

# 台风“灿都”强度路径及影响舟山降水成因分析

徐逸雯, 王倩, 卢琪, 孙轶

(舟山市气象局, 浙江 舟山 316000)

**摘 要:** 基于欧洲中期天气预报中心的ERA5再分析数据、浙江省自动气象探测站数据等,对2021年14号台风“灿都”(Chanthu)的移动路径和强度变化进行分析,对路径和强度的预报偏差机理进行研究,初步探讨其影响舟山的降水成因。结果表明:台风“灿都”核心区范围小,外围环流较为广阔;路径偏差主要与副热带高压与大陆高压有关,副热带高压预报偏强,南支高压被低估;台风“灿都”在东海北部海域回旋时处于高压区的包围中,没有明显的引导气流;较高的海表面温度为超强台风和强台风的维持提供了热力条件;台风“灿都”在舟山的降水特征表现为小时雨强不强、持续时间长、累计降水量可观。定海西南侧出现强降水主要是受到山区地形影响以及水平方向风速差。

**关键词:** 台风“灿都”;副热带高压;强降水;路径偏差;强度变化

**中图分类号:** P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2023)01-0091-10

## 1 引言

在全球范围内,热带气旋作为急性灾害,比地震、海啸、火山爆发、洪水泛滥的杀伤力更强,也更为频繁<sup>[1]</sup>。台风是我国东部沿海地区夏秋季最容易发生的灾害性天气之一。台风降水的范围集中且持续时间长,易造成山洪、泥石流等地质灾害以及城市内涝等次生灾害,居民的生命财产安全易遭受严重损失<sup>[2]</sup>。

许多气象学者致力于台风机理研究。影响台风移动的因素包括台风内部因子作用和环境条件。前者为涡旋本身流场在地转偏向力作用下产生的内力,主要作用于台风初生成时,而台风在移动过程中主要由环流背景及影响系统作用下的引导气流所支配。台风降水强度可能与大尺度环流背景、中尺度系统、水汽条件、地形、层结稳定度、边界层辐合以及高层辐散出流条件等密切相关<sup>[3-8]</sup>。刘晓波等<sup>[9]</sup>对2016年9月15—16日在“莫兰蒂”和“马勒卡”双台风形势下长三角地区大暴雨过程的成因进

行了诊断分析,研究表明该地区的降雨强度远大于台风“莫兰蒂”登陆前后,降雨主要来源于双台风丰富水汽的共同作用以及苏皖地区高空槽后冷空气侵入。XU等<sup>[10]</sup>研究了2009年8月6—9日“莫拉克”与“天鹅”双台风之间的相互作用,表明台风“天鹅”对台风“莫拉克”的强度及其产生的暴雨有重要贡献,即台风“天鹅”把大量的水分和能量输送给台风“莫拉克”。谢政标等<sup>[11]</sup>研究了2016年第14号超强台风“莫兰蒂”的结构变化对粤东地区风雨的影响,结果表明台风结构的不对称性是造成粤东地区风雨偏弱的主要原因,台风登陆后的风切变、垂直上升速度以及200 hPa散度减小,不利于强降水的形成。

本文对2021年14号台风“灿都”(Chanthu)形成与移动过程中的路径以及强度变化进行分析,对路径和强度的预报偏差进行机理性研究,并初步探讨影响舟山的降水成因。本研究旨在揭示受台风影响的重大灾害的主要原因,这对于台风预报和防灾减灾工作具有重要意义。

收稿日期: 2021-11-18; 修回日期: 2022-03-21。

基金项目: 浙江省气象局青年项目(2020QN36);浙江省软科学研究计划项目(2021C35048);舟山市科技局市级公益类科技项目(2022C31074)。

作者简介: 徐逸雯(1993-),女,工程师,硕士,主要从事海洋气象预报与服务工作。E-mail: 1321522140@qq.com

## 2 资料与方法

本文所用资料包括:2021年9月12日08时(北京时,下同)—16日08时舟山各自动气象监测站的观测资料,包括平均面雨量、小时极大风、小时雨量、过程雨量、10 min风向、风速等;2021年9月12—16日欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)的ERA5逐小时 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 再分析格点数据,气象要素包括气温、位势高度、纬向风、经向风、相对湿度、比湿、垂直速度和散度等;2021年9月12—16日ECMWF细网格逐3 h数值预报产品,气象要素包括气温、位势高度、纬向风、经向风和相对湿度;浙江省舟山市双偏振天气雷达Z9580雷达拼图。

## 3 台风概况与风雨实况

### 3.1 台风路径及强度

2021年第14号台风“灿都”于9月7日上午08时在关岛以西的西北太平洋洋面生成,生成后朝偏西方向移动,强度逐渐加强,7日17时加强为强热带风暴,7日夜间—8日凌晨台风强度连跳3级,8日05时加强为超强台风级,11日上午台风穿过巴士海峡向台湾以东靠近,此后转向偏北方向移动,12日白天擦过台湾岛东部沿海,期间强度一直维持超强台风级,傍晚台风移入东海南部海面,强度缓慢减弱,并继续北上,12日20时减弱为强台风级,逐渐向浙江东北部一带沿海靠近,13日中午—夜里台风于东海海域继续北上,经过舟山同纬度海域时,台风中

心气压为950 hPa,近中心最大风力为14级(45 m/s, 强台风级),14日03时减弱为台风级,此后在东海北部海域回旋少动,14日17时减弱为强热带风暴级,15日05时减弱为热带风暴级,11时再次加强为强热带风暴级,16日下午开始转向东北方向移动,并逐渐远离舟山。中央气象台于18日上午08时对其停止编号。

### 3.2 台风“灿都”对舟山的风雨影响

9日早晨台风“灿都”外围环流开始影响舟山,16日早晨台风东移并减弱,对舟山的影响基本结束,期间持续了96 h。12日08时—16日08时全市平均面雨量为155.3 mm,其中定海219.0 mm,普陀136.7 mm,岱山166.8 mm,嵊泗72.7 mm;过程雨量累积超过400 mm的街道有2个(盐仓415.5 mm、临城402.1 mm),350~400 mm的街道有2个(昌国街道365.9 mm、双桥街道358.2 mm),300~350 mm的乡镇(街道)有3个,单站最大雨量出现在叉河水库,为415.5 mm。

