

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 200310039

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

利率期限结构动态模型及应用研究

Theories and Applications of Dynamic Term Structure
Models of Interest Rates

杨海涛

指导教师姓名: 黄长全 副教授

专业名称: 数量经济学

论文提交日期: 2006年 月

论文答辩时间: 2006年 月

学位授予日期: 2006年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2006 年 4 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，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的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

- 1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。
- 2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：

日期： 年 月 日

导师签名：

日期： 年 月 日

摘 要

利率是金融市场上的基础价格变量之一，利率期限结构是由某个时点上不同期限的利率所组成的一条曲线。市场利率的动态规律和利率期限结构动态模型一直以来就是金融研究的重要领域之一，国外对这方面已有深入的研究，国内在这方面的研究则开展较晚，尚未形成对利率期限结构动态模型的系统性的研究，而且对这方面的研究结论也存在着较多争议。本文在总结国内外有关利率期限结构的理论和研究成果的基础上，对中国国债的利率期限结构动态模型进行了相关实证研究，得出了一些富有现实意义的结论。

论文首先对国内外有关利率期限结构的研究进行了比较详细的介绍，包括利率期限结构形成理论、静态估计方法、利率变动的行为特征和主成分分析、利率期限结构动态模型及估计方法。在随后实证研究的前两部分中，本文用上海证券交易所的国债交易数据，对我国国债利率期限结构进行了静态估计，并利用所得利率期限结构数据对利率的变动进行了主成分分析，得出了关于我国利率变动行为特征的一些基本结论。在实证研究的后一部分中，本文针对短期利率和收益率曲线的变动建立了模型，通过分析模型的估计结果，对中国的利率变动的行为特征进行了研究，并探讨了如何对利率动态行为建模。最后，在对实证研究结果总结的基础上，本文探讨了未来的研究方向。

本文的创新之处是：通过对我国国债利率变动的主成分分析，发现影响不同期限利率变动的因素并不相同，并据此提出用中短期利率和长期利率作为驱动收益率曲线变动的两个因素，建立双因素模型来拟合中国市场利率的变动。

本文的主要结论有：（1）中国的市场利率也具有均值回复现象和水平效应，期限短的利率具有更快的均值回复速度和更强的波动性；（2）影响不同期限利率变动的因素并不相同，影响中短期利率变动的主要为水平因素，而影响长期利率变动的主要为水平和斜率因素；（3）对于中短期利率的动态变化，只需建立单因素的模型，而如果要综合描述收益率曲线的变动，可以采用以中短期利率和长期利率的变动为两个因素的双因素模型。

关键词：期限结构；主成份分析；最大似然法

Abstract

The interest rates is one of the fundamental price variables in the financial markets, term structure of interest rate is the curve formed by interest rates of different maturities. Modeling the dynamic of interest rate is always one of the most important topics of finance research. The foreign academic researchers have done much research on this topic and developed so many term structure models. Domestic research on this topic began from recent years, academic researchers have not made a systematic research and there were still many arguments on some problem. Based on former theories and research, this dissertation makes some empirical research of modeling the term structure of interest rates in China and reaches some reasonable conclusions.

This dissertation reviews systematically the research on term structure at first, including hypothesis of term structure formation, methods of estimating term structure, dynamic behavior of interest rate, principal component analysis of term structure, dynamic models and methods of estimating these models. In the following empirical test part, this dissertation uses the historic Treasury-bond price data of Shanghai Stock Exchange to estimate term structure and studies the dynamic behavior of interest rates in China, including the shape of term structure, main factors of dynamic change of term structure. In the last part of empirical test, this dissertation uses two different dynamic models, such as two-factors CKLS and two-factor generalized models to model the dynamic of short-term interest rate and yield curve, and gets some conclusions to explaining the dynamic behavior of term structure of China. In the end, this dissertation summarizes my research and discusses prospect of research in this topic.

The innovation of the dissertation is that by conducting principal component analysis of term structure of China, I find the factors which affect the dynamic behavior of interest rates of different maturities are different, so using short, medium-term rate and long-term rate as two factors to build a two-factors model is reasonable way to modeling the dynamic of interest rates in China market.

