

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.

## 2016年西北太平洋台风活动特征 和预报难点分析\*

高拴柱 董林 许映龙 钱奇峰

国家气象中心,北京 100081

**提 要:** 利用历史台风最佳路径资料、2016年台风最佳路径实况和中央气象台台风路径强度实时预报资料,以及ECMWF数值预报和集合预报产品,对2016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:1—6月的淡季空台风和盛夏秋季多台风现象均与2016年赤道海温由厄尔尼诺向拉尼娜转换有关;长时效路径预报误差有时异常偏大,可能与集合预报产品的发散度很大有关,但是如果能够掌握数值天气预报对大尺度天气系统预报的系统性偏差,也可以做出精度更高的预报;24 h强度预报误差超过了 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,这种现象在过去十多年的业务预报中并不多见,个别最大误差竟达 $20 \sim 26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。强度预报的大误差与强度预报中没有定量产品可供参考有关,定性分析台风强度变化规律对于提高强度预报作用很小,所以急需建立和发展定量和精细化的强度预报方法。

**关键词:** 台风活动特征,海表温度,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.1000-0526.2018.02.008

## Analysis of the Characteristics and Forecast Difficulties of Typhoons in Western North Pacific in 2016

GAO Shuanzhu DONG Lin XU Yinglong QIAN Qifeng

National Meteorological Centre, Beijing 100081

**Abstract:** The characteristics of typhoons in western North Pacific in 2016 are analyzed by using the best-track data, the CMA operational forecast data and ECMWF NWP and EPS products. The results show that no typhoon formed in the first half year but many were seen in the midsummer and autumn. This phenomenon was related to the conversion from El Niño to La Niña of the eastern equatorial Pacific SST. In some cases, the TC track forecast errors for long lead-time are extremely large, which attributes to the large spread of EPS. To improve the TC track forecasting skill, the regularity of systematic bias of numerical models could be found. The TC intensity forecast error for 24 h is larger than  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , which is unusual for the past decade. For individual cases, the extreme errors are  $20 - 26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Almost no improvement in the TC intensity forecast skill over the recent decades. The main reason is the lack of reliable objective intensity forecasting technique. The qualitative analysis of the intensity change is not enough in the operation. So, it is urgent to establish a quantitative and fine forecast method on TC intensity to improve the TC forecast skill.

**Key words:** characteristics of typhoons, sea surface temperature (SST), forecast error, forecast difficulty

\* 国家自然科学基金面上项目(41575063和41675044)共同资助

2017年2月8日收稿; 2017年8月5日收修定稿

第一作者:高拴柱,主要从事台风研究和预报. Email: gaosz@ema.gov.cn

## 引 言

台风是热带或副热带洋面上生成和发展起来的一种强烈的低压涡旋系统,其时常带来强风、暴雨和风暴潮等强烈天气,给所经洋(海)面和陆地造成严重的人员伤亡和巨大的财产损失,是世界上最常见的气象灾害之一(陈联寿和丁一汇,1979;陈联寿等,2012)。全球每年约有 80 个左右的台风在太平洋、印度洋和大西洋热带区域生成,其中西北太平洋(含南海,下同)是台风生成最多的区域,常年(1949—2015 年,下同)约 27 个,约占全球台风总数的三分之一。我国地处欧亚大陆东部、太平洋西岸,由于台风生成初期大多数向偏西和西北方向移动,使得我国成为受台风影响最严重的国家之一。台风是影响我国的重要天气系统,是天气和气候预报的重要内容。

陈联寿和丁一汇(1979)根据天气学理论提出西北太平洋台风的一般路径特点和异常路径类型,指出台风与各种天气尺度系统的相互作用和影响受诸多复杂因素的制约,如环境引导气流、台风的内部结构和结构变化、地球自转涡度的经向梯度和下垫面条件,都对台风的运动有着程度不同的影响。但是,一般认为,环境引导气流是影响台风运动的主要因子。Chan and Gray(1982)和 Dong and Neumann(1986)讨论了不同海域、不同强度和强度变化、不同移向移速以及不同层次对台风移动的影响时发现,台风实况路径与对流层中层引导气流的偏差较小,表明对流层中层的引导气流对台风运动的引导效果最好,但是随着台风强度的增大,最优引导气流的层次略偏上层,而台风实际路径与对流层高层和底层的引导气流的偏差较大(高拴柱,2001)。

随着全球数值预报(numerical weather prediction, NWP)模式和集合预报系统(ensemble prediction system, EPS)的发展和预报能力的提高,特别是利用 EPS 产品的台风路径订正方法(typhoon track ensemble correction, TYTEC)(Qi et al, 2014;钱奇峰等,2014; Dong and Zhang, 2016)的开发和应用,中央气象台的台风路径预报误差明显减小,整体预报水平高于日本气象厅和美国联合台风警报中心。尽管在过去二三十年中的台风路径预报水平有明显提高,但是强度预报水平一直没有明显提高,24 h 强度预报误差基本上在  $4\sim 5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  间徘徊(许映龙等,2016)。

2016 年度,中央气象台台风路径预报水平进展不够明显,24~120 h 预报误差较 2015 年有所增大;与过去 5 年的平均误差比较,2016 年 24~48 h 预报误差略偏小,但是 72~120 h 明显偏大;与日本气象厅和美国联合台风警报中心的预报比较也没有明显的优势。误差最大的现象主要表现在长时效路径预报、台风快速增强期间的强度预报和个别台风的暴雨落区预报。

本文利用 1949—2016 年中国气象局台风最佳路径资料、2016 年中央气象台台风路径强度实时预报资料、ECMWF 实时数值预报和集合预报系统产品,分析了 2016 年西北太平洋台风活动的主要特征,探讨 2016 年台风路径和强度预报的技术难点和可能存在的问题,以期对未来台风业务预报提供一些参考依据。

