

涂石飞,徐峰,常舒捷,等,2019.西北太平洋热带气旋活动对夏秋型 ENSO 事件的响应[J].气象,45(7):920-930. Tu S F, Xu F, Chang S J, et al, 2019. Response of tropical cyclone in the Northwest Pacific for summer and autumn ENSO events[J]. Meteor Mon, 45(7):920-930(in Chinese).

西北太平洋热带气旋活动对夏秋型 ENSO 事件的响应*

涂石飞^{1,2} 徐 峰^{1,2} 常舒捷^{1,2} 季倩倩^{1,2} 张 羽³

1 广东海洋大学南海海洋气象研究院,湛江 524088

2 广东海洋大学海洋与气象学院,湛江 524088

3 广东省气候中心,广州 510640

提 要: 利用西北太平洋热带气旋(tropical cyclone, TC)历史路径资料、ERA-Interim 再分析资料以及海洋 Niño 指数 ONI 等,采用合成分析等统计学方法探讨了 TC 活动对夏季(SU 型)与秋季(AU 型)ENSO 事件的不同响应。结果表明:在 SU 型 El Niño 期间,西北太平洋 TC 强度与持续时间增大,强台风活动较多;在 AU 型 El Niño 发生时,TC 持续时间及强度均大于 SU 型的频数也较之偏少,但超强台风活动较多,约占 TC 总数的 1/3,生成位置也较 SU 型偏东,但登陆我国的 TC 频数较少。在 SU 型 La Niña 期间,TC 强度、持续时间较小,以低等级 TC 活动为主,活动位置整体偏西。当 AU 型 La Niña 发生时,TC 强度、持续时间以及强等级 TC 频数均大于 SU 型,且 TC 活动位置相对 SU 型偏东。中太平洋地区相对涡度异常、大气垂直风切变、SSTA 等条件差异是 SU 型与 AU 型 ENSO 期间 TC 活动产生差异的重要方面,副热带高压强度及位置变化对 TC 活动也有较大影响。

关键词: 夏季型 ENSO,秋季型 ENSO,热带气旋,响应

中图分类号: P429, P447

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.07.003

Response of Tropical Cyclone in the Northwest Pacific for Summer and Autumn ENSO Events

TU Shifei^{1,2} XU Feng^{1,2} CHANG Shujie^{1,2} JI Qianqian^{1,2} ZHANG Yu³

1 South China Sea Institute of Marine Meteorology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088

2 College of Oceanography and Meteorology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088

3 Guangdong Climate Center, Guangzhou 510640

Abstract: Based on historical track data of tropical cyclones (TC) in Northwest Pacific, ERA-Interim reanalysis dataset and oceanic Niño indices, the characteristics of tropical cyclones in the Northwest Pacific during the two types of ENSO period are discussed by using statistical methods. The results indicate that the intensity and duration of TC are increasing and severe typhoon activities are more frequent over the Northwest Pacific in summer (SU) El Niño period. During the occurrence of autumn (AU) El Niño, the duration and intensity of TC are longer and larger than those generated in SU El Niño, and the frequency of TC is lower, but the number of super typhoons accounts for one third of total TC, with fewer of

* 国家重点研发计划(2018YFA0605604)、国家自然科学基金项目(41475120)和广东省自然科学基金重大基础研究培育项目(2015A03030801)共同资助

2018 年 3 月 19 日收稿; 2019 年 4 月 8 日收修定稿

第一作者:涂石飞,主要从事海洋与气候变化、热带气旋活动研究. Email: shifei_tu@126.com

通信作者:徐峰,主要从事大气物理学与大气环境、海洋气象研究. Email: gdouxufeng@126.com

TCs landing in China. In addition, the formation positions of TC are more eastward than SU El Niño. However, the intensity and duration of TC are smaller and shorter, with more low-level TCs generated in the SU La Niña epoch. When the AU La Niña occurs, the intensity, duration, and TC strength are slightly larger and the generation location is eastward than those TC generated in SU La Niña period. Furthermore, it is found that the differences of relative vorticity, vertical shear and SSTA in the Central Pacific are important reasons for the diversification of TC activities during the two types of ENSO, and the intensity and position of subtropical high also have a greater impact on TC activity.

Key words: summer ENSO, autumn ENSO, tropical cyclone (TC), response

引言

西北太平洋海域是全球热带气旋(TC)活动最为频繁的区域(冯涛等, 2013), TC的活动给周边沿海国家和地区造成了巨大的经济损失(Welker and Faust, 2013)。对其活动特征的研究, 准确把握其变化规律, 对预报 TC 活动路径、减少 TC 活动给周边国家和地区带来的不利影响具有重要意义。研究表明: 准两年振荡(Chan, 1995)、MJO(Sobel and Maloney, 2000)、PDO(Wang and Liu, 2016)等对西北太平洋 TC 活动均有一定影响。前人对西北太平洋 TC 的季节、年际尺度变化特征及其影响因素作了详细研究, 指出大气环流以及海洋条件的影响是促成 TC 生成、发展的重要因素(杨桂山和施雅风, 1999; 赵雪等, 2008; 王瑾等, 2009; 殷明等, 2016)。

较多研究显示: ENSO 等大尺度海气系统对西北太平洋 TC 活动具有重要影响, El Niño 年, 西北太平洋 TC 活动偏东, 强度较大, La Niña 年相反(Chan 2000; Camargo and Sobel, 2005; Camargo et al, 2007; 孙冷, 2011; Xu and Huang, 2015)。Yang et al(2016)研究了东部型与中部型 El Niño 发生时西北太平洋 TC 活动的差异, 指出在东部型 El Niño 期间, TC 登陆菲律宾频数增加, 而在中部型 El Niño 期间, 西北太平洋 TC 更多进入南海并在我国华南沿海登陆的频数会有增加。Xu and Huang(2015)研究发现东部型 El Niño 年 7—8 月, 太平洋更易生成较强等级的 TC, 9—10 月 TC 最大活动异常中心向东偏移; 而中部型 El Niño 期间, 7—10 月太平洋 TC 活动几乎无明显变化。中太平洋增暖比东太平洋增暖更有利于 TC 的发展, 强 TC 活动较多, 东部型冷事件也不利于 TC 的生成(靳甜甜, 2014)。

通过前人的研究结论可以发现在东部型与中部型 El Niño 事件发生期间西北太平洋 TC 活动有较大差异, 然而在不同季节形成的 ENSO 事件期间, 西北太平洋 TC 活动特征是否也有明显的差异? 影响 TC 活动的主要因素会发生怎样的变化? 对这些问题的研究有助于加深对 TC 活动与 ENSO 之间相互关系的认识, 具有重要的研究意义。为此, 参照 Xu and Chan(2001)研究, 从 ENSO 形成的季节角度出发, 探讨在夏季与秋季发生的 ENSO 事件发生期间, 西北太平洋海区 TC 活动有何异同及其可能的影响机制, 以期对短期气候预测以及气象和防台、抗台工作计划的制定提供一定参考。

