

学校编码：10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号：15620101151947

UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

\_\_\_\_\_ 硕 士 \_\_\_\_\_ 学 位 论 文

## 隐含因子的信息含量

Information Content of the Hidden Factor

黄海峰

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：

论文答辩时间：

学位授予日期：

答辩委员会主席：\_\_\_\_\_

评 阅 人：\_\_\_\_\_

2013 年 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

期限溢酬对央行货币政策的制定，以及投资者的决策都具有重大的意义，因此寻找期限溢酬可预测性的本源成为了学术界关注的重点。经典的高斯仿射模型在该领域应用极广，但模型忽略了状态变量非马尔科夫过程可能带来的影响，得出了利率期限结构以外的信息无助于预测超额收益的结论。这与大量文献实证结果相佐，引起争论。

本文借鉴了 Duffee(2011)的研究思路，从理论上阐释了状态变量服从非马尔科夫过程的情形下，会出现部分信息对当前的利率曲线不会产生影响，但是会影响未来的超额收益。本文将模型中具有上述“隐藏”性质的变量定义为隐含因子。与以往研究期限溢酬可预测性的文献思路不同，在隐含因子的框架下，并非先验的设定状态变量为具体的宏、微观变量再进行验证，而是率先提取出对超额收益有解释作用的隐含因子，再反向挖掘它的经济内涵。因为隐含因子是剔除掉利率期限结构信息后残留下的所有预测信息，在理论上应当包含有比单个宏观变量更丰富的信息。这也为研究期限溢酬的可预测性提供了全新的思路。

本文采用了隐含因子的研究框架。首先通过方差比的计算，发现五因子模型的方差比仅为 0.41，很好的证实了隐含因子的存在性。接着从风险溢酬因子中剔除利率曲线信息后得到隐含因子。分别利用相关性检验、线性回归分析以及 VAR 模型的实证研究，证实了隐含因子的确包含有丰富的宏观经济信息：它同通货膨胀率、货币供应量等价格类指标有密切联系；另外汇率的信息尤其重要，可能和我国的货币政策和汇率制度有关。和期限溢酬研究结果不同的是，隐含因子与经济增长类指标联系较弱。最后本文探讨了隐含因子的应用前景，它对债市和股市都有一定预测作用，并对现行先行类指标有补充价值。

关键词：期限溢酬；隐含因子；信息含量

## Abstract

Term premium are important to central bank's monetary policy-making, as well as the decision-making of investors, so searching for the predictability of term premium become the focus of the attention of the academic. Classic Gaussian affine model is a very wide application in the field, but the model ignores the situation that the state variable does not need to obey Markov process, and concluded that information outside of the term structure of interest rates does not help predict excess returns. This is at odds with the vast literature empirical results caused controversy.

This article draws on the Duffee's (2011) research , theory interpretation of the state variables obey non-Markov process case, part of the information does not have an impact on the current interest rate curve, but it will affect the future excess returns. The model has the nature of the "hidden" variables defined as hidden factor. Unlike previous studies about predictability of term premium, in the framework of hidden factor, instead of setting state variables as specific macro and micro variables to verify, this article extracting the hidden factor which can explain the excess return, and then reverse to dig its economic connotation. Because hidden factor contains all the predictive information outside of the term structure, so it should contain more information than a single macro variable in theory. It also provides a new way of thinking of predictability of term premium.

This article adopted the hidden factor research framework. First I found that the variance ratio of the five-factor model is only 0.41, confirmed the existence of the hidden factor. Then excluded the interest rate information from the risk premium factor, we get the hidden factor. An empirical study of the correlation test, linear regression analysis and VAR model, confirmed that hidden factor does contain a wealth of macroeconomic information: it is closely linked with the rate of inflation, money supply and prices indicators. Furthermore, the information of exchange rate is particularly important; it may be explained by China's monetary policy and the exchange rate regime. Unlike the research of term premium, the connection between hidden factor and the indicators of economic growth rate is weak. Finally, I discussed

the application prospects of the hidden factor. It has the predictability of bond market and stock market, and may add values to the current leading indicators system.

**Keywords:** Term Premium; Hidden Factor; Information Content

## 目 录

<b>第一章 导论</b> .....	<b>11</b>
1.1 选题背景与意义.....	11
1.2 研究方法与主要结论.....	12
1.3 主要创新.....	13
1.4 全文框架结构.....	14
<b>第二章 文献综述</b> .....	<b>15</b>
2.1 期限溢酬的利率期限结构预测.....	15
2.2 期限溢酬的非利率期限结构预测.....	17
<b>第三章 理论基础</b> .....	<b>22</b>
3.1 期限溢酬.....	22
3.2 仿射模型.....	22
<b>第四章 实证分析</b> .....	<b>29</b>
4.1 数据描述.....	29
4.2 参数估计.....	29
4.3 隐含因子性质.....	31
4.4 隐含因子的信息含量.....	35
4.5 隐含因子的应用.....	43
4.6 本章结论.....	47
<b>第五章 结论与展望</b> .....	<b>48</b>
5.1 本文结论.....	48

5.2 后续研究.....	49
参考文献.....	51
致 谢 .....	54



## Contents

<b>Chapter1 Introduction .....</b>	<b>11</b>
<b>(1)Background and motivation.....</b>	<b>11</b>
<b>(2)Methods and main results .....</b>	<b>12</b>
<b>(3)Innovations.....</b>	<b>13</b>
<b>(4)Framework.....</b>	<b>14</b>
<b>Chapter2 Literature Review .....</b>	<b>15</b>
<b>(1)Predictability of interest curve.....</b>	<b>15</b>
<b>(2)Predictability of non interest curve .....</b>	<b>17</b>
<b>Chapter3 Theoretical Foundation.....</b>	<b>22</b>
<b>(1)Term premium.....</b>	<b>22</b>
<b>(2)Affine model.....</b>	<b>22</b>
<b>Chapter4 Empirical Analysis.....</b>	<b>29</b>
<b>(1)Data description .....</b>	<b>29</b>
<b>(2)Parameter estimation.....</b>	<b>29</b>
<b>(3)Nature of hidden factor .....</b>	<b>31</b>
<b>(4)Information content of hidden factor.....</b>	<b>35</b>
<b>(5)Application of hidden factor .....</b>	<b>43</b>
<b>(6)Conclusion.....</b>	<b>47</b>
<b>Chapter5 Conclusion and Future Research .....</b>	<b>48</b>
<b>(1)Conclusion.....</b>	<b>48</b>

<b>(2)Future research.....</b>	<b>49</b>
<b>References .....</b>	<b>51</b>
<b>Acknowledgement .....</b>	<b>54</b>

## 第一章 导论

### 1.1 选题背景与意义

经典的预期理论认为，债券的超额收益是不可预测的，或者等价的认为期限溢酬为常数。但 Fama 和 Bliss (1987)、Campbell 和 Shiller (1991) 的实证研究却发现价差对债券的超额收益有预测作用。因此随着研究的深入，远期利率不再是纯预期理论下未来即期利率的无偏估计，还需要加上一个期限溢酬，并且它具有时变的特征。

正是因为期限溢酬的存在和它时变的特性，使得金融与宏观领域发生了重大的变化。央行不再能够仅仅通过调整短期利率来控制长期利率，这会忽略掉投资者对于长期投资的风险补偿。格林斯潘在 2004 年的加息中，针对长期利率不升反降的“谜团”(conundrum)时，就指出期限溢酬对货币政策产生的重要影响。随后 Kim 和 Wright (2005) 利用三因子仿射模型提取出期限溢酬对“谜团”现象从理论与实证中进行了解释。期限溢酬也同样对投资者的行为产生了重大影响。传统的长债短持与短债持有到期策略之间收益率不再相等，滚动投资与直接持有长债也不再是等价的投资策略。投资者也需要更好的把握期限溢酬的动向，对利率的变动有更深入的理解，才能更准确的指导投资。

期限溢酬如此重要，人们自然想寻求它可预测性的本源。最直接的思路是从利率期限结构上提取信息对超额收益进行预测，具有代表性的文献是 Cochrane 和 Piazzesi (2005)，作者利用远期利率的线性组合构造了 CP 因子，该因子对不同期限的超额收益预测的  $R^2$  在 30%-35%。而随着利率模型和研究方法的不断发展，高斯仿射模型在期限溢酬领域得到了广泛应用并成为该领域最经典的模型。然而高斯仿射模型的状态变量服从高斯马尔科夫过程，隐含的结论即是：当前的利率期限结构包含了关于未来利率变动的所有信息。因此利率期限结构之外的信息对于期限溢酬的预测没有帮助。但根据期限溢酬的概念，它本身是投资者所要求的风险补偿，而直觉上这又应当与各种宏观经济信息有联系，因此近年来众多学者也开始从利率期限结构以外的变量入手，去寻找对期限溢酬有解释力度和预测作用的因素。比如 Ang 和 Piazzesi(2003)在无套利的 VAR 框架下引入了宏观变

量,发现通货膨胀率和实体经济活动能够在很大程度上预测利率变动; Ludvigson 和 Ng (2009)对 132 个宏观、金融时间序列提取了主成分,发现代表实际和通胀的因子能够在 CP 因子的基础上提高 13%的预测能力。他们的实证结论都证实了利率期限结构以外的信息同样对超额收益有解释力度。实证结果与经典的高斯仿射模型的结论相冲突,我们该如何对其进行理论上的完善与解释呢?本文将结合 Duffee (2011) 的隐含因子框架对高斯仿射模型的设定形式进行探讨,阐释在放松状态变量服从马尔科夫过程条件下,可能带来的不同以往的结论。

另外总结当前利用宏、微观变量解释期限溢酬的主流文献的共同特点,都是先验的假定某些宏、微观变量会对期限溢酬有预测作用,然后再进行实证研究以验证。而由于研究的样本、期限、市场不同,往往最后得出的结论也有很大差异。所以虽然大量实证结论都表明了宏、微观信息对期限溢酬的影响,但目前的研究却并不完善。

先验设定变量的模型本身可能只包含了一部分宏观信息(也即是主观设定的部分),而且宏观变量本身存在统计的误差,另外像生活习惯、风险偏好的变化信息更是无法轻易观察,所以也给当前的研究带来了一定的困难。那么是否能够转换一下思维,率先提取出能够预测期限溢酬的一个综合的指标,该指标自然包含有丰富的预测信息,我们再反向的去寻找该指标所隐含的经济含义呢?沿着 Duffee (2011) 的隐含因子框架继续深入,也恰为研究此问题提供了一种崭新的思路。本文即是沿着这条思路研究中国市场上的期限溢酬问题,旨在探讨我国银行间市场上是否同样存在着利率期限结构以外的预测信息。如果存在,那么这些“隐藏”于利率曲线之外的预测信息到底和哪些宏、微观变量息息相关。

## 1.2 研究方法 with 主要结论

本文在 Duffee (2011) 的框架之下,以我国银行间国债市场为研究对象,探讨期限溢酬可预测性的本源。传统的高斯仿射模型虽然被广泛应用于利率期限结构的描述及期限溢酬的研究,但大多忽略了状态变量一旦不服从马尔科夫过程会带来影响,从而得出了当前利率期限结构包含了所有未来预测信息的结论。但大量的国内外实证文献揭示出,利率期限结构以外的信息同样对超额收益有预测作用。面对实证结果与高斯仿射模型理论相佐, Duffee (2011) 隐含因子的研究

框架对其进行了解释。在放松了状态变量服从马尔科夫过程的非必要假定后，从理论上阐释了隐含因子的性质，即“隐藏”于利率期限结构之外的信息的确能够对期限溢酬的变动起到重要影响。本文即是基于这样的理论基础，以我国银行间债券市场为研究对象，首先通过卡尔曼滤波方法估计出参数并过滤出状态变量，定义出用以衡量信息含量大小的方差比以验证隐含因子的存在性；其次在证实了隐含因子的存在，确定了状态变量的维数后，计算出特定风险补偿形式下的风险溢酬因子，该因子包含所有有关期限溢酬变动的信息；接着从中剔除利率曲线上的信息，余下的部分就是隐藏在利率期限结构之外的预测信息，即得到了本文将重点研究的隐含因子；然后对提取出的隐含因子分别同宏、微观变量进行了相关性检验、线性回归分析及 VAR 系统的分析，以发现隐含因子所具备的经济含义；最后对隐含因子的潜在应用价值进行了简单探讨。

根据文中所述研究思路与实证分析，本文最后得到了以下几点关键的结论：

1. 通过改变传统高斯仿射模型的状态变量设定形式，“隐藏”于利率曲线外对超额收益有解释力度的隐含因子在理论上成立。实证中经过方差比的计算，证实了五因子模型的确能够发现隐藏在利率期限结构之外的信息。它对当前的利率曲线影响甚微，但会影响期限溢酬的变动。

2. 经过三因子与五因子模型方差比的对比，以及与宏、微观变量的回归分析发现，常用的三因子仿射模型在研究期限溢酬时需更加谨慎。三因子模型能够对样本内的利率曲线进行很好的拟合，但对于预测会丧失很多信息。

3. 隐含因子的确包含有丰富的宏观经济信息，它同通货膨胀率、货币供应量等价格类信息有密切联系：隐含因子同 CPI 正相关、同货币供应量负相关，而和经济增长类指标联系较弱；另外汇率的信息尤其重要，隐含因子同汇率呈显著的负向关系，可能和我国的货币政策和汇率制度有关。

