

王海平,渠鸿宇,董林,等.CMA数值模式对台风“杜苏芮”(2305)的预报性能分析[J].海洋气象学报,2023,43(4):21-31.
WANG Haiping, QU Hongyu, DONG Lin, et al. Forecast verification of CMA models for Typhoon Doksuri (2305)[J]. Journal of Marine Meteorology, 2023, 43(4): 21-31. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2023.04.003. (in Chinese)

CMA数值模式对台风“杜苏芮”(2305)的预报性能分析

王海平,渠鸿宇,董林,向纯怡
(国家气象中心,北京 100081)

摘要: 2023年第5号台风“杜苏芮”海上维持超强台风时间长达约72 h,登陆福建时为强台风级,登陆后维持时间长达22 h,给我国近海、沿海和内陆地区造成了严重的风雨影响。各家数值模式预报出现较大分歧,给综合预报造成较大困难。为了更好地对模式做出解释应用,重点检验中国气象局区域台风数值预报系统(China Meteorological Administration_Regional Mesoscale Typhoon Numerical Prediction System, CMA-TYM)和中国气象局全球同化预报系统(China Meteorological Administration_Global Forecast System, CMA-GFS)的路径和强度预报在“杜苏芮”预报过程中的表现,并采用欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)和美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)预报与之对比,从而找出国产模式的优势和不足。检验结果发现, CMA-TYM路径预报误差与NCEP相近,大于ECMWF和CMA-GFS。在台风生成初期, CMA-TYM对其移动方向预报出现较大偏差,明显偏向于实况路径的右侧。23日开始的路径预报对登陆点把握良好,误差主要由对移动速度的预报偏快造成。CMA-TYM对快速加强过程的预报效果较其他模式具有显著优势。CMA-GFS的路径预报质量较好,平均误差略大于ECMWF,但小于NCEP和CMA-TYM,尤其是对长时效预报具有较好的可参考性,但对强度预报明显偏弱。

关键词: 台风“杜苏芮”;数值模式;预报检验

中图分类号: P457.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2023)04-0021-11

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2023.04.003

Forecast verification of CMA models for Typhoon Doksuri (2305)

WANG Haiping, QU Hongyu, DONG Lin, XIANG Chunyi
(National Meteorological Center, Beijing 100081, China)

Abstract: Typhoon Doksuri (2305) maintains as super typhoon at sea for about 72 h, lands in Fujian as severe typhoon, and maintains for 22 h after landing, causing serious wind and rain impacts to China's offshore, coastal, and inland areas. There are great differences in the forecast of various numerical models, which cause great difficulties to operational forecast. In order to better explain and apply the numerical models, this paper focuses on the verification for the performance of CMA-TYM (China Meteorological Administration_Regional Mesoscale Typhoon Numerical Prediction System) and CMA-GFS (China Meteorological Administration_Global Forecast System) track and intensity prediction during the

收稿日期:2023-10-08;修回日期:2023-11-06

基金项目:中国气象局气象预报业务关键技术发展专项(YBGJXM(2018)06)

第一作者简介:王海平,女,博士,高级工程师,主要从事台风与海洋气象预报和研究工作, wanghp@cma.gov.cn.

通信作者简介:董林,女,硕士,正高级工程师,主要从事台风与海洋气象预报和研究, dongl@cma.gov.cn.

process of Doksuri, and compares them with the forecasts of ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) and NCEP (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) to find out the advantages and disadvantages of CMA models. The results show that the CMA-TYM track forecast errors are similar to those of NCEP and larger than those of ECMWF and CMA-GFS. The prediction of its movement direction at the initial stage has a large deviation, which is obviously biased to the right side of the real track. The track forecast starting on 23 June has a good grasp of the landing point, and the error is mainly due to the prediction of faster moving speed. Compared with other models, the CMA-TYM prediction of rapid intensification process has significant advantages. The CMA-GFS track forecast performs well, the error is slightly larger than ECMWF, but smaller than NCEP and CMA-TYM. CMA-GFS can provide a good reference for long-term prediction, while its result is obviously weak in intensity prediction.

Keywords: Typhoon Doksuri; numerical model; forecast verification

引言

近年来,现代数值天气预报已成为天气预报业务的核心支撑,在气象防灾减灾、社会公众服务等工作发挥着不可替代的作用^[1]。随着数值模式的发展,台风路径和强度预报质量不断提高^[2-4]。目前,中国气象局区域台风数值预报系统(China Meteorological Administration_Regional Mesoscale Typhoon Numerical Prediction System, CMA-TYM)和中国气象局全球同化预报系统(China Meteorological Administration_Global Forecast System, CMA-GFS)通过对台风初始化和数据同化方案的不断改进,预报效果明显提高^[5-6],与欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)、美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)等的国际主流模式一样,通常都对0~72 h短期时效的路径预报效果较好,且各家模式预报结果一般具有较好的一致性,为提高综合主观预报的确定性提供了极大的帮助。但对部分疑难路径台风,特别是疑难路径的较长时效路径预报,各家模式仍会产生极大的分歧,集合预报产品也会产生相对较大的发散度^[7-8],给主观综合预报带来极大的挑战,增大了预报结果的不确定性。为了能够逐步提高数值模式的释用能力,需要通过不断的个例检验,及时评估模式在不同方面的预报性能和可参考性,同时也为模式改进提供意见和建议。

在对CMA预报系统的台风预报检验评估中发现,CMA-TYM的台风预报存在系统性偏北问题^[9-10],此后通过调整涡旋初始化方案中的强度半径得到了较好的改进^[11-12]。在对CMA区域集合预

报系统的检验评估中发现^[13-14],集合平均移动路径总体优于控制预报,在强度预报中,存在最低气压和近中心最大风速在登陆前偏弱而登陆后偏强的趋势^[11]。同时,通过检验评估国际其他主流模式的台风预报也发现,ECMWF模式高分辨率确定性预报与其模式集合平均相比较,集合平均在24~120 h预报误差较小^[15-17]。通过分析NCEP全球集合预报的天气学检验也发现,路径与强度的集合预报质量密切相关,路径集合平均相对强度集合平均质量较好^[18-20]。可见,目前多数模式的检验结果表明,集合平均的路径预报仍有较大的优势。

本文将通过分析数值模式对2023年第5号台风“杜苏芮”的路径和强度预报质量进行检验,评估中国气象局数值模式的台风预报性能,同时采用ECMWF和NCEP的台风数值预报产品与国产模式进行对比,了解国产模式的优势和缺点,为模式应用和改进提供技术支持。

1 台风“杜苏芮”概况

2023年第5号台风“杜苏芮”于7月21日08时(北京时,下同)在西北太平洋洋面上生成(图1),之后向西偏北方向移动,23日早晨加强为强热带风暴级,下午加强为台风级,24日上午加强为强台风级,晚上加强为超强台风级,随后以超强台风级穿过巴士海峡。进入南海东北部海域后,强度略减弱,并转向北偏西方向移动。27日再次加强为超强台风级,并向偏北方向移动,维持超强台风时间长达约72 h,是南海台风近海快速加强的典型个例^[21-22]。28日09时55分前后以强台风级(15级, $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)的强度登陆福建晋江沿海。登陆后向北偏西方向移动,强度逐渐减弱,登陆后维持时间长达22 h。

