

梁依玲,梁存桂,韩慎友,等.基于集合预报优选台风路径订正技术的广西风雨预报研究[J].气象研究与应用,2024,45(3):21-28.  
LIANG Yiling, LIANG Cungui, HAN Shen you, et al. Research on wind and rain forecasts in Guangxi based on the ensemble forecast optimization technique for typhoon track revision[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(3): 21-28.

## 基于集合预报优选台风路径订正技术的广西风雨预报研究

梁依玲, 梁存桂, 韩慎友, 李佳颖, 翟舒楠

(广西壮族自治区气象台, 南宁 530022)

**摘要:** 利用2017—2019年欧洲中心全球集合预报数据以及中国气象局热带气旋资料中心的最佳路径数据集, 基于统计分析和集合预报释用技术, 对影响广西的台风路径预报提出一种实时订正技术。通过优选N个误差较小的集合预报成员, 生成台风路径订正产品、台风概率匹配平均降水产品和台风大风合成分析产品。结果表明, 利用优选集合成员的算术平均模型预报台风路径比集合预报平均、确定性预报效果改善, 且预报时效越长, 改善效果越明显, 24 h、48 h时效的台风路径预报误差比集合平均减小4 km和6 km, 比确定性预报减小5 km和19 km; 优选集合成员的概率匹配平均降水产品, 在一定程度上能改善传统的集合平均降水产品, 特别是对大暴雨落区预报, 36 h、60 h时效大暴雨TS评分较集合平均提高10%和12%; 优选集合成员的大风合成分析产品, 能预报出台风影响时极大风区移动、增强、减弱的态势, 36 h时效6、7、8级以上极大风的TS评分较集合平均提高18.3%、15.7%、13.4%, 对9~11级以上的极大风有一定的预报能力。

**关键词:** 台风路径; 集合预报; 概率匹配平均降水产品

**中图分类号:** P457.8 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.3.03

台风是最强的暴雨天气系统<sup>[1]</sup>, 所经之处往往会出现大风、暴雨, 引发江河洪涝、城市内涝、山洪和泥石流等次生和衍生灾害, 给人民群众的生命财产安全造成极大威胁。广西地处低纬度, 南临热带海洋, 台风成为影响广西的重要天气系统<sup>[2]</sup>。近50 a来, 平均每年影响广西的热带气旋约5个, 影响集中期是7—9月, 台风引发的暴雨常导致江水暴涨、洪水泛滥, 造成经济损失或人员伤亡<sup>[3]</sup>。因此, 对台风的研究是气象工作者的焦点和重点, 加深台风风雨的分析研究非常有必要, 这对气象防灾减灾工作具有重要意义。许多气象学者围绕影响广西台风近海或入海加强的成因<sup>[4-6]</sup>、台风暴雨特点、成因以及预报偏差<sup>[7-12]</sup>、台风非对称结构特征<sup>[13-15]</sup>、台风降水产品的误差评估<sup>[16-17]</sup>、台风大风<sup>[18-21]</sup>等进行研究分析, 取得相应系列成果。

台风造成的暴雨和大风受其路径和强度影响极大, 因此做好台风路径预报至关重要。集合预报释用技术作为集合预报系统中的重要组成部分, 目的是从近似海量的集合预报数据中提取有用信息, 且研究表明在集合预报成员中总能找到一些与台风实际路径误差较小的成员<sup>[22-23]</sup>。钱奇峰等<sup>[22]</sup>利用ECMWF集合预报台风路径和中央气象台实时业务定位, 在统计分析的基础上, 提出一种业务上可用的针对单模式集合预报的台风路径实时订正技术, 结果表明该订正技术优于集合预报平均和确定性预报。陈博宇等<sup>[23]</sup>提出一种业务上可用的针对单模式集合预报的台风降水实时订正技术(简称集合成员优选技术), 该技术对改进集合统计量降水产品有明显的帮助, 对短期时效预报产品的效果优于中期时效预报, 对大暴雨评分的改进高于暴雨和大

收稿日期: 2024-02-26

基金项目: 珠江流域(华南区域)气象科研开放基金项目(ZJLY202304)、广西气象科研计划项目(桂气科2020QN03、桂气科2022M09)

第一作者: 梁依玲(1989-), 硕士, 高级工程师, 主要从事短中期天气预报与台风海洋预报研究。E-mail: 907905060@qq.com

雨评分。

基于台风路径预报的重要性,本文参考钱奇峰、陈博宇等人的研究,将集合预报优选订正技术进行本地化,利用欧洲中心全球集合预报数据(简称ECMWF集合预报)和中国气象局(CMA)热带气旋资料中心的最佳路径数据集,提出一种影响广西台风业务上可行的集合预报释用方法,通过优选N个误差较小的集合预报成员,生成台风路径订正产品、台风概率匹配平均降水产品和台风大风合成分析产品,弥补广西台风客观预报产品少的缺陷,旨在提高广西台风风雨精细化预报的准确率,提升防灾减灾救灾的能力。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料说明

