

利率期限结构研究述评¹

林海 郑振龙

(厦门大学金融系, 361005)

内容提要: 本文对目前利率期限结构的研究状况进行一个评述性的研究,从五个方面介绍和分析了国内外有关利率期限结构的研究。这五个方面包括:利率期限结构形成假设;利率期限结构静态估计;利率期限结构自身形态的微观分析;利率期限结构动态模型;利率期限结构动态模型的实证检验。在文献回顾的基础上,本文还对利率期限结构未来的研究方向进行了探讨。

关键词: 利率期限结构 研究述评

Abstract: This paper did a research review of term structure from five aspects. These aspects are: hypothesis on formation of term structure; static estimation of term structure, microanalysis on the shape of term structure, dynamic models of term structure, and the empirical tests of dynamic models. Based on these review, this paper discussed some future research for the term structure of interest rate.

Key Words: Term Structure of Interest Rate, Literature Review

作者简介:

林海, 1977年出生,男,汉族,厦门大学金融系讲师、博士。在国内公开刊物发表20余篇学术论文。Email: xmulh2@163.com, 通讯地址: 厦门大学金融系。邮编: 361005。

郑振龙, 1966年出生,男,汉族,经济学博士,美国加州大学洛杉矶分校富布莱特研究学者,现任厦门大学经济学院副院长、教授、博士生导师。在国内外公开发行的学术刊物上发表了百余篇学术论文,出版了24部(含合作)著、编、译著作。Email: zlzheng@xmu.edu.cn。通讯地址: 厦门大学金融系。邮编: 361005。

利率期限结构(term structure),是某个时点不同期限的利率所组成的一条曲线。因为在某个时点,零息票债券的到期收益率等于该时期的利率,所以利率期限结构也可以表示为某个时点零息票债券的收益率曲线(yield curve)。它是资产定价、金融产品定价、保值和风险管理、套利以及投机等的基准。因此,对利率期限结构问题的研究一直是金融领域的一个基本课题。

利率期限结构是一个非常广阔的研究领域,不同的学者都从不同的角度对该问题进行了探讨,从某一方面得出了一些结论和建议。根据不同的角度和方向,这些研究基本上可以分为五类:(1)利率期限结构形成假设;(2)利率期限结构静态估计;(3)利率期限结构自身形态的微观分析;(4)利率期限结构动态模型;(5)利率期限结构动态模型的实证检验。本文根据这五个分类对利率期限结构研究进行了整理和述评,并在基础上提出了未来可能的研究方向。

在利率期限结构文献回顾方面,有的学者已经在大量研究的基础上进行了相关的文献回顾研究,比如 Jabbour and Mansi (2002)对利率期限结构静态估计的回顾, Gibson, Lhabitant

¹感谢教育部优秀青年教师资助计划“中国信用风险度量和控制模型”项目、教育部人文社会科学研究2003年度博士点基金研究项目“中国利率类金融产品的定价和定价”(03JB790016)、福建省社科“十五”规划(第二期)项目(2003B069)的资助。本文观点仅代表作者个人观点。

and Talay(2001), Yan(2001), Dai and Singleton (2003)对利率期限结构动态模型的归纳和整理, 以及 Shi Iler and McCulloch(1990)和 Melino(1986)对利率期限结构一般概念的分析。但是这些回顾都只集中于利率期限结构研究的某一方面, 没有对利率期限结构研究作全面地分析和整理, 并对未来的发展方向进行总结和归纳。本文的创新之处即在于此, 通过五个分类对利率期限结构研究进行相对全面地整理和述评, 并在基础上提出未来可能的研究方向。

一、利率期限结构形成假设

利率期限结构是由不同期限的利率所构成的一条曲线。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, 人们就提出了几种不同的理论假设。这些假设包括: 市场预期假设 (expectation hypothesis), 市场分割假设 (market segmentation hypothesis) 和流动性偏好假设 (liquidity preference hypothesis)。为了对这些假设进行验证, 不同的学者从不同的角度进行了分析。

(一) 对市场预期假设自身矛盾的分析

在市场预期假设的均衡条件下, 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。

1、在某一个时期, 持有短期债券和长期债券的期望收益率是一样的。对一个期限为 1 期的零息债券而言, 其总收益率为 $1 + r_{1,t}$; 对期限为 n 期的零息债券而言, 其 1 期的总收益

率为 $\frac{P_{n-1,t+1}}{P_{n,t}} = \frac{(1 + r_{n,t})^n}{(1 + r_{n-1,t+1})^{n-1}}$ 。其中, $r_{i,t}, i = 1, 2, \dots, n$ 代表时刻 t 的 i 期利率。所以, 该版

本可以表示为:

$$1 + r_{1,t} = E_t \left(\frac{(1 + r_{n,t})^n}{(1 + r_{n-1,t+1})^{n-1}} \right) = (1 + r_{n,t})^n E_t (1 + r_{n-1,t+1})^{-(n-1)} \quad (1)$$

2、长期债券在 n 个时期中的总收益率等于 n 个一期债券在 n 期中的复合总收益率的期望值, 也等于 1 期债券与 $n-1$ 期债券复合总收益率的期望值。

$$(1 + r_{n,t})^n = E_t ((1 + r_{1,t})(1 + r_{1,t+1})(1 + r_{1,t+2}) \dots (1 + r_{1,t+n-1})) = (1 + r_{1,t}) E_t ((1 + r_{n-1,t+1})^{n-1}),$$

$$1 + r_{1,t} = \frac{(1 + r_{n,t})^n}{E_t ((1 + r_{n-1,t+1})^{n-1})} \quad (2)$$

根据 (1), $1 + r_{1,t} = E_t \left(\frac{(1 + r_{n,t})^n}{(1 + r_{n-1,t+1})^{n-1}} \right)$, 根据 (2), $1 + r_{1,t} = \frac{(1 + r_{n,t})^n}{E_t ((1 + r_{n-1,t+1})^{n-1})}$ 。

但是, 由詹森不等式可知, $E_t \left(\frac{(1 + r_{n,t})^n}{(1 + r_{n-1,t+1})^{n-1}} \right) \neq \frac{(1 + r_{n,t})^n}{E_t ((1 + r_{n-1,t+1})^{n-1})}$, (1) 和 (2) 互相

矛盾 (Cox, Ingersoll and Ross, 1981)。

Cochrane(2000)在连续时间条件下对该问题进行了分析, 认为在连续时间条件下, 该假设是一致的。但是 Lin(2003)通过严格的推导证明了, 在连续时间条件下, 这个自相矛盾同

