

邓孟珂,田鹏飞,杨华栋,等.印度洋海温异常对西北太平洋台风的影响及机制研究[J].海洋气象学报,2021,41(3):60-68.
DENG Mengke, TIAN Pengfei, YANG Huadong, et al. Effect of Indian Ocean SSTA on typhoon in western North Pacific and its mechanism[J]. Journal of Marine Meteorology, 2021, 41(3): 60-68. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2021.03.006. (in Chinese)

印度洋海温异常对西北太平洋台风的影响及机制研究

邓孟珂¹,田鹏飞¹,杨华栋²,杨梦兮¹,蔡娜佳¹

(1.江苏省泰州市气象局,江苏 泰州 225300;2.中国气象局交通气象重点开放实验室,江苏 南京 210000)

摘要: 基于近40 a NCEP/NCAR再分析月平均高度场、风场、涡度场、垂直速度场以及NOAA重构的海面温度(sea surface temperature, SST)资料和美国联合台风预警中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)热带气旋最佳路径资料,利用合成分析方法,研究了前期春季及同期夏季印度洋海面温度同夏季西北太平洋台风活动的关系。结果表明:1)前期春季印度洋海温异常(sea surface temperature anomaly, SSTA)尤其是关键区位于赤道偏北印度洋和西南印度洋地区对西北太平洋台风活动具有显著的影响,春季印度洋海温异常偏暖年,后期夏季,110°~180°E的经向垂直环流表现为异常下沉气流,对应风场的低层低频辐散、高层辐合的形势,这种环流形势使得低层水汽无法向上输送,对流层中层水汽异常偏少,纬向风垂直切变偏大,从而夏季西北太平洋台风频数偏少、强度偏弱,而异常偏冷年份则正好相反。2)春季印度洋异常暖年,西北太平洋副热带高压加强、西伸;而春季印度洋异常冷年,后期夏季西北太平洋副热带高压减弱、东退,这可能是引起夏季西北太平洋台风变化的另一原因。

关键词: 台风;累积能量指数;海温异常;印度洋;西北太平洋

中图分类号: P444; P461.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2021)03-0060-09

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2021.03.006

Effect of Indian Ocean SSTA on typhoon in western North Pacific and its mechanism

DENG Mengke¹, TIAN Pengfei¹, YANG Huadong², YANG Mengxi¹, CAI Najia¹

(1. Taizhou Meteorological Bureau, Taizhou 225300, China; 2. Key Laboratory of Transportation Meteorology, CMA, Nanjing 210000, China)

Abstract Based on the NCEP/NCAR reanalysis data of monthly mean geopotential height, wind, vorticity, and vertical velocity, NOAA reconstructed sea surface temperature (SST) of the Indian Ocean, and the best track dataset from Joint Typhoon Warning Center (JTWC) at a 6-h interval from 1979 to 2018, the relationship between the Indian Ocean SST in the preceding spring and the concurrent summer and the summer typhoons over western North Pacific is investigated using synthetic analysis. The results are shown below. 1) The Indian Ocean sea surface temperature anomaly (SSTA) in the preceding summer, especially when the key region is located at the Indian Ocean north of the equator and the southwest Indian Ocean, has significant effects on typhoons over western North Pacific. In the years of abnormally high SST in spring over the Indian Ocean, in the later summer, the meridional vertical circulation between 110°E and 180°E shows abnormal downdraft, corresponding to the circulation of low-

收稿日期:2020-07-22; 修订日期:2020-10-29

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)(2015CB452803);国家自然科学基金项目(41730961,41675051)

通信作者:邓孟珂,男,硕士,工程师,主要研究方向为环境气象,524579109@qq.com。

level wind divergence and upper-level wind convergence, which stops the upward transport of low-level water vapor. In addition, due to the abnormally less water vapor in the middle troposphere and abnormally larger vertical shear of zonal wind, the summer typhoons over western North Pacific present characteristics of lower frequency and weaker intensity. A reverse situation is indicated in the abnormally cold years. 2) In the abnormally warm years of spring over the Indian Ocean, the western North Pacific subtropical high is strengthened and extends westward; while in the abnormally cold years, the western North Pacific subtropical high is weakened and goes eastward in the later summer, which is another probable reason for the changes of summer typhoons over western North Pacific.

Key words typhoon; accumulated cyclone energy (ACE); sea surface temperature anomaly (SSTA); Indian Ocean; western North Pacific

