

陈国民,张喜平,杨梦琪,等,2021.2019年西北太平洋和南海台风预报精度评定[J].气象,47(10):1266-1276. Chen G M, Zhang X P, Yang M Q, et al, 2021. Verification on forecasts of typhoons over Western North Pacific and South China Sea in 2019[J]. Meteor Mon, 47(10):1266-1276(in Chinese).

2019 年西北太平洋和南海台风预报精度评定*

陈国民 张喜平 杨梦琪 白莉娜 万日金

中国气象局上海台风研究所,上海 200030

提 要: 对 2019 年西北太平洋和南海海域台风定位和定强、路径预报、强度预报及登陆点预报精度进行评定,结果表明 2019 年台风定位总平均误差为 24.7 km,定强总平均误差为 $2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,两者同比 2018 年均略偏大。预报时效在 72 h 以内的主观和客观台风路径预报性能自 2013 年以来并没有实质性改进,2019 年部分预报方法的路径预报极端误差平均值是各自年平均误差的 2.1~3.9 倍。中央气象台 3 d 以内的强度预报效果优于其他官方台风预报机构。2019 年各官方台风预报机构较成功地预报出了台风利奇马在浙江温岭和山东青岛,以及台风白鹿在台湾屏东和福建东山的登陆点。

关键词: 台风,定位定强误差,路径误差,强度误差,登陆点误差

中图分类号: P456

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2021.10.009

Verification on Forecasts of Typhoons over Western North Pacific and South China Sea in 2019

CHEN Guomin ZHANG Xiping YANG Mengqi BAI Lina WAN Rijin

Shanghai Typhoon Institute, CMA, Shanghai 200030

Abstract: Operational positioning and intensity estimation, track, intensity and landfall point forecast errors of the typhoons over Western North Pacific and South China Sea in 2019 are evaluated. The results show that the overall errors of typhoon mean positioning and intensity estimation in 2019 were a little larger than in 2018, being 24.7 km and $2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively. Since 2013, the overall track forecast performance within 72 h did not show substantive improvement for both subjective and objective forecast methods. In 2019, the mean values of extreme error were up to 2.1–3.9 times as much as their annual mean track errors. The intensity forecast performance of CMA within 3 days is better than that of the other official typhoon forecast agencies. The landfall points of Typhoon Lekima at Wenling, Zhejiang Province and Qingdao, Shandong Province and the landfall points of Typhoon Bailu at Pingdong, Taiwan Province and Dongshan, Fujian Province were successfully predicted by all the official typhoon forecast agencies in 2019.

Key words: typhoon, positioning and intensity estimation error, track error, intensity error, landfall point error

引 言

2019 年西北太平洋和我国南海海域共有 29 个

编号台风生成,较常年(1981—2010 年气候平均值为 25.5 个)略偏多。29 个台风中,生命史最大强度达到热带风暴级、强热带风暴级、台风级、强台风级和超强台风级的台风个数分别为 8、4、5、6 和 6 个,

* 国家重点研发计划(2018YFC1506406、2020YFE0201900)和上海市科学技术委员会科研计划(19dz1200101)共同资助

2020 年 12 月 18 日收稿; 2021 年 6 月 30 日收修定稿

第一作者:陈国民,从事台风预报精度分析技术研究. E-mail:chengm@typhoon.org.cn

其中有 6 个登陆我国,登陆个数较常年(1981—2010 年气候平均值为 7.2 个)偏少 1.2 个。6 个登陆台风强度总体偏弱,但超强台风利奇马于 2019 年 8 月 10 日 01:45 前后在浙江省温岭市沿海登陆时,台风中心附近最大风力达到 16 级($52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),中心最低气压低至 930 hPa,是 2019 年登陆我国最强台风,也是自 1949 年以来登陆浙江的第三强台风(李莹等,2020)。

随着我国社会经济不断发展,各界对台风路径、强度和登陆点预报精度的要求也不断提升。及时对西北太平洋台风的路径强度的预报性能进行总结和分析,可为科研人员改进预报方法和预报决策机构开展防灾减灾提供科学依据。本文综述了 2019 年西北太平洋及我国南海 29 个台风的定位和定强精度以及路径、强度、登陆点的预报精度。

为确保精度评定标准的一致性,与前人的精度评定工作(陈国民等,2012;2013;2015;2017;2018;2019;陈国民和曹庆,2014;汤杰等,2011;占瑞芬等,2010)相同,本文采用中国气象局上海台风研究所整编的台风最佳路径数据(中国气象局热带气旋资料中心, <http://tcdata.typhoon.org.cn/index.html>; Ying et al, 2014)作为台风精度评定中台风位置、强

度和登陆点信息的真值。台风预报精度评估中的样本筛选以及路径、强度和登陆点误差计算标准均以最新出版的《台风业务和服务规定》(中国气象局, 2012)作为参考。

1 台风定位和定强精度

表 1 是 2019 年中央气象台、日本气象厅、美国联合台风警报中心、香港天文台和韩国气象厅五个官方机构以及北京卫星实时定位方法的全年平均定位和定强误差。2019 年,6 个定位方法的总平均定位误差为 24.7 km,较 2018 年(17.6 km)偏大 7.1 km,其中平均定位误差最小的是中央气象台,达到了 17.5 km;2019 年全年总平均定强误差为 $2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,较 2018 年($1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)略偏大,定强误差最小的为中央气象台,达到了 $1.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

近年来,中央气象台的全年平均定位误差能稳定维持在 20 km 左右,但是在以下几种情况下仍存在定位偏差较大的现象(图 1a):首先是对于部分远海生成的台风,业务定位主要基于卫星云图,而生成初期的台风强度较弱、结构松散,业务定位难度较大,容易出现定位误差偏大的情况;其次是对于部分

表 1 2019 年各方法对 29 个台风的平均定位和定强误差

Table 1 Mean positioning and intensity estimation errors of 29 typhoons for each forecast guidance in 2019

方法	中央气象台	日本气象厅	美国联合台风警报中心	韩国气象厅	香港天文台	北京卫星
定位次数/次	631	669	563	539	488	563
定位误差/km	17.5	29.8	27.9	27.8	26.2	18.7
定强次数/次	631	669	563	539	488	517
定强误差/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	1.3	2.2	3.3	3.4	2.1	2.9

