

张希帆, 黄菲, 许士斌, 等. 弱台风影响下中国大暴雨事件发生频次的统计特征[J]. 海洋气象学报, 2019, 39(3): 11-18.  
ZHANG Xifan, HUANG Fei, XU Shibin, et al. Statistics of frequency of heavy rainfall in China under influence of weak typhoon [J]. Journal of Marine Meteorology, 2019, 39(3): 11-18. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2019.03.002. (in Chinese)

## 弱台风影响下中国大暴雨事件发生频次的统计特征

张希帆<sup>1,2</sup>, 黄菲<sup>1,2,3</sup>, 许士斌<sup>1,2</sup>, 王国复<sup>4</sup>

(1. 中国海洋大学物理海洋教育部重点实验室, 山东 青岛 266100; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 山东 青岛 266100; 3. 宁波大学宁波市非线性海洋和大气灾害系统协同创新中心, 浙江 宁波 315000; 4. 中国气象局国家气候中心, 北京 100081)

**摘要:** 利用国家气候中心提供的 1958—2013 年 756 个台站的逐日降水资料, 定义了“弱台风大暴雨”事件, 并对其发生的时间和空间分布特征进行统计分析, 初步揭示了有利于“弱台风大暴雨”发生的大气异常环流特征。结果表明: “弱台风大暴雨”降水事件主要发生于 5—10 月, 但初秋 10 月该事件发生的占比最高; “弱台风大暴雨”降水事件发生次数在 20 世纪 80 年代中期后有明显的增加, 整体呈现 3~5 a 的周期振荡, 盛夏(7—8 月)是“弱台风大暴雨”降水事件的最多发生时段; 空间上, 初夏(5—6 月)事件分布面积最小, 盛夏最广; 有利于“弱台风大暴雨”降水事件多发的大气环流场主要是在北极涛动正位相异常环流背景下, 中纬度西风带较为稳定平直, 有利于中纬度大气类环流遥相关型定常波列的持续稳定, 使得东亚地区维持的高压异常环流有利于北方冷空气南下, 与热带气旋带来的暖湿气流交汇; 同时, 西太平洋副热带高压的偏弱有利于登陆我国的台风停留时间增加以及水汽的源源不断输送, 水汽的主要来源是北太平洋西南侧和南海、孟加拉湾等热带季风区。

**关键词:** 时空分布; 弱台风; 大暴雨; 台风降水

**中图分类号:** P457.8; P426.6   **文献标志码:** A   **文章编号:** 2096-3599(2019)03-0011-08  
**DOI:** 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2019.03.002

## Statistics of frequency of heavy rainfall in China under influence of weak typhoon

ZHANG Xifan<sup>1,2</sup>, HUANG Fei<sup>1,2,3</sup>, XU Shibin<sup>1,2</sup>, WANG Guofu<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory of Physical Oceanography (Ocean University of China) of Ministry of Education, Qingdao 266100, China; 2. Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266100, China; 3. Ningbo Collaborative Innovation Center of Nonlinear Hazard System of Ocean and Atmosphere, Ningbo University, Ningbo 315000, China; 4. National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

**Abstract** This paper uses the daily precipitation data of 756 observation stations from 1958 to 2013 provided by National Climate Center of China Meteorological Administration to define “weak typhoon heavy rainfall event” (WTHRE). The spatial-temporal distribution of the frequency of WTHRE is statistically analyzed and anomalous atmospheric circulation favorable for WTHRE is investigated as well. The results are listed as follows. 1) WTHRE occurs mostly from May to October, but its proportion in all

收稿日期: 2019-05-11; 修订日期: 2019-06-24

基金项目: 国家重大科学研究计划项目(2015CB953904); 国家自然科学基金项目(41575067)

作者简介: 张希帆, 男, 硕士, 主要从事海气相互作用和台风降水研究, zhangxf1994@foxmail.com。

通信作者: 黄菲, 女, 博士, 教授, 主要从事大尺度海气相互作用、极地气候变化和气候动力学等研究, huangf@ouc.edu.cn。

precipitation events is the highest in October. 2) The number of WTHRE increases significantly after the mid-1980s, presenting a periodic oscillation of three to 5 years. The midsummer (from July to August) is the main period of WTHRE. 3) Spatially, the coverage area of WTHRE is the smallest in early summer (from May to June) and the biggest in midsummer. 4) The favorable atmospheric circulation for WTHRE is under the anomalous circulation background of the positive phase of Arctic Oscillation, therefore, the mid-latitude westerly is relatively stable and straight, which is in favor of a continuous stable stationary wave train of circum-global teleconnection pattern in the middle latitude causing the anomalous high in East Asia. The maintenance of anomalous high in East Asia, which is favorable for the southward of cold air, meets the warm and humid air brought by tropical cyclones to form precipitation. 5) At the same time, the weakening of the western Pacific subtropical high is beneficial to increase typhoon's duration of stay in China and sustain water vapor transport. The water vapor mainly comes from the tropical monsoon region such as the southwest side of the North Pacific, the South China Sea, and the Bay of Bengal.

