

三状态马尔柯夫机制转换模型研究

——在世界油价波动分析中的应用

魏巍贤¹, 陈智文¹, 王建军²

(1. 厦门大学 经济学院金融系,福建 厦门 361005;
2. 厦门大学 经济学院计划统计系,福建 厦门 361005)

摘要:时间序列的显著变化可视为时间序列的内在生成机制从一种机制向另外一种机制的转换。如果机制转换的时间点已知,则可以用著名的邹氏检验来确定已知的时间点是否发生结构变化。但在很多时候,人们并不知道转折点在哪里,在哪一点模型的参数就已经发生了变化,因此有时就需要去推断转折点和参数的变化。马尔柯夫机制转换模型将这种机制的转换作为一个内生变量,认为机制转换是随机的,从而实现用一个统一的模型对显著的结构变化进行刻画,有利于对未来进行推断。文章利用三状态马尔柯夫机制转换模型对1987年5月至2006年1月世界原油现货价格的变动进行刻画,研究结果表明:油价的变动可以分为大幅上涨、小幅上涨和大幅下跌三个状态,各状态之间存在不同的转换概率,且每一种状态的平均持续期为3个月、9.6个月和1.5个月。最后,通过模型比较显示,用马尔柯夫机制转换模型刻画油价变化要优于线性自回归模型。

关键词:马尔柯夫机制转换模型;转换概率;持续期;油价

中图分类号:F224.0;F113.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-9952(2006)06-0120-12

一、引言

如果观察宏观经济或金融时间序列足够长的时间,则可以看到很多变量有许多戏剧性的变化。这种明显的变化可能源于战争、金融恐慌、或政府政策的显著变化。如果变量的历史数据已经给出,我们可以根据显著变化的次数将时间序列划分为不同阶段,然后分别建模,这样可以得到拟合度很高的模型。但是展望未来,变量的显著变化没有理由不再发生,机制的变化肯定不能视作完全可预见的、确定性事件,此时,用历史数据分别拟合的模型来进行预测就不恰当了。马尔柯夫机制转换模型能将这种机制的转换作为一个内生变量,认为机制转换是随机的,而且在模型的估计时用一个统一的模型来拟合,

收稿日期:2006-03-13

作者简介:魏巍贤(1966—),男,江苏徐州人,厦门大学经济学院金融系教授,博士生导师;

陈智文(1976—),男,福建龙岩人,厦门大学经济学院金融系博士生;

王建军(1977—),男,湖北武汉人,厦门大学经济学院计划统计系博士生。

不仅可更加符合实际情况,而且有利于利用模型对未来进行预测。在马尔柯夫机制转换模型中,一种状态可以对应时间序列变化的一个均值和方差,根据模型设定状态的多少,可以认为时间序列遵循几个均值和方差变化,如根据分析认为时间序列围绕两个均值和方差变动,就可以设定两状态马尔柯夫机制转换模型拟合;认为时间序列围绕三个均值和方差变动,就可以设定三状态马尔柯夫机制转换模型拟合。另外,马尔柯夫机制转换原理认为机制的转换是有一定的依赖性,如果 t 时刻的机制只取决于 $t-1$ 时刻的机制,那么模型的变化是一阶的;如果 t 时刻的机制不仅取决于 $t-1$ 时刻的机制,还取决于 $t-2$ 时刻的机制,那么模型的变化是二阶的。在对模型回归之前要先确定用几个状态和几阶,然后进行回归,最后模型在预测时给出的是未来时刻时间序列所处的各个状态的概率,据此可推定变量所处的具体状态。

二、文献综述及问题的提出

时间序列的显著变化可被视为时间序列的内在生成机制从一种机制向另外一种机制的转换。如果机制转换的时间点已知,我们知道可以用著名的邹氏检验来确定已知的时间点是否发生结构变化。但在很多时候,我们并不知道转折点在哪里,在哪一点模型的参数就已经发生了变化,因此有时就需要去推断转折点和参数的变化。而且在时间序列变化的过程中,这种结构的变化可能是一种频繁的现象,而不是偶然性的一次影响。马尔柯夫机制转换模型能够将这种结构性变化视为一种机制向另一种机制的转换,在模型的估计过程中能够将结构变化内生化,使之成为待估参数,因此该模型在识别数据变化过程中有其独特的一面。在国际上用马尔柯夫机制转换模型进行研究的文章很多,例如 Hamilton(1989)用二状态四阶滞后的马尔柯夫机制转换模型研究了经济波动,很好地刻画了经济波动中的非线性动态或非对称特性;Rence Garcia 和 Pierre Perron(1996)用三状态两阶滞后模型研究了美国 1961~1986 年的真实利率,结果表明事后真实利率的均值和方差有一定的随机性;Kim, Nelson 和 Startz(1997)用异方差的三状态马尔柯夫模型研究了 1926 年 1 月到 1986 年美国股市的月收益,结果显示该模型非常好地刻画了股市月收益的数据生成过程。国内用马尔柯夫机制转换模型进行研究的文献就比较少。谢赤和刘潭秋(2003)用两状态四阶滞后模型研究了人民币实际汇率的马尔柯夫转换行为,区分出人民币实际汇率变化过程中的几个状态;赵留彦等(2005)用两状态四阶滞后模型考察了中国自 1985 年以来的通涨水平及其不确定性,指出马尔柯夫机制转换模型在该领域优于线性自回归模型和 ARCH 模型。三状态马尔柯夫机制模型是把时间序列的变化分为三种状态,相对两状态模型它更细致地描述了时间序列的变化,例如在现实中我们认为价格的变化不仅有上涨和下跌,还有不变,如果用两状态就只能刻画上涨和下跌,而

