

# 多窗谱分析方法及其在全球变暖研究中的应用<sup>\*</sup>

江志红 屠其璞 施 能

(南京气象学院, 南京, 210044)

## 摘 要

多窗谱分析方法是一种低方差、高分辨的谱分析方法, 尤其适合于非线性气候系统中高噪声背景下弱信号、时频演变信号的诊断分析。文中简要地介绍了多窗谱分析方法的基本原理, 并将其用于近150 a来全球及南、北半球温度变化的研究。结果表明: (1) 在温度呈线性变暖的背景趋势下, 北半球、全球年平均温度还具有显著的40~70 a的准周期低频振荡, 它们与变暖过程中的波动性密切相关; (2) 年代际振荡信号在北半球温度序列中也相当明显, 南半球则存在多种低于5 a尺度的显著振荡周期, 半球或全球 ENSO 振荡分量、QBO 周期信号的振幅都具有缓变包络的特性; (3) 与传统功率谱估计、最大熵谱估计结果的对比表明, 多窗谱分析方法得到的谱估计分辨率高, 稳定性强。

关键词: 多窗谱分析, 信号检测、重建, 全球变暖, 低频振荡。

## 1 引 言

多窗谱分析(Multi-Taper Method, 简称MTM)是一种低方差、高分辨的谱分析方法, 尤其适合于短序列、高噪声背景下准周期信号的诊断分析。该方法最初是由Thomson<sup>[1]</sup>于1982年在分析地震数据时创立的。在此基础上, Park等<sup>[2]</sup>在1992年利用线性逆理论, 由多窗分解的信息建立了信号重建技术, 它可以模拟准周期信号的振幅和位相随时间的演变状况。最近Mann和Park<sup>[3]</sup>则将该方法与多元统计方法相结合, 提出了频域-奇异值分解方法。由于MTM提供了谱分辨率与方差间的最好权衡, 其优势在信噪比较低的序列分析中尤为突出。因此非常适合于非线性气候系统中弱信号、时-空依赖信号的诊断分析。

随着CLIVAR计划的实施, 全球变暖、年代至世纪尺度的气候变率引起了各国气象工作者的高度关注。MTM提供了认识该时间尺度气候变率的强有力工具, 在国际上已相当活跃, 但迄今为止国内尚未见到其应用。文中将简要地介绍了MTM的基本原理, 并将其引入近150 a来全球及南、北半球温度变化的诊断分析, 以提高对全球变暖的认识。同时通过与传统谱估计方法的对比, 揭示其优越性。

<sup>\*</sup> 初稿时间: 1999年6月29日; 修改稿时间: 1999年10月8日。  
资助课题: 国家自然科学基金(49875019)。

## 2 多窗谱分析的基本原理

### 2.1 经典谱窗估计的缺陷

不失一般性,假设  $\{X_t\} t = 0, 1, 2, \dots$  为零均值平稳过程,则在区间  $(-1/2, 1/2)$  有其谱展式

$$x_t = \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} e^{-i2\pi f t} X(f) df \quad (1)$$

其中  $X(f)$  为振幅谱,功率谱密度  $S = E[X(f)^2]$ ,  $E$  表示对随机过程  $\{X_t\}$  取数学期望。

若  $\{X_t\} t = 0, 1, 2, \dots, N-1$  为随机过程  $\{X_t\}$  的样本序列,则振幅谱估计

$$\hat{X}(f) = \sum_{t=0}^{N-1} \omega_{X_t} e^{i2\pi f t} \quad (2)$$

其中  $\omega_{X_t}$  为数据窗,相应的频率窗函数

$$W(f) = \sum_{t=0}^{N-1} \omega e^{i2\pi f t} \quad (3)$$

由傅氏变换的褶积定理可知,振幅谱估计

$$\hat{X}(f) = \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} W(f - f') X(f') df' \quad (4)$$

由上式可见,对任意指定的频率  $f$ , 频率窗函数  $W(f)$  起加权平均的作用。

显然  $W(f)$  的性态直接影响到谱估计的优劣,由于实测序列样本长度的有限性,窗函数的引入在非参数谱估计方法中是不可避免的,而加窗必然会产生频率泄漏,使功率谱失真;但同时又能降低谱估计方差,增强其稳定性。可见,谱估计的分辨力与稳定性是两个性能完全“相反”的指标,要降低其中一者的值,则必然要以增大另一者为代价。近半个多世纪以来,许多学者致力于窗函数的研究,提出了各种形式的窗函数,但往往也只能根据实际需要,权衡利弊来选择窗函数。

