

中国市场利率期限结构的静态估计

郑振龙 林海

(厦门大学金融系,福建厦门 361005)

摘要:利率期限结构是资产定价、金融产品定价、保值和风险管理、套利以及投资等的基础。因此,对利率期限结构的估计是金融工程领域一个十分基础的工作。本文则是在这方面进行的一个尝试性研究工作。对利率期限结构的估计可以有许多方法,其中包括息票剥离法(bootstrap method)和样条估计法(spline approximation)。本文则同时利用这两种方法对中国 2001 - 2002 的利率期限结构进行一个静态的估计,比较两种估计方法的静态估计结果并在此基础上分析中国利率期限结构的变化特征。

关键词:利率期限结构;息票剥离法;样条估计法

中图分类号:F832.31 **文献标识码:**A **文章编号:**1009 - 3540(2003)03 - 0033 - 0004

利

率期限结构是资产定价、金融产品定价、保值和风险管理、套利以及投资等的基础。因此,对利率期限结构的估计是金融工程领域一个十分基本的问题。

中国目前公布的利率水平属于政府的官定利率,和市场利率存在着差异。市场利率反映了市场的交易者对市场资金供求状况的真实感受以及资金的真实价格,这种资金的价格可以从市场上交易的债券,特别是无违约风险(default free)的国债的价格中反映出来。因此,我们就可以根据市场上交易的国债价格来估计和分析整个市场利率的期限结构及其动态变化。

利率期限结构(term structure of interest rate),从字面上解释,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。由于一定期限的零息票债券(zero-coupon bond)的到期收益率等于这个期限的市场利率,所以利率期限结构也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(yield curve)。因此,利率期限结构和零息票债券到期收益率是同一个概念,而与息票债券的到期收益率之间是不同的。所谓静态分析,就是指对某个时点的整个利率期限结构的分析和估计。

一、两种静态估计方法:息票剥离法和样条估计法

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。具体的可以有两种选择:一种是线性条件下的息票剥离法,另一种则是非线性条件下的样条估计法。

(一) 息票剥离法

息票剥离法将息票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_0 。假设市场上有两个债券,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 $T_2, T_2 > T_1$,在 T_1 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:

$$r_1 = \frac{\ln(M_1) - \ln(P_1)}{T_1}, M_1 \text{ 是短期债券到期时获得}$$

的本息和。由于方程右边都是已知量,我们就可以求出期限为 T_1 的利率水平。对长期债券的处理,则分为两种情况:

作者简介:郑振龙(1966-),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,现任厦门大学金融系教授、博士生导师、厦门大学证券研究中心常务副主任。在国内外公开发行的学术刊物上发表了近百篇学术论文,出版了 21 部(含合作)著、编、译著作;

林海(1977-),男,汉族,厦门大学金融系 2001 级博士研究生。在国内公开刊物发表近 20 篇学术论文。

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:

$$r_2 = \frac{T_1 - T_0}{T_1 - T_0} r_0 + \frac{T_2 - T_0}{T_1 - T_0} r_1, \text{而且由于}$$

$$P_2 = Ce^{-r_2 T_2} + M_2 e^{-r_2 T_3}, \text{所以}$$

$$r_2 = (\ln M_2 - \ln(P_2 - Ce^{-r_2 T_3})) / T_3.$$

2、当 $T_2 > T_1$ 时,我们就可以假设 T_3 期的利率水平为 r_3 ,则 T_2 期的利率水平为:

$$r_2 = \frac{T_3 - T_1}{T_3 - T_1} r_0 + \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_1} r_3, \text{而且}$$

$$P_2 = Ce^{-r_2 T_2} + M_2 e^{-r_2 T_3}, \text{通过单变量求解就可以计算出 } r_2.$$

因此,利用 r_0, r_3 ,我们就可以对 $T_0 - T_3$ 之间的利率进行线性插值估计。

这个方法可以扩展到 n 个债券, m 个付息日的市场。而且,由于短期利率的假定对估计结果没有影响,因此,估计结果就不会受到假设条件的限制。

(二) 样条估计法

样条估计法主要通过一个贴现函数将不同时期的息票和本金贴现到现在,通过这些贴现总值和目前债券价格的拟合对贴现函数进行估计,从而估计出不同期限的利率水平。

样条函数具体形式为:

$$f_i(m) = \begin{cases} m - \frac{1}{2d} m^2, & 0 < m < d_j \\ \frac{1}{2} d_j, & d_j < m < m_j \end{cases},$$

$$f_j(m) = \begin{cases} 0, & 0 < m < d_{j-1} \\ \frac{(m - d_{j-1})^2}{2(d_j - d_{j-1})}, & d_{j-1} < m < d_j \\ 1/2(d_j - d_{j-1}) + (m - d_j) \cdot \frac{(m - d_j)^2}{2(d_{j+1} - d_j)}, & d_j < m < d_{j+1} \end{cases}, \quad j=2 \dots k-1$$

$$f_k(m) = \begin{cases} 1/2(d_{k+1} - d_k), & d_{k+1} < m < m_k \\ 0, & 0 < m < d_{k-1} \\ \frac{(m - d_{k-1})^2}{2(m_k - d_{k-1})}, & d_{k-1} < m < m_k \end{cases}.$$