用三状态则能反映它所有的变化。利用三状态马尔柯夫机制转换对实际经济进行分析在国内文献中还没有发现,本文将首次将此模型应用于世界油价的分析。

石油被誉为“工业的血液”,在世界经济发展过程中起着至关重要的作用。从20世纪80年代到20世纪末油价基本维持在10~20美元/桶左右,然而从1999年2月出现油价新低开始至今油价却一路上扬,期间虽然有所波动,但整体趋势是强劲上涨,及至2006年1月欧洲布伦特原油现货价格已经飞涨到62.98美元/每桶,如图1。高企的油价对各国经济都产生了不同的影响。它的变化不仅直接影响用油相关产业和消费者需求,而且会通过抬高通胀率而增加央行升息压力,从而使国内投资减少,最终降低经济增长水平。据估计,石油价格每桶上涨10美元,全球的通胀率会上升0.5%,同时经济增长率降低0.25%。为使油价能更好地反映市场供求关系,从1998年起,我国实行了与国际接轨的定价办法,也就是根据纽约、新加坡、鹿特丹三地成品油价格加权平均为依据,并权衡市场情况具体制定国内成品油的批发价(即炼油厂出厂价)和零售价,由国家发改委公布实行。2001年后为使油价机制更加灵活,避免油价波动过于频繁,改为国家发改委根据国际市场情况,结合国内各方面因素,“适时”调整油价。随着我国油价与国际不断接轨,世界油价的变化将对我国的经济产生直接的影响。魏涛远(2002)运用中国的一个一般均衡模型(CNAGE)计算出世界油价每上涨10%,我国的GDP将下降0.1%。油价的影响如此巨大,那么是否能用一个比较好的模型来刻画其变动呢?事实上对价格的模型描述一直在改进,特别是如石油这种战略性物资或商品,除了受自身供求关系的影响,它还受国际投机资金的冲击。另外,国际政治局势或突发事件也可能造成石油价格的波动,如第一次海湾战争和第二次海湾战争。油价的时间序列呈现出一些结构性变化的非线性动态特征。本文利用三状态两阶滞后的马尔柯夫机制转换模型研究了1987年5月~2006年1月欧洲布伦特原油现货价格月收益率变化,结果显示:该模型很好地刻画了世界原油价格变化的非线性动态,能够十分清晰地反映一些特殊事件的影响,根据得到的转换概率可以推断出油价的变动及持续期;通过检验,我们认为该模型优于AR(2)模型。

三、模型及数据

(一)模型设定。现实的油价变化总体上可分为上涨、不变和下跌,那么根据上面的论述应该使用三状态马尔柯夫机制转换模型。为了简化模型估计,我们使用三状态二阶自回归模型来描述油价收益率的这种非线性动态特征。

$$y_t - \mu(s_t) = \phi_1[y_{t-1} - \mu(s_{t-1})] + \phi_2[y_{t-2} - \mu(s_{t-2})] + \sigma(s_t)\xi_t \quad (1)$$

其中: y_t 为油价月收益率,为计算方便将 y_t 设定为: $y_t = 100 \times (\ln p_t - \ln p_{t-1})$

$p_{i,t-1}$ ），其中 p_i 代表月度世界石油价格； y_t 的均值 μ 和标准差 σ 都依赖于时间 t 时的机制（regime），它由 s_t 表示，是个离散变量； $\{\xi_t\}$ 是个独立同分布标准正态分布的随机变量序列。

要使模型能被估算出来，必须对变量 s_t 的随机过程进行界定。Hamilton(1990)建议使用一个无法观测的离散时间、离散状态的马尔柯夫过程来模拟 s_t 。对于一个三状态一阶马尔柯夫过程来说， s_t 可以取 1, 2, 3，可将转换概率矩阵写成：

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中： $p_{ij} = \Pr[s_t = j | s_{t-1} = i]$ ，所有的 i 有 $\sum_{j=1}^3 p_{ij} = 1$ 。

