

文章编号: 1673-1719 (2007) 06-0362-06



## 广西近百年气温和降水序列的多时间尺度分析

黄雪松<sup>1</sup>, 况雪源<sup>1</sup>, 覃峥嵘<sup>2</sup>, 黄梅丽<sup>1</sup>, 林开平<sup>3</sup>(1 广西壮族自治区气候中心, 南宁 530022;  
2 广西气象学会, 南宁 530022; 3 南宁市气象局, 南宁 530022)

**摘要:** 对广西近百年平均气温及降水量变化进行了多时间尺度的层次结构研究, 并与Nino3区的海温距平进行奇异交叉谱分析。结果表明: 平均气温有较强上升趋势并伴有明显的准两年周期振荡; 降水则呈下降趋势, 主要周期为32 a左右及准两年振荡。1884至1910年代初, 广西处于干冷期; 1910年代初至1930年前后, 处于湿冷期; 1930年前后至1950年代后期, 处于温暖期; 1950年代后期至1990年代前期, 处于干暖期。ENSO事件3~7 a的周期对广西平均气温及降水影响显著, 赤道太平洋海温变化对广西气温的影响主要表现在年代际变化上, 对降水的影响主要体现在年际变化上。

**关键词:** 广西; 近百年气候变化; 小波分析; 奇异交叉谱分析

**中图分类号:** P423/P426 **文献标识码:** A

### 引言

目前, 全球增温所引发的各种天气气候灾害事件, 给世界各国经济发展造成了巨大影响, 已引起各国政府、科学家和民众对气候变化的高度重视。IPCC第四次评估报告对全球气候变化及其可能影响提出了最权威、最全面的认识, 并综合评估了2001年以来有关减缓气候变化的最新研究成果<sup>[1-3]</sup>。研究表明<sup>[4-5]</sup>, 全球及南北半球平均地面气温序列基本上呈现出几个关键年份及其相应的阶段, 大致可认为近百年来全球有3次突然变暖, 分别为19世纪末、20世纪20—30年代及70年代末期。丁裕国等<sup>[6]</sup>对全球气温的变率特征进行了深入研究, 王绍武等<sup>[7]</sup>对近年来气候研究进展作了很好的总结, 更有

大量的工作揭示了ENSO及QBO等强信号因子对全球及我国气候的影响<sup>[8-10]</sup>。广西气候在全球变暖大背景下叠加有区域性的气候变化特征, 对其变化规律的探讨有助于对未来趋势的预测, 具有重要的研究价值。涂方旭等<sup>[11]</sup>曾对广西近百年来气温、降水资料进行订正插补, 并对其变化进行了初步研究; 本文在此工作的基础上, 运用小波分析及奇异交叉谱分析对其不同时间尺度上的变化作进一步的探讨, 为短期气候预测提供一定的理论参考。

### 1 资料及方法

所用资料为广西1884—2002年3个站(南宁、沙塘、桂林)平均的年平均气温资料、1898—2002

收稿日期: 2007-01-30; 修订日期: 2007-04-24

基金项目: 广西科技攻关项目(桂科攻0592005-2B); 广西气象局重点研究项目(桂气科200401)资助

作者简介: 黄雪松(1966-), 女, 高级工程师, 主要从事气候分析与研究工作。E-mail: xshuang9912@163.com

年 8 个站 (梧州、桂林、沙塘、百色、南宁、北海、龙州、荔浦) 平均年降水资料及对应时段的 Nino3 区海表温度距平资料。广西气温、降水资料的插补延长处理过程见文献 [11]。

首先利用小波分析讨论广西气温和降水多时间尺度的结构特征, 然后分别与 Nino3 区海温资料进行奇异交叉谱分析 (SCSA), 试图了解 ENSO 事件对广西气候变化的影响。本文采用墨西哥小波变换研究广西近百年平均气温及降水的变化特征。奇异交叉谱分析的基本原理和方法可参见文献 [12]。

