

薛根元, 王志福, 周丽峰等. 登陆东南沿海热带气旋的异常特征及其成因研究. 地球物理学报, 2007, 50(5): 1362 ~ 1372
Xue G Y, Wang Z F, Zhou L F, et al. On abnormal features and formation causes of tropical cyclones landing southeastern coastal zones of China. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2007, 50(5): 1362 ~ 1372

登陆东南沿海热带气旋的异常特征及其成因研究

薛根元¹, 王志福², 周丽峰³, 诸晓明⁴, 朱持则¹

1 浙江省气象局, 杭州 310002

2 南京大学大气科学系, 南京 210093

3 陕西省气象台, 西安 710015

4 浙江省绍兴市气象台, 绍兴 312000

摘 要 应用 1949 ~ 2005 年热带气旋(台风)年鉴资料, 对西太平洋以及登陆我国东南沿海地区的热带气旋活动的特征进行了分析, 发现西太平洋生成热带气旋个数和登陆我国热带气旋的个数有略为减少的趋势, 而登陆我国热带气旋的强度有显著增强趋势. 2005 年西太平洋生成热带气旋数偏少, 但其中登陆我国的强热带气旋比例却明显偏高. 对导致这种异常现象的大尺度环流条件的分析表明, 前期南亚高压和副热带高压势力偏强, 台风期副高偏强、东亚夏季风偏弱、水平风垂直切变等因子不利于热带气旋生成; 而西太平洋西部异常的水汽输送、弱风垂直切变、海表面温度异常以及中低纬系统之间相互作用等则可能是导致登陆我国热带气旋强度异常偏强的主要原因.

关键词 热带气旋, 异常特征, 成因分析, 水汽输送, 海表面温度

文章编号 0001-5733(2007)05-1362-11

中图分类号 P444

收稿日期 2007-04-10, 2007-06-28 收修定稿

On abnormal features and formation causes of tropical cyclones landing southeastern coastal zones of China

XUE Gen-Yuan¹, WANG Zhi-Fu², ZHOU Li-Feng³, ZHU Xiao-Ming⁴, ZHU Chi-Ze¹

1 Meteorological Bureau of Zhejiang Province, Hangzhou 310002, China

2 Department of Atmospheric Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China

3 Shangxi Province Meteorological Observatory, Xian 710015, China

4 Shaoxing City Meteorological Observatory, Shaoxing 312000, China

Abstract With the Tropical Cyclone (Typhoon) Year-Books data from 1949 to 2005, the features of the TC activities in the western Pacific as well as TCs landing in the coastal area of southeastern China are analyzed. It is found that the number of TCs in the western Pacific and landing in China has decreased slightly, while the intensity of the TCs landing in China has increased significantly. In 2005, there are fewer TCs in the western Pacific, which results from the adverse factors for TC's generating, such as higher south Asia high in prior time, stronger subtropical high, weaker East Asian summer monsoon, and vertical shear of zonal wind in TC period. At the same time, the proportion of strong TCs landing in China is larger than normal, which may be caused by many factors, like the abnormal moisture transportation in west part of the western Pacific, weak wind vertical shear, SST anomaly and the interaction of weather systems between mid- and low- latitude areas.

Key words Tropical cyclone (TC), Abnormal feature, Causes analysis, Moisture transportation, Sea surface temperature (SST)

基金项目 浙江省科技攻关计划项目(2007C33G130003)资助.

作者简介 薛根元, 男, 1961 年生, 高级工程师, 主要从事天气气候研究. E-mail: xgy0129@yahoo.com.cn

1 引言

热带气旋(以下简称 TC)是影响我国的主要气象灾害之一,每年约有 35 个 TC 从赤道西北太平洋或南海移出^[1,2],而对我国有影响的年均有 15.8 个,直接登陆的有 9.1 个^[3]。

近年来对 TC 的研究,包括 TC 强度变化^[4-7]、个数异常^[7,8]、路径异常^[9]及斜压大气中热带气旋的运动特征与成因^[10,11]等都取得新的进展。TC 异常活动与大尺度环流异常有密切联系。许多学者^[3,12,13]研究了 TC 活动与 ENSO 间的关系,指出 El Niño 年西北太平洋 TC 偏少,TC 生成位置偏东、偏南,强度偏强;La Niña 年生成数增多,位置偏西、偏北,强度偏弱。同时,TC 活动还与 El Niño 和 La Niña 事件的起始和终止时间及其强度有关,而对 El Niño 年和 La Niña 年 TC 活动差异的成因分析表明,海气耦合作用对环流的不同影响可能是影响 TC 生成数量的重要因子^[14]。Hoyos 等^[15]通过对 1970~2004 年期间全球各洋面 TC 活动与海表温度(SST)关系的研究发现,4 类和 5 类飓风生成数的增加与 SST 及热带环流环境场有关。另一方面,虽然这些因素对 TC 强度的短期变化有一定影响,但从全球 TC 强度变化的趋势而言,这种影响又不是太明显。孙秀荣等^[16]研究了东亚夏季风对西北太平洋 TC 频数的影响,发现强夏季风年西北太平洋地区 TC 偏多,而弱夏季风年同期 TC 频数异常偏少而后期趋于正常,正常夏季风年 TC 频数基本正常;张艳霞等^[17]研究了西太平洋 TC 与南亚高压(SAH)的关系,发现西北太平洋 TC 有明显的年际和年代际变化,前期 SAH 对当年 TC 频数有一定影响,SAH 中心位置偏北、偏西,中心强度偏弱时,当年 TC 偏多;反之,当年 TC 偏少。李曾中等通过对 1998 年南海和西太平洋 TC 生成与越赤道气流的分析发现,夏季(6~9 月)东半球 90°E~180°E 区域越赤道气流偏弱,而 0°~90°E 区域里,特别是位于 40°E~45°E 的索马里急流处,越赤道气流极强,是造成该年南海及西北太平洋台风生成数特少的重要原因^[18]。张元箴等^[19]发现,北半球夏季 5~8 月,南半球中纬和低纬西风指数、赤道气压指标与北半球西太平洋副热带高压和台风群的中期活动均有较好关系。阎俊岳等对西北太平洋 135°E 以西洋面 TC 迅速加强现象分析发现,除较高海温外,还与低层副高加强、西南季风潮爆发、适度冷空气侵入、高空西风大槽(TUTT)影响等有关,这