4. 关于隐含因子的应用，它对股票市场和债券市场具有一定的预测能力；并且基于其高频性、及时性、精确性的优势，可能会对当前的先行指标体系具有补充作用。

### 1.3 主要创新

本文采用了不同以往的研究思路，在期限溢酬的研究范畴下提取并挖掘了隐

含因子的信息含量。具体创新体现在以下几个方面：

1. 国内对于期限溢酬可预测性源头的研究都是集中在先设定变量，再进行实证检验的思路。而本文从逆向角度出发，首先提取出能够对期限溢酬变动产生影响的隐含因子，再反向寻求其中所拥有的信息含量。这也是国内第一次采用这样的研究思路在期限溢酬领域的尝试。

2. 本文的研究虽然基于 Duffee (2011) 理论基础，但得出的结论和研究的方法又有所不同。Duffee 的实证研究中宏观变量与隐含因子的联系不如预期，但在我国市场上的实证研究却发现了隐含因子中所包含的丰富宏观经济信息，汇率的作用尤其重要。并且在 Duffee 的研究中，解释变量没有映射到拥有具体经济含义的宏观变量和货币政策变量上，本文则直接具象的分析隐含因子到底同哪些宏、微观变量具有紧密联系，在经济含义上更具说服力。

3. 本文对隐含因子的应用价值进行了探讨。实证研究中证实了隐含因子对债券市场和股票市场的预测作用；同时它与先行类指标具有潜在联系，可能会是对现行的先行指标体系很好的补充。

## 1.4 全文框架结构

本文的结构安排如下：第二章对期限溢酬的可预测性和解释进行了文献的回顾，介绍了期限溢酬研究的思路与脉络。第三章着重介绍了本文研究的理论基础，阐述了本文所要研究的期限溢酬的定义及形式，并详细分析了提取隐含因子的理论模型与框架。第四章是对我国银行间国债市场的实证检验。利用第三章中推导的模型提取并验证隐含因子的性质，并重点研究它的各种宏、微观信息含量，旨在判断哪些利率期限结构以外的信息能对隐含因子及期限溢酬的变动作出解释。第五章是全文的总结与后续研究方向。

## 第二章 文献综述

由于期限溢酬的重要性，所以关于它的可预测性研究自然也是学术界关注的焦点。为了分析期限溢酬背后的可预测性来源及改善预测效果，从最初的直接从利率期限结构出发进行信息提取，发展到引入宏观经济变量赋予它更好的经济含义，近来还涌现出不少非宏观的其它变量进行预测。研究的方法模型也在不断改善，主流文献主要利用 OLS、VAR 和仿射模型进行研究。本章节将对期限溢酬的预测性问题进行全面的梳理，以期对该领域的发展脉络及最新的研究方法与思路有更明晰的理解。

### 2.1 期限溢酬的利率期限结构预测

最早发现预期理论与实证相佐，开启了学者们对期限溢酬的研究要追溯到 Fama 和 Bliss (1987)，他们发现远期利率与短期利率的价差能够预测未来债券的超额收益。之后 Campbell 和 Shiller (1991) 利用线性回归发现，斜率能够对债券收益率进行预测。Cochrane 和 Piazzesi (2005) 的文献是直接提取利率曲线信息预测超额收益的代表性研究。作者利用远期利率的线性组合构造出的 CP 因子，对 1 到 5 年期债券的年度超额收益的预测  $R^2$  最高能达到 44%。另外 CP 因子表现出反周期的特征，并且和传统的水平、斜率、凸度三因子相关性不强。在此之后关于期限溢酬可预测性的实证研究都会将 CP 因子作为基准，以期能够发现比 CP 因子具有更高预测能力的新变量。范龙振和施婷 (2006) 利用上交所的回购利率数据进行了简单的回归检验，发现回购利率期限结构存在显著的风险溢酬，并且与利率期限结构的斜率呈正相关。

上述文献大多采用回归分析，作为解释变量的利率曲线信息提取也直接源于某些期限的长短期利率、远期利率。而利率曲线本身由无穷多个不同到期时间的收益率形成，仅用某些期限信息进行研究似有不妥。而仿射模型只需对少数因子建模就能够描述整条利率期限结构，也就能较好的涵盖利率曲线信息，因此在期限溢酬领域得到广泛应用。Kim 和 Wright (2005) 利用三因子仿射模型解释了期限溢酬的下降是造成美国 2004 年加息后长期利率不升反降的原因；Cochrane 和 Piazzesi (2008) 采用四因子仿射模型发现了期限溢酬的变动主要源于对利率曲

线的水平冲击。尽管以上文献在期限溢酬领域取得了不错的效果，但状态变量没有实际经济含义却使得研究者们不能满足，众多文献开始在仿射模型中引入宏观变量，以期改善期限溢酬的预测效果，并且赋予模型更强的经济含义。宏观变量对期限溢酬预测的文献综述将在 2.2.1 节详细介绍。

针对不断涌现的利用宏观变量预测超额收益的研究，仍不乏对仅用利率曲线进行预测的坚定支持者。Markovich 和 Plazzi (2012) 的文章指出，之所以利率期限结构之外的信息能够解释期限溢酬，是因为远期利率在预测超额收益时并不稳定。在整个样本内简单的假定远期利率的影响在所有时期都不变，但事实上它们会随着所处经济环境变化而发生显著改变。这就可能导致了远期利率进行预测的不完善，也成为了利率期限结构以外的信息能够用于预测的“源头”。作者在此思路下，分别构建了能够描述长期利率收敛和时变风险厌恶的两个新变量，很大程度上提高了之前远期利率预测的效果，而宏观变量的解释力度相应下降。因此作者得出结论：一旦将机制变化考虑在内，利率期限结构之外的信息对于期限溢酬的效用是微乎其微的。

关于利率期限结构对期限溢酬的预测能力，也并非所有研究都达成了一致。Thornton 和 Valente (2012) 从资产分配的角度，考察对债券超额收益的预测是否具有经济价值。作者设计了投资组合策略，以实现既定预期收益率情况下的组合方差最小化。最后得出的结论是 Fama 和 Bliss (1987)、Cochrane 和 Piazzesi (2005) 并不能从经济意义上战胜预期理论，投资者基于预测模型的投资策略并不能取得实际较优的效果。得到类似结论的还有 Sarno, Schneider 和 Wagner (2012)。他们在同时拟合利率期限结构与期限溢酬的基础上估计出三因子的仿射模型，并按照仿射模型隐含的超额收益预期构造出简单的投资策略，结果发现统计上预测的显著性只有在预测期短于 2 年，并在样本内才会转变为经济上的有效性。而在样本外则无法取得实质性显著的经济价值，预期理论在样本外可能并没有失效。

虽然存在着上述一些文献，对利率曲线预测超额收益的经济价值有质疑，但利率期限结构信息在统计上的意义基本没有异议。但研究者却并不满足于此，尽管代表性的 CP 因子有很好的预测能力，但其缺乏经济含义。大量的研究也开始转向可预测性背后的宏观经济解释。值得注意的是，Cochrane 和 Piazzesi (2005)



的实证中发现滞后期的远期利率对超额收益也有一定解释力度,这也印证了当前利率期限结构以外的信息同样具有预测能力的猜想。

## 2.2 期限溢酬的非利率期限结构预测

### 2.2.1 宏观变量

在上节的文献综述中我们看到,利率期限结构的信息的确对期限溢酬有很重要的影响,而且高斯仿射模型认为当前利率期限结构包含了所有关于预测的信息。但它们的不足是无法明确解释可预测性的根源,而投资者所要求的风险补偿直觉上也的确应当同整体的宏观经济环境有极大联系,因此学术界开始致力于将宏观变量引入期限溢酬的研究之中。

Ludvigson 和 Ng (2009) 的文献在利用宏观变量对超额收益进行预测领域具有非常重要的影响,他们的研究成果同 CP 因子一样,成为了后来学者们发现更优解释变量的参照基础。作者从市场上的 132 个宏观金融变量月度数据中提取出前 5 个主成分,并根据信息准则构造出 5 个因子,赋予其代表“实际”,“通胀”,“利率”,“股票市场”的经济含义。通过超额收益对因子的 OLS 回归发现,在 2 年期的债券上解释力度最高能到达 26% 的  $R^2$ , 其它期限也同样显著。代表“实际”与“通胀”的因子对超额收益的预测有非常重要的作用,并且期限溢酬呈现出反周期的特点。进一步把提取的因子与 CP 因子一同作为解释变量时,对于 2 年期债券的超额收益的  $R^2$  能到达 44%, 比单独使用 CP 因子提高 13%。这也从实证当中证明了利率期限结构以外的信息同样对超额收益有预测作用。像作者一样直接利用回归分析,检验宏观变量与期限溢酬联系的文献也不少。Lee (2011) 将期限溢酬分解成了长期溢酬部分和短期溢酬部分,作者发现长期限因子能够预测未来的经济增长,它和股票市场的风险溢酬有紧密联系;而短期限因子主要涉及债券市场的流动性溢酬,并且它和股票市场的收益率也有关联。Cooper 和 Priestley (2009) 利用了产出缺口的指标,发现该指标不仅在股票市场上,在债券市场上也有很好的预测作用。范龙振和张处 (2009) 通过 OLS 回归发现通货膨胀率、货币供应量和实际消费增长率都会对债券超额收益产生影响。董莉莎和朱映瑜 (2011) 利用面板数据回归分析了上交所国债利率,结果显示通胀对超额

收益的影响较大，另外工业增加值、广义货币供应量也和超额收益有关联。

上述文献的回归分析方法简单有效，但缺乏完整的理论框架。而结合仿射模型在利率研究中的优点，众多学者开始将宏观变量引入其中，搭建起了研究宏观变量与期限溢酬关系的桥梁。Ang 和 Piazzesi(2003)的研究具有开创性的意义。作者在 VAR 模型中施加了无套利限制，即高斯仿射模型的结构，在潜因子之外又引入了代表通货膨胀和经济增长的宏观因子进行联合建模。在实证中，方差分解的结果显示利率曲线短、中期的变动 85% 可由宏观变量解释，而长期降到 40%。通货膨胀的冲击也会在短期内对利率曲线造成很大的影响。该文献的重要贡献还在于，VAR 模型中加入无套利条件极大的改善了样本外的预测能力；而宏观变量的引入又使模型的预测效果优于传统的只采用未赋予经济含义的潜因子的仿射模型。正是基于以上的实证优势，并能对经济含义进行探讨，所以为后来者提供了良好的研究框架，高斯仿射模型在期限溢酬领域的应用得以迅速发展。但是作者关于宏观变量的变动独立于利率期限结构的假设受到诟病，后期有不少文献开始研究宏观变量与期限溢酬之间的双向影响关系。比如 Rudebusch, Sack 和 Swanson (2007) 检验了期限溢酬对宏观变量的影响。作者在理论上将期限溢酬进行了变换和分解，表明期限溢酬依赖于随机贴现因子，而随机贴现因子的变动又源于经济中的各种冲击，因此有理由相信期限溢酬的变化与宏观经济变量之间的紧密联系。实证中作者先利用引入宏观变量的仿射模型估计出期限溢酬，再利用期限溢酬作为解释变量直接对宏观变量进行回归，发现期限溢酬的下降往往会促进实体经济的发展。虽然文章研究了宏观变量与期限溢酬的双向关系，但并没有将两者放在统一的框架之下研究。期限溢酬的提取是利用仿射模型，而宏观变量的研究又直接使用 OLS 回归，缺乏理论的连贯性。Joslin, Priebisch 和 Singleton (2009) 将产出增长和通货膨胀引入到高斯仿射模型框架中搭建起五因子模型，但方式又与直接引入宏观变量的文献不同。状态变量的动态化过程的特殊设定形式使得宏观变量和潜因子代表的利率三因子（水平、斜率、凸度）相互正交，即先验的就认为利率期限结构之外的宏观信息对期限溢酬有预测作用。实证结果也显示，产出增长率是引起超额收益变动的重要因素，对应于利率曲线斜率冲击的风险补偿。而且宏观经济与期限溢酬之间的相互作用关系也在文章中有所探讨。作者的研究和本文所要考察的隐含因子信息含量有相似之处，不同在于作者也是

先设定隐含变量再进行建模,而本文则是反向而行。Ferman(2011)参考了 Joslin、Pribsch 和 Singleton (2009) 的模型框架,研究了货币政策冲击与期限溢酬的相互影响。文章指出,货币政策冲击与期限溢酬存在着双向影响关系。货币政策的冲击会引起长期债券风险溢酬的变动,这反过来又会对宏观经济起到反馈作用。特别是在前沃尔克时代,期限溢酬这条货币政策传导机制的作用非常重要。因此对于期限溢酬的预测与理解不仅对于债券价格和市场利率是关键的,它在宏观经济上的作用同样不容忽视。

