

CMA-TYM对台风“杜苏芮”预报的综合评估与误差分析

姚国华¹, 高丽^{2*}, 麻素红², 陈权亮¹, 任宏利³

(1. 成都信息工程大学, 四川 成都 610225; 2. 中国气象局地球系统数值预报中心, 北京 100081; 3. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要: 2023年第5号台风“杜苏芮”给我国东部—北部地区造成了大范围洪涝灾害和损失, 本文综合评估了中国气象局区域台风预报系统对该台风的预报性能和误差状况。结果表明: 台风路径预报前期主要为偏东的移向偏差, 中后期主要为偏快的移速偏差; 在台风生成阶段预报倾向于高估其强度, 但较长的预报时效对快速增强过程中的台风强度增速预报较慢, 导致台风强度峰值预报明显偏弱; 提前24 h以内的预报登陆时间、强度和位置误差较小, 提前48 h仍能较好地预报出登陆位置; 副热带高压、西风槽以及对同期另一个台风“卡努”的预报存在偏差, 是产生较大路径预报偏差的原因; 系统能够预报出台风过程降水形态, 但主要降水落区的降水量预报偏少, 随着预报时效增加, 模式刻画的海上以及登陆后的降水中心向东北偏移。

关键词: 中国气象局; 区域台风预报系统; 台风“杜苏芮”; 预报评估; 误差分析

中图分类号: P457.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2024)06-0013-10

0 引言

台风(也称热带气旋)是影响我国的极端天气之一, 我国也是世界上受台风影响最严重的国家之一^[1], 平均每年约有7个台风登陆我国沿海。登陆台风会带来强风、暴雨、风暴潮等灾害^[2], 常给我国沿海和内陆地区造成巨额经济损失和人员伤亡, 尤其是在经济发达和人口密度高的东南沿海地区^[3-4]。

2023年7月下旬发生的第5号台风“杜苏芮”是当年登陆我国的最强台风, 其特点是台风强、云系覆盖范围大、持续时间长、影响范围广。据2023年8月1日统计, 该台风共造成福建省266.69万人受灾, 农作物受灾面积达37 396.27公顷, 直接经济损失达147.55亿元, 是21世纪以来影响福建沿海地区最严重的台风之一。不仅如此, 随着台风“杜苏芮”登陆后北上深入内陆, 残余环流配合有利的天气系统, 造成了京津冀特大降水过程, 平均累计降水量达175 mm, 超过平均年降水量的三分之一, 最大雨量

出现在河北邢台临城县, 达到1 003 mm, 相当于该地区以往两年的降水量。据国家气候中心消息, 台风“杜苏芮”致我国14省市区灾害损失严重。对台风登陆地点、登陆时间、移动路径、强度和降水等预报对保障人民生命安全和减少财产损失至关重要。

近年来, 国内外各预报中心的台风预报水平不断上升, 尤其是路径预报^[5], 但台风强度预报仍然是当今研究和业务预报的重点和难点问题^[6]。随着数值预报模式的不断发展、观测资料的日益增多以及资料同化技术的不断进步, 数值预报在台风预报业务中发挥了重要作用。不少学者对数值模式的台风预报效果进行对比, 连续多年的评定和分析^[7-13]显示, 欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)的业务模式和集合预报效果相对较好。

中国气象局新一代区域台风预报系统(China Meteorological Administration-Regional Mesoscale Typhoon Numerical Prediction System, CMA-TYM)

收稿日期: 2023-12-21。

基金项目: 国家自然科学基金项目(42175015, 41875138)。

作者简介: 姚国华(1997-), 男, 硕士, 主要从事数值天气预报研究。E-mail: 2669721463@qq.com

*通信作者: 高丽(1978-), 女, 研究员, 博士, 主要从事天气动力学与集合预报研究。E-mail: gaoli@cma.gov.cn

是2010年基于自主研发的中尺度数值预报模式(China Meteorological Administration-Mesoscale Model, GRAPES-MESO)^[14]发展的区域中尺度台风数值预报系统,于2012年7月业务化运行。2012—2019年,CMA-TYM得到了持续改进,期间进行了多次关键技术改进和版本升级^[15-17]。目前的3.1版本对台风路径及强度的预报能力明显提升,2012—2020年,24 h平均路径误差减小了20.1%,强度预报误差减小了34.9%^[18]。特别地,CMA-TYM对台风强度预报表现出较好效果,麻素红等^[19]利用其2017版本与美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)的全球模式和ECMWF的中期预报模式进行对比分析,CMA-TYM的强度预报平均误差在72 h前小于两个全球模式,而且在120 h预报中对进入我国沿海的台风路径预报误差相对较小,具有较好的参考价值。然而,目前类似台风“杜苏芮”这样强度等级高、影响巨大的典型个例,还缺少基于CMA-TYM的预报效果检验和误差来源分析。

基于上述背景,本文评估了CMA-TYM模式对台风“杜苏芮”的路径、强度、登陆、降水的预报性能,分析误差来源,以期为今后CMA-TYM的改进和台风预报能力的提升提供有益的参考。

1 模式、资料和方法

1.1 CMA-TYM框架

本文所用CMA-TYM模式版本为v3.1,模式参数设置见表1。

1.2 资料

文中台风实况数据使用中央气象台台风网台风实况数据集,该数据集包括台风中心位置(经纬度)、中心最大风速、中心最低气压。降水实况数据使用国家信息中心下发的三源融合降水产品(CMA Multi-source Precipitation Analysis System, CMPAS),分辨率为5 km×5 km,时间分辨率为1 h^[20-21]。预报数据使用CMA-TYM模式预报资料。