些因素有利于 TC 低层流入和眼壁区深对流急剧发展^[4]。TC 生成还与中低纬对流活动、副热带高压,及北半球冷空气活动^[20,21]等有关。随着对全球变暖问题的重视,人们越来越关心全球变暖是否会引起台风强度及台风破坏力的变化。Emanuel^[6]指出,过去 50 年来 TC 强度及破坏力有显著的增强趋势,这一结果得到 Webster 等^[7]研究的支持,他们指出,尽管全球 TC 总数有减少趋势,但 4 类和 5 类强 TC 个数与占 TC 总数中的比例均有明显的增加趋势。

2005 年是台风灾害偏重年份。从全球范围看,该年是美国有飓风记录以来飓风活动最活跃和损失最严重的一年,其中 Emily、Katrina、Rita 和 Wilma 等飓风成为该年飓风季 4 个 5 级飓风,使大西洋飓风季节成为有记录以来达到 5 级飓风强度最多的季节。历史上只是在 1960 年和 1961 年飓风季节分别出现过 2 个 5 级飓风。另外,Emily 飓风也是美国历史上出现最早的 5 级飓风和在 7 月份出现的最强烈的飓风。特别是飓风 Katrina 造成美国至少 1200 人死亡,经济损失高达 1500 亿美元,同时,Wilma、Stan 等飓风袭击中美洲,造成重大损失。

2005 年西北太平洋和南海共有 23 个 TC 生成(图略),与常年相比偏少。这 23 个 TC 中,有 14 个发展成为台风,占总生成数的 61%。全年共有 8 个 TC 先后 12 次登陆我国,分别是 0505 号台风“海棠”(登陆 2 次)、0508 号强热带风暴“天鹰”、0509 号台风“麦莎”(登陆 2 次)、0510 号强热带风暴“珊瑚”、0513 号台风“泰利”(登陆 2 次)、0515 号台风“卡努”、0518 号“达维”和 0519 号“龙王”(登陆 2 次)。登陆的 TC 个数与常年平均值相比略有偏少。登陆区域和时间较集中,其中台湾和福建(3 个均为 2 次登陆)各 3 个,浙江和海南各 2 个,广东 1 个,最北 1 个在辽宁大连登陆(为 2 次登陆);登陆时段集中在 7~10 月,各月分别有 2、2、3 个和 1 个 TC 登陆。同时,登陆时的强度明显偏强,有 6 个为台风,2 个为强热带风暴,而台风带来的灾害也明显偏重。

本文主要研究 2005 年西太平洋 TC 与登陆我国 TC 的异常特征及大尺度因子的影响。

2 资料 and 定义

所用资料包括:(1)中国气象局 1949~2005 年 TC 年鉴;(2)国家气候中心 1951~2005 年 74 种环流特征量资料;(3)1948~2005 年 NCEP/NCAR 再分析资料,包括全球 2.5°×2.5°月平均位势高度场、风

场、气温、比湿和地面气压场; (4) 1948~1981 年月平均海表面温度资料取自 Hadley 中心全球海冰海表面温度资料集 (SISST), 1982~2005 年月平均海表面温度取自 NOAA 最优插值 SST (OISST), 分辨率均为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。

本文涉及到的几个定义具体说明如下: (1) 西太平洋热带气旋: 中国气象局热带气旋年鉴每年发报的西太平洋热带气旋 (包括南海热带气旋) 总数。 (2) 登陆热带气旋: 台风年鉴中热带气旋中心位置首次进入或者经过我国台湾、海南或大陆海岸线以内, 算一个气旋登陆。如果热带气旋移动速度比较快, 在两个记录时间间隔 (6 小时) 内, 已登陆又入海, 则以登陆前一个记录代替登陆时的值。 (3) 热带气旋源地: 以热带气旋年鉴中每个气旋的第一报的经度位置为准。海域的含义为: SCS: 中国南海 ($100^{\circ} \text{E} \sim 120^{\circ} \text{E}$); WWP: 西太平洋西部 ($120^{\circ} \text{E} \sim 140^{\circ} \text{E}$); MWP: 西太平洋中部 ($140^{\circ} \text{E} \sim 160^{\circ} \text{E}$); EWP: 西太平洋东部 ($160^{\circ} \text{E} \sim 180^{\circ} \text{E}$)。另外, 热带气旋强度等级的划分仍采用中央气象台原规定。

3 2005 年西太平洋 TC 特征

3.1 西太平洋 TC 气候特征

图 1a 给出了西太平洋 TC 的频数特征。从图 1(a1) 可以看到, 西太平洋 TC 全年各月都有可能生成, 5 月之前 TC 生成相对较少, 主要集中在 7~10 月。多年平均以 8 月最多, 接近 8 个, 其次为 9 月 6 个、7 月 5 个和 10 月 4.5 个, 其余月份 TC 生成数平均都在 3 个以下, 1949~2005 年平均每年有 34.1 个 TC 在西太平洋生成。从时间序列 (图 1(a2)) 看出, 西太平洋 TC 频数具有明显的年代际变化, 在 20 世纪六七十年代相对偏多, 之后呈下降趋势, 90 年代以后处于偏少时期。

图 1b 为登陆我国 TC 的频数特征。从季节-年际分布图可以看出, 登陆我国最早的 TC 发生在 3 月 (1991 年), 最晚则出现在 7 月 (1997 年), 主要分布在 7~9 月, 其中 8 月最多, 平均 2.5 个, 7 月与 9 月接近, 都略多于 2 个, 年平均 8.9 个。从其时间序列看, 登陆我国 TC 的年际变率明显, 登陆数也有弱的下降趋势, 这可能与西太平洋 TC 总数减少有关。

图 1c, 1d 给出了登陆我国 TC 的强度特征。TC 中心附近最大风速分布在 $5 \sim 70 \text{ m s}^{-1}$, 以 30 m s^{-1} 最多, 平均为 25.8 m s^{-1} 。从年平均最大风速时间序列可看出, 最大风速具有增强的趋势, 但这种增强趋

势并不明显, 没有通过显著性检验 (图 1c)。TC 中心气压分布在 $915 \sim 1015 \text{ hPa}$, 主要集中在 $970 \sim 1000 \text{ hPa}$, 平均为 983.1 hPa 。最低 TC 中心气压出现在 1962 年, 最低中心气压为 920 hPa 。与风速相应, TC 中心气压也有下降的趋势, 平均每年下降 9 Pa , 这种下降趋势通过 90% 的显著性检验, 表明登陆我国 TC 的强度具有增强的趋势 (图 1d)。