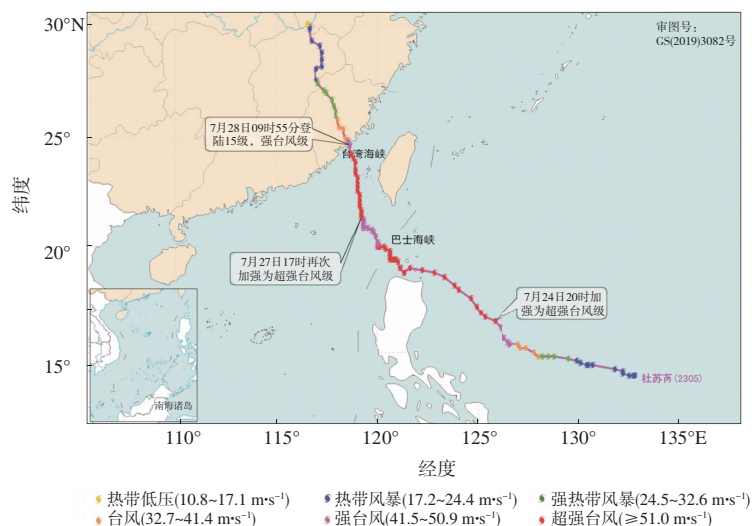


图1 “杜苏芮”全路径图

Fig.1 Track of Doksuri

2 数据和方法

所使用的数据包括:(1)国家气象信息中心提供的国家级地面气象观测站风雨观测资料。(2)中央气象台、日本气象厅(Japan Meteorological Agency, JMA)和美国联合台风警报中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)的官方主观分析和实时业务预报资料。(3)模式预报资料主要来自中国气象局区域台风数值预报系统(CMA-TYM;水平分辨率为 $0.09^\circ \times 0.09^\circ$,起报频次为逐6h)及其区域集合预报系统(CMA_Regional Ensemble Prediction System, CMA-REPS;水平分辨率为 $0.15^\circ \times 0.15^\circ$,起报频次为逐6h)、全球同化预报系统(CMA-GFS;水平分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$,起报频次为逐6h)确定性和全球集合预报系统(CMA_Global Ensemble Prediction System, CMA-GEPS;水平分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$,起报频次为逐12h)产品。同时采用ECMWF确定性预报(水平分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$,起报频次为逐6h)及其集合预报产品(ECMWF Ensemble Prediction System, ECMWF-EPS;水平分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$,起报频次为逐6h)、NCEP的台风数值预报确定性预报(水平分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$,起报频次为逐6h)及其集合预报产品(NCEP Ensemble Prediction System, NCEP-EPS;水平分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$,起报频次为逐6h),并与国产模式进行对比,了解国产模式的优点和缺点。采用中央气象台业务实时定位

和定强资料进行误差计算,所有模式的误差计算结果采用同样样本进行比较,即仅当所有参与检验的模式都在某时刻有预报时,该时刻才能作为一个样本参与检验。

3 模式路径预报误差分析

3.1 确定性预报误差分析

通过对比CMA-TYM、CMA-GFS和其他各家模式的路径确定性预报平均误差(图2)可以看到,各家的24h路径预报误差均相对较小,约为60km,低于近年来平均预报误差。CMA-TYM的路径预报误差与NCEP相近,在48~120h相对其他模式误差较大,120h预报误差分别达到548km和538km。CMA-GFS的路径预报误差与ECMWF相近,误差相对较小,CMA-GFS的120h预报误差为378km,ECMWF的120h预报误差为276km。这说明在对“杜苏芮”的路径预报过程中,区域模式CMA-TYM误差偏大,全球模式CMA-GFS表现较好,与ECMWF基本相当,有较好的可参考性。

进一步检验模式所有起报时刻的24h、48h、72h、96h、120h路径预报误差(图3)发现,各家数值模式的最大误差大致都出现在对“杜苏芮”7月26—27日的位置预报时刻,即由巴士海峡进入南海东北部的过程中。CMA-TYM(图3a)和NCEP(图3d)的120h最大预报误差均达到约900km。CMA-GFS(图3b)有1个起报时刻的最大预报误差达到

700 km 以上,其余起报时刻误差基本保持在 450 km 以下。ECMWF 的最大预报误差在 450 km 以下(图 3c)。由分析结果可以看到,CMA-GFS 的路径预报表现较好,误差明显小于 CMA-TYM 和 NCEP,而与 ECMWF 相近。

根据 2007 年 Froude 等^[23]对台风路径位置误差 (total track error, TTE)的分解方法,将路径误差分解为沿着台风路径方向预报误差 (along-track errors, ATE)和垂直于台风移动路径方向预报误差 (cross-track errors, CTE)(图 4)。当 $V_{ATE} > 0$ ($V_{ATE} < 0$)时,表示预报位置位于实况位置的前方(后方);当 $V_{CTE} > 0$ ($V_{CTE} < 0$)时,表示预报路径位于实况路径的右侧(左侧)。