1 资料与方法原理

1.1 资料

本文使用了中国气象局热带气旋资料中心提供的 1979—2016 年近 38 年西北太平洋 TC 历史最佳路径资料(Ying et al, 2014); 国家气候中心气候系统诊断预测室提供的 74 项环流指数; 美国国家气候中心提供的同时期月平均 ONI[oceanic Niño index, ONI 由 Niño 3.4 区($5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\sim 170^{\circ}\text{W}$)的 NOAA ERSST. V4 (Huang et al, 2015; Liu et al, 2015) SST 异常的 3 个月滑动平均值所得]; 欧洲中期天气预报中心 ERA-Interim 再分析资料(Simmons et al, 2007); 时间范围选取 1979 年 1 月至 2016 年 12 月, 空间分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 。本文以西北太平洋地区的热带气旋活动为主要研究对象, 空间范围为: $0^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{E}$ (包括南海等边缘海地区)。

1.2 方法

为探究不同季节形成的 ENSO 期间西北太平

洋地区热带气旋活动的差异,主要使用相关分析、合成分析等统计学方法,探讨夏季(SU型)与秋季(AU型)ENSO发生期间,TC活动的异同及其可能影响机制。

参照 CPC 对 ENSO 事件的定义:ONI 指数 $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$ 或 $\leq -0.5^{\circ}\text{C}$ 持续 5 个月以上为一次暖事件(El Niño 事件)或冷事件(La Niña 事件),根据形成时间不同将其分为 SU 型(4—7 月)和 AU 型(8—11 月)ENSO 事件(表 1)。且本文研究均以 ENSO

事件持续的这段时间内西北太平洋地区活动的 TC 为主要研究对象。

为了更好表征 TC 活动差异,Emanuel(2005)利用 PDI(power dissipation index)来表征 TC 活动的综合破坏性潜力,该指数定义为 TC 近中心最大持续风速三次方的时间积分,整合了 TC 频数、强度以及持续时间的综合影响,可以较好表征 TC 的破坏性潜力。

表 1 ENSO 事件持续时间
Table 1 Duration of ENSO events

El Niño	开始时间/年.月	结束时间/年.月	La Niña	开始时间/年.月	结束时间/年.月
SU 型	1982.4	1983.6	SU 型	1988.5	1989.5
	1991.6	1992.7			
	1997.5	1998.5			
	2002.6	2003.2			
	2004.7	2005.4			
2009.7	2010.4	AU 型	1984.10	1985.6	
1979.10	1980.2				
1986.9	1988.2				
1994.10	1995.3				
2006.9	2007.1				
2014.11	2016.5	2011.8	2012.2		
			2016.8	2016.12	

2 TC 活动对夏、秋季 ENSO 的响应

2.1 TC 活动特征及其与 ENSO 的关系

图 1 给出了标准化的年平均 ONI 序列与西北太平洋 TC 活动 PDI、年平均最大强度(I ,以平均最大持续风速表示)及年平均持续时间(D ,指 TC 生成到消亡的时间间隔)的时间序列,可以明显发现 ONI、PDI、 I 与 D 变化趋势有较大的一致性,而西北

太平洋 TC 活动频数(N ,即 TC 的生成个数)与 ONI 序列变化有较大差别。进一步对 ONI 分别与 PDI、 D 、 I 以及 N 计算相关性,结果如表 2 所示: ONI 与 PDI 的相关系数为 0.82,表明 ENSO 循环与西北太平洋 TC 活动破坏性潜力关系密切; ONI 与 I 、 D 的相关系数分别为 0.72、0.62,均通过 0.05 显著性水平检验,ENSO 对平均 TC 持续时间以及强度均有一定影响; ONI 与 N 相关性较差,仅 0.06, ENSO 循环对 TC 生成频数影响较小。

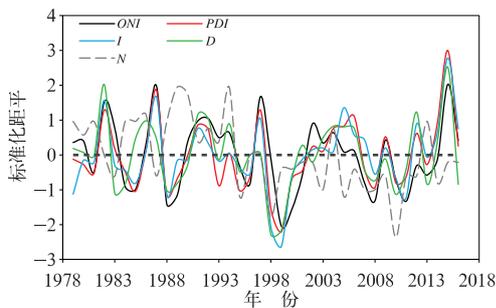


图 1 1979—2016 年 ONI 和 TC 活动特征指数的标准化时间序列

Fig. 1 Standardized annually ONI, PDI, I , D and N sequences during 1979—2016

表 2 六个标准化时间序列的相关系数

Table 2 The correlations coefficients of six sequences

相关系数	ONI	PDI (总和)	PDI (平均)	I	D	N
ONI	1	0.78	0.82	0.72	0.62	0.06
PDI (总和)	0.78	1	0.90	0.79	0.79	0.44
PDI (平均)	0.82	0.90	1	0.91	0.78	0.01
I	0.72	0.79	0.91	1	0.78	-0.01
D	0.62	0.79	0.78	0.78	1	0.21
N	0.06	0.44	0.01	-0.01	0.21	1

注:加粗表示通过 0.05 显著性水平检验。

Note: Thick font means having passed the significance test at 0.05 level.

2.2 夏、秋季型 ENSO 期间 TC 活动特征

2.2.1 PDI、频数、强度以及持续时间特征

统计结果(表 3)表明,在这两种 ENSO 事件发生期间,西北太平洋 TC 活动的 PDI 有较大差别,以 AU 型 El Niño 期间活动的 TC 平均 PDI 最大,达 $2.92 \times 10^{10} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$,SU 型 El Niño 期间的平均 PDI 相对小于 AU 型期间;SU 型 La Niña 期间的 TC 平均 PDI 最小,仅为 $1.01 \times 10^{10} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$,几乎只占到了 AU 型 El Niño 期间的 1/3 左右;对比不同 ENSO 事件发生期间,西北太平洋 TC 活动强度、持续时间,基本表现为:AU 型 El Niño > SU 型 El

Niño > 正常年 > AU 型 La Niña > SU 型 La Niña,其中 AU 型 La Niña 期间平均 TC 最大强度较常年平均大,月平均 TC 频数也有类似特征。就整体而言,AU 型 El Niño 期间 TC 活动频数较少,而平均 PDI、平均强度以及持续时间均大于 SU 型 El Niño;SU 型 La Niña 期间,TC 平均最大强度、持续时间等均小于 AU 型 La Niña 及正常年平均值。

