

池艳珍,何芬,唐振飞,2017. 2016 年登陆和影响福建台风成因分析及预测[J]. 气象,43(10):1287-1295.

2016 年登陆和影响福建台风成因分析及预测^{*}

池艳珍 何 芬 唐振飞

福建省气候中心,福州 350001

提 要: 2016 年共有 3 个台风登陆、4 个台风影响福建,呈前少后多分布,登陆台风偏多,灾害影响重。分析表明:(1)2016 年以来赤道中东太平洋海温距平的演变及大气环流异常响应是造成影响福建台风呈前少后多分布及登陆台风偏多的主要原因。(2)7 月下旬至 8 月中旬和 9 月上旬至中旬西太平洋台风群发,“莫兰蒂”和“马勒卡”一周内相继登陆和影响福建,是季风槽增强或持续偏强的结果,且季风槽呈现显著的低频变化特征。(3)2016 年西北太平洋生成和影响福建的台风与热带大气季节内振荡关系密切,近 7 成生成于 MJO 第 5~7 位相。(4)基于大气低频变化理论的延伸期预报填补了月—季预测和中短期天气预报之间的空白。

关键词: 台风,福建,登陆,影响,成因

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.10.013

Cause Analysis and Forecast Assessment on Typhoon Landing and Impacting Fujian in 2016

CHI Yanzhen HE Fen TANG Zhenfei

Fujian Climate Centre, Fuzhou 350001

Abstract: In 2016, there were three landing and four impacting typhoons seen in Fujian Province, showing the non-uniform temporal distribution and serious disasters. Analysis indicates that main causation of Fujian typhoon distribution in 2016 is due to the evolution of SSTA (sea surface temperature anomaly) over the central and eastern equatorial Pacific and the response of atmospheric circulation. The enhancing or stronger monsoon trough favors the typhoon group-genesis from late July to mid-August over northwestern Pacific and the active influence of Typhoons “Meranti” and “Malakas” within a week in mid-September, characterized by significant low-frequency variability. Statistical analysis also demonstrates that the number of typhoon genesis and impacting Fujian may be strongly linked to the tropical intraseasonal oscillation. Nearly 70% typhoons are generated when MJO is active during phases 5—7. Prediction assessment suggests that the extended-range-forecast based on the atmospheric low-frequency theory could fill the gap between monthly-seasonal-term prediction and short-medium-term weather forecast.

Key words: typhoon, Fujian Province, landing, impacting, causation

引 言

台风是发生在热带海洋上的具有暖中心结构的强烈气旋性涡旋,它(含飓风、热带风暴)是全球热带

地区的一种十分严重的自然灾害(朱乾根等,1992)。我国是世界上受热带气旋影响最严重的国家之一,夏季影响我国的热带气旋大部分来自菲律宾群岛以东的西北太平洋(陈联寿和丁一汇,1979)。福建濒临西北太平洋,台风活动十分频繁。1961—2015年,

^{*} 国家自然科学基金项目(41575052)和中国气象局气候变化专项(CCFs201619)共同资助

2017 年 1 月 24 日收稿; 2017 年 7 月 25 日收修定稿

第一作者:池艳珍,主要从事气候预测工作. Email:cyz0605@126.com

共有 385 个台风登陆和影响福建,平均每年 6.9 个,其中登陆年均 1.6 个,影响年均 5.3 个。登陆福建的台风,路径复杂、结构和强度变化大、降水强度强,沿海风的破坏力大,往往造成严重的风、雨、潮灾害,为福建省最主要的气象灾害(鹿世瑾和王岩,2012;刘爱鸣等,2006)。统计表明,进入 21 世纪以来,登陆福建热带气旋的强度和频数呈上升趋势。

2015 和 2016 年,受赤道中东太平洋海表温度异常及大气响应的显著影响,我国天气气候呈现显著的异常特征(崔童等,2015;廖要明等,2016;邵颢和周兵,2016),登陆和影响福建的台风(以下简称福建台风)也各具特色:2015 年为厄尔尼诺持续发展年,福建台风生成路径偏东、生命史偏长、强度偏强、影响个数少,2 个登陆台风和 4 个影响台风中,仅“莲花”为台风级,其余均为超强台风。2016 年为厄尔尼诺衰减、冷海温发展年,福建台风呈现与 2015 年不同的特征。本文通过总结 2016 年福建台风特征,分析其主要成因,并对台风的气候预测进行评估,以期开展福建台风的监测和预测提供思路。

1 资料及方法

所用资料包括:(1)美国环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR)逐日 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 水平分辨率再分析格点资料(Kalnay et al,1996);(2)美国环境预报中心(NCEP)的 Climate Forecast System Version 2 (CFSv2)气候预测模式产品(Saha et al,2014);(3)美国大气海洋管理局(NOAA)的月平均海温资料;(4)台风生命史及“莫兰蒂”云图等资料取自日本数字台风网;(5)国家气候中心的“气候系统监测-诊断-预测评估系统”提供的大气环流分析产品;(6)热带大气季节内振荡(MJO)指数

(Wheeler and Hendon,2004)取自澳大利亚气象局(<http://www.bom.gov.au/climate/mjo/>);(7)本文使用的台站资料为福建省 2016 年逐日观测资料。

