

孙冷. 2010 年西北太平洋热带气旋活动特征及成因的初步分析[J]. 气象, 2011, 37(8): 929-935.

2010 年西北太平洋热带气旋活动 特征及成因的初步分析^{* 1}

孙 冷

国家气候中心, 北京 100081

提 要: 文章用热带气旋资料和 NCAR/NCEP 再分析资料等, 对 2010 年西北太平洋和南海热带气旋活动特征进行分析, 总结有五方面的特点: (1) 编号最少, 登陆比例最高; (2) 生成时间集中, 生成位置偏西; (3) 强台风和短生命期热带气旋比例偏高; (4) 初台偏晚, 终台偏晚; (5) 登陆前少后多, 登陆地点相对集中。另外, 还对热带气旋活动特征的成因进行了初步研究。结果表明: (1) 东印度洋持续偏暖是导致编号热带气旋异常偏少的重要原因; 厄尔尼诺事件的滞后影响也是重要外强迫因素之一。 (2) 大气环流异常是造成热带气旋活动异常的直接原因, 表现在副热带高压偏强偏西, 季风槽位置异常偏西, 垂直风切变偏大等几方面因素的综合影响。

关键词: 热带气旋, 活动特征, 成因分析, 大气环流

Analysis of Features and Causation for Tropical Cyclone Activities over the Western North Pacific in 2010

SUN Leng

National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract: Characteristics and causation for tropical cyclone (TC) activities over the Western North Pacific (WNP) and the South China Sea (SCS) in 2010 were analyzed by using the data of TCs, reanalysis data of NCEP/NCAR in this paper. TC activities are characterized by (1) forming the least, and the highest percentages of landing, (2) concentrated and westward genesis, (3) higher proportion of strong TCs and short life cycle TCs, (4) the later for the first TC and last TC, and (5) TC landing fewer in July—August and more than normal in September, 5 of 7 TCs landing on Fujian. The causes were studied and the results were listed as follows. Firstly, the warm mode in the East Indian Ocean in 2010 was one of the key extra forcing factors resulting in the least TC genesis in WNP and SCS in 2010, especially the lag response of extratropical atmosphere to El Nino. Secondly, the atmospheric circulation abnormality was the key reasons. It showed the combined impacts of multi-factors including the larger and stronger Northwest Pacific subtropical high extending abnormally west, the abnormally westward monsoon trough and large vertical shear anomalies.

Key words: tropical cyclones (TCs), features, causation analysis, atmospheric circulation

* 公益性行业(气象)科研专项(HX-GYHY200806009)和科技部科技支撑项目(2009BAC51B02)共同资助

2011 年 3 月 3 日收稿; 2011 年 5 月 31 日收修定稿

作者: 孙冷, 主要从事极端口气候事件监测与成因分析研究. Email: sunleng@cma.gov.cn

引言

热带气旋(以下简记为 TC)是影响我国的主要气象灾害之一,在其活动过程中,常伴随有狂风、暴雨、巨浪和风暴潮,对我国沿海地区的人畜造成生命威胁,使财产和经济遭受严重损失。但带来破坏性的同时,TC 带来的降水也能缓解旱情,减轻高温热浪天气的影响。如 1002 号台风康森导致海南省 90.5 万人受灾,2 人死亡,直接经济损失 1.3 亿元,但其带来的降水对缓和海南等地前期的旱情和解除华南前期持续了半个月之久的高温天气十分有利。随着科技水平的提高,关于 TC 的研究越来越受到关注,在其发生、发展和影响机理方面,前人已经做了很多工作^[1-7]。

西北太平洋和南海是全球 TC 发生频数最多、分布范围最广的海域,其 TC 的活动特征、影响利弊和成因分析是气象工作者一直都十分关注且持续不断研究的问题。概括说来,前人的一些研究工作较多集中于某个因素异常对 TC 产生的影响,也有很多是从气候学的角度,考查大尺度环流及大气遥相关对 TC 生成频数和生成位置的月、季、年或年际变化的影响。研究成果表明,厄尔尼诺与南方涛动(ENSO)、对流活动、季风槽、副热带高压、垂直风切变、热带大气季节内振荡(MJO)等海温和大气环流因子都对 TC 活动存在影响^[8-14];但其中对某些问题还存在分歧,特别是对多个因素同时出现异常,各个因素所起作用的研究涉及不多,这方面仍然需要更多深入细致的探索。