### 2.2 多窗谱分析的基本思想

Thomson<sup>[1]</sup>于1982年创立了多窗谱估计技术,其基本出发点主要有以下两方面的考虑:

(1) 以一簇数据窗代替单一数据窗,对每一数据窗构成的时间序列进行离散傅氏变换(DFT),并将由此得到的特征谱函数进行加权平均形成谱估计,显然,这是一种平滑谱,具有低方差的特征。

(2) 在半带宽  $p f_n$  ( $p$  为整数,  $f_n = \frac{1}{N} \Delta$  是 Rayleigh 频率,具体说明见下) 外具有最小频率泄漏的原则下,由 Rayleigh-Ritz 的最小化问题得到数据窗函数簇(常称为特征窗函数簇)。

### 2.3 多窗谱分析的算法简介<sup>[1]</sup>

据式(4),在频率  $f$  处,若要使由于频率带宽  $f - f'$  外的频率泄漏导致的谱估计倚达到最小,则必须使窗函数在该频率带宽内的能量对总能量的比达到最大,即

$$\lambda(N, f_w) = \frac{\int_{-f_w}^{f_w} W(f)^2 df}{\frac{1}{2} \int_{-f_w}^{f_w} W(f)^2 df} = \max \quad (5)$$

显然,  $\lambda$  是序列长度  $N$ 、带宽  $f_w$  的函数。

将式(3)代入式(5), 并以矢量形式表示数据窗,  $\omega = \begin{Bmatrix} \omega \\ \dots \\ \omega_{N-1} \end{Bmatrix}$  则上述问题即转变为在

$\lambda$  极大的条件下, 求解

$$C\omega - \lambda(N, f_w)\omega = 0 \quad (6)$$

矩阵特征值的问题。其中  $C = (C_{tt})$

$$C_{tt} = \frac{\sin [2\pi f_w (t - t)]}{\pi(t - t)} \quad t, t = 0, 1 \dots N - 1 \quad (7)$$

Slepian<sup>[4]</sup>于1978年即给出了上述问题的解。方程(6)对应的特征值是  $1 > \lambda_0 > \lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_{N-1} > 0$ , 相应的特征向量  $\omega^{(k)}(N, f_w) = (\omega^{(k)})(k = 0, 1 \dots N - 1; t = 0, 1 \dots N - 1)$  为离散扁长的球体序列(Discrete Prolate Spheroidal Sequences, DPSS), 又称其为特征窗函数(或特征数据窗, eigentapers), 它是  $N, f_w$  的函数。

对任一确定的  $N, f_w$ , 即可得到相应的特征窗函数簇, 代入式(2), 进行 DFT 变换, 便可得到

$$y_k(f) = \sum_{t=0}^{N-1} \omega^{(k)} x_t e^{2\pi f t} \quad (8)$$

称  $y_k(f)$  为第  $k$  个特征谱估计。Thomson<sup>[11]</sup>利用谱估计的积分方程, 得到了高分辨的多窗谱估计  $S(f)$

$$S(f) = \frac{\sum_{k=0}^{K-1} \lambda_k y_k(f)^2}{\sum_{k=0}^{K-1} \lambda_k} \quad (9)$$

由此可见, 高分辨谱估计实质上是以特征值  $\lambda_k$  为权重系数的特征谱估计的加权和。根据 Mann 和 Park<sup>[3]</sup>的研究, 对器测长度的气候资料序列来讲, 当用于 ENSO、年代际变率的检测时, 取  $K = 3, p = 2$  为最佳。

## 2.4 多窗谱分析的准周期信号检测

在地球物理数据中, 信号往往是准周期性的, 位相、振幅随时间演变, 甚至具有间歇振荡特点。在气候问题中, 由于某种长期趋势的存在, 系统常常在低频部分有很强的谱分量, 呈现强红噪声的背景。对基于 MTM 的谱估计, Mann 等<sup>[5]</sup>提出了强红噪声背景的信号检测方法。其基本思路如下:

取一合适的滑动窗对自适应谱估计  $S(f)$  进行平滑, 以得到的平滑谱作为红噪声背景

景的估计, 然后利用 Brent 的方法<sup>[41]</sup>进行非线性拟合, 得到该噪声背景

$$S(f) = s_0 \frac{1 - \rho_1^2}{1 - 2\rho_1 \cos \pi f / f_N + \rho_1^2} \quad (10)$$