## 2 近百年广西平均气温变化多时间尺度特征

图 1 给出了 1884—2002 年广西年平均气温序列, 由图可见, 广西近百年气温呈明显上升趋势, 从 19 世纪 80 年代到 20 世纪 20 年代, 平均气温处于 20℃ 以下, 而从 20 世纪 20 年代至今平均气温在 20℃ 以上, 特别是在 40 年代气温升至最高值, 1946 年达到 21.5℃。对整个序列作线性倾向分析, 序列以 0.05℃/10a 的趋势上升, 与自然时间序列相关系数为 0.43, 达到了 0.001 的显著性水平。其中, 1884—1946 年的上升趋势最为显著, 以 0.15℃/10a 的趋势上升, 与自然时间序列相关系数达 0.63。

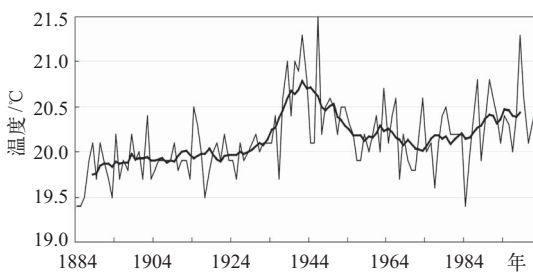


图 1 1884—2002 年广西年平均气温变化  
(图中平滑线为 9 年平滑曲线)

Fig. 1 Temporal variation of the annual mean surface air temperature in Guangxi from 1884 to 2002 (The thick line is the 9-year running mean)

### 2.1 周期特征

广西近百年气温变化主要以长周期的趋势变化为主, 这从平均气温的小波方差图中亦可看出 (图

略), 小波方差最大峰值出现在 128 a 处, 表明气温存在高于 100 a 的长周期。此外在 2~3 a 处还有一短周期峰值, 表明序列还存在明显的准两年周期振荡。图 2 给出了广西近百年平均气温的小波变化, 从图中可看到, 放大因子  $a=10\sim 14$  对应 3 个尺度较大的负-正-负中心, 且 20 世纪 40 年代中期正距平达到最大值, 为近百年最暖时期; 负距平中心峰值在 1900 年前后, 为近百年最冷时期; 而 60 年代以后的中心值并不十分明显, 这说明序列 80~120 a 左右的周期最为显著。准两年振荡的变化在不同阶段的表现亦有所不同, 在 1900 年前后、1940 年前后、60 年代和 1990 年以来表现均较明显, 而其他阶段则不甚显著。

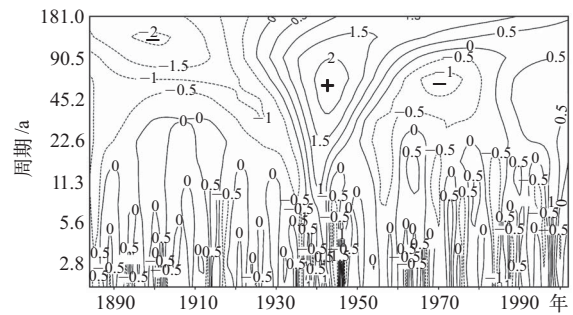


图 2 1884—2002 年广西年平均气温序列小波分析  
Fig. 2 Wavelet transform of the annual mean temperature in Guangxi from 1884 to 2002

### 2.2 突变特征

小波变换通过零点的时间可用于突变分析, 图 3 给出了广西近百年平均气温分别对应不同时间尺度的小波变换 (这里考虑到序列的长周期、年代际变化、10 a 左右振荡及准两年周期, 我们分别选取以  $a=1, 6, 10, 14$  尺度因子作为例子, 对应的周期分别为: 2 a, 11.3 a, 45.2 a, 181 a)。对于  $a=13\sim 14$  对应 100 a 以上的长周期尺度而言, 突变发生在 1930 年前后, 气温从偏冷向偏暖转变, 在 60、70 年代到达最高点后开始下降。对于  $a=9\sim 12$  对应的 30 a 以上年代际尺度周期, 有 3 个突变点, 分别出现 20 世纪 30 年代初、50 年代末和 80 年代中期, 在这个尺度上将序列分为 4 个阶段: 1884 年至 1930 年代 (偏冷期), 1930 年代至 20 世纪 50 年代末 (偏暖期),

20世纪50年代末至20世纪80年代中期(偏冷期), 20世纪80年代中期至2002年(偏暖期)。从 $a=6$ 对应的10 a左右周期来看, 整个序列的变化虽不是很显著, 但近年来振幅有增大的趋势。对于更短的准两年周期振荡, 近年来变化显著, 这种叠加在长周期上的剧烈短周期振荡, 也是不容忽视的。

