

高留喜,杨晓霞,刘畅,等.台风“摩羯”(1814)的路径特点与预报分析[J].海洋气象学报,2019,39(4):108-115.  
GAO Liuxi, YANG Xiaoxia, LIU Chang, et al. Analysis of characteristics and forecasting of track of Typhoon YAGI (2018) [J].  
Journal of Marine Meteorology, 2019, 39(4): 108-115. DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2019.04.013. (in Chinese)

## 台风“摩羯”(1814)的路径特点与预报分析

高留喜,杨晓霞,刘畅,田莹,郑怡  
(山东省气象台,山东 济南 250031)

**摘要:** 2018年8月13—16日台风“摩羯”(1814)及其残余低压环流影响山东,造成区域性暴雨或大暴雨。利用常规气象观测资料和区域自动气象站、天气雷达、气象卫星等资料及数值天气预报产品对此过程进行分析,总结了“摩羯”的路径特点。此次台风“摩羯”路径特殊,并出现突变。通过对“摩羯”的路径预报仔细分析,得出台风路径预报着眼点和部分有指示意义的预报指标。环流形势分析是预报台风路径的一个重要前提,大陆高压显著增强是环流形势调整的一个信号,是预报“摩羯”路径的一个关键因素;台风前进方向的对流层温度脊线和500 hPa正涡度轴线对台风未来路径有良好的指示作用。分析结果能够为提高山东台风路径预报的准确率提供参考。

**关键词:** 台风路径; 环流形势; 温度脊; 涡度场

**中图分类号:** P444 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2019)04-0108-08

**DOI:**10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2019.04.013

## Analysis of characteristics and forecasting of track of Typhoon YAGI (2018)

GAO Liuxi, YANG Xiaoxia, LIU Chang, TIAN Ying, ZHENG Yi  
(Shandong Meteorological Observatory, Jinan 250031, China)

**Abstract** From 13 to 16 August 2018, Typhoon YAGI and its residual low-pressure circulation affected Shandong, causing regional heavy rainfall or torrential rainfall. Using conventional meteorological data, data from automatic weather stations, weather radar, and meteorological satellite, and numerical weather forecasting products, the process of Typhoon YAGI is analyzed and the characteristics of its track are summarized. YAGI has a special track with a sudden track change. The outline of forecasting YAGI's track and some indicative indexes are obtained by carefully analyzing meteorological data. It is an important precondition for forecasting typhoon track to analyze general circulation situation. The significant enhancement of continental high pressure acts as a signal of circulation pattern adjustment, which is a key factor to predict YAGI's track. The tropospheric temperature ridge line ahead of the typhoon and the axis of positive vorticity at 500 hPa have good indications for typhoon track. The analysis results can provide reference for improving the accuracy of forecasting typhoon track in Shandong.

**Key words** typhoon track; circulation pattern; temperature ridge; vorticity field

收稿日期:2019-08-22; 修订日期:2019-11-15

基金项目:中国气象局预报预测核心业务发展专项(CMAHX20160208)

作者简介:高留喜,男,硕士,正高级工程师,主要从事天气气候研究,glx1000@sohu.com。

## 引言

中国是世界上受台风影响最严重的国家之一,台风每年给中国造成的直接经济损失逾千亿元,人员伤亡达数千人<sup>[1-2]</sup>。而直接影响山东的台风年平均为1~2个,台风给山东造成的直接经济损失在各种自然灾害中排第2位<sup>[3]</sup>。因此,台风预报研究是防灾减灾的需要。端义宏等<sup>[4]</sup>指出准确预报台风路径及其风雨分布是防灾减灾的重中之重,是我国气象业务预报的紧迫需求。近些年对台风暴雨的研究较为广泛<sup>[2,5-10]</sup>,涉及引发台风暴雨的气候背景及多尺度动力、热力机制分析,地形、冷空气对台风暴雨增幅作用,台风海洋相互作用和数值模拟等研究,对台风的认识越来越深刻。随着数值预报技术的不断发展,台风路径预报水平取得明显进展,但对于一些快速移动和路径突变的台风路径预报误差仍然较大<sup>[11]</sup>,中央气象台北折突变台风路径平均预报误差较大<sup>[12]</sup>,我国台风强度业务预报误差呈现逐年波动状态,预报水平没有明显改善<sup>[13]</sup>。台风暴雨落区预报有较大不确定性,是很复杂的问题<sup>[14]</sup>。受不同地表、地形以及多种天气系统等复杂因素的影响,登陆台风经常发生异常变化,相关物理机制仍不清楚<sup>[4]</sup>。WMO指出台风预报面临三大挑战:台风路径突变、强度突变以及登陆台风降水预报<sup>[15]</sup>。目前,登陆台风暴雨的预报仍然是预报业务中的难点。

