

孙长, 毛江玉, 吴国雄. 2009. 大气季节内振荡对夏季西北太平洋热带气旋群发性的影响 [J]. 大气科学, 33 (5): 950-958. Sun Zhang, Mao Jiangyu, Wu Guoxiong. 2009. Influences of intraseasonal oscillations on the clustering of tropical cyclone activities over the western North Pacific during boreal summer [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (5): 950-958.

# 大气季节内振荡对夏季西北太平洋 热带气旋群发性的影响

孙长<sup>1,2,3</sup> 毛江玉<sup>1\*</sup> 吴国雄<sup>1</sup>

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 中国科学院研究生院, 北京 100049

3 浙江省气象台, 杭州 310007

**摘 要** 利用中国气象局上海台风研究所整编的热带气旋最佳路径资料、向外射出长波辐射 (OLR) 和 NCEP/NCAR 再分析风场资料, 研究了 1991 年夏季西北太平洋热带气旋的群发性特征及其与大气季节内振荡的关系。结果表明, 1991 年 6~9 月西北太平洋地区的对流活动存在 20~60 天的准周期振荡, 该区域的热带气旋活动也具有这种频率的季节内变化, 即热带气旋的活动具有明显的群发性和周期性。进一步分析表明, 热带气旋易集中出现在大气季节内振荡的湿位相, 这是因为湿位相期间大气低层维持的较大尺度的低频气旋性环流为天气尺度的热带气旋的生成提供了有利的背景环流场。低频气旋中心东南侧的不稳定低空西风急流容易激发出一些小扰动, 低空的低频正涡度异常又有利于这些初始小扰动的增长, 同时, 热带气旋发生势 (genesis potential) 表现为正距平, 说明热带气旋发生发展的垂直风切变条件容易满足, 因而导致热带气旋的相继群发。

**关键词** 季节内振荡 热带气旋 群发性

**文章编号** 1006-9895 (2009) 05-0950-09

**中图分类号** P461

**文献标识码** A

## Influences of Intraseasonal Oscillations on the Clustering of Tropical Cyclone Activities over the Western North Pacific during Boreal Summer

SUN Zhang<sup>1,2,3</sup>, MAO Jiangyu<sup>1\*</sup>, and WU Guoxiong<sup>1</sup>

1 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 Zhejiang Meteorological Observatory, Hangzhou 310007

**Abstract** The NCEP/NCAR reanalysis, outgoing longwave radiation (OLR) and tropical cyclone datasets are employed to investigate the clustering characteristics of tropical cyclone activities over the western North Pacific from June to September in 1991 and their associations with intraseasonal oscillations (ISOs), in which tropical cyclone data refer to the best tracks from the Shanghai Typhoon Institute of China Meteorological Administration. Tropical

**收稿日期** 2008-03-17, 2008-04-11 收修定稿

**资助项目** 国家重点基础研究发展规划项目 2006CB403603, 国家自然科学基金资助项目 40821092, 中国科学院大气物理研究所 LASG 开放课题, 浙江省科技厅项目 2007C13G1610002

**作者简介** 孙长, 男, 1982 年出生, 助理工程师, 主要从事天气、气候动力学研究。E-mail: sunzhang@mail.iap.ac.cn

\* 通讯作者 E-mail: mjl@lasg.iap.ac.cn

convective activities are found to exhibit an intraseasonal oscillation with a period of 20–60 days during the summer of 1991 over the western North Pacific. Within this region, tropical cyclone occurrences are modulated by a similar period, i. e., tropical cyclone activities show features of periodicity and clustering over there. The tropical cyclones are prone to occurring frequently in the form of a cluster during the wet phase of the ISO, because anomalous cyclonic circulation at the lower levels forms a favorable background circulation for the generation and development of tropical cyclones. The unstable westerly jet on the southeastern side of such an anomalous cyclone in the lower troposphere induces frequently some disturbances, and the amplitudes of these initial disturbances increase due to positive vorticity anomalies. Meanwhile, positive genesis potential anomalies of tropical cyclones during the wet phase of the ISO indicate that the favorable vertical shear conditions are satisfied for the development of tropical cyclones, leading to the clustering of tropical cyclone.

**Key words** intraseasonal oscillation, tropical cyclone, clustering

## 1 引言

季节内振荡是大气运动在月到季尺度上的重要变率,这种变率对热带乃至全球地区的天气和气候都有重大影响(Madden et al., 1994; 李崇银等, 2003)。在东亚季风区,季节内振荡影响着夏季风的爆发和季节演变进程(Lau et al., 1988; Wu et al., 2001; 周兵等, 2001; 付遵涛等, 2003; 李崇银, 2004)。研究表明,夏季西北太平洋地区大气季节内振荡以 30~60 天和 10~20 天两种周期最为显著,它们起源于赤道地区并分别向北和西北方向传播,调控着东亚夏季风的活跃和中断(Hsu et al., 2001; Ding et al., 2005; Mao et al., 2005),也影响西北太平洋热带气旋的发生和移动(谢安等, 1987; Liebmann et al., 1994; Nakazawa, 2006)。

我国是世界上受热带气旋影响最严重的国家之一,夏季影响我国的热带气旋大部分来自菲律宾群岛以东的西北太平洋(陈联寿等, 1979)。谢义炳等(1963)的早期研究指出,北半球夏季西太平洋绝大多数热带气旋发生在赤道西风与北半球信风交界面上,并且该交界面的位置和强度具有一个月以上的长周期式振动,因而西北太平洋上的热带气旋活动也具有一定的周期性。丁一汇等(1977)发现南海和西北太平洋地区的热带辐合区中常常出现多个台风同时发展的现象,表明台风活动具有集中性。Gray et al. (1978)对全球热带气旋活动情况的统计表明,热带气旋活动在时间和空间上都有明显的群发性,即在全球范围内常常观察到有 5~15 个热带气旋在 1~2 周内集中发生,而紧接着的 2~3 周内却几乎没有热带气旋活动。谢安等(1987)也观察到台风活动类似的集中发生的现象,并进一步