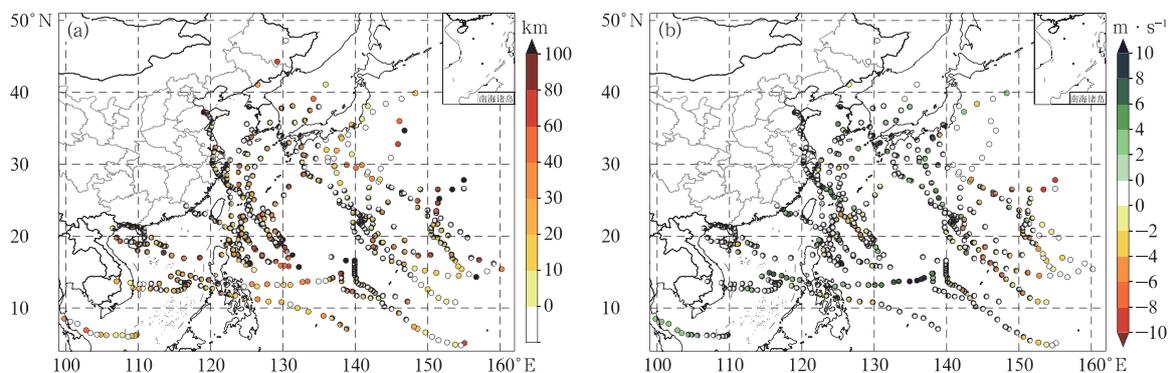


图 1 中央气象台对 2019 年 29 个台风的定位误差(a)和定强误差(b)分布

Fig.1 Distributions of positioning (a) and intensity estimation (b) errors of China National Meteorological Centre for 29 typhoons in 2019

进入到中高纬海域的台风,由于中高纬垂直风切变较大,台风低层中心往往被高层云系遮盖,也会影响业务定位的准确性。

对于定强误差而言,2019 年中央气象台业务定强明显偏弱的样本主要出现在远海海域,定强明显偏强的样本则集中出现在 1909 号超强台风利奇马、1908 号强台风范斯高、1915 号强台风法茜及 1928 号超强台风北冕四个台风中,其中“北冕”和“范斯高”部分时次的定强偏差超过了 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 1b)。

2 台风路径预报误差

2.1 确定性预报误差

2019 年国内外各类官方台风主观预报方法 24、48、72、96 和 120 h 平均路径预报误差(图 2)和样本数信息列于表 2。横向比较五个官方台风预报机构的路径预报误差可以发现,24 h 平均路径预报误差最小的机构是美国联合台风警报中心,为 84.0 km;而 48、72、96 和 120 h 平均路径预报误差最小的机构均为日本气象厅,分别为 141.4、207.2、268.1 和 365.7 km。进一步通过同样本比较(表 3)发现,日本气象厅对于 4 d 以内的台风路径预报误差是最小

的,而 120 h 路径预报误差最小的是韩国气象厅。纵向比较五个官方台风主观预报机构自 2006 年以来在 24、48 和 72 h 台风路径预报性能趋势(图 2)可以发现,2019 年官方台风预报机构 3 d 以内的路径预报性能相较于 2018 年明显下降,24、48 和 72 h 平均路径预报误差比 2018 年分别增加了 5~10、15~25 和 10~30 km。从图 2a~2c 也可以看出,五个官方台风主观预报机构自 2013 年以来对 3 d 以内的西北太平洋台风路径预报性能并没有明显改善。

表 4 给出的是 2019 年客观预报方法(包括全球模式和区域模式)平均路径预报误差统计信息。美国国家大气环境研究中心全球预报系统(National Centers for Environmental Prediction-Global Forecast System, NCEP-GFS)、欧洲中期天气预报中心综合预报系统(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts-Integrated Forecast System, ECMWF-IFS)、英国数值、日本数值、韩国全球资料同化和预报系统(Global Data Assimilation and Prediction System, GDAPS)这五个全球模式 24、48、72、96 和 120 h 的平均路径误差区间分别在 73.3~96.6、124.1~179.0、182.7~260.5、249.7~355.3 和 281.7~454.4 km。从表 4 中可以发现 2019 年各全球模式的预报性能差距非常大,24、48、72、96

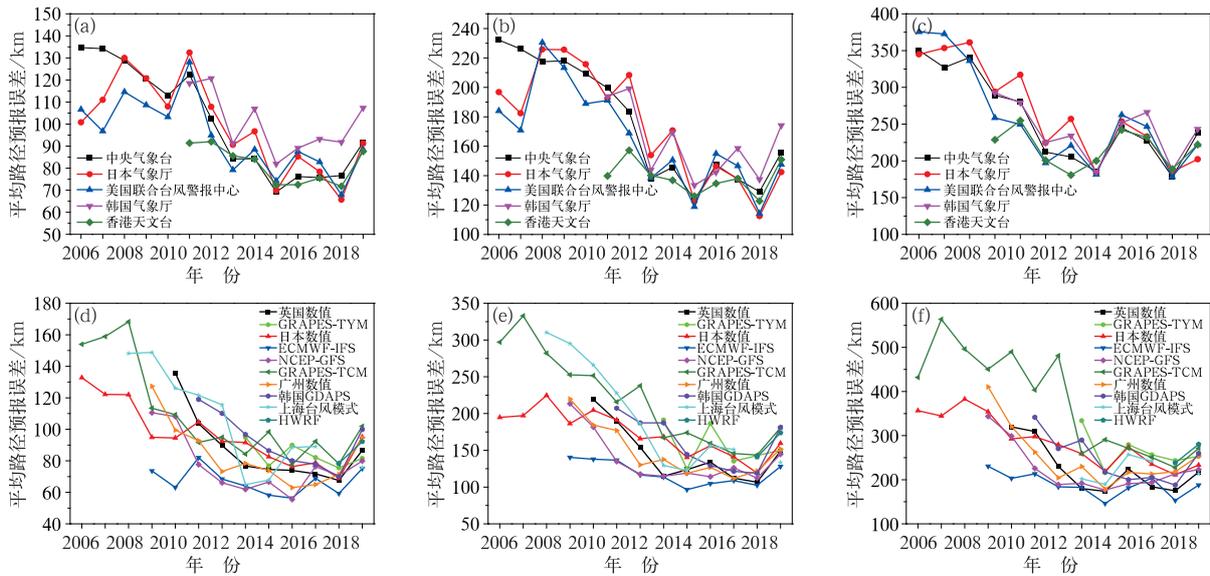


图 2 2007—2019 年 24 h(a, d)、48 h(b, e) 和 72 h(c, f) 的台风路径预报误差趋势
(a, b, c) 官方台风预报机构, (d, e, f) 全球和区域模式