2018年登陆北上台风“摩羯”给山东带来较大的风雨灾害,直接经济损失14.2亿元,受灾人口19.59万人,对其总结非常必要。有些研究者<sup>[16]</sup>对“摩羯”暴雨的动力机制进行了分析,刁秀广等<sup>[17]</sup>对“摩羯”产生的龙卷进行小尺度涡旋特征进行分析,但对关键的路径预报较少涉及。本文利用常规气象观测资料和气象卫星、天气雷达、区域自动气象站及数值天气预报产品等资料对“摩羯”的特点和台风路径预报进行总结分析,以期为提高登陆北上类台风路径和降水的预报准确率提供参考。

## 1 台风“摩羯”概况

2018年8月8日14时,14号台风“摩羯”在台湾省花莲市东偏南方向约1330 km的西北太平洋洋面上生成,随后缓慢向西北方向移动。12日23:35在浙江温岭沿海登陆,以 $35 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度向西北方向移动,13日17时进入安徽中部。以后移速减缓,13日23时在安徽涡阳突然向右偏转 $40^\circ$ ,转向偏北方向移动,14日05时进入山东单县,14日08时中央气象台对其停止编号。其残余低压环流在山东境内以 $15 \sim 20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度向北偏东方向移动,15日06时从东营河口区进入渤海,变性为温带气旋,然后在莱州湾进行回旋,15日20时再次登陆山东,向西南方向移动,16日08时低压环流在鲁西南的济宁附近减弱消失(图1a)。

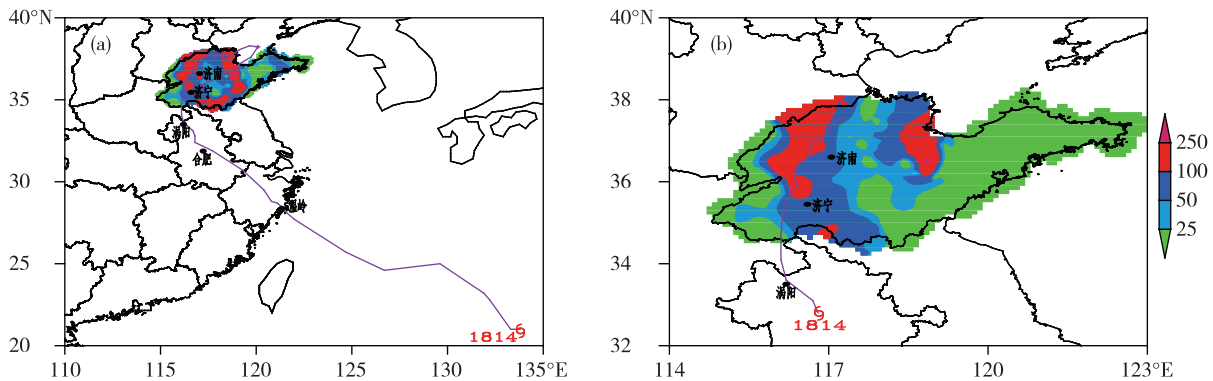


图1 “摩羯”路径(紫色实线)和山东降水分布(填色区,单位:mm)(a.完整路径和过程总降水量,b.13日20时—14日20时降水量)

Fig.1 Track of Typhoon YAGI (purple solid line) and distribution of precipitation (colored area, units: mm) in Shandong (a. complete track of YAGI and total precipitation, b. precipitation from 20:00 on 13 to 20:00 on 14 August 2018)

### 1.1 路径及影响时间

影响山东的登陆北上类热带气旋大多穿过山东进入渤海或进入我国东北<sup>[3]</sup>,而“摩羯”残余低压环流从山东进入渤海,在渤海南部的莱州湾进行回

旋,以后又向西南折,登陆山东,移向山东西南部减弱消失,历史上是第一例。“摩羯”路径特殊,影响时间长,低压环流在山东及莱州湾时间长达51 h,在山东陆地上持续时间为37 h,这是有气象记录以来

低压环流在山东陆地上维持时间最长的一次过程。受“摩羯”及其残余低压环流影响,山东降水时间接近80 h。

## 1.2 风雨情况

受“摩羯”及其残余低压环流影响,山东普遍出现7级以上大风天气,鲁西北的东部地区和渤海风力为9~10级,最大阵风达13级;山东大部分地区出现暴雨、大暴雨天气,局部出现特大暴雨(图1a),过程平均降水量68.2 mm,最大雨量328.0 mm(出

