

台风“三巴”(2316)路径和降水预报偏差分析

石娟^{1,2}, 吴俞^{1,2}, 吴敏^{1,2}

(1. 海南省气象台, 海南 海口 570203; 2. 海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海南 海口 570203)

摘要: 利用地面自动站降水资料、 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 经纬度分辨率的ERA5再分析资料、卫星资料、上海台风所最佳路径集和EC全球模式细网格预报数据,对2316号台风“三巴”的移动路径和海南暴雨的预报偏差及其原因进行分析。通过分析发现,EC预报的台风路径比实况略偏西偏北,移速偏快,南折时间点偏晚,主要原因是EC预报的副热带高压强度偏强,冷空气影响海南的强度偏弱。海南省气象台主观预报的暴雨量级评分比EC模式预报高0.33,但两者均漏报18日08时—19日08时海南岛东北沿海地区的暴雨,分析EC模式偏差原因得知,EC预报场的水汽通量散度辐合中心与实况偏差较大,位置偏东,强降水落区位于海南岛东部海面。低层(925 hPa)长时间维持东南急流,整层湿度条件较好,较强的垂直上升运动导致海南岛东北部沿海出现暴雨。

关键词: 台风“三巴”;副热带高压;风雨特征;预报偏差

中图分类号: P458.1⁺24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2025)03-0066-10

0 引言

海南岛四面环海,平均每年都会受到6.6个台风影响^[1],是我国受台风袭击最频繁、影响最严重的地区之一。随着经济的日益发展,社会对台风暴雨精准预报的需求越来越高。南海作为台风活动最为频繁的海区之一,其台风路径复杂,台风从生成到登陆的时间较短,难以预测^[2]。近年来,台风暴雨的研究受到了越来越多的关注^[3-6],数值模式与客观预报方法取得明显进展,这两种预报方法和主观预报的准确性密切相关。但是,受初始条件等不确定因素的影响,降水预报和实况总是存在偏差^[7-8]。目前,很多研究对模式降水预报的偏差原因进行了分析,如国内学者^[9-12]检验了欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium - Range Weather Forecasts, ECMWF, 简称EC)模式与日本气象厅(Japan Meteorological Agency, JMA)模式和天气研究预报模式(Weather Research and Forecasting Model, WRF)等业务数值模式的降水偏差,结果表

明EC模式对降水的预报表现总体较优。杨亦萍等^[13]分析了不同天气形势下EC预报产品在不同预报时效下的距离误差、总体误差和移向误差。王晓峰等^[14]综合评估了当前业务中常用的几家数值模式对强台风“菲特”登陆期间的预报能力,结果表明上海台风研究所的高分辨率台风模式在暴雨及以上量级的强降水预报方面展现出明显优势。许变等^[15]通过对比分析超强台风“利奇马”登陆前后多个模式降水预报结果发现,各模式对850 hPa水汽通量和辐合区的预报存在较大差异是导致降水预报差异显著的重要原因。韩兴等^[16]统计了2015—2021年金华受台风影响时期EC降水预报的系统性偏差,发现当台风活动区域位于金华的东南区和东北区时,EC预报的降水量存在系统性偏大。以上研究多聚焦于模式对台风路径或降水偏差的分析,但是对南海台风模式预报偏差的评估检验较少。南海台风多在近海生成,大多在发展后不久即登陆,因此,稍有预报误差就会造成决策失误,因此有必要对南海台风的模式预报能力进行检验。

收稿日期: 2024-02-21。

基金项目: 海南省自然科学基金项目(423QN318);海南省重点研发项目(ZDYF2023SHFZ125);中国气象局创新发展专项(CXFZ2024J009)。

作者简介: 石娟(1983-),女,高级工程师,硕士,主要从事短时临近预报工作。E-mail:sjnuist@163.com

台风“三巴”在海南岛西部沿海两次登陆,并造成海南岛东半部地区大暴雨天气过程,在历史同期非常罕见。数值模式对台风路径的预报是主观预报的重要参考,因此对比分析模式和实况的预报差异,可以更好地揭示海南岛台风暴雨的风雨特征及其成因,为台风主客观预报相结合提供依据。

1 台风“三巴”概况

2023年10月17日下午南海西部海面有热带低压生成,该低压于18日下午02时(北京时,下同)加强为当年第16号台风“三巴”(Sanba,热带风暴级),台风生成后先向北偏西方向移动,于19日09时前后在海南省东方市沿海登陆,登陆时中心附近最大风力为8级,登陆后向偏北方向移动进入北部湾海面,20日凌晨短暂加强为强热带风暴级后再次减弱为热带风暴级,20日08时在雷州半岛西部近海转向偏南方向移动,于20日09时45分前后在广东省遂溪县沿海再次登陆,登陆时中心附近最大风力8级,登陆后继续向偏南方向移动并再次进入北部湾海面,20日17时台风“三巴”减弱为热带低压,低压中心于20日19时40分前后在海南省临高县沿海第三次登陆,登陆时中心附近最大风力为6级,之后强度继续减弱,20日23时中央气象台对其停止编号。台风全路径见图1a。受台风“三巴”影响,10月16日20时—20日20时,海南岛东半部地区出现强降雨

(见图1b),13个市县共97个乡镇(区)的雨量大过100 mm,其中万宁、文昌、琼中和琼海4个市县共22个乡镇的雨量大过200 mm,最大为万宁市和乐镇的333.2 mm。另外,海南岛沿海陆地及近海普遍出现7~9级阵风,陆地最大阵风出现在三亚市崖州区(9级,风速为23.1 m/s),近海最大阵风出现在文昌七洲列岛(11级,风速为31.0 m/s)。

2 预报路径偏差原因分析

海南省气象台在对台风“三巴”的业务路径预报上存在着两个预报偏差,其一是台风的登陆时间预报,18日08时预报台风“三巴”将于18日夜—19日凌晨在海南岛三亚—东方一带沿海地区登陆,比实际登陆时间(19日09时)偏早;其二是预报的台风南折位置比实际路径偏西、偏南。海南省气象台的台风路径预报参考了自主研发的台风路径概率预报产品及多模式预报产品,该产品基于对热带气旋生成时刻CMA_TYM/GFS(中国气象局_区域台风数值预报系统/全球同化预报系统)模式预报零场资料的统计分析,提取多个环流特征物理量阈值,通过组合、调整得到热带气旋生成判据。以下主要针对这两个预报难点进行分析。