即可得相应的  $AR(1)$  过程的谱密度。最后由谱估计的抽样分布理论, 得到不同置信限的红噪声谱临界值。

## 2.5 多窗谱分析的信号重建

对多窗谱估计中检测到的各类显著振荡信号, 可以通过多窗分解信息的时间域反演进行重构, 其重构信号具有显著缓变包络特性。对此, Park 等已给出了一系列相关研究, 详细求解可参阅文献[2]。

## 3 全球与南、北半球温度化的多窗谱分析

全球平均增暖的总趋势已成为科学界的共识, 但无论是在全球尺度还是区域尺度上, 增暖过程中都存在着各种时间尺度的波动<sup>[6]</sup>。显然, 从这种强噪声背景中可靠地识别出各类气候信号, 对更深入地了解气候自然变率及人为因素对全球变暖的相对贡献, 进而预测未来气候情景, 都是至关重要的。MTM 是一种低方差、高分辨的谱估计方法, 尤其适合于高噪声背景下弱信号的诊断分析。

利用上述 MTM, 对 Jones 等<sup>[7]</sup>建立的1856~1998年南、北半球及全球年平均表面温度序列进行了多种信号的检测、重构, 以加深对全球变暖的认识。

### 3.1 全球与南、北半球温度变化的准周期信号

图1是南、北半球及全球年平均表面温度序列的 MTM 谱估计及其相应的强红噪声临界谱<sup>[8]</sup>。由图可见, 南、北半球及全球年平均地面温度序列都有显著的低频变化( $f < 0.03$ , 周期  $> 35$  a), 而在  $f > 0.03$  的高频段, 信度90%的水平上, 北半球温度分别在10 a, 4.6~5 a, 2.1~2.2 a 尺度上具有显著周期信号; 南半球温度则在6.2 a, 4.2~4.9 a, 3.4~3.6 a, 2.0 a 存在显著周期, 全球温度的显著周期则分别是5.0~4.6 a, 3.5~3.6 a, 2.0~2.1 a。南北半球对比可以发现, 虽然它们都有显著的低频变化(周期大于35 a), 但南半球低于5 a 尺度的高频段振荡周期明显, 北半球却相对较少。值得注意的是, 仅北半球温度有显著的9~11 a 年代际振荡, 在全球、南半球温度序列的 MTM 谱中虽有相应的峰值, 但都未达到信度。其中原因值得进一步探讨。

进一步分析南、北半球及全球年平均温度序列的低频段谱图( $f < 0.03$ ), 可以看到, 它们在35~70 a 周期尺度上都有明显谱峰, 故对原序列作剔除背景的处理, 即对  $f = 0$  的信号进行 MTM 重建, 该信号基本都呈线性增暖(见图2a、图3a), 并称其为背景趋势, 对扣除背景序列的剩余序列再进行 MTM 谱分析, 其相应的谱图如图1中虚线, 可以看到, 除南半球外, 全球(图略)、北半球温度序列中存在40~70 a 信度高达99%的低频振荡, 并在北半球温度序列中尤为突出。

### 3.2 显著信号的时变特征

利用 Park 等<sup>[2]</sup>提出的基于 MTM 的线性反演信号重建技术, 对南、北半球和全球年平均温度序列中的显著信号进行重构。根据上述谱分析的结果, 参照文献[9]的考虑, 将2.0~2.9 a 的周期分量称为 QBO 分量, 3.0~6.9 a 的分量称为 ENSO 分量, 7~19 a 为年代际分量, 20 a 至世纪尺度为低频振荡分量, 世纪以上尺度为背景趋势。图2和图3为某些重建信号的时间演变特征, 表1则给出了其相应的方差贡献、累积方差贡献。