2010 年西北太平洋和南海生成的 TC 活动特征显著,本文在总结分析其活动特点的基础上,主要着重从气候背景和年代际变化,热力(海洋)和动力(副热带高压、季风、垂直风切变)等多个因素综合影响的角度,试图揭示其活动特征的可能成因,为进一步做好 TC 的监测预测工作提供参考。

1 资料与方法

文中使用了 1949—2010 年 TC 资料,其中 1949—2009 年 TC 资料取自中国气象局编写的《热带气旋年鉴》,2010 年 TC 资料取自中国气象局中央气象台提供的 2010 年西北太平洋和南海热带气旋纪要表和热带气旋路径资料,TC 等级使用 2006

年开始实行的国家标准。文中所统计的西北太平洋和南海 TC 包括日界线以西、赤道以北范围内生成的 TC(中心附近最大风力 ≥ 8 级,即 $17.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)。为了分析大尺度环境对热带气旋的影响,本文还使用了由美国气象环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR)联合制作的分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的 NCEP/NCAR 再分析数据集中月平均风场和位势高度场的再分析资料;美国国家海洋大气局(NOAA)公布的分辨率为 $2^\circ \times 2^\circ$ 的月平均表层海温资料(NOAA Extended Reconstructed SST V2)。副热带高压强度和副热带高压西伸脊点指数采用国家气候中心定义的西北太平洋副热带高压活动指数。文中提及的 TC 资料常年值和大尺度物理量异常所使用的气候态为 30 年(1971—2000 年)资料平均值。

2 2010 年西北太平洋和南海 TC 活动特征

2.1 编号最少,登陆比例最高

2010 年,在西北太平洋和我国南海海域总共有 14 个编号 TC,与 1998 年频数相同,均为历史编号最少年,较常年偏少 13 个;有 7 个 TC 登陆我国,登陆个数同常年,但登陆个数与编号个数的比例为历史最高(图 1)。

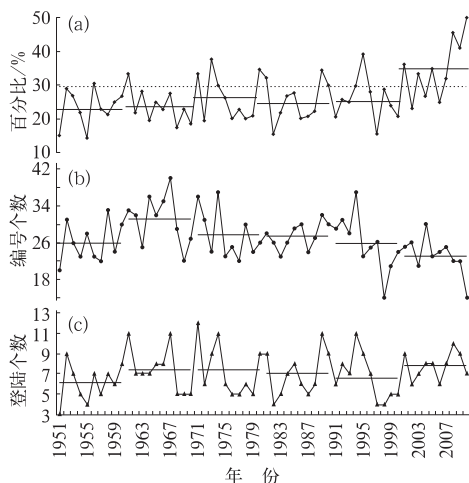


图 1 1951—2010 年西北太平洋和南海热带气旋登陆个数(c)和编号个数(b)及登陆占编号百分比(a)
Fig. 1 Series of TCs landing (c) and numbered (b) on China, forming in the WNP and SCS and their percentages (a) during 1951—2010

与全球 TC 活动总体偏少的特点一致,2010 年上半年西北太平洋和我国南海 TC 活动异常偏少,7 月 11 日之前仅有 1 个 TC 编号。与 1949 年以来的 TC 活动情况相比,历史上只有 1975 和 1998 年第二号热带气旋生成晚于 7 月 12 日,其中 7502 号热带气旋 Mamie 生成于 7 月 25 日,9802 号强热带风暴 Otto 生成于 8 月 1 日。前期编号异常偏少,也是 2010 年西北太平洋和南海 TC 活动的特点之一。

2.2 生成时间较为集中,生成位置总体偏西

2010 年 TC 生成时间较为集中,除 1001 号热带气旋于 3 月 24 日生成外,其余 13 个编号 TC 均在 7—10 月生成,占全年总数的 93%(表 1)。其中 8 月生成的 TC 最多(5 个),其次是 9 月(4 个),但均较常年偏少。

表 1 2010 年西北太平洋和南海编号和
登陆热带气旋频数与常年值比较
Table 1 Numbers of TCs numbered and landing on China,
forming in the WNP and SCS and their anomalies in 2010

	编号		登陆	
上半年	1 个	偏少 3 个	0 个	偏少 1 个
7 月	2 个	偏少 2 个	2 个	接近常年
8 月	5 个	偏少 1 个	1 个	偏少 1 个
9 月	4 个	偏少 1 个	3 个	偏多 1 个
10 月	2 个	偏少 2 个	1 个	接近常年
全年	14 个	偏少 13 个	7 个	接近常年