指出台风活动的集中性与向外射出长波辐射(OLR)的低频振荡的湿位相很一致。Liebmann et al. (1994)研究了 1979~1989 十年间印度洋和西太平洋上的热带气旋活动与季节内振荡之间的关系,发现虽然季节内振荡湿位相中发生的热带气旋明显偏多,但是季节内振荡干位相和湿位相中热带低压发展成热带风暴和台风的比例差异不大。其他的研究(祝从文等, 2004; 王慧等, 2006)也表明,西北太平洋上的热带气旋活动与季节内振荡存在一定联系。

尽管已有的研究结果表明热带气旋易于出现在大气季节内振荡的湿位相,但是这其中的机制还没有被清楚地揭示出来。1991 年夏季江淮流域经历了几次阶段性的强降水过程,导致特大洪涝灾害。在这一年,西北太平洋上热带气旋活动也具有明显的阶段性,在 7~9 月间有三个相对集中的时段,共生成 13 个热带气旋,其中仅 9 月 16 日一天,就有 9118、9119、9120 三个热带气旋相继生成,生成如此密集实属罕见(焦佩金, 1992)。因此本文以 1991 年为例,考察大气季节内振荡对西北太平洋上热带气旋群发性的影响。

## 2 资料和方法

西北太平洋大气季节内振荡在夏季信号最强,而那里的热带气旋活动也主要集中在 6 月至 9 月(陈联寿等, 1979),因此,本研究选取 1991 年 6 月 1 日至 9 月 30 日作为研究时段。所用的热带气旋资料来自中国气象局上海台风研究所(CMA-STI)整编的西北太平洋热带气旋最佳路径数据集,包括每 6 小时的热带气旋中心位置、中心气压和最大风速等要素。热带低压(TD)、热带风暴(TS)和台风(TY)的定义取自《热带气旋等级》国家标准

(GB/T 19201 - 2006), 即分别为底层中心附近最大平均风速达到 10.8 m/s、17.2 m/s 和 32.7 m/s 的热带气旋。另外, 本文还利用日平均向外射出长波辐射 (OLR) (Liebmann et al., 1996) 来表征西北太平洋上大尺度对流活动以及 NCEP/NCAR 再分析资料 (Kalnay et al., 1996) 中的日平均风场来进行环流分析。上述两种资料的水平分辨率均为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  经纬网格。

小波分析是进行周期分析的重要工具 (Lau et al., 1995; Torrence et al., 1998), 本文用 6 阶高斯导数为基函数作小波变换, 分析西北太平洋上对流活动季节内振荡的特征周期。Lanczos 滤波器是性能较好的滤波工具 (Duchon, 1979), 本研究中先用 91 点权重的 Lanczos 带通滤波器对 1991 年全年的日平均 OLR 资料和风场资料进行带通滤波, 然后选取滤波后的 6 月 1 日至 9 月 30 日的结果进行分析。

### 3 西北太平洋对流活动的季节内振荡和热带气旋的群发性

图 1 给出了 1991 年 6~9 月西北太平洋地区 OLR 距平的标准差分布和热带气旋生成的初始位置。OLR 距平是指每个格点日平均 OLR 相对于 1991 年 6~9 月夏季平均的偏差。由于所选时间序列较短 (122 天), 并且 6~9 月均为夏季, 所以季节变化的影响较小, OLR 距平中主要包括季节内和天气尺度的变率。从图 1 可以看到,  $10^\circ\text{N} \sim 20^\circ\text{N}$  之间的纬度带是 OLR 距平标准差最大的地区, 其中

有两个大值中心, 一个在南海, 另一个在菲律宾群岛以东的  $125^\circ\text{E} \sim 155^\circ\text{E}$  之间的西北太平洋地区。这说明, 这两个区域对流活动的季节内变率和天气尺度变率最大, 扰动最剧烈。从图 1 中还可以观察到, 热带气旋的生成位置主要分布在 OLR 距平标准差的大值中心及其附近地区, 即  $7.5^\circ \sim 22.5^\circ$  纬度之间。本文所讨论的西北太平洋热带气旋, 都指活动在这个纬度带内, 并且位于  $120^\circ\text{E}$  以东、日界线以西的热带气旋。由于本研究主要考察西北太平洋大气季节内振荡对热带气旋群发性的影响, 因此, 我们选取标准差最大的区域 ( $10^\circ\text{N} \sim 20^\circ\text{N}$ ,  $125^\circ\text{E} \sim 155^\circ\text{E}$ ) 的 OLR 来表征西北太平洋对流活动。以该区域平均的 OLR 的时间序列为基础进行小波分析, 揭示低频振荡的主周期。

图 2 是区域平均的 OLR 序列的小波功率谱图。小波变换前区域平均的 OLR 已经过标准化处理, 单位为无量纲。可以看到, 1991 年夏季西北太平洋上对流活动表现出非常明显的季节内振荡, 显著的功率谱主要集中在 20~60 天的频带内, 即主要周期为 20~60 天。图 3 给出 20~60 天滤波的 OLR 的低频变化, 并同时标出了期间活动在  $7.5^\circ\text{N} \sim 22.5^\circ\text{N}$  纬带内并且位于  $120^\circ\text{E}$  以东、日界线以西的各个热带气旋的生命期。可以看到, 西北太平洋热带气旋活动具有明显的群发性, 其中 6 月 14~22 日、7 月 10~27 日、8 月 12~27 日和 9 月 3 日~24 日分别有 2 个、4 个、3 个和 5 个热带气旋活动, 其他时段几乎没有热带气旋发生。可见, 热带气旋活

