

国家社科基金资助出版
教育部社科基金资助出版

利率期限结构波动 理论与实证模型



吴泽福 / 著

Volatility Theory and Empirical Model of
Interest Rate Term Structure



经济科学出版社
Economic Science Press

国家社科基金资助出版
教育部社科基金资助出版

利率期限结构波动 理论与实证模型



吴泽福 / 著

Volatility Theory and Empirical Model of
Interest Rate Term Structure



经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

利率期限结构波动理论与实证模型 / 吴泽福著. —北京:
经济科学出版社, 2014. 8

(金融文库)

ISBN 978 - 7 - 5141 - 4689 - 9

I. ①利… II. ①吴… III. ①利率 - 波动理论 - 研究 -
中国 IV. ①F832. 22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 111122 号

责任编辑: 段 钢

责任校对: 刘 昕

责任印制: 邱 天

利率期限结构波动理论与实证模型

吴泽福 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 010 - 88191217 发行部电话: 010 - 88191522

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

天猫网站: 经济科学出版社旗舰店

网址: [http: //jjkxcbs. tmall. com](http://jjkxcbs.tmall.com)

北京万友印刷有限公司印装

710 × 1000 16 开 14. 25 印张 260000 字

2015 年 6 月第 1 版 2015 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 4689 - 9 定价: 48. 00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 010 - 88191502)

(版权所有 翻印必究)

内容摘要

随着我国对利率政策调控机制的改革和资本市场与货币市场的不断发展,研究我国利率市场期限结构的理论、方法与应用具有重要的理论价值与现实意义。本书引入了一种高精确度的利率期限结构静态估计方法,借此导出较为精确的我国利率期限结构的时间序列数据,并提出了考虑机制转换的利率水平杠杆——GARCH 跳跃模型,对我国利率期限结构的各种动态特征进行了较为系统的研究,在此基础上,比较各种利率动态模型对样本外数据的预测能力,从而为利率风险管理和资产定价提供有效的管理工具。全书共分为五部分。

第一部分研究概述。论述研究背景及意义、主要内容及框架、理论基础及研究方法、改进和创新以及相关术语的定义。

第二部分我国利率期限结构静态模型估计及实证分析。比较各种利率期限结构静态模型估计方法,剖析它们在模型估计中存在的问题和运用中应注意的有关要点,并重点介绍 B 样条函数拟合方法的运用程序和优化途径,为构建我国市场利率期限结构的选择模型提供基本数据。

第三部分我国利率期限结构动态模型估计及实证分析。对各种利率期限结构动态模型的估计方法进行综合分析,比较它们在模型估计中的精确度,并给出动态模型估计方法的选择标准和应用要领。运用最优的动态模型估计方法和静态

估计所得的利率期限结构数据,分析国内外已有的利率期限结构模型对我国利率期限结构的解释能力,从中挖掘我国利率期限结构本身的各项基本特征,对我国利率期限结构模型的准确创建进行了有益的探索。

第四部分我国利率期限结构模型在经济管理中的应用。较为全面地概述了当前国内外各种宏观利率期限结构模型和方法,通过比较各种参数与非参数预测模型对样本内数据的预测能力,检验在通货膨胀条件下利率期限结构存在的不对称性波动、波动集簇、杠杆波动效应以及波动跳跃特征,为利率风险控制提供基本的管理工具。

第五部分结论与启示。在以上各部分分析的基础上,总结本书的主要结论并根据本书所得的结果,为我国利率的市场化改革、资本市场产品设计和制度建设、商业银行利率风险管理和证券投资策略与管理提供政策性建议。

通过理论分析和实证研究,笔者发现:1. 中国短期利率波动具有显著的特性,包括均值回复路径、波动杠杆效应、不对称信息响应、波动机制转换和跳跃扩散等。本书证实了我国利率波动存在长期回复均值和负向漂移率,发现了短期利率波动存在微弱的杠杆效应,对负向信息的响应强度比对正向信息更强烈,较长期间的波动过程存在波动特征明显不同的波动状态。2. L_1 样条估计方法是比息票剥离法和二项式样条更为精确的利率期限结构静态估计技术,通过最小化定价误差搜索程序和样本内节点分布结构的最优选择, L_1 样条函数可以更准确地估计不同期限的息票债券隐含的利率期限结构。3. 对利率期限结构动态模型样本内数据的拟合效果与样本外预测结果基本上一致,各种参数模型与非参数模型的预测能力存在一定的差异,考虑不对称信息响应、波动机制转换和跳跃扩散特征的利率波动模型具有较高的利率预测能力,但是其模型预测精确度仍待进一步提高,也即对我国利