在此次过程中,舟山沿海普遍出现12~14级大风(小时极大风),个别测站出现17级大风(海礁浮标站风速为57.8 m/s),共有34个站点出现12级及以上大风;14级及以上大风的持续时间为6 h,13级及以上大风持续23 h,12级及以上大风持续35 h,10级及以上大风持续67 h(12日20时—15日15时)。舟山气象浮标测得的最大有效波高为6.8 m(13日12时)。

## 4 台风路径预报偏差分析

从台风“灿都”生成—10日夜间,受东北冷涡以及较强的副热带高压(简称副高)影响,台风“灿都”表现出西行的特征<sup>[9]</sup>;10日20时,西风槽东移南压,台风“灿都”开始出现偏北移动的分量,导致副高被挤压;11日20时,副高带断成两截,即出现大陆上的华中副高和西北太平洋上的太平洋副高,而在东海—台湾岛一带出现了一个缺口,台风“灿都”正处于此鞍型场中。此后,台风“灿都”受到东环副高西侧的偏南气流引导,逐渐北上。12日20时,由于出现了山东—河南高压区、江西—云南高压区和东环太平洋副高,台风“灿都”移动减缓,其底部的副高开始西伸。13日20时以后,东北冷涡东移减弱,副高

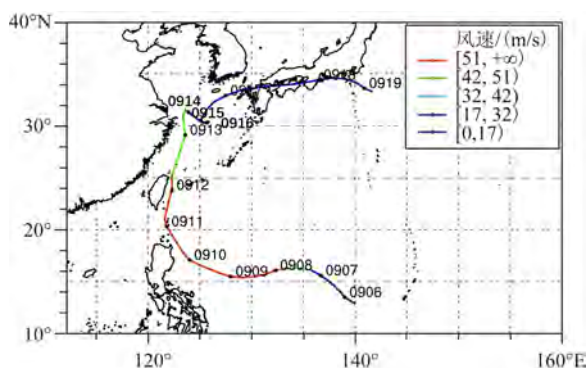


图1 2114号台风“灿都”路径图

Fig.1 The path diagram of No.2114 typhoon "Chanthu"

加强,台风“灿都”处于副高包围中,没有明确的引导气流,开始在长江口附近停滞徘徊原地打转。16日后,高空槽削弱台风北侧高压,引导台风东行。

9月8—14日,中央气象台预报的台风路径不断调整(图略),从起初预报的穿过巴士海峡朝西北方向移动逼近闽粤沿海,逐渐北调至紧擦台湾岛北上,在浙江中北部一带沿海登陆或紧擦舟山沿海北上;之后继续调整为缓慢北上或在浙北到苏南回旋少动,登陆点调整至江苏南通沿海;14日预报路径继续东调,台风中心停滞少动,之后在舟山岛长江口一带近海缓慢回旋,16日开始转向东北方向移动。

台风“灿都”路径预报不断北调、东调,由登陆调整为不登陆。此次路径预报的较大偏差主要与西太平洋副高以及大陆高压的位置和强度有关。以下将做详细分析。

#### 4.1 紧擦台湾岛北上

由于10日20时与11日20时ECMWF预报的500 hPa东环太平洋副高较实况偏强,因此12日白天台风“灿都”擦过台湾岛东部沿海并未登陆,傍晚移入东海南部海面继续北上。从12日08时和20时的500 hPa形势场来看(图略),台风“灿都”底部副高出现了西伸,台风路径出现了向东分量,因此实际路径比预期偏东;11日20时起报的12日08时台风顶部倒槽较实况明显得多,这也是台风“灿都”路径较预期偏东的影响因素之一。

综上所述,预报的副高强度明显大于实际,且预报的副高西伸位置比实际偏南,实际的南支高压被低估,路径向西的分量出现在13日11时之后。

#### 4.2 于东海北部停滞少动

13日18时台风“灿都”位于舟山以东的东海海域内,此后移速减慢至5 km/h,14—15日台风“灿都”处于高压区的包围中,没有明显的引导气流,台风在东海北部海域回旋少动,直至16日下午转向东北方向移出。期间,河南—湖北一带的大陆高压一度加强并挤压台风“灿都”,使得台风向东南方向移动。而11日20时与12日20时ECMWF起报的大陆高压偏弱,因此实际的台风位置比前两次预报的位置更偏东。

### 5 台风强度变化分析

台风“灿都”维持超强台风级111 h(8日05时—12日19时)、强台风级43 h(12日20时—14日02时)、台风级14 h(14日03—16时)。强度出现变化的3个转折点分别在12日20时左右、14日03时左右以及14日16时左右。

13日前,西太平洋的海温维持在29℃以上(见图2),为台风“灿都”维持在超强台风级提供了一定的热力条件;13日后,东海南部海温开始降低,而台风“灿都”已减弱为强台风级;14—15日,东海中北部杭州湾附近的海温没有像东海南部一样出现明显下降,此时台风“灿都”出现了回旋加强的特征。

从雷达图及云图上看(图略),12日20时左右,台风“灿都”沿台湾东部海域北上进入东海,经过台湾岛的地形摩擦后,台风中心附近结构不再紧密,但台风的核心区没有被彻底破坏;20时后,低层850 hPa水汽通量的入口明显减少(见图3),台风强度减弱为强台风级,水汽通量主要出现在右后侧(见图4),台风核心区范围小,但外围环流较为广阔。12日低层西南季风水汽输送条件好,水汽输送明显,20时后,西南风携带的水汽通量有明显减弱的趋势。但13日白天,200 hPa高层辐散明显(见图5),出流条件较好,有利于台风维持强台风级。13日夜—14日,850 hPa西南风继续减弱,低层水汽输送变差,200 hPa高空辐散场流出也变差(见图5),台风逐渐减弱为台风级。14日下午—傍晚,低层水汽通道几乎被阻断(见图4),高空辐散场变弱(见图5),台风继续减弱为强热带风暴级。台风在向东南方向缓慢移动的过程中,重新进入较暖的海面(见图2),14日傍晚后低层水汽通量增强(见图4c—d),15日11时台风再次加强为强热带风暴级。

