

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2015.03.005

江浙沿海台风特征分析

孙佳^{1,2},王燕妮^{1,2},左军成^{1,2}

(1. 河海大学海岸灾害及防护教育部重点实验室,江苏 南京 210098; 2. 河海大学物理海洋研究所,江苏 南京 210098)

摘要:对影响江浙沿海台风的路径分布、发生频率等进行了系统分析,结果表明:影响江浙沿海的台风来自于西北太平洋和南海,其中 90% 以上生成于西北太平洋洋面,其余在南海生成。按其对象江浙沿海的影响程度分类,得到影响江浙沿海台风的 3 种主要路径特征。台风主要在每年的 5—11 月进入江浙沿海,8 月进入江浙沿海的台风数达到最大值;台风频数存在 5—6 年显著周期;21 世纪以来进入江浙沿海的台风数逐渐减少,气旋能量逐年减弱。江浙沿海台风南多北少,浙江省(包括上海市)台风登陆次数较多,江苏省受台风影响相对较弱,基本无台风登陆。由于杭州湾附近特殊的水文环境和地形对台风路径的影响,成为奇特的台风零区,其附近基本无台风经过。

关键词:台风;江浙沿海;统计特征;舟山群岛;西北太平洋

中图分类号:P444 文献标志码:A 文章编号:1000-1980(2015)03-0215-07

Characteristic analysis of typhoon along coastal areas of Jiangsu and Zhejiang provinces

SUN Jia^{1,2}, WANG Yanni^{1,2}, ZUO Juncheng^{1,2}

(1. Key Laboratory of Coastal Disaster and Defence, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Institute of Physical Oceanography, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: A systematic study was carried out on paths and frequencies of typhoons affecting the coastal areas of Jiangsu and Zhejiang provinces. The results show that typhoons affecting the coastal areas of Jiangsu and Zhejiang provinces originate in the northwest Pacific and South China Sea, with more than 90% generated in the northwest Pacific. According to the extent of influence of typhoons on the coastal areas of Jiangsu and Zhejiang provinces, the paths of typhoons can be classified into three types, and their characteristics obtained. Typhoons land in the coastal areas of Jiangsu and Zhejiang provinces mainly from May to November each year, and the number of typhoons reaches its maximum in August. The significant period of typhoon frequency is five to six years. The number of typhoons and the accumulated cyclone energy have decreased since the 21st century. Typhoons along the coastal areas of Jiangsu and Zhejiang provinces are plentiful in the south and scarce in the north, typhoons land frequently in Zhejiang province and Shanghai City, and there is almost no typhoon landfall in Jiangsu province. Due to the influence of the special hydrological environment and terrain near Hangzhou Bay on the typhoon path, an area centered around Hangzhou Bay is a rare area without typhoons, where no typhoon was observed during the study period.

Key words: typhoon; coastal areas of Jiangsu and Zhejiang provinces; statistical characteristics; Zhoushan Islands; northwest Pacific

收稿日期: 2014-09-09

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2013CB430302); 国家自然科学基金(41276018); 海洋公益性行业科研专项(201005019); 中央高校基本科研业务费项目(2013B25914); 江苏省研究生培养创新工程(2013B25914)

作者简介: 孙佳(1987—),男,山东青岛人,博士研究生,主要从事台风及海气相互作用研究。E-mail:sunjia4c@126.com

通信作者: 左军成,教授。E-mail:zuo@ouc.edu.cn

台风是地球上发生频率最高、破坏性最大的一种天气现象。江苏、浙江两省地处我国东南沿海,是我国受台风影响最严重的区域之一,每年台风季节都遭遇热带风暴和台风的侵袭,东南沿海每年由台风造成的经济损失少则几亿元,多则上百亿元^[1]。至2011年,浙江省受台风威胁的人口为5 198万,是我国受台风影响最多的3个省份之一^[2]。

西北太平洋是全球热带风暴活动最为频繁和强烈的地区之一,中国位于西北太平洋沿岸,受台风影响相当严重,平均每年约有7.2次台风登陆^[3-4]。全球气候变暖并未引起我国台风登陆频数的明显增加,台风频数处于相对平稳的波动状态,并且在近20年间略呈下降趋势,台风主要在广东、台湾、海南、福建、浙江等地区^[5-6]登陆。影响江浙沿海的台风路径复杂,预报任务艰巨。目前,针对江浙沿海台风的研究成果以台风导致的风暴潮研究为主^[7-8],缺乏对台风特征的统计结果。此外,通过个例试验分析得到的观点也需要大量研究去证实^[9-10]。