The main conclusions of this dissertation are as follows: 1. Interest rates in China

market also show mean reversion and level effect, and the short-term rates have faster mean reversion speed and stronger volatility than long-term rates. 2. The factor which affects the dynamic behavior of short and medium-term rate is level, and the factors which affect the dynamic behavior of long-term rates are level and slope; 3. For modeling the dynamic of short and medium-term rates, it only need to build a one-factor model, but for long-term rates or term structure building a two-factors model is a more suitable choice.

Key Words: Term Structure; Principle Component Analysis; Maximum Likelihood Estimation

目 录

第一章 导论	1
第一节 研究的背景、目的和意义	1
第二节 文章的结构安排	2
第三节 本文的创新和不足之处	3
第二章 文献回顾	4
第一节 有关利率的基本概念及常用记号的定义	4
第二节 利率期限结构形成理论	4
一 市场预期理论	4
二 市场分隔理论	5
三 流动性偏好理论	6
第三节 利率期限结构的静态估计	7
一 息票剥离法	8
二 样条逼近法	8
三 两种估计方法的比较	11
第四节 利率期限结构主成分分析	11
一 主成分方法介绍	12
二 主成分分析的实证发现	13
第五节 利率期限结构动态模型	14
一 均衡模型	14
二 无套利模型	22
三 其它模型	25
第六节 利率期限结构模型的研究	27
一 均值回复性的研究	28
二 冲击项波动性的研究	30
三 模型参数的估计方法	30
第三章 中国利率期限结构的实证分析	34
第一节 中国利率期限结构的静态估计	34
第二节 中国利率期限结构的主成分分析	36
第三节 中国利率期限结构动态模型的实证分析	40
一 描述短期利率动态变化的模型	41
二 描述中国利率期限结构动态变化的模型	42
第四章 结论及今后的研究方向	45
参考文献	46
附 录	51

Contents

1. Introduction	1
1.1 Backgroud, Purpose and Significance of Research	1
1.2 Framework.....	2
1.3 Innovations and Shortcomings.....	3
2. Literature Review.....	4
2.1 Concepts and Symbols	4
2.2 Theory of Term Structure Formation	4
2.2.1 Market Expectation Theory	4
2.2.2 Market Segmentation Theory	5
2.2.3 Liquidity Preference Theory	6
2.3 Static Estimation of Term Structure.....	7
2.3.1 Bootstrap Method.....	8
2.3.2 Spline Approximation Method.....	8
2.3.3 Comparison between Two Methods.....	11
2.4 Principal Component Analysis of Term Structure	11
2.4.1 Introduction of Principal Component Analysis.....	12
2.4.2 Research of Principal Component Analysis of Term Structure	12
2.5 Dynamic Models of Term Structure.....	14
2.5.1 Equilibrium Models	14
2.5.2 No-Arbitrage Models	22
2.5.3 Generalized Models	25
2.6 Researchs of Term Strcture Models	27
2.6.1 Researchs of Mean Reversion.....	28
2.6.2 Researchs of Volatility	30
2.6.3 Estimation Methods	30
3. Empirical Analysis of Term Structure in China.....	34
3.1 Static Estimation of Term Structure in China	34
3.2 Principal Component Analysis of Term Structure in China.....	36
3.3 Estimations and Conclusions of Dynamic Models.....	40
3.3.1 Modeling the Dynamic of Short-term Rate	41
3.3.2 Modeling the Dynamic of Term Structure	42
4. Conclusions and Future Research	45
Reference.....	46
Appendix.....	51

第一章 导论

本章简要介绍了选择利率期限结构模型作为研究课题的背景和意义、文章的结构安排以及本文的创新之处。

第一节 研究的背景、目的和意义

利率是借方为在一定期限内使用贷方提供的资金而付给贷方的报酬的一种度量，它是金融市场上的基础价格变量之一。利率期限结构 (term structure of interest rates) 是某个时点上不同期限的利率所组成的一条曲线，它也可以表示为某个时点零息票债券的收益率曲线 (yield curve)。市场利率的动态规律和利率期限结构动态模型一直是金融领域一个十分重要的研究课题。

