



中國農業大學

# 本科生毕业论文

论文题目 中国国债收益率曲线特征与宏观经济变量分析

学生姓名 孟舒晨 学号 1401080719

专 业 金 融 年 级 2015 级

指导教师 安 毅 职 称 教 授

学 院 经 济 管 理 学 院

中国农业大学教务处制

2019 年 5 月

## 摘 要

国债收益率曲线是描述不同期限的国债的到期收益率，与其到期期限之间关系的一组曲线。一般认为，在一个有效的金融市场中，国债收益率曲线中包含了丰富的经济信息，对微观经济主体和宏观经济主体都具有重要的意义。本文通过 Nelson-Siegel-Svensson 模型对中美两国的国债收益率曲线的结构进行估计，通过三维图展示了参数拟合结果，并对不同年限的收益率的历史分布信息进行对比，相对美国，中国银行间国债收益率曲线的短期利率波动更大，且较不连续，中长期收益率利差比美国小很多。之后对估计出的标准年限的收益率进行主成分分析，明确了水平因子，斜度因子，曲率因子是收益率曲线特征的主要影响因素，并进一步探究了主成分和宏观经济变量的关系。水平因子中包含着通货膨胀信息、斜度因子可以反映出市场参与者的信心和预期的变化、收益率曲线的特征比货币供应量对货币政策的反应更快。最终对国债收益率曲线特征形成认识，本文认为，只有丰富国债品种，完善传导机制，完善信用体系，激发债券市场活力，才能进一步的发挥国债收益率曲线作为决策信息依据的功能。

**关键词：**国债收益率曲线，Nelson-siegel-svenson 模型，主成分分析法，收益率曲线特征

## **Abstract**

Treasury yield curve describes the yield of Treasury bonds with different maturities and the relationship between them. It is generally believed that in an effective financial market, the Treasury yield curve contains abundant economic information, which is of great significance to both micro-economic and macro-economic. In this article, through Nelson-Siegel-Svensson model, China and the United States Treasuries yield curve structures were estimated, and then were showed by the three-dimensional figure. Compared the descriptive statistics relative to the United States, China's inter-bank bond yield curve short-term interest rate fluctuation is bigger, and more discrete, medium and long-term yield spreads are much smaller than in the us. After that, principal component analysis was carried out, and it was clear that horizontal factor, slope factor and curvature factor were the main influencing factors of yield curve characteristics, and the relationship between principal component and macroeconomic variables was further explored. The level factor contains the inflation information, the slope factor can reflect the market participant's confidence and the anticipated change, the yield curve characteristic reflects quicker than the money supply response to the monetary policy. Finally, the characteristics of the bond yield curve are recognized. This paper believes that only by enriching the bond varieties and stimulating the vitality of the bond market, can the bond market further play the role of interest rate discovery.

**Keywords:** Treasury yield curve, Nelson-siegel-svenson model, Principal component analysis, Yield curve characteristics

# 目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
目 录.....	III
1 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义 .....	1
1.2 文献综述.....	1
1.3 研究内容与研究方法 .....	4
1.4 研究创新和不足 .....	6
2 中美国债收益率曲线的估计 .....	8
2.1 收益率曲线的有关理论.....	8
2.2 Nelson-Siegel 法估计收益率曲线 .....	9
2.3 中美国债收益率曲线的特征.....	13
3 影响因子分析 .....	16
3.1 影响因子提取原理 .....	16
3.2 影响因子分析结果 .....	17
3.3 影响因子提取与经济含义检验.....	20
4 影响因子与宏观经济变量关联性 .....	22
4.1 变量选择和数据说明 .....	22
4.2 单位根检验与滞后阶数确定.....	23
4.3 格兰杰因果检验结果 .....	26
4.4 关联性小结.....	27
5 结论与建议.....	29
5.1 研究结果.....	29
5.2 研究建议.....	30
5.3 研究展望.....	30
参考文献.....	32
附录 .....	34
致谢 .....	44

# 1 绪论

## 1.1 研究背景及意义

描述国债的到期收益率与其到期期限之间关系的一组曲线就是国债收益率曲线，在一个市场化程度比较高，价格传导、信息传导有效的金融市场中，国债收益率曲线中包含了丰富的经济信息，对微观经济参与者和宏观经济实体都具有重要的意义。

对于微观经济主体来说，由于国债的违约率很小，基本没有非系统性风险，国债利率被认为是市场上的无风险利率，反应了市场上的利率走势，对于微观经济主体的投融资活动安排，利率风险的套保、对冲等管理方式和资产价格的确定具有重要意义。

另一方面，由于国债收益率曲线包含着预期长期投资回报率、潜在经济增长率、预期通货膨胀率等丰富的宏观经济和市场信息，反映市场参与者对当前经济状况的判断，因此不仅可以用来预测包括经济增长、通货膨胀等未来经济走势，由于其与宏观经济变量的互相影响，其也在货币政策传导中起到很大作用。除此之外，各国央行，如美联储，也把收益率曲线作为观察货币政策效果的重要指标。

我国国债市场发展较晚，但在过去的较短时间内，完整的经历了发达国家的发展历程，中国国债市场快速发展。国债发行量增加，各类投资者开始积极在国债市场进行投资，金融机构也开始利用国债进行资产负债管理，公开市场操作也为货币政策增加了许多灵活性。2018 年，国债发行 3.5 万亿元。与此同时，银行间交易市场已经成为了主要交易场所，2018 年，债券市场现券交易量 156.7 万亿元，同比增长 44.6%。银行间债券市场由于参与者多为银行等机构投资者，现券交易量占全部债券市场的将近 96%，对比起来交易所债券市场的表现并不亮眼，已经成为了某种意义上的零售市场：交易频次高，但是交易金额却完全不占优势，增长率也远落后于银行间交易市场，同比增长率只有 7.1%，比银行间市场低将近 40%。在此背景下，本文拟对银行间交易市场的国债收益率曲线进行研究，希望通过模型构建收益率曲线形状，找到中国国债收益率曲线的结构的特征和影响因素。

## 1.2 文献综述

### 1.2.1 收益率曲线的估计方法

市场上的债券数量是有限的，因此估计收益率曲线的结构时，面临的最重要的问题就是如何“插值”或如何通过方程解出没有国债覆盖的时点的利率，为此，学者们提出了两类解决方法：静态估计法和动态估计法。静态估计法对应于解决“插值”问题，而动态则偏重于经济变量间的联系，通过微分方程、动态模型的方式得到缺失的值。

静态估计法又可以根据是否需要建立函数拟合图形估计参数分为两类，一类是如常用的息票

剥离法，Fama 与 Bliss(1987) <sup>[1]</sup>建立各个债券之间的线性方程，通过市场上现有的零息债券的收益率和线性方程，依次解出即期利率的方法(息票剥离法)，因为不涉及参数的估计统称为非参数估计法。另一类寻找一些特殊的函数形式，使之能够完美的拟合并展现图形的特点，通常函数的形式待定，参数待估计，因此称为参数估计法。其中比较有代表性的包括：McCulloch(1975) <sup>[2]</sup>的三次样条函数估计法；Vasicek 和 Fong(1982) <sup>[3]</sup>的指数样条函数估计法；Chambers(1984) <sup>[4]</sup>等的多项式估计法；Nelson 和 Siegel(1987) <sup>[5]</sup>的“简约模型”估计法(简称 Nelson-Siegel 模型)以及 Svensson(1994) <sup>[6]</sup>的 Nelson-Siegel-Svensson 模型估计法等等。非参数估计法相对而言简单易行，但是由于很多关键期限的国债的数据缺失，其估计出来的期限结构曲线存在不可导点，或存在交易的债券集中在中短期，而长期债券数量少，交易数据缺失的情况下收益率曲线就会不连续，进而无法为债券准确的定价。参数估计法的优点在于利率期限结构是连续的，因为是由形式合适的函数去拟合得到的，所以通常曲线连续光滑。但是，为了使函数尽可能多的穿过已有的数据点，参数估计法会牺牲一些数据的准确性，特别在出现异常数据的时候，参数受到影响，曲线形状可能与实际差异较大，无法应用，另一方面，如果想要解决精确性的问题，想完美的拟合现实情况，参数的数量必须尽可能的多，函数的形式必须尽可能的复杂，从而导致估计参数需要在时间区间内具有一定的非异常的数据，否则将导致参数估计结果失真，Diebold 和 Li(2007) <sup>[7]</sup>综合了 Fama-Bliss 方法和 Nelson-Siegel 模型的众多优点，提出了一种新的估计方法(简称 Diebold-Li 方法)：这种方法不再使用国债交易数据去进行参数估计，而是把非参数估计法(息票剥离法)估计出的离散即期利率，看成是输入模型中的变量，然后使用线性最小二乘法估计出 Nelson-Siegel 模型中需要的参数，这样就可以避免模型无法对债券价格数据做筛选而导致的债券价格拟合利率期限结构时的失真。一方面，这个方法利用利率数据拟合，提高了数据的利用率，另一方面，这个方法借助了参数估计平滑化了息票剥离法得到的离散利率期限结构曲线，解决了曲线间断的问题。

动态估计方法则是更侧重于变量之间的联系和动态变化，动态模型、微分方程和统计计量方法在这里被运用，来描述收益率曲线的动态变化。模型估计时的一般把宏观经济变量当做已知变量，动态模型方法包含两类：一般均衡模型，如如被称为单因子模型的 Vasicek 模型和 CIR 模型等。另一类是无套利均衡模型，如最早的 HO-LEE 模型，Hull-White 模型和 HJM 模型等。迄今为止，可以对估计利率期限结构的方法和模型大致总结展示如下：

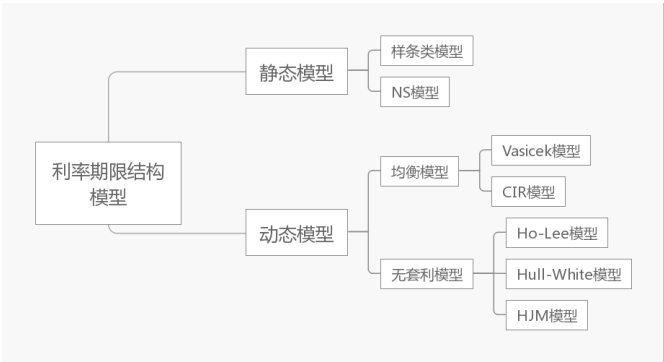


图 1-1 利率期限结构模型现代发展

### 1.2.2 收益率曲线的估计和因子分析

中国国债市场的快速发展始于 1980 年左右,中国的国债收益率曲线估计从 2000 年开始进入学者的研究范围,迄今为止已有众多学者做出过贡献。较早期的研究有,朱世武和陈健恒(2003)<sup>[8]</sup>利用上海证券交易所的数据估算了交易债券收益率曲线,郑振龙(2003)<sup>[9]</sup>则是利用同样的数据对中国市场的利率期限结构做了研究,傅强和蒋先玲(2005)<sup>[10]</sup>对国债的即期收益率曲线进行了估计。随后的研究中,周子康(2008)<sup>[11]</sup>进一步探究了国债收益率曲线的估计方法,李宏瑾(2012)<sup>[12]</sup>发现中国的利率期限结构也存在明显的时变期限溢价特征。

由于仿射模型的灵活性,国内也有不少基于仿射模型来进行动态估计收益率曲线的研究(姚余栋和谭海明(2011)<sup>[13]</sup>;曾耿明和牛霖琳(2013)<sup>[14]</sup>;耿迎涛和丁志国(2015)<sup>[15]</sup>)。谢赤和吴雄伟(2002)<sup>[16]</sup>认为,Vasicek 和 CIR 模型等一般均衡模型在表现中国货币市场利率的衍文的特点相对更有优势。强静(2018)<sup>[17]</sup>则利用基准利率、短期市场利率和基准利率的偏差、和长期债券风险溢价作为三个因子构造仿射利率期限结构模型。

在进行了不同的关于收益率曲线的估计方法的研究后,最近更多的学者将目光放在了对利率期限结构特征和因子的探索上:许瑾(2004)<sup>[18]</sup>利用 box-cox 的主成分分析方法,认为影响收益率曲线的这些因素可被解释为利率期限结构水平因子、斜率因子和曲率因子。康书隆(2010)<sup>[19]</sup>对平滑前和平滑后的中国国债利率期限结构都做了分析,得到了和许瑾一致的结果。杨宝臣(2016)<sup>[20]</sup>选择了构建远期利率组合,作为水平型因子解释风险溢价中占比最高的成分。关禹(2018)<sup>[21]</sup>则利用广义的 VASICEK 模型,实证检验了我国国债利率期限结构状态因子的相关性,目的是解释为什么我国的国债收益率曲线会具有“极度平坦化”的特征。

### 1.2.3 收益率曲线与宏观经济联动性

本文的另一个关注点是市场利率与经济基本面的关系,这个问题也一直被大家所关注,关系到如何更好地应用收益率曲线的信息。国外的研究开展的较早,Fama and Bliss (1987)<sup>[1]</sup>发现收益率曲线对未来的短期利率有预测作用,Arturo & Frederic(1996)<sup>[22]</sup>分析了美欧国家的国债收益率曲线和其货币政策变量的相互关系,认为国债收益率曲线斜率部分受货币政策重要影响,曲线对真实经济发展和通货膨胀有显著的预测效果。最近的研究 Cieslak & Povala (2015)<sup>[23]</sup>揭示了预期通胀率是决定美国国债市场利率变动最重要的变量,对各期利率的解释力随着期限增加而增加,可以解释美国 10 年期利率变动的 88%。

国内的诸多实践也证明了这一点,石柱鲜(2008)<sup>[24]</sup>在研究中国利率期限结构与经济增长、通货膨胀和利率的相互关系时应用向量自回归和仿射模型进行分析,他认为要关注利差的期限问题,不同期限利差对经济增长率和通货膨胀率的预测能力不同,中长期利差具有更好的预测能力。范龙振和张处(2009)<sup>[25]</sup>认为货币政策变量和宏观经济变量可以显著地解释中国债券市场的超额回报率。康书隆、王志强(2010)<sup>[19]</sup>实证研究发现,国债利差和宏观经济景气指数走势一致;董睿琳(2012)<sup>[26]</sup>通过研究说明了利率期限结构与经济增长有着密切的关系,利率期限结构的水平因子与 GDP 的增速呈正相关关系,GDP 增速与国债收益率曲线水平因子正相关。郭涛和宋德勇(2008)<sup>[27]</sup>

聚焦在远期利率对未来即期利率的预测能力上。也研究了利率期限结构与未来通过膨胀的关系,认为可以参考利率期限结构的信息制定货币政策。尚玉皇(2018)<sup>[28]</sup>基于混频 *desg* 模型,对基准收益率曲线与宏观经济关系展开讨论,说明了收益率曲线是如何揭示中国宏观经济的运行机制。刘金全、王勇和张鹤(2007)<sup>[29]</sup>基于向量自回归模型发现宏观经济因素对收益率曲线的不同特征影响大小不同,对截距项的影响更大。

