

董林,许映龙,吕心艳,等,2020. 台风纳沙和海棠的预报着眼点分析[J]. 气象,46(1):29-36. Dong L, Xu Y L, Lyu X Y, et al, 2020. Analysis of forecast focuses of binary typhoons Nesat and Haitang[J]. Meteor Mon,46(1):29-36(in Chinese).

## 台风纳沙和海棠的预报着眼点分析\*

董 林 许映龙 吕心艳 高拴柱

国家气象中心,北京 100081

**提 要:** 2017 年 7 月的两个台风(1709 号台风纳沙和 1710 号台风海棠)在近海发生罕见的近距离相互作用和环流合并,给登陆点的预报及二次登陆时的强度预报造成很大困难,包括 ECMWF 和 NCEP 等在内的大部分数值模式均未能较好地做出预报,但实际业务中的官方预报则较为准确。本文总结了实际业务中的预报经验,并对预报着眼点进行了分析归纳,主要包括:利用天气学模型、模式的偏差订正经验和集合预报结果等,分析模式对副热带高压等大尺度环流背景预报的合理性;通过分析双台风最靠近时刻的相对强度来确定主环流,从而判断两个台风的登陆时间差、各自的极值强度和陆上维持机制的差异;充分考虑登陆台湾的路径角度和过岛时间这两个影响因子,从而修订台风二次登陆时的强度。

**关键词:** 双台风,二次登陆,环流合并,预报着眼点

**中图分类号:** P456,P458

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2020.01.003

## Analysis of Forecast Focuses of Binary Typhoons Nesat and Haitang

DONG Lin XU Yinglong LYU Xinyan GAO Shuanzhu

National Meteorological Centre, Beijing 100081

**Abstract:** The accurate predictions of the first-time landing position and the second-time landing strength are very difficult because of the rarely-seen close distance for the binary typhoons Nesat (No. 1709) and Haitang (No. 1710). Although CMA issued an accurate official forecast, the performance of most models including ECMWF and NCEP was far from satisfactory. In this paper, forecast experience and focus in the forecasting operation are analyzed and summarized. The rationality of model prediction for the large-scale circulation such as subtropical high is analyzed based on synoptic models, deviation revision experience and the performance of ensemble forecasting system. The main circulation is determined by analyzing the relative strength of the closest time of the binary typhoons, so as to judge the difference between the landing time of the two typhoons, their extreme strengths and onshore maintenance mechanisms. Paying close attention to two influencing factors of the typhoon track angle with Taiwan's central mountain range and cross-island time is helpful to revise the typhoon strength of the second-time landing.

**Key words:** binary typhoons, second-time landing, circulation merger, forecast focus

## 引 言

我国是世界上受台风灾害影响最严重的国家之

一。台风灾害的频繁发生,常常造成人员伤亡、财产损失、交通中断、住宅损毁、作物减产等严重后果,从而给国家经济建设、人民生命财产安全和社会稳定运行带来巨大影响(薛建军等,2012)。最近 30 年,

\* 国家重点研发计划(2017YFC1501604)、国家自然科学基金面上项目(41775048)和中国气象局预报员专项(CMAYBY2018-090)共同资助  
2018 年 8 月 28 日收稿; 2019 年 7 月 17 日收修定稿

第一作者:董林,主要从事台风预报和研究. Email:donglin@cma.gov.cn

登陆我国的台风强度有逐渐增强的趋势,造成的直接经济损失也随之增加。因此,做好重大影响台风的预报和服务至关重要。但是,这些造成重大损失的台风预报中往往蕴含着预报业务技术中的难点问题和台风机理研究的核心科学问题,如台风非特的降水和路径受双台风作用的影响、台风威马逊出现近海急剧加强、台风苏力登陆福建的强度、结构和降水分布受一次登陆台湾位置和强度的影响等(许映龙等,2015;刘蕾等,2015)。因此,业务中越来越重视台风预报经验的总结和提炼,只有尽早在预报难题上取得突破才能提高预报和服务水平,减小人员伤亡和财产损失(柳龙生等,2019)。

2017年度共有8个台风在我国登陆,台风灾害共造成35人死亡,10人失踪,110万人次紧急转移安置;3700余间房屋倒塌,3.9万间不同程度损坏;农作物受灾面积为45.61万 $\text{hm}^2$ ,其中绝收面积为2万 $\text{hm}^2$ ;直接经济损失达347.3亿元(王晴等,2018)。在登陆或有重大影响台风中,造成灾害损失较大的台风主要有4个,分别为1713号台风天鸽、1720号台风卡努、1709号台风纳沙和1710号台风海棠。这4个重大影响台风的预报中主要包括两类预报难点问题:一是近海快速加强或减弱台风的强度预报问题;二是双台风之间复杂相互作用的预报问题。本文利用1949—2016年中国气象局的台风最佳路径资料、2017年中央气象台、日本气象厅(Japan Meteorological Agency, JMA)、美国联合台风警报中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)台风路径和强度实时预报资料、中央气象台台风路径集合预报订正方法(TYTEC)(Qi et al, 2014;钱奇峰等,2014;Dong and Zhang, 2016)的预报结果以及欧洲中期预报中心(European Center for Medium Weather Forecasting, ECMWF)和美国环境预报中心(National Center for Environmental Prediction, NCEP)的数值预报产品等,总结和分析台风纳沙和海棠的特点和预报着眼点。