2.1 副热带高压预报强度偏强

分别对比18日20时和20日08时500 hPa高度

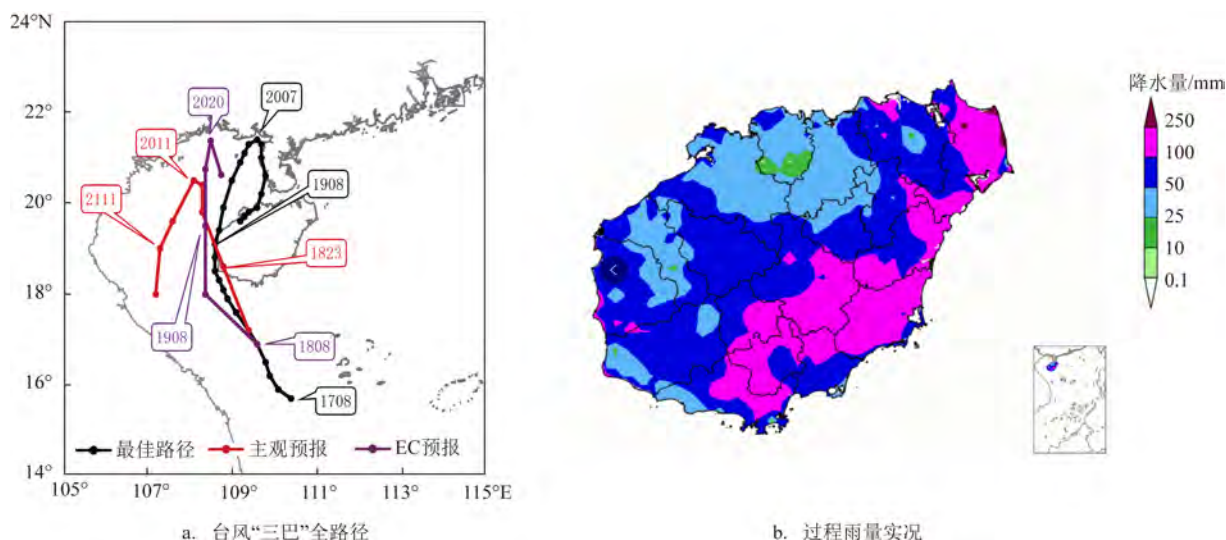


图1 台风“三巴”全路径图和海南岛过程降水量实况图

Fig.1 The full path of Typhoon "Sanba" and the precipitation in Hainan Island

叠加925 hPa风场的ERA5分析场和预报场结果(见图2),从588线的分布可以发现,预报场副热带高压(简称副高)的脊线位置比ERA5分析场略偏北(见图2c)。18日20时ERA5分析场副高东环呈尖头状,脊线位于18°N附近,588线西伸至115°E,台风“三巴”受到副高西南侧东南气流引导向西北方向移动;EC预报的副高西侧偏南和偏东分量强于预期,因此预报路径比ERA5分析场偏北且移速偏快,台风于19日09时前后在海南岛东方市沿海登陆,而EC预报的台风在19日08时已位于海南岛东方市西北部海面。20日08时,副高有所减弱,ERA5分析场588线东缩至118°E附近,EC预报台风的环流中心位置偏西,与ERA5分析场差别较大。

2.2 冷空气和东南急流影响

分析19日08时海平面气压场和925 hPa风场

(见图3a)可以看出,台风“三巴”的风场结构有明显的不对称特征,大风区位于第一和第四象限,台风东北侧急流中心风速达14 m/s,EC预报场(见图3c)急流核位置偏北,且范围比分析场偏小,EC预报场的台风中心风速比ERA5分析场偏大,位置偏西北,因此预报的台风路径比ERA5分析场偏西北。20日08时,台风“三巴”移动路径开始南折,从分析场形势场(见图3b)可以看出,冷空气主体东移南下,两广—海南岛的等压线梯度明显增大,1020线到达两广北部,从前文分析得知,20日08时副高减弱东退,台风的偏南引导气流减弱,低层较强冷空气导致台风南落。EC预报的冷空气强度相对ERA5分析场偏弱,导致“三巴”中心风力的预报值比ERA5分析场偏大,台风风力减弱速度比实际偏慢,南折时间点略偏晚(20日20时)。

