

吕心艳,许映龙,董林,等,2021. 2018 年西北太平洋台风活动特征和预报难点分析[J]. 气象,47(3):359-372. Lyu X Y, Xu Y L, Dong L, et al, 2021. Analysis of characteristics and forecast difficulties of TCs over Northwestern Pacific in 2018[J]. Meteor Mon, 47(3):359-372(in Chinese).

2018 年西北太平洋台风活动特征和预报难点分析*

吕心艳 许映龙 董林 高拴柱

国家气象中心,北京 100081

提 要: 利用 1949—2018 年中国气象局台风最佳路径、2018 年中央气象台的台风路径强度实时预报、ECMWF 数值预报以及 NCEP 逐日高分辨率海温 RTG_SST($0.083^\circ \times 0.083^\circ$)等资料,对 2018 年西北太平洋台风活动的主要特征和预报难点进行了分析。结果表明:2018 年台风生成频数偏多,生成源地偏东,南海台风活跃;生成时间集中,盛夏台风异常偏多,台风群发性强,双台风或多台风共存活动频次偏多;台风生命史长,累积气旋能量偏高,超强台风偏多,但整体强度偏弱,较弱台风异常偏多;台风登陆频数和频次偏多,登陆地段偏北,且登陆台风强度明显偏弱。中央气象台 24~120 h 台风路径预报误差分别为 72、124、179、262 和 388 km,各时效误差较 2017 年均有减少,特别是长时效路径预报误差明显减少;24~120 h 台风强度预报误差分别为 3.7、5.1、5.5、6.6 和 $7.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由于双台风或多台风之间的相互作用、“鞍型场”等造成路径预报难度大以及多台风之间复杂水汽输送、近海台风强度变化不确定性大等原因,造成强度预报难度大。若采用更多观测资料、进行更深入的台风机理研究以及研发更有效的台风客观预报技术将是突破这些难点的有效途径。

关键词: 台风活动特征,双台风,东风急流,预报技巧,预报难点

中图分类号: P447

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2021.03.009

Analysis of Characteristics and Forecast Difficulties of TCs over Northwestern Pacific in 2018

LYU Xinyan XU Yinglong DONG Lin GAO Shuanzhu

National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: The characteristics of TCs and forecast difficulties over Northwestern Pacific in 2018 were analyzed by using the best-track data of CMA (1949—2018), CMA operational TC forecasting data of 2018, ECMWF forecast products and NCEP RTG_SST (real-time global sea surface temperature, $0.083^\circ \times 0.083^\circ$) data. The results showed that the total TC genesis number was much more in 2018 than climate average and the TC generating location was more eastward, but the TCs in South China Sea were much more active. The TC genesis time concentrate in summer and the TC genesis number in summer was much more than climate average. The TC genesis clusters and coexisting multiple TCs were frequently seen. The annual lifetime of TCs was longer and the accumulative cyclone energy was higher. However, the overall TC intensity was much weaker, and the proportion of weaker TCs was abnormally higher. The number and frequency of land falling TC were much higher, and the landing TC locations were northward, but the landfalling TC intensity was abnormally weaker. The track forecast errors of CMA this year decreased compared with those of 2017 for all forecast leading time, with the value of 72, 124, 179, 262 and

* 中国气象局预报员专项(CMAYBY2019-147)、国家自然科学基金项目(41775048)和国家重点研发计划(2018YFC1506406)共同资助
2020 年 4 月 5 日收稿; 2021 年 2 月 26 日收修定稿

第一作者:吕心艳,主要从事台风预报和台风研究工作. E-mail:lvxy@cma.gov.cn

通讯作者:许映龙,主要从事台风预报和相关研究工作. E-mail:xuyl@cma.gov.cn

388 km for 24, 48, 72, 96 and 120 h lead time. Especially, the track errors decreased obviously for long lead-time. The intensity errors respectively were 3.7, 5.1, 5.5, 6.6 and 7.1 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ for 24, 48, 72, 96 and 120 h lead time. The track forecast difficulties were mainly caused by complex interaction between binary typhoons or among multiple TCs as well as the large uncertainty caused by the saddle circulation. Meanwhile, the uncertainty of intensity forecast of TCs near off-shore and the complex moisture transport among multiple TCs are the main causes for the difficulties of TC intensity forecasting. The forecast problems would be solved effectively if there were more observations, in-depth mechanism studies and more effective forecasting techniques.

Key words: characteristic of TC, binary typhoons, easterly jet, forecast skill, forecast difficulty

引 言

我国是世界上登陆台风或热带气旋最多的国家之一,平均每年约有 7 个台风登陆我国沿海。登陆台风常带来强风、暴雨、风暴潮等重大灾害(陈联寿等,2012),尤其是给我国沿海地区造成重大经济损失和人员伤亡。随着台风综合观测体系的不断完善和数值模式预报能力的提高(杨国杰等,2018;麻素红等,2018),我国台风预报,特别是近二十年来台风路径预报水平有了明显的进步(董林等,2019;陈国民等,2019;端义宏等,2020),24 h 路径预报误差由 1991 年的 200 km 减少到 72 km (2016—2018 年平均),减少了 60%。但是,异常和长时效台风路径预报仍面临着巨大挑战,特别是多台风复杂相互作用下常常会出现异常台风路径(罗哲贤和马镜娴,2001;吴丹等,2017 等),路径预报不确定大,预报难度明显增加。如业务中前期没有预报出台风菲特(1323)在台湾以东洋面突然西折并登陆我国,分析发现其东侧台风丹娜丝(1324)的存在有利于台风菲特突然西折(许映龙等,2015),但是,前期数值模式和主观预报对双台风相互作用下路径预报能力都非常有限,如台风纳沙(1709)与海棠(1710)、台风梅花(1109)与洛坦(1108)和苗柏(1110)双台风或多台风相互作用期间台风路径预报误差也明显偏大(董林等,2020;许映龙等,2011)。另外,“鞍型场”是一种非常特殊的大尺度环流场,一旦台风进入“鞍型场”后,其引导气流不明显,台风移动方向难以被确定,常会出现停滞或缓慢移动、打转、突然转向等异常路径(郑浩阳等,2014),造成路径预报难度大。

相对于台风路径预报,台风强度预报提高精度一直进展十分缓慢(DeMaria et al,2014; Emanuel and Zhang,2016; Tallapragada et al,2016),强度预

报误差逐年波动(Emanuel,2018),没有明显的提高,特别是近海台风强度预报难度大,常常会导致台风预报预警不及时、陷入被动局面。海洋上观测资料的缺乏造成对台风强度变化机理认识不足以及数值模式对台风强度预报水平不高(Rotunno et al,2009;DeMaria et al,2014;Magnusson et al,2019)。有效客观预报方法的缺乏是导致台风强度预报技巧提高缓慢、预报水平停滞不前的主要原因。特别是双台风或多台风相互作用不但使得台风路径预报难度大,也常造成台风强度突变、预报误差增大,主要原因是台风之间存在高低层复杂的水汽交换(Xu and Lu,2014;吴丹等,2017)和涡度的互相输送(于玉斌,2007;李英等,2009;郑峰和张灵杰,2013;张晓慧等,2019),台风强度变化不确定性大。

另外,大多数台风登陆后再次入海强度会持续减弱,仅有少数(约 24%)登陆后再次入海加强(郭丽霞等,2010),业务中常对在陆地且已经减弱的台风停止编号。一般来说登陆台风再次入海进入黄渤海或东海时,由于海表温度相对于热带地区明显偏低,水汽输送条件变差,环境风垂直切变也易加大,台风再次入海往往不会增强。但是,当其与西风槽、高空急流相互作用,如台风进入西风急流入口区右侧的高辐散区或台风中心附近冷暖空气交汇促进斜压位能释放,台风再次入海后仍有可能增强(吴云帆等,2016),而业务中容易忽视这类台风,它们常给黄渤海或东海带来狂风巨浪,造成巨大的损失。

本文利用 1949—2018 年中国气象局台风最佳路径资料、2018 年中央气象台的台风路径和强度实时预报资料、ECMWF 数值预报资料以及 NCEP 实时全球高分辨率海温资料 RTG_SST(分辨率: $0.083^\circ \times 0.083^\circ$),首先对 2018 年西北太平洋和南海台风活动的主要特征进行归纳,然后对主要预报技术难点进行了讨论,以期为未来台风业务预报和

研究提供参考。

1 2018 年台风活动特征

1.1 台风生成

2018 年西北太平洋和南海海域共有 29 个台风生成(图 1a),其中登陆我国的共有 10 个(图 1b)。从台风生成数量来看,2018 年比 1949—2017 年的平均值(26.9 个)偏多 2.1 个(图 2a),比 1981—2010 年平均值(25.5 个)偏多 3.5 个。从生成源地来看,150°E 以东海域生成台风多达 8 个(图 2b),占全年生成总数的 27.6%,高于多年平均值(21.1%);南海海域有 7 个台风生成,占全年总数的 24.1%,比多年平均值(4.6 个和 16.9%)偏多。年平均台风生成位置为(15.9°N、139.5°E),比多年平均值(1949—2017 年,16.1°N、136.9°E)偏东,特别是夏季(6—8 月)平均台风生成位置为(19.0°N、141.4°E),比多年平均(1949—2017 年,18.4°N、135.3°E)偏东 6.1°。