从登陆我国 TC 的纬度分布看 (图略), 登陆的纬度集中在 25°N 以南, 但最北也可到达 40°N 以北。登陆纬度的多年平均分布有两个峰值, 分别在 19°N 附近和 22°N 附近。从登陆 TC 的纬度年平均序列看出, 平均在 $21^{\circ} \text{N} \sim 25^{\circ} \text{N}$, 有微弱的北上趋势, 只是这种趋势并不显著。从纬度-年际分布图上看, 也没有明显的北上趋势。从登陆的地理分布看, TC 登陆 (不包括二次登陆) 最多的在海南、广东和台湾三省, 其次为福建和浙江两省。

从多年平均 TC 的生成源地看, MWP 生成 TC 数最多 (12.87 个), 其次为 WWP (11.49 个), 再次为 SCS (6.12 个), EWP 最少 (3.63 个)。从 4 个区域年生成 TC 数距平的时间序列可看出 (图略), SCS 和 EWP 气旋生成数具有年代际变化特征, MWP 生成个数呈下降趋势, WWP 生成个数年际变化明显。生成源地的季节分布上看 (表 1), 4 个区域生成的 TC 大都在 5 月以后, 主要都集中于 7~10 月, 1~4 月则很少。其中 SCS 生成数在 8、9 月最多, 平均每月略大于 1 个, 其他月份不足 1 个。WWP 与 MWP 生成数集中月份平均每月 2 个左右。EWP 平均生成的 TC 最少, 主要集中于 8~10 月, 平均略少于 1 个。

表 1 1949~2005 年多年平均以及 2005 年 (括号中) 西太平洋各区域 TC 生成数月变化

Table 1 Monthly changes of TC number generating in each region of the western Pacific for multiyear average (from 1949 to 2005) and for 2005 (in parentheses)

Mnth	SCS	WWP	MWP	EWP	Total
1	0.02 (0)	0.26 (0)	0.26 (1)	0.11 (0)	0.65 (1)
2	0.02 (0)	0.14 (0)	0.16 (0)	0.02 (0)	0.34 (0)
3	0.00 (0)	0.14 (1)	0.26 (0)	0.11 (0)	0.51 (1)
4	0.04 (0)	0.21 (1)	0.46 (0)	0.14 (0)	0.85 (1)
5	0.47 (0)	0.44 (0)	0.35 (0)	0.04 (0)	1.30 (0)
6	0.81 (0)	1.04 (0)	0.72 (1)	0.02 (0)	2.59 (1)
7	0.75 (1)	2.04 (2)	2.12 (1)	0.25 (1)	5.16 (5)
8	1.26 (0)	2.72 (1)	2.82 (4)	0.81 (0)	7.61 (5)
9	1.28 (1)	1.74 (2)	2.37 (2)	0.77 (0)	6.16 (5)
10	0.72 (1)	1.33 (1)	1.89 (0)	0.61 (0)	4.55 (2)
11	0.54 (0)	0.82 (2)	1.00 (0)	0.42 (0)	2.78 (2)
12	0.21 (0)	0.61 (0)	0.46 (0)	0.33 (0)	1.61 (0)
Annual	6.12 (3)	11.49 (10)	12.87 (9)	3.63 (1)	34.11 (23)

3.2 2005 年异常特征

2005 年西太平洋共有 23 个 TC 生成,是自 1949 年以来仅次于 1998 年的少 TC 年.1、3、4、6 月西太平洋各有一个 TC 生成(图 1(a3);表 1),主要集中于 7~9 月,各有 5 个生成.从各月 TC 数看,基本都小于各月的多年平均值.从 TC 生成源地看(表 1),3 个生成于 SCS,比多年平均少 3 个;10 个生成于 WWP,略少于多年平均;9 个源于 MWP;只有 1 个生成于 EWP.从 TC 源地的月度分布看,SCS 各月基本少于多年平均或基本持平;WWP 除 3、4、9、11 月略多于多年平均外,其余月份也少于或与多年平均持平;MWP 基本偏少,但 1 月有 1 个生成,8 月则有 4 个生成,多于多年平均值;EWP 全年仅在 7 月有 1 个 TC 生成.

从 7 月开始有 2 个 TC 登陆我国(图 1(b3)),8 月有 2 个,9 月 3 个,10 月 1 个,其中 9 月和 10 月登陆 TC 数高于多年平均,其他月份少于多年平均,全年一共 8 个 TC 登陆我国,略少于多年平均的 8.9 个.从台风路径看,登陆我国的强 TC 均生成于 (120°E~155°E,10°N~25°N) 洋面,其路径除了登陆海南省的为西行之外,其他登陆 TC 均为西北路径.

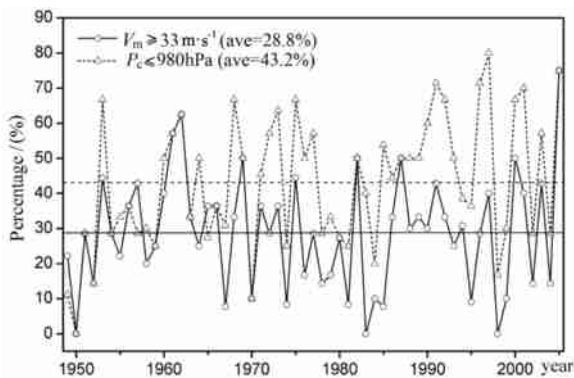


图 2 1948~2005 年登陆我国强热带气旋占当年登陆气旋的比例

Fig. 2 Interannual variation of the proportion of severe TC to TC landing in China from 1948 to 2005

虽然 2005 年登陆 TC 数量不多,但强度大,年平均最大风速达 $31.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,大于多年平均的 $25.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 1(c2);表 2),其中最大风速达到 $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的有 3 个, $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 有 2 个,相应中心气压均低于 970 hPa(图 1(d2)).从登陆强 TC(最大风速 $\geq 33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;中心气压 $< 980 \text{ hPa}$)的比例序列(图 2)可看出,登陆时风速大于 $33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的强 TC 占登陆 TC 的比例为 57 年来最高,达 75%,登陆时中心气压小于 980 hPa 的比例达到 75%,仅次于 1997 年的 80%,两个比例均分别高于多年平均值 28.8%和 43.2%.

总体上看,2005 年西太平洋 TC 总体特征为个数少,仅略多于 1998 年;登陆我国 TC 强度大,造成严重的人员伤亡和经济损失.