样存在。所以市场预期假设本身就存在着缺陷。

(二) 对利率期限结构形成假设检验

不同的学者利用不同的方法,使用不同国家的数据对利率期限结构形成假设进行了检验。在三个假设中,市场预期假设是最重要的假设,所以大多数的研究都是立足于市场预期假设,并在此基础上考虑流动性溢价。

1、英国市场。Cargill (1975)利用英国的资料对利率期限结构的预期假设进行了实证分析并拒绝了市场预期假设。

2、美国市场。Lee (1989)利用在代表性投资者效用最大化的基础上,使用广义矩方法对市场预期假设的非线性关系进行了分析,认为随时间变化的风险溢价和异方差对分析战后美国的债券市场十分重要。Culbertson(1957)对流动性溢价等影响利率期限结构的因素进行了分析,发现市场预期假设不能解释美国战后资料。Campbell (1986a)对利率期限结构进行了线性估计,并证明不同形式的市场预期假设在常数的风险溢价条件下可以同时成立,从而就解决了Cox, Ingersoll and Ross(1981)所提出的不同形式的市场预期假设在风险溢价为0时互相矛盾的问题。Campbell and Shiller(1991)则分析了长短期利率差距(Yield spread)对将来利率变动的预期能力并发现了一些与市场预期假设不符的现象。Mankiw and Miron(1986)通过将历史资料划分成不同的区域(regime)对利率期限结构的市场预期假设进行了实证检验。Bekaert, Hodrick and Marshall(1997)对市场预期假设回归模型中的小样本偏误问题进行了分析,研究表明小样本时间序列可以导致估计的偏误。

3、全球市场。McCown(2001)利用8个国家的数据对利率期限结构形状和股票市场收益之间的相关性进行了分析。实证结果表明,当利率期限结果倒转时(inverted),3个国家出现负风险溢价。而且,如果美国和德国的利率期限结构倒转,其他国家会出现负的风险溢价,从而证实了一个世界性风险因子的存在。

4、中国市场。庄东辰(1996)和宋淮松(1997)分别利用非线性回归和线性回归的方法对我国的零息票债券进行分析。唐齐鸣和高翔(2002)利用同业拆借市场的利率数据对预期理论进行了实证。实证结果表明:同业拆借利率基本上符合市场预期理论,即长短期利率的差可以作为未来利率变动的良好预测,但是短期利率也存在着一些过度反应的现象。此外,还有杨大楷、杨勇(1997),姚长辉、梁跃军(1998)对国债收益率的研究。但这些研究大部分都是停留在息票债券的到期收益率上,没有研究真正意义上的利率期限结构。

5、市场调查资料。Froot(1989)根据市场调查资料对市场预期假设在估计将来利率的有效性进行了实证分析。实证分析结果表明市场预期假设在短期内无效,在长期内具有一定的估计能力。

二、利率期限结构静态估计

当市场上存在的债券种类有限时(特别对债券市场不发达国家而言),如何根据有效的债券价格资料对整个利率期限结构进行估计,是进行债券研究的一个重要内容。不同的学者提出了不同的估计方法,其核心就是对贴现函数 $\delta(m)$ 的估计。

假设 $P = 100\delta(m_0) + c \int_0^{m_0} \delta(m)dm$, P 代表债券价格, $\delta(m)$ 是期限为 m 的单位零息债券的贴现值, m_0 是债券的到期日, c 是利息额。

如果假设:

$$\delta(m) = a_0 + \sum_{j=1}^k a_j f_j(m), \quad a_0 = 1, f_j(0) = 0, \text{ 则}$$

$$\begin{aligned}
P &= 100(1 + \sum_{j=1}^k a_j f_j(m_0)) + c \sum_{i=0}^n (1 + \sum_{j=1}^k a_j f_j(m_i)) \\
&= 100 + cm_0 + \sum_{j=1}^k a_j (100 f_j(m_0) + c \int_0^{m_0} f_j(m) dm)
\end{aligned}$$

因此，如果我们令：

$$y = P - 100 - cm_0, \quad x_j = 100 f_j(m_0) + c \int_0^{m_0} f_j(m) dm, \quad \text{就可以得到：}$$

$$y = \sum_{j=1}^k a_j x_j$$

在回归模型中， $y = \sum_{j=1}^k a_j x_j + \varepsilon_t$

所以在某个时点 t ，我们就可以通过对 $f_j(m)$ 以及 k 的假设求出 a_j ，通过 a_j 就可以求出任何时期的折现值。因此，研究的重点在于对函数形式以及分割区间 k 的选取。相关的研究有 McCulloch(1971)，Lin and Yeh(2001)，Carlton and Cooper(1976)，Shea(1984)，Fisher, Nychka and Zervos(1995)等。Jeffrey, Linton and Nguyen(2000)则对不同的函数估计结果进行了比较。郑振龙和林海(2003a)利用 McCulloch(1971)样条函数和息票剥离法对我国市场利率期限结构进行了静态估计，构造出中国真正的市场利率期限结构。郑振龙和林海(2003b)估计出中国债券市场的违约风险溢酬并进行了分析。林海和郑振龙(2004)则对中国市场利率的流动性溢酬进行了估计和分析。

三、利率期限结构自身形态微观分析

利率期限结构的变动也有平行移动和非平行移动。由于利率直接和债券的收益率相关，这些不同方式的移动对债券组合的收益会产生很大的影响，并进而影响债券组合管理的技术。为了衡量利率期限结构的形状变动对债券投资组合的影响并在此基础上进行有效的管理，达到“免疫”的目的，众多的学者对利率期限结构本身的形态作了大量的分析，并对利率期限结构的平行移动和非平行移动条件下的债券组合套期保值的问题进行了深入地研究。

(一) 利率期限结构因子模型与主成分分析

利率期限结构因子模型所能做的就是揭示了数据所暗示的利率变动潜在因素的统计形式。其经典文献是 Litterman and Scheinkman(1991)。他们称这些因素为水平(level)、倾斜程度(steeptness)和曲度(curvature)。他们在对美国利率期限结构的研究中，借鉴了多因素套利定价理论，通过建立线性多因子模型，考察了债券收益与系统风险因素和非系统风险因素之间的关系。他们研究了水平因素、倾斜因素以及曲度因素在利率期限结构变化中的作用。Dai and Singleton(2000)用的因素为：水平(level)、斜度(slope)和蝴蝶式(butterfly)。Chen and Scott(1993)，则称这些因素为：持续性(persistent)、较少持续性(less persistent)和强均值恢复(strong mean-reverting)。这些都是用来描述潜在因素是如何影响利率期限结构的。