引言

西北太平洋是全球台风活动最活跃的区域之一,西北太平洋台风活动的变化对我国夏季气候变化有着重要影响。一方面,台风总是伴随着狂风暴雨甚至还有风暴潮,经常给受影响地区造成严重灾害,给人民的生命财产带来严重威胁;另一方面,台风带来的丰沛降水可以解除干旱,我国东南沿海夏季伏旱期常常依靠台风降雨来缓和旱情。因此加强对西北太平洋台风发生发展的研究,认识西北太平洋台风活动的变化规律及其机制并在此基础上进行预测试验,具有重要的科学意义和应用价值,对我国社会经济建设和各级党政部门领导防灾减灾决策具有十分重要的现实意义。已经有研究^[1-2]表明西北太平洋台风和区域海温之间有一定的时滞相关关系,即:西北太平洋台风晚于赤道东太平洋海温变化2个月存在最高负相关,台风晚于海温17~18个月有最大正相关;中国东南沿海台风与西太平洋赤道附近海温有隔季正相关。秋季海温对于影响华南秋季的台风活动(强度和路径)具有重要作用,从而对华南秋季降水产生影响——当赤道中东太平洋海表增(降)温时,影响华南台风活动减少(增多)以致秋季少(多)雨^[3]。另外,已经有研究^[4]表明前期中高纬度印度洋海面温度(sea surface temperature, SST)与西北太平洋台风相关显著,且独立于热带东太平洋 SST(或 ENSO)对西北太平洋台风的影响;中高纬度印度洋 SST 年际变化对西北太平洋台风年际变化的指示能力相当或超过热带东太平洋。综合两者的影响预测夏季西北太平洋台风生成数的变化有非常重要的现实意义。进一步的分析表明,中高纬度印度洋 SST 对西北太平洋台风影响有明显的滞后性,前期相关显著而同期相关不显著。这种滞后性意味着其前期中高纬度印度

洋 SST 对西北太平洋台风的影响并不是通过 SST 的持续性,而很可能是通过南半球大气活动的持续性及异常信号在大气中的传播而影响到夏季的环流,最终影响西北太平洋台风异常。

印度洋海温异常(sea surface temperature anomaly, SSTA)同夏季西北太平洋台风之间究竟存在怎样的关系呢?本文试图找出印度洋海温异常对西北太平洋台风影响的关键区,通过对台风季西北太平洋大气环流状况的分析,找出相应的物理机制,从而为西北太平洋台风活动的预报提供参考依据,为国家防台减灾提供决策服务。

1 资料与方法

1.1 资料

所用资料为:美国国家环境预报中心/国家大气研究中心(National Centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research, NCEP/NCAR)月平均高度场、风场、涡度场、相对湿度场、垂直速度场资料;美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)重构的月平均海温资料;美国联合台风预警中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)台风最佳路径资料。研究时段为1979—2018年。除海温场格距为 $2^\circ \times 2^\circ$,其他分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。文中研究的西北太平洋区域为 $0^\circ \sim 40^\circ \text{N}$, $110^\circ \sim 180^\circ \text{E}$ 的太平洋海域,印度洋区域为 $30^\circ \text{S} \sim 25^\circ \text{N}$, $35^\circ \sim 120^\circ \text{E}$ 的印度洋海域。本文中各季均相对于北半球而言,春季和夏季分别为当年3—5月和6—8月。

1.2 台风强度的定义

本文利用CAMARGO and SOBEL^[5]使用的累积气旋能量(accumulated cyclone energy, ACE)指数来衡量台风的强度。累积气旋能量指数(I_{ACE})定义为年度热带气旋在其各自持续时间内每6h最大风速

(V_{\max} , 单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) 的平方和, 计算公式为:

$$I_{\text{ACE}} = 10^{-4} \sum V_{\max}^2 \quad (1)$$

使用该指数统计年度热带气旋强度具有极大的优越性, 能较为真实直观地反映当年热带气旋的活跃程度, 指数越高, 热带气旋活跃程度越高, 反之则越低。它将年度热带气旋所有气候参量简化为累积动能, 并且随着总持续时间的增加, 累积动能也逐渐增加, 使年度热带气旋总和强度在总持续时间内得到精确量化。本文只考虑达到热带风暴 (tropical storm, TS) 强度的热带气旋。

2 夏季西北太平洋台风与前期及同期印度洋海温的耦合关系

为了讨论夏季西北太平洋台风与前期及同期印度洋海温的耦合关系, 对海温与台风作如下相关分析, 设定以下四种耦合模态: 1) 1979—2018 年前期春季印度洋海温距平与夏季西北太平洋台风频数的相关性 (耦合 1); 2) 1979—2018 年前期春季印度洋海温距平与夏季西北太平洋台风 ACE 指数的相关性 (耦合 2); 3) 1979—2018 年同期夏季印度洋海温距平与夏季西北太平洋台风频数的相关性 (耦合 3); 4) 1979—2018 年同期夏季印度洋海温距平与夏季西北太平洋台风 ACE 指数的相关性 (耦合 4)。表 1 给出 4 种耦合模态下的相关系数, 通过比较发现: 前期春季和同期夏季印度洋海温与西北太平洋台风频数的相关性相对比来说, 它们与 ACE 的相关性更显著, 其中春季印度洋海温比夏季印度洋海温与西北太平洋海温的相关性更显著。第 1、2、3 种模态的相关系数都通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验, 说明前三种模态两者之间相关性显著。夏季印度洋海温异常与夏季西北太平洋 ACE 的检验值虽然没有通过显著性检验, 但是检验值已经接近临界, 说明偶然性已经较小。因此下文主要分析前期春季印度洋海温对西北太平洋台风频数和强度的影响。

