平滑转换自回归模型的经济学研究综述

华兴夏

［摘　要］反映经济活动的时间序列常常表现出非线性行为，对一类能够刻画非线性特征的平滑转换自回归模型（STAR）做了综述，介绍了基本的平滑转换模型和常用的逻辑斯蒂(Logistic)平滑转换自回归模型（LSTAR）和指数平滑转换自回归模型（ESTAR）。对STAR模型研究现状做了归纳，总结了STAR模型的国内外研究进展，包括多机制STAR模型、变系数STAR模型、时变STAR模型、向量马尔可夫转换模型和平滑转换误差修正模型；并归纳了平滑转换模型参数估计方法与存在的问题。

［关键词］非线性行为　逻辑斯蒂平滑转换自回归模型　指数平滑转换自回归模型

线性模型能够较好地反映经济活动的变化规律，但是人们经常观测到经济活动中存在显著的非线性特征，例如商业周期的繁荣与衰退，商品销售的淡季与旺季，金融资产价格的波动等等。考虑线性模型用来研究非线性问题的不足之处，如何捕捉经济活动中的非线性特征越来越受到研究者的关注，例如大量研究者使用状态依存的数据生成过程模型对各类经济问题进行了研究。为进一步推动经济学中的非线性建模研究，本文介绍平滑转换自回归（STAR）模型及其在经济学研究中的进展。

一、平滑转换模型

（一）基本模型形式

STAR 模型认为经济系统中数据生成过程的变化主要由不同主体决策者的不同决策行为引起，现实环境中并非所有决策主体同时对某个经济信号做出反映。例如，金融危机的背景下，很多受到金融危机影响的企业会裁员，但是，企业同时减员裁人的可能性较小，因此，更多情况下企业裁员的综合效应表现为失业率呈现出一种渐进转变形状，即失业率逐渐增加而非突然增加。STAR 模型能够较好反映经济系统中的这类变化规律。

基本单变量时间序列平滑转换自回归模型表达式如下：

$$y_t = (\phi_{1,0} + \phi_{1,1} y_{t-1} + \cdots + \phi_{1,p} y_{t-p})(1 - G(s_t;\gamma,c)) +$$

$$(\phi_{2,0} + \phi_{2,1} y_{t-1} + \cdots + \phi_{2,p} y_{t-p}) G(s_t;\gamma,c) \ \ + \varepsilon_t, t = 1,2,\cdots,T \qquad (1)$$

或者将自回归过程写成如下向量形式：

$$y_t = \phi_1' x_t (1 - G(s_t;\gamma,c)) + \phi_2' x_t G(s_t;\gamma,c)) + \varepsilon_t \qquad (2)$$

其中：$x_t = (1, \widetilde{x}_t')'$，$\widetilde{x}_t = (y_{t-1},\cdots,y_{t-p})'$，$\phi_i = (\phi_{i,0},\phi_{i,1},\cdots,\phi_{i,p})'$，$i = 1,2.$ 考虑到外生变量 $z_{1t},\cdots,z_{kt}$ 作为自变量。残差定义为鞅差分序列。为简单起见，残差条件方差假定为常数。$G(s_t;\gamma,c)$ 表示转换函数，是以 0 和 1 为界的连续函数。

作者简介：华兴夏，南京信息工程大学副教授。

在 Terasvirta（1994）讨论的平滑转换模型中，转换变量s_t被定义为滞后的内生变量，也即$s_t = y_t$。转换变量可以是外生变量（$s_t = z_t$）或者依赖于参数向量α的某些函数h的滞后内生变量的非线性函数（$s_t = h(\widetilde{x}_t;\alpha)$），由此生成平滑变参数模型。

对平滑转换模型有两种基本解释。一种观点认为 STAR 模型是由转换函数的极端值所确定的考虑两种机制的机制转换模型，转换函数的两种极端取值$G(s_t;\gamma,c)=0$和$G(s_t;\gamma,c)=1$使得被研究模型从一种机制平滑转换为另一种机制。在这种观点之下，阈值自回归（TAR）模型成为 STAR 模型的一种特例。第二种观点将 STAR 模型视为考虑连续机制的与不同转换函数值相联系的转换模型，转换函数$G(s_t;\gamma,c)$在 0 和 1 之间连续取值。