现在潍坊乔官),最大小时雨量120.6 mm(出现在德州的朱集)。13日下午至14日白天,小时降水量超过20 mm的站次有1240个,超过50 mm的站次有123个。13日夜间至15日早晨,出现明显短时强降水,山东多数时间最大小时降水量超过50 mm,14日15时最大小时降水量超过120 mm(图2)。“摩羯”造成大风、暴雨和短时强降水等天气现象说明其残余环流强。

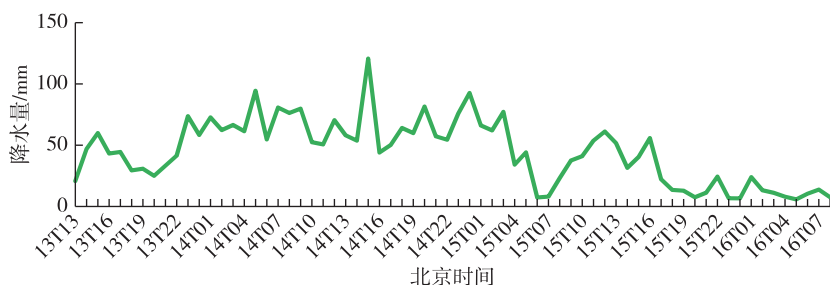


图2 2018年8月13日13时—16日08时山东逐小时最大降水量(单位:mm)

Fig.2 Maximum hourly precipitation in Shandong from 13:00 on 13 to 08:00 on 16 August 2018 (units: mm)

## 1.3 台风“摩羯”的非对称性

通过对比卫星云图演变与降水实况分布发现,“摩羯”对山东的影响具有不对称的特点,云系和强降水主要分布在台风的东部和北部。台风中心到达安徽合肥附近时,其西南侧的云系减弱消失,云系主要在其前进方向的北侧和东北侧发展,右侧东南风急流输送暖湿水汽到鲁东南地区,鲁东南出现强对流云团和暴雨天气;此后,台风主体逼近山东至移出山东进入渤海时,云系主体在台风的东部和北部,台风的西南部分云量很少。由图1b看出,降水分布具有很大的非对称性,台风中心及北侧区域出现暴雨、大暴雨,是强降水的主要落区。山东降水主要时段在14日,分析台风位置和区域自动气象站降水资料(图略)可见,大暴雨主要位于台风中心的北侧。本次台风暴雨区与台风中心的对应关系,意味着对“摩羯”路径的正确预报是这次预报服务成功的关键因素之一。

## 2 台风“摩羯”特点与预报难点分析

### 2.1 多台风

2018年16号台风“贝碧嘉”8月12日14时在澳门附近海域生成,与14号台风“摩羯”、15号台风“丽琵”共同构成西太平洋“三台共舞”。多台共舞,互相牵制,路径会受到相互制约,台风移向、移速不确定性增大。“贝碧嘉”在珠江口附近海域长时间

的回旋滞留也证实了这一点。“摩羯”周围有副热带高压(简称“副高”)、西风带低槽、大陆高压等大尺度系统,西太平洋存在多个台风(图3),相互作用复杂,再加上中小尺度系统的影响,台风路径和风雨影响的预报难度增大。

### 2.2 路径突变

“摩羯”13日23时在安徽涡阳发生路径突变,于14日05时进入山东单县。中国、日本、美国、韩国、欧洲中期天气预报中心(ECMWF)及中国的香港和台湾等7家业务中心,12日20时至13日20时均预报“摩羯”向西北方向移动,从安徽进入河南,或擦边鲁西南进入河南,在河南北部减弱消失(图4),与实际台风路径差别较大,可见“摩羯”路径预报难度之大。强降水落区(暴雨、大暴雨)主要在河南北部,山东降水偏弱,基本为小到中雨天气。对于小概率的路径突变事件,数值预报往往没有预报能力,台风移向突然改变往往造成预报失败<sup>[18]</sup>。