表 1 各耦合模态下的相关系数

Table 1 Correlation coefficient of each coupling mode

模态	相关系数
耦合 1	-0.36
耦合 2	-0.29
耦合 3	-0.32
耦合 4	-0.26

图 1 给出了春季全球海温距平和夏季西北太平洋台风频数及 ACE 的相关系数空间分布, 色阶部分为通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。由图 1a 可以看出, 在东太平洋相关系数呈现正值分布, 而在本文研究区域——印度洋, 相关系数呈现一致的负值分布, 在赤道偏北印度洋和西南印度洋, 相关系数达到极小值, 这表明如果前期春季印度洋海温异常增暖会导致夏季西北太平洋台风数量减少的趋势, 反之, 前期春季印度洋海温异常降低会导致夏季西北太平洋台风数量增多的趋势。图 1b 给出了春季全球海温距平和夏季西北太平洋台风 ACE 的相关系数空间分布, 与频数类似, 在印度洋相关系数呈现负值分布, 在东北印度洋和西南印度洋, 相关系数达到极小值, 这表明如果前期春季印度洋海温异常增暖会导致夏季西北太平洋台风强度减弱的趋势, 反之, 前期春季印度洋海温异常降低会导致夏季西北太平洋台风强度增强的趋势。

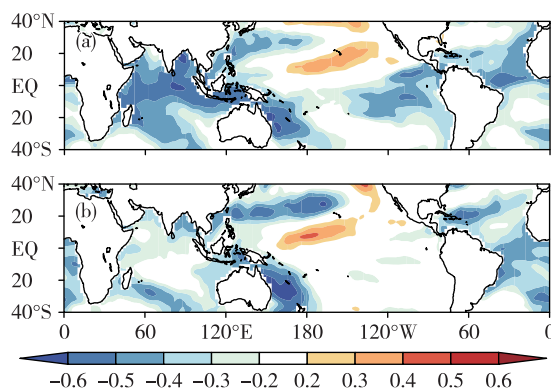


图 1 全球海温距平与西北太平洋台风的相关系数空间分布 (a. 春季全球海温距平与夏季西北太平洋台风频数, b. 春季全球海温距平与夏季西北太平洋台风 ACE; 色阶表示海温距平和台风的相关系数)

Fig. 1 Spatial distribution of correlation coefficient between global sea surface temperature anomaly (SSTA) and typhoon over western North Pacific (a. global SSTA in spring and typhoon frequency over western North Pacific in summer, b. global SSTA in spring and typhoon ACE (accumulated cyclone energy) over western North Pacific in summer; color scale for the correlation coefficient between SSTA and typhoon)

分析可知, 前期春季印度洋海温影响西北太平洋台风的最明显区域范围约在东北印度洋和西南印度洋。因此, 将与 ACE 和频数均有显著相关的区域 $20^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{S}, 60^{\circ} \sim 80^{\circ} \text{E}$ 和 $0^{\circ} \sim 20^{\circ} \text{N}, 70^{\circ} \sim 110^{\circ} \text{E}$ 定义为影响台风的关键区, 通过对关键区内海温做区域平均计算 (图 2), 得出: 1979 年至 20 世纪 80 年代

后期,春季印度洋海温表现为降低的趋势,而夏季西北太平洋台风频数表现为增加趋势;从20世纪90年代前期开始,春季印度洋海温大致保持增暖的趋势,而夏季西北太平洋台风频数呈现减少的趋势(图2a)。在春季印度洋海温与夏季西北太平洋ACE关系(图2b)中也可得出类似的结论。

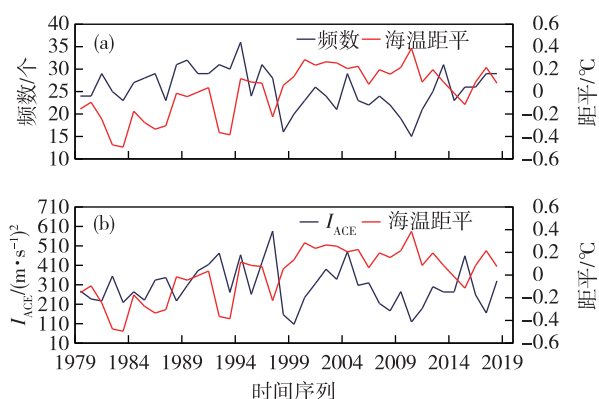


图2 春季印度洋关键区海温距平与夏季西北太平洋台风频数(a)及ACE(b)

Fig.2 Spring SSTA of the key region over the Indian Ocean and summer typhoon frequency over western North Pacific (a) and ACE (b)

3 春季印度洋 SSTA 影响后期夏季西北太平洋台风的可能原因

为了确定印度洋海温异常对西北太平洋台风影响的关键区,结合图1的情况,可以发现,春季印度洋海温异常影响西北太平洋台风的关键区位于赤道偏北印度洋和西南印度洋。下文主要分析前期春季印度洋海温异常影响后期夏季西北太平洋台风的可能原因。

为了比较春季印度洋海温异常对大气环流,继而对后期夏季西北太平洋台风的影响,首先对关键区的印度洋 SSTA 场时间序列进行标准化处理,然后分别选取大于1.2个标准差和小于-1.2个标准差的年份为春季印度洋关键区海温异常暖年和冷年。最后选取1988、1998、2001、2003、2010、2017年为异常暖年,1975、1993、1997、2008、2015年为异常冷年。下文主要通过合成分析方法来寻找春季印度洋关键区海温异常影响后期夏季西北太平洋台风的可能原因,后文所指印度洋海温及冷暖年都基于关键区的海温。

3.1 海温

台风的发生发展主要取决于热力因素和动力因素。海洋是台风形成和发展的下垫面,海温的高

低分布是影响台风发生发展的重要因素^[6]。前期春季印度洋海温与后期夏季西北太平洋海温存在怎样的相关性呢?