前人在影响热带气旋路径因素方面进行了较多的研究,认为台风路径主要受大气环流系统控制,与副热带高压的位置显著相关^[11-12];地形、边界层摩擦以及海表面温度(SST)等对于台风路径也有显著的影响^[3,5,13-14]。研究表明,台风存在向暖水运动的特点,北行的台风受到北冷南暖或西冷东暖的暖水影响,其路径会发生显著的东偏^[15]。Au-Yeung等^[16]关于入海口对台风路径影响的研究指出,台风倾向于向高下垫面粗糙度的区域运动。江浙地区陆地地形复杂,地面起伏较大,主要山脉呈西南-东北走向^[10];东北流向的黑潮水在江浙沿海东南形成一条明显的暖水带,杭州湾附近和北部黄海SST的冷中心与东南方向的黑潮高温水形成了北冷南暖、西冷东暖的SST的空间特征。但是,目前还缺乏江浙沿海这种特殊下边界条件对于台风路径可能产生影响的研究。

江苏省和浙江省2013年的国内生产总值分别为 5.91×10^4 亿元和 3.76×10^4 亿元,分列我国国内生产总值第2位和第4位^[17]。本文研究了江浙沿海台风的时空分布特征,对于预报台风和防灾减灾工作具有重要的意义。

1 数据及方法

1.1 数据介绍

本文采用的台风数据为日本气象厅(Japan Meteorological Agency, JMA)1951—2012年的台风最佳路径数据,该数据集包含每6 h 1次的台风中心位置、海表面气压及10 min 平均的最大风速。SST采用美国气候数据中心(National Climatic Data Center, NCDC) OISST 1982—2012年的日均SST数据^[18],空间分辨率为 $0.25^\circ\times0.25^\circ$ 。

1.2 台风的选取标准

为研究江浙沿海的台风特征,定义 $119^\circ\text{E}\sim127^\circ\text{E}$ 、 $26.5^\circ\text{N}\sim35.5^\circ\text{N}$ 之间为江浙沿海,即本文研究区域。定义若某台风的路径在该区域存在6 h及以上,则认为该台风显著影响江浙沿海,将其选为研究对象,否则不予考虑。

1.3 气旋能量指数

气旋能量指数(accumulated cyclone energy, ACE)用来表示个别热带气旋及整个热带气旋季节的活动^[19]。利用美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)定义的气旋能量指数计算得到每年台风的累积强度,其计算公式如下:

$$E_{ACE} = 10^{-4} \sum V_{\max}^2 \tag{1}$$

式中: E_{ACE} ——气旋能量指数值; $V_{\max}$ ——最大风速,Kn。

1.4 连续功率谱估计及检验

对某一数据序列 $x_l(l=1,2,\cdots,n)$,其连续功率谱密度估计公式^[20]为

$$S_l = \frac{B_l}{m} \left[r(0) + \sum_{t=1}^{m-1} r(\tau) \left(1 + \cos \frac{\pi \tau}{m} \right) \cos \frac{l \pi \tau}{m} \right] \quad (l=0,1,\cdots,m) \tag{2}$$

其中

$$B_l = \begin{cases} 1 & (l \neq 0, m) \\ \frac{1}{2} & (l = 0, m) \end{cases}$$

式中: l ——波数; $r(\tau)$ ——样本落后自相关系数, $\tau=0,1,2,\cdots,m$; m ——最大落后相关长度。

2 结果与讨论

2.1 进入江浙沿海台风的主要路径类型

从1951—2012年共有241个台风进入江浙沿海,见图1。其中大部分台风(217个)在西北太平洋生成后向西北方向运动进入江浙沿海,小部分台风(24个)在南海生成后向东北方向运动进入江浙沿海。

分析进入江浙沿海的241个台风路径,以 30°N 、杭州湾(122°E)、江浙沿海外部(126°E)将江浙沿海分为三部分,总结得到江浙沿海台风主要有3种基本路径:(a)类型1,于西北太平洋(极少数于南海)生成,沿西北方向前进登陆,登陆地点主要集中在浙江、福建和广东3省,登陆后在陆地前进并东折,继而路过、影响江苏和浙江北部后二次入海,见图2(a)。(b)类型2,南海生成的台风北行登陆广东后于浙江以东二次入海,或东北行穿过台湾海峡进入江浙沿海。于西北太平洋生成的台风大部分沿西北方向进入江浙沿海(不登陆)后右折离开,极少数台风于 30°N 以北西行进入江浙沿海,见图2(b)。(c)类型3,路径主要集中在江浙沿海东南海区,距离江苏省和浙江省较远,对其影响相对较弱,见图2(c)。

