

60 年来西北太平洋上不同强度热带气旋的变化特征^{*}

袁金南 林爱兰 刘春霞
YUAN Jinnan LIN Ailan LIU Chunxia

中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广州, 510080

Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080, China

2006-12-29 收稿, 2007-06-18 改回.

Yuan Jinnan, Lin Ailan and Liu Chunxia. 2008. Change characters of tropical cyclones with different intensities over the western North Pacific during the last 60 years. *Acta Meteorologica Sinica*, 66(2): 213–223

Abstract The best track data of tropical cyclones provided by the Joint Typhoon Warning Center (JTWC) of USA navy over the western North Pacific including the South China Sea from 1945 to 2005 were employed to analyze the temporal-spatial variations of tropical cyclones with different intensities. Most tropical cyclones with different intensities occurred in the area from the northern part of the South China Sea to the eastern part of the Bashi Channel near 140°E or from 15°N to 25°N, and most severe typhoons and super typhoons occurred in the sea area from the eastern part of the Bashi Channel to about 140°E. The tropical cyclones in a weakening or steady state occupied a weaker majority in the area west of 123°E. The majority of tropical cyclones were in an intensifying or steady state in the area east of 123°E or south of 20°N, and in a weakening or steady state in the area north of 20°N. The average decaying rates for severe tropical storms, typhoons, severe typhoons, and super typhoons were all greater than the average growing rates, respectively, but the average decaying rate for tropical storms was smaller than the average growing rate. Generally speaking, the stronger the tropical cyclone, the faster the intensification (weakening). Compared with the other months in one year, the percentage of weak tropical cyclones was higher in June to August while in September to November the percentage of strong tropical cyclones was higher. There were the annual, interannual or interdecadal variations of the observation number (every 6-hour) and frequency of tropical cyclones with different intensities. As far as long-term trend was concerned, the frequency and observation number of tropical storms showed a significantly linearly increase trend, but the mean intensity of tropical cyclones and the numbers of the tropical cyclones of other intensity categories did not exhibit any significantly linear increasing or decreasing tendency. In El Niño years, the number and ratio of super typhoons were significantly more, while the total number of tropical storms, severe tropical storms, typhoons and severe typhoons was significantly less, and the mean intensity of tropical cyclones was significantly stronger; however in La Nina years the opposite was true.

Key words Tropical cyclone, Intensity, Frequency, Temporal-spatial variation, Western North Pacific

摘 要 利用美国海军联合台风警报中心(JTWC)提供的 1945—2005 年西北太平洋热带气旋(TC)最佳路径资料统计分析不同强度 TC 的时空变化特征。南海北部至巴士海峡以东 140°E 附近、15°—25°N 范围内为不同强度 TC 出现次数最多的区域,其中巴士海峡东部至 140°E 附近洋面为强台风和超级台风观测次数最多的区域。TC 强度在 123°E 以西表现为减弱和稳定略占多数,而在 123°E 以东或 20°N 以南主要以增强和稳定为主,在 20°N 以北主要以减弱和稳定为主。热带风暴的平均增强率大于减弱率,而强热带风暴、台风、强台风和超级台风的平均减弱率大于增强率。一般而言,TC 的强度越强其加强和减弱的速度都越快。在 1 年当中,同其他月份相比,6—8 月弱 TC 占的比例相对偏多,而 9—11 月强 TC 占的比例相对偏多。不同强度 TC 的观测次数和个数都存在年、年际或年代际的变化,在长期趋势上,热带风暴的观测次数和形成个数都呈现显著的线性递增趋势,而 TC 平均强度和其他 TC 个数均未出现显著的线性递增或递减趋势。在 El Niño 年超级台风个数及其比例

^{*} 资助课题:广东省科技计划项目(2005B32601007)。

作者简介:袁金南,主要从事热带气旋和海洋气象研究。E-mail: yuanjn@grmc.gov.cn

显著偏多,而热带风暴、强热带风暴、台风和强台风的总个数显著偏少,TC 平均强度显著偏强;而在 La Nina 年情况相反。

关键词 热带气旋,强度,频数,时空变化,西北太平洋

中图法分类号 P447

1 引言

西北太平洋是全球热带气旋(TC)生成最多的海域,平均每年生成的 TC 有 20 多个,约占全球 TC 生成总数的 1/3,同时该海域也是唯一全年各月可以观测到 TC 发生的区域。中国濒临西北太平洋,是世界上受 TC 影响最严重的国家之一。TC 伴随的狂风、暴雨和风暴潮等气象灾害经常给沿海地区的国民经济和人民生命财产造成重大损失。

近些年来,人们对 TC 的活动规律和气候学特征等进行过不少研究(陈光华等,2006)。有研究表明,TC 活动有季节、年际和年代际的变化特征(Liebmann B 等,1994;Chan J C L 等,1996;Ho C H 等,2004;黄荣辉等,2007)。还有研究表明,在全球变暖的气候背景下热带风暴的生成、路径和强度在发生变化(Knutson T R 等,1998;Chan J C L 等,2004;Wu Liguang 等,2004;Emanuel K, 2005;Webster P J 等,2005)。近 10 年来中国许多学者在 TC 移动路径、强度变化、结构特征、登陆过程以及 TC 与其他系统相互作用等方面做了大量的研究工作(陈联寿等,2001,2004;雷小途等,2001;Chen Lianshou 等,2004;王金博等,2005)。在西北太平洋 TC 强度的气候变化特征方面,余晖等(2002)采用 35 a 的 TC 资料分析了西北太平洋 TC 强度变化的年代际、年际、月际、日变化和区域分布的基本特征。李爱平等(2006)采用 1970—2004 年西北太平洋 TC 资料分析 TC 强度变化时发现,大致在 20 世纪 70 年代和 90 年代 TC 强度有下降趋势,而在 20 世纪 80 年代 TC 强度有缓慢上升趋势,同时发现 TC 平均强度在厄尔尼诺年略偏强,而在拉尼娜年平均强度略偏弱。于玉斌等(2006)对 1949—2003 年西北太平洋 TC 强度变化进行统计分析时发现,南海北部和菲律宾以东洋面是增强 TC 频数的高值区。目前为止,有关 TC 强度的研究,虽然取得了一些进展,但仍然相对比较滞后(端义宏等,2005;陈光华等,2005)。过去对 TC 强度的研究多集中在强度突变和变化及机理方面,而针对不同强度 TC 的变化规律还没有进行过细致的分析。