**Key words** spatial-temporal distribution; weak typhoon; heavy rainfall; typhoon precipitation

## 引言

台风(泛指热带气旋,包括热带低压、热带风暴、强热带风暴、台风和强台风)是大气中很强的动能源,作为夏秋季节沿海常见的天气现象,也是最强的暴雨天气系统,很多极端降水事件都受台风活动直接或间接的影响。周淑玲等<sup>[1]</sup>对于山东半岛一次台风大暴雨的分析,展示了一次秋季台风与倒槽冷空气配合而发生的大暴雨降水事件。中国由于其独特的地理位置,每年都受台风的严重影响,是世界上台风登陆最多、灾害最重的国家之一,历史上曾多次遭遇严重的台风暴雨、大风和风暴潮等灾害,进而造成洪涝灾害(耕地受淹、城市内涝等),导致重大经济损失。

关于热带气旋降水的时空分布特征,翁永元等<sup>[2]</sup>利用 1949—2009 年热带气旋降水资料分析表明,全国各地区热带气旋降水的空间分布很不均匀,大致呈现东南—西北向的梯度分布,东南沿海地区降水量最大,西北内陆地区最小。这与影响我国的热带气旋降水空间分布型<sup>[3]</sup>是相一致的。台风引起的大暴雨现象的统计特征<sup>[4]</sup>表明:台湾、海南、我国沿海地区及部分内陆地区,日最大降水量以及形成的暴雨、大暴雨很大程度上由台风引起,最大台风暴雨出现在台湾,台风对于大暴雨的形成,其作用十分明显。

20 世纪下半叶以来,我国热带气旋降水有强度增强、频次减少的趋势<sup>[5-6]</sup>。翁永元等<sup>[2]</sup>也曾指出,热带气旋降水具有比较明显的年代变化和显著的年际振荡。年代变化表现为 20 世纪 50—60 年代为大幅增加的过程,20 世纪 60—80 年代降水总量基

本维持不变,20 世纪 80 年代后期降水呈现明显的振荡。其中关于 20 世纪 60 年代后的台风降水趋势,房永生等<sup>[7]</sup>在分析夏半年台风降水趋势的文章中,明确给出了中国台风降水量和台风降水频数下降的结论,同时,台风降水强度是增强的。CHANG et al.<sup>[8]</sup>也提及了这一规律,并表示强度的增强并未弥补频数的下降,总体上降水量是降低的,而台风导致的极端降水则在不同地域有着不同的表现,对于不同强降雨系统不同机制的考虑显然是必要的。

台风暴雨现象通常有 3 种起因:其一,台风环流本身造成;其二,台风与西风带系统或热带其他系统共同作用造成;其三,受地形影响暖湿空气抬升局地降水加强。而台风本身的强度扮演了关键角色,无论是生成强度强,还是与其他系统汇合受到加强,都与台风降水呈现正相关。而在台风暴雨的相关研究方面,王咏梅等<sup>[4]</sup>给出过简单的分布统计,对这种台风暴雨极端降水的研究,通常直接对台风所造成的极端降水进行统计分析<sup>[4,9]</sup>,或者讨论特定区域极端降水台风生成与发展的环流形势<sup>[10]</sup>。在这样的研究背景下,对于我国整体以及各区域台风极端降水整体对比性的统计分析有所不足;同时对于发生台风极端降水时台风强度的讨论也不够系统。

与此同时,令预报部门措手不及的台风极端降水事件层出不穷。2016 年的 1614 号台风“莫兰蒂”在福建省厦门市翔安区沿海登陆,虽然登陆点位置偏南,但整个华东地区受其减弱后的低压和外围环流影响,均出现了较明显的强降水天气,其中降水影响最严重的是浙江省,个别站点出现百年一遇的强降雨<sup>[11]</sup>。与之类似地,在弱台风(本文将影响我

国时强度弱于台风强度的热带气旋统称为弱台风)影响下出现强降水的还有 1512 号台风“杜鹃”和 1323 号台风“菲特尔”。一般情况下,强的台风能造成强降水甚至极端降水天气,预报员在预报时会持续关注,不容易漏报错报,但是在弱台风的影响下,预报员通常不会预报大暴雨的出现,容易出现对大暴雨的漏报,造成重大损失。从这个角度出发,本文主要关注弱台风影响下大暴雨的发生特征,系统地统计分析弱台风大暴雨事件的发生规律和相关大尺度环流异常,以期为实际预报提供一定的科学依据,并尝试在一定程度上揭示相关的热带气旋与中低纬度其他天气系统相互作用的可能机理问题。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

