

龚振淞, 陈丽娟. 2013. 2010 年西北太平洋与南海热带气旋活动异常的成因分析 [J]. 气候与环境研究, 18 (3): 342–352, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11063. Gong Zhensong, Chen Lijuan. 2013. Analysis of anomalous tropical cyclone activities over the western North Pacific and the South China Sea in 2010 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (3): 342–352.

## 2010 年西北太平洋与南海热带气旋活动 异常的成因分析

龚振淞 陈丽娟

国家气候中心中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081

**摘 要** 利用中国气象局热带气旋 (TC) 资料、NCEP/NCAR 再分析资料和美国 NOAA 向外长波辐射 (OLR) 等资料, 分析了 2010 年西北太平洋 (WNP) 及南海 (SCS) 热带气旋活动异常的可能成因, 讨论了同期大气环流配置和海温外强迫对 TC 生成和登陆的动力和热力条件的影响。结果表明, 2010 年生成 TC 频数明显偏少, 生成源地显著偏西, 而登陆 TC 频数与常年持平。导致 7~10 月 TC 频数明显偏少的大尺度环境场特征为: 副热带高压较常年异常偏强、西伸脊点偏西, 季风槽位置异常偏西, 弱垂直风切变带位置也较常年偏西且范围偏小, 南亚高压异常偏强, 贝加尔湖附近对流层低高层均为反气旋距平环流, 这些关键环流因子的特征和配置都不利于 TC 在 WNP 的东部生成。影响 TC 活动的外强迫场特征为: 2010 年热带太平洋经历了 El Niño 事件于春末夏初消亡、La Niña 事件于 7 月形成的转换; 7~10 月, WNP 海表温度维持正距平, 140°E 以东为负距平且对流活动受到抑制; 暖池次表层海温异常偏暖, 对应上空 850 hPa 为东风距平, 有利于季风槽偏西和 TC 在 WNP 的西北侧海域生成。WNP 海表温度和暖池次表层海温的特征是 2010 年 TC 生成频数偏少、生成源地异常偏西的重要外强迫信号。有利于 7~10 月热带气旋西行和登陆的 500 hPa 风场特征为: 北太平洋为反气旋环流距平, 其南侧为东风异常, 该东风异常南缘可到 25°N, 并向西扩展至中国大陆地区; 南海和西北太平洋地区 15°N 以南的低纬也为东风异常; 在这样的风场分布型下, TC 容易受偏东气流引导西行并登陆我国沿海地区。这是 2010 年生成 TC 偏少但登陆 TC 并不少的重要环流条件。

**关键词** 热带气旋 西太平洋副高 季风槽 垂直风切变 次表层海温

**文章编号** 1006-9585 (2013) 03-0342-11

**中图分类号** P457.8

**文献标识码** A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11063

## Analysis of Anomalous Tropical Cyclone Activities over the Western North Pacific and the South China Sea in 2010

GONG Zhensong and CHEN Lijuan

*Laboratory for Climate Studies of China Meteorological Administration, National Climate Center, Beijing 100081*

**Abstract** The possible reasons for anomalous tropical cyclone (TC) activity over the western North Pacific (WNP) and South China Sea (SCS) were studied, and the possible effects of dynamic conditions and the thermal state on the frequency of TC genesis and landfall, derived from circulation patterns and boundary forcing, were analyzed using TC data from the China Meteorological Administration, NCEP/NCAR reanalysis data, and the outgoing long-wave radiation data from the US NOAA. The results showed that TC genesis was much less frequent than normal but that TC landfall

**收稿日期** 2011-04-26 收到, 2013-01-23 收到修定稿

**资助项目** 科技部科技支撑项目 2009BAC51B05, 公益性行业 (气象) 科研专项 GYHY200906015, 中国气象局气候预测创新团队项目

**作者简介** 龚振淞, 女, 1977 年出生, 高工, 主要从事气候异常诊断和气候预测研究与应用工作。E-mail: gongzs@cma.gov.cn

**通讯作者** 陈丽娟, E-mail: chenlj@cma.gov.cn

was near normal in 2010. The TC genesis locations were west of the usual genesis longitudes. The circulation patterns leading to fewer TCs were characterized as strong western North Pacific subtropical highs and South Asia highs, westward monsoon troughs, and vertical wind shear, anticyclone anomalies at low and high levels of the troposphere over Lake Baikal. Each of these features does not favor the genesis of TC in the eastern part of the WNP. Boundary forcing showed that the tropical Pacific experienced an El Niño event that ended in the late spring and early summer 2010 while a new La Niña event formed that July. From July to October, there was a positive sea surface temperature (SST) anomaly over the WNP west of 140°E while convection was suppressed east of 140°E. The subsurface temperature over the warm pool was much higher than normal, corresponding to an 850 hPa easterly wind anomaly. This thermal state led to the monsoon trough moving west of its average position and TC genesis in the eastern WNP. The SST and subsurface temperature features in the warm pool were the key thermal factors in the lower frequency of TCs in the western WNP in 2010. Further analysis showed that there was an anticyclone 500 hPa wind anomaly over the middle latitudes of the North Pacific from July to October 2010. The easterly anomaly to the south of the anticyclone was accompanied by another in the west of the WNP and SCS. The easterly anomaly extended southward to 25°N and westward to mainland China and the western anomaly extended northward to 15°N. Such a wind anomaly pattern favors the westward movement of TCs and then making landfall in mainland China. These are, therefore, the circulation conditions required for much less frequent TC genesis and almost normal TC landfall.

**Keywords** Tropical cyclone, Western Pacific subtropical high, Monsoon trough, Vertical wind shear, Subsurface sea temperature

## 1 引言

每年在热带西北太平洋都会生成数十个热带气旋, 占全球热带洋面上热带气旋年生成总数的 1/3, 从而使得我国成为受热带气旋影响最为严重的国家之一, 我国东南部沿海地区都有可能热带气旋登陆, 平均每年大概有 7 个左右 (苏振生, 1949~1988, 1989~2004; 吴晓鹏, 2005~2008)。热带气旋带来的大风、暴雨严重威胁人民的生命财产安全。近几年因热带气旋造成的年平均直接经济损失达到 200 多亿元, 平均每年死亡人数超过 500 人。因此, 研究生成热带气旋的条件和异常成因对热带气旋活动趋势预测非常重要, 有利于为防灾减灾提供服务。

陈联寿和丁一汇 (1979)、Gray (1979) 把热带气旋形成的条件分为: 热力条件、动力条件和环境条件, 并指出西北太平洋季风槽的位置对热带气旋活动的分布有很大的影响。王慧等 (2004) 的研究工作证明了季风槽活动影响热带气旋的生成, 当季风槽加强并向东扩展使得季风加强时, 热带气旋数明显增多。Chen et al. (1998) 和 Chan (2000) 等的研究也指出, ENSO 循环中的季风槽加强东伸或减弱西退显著影响热带气旋的生成位置。并且, 季风槽又与西太平洋副热带高压的演变紧密相关 (Wang and Wu, 1997)。大气涛动或遥相关型对热带气旋的活动也有显著的影响。西北太平洋热带气旋