本文将采用 1945—2005 年西北太平洋的 TC 资料,针对不同强度 TC 的空间分布、时间变化等进行深入分析。

2 资料和方法

本文所用的资料来自美国海军联合台风警报中心 JTWC(Joint Typhoon Warning Center)提供的西北太平洋 TC 最佳路径数据(https://metoc.npmoc.navy.mil/jtwc/best_tracks),时段为 1945—2005 年,范围包括整个西北太平洋和南海地区(若为本区域,下文将不作特别说明)。TC 最佳路径资料包括 TC 每隔 6 h 观测(简称为观测)的位置经度和纬度、中心附近最大风速(简称为最大风速)等。根据中国 2006 年 6 月新实施的 TC 等级标准,TC 按照最大风速分为热带低压(简称 TD)、热带风暴(简称 TS)、强热带风暴(简称 STS)、台风(简称 TY)、强台风(简称 STY)和超级台风(简称 SuperTY)6 个等级(表 1)。TC 最佳路径资料中包含了所有能达到 TS 强度的 TC 资料,而那些始终达不到 TS 强度的 TD 资料很少,由于 TD 资料不够完整,因此文中讨论的 TC 没有包括 TD 等级。1945—2005 年的 TC 资料总共包括 1555 个样本,其中自 20 世纪 70 年代有卫星观测以后的 TC 资料相对比较准确,而在此前 TC 资料的代表性可能差一些。在有卫星观测以后,不同的 TC 资料源之间也会存在一定的差异(余晖等,2006),本文中并没有去讨论资料的准确性和代表性问题。ENSO 指数采用日本气象厅(JMA)提供的数据(<http://www.coaps.fsu.edu/products/jma-index.php>)。

表 1 TC 等级划分

Table 1 Partitions of tropical cyclone category

等级	风速(m/s)
TD	10.8—17.1
TS	17.2—24.4
STS	24.5—32.6
TY	32.7—41.4
STY	41.5—50.9
SuperTY	≥51.0

本文采用了统计和小波分析等方法,小波分析主要用来揭示时间序列中的局部特征。为了研究两个变量之间的关系,文中采用了 Pearson 相关系数。

3 不同强度 TC 的空间分布

图 1 给出了 61 a 间 TS、STS、TY、STY 和 SuperTY 在 $5^\circ \times 5^\circ$ 经纬度网格内的观测次数。可以看到,TS 和 STS 出现次数最多的区域基本位于南海北部地区,该地区由于本地形成和西北太平洋西移

过来的 TS 和 STS 均比较多,所以成了 TS 和 STS 出现最多的区域;TY 出现次数最多的区域位于南海北部至巴士海峡东部一带;STY 和 SuperTY 出现次数最多的区域主要位于巴士海峡以东至 140°E 附近洋面,该洋面有暖的海表温度和弱的垂直切变等有利于 TC 发展和加强的环境条件,而在低纬度地区 TC 刚刚形成来不及充分发展,在中高纬度地区又因为海表温度比较低、垂直切变比较强都不利于 TC 发展和加强(Yuan Jinnan 等,2007)。

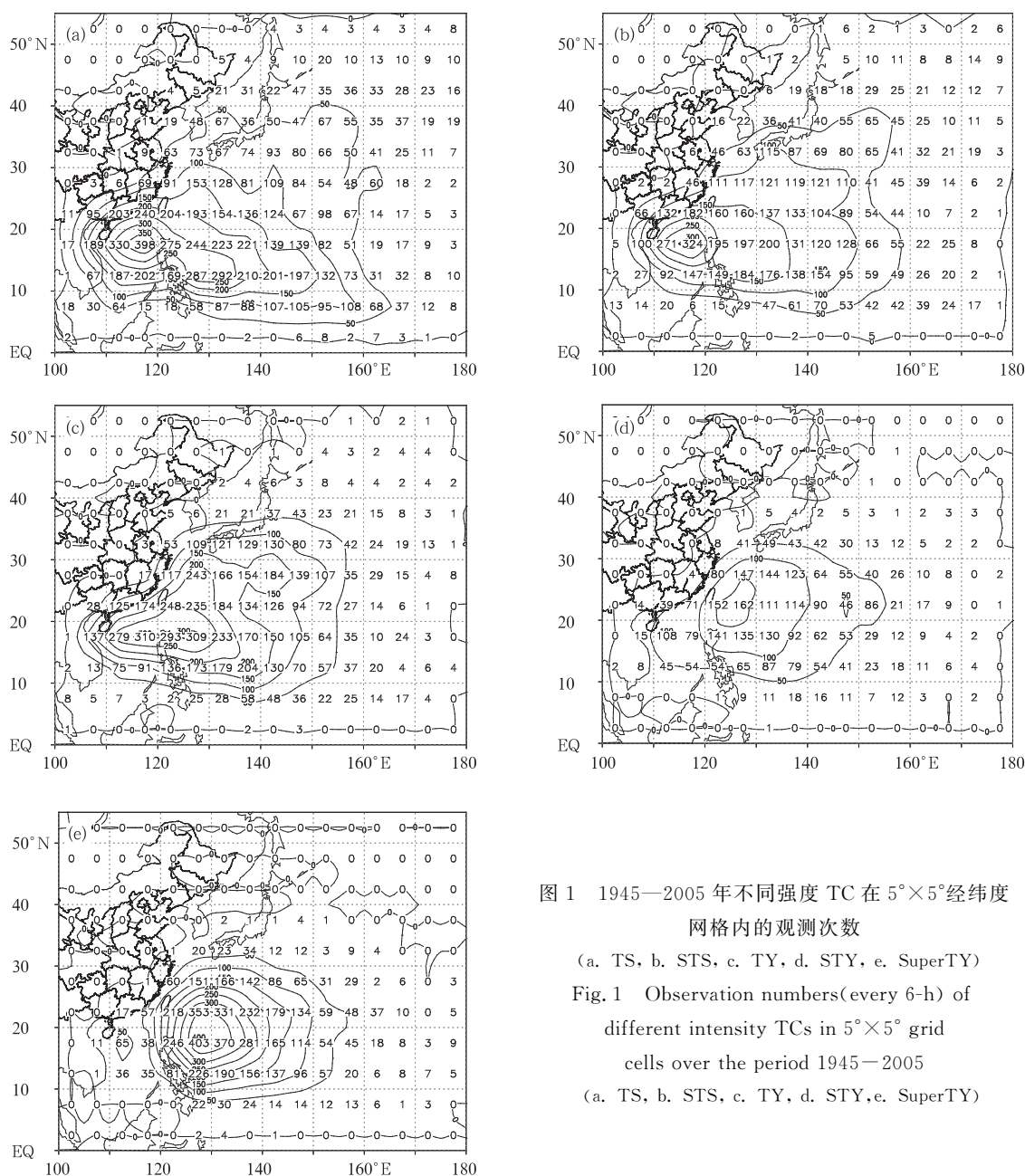


图 1 1945—2005 年不同强度 TC 在 $5^\circ \times 5^\circ$ 经纬度网格内的观测次数

(a. TS, b. STS, c. TY, d. STY, e. SuperTY)

Fig. 1 Observation numbers (every 6-h) of different intensity TCs in $5^\circ \times 5^\circ$ grid cells over the period 1945—2005