本文所用的降水资料是国家气候中心提供的 1958—2013 年 756 个台站的逐日降水资料;台风数据取自中国台风网“CMA-STI 热带气旋最佳路径数据集”,数据提供自 1949—2013 年西太平洋(含南海,赤道以北,180°E 以西)海域热带气旋;大气环流资料为美国国家环境预报中心和大气研究中心(NCEP/NCAR)的逐月再分析资料,包括位势高度场、海温场、水汽矢量场,分辨率为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

### 1.2 弱台风大暴雨事件筛选方法

台风降水的分离采用 REN et al.<sup>[12]</sup> 提出的 Objective Synoptic Analysis Technique (OSAT) 方法。首先,从降水场的结构分析入手,将降水场划分成不同的雨带;然后,根据这些雨带与台风中心之间以及每个台站与台风中心之间的距离关系来划分台风降水。

在单日单站台风降水中挑选出“弱台风大暴雨”事件(weak typhoon heavy rainfall events, WTHRE),标准如下:

1) 热带气旋 2 min 平均近中心最大风速不足  $32.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (即未达到台风强度的热带气旋);

2) 单站单日降水量超过 100 mm (即达到大暴雨等级)。

对挑选出的 WTHRE,再进行季节和年际时间序列的统计和分析,并给出对应的空间分布。

图 1 为所有台风降水站次单日台风强度与降水强度的散点分布,低于台风强度的降水事件的发生占据了主要部分,其中达到大暴雨等级且低于台风强度的降水事件(图中右下象限)占比为 2.24%。基于不同强度台风发生大暴雨频次的分布规律,可

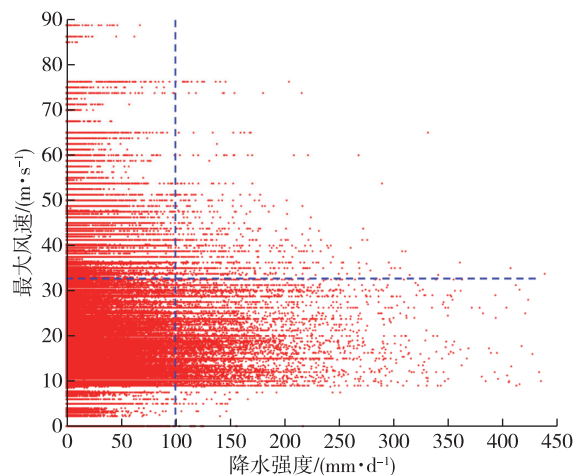


图 1 弱台风大暴雨事件筛选标准(纵向蓝色虚线为日降水 100 mm 分界线,横向蓝色虚线为最大风速  $32.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  分界线)

Fig.1 Criteria of WTHRE (longitudinal blue dashed line for dividing line of daily precipitation of 100 mm, transverse blue dashed line for dividing line of maximum wind speed of  $32.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

根据图 2 进一步分析。

不同强度台风降水的概率密度函数在图 2 给出,由于本文主要分析大暴雨事件,所以仅关注大于 100 mm 降水部分。如图 2 所示,在概率密度函数图像中,一致的标度情况下,直观地可以通过面积大小判断其概率,在图 2 中低于台风级别的大暴雨概率密度面积,很显然要大于达到台风级别的大暴雨概率密度面积。在台风强度较弱(低于台风级别)时,可以认为大暴雨事件发生的概率相比台风强度较强时(高于等于台风级别)要更高,说明在台风大暴雨极端降水的情况下,弱台风更有代表性,也更加值得关注。

基于此,本文选取图 1 中右下象限区域的数据作为 WTHRE 的代表站次,进行后续分析。

## 2 弱台风大暴雨事件的时空分布

### 2.1 季节变化

根据筛选出来的 WTHRE,统计出其季节变化。图 3 给出了 WTHRE 的季节变化,在 7、8、9 月达到事件发生的盛期,重心偏向初秋,相比 6 月,10 月事件发生次数更高。从 WTHRE 在台风降水事件中的占比来看,5—10 月整体走高,10 月占比达到最高,重心依然是偏向初秋,同时 5 月的高占比也值得关注。