2.2.2 夏、秋型 ENSO 期间 TC 位置对比分析

为了体现夏、秋型 ENSO 期间 TC 的活动位置差异,将近 38 年不同 ENSO 事件期间 TC 活动位置统计如图 2 所示:SU 型 El Niño 期间,TC 活动范围较大,主要集中于菲律宾东北部、南海北部海域,生

表 3 1979—2016 年夏、秋季型 ENSO 事件期间 TC 活动特征

Table 3 Features of TC activity during the SU and AU ENSO events from 1979 to 2016

类型	PDI / $10^{10} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$	N (总数)	N (月平均)	I / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	D / 10^5 s
SU El Niño	2.29	162	2.28	36.47	6.51
AU El Niño	2.92	79	1.49	40.42	7.43
SU La Niña	1.01	135	2.45	29.14	4.60
AU La Niña	1.56	107	2.68	34.26	5.56
常年平均	1.67	626	2.64	33.29	6.04

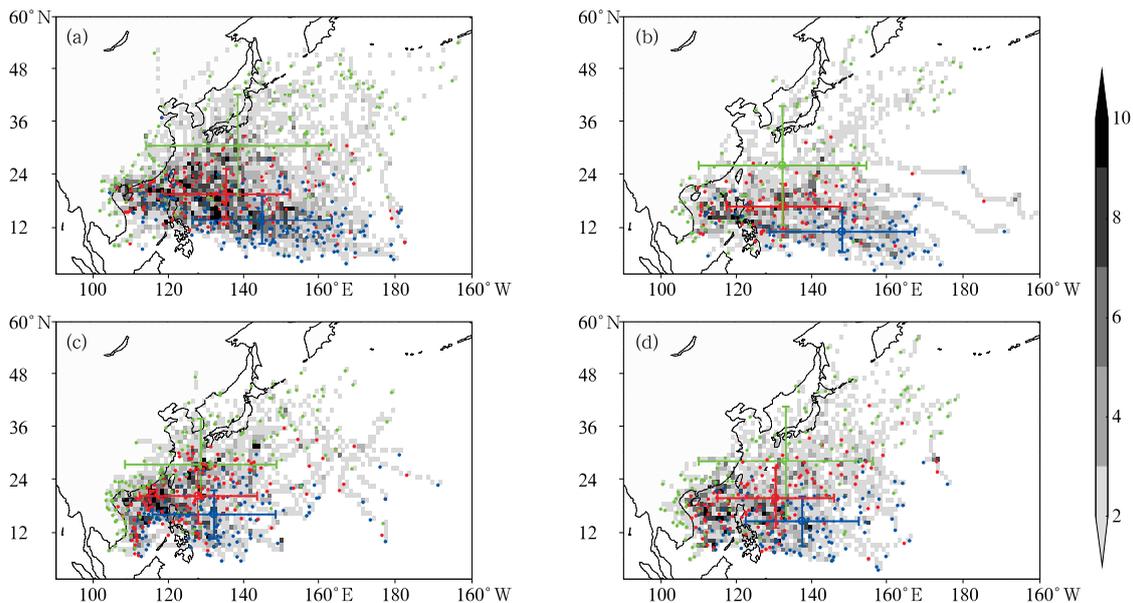


图 2 1979—2016 年西北太平洋 TC 在夏、秋型 ENSO 期间的活动位置

(a)SU 型 El Niño, (b)AU 型 El Niño, (c)SU 型 La Niña, (d)AU 型 La Niña

(灰色栅格表示该格点位置 TC 出现次数,颜色越深表明该位置 TC 出现次数越多;蓝、红、绿点分别代表 TC 生成、最大强度以及消亡位置,蓝、红、绿十字又表示相应的标准偏差,十字中心位置为平均值,下同)

Fig. 2 Positions of TC over the Northwest Pacific during the two types of ENSO from 1979 to 2016

(a) SU El Niño, (b) AU El Niño, (c) SU La Niña, (d) AU La Niña

(Gray grid indicates the number of TC occurrences in the grid position, and dark color indicates that TC appears more frequently; blue, red, green spots represent the generation location, maximum intensity location and dissipation location of TC respectively, and crosses indicate error bar correspondingly, the locations of the crosses represent mean values, the same below)

成位置相对比较分散,TC 最大强度位置主要集中在菲律宾海附近,生成位置与最大强度位置跨越经纬度较大,TC 消亡位置较之最大强度中心偏东北方向,且日本东北部(150°~170°E)较多,表明在 SU 型 El Niño 期间发生转向的 TC 活动较多。AU 型 El Niño 发生时,TC 活动范围相对 SU 型小,纬度偏南,TC 生成位置与 SU 型类似,整体较 SU 型偏东,TC 最大强度集中在菲律宾东部,平均消亡位置与最大强度位置基本在同经度上,且消亡位置在南海中部以及西部地区较为密集,活动路径较为集中,转向 TC 活动较少。

SU 型 La Niña 期间,活动在南海东北部最为密集;TC 生成位置相对比较集中于菲律宾以东约 130°E 附近洋面,南海中东部也是 TC 主要生成区域之一,最大强度多集中出现在南海北部沿岸一越南东部一带,跨越经纬度范围最小,活动位置最为集中,中南半岛东部以及华南沿海地区是 TC 消亡的两个集中区域。AU 型 La Niña 条件下,菲律宾以东以及南海中部地区 TC 活动较为频繁,TC 生成位置整体较 SU 型 La Niña 偏东,较 El Niño 期间偏

西,分布也比较分散,最大强度位置无明显集中分布,主要消亡位置集中于南海周边区域。

2.2.3 夏、秋型 ENSO 期间 TC 等级分布特征

TC 等级划分有助于准确理解不同 ENSO 事件对西北太平洋 TC 强弱程度的影响,参照中国气象局的划分标准,将西北太平洋活动的 TC 分为热带低压(TD)、热带风暴(TS)、强热带风暴(STS)、台风(TY)、强台风(STY)以及超强台风(Super TY)六个等级。统计结果如表 4 所示,其中 SU 型 El Niño 期间的 Super TY 等级的有 27 个,占到 TC 活动总数的 17.67%,STY 所占比例最大,约为 22.84%,TD 活动最少;而在 AU 型 El Niño 期间,以 Super TY 活动最多,约占到总 TC 数的 34.18%,表明在 AU 型 El Niño 期间,西北太平洋生成的 TC 中每三个就会有一个发展形成 Super TY;在 SU 型 La Niña 期间以强度最弱的 TD 活动频数最多,较高等级的 TC 活动频次较少;而 AU 型 La Niña 事件持续期间,以 TS 活动最多,较强等级的 TC 活动频次较 SU 型 La Niña 期间多。

