

小白学统计|面板数据分析与Stata应用笔记（五）

在我们使用面板数据做计量分析的时候，我们在拟合模型之前，首先需要对数据的平稳性进行检验，检验数据平稳性最常用的办法是单位根检验。

知识回顾

如果一个时间序列不是平稳过程，则称为“非平稳序列” (non-stationary time series)。在以下三种情况下，都有可能出现非平稳序列：

- 确定性趋势
- 结构变动
- 随机趋势

我们称平稳的时间序列为“零阶单整” (Integrated of order zero)，记为 $I(0)$ 。如果时间序列的一阶差分为平稳过程，则称为“一阶单整” (Integrated of order one)，记为 $I(1)$ ，也称为“单位根过程” (unit root process)。更一般地，如果时间序列的 d 阶差分为平稳过程，则称为“ d 阶单整” (Integrated of order d)，记为 $I(d)$ 。

对于 $I(0)$ 序列，由于它是平稳的，所以长期而言有回到其期望值的趋势，这种性质被称为“均值回复” (mean-reverting)。而非平稳的 $I(1)$ 序列则会“到处乱跑” (wander widely)，没有上述性质。此外， $I(0)$ 序列对于其过去的行为只有有限的记忆，即发生在过去的扰动项对未来的影响随时间而衰减；而 $I(1)$ 序列则对过去的行为具有无限长的记忆，即任何过去的冲击都将永久性地改变未来的整个序列。

非平稳序列会造成以下问题：

- 自回归系数向左偏向于0；
- 传统的 t 检验失效；
- 两个相互独立的单位根变量可能出现伪回归 (spurious regression) 或伪相关。

面板数据单位根检验

陈强教授在《高级计量经济学与STATA应用（第二版）》中给出了六种对面板数据的单位根进行检验的方法。分别是：LLC、HT、Breitung、IPS、费雪式和Hadri LM6种方法进行面板单位根检验。有些面板单位根检验(LLC检验、HT检验与Breitung检验)，假设各面板单位的自回归系数均相同，也称为“共同根” (common root)，其他检验则允许各面板单位的自回归系数不同。

除此之外，为了导出检验统计量的大样本分布，这些检验对于横截面维度 n 或时间维度 T 是否固定，或趋于无穷的速度所作的渐近假定也不尽相同。因此，对于具体数据，究竟适用何种面板单位根检验，主要取决于样本容量。比如，基于 $n/T \rightarrow 0$ 的检验，要求时间维度 T 增长速度快于横截面维度 n ，故适用于长面板。而基于 T 固定而 $n \rightarrow \infty$ 的检验则适用于短面板。Stata手册将这些检验分类总结如下表。

表 21.2 面板单位根检验的特征

检验	Stata 选择项	适用的渐近理论	允许不同的自回归系数	允许非平衡面板
LLC	noconstant	$\sqrt{n}/T \rightarrow 0$	否	否
LLC		$n/T \rightarrow 0$	否	否
LLC	trend	$n/T \rightarrow 0$	否	否
HT	noconstant	$n \rightarrow \infty, T$ 固定	否	否
HT		$n \rightarrow \infty, T$ 固定	否	否
HT	trend	$n \rightarrow \infty, T$ 固定	否	否
Breitung	noconstant	$(T, n) \rightarrow_{seq} \infty$	否	否
Breitung		$(T, n) \rightarrow_{seq} \infty$	否	否
Breitung	trend	$(T, n) \rightarrow_{seq} \infty$	否	否
IPS		$n \rightarrow \infty, T$ 固定; 或 n, T 都固定	是	是
IPS	trend	$n \rightarrow \infty, T$ 固定; 或 n, T 都固定	是	是
IPS	lags()	$(T, n) \rightarrow_{seq} \infty$	是	是
IPS	trend lags()	$(T, n) \rightarrow_{seq} \infty$	是	是
费雪式		$T \rightarrow \infty, n$ 有限或趋无穷	是	是
Hadri LM		$(T, n) \rightarrow_{seq} \infty$	—	否
Hadri LM	trend	$(T, n) \rightarrow_{seq} \infty$	—	否