随后研究人员采取类似的方法，针对不同国家的债券市场展开大量的研究，如 Buhler and Zimmermann(1996)，D'Eccllesia and Zenios(1994)，Sherriis(1994)，Martellini and Priault(2000)，Maitland(1999)，Schere and Avellaneda(2000)分别对德国、瑞士、意

大利、澳大利亚、法国、南非、拉美等国家和地区的利率期限结构进行了主成分和因子分析。朱峰(2002)和林海(2004)对中国的市场利率期限结构进行了主成分分析,并在此基础上对中国债券组合的套期保值提出了若干建议。

(二) 利率期限结构的变动以及资产免疫

利率期限结构变动是指不同期限的利率的相对变动,曲线的平行移动是指所有期限的利率变动是相同的,而利率期限结构的非平行移动这意味着各种期限利率变动的基点是不同的。

1、利率期限结构的平行移动

对于利率期限结构的平行移动,经典的对策是依据久期对相应的债券组合进行免疫。免疫的含义是无论利率如何变动,资产与负债的久期匹配就可以确保资产组合有偿还公司债务的能力。它首先由Readington(1952)提出的。久期映了资产价格对于利率变动的敏感性。因此,久期在利率变动和债券收益率变动之间建立了联系。Fisher and Weil(1971),Bierwag等(1981),Bierwag等(1983),Brennan and Schwartz(1983)等都展示了这种方法如何能够减少市场风险。另外,Bierwag and Khang(1979)认为当只存在一种不确定性来源影响利率期限结构时,利用久期可以对息票债券的资产组合进行免疫。Ingersoll(1983),Nelson and Schaefer(1983)和Brennan and Schwartz(1983)都显示出久期比其他更为复杂的方法表现得更好。

2、利率期限结构的非平行移动

非平行移动指利率期限结构形状的变化。历史地看,可以观察到两种类型的利率期限结构非平行移动:(1)斜度的变化。利率期限结构斜度的变化是指利率期限结构变得平缓或者陡峭。(2)曲率的变化。利率期限结构两端和利率期限结构的中间部分发生相似但是方向相反的变化。也被称为蝴蝶式转换(butterfly shift)。可以分为正蝴蝶式和反蝴蝶式两种。

由于非平行移动时传统意义上的久期不再能够刻画出大部分的价格变动,因此要继续利用久期,就必须对这个概念和技术进行拓展。Garbade(1985)讨论了利率期限结构的斜率发生变化时,如何免疫。Gultekin and Rogalski(1984),Elton等(1988)和Elton等(1990)在多因子模型的基础上发展并检验了实证主义的久期法则。Klaffky等(1992)则提出双久期(重新构建久期reshaping duration)来反映利率期限结构在极点的变化。

Chambers and Carleton(1988)提出多维久期(multiple duration)的建议,他们称之为久期矢量(duration vectors)。Reitano(1992,1996)研究了非平行移动,提出了相似的方法,设计出久期矢量(方向性久期)来反映变化的方向,并称为部分久期(partial duration)。这一方法由Ho(1992)予以了发展。Ho(1992)提出了基于相应到期日利率变化的“核心利率久期”(key rate duration)。Moreno(1997)提出“一般性久期”的方法,认为可通过将传统久期和凸性一般化,以获得一般化的久期和凸性。一般化久期的方法可用来计算套期保

虽然众多学者力图通过对久期的改造来尽可能地使之能够衡量债券的利率风险,但在实践中也存在着免疫资产不能完满地发挥作用的可能性,而且久期也无法精确地度量债券的利率风险。其主要原因有:

(1)推迟和提前赎回风险。免疫资产(以及久期)是基于这样的信念,即债券所约定的现金流会按时足额支付。这意味着免疫资产是以所有债券都不会被推迟和提前赎回为假设前提的。这即是说假设债券不存在推迟支付风险和提前赎回风险。所以,如果债券组合中的某种债券被拖欠或提前赎回,整个组合就失去了免疫作用。

(2)在非水平利率期限结构上的多重非平行移动。免疫资产(以及久期)还基于这样的假设:利率期限结构是水平的,曲线的移动是平行的,并且移动只发生在获得所购买的债券规定的任何支付之前。但是在现实中,利率期限结构在开始不是水平的,而且利率期限结构的移动既不可能是平行的,也不可能有任何的限制。

(3) 重新平衡。使用免疫资产存在的另一个问题是时间的流逝对所持有债券的久期和约定现金流出的久期的影响。随着时间流逝和利率期限结构变化,久期可能会按不同的速度改变,债券组合就不再具有免疫能力。这意味着债券组合需要经常再平衡。

这里的重新平衡是指出售当前持有的某些债券,将他们替换成另一种债券,以便使新的债券组合的久期与约定的现金流出的久期保持一致。不过,由于债券的替换会带来成本,而这种替换的成本可能会超过再平衡所带来的收益。

(4) 众多的候选资产。通常存在多种具有规定久期的债券组合,投资者面临不同的选择方案。一种方法是挑选具有最高到期收益率的组合(即是成本最低的)。另一种方法是选择与目标组合最相似的组合,这种组合比其他任何组合都有更最小的随机过程风险(即投资组合的波动率最小)。在这种组合中,所有债券的久期都最接近约定的现金流出的久期。但是二者所具有的利率风险却完全不一样。

四、利率期限结构动态模型

(一) 基本利率期限结构动态模型

根据利率期限结构模型的推导过程,可以分为两种类型:第一种类型就是均衡模型(Equilibrium Model),根据市场的均衡条件求出利率所必须遵循的一个过程,在这些模型中,相关的经济变量是输入变量,利率水平是输出变量;另一种类型是无套利模型(No arbitrage Model),通过相关债券等资产之间必须满足的无套利条件进行分析,此时利率水平是一个输入变量,相关金融工具的价格是输出变量。必须特别指出的是,这些模型都是建立在风险中性世界中,所描述的均是风险中性世界中的利率变动行为。

1、均衡模型。主要包括 Vasicek(1977)模型和 CIR(1985)模型,此外还有 Rendleman and Barter(1980),Brennan and Schwartz(1982)等。

(1) Vasicek(1977)模型。Vasicek(1977)提出:在风险中性世界中,利率的变化过程遵从:

$$dr = k(\theta - r)dt + \sigma dz, \quad a, b, \sigma \text{ 都是常数。}$$

其中, r 表示短期瞬时利率, k 表示利率均值回归速度, θ 表示长期均值, σ 表示波动率。

Vasicek模型是众多利率期限结构模型中最简单的一个。它假设所有的参数都是常数,不随时间变化,而且波动率也是一个常数,没有考虑到利率水平对波动率高低的影响以及波动率本身的 GARCH 效应等。但是它却能够比较好地拟合现实数据。缺陷是过于简单,没有考虑到利率必须是一个大于 0 的正数,因此在模拟过程中就可能出现利率为负的情况,这不符合现实情况。