(a. TS, b. STS, c. TY, d. STY, e. SuperTY)

图2给出了1945—2005年不同强度TC的观测次数随经向和纬向的分布。从经向分布来看,TS、TY、STY和SuperTY观测次数随经度变化的最大峰值位于 $125^{\circ}\text{--}130^{\circ}\text{E}$,而STS观测次数随经度变化的最大峰值位于 $130^{\circ}\text{--}135^{\circ}\text{E}$,其中 $125^{\circ}\text{--}135^{\circ}\text{E}$ 是不同强度TC观测次数最多的区间,从该区间向东及向西观测次数都在逐渐减小(图2a)。从纬向分布来看,TS、STS、TY和SuperTY观测次数随纬度变化的最大峰值位于 $15^{\circ}\text{--}20^{\circ}\text{N}$,而STY观测次数随纬度变化的最大峰值位于 $20^{\circ}\text{--}25^{\circ}\text{N}$,其中 $15^{\circ}\text{--}25^{\circ}\text{N}$ 是不同强度TC观测次数最多的区间,从该区间向南及向北观测次数都在逐渐减小(图2b)。以上TC观测次数随经向和纬向的分布特征跟西北太平洋的海陆分布、海表温度分布、TC形成

位置及其移动、副热带高压和大气垂直切变的分布等众多因素有关。另外,还可以看到TS在经向或纬向上的观测次数基本上大于STS的观测次数,而STS在经向或纬向上的观测次数又基本上大于STY的观测次数。

为了分析TC强度的变化趋势或变化率,采用了下一时刻观测的TC最大风速减去当前时刻(间隔为6h)观测的TC最大风速,然后除以时间间隔6h来表示TC的强度变化趋势或变化率。当为负值时,表示TC正在减弱,其值为减弱率;为0时,表示TC处于稳定阶段;正值时,表示TC正在增强,其值为增强率。图3给出了TC减弱、稳定和增强随经度和纬度的百分比分布。可以看出,TC强度大约在 123°E 以西表现为减弱和稳定略占多数,而在 123°E

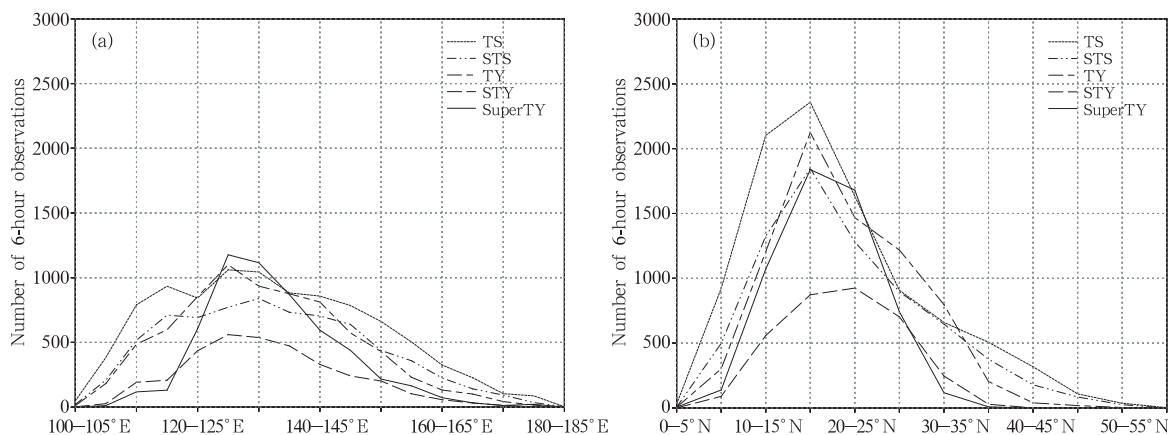


图2 1945—2005年TS、STS、TY、STY和SuperTY观测次数随每隔 5° 经度(a)和每隔 5° 纬度(b)的变化
Fig. 2 Variations of the observation numbers (every 6-h) of TS, STS, TY, STY, and SuperTY with (a) longitude and (b) latitude (5° grid distance) over the period 1945—2005

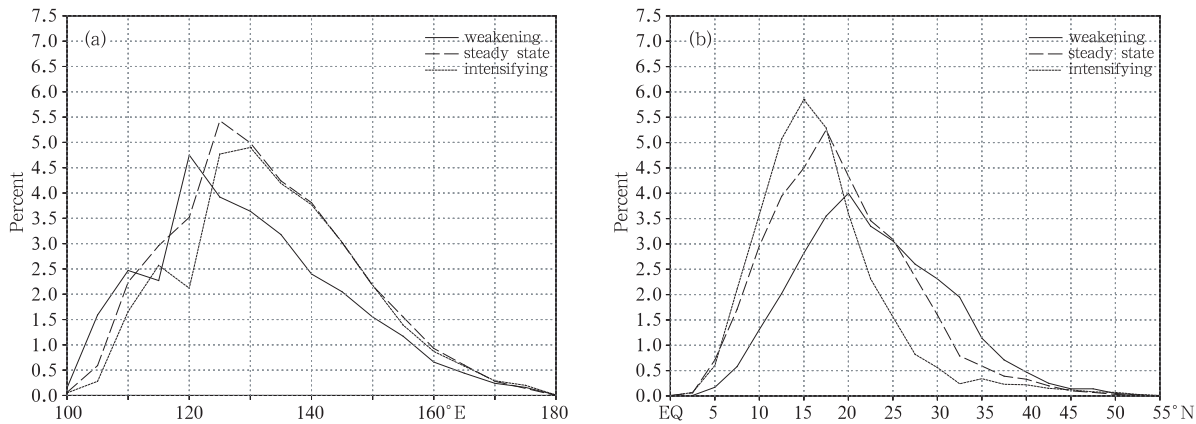


图3 1945—2005年观测TC的增强趋势随经度(a)和纬度(b)的百分比分布
Fig. 3 Longitudinal (a) and latitudinal (b) percentage distributions of the 6-h intensifying tendencies of TCs observed during the period 1945—2005

以东主要以增强和稳定为主(图 3a);在 123°E 以西很多 TC 由于登陆或受陆地影响,所以减弱或稳定的百分比要大于增强的百分比,而在 123°E 以东属于广阔的洋面,有利于 TC 的增强和维持。另外,TC 强度大约在 20°N 以北以减弱和稳定为主,而在 20°N 以南以增强和稳定为主(图 3b);在西北太平洋 20°N 以南有暖的洋面和弱的垂直切变等有利于 TC 维持或增强的环境条件,而在 20°N 以北的海表温度在逐渐降低、垂直切变在加强,则不利于 TC 增强。