## 1 台风概况

### 1.1 “纳沙”和“海棠”实况

2017年7月25日23时(北京时,下同),菲律宾以东洋面有热带低压发展,26日11时,该低压加强为第9号台风纳沙(英文名:Nesat)。“纳沙”生成后以 $15\sim 20\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度向西北方向移动,强度

逐渐加强;29日05时“纳沙”达到其强度极值( $40\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),气压为960 hPa。29日19:40,“纳沙”在台湾省宜兰县沿海登陆(13级, $40\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,960 hPa,台风级);30日06时在福建省福清市沿海再次登陆(12级, $33\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,975 hPa,台风级),14时“纳沙”在福建省尤溪县境内减弱为热带低压;20时,中央气象台对其停止编号(图1)。

2017年7月28日14时,南海北部海面有热带低压发展,28日20时该低压加强为第10号台风海棠(英文名:Haitang)。“海棠”生成后向北偏东方向移动,强度略有加强,7月30日17:30前后,“海棠”在台湾省屏东县沿海登陆(9级, $23\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,984 hPa,热带风暴级);登陆后转向北偏西方向移动,7月31日02:50前后,在福建省福清市沿海再次登陆(8级, $18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,990 hPa,热带风暴级),登陆后强度逐渐减弱,并与“纳沙”减弱后的残余环流合并,8月1日08时中央气象台对其停止编号(图1)。两个台风减弱合并后的环流继续北上,与西风带系统相结合,造成大范围降水(图2a)。

### 1.2 “纳沙”和“海棠”的风雨影响

7月31日早晨“海棠”与“纳沙”残余环流合并北上,并与北方冷空气结合,自南向北先后影响台湾、福建、浙江、广东、江西、湖南、湖北、安徽、河南、江苏、山东、北京、天津、河北及辽宁、吉林、黑龙江、内蒙古等18个省(区、市),累计降雨50、100 mm以上的覆盖面积分别达到102万和39万 $\text{km}^2$ 。双台风从7月28日开始影响台湾,到8月4日影响结束,共历时8 d(图2a)。期间,福建福州和宁德、浙江温州、河南信阳、河北沧州、辽宁鞍山等局地累计降雨量为300~500 mm,福州沿海点雨量达552 mm。河北、辽宁、吉林和黑龙江共有16个气象站日降水量突破8月历史极值,其中6个突破历史极值。另外,浙江东部、福建东北部、江西中部、安徽南部等地部分地区出现8~9级瞬时大风,福建东部沿海风力达10~12级(图2b)。

### 1.3 “纳沙”和“海棠”的特点和预报难点

台风纳沙和海棠的最大特点是罕见的近距离双台风相互作用。7月28—30日,“纳沙”登陆福建前,两个台风之间的距离从约950 km逐渐减小到650 km,登陆后,随着距离进一步减小,两个台风环流在福建境内合并。两个台风距离如此之近是非常

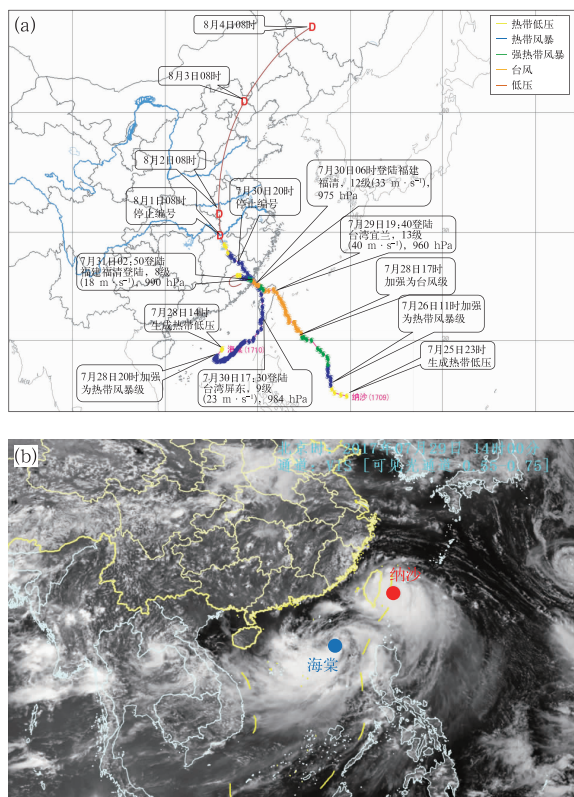


图 1 2017 年台风纳沙和海棠(a)全路径图、  
(b)7月29日14时FY-2F可见光云图  
(红色和蓝色圆点分别为台风纳沙和海棠中心)

Fig. 1 (a) Tracks and (b) FY-2F visible satellite images of typhoons Nesate and Haitang at 14:00 BT 29 July 2017 (red and blue dots: centers of typhoons Nesate and Haitang)

