

墨香财经学术文库

“十二五”辽宁省重点图书出版规划项目

Research on the Theory

and Application of Semiparametric
Smooth Transition Autoregressive Model

半参数平滑转换自回归 模型理论研究及其应用

蔡楠◎著

FE 东北财经大学出版社
Dongbei University of Finance & Economics Press



墨香财经学术文库

“十二五”辽宁省重点图书出版规划项目

Research on the Theory

and Application of Semiparametric
Smooth Transition Autoregressive Model

半参数平滑转换自回归
模型理论研究及其应用

蔡楠◎著

FE 东北财经大学出版社
Dongbei University of Finance & Economics Press

大连

图书在版编目(CIP)数据

半参数平滑转换自回归模型理论研究及其应用 / 蔡楠著. —大连: 东北财经大学出版社, 2016.12

(墨香财经学术文库)

ISBN 978-7-5654-2531-8

I. 半… II. 蔡… III. 半参数模型-平滑-转换-自回归模型-研究

IV. ①0211.3 ②0212.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第277977号

东北财经大学出版社出版发行

大连市黑石礁尖山街217号 邮政编码 116025

网 址: <http://www.dufep.cn>

读者信箱: dufep@dufe.edu.cn

大连图腾彩色印刷有限公司印刷

幅面尺寸: 170mm×240mm 字数: 102千字 印张: 7.5 插页: 1

2016年12月第1版

2016年12月第1次印刷

责任编辑: 李 彬 杨紫旋 责任校对: 何 群 赵伟华

封面设计: 冀贵收 版式设计: 钟福建

定价: 22.00元

教学支持 售后服务 联系电话: (0411) 84710309

版权所有 侵权必究 举报电话: (0411) 84710523

如有印装质量问题, 请联系营销部: (0411) 84710711

本书由

财政学特色重点学科专项资金资助

出版

前言

宏观时间序列模型的时变性和非线性已经成为众所周知的经济学特征事实。尽管非线性参数模型能够较好地拟合数据，但样本外预测能力却无法令人满意。在广泛使用的平滑转换自回归（smooth transition autoregressive, STAR）模型中，转换变量进入转换函数的方式过多地依赖一些先验的函数形式假设，从而存在模型误设的风险。本书使用非参数方法拓展传统的 STAR 模型，首次提出半参数 STAR 模型。在保持 STAR 模型基本形式不变的前提下，让转换变量以非参数的形式进入转换函数，在保留传统 STAR 模型较好的经济学解释能力的同时，该模型能够避免模型误设的风险，从而提高模型的样本外预测能力。本书提出了一个新的三阶段估计方法，并建立了估计量的大样本统计性质。本书用 1994 年 1 月到 2012 年 7 月的人民币实际有效汇率月度数据，比较了半参数 STAR 模型和随机游走模型、自回归模型、门限自回归模型、平滑转换自回归模型和人工神经网络模型的样本外预测能力，发现半参数 STAR 模型在样本外预测能力上具有显著优势。同时，作为使用 STAR 模型的前提，本书提出了一个新的非参数稳定性

检验用于检验模型的结构稳定性。和传统的稳定性检验方法相比,该方法不仅能够检验结构突变,而且能够更有效地捕捉到缓慢的连续性结构变化。本书的研究内容不仅是理论和方法论的创新,而且在宏观经济分析与预测中具有重要的应用价值。

本书分为6章,具体结构安排如下:

第1章为绪论,阐述了本书的研究背景,提出了研究问题,指出了研究意义,并对本书的结构安排进行说明。

第2章提出了一个新的稳定性检验方法。稳定性检验在时间序列分析中是一个很重要的问题,一直得到很多统计学家和计量经济学家的关注,并提出了很多稳定性检验方法,但现有文献中的稳定性检验方法大部分都是针对突变式或跳跃式的结构变化,而无法有效地检验缓慢连续的结构变化,后者在结构变化中往往更为普遍。Hansen (2001)就曾指出:“结构突变似乎不太可能,更合理的是结构变化在一段时间内发生”。本章应用非参数广义F检验、LASSO与wild bootstrap的方法,提出了一个新的稳定性检验方法,并应用此方法对从1997年1月到2010年12月共92个中国主要月度宏观经济变量的双变量关系进行稳定性检验。检验结果表明,在所有的8370组双变量关系中,有超过70%的双变量关系是显著不稳定的。