表 2 1949~2005 年多年平均及 2005 年 TC 统计特征
Table 2 Statistic features of TC for multiyear average (from 1949 to 2005) and for 2005

统计时间	西太平洋 TC 总数	登陆我国 TC 数	平均登陆最大风速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	平均登陆中心气压 (hPa)
多年平均	34.1	8.9	25.8	983.1
2005 年	23	8	31.4	975.3

4 异常成因分析

4.1 南亚高压的影响

张艳霞等^[17]指出,前期南亚高压中心位置偏西、强度偏弱,则当年 TC 偏多,反之 TC 偏少.图 3 给出 2004 年 10 月~2005 年 1 月 100 hPa 平均位势高度场和风场距平.分析发现,我国上空为位势高度负距平,其余地区为正距平,相应风场距平在东亚为一气旋式环流,西太平洋为鞍型结构.南亚高压中心(图 3 中 A)位于 (152.5°E,17.5°N) 比同期多年平均位置(图 3 中 G)偏东 2.5°.高压中心为正距平,说明前期南亚高压偏强.由于 100 hPa 环流异常具有整体性质,而且这种整体异常性质具有季节上的持续性,冬季的异常可持续到夏季并且更为明显^[22].因

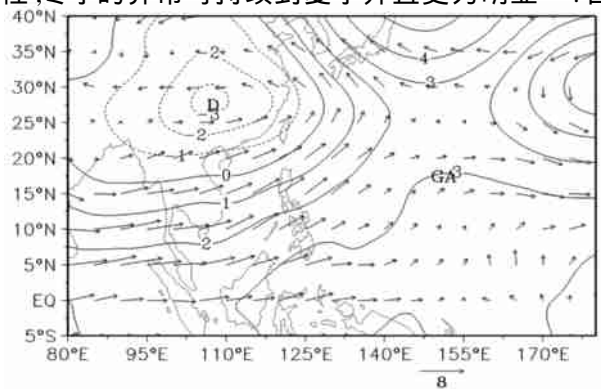


图 3 2004 年 10 月~2005 年 1 月 100 hPa 位势高度场和风场距平

等值线:位势高度,单位:dgpm;矢量:风场,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;图中 G 表示多年平均同期南亚高压中心位置, A 为 2005 年同期南亚高压位置, D 是差值低值中心.

Fig. 3 Anomalies of geopotential height field and wind field at 100 hPa averaged from Oct. 2004 to Jan. 2005
Contour: geopotential height/dgpm; Vector: wind field/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;
G represents the multiyear averaged position of the center of South Asia High, A is the location of the center of South Asia High in 2005, D is the center of low difference values.

此,前期南亚高压偏东偏强,引起后期夏秋季其东南侧下沉气流偏强,这种偏强的下沉气流形成中低层较强辐散场,抑制 TC 的生成,同时太平洋上的平均位势高度的鞍型场结构也不利于 TC 的生成,这是 2005 年 TC 总数明显偏少的重要原因之一。

4.2 海表温度的影响

海温与 TC 的活动有着密切关系,无论是 TC 的生成需要一定的 SST(26℃),还是 TC 移至较高的 SST 时易加强等,都与 SST 有着密切的关系^[23]。林惠娟等^[3]利用相关分析发现,影响我国 TC 个数与西太平洋暖池有正相关关系。Hoyos 等^[15]最近的研究也指出,强飓风数的增多与海表面温度上升有直接的联系。

从 2005 年逐月海温及其距平图(图略)发现,7~9 月 28℃ 线范围接近正常略偏大,西太平洋中部

及赤道太平洋始终为海温正距平控制,35°N~45°N 负距平范围逐渐减小,副热带地区海温有弱的正负变化。图 4 给出了 7~9 月平均西太平洋 SST 及其距平。由图 4a 可以看出,南海至西太平洋中部,28℃ 等温线范围与同期气候平均接近,而西太平洋东部略为偏小,29℃ 线在西太平洋中西部范围明显大于气候平均。从海温距平(图 4b)可以清楚看出,160°E 以西,30°N 以南海洋基本为海温正距平,30°N 以北为负距平,其中南海、赤道太平洋、西太平洋中、西部海温正距平大于 0.5℃。2005 年 TC 盛行期,TC 路径上的海温正距平有利于 TC 发展与加强,5 个有严重影响的台风进入这些区域的演变就明显有这种特征。事实上,“海棠”台风、“麦莎”台风、“泰利”台风、“卡努”台风和“龙王”台风都有一个共同点,就是当 TC 进入西太平洋 140°E 以西时,强度是显著加强的。

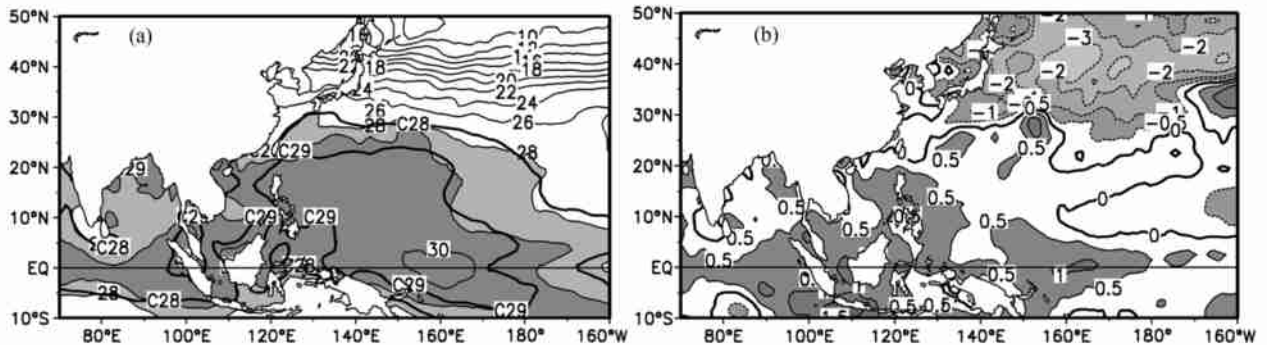


图 4 2005 年 7~9 月 SST (a) 及其距平 (b) 分布(单位:℃)

(a) 中阴影区: SST > 28℃, C28/C29 为多年平均 28/29℃ 线; (b) 中阴影区: |SSTa| > 0.5℃。

Fig. 4 SST (a) and its anomaly (b) distribution between July and September in 2005 (unit:℃)

The shadow in (a): SST > 28℃, C28/C29 is averaged contour of 28/29℃; the shadow in (b): |SSTa| > 0.5℃。

4.3 副热带高压的影响

副热带高压的强度与位置对 TC 的形成和移动有重要影响。我们计算了 1949~2005 年 7~9 月副高指数^[24]与 7~9 月西太平洋 TC 总数之间的关系,结果表明,TC 总数与副高指数和面积指数存在很好的负相关关系,相关系数分别为 -0.59 和 -0.60,超过 99.9% 的显著性检验,说明副高偏强、面积偏大不利于西太平洋 TC 的生成。

