

周冠博,柳龙生,董林,等,2022. 2020 年西北太平洋台风活动特征和预报难点分析[J]. 气象,48(4):504-515. Zhou G B, Liu L S, Dong L, et al, 2022. The analysis of characteristics and forecast difficulties of TCs in Western North Pacific in 2020[J]. Meteor Mon, 48(4):504-515(in Chinese).

2020 年西北太平洋台风活动特征和预报难点分析^{*}

周冠博 柳龙生 董 林 王 靖 许映龙

国家气象中心,北京 100081

提 要: 利用 1949—2019 年中国气象局台风最佳路径资料、2020 年中央气象台的台风路径和强度实时预报资料、欧洲中期预报中心的 ERA-Interim 逐 6 h 再分析资料(水平分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$),以及 NCEP RTG_SST 海温分析产品等,对 2020 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:2020 年度,台风生成和登陆个数偏少、强度偏弱;台风生成源地偏西;台风活动的阶段性、群发性特征突出和近海快速加强特征明显。对 2020 年度的预报误差进行分析,结果显示:24、48、72、96、120 h 台风路径预报误差分别为 70、117、169、222、276 km,各时效误差均较 2019 年有所减少;24、48、72、96、120 h 台风强度预报误差分别为 3.9、5.1、5.5、6.2 和 $6.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,较 2019 年也明显减小,24 h 误差连续 4 年小于 $4.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。另外,2020 年度最主要的台风预报难点在于,一是近海快速加强台风的强度预报,二是北上台风登陆后的陆上强度维持。

关键词: 台风活动特征,近海快速加强,预报误差,预报难点

中图分类号: P456

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2021.112401

The Analysis of Characteristics and Forecast Difficulties of TCs in Western North Pacific in 2020

ZHOU Guanbo LIU Longsheng DONG Lin WANG Qian XU Yinglong

National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: The characteristics of TCs on Western North Pacific in 2020 are analyzed by using the best-track data, CMA operational forecasting data, ECMWF ERA-Interim reanalysis products and NCEP RTG_SST data. Results show that the number of typhoons and landing typhoons were less and the strength were weak in 2020. The generating locations were inclined more westward. The stage and group characteristics of typhoon activity were prominent, and the features of offshore rapid intensification (RI) were obvious. Estimations of track errors in 2020 show that there were some decreases compared to those of 2019, with the error values of 70, 117, 169, 222 and 276 km for the forecasts with 24, 48, 72, 96 and 120 h lead time, respectively. The strength errors were 3.9, 5.1, 5.5, 6.2 and $6.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ for the forecasts with 24, 48, 72, 96 and 120 h lead time, respectively and decreased a little compared to the errors of 2019. The 24 h errors were less than $4.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ for 4 consecutive years. In addition, the forecast difficulties in 2020 lie in that, first, the strength forecast of RI TCs off-shore, and second, the strength forecast of typhoons going northward after landing.

Key words: characteristic of TC, rapid intensification off-shore, forecast error, forecast difficulty

^{*} 国家重点研发计划(2017YFC1501604、2018YFC1506406)、国家自然科学基金项目(41930972、41875056、42175016、42075013、42175007、41405049)共同资助

2021 年 6 月 16 日收稿; 2022 年 2 月 8 日收修定稿

第一作者:周冠博,主要从事台风与海洋天气预报及研究. E-mail: zhougb@cma.gov.cn

通讯作者:许映龙,主要从事台风预报及研究. E-mail: xuyil@cma.gov.cn

引言

西北太平洋和南海是全球台风发生最频繁的区域之一,而中国又是世界上遭受台风灾害最为严重的国家之一(陈联寿和孟智勇,2001),平均每年约有7个台风登陆中国,其中又以登陆广东、福建和台湾的台风数为最多。台风带来的狂风、暴雨、巨浪和风暴潮等灾害,以及间接引起的洪涝、山体滑坡和泥石流等次生灾害,对我国的经济社会发展构成了严重的威胁(端义宏等,2014;2012)。因此,总结和分析每年的西北太平洋和南海台风的活动特征和预报难点具有重要的科学意义(董林等,2019;吕心艳等,2021;王海平等,2021),通过分析当年台风的生成、活动、登陆以及风雨影响等特征,不仅可以为科学家们研究西北太平洋和南海台风提供科学参考,而且对于预报员积累台风预报和服务经验也具有重要的应用价值。

由于西北太平洋和南海台风活动的重要性,国内外很多学者很早就关注了西北太平洋热带气旋活动的年际和年代际变化方面的研究。如 Gray (1968;1975)论述了西北太平洋热带气旋生成的气候学特征,Harr and Elsberry(1991)、Chan(2000)分别阐明了热带 Madden-Julian 振荡以及 ENSO 循环对西北太平洋热带气旋活动的影响,丁一汇等(1977)、陈联寿和丁一汇(1979)以及陈联寿等(1997)对西北太平洋热带气旋的生成、发展和移动路径的规律做了很多研究,李英等(2004a;2004b)对登陆中国的西北太平洋热带气旋的统计特征也做了深入分析,Elsberry(1995)、王斌等(1998)对20世纪有关热带气旋的观测事实、动力理论和数值模拟以及路径预报做了系统的回顾和综述。还有很多学者从天气学方面针对台风结构和强度的变化以及移动路径和登陆后的风雨等方面开展了大量的研究工作。影响登陆台风的大气环境和下垫面强迫因子众多,包括西南季风、副热带高压、高空槽、洋面温度、深层海温、地表湿度等(陈联寿等,2004;陈联寿,2007),对于这些因子如何影响登陆台风的路径、强度和风雨分布,科研和预报人员已积累一定经验,尤其是注意到:当台风靠近陆地时,由于海岸地形、陆面摩擦等的影响,其结构往往发生剧变,导致路径、

强度和风雨分布的异常变化,如路径偏折、降雨明显增幅、台前出现龙卷等,这些是制约台风可预报性的主要障碍之一(罗哲贤,2006)。另外台风中尺度结构的研究也逐渐成为研究的焦点问题(伍荣生等,2004),并已取得了初步进展,如螺旋雨带形成和传播(徐祥德等,2004;Zhou et al,2006)、同心双眼结构特征(张庆红,2004;Peng et al,2004)、眼墙对流非对称(Li et al,2008)等方面的研究都取得了有意义的结果。端义宏等(2005)研究表明,由于水平均匀流和行星涡度梯度造成的非均匀性,使得积云对流加热不能集中在热带气旋暖心附近而是向外围扩展,因而使得热带气旋强度减弱。李英等(2007)分析了台风云娜中的中尺度辐合线的发生发展,指出中尺度辐合线的发展为台风环流提供了动能,有利于台风环流的维持。钱传海和陈涛(2007)分析了0604号强热带风暴碧利斯中尺度系统活动特征,指出高空辐散流场、冷空气侵入、地形作用等都是“碧利斯”特大暴雨形成的有利条件。

近年来,随着对台风运动机理和路径预报方法等方面研究取得的进展,同时借助于气象卫星、多普勒雷达、自动气象站等多种观测手段对台风的全方位精确监测以及数值预报技术和模式的迅速发展,有效地推动了台风科研与预报水平的提高。然而,尽管目前台风的科研和业务预报水平有了较大发展,预报准确率也有所提高,但距离需求仍有较大差距(陈联寿,2006)。在台风业务预报中还存在很多困扰预报员的问题,对有些路径疑难或强度变化疑难的台风的认识还不够深入,导致了较大的预报偏差,同时对台风的影响预报(包括强风、强降水、台风灾害)的能力还有限,成为影响台风预报服务效果的主要瓶颈(李泽椿等,2020)。