对这种现象的解释有两种:一从利率期限结构的理论出发,长短利差存在的原因因为时间价值。当期限利差为负,则说明时间价值比较小,没有人对需要用到长期资金的投资、购置固定资产、产业扩张、资产增值等活动有需求,或认为未来的价值会下降,时间价值甚至为负值,这种现象意味着经济萧条,经济活动的减少。二是从利率的本质和货币政策的目标出发,利率的本质是货币的价格,自然和货币的供求相关,也就与调控货币供应量的货币政策息息相关。而货币政策作为宏观经济政策的一部分,旨在实现经济增长,充分就业,物价稳定,国内外收支平衡等宏观经济目标,自然而然的通过货币政策实现了收益率曲线结构和经济发展之间的传导和预期效应。

#### 1.2.4 文献综述总评

综上,现有的论文对收益率曲线的模型和实证分析已经研究的较为全面,不同的学者从动态和静态的角度提出了构建收益率曲线的模型。中国的学者针对中国国债市场的情况也进行了实证分析,其中包括交易所市场、银行间市场实证研究等,同时分析了中国国债收益率曲线的特征,对于其影响因素和极度平坦化的特征进行了探究。也有不少学者试图通过研究收益率曲线和宏观经济变量的关联性来挖掘收益率曲线的内含信息,为经济决策提供支持。

但现有的研究更多的是针对中国国债市场的,而没有将国债市场与发达成熟的债券市场进行对比,同时对于构建收益率曲线的模型的有效性缺乏统一的观点,较受认同的静态估计方法为 Nelson-siegel-seveenson 方法。其次,对于不同的影响因子的解释度也没有形成统一的观点,这和不同的时间区间和债券市场的数据选取的有关。最后,对于收益率曲线与宏观经济的关联性挖掘各成体系,虽已经达成了一些一致观点,但对如何利用这些信息,对收益率曲线和宏观信息的关系未进行整合性的体系研究。

### 1.3 研究内容与研究方法

#### 1.3.1 研究内容与目标

本文的研究目标在于从收益率曲线中挖掘丰富的经济信息。目前中国的经济决策主要基于统计信息作出,统计信息固然必不可少,但它存在缺陷:统计数据时滞较长;人工填报统计数据存在水分,统计数据不包含对未来的判断等。而首先金融产品的价格是公开的,几乎没有时滞;第二,金融市场的价格和成交量等原始数据都是通过系统直接传送的,没有人为的加工;第三,金融市场的价格是买卖决策的结果,因此包含对未来的预期。因此,在统计信息的基础上,大量使用金融市场的信息,会使其政策反应比较及时、准确。



但是由于中国的国债市场的历史性的储蓄特征、发展时间并不长、市场尚未实现完全的市场化等原因,中国的国债收益率曲线包含的信息是否全面、准确、及时、有效还有待研究,为了找到中国国债收益率曲线的基本特征,本文选择市场化程度较高,市场较成熟的美国国债市场与之对比,并在提取影响因子后与宏观经济变量进行了关联性的检验,以期从中挖掘国债市场的无风险利率、国债收益率曲线的结构特征和其中包含的宏观经济含义。

本文的子目标有三个:一是构筑国债收益率曲线,并通过直观和检验分布的方法对比不同特征。二是通过提取影响因子,抽离出可使用的信息。三是检验影响因子与宏观经济变量的关联性,从而探究收益率曲线信息含义和如何利用收益率曲线作出经济决策。

### 1.3.2 研究框架与方法

为实现上述研究目标,本文将做如下的文章结构框架安排:

**研究绪论。**本部分主要介绍了本课题的内容和背景,并对国内外利率期限结构的拟合理论和方法的进行了相关文献的研究,由此形成了本文的写作思路与内容,并做出说明。

**第二部分,**在研究了收益率曲线的相关理论后,本文通过 Nelson-Siegel-Svensson 模型对中美两国的国债收益率曲线进行参数估计。并将拟合后的收益率曲线画了三维图,将收益率曲线的特征可视化,使本文读者对中美国债收益率曲线特征的不同之处有直观的感受。并对收益率曲线不同年限的收益率的分布、峰度、偏度等描述性统计量进行对比,尝试对中美国债收益率的分布进行探究,因此通过历史分布对比中美收益率曲线的不同。

**第三部分,**本文通过主成分分析的方法,对利率期限结构的主要影响因子进行了进一步分析,提取出了水平因子、坡度因子和凹凸性因子三个因子。

**第四部分,**本文将对上述的收益率曲线中的特征与宏观经济变量的关系进行联动性分析,并通过格兰杰因果检验对收益率曲线的经济含义做出检验。

**第五部分,**本文对前述整个研究工作进行归纳和总结,阐述本课题研究的结论和尚存在的问题,以及进一步开展研究的见解和建议。

文本的技术路线图展示如下:

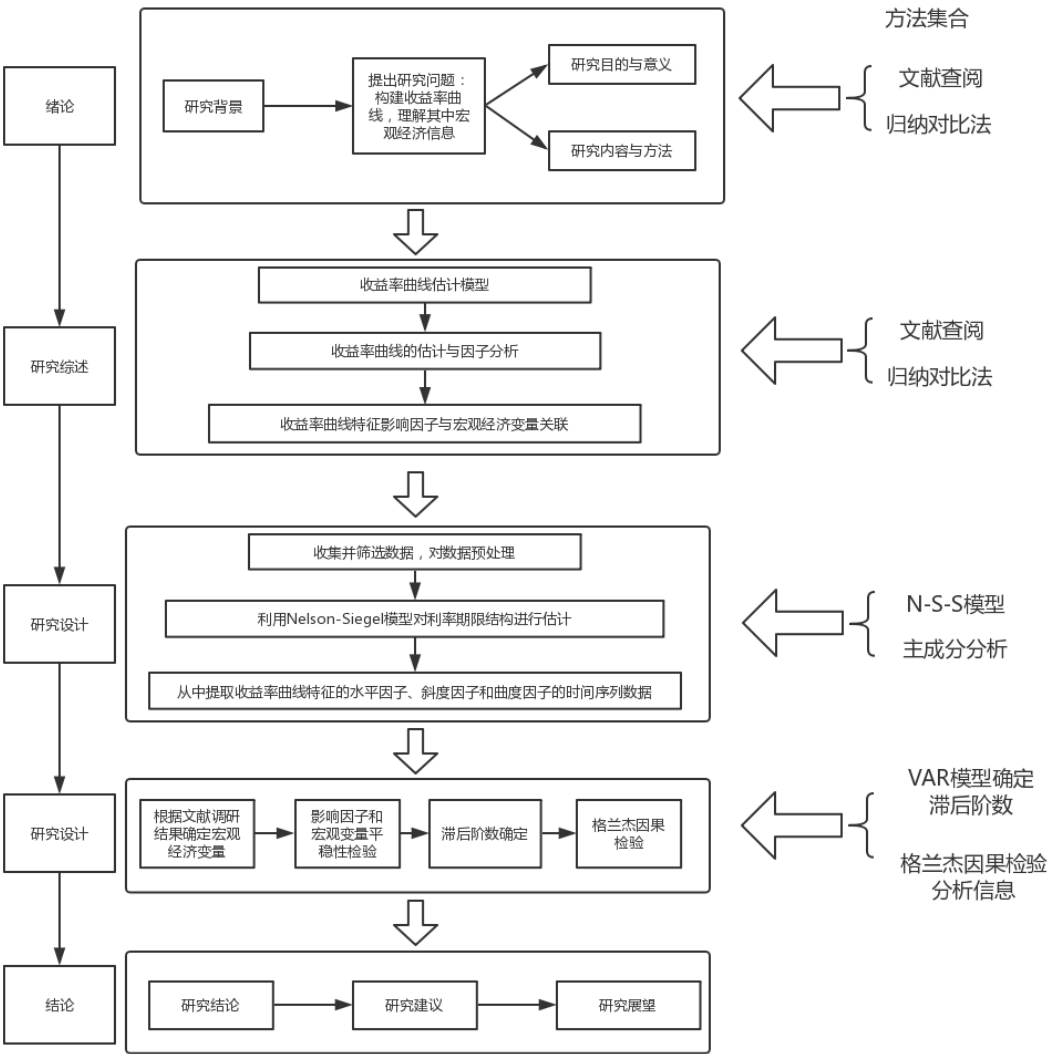


图 1-2 全文技术路线图

## 1.4 研究创新和不足

从研究数据看，目前银行间市场已经取代了交易所市场，成为债券交易量最大，流动性最好的市场，因此，本文拟通过银行间债券市场的国债数据进行收益率曲线的估计和建模。这一数据更符合中国国债市场的真实情况。另外，现有的对国债收益率曲线进行估计的文章的估计区间较短，而本文选取了 2009.1-2019.3 十年间的国债数据，较全的覆盖了经济周期从危机恢复到逐渐繁荣的过程，能够更加充分的反映出在时间维度和动态上，中美相同期限的国债收益率的变动有何不同。

从研究内容看，目前的文章中较多的涉及到对于中国收益率曲线的估计，而较少涉及与其他国家，尤其是成熟债券市场的两国国债收益率曲线的特征对比，由于美国的债券市场相对成熟，

这种对比有其意义。一方面，这种对比可以帮助我们发现中国收益率曲线的独特特点，以便于调整风险管理策略、资产定价等，同时也可以从中更好的发现宏观经济的前瞻性信息，另一方面，对于收益率曲线特征的挖掘也有助于进一步的研究，如何通过收益率曲线影响市场，制定货币政策或如何进一步完善债券市场，达到利率发现的目的，进而实现利率市场化。

本文虽对中国国债收益率曲线做了较为全面的分析，但并没有实证分析影响收益率曲线的原因，对于拟合收益率曲线的静态估计方法也没有改进和创新，对于该特征形成的深层次的原因也有待于进一步的研究。

## 2 中美国债收益率曲线的估计

### 2.1 收益率曲线的有关理论

收益率曲线体现了货币资金供求关系的紧张状况,有经验的投资者及监管和决策的相关部门可以从收益率曲线的结构上得到他们想要的信息,而进行债券投资和风险管理。不同到期日和到期时的收益率显示出以下规则:(1)随着到期期限的增加,到期收益率可能增加,可能减小,也有可能保持不变,长期利率高于短期利率意味着收益率曲线的形状是向上倾斜的,不同期限的债券收益率相同则会得到一条水平的收益率曲线,向下则表明长期利率低于短期利率,有时会出现三种形状的混合。若中长期利率差异较小,收益率曲线呈现上凸性,若中短期利率差异较小,利率可能较多的呈现下凹性;(2)不同期限的利率经常同向波动;(3)收益率曲线一般向上倾斜;经济学中提出了不同的假说来对这些规律做出解释,假说仍在不停的发展和完善,概括来说有如下几种观点:

#### 2.1.1 纯粹预期理论

预期理论(Expectations Theory)首先由费雪(I.Fisher)于 1896 年提出,随后由 Hicks、Lutz 补充和完善,预期理论认为市场上的投资者都可以快速的市场上的信息做出反应,债券市场也是有效的,能够快速的传达信息,并且各个债券之间没有差别,一个投资者可以在多个短期债券的投资组合和一个长期债券之间选择,并可以随时卖出长期债券转换为短期债券。由此该理论认为,在这样的假设下远期利率是投资者对未来市场利率的最优期望值,所有短期利率水平的期望值形成了长期利率水平,两者之间保持着长期稳定的关系,偏离了理论值也会回归:

$$(1 + S_t)^t = (1 + S_1)(1 + F_{1,2}) \dots (1 + F_{t-1,t})$$

根据该公式,当人们对未来的预期比较悲观,认为未来会面临远期即期利率的下降时,那么长期利率等于短期利率的几何平均,也会低于短期利率,由此曲线就呈现出了向下倾斜的形状,与此相反,若对未来远期即期利率比较乐观,那么情形相反,曲线会呈现出向上倾斜的形状。同时,该理论也进一步说明了为什么不同期限的利率经常会同向波动,因为他们都包含着市场参与者对未来远期即期利率的预测信息。

#### 2.1.2 市场分割理论

市场分割理论则恰好相反,市场分割利率不认为长短期利率可以相互替代,而是认为在不同的法律等制度性限制、投资习惯和累积的投资优势等个体因素、市场的成熟度等因素,各个类型的债券之间不能实现完全的自由转换,同时投资者个人也对某一单一期限的债券有着强烈的偏好,更加关注该债券的利率波动而忽视其他期限债券的利率波动影响,由此就导致各个期限之间的利

率水平通常都是只受到该市场的供求关系的影响，而与其他市场没有太大的关系。而在该理论中，投资者以风险最小为目标。市场分割理论实际上进一步说明了为什么收益率曲线不是一条在预期理论条件下的光滑曲线，因为市场参与者对子市场有偏好。根据预期理论的公式，市场上的收益率曲线总是光滑的，且其形状通常比较规则，而实际上，各国学者为更好的拟合收益率曲线的复杂形状、形成更好的风险管理策略做出了大量的努力，依旧无法百分百拟合，市场分割对该现象做出了解释。

### 2.1.3 流动性偏好理论

而流动性偏好理论则解释了为什么一般情况下，收益率曲线是向上倾斜的，因为市场上的投资者更加偏好流动性好的短期债券，因此愿意在同等条件下牺牲一部分的收益来持有短期利率，导致短期债券的利率实际低于长期债券。凯恩斯和希克斯虽然承认长期利率与短期利率之间的关系，即长期利率是预期的短期利率的平均，但不认为长期和短期债券之间是可以相互替代的，由此产生了流动性理论。因此长期债券必须支付流动性溢价来弥补其流动性不足的缺点，用公式表述如下：

$$(1 + S_t)^t = (1 + S_1)(1 + F_{1,2} + \Delta_1) \dots (1 + F_{t-1,t} + \Delta_{t-1})$$

### 2.1.4 优先置产理论

市场分割理论过于放大了不同市场之间的阻力与门槛，过于强调了市场参与者对市场的偏好和比较优势，而忽视了市场是一个交易的场所，市场之间存在流动与交换。随着市场参与者逐渐发现该理论与现实之间的背离，市场分割理论由优先置产理论进一步完善。事实上，作为理性人，借贷的资金成本和转换市场的难度都是借贷成本的不同表现形式，借贷双方都会同时对两种成本进行考量，比较自己较有优势的市场的资金价格、期限和利率水平，所以任何一种期限的债券利率都受到其他期限债券利率水平的影响，而不完全由该市场的供求决定。债券市场不是无法流通的，投资者会考察成本最低、溢价最高的债券品种进行投资。短期内，这种套利对整个市场是有效的，长期内，市场利率会回归到自然水平。

## 2.2 Nelson-Siegel 法估计收益率曲线

### 2.2.1 数据说明

本文所做分析需用到中国国债交易数据，美国国债标准年限收益率。

#### 第一，数据来源

其中，中国国债数据来自 wind，由于银行间债券市场已经超过交易所市场成为最大的市场，筛选了 wind 中银行间债券市场的国债数据；所用的美国的收益率数据来自美联储网站上公布的

