

Predictability of Weak Typhoon Heavy Rainfall Event in China during the Midsummer

Xifan Zhang^{1,2}, Fei Huang^{1,2,3*}, Shibin Xu^{1,2}

¹Physical Oceanography Laboratory/CIMST, Ocean University of China, Qingdao Shandong

²Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao Shandong

³Ningbo Collaborative Innovation Center of Nonlinear Hazard System of Ocean and Atmosphere, Ningbo University, Ningbo Zhejiang

Email: zhangxf1994@foxmail.com, *huangf@ouc.edu.cn

Received: May 20th, 2019; accepted: May 28th, 2019; published: Jun. 4th, 2019

Abstract

Typhoon occurs the most frequently in midsummer over China, and typhoon precipitation is an important part of precipitation in China. It is generally believed that after landing typhoon weakened, the accompanying strong storms and rainfalls will also be weakened. However, sometimes heavy rainstorm appears while the typhoon intensity weakens. This paper defines the “weak typhoon heavy rainfall” event, that is, the tropical cyclone does not reach the typhoon-class intensity (averaged wind speed of the tropical cyclone in 2 minutes is less than 32.7 m/s), and daily precipitation at each station exceeds 100 mm (the heavy rainstorm level). And by exploring the predictability and interannual variation of WTHRE, the results show that the abnormal warmth of the Barents Sea in the early sea temperature field caused the sea ice to decrease, which made the cold air activity southward, and cooperated with the positive phase of the previous IOD, which leads the cross-equatorial airflow enhanced in summer and a large amount of vapor transport northward carried with the South summer monsoon, which increases the precipitation in China. The combination of the La Niña-SST signal in the background field of the PDO cold phase and the weakening of the West Pacific subtropical high caused the increase of typhoon affecting China with weak intensity, which induced the WTHRE.

Keywords

Weak Typhoon, Heavy Rainfall, Typhoon Precipitation, Predictability

盛夏中国弱台风大暴雨事件的可预报性

张希帆^{1,2}, 黄菲^{1,2,3*}, 许士斌^{1,2}

*通讯作者。

¹中国海洋大学物理海洋教育部重点实验室, 山东 青岛

²青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 山东 青岛

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

Email: zhangxf1994@foxmail.com, huangf@ouc.edu.cn

收稿日期: 2019年5月20日; 录用日期: 2019年5月28日; 发布日期: 2019年6月4日

摘要

盛夏是我国台风的多发时期, 而台风降水是我国降水的重要组成部分, 一般认为台风登陆减弱后, 其伴随的强风暴雨灾害也会随之减弱, 但有时也会出现台风强度减弱而其带来的降水却反而达到大暴雨等级的现象, 本文定义这种现象为“弱台风大暴雨”降水事件, 即热带气旋2分钟平均近中心最大风速不足 32.7 m/s (即未达到台风强度), 且单站单日降水量超过 100 mm (即达到大暴雨等级)的热带气旋降水事件。对盛夏中国“弱台风大暴雨”事件的年际变化及其可预报性进行了探究, 结果表明: 前期海表温度场巴伦支海异常增暖导致海冰减少, 使得冷空气活动偏南, 同时配合前期印度洋偶极子正位相导致的夏季越赤道气流增强, 南海地区西南季风携带大量水汽输送北上, 使我国降水量增加。而前期拉尼娜型海表温度信号与西太平洋副热带高压的减弱相配合导致影响我国的台风增多, 强度偏弱, 诱发“弱台风大暴雨”事件。

关键词

弱台风, 大暴雨, 台风降水, 可预报性

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

台风是生成在热带和副热带洋面上的一种剧烈天气过程, 被认为是世界上最严重的自然灾害之一。中国作为台风影响最大的国家之一, 每年夏天的华南、东南沿海等地区都会迎来台风, 沿海地区的城市都会成为台风登陆的目标, 遭遇不同程度的台风暴雨、大风和风暴潮等灾害, 进而造成洪涝灾害, 耕地受淹, 城市内涝等重大经济损失。