总结以上的研究,大量的文献的确证实了宏观信息对于期限溢酬的重要性。而期限溢酬不仅仅是同宏观变量的水平变化有联系,它本身体现的是投资者预期的不确定性,因此直接研究宏观变量预期与期限溢酬的关系也将有助于更全面的理解可预测性的本质。Dick, Schmeling 和 Schrimpf (2011) 利用 Survey of Professional Forecasters 的预期数据,实证研究了期限溢酬预期与关键的宏观变量预期以及宏观经济的不确定性的关系。作者发现预期的期限溢酬受到未来产出增长的影响非常大,另外不同于之前很多文献的结论,本文表现出实际经济变量的预测作用比名义变量更加重要。利用预期数据的文献还有 Kim (2007),作者归纳了期限溢酬的三种定义方式及性质,总结了仿射模型在研究期限溢酬的作用和实证利弊后,提出利用调查数据的方式可以改善模型对期限溢酬的预测效果。Kim 和 Orphanides (2005) 在考虑了 Blue Chip Financial Forecasts 的预期 3 个月国库券利率后,估计出的期限溢酬更加精确。实际上作者将预期数据看成市场预期加上测量误差,实质上是将其作为市场预期的噪声代理。本文提取的隐含因子理论上包含有利率曲线外的所有预测信息,也应当同预期信息有内在联系。但受制于数据的可获得性,本文未展开进一步研究。

引入宏观变量对期限溢酬的研究较纯粹的利用利率曲线信息又更进了一步,不少文献都发现通货膨胀和经济增长对期限溢酬有显著影响,这无疑对货币政策的制定者以及投资者都具有很强的指导意义。但宏观经济变量仍然无法完全解释超额收益,而且由于宏观变量本身存在着统计误差、某些变量无法观测的事实,又有学者开始在宏观变量之外寻求预测超额收益的答案。

## 2.2.2 非宏观变量

利用非宏观变量对期限溢酬进行预测的兴起，一方面源于期限溢酬本身有无法完全被宏观信息解释的部分，另一方面也是受到非宏观指标在其它市场上良好预测效果的启发。Zhou（2011）的研究动机就指出，在股票市场和外汇市场上早就有大量的文献证明了技术指标对收益率的预测作用，并且也在实践中广泛被应用，那么债券市场上是否也存在这样的技术指标呢？作者参照技术指标的趋势跟随思想，用远期利率构造了远期价差加权指标，用交易量构造了交易量加权指标，实证结果发现在引入技术指标后，对于超额收益的预测较仅用经济变量有显著的提升。但文章并没有进一步挖掘技术指标可预测性背后的经济含义。Favero, Gozluklu 和 Yang（2011）认同 Fama（2006）的观点，指出利率具有持续性 (persistent) 的特点。而仿射模型中状态变量所服从的 VAR 过程本身描述了利率的均值回复特性，却缺少对于利率持续性特征的描述。因此作者提出了人口统计量 MY 指标——中年人口与青年人口的比例，从经济含义及实证效果上验证了 MY 可以作为利率持续性的良好代理变量，并引入到仿射模型的建模之中。MY 作为新因子引入后，它本身是外生变量，并不改变风险价格的设定，同时又描述了利率持续性特点，最终实证结果也表明它改善了模型对未来利率的预测能力，优于传统只是直接引入宏观变量的仿射模型。

以上文献在研究期限溢酬问题上与主流研究宏观变量与期限溢酬的文献在方法上并没有不同，都主要利用了 OLS 进行实证检验，或是在仿射模型的框架下建模，只是提出了新的解释变量。而期限溢酬本身来源于对未来的不确定性，所以应当同风险源的二阶矩有联系，以下文献对此进行了研究。Mueller 和 Vedolin（2011）将市场的方差风险溢酬作为经济不确定性的代理对债券超额收益进行预测。实证结果显示对于未来一个月的预测效果非常显著，并且同其它已知的远期利率、跳跃风险、宏观变量等预测因子正交。但当预测期限在 1 年以上时，预测的效果就几乎丧失了。我国市场上暂时没有期权产品，也就无从构造出方差风险溢酬因子。Buraschi 和 Whelan（2011）认为投资者对于宏观经济的不确定性带来了期限溢酬及其变动。而对于经济不同的观点又是异质信念所引起，因此人们对信息解读的不一致就使得均衡的资产价格不断发生变化。所以作者利用调查数据建立起了能够反映实体经济、通货膨胀及长短期利率不一致的综合指标。

实证结论也证明，分别及联合应用异质信念因子与 Ludvigson 和 Ng (2009) 的基准变量后，OLS 回归结果都非常显著。Xiong 和 Yan (2009) 也在一般均衡框架下引入了异质信念，并从理论上解释了异质信念的存在使得投资者的内生相对财富产生变化，这又会引起资产价格的波动继而成为债券超额收益变动的来源。本文也尝试了利用变量新息的平方作为不确定性的代理指标，但回归结果却不尽如人意。

还有一类研究是在随机波动率的框架下对期限溢酬进行解释，理论基础略有不同。Collin-Dufresne 和 Goldstein (2002) 指出，如果市场是完全的，那么债券的收益可以表示成状态变量的函数并且状态变量隶属于利率期限结构范畴。如果完全市场的假设成立，则利率的波动率风险可以仅用债券就能进行对冲，但实证结论并非如此。所以他们在市场不完全的条件下建立了非跨越风险因子 (unspanned risk factor) 的仿射模型。预期的超额收益不仅依赖于跨越风险因子 (spanned risk factor)，还同非跨越风险因子的代理变量有关。这在另一种理论上从另一个角度表明了利率期限结构以外的信息对期限溢酬有影响。在非跨越随机波动率 (unspanned stochastic volatility) 框架搭建之后，自然研究的重心即是找到能够代理跨越风险因子的变量。Andersen 和 Benzoni (2008) 利用日内的债券价格计算出已实现波动率作为代理变量；Almeida, Graveline 和 Joslin (2006) 以及 Joslin (2007) 发现从利率期权市场构建出的非跨越随机波动率因子可以预测债券超额收益；Wright 和 Zhou (2008) 在利率期货市场中利用 BNS 方法侦测跳跃并构造了已实现跳跃风险，使超额收益的回归  $R^2$  达到 30%-60%。

尽管学者们提出的不少非宏观变量的确能够提高期限溢酬的预测效果，具有一定的价值。但就像 CP 因子一样，从发现它的高解释力最后还是要回归到探讨它背后的经济含义上。归根到底，我们探寻期限溢酬可预测性的本源也即是想了解怎样的经济环境会对投资者的行为带来什么样的影响。因此本文也将重心放在提取隐含因子的宏观信息含量上。

## 第三章 理论基础

### 3.1 期限溢酬

期限溢酬可理解为投资者对于未来真实利率同当前预期的利率不同而要求的风险补偿。在不同的文献中可能会有不同的表达形式，在众多的文献中，主要总结起来有三种形式，即分为即期、远期和持有期的期限溢酬。在 kim (2007)、Cochrane 和 Piazzesi (2008) 以及郑振龙和吴颖玲 (2009) 都有详细介绍。

1. 即期利率的期限溢酬，它是长期利率减去预期的短期利率的均值：

$$rpy_t^n = y_t^n - \frac{1}{n} E_t(y_t^1 + y_{t+1}^1 + \dots + y_{t+n-1}^1) \quad (3.1)$$

2. 远期利率的期限溢酬，它是远期利率减去预期的即期短期利率：

$$rpf_t^n = f_t^n - E_t(y_{t+n-1}^1) \quad (3.2)$$

3. 持有期收益率的期限溢酬，它是 n 期零息票债券长债短持 1 期的持有期收益率减去期限为 1 期的零息债到期收益率：

$$rpr_t^n = E_t(r_{t+1}^n) - y_t^1 \quad (3.3)$$

$$r_{t+1}^n = p_{t+1}^{n-1} - p_t^n \quad (3.4)$$

$$y_t^n = -\frac{1}{n} p_t^n \quad (3.5)$$

虽然上述三种定义形式有所不同，但它们在本质上是相通的。尽管反映在数值上不同，但是三种方式的期限溢酬的符号和变动方向、以及是否具有时变性都是一致的。本文采用的期限溢酬是持有期收益率的定义形式。它对于投资者来说具有很明确的经济含义，同时在实证研究工作中也被大量学者们使用。

### 3.2 仿射模型

#### 3.2.1 高斯仿射模型

关于刻画利率期限结构的因子模型有很多形式，在国内外的主流文献中，高斯仿射模型是最为常用的模型框架。它既能够通过几个潜因子描述利率期限结构

的动态化过程，同时又具有向量自回归模型的形式，为研究变量间的相互关系也提供了便利。

短期利率与状态变量的关系可以表示成如下线性形式：

$$r_t = \delta_0 + \delta_1' x_t \quad (3.6)$$

而状态向量遵从一阶马尔科夫过程：

$$x_{t+1} = \mu + Kx_t + \Sigma \varepsilon_{t+1} \quad \varepsilon_{t+1} | x_t \sim N(0, I) \quad (3.7)$$

因为债券价格服从一价定律，从而当前的债券价格可以由下一期的价格贴现而来：

$$P_t^m = E_t(M_{t+1} P_{t+1}^{m-1}) \quad (3.8)$$

其中  $M_{t+1}$  是随机贴现因子，它拥有如下的线性形式：

$$\log M_{t+1} = -r_t - \Lambda_t' \varepsilon_{t+1} - \frac{1}{2} \Lambda_t' \Lambda_t \quad (3.9)$$

$\Lambda_t$  是投资者要求的对于状态向量冲击的风险补偿，它满足下面的实质仿射形式，具有时变的特征：

$$\Sigma \Lambda_t = \lambda_0 + \lambda_1 x_t \quad (3.10)$$

根据 Duffie 和 Kan(1996) 的分析，在上述设定的仿射模型框架下可以得到，零息债券价格的解析解也可表示为状态变量的线性函数：

$$y_t^m = -\frac{1}{m} (A_m + B_m' x_t) \quad (3.11)$$

$A_m$ 、 $B_m$  的求取可以通过迭代得到：

$$A_1 = -\delta_0 \quad B_1' = -\delta_1' \quad (3.12)$$

$$A_{m+1} = -\delta_0 + A_m + B_m' \mu^q + \frac{1}{2} B_m' \Sigma' \Sigma B_m \quad (3.13)$$

$$B_{m+1}' = -\delta_1' + B_m' K^q \quad (3.14)$$

其中， $\mu^q$ 、 $K^q$  是风险中性测度下的参数：

$$\mu^q = \mu - \lambda_0 \quad (3.15)$$

$$K^q = K - \lambda_1 \quad (3.16)$$

通过改变状态变量的动态过程、风险价格的设定形式都可以使高斯仿射模型向各类仿射模型延伸<sup>1</sup>，它是一个基本的仿射模型框架。通常采用卡尔曼滤波、极大似然估计、有效矩对模型进行估计。

### 3.2.2 隐含因子框架

在上述高斯仿射模型框架下， $t$ 时刻的收益率向量可表示为：

$$y_t^a = A^a + B^a x_t \quad (3.17)$$

如果选择的收益率向量维数同状态变量维度相同，并且矩阵  $B^a$  可逆，那么可以反推出：

$$x_t = (B^a)^{-1} (y_t^a - A^a) \quad (3.18)$$

在此种情况下，因为状态向量  $x_t$  服从一阶马尔科夫过程，因此  $y_t$  也服从一阶马尔科夫过程。根据马尔科夫过程的含义，在这样的假设下，对于未来收益率的预测仅和当前时刻的利率期限结构有关。这也是为什么在传统高斯仿射模型框架下认为当前利率期限结构包含了所有未来信息。但很容易被研究者所忽略的一点是，绝大多数研究都将矩阵  $B^a$  可逆看成是理所应当的假设。这样的假定隐含着只需要  $n$  个期限的利率数据就足以对模型进行估计，的确在研究中会带来极大的便利。然而可逆的假设既没有坚实的理论基础，也不是必须的。所以我们不禁要问，如果矩阵  $B^a$  是奇异矩阵呢，那么又会带来什么样的后果？

我们以一个简单的两因子模型为例，去探究假设条件改变后的情况。根据公式 (3.7) 我们可以写出如下的两状态变量的动态化过程：

$$\begin{pmatrix} r_{t+1} \\ h_{t+1} \end{pmatrix} = \mu + \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_t \\ h_t \end{pmatrix} + \sum \varepsilon_{t+1} \quad (3.19)$$

当  $k_{12}$  不等于 0 时， $t$ 时刻关于未来的短期利率  $r_{t+1}$  同  $r_t$  和  $h_t$  都有关，在此我们可以认为  $h_t$  包含了当前短期利率未涵盖，却影响未来短期利率的所有信息。

如果在风险中性条件下，该两因子模型符合下面的动态化过程：

<sup>1</sup>郑振龙、柯鸿和莫天瑜（2010）对各种风险价格设定形式及对应的仿射模型的特点进行了具体的探讨。



$$\begin{pmatrix} r_{t+1} \\ h_{t+1} \end{pmatrix} = \mu^q + \begin{pmatrix} k_{11}^q & 0 \\ k_{21}^q & k_{22}^q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_t \\ h_t \end{pmatrix} + \Sigma \varepsilon_{t+1}^q \quad (3.20)$$

在上述的参数设定形式下，将上式中的  $K^q$  代入(3.14)式迭代可以得到  $m$  期的债券收益率相对于状态变量的因子载荷：

$$B_m = \begin{pmatrix} \frac{1}{m} (1 - k_{11}^q)^{-1} (1 - (k_{11}^q)^m) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3.21)$$