生成频次的年际变化与 6~9 月的南极涛动之间存在显著的负相关关系 (王会军和范可, 2006), 同时也与冬春季节北太平洋海冰呈显著的反相关; 而冬春季北太平洋海冰通过北太平洋涛动 (NPO) 影响西太平洋热带气旋生成的热力和动力环境 (范可, 2007a, 2007b; 王会军等, 2007)。夏季亚洲—太平洋涛动 (APO) 和西北太平洋热带气旋频数多寡之间具有显著正相关关系 (周波涛等, 2008), 而春季 Hadley 环流偏强 (弱), 夏季西北太平洋热带气旋频数减少 (增多) (Zhou and Cui, 2008)。这些影响热带气旋活动的物理机制分析都有助于全面认识影响热带气旋活动的因子。

除了对热带气旋生成进行物理诊断分析之外, 我国学者还发展了热带气旋的气候预测方法, 包括动力统计相结合的预测试验 (王会军等, 2006), 具有物理意义的统计预报模型 (范可, 2007b), 显示了对热带气旋预测研究的应用前景。

事实上, 每年热带气旋的生成和登陆预测都是一个非常复杂的问题, 影响每年热带气旋活动的主导因子不尽相同, 热带气旋的年代际尺度、年际尺度、季节内振荡等信息的共同作用增加了气候预测的难度。因此认识每年热带气旋活动的异常特征及成因是我们加深对热带气旋活动认识、提高预测能力的重要环节。已经有不少学者在这方面做了大量有意义的工作 (刘舸等, 2007; 王瑾等, 2009)。2010 年热带气旋活动的特殊性及其形成原因也非常值得分析。

## 2 资料与方法

本文采用的大气和海洋资料来自 NCEP 的再分析资料 (Kalnay et al., 1996)。大气资料的长度为 1948~2010 年, 分辨率为  $2.5^{\circ}$  (纬度)  $\times 2.5^{\circ}$  (经度); 海洋资料的分辨率为  $2.0^{\circ}$  (纬度)  $\times 2.0^{\circ}$  (经度), 气候平均值选取 1971~2000 年 30 年平均。

次表层海温资料来自美国 Godas 全球逐月次表层海温 (GODAS) 资料, 资料的长度为 1980~2010 年, 水平分辨率为  $1.0^{\circ}$  (纬度)  $\times 0.333^{\circ}$  (经度), 气候平均值选取 1981~2010 年 30 年平均。

向外长波辐射 (OLR) 资料来自 NOAA, 资料的长度为 1979~2010 年, 气候平均值选取 1981~2010 年 30 年平均。

本文使用的热带气旋频数及生成位置的历史资料来自中国气象局编制的《热带气旋年鉴》(苏振生, 1949~1988, 1989~2004; 吴晓鹏, 2005~2008), 2009~2010 年热带气旋实况资料来自中国气象局中央气象台。这些资料中, 热带气旋定义为在西北太平洋和南海生成、中心附近的平均风力达到 8 级 (17 m/s) 或以上的热带气旋 (TC), 包括热带风暴、强热带风暴、台风、强台风、超强台风 5 个级别。气候平均值选取 1971~2000 年 30 年平均。

## 3 西北太平洋和南海热带气旋活动特征

### 3.1 生成热带气旋频数异常偏少, 登陆频数与常年持平

2010 年在西北太平洋和南海共生成 14 个热带气旋, 较 1971~2000 年平均值 (27 个) 偏少 13 个,

与 1998 年并列为 1951 年以来生成热带气旋最少的年份。热带气旋的生成时段主要集中在 7~10 月, 在这 4 个月中共有 13 个热带气旋生成, 占全年总数的 93%, 但较常年同期偏少 7 个。除了 3 月生成热带气旋数高于多年平均值, 其余的月份均低于多年平均 (图 1a)。虽然 2010 年与 1998 年生成的热带气旋数都为历史最少, 只有 14 个, 但 2010 年有 7 个在我国沿海地区登陆, 与多年平均持平 (图 1b), 登陆与生成频数比达到 50%, 为 1951 年以来最高。而 1998 年只有 4 个登陆, 表现为生成少、登陆也少的特征, 符合一般热带气旋生成频次与登陆频次成正比的活动规律。相比 1998 年生成异常少、登陆也异常少的特征, 2010 年热带气旋活动表现为生成异常少、登陆并不少。因此 2010 年热带气旋活动表现得更加复杂。

### 3.2 生成源地异常偏西

参考美国联合热带气旋监测中心 (Joint Typhoon Warning Center, JTWC) 对热带气旋生成源地的划分办法 ([http://www.usno.navy.mil/JTWC/\[2011-04-26\]](http://www.usno.navy.mil/JTWC/[2011-04-26])), 将西北太平洋和南海地区热带气旋生成源地分为 3 个主要的区域 (表 1):  $120^{\circ}\text{E}$  以西、 $120^{\circ}\text{E}\sim 145^{\circ}\text{E}$  区域、 $145^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\text{E}$ , 平均每年生成热带气旋数分别为 4、12、12, 即  $120^{\circ}\text{E}$  以东为热带气旋生成的主要源地。2010 年在  $120^{\circ}\text{E}$  以西生成 TC 3 个,  $120^{\circ}\text{E}\sim 145^{\circ}\text{E}$  区域生成 11 个, 在  $145^{\circ}\text{E}$  以东没有编号热带气旋 (第 12 号热带气旋为热带低压时在  $146.4^{\circ}\text{E}$ , 但达到热带风暴的编号级别时位于  $144.9^{\circ}\text{E}$ )。这是造成 2010 年热带气旋总数异常偏少的直接原因。

1998 年生成 TC 与 2010 年的情况类似: 在  $120^{\circ}\text{E}$  以西生成 6 个,  $120^{\circ}\text{E}\sim 145^{\circ}\text{E}$  范围内生成 8 个, 而在  $145^{\circ}\text{E}$  以东没有热带气旋生成。所不同的是 1998 年只有 4 个热带气旋登陆, 登陆时间分布

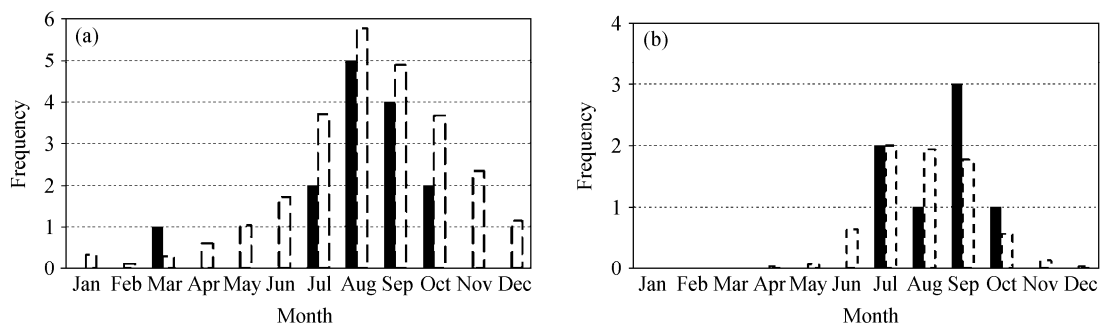


图 1 2010 年逐月 (a) 生成和 (b) 登陆热带气旋频数 (黑色: 2010 年实况, 空白: 1971~2000 年平均)