### 6 台风对舟山降水影响成因分析

台风“灿都”导致浙江省强降雨范围集中,降雨主要发生在浙北东部地区,累计雨量大。通过分析舟山4个站点的累计降水量(见图6b)和小时雨量(见图6c)可以发现,这次台风降水特点为小时雨量少,降水持续时间长,最大的小时雨量出现在13日04时,大的降水时段主要在13日03时—14日11



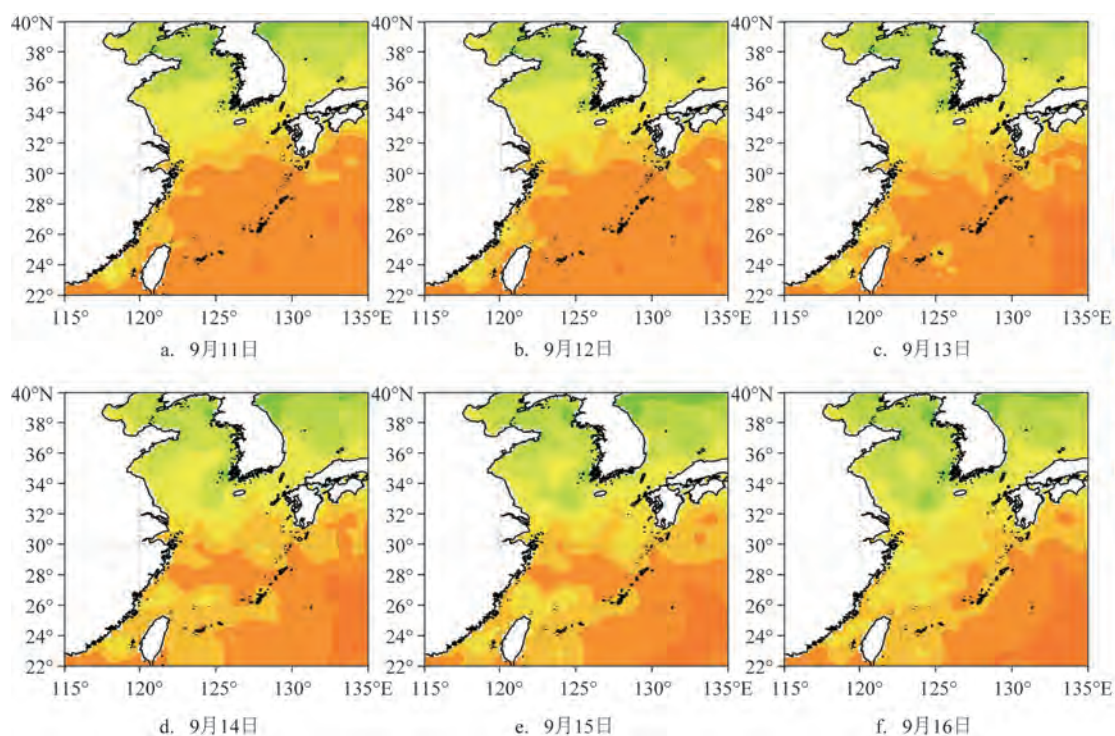


图2 2021年9月11—16日逐日平均海表温度(单位:°C)

Fig.2 Daily average sea surface temperature (unit: °C) from September 11 to 16, 2021