使用ECMWF集合预报的资料,集合成员有51个(50个扰动成员和1个控制预报)。ECMWF集合预报台风路径资料包含TC中心位置、最低海平面气压、中心附近最大风速。ECMWF集合预报降水、10 m风场资料,水平分辨率约为30 km(0.5°×0.5°),含161×111个格点。

中国气象局热带气旋资料中心的最佳路径资料集,包含TC的中心位置、中心最低气压(hPa)、2 min平均近中心最大风速(m·s<sup>-1</sup>)、2 min平均风速(m·s<sup>-1</sup>)、强度标记。

在广西气象预报业务工作中,将台风中心进入19°N以北、112°E以西地区的台风定义为影响广西的台风<sup>[24]</sup>。据此,本研究筛选2017—2019年影响广西的台风共10个,见表1。此外还统计2017—2019年进入广西48 h警戒线(16°N以北、120°E以西)的台风,共19个(包括进入广西影响区的台风)。

表1 2017—2019年影响广西的台风

序号	年份	台风编号	台风名称	中心最大风速/(m·s <sup>-1</sup> )
1	2017	1713	天鸽/HATO	52(16级)
2	2017	1714	帕卡/PAKHAR	30(11级)
3	2017	1720	卡努/KHANUN	42(14级)
4	2018	1809	山神/SON-TINH	23(9级)
5	2018	1816	贝碧嘉/BEBINCA	28(10级)
6	2018	1822	山竹/MANGKHUT	65(18级)
7	2018	1823	百里嘉/BARIJAT	25(10级)
8	2019	1904	木恩/MUN	18(8级)
9	2019	1907	韦帕/WIPHA	23(9级)
10	2019	1911	白鹿/BAILU	30(11级)

### 1.2 台风路径优选订正方法

在ECMWF集合预报的51个成员中,除去个别情况,总有某些集合成员的台风路径预报效果与实际路径接近,每次预报都能从ECMWF集合预报中挑选误差最小的成员组合新的预报集合。因此,在实际业务中,利用集合模式起报时刻到业务起报时刻之间最新的台风路径实况来优选预报误差相对小的集合成员,组成新的预报集合,称之为集合预报台风路径优选订正方法。

本项目主要使用两种优选订正方法模型。

模型一:根据最新的台风当前位置(P0),选择最新起报时刻的集合预报各成员台风路径中路径误差最小的N个路径做算术平均(AVE),得到订正路径,公式如下:

$$\begin{cases} Fmean(t) = AVE[Min|Dis(PE - P0)|_i^N] \\ Fmean\_lag(t + \Delta t) = Fmean(t + \Delta t) \end{cases} \quad (1)$$

这里路径误差(Dis)是指最新的集合预报延时12 h时刻台风位置(PE)与台风当前定位(P0)的距离,式(1)中函数Min(<sub>i</sub><sup>N</sup>)表示取集合成员中预报误差最小的N个成员,函数AVE表示对这些成员的预报路径进行算术平均,Δt是最新集合预报距当前起报时刻的时差,业务上为24 h、48 h的预报,即延时36 h、60 h。Fmean(t)函数表示集合预报延时12 h时刻与台风当前定位选取的N个集合成员的算术平均路径,Fmean\_lag(t+Δt)表示考虑广西台风业务预报频次的预报路径。

模型二:各相关参数如模型一,使用的是反距离权重的加权平均(WAVE)算法,即距离未知点越近的已知点权重越大,距离越远的已知点权重越小。λ<sub>i</sub>表示权重,即距离目标位置越近的样本点对结果的贡献权重越大。

$$\begin{cases} Fmean(t) = AVE[\lambda_i Min|Dis(PE - P0)|_i^N] \\ \lambda_i = (1/Dis_i) / (\sum_{i=1}^N (1/Dis_i)) \\ Fmean\_lag(t + \Delta t) = Fmean(t + \Delta t) \end{cases} \quad (2)$$

利用这两个模型,基于最新的台风中心定位,在51个集合成员中,选取集合模式起报后12 h时刻中心位置预报误差最小的前N个成员为优选集合成员,组成优选成员集合。

### 1.3 台风风雨精细化预报订正方法

利用优选的N个集合预报成员做概率匹配平均降水产品以及用优选的N个集合预报成员做大风合成分析,得到大风合成分析产品。

概率匹配平均方法(Probability Matching average, 简称PM):将  $N$  个优选集合成员的预报数值计算平均,得到集合平均场(包含  $M$  个数据),将集合平均场中所有的数值( $M$  个)从大到小排列,并保留各预报数值在原来平均场中的位置;然后将所有  $N \times M$  个预报数值从大到小排列,分成  $M$  等份,保留每一等份的中位数;最后将  $M$  等份的中位数与从大到小排列的集合平均场序列匹配,并将数值保留至对应的集合平均场中的位置,得到概率匹配平均产品。

