

学校编号: 10384

分类号_____ 密级_____

学号: 15620101151954

UDC_____

廈門大學

硕士学位论文

基于互换合约的风险溢价研究

The Study on Risk Premium Based on Swap
Contracts

吴强

指导教师姓名: 郑振龙 教授

专业名称: 金融工程

论文提交日期: 2013 年 4 月

论文答辩时间: 2013 年 月

学位授予日期: 2013 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2013 年 4 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

传统的金融理论假定金融资产收益率服从常参数的正态分布,均值和方差包含整个分布的信息。然而,经验研究发现,金融资产收益率分布并非服从正态分布,其波动率是时变的,且收益率呈现出尖峰厚尾且负偏的特征。这些经验证据表明资产收益率分布的方差和偏度是随机变动的,是重要的风险定价因子。

本文借鉴 Neuberger(2012)的分析框架,构建方差互换和偏度互换合约,提取方差风险溢价和偏度风险溢价。具体而言,本文根据互换合约的固定方提取期权隐含方差和隐含偏度,再根据互换合约的浮动方提取已实现方差和已实现偏度,将已实现方差与隐含方差之差,已实现偏度与隐含偏度之差界定为方差风险溢价和偏度风险溢价。

本文利用 S&P500 指数期权数据,研究发现:(1) 在多个互换合约期限上,方差风险溢价均显著为负,偏度风险溢价均显著为正;(2) 方差互换收益和偏度互换收益无法被 Fama and French(1993)市值因子(SMB)、账面市值比因子(HML)、Carhart(1997)动量因子和宏观变量等所解释,而市场超额收益因子对二者具有部分解释作用;(3) 隐含方差和隐含偏度分别对已实现方差和已实现偏度具有预测作用,但并不是无偏期望;(4) 方差互换空头收益与偏度互换多头收益具有高度的相关性;(5) 通过对方差互换空头收益和偏度互换多头收益的期限结构进行主成分分析,发现方差互换空头收益和偏度互换多头收益有着一致的水平因子和凸度因子,却拥有截然不同的斜率因子;(6) 本文基于该互换合约的框架,借鉴 Bakshi and Madan(2006)的理论推导结果,估计出随机贴现因子为指数形式下的参数(即风险厌恶系数);(7) 通过对横截面收益之于方差互换空头收益和偏度互换多头收益的载荷进行分组,发现方差风险和偏度风险在横截面上是被定价的。

关键词: 互换合约; 风险溢价; 横截面收益

Abstract

Traditional financial theory assumes that financial asset return follows normal distribution and the parameters of its distribution are constant, and then the mean and variance of the return determine the distribution. However, many empirical tests have shown that financial asset return doesn't follow normal distribution, and its volatility is time-varying and it exhibits a characteristic of higher peak and fatter tail. All of these empirical tests show that the variance and skewness of the distribution of the return are stochastic, and they are important pricing factors.

This paper use the analysis framework of swap contracts, proposed by Neuberger(2012), to construct the variance swap and skewness swap and to extract the variance risk premium and the skewness risk premium. Specifically, we extract the implied variance and implied skewness based on the fixed leg of the swap contracts, and extract the realized variance and realized skewness based on the floating leg of the swap contracts. We define the differences between the realized variance and implied variance, realized skewness and implied skewness , as variance risk premium and skewness risk premium, respectively.

This paper use the S&P500 index options to find that: (1) In multiple terms of swap contracts, the variance risk premium are significantly negative and the skewness risk premium are significantly positive; (2) we find that the return of short leg of variance swap and the return of long leg of skewness swap can't be explained by SMB and HML factors defined by Fama and French(1993), Carhart(1997) momentum factor and macro factors. However market excess return factor can partially explain them; (3) The implied variance and implied skewness can forecast the realized variance and skewness, respectively, but they are not unbiased expectation; (4) The return of the short leg of variance swap and the return of the long leg of skewness swap are highly correlated; (5) By analyzing the term structure of the two returns, we find they have consistent level factor and convexity factor, but have a totally different slope factor. (6) According to the framework, we use the theoretical result of Bakshi

and Madan (2006) to estimate the parameter (risk aversion coefficient) of stochastic discount factor (SDF), assuming that SDF follows an exponential form. (7) Sorting the cross sectional returns into quintiles based on their loading coefficients to the return of the return of short leg of variance swap and the return of long leg of skewness swap, we find that the variance risk and skewness risk are priced in the cross section.

Keywords : Swap Contracts ; Risk Premium ; Cross Section Return

目 录

第一章 导论	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究意义.....	3
1.3 研究贡献.....	4
1.4 本文结构.....	5
第二章 文献综述	7
2.1 股票市场上研究.....	7
2.2 期权市场上方差和偏度研究.....	9
2.2.1 方差风险溢酬研究.....	9
2.2.2 偏度风险溢酬研究.....	11
2.3 文献总结.....	13
第三章 理论基础和方法	14
3.1 鞅过程和等价鞅测度.....	14
3.1.1 鞅过程.....	14
3.1.2 等价鞅测度.....	14
3.2 方差互换和偏度互换的理论基础.....	15
3.2.1 加和性质.....	16
3.2.2 广义方差过程.....	17
3.2.3 方差互换的构造.....	18
3.2.4 偏度互换的构造.....	19
3.3 隐含方差和隐含偏度的期权组合估计.....	21
3.4 GMM 估计的简要介绍.....	22
第四章 实证检验	26
4.1 样本数据及变量计算说明.....	26
4.1.1 样本数据说明.....	26
4.1.2 变量计算说明.....	27

4.2 方差风险溢酬和偏度风险溢酬的初步分析	29
4.2.1 描述性统计量.....	29
4.2.2 隐含方差与隐含偏度的近似误差简单分析	32
4.2.3 方差互换和偏度互换的收益解释性.....	34
4.3 方差风险溢酬与偏度风险溢酬的信息含量	36
4.3.1 隐含矩对已实现矩的预测分析.....	36
4.3.2 方差互换收益和偏度互换收益的关系	38
4.3.3 方差互换收益与偏度互换收益的期限结构分析.....	39
4.4 风险溢酬的应用	44
4.4.1 风险厌恶系数的估计	44
4.4.2 方差风险，偏度风险与横截面收益.....	46
第五章 结论与展望	49
5.1 结论.....	49
5.2 研究展望.....	50
参考文献	52
致谢	56

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Research Background	1
1.2 Research Motivation	3
1.3 Research Contribution.....	4
1.4 Research Framework.....	5
Chapter 2 Literature Review.....	7
2.1 Variance and Skewness Research on Stock Markets	7
2.2 Variance and Skewness Research on Option Markets	9
2.2.1 The Research on Variance Premium.....	9
2.2.2 The Research on Skewness Premium.....	11
2.3 Literature Conclusion	13
Chapter 3 Theory Foundation and Methods	14
3.1 Martingale and Equivalent Martingale Measure	14
3.1.1 Martingale.....	14
3.1.2 Equivalent Martingale Measure	14
3.2 The Theory Foundation for Variance and Skewness Swap	15
3.2.1 The Aggregation Properties	16
3.2.2 Generalized Variance Process.....	17
3.2.3 Construct the Variance Swap.....	18
3.2.4 Construct the Skewness Swap	19
3.3 Estimation of Implied moments with Option Portforlios	21
3.4 An Introduction to Genalized Method of Moments	22
Chapter 4 Empirical Study	26
4.1 Data Sample and Calculation for Variables	26
4.1.1 Data Sample	26
4.1.2 Calculation for Variables.....	27

4.2 A Simple Analysis for Variance Risk Premium and Skewness Risk Premium.....	29
4.2.1 Summary Statistics	29
4.2.2 Simple Approximation Error Analysis for Implied Moments	32
4.2.3 The Explanation of Variance Swap and Skewness Swap Returns	34
4.3 The Information Content of Variance Risk Premium and Skewness Risk Premium.....	36
4.3.1 The Forecast of Implied Moments to Realized Moments	36
4.3.2 The Relationship Between Variance Swap Return and Skewness Swap Return.....	38
4.3.3 The Term Structure Analysis of Variance Swap Return and Skewness Swap Return	39
4.4 The Application of Risk Premium.....	44
4.4.1 The Estimation of Risk Aversion Coefficient.....	44
4.4.2 Variance Risk,Skewness Risk and Cross sectional Returns	46
Chapter 5 Conclusion and Future Research	49
5.1 Conclusion.....	49
5.2 Future Research.....	50
References.....	52
Acknowledgements.....	56

第一章 导论

1.1 研究背景

正态分布在经济金融研究中具有举足轻重的地位。传统的金融理论假定资产收益率服从正态分布，且分布的参数是确定性的，这样可以简化计算，便于获取金融资产价格的闭式解。同样，大数定律可以保证二项分布、泊松分布等极富现实意义的分布极限收敛于正态分布，为数值计算和金融模拟提供了理论基础。

然而，越来越多的经验证据表明，金融资产收益率并非服从正态分布，而呈现出尖峰厚尾且负偏的特征，因而，偏度和峰度信息对于资产收益率分布的刻画极为重要。同时，资产价格收益率的分布的参数是随机变动的。这样一来，研究金融资产收益率的高阶矩，及由于资产收益分布的随机变动对金融资产的定价的影响具有重要的现实意义。

国内外的众多学者多集中于资产收益率分布的方差(波动率)和偏度的研究，对峰度关注相对较少¹，可能原因在于：首先，方差²是现代金融中金融资产风险的度量指标，对其研究理应受到重视，而收益率分布的偏度指标较好的衡量了投资者利用小的投资成本获取大的投资收益的可能性，经济金融直觉明显；其次，大量经验证据表明，投资者进行资产组合决策时，并未完全按照马克维茨的组合选择理论进行分散化投资，而是在控制资产组合的风险（方差）的同时，会将资产收益率的偏度指标纳入组合决策中，关注投资组合的成长性和增值空间。这一偏度偏好行为在众多经验证据中得到体现，如 Harvey and Siddique(2000)，Kumar(2009)等。正因为方差和偏度指标如此重要，芝加哥期货交易所（CBOE）已于 1993 年利用指数期权编制波动率指数，2011 年 2 月编制指数期权隐含的偏度指数。

¹ 当然，这并不是说峰度不重要，只能说从经济直觉和组合选择层面缺少过多关注的理由，峰度指标可能更多的意义在于风险管理层面。

² 方差实际是波动率的平方，因此本文在定性描述时不对方差风险与波动率风险做区别。

金融市场是瞬息万变的，随着金融市场信息的不断更新，方差（波动率）和偏度本身的随机变动会改变市场投资者的投资机会集，影响投资者的组合选择行为，进而影响金融资产价格。当投资者具有常绝对风险厌恶系数或相对风险厌恶系数的效用函数时，均衡状态下的资产预期收益率应当补偿市场收益率以及导致投资机会集变化的风险因子（Merton, 1973）。因此，投资者会要求相应的方差风险溢价和偏度风险溢价³。理论而言，由于投资者厌恶方差的不确定性，方差的波动越大，投资者越厌恶这样的资产，则需要相应的补偿才会持有这样的资产，故方差的风险溢价应为正；而当金融资产收益率的偏度较大时，投资者相对于市场平均水平获得正收益的概率也较大，投资者对于资产收益率的偏度表现为一定的偏好，故资产收益率偏度的波动越大，投资者越偏好该资产，则投资者可以牺牲一定的预期收益率来持有这样的资产，故偏度的风险溢价应为负。

现有针对方差风险溢价和偏度风险溢价的研究大致可区分为两类：一类是将方差和偏度作为横截面定价因子，利用股票收益率数据进行横截面回归，获得相应的风险价格；另一类是利用指数期权数据，构造相对应的期权投资组合，研究期权价格隐含的方差和偏度与收益率实际分布方差和偏度的差别。由于期权合约支付的分尾截尾特性，其蕴含了天然的资产收益率偏度信息，且期权投资成本较低，投资者参与度较高，信息能较先反映在期权价格中，期权市场隐含更加丰富的市场波动信息，从这个意义上讲，利用指数期权数据研究金融市场的方差风险溢价和偏度风险溢价更加准确和可靠。不仅如此，由于期权合约的剩余期限不同，还可以利用不同到期日的期权合约提取方差风险溢价和偏度风险溢价，研究方差溢价和偏度溢价的期限结构信息。此外，根据 Bakshi and Madan(2006)的理论推导，资产收益率风险中性分布的方差同实际分布的方差差异，同实际分布的偏度、峰度、随机贴现因子具有定量关系，因此可以借用期权数据估计出随机贴现因子的参数。另外，风险中性分布矩同实际分布矩的差异也代表相应实际分布矩的系统性风险，则可借此检验实际矩的系统性风险是否在横截面上被定价。

³ 这里的风险溢价更多的是从股权收益的角度来考虑，而本文所考虑的风险溢价是基于期权市场，本文借鉴 Carr 和 Wu (2009) 的定义，我们将方差风险溢价界定为已实现方差和隐含方差之差，偏度风险溢价为已实现偏度和隐含偏度之差。

1.2 研究意义

本文通过构建方差互换和偏度互换合约,利用指数期权价格和指数价格信息提取方差风险溢酬和偏度风险溢酬,系统地分析方差风险溢酬和偏度风险溢酬的时间序列特征和期限结构,并利用互换合约可以提取已实现方差和已实现偏度的优势,估计出随机贴现因子的参数及检验方差风险和偏度风险同横截面收益的关系,具有重要理论和实践意义。

首先,考察方差风险溢酬和偏度风险溢酬是对现代资产定价理论的重要拓展和补充。资产定价理论表明,只要存在不可对冲的风险源,投资者必然索取相应的风险报酬。传统的 CAPM 模型仅考虑了系统性风险,但经验证据表明, CAPM 远不能刻画现实中纷繁复杂的资产收益率,多年来研究学者们始终致力于寻找新的风险源和风险溢酬,期许能拓展 CAPM 理论,对现实有更好的解释。ICAPM 模型认为影响投资者未来投资机会集的状态变量应当作为资产价格的定价因子,然而并未指出这些状态变量到底是什么?本文从金融资产收益率分布本身的随机变动来试图理解定价因子,认为资产收益率分布本身是随时间的推移而变化的,那么分布本身会通过改变未来市场收益的预期或者风险收益关系引致未来投资机会集的变化。方差和偏度作为市场投资者关注资产收益率分布的重要指标,其变动或者冲击理应作为一个影响未来投资机会的重要因素。因而,考察市场是否存在方差风险溢酬和偏度风险溢酬,将为资产定价理论的研究提供了重要的拓展和补充。

其次,方差风险溢酬和偏度风险溢酬是随机过程中测度转换的重要枢纽,从而对金融衍生品的定价和风险管理具有重要的意义。本文研究发现,基于期权市场价格的隐含方差高于已实现方差,而隐含偏度低于已实现偏度,且这一差异具有系统性和持续性。由于期权价格隐含的分布是风险中性测度下的分布,而已实现分布是现实测度下的分布,这两者的差异可以用分布的随机变动引起的风险溢酬来解释和转换。方差风险溢酬和偏度风险溢酬的考察为这两个测度的相互转换提供了重要的参数估计,不仅能有效的提高衍生产品定价的精度,同时,将衍生产品价格隐含信息翻译到现实测度,为风险管理提供了新的途径。

最后，方差风险溢价、偏度风险溢价及与现实测度的高阶矩的关系研究有助于我们更好地理解期权市场。在 Black-Scholes 的期权定价模型中，期权产品能被标的股票和无风险资产动态复制，那样，衍生产品通常被理解为冗余证券。如果方差风险溢价的确存在，这就意味着期权产品并非冗余证券，而是引入了新的风险源。同样，偏度风险也是极为重要的风险，也需要引起广泛关注，这从芝加哥期货交易所相继编制 VIX 和 SKEW 指数，上市 VIX 期货和 VIX 期权合约中可以窥见一斑。除此之外，方差风险溢价与现实测度的高阶矩，随机贴现因子的定量关系，将有助于我们更好的认识随机贴现因子的参数大小，并且方差风险和偏度风险是否存在相同的风险源问题也是值得研究的问题。

1.3 研究贡献

本文试图在互换合同的统一框架下探讨方差风险溢价和偏度风险溢价问题，探讨以下几个问题：

方差风险溢价和偏度风险溢价是否显著存在？数值方向是什么？方差风险溢价和偏度风险溢价能否被传统的风险定价因子所解释或代替？方差风险溢价和偏度风险溢价时间序列的特征和期限结构特征有哪些？利用提取出来的方差风险溢价和偏度风险溢价，是否有助于我们理解随机贴现因子的具体形式以及方差风险和偏度风险是否在横截面上被定价？本文的研究拟在以下方面对资产收益率的方差溢价和偏度溢价研究有所贡献：

首先，本文的研究是一个较新的视角，能将金融资产价格收益中投资者最为关注的方差和偏度的随机变动能统一在基于期权价格构建的互换合同的框架下进行研究，相较传统的单一考察方差风险，如 Carr and Wu(2009)，更加系统而全面。