状态依赖的均值和方差可以用状态的线性函数来表示：

$$\begin{aligned} \mu(s_t) &= \alpha_1 + \alpha_2 s_{2t} + \alpha_3 s_{3t} \\ \sigma(s_t) &= \omega_1 + \omega_2 s_{2t} + \omega_3 s_{3t} \end{aligned} \quad (3)$$

当 $s_t = i$ 时， $s_{it} = 1$ ； $s_t \neq i$ 时， $s_{it} = 0$ 。于是方程(1)可以写成：

$$\begin{aligned} y_t &= \alpha_1 + \alpha_2 s_{2t} + \alpha_3 s_{3t} + z_t \\ z_t &= \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + (\omega_1 + \omega_2 s_{2t} + \omega_3 s_{3t}) \xi_t \end{aligned} \quad (4)$$

如果从 0 到 T，序列 $\{s_t\}$ 的每个元素都已知，那就可以写出序列 $\{y_t\}$ 的联合条件对数似然函数：

$$\log f(y_T, \dots, y_2 | s_T, s_{T-1}, \dots) = -T \ln 2\pi/2 - \sum_{t=2}^T [\ln \sigma(s_t) + v_t^2 / 2\sigma(s_t)^2] \quad (5)$$

$$v_t = z_t - \phi_1 z_{t-1} - \phi_2 z_{t-2} = \sigma(s_t) \xi_t \quad (6)$$

$\sigma(s_t)$ 由方程(3)给出。由于我们无法观测到 s_t ，能看到的是从 0 到 T 的 y_t 的值，因此，必须从 y_t 的历史值来推断目前的状态。这种非线性滤波的方法由 Hamilton 提出。在递推过程中可以得到 y_t 的似然函数为：

$$f(y_T, \dots, y_2) = \prod_{t=2}^T f(y_t | y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_0) \quad (7)$$

Hamilton(1989)在给定一些特定的状态的前提下，提出估计参数 α, ω, ϕ 和 p_{ij} 的算法。就三状态的例子，为得到最初两个观测值的概率，我们使用限

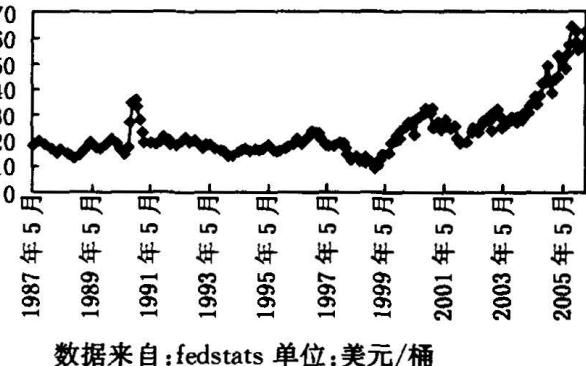


图 1 1987~2006 欧洲布伦特原油现货价格变化

制的无条件概率来开始此算法的运算。这个无条件概率如下：

$$\pi_i = A_{ii} / \sum_{j=0}^2 A_{jj}, i=0,1,2 \quad (8)$$

其中： A_{ii} 是矩阵 $A=I-P$ 中第 i 行第 i 列的元素， I 是 3×3 单位阵， P 由公式(2)给出。在运算过程中还可得到联合条件概率 $p(s_t, s_{t-1}, s_{t-2} | y_t, y_{t-1}, \dots, y_0)$ ，它是在时刻 $t, t-1, t-2$ 时在状态 $i, j, k (i, j, k=1, 2, 3)$ 的概率。将这些联合概率加总起来可以得到滤波概率，它是根据时刻 t 所能得到的所有信息计算出来的某一状态的概率，可以由下面的公式得到：

$$p(s_t = j | y_t, y_{t-1}, \dots, y_0) = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 p(s_t = j, s_{t-1} = i, s_{t-2} = k | y_t, y_{t-1}, \dots, y_0) \quad (9)$$

$$j = 1, 2, 3$$

滤波概率提供了这样一个信息，即在样本的每一点，序列最可能处于什么机制，它对确定机制转换的时刻非常有帮助。本文使用平滑概率(smoothed probabilities)，即使用所有的样本信息得到的概率，相当于在已知的所有样本信息条件下对每一时点所处的机制进行推断，这样能更清晰地反映油价波动状况。根据 Kim(1994)的平滑算法，我们有：

$$\begin{aligned} \Pr[S_t = j, S_{t+1} = k | \psi_T] &= \Pr[S_{t+1} = k | \psi_T] \Pr[S_t = j | S_{t+1} = k, \psi_T] \\ &= \Pr[S_{t+1} = k | \psi_T] \Pr[S_t = j | S_{t+1} = k, \psi_t] \\ &= \frac{\Pr[S_{t+1} = k | \psi_T] \Pr[S_t = j | S_{t+1} = k, \psi_t]}{\Pr[S_{t+1} = k | \psi_T]} \\ &= \frac{\Pr[S_{t+1} = k | \psi_T] \Pr[S_t = j | \psi_t] \Pr[S_{t+1} = k | S_t = j]}{\Pr[S_{t+1} = k | \psi_T]} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\text{且 } \Pr[S_t = j | \psi_T] = \sum_{k=1}^M \Pr[S_t = j, S_{t+1} = k | \psi_t] \quad (11)$$

