

许映龙,黄奕武.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,2017,37(1):31-41.
Xu Yinglong, Huang Yiwu. The activity characteristics and forecasting difficulties of tropical cyclones over Western North Pacific and South China Sea in 2015[J].Journal of Marine Meteorology, 2017, 37(1): 31-41. DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.01.004. (in Chinese)

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

许映龙^{1,2},黄奕武¹

(1. 国家气象中心,北京 100081; 2. 中国科学院大学,北京 100049)

摘要: 利用常规气象观测资料、1949—2015年中国气象局台风最佳路径资料、2015年中日美台风实时定位资料、 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 的NOAA/OISST月平均海温资料和NCEP/FNL再分析资料以及 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 的NCEP-RTG实时海温等资料,对2015年西北太平洋和南海台风活动的主要特征、厄尔尼诺对该年台风整体活动的影响、1508号台风“鲸鱼”实时定位、1522号台风“彩虹”近海急剧加强预报、1510号台风“莲花”和1521号台风“杜鹃”长时效路径预报以及地面观测系统存在的薄弱环节等主要业务技术难点和问题进行了初步分析。结果表明:1)2015年台风活动活跃期不明显,呈现生成总数与多年平均持平、南海台风偏少、生成源地偏东、强度强、超强台风异常偏多、登陆个数及频次偏少等特征。2)2015年台风主要活动特征与极强厄尔尼诺事件关系密切,但厄尔尼诺对台风的影响不是单一的,其影响物理机制尚待深入研究。3)台风“鲸鱼”实时业务定位的精度直接影响其登陆预报的精度,综合应用多源观测资料、规范台风定位业务流程,有利于台风定位和路径预报精度的提高。4)台风快速增强和路径长时效预报仍是台风业务的主要技术瓶颈,高分辨率台风-海-气-浪耦合模式、集合预报及相关动力统计模式和天气物理概念模型的研发改进将是未来的主要解决技术途径。5)中国地面观测系统尚不具备对极端台风的监测能力,在沿海受台风影响的重点区域(包括海岛)布设先进的重型机械式强风仪,将有助于提高对极端台风事件的监测能力。

关键词: 台风; 活动特征; 预报技术难点; 快速增强; 高层流出气流; 集合预报

中图分类号: P457.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2017)01-0031-11

DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.01.004

The activity characteristics and forecasting difficulties of tropical cyclones over Western North Pacific and South China Sea in 2015

XU Yinglong^{1,2}, HUANG Yiwu¹

(1. National Meteorological Center, Beijing 100081, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract By using conventional observational data, CMA Tropical Cyclone Best Track Dataset from 1949 to 2015, real time track by CMA, Japan Meteorological Agency (JMA) and Joint Typhoon Warning Center (JTWC), monthly NOAA optimum interpolation sea surface temperature data ($1^{\circ}\times 1^{\circ}$), NCEP FNL reanalysis data ($1^{\circ}\times 1^{\circ}$) and NCEP real-time global sea surface temperature data ($0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$), some preliminary analyses are made about the main forecasting technical difficulties and problems for operational TC forecasting and warning in 2015, such as the main activity characteristics of TCs over Western North Pacific and South China Sea, the influence of El Niño on TC activity, the real time

收稿日期:2017-02-01; 修订日期:2017-03-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41275066)

作者简介:许映龙(1968—),男,研究员级高级工程师,主要从事台风监测及预报技术研究,xuyl@cma.gov.cn。

通信作者:黄奕武(1983—),男,硕士研究生,工程师,主要从事台风监测及预报技术研究,huangyiwu@cma.gov.cn。

operational positioning for Typhoon Kujira (1508), the rapid intensification forecasting of Typhoon Mujigae (1522) over coastal waters, the long time track forecasting for Typhoon Linfa (1510) and Typhoon Dujuan (1521) and some weaknesses in surface observation system. The results show that: 1) There is not an obvious active stage during 2015 TC season, which is characterized by: almost same annual formation frequency as the long-time average, fewer TCs over South China Sea, more easterly TC origins, stronger intensity, abnormally more super typhoons, fewer landing number and lower landing frequency and so on. 2) The main TC activity characteristics in 2015 are closely related to the strong El Niño event, and its physical mechanism is still to be further studied. 3) The accuracy of real-time operational positioning of Typhoon Kujira (1508) directly affected its landing forecasting. The application of multi-source observation data and the standardized operational TC positioning flow is useful for improving TC positioning and track forecasting. 4) The rapid intensification and long-term track forecasting are still major technical bottlenecks in operational TC forecasting and warning, and the development of TC high-resolution sea-air-wave coupling model, ensemble forecast, dynamic statistical model and synoptic physics concept model will be the main technical approach in future. 5) Current surface observation network in China does not have the ability to monitor extreme TCs, and it could be improved by deploying more advanced heavy-duty mechanical strong wind anemograph in key coastal areas (including islands) affected by TCs.

Key words tropical cyclone; activity characteristics; forecast difficulties; rapid intensification; upper-level outflow; ensemble forecasting

引言

中国地处西北太平洋西岸,大陆海岸线长达18 800多千米,特殊的地理位置和漫长的海岸线,决定了沿海各省自南向北均可能受到台风活动的影响。据统计,平均每年约有7个台风在沿海地区登陆,居世界首位。台风登陆时所伴随的狂风、暴雨和风暴潮常常给沿海及内陆地区造成重大的经济损失和人员伤亡,因此台风业务预报及相关理论技术研究一直是中国气象部门及相关研究部门最为重要课题之一。

近20多年来,随着气象探测体系、数值模式和集合预报系统以及资料同化技术的发展和业务应用,中国台风业务预报取得了长足的进步,在国家防台减灾中的重要作用日益显现。但随着中国经济社会的快速发展,目前台风监测预警水平尚远远不能满足各行业对台风预报的精细化服务需求,如对于台风异常路径、台风近海快速增强以及台风长时效路径预报等方面预报误差还较大。台风路径和强度预报的偏差,常导致台风登陆地点预报范围过大、风雨影响出现偏差,成为制约防台工作的重大瓶颈,限制了台风防御工作的精细化、科学化水平。