官方标准年限的国债收益率数据，时间区间为 2009-2019 年 3 月的十年的月度数据。

## 第二，数据选择

日期选定为每月 11 号，当 11 号为周末或节假日的非交易日时，自动选择最接近的一个交易日的交易数据。最终得到 123 个月度的中国国债数据。美国国债数据的日期选择与中国相同。国债交易数据和价格数据选择了当月的有成交量和成交价格的全部数据，使用价格为国债净价价格，国债利率类型为固定利率，剔除了当月无交易的国债品种以排除异常价格干扰。在得到美国的国债标准年限数据后，为了可以直接的对比中美国债的差别，用 NSS 模型对该标准年限的收益率数据再次进行了拟合，画出了三维图。

### 2.2.2 静态估计方法

大量的研究成果可以归纳为两种不同的估计收益率曲线的方法，一类是静态拟合，也就是说，整个收益率曲线在某个时间点进行分析与估计，输入变量通常是国债的净价格；而动态估计则偏重于经济变量的联系和经济变量的动态变化，通过微分方程、统计方法等方式得到缺失的值。模型估计时一般把宏观经济变量当做已知变量。动态模型方法包括两类：一般均衡模型，如被称为单因子模型的 Vasicek 模型和 CIR 模型等，和无套利均衡模型，如最早的 HO-LEE 模型，Hull-White 模型和 HJM 模型等。

本文主要采用静态模型来估算收益率曲线。三种方法中，息票剥离需要交易大量不同期限的国债，尽可能多的覆盖不同到期时间，以确保在直接插值利率期限结构的时候可以减小误差。我国国债品种较少，而且在某一时点上，交易量较大的数据往往是新发行的债券，长期的国债较少出现交易或者在市场上流通，且债券的流动性和成交量未达到市场水平（成交量越大的国债反应其真实价值的能力越强）。故不采用息票剥离法。样条函数法是介于息票剥离法和 Nelson-Siegel 模型之间的方法，它将完整的收益率曲线看作不同段曲线的拼接，每一段曲线对应着指数或者多项式收益率函数，他可以适应非常复杂的曲线形状，但是不同段的曲线可能会因为指数或者多项式的阶数差异较大，从而使收益率估计失真。此外，还会有曲线的拟合结果不平滑，较长的期限内震荡和不稳定的问题。

Nelson-Siegel 模型是 1987 年由 Charles Nelson 与 Andrew Siegel(1987)<sup>[5]</sup>提出的利率期限结构拟合模型。由于拉盖尔函数只需构造仅仅包括四个估计参数的债券到期收益率函数，由此可以用较少的债券净价数据估计出参数的结果，另一方面，它解决了其他参数估计方法不能直接估计超出付息债券到期日范围的远期利率的问题，由于 Nelson-siegel 是用拉塞尔函数对利率期限结构进行拟合，也解决了其他参数估计方法不同分段函数拼接造成的长期期限震荡的问题。对其进行进一步分析可发现，在取极限的条件下，其参数包含经济含义。同时，Laura Coroneo，Ken Nyholm 也证明了用 Nelson-siegel 模型估计出的结果满足美国市场的无套利均衡条件，说明了该模型的有效性(2011)<sup>[30]</sup>。

Nelson-Siegel 模型的远期瞬时利率表示如下：

$$f(0, t) = \beta_0 + \beta_1 e^{(-t/\tau_1)} + \beta_2 \left(\frac{t}{\tau_2}\right) e^{(-t/\tau_1)}$$

其中,  $f(0, \theta)$ 是在 0 时刻的远期 $\theta$ 时刻的瞬间利率,  $\beta_0$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\tau_1$ 都是具有丰富经济含义的待估参数。

即期利率函数通过远期利率函数得出:

$$R(m) = \frac{1}{m} \int_0^m r(x) dx$$

代入远期利率表达可得:

$$R(0, t) = \beta_0 + \beta_1 [1 - e^{(-t/\tau_1)}] / (\frac{t}{\tau_1}) + \beta_2 [1 - e^{(-t/\tau_1)}] / (\frac{t}{\tau_1}) - e^{(-t/\tau_1)}$$

可以看到, 当 $t$ 趋近于 $\infty$ 时,  $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = \beta_0$ 。因此 $\beta_0$ 是收益率曲线的水平参数, 它的变动会使整条曲线的高度上下变动, 与到期时间无关, 代表了长期收益率。

当 $t$ 趋近于0时,  $\lim_{t \rightarrow 0} R(t) = \beta_0 + \beta_1$ , 当 $t$ 趋近于 $\infty$ 时,  $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) - \lim_{t \rightarrow 0} R(t) = -\beta_1$ ,  $\beta_1$ 反映了影响短期率变化的斜率因素。 $e^{(-t/\tau_1)}$ 是到期时间的单调递减函数, 时间增加, 衰减至 0, 因此在短期利率时数值更大, 影响更大。

当 $t$ 趋近于 $\infty$ 或 0 时, 通过洛必达法则可解 $[1 - e^{(-t/\tau_1)}] / (\frac{t}{\tau_1}) - e^{(-t/\tau_1)}$ 均为 0, 时间过短或过长所对应的函数值都比较小, 因此,  $\beta_2$ 主要反映了曲线的上凸和下凹, 远期利率曲线在 $\beta_2$ 为正数时上凸, 在 $\beta_2$ 为负数时下凹呈现驼峰状。 $\tau_1$ 是用来表示指数不断减小的速度的变量, 速度不同, 上凹或者下凸的变化产生的具体位置不同。

Svensson 认为该方程对于一些复杂形状的收益率曲线的拟合效果较差, 由此在该方程基础上丰富了方程的形式和变量的个数, 使之具备拟合更加复杂的图形的能力(1994) [6]。 $\beta_3$ 代表了远期极值点的性质与曲度,  $\tau_2$ 代表了远期极值点出现的位置。这时瞬时远期为:

$$f(0, t) = \beta_0 + \beta_1 e^{(-t/\tau_1)} + \beta_2 \left(\frac{t}{\tau_1}\right) e^{(-t/\tau_1)} + \beta_3 \left(\frac{t}{\tau_2}\right) e^{(-t/\tau_2)}$$

即期利率函数形式为:

$$R(0, t) = \beta_0 + \beta_1 [1 - e^{(-t/\tau_1)}] / (\frac{t}{\tau_1}) + \beta_1 [1 - e^{(-t/\tau_1)}] / (\frac{t}{\tau_1}) - e^{(-t/\tau_1)} + \beta_3 [1 - e^{(-t/\tau_2)}] / (\frac{t}{\tau_2})$$

### 2.2.3 静态估计结果

通过对中美两国的国债数据进行分析, 我们得到中美两国的 NSS 模型的参数, 由于参数的表格过大, 因此参数估计结果放在附录中。在估计出参数结果后, 本文再次通过上述模型拟合出了不同日期的中美两国国债的收益率曲线, 并加入了时间维度, 最终用三维图的形式进行可视化展示。结果如下:

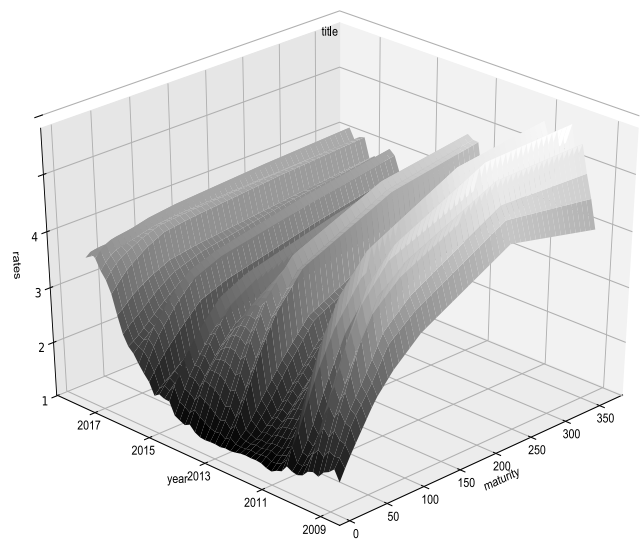


图 2-1 2009.1-2019.3 美国国债收益率曲线拟合三维图

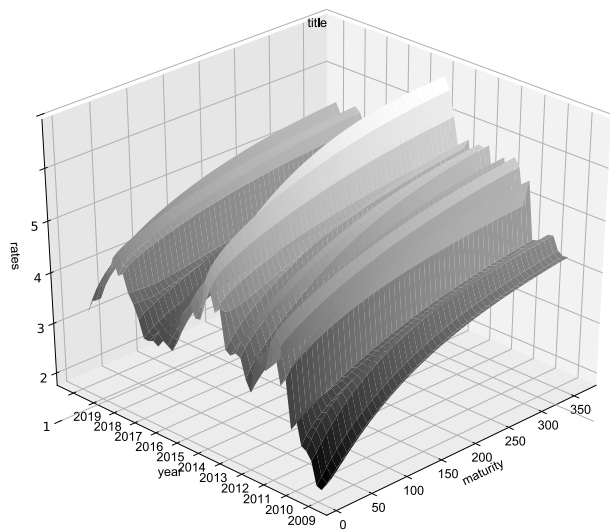


图 2-2 2009.1-2019.3 中国国债收益率曲线拟合三维图

2013 年 6 月，由于中国经历钱荒等事件的影响，中国国债的收益率曲线出现了极端的异常值，短期利率甚至显著高于 50 年的长期利率，但是由于该现象并不普遍，为极端状态下的收益率值，如下图表中所示。保留该异常值会在下面的分析中人为的扩大中国国债收益率取值的波动范围，导致波动特征不明显，分析出现偏误，因此本文选取 1 年期到 30 年期的收益率曲线的三维图进行直观上的比较。



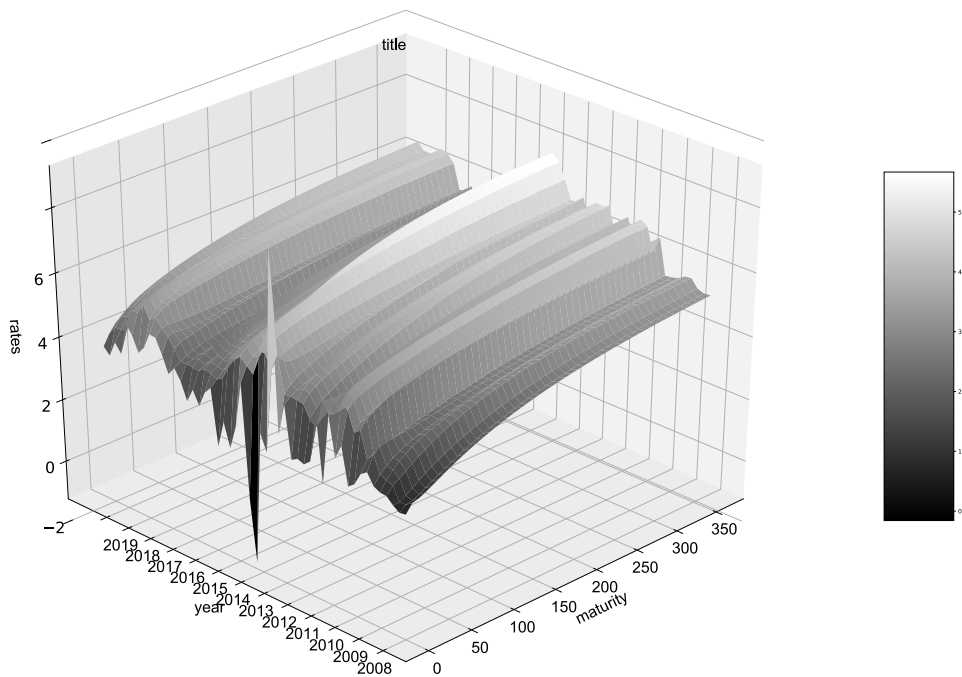


图 2-3 2009.1-2019.3 中国国债收益率曲线拟合三维图

从中美两国的国债收益率曲线的三维图中可以看出，中国的收益率曲线在短端波动的更加明显大于美国的收益率曲线，虽然短期利率仍然是连续的，但其变化却并没有如美国一样的平稳，也无法看出其变化趋势和规律。因此，相对来说美国的国债市场对信息的反应可能更加充分和理性。在形状方面，中国的收益率曲线图形较少的呈现出凹性或者向下的图形，而是较多的呈现出向上倾斜的拱形。根据图形的颜色变化也可以明显的看出，相对来说中国的收益率曲线会更加平缓，中长期利率之间差异较小，出现了中长期利率水平移动的特征。

2.3 中美国债收益率曲线的特征

上述三维图对收益率曲线的图形特征进行了可视化的展示，使读者对其差异有了直观的感受，下面文本将对中美两国国债不同期限的收益率的历史分布信息进行展示，平均值、标准差、峰度和偏度信息中排除了上文提出的异常数据，从分布角度展示了模型对中美收益率曲线拟合的结果。

表 2-1 2009.1-2019.3 美国国债收益率曲线描述统计表

	Mean	Std	Skewness	Kurtosis
1-month	0.40123596	0.65447778	1.89170099	2.29938053
3-month	0.43808989	0.68078256	1.82375423	2.00894463
6-month	0.52640449	0.71215017	1.74098892	1.71951856
1-year	0.64617978	0.73506784	1.64643348	1.45589119
2-year	0.90213483	0.70656547	1.39284415	0.99006987
3-year	1.16674157	0.67720638	0.93648885	0.21082485
5-year	1.67764045	0.61485546	0.17863079	-0.6940483
7-year	2.11348315	0.59571145	0.04984724	-0.6720898
10-year	2.49921348	0.58190548	0.33121152	-0.4590338
20-year	3.05966292	0.67284145	0.5981091	-0.4230005
30-year	3.29483146	0.60640794	0.70706812	-0.2993712

表 2-2 2009.1-2019.3 中国银行间国债收益率曲线描述统计表

	Mean	Std	Skewness	Kurtosis
1-month	2.33696	0.90324	0.949687	2.70021
3-month	2.41879	0.80085	0.116343	0.214722
6-month	2.48456	0.777642	-0.17786	-0.22092
1-year	2.56398	0.760484	-0.33007	-0.30134
2-year	2.67673	0.727518	-0.3652	-0.27887
3-year	2.76822	0.691091	-0.32597	-0.24368
5-year	2.91665	0.625654	-0.2079	-0.19984
7-year	3.0346	0.574402	-0.08291	-0.19543
10-year	3.17626	0.518324	0.086027	-0.20367
20-year	3.49171	0.428644	0.358857	0.021777
30-year	3.67965	0.400764	0.384698	0.342788

从两张描述性统计表我们可以看出，相对于美国，中国的短期平均利率更高，除了三维图中可以看出的中国的短期利率趋势和规律更加不确定外，对比标准差也可以看出，中国的短期利率的波动也更大。这可能和中国的短期利率受央行的货币政策调控，利率尚未实现完全的市场化，短期利率对于货币政策的反应大有关，如 Buhler 和 Zimmermann（1996）对瑞士利率期限结构进行了研究，短期利率的波动性更大，对收益率曲线形状影响比重也更大，他认为短期利率的频繁且不规律的较大波动是样本期间内货币政策变动过多的外向展示。