对于一个双机制模型来说，假设在时刻 T 出现的机制由观测变量s_t和$G(s_t;\gamma,c)$的值确定，对转换函数$G(s_t;\gamma,c)$的不同选择导致不同类型机制转换行为，反映不同市场的调节机制。在当前研究中对转换函数常用的选择主要是一阶逻辑斯蒂函数和指数函数，相关模型分别称为逻辑斯蒂(Logistic)平滑转换自回归模型（LSTAR）和指数平滑转换自回归模型（ESTAR）。除此之外有研究者选择正态分布函数作为转换函数，相关的模型被称为正态分布转换函数（NSTAR）。

（二）逻辑斯第平滑转换自回归模型

若选择一阶逻辑斯第函数作为转换函数，则相关模型被称为逻辑斯第平滑转换自回归模型（LSTAR）。一阶逻辑斯第函数如下：

$$G(s_t;\gamma,c)=(1+\exp\{-\gamma(s_t-c)\})^{-1}, \quad \gamma>0, \tag{3}$$

式（1）和式（3）联合设定一个双机制逻辑斯第平滑转换阈值自回归模型，当$\gamma\to 0$或$\gamma\to\infty$时，G 为常数，因此，LSTAR 模型即为 AR（p）模型。假定转换变量$s_{t-1}=y_{t-1}$，对于确定的平滑参数γ，自回归系数衰减程度的快慢依赖于y_{t-1}的取值。当$y_{t-1}\to-\infty$时，$G=0$，则序列y_t的行为表现为$y_t = a_0 + a_1 y_{t-1} + \cdots + a_p y_{t-p} + \varepsilon_t$。类似的，当$y_{t-1}\to+\infty$，$G=1$，则$y_t$的行为表现为$y_t=(a_0+\beta_0)+(a_1+\beta_1)y_{t-1}+\cdots+\varepsilon_t$。因此，当$y_{t-1}$变化时，截距和自回归系数在这两个极值之间平滑地变化。在$s_t = y_{t-d}$的情况下，这种模型被称为自激 TAR（SETAR）模型，Tsay（2006）对此类模型性质做了详尽讨论。

（三）指数平滑转换自回归模型

指数函数形式的转换函数也经常被研究者使用。在某些应用研究中设定转换函数，使机

制与转换变量s_t的大小相关联，以更准确地描述某种经济行为。使用指数函数可满足这类要求，相关模型被称为指数平滑转换自回归模型（ESTAR）。指数转换函数形式如下：

$$G(s_t;\gamma,c)=1-\exp\{-\gamma(s_t-c)^2\}，\ \gamma>0 \qquad (5)$$

指数形式的转换函数具有这样的性质：$G(s_t;\gamma,c)\to 1$，当$s_t\to\pm\infty$；$G(s_t;\gamma,c)=0$，当$s_t=c$。对于 ESTAR 模型而言，当$\gamma\to 0$或者$\gamma\to\infty$时，转换函数为常数，模型等价于 AR（p）模型。否则，变为非线性模型。ESTAR 模型的系数对称于$y_{t-1}=c$。当$y_{t-1}\to c$时，$G\to 0$，y_t的行为表现为$y_t=a_0+a_1y_{t-1}+\cdots+a_py_{t-p}+\varepsilon_t$。当$y_{t-1}$远离 c 时，$G\to 1$，因此，$y_t$的行为表现为：

$$y_t=(a_0+\beta_0)+(a_1+\beta_1)y_{t-1}+\cdots+\varepsilon_t \qquad (6)$$

我国学者已经使用此类模型对经济问题做了详细研究。赵进文等（2007）使用非线性 STR 模型技术研究了我国能源消费与经济增长之间内在结构依从关系，研究发现二者之间存在非线性变化规律并通过 LSTR2 模型对这种非线性关系做了拟合。刘雪燕(2009)研究了非线性模型的平稳性检验问题，通过将时间序列退势的最小二乘法和广义最小二乘法方法与相关研究者提出的单位根检验方法结合，发现在 STAR 模型中，对时间序列退势能不同程度的改善单位根检验的功效。刘柏等(2008)采用 STAR 对中国实际汇率做了研究，发现中国实际汇率走势的非线性与非对称性特征。王成勇等（2010）建立两机制、三机制和四机制 LSTAR 模型研究了我国经济周期阶段的划分、经济周期波动的非对称性和持续性以及经济在各个波动阶段之间转换的内在演化机理。