图 4 为减弱、稳定和增强状态下不同强度 TC 的观测百分比。可以看到,在减弱、稳定和增强状态下从 TS 到 STS 的观测百分比都在减小,而从 STY 到 SuperTY 的观测百分比都在增加,其中 STY 的观测百分比在所有强度 TC 中都最小;在减弱状态下,TS、STS、TY 和 SuperTY 的观测百分比相差不大;在稳定状态下,TS 的观测百分比最大,而 STY 和 SuperTY 的观测百分比相对比较小;在增强状态下,从 TS 到 STY 的观测百分比逐渐减小,而 SuperTY 的观测百分比仅稍大于 STY 的观测百分比。

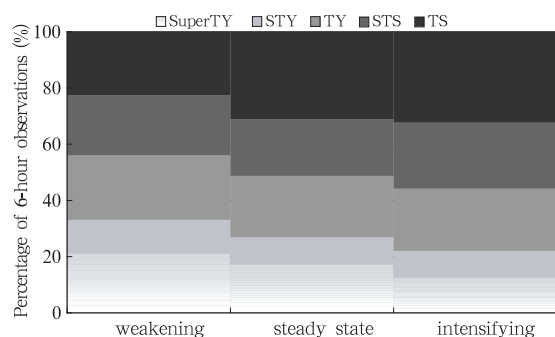


图 4 1945—2005 年减弱、稳定和增强状态下不同强度 TC 的观测百分比

Fig. 4 Percentages of observed TS, STS, TY, STY, and SuperTY in weakening, steady, and intensifying states over the period 1945—2005

从 1945—2005 年不同强度 TC 在减弱、稳定和增强状态下的观测百分比(图 5)。可以看到,TS 和 TY 都是在稳定状态下的观测百分比最大,在减弱状态下的观测百分比最小;STS 在增强状态下的观测百分比最大,在减弱状态下的观测百分比最小,而 STY 和 SuperTY 正好与此相反;这表明 STS 增强的比例大,而 STY 和 SuperTY 减弱的比例大。除了 STS 的增强率略小于 TS 的增强率以外,其他

TC 的增强率表现为随着强度增强而增大,这表明除 STS 以外 TC 强度越强其增强速度越快。另外,TC 的减弱率也表现为随着强度增强而增大,这表明 TC 强度越强其减弱速度也越快。因此,一般 TC 的强度越强其加强和减弱的速度都越快,其中除了 TS 的增强率大于减弱率以外,STS-SuperTY 都是减弱率大于增强率。



图 5 1945—2005 年不同强度 TC 在减弱、稳定和增强状态下的观测百分比

(括号中的数据为平均增强率或减弱率)

Fig. 5 Percentages of weakening, steady, and intensifying states for different intensity TCs over the period 1945—2005

(Mean intensifying/weakening rates are shown in parentheses)

4 不同强度 TC 频数的时间变化

1945—2005 年不同强度 TC 累计日观测次数从 4 月 1 日到 12 月 31 日的变化采用 5 d 滑动平均后如图 6 所示。可以看到,在一年当中 TC 最活跃的时期在 7—10 月;TS 日观测次数最多的时期主要位于 8 月初至 9 月中旬;STS 和 TY 日观测次数最多的时期主要位于 8 月中旬至 9 月中旬;STY 日观测次数最多的时期主要位于 9 月;SuperTY 日观测次数最大峰值出现在 8 月底至 9 月初,另一峰值出现在 10 月中旬。不同强度 TC 的日观测次数在最大峰值之前基本上呈现出波动性的增加,在最大峰值之后基本上呈现出波动性的减小。

从 1945—2005 年 4—12 月不同强度 TC 的观测百分比(图 7)可以看到,在 4—12 月不同强度 TC 的观测百分比有所不同,各月中 TS—STS 的观测次数基本占 50% 左右,而 TY—SuperTY 的观测次数也基本占 50% 左右;其中在 9—11 月 TS—STS 所占比例略小于 50%,而在其他月份 TS—STS 所占比例略超过 50%;在 6 月 TS—STS 所占比例最

高(为 56.3%),而在 10 月 TS—STS 所占比例最低(为 44.4%)。在 6—8 月 TS—STS 占的比例较其他月份占的比例要相对偏多,而在 9—11 月 TY—SuperTY 所占的比例要相对偏多。对不同强度 TC 而言,各月 TS 占的比例都最大,而 STY 占的比例都最小。STS 和 TY 在各月份占的比例相差不大;STY 在 10 月占的比例最高(为 12.5%),而在 5 月占的比例最低(7.6%);SuperTY 在 11 月占的比例最高(为 25.1%),在 6 月占的比例最低(为 11.9%)。

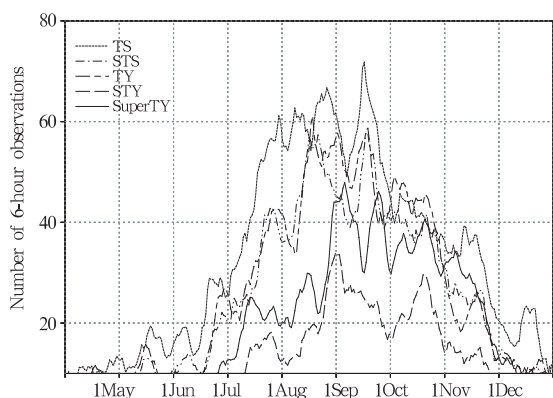


图 6 1945—2005 年不同强度 TC 的日观测次数
Fig. 6 Observation number (every 6-h) of different intensity TCs for each day over the period 1945—2005

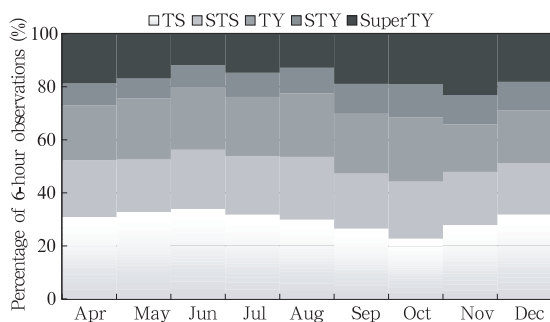


图 7 4—12 月不同强度 TC 的观测百分比
Fig. 7 Percentages of observed different intensity TCs from April to December

从 1945—2005 年不同强度 TC 观测次数的年际变化(图 8)可以看到,在 1945—1995 年 TS 的年观测次数呈显著线性增加趋势,而在 1995 年以后 TS 的年观测次数有较明显的减少,这主要跟 1995 年以后 TS 的生命期明显缩短有关。61 a TS 的观测次数整体上呈显著线性增加趋势,年观测次数和趋势线的相关系数为 0.29,达到 5%的显著水平(p -

值为 0.02)。STS、TY、STY 和 SuperTY 的年观测次数没有呈现出显著的线性增减趋势。在 20 世纪 60 年代中期至 90 年代中期为 STS 观测次数偏多期,而其他时期为 STS 观测次数偏少期。在 20 世纪 50 年代至 60 年代为 SuperTY 观测次数偏多期,而在 20 世纪 70 年代至 80 年代为 SuperTY 观测次数偏少期。