少见的,这也导致了三种罕见现象的出现:(1)登陆前,双台风之间藤原效应明显。台风海棠路径扭曲,先在原地打转,而后向北偏东方向移动,并在台湾西南部登陆,这种罕见路径明显是受到了“纳沙”的影响。(2)两个台风在 24 h 内在福建同一地点登陆。台风纳沙于 7 月 30 日 06 时登陆福建福清,时隔近 21 h 后(31 日 02:50),“海棠”在同一地点登陆,为 1949 年以来首次出现。(3)登陆后,“纳沙”和“海棠”于 7 月 31 日在福建境内发生了罕见的环流合并现象。双台风合并一般发生在西北太平洋上。从相似个例来看,1949 年以来,仅有一次在我国大陆上发现台风的合并,即 1997 年的台风 Amber 和 Cass,分别以强热带风暴级和热带低压强度先后在福建福清和晋江登陆,并在福建境内发生合并。

“纳沙”和“海棠”在路径和强度预报方面主要的预报难点为:(1)“纳沙”生成时刻的移动方向预报难

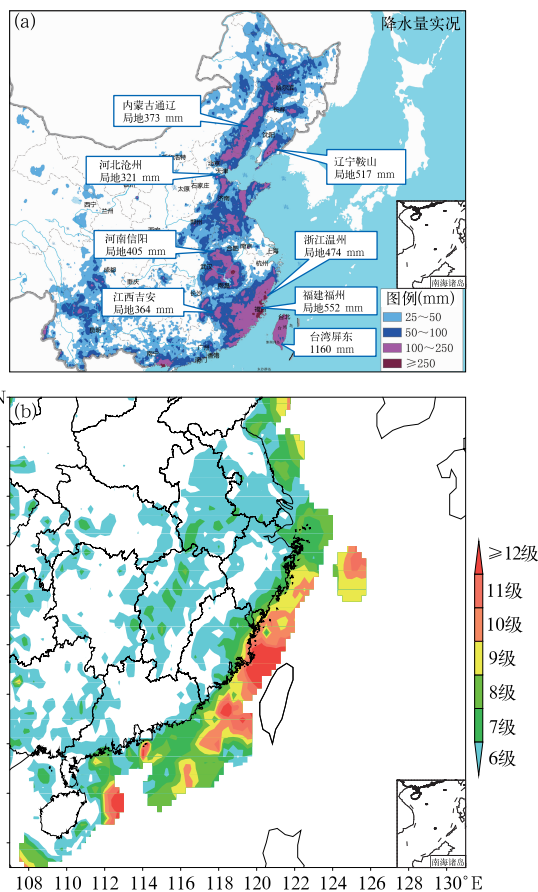


图 2 2017 年 7 月 29 日至 8 月 4 日“纳沙”和“海棠”(a)过程累计雨量和  
(b)7月28—31日过程最大阵风

Fig. 2 Accumulation of precipitation from 29 July to 4 August (a) and gust from 28 to 31 July (b) during binary typhoons Nesate and Haitang in 2017

度大;(2)近距离的双台风作用导致路径预报难度加大;(3)“纳沙”登陆福建的强度难确定。其中,罕见的近距离双台风相互作用导致预报难度增加,表现为登陆前两个台风的路径预报误差增加和登陆后环流合并方式的预报偏差,这是双台期间最大的预报难点。

### 1.4 预报误差

中央气象台“纳沙”的路径预报准确率优于日本(JMA),“海棠”优于日本和美国(JTWC,图 3);两个台风的强度预报水平均领先于日本和美国。但是由于在“纳沙”和“海棠”影响期间,西北太平洋还有 1705 号台风奥鹿同时存在,双台风和多台风共存导致预报难度增加,路径预报误差加大。“纳沙”

24~96 h 误差分别为 79、181、316 和 623 km,均明显高于 2016 年的各时效误差(66、127、213 和 292 km),亦高于中央气象台过去 5 年的平均误差(77、137、204 和 281 km)(高拴柱等,2018)。多年的统计分析表明,登陆台风的路径误差一般小于全年的平均误差,大误差样本多出现在远海转向台风中,而“纳沙”和“海棠”的 24 h 误差均高于 2016 年和过去 5 年的年平均误差,说明这两个台风确实有预报难度,值得认真分析和深入总结。

## 2 预报着眼点分析

### 2.1 “纳沙”生成时刻移动方向预报着眼点分析

7 月 26 日,台风纳沙生成时,业务预报中常用的四个主要的全球模式,即 GRAPES、T639、ECMWF 和 NCEP 模式对其后期的路径方向预报存在较大分歧:前三个模式均预报“纳沙”未来将向东北方向移动,只有 NCEP 模式预测其将向西北方向移动。尽管西北太平洋台风的路径可能受到副热带高压(以下简称副高)、季风、高空槽、冷空气等诸多环境因素的影响,但是一般情况下最重要的影响因子还是副高。经过分析发现,预报路径出现重大分歧的主要原因是不同模式在 96~120 h 时效对副高强度 and 形态的预报差别造成的(图 4)。NCEP 模式预