率期限结构波动特征的研究还存在艰巨的任务。4. 最大似然估计比广义矩估计、有效矩估计和核估计在对利率期限结构的估计中更为便捷有效,不同的估计方法对利率期限结构估计的结果并不存在显著的差异。5. 短期利率波动遵循长期回复均值和负向漂移率的非线性均值——广义自回归条件异方差 (GARCH),非线性均值回复与马尔科夫区制转移效应的 GARCH 模型相比,其单独或双项组合的杠杆效应、负向信息强响应、高波动低持续等效应模型具有更强的现实数据拟合能力。6. 我国市场利率期限结构不仅存在斜率主导的短期协变关系,而且呈现长期结构性动态均衡关系和固定趋势性波动特征,利率期限结构的短端隐含着通货膨胀预期的信息,而长端反映了经济增长的长期趋势。

概括而言,本书在继承前人研究的基础上,对中国市场利率的期限结构进了较为全面和系统的研究,针对国际上前沿的各种利率期限结构模型的功能,考虑到中国市场利率本身特有的影响因素和波动模式,对我国利率期限结构静态估计、模型设计、参数检验、模拟和预测等方面均有所创新。

一、以往所有的文献均较少考虑利率期限结构拟合方法中存在的估计误差,本书在比较利息剥离法、多项式样条估计法和指数样条估计法的基础上引入了条件 B 样条估计法,运用约束贴现函数回归和即期利率回归,借助估计误差最小化搜索程序和样本内节点的最优组合,获得较高精度的利率期限结构。

二、在中国市场利率期限结构的波动模式设计方面,本书通过比较国际上主流利率期限结构模型对我国利率期限结构的解释能力,选择利率非线性均值——GARCH 模型作为模型设计的出发点,进一步引入利率波动的杠杆效应、不对称波动信息效应、跳跃扩散和波动状态转换机制,从时间序列维度揭示中国市场利率期限结构的变动规律。

三、鉴于广义矩估计对矩条件选择的强敏感性，本书选择了最大似然估计法和非线性估计技术对各种利率模型进行参数估计，并通过最大似然率检验比较各种嵌套模型的解释能力。在进行时间序列估计的同时，选择不同期限的短期利率作为样本数据，从横截面的角度进行参数估计稳定性的比较。

四、在利率波动预测方面，本书比较了不同利率波动预测模型的均方误差（RMSE）和平均绝对误差（MAE），证实了非线性均值——不对称波动机制转换 GARCH 模型具有较好的预测能力，并通过蒙特卡洛模拟和样本内逐步推进程序预测现实的利率运动路径，与神经网络模型进行预测精度和风险控制能力的比较。

五、运用蒙特卡洛模拟法来解决利率变动路径的求解问题，利率波动模型设定为具有利率风险市场价格修正漂移项的异方差扩散过程，通过为每一条风险中性路径求积分之后再取平均定价利率产品，并通过扩大模拟路径来降低蒙特卡洛模拟误差；运用波动性转换模型评估利率风险，通过回溯测试检验波动机制转换模型与 JP Morgan 的方差—协方差风险矩阵模型和 GARCH 模型的 VaR 测度结果。

六、通过对比国内外利率期限结构静态估计模型的优劣，分析节点数目变化和定位改进 B 样条函数对利率期限结构静态估计的误差，构建最小化定价误差的节点组合布局搜索程序，并引入负指数平滑立方 L_1 样条优化模型，将误差函数最小化结构从平方和最小化转化为误差距离最小化，权衡拟合误差绝对距离最小化与贴现函数波动性约束，克服 B 样条函数对节点数目与定位的人工干预和放宽对贴现函数的二阶平滑要求，保留 B 样条函数刻画中长期利率波动趋势的优势，增强对短期利率波动结构突变的估计和预测能力，提高定价精确度和缓解利率期限结构曲线的过度波动问题。