山东省气象台于14日早晨准确分析研判台风路径的突变,对台风路径进行订正,预报路径(图4)与实况相符。

## 3 台风路径预报分析

### 3.1 环流形势分析

8月11日08时贝加尔湖西侧阻塞高压开始形成,并长时间维持,其两侧各有一明显低值系统,贝

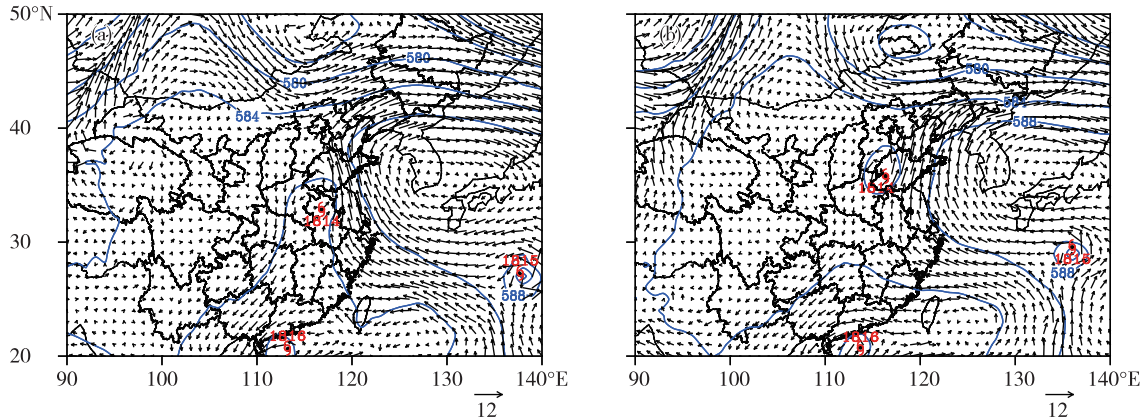


图3 500 hPa 高度场(蓝色等值线,单位:dagpm)和风场(箭头线,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )(a.2018年8月13日20时,b.14日08时)  
Fig.3 Geopotential height field (blue isoline, units: dagpm) and wind field (arrow line, units:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) at 500 hPa (a. 20:00 on 13, b. 08:00 on 14 August 2018)

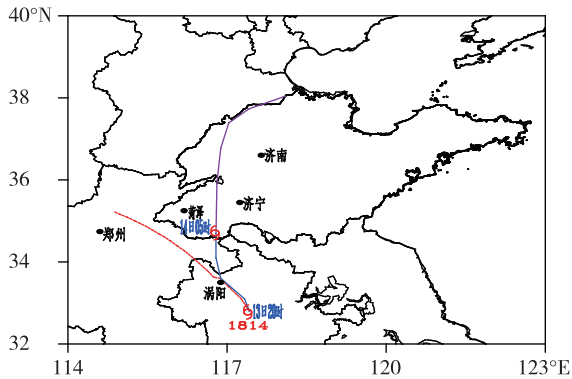


图4 “摩羯”路径(蓝色实线:13日20时—14日05时实际路径,红色虚线:13日20时中国气象局数值预报中心预报路径,紫色实线:山东省气象台14日早晨预报路径)  
Fig.4 Track of Typhoon YAGI (blue solid line for observed YAGI's track from 20:00 on 13 to 05:00 on 14, red dotted line for forecasting track at 20:00 on 13 given by Numerical Weather Prediction Center of CMA, purple solid line for forecasting track in the morning on 14 August 2018 given by Shandong Meteorological Observatory)

加尔湖南侧出现切断低压,亚洲中高纬地区呈现两槽一脊的稳定天气形势,30°~40°N存在清晰的带状高压。12日20时,副高的主体位于日本、韩国上空,中心值为592 dagpm,脊线36°N,西伸脊点在120°E,588线北伸至40°N左右,西侧则位于山东半岛一带。13日20时副高的主体仍位于日本、韩国上空,中心、脊线和西伸脊点位置没有明显变化,副高北抬西伸增强,中心值达593 dagpm,588线北面越过40°N,向西越过120°E,位置偏北偏强,副高边缘东南风急流超过 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (图3a)。台风转向

前,位于副高西南侧的“摩羯”沿着东南引导气流向西北方向运动,符合总结的台风移动规律<sup>[19]</sup>。13日23时,台风路径在安徽涡阳发生突变,这引起了山东省气象台警惕。14日早晨,山东省气象台值班预报员仔细分析实况发现,13日08时开始,500 hPa蒙古南部到晋陕一带有明显的正变高,13日20时24 h正变高中心位于蒙古南部,中心值为7 dagpm,西太平洋副高一带虽也是正变高,但中心值仅3 dagpm,由此推测大陆高压显著增强可能是环流形势调整的一个信号,对“摩羯”西北行将有阻挡作用。虽然ECMWF对12、13日预报台风路径偏差较大,但13日20时预报的14日08时、20时500 hPa蒙古东南部到晋陕一带仍有明显的正变高(图略),结果是合理的,中心位于蒙古南部,中心值超过6 dagpm,说明“摩羯”西北侧的大陆高压未来继续加强,阻挡作用更加明显,同时迫使大陆高压脊前的西风槽东移,渤海区域出现明显的负变高,中心值为-3 dagpm,必然使海上的副高西端和北端减弱,副高西部形状发生变化,未来“摩羯”的引导气流从东南方向转为南到西南,“摩羯”将向北偏东移动。后来的天气形势发展和预计一样,14日08时500 hPa引导气流由东南气流转变为南到西南气流,台风位于副高脊线北侧(图3b),向北偏东移动。由此可见,正确分析环流形势变化,是预报好台风路径的一个重要前提。