其次，本文的研究框架相对简单明了，且能稳定的给出已实现偏度的计算。Bakshi, Kapadia and Madan(2003)通过构建二次、三次合约提取期权隐含的高阶矩信息，给出隐含高阶矩的精确表达式，然而该研究的理论推导相对较复杂，且无法在理论上与收益率实际分布建立联系。而本文的研究框架相对简单明了，且在

该研究框架下，定义偏度互换，便可计算同期限的已实现偏度，准确明了，且稳定性较好。

本文针对方差风险溢酬和偏度风险溢酬的研究拓展了现有的研究文献。本文系统地考察了方差风险溢酬和偏度风险溢酬是否能被传统的定价因子所解释的问题，不仅包括传统的 CAPM、Fama and French(1993)三因子，还加入了信用价差、期限溢酬、宏观因子和量的因子，能更加全面的验证了方差风险溢酬和偏度风险溢酬确实为重要的定价因子。本文研究方差互换空头收益和偏度互换多头收益在期限结构上相关性，利用主成分方法，发现二者拥有着一致的水平因子和凸度因子，而拥有截然不同的斜率因子。同时，利用 Bakshi and Madan(2006)推导的关于方差风险溢酬同已实现高阶矩，随机贴现因子的关系，本文估计出随机贴现因子为指数形式下的参数(即为风险厌恶系数)，为其他研究提供了数值参考。最后，本文发现方差风险和偏度风险在横截面确实被定价。

1.4 本文结构

本文余下的部分按照如下结构安排：

第二章综述方差和偏度已有的相关研究，并对相关文献进行评述。具体而言，可细分为三节：第一节，归纳总结在股票市场上，关于方差风险和偏度风险的研究文献；第二节，归纳总结在期权市场上，关于方差风险和偏度风险的研究文献；最后，提出本文所做的研究与这些文献的区别。

第三章介绍本文的理论模型和相应的研究方法。首先，简单说明鞅过程和等价鞅测度的原理。其次，介绍构建方差互换和偏度互换的理论基础：加和性质和广义方差过程，及方差互换和偏度互换。其次，说明如何利用期权组合，来提取互换合约框架下的隐含方差和隐含偏度；最后，简单介绍在利用方差风险溢酬估计随机贴现因子为指数形式的参数(即为风险厌恶系数)所需要用到的计量方法：广义矩估计。

第四章为本文的实证研究部分。首先交代本文的样本数据和各变量的计算说明。其次，对方差风险溢酬和偏度风险溢酬进行初步分析，包括：（1）展示本

文所定义的变量的基本描述性统计。(2) 给出本文的隐含方差和隐含偏度提取与 Bakshi, Kapadia and Madan(2003)所提取隐含方差和隐含偏度的相关性。(3) 探讨方差风险溢价和偏度风险溢价是否能被传统的定价因子所解释。再次, 考察方差风险溢价与偏度风险溢价的信息含量, 包括: (1) 隐含矩对已实现矩的预测作用。(2) 方差互换多头收益和偏度互换收益收益的相互解释性。(3) 对方差互换收益和偏度互换收益进行期限结构分析。最后, 考察风险溢价的应用, 包括对随机贴现因子为指数形式的参数估计和检验方差风险因子和偏度风险因子是否在横截面被定价。

第五章总结本文的研究结论, 并指出进一步研究方向。

第二章 文献综述

本章综述关于方差风险和偏度风险的已有研究成果,按照股票市场和期权市场分布进行阐述,并对已有文献进行评述。

2.1 股票市场上研究

传统的金融理论假定资产收益率服从正态分布,分布参数为常数,则资产收益率的前两阶矩能完全刻画整个分布。然而,有较多经验证据表明金融资产收益率的波动率具有时变聚集、均值回复等特征。Merton(1973)指出波动率(方差)的随机变动会改变市场投资者的投资机会集,影响投资者的组合选择行为,进而影响金融资产价格。当投资者具有常绝对风险厌恶系数或相对风险厌恶系数的效用函数时,均衡状态下的资产预期收益率应当补偿市场收益率以及导致投资机会集变化的风险。组合选择理论认为非系统性的风险能够通过组合投资分散掉,系统性的波动率(方差)风险才应被补偿,故较多学者集中于股权市场上系统性的波动率风险,如郑振龙和汤文玉(2011)。

Merton(1987)提出不完全信息的资本市场均衡模型,认为非系统风险并不能被充分分散,因此非系统风险也应得到相应的风险溢价,并且在均衡条件下,股票的特质风险与其预期收益率呈在着正相关关系。Malkiel and Xu(2002)以美国和日本股票市场数据为样本,实证结果证实了 Merton(1987)的结论。然而 Ang, Hodrick, Xing and Zhang(2006)以美国三大证券交易所的上市公司为样本,实证发现股票的特质风险与其预期收益率存在负相关关系,被称为“特质波动率之谜”。Ang, Hodrick, Xing and Zhang(2009)利用其他国家的证券市场的数据,发现负相关关系是稳健存在的。股票市场波动率的研究表明,波动率时变,不仅系统性波动因子被定价,获得正的风险价格,个股的特质波动率在众多研究中也能显著地被定价,但风险溢酬的正负有待商榷。

同样,传统的金融理论假定金融资产收益率服从正态分布或投资者效用函数为二次效用函数,这样,投资者的组合选择行为仅考虑金融资产收益率的均值和

方差。这样的假定显然太过严格，现实中，投资者的效用函数较为复杂，如习惯形成、损失厌恶、呈现递归特征等，而资产收益率的分布呈现尖峰厚尾现象。不仅如此，也有较多经验证据表明，投资者组合选择时，会考虑资产收益率的成长性，简而言之，体现在分布上，即偏度这样一个指标。Arditti(1967) 和 Scott and Horvath(1980)证明在一般性的假设下，投资者对于资产收益分布的正偏性存在偏好。基于 Arditti(1967) 的结果，Kraus and Litzenberger(1976)将效用函数进行三阶泰勒展开，发现若投资者存在递减风险厌恶，则投资者存在着偏度偏好。Harvey and Siddique(2000)通过将随机贴现因子表示为市场收益的二阶形式，得出投资组合或个股同市场组合的协偏度应该被定价的结论。Dittmar(2002)进一步检验了个股同市场组合的协偏度和协峰度是否能够对其预期收益率产生影响。Amaya et al.(2011)通过日内高频数据，来计算已实现矩来衡量已实现矩对横截面收益的预测作用，发现已实现偏度与股票的预期收益呈负相关关系。这些文献研究系统性偏度是否被定价的问题，并未考虑投资组合或个股的特质偏度是否被定价问题。

Connie and Tamarkin(1981)发现实际上投资者的投资组合并不总是充分分散的，一些投资者会为了寻求资产收益偏度，刻意保持组合的未充分分散，从而股票特质偏度也会成为一个定价因子，较多实证研究支持这一结论，如 Boyer, Mitton and Vorkink(2010) 发现股票预期特质偏度与其收益呈负相关，且股票的滞后特质波动率与其他控制变量有助于预测该股票的特质偏度。Xing, Zhang and Zhao(2010)通过对股票特质偏度进行分组，发现这些组合间收益存在着显著差异。Green and Hwang(2009)发现有较高预期偏度的 IPO 股票，其在公开发行首日有显著的高收益，却在上市后的 3-5 年时间里，收益却变负很多。针对特质偏度获得负的风险溢价，有文献进行理论建模，予以解释，如 Mitton and Vorkink(2007)通过对异质投资者的偏度偏好进行建模，发现特质偏度越高的个股预期收益越低。Barberis and Huang(2007)证明了当投资者拥有如前景理论所描述的偏好时，高特质偏度的个股表现出低预期收益。Brunnermeier, Gollier and Parker(2007)通过推导内生概率的模型，并实证发现与 Mitton and Vorkink(2007)相类似的结果。

综上，股票市场方差（波动率）和偏度的已有研究，多是先通过理论建模探讨系统性的方差和偏度应被定价，再利用市场数据进行经验分析，证实系统性的

方差和偏度是新的定价因子。同时，除了系统性的方差和偏度外，也有较多研究发现非系统性的波动率（特征波动率）和偏度（特质偏度）也能被定价。这些研究都说明方差和偏度是重要的定价因子，能解释股票的横截面收益差异。

2.2 期权市场上方差和偏度研究

期权价格蕴含丰富的预期信息，相较历史信息而言，更加及时和准确。同时，期权市场具有交易较为集中，成交量大，流动性好等优势，这些特征使得从期权市场提取隐含信息成为近年来的研究热点。下文分别就期权价格隐含的方差风险和偏度风险的研究文献进行归纳。

2.2.1 方差风险溢价研究

通常来说，对方差的随机建模主要有两种思路：（1）同股价建立联系，由股价的随机变动来引致方差的随机变动，如 Cox(1996)的常弹性方差模型和 Dupire(1994)的局部波动率模型，方差同股价或收益之间存在相关性，当股价或收益变动的时候，方差也会跟着变动。（2）单独设定方差风险的随机源。如 Heston(1993)的随机波动率，方差过程本身由独立的随机因子驱动。无论基于何种原因，方差的随机变动衡量了投资收益的不确定性，人们厌恶方差的变动。因此，理性的投资者，对于方差风险必然要求风险溢价，并愿意为对冲方差变动风险而降低自己的投资预期收益。现有文献主要有三类估计方差风险溢价的方法：

第一、通过期权和标的股票（或标的指数）建立 δ 中性组合，从而通过该组合的收益变动来研究方差风险溢价。Coval and Shumway(2001)通过建立零 β 跨式组合，发现该组合收益显著为负，并得出波动率是随机的结论。Bakshi and Kapadia(2003) 从理论上证明，若方差风险没有被定价，则动态 δ 对冲的看涨期权组合收益应是无风险的，通过实证也得出该组合的收益显著为负的结论。

第二、假定资产价格的随机波动率模型，利用期权数据和标的指数（股票）数据，通过计量方法来估计方差风险溢价。如 Chernov and Ghysels(2000)假设标

的指数服从随机波动率模型和波动率风险溢价为标的指数收益率方差的线性函数，估计方差风险溢价的大小。Pan(2002)同 Chernov and Ghysels(2000)的思路类似，但她利用隐含状态矩对波动率风险溢价进行了估计。

第三、通过期权数据提取隐含方差，利用高频数据⁴提取已实现方差，根据二者之差来研究方差风险溢价。Carr and Wu(2009)从方差互换的角度来考虑方差风险溢价的大小，是一种全新的视角。通过虚值看涨期权和虚值看跌期权组合提取隐含方差，资产价格无需假定具体随机过程，巧妙规避了模型设定偏误。他们发现方差风险溢价与指数收益显著负相关，也证明了市场上存在显著的，系统的方差风险因子。然而，Carr and Wu(2009)所定义的方差互换，隐含方差在风险中性定价下并不是对已实现方差的无偏估计，在资产价格不连续（即存在跳跃）且时间分划不够小时均存在截断误差，因此他们所定义的方差互换实际上并不是公平定价的。Neuberger(2012)改变思路，通过定义加和性质和广义方差过程，设计出了公平的方差互换合约，本文也是基于此方法来提取隐含方差和已实现方差。

以上三类对于方差风险溢价的研究各有侧重点又有所缺陷。第一类方法通过构建的组合，表明确实存在着波动率风险溢价，但是它对我们理解现实测度下的波动率的量，时序特征等其他性质并无实际帮助。第二类方法，可以利用计量模型估计出所假定的资产随机过程在风险中性分布和实际分布下的参数，从而也就知道在两个分布下的各阶矩的大小，有效地解决了第一类方法所突显出来的缺点。但是，该方法所假定的随机过程容易导致以下两个方面的问题：（1）模型设定偏误。资产价格（或收益率）到底服从什么样的随机过程，研究界仍然未能达到一致的结论，这可从业界经常需要利用期权价格数据对假定模型进行校准就可窥见一斑。因此，假定具体的模型，就有可能导致模型设定偏误。（2）假设严格且计算复杂。第二类方法通常所假设的模型均是做了较严格的假设，如 Chernov and Ghysels(2000)和 Pan(2002)那样，假设波动率风险溢价同标的资产收益率方差的线性函数，模型设定偏误风险很大。并且，利用计量方法，估计量大，且模型设定越复杂，分布参数就越多，有过度参数化的风险。（3）样本的问题。通常来说，利用计量方法来估计资产价格随机过程的分布，都需要一个比较长的样本，

⁴ 这里所指的高频数据是个相对的概念，并不一定指的就是日内高频数据，如在估计一个月期的已实现方差，每日价格也可算是高频数据。

这可能导致问题：该设定假设了在所选取的样本期，资产价格在风险中性分布和实际分布下的随机过程参数均是不变的，然而在现实中，可能连资产价格的随机过程参数都是时变的。

第三类方法很好地解决前两类方法的缺陷。利用期权数据，通过无模型的方法来提取风险中性方差，规避了模型设定偏误的问题。而利用高频数据则可计算资产收益率在实际分布下的方差，二者之差就自然反应了投资者对于该资产收益方差变动的风险溢价。并且，利用不同到期期限的期权价格数据，我们就可以得到不同期限的方差风险溢价，从而可以研究他们的差异及方差风险溢价的期限结构。这就是本文为什么采用第三类方法来考察方差风险溢价的原因。

在建立估计无模型的风险中性方差与已实现方差的分析框架之后，其他研究人员在此基础上做了大量的应用研究工作。Bakshi and Madan(2006)从理论上推导了波动率价差同随机贴现因子，实际分布方差、偏度和方差的关系。Bali, Demirtas and Atilgan(2011)发现隐含波动率价差同预期市场收益率之间存在负相关。Bollerslev, Tauchen and Zhou (2009)通过在一般均衡模型中引入对经济不确定性（可用方差风险溢价近似）时变的效应，去研究方差风险溢价同 1990 年后美国股指收益率时序变化的关系。Drechsler and Yaron(2011)不仅从理论上证明方差风险溢价能够很好地度量投资者对于经济不确定的担忧，并且在一般长期均衡模型中，通过对市场收益波动和无风险利率进行校准，得到了时变的方差风险溢价，并且其发现该方差风险溢价对收益率预测效果较好。另外，Bali and Zhou(2012)通过 ICAPM 模型的设定，将方差溢价作为不确定性的代理变量，研究投资组合与不确定性间的条件协相关对该组合预期收益的影响。

2.2.2 偏度风险溢价研究

Bakshi and Madan(2000)开创性地利用拓展的方法得出了任何在 T 期到期，且支付函数二次可微的欧式合约（即不能提前执行）均可以通过现金，远期合约，看涨期权和看跌期权组合来进行复制的结论。这一结论为研究人员提取风险中性矩提供了强有力的工具。Bakshi, Kapadia and Madan(2003)通过定义二次、三次、四次合约，推导出期权隐含方差、偏度、峰度的公式，利用股票期权和指数期权

数据研究发现：（1）相对于个股收益率的分布，市场指数的收益率更负偏。（2）隐含偏度越小，波动率倾斜就越为明显。（3）风险中性偏度与实际偏度正相关，而与风险厌恶，实际高阶矩呈负相关。

Bakshi, Kapadia and Madan(2003)的研究提供了隐含偏度的提取方法，众多研究者均使用其方法来研究隐含偏度与横截面收益率的关系。如 Duan and Wei (2009)利用 S&P500 指数期权数据和其最大 30 只成分股的期权数据，并结合个股 beta 值，考察了系统性风险对期权价格结构的影响，发现个股的 beta 值越大，该个股期权隐含偏度越负，隐含波动率曲线越陡的现象。Friesen, Zhang and Zorn(2012)利用个股期权数据，通过构建异质信念指标来考察异质信念对风险中性偏度的影响，实证发现：（1）个股公司规模越小，信念差异越大，其收益率偏度越负（2）期权交易量越小，异质信念对偏度的影响就越显著。Neuman and Skiadopoulos (2012)考察了风险中性高阶矩间的动态关系，并根据所建立的风险中性矩间的动态模型，考察了基于风险中性矩预期的策略收益。Bali and Murray(2012)通过构建偏度资产，做多偏度的策略，来了解偏度与预期收益的关系，得出偏度越大的偏度资产组合，其超额收益越负的结论。Chang, Christofferson and Jacobs (2012)借鉴 ICAPM 的设定思想，认为资产的预期收益由其与风险中性波动率、偏度、峰度这些状态变量间的协方差所决定。并且，他们通过 Fama-Macbeth 的回归方法，利用横截面股票数据，得出了偏度价格为负的结论，并且在加入公司大小、账面市值比、动量因子等控制变量后，该结论仍然是稳健的。刘杨树，郑振龙和张晓楠（2012）利用恒生指数期权提取隐含高阶矩，用 AR(1)-GARCH(1,1)提取历史分布来分析高阶矩风险溢价，发现偏度风险溢价和峰度风险溢价均为负。Conrad, Dittmar and Ghysels (2013)发现个股的隐含方差、隐含偏度、隐含峰度均同其预期收益率存在关系，并且越负偏的个股其预期收益越大。