登陆中国的台风往往带来强降水。80%的台风进入大陆后可产生日雨量超过 50 mm 的暴雨, 其中, 30%以上日雨量可达 200 mm 以上(特大暴雨), 据1977年以前降水记录分析, 在我国7次日雨量达 1000 mm 的超级特大暴雨中, 6次与台风影响有关[1]。在对东南沿海的降水研究中明确指出, 热带气旋降水主导了总降水的趋势, 对降水有着显著的贡献[2], 房永生等[3] [4]也给出了与之类似的结论, 同时认为, 台风造成的极端降水是台风降水对降水贡献很重要的一部分; 王咏梅等[5]通过统计台风大暴雨在大暴雨降水中的占比也得出了台风大暴雨降水对于大暴雨有重要贡献的结论。而在对降水强度达到大暴雨强度, 台风等级低于台风级的降水事件在所有台风大暴雨降水中的占比统计中, 作者发现, 这种“弱台风”所造成的大暴雨是台风大暴雨降水的重要组成部分, 尤其是在内陆台风少发地区, 这表明了“弱台风大暴雨”降水事件是值得关注的。

2016年在福建省厦门市翔安区沿海登陆的1614号台风“莫兰蒂”，不仅仅在登陆点厦门造成了强降水，在其北上减弱后，受其减弱后的低压和外围环流影响，浙江省受到了极其严重的降水影响，个别站点甚至出现百年一遇的强降雨。类似这样的台风减弱后的强降水，往往会对预报工作造成极大的困扰。而目前对于台风的预报，多数是对于即时生成的台风，结合数值模式，预测未来二三天内台风移动的路径、强度变化和伴随的大风、降水分布等状况。目前表现较好的也是台风路径预报，对于台风强度预报一直难以攻克，更遑论对于不同台风强度的风雨预报[6]。

台风预报在未来要能有突破性的发展，除了在数值技术上需要突破，更需要进一步加强台风相关理论和机理研究，故本文尝试从环流机制出发，选取台风多发的盛夏季节(7~8月)，对“弱台风大暴雨”这一特殊台风极端降水事件进行可预报性的探究。

2. 资料与方法

本文所用的降水资料是中国气象局气候中心提供的756个台站的逐日降水资料。本文所用的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、皮温场，分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ，资料起止时间为1958年1月~2013年12月。

本文采用Ren等[7]提出的Objective Synoptic Analysis Technique (OSAT)方法进行台风降水的分离。并对“弱台风大暴雨”降水事件(Weak Typhoon Heavy Rainfall Events, WTHRE)定义如下：

- 1) 热带气旋2分钟平均近中心最大风速不足32.7 m/s(即未达到台风(TY)强度)；
- 2) 单站单日降水量超过100 mm(即达到大暴雨等级)。

预报模型的建立采用多元线性逐步回归分析方法。其基本思想是将变量逐一引入模型。每一个解释变量都由f检验，所选的解释变量由t检验，当原来的解释变量由于后来的解释变量的引入而不再重要时，将其删除。以确保在引入每个新变量之前，回归方程中只包含重要变量。这是一个重复的过程，直到在回归方程中没有选择重要的解释变量，并且没有从回归方程中排除任何重要的解释变量，以此保证所得到的最后一组解释变量是最佳的。根据逐步多元线性回归的这个思想，可以结合理论分析客观地挑选出预报因子。

3. 盛夏“弱台风大暴雨”降水事件频数预报模型的建立

3.1. 盛夏“弱台风大暴雨”降水事件频数的年际年代际变化

为了将盛夏WTHRE与环流场以及温度场进行回归寻找其中的预报因子，统计得到盛夏WTHRE的标准化时间序列(图1)。盛夏WTHRE存在显著的年际变化特征，功率谱分析表明其具有4~5a的显著振荡周期。同时，WTHRE还有较明显的年代际变化，在1985年之后年际振幅加大，发生频次增加，5年滑动平均序列较好地反映这一特征。在1985年之前，时间序列主要以负值为主，是盛夏WTHRE的“低潮期”，在1985年之后，近二三十年振幅加大，5年滑动平均值以正值为主，是盛夏WTHRE的“频发期”。