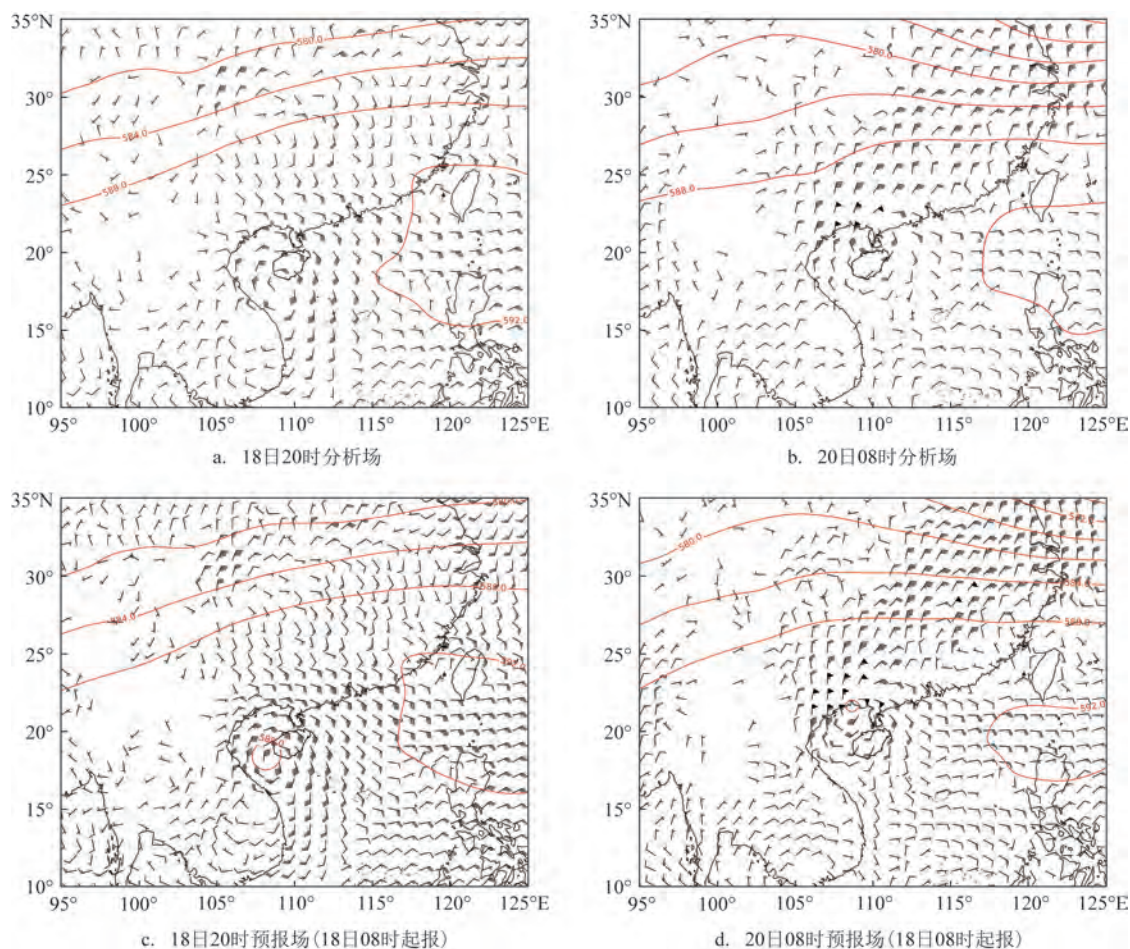


图2 ERA5分析场和EC预报场500 hPa高度场叠加925 hPa风场

Fig.2 500 hPa height field superimposed on 925 hPa wind analysis field in the ERA5 analysis and EC forecast data

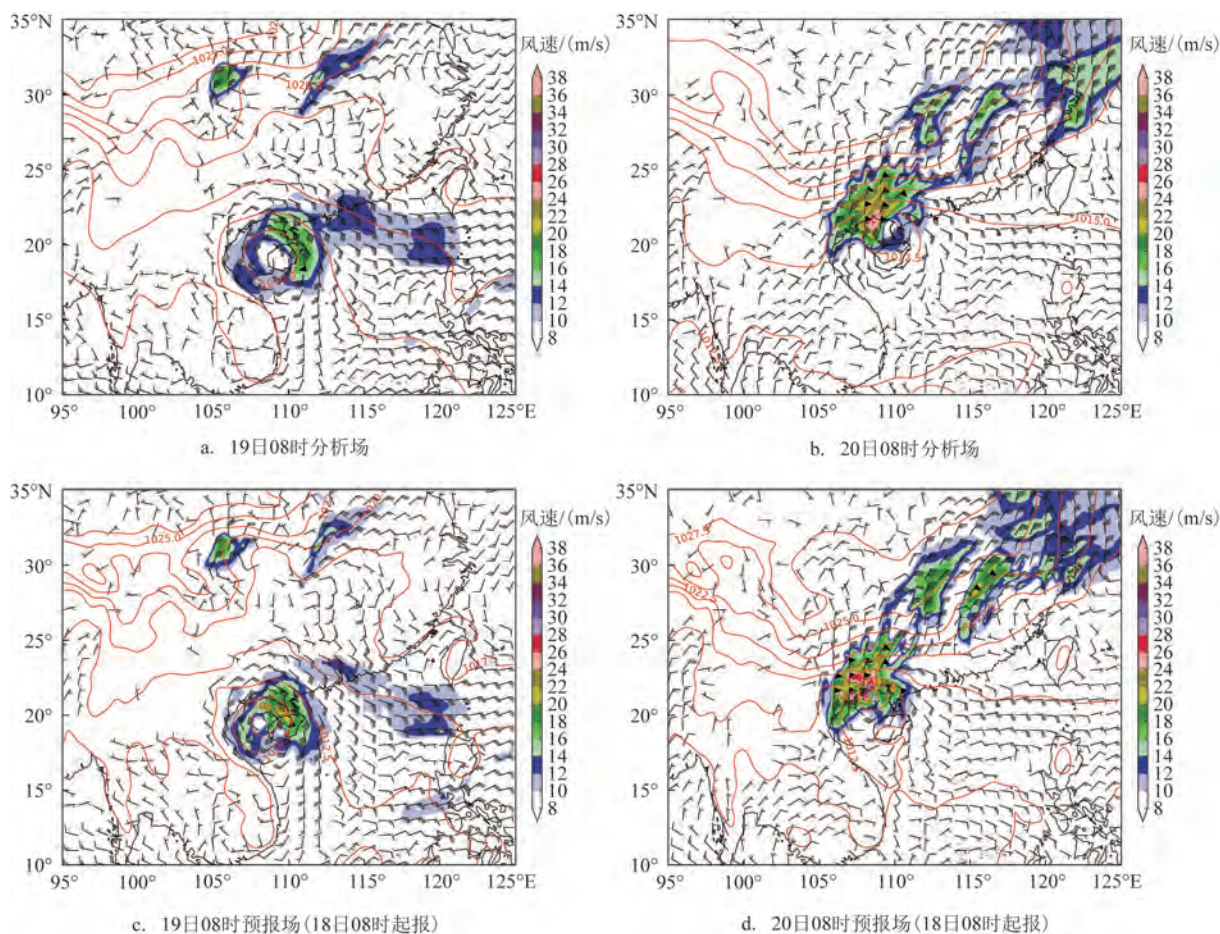


图3 ERA5分析场和EC预报场海平面气压场叠加925 hPa风场

Fig.3 Sea level pressure field superimposed on 925 hPa wind analyzed field in the ERA5 analysis and EC forecast data

3 台风“三巴”降水分析

3.1 主要降水时段概况

台风“三巴”降水过程的主要影响时间段为2023年10月18日08时—19日08时。从小时雨强极大值空间分布可以看出(见图4a),过程短时强降水落区主要集中在海南岛东半部地区,大部分地区的小时雨强为20~30 mm/h,其中文昌琼海沿海地区小时雨强的极大值达50~70 mm/h,最大小时雨强出现在海口西海岸观海台测站(18日20时),达100.9 mm/h。短时强降水频次多为1~2次(见图4b),文昌和琼海地区相对较高,达2~3次。分析短时强降水站数时间序列图(见图4c)可知,强降水发生站数较多的时间段主要集中在10月18日11—12时和19—21时。

