

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.

西北太平洋台风频数异常年的气候背景分析^{* 1}

申松林 江 静

南京大学大气科学学院, 南京 210093

提 要: 利用中国气象局整编的热带气旋资料、NCEP 再分析资料和 Scripps 海温资料, 分析了台风季西北太平洋台风频数发生年代际和年际异常时的气候背景特征, 并且比较分析了造成台风频数发生年代际和年际异常的影响因子的异同。结果表明: 台风频数的年代际变化主要和副热带高压和赤道西太平洋的温跃层海温有非常显著的关系, 而年际变化则与副高、季风槽、越赤道气流以及赤道中东太平洋的混合层海温都有着密切的联系。

关键词: 台风频数, 年代际异常, 年际异常, 气候背景特征

Climatic Background Analysis of Abnormal Year for Typhoons in Northwest Pacific

SHEN Songlin JIANG Jing

School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093

Abstract: With the NCEP reanalysis data, the CMA tropical cyclone data and the Scripps temperature data, the climatic background of interdecadal and interannual abnormal year for typhoons in western North Pacific was analyzed. It is shown that the interdecadal change in the frequency of typhoons is related to the subtropical high and the SST change of the thermocline in the western equatorial Pacific. The interannual change has a close harmonic connection with the subtropical high, monsoon trough, the cross-equatorial flow and the SST change of the mixing layer in the eastern and middle equatorial Pacific.

Key words: frequency for typhoons, interdecadal abnormality, interannual abnormality, climatic background

引 言

我国具有广阔的海岸线, 是世界上受台风影响最大的国家之一, 因此研究台风的生成规律具有重要的意义, 也是近年来气象学的研究热点之一^[1,9]。自 20 世纪 50 年代高由禧等^[2]研究台风路径以来, 很多学者对西北太平洋台风的生成、移动以及变化规律做了大量研究。研究表明近 50 年来台风活动具有明显的季节、年代际和年际变化特征^[3-4], 台风多发生在夏秋两季(约 70%), 具有 21 年、31 年、15

年和 9 年左右的周期。Gray^[5]、陈联寿等^[6]在以前众多分析基础上, 提出了台风形成的 6 个条件, 并把它们分为: 热力条件、动力条件和环境条件, 丁一汇^[7]和何诗秀等^[8]进一步的研究指出台风生成和大尺度环流条件有着密切的关系。仪清菊等^[10]比较了 1971 年和 1973 年两个台风异常年份台风季前期 4—7 月低纬大气特征发现副热带高压(副高)活动有明显的异常, 董波等^[11]分析了台风频数和之前两年中副高参数的相关系数, 结果表明副高强度、面积和西伸脊点都可以找到与热带气旋显著相关的时段。西北太平洋季风槽的类型^[12]、强弱以及位

* 国家重点基础研究发展项目(2006CB403600), 国家自然科学基金(40775043), 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目
2009 年 4 月 28 日收稿; 2010 年 2 月 9 日收修定稿
第一作者: 申松林, 主要从事气候变化与模拟方面的研究. Email: ssl8211@163.com

置^[13-14]对台风活动也有重要的影响,一般季风槽强度偏强,位置偏北偏东对台风的生成更有利。越赤道气流对季风槽南侧的西风有着重要影响,王作述等^[15]分析指出南半球冷空气活动造成越赤道气流爆发,使西北太平洋低空赤道西风建立并加强是1976年9月上旬和1978年8月上旬台风多发的主要原因。李曾中、刘舸等^[16-17]的研究也证实了 $90^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}$ 的越赤道气流对台风生成的影响,孙淑清等^[18]则指出 90°E 附近越赤道气流的影响最显著,而 130°E 和 150°E 附近并不显著,但是何金海等^[19]研究了7—10月平均越赤道气流的年际变化与西北太平洋热带气旋发生频数的关系,发现热带气旋生成较多的年份大部分越赤道气流并不偏强,反而偏弱,并指出可能与其扰动较强有关。在不同时间尺度上,越赤道气流对台风的影响还需进一步研究。