3.2. 预报因子的选取及其影响机制

为了建立可靠的预报模型，需要从各物理场量中选取合适的预报因子，本文从500 hPa环流场、皮温(Skin Temperature)以及海表面温度场入手，并从超前一年的9月和10月(SO-1)，11月和12月(ND-1)，同年前期的1月和2月(JF+0)，3月和4月(MA+0)，5月和6月(MJ+0)，以及同期盛夏与WTHRE年际时间序列(图1)的回归场中寻找预报因子进行分析。

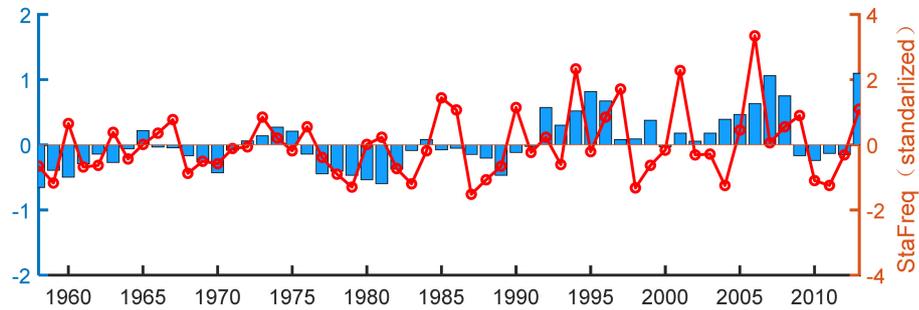


Figure 1. Standardized time series of the WTHRE frequency in Midsummer China (red polyline) and 5-year moving average sequence (blue bar)

图 1. 盛夏中国 WTHRE 频数的标准化时间序列(红色折线)以及 5 年滑动平均序列(蓝色柱状)

如图 2, 在盛夏中国 WTHRE 频数与皮温及海表面温度的回归场中, 通过了 95%显著性检验的区域主要分布在了巴伦支海海域, 东北太平洋海域, 赤道中东太平洋海域, 南太平洋澳大利亚与非洲之间的海域, 以及南印度洋海域。欧亚北部的巴伦支海海域海温(BSSST, Barents-Sea Sea Surface Temperature, $10^{\circ}\text{E}\sim 70^{\circ}\text{E}; 70^{\circ}\text{N}\sim 85^{\circ}\text{N}$), 显著的暖异常信号从前一年的 9 月和 10 月(SO - 1)持续到了同年 3 月和 4 月(MA + 0)。东北太平洋海域海温(ENPSST, The Eastern-Northern Pacific Sea Surface Temperature, $180^{\circ}\text{E}\sim 130^{\circ}\text{W}$, $30^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$)从前一年 9 月和 10 月(SO - 1)开始出现显著的暖异常信号, 一直持续到同年 3 月和 4 月(MA + 0)显著性下降, 之后的季节信号消散。此外, 从前一年 9 月和 10 月(ND - 1)开始, 中东太平洋海域海温