对我国学者的研究文献的梳理结果表明当前不仅对 STAR 模型的应用研究成果丰富并且关于 STAR 模型的理论研究也取得了长足的进展。如马薇等（2010）将自助法(bootstrap)的不同变体应用于平滑转移自回归模型的线性检验，并通过蒙特卡罗实验分别考察其在误差项独立同分布和存在序列相关时的有限样本性质。徐家杰（2010）归纳了单阈值 STAR 模型的局限性并对双阈值 LSTAR 模型转换函数的处理方法做了研究。

国外学者对 STAR 模型的应用研究较为成熟，理论研究结果比较丰富。Kapetanios et al. (2003)提出了非线性 STAR 框架下的单位根检验方法。Kapetanios et al. (2005)研究了三机制 SETAR 模型的单位根检验问题。Timo et al. (2005)的研究认为 STAR 模型的设定形式对预测精度有至关重要的影响。Michael et al. (2008)使用多机制平滑转换自回归（MRSTHAR）模型研究了道琼斯工业平均指数的变化规律。Luiz et al. (2008)使用平滑转换周期自回归（STPAR）模型研究了澳大利亚的电力市场行为。Sollis(2008)提出了对称假设条件下用来识别非对称非线性指数平滑转换自回归（ESTAR）模型的一种单位根检验方法。Massimo et al. (2008)使用趋势稳定的 STAR 模型研究了欧洲国家的失业率问题。另外，部分研究者还使

用了蒙特卡罗模拟方法对各种 STAR 模型的性质做了分析。

归纳以上文献，可以发现学者对 STAR 模型的研究基本可以划分为三个层次：第一层次是基础应用研究，即使用基本的 STAR 模型研究具体经济现象；第二层次是在基础模型研究基础上进行的扩展研究，即在平滑转换的基本模式下，考虑实际数据生成过程中的各种特征如非对称行为、周期行为及分形特征等等对原有 STAR 模型进行了各种扩充；第三个层次是对 STAR 模型性质的研究，主要是采用蒙特卡罗的方法，研究各类 STAR 模型的性质。下文将针对第二层次的研究成果进行论述。

二、平滑转换模型研究进展

（一）多机制 STAR 模型

式（1）表示的 STAR 模型表明模型的基本性质，即在任何给定的时间，y_t 由两个 AR 模型的权重平均决定，权重依据转变函数的值被分配给两个模型。因此，无论具体的转变函数 $G(s_t;\gamma,c)$ 的形式如何，STAR 模型不能用来描述两个以上的机制。根据机制是否可以被单一转变变量 s_t 或者几个转变变量 $s_{1,t},s_{2,t},\cdots,s_{m,t}$ 的组合所刻画的情况来区分，可以获得多机制的 STAR 模型。

在主要机制由单变量确定的情况下，LSTAR 模型可以重新写为：

$$y_t=\phi_1^{'}x_t+(\phi_2-\phi_1)^{'}x_tG_1(s_t;\gamma,c)+\varepsilon_t \tag{8}$$

式（8）中，下标 1 被增加到逻辑斯第转换函数上。式（8）增加一个非线性组分可以得到如下所示三机制模型：

$$y_t=\phi_1^{'}x_t+(\phi_2-\phi_1)^{'}x_tG_1(s_t;\gamma_1,c_1)+(\phi_3-\phi_2)^{'}x_tG_2(s_t;\gamma_2,c_2)+\varepsilon_t \tag{9}$$

如果假定 $c_1<c_2$，随着 s_t 的增加，G_1 从 0 变到 1，模型中的自回归参数可以从 ϕ_1 经由 ϕ_2 平滑转换到 ϕ_3。更一般而言，通过定义 m-1 个平滑参数，$\gamma_1,\cdots,\gamma_{m-1}$ 和 m-1 个位置参数，$c_1,\cdots,c_{m-1}$，得到如下具有 m 个机制的 STAR 模型：

$$y_t=\phi_1^{'}x_t+(\phi_2-\phi_1)^{'}x_tG_1(s_t)+\cdots+(\phi_m-\phi_{m-1})^{'}x_tG_{m-1}(s_t)+\varepsilon_t \tag{10}$$