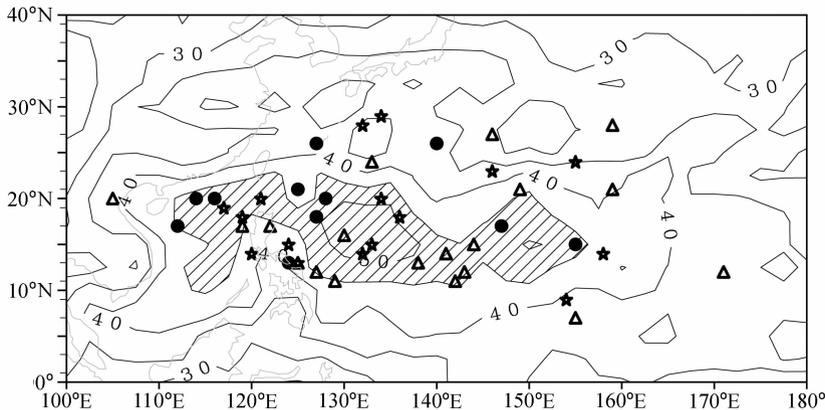


图 1 1991 年夏季 6~9 月 OLR 距平的标准差分布 (斜线表示标准差大于  $45 \text{ W/m}^2$ ) 和热带气旋生成的初始位置。三角形: 热带低压; 五角形: 热带风暴; 实心圆: 台风

Fig. 1 Standard deviations of OLR anomalies (hatches denote standard deviations greater than  $45 \text{ W/m}^2$ ) and genesis positions of tropical cyclones for the summer (Jun - Sep) of 1991. Triangles, stars and filled circles represent tropical depressions, tropical storms and typhoons, respectively

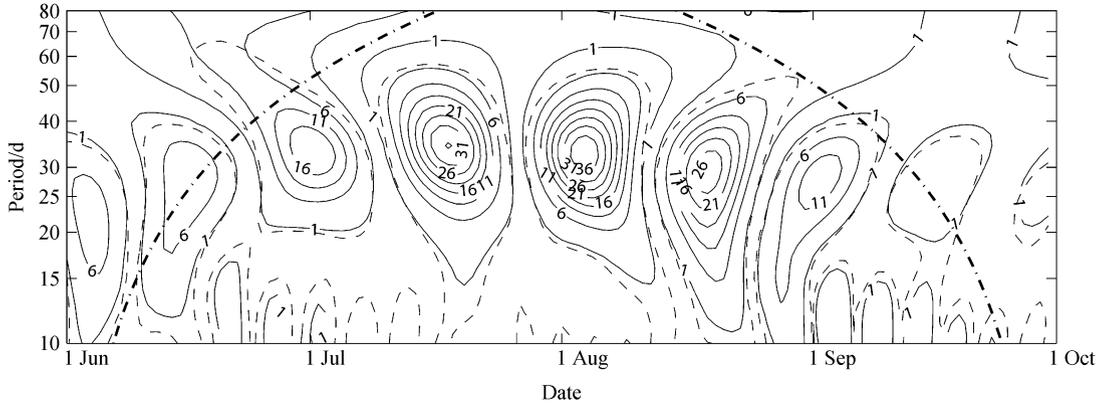


图2 1991年夏季区域(10°N~20°N, 125°E~155°E)平均的OLR的小波功率谱(实线)。虚线: 95%信度线; 粗点虚线: 边缘效应影响线 (Torrence et al., 1998)

Fig. 2 Wavelet power spectrum (solid contour) of area-averaged (10°N-20°N, 125°E-155°E) OLR during the summer of 1991. Dashed contours enclose regions with the confidence levels over 95% for a red-noise process; thick dot-dashed line indicates the cone of influence outside of which the edge effects become important (Torrence et al., 1998)

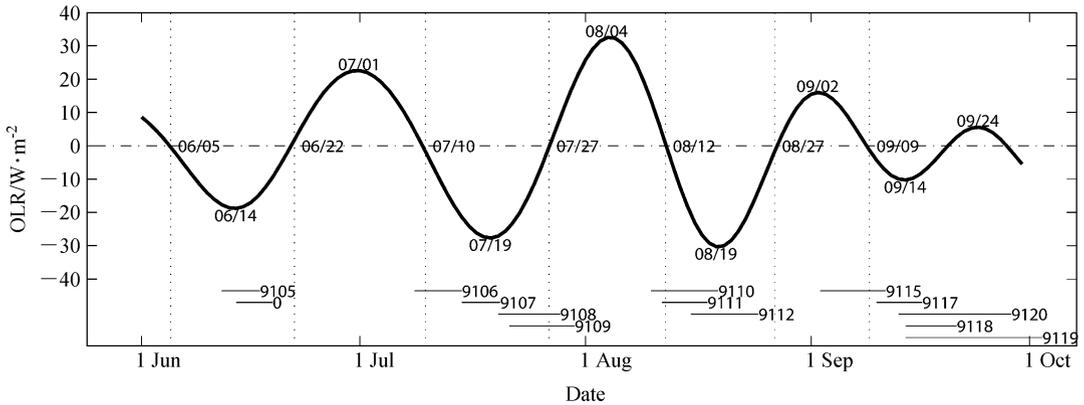


图3 1991年夏季20~60天滤波的区域(10°N~20°N, 125°E~155°E)平均的OLR(粗实线)和西北太平洋上该年6~9月份活动的热带气旋生命期(细实线, 右侧数字为热带气旋编号, “0”表示热带气旋没有编号)