2018 夏季 6—8 月共有 18 个台风生成(图 2c),占全年总数的 62.1%,较多年平均(11.6 个和 43.1%)偏多,为 1949 年以来最多年。特别是 8 月共有 9 个台风生成,较多年平均值(5.6 个)偏多,仅次于 1960 年(11 个)和 1966 年(10 个),为 1949 年以来排名第三。但是,秋季(9—11 月)仅有 8 个台风生成,占全年 27.6%,较多年同期平均(11.3 个和

42.0%)明显偏少,特别是 10 月仅有 1 个台风生成,与多年平均(3.81 个)相比异常偏少,这种情况 1949 年以来仅出现过三次(1956,1976、2011 年);冬、春季(1—5 月和 12 月)共有 3 个台风生成,占全年生成总数的 10.3%,较多年同期平均(4.03 个和 15%)略有偏少。可见,2018 年台风生成时间主要集中在夏季,且夏季台风异常偏多,但秋季则明显偏少。

另外,按照台风群发的定义(吕心艳和端义宏,2011),本年度 4 次台风群发过程,3 次发生于季风槽中,特别是 8 月 8—18 日台风生成十分活跃,仅 11 d 内有 6 个台风相继生成,平均 1.8 d 天生成一个。此外,11 月 17—20 日在东风波中出现了一次台风群发,11 月中旬出现台风群发且数量为 3 个,比较少见。此外,2018 年共出现了 13 次台风共存现象,较多年平均值(9.2 次)偏多,其中有 9 次 2 个台风共存、4 次 3 个台风共存,3 个台风共存现象比多年平均偏高 10.8%。

台风生成与海洋热状况密切相关(Gray, 1968),夏季南海北部海域和菲律宾以东的热带西北太平洋海域海温均较气候平均明显偏高(图 3a),特别是 150°E 以东海域海温明显偏高 0.5℃ 以上,导致夏季南海台风活跃、生成源地偏东、生成频数偏多。另外,60°~100°E 越赤道气流偏强(图 3b),导致 100°E 以东赤道西风明显偏强,南海北部至菲律宾以东季风槽明显偏强,有利于台风的生成(吕心艳和端义宏,2011),因此,2018 年季风槽偏强和海温偏高是夏季台风生成个数异常偏多的重要原因。

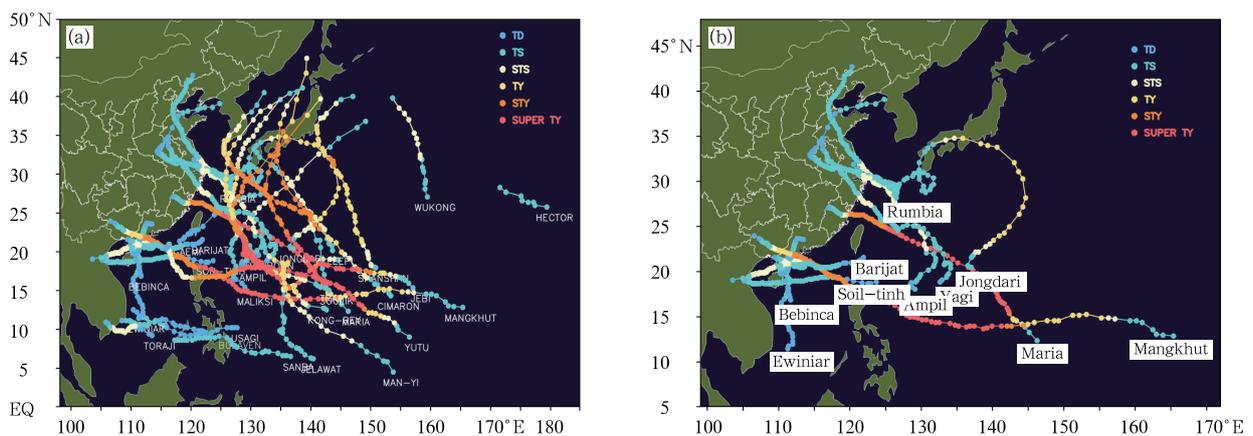


图 1 2018 年西北太平洋和南海海域台风路径图
(a)所有生成台风,(b)登陆中国的台风

Fig. 1 Tracks of TCs over Northwestern Pacific and South China Sea in 2018

(a) all generated TCs, (b) landing TCs in China

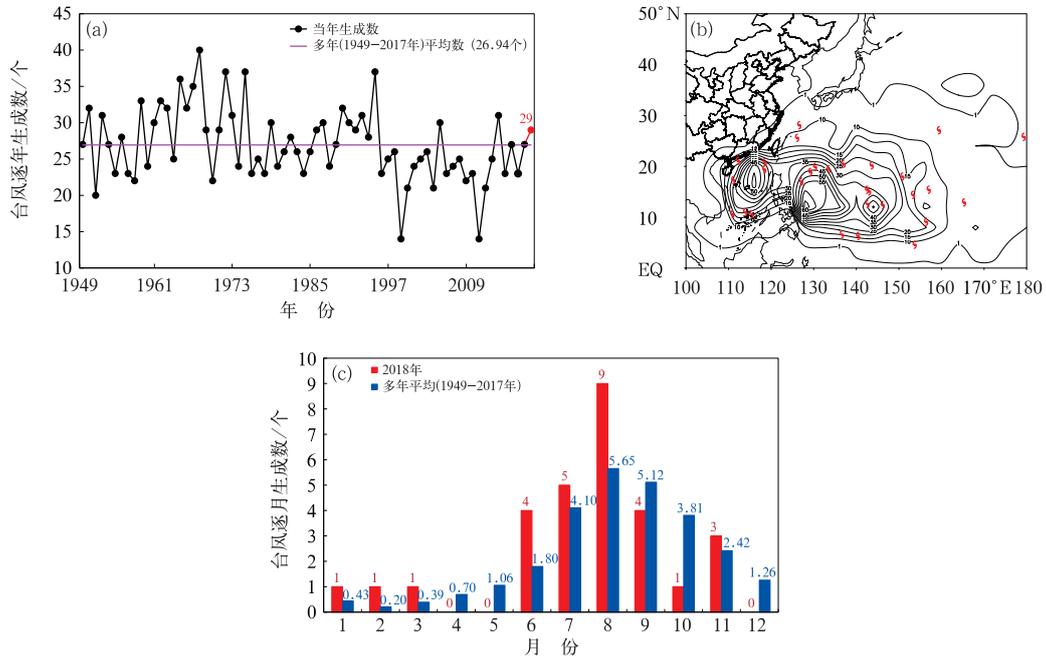


图 2 西北太平洋和南海海域(a)1949—2018 年逐年生成台风频数变化曲线, (b)2018 年台风生成位置(红色台风符号)分布与 1949—2017 年台风生成源地密度分布(等值线), (c)2018 年与 1949—2017 年多年平均逐月生成台风频数
 Fig. 2 (a) Annual TC genesis frequency over Northwestern Pacific and South China Sea from 1949 to 2018, (b) TCs' generating location in 2018 (red typhoon symbol) and origin distribution density in 1949—2017 (isoline), (c) monthly TC genesis frequency in the year 2018 and the 1949—2017 average

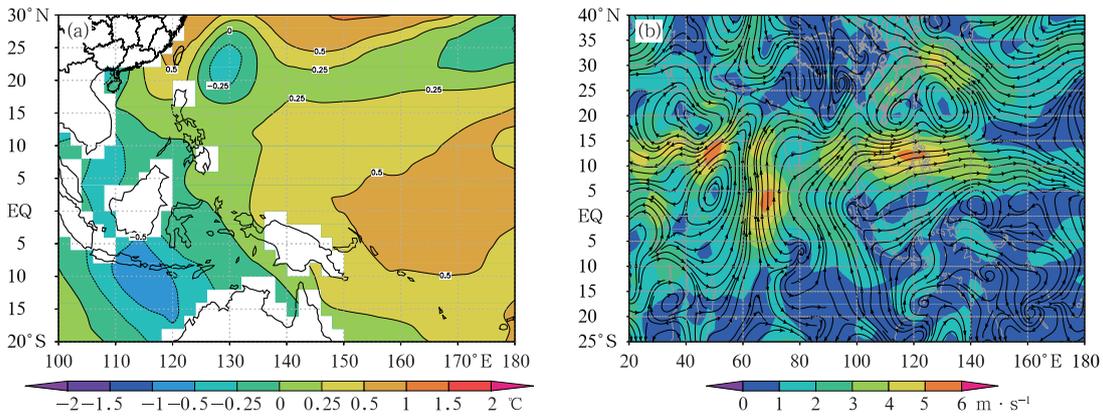


图 3 2018 年 6—8 月(a)海温距平(填色), (b)850 hPa 流场(流线)距平和风速(填色)分布

Fig. 3 (a) Sea surface temperature anomaly (colored) and (b) 850 hPa flow field anomaly (streamline) and wind speed (colored) from June to August 2018