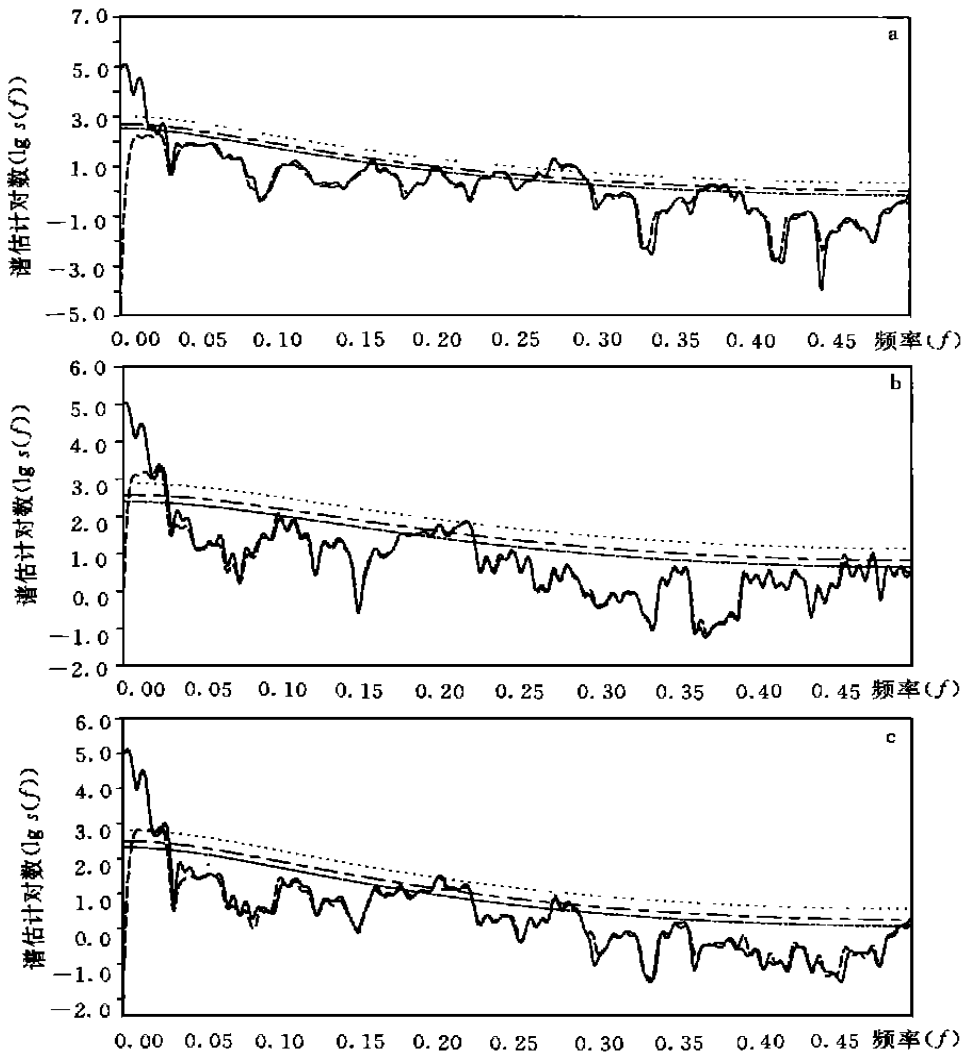


图1 年平均表面温度序列的 MTM 谱估计及其相应的强红噪声临界谱

(a. 南半球, b. 北半球, c. 全球; 曲线: 实线为原始序列的谱估计, 长虚线为滤去趋势后

序列的谱估计。其余的短虚线、点划线和点线分别是信度90%, 95%, 99%的强红噪声拟谱)

(1) 背景趋势的时间演变。由表1可以看到, 无论南、北半球或全球, 其背景变暖趋势对各自年平均温度序列的方差贡献都超过50%, 南半球最为显著, 达到68.1%。自上世纪末以来, 南、北半球和全球地面温度的背景趋势基本呈线性的增暖, 增温幅度依此为0.60, 0.48, 0.57。

(2) 低频振荡分量的时间演变。北半球、全球的增暖趋势上还叠加有40~70 a的显著低频振荡, 前者重建信号的时间演变特征如图3a, 它们各自分别占总方差的16.8%, 11.0%。其中北半球、全球低频振荡的暖位相峰值基本位于19世纪70年代、20世纪30年代中期、20世纪90年代中期, 冷位相极值则相应于20世纪10年代中期、20世纪70年代中期, 且北半球低频振荡的最大振幅达0.38、全球为0.24。进一步分别将北半球、

全球低频分量与各自的变暖背景趋势相叠加,所得序列的方差贡献分别为74.31%,81.66%。

表1 MTM 检测的显著信号及其方差贡献(%)

区域	周期服务 差贡献	背景 趋势(1)	低频 振荡(2)	年代际 变化(3)	ENSO 分量(4)	QBO 分量(5)	(1)(2)项 的累积方差 贡献(%)	各项累积 方差贡献(%)
北 半 球	周期(a)	/	40~70	10	4.6~5.0	2.1~2.2	/	/
	方差贡献 (%)	54.6	16.8	4.3	3.4	1.9	74.3	83.2
南 半 球		/	/	/	5.0	2.0	/	/
	周期(a)				4.2~4.9			
					3.4~3.6			
	方差贡献 (%)	68.1	/	/	2.3	1.2	/	80.7
全 球					1.6			
					2.4			
	周期(a)	/	40~70	/	4.6~5.0	2.0	/	/
方 差 贡 献 (%)					3.5~3.6			
		67.3	11.0	/	2.6	1.7	81.7	88.2
					2.1			