#图片来自陈强教授《高级计量经济学及Stata应用（第二版）》中的截图

表中, $(T, n) \rightarrow_{seq} \infty$ 表示“序贯极限”(sequential limit), 即首先给定 n , 让 $T \rightarrow \infty$, 然后再让 $n \rightarrow \infty$ 。在实践中, 这要求 T 较大, 而且 n 也不能太小。

此外, 因为Hadri LM检验为面板平稳性检验(原假设为平稳过程), 所以不存在是否“允许不同的自回归系数”的问题。

1、LLC检验

LLC检验适用于长面板数据 ($T > n$), 且为平衡面板数据。

LLC检验假设不存在截面相关, 如果这个假设不成立, 则LLC检验将存在“显著性水平扭曲”, 为了缓解可能存在的界面相关, 我们可以先将面板数据减去各截面单位的均值, 然后再进行LLC检验。

#LLC检验是左边单侧检验, 即拒绝域仅在分布的最左边。

LLC检验的Stata命令格式为:

`xtunitroot llc y,trend noconstant demean lags(#) lags(aic #) lags(bic #) lags(hqic #)`

其中, “y”表示需要进行检验的变量; 选择项 “trend” 表示加入个体固定效应与线性时间趋势, 选择项 “noconstant” 表示这两项都不加, 默认仅加入个体固定效应; 选择项 “demean” 表示先将面板数据减去各截面单位的均值, 再进行检验; 选择项 “lags(#)” 用于指定差分滞后项 $\Delta y_{t,t-j}$ 的滞后阶数 p (要求所有个体滞后阶数都相同); 选择项 “lags(aic #)”、“lags(bic #)”、与 “lags(hqic #)” 分别表示使用AIC、BIC或HQIC信息准则来选择 p_i 并指定其最大值#, 且不同个体的滞后阶数 p_i 可以不同。

***下面, 我们以Stata提供的数据集pennxrate. dta为例进行LLC检验。

pennxrate平衡面板来自Penn World Table 6.2, 包含151个国家, 1970—2003年的实际汇率数据。目标是检验“购买力平价”(Purchasing Power Parity, 简记PPP)是否成立。购买力平价假说认为, 两国之间的名义汇率反映两国之间的物价水平, 经物价调整后的实际汇率在长期内趋于均衡值, 故应为平稳过程。因此, 检验lnrxrate (实际汇率的对数)是否为单位根过程; 如果是, 则拒绝PPP假说。该数据集还包括两个虚拟变量g7与oecd, 分别表示G7与OECD国家。另外, 由于选择美国作为参照国来考察世界各国的汇率, 故美国不在此数据集中。

```
. xtdes
```

```
id: 1, 4, ..., 188      n = 151
year: 1970, 1971, ..., 2003  T = 34
Delta(year) = 1 unit
Span(year) = 34 periods
(id*year uniquely identifies each observation)
```

Distribution of T_i:	min	5%	25%	50%	75%	95%	max
	34	34	34	34	34	34	34

[illegible]

在理论上，因为没有理由认为lnrxrate有时间趋势，所以在检验中我们不使用选择项“trend”，而使用默认设置，即仅加入个体固定效应。又因为LLC检验仅适用于长面板数据，即要求横截面维度小于时间维度，因此，为了检验的目的，我们仅使用G7中的六个国家(不含美国)进行检验。考虑到G7国家经济发展水平相近且联系密切，所以每个国家的扰动项可能存在截面相关，为此，我们在检验中使用选择项“demean”来缓解截面相关问题。

LLC检验命令为【xtunitroot llc lnrxrate if q7,lags(aic 10) demean】

```
. xtunitroot llc lnrxrate if g7,lags(aic 10) demean
```

Levin-Lin-Chu unit-root test for lnrxrate

Ho: Panels contain unit roots	Number of panels =	6
Ha: Panels are stationary	Number of periods =	34
AR parameter: Common	Asymptotics: N/T -> 0	
Panel means: Included		
Time trend: Not included	Cross-sectional means removed	

```
ADF regressions: 1.50 lags average (chosen by AIC)
LR variance:     Bartlett kernel, 10.00 lags average (chosen by LLC)
```

	Statistic	p-value
Unadjusted t	-5.5473	
Adjusted t*	-2.0813	0.0187

LLC检验结果显示, 根据AIC信息准则选择的平均滞后阶数为1.5, 偏差校正统计量为-2.08, 其对应的P值为0.0187, 小于0.05, 所以在5%的显著性水平下拒绝原假设, 认为面板数据为平稳过程。检验结果支持PPP。