Fig. 1 The monthly frequency of tropical cyclone (TC) (a) genesis and (b) landfall in 2010 (dark columns indicate 2010 and white columns stand for the average from 1971 to 2000)

是 7 月 1 个、8 月 2 个、9 月 1 个（表 2）。而 2010 年有 7 个热带气旋登陆，其中 9 月 3 个、10 月 1 个。即 2010 年 9~10 月登陆台风比 1998 年多 3 个，表现为秋季异常活跃的特点。此外，对比登陆热带气旋的路径：1998 年的登陆地点均在广东珠江口以北地区，而 2010 年有 2 个 TC 到珠江口以西地区登陆，即 2010 年西行热带气旋明显偏多。

表 1 不同 TC 生成源地的频数

Table 1 The frequency of TC genesis in different positions	120°E 以西	120°E~145°E	145°E 以东
1971~2000 年平均	4	12	12
1998 年	6	8	0
2010 年	3	11	0

表 2 7~10 月登陆 TC 频数

Table 2 The frequency of TC landfall from July to October	7 月	8 月	9 月	10 月
1971~2000 年平均	2	2	1.5	0.5
1998 年	1	2	1	0
2010 年	2	1	3	1

是什么原因导致 2010 年热带气旋生成源地异常偏西，生成的总频次异常偏少但是登陆数却不少？下面我们将从大尺度环流特征和外强迫信号的角度进行详细的分析。

4 影响热带气旋活动的大气环流特征

4.1 西太平洋副热带高压

已有的研究表明，副热带高压的演变可通过影响季风槽的经纬向位置进而影响热带气旋的形成位置（Wang and Wu, 1997）。当副高从南海东撤到菲律宾附近海域时，季风槽南侧西风东进，有利于热带气旋在西北太平洋东侧生成。

2010 年 7~10 月，500 hPa 高度距平场（图 2）显示，西太平洋副热带高压异常强大，面积远远大于气候值，西伸脊点较常年异常偏西，7~9 月西伸至 110°E 以西，脊线异常偏北。从副高强度、西伸

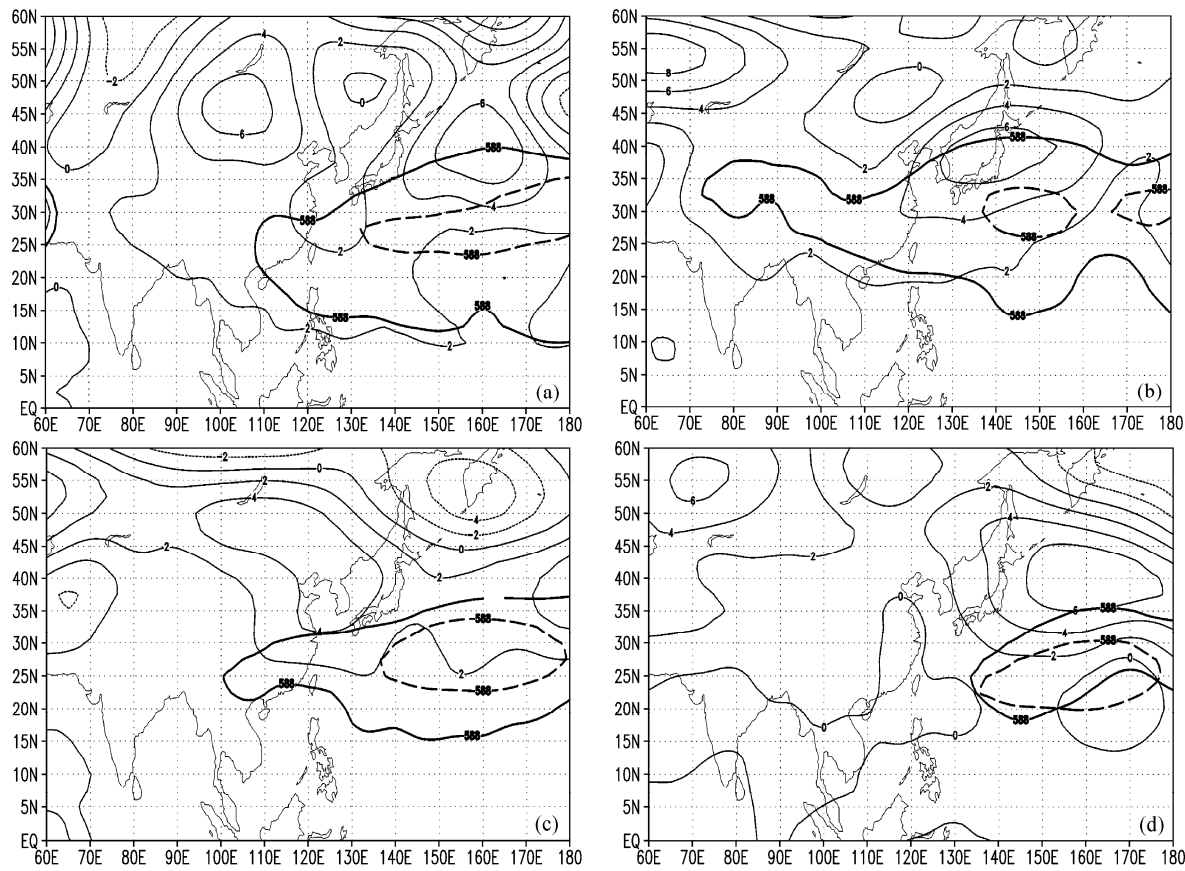


图 2 2010 年 (a) 7 月、(b) 8 月、(c) 9 月、(d) 10 月 500 hPa 高度距平场（单位：dagpm）（粗实线：2010 年 588 dagpm 等值线，粗虚线：1971~2000 年平均 588 dagpm 等值线）  
Fig. 2 The 500-hPa geopotential height anomalies (dagpm) in (a) Jul, (b) Aug, (c) Sep, and (d) Oct in 2010 (the thick solid line represent 588-dagpm isoline in 2010 and thick dashed line represent that averaged from 1971 to 2000)

脊点及脊线指数[定义见赵振国(1999)]的逐月演变显示:2010年1~9月西太平洋副热带高压强度较常年偏强,尤其是7月和8月强度为1951年以来最强值,10月副高开始有所减弱;6~8月西伸脊点的偏西程度也为1951年以来的历史第1位,平均在 $90^{\circ}\text{E}$ 附近,9月西伸脊点位置在 $100^{\circ}\text{E}$ 附近,10月才东撤至 $135^{\circ}\text{E}$ 左右;副高脊线位置在6月偏南,7月接近常年,8~10月均异常偏北。

由于2010年的6~8月副高体异常强大,副高的西伸脊点可至 $90^{\circ}\text{E}$ 附近,且夏初副高脊线偏南。在这种强大的副高体控制下,季风槽很难加强东伸,季风槽南侧的西风也无法向东推进。热带气旋的主要生成区域( $5^{\circ}\text{N}\sim 25^{\circ}\text{N}$ ,  $120^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{E}$ )基本被副高所控制,以下沉气流为主(图3),抑制了该地区对流的发展,不利于热带气旋的生成。因此在2010年6月没有热带气旋活动,7月也只有2个生成。随着8月西太平洋副热带高压北跳,热带气旋才开始活跃起来。