考虑到 WTHRE 在季节变化上展现出的规律在

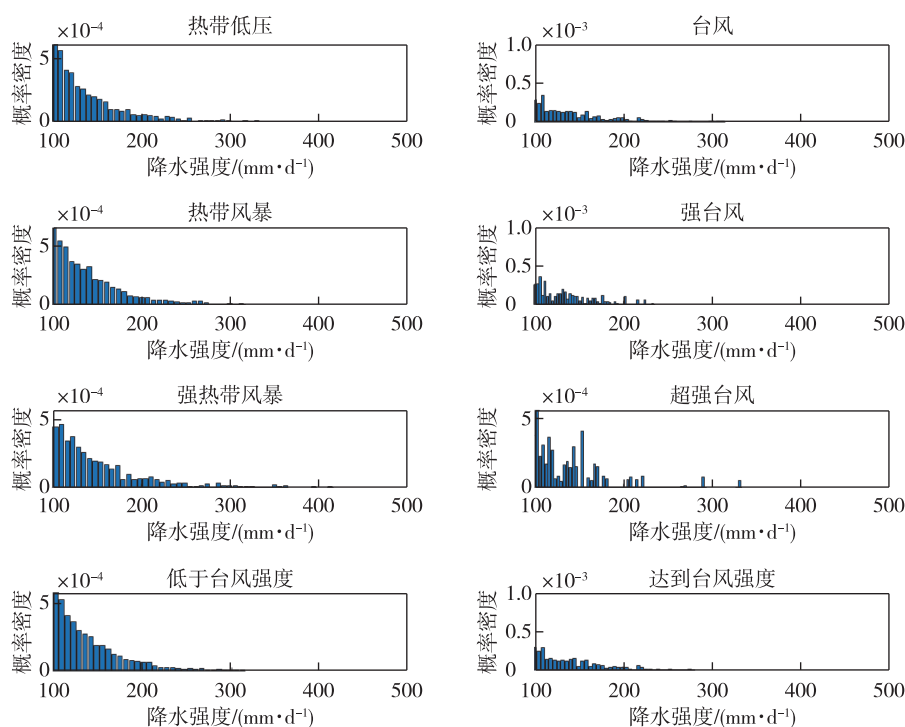


图 2 不同强度台风降水站次概率密度函数

Fig.2 Probability density function of frequency of typhoon precipitation with different intensities

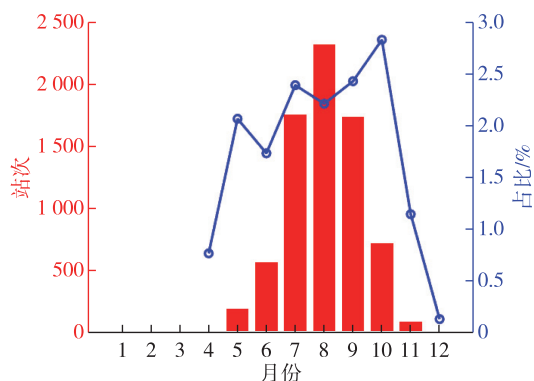


图 3 1958—2013 年“弱台风大暴雨”事件站次逐月统计(柱状为逐月总站次;折线为“弱台风大暴雨”事件站次在所有台风降水事件站次中的占比,单位:%)

Fig.3 Monthly statistics of WTHRE (column for monthly total number of stations; polyline for proportion of WTHRE in all typhoon precipitation events, units: %) from 1958 to 2013

台风季(5—10月)最为突出, QIAN and LEE<sup>[13]</sup>曾指出中国的雨季随着 5—10 月夏季风的爆发与消亡而到来与结束, 而房永生等<sup>[7]</sup>在研究中也进一步指出, 5—10 月夏季风盛行期间, 中国降水量占全年的七成, 极端降水量占九成, 同时绝大部分台风也都集中在这段时期, 台风降水量占全年的 97.4%。

结合 WTHRE 的季节变化特征, 本文将主要关

注 WTHRE 在台风季(5—10月)的变化特征, 并细分为初夏(5—6月)、盛夏(7—8月)和初秋(9—10月)3个时节来开展进一步工作。

## 2.2 年际变化

图 4a 给出了 1958—2013 年 5—10 月 WTHRE 的年际时间序列及其在台风降水事件中的占比, 二者呈现出较为一致的年际变化特征, 具有 3~4 a 显著的周期变化(图 4b)。WTHRE 的发生频次还存在较明显的年代际变化, 在 20 世纪 80 年代中期之后年际振幅加大, 发生频次增加。初夏、盛夏以及初秋的时间序列(图 4c)也表现出显著的年际变化特征, 但不同时节年际振荡特征不同。盛夏的 WTHRE 发生频次与 5—10 月台风季的年际变化最为一致, 二者之间的相关系数达到 0.77(表 1), 年际变化的振幅在 20 世纪 80 年代中期之后加大, 最大振幅出现在 2006 年, 具有 3~5 a 的显著年际振荡周期(图 4b); 根据前期的统计, 初夏的事件站次频数较少, 多个年份出现 0 事件数, 在年际变化中具有显著的 4~5 a 的振荡周期(图 4b), 且在 20 世纪 90 年代中期以后振幅减小, 具有一定的年代际变化, 与台风季的 WTHRE 也有显著的相关性, 相关系数为 0.57(表 1); 初秋 WTHRE 的年际变化与台风季的相关性最低, 二者之间的相关系数只有 0.44, 具