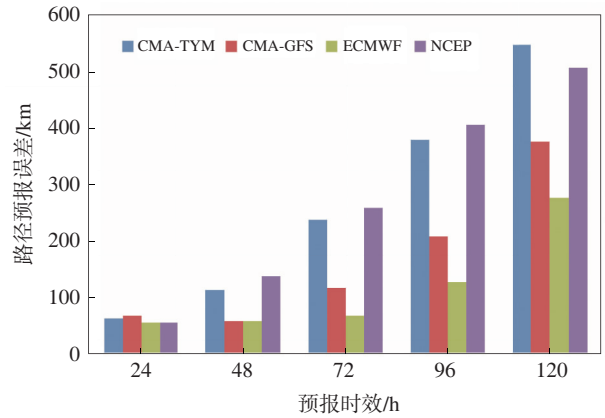
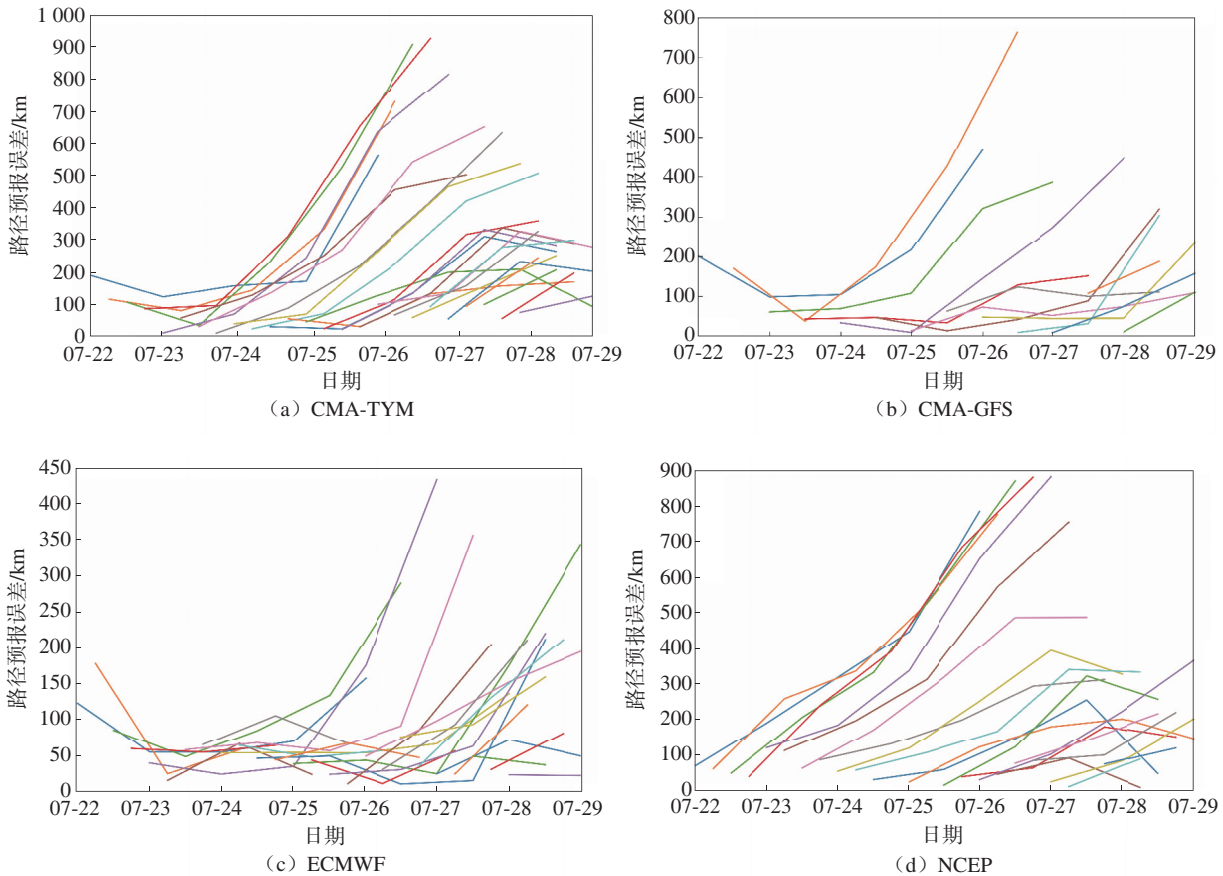


图2 各家数值模式对台风“杜苏芮”全路径平均预报误差
Fig.2 Mean track forecast errors of various models for Typhoon Doksuri



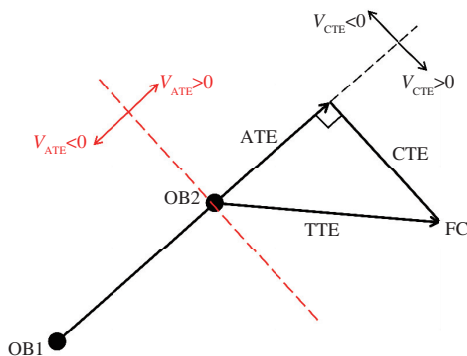
不同颜色线条—模式不同起报时刻的预报误差,线条起始点所对应的横坐标时间为不同起报时刻的24 h预报误差所对应的时刻。

图3 不同模式各起报时次逐 24 h 路径预报误差
Fig.3 Track errors of 24-h forecast from various models at different initial times

通过检验 ATE 和 CTE,可以了解模式对台风路径误差的产生来源。由对 ATE 的检验结果(图 5a)来看,CMA-TYM 出现较大误差的原因主要是对“杜苏芮”移动的速度预报明显偏快,且偏快程度随预

报时效的增加而增大。CMA-GFS 在 24~48 h 预报略偏快,但在 72~120 h 预报偏慢,偏慢的程度随预报时效的增加而增大。NCEP 预报在各个时效也略偏慢。ECMWF 在各时效对移动速度的把握较

好^[24]。由对CTE的检验结果(图5b)来看,各家数值模式对24~48h预报误差均较小,说明对较短时效的移动方向把握均较好。CMA-TYM和NCEP预报在72~120h明显偏向于实况路径的右侧,120h预报误差分别达到482km和524km,其余模式对路径移动方向的把握较好,略偏向实况路径的左侧。ECMWF在各时效对移动方向的把握较好,仅在120h时效略偏向实况路径的右侧。



OB1、OB2—台风初始位置、预报时刻的实况位置; FC—预报位置。

图4 位置误差(TTE)、台风移动路径方向预报误差(ATE)和垂直于台风移动路径方向预报误差(CTE)示意图
Fig.4 Schematic of decomposition of TTE into ATE and CTE components

由以上分析发现,CMA-TYM和CMA-GFS路径预报在24~48h预报效果均较好。在72~120h预

报中,CMA-TYM对“杜苏芮”移动速度和移动方向的预报均出现了较大的偏差,导致平均路径预报误差偏大。CMA-GFS的路径误差主要是由于对较长时效移动速度的预报偏慢。

由于“杜苏芮”持续时间长达8d,移动路径经历了菲律宾以东洋面、巴士海峡、南海东北部及台湾海峡,登陆后进入福建和江西境内,模式在不同阶段的预报有一定差异。以下将通过7月21日08时—23日08时起报(“杜苏芮”是否经巴士海峡进入南海)的预报和7月23日08时—29日08时起报(“杜苏芮”登陆的时间和位置)的预报2个阶段模式路径预报性能进行分析。

7月21日08时—23日08时起报阶段(图6),CMA-TYM与NCEP路径预报误差较大,其中CMA-TYM的移动速度预报误差较小,移动的方向明显偏向于实况路径的右侧,因此,路径预报的误差主要来源于对台风移动方向的把握出现偏差。CMA-GFS对移动速度预报相对CMA-TYM误差偏大,预报的移动速度较实况总体偏慢,但对移动方向的把握则较CMA-TYM更好,特别是在24~72h,预报误差在30km以内,在96~120h预报误差也明显小于CMA-TYM和NCEP,比ECMWF略大。NCEP对移动速度预报明显偏慢,且移动方向的预报也明显偏向于实况路径的右侧。

