

学校编码: 10384
学号: 27720131152823

分类号__密级__
UDC__

廈門大學

碩 士 學 位 論 文

基于人口因子的动态 Nelson-Siegel 模型扩展及其在
汇率预测的应用

**Extended Dynamic Nelson-Siegel Model with Human
Factor and Its Application in Predicting Exchange
Rate**

郑桂凤

指导教师姓名: 陈国进教授
专业名称: 应用统计专硕
论文提交日期: 2016年3月
论文答辩时间: 2016年5月
学位授予日期: 2016年6月

答辩委员会主席: _____
评 阅 人: _____

2016年6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): 郑桂凤

2016年5月13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）：郑桂凤

2016年5月13日

摘要

随着越来越多的发达国家步入人口老龄化社会，学者们愈发关注人口结构与资产价格的关系（如利率和人口结构之间的关系）。依据人口结构变化能够显著影响利率的理论基础，本文从统计模型的角度提出了基于人口因子的动态 Nelson-Siegel 扩展模型，并对美国、加拿大等几个国家的国债收益率曲线进行建模，比较两模型的样本内拟合的 RMSE 和 MAE 及模型在递归预测和滚动预测下的样本外预测能力。与原始动态 Nelson-Siegel 模型比较，该模型在样本内拟合效果和样本外预测效果均占优于原始模型，且基于人口因子的动态 Nelson-Siegel 扩展模型对长期利率的拟合效果较好，这可能与人口因子主要影响利率的长期趋势有关。然而扩展模型对于近十年数据的预测效果并不理想，这可能与近十年来加拿大与美国人口因子与收益率曲线的趋势与历史事实相悖有关。紧接着，本文将基于人口因子的动态 Nelson-Siegel 扩展模型应用于汇率变动的预测，并研究持有外国货币所得到的风险补偿的变动情况，以期解释无抛补利率平价之谜。研究表明：加入人口因子的 Nelson-Siegel 扩展模型能够显著提高中长期汇率变动的预测能力，且人口因子能够显著地解释汇率地长期波动；此外，持有外国货币的超额收益会随着人口因子及相对因子的波动而波动，人口因子对于预测未来长期持有外国货币的超额收益有着举足轻重的影响，其对无抛补利率平价之谜的解释为 UIP 模型没有考虑两国间的利率差及持有外国货币间的负相关关系，从而导致 UIP 回归的两国利率差的回归系数偏离 1 并可能出现负值。

关键词： 动态 Nelson-Siegel 模型； 人口因子； 汇率预测

Abstract

As more and more developed countries go into the aging society, scholars pay more attention on the relationship between population age structure and asset prices such as interest rates. According to the theoretical basis that population structure can significantly affect the change of interest rate, we extend the dynamic Nelson - Siegel model with human factor. We use the Treasury yield curve data in United States, Canada and other countries to test the extended model's performance in in-sample fitting and out-of-sample forecasting. Compared with the original dynamic Nelson - Siegel model, the extended model do well in both aspects. Especially, the extended model with human factor has a better forecasting in the long-term interest rates. This maybe because the age structure mainly affect the long-term trend of yield curve. Since the age structure may have a potential effect on exchange rate, we apply the extended model to forecasting the change of exchange rate. In addition, we study how the risk premium with foreign currency holdings changes in order to gain further insight into uncovered interest parity puzzle. The results show that the extended Nelson - Siegel model can significantly improve the ability to predict exchange rate changes in long term, and human factors can significantly affect the long-term change of exchange rate. However, the extended model doesn't do well when using the data in the last decade due to the relationship between the trend of human factor and the yield curve which is contrary to the historical facts. We also find that risk premium with foreign currency holdings changes as the human factor and relative factor move and the human factors have significant influence in predicting future excess return for foreign currency in the long term.