中美两国的即期收益率都呈现向上的趋势，随期限增加，平均收益率增加。而中长期利率来看，美国的 10 年与 3 年的收益率平均相差 133 个基点，中国的 10 年和 3 年的收益率平均却只相差了 51 个基点，对比 3 年和更长期限的收益率，中美之间的中长期收益率之间的利差差异也更大，这进一步证明了中国的国债收益率似乎存在着中长期水平移动的现象。这可能和中国国债的中长期品种较少，且国债在历史上具有储蓄性质，部分投资者依旧保留储蓄观念，导致机构投资者或个人投资者更愿意持有国债到期享受收益率，而非在市场上进行交换有关，另一方面，有短期市场利率对央行的货币政策反应较大较为迅速，在货币政策限制下，短期利率很难突破政策的限制进行调整，再加上货币政策的影响有时滞性，市场利率和行政利率的背离可能要一段时间后才能被识别，比如国债的发行定价就比其信用度低的商业银行同期存款利率还要高，这可能也进一步激励机构投资者保有到期，进而导致中长期利率水平移动的现象出现。

再次，从偏度上来看，美国国债即期利率偏度均为正数，且短期利率的绝对值较大，中长期的绝对值较小，说明在所选区间内，美国的国债即期收益率的短期利率在左侧分布较为集中，右侧尾部较大，偏斜程度较大，这也与图形中的在 2009-2015 年，美国短期利率较低相符，而在经历了特朗普任总统和 2016 年美联储三次加息等事件后，美国国债也在上升。而中国各期限即期利率的偏度则正负都有，且绝对值差异不大，两边左偏，中间年限右偏，各不同期限的利率分布更加类似正态分布。峰度来看，中国国债的短期即期利率的峰度大于美国国债的短期即期利率的峰度，和异常值的出现有关，从大部分数据来看，中国的收益率曲线峰度较美国较小

从上述分析可以看出，在一段时间内，中美的国债收益率的动态分布确有差异，因此研究收益率曲线形状的影响因素就因此显得很有必要，了解在一段时间内的收益率分布特征，将有助于研究期限结构变化的动态特征以及根据特征，套期保值组合、资产配置和风险管理动态组合变化。

### 3 影响因子分析

#### 3.1 影响因子提取原理

本文通过分析利率期限结构的一些描述性统计量，认识到了中美国债利率期限结构的不同，但要想进行更深入的分析，由于本文所估计出的利率期限结构是一个含 20 个标准年限的 20 维数据，且这 20 维数据反映出的信息中存在着重叠部分，需要首先对数据进行降维处理，不然将无法从多维数据中找到所需信息而进行下一步分析，也无法准确抓住影响整体变动的因素，所以本文将在这部分主要采用主成分分析法得出主要影响因素，并对荷载因子矩阵的值进行分析，找出其经济含义。

主成分分析法是解决多个变量之间具有一定相关性时的理想工具。由于不同期限的利率水平之间存在很强的相关性，必然存在着起决定性作用的因素，根据这一点，对中国美国债利率期限结构的原始的利率期限矩阵内部结构进行变换，通过正交化减小变量间的相关关系，研究其内部结构关系，使新的变量成为原来不同期限利率的线性组合，这样，综合的指标就保留了原始利率的主要信息，同时彼此间的相关性减弱，又比原始变量具有了某些更优越的性质，就使我们在分析影响利率期限结构的主要因素的时候更容易抓住主要矛盾。

主成分分析法的原理表述如下，假如我们有  $t$  个标准期限的国债收益率数据，那我们就可以得到一组国债收益率的向量：

$$R = (R_1, R_2, \dots, R_t)^T$$

其中，我们共收集了  $n$  组这样不同的标准期限的国债收益率数据，也就是对应数据部分的 123 个月度数据，可以表述为下：

$$R_i = (R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{it})^T, i=1, 2, 3, \dots, n$$

构造完合适的样本矩阵后，我们对样本矩阵进行如下标准化变换：

$$Z_{ij} = \frac{R_{ij} - \bar{R}_j}{s_j}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, t$$

$$\bar{R}_j = \frac{\sum_{i=1}^n R_{ij}}{n}, s_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{ij} - \bar{R}_j)^2}{n-1}$$

接下来，我们对标准化矩阵求相关系数矩阵：

$$X = [x_{ij}]_{t \times t} = \frac{Z^T Z}{n-1}$$

$$x_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n Z_{kj} \cdot Z_{ki}}{n-1}, i, j = 1, 2, \dots, p$$

最后，我们可以得到  $t$  个特征根（本文中由于前三个主成分的累计贡献度已经达到 95% 以上，所以本文仅保留了前三个主成分进行展示）。确定主成分的标准为：

$$\frac{\sum_{j=1}^m \lambda_j}{\sum_{j=1}^p \lambda_j} \geq 0.85$$

解方程组 $Xb = \lambda_j b$ 后可以得到单位特征向量 $b_j^o$ ，最终我们可以将标准化之后的指标变量再转换为主成分  $U$ ：

$$U_{ij} = z_i^T b_j^o, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

3.2 影响因子分析结果

在上文中，本文对拟采用的主成分分析法进行了说明，下面将展示对中国和美国的国债收益率曲线进行了主成分分析之后得到的结果：

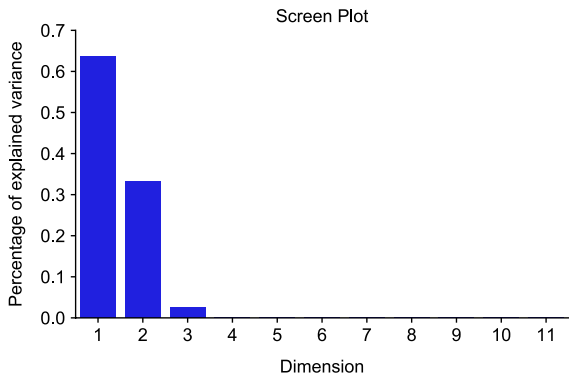


图 3-1 2009.1-2019.3 美国国债利率期限结构主成分分析解释度

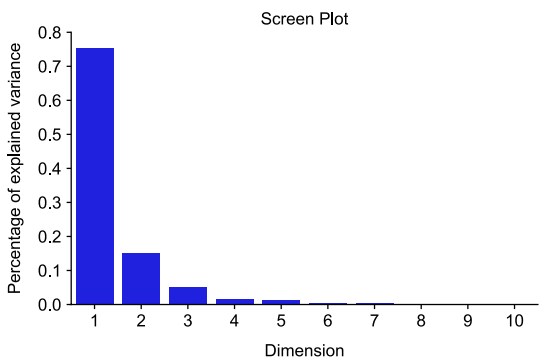


图 3-2 2009.1-2019.3 中国银行间国债利率期限结构主成分分析解释度

从上述直方图可以看到，对利率期限结构的降维处理的结果非常好，基本上前三个主成分就能解释 95%以上的利率期限结构的特征变化。下面将对主成分分析的结果进行展示：

表 3-1 2009.1-2019.3 美国国债利率期限结构主成分分析解释度

	eigen value	variance explained	variance explained accumulated
PC1	24.984	0.638	0.638
PC2	18.041	0.332	0.97
PC3	5.031	0.026	0.996
PC4	1.47	0.002	0.998
PC5	1.013	0.001	0.999
PC6	0.611	0	0.999
PC7	0.402	0	0.999
PC8	0.351	0	0.999
PC9	0.257	0	0.999
PC10	0.241	0	0.999

表 3-2 2009.1-2019.3 中国银行间国债利率期限结构主成分分析解释度

	eigen value	variance explained	variance explained accumulated
PC1	35.109	0.753	0.753
PC2	15.793	0.152	0.905
PC3	9.214	0.052	0.957
PC4	5.252	0.017	0.974
PC5	4.527	0.013	0.987
PC6	2.831	0.005	0.992
PC7	2.46	0.004	0.996
PC8	1.575	0.002	0.998
PC9	1.51	0.001	0.999
PC10	0.957	0.001	1

可以看到，对于美国国债的利率期限结构来说，第一个主成分的解释贡献度为 63.8%，第二主成分的解释贡献度为 33.2%，第三主成分的解释贡献度为 2.6%，前三个主成分的累积贡献度为 99.6%，已基本可以认为美国的利率期限结构特征可以被前三个主成分完全解释。对于中国来说，第一个主成分的解释贡献度为 75.3%，第二个主成分的解释贡献度为 15.2%，第三个主成分的解释贡献度为 5.2%，三者累积贡献度为 95.7%，中国国债利率期限结构的 95.7%可以被以上三个主成分所解释。虽然二者的解释贡献度上略有差异，但可以看到，前三个主成分都可以足够精确的解释利率期限结构的形状和特征，因此本文不讨论之后的主成分。接下来，我们进一步分析主成分分析结果的荷载因子，查看中美国债利率期限结构的前三个主成分的经济含义是否相同（美联储的公布的标准年限的收益率数据仅有十一个标准年限，为了保证对比结果更加清晰直观，我们选择了展示同样的十一个标准年限数据）：

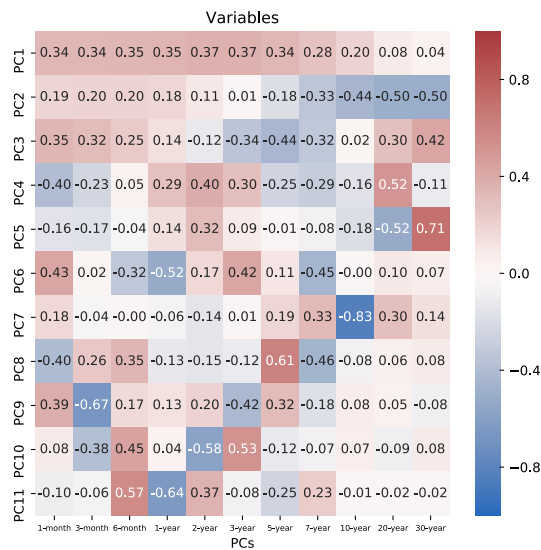


图 3-3 2009.1-2019.3 美国国债利率期限结构主成分分析解释度

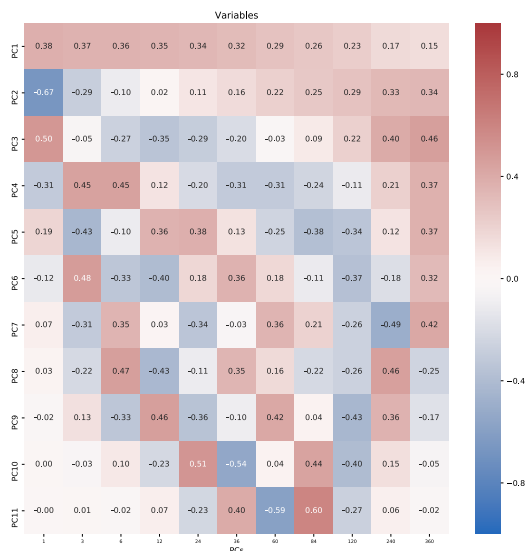


图 3-4 2009.1-2019.3 中国银行间国债利率期限结构主成分分析荷载因子图

从荷载矩阵中可以看出，中国和美国的国债利率期限结构的影响因子中，前三个矩阵的组成成分具有相似性。首先为第一主成分，在中美两个国家之中，第一主成分在不同期限的荷载因子均近似相等，相差不多，由此我们认为第一主成分主要代表的是利率水平，也就是表达是公共的平均利率，即利率的平移。一般研究认为，利率期限结构的平移主要和人们对预期通货膨胀的变化有关。而分析第二主成分的荷载因子会发现，中美两国虽正负值正好相反，美国的结果显示为前四个为正值，后四个为负值，而中国的显示为前六个为负值，后六个为正值，但究其本质，二者反应的均是一年以内的短期利率和 7 年以上的长期利率之间的差值。因此我们可以称第二主成分的经济含义为利率期限结构的斜率变化，即长短利差，和市场风险溢价有关。第三主成分的特征向量则呈凹型结构，中间小，两头大，而绝对值上，则是中间大，两头小，对短期和长期利率的影响力均有限，可以进一步解释为曲率因素，也就是决定了利率波动率的因素，在我国较少

出现凹性的利率期限结构而较多为拱形也与该因素有关。经过分析，本文用主成分分析得到的结论与现有文献的研究基本一致，如许瑾(2004)<sup>[18]</sup>和康书隆(2010)<sup>[19]</sup>得出结论均与本文类似。

3.3 影响因子提取与经济含义检验

根据上述主成分分析的结果，我们最终可以利用 Nelson-Siegel 模型估计出的标准年限的收益率数据，和上述主成分分析得到的荷载因子矩阵，提取出影响利率期限结构的前三个主成分因子，并根据上文的分析，画出了其与所有标准年限的利率的平均值（代替利率水平）、10 年期-3 年期的利率差（代替长短利差的经济含义）、4\*2 年利率-10 年利率-3 年利率（代替曲度因素的经济含义）的相关关系，可以从图形中看出，三个主成分的走势基本与生成的替代经济含义的变量走势完全一致，相关系数分别为 99.8%，77.6%和 53.69%，因此分别命名为水平因子，斜度因子和曲率因子。限于正文篇幅，将提取出的三个主成分的因子提取结果放在文章附录中。



图 3-5 2009.1-2019.3 主成分一与利率水平替代变量折线图

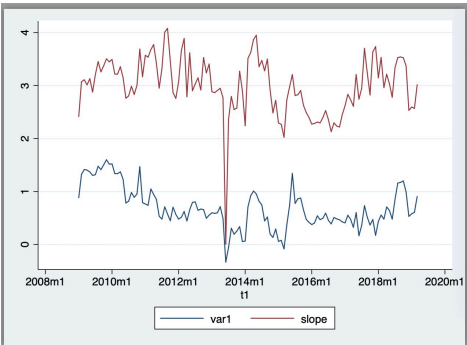


图 3-6 2009.1-2019.3 主成分二与长短利差替代变量折线图



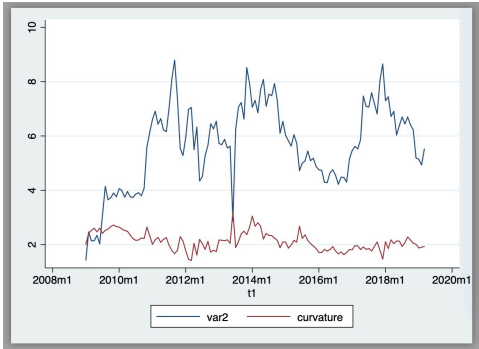


图 3-7 2009.1-2019.3 主成分三与曲度替代变量折线图

4 影响因子与宏观经济变量关联性

4.1 变量选择和数据说明

通过上述分析，本文提取出了影响收益率曲线特征三个主要影响因子，并简单检验了其经济含义，但要更加深入的挖掘收益率曲线中蕴含的宏观经济信息，则有赖于进一步的与宏观经济的联动性的分析。通过前述的文献梳理，作者发现前人的研究主要集中在关于货币政策、通货膨胀、宏观经济形势等变量对收益率曲线的影响。