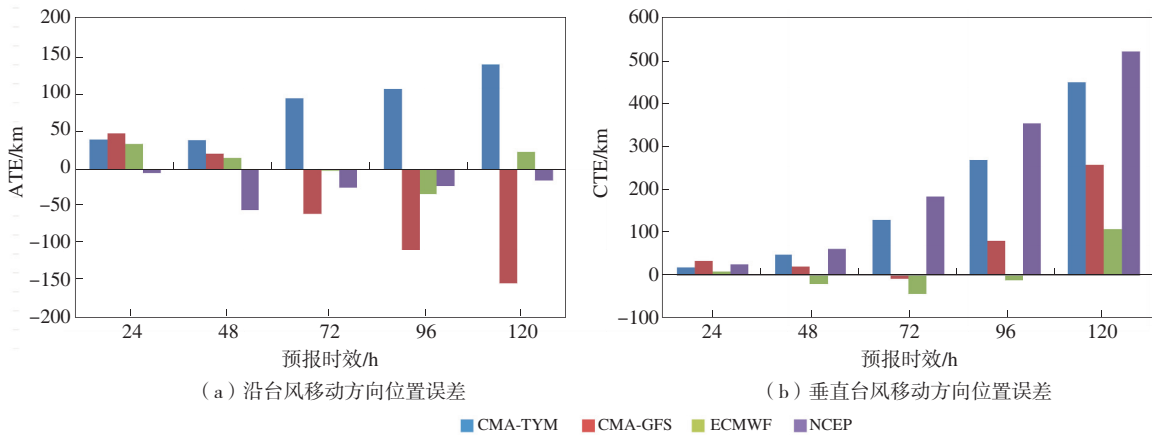


图5 模式路径预报偏差
Fig.5 Track forecast deviations of models

7月23日08时—29日08时起报阶段(图7),CMA-TYM的预报误差在24~72h大于其他模式,在96h与NCEP相近,在120h误差大于NCEP,但小于其他模式。CMA-GFS预报效果较好,误差与ECMWF

相近,总体小于其他模式。由ATE(图7c)来看,CMA-TYM误差明显偏大于其他模式,说明其对移动速度的预报明显偏快,CMA-GFS对移动速度的预报效果较好,在24~48h预报误差小于30km,而在72~

120 h 的移动速度预报相比实况偏慢。由 CTE (图 7d) 来看, CMA-TYM 的误差在各预报时效的误差总体好于其他模式, 略偏向实况路径的右侧, NCEP 预报路径偏向右侧的程度更为明显, 其他模式则主要偏向于实况路径的左侧。可见, CMA-TYM 的路径预报在这一阶段的误差主要来源于对“杜苏芮”移动速度

的预报偏快, 导致预报的登陆时间较实况偏早, 但对移动方向的把握总体优于其他模式, 使得其对登陆点位置的预报误差小且稳定。CMA-GFS 的移动方向预报误差在 24~72 h 小于 CMA-TYM, 在 96~120 h 略大于 CMA-TYM, 主要偏向移动路径的右侧。总体来看, CMA 模式对移动方向的把握好于其他模式。

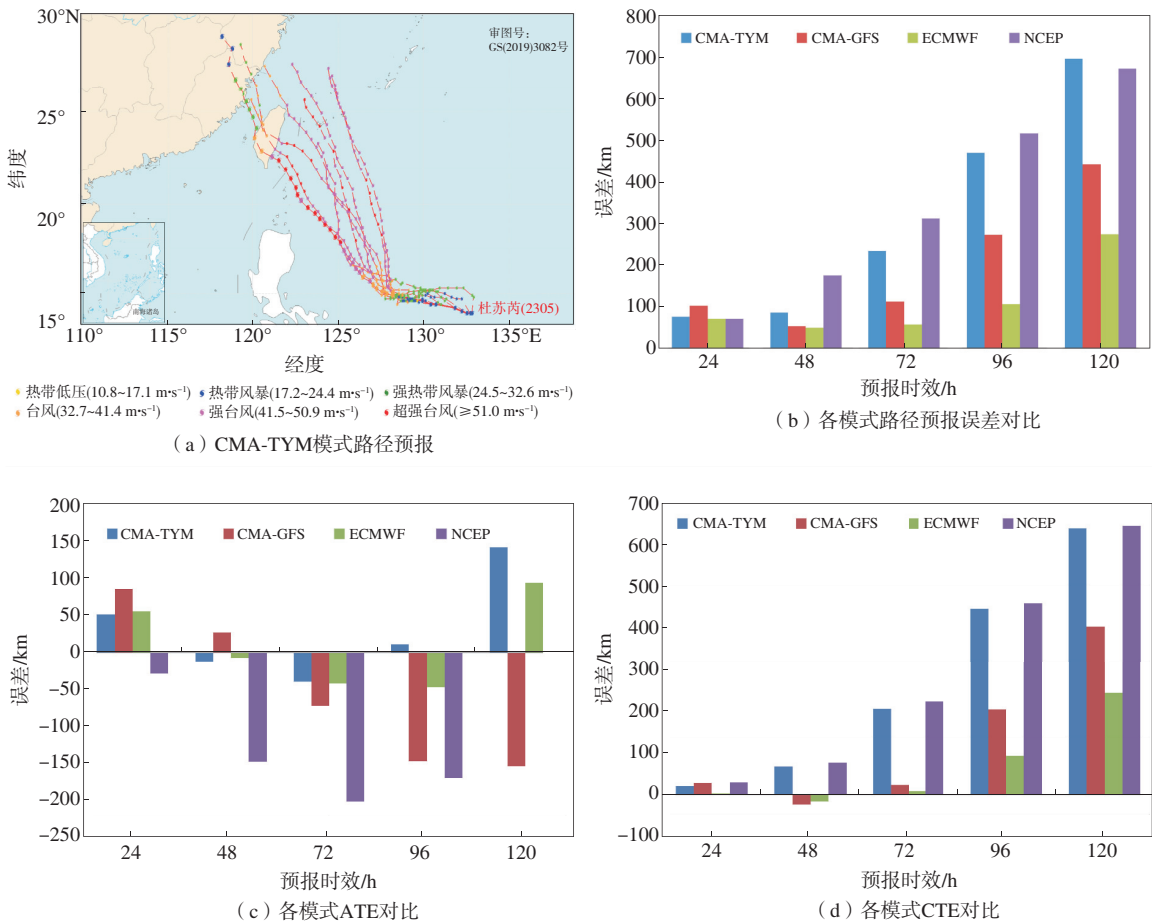
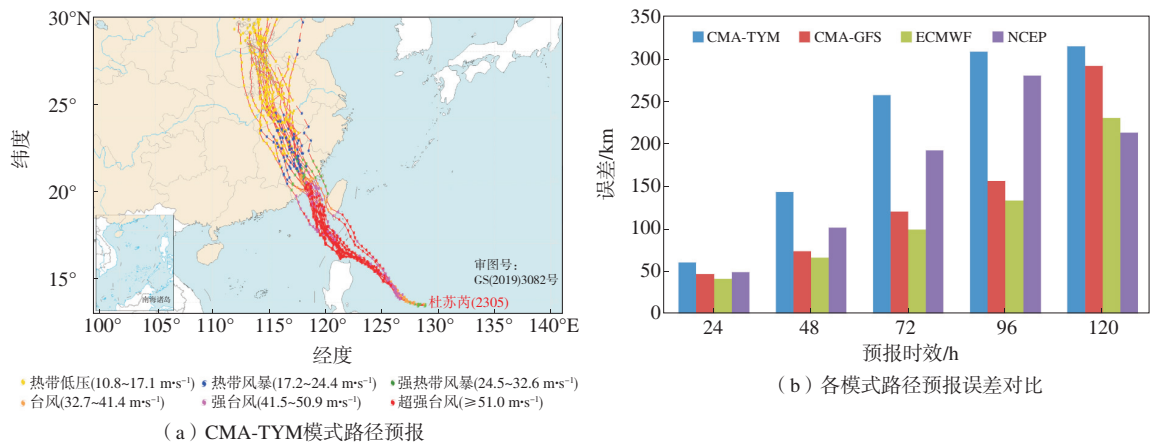