通过上面特殊的参数形式和推导可知，矩阵  $B^a$  不再可逆，将结果代入式(3.17)后易知  $h_t$  不会影响当期的  $y_t$ 。从而关于  $h_t$  的信息被“隐藏”起来，我们无法通过当前时刻的利率期限结构推断出  $h_t$ 。尽管  $h_t$  不会影响当前的利率，但投资者的确能够观察到它的表现，并在做出投资决策和对未来利率进行预测时把它的信息也考虑在内，因此这部分暂时被隐藏起来的信息会对期限溢价产生影响。比如当  $k_{12} > 0$ ，如果  $r_t$  保持不变，而  $h_t$  上升，那么投资者预期的未来短期利率也将上升。我们可以通过下面的例子从经济含义上来理解  $h_t$  的效用。假设出现了一波未预期到的 GDP 的高增长。这一方面增加了央行在未来收紧货币政策的可能性，即预期未来短期利率将上升，如果投资者的风险溢价不变，则当前长期利率会上升；但如果与此同时，投资者的风险厌恶状况发生改变，认为经济的高速增长表明整体形势好于预期，所要求的风险补偿反而降低，那么一旦短期利率的上升与风险溢价的下降两种效应相抵消，则不会对当前的长期利率产生影响，但这期间 GDP 的非预期冲击的确已经改变了投资者所要求的风险补偿。

我们可以根据本文所采用的期限溢价定义，在理论上更进一步的去理解隐含因子的预测作用。根据持有期收益率的期限溢价的定义，可以得到  $m$  年到期的零息债持有  $j$  年的长债短持策略的超额收益：

$$rx_{t,t+j}^m = -(m-j)y_{t+j}^{m-j} + my_t^m - jy_t^j \quad (3.22)$$

将 (3.17) 式代入 (3.22) 式就可以得到预期的超额收益表达形式：

$$\begin{aligned}
 E_t(rx_{t,t+1}^m) &= my_t^m - (m-1)E_t(y_{t+1}^{m-1}) - r_t \\
 &= mA_m - (m-1)A_{m-1} \\
 &\quad + (1-k_{11}^q)^{-1} \left[ 1 - (k_{11}^q)^m - (1 - (k_{11}^q)^{m-1})k_{11} - 1 \right] r_t \\
 &\quad - (1-k_{11}^q)^{-1} (1 - (k_{11}^q)^{m-1})k_{12}h_t
 \end{aligned} \tag{3.23}$$

上式可以看到，预期的超额收益不仅依赖于  $r_t$ ，同时当前时刻的  $h_t$  也对其产生影响。因此从上面一系列的理论分析得到，隐含因子虽然不影响当前的利率期限结构，但的确会引起预期的超额收益变动。通过上面的简单例子可以知晓，模型的实质是状态变量在实际测度下服从  $n$  维的马尔科夫过程，而在等价鞅测度下服从  $n_0$  维的马尔科夫过程，其中  $n_0 < n$ 。<sup>2</sup> 一个更加规范的隐含因子框架，只需要设定 (3.6) 式中  $\delta_{1(i)} = 0$ ，即可满足状态变量的第  $i$  个元素不影响当前利率期限结构，却会对预期的超额收益产生影响。虽然从数学推导和理论推理上，我们可以轻易的施加上面的假定，并分析隐含因子的性质，但该假定所赋予的经济含义却过于严苛：预期短期利率的上升（下降）正好被期限溢酬的下降（上升）所抵消，从而不会影响当前利率期限结构。

为了研究隐含因子，又不能设定过于严格的违背现实情况的假定，经典的观测误差成为了连结理论与现实的桥梁。式 (3.18) 表明， $d(d > n)$  个期限的债券收益率的无条件协方差矩阵的秩不大于  $n$ 。在传统的高斯仿射模型下，它等于  $n$ ；在满足  $\delta_{1(i)} = 0$  的隐含因子框架下，它等于  $n_0$ 。但实证研究却发现收益率的协方差矩阵往往都是非奇异矩阵，本文的数据检验结果同样是满秩的。合理的解释即是债券的理论值和观测值之间存在误差， $d$  个到期期限的债券收益率可表示为：

$$y_t^0 = A + Bx_t + \eta_t \quad \eta_t \square N(0, I\sigma_\eta^2) \tag{3.24}$$

公式左边的即是观测到的市场上的收益率， $\eta_t$  是观测误差向量。为了简化起见，假定对于每个期限的收益率观测误差都具有同方差。在这样的设定之下，我们不需要再施加  $\delta_{1(i)} = 0$  的严格约束，也就不需要短期利率同期限溢酬的严格相互抵消的要求。如果  $\delta_{1(i)}$  只是接近于 0，第  $i$  个状态变量对瞬时利率的微小作用就

<sup>2</sup> Duffee(2002)在理论上描述具有此性质的模型，但并未进一步作实证研究。

会消散于收益率的观测误差之中，从而实现了隐含因子在经济上和理论上的可行性。

### 3.2.3 隐含因子的提取

如果正如之前的分析所言，隐含因子的确在理论上成立，在经济含义上合理，那么我们自然想问在实证工作中如何验证隐含因子的性质，并且在多大程度上影响了超额收益。因为方差反映了信息集的大小，所以定义了如下的对于预期超额收益的方差比：

$$\frac{\text{Var}\left(E\left(xr_{t,t+j}^m \mid z_t\right)\right)}{\text{Var}\left(E\left(xr_{t,t+j}^m \mid x_t\right)\right)} \quad (3.25)$$

其中  $z_t$  是从利率期限结构中提取出的前  $n$  个主成分，个数与状态变量的维数相对应。上述比例越接近 1，则表明当前利率期限结构已经很好的涵盖了关于未来超额收益的信息，关于隐含因子的假设在实证中不成立。相反，如果上述方差比越小，则表明  $x_t$  中包含有  $z_t$  之外的信息，说明的确有信息“隐藏”在利率曲线之外。

如果从方差比的计算中发现了隐含信息的预测作用，我们将进一步对隐含因子进行提取，而提取过程需要借助风险补偿的巧妙设定形式来完成。下面是本文将采用的风险补偿设定形式：

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= \left( \lambda_{0(L)} \lambda_{0(S)} \mathbf{0}_{1 \times (n-2)} \right)' \\ \lambda_1 &= \begin{pmatrix} \lambda'_{1(L)} \\ \mathbf{0}_{(n-1) \times n} \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (3.26)$$

该设定的含义是，投资者对于斜率风险的补偿为固定值，对于水平风险的补偿随利率曲线呈时变特征。选择上面的风险补偿形式主要有以下几点考虑：

1. 具有理论和实证结果的支撑。Duffee(2010)发现对于斜率风险的补偿是固定的，而对于水平风险的补偿与期限结构有关；Cochrane 和 Piazzesi(2008)认为只有冲击引起水平因子变动才会有风险补偿；Joslin, Priebsch 和 Singleton(2009)构造了针对定价因子的投资组合，也认为水平和斜率风险被定价；郑振龙和吴颖玲(2009)用简单的回归分析发现水平、斜率都显著，但斜率影响很小。大量国内外文献的实证研究过程都证实了上述表达形式的合理性。

2. 过度识别问题。对于风险补偿更灵活的设置在理论上是更为准确的，完全可以将上式的所有参数设定为待估参数。但众多文献的实证效果指出，由此引发的过度识别问题往往非常严重，大大甚于参数设置的灵活性所提供的益处。

3. 巧妙的提取出隐含因子。因为上面的参数设定形式，我们可以定义如下的风险溢价因子：

$$RP_t \equiv \lambda_{1(L)}' x_t \quad (3.27)$$

根据风险价格的设定形式，上式涵盖了所有风险补偿的信息。只需从风险溢价因子中剔除利率期限结构上的信息，余下的部分就是本文所要重点研究的“隐藏”信息。隐含因子的提取即可以采用如下的回归方式：

$$RP_t = b_0 + b' z_t + R_t \quad (3.28)$$

$z_t$  依然表示的是利率期限结构的前  $n$  个主成分，回归得到的残差部分  $R_t$  即是我们所要获取的隐含因子。

基于隐含因子的内容也有其它的一些研究思路，比如 Joslin, Pribsch 和 Singleton(2009)直接把隐含因子设定为宏观变量工业生产（industrial production）与通货膨胀（CPI inflation）的线性组合；Barillas(2010)在 Duffee(2011)基础上引入利率曲线之外的信息（yields-plus）进行参数估计。但它们可能存在的问题是：一方面要求新变量是状态变量的函数，同时又能够反应隐含因子的性质。虽然额外的信息能够改善模型的估计与预测，但是容易产生模型误设。另外上述文献也是先猜测后验证的思路，先验的假定了隐含因子为某些宏观变量，而采用 Duffee（2011）的框架提取的隐含因子包含的信息更丰富，而本文的目的即是要分析隐含因子的性质与信息含量。而且直接将隐含因子设定为宏观变量涉及到样本量的问题，因为宏观数据的频率往往为月度或季度数据，而在中国市场上利率样本期较短，应用价值受到一定阻碍。所以综合权衡现有主流文献方法的优劣并结合了我国市场，Duffee（2011）的建模框架为研究期限溢价和提取隐含因子的信息含量提供了一种崭新的思路和较为可行的方法。

## 第四章 实证分析

### 4.1 数据描述

本文使用 Wind 银行间国债 1 到 6 年期即期利率作为研究对象，数据样本期为 2005 年 1 月到 2012 年 5 月的周数据。因为长期限的债券存在流动性风险，因此国债即期利率选择短中期限为研究标的。同时本文选择的样本区间基本涵盖了完整的升息与降息期、货币政策的松紧变化——从 06 年开始到 08 年上半年的高频度的加息与上调存准率，货币政策处于适度从紧的状态；08 年下半年开始降息降准为代表的宽松货币政策；再到 10 年、11 年的再度加息与存准率上调的从紧政策——使得结论的适用性会更强。关于宏观变量的选择原则，大量文献都将通货膨胀与经济增长看作是重要影响因素，因此本文宏、微观经济变量选取了 CPI、PPI、IP（工业产出）、M1、M2、一年期定存、汇率、城镇固定资产投资完成额、社会消费品零售总额、沪深 300 指数等代表性指标，基本涵盖了衡量经济增长的消费、出口、投资指标，衡量物价水平以及货币政策的指标，还考虑了股票市场和外汇市场。数据取自 Wind 数据库、同花顺数据库，频率为月度数据，样本期间与利率取样相吻合。

因为涉及到假期，利率每年的周数据量并非 52 个。实证中发现周三的数据量最为完整，所以将每周三数据作为样本点，共得到 365 周的数据，并将收益率全部转化为连续复利形式。所有的宏观数据在去除季节根和单位根后，分别保留其水平值与新息项，以备后文分别检验对于风险源水平值的补偿和非预期冲击的风险补偿。其中同比增长形式的变量首先都转化为对数收益率形式再作下一步处理。沪深 300 指数、人民币兑美元汇率指标直接取对数收益率。

### 4.2 参数估计

参数估计采用的是卡尔曼滤波法。根据本文第三章对隐含因子的介绍，卡尔曼滤波可以反向过滤出状态变量，从而对隐含因子的提取提供了便利。其中观测方程为：

$$y_t^0 = A + Bx_t + \eta_t, \quad \eta_t \sim N(0, I\sigma_\eta^2) \quad (4.1)$$

状态方程:

$$x_{t+1} = \mu + Kx_t + \sum \varepsilon_{t+1} \quad \varepsilon_{t+1} | x_t \sim N(0, I) \quad (4.2)$$

为了减少模型的参数, 简化估计过程, 将  $\Sigma$  设置为对角矩阵, 并且对角元素按降序排列;  $\mu^q$  设置为零<sup>3</sup>。那么模型中的  $\zeta$ ,  $K$ ,  $\Sigma$ ,  $\sigma_\eta$ ,  $\lambda_0$ ,  $\lambda_{1(L)}$  为待求解的参数。

表(4.1)给出了通过卡尔曼滤波法估计出的五因子仿射模型的 44 个参数值, 状态变量所服从的向量自回归过程特征根分别为 -0.91049、0.180451、0.596694、0.775018、0.95887, 均在单位圆内, 满足平稳性条件:

表 4.1: 卡尔曼滤波参数估计结果

$\zeta_0$	$\zeta_1$	$\zeta_2$	$\zeta_3$	$\zeta_4$	$\zeta_5$
0.0242	0.0734	2.0666	-0.6796	1.2628	1.8278
$K$	0.7017	0.9854	-0.2624	0.5914	-0.1461
	0.1593	0.1863	0.6421	-0.1770	-0.3340
	-0.3149	1.1338	-0.5445	-0.8166	0.0591
	0.1233	-0.4254	0.2659	0.9831	0.1295
	-0.32038	1.1795	-0.6186	-0.6094	0.2737
$\sigma_\eta$	0.0014				
$\text{diag } \Sigma^{1/2}$	0.6419	0.1403	0.0875	0.0364	0.0082
$\lambda_0$	1.1216	-0.1745			
$\lambda_{1(L)}$	1.0359	1.3586	0.5659	3.1022	7.1132

注: 本文所有数值都保留 4 位小数, 下同。

为了直观的感受估计出的参数在样本内对利率拟合的程度, 我们以 5 年期利率为例进行了真实值与模型拟合值的对比, 结果见下图:

<sup>3</sup>不少文献也把  $\mu$  设为 0, 对结果影响不大

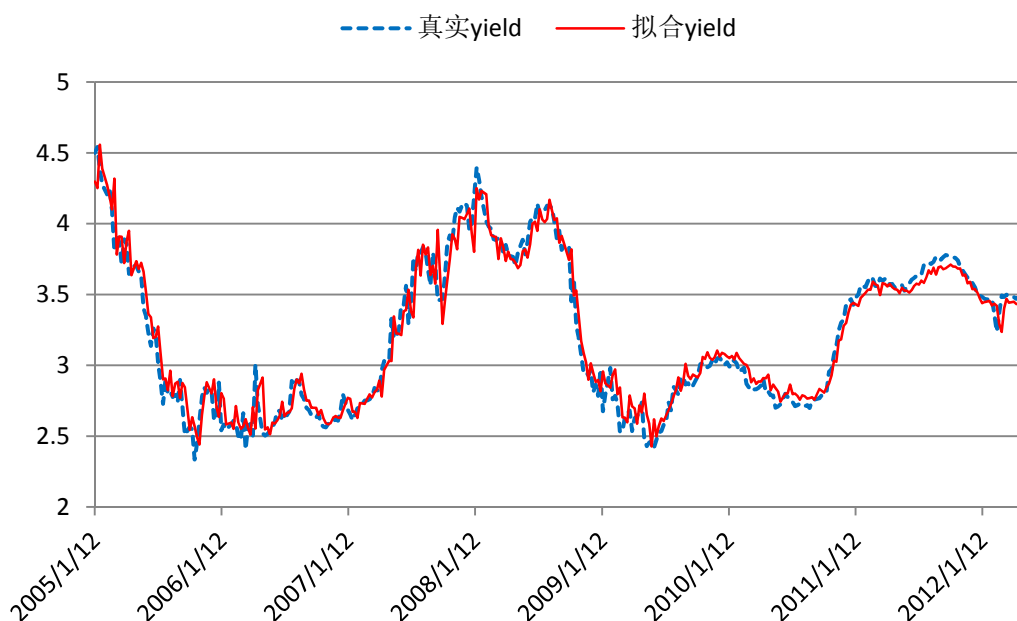


图 4. 1：5 年期国债即期利率实际与拟合利率走势图 单位 (%)

可以看出，模型的拟合效果还是非常不错。但应当注意的是，样本内的高拟合度并非一定代表样本外有更优的预测效果。而本文重点是想探讨在期限溢价范畴下的经济信息含量，用以解释期限溢价的变化，而不在在此追求最优的预测能力。

## 4. 3 隐含因子的性质

### 4. 3. 1 隐含因子的存在性

Litterman 和 Scheinkman (1991) 早已指出期限结构一般由水平、斜率、凸性三因子描述，所以要发现隐含因子的性质，模型因子个数至少为 4。而模型因子的个数越多，待估计的参数也会更多，这有可能引起参数估计不稳定和过度拟合的问题。所以经过权衡我们根据计算的方差比择优选择四因子或五因子模型。但也有文献指出利率期限结构主成分的第四个因子也具有经济含义，与第三个因子含义相似，只是代表不同期限的凸度。因此四因子模型仍然可能更多体现的是利率曲线的信息，在研究隐含因子的问题上五因子也许更优。这只是建模之前的主观推测，在估计出了模型的参数之后，我们就可以通过定义的方差比例来对隐含因子的存在性进行更进一步的验证，并选择适用于本文的模型。在分别计算了三因子、四因子和五因子模型的方差比例之后得到如下结果：

表 4.2: 因子模型方差比结果

三因子	0.9999
四因子	0.8558
五因子	<b>0.4068</b>

经过实证检验后发现，当使用三因子模型时，方差比几乎接近于 1，这说明在只用三个潜因子建模时，利率期限结构提取出的前三个主成分因子已经很好的涵盖了期限溢酬的信息，并没有体现出隐含在利率期限结构之外的信息。但当我们多增加一个因子时，方差比降为了 0.8558，隐含因子的特性已经有所体现。而当我们高斯仿射模型设定为五因子时，方差比大幅降低为 0.4068，说明造成期限溢酬变动的信息有一半以上隐藏在了当前利率期限结构之外。通过五因子模型可以很清晰的发现不同于传统三因子模型的期限溢酬性质，本文所重点关注的隐含因子的确存在。借助于方差比的结果，本文将模型的维数选取为五因子。

#### 4.3.2 隐含因子的提取

在通过实证方法证实了隐含因子的存在性之后，很自然的就想到对隐含因子进行提取：

$$\begin{aligned}
 R_t &= RP_t - E(RP|z_t) = \lambda'_{1(L)} (x_t - E(x_t|z_t)) \\
 &= \lambda'_{1(L)} (x_t - E(x_t) - \text{Var}(x_t) B' P' \text{Var}(z_t)^{-1} z_t)
 \end{aligned}
 \tag{4.3}$$

其中  $RP_t$  即是本文第三章中所介绍的风险溢酬因子， $R_t$  则是剔除利率期限结构信息后的隐含因子， $B$  是观测方程中的因子载荷矩阵， $P$  是满足提取利率主成分过程中  $z_t = P(y_t^0 - E(y_t^0))$  的矩阵。在本文的实证中，因为我国的利率数据在样本期内提取出的主成分平稳性不一致，所以本文隐含因子的提取并未按照 Duffee (2011) 的实证利用回归取残差得到，而是直接采用上述公式进行计算而得，公式法避免了数据非平稳带来的困难。



### 4.3.3 隐含因子的性质

在提取出隐含因子之后，接下来对其性质进行简单的考察。下图显示的是利用各期限的收益率分别对风险溢价因子和隐含因子作回归后，得到的各期限的因子载荷：

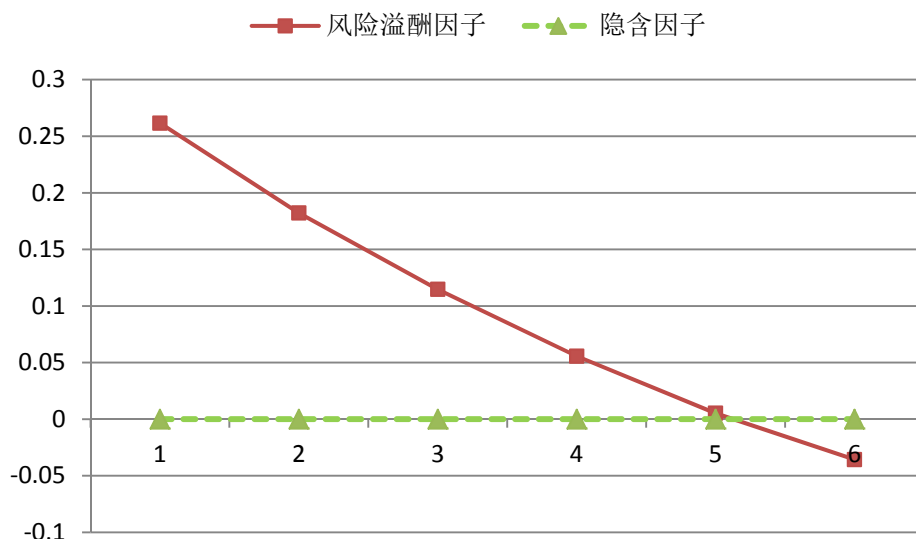


图 4.2：收益率对隐含因子、风险溢价因子的载荷

可以明显看出，风险溢价因子同当期收益率呈现显著的负相关关系。而隐含因子的因子载荷数量级同风险溢价相比相差甚远，所以在图形中几乎呈现水平，即隐含因子与当期的利率期限结构看不出明显关联，从侧面说明了隐含因子的提取很好的剔除了利率期限结构的信息，并且对当期期限结构影响甚微，表现出我们所期待的“隐含”性质。

因为本文的研究内容属于期限溢酬的范畴，所以提取出隐含因子后自然想了解它是否与超额收益的确具备紧密联系，而且是否与主流文献中所指出的通货膨胀率、经济增长有重要关联。图（4.3）-（4.5）分别是隐含因子与超额收益、CPI 同比、工业增加值同比的时间序列走势图。很容易看到，隐含因子与超额收益具有潜在的联系，在 07-08 年的金融危机期间，两者都走向了峰值。而隐含因子与 CPI 和工业增加值的走势似乎也呈现出一定的关联。

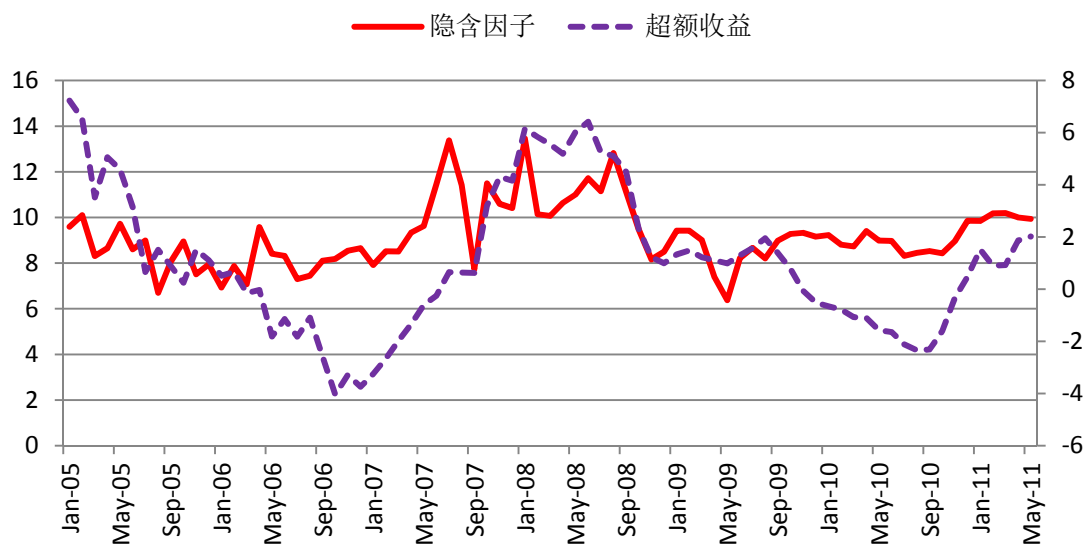


图 4.3：隐含因子与超额收益 单位（%）

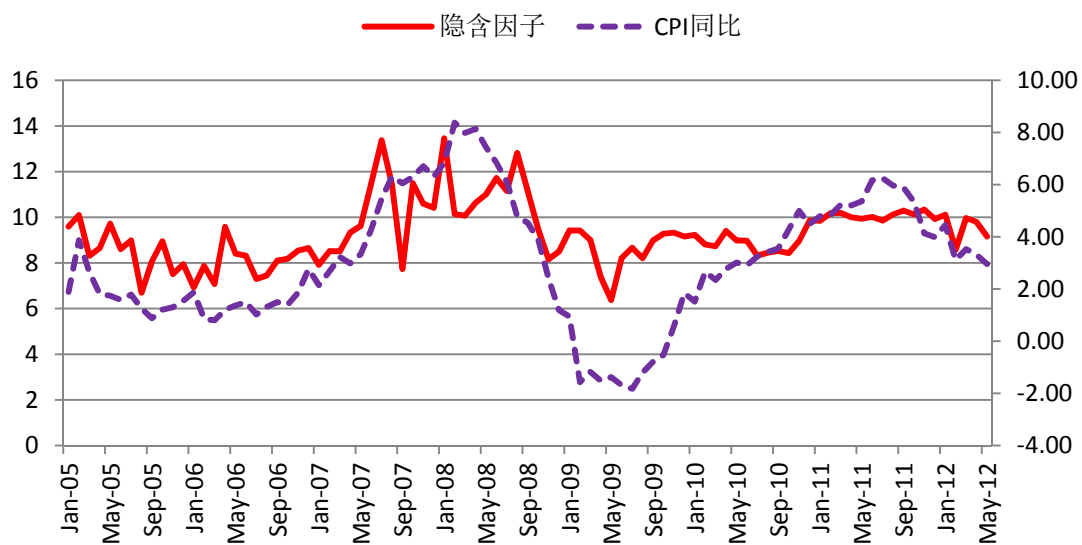


图 4.4：隐含因子与通货膨胀率 单位（%）

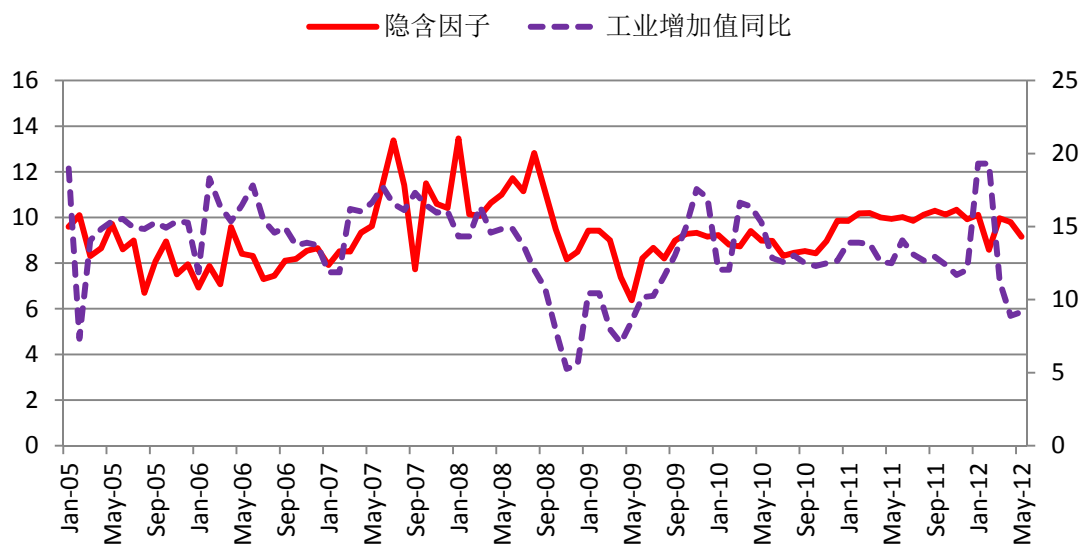


图 4.5: 隐含因子与工业增加值 单位 (%)