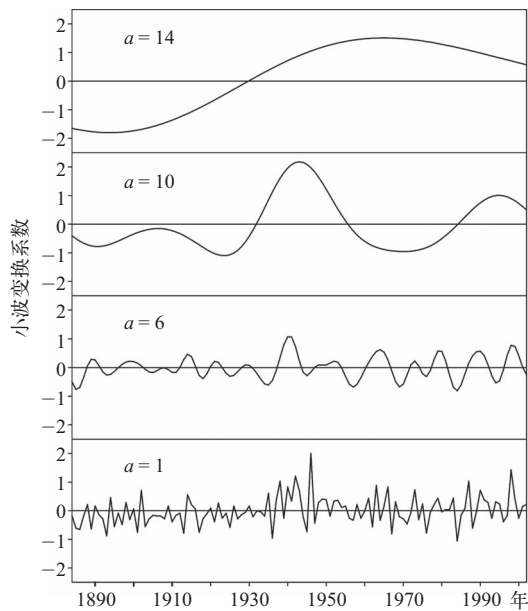


图3 1884—2002年广西年平均气温序列小波变换不同尺度分解

Fig. 3 Wavelet decomposition on various scales of the annual surface air temperature in Guangxi from 1884 to 2002

### 3 近百年广西降水变化的多时间尺度特征

对广西近百年降水所作的9 a滑动分析表明(图4): 广西近百年的年平均降水量呈下降趋势, 降水偏多期主要出现在20世纪10—20年代及40—50年代前期两个时段; 60—80年代为降水偏少期, 90年代又向偏多转变。从广西近百年降水的小波方差可看出(图略), 降水并不像气温一样以明显的自然长周期趋势变化为主, 而是以明显的周期振荡为特点, 各种周期的作用都较明显。小波方差最大峰值出现在32 a处, 次峰值出现2 a处, 另一峰值出现在100 a左右。这表明广西年平均降水存在30 a左

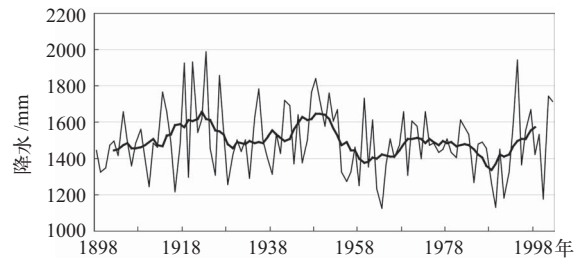


图4 1898—2002年广西8个站平均降水变化  
(图中平滑线为9年平滑曲线)

Fig. 4 Temporal variation of the mean annual precipitation at the 8 stations in Guangxi from 1898 to 2002  
(The thick line is the 9-year running mean)

右、准两年的短周期振荡及100 a左右的长周期变化趋势。

从降水小波变化来看(图略), 100 a左右周期将广西近百年分成了多雨期和少雨期两个阶段; 对最显著的30 a左右周期而言, 在20世纪20—80年代期间表现最为明显, 准两年振荡则在1920年前后、1960年前后及20世纪90年代以后表现最为显著。从不同时间尺度的小波分解来分析突变得知(图略):  $a=12$ 即周期为100 a左右的突变点出现在20世纪10年代初及50年代后期, 将降水序列分为3段: 偏少期、偏多期、偏少期。而作为序列最明显周期的30 a左右振荡, 突变发生在: 1913、1925、1940、1955、1969、1982、1995年, 将序列分为偏少、偏多相间的8个阶段, 这个周期尺度在20世纪40—60年代振幅最大, 表现最为明显。目前仍处于降水偏多期, 但正距平有下降趋势。序列还存在8~10 a左右的振荡, 这个尺度反映了年代际变化, 在20世纪10年代、40—60年代、90年代以来表现较显著。而准两年振荡则在20世纪初和20世纪末表现显著, 目前仍处于振荡剧烈时段。

综合以上对气温和降水的分析可知, 广西在1884—1910年代初处于干冷时期; 1910年代初至1930年前后处于湿冷期; 1930年前后至1950年代后期处于温暖期; 1950年代后期至1990年代前期处于干暖期。从序列自身不同的周期特征及变化规律分析, 现在及未来一段时期, 将以温暖为主要特征, 并在此背景下有较明显的短周期振荡。