1.3 方法

检验内容包括路径预报的距离误差(位置、移速、移向偏差)、强度误差、登陆误差、位势高度场、风场预报分析和过程累计降水预报误差。路径、强度误差使用平均绝对误差(Mean Absolute Error, E_{MA})和平均误差(也称系统偏差, Mean Error, E_M),降水误差使用成功指数(Threat Score, TS)和公平成功指数(Equitable Threat Score, ETS)。计算公式为:

$$E_{MA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |F_i - O_i| \quad (1)$$

$$E_M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - O_i) \quad (2)$$

$$TS = \frac{H}{H + M + FA} \quad (3)$$

$$ETS = \frac{H - H_{random}}{H + M + FA - H_{random}} \quad (4)$$

式中: F 表示预报值; O 表示实况值; i 表示第 i 个样本; n 表示样本总数。 H 、 M 、 FA 、 H_{random} 分别表示命中

表1 CMA-TYM v3.1 业务系统主要参数设置

Tab.1 Main parameterization of the operational system for CMA-TYM v3.1

参数	设置
水平分辨率/垂直层次	0.09°/68层
预报区域	40.00°~180.04°E、15.00°S~60.06°N
初始场及侧边界	NCEP全球模式预报场
物理过程	WSM6微物理过程、Scale-SAS对流参数化、YSU边界层过程、Noah陆面过程、MO相似理论表面层参数化以及Goddard短波辐射和RRTM长波辐射参数化
预报时效及频次	120 h, 4次/d(00:00、06:00、12:00、18:00, 世界时, 下同)
模式产品输出频率	1 h

率、漏报率、空报率以及随机情况下可能正确预报的次数。ETS评分公式中分子和分母同时减去随机降水率,可以有效消除随机降水率对降水评分的影响;命中率主要指预报降水位置与实况降水位置的匹配数量,因此ETS评分主要是衡量预报降水与观测降水之间的匹配程度,取值范围为 $-1/3 \sim 1$,ETS ≤ 0 时表示无技巧,取1时表示评分最优。

2 台风“杜苏芮”介绍

2305号台风“杜苏芮”于2023年7月21日00时开始编号;随后台风向西北方向移动,强度逐渐增大,巅峰强度达超强台风级(风速为62 m/s,风力达17级以上);28日01时55分前后台风在福建省晋江市沿海登陆,登陆时中心附近最大风力为15级(风速为50 m/s,强台风级);台风登陆后强度迅速减弱,29日00时在安徽省安庆市宿松县境内减弱为热带低压;中央气象台29日03时对其停止编号。降水过程主要分为两个阶段:第一阶段是7月28日00时—30日00时的台风登陆期间强降水,强降雨落区位于福建、浙江和台湾地区;第二阶段是7月30日00时—8月2日00时的台风登陆后降水,在台风残余环流北上过程中,京津冀东部强大的副热带高压(简称副高)和西部高压脊东移,在华北北部形成“高压坝”,加上地形作用,在京津冀地区形成强降水。

受台风影响,福建东部、浙江东部、台湾岛等部分地区出现8~10级阵风,局地达11~15级,福建7个国家气象观测站的极大风记录突破历史极值。福建泉州、莆田、福州、宁德,浙江温州、丽水、台州、宁波等地局地过程雨量达400~861 mm,台湾南部局地超过1 400 mm,福建、安徽共计有6个国家气象观测站的日降水量突破历史极值;其后北京西南部、河北中部和西南部等地累计降雨量达350~600 mm,局地达700~800 mm,最大累计雨量出现在河北邢台临城县,达到1 003 mm,相当于该地区以往两年的降水量。

3 台风预报检验和分析

3.1 路径预报检验

在CMA-TYM对台风“杜苏芮”的路径预报中(见图1a),台风前期的预报路径西行北折,较实况

明显偏东,预报时效越长偏差越明显;成熟阶段(超强台风级)预报有较好的调整,台风移向整体与实况一致。模式预报距离误差(见图1d)随预报时效的增加而增大,120 h预报时效误差达到562 km。为了分析误差来源,将距离误差分解为垂直方向误差(Cross Track, CT)和沿路径误差(Along Track, AT),在96 h以及更长预报时效中,CT误差为主要误差分量,并且远大于AT误差分量,即误差由于台风移动方向偏差造成。在此次台风过程中,台风中心24 h(见图1b)和48 h(见图1c)的预报位置基本位于实况北侧,即台风移速预报整体较实况偏快,台风发展以及登陆消亡阶段移速预报偏差较明显(见图1e),相应的移向预报偏差转为偏左。

3.2 强度预报检验

台风强度包括中心最大风速和最低气压,由于两者的预报性能变化趋势基本一致,但前者更受关注^[22],因此本文将中心最大风速作为台风强度数据进行检验。

在CMA-TYM对台风“杜苏芮”中心最大风速预报中(见图2a),模式高估了台风初期的强度,随着预报时效增加,环境因子促使台风快速增强,而模式对快速增强过程中台风强度的增速预报较慢,导致峰值预报明显偏弱。另外,由于模式预报的台风移速偏快,当台风登陆消亡时,强度预报存在提前减弱。模式预报强度的平均绝对误差随预报时效的增加而增大(见图2b),系统偏差变化相似,0~12 h的强度预报略微偏强,24 h及更长时效的预报则明显偏弱。模式在较长预报时效的表现较差,主要是预报的台风强度峰值不足以及提前登陆后快速减弱导致。模式在24 h以内预报时效中,较好地预报了前期快速增强、登陆前二次加强、登陆后减弱过程中的平均强度(见图2c)以及强度峰值和登陆强度。