有准7 a的显著振荡周期,准2 a振荡的功率谱峰值也较大(图4b)。值得注意的是,从2007年以来,随着北极海冰的快速融化,初夏和盛夏的WTHRE发生频次都出现振幅减小的特征,而初秋的年际振荡

则出现明显增大的特征,这可能与夏秋季北极太平洋扇区海冰的大范围融化影响西太平洋副热带高压(简称“副高”)的强度和位置有关,其中的联系值得未来进行关注。

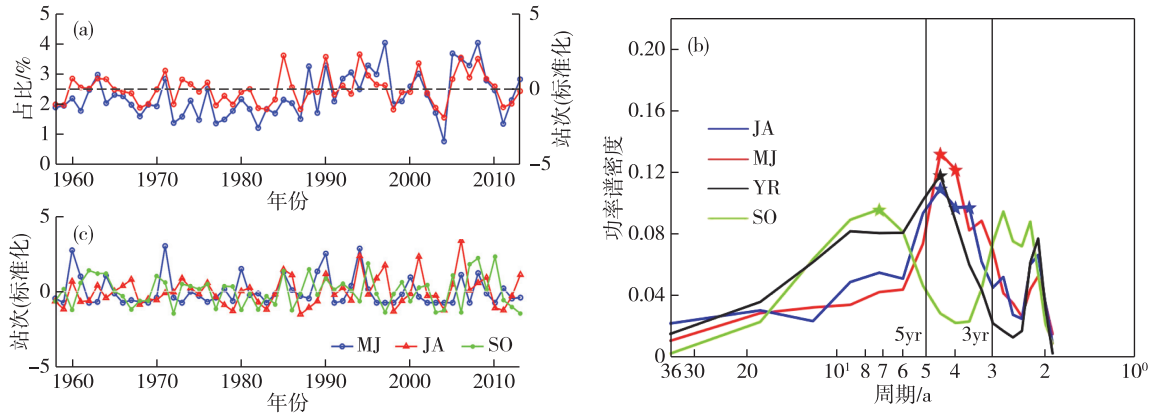


图4 1958—2013年5—10月“弱台风大暴雨”降水事件发生站次、占比的年际时间序列(标准差)(a;蓝色折线为“弱台风大暴雨”降水事件站次在所有台风降水事件站次中的占比,单位:%;红色折线为事件逐年总站次),功率谱分析(b;黑色折线为5—10月序列,红色折线为初夏,蓝色折线为盛夏,绿色折线为初秋,星标为通过95%显著性水平检验)和初夏、盛夏、初秋事件发生站次的年际时间序列(标准差)(c;蓝色折线为初夏,红色折线为盛夏,绿色折线为初秋)

Fig.4 Interannual time series (standard deviation) of the number of stations and proportion (a; blue polyline for proportion of the number of stations of WTHRE in all typhoon precipitation events, units: %; red polyline for annual total number of stations), power spectrum analysis (b; black polyline for sequence from May to October, red polyline for early summer, blue polyline for midsummer, green polyline for early autumn, star mark denotes passing significance test of 95%), and interannual time series (standard deviation) of the number of stations (c; blue polyline for early summer, red polyline for midsummer, green polyline for early autumn) of WTHRE between May and October from 1958 to 2013

表1 不同时节与整体5—10月“弱台风大暴雨”事件年际时间序列之间相关系数

Table 1 Correlation coefficient between the interannual time series of WTHRE of different seasons and interannual time series of the overall period between May and October

不同时间序列 WTHRE	相关系数
5—10月/初夏	0.57
5—10月/盛夏	0.77
5—10月/初秋	0.44

### 2.3 空间分布

根据划分的初夏、盛夏、初秋3个时段,统计各台站发生WTHRE的频次,得到WTHRE的空间分布图(图5)。初夏分布面积最小,主要集中在东南沿海区域,在湖南、江西以及东北也有少量事件发生,其中以海南发生频次最多。盛夏作为分布面积最广的事件发生时节,也是内陆出现WTHRE最多的时段,从东北到海南,中国东部沿海地区都有发生,除最集中的东南沿海以及海南以外,在内陆地区的江西北部、湖南南部等地都有较多的WTHRE