不同强度 TC 的观测次数存在着年、年际或年代际的变化。TS 观测次数主要存在年变化和周期为 18 a 左右的年代际变化;STS 观测次数主要存在年变化和周期为 50 a 左右的年代际变化;TY 观测次数主要存在年变化、周期为 2—3 a 的年际变化和周期为 30 a 左右的年代际变化;STY 观测次数主要存在年变化、周期为 2—6 a 的年际变化和周期为 18 a 左右的年代际变化;SuperTY 观测次数主要存在年变化和周期为 38 a 左右的年代际变化(图 9)。

TS 的形成个数平均每年为 4.3 个,1945—2005 年 TS 形成个数随年份呈显著线性增加趋势,形成个数与趋势线的相关系数为 0.36,达到 5%的显著水平(p -值为 0.004)。STS、TY、STY 和 SuperTY 的形成个数平均每年分别为 4.3、5.0、3.0 和 9.0 个,STS、TY、STY 和 SuperTY 的形成个数随年份没有呈现出显著的线性增减趋势,其中 STY 的形成个数随年份略呈非显著的线性增加趋势,而 SuperTY 的形成个数随年份略呈非显著的线性减少趋势(图 10)。同时,不同强度 TC 的形成个数基本上存在着跟 TC 观测次数大致类似的年、年际或年代际的变化(图略)。

采用每 6 h 观测到的 TC 最大风速可以求得 TC 最大风速的年平均值。结果发现,1945—2005 年 TC 年平均最大风速有明显的年际和年代际的变化,TC 多年平均最大风速为 35.0 m/s。在 20 世纪 50 年代初期至 70 年代初期为 TC 年平均最大风速的明显偏大期,而在 20 世纪 70 年代初期至 80 年代中期为 TC 年平均最大风速的明显偏小期(图略)。1945—2005 年 TC 年平均最大风速与 ENSO 指数存在显著正相关,相关系数为 0.274,达到 5%的显著水平(p -值为 0.033),这表明 TC 平均强度在 El Niño 年显著偏强,而在 La Niña 年显著偏弱。另外,平均最大风速随年份有弱的线性减弱趋势,同样

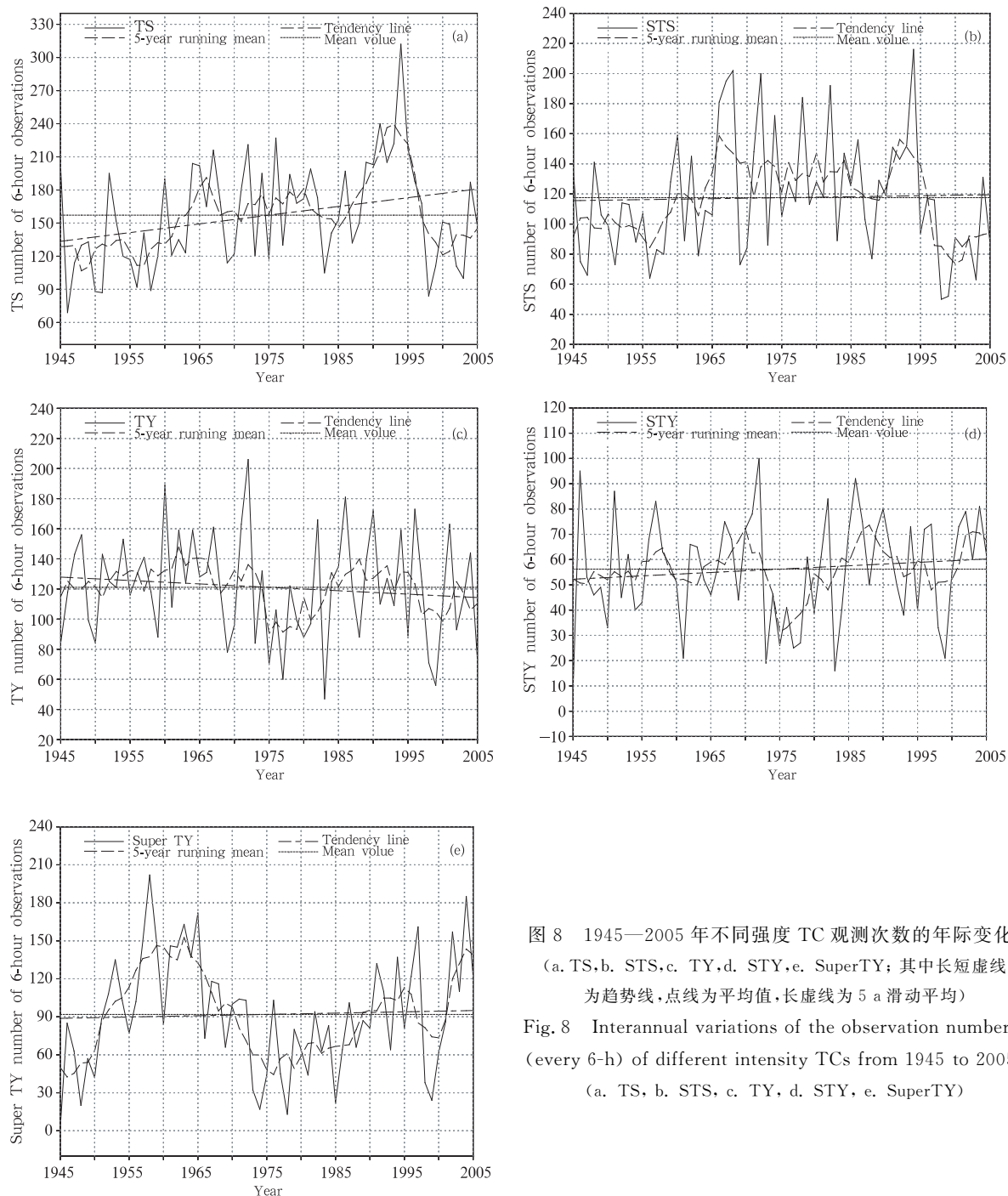


图8 1945—2005年不同强度TC观测次数的年际变化
(a. TS, b. STS, c. TY, d. STY, e. SuperTY; 其中长短虚线
为趋势线, 点线为平均值, 长虚线为5 a滑动平均)

Fig. 8 Interannual variations of the observation numbers
(every 6-h) of different intensity TCs from 1945 to 2005
(a. TS, b. STS, c. TY, d. STY, e. SuperTY)

SuperTY的形成个数也呈现出弱的线性减小趋势(图10e),这说明TC的平均强度和SuperTY个数并未随着全球气候变暖呈现出显著的线性递增现象。

西北太平洋不同强度TC的年形成个数跟ENSO指数存在一定的相关(表2)。TS—STY的年形成总个数跟ENSO指数存在显著的负相关,相关系数为 -0.265 ,达到5%的显著水平(p -值为 0.039);