在研究市场利率动态规律的过程中，国外学者们通过对国外的利率数据的实证研究发现，市场利率存在显著的均值回复（线性漂移）现象，而利率的波动则存在所谓的“水平效应 (level effect)”（即利率波动受到利率水平的影响）。对于利率是否存在非线性漂移，学术界还未有得到统一的结论。为了更准确刻画利率的动态规律，学者们提出了很多模型，如 Vasicek (1977)、CIR (1985)、CKLS (1992)、Brennan-Schwartz (1979)、Ho-Lee (1986)、Hull-White (1990, 1994)、BDT (1990)、HJM (1992) 等。此外，还有针对市场利率变动的非正态性、尖峰厚尾以及波动聚集效应 (volatility clustering) 所提出的更为复杂的模型，如随机波动模型 (stochastic volatility model)、BHK (1996) 加入 GARCH 效应的模型、马尔科夫机制转换模型以及跳跃—扩散模型。

可以看出，国外在研究利率动态规律和期限结构动态模型方面已有长足的进步，得出了一些基本结论，并形成了一套完备的理论体系。而在我国，这方面的研究是近几年才开展起来的。朱世武和陈健恒 (2003) 对利率的变动进行了主成分分析，研究了收益率曲线的主要变动形式。谢赤和吴雄伟 (2002) 通过广义矩法，用中国货币市场的数据，对 Vasicek 模型和 CIR 模型进行了实证检验。林海和郑振龙 (2004) 通过一个可变波动率的纯跳跃模型对中国政府利率变动行为进行了模拟和分析，并在考虑 GARCH 效应的基础上研究了中国市场利率的动态行

为。范龙振（2003）使用两因子 Vasicek 模型对上海证券交易所的国债利率进行了实证分析。这些对研究我国市场利率变动规律和如何建模等问题进行了初步而有益的尝试。

通过对我国在这方面的实证研究的综合考察，笔者发现：国内研究者们建立的模型主要都是用于刻画短期利率的变动，对于收益率曲线变动行为特征建模的则比较少。此外，国内研究很多都集中于验证某些模型，如 Vasicek、CIR、CKLS 等，而对这些模型加以扩展的则比较少。基于这些认识，本文的研究目的就是要综合分析收益率曲线上各点利率的变动特征，并尝试寻找一个合理的模型来刻画我国利率期限结构的动态特征。研究的意义在于：可以为资产定价、金融产品定价、利率风险管理等提供支持。

第二节 文章的结构安排

本文总共分为四章。

第一章是导论。简要介绍利率期限结构动态模型的研究背景、研究目的、研究意义、论文的结构安排、论文的创新和不足之处等。

第二章是文献回顾。主要对国内外有关利率期限结构动态模型的研究进行一个比较全面的文献综述。此章分为五个部分，包括利率期限结构的形成理论、利率期限结构静态估计、利率变动的主成分分析、利率期限结构动态模型以及利率期限结构模型的实证研究成果。

第三章是中国利率期限结构的实证研究。主要是利用中国的实际数据（上海证券交易所国债交易的历史数据）来研究中国市场利率的动态特征及寻找合适的模型来描述利率的变动。为了分析影响中国市场利率变动的因素，笔者对中国利率期限结构进行了主成分分析。本章中还分别用两个模型来拟合短期利率和利率期限结构的变动，模型估计的结果也印证了主成分分析所得到的某些结论，也为如何对中国利率变动行为建模提供了参考。

第四章是本文的结论。主要总结了本文在理论研究、实证分析中的一些重要结论，并对今后进一步研究的方向做了探讨。

第三节 本文的创新和不足之处

本文的创新之处有：

1. 通过对我国国债利率变动的主成分分析，发现影响不同期限利率变动的因素是不同的。对于中短期利率的变动，只用水平因素就能很好的解释；而对于长期利率或收益率曲线上各点利率的变动，需要用水平、斜率和曲度等多种因素来解释。