值得注意的是，基于 Bakshi, Kapadia and Madan(2003)的隐含偏度提取的研究，仅能研究风险中性测度偏度的定价问题，并不能提取已实现偏度，直接获得偏度风险溢价。Neuberger(2012)对隐含偏度的提取方法当属例外，他借鉴 Carr and Wu(2009)构造方差互换的思路，通过定义加和性质和广义方差过程，构造出偏

度互换合约，能同时获得期权隐含偏度和已实现偏度。同时，Neuberger(2012)构造了不同于 Carr and Wu(2009)的方差互换合约，更为重要的是，该方差互换合约的隐含矩在期权标的股票或指数存在跳跃及合约期限内时间分划不是无限小时，均是已实现方差的风险中性无偏期望。利用 Neuberger(2012)的结果，Ruf(2012)通过商品期权数据，研究了期权市场的做市商头寸变化及对冲自身头寸风险需求等对隐含偏度变化的影响。

2.3 文献总结

比较分析现有的期权隐含方差和隐含偏度的研究，不难发现：通过构造互换合约提取资产收益率分布的隐含矩是一个重要的研究方向，相较于已有的隐含矩研究有着明显的优势，主要体现在：

首先，在对方差风险的研究中，构造互换合约的研究方法能有效地提取不同测度下方差的量和时序特征，是一种无模型方法，有效的规避潜在的模型设定偏误，如 Carr and Wu(2009)；

其次，在对偏度风险的研究中，基于 Bakshi, Kapadia and Madan(2003)的隐含偏度的提取仅能研究中性测度下隐含偏度的定价问题，并不能产生已实现偏度，直接获得偏度的风险溢价，而 Neuberger(2012)构建偏度互换的研究当属例外；

最后，现有研究多割裂了方差风险和偏度风险的关系，未能将这两种风险纳入统一的框架进行研究。直觉而已，这两种风险归根结底就是资产收益率分布的随机变动风险，本质上有着千丝万缕的联系，这从股权市场特质波动率之谜用特质偏度来进行解释的研究可见一斑。

基于此，本文借鉴 Neuberger(2012)的研究思路，在互换合约的统一框架下分别构建方差互换合约和偏度互换合约，利用合约的固定端提取中性测度矩，合约的浮动端提取已实现矩，将两者之差界定为矩风险溢价。我们拟回答以下问题：方差风险溢价和偏度风险溢价是否是新的风险定价因子，期权隐含信息是否具有预测效果，方差风险溢价和偏度风险溢价间的关系和期限结构特征，及方差风险溢价和偏度风险溢价的提取有何应用价值？

第三章 理论基础和方法

本章主要介绍本文实证部分需要用到的理论基础和方法, 首先简单介绍鞅过程和等价鞅测度原理, 然后介绍 Neuberger(2012)定义方差互换和偏度互换的理论基石: 加和性质和广义方差过程, 及方差互换、偏度互换的构造, 接着说明如何利用期权组合去计算方差互换和偏度互换的固定方: 隐含方差和隐含偏度, 最后说明在本文 4.4.1 小节中估计风险厌恶系数时所用到的广义矩估计方法。

3.1 鞅过程和等价鞅测度

3.1.1 鞅过程

称过程 $\{X_n, n \geq 0\}$ 是鞅过程, 如果 $\forall n \geq 0$, 有:

$$\begin{aligned} (1) \quad & E|X_n| < \infty, \\ (2) \quad & E(X_{n+1}|X_0, X_1, \dots, X_n) = X_n \quad as \text{ (几乎处处)} \end{aligned} \quad (3.1)$$

鞅过程直观的意思就是基于某个时刻 n , 随机过程 $\{X_n, n \geq 0\}$ 的条件期望值 $E(X_{n+1}|X_0, X_1, \dots, X_n)$ 等于当前值 X_n 。应用期望迭代法则, 可以知道鞅过程 $\{X_n, n \geq 0\}$ 在任何时刻的期望均相等。

3.1.2 等价鞅测度

假设过程 f 和 g 是两个只依赖于一个不确定因素的可交易衍生产品的价格过程。假设这两个证券在所考虑的时间内不提供任何收入 (有收入的情况, 同样可以推导, 这里不再赘述), 定义:

$$\Phi = \frac{f}{g} \quad (3.2)$$

则 Φ 是 f 和 g 的相对价格，称 g 为计价单位。等价鞅测度结果表明在没有套利机会时，选择某个风险市场价格⁵， Φ 将会是鞅，并且该风险市场价格恰好是 g 资产价格过程的波动率。换句话说，当风险市场价格为 g 的波动率时，对所有的证券价格过程 f ，比值 f/g 都是鞅过程。

利用该结果，假设在时间 T 到期收益为 1 元的零息债券在当前 t 时刻价格为 $B(t,T)$ ，则以该债券价格为计价单位，以该债券价格过程的波动率为市场风险价格，有：

$$\frac{f_t}{B(t,T)} = E_t\left(\frac{f_T}{B(T,T)}\right) = E_t(f_T) \quad (3.3)$$

因此，3.3 式说明了 f_t 的远期价格过程 $\frac{f_t}{B(t,T)}$ 在以 $B(t,T)$ 为计价单位的风险中性定价测度下为鞅过程。

3.2 方差互换和偏度互换的理论基础

互换合约其实质是合约双方约定在将来某一到期日 T 进行现金流的交换。通常，现金流分为固定部分与浮动部分，固定部分在互换合约刚签订的时刻 0 ，其数值便已知悉，而浮动部分则须在到期日 T 才能计算得知。一般人们约定将支付互换合约固定部分，收取浮动部分的一方称作互换合约多头，而将收到固定部分，支付浮动部分的称作互换合约空头。举例来说，利率互换多头便是支付固定利率，而收取浮动利率（如 LIBOR）的一方。此外，双方还可能约定具体的名义本金额等其他合约细节。

显然，互换合约双是在期末 T 进行现金流交换，假设固定部分为 Fix_T ，浮动部分为 $Float_T$ ，那么根据风险中性定价原理，我们应该有：

$$Fix_T = E^Q[Float_T] \quad (3.4)$$

⁵ 关于风险市场价格的更多讨论，请参见 John Hull(1999).

也即，互换合约在该合约刚签订的 0 时刻其价值应为 0。因此，对于互换合约的定价，实质在于如何去计算浮动部分在风险中性测度下的期望值，并若以此值作为互换合约的固定部分，则对 0 时刻的互换合约双方来说，该互换是公平定价的。

这一直接的思路告诉我们，如果想要构造具体的互换合约，需要去构造、计算浮动部分在风险中性测度下的期望。如 Carr and Wu(2009)，其便是基于此巧妙地构造了方差互换，该互换固定部分（因可由期权组合算出，故称为隐含方差）便是浮动部分（称为已实现方差）在风险中性下的期望。但是，Carr and Wu(2009)并未指出如何去构造更高阶矩的互换合约。Bakshi, Kapadia and Madan(2003)从理论上给出了利用期权价格数据准确提取标的资产收益率的风险中性二阶、三阶、四阶矩。但其不足在于，依照这种定义，基本没有办法去构造相应高阶矩的互换合约所对应的已实现高阶矩。Neuberger(2012)通过定义加和性质和广义方差过程，巧妙地合成出另一种形式的方差互换及偏度互换，从而为系统研究方差风险溢价与偏度风险溢价提供了理论基础。因为它是本文实证研究的模型基础，现需要对它进行详细的介绍。

3.2.1 加和性质

加和性质，是我们构建方差互换和偏度互换的理论基础，让我们首先从资产价格 S_t 开始来对它有个初步的认识。首先，假设 $S_t (t \in [0, T])$ 是定义在标准概率空间 (Ω, \mathcal{F}, P) 正的可测变量， $E_t[\cdot]$ 表示基于信息集 \mathcal{F}_t 的条件期望 $E_t[\cdot | \mathcal{F}_t]$ 。假设 S_t 的概率分布函数存在，并且关于 S_t 的函数 $g(S_t)$ 的期望均是存在的。对于在 $[0, T]$ 内的时间分划 $T = \{t_0 = 0 < t_1 < \dots < t_N = T\}$ ，为了表示方便，在该 $[0, T]$ 时间内，任意过程 X ，用 X_i 表示 X_{t_i} ， $\delta X_i = X_i - X_{i-1}$ ，用 $\sum_T g(\delta X)$ 来表示 $\sum_{i=1}^N g(\delta X_i)$ ⁶。

假设在风险中性定价测度 Q 下， S 为鞅（如在以 T 期到期的债券价格为计价单位的测度 Q 下，远期价格为鞅）。假设 g 是一个实值函数，在 $[0, T]$ 内任意

⁶ 本文用 δ 表示差分，后文类同。

时间 s, t, u ($0 \leq s \leq t \leq u \leq T$)，若 $(g; S)$ 满足一下性质，则函数 g 被称为具有加和性质：

$$E_s^Q[g(S_u - S_s)] = E_s^Q[g(S_u - S_t)] + E_s^Q[g(S_t - S_s)] \quad (3.5)$$

应用迭代期望法则，如果 $(g; S)$ 具有加和性质，那么就可得：

$$E_0^Q[g(S_T - S_0)] = E_0^Q\left[\sum_T g(\delta S)\right] \quad (3.6)$$

将 $E_0^Q[g(S_T - S_0)]$ 称为隐含部分，而将 $\sum_T g(\delta S)$ 称为已实现部分。

以价格 S 为例，取 $g(S) = S^2$ ，有：

$$E_0^Q\left[\left(\sum_T \delta S\right)^2\right] = E_0^Q\left[\sum_T (\delta S)^2\right] \quad (3.7)$$

直观上理解，式 3.7 左边的项可以简化为： $E_0[S_T - S_0 - E_0[S_T - S_0]]^2$ ，因为 S 为鞅，按照方差的定义，该项即为区间 $[0, T]$ 内 S 价格变动（不是收益率）的方差。而式 3.7 右边括号内是在 $[0, T]$ 时间内价格变动平方的加和，是已实现方差的概念。因此在定价测度 Q 下，式 3.7 右边是在 $[0, T]$ 时间内 S 价格变动方差的定价公式，而式 3.7 左边则是其价格，为 S 价格变动的风险中性方差。进一步来看，式 3.7 实际上定义了 S 价格变动的方差互换合约，其左边称做隐含方差部分，其值在时间 0 可知，其右边括号内部分为股价变动已实现方差，在期末 T 可知。在定价测度 Q 下，价格变动隐含方差是其已实现方差的无偏估计。

3.2.2 广义方差过程

虽然在 3.2.1 我们构造出了关于股价绝对变动的方差互换合约，但是对于投资者和研究人员来说，他们更关心的是资产收益率的分布，而不是股价绝对变动的分布。因此就有必要去参照 3.2.1 节中的加和性质去构造适用于收益率的互换合约。让 $s_t = \log(S_t)$ ，并且 f 为实值函数，若 f 函数具有性质： $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x)}{x^2} = 1$ ，则定义过程 $V_t^f = E_t[f(s_T - s_t)]$ ，则称 $V_t^f(s_T)$ 为广义方差过程。从定义上可知，如果我们用 $s_T - s_t$ 去代替 x ，不难理解 x^2 是对数收益率的二次方，因此广义方差是从极限上逼近收益率方差。显然，Carr and Wu(2009)所定义的以对数收益率平方

为方差过程是广义方差过程的一个特例，现另外考虑其它两种广义方差过程：对数方差 V_t^L 和熵方差 V_t^E ，他们分别定义如下：

$$\begin{aligned} V_t^L &= E_t[L(s_T - s_t)] \quad \text{其中 } L(x) = 2(e^x - 1 - x) \\ V_t^E &= E_t[E(s_T - s_t)] \quad \text{其中 } E(x) = 2(xe^x - e^x + 1) \end{aligned} \quad (3.8)$$

从 $L(x)$ 和 $E(x)$ 的式子可以看出，将 e^x 进行泰勒展开，即可知道它们均满足上述 f 函数的性质。实际上，将 $s_T - s_t$ 带入函数，便得：

$$\begin{aligned} V_t^L &= 2E_t^Q\left[\frac{S_T}{S_t} - 1 - \ln\left(\frac{S_T}{S_t}\right)\right] \quad \text{所以 } E_t^Q[\ln S_T] = \ln S_t - V_t^L / 2 \\ V_t^E &= 2E_t^Q\left[\frac{S_T}{S_t} \ln\left(\frac{S_T}{S_t}\right) - \frac{S_T}{S_t} + 1\right] \quad \text{所以 } E_t^Q[S_T \ln S_T] = S_t \ln S_t + S_t V_t^E / 2 \end{aligned} \quad (3.9)$$

举例来看，假定在 Black-Scholes (BS) 的设定下，则标的资产波动率为常数 σ （注意 S 在定价测度 Q 下为鞅），则对数合约（在期末 T 时支付为 $\ln S_T$ ）在 t 期时的价格为： $\ln S_t - \sigma^2(T-t)/2$ ，则 V_t^L 即为对数合约的隐含方差。同理，熵合约（在期末 T 支付为 $S_T \ln S_T$ ）在 t 期的价格为 $S_t \ln S_t + S_t V_t^E / 2$ ，因此 V_t^E 为熵合约在 BS 世界下的隐含方差。更一般地讲，我们有：

定理 1. 定义 S 为任何正的鞅过程， $X(s)$ 为一向量过程 (s, v) ，其中 $s = \log(S)$ ， v 为 s 的广义方差过程，若函数 g 所组成的函数集 G^* 如式 3.10 所示，则 $(g; X(S))$ 具有加和性质。

$$g(\delta s, \delta v) = h_1 \delta s + h_2 (e^{\delta s} - 1) + h_3 \delta v + h_4 (\delta v - 2\delta s)^2 + h_5 (\delta v + 2\delta s) e^{\delta s} \quad (3.10)$$

其中 $\{h_i\}$ 为任意常数，并须满足以下限制：(1) 如果 $h_4 \neq 0$ ，则须 $v = V^L$ 且 $h_5 = 0$ ；(2) 如果 $h_5 \neq 0$ ，则须 $v = V^E$ 且 $h_4 = 0$ ；(3) 如果 $h_4 = h_5 = 0$ ，则 v 可以任何广义方差过程。

3.2.3 方差互换的构造

定理 1 提供了非常有用的结论：

结论 1. 函数 $g^V(\delta s) \equiv 2(e^{\delta s} - 1 - \delta s)$ 为一广义方差测度, 且具有加和性质。

证明: 根据定理 1, 我们让 $h_1=-2, h_2=2, h_3=h_4=h_5=0$, 即可得到 $g^V(\delta s)$, 且 $g^V(x) = x^2 + O(x^3)$, 按照广义方差过程的定义, 显然其为广义方差过程。另外, 我们根据其加和性质, 得到在定价测度 Q 下:

$$E_0^Q(g^V(s_T - s_0)) = E_0^Q\left(\sum_T 2(e^{\delta s} - 1 - \delta s)\right) \quad (3.11)$$

可知, 根据 3.2.1 的讨论, 式 3.11 实际上为对数收益率的方差互换合约。

式 3.11 左边为方差互换的隐含方差部分, 其值为对数合约的隐含方差 V_0^L 。而式 3.11 右边括号内为方差互换的已实现方差部分, 其在 T 期可知。本文的实证部分, 方差溢酬即为已实现方差与隐含方差 V_0^L 与之差, 二者计算公式可参见第四章的公式说明。

可以看到, 在式 3.11 设定下的隐含方差 V_0^L 与 Britten-Jones and Neuberger(2000)所定义的非模型隐含方差是一样的。但式 3.11 设定的已实现方差与传统定义的已实现方差 $\sum_T (\delta s)^2$ 存在差别。在美国的方差互换市场交易中, 已实现方差是按照 $\sum_T (\delta s)^2$ 来定义的。但是正如 Jiang and Tian(2005)所指出的那样, 在那种定义下, 方差互换的复制只有在时间分划非常之小, 并且价格过程为连续扩散过程即不存在跳跃的情况下才是完美的。而在式 3.11 设定的已实现方差由于具有加和性质, 所以该定义下的方差互换对任意的时间分划和跳跃过程均将是稳健的。

3.2.4 偏度互换的构造

$$\text{结论 2. 函数 } g(s_T - s_t, V_T^E - V_t^E) = -3V_t^E \left(\frac{S_T}{S_t} - 1\right) + K(s_T - s_t) \quad (3.12)$$

其中 $K(\delta s) \equiv 6(\delta s * e^{\delta s} - 2e^{\delta s} + \delta s + 2)$, 为对数收益率的三阶矩的近似, 且 g 函数具有加和性质。