根据滤波概率，可以得到 $\Pr[S_T | \psi_T]$ ，将该数值代入上面的两个算式，就可以得到各期的平滑概率 $\Pr[S_t | \psi_T]$ ， $t=T-1, T-2, \dots, 1$ 。

最后，我们可以根据得到的转换概率计算某一种机制持续的平均时间。假设 D 为机制 j 的持续时间，于是：

$$\begin{aligned} D=1, \text{如果 } s_t=j \text{ 且 } s_{t+1} \neq j; \Pr[D=1] &= (1-p_{jj}); \\ D=2, \text{如果 } s_t=s_{t+1}=j \text{ 且 } s_{t+2} \neq j; \Pr[D=2] &= p_{jj}(1-p_{jj}); \\ D=3, \text{如果 } s_t=s_{t+1}=s_{t+2}=j \text{ 且 } s_{t+3} \neq j; \Pr[D=3] &= p_{jj}^2(1-p_{jj}); \\ \dots \end{aligned}$$

这样，机制(状态) j 持续的平均时间为：

$$\begin{aligned} E(D) &= \sum_{j=1}^{\infty} j \Pr[D=j] = 1 \times \Pr[s_{t+1} \neq j | s_t = j] \\ &\quad + 2 \times \Pr[s_{t+1} = j, s_{t+2} \neq j | s_t = j] + 3 \times \Pr[s_{t+1} = j, s_{t+2} = j, \dots] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s_{t+3} \neq j \mid s_t = j] &= \cdots \\
 &= 1 \times (1 - p_{jj}) + 2 \times p_{jj}(1 - p_{jj}) + 3 \times p_{jj}^2(1 - p_{jj}) + \cdots \\
 &= 1/(1 - p_{jj})
 \end{aligned} \tag{12}$$

(二)数据。本文选取 1987 年 5 月~2006 年 1 月欧洲北海布伦特原油现货价格共 225 个月度数据作为研究样本。从石油工业兴起至今至少已经发生了两次石油危机:第一次是 1973 年阿以战争爆发,油价在 3 个月内从 5.11 美元/桶迅速上涨到 11.65 美元/桶;第二次是 1979 年中东产油大国伊朗发生政治革命,随后两伊战争爆发,引起第二次石油危机,一年之内油价猛涨一倍多。从 1978 年的 13 美元/桶上升到 1979 年的 29 美元/桶,1980 年油价达到历史的最高峰 36 美元/桶,直到 1985 年油价基本处于 30 美元/桶的高油价水平,到 1986 年第二次石油危机才算结束。从 1987 年到现在,特别是近几年油价的高企,是否可以称为第三次国际石油危机,暂且不论,我们更感兴趣的是在这一阶段油价波动所呈现的特征是什么?对我们有什么启示?因此,本文选取这段数据作为研究的时段。至于为何选择布伦特原油现货价格,主要有两个原因:其一,世界主要的原油交易所为纽约商品交易所(NYMEX)、伦敦国际石油交易所(IPE)和新加坡交易所等,这些交易所的原油交易价格能够代表世界整体的原油价格,且在信息、交通十分发达的今天,它们的价格十分接近;其二,现货价格比期货

价格更能剔除投机因素的影响,反映了世界石油市场的真实供求。布伦特原油现货价格是 IPE 的交易价格,因此能够作为世界油价的代表。在实际估计过程中,我们将油价进行了对数处理,求出每月的连续收益率,因为用相对数估计得出的结果更具有说服力。对数处理后的结果如图 2。我们看到油价月收益率呈现出十分不规则的变化,既没有趋势,又非线性,围绕着横轴还表现出比较大的波动性。

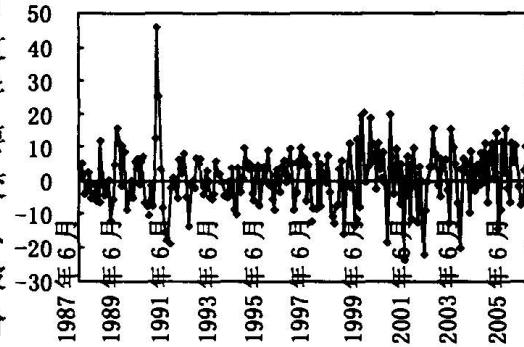


图 2 1987~2006 年欧洲布伦特原油
价格月收益变化 (%)