3.2 降水成因和偏差分析

3.2.1 降水成因

从图5相对湿度、垂直速度和沿剖面风的变化可知,09时海南岛东南部开始出现垂直上升运动,1000~850 hPa的相对湿度均大于95%,高湿度层厚度较厚,开始出现降水,12时东北部地区的垂直上升运动加强,15时自西向东高湿度层深厚,从800 hPa向上延伸至200 hPa附近的湿度都大于95%,中高层垂直上升速度中心最强达到-2.8 Pa/s,对流层中低层在东南风的持续输送下,水汽条件较好。19日00时,垂直上升运动开始减弱,垂直速度大值中心开始西移,海南岛东部虽然还是有垂直上升运动,但中心强度减弱至0.6 Pa/s,高湿度层厚度相对减小,海南岛降水开始减弱。

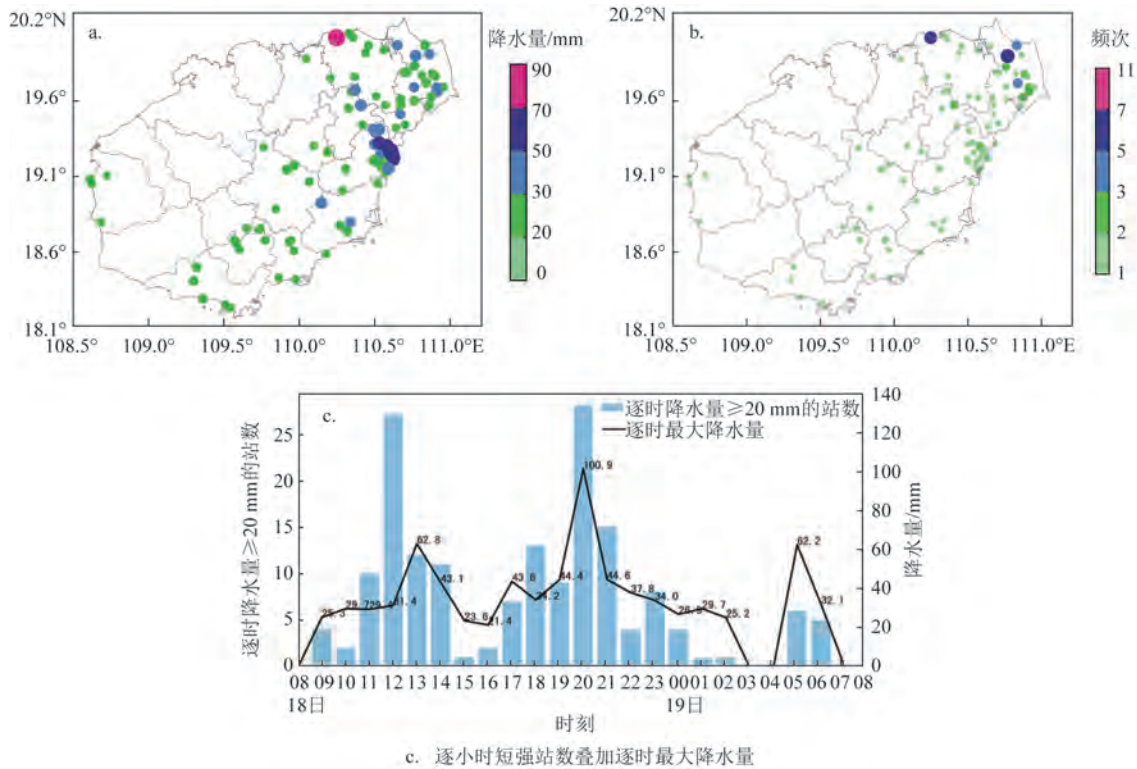


图4 短时强降水雨强极大值(a)和频次空间分布(b)及逐小时短强站数叠加逐时最大降水量(c)

Fig.4 Maximum rainfall intensity of short-term heavy precipitation (a), spatial distribution of frequency (b), and hourly number of short-intensity stations superimposed on the hourly maximum precipitation amount (c)

从前文的分析得知,10月18日有两个主要降水时段,分析相应时刻红外云图演变(见图6)可知,18日11时,台风“三巴”中心位于三亚西南方约120 km的海面上,中心云团较松散,其东北侧有分散的对流云团发展,并逐渐组织化形成西北—东南向的螺旋雨带,且自东南—西北方向移动,雨带西侧逐渐扫过海南岛东北的文昌地区,云顶亮温最强达到 $-80\sim-90^{\circ}\text{C}$,因此造成10—12时文昌地区16个自动站的小时雨强超过20 mm/h,最大小时雨强出现在文昌宝芳宝贤小学,为56.2 mm/h。18日13时,台风继续向西北方向移动,其北侧的螺旋雨带北抬,文昌地区的降水减弱,在螺旋雨带南侧有新的对流云团发展,云顶亮温最强达到 $-70\sim-80^{\circ}\text{C}$,云团造成海南岛中东部局地发生短时强降水。台风“三巴”于18日14时加强为热带风暴,之后海南岛东部沿海地区有对流云团加强,并向北移至海南岛东北部地区,18日20时,云顶亮温最强达到 $-80\sim-90^{\circ}\text{C}$,且稳定维持2~3 h,19—22时的最大累积雨

量为71.1 mm,出现在琼海塔洋镇。18日23时,云顶亮温下降,降水随之减弱,主体移至海南岛东北部沿海地区。

3.2.2 主客观强降水强度落区的预报偏差分析

定点定量预报是台风降水预报的难点,却对防灾减灾工作起关键作用。本文只针对EC预报和海南省气象台主观预报的台风“三巴”过程的最强日降水强度和落区误差进行分析,初步探讨主客观预报能力。海南省气象台主观预报参考了本地客观化降水预报产品和台风动力相似预报产品,前者基于多源数值预报场,聚焦环流分型、多模式动态权重融合、穷人集合小时概率和最优评分概率阈值等客观方法,后者使用动力和统计相结合的方法对目标台风进行降水预报。