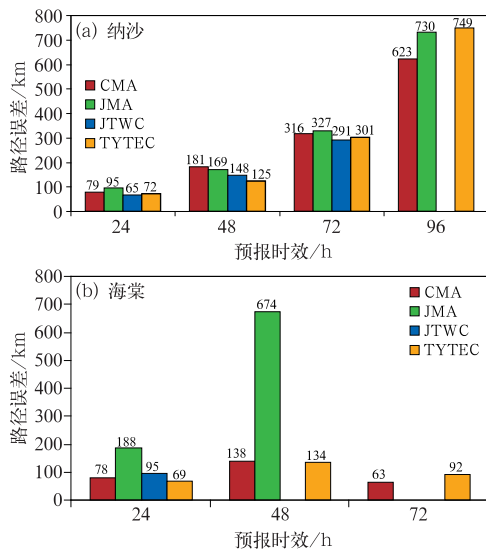


图 3 2017 年“纳沙”(a)和“海棠”(b)路径预报误差

Fig. 3 Track forecast errors of typhoons (a) Nesat, and (b) Haitang

报副高强度强、位置稳定,将一直维持带状形态,而另外三个模式预报副高将出现减弱、东退和断裂的形势。如果副高强度强且呈带状分布,位于其南侧的台风受偏东或东南气流引导,将稳定西行或西北行(图 4b)。如果副高减弱、东退,或者发生断裂,当台风移动到副高断裂的位置或者西脊点时,其引导气流的方向和强度会发生变化,导致台风路径出现

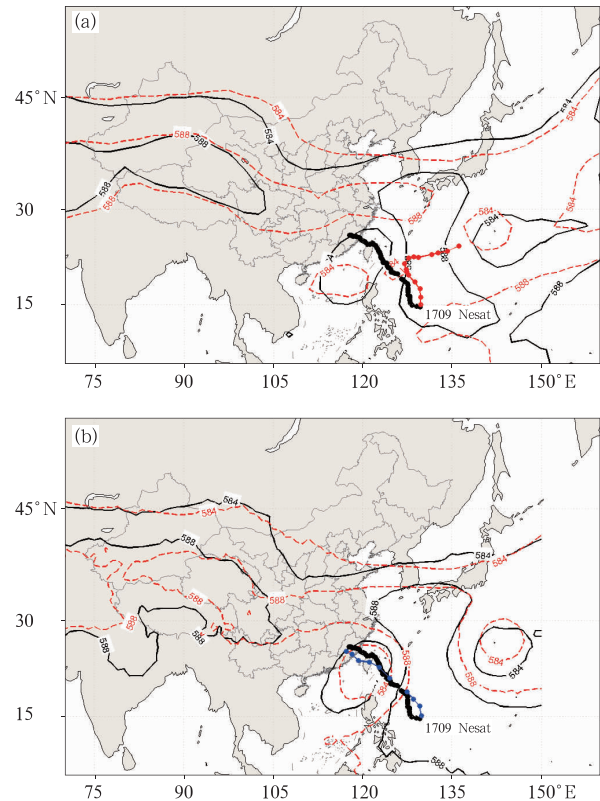


图 4 2017 年 7 月 29 日 20 时 500 hPa 高度场和“纳沙”路径对比

(黑色实线为模式分析场,红色虚线为预报场,只显示了 584 和 588 dagpm; 黑色粗线为台风路径实况,红色或蓝色实线为模式预报路径,模式起报时间为 7 月 25 日 20 时)

(a)ECMWF 模式,(b)NCEP 模式

Fig. 4 The 500 hPa height prediction and analysis at 20:00 BT 29 July 2017 and comparison of forecast and observed track of Nesat

(Analysis and prediction are marked by black solid line and red broken line respectively, and only 584 dagpm and 588 dagpm are remained. Observed and forecast tracks are marked by black and colored lines respectively; the initial time is 20:00 BT 25 July 2017)

(a) ECMWF, (b) NCEP

转折(图 4a)。此次预报中每个模式所预报的副高形态与其预报的台风路径是匹配的,说明副高是决定“纳沙”未来移动方向的主要因子。

因此,分析 ECMWF 模式对副高预报的合理性是判断路径方向的关键,也是此次台风预报的着眼点。第一,寻找影响副高形态和强度的先兆因子;第二,加强模式检验,订正系统性偏差。首先寻找对副高有预报指示意义的天气系统。众所周知,南亚高压是对流层上部具有行星尺度的暖高压,它的位置和形态对副高和我国的雨带分布具有较大影响,且有一定的预报指示意义(朱乾根等,2005)。另外,国外预报员在 20 世纪 70 年代建立了对流层高层流场与台风路径预报的天气学模型,该模型将台风路径分为转向型和非转向型两类。非转向型台风始终位于强大的南亚高压南侧,在高层受偏东气流的引导,高层风速越大,台风移动的偏西分量越大;而在转向型中,南亚高压断裂为东、西两个部分,断裂点位于我国东部海区,东部的高压中心位于西北太平洋洋面上,台风位于东部高压的南侧,当其西移到两高之间时,路径将转向偏北方向(Guard, 1977)。其次,在模式的检验订正方面,预报员通过一些预报失败个例积累了经验。在 1508 号台风鲸鱼和 1521 号台风杜鹃路径预报中曾经遇到过类似的情况,由于当时缺乏对 ECMWF 模式的订正经验,导致这两个台风的路径预报出现了严重的偏差,特别是对台风杜鹃生成时刻的移动方向预报判断失误,导致该时刻 120 h 预报误差达到罕见的 2530 km,是当年平均 120 h 预报误差的 7.7 倍(郑艳等,2018;许映龙和黄奕武,2017)。预报员从 2015 年开始关注 ECMWF 模式的这种预报偏差,并了解到偏差可能导致模式将对流层高层的非转向型流场预报为转向型流场,从而造成台风长时效路径预报出现重大失误。在 2016 年 1601 号台风尼伯特的预报中,预报员利用这一经验对台风路径进行了订正,取得了很好的预报效果(高拴柱等,2018)。