根据越赤道气流、季风槽、西太平洋副热带高压(简称西太副高或副高)等指数或特征量的定义(高辉和薛峰,2006;高建芸,2007;国家气候中心,2010),利用 NCEP 逐日再分析数据计算了 2016 年逐日监测值;基于小波分解等方法对相关物理量进行了分析。

2 2016 年登陆和影响福建台风特征

2.1 2016 年福建台风概况

2016 年登陆和影响福建的台风共 7 个,接近常年。其中,3 个登陆台风分别为“尼伯特”、“莫兰蒂”和“鲇鱼”,4 个影响台风分别为“妮妲”、“马勒卡”、“艾利”和“海马”(表 1)。可见,2016 年登陆台风频数偏多,影响台风频数略偏少。月份分布:7 月 1 个、8 月 1 个、9 月 3 个、10 月 2 个,呈现显著的前少后多特征。生命史以“妮妲”78 h 为最短,最长为“马勒卡”的 186 h;中心强度则以“莫兰蒂”最强,“艾利”最弱;11 级以上风圈半径以“鲇鱼”的 280 km 为最大,“莫兰蒂”的 130 km 次之,“尼伯特”和“马勒卡”的 110 km 居第三。3 个登陆台风的登陆风速分别达强热带风暴级、强台风级及台风级。

2016 年登陆和影响福建台风的路径如图 1a 所示,可以看到“马勒卡”为转向台风,其余为西行或西北路径。其中,“尼伯特”和“鲇鱼”经历两次登陆的衰减后,在进入江西后即填塞停编,而“莫兰蒂”登陆福建后长驱直入,历经福建、江西、安徽、江苏四省,后入东海消亡停编。除“尼伯特”和“海马”外,其余

表 1 2016 年登陆和影响福建台风简表

Table 1 Typhoon landing and impacting Fujian in 2016

台风号	名称	登陆地点	登陆时间	登陆气压/hPa	登陆风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
1601	尼伯特	台湾台东 泉州石狮	7 月 8 日 05 时 50 分 7 月 9 日 13 时 45 分	990	25(10 级)
1604	妮妲	广东深圳	8 月 2 日 03 时 35 分		
1614	莫兰蒂	厦门翔安	9 月 15 日 03 时 05 分	945	48(15 级)
1616	马勒卡	—	—	—	—
1617	鲇鱼	台湾花莲 泉州惠安	9 月 27 日 14 时 10 分 9 月 28 日 04 时 40 分	950 975	45(14 级) 33(12 级)
1619	艾利	—	—	—	—
1622	海马	广东汕尾	10 月 21 日 12 时 40 分	960	42(14 级)

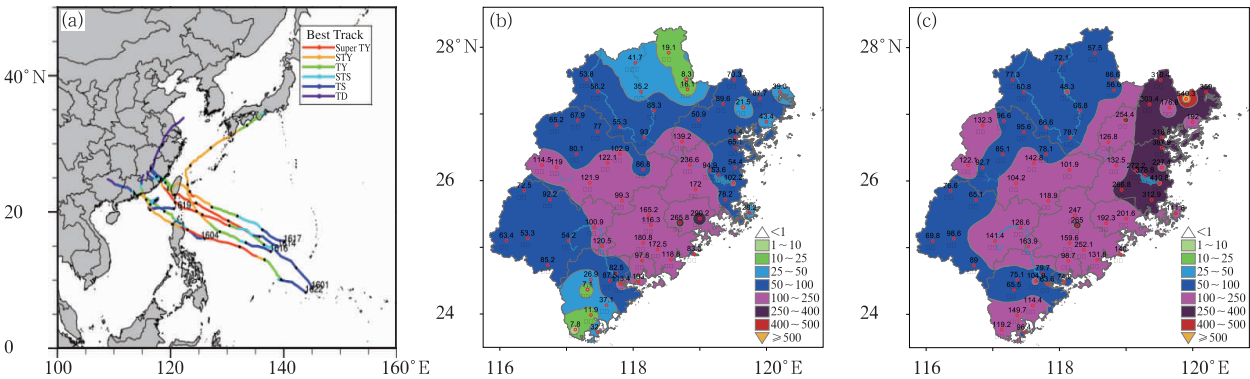


图 1 2016 年登陆和影响福建台风路径(a)和“尼伯特”(b)、“鲇鱼”(c)过程降水量(单位: mm)
Fig.1 Tracks of typhoons landing and impacting Fujian in 2016 (a) and quantitative precipitation of Typhoons Nepartak (b) and Megi (c) (unit: mm)

5 个台风生成于 140°E 以西,生成路径偏西。
登陆台风给福建造成严重影响,直接经济损失为 2000 年以来之最。“尼伯特”为 1949 年以来生成时间第二晚的首个台风(权婉晴和何立富,2016),受其正面登陆影响,7 月 8—9 日福建省出现强风雨,局地强降水致重灾(图 1b)。“鲇鱼”造成福建省多站出现极端降水(表 2),14 站过程降水量超过 250 mm、2 站超过 400 mm,以柘荣的 540.3 mm 为最大(图 1c)。“莫兰蒂”为 1949 年以来登陆福建南部的最强台风,对福建风雨影响并重,直接经济损失远远超过 2005 年的“龙王”、2006 年的“桑美”以及 2015 年的“苏迪罗”,接下来就其强度及风雨影响进行阐述。

