

用南海西沙站观测资料诊断研究南海季风 季节内振荡

袁金南¹, 梁建茵¹

(1. 中国气象局 广州热带海洋气象研究所, 广东 广州 510080)

摘要: 应用 Lanczos 滤波和小波变换方法, 对 1958~2000 年南海北部西沙站降水和 1980~2001 年 850 hPa 风场观测资料进行分析, 发现西沙站每日降水和 850 hPa 风场都存在谱长度 10~50 d 左右其峰值为 10~20, 30~50 d 的季节内振荡, 降水和 850 hPa 风场的季节内振荡都有明显的年变化. 降水季节内振荡开始于 5 月中旬结束于 10 月中旬, 与南海夏季风的爆发时间和终止时间一致. 850 hPa 风场谱长度 10~50 d 左右其峰值为 10~20, 30~50 d 的季节内振荡在一年中的大部分时间都存在. 降水和 850 hPa 风场季节内振荡的强弱年与南海夏季风的强弱年并不一致. 研究表明南海夏季风存在季节内振荡, 而南海夏季风与季节内振荡的关系比较复杂.

关键词: 西沙站降水和 850 hPa 风场; Lanczos 滤波和小波分析; 季风季节内振荡

中图分类号: P722.7; P732

文献标识码: A

文章编号: 0253-4193(2006)01-0018-08

1 引言

我国位于太平洋西岸以及亚洲大陆东部, 是一个典型的受季风影响的区域. 我国除了西北部少数地区以外, 其他的大部分地区都受到季风的影响, 而且是世界上受到季风影响最强烈的国家之一. 影响中国的季风主要有南亚季风和东亚季风, 其中南海季风是东亚季风的重要组成部分. 由于南海季风活动对东亚及北半球的环流和天气产生重要影响, 因此南海季风已经引起了人们的普遍关注.

大气季节内振荡也称低频变化, 是时间尺度在 7~100 d 的大气运动的变化, 主要有 10~20 和 30~50 d 准周期振荡. 由于大气季节内振荡的研究可能为短期气候变化的认识和预测提供重要的科学依据, 在上世纪 80 年代以后大气低频振荡受到了人们的重视. 早在 70 年初, Madden 和 Julian^[1,2] 研究发现热带地区存在 40~50 d 的准周期振荡. Krishnamurti^[3,4] 指出南亚季风区的云量和降水存在

10~20 d 周期的振荡, 并且指出南亚季风槽脊的活动存在 30~50 d 振荡. Yasunari^[5,6] 也发现印度季风区的云量也有 30~40 d 周期的变化现象. Lau^[7,8], Weickmann^[9], Murakami^[10,11] 等进一步研究了热带大气 30~60 d 振荡的活动规律. Anderson 等^[12]、张可苏^[13]、李崇银等^[14] 发现中高纬度地区也存在 30~60 d 大气振荡. 李崇银^[15,16]、Lau^[17] 等采用 CISK 理论对热带大气在 30~60 d 振荡机制进行解释. 宋焱云等^[18] 发现夏季南海季风爆发同南海地区的低频活动有联系.

本文采用中国气象局整编的站点观测资料, 通过对南海北部西沙站降水和 850 hPa 风场观测资料进行分析, 探讨了南海季风区西沙站降水和风场的季节内振荡及其变化规律.

2 资料和分析方法

2.1 资料

本文研究南海季风的季节内振荡采用的资料是

收稿日期: 2005-05-15; 修订日期: 2005-12-22.

基金项目: 科技部社会公益研究专项 南海夏季风活动的监测及服务研究 (2002DIB10053).

作者简介: 袁金南(1968), 男, 江西省德安县人, 副研究员, 硕士, 从事台风和热带海洋气象研究. E-mail: yuanjn@grmc.gov.cn

中国气象局整编的南海北部西沙观测站(16 50 N, 112 20 E)的每日降水和 850 hPa 风场观测资料.

(1) 每日降水资料是 1958~2000 年每日一次 00 时(世界时)观测的 24 h 降水值.

(2) 每日风场资料是 1980~2001 年每日两次 00 时和 12 时(世界时)观测的 850 hPa 风场 u , v 值. 以上观测资料如有部分缺测, 则通过插值进行填充.

2 2 分析方法

2 2 1 Lanczos 滤波

为了得到季节内的变化, 首先采用 Lanczos 滤波方法^[19]进行带通滤波, Lanczos 滤波的优点在于它能够在其窗口内能保留几乎所有的方差^[20]. 这里通过滤掉季节尺度以上(这里取时间长度为 4 个月, 即 120 d)和旬(这里取时间长度为 10 d)以下的变化, 得到主要包含季节内变化的分析资料.