2010 年在西北太平洋和我国南海海域生成的 14 个 TC 均在 145°E 以西的范围内(图 2),生成位置总体上显著偏西,生成位置最东的 1012 号强台风马勒卡(Malakas)于 9 月 21 日在西北太平洋洋面上

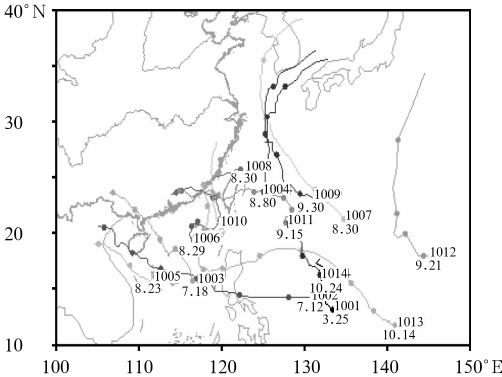


图 2 2010 年西北太平洋和
南海 14 个编号热带气旋路径图
Fig. 2 Tracks of 14 numbered TCs forming
in the WNP and SCS in 2010

(18°N、144.9°E)生成。其中有 4 个 TC 在我国南海海域生成,占总数的 28.6%,比例明显高于多年平均值的 18.3%^[15]。另外,由于 TC 生成位置总体偏西,因而 TC 运动轨迹相对较短。从运动轨迹来看,2010 年 TC 多西行、西北行、偏北行或北上路径,当然也有个别曲折路径,如 1013 号台风鲇鱼(Megi, 图 2)。

2.3 强台风和短生命期 TC 比例偏高

从编号 TC 的强度来看,有 2 个热带风暴、4 个强热带风暴、3 个台风、3 个强台风和 2 个超强台风,其中强热带风暴和强台风所占比例较常年(26.6%和 17%)偏高。超过三分之一的 TC 为强台风以上,即中心附近最大风力在 14 级以上($\geq 41.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),所占比例较常年(33.6%)偏高。强台风和超强台风基本上是在初秋季节的 9—10 月份生成。

2010 年西北太平洋和南海 TC 活动的另一特征是持续时间普遍较短,半数 TC 生命期为 2~4 天,生命期为 5 和 6 天的 TC 各 3 个,仅 1013 号台风鲇鱼生命期最长,长达 11 天。

2.4 初台偏晚,终台偏晚

第一个登陆我国的 1002 号台风康森(Conson)于 7 月 12 日上午生成,16 日 19 时 50 分在海南三亚附近登陆,登陆时间比常年初台日期(7 月 1 日)偏晚 15 天。初台偏晚,加上前期编号也异常偏少,进入台汛期偏晚,这与 2010 年季节延迟的天气气候特征相一致,也是 2010 年西北太平洋和南海 TC 活动的另一特点。

最后一个登陆我国的 1013 号超强台风鲇鱼(Megi)于 10 月 23 日中午在福建省漳浦县登陆,比常年终台日期偏晚 19 天。

2.5 登陆 TC 前少后多,影响相对集中

2010 年共有 7 个 TC 登陆我国东南沿海,其中前 2 个分别登陆海南和广东,后 5 个都登陆福建,包括 1 个两次登陆的,先在台湾登陆。与常年相比,前期登陆 TC 偏少,入秋后偏多,登陆地点相对集中,影响偏南,主要对我国华南沿海城市有明显的风雨影响,对华东影响较弱,灾情总体偏轻。

7 月登陆我国的 TC 个数接近常年(表 1),除“康森”外,还有 1003 号热带气旋灿都(Chanthu)于 7 月 22 日下午在广东吴川登陆。8 月登陆 TC 个数较常年偏少,仅 1008 号热带风暴南川(Namtheun)于 8 月 31 日夜在福建惠安登陆。9 月是登陆 TC 最

多的月份,有 3 个 TC 登陆我国,较常年偏多 1 个,分别是 1006 号强热带风暴狮子山(Lionrock)于 9 月 2 日晨在福建省漳浦县登陆,1010 号台风莫兰蒂(Meranti)于 9 月 10 日凌晨在福建省石狮市登陆,1011 号超强台风凡亚比(Fanapi)先于 9 月 19 日上午在台湾花莲登陆,后于 20 日晨在福建省漳浦县再次登陆。10 月登陆 TC 也与常年接近,仅 1013 号超强台风鲇鱼(Megi)登陆福建。