Key Words: Dynamic Nelson-Siegel Model; Human Factor; Exchange Rate Predicting

目录

| | |
|---|----|
| 第一章 导论 | 1 |
| 1.1 选题背景、意义 | 1 |
| 1.2 文章结构 | 2 |
| 1.3 本文的创新、不足之处 | 3 |
| 第二章 理论研究和文献综述 | 3 |
| 2.1 利率期限结构及理论模型 | 3 |
| 2.1.1 利率期限结构形成理论 | 4 |
| 2.1.2 利率期限结构的动态模型 | 6 |
| 2.2 利率期限结构与宏观经济变量的关系 | 13 |
| 2.2.1 利率期限结构与通货膨胀之间的相关性研究 | 14 |
| 2.2.2 利率期限结构与经济增长之间的相关性研究 | 14 |
| 2.2.3 利率期限结构与汇率之间的相关性研究 | 14 |
| 2.2.4 人口结构与利率期限结构相关性研究 | 15 |
| 2.3 人口结构与汇率的相关性研究 | 16 |
| 第三章 理论模型 | 16 |
| 3.1 基于人口因子的 Nelson-Siegel 模型扩展 | 16 |
| 3.1.1 动态 Nelson-Siegel 模型 (DNS) | 16 |
| 3.1.2 基于人口因子的 Nelson-Siegel 扩展模型 | 19 |
| 3.2 扩展模型在汇率预测方面的应用 | 21 |
| 3.2.1 汇率的现值模型 | 21 |
| 3.2.2 基于人口因子的 DNS 扩展模型在汇率预测方面的应用 | 22 |
| 第四章 实证分析 | 24 |
| 4.1 数据选取 | 24 |
| 4.2 基于人口因子的动态 Nelson-Siegel 扩展模型拟合 | 25 |
| 4.2.1 样本内拟合 | 25 |
| 4.2.2 样本外预测 | 28 |
| 4.3 基于人口因子的动态 NS 扩展模型在汇率预测方面的应用 | 31 |
| 4.3.1 基于人口因子的 DNS 扩展模型预测汇率变化的结果分析 | 33 |
| 4.3.2 基于人口因子的 DNS 扩展模型预测超额收益变化的结果分析 | 38 |
| 4.3.3 DNS 扩展模型对 UIP puzzle 的解释 | 40 |
| 4.4 DNS 扩展模型在中国的适用性讨论 | 41 |
| 第五章 结论 | 42 |
| 参考文献 | 45 |
| 致谢 | 48 |

Table of Contents

| | |
|--|----|
| Chapter1 Introduction | 1 |
| 1.1 Background | 1 |
| 1.2 Text structure | 2 |
| 1.3 The innovation and deficiencies of paper | 3 |
| Chapter2 Literature Review | 3 |
| 2.1 Theory of term structure of interest rates | 3 |
| 2.1.1 Theory on the formation of term structure of interest rate..... | 4 |
| 2.1.2 Dynamic model of term structure of interest rate | 6 |
| 2.2 The relationship between the yield curve and macroeconomic variables | 13 |
| 2.2.1 Study on the relationship between the yield curve and inflation | 14 |
| 2.2.2 Study on the relationship between the yield curve and economic growth..... | 14 |
| 2.2.3 Study on the relationship between the yield curve and exchange rate | 14 |
| 2.2.4 Study on the relationship between the yield curve and population structure | 15 |
| 2.3 Study on the relationship between Age structure and exchange rate | 16 |
| Chapter3 Theoretical Model | 16 |
| 3.1 Dynamic Nelson-Siegel model's extension with human factor | 16 |
| 3.1.1 Dynamic Nelson-Siegel Model(DNS) | 16 |
| 3.1.2 Extended Dynamic Nelson-Siegel model with human factor | 19 |
| 3.2 Extended DNS model's implication in predicting exchange rate | 21 |
| 3.2.1 The present value model of exchange rate..... | 21 |
| 3.2.2 Extended DNS model's implication in predicting exchange rate..... | 22 |
| Chapter4 Empirical Analysis | 24 |
| 4.1 Data | 24 |
| 4.2 Extended Dynamic Nelson-Siegel Model's fitting performance | 25 |
| 4.2.1 In sample fitting | 25 |
| 4.2.2 Out-of-sample forecasting | 28 |
| 4.3 The extended DNS model's application in predicting exchange rate | 31 |
| 4.3.1 Discussion about the exchange rate predicting | 33 |
| 4.3.2 Discussion about the excess return with foreign currency..... | 38 |
| 4.3.3 The explanation of UIP puzzle | 40 |
| 4.4 Discussion about the extended model's adaptability in China | 41 |
| Chapter5 Conclusion | 43 |
| Reference | 45 |
| Acknowledgements | 48 |