采用 Lanczos 带通滤波的频率响应函数和权重函数, 可参见文献[21]. 为了达到较好的滤波效果, 这里 Lanczos 带通滤波选择权重数为 151, 拥有 10~120 d 带通滤波的 Lanczos 滤波响应函数如图 1. 从图 1 可以看到, 采用权重数为 151 的 Lanczos 带通滤波截止频率为 10 d^{-1} 和 120 d^{-1} , 可以较好地滤掉 120 d 以上和 10 d 以下尺度的变化.

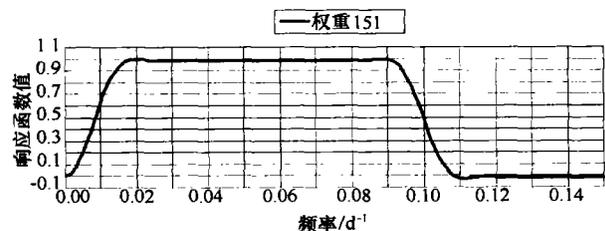


图 1 权重数为 151 能进行 10~120 d 带通滤波的 Lanczos 滤波响应函数

2 2 2 小波变换

资料在进行 Lanczos 滤波以后主要包含季节尺度的变化, 这里再采用 Torrence^[22]小波分析方法进行研究. 采用 Morlet 子波进行变换时, 这里取: $\sigma = 6$, $s_0 = 1 \text{ d}$, $j = 0 \sim 25$, 那么对应的 Fourier 周期为 $1.03S_j$.

小波变换的红噪声系数 a 采用滞后 1 和滞后 2 的自相关 a_1 和 a_2 估计得到, 即

$$a = (a_1 + \sqrt{a_2})/2.$$

在小波变换下, 总的能量是守恒的, 根据小波分析的 Parseval 原理, 尺度平均小波能量是某一波段

平均方差的时间序列, 可用来分析该波段振荡的时间变化. 实际上, 小波变换是一种具有已知响应函数且尺度在某波段上的带通滤波器, 因此它可以用来重构一个小波滤波时间序列.

3 季节内振荡特征分析

西沙站每日降水观测资料采用 10~120 d Lanczos 带通滤波后得到时间序列(如图 2a). 从图 2a 可以看到每日降水的异常变化, 它主要包含了一些季节尺度的变化信息.

图 2b~d 表示西沙站每日降水的小波功率谱 ($|W_n(s)|^2 / s^2$) 时间序列, 这里已采用 $1/s^2$ 进行归一化. 在图 2b~d 中, 主要功率集中在波段 10~50 d, 并达到 95% 的显著水平, 但也有一些值得重视的功率位于更长的周期, 这里小波功率谱只是在一年中的某些时段存在而不是整年都存在. 另外从图 3 傅里叶功率谱也可以看到, 到达 95% 信度和超过红噪声的平均小波谱位于 10~50 d 波段, 这表明南海北部西沙站的降水存在明显的谱长度 10~50 d 左右的季节内振荡. 通过小波分析, 可以看到西沙站降水季节内振荡的频率和振幅的变化, 西沙站降水谱长度 10~50 d 左右的振荡在不同的年份周期长短和振幅大小不同, 即存在明显的年际变化, 并且谱长度 10~50 d 振荡只是在一年中的某些时段存在, 这表明西沙站降水季节内振荡有明显的年变化, 而且降水季节内振荡的发生时间与南海夏季风持续时间非常吻合.

另外通过小波变换可以得到 10~50 d 波段尺度平均小波能量的时间序列, 即 10~50 d 波段平均方差随时间的变化(如图 4). 从图中可以看到 1958~2000 年西沙站降水谱长度 10~50 d 左右的振荡有明显的年际变化, 而且谱长度 10~50 d 左右的振荡每年都存在. 根据图 2b~d、图 4 和图 5 可以给出 1958~2000 年南海西沙站降水谱长度 10~50 d 左右季节内振荡强弱年的分布(如表 1). 由表 1 可以看出, 1958~2000 年西沙站降水谱长度 10~50 d 左右季节内振荡的强年为: 1965, 1973, 1978, 1981, 1985, 1988, 1990, 1995 年, 降水谱长度 10~50 d 左右季节内振荡的强年基本上对应的是降水偏多年; 1958~2000 年西沙站降水谱长度 10~50 d 左右季节内振荡的弱年是: 1958, 1961, 1963, 1968, 1977, 1979, 1986, 1987 年, 降水谱长度 10~50 d 左右季节内振荡的弱年基本上对应的是降水偏少年.