另外,值得一提的是 1006 号、1008 号和 1007 号强台风圆规(Kompasu)生命期出现交叠现象,并同时对我国沿海地区产生影响。历史上在西北太平洋和我国南海海域三旋同现的现象并不罕见,但同时影响我国却并不多见,这也是 2010 年西北太平洋和南海 TC 活动的特点之一。

3 热带气旋活动特征的可能成因

众所周知,TC 发生发展需要特定的气候背景场,既要考虑动力学因素,又要考虑热力学条件,而且 TC 生成还和大尺度环流条件有着密切的关系^[16-18]。不同时空尺度的天气气候系统之间,存在着明显的层次性,较大的系统对于较小的系统,在一定条件下往往具有着极为重要的控制作用或调制作用^[19]。TC 活动也是如此,它必然会受到月、季尺度海洋下垫面环境和大气环流的影响^[9],同时,年际、年代际背景也反映出其活动特征的持续性及时空尺度因子的综合影响。除海洋等热力环境因素的影响外,造成 2010 年西北太平洋热带气旋活动异常的主要原因是大气环流的异常。这些大气环流异常主要表现在西北太平洋副热带高压偏强偏西,东亚季风异常偏弱,缺少越赤道气流的辐合,季风槽异常偏西,热带气旋活动区域对流弱,垂直风切变偏大等几方面因素的综合影响,以下分别从年代际背景、海温、ENSO 事件、副热带高压、季风槽和垂直风切变等几个方面来初步分析 2010 年 TC 活动特点的成因,重点分析 TC 生成少且位置偏西的可能成因。

3.1 编号少且登陆比例偏高的年代际背景

从图 1 可以看出,TC 生成频数存在着明显的年际和年代际变化,TC 常年值为 27 个,但多 TC 年和少 TC 年之间差别很大,1967 年编号 TC 最多(40 个),2010 年和 1998 年最少(14 个)。1949 年到 2010 年 62 年间编号 TC 频数偏高的年份有 27 个,偏低的年份有 35 个。20 世纪 60 年代编号 TC 频数偏多明显^[20-21],70—80 年代略偏多,而 20 世纪 50

年代和 90 年代以后偏少,21 世纪前 10 年编号 TC 频数明显偏少。近 50 年西北太平洋及南海编号 TC 年频数具有明显减少的趋势,且自 20 世纪 90 年代中期以来基本处于偏少的年代际背景中。

登陆我国的 TC 频数长期变化趋势不显著,主要呈现年际和阶段性变化特征,但登陆 TC 占编号 TC 的比例呈现明显的上升趋势。登陆我国的 TC 常年值为 7 个,多年和少年之间差别也很大,1971 年最多(12 个),1950 和 1951 年最少(3 个)。21 世纪前 10 年处于偏多时段,特别是 2007—2009 年连续 3 年偏多。由于登陆偏多而编号偏少,最近几年西北太平洋和南海 TC 频数变化最明显的特征就是登陆比例呈现上升趋势,特别是进入 21 世纪以后这种上升趋势非常显著。可见,2010 年处于编号 TC 偏少且登陆 TC 比例偏高的年代际背景下。

TC 活动的年际变化某种程度上受海温和 ENSO 循环的影响。研究表明,ENSO 事件^[22]主要影响西北太平洋 TC 的生成位置偏东或偏西^[12,23-26],而东印度洋海温偏低或偏高则影响 TC 生成频数的多少;拉尼娜(La Nina)年 TC 生成位置多数位于 145°E 以西地区,且强台风以上的 TC 个数偏少^[23],2010 年的 TC 活动特征充分验证了这些统计规律。通过与历史上 ENSO 事件演变特征的比较分析,发现 1951 年以来出现与 2010 年的海表降温过程类似特征的有 5 年,均是在厄尔尼诺事件(El Nino)结束当年 2—6 月后进入 La Nina 状态,并继续发展形成了 La Nina 事件。在这些海温变化相似年中,除 1970 年编号 TC 频数同常年外,1973、1995、1998 和 2007 年编号 TC 频数均少于常年。1998 与 2010 年最为相似,编号 TC 均为最少。可见,2010 年编号 TC 频数偏少符合海温相似年频数变化的规律,也符合 El Nino 次年西北太平洋及南海 TC 生成频数多数偏少的规律^[19]。另外,TC 活动的年代际变化主要是由于全球变暖背景下大气环流变化造成的,特别是与 20 世纪 70 年代以后西北太平洋副热带高压面积不断扩大且强度增强有关^[16,27-28]。

