

赵春艳◎著

平滑转换自回归模型的理论与应用研究

Research on the Thoery and Application of Smooth
Transition Autoregressive Mode

清华大学出版社



赵春艳◎著

平滑转换自回归模型的理论与应用研究

Research on the Thoery and Application of Smooth
Transition Autoregressive Mode



北航

C1815599

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是关于非线性平滑转换自回归模型的理论及应用问题的研究。在理论方面,探讨了平滑转换自回归模型进行单位根检验和线性检验的思路、统计量及极限分布。在应用方面,探讨了如何将该模型应用到宏观经济变量的分析中。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

平滑转换自回归模型的理论及应用研究/赵春艳著. —北京:清华大学出版社, 2015
ISBN 978-7-302-40810-9

I. ①平… II. ①赵… III. ①平滑—转换—自回归模型—研究 IV. ①O212.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 163030 号

责任编辑:朱敏悦
封面设计:汉风唐韵
责任校对:王凤芝
责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:170mm×240mm 印 张:10.75 字 数:179 千字

版 次:2015 年 7 月第 1 版 印 次:2015 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:45.00 元

本书的出版受到“西安交通大学人文社会
科学学术著作出版基金”资助

前 言

线性时间序列模型的理论已经非常成熟,应用广泛,最经典的有基于 B-J 方法而建立的单变量平稳时间序列的 ARMA 模型,以及基于协整理论的两个及两个以上非平稳时间序列的协整模型。然而,越来越多的研究显示,线性模型描述的是一成不变的、恒定的变动规律,它有时不能很好地解释经济现象的运动规律。例如,人们发现在通货膨胀水平和经济增长率较高的经济高涨时期,为抑制经济过热而采取的紧缩性政策明显比经济紧缩时期采取的扩张性政策有效,这是典型的非对称现象,用线性模型无法准确地描述这种现象。在这样的背景下,非线性模型的研究和应用越来越广泛。在非线性模型中,尤以描述机制转换的模型应用最为广泛,如阈值自回归模型、马尔可夫链、平滑转换自回归模型(Smooth Transition Autoregressive, STAR)等,它们会将变量分成不同机制进行描述,能把非对称现象分机制进行描述。前两个模型所描述的机制转换是间断的、跳跃的,而平滑机制转换模型所描述的机制转换是平滑的,所以,近年来 STAR 模型得到了广泛的关注和应用。

本书是关于 STAR 模型理论及应用的研究,主要内容分为两部分:一是 STAR 模型的理论研究。STAR 模型作为一种非线性模型,早期的研究中假定序列是平稳的,在此基础上给出了进行线性检验、参数估计、模型检验的有关理论和方法。后来,学者们意识到,所见到的绝大多数序列是非平稳的,平稳性检验及在此基础上的线性检验问题成为该领域研究的焦点,有关检验的模型形式及统计量存在较大差异。针对研究中存在的争论,本书提出对 STAR 模型进行单位根检验、线性检验的模型形式及统计量,并给出了统计量的极限分布和临界值,实际使用时,直接查表即可。同时,在这些研究的基础上,我们意识到非线性模型的平稳性的内涵是值得研究的问题,以 STAR 模型的平稳性问题为契机,对非线性时间序列模型平稳性的内涵进行了深入剖析。另外,本书对这些研究中所涉及的分散于相关文献中的基础理论进行了梳理和深入解释,希望能对读者的相关研究提供理论上的帮助。二是 STAR 模型的应用。STAR 模型很好地分析了宏观经济变量周期运动规律,它能比传统的经济周期分析方法揭示的规律更多、更丰富。本书用该模型分析了我国经济周期、通货膨胀周期的运动规律,以及石油价格对通货膨胀的非线

性影响,货币供应量与通货膨胀的非线性关系等。模型拟合效果良好,让我们对这些变量间的非对称现象、非线性关系有了深入的认识。另外,理论研究内容所使用的蒙特卡罗试验程序以及实证分析中所使用的 R 程序附于书后,希望能对读者实现该模型的实证应用提供帮助。

本书介绍 STAR 模型的基础理论研究,有些内容在国际上尚处在争论之中,本书的研究对于促进该模型相关理论的完善具有一定的学术价值。从实际应用角度看,如果在宏观经济变量的周期分析中使用 STAR 模型,那么能促进该模型在经济周期分析中的应用。