第3章是文献回顾。自20世纪90年代末以来,非线性时间序列模型的两个主要研究方向是混沌论模型(chaos model)和机制转换模型(regime switching model),而后者考虑了各种不同形式的机制转换行为,通常由三个最常见的机制转换模型组成,分别为马尔科夫机制转换模型、门限自回归模型和平滑转换自回归模型。本章介绍了这三个模型和流行的估计方法,并对这三个模型做了比较,分析它们各自的特点。

第4章提出了一个新的模型——半参数STAR模型。传统STAR模型在理论上具有一些缺陷,即传统STAR模型的转换变量进入转换函数的方式过多地依赖一些先验的函数形式假设,存在模型误设的风险,这会严重制约实证分析研究,对模型预测的效果产生重要影响。为了解决这个问题,本章用非参数方法拓展STAR模型,首次提出半参数STAR模型。本章保持STAR模型基本形式不变,让转换变量以非

参数的形式进入转换函数,这样既完整地保留了 STAR 模型的解释能力,又解决了模型误设问题,提高了模型的预测能力。由于半参数 STAR 模型的非参数部分嵌套在对数形式的转化方程中,不能与参数部分分离,因此本章采用半参数 STAR 模型的三阶段估计法,将参数部分和非参数部分分别估计。针对半参数 STAR 模型的三阶段估计法,本章给出每一步相应的估计值的渐近性质,并且用蒙特卡洛实验验证了半参数 STAR 模型的估计效果。我们感兴趣的是,对于不同形式的转换函数,三阶段方法是否能很好地估计模型系数,特别是对非参数部分能否很好地估计。结果显示,半参数 STAR 模型对数据的拟合结果令人满意。

第 5 章是实证研究。本章用半参数 STAR 模型对 1994 年 1 月到 2012 年 7 月的人民币实际有效汇率月度数据做了实证研究。研究表明,半参数 STAR 模型能够很好地描述数据在不同机制之间平滑转换的非线性特征,人民币汇率呈现非对称的转化机制,而这一现象正是由人民币汇率长期受中国政府的管理和控制造成的,而且半参数 STAR 模型解决了模型误设的问题,提高了模型的预测能力。本章还进一步比较了半参数 STAR 模型和随机游走模型、自回归模型、门限自回归模型、平滑转换自回归模型和人工神经网络模型的样本外预测能力,发现半参数 STAR 模型在样本外预测能力上具有显著优势。

第 6 章为结论。对全书进行总结。

本书的出版是在东北财经大学财政与税务学院“财政学特色重点学科专项资金”资助下实现的,在其大力支持下,我顺利地完成了本书的撰写和完善工作,在此表示衷心的感谢。另外,对东北财经大学出版社李彬和杨紫旋二位女士表示衷心的感谢,没有她们的帮助与关心,此书不可能很快出版。由于作者水平有限,错谬之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