3.2 东印度洋海温偏高

TC 是海气相互作用的产物,海温异常对 TC 生成有重要影响。2009 年 6 月至 2010 年 4 月赤道中东太平洋发生了一次中等强度的中部型 El Nino 事件(图 3),对此次暖事件的滞后响应,2010 年上半年印度洋出现全区一致持续偏暖模态,7—10 月为持续 4 个月的印度洋偶极(IOD)负位相。2010 年 1—10 月东印度洋(10°S~22.5°N、75°~100°E)海温持

续偏高(图 4),这是导致西北太平洋和中国南海编号 TC 偏少的重要原因。因为东印度洋海温偏高会通过对流加热机制激发大气暖性开文波东传,使赤道西太平洋海平面气压下降,对流层低层向赤道地区辐合,相应地引起赤道外的同期响应,导致西北太平洋和中国南海 TC 活动区域形成反气旋(图 5),从而抑制了 TC 的生成。

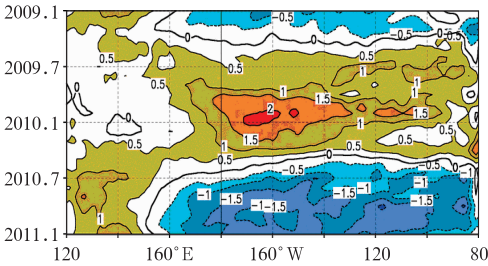


图 3 赤道(5°S~5°N)太平洋海表温度距平时间-经度剖面(单位:℃)

Fig. 3 Time-longitude section of equatorial sea surface temperature (SST) anomalies (unit: °C) averaged over 5°S–5°N

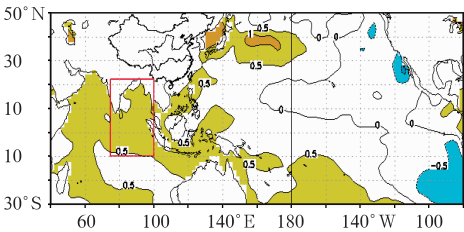


图 4 2010 年 1—10 月平均海表温度距平(单位:℃),方框区域为东印度洋(10°S~22.5°N,75°~100°E)

Fig. 4 SST anomalies (unit: °C) during January–October 2010, the rectangle region denoting the East Indian Ocean (10°S–22.5°N,75°–100°E)

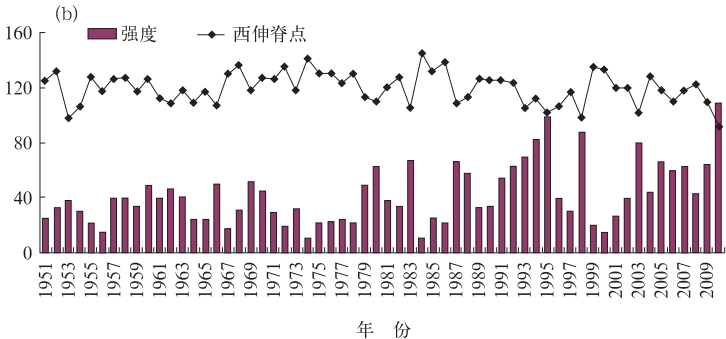
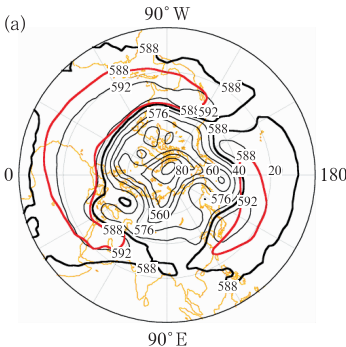


图 6 (a) 2010 年夏季北半球 500 hPa 高度场,粗实线为常年 588 dagpm;
(b)1951—2010 年夏季西北太平洋副热带高压强度和西伸脊点指数演变

Fig. 6 Seasonal mean 500 hPa geopotential heights for the summer 2010 of the Northern Hemisphere and 588 dagpm of climatology in bold lines (a), and series of indices for the WNP subtropical high intensity and western ridge point in the summer during 1951–2010 (b)