2015年,中央气象台24 h、48 h、72 h、96 h和

120 h台风路径预报误差分别为66 km、120 km、176 km、244 km和329 km^[1],整体上均优于2014年(84 km、146 km、205 km、280 km和415 km)^[2]和过去5年(2010—2014年)平均的预报水平(100 km、173 km、260 km、333 km和501 km)^[2-6],达到历史最好,且整体上与日本气象厅(68 km、118 km、171 km、255 km和359 km)和美国联合台风警报中心(72 km、113 km、171 km、242 km和343 km)的预报水平相当或略优一些^[1],其中,24 h台风路径预报误差首次低于70 km。在台风强度预报方面,中央气象台24 h、48 h和72 h台风强度预报误差分别为4.3 m·s⁻¹、6.4 m·s⁻¹和7.6 m·s⁻¹^[1],除72 h较2014年(5.1 m·s⁻¹、7.5 m·s⁻¹和7.4 m·s⁻¹)^[2]和过去5年(4.6 m·s⁻¹、6.7 m·s⁻¹和7.3 m·s⁻¹)^[2-6]的平均误差水平有所增大外,24 h和48 h时效均较2014年和近5年平均水平有所降低,且好于日本气象厅(5.1 m·s⁻¹、8.0 m·s⁻¹和9.4 m·s⁻¹)和美国联合台风警报中心(4.9 m·s⁻¹、7.1 m·s⁻¹和8.1 m·s⁻¹)的预报水平^[1]。

2015年,中央气象台台风路径强度预报整体上均较为准确,但对个别台风的预报则不尽人意,如1508号台风“鲸鱼”在登陆前不到1 h发布的台风黄色预警中报错了登陆地段,其原因是业务实时定位出现较大的偏差;又如1510号台风“莲花”和

1521 号台风“杜鹃”的 120 h 长时效路径预报以及 1522 号台风“彩虹”近海急剧加强的预报均出现了较大的偏差。此外,“彩虹”登陆导致登陆点附近几乎所有地面观测系统毁损或瘫痪,使得台风预报服务工作一度出现被动局面。

此文将利用常规气象观测资料、1949—2015 年中国气象局台风最佳路径资料、2015 年中日美台风实时定位资料、NOAA/OISST(V2)月平均海温资料($1^{\circ} \times 1^{\circ}$)、NCEP/FNL 再分析资料($1^{\circ} \times 1^{\circ}$)以及 NCEP-RTG 实时海温资料($0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$)等,首先对 2015 年西北太平洋和南海台风活动的主要特征进行简单回顾,然后对该年度台风业务中的主要业务

技术难点和问题进行讨论,以期对未来台风业务预报提供参考。

1 2015 年台风活动特征

1.1 生成数与多年平均持平 and 登陆数偏少特征

2015 年,西北太平洋和南海海域共有 27 个台风生成(图 1a),与多年平均值(约 27.0 个)持平(图 2a)。其中,有 5 个台风先后登陆中国沿海地区(图 1b),登陆数较多年平均值(约 7.0 个)偏少 2 个(图 2b),登陆比例为 18.5%,低于多年平均值(25.8%)。此外,还有 9 个虽未登陆中国,但仍对中国海域或沿海地区带来一定影响(图 1a)。

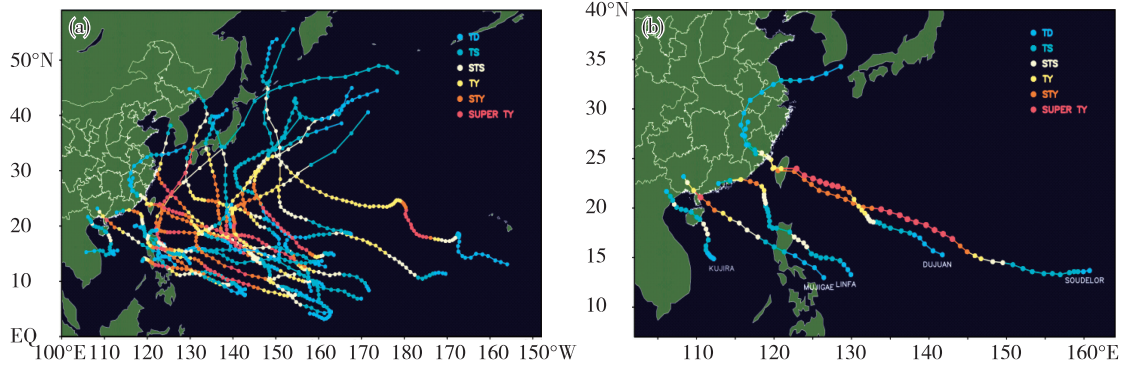


图 1 2015 年西北太平洋和南海 (a) 和登陆中国 (b) 台风路径图
Fig.1 The tracks of TCs over Western North Pacific and South China Sea (a) and those made landfall over China coastal areas (b) in 2015

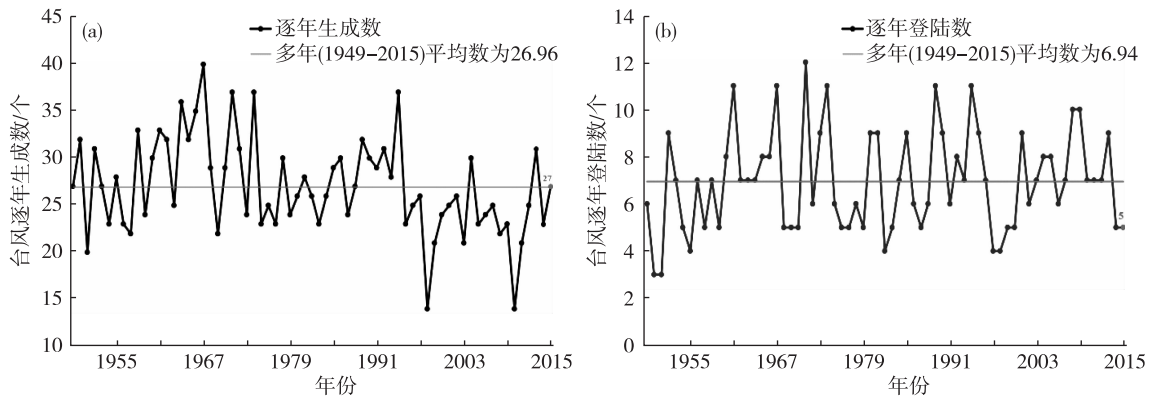


图 2 1949—2015 年西北太平洋和南海逐年生成台风频数 (a) 和逐年登陆中国台风频数 (b) 变化曲线
Fig.2 The change curves of the annual TC formation frequency over Western North Pacific and South China Sea (a) and the annual frequency of TC landing on China (b) from 1949 to 2015

1.2 台风活跃期不明显特征

2015 年,逐月均有台风发生。其中,1—6 月的台风非活跃期中共有 9 个台风形成,比多年平均值(4.7 个)约多 1 倍;而在 7—10 月的台风活跃期,共有 16 个台风生成,较多年平均值(18.6 个)偏少 2.6