表 4 1976—2016 年夏、秋季型 ENSO 事件期间不同等级 TC 发生频数

Table 4 TC frequency at different levels during four types of ENSO from 1976 to 2016

等级	SU El Niño		AU El Niño		SU La Niña		AU La Niña	
	N	占比/%	N	占比/%	N	占比/%	N	占比/%
Super TY	27	17.67	27	34.18	9	6.67	18	16.82
STY	37	22.84	17	21.52	14	10.37	18	16.82
TY	26	16.05	5	6.33	29	21.48	13	12.15
STS	28	17.28	9	11.39	27	20	20	18.69
TS	30	18.52	13	16.46	23	17.04	26	24.3
TD	14	8.64	8	10.13	33	24.44	12	11.21

除此之外,在 SU 型与 AU 型 ENSO 事件期间,登陆我国的 TC 频数也有较大差异,图 3 为平均每次事件期间,登陆我国的不同等级 TC 数量(注:这里的等级为 TC 登陆时的强度)的统计结果,除 SU 型 La Niña 事件期间外,其余三类事件期间登陆的 TD 数量偏少。在 SU 型 El Niño 期间,登陆我国的 TC 多为 STS、TY 以及 TS,无 Super TY 正面登陆。而在 AU 型 El Niño 持续期间,尽管 Super TY 数量所占比重较大(表 4),但是登陆我国的强等级 TC 数量相对较少,并且统计结果还发现,在五次 AU 型 El Niño 事件中,有三次事件期间无 TC 直接登陆我国,另外两次由于事件持续时间较长,故有少数 TC 登陆。

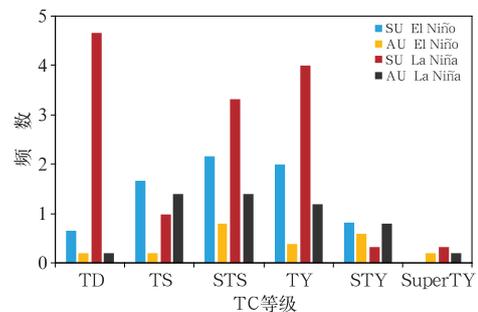


图 3 1976—2016 年夏、秋季型 ENSO 事件期间平均登陆我国的 TC 等级频数分布
Fig. 3 The averaged frequency of TC at different levels landing China during the SU and AU ENSO events from 1976 to 2016

在 SU 型 La Niña 发生期间,由于 TC 生成位置相对偏西,且多以低等级 TC 活动为主,然而在登陆我国的 TC 等级分布中,除 TD 外,主要以 TY 和 STS 等级的登陆居多,并且 STY 和 Super TY 等级的也有登陆。在 AU 型 La Niña 期间,各个等级的 TC 均有在我国登陆,但以 TS、STS 及 TY 等级为主。

3 西北太平洋 TC 活动对 SU 型和 AU 型的响应机理

众多研究表明:热带地区海温异常、大气垂直切变、低层相对涡度、低层风场异常、西北太平洋副热带高压(以下简称副高)等均是影响西北太平洋 TC 活动的几个重要因素(Paterson et al, 2005; 王慧等, 2006; 曹智露等, 2013; Lin and Chan, 2015; Ling et al, 2015; 殷明等, 2016);为探讨 TC 活动对夏季型与秋季型 ENSO 的响应机理,拟从动力、热力学过程两个角度,研究 SU 型与 AU 型 ENSO 期间,副高、低层相对涡度、垂向运动、SSTA,以及垂直风切变等因素的平均状态对 TC 活动的可能影

响;各要素截取时间范围为 ENSO 事件所持续时间(表 1)。

3.1 动力机制

3.1.1 夏、秋型 ENSO 期间低层相对涡度的差异

图 4 中给出的是对流层低层相对涡度在夏、秋型 ENSO 事件期间的分布情况,在 SU 型 El Niño 期间,TC 生成位置出现正的相对涡度,气流上升运动显著加强,利于 TC 的发展;在 AU 型 El Niño 发生时,TC 生成区域附近也有正的相对涡度出现,范围相对 SU 型较小。而 SU 型 La Niña 期间,西北太平洋大部分地区均出现负的相对涡度异常,特别是西北太平洋东南部地区,较强的负涡度异常使得该地区出现异常下沉气流,不能为 TC 形成提供有利的动力条件,故在 SU 型 La Niña 期间西北太平洋活动的 TC 位置集中于西部地区;在 AU 型 La Niña 发生期间,TC 活动多集中于西部海域,赤道中太平洋地区有负的相对涡度,范围较之 SU 型 La Niña 期间小,从而为 AU 型 La Niña 期间生成强度等级 TC 数量多于 SU 型 La Niña 提供了可能。

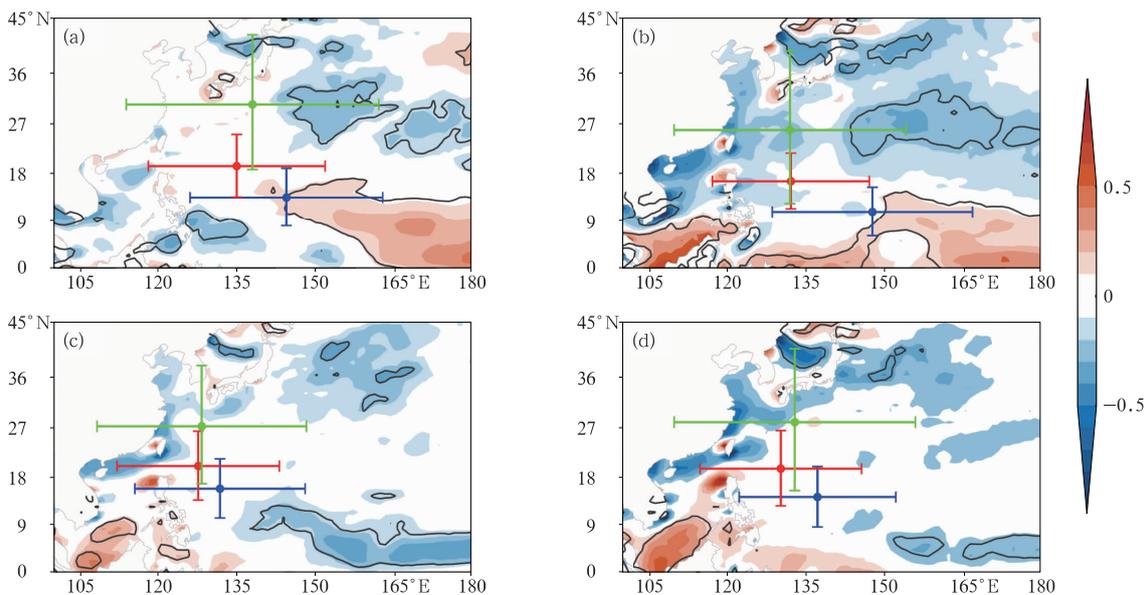


图 4 夏、秋型 ENSO 期间低层(850 hPa)相对涡度异常(单位: 10^{-5} s^{-1})
 (a)SU 型 El Niño, (b)AU 型 El Niño, (c)SU 型 La Niña, (d)AU 型 La Niña
 (黑色实线区域为通过 0.05 显著性水平检验的区域)