2.2 “莫兰蒂”及其对福建的影响

“莫兰蒂”(Meranti)于 9 月 10 日 14 时在西北太平洋洋面上生成,9 月 12 日 11 时加强为结构对称、组织坚实、风眼清晰的超强台风(图 2a),9 月 15 日 3 时 05 分在厦门翔安沿海登陆,登陆时中心附近

表 2 “鲇鱼”影响期间福建日降水极值

Table 2 Daily precipitation induced by Typhoon Megi				
站名	日降水量/ mm	出现时间/ 年.月.日	历史排位	历史极值出现 时间/年.月.日
永泰	197.7	2016.9.28	1	
屏南	208.7	2016.9.28	1	
寿宁	273.5	2016.9.28	1	
闽侯	164.4	2016.9.28	2	2005.10.03
福州	241.2	2016.9.28	2	2015.08.08
福鼎	254.0	2016.9.28	2	2005.07.19
周宁	240.8	2016.9.28	2	2015.08.09
柘荣	434.4	2016.9.28	2	2005.07.19

最大风力 15 级($48\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,强台风级),中心最低气压 945 hPa,移动路径见图 2b。
“莫兰蒂”影响特点:一是强度强,为 2016 年登陆我国大陆的最强台风,也是 1949 以来登陆福建南部沿海的最强台风,在登陆福建的历史台风中仅次于 2006 年“桑美”;二是风速疾,9 月 14 日夜间至 15 日白天受台风逼近和登陆影响,在厦门附近出现超过 17 级的阵风,最大值出现在厦门湖里区滨海街道($66.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),厦门本站最大阵风达到 16 级($54.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),

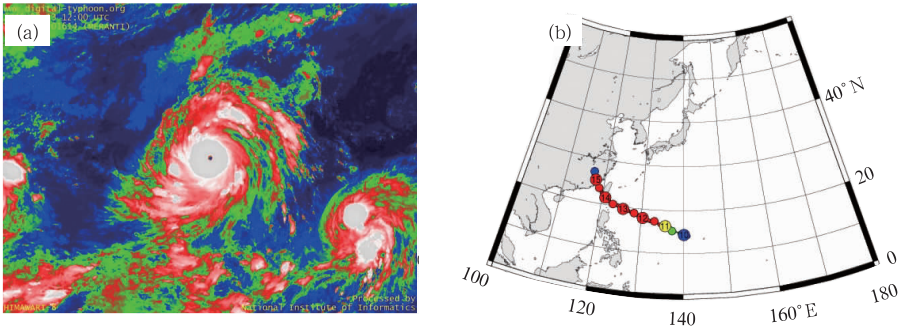


图 2 2016 年 9 月 13 日 1200 UTC“莫兰蒂”云图(a)及其移动路径(b)
Fig.2 Image of Meranti at 1200 UTC 13 September 2016 (a) and best track (b)

仅次于 5903 号台风 ($60.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$); 三是雨势猛, 受“莫兰蒂”影响, 福建省出现大范围暴雨到大暴雨, 局部特大暴雨, 统计 9 月 13 日 20 时至 16 日 20 时降水量, 65 个县(市)437 个乡镇超过 100 mm, 其中 24 个县(市)66 个乡镇超过 250 mm, 区域站以南安向阳乡 500.2 mm 为最大, 国家站以柘荣 368.4 mm 为最大。南安 (201.9 mm)、仙游 (185.2 mm)、德化 (158.8 mm) 日降水量突破 9 月同期最大日降水量极值; 四是致灾重, 这次台风登陆厦门, 造成的危害主要在福建省人口最集中的闽南地区, 导致城市受淹、房屋倒塌、基础设施损坏、水电路讯中断, 特别是厦门全城电力供应基本瘫痪、全面停水, 泉州、漳州大面积停电, 经济损失极为严重。

3 主要影响因子分析

3.1 海温

厄尔尼诺-南方涛动 (ENSO) 作为热带海气系

统年际变化的最强信号, 其不同位相发展对我国热带气旋的调制作用得到广泛关注, 得出很多有意义的结果 (刘聪和曲学实, 1992; 何敏等, 1999; 黄勇等, 2008; 曹智露等, 2013; 郝赛和毛江玉, 2015)。从 1961—2015 年福建台风频数与同期主要影响季节 (7—10 月) 海表温度的相关分布 (图 3a) 可以看到, 赤道中东太平洋为显著负相关区, 北太平洋、赤道新几内亚东侧的西太平洋为显著正相关区, 表明 ENSO 暖位相即厄尔尼诺年不利于福建台风频数的增多, 相反, 拉尼娜年则台风频数易于偏多。