大风合成分析方法:根据不同预报时效确定的优选集合成员数  $N$ ,每次预报利用模式起报时刻到业务起报时刻之间时段内最新的实况来优选  $N$  个预报偏差较小的成员,利用  $N$  个预报偏差较小的成员做合成算数平均得到大风合成分析产品。

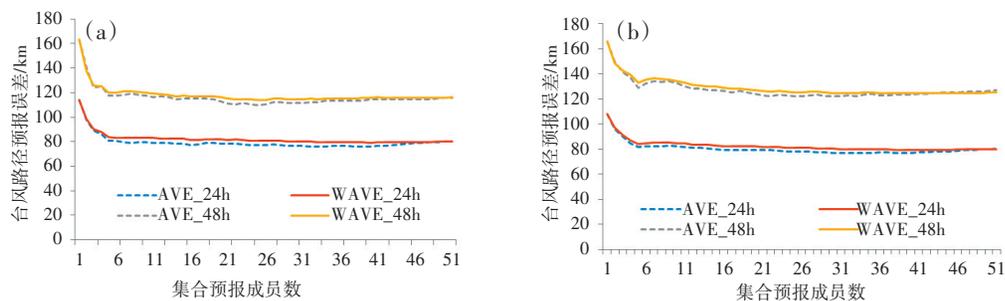


图1 两种订正模型(AVE、WAVE)的不同集合预报成员数( $N$ ,横坐标)计算各预报时效的2017—2019年平均路径误差(单位:km)。(24,48h(a)、24h、48h(b)预报样本数分别为3264、2346、6018、4386)

(a)影响广西的台风;(b)进入广西48 h警戒线的台风

由于路径误差曲线有极小值区间,从统计学的角度确定  $N$  值,选择最接近台风实时位置的一组集合成员的算数平均或反距离权重作为预报路径,比选择其它集合成员组的预报效果更好。从广西台风预报业务出发,首先需要确定订正模型,其次需要确定不同预报时效使用的集合成员数。当业务上的台风定位产生后,根据最新预报时刻的集合模式优选适当的成员数来预报台风路径,生成基于集合预报订正方法的台风客观路径预报,供业务预报参考使用。图2为两种订正模型(AVE、WAVE)的不同集合预报成员数( $N$ )计算各预报时效2017—2019年3 a平均路径误差与该模型极小值的差值。结合图1、图2可以看出,在误差极小值附近,存在一个区间使平均路径误差随  $N$  的变化很小,因此可以确定集合成员数  $N$ ,使得误差接近或趋于最小。从

## 2 台风路径优选订正分析

利用台风路径优选订正的两种模型,对2017—2019年影响广西或进入广西48 h的台风进行统计,结果如图1。2017—2019年影响广西或进入广西48 h的台风都有以下特点,两种模型的平均误差都随集合成员数( $N$ 值)的增大快速减小,然后随着  $N$  值的增大缓慢减小后稍有增大,所以产生误差最小或接近最小的集合成员区间。当集合成员数  $N$  为51时,即为集合预报平均,所以使用集合平均数值在台风路径预报中并不是最好的选择。从两种模型来看,在集合模式预报中,初始误差越小的集合成员的路径预报并非越好。在两种订正模型中,采用反距离权重(WAVE)模型计算的大部分时效的平均路径误差比采用算术平均(AVE)模型的要大,并且极小值误差也比算术平均(AVE)大。

图1可知,采用反距离权重(WAVE)模型计算的大部分时效平均路径误差比采用算术平均(AVE)模型大,因此在广西台风预报业务中采用算术平均(AVE)模型。确定订正模型后,根据图2,24 h台风路径误差在  $N$  取值[21,41]范围内在0~2区间波动,并在  $N=31$  附近减小,误差值在0~1区间波动,取其中位数31,48 h台风路径误差在  $N$  取值[21,29]范围内在0~2区间波动,并在  $N=25$  附近误差值在0~1区间波动,取其中位数25,最终确定影响广西台风24 h、48 h预报时效的  $N$  值为31、25。

利用确定的优选成员数  $N$ ,对2017—2019年影响广西的台风用优选成员的算术平均(AVE)模型和反距离权重(WAVE)模型、集合平均(MEAN)、ECMWF 确定性预报(DTM)做同频次的路径预报,如图3所示,优选集合成员的两种订正模型业务上