Fig. 4 The composite maps of the relative vorticity anomalies (unit: 10^{-5} s^{-1})
 at 850 hPa during the two types of ENSO
 (a) SU El Niño, (b) AU El Niño, (c) SU La Niña, (d) AU La Niña
 (Black solid line indicates the area has passed the significance test at 0.05 level)

3.1.2 副高在夏、秋型 ENSO 期间的差异

利用 74 项环流指数中表征副高的指数,对比了在不同 ENSO 条件下,西北太平洋副高的变化特征,如表 5 所示。SU 型 El Niño 事件发生期间,平均副高面积指数、强度指数以及西伸脊点指数均大于 AU 型 El Niño 发生时,副高脊线、北界在 SU、AU 型 El Niño 期间差别较小,表明在 SU 型 El Niño 期间副高面积及强度均大于 AU 型。位置以 AU 型 El Niño 期间位置最西(图 5),在这种条件下,副高下沉气流从一定程度上抑制了 TC 的生成,强大的反气旋型环流系统将导致生成的 TC 沿着副高南侧移动,是 TC 移动路径整体偏南且登陆我国 TC 数量较少的一个主要原因;此外,副高的位置导致发生转向的 TC 相对较少,TC 消亡位置多集中于南海及其周边地区。在 SU 型 La Niña 期间副高面积与强度均小于 AU 型 La Niña 期间,副高脊线、北

界季西伸脊点基本一致。相比非 ENSO 期间,两种 El Niño 期间副高强度及面积均有不同程度增大,位置也较平均态偏西,而 SU 型与 AU 型 La Niña 期间副高位置偏东,强度较弱(图 5c、5d 中无明显的“588”线),西北太平洋西部地区基本不受副高控制,这可能是 TC 活动频数较多的一个有利因素。

3.1.3 夏、秋型 ENSO 期间的垂直风切异常

垂直风切变的变化也是影响 TC 活动的一个关键动力因素之一,对 SU 型与 AU 型 ENSO 持续时期的垂直风切变异常合成如图 6 所示:可以发现 SU 型 El Niño 与 AU 型 El Niño 发生期间,西北太平洋 TC 生成区域有较强的垂直风切变($140^{\circ}\sim 170^{\circ}\text{E}$ 附近),对 TC 的形成有一定的抑制作用,这可能是导致两个时期 TC 活动频次相对较少的一个原因,并且不利于东部区域生成的扰动加强转化为 TC。在 AU 型 El Niño 期间,西北太平洋中纬度地区存

表 5 1979—2016 年夏、秋型 ENSO 持续期间西太平洋副高指数

Table 5 Subtropical high (SH) indices in the SU and AU ENSO events from 1979 to 2016

	面积指数	强度指数	脊线位置/ $^{\circ}\text{N}$	北界位置/ $^{\circ}\text{N}$	西伸脊点位置/ $^{\circ}\text{E}$
SU El Niño	22.04	42.55	18.32	23.62	104.89
AU El Niño	20.70	40.58	17.59	22.30	100.13
SU La Niña	16.79	30.72	18.83	23.00	118.25
AU La Niña	17.49	34.92	18.61	22.80	117.51
常年平均	18.81	33.45	18.84	23.34	112.90

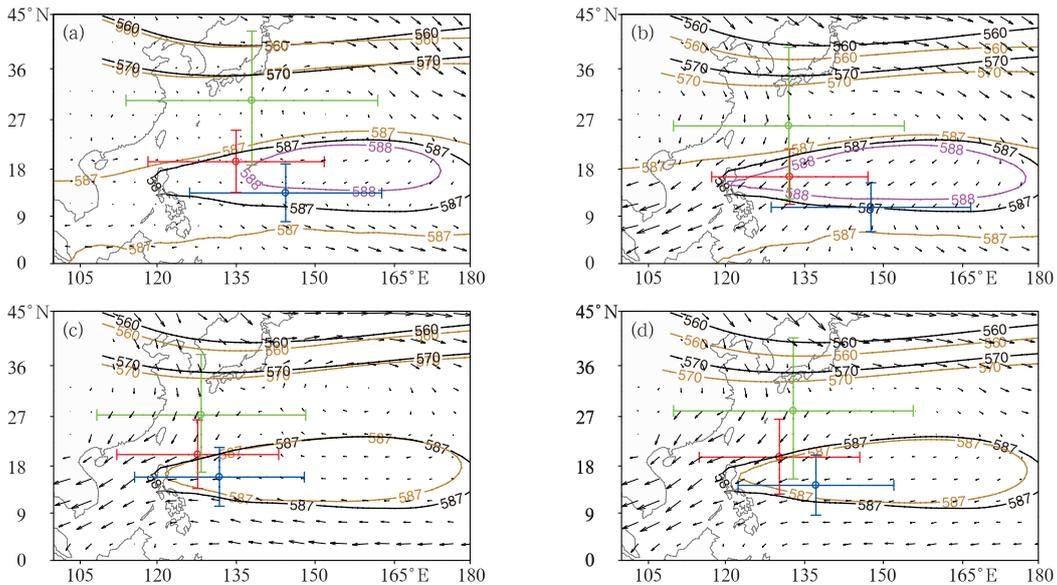


图 5 同图 4, 但为低层风场异常以及副高位置

(黑色实线为非 ENSO 事件期间平均位势高度,橙、粉色为夏、秋型 ENSO 期间的 500 hPa 位势高度,单位: dagpm)

Fig. 5 Same as Fig. 4, but for the wind field anomalies and the location of subtropical high

(Black solid line is the average geopotential height over 500 hPa in the neutral year; orange and pink solid lines are geopotential height during the two types of ENSO, unit: dagpm)