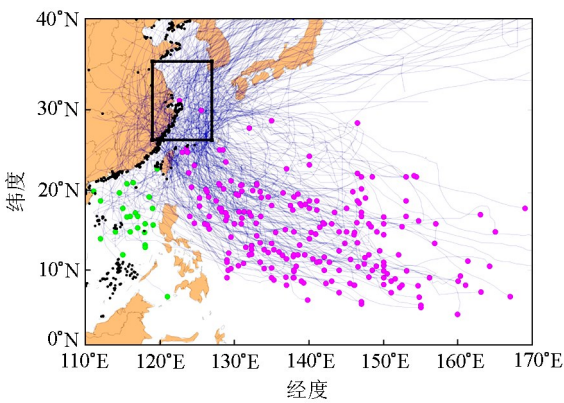


图1 影响江浙沿海台风路径示意图

Fig. 1 Sketch of paths of typhoons affecting coastal areas of Jiangsu and Zhejiang provinces

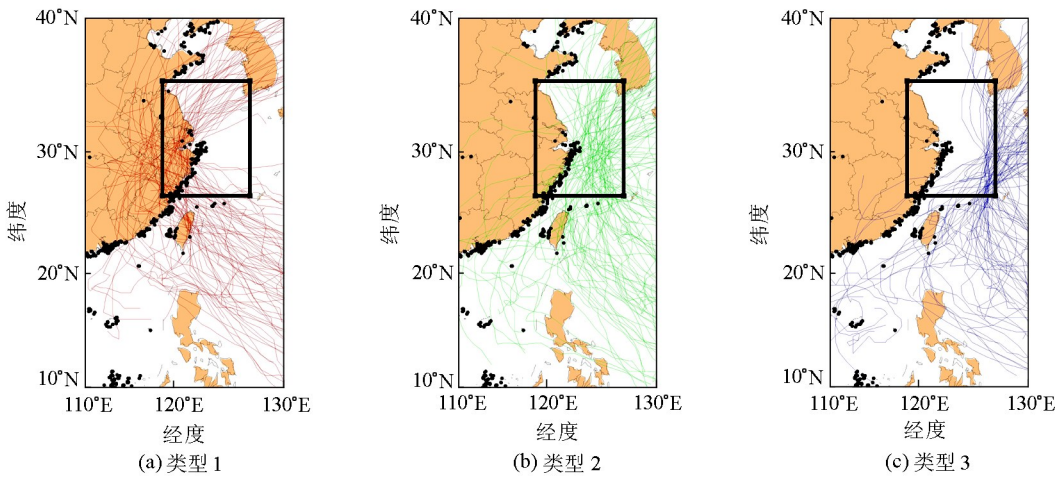


图2 影响江浙沿海台风的主要路径

Fig. 2 Main paths of typhoons affecting coastal areas of Jiangsu and Zhejiang provinces

2.2 江浙沿海台风数的时间变化

2.2.1 年际和年代际变化

江浙沿海每年约有3.8个台风进入,其中于西北太平洋生成的约90%,年均约3.4次。在南海生成的台风生成位置均在南海中北部,数量不足进入江浙沿海台风总数的10%,年均不到0.4次。1951—2012年期间,进入江浙沿海的台风个数变化可分为3个阶段:(a)1966年以前台风个数逐年增多;(b)1967—1999年台风个数较少,无显著的增减趋势,台风数的年际变化平稳,1981年以后震荡显著;(c)1999年,台风个数迅速增多,之后至2012年逐年减少,见图3(a)。功率谱分析显示台风个数存在5a左右的显著周期(通过95%置信检验),见图3(c)。

由于JMA最佳路径数据中的最大风速从1977年开始记录,故本文ACE从1977年开始计。从图3(b)ACE曲线可以看出,影响江浙沿海的台风主要由太平洋生成,南海生成的台风进入江浙沿海后强度极小,贡献的ACE远小于生成在太平洋的台风。1977—2012年,每年进入江浙沿海的台风带来约 $2\,000\text{Kn}^2$ 的累积气旋能量,最大可达 $6\,200\text{Kn}^2$ 。其时间变化特征与台风个数变化特征基本一致,相关系数高达0.62(通过