在本书写作过程中,得到了南雁、韩敏在数据分析和编程方面的帮助,以及南士敬、严方笠在资料搜集、文字校对方面的帮助,在此一并表示感谢。本书的顺利出版得益于清华大学出版社的编辑、尤其是李晓同志的辛勤劳动和敬业精神,在此深表感谢。

当然,由于水平有限,书中难免有错误与不妥之处,恳请读者批评指正。

赵春艳

2014 年 12 月于西安交通大学

目 录

第 I 部分 STAR 模型理论

第一章 绪 论	1
第一节 研究目的和意义	1
第二节 文献综述	3
第三节 研究内容	6
第二章 相关理论与方法	9
第一节 STAR 模型	9
第二节 单位根过程	11
第三节 维纳过程和泛函中心极限定理	22
第四节 蒙特卡罗模拟方法	25
第五节 STAR 模型线性检验和单位根检验的思路	28
第三章 一阶 LSTAR 模型的单位根检验与线性检验	30
第一节 一阶 LSTAR 模型的单位根检验	30
第二节 一阶 LSTAR 模型的单位根检验统计量功效比较	34
第三节 单位根条件下的一阶 LSTAR 模型的线性检验	39
第四节 小结	41
第四章 多阶 LSTAR 模型的单位根检验及线性检验	43
第一节 引言	43
第二节 多阶 LSTAR 模型及其平稳条件	45
第三节 多阶 LSTAR 模型的单位根检验	48
第四节 多阶 LSTAR 模型的单位根检验统计量功效比较	53
第五节 单位根条件下的多阶 LSTAR 模型的线性检验	54
第六节 小结	57

第五章 ESTAR 模型的单位根检验统计量及其功效比较	59
第一节 引言	59
第二节 ESTAR 模型的单位根检验统计量	62
第三节 ESTAR 模型的单位根检验统计量功效比较	66
第四节 小结	69
第六章 平滑转换自回归模型的平稳性问题研究	70
第一节 时间序列平稳性的内涵	71
第二节 STAR 模型与宽平稳	73
第三节 STAR 模型与严平稳	75
第四节 小结	79

第 II 部分 STAR 模型应用

第七章 STAR 模型的建模理论与方法	80
第一节 STAR 模型的建模步骤	80
第二节 多机制 STAR 模型理论与建模方法	86
第八章 我国经济周期各阶段的非线性转换特征分析	90
第一节 引言	90
第二节 样本数据及实证分析	93
第三节 小结	97
第九章 我国高通胀与低通胀的非线性转换特征分析	99
第一节 引言	99
第二节 样本数据和实证分析	101
第三节 小结	105
第十章 国际石油价格波动对我国通货膨胀周期的影响	107
第一节 引言	107
第二节 样本数据和实证分析	110
第三节 小结	117

第十一章 我国货币供应量与通货膨胀的非线性关系研究	119
第一节 引言	119
第二节 样本数据和实证分析	120
第三节 小结	125
总结	126
附录	130
参考文献	154

第 I 部分 STAR 模型理论

第一章 绪 论

第一节 研究目的和意义

一、研究目的

平滑转换自回归模型是一种非线性模型,它描述了被解释变量从一条回归线平滑转换到另一条回归线的状态,它由 Chan 和 Tong 于 1986 年提出,Granger 和 Teräsvirta(1993)、Teräsvirta(1994)加以推广。作为一种非线性模型,其平稳性检验及线性检验问题是研究的前沿问题,但是,有关检验的模型形式及统计量存在较大差异。针对这些问题,我们进行有关 STAR 模型的理论和应用研究。

在理论研究方面,早期的研究中,总是假定序列是平稳的,由此给出对序列进行建模的相关理论与方法,包括线性检验、参数估计、模型假设检验等。但是,后来学者们意识到,所见到的绝大多数序列是非平稳的,在这样的背景下,平稳条件下的建模理论与方法需要修订。在需要重新给出的理论和方法中,尤以平稳性检验及线性检验问题最为重要,平稳性检验的结果决定线性检验所使用的统计量。于是,有关两种检验的模型形式及统计量成为人们争论的焦点。因此,我们想研究 STAR 模型的单位根检验和线性检验的模型形式、检验统计量及其分布,并就 STAR 模型的两种形式——LSTAR 和 ESTAR 分别给出单位根检验和线性检验的形式和统计量,在实际应用时,可以直接查表使用。另外,不同学者对该模型提