总之,2018 年台风特征为:生成频数偏多,生成源地偏东,但南海台风偏多;生成时间集中在夏季,夏季台风异常偏多;台风群发和多台风共存现象明显偏多。台风生成异常与季风槽偏强和海温偏高关系密切。

1.2 台风登陆

2018 年共有 10 个编号台风、13 次以热带风暴级及以上强度登陆我国沿海地区(图 1b,表 1),登陆频数和频次均较多年平均值(6.97 个和 8.9 次)明

显偏多(图 4a),其中,5 次登陆广东,较多年平均(2.7 次)偏多近一倍(图 4b),3 个台风直接在上海或上海与浙江交界登陆,是 1949 年以来首次,为历史上绝无仅有的异常事件,纵观 1949—2017 年的 69 年中仅有 6 个台风登陆上海,也仅有 2 个在上海直接登陆。另外,2018 年没有热带风暴级及其以上强度的台风登陆台湾,与多年平均比(1.8 个)明显偏少;仅有 1 个台风登陆福建,较历史平均也偏少。另外,登陆台风陆地维持时间偏长,如强热带风暴安比(1810)登陆上海后一路北上并深入到内蒙古东南部,其在陆地上维持的时间长达 62 h;台风摩羯(1814)登陆浙江沿海后由山东进入渤海,共在陆地维持时间约 66 h;台风温比亚(1818)从上海登陆后

由山东北部进入渤海,在陆地上维持时间长达 73 h,历史少见。台风登陆位置与大尺度环流密切相关,7—8 月极涡偏向西半球(图略),冷空气活动偏弱,而副热带高压明显偏强、西脊点偏西、脊线位置偏北(图略),有利于台风西北行登陆我国,并且登陆地段偏北、陆上持续时间偏长。

2018 年第一次台风登陆强度平均为 $27.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,较多年(1949—2017 年)平均值($32.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)偏弱 $5.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;平均台风登陆强度(含多次登陆)为 $25.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,较多年平均值($31.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)偏弱 $6.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,可见,2018 年登陆台风强度偏弱。另外,8 月 12—17 日台风摩羯、贝碧嘉和温比亚 6 d 内先后在我国沿海登陆,登陆时间非常集中(图 4c)。

表 1 2018 年登陆台风一览表

Table 1 List of the typhoons making landfall in China in 2018

序号	台风编号	台风名称	极值强度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	登陆地点	登陆时间/BT	登陆强度		
						风级	风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	气压/hPa
1	1804	艾云尼(Ewiniar)	23	广东徐闻	6 月 6 日 06:10	8	20	992
				海南海口	6 月 6 日 13:00	8	18	995
				广东阳江	6 月 7 日 20:30	9	23	990
2	1808	玛利亚(Maria)	58	福建连江	7 月 11 日 08:50	13	38	965
3	1809	山神(Son-tinh)	23	海南万宁	7 月 18 日 04:50	9	23	984
4	1810	安比(Ampil)	28	上海崇明	7 月 22 日 12:30	10	28	982
5	1812	云雀(Jongdari)	42	浙江平湖— 上海金山	8 月 3 日 11:35	9	23	988
6	1814	摩羯(Yagi)	28	浙江温岭	8 月 12 日 23:35	10	28	980
				山东潍坊	8 月 15 日 19:50	8	18	998
7	1816	贝碧嘉(Bebinca)	28	广东雷州	8 月 15 日 21:40	9	23	985
8	1818	温比亚(Rumbia)	25	上海浦东	8 月 17 日 04:05	9	23	982
9	1822	山竹(Mangkhut)	65	广东台山	9 月 16 日 16:50	14	42	960
10	1823	百里嘉(Barijat)	25	广东湛江	9 月 13 日 08:30	10	25	990

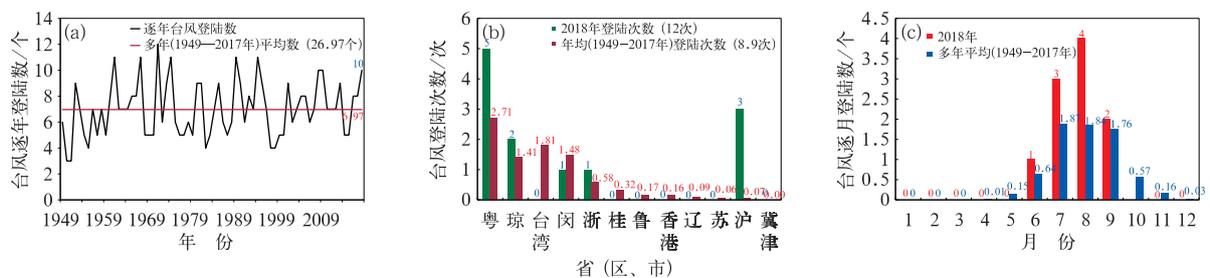


图 4 (a)1949—2018 年西北太平洋和南海逐年登陆中国台风(热带风暴级以上)频数变化,
 (b)2018 年与 1949—2017 年平均登陆台风个数在中国各省(区、市)的分布;
 (c)2018 年和 1949—2017 年平均逐月登陆台风个数分布
 Fig. 4 (a) Annual frequency of TC landing in China over Northwestern Pacific and South China Sea
 from 1949 to 2018, (b) provincial frequency distribution of TCs landing in China in 2018
 and the 1949—2017 average, (c) monthly landing TC frequency
 in the year 2018 and the 1949—2017 average

可见,2018 年台风登陆频数和频次异常偏多,登陆地段偏北,登陆时间集中于夏季,陆地上维持时间长。但是,登陆台湾、福建频次明显偏少,登陆强度明显偏弱。

1.3 台风年度生命史和强度

台风年度生命史定义为所有台风维持热带风暴级及以上强度(风速 $\geq 17.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)的累积时间。使用间隔 6 h 的台风最佳路径资料,得到 2018 年台风生命史为 3 708 h,较多年平均值 3 234 h 偏多 14.7%,但是,平均单个台风生命史为 128 h,比多年平均值 120 h 略偏高 8 h。另外,2018 年累积热带气旋能量(accumulated cyclone energy, ACE),采用 Bell et al(2000)的定义指数为 297,较多年平均值 273 偏强 9%,其中 7 个超强台风贡献了全年 ACE 的 61.2%。

2018 年度台风极值强度为 $70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (16 级),比多年平均极值强度 $72 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (17 级以上)略低。年平均极值强度(所有台风极值强度平均值)为

$38.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,略低于多年平均值($40.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)。由表 2 可见,极值强度较弱的热带风暴级和强热带风暴级($17.2 \sim 32.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 8~11 级)的台风共有 15 个,较多年平均值 10.6 个明显偏多,出现百分比为 51.8%,明显高于多年平均值(39.3%);极值强度台风级及台风级以上的台风($\geq 32.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 12 级以上)出现百分比为 48.2%,明显低于多年平均值(60.7%);但台风极值强度 $\geq 51.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (16 级及以上)的超强台风有 7 个,较多年平均值(6 个)偏多 1 个,出现百分比为 24.1%,略高于多年平均值(22.1%)。

综上所述,2018 年西北太平洋和南海海域共有 29 个台风生成,与多年平均值相比,生成频数偏多,生成源地偏东,生成时间集中在夏季,台风群发性强;有 10 个台风登陆我国沿海,登陆台风个数和频数明显偏多;台风生命史明显偏长、累积热带气旋能量偏强,超强台风偏多,因此,2018 年度台风活动相对比较活跃。但是,台风整体强度偏弱,较弱的台风数量明显偏多,登陆台风强度偏弱。

表 2 2018 年台风极值强度分布与历史多年(1949—2017 年)平均情况对比

Table 2 TCs' extreme intensity distribution in 2018 and the average during 1949—2017

台风极值强度等级 中心最大风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	热带风暴 (TS) (17.2~24.4)	强热带风暴 (STS) (24.5~32.6)	台风 (TY) (32.7~41.4)	强台风 (STY) (41.5~50.9)	超强台风 (SuperTY) (≥ 51.0)	合计
多年平均台风数/个	4.3	6.3	5.8	4.7	6.0	27.0
多年平均占比/%	15.8	23.5	21.4	17.2	22.1	100
2018 年台风数/个	7	8	3	4	7	29
2018 年占比/%	24.1	27.7	10.3	13.8	24.1	100