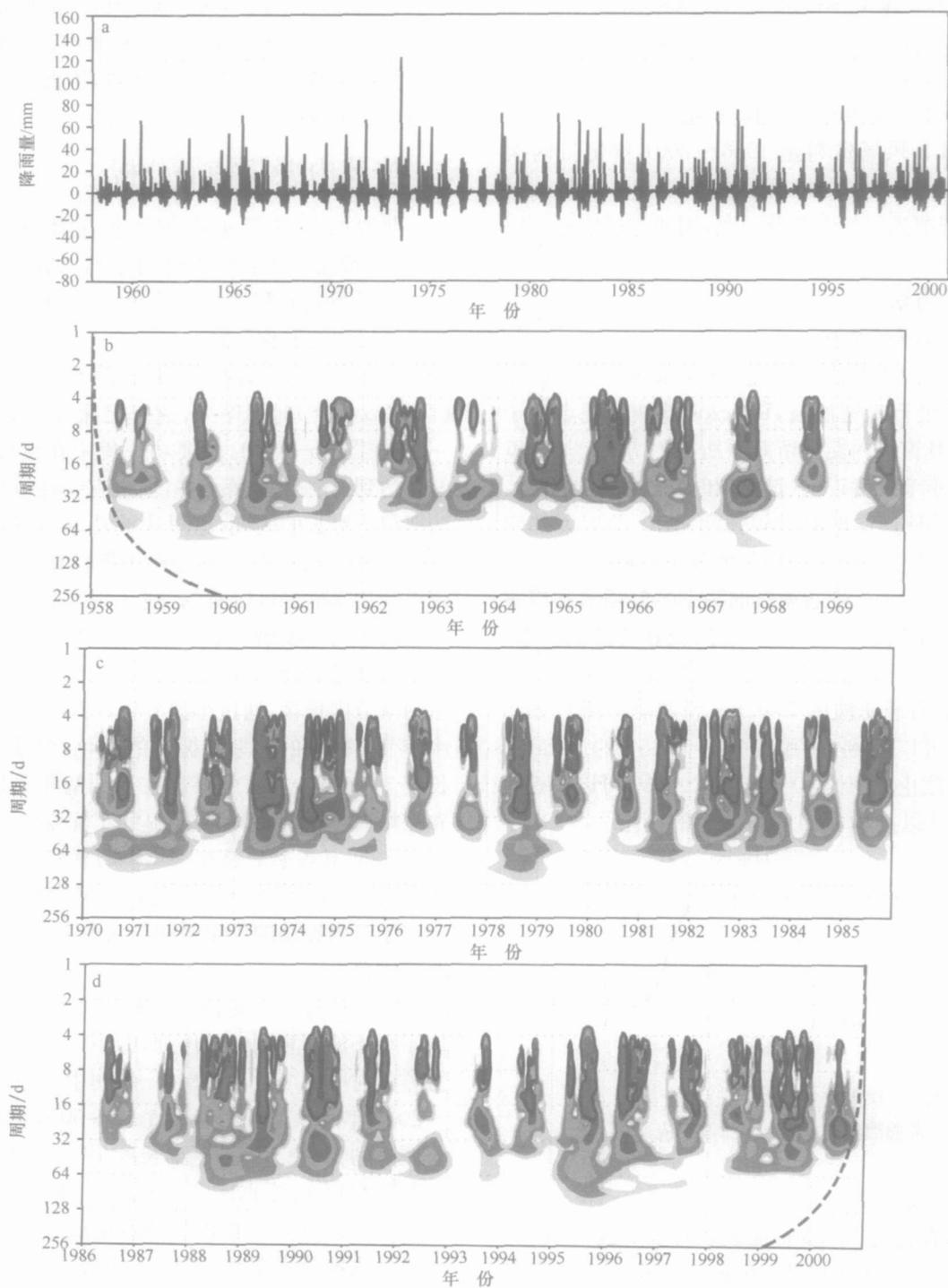


图2 西沙站每日降水采用 10~120 d Lanczos 滤波后的时间序列(a),采用 Morlet 小波变换得到的局地小波功率谱[已采用 $1/\sigma^2$ ($\sigma^2 = 83.00 \text{ mm}^2$) 归一化](b-d)
图 b-d 中,阴影等值线分别为归一化方差 1, 2, 5, 10 和 20,粗实线闭合区域为通过 95% 的信度检验(红噪声过程用一个滞后 1 的系数为 0.90),粗虚线以下为边界影响区域

根据吴尚森等^[23]定义的南海区域(10~20 N, 110~120 E)夏季风强度指数 I_s 为

$$I_s = \frac{V_{sw} - \bar{V}_{sw}}{\sigma_{sw}} - \frac{R - \bar{R}}{r}, \quad (1)$$