图6 7月21日08时—23日08时起报的模式路径预报以及各模式路径预报误差、ATE、CTE对比

Fig.6 CMA-TYM track forecast for initial time of 08:00 BST 21–08:00 BST 23 July; comparison of track forecast errors, ATE, and CTE of various models



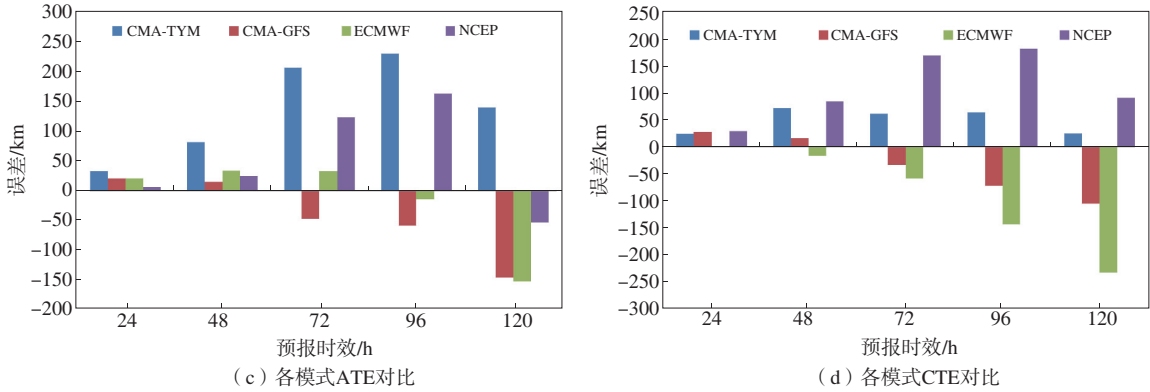


图7 7月23日08时—29日08时起报的模式路径预报以及各模式路径预报误差、ATE、CTE对比
Fig.7 CMA-TYM track forecast for initial time of 08:00 BST 23–08:00 BST 29 July; comparison of track forecast errors, ATE, and CTE of various models

3.2 集合预报误差分析

已有研究表明,一般路径集合预报平均会优于控制预报,为了更好地应用集合预报产品,将比较数值模式集合平均路径与其确定性预报的性能。由图8可以看到,CMA-TYM和CMA-GFS对“杜苏芮”路径的确定性预报平均误差在0~48h均小于集合平均,但在72~120h平均误差均大于集合平均。ECMWF在0~96h时效,确定性预报误差较小,在120h集合平均预报误差较小。NCEP在24h预报时效,确定性和集合平均误差相近,在48~120h的集合平均误差均小于确定性预报。也就是说,CMA确定性预报在短时效表现较好,在中长期预报时效,集合预报效果相对较好。ECMWF和NCEP也有在较长时效集合平均预报质量相对较好的倾向。可见,目前对于台风的较长时效预报,集合平均一般具有较好的可参考性。

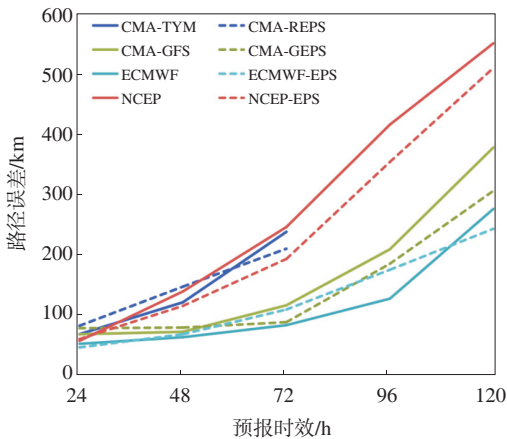


图8 各模式的确定性预报和集合平均预报误差对比
Fig.8 Comparison of each model's deterministic forecast and ensemble mean forecast error

4 模式强度预报误差分析

4.1 确定性预报误差分析

目前全球模式受分辨率所限,对台风的快速增强过程一般预报偏弱^[25]。“杜苏芮”在菲律宾以东洋面经历了快速加强至超强台风级的过程,在由巴士海峡进入南海东北部过程中短暂减弱后再次加强为超强台风级。由对其强度预报的平均绝对误差(mean absolute error, MAE; 台风预报强度与实况强度之差的绝对值,计算方法见式(1))的检验结果(图9a)来看,区域模式CMA-TYM相比其他模式在各时效的预报误差最小,较好地预报了“杜苏芮”的快速增强过程和进入南海的极值强度,24h平均误差仅为 $4.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,表现出较高的可参考性。CMA-GFS的绝对误差在12~72h略大于NCEP,在96~120h小于NCEP,在0~120h小于或接近ECMWF的误差。可见,CMA-GFS相比于其他全球模式,120h的强度预报误差最小。

$$V_{MAE} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |I_k - I_{fk}|, \quad (1)$$

式中: I_{fk} 表示第k次预报强度, I_k 表示第k次预报所对应的实况强度, N 表示样本数。

由预报的偏差(bias; 台风预报强度偏离实况强度的值,正值代表预报偏强,负值代表预报偏弱,计算方法见式(2))(图9b)情况来看,各模式对“杜苏芮”的预报强度均明显偏弱,但CMA-TYM的偏弱程度最低,24h仅偏弱 $0.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。CMA-GFS偏差与其余全球模式基本相当,且随着预报时效的增加,误差基本稳定,并未呈现增大趋势。这说明目前全球数

值模式对于强度预报偏弱程度更高,尤其是对强台风以上级别的热带气旋。

$$V_{\text{bias}} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (I_{fk} - I_k), \quad (2)$$

式(2)中变量含义同式(1)。

4.2 集合预报误差分析

通过比较数值模式的确定性预报与集合平均的

强度预报质量(图10)发现,CMA-TYM、CMA-GFS和NCEP的确定性预报误差在各时效均小于集合平均,特别是CMA-TYM的24h平均预报偏差远远小于集合平均,但ECMWF的确定性和集合平均预报误差差别不明显,预报质量相当。因此,对于强度预报而言,目前多数模式的确定性预报质量仍高于集合平均,具有更高的可参考性。