首先对春季印度洋关键区和同期及后期夏季西北太平洋($0^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{E}$)海温做区域平均计算,然后计算它们之间的相关系数,相关系数分别为0.37、0.43,通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。这表明印度洋海温异常增暖时,西北太平洋海温也有增暖的趋势。而增暖的海温有利于台风的发生发展,这与上文的研究结果不相符,说明海温不是印度洋海温异常影响西北太平洋台风的原因。

3.2 春季印度洋海温异常年夏季垂直环流变化分析

排除海温的原因,下文主要从动力学角度讨论春季印度洋海温异常对西北太平洋大气环流形势的影响。大量研究^[7-10]结果显示,海洋对气候的影响有一定的滞后性,它首先使得大气环流发生调整进而引起气候的变化,而它对大气环流的影响首先表现在垂直环流上。既然春季印度洋海温异常同后期夏季西北太平洋台风之间存在着显著的关系,那么春季印度洋海温异常对后期夏季经圈环流产生怎样的影响呢?

图3是春季印度洋海温异常年 $110^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{E}$ 经圈偏差环流。印度洋海温异常暖年的后期夏季,赤道至 20°N 都表现为异常的下沉气流,仅在 $25^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $800\sim 300\text{ hPa}$ 为上升气流;在春季印度洋异常冷年,后期夏季基本表现为一致的异常上升气流。

研究^[11-12]表明,低层辐合高层辐散的上升环流形势有利于台风的发生发展。前文研究表明在春季印度洋暖年,西北太平洋台风偏少、强度偏弱;春季印度洋冷年,西北太平洋台风偏多、强度偏强。这与冷暖年的经圈环流形势是相符的——春季印度洋暖年的异常下沉气流会抑制台风的发生发展,而春季印度洋暖年的异常上升气流有利于台风的发生和加强。因此可知,印度洋海温异常可以导致西北太平洋的经圈垂直环流发生调整,从而影响台风的发生发展。

3.3 春季印度洋海温异常年夏季风场变化分析

上下层的风场对台风的发生发展有很大影响^[13],进一步厘清春季印度洋海温异常对西北太平洋区域上下层风场的影响,进而更深入地理解夏季西北太平洋台风变化的可能原因。图4是春季印度洋海温异常年,后期夏季的700 hPa和200 hPa距平风场。

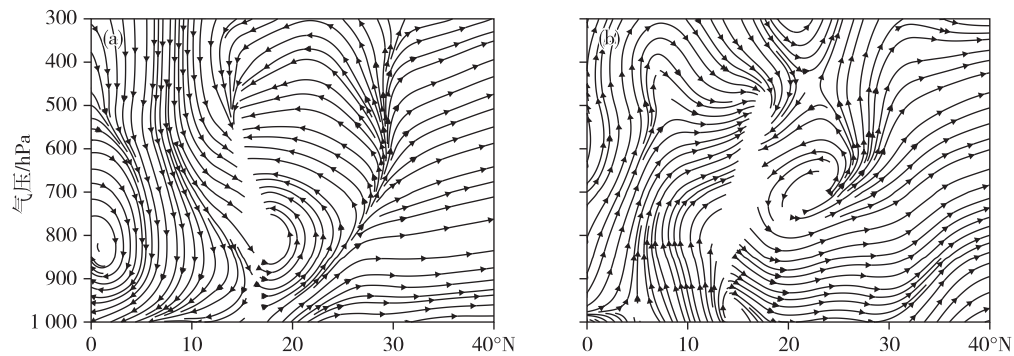


图3 春季印度洋海温异常年夏季 110°~180°E 平均经圈偏差环流 (a.异常暖年后期夏季, b.异常冷年后期夏季)

Fig.3 Mean meridional deviation circulation between 110°E and 180°E in summer of years of SSTA over the Indian Ocean in spring (a/b. mean meridional deviation circulation between 110°E and 180°E in later summer of years of abnormally warm/cold spring over the Indian Ocean)