式中, $V_{sw} = (u+v)/\sqrt{2}$ 为南海区域 850 hPa 季平均

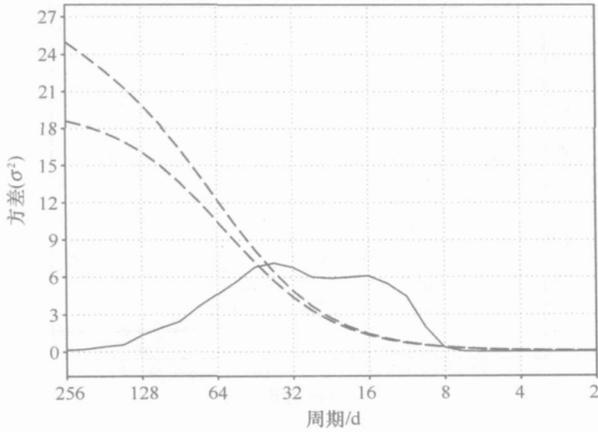


图3 西沙站 1958~ 2000 年每天降水采用 10~ 120 d Lanczos 滤波后的时间平均小波谱
下虚线是平均红噪声谱、上虚线是 95% 信度水平, 假定 $\sigma = 0.90$ [这里已通过 $N/(2^2)$ 归一化]

风在西南方向上的投影; R 为季平均的 OLR 数值。由于卫星观测的 OLR 资料始于 1975 年, 而 I_s 与 V_{sw} 有显著的正相关 ($r = 0.8$, 显著性水平大于 0.01), 这里用标准化处理后的 V_{sw} 来表示南海夏季风的强度, 并定义 $I_s = 1.0$ 为强季风年, $I_s = -1.0$ 为弱季风年。可以看到, 降水谱长度 10~ 50 d 左右季节内振荡的强弱年跟南海夏季风强弱年并不一致 (如图 5、图 6)。

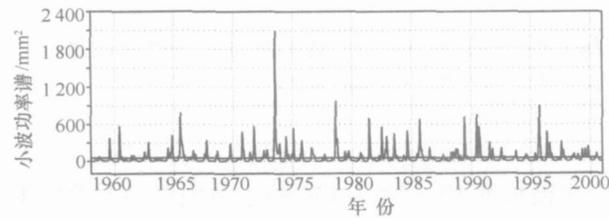


图4 西沙站每天降水 10~ 50 d 波段的尺度平均小波功率 (曲线) 和 95% 信度水平 (直线) (假定红噪声 $\sigma = 0.90$)

表 1 1958~ 2000 年南海西沙站降水谱长度 10~ 50 d 季节内振荡强年和弱年的分布

项目	年份
ISO 强年	1965, 1973, 1978, 1981, 1985, 1988, 1990, 1995
ISO 弱年	1958, 1961, 1963, 1968, 1977, 1979, 1986, 1987

南海西沙站 850 hPa 00 时和 12 时 (世界时) 的 u, v 风场在进行 10~ 120 d Lanczos 带通滤波后再通过小波分析, 可以发现 850 hPa u, v 风场均存在谱长度 10~ 50 d 左右的振荡, 但主要以峰值 10~ 20

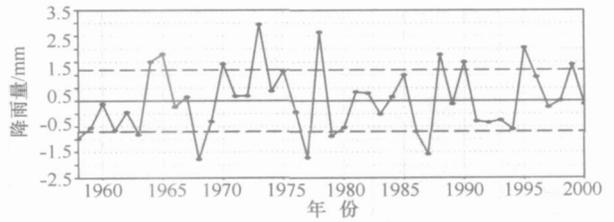


图5 1958~ 2000 年每日降水偏差年平均随着时间的变化 (虚线为 1.2 mm 的线)



图6 1958~ 2000 年南海夏季风强度指数变化 (虚线为 $I_s = 1.0$ 的线)

d 的振荡为主。从图 7 和图 8 可以看到, 850 hPa 00 时和 12 时 (世界时) 的 u, v 风场在 10~ 50 d 左右的波段超过红噪声并达到 95% 信度水平。从南海西沙站降水和 850 hPa 风场可知, 谱长度 10~ 50 d 左右的季节内振荡在南海北部大气中存在。通过对西沙站 850 hPa 风场求 10~ 50 d 波段尺度的平均小波能量时间序列, 可以得到 10~ 50 d 波段平均方差随着时间的变化。结果发现, 西沙站 850 hPa u, v 风场谱长度 10~ 50 d 左右的季节内振荡有明显的年变化和年际变化, 风场谱长度 10~ 50 d 左右的季节内振荡在一年中的大部分时间都存在, 00 时和 12 时 (世界时) 风场的季节内振荡变化基本上一致。另外 850 hPa u, v 风场谱长度 10~ 50 d 左右的季节内振荡强弱年不是完全对应的, 而且 u 和 v 风场谱长度 10~ 50 d 左右的季节内振荡强弱年均跟南海夏季风强弱年并不一致 (图略)。