3.3 登陆预报检验

台风登陆预报误差是检验模式对台风预报性能的另一个重要因素。本文挑选了台风登陆前的5个起报时间来检验台风登陆预报效果(见表2),分别是7月28日00时、7月27日12时、7月27日00时、7月26日00时、7月25日00时,代表模式临近、提前12 h、24 h、48 h、72 h的预报性能。与临近预

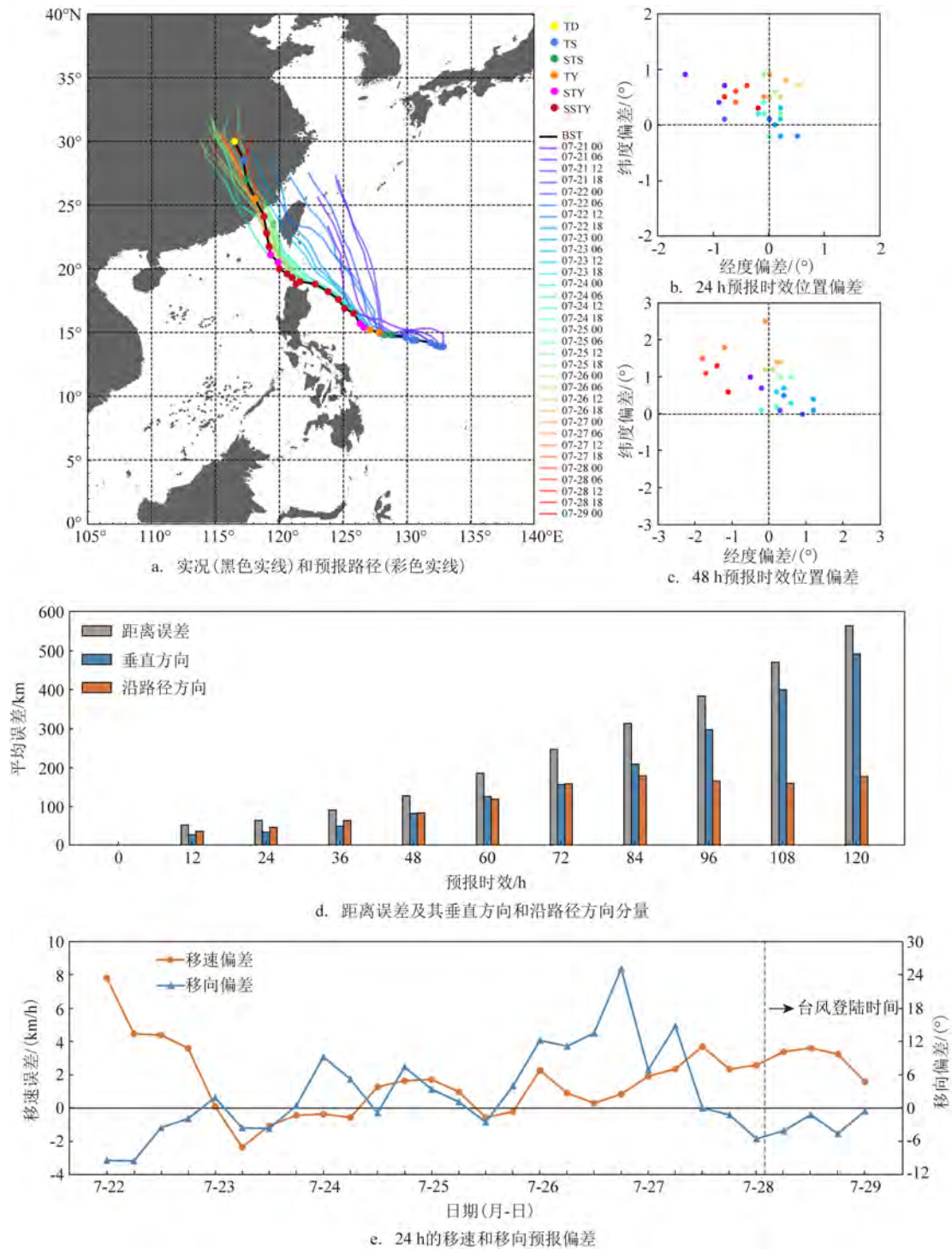


图1 台风“杜苏芮”路径预报误差

Fig.1 Path prediction error of Typhoon "Doksuri"