### 3.2 趋暖效应

台风中心在热带洋面上有明显的趋暖效应<sup>[20]</sup>,台风是个暖心结构,比较暖的地方有利于其发展。陆地上台风同样有趋暖效应,常受台风影响的广东

省,利用 700 hPa 温度场预报台风路径,准确率达 37%。山东省气象台在过去的实践中已注意到此问题。13 日 20 时,“摩羯”中心环流和假相当位温分布从低层到高层左右对称,暖性结构明显,具备热带气旋基本特点,未来活动的区域是黄淮平原,无明显复杂地形,低层温度脊线可能对台风移动有指示意义。由图 5a 看出,13 日 20 时,“摩羯”中心在安徽凤台,行进方向左侧的阜阳探空站 850 hPa 温度为 20 °C,右侧的徐州探空站 850 hPa 温度为 19 °C,“摩羯”沿靠近阜阳的路径行进。13 日 20 时—14 日 05 时“摩羯”的实际路径也同样表现为趋暖效应。13 日 20 时,在台风行进右前方的济南章丘探空站 850 hPa 温度为 24 °C,有一明显的暖中心,左前方的郑州探空站 850 hPa 温度为 21 °C,“摩羯”未来向更暖的济南方向移动的可能性大,即 14 日 05 时“摩羯”进入山东单县后,应向北偏东移动,穿过山东西部。这是订正台风路径的第 2 个依据。14 日 08 时“摩羯”行进右前方的济南章丘探空

站 850 hPa 温度为 21 °C 比周围探空站 850 hPa 温度高出 1~3 °C,“摩羯”应向济南方向移动。14 日白天“摩羯”的移动再一次验证登陆台风的趋暖效应。13 日 20 时与 14 日 08 时两个时次台风“摩羯”行进前方的 850 hPa 温度脊线与其后 24 h 真实路径基本一致。

对流层上层温度受下垫面等因素的影响小,对流层上层大气温度脊线对未来台风路径可能更有指示意义。13 日 20 时 300 hPa 变温场(图 5b)上安徽到山东有明显的正变温,台风附近的阜阳、徐州正变温都是 4 °C,在行进右前方的济南章丘探空站正变温为 3 °C,左前方的郑州正变温为 0 °C,台风中心到济南地区有一明显的温度脊线,有利于台风向北偏东移动,与 850 hPa 温度脊线得出结论一致,也与过去的研究结论一致<sup>[21]</sup>。由此可见,台风行进前方的 850 hPa 及 300 hPa 温度脊线对预报“摩羯”路径具有指示意义。

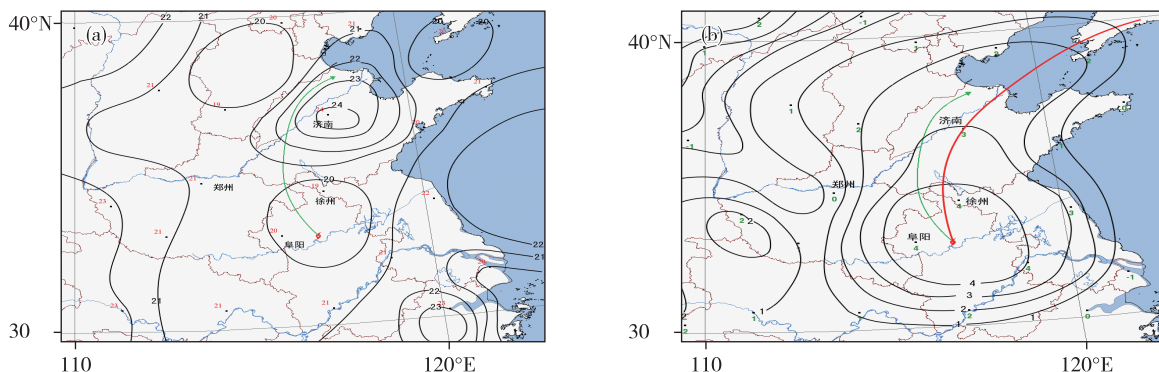


图 5 2018 年 8 月 13 日 20 时 850 hPa 温度场(a)和 300 hPa 变温场(b)(绿色实线:台风实际路径,黑色实线:温度等值线,红色实线:温度脊线;单位:°C)