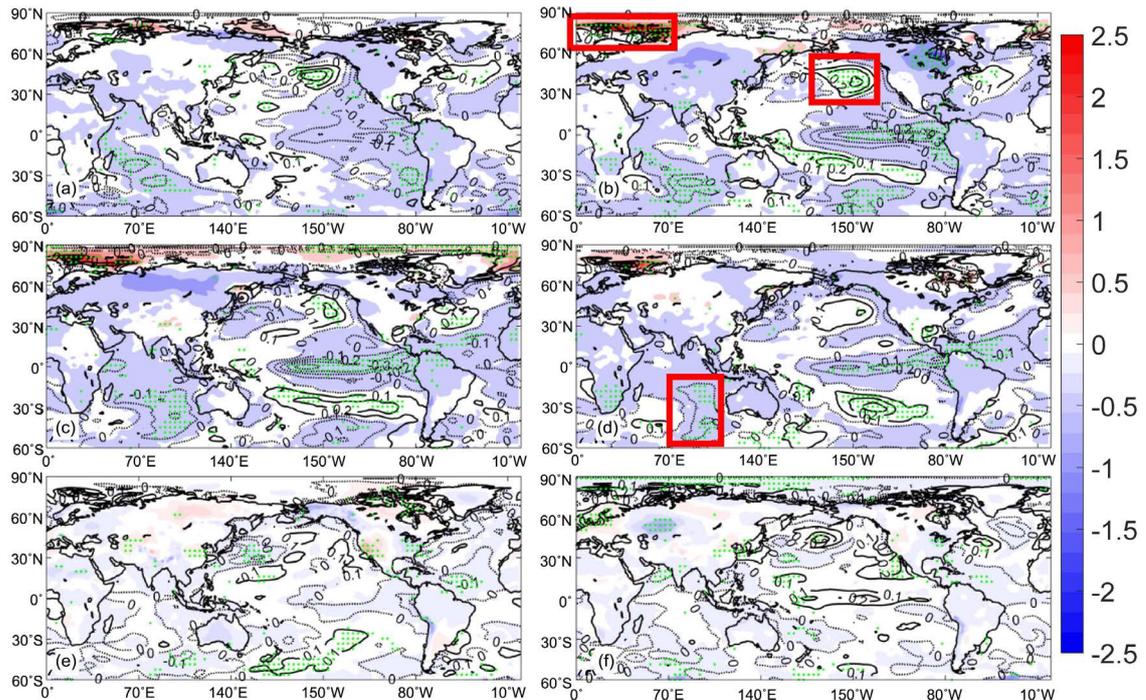


Figure 2. The interannual time series of the WTHRE frequency in midsummer China and the regression field of the temperature in the autumn of the previous year (SO - 1) to the same period of the midsummer, respectively (a) SO - 1, (b) ND - 1, (c) JF + 0, (d) MA + 0, (e) MJ + 0, (f) JA + 0, where the color is the skin temperature regression value, the contour is the sea surface temperature regression value, and the green dot area is 95% significance level test area

图 2. 盛夏中国 WTHRE 频数年际时间序列与前一年秋季(SO - 1)到同期盛夏各季度温度的回归场, 分别为(a) SO - 1, (b) ND - 1, (c) JF + 0, (d) MA + 0, (e) MJ + 0, (f) JA + 0, 其中填色为皮温回归值, 等值线为海温回归值, 绿色打点区域为通过了 95%显著性水平检验的区域

(EMPSST, The Eastern-Middle Pacific Sea Surface Temperature, $180^{\circ}\text{E}\sim 90^{\circ}\text{W}$, $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$)异常偏冷, 并且随着时间的推进冷异常加强, 同样地, 一直持续到同年的3月和4月(MA + 0), 表现出了 La Niña 现象的信号, 最强的信号出现在同一年1月和2月(JF + 0), 整个赤道中东太平洋区域都通过了 95%显著性检验。同样显著性信号很好的还有南印度洋海域海温(SISST, South India Ocean Sea Surface Temperature, $70^{\circ}\text{E}\sim 110^{\circ}\text{E}$, $50^{\circ}\text{S}\sim 15^{\circ}\text{S}$), 从前一年11月和12月(ND - 1)出现显著冷异常一直持续到同一年3月和4月(MA + 0)。

前期回归的海温场, 在太平洋表现为北太平洋年代际涛动(PDO)的冷位相, 同时中东太平洋海温持续的显著冷异常对应着赤道西太平洋海温持续的显著暖异常, 是 La Niña 事件的信号, 这种在 PDO 冷位相的年代际背景下的 La Niña 信号, 对应着我国华中、华北偏涝[8], 同时 La Niña 年虽然影响我国的台风会增多, 但是强度普遍不如 El Nino 年份时对我国产生影响的台风[9] [10], Carmago 等[11]也曾指出在 La Niña 年台风的强度经常无法达到台风级(TY)。这种降水增多, 台风强度减弱的情况, 解释了前期的 PDO 冷位相背景下的 La Niña 信号, 对我国盛夏 WTHRE 的预报作用。此外, 冬季巴伦支海的海温暖异常(BSSST), 可能造成局地海冰异常减少, 武炳义等[12]曾指出, 这种情况下冬、春季节亚洲大陆冷空气活动偏南, 冷空气在东亚地区向南爆发, 容易在我国造成强对流降水。南印度洋海温(SISST)的冷异常信号, 其西侧区域显著暖异常, 这实际上是印度洋偶极子(Indian Ocean Dipole, IOD)正位相的表现, 这种海温异常模态[13] [14] [15]的前期正位相, 使得夏季的越赤道气流增强, 夏季南海季风和西南季风携带大量水汽输送至我国[16] [17] [18], 同时西太平洋副热带高压偏弱[19], 减弱登陆降水台风的引导气流, 使得登陆中国的台风移动速度减慢增加停留时间, 配合夏季风带来的水汽, 构成了 WTHRE 的客观条件。