证明：将定理 1 中 $g(\delta s, \delta V^E)$ 的系数设定为： $h_1=6, h_2=-12, h_3=-3, h_4=0, h_5=3$ ，便可得到 3.12。又因为：

$$V_t^E = 2E_t\left[\frac{S_T}{S_t} \ln\left(\frac{S_T}{S_t}\right) - \frac{S_T}{S_t} + 1\right] \quad (3.13)$$

则可知在 T 期时，有 $V_T^E=0$ ，则：

$$g(s_T - s_t, V_T^E - V_t^E) = -3V_t^E \left(\frac{S_T}{S_t} - 1\right) + K(s_T - s_t) \quad (3.14)$$

因为 S_t 在定价测度 Q 下为一个鞅过程，则式 3.14 右边的 t 期条件期望为 0。而第二项根据将 e^x 进行泰勒展开，不难发现 $K(s_T - s_t) = (s_T - s_t)^3 + O(s_T - s_t)^4$ ，当对数收益率 $s_T - s_t$ 很小时，刚好收敛于其三阶矩，证毕。

根据 V_t^E, V_t^L 的定义，不难发现， $E_t^Q[K(s_T - s_t)] = 3(V_t^E - V_t^L)$ ，则有，在定价测度 Q 下有：

$$\begin{aligned} E_0^Q[g(s_T - s_t, V_T^E - V_t^E)] &= E_0^Q[-3V_t^E \left(\frac{S_T}{S_t} - 1\right) + K(s_T - s_t)] \\ &= E_0^Q[K(s_T - s_t)] \\ &= 3*(V_t^E - V_t^L) \end{aligned} \quad (3.15)$$

因为 $3*(V_t^E - V_t^L)$ 为对数收益率的风险中性三阶矩，由 3.1.1 节的关于加和性质的讨论可知， $\text{Im } p_third = 3*(V_t^E - V_t^L)$ 为对数收益率的隐含三阶矩。则已实现三阶矩 Rlz_third 为下式：

$$\text{Rlz_third} = \sum_T 3\delta V^E (e^{\delta s} - 1) + 6(\delta s * e^{\delta s} - 2e^{\delta s} + \delta s + 2) \quad (3.16)$$

因此结论 2 实际上给出了关于三阶矩的互换合约定义，固定部分即为隐含三阶矩 $\text{Im } p_third$ ，而浮动部分即为已实现 $\text{Im } p_third$ 。人们通常用偏度来刻画资产收益率的分布非对称性，为此我们利用结论 1 中 V_t^L 为对数收益率的隐含方差的结果，按照偏度的标准定义，我们将三阶矩进行标准化，称

$skew_t = \frac{3*(V_0^E - V_0^L)}{(V_0^L)^{3/2}}$ 为对数收益率在 0 期的隐含偏度，将 $\frac{Rlz_{third}}{(V_0^L)^{3/2}}$ 为在 T 期的

已实现偏度 $rskew_t$ 。因此，我们构造出了偏度互换合约，固定方为隐含偏度 $skew_t$ ，浮动方为已实现偏度 $rskew_t$ 。

3.3 隐含方差和隐含偏度的期权组合估计

方差互换的隐含方差，隐含偏度和已实现偏度的计算可以从两个方面来进行考虑。第一种方法，就是假设 S_t 的随机过程，然后在风险中性测度 Q 下去计算 V_t^L , V_t^E 等，显然，这种设定容易导致模型设定偏误。第二种思路，在于如何通过期权合约来复制对数合约和熵合约的头寸，从而避免模型设定偏误，提取期权市场的收益率风险中性分布信息。后一种正是本文所要采取的途径，现在介绍如何利用期权合约来计算 V_t^L , V_t^E 等变量。

根据 Bakshi and Madan(2000)的结果，对于在到期日 T 有支付为 $g(S_T)$ 的资产，其可以根据看跌期权与看涨期权组合，现金及远期合约进行构建。即有：

$$G(T, T) = g(x) + g'(x)F(x) + \int_0^x g''(k)P_{t,T}(k)dk + \int_x^\infty g''(k)C_{t,T}(k)dk \quad (3.17)$$

其中 x 为任何正数，其中 $F(x) = (S_T - x)$ ，为交割价为 x 的远期合约价值， $P_{t,T}(K)$ 和 $C_{t,T}(K)$ 分别为欧式看跌期权和欧式看涨期权在 t 期的价格，其交割价为 K，到期日为 T。根据这个结果，我们有：

$$\log(S_T) = \log(S_t) + \frac{S_T - S_t}{S_t} - \int_0^{S_t} \frac{(K - S_T)^+}{K^2} dK - \int_{S_t}^\infty \frac{(S_T - K)^+}{K^2} dK \quad (3.18)$$

由于 S_T 在定价测度 Q 下为鞅，所以我们有：

$$\begin{aligned}
 V_t^L &= 2E_t^Q\left[\frac{S_T}{S_t} - 1 - \ln\left(\frac{S_T}{S_t}\right)\right] \\
 &= -2E_t^Q\left[\log\left(\frac{S_T}{S_t}\right)\right] \\
 &= 2E_t^Q\left[\int_0^{S_t} \frac{(K - S_T)^+}{K^2} dK + \int_{S_t}^{\infty} \frac{(S_T - K)^+}{K^2} dK\right] \\
 &= 2\left(\int_0^{S_t} \frac{E_t^Q(K - S_T)^+}{K^2} dK + \int_{S_t}^{\infty} \frac{E_t^Q(S_T - K)^+}{K^2} dK\right) \\
 &= \frac{2}{B_{t,T}}\left(\int_0^{S_t} \frac{P_{t,T}(K)}{K^2} dK + \int_{S_t}^{\infty} \frac{C_{t,T}(K)}{K^2} dK\right)
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

同理，有：

$$S_T \log(S_T) = S_t \log(S_t) + (1 + \log(S_t))(S_T - S_t) + \int_0^{S_t} \frac{(K - S_T)^+}{K} dK + \int_{S_t}^{\infty} \frac{(S_T - K)^+}{K} dK \tag{3.20}$$

所以对于熵方差有：

$$\begin{aligned}
 E_t^Q[S_T \ln S_T] &= S_t \ln S_t + S_t V_t^E / 2 \\
 V_t^E &= \frac{2}{S_t} (E_t^Q[S_T \ln S_T] - S_t \ln S_t) \\
 &= \frac{2}{S_t} \left(\int_0^{S_t} \frac{E_t^Q(K - S_T)^+}{K} dK + \int_{S_t}^{\infty} \frac{E_t^Q(S_T - K)^+}{K} dK \right) \\
 &= \frac{2}{B_{t,T} S_t} \left(\int_0^{S_t} \frac{P_{t,T}(K)}{K} dK + \int_{S_t}^{\infty} \frac{C_{t,T}(K)}{K} dK \right)
 \end{aligned} \tag{3.21}$$

3.4 GMM 估计的简要介绍

由于在实证部分需要利用广义矩估计（后文称 GMM）估计方法来估计投资者风险厌恶系数，该部分简要介绍 GMM 的理论方法与 J 统计量。GMM 方法最早由 Hansen 在 1982 年提出，之后在经济和金融建模中得到广泛的应用。不同与最大似然估计，GMM 方法不需要事先假定数据或变量的分布，而只需要从模型设定中推倒出来的矩条件即可进行参数的估计。在一些情形下，参数的最大似然估计量也是 GMM 的一个估计量。并且在一些情形下，如对数正态随机波动率模型，最大似然估计计算量非常大，而用 GMM 方法则要简便地多。如果在一些

模型中，矩条件的数目比要估计的参数大的话，则 GMM 的方法则可以检验模型设定是否正确。

举例来说，考虑一个简单的线性模型：

$$y_t = z_t' \delta_0 + \varepsilon_t, t=1, 2, \dots, n \quad (3.22)$$

其中， z_t 是一个 $L \times 1$ 的解释变量组成的向量， δ_0 是所要估计的参数向量， ε_t 为随机误。在该模型的设定中， z_t 向量的部分或者所有元素允许同 ε_t 存在相关性，即对部分 k ，有 $E[z_{tk} \varepsilon_t] \neq 0$ 。如果 $E[z_{tk} \varepsilon_t] \neq 0$ ，则称 z_{tk} 为内生变量。我们都知道，如果 z_t 包含内生变量，那么 δ_0 的最小二乘估计量将是有偏及非一致的。

在模型 3.22 中，我们假定存在着 $K \times 1$ 的工具变量组成的向量 x_t ， x_t 可能包含 z_t 向量部分或者所有的元素。让 w_t 代表 $\{y_t, z_t, x_t\}$ 向量中非重复及非常数元素所组成的向量，并且我们假定 w_t 是平稳及遍历的随机过程。工具变量 x_t 满足 K 个正交性条件：

$$E[g_t(w_t, \delta_0)] = E[x_t \varepsilon_t] = E[x_t (y_t - z_t' \delta_0)] = \bar{0} \quad (3.23)$$

展开来看，有： $\sum_{xy} = \sum_{xz} \delta_0$ ，其中， $\sum_{xy} = E[x_t y_t]$ ， $\sum_{xz} = E[x_t z_t']$ 。显然可以看出，对于 δ_0 的识别，需要 $K \times L$ 矩阵 $E[x_t z_t'] = \sum_{xz}$ 为 L 满秩。这个秩条件就确保了 δ_0 具有唯一解。并且，注意到，如果 $K=L$ ，那么 \sum_{xz} 将是可逆的，则有： $\delta_0 = \sum_{xz}^{-1} \sum_{xy}$ 。对于 δ_0 能够被识别的必要条件是 $K \geq L$ ，即工具变量的个数应不小于被解释变量的个数。如果 $K=L$ ，则称 δ_0 是恰好识别的；如果 $K>L$ ，则称 δ_0 是过度识别的；如果 $K<L$ ，则称 δ_0 是不可识别的。

不同于最小二乘法，随机误差项 ε_t 是允许存在条件异方差和序列自相关的。对于 ε_t 存在条件异方差情形，通常我们假设 $\{g_t\} = \{x_t \varepsilon_t\}$ 是平稳、遍历的鞅差分过程，满足： $E[g_t g_t'] = E[x_t x_t' \varepsilon_t^2] = S$ ，其中 S 为样本矩 $\bar{g} = n^{-1} \sum_{t=1}^n g_t(w_t, \delta_0)$ 的渐进

方差协方差矩阵。运用中心极限定理有： $\sqrt{n}\bar{g} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{t=1}^n x_t \varepsilon_t \xrightarrow{d} N(0, S)$ ；而对于 ε_t 为序列相关的情形，通常假设 $\{g_t\} = \{x_t \varepsilon_t\}$ 是平稳、遍历的随机过程，满足条件：

$$\begin{aligned} \sqrt{n}\bar{g} &= \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{t=1}^n x_t \varepsilon_t \xrightarrow{d} N(0, S) \\ S &= \sum_{j=-\infty}^{\infty} \Gamma_j = \Gamma_0 + \sum_{j=1}^{\infty} (\Gamma_j + \Gamma_j') \end{aligned} \quad (3.24)$$

其中， $\Gamma_j = E[g_t g_{t-j}'] = E[x_t x_{t-j}' \varepsilon_t \varepsilon_{t-j}']$ 。

GMM 估计量 δ_0 是通过构造与总体矩相一致的样本矩来进行估计的。即：

$$\begin{aligned} g_n(\delta) &= \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n g(w_t, \delta) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t (y - z_t' \delta) \\ &= \begin{pmatrix} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_{1t} (y - z_t' \delta) \\ \dots \\ \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_{Kt} (y - z_t' \delta) \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (3.25)$$

这些矩条件为 K 个线性方程， L 个参数未知，化简来写，即是：

$$S_{xy} - S_{xz} \delta = 0 \quad (3.26)$$

其中 $S_{xy} = n^{-1} \sum_{t=1}^n x_t y_t$, $S_{xz} = n^{-1} \sum_{t=1}^n x_t z_t'$ 。如果 $K=L$ ，则 S_{xz} 可逆，显然有：

$\tilde{\delta} = S_{xz}^{-1} S_{xy}$ ；如果 $K>L$ ，则 δ_0 未必有解。在这种情形下，就是要去寻找 δ_0 是使得 $S_{xy} - S_{xz} \delta$ 接近 $\vec{0}$ 。定义 \hat{W} 为 $K \times K$ 的半正定对称矩阵，则 δ_0 的 GMM 估计量为：

$$\hat{\delta}(\hat{w}) = \arg \min_g J(\delta, \hat{W})$$

$$\begin{aligned} \text{其中：} \quad J(\delta, \hat{W}) &= n g_n(\delta)' \hat{W} g_n(\delta) \\ &= n (S_{xy} - S_{xz} \delta)' \hat{W} (S_{xy} - S_{xz} \delta) \end{aligned} \quad (3.27)$$

因为 $J(\delta, \hat{W})$ 为二次型，利用线性代数知识，我们有：

$$\hat{\delta}(\hat{w}) = (S_{xz}' \hat{W} S_{xz})^{-1} S_{xz}' \hat{W} S_{xy} \quad (3.28)$$

在标准的正则性条件下，可以证明：

$$\begin{aligned} \hat{\delta}(\hat{W}) &\xrightarrow{p} \delta_0 \\ \sqrt{n}(\hat{\delta}(\hat{W}) - \delta_0) &\xrightarrow{d} N(\bar{0}, a \text{var}(\hat{\delta}(\hat{W}))) \end{aligned} \quad (3.29)$$

其中，
$$a \text{var}(\hat{\delta}(\hat{W})) = \left(\sum_{xz}' W \sum_{xz} \right)^{-1} \sum_{xz}' W S W \sum_{xz} \left(\sum_{xz}' W \sum_{xz} \right)^{-1}$$

因此， $a \text{var}(\hat{\delta}(\hat{W}))$ 依赖于 \hat{W} 的选择，由该 \hat{W} 所得到的估计量叫做 GMM 有效估计量。Hansen 证明，如果让 $\hat{W} = S^{-1}$ ，则 $a \text{var}(\hat{\delta}(\hat{W}))$ 将是最有效的，从而我们有：

$$a \text{var}(\hat{\delta}(\hat{S}^{-1})) = \left(\sum_{xz}' S^{-1} \sum_{xz} \right)^{-1} \quad (3.30)$$

从而，GMM 有效估计量为：
$$\hat{\delta}(\hat{S}^{-1}) = \arg \min_{\delta} (ng_n(\delta)' \hat{S}^{-1} g_n(\delta)) \quad (3.31)$$

Hansen 提出 J 统计量，
$$J = J(\hat{\delta}(\hat{S}^{-1}), \hat{S}^{-1}) = ng_n(\hat{\delta}(\hat{S}^{-1}))' \hat{S}^{-1} g_n(\hat{\delta}(\hat{S}^{-1})) \quad (3.32)$$

可以看到，如果 $K=L$ ，则 $J=0$ ；如果 $K>L$ ，那么 $J>0$ 。在正则性条件下，如果据条件设定正确的话，那么有：

$$\text{当 } n \rightarrow \infty, J \xrightarrow{d} \chi^2(K-L) \quad (3.33)$$

因此，对于设定正确且过度识别的模型，J 统计量是一个服从卡方分布的随机变量，其自由度为设定矩条件个数 K 与需估计参数个数 L 的差。因此通过 J 统计量我们可以检验模型设定的正确与否。一个相对较大的 J 统计量值（与置信水平有关）则意味着错误设定的模型。这在本文的风险厌恶系数 γ 估计中会有所运用。当然，J 统计量本身并不能指出模型具体是哪里设定错误的。

第四章 实证检验

4.1 样本数据及变量计算说明

4.1.1 样本数据说明

由于中国大陆并没有指数期权产品，香港的恒生指数期权合约交易并不十分活跃，且不易获得。在美国，大致有 11 家交易所挂牌股指期权合约，这些合约有的相同有的不同，且各个交易所的股指期权合约交易活跃度也存在较明显差别。目前，美国较为主流的股指期权合约大约有 58 种，但实际上交易量分布较为集中，交易量最大的股指期权合约是 S&P500 指数期权合约。据统计，2011 年 S&P500 指数期权合约占美国股指期权交易量的 68.5%，其中，其在芝加哥期权交易所（下称 CBOE）的交易量最大。由于期权交易活跃度高与交易量大反映了其良好的市场流动性，也能充分体现市场套利者、投机者与套期保值者等对市场收益的风险中性预期，因此本文选择在 CBOE 上市的 S&P500 指数期权作为实证数据样本。美国 S&P500 指数期权代码为 SPX，为欧式期权，标的为美国 S&P500 指数，其到期日为每个到期月的第三个星期六，关于该期权合约其它细节请详见 CBOE 官方网站⁷。

本文的数据购买于 Ivolatility 网站，时间跨度为 2000 年 11 月至 2011 年 4 月，其包括了每只期权相应到期日，买价（bid），卖价（ask），交易量，未平仓合约数，经红利调整过的指数价格，及根据 Black-Scholes 计算的隐含波动率等变量。我们按照以下方法对数据进行初步筛选：（1）由于样本数据有些观测记录失误，所以去掉 bid, ask 为负的期权观测（2）因为明显的价格错误，我们去掉 delta 大于 1 或者小于 -1 的观测（3）根据无套利原则，若看涨期权价格不在区间 $[\max(S_t - Ke^{-r(T-t)}, 0), S_t]$ ，看跌期权价格不在区间 $[\max(Ke^{-r(T-t)} - S_t, 0), Ke^{-r(T-t)}]$ 等均将它们删除，其中 T 为每只期权其相应的到期日。我们将每只期权的 bid 和 ask 的平均价格作为其计算价格，并且出于计算指数远期价格等需要，我们从美联储

⁷ 芝加哥期权交易所（CBOE）http://www.cboe.com/products/indexopts/spx_spec.aspx.