#### 4.2 季风槽和垂直风切变

季风槽是北半球夏季西南季风和副热带高压脊南侧之信风合成的低压带,为热带气旋生成提供有利的动力学条件。丁一汇和Wright(1983)指出热带气旋偏多年和偏少年,低层季风槽的分布显著不同,当西北太平洋季风槽增强并向东扩展使季风加强时,有利于热带气旋的生成,而且热带气旋生

成的位置也偏东;当季风槽弱时不利于热带气旋生成且生成位置偏西。一般情况下,7~10月季风槽经历从南往北推进,然后又撤退的过程。从季风槽的东西向气候特征看,其位置也会随季节向东伸展,最东端一般位于 $150^{\circ}\text{E}$ 附近。

影响热带气旋形成的另外一个关键环境因素是垂直风切变。垂直风切变较大会抑制对流的发展,从而抑制暖心和涡旋的形成(Demaria,1996)。垂直风切变较小可以使得初始扰动的对流凝结所释放的潜热能集中在一个有限的空间范围,热能量可在对流层中上层集中,形成暖心结构,促使初始扰动的气压不断下降,有利于热带气旋的形成。正常年份弱的垂直风切变(纬向风切变小于 $10\text{ m/s}$ )位于西太平洋东部,可延伸至日界线附近。季风槽东段的大部分位于宽阔的太平洋洋面,暖池附近。暖的海温加上活跃的对流活动,且高低层风垂直切变小,对流层上下空气相对运动很小,形成有利于热带气旋发生、发展的条件。

2010年的季风槽活动出现异常(图4),季风槽位置异常偏西。7~10月季风槽的东端都在 $120^{\circ}\text{E}$ 附近,与正常年相比,2010年季风槽东端位置较常年偏西30个经度。此外,沿着东伸季风槽分布的弱垂直风切变带位置也较常年偏西,且范围偏小,这是造成2010年热带气旋生成位置异常偏西的主要动力条件。由于季风槽东端只延伸到 $120^{\circ}\text{E}$ 附近,使得在热带气旋生成重要源地之一的 $145^{\circ}\text{E}$

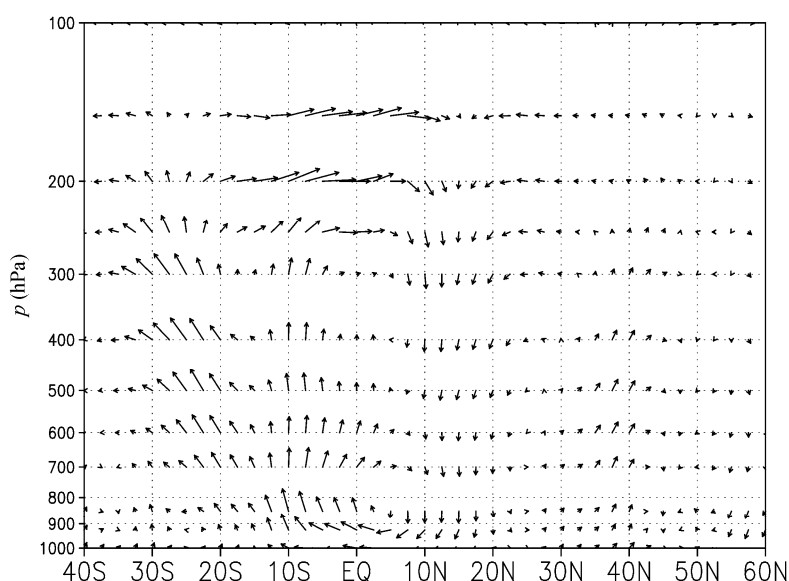


图3 2010年7~10月 $120^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{E}$ 平均经圈环流的气压-纬度剖面图(经向风和垂直速度单位:  $\text{m/s}$ )

Fig. 3 The pressure-latitude section of average meridional circulation (units:  $\text{m/s}$  for the meridional wind and vertical velocity) over  $120^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{E}$  from Jul to Oct in 2010

以东太平洋地区缺乏初始扰动生成和热带气旋发展的动力条件, 因此 2010 年在该区域没有热带气旋生成。

#### 4.3 南亚高压及中高纬度环流

作为东亚季风系统的重要成员, 南亚高压和中高纬度环流特征也会影响热带气旋的运动(陶诗言等, 1962; 陈联寿, 1965; 丁一汇和 Wright, 1983)。南亚高压是北半球夏季出现在青藏高原及邻近地区上空对流层上部最强大、最稳定的反气旋环流系统。南亚高压位置及强弱变化对南亚和东亚大范

围地区环流和天气气候有重要影响, 也对热带气旋的活动产生影响。热带气旋生成偏多的年份, 对应高层 100 hPa 高度场上孟加拉湾西南气流偏强, 在高原上空形成气旋性环流, 削弱了南亚高压的强度; 而在热带气旋生成偏少的年份, 高原上空以东北气流为主, 使得南亚高压强度加强。进一步分析 7~10 月热带气旋偏少年与偏多年的 100 hPa 高度场差值图(图 5a), 青藏高原上空为显著正值, 这与丁一汇和 Wright (1983) 对 500 hPa 高度场的分析一致, 说明南亚高压深厚强大时, 热带气旋活动偏

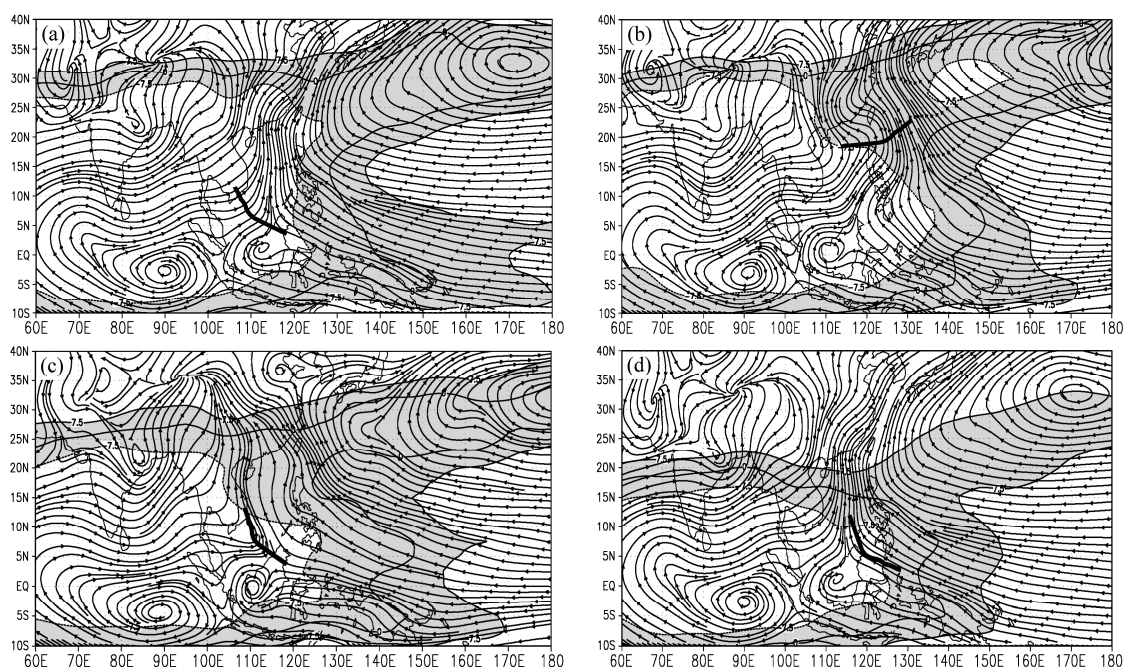


图 4 2010 年 (a) 7 月、(b) 8 月、(c) 9 月、(d) 10 月平均 850 hPa 流场和季风槽(粗线)。阴影区表示高低层风速垂直切变 < 10 m/s