Fig. 2 Evolutions of TC track forecast error in 24 h (a, d), 48 h (b, e) and 72 h (c, f) lead time during 2007—2019

(a, b, c) official TC forecast agencies, (d, e, f) global and regional models

表 2 2019 年主观路径预报方法平均路径误差
Table 2 Average errors of subjective track forecast in 2019

预报方法	预报时效/h									
	24		48		72		96		120	
	样本数/个	平均误差/km	样本数/个	平均误差/km	样本数/个	平均误差/km	样本数/个	平均误差/km	样本数/个	平均误差/km
中央气象台	557	84.9	431	149.8	324	234.8	244	291.5	170	381.7
日本气象厅	629	85.3	437	141.4	330	207.2	237	268.1	167	365.7
美国联合台风警报中心	533	84.0	435	146.2	362	224.7	277	304.5	199	369.7
韩国气象厅	477	102.2	389	172.8	312	242.8	214	289.2	143	366.9
香港天文台	365	84.9	292	151.2	208	225.9	145	305.6	89	341.0

和 120 h 平均路径预报误差最小值和最大值的差距分别达到 23.3、54.9、77.8、105.6 和 172.7 km。进一步通过各全球模式之间的同样本比较(表 3)后发现(韩国 GDAPS 样本数较少,本文并未将其纳入全球模式的同样本比较表格内),24 h 的路径预报误差最小的是 NCEP-GFS,日本数值则在预报时效为 48 h 和 72 h 上的路径预报误差是最小的,而较长时效(96 h 和 120 h)的预报误差最小的是 ECMWF-IFS。此外,从表 3 中还可以发现,日本数值虽然在 48 h 和 72 h 上的预报性能较优,但 4 d 及以上长时效的路径预报性能与 ECMWF-IFS、英国数值和 NCEP-GFS 相比仍有较大差距。

区域模式的非同样本比较结果表明(表 4),上

海台风模式在 24、48 和 72 h 的平均路径预报误差是最小的,分别为 75.8、133.5 和 213.4 km;而同样本比较结果则表明(表 3),24 h 和 48 h 平均路径预报误差最小的区域模式是广州数值,72 h 路径预报表现最好的为上海台风模式。

图 2d、2e 和 2f 分别展示的是全球和区域模式自 2008 年以来 24、48 和 72 h 平均路径预报误差的趋势。可以看出无论全球还是区域模式,自 2012 年以来其 24、48 和 72 h 的平均误差基本都突破 100、200 和 300 km 的整数关口。但与官方主观台风预报机构类似的是,从 2013 年起,各模式对于 3 d 以内的台风路径预报性能也没有实质性的改进。

2019 年,虽然大部分官方台风预报机构、全球

表 3 2019 年各预报方法平均路径误差同样本比较

Table 3 Homogeneous comparison for each forecast method's average track errors in 2019

预报方法	预报时效/h									
	24		48		72		96		120	
	同样本数/个	平均误差/km								
中央气象台		78.6		148.2		220.3		264.5		332.3
日本气象厅		73.0		124.2		173.4		240.4		307.8
美国联合台风警报中心	253	75.8	178	126.6	120	177.3	71	252.5	39	334.5
韩国气象厅		96.6		167.3		213.4		254.8		301.6
香港天文台		76.6		135.3		188.4		248.7		310.4
NCEP-GFS		55.7		115.1		179.9		282.0		397.0
ECMWF-IFS		67.9		123.0		167.4		231.9		245.5
英国数值	79	86.9	62	129.7	47	170.1	31	242.6	22	357.8
日本数值		73.3		108.7		160.1		327.5		531.9
上海台风模式		82.3		125.8		144.9		/		/
广州数值		74.3		123.3		184.1		/		/
GRAPES-TYM	56	86.9	42	134.5	27	177.8	/	/	/	/
GRAPES-TCM		90.4		147.7		211.7		/		/
HWRF		99.7		174.8		226.3		/		/

表 4 同表 2, 但为客观路径预报方法

Table 4 Same as Table 2, but for objective track forecast

预报方法		预报时效/h									
		24		48		72		96		120	
		样本数/个	平均 误差/km	样本数/个	平均 误差/km	样本数/个	平均 误差/km	样本数/个	平均 误差/km	样本数/个	平均 误差/km
全球模式	NCEP-GFS	364	78.0	326	145.9	274	222.2	211	355.3	150	454.4
	ECMWF-IFS	216	73.3	177	124.1	139	182.7	100	249.7	76	309.3
	英国数值	281	82.0	228	141.7	176	211.0	136	269.2	98	378.1
	日本数值	563	94.0	482	157.5	384	230.6	288	314.7	209	441.2
	韩国 GDAPS	22	96.6	20	179.0	16	260.5	13	308.2	11	281.7
区域模式	上海台风模式	196	75.8	156	133.5	119	213.4	/	/	/	/
	广州数值	247	91.9	210	155.8	166	252.1	/	/	/	/
	GRAPES-TYM	513	81.6	426	150.2	329	253.3	232	408.2	155	548.1
	GRAPES-TCM	406	97.0	354	172.0	285	273.0	/	/	/	/
	HWRF	292	92.2	258	173.8	210	280.4	160	456.2	112	655.3

模式和区域模式的 24、48 和 72 h 平均路径预报误差能分别达到 100、180 和 250 km 以下, 但各预报方法仍存在个别预报样本异常偏大的现象。图 3 展示的是 2019 年各预报方法 24、48 和 72h 路径预报全年平均误差和 5% 极端误差样本的误差平均值对

比, 可以看到各预报方法在上述 3 个预报时效中的路径预报的极端误差平均值是各自年平均误差的 2.1~3.9 倍。可以预期的是, 有效减少各预报方法极端误差出现的频次或降低极端误差数值, 能在一定程度上减小各方法的年平均误差值。