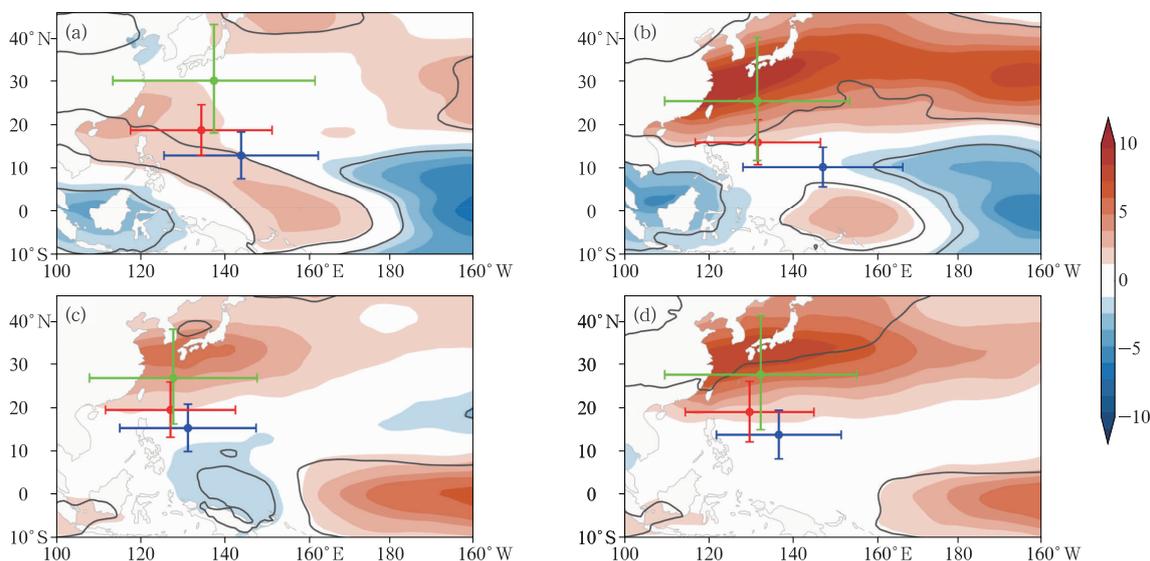


图 6 同图 4, 但为垂直风切变异常(单位: $m \cdot s^{-1}$)

Fig. 6 Same as Fig. 4, but for the vertical wind shear anomalies (unit: $m \cdot s^{-1}$)

在较强的垂直切变异常破坏了已形成 TC 的垂向结构, 加速 TC 消亡, 从而使得 TC 消亡位置主要集中于南海西部地区。而 AU 型 La Niña 和 SU 型 La Niña 事件发生时, 赤道中部太平洋地区垂直风切变相对较大, 导致 La Niña 期间 TC 活动位置整体偏西。

3.2 夏、秋型 ENSO 期间 SSTA 分布

热带地区温暖的洋面是 TC 获得能量的一个重要途径, 图 7 为海洋表面温度异常(SSTA)在不同季节形成的 ENSO 事件期间的分布情况, 不难发

现, 在 SU 型 El Niño 事件发生期间, 赤道中东太平洋地区 SSTA 为典型的 El Niño 模态, 中太平洋地区较高海温有利于海水蒸发, 为低层大气提供了充足的水汽, 大气对流活跃, 易于形成较多台风胚胎, 在赤道东风的作用下西移逐步发展成为 TC, AU 型 El Niño 期间 SSTA 强度相对较弱。在 SU 与 AU 型 El Niño 期间, TC 活动区域均有负的 SSTA, AU 型强度较大, 且 AU 型 El Niño 期间西北太平洋西岸基本呈现负的 SSTA, 对 TC 快速消亡有重要作用。而在 SU 型 La Niña 发生期间, 太平洋中东部

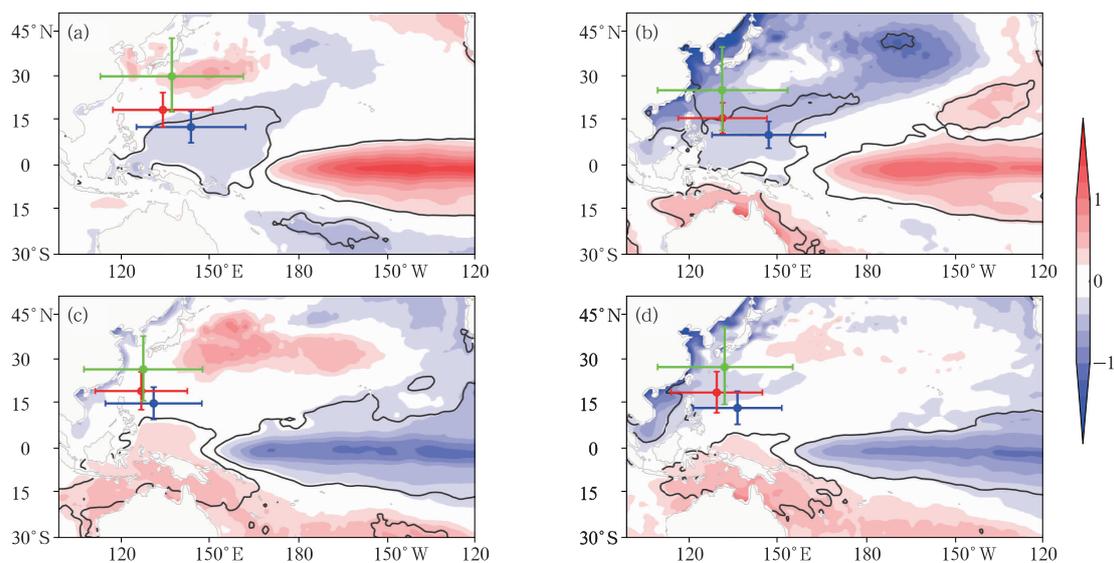


图 7 同图 4, 但为 SSTA(单位: $^{\circ}C$)

Fig. 7 Same as Fig. 4, but for the sea surface temperature anomalies (unit: $^{\circ}C$)

地区 SST 异常偏低,低层大气对流活动减弱,西太平洋低纬地区有正的 SSTA,低层大气对流活动加强,对 TC 生成有利,但太平洋西部边缘地区较大的 SST 梯度使得 TC 平均强度偏低;而 AU 型 La Niña 期间太平洋中部地区 SST 负异常相对较弱,TC 活动区域无明显的 SST 正异常。

3.3 小结

综上可知,在 SU 型 El Niño 期间(图 8a),赤道中太平洋地区正的 SST 异常利于海水蒸发,较多水汽进入大气,导致低层大气对流活跃,且低层有正的相对涡度异常,易于形成扰动(台风胚胎),同时叠加赤道中太平洋地区较弱的垂直风切变,并进一步在赤道东风的作用下向西移动发展形成 TC;但是在扰动向西北移动过程中,140°~160°E 地区增强的垂直风切变使得一定数量的扰动结构被破坏,除此之外,西北太平洋副高整体偏强,一定程度上会抑制台风胚胎进一步演化形成 TC,以至于最终生成的 TC 频数减少。但是相较而言,生成的 TC 在洋面有足够的空间和时间发展,故 SU 型 El Niño 期间生成的 TC 平均强度及持续时间较常年大。