此外,热力条件也是影响台风活动的一个重要因素,在台风生成的海域海表温度(SST)必须大于 26.5°C ^[20]。解思梅、董克勤和邓自旺等^[21-23]的研究都表明台风频数与赤道东太平洋的SST有显著负相关,该区域SST越高生成台风越少。由于海洋上层热交换较强,海洋次表层对海气相互作用也有着重要影响,而台风正是海气共同作用的结果,黄荣辉等^[24]分析了西太平洋暖池120 m深海温异常年的气候特征,发现在暖年台风路径偏西,影响中国的台风偏多,而冷年路径偏东,影响中国的台风偏少。储惠芸等^[25]研究发现台风活动的趋势与其生成海域上层海洋热焓量的异常变化有着很好的相关关系,而与该海域SST的关系不明显。那么,赤道地区次表层海温对台风的活动有无影响?与暖池地区的影响机制是否一致?

过去对台风气候特征的研究很多,但是综合考虑年代际和年际变化的研究比较少,特别是对年际变化的研究采用的是台风总频数,里面仍旧包含有年代际特征,所以本文采用了最新资料,通过比较分析年代际和年际(排除年代际变化)异常年的大气环流和赤道次表层海温特征,以期找到各因子对台风年代际和年际变化规律的不同影响。

1 资料说明

本文所用资料包括:

(1) 台风资料取自1949年到2007年CMA-STI热带气旋最佳路径数据集。热带气旋等级使用

2006年开始实行的国家标准。热带低压:中心附近最大风速为 $10.8\sim 17.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;热带风暴:中心附近最大风速为 $17.2\sim 24.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;强热带风暴:中心附近最大风速为 $24.5\sim 32.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;台风:中心附近最大风速为 $32.7\sim 41.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;强台风:中心附近最大风速为 $41.5\sim 50.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;超强台风:中心附近最大风速 $\geq 51.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。本文所研究的是达到台风级别及以上的热带气旋,为了方便表达,除特别说明,统称为台风。

(2) 1949—2007年NCEP月平均再分析资料及风场日平均再分析资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 。

(3) 1955—2003年美国Scripps海洋研究所海温月平均再分析资料,水平分辨率为 $5^{\circ}\times 2^{\circ}$ 。

2 台风频数变化特征及异常年的选取

统计1949—2007年西北太平洋生成的台风表明,59年间共有1002个台风生成,登陆台风约占30%。其中2月生成台风最少,一共只有3个台风生成,而7—10月年平均都超过2.5个,是西北太平洋台风多发季节(总计达71%),其中7—9月也是我国登陆台风最集中的季节。综合来看,7—10月是太平洋台风最活跃的时期,对我国的影响也最大,本文把7—10月做为西北太平洋的台风季。

图1a为1949—2007年西北太平洋台风季台风频数的逐年变化,从9点平滑曲线的变化趋势可以看出台风频数具有明显的年代际特征,20世纪60年代和90年代初台风频数相对较高,而在1980年左右和1995年之后台风频数偏少。值得注意的是2001年之后台风频数一直偏低,而且变化较小,按照年代际的变化规律,未来几年台风活动很有可能转向高频期。用滑动 t 检验的方法分析台风频数序列,两个子序列时段各取5年,可以得到49年的 t 统计量序列(图1b),结果显示1949到2007年一共有4次明显的转折,都超过90%的显著性水平检验,表明台风频数变化有4次非常显著的时期,正处于台风多发期(HFP: high frequency period)与少发期(LFP: low frequency period)的相互转化阶段,所以本文以 t 统计量没有通过显著性水平检验的年份作为发生年代际异常的时期,据此我们可以选出4个年代际异常期:HFPI: 1962—1971年;LFPI: 1977—1983年;HFP2: 1990—1993年;LFP2: 1997—2003年。

对这 4 个时期做显著性检验(表 1),结果显示除 HFP2 外其他 3 个时期都通过了 90% 的显著性水平检验,表明这 3 个时期的频数异常是显著的,所以本文选取异常期 HFP1、LFP1 和 LFP2 作为年代际异常年,总计 10 个多年和 14 个少年。