2、HT檢驗

HT检验要求面板数据为平衡面板数据。

由于LLC检验仅适用于长面板，而许多微观面板数据的时间维度T较小。为此,Harris and Tzavalis(1999)(简记HT)提出了基于T固定，而 $n \rightarrow \infty$ 的检验统计量。

HT检验的Stata命令格式为：

```
xtunitroot ht y,trend noconstant demean
```


其中, "y"表示需要进行检验的变量; 选择项 "trend" 表示加入个体固定效应与线性时间趋势, 选择项 "noconstant" 表示这两项都不加, 默认仅加入个体固定效应; 选择项 "demean" 表示先将面板数据减去各截面单位的均值, 再进行检验。

#HT检验是左边单侧检验

******继续以数据集pennxrate.dta为例进行检验演示。

因为HT检验的前提为T固定而 $n \rightarrow \infty$, 所以我们使用全部151个国家进行HT检验, 同样, 为了缓解截面相关问题, 我们在命令中依然使用选择项 "demean" 。

HT检验命令为【**xtunitroot ht lnrxrate,demean**】

<code>. xtunitroot ht lnrxrate,demean</code>			
Harris-Tzavalis unit-root test for <code>lnrxrate</code>			
<hr/>			
Ho: Panels contain unit roots	Number of panels	=	151
Ha: Panels are stationary	Number of periods	=	34
AR parameter: Common	Asymptotics: N -> Infinity		
Panel means: Included	T Fixed		
Time trend: Not included	Cross-sectional means removed		
<hr/>			
	Statistic	z	p-value
<hr/>			
rho	0.8184	-13.1239	0.0000
<hr/>			

由HT检验结果可知, $\hat{\rho} = 0.82$, 而 $z = -13.12$, 相应的P值为0.0000, 所以强烈拒绝面板单位根的原假设, 依然支持PPP。

3、Breitung检验

Breitung检验要求面板数据为平衡面板数据。

LLC检验与HT检验的共同特点是直接用OLS估计回归方程, 然后再对自回归系数或t 统计量进行校正, 以消除动态面板偏差。

Breitung检验(Breitung 2000)的基本思路与LLC检验类似。主要区别在于, Breitung首先对数据进行“向前正交变换”(forward orthogonalization), 即减去未来各期的平均值, 然后再进行回归, 使得回归后不再需要偏差校正。具体步骤参见Stata手册。所得检验统计量记为 λ , 服从渐近标准正态分布, 然后进行左边单侧检验。

Breitung检验假设数据生成过程为AR(1)。如果存在更高阶的自回归项, 则应先进行“预白噪声化”(prewhitening), 以消除原序列的自相关。

#Breitung检验是左边单侧检验

Breitung检验的Stata命令格式为:

xtunitroot breitung y,trend noconstant demean robust lags(#)

其中, "y"表示需要进行检验的变量; 选择项 "trend" 表示加入个体固定效应与线性时间趋势, 选择项 "noconstant" 表示这两项都不加, 默认仅加入个体固定效应; 选择项 "demean" 表示先将面板数据减去各截面单位的均值, 再进行检验; 选择项 "robust" 表示使用截面相关稳健的统计量; 选择项 "lags(#)" 用于指定进行预白噪声化的滞后阶数, 默认不进行预白噪声化。

******继续以数据集pennxrate.dta为例进行检验演示。

由于Breitung检验的渐进理论假设为 $(T, n) \rightarrow_{seq} \infty$, 所以选择OECD国家作为样本数据。我们在命令中使用选择项 "robust" 控制截面相关, 所以不再使用选择项 "demean" 。

因为, 在LLC检验中, 平均滞后期为1, 所以假设数据生成过程为AR(1), 不进行预白噪声化处理。

Breitung检验命令为【**xtunitroot breitung lnrxrate if oecd,robust**】

```
. xtunitroot breitung lnrxrate if oecd,robust
```

Breitung unit-root test for lnrxrate

Ho: Panels contain unit roots	Number of panels =	27
Ha: Panels are stationary	Number of periods =	34
AR parameter: Common	Asymptotics: T,N -> Infinity	
Panel means: Included	sequentially	
Time trend: Not included	Prewhitening: Not performed	