本文利用1949—2019年中国气象局(CMA)台风最佳路径资料、2020年中央气象台台风路径和强度实时预报资料、欧洲中期预报中心(European Center for Medium Weather Forecasting, ECMWF)的ERA-Interim逐6h再分析资料(水平分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$)以及NCEP RTG_SST(real time global, RTG)海温分析产品等,对2020年西北太平洋和南海台风活动的主要特征进行分析,总结2020年度台风预报误差,对业务中的主要预报技术难点问题进行讨论,以期对未来台风业务预报和研究提供参考。

1 2020 年台风活动特征

2020 年度,在西北太平洋和南海共有 23 个台风生成,较多年平均值(27.0 个,图 1a)偏少 4 个,5 个台风在我国沿海登陆,登陆台风个数较多年平均(7.0 个,图略)偏少 2 个。2020 年度,台风生成和登陆个数偏少、强度偏弱。

1.1 台风生成特征

从 2020 年台风生成源地来看,台风的平均生成位置(16.9°N,127.0°E)较常年平均生成位置(16.1°N、136.5°E)偏西约 9.5°。生成于 120°E 以西

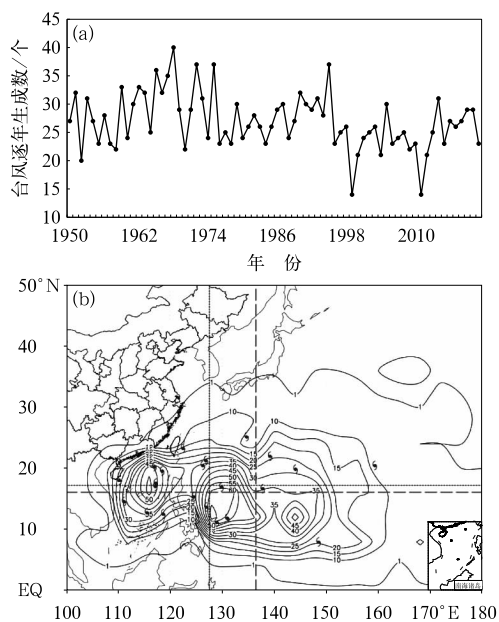


图1 西北太平洋和南海(a)1949—2019年逐年生成台风频数变化,(b)2020年台风生成位置分布(●)与1949—2019年台风生成源地密度分布(图1b,等值线,单位:个 $\cdot\pi^{-1}\cdot r^{-2}$, $r=250$ km;实线代表2020年台风平均生成位置,虚线代表常年台风平均生成位置)

Fig. 1 (a) Variation of the annual TC formation frequency from 1949 to 2019, and (b) the TCs' generating location in 2020 (●) and origin distribution density in 1949–2019 in Western North Pacific and South China Sea (in Fig. 1b, isoline, unit: $\text{PCS} \cdot \pi^{-1} \cdot r^{-2}$, $r=250$ km; solid line: the average typhoon generation position in 2020; dashed line: the average typhoon generation position in nomal years)

的有 9 个台风,较常年同期偏多 4.4 个;生成于 150°E 以东的台风仅 1 个,较常年同期偏少 4.5 个;另外有 7 个台风在 20°N 以北海域生成,也较为少见。2020 年台风生成位置明显偏西偏北(图 1b)。

1.2 台风活动特征

2020 年台风活动的阶段性、群发性特征较为突出:7 月没有台风生成,是 1949 年有完整台风记录以来首次出现;8 月出现了 3 个近海快速加强的登陆台风;8 月底至 9 月初有 3 个台风连续影响我国东北地区;10 月中旬至 11 月,连续出现多个台风影响我国南海海域。

1.2.1 7 月“空台”

2020 年的 5 月和 6 月均仅有 1 个台风生成,而 7 月甚至没有台风生成。1949—2019 年的 7 月共有 292 个台风生成,年平均生成台风 4.1 个;登陆台风 132 个,年平均登陆台风 1.9 个。其中生成最多年份为 1967、1971、1994、2017 年,各有 8 个台风在 7 月生成;生成最少年份为 1954、1957、1985、1998 年,各有 1 个台风在 7 月生成。而 2020 年的 7 月没有台风生成,自 1949 年以来尚属首次。

1.2.2 8 月出现 3 个近海快速加强台风

8 月开始,台风逐渐趋于活跃,8 月共有 7 个台风生成,较多年平均偏多 1.3 个。8 月出现了 3 个登陆台风,较多年平均偏多 1.1 个,这 3 个登陆台风分别是 2004 号台风黑格比、2006 号台风米克拉和 2007 号台风海高斯,它们都出现了近海快速加强的过程,并都以峰值强度登陆我国。

1.2.3 3 个台风连续影响东北

2020 年在 8 月 26 日至 9 月 7 日的短短 13 天之内,2008 号台风巴威、2009 号台风美莎克和 2010 号台风海神连续 3 个编号台风,从朝鲜分别进入辽宁和吉林,为有记录以来首次出现。比常年全年影响东北地区台风个数(1.2 个)偏多 1.8 个。自 1949 年以来东北地区遭受台风三次侵袭的年份仅有 1 年(1985 年):“Jeff”(8506)、“Lee”(8508)和“Mimie”(8509)共 3 个台风在 1985 年 8 月 2—19 日进入东北地区。而 2020 年连续 3 个编号台风影响我国东北地区尚属首次,并且这 3 个台风具有强度强、影响区域高度叠加、极端性强等特点,多个国家站日雨量突破历史极值,局地出现 12 级以上阵风。

1.2.4 多个台风移入南海

2020 年 10 月有 7 个台风生成,较多年平均(3.8个)偏多 3.2 个,与 1992 年并列成为 10 月台风生成数最多的年份。10 月中旬至 11 月,连续出现了 8 个台风和 1 个低压气旋影响我国的南海海域,数量之多较为罕见,其中多个台风给菲律宾、越南、老挝等国带来重创。

1.3 台风登陆特征

2020 年共有 5 个台风 5 次登陆我国沿海(图 2),其中广东 2 次、福建 1 次、浙江 1 次、海南 1 次(表 1),从登陆地点的分布来看,除了登陆浙江的

台风数较常年略偏多外,登陆其他省份的台风数均较常年偏少。登陆我国的台风个数较多年平均值(7.0 个)偏少 2.0 个。从登陆的时间段来看,3 个登陆台风出现在 8 月,并且都出现了近海快速加强的过程,还有 2 个登陆台风分别出现在 6 月和 10 月。2020 年登陆我国最早的是第 2 号台风鹦鹉,于 6 月 14 日 08:50 在广东省阳江市沿海登陆,最晚的是第 16 号台风浪卡,于 10 月 13 日 19:20 在海南琼海沿海登陆。登陆台风整体强度偏弱,5 个登陆台风登陆时的强度平均值为 $30.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,弱于多年平均登陆台风强度($32.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