2 主要预报难点和问题分析

2018 年 24~120 h 各时效台风路径预报误差分别为 72、124、179、262 和 388 km,较 2017 年均有所减少,特别是长时效路径(72~120 h)预报误差明显减少。但是,仍有一些台风路径预报误差比较大,分析发现,当出现双台风或多台风共存、“鞍型场”中台风以及转向台风时,容易出现较大路径预报误差。

2018 年台风强度预报各时效误差分别为 3.7、5.1、5.5、6.6 和 $7.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;基本与 2017 年强度预报水平持平。2018 年台风整体强度偏弱,较弱和超强台风偏多,较弱台风往往预报偏强,而偏强台风又易预报偏弱(图略),造成 2018 年整体台风强度预报

进展不明显。另外,对于近海(包括再次入海)台风强度准确预报还存在一定困难,常造成预报预警不及时,预报服务工作出现被动局面。

下文将对 2018 年台风艾云尼、摩羯和山竹典型个例的预报难点进行分析。

2.1 “艾云尼”路径回旋

台风艾云尼(1804)于 2018 年 6 月 5 日上午在南海中部海面生成,然后缓慢向偏北方向移动(图 5a),6—7 日在广东雷州半岛东部、琼州海峡、海南岛东北部附近打转、回旋(图 5a),导致两天内先后在广东徐闻、海南海口、广东阳江三次登陆,之后强度逐渐减弱。业务中一直预报“艾云尼”将在雷州半岛附近回旋打转,之后转向北偏东移动,与实际路径存在很大的偏差(图略),没有预报出其打转后登

陆海南,造成了预报预警服务的被动局面。

台风移动主要由大尺度环流的引导决定,台风艾云尼在南海生成后,受其东侧副热带高压(以下简称副高)西侧偏南风的引导缓慢向偏北移动(图 5b 和图 6a,引导气流定义为距离台风中心 200~800 km 环形区域的平均风),其西北侧为西风带高空槽,6 日随着西风槽不断东移,副高减弱东移,而槽后高压脊与缅甸附近大陆高压打通,而南侧赤道高压向北移动,“艾云尼”进入了典型“鞍型场”中,引导气流相对于 5 日明显减弱(图 5b),并且随着副高小幅度减弱东移(图 6b),西侧大陆高压开始引导它向偏南方向移动,导致了“艾云尼”在雷州半岛南部至海南岛北部

移速进一步减慢,并出现了逆时针打转异常路径。7 日后,随着西风槽北缩、东移(图略),副高向西伸展,“艾云尼”再次在副高西侧偏北气流引导下转向偏北方向移动。

一般来说“鞍型场”中由于引导气流不明显,台风路径预报存在很大不确定性,这也是台风艾云尼起编时 ECMWF、NCEP 和 CMC 等集合模式对其后期的路径预报发散度非常大的主要原因。虽然,有些模式也预报出了“艾云尼”会出现打转现象,但是,与实际移动路径还是存在较大的偏差。另外,“艾云尼”打转期间,台风马力斯(1805)生成前的热带低压已经出现在其东侧(图6b),两者之间距离大

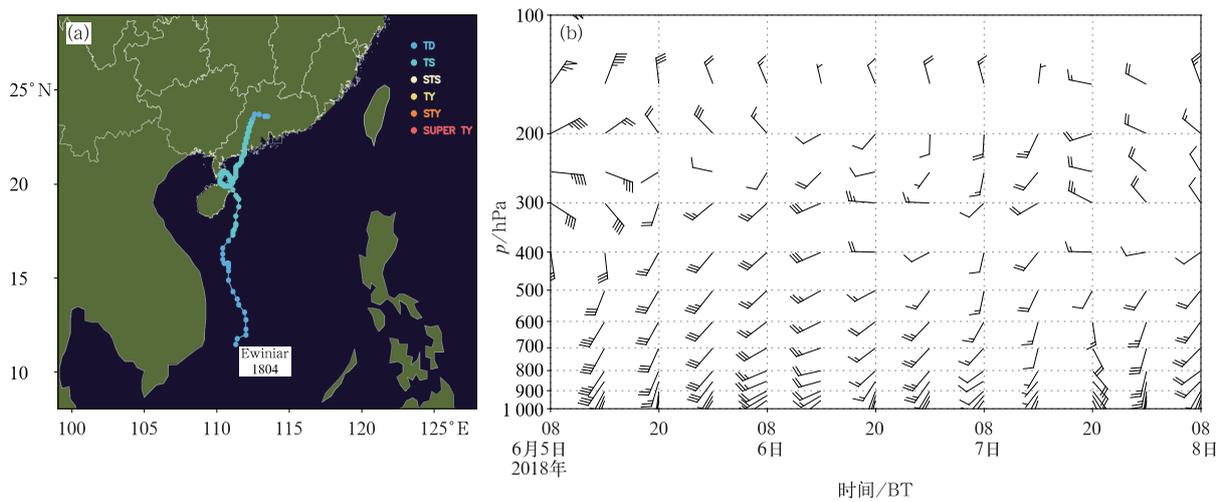


图 5 2018 年(a)台风艾云尼移动路径及其(b)各层引导气流的分布
Fig. 5 (a) The track and (b) distribution of steering flow of Typhoon Ewiniar in 2018

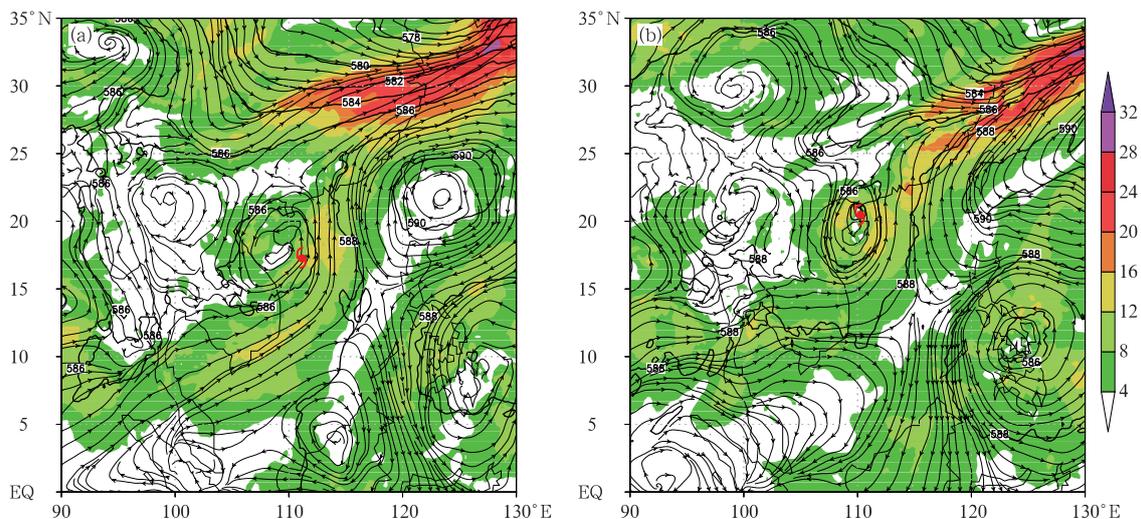


图 6 2018 年 6 月(a)5 日 08 时和(b)6 日 08 时 ECMWF 模式 500 hPa 流线和等风速线(填色, $\geq 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)分析场
Fig. 6 Analysis of ECMWF 500 hPa streamline and wind speed (colored, $\geq 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) at (a) 08:00 BT 5 and (b) 08:00 BT 6 June 2018

大约为 1600 km 左右,符合双台风发生相互作用的间距阈值(吴限等,2011),并同处于一个尺度较大季风涡旋中,双台风或涡旋的相互作用进一步增加了“艾云尼”路径预报的不确定性。

2.2 “摩羯”长时效路径预报

台风摩羯(1814)于 8 月 8 日 14 时在西北太平洋洋面上生成,11 日夜间进入东海(图 7a),12 日 23 时在浙江温岭沿海登陆,13 日 17 时前后进入安徽中部,14 日 05 时进入山东西南部,15 日由山东东营进入渤海,并再次加强为热带风暴。业务中,前期预报“摩羯”将在我国近海北上而不登陆我国,与实际路径偏差较大,120 h 平均路径预报误差为 551 km,其中 9 日 02 时 120 h 路径预报误差高达 745 km,96 h 平均路径预报误差为 362 km,其路径误差是 2018 年所有台风预报中最高的。可见,虽然近 20 年台风路径预报已经取得了明显的进步,但是一些台风的长时效路径预报仍是业务预报难点,本节以台风摩羯早期长时效路径预报偏差大、预报难度大为例进行分析,以期对今后台风预报有所借鉴。