蔡楠

2016 年 11 月

目录

1 绪论/1

1.1 研究背景及意义/2

1.2 研究内容、方法和创新/7

2 非参数稳定性检验/11

2.1 引言/11

2.2 文献综述/13

2.3 非参数稳定性检验方法/13

2.4 实证分析/21

2.5 结论/32

3 非线性时间序列参数模型简介/34

3.1 引言/34

3.2 马尔科夫机制转换模型/36

3.3 门限自回归模型/42

2 半参数平滑转换自回归模型理论研究及其应用

3.4 平滑转换自回归模型/44

3.5 结论/50

4 半参数 STAR 模型的估计/52

4.1 引言/52

4.2 模型设定/55

4.3 半参数 STAR 模型估计方法/58

4.4 大样本理论/59

4.5 蒙特卡洛数值模拟/63

4.6 结论/69

4.7 理论证明/69

5 人民币实际汇率预测的实证研究/78

5.1 引言/78

5.2 数据描述/81

5.3 实证分析/83

5.4 模型样本外预测能力比较/87

5.5 结论/91

6 总结/93

参考文献/97

索引/109

1 绪论

经济的结构转型和快速发展使中国的大部分宏观变量具有时变性和非线性的特点,从而使宏观经济预测在理论上和实践中面临更多的挑战。本书首创将平滑转化自回归(smooth transition autoregressive, STAR)模型和非参数方法相结合,提出半参数 STAR 模型,并研究其理论性质和应用效果。STAR 模型能够较好地模拟结构变化,但依赖于先验的函数假设,无法充分描述非线性和时变性的特点,而非参数方法能够模拟各种非线性特征,两者的结合可以更有效地预测中国宏观经济变量的走势。同时,作为使用 STAR 模型的前提检验,我们提出了一个新的非参数方法,用于检验模型的结构稳定性和线性化。和已有的检验方法相比,该方法不需要断点信息并具有理想的小样本性质。我们考察了中国主要宏观变量的结构稳定性和模型线性化,并利用中国的宏观数据全面比较包括半参数 STAR 模型在内的主要宏观预测模型的预测能力。本书的研究内容不仅是理论和方法论的创新,而且在宏观经济预测中具有重要的应用价值。

1.1 研究背景及意义

1.1.1 经济学背景

一直以来,宏观经济预测是国民经济管理和计量经济学理论中的一个重要课题,提高宏观经济预测的科学性和精确性对于政府的经济决策和监督管理具有十分重要的现实意义。宏观计量经济学得到计量经济学家和统计学家的普遍关注,发展迅速,是国际学术界的研究热点之一,并且已被成功应用到宏观经济预测中(Bernanke、Boivin 和 Eliaz, 2005)。而近几年这一领域最大的发展就是将非线性时间序列模型应用于宏观经济预测。

随着中国统计体系的完善、指标结构的优化及定期公布的月度宏观数据的积累,我国已经具备进行科学宏观经济预测的数据基础。但是,中国自改革开放以来,社会经济发展一直处于转型阶段,在从计划经济向市场经济过渡的过程中,宏观经济政策目标的调整、宏观经济调控手段的创新、国民经济统计方法和统计口径的变动,以及社会经济制度层面的变革都可能使宏观变量之间的经济关系出现时变性和非线性的特点。如何提出更能适合时变性和非线性特点的新的理论模型,并在实践中能够有效地提高中国宏观经济预测的效果是一个紧迫而具有挑战性的工作。

平滑转化自回归模型是国际学术界普遍使用的宏观经济预测模型之一,被广泛地应用于预测工业产出、实际汇率、失业率等主要宏观时间序列中。但是,现有的 STAR 模型往往依赖于一些先验的函数形式假设,在模拟真实时间序列数据的非线性和时变性方面存在着一定的制约,从而影响宏观预测的效果。

为了更好地模拟宏观经济数据的时变性和非线性,本书在传统的 STAR 模型的基础上,运用非参数估计方法与平滑转化自回归模型相结合的半参数方法进行了拓展。平滑转化自回归模型可以成功地描述预测变量之间结构关系的转变,而非参数方法可以更好地模拟时间序列数据

的各种非线性和时变性特征。两者的有效结合不仅可以增加样本内估计的拟合度,而且能够提高样本外的预测能力。

模型结构稳定性检验和模型线性化检验是决定是否使用 STAR 模型的先决条件。基于比较线性固定系数模型和非参数时变系数模型,本书提出了新的非参数模型检验方法。考虑到中国宏观数据样本量偏小的特点,本书提出 bootstrap 方法来计算统计检验量的经验分布,提高统计推断效率。和文献中已有的方法相比较,本方法的最大优点在于无需先验地知道断点的数目和具体的位置等信息,并具有较理想的小样本性质。在应用研究中,本书利用上述的检验方法对中国主要宏观变量间的双变量关系进行线性检验和结构稳定性检验。从实证研究的角度出发,稳定性检验和线性检验不仅是使用 STAR 模型的先决条件,对其他非线性模型也同样适用,这项检验的意义已超越了本书的自身范围。比如,结构稳定性检验和模型线性化检验也是在经验研究和政策分析中得到广泛应用的向量自回归(VAR)方法和结构向量自回归(SVAR)方法的前提检验之一。