发生。初秋WTHRE最频发地区在华南沿海地区和海南省,比初夏的范围更广,向北扩张到辽东半岛,浙江南部也有较多的事件发生,该区域正是1614号台风“莫兰蒂”于秋季发生特大暴雨的区域。考虑到地形对台风移动路径以及降水的影响,内陆区域出现“镂空”的情况并不意外,总体上WTHRE发生频次的分布特征与台风降水的分布较为相似:由东南沿海向内陆减少。

### 3 有利于弱台风大暴雨事件发生的大尺度环流场

为了分析有利于WTHRE的大尺度环流场特征,根据图4a的标准差序列,选取标准差大于1的年份作为WTHRE的多发年份,进行合成分析,分析不同时段有利于WTHRE发生的大尺度环流场异常型。筛选出的合成年份有7年,分别为1971、1985、1990、1994、2001、2006和2008年,其中1985、2001和2008年为典型的拉尼娜年。

图6给出了WTHRE多发年份500 hPa位势高度场和850 hPa水汽通量的合成场。在WTHRE多发年份的整个台风季(图6a),东亚地区主要被异常



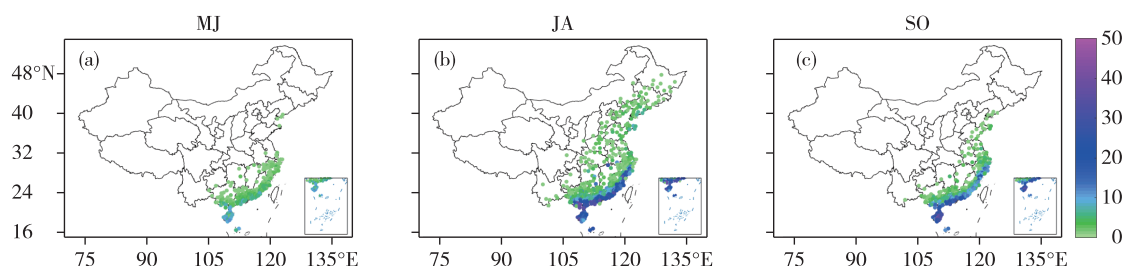


图5 “弱台风大暴雨”降水事件空间分布图(a.初夏,b.盛夏,c.初秋;填色表示事件站次数)

Fig.5 Spatial distribution map of WTHRE (a. early summer, b. midsummer, c. early autumn; colored area for the number of stations)

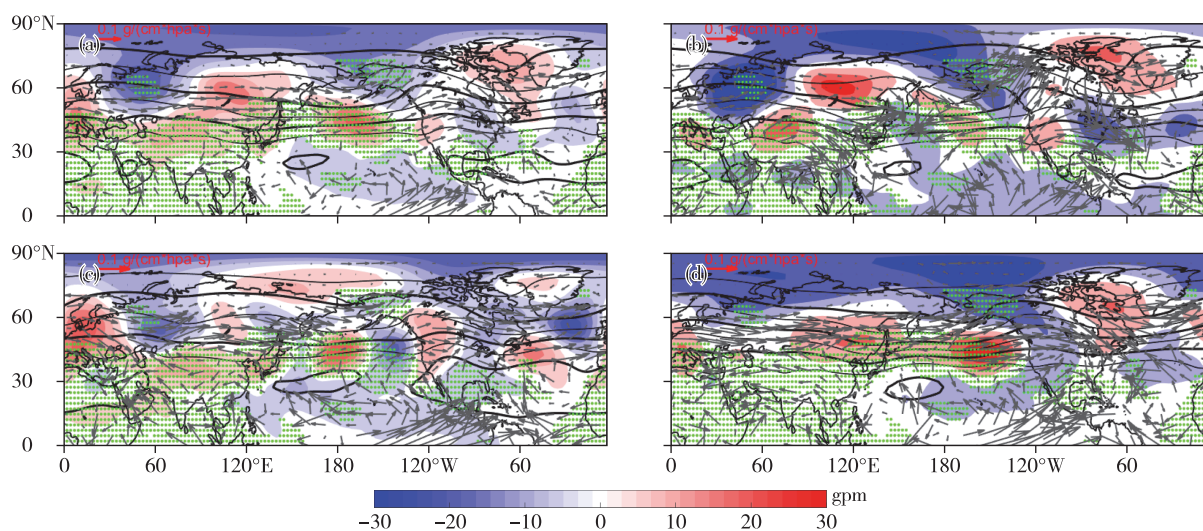


图6 “弱台风大暴雨”降水事件多发年份500 hPa位势高度合成异常场(填色,单位:gpm)、500 hPa位势高度场气候态平均(等值线,以5 880线为基准每隔160加粗等值线,单位:gpm)和水汽矢量场(灰色箭头,均通过95%显著性检验;红色箭头为矢量大小图例)(a.台风季,b.初夏,c.盛夏,d.初秋;绿色打点区域为通过95%显著性检验区域)