## 1 2016 年西北太平洋台风活动特征

### 1.1 台风活动特点

#### 1.1.1 生成数偏少,登陆数偏多

2016 年度,西北太平洋共有 26 个台风生成,与常年(1949—2015 年平均)的 27.0 个比较,偏少 1 个(基本持平)(图 1a),其中有 8 个台风先后在我国沿海登陆,登陆数较常年(7.0 个)偏多 1 个(图 1b),登陆比率为 30.8%,明显高于常年的 25.9%。

#### 1.1.2 上半年无台风,首个台风生成晚

常年的 1—6 月在西北太平洋一般都有台风生成,平均约为 4.7 个,最大可达 10 个以上,如 1965 年 1—6 月有 10 个台风生成,1971 年 1—6 月有 11 个台风生成,这两年的生成数都为平均值的 2 倍以上;而 2016 年度 1—6 月没有一个台风生成(图 2),这种现象在西北太平洋非常少见,历史上只有 1973 和 1998 年的 1—6 月没有台风生成。上半年没有台风,首个台风的生成时间就推迟到 7 月,1973 年 7 月 1 日生成了当年的首个台风 Wilda,1998 年 7 月 9 日生成了当年的首个台风 Nichole,2016 年的首个台风尼伯特(Nepartak)于 7 月 3 日生成,为 1949 年以来生成第二晚的首个台风。

#### 1.1.3 生成时段集中,秋季明显偏多

在上半年没有台风的情况下,2016 年度的所有台风都集中在下半年生成,而下半年的生成数与常年的全年平均值相差仅 1 个,与 1973 和 1998 年相

比(1973年下半年24个台风生成,1998年下半年仅有14个台风生成),2016年度下半年生成数多达26个,其中,除7和12月与常年相近外,8—11月的生成数都比常年明显偏多,表现为十分明显的秋季偏多、时段集中的特征(图2)。

#### 1.1.4 强台风多,弱台风少

2016年度共有26个台风,与常年的27个基本持平或略偏少,其中12个达到了强台风的级别,高于常年的10.6个,占总数的46.2%,明显地高于常年的39.4%(图3),其中,台风莫兰蒂最强时竟达到 $75\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的强度,还有1601号台风尼伯特、1622号台风海马和1626号台风洛坦,其峰值强度分别为72、68和 $62\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

#### 1.1.5 登陆强度偏强,登陆地段偏南

2016年度的8个台风11次在我国沿海登陆,平均登陆强度为 $35.2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,明显强于常年的 $31.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,相差 $3.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。如果只考虑每个台风第一次登陆时的强度,今年登陆我国台风的平均登陆强度为 $39.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,较常年的 $32.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 偏强 $7.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,分别属不同的强度等级,前者为台风级,后者为强热带风暴级。登陆时强度为强台风或超强台风强度的有“尼伯特”、“妮妲”、“莫兰蒂”和“鲑鱼”4个台风,占有登陆台风数的50%(表1)。8个登陆台风全部在福建南部以南的华南沿海登陆,其中3个登陆福建和台湾、3个登陆广东、2个登陆海南和广西;福建北部及以北的漫长海岸线没有1个台风登陆,也是今年登陆台风的主要特点之一。

#### 1.1.6 降水范围广,阵风风力强,灾情大

2016年度,共有9个台风影响我国近海海域和沿海地区,海南、广东、广西、福建、浙江、台湾、江西、湖南、安徽、江苏、上海,以及云南、贵州、黑龙江、吉林受不同台风的影响,出现了100 mm以上的降水,其中海南、广东、福建、浙江、台湾,以及江苏和广西的部分地区分别出现了250 mm以上的降水。受“尼伯特”影响,福建莆田、福州等局地达250~427 mm,台湾花莲、台东、屏东等部分地区累积雨量有400~600 mm,花莲县局地超600 mm;受“电母”影响,海南岛西部和北部等地部分地区雨量有500~990 mm,临高、儋州、昌江、白沙局地达1000~1083 mm;受“莫兰蒂”影响,浙江台州局地雨量达508 mm,台湾花莲、台东、屏东等局地雨量600~857 mm;受“鲑鱼”影响,浙江温州文成县局地雨量达814 mm,台湾宜兰太平山超过1100 mm。

2016年度受台风影响,浙江、福建、台湾、广东和广西五省(区)出现了12级以上的瞬时大风,其中,受“莫兰蒂”影响,福建厦门、泉州、莆田出现了12~14级的瞬时风,局地可达17级或17级以上,厦门同安大桥测得 $63.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的极大瞬时大风;另外,分别受“尼伯特”和“海马”的影响,广东汕尾测得49.8和 $52.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的瞬时大风,其等级分别为15和16级。可见,2016年度多地出现了极端大风天气,这一特点与登陆台风强度强的特点是一致的。

总之,2016年度登陆台风的强度强,给我国带来大范围的狂风暴雨天气,破坏力极大,由此造成了严重的灾害,其中“莫兰蒂”(与“马勒卡”叠加影响)和“莎莉嘉”造成的受灾人口最多,分别在350万以上;“尼伯特”造成的死亡或失踪人口最多,为105人,造成直接经济损失最大的仍然是“莫兰蒂”与“马勒卡”影响的结果,高达316.5亿元,是近几年少有的现象(表2)。

## 1.2 海温与台风生成频数的关系

2016年1—5月赤道中东太平洋海温持续偏高,虽然从3月以后开始偏高的幅度逐渐减小,但仍然保持正距平,厄尔尼诺事件一直维持,与此同时,西太平洋海温接近多年平均(图4),赤道海温的东西向梯度较小。这使得一般位于赤道西太平洋的沃克环流上升支偏弱甚至为下沉,热带对流减弱,不利于西太平洋的台风生成,这可能是上半年西太平洋台风生成数异常偏少的主要原因之一。按照国家气候中心现行的厄尔尼诺事件监测业务标准,自1951年以来,共出现了14次厄尔尼诺事件(邵懿和周兵,2016;竺夏英和宋文玲,2017)。我们普查了西北太平洋的台风生成情况,发现以前的13个厄尔尼诺结束年1—6月每月的平均台风生成数都明显地小于多年的平均数,尤其是其中3次的强或超强厄尔尼诺事件结束年(1973、1983和1998年)与2016年度一样,上半年几乎没有台风的生成,除1983年首个台风生成于6月25日外,其他2次的首个台风生成日期都在7月:1973年是7月1日和1998年是7月9日,2016年度是7月3日,都晚于常年的首个台风生成日期(3月28日)。所以,2016年首个台风生成时间异常偏晚可能与2016年度超强厄尔尼诺的结束有关。