$d_j = m_j + (m_{j+1} - m_j)$, m_j 是小于 $[j - 1]n / k - 1$ 的最大整数, $= (j - 1)n / (k - 1) - m_0$ 。这样就可以保证在不同的时间区域内有相同的债券数量。

对于 k 的值,我们分别选取 3 和 4,并比较他们的估计结果。

(三) 两种估计方法的比较

通过上面对两种估计方法的描述和分析,我们可以对两种方法进行比较:

1、息票剥离法是在假定两个最近期间之间的利率服从线性变化关系的条件下进行估计的,而样条估计法是在假定整个样本区间服从某种非线性关系的条件下进行估计的。

2、息票剥离法是单个利率水平从短期到长期的

不断单变量求解,最后将这些利率水平连接起来,就构成利率期限结构;而样条估计法则是将整条利率期限结构的同时估计,使用的是一种线性拟合的办法。

3、息票剥离法由于是不断地进行单变量求解,因此它的计算误差相对比较小。但是由于假定线性关系,也就是某个时期的利率水平只跟最近两个时期的利率水平线性相关,因此对利率随期限变动的描述上就显得简单;样条估计法则是进行曲线的线性拟合,因此误差比起单变量求解来说,会相对比较大;但是它是一种非线性拟合,可以考虑更为复杂的利率期限结构的形状。因此两种估计方法各有它的优点和缺点。

4、息票剥离法是不停地求解,计算相对比较麻烦;而样条估计法则是估计出贴现函数,对利率的计算和估计则要简单得多。

5、由于样条估计方法在样条函数以及分割区间上存在着比较大的选择空间,因此最后的估计结果也会有差异。息票剥离法的利率期限结构估计则是为样条估计法中分割区间的选择提供了一个标准,因为息票剥离法的误差很小,因此样条估计如果能够得出和息票剥离相近的结果,则可以避免误差过大的缺陷,又可以发挥它非线性以及计算简单的优势。

二、我国利率期限结构的静态估计:2002 - 9 - 13

本文选取 2002 年 9 月 13 日上海证券交易所的国债交易价格对我国的利率期限结构进行静态的估计分析。由于 2002 年 3 月 25 日以后,国债交易价格是以扣除掉累计利息的净价法表示,因此首先要加上这些债券的累计利息,得出真实的息票债券价格。分析的方法采用息票剥离法和样条估计法。2002 年 9 月 13 日上海证券交易所的国债交易情况如表 1 所示。

表 1 中国上海证券交易所国债交易情况
2002 - 09 - 13

债券代码	到期日	到期时间	债券本金	年息票率	债券市价	付息次数
000896	2003 - 11 - 01	1. 13	100	8. 56 %	114. 834	1
000696	2006 - 06 - 14	3. 75	100	11. 83 %	136. 741	1
009905	2007 - 08 - 20	4. 94	100	3. 28 %	103. 694	1
009704	2007 - 09 - 05	4. 98	100	9. 78 %	133. 841	1
010103	2008 - 04 - 24	5. 61	100	3. 27 %	105. 211	1
010115	2008 - 12 - 18	6. 26	100	3. 00 %	104. 898	1
010210	2009 - 08 - 16	6. 93	100	2. 39 %	100. 389	1
009908	2009 - 09 - 23	7. 03	100	3. 30 %	107. 798	1
010110	2011 - 09 - 25	9. 03	100	2. 95 %	105. 211	1
010112	2011 - 10 - 30	9. 13	100	3. 05 %	105. 985	1
010203	2012 - 04 - 18	9. 60	100	2. 54 %	102. 606	1
010107	2021 - 07 - 31	18. 88	100	4. 26 %	114. 155	2