个。此年度台风非活跃期主要集中在盛夏(8 月)、秋末及初冬(11—12 月),期间共有 5 个台风生成,较多年平均值(9.3 个)偏少 4.3 个(图 3)。

1.3 生成源地偏东和南海台风活动偏少特征

2015 年,在 $150^{\circ}E$ 以东海域有多达 14 个台风

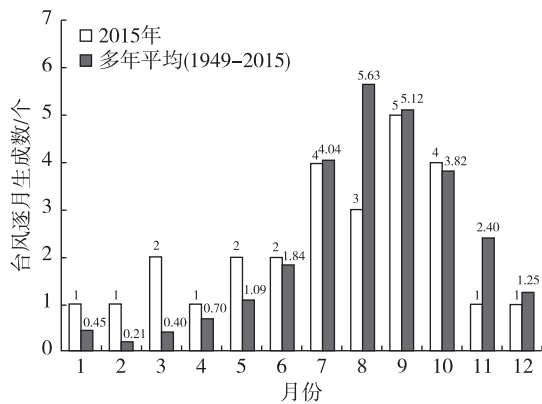


图3 2015年西北太平洋和南海逐月与多年(1949—2015年)逐月生成台风频数对比

Fig. 3 The comparison of the monthly TC formation frequency between 2015 and 1949—2015 over Western North Pacific and South China Sea

生成(图4),占生成总数的51.85%,远高于多年平均值(20.15%)。作为台风生成多发区的菲律宾以东洋面(150°E以西)及南海仅有13个台风发生,占生成总数的48.15%,远低于多年平均值(79.85%)。特别是南海海域(120°E以西海域)只有2个台风生成,仅占总数的7.41%,还不到多年平均值(4.6个和16.89%)的一半。

1.4 台风强度偏强和超强台风异常偏多特征

2015年,台风的平均极值强度为 $46.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (15级),高于多年平均值($40.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,13级)。其

中,中心最大风速极值为 $17.2 \sim 32.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (8~11级)的台风出现频率为22.2%,低于多年平均值(38.7%);而中心最大风速极值大于等于 $32.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (12级以上)的台风出现频率为77.8%,高于多年平均值(61.3%)。尤其是中心最大风速极值大于等于 $41.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (14级及以上)的台风出现频率为70.4%,远高于多年平均值(39.3%)。中心最大风速极值大于等于 $51.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (16级及以上)的超强台风异常偏多,高达15个,占该年台风总数的55.6%,比多年平均值(6个,22.1%)多出1倍以上(表1)。

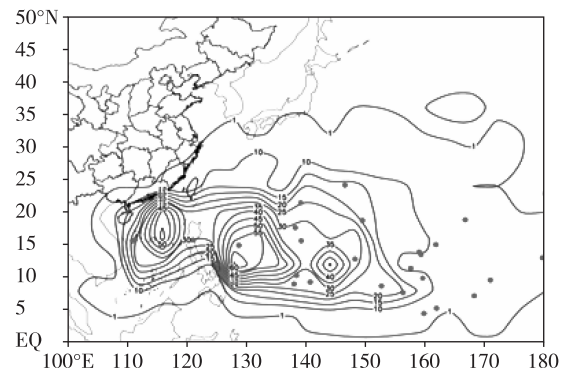


图4 1949—2014年西北太平洋和南海台风生成源地密度分布(等值线,单位:个/ πR^2 , $R=250 \text{ km}$)与2015年台风生成位置分布(点)

Fig. 4 The TCs' origin distribution in 1949—2014 (isoline, incident/ πR^2 , $R=250 \text{ km}$) and the TCs generating location in 2015 (dot) over Western North Pacific and South China Sea

表1 2015年台风极值强度分布与历史多年(1949—2015年)情况对比

Table 1 The comparison of TCs' extreme intensity distribution between 2015 and 1949—2015

台风中心风速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	17.2~24.4	24.5~32.6	32.7~41.4	41.5~50.9	≥ 51.0	合计
1949—2015年生成数/个	276	423	397	311	399	1 806
多年平均生成数(1949—2015年)/个	4.12	6.31	5.93	4.64	5.96	26.96
2015年生成数/个	4	2	2	4	15	27
2015年百分比/%	14.81	7.41	7.41	14.81	55.56	100.00
多年平均百分比(1949—2015年)/%	15.28	23.42	21.98	17.22	22.09	100.00

1.5 登陆频次偏少和登陆强度偏强特征

2015年,共有5个台风7次登陆中国沿海地区(表2)。其中,广东和台湾各2个(不含二次登陆)、海南1个。登陆中国的台风个数和频次均较多年平均值偏少(图5)。

此外,5个登陆中国台风的平均登陆强度为 $38.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (13级),明显强于多年平均登陆强度值($31.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,11级)。其中,1522号台风“彩虹”登陆广东湛江时中心风速达 $52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (16级),为1949年以来10月登陆中国最强台风。

表 2 2015 年登陆中国台风一览表

Table 2 The list of TCs made landfall over China in 2015

台风编号	中英文名称	极值强度	登陆地点	登陆时间	登陆强度		
					风力/级	风速/(m·s ⁻¹)	中心气压/hPa
1508	鲸鱼(Kujira)	强热带风暴	海南万宁	6月22日18:20	10	25	982
1510	莲花(Linfa)	强台风	广东陆丰	7月9日12:05	13	38	965
1513	苏迪罗(Soudelor)	超强台风	台湾花莲	8月8日04:40	15	48	940
			福建莆田	8月8日22:10	11	30	980
1521	杜鹃(Dujuan)	超强台风	台湾宜兰	9月28日17:50	15	48	945
			福建莆田	9月29日08:50	10	28	985
1522	彩虹(Mujigae)	超强台风	广东湛江	10月4日14:10	16	52	935

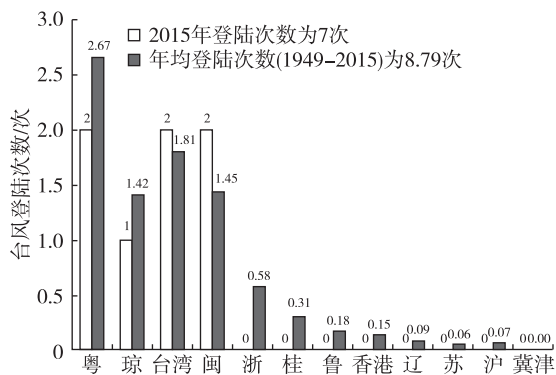


图 5 多年(1949—2015年)与2015年登陆台风在中国各省市区的分布对比

Fig.5 The comparison of the provincial distribution of TCs made landfall over China between 2015 and 1949—2015

2 主要业务技术难点和问题

2.1 厄尔尼诺对台风活动的影响

根据美国 NOAA/OISST(1°×1°)的监测数据表明,2015年,赤道中东太平洋表层海水持续偏暖,厄尔尼诺事件持续发展,尤其自夏季开始,异常高海温距平区向西扩展(图 6a-c),并在 10 月达到最强(图 6d),其后中心强度有所减弱(图 6e)。12 月,大于 3.2 °C 距平的暖海温区位于 165°W 以东的赤道东太平洋广阔海域(图 6f),中心位于 107°W 附近,强度达到 4.0 °C。截止 12 月底,厄尔尼诺海温距平指数累计达到 28.0 °C,达到极强厄尔尼诺事件标准(海温距平累计指数大于等于 16.6 °C)^[7]。