图 5a 是 2005 年 7~9 月平均北半球 500 hPa 位势高度场。对比同期多年平均可看出,2005 年北半球 500 hPa 高度场整体偏高,西太平洋副高异常偏强、面积异常偏大,副高脊线位置正常略偏北、北界位置偏北、西伸脊点偏西。对应的距平场(图 5b)上,60°N 以南均为正距平,其中中北太平洋、东亚北部、北欧、北大西洋及北美东部为高于 40 gpm 正高度距平所控制,负距平区主要出现在新地岛以北与北美

西部,中心值低于 -60 gpm。从各月的环流形势(图略)也可以看到类似的特征,只是 8 月副高略微东撤,在位势高度距平场上,东亚地区从北向南出现了“- + -”的距平分布。分析表明,副热带高压强度及面积指数全年均异常偏强偏高。由于副高异常偏强、控制范围大、南界异常偏南,整个低纬地区为正高度距平控制,抑制了低压扰动的产生和发展,因此不利于 TC 的生成。此外,副热带高压偏强容易使 TC 在副高南侧气流的引导下,以西行或西北路径登陆我国。从 500 hPa 风场距平图上可以发现(图略),120°E~130°E,20°N~30°N 范围内有东南风距平,表明该时期这一区域东南气流偏强,这有利于移动至该区域的 TC 沿着副高边缘的东南气流移动,这可能是 2005 年登陆我国的 TC 在登陆前基本是西北路径的重要原因之一。

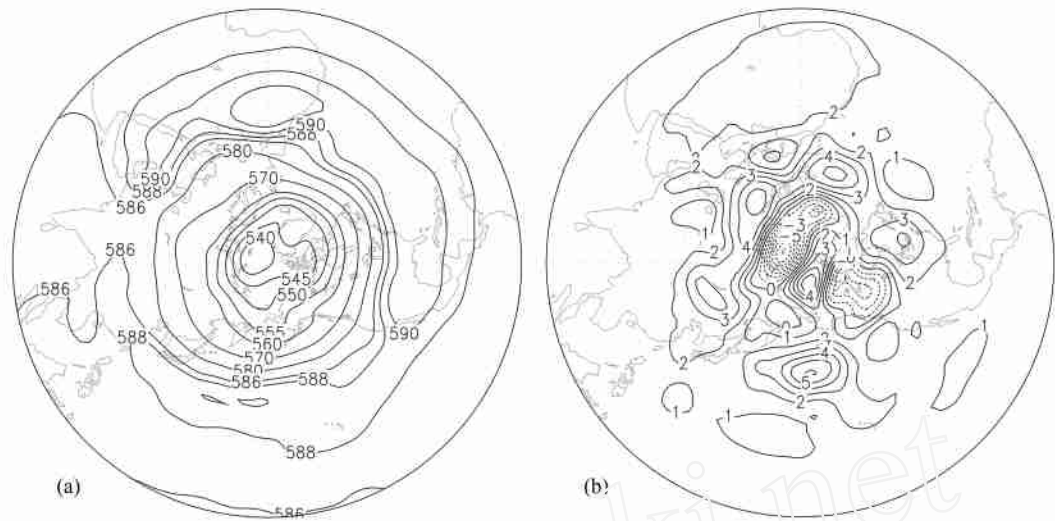


图 5 2005 年 7~9 月北半球 500 hPa 位势高度场 (a) 及其距平 (b) (单位: d gpm)

Fig. 5 Distribution of geopotential height field (a) and its anomaly (b) at 500 hPa in north hemisphere between July and September in 2005 (unit: d gpm)

4.4 夏季风的影响

2005 年 7~9 月 850 hPa 平均距平流场图 (图 6a) 表明, 该时期西太平洋低纬地区和南海各有一气旋式距平环流, 两气旋环流北侧 20°N 附近为异常偏东气流, 延伸到中南半岛, 同时我国东部地区受异常东北气流控制, 两股气流对西南季风都有抑制作用. 高层 200 hPa 的流场 (图 6b) 与低层流场相对应, 低纬西太平洋上空维持异常西风气流. 这种高低层环流配置既减弱了季风环流, 也会使西太平洋不同区域的垂直风切变发生显著变化.

对比 500 hPa 距平场发现, 850 hPa 在 120°E~130°E, 20°N~30°N 也有东南风距平 (图 6a), 且在西太平洋西部, 两层结构非常相似, 说明在该区域有很好的相当正压结构, 这种相当正压结构可以减小高

低层风切变, 有利于 TC 的发展; 此外在台湾以东洋面上有水汽输送距平大值区, 说明这个区域内的水汽异常增强, 这为 TC 的发展提供了充足的水汽, 潜热的释放使得通过该区域的 TC 强度得以迅速增强. 事实上, 2005 年登陆我国的西太平洋 TC, 在登陆前都有一个加强过程, 造成 TC 以较强的强度登陆, 因此 TC 造成的损失也特别严重, 如“海棠”、“麦莎”、“泰利”、“卡努”和“龙王”等台风都有在这一区域明显加强的现象.

上述 5 个台风中, “海棠”、“泰利”和“龙王”等三个台风穿过台湾岛和台湾海峡后在福建沿海地区登陆, 而“麦莎”和“卡努”等两个台风则在浙江东南沿海登陆, 它们有一个共同点, 就是台风登陆前后都出现了强降水, 且持续时间较长, 分析其原因, 主要在

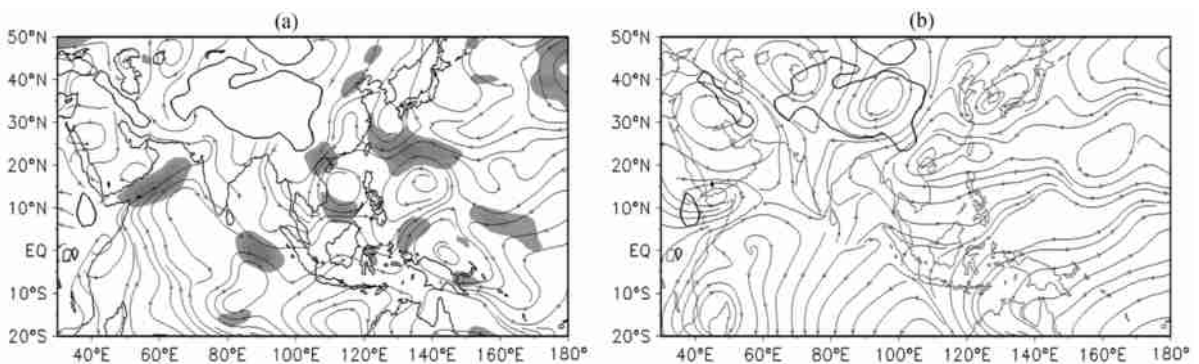


图 6 2005 年 7~9 月流场距平及垂直积分水汽通量距平

(a) 850 hPa; (b) 200 hPa. (a) 中阴影区表示水汽通量距平大于 $60 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

Fig. 6 Streamline field anomaly and vertically integrated moisture flux anomaly between July and September in 2005

Moisture flux anomaly larger than $60 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ is shaded in (a).