## 4 近百年广西气温及降水与 Nino3 区海温的耦合特征

研究表明,赤道太平洋与大气的动量、能量及热量等的交换对西太平洋副高、东亚季风的年际变异及亚太地区气候的影响非常显著。广西地处华南,为明显的季风气候区,本文选取有较长资料的 Nino3 区海温来研究广西气候对赤道东太平洋海温异常的响应。

### 4.1 相关分析

对广西近百年平均气温序列与 Nino3 区海温进行相关分析,相关系数为 0.152,对降水与 Nino3 区海温进行相关分析,相关系数为 0.164,二者均为正相关,但均未达到 0.05 的显著性水平检验。为了观察其相关系数随时间的变化情况,我们取 30 a 进行滑动相关计算。图 5 给出了平均气温及降水与 Nino3 区海温随时间的相关变化,从中可看出,平均气温在 1930 年以前与海温呈明显正相关,即海温与气温都偏低,最大相关系数达 0.4 左右;在 1930—1960 年前后,相关系数明显减小,二者之间没有明显的关系;而近 40 a 来,正相关明显增大。研究表明<sup>[13]</sup>,1976 年前后赤道太平洋海温有一型态的跃变,由冷态向暖态转变,El Niño 事件明显增多,而气温亦处于近百年来的又一个暖期,这也许是对海温异常的响应。对降水而言,与 Nino3 区海温相关最高时段在 1940 年代以前,为明显正相关,最高相关系数亦可达 0.4 以上;而此后,相关系数明显下降,到 1960 年代变为负相关,并持续到 1980 年代,但相关系数

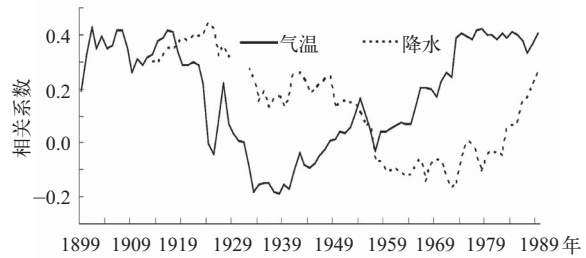


图 5 广西年平均气温、降水与 Nino3 区海温 30 a 滑动相关系数时间变化

Fig. 5 The 30-year running correlation coefficients between the annual mean temperature, precipitation over Guangxi and the sea surface temperature in the Nino3 region

较小;近 30 a 来又以较明显的趋势向正相关转变,表明近年来广西降水的上升趋势可能是对海温升高的响应。由此可见,1950 年代后期至 1990 年代前期,广西处于干暖期,而后则向湿期转变,与海温的变化也有较一致的对应。

### 4.2 奇异交叉谱分析

为了进一步研究广西近百年平均气温及降水与赤道东太平洋 Nino3 区海温在不同时间尺度上的耦合变化特征,我们将两序列分别作标准化处理,并取不同参数  $n$  值进行 SCSA 试验,结果表明,识别出的周期基本稳定。

表 1 给出了广西平均气温、降水与 Nino3 区海温的奇异交叉谱分析结果,从中看出,前 5 对特征向量基本表征了二者相互作用的主要周期模态。其中,平均气温与 Nino3 区海温的主要耦合周期模态为 70~90 a 的长周期变化趋势、6~7 a 的年际变化及 2~3 a 的准两年振荡,而降水与 Nino3 区海温的主要耦合

表 1 广西平均气温、降水与 Nino3 区海温的 SCSA 结果

Table 1 SCSA results between the annual mean temperature, precipitation over Guangxi and the SST in the Nino3 region

要素	特征向量	1	2	3	4	5
平均气温 ( $n = 40$ )	耦合相关系数	-0.859	-0.680	0.779	0.746	-0.745
	周期/a	88	68	6~7	6~7	3
	方差贡献	11.5%	7.2%	5.4%	5.3%	4.6%
降水 ( $n = 36$ )	耦合相关系数	-0.859	0.838	-0.800	0.787	-0.833
	周期/a	5~6	4~5	4~5	4~5	64
	方差贡献	7.5%	7.4%	6.9%	6.8%	5.7%