第一章 导论

1.1 选题背景、意义

本文主要以美国、加拿大、英国等国家国债市场利率期限结构为研究对象，依据人口结构变化能够显著影响利率的理论基础，从统计模型的角度提出了基于人口因子的动态 Nelson-Siegel 扩展模型，并研究了该扩展模型在预测两国间汇率方面的应用。

利率作为资金的价格，是借方在一定时间内有偿使用贷方提供的资金所付报酬的度量，为金融市场上的基础价格变量之一，其对金融产品定价有着极为重要的参考意义，利率尤其是即期利率，是最基本的要素之一。

利率期限结构是刻画在具体某个时点不同期限的利率水平的曲线，由于在某个时点，零息票债券的到期收益率等于该时期的利率，因此利率期限结构也可表示成某个时点零息债券的收益率曲线。目前金融市场上，我们主要通过国债市场零息票利率得到即期利率，但零息票的剩余期限一般较短，大都小于一年，因此对于中长期利率期限结构的研究，我们主要通过市场上发行的付息债券来获得，这就需要使用各种拟合技术。只要无法从市场上获得连续的即期利率，对利率期限结构的研究就有其存在的必要。

英国英格兰银行和美国联邦储备局在 20 世纪 80 年代率先公布了利率期限结构曲线，90 年代，各国金融市场化不断推进，各国中央银行开始陆续编制和各国利率期限结构，加强其对金融市场的指导，对利率期限结构的研究也在不断发展。

国外学者们从不同的角度和方向提出了很多理论和模型来研究和估计利率期限结构，如从利率期限结构形成理论出发的市场预期假设和流动性偏好假设、基于数据统计方法对收益率曲线进行估计的 Nelson-Siegel 模型、以及基于理论支撑刻画收益率曲线动态规律的一般均衡模型和无套利模型，如 Vasiek 模型、CIR 模型、HJM 模型、Hull-White 模型等。

随着国际市场上众多发达国家陆续步入老龄化社会，学者们越来越关注人口

结构和资产价格之间的联系。利率作为资金的价格，人口结构是否会对其产生影响？陈国进和李威（2013）通过对 OECD 国家的数据研究发现人口结构变量和利率水平间存在协同关系。在本文中，我们基于人口因子对 Nelson-Siegel 模型进行扩展，探究人口因子对利率定价的作用，并为在人口老龄化趋势下的利率期限结构研究提供一定的参考意义。

从国内的角度来，近十年来，我国国债市场得到了飞速发展，有利地促进直接融资的发展，对国内金融市场的影响也越来越受到关注。目前，我国正处于利率市场化的进程，人口老龄化日趋明显，通过对国外债券收益率的研究，能够为中国的具体情况提供很好的借鉴作用，构建更完善的利率期限结构，从而有助于利率市场化后货币政策的传导，进而提供货币政策的有效性，对国家宏观政策提供一定的指导意义。

1.2 文章结构

论文共分为五章，首先对国内外利率期限结构模型及拟合技术进行回顾，接着构建基于人口因子的动态 Nelson-Siegel 扩展模型(以下简称 DNS 扩展模型)，对美国、加拿大等国家的利率期限结构展开实证研究，以动态 Nelson-Siegel 模型(以下简称 DNS 模型)为基准检验模型的样本内拟合效果及其样本外预测能力，同时文章探究了扩展模型在汇率预测方面的应用。文章具体结构如下：

第一章：导论。本章主要介绍利率期限结构的选题背景、意义、研究方法，简要概括研究思路和逻辑架构，指出文章在利率期限结构拟合方面的新尝试及仍需进一步研究的问题。

第二章：理论研究和文献综述。本章主要对利率期限结构的理论模型发展进行回顾，选择合适的利率期限结构模型，同时本章阐述人口结构与利率期限结构的关系、人口因子对汇率的影响的相关研究成果，为构建基于人口因子的利率期限结构模型提供一定的理论依据。