	Statistic	p-value
lambda*	-1.6794	0.0465

* Lambda robust to cross-sectional correlation

Breitung检验结果显示，检验统计量 $\lambda = -1.68$ ，相应的P值为0.0465，小于0.05，所以在5%的显著性水平上拒绝原假设，即认为面板数据是平稳过程。

4、IPS检验

LLC检验、HT检验与Breitung检验的共同局限在于，它们都要求每位个体的自回归系数 δ 都相等，此共同根假设在实践中可能过强。比如，不同国家由于制度与文化的原因，经济规律可能不同。为了克服此缺点，Im, Pesaran and Shin(2003)(简记IPS)提出了IPS面板单位根检验。

#IPS检验是左边单侧检验

IPS检验的Stata命令格式为：

```
xtunitroot ips y,trend demean lags(#) lags(aic #) lags(bic #) lags(hqic #)
```

其中，“y”表示需要进行检验的变量；选择项“trend”表示加入个体固定效应与线性时间趋势，默认仅加入个体固定效应；选择项“demean”表示先将面板数据减去各截面单位的均值，再进行检验；选择项“lags(#)”用于指定差分滞后项 $\Delta y_{t,t-j}$ 的滞后阶数p（要求所有个体滞后阶数都相同）；选择项“lags(aic #)”、“lags

(bic #)”、“lags(hqic #)”分别表示使用AIC、BIC或HQIC信息准则来选择 p_i 并指定其最大值#，且不同个体的滞后阶数 p_i 可以不同。

******继续以数据集pennxrate.dta为例检验OECD国家是否符合PPP假说。

首先，我们假定扰动项没有自相关，但使用选择项“demean”来缓解可能存在的自相关。

IPS检验命令为【xtunitroot ips lnrxrate if oecd,demean】

```
. xtunitroot ips lnrxrate if oecd,demean
```

Im-Pesaran-Shin unit-root test for lnrxrate

Ho: All panels contain unit roots	Number of panels =	27
Ha: Some panels are stationary	Number of periods =	34
AR parameter: Panel-specific	Asymptotics: T,N -> Infinity	
Panel means: Included	sequentially	
Time trend: Not included	Cross-sectional means removed	

ADF regressions: No lags included

	Statistic	p-value	Fixed-N exact critical values		
			1%	5%	10%
t-bar	-3.1327		-1.810	-1.730	-1.680
t-tilde-bar	-2.5771				
Z-t-tilde-bar	-7.3911	0.0000			

由检验结果可知，t-bar统计量为-3.13，小于1%显著性水平的临界值-1.81，所以拒绝面板单位根的原假设。此外，统计量Z-t-tilder-bar对应的P值为0.000，同样拒绝原假设。

下面，我们考虑扰动项存在自相关的情形，并引入差分滞后项。

IPS检验命令为【xtunitroot ips lnrxrate if oecd,lags(aic 8) demean】

```
. xtunitroot ips lnrxrate if oecd,lags(aic 8) demean
```

Im-Pesaran-Shin unit-root test for lnrxrate

Ho: All panels contain unit roots	Number of panels =	27
Ha: Some panels are stationary	Number of periods =	34
AR parameter: Panel-specific	Asymptotics: T,N -> Infinity	
Panel means: Included	sequentially	
Time trend: Not included	Cross-sectional means removed	

ADF regressions: 1.48 lags average (chosen by AIC)

	Statistic	p-value
W-t-bar	-7.3075	0.0000

结果显示：根据AIC准则选择的平均滞后期为1.48，而统计量W-t-bar的值为-7.31，对应的P值为0.000，所以依然拒绝原假设。

5、费雪式检验

费雪式检验的基本思路类似于IPS检验，即对每位个体分别进行检验，然后再将这些信息综合起来。

具体来说，就是对面板数据中的每位个体分别进行单位根检验（ADF检验或PPP检验），得到n个检验统计量及相应的p值 $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 。