表 1 2020 年登陆我国的台风一览表

Table 1 List of the typhoons making landfall on China in 2020

编号	名称	登陆强度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	登陆地点	登陆时间/BT	人员受灾情况	风雨影响
2002	鹦鹉 (Nuri)	23	广东阳江	6 月 14 日 08:50	2.9 万人受灾, 紧急转移安置 0.1 万人	6 月 13 日 20 时至 15 日 08 时,广东西南部、广西中部和南部、海南岛等地的部分地区累计降水量有 50~80 mm,广西来宾和防城港、海南临高和儋州等局地达 100~166 mm;广东沿海和珠江三角洲、海南岛沿海、广西南部沿海等地的部分地区阵风有 7~9 级,广东省江门市台山岛最大阵风达 $32.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (12 级)
2004	黑格比 (Hagupit)	42	浙江乐清	8 月 4 日 03:30	187.8 万人受 灾,紧急转移安 置 32.7 万人, 死亡失踪 5 人	8 月 3 日 08 时至 5 日 08 时,浙江中东部、上海累计降水量有 100~280 mm,浙江温州、台州、金华、丽水、嘉兴等地部分地区为 300~350 mm,温州永嘉和乐清局地达 400~552 mm;浙江东部、上海南部、江苏东南部出现 8~10 级阵风,浙江东南部沿海达 11~13 级,个别海岛阵风达 15~17 级,最大风速出现在浙江洞头虎头屿($59.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,17 级)
2006	米克拉 (Mekkhala)	33	福建漳浦	8 月 11 日 07:30	5.9 万人受灾, 紧急转移安置 4.4 万人	8 月 10 日 08 时至 11 日 14 时,华南及福建降了大到暴雨,累积降水量大于 100 mm,50 mm 的暴雨笼罩面积分别为 1.96 万 km^2 、 17.85 万 km^2 ;各省(自治区、直辖市)累计面平均降水量,广东为 53 mm(阳江为 98 mm)、广西为 44 mm(防城港为 124 mm)、海南为 50 mm(三亚为 106 mm)、福建为 32 mm(漳州为 90 mm),过程累计最大点降水量出现于广西防城港滩散圩(359 mm)、广东茂名利垌(244 mm)、福建漳州欧寮(221 mm)
2007	海高斯 (Higos)	35	广东珠海	8 月 19 日 06:00	15.2 万人受 灾,紧急转移安 置 4.8 万人,死 亡失踪 3 人	8 月 18 日 08 时至 20 日 08 时,暴雨到大暴雨区主要位于广东南部、珠江三角洲及广西东北部,并出现 7~10 级阵风,广东珠江口沿海局地达 11~15 级,广东西江石油平台最大阵风达 $46.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (15 级)
2016	浪卡 (Nangka)	25	海南琼海	10 月 13 日 19:20	5.5 万人受灾, 紧急转移安置 1.4 万人	10 月 12 日 08 时至 15 日 08 时,海南岛东部和北部、广东西南部、广西东南部出现 6~8 级阵风,沿海部分岛屿及海南东部和北部、广东湛江等局地达 9~11 级,海南七洲列岛最大风速为 $30.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (11 级);海南东部、广东西南部、广西中部和南部等地部分地区累计降水量为 100~200 mm,海南海口和琼海、广东湛江和茂名、广西防城港等局地达 250~320 mm,广东茂名沿海局地达 346 mm

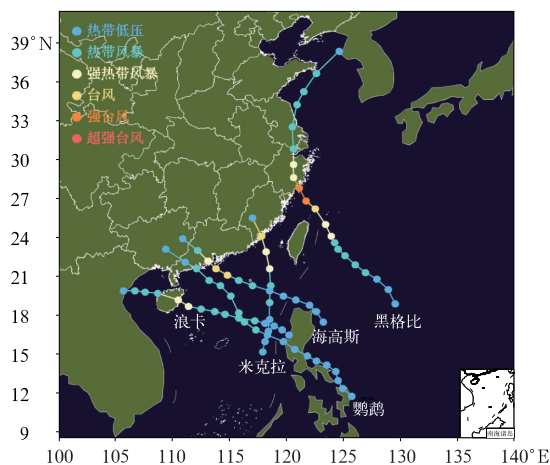
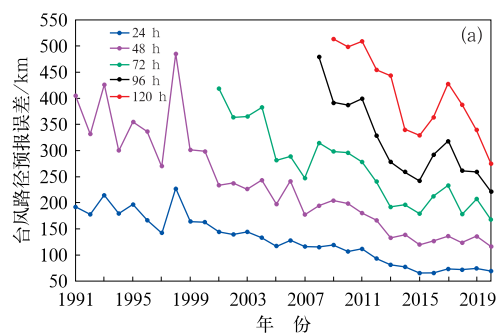


图 2 2020 年登陆我国台风路径图
Fig. 2 The tracks of TCs making landfall on China in 2020



2 预报误差分析

2.1 路径预报误差

2020 年 24、48、72、96、120 h 各时效台风路径预报平均误差分别为 70、117、169、222、276 km (图 3a); 较 2019 年的 75、140、213、263、340 km 分别减少了 5(7%)、23(16%)、44(21%)、41(16%) 和 64 km(19%)。

从台风路径预报误差分布中可以看出(表略), 误差较大的样本主要集中在 2012 号台风白海豚、2019 号台风天鹅和 2020 号台风艾莎尼这 3 个台风。分析发现: 路径误差较大的台风可分为两类:

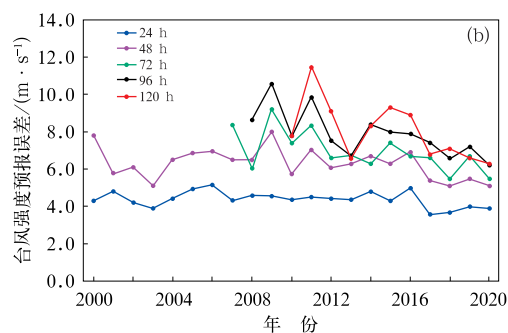


图 3 2020 年中央气象台官方(a)台风路径和(b)台风强度的预报误差
(数据取自中央台主观预报数据)

Fig. 3 TC (a) track errors and (b) intensity errors of CMA official forecast in 2020
(Data cited from the CMA subjective forecast)

①远海转向的长路径台风, ②双台风相互作用。表明这两类台风的路径预报难度较大, 无论是模式的预报能力、客观方法, 或是预报员的订正能力均十分有限。在路径大误差的 3 个台风中, “天鹅”和“艾莎尼”误差较大的样本主要出现在它们近距离相互作用阶段。双台风之间以及台风与周边系统之间复杂的相互作用, 导致预报难度加大, 误差增加。另一种造成路径大误差的是生命史长、远海转向的台风(如“白海豚”)。这类台风的大误差一般出现在转向期间, 这可能是由于预报员对转向点预报把握不准造成的预报偏差。

2.2 强度预报误差

2020 年 24、48、72、96、120 h 台风强度预报各时效平均误差分别为 3.9、5.1、5.5、6.2 和 6.3 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; 较 2019 年的 4.0、5.6、6.8、7.3、6.7 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 分

别减小 0.1、0.5、1.3、1.1 和 0.4 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; 24 h 误差连续 4 年小于 4.0 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 3b)。