其中 $G_j(s_t)=G_j(s_t;\gamma_j,c_j)$，$j=1,\cdots,m-1$ 是（3）式中的逻辑斯第函数。

通过使用式（1）使用的符号容易拓展机制由不同变量的组合所决定的基本的 STAR 模型。一个四机制的模型可以通过如下综合两个不同的双机制 LSTAR 模型获得：

$$\begin{aligned}y_t=&[\phi_1^{'}x_t(1-G_1(s_{1t};\gamma_1,c_1))+\phi_2^{'}x_tG_1(s_{1t};\gamma_1,c_1)][1-G_2(s_{2t};\gamma_2,c_2)]+\\&[\phi_3^{'}x_t(1-G_1(s_{1t};\gamma_1,c_1))+\phi_4^{'}x_tG_1(s_{1t};\gamma_1,c_1)]G_2(s_{2t};\gamma_2,c_2)+\varepsilon_t\end{aligned} \tag{11}$$

y_t 和其滞后值之间的关系由四个线性 AR 模型的线性组合确定，每一个线性 AR 模型由

等于 0 或者 1 的 $G_1(s_{1t})$ 和 $G_2(s_{2t})$ 的一个具体组合决定。Dijk et al. (1999)详细讨论了这个多机制 STAR(MRSTAR)模型。形如式（11）的 MRSTAR 模型考虑了四种不同机制的最大值，但是，通过反复运用归纳原则，这个模型能够拓展到含有 2^m 个机制，m>2。当参数 γ_1 和 γ_2 变得很大致使 $G_1(s_{1t})$ 和 $G_2(s_{2t})$ 各自接近示性函数 I[s_{1t} >c1]和 I[$s_{2t} > c_2$],形如式（11）的 MRSTAR 模型可以退化为由两种状态决定的四种机制的 SETAR 模型。

（二）变系数 STAR 模型

通过假定转换变量 s_{1t} 和 s_{2t} 是滞后因变量的线性组合，即 $s_{it} = \alpha_i^{'}\widetilde{x}_t$，$i = 1,2$，并增加限制 $\phi_{4,j}^{*} = \phi_{1,j} - \phi_{2,j} - \phi_{3,j} + \phi_{4,j} = 0$，$j = 0,1,\cdots,p$，MRSTAR 模型可以演化为变系数平滑转换时间序列模型。Astatkie et al.（1997）研究了此类嵌套 STAR 模型，限制并保证交互项 $\phi_4^{*'} x_t G_1(s_{1t}) G_2(s_{2t})$ 不出现在模型中。模型可以另外重新写成如下形式：

$$y_t = \phi_0^{*'} x_t + \phi_1^{*'} x_t G_1(\alpha_1^{'}\widetilde{x}_t; \gamma_1, c_1) + \phi_2^{*'} x_t G_2(\alpha_2^{'}\widetilde{x}_t; \gamma_2, c_2)] + \varepsilon_t \qquad (12)$$

其中：$\phi_0^{*} = \phi_1, \phi_1^{*} = \phi_2 - \phi_1, \phi_2^{*} = \phi_3 - \phi_1$。Ocal 和 Osborn (2000)应用变系数模型分析了英国宏观经济时间序列的商业周期的非线性性。

（三）时变 STAR 模型

非线性仅是时间序列众多不同特征中的一种。另一个重要特征是结构不稳定，尤其是在较长时间跨度下观测到的宏观经济序列。Stock 和 Watson（1996）研究了宏观经济时间序列中的数据生成过程的结构不稳定问题。尽管大量证据表明，对大量的时间序列而言，非线性和结构变化是相关的，据本文作者所知，迄今为止这两种特征主要被分开研究。一个时间序列同时具有非线性和结构不稳定性是完全可能的。MRSTAR 模型的特例可以用来研究 STAR 类模型的非线性动态行为和时变特征。如果采用时间作为式（11）模型中转换变量之一，即 $s_{2t} = t$，即可构建时变 STAR（TVSTAR）模型。TVSTAR 模型意味着 y_t 在所有时间区间内遵循 STAR 模型，在所有机制中，自回归参数平滑转换，对 $G(s_{1t}; \gamma_1, c_1) = 0$ 和 $G(s_{1t}; \gamma_1, c_1) = 1$，从 ϕ_1 和 ϕ_2 到 ϕ_3 和 ϕ_4，可以表示如下式：

$$y_t = \phi_1(t)^{'} x_t (1 - G_1(s_{1t}; \gamma_1, c_1)) + \phi_2(t)^{'} x_t G_1(s_{1t}; \gamma_1, c_1) + \varepsilon_t \qquad (13)$$