从 $5^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 的热带和副热带范围一般是西北太平洋台风多发的区域。从2016年6月的500 hPa

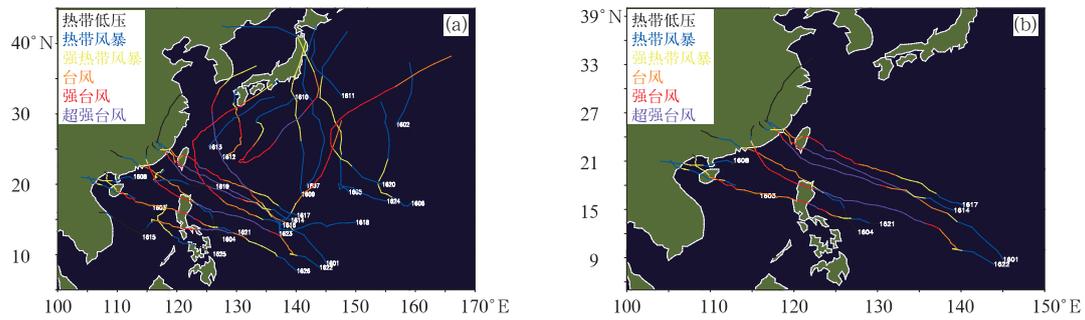


图 1 2016 年西北太平洋全台风(a)和登陆我国台风(b)

Fig. 1 Typhoon tracks of all typhoons (a) and those landing in China (b) in western North Pacific in 2016

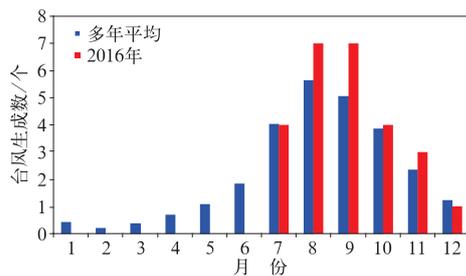


图 2 2016 年与常年西北太平洋台风逐月生成数对比

Fig. 2 Comparison of monthly formation numbers of typhoons in western North Pacific in 2016 and the average numbers in the past 67 years

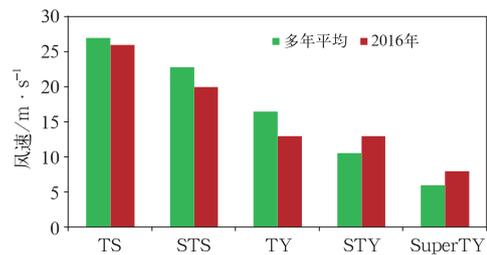


图 3 2016 年和常年台风强度对比

Fig. 3 Comparison of the typhoon intensity in 2016 and the average intensity in the past 67 years

表 1 2016 年登陆台风一览表

Table 1 List of the typhoons landing in China in 2016

台风编号	台风名称	峰值强度/ $m \cdot s^{-1}$	登陆地点	登陆时间/BT	风级	登陆强度 风速/ $m \cdot s^{-1}$	气压/hPa
1601	尼伯特(Nepartak)	72	台湾台东	7月8日05:50	16	55	930
			福建泉州	7月9日13:45	8	20	992
1603	银河(Mirinae)	30	海南万宁	7月26日22:20	10	28	985
1604	妮妲(Nida)	35	广东深圳	8月2日03:35	14	42	960
1608	电母(Dianmu)	23	广东湛江	8月18日15:40	8	20	982
1614	莫兰蒂(Meranti)	75	福建厦门	9月15日03:05	15	48	945
1617	鲇鱼(Megi)	52	台湾花莲	9月27日14:10	14	45	950
			福建泉州	9月28日05:05	12	33	975
1621	莎莉嘉(Sarika)	55	海南万宁	10月18日09:50	13	38	965
			广西东兴	10月19日14:10	8	20	995
1622	海马(Haima)	68	广东汕尾	10月21日12:40	13	38	970
平均登陆强度/平均第一次登陆强度						35.2/39.3	

位势高度场可看出,西北太平洋受稳定的副热带高压(以下简称副高)控制,与多年平均的同月相比,本年6月的副高面积显得十分巨大;副高中心位置相差不大,但是强度偏强;同时,副高西脊点甚至达 $110^{\circ}E$ 以西,直逼北部湾和越南北部海岸附近

(图 5a)。庞大的副高控制了西北太平洋,高压中的下沉气流不利于对流的产生和发展,抑制台风的生成,也使得在厄尔尼诺持续期间,西北太平洋无台风生成成为可能。

与上半年的情形相反,下半年赤道东部的海温

逐渐变低,并向赤道西部延伸,中东太平洋逐渐进入冷位相阶段,对应西北太平洋由近似零距平向正距平发展,到 8 月中东太平洋赤道海温已经进入拉尼娜状态(图 4)。当赤道中东太平洋海温向冷位相发展,西太平洋海温逐渐增高时,赤道海温的东西向梯度加大,可导致位于赤道西太平洋的沃克环流增强,