(2) CIR 模型。Cox, Ingersoll and Ross(1985a, b)在一个跨期的资产市场均衡模型中对利率的期限结构模型进行了研究,并提出了 CIR 模型。具体内容为:

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

CIR 模型的优点是它产生于经济中的内在经济变量和总体均衡。因此,它包含了风险回避、时间消费偏好、财富限制、导致风险补偿的因素和众多的投资选择。尽管该公式具有众多优点,但是它太复杂,在估算经济参数、风险参数和进行现实预测方面产生困难。而且他们得出的结论是利率期限结构为平行移动,这是不符合显示情况的。

2、无套利模型。主要包括 HJM(1992)模型, Ho-Lee(1986)以及 Hull and White(1990)模型。此外,还有 Black, Derman and Toy(1990)等。

(1) HJM 模型。Heath, Jarrow and Morton(1992)提出, T 时刻瞬时远期利率 $f(t, T)$

的变化服从：

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

因此整个模型估计的参数只有一个，即波动性，而且这个波动性不会随着测度的变化而变化。

HJM 模型的主要方法是无套利分析法，即在 n 个因子风险模型下，可以通过一个无风险资产和 n 个风险资产的组合构造资产市场上的所有资产。给定债券波动率的期限结构，就可以得到债券定价的全部信息，它是无套利模型的基准模型。但是模型本身在应用的过程中也会产生问题。在构造利率变动的二叉数或者三叉数模型时，利率通常在上升和下降后就不会再重新聚合。也就是说，利率先上升后下降与先下降后上升之后所达到的不是同一个节点，利率变动不是马尔可夫链。这就会导致二叉树模型的最终节点的几何扩大，极大地增加计算和模拟的难度。

(2) Ho-Lee 模型。Ho and Lee (1986) 提出了一个基于无套利假设的利率期限结构变动模型，人们称之为 Ho-Lee 模型。具体表达式为：

$$dr = \theta(t)dt + \sigma dz ,$$

其中 $\theta(t) = F_t(0,t) + \sigma^2 t$ 。 $F(0,t)$ 表示时刻 t 的远期利率，下标 t 表示对 t 的偏导数。

Ho-Lee 模型用一种比较简单的方式来模拟利率期限结构随时间的可变性，由最初的利率期限结构决定的，因此它是一个相对定价模型，同时由最初期限结构的外生性决定利率期限结构的变化也是外生的。

(3) Hull and White 模型。Hull and White(1990)提出，Vasicek 模型的一个扩展是：

$$dr = (\theta(t) - kr)dt + \sigma dz。$$

(二) 一般化扩展模型

除了上面分析的众多利率期限结构的动态模型之外，许多学者在这基础上进行了更进一步的研究，得出许多更有意义、更符合实际的结论。

1、基本利率期限结构模型的扩展

(1) 考虑波动率滞后效应 (GARCH) 的利率期限结构模型

Brenner, Harjes and Kroner(1996)提出了一个一般化的利率期限结构模型。在这个模型中，波动率不仅与利率水平相关，还和信息 (information shock) 相关。

(2) 多因子模型

Longstaff and Schwartz(1992)在 CIR 模型基础之上考虑了一个两因子(用 X 和 Y 表示)均衡模型。这个模型可以解释不同形状的收益率曲线。所使用的计量分析方法为广义矩方法。

(3) 非线性模型

Constantinides(1992)则在 CIR 基础之上提出了一个一般化的模型。模型所使用的方法是定价核方法，估计采用非线性方法。在此模型中，债券的价格可以通过解析的方法求出，可以通过数据进行校准。

(4) 仿射模型(affine model)

Dai and Singleton(2003)通过一个仿射模型将一系列的利率期限结构模型包含在该理论框架中，提出了一个一般化的利率期限结构模型。他们直接假设：

$$\frac{dM_t}{M_t} = -r_t dt - \Lambda_t' dW(t),$$

其中， r_t 为瞬时利率。 $W(t)$ 是 N 个独立的布朗运动变量。 Λ_t 代表风险的市场价格。而且，

$$\begin{aligned} r_t &= r(Y(t), t), \Lambda_t = \Lambda(Y(t), t), \\ dY(t) &= u_Y^P(Y, t)dt + \sigma_Y^P(Y, t)dW(t) \end{aligned}$$

这就是一个最一般化的模型，可以包括 N 个不确定源对利率的影响。经过进一步的简化，

$$\frac{dM_t}{M_t} = -r_t dt - \sigma_{r_t}^P(r_t, t)dW(t)$$

仿射模型可以将许多的模型，如 Vasicek 模型，CIR 模型，Hull-White 模型，Ho-Lee 模型等纳入到这个理论框架中，具有广泛的应用前景。

此外，放宽仿射函数的假设，此模型还可以变为二次——高斯模型²、非线性随机波动率模型³、机制转化模型以及考虑跳跃行为的利率期限结构模型等。因此，这是一个一般化的通用模型。

2、机制转换模型

Bansal and Zhou(2001)对存在机制转换情况下的利率期限结构问题进行了研究和分析。所使用的计量分析方法是半参数(SNP)以及有效矩(EMM)方法。检验结果表明两因子机制转换模型可以很好地拟合历史资料。

Sanders and Unal(1988)对 Vasicek 模型的机制转换问题进行了分析，并且发现不同的机制可以表现出不同的均值回归特征。一些均值回归现象是显著的，而一些则是不显著的。所以在研究利率的行为时，时间窗口的选择十分关键。此外，还有 Dai, Singleton and Yang(2003)等。

3、跳跃模型

Baz and Das(1996)对跳跃——漂移利率期限结构动态模型(jump-diffusion model)的求解方法进行了研究。假设，利率的变动服从扩展的 Vasicek 跳跃——漂移过程：

$$dr(t) = \alpha(\beta - r(t))dt + \sigma dW(t) + JdN(t),$$

$N(t)$ 服从一个强度为 λ 的泊松过程。也就是说，在时间 $[t, t + dt]$ 内发生 1 次跳跃的概率为 λdt ，如果发生了跳跃， $dN(t) = 1$ ；如果没有发生跳跃，则 $dN(t) = 0$ 。 J 代表跳跃的幅度，服从一个均值为 θ 、方差为 δ^2 的正态分布。 $dW(t)$ 和 $dN(t)$ 互相独立。在这些条件下，

$$r(t) = e^{-\alpha t} (r(0) + \int_0^t e^{\alpha u} \alpha \beta du + \int_0^t e^{\alpha u} \sigma dW(u)) + \sum_{j=1}^{N(t)} e^{\alpha T_j} T_j$$