网站下载到美国国债各期限到期收益率数据，并对于某一期限的期权合约，我们通过 Hermite 插值得到该期权期限所对应的无风险利率。

4.1.2 变量计算说明

如 3.2 节所述，方差互换和偏度互换是针对一定期限的合约。我们选择在每个月的第三个星期六后（如前所述，SPX 期权的到期日为每月第三个周六）的第一个交易日（时间标记为 0）选择一定期限的期权（如一个月，三个月等），至该期权到期的所有交易日数据，来计算各个变量，具体计算方法如下：

设某一期限的期权，其到期日为 T ，对任意 $t \in [0, T]$ ，在当天共有 $N+1$ 个不同交割价 K_i ，由低到高排列为 K_0 至 K_N ，并且分别记 $C_{t,T}(K_i)$ 与 $P_{t,T}(K_i)$ 为交割价为 K_i 的期权价格。在 t 时刻，我们定义函数 $\Delta I(K_i)$ ：

对于 $0 \leq i \leq N$ ，则 $\Delta I(K_i) = \frac{K_{i+1} - K_{i-1}}{2}$ ，并且记 $K_{-1} \equiv 2K_0 - K_1$ ， $K_{N+1} \equiv 2K_N - K_{N-1}$ ；而对于 $i < 0$ 或者 $i > N$ ，则 $\Delta I(K_i) = 0$ ；

(1) S&P500 指数远期价格

S&P500 指数 t 时刻到期远期价格 $F_{t,T}$ 的计算关乎我们计算隐含方差和隐含偏度，所以其计算十分重要。由于我们并没有 S&P500 指数的远期合约价格数据，所以本文参照 CBOE 的 VIX white paper 关于计算 $F_{t,T}$ 的方法：即对于 T 到期的期权，在 t 期寻找出在相同交割价 K 下看涨期权 $C_{t,T}(K_i)$ 和 $P_{t,T}(K_i)$ 的价格（如前述，为 bid 与 ask 均价）的最小价差，该最小价差所对应的交割价为 K^* ，然后利用看涨看跌平价公式，计算 $F_{t,T}$ 如下：

$$F_{t,T} = K^* + e^{rate \cdot T} (C_{t,T}(K^*) - P_{t,T}(K^*)) \quad (4.1)$$

(2) 对数方差 $V_{t,T}^L$ ，熵方差 $V_{t,T}^E$ ，隐含偏度 $skew_{t,T}$

由公式 3.19 和 3.21，对数方差 $V_{t,T}^L$ 和熵方差 $V_{t,T}^E$ 计算如下：

$$\begin{aligned}
 V_{t,T}^L &= 2 \sum_{K_i \leq F_{t,T}} \frac{P_{t,T}(K_i)}{B_{t,T} K_i^2} \Delta I(K_i) + 2 \sum_{K_i > F_{t,T}} \frac{C_{t,T}(K_i)}{B_{t,T} K_i^2} \Delta I(K_i) \\
 V_{t,T}^E &= 2 \sum_{K_i \leq F_{t,T}} \frac{P_{t,T}(K_i)}{B_{t,T} K_i F_{t,T}} \Delta I(K_i) + 2 \sum_{K_i > F_{t,T}} \frac{C_{t,T}(K_i)}{B_{t,T} K_i F_{t,T}} \Delta I(K_i)
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

其中， $B_{t,T}$ 为 T 时刻到期的国债在 t 时刻的价格，这里用 $e^{-r^*(T-t)}$ 来计算。

方差互换隐含方差即为对数方差 $V_{t,T}^L$ ，并且由 3.2.2 的讨论可知，偏度互换的隐含偏度定义为：

$$skew_{t,T} \equiv 3 \frac{V_{t,T}^E - V_{t,T}^L}{(V_{t,T}^L)^{3/2}} \tag{4.3}$$

(3) 已实现方差 $RV_{0,T}$ 和已实现偏度 $rskew_{0,T}$

方差互换的已实现方差 $RV_{0,T}$ 和已实现三阶矩 $RS_{0,T}$ 分别计算如下：

$$\begin{aligned}
 RV_{t,T} &= \sum_{i=t}^T [2(e^{r_{i,i+1}} - 1 - r_{i,i+1})] \\
 RS_{t,T} &= \sum_{i=t}^T [\delta V_{i,T}^E (e^{r_{i,i+1}} - 1) + 6(2 - 2e^{r_{i,i+1}} + r_{i,i+1} + r_{i,i+1} e^{r_{i,i+1}})]
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

其中 $r_{i,i+1} = \frac{F_{i+1,T}}{F_{i,T}} - 1$ 为指数远期价格的在 i 至 i+1 日的对数收益率，将已实

现三阶矩 $RS_{0,T}$ 标准化，我们将已实现偏度定义为：

$$rskew_{t,T} = \frac{RS_{t,T}}{(V_{t,T}^L)^{3/2}} \tag{4.5}$$

(4) 方差风险溢价和偏度风险溢价

由 3.2 节的讨论可以知道，互换是在 0 时刻约定在到期 T 时刻进行现金流的交换。已实现方差与隐含方差之差，已实现偏度与隐含偏度之差分别代表着方差互换多头和偏度互换多头在 1 单位货币的名义本金下的绝对货币收益。本文定义方差风险溢价为：

$$VRP_{0,T} = RV_{0,T} - V_{0,T}^L \tag{4.6}$$

偏度风险溢价为：

$$SRP_{0,T} = rskew_{0,T} - skew_{0,T} \quad (4.7)$$

由于 $VRP_{0,T}$ 和 $SRP_{0,T}$ 是绝对收益的概念，而同其他投资组合如市场指数组合收益率等直接相比较，存在量纲上的不一致，因此我们需要去定义类似的方差互换收益率和偏度互换收益率。

因为方差总是正的，对于方差互换的多头而言，其在时间 0 支付固定方差，即隐含方差，而在期末 T 收到已实现方差。由本文后文的讨论可知，方差互换多头和偏度互换多头的收益率通常是正负相反的，出于图示和收益率间的直观比较考虑，需要将方差互换空头和偏度互换多头的收益率进行对比，但我们对方差溢风险酬和偏度风险溢酬的定义仍是已实现矩与隐含矩之差。将隐含方差或隐含偏度看成是远期成本，我们将方差互换空头的收益率 XV_0^T 定义为：

$$XV_0^T \equiv \frac{V_{0,T}^L - RV_{0,T}}{V_{0,T}^L} \quad (4.8)$$

与方差值不同，偏度值可正可负，我们这样约定：支付负数则收到该数的绝对值，收到负数则支付该数的绝对值。因此如果偏度互换隐含偏度为负，则表示该互换空头须支付该偏度的绝对值予多头；若隐含偏度为正，则互换多头支付该偏度予空头，同理于已实现偏度的支付。依照这个约定，我们可以得到偏度互换多头的收益率 $XS_{0,T}$ 为：

$$\begin{aligned} \text{if } skew_{0,T} < 0, \text{ 则 } XS_{0,T} &= \frac{skew_{0,T} - rskew_{0,T}}{skew_{0,T}} \\ \text{if } skew_{0,T} > 0, \text{ 则 } XS_{0,T} &= \frac{rskew_{0,T} - skew_{0,T}}{skew_{0,T}} \end{aligned} \quad (4.9)$$

4.2 方差风险溢酬和偏度风险溢酬的初步分析

4.2.1 描述性统计量

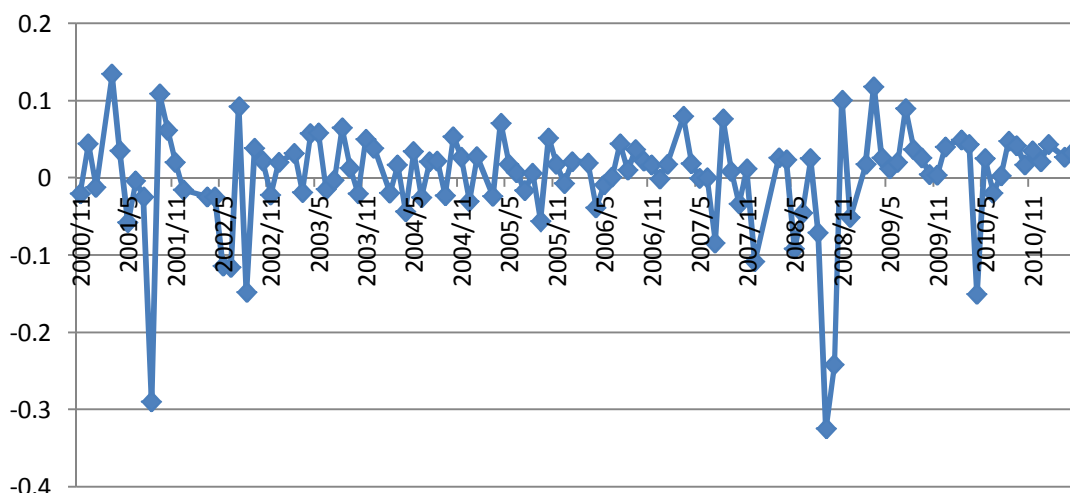


图 4-1 S&P500 指数月收益率

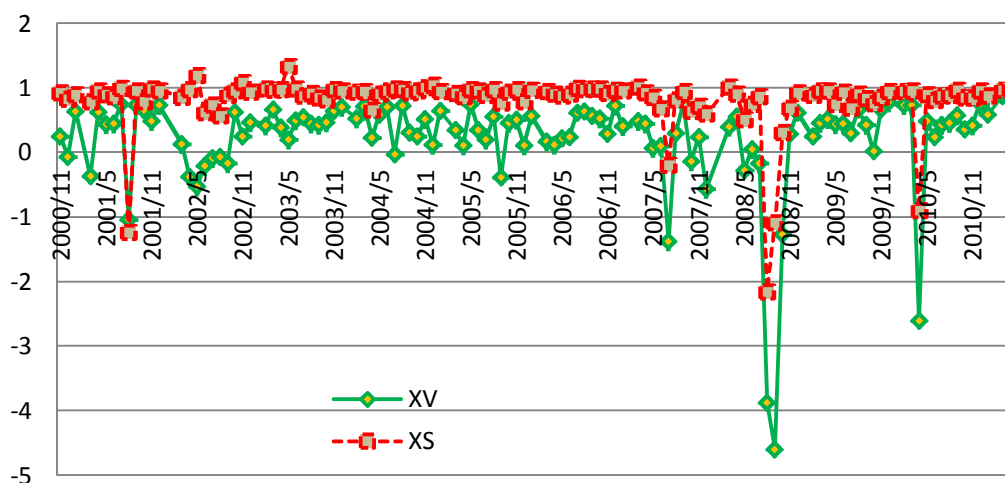


图 4-2 方差互换空头收益 (XV) 和偏度互换多头收益 (XS)

图 4-1 画出了在样本期间互换合约期限为一个月所对应 s&p500 指数的月收益率，图 4-2 为方差互换空头 (XV) 及偏度互换多头 (XS) 的收益率，可以看到大部分的月份 XV 与 XS 均为正，2008 年 8 月因经济危机爆发后的市场恐慌和 2010 年 5 月由于投资者担忧希腊债务危机影响全球经济复苏前景，S&P500 指数收益均出现大幅下跌，收益率波动增大，方差互换空头和偏度互换多头出现较大损失。观察 S&P500 的指数收益率序列，可以看出，在市场收益率变动比较剧烈的月份，方差互换空头多会出现损失。相比 XV, XS 则平稳地多，说明偏度

风险溢酬是平稳持续的。再由表 4-1 可以看出, XV 和 XS 显著为正, 方差风险溢酬在量上占隐含方差的 28.59%, 而偏度互换多头平均收益高达 83.12%, 从 t 值来看, 二者显示了显著的负的方差风险溢酬和正的偏度风险溢酬。XV 和 XS 的分布均为负偏, 但峰度分别为 25.89 和 39.48, 说明了互换合约的收益出现极端损失和极端正收益的可能性较正太分布高出很多。隐含偏度始终为负, 一方面显示了投资者对收益率偏度下降的担忧, 也体现了期权市场上虚值看跌期权较虚值看涨期权价格高的现象。已实现偏度均值为负, 其比隐含偏度更正, 同时已实现偏度也出现为正的情况。通常情况下, 偏度互换多头获得平稳较高收益, 而在市场指数大幅下跌的情况下, 已实现偏度比隐含偏度更负, 多头出现极端损失。

表 4-1 各变量描述性统计量

变量	均值	标准差	t 值	最小值	最大值	偏度	峰度
V^t	0.0565	0.0604	10.4632	0.0098	0.4041	3.1063	11.9520
RV	0.0434	0.0787	6.1709	0.0029	0.6472	5.3292	34.1081
VRP	-0.0131	0.0608	-2.4058	-0.1748	0.5315	5.9169	53.0693
XV	28.59%	66.53%	4.8054	-459.55%	87.94%	-4.4272	25.8971
skew	-1.9408	0.7388	-29.3720	-5.5169	-0.6375	-1.3759	3.7599
rskew	-0.3084	0.7491	-4.6026	-6.8656	0.0294	-6.5212	50.4829
SRP	1.6324	1.0246	17.8132	-4.7384	5.3079	-1.6315	12.5984
XS	83.12%	37.89%	24.5245	-222.76%	102.05%	-5.7778	39.4782

注: VL, skew 是在互换合约的期初 0 时刻计算, RV, rskew 是在期末 T 计算, 后文类似, VL, RV 经过年化。

为了更好地认识方差互换与偏度互换收益, 我们假设这样简单的投资策略: 即在每期期初分别进入一份方差互换空头和偏度互换多头, 互换名义本金额为 1 美元, 这样我们得到这种策略的二者的累计收益如图 4-3。可以看出, 这种简单的策略, 累计收益是十分之大的, 偏度互换多头的收益较方差互换空头的收益也大地多。具体来说, 在每个月 1 美元的名义本金额下, 在样本期内, 方差互换空头累计收益(cum_xv)为 25.3 美元, 而偏度互换多头的累计收益(cum_xs)为 90.9 美元, 这再次说明了市场上投资者对于方差风险厌恶和偏度风险偏好是持续的, 隐含方差显著高于已实现方差, 隐含偏度显著低于已实现偏度。

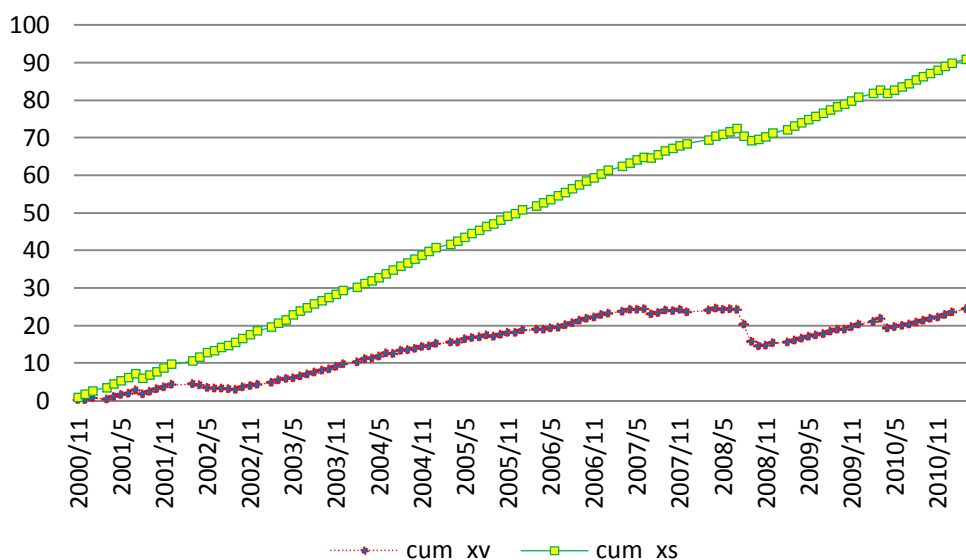


图 4-3 方差互换空头与偏度互换多头的累计收益 单位：美元

4.2.2 隐含方差与隐含偏度的近似误差简单分析

由 3.2.2 节的讨论，我们知道，为了构建偏度互换，我们实际引入了广义方差过程，其中两个分别是熵方差过程 $V_{t,T}^E$ 及对数方差过程 $V_{t,T}^L$ ，它们都是从极限上对对数收益率方差的一种逼近。为了观察这种近似所得出来的隐含方差，隐含偏度与精确的隐含方差与隐含偏度的偏离程度，我们同样计算了根据 Bakshi, Kapadia and Madan(BKM,2003)公式计算的风险中性方差 BKM_IV 及风险中性偏度的 BKM_IS （其关于隐含矩的计算是精确的），来进行对比。以一个月期限为例，我们将二者对应风险中性矩的时序特征绘制如图 4-4 与 4-5：