从总频数中除去年代际变化(减滑动平均值),可以得到台风频数的年际变化曲线,如图 1c 所示,在 20 世纪 60 年代末、70 年代初和 90 年代末台风

频数的年际变化幅度比较明显。取偏差超过标准差(2.5 年)的年份作为异常年,可以得到 10 个多年和 7 个少年。

台风偏多年:1962、1966、1967、1971、1972、1978、1982、1994、1996、2001 年;

台风偏少年:1951、1957、1969、1970、1983、1998、1999 年。

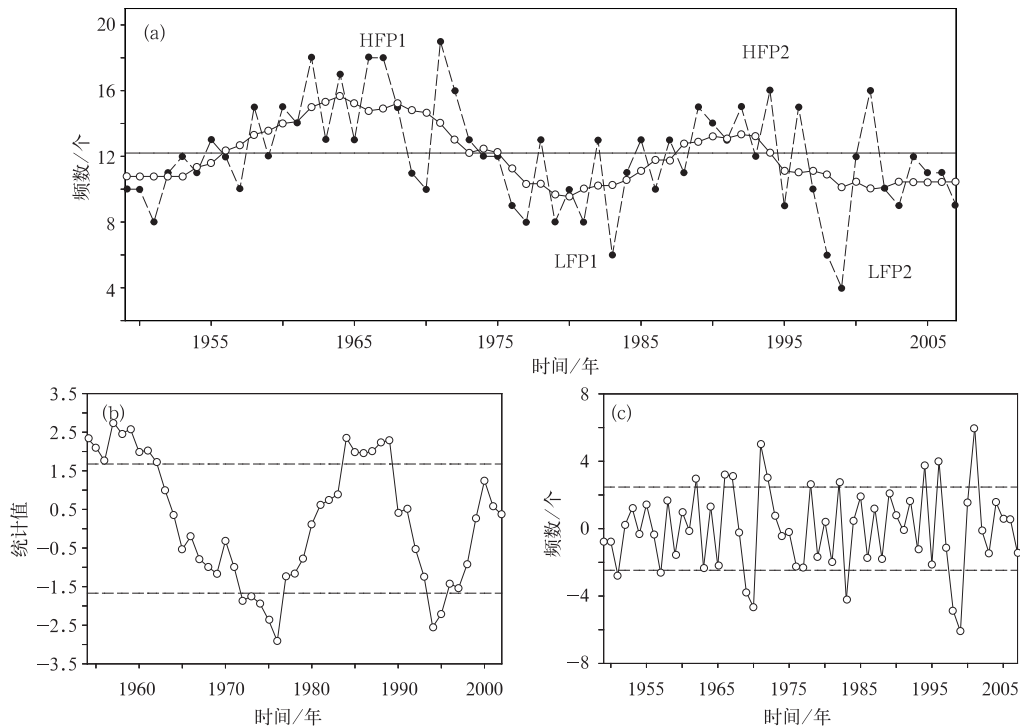


图 1 1949—2007 年台风季西北太平洋台风的频数变化

(a) 虚线为总频数,实线为 9 点平滑曲线,横线为 59 年平均值;(b) t 统计量,虚线为 $\alpha=0.1$ 显著性水平临界值;(c) 年际变化,虚线为标准差

Fig. 1 The variations of Northwest Pacific typhoon frequency in typhoon season during 1949—2007

(a) Variations of the total frequency (dashed line), solid line for the 9-point smooth curve, horizontal line for the average of 59 a; (b) t -statistic, dashed lines for $\alpha=0.1$ significance level threshold; (c) interannual variation, dashed lines for the standard deviation

表 1 年代际异常年的显著性检验

Table 1 The significance test of the frequency of interdecadal abnormal years

	HFP1	LFP1	HFP2	LFP2	多年平均
	1962—1971	1977—1983	1990—1993	1997—2003	1949—2007
年平均频数	14.9	9.4	13.5	10.4	12.2
t 统计量	2.76**	-2.11**	0.84	-1.92*	

