility over the next 30 days. Our analysis of the merits and demerits of different volatility theories shows the model-free implied volatility is better than the historical volatility and the realized volatility for one-month estimation period. Our empirical test based on ARMA-GARCH model suggests no negative correlation but asymmetry effect between iVX index and the underlying index yield, and the U.S. stock market has significant spillover effect on the mainland market. Besides, the application of iVX index in risk prediction and volatility spillover effects are proposed.

Keywords: Volatility Index；Model-Free Implied Volatility；Volatility Spillover

目录

一、引言

（一）选题背景与研究意义

1．选题背景

目前世界上衡量市场波动状况的最常用指标是波动率指数。1993 年，芝加哥期权交易所首次推出波动率指数，以标准普尔 100 指数平价期权价格计算得出的隐含波动率估计投资者对未来 30 天市场波动状况的心理预期，因而也被称为“投资者恐慌指数”。2003 年，CBOE 更新了波动率指数的编制方法，采用无模型隐含波动率法，以标准普尔 500 指数价外期权价格计算得出新 VIX 指数。在 CBOE 成功运用波动率指数后，包括欧洲期货交易所、香港交易所在内的全球各大期权市场均陆续推出了波动率指数。

相较于国际发达的金融市场，中国大陆市场对于波动率指数的运用尚处于探索阶段。2013 年 11 月，中国金融期货交易所推出沪深 300 股指期权仿真交易合约，中金所基于该产品发布了中国波动率指数 CVX，但由于其编制标的并非基于真实的期权交易产品，CVX 指数的动态特征与 VIX 指数存在较大差异，并不能充分反映市场的波动状况。2015 年 2 月 9 日，上海证券交易所正式推出上证 50ETF 期权，这是中国大陆市场首只期权产品，同年 6 月试运行发布首个基于真实期权交易数据编制的上证 50 ETF 波动率指数，并于 2016 年 11 月正式发布该指数。

波动率指数对于中国大陆市场的作用体现在以下三方面。首先，波动率指数能够有效地反映短期市场波动情况的预期，对投资者在股票市场上的操作起到一定指导作用。中国大陆股票市场一直存在“涨跌之谜”，相较于发达股票市场波动剧烈，投资者亟需有一个能反映市场波动水平的指标以帮助其制定在股市中的操作策略，减少在市场剧烈波动情形下的损失。其次，中国大陆股市受政策面影响较大，波动率指数可以作为政府判断市场波动情况的重要依据，以选择出台相应政策的最佳时机，对政府在金融市场上的调控及政策引导具有一定参考价值，促进整个金融市场稳定健康发展。此外，基于波动率指数构建的相关衍生产品能

够为投资者提供更多资产组合的选择和风险规避的途径。2004 年起，CBOE 基于 VIX 指数陆续推出 VIX 期货和 VIX 期权，中国大陆市场可参考发达资本市场的先进经验，在未来推出有关波动率指数的衍生产品，为投资者规避和对冲投资组合风险提供新的工具。

虽然波动率指数在国外金融市场应用广泛，但由于中国大陆期权市场起步较晚，相关研究较少。于是本文从美国波动率指数构建的原理出发，探讨中国波指构建的理论基础，并结合我国市场特点对 iVX 指数特征进行实证检验，以探究 iVX 指数对于中国金融市场投资的指导作用和实践意义，为中国波动率指数后续发展和相关衍生产品的金融创新提供研究参考。

2．研究意义

首先，上海证券交易所借鉴 CBOE 编制 VIX 指数的方式，利用无模型隐含波动率法编制 iVX 指数，测度投资者对未来 30 天市场波动状况的预期。本文试图分析此编制方法下的理论依据及其对中国大陆金融市场的适用性，这对于未来中国市场的不断发展与完善，推出更符合中国实际情况的波动率指数系列意义深远。其次，过去诸多学者对美国 VIX 指数的动态特征进行实证研究，发现其与 S&P500 指数间存在负相关关系，且具有非对称性，能够作为市场情绪判断指标。本文试图通过探究 iVX 指数与中国大陆市场收益率之间的相关关系以检验 iVX 指数对市场情绪预期的有效性，并根据 iVX 指数的历史表现提出该指数在风险预测及波动溢出方面的相关应用，为中国金融市场的稳定发展和投资策略提供新的视野。此外，如果能够验证基于无模型隐含波动率法编制的波动率指数能有效反映中国市场的波动状况，未来可基于波动率指数编制相关衍生产品，以丰富投资者的投资产品和对冲风险的有效途径，对中国金融市场的成熟深化和长远发展具有重要的现实意义。

（二）文献综述

1．国外的研究现状

1973 年，CBOE 成立，进行统一化、标准化的期权交易，标志着现代期权市场的诞生。经过长达 40 多年的发展，国外学者对于期权的研究深入透彻，并运用指数期权建立了市场波动率指数，以此判断市场情绪，构建相关衍生品。

早期的波动率指数编制基于隐含波动率模型，根据期权的市场价格倒推出 Black and Scholes（1973）提出的期权定价公式中的波动率参数，即隐含波动率，相比于历史波动率更能反映未来价格的波动状况。Merton（1976）建立了跳跃扩散期权定价模型，基于泊松过程，刻画极端事件对于期权价格的影响。Cox，Ross and Rubinstein（1979）提出二叉树期权定价模型，针对离散时间，简化计算过程，为隐含波动率的计算提供新的途径。Whaley（1993）首次提出以 S&P100 指数期权为基础编制波动率指数，指出波动率指数与 S&P100 指数呈现出负相关关系，并模拟相关衍生品具有有效规避投资组合风险的效果。同年，CBOE 根据早期的研究成果建立了首个 VIX 指数，选择 S&P100 指数平价期权，根据二项式模型计算期权的隐含波动率，通过加权平均法得到 VIX 指数。

此后，诸多学者对波动率指数的统计特征及应用进行研究分析。Fleming，Ostdiek and Whaley（1995）利用日数据和周数据研究发现 VIX 指数在一定程度上具有一阶自相关性和均值回归效应，与 S&P100 指数存在明显的负相关关系。Whaley（2000）通过实证分析指出 VIX 指数具有非对称性，其上升时所带来的市场反应比其下降时所带来的市场反应大，充分反映投资者的市场情绪。Traub，Ferreira，McArdle and Antognelli（2000）从 VIX 指数相对高低点与股市、债市之间关系的角度进行研究，发现当 VIX 指数位于相对高点时，未来半年内，股市表现优于债市；当 VIX 指数位于相对低点时，未来半年内，债市表现优于股市。