虽然具有以上预报经验,但是准确预报“纳沙”生成时刻的移动方向对预报员来说依然难度很大。因为在此次预报中,影响副高的系统不仅有南亚高压,还有另外一个台风奥鹿。该台风位于副高的东北侧、日本南部洋面,模式对“奥鹿”预报的不确定性同时影响着副高的位置和形态。ECMWF 集合预报路径发散度极大,台风路径方向的差异达到了罕见的  $180^\circ$ ,表明各天气系统之间复杂的相互作用导

致“纳沙”未来的移动方向具有诸多可能性。但是,进一步分析发现,在 ECMWF 和 NCEP 两个集合预报系统中,大多数成员的移动指向偏西方向(图略)。这给预报员利用天气学模式进行订正预报时很大的信心,并最终采信了 NCEP 模式的预报,做出了“纳沙”将向偏西方向移动的预报结果。检验分析显示,将此次“纳沙”的高层流场与天气学模型进行对比,图 5 可见 ECMWF 模式在“纳沙”生成时刻(7 月 25 日 20 时)对 7 月 30 日 08 时的高层流场的预报更接近转向型(图 5a),而该时刻的分析场显然更接近非转向型流场,即“纳沙”在登陆我国大陆之前,始终位于一个强大的南亚高压南侧的偏东气流中,台风将稳定西行(图 5b)。这表明,ECMWF 模

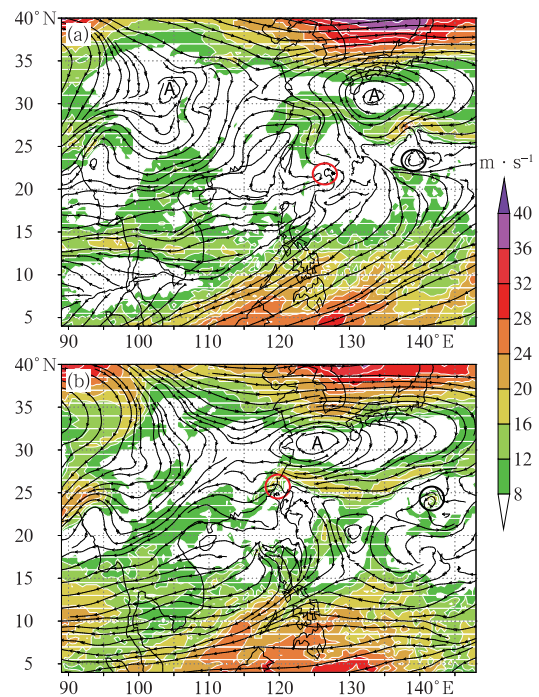


图 5 2017 年 7 月 30 日 08 时 ECMWF 模式的 200 hPa 流线和等风速线

(a) 7 月 25 日 20 时起报的 108 h 预报场,

(b) 7 月 30 日 08 时分析场

( $\geq 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  填色; A 为南亚高压中心,红色圆环为台风纳沙位置,黑色圆环为台风奥鹿位置)

Fig. 5 ECMWF 200 hPa stream and isotach at 08:00 BT 30 July 2017

(a) 108 h forecast field starting from 20:00 BT 25 July, (b) analysis field on 30 July

(shaded area: wind speed  $\geq 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . A is the center of South Asia high, the locations of Nesat and Haitang are marked by red and black circulars respectively)

式对于高层流场的预报确实出现了偏差,这种偏差主要是对南亚高压的预报偏弱,导致对副高预报的偏差,从而影响了台风路径方向的预报。虽然此次利用预报经验和天气学模式对模式进行了正确分析和有效订正,但是这些预报经验还处于定性分析的阶段,没有形成量化指标,仍需在更多的个例中检验。