出的单位根检验的形式存在较大差异,这意味着他们对于 STAR 模型平稳性内涵的理解是不同的,因此,我们想在理论上探究 STAR 模型平稳性的内涵,进而对非线性模型平稳性的内涵有更深入的解释,并与线性模型平稳性的内涵进行比较,从而拓展时间序列平稳性的含义。最后,本书想要梳理 STAR 模型的建模理论与方法。不同文献中,在应用 STAR 模型时,就建模步骤、线性检验、参数估计、脉冲响应函数估计等问题存在较大差异,本书欲对其中的问题进行梳理,从而为 STAR 模型的实际应用提供帮助。

二、研究意义

本书主要是针对非线性 STAR 模型的基础理论和实际应用进行研究。许多研究内容在国际上尚处在争论之中,本书的研究对于促进该模型相关理论的完善和实际应用具有一定的学术价值和应用价值。

首先,本书从逻辑上分析了 STAR 模型的单位根检验及线性检验可以在其三阶泰勒展式中同时进行,先进行单位根检验,再进行线性检验,在同一个模型中同时实现两种检验。这样既避免了非线性模型数据在线性模型中进行单位根检验,从而单位根检验的功效降低的问题;同时又能够识别出适合序列的模型。这种检验思想贯穿全书,为后续的研究奠定了基础,具有一定的科学性,同时是对非线性模型单位根检验的突破。其次,本书研究一阶 LSTAR、多阶 LSTAR 模型、ESTAR 模型的单位根检验和线性检验问题,并绘制成表格,实际使用时,直接查表即可。再次,本书研究了 STAR 模型的平稳性含义,并与线性模型平稳性的含义进行了比较,从而深入剖析了时间序列平稳性的含义。上述理论研究,对促进该模型理论的完善具有一定的意义。最后,我们在总结 STAR 模型建模理论和方法的基础上,将其应用到多个宏观经济变量周期变动的分析中,给出了具体的建模步骤和相关程序,从而促进了该模型在经济周期分析中的应用。

第二节 文献综述

在对时间序列拟合 STAR 模型时,很重要的一步是对序列进行线性检验,以确定序列是否需要用非线性模型表示。早期研究中,线性检验时总是假定序列是平稳的,如 Luukkonen(1988)以及 Teräsvirta(1994)。后来,学者们认识到,在单位根条件下,原有的线性检验统计量的分布是非标准的,在线性检验前应该先进行单位根检验;也有学者认为,单位根检验时,不应该先建立传统的线性 AR 模型,这样有时会导致错误的结论,而应该建立非线性模型,再进行单位根检验。这样,就将单位根检验与线性检验问题放在了一起,本研究在文献综述的基础上,将阐述处理两者关系的思路,并提出检验的统计量。

Kilic(2004)是最早研究在 STAR 模型的线性检验中要考虑序列的平稳性问题的,他分析了一阶的对数平滑转换自回归模型(Logistic STAR, LSTAR)以及指数平滑转换自回归模型(Exponential STAR, ESTAR),在假定序列 $\{y_t\}$ 是随机游走过程、转换变量是 y_{t-1} 的情况下,利用模型的一阶泰勒展式,给出了 Luukkonen(1988)提出的 LSTAR 模型的线性检验以及 Teräsvirta(1994)提出的 ESTAR 模型线性检验的 LM 型统计量在单位根条件下的形式及其极限分布。相应的结论表明,单位根条件下,LM 型检验统计量的分布不是标准的 χ^2 分布,而是布朗运动,而且 LM 型统计量分布的尾部比标准的 χ^2 分布要厚,因此,利用标准的 χ^2 分布进行检验可能会导致错误的结论,这样,在进行线性检验前有必要进行单位根检验。Sandberg(2008)受 Kilic(2004)研究的启发,继续了这方面的研究。与 Kilic(2004)不同的是,他假定 STAR 模型中的转换变量不是 y_{t-1} 而是 t 。在假定序列 $\{y_t\}$ 是随机游走过程的情况下,利用模型的一阶泰勒展式,他给出了 LSTAR、ESTAR 以及时变平滑转换自回归模型(Time Varing STAR, TV-STAR)线性检验的 Wald 型检验统计量及其分布。同时指明,当序列平稳时,Wald 型检验统计量服从 χ^2 分布,当序列是随机游走过程时,Wald 型检验统计量分布是非标准的,不是 χ^2 分布,而是布朗运动。试验结果表明,Wald 型统计量分布的尾部比标准的 χ^2 分布要厚,运用 χ^2 分布进行线性检验时拒绝率较高,但没有 Kilic(2004)的高。显然,这类研究是在线性 AR 模型中对序列进行单位根检验,然后利用 STAR 模型的泰勒展式,