前文对国内外的研究实践进行了梳理，研究的普遍结论是收益率曲线与宏观经济变量互相影响。宏观经济信息可以通过收益率曲线的结构展现。市场的变化、事件的影响、货币政策的实施，会迅速波及收益率曲线的短期期限利率水平，中长期的年限则对应着人们对于未来名义利率的预测，但名义利率中包含了物价上涨带来的影响，因此我们可以通过主成分中提取出的主成分一对通货膨胀指数进行检验，用CPI表示通货膨胀水平。

国债收益率曲线的的长短利差则反映了投资者对未来利率水平的预期与现在利率的差异，进而与消费者信心指数和消费者预测指数相关联。因此可利用长短利差检验其与消费者信心指数和消费者预测指数的关联。

期望理论表明，短期利率的期望值等于长期利率，即收益率曲线的形状和数值是由短期利率的变动组合形成的，短期的利率收到货币政策的调控。换句话说，收益率曲线在一定程度上包含了市场认为货币政策将对短期利率在近期做出如何调整的信息，所以用货币政策的数量型中介目标M1进行检验。

本文选取的进行联动性检验的变量如下表所示：

表 4-1 变量选择表

变量名	含义	变量经济含义
cpi	消费者价格指数	作为反应通货膨胀的宏观经济变量
cc	消费者信心指数	作为反应市场参与对经济形势预测的宏观经济变量
cp	消费者预期指数	作为反应市场参与对经济形势预测的宏观经济变量
M1	货币供应量	作为反应货币政策的经济变量
level	提取出的第一个主成分因子	作为收益率曲线的特征因子
slop	提取出的第二个主成分因子	作为收益率曲线的特征因子

本文中选择的宏观经济变量数据都来自于东方财富网站，其中，由于cpi为环比增长率数据，因此对cpi数据进行了初步处理，以2009年1月为基期，将其环比增长率数据转化为了定基的价格指数数据。消费者信心指数与消费者预期指数数据也做了同样的处理。

## 4.2 单位根检验与滞后阶数确定

### 4.2.1 单位根检验

在研究时间序列关系之前应该首先对其进行平稳性检验，以方便进行后续的因果检验或其他复杂检验。本文对上述变量进行了 ADF 检验来判断时间序列的平稳性，并将检验结果报告如下：

表 4-2 变量单位根检验结果表

变量名	零阶检验结果	一阶检验结果	滞后阶数
level	-2.493	-8.735***	1
slope	-3.253**	-11.597***	3
消费者价格指数	-1.352	-5.987***	4
消费者信心指数	-0.504	-6.404***	2
消费者预期指数	-1.049	-9.361***	1
货币供应量 m1	-0.05	-7.037***	2
<b>1% critical value</b>		-3.504***	
<b>5% critical value</b>		-2.889**	
<b>10% critical value</b>		-2.579*	

在进行单位根检验时，滞后阶数的选择是依据 stata 报告的 AIC 准则，选择 AIC 最小的滞后阶数，不包含趋势项和截距项。可以看到在 1% 的显著性水平下，上述检验的所有变量均未通过检验，因此我们接受原序列有单位根的原假设，因为时间序列是不平稳的。对上述变量进行差分后，对差分后数据再次进行检验，可以看到在 1% 的显著性水平下，所有变量均拒绝了原变量有单位根的原假设，因此我们可以说上述变量是同阶单整的，都是一阶单整。

### 4.2.2 滞后阶数确定

本文打算通过 Granger 因果来检验收益率曲线影响因子与宏观经济变量统计意义上的因果关系。由于回归模型中的滞后阶数不同会导致格兰杰因果检验展示出的结果不同，因此，首先应该对所涉及的变量的滞后阶数进行确认。由于格兰杰因果检验是基于变量之间的自回归关系建立的检验方程，所以我们可以认为自回归滞后阶数同样适用于格兰杰因果关系检验的滞后阶数，下面是对各个变量进行 var 检验后 stata 报告的滞后阶数信息准则，本文每个时间序列数据包含 123 个观测值（2009 年一月到 2019 年 3 月），因此将最大滞后阶数设定为了 12。滞后阶数检验如下：

表 4-3 CPI 和水平因子的一阶差分形成的 var 滞后阶数的检验结果表

lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	-222.0640				0.2115	4.1248	4.0938*	4.12299*
1	-220.1650	3.7982	4	0.4340	0.2093*	4.1120*	4.1718	4.2594
2	-218.3220	3.6852	4	0.4500	0.2178	4.1513	4.2509	4.3968
3	-214.3590	7.9272	4	0.0940	0.2180	4.1520	4.2914	4.4957
4	-211.0110	6.6953	4	0.1530	0.2206	4.1638	4.3431	4.6057
5	-210.3570	1.3074	4	0.8600	0.2346	4.2247	4.4437	4.7648
6	-207.0890	6.5372	4	0.1620	0.2380	4.2380	4.4969	4.8763
7	-201.4880	11.2020	4	0.0240	0.2314	4.2089	4.5076	4.9454
8	-198.1510	6.6734	4	0.1540	0.2346	4.2209	4.5595	5.0556
9	-195.2140	5.8740	4	0.2090	0.2397	4.2403	4.6186	5.1732
10	-191.7880	6.8521	4	0.1440	0.2428	4.2507	4.6689	5.2818
11	-189.9810	3.6139	4	0.4610	0.2534	4.2906	4.7486	5.4199
12	-176.8990	26.163*	4	0.0000	0.2156	4.1254	4.6233	5.3529

注：\*表示该判别准则选取的最优滞后阶数，所有检验的显著性水平选为 5%。

表 4-4 消费者信心指数和斜度因子的一阶差分形成的 var 滞后阶数的检验结果表

lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	-338.511				1.67424	6.19111	6.21103	6.24021*
1	-329.715	17.593	4	0.001	1.53445	6.1039	6.16365*	6.2512
2	-324.748	9.9323	4	0.042	1.50788	6.08634	6.18591	6.33183
3	-323.119	3.2584	4	0.516	1.57465	6.12944	6.26885	6.47314
4	-320.507	5.2244	4	0.265	1.61551	6.15467	6.33391	6.59657
5	-316.017	8.981	4	0.062	1.60214	6.14576	6.36482	6.68585
6	-312.017	7.9996	4	0.092	1.60356	6.14576	6.40466	6.78405
7	-305.468	13.098	4	0.011	1.53277	6.09941	6.39814	6.8359
8	-298.62	13.696*	4	0.008	1.45771*	6.04763*	6.38619	6.88232
9	-297.488	2.2624	4	0.688	1.53884	6.09979	6.47818	7.03268
10	-293.51	7.9561	4	0.093	1.5433	6.10019	6.51841	7.13128
11	-291.964	3.0936	4	0.542	1.61859	6.14479	6.60284	7.27408
12	-290.941	2.0453	4	0.727	1.71485	6.19893	6.6968	7.42642

注：\*表示该判别准则选取的最优滞后阶数，所有检验的显著性水平选为 5%。

表 4-5 消费者预期指数和斜度因子的一阶差分形成的 var 滞后阶数的检验结果表

lag	LL	LR	Df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	-349.736				2.0533	6.3952	6.41512	6.4443*
1	-341.063	17.346	4	0.002	1.8861	6.31024	6.36999*	6.45754
2	-335.171	11.785	4	0.019	1.82249	6.27583	6.37541	6.52133
3	-333.333	3.6763	4	0.452	1.89597	6.31514	6.45455	6.65884
4	-330.127	6.4113	4	0.17	1.9243	6.32958	6.50882	6.77148
5	-324.836	10.582	4	0.032	1.8808	6.30611	6.52517	6.84621
6	-319.72	10.233	4	0.037	1.84462	6.28581	6.54471	6.9241
7	-312.259	14.921	4	0.005	1.73422	6.22289	6.52162	6.95939
8	-306.806	10.907*	4	0.028	1.69165*	6.19646*	6.53502	7.03116
9	-305.956	1.6982	4	0.791	1.79498	6.25375	6.63214	7.18665
10	-303.356	5.2015	4	0.267	1.84582	6.27919	6.69741	7.31029
11	-301.153	4.4059	4	0.354	1.91292	6.31187	6.76992	7.44116
12	-299.319	3.6683	4	0.453	1.99701	6.35125	6.84912	7.57874

注：\*表示该判别准则选取的最优滞后阶数，所有检验的显著性水平选为 5%。

表 4-6 货币供应量和水平因子的一阶差分形成的 var 滞后阶数的检验结果表

lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	-1236.84				2.10E+07	22.5244	22.5443	22.5735
1	-1226.11	21.456	4	0	1.80E+07	22.4021	22.4618*	22.5494*
2	-1221.6	9.0314	4	0.06	1.80E+07	22.3927	22.4923	22.6382
3	-1219.97	3.2623	4	0.515	1.90E+07	22.4358	22.5752	22.7795
4	-1216.05	7.8424	4	0.098	1.90E+07	22.4372	22.6164	22.8791
5	-1214.88	2.3343	4	0.675	2.00E+07	22.4887	22.7078	23.0288
6	-1205.57	18.617	4	0.001	1.80E+07	22.3922	22.6511	23.0305
7	-1197.63	15.873	4	0.003	1.70E+07	22.3206	22.6193	23.0571
8	-1194.09	7.0796	4	0.132	1.70E+07	22.329	22.6675	23.1637
9	-1192.94	2.3167	4	0.678	1.80E+07	22.3806	22.759	23.3135
10	-1191.78	2.3202	4	0.677	1.90E+07	22.4323	22.8505	23.4634
11	-1188.17	7.202	4	0.126	1.90E+07	22.4395	22.8976	23.5688
12	-1173.87	28.606*	4	0	1.6e+07*	22.2522*	22.7501	23.4797

注：\*表示该判别准则选取的最优滞后阶数，所有检验的显著性水平选为 5%。

表 4-7 货币供应量和斜度因子的一阶差分形成的 var 滞后阶数的检验结果表

lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	-1278.69				4.40E+07	23.2853	23.3052*	23.3344*
1	-1274.07	9.2377	4	0.055	4.40E+07	23.2741	23.3338	23.4214
2	-1272.09	3.9623	4	0.411	4.60E+07	23.3108	23.4104	23.5563
3	-1270.52	3.1404	4	0.535	4.80E+07	23.355	23.4944	23.6987
4	-1268.05	4.9552	4	0.292	4.90E+07	23.3826	23.5619	23.8245
5	-1267.34	1.4087	4	0.843	5.20E+07	23.4426	23.6616	23.9827
6	-1258.73	17.217	4	0.002	4.80E+07	23.3588	23.6177	23.9971
7	-1245.78	25.908	4	0	4.10E+07	23.196	23.4947	23.9325
8	-1243.57	4.4114	4	0.353	4.20E+07	23.2286	23.5672	24.0633
9	-1242.44	2.2617	4	0.688	4.50E+07	23.2808	23.6591	24.2137
10	-1239.67	5.5454	4	0.236	4.60E+07	23.3031	23.7213	24.3342
11	-1238.91	1.5157	4	0.824	4.90E+07	23.362	23.8201	24.4913
12	-1224.9	28.013*	4	0	4.1e+07*	23.1801*	23.678	24.4076

注：\*表示该判别准则选取的最优滞后阶数，所有检验的显著性水平选为 5%。

根据上述表格的结果来看，在多个准则出现了不一致的情形，由于 AIC 准则可以帮助寻找在最少包含自由参数的条件下，解释效果最好的模型，所以根据表格中的 AIC 准则，最终 var 模型的滞后阶数，选择 CPI 与水平因子为 1 阶，消费者信心指数和斜度因子的滞后阶数为 8 阶，消费者预期指数和斜度因子的滞后阶数为 8 阶，货币供应量 m1 与水平因子的阶数为 12 阶，货币供应量与斜度因子的阶数为 12 阶。

4.3 格兰杰因果检验结果

利用 stata 软件对经一阶差分后的得到的平稳时间序列进行格兰杰因果检验，检验结果如下所示：

表 4-8 CPI 和水平因子的格兰杰因果检验结果表

检验的原假设	滞后长度	F 统计量	F 统计量的概率值	对原假设的判断
CPI 不是水平因子的格兰杰原因	1	0.13	0.722	接受原假设
水平因子不是 CPI 的格兰杰原因	1	2.73	0.0875*	拒绝原假设，水平因子是 CPI 的格兰杰原因

注：\*，\*\*，\*\*\*表示检验的显著性水平选为 10%，5%，1%

表 4-9 消费者信心指数和倾斜因子的格兰杰因果检验结果表

检验的原假设	滞后长度	F 统计量	F 统计量的概率值	对原假设的判断
消费者信心指数不是倾斜因子的格兰杰原因	8	2.79	0.0081***	拒绝原假设，消费者信心指数是倾斜因子的格兰杰原因
倾斜因子不是消费者信心指数的格兰杰原因	8	0.29	0.5924	接受原假设

注：\*，\*\*，\*\*\*表示检验的显著性水平选为 10%，5%，1%

表 4-10 消费者期望指数和倾斜因子的格兰杰因果检验结果表

检验的原假设	滞后长度	F 统计量	F 统计量的概率值	对原假设的判断
消费者期望指数不是倾斜因子的格兰杰原因	8	2.92	0.0058***	拒绝原假设，消费者期望指数是倾斜因子的格兰杰原因
倾斜因子不是消费者期望指数的格兰杰原因	8	0.16	0.6875	接受原假设

注：\*，\*\*，\*\*\*表示检验的显著性水平选为 10%，5%，1%

表 4-11 货币供应量和水平因子的格兰杰因果检验结果表

检验的原假设	滞后长度	F 统计量	F 统计量的概率值	对原假设的判断
货币供应量不是水平因子的格兰杰原因	12	1.32	0.2206	接受原假设
水平因子不是货币供应量的格兰杰原因	12	1.82	0.0574*	拒绝原假设，水平因子是货币供应量的格兰杰原因

注：\*，\*\*，\*\*\*表示检验的显著性水平选为 10%，5%，1%

表 4-12 货币供应量和倾斜因子的格兰杰因果检验结果表

检验的原假设	滞后长度	F 统计量	F 统计量的概率值	对原假设的判断
货币供应量不是倾斜因子的格兰杰原因	12	0.73	0.7218	接受原假设
倾斜因子不是货币供应量的格兰杰原因	12	2.16	0.0210**	拒绝原假设，倾斜因子是倾斜因子的格兰杰原因

注：\*，\*\*，\*\*\*表示检验的显著性水平选为 10%，5%，1%

格兰杰因果检验的结果表明，从统计意义上来看，国债收益率曲线的水平因子是通货膨胀的格兰杰原因，消费者信心指数和消费者期望指数作为前瞻的预测性经济指标，对收益率曲线倾斜因子的变动有预测作用。同时，本文也得到了结论，收益率曲线结构的变动通常领先于货币政策的数量型中介指标的变动。

4.4 关联性小结

通过上述检验的结果我们发现，收益率曲线的水平因子中包含着通货膨胀信息，可以作为投资者、市场参与者或政策制定者用来监控通货膨胀变化的指标。通过观察收益率曲线变动，市场

对于未来的通胀压力会有一个大方向性的预判。政策制定者也可以通过财政政策或者货币政策来调整未来的通胀预期，实现物价稳定。

而第二部分的消费者信心指数和消费者期望指数的变化则反映到了收益率曲线的长短利差上，说明了收益率曲线可以反映出市场参与者的预期的变化，对于识别市场预期，调控经济波动具有重要意义，央行可以利用收益率曲线的变动得知市场上参与者的预期变化，同时做出顺周期或者逆周期的政策来调控经济形势，使之平稳向好发展，避免由于预期变化，恐慌加重。