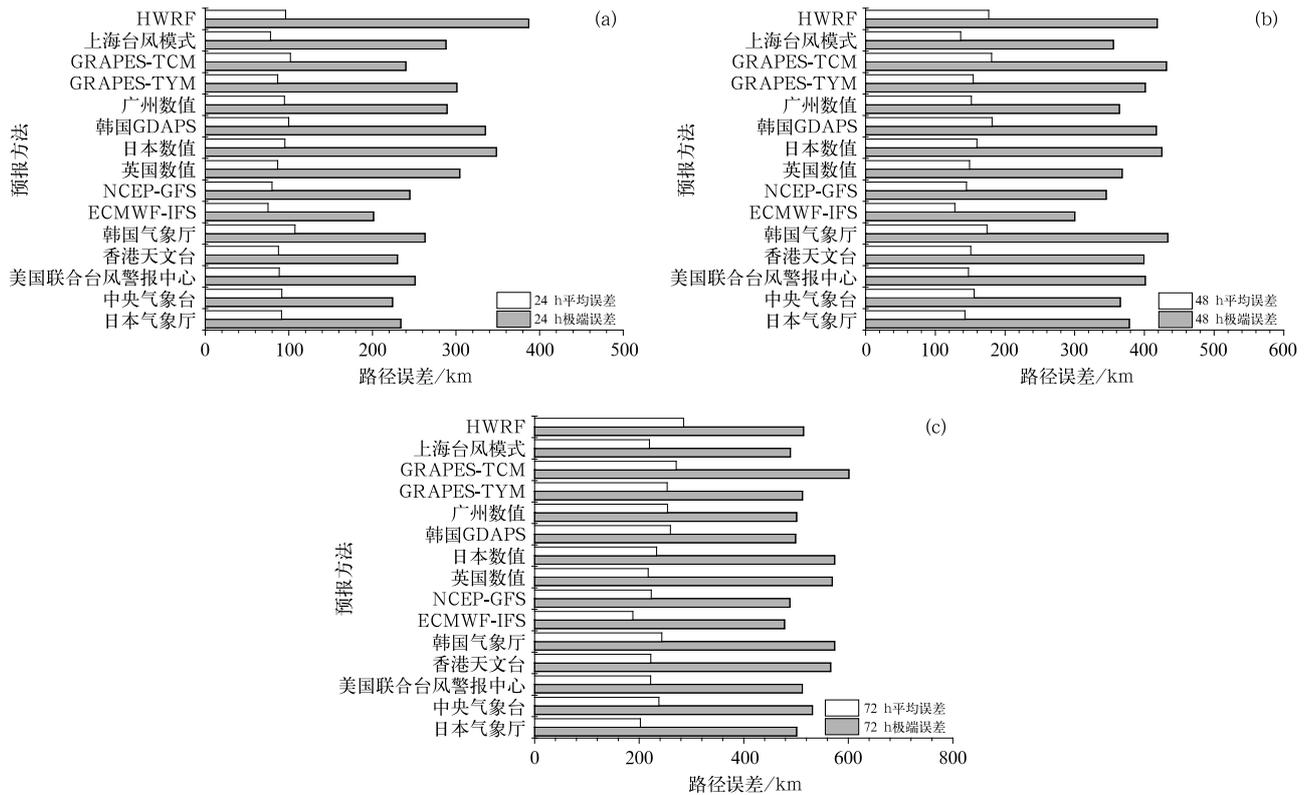


图 3 2019 年各预报方法 24 h(a)、48 h(b)和 72 h(c)路径预报全年平均误差和 5% 极端误差样本的误差平均值对比

Fig. 3 Comparison of the annual mean errors and the mean errors of 5% extreme track forecast samples for each forecast guidances at 24 h (a), 48 h (a) and 72 h (c) in 2019

2.2 集合预报误差

近年来,集合预报系统在台风预报业务中得到了广泛应用,台风路径集合预报的精度也有了显著的提高(Leonardo and Colle, 2017)。图 4 展示的是欧洲中期天气中心集合预报系统(ECMWF-EPS)、日本气象厅全球集合预报系统(JMA-GEPS)、加拿大气象局集合预报系统(MSC-CENS)、美国国家环境预报中心全球集合预报系统(NCEP-GEFS)、英国气象局集合预报系统(UKMO-EPS)和上海台风研究所台风集合预报系统(STI-TEDAPS)对 2019 年西北太平洋 29 个台风的集合平均路径预报误差结果。当预报时效在 48 h 以内(含 48 h)时,NCEP-GEFS、ECMWF-EPS 和 STI-TEDAPS 三个集合预报系统所表现出的集合平均路径预报误差最小;当预报时效在 60~72 h 时,ECMWF-EPS 和 STI-TEDAPS 的集合平均路径预报误差最小;而当预报时效达到 3 d 以上时,UMKO-EPS、JMA-GEPS 和 ECMWF-EPS 成为了路径预报性能最好的三个集合预报系统。

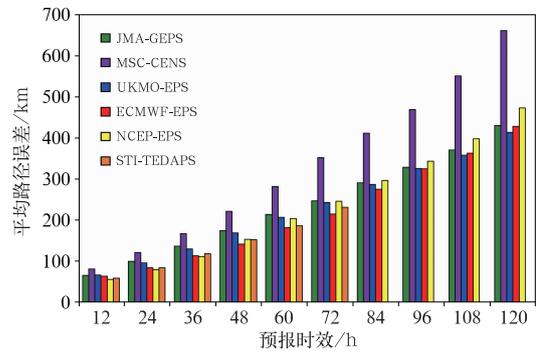


图 4 2019 年集合平均路径预报误差

Fig. 4 Ensemble mean track forecast errors in 2019

陈国民等(2018)利用双向分位图分析了集合预报系统中的台风路径预报集合离散度和路径预报误差。双向分位图基于传统的散点图,通过对 X 轴方向上的集合路径误差和 Y 轴方向上的集合离散度数据进行百分位分析后所绘制。图 5 是 2019 年六个集合预报系统不同预报时效的台风路径预报集合离散度和路径预报误差双向分位分析图。六个集合预报系统对 2019 年全部 29 个台风的路径预报的主