其中，$\phi_1(t) = \phi_1[1 - G_2(t; \gamma_2, c_2)] + \phi_3 G_2(t; \gamma_2, c_2)$；

$$\phi_2(t) = \phi_2[1 - G_2(t; \gamma_2, c_2)] + \phi_4 G_2(t; \gamma_2, c_2)$$

Lundbergh et al. （2000）详细讨论了TVSTAR模型。Van Dijk et al. （2001）应用TVSTAR模型研究了七国集团工业生产序列季节模式变化的原因。

（四）向量马尔可夫转换模型

现存单变量双（多）机制转换模型容易拓展为多变量模型。然而，多变量非线性模型的研究仅仅刚刚开始，相关的统计理论还没有充分发展。Krolzig（1997）研究了向量马尔可夫转换模型和阈值模型。

令 $Y_t = (y_{1t}, y_{2t}, \cdots, y_{kt})'$ 表示一个（$k \times 1$）向量时间序列。一个 k 维的单变量双机制 STAR 模型可以如下设定：

$$Y_t = (\Phi_{1,0} + \Phi_{1,1} Y_{t-1} + \cdots + \Phi_{1,p} Y_{t-p})(1 - G(s_t; \gamma, c))$$

$$+ (\Phi_{2,0} + \Phi_{2,1} Y_{t-1} + \cdots + \Phi_{2,p} Y_{t-p}) G(s_t; \gamma, c) + \varepsilon_t \tag{14}$$

其中：$\Phi_{i,0}, i = 1,2$，是（$k \times 1$）向量；$\Phi_{i,j}, i = 1,2, j = 1, \cdots, p$ 是（$k \times k$）矩阵；$\varepsilon_t = (\varepsilon_{1t}, \cdots, \varepsilon_{kt})'$ 是一个 k 维向量白噪声过程，其均值为零，（$k \times k$）正定协方差矩阵 Σ。在式（14）中对 k 个变量而言，机制相同，表明一个或者相同的转换函数决定着主要的机制和机制之间的转换。结合具体方程的转换函数，可以考察具体方程的机制转换。

根据当前可得到的多变量机制转换模型的应用文献，可以看出模型通常表现为 Y_t 与一个线性长期均衡关系相联，而朝向均衡的调节通常非线性。这种特性可以用机制转换模型来描述，机制由对均衡背离的程度或者符号来决定。在线性的时间序列中，这种类型的行为通常使用协整和误差修正模型来刻画。

（五）平滑转换误差修正模型

考察在一个ECM中融合平滑转换机制以考虑非线性或者非对称性调节的问题。平滑转换误差修正模型（STECM）由下式给出：

$$\Delta Y_t = (\Phi_{1,0} + \alpha_1 z_{t-1} + \sum_{j=1}^{p-1} \Phi_{1,j} \Delta Y_{t-j})(1 - G(s_t; \gamma, c))$$

$$+ (\Phi_{2,0} + \alpha_2 z_{t-1} + \sum_{j=1}^{p-1} \Phi_{2,j} \Delta Y_{t-j}) G(s_t; \gamma, c) + \varepsilon_t \tag{15}$$

其中：$\alpha_i, i = 1,2$ 是（$k \times 1$）向量；$z_t = \beta' Y_t$ 对（$k \times 1$）向量 β 表示误差修正项，即 z_t 是对由 $\beta' Y_t = 0$ 所决定的均衡关系的背离，模型可以拓展成为融合多变量的均衡关系。

非线性误差修正模型关注对均衡的正、负、大、小的背离的不同调节。所有类型的非对称自然产生，例如股票和期货，不同到期日的债券的价格与相关的套利因素相联。在存在市场摩擦的情况下，例如限制卖空和交易成本，对背离均衡关系的修正可以是背离的大小或者正负的一个函数。对均衡背离的正的或者负的非对称效应可以通过定义 $G(s_t; y, c)$ 来获得，Anderson（1997）对此有过论述。

具有二次逻辑斯第函数形式的平滑转换误差修正模型与Balke和Fomby（1997）介绍的

阈值误差修正模型相似。令$\gamma \to \infty$并且增加约束$\alpha_1 = 0$，从（15）和（4）式可以获得阈值误差修正模型。Dwyer等（1996）和Tsay（1998）运用阈值误差修正模型研究过S&P500指数的即期价格和远期价格之间的关系。