2015 年 12 月起, 赤道中东太平洋的正海温距平迅速减弱, 2016 年 7—10 月, 赤道中东太平洋由海温负距平控制 (图 3b), 国家气候中心的监测结果表明 8 月起进入拉尼娜状态, 而菲律宾以东的西太平洋为海温正距平覆盖, 这种配置有利于登陆和影响福建台风大多生成于 $130^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{E}$ 区域 (图 1a), 和上述分析结果相吻合。同时也可以看到南海区域为弱的正海温距平, 其生成台风易于西行, 不利于影响福建。

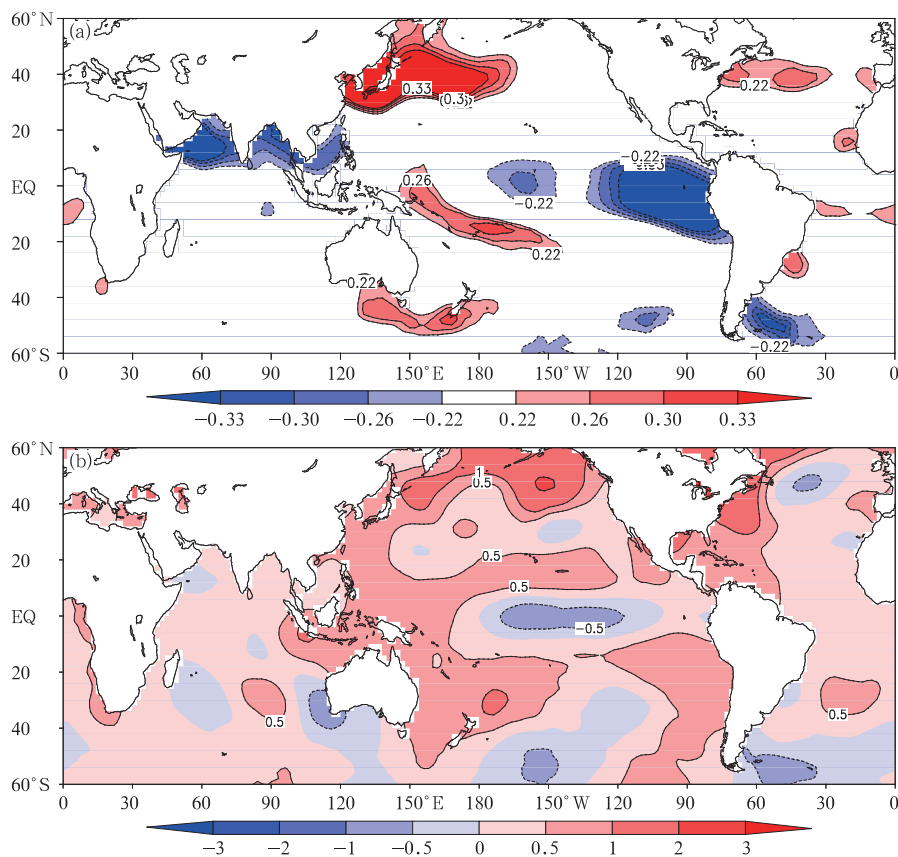


图 3 福建台风与海温相关分布 (a, 阴影为通过显著性水平检验 0.1 的区域) 和 2016 年 7—10 月平均海温距平分布 (b, 单位: K)

Fig. 3 Correlation between Fujian typhoon and Pacific SST (a, shaded areas have passed the significance test at 0.1 level) and the mean SSTA from July to October 2016 (b, unit: K)

3.2 西太平洋副热带高压

副高强度及位置影响着台风的生成位置、生成频数和移动路径,从而与登陆和影响我国的台风关

系密切(龚道溢和何学兆,2002;任素玲等,2007;王磊等,2009;许金镜等,2009)。2016 年 7—10 月平均的 500 hPa 位势高度场及其距平分布(图 4a)表明,西太副高面积较常年偏大、强度偏强、脊线位置