第三部分的货币供应量和收益率曲线的水平因子、斜率因子的因果检验结果，则说明在反应货币政策的效果上，收益率曲线的水平因子和斜率因子相较于数量型的中介目标——货币供应量，反应的更加迅速，且具有一致性，这就说明央行可以通过收益率曲线的结构变化更加快速的监控货币政策的实施效果，这样央行就可以较少的依靠大水漫灌的数量型货币政策，而依靠更加灵活，但效果却较难通过中介目标衡量的价格型货币政策，有针对性的调整货币供应，同时通过收益率曲线的结构变动监控货币政策的实施效果。



## 5 结论与建议

### 5.1 研究结论

本文首先探究了收益率曲线的特征,中国的收益率曲线在短端的波动率明显大于美国的收益率曲线,虽然短期利率仍然是连续的,但其变化却并没有如美国一样的平稳,也无法看出其变化趋势和规律。因此,相对来说美国的国债市场对信息的反应可能更加充分和理性,中国国债收益率曲线也反映出了国债市场短期利率波动较大,无法为投资者提供合适的参考的问题。

第二,相对来说中国的收益率曲线的中长期利率之间差异较小,出现了中长期利率水平移动的特征。中国利率期限结构变动特征可以用于投资者设计套期保值策略,一般来说,套保策略设计时需兼顾国债利率水平变动的风险和国债长短利差增大或变小的风险,但由于中长期利率水平移动的特征,国债长短利差的风险不必太过在意也可以对冲掉大部分的风险。对于宏观经济决策来说,则意味着对于市场未来预期的信息反应不充分,无法根据市场预期信息作出合理的经济决策,完善中长期利率的品种才能更进一步的促进利用国债收益率曲线经济决策信息。

对于中国收益率曲线的短期利率比较高,中长期利率差别不大,水平移动的特征,目前有如下定性解释:

一种是实体经济产业的短期化,在过去的经济模式下,信用体系没有存在必要,因为国家通过完成经济计划发展经济,国家成为经济活动的实际参与人,而所有的其他个人和企业只是流程中的一环,国家信用是唯一的。但市场化改革后,信用体系的缺乏造成投资者期望能够快速收回投资和收益,就造成了经济行为的短期化,这一点从商业银行信贷的时间结构也可以看出。二是证券投资行为短期化,中外股市换手率差异很大,从现实的角度看,投资者无法识别哪些股票市场具有长期投资价值,只能选择投机,也说明价值投资理念和风险意识尚未形成。第三,中国的短期利率的波动更大和中国的短期利率受央行的货币政策调控,利率尚未实现完全的市场化有关。在银行存款准备金的限制下,银行不能根据市场供求灵活调整。

之后又通过研究发现,水平因子,斜率因子和曲度因子决定了中国国债收益率的形状,通过上述检验的结果我们发现,收益率曲线的水平因子中包含着通货膨胀信息,可以作为投资者、市场参与者或政策制定者用来监控通货膨胀变化的指标。收益率曲线可以反映出市场参与者的预期的变化,对于识别市场预期,调控经济波动具有重要意义,央行可以利用收益率曲线的变动得知市场上参与者的预期变化,同时做出顺周期或者逆周期的政策来调控经济形势。在反应货币政策的效果上,收益率曲线的水平因子和斜率因子相较于数量型的中介目标——货币供应量,反应的更加迅速,且具有一致性,这就说明央行可以通过收益率曲线的结构变化更加快速的监控货币政策的实施效果。对收益率曲线风险特征和宏观经济变量的关联性的研究,一方面,可以帮助理解到国债收益率曲线的宏观经济意义,另一方面也能够帮助更好地利用收益率曲线的风险特征序列判定并预测未来宏观经济运行的态势,为前瞻性宏观经济政策的制定提供依据。

## 5.2 研究建议

文本认为,在成熟的金融市场上,利率是资金的价格,是一切资产的定价基础,而国债收益率曲线作为市场上的无风险收益率曲线,蕴含着丰富的信息和参与者对未来经济形势的判断,但是目前由于传导机制上不通畅及一些投资理念、历史作用等等多方面的原因,国债收益率曲线并不像成熟市场一般能够为投资者带来可信任的信号,针对上文的特征、分析结果和针对上文提出的问题,本文提出如下建议:

### 第一,丰富中长期国债品种

由于中长期国债品种较少,国债对中长期利率的反应似乎并不理想,同时由于中长期品种较少,交易较少而储蓄投资的用途较多,交易过程也通常不是市场行为,而是有过沟通的交换行为,价格信息较少,导致市场上长短利差的数据对于宏观经济信息的反应程度不够。根据国外研究,长短利差是十分有效的预测变量。基于上述理由,本文认为,只有丰富国债品种,激发债券市场活力,才能进一步的发挥债券市场利率发现的功能,也能使传导机制更加清晰,使宏观经济调控和货币政策制定有了依据和理论支持。

### 第二,完善市场传导机制

中国的短期利率的波动更大和中国的短期利率受央行的货币政策调控,利率尚未实现完全的市场化有关。影响市场参与者的预期和判断。因此应该继续推进利率市场化改革,让市场成为利率的传导机制,更加灵敏迅速的对宏观经济信息做出反应和调整,发挥收益率曲线的定价核的作用。避免货币政策限制金融机构根据供求调整利率水平,反应宏观经济的真实情况。

### 第三,完善信用体系建设

信用体系的缺乏,造成经济行为的短期化,由此形成了中国债券市场上短期利率过高的特征,反映在国债收益率曲线上特征也十分的明显。这不利于培养市场参与者的风险认知能力和风险管理能力,同时也反映在中国债券市场的信用债投资评级较高上,一方面投资者缺乏风险意识可能在面临违约事件的时候产生较严重的后果,引起系统性风险,另一方面,信用体系的缺乏也使得准确衡量标的的真实价值较为困难,由此造成经济行为的短期化,希望尽快的获得回报,而不是长期投资。因此应进一步完善信用体系的建设,如新增新型的由投资者付款的信用评级公司,改变信用评级的模式,打破垄断等。信用体系的完善虽不会立竿见影的影响到收益率曲线的特征,但是对于市场的健康发展有着至关重要的意义。

## 5.3 研究展望

针对本文的研究内容,作者认为在未来仍可进行多个方向的改进与探索。

第一, Nelson-Siegel-Sevensson 方法是采用拉塞尔函数用六个参数完成模型拟合,由于参数数量较少,该模型对较复杂的收益率曲线的拟合效果较差。其次,由于参数估计方法本身的限制,关键期限的债券缺失、或关键期限的债券的价格异常会导致曲线的异常,甚至导致利用最小二乘法无法得出最优的曲线的问题。因此,从实现复杂曲线更好的拟合效果,和如何对用于估计参数的数据进行提前处理两方面,可以对 Nelson-siegel-sevensson 模型作出改进,使之更加符合中

国金融市场的现状。

第二，文章虽然选择了静态估计法进行估计，但是本文是基于文献综述的调研结果和各国央行的操作实践选择了该方法，而实践中多采用此方法则是因为待估参数含有丰富的经济学含义，并且估计模型只需要用到有限的债券数量。实际上，模型的估计效果如何可以通过理论进行检验。首先，任取收益率曲线的两点可以进行无套利均衡的检验，完美的市场上两个时期的利率应该是符合无套利均衡假设的（完美的市场中任何套利空间都会被发现，进而由于市场参与者的套利行为，套利空间消失），即意味着研究可以通过检验无套利均衡来对比不同模型的估计结果。其次，可以通过将息票剥离法计算出的该期限的国债到期收益率与曲线估计出的结果进行对比，以估计结果与实际结果之间的差值检验模型估计的结果。此处研究仍为空白，因此作者可以在此处拓展研究。

第三，主成分分析法提取因子改进。主成分的解释度在不同的文献中虽然相近却存在差异，不能得出一致结果。一方面由于时间区间和交易场所数据选择不同，解释度会有差异，另一方面，主成分在对矩阵进行变换时，变换的处理不同，解释度也会存在差异，因此对主成分分析法的改进也会是一个拓展方向，或者转向独立成分分析和典型相关分析等方法解决该问题，仍待研究。

第四，机制研究改进。在得到收益率曲线中长期水平移动，短期波动较大，短期利率较高的特征后，本文提出了关于特征出现的原因，可以概括为实体经济短期化，证券投资短期化和利率受货币政策影响大等，但对于其形成机制，目前研究较少，作者认为，也许可以通过建立动态均衡模型的方法将不同变量联系起来，而不是限于统计上的因果，探究其平坦化或短期利率波动原因，这也可以更深入的把文章的第3, 4部分：关于特征的分析 and 宏观影响因素的分析合为一体。

由此可见，“翻译”金融市场的经济决策信息仍然任重道远，路漫漫其修远兮，吾将上下而求索。

## 参考文献

- [1]E. F. Fama and R. R. Bliss. The Information in Long-Maturity Forward Rates[J]. The American Economic Review, 1987, 77(4): 680-692.
- [2]J. H. McCulloch. The Tax-Adjusted Yield Curve[J]. Journal of Finance, 1975, 30(3): 811-830.
- [3]O. A. Vasicek and H. G. Fong. Term Structure Modeling Using Exponential Splines[J]. Journal of Finance, 1982, 37(2): 339-348.
- [4]D. R. Chambers, W. T. Carleton and D. Waldman. A New Approach to Estimation of the Term Structure of Interest Rates[J]. Journal of Financial and Quantitative Analysis, 1984, 19(03): 233-252.
- [5]C. R. Nelson and A. F. Siegel. Parsimonious Modeling of Yield Curves[J]. Journal of Business, 1987, 60(4): 473-489.
- [6]L. E. O. Svensson. Estimating and Interpreting Forward Interest Rates: Sweden 1992-4[J]. Social Science Electronic Publishing, 1994, 94.
- [7]F. Diebold, C. Li and V. Yue. Global Yield Curve Dynamics and Interactions: A Dynamic Nelson-Siegel Approach[R]. City: National Bureau of Economic Research, Inc, 2007.
- [8]朱世武 和 陈健恒. 交易所国债利率期限结构实证研究[J]. 金融研究, 2003, (10): 63-73.
- [9]郑振龙 和 林海. 中国市场利率期限结构的静态估计[J]. 武汉金融, 2003, (03): 33-36.
- [10]傅强 和 蒋安玲. 国债即期利率期限结构研究[J]. 金融与经济, 2005, (03): 57-59.
- [11]周子康, 王宁 和 杨衡. 中国国债利率期限结构模型研究与实证分析[J]. 金融研究, 2008, (03): 131-150.
- [12]李宏瑾. 利率期限结构的远期利率预测作用——经期限溢价修正的预期假说检验[J]. 金融研究, 2012, (08): 97-110.
- [13]姚余栋 和 谭海鸣. 中国金融市场通胀预期——基于利率期限结构的量度[J]. 金融研究, 2011, (06): 61-70.
- [14]曾耿明 和 牛霖琳. 中国实际利率与通胀预期的期限结构——基于无套利宏观金融模型的研究[J]. 金融研究, 2013, (01): 24-37.
- [15]耿迎涛 和 丁志国. 基于仿射模型的中国国债市场利率期限结构动态检验[J]. 数量经济研究, 2015, 6(01): 64-78.
- [16]谢赤 和 吴雄伟. 基于 Vasicek 和 CIR 模型中的中国货币市场利率行为实证分析[J]. 中国管理科学, 2002, (03): 23-26.
- [17]强静, 侯鑫 和 范龙振. 基准利率、预期通胀率和市场利率期限结构的形成机制[J]. 经济研究, 2018, 53(04): 92-107.
- [18]许瑾 和 缪柏其. 利率期限结构的主成分分析[J]. 数理统计与管理, 2004, (02): 19-22.
- [19]康书隆 和 王志强. 中国国债利率期限结构的风险特征及其内含信息研究[J]. 世界经济, 2010, 33(07): 121-143.
- [20]杨宝臣 和 张涵. 中国债券市场时变风险溢价——远期利率潜在信息[J]. 管理科学, 2016, 29(06): 2-16.
- [21]关禹, 王雪标 和 赵雅丹. 对国债收益曲线“极度平坦化”的特征研究——基于状态因子相关性分析[J]. 价格理论与实践, 2018, (10): 105-108.
- [22]E. Arturo and S. M. Frederic. The yield curve as a predictor of U.S. recessions[J]. Current Issues in

Economics and Finance, 1996, 2(Jun).

[23]A. Cieslak and P. Povala. Expected Returns in Treasury Bonds[J]. Review of Financial Studies, 2015, 28(10): 2859-2901.

[24]石柱鲜, 孙皓 和 邓创. 中国主要宏观经济变量与利率期限结构的关系:基于 VAR-ATSM 模型的分析[J]. 世界经济, 2008, (03): 53-59.

[25]范龙振 和 张处. 中国债券市场债券风险溢酬的宏观因素影响分析[J]. 管理科学学报, 2009, 12(06): 116-124.

[26]董睿琳. 我国国债利率期限结构与货币政策的相关性分析[D]. City: 复旦大学, 2012.

[27]郭涛 和 宋德勇. 中国利率期限结构的货币政策含义[J]. 经济研究, 2008, (03): 39-47.

[28]尚玉皇 和 郑挺国. 基准收益率曲线与宏观经济:基于混频 DSGE 模型的研究[J]. 经济研究, 2018, 53(06): 36-51.

[29]刘金全, 王勇 和 张鹤. 利率期限结构与宏观经济因素的动态相依性——基于 VAR 模型的经验研究[J]. 财经研究, 2007, (05): 126-133+143.

[30]L. Coroneo, K. Nyholm and R. Vidova-Koleva. How arbitrage-free is the Nelson–Siegel model?[J]. Journal of Empirical Finance, 2011, 18(3): 393-407.