给出单位根条件下线性检验的统计量。

与上述研究不同,另一类研究是在非线性模型中实现单位根和线性检验。Kapetanios 等(2003)提出在 ESTAR 模型中进行单位根检验,模型形式如式(1.1)所示。

$$y_t = \beta y_{t-1} + \gamma y_{t-1} [1 - \exp(-\theta y_{t-d}^2)] + \varepsilon_t \quad (1.1)$$

假定 $\beta=1, d=1$ 的情况下,提出假设:

$$H_0 : \theta = 0; H_1 : \theta > 0$$

接受 H_0 , y_t 是线性单位根过程,接受 H_1 , y_t 是非线性的整体平稳、但中间部分有单位根的序列。模型(1)中, γ 在零假设下不可识别,实际应用中采用式(1)的一阶泰勒展式进行检验,其差分形式如式(1.2)所示。

$$\Delta y_t = \delta y_{t-1}^3 + error \quad (1.2)$$

此时,提出假设为

$$H_0 : \delta = 0; H_1 : \delta < 0$$

使用的检验统计量为

$$t = \frac{\hat{\delta}}{se(\hat{\delta})} \quad (1.3)$$

显然,这里的 t 统计量仅仅能检测出 δ 的取值,而它代表的是非线性特征。因此, t 统计量的本质仍然是线性检验,只是得出的前提条件是 $\beta=1$,即单位根条件下。此时,产生的问题是, β 的取值并未经过检验,这样直接进入线性检验的结论并不可靠。

He 和 Sandberg(2006)同样提出在非线性模型中进行单位根检验的问题,利用 LSTAR 模型进行分析,如式(1.4)所示。

$$y_t = \pi_{10} + \pi_{11} y_{t-1} + (\pi_{20} + \pi_{21} y_{t-1}) F(t; \phi) + u_t \quad (1.4)$$

提出假设为

$$H_0 : r = 0, \pi_{10} = 0, \pi_{11} = 1$$

其中, r 是 $F(t; \phi)$ 的参数, $r = 0$ 意味着 $F(t; \phi)$ 为零。利用 $F(t; \phi)$ 的三阶泰勒展式,得

$$y_t = \lambda_{10} + \lambda_{11} t + \lambda_{12} t^2 + \lambda_{13} t^3 + \varphi_{10} y_{t-1} + \varphi_{11} y_{t-1} t + \varphi_{12} y_{t-1} t^2 + \varphi_{13} y_{t-1} t^3 + u_t^* \quad (1.5)$$

相应的 H_0 成为, $\lambda_{1i} = 0$ (i 取任意值), $\varphi_{10} = 1, \varphi_{1j} = 0$ ($j \geq 1$), 提出检验统计量

为:

$$t = \frac{\hat{\varphi}_{10} - 1}{se(\hat{\varphi}_{10})} \quad (1.6)$$

其中, $se(\hat{\varphi}_{10})$ 是 $\hat{\varphi}_{10}$ 的标准差。显然, 这里的 t 统计量及其临界值是在非线性不存在的情况下给出的, 本质仍然是线性模型的单位根检验。