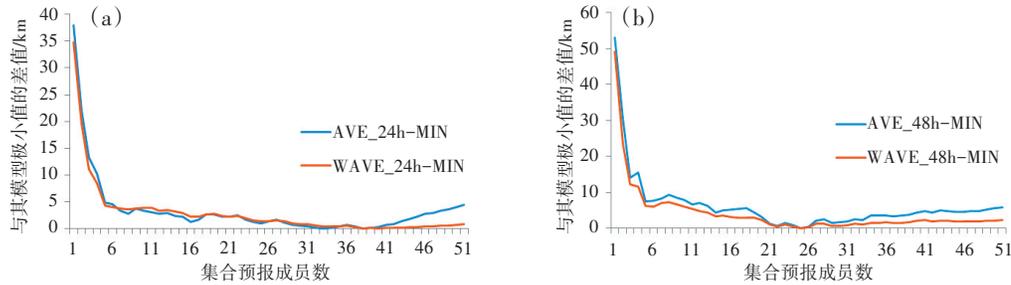


图2 两种订正模型(AVE、WAVE)的不同集合预报成员数(N,横坐标)计算的各项预报时效2017—2019年平均路径误差与该模型极小值的差值(单位:km)

(a)影响广西的台风;(b)进入广西48 h警戒线的台风

的24 h、48 h路径预报误差均比集合预报平均(MEAN)和确定性预报(DTM)小。优选集合成员的算术平均(AVE)模型24 h、48 h预报时效路径预报误差分别比集合平均减小4 km和6 km,比确定性预报减小5 km和19 km,优选集合成员的反距离权重(WAVE)模型24 h、48 h预报时效路径预报误差分别比集合平均减小1 km和2 km,比确定性预报减小2 km和15 km。因此在广西台风路径预报业务中,采用优选集合成员的算术平均(AVE)模型预报台风路径比集合平均、确定性预报效果更好,主要原因是通过最新的实时台风定位对集合成员进行筛选,在统计学上能过滤预报效果较差的集合成员,保留一组对当前台风模拟和预报效果较好的集合成员,得到的预报效果提高。同时研究表明,预报时效越长,改善效果越明显。因此将优选集合成员数N的路径预报作算术平均作为业务预报参考,有助于提高台风预报效果。

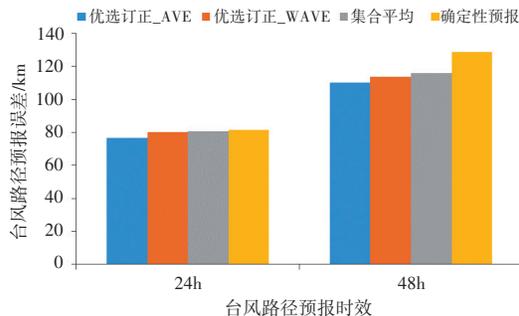


图3 两种优选订正模型(AVE、WAVE)对2017—2019年影响广西的台风业务预报的误差与采用ECMWF集合预报平均、确定性预报作同样本路径预报的比较(单位:km)

### 3 台风降雨精细化预报分析

根据广西热带气旋基本路径预报业务规定,将登陆华南影响广西的热带气旋基本路径划分为3

类,分别为第I类(西路型)在湛江市以西(或以南)登陆;第II类(中路型)在湛江市到珠江口以西之间登陆;第III类(东路型)在珠江口以东至福州之间登陆<sup>[3]</sup>。综上所述,本研究将2017—2019年影响广西的台风路径划分为3类,由于1809号“山神”和1823号“百里嘉”台风在广西造成的降雨较弱,日降雨量大雨站数不超过5站,所以本文在分析降水影响时不予讨论,选取以下8个例子(见表2)。

表2 2017—2019年影响广西的台风路径分型

序号	年份	台风编号	台风名称	路径划分类型
1	2017	1713	“天鸽”/HATO	中路型(第II型)
2	2017	1714	“帕卡”/PAKHAR	中路型(第II型)
3	2017	1720	“卡努”/KHANUN	西路型(第I型)
4	2018	1816	“贝碧嘉”/BEBINCA	西路型(第I型)
5	2018	1822	“山竹”/MANGKHUT	中路型(第II型)
6	2019	1904	“木恩”/MUN	西路型(第I型)
7	2019	1907	“韦帕”/WIPHA	西路型(第I型)
8	2019	1911	“白鹿”/BAILU	东路型(第III型)