于：一是持续不断的水汽供给，台风登陆前主要是台风的螺旋云带带来强降水，这些云带一旦碰到大陆后，由于地面摩擦和地形强迫抬升作用，在浙闽地区都造成强降水；二是台风登陆后降水的加大与维持，这既是因为台风螺旋云带继续移至大陆而形成强降水，同时也由于东南急流中携带大量水汽和热量，这些气流本身还未形成强云团，但一旦移至大陆以后，由于地形强迫抬升作用，会使这支强东南气流很快生成强降水云团；三是从热带赤道辐合带至 TC 大尺度环流中水汽通道的建立，这保证了来之热带辐合带中的水汽持续供给，图 6b 中 7~9 月距平流场及垂直积分水汽通量距平反映了出现这些持续性强降水环流方面的成因。

4.5 北半球冷空气活动的影响

陈联寿等^[9]指出，弱冷空气侵入 TC 能够使位能

转化为动能而使涡旋得以迅速加强发展，阎俊岳等^[5]也指出，适度冷空气的侵入对 TC 的迅速加强具有激发作用。从 2005 年北半球极涡各指数的季节演变图(图 7a)可以看出，全年极涡强度偏弱，7~9 月平均极涡中心偏在东半球，中心强度略大于正常值，极涡强度偏弱。这种形势下，亚洲中高纬地区以纬向环流为主，经向环流偏弱(图 7b)。在这种极涡强度与西风环流的配置下，西风带系统与低纬系统之间的相互作用比较弱，有利于适度的冷空气向南扩散，对 TC 的发展加强起了激发作用。

4.6 高低空垂直切变的影响

弱的水平风垂直切变被认为是 TC 产生和发展的必要条件之一^[11]。图 8 给出了 7~9 月四个区域平均纬向风垂直分布。EWP 垂直切变比气候平均强，

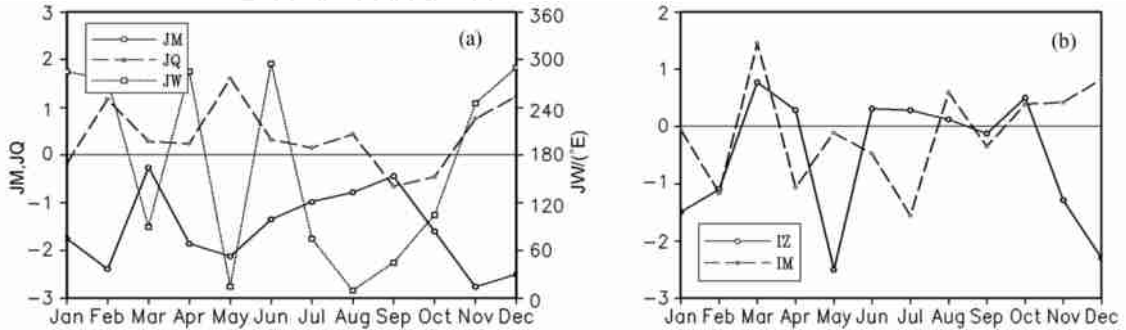


图 7 2005 年 1~12 月北半球极涡指数 (a) 和亚洲环流指数 (b)

JM 为标准化极涡强度指数 JQ 为中心强度，JW 为极涡中心位置；IZ 和 IM 分别表示标准化亚洲纬向环流指数和经向环流指数。

Fig. 7 Monthly variation of polar vortex indices in north hemisphere (a) and Asian circulation indices (b) in 2005

JM is the standardized polar vortex intensity index, JQ is the center intensity, JW is the polar vortex center position;

IZ and IM represent standardized zonal circulation index and meridional circulation index over Asia, respectively.

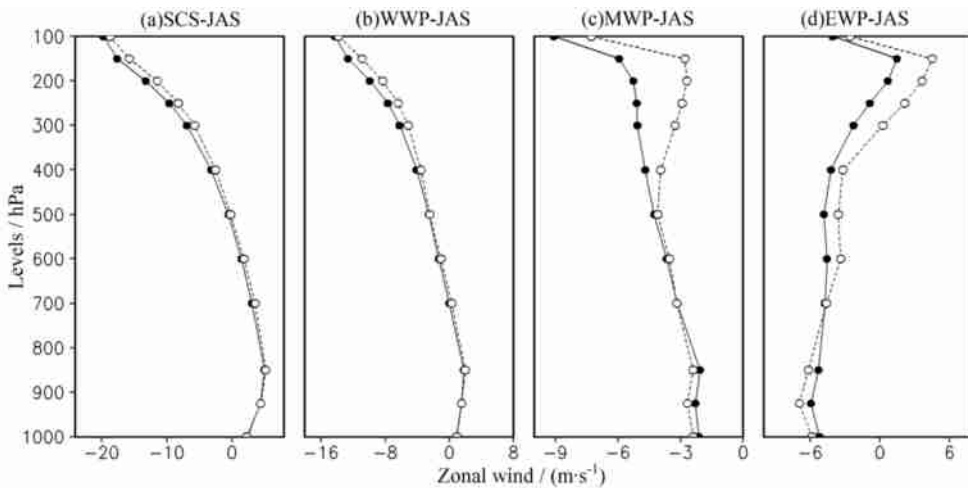


图 8 7~9 月 (5 N ~ 20 N) 区域平均纬向风垂直分布

实线为 1949~2005 年平均，虚线表示 2005 年。

Fig. 8 Vertical profile of zonal wind averaged in certain regions (5 N ~ 20 N) between July and September

The solid line represents the average between 1949 and 2005, the broken line represents the value in 2005.