## 附录

表 1 美国国债收益率曲线估计参数表

t	beta0	beta1	beta2	beta3	tau1	tau2
2009/1	-20.882813	20.88888	9.9887299	62.6616115	84.0278465	359.989236
2009/2	-6.520415	6.693333	2.5461933	25.8423171	120.000982	359.998812
2009/3	-4.413891	4.624804	16.885600	-0.4361711	360.138857	1.32218306
2009/4	-3.006875	3.124462	15.153742	0.55061107	361.764553	58.4155116
2009/5	1.710894	-1.59424	8.1746360	-0.2020661	239.632555	10.7601546
2009/6	2.825774	-2.74242	-2.240255	5.02606081	24.0002327	359.999935
2009/7	4.353178	-4.21982	0.9308189	-1.1070735	83.9999711	23.999953
2009/8	4.527715	-4.36416	1.0596005	-0.9437794	83.9976787	12.0105896
2009/9	1.955560	-1.92228	-2.064778	5.75091915	22.3100698	359.616461
2009/10	4.415613	-4.36851	0.8784713	-1.1046389	88.8512748	20.8920212
2009/11	4.426041	-4.36342	-1.036826	-1.209446	59.895544	24.259854
2009/12	2.663373	-2.67027	-2.631168	5.53621556	25.5556786	359.335996
2010/1	4.646768	-4.58807	-3.979054	-0.9167974	36.2627142	118.983229
2010/2	4.661150	-4.56214	0.5571784	-1.2396684	84.0000961	23.9996775
2010/3	4.886572	-4.73779	-3.516454	-2.8123334	23.8454402	59.9217777
2010/4	4.347954	-4.30294	-3.497826	-1.0418118	35.6775255	120.019583
2010/5	4.197749	-4.11167	-3.017289	-1.4608744	36.0115665	84.0042461
2010/6	3.975225	-3.806940	-3.179652	-1.4173986	35.9997103	84.000195
2010/7	9.540496	-9.404636	-6.775175	-14.72145	60.0659549	359.975287
2010/8	6.321796	-6.180689	-5.100961	-7.0951468	60.0003794	359.999945
2010/9	4.190866	-4.065973	-4.110700	0.06524548	59.9799491	11.3337941
2010/10	4.399457	-4.213639	-3.736634	-2.5017257	35.9997918	83.9998368
2010/11	4.815713	-4.674133	-4.206455	-1.8018501	35.9995852	120.000025
2010/12	4.741655	-4.590486	0.352958	-1.5977833	83.9999523	23.9991139
2011/1	1.759938	-1.622764	-2.558830	7.74727467	24.1503031	360.184428
2011/2	4.631127	-4.586653	-3.263836	-3.4368548	24.0062165	59.999202
2011/3	4.594231	-4.57705	-3.912933	-2.0175433	36.3868557	120.166612
2011/4	4.437191	-4.380063	-3.844274	-1.9744077	38.3209561	97.9369446
2011/5	4.462318	-4.449575	-3.73566	-1.9052024	38.0227213	83.5049046
2011/6	8.921918	-8.910286	-6.77214	-13.682834	59.9995419	359.999824
2011/7	4.968720	-4.942982	-3.996901	-5.0768997	52.5967552	233.300273
2011/8	3.030703	-3.020906	-0.484579	-1.1028197	84.0143497	35.9424602

2011/9	6.349511	-6.337443	-5.020039	-8.7497131	60.0627192	359.992539
2011/10	6.66338	-6.655693	-5.101973	-9.6338852	60.012791	359.998276
2011/11	5.392475	-5.372358	4.3592959	6.3034029	59.9987261	359.999992
2011/12	3.107622	-3.090858	-3.8803644	0.53793961	51.4410523	13.2256832
2012/1	3.090500	-3.066227	-3.4759188	0.41891057	52.8242228	11.647152
2012/2	3.240124	-3.220811	-3.6096332	0.48107405	52.753423	12.8475834
2012/3	3.123728	-3.10421	-3.0939421	0.31262009	60.0040858	6.0303505
2012/4	2.779341	-2.753393	-2.8452674	0.32867179	60.048694	12.0105508
2012/5	2.701191	-2.669513	-2.8519328	0.40432072	60.0121914	12.0231816
2012/6	2.698237	-2.678575	-2.8784062	0.39565767	59.7712462	10.8500582
2012/7	2.843870	-2.800536	-3.1368936	0.38452882	57.9902461	11.048356
2012/8	3.017924	-2.936134	-3.404863	0.33236279	60.001675	11.996472
2012/9	3.929618	-3.808593	-3.1808586	-2.8469256	60.0039518	239.999375
2012/10	2.772146	-2.740157	-3.0728884	0.41993203	60.0080906	12.015587
2012/11	3.144864	-3.11220	-3.2942608	0.24285789	57.3907363	11.0997944
2012/12	3.223130	-3.185873	-3.310463	0.22159844	58.0161949	8.02214904
2013/1	4.609722	-4.502620	-3.7380612	-4.2291886	56.0773247	240.547038
2013/2	2.924276	-2.889050	-3.1743891	0.24835971	59.9795151	11.9904679
2013/3	3.030018	-3.039	-3.2561956	0.27801134	58.7274699	11.4329406
2013/4	3.405167	-3.359305	-0.0498143	-1.0131586	120.002669	36.0469406
2013/6	3.980138	-3.938645	-3.514492	-1.9977768	34.908921	120.080822
2013/7	4.048163	-3.97387	-3.9180441	-2.1169834	36.0079049	120.000371
2013/8	4.107701	-4.095748	-3.6474927	-1.6186632	35.7973875	120.008452
2013/9	4.014384	-3.902635	-3.8833275	-2.0924779	35.9982604	120.000264
2013/10	4.069732	-3.981716	-4.010963	-1.9785675	37.1942808	120.326594
2013/11	4.146891	-4.034146	-4.3738635	-1.6385299	36.002344	119.999653
2013/12	4.154440	-4.074721	-4.1173901	-1.6943032	33.9874154	120.213583
2014/1	3.925331	-3.832061	-3.7635542	-1.69723	35.6802312	120.024043
2014/2	4.001420	-3.917572	-3.8857893	-2.127477	33.0788153	120.533253
2014/3	3.549624	-3.461027	-3.1056806	-2.5794911	23.9999993	60.0000018
2014/4	3.548971	-3.474527	-3.5087472	-2.0745646	26.2282158	93.4999357
2014/6	3.659075	-3.563504	-3.6898682	-2.1954623	27.0674156	100.88928
2014/7	3.633723	-3.559035	-3.4438281	-2.304703	25.6223435	94.3502174
2014/8	3.404725	-3.326584	-3.278354	-2.2836384	24.0016846	84.0006053
2014/9	3.346720	-3.297643	-3.0945521	-2.1478737	23.9991237	84.0001197
2014/10	3.218212	-3.186865	-2.9491648	-1.8630774	23.9991694	84.0000785
2014/11	3.217734	-3.142709	-3.1192261	-2.1445511	22.3476179	84.2475899

2014/12	3.353335	-3.33279	-2.896973	-2.5134365	23.9993311	120.000003
2015/1	2.851831	-2.852771	-2.2069396	-2.2184849	23.4929432	120.084787
2015/2	2.831523	-2.862420	-2.1118773	-2.1525967	23.9987416	119.999703
2015/3	3.161536	-3.206215	-2.4248088	-2.2195694	23.9299248	120.000269
2015/4	2.686875	-2.668706	-2.0915136	-1.9812324	24.0091475	83.9992543
2015/6	3.111517	-3.131724	-2.2677347	-2.2317002	23.9982787	84.0012349
2015/7	3.209671	-3.220837	-2.3542611	-2.0380901	23.9914779	84.0028883
2015/8	3.319149	-3.332084	-2.363941	-2.2344011	28.8974452	103.356381
2015/9	3.028734	-3.008284	-1.9494276	-1.9801208	25.5180253	86.6092854
2015/10	16.68451	-16.78361	24.1413676	-49.311253	239.954799	360.010121
2015/11	5.170637	-5.175484	-0.9293235	-6.1364583	60.0010653	239.999866
2015/12	7.554331	-7.376038	-6.9319256	4.41822384	359.995017	119.938701
2016/1	3.486786	-3.319525	3.669391	-4.8051918	84.0003926	119.999797
2016/2	13.74591	-13.47259	-5.2123582	-28.759061	84.0501138	359.97861
2016/3	5.027754	-4.789201	0.24351945	-6.7710216	83.9985621	239.999987
2016/4	14.21354	-14.00378	18.1988463	-39.686794	239.999008	360.000615
2016/5	15.03843	-14.8480	19.4144661	-42.414195	239.999764	360.000148
2016/6	5.03924	-4.816824	-5.9445187	3.84656278	240.000613	119.992631
2016/7	4.530451	-4.285106	-1.6459533	-7.0373502	59.9982193	240.000383
2016/8	14.84230	-14.57967	18.7125368	-42.22074	239.999773	360.000146
2016/9	4.101381	-3.84830	-4.3216182	2.97222734	240.04229	119.99561
2016/10	3.429296	-3.183578	-1.0718222	1.68444897	239.999768	84.0004411
2016/11	2.738756	-2.311909	-0.1581275	-0.4478898	120.010756	1.02384334
2016/12	4.847645	-4.469199	0.54862536	-5.1940338	84.0168283	240.012332
2017/1	4.703094	-4.29165	-0.6024247	-5.0297509	60.0017617	239.998228
2017/2	10.08780	-9.661900	0.60782557	-18.069526	120.021402	360.088345
2017/3	4.70216	-4.154960	-0.6360069	-4.7258447	60.1244732	239.844907
2017/4	13.56961	-12.81498	-34.73757	20.7139512	360.054608	238.778331
2017/5	4.628183	-3.820405	1.94241384	-5.1929909	120.026703	240.004271
2017/6	2.941818	-1.9458	-0.232946	-0.4901537	120.04944	0.96701644
2017/7	12.08588	-11.1118	16.2949289	-33.054675	240.048501	359.978474
2017/8	8.375886	-7.403346	-2.4926948	-14.319585	85.714072	360.005579
2017/9	8.736537	-7.701674	-3.0873055	-15.571625	83.9952158	360.001764
2017/10	4.100496	-3.094838	0.17602307	-3.4592945	83.9995545	240.000172
2017/11	2.835504	-1.559420	-0.2504993	-0.7154241	84.004205	1.12296697
2017/12	1.679063	-0.571568	-0.2868841	2.77924403	4.34709264	370.464362
2018/1	1.897538	-0.699719	-0.2970637	2.40433239	5.99893552	360.000017



2018/2	3.103832	-1.659803	0.90697405	1.54382939	239.999485	59.9989305
2018/3	3.034961	-1.555756	-0.3505975	0.60656866	35.9657291	11.6949974
2018/4	3.150411	-1.507372	0.13207721	-0.9565279	35.9984596	120.000396
2018/5	3.021590	-1.433111	0.02606834	0.76270449	35.9599105	11.3540254
2018/6	3.051867	-1.326411	-0.0252287	0.60878654	35.8990049	11.4329854
2018/7	2.588904	-0.797681	0.01713793	0.9543753	11.8032026	359.807158
2018/8	3.027209	-1.186091	0.01903683	-0.6863275	11.9201868	37.0518909
2018/9	2.604749	-0.714683	-0.1510867	1.24579943	6.11363244	403.733148
2018/10	2.915865	-0.868904	0.00183683	1.31593643	12.0436692	360.220297
2018/11	2.881327	-0.713651	-0.3638714	1.41015719	5.97989513	360.00258
2018/12	3.153671	-0.84890	0.01906393	-1.0834339	11.2800788	58.0973035
2019/1	2.231887	0.1472607	0.61526411	1.9652222	12.0016588	360.000137
2019/2	3.076259	-0.709306	-0.6191919	0.41060921	83.9859767	11.8455684
2019/3	3.11339	-0.711390	-0.7392183	0.36865836	84.0000738	11.9977949

表 2 中国银行间国债收益率曲线估计参数表

t	beta0	beta1	beta2	beta3	tau1	tau2
2009/1	3.6385068	-2.9918	-2.3016528	0.67026988	57.4987759	6.48525479
2009/2	3.9708145	-3.3400636	-1.0424864	0.54739537	60.0444513	2.88547146
2009/3	3.8985286	-3.481557	1.71075768	0.76293292	120.000205	2.00165695
2009/4	2.1016628	-1.2857191	-1.6036331	5.25061754	23.9974124	359.999804
2009/5	3.8605020	-3.3562064	1.82346784	0.73055712	122.97781	2.70877651
2009/6	2.3781190	-1.4223727	5.66841896	-0.8179702	240.000192	12.0018596
2009/7	4.0414846	-3.2422175	-0.1864921	0.63182904	72.01144	3.80425211
2009/8	0.4709067	0.64903991	8.95600448	1.7744105	360.016418	59.9313403
2009/9	4.1252449	-2.9410555	-1.9365993	-2.2064387	20.2743398	60.4978232
2009/10	4.1859585	-2.9984182	-2.1594806	-1.4226364	23.9923169	71.9954297
2009/11	4.2175066	-3.0779163	-2.1314967	-1.2844049	23.9337417	71.9949099
2009/12	4.248741	-3.1248847	-1.5895991	-1.9678962	23.9991402	60.0008788
2010/1	4.2568700	-3.0820233	-1.6156358	-2.0565005	21.7690423	60.4926861
2010/2	2.4408691	-1.0312	-1.489833	5.18226802	12.3720949	480.000067
2010/3	4.1244287	-2.8786611	-2.1133996	-3.5364095	12.3206298	47.9986225
2010/4	4.2558136	-3.0795918	0.13716235	0.60892635	95.9974401	36.0212157
2010/5	4.2173725	-3.0217781	0.27686047	0.69725584	120.00052	35.9982686
2010/6	4.0872218	-2.2048398	-1.6871654	-0.3855893	59.9994767	0.99509966
2010/7	4.02273001	-2.3692857	0.43095345	-3.643225	24.6118362	49.3902396
2010/8	4.06790179	-2.3099868	-1.2010646	-1.1955618	71.9693286	1.08110538
2010/9	4.01603522	-2.3636302	1.2354448	-3.4490795	38.6226959	50.9875788
2010/10	4.04451058	-2.5172661	0.25722963	0.53942263	95.9996317	5.96275383
2010/11	4.40899529	-2.6839999	-1.4976418	-0.9851086	24.0056444	107.99969