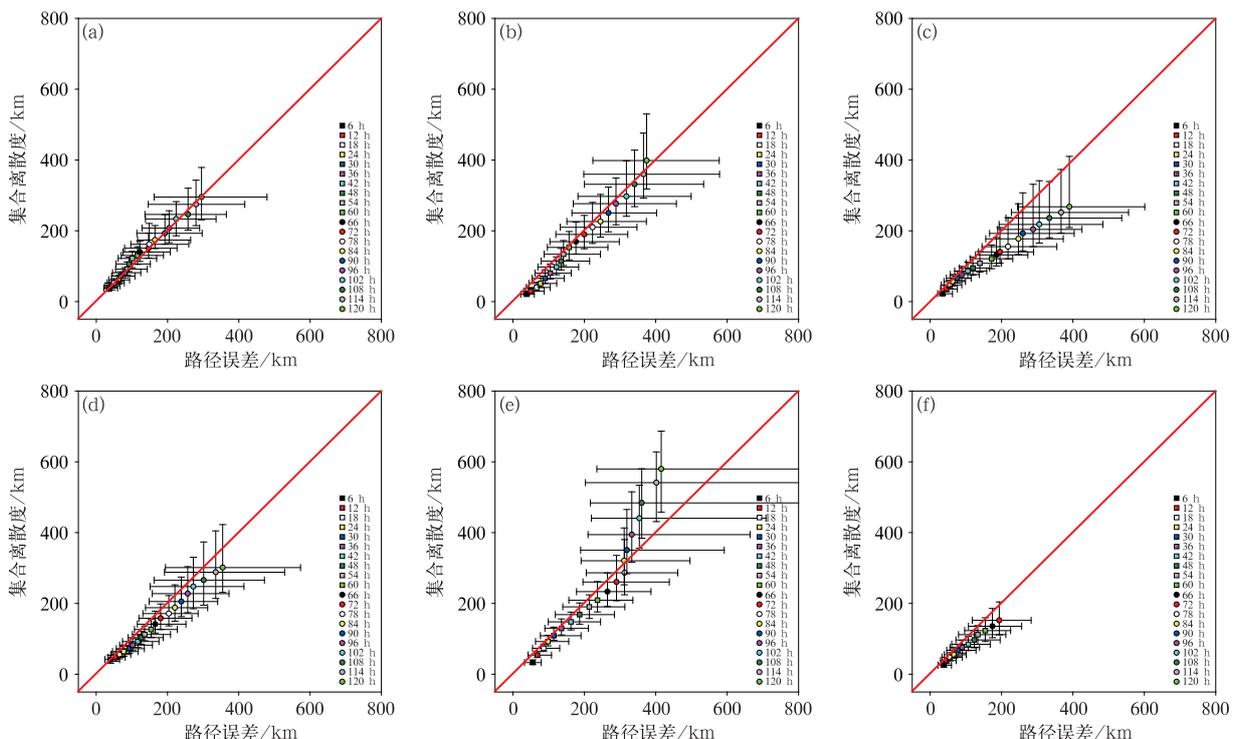


图 5 2019 年六个集合预报系统台风路径预报集合离散度和路径预报误差双向分位分析图

(a)ECMWF-EPS,(b)JMA-GEPS,(c)NCEP-GEFS,
(d)UKMO-EPS,(e)MSC-CENS,(f)STI-TEDAPS

Fig. 5 Bi-direction quantile analysis chart between typhoon track forecast ensemble spread and position error for six ensemble systems in 2019

(a) ECMWF-EPS, (b) JMA-GEPS, (c) NCEP-GEFS, (d) UKMO-EPS, (e) MSC-CENS, (f) STI-TEDAPS

要特点表现如下:以 ECMWF-EPS(图 5a)和 JMA-GEPS(图 5b)为代表的集合预报系统,随着预报时效的递增,其集合离散度和集合路径误差的中位数几乎相当;而 NCEP-GEFS(图 5c)、UKMO-EPS(图 5d)和 STI-TEDAPS(图 5f)这三个集合预报系统,随着预报时效的增加,集合路径误差的中位数会逐渐超过集合离散度的中位数值;对于 MSC-CENS(图 5e)而言,78 h 之内的集合离散度的中位数值随着预报时效的增加会逐渐小于集合路径误差中位数值,但当预报时效 78 h 之后,集合离散度的中位数值会大幅度超过集合路径误差的中位数值。

当集合路径误差大于(小于)集合离散度时,一般认为集合预报系统低估(高估)了台风路径预报的不确定性。因此,整体而言,NCEP-GEFS、UKMO-EPS 和 STI-TEDAPS 三个集合预报系统在一定程度上低估了 2019 年西北太平洋台风路径的不确定性。MSC-CENS 则在短预报时效上低估了台风路

径预报的不确定性,却在长预报时效上高估了台风路径预报的不确定性。

表 5 给出的是 2019 年全年各集合预报方法 70% 概率椭圆命中率统计结果。70% 概率椭圆命中率计算的是集合预报系统各集合成员每一次预测的台风位置的 70% 概率椭圆是否覆盖到观测的台风实际位置(即台风最佳路径位置),最终计算 70% 概率椭圆覆盖到台风实际位置的次数占全年总样本的百分比(Zhang and Yu, 2017)。表 5 表明,2019 年 24~96 h 各集合预报方法中 70% 概率椭圆命中率最高的是 ECMWF-EPS,而 JMA-GEPS 是 120 h 概率椭圆命中率最高的集合预报方法。各预报时效中,最高的 70% 概率椭圆命中率基本能接近或超过 75%,这意味着 2019 年即便是最好的台风集合路径预报系统预测的结果依然有近四分之一的预报样本整体偏离观测到的台风实际位置。

表 5 2019 年各集合预报方法 70% 概率椭圆命中率

Table 5 The hit ratios of 70% probable ellipse for each ensemble system in 2019

预报方法	预报时效/h									
	24		48		72		96		120	
	命中率 /%	样本数 /个								
ECMWF-EPS	74.2	209	77.8	171	78.6	126	85.1	87	77.3	66
JMA-GEPS	47.8	515	61.6	430	69.2	347	72.7	264	81.6	185
MSC-CENS	67.0	218	71.4	182	72.3	141	75.6	82	70.1	67
NCEP-GEFS	64.7	365	60.0	300	53.1	239	53.1	169	52.5	122
UKMO-EPS	62.5	456	59.3	369	65.2	282	71.6	169	66.9	139
STI-TEDAPS	63.2	223	64.6	181	54.7	139	/	/	/	/

3 台风强度预报误差

表 6 列出了 2019 年主观预报方法强度(近台风中心地面最大风速,下同)预报的平均绝对误差、平均均方根误差统计结果。需要指出的是,由于上海台风研究所制定的西北太平洋台风最佳路径采用 2 min 平均风速来表征台风强度,而日本气象厅和美国联合台风警报中心分别采用 10 min 和 1 min 平均风速来表征台风强度,因此在进行台风强度预报精度评估之前,已按照世界气象组织发布的台风条件下风速转换系数(Harper et al, 2010),将日本气象厅和美国联合台风警报中心发布的台风风速预报结果转成了 2 min 平均风速。表 6 显示中、美、日、韩和香港五个官方台风预报机构 24、48、72、96

和 120 h 强度预报的平均绝对误差,其范围区间分别在 3.9~5.3、5.4~6.6、6.4~7.7、6.7~7.8 和 5.9~7.1 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。其中,24、48、72 及 120 h 强度预报平均绝对误差最小的机构均为香港天文台,96 h 强度预报平均绝对误差最小的机构是韩国气象厅。