对2017—2019年影响广西造成较强降雨的台风过程进行降雨分级TS评分(见图4)。结果显示,36 h时效优选集合成员的概率匹配平均(简称OPTI\_PM)降水产品各项降雨分级TS评分均优于集合平均(简称MEAN)产品,36 h时效的OPTI\_PM产品中中雨、大雨、暴雨TS评分稍高于MEAN产品,大暴雨TS评分明显高于MEAN产品,大暴雨TS评分提高10%。60 h时效OPTI\_PM的中雨、大雨TS评分与MEAN产品持平,暴雨TS评分比MEAN产品低4%,但是大暴雨TS评分明显提高,大暴雨TS评分提高12%。总体而言,优选集合成员的概率匹配平均降水产品,在一定程度上能改善传统的集合平均降水产品,36 h时效的改进效果优于60 h,两者对大暴雨改进效果非常明显。

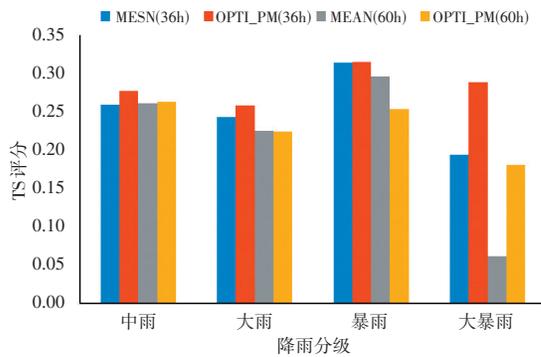


图4 36h、60h时效的集合平均(MEAN)产品和优选集合成员的概率匹配(OPTI\_PM)产品降雨分级TS评分

本文选取2个中路型(1713号“天鸽”、1822号“山竹”)、2个西路型(1720号“卡努”、1907号“韦帕”)、1个东路型(1911号“白鹿”)进行具体分析集合预报成员优选概率匹配平均降水产品的性能。

### 3.1 中路型

1713号台风“天鸽”在广东省珠海市沿海一带登陆,从玉林市与梧州市交界处移入广西。受“天鸽”影响,8月23日08时至24日08时,广西南部 and 沿海出现暴雨到大暴雨天气,玉林、贵港、北海一带有大暴雨。与MEAN产品比较,OPTI\_PM 36 h时效的大暴雨落区扩大,预报出玉林、贵港、北海一带的大暴雨区,更接近实况,OPTI\_PM 36 h时效的大暴雨TS评分达到44%,较MEAN提高8%;OPTI\_PM 60 h时效预报广西南部暴雨区西扩,预报出桂东南的大暴雨区,明显优于MEAN 60 h时效,MEAN漏报桂东南大暴雨落区,OPTI\_PM 60 h时效的大暴雨TS评分达到39%,MEAN仅为2%。从这个个例来看,对于台风造成的大暴雨落区,OPTI\_PM明显优于MEAN,对暴雨及以上的落区预报较好,与实况更接近。

1822号台风“山竹”9月15日凌晨在菲律宾吕宋岛东北部沿海地区登陆,9月16日17时在广东台山市海宴镇再次登陆,从玉林北流市南部进入广西。受“山竹”影响,9月16日20时至17日20时,广西大部有大雨到暴雨,局地大暴雨,暴雨落区呈西北—东南走向,主要集中在北海、玉林、梧州、贵港、南宁、来宾、河池一带,大暴雨落区分散,OPTI\_PM 36 h、60 h时效预报的大暴雨落区范围较集合平均MEAN产品更大,对贵港、来宾、玉林的大暴雨落区有指示作用,大暴雨TS评分为21%和20%,远高于MEAN的9%和8%;OPTI\_PM暴雨落区形态和

MEAN相似,均预报暴雨落区偏广。

根据前人的研究从中路路径登陆的西太平洋热带气旋,主要造成广西全区性和区域性暴雨,其中以造成全区性暴雨居多<sup>[3]</sup>。针对此类台风造成的大暴雨落区,OPTI\_PM明显优于MEAN,对暴雨及以上落区预报较好,与实况更为接近。

### 3.2 西路型

1720号台风“卡努”于2017年10月13日03时前后在菲律宾吕宋岛北部沿海登陆,登陆后穿越菲律宾进入南海,16日03时前后在广东省徐闻县登陆,登陆后西行强度减弱。受台风“卡努”影响,10月15日08时至16日08时,广西南部、西部有中到大雨,OPTI\_PM 36 h、60 h时效预报的大雨落区向钦州市方向扩展,预报的大雨范围较集合平均稍广,与实况更接近,大雨的TS评分较MEAN分别提高23%和8%,但无论是OPTI\_PM还是集合平均MEAN预报大雨和中雨的范围均比实况小。