Fig. 3 20-60-day filtered area-averaged (10°N-20°N, 125°E-155°E) OLR (thick solid line) and lifetimes of tropical cyclones over the western North Pacific (thin solid line with the number of each tropical cyclone marked on the right side, “0” shows the tropical cyclone without the number) during the summer of 1991

动具有明显的周期性, 群发周期与西北太平洋对流活动的季节内振荡周期相一致。这些热带气旋除9115号外, 其余全部发生在西北太平洋对流活动季节内振荡的湿位相内。并且, 9115号热带气旋生命期主要是在西北太平洋对流活动季节内振荡干位相衰减并向湿位相过渡的时期。这说明热带气旋的群发性与季节内振荡的湿位相是密切相关的。

#### 4 季节内振荡的演变和热带气旋生成

为了深入考察热带气旋活动与大尺度低频环流系统的依存关系, 图4给出了从7月11日至8月4

日每隔三日的三天平均的20~60天滤波的低频OLR和对应的20~60天滤波的850 hPa低频环场的演变, 并叠加了对应时刻西北太平洋上热带气旋活动的位置。自7月11日至8月4日, 西北太平洋对流活动从季节内振荡的过渡位相经历了完整的湿位相, 然后再演变到对流活动的干位相, 经过了3/4个季节内振荡循环周期。

在7月11日, 除了南海北部和160°E以东的副热带西太平洋地区为OLR正距平以外, 西北太平洋大部分地区为弱的OLR负距平区, 并伴有异常气旋性环流(图4a)。这个异常气旋性环流呈纬

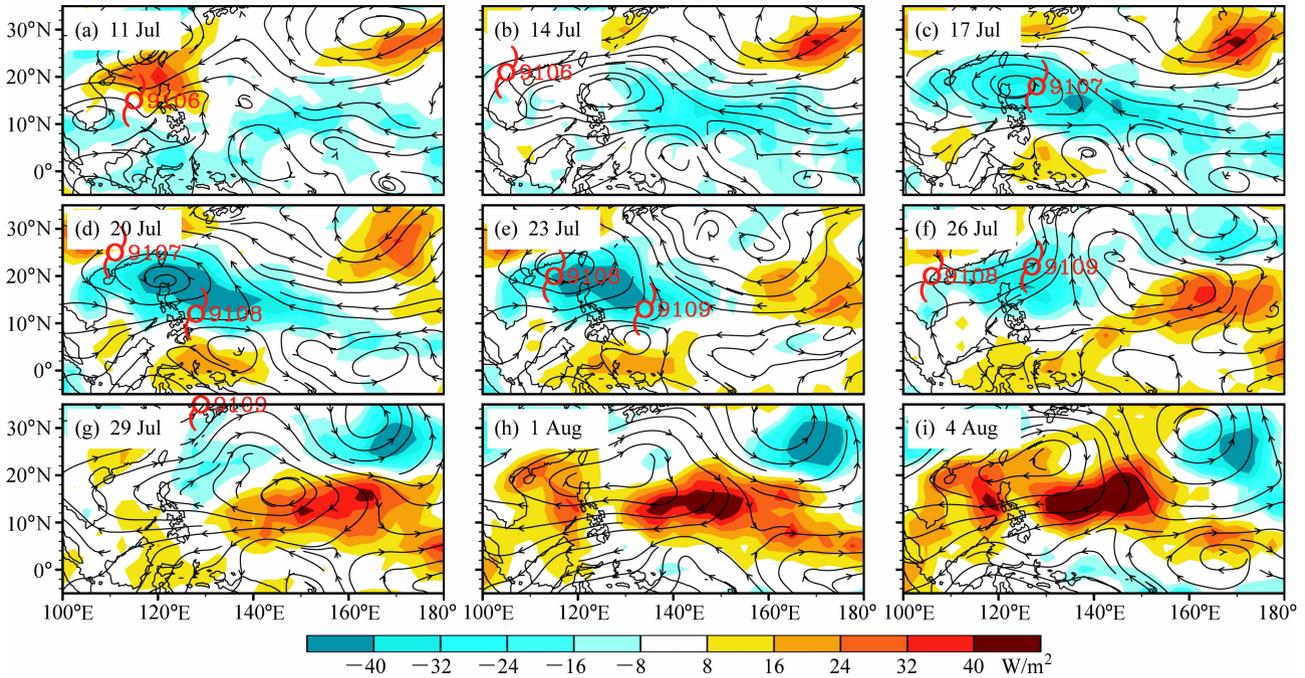


图4 三天平均的20~60天滤波的OLR和20~60天滤波的850 hPa流场演变。左上角的日期表示三天平均的中间日期；热带气旋符号标出它当日所在的平均位置，符号右侧的数字为该热带气旋的编号

Fig. 4 Evolutions of the 20-60-day filtered OLR and 20-60-day filtered 850-hPa wind fields from 11 Jul to 4 Aug. OLR and wind components are averaged for 3 days centered on the day labeled in the upper-left corner of each panel; the mean position of individual tropical cyclone is indicated by the tropical cyclone symbol, with the cyclone number on its right side