周期为60 a左右的长周期及4~6 a的年际变化。大量的研究表明, ENSO事件有3~7 a的振荡周期, 这说明, ENSO事件对广西平均气温、降水在这个周期分量的影响是显著的。

从对应的特征向量来看(图略), 平均气温及降水的长周期变化主要与海温的型态变化有关, 这也与大气的基本型态变化相联系, 而短周期的变化主要与海温的振荡有关, 这种耦合特征随时间的变化是不同的。从平均气温重建的周期分量来看, 88 a左右周期在前80 a有较大的振幅, 而在近40 a振幅明显减小; 而64 a年左右周期分量在近年却有增强的表现; 6~7 a周期的表现一直较平稳, 但在近10 a期间却明显增强; 而2~3 a的耦合分量却表现出两头强, 中间弱的态势, 在19世纪后期及20世纪末振幅均较大, 周期表现明显, 而在中间时段表现弱且平稳。对降水而言, 64 a左右长周期在近20~30 a的振幅较前90 a左右明显增大, 而4~6 a的耦合振荡却是在1930年代期间及1990年代以后较强, 而在其他时段则相对较弱, 这也部分解释了1990年代以来降水振荡明显, 灾害频发的原因。所以, 从对Nino3区海温与广西气温及降水的奇异交叉谱分析来看, 赤道太平洋海温的变化不仅在长时间的型态变化上, 而且在短时间尺度的年际变化上对广西近百年气候的影响都较为显著。

## 5 结论

通过对广西近百年平均气温及降水进行多时间尺度的诊断及其与Nino3区海温进行的耦合特征分析, 得到以下结论:

(1) 广西近百年平均气温变化以长周期的上升趋势变化为主, 存在100 a以上的长周期及2~3 a的准两年周期振荡。降水量呈下降的趋势, 存在32 a周期, 准两年振荡及100 a左右的长周期。

(2) 广西在1884—1910年代初处于干冷时期; 1910年代初至1930年前后处于湿冷期; 1930年前后至1950年代后期处于温暖期; 1950年代后期至1990年代前期处于干暖期。从序列自身不同的周期特征及变化规律来看, 现在及未来一段时期, 将以温暖

为主要特征, 并伴有较明显的短周期振荡。

(3) 平均气温与Nino3区海温的主要耦合周期模态为60~90 a的长周期变化趋势、6~7 a的年际变化及2~3 a的准两年振荡, 而降水与Nino3区海温的主要耦合周期为4~6 a的年际变化及60 a左右的长周期变化。ENSO事件3~7 a的周期变化对广西平均气温、降水的影响是显著的。

(4) 本文揭示出了ENSO事件对广西气温的影响在年代际时间尺度上较为明显, 而对降水在年际尺度上的影响更为显著。 ■

## 参考文献

- [1] 秦大河, 陈振林, 罗勇, 等. 气候变化科学的最新认知 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3 (2): 63-73
- [2] 林而达, 吴绍洪, 戴晓苏, 等. 气候变化影响的最新认知 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3 (3): 125-131
- [3] 潘家华, 孙翠华, 邹骥, 等. 减缓气候变化的最新科学认知 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3 (4): 187-194
- [4] 王绍武. 近百年气候变化及变率的诊断研究 [J]. 气象学报, 1994, 52 (3): 262-273
- [5] 王绍武, 叶瑾琳. 近百年全球气候变暖的分析 [J]. 大气科学, 1995, 19 (5): 545-553
- [6] 丁裕国, 刘晶淼, 余锦华. 近百年全球平均气温年际变化型态的低频变率特征 [J]. 热带气象学报, 2001, 12 (3): 193-203
- [7] 王绍武. 现代气候学研究进展 [M]. 北京: 气象出版社, 2000: 105-200
- [8] 侯章栓, 李晓东. 近百年全球气候变化与外强迫因子信号检测 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2000, 36 (5): 641-650
- [9] 龚道溢, 王绍武. 近百年全球温度变化的 ENSO 分量 [J]. 地球科学进展, 1999, 14 (5): 518-523
- [10] 龚道溢, 王绍武. 近百年 ENSO 对全球陆地及中国降水的影响 [J]. 科学通报, 1999, 44 (3): 315-320
- [11] 涂方旭, 李耀先. 广西近百年降水量序列的气候变化特征 [J]. 广西气象, 2000, 21 (2): 29-33
- [12] 丁裕国, 江志红, 施能, 等. 奇异交叉谱分析及其在气候诊断中的作用 [J]. 大气科学, 1999, 23 (1): 91-100
- [13] 李峰, 何金海. 太平洋区域海温跃变及其与东亚夏季风的关系 [J]. 气象科学, 2001, 21 (3): 28-35