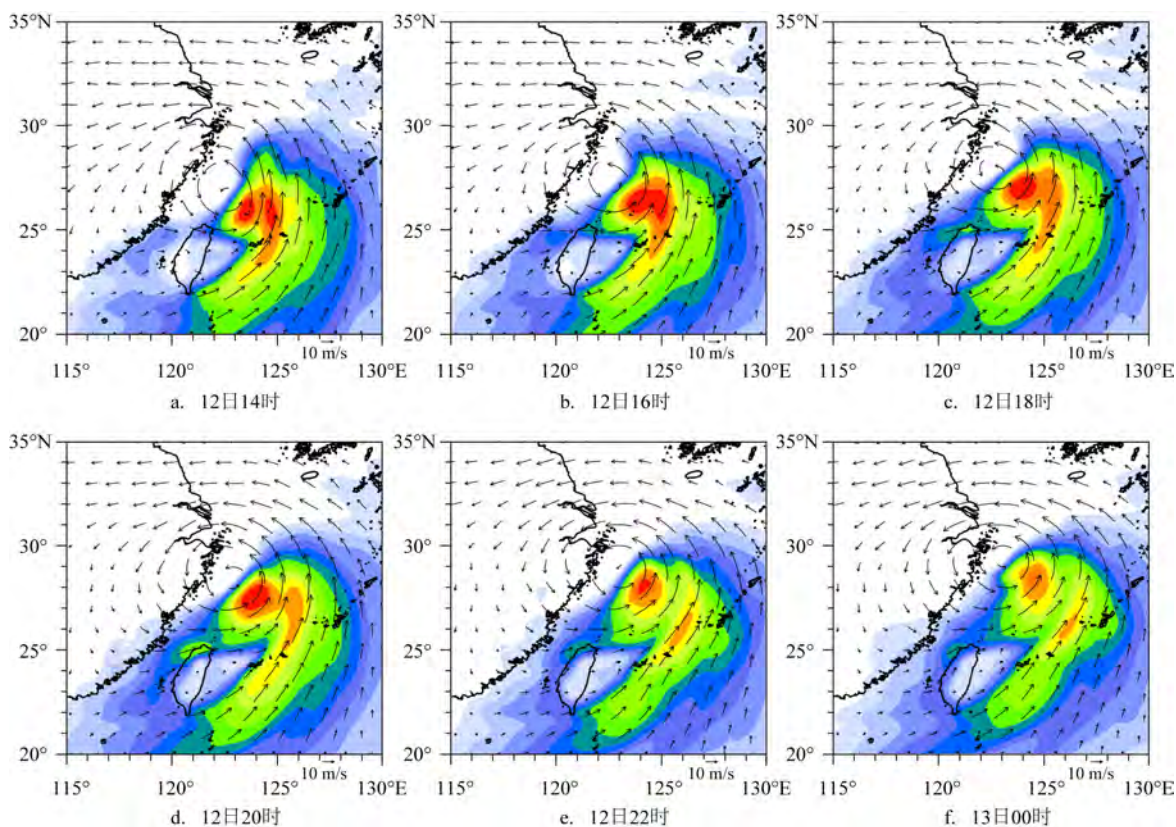


图3 9月12日14时—14日09时850 hPa水汽通量(单位:g/(cm·hPa·s))

Fig.3 The water vapor flux at 850 hPa from 14:00 on September 12 to 09:00 on September 14, 2021 (unit: g/(cm·hPa·s))



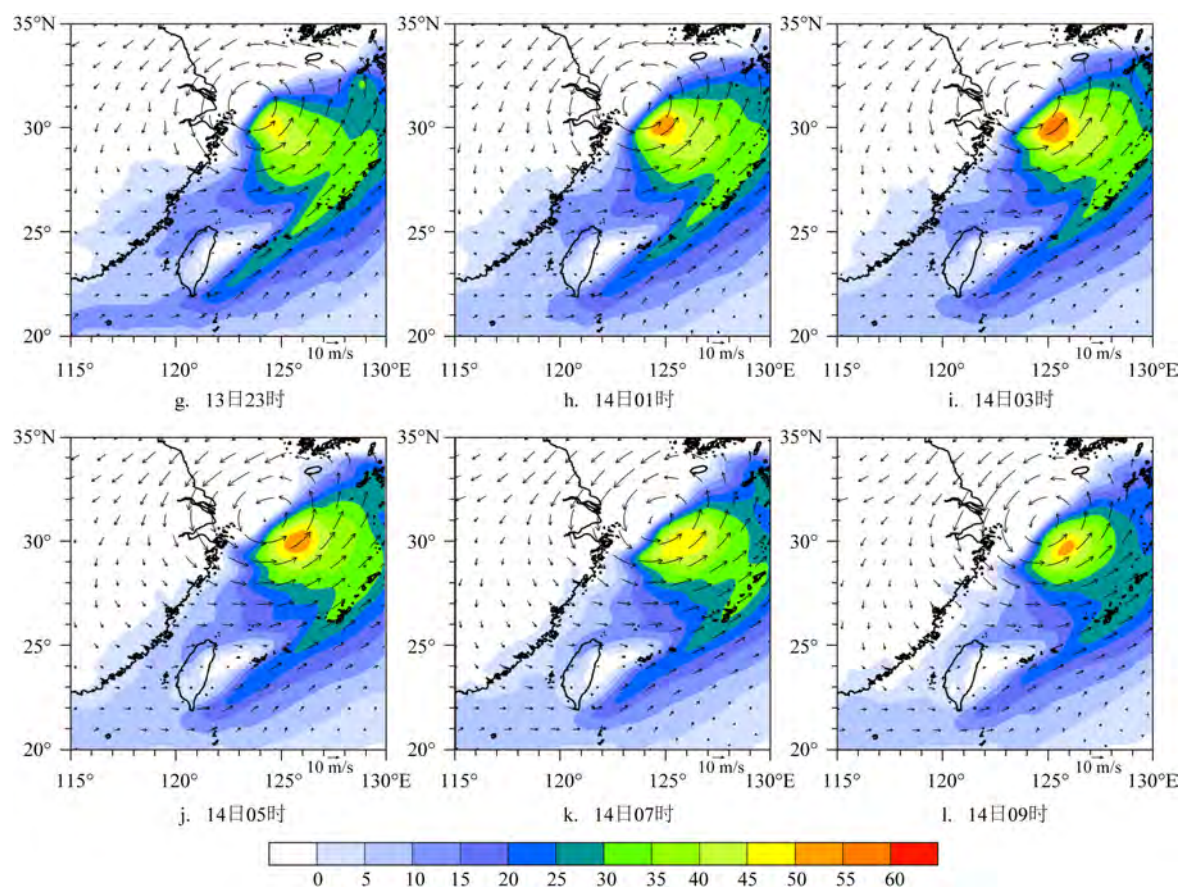
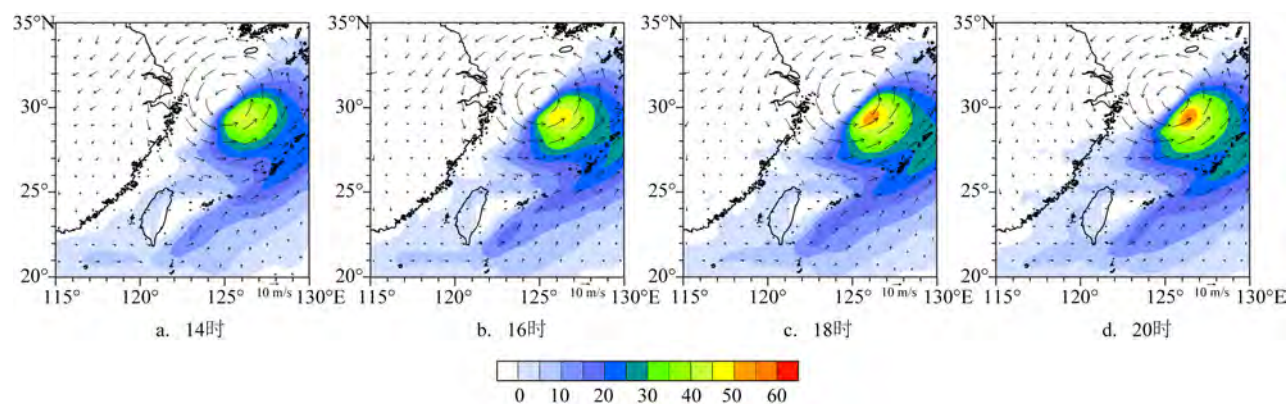