从模式大尺度环流预报看,8 月 08 日 08 时起报,500 hPa 上 96 h 预报的 588 dagpm 等高线(图 8a)比分析场(图 8b)明显偏东,表明预报场副高西脊点比实际偏东,未西伸到陆地,“摩羯”在副高外围环流的引导下近海北上,导致台风长时效路径预报为转向型。而高层 200 hPa 环流预报场(图 9a)与分析场(图 9b)相对比较一致,副高向西伸入到了陆

地,有利于“摩羯”登陆我国,可见,高、低层环流形势出现了明显的不匹配。如何准确分析模式高、低层预报的合理性以及判断“摩羯”未来的移动方向是预报的难点之一。另外,“摩羯”起编时,虽然 ECMWF(图 7b)和 NCEP(图略)集合模式路径预报有一定的发散度,但是,对“摩羯”路径预报比较一致,即大部分成员和集合平均都预报“摩羯”后期将近海北上,仅有少部分成员预报“摩羯”后期将向西北方向移动并登陆我国,与实际移动路径更为接近。在集合模式成员预报发散度大且大部分成员预报不登陆情况下,如何判断其余少部分成员的预报更为合理,并较准确预报出长时效台风移动方向也是业务预报难点之一。

另外,在“摩羯”以东塞班岛附近一直存在一个热带低压,该低压于 8 月 8 日加强为台风丽琵(1815)。目前,模式对台风生成预报能力非常有限,台风丽琵的初始涡旋在前期模式中基本没被体现或非常弱(图 8a),因此,数值预报对没有编号台风预报能力有限,更不能准确地预报其对已存在台风的影响。随着该热带低压的逐渐加强,后期模式中也渐渐能刻画出“丽琵”对副高和“摩羯”的影响,表现在“丽琵”的增强有利于副高进一步西伸,“摩羯”路径也随之逐渐向西调整,基于以往预报经验,业务人员较早将预报路径向西订正。但是,模式和主观预报对后期是否有台风生成以及生成后双台风或多台风相互作用对当前台风影响的把握能力非常有限,这也是“摩羯”早期路径预报偏差大的一个重要原

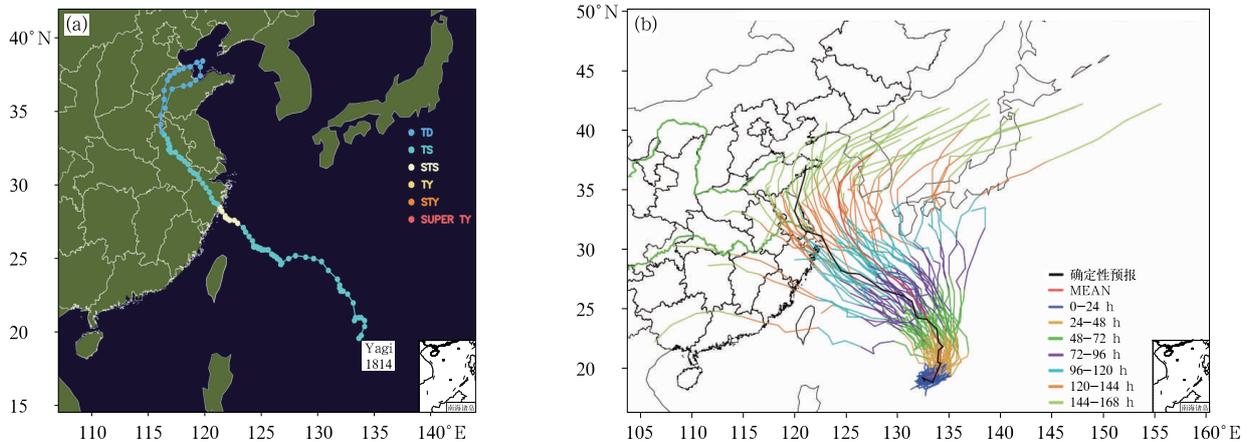


图 7 2018 年(a)台风摩羯移动路径,(b)8 月 7 日 20 时起报的 ECWFM 台风摩羯集合预报路径图

Fig. 7 (a) The track of Typhoon Yagi, (b) ECWFM ensemble track forecast of Typhoon Yagi at the initial time of 20:00 BT 7 August 2018

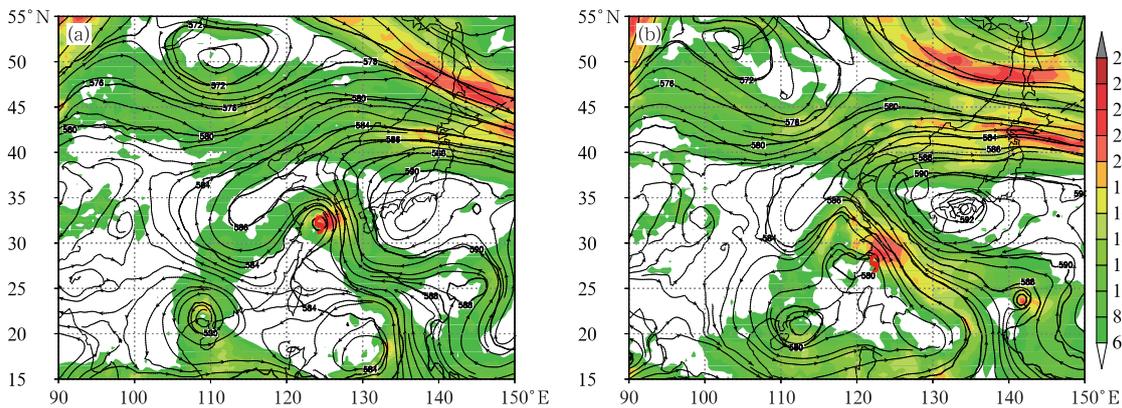


图 8 ECMWF 模式 500 hPa 流场和等风速线(填色, $\geq 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 (a)2018 年 8 月 8 日 20 时起报 96 h 预报场,(b)2018 年 8 月 12 日 20 时分析场
 Fig. 8 ECMWF 500 hPa streamline and wind speed (colored, $\geq 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 (a) the 96 h forecast at initial time of 20:00 BT 8 August 2018,
 (b) analysis at 20:00 BT 12 August 2018

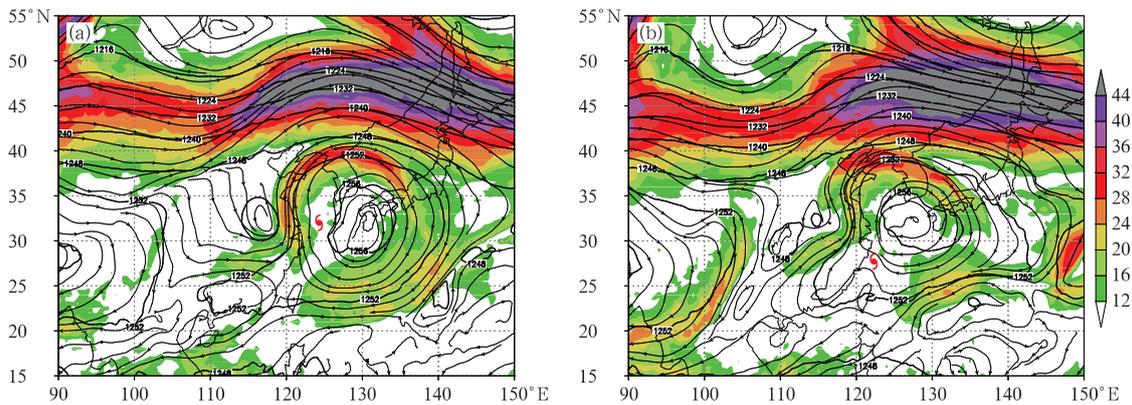


图 9 同图 8, 但为 200 hPa 流线和等风速线(填色, $\geq 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 Fig. 9 Same as Fig. 8, but for ECMWF 200 hPa streamline and wind speed (colored, $\geq 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

因。虽然,业务人员对双台风相互作用常导致台风路径复杂突变这个难题一直非常关注,并对一些典型个例做了分析,得到有一些结论(许映龙等, 2015)。但是,目前业务中对双台风或多台风相互作用的理解还不够深入,仅仅是积累了一些经验,今后需要针对更多个例做进一步深入研究,建立预报概念模型,进一步提高台风预报。

2.3 台风摩羯再次入海加强

台风摩羯于 8 月 15 日从山东移入渤海后由热带低压再次加强为热带风暴。但是,实际业务中,由于 13 日 23 时“摩羯”减弱为热带低压,14 日 08 时强度进一步减弱,并考虑到“摩羯”虽然再次入海,但所处位置纬度比较高,环境风垂直切变将逐渐增大且都在 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,不利于“摩羯”再次增强,中