热带对流发展也趋旺盛,有利于西太平洋的台风生成,这可能是下半年西太平洋生成数明显多于常年的主要原因。

常年的盛夏和秋季是台风的高发时期,主要集中在 7—10 月,在此期间一般有 18.9 个台风生成,2016 年度有 22 个台风生成,偏多约 3 个。在赤道

表 2 2016 年登陆或影响我国的台风至灾情况一览表

Table 2 List of typhoon-induced disaster situation in China in 2016

台风名称	影响地区	受灾人口/ 万人次	死亡失踪人口/ 人	直接经济损失/ 亿元
尼伯特	江西、福建	87.4	105	124.6
银河	海南、广西、云南	25.1	/	3.8
妮妲	湖南、广东、广西、贵州、云南	91.2	2	11.4
电母	广东、广西、海南、云南	153.1	6	31.8
莫兰蒂和马勒卡	上海、江苏、浙江、福建、江西	375.5	44	316.5
鲑鱼	江苏、浙江、福建、江西	237.5	40	91.7
莎莉嘉	海南、广东、广西	358.9	/	49.2
海马	广东、江西、福建	153.8	/	34.4

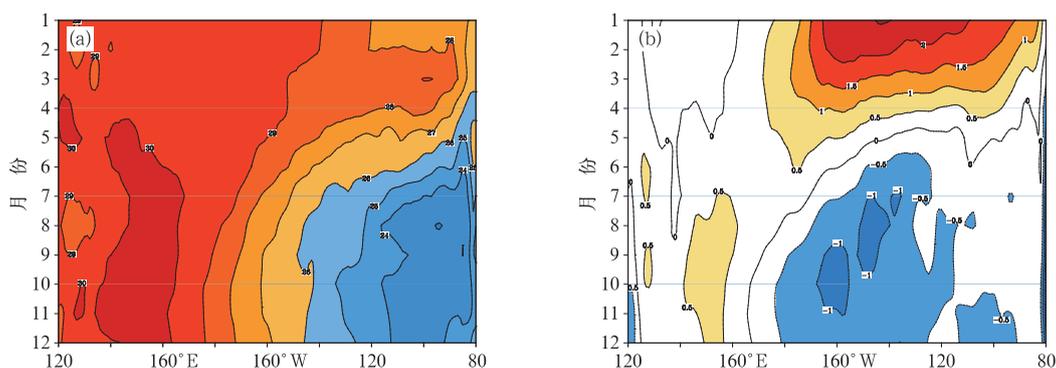


图 4 2016 年 1—12 月赤道太平洋海表温度(a)和距平(b)时间-经度剖面(单位: °C)

Fig. 4 Time-longitude section of monthly mean of equatorial SSTs (a) and equatorial SST anomalies (b) (unit: °C) from January to December 2016

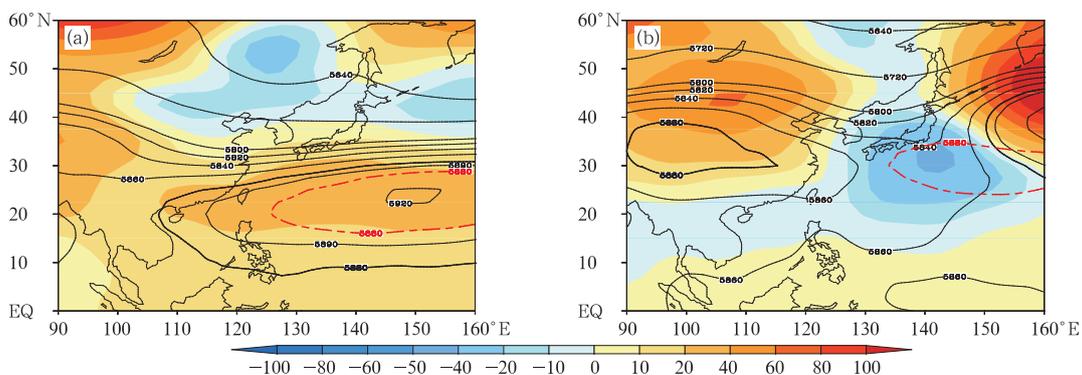


图 5 2016 年西太平洋 6 月(a)和 8 月(b)平均 500 hPa 位势高度(黑实线)和距平(彩色阴影)及多年平均副高位置(红色虚线)(单位: gpm)

Fig. 5 The monthly means of 500 hPa geopotential height (black solid line) and anomaly (colored shadow) in June (a) and August (b) 2016 (Red dotted line represents the perennial average 5880 gpm, unit: gpm)

海温位相的转换过程中,大气环流形势也有较大转换,以 8 月为例,副高脊线明显北抬,但是其中心分裂为东西两个,一个位于日本国东部,一个在我国大陆腹地(图 5b)。热带海洋的大范围区域呈负距平特征,而这一海域即为西北太平洋台风的高发区,在比常年更有利的条件下,2016 年度盛夏和秋季台风生成数明显偏多。

比较逐日副高西段(110°~130°E)脊线时发现,2016 年上半年一般比多年平均位置偏南,7 月开始,尤其是 8 月以后,脊线明显地偏北(图略)。特征说明,当副高脊线偏南时西北太平洋台风生成偏少;当副高脊线偏北时台风生成数偏多,所以副高脊线南北变化可能与台风生成情况有一定的对应关系。

## 2 台风路径预报情况

### 2.1 路径预报平均误差

2016 年度,中央气象台 24、48、72、96 和 120 h 台风路径预报误差(不包括热带低压)分别为 75、144、248、388 和 488 km,各时效误差均高于前一年,其中 24~48 h 小于过去 5 年(2011—2015 年)的平均预报误差,72~120 h 大于过去 5 年的平均预报误差,与近几年路径预报误差逐年下降的趋势相比,2016 年的结果并不理想,尤其是长时效的预报误差明显偏大,且预报时效越长误差增长的幅度越大(图 6)。