2. 对于中短期利率变动，本文尝试用双因素 CKLS 模型来拟合。模型估计结果表明两个模型中利率漂移函数的参数比较接近，可以看成是受同一利率水平因素的影响，更为重要的是双因素 CKLS 模型中的两个随机因素具有很高的相关性，即可以将它们看为一个因素，故对于中短期利率变动来说建立单因素动态模型比较合适。对于收益率曲线的变动，本文选择中短期利率和长期利率作为驱动收益率曲线变动的两个因素，建立了双因素模型，并在中短期利率过程的漂移项中加入了非线性漂移。模型估计结果表明中短期和长期利率过程的漂移函数的形式是不同的，反应了它们分别受到不同的利率水平因素，以及斜率和曲度因素的影响。同时，驱动中短期和长期利率的随机因素相关度较低，即不能把它们认为是同一个因素，故将中短期利率和长期利率分别作为驱动收益率曲线的两个不同因素的假设是合理的。

以上两点创新对于研究如何建立的利率期限结构动态模型，以更好的描述利率变动的行为特征具有较好的参考价值。

本文的不足之处体现在：

1. 模型尚不完善。对于中国利率变动的非正态性、尖峰厚尾现象和波动聚集效应，学者们提出在模型中加入 GARCH 效应、机制转换和跳跃因子来提高模型的拟合效果。在本文的实证研究中，有鉴于在模型中增加上述因子会增加不少参数，加大了模型参数估计的难度，故尔没有采用，这就使得模型对中国利率变动的解释效果打了不少折扣。

2. 文章中没有对模型的总体拟合效果进行考察，而仅仅是从参数的显著性来检验模型对利率变动行为特征描述的效果。

第二章 文献回顾

第一节 有关利率的基本概念及常用记号的定义

$P(t, T)$: 指 T 时刻到期的零息票债券在 t 时刻的价格。

$R(t, T)$: 指 T 时刻到期的零息票债券在 t 时刻以连续复利计算的到期收益率。

$f(t, T)$: 指 T 时刻到期的零息票债券在 t 时刻的瞬间远期利率。

$r(t)$ 或 r_t : 瞬时无风险利率或称为短期利率。

使用上述记号, $R(t, T)$, $f(t, T)$ 也可以被表示为:

$$R(t, T) = \frac{-\ln P(t, T)}{T - t}$$

$$f(t, T) = \frac{-\partial P(t, T) / \partial T}{P(t, T)} = \frac{-\partial \ln P(t, T)}{\partial T}$$

于是, 债券价格 $P(t, T)$ 可以表示为:

$$P(t, T) = e^{-R(t, T)(T-t)} \text{ 或 } P(t, T) = e^{-\int_t^T f(t, s) ds}$$

第二节 利率期限结构形成理论

利率期限结构是指在某个时点上不同期限的利率所组成的一条利率曲线。利率期限结构形成理论讨论的是某一定时间债券的期限和收益率之间的关系的利率理论。由于不同期限的利率之间存在差异, 所以利率期限结构可能有好几种形状: 向上倾斜、向下倾斜、下凹、上凸等。为了解释这些不同形状的利率期限结构的内在原因及作用机制, 学者们提出了几种不同的理论假设。

一 市场预期理论 (Market Expectation Theory)

美国经济学家 Irving Fisher (1896) 第一个提出了市场预期影响期限结构

形状的假说，后来 I · Hicks 和 F · Lutz 将它发展成了市场预期理论。

市场预期理论假设当前利率期限结构完全取决于对未来利率变化的一种预期，即预期未来即期利率等于远期利率。该假设中隐含着几个重要的前提条件：

1. 投资者对债券的期限没有偏好，投资行为完全取决于预期收益。
2. 所有市场参与者都有着相同的预期。
3. 不同期限的债券之间可以完全替代。
4. 金融市场完全竞争。