强度预报误差较大的台风主要有 8 个, 分别为 2004 号台风黑格比、2006 号台风米克拉、2007 号台风海高斯、2008 号台风巴威、2009 号台风美莎克、2011 号台风红霞、2019 号台风天鹅和 2020 号台风艾莎尼。在这 8 个台风中, 2004 号、2006 号和 2007 号台风是近海快速加强的台风, 强度预报误差主要是由于预报员对其近海快速加强阶段的预报明显偏弱; 2008 号、2009 号台风为北上影响东北的台风, “巴威”出现大误差是对其移入东北地区以后的快速减弱估计不足, 而“美莎克”却是因为低估了其陆上强度的维持; “红霞”是对其南海遭遇冷空气引起快速减弱消失出现了预报偏差; 另外, “天鹅”和“艾莎尼”强度误差也很大, 尤其是“天鹅”在生成后不久即快速出现增强过程, 而强度误差较大的样本主要出

现在它们近距离相互作用阶段,双台风之间的相互影响复杂多变,模式对这类双台风相互作用的预报能力有限,预报员经验不足,导致对这类台风预报的路径和强度误差均较大。

3 预报难点分析

3.1 近海快速加强台风的预报问题

2020年8月上中旬出现了2004号黑格比、2006号米克拉和2007号海高斯3个近海快速加强的台风并登陆我国,中央气象台对它们的强度预报均不太理想,其中“黑格比”24 h的强度预报(8月2日23时至3日05时)误差甚至达到了 $15.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。下面以2004号台风黑格比为例,分析近海快速加强台风的预报难点。“黑格比”于8月1日20时在台湾以东洋面上生成,生成后沿副热带高压(以下简称副高)外围向西北方向移动,3日05时加强为强热带风暴级,3日14时加强为强台风级,4日03:30以其极值强度($42 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 965 hPa)登陆浙江乐清沿海,登陆后“黑格比”转为偏北方向移动,强度逐渐减弱,4日09时减弱为强热带风暴级,穿过浙江和江苏后于5日08时移入黄海西部海域,并逐渐减弱变性为温带气旋,于6日02时在黄海北部海域减弱为热带低压并停止编号(图4a)。“黑格比”具有尺度小、近海快速加强、阵风风力强等主要特点。

“黑格比”最大风速从8月2日20时的 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 增加到3日20时的 $38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,24 h增加了 $18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,达到了台风快速加强的标准(陈联寿和丁一汇,1979;阎俊岳等,1995;黄荣成和雷小途,2010;Kaplan et al,2010)。中央气象台对“黑格比”的强度预报均较实况偏弱(图4b),全球模式对“黑格比”快速加强完全没有反应,而区域模式虽然预报出了“黑格比”强度将出现明显增长的过程,但也远没有达到快速加强的程度,因此在“黑格比”生命史的早期阶段,对其强度的预报采取了稳妥的方式,预报其将以正常的速度加强,造成了对其强度的明显低估。直到“黑格比”临近靠岸,并且其云型发展、沿途海温以及高空出流等条件越来越有利于出现快速加强时,才对其预报强度进行了明显的调整,并在预警中明确给出“黑格比”将出现近海快速加强的信息。

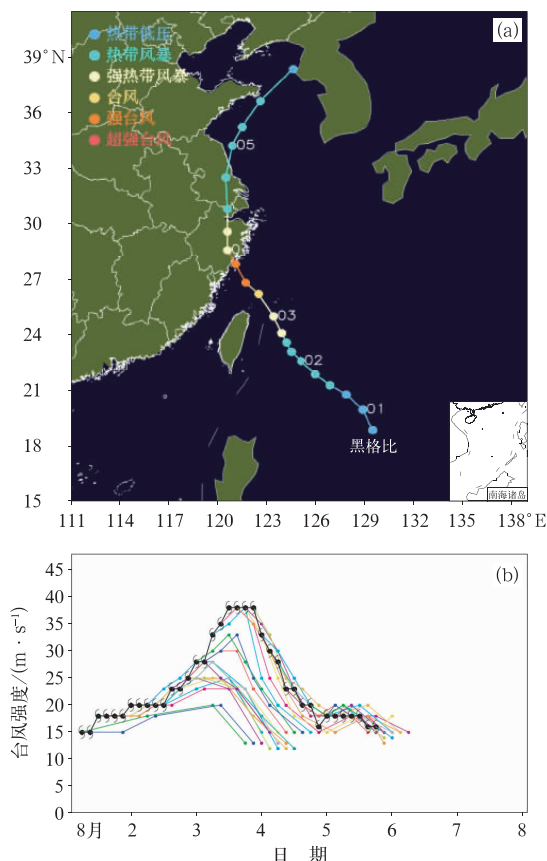


图4 2004号台风黑格比(a)全路径图,

(b)台风实况强度与预报强度对比曲线

(图4b中,黑线:台风实况强度,彩线:
中央气象台不同时段的主观预报强度)

Fig. 4 (a) Track of Typhoon No. 2004 Hagupit,
(b) comparison curve between the observed and
forecasted intensities of the typhoon
(in Fig. 4b, black line: observed intensity, colored line:
forecasted intensity by CMA at different times)

从8月3日的海洋热状况来看,海温条件对于“黑格比”的快速加强也是非常有利的。台湾岛东部近海的大部分海温高于 29.5°C ,较常年同期平均要高出 $0.5\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ (图5a,5b),这样异常偏高的海洋热状况给“黑格比”的快速加强提供了十分有利的下垫面条件;从“黑格比”加强期间的850 hPa流场和水汽通量(图5c,5d)来看,虽然前期来自低空西南气流的水汽输送被2003号台风森拉克有所截断,但是随着“森拉克”的减弱,西南季风为“黑格比”提供的水汽输送明显增强,这支西南气流提供的充足水汽,也是其强度快速加强的有利因素之一。与此同时,高层也建立了南北两支的双通道出流(图略),也为“黑格比”的快速加强提供了有利的高空辐散条件。