图 6 中各条折线趋势的线性拟合直线方程:

$$y = -5.2756x + 209.80 \quad (1)$$

$$y = -10.967x + 400.25 \quad (2)$$

$$y = -12.884x + 525.66 \quad (3)$$

$$y = -19.817x + 786.74 \quad (4)$$

$$y = -18.357x + 860.54 \quad (5)$$

式(1)~式(5)分别表示 1991—2016 年间不同时效预报误差的变化趋势,从中看出,过去 26 年 24、48、72、96 和 120 h 路径预报平均误差分别以每年 5.3、11.0、12.9、19.8 和 18.4 km 的速率在减少(120 h 的资料样本数太少,拟合结果意义不大),这一结果与日本气象厅和美国联合台风警报中心的预报误差趋势基本一致(图略),表明过去二十多年中,中央气象台台风路径预报能力至少与世界同步发展。

### 2.2 路径预报极端误差

定义不同时效 2016 年全部样本 5% 最大误差的平均为极端误差。图 7 显示,随着预报时效的延长,过去 5 年平均误差、2016 年平均误差和 2016 年极端误差近似线性增长,但增长的快慢不同,预报时效每延长 24 h,三种误差的增长幅度约为 81、107 和 400 km。可见,2016 年平均误差随着预报时效延长,误差增长率较过去 5 年平均误差增长率有所增

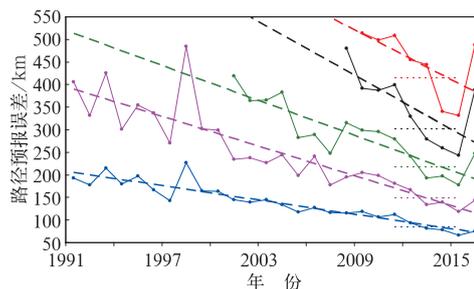


图 6 西北太平洋台风路径预报误差逐年变化 (蓝:24 h 预报误差,紫:48 h 预报误差,绿:72 h 预报误差,黑:96 h 预报误差,红:120 h 预报误差;折线:年平均误差,划线:线性拟合线,点线:5 年平均误差)

Fig. 6 Evolution of annual mean absolute CMA official TC forecast errors from 1991 to 2016 for track errors (24 h: blue; 48 h: purple; 72 h: green; 96 h: black; 120 h: red; polyline: the annual average error; broken line: the linear fitting; dot line: the average error for the past 5 years)

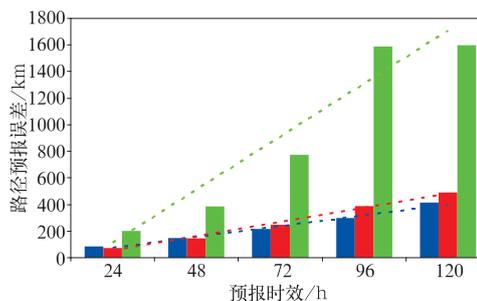


图 7 2016 年中央气象台台风路径预报误差 (蓝:过去 5 年平均误差,红:2016 年平均误差,绿:2016 年极端误差)

Fig. 7 CMA official TC forecast absolute track errors in 2016 (blue: averaged error during 2011—2015; red: averaged error in 2016; green: extreme error in 2016)

加,而极端误差更以 2016 年平均误差约 5 倍的增长幅度快速增长。此规律导致长时效预报误差有时极大。如 7 月 5 日 02 和 08 时 1601 号台风尼伯特(Nepartak)的 120 h 预报误差分别为 1241 和 1243 km;11 月 3 日 08 时 1623 号台风米雷(Meari)的 120、96 h 预报误差分别为 2684 和 2030 km。

### 2.3 路径预报问题的可能原因

由于 NWP 和 EPS 预报水平和可用性的不断提高,已成为业务天气预报的重要参考。自 20 世纪 90 年代至今,台风路径预报误差近似逐年减少的事实(图 6)与此时间 NWP 和 EPS 的迅速发展有关(陈国民等,2015;2017;许映龙等,2015)。从常规 NWP 和 EPS 产品中提取出有用信息,再经过加工可能会得到性能更加优越的预报产品(Qi et al, 2014),指导中央气象台的综合预报。但是提取什么信息需要在业务实践或天气总结中不断摸索,寻找极端误差发生时的某些要素特征应该是有效的方法之一。

2016 年 120 h 极端误差约 1599 km,是平均误差的 3.3 倍,个别台风的最大误差竟超过 2000 km。图 8a 和 8b 分别是“尼伯特”和“米雷”最大预报误差时刻可供参考的 EC-EPS 预报产品、EC 确定性预报和 TYTEC、综合预报路径。通过计算得到,EC-EPS 120 h 的发散度分别为 956.4 和 566.8 km,与有关文献(Lei et al,2017)记录的 2016 年全年 EC-ESP 120 h 路径预报平均发散度约 470 km 比较,明

显偏大。EPS 各成员间的发散度很大时,综合预报误差很大,而且对应时次的 TYTEC 路径预报(图 8a 和 8b 中绿色粗线)误差同样很大。

图 8c 所示,7 月 5 日以前的台风尼伯特综合预报路径在我国华东及东部近海摆动,有时预报登陆台湾后再登陆浙江,有时预报穿过台湾北部后在浙江东部近海转向,这与台风前期预报的 ESP 发散度很大,以及集合平均、TYTEC 和确定性等预报的摆动不无关系(图略)。

理论上,EPS 每一成员的结果都有相同的出现概率,以此为基础的 TYTEC 方法是从 EPS 中寻找几个可能的最优成员再进行平均而得到的确定性预报,其预报精度较所有成员的集合平均,甚至确定性模式的结果,都有所提高(钱奇峰等,2014)。但是,对于上述三个在极端情况下台风,提高的幅度不很明显,说明 TYTEC 技术方法存在一定的局限。该方法的局限可能主要是由于没有考虑台风的环境背景条件所致。

台风运动的主要机制是引导气流的作用,能够引导台风运动的是台风周围的大尺度天气系统,分析这些系统及其变化是台风路径综合预报的着眼点。EPS 中每一个成员的路径预报都可以认为是该成员中大尺度天气系统作用下得到的结果,但是若分析每个成员在时间和精力上是困难的,一般情况下只分析确定性模式的影响系统。