过去大量研究指出^[8-10],厄尔尼诺年,赤道东太平洋变暖时,热带西北太平洋变冷、大气稳定度增加,不利于积云对流在热带西太平洋发展,台风生成数相应会减少,登陆中国的数量也会较常年偏少。2015 年,赤道中东太平洋表层海水持续偏暖,

强度异常偏强,导致台风生成源地偏东、南海台风偏少、台风活跃期不明显,而源地偏东则有利于台风在海上发展。但生成总数却与多年平均持平,较 30 a(1981—2010 年)气候平均值(25.5 个)则偏多。表明厄尔尼诺对台风活动的影响并不是单一的,其中所涉及的对海洋、大气以及天气气候影响的物理机制仍有待进一步深入研究。

2.2 “鲸鱼”业务定位问题

在台风业务预报中,台风预报的质量依赖于台风初始定位和定强的精度,尤其是当台风即将登陆时,高精度的台风定位和定强对短期预报至关重要^[11]。较大的定位和定强误差往往会导致台风业务预报出现重大偏差或失误,如当台风初始定位误差为 25 km 时,48 h 路径预报的误差可达 300 km 以上^[12],且初始定位偏差可影响所有时效的路径预报结果,而一些大的、近乎灾难性的预报误差是由于使用卫星资料定位分析时追踪了不正确的特征或局部环流中心所致^[12]。

在 1508 号台风“鲸鱼”预报服务过程中,“鲸鱼”强度较弱,从卫星云图(图略)上很难确定其中心位置,因此包括中央气象台、日本气象厅和美国联合台风警报中心等国内外业务中心所确定的“鲸鱼”中心位置均存在较大的差异,三家业务中心之间的定位差异达 60~100 km(图 7a)。由于台风定位存在困难,国内外各业务中心的定位差异较大,中央气象台自 6 月 22 日 13 时后的逐小时定位出现较大偏差,“鲸鱼”本应是向西北移动,而逐小时实时定位则显示是先向东北、后向偏北移动,并移过海南万宁所在纬度,因此中央气象台 22 日 18 时发布的台风黄色预警预报“鲸鱼”将于 22 日夜间在海南琼海到文昌一带沿海登陆,而 50 min 后却发现“鲸鱼”已在万宁登陆,出现奇异的西南折路径(图

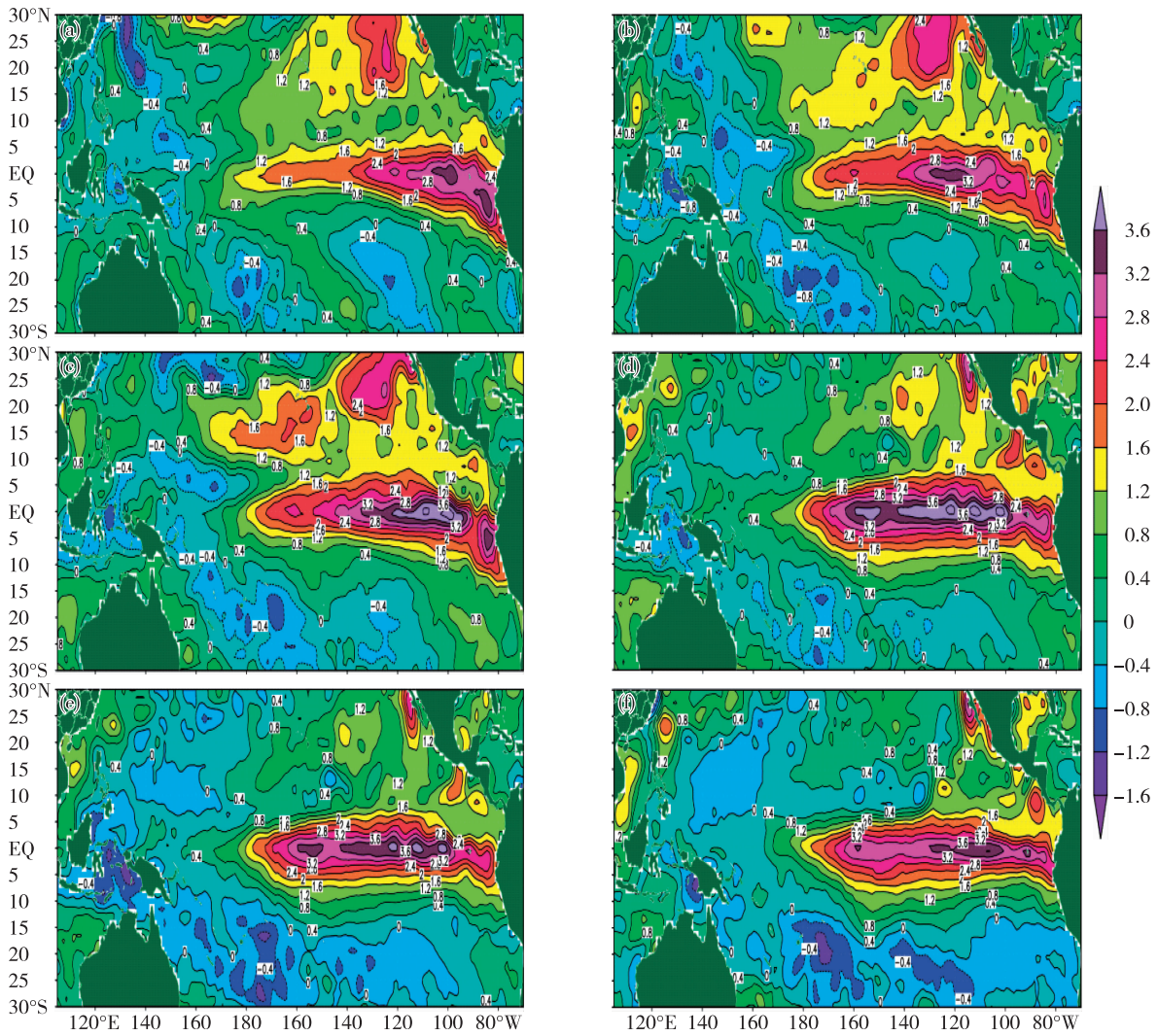


图6 2015年入夏以后海表温度(OISST)距平分布(单位:°C)(a. 7月,b. 8月,c. 9月,d. 10月,e. 11月,f. 12月)

Fig.6 The sea surface temperature (OISST) anomaly distribution after the summer in 2015 (unit:°C) (a. July, b. August, c. September, d. October, e. November, f. December)