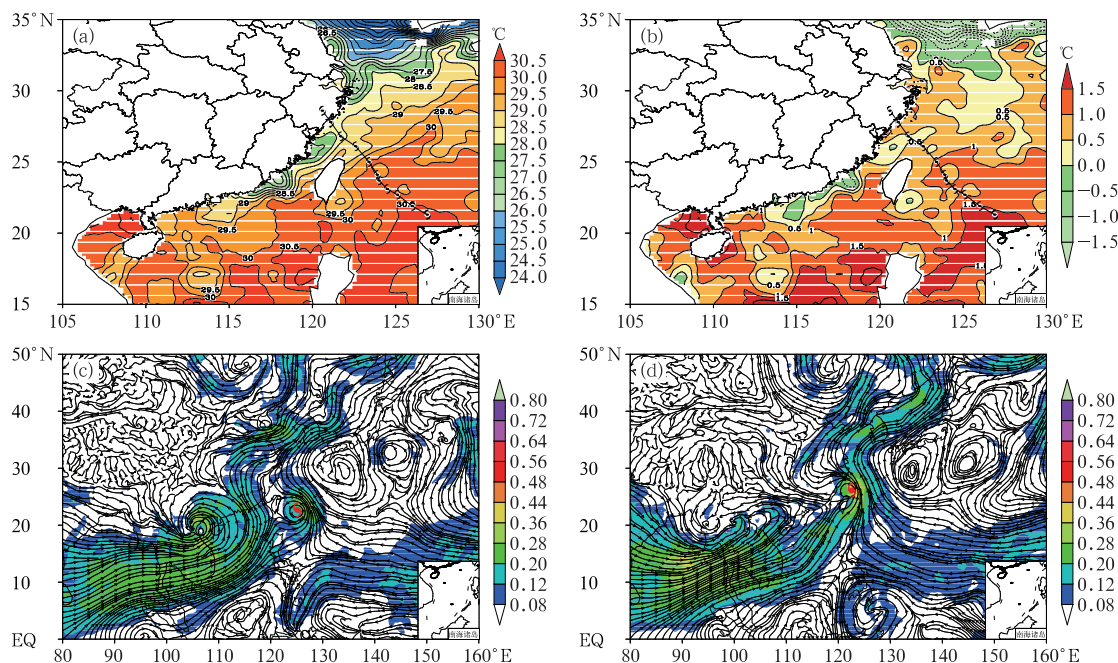


图 5 2020 年 8 月 2 日的 (a) 海面温度和 (b) 海温距平 (●: “黑格比” 实况路径), 以及 (c) 2 日 08 时和 (d) 3 日 14 时 850 hPa 的流场和水汽通量 (填色, 单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 5 (a) SST, and (b) SST anomaly on 2 August (●: the actual path of “Hagupit”); (c, d) flow field and water vapor flux (colored, unit: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) at 850 hPa at (c) 08:00 BT 2 and (d) 14:00 BT 3 August 2020

从台风中心的涡度和经向风的垂直分布 (图 6) 来看, “黑格比” 受东北侧的副高外围气流引导稳定西北行, 由于副高强大且稳定, 副高和台风之间的气压梯度的增加, 使台风内部风速出现非对称分布状态, 从而引起台风中心涡度的变化, 对台风强度造成影响。前期台风中心东西两侧的南风 and 北风近似准对称分布, 由图 6 可见, 8 月 2 日 20 时起台风中心东侧南风开始加强, 3 日 08 时南风中心达到 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 涡度中心强度也明显增强, 且由 700 hPa 向上伸展至 500 hPa 附近。3 日 14 时, 南风和北风均有增强, 但北风中心增强速度不如南风中心快, 从底层到 400 hPa 层具有一致的南风强于北风的不对称分布特征, 快速增强的南风使得台风中心附近正涡度值急剧增加, 且垂直伸展到 200 hPa 附近。3 日 20 时, 南北风的差值逐渐减少, 台风中心涡度维持, 台风内部风速也趋于对称分布状态。

由上述分析可知, “黑格比” 虽然具备了台风快速加强所需的有利的大气和海洋环境条件。但在实时业务预报中, 给出 “黑格比” 将出现近海快速加强的预报却还是有很大难度。主要原因有: 台风近海快速加强是小概率事件, 并且 ECMWF、NCEP 等全

球模式对 “黑格比” 快速加强完全没有反应, 而 CMA-TYM、HWRF 等区域模式虽然预报出了 “黑格比” 强度出现明显增长的过程, 但也远没有达到快速加强的程度, 因此数值模式对 “黑格比” 这种小尺度的台风的强度预报能力还是十分欠缺的, 当模式给出的信息不明确时, 如果仅根据预报员的经验, 过早地选取一种预报信息呈现给公众, 这样的预报结论存在很大风险。另外, 台风近海快速加强一直是台风预报的难点和热点问题, 尤其像 “黑格比” 这样的尺度小、生命史短的台风。只有从机理研究上取得突破、模式性能明显提高时, 开展快速加强台风的深入分析, 才能解决近海快速加强台风的预报和服务问题。

3.2 北上台风陆上维持强度的预报问题

2020 年 8 月 26 日至 9 月 7 日, 东北地区连续遭受第 8 号台风巴威、第 9 号台风美莎克和第 10 号台风海神影响, 为有气象记录以来首次。 “巴威” 于 8 月 27 日 11 时移入辽宁丹东后, 继续向北移入吉林后减弱停编; “美莎克” 和 “海神” 分别于 9 月 3 日 13 时和 9 月 8 日 03 时移入吉林和龙市后, 向西移

入黑龙江,并逐渐变性为温带气旋。其中“美莎克”在东北地区滞留的时间最长,长达 27 h。在“巴威”“美莎克”“海神”影响期间,东北地区平均降水量分别为 35、54 和 45 mm。移入东北地区后,“巴威”以 6~7 级阵风为主,局地达 8~10 级;“美莎克”以 8~

10 级阵风为主,局地达 11~12 级;“海神”以 8~9 级阵风为主,局地达 10 级(表 2)。其中“美莎克”风雨影响最强,有 49 个国家站日降水量突破 9 月历史极值。总体而言,3 个台风对东北地区的风雨影响,“美莎克”最强,“海神”次之,“巴威”相对最弱。

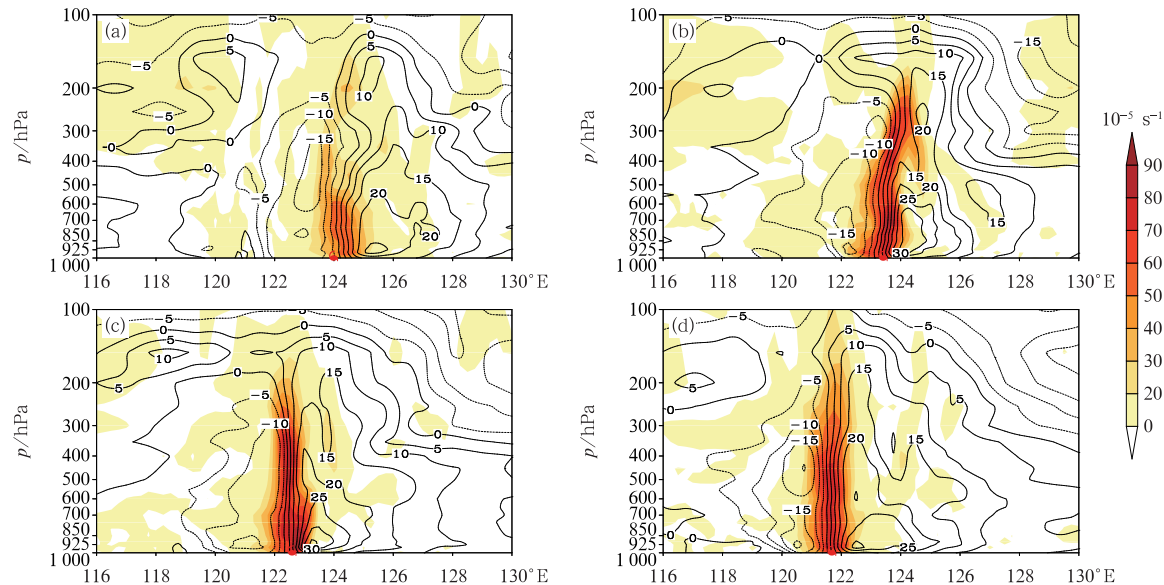


图 6 2020 年 8 月(a)2 日 20 时,(b)3 日 08 时,(c)3 日 14 时和(d)3 日 20 时沿台风中心纬度的经向风(等值线,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)和涡度(填色)的气压高度-纬向垂直剖面

Fig. 6 Latitudinal vertical profiles of pressure heights along the latitude of the typhoon center for longitudinal winds (contour, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and vorticity (colored) at (a) 20:00 BT 2, (b) 08:00 BT 3, (c) 14:00 BT 3, and (d) 20:00 BT 3 August 2020