1907号台风“韦帕”于2019年8月1日22时在北部湾海面沿着广西海岸线向西移动,之后在防城港市沿海地区再次登陆,登录之后西行进入越南并减弱。受台风“韦帕”影响,8月2日08时至3日08时,广西南部 and 沿海地区有大雨到暴雨,部分地区大暴雨,局地特大暴雨,OPTI\_PM 36 h、60 h时效预报的大暴雨落区范围均比MEAN广,更接近实况大暴雨落区分布,大暴雨TS评分分别提高10%和18%。

### 3.3 东路型

1911号台风“白鹿”生成后稳定向西北方向移动,强度逐渐加强,先后在台湾省屏东县满州乡沿海和福建省东山县沿海地区登陆,随后向西北方向移动穿过广东北部、江西南部市县,强度逐渐减弱。台风“白鹿”具有明显的结构不对称特点,造成广西强降雨主要出现在台风残余环流西南侧。

台风“白鹿”中心虽然没有进入广西,但受其环流影响,8月25日20时至26日20时,广西东部出现大雨到暴雨,局部大暴雨,当降水不是出现在台风周围,出现在台风残余环流南侧时,无论是OPTI\_PM还是集合平均MEAN都对台风西南侧的强降雨出现漏报,预报效果一般。

## 4 台风大风精细化预报分析

对2017—2019年影响广西台风过程的36 h时效优选集合成员(简称OPTI)的大风合成产品和集

合平均大风产品(简称 MEAN)的极大风速 $\geq 6$ 级( $\geq 10.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )、 $\geq 7$ 级( $\geq 13.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )、 $\geq 8$ 级( $\geq 17.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )、 $\geq 9$ 级( $\geq 20.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )、 $\geq 10$ 级( $\geq 24.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )、 $\geq 11$ 级( $\geq 28.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )进行 TS 评分。结果显示(见图 5),OPTI 大风合成产品各级 TS 评分均高于集合平均产品,OPTI 大风合成产品 6、7、8 级以上极大风的 TS 评分高达 34.9%、20.2%、13.7%,集合平均仅为 16.6%、4.5%、0.3%,分别提高了 18.3%、15.7%、13.4%。对

于 9 级、10 级、11 级以上的大风,集合平均均表现出漏报的情况,漏报率达到 100%,OPTI 大风合成产品 TS 评分分别为 8.4%、5.3%、3.2%,对 9~11 级以上的极大风有一定的预报能力,但空报率较高,9~11 级以上的极大风空报率均高于 90%。从空报率可以看出,对于 6、7 级以上的极大风 OPTI 大风合成产品能有效降低空报率,但是整体来看,OPTI 大风合成产品预报极大风风区范围偏广,空报率高。

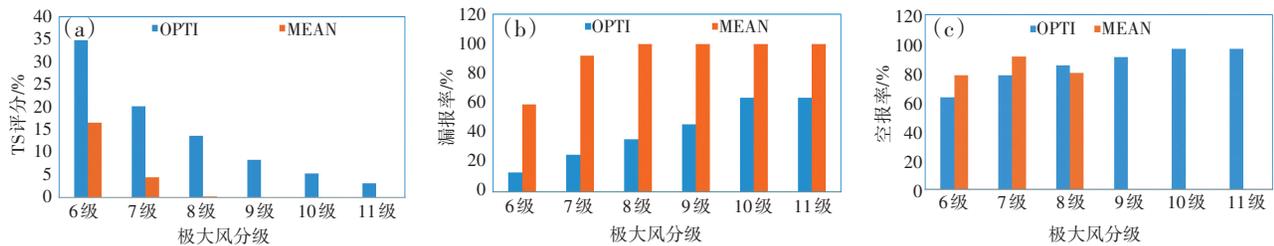


图5 36 h的优选集合成员(OPTI)的大风合成产品和集合平均(MEAN)大风产品分级TS评分(a)、漏报率(b)、空报率(c)

选取 2 个台风个例(1822 号台风“山竹”、1907 号台风“韦帕”),具体分析优选集合预报成员合成大风产品的性能。

1822 号台风“山竹”造成大风范围广,9 月 16—18 日,全区大部地区出现 7~9 级,局部 11~13 级的大风,出现大风 55 站日,为 1963 年以来最多,12 级以上大风主要出现在北流、贵港、全州等地,北部湾海面风力 7~8 级,阵风 9~10 级。台风“山竹”于 9 月 16 日 23 时以台风级别( $33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )从玉林北流南部进入广西,2018 年 9 月 16 日 14 时至 17 日 20 时,对广西造成大风影响。期间,大风主要出现在桂东一带,极大风风力逐渐增强,OPTI 大风合成产品正确地预报出该变化趋势。16 日 20 时至 17 日 02 时,玉林、梧州、贵港大部极大风风力达到 9~11 级,局部达到 12~13 级,其中玉林市北流市大容山山顶和贵港市港南区东津镇 13 级,OPTI 大风合成产品预报出这三个市的极大风区,但预报量级偏大,预报大部 12 级左右,局部 13~14 级大风,对桂东南极大风区有指示作用。17 日 02 时至 17 日 08 时,预报出风力逐渐减弱的态势,但整体风力预报偏强,同时预报出贵港、来宾金秀以及大明山附近的极大风区。