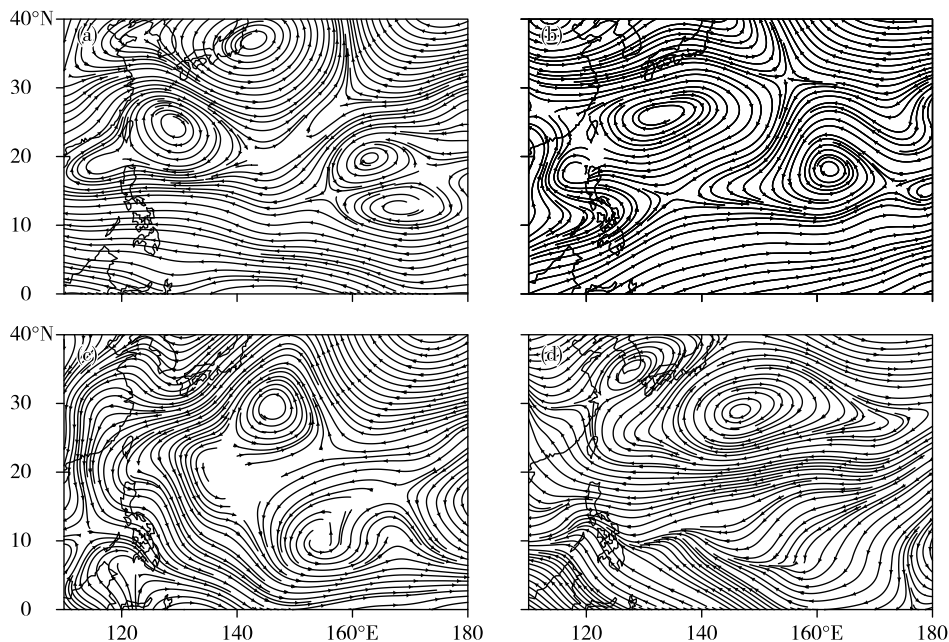


图4 春季印度洋海温异常年后期夏季距平风场 (a.异常暖年 700 hPa 距平风场, b.异常暖年 200 hPa 距平风场, c.异常冷年 700 hPa 距平风场, d.异常冷年 200 hPa 距平风场; 单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig.4 Wind anomaly in later summer of years of SSTA in spring over the Indian Ocean (a/b. wind anomaly at 700/200 hPa in abnormally warm years, c/d. wind anomaly at 700/200 hPa in abnormally cold years; units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

700 hPa 上,在春季印度洋异常暖年,后期夏季西北太平洋 110°~150°E, 25°~30°N 内有异常偏西风,而在赤道附近有明显的偏东风异常,构成整个西北太平洋大面积的反气旋式环流;而在春季印度洋异常冷年,后期夏季西北太平洋 130°~160°E, 表现为异常气旋式环流。200 hPa 上,春季印度洋异常暖年,150°~180°E, 5°~30°N 的西北太平洋海域表现为异常气旋式环流;春季印度洋异常冷年, 20°N 附近为异常东风,而在其他区域都表现为异常反气旋式环流。

由以上距平风场的分析结果可以看出,春季印

度洋异常暖年对应夏季西北太平洋低层反气旋式距平环流,高层气旋式距平环流,低层低频辐散高层辐合;而春季印度洋异常冷年对应夏季西北太平洋低层气旋式距平环流,高层反气旋式距平环流,低层辐合高层辐散。

李崇银等^[14]曾研究热带大气季节内振荡对西北太平洋台风生成数的影响。低层辐合、高层辐散的环流有利于台风的发生发展,这与上文春季印度洋异常时西北太平洋台风的状况是相符的,表明上下层风场是春季印度洋海温异常影响西北太平洋台风的机制之一。

3.4 春季印度洋海温异常年夏季低层涡度场变化分析

大气低层涡度是影响台风发生发展的重要因素^[15]。在北半球低层正涡度表示气旋式环流,有利于台风的发生发展。为了更清楚地看出春季印度洋海温异常年夏季低层涡度特征,对春季印度洋异

常年后期夏季西北太平洋 850 hPa 平均涡度场进行距平化处理。由图 5 可以看出,在春季印度洋海温异常暖年,西北太平洋 10°~25°N, 110°~180°E 区域涡度表现为负距平;而在春季印度洋海温异常冷年,25°~40°N, 130°~180°E 和近赤道地区的西北太平洋表现为正距平。

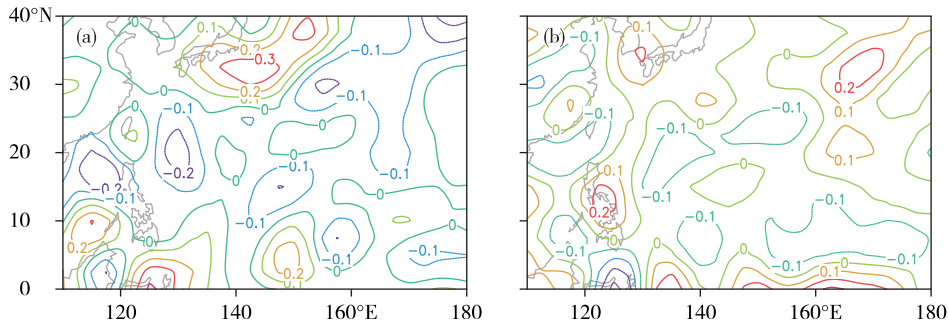


图 5 春季印度洋海温异常暖年(a)和冷年(b)后期夏季低层距平相对涡度场(单位: 10^{-5} s^{-1})

Fig.5 Low-level relative vorticity anomaly (units: 10^{-5} s^{-1}) in later summer of years of SSTA in spring over the Indian Ocean in abnormally warm (a) and cold (b) years

由以上分析可以看出,春季印度洋异常冷、暖年,后期夏季西北太平洋上的低层距平涡度场呈现相反的位相分布。正的低层涡度不仅为台风的生成提供初始扰动,也有利于台风的加强发展^[15]。这与上文春季印度洋异常年台风活动特征是相符的,表明低层涡度是春季印度洋海温异常影响西北太平洋台风的机制之一。