央气象台对其停止编号,造成“摩羯”后期预报服务出现非常被动局面。

“摩羯”入海再次加强的原因主要有以下三个方面:渤海海域海表温度均在 27°C 以上(图 10a),较常年平均异常偏暖,海温距平高达 $2\sim 4^\circ\text{C}$ (图 10b),特别是“摩羯”中心经过的海表温度达 28°C 以上,台风发展的能量主要来源于海洋,因此,海洋热状况异常偏暖有利于“摩羯”入海再次增强。另外,“摩羯”进入渤海后,对流层高层 200 hPa 上从中国东北到日本海一带一直维持一个西南—东北向的高空急流区(图 11a),急流核强度最大风速达 $65 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,而“摩羯”中心恰好位于高空急流入口右侧的强辐散区,促进“摩羯”高层出流明显增强(图 12a,高层出流强度用距台风中心 500 km 圆形区域中 200 hPa 散度的平均值表示),有利于“摩羯”增强。此外,“摩羯”东

侧台风丽琵(1815)以及东南侧台风温比亚(1818)初始涡旋的存在,有利于低层偏东或东南气流向“摩羯”源源不断输送暖湿气流(图 11b)并且“摩羯”、“贝碧嘉”和“温比亚”初始涡旋同处于一个大季风槽中,也有利于将西南季风向“摩羯”输送暖湿气流,使得“摩羯”水汽不断得到补充(图 12b,净水汽流入定义为通过以台风为中心 500 km 圆形区域中的 850 hPa 水汽净流入量),有利于“摩羯”增强。综上所述,渤海海温异常偏暖、高层出流强、水汽输送充沛

是“摩羯”入海再次增强的重要原因。

台风在副热带或较高纬度地区强度变化与热带地区有一定的差别,如当海洋热状况和其他动力条件(如高层出流、水汽)都比较有利于台风增强时,环境风垂直切变对台风强度削弱作用并不太明显,这与以往统计结果也是一致的(郭丽霞等,2010)。另外,双台风相互作用下,某些情况下东侧台风存在有利于西侧台风的水汽输送,如台风菲特(1323)和丹娜丝(1324)(许映龙等,2015),但是,有些情况则相

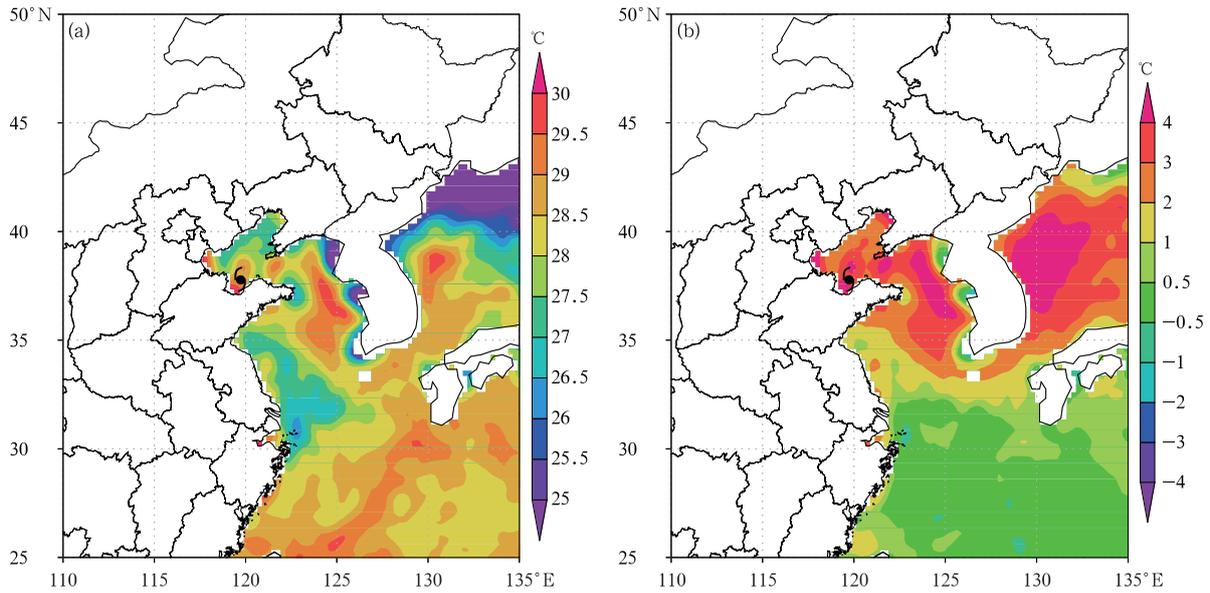


图 10 2018 年 8 月 15 日海洋热状况分布

(a)海表温度,(b)海表温度距平

Fig. 10 (a) Sea surface temperature and (b) its anomaly on 15 August 2018

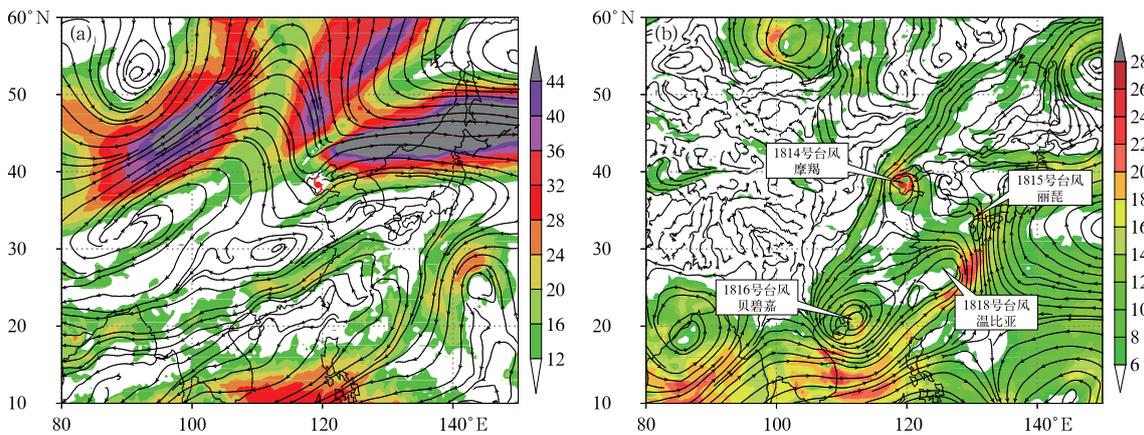


图 11 2018 年 8 月 15 日 08 时 ECMWF 模式流线和等风速线分析场

(a)200 hPa (填色, $\geq 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), (b)850 hPa (填色, $\geq 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 11 Analysis of ECMWF streamline and wind speed at 08:00 BT 15 August 2018

(a) 200 hPa (colored, $\geq 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), (b) 850hPa (colored, $\geq 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

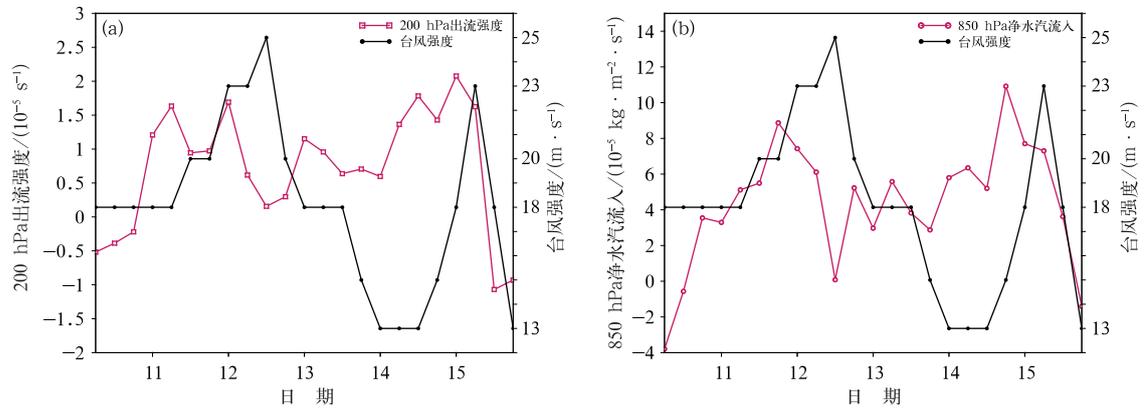


图12 2018年8月台风摩羯(a)200 hPa 出流强度和台风强度的变化,
(b)850 hPa 净水汽流入和台风强度的变化

Fig. 12 (a) Variation of upper-level outflow strength and intensity,
(b) net moisture inflow at 850 hPa and intensity of Typhoon Yagi in August 2018

反,如台风灿鸿(1509)与莲花(1510)(吴丹等,2017)。因此,对双台风或多台风相互作用下台风水汽输送的变化规律尚不清楚,今后应加强多台风相互作用下台风强度变化机理的研究及相关物理概念模型的建立。