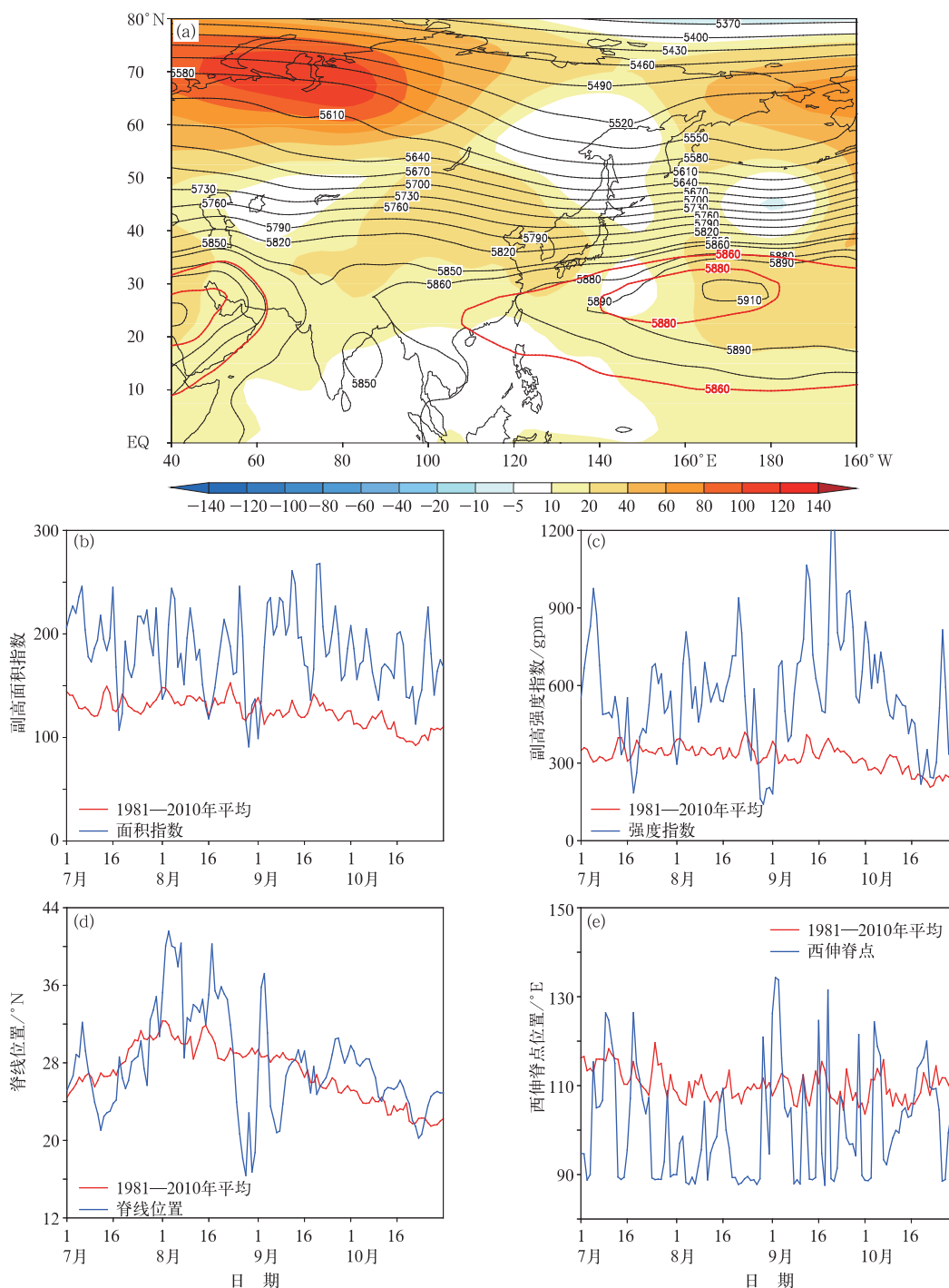


图 4 2016 年 7—10 月平均 500 hPa 高度场(等值线)及距平场(阴影)(a, 红色等值线为气候特征 5880 和 5860 gpm, 单位: gpm)和逐日副高面积指数(b)、副高强度(c, 单位: gpm)、脊线位置(d)、西伸脊点位置(e)演变
Fig. 4 The 500 hPa mean geopotential height (contours) and anomalies (shading) (a, red contours stand for the climatological 5880 and 5860 gpm, unit: gpm) from July to October 2016 and evolution of western Pacific subtropical high index (blue: observation, red: climatology) of area (b), intensity (c, unit: gpm), ridge line (d) and west-extending ridge end (e), respectively

成位置总体偏东、偏北,仅偏西生成的“妮妲”对福建省产生轻微的风雨影响。9 月上旬中期至中旬前期*,西太西季风槽和南海季风槽相继偏强,西太平洋台风群发,8 天生成 4 个台风,“莫兰蒂”和“马勒卡”一周内相继登陆和影响福建,福建省出现 2016 年第一个台风影响活跃期(指一周内有 2 个或以上台风影响)。随后季风槽减弱,无台风生成。9 月下旬中期起,西太西季风槽和南海季风槽再次偏强,对应“鲇鱼”和“暹芭”的生成。在 10 月上旬前期的短暂停歇后,季风槽再次偏强,10 天内相继生成 4 个台风。

研究表明,西北太平洋上空季风槽的年际异常不仅受西北太平洋暖池的影响,而且还受热带西太平洋越赤道气流的影响(冯涛等,2014)。从逐日南海和菲律宾越赤道气流的监测(图 6)可以看到,7 月上旬南海和菲律宾越赤道气流偏强,此时南海夏季风和西北太平洋夏季风偏强(图略),对应“尼伯特”的生成和登陆福建;7 月中下旬上述两支越赤道气流总体偏弱,相应的夏季风和季风槽强度偏弱;8 月中旬前,热带西太平洋越赤道气流接近常年至略偏强,对应夏季风和季风槽的增强及台风的生成;9 月中旬的“莫兰蒂”和“马勒卡”影响期间,南海越赤道气流偏强、菲律宾越赤道气流也处于增强阶段;而 9 月下旬的“鲇鱼”登陆则主要和菲律宾附近的越赤道气流增强相联系,此时西太平洋夏季风偏强。