虽然隐含波动率模型能包含对未来波动率预测的有效信息，但需满足市场有效的条件，且不能很好地涵盖历史波动率所包含的所有预测信息。Britten-Jones and Neuberger（2000）首次提出无模型隐含波动率，并由 Jiang and Tian（2005）基于市场风险中性假设，利用无套利定价关系进行推导，检验证实其对未来波动率的预测能力更优。2003 年，CBOE 基于无模型隐含波动率，选择 S&P500 指数价外期权，根据方差和波动率掉期的方法更新了 VIX 指数计算方式，将原来的 VIX 指数更名为 VXO 指数。Carr and Wu（2005）针对新旧 VIX 指数进行了分析对比，提供了这两种编制方式的理论基础，并探讨 VIX 指数衍生品的定价问题。Chow，Jiang and Li（2014）从实证角度证明了三阶动差造成 VIX 指数的偏差，导致其显著低估市场的实际波动状况，并提出不受任何高阶动差影响的广义波动

率指数 GVIX，可以充分描述市场的真实波动。Psaradellis and Sermpinis（2016）利用自回归和新型元启发式模型研究 CBOE 发布的波动率指数，以寻找基于波动率指数的套利交易策略。

此外，基于历史数据的时间序列模型在波动率的测度上依旧占有重要的位置，主要包括 Engle（1982）的 ARCH 模型、Bollerslev（1986）在 ARCH 模型基础上提出的 GARCH 模型以及 Hull and White（1987）提出的 SV 模型等。

2．国内的研究现状

1993 年，恒生指数期权在香港期货交易所上市交易；2015 年，上证 50ETF 期权在上海证券交易所上市交易，中国大陆迎来期权时代。由于中国期权市场起步较晚，国内学者对于波动率指数的研究并不多，大致包括两方面：对国外波动率指数研究的梳理探讨以及测度波动率模型的实证分析。

早期的国内学者更多地关注于波动率指数的编制原理和功能介绍。刘凤元（2006）首次简述 VIX 指数的发展过程，针对新旧 VIX 指数的计算方法进行对比和整理，并论述 VIX 指数的有效性，提出编制中国 VIX 指数的作用和意义。张蝶蜂（2009）指出美国股票市场的日波动率和周波动率表现不一致，周波动率具有非对称性且低于日波动率，市场存在均值回归效应，并设计套利策略投资波动率产品。易聪（2009）详细介绍国外波动率交易和 VIX 指数衍生品。倪英子和陈信华（2011）介绍 CBOE 在编制 VIX 指数和开发相关衍生品方面的理论基础，为中国市场编制 VIX 指数和开发波动率产品进行金融创新提供借鉴。

后期的国内学者把研究重心置于波动率模型的构建上。郑振龙和黄薏舟（2010）基于香港恒生指数期权，对比 GARCH 模型和隐含波动率模型，发现 GARCH(1,1)在极短期（几天）预测能力强，隐含波动率模型在中长期（一个月以上）预测能力强，且与期权交易活跃性正相关。魏宇（2010）选择沪深 300 股指期货仿真交易的高频数据，采用滚动时间窗的样本外预测和 SPA 检验法，发现增加解释变量的随机波动模型相比于 GARCH 模型对波动率的预测能力更强。罗方珍（2013）选择上证 50 指数，对比 GARCH 模型和 EGARCH 模型，由于数据存在非对称性，EGARCH 模型的预测能力更好。陈彦晖（2014）利用 ARMA-GARCH 模型研究恒生指数波动率，验证香港股市具有均值回归效应和周内效应。王沁（2017）提出带杠杆效应的 CARR 模型，其对波动性的预测能力

优于 EGARCH 模型和传统 CARR 模型。

近年，随着中国大陆市场基于股票期权推出 iVX 指数，国内学者利用隐含波动率模型进行最新的实证检验和模型创新。屈满学和王鹏飞（2017）通过分析 2015 年 2 月 9 日至 2016 年 7 月 19 日的 iVX 指数日数据，证实无模型隐含波动率所包含的波动信息和短期预测能力强于历史波动率和已实现波动率。郑振龙和汪饶思行（2017）根据隐含波动率期限结构与微笑曲线提出隐含波动率半参数模型，利用 BP 神经网络法进行外推预测，实验结果优于滚动加权平均法，为隐含波动率曲面建模开拓新视野。

（三）研究方法与创新之处

1. 研究方法

（1）文献研究法

通过国内外文献调查探究中国波动率指数编制的理论基础，分析基于无模型隐含波动率法编制的 iVX 指数对于中国大陆市场的适用性；通过梳理国内根据恒生指数、沪深 300 指数、上证 50 指数预测中国市场波动率的模型研究，对比历史波动率、隐含波动率及已实现波动率在中国市场上的应用效果；通过查阅国外文献对于美国 VIX 指数的实证检验，总结能够有效反映市场波动状况的波动率指数应具备的相关动态特征。

（2）实证研究法

本文的实证模型是在 Fleming et al.（1995）研究 VIX 指数的经典模型基础上构建的 ARMA-GARCH 模型。Fleming et al.（1995）利用最小二乘估计法，考察波动率指数变动与其标的指数收益率（包括前进项和滞后项）及标的指数收益率绝对值之间的关系。本文选取 2015 年 2 月 9 日至 2017 年 12 月 21 日的 iVX 指数日数据，根据数据的异方差性选择最大似然估计法建立 ARCH 族模型，将标的指数收益率及标的指数收益率绝对值作为外生变量加入均值方程，考察波动率指数与其标的指数间的联动关系和非对称性，以探究其所含市场波动信息的有效性。

（3）对比研究法

考虑到中国大陆期权市场的发展程度和美国期权市场差异较大，因此本文将

选择与中国大陆市场较为接近、地缘关系更为紧密的香港市场作为参照对象，进行对比研究，进一步探究 iVX 指数的特征和功能。

2．创新之处

过去的学者大多选择研究美国 VIX 指数和香港 VHSI 指数，本文则将视角定位于起步较晚的中国大陆期权市场，研究基于中国大陆市场首只期权产品上证 50ETF 期权编制的 iVX 指数，将提供有关于中国波动率指数研究的最新资料。

本文的实证模型是在 Fleming et al.（1995）研究 VIX 指数的经典模型基础上构建的 ARMA-GARCH 模型。Fleming et al.（1995）利用最小二乘估计法，考察波动率指数变动与其标的指数收益率（包括前进项和滞后项）及标的指数收益率绝对值之间的关系。本文则根据数据的异方差性选择最大似然估计法建立 ARCH 族模型，将标的指数收益率及标的指数收益率绝对值作为外生变量加入均值方程，考察波动率指数与其标的指数间的联动关系和非对称性，以探究其所含市场波动信息的有效性。

本文通过实证部分的相关结论，指出基于该指数构建衍生产品的重要意义，以丰富投资者的投资产品和对冲风险的有效途径，并提出相关建议，以完善市场体系，使其适合未来波动率衍生工具的推出和交易，为中国金融市场的成熟深化和长远发展做前期研究。此外，本文将 iVX 指数运用于实际投资中，针对投资者提供相关应用策略，包括如何利用 iVX 指数衡量市场风险、判断市场走势，以及借助美国股市的溢出效应做出相应的策略变动。