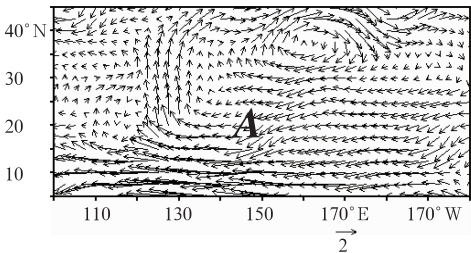


图 5 2010 年 7—10 月西北太平洋和南海 850 hPa 风场距平(单位:m·s⁻¹),A 表示反气旋
Fig. 5 850 hPa wind anomalies (unit:m·s⁻¹) in the WNP and SCS during July–October 2010, A denoting anticyclone

3.3 西太平洋副热带高压偏强偏西

2010 年热带大气对 ENSO 事件响应迅速,但热带外大气响应滞后。7 月虽已进入 La Nina 状态,但 6—9 月西北太平洋的大气状态仍主要表现为前期 El Nino 事件的滞后响应。通常热带外大气对 La Nina 的滞后响应为 3~4 个月,最早 2 个月^[29-30]。2010 年 1—9 月,西北太平洋呈现典型 El Nino 次年大气特征。从 500 hPa 位势高度场上可以看出,西太平洋副热带高压(10°N 以北,110°E~180°)表现为强度持续偏强、西伸脊点位置持续偏西的特点,特别是夏季西太平洋副热带高压强度历史排名第一(图 6),强于此前 TC 活动最少的 1998 年。由于西北太平洋和南海在强大的副热带高压控制下,下沉气流异常强(图 7),抑制了对流活动的发展,导致 2010 年 TC 活动季节内在西北太平洋和我国南海海域生成 TC 个数异常偏少。另外,副热带高压外围的气流对 TC 的运动具有引导作用,偏强偏西的副热带高压也是导致 2010 年 TC 多西行、西北行或北上路径,进而登陆或影响我国的因素之一。

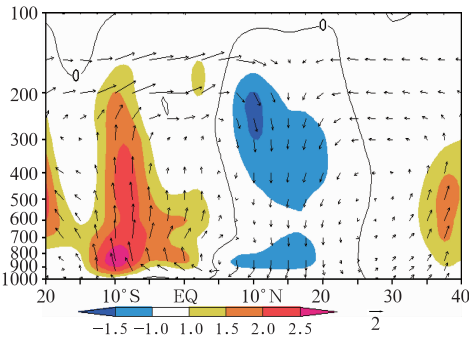


图 7 2010 年 7—10 月西太平洋(120°~170°E) 矢量风距平气压-纬度剖面(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) 阴影区表示垂直速度($0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 7 Pressure-latitude section of vectors of combined anomalous meridional wind and vertical velocity (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) averaged over the West Pacific (120°—170°E) from July to October 2010 the shading area denoting the pressure vertical velocity ($0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

3.4 季风槽位置偏西

研究表明:80%~90%的 TC 发生在热带辐合区里^[31],通常,西北太平洋和南海有 70% 以上的 TC 生成于季风槽中^[8,32-34]。西北太平洋季风槽是夏季北半球的西南季风或越赤道气流与副高南侧之东南信风辐合而形成的低压带,属于热带辐合带的一部分^[35]。2010 年,南海夏季风为 1951 年来最弱;东亚副热带夏季风(6—8 月)的强度也显著偏弱。7—10 月季风槽主体位于南海上空,季风槽位置较常年同期异常偏西(图 8),同时赤道西太平洋附近盛行平直偏东风,使得常年季风槽活跃的菲律宾以东洋面非常不利于气旋性涡旋生成,这是造成 2010 年编号 TC 总体上位于 145°E 以西地区的主要原因。

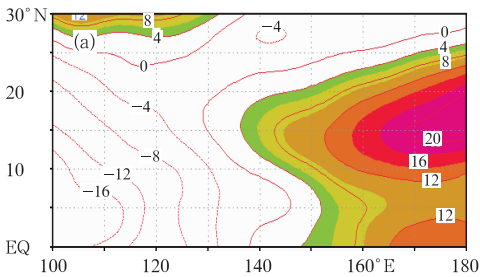


图 9 2010 年 7—10 月西北太平洋热带气旋活动区高低层纬向风垂直切变 ($U_{200 \text{ hPa}} - U_{850 \text{ hPa}}$) (a) 与距平 (b) (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 9 Vertical wind shear (a) and anomalies (b) ($U_{200 \text{ hPa}} - U_{850 \text{ hPa}}$) of the WNP during July—October 2010 (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