3.4 热带大气季节内振荡

王慧等(2006)的研究指出西北太平洋夏季风通

过季风季节内振荡对西北太平洋台风也有显著的影响。季节内振荡对台风生成的影响主要以 30~60 d 振荡为主。孙长等(2009)研究表明:西北太平洋地区的对流活动存在 20~60 d 的准周期振荡,该区域的热带气旋活动也具有这种频率的季节内变化,即热带气旋的活动具有明显的群发性和周期性,热带气旋易集中出现在大气季节内振荡(MJO)的湿位相。研究表明,当 MJO 处于活跃状态时,台风出现频率增加(Maloney and Hartmann, 2000a; 2000b; Gao and Li, 2011)。潘静等(2010)、李崇银等(2013;2014)的分析也指出, MJO 在第 5、6 位相则明显有促进对流发生发展,为台风生成和发展创造了有利的大尺度环流动力场。

统计 2016 年西北太平洋生成的 26 个台风所对应的 MJO 位相(表 3,基于澳大利亚气象局逐日 RMMs 指数)可以看到,当 MJO 湿位相位于西太平洋(5~7 位相)时生成台风(近 7 成)明显多于其他位相,其次是 2~3 位相;登陆和影响福建台风的生成位相亦呈现相应的特征,“尼伯特”和“鲇鱼”分别生成于第 7、5 位相,强度明显偏强,而“莫兰蒂”生成于弱 2 位相,这与潘静等(2010)和福建台风影响活跃位相(图略)的统计结果一致。袁媛等(2017a; 2017b)的分析指出 8 月 MJO 活动的异常是导致西北太平洋台风异常活跃以及夏季热带—副热带大气环流发生突然转折的重要原因。

从西北太平洋各段及总季风槽强度的小波分解结果(图略)来看,2016 年夏季季风槽均存在显著的

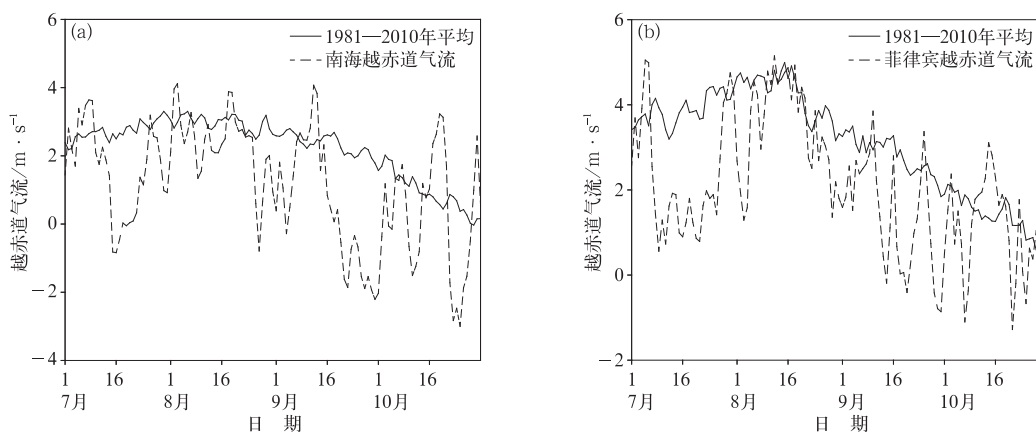


图 6 2016 年 7—10 月南海(a)和菲律宾(b)越赤道气流监测
Fig. 6 Daily cross-equatorial flow over the South China Sea (a)
and Philippine (b) from July to October 2016

* 在福建省开展的持续性天气事件延伸期预报业务中,将每旬前 3 日定义为前期,每旬 4—7 日定义为中期,每旬后 3 日定义为后期,下同。

表 3 2016 年 MJO 活跃位相与西北
太平洋台风生成频数

Table 3 MJO phase and the typhoon
genesis number in 2016

MJO 位相	1	2	3	4	5	6	7	8
生成频数	0	3	5	0	7	8	2	1
福建台风	0	1	1	0	2	2	1	0

30~60 d 低频周期,同时南海和西太西段还存在显著的 10~20 d 低频周期,3 个登陆台风对应上述周期的正位相叠加时段,这与王慧等(2006)分析结果相吻合。

为了更好地捕捉和预测台风对福建的影响,还制作了沿南海至西太平洋 8 个方位 925 hPa 热带低频对流向福建传播的剖面图。从 2016 年台风季热带低频对流的传播情况(图略)来看,在福建台风来临前存在明显的热带低频对流由西太平洋向西传播。

4 预测评估

4.1 月-季预测

登陆和影响福建台风的预测历来受到各级政府和气象部门的密切关注,也是福建气候灾害预测的重点内容之一。一般年、季尺度的预测提供 3 次,此外在 7—10 月逐月气候预测中,均需给出当月的台风预测意见。针对 2016 年的福建台风,根据福建台风气候背景、ENSO 事件发展预测、大气环流响应预测和福建台风的物理概念模型,2015 年 11 月 28 日发布“福建省 2015/2016 年冬季至 2016 年夏季气候趋势展望”时预测“2016 年登陆或影响的台风个数为 5~6 个左右,数量略少,可能有秋季晚台风影响”;2016 年 3 月 23 日发布“福建省 2016 年 4~9 月气候预测”指出:“预计 2016 年登陆或影响台风 5~7 个(常年 7 个),总体分布前少后多,初台偏晚,有秋季晚台风影响”;6 月底发布的福建夏季(7—9 月)气候预测也做出相似的预测。从上述分析来看,2016 年的福建台风的频数、时段分布与实况基本相符。2016 年 8 月 30 日以“9 月中下旬可能有 1~2 个台风登陆或影响”为标题向福建省委、省政府报送了 9 月预测,实况与预测非常一致。