7b)。正是实时业务定位出现偏差,导致“鲸鱼”登陆地点预报错误,预报服务效果受到较大影响。

因此,为了提高台风业务定位的精度,特别是台风登陆前的关键服务阶段的定位精度,在实时业

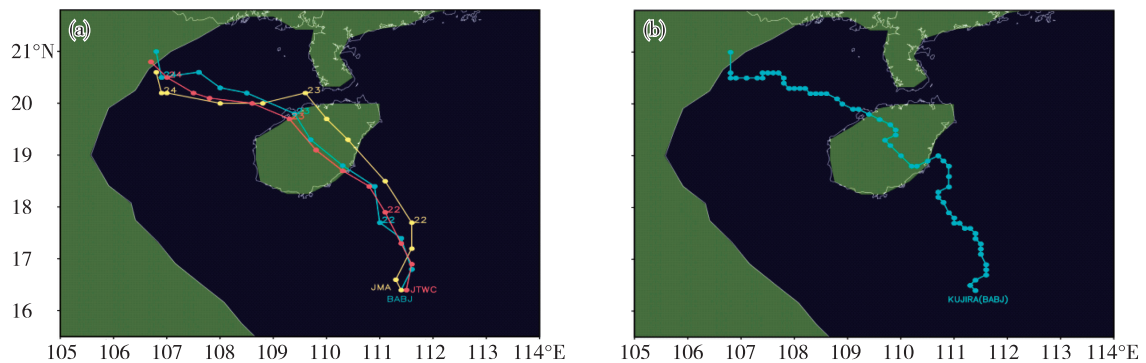


图7 1508号台风“鲸鱼”(KUJIRA)中日美6h(a)和中央气象台1h(b)间隔实时业务路径(青、黄和红色分别表示中日美路径,数字表示日期)

Fig.7 The real time operational tracks of Typhoon Kujira (1508) at 6-hour (a) and 1-hour (b, CMA) interval(cyan, yellow and red lines indicate CMA, JMA and JTWC respectively; the number implies date)

务定位过程中,必须综合应用包括地面加密自动站、浮标、船舶以及卫星、雷达等各种观测资料,一旦出现定位不连续时必须密切关注、严密监视,而规范化的台风定位业务流程则十分注重台风定位的连续性^[13]。此外,为进一步加强对台风业务定位的客观技术支撑,必须重视和加强基于多源观测资料的台风精细化定位技术的研发。

2.3 “彩虹”近海急剧加强问题

自 20 世纪 90 年代以来,各国台风路径业务预报进步明显,强度预报却进展缓慢^[14]。然而近几年来,借助飞机观测对台风初始场的改进以及高分辨率数值模式发展和强度动力统计模型改进,美国国家飓风中心台风强度预报取得了显著的进步^[15-16]。研究表明,台风发展及其强度变化是多种尺度系统相互作用的结果,主要包括:下垫面与台风的相互作用、环境大气与台风的相互作用和台风与中尺度系统的相互作用等^[17-21]。在环境大气与台风的相互作用方面,一些研究认为,高层流出是影响台风强度及其结构变化的重要关键因子^[22-25],美国海军研究院(ONR)为此将高层流出理论研究及其业务应用列入其 2014—2018 年度研究计划的重要工作,并开展相关外场观测试验,目的是了解高层流出对台风强度与结构变化及其预报的影响^[25]。

2015 年,中心最大风速极值大于等于 41.5

$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (14 级及以上)的台风高达 18 个,接近多年平均值(10.6 个)的一倍,其中 1522 号台风“彩虹”移入南海后,强度急剧加强,登陆广东湛江,登陆时中心风力达 16 级($52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),为 1949 年以来 10 月登陆中国最强台风。

仔细分析“彩虹”移入南海时的海洋大气状况,可以发现“彩虹”近海急剧加强与下垫面和环境大气的相互作用关系密切。由 NCEP 全球实时海温资料(RTG-SST, $0.5^\circ \times 0.5^\circ$)分析可知,“彩虹”移入南海时,南海中北部海表温度普遍在 29°C 以上(图 8a),较常年平均海温偏高 $0.8 \sim 2.4^\circ\text{C}$,尤其是粤西和琼东海面偏高达 $1.6 \sim 2.0^\circ\text{C}$ (图 8b),因此当“彩虹”移至粤西异常高海温海面时,潜热释放加强、对流加剧,强度急剧加强。而在 200 hPa 流场图上则可以看到,“彩虹”进入南海时高层仅为向赤道的单流出气流(图 9a),但随着向粤西沿海靠近,其高层逐渐建立起双流出气流结构,且“彩虹”高层流出气流逐渐与副热带西风急流相连(图 9b),导致其高层辐散流出气流急剧加强,高低空环境风垂直切变也随之减小,“彩虹”急剧发展。此外,在 850 hPa 低层,“彩虹”移入南海后,还伴随着来自南半球越赤道气流和副热带高压西侧东南风流入的增强(图略)。

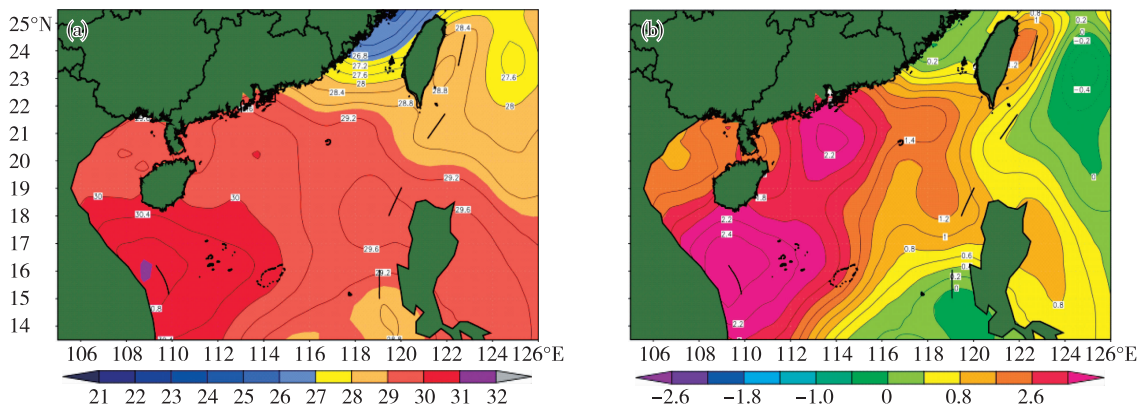


图 8 2015 年 10 月 2 日 NCEP-RTG 实时海表温度(a)和距平(b)分析(单位: $^\circ\text{C}$)

Fig.8 The analysis of real time NCEP-RTG sea surface temperature (a) and anomaly (b) on 2 October 2015(unit: $^\circ\text{C}$)