（四）论文结构

本文第一部分介绍选题背景与研究意义，并总结国内外相关文献研究；第二部分研究波动率指数编制的理论基础和具体的编制方法，并比较各理论的优势与缺陷；第三部分检验中国波动率指数的统计特征，并构建实证模型考察其与标的指数间的动态特征，提出波动率指数的相关应用，包括风险预测和波动溢出；第四部分总结本文的相关结论，并构想未来中国波动率指数的研究方向。

二、波动率指数编制理论

（一）美国波动率指数编制方法

1993 年，CBOE 首次发布了美国 VIX 指数，后于 2003 年推出新 VIX 指数，并将旧 VIX 指数更名为 VXO 指数，两者在计算标的、期权合约以及计算方法上存在不同。

1．VXO 指数

VXO 指数是基于 S&P100 指数平价期权进行编制，利用 BS 期权定价公式计算在两个最近到期日（大于 8 日）的 8 个期权的隐含波动率的平均值。在每个到期日，选择 2 个看涨期权和 2 个看跌期权；根据到期日的长短分为近月期权和次近月期权；执行价格为最接近现货价格的两个序列，若执行价格等于现货价格，则选取平价期权和略低于现货价格的期权序列。

表 1　计算 VXO 指数的期权选择表

执行价格	近月		次近月	
	看涨期权	看跌期权	看涨期权	看跌期权
$K_1 < S$	$\sigma_{C,T_1}^{K_1}$	$\sigma_{P,T_1}^{K_1}$	$\sigma_{C,T_2}^{K_1}$	$\sigma_{P,T_2}^{K_1}$
$K_2 \geq S$	$\sigma_{C,T_1}^{K_2}$	$\sigma_{P,T_1}^{K_2}$	$\sigma_{C,T_2}^{K_2}$	$\sigma_{P,T_2}^{K_2}$

注：S 为现货价格，K_1为低于现货价格的执行价格，K_2为高于或等于现货价格的执行价格；T_1、T_2分别代表近月和次近月，且$8 < T_1 < 30 < T_2$；C、P 分别代表看涨期权和看跌期权；8 个波动率均为 BS 期权定价公式计算所得的隐含波动率。

VXO 指数的计算步骤如下：

（1）将执行价格相同和到期日相同的看涨期权和看跌期权的隐含波动率求平均值：

$$\sigma_{T_1}^{K_1} = \sigma_{C,T_1}^{K_1} + \sigma_{P,T_1}^{K_1}$$

$$\sigma_{T_1}^{K_2} = \sigma_{C,T_1}^{K_2} + \sigma_{P,T_1}^{K_2}$$

$$\sigma_{T_2}^{K_1} = \sigma_{C,T_2}^{K_1} + \sigma_{P,T_2}^{K_1}$$

$$\sigma_{T_2}^{K_2} = \sigma_{C,T_2}^{K_2} + \sigma_{P,T_2}^{K_2}$$

（2）将到期日相同但执行价格不同的两组隐含波动率分别进行现行内插以求得加权平均值：

$$\sigma_{T_1} = \sigma_{T_1}^{K_1}\frac{K_2 - S}{K_2 - K_1} + \sigma_{T_1}^{K_2}\frac{S - K_1}{K_2 - K_1}$$
$$\sigma_{T_2} = \sigma_{T_2}^{K_1}\frac{K_2 - S}{K_2 - K_1} + \sigma_{T_2}^{K_2}\frac{S - K_1}{K_2 - K_1}$$

（3）求出上述两个隐含波动率在 22 个交易日内插的一个月的平价期权隐含波动率估计，即 VXO 指数：

$$VXO_t = \sigma_{T_1}\frac{N_{T_2} - 22}{N_{T_2} - N_{T_1}} + \sigma_{T_2}\frac{22 - N_{T_1}}{N_{T_2} - N_{T_1}}$$

上式中N_{T_1}和$\mathrm{N}_{\mathrm{T}_2}$分别为近月期权和次近月期权距离到期日的交易天数。①

2．VIX 指数

2003 年，由于 S&P500 指数期权的交易量已远远超过 S&P100 指数期权，且价外期权的交易量也远远领先于平价期权。对此，CBOE 更改了波动率指数的编制方法，选择 S&P500 指数价外期权作为计算标的，依据 CBOE White Paper（2015），目前广泛应用的美国 VIX 指数的计算公式如下：②

$$\sigma^2 = \frac{2}{T}\sum_i \frac{\Delta K_i}{K_i^2} e^{RT} Q(K_i) - \frac{1}{T}[\frac{F}{K_0} - 1]^2$$

上式中，

（1）T：期权距离到期日的时间（以分钟计算），具体公式如下：

①Carr and Wu（2005）指出在计算隐含波动率时注意要将以日历日为基础调整为以交易日为基础，调整公式如下：

$$N_T = N_C - 2\mathrm{int}(N_C/7)$$

其中N_C为期权距离到期日的日历天数，N_T为调整后的期权距离到期日的交易天数。

②该计算公式的理论支持及具体推导过程请参见附录。

$$T = \frac{M_{当天} + M_{到期日} + M_{其余天数}}{一年总分钟数}$$

上式中$M_{当天}$为直到当天 24 时的剩余分钟数，$M_{到期日}$为到期日从 0 时到 8 时 30 分（对于标准的标普 500 指数期权）或 15 时（对于按周结算的标普 500 指数期权）的剩余分钟数，$M_{其余天数}$为在当天和到期日之间的总分钟数。

（2）R：到期日的无风险利率，通常用美国国库券到期日最接近期权到期日的债券收益率水平。

（3）F：远期指数水平，即利用到期日相同、执行价格相同的看涨期权和看跌期权间价差最小的期权价格进行计算，具体公式如下：

$$F = k + e^{RT}(C - P)$$

上式中C、P分别为到期日相同、执行价格相同且价差最小的看涨期权和看跌期权价格，k为期权的执行价格。

（4）K_0：低于远期指数水平的第一个执行价格。

（5）K_i：第 i 个价外期权的执行价格，选择期权的规则如下：选择执行价格小于K_0的价外看跌期权且买价不为 0，按执行价格由大到小排序，直到连续两个看跌期权的买价为 0 为止；选择执行价格大于K_0的价外看涨期权且买价不为 0，按执行价格由小到大排序，直到连续两个看涨期权的买价为 0 为止；选择执行价格等于K_0的看跌期权和看涨期权。

（6）ΔK_i：所选期权序列的执行价格的间隔，具体公式如下：

$$\Delta K_i = \frac{K_{i+1} - K_{i-1}}{2}$$

对于执行价格最大和最小的数据分别选择其相邻数据代入计算。

（7）$Q(K_i)$：执行价格为K_i的期权的买入价和卖出价的中间价。

根据公式可分别计算求得近月期权和次近月期权的波动率的平方$\sigma_{T_1}^2$和$\sigma_{T_2}^2$。最后，将$\sigma_{T_1}^2$和$\sigma_{T_2}^2$加权后的平方根乘以 100 以求得 VIX 指数，具体公式如下：