通过分析对比可知,EC 24 h预报的台风“三巴”的暴雨落区主要在海南岛南部沿海地区(见图7),降水量级为50~100 mm,而实况降水的大暴雨落区分布在海南岛东南部 and 东北部沿海地区,降水量级

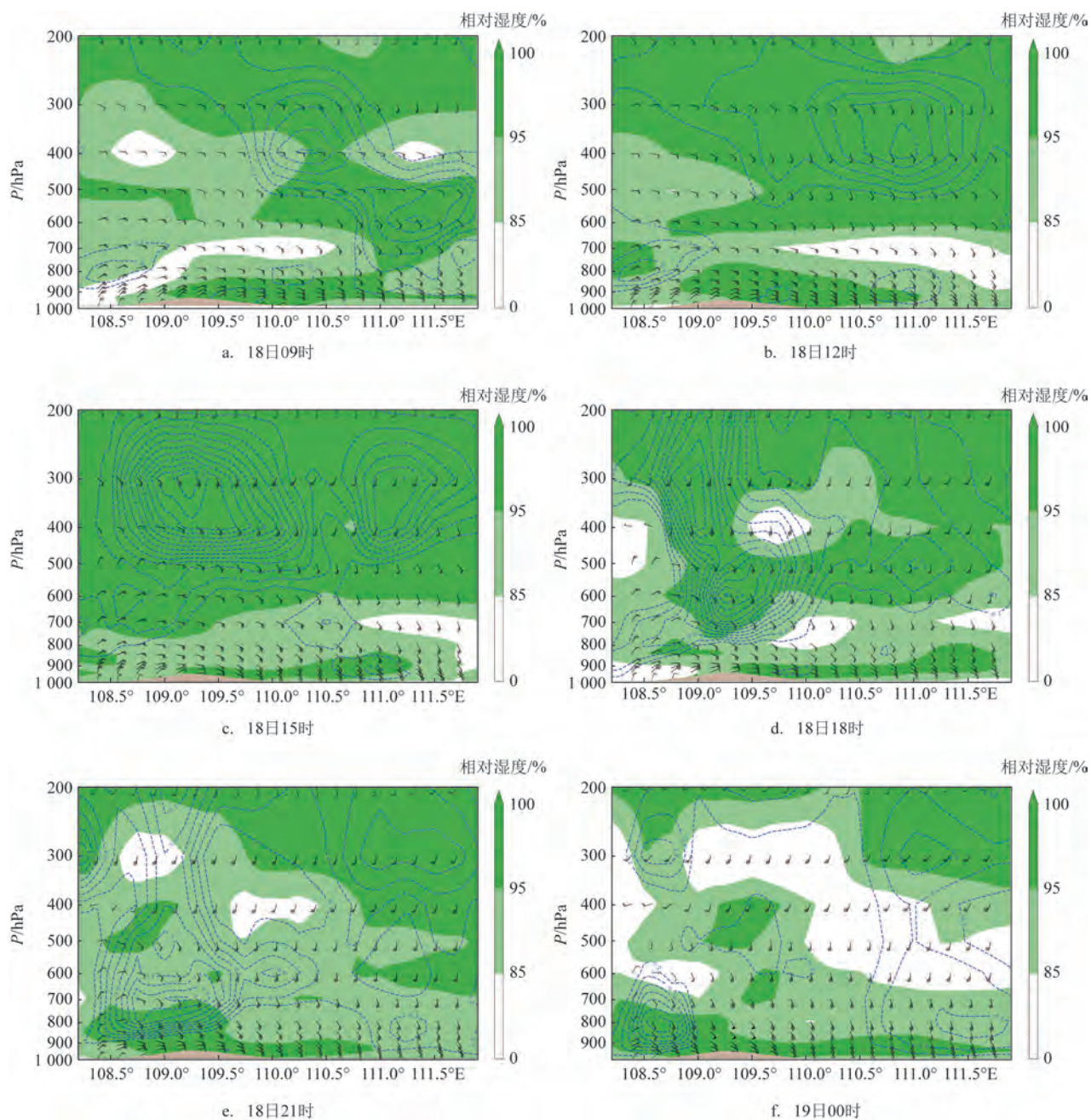


图5 相对湿度、垂直速度和沿剖面风的变化

Fig.5 Relative humidity, vertical velocity, and winds along the profile

达100~250 mm, EC漏报了海南岛东北部地区的暴雨; 相对于EC预报, 海南省气象台主观24 h预报对海南岛东南部地区的大暴雨有一定的预报能力, 但落区偏大, 对海南岛东北部沿海的暴雨落区相对实况偏小。

3.2.3 925 hPa风场和水汽条件预报偏差分析

本文着重对台风“三巴”降水量级大值中心之

一的海南岛东北部地区进行分析。从自动站雨量统计来看(图略), 海南岛东北部的强降水主要集中在18日19—20时和19日04—05时。分析18日20时ECMWF的ERA5再分析场资料(简称ERA5再分析场)和EC 17日20时起报的预报场可知(见图8), EC预报出了东北部地区有强的水汽通量, 中心强度达27~30 g/(s·hPa·cm), 较ERA5再分析场的水汽