以“尼伯特”为例,在其生成以后,西太平洋副高位于北侧,是影响其移动的主要大尺度天气系统。

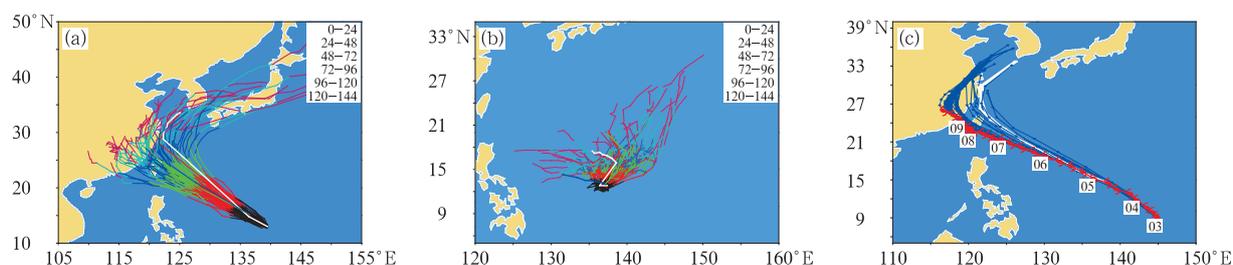


图 8 2016 年(a)7 月 5 日 08 时,(b)11 月 3 日 08 时分别制作“尼伯特”和“米雷”综合预报时刻可供参考的集合预报(细线)、集合平均(粗红线)、EC 确定性(粗白色)、TYTEC(粗绿线)和综合预报路径(粗蓝线),(c)7 月 3—10 日台风尼伯特实况路径(红,所标黑色数字为当日 08 时位置点)、5 日 02 和 08 时(白)和其他时间(蓝)综合台风预报路径

Fig. 8 Comprehensive track forecasts of “Nepartak” at 08:00 BT 5 July (a) and “Meari” at 08:00 BT 3 November (b) 2016 and available EPS and NWP products (thin colored lines: members of EPS, thick red line: mean track, thick white line: deterministic track, thick green line: TYTEC); (c) tracks and forecasts of ‘Nepartak’ during 3 to 10 July (red lines: observed tracks, black digits: location at 08:00 BT; white lines: forecast tracks at 02:00 BT and 08:00 BT 5 July; blue lines: forecast tracks at other times on 5 July 2016)

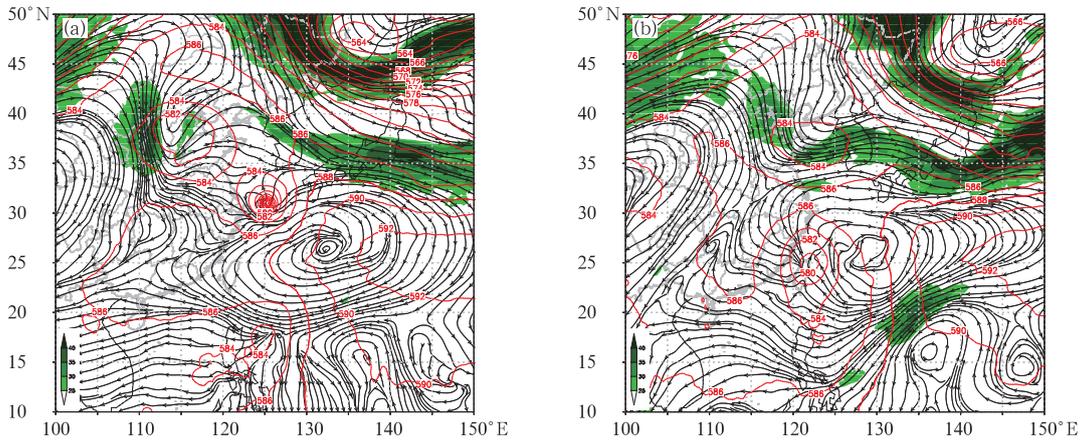


图 9 2016 年 7 月 4 日 20 时 120 h(a) 和 9 日 20 时 000 h(b)EC 500 hPa 位势高度线和 200 hPa 流线  
(阴影为 200 hPa  $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上等风速线, 间隔  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Fig. 9 ECMWF 500 hPa geopotential height and 200 hPa streamlines at (a) 120 h 20:00 BT 4 July, (b) 000 h 20:00 BT 9 July 2016  
(shaded: wind speed  $\geq 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , interval:  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  in 200 hPa)

预报员一般认为,台风移动除受副高作用外,还与高层北侧的副热带急流有关:当急流强盛时副高较强,其南侧东风较大,台风西移登陆我国的几率较大;当急流较弱时副高较弱且偏东,台风转向的几率较大。文献(Guard, 1977)认为,NWP 对于高层副热带急流的预报系统性地偏弱。对比图 9a 和 9b 发现,7 月 4 日 120 h 200 hPa 的副热带急流明显偏弱于 9 日初始分析场中的急流和急流南侧的反气旋环流中心,且比 4 日 120 h 的预报偏西,台风没有在海上转向,甚至没有在偏北的浙江登陆。为此,中央气象台在 5 日以后对前期的预报路径做出明显的调整,基本是遵循这一思路。5 日后预报台风将稳定地在台湾南部和福建附近活动,收到了很好的效果。同时也表明,检验和评估影响台风运动的天气系统,以及 NWP 对各个天气系统的预报能力,在综合预报中准确地把握其特征,可能会使预报精度得到一定的提高。

### 3 台风强度预报情况

#### 3.1 总平均误差和极端误差

在台风强度预报方面,2016 年度,中央气象台 24、48、72、96 和 120 h 台风强度预报误差(不包括热带低压)分别为  $5.5$ 、 $7.7$ 、 $7.8$ 、 $8.5$  和  $9.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,分别都大于 2015 年相应时效的预报误差(图略)。总之,强度预报精度没有提高。