报相比,提前12 h的预报效果相当,登陆时间、位置、强度预报较为准确;提前24 h预报的登陆时间和强度的误差较小,但由于台风移向调整,登陆位

置误差增大;提前48 h预报的登陆位置仍能保持临近预报误差水平,其结果也具有较好的指示意义。

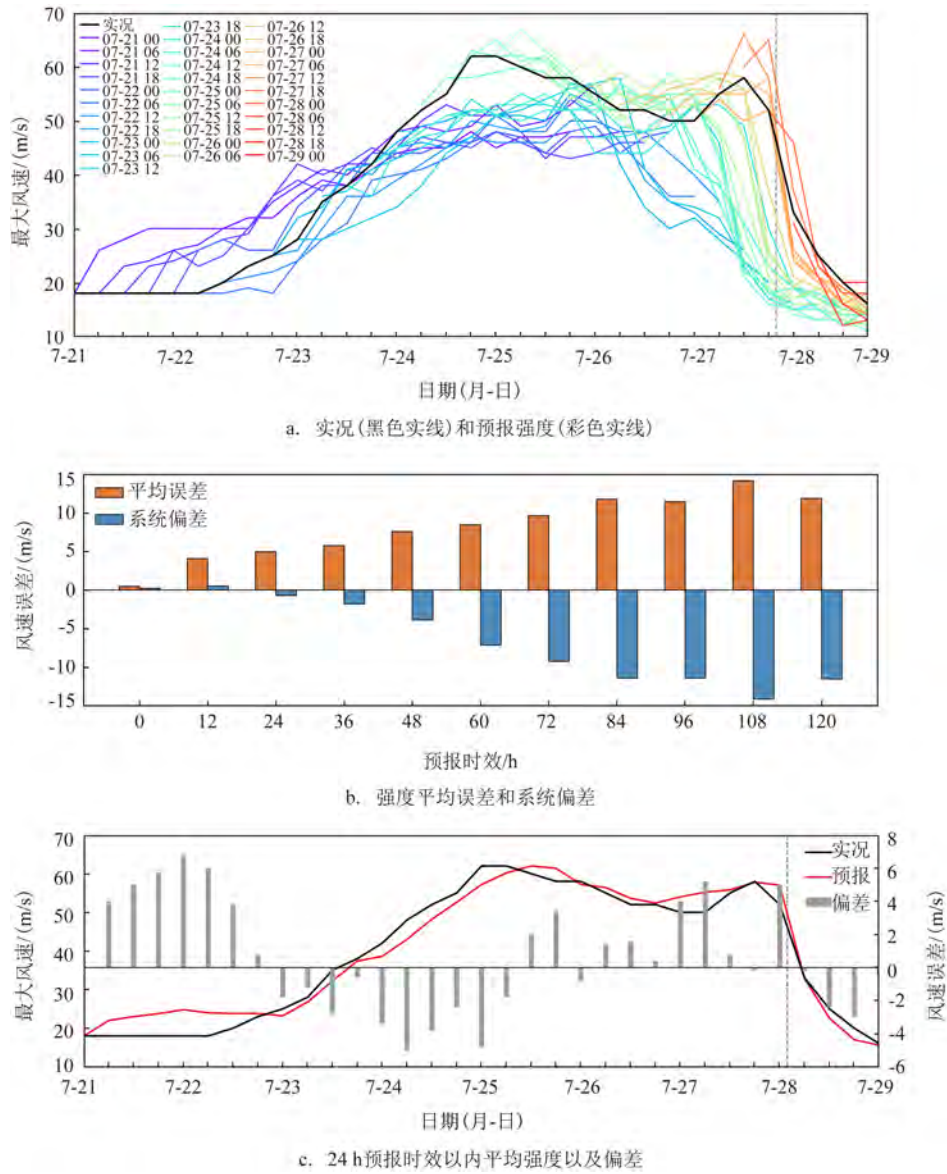


图2 台风“杜苏芮”强度预报误差

Fig.2 Intensity prediction error of Typhoon "Doksuri"

表2 台风“杜苏芮”登陆预报误差

Tab.2 Landfall forecast error of Typhoon "Doksuri"

起报时间	预报登陆时间	经度/(°)	纬度/(°)	最大风速/(m/s)	时间误差/h	距离误差/km	风速误差/(m/s)
实况	7月28日02时	118.6	24.7	50	/	/	/
7月28日00时	7月28日02时	118.7	24.7	54	0	10	4
7月27日12时	7月28日01时	118.6	24.8	51	-1	11	1
7月27日00时	7月28日01时	118.1	24.7	52	-1	50	2
7月26日00时	7月27日19时	118.6	24.8	42	-7	11	-8
7月25日00时	7月27日14时	118.9	24.9	41	-12	38	-9

3.4 预报误差分析

大尺度环流场对台风路径起着关键影响。在21日00时的24 h预报结果中副高与实况相近(见图3d),北侧控制台风的副高主体较为强盛,受副高外围偏东引导气流的影响,台风向偏西方向移动。随着预报时效增加,副高逐渐减弱东退,在120 h模式预报结果中台风南侧副高较实况偏北(见图3f),成为控制台风移动的主力,外围偏西南引导气流使得台风预报路径偏东偏北,另外,同期另一个台风“卡努”的发展对“杜苏芮”的路径也存在一定影响,模式预报的台风“卡努”的位置偏南、强度偏弱,其外围北侧的偏西气流对台风“杜苏芮”的影响偏小,两者导致台风“杜苏芮”前期路径预报西行北折,较实况明显偏东。在此后即台风成熟期起报的结果中(见图4),模式对环流场的预报有较大调整,对东侧副高主体和台风“卡努”的预报与实况相近,使得台风预报移向整体与实况一致。

在临近台风登陆阶段(图略),控制台风“杜苏芮”的副高主体增强西伸,副高外围偏南引导气流使台风“杜苏芮”北上,同时强盛的副高使台风“卡努”停留在140°E、10°N附近发展,减弱了台风“卡

努”的影响。陆地深厚的西风槽槽底达35°N以南,有利于台风北上。模式预报的副高强度偏弱,台风“卡努”外围的气流在一定程度上加速了台风“杜苏芮”北上,在与西风槽的结合下,导致模式预报的台风移速(尤其是登陆阶段)偏快。

3.5 过程降水预报检验

受台风“杜苏芮”登陆及后续残余环流影响,过程降水主体主要分布在福建、浙江、台湾地区以及京津冀地区(见图5a)。提前24 h的模式预报(见图5b)能较好地预报出降水形态,但主要降水落区的降水量预报偏少(见图5c),尤其是河北西部和山东西部,而在非主要降水落区的长江中下游地区则预报偏多。随着预报时效的增加,模式对分段式的雨区预报能力逐渐减弱,对海上以及登陆后降水中心的刻画也出现偏差。提前120 h(见图5h)预报的降水中心和主体向东北方向偏移,虽然对降水落区的预报能力较差,但降水量级仍有研判作用。模式的晴雨预报TS评分为0.4~0.6(见图6),24~96 h预报在超过100 mm的降水级别上仍有一定的预报能力,在超过25 mm和超过100 mm降水级别上的ETS评分与TS评分相当,空报和漏报较少。