2.4 “山竹”近海台风强度预报偏差

近海台风强度变化预报准确性直接影响到台风预报预警的效果,因此,目前近海台风强度预报精度还需进一步提高,本节以台风山竹(1822)在南海强度预报偏差为例进行分析,以期今后近海台风强度预报提供参考。“山竹”于9月7日20时在西北太平洋洋面生成,随后一路西行并不断加强,15日凌晨以超强台风级强度在菲律宾吕宋岛东北部沿海登陆,之后强度迅速减弱,进入南海后强度变化不大,16日17时前后以强台风级强度在广东省江门市台山沿海登陆,17日20时在广西境内减弱消失。但是,业务人员根据以往经验,预计“山竹”将在南海北部海面再次明显加强,并可能以超强台风强度登陆广东。

业务中,从预报场来看,随着台风山竹逐渐向南海北部海域靠近,对流层高层南亚高压南侧的热带东风急流将加强、东伸(图13a和13b),急流核最大强度将由 $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 逐渐增强至 $45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,有利于“山竹”进入南海北部海域后其西南侧高层出流明显增强(图14a,绿线)。同时,低层热带西风急流也将显著增强(图略),将有更多低层水汽向“山竹”输送,有利于台风凝结潜热释放增加。另外,随着“山

竹”移入南海北部海域,环境风垂直切变有逐渐变小趋势(图略),并且环境风垂直切变均小于 $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。此外,从多年统计数据发现南海北部海域是台风快速增强比较容易发生的地带(Lyu et al,2019),如台风威马逊(1409)、彩虹(1522)、天鸽(1713)都在南海北部海域出现了快速增强。因此,从预报场判断出现了有利于山竹在南海北部海域再次加强的条件。

但是,从分析场与预报场对比分析可以看出,水汽条件预报和分析场比较一致(图略),即随着“山竹”进入南海北部海域,净水汽输送明显增加。而预报场中南亚高压南侧东风急流明显比分析场(图略)偏强,15日夜间到16日上午实际“山竹”进入南海后高层出流虽有小幅度增强(图14a,黑色线),但仍比预报场明显偏弱很多。因此,东风急流预报偏强,造成台风中心附近高层出流预报偏强,是导致“山竹”在南海强度预报偏强一个重要原因。另外,“山竹”前期预报路径偏南(图略),其中心实际经过的海温明显低于预报位置(图14b),且较气候平均明显偏低 0.5°C 以上,通过海温敏感性试验结果发现“山竹”强度变化对海温高低比较敏感(图略),随着海温升高,强度增强幅度也在增加。但是,即使海温增大到 30°C 以上,“山竹”仍未出现明显增强,这也进一步说明大气的环因子不利于其明显增强,主要表现在高层出流条件不佳。

综上所述,台风山竹没有像“威马逊”“彩虹”“天鸽”登陆前在南海北部海域出现快速增强,而是强度变化不大,造成强度预报偏差的主要原因是对流层

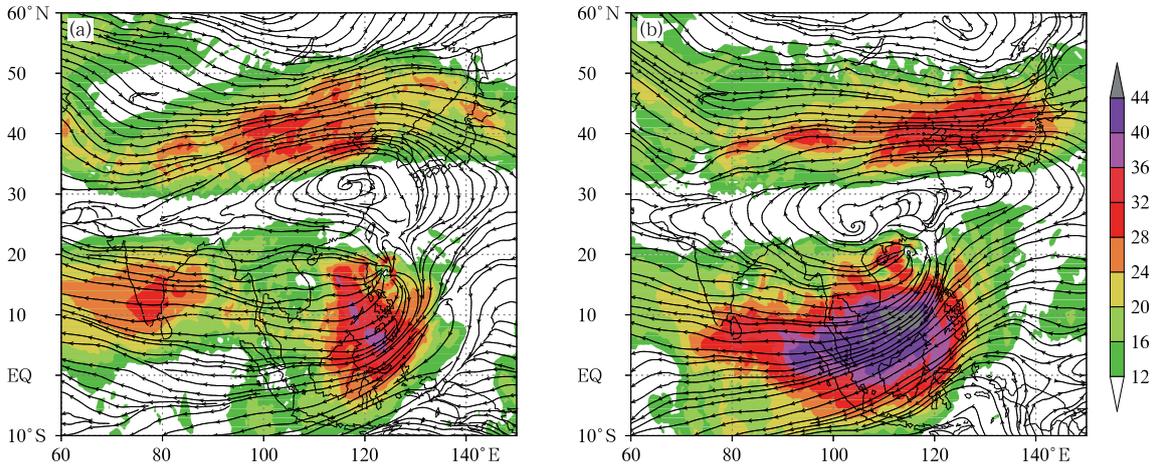


图 13 2018 年 9 月 14 日 20 时 ECMWF 模式 100 hPa 流线和等风速线(填色, $\geq 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)分布
(a)20 时分析场,(b)20 时起报 36 h 预报场

Fig. 13 ECMWF 100 hPa streamline and wind speed (colored, $\geq 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) 14 September 2018
(a) analysis at 20:00 BT, (b) the 36 h forecast at initial time of 20:00 BT

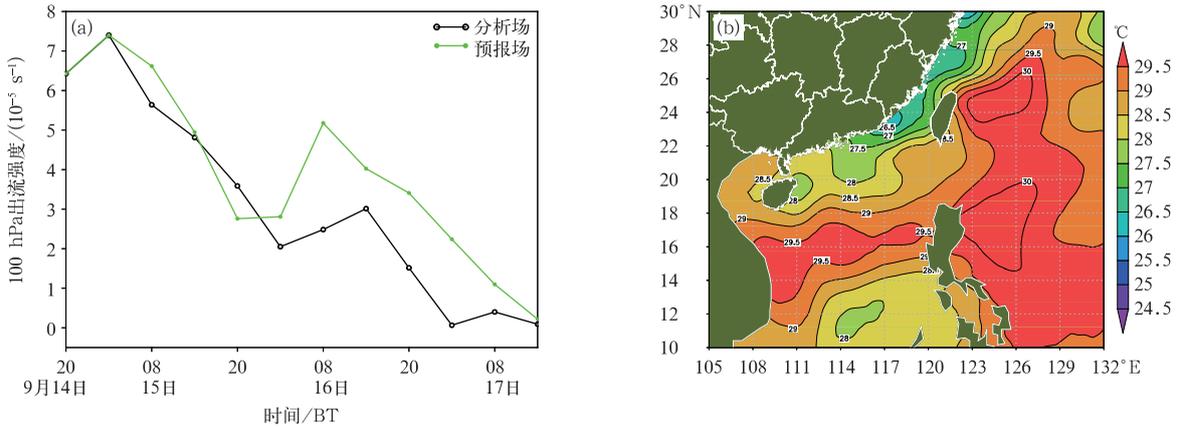


图 14 2018 年(a)台风山竹 100 hPa 出流强度的变化,
(b)9 月 13 日海表温度分布(填色)

Fig. 14 (a) Variation of 100 hPa outflow strength of Typhoon Mangkhut (unit: 10^{-5} s^{-1}),
(b) distribution of sea surface temperature (colored) on 13 September 2018

高层热带东风急流预报偏强以及路径预报偏南引起的。热带东风急流的变化和近海海表温度分布将是未来南海台风强度预报中需重点关注的影响因素。

3 结论与讨论

(1)2018 年西北太平洋和南海海域共有 29 个台风生成,与多年平均相比,生成频数偏多,生成源地偏东,但南海台风活跃;生成时间集中在夏季,台风群发性强,多台风共存现象明显偏多;登陆台风频数和频次异常偏多,登陆地段偏北,登陆时间集中,台风陆地上维持时间长;年度台风生命史偏长、累积

热带气旋能量偏强,超强台风偏多。但是,台风整体强度偏弱,较弱台风比例明显偏多,登陆强度也明显偏弱。季风槽偏强和海温偏高是夏季台风生成频数偏多的重要原因。极涡明显偏西,东亚冷空气活动偏弱,副高明显偏强、西脊点偏西、脊线偏北,有利于台风西北行登陆我国,且登陆地段偏北、陆地持续时间

长。
(2)2018 年 24~120 h 各时效台风路径预报误差分别为 72、124、179、262、388 km,较 2017 年各时效误差均有减少。台风路径误差较大样本主要集中在多台风共存期间的台风、“鞍型场”中台风以及转向台风。另外,24~120 h 各时效台风强度误差分

别为 3.7、5.1、5.5、6.6 和 7.1 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 与 2017 年相比变化不大。2018 年较弱和超强台风均明显偏多, 较弱台风增强缓慢, 但预报易偏强, 而偏强台风又易预报偏弱, 导致 2018 年强度预报进展不明显。

(3) 2018 年台风预报难点主要表现在双台风或多台风之间复杂的相互作用、“鞍型场”中引导气流弱等造成路径预报难度大; 近海台风强度变化不确定性大、热带高层东风急流预报偏差大等导致强度预报误差大。这些预报难点包含了许多有待解决的科学问题, 如多台风之间的相互作用对台风路径和强度的影响机理、数值模式高低空环流不匹配问题、模式中对流层高层东风急流预报能力不足以及东风急流对南海台风强度变化的影响机理等。业务中需要进一步研发台风客观预报技术, 特别是多模式集成预报方法, 以及建立天气物理概念模型、评估模式预报性能等。