四、实证结果及讨论

(一)参数估计及解释。我们将油价收益数据用 SAS 软件进行估计,所得参数大多均显著,如表 1 所示。其中 μ 为各状态的平均值即油价月收益率变化的平均值; σ^2 为油价月收益率变化的方差或油价变化的不确定性; ϕ 为估计出的自回归参数;其他的为各状态间的转换概率。根据马尔可夫机制转换原理,我们可以将油价的变化由三种机制来描述:第一,油价月平均上涨

11.19%，可视为油价大幅上涨，此时伴随着油价较大的波动，表1显示方差达到了182.6%，这说明在油价大幅上涨的过程中会面临更大的不确定性，易受到市场或非市场力量的影响；第二，油价月平均上涨1.38%，可视为油价小幅上涨，此时的方差较小为42.5%，即在油价平缓上涨的过程中，面临的不确定性较小；第三，油价月平均下降10.35%，可视为油价大幅下跌，此时伴随的方差跟第二种情况近似，也比较小，说明在油价下跌过程中面临的不确定性也比较小。油价变化的各种机制的转换概率都小于1，各机制之间相互转换的概率能够得到以下几个推论：

表1 参数估计结果

参数	参数值	渐进标准差	T值
μ_1	11.188054***	4.2183675	2.652224
μ_2	1.375578	1.0747224	1.279938
μ_3	-10.347655***	3.5960727	-2.87749
ϕ_1	0.118972	0.0975138	1.220053
ϕ_2	-0.105439	0.0779417	-1.3528
σ_1^2	182.556297**	89.675341	2.035747
σ_2^2	42.461781***	8.7357457	4.860693
σ_3^2	41.031368*	21.216102	1.933973
P_{11}	0.676116***	0.1664761	4.061346
P_{12}	0.323883	0.5126014	0.631842
P_{21}	0		
P_{22}	0.89596***	0.1053924	8.501188
P_{31}	0.163366	0.1638145	0.99726
P_{32}	0.483844**	0.2141115	2.259778

注：表中的均值和方差是根据公式(3)计算出的油价月收益率的均值和方差。

* 表示在10%水平下显著，** 表示在5%水平下显著，*** 表示在1%水平下显著。

(1) $P_{11}=0.676117$ ，即油价当月大幅上涨后继续大幅上涨的概率约为0.676116； $P_{12}=0.323883$ ，即当月油价大幅上涨后下月小幅上涨的概率为0.323883； $P_{13}=1-P_{11}-P_{12}\approx0$ ，即当月油价大幅上涨后下月大幅下跌的概率约为0；可见在油价大幅上涨之后未来主要还是持续价格上涨，且大幅上涨的可能性要比小幅上涨的可能性还大，价格下跌即突然反转的可能性几乎没有。

(2) $P_{21}=0$ ，表示油价当月小幅上涨后下月大幅上涨的可能性为0； $P_{22}=0.89596$ ，表示油价当月小幅上涨后下月继续小幅上涨的概率接近0.9，说明油价小幅上涨持续的可能性很大； $P_{23}=1-P_{21}-P_{22}\approx0.1$ ，表示油价当月小幅上涨后下月有大幅下跌的可能性，但很小。因此，油价在小幅上涨后，可能大幅下跌，但最可能继续小幅上涨，一般不可能大幅上涨。

(3) $P_{31}=0.163366$ ，表示油价当月大幅下跌后下月出现反转，变成大幅上涨的概率约为0.16； $P_{32}=0.483844$ ，表示油价当月大幅下跌后下月出现小幅上涨的可能性较大，为0.48； $P_{33}=1-P_{31}-P_{32}\approx0.36$ ，表示油价当月大幅下跌后下月继续大幅下跌的概率为0.36。因此，当油价大幅下跌后面临的可能性最多，下月三种状态都可能出现，不过相对来说，出现小幅上涨的概率要

大一些。

根据上面三个结论又可知道,当油价处于低价位(0~20 美元/桶)时,如果当月出现上涨,那根据情况(1)和(2),下月油价一般都会有继续上涨的趋势,且一般大幅上涨后会伴随着大幅上涨,小幅上涨后会伴随着小幅上涨,价格出现反转的可能性有但很小。油价处于低位时,它的一个比较小的绝对数增加就可能是大幅上涨,所以此时油价上涨时出现大幅上涨的可能性比较大,根据情况(1),油价上涨的趋势将继续保持下去。当油价处于中等价位时(20~40 美元/每桶),如果当月出现上涨,根据情况(1)和(2),下月它将继续保持上涨趋势;如果当月出现大幅下跌,那么下月各种可能性都会出现。如果油价处于高位(大于 40 美元/每桶),此时价格的上涨更有可能是小幅上涨,那么油价将极有可能继续保持这一趋势,如果当月出现大幅下跌,那么下月油价各种变动的可能性都有。当前国际油价处于高位,由上分析可知,油价如果继续上涨,它极有可能将这一趋势继续保持下去,但是如果油价出现大幅下跌,那么它可能大幅反弹,但概率小,可能继续大幅下跌,当然最可能的是小幅反弹。由转换概率得到的油价变化如表 2 所示。