* : 1 表示每年付一次利息;2 表示每年付两次利息。

(一) 息票剥离法的估计结果

假定 0.03 年的利率水平为一个预先设定的数, 不同的假定条件下的利率估计水平见表 2。

表 2 息票估计法的估计利率期限结构

2002 - 09 - 13

期限	利率水平	利率水平	利率水平	利率水平	利率水平	利率水平
0.03	1.65%	1.80%	1.95%	2.00%	2.50%	3.00%
1.13	1.86%	1.86%	1.86%	1.86%	1.85%	1.85%
3.75	2.32%	2.32%	2.32%	2.32%	2.32%	2.31%
4.94	2.52%	2.52%	2.52%	2.52%	2.52%	2.52%
4.98	2.53%	2.53%	2.53%	2.53%	2.53%	2.53%
5.61	2.49%	2.49%	2.49%	2.49%	2.49%	2.49%
6.26	2.51%	2.51%	2.51%	2.51%	2.51%	2.51%
6.93	2.33%	2.33%	2.33%	2.33%	2.33%	2.33%
7.03	2.56%	2.56%	2.56%	2.56%	2.56%	2.56%
9.03	2.64%	2.64%	2.64%	2.64%	2.64%	2.64%
9.13	2.62%	2.62%	2.62%	2.62%	2.62%	2.62%
9.60	2.31%	2.31%	2.31%	2.31%	2.31%	2.31%
18.88	3.50%	3.50%	3.50%	3.50%	3.50%	3.50%

从表中可以明显地看出, 对最短期利率的假定值进行修改基本不会对利率期限结构产生影响。这就证明了该方法是稳健的。

(二) 样条估计法的估计结果

对于 k 的值, 分别选取 k = 3 和 k = 4, 并比较它们的估计结果。见表 3 和表 4。

表 3 样条估计法的估计参数 2002 - 09 - 13

	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	R ²
k = 3	-0.0327***	-0.0079***	-0.0500***		92.02%
k = 4	-0.0177***	-0.02973***	-0.00704***	-0.0494***	99.86%

注: *** 表示显著性水平为 1%。

表 4 样条估计法的估计利率期限结构

2002 - 09 - 13

期限	1.13	3.75	4.94	4.98	5.61	6.26	6.93	7.03	9.03	9.13	9.60	18.88
k = 3	3.09%	2.65%	2.43%	2.42%	2.29%	2.16%	2.82%	2.78%	2.36%	2.34%	2.30%	3.59%
k = 4	1.91%	2.31%	2.51%	2.51%	2.57%	2.53%	2.42%	2.40%	2.55%	2.53%	2.47%	3.57%

因此, k = 3 和 k = 4 都可以得出显著性的拟合结果, k = 4 的拟合结果好于 k = 3。但是二者在利率水平的估计上存在着较大的差异。k = 3 时, 利率期限结构是一个近似于驼背的结构。k = 4 时, 利率期限结构则有着向上的斜率。

(三) 两种估计结果的比较

将两种不同估计方法估计出来的结果进行比较, 比较的结果见图 1 和图 2。

图 1 两种不同估计方法估计的利率期限结构的比较

2002 - 09 - 13

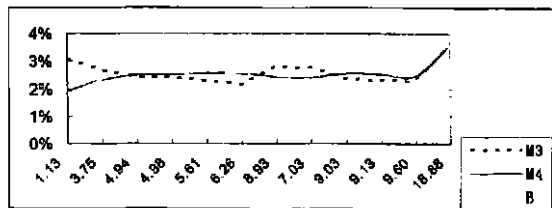
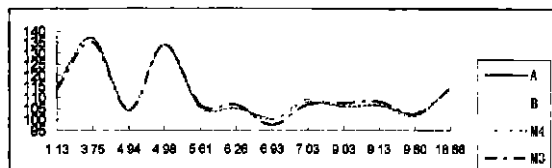


图 2 两种不同方法估计的债券价格结果比较

2002 - 09 - 13



注: B 表示息票剥离法估计;

M4 表示 k = 4 时的样条估计;

M3 表示 k = 3 时的样条估计;

A 表示实际值。

从图中可以明显看出, 息票剥离法和 k = 4 时的样条估计结果十分接近, 无论是估计利率期限结构, 还是估计债券价格, 都十分接近。而 k = 3 时的样条估计结果则相对比较差。因此, 采用 k = 4 时的样条估计法, 可以取得和实际数据十分接近的利率期限结构。也就是说, 样本分成三个区间是一个合理选择。

从上面的利率期限结构估计形状分析, 我国的利率期限机构基本上是一条稍微向上的曲线, 其中短期利率比较低, 在 2% 左右, 长期利率比较高, 在 3.5% 左右。在中间期限还存在着一些波动。

三、我国利率期限结构的动态变化特征分析:

2001 - 2002

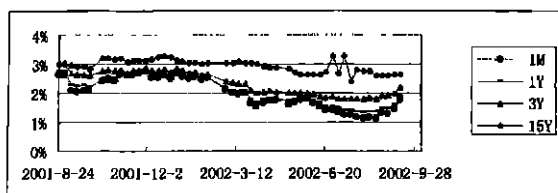
由于 k = 4 时的样条估计可以获得同息票剥离

法相近的结果, 而且计算十分简单, 而且可以避免在估计短期利率时受到假定条件的限制。因此, 本文接着选取 k = 4 时的样

条估计方法对中国利率的变动进行分析。

分析采用的数据是上海证券交易所的国债交易周末结算数据。由于 2001 年之前, 没有长期债券, 即债券期限超过 10 年的债券, 而且债券的交易品种很少, 因此为了避免估计产生的误差, 本文只对 2001 年 8 月 24 日 - 2002 年 9 月 13 日的利率变动进行分析。分析的利率采用月利率、一年期利率以及三年期利率。图 3 列出了 2001 年 8 月 24 日 - 2002 年 9 月 13 日的利率变化情况。