T_j 代表第 j 次跳跃的时间， $0 < T_1 < T_2 < \dots < T_{N(t)} < t$ ， $N(t)$ 表示跳跃的次数。通过

² 比如 Ahn, Dittmar and Gallant(2002)。Constantinides(1992)也可以视为它的一个特例。

³ 比如 Anderson and Lund(1997,1998)，Ahn and Gao(1999)。

一定的方法就可以计算出似然函数并进行最大似然估计。

4、其他模型

Glodstein(2000)则将远期利率作为一个随机域进行分析,并考虑到不同的到期日的创新之间的相关关系。在这个模型中,整个收益率曲线是一个输入变量,而不仅仅是短期利率。

Black(1995)通过将利率视为一个期权对利率的分布进行了分析。因为利率本身不能为负数,因此它是一个期权。因此,我们可以建立允许名义利率为负数的利率分布,然后将那些负数的利率水平用0替代,就可以得到现实中的利率水平分布。

李仲飞等(2002)对存在市场摩擦条件下的利率期限结构进行了研究。这些市场摩擦包括买卖价差、交易费以及税赋等。在这些摩擦条件下,李仲飞等人研究了市场满足无套利分析时利率期限结构所应该满足的条件。

五、利率期限结构动态模型的实证检验

在对利率期限结构模型的理论研究基础之上,众多的学者都对不同的期限结构模型进行了实证检验,以对不同的模型进行判别和比较。实证分析可以分成几个类别:(1)对利率单位根问题的检验;(2)对不同期限结构模型的比较研究;(3)对某个特定期限结构模型的分析;(4)对模型可靠性的分析。

(一)对利率单位根的检验

因为一般的利率期限结构动态模型都假设利率服从一个均值回归过程,并在此基础上展开分析。因此为了验证这些模型的可行性,首先就必须对利率是否真正服从一个均值回归过程进行验证。

Wang and Zhang(1997)对利率的单位根问题进行了实证分析,以对利率市场的有效性进行验证。根据他们的检验方法以及检验结果,单位根过程可以被显著地拒绝,表明利率市场存在着均值回归过程。

Lai(1997)对单位根问题进行了一个非常好的理论分析和实证检验。因为单位根只是检验 $I(1)$ 或者 $I(0)$ 过程,它没有检验 $I(d)$, $d < 1$,因此在实证中假设条件太强。所以需要一个新的方法来验证 $I(d)$, $0 < d < 1$ 。如果实证结果支持它,则时间序列服从一个均值回归过程,具体使用的分析方法是傅立叶变化。

Pesando(1979)对有效市场上的短期利率和远期利率的随机游走问题进行了分析。在现实生活中,由于:(1)远期利率的估计性质;(2)利率的非随机游走性;长期利率可以表现出明显的序列相关性。该文为利率的非单位根性找到了切实的证据。

(二)对不同期限结构模型的比较研究

Durham(2002)利用Durham and Gallant(2002)的计量分析方法对不同的期限结构模型进行了实证检验。检验结果表明漂移项对模型表现好坏不会产生影响。对漂移率的变化增加一些变化所能带来的效果不会好于常数漂移率。随机波动率能够提高模型的拟合程度,但是对债券定价没有带来多大的好处。

Bali(1999)对不同的利率期限结构模型进行了实证分析,结果表明漂移率和波动率为常数的模型以及波动率为利率水平函数的模型过度强调了利率水平对波动率的影响。最好的模型是波动率为利率水平和信息两个因素的函数。

Chan等(1992)利用广义矩(GMM)估计方法对不同的利率期限结构模型进行了实证比较,结果表明波动率受风险水平影响的模型表现最好。结果同样表明对漂移率进行改进不会对模型产生太大的影响。而且,结果还表明一些经常运用的模型,如Vasicek模型等,表现很差。

Schlögl and Sommer(1997)通过横截面分析(cross sectional analysis)对不同利率期限结构模型进行了检验和比较。实证结果发现,在利率期限结构的分析中,均值回归方

程和因子数量的选择要比对利率分布的选择更为重要。

Johannes (2003)对一般的利率期限结构漂移模型进行了分析,发现这些模型无法产生出同历史数据相符合的分布并在此基础上提出了跳跃因素。这些跳跃因素和中央银行的货币政策行为存在很大的相关性。考虑跳跃行为会影响到期权的定价,但是对债券的收益率预测却不会产生影响。

(三) 对特定利率期限结构模型的分析

Fernandez(2001)利用智利的数据采用非参数检验的方法对利率期限结构进行了实证分析。所估计的模型是单因子模型,漂移率和波动率都是利率水平的函数。结果证实了智利期限结构向下的趋势,这可以用中央银行的货币政策或者市场分割理论进行解释。

Karoui, German and Lacoste(2000)对HJM模型中所使用的状态变量选择问题进行了分析和研究。研究结果表明两个变量可以解释95%以上的利率变动,但是对波动率则需要更多的变量。

Brown and Dybvig(1986)利用横截面美国国库券的数据对单因子CIR模型进行了实证检验。横截面实证分析可以得出同时间序列分析类似的结论。但是这种方法会导致对贴现债券价格的低估以及期限溢酬的高估,这可能由税收效应引起。

Lin and Yeh(2001)对B-spline估计函数估计出来的利率进行了实证分析,分析结果表明量因子模型好于单因子模型。但是考虑跳跃性的两因子模型并不能显著的优于单纯的两因子模型,但是它能够更好地解释期限结构以及利率衍生产品的定价。

Lanne and Saikkonen (2003)通过一个混合自回归模型对利率期限结构进行了实证检验,发现该模型可以很好的反映美国利率期限结构的波动持续(volatility persistence)和水平持续(level persistence)等特征。

Ball and Torous(1999)对欧元利率的随机波动率模型进行了实证检验并证实了利率变动中随机波动率的存在。他们还将利率的随机波动率模型结果同股票市场的随机波动率模型结果进行了比较。比较结果表明,利率的持续性更短,因为它主要受到中央银行货币政策的影响。

陈典发(2002)对Vasicek模型中参数和实际市场数据的一致性进行了研究,并探讨了它在公司融资决策中的应用。谢赤和吴雄伟(2002)通过一个广义矩方法,使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。Lin and Zheng(2003)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。

(四) 模型可靠性的分析

Ball and Torous(1996)对CIR模型以及Brennan and Schwartz的两因子模型中的利率时间序列单位根问题进行了分析。当利率服从一个均值回归过程时,一般的期限结构模型可以运用;但是如果利率服从单位根过程,这些模型则不再适用,所进行的估计也是有偏的,而且这种偏误无法由GMM等计量方法进行改进。