## Multi-Time-Scale Variations of Recent Centenary Series of Temperature and Precipitation in Guangxi of China

Huang Xuesong<sup>1</sup>, Kuang Xueyuan<sup>1</sup>, Qin Zhengrong<sup>2</sup>,  
Huang Meili<sup>1</sup>, Lin Kaiping<sup>3</sup>

(1 *Guangxi Climate Center, Nanning 530022, China*; 2 *Guangxi Meteorological Society, Nanning 530022, China*; 3 *Nanning Meteorological Bureau, Nanning 530022, China*)

**Abstract:** Wavelet analysis was used in this paper to study the multi-time-scale structure of the temperature and precipitation series in Guangxi Zhuang Autonomous Region in the recent century, and the coupled characteristics between the sea surface temperature of Nino3 region and the two series mentioned above were diagnosed by using singular cross-spectrum analysis (SCSA). The results indicate that the ascending trend accompanied with the quasi-biennial oscillations dominated in the temperature variation while the precipitation showed a descending trend with the 32-year and quasi-biennial oscillations. Guangxi climate was characteristic of dry-cold from 1884 to the early 1910s, wet-cold from the early 1910s to around 1930, wet-warm from around 1930 to the late 1950s, and dry-warm from the late 1950s to the early 1990s. The 3–7-year oscillation component of ENSO exerted marked influence on Guangxi climate. The coupled variations of SST in the Nino3 region and Guangxi climate were reflected on the decadal scale for temperature and interannual scale for precipitation.

**Key words:** Guangxi; climate change in recent century; wavelet analysis; singular cross-spectrum analysis

### 消息

#### 第二届亚洲气候与冰冻圈国际学术大会在兰州召开

2007年10月22–26日，第二届亚洲气候与冰冻圈国际学术大会在兰州召开。会议由世界气候研究计划/气候与冰冻圈计划(WCRP/CliC)、中国CliC国家委员会、日本CliC国家委员会和甘肃省气象局联合主办。来自中国、日本、俄罗斯、蒙古、乌兹别克斯坦、塔吉克斯坦、印度、巴基斯坦、尼泊尔、韩国、美国、加拿大、英国、挪威等国家的148位代表出席了大会。会议旨在全面、系统地评估全球变暖背景下亚洲冰冻圈的变化及其对本地区乃至全球生态环境、水资源等方面的影响；促进我国冰冻圈科学研究水平的提高，扩大我国冰冻圈科学研究的国际影响力和知名度，加强国际交流与合作，培养和造就一批青年科研人才；同时，进一步强化我国在亚洲冰冻圈乃至国际冰冻圈研究的主导作用。

会议主题是“亚洲冰冻圈的现状与未来”，与会人员就涉及亚洲冰冻圈的如下科学问题展开了广泛交流：

1) 冰川分布及其变化；2) 冻土/多年冻土的分布及其变化；3) 积雪、寒区水文及水资源；4) 寒区及高山区的陆面过程及大气过程；5) 大尺度冰冻圈-大气圈之间的相互作用；6) 冰冻圈的预测与预估；7) 冰冻圈数据库；8) 未来冰冻圈研究的整合、联合策略。

会上WCRP/CliC计划主席Barry Goodison教授介绍了气候和冰冻圈计划与WMO全球冰冻圈观测网络。此外，会议组委会主席秦大河院士介绍了亚洲冰冻圈对全球变化的作用和贡献。

本次会议的成功召开将推动中国相关科学研究的进一步发展，增进中外科学家在气候变化与冰冻圈领域的交流与国际合作，也必将深化科技界对冰冻圈变化机理及影响的认识水平，提高国际冰冻圈研究中以青藏高原冰冻圈研究为特色的我国冰冻圈研究的地位和影响力。

中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 谢爱红