计算全样本的 2016 年平均误差和 5% 样本的极端误差,发现:随着预报时效的延长,平均误差和极端误差有所增长,但增长幅度不大,预报时效每延长 24 h,前者增长约  $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、后者增长约  $0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。如前所知,路径误差每 24 h 的增长幅度大于 24 h 年平均误差,而强度误差的增长幅度不到年平均误差的  $1/5$ ,故本文将只讨论 24 h 的强度预报误差。

如果去除掉 2016 年 5% 样本的极端误差个例,年平均误差可由  $5.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  下降到  $4.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,可见极端误差严重影响了年度总体预报水平的提高。普查出现极端误差的 7 个台风中 6 个是强台风或超强台风,误差范围  $15 \sim 26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,如 7 月 5 日 08 时 1601 号台风尼伯特 24 h 的强度预报,误差高达  $26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，“妮妲”、“莫兰蒂”有几个时次的预报误差在  $20 \sim 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。一般情况下,快速增强的台风,预报偏弱(图 10a);慢速增强的台风,预报偏强(图 10b);匀速且增强速率稳定的台风,预报较为准确(图 10c)。强度变化幅度较大的台风,如 1618 号台风暹芭,在其增长速度慢的阶段,预报增强偏快;在其增长速度快的阶段,预报增强偏慢(图 10d)。另外,实况变化曲线很不均匀,有时较快,有时较慢,但是预报的强度增长率比较平稳,一般 24 h 内增长  $6 \sim 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 10),对于此种增长幅度的台风,预报误差较小。1617 号台风鲇鱼大部分时段的增长幅度在  $6 \sim 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,此台风的强度预报平均误差仅为  $2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,远远小于年度总的平均误差。

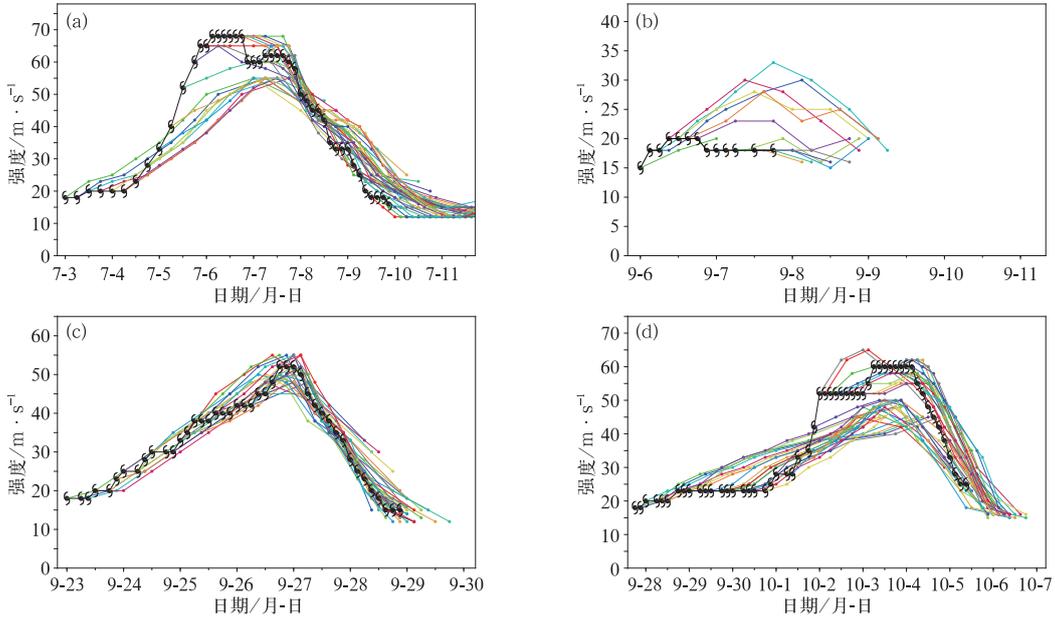


图 10 2016 年台风尼伯特(a), 玛瑙(b), 鲑鱼(c)和暹芭(d)强度变化和强度预报图  
(黑色: 实况强度, 彩色: 不同时次的预报强度)

Fig. 10 Time series of Typhoons Nepartak (a), Malou (b), Megi (c) and Chaba (d) intensity forecast in 2016

(Black line is the CMA operational best-track, colored line is the forecast intensity at different times)

### 3.2 强度预报中的问题

在实际业务中, 台风的强度预报仍以主观预报为主, 定性地判断台风生成和加强的 6 个必要条件是足够高的海表温度、层结对流不稳定、中层水汽含量高、热力条件和足够的科氏力、小的环境风垂直切变、低层正涡度扰动等动力条件 (Gray, 1968)。热力条件一般是随季节而变的慢变过程, 海表温度、空气的湿度以及层结不稳定等条件, 在台风的生命期内, 如果没有明显的冷空气的侵扰, 一般不会有明显的变化。如“尼伯特”生成地附近及其移动前方, 一直到我国台湾岛东部沿海, 海表温度持续保持在 28~30℃ 或以上 (图略), 远高于台风生成和发展所要求的下限 26.5℃。“尼伯特”从东南向西北方向移过的洋面上, 海表温度和不稳定能量逐渐升高, 比湿分布均匀 (图 11), 通常都在 12 g·kg<sup>-1</sup> 以上, 这些都是台风发展的有利的热力条件。

有利于台风增强的动力条件主要包括小的环境风垂直切变和强的高空辐散。仍以“尼伯特”为例, 在向西北方向或西北偏西方向移动的过程中一般都有明显的高空辐散, 在北侧有向北的流出, 南侧有向西南方向的流出, 南北双通道流出形成强的高空辐

散气流 (图略), 有利于高层对台风的抽吸作用, 从而增强台风中的低层辐合、上升运动和水汽在上升过程中的潜热释放, 使得台风进一步加强 (Zehr, 1992; Chen and Gray, 1985)。分析表明, 台风处于