3.5 春季印度洋海温异常年夏季对流层中部相对湿度场变化分析

对流层中部大的湿度也是台风生成和发展的

重要条件之一^[16-17]。在西北太平洋台风季,对流层中部大的湿度能够为台风的发生发展提供充足的水汽条件。水汽在上升过程中凝结释放大量潜热,有助于标志着台风强度的风眼墙的建立;相反,不够充足的水汽不利于台风的发生发展。为了更清楚地看出水汽状况,对对流层中部(700~500 hPa)水汽按高度积分,得到气柱的总水汽含量(可降水量),然后进行距平处理,得到相对湿度的距平场。图 6 是春季印度洋异常年夏季西北太平洋的对流层中部水汽含量距平分布。

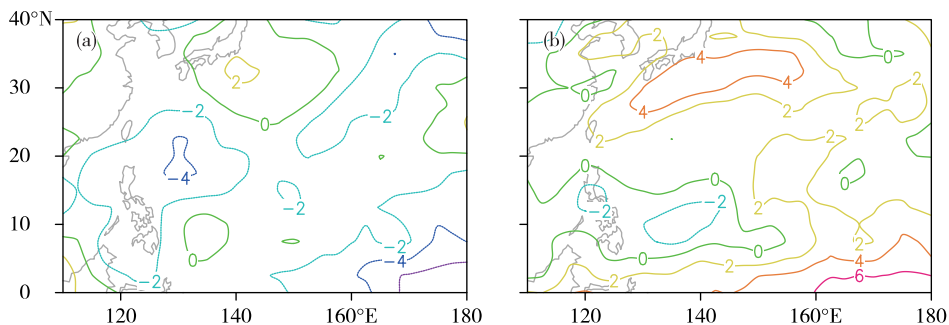


图 6 春季印度洋海温异常暖年(a)和冷年(b)后期夏季西北太平洋相对湿度距平(单位:%)分布

Fig.6 Distribution of relative humidity anomaly (units: %) over western North Pacific in later summer of years of SSTA in spring of abnormally warm (a) and cold (b) years over the Indian Ocean

在春季印度洋异常暖年的后期夏季,西北太平洋上的水汽分布明显呈现负距平形势,水汽含量异常偏少。在菲律宾以东洋面,水汽含量最少。而在春季印度洋异常冷年的后期夏季,西北太平洋上的

水汽分布呈现明显的正距平,说明水汽含量相对偏大。

由以上分析可以看出,春季印度洋异常冷、暖年,后期夏季西北太平洋上的水汽分布呈现相反

的位相分布。这与上文的西北太平洋台风冷、暖年状况是相符合的,因此可以看出,水汽条件是印度洋赤道海温异常影响西北太平洋台风的机制之一。

3.6 春季印度洋海温异常年后期夏季西北太平洋副热带高压变化分析

西北太平洋副热带高压与西太平洋和东亚地区的天气变化有着极其密切的联系^[18-19],它的强度、东西向及南北向的位置变化对台风活动有着直接的影响。通常西北太平洋副热带高压强时,台风活动偏少、强度偏弱;西北太平洋副热带高压弱时,台风活动较多、强度偏强。研究春季印度洋海温异

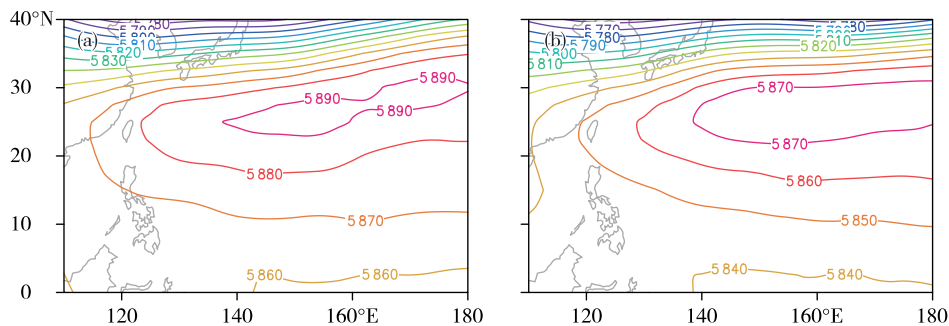


图7 春季印度洋海温异常暖年(a)和冷年(b)后期夏季500 hPa高度场(单位:gpm)特征

Fig.7 Characteristics of geopotential height (units: gpm) at 500 hPa in later summer of years of SSTA in spring of abnormally warm (a) and cold (b) years over the Indian Ocean

结合上文提到的西北太平洋副热带高压对台风活动的影响,可以看出:在春季印度洋异常年,西北太平洋副热带高压的变化与台风活动的变化是相符合的。这表明西北太平洋副热带高压是印度洋海温异常影响西北太平洋台风活动的机制之一。

3.7 春季印度洋海温异常年后期夏季西北太平洋纬向风垂直切变变化分析

研究^[20-22]指出西北太平洋上高(200 hPa)、低(850 hPa)层纬向风的垂直切变是影响西北太平洋热带气旋和台风生成和发展的一个重要的动力因子,在台风的预测中常被用作重要的指标。弱的垂直风切变有利于台风的生成和发展,相反,强的垂直风切变可能导致对流切离,从而减弱台风强度。陈联寿和丁一汇^[23]指出纬向风速垂直切变小于 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 是台风暖心形成的有利环境条件。研究春季印度洋海温异常是否会引起西北太平洋高、低层纬向风垂直切变异常,进而对西北太平洋台风产生影响。