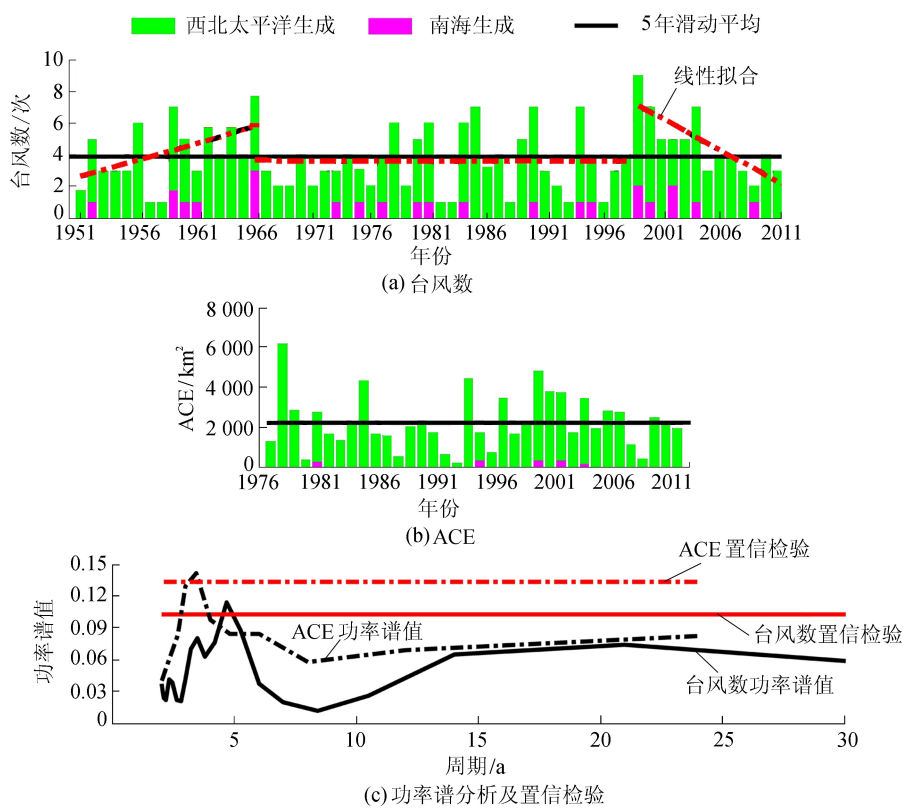


图3 进入江浙沿海的台风数和能量的年际变化特征

Fig. 3 Inter-annual variations of number and energy of typhoons landing in coastal areas of Jiangsu and Zhejiang provinces
95%的置信检验)。1977—2012年,台风进入江浙沿海后ACE有3个较显著的阶段:(a)1978—1992年期间,ACE逐步降低;(b)到2001年,ACE迅速增强;(c)21世纪以后,随着进入江浙沿海台风数量的减少,ACE也逐年降低。ACE存在3~3.5年的显著周期(通过95%的置信检验),见图3(c)。

如图4所示,影响江浙沿海的3种主要路径类型的台风存在显著的年代际变化特征。对3种类型台风数进行10年低通滤波之后分析其连续功率谱,发现3种类型的台风均存在15~20年的显著周期,且通过95%置信检验。类型1和类型2的变化较一致,相关系数为0.726,两者均在1970年、1995年和2010年前后出现极小值;类型3的变化特征与类型1和类型2非常不一致,相关系数分别为-0.115和0.005。值得注意的是,三者均在2010年左右到达极小值,因此在之后15~20a内影响江浙沿海的台风将会相对增多。