AU 型 El Niño 期间(图 8b),TC 活动过程与 SU 型 El Niño 类似,TC 生成位置相对偏东,为 TC 发展提供了足够的能量,TC 活动区域 SST 梯度较小,促使 TC 平均强度以及持续时间进一步增大,这

也是 AU 型 El Niño 期间 TC 强度以及持续时间大于 SU 型的一个重要原因;此外,在 AU 型 El Niño 发生期间,副高较之 SU 型强且位置偏南,副高中心较强的下沉气流阻碍了 TC 的生成与移动路径,以至于 TC 频数相对较少,副高强大的反气旋结构结合低层异常东北风作用,使得 TC 活动沿着副高西南侧移动,故而使得登陆我国 TC 频数偏少。20°~40°N 地区增强的垂直风切变将会使得 TC 较快消亡,并叠加该地区异常的北风,部分北偏 TC 无法偏离较远距离,故 TC 消亡位置较之 SU 型偏西、偏南。

在 SU 型 La Niña 期间(图 8c),赤道中太平洋地区负的 SSTA 通常会减小海表面的海水蒸发,低层大气相对不如 El Niño 条件下活跃,同时,西北太平洋东南部地区较强的垂直风切变以及该地区负的相对涡度异常均不利于扰动的形成,以至于 SU 型 La Niña 期间在该地区形成的 TC 较少,而在西北太平洋西边界低纬地区,由于副高强度较弱,叠加西太平洋低纬地区正的 SSTA,增强了太平洋西部地区大气对流活动,同时副高偏东且强度较弱,所以, SU 型 La Niña 发生期间,TC 活动位置偏西, SST 梯度较大,TC 整体强度偏小,持续时间较短。

AU 型 La Niña 期间(图 8d)与 SU 型 La Niña 期间基本相似,但西北太平洋东南部地区相对涡度负异常较 SU 型弱,这对 AU 型 La Niña 期间月平均

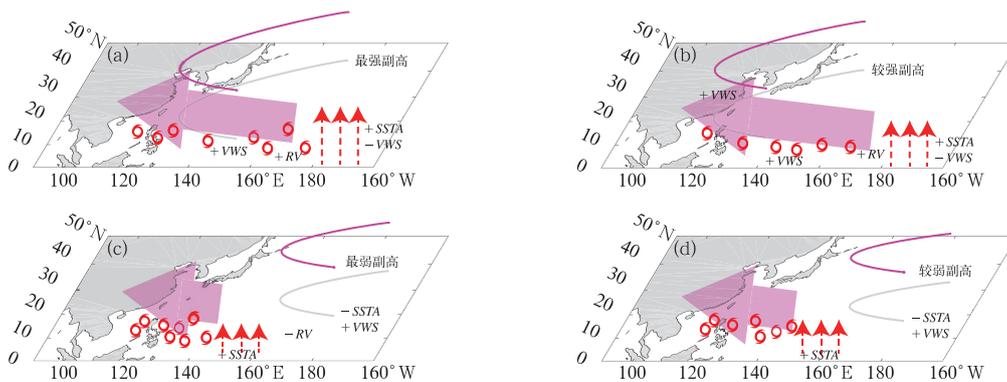


图 8 1979—2016 年 SU 与 AU 型 ENSO 事件期间 TC 活动示意图

(a)SU 型 El Niño, (b)AU 型 El Niño, (c)SU 型 La Niña, (d)AU 型 La Niña

(RV: 相对涡度, VWS: 垂直风切变, SSTA: 海表面温度异常,

“+”表示正异常, “-”表示负异常)

Fig. 8 Schematic diagram of TC activity during SU and AU type ENSO events from 1979 to 2016

(a) SU El Niño, (b) AU El Niño, (c) SU La Niña, and (d) AU La Niña

(RV: relative vorticity, VWS: vertical wind shear, SSTA: sea surface temperature anomaly,

“+” indicating the positive anomaly, and “-” indicating the negative anomaly)

TC 活动频次较 SU 型多有较大贡献,同时,大气垂直风切变也较 SU 型 La Niña 弱,故 TC 平均强度以及平均持续时间也较之偏大。

4 结论与讨论

本文利用 1979—2016 年西北太平洋 TC 活动最佳路径资料,分析了近 38 年西北太平洋 TC 活动特征,主要得出以下结论:

(1) 近 38 年西北太平洋 TC 频数减少,年累积 PDI 的变化由 TC 强度以及持续时间主导;平均 PDI 与 ENSO 有较好的相关性,ENSO 循环对西北太平洋 TC 活动有较大影响。

(2) AU 型 El Niño 发生时,TC 频数最少,平均强度以及持续时间最大,Super TY 活动所占比重最大,生成位置整体偏东,但登陆我国的 TC 数量相对较少;SU 型 El Niño 期间,TC 频数较 AU 型 El Niño 多,强度及持续时间较之偏小,以 STY 生成频数最多,生成位置相对 AU 型偏西,其中登陆我国的以 STS、TY 以及 TS 为主。

(3) 在 SU 型 La Niña 发生时,平均强度、持续时间最小,频数相对较多,生成位置整体偏西,以低等级 TC 活动为主,且每次事件登陆我国 TC 数量较多,以 TD、TY 以及 STS 居多;而在 AU 型 La Niña 期间,TC 活动位置较 SU 型 La Niña 期间略微偏东,平均月频数最大,TC 强度、持续时间均大于 SU 型 La Niña,但小于 SU 与 AU 型 El Niño 期间的,较强等级 TC 活动频数也多于 SU 型 La Niña 期间,且登陆我国的多以 TS、STS 及 TY 为主。

(4) SU 型 El Niño 期间,西北太平洋低纬度地区较强的相对涡度正异常、相对较弱的垂直风切变以及中太平洋地区较强的 SSTA 为 TC 频数多于 AU 型 El Niño 提供了有利条件;而在 AU 型 El Niño 发生时,TC 活动区域较小的 SST 梯度以及跨越经纬度范围较大是 Super TY 活动较 SU 型频繁的主要原因,副高的西伸是导致 TC 登陆我国频次减少的重要因素。

(5) 当 SU 型 La Niña 发生时,TC 活动区域副高与垂直风切变较弱使得 TC 频数偏多,但 SST 梯度较大对 TC 强度偏弱有较大贡献;AU 型 La Niña 期间,太平洋中部地区相对涡度负异常以及 SSTA 较 SU 型小,较弱的相对涡度负异常以及垂直风切变为较高等级 TC 活动提供了可能。