第三章：理论模型。本章从动态 Nelson-Siegel 模型出发，考虑人口结构可能对利率水平造成的影响，构建基于人口因子的 Nelson-Siegel 扩展模型，并将该扩展模型应用于预测两国汇率的未来走势。

第四章：实证分析。本章主要围绕美国、加拿大等国家的数据展开实证分析，

对基于人口因子的 DNS 扩展模型和 DNS 模型在利率期限结构的拟合效果及汇率预测结果进行比较。

第五章：结论。本章主要对实证结果进行总结。

1.3 本文的创新、不足之处

本文的创新点有：（1）不同于众多学者将 λ 值设定为 0.0609，本文对 DNS 模型中的 λ 值进行调整，调整后的 DNS 模型能更好的拟合国债到期收益率曲线。

（2）考虑人口结构变化可能会对利率期限结构造成影响，本文在动态 Nelson-Siegel 模型加入人口因子对其进行扩展，通过对美国、加拿大等国家的利率期限结构进行拟合，发现基于人口因子的扩展模型对收益率曲线拟合度较好，同时从长期来看，人口因子对汇率变化具有显著影响，DNS 扩展模型有助于预测未来长期汇率的走势。

本文的不足之处在于没有对中国数据进行适用性研究。鉴于中国目前债券市场起步较晚，发展尚不完善，数据也不完备，因而没有对中国债券市场的收益率进行研究。且中国实行有管理的浮动汇率制度，模型对汇率的预测效果可能有所减弱。

第二章 理论研究和文献综述

2.1 利率期限结构及理论模型

宏观经济政策、投资者的行为等众多因素都会对利率的变化产生影响，从而使得利率期限结构的变化呈现较为复杂的特征，而鉴于利率期限结构在货币政策制定、金融产品定价、套利和投资以及利率风险管理等方面发挥的重要作用，如何较为准确地刻画利率期限结构吸引了众多国内外学者的关注。至今为止，国内外学者已分别从不同的角度和方向对该问题进行了研究，并给出了结论和建议。根据研究角度和方向的不同，主要可以分为 3 类：（1）利率期限结构形成理论（2）利率期限结构动态模型。（3）利率期限结构静态估计。

2.1.1 利率期限结构形成理论

利率期限结构是刻画不同期限的利率的曲线，由于不同期限的利率水平间的差异，利率期限结构可能存在向上倾斜、向下倾斜、下凹、上凸等形状。为了解释形状各异的利率期限结构，人们提出了以下几种不同的理论假设：市场预期假设、市场分割假设以及流动性偏好假设，并对这些假设进行了验证。

(1) 市场预期假设理论

市场预期假设理论，又称无偏预期理论，最初是由 Fisher 在 1896 年提出来的。此后，Hicks (1939)、Lutz (1940) 和 Malkiel (1966) 等人先后对该理论进行了补充和完善。

该理论假设 (1) 所有投资者处于完全竞争的市场，市场充分有效。(2) 投资者的投资选择只取决于预期收益率，对所持债券的期限无偏好。(3) 投资者对未来利率的市场预期具有一致性。(4) 市场无摩擦，不同期限的债券之间可以完全相互替代。在该假设条件下，各投资者通过选择不同期限的债券参与市场竞争和套利，最终促使市场达到均衡状态，在该均衡状态下，每个投资者投资不同剩余期限的债券都将获得相同的预期收益率。

根据该理论，利率期限结构的形状取决于未来利率的市场预期，长期利率为其期限内当期和未来短期利率市场预期的几何平均，利率期限结构可表示为 $R(t, n) = \frac{1}{n} \int_t^{t+n} E_t[R(s, \bar{0})] ds$ ，其中 $R(t, n)$ 代表 t 时刻剩余期限为 n 的无风险零息债券的到期收益率， $E_t[\cdot]$ 表示 t 时刻信息集的期望函数， $R(s, \bar{0})$ 则表示 s 时刻瞬间无风险利率。如果市场预期未来短期利率下降，投资者倾向于购买长期债券，而发债机构倾向于减少长期债券的发售，转而发售短期债券，长期债券的供不应求将会促使其价格上升，导致长期债券的收益率下降，利率期限结构向下倾斜。反之，如果市场预期未来短期利率上升，长期债券供过于求，价格下降导致其收益率上升，利率期限结构成向上倾斜。