表 7 给出的是 2019 年全球模式和区域模式强度预报误差统计情况,该表统计的是各模式所有的预报样本,即非同样本比较。从表 7 中可以看到 NCEP-GFS 是 24、48 和 72 h 强度平均绝对误差最小的预报方法,分别达到 5.0、6.0 和 6.8 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; ECMWF-IFS 则分别以 7.1 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 7.5 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 成为了 96 h 和 120 h 这两个长预报时效上强度平均绝对误差最小的模式。区域模式中,GRAPES-TCM 和 HWRF 是强度预报性能最好的两个模式。

通过强度预报误差同样本比较(表 8)后发现,

表 6 2019 年主观预报方法强度预报误差

Table 6 Average errors of subjective intensity forecast in 2019

预报方法	预报时效/h														
	24			48			72			96			120		
	平均绝对 误差 /(m·s ⁻¹)	均方根 误差/ (m·s ⁻¹)	样本数 /个	平均绝对 误差 /(m·s ⁻¹)	均方根 误差/ (m·s ⁻¹)	样本数 /个	平均绝对 误差 /(m·s ⁻¹)	均方根 误差/ (m·s ⁻¹)	样本数 /个	平均绝对 误差 /(m·s ⁻¹)	均方根 误差/ (m·s ⁻¹)	样本数 /个	平均绝对 误差 /(m·s ⁻¹)	均方根 误差/ (m·s ⁻¹)	样本数 /个
中央气象台	4.2	6.0	557	5.8	7.6	431	6.9	8.7	324	7.2	9.1	244	7.1	9.0	170
日本气象厅	4.2	5.8	562	6.5	8.5	369	7.7	9.5	272	7.2	9.1	172	7.1	8.5	111
美国联合台风 警报中心	4.8	6.3	533	6.2	7.9	435	7.5	9.9	362	7.8	10.0	277	7.0	9.2	199
韩国气象厅	5.3	7.0	477	6.6	8.6	389	7.2	9.2	312	6.7	8.7	214	6.4	8.0	143
香港天文台	3.9	5.6	365	5.4	7.5	292	6.4	8.3	208	6.8	8.8	145	5.9	7.5	89

表 7 同表 6, 但为客观预报方法

Table 7 Same as Table 6, but for objective intensity forecast

预报方法	预报时效/h															
	24			48			72			96			120			
	平均绝对 误差 /(m·s ⁻¹)	均方根 误差/ (m·s ⁻¹)	样本数 /个	平均绝对 误差 /(m·s ⁻¹)	均方根 误差/ (m·s ⁻¹)	样本数 /个	平均绝对 误差 /(m·s ⁻¹)	均方根 误差/ (m·s ⁻¹)	样本数 /个	平均绝对 误差 /(m·s ⁻¹)	均方根 误差/ (m·s ⁻¹)	样本数 /个	平均绝对 误差 /(m·s ⁻¹)	均方根 误差/ (m·s ⁻¹)	样本数 /个	
全球 模式	NCEP-GFS	5.0	6.8	364	6.0	8.1	326	6.8	9.3	274	7.5	10.3	211	7.6	10.3	150
	ECMWF-IFS	5.9	8.2	216	7.1	9.7	177	7.4	9.8	139	7.1	9.3	100	7.5	9.7	76
	英国数值	8.0	9.7	281	9.2	10.9	228	10.4	12.3	176	11.0	12.7	136	10.8	12.6	98
	日本数值	5.6	7.3	563	8.8	11.4	482	10.6	13.5	384	10.4	13.4	288	9.1	11.7	209
	韩国 GDAPS	5.6	7.1	22	6.8	9.7	20	7.6	10.0	16	10.3	12.5	13	12.0	14.2	11
区域 模式	上海台风模式	6.4	9.2	196	7.0	9.8	156	7.4	10.2	119	/	/	/	/	/	/
	广州数值	6.4	8.6	244	8.8	11.3	202	9.3	12.0	161	/	/	/	/	/	/
	GRAPES-TYM	5.6	7.3	513	6.6	8.7	426	7.6	10.2	329	8.1	11.2	232	8.2	11.1	155
	GRAPES-TCM	4.9	6.5	405	6.5	8.6	353	6.9	9.0	284	/	/	/	/	/	/
	HWRF	5.2	6.9	292	6.2	8.5	258	7.2	9.9	210	7.4	10.0	160	6.1	8.9	112

表 8 2019 年各预报方法强度平均绝对误差同样本比较

Table 8 Homogeneous comparison for each forecast method's average intensity errors in 2019

预报方法	预报时效/h									
	24		48		72		96		120	
	同样本数 /个	平均绝对 误差 /(m·s ⁻¹)								
中央气象台		3.6		4.9		7.1		7.2		6.5
日本气象厅		4.2		6.1		7.5		7.0		6.2
美国联合台风 警报中心	250	4.2	174	5.6	115	8.2	71	8.5	35	7.6
韩国气象厅		4.7		5.9		7.1		6.6		6.0
香港天文台		4.3		6.0		7.4		7.3		6.3
NCEP-GFS		6.2		7.4		7.9		8.8		5.5
ECMWF-IFS	77	8.4	61	9.3	45	8.9	22	7.0	14	5.4
英国数值		7.6		9.2		9.6		7.9		7.7
日本数值		6.2		8.2		8.6		9.3		5.4
上海台风模式		6.7		8.3		11.3		/		/
广州数值		6.8		10.2		11.2		/		/
GRAPES-TYM	55	5.1	42	7.7	26	10.9	/	/	/	/
GRAPES-TCM		4.4		7.5		10.2		/		/
HWRF		6.1		7.1		9.5		/		/

中央气象台以 $3.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $4.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的误差值成为 24 h 和 48 h 强度预报平均绝对误差最小的预报机构;96 h 和 120 h 强度预报平均绝对误差最小的机构是韩国气象厅,分别为 $6.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $6.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;而中、韩两个机构以 $7.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的平均绝对误差成为了 72 h 强度预报平均绝对误差最小的两家机构。全球模式的强度预报同样本比较结果基本与非同样本比较结果基本一致(表 8),即 3 d 内(包括 3 d)和 3 d 以上的强度预报性能最好的全球模式分别为 NCEP-GFS 和 ECMWF-IFS。此外,日本数值在 24 h 和 120 h 两个预报时效上的强度预报性能也较为优秀。区域模式的强度预报同样本比较也表明 GRAPES-TCM 和 HWRF 在不同预报时效上的强度预报性能互有优势。