Fig.6 Synthesis field (colored, units: gpm) of geopotential height anomaly at 500 hPa, climate mean state (isoline, thickening isoline at an interval of 160 gpm based on 5 880 line, units: gpm) of geopotential height anomaly at 500 hPa, and water vapor vector field (gray arrow, the vectors given in the figure all pass significance test of 95%; red arrow for vector size legend) in years with more WTHRE (a. typhoon season, b. early summer, c. midsummer, d. early autumn; green dotted area denotes passing significance test of 95%)

高压所控制,使得中纬度西北气流带来的北方冷空气易于南下到副高的西北侧,有利于与弱台风带来的暖湿气流交汇产生强降水,初夏的这种环流配置最典型(图6b)。东亚异常反气旋环流的维持,可能与北半球中高纬度定常波的持续稳定有关。从图6中可以发现,无论哪个时段,北极的极涡均表现为异常加强的特征,对应着北极涛动<sup>[14]</sup>(Arctic Oscillation, AO)的加强,北半球中高纬度呈类AO正位相的分布,西风带较为平直,副高较为持续稳定。邓伟涛<sup>[15]</sup>在对夏季AO的研究中曾指出,当夏季AO加强时,东亚夏季风减弱,长江流域降水会偏多,这可能与AO正位相有利于副高的持续稳定有关。在这种半球尺度的AO背景下,中纬度呈现出

类似于DING and WANG<sup>[16]</sup>提出的环球遥相关(circum-global teleconnection, CGT)波列型,CGT包含了夏季中纬度大气中几支典型的定常波列,东亚地区的高压异常就与来自上游的欧亚遥相关波列有关。北太平洋区域还出现了类北太平洋涛动(North Pacific Oscillation, NPO)正位相的异常分布,王会军等<sup>[17]</sup>指出,当NPO处于正位相异常时,西太平洋区纬向风的垂直切变减小、海温升高,有利于西太平洋热带气旋的生成和发展,因而可以认为这种类NPO正位相异常的环流场提供了台风增多的客观条件。另外,纵观整个台风季,副高强度均偏弱,大尺度环流异常导致台风的引导气流减弱,使得台风移动速度减慢并增加停留时间,容易使登

陆我国境内的台风形成大暴雨降水。

从水汽输送条件来看,WTHRE 多发年份,水汽主要从副高西南侧向西北方向输送至我国东南沿海地区,初夏水汽主要来自南海的暖湿水汽,盛夏与初秋来自印度洋的水汽增多,可能体现了季风与台风之间的相互作用及其对弱台风环流水汽的补充。有研究<sup>[18]</sup>指出,除去局地水汽输送场,还要考虑热带气旋向极移动过程中携带了大量可供中纬度地区降水的水汽,尤其是本文关注的“弱台风”,减弱变性的台风常常是中纬度地区槽前和槽区暴雨的触发者<sup>[19]</sup>。

#### 4 结论与讨论

利用国家气候中心提供的 1958—2013 年 756 个台站的逐日降水资料、NCEP/NCAR 的逐月再分析资料、中国台风网“CMA-STI 热带气旋最佳路径数据集”,采用 REN et al.<sup>[12]</sup>提出的台风降水分离方法分离出台风降水,并定义筛选出 WTHRE 降水站次,对其时空分布特征进行了统计分析,同时通过合成分析,初步揭示了相关的大尺度环流场异常型。结果表明:

1)在时间变化上,WTHRE 主要集中在 5—10 月发生,其中盛夏(7—8 月)WTHRE 站次最多,初秋(9—10 月)在所有台风降水中的占比最高,初夏均为最弱;台风季的时间序列在 1980 年以后振幅明显增加,具有 3~5 a 的显著年际振荡周期,初夏与盛夏具有 4~5 a 的振荡周期,盛夏的 WTHRE 发生频次与 5—10 月台风季的年际变化最为一致(相关系数 0.77),初秋具有准 7 a 的振荡周期,年际变化与夏半年台风季的变化相关性最低(相关系数仅 0.44)。在空间分布上,初夏的事件覆盖面积最小,主要集中在东南沿海区域;盛夏覆盖面积最广,向北延伸至东北地区;初秋相比初夏的范围更广,向北扩张到辽东半岛。总体上 WTHRE 的空间分布规律与普通台风降水的规律一致,由东南沿海向内陆递减。