本书对于促进中国宏观经济预测的理论研究、提高中国宏观经济预测的科学性和准确性具有重要的政策意义和实践意义。从理论研究上来看,本书拓展了已有的 STAR 模型,首次提出了半参数 STAR 模型,并系统研究了新方法的渐进性理论和小样本绩效。本书也提出了基于非参数估计和 bootstrap 方法的结构稳定性与模型线性化的检验方法,这也是对模型检验理论的一个发展。从实证研究上来看,本书是首次对中国宏观经济数据进行结构稳定性和模型线性化检验,并且综合比较各主要宏观预测模型的预测效果。这些实证研究不仅填补了相关领域的空白,而且其研究结果将有效地提高中国宏观预测能力和对宏观经济的科学管理能力。

1.1.2 理论背景

在理论方面,本书主要涉及三个方面的理论文献:非线性时间序列参数模型、局部线性回归方法、结构稳定性检验与模型线性化检验。

在计量经济学的理论文献中,常见的非线性时间序列参数模型主要

包括马尔科夫机制转化模型 (Markov switching model, Hamilton, 1989), 门限自回归模型 (threshold autoregressive model, TAR, Tong, 1983), 以及最为流行的平滑转化自回归模型 (smooth transition autoregressive model, STAR, Terasvirta, 1994)。这三种模型考虑了各种不同形式的机制转换行为, 最主要的区别在于如何处理机制转换结构中的信息。典型的马尔科夫机制转换模型假定机制转换由外生的不可观测的马尔科夫链决定, 这里没有对机制变化发生的原因以及这些变化的时间作出解释; 门限自回归模型允许机制变化是内生的, 其中决定机制转换的变量是可观测的, 但是引起机制转换的门限值却是不可直接观测的, 转换机制是离散的; 而平滑转换自回归模型在两个极端机制之间的变化为平滑或逐渐的变化。而且, 通过选择不同的平滑变量 (smoothness variable) 的值, 门限自回归模型可被看作 STAR 模型的一个特例。当 STAR 模型的转换方程 (transition function) 被定义为转化变量 (transition variable) 本身时, 并且假定这个转换变量是一个离散的指示变量, 取值 0 和 1, 服从马尔科夫过程, 那么马尔科夫转化模型也是 STAR 模型的另一个特例。STAR 模型可以更为现实地描述连续的状态转化和结构变化, 因而被广泛地应用于预测工业产出、实际汇率、失业率等主要宏观时间序列, 参见 Lundbergh 和 Terasvirta (2001), van Dijk、Terasvirta 和 Franses (2002)。

在现有文献中, 根据不同的转换方程函数形式, STAR 模型可以分成两类: LSTAR 模型和 ESTAR 模型。LSTAR 模型对应的是逻辑函数形式的转换函数, 而 ESTAR 模型对应的是指数函数形式的转换函数。不同形式转换方程代表不同的机制转换方式, 具有不同的经济学含义。但为什么转换方程只能选择逻辑函数和指数函数这两种形式, 这个问题无论是从经济理论还是统计理论本身都无法提供理论依据, 实际上转换方程的选择完全是长期经验积累的结果。为了避免任意地选择转化方程的具体形式, 本书提出用局部线性回归 (local linear estimation) 的非参数方法来估计转换方程, 并在理论上研究了包含非参数转化方程的 STAR 模型的渐进性质和小样本表现。中国目前处于社会经济的转型阶段, 而上述模型正适合描述连续平滑的过渡过程, 因此直观上, 本书的

模型应该更适合中国宏观数据的特点。

局部线性回归 (locally linear regression) 是近年来最为流行的非参数估计方法, 也是应用最为广泛的非参数估计方法, 参见 Fan (1992)、Fan (1993)、Fan 和 Gijbels (1996)、Fan 和 Yao (2005)。和其他的非参数方法相比, 如以 Nadaraya (1964) 和 Watson (1964) 命名的 Nadaraya-Watson 方法, 局部线性回归估计量的上下边界具备最小化最大风险 (minimax risk) 的效率优势, 它在内点处可以取得和 Nadaraya-Watson 方法相似的估计效果, 但在边界处则可以得到更好的估计。局部线性回归还具有计算简便的特点, 其估计方法与加权最小二乘法非常相似, 容易求得点和一阶导数的估计。因此, 运用局部线性回归可以非常简便地得到导数函数的估计值。Cai、Fan 和 Yao (2000) 将局部线性回归方法运用到时间序列数据的函数系数回归模型 (functional-coefficient model) 中。常见的门限自回归模型可被看作函数系数回归模型的一个特例。研究发现, 函数系数回归模型能够更好地描述潜在的动态结构, 从而具有更好的样本外预测绩效。Cai (2007) 则将局部线性回归方法运用到包含时间趋势的时变时间序列模型 (trending time-varying coefficient time series model) 中, 并且得出了该估计量的大样本性质。本书利用局部线性回归方法估计 STAR 模型中的转换方程和非线性指标方程, 并研究这些新估计量的渐进性质和小样本性质。