七、在刻画短期利率波动具有长期回复均值和负向漂移率的非线性均值——广义自回归条件异方差（GARCH）模型中，引入马尔科夫区制转移特征，给出波动区制转移概率的计量递推公式和最大似然函数数值求解程序。对动态模型综合设计的科学性进行参数假设检验，证实非线性均值回复与马尔科夫区制转移效应的 GARCH 模型相比，其单独或双项组合的杠杆效应、负向信息强响应、高波动低持续等效应模型具有更强的现实数据拟合能力，可从时间序列和横截面角度，进一步揭示短期市场利率期限结构的内在波动规律。

八、在共轭变换模型估计的利率曲线波动参数时间序列的基础上，构建结构 VECM 模型探测利率期限结构波动因素的协变机制，解决了 VECM 模型忽视利率波动因素长短期动态均衡关系中的结构性约束，发现我国市场利率期限结构不仅存在斜率主导的短期协整关系，而且呈现长期结构性动态均衡关系和固定趋势性波动特征。

序

利率期限结构是资产定价、投资决策、风险管理和货币政策的基础之一。这个领域的研究已经持续了 100 多年。自从 Irving Fisher (1896) 提出最古老的利率期限结构的无偏预期理论以来,许多经济、财务和金融专家学者对利率期限结构进行大量的理论研究和实证分析,试图挖掘影响利率期限结构的内在因素和外在条件,并形成了均衡理论、无套利解释和鞅测度论。

近 30 年来,利率期限结构动态模式的研究已经成为财务与投资领域的一个热点。自从 Merton (1973) 提出短期利率波动的布朗运动模型以来,众多学者纷纷努力地探寻利率预期变动的量化模式,借助各种参数或非参数的计量方法,提出几十种离散或连续的利率期限结构解释模型,对利率期限结构的各种波动特征进行了深入的研究和分析。

由于我国长期实行官定利率,再加上债券市场发展滞后,因而大大阻碍了国内市场利率期限结构的深入研究,这种现象与我国当前衍生证券的日益复杂和利率风险的迅速凸显互相矛盾。文献研究表明,国内在利率期限结构研究方面,无论在理论、方法或应用上严重滞后,从理论和实证的角度表现为五方面内容。

第一,我国仍处于利率市场化改革的发展进程,而且不同地区的市场利率也存在一定的差距,在两个证券交易所上市交易的国债大部分是息票债券,不能准确地反映市场利率

的真实值和波动规律。因此,对于真实利率的估计工作大部分停留在拟合方法的分析和推导上,相关的实证研究工作相对欠缺。

第二,尽管国际上已经普遍运用相当精确的利率期限结构估计方法,包括B样条估计方法、指数样条估计方法、核估计回归和神经网络拟合等,但我国学术界的研究仍处于估计方法的引入和改进,鉴于在计算方法上的复杂程度,这些利率估计方法在实证研究上的运用与分析工作有待进一步加强。

第三,由于当前国内仍旧使用相对初级或简单的利率估计方法,因而所获取的利率期限结构的估计值存在一定的估计误差,直接影响了利率期限结构动态模式的进一步研究,这对金融、投资和财务领域的学术研究及其实践运作产生了相当严重的负向效应。

第四,关于利率期限结构动态模式估计方法的比较和改进,国内仍旧缺乏相关的研究文献和学术成果。对利率期限结构动态模式估计方法基本上运用最大似然估计法,人为误设了利率波动的分布密度函数和忽略了时间序列数据的前后期相互依赖性,广义矩估计、半参数估计和核估计等方法的应用有待进一步深入研究。

第五,有关我国利率期限结构动态模型波动预测能力和风险控制能力的研究工作仍处于起步阶段。鉴于利率期限结构估计模型的复杂性和对各种利率拟合模型估计过程存在的误差,对于我国利率期限结构的波动预测与风险控制的研究工作仍需投入大量的人力和物力。

国外利率期限结构理论与方法的研究发展可以分为四类:一是利率期限结构形成假设;二是利率期限结构静态估计;三是利率期限结构自身形态的微观分析;四是利率期限结构动态模型设计与检验;五是宏观利率期限结构建模。利