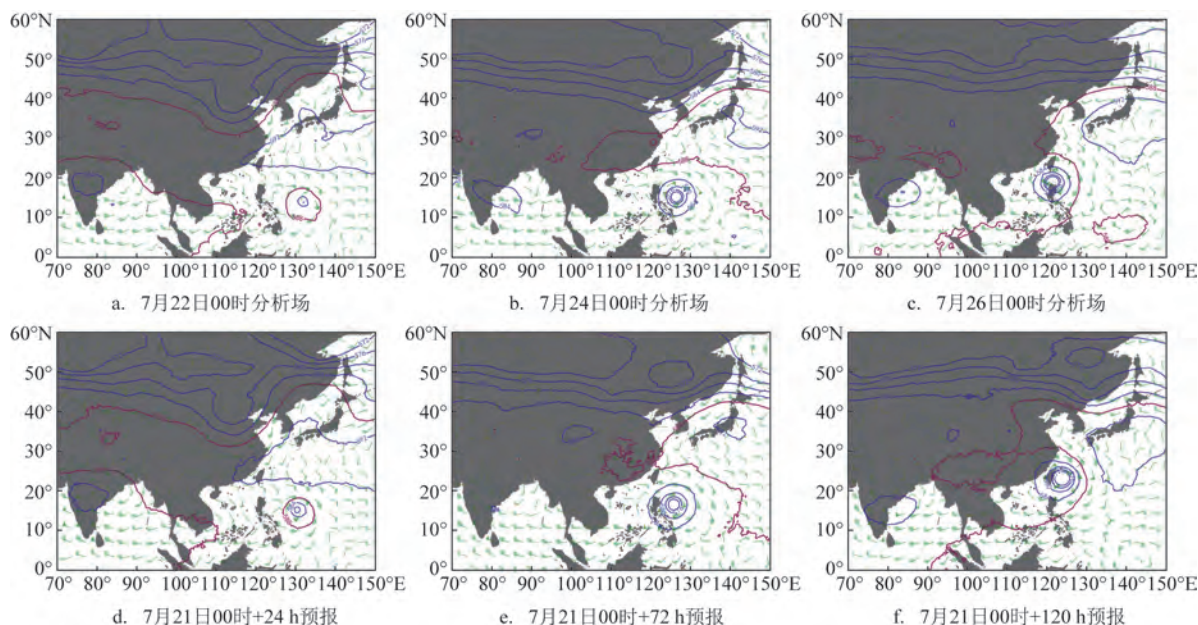


图3 7月21日00时起报的500 hPa高度和850 hPa风及相应的分析场

Fig.3 The 500 hPa geopotential height and 850 hPa wind forecast at 00 UTC on July 21 and corresponding analysis field

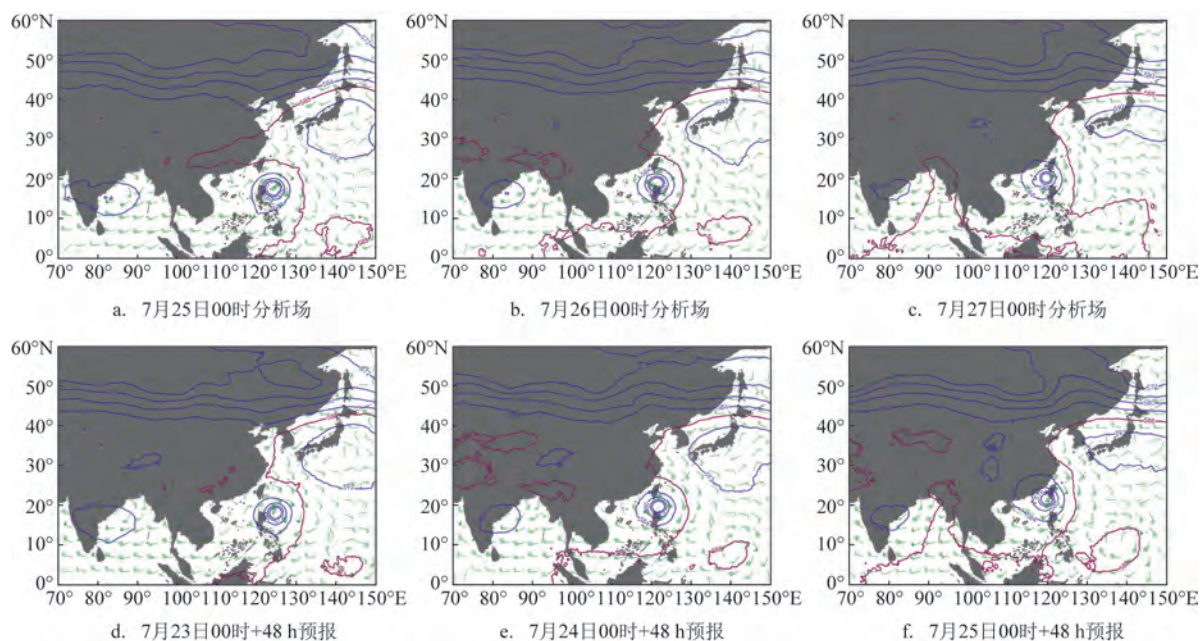


图4 48 h预报的500 hPa高度和850 hPa风及相应的分析场

Fig.4 The 500 hPa geopotential height and 850 hPa wind 24-hour forecast and corresponding analysis field