SuperTY个数跟ENSO指数存在显著正相关,相关系数为 0.388 ,达到5%的显著水平(p -值为 0.002); SuperTY个数比(即占TC总个数的比例)跟ENSO指数存在显著正相关,相关系数为 0.397 ,达到5%的显著水平(p -值为 0.002)。然而,西北太平洋TC总个数跟ENSO指数相关不显著。另外,TS—STY总个数跟SuperTY个数之间存在显著负相

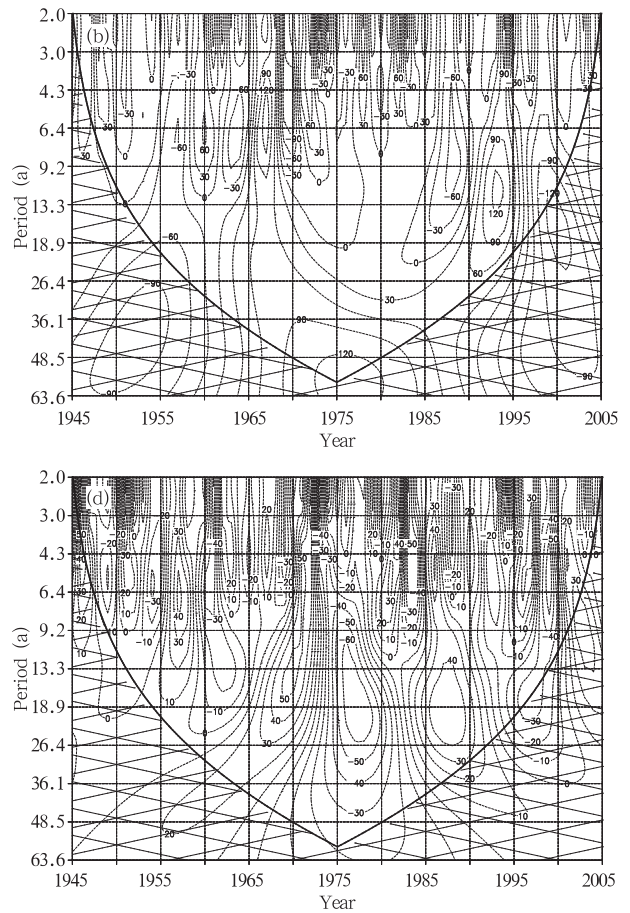
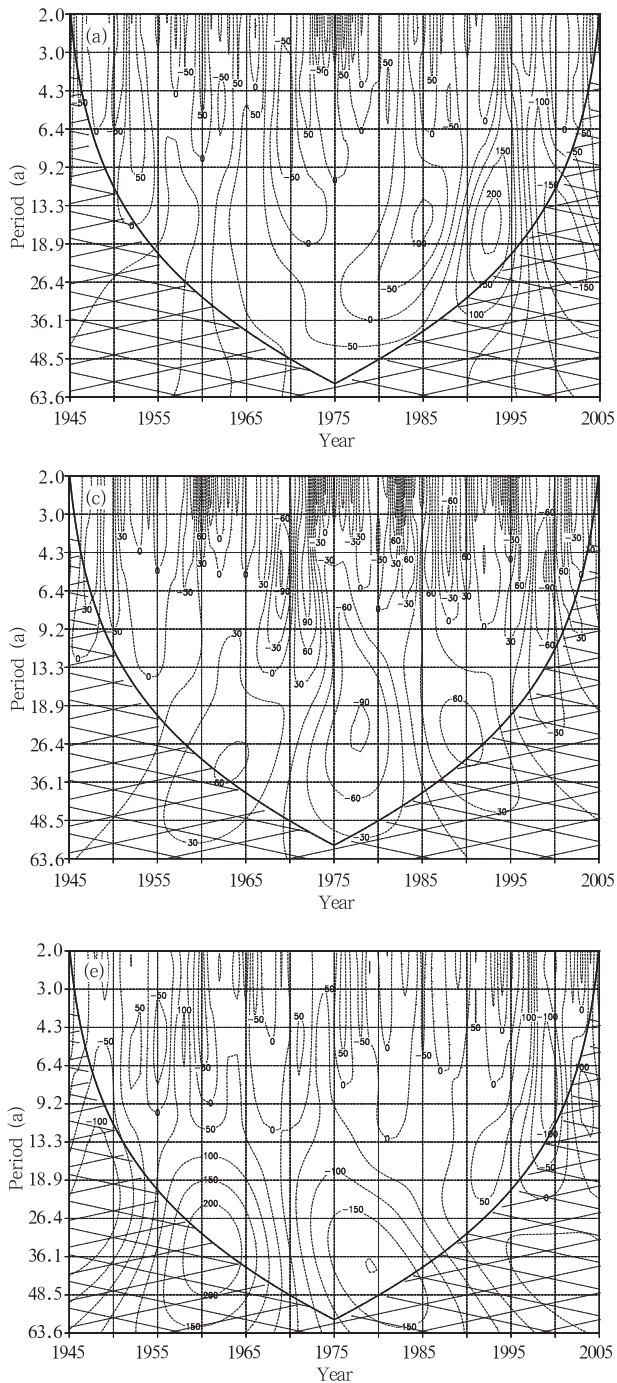


图9 1945—2005年不同强度TC年观测次数的
Mexican hat小波分析

(a. TS, b. STS, c. TY, d. STY, e. SuperTY;
粗实线以下为边界影响区域)

Fig. 9 Mexican hat wavelet analysis of yearly
observation numbers (every 6-h) for different
intensity TCs during the period 1945—2005

(a. TS, b. STS, c. TY, d. STY, e. SuperTY; The region
below the thick solid line indicates “cone of influence”)

关,相关系数为 -0.375 ,达到 5% 的显著水平(p -值为 0.003)。

图11给出了1945—2005年ENSO指数、TS—STY总个数、SuperTY个数和SuperTY个数比的标准偏差年际变化。可以看到,在ENSO指数偏大年一般对应SuperTY个数会偏多,而TS—STY总个数会偏少;在ENSO指数偏小年情况大致相反。Wang Bin等(2002)研究表明,在El Niño年西北太

平洋低层产生的赤道西风异常会引起正的切变涡度,有利于TC活动和发展,而在La Nina年情况相反。由于在El Niño年西北太平洋存在着有利于TC发展加强的环境条件,TC更容易加强为SuperTY,而在La Nina年情况相反。这可以较好地解释ENSO指数跟SuperTY个数以及SuperTY个数比存在显著正相关,而跟TS—STY总个数存在显著负相关的这一现象。