## 2.2 罕见的近距离双台风作用的预报着眼点分析

1949—2017年在西北太平洋和南海,双台风共存的现象共发生 677 次,占全部样本的 52%;但是距离在 1000 km 以下的双台风样本却比较少,仅占 7.7%。当两个台风的距离在 500 km 以下时,发生合并的概率较大,但是这种情况一般发生在海上,靠近沿海或者在我国陆地上的台风合并现象历史上仅出现过 3 次,且均以弱台风合并到强台风的方式发生(陈联寿等,2012)。台风纳沙和海棠先后于 7 月 26 日和 28 日生成,两个台风从 7 月 28 日 20 时至 30 日 20 时共存时间达 2 d。在双台风共存期间,其距离从约 950 km 逐渐减小到 650 km 左右,两个台风登陆福建后,强度较强的“纳沙”迅速减弱,其环流合并到“海棠”的环流中(图 6)。“纳沙”和“海棠”的距离之近、在陆地上发生环流合并以及合并方式均非常罕见,是这两个台风预报中的第二个也是最大

的一个难点。

在“纳沙”和“海棠”相互作用期间,预报中有两处明显偏差。

第一,近距离相互作用期间路径预报误差较大。由于“纳沙”和“海棠”不断靠近,两个台风的路径受到对方的牵制,互旋作用不断加强,路径呈现出明显的反时针旋转的特征(图 6),同时台风路径预报方向偏差明显增加。对于常规的单台风路径预报,需要考虑的影响因子主要是副高、季风和冷空气,但是对于距离在 14 个纬距以内的双台风,还需要额外考虑双台风的互旋作用引起的路径方向的改变。现阶段,无论是模式的预报能力还是预报员的订正能力均十分有限,以至于互旋期间路径预报大误差样本明显增多(图 3)。“纳沙”和“海棠”的 24 h 路径预报误差分别为 79 和 78 km,只达到了过去 5 年平均值的水平(77 km),高于 2016 年的年平均 24 h 误差(66 km)。尽管早期曾有学者对双台风的作用进行研究,得到了经典的藤原效应理论模型(Fujiwhara, 1921;1923;1931),即两个台风在靠近后将以逆时针方向互旋。但是统计显示,出现经典藤原效应的个例非常罕见。而且,这些统计结论是在将台风路径转换为相对于质心的运动后得到的,目前尚不能定量地用于实际预报(Lander and Holland, 1993)。因此双台风或多台风之间的相互作用以及由此引起的路径和强度的变化目前依然是业务中的预报难点。

第二,对“纳沙”和“海棠”的合并方式预报失误。合并方式的预测偏差导致“纳沙”登陆后的路径预报呈现出两种截然相反的趋势(图 6)。台风在我国陆地上发生合并是非常罕见的现象,在历史样本中只出现过一次(1997 年的台风 Amber 和 Cass 在福建境内合并),且过去的经验和此次确定性模式预报均显示,强度较弱的“海棠”(极值强度为热带风暴级,9 级,  $23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )将被强度较强的“纳沙”(极值强度为台风级,13 级,  $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )吞并。由于两个台风登陆福建的时间差只有 21 h,先登陆的“纳沙”的环流应该可以维持到“海棠”登陆后并与其合并。因此,预报员在 7 月 30 日之前均预报“纳沙”将作为主环流,合并“海棠”后继续北上,但是实况刚好相反。观测表明(图 1b)，“海棠”生成后,由于其大部分时间在南海活动,且位置始终位于“纳沙”南侧,在抢夺西南季风水汽方面有很大优势,特别是在“纳沙”登陆后,水汽几乎被“海棠”切断,导致其在福建境内迅速

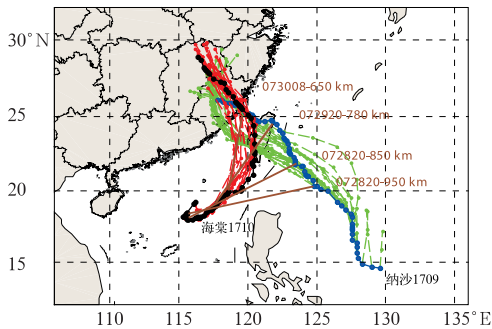


图 6 “纳沙”(蓝色为实况,绿色为预报)和“海棠”(黑色为实况,红色为预报)路径及两者距离示意图

(棕色线为两个台风之间的距离,数字为时间和对应的距离)

Fig. 6 Schematic of tracks and distance of the typhoons Nesat (Blue line is observed track, green lines are forecast tracks) and Haitang (Black line is observed track, red lines are forecast tracks)

(Brown line is the distance between two typhoons, brown numbers serve as time and corresponding distance)

减弱;同时,得到充足能量和水汽的“海棠”维持时间更长,最终是“海棠”吞并了“纳沙”。因此,当判断两个台风的合并方式时,预报着眼点是综合考虑两个台风最接近时刻的相对强度,这与其各自的极值强度、登陆的时间差和台风的陆上维持机制等多个因素有关,而不应只考虑台风的极值强度。

### 2.3 “纳沙”登陆福建强度的预报着眼点分析

在中央气象台 7 月 27 日的预警中将“纳沙”在台湾和福建的登陆强度分别预报为 35~40 和 25~33  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,这个预报结论一直维持到最后。观测表明,“纳沙”分别于 7 月 29 日晚上和 30 日早晨以 40 和 33  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  的强度先后在台湾宜兰和福建福清登陆,此次登陆强度的预报较准确。