4 季节内振荡的季节分布

前面分析发现南海西沙站降水谱长度 10~ 50 d 左右的季节内振荡不是全年都存在的, 而只是在一年中的某些时段存在, 因此有必要进一步研究南海西沙站降水季节内振荡的年内分布。这里采用 1958~ 2000 年 43 a 平均得到一年中每日平均的降水, 然后再对一年中每日平均的降水进行分析, 找到降水季节内振荡主要存在的时段。同样, 为了得到季节内的

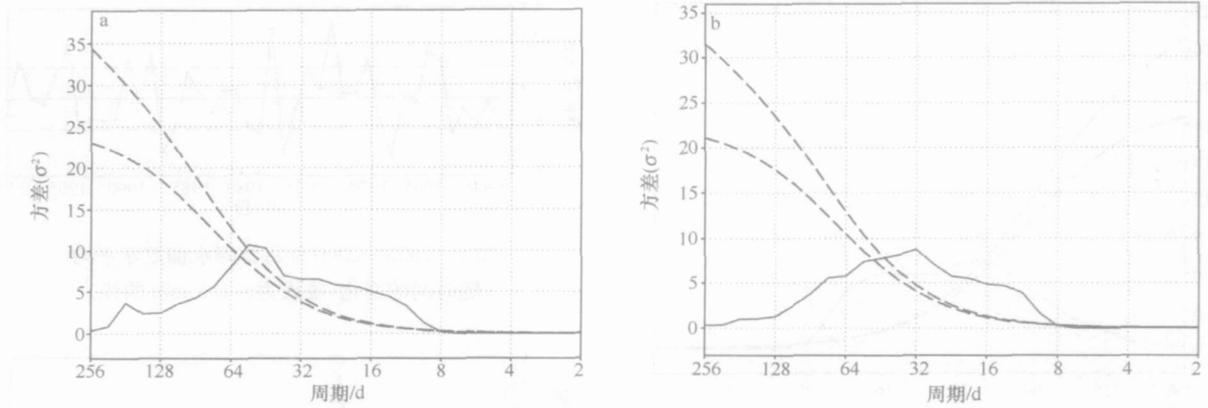


图7 西沙站 1980~2001 年每天 00:00(世界时) 850 hPa 风场采用 10~120 d Lanczos 滤波后的时间平均小波谱
a 风场 u 分量, b 风场 v 分量. 下虚线是平均红噪声谱, 上虚线是 95% 信度水平,
假定 $\sigma = 0.92$ [这里已通过 $N/(2^2)$ 进行归一化]

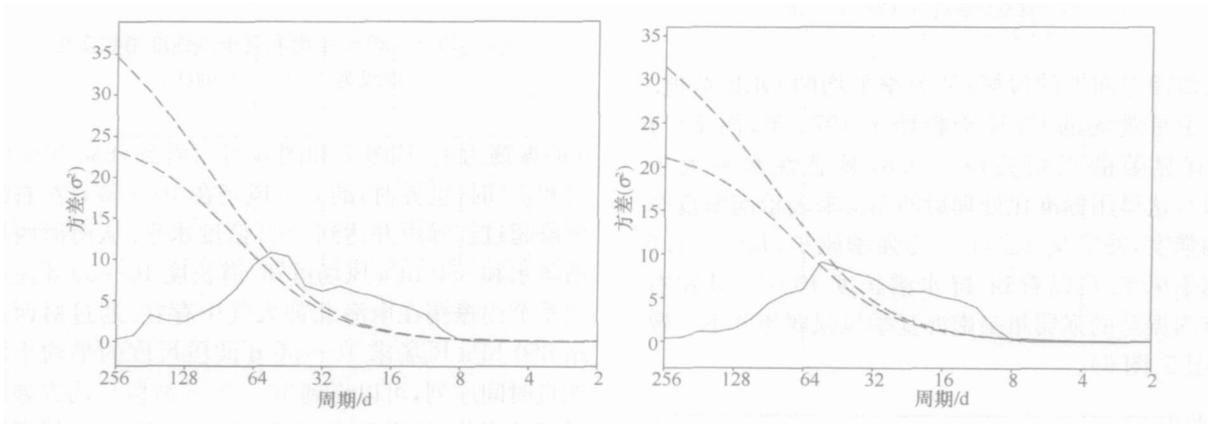


图8 西沙站 1980~2001 年每天 12:00(世界时) 850 hPa 风场采用 10~120 d Lanczos 滤波后的时间平均小波谱
a 风场 u 分量, b 风场 v 分量. 下虚线是平均红噪声谱, 上虚线是 95% 信度水平,
假定 $\sigma = 0.92$ [这里已通过 $N/(2^2)$ 进行归一化]