表2是南、北半球和全球近百年及本世纪两次增暖期<sup>[8]</sup>(20世纪20~30年代、70年代以来)线性增温率的对比。可以看到无论近150 a 还是本世纪以来,南半球的线性增温率都略高于北半球,但差异不大;而20世纪20~30年代、70年代以来北半球的线性增温率显著高于南半球,接近南半球线性增温率的两倍,20世纪20~30年代尤为明显。根据 IPCC1990,1996<sup>[6]</sup>的科学评估报告,19世纪末以来,北半球、全球地表温度呈波动上升的趋势,20世纪20年代前后北半球、全球平均增暖达0.3 左右,40年代~70年代降温0.1 左右,70年代末以来的增暖已超过0.3 。结合前述背景趋势、低频振荡的讨论,不难看出,40~70 a 的低频振荡对北半球、全球变暖中的波动性起十分重要的作用,20世纪北半球、全球20~30年代的增暖、40~70年代的降温可能主要与40~70 a 的低频振荡有关,而70年代以来北半球的急剧变暖,可能就是低频变化与背景趋势相互叠加的结果。

值得注意的是,低频振荡信号已在20世纪90年代中达到峰值,近期已开始下降,显然这可能影响北半球、全球未来气候增暖的速率。

表2 不同时期南、北半球及全球温度的线性增温率

	1856~1998 ( /100 a)	1900~1998 ( /100 a)	1914~1940 ( /10 a)	1974~1998 ( /10 a)
北半球	0.40	0.63	0.15	0.26
南半球	0.44	0.67	0.08	0.17
全球	0.43	0.64	0.13	0.22

近年来,Schlesinger 和 Ramankutty 用SSA方法、Lau和Weng<sup>[8]</sup>由小波分析也发现全球及半球温度序列中存在65~70 a,40~60 a的周期振荡,且主要存在于北半球温度序列中。一些耦合海气模式的长期积分的结果也表明海气耦合模态具有20~60 a的振荡周期,其成因可能与中高纬不稳定的海气相互作用有关。显然,这一振荡规律的诊断及其成因机制的研究,对加深气候系统自然变率的认识,检测人为因素在全球变暖中的作用,都