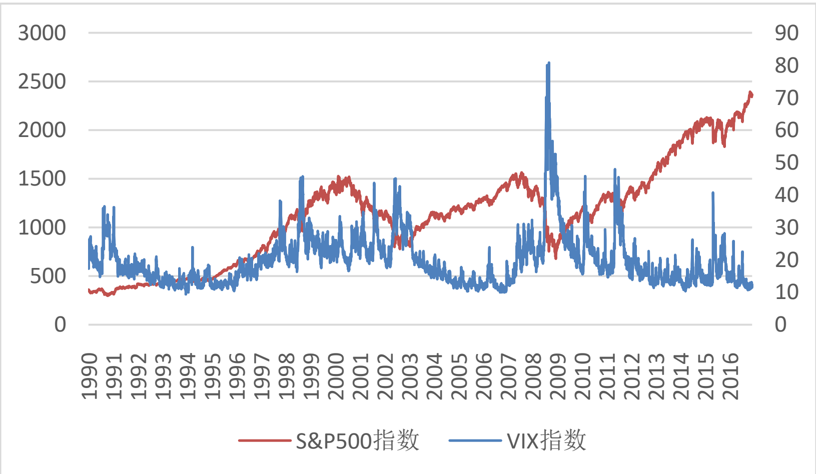
$$\mathrm{VIX} = 100 \times \sqrt{\left\{T_1\sigma_{T_1}^2\left[\frac{N_{T_2}-N_{30}}{N_{T_2}-N_{T_1}}\right]+T_2\sigma_{T_2}^2\left[\frac{N_{30}-N_{T_1}}{N_{T_2}-N_{T_1}}\right]\right\}\times\frac{N_{365}}{N_{30}}}$$

上式中N_{T_1}为近月期权距离到期日的分钟数，N_{T_2}为次近月期权距离到期日的分钟数，N_{30}为 30 日的分钟数，N_{365}为 365 日的分钟数。

（二）波动率指数动态特征

图 1 为历年来美国 VIX 指数和 S&P500 指数的走势图，从中可以发现，VIX 指数和 S&P500 指数呈现明显的负相关关系，当 S&P500 指数下跌时，VIX 指数通常呈现上升趋势，而当 S&P500 指数上涨时，VIX 指数则多表现为下降趋势。例如，2008 年 9 月，随着雷曼兄弟破产，美国次贷危机逐步恶化演变为全球范围的金融危机，当时 S&P500 指数不断下跌，同时 VIX 指数一直处于上升阶段，且于 2008 年 11 月 20 日达到历史最高点 80.86。此外，不难发现 VIX 指数的变动幅度具有非对称性，即当 S&P500 指数下跌时 VIX 指数上升的幅度大于当 S&P500 指数上涨时 VIX 指数下降的幅度，因此 VIX 指数也被称作“投资者恐慌指数”。

图 1　VIX 指数与 S&P500 指数走势图



（三）波动率指数编制理论对比

诸多学者在尝试编制中国波动率指数时运用的理论基础，主要分为历史波动率、隐含波动率和已实现波动率三类。通过比较各理论的优势及缺陷，探究最适合中国大陆金融市场的波动率指数编制理论。

1．历史波动率

首先，选取股票市场每日收盘价的低频日数据，取对数表示模型中的日收益率。然后对收益率序列进行自相关性和 ARCH 效应检验，若 F 统计量显著，则收益率序列的残差项存在 ARCH 效应，可构建 GARCH 类模型。不妨假设历史波动率预测模型采用 GARCH(1,1)形式预测未来一周的市场波动率：

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha\varepsilon_{t-1}^2 + \beta\sigma_{t-1}^2$$

上式中，α_0为截距项，α称为回报系数，β称为滞后系数。利用第 t 天的真实收益率得到残差项ε_t和方差σ_t^2，由此预测第 t+1 天的条件方差σ_{t+1}^2。再利用预测所得的第 t+1 天收益率得到第 t+1 天的残差项ε_{t+1}，带入 GARCH(1,1)模型得到第 t+2 天的预测方差σ_{t+2}^2，以此类推，可得到一周收益率波动的预测值。

2．隐含波动率

国内外学者在研究波动率指数时所涉及的隐含波动率理论主要分为 BS 隐含波动率和无模型隐含波动率两种。

BS 隐含波动率是根据 Black and Scholes（1973）提出的期权定价公式，由期权的市场价格倒推出定价公式中的波动率，作为市场投资者对于未来市场波动情况的预期。

$$C_t = S_t N(d_1) - Ke^{-r(T-t)}N(d_2)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_t}{K}\right) + (r + \frac{1}{2}\sigma^2)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T-t}$$

上式中，C_t为 t 时刻期权价格，S_t为 t 时刻标的股票价格，K为执行价格，r为无风险利率，T为到期日，σ为股价波动率，$N(\cdot)$表示正态分布。根据 BS 公式，期权价格C_t是关于S_t、K、r、T、σ的函数，由于S_t、K、r、T已知, 只需要将期权的市场价格带入 BS 公式就可以倒推求得市场对标的资产从 t 到T时刻的波动率估计，即为隐含波动率。

Britten-Jones and Neuberger（2000）首次提出无模型隐含波动率，利用期权的市场价格和交易量信息计算隐含波动率，以估计未来市场的波动状况。目前，包括美国 VIX 指数、香港 VHSI 指数在内的大部分公开发布的波动率指数都是基于无模型隐含波动率理论编制而成。本文研究的 iVX 指数是上交所借鉴 CBOE 编制 VIX 指数的方法，根据无模型隐含波动率理论编制，通过上证 50ETF 期权的交易价格和相关信息，估计投资者对未来 30 天市场波动状况的心理预期。

3．已实现波动率

已实现波动率是针对以小时、分钟或秒为采集频率的高频样本数据所提出的一种波动率，通常有两种计算方法。Garman and Klass（1980）提出日内波动率 OHLC 估算法，利用高频数据的日内开盘价、最高价、最低价和收盘价来估计序列的波动率，具体公式如下：

$$\sigma_t = \left\{ \frac{1}{2}\left[\ln\left(\frac{P_{tH}}{P_{tL}}\right)\right]^2 - (2ln2-1)\left[\ln\left(\frac{P_{tC}}{P_{tO}}\right)\right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

上式中，σ_t为 t 时刻的波动率，P_{tO}为 t 时刻的开盘价，P_{tH}为 t 时刻的最高价，P_{tL}为 t 时刻的最低价，P_{tC}为 t 时刻的收盘价。