2019 年 8 月 2 日,1907 号台风“韦帕”进入北部湾后沿海岸线西行,给广西南部特别是沿海地区带来大风,桂南部分地区和北部湾海面出现 7~9 级,阵风 10~12 级的大风。2 日 02 时,OPTI 大风合成产品预报出沿海、横州至金秀、南宁大明山的极大

风中心,2 日 14 时 OPTI 大风合成产品预报陆地 8 级以上大风区范围明显偏广。

对这两个个例进行分析评估得出,优选集合预报成员的大风合成产品能预报出台风影响时极大风区移动、增强、减弱的态势,但是存在预报极大风的风区范围偏广的问题,空报率高。

## 5 结论与讨论

(1)通过采用算术平均(AVE)和反距离权重(WAVE)模型对 2017—2019 年影响广西的台风路径误差进行统计分析,发现利用反距离权重(WAVE)模型计算的大部分时效台风路径误差值比采用算术平均(AVE)模型大,在实际业务中采用算术平均(AVE)模型。订正模型后,台风路径误差曲线存在极小值区间,在区间范围内路径误差变化不大,得出广西台风路径预报 24 h、48 h 预报时效的集合成员数  $N$  为 31、25,确定影响广西台风的优选集合成员数  $N$ 。

(2)对 2017—2019 年影响广西的台风用优选集合成员的算术平均(AVE)模型和反距离权重(WAVE)模型、集合平均、ECMWF 确定性预报做同频次的路径预报,优选集合成员的算术平均(AVE)模型 24 h、48 h 预报时效误差分别比集合平均减小 4 km 和 6 km,比确定性预报减小 5 km 和 19 km;优选成员的反距离权重(WAVE)模型 24 h、48 h 预报时效误差分别比集合平均减小 1 km 和 2 km,比确定

性预报减小 2 km 和 15 km。用优选集合成员的算术平均(AVE)模型预报台风路径比集合预报平均、确定性预报效果改善, 预报时效越长, 改善效果越明显。因此将优选集合成员的算术平均(AVE)模型作为台风业务预报参考, 有助于提高台风预报效果。

(3) 利用优选集合预报成员做概率匹配平均降水分析, 得出基于最新台风中心定位的优选集合成员降水预报方法, 在一定程度上能改善传统的集合平均降水产品, 特别是对大暴雨的强降雨落区预报效果明显优于集合平均 MEAN, 36 h、60 h 时效大暴雨 TS 评分较集合平均提高 10% 和 12%, 可以投入业务中使用。但是对于结构不对称、强降雨主要出现在台风残余环流西南侧的台风降水改进效果不明显, 主要原因在于模式整体性能和台风的个体特征差异。

(4) 利用优选集合预报成员(OPTI)的 36 h 时效大风合成产品各级 TS 评分均高于集合平均大风产品, 6、7、8 级以上极大风的 TS 评分分别提高 18.3%、15.7%、13.4%, 对 9~11 级以上的极大风有一定预报能力。优选集合预报成员的大风合成产品能预报出台风影响时极大风区移动、增强、减弱的态势, 但是存在预报的极大风的风区范围偏大的问题。

本文优选成员数 N 是基于台风路径误差统计结果优选出来, 以后可以进一步尝试利用集合模式起报时刻到业务起报时刻之间时段内最新的降水实况来优选预报偏差较小的成员。集合预报降水产品中, 概率匹配平均(PM)产品、融合(FUSE)产品、最优百分位、频率订正产品各有优缺点, 在以后的研究中可以增加融合(FUSE)产品、最优百分位、频率订正等优选订正降水产品的研究。

#### 参考文献:

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [2] 肖志祥, 姚才, 赵金彪, 等. 广西热带气旋预报业务和研究进展[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(4): 20-27.
- [3] 《广西天气预报技术和方法》编写组. 广西天气预报技术和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2012.
- [4] 李紫甜, 古明悦, 黄莉, 等. 台风“山神”(1809)残涡再度入海加强成因分析[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(3): 94-98.
- [5] 韩慎友, 陈伟斌, 陈见. 超强台风“天鸽”(1713)近海急剧加强特征及诊断分析[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(1): 70-74.
- [6] 曾小团, 黄海洪, 罗建英, 等. 台风“芭玛”(2009)近海突然加强的模拟研究[J]. 气象研究与应用, 2018, 39(3):