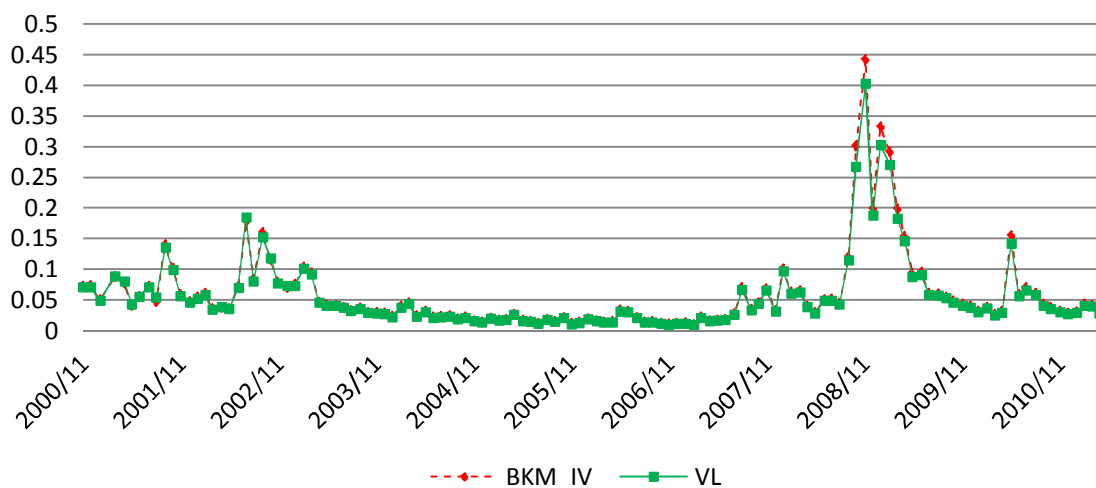


图 4-4 本文计算的隐含方差 VL 和利用 BKM(2003)计算的隐含方差

BKM_IV

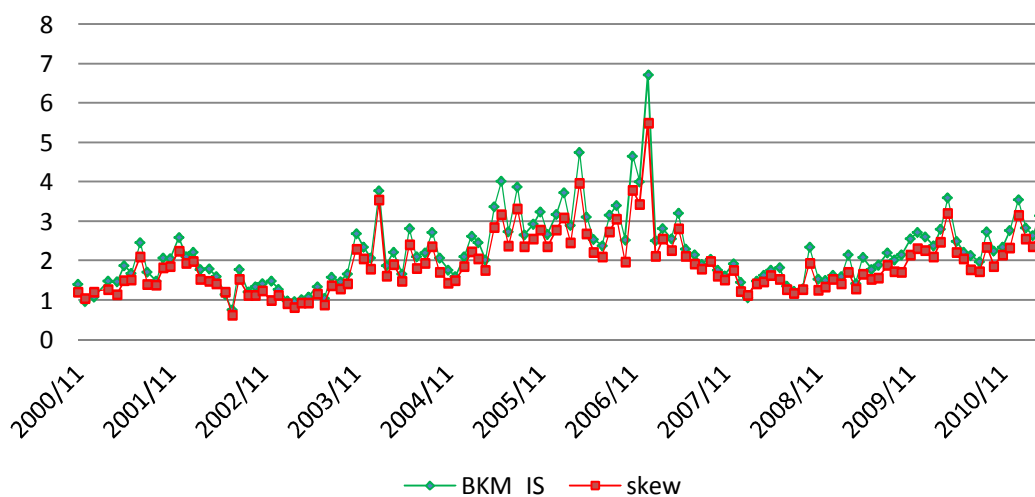


图 4-5 本文计算的隐含偏度 skew 与 BKM(2003)计算的隐含偏度

注：出于图形直观考虑，仅在这里将两个偏度序列均进行取相反数处理，其它分析仍以原序列为准。

从图 4-4 可以看出，尽管我们在定义广义方差 $V_{i,T}^E$ 时采取了近似，但二者同精确隐含方差 BKM_IV 在时间序列上十分接近，再从表 4-2 可以看出，三者相互间相关性之间均高达 0.995 以上。同样，我们定义的隐含偏度 skew 同精确隐含偏度 BKM_IS 的时间趋势也很接近，二者相关性达到 0.991。虽然在数值上 $V_{i,T}^E, skew$ 与相应精确隐含矩之间存在着近似误差，但其仍然准确捕捉风险中性

二阶及三阶矩的时间序列趋势。重要的是其拥有对应已实现矩的优点，使得在相应期限内度量矩风险溢价成为现实，因此后文均采用 $V_{i,T}^E$ 和 skew 来度量隐含方差和偏度。

表 4-2 本文计算的隐含矩和 BKM(2003)计算的隐含矩的相关性

变量	VL	VE	BKM_IV	skew	BKM_IS
VL	1	0.9996	0.9989	0.3988	0.3880
VE		1	0.9973	0.4127	0.4018
BKM_IV			1	0.3772	0.3672
skew				1	0.9914
BKM_IS					1

4.2.3 方差互换和偏度互换的收益解释性

因为方差互换与偏度互换作为交易策略，在传统 CAPM 框架下，其收益应该在被市场超额解释后，超额 alpha 应为 0，因此，我们针对 XV, XS 做了如下回归：

$$\begin{aligned} XV_t &= \alpha_0 + \alpha_1 xm_t + u_t \\ XS_t &= \beta_0 + \beta_1 xm_t + u_t \end{aligned} \tag{4.10}$$

其中 xm_t 为市场超额收益，由表 4-3 的回归结果可以看出， α_1 和 β_1 系数均显著为正，说明市场因子对方差互换空头收益和偏度互换多头收益均具有解释作用，且两个方程常数项均显著为正，说明二者收益还受到其他因子的影响。

表 4-3 回归方程 4.10 的回归结果

	常数	市场超额收益 (xm)	调整 R^2
XV	0.361*** (6.14)	6.923*** (8.65)	0.40
XS	0.888*** (24.67)	3.753*** (7.66)	0.34

注：括号项为 t 统计量, ***, **, *代表在 1%, 5%, 10%显著水平下显著，后文也以此标准。

Fama and French(1993)提出了两个额外的因子：公司大小（SMB）和账面市值比（HML）及 Carhart(1997)提出动量因子（momentum）对股票市场收益均具有解释作用，于是我们加入上述三个因子⁸建立以下两个回归方程：

$$\begin{aligned} XV &= \alpha_0 + \alpha_1 xm_t + \alpha_2 hml_t + \alpha_3 smb_t + \alpha_4 momentum_t + u_0 \\ XS &= \beta_0 + \beta_1 xm_t + \beta_2 hml_t + \beta_3 smb_t + \beta_4 momentum_t + u_0 \end{aligned} \quad (4.11)$$

由表 4-4 所示，额外的三个因子系数均统计不显著，对 XV 和 XS 不具有解释能力，且常数项和 xm 项的系数仍然保持高度显著。

表 4-4 回归方程 4.11 的回归结果

	常数项	市场超额收益 (xm)	smb	hml	momentum	调整 R^2
XV	0.432*** (8.66)	7.189*** (9.21)	82.240 (0.49)	-110.947 (-0.61)	-71.045 (-0.62)	0.40
XS	0.890*** (27.49)	3.248*** (6.41)	67.697 (0.62)	55.167 (0.46)	50.112 (0.68)	0.23

注：括号项为 t 统计量

为了考察宏观因子是否对两个互换收益具有解释作用，我们又加入一些宏观变量⁹来进行回归，它们是： $\delta CPI / CPI$ 为美国消费物价指数增长率， $\delta IPI / IPI$

⁸ 关于 Fama-French 三因子，及动量因子数据，可在 Fama-French 网页上下载到，请详见 http://mba.tuck.dartmouth.edu/pages/faculty/ken.french/data_library.html

⁹ 这些宏观变量，可从美联储官方网站上下到。

为美国工业产出指数增长率, TED 为美国国债十年期与三个月期到期收益率之差, DEF 为标普评级为 baa 与 aaa 的同期限债券收益率之差, 得出回归方程 4.12:

$$\begin{aligned}
 XV &= \alpha_0 + \alpha_1 x m_t + \alpha_2 DEF_t + \alpha_3 TED_t + \alpha_4 \frac{\delta CPI_t}{CPI_t} + \alpha_5 \frac{\delta IPI_t}{IPI_t} + u_t \\
 XS &= \beta_0 + \beta_1 x m_t + \beta_2 DEF_t + \beta_3 TED_t + \beta_4 \frac{\delta CPI_t}{CPI_t} + \beta_5 \frac{\delta IPI_t}{IPI_t} + u_t
 \end{aligned}
 \tag{4.12}$$

从表 4-5 的回归结果来看, 在加入了前述宏观变量后, XV 和 XS 的回归模型的调整 R^2 分别为 0.44 与 0.36, 分别较上个模型增加 0.04 与 0.13, 并无显著增加解释能力。从回归系数来看, 除了 XV 中 IPI 增长率显著为正外, 其他宏观变量均不显著, 说明了方差风险溢价与偏度风险溢价整体上与宏观经济情况关系不大。

表 4-5 回归方程 4.12 的回归结果

	常数项	市场超额收益	违约价差 (DEF)	期限价差 (TED)	Cpi 增长率	Ipi 增长率	调整 R^2
XV	0.638*** (4.01)	7.223*** (9.15)	-15.020 (-1.26)	-5.624 (-1.26)	7.737 (0.60)	6.041** (2.22)	0.44
XS	1.015*** (10.20)	3.918*** (7.94)	-4.601 (-0.62)	-4.416 (-1.58)	9.786 (1.21)	0.970 (0.57)	0.36

注: 括号内为 t 统计量

4.3 方差风险溢价与偏度风险溢价的信息含量

4.3.1 隐含矩对已实现矩的预测分析

为了分析隐含矩与已实现矩的相关性, 我们以一个月期限方差互换和偏度互换为例, 将各变量间的相关性总结于表 4-6:

表 4-6 一个月期限的各变量间的相关性

变量	V ^L	RV	XV	skew	rskew	XS
V ^L	1	0.646 (****)	-0.077 (0.394)	0.399 (****)	0.037 (0.679)	-0.026 (0.774)
RV		1	-0.668 (****)	0.277 (0.002)	-0.286 (0.001)	-0.436 (****)
XV			1	-0.109 (0.227)	0.772 (****)	0.861 (****)
skew				1	0.517 (0.017)	-0.069 (0.444)
rskew					1	0.959 (****)
XS						1

注：括号项为 p value,****表示小于 0.0001.

通过表 4-6，我们可以发现已实现方差与隐含方差，已实现偏度与隐含偏度之间存在正相关性，反映了隐含矩可能对已实现矩具有预测作用。另外方差互换空头收益 XV 和偏度互换多头收益 XS 之间存在相关性，说明二者间可能存在某些相同的定价因子信息。

我们知道，根据 3.2.1 节的讨论，隐含方差和隐含偏度在风险中性定价测度 Q 下分别是对已实现方差和已实现偏度的无偏期望。因此我们进行以下两个回归：

$$\begin{aligned} rskew_t &= \alpha_0 + \alpha_1 skew_t + u_t \\ RV_t &= \alpha_0 + \alpha_1 V_t^L + u_t \end{aligned} \quad (4.13)$$

出于对无偏期望的考虑，我们对每个回归方程均做了参数限制检验：

$$\alpha_0 = 0, \alpha_1 = 1;$$

回归结果如表 4-7:

表 4-7 回归方程 4.13 的回归结果

变量	常数项	V^L	skew	$F(\alpha_0 = 0, \alpha_1 = 1)$
rv	-0.004 (-0.55)	0.841*** (9.37)		4.51
rskew	-0.207 (-1.09)		0.524*** (5.32)	12.76

注：括号内为 t 值，表格形式需调整。

从结果来看，隐含矩对于已实现矩是具有预测作用的，但 F 统计量均排除了无偏期望的假设。这给了我们很好的启示。在一个有效的期权市场，期权价格应该能够反映投资者对标的股票或指数未来分布的风险中性分布预期，并且该风险中性分布预期在一定程度上能够预测该标的股票或指数的实际分布。这说明了投资者能够有效利用期权组合来对冲标的股票或指数的实际分布矩的变动风险。但由于实际分布矩变动并不是完全可预测的，投资者为对冲矩变动风险必然要付出额外的风险溢价。

4.3.2 方差互换收益和偏度互换收益的关系

从表 4-6 可以看出，XV 和 XS 的相关性达到 0.86，方差互换空头的收益与偏度互换多头的收益存在高度相关，并且由 4.2.3 的分析讨论可知，市场超额收益 xm 均对二者具有解释作用，因此，我们建立如下两个回归方程：

$$\begin{aligned} XV_t &= \alpha_0 + \alpha_1 xm_t + \alpha_2 XS_t + u_t \\ XS_t &= \beta_0 + \beta_1 xm_t + \beta_2 XV_t + u_t \end{aligned} \quad (4.14)$$

由于 XV 和 XS 的高度相关性，因此两个回归方程的残差项可能存在相关，为提高估计有效性，我们利用 Seemingly Unrelated Regression(SUR)方法来联合估计这两个方程，结果如表 4-8：

表 4-8 回归方程 4.14 的回归结果

	截距项	XV	XS	xm	调整 R^2
XV	-0.918*** (-14.61)		1.508*** (24.01)	2.443*** (5.03)	0.80
XS	0.621*** (28.92)	0.630*** (24.01)		-1.422*** (-4.11)	0.74

注：括号内为 t 统计量

可以看出，将 XV 对市场超额收益 xm 与 XS 进行回归时，较于 4.10 的回归结果，调整 R^2 由 0.40 增加至 0.80，并且 XS 回归系数高度显著为正。同样，在 XS 的回归中，在增加 XV 回归变量后，调整 R^2 由 0.34 增加到 0.74，XV 变量回归系数仍高度显著为正。在两个模型中，市场超额收益率 xm 系数仍然保持统计显著。因此，从 XV 和 XS 高度正相关和方程 4.14 的高拟合优度可以看出，方差变动和偏度变动有着共同驱动的风险因子，同时也注意到，回归方程 4.14 中的回归截距项均显著不为零，这说明方差变动和偏度变动也各自拥有着显著的，独立的驱动因子。

4.3.3 方差互换收益与偏度互换收益的期限结构分析

4.3.3.1 简单分析

前文分析了一个月期限的互换合约的隐含矩和已实现矩的预测关系，和方差互换空头 XV 和偏度互换多头收益 XS 的解释性及二者的相互关系，本小节将进一步考察方差风险溢酬和偏度风险溢酬和 XV, XS 的期限结构。

实际上，期权市场上每天有多个期限的期权合约在交易，不同期限的期权价格反映了投资者对于市场指数在不同期限风险中性分布的一个预期。因此，我们想通过提取每个期限的隐含方差和隐含偏度，及已实现方差和已实现偏度，来了

解投资者对于方差风险溢价和偏度风险溢价的期限结构。因为期权的到期日是固定的，期权的期限会随着时间的过去而逐渐变短直至到期。而在每个月第三个星期六后的首个交易日，我们拥有的期权期限也不尽相同。我们选择那些在某月同时有 1,3,6,9,12 月五个期限的期权合约来进行分析。期限为 1 个月的简单统计量在 4.2.1 小节已有所展示，但为了对比，我们还是将其包含在表 4-9 中（注意，这里样本已经不同于 4.2.1 中的分析）：

表 4-9 不同期限下的隐含矩与已实现矩均值

	1 月	3 月	6 月	9 月	12 月
V^L	0.0541 (6.42)	0.0575 (7.12)	0.0566 (7.58)	0.0556 (7.76)	0.0538 (8.42)
RV	0.0418 (2.55)	0.042 (3.26)	0.0414 (3.98)	0.041 (4.55)	0.0404 (5.00)
skew	-1.9185 (-16.21)	-1.8285 (-10.16)	-1.4304 (-23.46)	-1.3044 (-18.09)	-1.2442 (-18.82)
rskew	-0.229 (-2.74)	-0.4747 (-2.77)	-0.5724 (-3.23)	-0.5934 (-3.83)	-0.6523 (-4.59)