在这些假设前提下，债券市场就会通过投资者在不同期限的债券之间的选择和竞争达到均衡。在这个均衡下，相同期限内不同投资方式所获得的预期收益率应该是相同的。

市场预期理论的基本结论是：债券的长期利率是短期利率的函数。该理论对收益率曲线的解释是：

1. 如果未来每年的短期利率一样，则现期长期利率就等于现期短期利率，收益率曲线表现为一条直线。
2. 如果未来的短期利率上升，则现期长期利率将大于现期短期利率，收益率曲线表现为一条向上倾斜的曲线。
3. 如果未来的短期利率下降，则现期长期利率将小于现期短期利率，收益率曲线表现为一条向下倾斜的曲线。

市场预期理论为不同期限债券利率不同的原因提供了一种解释。但这一理论存在着明显的缺陷。首先，它以人们对未来短期债券利率具有某种确定的预期为前提，即社会不存在由不确定性而产生的风险，这与现实生活不符。其次，它认为资金在短期资金市场与长期市场间的转移是完全自由的，事实上，资金的转移受多种因素的影响。再次，它对未来短期债券的利率是如何形成的没有加以说明，由于缺乏短期债券利率形成的基础，长期债券的利率也无法确定。

二 市场分隔理论 (Market Segmentation Theory)

市场分隔理论由诺贝尔经济学奖获得者 F · Modigliani 于 1967 年提出。

该理论认为，期限不同的债券的市场是完全隔离的，每一种期限的债券的利率是由对那种期限的债券的供求关系决定的，而不受其他期限的债券的预期报酬

率的影响。由于不同市场之间的差异以及投资者面临的众多投资限制，比如风险水平的限制、头寸的限制等，他们不会轻易地离开原先的市场而进入一个不同的市场，从而导致了不同市场之间的利率差异。该理论认为期限不同的债券根本没有替代性，不同期限的利率，不论短期或长期都只是由各自的供求情况决定，彼此之间并无交叉影响，因此，不能简单地把长期利率看成是预期的短期利率的函数，长期利率的高低应该取决于长期资金的供求状况。

该假设隐含的前提条件是：

1. 投资者对不同期限的债券有不同的偏好，只关心他所偏好的那种债券的预期收益水平。
2. 投资者对投资组合的调整有一定的局限性。
3. 期限不同的债券是完全不可替代的。
4. 投资者是理性的。

市场分隔理论对收益率曲线的解释如下：

1. 当投资者对短期债券的需求高于对长期债券的需求时，短期债券具有较高的价格和较低的利率水平，长期利率高于短期利率，收益率曲线向上倾斜。通常大多数人宁愿持有短期债券而非长期债券，因而收益率曲线通常是向上倾斜。
2. 当投资者对长期债券的需求高于对短期债券的需求时，长期债券具有较高的价格和较低的利率水平，短期利率高于长期利率，收益率曲线向下倾斜。

三 流动性偏好理论 (Liquidity Preference Theory)

流动性偏好这一概念是由凯恩斯 (Keynes) 首先提出的，它指对持有货币的偏好和需求。以 J·Hicks 为代表的一些凯恩斯主义的经济学家首先将它应用于利率期限结构的分析。

流动性偏好理论是对市场预期理论和市场分隔理论的综合和发展。市场预期理论将不同期限的债券看成是可以完全互相替代的，不同投资方式的预期收益率相等。市场分隔理论则走了另一个极端，认为不同期限的债券之间是完全不可替代的，一种期限债券利率的变动不会影响到另外一种债券，无法解释利率的共同变动。流动性偏好理论则是对二者的综合和发展，它既考虑了投资者的投资偏好，也考虑了不同债券之间的替代性。流动性偏好理论则认为：长期债券收益率等于

预计在长期债券有效期内出现的连续短期收益率，加上与那种债券的相对应的流动性溢价。

该假设的隐含前提条件为：

1. 投资者具有一定的债券偏好，但会受到其他债券的影响，如果其他债券的收益率上升，则对此债券的偏好就可能被抵消。

2. 不同债券之间具有一定的替代性，一种债券的预期收益率会影响到其他债券的预期收益率，但是不是完全替代的。

3. 投资者具有偏好短期债券的倾向，因为他们认为这些投资可以更早地获得需要的资金，同时认为如果投资于较短期的证券，他们将面临较小的“价格风险”（即“利率风险”）。