图3 (续)

Fig.3 (Continued)

图4 9月14日14—20时850 hPa水汽通量(单位:  $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ )Fig.4 The water vapor flux at 850 hPa from 14:00—20:00 on September 14, 2021(unit:  $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ )

时。13日夜里,随着台风“灿都”的北上,雨量有所减缓,14日凌晨雨量又开始加大,此时台风“灿都”转向东南方向,并在东海北部海域回旋少动。

无论从红外云图还是水汽通量图,都可以看出

台风“灿都”的结构具有不对称性。台风“灿都”的主要能量和水汽来源在东侧,但是外围环流较为广阔。舟山位于台风“灿都”路径的西侧,这是导致舟山降水的小时雨量不大的原因之一,但是由于台风



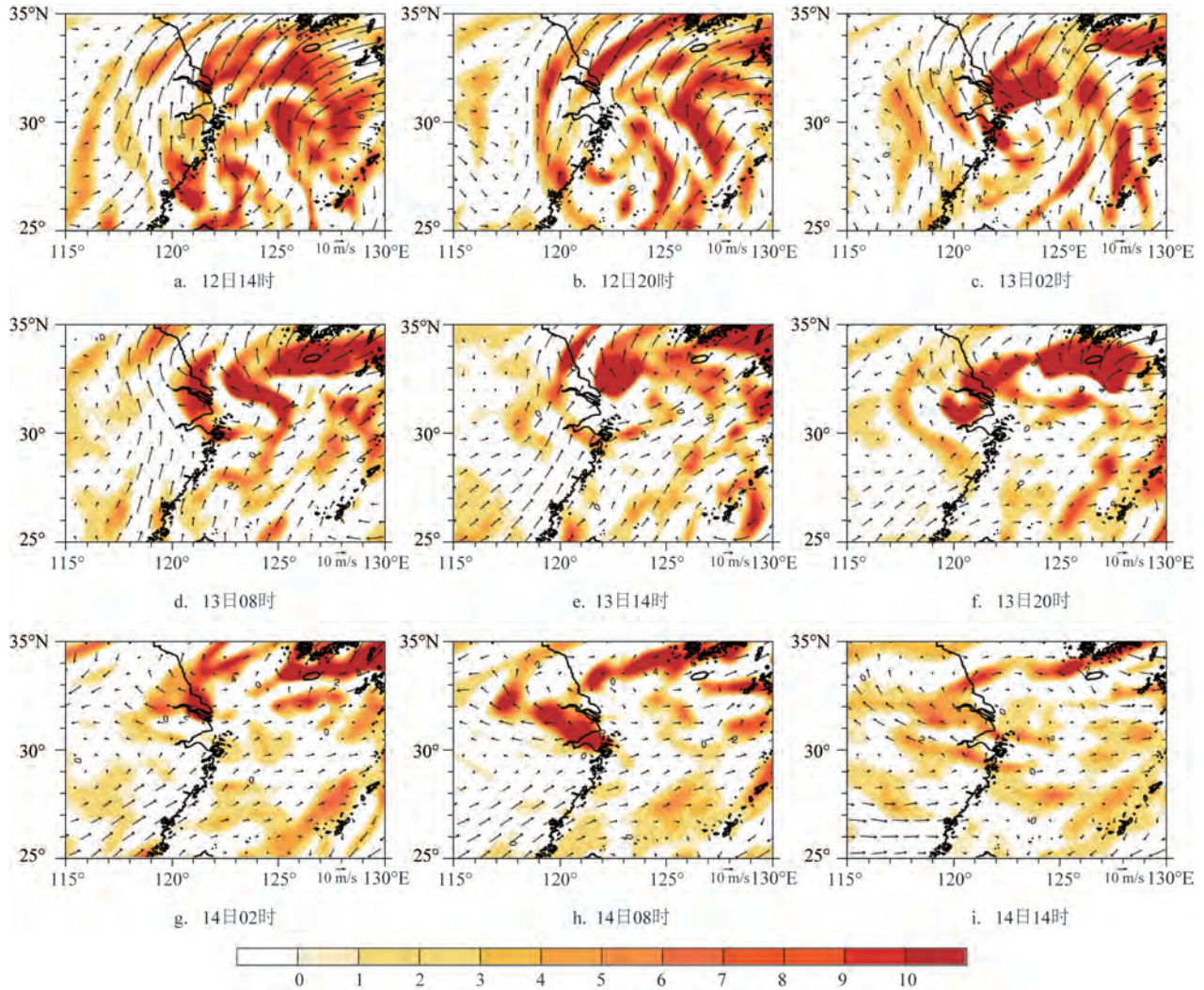


图5 9月12—14日200 hPa隔6 h辐散场分布(单位:  $10^{-5}/s$ )

Fig.5 Divergence field distributions every 6 h at 200 hPa from September 12 to 14 (unit:  $10^{-5}/s$ )

“灿都”进入东海海域后移速缓慢,甚至在东海北部海域回旋少动,使得降水持续时间较长,累计降水量可观。

从各层水汽通量散度图中可以发现,最强水汽通量辐合中心出现在低层(图略),因此分析1000 hPa水汽通量散度的演变情况(见图7)。从图上可以看出,低层水汽通量强辐合区域主要出现在江苏东南部沿海、上海以及浙北东部沿海地区。舟山出现强辐合的时间主要是13日白天,14日台风“灿都”范围内的低层辐合有明显的减小趋势,而到了14日下午,低层水汽通道几乎被阻断,高空辐散场变弱,水汽通量辐合也很弱,降水逐渐减弱。