表 2 油价变化情况

转换概率	含 义	何种油价更易出现情形
P_{11}, P_{12}, P_{13}	当月油价大幅上涨之后下月主要还是持续价格上涨,且大幅上涨的可能性要比小幅上涨的可能性还大,价格下跌即突然反转的可能性几乎没有	低价位
P_{21}, P_{22}, P_{23}	当月油价在小幅上涨后下月可能大幅下跌,但最可能继续小幅上涨,不可能大幅上涨	中价位 高价位
P_{31}, P_{32}, P_{33}	当月油价大幅下跌后下月面临的可能性最多,下月三种状态都可能出现,不过相对来说出现小幅上涨的概率要大些	高价位

(二)油价变动周期及概率的平滑。根据前面第三部分对某一机制持续期的推导,我们有 $E(D) = 1/(1 - p_{ij})$,根据表 3 数据我们有 $P_{11} = 0.676116$, $P_{22} = 0.89596$, $P_{33} = 1 - P_{31} - P_{32} = 0.35279$,通过公式计算,各机制持续的平均时间分别为 3 个月、9.6 个月、1.5 个月,即油价大幅上涨的平均持续期为 3 个月;油价小幅上涨的平均持续期为 9.6 个月,油价大幅下跌的平均持续期为 1.5 个月(如表 3 所示)。因此,油价上涨的平均持续时间比下跌的平均持续时间要长,特别是小幅上涨的平均持续时间最长,达到了 9.6 个月,从 1987 年到 2006 年,油价整体上是一种上涨的态势,也反映了这一论断。

表 3 油价三状态变化平均持续时间

转换概率	概率值	状态	平均持续时间(月)
P_{11}	0.676116	油价大幅上涨	3
P_{22}	0.89596	油价小幅上涨	9.6
P_{33}	0.35279	油价大幅下跌	1.5

根据平滑概率的算法,可得到下面4个图。第一是油价大幅上涨的平滑概率;第二是油价小幅上涨的平滑概率;第三是油价大幅下跌的平滑概率;第四是把以上3个图重叠在一起的效果。通过观察平滑概率可更加清晰地了解每个机制的持续性,以及每个时刻最可能出现的是哪一个机制,基本判断法则是:如果 $St=1$ 的平滑概率大于0.5,表示出现油价的大幅上涨;如果 $St=2$ 的平滑概率大于0.5,则表示出现油价的大幅下跌;如果 $St=3$ 的平滑概率大于0.5,则表示出现油价的大幅下跌。如图3~图4所示,我们发现:(1)第一种机制和第三种机制平滑概率形成的波峰窄一些,第二种机制形成的波峰更宽一些,说明第一、第三种机制持续的时间较短,第二种机制持续的时间较长,这与我们根据转换概率计算出来的某一机制的持续期的结果是一致的。(2)从总体上来说,三种机制交替出现,但第一、第三种机制出现的次数较少,即油价大幅上涨或大幅下跌出现的次数较少;第二种机制出现的最多,即油价小幅上涨是一种经常的、持续的现象。这与世界整体油价的变化是一致的,1987~2006年,世界油价尽管出现了一些波动,但整体是一种上涨的趋势。另外,平滑概率图还很好地刻画出了特殊事件的影响。如第一个图中,在90年代初油价有个大幅上涨,这是第一次海湾战争的影响,在90年代末,油价也有个大幅上涨,这是OPEC限产提高油价,从而使国际油价上涨的结果。

从长期趋势来看,石油是不可再生的资源,现在消耗得越多,以后可供量就越少,开采的成本就越大。因此,长期石油价格必然呈现上升的趋势。这与我们分析的结果是一致的。在探明的石油储备既定的前提下,石油在世界的地理分布是很不均衡的,已知的石油储量中70%左右在OPEC国家,因此这些地区的石油产量和定价将直接对世界油价产生影响。OPEC在20世纪80年代将每桶石油的目标价格定在18美元左右,在90年代将目标价格定在22~28美元,这种定价与石油的长期供应价格是一致的,也对世界的油价产生了影响。另外,石油作为一种重要的战略资源,各国都非常关注,一些突发事件也将直接影响到油价。近两年国际油价节节攀升,一方面来自于中国和印度两个最大的发展中国家石油消费量的大幅增加;另一方面,国际炒家乘机囤积居奇,进行投机也导致了油价的上涨;最后,伊朗和美国的紧张关系也使国际上对石油的供应量产生了不明确的预期。