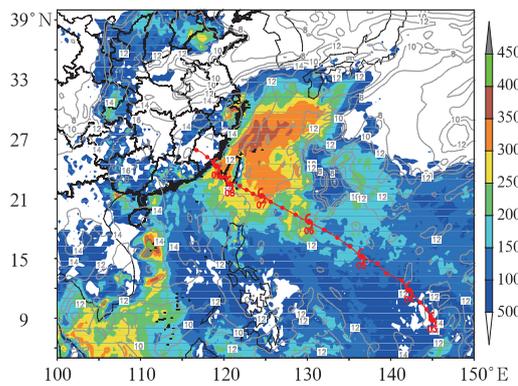


图 11 2016 年 7 月 3 日 08 时 500 hPa 比湿 (灰实线, 单位: g·kg<sup>-1</sup>)、对流有效位能 (阴影, 单位: J·kg<sup>-1</sup>) 和 3—10 日台风尼伯特实况路径  
Fig. 11 Special humidity at 500 hPa (grey solid line, unit: g·kg<sup>-1</sup>) and CAPE (shaded area, unit: J·kg<sup>-1</sup>) at 08:00 BT 3 July and track of the Typhoon Neparak during 3 to 10 July 2016

有利的热力和动力环境时,可以判定台风将增强,可能快速增强。但是,由于目前对台风的认识水平和能力只局限于这些必要条件的定性了解,还没有建立台风增强快慢与环境热力和动力参数的定量关系,台风强度预报仍以主观判断为主,预报其增长速率仍然是一个世界性的难题。

## 4 结论和讨论

厄尔尼诺事件在2016年5月结束,之后向拉尼娜状态转变,与此相应的台风活动也具有明显的年度特征;尽管每个台风的路径、强度和由其带来的狂风暴雨一般都有自身的特征,通过对台风的年度特征和预报过程的分析,得出以下几个主要结论:

(1) 与常年相比,2016年度台风生成数基本持平,登陆数偏多;生成时段疏密不均,淡季空台,旺季偏多;强台风占生成总数的概率明显偏大;登陆台风的强度偏强,登陆地段明显偏南。此外,2016年度台风对我国的影响范围广,灾情大。

(2) 长时效台风路径预报的极端误差非常大,72~120 h的误差有时大于1000 km,个别情况竟在2000 km以上,可将其视作无价值的预报。极端误差常常发生在EPS发散度大的情况下,而预报员可以尝试通过对NWP大尺度天气系统预报性能和系统性误差的掌握,调整NWP台风路径,可能会得到精度更高的综合预报产品。

(3) 过去十多年中台风强度预报能力几乎没有提高,24 h强度预报误差一般在 $4\sim 5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 徘徊,而2016年超过 $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,最大的误差竟在 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上。误差的大小与台风的增强速率有关,不管台风强度增长得快或慢,强度预报一般是每24 h增强 $6\sim 10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这可能与强度的综合预报过程中几乎没有可供参考的定量产品有关。台风强度预报这一世界性难题如何得以解答,可能还有待时日。

此外,2016年度受台风影响,华东、华南出现了12级以上的瞬时大风,其中,局地瞬时风达17级或17级以上,华东、华南和华中多地出现100 mm以上的降水,华南个别站点过程降水竟达1000~1083 mm,虽然台风暴雨预报基本偏好,但是空报和漏报时有发生,预报效果常常不尽如意,这是未来台风研究领域的一个重要内容。由于篇幅所限,本文将不再讨论台风降水大风预报和服务,以后的工作将对

其再做详细的分析。

## 参考文献

- 陈国民,白莉娜,万日金,2017. 2015年西北太平洋热带气旋预报精度评定[J]. 气象,43(4):501-507.
- 陈国民,曹庆,白莉娜,2015. 2014年西北太平洋热带气旋预报精度评定[J]. 气象,41(12):1554-1561.
- 陈联寿,丁一汇,1979. 西太平洋台风概论[M]. 北京:科学出版社:491.
- 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:370.
- 高拴柱,2001. 环境地转基本气流的计算及热带气旋运动与其偏差的统计分析[J]. 热带气象学报,17(2):155-162.
- 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.
- 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.
- 许映龙,董林,黄奕武,2016. 2015年台风活动特征及主要预报技术难点[J]. 天气预报,8(1):58-66.
- 许映龙,吕心艳,张玲,等,2015. 1323号强台风非特特点及预报难点分析[J]. 气象,41(10):1222-1231.
- 竺筵英,宋文玲,2017. 2016年秋季中国气候特征及其可能成因[J]. 气象,43(4):495-500.
- Chan J C L, Gray W M, 1982. Tropical cyclone movement and surrounding flow relationships[J]. Mon Wea Rev, 110(10):1354-1374.
- Chen L, Gray W M, 1985. Global view of the upper level outflow patterns associated with tropical cyclone intensity changes during FGGE[M]. Colorado: Colorado State University:126.
- Dong Keqin, Neumann C J, 1986. The relationship between tropical cyclone motion and environmental geostrophic flows[J]. Mon Wea Rev, 76(114):629-640.
- Dong Lin, Zhang Fuqing, 2016. OBEST: an observation-based ensemble subsetting technique for tropical cyclone track prediction [J]. Wea Forecasting, 31(1):57-70.
- Gray W M, 1968. Global view of the origin of tropical disturbances and storms[J]. Mon Wea Rev, 96(10):669-700.
- Guard C P, 1977. Operational application of a tropical cyclone recurvature/non-recurvature study based on 200 mb wind fields[R]. FLEWEACEN Tech Note: JTWC 77-1, San Francisco: Fleet Weather Central/Joint Typhoon Warning Center FPO:96630.
- Lei Xiaotu, Chen Guomin, Zhang Xiping, et al, 2017. Performance of tropical cyclone forecast in western North Pacific in 2016[R]. ESCAP/WMO Typhoon Committee (in print).
- 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.
- Zehr R M, 1992. Tropical cyclogenesis in the western North Pacific [D]. Fort Collins, CO: Colorado State University.