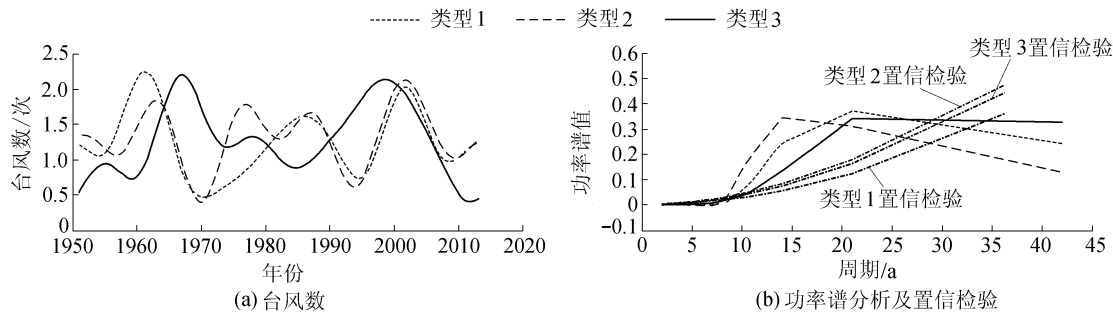


图4 3种类型台风数的年际和年代际变化特征

Fig. 4 Inter-annual and inter-decadal variations of amounts of three types of typhoons

2.2.2 季节变化

台风的运动主要受大尺度大气环流的影响,在西北太平洋则主要受西北太平洋副热带高压位置控制^[11-12]。受其影响,影响江浙沿海的台风表现出显著的季节变化特征。从5月开始,西北太平洋生成的台风西进北上;南海生成的台风主要受季节内震荡控制东折北上影响江浙沿海^[21]。如表1所示,西北太平洋生成并进入江浙沿海的台风6、7月逐渐增多,8月达最大值,9—11月逐渐减少。而南海生成并进入江浙沿

海的台风出现在 5—10 月,6 月最多。

表 1 5—11 月由西北太平洋和南海生成并进入江浙沿海台风数

区域	台风数/次						
	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月
西北太平洋	4	21	59	75	43	13	2
南海	4	7	5	3	4	1	0
总计	8	28	64	78	47	14	2

影响江浙沿海 3 种主要路径类型的台风均存在显著的季节变化特征,但彼此之间也存在显著的差异,见图 5(a)。其中路径 1、路径 3 的台风集中出现在 7—9 月,分别占台风总数的 91.1% 和 76.3%;而路径 2 的台风则主要出现在 6—8 月,占台风总数的 75.6%。因此,3 种路径类型台风的能量分布也集中在 6—9 月,见图 5(b),对江浙沿海产生显著的影响。同时,由于类型 1 的台风直接或间接登陆江苏省和浙江省,类型 2 的台风路径主要在江浙外海,但其 ACE 远超另外 2 种路径类型的台风,因此这 2 种台风对江浙沿海造成的影响要远超类型 3 的台风。

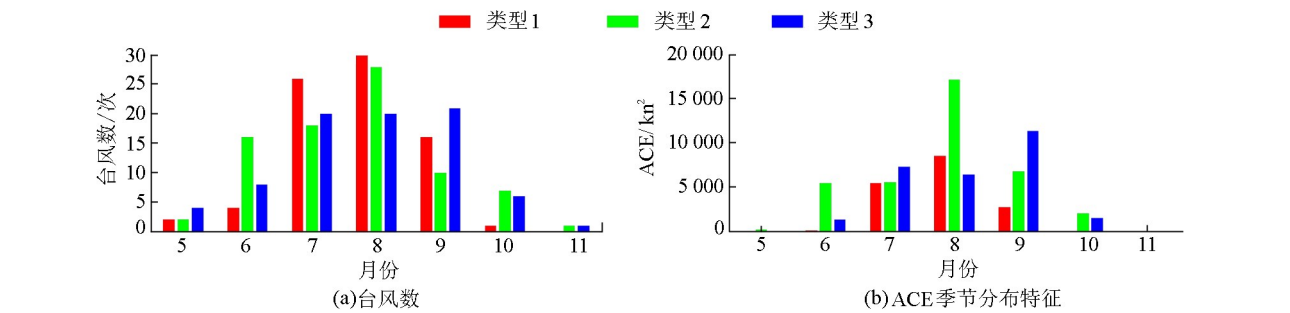


图 5 3 种类型台风数目及 ACE 的季节分布特征

Fig. 5 Seasonal distributions of amounts of three types of typhoons and ACE

2.3 江浙沿海台风路径频次的空间分布

将进入江浙沿海的台风轨迹统计到 $1/3^{\circ} \times 1/3^{\circ}$ 的网格,得到图 6 所示的每个网格上台风经过的次数(图中白椭圆区为台风零区)。台风多发区主要集中在西北太平洋菲律宾群岛以东、南海 15°N 以北以及台湾岛东南的西南-东北走向的台风带。江浙沿海大部分区域均有 10~18 次台风中心经过,最多处达 22 次。台风登陆多选择在杭州湾以南,江苏省基本无台风登陆。台风在浙江省及以南登陆后,部分台风在陆地上消亡,一部分台风从江苏省重新入海。江苏省除东南部分地区及沿海外,受台风直接影响弱于浙江省,大部分地区台风中心经过的次数均在 5 次以下。