六、利率期限结构研究现状总结性分析

根据上面对利率期限结构的文献回顾,我们可以从中发现利率期限结构研究目前的发展方向。

(一)在利率期限结构形成假设方面,市场分割假设逐渐地被人们所遗忘,因为随着市场的发展,技术的进步,市场交易规模的扩大,市场已经逐渐形成一个统一的整体;而且市场预期假设如果没有同流动性溢酬相结合,都会被市场资料所拒绝。流动性溢酬呈现出不断变化的特征。因此,今后的研究方向应该是在市场预期假设的模型框架中引入流动性溢酬假设。

(二)在利率期限结构静态估计方面,基本上采用样条函数和息票剥离法。为了保证估计的精确性,样条函数的选择越来越复杂。

(三)在利率期限结构自身微观形态分析方面,如何通过对久期的进一步修正,从而使之能够在利率期限结构非平行移动条件下更为有效地达到套期保值的效果,是该领域未来重要的研究方向。但是由于主成分分析受数据的影响很大,结果很不稳定,所以对主成分分析可靠性的检验,也是一个重要的研究内容。

(四)根据对利率期限结构动态模型的实证分析,我们可以发现:

1、不同的模型,不同的计量分析方法,不同的数据,所得出的实证结果都会产生差异。因此,对不同的市场,重要的是模型的适用性。

2、实证分析也得出一些基本一致的结论:(1)漂移率的假设不会对利率期限结构模型产生太大的影响;(2)波动率是利率期限结构模型的重要因素;(3)多因子模型要比单因子模型表现得好,但是多因子要牺牲自由度,因此,根据实证结果,两因子模型可能是一个比较好的模型。(4)利率一般服从一个均值回归过程。

3、目前大部分对动态模型的检验都是直接利用实际数据在现实世界中进行的,对现实世界和风险中性世界的差异并未引起足够的重视。

参考文献:

[1]Ahh, D.-H., R. F. Dittmar and A.R. Gallant, 2002, "Quadratic Term Structure Models: Theory and Evidence", *Review of Financial Studies*, 15, 243-288.

[2]Ahn, D. and B. Gao, 1999, "A Parametric Nonlinear Model of Term Structure Dynamics", *Review of Financial Studies*, 12, 721-762.

[3]Anderson, T.G. and J. Lund, 1997, "Estimating Continuous-Time Stochastic Volatility Models of the Short-Term Interest Rate", *Journal of Econometrics*, 72, 343-377.

[4]Anderson, T.G. and J. Lund, 1998, "Stochastic Volatility and Mean Shift in the Short Term Interest Rate Diffusion: Sources of Steepness, Level and Curvature in the Yield Curve", Working Paper, Northwestern University.

[5]Bali, T.G., 1999, "An Empirical Comparison of Continuous Time Models of the Short Term Interest Rate", *The Journal of Futures Markets*, 19, 777-197.

[6]Ball, C.A., and W.N. Torous, 1996, "Unit Roots and the Estimation of Interest Rates Dynamics", *Journal of Empirical Finance*, 3, 215-238.

[7]Ball, C.A., and W.N. Torous, 1999, "The Stochastic Volatility of Short Term Interest Rates: Some International Evidence", *Journal of Finance*, 54, 2339-2359.

[8]Bansal, R., and H. Zhou, 2001, "Term Structure of Interest Rate with Regime Shifts", Working paper of Duke University.

[9]Baz, J. and S.R. Das, 1996, "Analytical Approximation of the Term Structure for Jump-Diffusion Process: a Numerical Analysis", *Journal of Fixed Income*, 6, 78-86.

[10]Bekaert, G., R.J. Hodrick, and D.A. Marshall, 1997, "On Biases in Tests of the Expectations Hypothesis of the Term Structure of Interest Rates", *Journal of Financial Economics*, 44, 309-348.

[11]Bierwag, G.O., C. Khang, 1979, "An Immunization Strategy in a Minimax Strategy", *Journal of Finance*, 34, 389-399.

[12]Bierwag, G.O., G. G. Kaufman and A. Toevs, 1983, "Bond Portfolio Immunization and Stochastic Process Risk", *Journal of Bank Research*, 13, 282-291.

[13]Bierwag, G.O., G. G. Kaufman, R. Schweitzer and A. Toevs, 1981, "The Art of Risk Management in Bond Portfolios", *Journal of Portfolio Management*, 7,3, 27-36.

[14]Black, F., E. Derman and W. Toy, 1990, "A One-Factor Model of Interest Rates and Its Application to Treasury Bond Options", *Financial Analysts Journal*, 33-39.

[15]Black,F., 1995, "Interest Rates as Options", *Journal of Finance*, 50, 1371-1376.

[16]Brennan, M.J. and E.S. Schwartz, 1982, "An Equilibrium Model of Bond Pricing and a Test of Market Efficiency", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 17, 301-329.

[17]Brennan, M.J. and E.S. Schwartz, 1983, "Duration, Bond Pricing, and Portfolio Management", In *Innovations in Bond Portfolio Management: Duration Analysis and Immunization*, eds. G. O. Bierwag, G.G. Kaufman and A. Toevs, Greenwich, CT:JAI Press.

[18]Brenner, R. J., R. H. Harjes, and K. B. Kroner, 1996, "Another Look at Models of Short-Term Interest Rate", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 31, 95-107.

[19]Brown, S.J., and P.H. Dybvig, 1986, "the Empirical Implications of the Cox, Ingersoll, Ross Theory of the Term Structure of Interest Rates", *Journal of Finance*, 41, 617-630.

[20]Buhler, A. and H. Zimmermann,1996, "A Statistical Analysis of The Term Structure of Interest Rates in Switzerland and Germany", *Journal of Fixed Income*, 6, 55-67.

[21]Campbell, J.Y., 1986a,"A Defense of Traditional Hypotheses about the Term Structure of Interest Rates", *Journal of Finance*, 41, 183-193.

[22]Campbell, J.Y., and R.J. Shiller, 1991, "Yield Spread and Interest Rate Movements", *The Review of Economic Studies*, 58, 495-514.

[23]Cargill, T.F., 1975, "The Term Structure of Interest Rates: A Test of the Expectations Hypothesis", *Journal of Finance*, 30, 761-771.

[24]Carleton, W. T., and I.A. Cooper, 1976, "Estimation and Uses of the Term Structure of Interest Rates", *Journal of Finance*, 31, 1067-1083.