2010/12	4.42375931	-1.8236123	0.6480633	1.21222361	239.618038	77.9975314
2011/1	4.34891364	-1.5795328	0.06796136	-2.6554683	107.968392	0.39117291
2011/2	4.43437461	-1.4718757	-0.0285197	-1.8324125	84.0054449	0.3719989
2011/3	4.3203454	-1.6903165	0.13935638	-2.0696577	83.996868	0.86496564
2011/4	4.32152163	-1.6903648	0.03530188	-2.7457183	83.48801	0.46292564
2011/5	4.30166663	-1.6350916	0.08580984	-1.5409863	95.9979264	0.73532895
2011/6	4.63192526	-1.7002452	-0.6103154	-0.9911873	59.9998526	180.00002
2011/7	3.27135704	-0.9008112	-0.1855021	3.71027631	1.01307262	599.999316
2011/8	3.48131887	-1.8413439	-0.5211858	3.25096368	1.22919751	626.626724
2011/9	3.74833118	-2.2547591	-0.3614705	2.2405815	0.94615105	600.004611
2011/10	3.31180944	-1.3682651	0.77716218	3.18585421	1.75608933	600.102589
2011/11	3.11033708	-0.5178642	-1.0036225	3.28344245	12.2184984	599.998982
2011/12	5.62510225	-3.1197339	-0.5600595	-3.6944936	120.000503	479.999928
2012/1	2.68013313	-1.3095714	0.83356689	3.98498407	1.04038513	479.997715
2012/2	2.83516608	-3.0073759	2.13915554	3.66414243	1.03524717	480.010047
2012/3	2.76103044	-3.5553581	2.0806483	4.02110961	0.93750088	479.983808
2012/4	4.26683486	-1.7267374	-0.1030198	0.58194954	119.999951	6.00129364
2012/5	2.58778602	-2.6687645	1.32470292	4.6378762	0.88921474	479.931471
2012/6	4.18049058	-2.3473784	0.07926435	0.41988314	107.999784	5.9723986
2012/7	4.18081476	-2.1560287	-1.0339351	-1.4312687	84.009435	0.60707064
2012/8	2.32768424	-1.2968813	0.48139931	5.16472525	0.99272871	479.984329
2012/9	4.28689232	-1.8953958	1.90873377	-3.2387327	50.9676439	74.1035244
2012/10	2.74317561	-1.8209622	0.21613192	4.17808203	0.95002524	479.97909
2012/11	2.78473583	-1.6258903	1.09504706	4.09426163	0.98908751	480.000012
2012/12	2.84690823	-1.8025834	0.72960394	3.90889146	0.95770822	479.999167
2013/1	4.35230649	-1.7484639	0.33100146	0.39270881	179.999023	48.0033084
2013/2	4.37714376	-1.7791772	-0.4936212	0.41463341	120.000082	47.9997124
2013/3	4.33769796	-1.731924	-0.3483256	0.49440637	119.995652	35.770434
2013/4	4.28902531	-1.9135838	0.96863438	0.73339018	239.998178	48.0056884
2013/5	4.28795882	-1.7054037	-0.9024334	0.48462888	95.9941879	23.976134
2013/6	2.97898955	6.09259781	-2.2939201	3.37053	1.01179847	600.000019
2013/7	3.14755611	0.32170486	0.55075497	3.0085974	5.96624297	600.000014
2013/8	4.30761778	-0.8865978	-0.8351885	-1.3086927	14.8466222	83.9898425
2013/9	3.91399551	0.40363552	-1.3218209	1.38307401	5.39536117	599.987541
2013/10	3.59843573	0.59507901	-1.0377457	3.17597094	3.86874953	599.985381
2013/11	4.95583476	-0.9653277	-0.8076105	-1.5131285	11.9957757	84.0002011
2013/12	5.34716829	-0.6586434	-1.2066652	-1.3831385	107.999731	12.0030871
2014/1	4.20095368	1.77473844	-2.055276	2.86147475	3.04734128	600.000143
2014/2	4.15116615	-0.7716555	-0.6489168	2.70800941	22.4984732	600.189729
2014/3	5.23657281	-2.1665541	-1.630335	-1.6719354	23.9957779	96.0003237
2014/4	5.13527819	-2.1713527	-0.458961	-1.7060721	23.9878817	84.0115645
2014/5	3.70948889	-1.2589959	0.10801269	2.95854815	5.98713298	600.000429

2014/6	3.58091392	-0.6057265	-1.0327698	3.0886329	6.13332587	636.055451
2014/7	3.60948327	-0.6315573	0.60431487	3.14858771	23.9998691	600.000021
2014/8	4.9510801	-1.3069212	0.04050072	-0.7129334	179.999535	0.92797261
2014/9	3.79272134	-0.6083696	-0.0622097	3.07760246	3.01262653	599.999895
2014/10	4.81600249	-1.0751704	-0.960593	-0.3566901	120.000745	1.00659844
2014/11	4.13770654	-1.0647486	-0.5487923	0.37178877	119.999241	3.1368802
2014/12	4.3105735	-1.0439689	-0.6430832	-1.4236674	24.0335572	84.1801087
2015/1	4.26056232	-0.6608782	-1.1276099	-1.0085948	95.9924611	11.9530045
2015/2	3.9966127	-0.7792123	-1.0186507	-0.3262707	96.0116974	11.9216098
2015/3	4.08169936	-0.4630067	-1.5319116	-2.079801	11.5634297	72.1041444
2015/4	4.45890098	-1.4441589	0.1157907	0.19709756	180.014993	0.6597285
2015/5	4.24183599	-1.9726684	-3.145231	2.71231646	71.9836243	48.0176831
2015/6	3.09491592	-1.2501284	-2.453755	2.8730346	12.0160918	479.99998
2015/7	4.09333166	-1.8278681	-1.5581379	-1.4175909	23.3610691	95.9249071
2015/8	4.07399198	-1.7297675	-2.3195372	-1.3773948	16.8461083	92.6076298
2015/9	3.01239492	-0.8638428	-1.0265698	2.42554333	11.9720594	600.006607
2015/10	2.69563137	-0.4102093	-0.7692078	3.38149515	8.99770172	599.999408
2015/11	3.92365105	-1.4556513	-1.1602667	-2.0690986	17.5967281	82.3711531
2015/12	3.90353964	-1.548163	-0.7927321	-2.3251658	22.2913099	83.9073608
2016/1	3.67892534	-1.4366219	1.68922758	-3.0662876	59.765454	81.5621107
2016/2	3.63917578	-1.4476901	-2.5326484	1.73731816	83.9979457	59.8099265
2016/3	3.54896956	-1.4570997	0.3718029	-0.358081	180.003752	3.060105
2016/4	3.48551059	-1.4748597	-0.0436746	0.12538531	120.001735	5.88633696
2016/5	3.6261361	-1.4822232	0.41246464	0.2018694	179.998476	36.0006424
2016/6	4.23703318	-2.0895409	0.38213893	-1.7250813	119.999442	360.001412
2016/7	3.62076705	-1.4277671	0.28104461	-0.2752947	179.995572	0.85490413
2016/8	4.34886799	-2.2938442	1.26440552	-2.8541221	240.000081	479.999952
2016/9	3.49729211	-1.4771151	-0.167028	0.64903142	180.000107	83.9992809
2016/10	3.29516487	-1.35924	0.27968657	0.46180652	180.000014	35.9994855
2016/11	3.67752476	-1.6536423	-0.705833	-1.2861859	60.0140619	239.992134
2016/12	3.64552443	-1.1741725	-0.0957917	-0.2995821	120.000875	0.98982574
2017/1	3.76182368	-1.1412676	-0.6328009	-0.8058215	79.8414205	0.48341322
2017/2	3.97745186	-1.6032351	-0.3221366	0.72229163	83.9994217	12.0005427
2017/3	3.91180917	-1.429746	-0.8722911	0.62120489	60.0009569	12.0068142
2017/4	3.88642069	-1.2102153	-0.5753277	0.64982064	83.9995922	11.9970203
2017/5	4.01035438	-1.2817917	0.00909924	-1.0442574	10.4718416	59.8520102
2017/6	4.01172265	-0.4043016	-0.7386146	-1.1739633	71.3241278	0.88274303
2017/7	3.30654503	-0.3886293	0.61754005	2.06367735	8.49376556	480.000204
2017/8	3.30787402	-1.4682412	-0.2402996	2.42883048	1.94926609	479.97009
2017/9	3.26286741	-0.5508519	0.91364706	2.87810702	8.95095127	479.997235
2017/10	4.33580621	-0.83885	-0.8196964	-0.9605084	92.2638232	1.87047251
2017/11	3.5635862	-1.627695	0.06707394	2.26546354	0.99728967	480.075174

2017/12	3.69992319	-2.1741153	2.5414985	1.94639194	1.95529137	598.935209
2018/1	4.41948778	-0.9001874	-0.4293122	-1.227189	94.8726181	0.95457117
2018/2	3.32677086	-1.1438009	-0.7364796	2.78146323	0.90805902	460.266672
2018/3	4.33268347	-1.2426043	-0.1111074	-1.1134132	35.9995807	84.0001842
2018/4	3.27077866	-0.4492164	-1.329675	2.43028547	1.986559	479.999973
2018/5	4.18047079	-1.3958472	0.15384466	-0.8168066	120.000696	0.99289966
2018/6	3.20697527	-0.0265625	-0.7725415	2.61006419	2.90918496	485.257409
2018/7	3.07191148	-0.7412602	-1.4673937	2.63044495	2.00104832	486.450468
2018/8	2.93846166	-0.9754178	-1.6786486	3.08848363	2.88897366	466.733691
2018/9	3.17418624	-0.8002551	-1.9236582	3.04300852	3.30201077	480.031873
2018/10	2.96615546	-0.5099347	-2.8504304	3.32628134	2.00833515	479.99956
2018/11	2.92094946	-1.0355042	0.01453309	3.14312807	8.98098628	479.998215
2018/12	2.7970174	-0.307801	-0.6585755	2.71323982	11.9632729	493.709072
2019/1	3.63598451	-1.4459114	1.05940193	0.61572108	240.000185	36.0007104
2019/2	2.49084113	-0.3566805	3.72869885	0.78288607	479.999993	59.9999826
2019/3	2.62809713	-0.8213075	-0.5662365	3.08821821	5.9537659	480.001247

表 3 因子提取结果

t	level	slope	curvature
2009/1	3.830398	2.413574	2.003021
2009/2	4.499883	3.071833	2.426704
2009/3	4.096694	3.109363	2.521668
2009/4	4.416839	3.011897	2.601037
2009/5	4.324257	3.129534	2.471097
2009/6	4.515628	2.876461	2.603328
2009/7	5.148241	3.207322	2.418376
2009/8	5.993167	3.452693	2.523711
2009/9	5.774159	3.257712	2.571152
2009/10	5.872953	3.372638	2.668621
2009/11	5.899078	3.504503	2.722487
2009/12	5.847273	3.447003	2.663092
2010/1	6.061254	3.493091	2.64617
2010/2	6.230962	3.217114	2.572042
2010/3	5.868261	3.214422	2.517845
2010/4	6.033185	3.35615	2.491726
2010/5	5.895665	3.146076	2.347918
2010/6	6.950976	2.759973	2.218352
2010/7	6.779939	2.805001	2.158682
2010/8	6.427335	2.987601	2.171008
2010/9	6.716732	2.830665	2.241503
2010/10	6.819948	3.004002	2.22419
2010/11	7.803967	3.689224	2.646393
2010/12	9.624296	3.165763	2.335515

2011/1	9.293941	3.571179	2.007568
2011/2	10.14365	3.534942	2.178339
2011/3	9.021578	3.677876	2.268961
2011/4	8.996153	3.773206	2.086134
2011/5	9.181438	3.4196	2.197443
2011/6	10.24552	2.950932	2.257859
2011/7	10.51694	3.322938	1.975097
2011/8	10.42372	4.008691	1.782764
2011/9	11.20194	4.079041	1.671423
2011/10	10.44524	3.464544	1.779325
2011/11	9.088998	2.865967	2.293701
2011/12	8.9344	2.755991	2.136153
2012/1	8.871124	3.070133	1.774266
2012/2	8.912666	3.661692	1.461242
2012/3	8.528298	3.889164	1.413918
2012/4	9.334588	2.787942	2.045053
2012/5	8.271763	3.617265	1.617632
2012/6	7.46371	2.90108	2.192941
2012/7	7.151194	3.030683	2.035029
2012/8	7.826743	3.1465	1.824216
2012/9	8.897917	2.915148	2.116553
2012/10	8.701026	3.528083	1.722075
2012/11	9.173935	3.238797	1.794454
2012/12	9.159929	3.406647	1.744543
2013/1	9.359214	2.884467	2.170598
2013/2	9.323807	2.865469	2.161409
2013/3	9.428465	2.908317	2.143722
2013/4	8.848381	2.948256	2.177039
2013/5	9.257276	2.770916	2.050531
2013/6	12.23784	0.0065876	3.211545
2013/7	11.1859	2.356193	1.891948
2013/8	11.38357	2.794504	2.1084
2013/9	12.61687	2.546387	2.397496
2013/10	12.12609	2.575291	2.494213
2013/11	13.38175	3.270901	2.367771
2013/12	14.28354	2.899901	2.639076
2014/1	14.60662	2.241305	3.049478
2014/2	11.89532	3.512654	2.675198
2014/3	11.11575	3.62455	2.804919
2014/4	11.35741	3.867362	2.677752
2014/5	10.84203	3.950135	2.204447
2014/6	10.65695	3.355907	2.410063

2014/7	11.12243	3.474589	2.333698
2014/8	12.03609	3.276789	2.331603
2014/9	12.03415	3.499584	2.236777
2014/10	12.14821	2.908183	2.15797
2014/11	10.41999	2.483478	1.887586
2014/12	10.914	2.721701	2.093693
2015/1	11.01617	2.293261	2.096303
2015/2	10.26014	2.267813	1.871126
2015/3	10.70805	2.022334	1.985519
2015/4	10.36132	2.729226	2.159033
2015/5	8.690862	2.975132	2.091504
2015/6	7.144629	3.208024	2.672851
2015/7	8.257597	2.811302	2.230483
2015/8	8.285429	2.827056	2.357119
2015/9	8.112066	2.905322	2.153763
2015/10	8.136633	2.628036	2.037631
2015/11	8.555863	2.491148	1.946793
2015/12	8.227372	2.395694	1.855758
2016/1	7.881152	2.271911	1.710399
2016/2	7.76694	2.284474	1.708109
2016/3	7.260477	2.31132	1.825264
2016/4	7.295106	2.294056	1.760707
2016/5	7.710437	2.395015	1.820467
2016/6	7.821568	2.527349	1.926991
2016/7	7.621586	2.35572	1.769712
2016/8	7.212845	2.129507	1.657909
2016/9	7.304468	2.296166	1.732627
2016/10	7.086153	2.235003	1.629364
2016/11	7.211625	2.216815	1.712471
2016/12	8.4445	2.453013	1.815697
2017/1	8.767305	2.619575	1.807397
2017/2	8.957194	2.83454	1.962924
2017/3	9.078979	2.731676	1.954529
2017/4	9.524928	2.607611	1.820686
2017/5	10.50789	3.208338	1.915055
2017/6	11.22952	2.742352	1.82566
2017/7	10.73848	2.950242	1.85702
2017/8	9.872895	3.702288	1.765153
2017/9	10.63612	3.242687	1.938818
2017/10	11.07912	2.822156	2.095498
2017/11	11.06539	3.633978	1.78915
2017/12	11.60463	3.735255	1.466119

2018/1	11.32754	3.145351	2.10601
2018/2	10.41302	3.5307	1.856682
2018/3	10.74961	2.959711	2.174349
2018/4	10.05021	3.213284	2.038385
2018/5	9.49425	3.03197	2.134372
2018/6	10.36691	2.777629	2.12774
2018/7	9.16579	3.338184	1.931046
2018/8	8.358554	3.528581	2.073483
2018/9	9.079836	3.539963	2.282088
2018/10	8.552178	3.524162	2.171212
2018/11	8.422459	3.37077	2.051217
2018/12	8.584547	2.531253	2.013164
2019/1	8.086401	2.593724	1.878056
2019/2	7.870588	2.568103	1.903067
2019/3	7.661334	3.016797	1.93726

## 致谢

感谢导师安毅和导师李杰在论文写作的过程中对我的悉心培养和指导，以及在课题上给予我的支持。感谢每周二晚上的组会和感谢参与组会的所有同学，师兄师姐和同学们在组会上的争论、分享给了我很多启发。

我还要感谢经管学院，在经管学院的时光总是那么的愉快。感谢经管学院和金融系为我营造了优越的科研环境，四年来对我的培养。最后，感谢我的父母和家人对我科研和生活的支持，感谢我的男朋友陈旭鹏陪伴我度过了美好的本科生活，并给予了 my 论文很多宝贵的建议和帮助，你是我的生命之光。