4 结 论

2010 年西北太平洋和南海生成的 TC 具有编

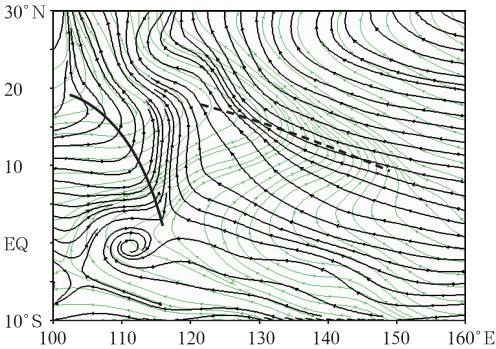


图 8 7—10 月 850 hPa 流场 粗实线表示 2010 年季风槽位置, 粗虚线表示常年季风槽位置

Fig. 8 Composite 850 hPa wind (streamline) during July—October with monsoon trough marked for 2010 by the bold solid line and the normal year averaged over 1971—2000 by the bold dash line

3.5 垂直风切变偏大

影响 TC 生成的另一个关键环境因素就是垂直风切变,即高低层(200 与 850 hPa)纬向风之差。图 9 中所示 2010 年 7—10 月西北太平洋和中国南海 TC 活动区域垂直风切变普遍偏大,限制了 TC 上层暖心的发展,不利于涡旋的形成^[36],导致编号 TC 总体偏少。2010 年在西北太平洋和我国南海海域生成的 14 个 TC 均在 145°E 以西的范围内,基本上都在垂直风切变小于 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 或负值的区域(图 9a),垂直风切变距平小于 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的区域(图 9b)。由于生成位置总体上显著偏西,加上副热带环流季节内变化特征的有利配合,有利于 TC 登陆我国沿海地区,这也是 TC 生成总数少而登陆个数却正常的重要原因。

号最少,登陆比例最高;生成时间集中,生成位置偏西;强台风和生命周期短的 TC 比例偏高;初台偏晚,终台偏晚;登陆前少后多,登陆地点集中,影响偏南等特点。在这五个方面特点中,编号最少且生成

位置总体上显著偏西的特点更为突出,究其可能成因主要有以下几方面。

(1) 从年代际背景来看,近 50 年西北太平洋及南海编号 TC 年频数具有明显减少的趋势,且自 20 世纪 90 年代中期以来基本处于偏少时段,2010 年处于编号 TC 偏少、登陆比例偏高的年代际背景中。

(2) 从海洋角度来看,2010 年 1—10 月东印度洋海温持续偏高,是导致西北太平洋和中国南海编号 TC 偏少的重要原因;2009 年 6 月至 2010 年 4 月赤道中东太平洋发生的中等强度中部型厄尔尼诺事件也是导致前期编号 TC 异常偏少的重要外强迫因素之一。

(3) 大气环流异常是造成 TC 活动异常的直接原因。主要表现为西北太平洋副热带高压偏强偏西,季风槽位置异常偏西,垂直风切变偏大等几方面因素的综合影响。同时环流异常也影响 TC 的运动路径,副热带高压南侧的东风气流容易引导 TC 以西行、西北行或北上路径进入我国沿海地区,有利于 TC 登陆我国,这也是 TC 编号少而登陆并不少的重要原因。

参考文献

[1] 陈联寿,丁一汇.西太平洋热带气旋概论[M].北京:科学出版社,1979:399-410.

[2] 陈联寿,孟智勇.我国热带气旋研究十年进展[J].大气科学,2001,25(3):420-432.

[3] 李崇银.厄尔尼诺与西太平洋热带气旋活动[J].科学通报,1985,14:1087-1089.

[4] 李崇银.厄尔尼诺与南海热带气旋活动[J].热带气象,1986,2(2):39-48.

[5] 何敏,龚振淞,徐明,等.高低层纬向风异常与西北太平洋热带气旋生成年频数关系的研究[J].热带气象学报,2007,23(3):277-283.

[6] 李春晖,刘春霞,程正泉.近 50 年南海热带气旋时空分布特征及其海洋影响因子[J].热带气象学报,2007,23(4):341-347.

[7] 陈联寿.热带气象灾害及其研究进展[J].气象,2010,36(7):101-110.

[8] Gray W M. The formation of tropical cyclones[J]. Meteorology and Atmospheric Physics,1998,67:37-69.

[9] 张庆红,郭春蕊.热带气旋生成机制的研究进展[J].海洋学报(中文版),2008,30(4):1-11.