图8给出了春季印度洋海温异常年后期夏季西北太平洋纬向风垂直切变特征。由此可见在印度

洋异常暖年,西北太平洋副热带高压异常,进而对西北太平洋台风产生影响。

图7给出了春季印度洋海温异常年后期夏季500 hPa高度场特征。由此可见在春季印度洋异常暖年,后期夏季500 hPa高度上,5860 gpm闭合线包含整个西北太平洋和南海以及中国南部地区,范围很大。且存在最强为5890 gpm的闭合中心,位于 $140^{\circ} \sim 180^{\circ} \text{ E}$, $25^{\circ} \sim 35^{\circ} \text{ N}$ 的西北太平洋海域上空,表明西北太平洋副热带高压加强、西伸。而在异常冷年,后期夏季只有最强为5870 gpm的闭合中心,5860 gpm线仅仅包含 $130^{\circ} \sim 180^{\circ} \text{ E}$, $15^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{ N}$ 范围,表明副热带高压明显偏弱、东退。

洋异常暖年,西北太平洋大部分区域的纬向风垂直切变在 $5 \sim 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间。在 160° E 以东, $5^{\circ} \sim 25^{\circ} \text{ N}$ 之间逐渐增强,最高值可达 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;在印度洋异常冷年,纬向垂直风切变在 27° N 以南, 150° E 以西表现为负值,仅在 27° N 以北, 150° E 以东表现为正值,最高分析出垂直切变为 $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的闭合线。可以看出,春季印度洋异常暖年,后期夏季西北太平洋上的纬向风垂直切变明显强于春季印度洋异常冷年。这与上文的西北太平洋台风冷、暖年状况是相符合的,因此可以看出,纬向风垂直切变是印度洋赤道海温异常影响西北太平洋台风的机制之一。

4 结论与讨论

通过对夏季西北太平洋台风频数和强度与前期春季及同期夏季印度洋SSTA的耦合分析发现,前期春季印度洋海温同夏季西北太平洋台风关系最显著,表明春季印度洋海温异常对预测后期夏季西北太平洋台风的变化有着明确的指示性意义。影响频数和强度的关键区位于赤道偏北印度洋和西南印度洋。如果春季印度洋海温异常偏暖,后期

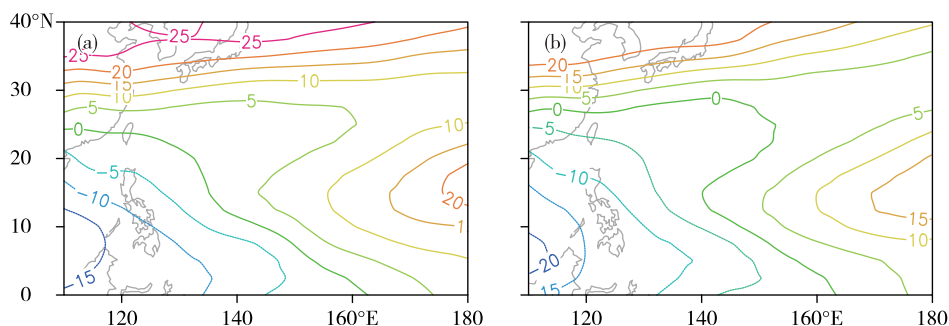


图8 春季印度洋海温异常暖年(a)和冷年(b)纬向风垂直切变(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig.8 Vertical shear of zonal wind (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) in abnormally warm (a) and cold (b) years of SSTA over the Indian Ocean in spring

夏季西北太平洋台风偏少、偏弱,反之,如果春季印度洋海温异常偏冷,后期夏季西北太平洋台风偏多、偏强。

这可能与印度洋被热带太平洋的厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)“充电”后又会影响西北太平洋大气环流状况有关^[24-25]。研究表明,在El Niño事件次年,印度洋被异常“加热”,海温异常增暖,产生延伸至西北太平洋的开尔文波,影响了西北太平洋大气环流。

在春季印度洋异常暖年,后期夏季, $110^{\circ} \sim 180^{\circ}\text{E}$ 的经向垂直环流表现为异常下沉气流,对应风场的低层低频风辐散、高层辐合的形势。这种环流形势使得低层水汽无法向上输送,对流层中层水汽异常偏少。西北太平洋副热带高压加强、西伸,纬向风垂直切变偏大。综合以上物理因子,西北太平洋台风在春季印度洋异常暖年偏少、偏弱。在春季印度洋异常冷年,正好相反。后期夏季, $110^{\circ} \sim 180^{\circ}\text{E}$ 的经向垂直环流表现为异常上升气流,对应风场的低层辐合、高层辐散的形势。这种环流形势使得低层水汽向上输送,对流层中层水汽异常偏多。西北太平洋副热带高压偏弱、东退,纬向风垂直切变偏小。综合以上物理因子,西北太平洋台风在春季印度洋异常冷年偏多、偏强。

根据LI et al.^[26]、WU and WANG^[27]、ZHOU et al.^[28]的研究,结合以上物理因子,可以推出以下的传播机制:在春季印度洋海温异常暖年,源自印度洋海温异常引起的大气波动向东方向传播,这种异常低频振荡对周围大气环流有正反馈的作用,产生异常Walker环流,形成风场的低层低频风辐散、高层辐合的形势,增强下沉运动,维持了纬向风大的垂直切变,同时Ekman辐散抑制了西北太平洋大气对流,这就在El Niño事件的次年维持了西北太平洋