浙江省及其沿海台风数较多,除杭州湾为中心的部分区域基本没有台风经过外,杭州湾附近其他区域均有 8 次以上的台风经过,见图 6。为研究杭州湾这一现象,将该区域称为台风零区。

西北太平洋副热带高压的位置和强度、SST 的冷暖中心、岛屿以及江河入海口对台风的路径有较为显著的影响^[3,5,13-15]。5—11 月,西北太平洋副热带高压由西南向东北移动,导致进入江浙沿海的部分台风发生东折,远离江浙沿海转向日本、韩国方向前进。统计得到 241 次进入江浙沿海的台风发生日 SST 平均值,见图 7。东北流向的黑潮水在江浙沿海东南形成一条明显的暖水带,杭州湾附近和北部黄海 SST 的冷中心与东南方向的黑潮高温水形成了北冷南暖、西冷东暖的 SST 空间特征。研究表明,台风存在向暖水运动的特点,北行的台风受到北冷南暖或西冷东暖的暖水的影响,其路径会发生显著的东偏^[15],江浙沿海 SST 的这一特征有可能导致原本向杭州湾运动的台风路径发生东折。

江浙地区陆地地形复杂、地面起伏较大,主要山脉呈西南-东北走向^[10]。根据 Au-Yeung 等^[16]的研究结果,杭州湾南北均为突出到海洋的陆地,见图 7,粗糙度远大于杭州湾,将显著影响台风的路径和登陆^[22]。杭州湾的这种下垫面环境,导致台风更容易向杭州湾南侧和北侧运动,从而导致台风零区的出现。

将江浙沿海台风发生日的平均 SST 数据标准化,陆地的缺测值用陆地地形标准化后的数据补齐,组合得到的新数据场在台风零区处 SST 与地形均为低值,台风零区西南为地形高值区,东南则为 SST 高值区。SST

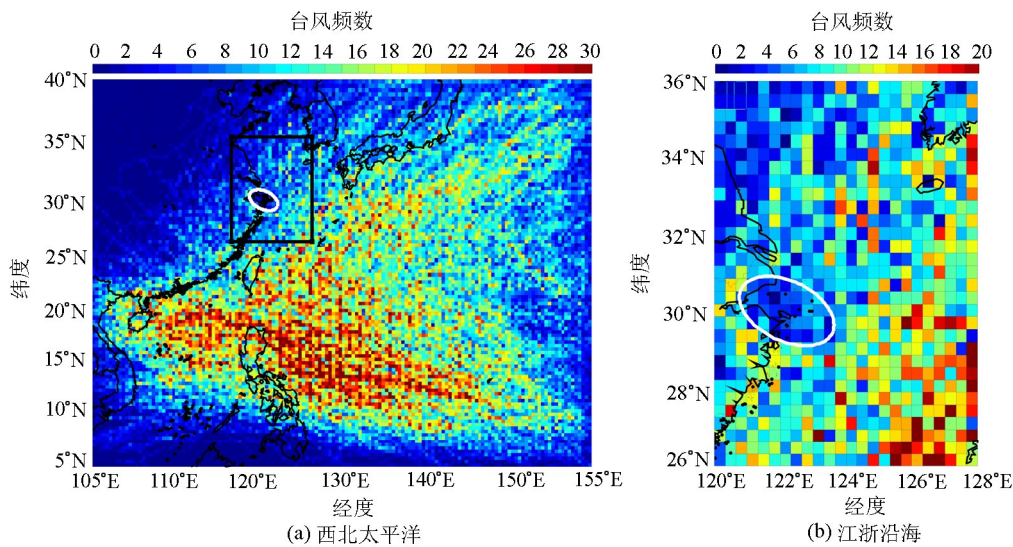


图6 西北太平洋及江浙沿海台风频数分布特征

Fig. 6 Distribution of frequencies of typhoons in northwest Pacific and coastal areas of Jiangsu and Zhejiang provinces