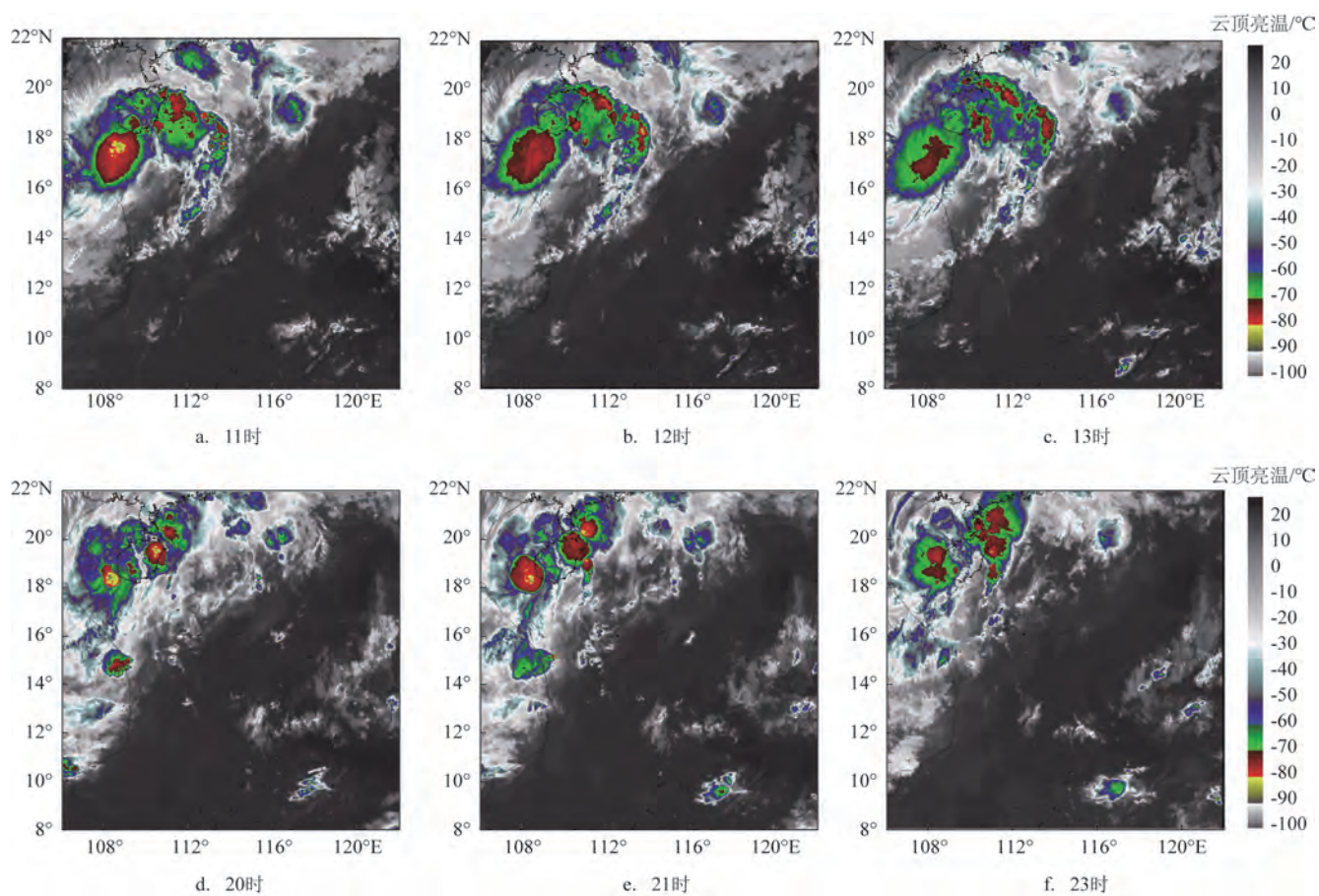


图6 2023年10月18日红外云图
Fig.6 Infrared cloud map for October 18, 2023

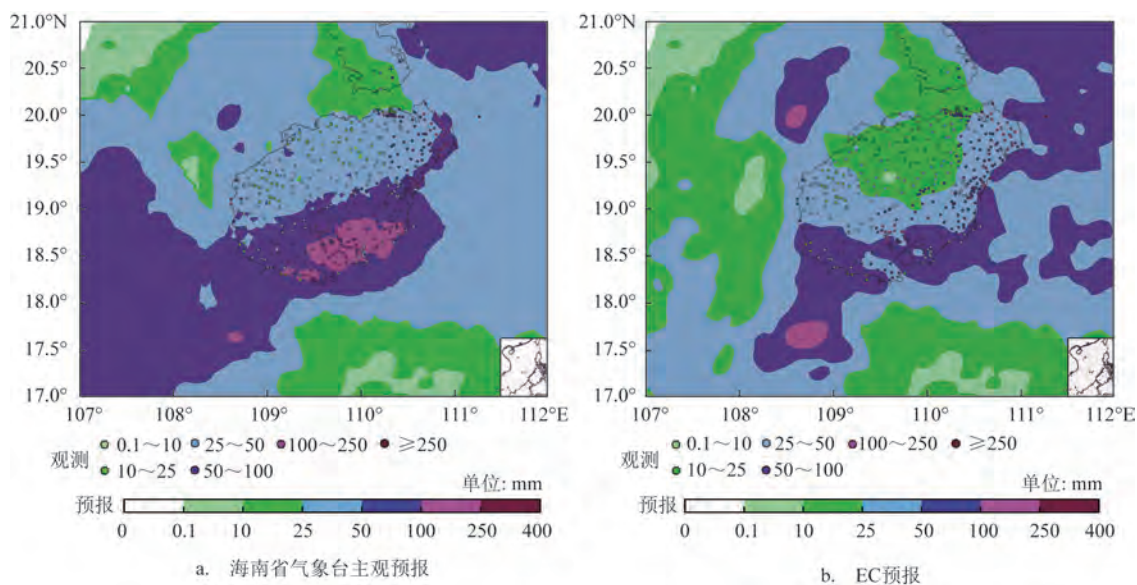
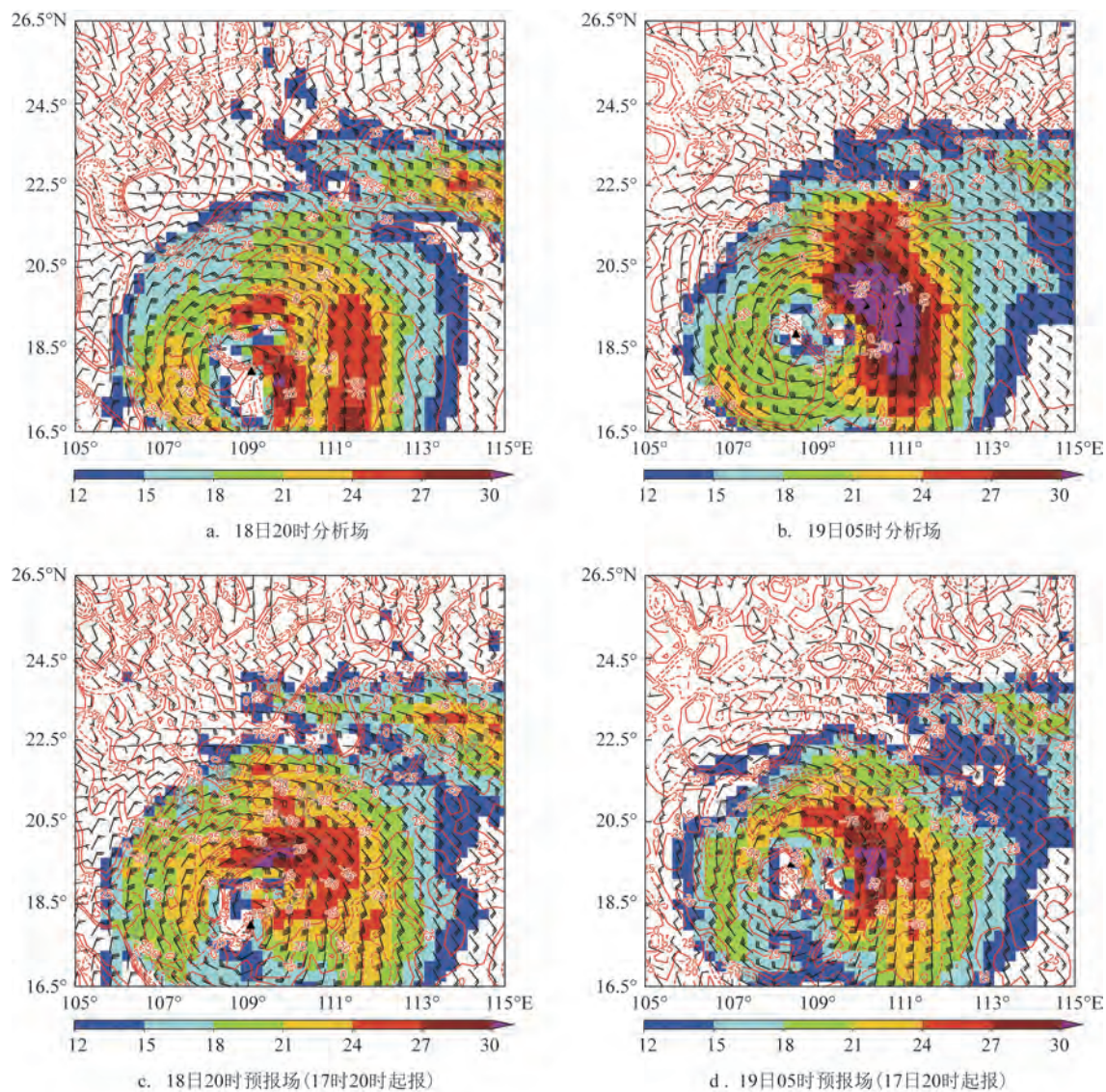