为了对该假设进行验证，众多学者利用不同的数据从不同的角度进行了分析。Campbell 和 Shiller (1987、1991) 通过对美国国债市场期限为 1 个月到 10 个年期间的利率数据分析，发现实证结果拒绝了预期市场理论假设。Cuthbertson (1996)、Wolters 和 Hassler (2001)、Gerlach 和 Smets (1997) 等人分别对英国、

德国银行银行间的货币市场利率数据、欧洲货币市场的利率数据进行预期假设验证，结果在不同程度上支持了市场预期假设理论。

尽管市场预期理论的解释符合逻辑，但该理论的条件假设过于理想化，投资者对市场预期的一致性、长期债券和短期债券的完全替代性等均与事实不符，存在一定的局限性。

(2) 市场分割理论

不同于市场预期理论，市场分割理论认为长期债券和短期债券是不可替代的，期限不同的债券市场是相互分离和独立的，各个债券的利率水平取决于各自市场的供求状况，并不受其他期限债券的影响（Culbertson, 1957）。同时，该理论认为市场并不是完全有效的，投资者是有限理性的，会根据自己的偏好、进行投资决策。受到投资者偏好、投资限制等影响，投资者不会轻易地在不同的市场上进行转换，调整自己的投资组合，从而加深了各市场间的分割状态。分割市场的存在导致了利率差异的存在，进而解释了利率期限结构。

根据市场分割理论，利率期限结构向上倾斜说明投资者偏好短期债券，对短期债券的需求要高于长期债券，市场达到均衡状态时，长期债券具有较低的价格和较高的利率，利率期限结构因而呈现向上倾斜的状态。反之，当投资者对长期债券的需求要高于短期债券时，利率期限结构呈现向下倾斜的状态。

尽管市场分割理论考虑了很多现实情况，但其对投资者不愿意在不同期限的债券市场进行转换是不合理的，同时随着长短期市场的一体化，该理论无法对不同期限利率趋势变动的一致性做出解释，有效性逐渐减弱。

(3) 流动性偏好假设

流动性偏好理论是 Hicks 在凯恩斯理论的基础上提出的，该理论假设不同期限的债券并非完全可替代的，一种债券的收益率会受到其他债券收益率的影响，同时该理论假设投资者厌恶风险，相较而言，投资者倾向于购买短期债券。投资者的长期债券的流动性较低，为了吸引投资者购买长期债券，需要对其流动性进行补偿，因而长期债券通常有较高的收益率。由于存在流动性溢价，即使市场预期未来利率水平不变，利率期限结构仍呈现向上倾斜的状态。

流动性偏好理论在认同未来利率预期的同时，重点关注了消费者的风险偏好。如果预期未来短期利率上升或不变时，则利率期限结构向上倾斜。如果预期未来

短期利率下降较小，由于风险溢价的存在，利率期限结构仍会向上倾斜，如果预期未来下降较大，由预期理论供求关系的变化导致长期债券收益率下降大于其流动性补偿，则利率期限结构会向下倾斜。当利率下降幅度等于其风险溢价时，利率期限结构成水平状。

相对于市场预期理论，流动性偏好理论能够更好地解释实际利率期限结构向上倾斜的情况。然而现实数据表明，一年以内期限的债券的流动性风险溢价显而易见，但期限一年以上的各债券间的利率水平变化并不明显，说明流动性偏好理论也不能完全解释现实情况。

2.1.2 利率期限结构的动态模型

由于利率水平在金融市场的重要作用，利率期限结构的动态建模引发了众多的学者的关注，发展了众多模型来刻画其动态变化。根据模型的推导过程，可分为一般均衡模型和无套利模型。

(1) 一般均衡模型

一般均衡模型试图建立一个生产和消费服从随机波动过程、厂商追求利润最大化、消费者追求效用最大化的竞争性经济模型，通过状态变量的动态变化来描述经济环境，在满足市场均衡条件下求出利率所需遵循的过程，从而由模型内生地确定市场风险价格以及利率水平，在这些模型中，相关的经济变量是输入变量，利率水平则为输出变量。一般均衡模型比较有代表性的有 Vasicek 模型和 CIR 模型。