向带状分布，其结构类似于Mao et al. (2005)发现的30~60天振荡的基本形态。南海中部有9106号热带气旋活动，它于7月8日在西北太平洋(13.0°N, 128.5°E)生成，然后向西北方向移进南海。随着异常气旋式环流主体的北移和加强，到7月14日，在菲律宾海地区出现了一个闭合气旋式环流中心，其东侧的辐合气流也较强，结果西北太平洋的对流活动变得异常活跃，OLR负距平迅速发展并向西扩展，形成了清楚的西北-东南向季风槽(图4b)。从流线的分布看，在7月17日，低频气旋中心东侧的辐合最强，其中包括来自副热带的东北气流和来自低纬的东南气流。因而在低频气旋中心的东侧，出现了一个新的热带气旋9107号(图4c)，表明这种大尺度低频气旋性环流为热带气旋的生成提供了有利的背景环流场。实际上，包括南海在内的西北太平洋(10°N~20°N)的对流活动都比较活跃，OLR负距平值低于-40 W/m<sup>2</sup>。与17日相比，20日及23日的低频气旋性环流和对流异常都明显增强，而且在气旋中心的东南侧又相继生成了新的9108号和9109号热带气旋(图4d~e)。可见，热

带气旋一般易于在低频气旋环流中心的东侧和东南侧生成。根据热力激发环流发展的Gill理论(Gill, 1980)，低频气旋中心东南侧是西南风速最大的地区。因此，这种低空西风急流不论是由于正压不稳定还是对称不稳定都容易激发出一些初始扰动，从而导致热带气旋的相继群发。另一方面，随着热带气旋的发展和西移，它可能会反过来促使大尺度低频气旋环流系统加速向西北传播而减弱。于是，西北太平洋大气季节内振荡逐渐进入干位相(图4f~i)。

自7月26日开始，闭合的异常反气旋环流控制着热带西北太平洋(图4f~i)，在低空形成了辐散的大尺度环流场，对流活动受到抑制，因而不利于热带气旋的生成。直到8月4日，在此期间，没有新的热带气旋在西北太平洋生成。

## 5 季节内振荡对热带气旋群发性动力条件的影响

前面分析表明1991年夏季多数热带气旋都发生在西北太平洋对流活动季节内振荡的湿位相中，

而干位相中仅有一个热带气旋活动,这说明不同位相时期,热带气旋活动的大尺度背景环流可能存在较大差异。图5分别给出了7月10~27日和7月28日~8月12日平均的未滤波的850 hPa流场,这两个时段分别对应着西北太平洋对流活动季节内振荡的湿位相和干位相。可以看出在季节内振荡的湿位相,东亚季风槽十分活跃,位置从我国西南地区和中南半岛经南海北部一直向东伸展到150°E以东(图5a);而在季节内振荡的干位相,东亚季风槽仅仅向东延伸到128°E附近,并且强度很弱(图5b)。由于西北太平洋热带气旋大部分是在季风槽对应的热带辐合区中形成的,季风槽的强弱和位置直接影响着热带气旋的活动(Gray et al., 1978; 陈联寿等, 1979),因此,上述结果表明大气季节内振荡从大尺度环流背景上影响东亚季风槽的活动进而制约着西北太平洋上的热带气旋活动。

Gray (1978) 和陈联寿等 (1979) 总结了热带气旋发生发展的条件,指出必要的初始扰动和较小的垂直风切变是其中两大重要动力条件。下面,我们分别考察西北太平洋大气季节内振荡对这两个动力条件的影响。

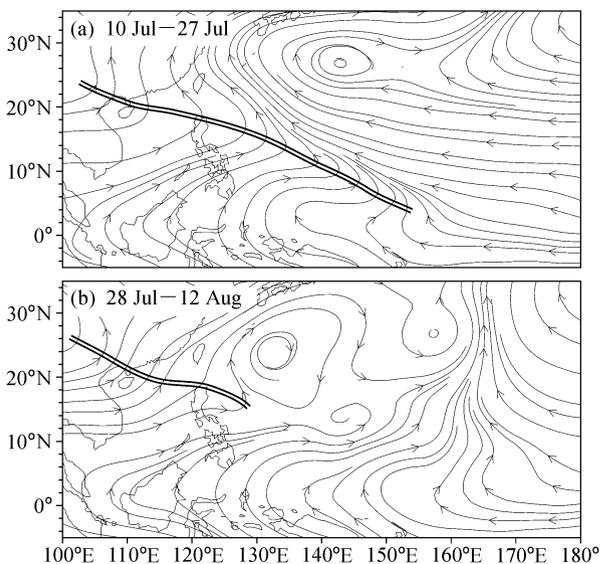


图5 西北太平洋对流活动季节内振荡 (a) 湿位相 (7月10~27日) 和 (b) 干位相 (7月28日~8月12日) 期间未滤波的850 hPa 平均流场。双实线表示东亚季风槽的位置

Fig. 5 Unfiltered mean 850-hPa streamline fields for the (a) wet phase (10 Jul to 27 Jul) and (b) dry phase (28 Jul to 12 Aug) of intraseasonal oscillation (ISO) in convective activities over the western North Pacific. Double solid line represents the monsoon trough

图6是沿着12.5°N~17.5°N纬度带平均的20~60天滤波的850 hPa低频涡度和20~60天滤波的低频OLR的时间-经度剖面。为了便于比较,图6中还根据7.5°N~22.5°N之间热带气旋(包括热带低压、热带风暴、台风)的初始生成经度和生成时间,对它们的位置进行了标注。可以看出,在120°E以东,20~60天的季节内振荡十分明显,并且