由上述分析可知,“彩虹”具备了台风加强发展所需要的各种有利的海洋和大气环境条件,但在实时业务预报过程中,国内外各种主客观预报均未能准确预报出其近海急剧加强的过程,中央气象台虽然预报出“彩虹”在近海将有可能加强为台风或强台风,但存在较大预报偏差,24 h 和 48 h 强度预报误差分别达 $5.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $11.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。考虑到现

有业务模式(尤其是全球模式)分辨率不高,台风快速增强预报仍将是未来台风业务预报中的主要技术难点,高分辨率台风区域海气浪耦合模式、相关动力统计模式和天气物理概念模型的研发和改进仍将是未来解决台风快速增强预报的主要技术途径,如美国国家飓风中心(NHC/NOAA)和美国联合台风警报中心(JTWC)先后发展并应用于业务的基

于模式输出的台风快速增强指数 (The Rapid Intensification Index, RII) 动力统计预报方法等^[26-30]。

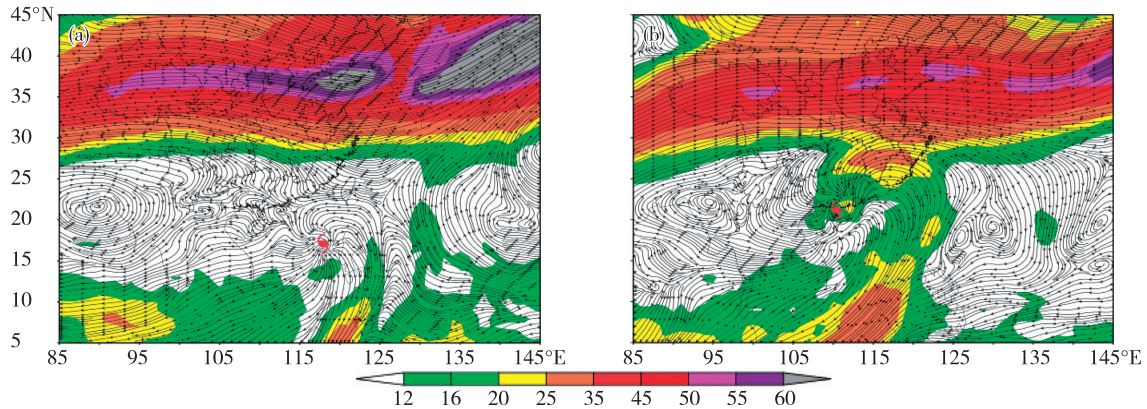


图9 NCEP/FNL 再分析资料 200 hPa 流线和等风速区(填色)分析(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) (a. 2015 年 10 月 2 日 20 时, b. 2015 年 10 月 4 日 14 时)

Fig.9 The analysis of NCEP/FNL 200 hPa stream line and isotach region (shadings) (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) (a. 20:00 BST 2 October 2015, b. 14:00 BST 4 October 2015)

2.4 台风长时效路径预报

2012 年中央气象台建立了基于 ECMWF 单一集合预报产品的台风路径预报订正方法及相应的台风路径预报业务流程, 该方法的基本原理为: 通过最新台风实况定位在集合预报中优选一定数目(8 个)的好成员, 然后利用优选成员的平均值作台风路径预报。2013 年进一步优化了 ECMWF 集合预报优选成员数的选取, 发现优选成员在 12~17 个之间可使台风路径预报误差达到最小^[31]。在此基础上, 2014 年进一步发展了基于 ECMWF 和 NCEP 多集合预报模式产品的台风路径预报订正方法 (Typhoon Track Ensemble Correction Method, 简称

TYTEC 方法)。

业务实践表明, 基于集合预报产品的台风路径预报订正方法的业务应用, 使得中央气象台 2012 年以来的台风路径业务预报误差呈明显减小的趋势, 2012—2015 年 24 h 台风路径预报误差分别为 103 km、84 km、84 km 和 66 km^[1-2,5-6], 而 2011 年 24 h 误差则为 122 km^[4]。2015 年 24 h、48 h、72 h、96 h 和 120 h 台风路径预报误差分别达到 66 km、120 km、176 km、244 km 和 329 km, 整体上与日本气象厅(68 km、118 km、171 km、255 km 和 359 km) 和美国联合台风警报中心(72 km、113 km、171 km、242 km 和 343 km) 的误差水平相当^[1]。

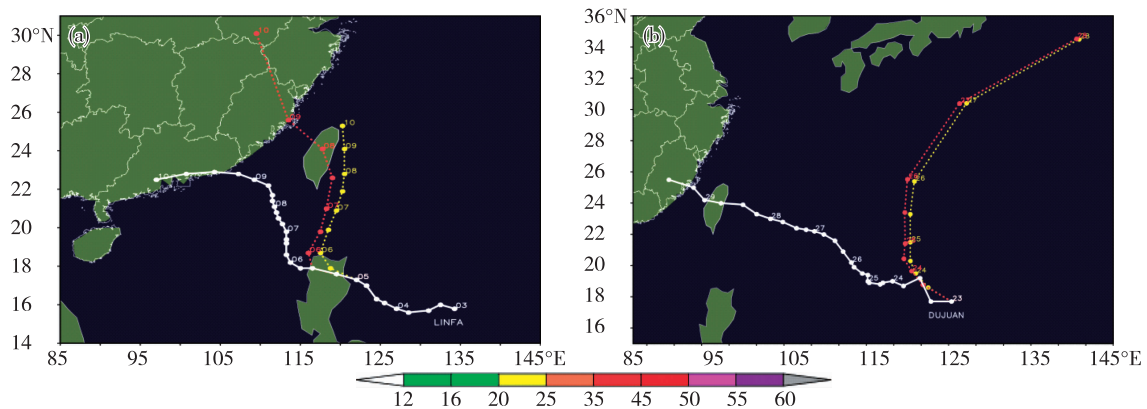


图10 1510号台风“莲花”(a, 预报时间为2015年7月5日02时)和1521号台风“杜鹃”(b, 预报时间为2015年9月23日02时)主客观预报路径与实况路径对比(白色实线为中央气象台实时观测路径、黄色虚线为中央气象台主观预报路径、红色虚线为多模式集合预报订正方法(TYTEC)预报路径, 数字表示日期)

Fig.10 The comparison of the subjective forecasting tracks, objective forecasting tracks and real time observed tracks of Typhoon Linfa (1510, initial time: 02:00 BST July 5, 2015) (a) and Typhoon Dujuan (1521 initial time: 02:00 BST September 23, 2015) (b) (The white solid line is CMA real time observed track; the yellow dashed line is CMA subjective forecasting track; the red dashed line is TYTEC forecasting track; the number indicates date)