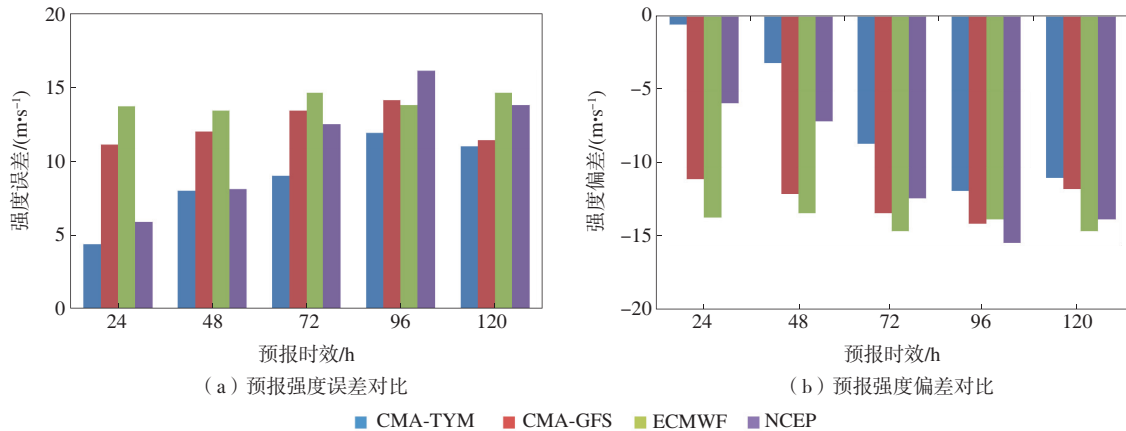


图9 各模式的确定性预报强度误差和预报强度偏差对比

Fig.9 Comparison of each model's error of deterministic intensity forecast and bias of intensity forecast

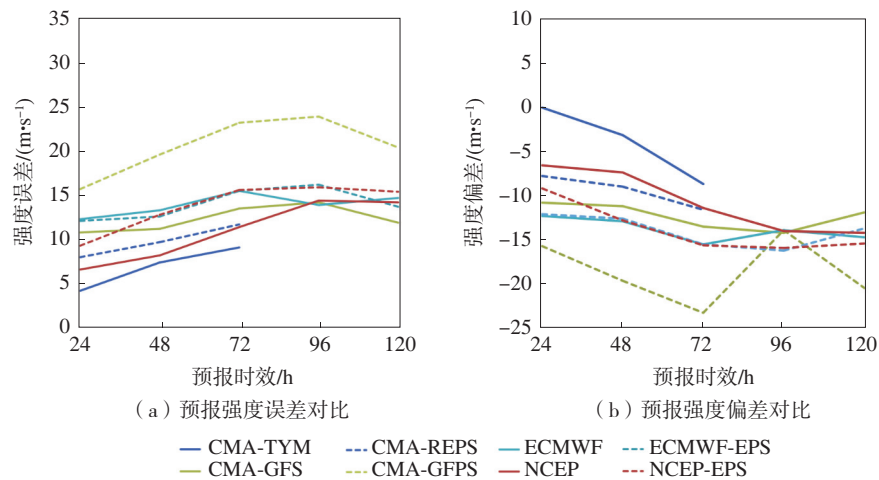


图10 各模式的确定性预报和集合平均预报强度误差、偏差对比

Fig.10 Errors and bias comparison of deterministic and ensemble mean intensity forecast

由各模式的逐预报时次偏差(图11)来看,整体预报偏弱,偏弱最大值均出现在25日和28日,即对应“杜苏芮”两次加强过程,分别加强至 $62 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $58 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,所有模式预报均明显偏弱。对25日的加强过程,CMA-TYM的预报偏弱小于 $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,小于相应时段其他模式,CMA-GFS偏差最大值达到偏弱 $34 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,ECMWF偏差最大值达到偏弱 $33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,

NCEP偏差最大值也相对较小,为偏弱 $22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。对28日加强过程的预报,CMA-TYM偏弱程度较25日过程严重,最大值达到偏弱 $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。CMA-GFS的偏弱程度小于 $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,ECMWF、NCEP的最大偏弱程度均在 $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上。由此可见,CMA-TYM对第一次加强过程预报效果较好,对第二次加强过程预报效果相对较差,而CMA-GFS对

第一次加强过程预报偏差较大,对第二次加强过程的预报偏差则相对较小。ECMWF 和 NCEP 的

强度预报偏差较大,预报偏弱程度较 CMA 模式更为严重。

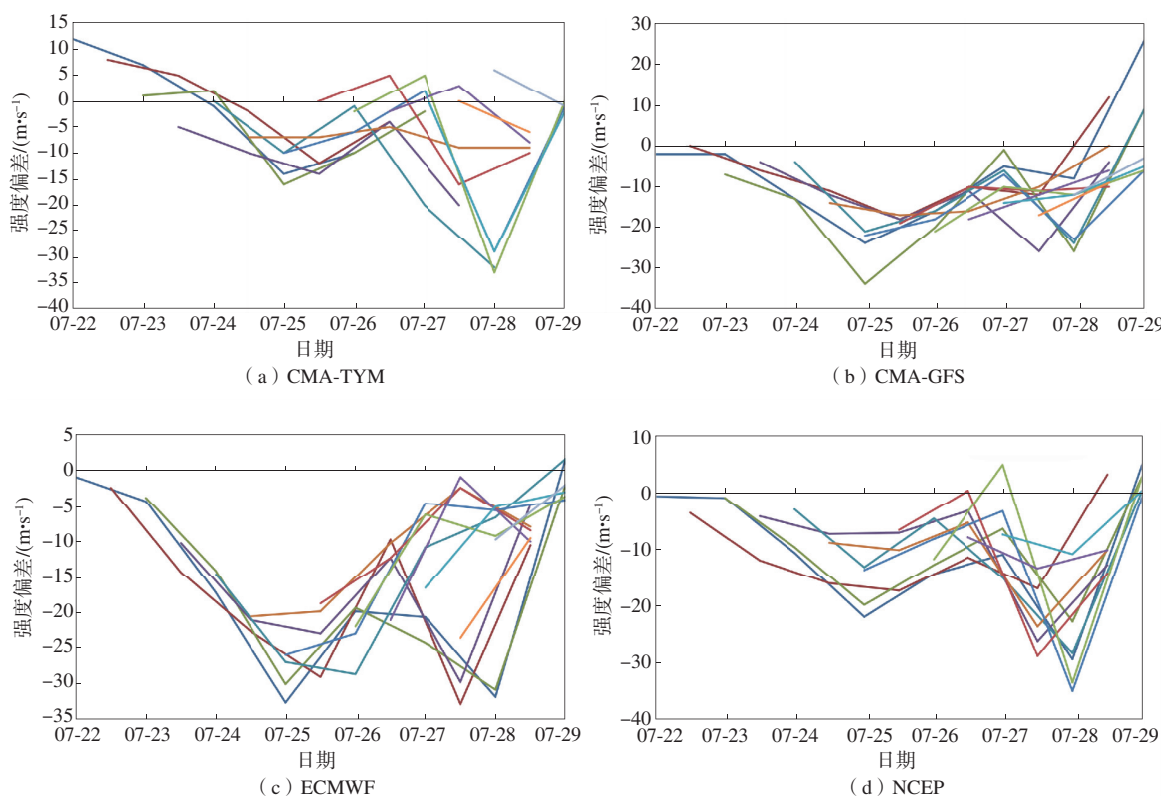


图 11 各模式在不同起报时刻的强度预报偏差

Fig.11 Intensity bias of deterministic forecast from various models at different initial times