舟山市总过程雨量极大值主要出现在定海,尤

其是定海西部山区(见图8)。14日凌晨,台风转向东南方向并在东海北部海域回旋少动时,定海地区雨量开始加大,远远大于其他两个县区站点的雨量值。在自然坐标中,相对涡度表达式为:

$$\zeta = \frac{V}{R_s} - \frac{\partial V}{\partial n}$$

式中: $n$ 指向气流左侧(见图8a); $V$ 表示风速; $R_s$ 为地形曲率。在西北气流绕过本岛时,B点位于定海山区附近(见图8a),受地面摩擦作用较大,风速明显减小。A点离山区较远,摩擦作用较小,风速变化不大。沿着图8a中 $n$ 的方向,由于 $V_A > V_B$ ,有正的切变涡度生成( $-\frac{\partial V}{\partial n} > 0$ ),因此当偏西气流绕过山区



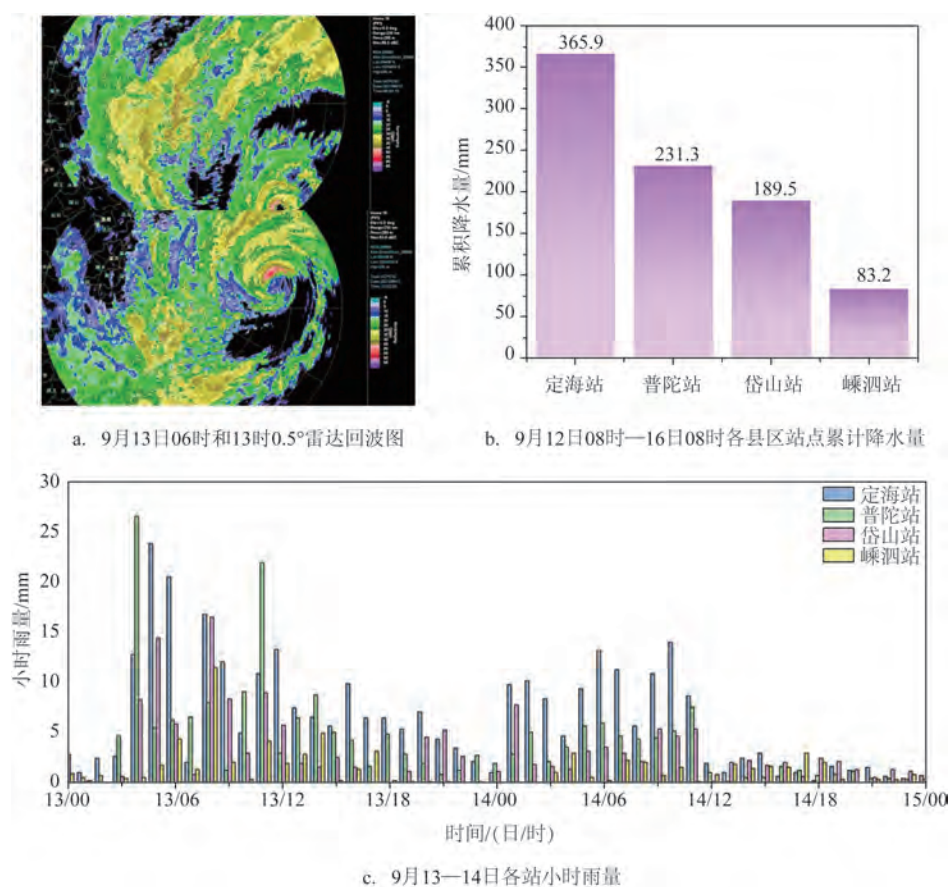
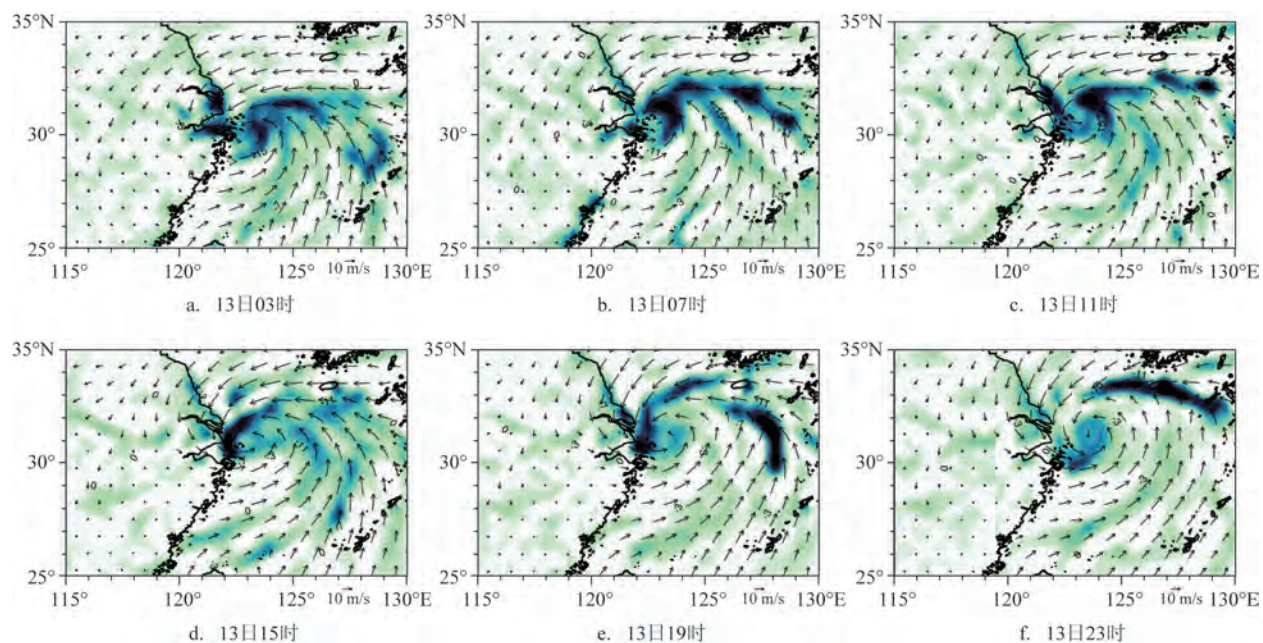