虽然台风集合预报产品的业务应用大大提高了中国台风路径业务预报的准确率,但对一些台风的长时效(5 d)路径预报,仍然存在较大的预报偏差或预报不确定性,尤其是对台风初始时期或多台风活动期间的长时效路径业务预报误差仍然较大。如对 1510 号台风“莲花”7 月 5 日 02 时和 1521 号台风“杜鹃”9 月 23 日 02 时的 120 h 路径预报误差分别达 995 km 和 2 530 km。中央气象台主观预报“莲花”登陆菲律宾后,将沿台湾东部近海北上进入东海南部。TYTEC 方法则预报“莲花”登陆菲律宾后,将在福建再次登陆,深入内陆。而实况则是“莲花”登陆菲律宾后,移入南海北部,以北偏西转偏西路径登陆广东(图 10a)。中央气象台主观预报和 TYTEC 方法均预报“杜鹃”将以偏北转东北路径趋向日本东南洋面,而实况则是“杜鹃”以西北转偏西路径趋向台湾东部,先后登陆台湾和福建(图 10b)。“莲花”较大的预报偏差主要与 1509 号台风“灿鸿”的双台风作用导致数值模式出现较大偏差有关。“杜鹃”则是与台风初始生成时数值模式对形势场预报的重大偏差有关,模式没有预报出西太平洋副热带高压的西伸加强过程,而是预报副热带高压将减弱东退。这种情况通常出现在秋季的 9 月下旬—10 月上旬,如 2013 年台风“菲特”的预报也是这样的^[32]。

可见,台风长时效路径预报在目前的台风业务预报服务中仍然存在巨大的挑战,而为了提高台风长时效路径预报的准确率,除了加强数值/集合预报模式的改进研发外,还必须进一步加强天气物理概念模型和相关模式订正技术以及客观方法的研

发,以便在实时业务中及时对数值/集合预报模式结果做出正确合理的订正。

2.5 地面观测系统

近年来,通过沿海及海岛强风仪建设,中国沿海台风影响区强风观测能力得到了极大加强,提升了资料稀疏区和高影响天气区观测资料的获取能力。但中国目前在沿海及海岛布设的强风仪,仍然不具备对极端台风的监测能力,主要表现为:1) 强风仪风速测量极限低。强风仪基本为国内组装,测量极限仅能达到 $70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,一旦实际风速接近或超过 $70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,登陆点附近强风仪普遍被摧毁或严重受损,因此中国沿海强风仪尚不具备获取极端台风的实际风速的能力。2) 沿海及海岛强风仪抗风抗腐蚀能力差。与内陆不同,沿海及海岛地区常年湿度大,且常受强烈海风吹袭,易发生锈蚀、风蚀和盐蚀等腐蚀现象。但目前沿海及海岛强风仪仍按内陆标准建设,抗盐蚀和风蚀能力差,导致强风仪使用寿命低,强风仪常在极端台风条件下受损或倒毁。

1522 号台风“彩虹”登陆广东湛江,创下了 1949 年以来 10 月登陆中国最强台风记录。“彩虹”登陆期间,登陆点附近几乎所有风速仪均被强风摧毁,而 2014 年超强台风“威马逊”登陆琼粤期间,登陆点附近的琼粤沿海风速仪也同样均被强风摧毁^[33],导致无法获取极端台风条件下完整的风速记录(图 11a-b),给确定台风强度带来了极大困难。因此,为了提高中国对极端台风事件的监测能力,建议在沿海受台风影响的重点区域(包括海岛)布设先进的重型机械式强风仪或超声波脉冲式强风

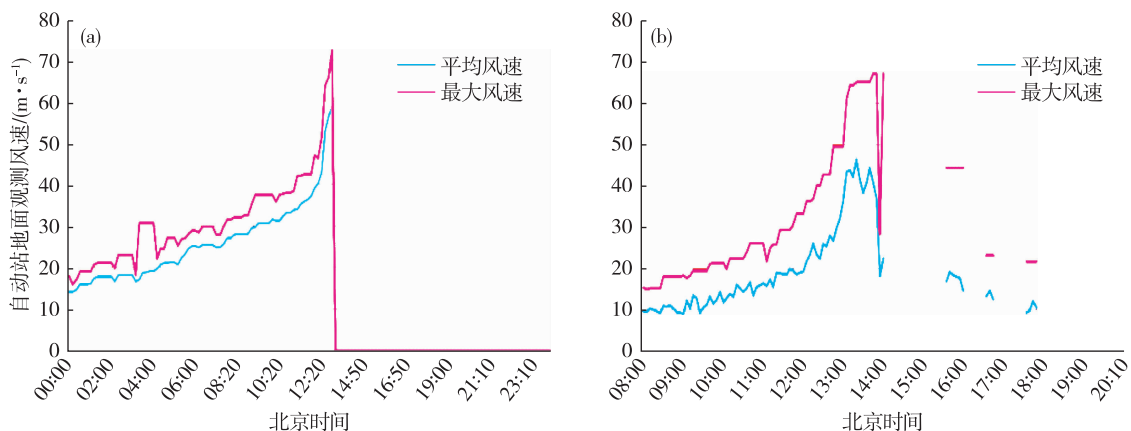


图 11 2014 年“威马逊”(1409)影响期间(2014 年 7 月 18 日 00 时—19 日 00 时)海南七州列岛(a)和 2015 年“彩虹”(1522)影响期间(2015 年 10 月 4 日 08—20 时)广东湛江三岭山(b)自动站观测风速变化

Fig. 11 The change of observed wind speed at Qizhou Island, Hainan province from 00:00 BST July 18 to 00:00 BST July 19, 2014 during Typhoon Rammasun (1409) (a) and at Sanlingshan, Zhangjiang, Guangdong province from 08:00 to 20:00 BST October 4, 2015 during Typhoon Mujigae (1522) (b)

仪、加强观测场地及周围设施建设,以便在极端台风影响下能够真正地获取实际风力资料,为台风业务定强、防台减灾、灾后评估、基础设施及重大工程建设标准和风险评估提供基础性的观测数据支持。

3 小结与讨论

1) 2015年,台风活动呈现活跃期不明显、生成总数与多年平均持平、南海台风偏少、生成源地偏东、强度强、超强台风异常偏多、登陆个数及频次偏少等特征,其中1522号台风“彩虹”为该年登陆我国最强台风,创1949年以来10月登陆中国最强台风记录。

2) 2015年台风主要活动特点与极强厄尔尼诺事件关系密切,但厄尔尼诺对台风的影响不是单一的,其影响物理机制尚待进一步深入研究。

3) 台风“鲸鱼”实时业务定位的精度直接影响其登陆预报的精度,综合应用多源观测资料、规范台风定位业务流程,有利于台风定位和路径预报精度的提高,特别是针对弱台风的登陆预报服务。