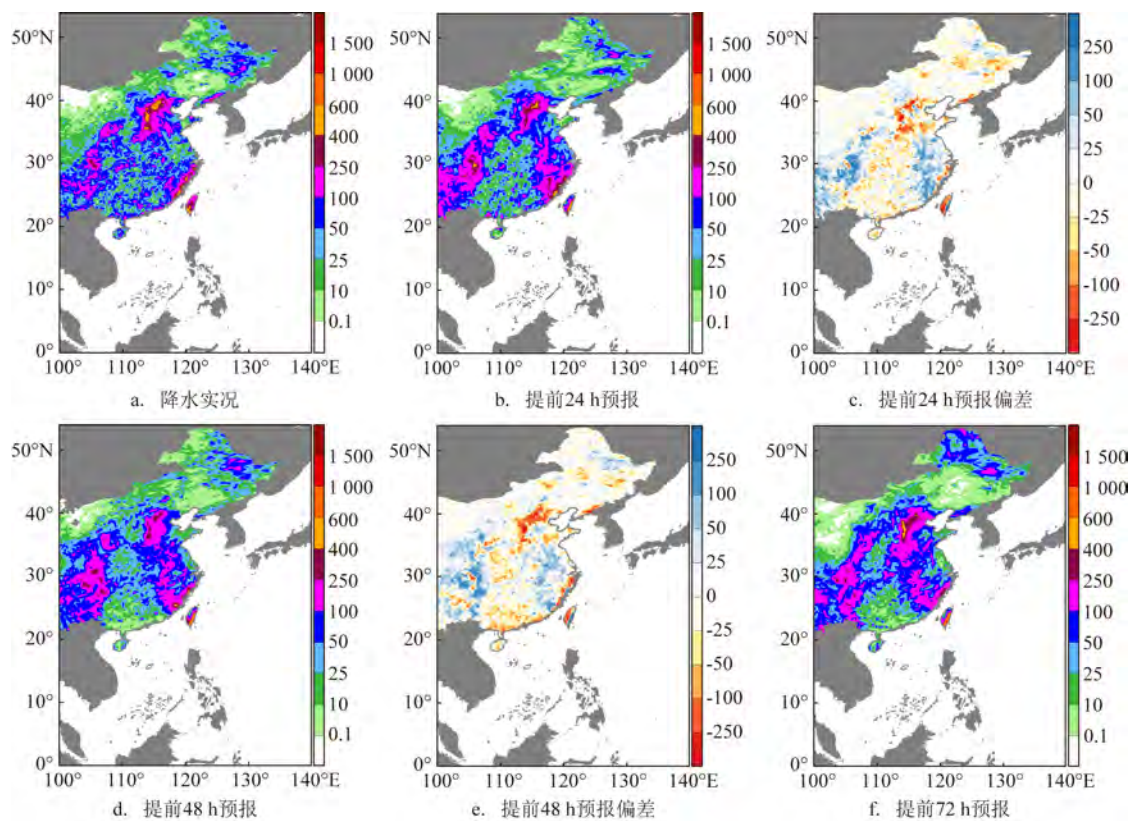


图5 7月26日00时—8月2日00时累计降水量(单位:mm)

Fig.5 Accumulated precipitation between July 26 and August 2 (unit: mm)

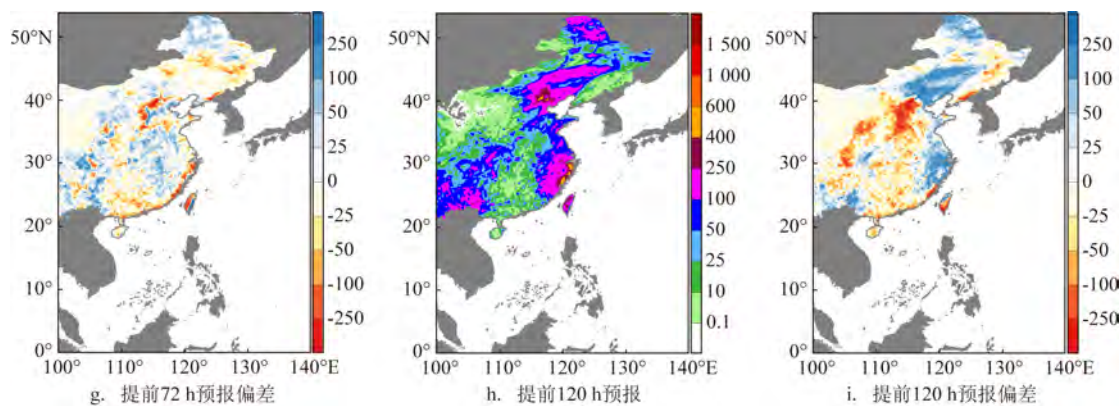


图5 (续)

Fig.5 (Continued)