需要指出的是,在夏、秋季型 ENSO 事件发生期间,低层相对涡度异常、副高强度及位置变化、垂直风切变异常、SSTA 及低层风场异常等均有一定差异,多个影响条件相互叠加是导致在不同 ENSO 事件期间 TC 活动多样性的主要原因,且除 SSTA 外,上层海洋热含量,水汽通量等对西北太平洋 TC 活动也有一定影响。此外,太平洋西边界岛链在 TC 活动过程中起到了较大的阻碍作用,La Niña 期间 TC 活动强度较弱、持续时间较短的一个重要原因就是受到太平洋西边界的影响,还未能完全发展成成熟的 TC 活动经过太平洋西边界下垫面摩擦使得强度减弱,TC 没有足够的发展空间,以至于强度及持续时间整体偏低。

致谢: 广东海洋大学南海海洋气象研究院徐建军教授对研究的指导。

参考文献

- 曹智露,胡邦辉,杨修群,等,2013. ENSO 事件对西北太平洋热带气旋影响的分级研究[J]. 海洋学报,35(2):21-34. Cao Z L, Hu B H, Yang X Q, et al, 2013. Research on the effects of the ENSO on tropical cyclone activity of different grades over the western North Pacific[J]. Acta Oceanol Sin, 35(2):21-34(in Chinese).
- 冯涛,黄荣辉,陈光华,等,2013. 近年来关于西北太平洋热带气旋和台风活动的气候学研究进展[J]. 大气科学,37(2):364-382. Feng T, Huang R H, Chen G H, et al, 2013. Progress in recent climatological research on tropical cyclone activity over the western North Pacific[J]. Chin J Atmos Sci, 37(2):364-382(in Chinese).
- 靳甜甜,2014. 西北太平洋强台风频数与 ENSO 年际联系的年代际变化机理研究[D]. 南京:南京信息工程大学. Jin T T, 2014. Study of mechanisms for the inter-decadal variation of the relationship between the frequency of northwest Pacific intense TC and ENSO[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology(in Chinese).
- 孙冷,2011. 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,37(8):929-935. Sun L, 2011. Analysis of features and causation for tropical cyclone activities over the western North Pacific in 2010[J]. Meteor Mon, 37(8):929-935(in Chinese).
- 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 H, Ding Y H, He J H, 2006. Influence of western North Pacific summer monsoon changes on typhoon genesis[J]. Acta Meteor Sin, 64(3):345-356(in Chinese).
- 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 J, Ke Z J, Jiang J X, 2009. Analysis of tropical cyclone over the western North Pacific in 2008[J]. Meteor Mon, 35(12):44-50(in Chinese).

- 杨桂山,施雅风,1999. 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,54(1):22-29. Yang G S, Shi Y F, 1999. Changes in the frequencies of tropical cyclones and their relationships to sea surface temperature in the northwestern Pacific[J]. Acta Geogr Sin,54(1):22-29(in Chinese).
- 殷明,肖子牛,李崇银,等,2016. 2015 年西北太平洋热带气旋活动特征及强 El Niño 现象对其影响的初步分析[J]. 气象,42(9):1069-1078. Yin M, Xiao Z N, Li C Y, et al, 2016. Analysis on features of tropical cyclone activities over the western North Pacific in 2015 and their variations associated with strong El Niño [J]. Meteor Mon,42(9):1069-1078(in Chinese).
- 赵雪,庞海龙,李希茜,等,2008. 1997 年影响南海的热带气旋异常活动特征及成因分析[J]. 热带海洋学报,27(1):11-15. Zhao X, Pang H L, Li X X, et al, 2008. Abnormal incident analysis of tropical cyclones influencing South China Sea in 1997[J]. J Trop Oceanogr,27(1):11-15(in Chinese).
- Camargo S J, Emanuel K A, Sobel A H, 2007. Use of a genesis potential index to diagnose ENSO effects on tropical cyclone genesis [J]. J Climate,20(19):4819-4834.
- Camargo S J, Sobel A H, 2005. Western North Pacific tropical cyclone intensity and ENSO[J]. J Climate,18(15):2996-3006.
- Chan J C L, 1995. Tropical cyclone activity in the western North Pacific in relation to the stratospheric quasi-biennial oscillation[J]. Mon Wea Rev,123(8):2567-2571.
- 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(16):2960-2972.
- Emanuel K, 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years[J]. Nature,436(7051):686-688.
- Huang B Y, Banzon V F, Freeman E, et al, 2015. Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST. v4). Part I: upgrades and intercomparisons[J]. J Climate,28(3):911-930.
- Lin I I, Chan J C L, 2015. Recent decrease in typhoon destructive potential and global warming implications[J]. Nat Commun, 6:7182.
- Ling Z, Wang G H, Wang C Z, 2015. Out-of-phase relationship between tropical cyclones generated locally in the South China Sea and non-locally from the northwest Pacific Ocean[J]. Climate Dyn,45(3/4):1129-1136.
- Liu W, Huang B Y, Thorne P W, et al, 2015. Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST. v4): Part II. Parametric and structural uncertainty estimations[J]. J Climate,28(3):931-951.
- Paterson L A, Hanstrum B N, Davidson N E, et al, 2005. Influence of environmental vertical wind shear on the intensity of hurricane-strength tropical cyclones in the Australian Region[J]. Mon Wea Rev,133(12):3644-3660.
- Simmons A, Uppala S, Dee D, et al, 2007. ERA-interim: new ECMWF reanalysis products from 1989 onwards[J]. ECMWF Newsletter,110:25-35.
- Sobel A H, Maloney E D, 2000. Effect of ENSO and the MJO on western North Pacific tropical cyclones[J]. Geophys Res Lett, 27(12):1739-1742.
- Wang X D, Liu H L, 2016. PDO modulation of ENSO effect on tropical cyclone rapid intensification in the western North Pacific[J]. Climate Dyn,46(1-2):15-28.
- Welker C, Faust E, 2013. Tropical cyclone-related socio-economic losses in the western North Pacific region [J]. Nat Hazards Earth Syst Sci,13(1):115-124.
- Xu J J, Chan J C L, 2001. The role of the Asian-Australian monsoon system in the onset time of El Niño events[J]. J Climate, 14(14):418-433.
- Xu S B, Huang F, 2015. Impacts of the two types of El Niño on Pacific tropical cyclone activity[J]. J Ocean Univ China,14(2):191-198.
- Yang Y X, Xie R H, Wang F M, et al, 2016. Impacts of decaying eastern and central Pacific El Niños on tropical cyclone activities over the western North Pacific in summer[J]. Theor Appl Climatol,125(1/2):175-185.
- Ying M, Zhang W, Yu H, et al, 2014. An overview of the china meteorological administration tropical cyclone database[J]. J Atmos Oceanic Technol,31(2):287-301.