加之该区域 SST 偏低,因此生成的 TC 少;SCS 与 WWP 的垂直切变比气候平均略为偏小, MWP 平均切变比气候平均小,尽管如此,这三个区域生成的 TC 都少于多年平均,说明高低空切变只是生成 TC 的必要条件,并非充分条件,还受其他因子的影响。

前已提到,在西太平洋西部,有很好的相当正压结构,下面分析一下该区域纬向风的垂直分布。由图 9 发现,7、8 月,该区域低层东风偏强,高层东风偏弱,9 月高低层东风均偏强,三个月纬向风垂直切变均小于多年平均,7 月切变稍大,8、9 月从 1000 hPa

到 200 hPa 风速几近相同,正压性确实强于多年平均。7~9 月平均看,中低层东风偏强,高层基本正常,因此垂直切变减小。由此可见,该区域内在 TC 盛行季节是弱的纬向风垂直切变区。根据研究^[9],一定的高低空风垂直切变有利于 TC 的产生或已生成的 TC 的进一步发展。2005 年西太平洋 TC 总的强度都较强,其中 TC 生成后移至上述 WWP 区域时大多迅速加强,这与该区域存在高低空风弱的垂直切变有密切联系。

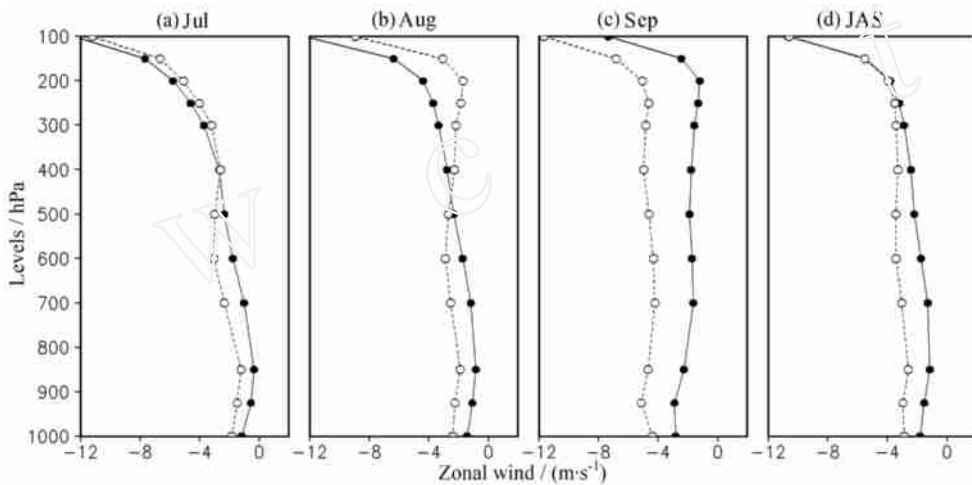


图 9 7~9 月 (a~c) 以及 7~9 月平均 (d) WWP (120°E~140°E, 20°N~27.5°N) 区域平均纬向风垂直分布
实线为 1949~2005 年平均值,虚线表示 2005 年值。

Fig. 9 Vertical profile of zonal wind averaged in WWP (120°E~140°E, 20°N~27.5°N)
for July (a), August (b), September (c), and the average from July to September (d)
The solid line represents the average between 1949 and 2005, and the broken line represents value in 2005.

5 结论与讨论

本文在对多年平均和 2005 年西太平洋 TC 及登陆我国 TC 异常特征分析基础上,重点讨论引起 TC 异常的大尺度因子的影响。得到的主要结论有:

(1) 西太平洋 TC 个数有减少的趋势,其中 MWP 从 1960s 之后下降趋势明显。登陆我国 TC 数也有略有减少趋势,可能与西太平洋 TC 总数减少有关。但登陆我国 TC 的强度有明显的增强趋势,表现在中心气压值的显著下降趋势上,而中心附近最大风速有增大趋势,但不显著。

(2) 2005 年登陆我国 TC 个数略少于常年,但强 TC 比例异常偏大。强台风给我国带来严重的台风灾害。

(3) 2005 年前期南亚高压偏强偏东,夏秋季副高面积偏大、强度偏强、脊线位置偏北,极涡偏向东

半球、强度偏弱,东亚夏季风偏弱等大尺度因子都不利于西太平洋 TC 的生成。EWP 区域垂直切变偏强,因此 TC 总数最少。

(4) 西太平洋西部 (120°E~140°E, 20°N~27.5°N) 区域是引起登陆我国 TC 异常偏强的关键区。该区域 SST 为正距平,水汽通量异常偏强,垂直风切变偏小,具有很好的相当正压结构,可以减小高层“通流”,使水汽潜热释放始终加热同一气柱而很快形成明显的暖心结构^[1],从而使 TC 得以迅速发展。加上极涡偏弱,北半球中高纬以纬向环流为主,冷空气强度弱,适当冷空气的侵入也成为 TC 加强的条件之一。

由于 TC 的活动异常受到多个因子的共同影响,而且每年影响 TC 活动的大尺度条件可能各不相同。但是海表温度、环流背景以及水汽条件等是较为公认的引起 TC 加强的重要因子。作为比较,从图 2 中选取 1962 年和 1970 年分别作为与 2005 年相似

和相反的例子, 比较其大尺度条件差异. 可以看到(图略), 1962 年我国以东洋面 850 hPa 有反气旋式距平环流, 南海北部以及我国东部沿海有异常水汽输送大值区, 因而经过这两处登陆我国的 TC 在登陆前也都有强度增强的过程, 从而登陆我国强 TC 的比例较高(62.5%). 而对于 1970 年, 由于 TC 盛行期西太平洋 SST 偏高, 引起该年 TC 数偏多(48 个), 但是由于在我国近海没有足够的水汽, 因此 TC 强度得不到加强, 从而该年登陆我国的强 TC 比例偏小(10%).

致谢 许健民院士对本文提出了宝贵的修改意见, 在此谨表感谢.

参考文献 (References)