但是对于西行台风而言,当一次登陆台湾的强度只有 35~40  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  时,预报其二次登陆福建的强度能达到台风强度(33  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )是相当有难度的,主要原因是影响二次登陆强度的因素比较多,包括一次登陆台湾的位置、强度、路径角度和在岛停留时间等。台湾的中央山脉长约 320 km,宽约 80 km,主峰高度为 3000~3900 m,当台风以西行路径经过中央山脉的主峰时,高地形和长时间的陆面摩擦将导致台风强度明显减弱。但是由于从不同位置过岛,经过的山脉高度和宽度有一定差异,因此登陆台湾时位置对台风的减弱程度有一定影响。从“纳沙”不同时间起报的路径来看(图 6),受“海棠”影响,“纳沙”登陆台湾的位置南北摆动程度较大,给二次登陆强度的预报造成很大困扰。另外,从历史个例的统计来看,二次登陆强度达到台风级别的情况也较少。统计分析发现,1949—2016 年,西行路径、一次登陆台湾二次登陆福建的台风共 63 个,一次登陆台湾时的平均强度为 42.2  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,其中  $\geq 40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的 43 个,占比为 68%;但是这些台风二次登陆福建的平均强度只有 27.9  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,即平均减弱强度为 14.3  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。按此计算,如果“纳沙”的一次登陆强度为 40  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,登陆福建时的强度仅为 25.7  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。同时,统计研究表明(董林和端义宏,2008),以台风强度登陆台湾是登陆台风所有强度等级中消耗强度比值最大的。以上分析均显示,“纳沙”二次登陆福建的强度可能达不到台风级别;并且确定性模式和集合模式对二次登陆福建时的强度预报为 20  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  左右。

预报员之所以考虑“纳沙”二次登陆强度有可能

达到台风级别,即过岛削弱强度较小,主要基于两点考虑:第一,研究表明,台风登陆台湾后的强度消耗,除了与其一次登陆的强度和地点有关之外,还与登陆角度和过岛时间密切相关(董林和端义宏,2008)。当台风到达台湾东侧登陆点前的两个纬距之内,将路径方向调整为与中央山脉夹角在  $90^\circ$  附近(即接近垂直)时,登陆时消耗的强度最小。此次确定性模式和集合模式对“纳沙”的路径方向的预报比较稳定,当“纳沙”登陆台湾岛时,其路径方向基本与中央山脉垂直。第二,“纳沙”移动速度快,在台湾岛的停留时间在 5 h 之内,低于台风过台湾岛的平均时间 1~2 h。因此,对于西行、二次登陆福建的台风,确定登陆强度的预报着眼点应该重点放在登陆角度和过岛时间两个影响因子,这两个因子直接影响了地形对台风强度削弱的程度,因此基于模式对路径方向和移动速度的准确预报,预报员对二次登陆福建的强度做了正确的订正。

## 3 结论和讨论

1709 号台风纳沙和 1710 号台风海棠的近距离双台风作用导致了明显的藤原效应,24 h 内在同一地点登陆、登陆后两个台风环流合并等罕见现象;双台风的路径和强度预报具有“纳沙”生成时刻确定预报方向难度大、近距离双台风作用导致预报难度增加以及“纳沙”登陆福建的强度预报难确定等三大预报难点。

“纳沙”生成时刻移动方向的预报难点主要是模式在长时效对副高和南亚高压的预报偏差造成的;预报着眼点在于判断 ECMWF 模式对副高预报的合理性分析;可以利用高层流场夏季转向型与非转向型的天气学模型、对 ECMWF 模式的订正经验,综合参考集合预报结果等对确定性模式的预报结果进行修订;该方法在此次预报中取得了较好的效果,但是方法还处于经验性、定性阶段,需要进一步检验和量化。

“纳沙”和“海棠”近距离双台风作用的预报难点主要是其复杂的相互作用造成的,已有的双台风作用统计模型或总结无量化指标,尚无法有效地应用于业务预报,需要进行大量的统计分析并进行数值模拟或理想实验,才能形成可用的客观订正方法;但是在确定环流合并方式时,预报着眼点是通过分析双台风最靠近时刻的相对强度来确定主环流,这与

两个台风的登陆时间差、各自的极值强度和陆上维持机制的差异等因素有关,仅考虑极值强度或借鉴相似个例的合并方式,可能导致预报偏差。

“纳沙”登陆福建强度的预报难点主要在于其登陆台湾的强度和位置不确定,导致其再登陆福建时的强度预报困难;在影响二次登陆的四个因素中(一次登陆强度、一次登陆点、登陆角度和过台湾岛时间),后两个因素更重要,预报着眼点是重点考虑登陆台湾的路径角度和过岛时间,这两个因素直接影响了台风在岛上损耗的强度;如果模式预报的路径方向和移动速度准确,可以对二次登陆强度进行有效修订。