与地形组合得到的结果与江浙沿海台风频数场的空间相关系数高达0.42,见图7,并通过95%的置信检验。结果表明,江浙沿海的台风分布与SST和地形具有很高的相关关系,进入江浙沿海的台风路径受到SST和陆地地形的调制,这与前人关于地形和SST对台风路径的影响方面的研究结果一致。杭州湾位于我国海岸线由东北-西南走向向西南-东北走向的转折处,这一特殊的地理位置也可能影响台风路径。

3 结 语

进入江浙沿海的台风主要有3种基本路径特征:(a)于西北太平洋(极少数于南海)生成,沿西北方向前进登陆,登陆地点主要集中在浙江、福建和广东3省,登陆后在陆地前进并东折,继而影响、路过江苏省和浙江省北部后二次入海;(b)于西北太平洋生成,沿西北方向进入江浙沿海(不登陆)后右折离开,于南海生成的台风北行登陆广东后于浙江以东二次入海或沿东北方向前进,穿过台湾海峡进入江浙沿海;(c)路径主要集中在江浙沿海东南海区,距离江苏和浙江省区较远。其中前两类对江浙两省影响较大,第三类影响较弱。

统计分析江浙沿海台风发生的频数特征,发现1951—2012年共241个台风进入江浙沿海,主要集中在5—11月,其中8月台风数最多。这些台风90%以上生成于西北太平洋洋面,其余不足10%在南海北部生成。1966年以前台风数呈现增多的趋势,1967年以后台风数较少,年际变化振动显著;2000年以来,台风数逐年减少。台风累计气旋能量指数(1977年起)变化规律与台风频数一致。功率谱分析显示两者均具有5a左右的显著周期。

受副热带高压、海表面温度空间分布特征、陆地地形以及沿海岛屿分布的影响,进入江浙沿海台风频数的空间分布特征体现为南多北少,浙江省(包括上海市)台风登陆次数较多,江苏省受台风影响较弱,基本无台风登陆;以杭州湾为中心的部分区域基本无台风经过。

参考文献:

[1] 许启望,谭树东. 风暴潮灾害经济损失评估方法研究[J]. 海洋通报,1998,17(1):1-12. (XU Qiwang, TAN Shudong. Research on the method of evaluating the economic loss caused by storm, surge disaster[J]. Marine Science Bulletin,1998,17

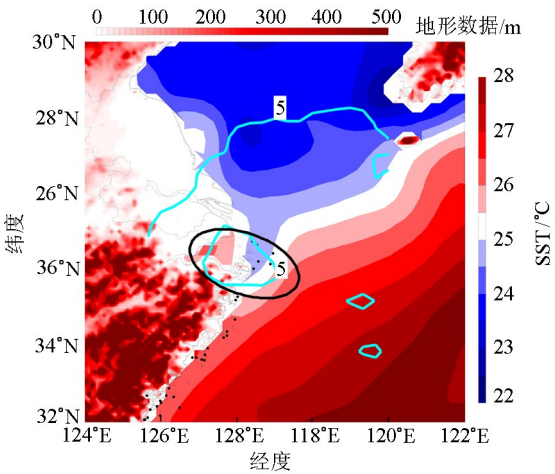


图7 江浙沿海陆地地形、SST及台风频数(青色曲线)

Fig. 7 Distribution of land topography, SST and typhoon frequency in coastal areas of Jiangsu and Zhejiang provinces(cyan curves)