对实际数据进行结构稳定性检验和模型线性化检验是使用 STAR 模型和非参数 STAR 模型的前提条件。Stock 和 Watson (1996) 对美国第二次世界大战后代表性的 76 个月度宏观时间序列以及它们两两之间的依存关系进行了稳定性检验。他们采用了一系列稳定性检验的方法, 其中包括: (1) 将稳定性检验建立在比较固定系数线性模型和时变系数参数模型的方法, 参见 Nyblom (1989); (2) 建立在累积预测误差 (cumulative forecast errors) 基础上的稳定性检验方法, 参见 Ploberger 和 Kramer (1992); (3) 建立在序贯 Wald 统计量基础上的稳定性检验, 参见 Quandt (1960)、Andrews 和 Ploberger (1994)、Hansen (1992)。不同的检验方法得到了类似的结论。即使在美国这样一个市场经济成熟

的国家,其研究发现在 5 700 个双变量稳定性检验中,有超过 55% 的依存关系是不稳定的。

利用最新发展起来的包含时间趋势的时变时间序列模型,我们将稳定性检验和模型线性化检验建立在比较非参数估计与线性参数估计的基础上,并通过 bootstrap 的方法来计算检验量的 p 值。Chen 和 Hong (2012) 证明一个类似的经标准化以后的统计量服从渐进的标准正态分布。与 Stock 和 Watson (1996) 所采用的稳定性检验方法相比,我们的方法具有以下几个优点:第一,用非参数的方法可以检测到连续的渐进性的结构变化,而以前的方法只适合于结构突变的检验;第二,我们的方法可以同时检验结构非稳定性和非线性;第三,无需关于结构性断点的位置信息和数目信息;第四,因为使用了 bootstrap 工具,我们的方法具有更理想的小样本性质。

VAR 模型和 SVAR 模型在研究中国经济问题的文献中得到了广泛应用。国内学者主要使用 CPI 通胀率、短期利率、汇率、货币供应量、进出口贸易量、外商直接投资、产出、消费、政府财政收支等变量,利用 VAR 模型或者 SVAR 模型以及脉冲反应函数等方法来分析 FDI、实际汇率以及货币政策等相关关系。例如,戴金平和王晓天 (2005) 利用 VAR 模型来分析中国的贸易、境外直接投资和实际汇率的动态关系;宋旺和钟正生 (2006) 利用 VAR 模型来分析货币政策区域效应的存在性,从而得出货币政策具有显著的区域差别的结论;刘琛和卢黎薇 (2006) 利用 VAR 模型来分析外商直接投资的动态时滞效应,得出 FDI 可以通过不同的途径对中国的经济产生综合影响的结论;封北麟和王贵民 (2006) 利用 VAR 模型来分析货币政策与金融形势指数 FCI,结果表明包含真实货币供应量的 FCI 指数对 CPI 通胀率具有更好的预测力;陈六傅和刘厚俊 (2007) 则利用 VAR 模型来分析人民币汇率的价格传导机制,发现稳健的货币政策有利于进一步隔绝来自外部的通货膨胀压力。其他利用 VAR 模型和 SVAR 模型来分析中国宏观或金融数据的文献还包括:施建淮 (2007)、王永齐 (2006)、王义中和金雪军 (2006)、赵振全和刘柏 (2006)、Qi 和 Teng (2006)、Abeyasinghe 和 Lu (2003) 等。