* 表示通过 90% 的显著性水平检验, ** 表示通过 95% 的显著性水平检验

3 台风频数异常年的气候背景特征

3.1 西北太平洋副热带高压

副高活动是大气环流的一个重要组成部分,特别是在台风季,西太平洋副高南侧的东南信风更是直接影响台风生成的主要源地,对台风生成、发展和路径^[26-28]有着直接的影响,所以台风频数变化与副

高活动有着密切的关系。图 2 给出了 500 hPa 的高度场合成图,图 2a 为年代际异常,多年副高明显偏弱,588 dagpm 包含的面积大约只有少年的 1/5,中心位置偏东,副高脊线位置偏北。图 2b 为年际异常年,多年和少年副高的中心位置差异不大,强度特征(588 dagpm 面积)与图 2a 基本一致。比较图中 586 dagpm 包围的面积发现,年际异常年面积差异远小于年代际异常年,这表明副高外围气流对台风频数的年代际变化影响更大一些。

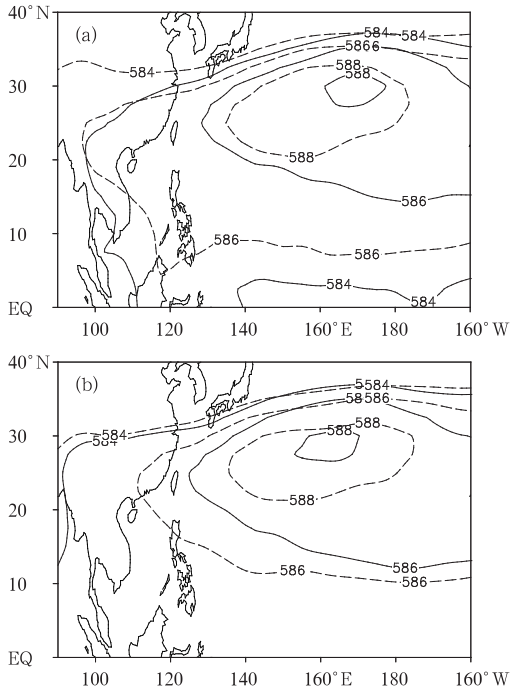


图 2 台风季台风频数异常年 500 hPa 高度场合成图(单位: dagpm); (a) 为年代际异常年; (b) 为年际异常年; 实线为异常多年, 虚线为异常少年
Fig. 2 The composite 500 hPa height fields in the typhoon seasons of abnormal years (a) for interdecadal abnormal years, (b) for intra-annual abnormal years (solid lines for the high frequency years, dashed lines for the low frequency years; unit: dagpm)

3.2 西北太平洋季风槽

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。低层是具有气旋性涡度的环境场,内部对流活动频繁,利于低压扰动产生,高层转为反气旋性的流场,对台风的生成和发展极为有利,据统计 73% 的台风生成源地都位于季