将盛夏中国 WTHRE 频数与 500 hPa 位势高度进行回归, 得到图 3, 在前一年 11 月和 12 月(ND - 1),

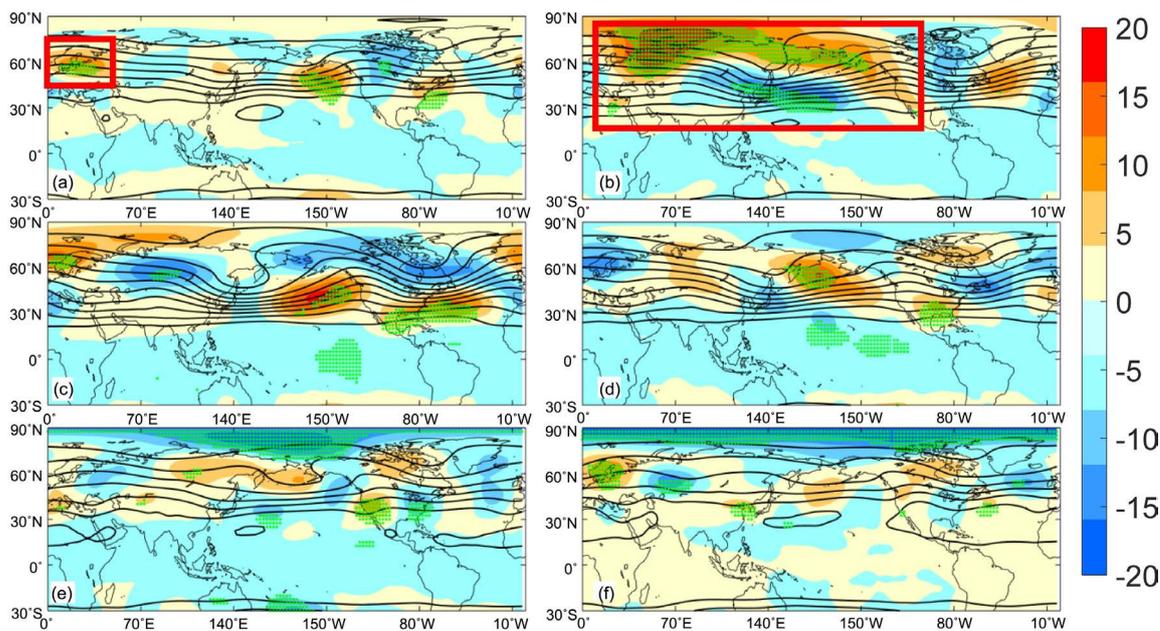


Figure 3. The interannual time series of the WTHRE frequency in midsummer China and the regression field of the 500 hPa geopotential height in the autumn of the previous year (SO - 1) to the midsummer of the same period, respectively (a) SO - 1, (b) ND - 1, (c) JF + 0, (d) MA + 0, (e) MJ + 0, (f) JA + 0, where the color is the regression value, the contour is the climatic state average, and the green dot area is 95% significance level test area

图 3. 盛夏中国 WTHRE 频数年际时间序列与前一年秋季(SO - 1)到同期盛夏各季度 500 hPa 位势高度的回归场, 分别为 (a) SO - 1, (b) ND - 1, (c) JF + 0, (d) MA + 0, (e) MJ + 0, (f) JA + 0, 其中填色为回归值, 等值线为气候态平均值, 绿色打点区域为通过了 95%显著性水平检验的区域