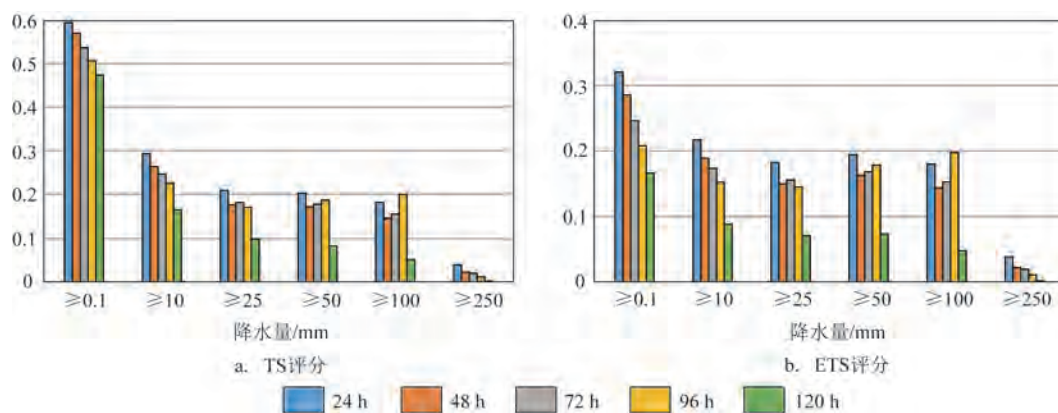


图6 降水评分

Fig.6 Precipitation score

4 总结与讨论

台风“杜苏芮”给我国东部—北部地区带来了大量极端降水,造成了大范围的洪涝灾害和损失,因而对登陆台风的精准预报是保障人民生命安全和减少财产损失的关键。在不同的台风预报模式中,CMA-TYM对台风强度和进入我国沿海台风路径的预报都表现出较好的效果,然而目前对于类似台风“杜苏芮”这样强度等级高、影响巨大的典型个例,还缺少基于CMA-TYM的预报效果检验和误差来源分析,但该工作无疑具有重要的实际价值。本文对CMA-TYM在台风“杜苏芮”过程中的预报进行了检验,整体而言,模式对台风的强度、登陆有较好的预报效果,而对路径和降水的预报存在一定偏差。路径预报上,误差主要出现在台风前期,表现为明显偏东的移向偏差,中后期移向与实

况较为一致,但移速偏快;强度预报上,24 h预报时效内误差较小,而更长的预报时效能力整体偏弱。此外,在台风发展期的预报倾向于高估其强度,但随着预报时效的延长,在台风快速增强过程中的强度增速预报较慢,导致强度峰值预报明显偏弱;对于台风登陆预报,提前24 h以内预报的登陆时间强度和位置误差较小,提前48 h仍能较好地预报出登陆位置;环流场预报上,副高主体的预报强度偏弱,位置偏东,对同期另一个发展中的台风“卡努”的预报位置偏南,导致前期移向预报偏差较大,而中后期高估了台风“卡努”的强度及其外围气流对台风“杜苏芮”的影响,同时预报的西风槽有利于台风北上,导致移速预报偏快;降水预报上,模式24 h预报时效能较好地预报出降水形态,但台风降水主要落区的降水量预报偏少,随着预报时效的增加,台风降水中心的刻画存在偏差,提

前 120 h 预报的降水落区发生明显东北偏移,但降水量级仍有研判作用。

CMA-TYM 在大尺度环流场的预报存在一定误差,除了副高外,西风槽、大陆高压等天气系统也是影响路径预报的主要原因^[18],提升对背景场的预报能力是减小台风路径误差的关键。另外,模式对 24 h 内的强度预报效果较好,但随着预报时效增加,预报能力下降明显,对台风快速增强阶段的预报是强度预报的重点。未来 CMA-TYM 还需在上述两个方面进一步提升预报能力。

参考文献:

- [1] 向纯怡,许映龙,高拴柱,等. 2021 年西北太平洋台风活动特征和预报难点分析[J]. 气象, 2022, 48(9): 1195-1208.
- XIANG C Y, XU Y L, GAO S Z, et al. Analysis of the characteristics and forecast difficulties of typhoon over the Western North Pacific in 2021[J]. Meteorological Monthly, 2022, 48(9): 1195-1208.
- [2] 端义宏,陈联寿,许映龙,等. 我国台风监测预报预警体系的现状及建议[J]. 中国工程科学, 2012, 14(9): 4-9.
- DUAN Y H, CHEN L S, XU Y L, et al. The status and suggestions of the improvement in the typhoon observation, forecasting and warning systems in China[J]. Strategic Study of CAE, 2012, 14(9): 4-9.
- [3] 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.
- XU Y L, ZHANG L, GAO S Z. The advances and discussions on China operational typhoon forecasting[J]. Meteorological Monthly, 2010, 36(7): 43-49.
- [4] 端义宏,陈联寿,梁建茵,等. 台风登陆前后异常变化的研究进展[J]. 气象学报, 2014, 72(5): 969-986.
- DUAN Y H, CHEN L S, LIANG J Y, et al. Research progress in the unusual variations of typhoons before and after landfalling[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2014, 72(5): 969-986.
- [5] 张定媛,田晓阳,贾朋群. 热带气旋预报性能及指标综合评述[J]. 气象, 2018, 44(12): 1628-1634.
- ZHANG D Y, TIAN X Y, JIA P Q. Review on performance and index of tropical cyclone forecast[J]. Meteorological Monthly, 2018, 44(12): 1628-1634.
- [6] 杨璐,费建芳,黄小刚,等. 西北太平洋环境风垂直切变和热带气旋移动对涡旋内对流非对称分布影响的特征分析[J]. 气象学报, 2017, 75(6): 943-954.
- YANG L, FEI J F, HUANG X G, et al. Effects of vertical wind shear and tropical cyclone motion on asymmetric distribution of convective clouds in TCs over the western North Pacific[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2017, 75(6): 943-954.
- [7] 杨昌贤,郑艳,林建兴,等. 数值预报产品检验和评估[J]. 气象研究与应用, 2008, 29(2): 32-37.
- YANG C X, ZHENG Y, LIN J X, et al. Numerical model output validation and assessment[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2008, 29(2): 32-37.
- [8] 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.
- TANG J, CHEN G M, YU H. Precision evaluation and error analysis on the forecasts of typhoons over the Western North Pacific in 2010[J]. Meteorological Monthly, 2011, 37(10): 1320-1328.
- [9] 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.
- CHEN G M, TANG J, ZENG Z H. Error analysis on the forecasts of tropical cyclones over Western North Pacific in 2011[J]. Meteorological Monthly, 2012, 38(10): 1238-1246.
- [10] 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.
- CHEN G M, YU H, CAO Q. Verification on forecasts of tropical cyclones over Northwest Pacific in 2012[J]. Meteorological Monthly, 2013, 39(10): 1350-1358.
- [11] 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.
- CHEN G M, CAO Q. Verification on forecasts of tropical cyclones over Western North Pacific in 2013[J]. Meteorological Monthly, 2014, 40(12): 1549-1557.
- [12] 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.
- CHEN G M, CAO Q, BAI L N. Verification on forecasts of tropical cyclones over Western North Pacific in 2014[J]. Meteorological Monthly, 2015, 41(12): 1554-1561.
- [13] 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, 43(4): 501-507.
- CHEN G M, BAI L N, WAN R J. Verification on forecasts of tropical cyclones over Western North Pacific in 2015[J]. Meteorological Monthly, 2017, 43(4): 501-507.
- [14] 邓华,薛纪善,徐海明,等. GRAPES 中尺度模式中不同对流参数化方案模拟对流激发的研究[J]. 热带气象学报, 2008, 24(4): 327-334.
- DENG H, XUE J S, XU H M, et al. Study of different cumulus parameterization schemes of GRAPES-MESO model in simulation of convection provocation[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2008, 24(4): 327-334.
- [15] 张进,麻素红,陈德辉,等. GRAPES_TYM 改进及其在 2013 年西北太平洋和南海台风预报的表现[J]. 热带气象学报, 2017, 33(1): 64-73.
- ZHANG J, MA S H, CHEN D H, et al. The improvements of GRAPES_TYM and its performance in Northwest Pacific Ocean and South China Sea in 2013[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2017, 33(1): 64-73.