风槽之内^[12]。

从台风频数年际异常年 850 hPa 风场合成图上可以看到(图 3),台风偏多年季风槽的东端可以达

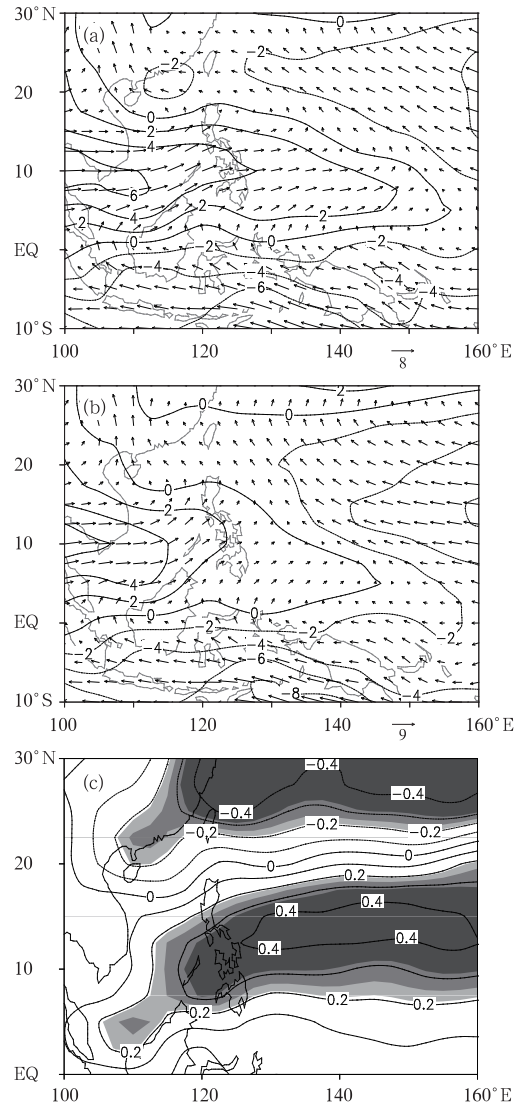


图 3 台风频数年际异常时 850 hPa 风场合成图 (a) 偏多年; (b) 偏少年; 等值线为风场 u 分量; 台风年际变化频数与风场 u 分量的相关系数分布: 阴影区浅灰色表示超过 0.1 显著性水平, 灰色为 0.05, 深灰色为 0.01

Fig. 3 The composite 850 hPa wind fields in the interannual abnormal years: (a) for high frequency, (b) for low frequency, contour line for u-wind; (c) The distribution of the correlation coefficient for the interannual variation of typhoon frequency and the 850 hPa u-wind; light-grey shadow area is more than 0.1 significance level, grey more than 0.05 and dark grey more than 0.01

到 155°E 以东,而在偏少年季风槽东端只到 145°E ,明显弱于台风偏多年,特别是在台风生成源地比较集中的区域($5^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$ 、 $110^{\circ}\sim 165^{\circ}\text{E}$), 10°N 附近西风明显偏小,比台风偏多年小 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右。另外季风槽北部的偏东风也存在明显差异,台风偏多年 20°N 附近的偏东风一直到 110°E 才逐渐转化为偏北风,风速偏弱,而台风偏少年偏东风只到 135°E 附近就开始转化成偏北风,风速偏强。

图 3c 为台风频数年际变化序列与 850 hPa 风场 u 分量的相关系数分布,在 20°N 南侧为正相关区,与图 3a 和 3b 中的西风区对应,在 10°N 附近 110°E 以东有显著的正相关区,表明西风越强对台风的生成越有利; 20°N 北侧为负相关区, 27°N 附近为显著的负相关区,正好与图 2 中副高的位置相对应,进一步说明副高越弱,生成台风越多。显著正相关区最左端位于赤道地区 105°E 附近,这里正好是越赤道气流的一个窗区,而在 110°E 以西相关性却不明显,表明赤道西风增强与 105°E 附近越赤道气流的加强有着重要的联系。

表 2 台风频数异常时的季风槽活跃程度
(西风到达 160°E 的天数)

Table 2 The activity of the monsoon trough in the abnormal years of typhoon frequency

(the number of days when the westerly wind reaches at 160°E)

	年代际异常年			年际多年	年际少年
	HFP1	LFP1	LFP2		
季风槽活跃程度	68	77	78	76	55

本文借鉴了参考文献[13]所使用的方法,用 6—9 月 850 hPa 季风槽南侧西风气流向东延伸的经度来表示季风槽的强弱。季风槽活动的日变化比较明显,用月平均资料有可能无法完全反映其特征,所以本文利用 NCEP 再分析风场日资料,统计了异常年 850 hPa 西风气流延伸到 160°E 以西的年平均天数(表 2),用来反映季风槽的活跃程度。统计结果显示,年际异常多年的天数比少年高出 40% 左右,这与合成图的特征一致;而在年代际异常时,偏少年季风槽的活动反而更活跃。

同样我们对年代际异常年也做 850 hPa 风场合成分析,发现多年季风槽南侧西风略强一些,但是差异不明显(图略),与多年平均的分布基本一致。以上叙述综合说明季风槽主要影响年际尺度的台风频数变化,而对年代际尺度的频数变化影响并不显著。

3.3 越赤道气流

西北太平洋台风活动与南半球的环流变化也有着密切的联系^[26-27],而越赤道气流是南北半球大气环流相互联系的重要纽带,也是季风槽南侧西风的两个重要来源之一,对季风槽的建立和维持有着重要作用,所以越赤道气流可以在一定程度上反映南半球环流对台风的影响。