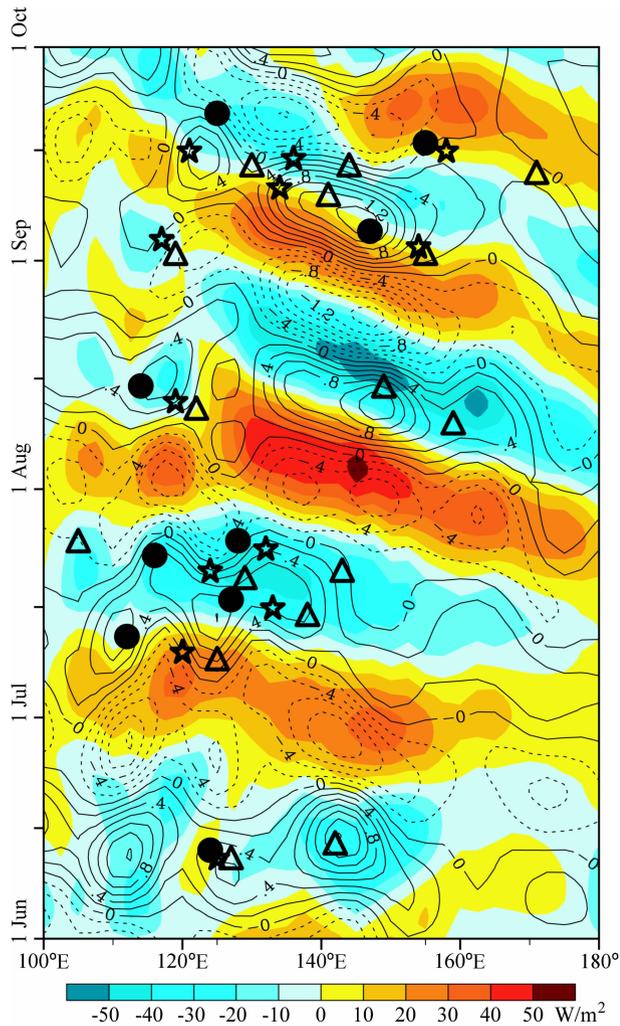


图6 沿12.5°N~17.5°N纬带平均的低频(经过20~60天滤波)OLR(彩色阴影)和低频850 hPa涡度(等值线,单位:10<sup>-5</sup>s<sup>-1</sup>)以及西北太平洋热带气旋活动的经度-时间剖面图。三角形、五角形和实心圆表示7.5°N~22.5°N纬带内热带低压、热带风暴和台风生成时的初始位置

Fig. 6 Longitude-time cross section (12.5°N-17.5°N mean) of 20-60-day filtered OLR (shading) and 20-60 day filtered 850-hPa vorticity (contour, units: 10<sup>-5</sup>s<sup>-1</sup>). Triangles, stars and solid circles denote genesis locations of tropical depressions, tropical storms and typhoons between 7.5°N and 22.5°N, respectively

850 hPa 低频涡度和低频 OLR 都表现出自东向西传播的特征; 在  $100^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$  之间, 这两者都有弱的向东传播的特征, 事实上, 这是低频涡度和低频 OLR 从南海南部向北部扩展的结果 (图 4)。从图 6 中还可以看到,  $120^{\circ}\text{E}$  以东西北太平洋上低频 OLR 与 850 hPa 低频涡度的结构十分相似, 但是二者的位相并不一致。分析区域 ( $10^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$ ,  $125^{\circ}\text{E}\sim 155^{\circ}\text{E}$ ) 平均的低频 OLR 和低频涡度的滞后相关, 结果显示它们在 -5 天的时候具有最大的滞后相关系数 ( $r = -0.72$ ,  $r$  的 99% 信度为  $-0.24$ ), 这表明西北太平洋上低频 OLR 位相落后于低频涡度的位相约  $1/12\sim 1/4$  个周期。观察 1991 年夏季西北太平洋上热带气旋活动, 可以发现它们基本上生成于 850 hPa 低频涡度的后半正位相时期, 并且大部分都处于低频 OLR 的负位相之中。由于 850 hPa 正涡度距平主要反映湿位相期间低层气旋性环流东南侧或东侧的切变涡度和曲率 (图 4a~e), 因而图 6 说明大尺度低频环流系统有利于初始扰动的形成和增长, 从而发展成为热带气旋; 同时, 热带气旋的强对流反过来又构成了大气季节内振荡湿位相的重要部分。

McBride et al. (1981) 的研究表明, 西北太平洋热带气旋发展不仅要有较小的垂直风切变, 而且垂直风切变在热带气旋中心附近要有较大的水平梯度, 即发展的热带气旋在中心附近需要较大的热带气旋发生势  $G$  (genesis potential), 定义为

$$G = \frac{\partial}{\partial y} \left( -\frac{\partial u}{\partial p} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial v}{\partial p} \right) = \frac{\partial \zeta}{\partial p}$$

$G$  同时考虑了风的垂直切变及其水平梯度, 可以较好地反映热带气旋发生发展的垂直风切变条件 (Gray et al., 1978)。实际应用中  $G$  一般可以用低层涡度和高层涡度之差来表示, 这里, 我们取  $G = \zeta_{850\text{hPa}} - \zeta_{200\text{hPa}}$  来反映大气季节内振荡对热带气旋发生发展条件中的垂直风切变的影响。图 7 是  $12.5^{\circ}\text{N}\sim 17.5^{\circ}\text{N}$  纬度带平均的 20~60 天滤波的  $G$  的经度-时间剖面图。可以看到滤波后的热带气旋发生势  $G$  与 850 hPa 低频涡度和低频 OLR 一样, 主要由东向西传播。很明显, 热带气旋生成和加强的位置与  $G$  正距平有非常好的对应关系。这说明当大气季节内振荡湿位相对应的热带气旋发生势正距平传播到西北太平洋上空时, 热带气旋发生发展的垂直风切变动力条件得到加强, 有利于热带气旋的集中发