Fig. 4 850-hPa stream line and monsoon trough (broad-brush line) in (a) Jul, (b) Aug, (c) Sep, and (d) Oct in 2010 (the shaded regions stand for vertical wind shear < 10 m/s)

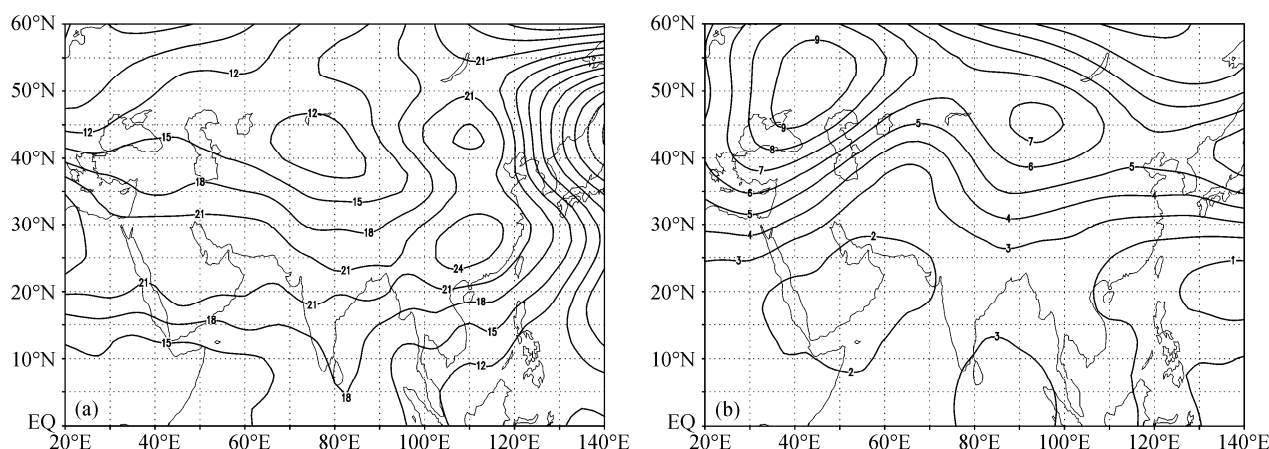


图 5 7~10 月 (a) TC 偏少年与偏多年 100 hPa 高度场差值和 (b) 2010 年 100 hPa 高度场距平(单位: dagpm)

Fig. 5 The 100-hPa geopotential height from Jul to Oct: (a) Difference (dagpm) between more and less frequency TC genesis years; (b) anomaly (dagpm) in 2010

弱。2010 年 7~10 月 100 hPa 高度场距平 (图 5b) 显示整个青藏高原及其周边地区高度场异常偏高, 说明南亚高压偏强。

850 hPa 风场上, 孟加拉湾为东风距平, 表示西南风偏弱 (图 6a), 因而不利于季风槽形成并向东伸展, 造成热带气旋生成的动力条件不足。

2010 年 7~10 月, 西北太平洋 (20°N~40°N, 120°E~180°E) 区域的对流层上层为东风距平, 表明西风急流偏弱。由于西风减弱, 在该区域南侧形成异常气旋环流, 其北侧形成异常反气旋环流 (图 6b)。南侧异常气旋环流对应的对流层低层 (图 6a) 为较强东风距平和弱的反气旋性环流距平特征, 该东风距平一直向西延伸至孟加拉湾。这样的高低层纬向风异常配置使得高低层纬向风垂直切变幅度显著增大, 从而不利于涡旋系统生成, 也不利于季风槽形成和东伸, 即热带气旋生成的动力条件不足。这与王会军等 (2007) 的研究结论一致。此外, 在贝加尔湖西南地区, 无论是在高层 (200 hPa) 还是在低层 (850 hPa) 都存在一个异常反气旋。异常反气旋东侧的偏北气流异常偏强, 850 hPa 上偏北风距平一直向南延伸到 20°N 附近, 使得夏季风很难向北推进, 造成 2010 年夏季风明显偏弱 (贾小龙等, 2011), 因此季风槽也偏弱, 不利于热带气旋的生成。

除北半球环流系统对热带气旋活动有直接影响外, 南半球中高纬度的环流对热带气旋的生成也会造成影响 (王会军等, 2006)。热带气旋活跃季节的南极涛动 (AAO) 和西北太平洋热带气旋生成频次具有显著的反相关关系。2010 年 6~10 月 AAO 处于异常正位相, 西北太平洋地区纬向风的垂直切变幅度加大, 有利于对流层低层为异常反气旋环流 (图 6a), 高层为异常气旋环流 (图 6b), 这些特征均不利于热带气旋的生成和发展。2010 年的 AAO 与热带气旋的关系完全符合王会军等 (2006) 的研究结果。

## 5 造成大气环流异常的外强迫特征

### 5.1 海表温度

2010 年经历了从 El Niño 事件向 La Niña 事件的转换, 一次中等强度的 El Niño 事件在 2009 年底达到峰值后, 于 2010 年春末夏初迅速消亡, 并于 2010 年 7 月转为 La Niña 事件。2010 年后半年, 赤道中东太平洋为异常冷水, 西太平洋地区为异常暖水。因此该年热带气旋生成源地偏西的特征也主要体现了 La Niña 事件海温分布型对热带气旋活动的影响 (Chan, 2000)。

从西北太平洋局地海温来看, 2010 年上半年由于处于 El Niño 的衰减期, 热带西太平洋海温为负距平, 该地的对流活动受到抑制, 不利于扰动产生。2010 年 6~10 月, 随着 La Niña 事件的发展, 热带西太平洋海温维持正距平, 而 140°E 以东的中太平洋海温则为负距平。由于低纬的海气相互作用, 使得 140°E 以东对流活动总体受到抑制 (图 7), 而 140°E 以西至 100°E 的对流则明显加强, 因此有利于热带气旋在该海域生成。2010 年热带气旋在夏秋季的活动经历了从不活跃到相对活跃的演变过程。对比 1998 年 6~10 月热带海温距平分布, 西太平洋海温为正距平, 中太平洋海温为负距平, 而东太平洋海温为正距平。中西太平洋的空间分布与 2010 年相似 (东太平洋海温距平不同, 但是对热带气旋活动的直接影响很小)。这说明 1998 年的 140°E 以东的热带中太平洋海温场分布特征也是非常不利于热带气旋活动的。