Fig.5 Temperature field (a) at 850 hPa and temperature change field (b) at 300 hPa at 20:00 on 13 August 2018 (green solid line for observed typhoon track, black solid line for isotherm, red solid line for temperature ridge line; units: °C)

### 3.3 涡度场分析

很多研究认为涡度场对台风路径有很大影响。台风路径的改变受副高、极锋及其附近正涡度系统的影响<sup>[22]</sup>,台风的移动路径和暴雨落区与正涡度轴线及高能轴线都有较好的对应关系<sup>[23]</sup>。

分析 ECMWF 的 13 日 20 时 500 hPa 涡度场发现,台风附近区域涡度与实况相差较大,可信度低,在此次台风预报中没有参考价值。由 8 月 13 日 20 时 500 hPa 高度场和涡度场的实况分布(图 6a)可见,“摩羯”的北部至天津是一条近南北走向的正涡度带,正涡度带的轴线近乎南北,略有点西南—东北走向,正涡度中心位于鲁南的枣庄一带,其中心

值为  $60 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,其西侧是弱的负涡度带,东侧是位于副高里面的强负涡度带。“摩羯”位于副高脊线南侧,引导气流是东南气流,紫色实线是“摩羯”未来 24 h 实际路径。“摩羯”未来 24 h 基本沿着正涡度带轴线向北略偏东移动。由于引导气流的作用,“摩羯”实际路径比正涡度带轴线略偏西。根据 500 hPa 正涡度轴线,可提前预测出“摩羯”的突变转向和行进方向。14 日 08 时,“摩羯”位于副高脊线北侧,引导气流是西南气流,山东西部到天津是一条东北—西南走向的正涡度带,最大的正涡度中心位于山东西部,正涡度的轴线位于济宁—滨州—黄骅一线(图 6b),台风“摩羯”14 日白天到夜间在山东

基本沿着轴线方向移动,也说明 500 hPa 正涡度轴线对“摩羯”路径的指示意义。

### 3.4 雷达回波与卫星云图分析

13 日 08 时鲁东南开始出现分散的絮状混合回波,14 时鲁南出现大片的絮状混合回波,随着台风逼近,山东上空云团和回波发展旺盛,到 14 日早晨

山东多地出现暴雨、大暴雨天气。由图 7 可以看出,主要回波和强的对流云团位于山东的中西部地区,回波强度超过 50 dBZ。台风“摩羯”中心位于回波(云系)的西南边缘,回波和云图基本呈向东北倾斜的“6”字形分布,这种形态预示着“摩羯”未来向东北移动的可能性大<sup>[24]</sup>。

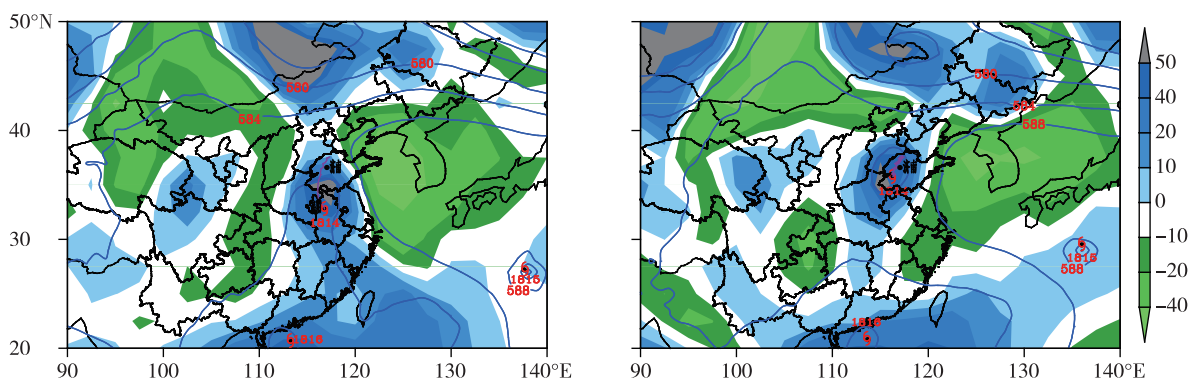


图 6 500 hPa 高度场(蓝色实线,单位: dagpm)、涡度场(填色区为涡度,单位:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )和 0~24 h 台风路径(紫色实线)(a. 2018 年 8 月 13 日 20 时, b. 2018 年 8 月 14 日 08 时)