另一种计算方法是由 Andersen and Bollerslev（1998）提出的高频波动率估算法，利用高频数据的日内收益率平方之和来估计序列的波动率，具体公式如下：

$$R_{t,d} = 100(lnP_{t,d} - lnP_{t,d-1})$$

$$RV_t = \sum_{d=1}^{D} R_{t,d}^2$$

上式中，$R_{t,d}$为高频收益率序列，$P_{t,d}$为第 t 天高频抽样（通常以每 5 分钟作为抽样频率）第 d 次的样本价格，D为第 t 天的样本个数，RV_t为第 t 天的已实现波动率。

4．理论比较

历史波动率是基于过去资产价格的统计分析，对未来价格波动趋势的外推。由于 GARCH 类模型具有良好的统计特征，能够在一定程度上捕捉价格中的波动信息，是预测未来市场波动状况的有效途径。但是该方法存在很多缺陷：第一，历史波动率法需要搜集大量的数据样本，但中国大陆期权市场正处于起步阶段，可能由于历史数据不足导致预测精确度下降。第二，利用 GARCH 类模型对样本数据进行回归可能由于模型设定出现过度拟合问题，分析所得的历史波动规律可能是伪规律。第三，历史波动率法要求历史必须重演，但过去的历史波动规律未必适用于未来，尤其是较久的历史波动信息在未来发生的概率很低。第四，该方法尚未考虑除历史信息外的其他信息，如最新的市场信息及宏观环境变化等。

与历史波动率相比，隐含波动率考虑了金融市场的大量最新信息，从而作出前瞻性的事前预测，并根据价格走势及时进行动态调整。由于隐含波动率的计算完全依赖期权的定价和交易量，因此要求期权交易双方为理性投资者，期权价格不包含噪音，但中国大陆期权市场尚未成熟，参与者的专业水平和市场交易的活跃度并不高，期权定价的合理性有待提升。另外，BS 隐含波动率具有模型风险，并受限于模型的假设条件，如市场无摩擦、无风险利率不变、股票价格服从几何布朗运动等。

与基于低频数据预测的历史波动率法和隐含波动率法不同，已实现波动率法利用高频数据样本，捕捉影响证券价格的连续信息，当时间间隔趋于零时，已实现波动率可以作为真实波动率的无偏估计量。此外，该方法不需要进行复杂的参数估计，可以直接计算得出对未来的波动预期。但如何选择最优频率是运用已实现波动率法面临的一大问题，若频率太高则会出现日内收益率数据序列相关，造成测量误差，若频率太低则会带来信息丢失，削弱该方法的本质优势。另外，金融产品流动性的限制及买卖价差所产生的价格非连续等市场微观结构问题也会影响该方法的预测能力。

国内学者屈满学和王鹏飞（2017）针对中国大陆市场比较历史波动率、无模

型隐含波动率和已实现波动率的预测能力，实证表明三种方法在不同的预测期限内的预测能力不同。在短期（一周），三种方法的预测效果均不好，可能由于中国大陆市场弱有效性，短期内价格包含较多噪音；历史波动率和已实现波动率的最佳预测期限在未来半个月；无模型隐含波动率在预测未来市场一个月的波动状况时表现最好，本文所探讨的 iVX 指数便是基于此方法编制。

三、中国波动率指数动态特征分析及具体应用

（一）模型选择

自 CBOE 推出 VIX 指数以来，大量学者对于 VIX 指数的特征进行了深入研究，Fleming et al.（1995）发现 VIX 指数与 S&P100 指数收益率负相关，Whaley（2000）通过实证分析指出新 VIX 指数与 S&P500 指数收益率存在显著的负相关关系，并具有非对称性，市场下跌时 VIX 指数的变动比市场上涨时 VIX 指数的变动更大。基于早前学者对于美国波动率指数的相关研究，本文将从以下几个假设来检验中国波动率指数的动态特征：

1．波动率指数与其标的指数收益率间存在负相关关系，即当波动率指数上升时，标的指数收益率下降，当波动率指数下降时，标的指数收益率上升；

2．波动率指数与其标的指数收益率间存在非对称性，即当标的指数下降时波动率指数的变动大于当标的指数上升时波动率指数的变动；

3．为了更好地刻画波动率指数的特征，本文将参照（陈彦晖，2014），引入 S&P500 指数，检验美国股市对中国大陆市场和香港市场的溢出效应。

根据 Fleming et al.（1995）研究 VIX 指数的经典模型以及（陈彦晖，2014）针对美国股市对中国股市溢出效应的分析，本文将构建 ARMA-GARCH 模型，并将标的指数收益率、标的指数收益率绝对值和 S&P500 指数收益率作为外生变量加入均值方程中，基本形式如下：

$$\triangle index_t = \alpha + \beta_1 R_t + \beta_2 |R_t| + \beta_3 RSP_{t-1} + \sum_{i=1}^{p} \phi_i \triangle index_{t-i} + \varepsilon_t + \sum_{k=1}^{q} \theta_k \varepsilon_{t-k}$$

上式中$\triangle index_t$表示第 t 期波动率指数的对数变动，R_t表示标的指数在第 t 期的对数收益率，$|R_t|$表示标的指数在第 t 期的对数收益率绝对值，RSP_{t-1}表示 S&P500 指数在第 t-1 期时的对数收益率；β_1、β_2、β_3分别为$\triangle index_t$与第 t 期标的指数收益率的相关系数、第 t 期标的指数收益率绝对值的相关系数、第 t-1 期 S&P500 指数收益率的相关系数；α为截距项，ϕ_i为自回归系数，θ_k为移动平均系数，ε_t为独立同分布的白噪声序列。

在上述模型中，β_1刻画波动率指数与标的指数间的相关关系，β_2体现波动率指数的变动与标的指数的变动间是否存在非对称性，β_3反映美国股票市场对中国股票市场的溢出效应。

通过检验模型中的残差序列发现其具有异方差性，违背了白噪声序列的假设，因此还需建立条件异方差模型，本文选用 GARCH 模型，基本形式如下：

$$\sigma_t^2 = c + \sum_{i=1}^{p} \gamma_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{k=1}^{q} \eta_k \sigma_{t-k}^2$$

上式中$\gamma_i \geq 0 (i = 1,2,\ldots,p)$，称为回报系数；$\eta_k \geq 0 (k = 1,2,\ldots,q)$，称为滞后系数；$c$为截距项，$\varepsilon_t$为独立同分布的白噪声序列。该模型记为 GARCH(p,q)，通常阶数维持在 2 阶以内。

（二）数据统计量检验

1．数据选取

本文选取的数据样本区间为 2015 年 2 月 9 日至 2017 年 12 月 21 日，样本数据包括 iVX 指数、上证 50 指数、S&P500 指数，均选择每个交易日的收盘价，共 678 组数据。数据来源于同花顺，并用 Eviews8 进行实证分析。