注：括号内为 t 值， V^L 和 RV 均进行了年化处理。

由表 4-9 可以看出，对于各个期限的隐含方差均比已实现方差要大，均展现出负的方差风险溢价。隐含方差和已实现方差均在 3 个月期限时为最大，在 6-12 月逐渐减小，但减小幅度并不大。收益率在短期限通常波动要比长期限（相对而言）要来的大，已实现方差的期限特征已经说明了这一点。因此，投资者就会对短期限的收益不确定更为厌恶，在对冲相应期限方差变动风险时，购买短期限的虚值期权更为积极，从而隐含方差就展现出同已实现方差相同的期限特征。

由表 4-9 还可以看到，隐含偏度在各个期限均小于-1，且均小于相应的期限的已实现偏度，均展现了正的偏度风险溢价。同时注意到，隐含偏度和已实现偏度随着期限的增长而增大，说明了长期限的收益率风险中性分布和实际分布均更正偏一些。收益率的偏度主要由该收益率的方差和收益率的负相关所引起（常称为杠杆效应），由于长期限收益率的已实现方差要更小一些（分布更集中一些），所以这种负相关关系就可能比短期限来地弱，因此其已实现偏度也要更正一些。

根据 BKM(2003), 隐含偏度反映了隐含波动率曲线的偏斜程度, 也就反映了虚值看跌期权与虚值看涨期权的相对定价程度。隐含偏度越负, 虚值看跌期权相对虚值看涨期权定价越高。因此, 由隐含偏度的期限特征可以知道, 虚值看跌期权相对虚值看涨期权的溢价程度随着期限的增长而有所减小。

4.3.3.2 主成分分析

由 4.2.3 的分析可以知道, 一个月的方差互换空头收益 XV 和偏度互换多头收益 XS 存在高度的相互解释性, 二者的风险驱动因子有重叠也有不一致的部分。因此, 本小节想在期限结构上去寻找重叠和不一致的因子。

下表的描述了方差互换空头收益 XV 和偏度互换多头收益 XS 分别在 1,3,6,9,12 月五个期限的相关性, 可以看出 XV 和 XS 的各个期限收益均显著的正相关。

表 4-10 方差互换空头收益(XV)和偏度互换多头收益(XS)各期限的相关性

	XV_1m	XV_3m	XV_6m	XV_9m	XV_12m
XV_1m	1	0.919 (****)	0.620 (0.0002)	0.501 (0.0035)	0.440 (0.0116)
XV_3m		1	0.733 (****)	0.609 (0.0002)	0.485 (0.0049)
XV_6m			1	0.888 (****)	0.708 (****)
XV_9m				1	0.882 (****)
XV_12m					1
	XS_1m	XS_3m	XS_6m	XS_9m	XS_12m
XS_1m	1	0.974 (****)	0.838 (****)	0.487 (0.0047)	0.508 (0.003)
XS_3m		1	0.841 (****)	0.499 (0.0036)	0.496 (0.0039)
XS_6m			1	0.746 (****)	0.714 (****)
XS_9m				1	0.601 (0.0003)
XS_12m					1

注: 括号项为 p 值, ****代表小于 0.0001.

高度相关的多维变量间可以通过主成分的方法进行降维,进而提取出正交的因子。由表 4-11 可以看到,对 XV 和 XS 的期限结构进行主成分分析,二者的三个主成分分别累计方差 97.77%和 97.79%,因此我们对 XV 和 XS 提取三个因子,它们如图 4-6 和图 4-7:

表 4-11 XV 和 XS 主成分累计方差占比

主成分	XV			XS		
	Initial Eigenvalues			Initial Eigenvalues		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	3.724	74.487	74.487	3.713	74.256	74.256
2	0.909	18.178	92.665	0.776	15.528	89.784
3	0.255	5.106	97.770	0.400	8.009	97.793
4	0.065	1.305	99.075	0.085	1.693	99.486
5	0.046	0.925	100.000	0.026	0.514	100.000

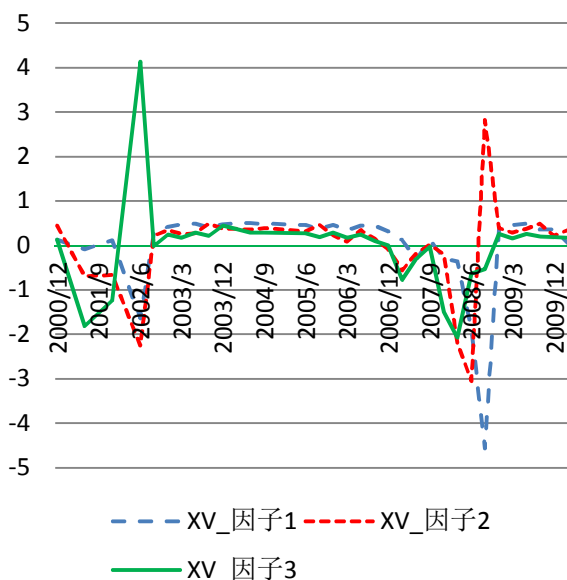


图 4-6 XV 所提取的三个因子

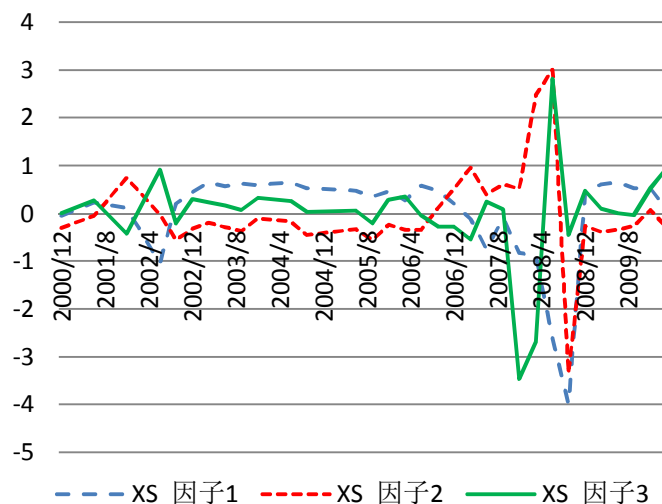


图 4-7 XS 所提取的三个因子

可以看出，方差互换空头收益（XV）和偏度互换多头收益（XS）第一个因子时间趋势十分一致，第三个因子的一致性次之。注意到，二者在第二个因子上存在很大的差异，基本上时间趋势上互为相反，当 XV 的第二个因子为正时，XS 的第二个因子却为负。

再从表 4-12 可以看出，XV 和 XS 的 5 个期限之于三个因子的载荷，在第一个因子的载荷均为正，且载荷变化不大，因此称第一个因子为水平因子。同样，在第三个因子的载荷系数变化方向均是先减后增，我们称之为凸度因子。具有较大差异的是，二者在第二个因子的载荷变化存在相反变化。XV 在第二个因子的载荷呈现递减特征，相反 XS 在第二个因子的载荷则呈现出递增的趋势，基于这两种变化，我们称第二个因子为斜率因子。

因此，我们从方差互换空头（XV）和偏度互换多头（XS）的收益期限结构提取三个因子，证实了 4.2.3 节所讨论的初步结论，方差风险因子和偏度风险因子有一致的水平因子和凸度因子，而斜率因子而完全不同。

表 4-12 XV 和 XS 各期限对三个因子的载荷

原始变量	主成分		
	1	2	3
XV_1m	0.215	0.612	0.643
XV_3m	0.232	0.51	-0.075
XV_6m	0.248	-0.139	-1.344
XV_9m	0.243	-0.422	-0.274
XV_12m	0.219	-0.517	1.272
XS_1m	0.243	-0.529	0.054
XS_3m	0.243	-0.529	-0.019
XS_6m	0.260	0.041	-0.096
XS_9m	0.205	0.616	-1.070
XS_12m	0.204	0.589	1.158

4.4 风险溢酬的应用

前文基于互换合约的分析框架，提取出隐含方差、隐含偏度、已实现方差、已实现偏度的时间序列，本节考虑如何它们的应用。

4.4.1 风险厌恶系数的估计

如 Cocharne 所述，在现实测度下，随机贴现因子（通常也成为定价核，本文不对它们进行区分）是定价的基础。通常，随机贴现因子并不可直接观测，需要通过设定具体形式，借用计量工具来进行估计。本小节借鉴 Bakshi and Madan(2006)的理论推导结果，利用在互换合约框架下提取出的隐含二阶，三阶矩时间序列，通过设定随机贴现因子为指数形式，估计出相应的参数——风险厌恶系数。

首先我们先就 Bakshi and Madan(2006)理论方法进行简单的说明：

我们定义市场指数 $S(t)$ 在 t 其至 $t+\tau$ 的收益为 $R(t, t+\tau) \equiv \ln(S(t+\tau, t) / S(t))$ ，为叙述方便，我们将其简记为 R ，并把该收益在现实分布的概率密度记为 $p(R)$ ，在风险中性中的分布记为 $q(R)$ ，根据 Harrion and Kreps(1979)，我们可以定义定

价核 $m(R) = \frac{q(R)}{p(R)}$ ，显然这与 Cocharne 中资产价格定价公式 $1 = E(mR)$ 一致。显

然，如果将 $q(R)$ 进行标准化，我们有：

$$q(R) = \frac{m(R)p(R)}{\int_R m(R)p(R)d(R)}, \text{ 如果 } m(R) = a > 0, \text{ 则可知 } q(R) = p(R), \text{ 不存在风险厌恶。}$$

根据 Bakshi and Madan(2006), 我们有以下定理：

定理 2. 假设我们通过定价核 $m(R)$ 来对投资者的行为进行建模，我们对 $m(R)$ 在 0 点进行泰勒展开，我们将会：

$$m(R) \approx 1 - A_1 R + \frac{1}{2} A_2 R^2 + O(R^3) \quad (4.15)$$

其中 $m(0)=1$, $A_1 \equiv -\frac{\partial m}{\partial R} \Big|_{R=0}$, $A_2 \equiv -\frac{\partial^2 m}{\partial R^2} \Big|_{R=0}$, 那么我们可以得到如下重要结论：

$$\frac{\sigma_m^2(t, \tau) - \sigma_p^2(t, \tau)}{\sigma_p^2(t, \tau)} \approx -A_1 \sigma_p(t, \tau) * \text{Skew}_p(t, \tau) + \frac{A_2}{2} \sigma_p^2(t, \tau) * (\text{Kurt}_p(t, \tau) - 1 - \frac{2(A_1)^2}{A_2}) \quad (4.16)$$

其中 $\text{Skew}_p(t, \tau)$, $\text{Kurt}_p(t, \tau)$ 分别是指数收益率 R 在实际分布下的偏度和峰度。

我们自然想到利用方差互换和偏度互换的构造，可以较好估计出隐含方差，已实现方差，已实现偏度的优点，加上我们用历史数据估计出现实矩的峰度，来估计 A_1 和 A_2 ，从而可以估计出定价核 $m(R)$ 对收益率 R 的一阶和二阶导数值。

举例来说，我们假定定价核形式为： $m(R) = e^{-\gamma R}$ ，自然有

$A_1 = \gamma$, $A_2 = \gamma^2$ 和 $\frac{A_1^2}{A_2} = 1$ ，因此我们可以得到如下：

$$\frac{\sigma_m^2(t, \tau) - \sigma_p^2(t, \tau)}{\sigma_p^2(t, \tau)} \approx -\gamma \sigma_p(t, \tau) * \text{Skew}_p(t, \tau) + \frac{\gamma^2}{2} \sigma_p^2(t, \tau) * (\text{Kurt}_p(t, \tau) - 3) \quad (4.17)$$

因此可以看出 R 的风险中性方差与实际分布方差的差同 R 在实际分布的波动率，偏度和超出正太分布的峰度有关。概括地讲，这实际上反映了投资者对 R 实际波动变动增大， R 实际分布更加负偏及极端事件概率增大的厌恶一种补偿。因此，我们可以根据前文的结果，再额外估计 $\text{Kurt}_p(t, \tau)$ ，来估计风险厌恶系数 γ 。我们利用广义矩估计（GMM）的方法，来估计 γ 。由于用指数收益的历史数据来估计 $\text{Kurt}_p(t, \tau)$ ，根据 Jackwerth and Rubinstein(1996)，如果用相对较短的历史数据（如一个月）来估计实际分布的高级 $\text{Kurt}_p(t, \tau)$ ，则 $\text{Kurt}_p(t, \tau)$ 会偏低。因此，作为稳健性，我们分别用 60 天，90 天，120 天内的收益率数据来估计 γ 来进行对比。具体地，我们定义残差项 $\varepsilon(t+1)$ 如下：

$$\varepsilon(t+1) \equiv \frac{\sigma_m^2(t+1) - \sigma_p^2(t+1)}{\sigma_p^2(t+1)} + \gamma \sigma_p(t+1) * \text{Skew}_p(t+1) - \frac{\gamma^2}{2} \sigma_p^2(t+1) * (\text{Kurt}_p(t+1) - 3) \quad (4.18)$$

我们知道，常数项与滞后的隐含方差 $\sigma_m^2(t)$ 均与 $\varepsilon(t+1)$ 正交，因此我们将工具变量选为 $Instr = \{\text{常数}t, \sigma_m^2(t)\}$ ，这样根据正交性条件 $E\{\varepsilon(t+1) \otimes Z(t)\} = 0$ ，得到：

$$g_T[\gamma] \equiv \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T [\varepsilon(t+1) \otimes Z(t)] \tag{4.19}$$

$$J_T \equiv n * \arg \min_{\gamma} g_T' W_T g_T$$

从而得出 γ ，具体结果如表 4-13：

表 4-13 方程 4.18 的 GMM 估计结果

Gamma 估计值	t 值	P value	J	P value for J	天数
5.862	3.13	0.0022	0.198	0.656	60
4.963	3.22	0.0017	0.0334	0.854	90
4.112	3.48	0.0007	0.226	0.635	120

注：P value for J 是根据 $\chi^2(1)$ 计算出来。

从表 4-13 可以看出，利用 60,90,120 天的指数收益数据， γ 的估计值虽有些偏差，但均在 4-6 之间，且 γ 均高度显著，同时由 J 值的 p 值可以看出，我们不能拒绝该模型的设定，因此矩条件是设定正确的。我们利用隐含矩和已实现矩能够较准确的估计出投资者的风险厌恶系数，为利用估计出来系数 γ 做其它相关研究提供了一种基础性的思路。另外，这种提取方法，简单方便，不同于 Bliss and Panigirtzoglous(2004),其通过从期权价格中提取风险中性密度，通过寻找能够使得对实际概率密度的预测能力最好的情况下的 γ ，计算量要大地多。

4.4.2 方差风险，偏度风险与横截面收益

由前文的讨论，我们知道，方差风险溢价和偏度风险溢价是显著存在的，方差互换收益和偏度互换收益显著不为 1，方差变动和偏度变动既有共同的风险

因子驱动，也有独立的风险因子。并且，由 4.2.3 小节可知，方差互换收益和偏度互换收益确实为新的风险定价因子。从 4.20 式可以看出，（同理于方差互换收益），方差互换空头（XV）和偏度互换多头（XS）实际上分别度量了在实际分布下，二者同随机贴现因子的协方差。因此利用二者同随机贴现因子的系统性关系，我们可以试着检验方差风险因子，偏度风险因子是否在横截面上被定价，即对于横截面股票收益存在显著的解释能力。

$$\begin{aligned}
 skew_{i,T} &= E_t^p \left(\frac{M_{i,T}}{E_t^p[M_{i,T}]} rskew_{i,T} \right) \\
 &= E_t^p (m_{i,T} rskew_{i,T}) \\
 \Rightarrow 1 &= E_t^p \left(m_{i,T} \frac{rskew_{i,T}}{skew_{i,T}} \right) \\
 &= E_t^p \left(\frac{rskew_{i,T}}{skew_{i,T}} \right) + cov_t^p \left(m_{i,T}, \frac{rskew_{i,T}}{skew_{i,T}} \right)
 \end{aligned} \tag{4.20}$$

我们选取美国三大证券交易所（纽约证券交易所 NYSE, 美国证券交易所 AMEX, 纳斯达克交易所 NASDAQ）的上市股票数据，同时进一步限定那些在期权数据样本期均有交易的股票，数据来源于 CRSP 数据库。鉴于 XS 和 XV 的高度相关性，我们首先分别将 XV 对市场超额收益 xm , XS 对 xm 和 XV（不加截距项）进行回归，提取残余 V_t 和 Z_t 序列。

$$\begin{aligned}
 XV_t &= \alpha_1 xm_t + u_t \\
 XS_t &= \beta_1 xm_t + \beta_2 xv_t + u_t
 \end{aligned} \tag{4.21}$$

然后，我们对每只股票计算在互换相应时间区间的月度收益率 $R_{i,t}$ ，在样本期间内建立如下回归方程：

$$R_{i,t} = \alpha_i + \beta_1 xm_t + \beta_2 V_t + \beta_3 Z_t + u_{i,t} \tag{4.22}$$

分别对 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 按小到大分成五组，计算不同分组下的平均 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ ，我们得到如表-14 所示结果：