图 (4.2) - (4.5) 为我们直观、清晰的展示了隐含因子的基本性质，它对当期利率曲线的影响微弱，但是它和超额收益本身有着内在联系，并且同宏观经济变量之间有着千丝万缕的关联。隐含因子不仅在理论与实证当中存在，并且也应当拥有丰富的信息含量。

## 4.4 隐含因子的信息含量

### 4.4.1 相关性检验

在上一节中我们通过直观的时间序列图考察了隐含因子与宏观变量之间的联系，接下来我们就用各种证据来为上述的判断提供理论支撑。因为大量实证表明通货膨胀率 and 经济增长对超额收益的影响重大，因此以 CPI 和工业增加值为代表的指标是研究的重点，另外本文也考虑了货币政策并首次考察了汇率可能带来的影响。表 4.3 是隐含因子与各主要宏、微观变量之间的 Pearson 相关性检验结果<sup>4</sup>：

<sup>4</sup>表中所列以外的其余宏观变量与隐含因子的相关性不显著，故文中并未一一罗列。并且表中所考察变量也已涵盖衡量经济状态的各方面指标，研究已具备全面性。

表 4.3：隐含因子与各变量相关性

指标名称	相关系数	p 值
CPI-冲击	0.22	<b>0.0351**</b>
PPI-冲击	0.17	0.1153
工业增加值-冲击	0.02	0.8863
M1-冲击	-0.22	<b>0.0415**</b>
M2-冲击	-0.10	0.3631
HS300	-0.26	<b>0.0141**</b>
汇率	-0.29	<b>0.0058***</b>

注：表中宏观指标均指同比，HS300 指数与汇率均取对数收益率形式。加粗部分为 p 值较为显著结果。\*代表 10%水平下显著，\*\*代表 5%水平下显著，\*\*\*代表 1%水平下显著，下同。

观察上述计算的相关性表格，可以得到以下几点简单的结论：

1. 隐含因子与 CPI 具有显著的正相关性，与期限溢酬理论一致。CPI 走高预示通胀风险加大，投资者要求更高的风险补偿。而 PPI 并不显著。虽然同是价格类的指标，但 PPI 到 CPI 存在着从上游市场传导到下游市场的过程，如果下游市场属于买方市场，那么上游的高成本可能就无法强加到最终的消费者市场，因此投资者的决策受到 PPI 的影响就不如 CPI 那样可以直接体现。

2. 隐含因子同经济增长指标相关性不强，暗示着隐含因子可能更多反映的是与物价水平有关的溢酬部分，而非经济增长的冲击引起的补偿。

3. 隐含因子与沪深 300 指数具有显著的负相关性，与期限溢酬理论一致。股市是经济的晴雨表。股市向好代表人们对经济有正向的预期，从而降低了期限溢酬。另外资金的分流作用也使债市投资要求获得一个更高的期限溢酬弥补机会成本。

4. 隐含因子同汇率具有显著的负相关性，与期限溢酬理论一致。汇率下降（即人民币升值）带来热钱流入，外汇占款增加导致央行被动投放货币，市场风险和通胀风险加大，风险溢酬上升。

5. 隐含因子与 M1 具有显著的负相关性，与期限溢酬理论不一致。在期限溢酬的研究中，M1 通常作为物价指数的先行指标<sup>5</sup>，资金面的充裕往往预示通胀风

<sup>5</sup> 考虑到这点，本文也将 M1 的滞后 3、6、12 个月的数据同隐含因子检验了相关性，结果却都不显著。

险加大，风险溢价提高，超额收益与 M1 应当呈现正相关。隐含因子有别于期限溢酬在对 M1 上的背离，也许可以这样解读：M1 直接反映了现金、贷款的增速，体现在隐含因子中展现的是良好的流动性，说明将刺激经济并进入新的增长期，投资者对未来就相对乐观，所要求的超额回报也就走低，因此呈现出负相关。

通过相关性检验，只是初步试探了隐含因子与各变量之间可能具有的联系，下面将作更仔细的分析来提取其中的信息含量。

#### 4.4.2 线性回归分析

基本回归模型<sup>6</sup>：

$$R_t = b_0 + b'w_t + e_t \quad (4.4)$$

线性回归分析在解释期限溢酬的文献中因为简单并且有效而被广泛使用。本文也首先利用简单的线性回归对隐含因子的信息含量进行分析。结合上节中的相关性分析结果，表 4.4 是利用五因子模型提取的隐含因子对各宏、微观变量进行线性回归得出的结果。为了排除自相关与异方差的影响，所有的统计量都已经过 Newey\_West 调整：

表 4.4：五因子模型线性回归结果

指标名称	系数	p 值	R <sup>2</sup>
CPI-冲击	0.5293	<b>0.0950*</b>	0.0500
CPI	0.2092	0.4724	0.0118
工业增加值-冲击	0.0092	0.8863	0.0002
工业增加值	0.0547	0.2606	0.0145
M1-冲击	-0.1532	<b>0.0489**</b>	0.0322
M1	-0.1552	<b>0.0303**</b>	0.0468
汇率	-0.9998	<b>0.0816*</b>	0.0841
HS300	-0.0340	<b>0.0574*</b>	0.0673

<sup>6</sup> 隐含因子是周数据，本文取其每月最后一周数据作为回归序列，与宏观变量频度相匹配。

分析上述回归结果后，也能迅速得到几个结论：

1.简单线性回归的结果证实，变量系数的符号符合之前的相关性分析，因而确实存在上述已经分析过的期限溢酬与宏、微观变量之间的传导关系。

2.隐含因子包含了丰富的宏观经济信息。如众多文献所得到的结论一样，通货膨胀对投资者的风险回报起到非常重要的作用；但本文结论不同之处在于隐含因子中并没有对以工业增加值为代表的经济增长水平作出反应。

3.通货膨胀的冲击对期限溢酬的贡献较大，而通胀水平的解释力度却很小。这说明隐含因子中可能更多是包含非预期因素的影响，而可预期的水平值变化已经反映在了当前的利率期限结构之中。

4.汇率对期限溢酬的影响非常重要，这在之前的国内文献中很少被提及。它对期限溢酬解释的  $R^2$  甚至在所有显著的变量中是最高的，比通货膨胀的影响还要高出 3.4%。后文将进一步分析它显著影响的具体原因。

5.货币供应量对隐含因子的影响仍然同相关性分析一样，存在异象。货币供应量对隐含因子起到负作用，并且水平值与非预期的冲击都能有影响。在 4.4.4 节将结合货币政策调整的作用进行分析。

虽然上述回归结果显示五因子的仿射模型的确取得了不错的效果，但可能会有读者认为在方差比的计算中前三个主成分已经能解释利率曲线的 90% 以上，再加入第四、第五因子后不会对分子中的方差起到作用。随着因子个数的增加方差比势必下降，从而导致我们错误的选择了五因子模型，所以三因子模型和五因子模型实际上是会取得相似的效果。上述观点混淆了对利率曲线进行拟合与预测的不同含义。利率主成分三因子只对样本期内的利率曲线有良好的拟合，四、五因子的引入的确不会对拟合有多大的改进，但是在预测上可能就会存在显著的效果。基于谨慎性的原则，本文按照五因子模型类似的方法按部就班的估计了三因子模型，并提取出对应的隐含因子与宏、微观变量作回归，以期与五因子模型进行对比。表 4.5 是回归的结果：

表 4.5: 三因子模型线性回归结果

指标名称	系数	p 值	$R^2$
CPI-冲击	-0.0001	0.1792	0.0275
CPI	-9.44E-05	0.1781	0.0318
工业增加值-冲击	2.85E-06	0.8869	0.0002
工业增加值	-7.36E-06	0.5832	0.0034
M1-冲击	7.67E-06	0.7611	0.0010
M1	1.71E-05	0.4197	0.0074
汇率	6.85E-05	0.5007	0.0052
HS300	1.28E-06	0.7410	0.0012

可以看到，在五因子模型中显著的变量在三因子模型下都变得极不显著， $R^2$  也显示出微弱的解释能力。因此通过三因子模型与五因子模型对比后发现：

1. 利率主成分三因子的确很好的涵盖了利率曲线上的信息，但无法捕捉到利率曲线以外的信息。

2. 根据研究目的的不同，在仿射模型设定过程中因子个数的选择需要更加谨慎。如果单纯是为了对利率曲线进行样本内的拟合，三因子模型就足够充分。但如果是针对期限溢酬的解释与预测，三因子模型可能就会丢失掉大量的信息。可以考虑像本文一样引入更多的潜因子或者像 Joslin, Priebsch 和 Singleton(2009)、Barillas(2010)一样直接加入宏、微观变量联合建模。

#### 4.4.3 向量自回归模型分析

在经过初步的线性回归分析后，我们在实证中证实了隐含因子同宏、微观变量之间的紧密关联。但上面的分析仅仅只是建立在单向的回归解释上，并且也都只涉及单个的变量，我们仍然希望将隐含因子与各变量作为一个整体进行更深入的研究。因此我们想到利用 VAR 模型继续进行探讨。

本文 VAR 系统选择的变量为：隐含因子、CPI-冲击、M1-冲击、汇率对数收益率。因为在相关性检验和回归分析中，上述变量同隐含因子的联系最为紧密

，因此联合考察多变量的综合影响。根据 AIC、BIC 准则，VAR 模型阶数定为 1 阶。我们只列出了以隐含因子作为被解释变量的方程：

$$\begin{aligned}
 R &= 0.5908 * R(-1) - 0.4080 ** CPI(-1) - 0.0471 M1(-1) \\
 &\quad - 0.8323 * Exchange(-1) + 3.5397 * \\
 R^2 &= 0.4684 \quad AdjR^2 = 0.4428
 \end{aligned}
 \tag{4.5}$$

回归方程调整的  $R^2$  达到了 44%，显示宏观变量整体对隐含因子的解释性良好。单独来看，M1 的系数不显著，而汇率和通胀的滞后期系数都显著，说明对隐含因子的影响也有滞后性。

建立 VAR 模型的目的是要分析隐含因子与宏观变量之间的相互关系，因此接下来利用脉冲响应分析来研究单位冲击对隐含因子的当前及未来造成的影响。以下使用的是广义脉冲得到的结果：

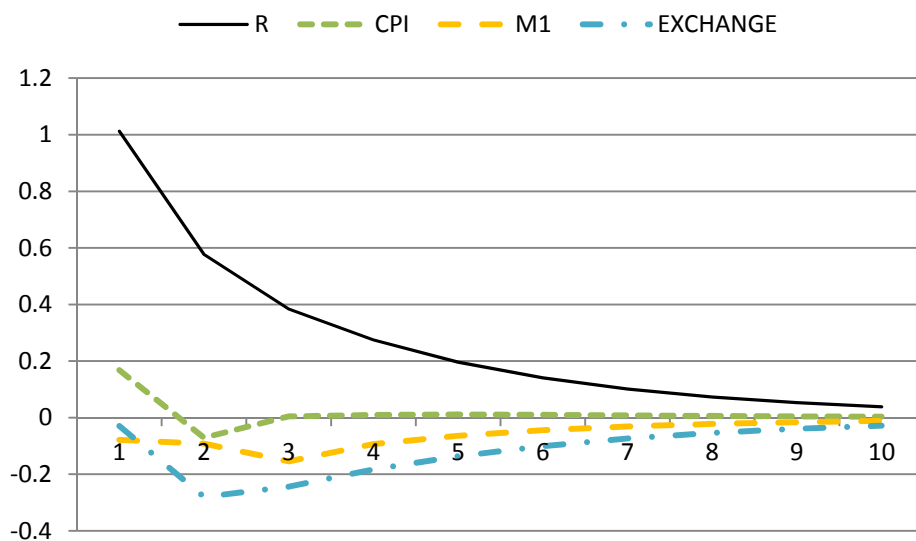


图 4.6：对于隐含因子的脉冲响应

脉冲响应图告诉我们，M1 和汇率对隐含因子的影响是呈负向的，CPI 对隐含因子的影响基本是正向的，同之前的相关性分析和回归分析的结论一致。而且隐含因子对于 CPI 的反应相对 M1 和汇率的冲击要迅速得多，在经过两期也就是 2 个月的时间后影响就迅速消除。这很可能显示出我国的投资者对于通货膨胀的敏感性比其它指标更强。



在分析了脉冲相应图之后，对隐含因子受到的影响有了定性的了解。而方差分解可以用相对方差贡献率来告诉我们隐含因子的波动中受到各种冲击的重要程度：

**表 4.6：方差分解结果**

Variance Decomposition of R:					
Period	S. E.	R	M1	CPI	EXCHANGE
1	1.012299	100	0	0	0
2	1.212362	92.33996	0.15174	2.262922	5.245373
3	1.302211	88.7414	1.054558	2.416793	7.787246
4	1.345424	87.29725	1.27828	2.415673	9.008792
5	1.36724	86.59015	1.366404	2.395401	9.648041
6	1.378452	86.23025	1.403978	2.379697	9.986075
7	1.384267	86.04363	1.421184	2.370004	10.16519
8	1.387298	85.94613	1.429446	2.364474	10.25995
9	1.388881	85.89504	1.433539	2.361433	10.30999
10	1.38971	85.86825	1.435609	2.359792	10.33635