2．数据统计特征

中国大陆市场波动率指数序列△iVX具有明显的尖峰厚尾特征，JB 统计量为 4274.85，不服从正态分布。在建立 ARMA 模型前首先需要考虑数据的平稳性，本文采用 ADF 单位根检验法来检验各时间序列的平稳性，均不存在单位根，即各时间序列均平稳，可以建立 ARMA 模型。其次，对序列△iVX进行自相关性检验，可以发现该序列的自相关函数和偏自相关函数具有拖尾现象，根据 AIC 值和 SC 值最小原则对序列定阶，选择 ARMA(3,2)模型，拟合效果最好。进一步对建立的 ARMA(3,2)模型得到的残差序列进行滞后一阶的 ARCH 效应检验，检验结果拒绝原假设，即残差序列存在 ARCH 效应，因此本文在 ARMA 模型的基础上再建立 GARCH 模型拟合 iVX 指数的变动情况。

表 2　数据统计量检验结果

序列△iVX的基本统计特征								
均值	中间值	最大值	最小值	标准差	偏度	峰度	JB	P值
-0.0011	-0.0047	0.4119	-0.3006	0.0551	1.6630	14.8526	4274.85	0.0000
各序列的平稳性检验								
序列	△iVX		RSZ		$\|RSZ\|$			
	t	P值	t	P值	t	P值	t	P值
临界值	-27.2378	0.00	-11.7753	0.00	-6.6446	0.00	-26.2573	0.00
1%	-3.4398		-3.4399		-3.4398		-3.4398	
5%	-2.8656		-2.8656		-2.8656		-2.8656	
10%	-2.5690		-2.5690		-2.5690		-2.5690	
序列△iVX的自相关性检验								
阶数	1	2	3	4	5	6	7	8
Q	1.5813	3.0120	4.6309	13.831	15.688	16.336	16.636	18.637
P 值	0.209	0.222	0.201	0.008	0.008	0.012	0.020	0.017
残差序列的异方差性检验								
F统计量			51.5359		Prob. F(1,671)		0.0000	
Obs*R-squared			47.9978		Prob. Chi-Square(1)		0.0000	

在选用 ARMA(3,2)模型的基础上，对比 GARCH(1,1)、GARCH(1,2)、GARCH(2,1)和 GARCH(2,2)四种拟合形式，其中 GARCH(1,1)模型的 AIC 值和 SC 值最小，拟合效果最佳，因此建立 ARMA(3,2)-GARCH(1,1)模型研究 iVX 指数的动态特征。

（三）动态特征分析

根据前一章节的模型基本形式及数据统计量检验，本文在研究中国大陆市场 iVX 指数的动态特征时选用 ARMA(3,2)-GARCH(1,1)模型，具体形式如下：

$$\triangle iVX_t = \alpha + \beta_1 RSZ_t + \beta_2 |RSZ_t| + \beta_3 RSP_{t-1} + \sum_{i=1}^{3} \phi_i \triangle iVX_{t-i} + \varepsilon_t + \sum_{k=1}^{2} \theta_k \varepsilon_{t-k}$$

$$\sigma_t^2 = \gamma_0 + \gamma_1 \varepsilon_{t-i}^2 + \eta_1 \sigma_{t-1}^2$$

根据上述模型的回归结果如下：

表 3　iVX 指数动态特征模型检验结果

解释变量	相关系数	标准差	Z 统计量	P 值
$\boldsymbol{\alpha}$	-0.0074***	0.0026	-2.8216	0.0048
$\boldsymbol{RSZ_t}$	-0.0272	0.1004	-0.2705	0.7867
$\boldsymbol{\lvert RSZ_t \rvert}$	0.5382***	0.1351	3.9835	0.0001
$\boldsymbol{RSP_{t-1}}$	-0.5930**	0.2312	-2.5653	0.0103
AR(1)	-0.3170	0.2088	-1.5182	0.1290
AR(2)	-0.6599***	0.2422	-2.7249	0.0064
AR(3)	-0.0647	0.0557	-1.1609	0.2457
MA(1)	0.2982	0.2032	1.4681	0.1421
MA(2)	0.6000**	0.2612	2.2968	0.0216

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1%水平上显著。

1．iVX 指数与上证 50 指数收益率负相关关系不显著

根据模型的回归结果，可以发现 iVX 指数与上证 50 指数收益率之间不存在显著的负相关关系。当上证 50 指数收益率上升 1%时，

$$\triangle iVX_t = -0.0272\,(0.01) + 0.5382\,(0.01) = 0.5110\%$$

当上证 50 指数收益率下降 1%时，

$$\triangle iVX_t = -0.0272\,(-0.01) + 0.5382\,(0.01) = 0.5654\%$$

即当上证 50 指数下降时，iVX 指数上升，满足负相关关系，但当上证 50 指数上升时，iVX 指数也会出现上升情况。由此可以看出，iVX 指数未能有效地反映与其标的指数收益率间的负相关关系。

2．iVX 指数与上证 50 指数收益率相关性的非对称性显著

当上证 50 指数收益率上升 1%时，iVX 指数变动 0.5110%，当上证 50 指数收益率下降 1%时，iVX 指数变动 0.5654%，且 Z 统计量显著，由此可以判断 iVX 指数与上证 50 指数收益率的相关性存在显著的非对称性。这一非对称性可以理解为，相较于市场收益上升时期，投资者会在市场收益下跌时因恐惧心理而更愿意选择衍生品工具进行套期保值，对冲风险，从而导致当标的指数收益率下降时波动率指数的变动大于当标的指数上升时波动率指数的变动。由此可以看出，iVX 指数能捕捉到投资者面对市场收益下跌时的恐慌情绪，能作为有效的“投资者恐慌指数”。

3．美国股票市场对中国大陆股票市场存在显著的溢出效应

iVX 指数的对数变动与前一期 S&P500 指数的对数收益率之间存在显著的负相关性，相关系数为-0.5930，即前一期 S&P500 指数下降时，当期 iVX 指数上升，前一期 S&P500 指数上升时，当期 iVX 指数下降，这一显著关系反映了美国股票市场对中国大陆股票市场具有溢出效应。

按照相同的方法，选用 ARMA(3,3)-GARCH(2,2)模型研究中国香港市场 VHSI 指数的动态特征，回归结果如下：

表 4　VHSI 指数动态特征模型检验结果

解释变量	相关系数	标准差	Z 统计量	P 值
$\boldsymbol{\alpha}$	-0.0157***	0.0018	-8.7335	0.0000
$\boldsymbol{RHS_t}$	-3.0698***	0.0783	-39.204	0.0000
$\boldsymbol{\lvert RHS_t\rvert}$	2.3041***	0.0739	31.1697	0.0000
$\boldsymbol{RSP_{t-1}}$	-0.2177	0.1374	-1.5848	0.1130
AR(1)	0.0855	0.1425	0.6000	0.5485

AR(2)	0.0010	0.1022	0.0097	0.9923
AR(3)	-0.7235***	0.1124	-6.4386	0.0000
MA(1)	-0.0605	0.1598	-0.3784	0.7051
MA(2)	0.1241	0.1102	1.1253	0.2605
MA(3)	0.6202***	0.1309	4.7378	0.0000