图7 2023年10月18日08时—10月19日08时降水实况和预报对比
Fig.7 Comparison of actual and predicted precipitation from 0800 on October 18, 2023 to 0800 on October 19, 2023



注:填色为水汽通量,单位: $\text{g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}\cdot\text{s})$;虚线为水汽通量散度,单位: $10^{-6}\text{g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s})$,黑色三角形代表台风位置

图8 水汽通量叠加925 hPa风场及水汽通量散度

Fig.8 Water vapor flux superimposed on 925 hPa wind field

通量偏大;EC预报场的水汽通量散度辐合中心位于海南岛东北部海面上,而ERA5再分析场的水汽通量散度辐合中心位于海南岛东北部地区,两者有明显偏差;台风中心位置也存在一定的偏差,从925 hPa风场来看,EC预报场的台风“三巴”中心位置比ERA5再分析场略偏西、偏北。19日05时,EC预报场的水汽通量较ERA5再分析场偏弱;海南岛东北部地区有水汽通量散度辐合,但辐合中心的位置较ERA5再分析场偏东、偏北,因此,EC预报场对海南岛东北部地区的强降水存在明显低估。同时,

在925 hPa风场上,EC对台风东北象限的风速预报量级较ERA5再分析场明显偏小。进一步定量分析主客观预报台风的暴雨评分,海南省气象台主观综合24 h预报的暴雨量级的TS(Threat Score)评分达0.52,而本地客观化降水预报产品的暴雨TS评分0.42,比EC模式预报高0.33。

4 结论

本文对台风“三巴”的降水成因、路径与降水预

报偏差进行了分析。结论如下:

①台风“三巴”两次登陆海南岛,台风生成后受副高西侧东南气流影响,向西北方向移动,在海南岛东方市沿海地区登陆,进入北部湾后,加强为强热带风暴,受较强冷空气扩散南下影响,在海南岛临高县沿海再次登陆。

②数值模式对副高的位置及冷空气影响海南岛的时间、强度的预报均存在一定的误差,导致预报的台风登陆时间偏早,移动位置偏西。

③低层 925 hPa 长时间维持东南急流,整层湿度条件较好,较强的垂直上升运动导致海南岛东北部沿海出现暴雨。

④数值预报对海南岛东北部沿海的水汽通量散度辐合中心的位置预报偏差是暴雨漏报的重要原因,海南省气象台主观预报的暴雨评分明显高于 EC 数值预报。

在目前台风预报业务中,国产模式的预报质量逐年提升,预报员应用多模式产品开展预报,在一定程度上提升了台风暴雨的预报能力,但由于国产模式下发的要素产品有限,因此本文只针对 EC 预报和海南省气象台的主观预报进行对比分析,未来的个例检验中将更加注重国产模式的误差检验。

参考文献:

- [1] 陆桂荣,王文,郑美琴,等.海南台风暴雨的时空分布特征[J].大气科学学报,2015,38(5):710-715.
- LU G R, WANG W, ZHENG M Q, et al. Spatial and temporal distribution characteristics of typhoon precipitation in Hainan[J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2015, 38(5): 710-715.
- [2] 蔡亲波,张春花,陈红,等.海南省天气预报技术手册[M].北京:气象出版社,2013.
- CAI Q B, ZHANG C H, CHEN H, et al. Technical manual of weather forecast in Hainan province[M]. Beijing: Meteorological Press, 2013.
- [3] 李慧芹,李江南,于艳,等.一次海南秋季台风暴雨的特征和成因分析[J].热带气象学报,2018,34(1):133-144.
- LI H Q, LI J N, YU Y, et al. Analysis of the characteristics and causes of an autumn typhoon rainstorm in Hainan[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2018, 34(1): 133-144.
- [4] 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.
- XU Y L, LYU X Y, ZHANG L, et al. Analysis on the characteristics and forecasting difficulty of severe typhoon Fitow (No.1323)[J]. Meteorological Monthly, 2015, 41(10): 1222-1231.
- [5] 沈晓玲,李锋.台风“烟花”浙江极端降水成因分析[J].海洋预报,2022,39(5):37-47.
- SHEN X L, LI F. Analysis of extreme precipitation in Zhejiang caused by typhoon "In-Fa" [J]. Marine Forecasts, 2022, 39(5): 37-47.
- [6] 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.
- LI Z C, ZHANG L, QIAN Q F, et al. The development and consideration of typhoon forecast operation of national meteorological Center[J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2020, 43(1): 10-19.
- [7] 周慧,崔应杰,胡江凯,等.T639模式对2008年长江流域重大灾害性降水天气过程预报性能的检验分析[J].气象,2010,36(9):60-67.
- ZHOU H, CUI Y J, HU J K, et al. Validation of 2008 heavy rain events over the Yangtze river basin forecast by T639 model[J]. Meteorological Monthly, 2010, 36(9): 60-67.
- [8] 熊秋芬. GRAPES_Meso模式的降水格点检验和站点检验分析[J].气象,2011,37(2):185-193.
- XIONG Q F. Verification of GRAPES_Meso precipitation forecasts based on Fine-Mesh and station datasets[J]. Meteorological Monthly, 2011, 37(2): 185-193.
- [9] 张宁娜,黄阁,吴曼丽,等.2010年国内外3种数值预报在东北地区的预报检验[J].气象与环境学报,2012,28(2):28-33.
- ZHANG N N, HUANG G, WU M L, et al. Contrastive verification of three numerical prediction products in the northeast of China in 2010[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2012, 28(2): 28-33.
- [10] 肖红茹,王灿伟,周秋雪,等.T639、ECMWF细网格模式对2012年5—8月四川盆地降水预报的天气学检验[J].高原山地气象研究,2013,33(1):80-85.
- XIAO H R, WANG C W, ZHOU Q X, et al. Synoptic meteorology verification of precipitation forecast for T639、ECMWF fine grid models from May to August 2012 in Sichuan basin[J]. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2013, 33(1): 80-85.
- [11] 刘静,叶金印,张晓红,等.淮河流域汛期面雨量多模式预报检验评估[J].暴雨灾害,2014,33(1):58-64.
- LIU J, YE J Y, ZHANG X H, et al. The performance evaluation of the multi-model forecasting of areal rainfall for Huaihe River Basin during flood season[J]. Torrential Rain and Disasters, 2014, 33(1): 58-64.
- [12] 翟振芳,魏春璇,邓斌,等.安徽省ECMWF数值模式降水预报性能的检验[J].气象与环境学报,2017,33(5):1-9.
- ZHAI Z F, WEI C X, DENG B, et al. Verification and analysis of rainfall forecasted by the ECMWF model in Anhui province[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2017, 33(5): 1-9.
- [13] 杨亦萍,刘力源,倪钟萍,等.ECMWF对不同天气形势下影响浙江台风的路径预报评估[J].海洋预报,2019,36(2):68-76.
- YANG Y P, LIU L Y, NI Z P, et al. Evaluation on ECMWF typhoon

- track forecast that affects Zhejiang province under different synoptic situation[J]. *Marine Forecasts*, 2019, 36(2): 68-76.
- [14] 王晓峰, 许晓林, 杨续超, 等. 数值模式对强台风“菲特”登陆期间预报能力评述[J]. *大气科学学报*, 2017, 40(5): 609-618.
- WANG X F, XU X L, YANG X C, et al. The NWP model's evaluation of landfall processes of the strong typhoon Fitow[J]. *Transactions of Atmospheric Sciences*, 2017, 40(5): 609-618.
- [15] 许变, 余贞寿, 邱金晶, 等. 超强台风“利奇马”登陆前后多模式降水预报评估对比分析[J]. *气象科学*, 2020, 40(3): 303-314.
- XU L, YU Z S, QIU J J, et al. Comparative analysis of multi-model precipitation forecast and evaluation before and after the landfall of Typhoon "Lekima" [J]. *Journal of the Meteorological Sciences*, 2020, 40(3): 303-314.
- [16] 韩兴, 黄嘉仪, 叶妍婷, 等. ECMWF模式台风降水预报偏差分析及订正方法研究[J]. *浙江气象*, 2023, 44(1): 10-16.
- HAN X, HUANG J Y, YE Y T, et al. Analysis and correction method of typhoon precipitation forecast bias in ECMWF model [J]. *Journal of Zhejiang Meteorology*, 2023, 44(1): 10-16.

Bias analysis of track and precipitation forecasts of Typhoon "Sanba" (2316)

SHI Juan^{1,2}, WU Yu^{1,2}, WU Min^{1,2}

(1. Hainan Meteorological Observatory, Haikou 570203, China; 2. Key Laboratory of South China Sea Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Hainan Province, Haikou 570203, China)

Abstract: This paper analyzes the forecast biases of Typhoon "Samba" (2316) by using precipitation data from ground-based automatic stations, ERA5 reanalysis data, satellite data, Shanghai Typhoon Office Best Track Set, and ECMWF model forecasting data. The analysis reveals that the EC predicted typhoon path locates more west and north than the actual situation, with a faster moving speed and a later southward reverse date, which is mainly due to the stronger subtropical high pressure and the weaker cold air affecting Hainan. The subjective forecasting of Hainan Meteorological Station scores higher than the ECMWF forecasting for heavy rainfall by 0.33, but both of them omit to forecast heavy rainfall along the northeast coast of Hainan Island from 0800 on the 18th to 0800 on the 19th. The analysis of the forecasting bias suggests that the water vapor flux dispersion convergence center of the ECMWF data has a large deviation from the real situation, leading to an east bias in the center location and strong precipitation fallout in the eastern sea of Hainan Island. The low-level 925 hPa maintains the southeasterly jet for a long period, with better humidity conditions in the whole layer, and the stronger vertical upward motion leads to the heavy rainfall along the northeastern coast of Hainan Island.

Key words: Typhoon "Sanba"; subtropical high pressure; wind and rain characteristics; forecast deviation