(三)模型比较。马尔柯夫机制转换模型将数据的变化区分为不同的机制,每一机制都有其相应的均值和方差,如果假设这些均值和方差都相等的话,那么马尔柯夫机制转换模型就变成了简单的AR模型。或者我们可以将AR模型视为马尔柯夫机制转换模型的一个特例。本文使用的是三状态马尔柯夫机制转换,其主方程是二阶自回归方程,因此是否可以用一个简单的AR(2)模型来替代我们的模型是有必要进行考察的。如果AR(2)模型比马尔柯夫模型更好,那就直接用它。理论上可以对两个模型之间的选择问题进

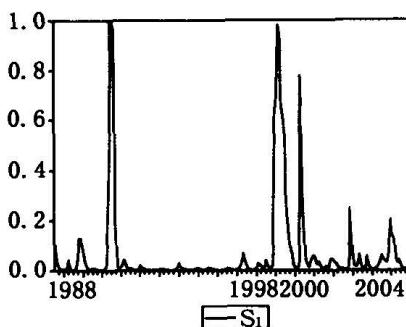


图3 油价大幅上涨的平滑概率

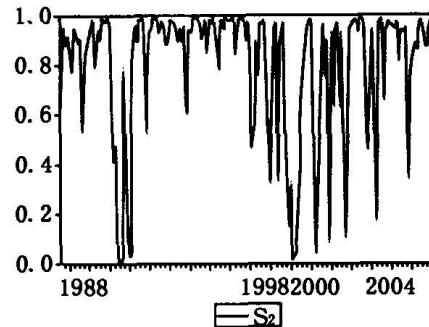


图4 油价小幅上涨的平滑概率

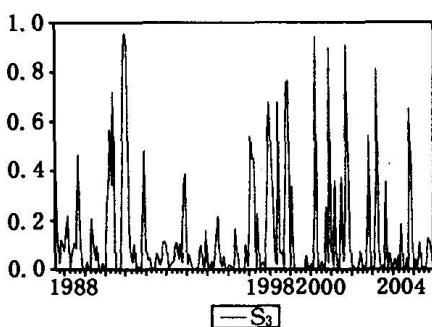


图5 油价大幅下跌的平滑概率

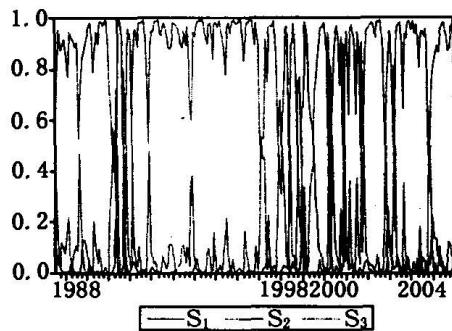


图6 三种状态重叠的效果

行更严格的参数约束检验。不幸的是,马尔柯夫机制转换模型中约束检验统计量(如F统计量、T统计量)不像AR模型那样服从标准分布(Hansen, 1992)。有研究者认为似然比检验仍能对模型选择提供一定信息(Hamilton和Susmel, 1994)。马尔柯夫模型估计的对数似然值为-782.2,而AR(2)模型估计得到的对数似然值为-791.5,两个模型的似然比统计量为 $-2(-791.5+782.2)=18.6$ 。我们可以认为从马尔柯夫机制转换模型到AR模型施加了6个约束条件,即均值相同、方差相同,因此似然比统计量服从自由度为6的卡方分布。由于自由度为6,显著水平为1%时,卡方值为16.81,因此似然比统计量高度显著,我们认为三状态马尔柯夫机制转换模型要优于AR(2)模型。另外,从实际数据的解释上我们可以看到AR(2)模型虽然识别出油价月收益率的波动为一个平稳过程、但它把油价的变化当作是一个以平均约0.5%比例上涨的过程,而三状态马尔柯夫模型则认为油价的变化可以分为三种可能:平均上涨11.19%、平均上涨1.38%和平均下降10.35%,根据平滑概率可知第一、第三种机制出现的次数要少些,第二种机制出现的次数多些,所以,虽然在总体上油价的平均变化和AR(2)模型差不多但却更深入地反映了数据的变化过程,因此,从这一点看,马尔柯夫模型也要优于AR(2)模型。

表4 AR模型与马尔柯夫机制转换模型估计的比较

参数	AR(2)模型	马尔柯夫机制转换模型
μ_1	0.522585	11.188054 ***
μ_2		1.375578
μ_3		-10.347655 ***
ϕ_1	0.229169 ***	0.118972 **
ϕ_2	-0.098952	-0.105439 ***
对数似然值	-791.5373	-782.2411173