变化, 采用 10~120 d Lanczos 带通滤波得到降水的时间变化序列如图 8a。从图 9a 可以看到, 降水的季节内变化主要集中在 5~10 月份, 这跟南海季风爆发和终止的时间非常一致。然后, 通过 Morlet 小波进行变换得到小波功率谱时间序列如图 9b。从图 9b 可以看到, 5~7 月份存在两个独立的主要功率波段分别是 10~20 d 左右和 30~50 d 左右, 8~10 月份主要功率只有一个波段集中在 10~50 d 左右。并且从图 10 傅里叶功率谱也可以看到, 到达 95% 信度和超过红噪声的平均小波谱有两个波段分别是 10~20 d 左右和 30~50 d 左右。通过小波分析可以看到, 降水的季节内变化开始是 10~20 d 左右的振荡, 紧接着又有 30~50 d 左右的振荡, 这两个振荡是相互独立的, 然后是 10~50 d 左右的振荡, 可见

降水谱长度 10~50 d 左右的季节内振荡是有时有两个波段组成。

通过计算一年中每日平均降水 10~50 d 波段尺度平均小波能量的时间序列, 可以得到 10~50 d 波段平均方差随时间的变化, 如图 11。从图 11 可以看到, 一年中每日平均降水谱长度 10~50 d 左右的振荡起始于 5 月中旬, 结束于 10 月中旬, 这跟南海夏季风的爆发和终止很吻合。一年中多年平均的每日降水谱长度 10~50 d 左右的季节内振荡有两个强的峰值分别是在 7 月上旬和 9 月中旬, 其中 9 月中旬的降水峰值可能与台风活动关系较大。

这里同样可以分析南海西沙站 850 hPa u , v 风场谱长度 10~50 d 左右季节内振荡的年内分布, 结果发现 00 时和 12 时(世界时) 风场的季节内振荡年

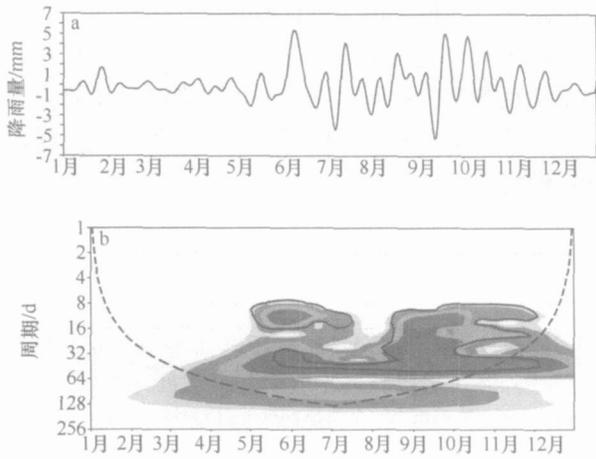


图9 西沙站多年平均(1958~2000年)的每日降水采用10~120 d Lanczos 滤波后的时间序列(a), 采用 Morlet 小波变换得到的局地小波功率谱[已采用 $1/(2^2) = 23.94 \text{ mm}^2$ 归一化] 图b 阴影等值线分别为归一化方差 1, 2, 5, 10 和 20, 粗实线闭合区域通过了 95% 的信度检验(红噪声过程用一个滞后 1 的系数为 0.92), 粗虚线以下为受边界影响区域

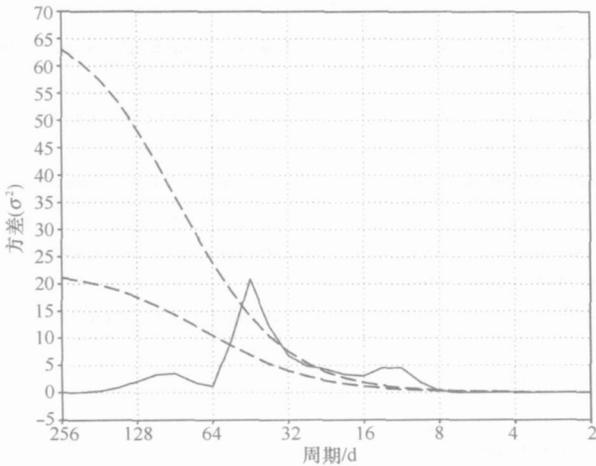


图10 西沙站多年平均的(1958~2000年)每日降水采用10~120 d Lanczos 滤波后的时间平均小波谱 下虚线是平均红噪声谱, 上虚线是 95% 信度水平, 假定 $= 0.92$ [这里已通过 $N/(2^2)$ 归一化]