图 4 给出了异常年越赤道气流的南风分量,可以发现其特征在年代际和年际异常年是相反的。在年际多年,越赤道气流总体偏强,特别是在 105°E 附近以及 130°E 以东的区域,而 105°E 正是东半球越赤道气流的四条主要通道之一。图 3c 也显示,台风频数的年际变化分量与西风的显著相关区明显伸向 105°E 附近的赤道地区,这正好验证了王作述等^[15-17]研究台风个例得到的结果:越赤道气流的加

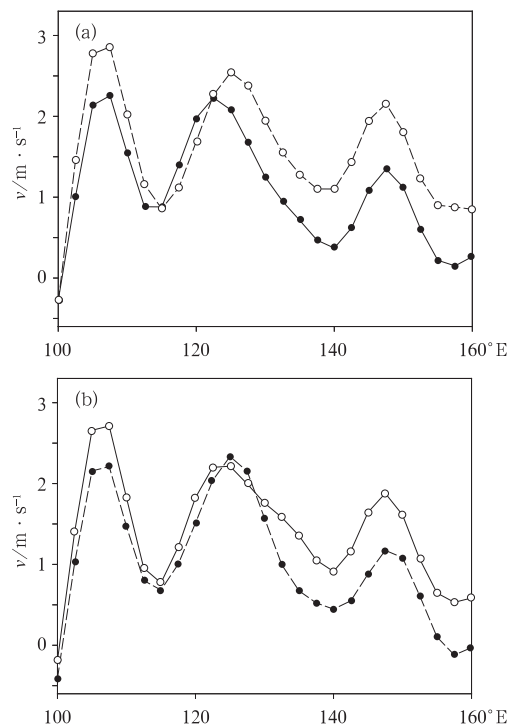


图 4 850 hPa 越赤道气流南风分量 ($2.5^{\circ}\text{S}\sim 2.5^{\circ}\text{N}$) 的纬向分布

(a) 为年代际, (b) 为年际; 实线表示多年, 虚线表示少年

Fig. 4 The zonal distribution of the 850 hPa cross-equatorial southerly flow ($2.5^{\circ}\text{S}\sim 2.5^{\circ}\text{N}$)

(a) for interdecadal, (b) for intrannual; solid lines for the high frequency years, dashed lines for the low frequency years

强,可以引起季风槽南侧的西风加强东伸,使季风槽内辐合上升气流增强,从而导致台风活动更加活跃。

在年代际异常年正好相反,多年越赤道气流反而偏弱。何金海等^[19]的研究也表明在台风多发年大部分越赤道气流偏弱,并指出这可能与其扰动强度有关。本文通过对台风频数年代际和年际年的对比分析发现这种异常主要表现在台风频数的年代际变化上,但其原因目前还不清楚,需要进一步的研究。

4 赤道地区次表层海温

台风是海气相互作用的产物,是一个具有暖心结构的低压系统,所以台风的生成需要一个高温、高湿的环境。西北太平洋之所以是全球唯一全年都能生成热带气旋的地区,台风生成的主要源地——暖池地区 SST 全年保持在 26.5 °C 以上是其中一个重要原因。黄荣辉等^[24]研究发现,西北太平洋热带气旋的移动路径和频数与西太平洋暖池热状态有着密切的关系,当次表层海温处于负异常时对台风生成有利,那么赤道地区次表层海温是否也有类似的影响?

本文统计了台风偏多年和台风偏少年赤道太平洋各层的温差分布(图 5),结果表明不管是年代际还是年际异常,在 300 m 以上热力交换强的海域,台风偏多年的海温明显高于台风偏少年,只是强度和位置存在差异。年代际异常时,正温差主要位于西太平洋,温差最大达到 1.5 °C,中心位置偏西,深度在 160~200 m 之间,对照图 5c 可以发现海温异常区属于海洋温跃层。年际异常年温差最大达到 2.5 °C 以上,位于中东太平洋 180°~120°W,深度在 80~200 m 之间,海洋的混合层底部和温跃层顶部。这表明赤道地区次表层海温的异常有可能会通过热力交换影响到海气的相互作用,从而对台风频数造成一定的影响,不过与暖池地区不同,次表层海温发生正异常时有利于台风的生成,发生异常的位置不同则会影响台风频数发生不同尺度上的变化。