近年来,官方台风预报机构的 24 h 台风主观强度预报性能并没有特别明显的改进(图 6a),但 48 h 和 72 h 台风主观强度预报性能自 2017 年起有了一定程度的改善(图 6b 和 6c)。台风主观强度预报能力的提升,主要得益于不断改进的全球和区域模式对于台风强度模拟性能的逐年提升(图 6d~6f)。

4 台风登陆点预报误差

2019 年共有 6 个台风登陆我国,分别为热带风

暴木恩(1904)、热带风暴韦帕(1907)、超强台风利奇马(1909)、强热带风暴白鹿(1911)、热带风暴剑鱼(1914)和台风米娜(1918)。其中“韦帕”和“利奇马”3 次登陆我国,“白鹿”2 次登陆我国,其余 4 个台风均登陆我国 1 次。

表 9 列出了 2019 年国内外各类台风主观预报方法 24 h 登陆点误差。2019 年,中央气象台除了“利奇马”在山东潍坊、“韦帕”在海南文昌和广西防城港的 24 h 登陆点误差大于 200 km 以外,其余登陆点的 24 h 登陆误差均小于 100 km。总体而言,主观预报方法对于“利奇马”在浙江温岭和山东青岛,“白鹿”在台湾屏东和福建东山的登陆点预报效果较好,而对于“利奇马”在山东潍坊,“韦帕”在广西防城港的登陆点预报误差较大。

表 10 是 2019 年国内外各类台风客观预报方法 24 h 登陆点误差。与主观预报方法相似,NCEP-GFS、ECMWF-IFS、英国数值和日本数值这四个全球模式对于“利奇马”在浙江温岭和山东青岛,“白鹿”在台湾屏东和福建东山的登陆点预报误差较小,这四个登陆点的 24 h 登陆误差都在 90 km 以下。上海台风模式、广州数值、GRAPES-TCM、GRAPES-TYM 和 HWRF 五个区域模式则对“韦帕”在广东湛江,“白鹿”在台湾屏东和福建东山的登陆点预报误差较小。

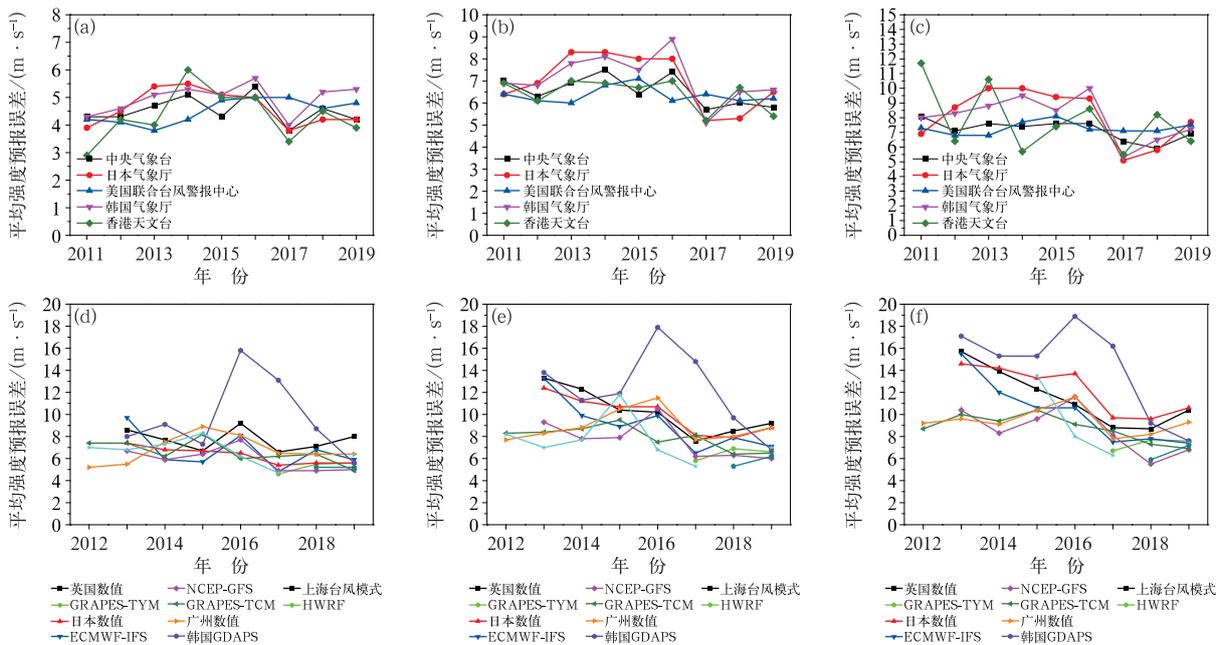


图 6 同图 2, 但为台风强度

Fig. 6 Same as Fig. 2, but for intensity forecast error

表 9 2019 年主观预报方法 24 h 登陆点误差统计(单位: km)

Table 9 The 24 h forecast errors of landing point of subjective methods in 2019 (unit: km)

预报方法	台风名称(登陆地点)										
	木恩 (海南万宁)	韦帕 (海南文昌)	韦帕 (广西防城港)	韦帕 (广东湛江)	利奇马 (山东潍坊)	利奇马 (山东青岛)	利奇马 (浙江温岭)	白鹿 (福建东山)	白鹿 (台湾屏东)	剑鱼 (海南万宁)	米娜 (浙江舟山)
中央气象台	35.8	237.2	231.2	63.5	200.3	47.5	7.9	26.9	22.9	83.9	18.1
日本气象厅	35.1	/	148.7	42.3	212.1	68.2	44.7	43.1	15.2	/	/
美国联合 台风警报中心	/	87.7	213.4	90.6	206.1	84.1	99.7	35.6	16.6	/	/
韩国气象厅	26.9	87.5	246.2	91.3	212.7	66.1	67.2	44.1	42.7	/	95.3
香港天文台	18.3	105.6	244.8	74.8	211.8	90.3	14.8	20.9	2.2	22.0	/

表 10 同表 9, 但为客观预报方法(单位: km)

Table 10 Same as Table 9, but for objective methods (unit: km)