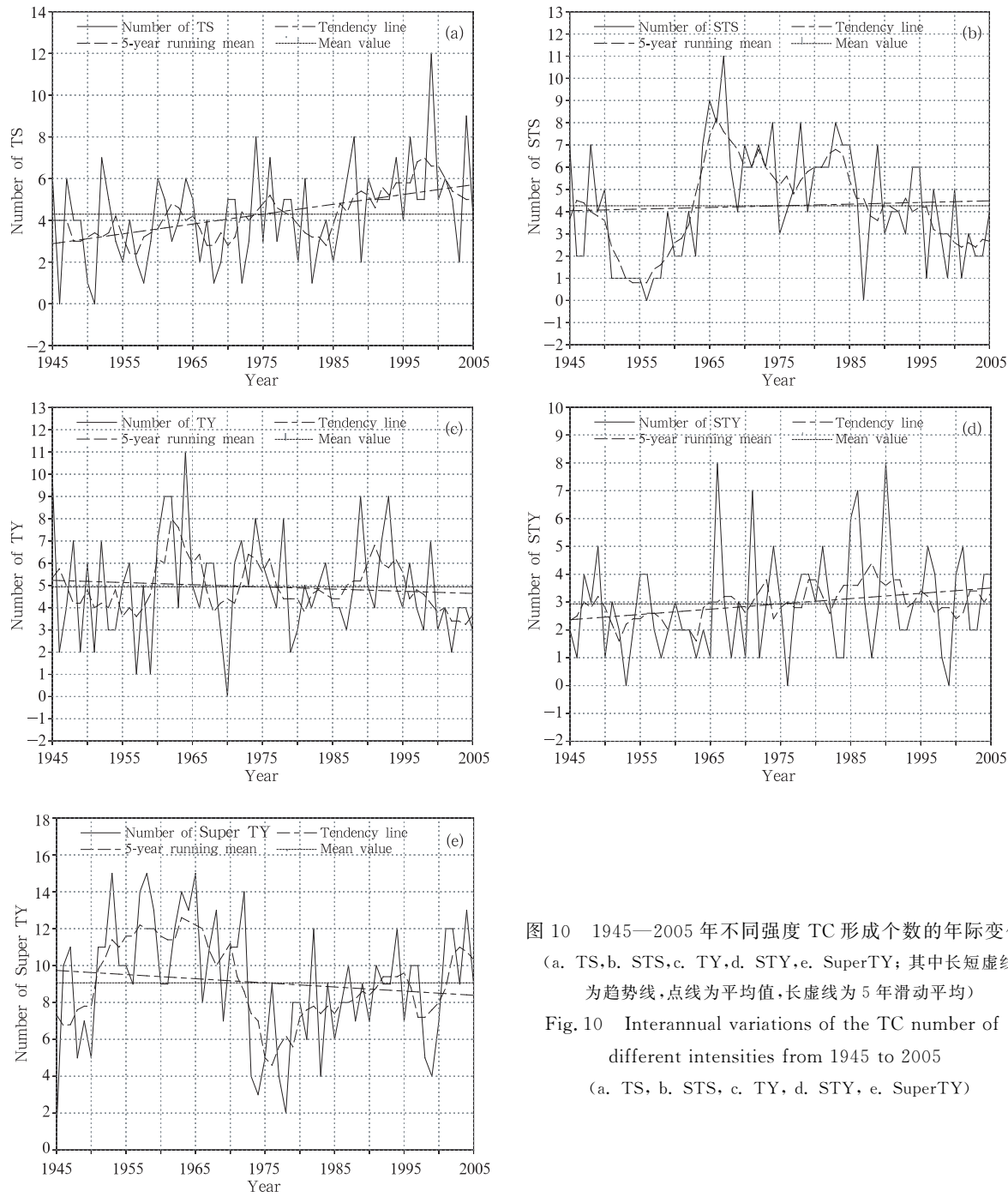


图 10 1945—2005 年不同强度 TC 形成个数的年际变化
(a. TS, b. STS, c. TY, d. STY, e. SuperTY; 其中长短虚线
为趋势线,点线为平均值,长虚线为 5 年滑动平均)
Fig. 10 Interannual variations of the TC number of
different intensities from 1945 to 2005
(a. TS, b. STS, c. TY, d. STY, e. SuperTY)

表 2 1945—2005 年 TC 个数的 Pearson 相关
Table 2 Pearson's correlation of annual TC
number and ENSO index over 1945—2005

变量	Pearson 相关系数	<i>p</i> -值
ENSO 指数和 TS—STY 总个数	-0.265	0.039
ENSO 指数和 SuperTY 个数	0.388	0.002
ENSO 指数和 SuperTY 个数比	0.397	0.002
ENSO 指数和 TC 总个数	-0.004	0.975
TS—STY 总个数和 SuperTY 个数	-0.375	0.003

5 结论与讨论

(1) 1945—2005 年西北太平洋上 TS、STS 和 TY 观测次数最多的区域位于南海北部至巴士海峡东部一带, STY 和 SuperTY 观测次数的最多的区域主要位于巴士海峡以东至 140°E 附近洋面。125°—135°E、15°—25°N 分别为不同强度 TC 观测次数经向和纬向分布的最大峰值区。

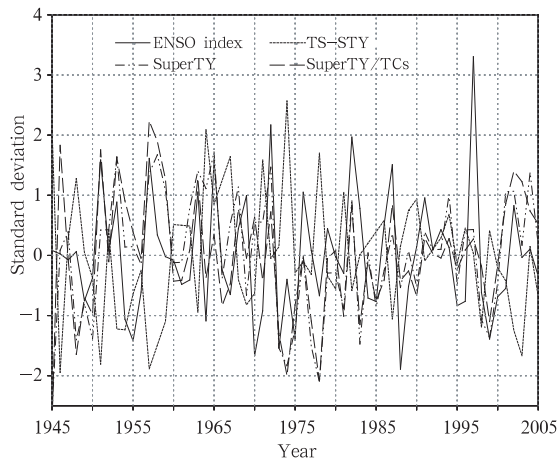


图 11 1945—2005 年 ENSO 指数、TS—STY 总个数、SuperTY 个数和 SuperTY 个数比的标准偏差年际变化

Fig. 11 Interannual variations of the standard deviations for ENSO index, TS—STY number, SuperTY number and the ratio of SuperTY number to total TC number during the period 1945—2005

(2) 西北太平洋上 TC 强度大约在 123°E 以西表现为减弱和稳定略占多数,在 123°E 以东或 20°N 以南主要以增强和稳定为主,而在 20°N 以北主要以减弱和稳定为主。在减弱、稳定和增强状态下 STY 的观测百分比都最小;在增强状态下,从 TS 到 STY 的观测百分比逐渐减小,而 SuperTY 的观测百分比仅稍大于 STY 的观测百分比。STS 在增强状态下的观测百分比最大,TS 和 TY 在稳定状态下的观测百分比最大,而 STY 和 SuperTY 在减弱状态下的观测百分比最大。一般而言,TC 的强度越强其加强和减弱的速度都越快,其中 STS—SuperTY 的减弱率都大于增强率。