方差分解的结果显示，隐含因子的方差主要来自自身。更为引起注意的一个结论是，汇率的影响尤其不容忽视，比 CPI、货币供应量对隐含因子的作用还要大得多，这在以往研究期限溢酬的文献中很少涉及。究其原因，很可能源于我国特殊的货币政策与汇率制度。为了货币的稳定，我国的货币政策经常被动的取决于汇率的变动，汇率变动导致的外汇占款变化会对基础货币投放产生影响，从而对期限溢酬起作用。而从我国不断增加的外汇储备也可以知晓，热钱不断的流入导致了央行大量的货币投放，因此汇率因素才会在期限溢酬的变动中起到如此重要的影响。

#### 4.4.4 超额收益与隐含因子

我们虽然分析了宏、微观变量对隐含因子的作用，但不能忽略的一点是，隐含因子并不等价于期限溢酬，它只是和期限溢酬有着非常紧密的联系。那么我们自然想要探讨隐含因子到底对超额收益有着怎样的作用，隐含因子所具有的信息含量又对超额收益有哪些联系与影响。表 4.7 中超额收益对于各变量的回归结果有助于进行下一步分析：

表 4.7: 超额收益回归结果

隐含因子	CPI - 冲击	工业增加值 - 冲击	CPI	货币政策调整	$R^2$
0.1490 (0.0317**)					0.0608
0.1483 (0.0391**)	-0.007 (0.968)				0.0608
0.1432 (0.0618*)		0.0991 (0.0323**)			0.1166
0.1182 (0.1204)			0.2388 (0.0183**)		0.1033
0.0826 (0.3043)				0.6258 (0.0000***)	0.2251

注: 括号内为对应系数的 p 值

分析回归结果, 我们能总结出如下的结论:

1. 隐含因子对超额收益具有预测能力。我们之前的分析已经从隐含因子中提取出了大量的宏观经济信息, 而不少实证文献也证明了宏观变量对超额收益的预测作用, 所以隐含因子的可预测性也在预期之中。需要说明的是, 在隐含因子的建模之初, 其实就暗含了隐含因子对超额收益的预测作用, 在本文第三章的理论基础中也有推导。此处作此回归是为了进一步在数据的基础上更显性的呈现出隐含因子的预测能力。

2. CPI 的冲击引入对超额收益的解释力度没有贡献, 而 CPI 的水平值引入大幅提高了  $R^2$ 。这也再次验证了之前的观点: 隐含因子更多的涵盖了物价水平的非预期影响。可预期的水平变化已经体现在了利率曲线之中。

3. 工业增加值的引入显著的提高了  $R^2$ 。而在之前的分析中, 工业增加值对于隐含因子的解释力很微弱, 也印证了隐含因子同期限溢酬之间既有紧密的联系, 同时也存在着信息含量的不同。

4. 货币政策调整<sup>7</sup>作为哑变量引入后，隐含因子变得不显著，而  $R^2$  却大幅提升。分析产生上述结果的原因可能有两点：一是货币政策调整是市场公开信息，会立即反映到利率曲线之中，对超额收益也会产生即时的影响，所以会使得  $R^2$  大幅提升。二是我们继续通过隐含因子对哑变量作回归，发现哑变量也是显著，即两者可能存在多重共线性的问题。因而说明虽然隐含因子的提取过程是为了剔除利率期限结构的信息，但仍有部分货币政策的信息隐含其中。而对于这一点，一方面本文风险补偿的特殊设定形式可能忽略掉了部分货币政策对曲线斜率冲击的影响；另一方面货币政策调整使得利率变化存在非线性的特征，而隐含因子的提取过程可能只剔除了线性影响。这也是仿射模型在这方面的弊端，因为它假定利率是状态变量的线性函数。以上的多种因素交织，可能就造成了在前文实证中出现的货币供应量与隐含因子关系难以解释的现象。关于货币政策变量在隐含因子及期限溢价中的作用，期待在未来有更完善的研究。

## 4.5 隐含因子的应用

隐含因子包含有丰富的宏观经济信息，我们当然期待能在实务中利用其优点进行更广泛的应用。对于债券市场的预测作用已经暗含在了建模过程中，仿射模型的建立本质上就假定了时变的风险溢价，在上节的对超额收益的回归实证中也证实了隐含因子的预测性。下面我们要讨论的是在股票市场上的预测作用以及对于先行指标的替代可能性。

### 4.5.1 股市联系

本文仍然利用 VAR 模型研究两者之间的关系。选取的变量为隐含因子与沪深 300 指数的对数收益率，模型的阶数定为 1 阶，下面给出了脉冲响应分析图：

---

<sup>7</sup>本文货币政策调整哑变量的构建，采用的是 2005 年 1 月-2012 年 5 月的货币政策调整信息。当月出现加息或存准率上调则变量值为 1，当月出现降息或存准率下调则变量值为-1，当月没有出现货币政策调整操作则变量值为 0。

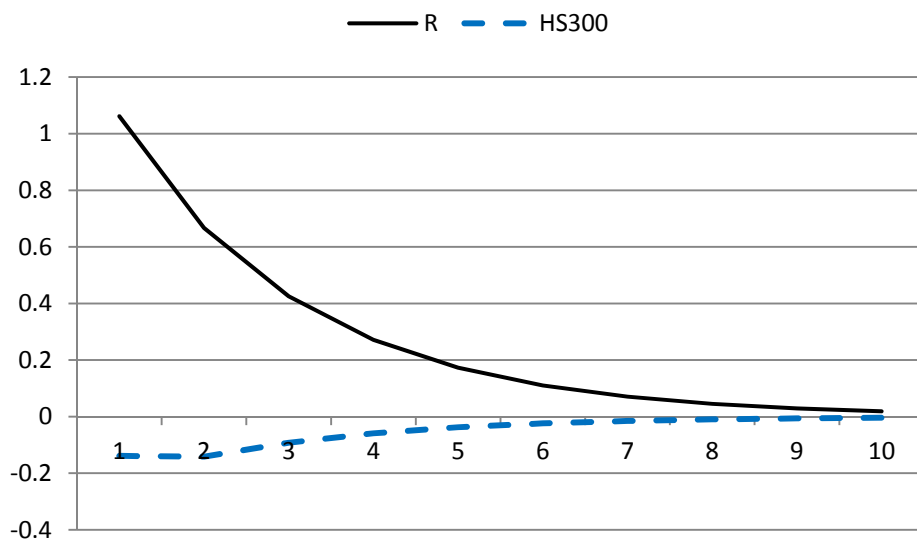


图 4.7：隐含因子的脉冲响应分析

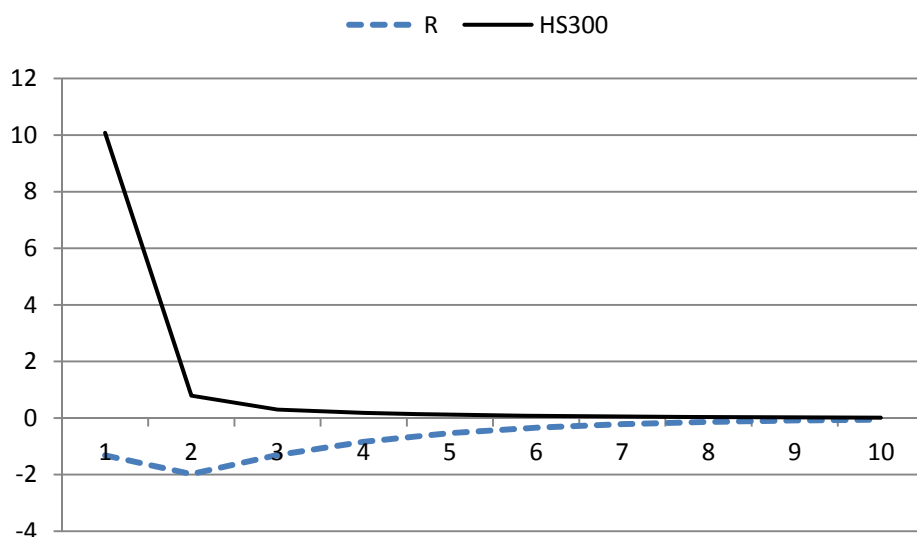


图 4.8：沪深 300 指数的脉冲响应分析

通过建立包含隐含因子和沪深 300 指数的二元 VAR 系统，我们从脉冲响应图上看到，隐含因子与沪深 300 指数对于相互冲击的反应都是负向的，符合之前的分析。隐含因子受到非预期的冲击变大，预示着投资者风险厌恶程度增大，经济环境很可能向不利方向运行，股市整体的收益率也相应走低。隐含因子对于股票市场的确有预测作用。

表 4.8: 方差分解

Variance Decomposition of R:			
Period	S. E.	R	HS300
1	1.06173	100	0
2	1.254904	99.80771	0.192291
3	1.325441	99.74916	0.250838
4	1.353105	99.72847	0.271532
5	1.364207	99.72051	0.27949
6	1.368702	99.71734	0.282657
7	1.370527	99.71607	0.283934
8	1.37127	99.71555	0.284452
9	1.371572	99.71534	0.284663
10	1.371695	99.71525	0.284749

Variance Decomposition of HS300:			
Period	S. E.	R	HS300
1	10.0779	1.708314	98.29169
2	10.28509	5.357309	94.64269
3	10.36861	6.860614	93.13939
4	10.40249	7.461213	92.53879
5	10.41625	7.703562	92.29644
6	10.42185	7.801866	92.19813
7	10.42412	7.84183	92.15817
8	10.42505	7.85809	92.14191
9	10.42543	7.864709	92.13529
10	10.42558	7.867403	92.1326

Cholesky Ordering: R HS300

而从方差分解的结果来看，隐含因子的方差主要来自于自身，沪深 300 指数的影响甚微；相反，沪深 300 指数的方差相当一部分的贡献来自于隐含因子。结合前文的分析，我们已经知道隐含因子中包含有丰富的宏观信息，因此可以合理推测以上情况发生的原因：因为宏观信息已经及时的反映在了隐含因子中，所以股票市场对隐含因子的作用不强；而股票市场之所以是经济的晴雨表，也来源于它对宏观信息的提前预期，这些信息可能已经部分包含在了隐含因子当中，因此对股票收益率有影响。

### 4.5.2 先行指标

从隐含因子的建立过程可以发现，它能够从金融市场中进行即时的提取，又因为其包含的丰富宏观经济信息含量以及对股票市场的预测作用，我们有理由相信它可以作为有效的先行类指标对投资者、政策制定者提供参考和指导。

本文选取了几个在我国常用的具有代表性的先行类指数<sup>8</sup>，与隐含因子进行了相关性检验，结果如下表：

表 4.9：隐含因子与先行指标相关性

	先行指数	预警指数	PMI
隐含因子	-0.30 (0.0044***)	-0.24 (0.0217**)	-0.08 (0.4525)

从相关性检验结果可以看出，隐含因子与先行指数<sup>9</sup>、预警指数<sup>10</sup>具有显著的负相关。负向的关系显示了经济形势向好时，投资者所要求的风险补偿降低的逻辑，符合理论的预期。隐含因子与部分先行类指标的高度相关性体现了它在对宏观信息作出反映的及时性，能够起到先行的作用。同时，因为隐含因子的提取随时可以从金融市场上获得，而且较宏观变量由统计数据计算而得有更高的精确性，故隐含因子相较于现行先行类指标的优势体现在高频度、及时性与精确度上。

不过检验结果并未完全向期待的方向发展，隐含因子与 PMI 指数<sup>11</sup>虽然呈现负相关，但结果却并不显著。而投资者在判断经济形势并制定投资决策时，PMI 指数具有很重要的意义。具体分析其原因，PMI 指数的组成成分<sup>12</sup>基本都代表了对 GDP 的先行影响程度，而先行指数与预警指数组成部分中还包含有物价类的先行成分，因此这里也从另一个角度印证了隐含因子主要体现与物价类相关的信

<sup>8</sup> 此处选取的先行类指标在实务中最为常用，同时数据频率为月度，利于本文实证研究。

<sup>9</sup> 中国经济景气监测中心 (CEMAC) 选取先行 6 指标合成指数 ( 恒生内地流通股指数、产品销售率、货币供应量 M2、新开工项目、物流指数、房地产开发投资先行指数)、消费者预期指数和国债利率差作为先行指标。

<sup>10</sup> 预警指数有十个构成指标，包括工业生产指数、固定资产投资、金融机构各项贷款、工业企业利润、海关进出口、货币供应 M2、消费品零售、城镇居民人均可支配收入、居民消费价格指数、财政收入等。

<sup>11</sup> PMI 指数计算相关性时分别采用了：1.直接利用水平值 (Ludvigson 和 Ng (2009) 的处理方式)；2.对数化处理，减轻异方差的影响。实证结果相似，也都不显著。文中报告值为水平值计算结果。

<sup>12</sup> 根据各指标对 GDP 的先行影响程度，衡量制造业在生产、新订单、商品价格、存货、雇员、订单交货、新出口订单和进口等八个方面状况的指数。

息。所以隐含因子虽然不能完全替代 PMI 的作用，但仍然会是对先行类指标体系的良好补充。

## 4.6 本章结论

本章节建立起了五因子的仿射模型，研究期限溢酬范畴下的隐含因子的经济信息含量。通过卡尔曼滤波估计出参数后，计算了方差比率筛选出合适的模型并验证了隐含因子的存在。紧接着对隐含因子进行提取并分析了它的基本性质。在了解了隐含因子的特点后，分别采用了相关性分析、线性回归分析、VAR 系统分析，用以全面挖掘隐含因子的信息含量。最后探讨了隐含因子在债市和股市上的预测作用，以及未来在先行类指标上的发展可能性。