[10] 杨桂山,施雅风.西北太平洋热带气旋频数的变化及与海表温度的相关研究[J].地理学报,1999,54(1):22-29.

[11] Fu B, Li T, Peng M S, et al. Analysis of tropical cyclogenesis in the western North Pacific for 2000 and 2001[J]. Weather and Forecasting,2007,22:763-780.

[12] Wang B, Chan JCL. How strong ENSO events affect tropical storm activity over the western North Pacific[J]. Journal of Climate,2002,15:1643-1658.

[13] 王会军,范可.西北太平洋台风生成频次与南极涛动的关系[J].科学通报,2006,21:2910-2914.

[14] 王会军,孙建奇,范可.北太平洋涛动与台风和飓风频次的关

系的研究[J].中国科学(D辑),2007,37:966-973.

[15] 李雪,任福民,杨修群,等.南海和西北太平洋热带气旋活动的区域性差异分析[J].气候与环境研究,2010,15(4):504-510.

[16] 丁一汇.影响西太平洋台风形成的大尺度环流条件[J].海洋学报,1983,5(5):561-574.

[17] 雷小途,陈联寿.热带气旋的登陆及其与中纬度环流系统相互作用的研究[J].气象学报,2001,59(5):602-615.

[18] 雷小途,陈联寿.大尺度环境场对热带气旋影响的动力分析[J].气象学报,2001,59(4):429-439.

[19] 黄勇,李崇银,王颖.2006 年西北太平洋热带气旋生成频数和源地异常的成因分析[J].热带气象学报,2008,24(6):590-598.

[20] 李春晖,刘春霞,程正泉.近 50 年南海热带气旋时空分布特征及其海洋影响因子[J].热带气象学报,2007,23(4):341-347.

[21] Zhao X, Chu P-S. Bayesian change point analysis for extreme events (Typhoons, heavy rainfall, and heat waves): An RJMCMC approach[J]. Journal of Climate,2010,23:1034-1046.

[22] 李晓燕,翟盘茂. ENSO 事件指数与指标研究[J].气象学报,2000,58(1):102-109.

[23] Zhan R, Wang Y, Lei X. Contributions of ENSO and East Indian Ocean SSTA to the interannual variability of Northwest Pacific tropical cyclone frequency [J]. Journal of Climate,2011,24:509-521.

[24] Chen T-C, Weng S-P, Yamazaki N, et al. Interannual variation in the tropical cyclone formation over the western North Pacific[J]. Monthly Weather Review,1998,126:1080-1090.

[25] Chen T-C, Wang S-Y, Yen M-C. Interannual variation of the tropical cyclone activity over the western North Pacific[J]. Journal of Climate,2006,19:5709-5720.

[26] Chia H H, Ropelewski C F. The interannual variability in the genesis location of tropical cyclones in the Northwest Pacific [J]. Journal of Climate,2002,15:2934-2944.

[27] 陈光华,黄荣辉.西北太平洋热带气旋和台风活动若干气候问题的研究[J].地球科学进展,2006,21(6):610-616.

[28] 应明,余晖.2009 年西北太平洋热带气旋活动的若干特点分析[J].气象,2011,37(4):454-461.

[29] 张志华,黄刚.不同类型 El Nino 事件及其与我国夏季气候异常的关系[J].南京气象学院学报,2008,31(6):782-789.

[30] 薛峰,刘长征.中等强度 ENSO 对中国东部夏季降水的影响及其与强 ENSO 的对比分析[J].科学通报,2007,S2(23):2798-2850.

[31] 伍荣生,徐亚梅.南半球冷空气入侵与热带气旋的形成[J].气象学报,2003,61(5):540-547.

[32] McBride J L. Tropical cyclone formation, Chapter 3, Global Perspectives on Tropical Cyclones[M]. WMO/TD No. 693. WMO, Geneva, Switzerland,1995.

[33] 王磊,陈光华,黄荣辉.2009.影响登陆我国不同区域热带气旋活动的大尺度环流定量分析[J].大气科学,33(5):916-922.

[34] 黄荣辉,陈光华.西北太平洋热带气旋移动路径的年际变化及其机理研究[J].气象学报,2007,65(5):683-694.

[35] 申松林,江静.西北太平洋台风频数异常年的气候背景分析[J].气象,2010,36(5):64-70.

[36] Demaria M. The effect of vertical shear on tropical cyclone intensity change[J]. Journal of the Atmospheric Sciences,1996,53(14):2076-2088.