率期限结构形成假设的研究主要集中于利率期限结构形成的影响因素分析与利率期限结构本身的信息内涵,而利率期限结构静态估计则重点探讨在固定时点的利率期限结构的估计方法与途径,利率期限结构自身形态的微观分析侧重于分析不同期限利率的相对变动规律以及在平行移动与非平行移动条件下的套期保值问题,利率期限结构动态模型设计与检验解决的是短期利率在时间序列维度下的变动规律,宏观利率期限结构重点探究宏观经济状态下利率期限结构的波动特征。

利率期限结构的近代研究转向利率期限结构静态估计与动态模型的实证分析。利率期限结构静态估计与动态模型的实证分析是研究利率期限结构规律的两类基本方法,前者基本上采用样条函数和息票剥离法,通过样条函数的改进技术,从指数样条函数、致密样条函数、B样条函数到 Chebyshev 函数等,一步步地降低利率期限结构静态估计技术存在的误差,但是最为快捷、有效而准确的静态估计方法与理论的统一标准仍待进一步深入的研究和探讨。后者则是借助于建立不同的动态模型和计量方法来解释利率期限结构,主流的利率期限结构动态模型可以分成两类:均衡模型与无套利模型,这两类模型的出发点、应用范围和模型本身的优劣势差异较大。

利率期限结构拟合曲线存在过度波动问题,如何运用共轭几何变换算法求解在定价误差绝对距离最小化基础上引入定价核函数曲率的双重最优化模型,并使用非线性超松弛优化算法和负指数平滑立方 L_1 样条进行利率波动参数估计,负指数立方 L_1 平滑样条能否有效地克服 NSS 模型和 B 样条在利率期限结构拟合的过度波动性,提高债券定价精确度和样本外预测效率。

信息、政策和异常事件冲击会引起利率发生结构变化,

如何在模型中引入反映结构变化的机制转换，机制转换模型比普通的 GARCH 模型对于波动的持久性的拟合效应存在何种差异，随机波动模型中引入机制转换后，模型的拟合能力和利率波动的持久性如何变化，考虑随机波动方程中常数项的机制转换，同时引入滞后一阶系数及方差的机制转换如何影响波动结构，利率波动是否不仅与当前状态有关还与前期状态有关，引入跳跃因素后机制转换的单因子模型在样本内拟合与样本外预测的表现有何差异。

本书的研究工作得到“国家社科基金”（项目编号：14BGL029）、“教育部规划基金”（项目编号：12YJA790147）的资助；编辑段钢先生为本书的出版付出了辛勤劳动。在此，作者对他们（她们）表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中的错误和问题在所难免，恳请专家、读者批评指正。

吴泽福

2014 年 4 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 研究背景与意义	1
一、研究背景	1
二、科学意义	2
第二节 研究内容与思路	4
一、研究内容	4
二、研究框架	6
第三节 经典文献综述	7
一、传统利率期限结构理论	7
二、现代利率期限结构理论	10
三、动态利率期限结构模型与理论前沿	14
四、国内研究进展与文献评述	17
五、动态利率期限结构模型与理论前沿	19
第四节 研究方法 with 术语	21
一、研究方法	21
二、相关术语	22
第二章 利率期限结构的静态估计	24
第一节 利率期限结构静态估计原理	24
第二节 利率期限结构静态估计问题	29
第三节 利率静态估计实证分析	31
一、B 样条函数模型与拟合方法	31
二、实证数据拟合分析	35
三、样本内节点布局优化与付息效应	38
四、静态估计方法改进	39
五、改进后模型的实证分析	40
第四节 本章小结	43