预报方法	台风名称(登陆地点)										
	木恩 (海南万宁)	韦帕 (海南文昌)	韦帕 (广西防城港)	韦帕 (广东湛江)	利奇马 (山东潍坊)	利奇马 (山东青岛)	利奇马 (浙江温岭)	白鹿 (福建东山)	白鹿 (台湾屏东)	剑鱼 (海南万宁)	米娜 (浙江舟山)
NCEP-GFS	/	135.7	214.8	64.3	/	38.9	49.5	39.1	56.9	/	/
ECMWF-IFS	73.7	121.4	/	95.5	203.7	7.0	24.8	19.8	18.7	/	206.5
英国数值	36.8	51.5	/	115.2	201.1	66.6	0.0	68.8	9.3	/	/
日本数值	23.8	167.1	224.4	20.3	199.3	89.3	33.4	73.1	21.1	52.7	/
上海台风模式	/	137.3	99.6	31.4	196.7	106.3	65.4	36.2	13.6	/	/
广州数值	43.6	93.3	/	97.0	199.4	78.4	6.6	8.7	18.7	145.9	/
GRAPES-TYM	/	142.0	254.7	27.7	198.8	115.6	58.7	65.2	41.2	/	/
GRAPES-TCM	/	145.4	138.5	21.9	15.9	45.3	101.3	22.1	25.2	/	567.5
HWRP	/	170.7	225.0	41.9	/	89.3	34.6	89.0	77.5	/	/

5 结 论

本文对 2019 年西北太平洋及我国南海海域台风定位精度及路径、强度和登陆点预报精度进行了评定, 主要结论如下:

(1) 中央气象台、日本气象厅、美国联合台风警报中心、香港天文台和韩国气象厅五个官方机构以及北京卫星实时定位方法的全年总平均定位和定强误差分别为 24.7 km 和 $2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 分别较 2018 年偏大 7.1 km 和 $0.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(2) 2013 年以来, 官方主观台风预报机构和各类模式对于 3 d 以内的台风路径预报性能并没有实质性的改进。2019 年, 部分预报方法路径预报在 24、48 和 72 h 极端误差平均值是各自年平均误差的 2.1~3.9 倍。

(3) 2019 年, ECMWF-EPS 在各预报时效上的集合平均路径误差整体较小, 表现优异。此外, NCEP-GEFS、UKMO-EPS 和 STI-TEDAPS 三个集合预报系统在一定程度上低估了 2019 年西北太平洋台风路径的不确定性。

(4) 五个官方台风预报机构 24、48、72、96 和

120 h 强度预报的平均绝对误差范围区间分别在 $3.9 \sim 5.3$ 、 $5.4 \sim 6.6$ 、 $6.4 \sim 7.7$ 、 $6.7 \sim 7.8$ 和 $5.9 \sim 7.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。中央气象台在 3 d 以内的强度预报效果上优于其他机构。

(5) 各官方台风预报机构对于“利奇马”在浙江温岭和山东青岛, “白鹿”在台湾屏东和福建东山的登陆点预报效果较好, 而对于“利奇马”在山东潍坊, “韦帕”在广西防城港的登陆点预报误差较大。

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. Chen G M, Bai L N, Wan R J, 2017. Verification on forecasts of tropical cyclones over Western North Pacific in 2015[J]. Meteor Mon, 43(4): 501-507 (in Chinese).

陈国民, 曹庆, 2014. 2013 年西北太平洋热带气旋预报精度评定[J]. 气象, 40(12): 1549-1557. Chen G M, Cao Q, 2014. Verification on forecasts of tropical cyclones over Western North Pacific in 2013[J]. Meteor Mon, 40(12): 1549-1557 (in Chinese).

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. Chen G M, Cao Q, Bai L N, 2015. Verification on forecasts of tropical cyclones over Western North Pacific in 2014[J]. Meteor Mon, 41(12): 1554-1561 (in Chinese).

陈国民, 汤杰, 曾智华, 2012. 2011 年西北太平洋热带气旋预报精度

- 评定[J]. 气象, 38(10):1238-1246. Chen G M, Tang J, Zeng Z H, 2012. Error analysis on the forecasts of tropical cyclones over Western North Pacific in 2011[J]. Meteor Mon, 38(10):1238-1246(in Chinese).
- 陈国民, 余晖, 曹庆, 2013. 2012 年西北太平洋热带气旋预报精度评定[J]. 气象, 39(10):1350-1358. Chen G M, Yu H, Cao Q, 2013. Verification on forecasts of tropical cyclones over North-west Pacific in 2012[J]. Meteor Mon, 39(10):1350-1358(in Chinese).
- 陈国民, 张喜平, 白莉娜, 等, 2018. 2016 年西北太平洋和南海热带气旋预报精度评定[J]. 气象, 44(4):582-589. Chen G M, Zhang X P, Bai L N, et al, 2018. Verification on forecasts of tropical cyclones over Western North Pacific in 2016[J]. Meteor Mon, 44(4):582-589(in Chinese).
- 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).
- 李莹, 曾红玲, 王国复, 等, 2020. 2019 年中国气候主要特征及主要天气气候事件[J]. 气象, 46(4):547-555. Li Y, Zeng H L, Wang G F, et al, 2020. Climatic characteristics and major meteorological events over China in 2019[J]. Meteor Mon, 46(4):547-555(in Chinese).
- 汤杰, 陈国民, 余晖, 2011. 2010 年西北太平洋台风预报精度评定及分析[J]. 气象, 37(10):1320-1328. Tang J, Chen G M, Yu H, 2011. Precision evaluation and error analysis on the forecasts of typhoons over the Western North Pacific in 2010[J]. Meteor Mon, 37(10):1320-1328(in Chinese).
- 占瑞芬, 汤杰, 余晖, 2010. 2009 年西北太平洋热带气旋定位和预报精度评定[J]. 气象, 36(10):114-121. Zhan R F, Tang J, Yu H, 2010. Precision of the tropical cyclone positioning and forecasts over the Western North Pacific in 2009[J]. Meteor Mon, 36(10):114-121(in Chinese).
- 中国气象局, 2012. 台风业务和服务规定(第四次修订版)[M]. 北京: 气象出版社: 38-41. China Meteorological Administration, 2012. Regulations on Typhoon Operations and Services (Forth Revision)[M]. Beijing: China Meteorological Press: 38-41(in Chinese).
- Harper B A, Kepert J D, Ginger J D, 2010. Guidelines for converting between various wind averaging periods in tropical cyclone conditions[R]. Geneva: World Meteorological Organization.
- Leonardo N M, Colle B A, 2017. Verification of multimodel ensemble forecasts of North Atlantic tropical cyclones[J]. Wea Forecasting, 32(6):2083-2101.
- Ying M, Zhang W, Yu H, et al, 2014. An overview of the China Meteorological Administration tropical cyclone database[J]. J Atmos Ocean Technol, 31(2):287-301.
- Zhang X P, Yu H, 2017. A probabilistic tropical cyclone track forecast scheme based on the selective consensus of ensemble prediction systems[J]. Wea Forecasting, 32(6):2143-2157.