5 结论和讨论

本文通过比较分析年代际和年际异常年的气候背景特征,得出以下结论:

(1) 台风季西北太平洋台风频数存在显著的年代际变化,20 世纪 60 年代和 90 年代初为台风多发期,70 年代末、80 年代初和 1997 年之后都处于台风少发期。同

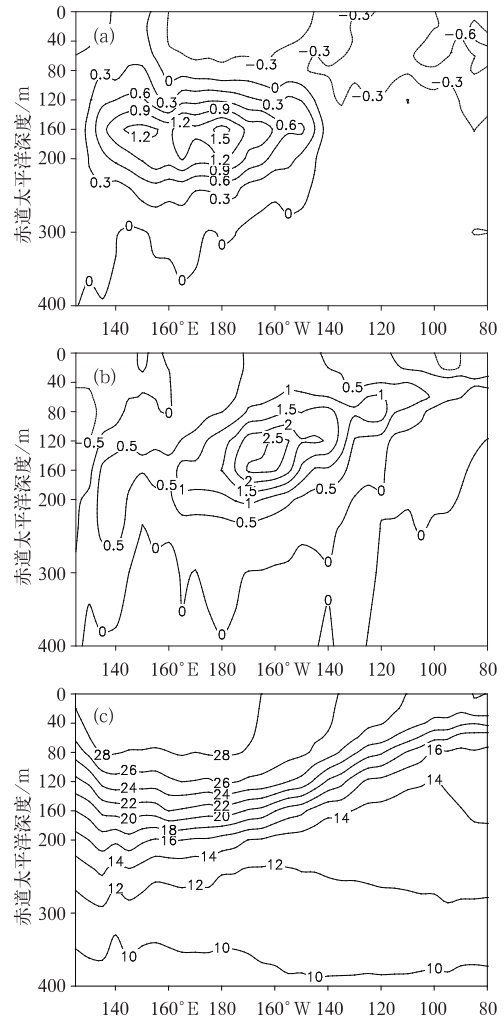


图 5 台风频数异常偏多年和偏少年赤道太平洋(5°S~5°N)温差的经度-深度剖面 (a) 年代际差异, (b) 年际差异, (c) 多年平均(单位: °C)

Fig. 5 Longitude-depth cross section of the temperature difference along the equatorial Pacific (5°S~5°N) in abnormal years (a) for interdecadal, (b) for interannual, (c) for average (unit: °C)

时台风频数还有着明显的年际变化,在 20 世纪 60 年代末、70 年代初和 90 年代末年际变化的幅度比较显著。

(2) 台风活动与大气环流有着密切的联系,副高异常对台风频数的年代际和年际异常均有着显著的影响,具体表现在:副高位置偏南偏西,强度偏强,生成台风偏少,反之则偏多。

(3) 越赤道气流和季风槽的异常也会造成台风频数年际变化的异常:100°E 以东特别是 105°E 附近越赤道气流出现正正常时,季风槽南侧的偏西气

流异常增强,使季风槽向东延伸,对流活动加强,导致台风频数异常偏多。而在年代际异常年赤道气流在多年反而偏弱,季风槽的特征则不明显。

(4) 赤道地区次表层海温对西北太平洋台风频数的年代际和年际异常也有着重要的影响。在年代际异常多年,赤道西太平洋的温跃层出现明显的海温正异常;在年际多年赤道中东太平洋也出现了显著的海温正异常,位置位于混合层和温跃层顶部。