- [16] 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.
MA S H, ZHANG J, SHEN X S, et al. The upgrade of GRAPE_TYM in 2016 and its impacts on tropical cyclone prediction[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2018, 29(3): 257-269.
- [17] 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.
MA S H, ZHANG J, QU A X, et al. Impacts to tropical cyclone prediction of GRAPES_TYM from increasing of model vertical levels and enlargement of model forecast domain[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2021, 79(1): 94-103.
- [18] 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.
MA S H, SHEN X S, GONG J D, et al. Development of typhoon numerical prediction system in national meteorological Centre[J]. Meteorological Monthly, 2021, 47(6): 685-692.
- [19] 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.
MA S H, CHEN D H. Analysis of performance of Regional Typhoon Model in National Meteorological Center[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2018, 34(4): 451-459.
- [20] 潘畅, 谷军霞, 宇婧婧, 等. 中国区域高分辨率多源降水观测产品的融合方法试验[J]. 气象学报, 2018, 76(5): 755-766.
PAN Y, GU J X, YU J J, et al. Test of merging methods for multi-source observed precipitation products at high resolution over China[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2018, 76(5): 755-766.
- [21] 孙帅, 师春香, 潘畅, 等. 中国区域三源融合降水产品的改进效果评估[J]. 水文, 2020, 40(6): 10-15.
SUN S, SHI C X, PAN Y, et al. The improved effects evaluation of Three-Source Merged of Precipitation Products in China[J]. Journal of China Hydrology, 2020, 40(6): 10-15.
- [22] 辛佳洁. 全球集合预报系统的台风强度预报评估和订正[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2021.
XIN J J. Evaluation and correction of typhoon intensity forecast by global ensemble forecast system[D]. Beijing: Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2021.

Evaluation and forecast error analysis of CMA-TYM for Typhoon "Doksuri"

YAO Guohua¹, GAO Li^{2*}, MA Suhong², CHEN Quanliang¹, REN Hongli³

(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. CMA Earth System Modeling And Prediction Center, Beijing 100081, China; 3. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Typhoon "Doksuri", the fifth typhoon in 2023, caused widespread flooding and damages in the eastern-northern regions of China, and this paper comprehensively evaluates the forecast performance and error status of this typhoon by utilizing the China Meteorological Administration_Regional Mesoscale Typhoon Numerical Prediction System (CMA-TYM). The results are as follows. The early stage of the typhoon track forecast is dominated by an easterly shift deviation; the middle and late stage of the forecast is dominated by a fast shift deviation. Forecasts tend to overestimate the typhoon intensity during its generation stage, however, at longer forecast horizons, the growth rate of the typhoon intensity during rapid intensification is predicted to be slower, resulting in significantly weaker forecasts of peak typhoon intensity. Errors in forecasting landfall time, intensity and location are small for forecasts up to 24 h in advance, and landfall location is still better for forecasts at 48 h in advance. Deviations in the forecasts of the subtropical high, the westerly trough, and another Typhoon "Khanun" during the same period are the reasons for the large deviations in the track forecasts. It is able to forecast the precipitation pattern of the typhoon process, but the forecast of precipitation in the main precipitation fallout area is less. As the forecast horizons increases, the precipitation center at sea as well as after landfall is shifted to the northeast.

Key words: China Meteorological Administration; Regional Mesoscale Typhoon Numerical Prediction System; Typhoon "Doksuri"; assessment of forecast results; error analysis