可见,通过预测大气环流对典型厄尔尼诺或拉尼娜事件的异常响应,可以较准确把握福建台风频数及其分布特征。

4.2 延伸期预报

2013 年起,福建省气候中心开展了影响福建台风活跃期的逐周滚动延伸期预报业务,2015 年起增加西北太平洋台风生成群发期预报内容。实际业务中,通过对接 NCEP 逐日再分析实况资料与 CFSv2 模式未来 45 d 数据,结合延伸期预报方法制作未来 11~30 d 延伸期预报产品。经检验,对 2014 年 8 月无台风生成和影响(杨超和许映龙,2014)、2015 年影响福建台风活跃期等均作出较准确的预测。2016 年 6 月 21 日起启动了相应的台风延伸期预报业务,共发布 14 期预报产品。如 6 月 21 日预报“未来一个月南海、菲律宾和新几内亚赤道气流偏弱,季风槽明显偏弱,不利于西北太平洋热带气旋群发,6 月下旬后期至 7 月上旬前期可能有单个热带气旋生成,未来一个月出现台风影响活跃期的可能性小”;8 月 18 和 25 日均指出“9 月上旬后期至中旬后期台风再次群发,期间可能有台风影响”;9 月 8 日指出“9 月下旬后期至 10 月上旬有利于台风生成,谨防秋台影响”;9 月 22 日发布“未来一个月西北太平洋为台风群发期,9 月下旬后期起可能有台风影响或登陆”等,均与实况基本相符。11~30 d 的延伸期预报有效填补了月—季预测和中短期天气预报的空白,服务效果显著。

5 结论与讨论

(1) 2016 年登陆和影响福建的台风 7 个,呈前少后多分布,无早台风、有秋季晚台风影响;其中,3 个登陆台风、4 个影响台风,登陆台风偏多,带来狂风暴雨,日降水和过程降水量屡创新极值。

(2) 超强厄尔尼诺事件于 2015 年 12 月起迅速减弱,2016 年 8 月起赤道中东太平洋进入拉尼娜状态,海温距平的演变及相应的大气异常响应是造成福建台风的前少后多分布及登陆台风偏多的主要原因。

(3) 季风槽增强有利于台风生成,7 月下旬至 8 月中旬相继 10 个台风生成,9 月上旬中期至中旬前期西太平洋台风群发,“莫兰蒂”和“马勒卡”一周内相继登陆和影响福建,是季风槽增强或持续偏强的结果。季风槽呈现显著的 30~60 d 和 10~20 d 低频周期,台风登陆期间为上述低频正位相叠加。

(4) 2016 年西北太平洋生成与影响福建的台风与热带大气季节内振荡关系密切,近 7 成台风生成于 MJO 的第 5~7 位相;通过热带低频对流传播

能够有效监测和预测台风的影响。

(5) 发生典型厄尔尼诺或拉尼娜事件时,通过分析大气环流的异常响应能较准确预测气象灾害的分布特点;基于大气低频变化理论的延伸期预报试验填补了月-季预测和中短期天气预报之间的空白,有效提升服务效果。

影响福建台风的因素很多、物理过程复杂,本文的分析仅是初步的。另一方面,当前期海温异常等外强迫信号不够突显时,如何把握其他的有效信号进行预测?还有待更多的分析和研究。同时,在进行台风延伸期预报业务时,由于CFSv2模式产品本身的预报性能局限,加上定义季风槽强度指数范围($5^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$)偏南等,对西北太平洋台风生成预测存在较大不确定性。因此,寻求其他更能客观反映台风生成群发性或影响活跃性的监测指标和低频前兆信号,发展更有效的延伸期预报方法,都将是我们努力的方向。