第三章 利率期限结构的共轭变换	45
第一节 利率曲线拟合方法评述	45
第二节 负指数平滑立方 L_1 样条技术	46
第三节 共轭变换实证研究	48
一、样本选取与模型设定	48
二、节点布局优化与模型改进	50
三、负指数平滑 L_1 样条估计	52
第四节 本章小结	54
第四章 利率期限结构动态建模	55
第一节 利率期限结构动态模型的估计方法	55
一、利率期限结构动态模型估计方法概述	55
二、利率期限结构动态模型估计方法的比较	58
三、我国利率动态模型估计存在的问题	59
第二节 我国利率期限结构动态模型的实证研究	60
一、利率动态模型与拟合	60
二、样本数据与拟合结果分析	64
三、我国利率波动基本特征分析	71
四、利率期限结构高级动态特征估计	78
第三节 本章小结	89
第五章 利率期限结构波动机制	91
第一节 利率期限结构波动机制理论	91
第二节 利率期限结构波动机制建模	93
一、利率波动机制模型	93
二、数据描述与实证分析	98
第三节 利率期限结构波动机制特征	102
一、利率期限结构单机制波动特征	102
二、利率期限结构波动多机制特征	105
三、机制转换过程分析	107
第四节 本章小结	108
第六章 利率期限结构动态模型应用	110
第一节 我国利率波动模型的应用概述	110

第二节 现代利率预测方法的比较分析	111
第三节 样本数据与预测结果分析	115
第四节 我国利率预测模型的应用	118
一、利率衍生产品定价	118
二、利率风险管理	120
第五节 本章小结	125
 第七章 宏观利率期限结构研究	126
第一节 利率期限结构宏观动态均衡模型	126
一、高斯宏观仿射期限结构模型	127
二、宏观利率模型研究前沿	128
第二节 市场利率期限结构的协变机制	132
一、市场利率协变机制引入	133
二、利率共轭几何变换	134
三、利率协变参数估计	137
四、协变机制与预测检验	140
五、研究结论与政策启示	146
第三节 利率期限结构与通货膨胀的非线性波动	147
一、利率与通胀的非线性关系引入	147
二、通货膨胀和利率期限结构估计	148
三、通货膨胀与利率期限结构的协变机制	149
四、协变机制的模型构建与技术难点	153
五、前沿研究拓展	154
第四节 信用利差期限结构研究进展	156
一、信用利差模型的修正以及拟合	156
二、信用利差的影响因素研究	157
三、信用利差与其他经济变量的关系研究	160
 第八章 研究结论与政策建议	161
第一节 研究结论	161
一、利率期限结构静态估计结论	161
二、利率期限结构动态模型结论	162
三、利率动态模型应用的主要结论	163
四、宏观利率期限结构预测模型结论	164

第二节 启示与建议	164
一、我国利率政策制定与管理建议	164
二、我国债券发行政策制定与投资风险管理	173
三、我国利率风险管理的启示	176
第三节 研究展望	180
译名对照表	183
参考文献	187
后记	212

第一章 绪 论

第一节 研究背景与意义

一、研究背景

利率的期限结构，从静态的角度上讲，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或在某个时点上不同期限的零息票债券的到期收益率集合；从动态的角度上讲，是指某一期限的利率水平随着时间不断变动的时间序列。

自从 Irving Fisher（1896）提出最古老的利率期限结构的无偏预期理论以来，利率期限结构理论与方法的研究已经经历了 100 多年。早期关于利率形成假设的研究出现了无偏预期、流动性偏好、市场分割和优先置产四个经典理论，从不同角度解释了利率期限结构形成的内在机制。随着市场规模的扩大和交易手段的改进，市场分割理论的作用逐渐被淡忘，而流动性与预期理论的结合则比较有效地解释了许多国家利率期限结构的变化特征，特别是流动性溢酬的研究更为深入地剖析了利率期限结构的内在变化规律。

近 30 年来，随着各种高级的数学工具和研究方法的出现，利率期限结构的静态拟合技术不断得到改进，从基本的息票剥离法、二项式样条估计方法，发展到 B 样条函数估计、指数样条估计和致密样条估计等，大大地降低了利率期限结构拟合过程的定价误差，但是利率期限结构静态估计技术在利率衍生产品定价和利率风险管理方面的改进空间和潜在收益仍旧十分巨大。

自从随机波动理论的发现以来，利率期限结构动态模式的实证分析与检验已经成为学术界的一个研究热点。从横向看，利率期限结构动态模式的研究主要可归为两个层面：一是利率期限结构波动特征的研究，即短期利率的波动是否具有长期均衡值和漂移特征，扩散过程是否具有杠杆效应、长期记忆、不对称响应、间断跳跃和机制转换等特性；不同国家市场利率的这些波动特征有何差异，以及如何在随机波动模型中刻画这些特性，这些方面的研究是利率期限结构波动模式