注：“*”表示在10%水平下显著，“**”表示在5%水平下显著，“***”表示在1%水平下显著。

五、结论及启示

本文运用三状态的马尔柯夫机制转换模型刻画了1987年5月～2006年1月欧洲布伦特原油现货价格的变化。根据该模型，油价的变化可以分为三种机制：大幅上涨（月平均上涨11.19%）、小幅上涨（月平均上涨1.38%）、大幅下跌（月平均下降10.35%）。这三种机制的转换有一定的概率，根据对转换概率的分析我们得到：（1）当月油价大幅上涨之后下月主要还是持续价格上涨，且大幅上涨的可能性要比小幅上涨的可能性还大，价格下跌即突然反转的可能性几乎没有；（2）当月油价在小幅上涨后，下月可能大幅下跌，但最有可能继续小幅上涨，不可能大幅上涨；（3）当月油价大幅下跌后下月面临的可能性最多，下月三种状态都可能出现，不过相对来说出现小幅上涨的概率要大些；（4）各种机制的平均持续时间不同，其中油价大幅上涨的平均持续期是3个月，油价小幅上涨的平均持续期最长为9.6个月，油价大幅下跌的平均持续期最短为1.5个月。

通过将三状态马尔柯夫机制转换模型运用于世界油价的预测分析，我们发现马尔柯夫机制转换模型至少有以下几个优点：（1）相对一般的自回归模型，它对变量时间序列的刻画更细致，如本文将油价的变化区分为大幅上涨、小幅上涨和大幅下跌，通过回归能得出每种状态变化的大小；（2）该模型将机制的变化视为随机变量，并且是内生的，从而实现了用统一的模型刻画剧烈变动的时间序列，由此对未来机制变化的预测更方便、更科学；（3）由于在模型的估计中，能得到不同机制之间转换的平滑概率，根据公式可以测算出某一种机制持续的平均时间，这将有助于对变量的未来趋势进行科学判断；（4）最后，我们将马尔柯夫机制转换模型跟线性自回归模型进行了比较，似然比值显示马尔柯夫模型要优于一般的AR模型。

参考文献：

- [1]史丹. 国际油价的形成机制及对我国经济发展的影响[J]. 经济研究, 2000, (12): 48~53.
- [2]李优树. 国际石油价格波动分析[J]. 财经科学, 2000, (6): 1~6.
- [3]魏涛远. 世界油价上涨对我国经济的影响分析[J]. 数量经济技术研究, 2002, (5): 17~21.
- [4]谢赤, 刘潭秋. 人民币实际汇率中的马尔柯夫转换行为[J]. 统计研究, 2003, (9): 50~53.

- [5]赵留彦,王一鸣.中国通胀水平与通胀不确定性:马尔柯夫域变分析[J].经济研究,2005,(8),60~72.
- [6]Chang-Jin Kim, Charles R Nelson. State-Space models with regime switching [M]. MIT Press,1999.
- [7]James D Hamilton. A new approach to the economic analysis of nonstationary time series and the business cycle[J]. Econometrica,1989,(57) 2:357~384.
- [8]James D Hamilton. Time series analysis[M]. Princeton University Press ,1994.
- [9]Rence Garcia, Pieerre Perron. An analysis of the real interest rate under regime shifts [J]. The Review of Economics and Statistics, 1996, (78)1:111~125.

A Research on the Three States Markov-Switching Model

——An Application in the Analysis of World Oil Price Fluctuation

WEI Wei-xian¹, CHEN Zhi-wen¹, WANG Jian-jun²

(1. Department of Finance, School of Economics, Xiamen University, Xiamen 361005, China;
2. Department of Planning and Statistics, School of Economics, Xiamen University; Xiamen 361005, China)

Abstract: The remarkable change in a time series is sometimes regarded as a switch in the regression equation from one regime to another. If the specific time when the regime switches can be obtained, the famous Chow test can be used to detect whether a structural change takes place. In many cases, however, when the switch happens and when the model parameters change is unknown, which makes it imperative to find where the turning point is and what the parameters' shifts are. Markov-switching model takes the regime-switch as an endogenous variable and a random process, which enable it to describe all the remarkable structural change in one united model and help to forecast. In this paper, we use the three states Markov-switching model to examine the spot price fluctuation of world oil from May, 1987 to January, 2006. It turns out that world oil price fluctuation exhibits three different kinds of moving situation: rising sharply, rising mildly and dropping sharply. With different probability of transition from each other, these different states persist averagely 3 months, 9. 6 months and 1. 5 months. Finally, through comparison, we get the conclusion that the Markov-switching model is superior to the linear autoregressive model in describing the change of oil price.

Key words: Marko-switching model; transition probability; expected duration; oil price

(责任编辑 许 柏)