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1%水平上显著。

实证发现：（1）VHSI 指数与恒生指数收益率负相关关系显著，当恒生指数上升 1%时，VHSI 指数下降 0.7657%，当恒生指数下降 1%时，VHSI 指数上升 5.3739%；（2）VHSI 指数与恒生指数收益率相关性的非对称性显著，能捕捉到投资者面对市场收益下跌时的恐慌情绪，能作为有效的“投资者恐慌指数”;（3）美国股票市场对中国香港股票市场不存在显著的溢出效应，VHSI 指数的对数变动与前一期 S&P500 指数的对数收益率之间的相关系数为-0.2177，但 Z 统计量在各显著性水平上均不能拒绝零假设。

根据各波动率指数的动态特征比较，可以发现 VHSI 指数与美国 VIX 指数的动态特征相一致，iVX 指数与 VHSI 指数存在差异的原因可能是：

1．期权品种差异

1993 年 3 月 5 日，香港期货交易所推出恒生指数期权合约，正式拉开香港期权市场的序幕；1995 年 9 月 8 日，首只股票期权汇丰控股于香港联合交易所上市交易。经过 24 年的发展，香港期权市场逐步完善，期权产品不断增加，共有 6 只指数期权（恒生指数期权、H 股指数期权、小型恒生指数期权、小型 H 股指数期权、自订条款恒生指数期权、自订条款 H 股指数期权）和 92 只股票期权。相较之下，中国大陆期权市场仅发展了 2 年，期权产品仅有上证 50ETF 股票期权一只，市场交易时间尚短，大量投资者可能尚未熟悉相关操作及期权功能，减弱 iVX 指数特征。

2．期权成交量差异

香港市场的期权成交量在近两年一直维持在 600 万张以上，相比之下，大陆期权市场尚处于起步阶段，2015 年期权成交量与香港期权市场相距甚远。但随着大陆期权市场的不断发展，期权成交量呈现上升趋势，并于 2016 年 11 月突破 1200 万张，达到历史高位，2017 年有所回落。由于数据选取范围为 2015 年 2 月 9 日至 2017 年 12 月 21 日，该时间跨度内大陆市场的期权成交量不稳定，可

能导致波动率指数尚不具备在成熟期权市场下与其标的指数呈现显著负相关关系的特征，也会降低其捕捉投资者情绪变化的灵敏度。

3．标的资产差异

香港波动率指数是直接构建于恒生指数期权之上的，期权价格根据恒生指数收益变动进行灵活调整，能直接反映香港市场的波动情况。iVX 指数是基于股票期权建立的波动率指数，并非股指期权，虽然上证 50ETF 追踪的是上证 50 指数，但两者间存在一定偏差。上证 50ETF 的主要成分股有中国平安、招商银行、民生银行、浦发银行、兴业银行、交通银行、中国中车、中信证券、工商银行和海通证券等。其成份股大多为股本和市值较大的行业领跑蓝筹股，使上证 50ETF 价格波动相较市场上其他股票价格波动较小，对股票期权的定价产生一定影响，致使 iVX 指数的灵敏度减弱。

4．市场投资者结构差异

由于香港市场中机构投资者占比远高于个人投资者，市场噪音相对小，信息吸收速度快，受美国股票市场的影响相对较小，因此美国股市对香港股市不存在显著的溢出效应。大陆市场中个人投资者占比高，市场噪音相对大，信息吸收速度慢，受美国股票市场的影响相对较大，因此美国股市对大陆股市存在显著的溢出效应。

（四）具体应用

1．风险预测

虽然 iVX 指数与上证 50 指数收益率间不存在显著的负相关关系，但其能捕捉到投资者在市场收益下滑阶段的恐慌情绪，能在一定程度上反映市场波动状况，预测风险水平。2015 年中国资本市场发生“股灾”，6 月 12 日沪指创下 7 年来新高 5178.19 点，但随后 18 个交易日内急速下滑，一度跌至 3373.54 点，期间 iVX 指数的平均值达到 52.51，远高于历史平均值 29.44；6 月 29 日，沪指跌破 4000 点关口，当日 iVX 指数首次超过 60，上升幅度接近 25%。8 月下旬股市再度受挫，8 月 25 日，上证 50、上证综指、沪深 300 下跌幅度均超过 7%，当日 iVX 指数由 35.61 上升至 48.34，上升幅度超过 35%。2016 年，股市全年表现基本平稳，iVX 指数年平均值为 22.81；2017 年至今，股市少有波澜，iVX 指数一直维

持在 16 以下。

政策层面，政府可以借助这一指标出台相关政策进行宏观调控，维护证券市场的稳定运行。2015 年 6 月下旬起，iVX 指数突破 50；6 月 27 日至 7 月 3 日，政府采取了一系列救市措施，包括央行降息、定向降准，证监会发布修订后的两融新规，沪深交易所下调交易结算费用等；7 月中旬起，iVX 指数回落至 40 以下，市场剧烈波动情况得到一定缓解。

投资层面，虽然中国波动率指数尚不如美国 VIX 指数和香港 VHSI 指数灵敏，尚不能成功地捕捉到每一次市场的波动变化，但其依旧可以成为投资者制定相应操作策略的参考指标。当 iVX 指数上升至 40 以上时，投资者需引起警惕，市场波动加剧，可以选择减持仓位或者利用期权期货等衍生品工具提前做好风险防范布局，进行风险对冲；当 iVX 指数上升至 50 以上时，市场波动水平处于历史高位，投资者恐慌情绪蔓延，通常对应着股市持续下跌的行情；当 iVX 指数从高点回落时，股市在阶段性探底后出现企稳迹象，投资者可以借机建仓，在大盘反弹阶段获利。此外，随着中国资本市场的不断发展完善，波动率指数在未来可作为投资者做空股指期货、进行融资融券操作的有效参照依据。

2．波动溢出

美国股票市场对中国股票市场有显著的溢出效应，S&P500 指数的涨跌能够对中国市场的波动情况起到有效的指示作用。当前一交易日 S&P500 指数出现上涨时，投资者可以预期当期 iVX 指数将有所降低，中国市场的波动情况将有所缓解；当前一交易日 S&P500 指数出现下跌时，投资者需引起警惕，由于美国市场溢出效应的存在，中国股市将受其波及，当期 iVX 指数极易上升，市场波动水平增加，投资者可提前布防，适当减少容易受美股波动影响的股票仓位，也可在衍生品市场上利用相关工具进行风险对冲，以降低在当期很可能出现的市场波动所带来的损失。

四、结论与展望

（一）结论

本文先梳理了美国 VIX 指数的历史发展和功能作用，并详细介绍了其基于无模型隐含波动率的编制方法，而上证 50 ETF 波动率指数 iVX 指数正是根据该方法编制而成。随后参照诸多学者对于美国 VIX 指数的动态特征分析，本文探讨 iVX 指数的动态特征，同时加入香港恒指波幅指数 VHSI 指数进行对比研究，具体的实证结论如下：