图3 中国不同期限的利率变动 2001 - 2002



从图中我们可以发现中国利率变动的一些趋势：

1、2001年的利率水平整体高于2002年。2001年下半年，短期利率水平维持在2%之上，2002年，短期利率在1.5%左右。

2、长期利率高于短期利率，图中15年期利率在3年期利率之上，3年期利率在1年期利率水平之上。

3、长期利率和短期利率存在着同涨同跌现象。图中3年期利率、1年期利率以及月利率的变动方向几乎一致。15年期长期利率则稳定在3%的水平上。

4、利率的变动呈现出明显的均值回归现象。月利率水平在2%左右上下波动，因此2%可能是我国短期利率水平的均值。

5、2002年8月份以后，利率开始逐渐攀升。

五、结论及今后研究方向

从上面对利率期限结构的静态估计以及动态变化特征的考察中，我们可以得出一些有关中国利率期限结构方面的结论：

(一) 样条估计和息票剥离法各有自身的特点以及缺陷，将二者结合起来互相比较使用，就可以比较科学合理地对比利率期限结构进行静态估计。在上面分析中，我们可以通过两种不同方法的比较将 $k=3$ 时的样条估计法排除，利用 $k=4$ 时的样条估计来计算其他期限的利率水平。

(二) 总体来说，中国的利率期限结构是一条稍微向上的曲线。短期利率比较低，长期利率相对较高，在中间存在一些波动。

(三) 不同期限的利率水平存在着同涨同跌的现象。

(四) 动态来看，我国的利率水平从2001年到2002年呈下降趋势。在这中间明显地表现出了利率波动的均值回归特征，为利率的动态模型研究提供了坚实的基础。

(五) 2%可能是一段时间内中国短期利率水平的稳定均值。

本文的分析是对利率期限结构一种静态的估计和考察，没有进行动态模型的研究和实证分析，这是今后的研究方向。通过对利率变动的动态模型研究，就可以分析我国利率的变动是否存在信息传递效

应，以及利率的风险价格是否发生符号上的变化等，从而为我国的利率市场化提供有力的经验支持。最后的研究目的则是利用研究结果对中国的固定收益证券，目前主要是可转债进行定价分析。

注释

本文在写作过程中得到鹏华基金蒋峰博士提供的数据支持，以及参与厦门大学金融系“金融市场计量经济学”博士生课程的同学所提供的许多富有建设性的意见，在此表示感谢。当然，文责自负。

息票债券到期收益率等于利率水平的条件是息票债券所获得的利息重新以该息票债券的到期收益率水平进行投资。在正常情况下，这个条件无法满足。因此，就一般情况而言，息票债券的到期收益率不等于利率水平。参见 Campbell et. (1997)。

也就是期限小于 $\min(T_i, T)$ 的短期利率。在后面的实证中将证明，这个假设对利率期限结构的估计基本没有影响。

$$\text{如果是贴现债券, 则 } M_t = 1, Y_t = -\frac{\ln P_t}{T_t}.$$

【参考文献】

[1] Campbell, J. Y., A. W. Lo, and A. C. Mac Kinlay, 1997, *The Econometrics of Financial Markets*, Princeton University Press.

[2] 长城证券·国债收益率的比较研究[J/OL]. 中国债券信息网, www.chinabond.com.cn, 2002.

[3] 陈雯, 陈浪南·国债利率期限结构: 建模和实证[J]. 世界经济, 2000, (8).

[4] 林海·利率期限结构研究述评[R]. 研究报告, 2002.

[5] 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.

[6] 严天华, 李晓昌·我国债券市场长期收益率趋向水平的思考[J/OL]. 中国债券信息网, www.chinabond.com.cn, 2002.

[7] 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).

[8] 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).

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

Abstract: The term structure of interest rate is the foundation of Asset pricing, financial products design, hedging and risk management, arbitraging and Investment. For this reason, the estimation of term structure of interest rate is a fundamental research work in the field of financial engineering. This paper is a trial on this subject. There exist many methods to estimate to term structure, which include the bootstrap method and spline approximation. This paper uses both methods to make a static approximation of term structure of interest rate in China from 2001 to 2002, compares the static estimation results of two approximation methods, and then analyzes the dynamic change of term structure of interest rate in China.

Key words: term structure; bootstrap; spline approximation