- 1-6.
- [7] 陆芊芊, 黄卓. 广西台风与非台风暴雨时空变化特征差异分析[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(3): 12-17.
- [8] 郑凤琴, 王盛繁, 赵金彪, 等. 广西台风极端强降水特征及环境参数异常性分析[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(4): 7-13.
- [9] 黎彦佐, 陆丽秋. 南宁市台风暴雨特征分析[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(3): 31-36.
- [10] 赵飞, 包文雯, 张雪波, 等. 台风“浪卡”(2016)暴雨成因及数值预报模式偏差分析[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(3): 83-87.
- [11] 宁子杰, 包文雯, 陈峥蓉, 等. 台风“浪卡”(2016)暴雨特点及卫星云图特征分析[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(3): 88-93.
- [12] 肖志祥, 黎金玲, 罗小莉. 1415 号台风“海鸥”广西极端暴雨预报偏差分析及地形订正[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(4): 14-19.
- [13] 黄滢, 潘一铭, 蒋静. 秋季台风“海燕”的特点及成因分析[J]. 气象研究与应用, 2019, 40(3): 13-17.
- [14] 曾佩芳, 薛宇峰, 梁梅, 等. 台风“韦帕”的非对称结构特征及其登陆异常的成因分析[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(1): 118-121.
- [15] 覃丽, 黄海洪, 吴俞, 等. 1306 号热带气旋“温比亚”非对称降水的环境场特征[J]. 暴雨灾害, 2014, 33(2): 121-128.
- [16] 李晓俞, 陈生, 梁振清, 等. 台风“山竹”期间 GPM 卫星降水产品的误差评估[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(3): 8-15.
- [17] 邓悦, 任晓炜, 丘平珠, 等. 台风“海高斯”(2007)期间多种降水融合实况产品的误差评估[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(3): 62-68.
- [18] 金龙, 黄颖, 姚才, 等. 人工智能技术的热带气旋预报综述(之一)——BP 神经网络和集成方法的热带气旋预报研究和业务应用[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(2): 1-6.
- [19] 陈润珍, 孔宁谦. 广西沿海热带气旋大风数值预报探讨[J]. 海洋预报, 2004(1): 52-55.
- [20] 董彦, 林开平, 黄小燕. 南海热带气旋大风的遗传-神经网络集合预报[J]. 气象研究与应用, 2014, 35(1): 40-45.
- [21] 吴玉霜, 黄小燕, 陈家正, 等. 机器学习在广西台风极大风速预报中的应用[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(4): 26-31.
- [22] 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(5): 905-910.
- [23] 陈博宇, 郭云谦, 代刊, 等. 面向台风暴雨的集合预报成员优选订正技术研究及应用试验[J]. 气象, 2016, 42(12): 1465-1475.
- [24] 蒙远文, 蒋伯仁, 韦相轩, 等. 广西天气及其预报[M]. 北京: 气象出版社, 1989.

## Research on wind and rain forecasts in Guangxi based on the ensemble forecast optimization technique for typhoon track revision

LIANG Yiling , LIANG Cungui, HAN Shen you , LI Jiaying , ZHAI Shunan  
(Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022,China)

**Abstract:** Based on the ECMWF global ensemble forecast data and the best track dataset of the Tropical Cyclone Data Center of the CMA from 2017—2019, this paper proposed a real-time revision technology for the forecasting of the tracks of typhoons affecting Guangxi by using statistical analysis and the ensemble forecast release technique. By selecting the optimal N ensemble forecast members with smaller errors, the revised typhoon track products, the typhoon probability-matching average precipitation products, and the synthetic analysis products for typhoon gales are generated. The results showed that the use of the arithmetic average model of the preferred members to forecast the typhoon tracks shows improvement over the ensemble average forecast and the deterministic forecast. The longer the forecast time is, the more obvious the improvement effect is. The errors of typhoon track forecast for 24 h and 48 h are reduced by 4 km and 6 km compared with the ensemble average, and by 5 km and 19 km compared with the deterministic forecast. The optimal selection of probability-matching average precipitation products of ensemble members can improve the traditional ensemble mean precipitation products to a certain extent, especially for the prediction of heavy rainstorm, and the TS scores of 36 h and 60 h time of heavy rainstorm are improved by 10% and 12% compared with the ensemble average. The optimized gale synthesis analysis products of the ensemble members can forecast the movement, strengthening and weakening of the extreme wind area during the impact of typhoons, improving the TS scores of the strong wind exceeding level 6, 7 and 8 at the 36 h timescale by 18.3%, 15.7% and 13.4% compared with the ensemble average products, and having some forecasting ability for the strong wind above level 9 to 11 or higher.

**Key words:** typhoon track; ensemble forecasting; probability-matching mean precipitation product