三、平滑转换模型参数估计方法与存在的问题

只有线性模型不能反映实际数据生成过程的真实变动规律时才有理由选择非线性模型拟合真实数据生成过程。因此，估计 STAR 模型的首要问题是确定线性模型是否足以代表实际数据的生成过程，即进行线性检验。形如式（1）的模型由此存在识别问题，例如，当转换函数是式（3）时，零假设成立，则式（1）是线性模型，此时相关参数可任意取值。在线性检验中，Terasvirta（1994）提出使用转换函数的泰勒级数展开式带入式（1）模型，借助于构造的辅助回归方程解决此问题。

STAR 建模过程通常可以分为以下三个步骤：

第一，确定模型的线性部分。假设真实数据生成过程的线性部分可以表示为：

$$y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^{p} \beta_i y_{t-i} + \varepsilon_t = \beta_0 + \beta' w_t + \omega_t \qquad (16)$$

其中，$\beta = (\beta_1, \cdots, \beta_p)'$，$w_t = (y_{t-1}, \cdots, y_{t-p})'$，并且$\omega_t$是白噪声残差序列。自回归部分的阶数 p 根据 AIC 准则确定。

第二，构建如下辅助回归：

$$\omega_t = \beta_0 + \beta' w_t + \delta_1' z_t^1 + \delta_2' z_t^2 + \delta_3' z_t^3 + u_t \qquad (17)$$

其中，$z_t^k = w_t y_{t-d}^k = (y_{t-1} y_{t-d}^k, \cdots, y_{t-d}^{k+1}, \cdots, y_{t-p} y_{t-d}^k)'$，并且 k＝1，2，3。对辅助回归的线性检验为$H_0 : \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 0$。零假设可以采用 Terasvirta 提出的 LM 检验方法。当不止一个延迟参数 d 的值拒绝线性假设时，选择最小的相伴概率 p 值作为设定 d 值的标准。

第三，模型拒绝线性假设以后，使用如下 Sarantis（1999）的检验方法确定究竟是选择 LSTAR 还是 ESTAR 模型。

$$H_{01} : \delta_3 = 0 \qquad (18)$$

$$H_{02} : \delta_2 = 0 \mid \delta_3 = 0 \qquad (19)$$

$$H_{03} : \delta_1 = 0 \mid \delta_2 = \delta_3 = 0 \qquad (20)$$

如果拒绝式（18）则选择 LSTAR 模型；如果接受式（18）但是拒绝式（19），则选择 ESTAR；如果接受式（18）和式（19）但是拒绝式（20），则选择 LSTAR 模型。在具体的 STAR 模型口径设定完毕以后，使用非线性最小二乘法估计 STAR 模型。但这种方法进行参

数估计存在两方面问题：一是忽视了数据生成过程中的结构突变问题对线性检验的影响。现实经济环境中随机发生的重大时间或者一些无法预知的因素会导致数据生成过程发生变化，如果数据生成过程发生了结构性变化，忽视这种因素得到的检验结果是不可靠的。而大量研究表明宏观经济时间序列的数据生成过程常常表现出结构突变的倾向，因此，需要在式（16）中考虑结构突变的因素。解决方法是在式（16）中加入能够检测结构变化特征的虚拟变量；或者联系实际的经济活动过程，把数据集在可能的结构突变处拆开，使用子数据集进行拟合。二是忽视了 LSTAR 模型可能嵌套于 ESTAR 模型的问题。根据逻辑斯蒂转换函数式（3）和指数转换函数式（5）的性质可以发现，当位置参数 c 偏离观测值中心区域时，LSTAR 模型总可以渐进被 ESTAR 模型近似，这种情况下，LSTAR 模型是冗余模型。因此，要想准确确定一个 STAR 模型，必须对位置参数 c 的可能取值进行判断。只有当观测值以位置参数 c 为中心上下均匀分布时，该方法的检验效果才较为理想。

四、总结

STAR模型能够较好拟合数据生成过程，但STAR模型的参数估计方法较线性自回归模型的参数估计方法而言要复杂的多。当前对STAR模型参数的估计主要是沿用Terasvirta（1994）提出方法，但是这种估计方法忽视了数据生成过程中的结构突变问题对线性检验结果的影响，检验结果的可信度较低。尽管当前研究STAR模型估计方法的文献较少，但是相信随着研究者更广泛使用STAR模型分析各种经济问题，对STAR模型估计方法的研究将逐渐深入。

参考文献(略)