东亚大槽加深,上游的乌拉尔山阻高脊增强,呈显著的类北极涛动(AO)负位相信号,并且随着时间推移,次年夏季东亚大槽变浅,东亚上空出现正压异常(参考图 3(e)),有研究指出[20],在这样的前期与后期场的形势下,由于次年夏季热带大西洋异常偏高的海温对冬季 AO 负位相有一定的“记忆”,进一步引起环球遥相关定常波列的正位相,从而能够激发北太平洋的 La Niña 信号,最终导致受到印度季风影响的区域降水增多。这与前面所统计得到的海温回归场形势是相吻合的。

因此,有理由认为,在前期可能存在的这些预报因子的作用下,构成了盛夏中国 WTHRE 发生的条件。本文考虑将这些有一定季节持续性,并且通过了 95%显著性水平检验的区域信号作为盛夏中国 WTHRE 频数潜在的预报因子进行筛选,建立预报模型。

3.3. 预报模型的建立

基于上文对预报因子的讨论分析,为了构造出预报效果理想的预报模型,对讨论的因子进行多元逐步线性回归,在回归过程中,每一步都进行预报因子引入与剔除的检验,最终筛选出五个因子作为盛夏中国 WTHRE 频数预报模型的预报因子:前一年 11 月和 12 月的东北太平洋区域海温(ENPSST, ND - 1)、前一年 9 月和 10 月北欧异常反气旋(NEHgt, SO - 1)、前一年 11 月和 12 月巴伦支海海域海温(BSSST, ND - 1)、前一年 11 月和 12 月 AO 指数(AOind, ND - 1)和同一年 3 月和 4 月南印度洋区域海温(SISST, MA + 0)列于表 1 中。

Table 1. Forecast factor of WTHRE frequency in midsummer China

表 1. 盛夏中国 WTHRE 频数的预报因子

物理量	时间	区域	经纬度
海温(ENPSST)	ND - 1	东北太平洋	(180°E~130°W; 30°N~45°N)
位势高度(NEHgt)	SO - 1	北欧海	(0°E~60°E; 50°N~75°N)
海温(BSSST)	ND - 1	巴伦支海	(10°E~70°E; 70°N~85°N)
AO 指数(AOind)	ND - 1	极区/中纬	-
海温(SISST)	MA + 0	南印度洋	(70°E~110°E; 50°S~15°S)

最终,通过逐步多元线性回归分析方法对夏半年中国区域内 WTHRE 频数建立的预报模型为:

$$\text{WTHRE_midsum} = 0.28 \times \text{ENPSST} - 0.26 \times \text{NEHgt} + 0.41 \times \text{BSSST} - 0.25 \times \text{AOind} - 0.45 \times \text{SISST}$$

预报因子中贡献最大的为印度洋区域海表面温度(SISST, MA + 0)的负贡献,该区域海温的冷异常有利于盛夏中国 WTHRE 发生,其次为巴伦支海海域的海温暖异常(BSSST, ND - 1)。此外,两个环流预报因子的贡献均为负贡献,通常在前一年 11 月和 12 月(ND - 1)的 AO 为负位相时或前一年 9 月和 10 月北欧异常反气旋(NEHgt, SO - 1)减弱时,对应着次年盛夏中国 WTHRE 的发生。此外,在回归场中表现突出的拉尼娜信号因子(EMPSST)并没有通过筛选出现在预报模型中,考虑到前期的回归场是一个海洋与大气组成的整体,早有研究指出[21]拉尼娜与巴伦支海海冰减少,以及类 AO 正位相都有较好的正相关,这两者在预报模型中均有较高的贡献,所以可以认为拉尼娜信号在方程中被其它预报因子所解释。

3.4. 预报模型的交叉检验

通过交叉检验法对所建立的盛夏中国 WTHRE 频数的预报模型进行检验,如图 4 所示:其中 Yb 为预报因子组成的回归方程;Ycv 为交叉检验得到的盛夏中国 WTHRE 频数后报时间序列。对比其中的回归序列 Yb 和预报序列 Ycv,盛夏中国 WTHRE 频数的预报模型有着不错的稳定性,预报效果的相关系数