Vasicek 模型

该模型是由 Vasicek(1977)年提出的，模型假设即期利率遵循随机扩散过程，折价债券的收益率只取决于其到期期限的即期利率，也就是说债券的价格且市场是有效的。在此假设条件下，任何债券收益超过即期收益率的部分跟债券本身的标准差成比例。在 Vasicek 模型中，短期利率 r 的风险中性过程为：

$$dr = k(\theta - r)dt + \sigma dW$$

其中， k 、 θ 、 σ 均为常数， k 为利率均值回归速度， θ 为长期均值，而 σ 则表示波动率。短期利率以速率 k 向均值水平 θ 回归，回归的额外“拉力”为服从正态分布的随机项 σdW ，根据模型推导结论：

$$R(t, T) = -\frac{1}{T-t} \ln A(t, T) + \frac{1}{T-t} B(t, T)r(t)$$

其中, $A(t, T) = \exp \left[\frac{(B(t, T)-T+1)(k^2\theta - \frac{\sigma^2}{2})}{k^2} - \frac{\sigma^2 B(t, T)^2}{4k} \right]$, $B(t, T) = \frac{1-e^{-k(T-t)}}{k}$ 。从该结论

可以看出, 只要选择相应的 k 、 θ 、 σ 的值, 利率期限结构就是 $r(t)$ 的函数, 其形状可以向上倾斜、向下倾斜抑或是稍微“隆起”。

Vasicek 模型较为简单, 它假设所有的参数均为常数, 波动率也为常数, 没有考虑到利率水平对波动率高低的影响及波动率本身的 GARCH 效应等。Vasicek 模型能够较好地拟合现实数据, 但在模拟过程中可能出现利率为负的情况, 与现实情况不符。为了克服以上缺点, Dothan (1978) 假设利率变化服从不带漂移项的随机扩散过程, 推导出短期利率服从对数正态分布。Brennan 和 Schwartz (1980) 在 Vasicek 模型基础上假设利率服从几何布朗运动并推导出可转换债券的定价公式。

CIR 模型

为了解决 Vasicek 模型可能出现利率为负值的情况, Cox 等人 (1985) 提出 CIR 模型, 通过建立跨期的资产市场均衡模型来研究利率期限结构。CIR 模型认为, 利率围绕其均值水平波动, 当利率偏离其均值时, 最终还是会回归到均值水平。利率回归到期均值水平的时间由模型中的回归速度决定, 如果回归速度接近于 1, 利率将很快回归到其均值水平。

在 CIR 模型中, 利率 r 的风险中性过程为:

$$dr = k(\theta - r)dt + \sigma\sqrt{r}dW$$

与 Vasicek 模型不同的是, CIR 模型在保留均值回归特征的同时, 允许短期利率方差与利率水平的平方根成正比, 意味着其波动率随着短期利率的上升而上升。

CIR 模型与 Vasicek 模型均通过随机游走模型来描述短期利率的动态变化, 其特点是整个区间内的利率波动都由短期利率 $r(t)$ 来驱动。相较于 Vasicek 模型, CIR 模型的优点在于它产生于内在经济变量和总体的均衡, 因此包含了风险规避、时间消费偏好、财富限制、风险补偿因素以及众多的投资选择。尽管该模型有诸多优点, 但 CIR 模型太复杂, 难以对经济参数、风险参数进行估算, 在进行现实预测方面也产生困难, 同时该模型得出利率期限结构是平行移动的, 这点

与现实不符。

(2) 无套利模型

在一般均衡模型中，主要以正确刻画利率的历史动态变化为主进行建模，利率期限结构作为内生变量，因此该类模型往往不能很好地拟合初始收益率曲线，而在无套利模型中，当前时刻的即期利率作为外生给定的变量，通过满足债券等资产的无套利条件来演绎利率的动态变化，此时利率水平是输入变量，而相关金融工具的价格为输出变量。主要的无套利模型有 Ho 和 Lee 模型、Hull-white 模型、HJM 模型等等。