而使用 VAR 模型和 SVAR 模型的前提是通过结构稳定性检验和模型线性化检验,但是对中国宏观经济变量进行结构稳定性检验和模型线性化检验的经验研究基本上处于空白阶段。由此可见,在实证研究中,现有的绝大部分的文献往往忽视了结构稳定性检验和模型线性化检验的重要性。因此,对中国主要宏观变量的结构稳定性检验和模型线性化检验已经成为一项基础性的研究工作。在进行宏观政策分析和宏观经济预测中,我们的工作有助于研究者选择正确的宏观计量模型,比如是选择固定系数的 VAR 模型或 SVAR 模型,还是选择时变系数模型。

1.2 研究内容、方法和创新

1.2.1 研究内容

本书提出了半参数 STAR 模型及其半参数估计三阶段方法,为了更好地适应宏观经济数据的各种非线性和时变性的特点,并将此方法运用到中国的宏观经济预测中。在理论研究方面:第一,提出新的半参数模型估计方法并研究其渐进性性质和小样本绩效,拓展了经典的 STAR 模型;第二,结构稳定性检验和模型线性化检验是使用 STAR 模型的前提条件,因此本书提出了一个基于非参数估计的新的检验方法。在应用研究方面:第一,对中国的宏观时间序列数据进行结构稳定性检验和模型线性化检验;第二,比较包括非参数 STAR 模型在内的主要时间序列模型在宏观经济预测绩效上的差异,从而进一步提高中国宏观预测的科学性和精确性。具体内容如下:

第一,基于非参数方法的结构稳定性检验和模型线性化检验。结构稳定性检验和模型线性化检验是选择线性模型、时变系数模型和非线性模型的事前检验。本书提出一个新的检验方法。该方法建立在包含时间趋势的时变时间序列模型的基础上,通过局部线性回归的非参数方法来估计上述的时变系数模型,取得残差平方和,并将其与固定系数的线性参数模型的残差平方和进行比较,从而构造一个检验稳定性和模型线性化的统计量,并利用 wild bootstrap 的方法求得该统计量的样本分布。

和已有的检验方法相比,该检验量更容易检测到连续的结构变化,并且不要求假设关于结构断点的相关信息。

第二,STAR模型的半参数估计方法和渐近性理论。STAR模型是最流行的宏观预测模型之一,是在转换回归模型(Quandt, 1958)和门限自回归模型(Tong, 1990)的基础上发展起来的。然而大量的实证研究发现,STAR模型虽然能很好地拟合数据,给出很好的经济学解释,但样本外预测能力无法令人满意。这种现象的产生是因为STAR模型理论存在一些缺陷,导致模型存在误设风险。我们在完整保留了STAR模型基本形式不变的同时,将转换变量以非参数形式进入转换函数。这样既完整地保留了STAR模型的解释能力,又解决了模型误设问题,提高了模型的预测能力。由于半参数STAR模型的非参数部分嵌套在对数形式的转化方程中,不能与参数部分分离,因此我们提出半参数STAR模型的三阶段估计法,将参数部分和非参数部分分别估计,并且用蒙特卡洛实验验证了半参数STAR模型的估计效果,即对不同形式的转换函数,检验三阶段方法能否很好地估计模型系数,特别是对非参数部分,其能否进行很好的估计。结果显示,半参数STAR模型对数据的拟合结果令人满意。针对半参数STAR模型的三阶段估计法,本书给出了每一步相应的估计值的渐近性质。

第三,中国主要宏观变量的结构稳定性检验和模型线性化检验。运用本书提出的基于非参数方法的结构稳定性和模型线性化的检验方法来考察中国85个主要的月度宏观数据,包括产出、消费、价格、汇率、财政和金融市场等变量两两之间双变量检验的线性关系和稳定性。双变量的稳定性检验是所有固定系数线性模型的基础,因此双变量关系的不稳定性和非线性就预示着多变量关系之间的不稳定性和非线性。这项经验研究将成为一项重要的基础性的研究工作,因为结构稳定性检验和模型线性化检验是正确使用宏观预测模型以及非常流行的VAR和SVAR模型的前期工作。

第四,半参数STAR模型与预测模型的比较。用半参数STAR模型,我们对1994年1月到2012年7月间的人民币实际有效汇率进行了研究,发现半参数STAR模型能很好地描述人民币汇率在不同机制