5 形势场预报误差检验

由上述分析可以看到, CMA-TYM 和 CMA-GFS 对短期时效的路径预报效果较好,较大的误差主要出现在对较长时效的预报中。为了进一步了解模式长时效预报出现较大误差的原因,需通过天气学分析的方法对模式的形势场预报进行检验,发现影响台风预报质量的主要天气系统的预报偏差。

前文分析发现,模式普遍对“杜苏芮”在 7 月 26—27 日的位置预报出现较大偏差。由图 12 可以看到,7 月 26 日 20 时,“杜苏芮”环流中心位置在 CMA-TYM 的分析场中位于巴士海峡偏南海域,台风东侧副热带高压(以下简称“副高”)588 dagpm 线位于大约 128°E 处,西脊点位于台风北侧大约 30°N 处,副高形态偏向块状。从 CMA-TYM 路径预报对该时刻的 500 hPa 位势高度场预报检验对比中可以看到,7 月 21 日 20 时起报 120 h 模式预报的台风中心位于分析场中心东北侧大约 900 km 的东海南部

海面上,因此,模式对台风移动速度的预报明显偏快,预报位置明显偏北。副高西侧 588 dagpm 线位置预报较分析场偏东,位于大约 130°E 处,高压脊位置偏北,位于大约 40°N 处,形态较分析场更为狭长。副高北侧西风带较平直,模式预报偏差较小。对“杜苏芮”东南方向的台风“卡努”初期扰动的预报略偏南。22 日 20 时起报未来 96 h 的 500 hPa 形势场预报与 21 日 20 时起报的预报场相比,对副高的预报有所调整。尽管对“杜苏芮”的中心预报位置仍位于分析场位置的北偏东方向,但距离缩小到大约 500 km。模式对该时刻台风东侧的副高 588 dagpm 线位置预报向西收缩至 129°E 附近。对台风北侧副高的形态和西脊点经度位置预报都与分析场接近,但西脊点的纬度仍较分析场明显偏北,块状高压南侧西脊点位于大约 35°N 处。对副高北侧较平直的风带系统预报偏差仍较小,对“杜苏芮”东南方向的“卡努”初期扰动预报接近分析场。可见, CMA-TYM 对“杜苏芮”较长预报时效的误差主要来

源于对副热带高压脊位置的预报偏差,对附近其他影响系统的预报偏差相对较小。

利用已有的检验发现,目前全球模式 CMA-GFS 在路径预报方面总体优于区域模式 CMA-TYM。通过对比 CMA-GFS 在 21 日 20 时起报 120 h 的 500 hPa 位势高度场预报与 26 日 20 时的分析场可以看到,模式预报的“杜苏芮”中心也位于分析场位置的东北方向,距离约为 750 km,相对 CMA-TYM 的预报位置更

加偏东,但距离误差相对较小。副高的位置较分析场偏东偏北,是导致台风位置预报较分析场明显偏东北的主要原因,同时与 CMA-TYM 不同的是,CMA-GFS 对副高北侧西风带槽脊的位相预报与分析场存在较大差别,也使得副高的位置偏东。CMA-GFS 在 22 日 20 时起报的 96 h 形势场出现明显调整,对副高和其北侧西风带的预报均与分析场非常接近,预报质量较好,对台风的预报位置接近分析场。

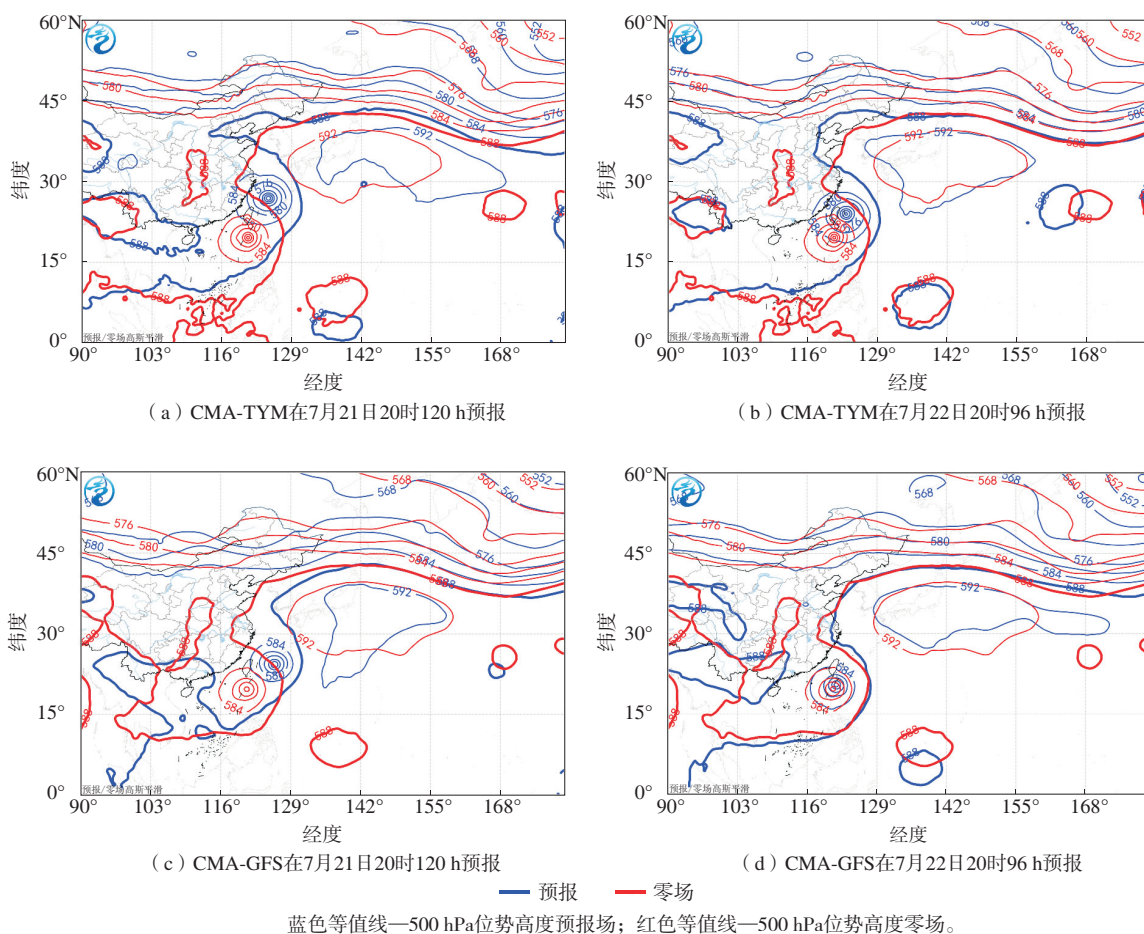


图 12 CMA-TYM 与 CMA-GFS 模式 500 hPa 位势高度预报场与零场对比

Fig.12 Comparison of 500-hPa geopotential height forecast field and initial field of CMA-TYM and CMA-GFS