Ho-Lee 模型

Ho-Lee 模型最初是由 Ho 和 Lee 在 1986 年提出的，在均衡因子模型的基础上改进而来，该模型认为当前的利率期限结构已经充分包含了现时人们对利率预期的足够信息，因此在无套利限制条件下，利率期限结构的变化将按照某种自然约束的模型进行。在连续时间假设下，短期利率变化服从以下过程：

$$dr_t = \mu(t)dt + \sigma dw_t$$

t 时刻到期日为 L 的零息债券的价格为：

$$Z(t, L-t) = \exp\left[\frac{\sigma^2(L-t)^3}{6} - \int_t^L \mu(s)(L-s)ds - (L-t)r_t\right]$$

令 $f^*(0, t)$ 表示 0 时刻观察到的从 t 时刻开始的瞬时远期利率，Ho-Lee 模型通过使得时变漂移率满足 $\mu(t) = \frac{\partial f^*(0, t)}{\partial t} + \sigma^2 t$ ，可使该模型能够很好地拟合当前时刻的收益率曲线。然而在该模型中，短期利率的动态变化并不存在均值回归的现象，这与广为接受的利率变化具备均值回归的特征并不相符。

Hull-white 模型

为了解决 Ho-Lee 模型利率动态变化不具有均值回归特征的问题，Hull 和 White (1990) 扩展了具备均值回归特点的 Vasicek 模型，即 Hull-White 模型。在该模型下，短期利率变化为：

$$dr_t = (\mu(t) + \eta r_t)dt + \sigma dw_t$$

其中 η 、 σ 为参数，利率水平以 η 向均值回归。在上述条件下，t 时刻到期日为 L 的债券价格为：

$$Z(t, L-t) = \exp[-A(t, L) - B(t, L)r_t]$$

其中：

$$A(t, L) = -\frac{\sigma^2}{2} \int^L \frac{(\exp(\eta L - \eta s) - 1)^2}{\eta^2} ds + \int^L \mu(s) \frac{\exp(\eta L - \eta s) - 1}{\eta} ds$$

$$B(t, T) = \frac{\exp(\eta L - \eta t) - 1}{\eta}$$

通过令

$$\mu(t) = \frac{\partial(f^*(0, t) - \frac{\sigma^2}{2\eta^2} (\exp(\eta t) - 1)^2)}{\partial t} - \eta(f^*(0, t) - \frac{\sigma^2}{2\eta^2} (\exp(\eta t) - 1)^2)$$

来拟合当前时刻的收益率曲线。

Hull-White (1993) 进一步扩展模型，使其更加广义化，短期利率变化满足：

$$dr_t = (\mu(t) + \eta(t)r_t)dt + \sigma(t)r_t^\beta dw_t$$

当 $\eta(t) = 0$, $\sigma(t) = \sigma$, $\beta = 0$ 时，模型即转换为 Ho-Lee 模型，而当 $\eta(t) = \eta$, $\sigma(t) = \sigma$, $\beta = 0$ 时，即为 Hull-White 模型。无论是在 Ho-Lee 模型还是 Hull-White 模型，其短期利率均服从广义的布朗运动，其未来值的条件分布服从正态分布，利率水平可能出现负值，与事实不符。

HJM 模型

不同于一般均衡模型、Ho-Lee 模型、Hull-white 模型通过将债券收益率构造成时间 t 以及状态变量的函数来刻画利率的动态变化，Jarrow 等人 (1992) 提出了 HJM 模型，从收益率曲线的跨期波动特征出发，直接设定债券和相关衍生品的波动率函数形式，将整条收益率曲线当成状态变量，通过无套利条件限制进而推导出利率期限结构的动态变化，根据给定的初始远期利率曲线拟合当前各种远期利率曲线。

在 HJM 模型中， t 时刻瞬时远期利率 $f(t, T)$ 的变化从以下过程：

$$df(t, T) = \alpha(t, T)dt + \sigma(t, T)dW(t)$$

在风险中性市场无套利假设条件下：

$$\alpha(t, T) = \sigma(t, T) \int_t^T \sigma(t, u) du$$

$$df(t, T) = \sigma(t, T) \int_t^T \sigma(t, u) du dt + \sigma(t, T)dW^*(t)$$

其中 $dW^*(t)$ 表示风险中性世界标准的布朗运动。该模型仅需要估计波动率这一

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts 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.