### 5.2 次表层海温

还有一些学者研究了西北太平洋暖池对热带气旋活动的影响, 结果发现暖池地区次表层海温与生成的热带气旋个数具有显著相关 (陈光华和黄荣辉, 2006)。作为 ENSO 事件前期信号的暖池

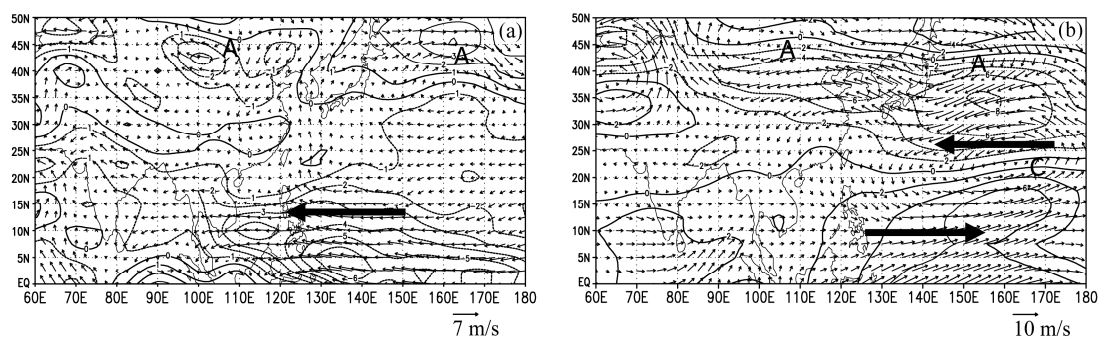


图 6 2010 年 7~10 月 (a) 850 hPa 和 (b) 200 hPa 风场距平 (箭头) 分布和纬向风距平 (等值线, 单位: m/s) 分布

Fig. 6 The (a) 850-hPa and (b) 200-hPa wind anomalies (vector) and zonal wind anomalies (isoline, units: m/s) from Jul to Oct in 2010



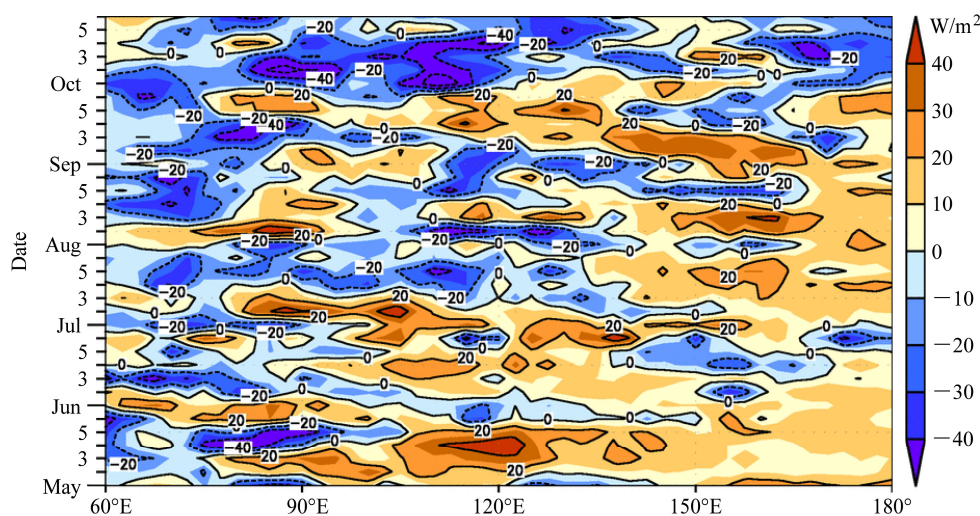


图 7 2010 年 5~10 月 10°N~20°N 平均 OLR 距平的时间—经度剖面

Fig. 7 The time-longitude section of OLR anomaly over 10°N–20°N from May to Oct in 2010

热状况将直接影响到上空的对流活动和大气环流, 从而对西北太平洋热带气旋的生成与移动产生影响。当西太平洋暖池次表层偏暖, 季风槽位置偏西北, TC 易在西北太平洋的偏西北位置 (即 150°E 以西, 10°N 以北) 生成, 这种状况下 TC 易往西北方向移动, 因而造成登陆我国的 TC 增多; 相反, 当热带西太平洋暖池次表层处于冷状态、季风槽位置偏东南, TC 易在 150°E 以东和 10°N 以南的区域生成, 这造成西北太平洋 TC 移动路径易于在日本东南部转向东北方向, 造成登陆我国 TC 偏少。

2010 年 7~10 月, 西太平洋暖池次表层海温异常偏暖, 对应上空 850 hPa 为异常东风 (图 6a) 控制, 这一异常强的东风向西一直延伸到阿拉伯海, 不利于季风槽向东南延伸, 这也解释了前面 2010 年 7~9 月季风槽偏弱、位置偏西特征的热力强迫成因。同时在高层 (图 6b), 与低层相对应的热带西太平洋一直维持异常西风距平, 这种高低层的配置不利于低层西风气流进一步向东伸展, 所以季风槽明显偏西。对应热带气旋生成源地 200 hPa 高层为散度负距平, 对流上升支位于西北太平洋的西北侧, 因而有利于热带气旋在该区域活跃。

2010 年 7~10 月, 西北太平洋海表温度和次表层海温的特征是 2010 年 TC 生成频数偏少、生成源地异常偏西的重要外强迫信号。

## 6 影响 TC 移动路径和登陆的重要环流特征

西太平洋热带气旋的移动主要受到副热带高

压和西风带环流的影响 (朱乾根和林景瑞, 1992)。西太平洋地区的中层风场对登陆我国的热带气旋移动路径也产生显著的引导作用, 王磊等 (2009) 认为副高位置偏东时, 西北太平洋副高西南侧的东南气流有利于引导 TC 登陆厦门以北区域; 反之, 副高脊点偏西导致副高西北侧为西风异常, 从而使得登陆厦门以北的 TC 个数偏少。而 2010 年 7~10 月西太平洋副热带高压西伸至我国内陆地区, 且副高体庞大, 控制了我国南方的大部分地区和东海海域。这种特征一般是不利于热带气旋生成和登陆我国的, 究竟是什么原因造成在 2010 年生成热带气旋异常偏少的情况下登陆我国的热带气旋并不少呢?