西北太平洋台风频数的变化规律比较复杂,如何综合考虑各因子的作用以及越赤道气流对台风频数年代际变化的影响都需要进一步的研究。

参考文献

- [1] 徐良炎. 我国台风灾害的初步分析[J]. 气象, 1994, 20(10): 50-55.
- [2] 高由禧, 曾佑思. 路径图集[M]. 北京: 科学出版社, 1952.
- [3] 张光智, 张先恭, 魏凤英. 近百年西北太平洋热带气旋年频数的变化特征[J]. 热带气象学报, 1995, 11(4): 315-323.
- [4] 陈敏, 郑永光, 陶祖钰. 近 50 年(1949—1996)西北太平洋热带气旋气候特征的再分析[J]. 热带气象学报, 1999, 15(1): 10-16.
- [5] Gray W M. Hurricanes: Their formation, structure and likely role in the tropical circulation[J]. *Meteorology over the Tropical Oceans 1979(Suppl)*: 155-218.
- [6] 陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 100.
- [7] 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.
- [8] 何诗秀, 张宝严, 傅秀琴. 西北太平洋盛夏台风频数与大尺度环流条件的关系[J]. 热带气象, 1986, 11(4): 251-256.
- [9] 徐良炎, 高歌. 近 50 年台风变化特征及灾害年景评估[J]. 气象, 2005, 31(3): 41-45.
- [10] 仪清菊, 胡绪寿, 包澄澜. 台风异常年份的低纬大气环流特征[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1976, 12(2): 128-140.
- [11] 董波, 叶英. 西北太平洋热带气旋异常年的气候背景分析[J]. 海洋学报, 1996, 13(3): 30-37.
- [12] 高建芸, 张秀芝, 王志红, 等. 西北太平洋季风槽异常与热带气旋活动[J]. 海洋学报, 2008, 30(3): 35-47.
- [13] 王慧, 丁一汇, 何金海. 西北太平洋夏季风的变化对台风生成的影响[J]. 气象学报, 2006, 64(3): 345-346.
- [14] 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[J]. 大气科学, 2003, 27(1): 67-74.
- [15] 王作述, 何诗秀, 方宗义. 西北太平洋 ITCZ 上多台风发生的初步研究[J]. 气象科学, 1982(2): 132-139.
- [16] 李曾中, 程明虎, 杨振斌, 等. 1998 年台风与飓风异常成因分析[J]. 热带气象学报, 2004, 20(2): 161-166.
- [17] 刘舸, 张庆云, 孙淑清. 2005 年夏季中国登陆台风的环流特征[J]. 大气科学, 2007, 31(5): 909-918.
- [18] 孙淑清, 刘舸, 张庆云. 南半球环流异常对夏季西太平洋热带气旋生成的影响及其机理[J]. 大气科学, 2007, 21(5): 75-83.
- [19] 何金海, 韩慎友. 越赤道气流时空变化特征及其与西北太平洋热带气旋发生频数的关系[C]. 第十三届全国热带气旋科学讨论会论文集, 2004.
- [20] Gray W M. Global view of the origin of tropical disturbances and storms[J]. *Monthly Weather Review*, 1968, 96: 669-700.
- [21] 解思梅, 吉野正敏, 青木孝. 东亚七地区台风频数与北太平洋海面温度相关关系的长期变化[J]. 海洋学报, 1984, 6(5): 594-605.
- [22] 董克勤, 齐树芬. 赤道东太平洋海温与西太平洋台风频数年际变化的关系[J]. 海洋学报, 1990, 12(4): 505-509.
- [23] 邓自旺, 屠其璞, 冯俊茹, 等. 我国登陆台风频率变化与太平洋海表温度场的关系[J]. 应用气象学报, 1999, 10(增): 54-60.
- [24] 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.
- [25] 储惠芸, 王元, 伍荣生. 上层海洋热力异常对西北太平洋热带气旋气候特征的影响[J]. 南京大学学报(自然科学), 2007, 43(6): 581-588.
- [26] 黄丽娜, 林笑茹, 曾华, 等. 西北太平洋台风累积动能的气候特征[J]. 气象, 2009, 35(9): 77-50.
- [27] 刘裕禄, 方祥生, 金飞胜, 等. 台风凤凰形成发展过程中对流凝结潜热和感热的作用[J]. 气象, 2009, 35(12): 51-57.
- [28] 金荣花, 高拴柱, 顾华, 等. 近 31 年登陆北上台风特征及其成因分析[J]. 气象, 2006, 32(7): 33-39.