参考文献

- 陈国民, 张喜平, 白莉娜, 等, 2019. 2017 年西北太平洋和南海热带气旋预报精度评定[J]. 气象, 45(4): 577-586. Chen G M, Zhang X P, Bai L N, et al, 2019. Verification on forecasts of tropical cyclones over Western North Pacific and South China Sea in 2017 [J]. Meteor Mon, 45(4): 577-586(in Chinese).
- 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. Chen L S, Duan Y H, Song L L, et al, 2012. Typhoon Forecast and Its Disaster [M]. Beijing: China Meteorological Press(in Chinese).
- 董林, 高拴柱, 许映龙, 等, 2019. 2017 年西北太平洋台风活动特征和预报难点分析[J]. 气象, 45(9): 1322-1334. Dong L, Gao S Z, Xu Y L, et al, 2019. Analysis of characteristics and forecast difficulties of TCs on Western North Pacific in 2017[J]. Meteor Mon, 45(9): 1322-1334(in Chinese).
- 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).
- 端义宏, 方娟, 程正泉, 等, 2020. 热带气旋研究和业务预报进展-第九届世界气象组织热带气旋国际研讨会(IWTC-9)综述[J]. 气象学报, 78(3): 537-550. Duan Y H, Fang J, Cheng Z Q, et al, 2020. Advances and trends in tropical cyclone research and forecasting: an overview of the ninth World Meteorological Organization International Workshop on Tropical Cyclones (IWTC-9) [J]. Acta Meteor Sin, 78(3): 537-550(in Chinese).
- 郭丽霞, 陈联寿, 李英, 等, 2010. 登陆中国热带气旋入海强度变化的统计特征[J]. 热带气象学报, 26(1): 65-70. Guo L X, Chen L S, Li Y, et al, 2010. Statistical characteristics of intensity change of tropical cyclones landfalling in China before moving out to sea [J]. J Trop Meteor, 26(1): 65-70(in Chinese).
- 李英, 陈联寿, 李勋, 2009. 台风莫拉克(0908)和天鹅(0907)相互作用对其强度的影响研究[C]//2009 年海峡两岸气象科学技术研讨会论文集. 北京: 中国气象学会. Li Y, Chen L S, Li X, 2009. Influence of interaction between Typhoon Morakot (0908) and Goni (0907) on its intensity[C]//Proceedings of the 2009 Cross Strait Symposium on Meteorological Science and Technology. Beijing: China Meteorological Society(in Chinese).
- 罗哲贤, 马镜娟, 2001. 副热带高压南侧双台风相互作用的数值研究[J]. 气象学报, 59(4): 450-458. Luo Z X, Ma J X, 2001. Binary tropical cyclone interactions on the south of an idealized subtropical ridge[J]. Acta Meteor Sin, 59(4): 450-458(in Chinese).
- 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. Lyu X Y, Duan Y H, 2011. Characteristics of the tropical cyclogenesis in the summer monsoon trough[J]. Acta Meteor Sin, 69(6): 990-1000(in Chinese).
- 麻素红, 张进, 沈学顺, 等, 2018. 2016 年 GRAPES_TYM 改进及对台风预报影响[J]. 应用气象学报, 29(3): 257-269. Ma S H, Zhang J, Shen X S, et al, 2018. The upgrade of GRAPE_TYM in 2016 and its impacts on tropical cyclone prediction[J]. J Appl Meteor Sci, 29(3): 257-269(in Chinese).
- 吴丹, 黄泓, 吕梅, 等, 2017. 台风“灿鸿”、“莲花”和“浪卡”共存期间路径、强度及相互作用分析[J]. 气象与减灾研究, 40(4): 282-291. Wu D, Huang H, Lyu M, et al, 2017. Study on the track, intensity and interaction of the coexistent typhoons “Chan-hom”, “Linfa” and “Nangka”[J]. Meteor Disaster Reduct Res, 40(4): 282-291(in Chinese).
- 吴限, 费建芳, 黄小刚, 等, 2011. 西北太平洋双热带气旋相互作用统计分类及其特征分析[J]. 热带气象学报, 27(4): 455-464. Wu X, Fei J F, Huang X G, et al, 2011. Statistical classification and characteristics analysis of binary tropical cyclones over the western North Pacific Ocean[J]. J Trop Meteor, 27(4): 455-464(in Chinese).
- 吴云帆, 高山红, 朱先德, 2016. 中国东部近海北上再发展台风的加强机制分析[J]. 海洋湖沼通报, (1): 9-16. Wu Y F, Gao S H, Zhu X D, 2016. Strengthening mechanisms analysis on typhoons moving northward over the marginal seas of East China [J]. Trans Oceanol Limnol, (1): 9-16(in Chinese).
- 许映龙, 韩荣桂, 麻素红, 等, 2011. 1109 号超强台风“梅花”预报误差分析及思考[J]. 气象, 37(10): 1196-1205. Xu Y L, Han R G, Ma S H, et al, 2011. The analysis and discussion on operational forecast errors of Super Typhoon Muifa (1109)[J]. Meteor Mon, 37(10): 1196-1205(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).
- 杨国杰, 沙天阳, 程正泉, 2018. 2009—2015 年 ECMWF 热带气旋集合预报的检验及分析[J]. 气象, 44(2): 277-283. Yang G J, Sha T Y, Cheng Z Q, 2018. Verification and analysis on tropical cyclone ensemble forecast of European Centre for Medium-Range

- weather forecasts from 2009 to 2015[J]. Meteor Mon, 44(2): 277-283(in Chinese).
- 于玉斌, 2007. 我国近海热带气旋强度突变的机理研究[D]. 南京: 南京信息工程大学. Yu Y B, 2007. The theoretical study on tropical cyclone intensity sudden change over the coastal waters of China[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology(in Chinese).
- 张晓慧, 张立凤, 周海申, 等, 2019. 双台风相互作用及其影响[J]. 应用气象学报, 30(4): 456-466. Zhang X H, Zhang L F, Zhou H S, et al, 2019. Interaction and influence of binary typhoons[J]. J Appl Meteor Sci, 30(4): 456-466(in Chinese).
- 郑峰, 张灵杰, 2013. 台风“天鹅”对“莫拉克”强度维持影响的模拟分析[J]. 气象科技, 41(4): 664-669. Zheng F, Zhang L J, 2013. A simulation analysis of Typhoon Gonis impact on the intensity maintenance of Typhoon Morakot[J]. Meteor Sci Technol, 41(4): 664-669(in Chinese).
- 郑浩阳, 涂建文, 詹棠, 等, 2014. “韦森特”台风的路径和强度分析[J]. 广东气象, 36(1): 12-19. Zheng H Y, Tu J W, Zhan T, et al, 2014. Analysis of the track and intensity of Typhoon Vicente[J]. Guangdong Meteor, 36(1): 12-19(in Chinese).
- Bell G D, Halpert M S, Schnell R C, et al, 2000. Climate assessment for 1999[J]. Bull Am Meteor Soc, 81(6): S1-S50.
- DeMaria M, Sampson C R, Knaff J A, et al, 2014. Is tropical cyclone intensity guidance improving[J]. Bull Am Meteor Soc, 95(3): 387-398.
- Emanuel K, 2018. 100 years of progress in tropical cyclone research [M] // Meteorological Monographs. American Meteorological Society.
- Emanuel K, Zhang F, 2016. On the predictability and error sources of tropical cyclone intensity forecasts[J]. J Atmos Sci, 73(9): 3739-3747.
- Gray, W M, 1968. Global view of the origin of tropical disturbances and storms[J]. Mon Wea Rev, 96: 669-700.
- Lyu X Y, Wang X G, Leslie L M, 2019. The dependence of northwest pacific tropical cyclone intensification rates on environmental factors[J]. Adv Meteor, 2019: 1-18.
- Magnusson L, Bidlot J R, Bonavita M, et al, 2019. ECMWF activities for improved hurricane forecasts[J]. Bull Am Meteorol Soc, 100(3): 445-458.
- Rotunno R, Chen Y, Wang W, et al, 2009. Large-eddy simulation of an idealized tropical cyclone[J]. Bull Am Meteor Soc, 90(12): 1783-1788.
- Tallapragada V, Kieu C, Trahan S, 2016. Forecasting tropical cyclones in the western North Pacific basin using the NCEP operational HWRF model; model upgrades and evaluation of real-time performance in 2013[J]. Wea Forecasting, 31(3): 877-894.
- Xu X L, Lu X Y, 2014. Numerical experimental study for the effect of a binary typhoon system on the extreme rainfall of Typhoon Morakot (0908)[J]. Trop Cycl Res Rev, 3(1): 35-43.