Choi（2001）提出了四种方法将这些P值综合成“费雪式”统计量。

方法一：逆卡方变换（单边右侧检验），允许非平衡面板数据。

方法二：逆正太变换（单边左侧检验）

方法三：逆逻辑变换（单边左侧检验）

方法四：修正逆卡方变换（如果面板中个体数 n 很大，可以使用“修正逆卡方变换”）

费雪式检验的Stata命令格式为：

`xtunitroot fisher y,dfuller pperron demean lags(#)`

其中，选择项“dfuller”表示根据ADF检验获得P值，选择项“pperron”表示根据PP检验获得P值。选择项“lags(#)”如果与选择项“dfuller”同时使用，表示ADF检验的滞后阶数，如果与选择项“pperron”同时使用，表示用于计算标准误的滞后阶数。进一步，如果使用选择项“dfuller”，则命令dfuller的所有选择项也都适用于此命令；类似的，如果使用选择项“pperron”，则命令pperron的所有选择项也都适用于此命令。

******继续以数据集pennxrate.dta为例，使用滞后两期的ADF回归检验所有151个国家的实际汇率。

由于许多国家的实际汇率对数的平均值都不为零，所以假设真实模型可能存在漂移项，所以加入命令dfuller的选择项“drift”。此外，使用选择项“demean”来缓解可能存在的界面相关。

费雪式检验命令为【`xtunitroot fisher lnrxrate,dfuller drift lags(2) demean`】

```
. xtunitroot fisher lnrxrate,dfuller drift lags(2) demean

Fisher-type unit-root test for lnrxrate
Based on augmented Dickey-Fuller tests

-----
Ho: All panels contain unit roots          Number of panels =    151
Ha: At least one panel is stationary       Number of periods =    34

AR parameter: Panel-specific              Asymptotics: T -> Infinity
Panel means:   Included
Time trend:    Not included                Cross-sectional means removed
Drift term:    Included                    ADF regressions: 2 lags
-----
```

	Statistic	p-value
Inverse chi-squared(302) P	975.9130	0.0000
Inverse normal Z	-19.6183	0.0000
Inverse logit t(759) L*	-20.9768	0.0000
Modified inv. chi-squared Pm	27.4211	0.0000

```

P statistic requires number of panels to be finite.
Other statistics are suitable for finite or infinite number of panels.
```

费雪式检验结果显示，所有的四个统计量均强烈拒绝面板单位根的原假设，其相应的p值均为0.0000。

6、Hadri LM检验

Hadri (2000)把KPSS平稳性检验推广到面板数据，提出了检验面板平稳性的LM检验(原假设为平稳过程)。

Hadri LM的Stata命令格式为：

`xtunitroot hadri y,trend demean robust kernel (bartlett #) kernek (parzen #) kernel(quadraticspectral #)`

其中，选择项“robust”表示允许不同个体的 ε_{it} 存在异方差（不再是iid，但仍为正态）；选择项“kernel(bartlett #) kernel(parzen #) kernel(quadraticspectral #)”分别指定使用bartlett,parzen或quadraticspectral核函数以及滞后阶数#，来估计扰动项的长期方差，即渐进方差。使用选择项“kernek()”可以使得检验结果在存在异方差和自相关的情况下也成立。

******仍以数据集pennxrate.dta为例，对OECD国家进行检验。

为了控制自相关，使用滞后5阶的bartlett核函数。

Hadri LM检验命令为

【xtunitroot hadri lnrxrate if oecd,kernel(bartlett 5) demean】

```
. xtunitroot hadri lnrxrate if oecd,kernel(bartlett 5) demean
```

Hadri LM test for lnrxrate

Ho: All panels are stationary	Number of panels =	27
Ha: Some panels contain unit roots	Number of periods =	34
Time trend:	Not included	Asymptotics: T, N -> Infinity
Heteroskedasticity:	Robust	sequentially
LR variance:	Bartlett kernel, 5 lags	Cross-sectional means removed

	Statistic	p-value
z	9.6473	0.0000

Hadri LM检验结果显示：可以拒绝“所有面板单位均为平稳过程”的原假设，这与上面五种检验方法的结果有所不同。

Banerjee et al(2005)探讨了面板单位根检验对于PPP假说的适用性，并指出由于不同国家之间汇率可能存在协整或长期关系，面板单位根检验经常在原假设正确的情况下也拒绝原假设。

如果我们进行面板单位根检验结果显示所有变量均为单位根过程，我们就需要进行下一步的面板协整检验了。



长按二维码关注