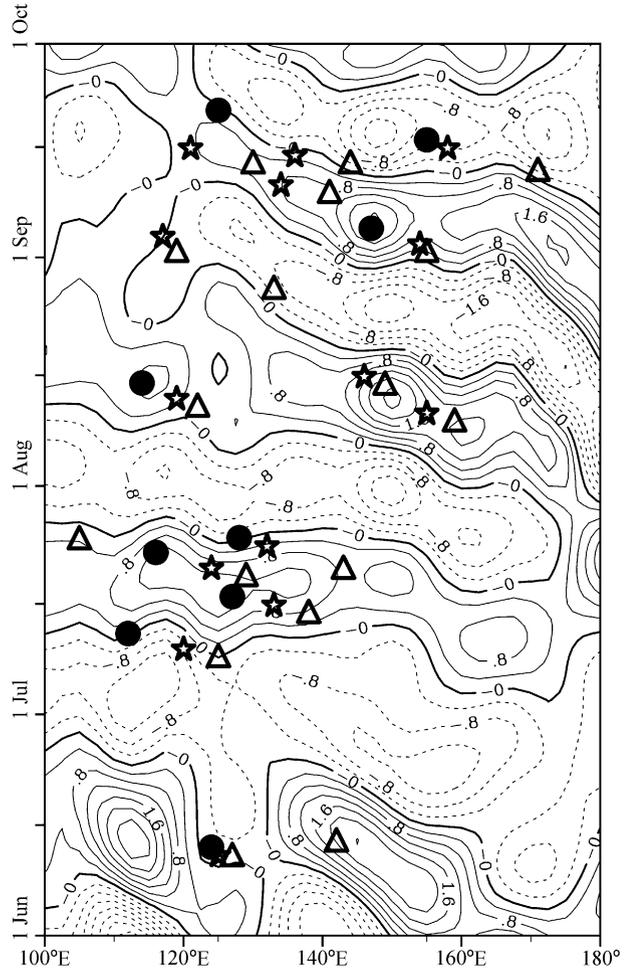


图 7 同图 6, 但为 20~60 天滤波的热带气旋发生势  $G$  (等值线, 单位:  $10^{-5}\text{s}^{-1}$ ) 的经度-时间剖面

Fig. 7 Same as Fig. 6, but for 20-60-day filtered tropical cyclone genesis potential  $G$  (contours, units:  $10^{-5}\text{s}^{-1}$ )

生; 反之, 当干位相对应的热带气旋发生势负距平传播到西北太平洋上空时, 垂直风切变条件则不利于热带气旋的发生。

## 6 结论

基于中国气象局上海台风研究所整编的西北太平洋热带气旋最佳路径资料、OLR 资料和 NCEP/NCAR 再分析资料, 本文以 1991 年为例揭示了夏季西北太平洋上热带气旋的群发性特征及其与大气季节内振荡的关系。结果表明, 1991 年 6~9 月西北太平洋地区的对流活动存在 20~60 天的准周期振荡, 该区域的热带气旋活动也具有这种频率的季节内变化。热带气旋的活动具有明显的群发性, 热带气旋比较易于集中出现在大气季节内振荡的湿位

相。大气季节内振荡的湿位相也是季风槽比较活跃的时期。湿位相期间, 大气低层维持着一个低频气旋性环流, 因而也是较强的正涡度异常区, 从而形成了有利于热带气旋生成和发展的背景环流条件。低频气旋中心的东南侧是西南风速最大的地区, 这种不稳定的低空西风急流容易激发出一些初始小扰动, 从而导致热带气旋的相继群发, 因此热带气旋大都在低频气旋环流中心的东侧和东南侧生成。热带气旋生成势的计算表明, 在湿位相, 热带气旋生成势为正异常, 说明热带气旋发生发展的垂直风切变条件容易满足。

另一方面, 随着热带气旋的发展和西移, 它可能会反过来促使大尺度低频气旋环流系统加速向西北传播而减弱, 使得西北太平洋大气季节内振荡逐渐进入干位相。在干位相, 热带西北太平洋受大范围的异常反气旋环流控制, 在低空形成了辐散的背景环流场, 热带气旋生成势为负距平, 对流活动受到抑制, 因而不利于热带气旋的生成和发展。

应当指出, 本文仅从大尺度背景环流来考察大气季节内振荡对热带气旋活动群发性的影响, 对于热带气旋这种天气尺度扰动如何与季节内尺度扰动之间相互作用还需更深入的研究。另外, 本研究只是针对 1991 年夏季的个例分析, 其普遍意义还有待于通过分析更多个例而加以证实。

**致谢** 西北太平洋热带气旋最佳路径数据集来自中国台风网 (<http://www.typhoon.gov.cn>), 小波分析程序取自 <http://paos.colorado.edu/research/wavelets>。

## 参考文献 (References)

陈联寿, 丁一汇. 1979. 西太平洋台风概论 [M]. 北京: 科学出版社, 491pp. Chen Lianshou, Ding Yihui. 1979. A General Introduction to Tropical Cyclones in the Western Pacific (in Chinese) [M]. Beijing: Science Press, 491pp.

丁一汇, 范惠君, 薛秋芳, 等. 1977. 热带辐合区中多台风同时发展的初步研究 [J]. 大气科学, 2 (2): 89-98. Ding Yihui, Fan Huijun, Xue Qiufang, et al. 1977. A preliminary study on the simultaneous developments of the multiple typhoons in the inter-tropical convergence zone [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 2 (2): 89-98.