图6 9月13—14日期间雷达回波图以及降水实况图

Fig.6 The charts of radar echoes and Precipitation from September 13 to 14

图7 9月13—14日1000 hPa水汽通量散度辐合分布(单位: $10^{-4}g/(cm^2 \cdot h \cdot Pa \cdot s)$ )Fig.7 Convergence distributions of the divergence of moisture flux at 1000 hPa from September 13 to 14(unit:  $10^{-4}g/(cm^2 \cdot h \cdot Pa \cdot s)$ )

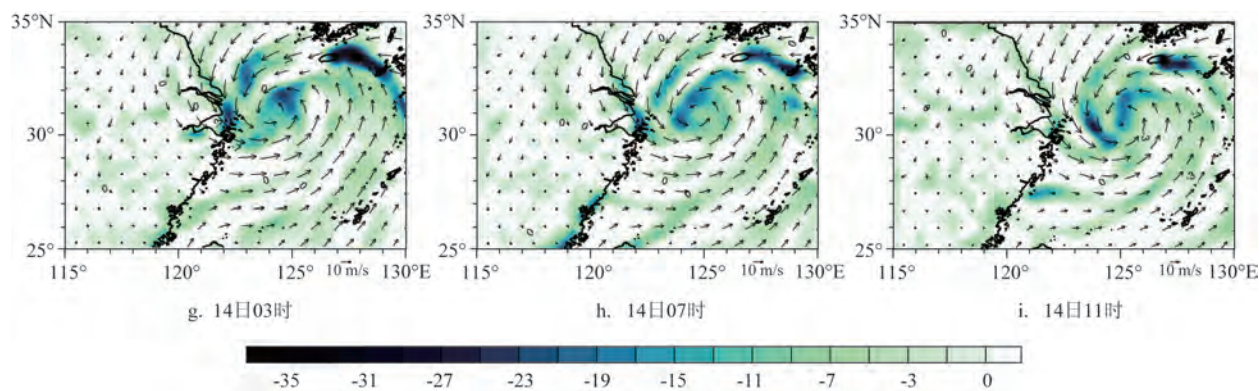


图7 (续)

Fig.7 (Continued)

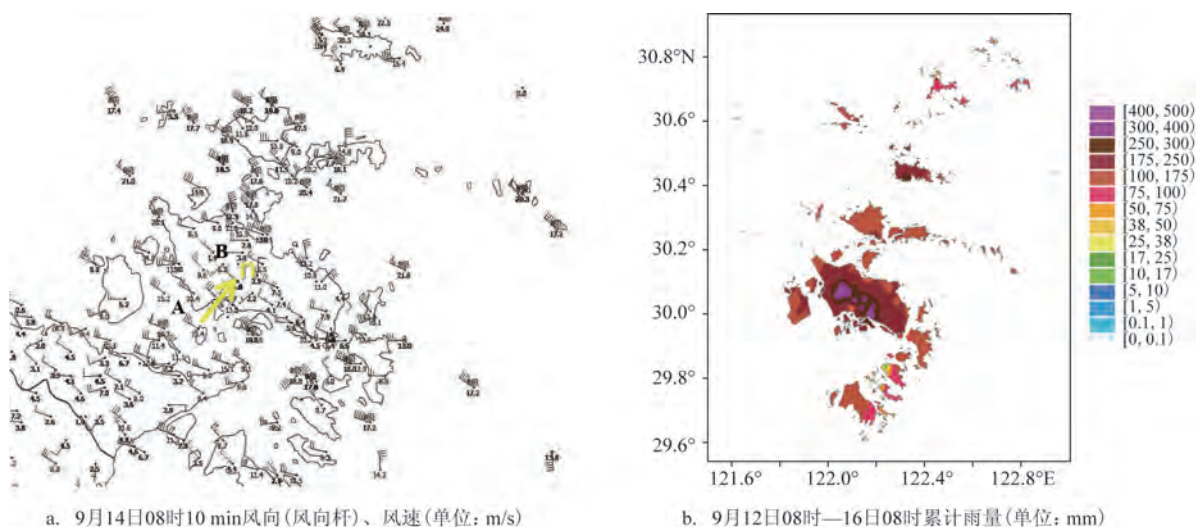


图8 台风期间舟山市各站点10 min风向、风速及累积雨量图

Fig.8 10-min wind direction and speed and cumulative precipitation at different stations in Zhoushan during the period of typhoon

时,在南侧有正的曲率涡度生成。从地形上来看,定海西部山区地形曲率最大,正曲率涡度也最大,加上摩擦造成的正切变涡度,所以这里总的正涡度最大;同时,14日08时200 hPa高层辐散加强,流出条件变好(见图5h),因此定海西南侧山区降水变强。

## 7 结论

本文分析了2021年第14号台风“灿都”的路径、强度及对舟山降水造成影响的各物理量因子。结论如下:

(1)台风“灿都”的预报路径偏差主要与副高和

大陆高压有关。台风未如预期西折的主要原因是由于副高预报偏强(抄底高压被低估)。14—15日台风“灿都”处于高压区的包围中,没有明显的引导气流,台风在东海北部海域回旋少动,甚至受到大陆高压的挤压,使得台风向东南方向移动。

(2)较高的海表温度为台风“灿都”维持在超强台风级、强台风级以及回旋加强提供了有利的热力条件。

(3)台风“灿都”的水汽通量主要出现在右后侧,台风核心区范围小,但是外围环流较为广阔。

(4)台风“灿都”的降水特征表现为小时雨量不大、持续时间长、累计降水量可观。

(5)大的降水时段出现在13日03时—14日11



时。舟山出现强水汽通量辐合的时间主要是 13 日白天,14 日台风“灿都”范围内的低层辐合明显减小,14 日下午,低层水汽通道几乎被阻断,高空辐散场变弱,水汽通量辐合也很弱,降水逐渐减弱。