### 参考文献

- 陈联寿,端义宏,宋丽莉,等,2012. 台风预报及其灾害[M]. 北京:气象出版社:2-3. Chen L S, Duan Y H, Song L L, et al, 2012. Typhoon Forecast and Disaster[M]. Beijing: China Meteorological Press:2-3(in Chinese).
- 董林,端义宏,2008. 热带气旋经过台湾岛强度变化特征[J]. 气象,34(7):10-14. Dong L, Duan Y H, 2008. A statistical analysis of intensity change of tropical cyclones landing Taiwan[J]. Meteor Mon,34(7):10-14(in Chinese).
- 高拴柱,董林,许映龙,等,2018. 2016年西北太平洋台风活动特征和预报难点分析[J]. 气象,44(2):284-293. Gao S Z, Dong L, Xu Y L, et al, 2018. Analysis of the characteristics and forecast difficulties of typhoons in Western North Pacific in 2016[J]. Meteor Mon,44(2):284-293(in Chinese).
- 刘蕾,陈茂钦,李煜,等,2015. 超强台风“威马逊”近海急剧加强特征及诊断分析[J]. 气象科技,43(6):1149-1156. Liu L, Chen M Q, Li Y, et al, 2015. Features and diagnostic analysis of rapid intensity change of super typhoon Rammasun over China offshore waters[J]. Meteor Sci Technol,43(6):1149-1156(in Chinese).
- 柳龙生,吕心艳,高拴柱,2019. 2018年西北太平洋和南海台风活动概述[J]. 海洋气象学报,39(2):1-12. Liu L S, Lü X Y, Gao S Z, 2019. Overview of typhoon activities over western North Pacific and the South China Sea[J]. J Mar Meteor,39(2):1-12(in Chinese).
- 钱奇峰,张长安,高拴柱,等,2014. 台风路径集合预报的实时订正技术研究[J]. 热带气象学报,30(5):905-910. Qian Q F, Zhang C A, Gao S Z, et al, 2014. Real-time correction method for ensemble forecasting of typhoon tracks[J]. J Trop Meteor,30(5):905-910(in Chinese).
- 王靖,钱传海,张玲,2018. 2017年西北太平洋和南海台风活动概述[J]. 海洋气象学报,38(2):1-11. Wang Q, Qian C H, Zhang L, 2018. The characteristics and impact of typhoon activities over western North Pacific and the South China Sea[J]. J Mar Meteor,38(2):1-11(in Chinese).
- 许映龙,黄奕武,2017. 2015年西北太平洋和南海台风活动特征及主要预报技术难点[J]. 海洋气象学报,37(1):31-41. Xu Y L, Huang Y W, 2017. The activity characteristics and forecasting difficulties of tropical cyclones over Western North Pacific and South China Sea in 2015[J]. J Mar Meteor,37(1):31-41(in Chinese).
- 许映龙,吕心艳,张玲,等,2015. 1323号强台风菲特特点及预报难点分析[J]. 气象,41(10):1222-1231. Xu Y L, Lü X Y, Zhang L, et al, 2015. Analysis on the characteristics and forecasting difficulty of severe typhoon Fitow (No. 1323)[J]. Meteor Mon,41(10):1222-1231(in Chinese).
- 薛建军,李佳英,张立生,等,2012. 我国台风灾害特征及风险防范策略[J]. 气象与减灾研究,35(1):59-64. Xue J J, Li J Y, Zhang L S, et al, 2012. Characteristics of typhoon disasters in China and risk prevention strategies[J]. Meteor Disaster Reduct Res, 35(1):59-64(in Chinese).
- 郑艳,程守长,蔡亲波,等,2018. 台风鲸鱼(1508)路径和降水业务预报偏差原因分析[J]. 气象,44(1):170-179. Zheng Y, Cheng S C, Cai Q B, et al, 2018. Analysis on the forecast deviation of typhoon Kujira (1508) in track and rainfall distribution[J]. Meteor Mon,44(1):170-179(in Chinese).
- 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等,2005. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社:484-490. Zhu Q G, Lin J R, Shou S W, et al, 2005. Principle and Method of Synoptics [M]. Beijing: China Meteorological Press:484-490(in Chinese).
- Dong L, Zhang F Q. 2016. OBEST: an observation-based ensemble subsetting technique for tropical cyclone track prediction[J]. Wea Forecasting,31(1):57-70.
- Fujiwhara S, 1921. The natural tendency towards symmetry of motion and its application as a principle in meteorology[J]. Quart J Roy Meteor Soc,47(200):287-292.
- Fujiwhara S, 1923. On the growth and decay of vortical systems[J]. Quart J Roy Meteor Soc,49(206):75-104.
- Fujiwhara S, 1931. Short note on the behaviour of two vortices[J]. Proc Phys Math Soc Japan,13(3):106-110.
- Guard C P, 1977. Operational application of a tropical cyclone recurrence/non-recurrence study based on 200 mb wind fields[R]. San Francisco: Fleet Weather Central/Joint Typhoon Warning Center FPO:96630.
- Lander M, Holland G J, 1993. On the interaction of tropical-cyclone-scale vortices. I: observations[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 119(514):1347-1361.
- Qi L B, Yu H, Chen P Y, 2014. Selective ensemble-mean technique for tropical cyclone track forecast by using ensemble prediction systems[J]. Quart J Roy Meteor Soc,140(680):805-813.