2)在有利于 WTHRE 的环流异常场中,主要的背景场是类 AO 正位相的异常环流,有稳定平直的中纬度西风带,使得中纬度的 CGT 定常波列持续稳定,亚洲地区维持的高压异常环流引导北方冷空气南下,与南方的热带气旋带来的暖湿气流汇聚产生降水;同时,在北太平洋有类 NPO 的环流场异常,西太平洋区纬向风的垂直切变减小、海温升高,有利于西太平洋热带气旋的生成和发展<sup>[17]</sup>,提供了生成台风数量增多的客观条件。此外,整个台风季副高

的表现均偏弱,有利于登陆我国的台风停留时间增加以及水汽源源不断地输送。水汽输送主要从副高西南侧向西北方向输送至我国东南沿海地区,初夏水汽主要来自南海的暖湿水汽,盛夏与初秋则增加了来自印度洋孟加拉湾的水汽。

本文对 WTHRE 进行了定义和统计分析,在研究中还存在不足之处。文中的定义给出的是弱台风强度情况下的共性结果,其中包括了前期生命史曾经达到台风强度,但后来减弱的热带气旋和一开始就未达到台风强度的热带气旋。在今后的工作中进行更加明确的分类统计与分析,可能会有更清晰的结果,对预报工作也将更有帮助。

#### 参考文献:

- [1] 周淑玲,王科,闫淑莲,等.山东半岛两次秋季台风远距离大暴雨的特征分析[J].海洋气象学报,2019,39(2):84-93.
- [2] 翁永元,雷小途,景元书,等.全国热带气旋降水量的初步气候分析[J].气象与减灾研究,2012,35(1):47-53.
- [3] REN F M, WU G X, DONG W J, et al. Changes in tropical cyclone precipitation over China [J]. Geophys Res Lett, 2006, 33(20): L20702. DOI: 10.1029/2006GL027951.
- [4] 王咏梅,任福民,李维京,等.中国台风降水的气候特征[J].热带气象学报,2008,24(3):233-238.
- [5] 黄伟.近 30 年影响我国东南沿海的热带气旋降水强度变化特征分析[J].气候与环境研究,2013,18(4):507-516.
- [6] 房永生.中国极端强降水的时空特征及未来预估[D].青岛:中国海洋大学,2014.
- [7] 房永生,黄菲,陈月亮,等.夏半年中国总降水、极端降水及台风降水的趋势分析[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2015,45(6):12-18.
- [8] CHANG C P, LEI Y, SUI C H, et al. Tropical cyclone and extreme rainfall trends in East Asian summer monsoon since mid-20th century [J]. Geophys Res Lett, 2012, 39(17): L18702. DOI: 10.1029/2012GL052945.
- [9] 江漫,漆梁波.1959—2012 年我国极端降水台风的气候特征分析[J].气象,2016,42(10):1230-1236.
- [10] 邱文玉.我国东南沿海台风极端降水特征及成因初探[D].南京:南京信息工程大学,2014.
- [11] 张子涵.1614 号台风“莫兰蒂”引发的浙江大暴雨成因分析[C]//中国气象学会.第 34 届中国气象学会年会 S1 灾害天气监测、分析与预报论文集.北京:中国气象学会,2017:1.
- [12] REN F M, WANG Y M, WANG X L, et al. Estimating tropical cyclone precipitation from station observations [J]. Adv Atmos Sci, 2007, 24(4): 700-711.

- [13] QIAN W H, LEE D K. Seasonal march of Asian summer monsoon [J]. *Int J Climatol*, 2000, 20(11): 1371-1386.
- [14] THOMPSON D W J, WALLACE J M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields [J]. *Geophys Res Lett*, 1998, 25(9): 1297-1300.
- [15] 邓伟涛. 夏季北极涛动(AO)、东亚夏季风与中国东部降水的年代际变化关系[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2005.
- [16] DING Q H, WANG B. Circumglobal teleconnection in the northern hemisphere summer [J]. *J Climate*, 2005, 18(17): 3483-3505.
- [17] 王会军, 孙建奇, 范可. 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 地球科学*, 2007, 37(7): 966-973.
- [18] 雷小途, 陈联寿. 热带气旋的登陆及其与中纬度环流系统相互作用的研究[J]. *气象学报*, 2001, 59(5): 602-615.
- [19] 朱洪岩, 陈联寿, 徐祥德. 中低纬度环流系统的相互作用及其暴雨特征的模拟研究[J]. *大气科学*, 2000, 24(2): 670-675.