(6)定海西侧出现强降水主要是因为本岛南侧西北风绕过山区产生的正曲率涡度与摩擦导致水平方向风速差生成的正切变涡度相叠加,从而形成了总的正涡度。

**致谢:**感谢中国科学院大气物理研究所黄永杰博士提供的包含正确中国国界的地图数据 (<https://github.com/huangynj/NCL-Chinamap.git>)。

#### 参考文献:

- [1] 陈联寿. 热带气象灾害及其研究进展[J]. 气象, 2010, 36(7): 101-110.  
CHEN L S. Tropical meteorological calamities and its research evaluation[J]. Meteorological Monthly, 2010, 36(7): 101-110.
- [2] 康斌. 我国台风灾害统计分析[J]. 中国防汛抗旱, 2016, 26(2): 36-40.  
KANG B. Statistical analysis of typhoon disasters in China[J]. China Flood & Drought Management, 2016, 26(2): 36-40.
- [3] 周兵, 徐海明, 谭言科, 等. 1998 年武汉大暴雨过程的切变涡度及非绝热加热垂直结构分析[J]. 气象学报, 2001, 59(6): 707-718.  
ZHOU B, XU H M, TAN Y K, et al. Research on vertical section of shear vorticity and diabatic heating with Wuhan torrential rain in 1998[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2001, 59(6): 707-718.
- [4] 陈汶江, 王伟. 2016 年 14 号台风“莫兰蒂”特征分析[J]. 成都信息工程大学学报, 2019, 34(4): 435-442.  
CHEN W J, WANG W. Analysis on the characteristics of the fourteenth typhoon “Morandi” in 2016[J]. Journal of Chengdu University of Information Technology, 2019, 34(4): 435-442.
- [5] 赵玉春, 王叶红, 陈健康, 等. “莫兰蒂”台风(2016)登陆前后精细结构及其引发福建特大暴雨的模拟研究[J]. 暴雨灾害, 2018, 37(2): 135-148.  
ZHAO Y C, WANG Y H, CHEN J K, et al. Numerical investigation on detailed structure of Typhoon “Meranti” (2016) and extreme heavy rainfall event induced by it before and after landfall in Fujian[J]. Torrential Rain and Disasters, 2018, 37(2): 135-148.
- [6] 漆梁波, 曹晓岗. 双台风形势下上海地区一次暴雨过程的预报分析和对比[J]. 热带气象学报, 2013, 29(2): 177-188.  
QI L B, CAO X G. Analysis and comparison of forecasting of a heavy rainfall event in Shanghai under twin typhoons situation[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2013, 29(2): 177-188.
- [7] 曹晓岗, 王慧, 漆梁波. 台风与冷空气对“13. 10”上海特大暴雨过程的影响分析[J]. 暴雨灾害, 2014, 33(4): 351-362.  
CAO X G, WANG H, QI L B. The combined effects of typhoon Fitow and Danas together with cool air on an excessive heavy rain from October 7 to 8 in 2013 in Shanghai[J]. Torrential Rain and Disasters, 2014, 33(4): 351-362.
- [8] 包澄澜, 阮均石, 朱跃建. 双台风互旋与引导气流关系的研究[J]. 海洋学报, 1985, 7(6): 696-705.  
BAO C L, RUAN J S, ZHU Y J. Research on the relationship between the mutual rotation of two typhoons and the steering flow [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1985, 7(6): 696-705.
- [9] 刘晓波, 储海. 双台风形势下长三角地区一次大暴雨过程的成因分析[J]. 暴雨灾害, 2019, 38(2): 97-106.  
LIU X B, CHU H. Cause analysis of an extremely heavy rainfall event under binary typhoons pattern in Yangtze River delta[J]. Torrential Rain and Disasters, 2019, 38(2): 97-106.
- [10] XU X D, LU C, XU H X, et al. A possible mechanism responsible for exceptional rainfall over Taiwan from Typhoon Morakot[J]. Atmospheric Science Letters, 2011, 12(3): 294-299.
- [11] 谢政标, 熊志刚, 林立进, 等. 台风“莫兰蒂”结构变化对粤东风雨的影响分析[J]. 广东水利水电, 2019(11): 29-33, 38.  
XIE Z B, XIONG Z G, LIN L J, et al. Analysis of the impact of typhoon Morandi structure change on the wind and rain in East Guangdong[J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2019(11): 29-33, 38.

## Analysis of the intensity and path of typhoon "Chanthu" and its impact on the precipitation in Zhoushan

XU Yiwen, WANG Qian, LU Qi, SUN Yi

(Zhoushan Meteorological Bureau, Zhoushan 316000, China)

**Abstract:** Based on the data of ERA5 reanalysis data from the European Centre for Medium-Range Weather

Forecasts and the automatic meteorological stations in Zhejiang Province, we analyze the path and intensity of No. 14 typhoon "Chanthu" in 2021 and conduct a mechanical study of the forecast biases of its path and intensity. Moreover, the impact of typhoon "Chanthu" on the precipitation in Zhoushan is also discussed in this paper. The results show that the core area of typhoon "Chanthu" is small with broad peripheral circulation. The path deviation of typhoon "Chanthu" is mainly related to the subtropical high and continental high. The forecast of subtropical high is stronger and the southern branch of continental high is underestimated. The typhoon is surrounded by high pressure when it circles in the northern East China Sea without obvious steering flow. The higher SST provides thermal conditions for maintaining super and severe typhoon. The precipitation of typhoon "Chanthu" in Zhoushan are characterized by weak hourly precipitation intensity, long duration and considerable accumulated precipitation. The heavy rainfall in the southwest of Dinghai is mainly due to the influence of mountainous terrain and horizontal wind speed difference.

**Key words:** typhoon "Chanthu"; subtropical high; heavy rainfall; path deviation; intensity