(3) 在 1 年当中,西北太平洋上 TC 最活跃的时期为 7—10 月,TS、STS、TY 和 STY 日观测次数最大峰值都出现在 8—9 月,SuperTY 日观测次数最大峰值出现在 8 月底至 9 月初,另一峰值出现在 10 月中旬。在 6—8 月弱 TC(TS—STS)占的比例较其他月份占的比例要相对偏多,而在 9—11 月强 TC(TY—SuperTY)所占的比例要相对偏多。

(4) 西北太平洋上不同强度 TC 的观测次数和形成个数都存在年、年际或年代际的变化。在长期趋势上,TS 的观测次数和形成个数都呈现显著性的线性增加趋势,而 STS、TY、STY 和 SuperTY 的观测次数和形成个数都没有呈现显著性的线性增

减趋势。

(5) 西北太平洋上 TC 的平均强度和 SuperTY 个数并没有随着全球气候变暖呈现出显著的线性递增现象。ENSO 指数跟西北太平洋 SuperTY 个数以及 SuperTY 个数比存在显著正相关,而跟 TS—STY 总个数存在显著负相关,同时 SuperTY 个数跟 TS—STY 总个数也存在显著负相关。这表明在 El Niño 年 SuperTY 个数以及 SuperTY 个数比会显著偏多,TC 平均强度显著偏强,而在 La Niña 年情况相反。

References

- Chan J C L, Liu K S. 2004. Global warming and western North Pacific typhoon activity from an observational perspective. *J Climate*, 17(12): 4590-4602
- Chan J C L, Shi J E. 1996. Long-term trends and interannual variability in tropical cyclone activity over the western North Pacific. *Geophys Res Lett*, 23(20): 2765-2767
- Chen Guanghua, Huang Ronghui. 2006. Research on climatological problem of tropical cyclone and typhoon activity in Western north Pacific. *Adv Earth Sci (in Chinese)*, 21(6): 610-616
- Chen Guanghua, Qiu Guoqing. 2005. Progress in researches on tropical cyclone intensity and structure. *Meteor Sci Tech (in Chinese)*, 33(1): 1-6
- Chen Lianshou, Luo Zexian, Li Ying. 2004. Research advances on tropical cyclone landfall process. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 62(5): 541-549
- Chen Lianshou, Meng Zhiyong. 2001. An overview on tropical cyclone research progress in China during the past ten years. *Chinese J Atmos Sci (in Chinese)*, 25(3): 420-431
- Chen Lianshou, Luo Huibang, Duan Yihong, et al. 2004. An overview of tropical cyclone and tropical meteorology research progress. *Adv Atmos Sci*, 21(3): 505-514
- Duan Yihui, Yu Hui, Wu Rongsheng. 2005. Review of the research in the intensity change of tropical cyclone. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 63(5): 636-645
- Emanuel K. 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436(7051): 686-688
- Ho C H, Baik J J, Kim J H, et al. 2004. Interdecadal changes in summertime typhoon tracks. *J Climate*, 17(9): 1767-1776
- Huang Rongui, Chen Guanghua. 2007. Research on interannual variations of tracks of tropical cyclones over northwest Pacific and their physical mechanism. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 65(5): 683-694
- Knutson T R, Tuleya R E, Kurihara Y. 1998. Simulate increase of hurricane intensities in a CO_2 -warmed climate. *Science*, 279(2): 1018-1020
- Lei Xiaotu, Chen Lianshou. 2001. Tropical cyclone landfalling and

- its interaction with mid-latitude circulation systems. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 59(5):602-615
- Li Aiping, Shen Hongmei, Shi Shaohua. 2006. Character analysis of tropical cyclone intensity variation in the western North Pacific. *Marine Forecasts* (in Chinese), 23(3):64-71
- 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 Meteor Soc Japan*, 72(3): 401-411
- Wang B, Zhang Q. 2002. Pacific-East Asian eleconnection. Part II: how the Philippine Sea anomalous anticyclone is established during El Niño development. *J Climate*, 15(22): 3252-3264
- Wang Jinbo, Qian Weihong. 2005. Statistic analysis of tropical cyclone impact on the China mainland during the last half century. *Chinese J Geophys* (in Chinese), 48 (5): 992-999
- Webster P J, Holland G J, Curry J A, et al. 2005. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 309(5742): 1844-1846
- Wu Liguang, Wang Bin. 2004. Assessing impacts of global warming on tropical cyclone tracks. *J Climate*, 17(8): 1686-1698
- Yu Hui, Duan Yihong. 2002. A statistical analysis on intensity change of tropical cyclone over Northwestern Pacific. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 60(6):680-687
- Yu Hui, Hu Chunmei, Jiang Leyi. 2006. Comparison of three tropical cyclone strength datasets. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 64(3): 357-363
- Yu Yubin, Yao Xiuping. 2006. A statistical analysis on intensity change of tropical cyclone over the Western north Pacific. *J Tropical Meteor* (in Chinese), 22(6): 521-526
- Yuan Jinnan, Wang Dongxiao, Wan Qilin, et al. 2007. A 28-year climatological analysis of size parameters for Northwestern Pacific tropical cyclones. *Adv Atmos Sci*, 24(1): 24-34

附中文参考文献

- 陈光华, 黄荣辉. 2006. 西北太平洋热带气旋和台风活动若干气候问题的研究. *地球科学研究进展*, 21(6):610-616
- 陈光华, 裘国庆. 2005. 热带气旋强度与结构研究新进展. *气象科技*, 33(1):1-6
- 陈联寿, 罗哲贤, 李英. 2004. 登陆热带气旋研究的进展. *气象学报*, 62(5):541-549
- 陈联寿, 孟智勇. 2001. 我国热带气旋研究十年进展. *大气科学*, 25(3): 420-431
- 端义宏, 余晖, 伍荣生. 2005. 热带气旋强度变化研究进展. *气象学报*, 63(5):636-645
- 黄荣辉, 陈光华. 2007. 西北太平洋热带气旋移动路径的年际变化及其机理研究. *气象学报*, 65(5):683-694
- 雷小途, 陈联寿. 2001. 热带气旋的登陆及其与中纬度环流系统相互作用的研究. *气象学报*, 59(5):602-615
- 李爱平, 沈红梅, 石少华. 2006. 西北太平洋热带气旋强度变化特征分析. *海洋预报*, 23(3):64-71
- 王金博, 钱维宏. 2005. 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*, 48(5): 992-999
- 于玉斌, 姚秀萍. 2006. 西北太平洋热带气旋强度变化的统计特征. *热带气象学报*, 22(6):521-526
- 余晖, 端义宏. 2002. 西北太平洋热带气旋强度变化的统计特征. *气象学报*, 60(6):680-687
- 余晖, 胡春梅, 蒋乐怡. 2006. 热带气旋强度资料的差异性分析. *气象学报*, 64(3):357-363