4. 为了吸引投资者投资于长期债券，必须有一个正的时间溢价作为补偿，这个溢价就是流动性溢价（也称为“期限溢价”）。

流动性偏好理论对收益率曲线的解释如下：

1. 当短期利率较低时，市场预期短期利率在未来会上升，因此加上一个正的流动性溢价，长期利率会大大高于即期短期利率，收益率曲线出现一个很陡的上倾；当预期利率水平不变或有小幅上升，收益率曲线上升平缓。

2. 当市场预期短期利率在未来会小幅下降，收益率曲线呈水平状。

3. 当市场预期短期利率在未来会急剧持续下降时，长期利率尽管有正的流动性溢价，但仍然低于即期短期利率，从而使收益率曲线向下倾斜。

第三节 利率期限结构的静态估计

利率期限结构可以表示为在某个时点不同期限的零息票债券的到期收益率所组成的一条收益率曲线。而所谓利率期限结构的静态估计，就是指对某个时点的收益率曲线的估计。

在一个存在零息票债券的市场上，通过直接求出零息票债券的到期收益率就可以估计出某个时点的利率期限结构，但是如果不存在零息票债券或者其数量十分有限，那么这种方法就受到了很大的限制。由于在中国债券市场上大部分国债都是息票债券，零息票债券的数量很少，而且这些息票债券在息票率、付息时间上都存在着很大的差异。因此，就必须通过一定的方法对这些息票进行剥离和分

析。具体的方法有两种选择：一种是息票剥离法 (bootstrap method)，另一种是样条逼近法 (spline approximation)。

一 息票剥离法

息票剥离法是将票息从债券中进行剥离并在此基础上估计无息票债券利率水平的一种方法。具体的计算方法为：

首先根据经验假设一个最短期的利率水平 $r(T_0)$ 。假设市场上有两种债券，价格分别为 P_1 , P_2 ，短期债券的到期日为 T_1 ，到期之前不支付利息；长期债券的到期日为 T_3 , $T_3 > T_1$ ，在 T_2 时刻支付一定的利息 C 。由于短期债券到期之前不再支付利息，因此它就类似于零息票债券。其到期收益率为：

$$r(T_1) = \frac{\ln(M_1) - \ln(P_1)}{T_1 - T_0}, \quad M_1 \text{ 是短期债券到期时获得的本息和。}$$

而对于长期债券的处理，则要分为两种情况：

1. 当 $T_2 < T_1$ 时，就可以通过对期限为 T_0 、 T_1 利率水平的线性插值求出期限为 T_2 的利率水平：

$$r(T_2) = \frac{T_2 - T_0}{T_1 - T_0} r(T_0) + \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} r(T_1), \quad \text{且由于 } P_2 = Ce^{-r(T_2)(T_2 - T_0)} + M_2 e^{-r(T_3)(T_3 - T_0)},$$

$$\text{所以 } r(T_0) = \frac{\ln(M_2) - \ln(P_2 - Ce^{-r(T_2)(T_2 - T_0)})}{T_3 - T_0}.$$

2. 当 $T_2 > T_1$ 时，可以假设 T_3 期的利率水平为 $r(T_3)$ ，则 T_2 期的利率水平为：

$$r(T_2) = \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_1} r(T_0) + \frac{T_3 - T_2}{T_3 - T_1} r(T_3), \quad \text{且 } P_2 = Ce^{-r(T_2)(T_2 - T_0)} + M_2 e^{-r(T_3)(T_3 - T_0)}$$

通过单变量求解就可以计算出 $r(T_3)$ ，利用 $r(T_0)$ ， $r(T_3)$ ，就可以对 T_0 和 T_3 之间的利率进行线性插值估计。

二 样条逼近法

样条逼近法主要通过一个贴现函数将不同时期的票息和本金贴现到现在，通

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库