表 2 台风巴威、美莎克、海神主要参数

Table 2 Statistical comparison analysis of typhoons Bavi, Maysak and Haishen

台风	8 号台风巴威	9 号台风美莎克	10 号台风海神
生成时间/BT	8 月 22 日 08 时	8 月 28 日 17 时	9 月 1 日 20 时
台风生命史/h	132	168	156
台风强度(峰值)	强台风 (14 级, $45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)	超强台风 (16 级, $52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)	超强台风 (17 级, $60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)
登陆的地点、强度	朝鲜平安北道沿海, 台风级	韩国庆尚南道沿海, 强台风级	韩国庆尚南道沿海, 台风级
移入东北地区的时间、地点、强度	8 月 27 日 11 时, 辽宁丹东,强热带风暴	9 月 3 日 13 时, 吉林和龙市,热带风暴	9 月 8 日 03 时, 吉林和龙市,热带风暴级
台风中心在东北境内滞留时间/h	9	27	5
风雨影响时间	8 月 26 日 08 时至 28 日 06 时 (46 h)	9 月 2 日 20 时至 4 日 17 时 (45 h)	9 月 7 日 05—10 时 (53 h)
最大风速出现地点	黑龙江哈尔滨市, $25.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (10 级)	黑龙江鸡西个别 乡镇瞬时风力超过 12 级	黑龙江牡丹江市东宁, $27.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (10 级)
最大降水量/mm	138 mm (黑龙江鸡东县)	222 mm (吉林磐石县)	168 mm (吉林珲春市圈河口岸)
平均降水量/mm	35	54	45
突破月极值(站点数)/个	1	49	14
突破历史极值(站点数)/个	0	2	1

台风巴威、美莎克和海神连续袭击我国的东北地区,影响区域高度叠加,多个国家站日雨量突破历史极值,极端事件出现的主要原因是大尺度环流稳定,并且副高明显偏强偏北,3个台风连续影响东北地区的主要环流背景比较相似(图 7),都受到副高、日本海及以东高压或鄂霍次克海高压(阻塞高压),台风西侧冷涡或西风槽的共同影响,同时在台风的东北侧也都存在明显的副热带西风急流。

虽然 3 个台风生成时间较为接近,大尺度环境背景场也较为相似,但是这 3 个台风给我国东北带来的影响却明显不同,强度维持时间和风雨影响程度也存在明显差异,因此对于这类北上台风的预报难点主要为台风的陆上维持时间以及风雨的精细化预报。

通过对比 500 hPa 高度场(图 7)可以发现,“巴威”与西侧的高空冷涡距离较远,没有发生直接的相

互作用,伴随着西风槽东移携带的干冷空气侵入台风本体,使得“巴威”迅速减弱,并且呈现出明显的非对称结构,主要的风雨影响偏向于台风的右侧,因此对我国的影响相对较小,主要的强风暴雨都落在了朝鲜一侧,而“海神”的阻塞高压形势是西高东低,伴随着西风槽的东移和副热带西风急流的影响,使得“海神”快速向东北方向移出,也不利于其风雨影响的持续。而“美莎克”影响我国东北期间,其东侧的阻塞高压稳定维持,西侧高空冷涡与其近距离相互作用并逐渐合并,同时高空副热带西风急流加强,这种环流形势场的配置有利于“美莎克”登陆后强度的维持和长时间的风雨影响。

另外,高低空环流配置的差异也导致了 3 个台风对东北地区风雨影响会有很大的差异。从整层积分的水汽通量(图 8)来看,台风巴威自生成至加强北上的过程中,一直受到周围干空气的影响,使得

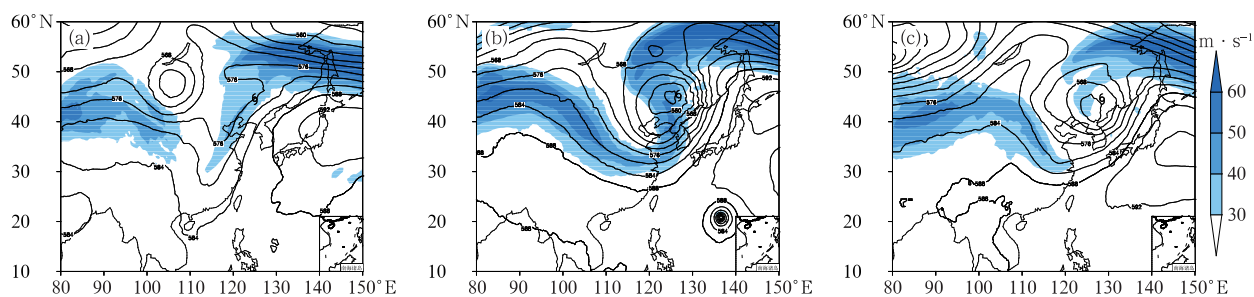


图 7 2020 年台风(a)巴威 8 月 27 日 20 时,(b)美莎克 9 月 3 日 14 时,(c)海神 9 月 8 日 08 时的 500 hPa 位势高度(等值线,单位:dagpm)和 200 hPa 急流(填色)

Fig. 7 The 500 hPa geopotential heights (contour, unit: dagpm) and 200 hPa jets (colored) for (a) Typhoon Bavi at 20:00 BT 27 August, (b) Typhoon Maysak at 14:00 BT 3 September, (c) Typhoon Haishen at 08:00 BT 8 September 2020

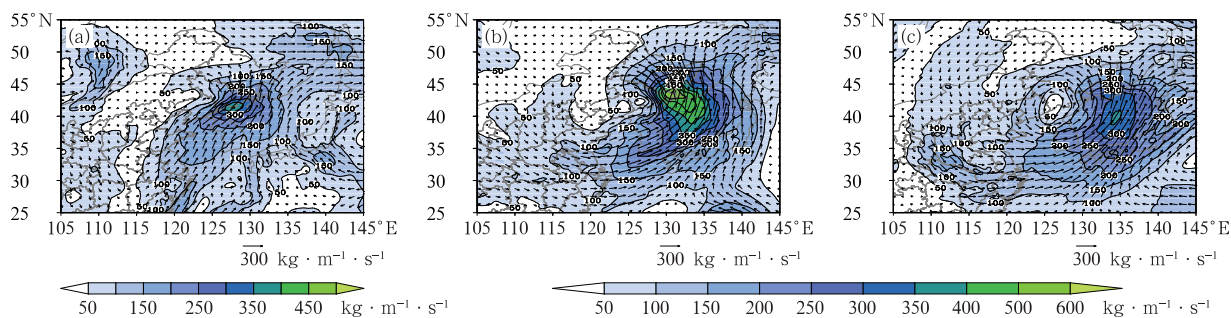


图 8 2020 年台风(a)巴威 8 月 27 日 14 时,(b)美莎克 9 月 3 日 14 时,(c)海神 9 月 8 日 02 时的整层积分水汽通量

Fig. 8 Integrated moisture flux of the whole layer for (a) Typhoon Bavi at 14:00 BT 27 August, (b) Typhoon Maysak at 14:00 BT 3 September, (c) Typhoon Haishen at 02:00 BT 8 September 2020