图 8a 为 2010 年 7~10 月的 500 hPa 风矢量距平场和 588 dagpm 等值线, 在南海和西北太平洋地区, 15°N 以南的低纬和 25°N 以北的中纬度地区都存在明显东风异常。值得关注的是在副热带中太平洋 150°E~180°E 区域为气旋式环流距平, 其北侧为东风异常, 而日本及其以东地区为明显的反气旋环流距平, 中心位置在 (40°N, 155°E) 附近, 其南侧为东风异常, 该东风异常南缘可到 25°N, 并向西扩展至中国大陆地区, 在这种异常东风气流的引导下, 热带气旋容易西行和西北行并登陆我国沿海地区。2010 年登陆热带气旋路径也显示了西行和西北行路径占优势的特点。相比之下, 1998 年 500 hPa 距平风场显示 (图 8b), 副热带 150°E~180°E 区域为气旋式环流距平, 日本以东的反气旋环流中心位置在 (45°N, 180°E) 附近, 较 2010 年明显偏北偏



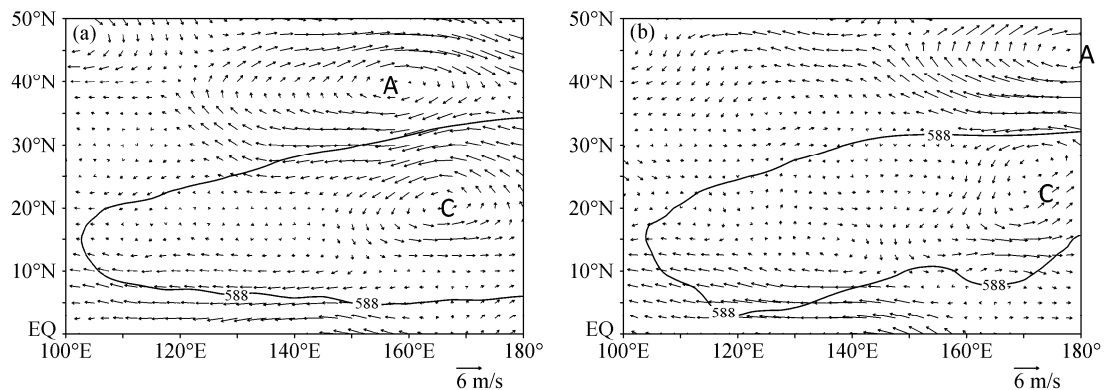


图8 (a) 2010 年和 (b) 1998 年 7~10 月 500 hPa 风场距平 (箭头) 和 588 dagpm 线 (等值线)

Fig. 8 The wind anomalies (vector) for 500 hPa and 588-dagpm isolines from Jul to Oct in (a) 2010 and (b) 1998

东, 其南侧的东风异常南缘最多到  $30^{\circ}\text{N}$ , 且东风异常向西只延伸到  $150^{\circ}\text{E}$ , 较 2010 年的东风异常伸展区域明显偏北、偏东。因此 1998 年生成的 TC 不易被引导至我国沿海地区。

进一步合成热带气旋登陆达到 7 个以上年份的 500 hPa 距平风场 (图略), 环流特征与 2010 年相似, 在副热带中太平洋  $155^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}$  区域为气旋式环流距平, 在日本以东地区为反气旋环流距平, 中心位置在 ( $43^{\circ}\text{N}$ ,  $165^{\circ}\text{E}$ ) 附近, 其南侧为东风异常, 其南缘可到  $20^{\circ}\text{N}$ , 向西扩展可至中国东部近海地区, 热带西太平洋地区的东风异常在  $5^{\circ}\text{N}$  以南。可见北太平洋地区的反气旋环流强弱和影响范围与 TC 的移动路径和登陆密切相关。2010 年 7~10 月, 500 hPa 西太平洋副高异常强大和日本以东异常反气旋距平环流导致中纬度东风气流增强的共同影响是生成 TC 异常偏少却有利于西行登陆我国的重要原因。

## 7 小结

本文分析了 2010 年西北太平洋热带气旋活动的异常特征和大尺度环流条件及海洋外强迫特征, 主要结论如下:

(1) 2010 年生成热带气旋频数异常偏少, 生成源地偏西, 登陆热带气旋数与常年持平, 登陆热带气旋数与生成热带气旋数的比例为 1951 年以来历史最高值。而 1998 年生成和登陆热带气旋均偏少, 相比之下, 2010 年的热带气旋活动更加复杂。

(2) 热带气旋活动异常是大气环流异常的直接结果。2010 年 7~10 月, 副热带高压较常年异常偏强、西伸脊点偏西; 季风槽位置异常偏西, 其东端

仅延伸到  $120^{\circ}\text{E}$  附近, 较常年偏西 30 个纬度; 沿着季风槽分布的弱垂直风切变带位置也较常年偏西, 且范围偏小; 南亚高压异常偏强; 贝加尔湖附近对流层中高层均为反气旋距平环流; 这些关键环流因子的特征和配置都不利于 TC 的生成。

(3) 环流异常受到海温异常演变的明显影响。

2010 年上半年由于处于 El Niño 的衰减期, 热带西太平洋海温为负距平且对流活动受到抑制, 不利于扰动产生。2010 年上半年, 随着 La Niña 事件的发展, 热带西太平洋海温维持正距平,  $140^{\circ}\text{E}$  以西至  $100^{\circ}\text{E}$  的对流明显加强, 因此有利于热带气旋在该海域生成。2010 年热带气旋在夏秋季经历了从不活跃到相对活跃的演变过程。2010 年 7~10 月海表温度分布形态使得对流在热带西太平洋东部 ( $140^{\circ}\text{E}$  以东) 受到抑制而在西太平洋西部 ( $140^{\circ}\text{E}$  以西) 加强, 有利于热带气旋在西北太平洋西北部海域生成。西太平洋暖池处于暖状态直接影响其上空的大气环流, 使得低层盛行异常东风, 高层盛行异常西风, 抑制了季风槽向东南延伸, 使得季风槽明显偏西。西北太平洋海表温度和暖池次表层海温的特征是 2010 年 TC 生成频数偏少、生成源地异常偏西的重要外强迫信号。1998 年的热带中西太平洋海温距平分布型与 2010 年相似, 二者具有相似的影响热带气旋生成的外强迫条件。

(4) 2010 年热带气旋移动和登陆频次受到中纬度环流的显著影响。2010 年 7~10 月 500 hPa 距平风场特征显示中纬度日本及其以东地区为反气旋环流, 其南侧为东风异常, 该东风异常南缘可到  $25^{\circ}\text{N}$ , 并向西扩展至中国大陆地区; 南海和西北太平洋地区  $15^{\circ}\text{N}$  以南的低纬也为东风异常; 在这样的风场分布型下, 热带气旋容易受偏东气流引导西

行并登陆我国沿海地区。这是 2010 年生成 TC 异常偏少但登陆 TC 并不少的重要环流条件。而 1998 年的 500 hPa 风矢量距平场显示在中纬度地区与 2010 年有很大差异, 日本以东的反气旋环流中心较 2010 年明显偏北、偏东, 其南侧的东风异常南缘最多到 30°N, 且东风异常向西只延伸到 150°E, 较 2010 年的东风异常伸展区域明显偏北、偏东。因此 1998 年生成的 TC 不易被引导至我国沿海地区。

初步分析显示, 2010 年 TC 的生成数量和源地受到热带地区动力和热力条件的显著影响, 而 TC 的移动路径和登陆频次则受到中纬度环流系统的明显作用。关于中纬度环流特征的成因还需要深入研究。