1. 与 VIX 指数和 VHSI 指数不同，iVX 指数与上证 50 指数收益率之间不存在显著的负相关关系，当上证 50 指数下降时，iVX 指数上升，但当上证 50 指数上升时，iVX 指数也会出现上升情况。

2. 与 VIX 指数和 VHSI 指数相同，iVX 指数与上证 50 指数收益率的相关性存在显著的非对称性，即表现出市场收益下滑时的变动幅度比市场收益上涨时的变动幅度大，由此认为 iVX 指数能捕捉到市场收益下滑阶段投资者剧烈的恐慌情绪。

3. iVX 指数的灵敏度尚不及 VHSI 指数，上证 50 指数收益率上升 1%时 iVX 指数的变动幅度小于恒生指数收益率上升 1%时 VHSI 指数的变动幅度，且上证 50 指数收益率下降 1%时 iVX 指数的变动幅度小于恒生指数收益率下降 1%时 VHSI 指数的变动幅度。

4. 与发展相对成熟、机构投资者居多的香港股票市场不同，美国股票市场对中国大陆股票市场存在显著的溢出效应，前一期 S&P500 指数下降时，当期 iVX 指数上升，前一期 S&P500 指数上升时，当期 iVX 指数下降，由此认为美国股票市场收益率的变动对中国股票市场的波动状况起到有效的预测作用。

（二）未来研究方向

针对中国大陆 iVX 指数这一课题，未来尚有以下几方面可进一步深入研究：

（1）iVX 指数的编制是参照美国波动率指数理论，利用无模型隐含波动率方法编制而成的，但由于中国大陆期权市场的发展尚处于起步阶段，利用这一方法编制的 iVX 指数未能做到成功捕捉每一次市场波动行情，因此，应探究适合中国大陆市场特性的波动率指数编制方法，以提高预测的准确性。

（2）由于美国股票市场对中国大陆股票市场具有溢出效应，因此可以进一

步借助美国股票市场的表现来构建大陆股票市场的投资组合策略，以提高投资组合的期望收益率和绩效表现。

（3)芝加哥期权交易所在发布 VIX 指数后陆续推出 VIX 期货和 VIX 期权，港交所也于 2012 年推出 VHSI 期货，中国大陆市场可参考发达资本市场的先进经验，在未来推出波动率指数衍生产品，为投资者提供更丰富的投资途径和风险管理方式。

参考文献

[1] 陈彦晖，2014，《基于异构自回归模型的恒指波动率指数的建模与预测》，《中国管理科学》第 S1 期 281-287 页。

[2] 刘凤元，2006，《波动率指数：基本原理和国际经验》，《证券市场导报》第 9 期 74-77 页。

[3] 罗方珍，2013，《基于 GARCH 和 E-GARCH 模型的投资组合波动预测分析：以上证 50 指数为例》，《商业经济》第 4 期 30-31 页。

[4] 倪英子和陈信华，2011，《资产价格波动率指数及其交易》，《上海经济研究》第 1 期 89-94 页。

[5] 屈满学和王鹏飞，2017，《我国波动率指数预测能力研究——基于隐含波动率的信息比较》，《经济问题》第 1 期 60-66 页。

[6] 王沁，2017，《基于杠杆效应 CARR 模型的波动率预测》，《数理统计与管理》第 1 期 51-58 页。

[7] 魏宇，2010，《沪深 300 股指期货的波动率预测模型研究》，《管理科学学报》第 2 期 66-76 页。

[8] 易聪，2009，《波动率——金融风暴中的投资选择》，《武汉金融》第 1 期 40 页。

[9] 张蝶蜂，2009，《股票市场波动率实证分析及相关交易策略研究》，清华大学。

[10] 郑振龙和黄薏舟，2010，《波动率预测：GARCH 模型与隐含波动率》，《数量经济技术经济研究》第 1 期 140-150 页。

[11] 郑振龙和汪饶思行，2017，《隐含波动率曲面的建模与预测》，《当代财经》第 3 期 48-60 页。

[12] Black F. and M. Scholes, 1973, “The Pricing of Options and Corporate Liabilities,” The Journal of Political Economy, 81(3), pp. 637-654.

[13] Bollerslev T., 1986, “Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity,” Journal of Econometrics, 31(3), pp. 307-327.

[14] Britten-Jones M. and A. Neuberger, 2000, "Option Prices, Implied Price Processes, and Stochastic Volatility," The Journal of Finance, 55(2), pp. 839-866.

[15] Carr P. and L. Wu, 2005, "A Tale of Two Indices," https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=871729.

[16] CBOE White Paper, Revised, 2015, "The CBOE Volatility Index – VIX," http://www.cboe.com/micro/vix/vixwhite.pdf.

[17] Chow K. V., W. Jiang and J. Li, 2014, "Does VIX Truly Measure Return Volatility?," https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2489345.

[18] Cox J. C., S. A. Ross and M. Rubinstein, 1979, "Option Pricing: A Simplified Approach," Journal of Financial Economics, 7(3), pp. 229-263.

[19] Engle R. F, 1982, "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation," Econometrica, 50(4), pp. 987-1008.

[20] Fleming J., B. Ostdiek and R. E. Whaley, 1995, "Predicting Stock Market Volatility: A New Measure," Journal of Futures Markets, 15(3), pp. 265-302.

[21] Garman M. B. and M. J. Klass, 1980, "On the Estimation of Security Price Volatilities from Historical Data," Journal of Business, 53(1), pp. 67-78.

[22] Hull, J. and A. White, 1987, "The Pricing of Options on Assets with Stochastic Volatilities," The Journal of Finance, 42(2), pp. 281-300.

[23] Jiang G. J. and Y. S. Tian, 2005, "The Model-Free Implied Volatility and Its Information Content," Review of Financial Studies, 18(4), pp. 1305-1342.

[24] Merton R. C, 1976, "Option Pricing When Underlying Stock Returns Are Discontinuous," Journal of Financial Economics, 3(1-2), pp. 125-144.

[25] Psaradellis I. and G. Sermpinis, 2016, "Modelling and Trading the U.S. Implied Volatility Indices," International Journal of Forecasting, 32(4), pp. 1268-1283.

[26] Traub H. D., L. Ferreira, M. McArdle, and M. Antognelli, 2000, "Fear and Greed in Global Asset Allocation," The Journal of Investing, 9(1), pp. 21-37.

[27] Whaley R. E., 1993, "Derivatives on Market Volatility: Hedging Tools Long Overdue," Journal of Derivatives, 1(1), pp. 71-84.

[28] Whaley R. E., 2000, "The investor fear gauge," The Journal of Portfolio Management, 26(3), pp. 12-17.

[29] Whaley R. E., 2008, "Understanding VIX," https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1296743.