4) 台风快速增强和路径长效预报仍是台风业务的主要技术瓶颈,高层流出气流的增强和海温异常与台风快速增强关系密切,长效台风路径预报的较大偏差主要与多台风活动和台风初始阶段模式较大的预报偏差有关,高分辨率台风海气浪耦合模式、集合预报及相关动力统计模式和天气物理概念模型的研发改进将是未来的主要解决技术途径。

5) 台风“彩虹”登陆期间,登陆点附近几乎所有地面观测设备损毁或瘫痪,表明中国地面观测系统尚不具备对极端台风的监测能力,沿海受台风影响的重点区域(包括海岛)合理布设先进的重型机械式强风仪,将有助于提高中国对极端台风事件的监测能力。

参考文献:

- [1] 陈国民,白莉娜,万日金. 2015年西北太平洋热带气旋预报精度评定[J]. 气象,2017.
- [2] 陈国民,曹庆,白莉娜. 2014年西北太平洋热带气旋预报精度评定[J]. 气象,2015,41(12):1554-1561.
- [3] 汤杰,陈国民,余晖. 2010年西北太平洋台风预报精度评定及分析[J]. 气象,2011,37(10):1320-1328.
- [4] 陈国民,汤杰,曾智华. 2011年西北太平洋热带气旋预报精度评定[J]. 气象,2012,38(10):1238-1246.
- [5] 陈国民,余晖,曹庆. 2012年西北太平洋热带气旋预报精度评定[J]. 气象,2013,39(10):1350-1358.
- [6] 陈国民,曹庆. 2013年西北太平洋热带气旋预报精度评定[J]. 气象,2014,40(12):1549-1557.
- [7] 国家气候中心. 国家气候中心关于厄尔尼诺(拉尼娜)事件(状态)的监测指标—ENSO事件的强度指数和指标(内部资料)[R]. 2012.
- [8] 何敏,宋文玲. 厄尔尼诺和反厄尔尼诺事件与西北太平洋台风活动[J]. 热带气象学报,1999,15(1):17-25.
- [9] 黄海仁,陈文玉,郭湘平. 厄尔尼诺对南海季风爆发及热带风暴活动的影响[J]. 气象科技,1999,(4):39-41.
- [10] 陈玉林,周军,马奋华. 登陆我国台风研究概述[J]. 气象科学,2005,25(3):319-329.
- [11] 矫梅燕. 现代天气业务(上)[M]. 北京:气象出版社,2010:122.
- [12] WMO. 全球热带气旋预报指南(世界气象组织技术文件,WMO/TD-NO. 560)[M]// 裘国庆,方维模,田翠英,等译. 北京:气象出版社,1995:71-72.
- [13] Dvorak V F, Smigielski F. 卫星观测的热带云和云系(美国国家海洋和大气管理局培训教材)[M]// 郭炜,卢乃锰,孙冬联,等译. 北京:气象出版社,1996:239.
- [14] 许映龙,张玲,高拴柱. 我国台风预报业务的现状及思考[J]. 气象,2010,36(7):43-49.
- [15] Toepfer F. The hurricane forecast improvement project (HFIP): progress and accomplishments [C]. 2015 Tropical Cyclone Research Forum/69th Interdepartmental Hurricane Conference, March 2-5, 2015, Florida, USA.
- [16] Cangialosi J P, Franklin J L. 2014 National Hurricane Center Forecast Verification Report[EB/OL]. (2015-03-25) [2017-02-01]. http://www.nhc.noaa.gov/verification/pdfs/Verification_2014.pdf.
- [17] 陈联寿,端义宏,宋丽莉,等. 台风预报及其灾害[M]. 北京:气象出版社,2012:17-19.
- [18] 端义宏,余晖,伍荣生. 热带气旋强度变化研究进展[J]. 气象学报,2005,63(5):636-645.
- [19] 陈光华,裘国庆. 热带气旋强度与结构研究新进展[J]. 气象科技,2005,33(1):1-6.
- [20] 陈建萍,周伟灿,尹洁. 国内外热带气旋强度变化研究现状[J]. 气象与减灾研究,2007,30(3):40-47.
- [21] 张玲,黄奕武. 超强台风梅花和超强台风洛克预报偏差的天气学分析[J]. 气象,2013,39(7):842-847.
- [22] Rappin E D, Morgan M C, Tripoli G J. The impact of outflow environment on tropical cyclone intensification and structure[J]. J Atmos Sci,2011,68:177-194.
- [23] Ferek R J. Tropical cyclone research sponsored by the office of naval research[C]. The 67th Interdepartmental Hurricane Conference/Tropical Cyclone Research Forum, March 5-7, 2013, NOAA Center for Weather and Climate Prediction, College Park, MD, USA.

- [24] Ferek R J, Eleuterio D P. Understanding and predicting the impact of outflow on tropical cyclone intensification and structure [C]. The 31st AMS Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, 31 March-4 April 2014, San Diego, California, USA.
- [25] Ferek R J, Feldmeier J. Understanding and predicting the impact of outflow on tropical cyclone intensification and structure [C]. 2015 Tropical Cyclone Research Forum/69th Interdepartmental Hurricane Conference, March 2-5, 2015, Jacksonville, Florida, USA.
- [26] Kaplan J, DeMaria M. Development of a rapid intensification index for the Eastern Pacific Basin [C]. The 59th Interdepartmental Hurricane Conference/Tropical Cyclone Research Forum, March 7-11, 2005, Jacksonville, Florida, USA.
- [27] Kaplan J, DeMaria M, Knaff J A. A revised tropical cyclone rapid intensification index for the Atlantic and eastern North Pacific basins [J]. Wea Forecasting, 2010, (25): 220-241.
- [28] Kucas M E. Challenges of forecasting tropical cyclone intensity change at the Joint Typhoon Warning Center [C]. The 29th AMS Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, 10-14 May 2010, Tucson, Arizona, USA.
- [29] Evans A D, Falvey R J. Annual tropical cyclone report 2013 of Joint Typhoon Warning Center [EB/OL]. [2017-01-30]. <http://www.usno.navy.mil/NOOC/nmfc-ph/RSS/jtwc/atcr/2013atcr.pdf>.
- [30] Sopko S P, Falvey R J. Annual tropical cyclone report 2014 of Joint Typhoon Warning Center [EB/OL]. [2017-01-30]. <http://www.usno.navy.mil/NOOC/nmfc-ph/RSS/jtwc/atcr/2014atcr.pdf>.
- [31] 钱奇峰, 张长安, 高拴柱, 等. 台风路径集合预报的实时订正技术研究 [J]. 热带气象学报, 2014, 30 (5): 905-910.
- [32] 许映龙, 吕心艳, 张玲, 等. 1323 号强台风菲特特点及预报难点分析 [J]. 气象, 2015, 41 (10): 1222-1231.
- [33] 许映龙, 蔡亲波. 1409 号超强台风“威马逊”的强度再分析 [J]. 海南气象, 2014, 6 (3): 1-12.