表 4-14 不同分组下的平均 beta

分组	β_1	β_2	β_3
1	0.181*** (27.4)	-0.044*** (-42.5)	-0.106*** (-7.23)
2	0.529*** (78.53)	-0.003*** (-9.93)	-0.042*** (-8.48)
3	0.786*** (76.75)	0.020*** (7.84)	-0.017*** (-5.63)
4	1.068*** (69.21)	0.0432*** (4.85)	0.008*** (4.29)
5	1.631*** (21.34)	0.097*** (6.64)	0.052*** (8.52)

由表 14 可以看出，分别对 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 进行分组，各分组下的平均系数均显著异于 0，说明了市场超额因子，方差风险因子和偏度风险因子在横截面是被定价的。在稳健性检验上，我们加入 Fama and French(1997)三因子中 smb 与 hml 因子及 Carhart(1997)的 momentum 因子进行回归，结论仍是一致的。

第五章 结论与展望

5.1 结论

本文在以互换合约统一框架下，构建方差互换和偏度互换合约，提取方差风险溢酬和偏度风险溢酬。具体而言，我们利用互换合约的固定方提取期权隐含方差和隐含偏度，再利用互换合约的浮动方提取已实现方差和已实现偏度，将已实现方差与隐含方差之差，已实现偏度与隐含偏度之差界定为方差风险溢酬和偏度风险溢酬。利用 S&P500 指数期权数据，本文得出了以下几个结论：

(1) 方差风险溢酬显著为负，偏度风险溢酬显著为正。通过互换合约的构造，我们发现方差互换隐含方差显著大于指数收益率的已实现方差，偏度互换隐含偏度显著小于已实现偏度。从量上来看，方差风险溢酬平均占隐含方差的 28.59%，偏度风险溢酬平均占隐含偏度的 83.12%。由于方差风险溢酬和偏度风险溢酬的高度显著性，在样本期内，每期 1 美元名义本金的方差互换空头和偏度互换多头策略，在样本期末可累计收益 25.3 和 90.9 美元。

(2) 基于该互换合约的框架下，虽然隐含方差和隐含偏度采取近似算法，但二者能够较好地捕捉真实隐含方差和隐含偏度的时间序列特征。

(3) 方差互换空头收益 XV 和偏度互换多头收益 XS 无法被 Fama-French(1993) 市值因子(SMB)、账面市值比因子(HML), Carhart(1997) 动量因子和宏观变量等所解释，但二者同市场超额收益 xm 呈正相关。

(4) 隐含方差和隐含偏度分别对已实现方差和已实现偏度具有预期作用，但隐含方差和隐含偏度分别并不是对已实现方差和已实现偏度无偏期望。

(5) 方差互换空头收益 XV 和偏度互换多头收益 XS 高度相关，在市场超额收益 xm 的基础上，在 $XV(XS)$ 对 xm 的回归方程中，加入 $XS(XV)$ 回归变量，调整 R^2 由 0.4(0.34) 增加到 0.8(0.74)，解释能力显著增强。同时我们发现，在各自回归方程中，常数项均高度显著，这说明了方差互换收益无法用偏度互换收益完全对冲。

(6) 本文分析了方差风险溢价和偏度风险溢价在 1,3,6,9,12 月的期限结构特征,发现在上述期限中,方差风险溢价均显著为负和偏度风险溢价显著为正。隐含方差和已实现方差在短期较大,在 6-12 月期呈现下降趋势,但减小幅度并不大。隐含偏度与已实现偏度随期限增长而增大,反映了投资者更倾向于对短期收益变动不确定及市场出现极端下降的厌恶。

(7) 通过对方差互换空头收益和偏度互换多头收益的期限结构进行主成分分析,发现方差互换空头收益和偏度互换多头收益有着一致的水平因子和凸度因子,却拥有截然不同的斜率因子。

(8) 利用隐含方差,已实现方差和已实现偏度,再结合实际分布的峰度估计,我们发现在随机贴现因子为指数形式的假定下,投资者相对风险厌恶系数大致在 4-6 之间,但该估计会随实际分布的峰度的估计样本窗口而有所波动,给其他研究提供数值参考。

(9) 我们发现方差风险因子与偏度风险因子均在横截面被定价。我们通过对方差(偏度)风险因子载荷进行分组,求出每组下的平均载荷,发现每组载荷均显著不为 0。在控制了 Fama and French(1993)市值因子(SMB)、账面市值比因子(HML), Carhart(1997)动量因子等传统因子后,该结论仍是稳健的。

5.2 研究展望

但限于本人知识有限及数据取得的局限性,本人认为将来还可从以下几方面来对风险溢价作更深入的研究:

(1) 峰度风险溢价的研究。我们知道收益率的峰度反映了分布两端极端事件的发生概率,峰度的变化理论上应该是对投资者的投资集产生影响,因此应当有显著的风险溢价。当前研究仍是局限于利用 BKM(2003)提取隐含峰度的方法,若能从理论上创新合成峰度互换,那么对于系统性研究方差,偏度,峰度的风险溢价,了解投资者对各种矩的预期、期限差异,将是极具吸引力的。

(2) 对于个股期权的有限性。个股期权和个股价格其实会综合反映该个股的资本,规模,行业前景及市场预期情况,因此结合这二者的数据,考察各个

矩的风险溢价特征，看涨看跌期权的相对定价，以及寻求建立期权与股票相结合的交易策略，都将具有十分重要的经济意义。

(3) 风险中性偏度实际上反映了虚值看跌期权相对定价高低的事实，如果拥有股指期货数据，实际上可以利用风险中性偏度值的变动，动态调整期权和期货组合头寸，对于分析研究上争议很久的看跌期权收益异象具有实证意义。

(4) 方差互换和偏度互换在理论上实现了重大突破，可以考虑在实践中，利用期权和指数远期合约（或期货合约）对二者进行动态复制，考虑成本及保证金要求等现实条件下，该复制组合的收益。

参考文献

- [1] Amaya D, Christoffersen P, Jacobs K, et al. Does Realized Skewness and Kurtosis Predict the Cross-Section of Equity Returns?[J]. Available at SSRN 1785736, 2011.
- [2] Andersen T G, Bollerslev T, Diebold F X, et al. Modeling and forecasting realized volatility[J]. *Econometrica*, 2003, 71(2): 579-625.
- [3] Ang A, Hodrick R J, Xing Y, et al. The cross - section of volatility and expected returns[J]. *The Journal of Finance*, 2006, 61(1): 259-299.
- [4] Ang A, Hodrick R J, Xing Y, et al. High idiosyncratic volatility and low returns: International and further US evidence[J]. *Journal of Financial Economics*, 2009, 91(1): 1-23.
- [5] Arditti F D. Risk and the required return on equity[J]. *The Journal of Finance*, 1967, 22(1): 19-36.
- [6] Bakshi G, Madan D. Spanning and derivative-security valuation[J]. *Journal of Financial Economics*, 2000, 55(2): 205-238.
- [7] Bakshi G, Madan D. A theory of volatility spreads[J]. *Management Science*, 2006, 52(12): 1945-1956.
- [8] Bakshi G, Kapadia N, Madan D. Stock return characteristics, skew laws, and the differential pricing of individual equity options[J]. *Review of Financial Studies*, 2003, 16(1): 101-143.
- [9] Bakshi G, Kapadia N. Delta - hedged gains and the negative market volatility risk premium[J]. *Review of Financial Studies*, 2003, 16(2): 527-566.
- [10] Bali T, Demirtas K O, Atilgan Y. Implied volatility spreads and expected market returns[J]. Available at SSRN 1782625, 2011.
- [11] Bali T, Murray S. Does Risk-Neutral Skewness Predict the Cross-Section of Equity Option Portfolio Returns?[J]. Available at SSRN 1993321, 2012.
- [12] Bali T, Zhou H. Risk, uncertainty, and expected returns[J]. Available at SSRN 2020604, 2012.
- [13] Barberis N, Huang M. Stocks as lotteries: The implications of probability weighting for security prices[R]. National Bureau of Economic Research, 2007.

-
- [14] Bliss R R, Panigirtzoglou N. Option - implied risk aversion estimates[J]. *The Journal of Finance*, 2004, 59(1): 407-446.
- [15] Bollerslev T, Tauchen G, Zhou H. Expected stock returns and variance risk premia[J]. *Review of Financial Studies*, 2009, 22(11): 4463-4492.
- [16] Boyer B, Mitton T, Vorkink K. Expected idiosyncratic skewness[J]. *Review of Financial Studies*, 2010, 23(1): 169-202.
- [17] Brunnermeier M K, Gollier C, Parker J A. Optimal beliefs, asset prices, and the preference for skewed returns[R]. *National Bureau of Economic Research*, 2007.
- [18] Carhart M M. On persistence in mutual fund performance[J]. *The Journal of finance*, 1997, 52(1): 57-82.
- [19] Carr P, Wu L. Variance risk premiums[J]. *Review of Financial Studies*, 2009, 22(3): 1311-1341.
- [20] Chernov M, Ghysels E. A study towards a unified approach to the joint estimation of objective and risk neutral measures for the purpose of options valuation[J]. *Journal of financial economics*, 2000, 56(3): 407-458.
- [21] Cochrane J H. *Asset pricing*[J]. 2001.
- [22] Conine T E, Tamarkin M J. On diversification given asymmetry in returns[J]. *The Journal of Finance*, 1981, 36(5): 1143-1155.
- [23] Conrad J, Dittmar R F, Ghysels E. Ex ante skewness and expected stock returns[J]. *The Journal of Finance*, 2013, 68(1): 85-124.
- [24] Coval J D, Shumway T. Expected option returns[J]. *The journal of Finance*, 2001, 56(3): 983-1009.
- [25] Cox J C. The constant elasticity of variance option pricing model[J]. *Journal of Portfolio Management*, 1996, 23: 15-17.
- [26] Dittmar R F. Nonlinear pricing kernels, kurtosis preference, and evidence from the cross section of equity returns[J]. *The Journal of Finance*, 2002, 57(1): 369-403.
- [27] Drechsler I, Yaron A. What's vol got to do with it[J]. *Review of Financial Studies*, 2011, 24(1): 1-45.

- [28] Duan J C, Wei J. Systematic risk and the price structure of individual equity options[J]. *Review of Financial Studies*, 2009, 22(5): 1981-2006.
- [29] Dupire B. Pricing with a smile[J]. *Risk*, 1994, 7(1): 18-20.
- [30] Exchange C B O. The CBOE volatility index–VIX[J]. White Paper, 2009.
- [31] Fama E F, French K R. Common risk factors in the returns on stocks and bonds[J]. *Journal of financial economics*, 1993, 33(1): 3-56.
- [32] Friesen G C, Zhang Y, Zorn T S. Heterogeneous Beliefs and Risk-Neutral Skewness[J]. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 2012, 47(4): 851.
- [33] Green T C, Hwang B H. IPOs as lotteries: Expected skewness and first-day returns[R]. Working Paper (December), Emory University, 2009.
- [34] Harrison J M, Kreps D M. Martingales and arbitrage in multiperiod securities markets[J]. *Journal of economic theory*, 1979, 20(3): 381-408.
- [35] Harvey C R, Siddique A. Conditional skewness in asset pricing tests[J]. *The Journal of Finance*, 2000, 55(3): 1263-1295.
- [36] Jiang G J, Tian Y S. The model-free implied volatility and its information content[J]. *Review of Financial Studies*, 2005, 18(4): 1305-1342.
- [37] Kraus A, Litzenberger R H. SKEWNESS PREFERENCE AND THE VALUATION OF RISK ASSETS*[J]. *The Journal of Finance*, 1976, 31(4): 1085-1100.
- [38] Kumar A. Who gambles in the stock market?[J]. *The Journal of Finance*, 2009, 64(4): 1889-1933.
- [39] Malkiel B G, Xu Y. Idiosyncratic risk and security returns[J]. University of Texas at Dallas (November 2002), 2002.
- [40] Merton R C. An intertemporal capital asset pricing model[J]. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1973: 867-887.
- [41] Merton R C. A simple model of capital market equilibrium with incomplete information[J]. *The Journal of Finance*, 1987, 42(3): 483-510.
- [42] Mitton T, Vorkink K. Equilibrium underdiversification and the preference for skewness[J]. *Review of Financial Studies*, 2007, 20(4): 1255-1288.

- [43] Neuberger A. Realized skewness[J]. *Review of Financial Studies*, 2012, 25(11): 3423-3455.
- [44] Neumann M, Skiadopoulos G. Predictable dynamics in higher order risk-neutral moments: Evidence from the S&P 500 options[J]. *Journal of Financial and Quantitative Analysis (JFQA)*, Forthcoming, 2012.
- [45] Pan J. The jump-risk premia implicit in options: Evidence from an integrated time-series study[J]. *Journal of financial economics*, 2002, 63(1): 3-50.
- [46] Ruf T. Limits to Market Making and the Skewness Risk Premium in Options Markets[J]. Available at SSRN 2023942, 2012.
- [47] Scott R C, Horvath P A. On the direction of preference for moments of higher order than the variance[J]. *The Journal of Finance*, 1980, 35(4): 915-919.
- [48] Xing Y, Zhang X, Zhao R. What does the individual option volatility smirk tell us about future equity returns?[J]. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 2010, 45(3): 641.
- [49] Young Chang B, Christoffersen P, Jacobs K. Market skewness risk and the cross section of stock returns[J]. *Journal of Financial Economics*, 2012.
- [50] 郑振龙, 汤文玉. 波动率风险及风险价格——来自中国 A 股市场的证据[J]. *金融研究*, 2011 (4): 143-157.
- [51] 刘杨树, 郑振龙, 张晓南. 风险中性高阶矩: 特征, 风险与应用[J]. *系统工程理论与实践*, 2012, 32(3): 647-655.

致谢

时光荏苒，在厦大的七年时光即将过去了。想起了这七年来学习和生活的点点滴滴，心中无限感慨。研究生的这三年，很多人对我的信任和帮助，给了我很大的动力，我无比感激。

首先，我要感谢导师郑振龙教授，感谢他在这三年来对我的信任和关心。郑老师那渊博的学识、敏锐的思维和严密的逻辑思维都让我感到无比钦佩。郑老师严谨的治学态度和乐观豁达的生活态度都给我在做人，做事上很大的启发。郑老师为人谦虚，平和，讲课深入浅出，是我们学习的标杆。

其次，我要感谢陈蓉教授，感谢她三年来对我在学习和找工作上的关心和支持。陈老师乐观开朗，平易近人，对待学生非常好，金工的每位学生都深刻感受到。我还要感谢金融系各位老师对我的栽培，你们诲人不倦，让我在这三年里在学业上有了很大的提升。

我还要感谢各位博士师兄，你们是我学习的榜样。刘杨树师兄，邓弋威师兄，吕凯师兄和王磊师兄学识丰富，经常悉心解答我们在学术上所遇到的困难。孙清泉师兄，陈焕华师兄在我论文写作上给予十分中肯的建议，谢谢你们。

感谢金工的每位同学，我们能从四面八方聚在一起，真是一种莫大的缘分。我们一起上课，赶作业，考试和实习的忙碌日子依然让我怀念。我们曾经一起快乐，悲伤，疯狂，一起为了心中的那份理想而努力奋斗。此外，我还要感谢金融系的其他同学们，一起打篮球，海边吃烧烤，唱歌，下象棋等其他各种活动真的很开心。感谢我的好友兼室友刘春海，王靖和黄增付同学给我在生活上的帮助，在我心情低落时给予我的支持和鼓励，我们一起谈人生，谈理想，互相调侃，虽然相处时间不是很长，但在这个小群体里，我们真的很和谐。感谢本科同学里的六人弟兄团，你们的支持和调侃让我对自己这三年的努力感到各种欣慰。

感谢我的母校，厦门大学，你是我们每个厦大人的骄傲。在漳州校区，本部，曾厝垵学生公寓学习和生活的点点滴滴，都在我人生最美好的年华里重重写下一笔。美丽的校园，宽松的校园文化，贴心的人文关怀，还有那令人羡慕的海景学生公寓，怎能叫我们不流连忘返。

最后，我要感谢我的父亲，母亲，兄长和表姐。父亲在我求学的路上给予我的精神动力是巨大的，在我成功的时候为我自豪，在我失败的时候勉励我。母亲在我生活上的关心无微不至，出门在外，最怀念母亲的饭菜。父母亲在这几年来，为我们兄弟俩勤恳工作，苍老了很多，每每看到他们脸上爬上的皱纹，我都感到心酸不已。表姐对我的学习，生活，工作上的事情关心很多，让我倍感温暖。我将继续努力，带着你们对我的期望，努力活出一份属于自己的精彩人生。

要感谢的人很多，恕我无法一一言谢，祝愿所有关心和支持我的师长，同学，朋友们在今后的工作，学习，生活中都能一切顺利！

2013年4月于曾厝垵学生公寓