“巴威”对流云系未能得到有效发展,发展高度不高,相对湿度达95%的区域仅存在于“巴威”核心区的较小范围内,核心区周围存在不同强度和范围的干区,说明“巴威”是一个干台风,导致“巴威”本体降水不强,强风区仅存在于中心核心区。登陆后加之丘陵和长白山高山地形的摩擦作用,使“巴威”强度很快减弱,影响也变得较小。而“美莎克”在东北滞留时间长、风雨影响大主要是因为:①“美莎克”周围均存在大范围相对湿度达95%的高湿区,高空西风急流核高达 $90\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,水汽输送和高空出流条件有利于“美莎克”进入东北后强度维持,说明“美莎克”对东北地区影响更大;②“美莎克”的变性过程比较缓慢,中低层冷空气侵入,中高层台风暖气团沿冷空气向上爬升,冷暖空气交汇,锋生加强,有利于台风与冷涡结合后变性加强。而“海神”的低层水汽和高层出流是介于“巴威”和“美莎克”之间,因此3个台风对东北地区的风雨影响,“美莎克”最强,“海神”次之,“巴威”相对最弱。

图9展示了台风巴威、美莎克和海神的气旋相空间参数时间演变,横坐标代表的是气旋低层热成风参数,纵坐标代表的是气旋的对称性指数,由图9可知,“巴威”的变性过程较快,而“美莎克”和“海神”经历了比较漫长的变性过程,也有利于它们在陆上的强度维持和风雨影响的持续。

总之影响北上台风的天气系统非常复杂,目前对于这类北上台风变性的机理认识尚不深入,对其登陆之后台风风雨的精细化预报能力还不足,北上台风的强度预报不确定性还较大,需要重点关注高空西风急流和整层水汽通量的分布,另外西侧冷涡与台风间的相互影响还有待深入研究,日后需要加强对于这类北上台风的预报经验的积累和机理认识的提高。

4 结论与讨论

4.1 台风活动特征

2020年,在西北太平洋和南海共有23个台风生成,较多年平均值偏少4个,其中5个台风在我国沿海登陆,登陆台风个数较多年平均偏少2个。台风生成和登陆个数偏少、强度偏弱;台风生成源地偏西;台风活动的阶段性、群发性特征突出和近海快速加强特征明显。

4.2 台风预报误差

24、48、72、96、120 h 台风路径预报误差分别为70、117、169、222、276 km;各时效误差均较2019年有所减少。另外,24、48、72、96、120 h 台风强度预报各时效误差分别为3.9、5.1、5.5、6.2和 $6.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;较2019年也明显减小;24 h误差连续4年小于 $4.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。对于快速增强台风的强度预报明显偏弱,误差较大。

4.3 台风预报难点

2020年最主要的台风预报难点包括两个方面:一是我国近海快速加强台风的强度预报问题,二是北上台风登陆后的陆上强度维持问题。台风的内部机理非常复杂,它的内部结构和变化以及台风产生的风雨又与很多因素有关。由于台风本身结构所具有的复杂性以及其发展过程中复杂的多尺度相互作用和海陆气相互作用,使得我们对台风运动机理和路径预报方法,发生、发展及结构和强度变化,登陆和变性过程,登陆后的衰减和维持机制及其引起的暴雨分布等方面的理解和认识仍十分欠缺,这些难题阻碍了台风预报水平的提高,影响了服务效果,亟待解决。

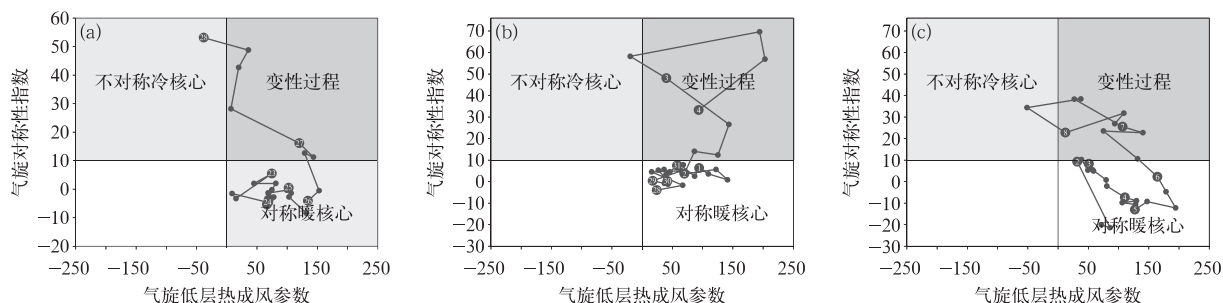


图9 2020年台风(a)巴威、(b)美莎克和(c)海神的气旋相空间参数时间演变

Fig. 9 Time evolution of cyclone phase spatial parameters of typhoons (a) Bavi, (b) Maysak and (c) Haishen in 2020