### 参考文献 (References)

- 陈光华, 黄荣辉. 2006. 西北太平洋暖池热状态对热带气旋活动的影响 [J]. 热带气象学报, 22 (6): 527–532. Chen Guanghua, Huang Ronghui. 2006. The effect of warm pool thermal states on tropical cyclone in West Northwest Pacific [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 22 (6): 527–532.
- 陈联寿. 1965. 盛夏亚洲中高纬度流型与西太平洋台风路径的关系 [J]. 气象学报, 35 (4): 476–485. Chen Lianshou. 1965. Flow patterns in westerlies in relation to the East–Asia typhoon tracks [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 35 (4): 476–485.
- Chan J C L. 2000. Tropical cyclone activity over the western North Pacific associated with EL Niño and La Niña events [J]. J. Climate, 13: 2960–2972.
- 陈联寿, 丁一汇. 1979. 西太平洋台风概论 [M]. 北京: 科学出版社, 109pp. Chen Lianshou, Ding Yihui. 1979. Introduction to Typhoon of Western Pacific (in Chinese) [M]. Beijing: Science Press, 109pp.
- Chen T C, Weng S P, Yamazaki N, et al. 1998. Interannual variation in the tropical cyclone formation over the western North Pacific [J]. Mon. Wea. Rev., 126: 1080–1090.
- Demaria M. 1996. The effect of vertical on tropical cyclone intensity change [J]. J. Atmos. Sci., 53 (14): 2076–2087.
- 丁一汇, Wright E R. 1983. 影响西太平洋台风形成的大尺度环流条件 [J]. 海洋学报, 5 (5): 561–574. Ding Yihui, Wright E R. 1983. The large scale circulation condition for the western Pacific typhoon genesis [J]. Acta Oceanologica Sinica (in Chinese), 5 (5): 561–574.
- 范可. 2007a. 北太平洋海冰, 一个西北太平洋台风生成频次的预测因子? [J]. 中国科学 (D 辑), 37 (6): 851–856. Fan Ke. 2007a. North Pacific sea ice cover, a predictor for the western North Pacific typhoon frequency? [J]. Science in China (Ser. D) (in Chinese), 37 (6): 851–856.
- 范可. 2007b. 西北太平洋台风生成频次的新预测因子和新预测模型 [J]. 中国科学 (D 辑), 37 (9): 1260–1266. Fan Ke. 2007b. New predictors and new prediction model for the typhoon frequency over western North Pacific [J]. Science in China (Ser. D) (in Chinese), 37 (9): 1260–1266.
- Gray W M. 1979. Hurricanes: Their formation, structure and likely role in the tropical circulation [J]. Meteorology over the Tropical Oceans: 155–218.
- 贾小龙, 陈丽娟, 龚振淞, 等. 2011. 2010 年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响 [J]. 气象, 37 (4): 446–453. Jia Xiaolong, Chen Lijuan, Gong Zhensong, et al. 2011. Anomalies of ocean and atmospheric circulation in 2010 and their impacts on climate in China [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 37 (4): 446–453.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77: 437–471.
- 刘炯, 张庆云, 孙淑清. 2007. 2006 年夏季西太平洋热带气旋活动的初步研究 [J]. 气候与环境研究, 12 (6): 738–750. Liu Ge, Zhang Qingyun, Sun Shuqing. 2007. A preliminary study on activities of tropical cyclones over the western North Pacific during the summer in 2006 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (6): 738–750.
- 苏振生. 1949–1988. 台风年鉴 [G]. 北京: 气象出版社. Su Zhensheng. 1949–1988. Typhoon year book (in Chinese) [G]. Beijing: China Meteorological Press.
- 苏振生. 1989–2004. 热带气旋年鉴 [G]. 北京: 气象出版社. Su Zhensheng. 1989–2004. Year book of Tropical Cyclone (in Chinese) [G]. Beijing: China Meteorological Press.
- 陶诗言, 徐淑英, 郭其蕴. 1962. 夏季东亚热带和副热带地区经向和纬向环流型的特征 [J]. 气象学报, 32 (1): 91–103. Tao Shiyun, Xu Shuying, Guo Qiyun. 1962. The characteristics of the zonal and meridional circulation over tropical and subtropical regions in eastern Asia in summer [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 32 (1): 91–103.
- Wang B, Wu R R. 1997. Peculiar temporal structure of the South China Sea summer monsoon [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 14: 177–194.
- 王慧, 丁一汇, 何金海. 2004. 西北太平洋夏季风的变化对台风生成的影响 [J]. 气象学报, 63 (4): 418–430. Wang Hui, Ding Yihui, He Jinghai. 2004. Influence of Western North Pacific summer monsoon changes on typhoon genesis [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 63 (4): 418–430.
- 王会军, 范可. 2006. 西北太平洋台风生成频次与南极涛动的关系 [J]. 科学通报, 51 (24): 2901–2914. Wang Huijun, Fan Ke. 2006. Relationship between the Antarctic oscillation and in the Western North Pacific typhoon frequency [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 51 (24): 2901–2914.
- 王会军, 孙建奇, 范可. 2007. 北太平洋涛动与台风和飓风频次的关系研究 [J]. 中国科学 (D 辑), 37 (7): 966–973. Wang Huijun, Sun Jianqi, Fan Ke. 2007. Relationship between the North Pacific oscillation and the typhoon/hurricane frequencies [J]. Science in China (Ser. D) (in Chinese), 37 (7): 966–973.
- 王会军, 郎咸梅, 范可, 等. 2006. 关于 2006 年西太平洋台风活动频次的气候预测试验 [J]. 气候与环境研究, 11 (2): 133–137. Wang Huijun, Lang Xianmei, Fan Ke, et al. 2006. Real-time climatic prediction experiment for the typhoon frequency in the Western North Pacific for 2006 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 11 (2): 133–137.
- 王瑾, 柯宗建, 江吉喜. 2009. 2008 年西北太平洋热带气旋活动特征分析

- [J]. 气象, 35 (12): 44–50. Wang Jin, Ke Zongjian, Jiang Jixi. 2009. Analysis of tropical cyclone over Western North Pacific in 2008 [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 35 (12): 44–50.
- 王磊, 陈光华, 黄荣辉, 等. 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. Wang Lei, Chen Guanghua, Huang Ronghui, et al. 2009. Quantitative analysis on large scale circulation system modulating landfalling tropical cyclone activities in the diverse Chinese regions [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (5): 916–922.
- 吴晓鹏. 2005–2008. 热带气旋年鉴 [G]. 北京: 气象出版社. Wu Xiaopeng. 2005–2008. Yearbook of Tropical Cyclone (in Chinese) [G]. Beijing: China Meteorological Press.
- 赵振国. 1999. 中国夏季旱涝及环境场 [M]. 北京: 气象出版社. Zhao Zhenguo. 1999. Summer Drought and Environmental Field in China (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press.
- Zhou B T, Cui X. 2008. Hadley circulation signal in the tropical cyclone frequency over the western North Pacific [J]. J. Geophys. Res., 113, D16107, doi: 10.1029/2007JD009156.
- 周波涛, 崔绚, 赵平. 2008. 亚洲—太平洋涛动与西北太平洋热带气旋频数的关系 [J]. 中国科学 (D 辑), 38 (1): 118–123. Zhou Botao, Cui Xuan, Zhao Ping. 2008. Relationship between the Asia–Pacific oscillation and tropical cyclone frequency in the western North Pacific [J]. Science in China (Ser. D) (in Chinese), 38 (1): 118–123.
- 朱乾根, 林景瑞. 1992. 天气学原理与方法 [M]. 北京: 气象出版社, 748. Zhu Qiangen, Lin Jingrui. 1992. Principles and Methods of Weather (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 748.