Harbey 和 Leybourne(2007)修改了线性检验的 Wald 型统计量, 提出了一个无论序列是 $I(0)$ 或 $I(1)$ 都适合的检验统计量。利用 LSTAR 模型和 ESTAR 模型的二阶泰勒展式, 同时包含了序列是 $I(0)$ 以及 $I(1)$ (用一阶差分表示) 的情况, 提出了用有约束和无约束的两个模型的剩余平方和比较而得到的统计量, 以此进行线性检验。为了使在 $I(0)$ 或 $I(1)$ 的情况下, 检验统计量的分布相同, 提出了修正的检验统计量, 该统计量中包含了单位根检验中 ADF 检验的 t 统计量值以及待定参数 b , b 的选择保证修正检验统计量服从 χ^2 分布, 这样, 不用事先检验序列的平稳性, 可以直接用修正统计量检验其线性特征。

国内文献中, 刘雪燕、张晓峒(2009)对 LSTAR 模型中的单位根进行了理论研究, 与 Kapetanios 等(2003)的做法基本类似, 仅是将 ESTAR 模型换成了 LSTAR 模型。这类研究是在 STAR 模型中进行平稳性检验, 并且提出了适合 STAR 模型的平稳性概念。

此外, 我们还在对利用 STAR 模型进行实证分析的文献中, 对数据处理的方式做了梳理。

Byers 等(2000)对几个国家恶性通胀时期的通货膨胀率进行了 STAR 模型分析, 包括 1957 年 1 月至 1990 年 11 月的阿根廷、巴西以及 1921 至 1923 年的德国, 使用的都是原始数据。Lütkepohl(1999)等对 1961 年 1 月至 1995 年 4 季度德国 M1 货币需求函数进行了分析, 引入的变量有 GNP、利率、GNP 缩减指数, 利用 ADF 统计量对数据进行平稳性检验后发现, M1 无季节单位根, 而 GNP、利率、GNP 缩减指数有单位根, 借助 Abeyasinghe(1994)的做法, 引入季节工具变量进行分析, 估计了 LSTAR 模型, 模型中使用的都是变量的差分形式。Dijk 和 Terasvirta(2000)对 STAR 模型的发展做了很好地综述, 并且对美国 1968 年 6 月—1999 年 11 月男性失业率月度数据建模, 认为该数据是整体平稳、但存在非线性及局部非平稳性(未检测), 对序列进行一阶差分后建模。

综上所述, STAR 模型的平稳性问题与线性问题是有联系的, 在进行线性检验

前必须说明序列的平稳性,而检验序列的平稳性时,主流的做法是建立 AR 模型,此时存在的问题是,序列本身适合的是非线性模型,而建立线性模型对其进行单位根检验,有可能降低检验的功效,这已经得到了一些研究的证实;少部分做法是建立非线性模型,然后进行单位根检验,但是,它们的本质仍然是线性检验,并不是单位根检验,或者是线性模型的单位根检验。鉴于此,本书研究 STAR 模型的单位根检验和线性检验的问题,寻找适合非线性模型单位根检验和线性检验的统计量及其分布,并将提出的单位根检验统计量与 DF 统计量在检验 STAR 模型单位根的功效进行比较。

第三节 研究内容

本书的主要内容及框架图如下。

1. STAR 模型的单位根检验及线性检验的思路

针对 STAR 模型中单位根检验及线性检验在两个模型中进行的问题,本书认为应该将上述两个检验放在平滑转换自回归模型中一起进行,先进行单位根检验,再进行线性检验,给出两个检验统计量的分布及临界值。这种检验的思路贯穿到后面的关于一阶 LSTAR 模型多阶 LSTAR 模型单位根及线性检验问题以及 ESTAR 模型的单位根检验问题中。

2. 一阶 LSTAR 模型的单位根检验及线性检验

本书以一阶 LSTAR 模型为例,在其三阶泰勒展式中,先进行单位根检验,再进行线性检验,给出了单位根检验的 t 统计量以及线性检验的 F 统计量的形式、极限分布及临界值。为了验证本书提到的 t 统计量检验一阶 LSTAR 模型中单位根的功效,用蒙特卡罗模拟数据进行检验,并且与 DF 单位根检验统计量进行比较。

3. 多阶 LSTAR 模型的单位根检验及线性检验统计量

为了使研究更具一般性,研究了多阶 STAR 模型的单位根检验及线性检验问题。首先研究多阶 STAR 模型的形式及其平稳条件;其次,借用 ADF 检验的思想,给出多阶 LSTAR 模型的三阶泰勒展式,同样在其中先进行单位根检验,再进行线性检验,给出了两种检验的统计量分布及其临界值。另外,用蒙特卡罗试验模