参考文献

- 陈联寿, 2006. 热带气旋研究和业务预报技术的发展[J]. 应用气象学报, 17(6): 672-681. Chen L S, 2006. The evolution on research and operational forecasting techniques of tropical cyclones[J]. J Appl Meteor Sci, 17(6): 672-681(in Chinese).
- 陈联寿, 2007. 登陆热带气旋暴雨的研究和预报[C]//第十四届全国热带气旋科学讨论会. 上海: 中国气象学会: 3-7. Chen L S, 2007. Research and forecast of landing tropical cyclone rainstorm[C]//The 14th National Symposium on Tropical Cyclone Science. Shanghai: Chinese Meteorological Society: 3-7(in Chinese).
- 陈联寿, 丁一汇, 1979. 西太平洋台风概论[M]. 科学出版社. Chen L S, Ding Y H, 1979. An Introduction to the Western Pacific Typhoon[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- 陈联寿, 罗哲贤, 李英, 2004. 登陆热带气旋研究的进展[J]. 气象学报, 62(5): 541-549. Chen L S, Luo Z X, Li Y, 2004. Research advances on tropical cyclone landfall process[J]. Acta Meteor Sin, 62(5): 541-549(in Chinese).
- 陈联寿, 孟智勇, 2001. 我国热带气旋研究十年进展[J]. 大气科学, 25(3): 420-432. Chen L S, Meng Z Y, 2001. An overview on tropical cyclone research progress in China during the past ten years[J]. Chin J Atmos Sci, 25(3): 420-432(in Chinese).
- 陈联寿, 徐祥德, 解以扬, 等, 1997. 台风异常运动及其外区热力不稳定非对称结构的影响效应[J]. 大气科学, 21(1): 83-90. Chen L S, Xu X D, Xie Y Y, et al, 1997. The effect of tropical cyclone asymmetric thermodynamic structure on its unusual motion[J]. Sci Atmos Sin, 21(1): 83-90(in Chinese).
- 丁一汇, 范惠君, 薛秋芳, 等, 1977. 热带辐合区中多台风同时发展的初步研究[J]. 大气科学, 1(2): 89-98. Ding Y H, Fan H J, Xue Q F, et al, 1977. A preliminary study on the simultaneous developments of the multiple typhoons in the intertropical convergence zone[J]. Sci Atmos Sin, 1(2): 89-98(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).
- 端义宏, 陈联寿, 梁建茵, 等, 2014. 台风登陆前后异常变化的研究进展[J]. 气象学报, 72(5): 969-986. Duan Y H, Chen L S, Liang J Y, et al, 2014. Research progress in the unusual variations of typhoons before and after landfalling[J]. Acta Meteor Sin, 72(5): 969-986(in Chinese).
- 端义宏, 陈联寿, 许映龙, 等, 2012. 我国台风监测预报预警体系的现状及建议[J]. 中国工程科学, 14(9): 4-9. Duan Y H, Chen L S, Xu Y L, et al, 2012. The status and suggestions of the improvement in the typhoon observation, forecasting and warning systems in China[J]. Eng Sci, 14(9): 4-9(in Chinese).
- 端义宏, 余晖, 伍荣生, 2005. 热带气旋强度变化研究进展[J]. 气象学报, 63(5): 636-645. Duan Y H, Yu H, Wu R S, 2005. Review of the research in the intensity change of tropical cyclone[J]. Acta Meteor Sin, 63(5): 636-645(in Chinese).
- 黄荣成, 雷小途, 2010. 环境场对近海热带气旋突然增强与突然减弱影响的对比分析[J]. 热带气象学报, 26(2): 129-137. Huang R C, Lei X T, 2010. Comparative analysis of the influence of environment field on rapid intensifying and weakening of tropical cyclones over offshore waters of China[J]. J Trop Meteor, 26(2): 129-137(in Chinese).
- 李英, 陈联寿, 钱传海, 2007. 云娜台风环流内中尺度辐合线的发生发展[C]//第十四届全国热带气旋科学讨论会. 上海: 中国气象学会: 45-50. Li Y, Chen L S, Qian C H, 2007. A study on meso-scale system activities in typhoon remnant[C]//The 14th National Symposium on Tropical Cyclone Science. Shanghai: China Meteorological Society: 45-50(in Chinese).
- 李英, 陈联寿, 王继志, 2004a. 登陆热带气旋长久维持与迅速消亡的大尺度环流特征[J]. 气象学报, 62(2): 167-179. Li Y, Chen L S, Wang J Z, 2004a. The diagnostic analysis on the characteristics of large scale circulation corresponding to the sustaining and decaying of tropical cyclone after it's landfall[J]. Acta Meteor Sin, 62(2): 167-179(in Chinese).
- 李英, 陈联寿, 张胜军, 2004b. 登陆我国热带气旋的统计特征[J]. 热带气象学报, 20(1): 14-23. Li Y, Chen L S, Zhang S J, 2004b. Statistical characteristics of tropical cyclone making landfalls on China[J]. J Trop Meteor, 20(1): 14-23(in Chinese).
- 李泽椿, 张玲, 钱奇峰, 等, 2020. 中央气象台台风预报业务的发展及思考[J]. 大气科学学报, 43(1): 10-19. Li Z C, Zhang L, Qian Q F, et al, 2020. The development and consideration of typhoon forecast operation of National Meteorological Center[J]. Trans Atmos Sci, 43(1): 10-19(in Chinese).
- 罗哲贤, 2006. 台风可预报性的几个问题[C]//第275次香山科学会议“登陆台风的科学问题及防灾减灾对策”学术讨论会邀请报告. Luo Z X, 2006. Several problems of typhoon predictability[C]//Invitation Report of the 275th Xiangshan Science Conference Symposium on “Scientific Problems of Landing Typhoon and Countermeasures for Disaster Prevention and Mitigation”(in Chinese).
- 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).
- 钱传海, 陈涛, 2007. 0604号强热带风暴“碧利斯”中尺度系统活动特征[C]//第十四届全国热带气旋科学讨论会. 上海: 中国气象学会: 204-206. Qian C H, Chen T, 2007. Characteristics of mesoscale system activity of No. 004 severe tropical storm Bilis[C]//The 14th National Symposium on Tropical Cyclone Science. Shanghai: China Meteorological Society: 204-206(in Chinese).
- 王斌, Elsberry R L, 王玉清, 等, 1998. 热带气旋运动的动力学研究进展[J]. 大气科学, 22(4): 535-547. Wang B, Elsberry R L, Wang Y Q, et al, 1998. Dynamics in tropical cyclone motion: a review[J]. Sci Atmos Sin, 22(4): 535-547(in Chinese).
- 王海平, 董林, 许映龙, 等, 2021. 2019年西北太平洋台风活动特征和

- 预报难点分析[J]. 气象, 47(8):1009-1020. Wang H P, Dong L, Xu Y L, et al, 2021. Analysis on the characteristics of typhoon activity and forecasting difficulties in western North Pacific in 2019[J]. Meteor Mon, 47(8):1009-1020(in Chinese).
- 伍荣生, 等, 2004. 热带气旋研究中的几个动力学问题[C]//第十三届全国热带气旋科学讨论会. 岱山:中国气象学会. Wu R S, et al, 2004. Several dynamic problems in tropical cyclone research [C]// The 13th National Symposium on Tropical Cyclone Science, Daishan; China Meteorological Society(in Chinese).
- 阎俊岳, 张秀芝, 陈乾金, 等, 1995. 热带气旋迅速加强的标准研究[J]. 气象, 21(5):9-13. Yan J Y, Zhang X Z, Chen Q J, et al. 1995. The standard of rapidly intensified tropical cyclones[J]. Meteor Mon, 21(5):9-13(in Chinese).
- 徐祥德, 张胜军, 陈联寿, 等, 2004. 台风涡旋螺旋波及其波列传播动力学特征:诊断分析[J]. 地球物理学报, 47(1):33-41. Xu X D, Zhang S J, Chen L S, et al, 2004. Dynamic characteristics of typhoon vortex spiral wave and its translation: a diagnostic analyses[J]. Chinese J Geophys, 47(1):33-41(in Chinese).
- 张庆红, 2004. Winnie 台风双眼壁的相互作用[C]//第十三届全国热带气旋科学讨论会. 岱山:中国气象学会. Zhang Q H, 2004. Interaction between binocular walls of Typhoon Winnie[C]// The 13th National Symposium on Tropical Cyclone Science, Daishan; China Meteorological Society(in Chinese).
- Chan J C L, 2000. Tropical cyclone activity over the western North Pacific associated with El Niño and La Niña events[J]. J Climate, 13(16):2960-2972.
- Elsberry R L, 1995. Tropical cyclone motion[M]// Global Perspectives on Tropical Cyclones. Genève: WMO; 106-197.
- Gray W M, 1968. Global view of the origin of tropical disturbances and storms[J]. Mon Wea Rev, 96(10):669-700.
- Gray W M, 1975. Tropical Cyclone Genesis[M]. Dept of Atmos Sci, Paper Bo. 282. Ft. Collins; Colorado State University; 121.
- Harr P A, Elsberry R L, 1991. Tropical cyclone track characteristics as a function of large-scale circulation anomalies[J]. Mon Wea Rev, 119(6):1448-1468.
- Li Q Q, Duan Y H, Yu H, et al, 2008. A high-resolution simulation of Typhoon Ranim (2004) with MM5. Part I: model verification, inner-core shear, and asymmetric convection[J]. Mon Wea Rev, 136(7):2488-2506.
- Peng J Y, Fang J, Wu R S, 2004. The formation mechanism of concentric double eyewall typhoon—part I: dynamical analysis[J]. J Meteor Res, 18(3):301-312.
- Kaplan J, DeMaria M, Knaff J A, 2010. A revised tropical cyclone rapid intensification index for the Atlantic and eastern North Pacific Basins[J]. Wea Forecasting, 25(1):220-241.
- Zhou X J, Luo Z X, Gao S T, 2006. Two possible mechanisms for vortex self-organization[J]. Sci China Ser D: Earth Sci, 49(2):202-211.

(本文责编:何晓欢)