内分布基本一致, 而且风场谱长度 10~50 d 左右的季节内振荡以峰值 10~20 d 的振荡为主. 图 12 给出了一年中每日平均的 00 时 850 hPa u, v 风场 10~50 d 波段尺度平均小波能量的时间序列. 从图 12 可以看到每日平均的 00 时 850 hPa u, v 风场谱长度 10~50 d 左右季节内振荡在一年中大部分时间都存在, 其中在 6, 7, 9, 10, 11 月份中的某些时段

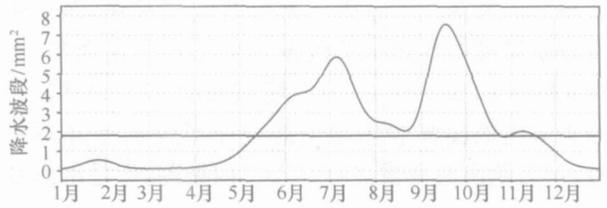


图11 西沙站多年平均(1958~2000年)的每日降水 10~50 d 波段的尺度平均小波功率(曲线)和 95% 信度水平(直线), 假定红噪声 $= 0.92$

没有达到 95% 信度水平. 另外, 850 hPa u, v 风场谱长度 10~50 d 左右季节内振荡在南海夏季风爆发前强度比较强且维持时间比较长, 而在南海夏季风维持期间季节内振荡会出现中断现象, 风场谱长度 10~50 d 左右季节内振荡维持跟南海夏季风的维持关系不明显.

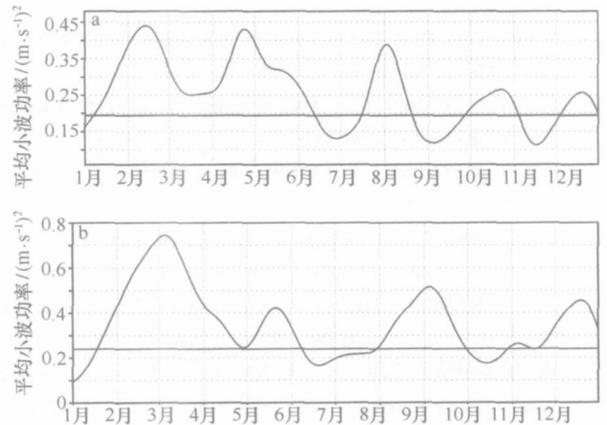


图12 西沙站多年平均(1980~2001年)的每日 00 时(世界时) 850 hPa 风场 u (a) 和风场 v (b) 10~50 d 波段的尺度平均小波功率(曲线)和 95% 信度水平(直线) 图 a 中假定红噪声 $= 0.96$, 图 b 中假定红噪声 $= 0.93$

5 小结

通过对 1958~2000 年西沙站降水资料和 1980~2001 年 850 hPa 风场资料进行 10~120 d 的 Lanczos 滤波和小波变换分析, 发现西沙站降水和 850 hPa 风场存在谱长度 10~50 d 左右的季节内振荡.

西沙站降水和 850 hPa u, v 风场谱长度 10~50 d 左右的季节内振荡存在明显的年变化. 降水谱长度 10~50 d 左右的季节内振荡在 5 月中旬出现于 10 月中旬结束, 这跟南海季风爆发时间和终止时间一致. 西沙站 850 hPa u, v 风场谱长度 10~50 d 左

右季节内振荡在一年中大部分时间都存在,而在南海夏季风维持其间季节内振荡会出现中断现象.西沙站降水和 850 hPa u, v 风场谱长度 10~ 50 d 左右的季节内振荡强弱年跟南海夏季风强弱年并不一致,这表明南海夏季风存在季节内振荡,但是南海夏

季风跟季节内振荡的关系比较复杂.

由于南海北部观测站资料比较少,这里仅对西沙单站观测资料进行了分析,如果要进一步研究南海季风的季节内振荡,还需要采用更多的其他观测资料做更深入地分析.

参考文献:

- [1] MADDEN R D, JULIAN P. Detection of a 40– 50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific[J]. *J Atmos Sci*, 1971, 28: 702– 708.
- [2] MADDEN R D, JULIAN P. Description of global scale circulation cells in the tropics with 40– 50 day period[J]. *J Atmos Sci*, 1972, 29: 1 109– 1 123.
- [3] KRISHNAMURTI T N, BHALME H N. Oscillation of a monsoon system: Part . Observational aspects[J]. *J Atmos Sci*, 1976, 33: 1 937– 1 954.
- [4] KRISHNAMURTI T N, SUBRAHMANYAM D. The 30– 50 day mode at 850 mb during MONEX[J]. *J Atmos Sci*, 1982, 39: 2 088– 2 095.
- [5] YASUNARI T. Cloudiness fluctuations associated with the Northern Hemisphere summer monsoon[J]. *J Meteor Soc Japan*, 1979, 57: 227– 242.
- [6] YASUNARI T. A quasi-stationary appearance of 30– 40 day period in the cloudiness fluctuations during the summer monsoon over India[J]. *J Meteor Soc Japan*, 1980, 58: 225– 229.
- [7] LAU K M, CHAN P H. Aspects of the 40– 50 day oscillation during the northern winter as inferred from outgoing longwave radiation[J]. *Mon Wea Rev*, 1985, 113: 1 889– 1 909.
- [8] LAU K M, CHAN P H. Aspects of the 40– 50 day oscillation during the northern summer as inferred from outgoing longwave radiation[J]. *Mon Wea Rev*, 1986, 114: 1 354– 1 367.
- [9] WEICKMANN K M, LUSKY G R, KUTZBACH J E. Intraseasonal(30– 60 day) fluctuations of outgoing longwave radiation and 250 mb stream function during northern winter[J]. *Mon Wea Rev*, 1985, 113: 941– 961.
- [10] MURAKAMIT, CHEN L X, XIE A, et al. Eastward propagation of 30– 60 day perturbations as revealed from outgoing longwave radiation data[J]. *J Atmos Sci*, 1986, 43: 961– 971.
- [11] MURAKAMIT, CHEN L X, XIE A. Relationship among seasonal cycles, low-frequency oscillations, and transient disturbances as revealed from outgoing longwave radiation data[J]. *Mon Wea Rev*, 1986, 114: 1 456– 1 465.
- [12] ANDERSON J R, ROSEN R D. The latitude-height structure of 40– 50 day variations in atmospheric and angular momentum[J]. *J Atmos Sci*, 1983, 40: 1 584– 1 591.
- [13] 张可苏. 40– 50 天的纬向基流低频振荡及其失稳效应[J]. *大气科学*, 1987, 11: 227– 236.
- [14] 李崇银. 大气中的季节内振荡[J]. *大气科学*, 1990, 14: 32– 45.
- [15] 李崇银. 南亚季风槽(脊)和热带气旋活动与移动性 CISK 波[J]. *中国科学(B)*, 1985, 668– 675.
- [16] 李崇银. 频繁的强东亚大槽活动与 El Nino 发生[J]. *中国科学(B)*, 1988, 667– 674.
- [17] LAU K M, PENG L. Origin of low-frequency(intraseasonal) oscillations in the tropical atmosphere: Part . Basic theory[J]. *J Atmos Sci*, 1987, 44: 950– 972.
- [18] 宋焱云, 谢安, 毛江玉, 叶谦. 南海夏季风爆发过程的低频特征[J]. *海洋学报*, 2000, 22(2): 35– 40.
- [19] LANCZOS C. *Applied Analysis*[M]. Prentice-Hall, 1956. 539.
- [20] JONES C, WALISER D E, GAUTIER C. The influence of the Madden Julian oscillation on ocean surface heat fluxes and sea surface temperature[J]. *J Climate*, 1998, 11: 1 057– 1 072.
- [21] DUCHON C E. Lanczos filtering in one and two dimensions[J]. *J Appl Meteor*, 1979, 18: 1 016– 1 022.
- [22] TORRENCE C, GILBERT P C. A practical guide to wavelet analysis[J]. *Bulletin of American Meteorological Society*, 1998, 79: 61– 78.
- [23] 吴尚森, 梁建茵, 李春晖. 南海夏季风强度与我国汛期降水的关系[J]. *热带气象学报*, 2003, 19(增刊): 25– 36.

A diagnostic study of monsoon intraseasonal oscillation by using observational data of Xisha Station in the South China Sea

YUAN Jing-nan¹, LIANG Jian-yin¹

(1. *Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080, China*)

Abstract: With the Lanczos filter and wavelet transform methods, the observational daily rainfall for the period 1958~ 2000 and winds at 850 hPa level for the period 1980~ 2001 of Xisha Station(16.5 N, 112.2 E) in the north of South China Sea are used to study the intraseasonal variability of monsoon in the South China Sea. It is shown that the daily rainfall and winds at 850 hPa level have intraseasonal oscillation(ISO) which has spectral time scales about 10~ 50 d with two peak values of 10~ 20 and 30~ 50 d, and the ISO has a prominent annual variation. The rainfall ISO starts in the middle of May and ends in the middle of October, which time is consistent with the time of summer monsoon onset and ending in the South China Sea. The 850 hPa winds ISO exists nearly in all the year round. And the strong and weak years of the rainfall and 850 hPa winds ISO are inconsistent with the strong and weak years of summer monsoon in the South China Sea. The study shows that the summer monsoon in the South China Sea has ISO, but the relationship between the summer monsoon and the ISO is complex.

Key words: rainfall and 850 hPa winds of Xisha Station; Lanczos filter and wavelet analysis; monsoon ISO