参考文献

- 曹智露,胡邦辉,杨修群,等,2013. ENSO事件对西北太平洋热带气旋影响的分级研究[J]. 海洋学报, 35(2): 21-34.
- 陈联寿,丁一汇,1979. 西太平洋台风概论[M]. 北京:科学出版社:491.
- 崔童,王东阡,李多,等,2015. 2014年夏季我国气候异常及成因简析[J]. 气象, 41(1): 121-125.
- 冯涛,沈新勇,黄荣辉,等,2014. 热带西太平洋赤道气流的年际变化对西北太平洋热带气旋生成的影响[J]. 热带气象学报, 30(1): 11-22.
- 高辉,薛峰,2006. 赤道气流的季节变化及其对南海夏季风爆发的影响[J]. 气候与环境研究, 11(1): 57-68.
- 高建芸,2007. 西北太平洋季风槽对热带气旋活动的影响及其机理研究[D]. 南京:南京信息工程大学:53-61.
- 高建芸,余锦华,张秀芝,等,2011. 南海-西北太平洋季风槽强度变化的特征及其与热带气旋活动的关系[J]. 热带气象学报, 27(1): 63-73.
- 高建芸,张秀芝,江志红,等,2008. 西北太平洋季风槽异常与热带气旋活动[J]. 海洋学报, 30(3): 35-47.
- 龚道溢,何学兆,2002. 西太平洋副热带高压的年代际变化及其气候影响[J]. 地理学报, 57(2): 185-193.
- 国家气候中心,2010. 气候系统监测诊断年报(2010年)[C]. 北京:中国气象局国家气候中心.
- 郝赛,毛江玉,2015. 西北太平洋与南海热带气旋活动季节变化的差异及可能原因[J]. 气候与环境研究, 20(4): 380-392.
- 何敏,宋文玲,陈兴芳,1999. 厄尔尼诺和反厄尔尼诺事件与西北太平洋台风活动[J]. 热带气象学报, 15(1): 17-25.
- 黄荣辉,皇甫静亮,刘永,等,2016. 西太平洋暖池对西北太平洋季风槽和台风活动影响过程及其机理的最近研究进展[J]. 大气科学, 40(5): 877-896.
- 黄勇,李崇银,王颖,等,2008. 近百年西北太平洋热带气旋频数变化特征与ENSO的关系[J]. 海洋预报, 25(1): 80-87.
- 李崇银,潘静,宋洁,2013. MJO研究新进展[J]. 大气科学, 37(2): 229-252.
- 李崇银,凌健,宋洁,等,2014. 中国热带大气季节内振荡研究进展[J]. 气象学报, 72(5): 817-834.
- 廖要明,王凌,王遵娅,等,2016. 2015年中国气候主要特征及主要天气气候事件[J]. 气象, 42(4): 472-480.
- 刘爱鸣,林毅,刘铭,2006. 2005年登陆台湾岛台风路径特点及成因分析[J]. 气象, 32(6): 37-43.
- 刘聪,曲学实,1992. 厄尔尼诺事件与登陆我国热带气旋关系的初步分析[J]. 气象, 18(1): 13-18.
- 鹿世瑾,王岩,2012. 福建气候[M]. 北京:气象出版社:115.
- 吕心艳,端义宏,2011. 季风槽内热带气旋生成的基本特征分析[J]. 气象学报, 69(6): 990-1000.
- 潘静,李崇银,宋洁,2010. 热带大气季节内振荡对西北太平洋台风的调制作用[J]. 大气科学, 34(6): 1059-1070.
- 权婉晴,何立富,2016. 2016年7月大气环流和天气分析[J]. 气象, 42(10): 1283-1288.
- 任素玲,刘屹崧,吴国雄,2007. 西太平洋副热带高压和台风相互作用的数值试验研究[J]. 气象学报, 65(3): 329-340.
- 邵颢,周兵,2016. 2015/2016年超强厄尔尼诺事件气候监测及诊断分析[J]. 气象, 42(5): 540-547.
- 孙长,毛江玉,吴国雄,2009. 大气季节内振荡对夏季西北太平洋热带气旋群发性的影响[J]. 大气科学, 33(5): 950-958.
- 王慧,丁一汇,何金海,2006. 西北太平洋夏季风的变化对台风生成的影响[J]. 气象学报, 64(3): 345-356.
- 王磊,陈光华,黄荣辉,2009. 影响登陆我国不同区域热带气旋活动的大尺度环流定量分析[J]. 大气科学, 33(5): 916-922.
- 许金镜,温珍治,池艳珍,等,2009. 登闽台风变化及2009年实况分析[C]//2009年福建省气象学会学术年会——省科协第九届学术年会卫星会议论文集. 福州:福建省气象学会:212-219.
- 杨超,许映龙,2014. 2014年8月大气环流和天气分析[J]. 气象, 40(11): 1422-1427.
- 袁媛,高辉,李维京,等,2017a. 2016年和1998年汛期降水特征及物理机制对比分析[J]. 气象学报, 75(1): 19-38.
- 袁媛,高辉,柳艳菊,2017b. 2016年夏季我国东部降水异常特征及成因简析[J]. 气象, 43(1): 115-121.
- 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等,1992. 天气学原理与方法[M]. 北京:气象出版社:715.
- Gao Jianyun, Li T, 2011. Factors controlling multiple tropical cyclone events in the western North Pacific[J]. Mon Wea Rev, 139(3): 885-894.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al, 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bull Amer Meteor Soc, 77(3): 437-471.
- Maloney E D, Hartmann D L, 2000a. Modulation of hurricane activity in the gulf of Mexico by the Madden-Julian oscillation[J]. Science, 287(5460): 2002-2004.
- Maloney E D, Hartmann D L, 2000b. Modulation of eastern North Pacific hurricanes by the Madden-Julian oscillation[J]. J Climate, 13(9): 1451-1460.
- Saha S, Moorthi S, Wu X R, et al, 2014. The NCEP climate forecast system version 2[J]. J Climate, 27(6): 2185-2208.
- Wheeler M, Hendon H H, 2004. An all-season real-time multivariate MJO index: development of an index for monitoring and prediction[J]. Mon Wea Rev, 132(8): 1917-1932.