拟产生适应多阶 LSTAR 模型的单位根序列,并用 ADF 统计量和本研究提出的 t 统计量比较它们检验其中的单位根的功效。

4. 指数平滑转换自回归模型的单位根检验统计量及其功效比较研究

指数平滑转换自回归模型是 STAR 模型中的一种,它常用来描述汇率偏离其购买力平价的行为,有关 ESTAR 模型单位根检验尚在争论之中,我们利用其二阶泰勒展式进行单位根检验,给出 t 统计量的极限分布及临界值。为了验证 t 统计量检验 ESTAR 模型中单位根的功效,我们用蒙特卡罗试验进行检验,并且与 DF 单位根检验统计量以及 Kapetanios 等(2003)的 t_{NL} 统计量进行比较。

5. STAR 模型平稳性的含义

如前文所述,不同学者提出 STAR 模型数据的平稳性检验的模型形式及统计量存在较大差异,这意味着他们对于 STAR 模型平稳性的含义是不同的,为此,我们研究 STAR 模型的平稳性含义,并与线性模型的平稳性进行比较,进而对时间序列平稳性的含义有更深入的认识。

6. STAR 模型的应用

前面的研究都是关于 STAR 模型的理论研究,在此基础上,我们利用这一模型进行实证研究,力争做到理论与实际相结合。

(1)利用 LSTAR 模型对我国 1992 年 1 季度至 2010 年 4 季度的实际季度 GDP 增长率数据进行经济周期分析,同时给出经济周期在复苏、扩张、衰退、收缩不同阶段转换的位置和速度,并且对序列在不同阶段的平稳性进行了分析。

(2)对我国通货膨胀率分别建立由自身滞后值和 M2 增长率滞后值为转换变量的 LSTAR 模型,说明市场机制和货币政策对我国低通胀与高通胀转换的非线性影响。

(3)利用 LSTAR 模型研究国际石油价格对我国通货膨胀周期波动的非线性影响,说明国际石油价格波动是否对我国通货膨胀周期产生非对称性影响。

(4)我国货币供应量与通货膨胀的非线性关系研究,利用 LSTAR 模型考察货币供应量是否跟通货膨胀存在非线性关系,从而说明货币政策对通货膨胀的治理是否存在明显的非对称性。

上述研究内容的框架图如图 1-1 所示:

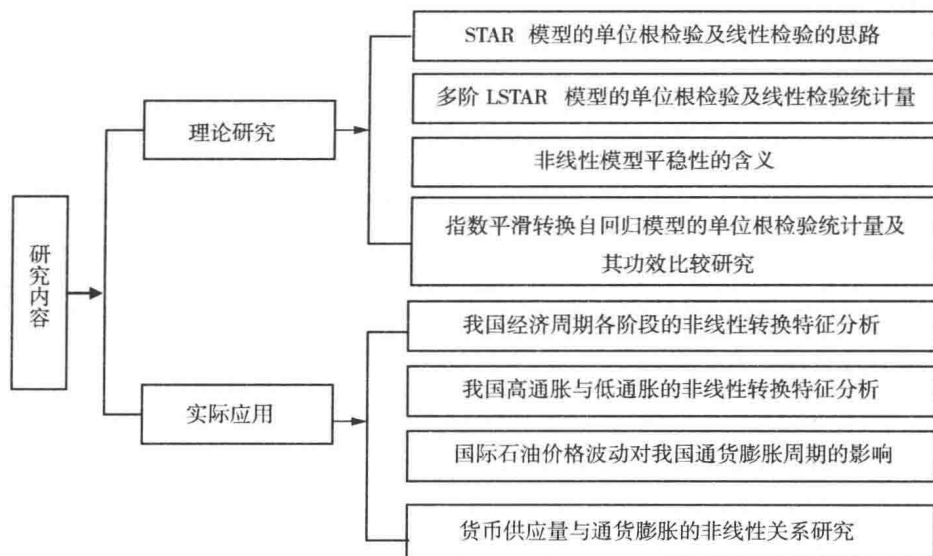


图 1-1 研究内容框架图