6 结论

为进一步提升国产模式在台风预报产品中的应用效果,并发现模式中存在的问题,为模式改进提供有效依据,文中检验了 CMA-TYM 和 CMA-GFS 对台风“杜苏芮”的预报误差,并使用 ECMWF 和 NCEP 预报与国产模式进行比较,得到以下主要结论:

(1) CMA-TYM 和 CMA-GFS 对 0~24 h 的路径

预报效果较好,与其他模式的预报误差相差不大。CMA-TYM 在 72~120 h 的路径预报误差较大,主要原因是在菲律宾附近洋面时预报路径明显的偏向实况路径的右侧。在进入巴士海峡后,对台风移动方向的把握较好,误差的主要原因是台风移动速度的估计明显偏快。CMA-GFS 路径预报平均误差略大于 ECMWF,但小于 NCEP 和 CMA-TYM,在 72~120 h 预报中效果较好。模式集合平均误差总体小于其确定性预报误差。

(2) CMA-TYM 在强度预报方面相比 ECMWF、NCEP 和 CMA-GFS 具有较为明显的优势,对“杜苏芮”的快速加强和强度极值的把握均较好。CMA-GFS 强度预报在各个时效明显偏弱。模式集合平均的预报误差和偏差总体大于其确定性预报误差。

(3) 由对模式形势场的预报检验结果来看, CMA-TYM 对副热带高压脊的位置预报在 96~120 h 存在较大误差,较模式零场明显偏北,导致对“杜苏芮”的路径预报偏北,移动速度偏快。而 CMA-GFS 对副热带高压脊的预报在 120 h 的较长时效也存在较模式零场偏北的情况,但在 96 h 便给出了较好的调整,预报接近模式零场,预报效果较好。

综合 CMA 预报系统在台风“杜苏芮”预报过程中的表现来看,区域模式 CMA-TYM 在强度预报方面具有较好的可参考性,而 CMA-GFS 在路径预报方面具有更好的可参考性。

参考文献:

- [1] 沈学顺,李兴良,陈春刚,等.下一代大气模式中的数值方法综述[J].海洋气象学报,2022,42(3):1-12.
- [2] 杨国杰,沙天阳,程正泉.2009—2015年ECMWF热带气旋集合预报的检验及分析[J].气象,2018,44(2):277-283.
- [3] LEONARDO N M, COLLE B A. An investigation of large cross-track errors in North Atlantic tropical cyclones in the GEFS and ECMWF ensembles [J]. Mon Wea Rev, 2021,149(2):395-417.
- [4] 麻素红,张进,沈学顺,等.2016年GRAPES_TYM改进及对台风预报影响[J].应用气象学报,2018,29(3):257-269.
- [5] 瞿安祥,麻素红,张进,等.CMA-GFS全球预报系统中的台风初始化[J].气象学报,2022,80(2):269-279.
- [6] 瞿安祥,麻素红,张进.CMA-TYM混合En3DVar方案的设计和初步试验[J].气象,2022,48(3):299-310.
- [7] COLBY F P Jr. The spread of tropical storm tracks in three versions of NCEP's global ensemble model: focus on Hurricane Edouard (2014) [J]. Wea Forecasting, 2019,34(3):577-586.
- [8] 钟有亮,陈静,王静,等.GRAPES区域集合预报系统对登陆台风预报的检验评估[J].热带气象学报,2017,33(6):953-964.
- [9] 麻素红,张进,瞿安祥,等.垂直分层加密和预报区域扩大对GRAPES_TYM台风预报的影响[J].气象学报,2021,79(1):94-103.
- [10] 麻素红,陈德辉.国家气象中心区域台风模式预报性能分析[J].热带气象学报,2018,34(4):451-459.
- [11] 麻素红,沈学顺,龚建东,等.国家气象中心台风数值预报系统的发展[J].气象,2021,47(6):685-692.
- [12] 李泽椿,张玲,钱奇峰,等.中央气象台台风预报业务的发展及思考[J].大气科学学报,2020,43(1):10-19.
- [13] 吴政秋,张进,陈静,等.GRAPES区域集合预报条件性台风涡旋重定位方法研究[J].气象学报,2020,78(2):163-176.
- [14] QI L B, YU H, CHEN P Y. Selective ensemble-mean technique for tropical cyclone track forecast by using ensemble prediction systems [J]. Quart J Roy Meteor Soc, 2014,140(680):805-813.
- [15] 朱智慧,陈智强,喻自凤.光流法在台风路径预报检验与订正中的应用[J].气象科技,2019,47(6):927-933.
- [16] DUPONT T, PLU M, CAROFF P, et al. Verification of ensemble-based uncertainty circles around tropical cyclone track forecasts [J]. Wea Forecasting, 2011,26(5):664-676.
- [17] 邱金晶,陈锋,董美莹.基于全球模式检验结果的海上台风初始场重建技术研制和应用[J].气象,2021,47(12):1444-1456.
- [18] 王靖,钱传海,董林,等.台风“梅花”(2212)的主要特点和路径预报难点分析[J].海洋气象学报,2023,43(1):52-62.
- [19] 王海平,董林.2019年西北太平洋和南海台风活动概述[J].海洋气象学报,2020,40(2):1-9.
- [20] COLBY F P Jr. Global ensemble forecast tracks for Tropical Storm Debby [J]. Wea Forecasting, 2015,30(3):668-682.
- [21] 霍利微,郭品文.夏季风期间南海对流活动对西北太平洋热带气旋的影响分析[J].热带气象学报,2014,30(1):101-110.
- [22] 陈联寿,丁一汇.西太平洋台风概论[M].北京:科学出版社,1979:312-318.
- [23] FROUDE L S R, BENGTSSON L, HODGES K I. The predictability of extratropical storm tracks and the sensitivity of their prediction to the observing system [J]. Mon Wea Rev, 2007,135(2):315-333.
- [24] 昌磊,余锦华.西北太平洋TC移动速度异常及预报误差特征的分析[J].大气科学学报,2017,40(1):71-80.
- [25] 钱奇峰,王川,徐雅静,等.一种基于深度学习的台风强度估测技术[J].气象,2021,47(5):601-608.