- (1):1-12. (in Chinese))
- [2] 姜付仁,姜斌. 登陆我国台风的特点及影响分析[J]. 人民长江,2014,45(7):85-89. (JIANG Furen,JIANG Bin. Study on impacts of typhoon on China and its characteristic[J]. Yangtze River,2014,45(7):85-89. (in Chinese))
- [3] 陈联寿,丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京:科学出版社,1979.
- [4] 乐群,董谢琼. 西北太平洋台风活动和中国沿海登陆台风暴雨及大风的气候特征[J]. 南京大学学报:自然科学版,2000,36(6):741-749. (YUE Qun,DONG Xieqiong. Climatic characteristics of northwestern pacific typhoon activity and Chinese coastal landfall typhoon rain and gale[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences,2000,36(6):741-749. (in Chinese))
- [5] 罗哲贤,陈联寿. 台湾岛地形对台风移动路径的作用[J]. 大气科学,1995,19(6):701-706. (LUO Zhexian,CHEN Lianshou. Effect of the orography of Taiwan Island on typhoon tracks[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,1995,19(6):701-706. (in Chinese))
- [6] 王一新,苑希民,杨敏. 1949 年以来登陆我国台风的主要特征分析[J]. 水利水电技术,2013,44(6):135-138. (WANG Yixin,YUAN Ximin,YANG Min. Analysis on main characteristic of typhoons landed in China since 1949[J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2013,44(6):135-138. (in Chinese))
- [7] 王晶,卢美,丁骏. 浙江沿海台风风暴潮时空分布特征分析[J]. 海洋预报,2010,27(3):16-22. (WANG Jing,LU Mei,DING Jun. Typhoon storm surge temporal and spatial distribution analysis of coast of Zhejiang province[J]. Marine Forecasts,2010,27(3):16-22. (in Chinese))
- [8] 孙佳,左军成,黄琳,等. 东海沿岸台风及风暴潮灾害特征及成因[J]. 河海大学学报:自然科学版,2013,41(5):461-465. (SUN Ja,ZUO Juncheng,HUANG Lin,et al. Characteristics and causes of typhoon and storm surge along coast of East China Sea[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences,2013,41(5):461-465. (in Chinese))
- [9] 龚龔,陆维松,覃军,等. 舟山群岛对 9806 号登陆热带气旋影响的数值模拟[J]. 热带气象学报,2006,21(5):549-554. (GONG Yang,LU Weisong,QIN Jun,et al. Numerical study on effects of Zhoushan Islands topography on landfall tropical cyclone No.9806[J]. Journal of Tropical Meteorology,2006,21(5):549-554. (in Chinese))
- [10] 张建海,于忠凯,庞盛荣. 浙江地形对台风 Khanun 影响的数值试验和机理分析[J]. 科技导报,2008,26(21):66-72. (ZHANG Jianhai,YU Zhongkai,PANG Shengrong. Numerical experiment and mechanism analysis on the effect of Zhejiang orography on Typhoon Khanun[J]. Science & Technology Review,2008,26(21):66-72. (in Chinese))
- [11] HARR P A,ELSBERRY R L. Tropical cyclone track characteristics as a function of large-scale circulation anomalies[J]. Monthly Weather Review,1991,119(6):1448-1468.
- [12] WANG C,WANG X. Classifying El Niño Modoki I and II by different impacts on rainfall in Southern China and typhoon tracks[J]. Journal of Climate,2013,26(4):1322-1338.
- [13] PATLA J E,STEVENS D,BARNES G M. A conceptual model for the influence of TUTT cells on tropical cyclone motion in the northwest Pacific Ocean[J]. Weather and Forecasting,2009,24(5):1215-1235.
- [14] ZEHNDER J A. The influence of large-scale topography on barotropic vortex motion[J]. Journal of the Atmospheric Sciences,1993,50(15):2519-2532.
- [15] ROY C,KOVORDANYI R. Tropical cyclone track forecasting techniques-a review[J]. Atmospheric Research,2012,104:40-69.
- [16] AU-YEUNG A Y M,CHAN J C L. The effect of a river delta and coastal roughness variation on a land falling tropical cyclone[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984—2012),2010,115(D19):1485-1490.
- [17] 李勇,王红茹. 2013 年 31 省份 GDP 含金量总排名[J]. 中国经济周刊,2014(8):18-24. (LI Yong,WANG Hongru. 2013 gold ranking of 31 provinces in GDP[J]. China Economic Weekly,2014(8):18-24. (in Chinese))
- [18] REYNOLDS R W,SMITH T M,LIU C,et al. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature[J]. Journal of Climate,2007,20(22):5473-5496.
- [19] BELL G D,HALPERT M S,SCHNELL R C,et al. Climate assessment for 1999[J]. Bulletin of the American Meteorological Society,2000,81(6):1-50.
- [20] 胡基福. 气象统计原理与方法[M]. 青岛:青岛海洋大学出版社,1996.
- [21] YANG L,DU Y,WANG D,et al. Impact of intraseasonal oscillation on the tropical cyclone track in the South China Sea[J]. Climate Dynamics,2015,44(5/6):1505-1519.
- [22] WONG M L M,CHAN J C L. Tropical cyclone motion in response to land surface friction[J]. Journal of the Atmospheric Sciences,2006,63(4):1324-1337.