[25]Chambers, D. and W. Carleton, 1988, "A Generalized Approach to Duration", in *Research in Finance*, vol.7, ed. A. Chen, Greenwich, CT:JAI Press.

[26]Chan, K. C., G. A.Karolyi, F.A.Longstaff, and A.B.Sanders, 1992, "An Empirical Comparison of Alternative Models of the Short-Term Interest Rate", *Journal of Finance*, 47,1209-1227.

[27]Chen, R. and L. Scott, 1993, "Maximum Likelihood Estimation for a Multifactor Equilibrium Model of the Term Structure of Interest Rates", *Journal of Fixed Income*, 3,14-31.

[28]Cochrane, John H., 2000, *Asset Pricing*, Princeton University Press.

[29]Constantinides, G.M., 1992, "A Theory of the Nominal Term Structure of Interest Rates", *Review of Financial Studies*, 5, 531-552.

[30]Cox, J. C., J. E. Ingersoll Jr., and S. A. Ross, 1985a, "An Intertemporal General

Equilibrium Model of Asset Prices”, *Econometrica*, 53, 363-384.

[31]Cox, J. C., J.E. Ingersoll Jr., and S.A. Ross, 1985b, ”A Theory of the Term Structure of Interest Rates”, *Econometrica*, 53, 385-407.

[32]Cox, J.C., J. E. Ingersoll, Jr., and S.A. Ross, 1981, “A Re-Examination of Traditional Hypothesis about the Term Structure of Interest Rates”, *Journal of Finance*, 36, 769-799.

[33]Culbertson, J.M., 1957, “The Term Structure of Interest Rate”, *Quarterly Journal of Economics*, 71, 485-517.

[34]D’ Ecclessia, R.L. and S.A. Zenios, 1994, “Risk Factor Analysis and Portfolio Immunization in the Italian Bond Market”, *Journal of Fixed Income*, 4, 51-58.

[35]Dai, Q. and K. Singleton, 2000, “Specification Analysis of Affine Term Structure Models”, *Journal of Finance*, 55, 1943-1978.

[36]Dai, Q. and K. Singleton, 2003, “Term Structure Dynamics in Theory and Reality”, *Review of Financial Studies*, 16, 631-678.

[37]Dai, Qiang, K. J. Singleton and Wei Yang, 2003, “Regime Shifts in a Dynamic Term Structure Model of US Treasury Bond Yields”, Working Paper of New York University.

[38]Durham, G. B., 2002, “Likelihood-Based Specification Analysis of Continuous-Time Models of the Short-Term Interest Rates”, University of Iowa working paper.

[39]Durham, G. B., and A. R. Gallant, 2002, Numerical Techniques for Maximum Likelihood Estimation of Continuous-Time Diffusion Process, University of Iowa working paper.

[40]Elton, E.J, M.J. Gruber and P.G. Nabar, 1988, “Bond Returns, Immunization and the Return Generating Process”, *Studies in Banking and Finance*, 5, 125-154.

[41]Elton, E.J, M.J. Gruber and R. Michaely, 1990, “The Structure of Spot Rates and Immunization”, *Journal of Finance*, 45,2, 629-642.

[42]Fernandez, V., 2001, “A Nonparametric Approach to Model the Term Structure of Interest Rate: the Case of Chile”, *International Review of Financial Analysis*, 10, 99-122.

[43]Fisher, L. and R. L. Weil, 1971, “Coping with the Risk of Interest Rate Fluctuations: Return to Bondholders from Naïve and Optimal Strategies”, *Journal of Business*, Oct. 408-431.

[44]Fisher, M., D. Nychka, and D. Zervos, 1995, “Fitting the Term Structure of Interest Rates with Smoothing Splines”, Working Paper of Federal Reserve Board.

[45]Froot, K.A., 1989, “ New Hope for the Expectations Hypothesis of the Term Structure of Interest Rates ” , *Journal of Finance*, 44, 283-305.

[46]Garbade, K., 1985,“Bond Convexity and its Implications for Immunization”, *Topics in Money and Securities Markets*, Bankers Trust.

[47]Gibson, R., F.-S. Lhabitant and D. Talay, 2001, “Modeling the Term Structure of Interest Rates: a Review of Literature”, Working Paper of University of Lausanne.

[48]Glodstein, R. S., 2000, ”The Term Structure of Interest Rates as a Random Field”, *Review of Financial Studies*, 13, 365-384.

- [49]Gultekin, N.B. and R.J. Rogalski, 1984, "Alternative Duration Specifications and the Measurement of Basis Risk: Empirical Tests", *Journal of Business*, 57, 241-264.
- [50]Heath, D., R. Jarrow, and A. Morton, 1992,"Bond Pricing and the Term Structure of Interest Rates: A New Methodology", *Econometrica*, 60, 77-105.
- [51]Ho, T.S.Y. and S.-B. Lee, 1986, "Term Structure Movements and Pricing of Interest Rate Claims", *Journal of Finance*, 41, 1011-1029.
- [52]Ho, T.S.Y., 1992, "Key Rate Durations: Measures of Interest Rate Risks", *Journal of Fixed Income*, 2, 29-44.
- [53]Hull, J. and A. White, 1990, "Pricing Interest Rate Derivative Securities", *Review of Financial Studies*, 3, 573-592.
- [54]Ingersoll, J.E. 1983, "Is Immunization Feasible: Evidence from the CRSP Data", In *Innovations in Bond Portfolio Management: Duration Analysis and Immunization*, eds. G. O. Bierwag, G.G. Kaufman and A. Toevs, Greenwich, CT:JAI Press.
- [55]Jabbour, G. M. and S. A. Mansi, 2002, "Yield Curve Smoothing Models of Term Structure", Working Paper of George Washington University.
- [56]Jeffrey, A., O. Linten and T. Nguyen, 2000, "Flexible Term Structure Estimation: Which Methods is Preferred", Working Paper of Yale University.
- [57]Johannes, M., 2003, "The Statistical and Economic Role of Jumps in Continuous Time Interest Rate Models", Working Paper of Columbia University.
- [58]Karoui, N.E., H. Geman, and V. Lacoste, 2000, "On the Role of State Variables in Interest Rate Models", *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 16, 197-217.
- [59]Klaffy, T.E., Y.Y. Ma and A. Nozari, 1992, "Managing Yield Curve Exposure: Introducing Reshaping Durations", *Journal of Fixed Income*,2,3, 39-45.
- [60]Lai, K.S., 1997,"Long-Term Persistence in the Real Interest Rate: Some Evidence of Fractional Unit Root", *International Journal of Finance and Economics*, 2, 225-235.
- [61]Lanne, Markkli and P. Saikkonen, 2003, "Modeling the US Short Term Interest Rate by Mixture Autoregressive Processes", *Journal of Financial Econometrics*, 1, 96-125.
- [62]Lee, Bong-Soo, 1989, "A Nonlinear Expectation Model of the Term Structure of Interest Rates with Time-Varying Risk Premium", *Journal of Money, Credit and Banking*, 21, 348-367.
- [63]Lin, B.H., and S.K. Yeh, 2001, "Estimation for Factor Models of the Term Structure of Interest Rates with Jumps: the Case of the Taiwanese Government Bond Market", *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 11, 167-197.
- [64]Lin, Hai and Zhenlong Zheng, 2003, "Dynamic Behavior of Interest Rates in China", *Chinese Business Review*, (2),1-12.
- [65]Lin, Hai, 2003, "Term Structure of Interest Rates", Working Paper (ppt. edition), Xiamen University, <http://efinance.nease.net>.
- [66]Litterman, R. and J. Scheinkman, 1991, "Common Factors Affecting Bond Returns", *Journal of Fixed Income*, 1,1, 54-61.