Fig.6 Geopotential height field (blue solid line, units: dagpm) and vorticity field (colored area for vorticity, units:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) at 500 hPa and 0-24 h typhoon track (purple solid line) (a. 20:00 on 13, b. 08:00 on 14 August 2018)

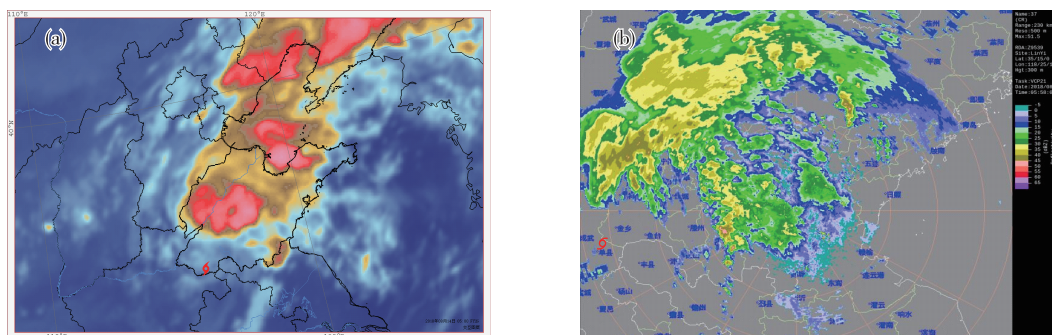


图 7 2018 年 8 月 14 日 05:00FY-2G 红外卫星云图(a)和 05:58 雷达回波图(b;单位: dBZ)

Fig.7 FY-2G infrared cloud imagery (a) at 05:00 on 14 and radar echo image (b; units: dBZ) at 05:58 on 14 August 2018

### 3.5 相似台风分析

9711 号台风从浙江温岭登陆向西北行至安徽中部淮南市后,向右转向  $50^\circ$  突变北折,从台儿庄进入山东,后向北偏东方向移动进入渤海,从营口进入辽宁<sup>[25]</sup>。“摩羯”也是从温岭登陆,西北行至安徽涡阳向右转向  $40^\circ$  突变北折,从单县进入山东。两个台风都是北折类台风,登陆地点一样,从登陆到安徽中部淮南市行走路径基本一致,突变地点和幅度接近,进入山东地点接近。2018 年 8 月 13 日下午,“摩羯”位于安徽中部时,中心云系显著减弱,北伸倒槽云系明显加强,最强云区出现在远离台风中心的山东枣庄、济宁一带,云顶温度低于  $-60^\circ\text{C}$ , 强云区呈弧状位于山东境内。云系的演变与 9711

号台风云系在山东的变化非常类似。9711 号台风路径对山东省气象台 14 日早晨正确订正“摩羯”路径有借鉴作用。

### 3.6 模式的应用

检验 12 日 20 时至 13 日 20 时数值天气预报产品发现,中国、日本、美国、韩国、ECMWF 及中国的香港和台湾等 7 家业务中心对“摩羯”预报的路径明显偏西,华东中尺度模式预报的路径(图 8)最接近实际路径,随着时间推移,业务中用的主流模式预报路径有不断向东调整的趋向,误差减小。对比 13 日 08 时、20 时华东中尺度模式和欧洲中期天气预报中心预报的山东降水发现,对台风本体造成的降水,华东中尺度模式预报的强降水(暴雨、大暴

雨)落区基本准确,强度稍偏强;而 ECMWF 预报的暴雨落区明显偏西,强度略偏弱。对于台风右前侧东南急流造成的强降水,华东中尺度模式有很好的反应,范围偏小强度偏弱,而 ECMWF 模式没有反应。华东中尺度模式在本次台风预报中优于 ECMWF 等大尺度模式,这很可能与华东中尺度模式预报的台风路径最接近实况有关。通过逐小时自动气象站观测资料与 13 日 20 时数值预报的台风路径对比发现,中国、日本、美国、韩国、ECMWF 及中国的香港和台湾等 7 家业务中心均没有预报出 13 日 23 时台风路径发生突变,而实况显示,“摩羯”进入山东后向北略偏东方向移动,较好地证实华东中尺度模式预报更加可信。华东中尺度模式预报结果与山东省气象台的分析比较吻合。