达到了 0.63, 通过了 99% 的显著性检验。该预报模型能在一定程度上预报出盛夏中国区域内 WTHRE 频数的时间序列, 在 1994 年, 1997 年和 2012 年这三个年份峰值预报效果不佳, 考虑有其它的因子产生了更大的影响, 但是总体趋势基本能够通过预报模型反映出来。

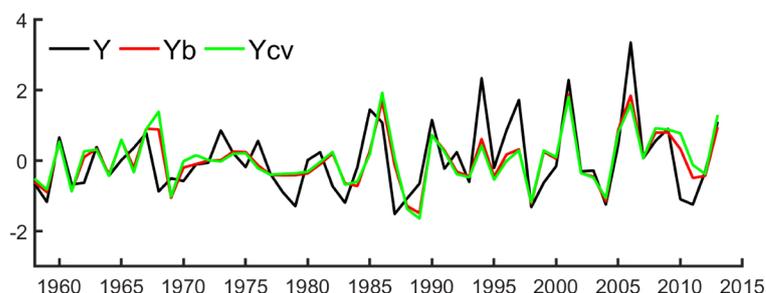


Figure 4. Regression and forecast of the WTHRE frequency in midsummer China. WTHRE frequency interannual sequence (Y); stepwise regression equation time series (Yb); slide the complete time series for 5 years, the remaining sequence establishes the forecast equation, and the post-report time series obtained after sliding for 5 years (Ycv)

图 4. 盛夏中国 WTHRE 频数的回归及预报。盛夏中国 WTHRE 频数年际序列(Y); 逐步回归方程时间序列(Yb); 将完整时间序列滑动提取 5 年, 剩余序列建立预报模型, 对 5 年进行滑动后报得到的后报时间序列(Ycv)

4. 结论

本文利用中国气象局气候中心提供的降水资料、美国国家环境预报中心和大气研究中心的再分析资料和上海台风研究所的“CMA-STI 热带气旋最佳路径数据集”, 定义并挑选出盛夏中国“弱台风大暴雨”降水事件, 对其前期与海温、陆温以及 500 hPa 环流场进行回归分析, 利用多元线性逐步回归方法挑选预报因子并建立预报模型。结果表明:

盛夏中国的 WTHRE 年际序列大致呈现 4~5 年的震荡周期, 在 1985 年之前处于“低潮期”, 1985 年之后振幅加大并转为“频发期”。前期冬季(ND - 1)在巴伦支海海温暖异常(BSSST)的影响下, 造成局地海冰异常减少, 这种情况下冬、春季节亚洲大陆冷空气活动偏南, 冷空气在东亚地区向南爆发, 容易在我国造成强对流降水。而前期春季(MA + 0) IOD 正位相导致夏季的越赤道气流增强, 夏季南海季风和西南季风携带大量水汽输送至我国, 配合减弱的副热带高压, 使登陆我国的台风停留时间和降水量增加。太平洋海温在 PDO 冷位相的背景下呈现拉尼娜衰减信号, 有研究指出[8] [9] [10] [11]这种形势下台风频数增加但是强度减弱, 进而提供了 WTHRE 的客观条件。同时前期冬季(ND - 1)的类 AO 负位相, 会造成次年夏季热带大西洋异常偏高的海温, 这将引起 CGT 定常波列的正位相, 从而配合北太平洋的 La Niña 信号, 最终导致受到印度季风影响的区域降水增多, 这与海温场的形势是一致的。

建立的预报模型表明, 前期 IOD 信号对 WTHRE 的预报贡献最大, 预报模型基本能够反映盛夏中国 WTHRE 的趋势, 预报效果达到 0.63, 通过了 99% 的显著性检验, 对于峰值的预报准确度还有待加强。

本文分析了盛夏中国“弱台风大暴雨”事件的前期海温场与环流场, 成功建立了预报模型, 但其中复杂的物理过程以及多物理场因子的影响还需要通过不断优化预报模型, 扩充预报因子的挑选(如海冰)来提升预报的准确度。

基金项目

国家重大科学研究计划项目(2015CB953904)和国家自然科学基金项目(41575067 和 41605037)资助。

参考文献

- [1] 黄贵生, 卢雪勤. 浅谈台风雨性质的辨别[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(3): 89-90.

- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 房永生. 中国极端强降水的时空特征及未来预估[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [5] 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.
- [6] 许映龙, 张玲, 高拴柱. 我国台风预报业务的现状及思考[J]. 气象, 2010, 36(7): 43-49.
- [7] Ren, F.M., Wang, Y.M. and Wang, X.L. (2007) Estimating Tropical Cyclone Precipitation from Station Observations. *Advances in Atmospheric Sciences*, **24**, 700-711. <https://doi.org/10.1007/s00376-007-0700-y>
- [8] Wang, S.S., Huang, J.P., He, Y.L. and Guan, Y.P. (2015) Combined Effects of the Pacific Decadal Oscillation and El Nino-Southern Oscillation on Global Land Dry-Wet Changes. *Scientific Reports*, **4**, Article No. 6651. <https://doi.org/10.1038/srep06651>
- [9] Chan, J.C.L. and Liu, K.S. (2004) Global Warming and Western North Pacific Typhoon Activity from an Observational Perspective. *Journal of Climate*, **17**, 4590-4602. <https://doi.org/10.1175/3240.1>
- [10] 林惠娟, 张耀存. 影响我国热带气旋活动的气候特征及其与太平洋海温的关系[J]. 热带气象学报, 2004, 20(2): 218-224.
- [11] Camargo, S.J. and Sobel, A.H. (2005) Western North Pacific Tropical Cyclone Intensity and ENSO. *Journal of Climate*, **18**, 2996-3006. <https://doi.org/10.1175/JCLI3457.1>
- [12] 武炳义, 黄荣辉, 高登义. 冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积变化对后期北太平洋海温的影响[J]. 气候与环境研究, 1999(2): 38-48.
- [13] Saji, N.H., Goswami, B.N., Vinayachandran, P.N., et al. (1999) A Dipole Mode in the Tropical Indian Ocean. *Nature*, **401**, 360-363. <https://doi.org/10.1038/43854>
- [14] Li, C.Y. and Mu, M.Q. (2001) The Influence of the Indian Ocean Dipole on Atmospheric Circulation and Climate. *Advances in Atmospheric Sciences*, **18**, 831-843. <https://doi.org/10.1007/BF03403506>
- [15] Li, C.Y., Mu, M.Q. and Pan, J. (2002) Indian Ocean Temperature Dipole and SSTa in the Equatorial Pacific Ocean. *Chinese Science Bulletin*, **47**, 236-239. <https://doi.org/10.1360/02tb9056>
- [16] 闫晓勇, 张铭. 印度洋偶极子对东亚季风区天气气候的影响[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(3): 435-444.
- [17] 金大超. 春季南印度洋海温异常对两广夏季降水异常的可能影响[C]//中国气象学会. 第 35 届中国气象学会年会 S7 东亚气候、极端气候事件变异机理及气候预测. 北京: 中国气象学会, 2018: 21.
- [18] Wu, R.G., Yang, S., Wen, Z.P., et al. (2012) Interdecadal Change in the Relationship of Southern China Summer Rainfall with Tropical Indo-Pacific SST. *Theoretical and Applied Climatology*, **108**, 119-133. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0519-4>
- [19] Li, C.Y., Long, Z.X. and Zhang, Q.Y. (2001) Strong/Weak Summer Monsoon Activity over the South China Sea and Atmospheric Intraseasonal Oscillation. *Advances in Atmospheric Sciences*, **18**, 1146-1160. <https://doi.org/10.1007/s00376-001-0029-x>
- [20] 乔少博. 冬季北极涛动/北大西洋涛动对后期东亚气候的影响及其年际间联系的变化[D]: [博士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2018.
- [21] 罗蕊, 祁莉, 张文君, 何金海. 热带太平洋海温异常对北极海冰的可能影响[J]. 海洋学报, 2017, 39(7): 53-69.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5711, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ccrl@hanspub.org