反气旋,使其持续到夏季,加强西北太平洋副热带高压,不利于台风的生成和发展。而在印度洋异常冷年由于相反的机制,形成风场的低层辐合、高层辐散,增强上升运动,纬向风垂直切变偏小,西北太平洋副热带高压减弱,促进台风的发生发展。

以上研究重点利用合成分析从统计的角度讨论了印度洋海温异常影响夏季西北太平洋台风的原因,虽然给出了可能的相应的动力学机制,但机制合理性仍然需要进一步的研究和验证。

参考文献:

- [1] 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(中文版),1990,12(4):505-509.
- [2] 许金镜.西太平洋赤道附近海温与中国东南沿海台风关系的初步分析[J].台湾海峡,1998,17(3):278-281.
- [3] 贾子冰,武亮,王同美,等.华南秋季降水异常年的台风活动差异及其与海温的关系[J].海洋学报(中文版),2015,37(1):53-62.
- [4] 吴胜安,周广庆,穆松宁.中高纬度印度洋海温与西北太平洋夏季台风生成数的相关性[J].气候与环境研究,2013,18(2):243-250.
- [5] CAMARGO S J, SOBEL A H. Western North Pacific tropical cyclone intensity and ENSO[J]. J Climate, 2005, 18(15):2996-3006.
- [6] 吴国雄.海温异常对台风形成的影响[J].大气科学,1992,16(3):322-332.
- [7] 庞轶舒,祝从文,马振峰,等.东亚夏季环流多齿轮耦合特征及其对中国夏季降水异常的影响分析[J].大气科学,2019,43(4):875-894.
- [8] 魏娜.东亚季风环流背景下热带气旋生成发展研究[D].北京:中国气象科学研究院,2016.
- [9] 田永青,潘爱军,曾明章.南海西边界流场的时空变化特征及其与ENSO循环的关系[J].应用海洋学学报,

- 2015, 34(1):1-9.
- [10] 陈笑晨,智协飞,赵欢,等.澳大利亚冷空气活动对西北太平洋热带气旋生成的影响[J]. 大气科学学报, 2017, 40(1):61-70.
- [11] TENG H Y, WANG B. Interannual variations of the boreal summer intraseasonal oscillation in the Asian-Pacific region[J]. *J Climate*, 2003, 16(22):3572-3584.
- [12] 周群,张润宇.2017年7月西北太平洋热带气旋活动特征及其与北极涛动的联系[J]. 海洋预报, 2018, 35(4):1-7.
- [13] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,2007:511.
- [14] 李崇银,潘静,田华,等.西北太平洋台风活动与大气季节内振荡[J]. 气象, 2012, 38(1):1-16.
- [15] 李德琳,肖子牛,周秀华,等.西北太平洋热带气旋生成数在1990年代中期发生突变的气候环境特征分析[J]. 热带气象学报, 2015, 31(3):323-332.
- [16] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,2007:515.
- [17] 潘佳文,杨奇志,魏鸣,等.台风“苏迪罗”螺旋雨带造成福州特大暴雨成因分析[J]. 热带气象学报, 2018, 34(6):774-782.
- [18] 曹杰,杨若文,尤亚磊,等.海温异常对西太平洋副热带高压脊面演变影响的机制研究[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2009, 39(3):382-388.
- [19] 张善强.西太平洋副热带高压对热带东西太平洋海温的响应[C]//中国气象学会.中国气象学会2008年年会气候预测研究与预测方法分会场论文集.中国气象学会, 2008:252-259.
- [20] 冯涛,黄荣辉,陈光华,等.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, 2013, 37(2):364-382.
- [21] ZHU X J, SARAVANAN R, CHANG P. Influence of mean flow on the ENSO-vertical wind shear relationship over the Northern Tropical Atlantic[J]. *J Climate*, 2012, 25(3):858-864.
- [22] HUANGFU J L, HUANG R H, CHEN W, et al. Causes of the active typhoon season in 2016 following a strong El Niño with a comparison to 1998[J]. *Int J Climatol*, 2018, 38(s1):e1107-e1118.
- [23] 陈联寿,丁一汇.西太平洋台风概论[J].北京:科学出版社,1979:107-109.
- [24] YANG J L, LIU Q Y, XIE S P, et al. Impact of the Indian Ocean SST basin mode on the Asian summer monsoon[J]. *Geophys Res Lett*, 2007, 34(2):L02708.
- [25] 杨建玲,刘秦玉.热带印度洋 SST 海盆模态的“充电/放电”作用:对夏季南亚高压的影响[J]. 海洋学报(中文版), 2008, 30(2):12-19.
- [26] LI T, WANG B, WU B, et al. Theories on formation of an anomalous anticyclone in Western North Pacific during El Niño: A review [J]. *J Meteor Res*, 2017, 31(6):987-1006.
- [27] WU L G, WANG C. Has the Western Pacific subtropical high extended westward since the late 1970s? [J]. *J Climate*, 2015, 28(13):5406-5413.
- [28] ZHOU T J, WU B, WANG B. How well do atmospheric general circulation models capture the leading modes of the interannual variability of the Asian-Australian monsoon? [J]. *J Climate*, 2009, 22(5):1159-1173.