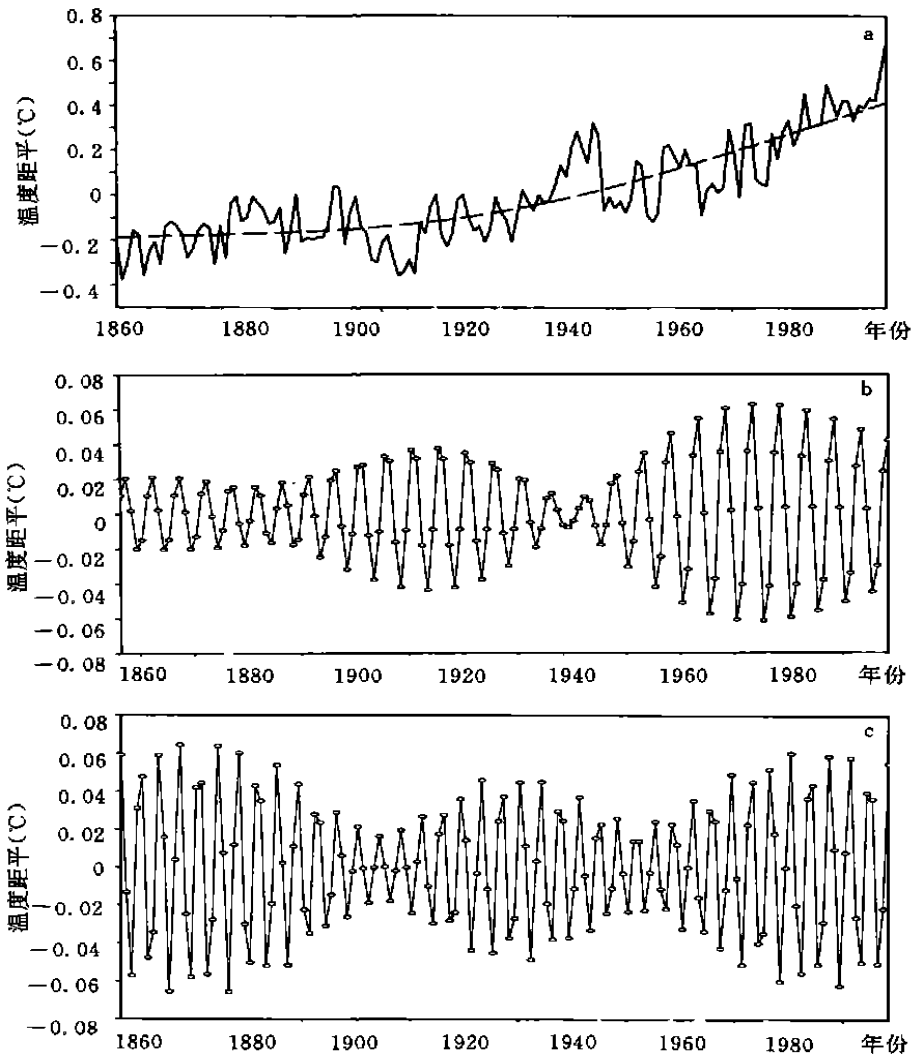


图2 南半球年平均温度显著信号的重建序列

(a. 实测序列(细实线)与背景趋势(虚线),

b. 周期为4.2~4.9的振荡信号, c. 周期为3.5~3.6年的振荡信号)

具有特别重要的意义。

(3) 年代际分量的时间演变。北半球温度序列中还存在显著的准10 a振荡, 其方差贡献百分率为4.36%, 重建信号序列的时间演变如图3b, 可以看到该信号的振幅、周期都具有时变性, 1910~1950年振幅较弱, 周期多为8~9 a, 1860年~20世纪初、20世纪70年代起振幅较强, 周期为10 a, 这与 Lau 和 Wang<sup>[8]</sup> 由小波分析得到的结果相当一致。

(4) ENSO 分量的时间演变。北半球准5~6 a 周期信号的振幅具有缓变包络的特性(见图3c), 缓变包络的周期在70 a 左右, 20世纪20年代、90年代振幅最弱。南半球准6.2 a, 4.2~4.9 a, 3.4~3.6 a 周期分量的方差贡献依次为2.3%, 1.6%, 2.9%, 后两者重建信号序列的时间演变如图2b, 2c, 可以看到其振幅随时间都具有缓变包络的特性, 缓变包络