- [1] 陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论. 北京: 科学出版社, 1979. 43~120
Chen L S, Ding Y H. A Introduction to the Western Pacific Typhoon (in Chinese). Beijing: Science Press, 1979. 43~120
- [2] 王金博, 钱维宏. 半个世纪来热带海洋风暴对中国大陆的影响. 地球物理学报, 2005, 48(5): 992~999
Wang J B, Qian W H. Statistic analysis of tropical cyclone impact on the China mainland during the last half century. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2005, 48(5): 992~999
- [3] 林惠娟, 张耀存. 影响我国热带气旋活动的气候特征及其与太平洋海温的关系. 热带气象学报, 2004, 20(2): 218~224
Lin H J, Zhang Y C. Climatic features of the tropical cyclone influencing China and its relationship with the sea surface temperature in the Pacific Ocean. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2004, 20(2): 218~224
- [4] 端义宏, 余晖, 伍荣生. 热带气旋强度变化研究进展. 气象学报, 2005, 63(5): 636~645
Duan Y H, Yu H, Wu R S. Review of the research the intensity change of tropical cyclone. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2005, 63(5): 636~645
- [5] 阎俊岳, 张秀芝, 李江龙. 135°E 以西西北太平洋热带气旋迅速加强的气候特征. 热带气象学报, 1997, 13(4): 297~305
Yan J Y, Zhang X Z, Li J L. Climate characteristics of rapidly intensifying tropical cyclones in the northwest Pacific Ocean west of 135°E. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 1997, 13(4): 297~305
- [6] Emanuel K. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 2005, 436: 686~688
- [7] Webster P J, Holland G J, Curry J A, et al. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 2005, 309: 1844~1846
- [8] 孙颖, 丁一汇. 1998 和 1999 年西北太平洋热带气旋的异常特征及其大尺度条件. 气象学报, 2002, 60(5): 527~537
Sun Y, Ding Y H. Anomalous activities of tropical cyclone over the western north Pacific and the related large-scale circulation features during 1998 and 1999. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2002, 60(5): 527~537
- [9] 陈联寿, 徐祥德, 罗哲贤等. 热带气旋动力学引论. 北京: 气象出版社, 2002. 37~91, 3~5
Chen L S, Xu X D, Luo Z X, et al. Introduction to Tropical Cyclone Dynamics (in Chinese). Beijing: Meteorological Press, 2002. 37~91, 3~5
- [10] 雷小途, 陈联寿. 斜压大气中热带气旋运动特征的动力分析. 地球物理学报, 2001, 44(4): 467~476
Lei X T, Chen L S. Dynamic studies on the role of baroclinic processes in tropical cyclone movement. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2001, 44(4): 467~476
- [11] 徐祥德, 张胜军, 陈联寿等. 台风涡旋螺旋波及其波列传播动力学特征: 诊断分析. 地球物理学报, 2004, 47(1): 33~41
Xu X D, Zhang S J, Chen L S, et al. Dynamic characteristics of typhoon vortex spiral wave and its translation: a diagnostic analyses. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2004, 47(1): 33~41
- [12] 唐晓春, 彭鹏. 厄尔尼诺事件的强度与登陆广东热带气旋数量的关系初探. 地理科学, 2005, 25(6): 690~696
Tang X C, Peng P. Relations between strength of El Nino phenomenon and amount of tropical cyclones landing Guangdong. *Scientia Geographica Sinica* (in Chinese), 2005, 25(6): 690~696
- [13] 何敏, 宋文玲, 陈兴芳. 厄尔尼诺和反厄尔尼诺事件与西北太平洋台风活动. 热带气象学报, 1999, 15(1): 17~25
He M, Song W L, Chen X F. Typhoon activity in the northwest Pacific in relation to El Nino/La Nina events. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 1999, 15(1): 17~25
- [14] 毛江玉, 吴国雄. 青藏高原热状况和海温异常对亚洲季风季节转换年际变化的影响. 地球物理学报, 2006, 49(5): 1279~1287
Mao J Y, Wu G X. Impacts of anomalies of thermal state over the Qinghai Xizang Plateau and sea surface temperature on interannual variability of the Asian monsoon seasonal transition. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2006, 49(5): 1279~1287
- [15] Hoyos C D, Agudelo P A, Webster P J, et al. Deconvolution of the factors contributing to the increase in global hurricane intensity. *Science*, 2006, 312: 94~97
- [16] 孙秀荣, 端义宏. 对东亚夏季风与西北太平洋热带气旋频数关系的初步分析. 大气科学, 2003, 27(1): 67~74
Sun X R, Duan Y H. A study of the relationships between the East Asian summer monsoon and the tropical cyclone frequency in the northwestern Pacific. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, 27(1): 67~74
- [17] 张艳霞, 钱永甫, 王谦谦. 西北太平洋热带气旋的年际和年代际变化及其与南亚高压的关系. 应用气象学报, 2004, 15(1): 74~80
Zhang Y X, Qian Y F, Wang Q Q. The interannual and interdecadal variations of tropical cyclones in the northwest Pacific and its relationship with the south Asia high. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2004, 15(1): 74~80
- [18] 李曾中, 程明虎, 杨振斌等. 1998 年台风与飓风异常成因分析. 热带气象学报, 2004, 20(2): 161~166
Li Z Z, Cheng M H, Yang Z B, et al. Analysis on the annual

- frequency anomalies of typhoon and hurricane in 1998. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2004, **20**(2): 161 ~ 166
- [19] 张元箴, 王淑静. 南半球环流与西太平洋副热带高压和台风群中期活动的关系. *应用气象学报*, 1999, **10**(1): 80 ~ 87
Zhang Y Z, Wang S J. The relationship between general circulation of the southern hemisphere and the mediumrange activities of the west pacific subtropical high and typhoon group. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 1999, **10**(1): 80 ~ 87
- [20] 何敏, 宋文玲, 许力. 影响 2000 年热带风暴活动的环境场分析. *气象*, 2002, **28**(4): 15 ~ 20
He M, Song W L, Xu L. Impact of large-scale circulation on the tropic cyclones in 2000. *Meteorology* (in Chinese), 2002, **28**(4): 15 ~ 20
- [21] 林一骅, 游小宝, 孙照渤. 热带太平洋上层热力状况季节变化的正压特征——海表至深 400m 热储量的季节变化. *地球物理学报*, 2003, **46**(5): 590 ~ 594
Lin Y H, You X B, Sun Z B. Seasonal cyclone of heat storage from surface to 400 m depth in the tropical Pacific Ocean. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2004, **46**(5): 590 ~ 594
- [22] 张琼, 钱永甫, 张学洪. 南亚高压的年际和年代际变化. *大气科学*, 2000, **24**(1): 67 ~ 78
Zhang Q, Qian Y F, Zhang X H. Interannual and interdecadal variations of the south Asia high. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2000, **24**(1): 67 ~ 78
- [23] 林一骅, 曾庆存. 简单热带海气耦合模型中不同扰动形式的作用. *地球物理学报*, 2000, **43**(3): 304 ~ 311
Lin Y H, Zeng Q C. Functions of the different type of disturbances in a simple air-sea coupled model in the tropics. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2000, **43**(3): 303 ~ 311
- [24] 陈月娟, 张弘, 周任君等. 西太平洋副热带高压的强度和位置与亚洲地表温度之关系. *大气科学*, 2001, **25**(1): 515 ~ 522
Chen Y J, Zhang H, Zhou R J, et al. Relationship between the ground surface temperature in Asia and the intensity and location of subtropical high in the western Pacific. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2001, **25**(1): 515 ~ 522

(本文编辑 何燕)