[67]Longstaff, F.A., and E.S. Schwartz, 1992, "Interest Rate Volatility and the Term Structure :A Two-Factor General Equilibrium Model", *Journal of Finance*, 47, 1259-1282.

[68]Maitland, J., 1999, "Interpolating the South African Yield Curve", Working Paper, University of Witwatersrand.

[69]Mankiw, N.G., and J.A. Miron, 1986, "The Changing Behavior of the Term Structure of Interest Rates", *Quarterly Journal of Economics*, 101, 211-228

[70]Martellini, L. and P. Priaulet, 2000, *Fixed Income Securities: Dynamic Methods for Interest Rate Risk Pricing and Hedging*, John Wiley & Sons.

[71]McCown, J.R., 2001, "Yield Curves and International Equity Returns", *Journal of Banking and Finance*, 25,767-788.

[72]McCulloch, J.H., 1971, "Measuring the Term Structure of Interest Rates", *Journal of Business*, 44, 19-31.

[73]Melino, A., 1986, "The Term Structure of Interest Rates: Evidence and Theory", Working Paper of NBER.

[74]Moreno, M., 1996, "A Two-Mean Reverting-Factor Model of the Term Structure of Interest Rates", *Economic Working Paper 193*, Universitat Pompeu Fabra.

[75]Nelson, J. and S.M. Schaefer, 1983, "The Dynamics of the Term Structure and Alternative Portfolio Immunization Strategies", In *Innovations in Bond Portfolio Management: Duration Analysis and Immunization*, eds. G. O. Bierwag, G.G. Kaufman and A. Toevs, Greenwich, CT:JAI Press.

[76]Pesando, J.E., 1979, "On the Random Walk Characteristics of Short and Long-Term Interest Rates in an Efficient Market", *Journal of Money, Credit and Banking*, 11, 457-466.

[77]Redington, F.M., 1952, "Review of the Principles of Life-Office Valuations", *Journal of the Institute of Actuaries*, 18, 286-340.

[78]Reitano, R.R. 1992, "Non-Parallel Yield Curve Shifts and Immunization", *Journal of Portfolio Management*, 18,3, 36-43.

[79]Reitano, R.R., 1996, "Non-Parallel Yield Curve Shifts and Stochastic Immunization", *Journal of Portfolio Management*, 22,2, 71-78.

[80]Rendkeman, R. and B. Barter, 1980, "The Pricing of Options on Debt Securities", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 15, 11-24.

[81]Sanders, A.B., and H. Unal, 1988, "On the Intertemporal Behavior of the Short-Term Rate of Interest", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 23, 417-423.

[82]Schere, K. and M. Avellaneda, 2000, "A Principal Component Analysis of Latin American Brady Bond Debt from 1994-2000", Working Paper, New York University.

[83]Schlogl, Erik and D. Sommer, 1997, "Factor Models and the Term Structure of Interest Rates", Discussion Paper of University of Bonn.

[84]Shea, G. S., 1984, "Pitfalls in Smoothing Interest Rate Term Structure Data: Equilibrium Models and Spline Approximation", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 19, 253-269.

[85]Sherris, M., 1994, "Interest Rate Risk Factor in the Australian Bond Market", Working Paper, Macquarie University.

[86]Shiller, R. J. and J.H. McCulloch, 1990, "The Term Structure of Interest Rates", *Handbook of Monetary Economics* edited by B.M. Friedman and F.H. Hann, Elsevier Science Publishers.

[87]Vasicek, O., 1977, "An Equilibrium Characterization of the Term Structure", *Journal of Financial Economics*, 5, 177-188.

[88]Wang, Yangru, and Hua Zhang, 1997, "Do Interest Rate Follow Unit Root Processes? Evidence From Cross-Maturity Treasury Bill Yields", *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 8, 69-81.

[89]Yan, Hong, 2001, "Dynamic Models of Term Structure", *Financial Analysts Journal*, July/Aug., 60-76.

[90]陈典发. 利率期限结构的一致性[J]. *系统工程*, 2002,(1) : 17 - 19.

[91]李仲飞, 汪寿阳, 邓小铁. 摩擦市场的利率期限结构的无套利分析[J]. *系统科学与数学*, 2002, (22) : 285 - 295.

[92]林海, 郑振龙. 中国市场利率流动性溢酬实证分析[R], 厦门大学, 2004.

[93]林海. 基于债券组合套期保值的主成分分析[R], 厦门大学, 2004.

[94]宋淮松. 我国零息国债收益率曲线初探[N]. *中国证券报*, 1997-2-18.

[95]唐齐鸣,高翔. 我国同业拆借市场利率期限结构的实证研究[J]. *统计研究*, 2002, (5) , 33 - 36.

[96]谢赤, 吴雄伟. 基于 Vasicek 模型和 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, (3), 22-25.

[97]杨大楷, 杨勇. 关于我国国债收益率曲线的研究[J]. *财经研究*, 1997, (7),14-19.

[98]姚长辉, 梁跃军. 我国国债收益率曲线的实证研究[J]. *金融研究*, 1998, (8), 12-18.

[99]郑振龙, 林海. 中国违约风险溢酬研究[J]. *证券市场导报*, 2003a, (6), 41-45.

[100]郑振龙, 林海. 中国市场利率期限结构的静态估计[J]. *武汉金融*, 2003b,(3), 33-37.

[101]朱峰. 零息国债收益率曲线变化特征的因素分析[C]. 第二届中国青年经济学者论坛, 武汉, 2002.

[102]庄东辰. 利率期限结构的实证研究[N]. *中国证券报*, 1996-6-19.