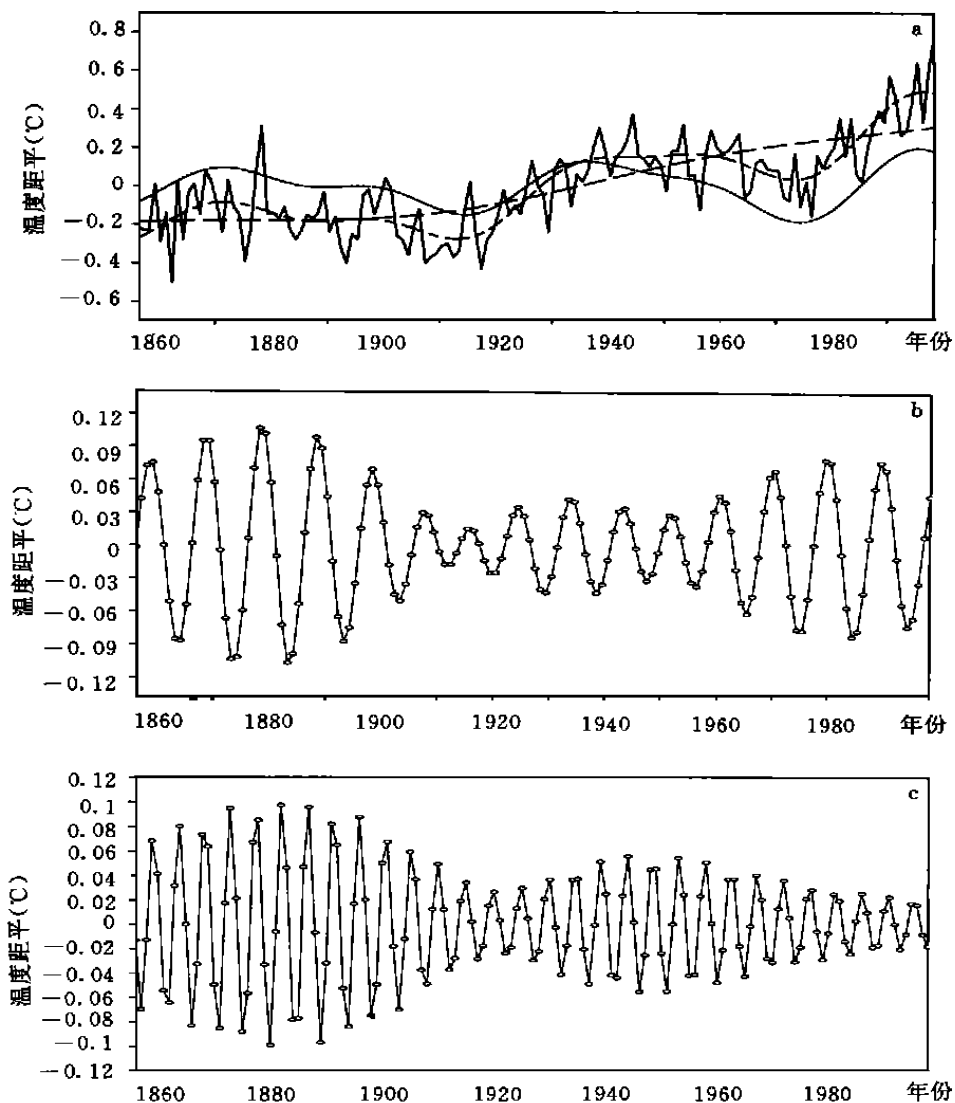


图3 北半球年平均温度显著信号的重建序列

(a. 实测序列(实线)背景趋势(虚线)40~70 a 频振荡信号(点线)

与叠加序列(点划线), b. 年代振荡信号, c. 周期为4.6~5 a 的振荡信号)

周期都在50~70 a, 其中6.2 a 周期振幅在19世纪80年代、20世纪60~70年代最小; 3.4~3.6 a 周期振幅20世纪00年代、50年代最小, 70年代末后振幅较大; 4.2~4.9 a 周期的最小振幅在20世纪30~40年代, 70年代振幅最强, 近期又趋减小。全球准4.6~5 a, 3.5~3.6 a 周期的振幅演变规律与南半球准4.2~4.9 a, 3.4~3.6 a 振荡的演变相一致(图略)。

(5) QBO 分量的时间演变。半球或全球准2 a 周期信号的振幅都具有缓变包络的特性(图略)。北半球准2.1 a 周期分量的振幅呈12~18 a 缓慢周期变化, 且缓变包络的振幅在19世纪70年代, 20世纪30年代, 1975~1980年, 90年代较强。南半球、全球 QBO 信号的时间演变相当一致, 缓变包络呈10~50 a 的周期变化, 20世纪00年代、20世纪30年代信号最



弱, 20世纪中70年代信号最强。

由此可见, 无论半球还是全球尺度, 近期准5 a 信号振幅减弱, 但准2 ~ 3 a 信号振幅增强或处于峰值状态。

将南、北半球及全球各自显著重建信号的叠加序列与原序列的比较(图略), 可以发现其叠加序列与原序列变化都相当吻合, 它们对原序列的方差贡献百分率依次为80.68%, 83.20%, 88.17%。可见建立于MTM上的信号叠加有可能为序列的长期预测提供又一新途径。

#### 4 与传统功率谱估计、最大熵谱估计的对比

对北半球温度序列作单一 Hanning 窗功率谱估计(最大后延取48)及最大熵谱估计(谱图略), 单一窗谱估计的峰值除在低频变化、准2 a 周期上达到信度外, 其余都是些不显著的弱谱峰。最大熵谱图上也仅有显著的长期趋势谱峰, 在5 ~ 6 a、准两年周期上的谱峰很平坦, 显然, 它们的分辨力明显低于MTM谱估计, MTM谱估计的优势已清晰可见。

此外, 由图1中的实线与虚线对比可以看到, 除周期大于35 a 的低频谱段外, 其余段剔除背景趋势后的谱曲线与原序列谱图相当一致, 这也从一个侧面表明MTM谱估计具有极强的稳定性。

#### 5 结论

文中介绍了一种新颖的低方差、高分辨的多窗谱分析方法, 并将其用于近150 a 来全球、半球温度变化的信号检测与重建, 结果表明:

(1) MTM 提供了有限长度序列谱分辨力与方差间的最好权衡, 为解决谱分辨力与稳定性的矛盾开辟了一条新途径, 尤其适合于非线性气候系统中高噪声背景下低振幅、时频演变信号的诊断分析。

(2) MTM 对南、北半球及全球1856 ~ 1998年平均温度序列的谱估计表明, 在温度呈线性变暖趋势的背景下, 北半球、全球年平均温度序列上还叠加着显著的40 ~ 70 a 的准周期低频变化。年代际振荡信号在北半球温度序列中也相当明显, 南半球则存在多种低于5 a 尺度的显著振荡周期

(3) 对南、北半球和全球年平均温度序列中显著信号的MTM重建结果表明:

①近150 a 来, 南、北半球和全球的背景变暖分别为0.60, 0.48, 0.57。40 ~ 70 a 的低频振荡对北半球、全球变暖中的波动性起十分重要的作用。20世纪北半球、全球20 ~ 30年代的增暖、40 ~ 70年代的降温可能主要与40 ~ 70 a 的低频振荡有关, 而70年代末以来北半球的急剧增暖则可能是低频变化与背景趋势相互叠加的结果。值得注意的是, 低频振荡信号已在90年代中达到峰值, 近期已开始下降, 这有可能影响北半球、全球未来气候增暖的速率。

②北半球温度序列准10 a 振荡的信号在1910 ~ 1950年较弱, 1860年 ~ 20世纪初、20世纪70年代后振幅较强。

③半球或全球 ENSO 振荡分量、QBO 周期信号的振幅都具有缓变包络的特性。其中, 南半球与全球 ENSO、QBO 信号的时间演变相当一致, 近期准5 a 信号减弱, 但准2 ~ 3 a

信号增强或处于峰值状态。

④与传统功率谱估计、最大熵谱估计的实例对比也表明,MTM 得到的谱估计分辨率高,稳定性强。

MTM 作为谱分析领域中又一年轻技术,在大气科学研究中的应用才刚刚起步。基于 MTM 的信号重建技术、与多元分析相结合的时空模态识别等一大批新颖独特的诊断分析工具,也正在蓬勃发展,与其它信号检测技术——SSA、小波分析一样,MTM 必将成为气候诊断分析中的又一强有力工具。

致谢:非常感谢耶鲁大学的 Michael E. Mann 博士就 MTM 提供的许多有益帮助。

## 参考文献

- 1 Thomson D J. Spectrum estimation and harmonic analysis, Proc. IEEE, 1982, 70: 1055 ~ 1096
- 2 Park J. Envelope estimation for quasi-periodic geophysical signals in noise In: A Multitaper Approach in Statistics in the Environmental and Earth Sciences. London, Edward Arnold Press, 1992. 189 ~ 219
- 3 Mann M E, Park J. Spatial correlations of interdecadal variation in global surface temperatures. Geophys Res Let, 1993, 20: 1055 ~ 1058
- 4 Slepian D. Prolate spheroidal wave functions Fourier analysis, and uncertainty . The discrete case, Bell Syst. Tech J. 1978, 57: 1371 ~ 1429
- 5 Mann M E, Lees J M. Robust estimation of background noise and signal detection in climatic time series. Clim Change, 1996, 33: 409 ~ 445
- 6 IPCC. Climate change . 1995. In: Houghton J T, Meira Filho L G, Callander B A, et al. et al, eds, The IPCC Scientific Assessment. Cambridge: Cambridge University Press, 1996, 572pp
- 7 Jones, P. D. Hemispheric surface air temperature variation : a reanalysis and an update to 1993. J Climate, 1995, 7: 1794 ~ 1802
- 8 Lau K M, Weng H Y. Climate signal detection using wavelet transform: How to make a time series sing. Bull Amer Meteor Soc, 1995, 76: 2391 ~ 2402
- 9 王绍武,叶瑾琳. 近百年全球气候变暖的分析. 大气科学, 1995, 19(5): 545 ~ 553

# MULTI-TAPER METHOD OF SPECTRAL ANALYSIS AND APPLICATIONS IN GLOBAL WARMING STUDY

Jiang Zhihong Tu Qipu Shi Neng

(*Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044*)

## Abstract

The Multi-Taper method (MTM) of spectral analysis provides a means for spectral estimation with a low variance and high resolution. It is particularly well-suited for the diagnosis analysis of weakly signals with a time-dependent amplitude and frequency against a high-noise background. We briefly introduced basic outline of MTM and apply this approach to global, Northern and Southern Hemisphere mean surface temperature time series. Results are as follows: (1) There is an significant low-frequency = 40–70 year timescale oscillation superimpose on a linear warming trend in global and Northern Hemisphere annual mean temperature time series, which appears mainly contribution to fluctuation of warming process. (2) Decadal signal is considerably significant in Northern Hemisphere annual mean temperature time series, while interannual quasiperiods signals (periods of 5 year shorter) are significant in Southern Hemisphere mean temperature series. Reconstructed ENSO band and quasibiennial components of above time series each exhibit modulation both amplitude and frequency. (3) Compared to the Black-Tukey method and Maximum entropy method, the spectral estimations based on MTM are of high resolution and strong stability.

**Key words:** Multi-Taper method (MTM) of spectral analysis, Signal detection and reconstruction, Global warming, Low frequency oscillation.