实证中所做的工作和主要的结论可归纳如下：

1. 方差比的计算中五因子模型降到只有 0.41，很好的证实了隐含因子的存在。常用的三因子仿射模型在研究期限溢酬上需更加谨慎。如果是为了进行利率曲线的拟合，三因子模型有很良好的效果。但如果是为了对期限溢酬进行解释与预测，三因子模型可能会遗漏掉大量的信息。

2. 隐含因子的确包含有丰富的宏观经济信息，它同通货膨胀、货币供应量等价格类信息相关性很强，但和经济增长类指标联系较弱，这点不同于期限溢酬。另外汇率的信息尤其重要，有时对隐含因子的影响甚至超过了通货膨胀和货币供应量，这可能和我国特殊的货币政策和汇率制度有关。

3. 隐含因子不仅在理论上是对现行研究的良好补充，同时也具备很强的应用前景。隐含因子对于股票市场和债券市场具有一定的预测能力，而且它可能会比现行的先行类指标具备更多的优势：高频度、及时性、精确度。

## 第五章 结论与展望

### 5.1 本文结论

关于期限溢酬预测源头的实证研究，不断的从利率期限结构提取信息进行预测推进到宏、微观变量进行预测。而在经典的研究框架下，高斯仿射模型隐性的认为利率期限结构以外的信息对期限溢酬没有解释力度，而这点又与很多实证结论不符。本文即是在跟随 Duffee (2011) 的理论推导下指出了以往利用高斯仿射模型进行研究的不足，指出利率期限结构之外的信息同样能够被引入到仿射模型中对超额收益进行解释与预测。

本文以 2005 年 1 月-2012 年 5 月的我国银行间国债市场为研究对象，在隐含因子的新框架下得出了下面几点主要结论：

为了研究隐含因子存在性并对其进行提取，本文分别建立了三因子、四因子及五因子模型分别进行参数估计。然后通过方差比的计算，发现从三因子扩展到五因子模型的同时，方差比从 0.99 大幅下降到 0.41，很好的证实了隐含因子的存在，而且表明有大部分的期限溢酬预测信息“隐藏”在了利率曲线之外。隐含因子的存在性也对今后的研究工作有很好的参考意义：常用的三因子仿射模型在研究期限溢酬上需更加谨慎。如果是为了进行利率曲线的拟合，三因子模型有很好的效果。但如果是为了对期限溢酬进行解释与预测，三因子模型可能会遗漏掉大量的信息。进行改进的思路可以是像本文一样增加因子个数以体现隐含因子的性质，或者直接引入宏、微观变量与潜因子联合建模。

在通过对隐含因子与宏观变量之间的相关性检验、简单线性回归和 VAR 分析之后，证实了隐含因子的确包含有丰富的宏观经济信息，它同通货膨胀、货币供应量等价格类信息相关性很强，但和经济增长类指标联系较弱，这点和期限溢酬的实证结果略有不同。另外汇率的信息尤其重要，有时对隐含因子的影响甚至超过了通货膨胀和货币供应量，这可能和我国特殊的货币政策和汇率制度有关。为了稳定保持币值的稳定，面对大量的热钱流入，央行只能被动投放基础货币，这无疑加大了货币超发的风险，投资者对此要求更高的风险补偿。再结合我国天量的外汇储备，也就不难理解为何汇率在此会有如此突出的作用。



最后研究了隐含因子在实际中潜在的应用价值。隐含因子与仿射模型的结合本身就是以承认期限溢酬的时变特征为前提,因此它天然对债券市场有预测作用。而通过隐含因子与沪深 300 指数的 VAR 分析,它对于股票市场收益率也有预测作用。而进一步通过和当前的先行类指标进行的相关性分析后发现,隐含因子与先行类指标具有显著的相关性。这可能为今后将隐含因子引入到先行指标体系提供了有益的参考,它比现行的先行类指标具备更多的优势:高频性、及时性、精确性。

## 5.2 后续研究

本文在我国银行间市场分析了隐含因子的存在性与基本性质,并重点分析了隐含因子的信息含量及未来应用前景,并取得了基本符合预期的效果,但本文在理论与实证中仍存在可改进的空间:

本文采用新的研究思路进行了期限溢酬的研究,只是提供了一种不同的研究方向,重点在分析隐含因子的信息含量,而没有进一步关心如何提高预测的精度。而由于数据样本量有限、待估参数众多等限制,在实证的预测效果上,可能隐含因子并非是最优的,这对于实际的应用有一定的限制。本文已经证实了隐含因子的存在与拥有的丰富宏观经济信息,接下来如何利用隐含因子的优点来改善超额收益的预测会是有意义的话题。

另外在本文建立的模型中,待估计参数一共有 44 个,所以面临着参数不稳定与过度拟合等问题。如果能够引入利率以外的数据,能够对模型的估计进行改善。但额外信息的引入一是使研究又回到了以往先引入变量后验证的思路,二是也可能产生模型误设。所以如何加以权衡,使得模型的估计更精确是今后值得思考的问题。

在实证过程当中也有不符合预期的结论出现。货币供应量与期限溢酬的关系违背了以往研究的结论,而且货币政策调整项作为哑变量引入后,隐含因子对超额收益的预测作用也变得不显著。说明虽然隐含因子的提取过程是为了剔除利率期限结构的信息,但仍有部分货币政策的信息隐含其中。而得出上述异象的可能原因在于,一方面本文风险补偿的特殊设定形式可能忽略掉了部分货币政策对曲线斜率冲击的影响;另一方面货币政策调整使得利率变化存在非线性的特征,而

隐含因子的提取过程可能只剔除了线性影响。这也是仿射模型在这方面的弊端，因为它假定利率是状态变量的线性函数。所以怎样对该异象进行合理解释或者对模型加以改进使异象得到纠正，也会对隐含因子框架在期限溢酬领域的研究更趋完善。

此外，本文还考察了变量的波动率对隐含因子的解释作用。将变量新息的平方作为波动率的代理变量引入回归，但结果并不显著。期限溢酬来源于对未来的不确定性，这和风险源的二阶矩应当有所联系，但实证结果却并未发现以上特点。这些问题都值得作进一步的研究。

## 参考文献

- [1] 董莉莎、朱映瑜, 2011, 宏观经济变量对中国国债风险溢价影响的实证研究, 《理论研究》 414, 9-12.
- [2] 范龙振、张处, 2009, 中国债券市场债券风险溢酬的宏观因素影响分析, 《管理科学学报》 12(6), 116-24.
- [3] 范龙振、施婷, 2006, 上海证券交易所回购利率期限结构的风险溢酬, 《系统工程理论方法应用》 15(4), 359-72.
- [4] 郑振龙、吴颖玲, 2009, 中国利率期限溢酬: 后验信息法与先验信息法, 《金融研究》第10期, 68-82.
- [5] 郑振龙、柯鸿、莫天瑜, 2010, 利率仿射模型下的利率风险价格形式实证研究, 《管理科学学报》第9期, 4-15.
- [6] 张蕊、王春峰、房振明、梁崑, 2009, 上交所国债市场流动性溢价研究——基于4因子仿射利率期限结构模型, 《系统管理学报》18(5), 481-86.
- [7] Ang, A., and M. Piazzesi, 2003, A no-arbitrage vector auto-regression of term structure dynamics with macroeconomic and latent variables, *Journal of Monetary Economics* 50, 745-87.
- [8] Barillas, F., 2011, Can we exploit predictability in bond markets?, *Working Paper*.
- [9] Buraschi, A., and P. Whelan, 2011, Macroeconomic uncertainty, difference in beliefs, and bond risk premia, *Working Paper*.
- [10] Carlo A.F., Arie E.G., and H.X. Yang, 2011, Demographics and the behavior of Interest rates, *Working Paper*.
- [11] Collin-Dufresne, P., and R. S. Goldstein, 2002, Do bonds span the fixed-income markets? Theory and evidence for unspanned stochastic volatility, *Journal of Finance* 57, 1685-730.
- [12] Cochrane, J. H., and M. Piazzesi, 2005, Bond risk premia, *American Economic Review* 95, 138-60.
- [13] Cochrane, J. H., and M. Piazzesi, 2008, Decomposing the yield curve, *Working Paper*.
- [14] Campbell, J.Y., and R.J. Shiller, 1991, Yield spreads and interest rate movements: a bird's eye view, *Review of Economic Studies* 58(3), 495-514.

- [15] Cooper, I., and R. Priestley, 2009, Time-varying risk premiums and the output gap, *The Review of Financial Studies* 22(7), 2801-2833.
- [16] Duffee, G. R., 2002, Term premia and interest rate forecasts in affine models, *Journal of Finance* 57(1), 405-443.
- [17] Duffee, G. R., 2010, Sharpe ratios in term structure models, *Working Paper, Johns Hopkins*.
- [18] Duffee, G. R., 2011, Information in (and not in) the term structure, *Review of Financial Studies* 24, 2895-2934.
- [19] Duffie, D., and R. Kan. 1996, A yield-factor model of interest rates. *Mathematical Finance* 6, 379-406.
- [20] Dick, C., Schmeling, M., and A. Schrimpf, 2010, Macro expectations, aggregate uncertainty, and expected term premia, *Working Paper*.
- [21] Fama, F., 2006, The behavior of interest rates, *Review of Financial Studies* 19(2), 359-379.
- [22] Fama, E.F., and R.R. Bliss, 1987, The information in long-maturity forward rates, *The American Economic Review* 77(4), 680-692.
- [23] Ferman, M., 2011, The monetary policy transmission mechanism in a term-structure model with unspanned macro risks, *Working Paper*.
- [24] Goh, J., Jiang, F.W., Tu, J., and G.F. Zhou, 2011, Forecasting bond risk premia using technical indicators, *Working Paper*.
- [25] Joslin, S., Pribsch, M., and K.J. Singleton, 2009, Risk premiums acouting in macro-dynamic term structure models, *Working Paper, Stanford University*.
- [26] Kim, D.H., 2007, The bond market term premium: what is it, and how can we measure it? , *BIS Quarterly Review* June 2007, 27-40.
- [27] Kim, D.H., and A. Orphanides, 2005, Term structure estimation with survey data on interest rate forecasts, *Federal Reserve Board Working Paper*, 2005-48.
- [28] Kim, D.H., and J.H. Wright, 2005, An arbitrage-free three-factor term structure model and the recent behavior of long-term yields and distant-horizon forward rates, *Working Paper*.
- [29] Lee, J., 2011, Treasury bill yields: overlooked information, *Working Paper*.
- [30] Ludvigson, S.C., and S. Ng, 2009, Macro factors in bond risk premia, *Review of Financial Studies* 22, 5027-67.
- [31] Litterman, R., and J. Scheinkman, 1991, Common factors affecting bond returns, *Journal of*

*Fixed Income* 1, 54–61.

- [32] Markovich, M., and A. Plazzi, 2012, Amending factors and bond risk premia, *Working Paper*.
- [33] Mueller, P., Vedolin, A., and H. Zhou, 2011, Short-run bond risk premia, *Working Paper*.
- [34] Rudebusch, G.D., Sack, B.P., and E.T. Swanson, 2007, Macroeconomic implications of changes in the term premium, *Federal Reserve Bank of St.Louis Review* 89(4), 241-69.
- [35] Sarno, L., Schneider, P., and C. Wagner, 2012, The economic value of predicting bond risk premia: can anything beat the expectations hypothesis? , *Working Paper*.
- [36] Thornton, D.L., and G. Valente, 2012, Out-of-sample predictions of bond excess returns and forward rates: an asset-allocation perspective, *Working Paper*.
- [37] Wright, J., and H. Zhou, 2009, Bond risk premia and realized jump risk, *Journal of Banking & Finance* 33(12), 2333–2345.
- [38] Xiong, W., and H.J. Yan, 2009, Heterogeneous expectations and bond markets, *Review of Financial Studies* 23(4), 1433-1466.

## 致 谢

时光飞逝，三年的研究生生活已经接近尾声。想起这三年来的求学经历，觉得充实而意义非凡，同时心中也充满了感激。

首先要感谢我的恩师郑振龙教授。有幸成为郑老师的弟子，在三年的学习中领略了金融工程的魅力，帮助我在学术上有了更深入的理解；同时，郑老师严谨的治学作风和对待学术的极大热情深深的感染着我，也将在我日后的工作中一直影响着我。

在这三年当中，我也得到了很多老师的帮助。特别感谢陈蓉教授、陈淼鑫副教授对我的指导与关心，让我获益匪浅。

还要感谢我的同门师兄弟及同学们。感谢邓弋威师兄对我论文进行的各种指导；感谢王磊师兄、刘杨树师兄、孙清泉师兄对我论文的建议；感谢吴强、杨涵宇、廖木英在我行文过程中与我深入的沟通并提出宝贵的想法；感谢室友徐涛对我起到的积极带动作用；最后还要感谢所有同门师兄弟、师姐妹，我受益良多。

最后要感谢我的父母和家人对我的支持与鼓励，感谢我的女朋友任永健对我的包容与耐心。你们都是我求学路上以及今后人生中的最重要支柱。

未来的道路即将铺开，暂且让我享受最后的校园时光。