Ding Y H, Chan J C L. 2005. The East Asian summer monsoon: An overview [J]. Meteor. Atmos. Phys., 89: 117-142.

Duchon C E. 1979. Lanczos filtering in one and two dimensions [J]. J. Appl. Meteor., 18: 1016-1022.

付遵涛, 刘式适. 2003. 基本气流的垂直切变作用下的低纬低频波 [J]. 大气科学, 27 (6): 983-991. Fu Zuntao, Liu Shikuo. 2003. The effect of vertical shear of basic flow on low-frequency waves in tropics [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 27 (6): 983-991.

Gill A E. 1980. Some simple solutions for heat-induced tropical circulation [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 106: 447-462.

Gray W M. 1978. Hurricanes: Their formation, structure and likely role in the tropical circulation [M]//Shaw D B. Meteorology over the Tropical Oceans. Roy. Meteor. Soc., James Glaisher House, Grenville Place, Bracknell, Berkshire, RG12 1BX, 155-218.

Hsu H H, Weng C H. 2001. Northwestward propagation of the intraseasonal oscillation in the western North Pacific during the boreal summer: Structure and mechanism [J]. J. Climate, 14: 3834-3850.

焦佩金. 1992. 1991 年西北太平洋的热带气旋 [J]. 气象, 18 (6): 19-25. Jiao Peijin. 1992. Tropical cyclone in the western North Pacific in 1991 [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 18 (6): 19-25.

Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77: 437-472.

Lau K M, Weng H Y. 1995. Climate signal detection using wavelet transform: How to make a time series sing [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 76: 2391-2402.

Lau K M, Yang G J, Shen S H. 1988. Seasonal and intraseasonal climatology of summer monsoon rainfall over East Asia [J]. Mon. Wea. Rev., 116: 18-37.

李崇银, 龙振夏, 穆明权. 2003. 大气季节内振荡及其重要作用 [J]. 大气科学, 27 (4): 518-535. Li Chongyin, Long Zhenxia, Mu Mingquan. 2003. Atmospheric intraseasonal oscillation and its important effect [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 27 (4): 518-535.

李崇银. 2004. 大气季节内振荡研究的新进展 [J]. 自然科学进展, 14 (7): 734-741. Li Chongyin. 2004. Advances in the intraseasonal oscillation of the atmosphere [J]. Progress in Natural Science (in Chinese), 14 (7): 734-741.

Liebmann B, Hendon H H, Glick J D. 1994. The relationship between tropical cyclones of the western Pacific and Indian oceans and the Madden-Julian oscillation [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 72: 401-412.

Liebmann B, Smith C A. 1996. Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77: 1275-1277.

Madden R A, Julian P R. 1994. Observations of the 40-50-day tropical oscillation—A review [J]. Mon. Wea. Rev., 122: 814-837.

Mao J Y, Chan J C L. 2005. Intraseasonal variability of the South China Sea summer monsoon [J]. J. Climate, 18: 2388-2402.

McBride J L, Zehr R. 1981. Observational analysis of tropical cyclone formation. Part II: Comparison of non-developing versus de-

- veloping systems [J]. *J. Atmos. Sci.*, 38: 1132–1151.
- Nakazawa T. 2006. Madden-Julian oscillation activity and typhoon landfall on Japan in 2004 [J]. *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, 2: 136–139.
- Torrence C, Compo G P. 1998. A practical guide to wavelet analysis [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79: 61–78.
- 王慧, 丁一汇, 何金海. 2006. 西北太平洋夏季风的变化对台风生成的影响 [J]. *气象学报*, 64 (3): 345–356. Wang Hui, Ding Yihui, He Jinhai. 2006. Influence of western North Pacific summer monsoon changes on typhoon genesis [J]. *Acta Meteor. Sinica (in Chinese)*, 64 (3): 345–356.
- Wu R, Wang B. 2001. Multi-stage onset of the summer monsoon over the western North Pacific [J]. *Climate Dyn.*, 17: 277–289.
- 谢安, 叶谦. 1987. OLR 低频振荡与西太平洋台风活动的探讨 [J]. *气象*, 13 (10): 8–13. Xie An, Ye Qian. 1987. Relationship between OLR low-frequency oscillation and the formation of typhoon over the western Pacific [J]. *Meteorological Monthly (in Chinese)*, 13 (10): 8–13.
- 谢义炳, 陈受钧, 张一良, 等. 1963. 东南亚基本气流与台风发生的一些事实的统计与分析 [J]. *气象学报*, 33 (2): 206–217. Xie Yibing, Chen Shoujun, Zhang Yiliang, et al. 1963. A preliminary statistic and synoptic study about the basic currents over Southeastern Asian and the initiation of typhoons [J]. *Acta Meteor. Sinica (in Chinese)*, 33 (2): 206–217.
- 周兵, 何金海, 谭言科, 等. 2001. 1998 年东亚夏季风环流相互作用的低频耦合模态及其位相特征 [J]. *热带气象学报*, 17 (3): 223–234. Zhou Bing, He Jinhai, Tan Yanke, et al. 2001. LF coupled modes and phase characteristics of EASMC interaction in 1998 [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 17 (3): 223–234.
- 祝从文, Nakazawa T, 李建平. 2004. 大气季节内振荡对印度洋-西太平洋地区热带低压/气旋生成的影响 [J]. *气象学报*, 62 (1): 42–50. Zhu Congwen, Nakazawa T, Li Jianping. 2004. Modulation of tropical depression/cyclone over the Indian/western Pacific oceans by Madden-Julian oscillation [J]. *Acta Meteor. Sinica (in Chinese)*, 62 (1): 42–50.