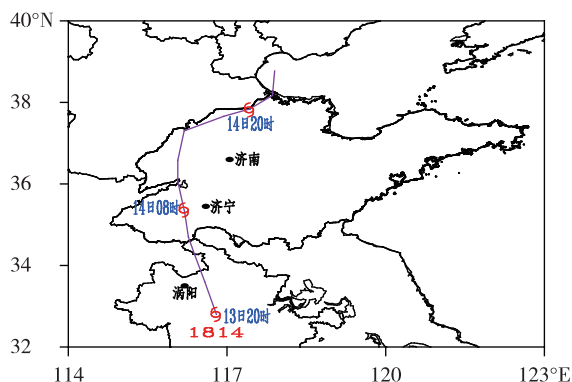


图8 2018年8月13日20时华东中尺度模式预报的“摩羯”路径

Fig.8 Forecasting track of Typhoon YAGI at 20:00 on 13 August 2018 given by SMS-WARMS V2.0

山东省气象台 14 日早晨综合考虑,参考华东中尺度模式数值天气预报产品、9711 号台风路径等因素,将台风路径向东调整,及时调整强降水落区并将暴雨黄色预警信号升级为橙色预警信号。此次台风路径和主要强降水落区预报准确,取得了较好的服务效果。

#### 4 结论

通过总结,得出如下结论:

1) 台风路径特殊,“摩羯”残余低压从渤海移向山东西南部减弱消失是历史上的首例。“摩羯”残余环流强,影响山东时间长,山东风雨灾害严重。

2) 正确分析环流形势变化。大陆高压显著增强可能是环流形势调整的一个信号,敏锐捕捉“摩羯”路径突变信息是准确预报“摩羯”路径的关键。

3) 台风前进方向的 850 hPa、300 hPa 温度脊线

和 500 hPa 正涡度轴线对未来 24 h 台风路径有很强的指示意义,是很好的预报指标。

4) 分析气象卫星云图、天气雷达强回波和地面自动气象站等实况观测资料的演变和历史相似台风的路径,帮助山东省气象台做出了准确的订正预报。

台风路径突变是预报中的难点。以后需要不断对典型个例进行深入分析和研究,增加对此类突变现象物理过程的认识。

#### 参考文献:

- [1] 丁一汇,朱定真,石曙卫,等.中国自然灾害要览:上卷[M].北京:北京大学出版社,2013:158-190.
- [2] 周磊,陈大可,雷小途,等.海洋与台风相互作用研究进展[J].科学通报,2019,64(1):60-72.
- [3] 阎丽凤,杨成芳.山东省灾害性天气预报技术手册[M].北京:气象出版社,2014:236-252,2-3.
- [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.
- [5] 郑怡,杨晓霞,孙晶.台风“温比亚”(1818)造成山东极端强降水的成因分析[J].海洋气象学报,2019,39(1):106-115.
- [6] 郭达烽,周芳,陈翔翔,等.登陆台风“麦德姆”的空心结构及其特征[J].气象与环境学报,2017,33(3):10-20.
- [7] 王尚宏,汤杰,雷小途.登陆过程中台风高层暖心结构演变特征分析[J].气象,2018,44(5):612-620.
- [8] 吴志彦,李宏江,赵海军,等.卫星水汽图像和位势涡度场在一次变性台风暴雨过程中的解译应用[J].气象与环境学报,2018,34(3):1-8.
- [9] 黄莉,白龙,李紫甜.适当冷空气对秋季台风暴雨增幅作用研究[J].灾害学,2018,33(2):38-44.
- [10] 赵玉春,王叶红.台湾岛地形对登陆台风“莫兰蒂”(1614)强对流雨带发展影响的模拟研究[J].大气科学,2019,43(1):27-48.
- [11] 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.
- [12] 张守峰,余晖,向纯怡.中央气象台台风强度综合预报误差分析[J].气象,2015,41(10):1278-1285.
- [13] 倪钟萍,吴立广,张玲.2005—2010年台风突变路径的预报误差及其环流背景[J].气象,2013,39(6):719-727.
- [14] 陈联寿,孟智勇,丛春华.台风暴雨落区研究综述[J].海洋气象学报,2017,37(4):1-7.
- [15] World Meteorologic Organization. Quantifying and communication forecast uncertainty: Pre-workshop topic reports [C]//Eighth international workshop on tropical

- cyclones(IWTC-VIII) and third international workshop on tropical cyclone landfall processes (IWTCLP - III). Jeju,2014.
- [16] 阎琦,赵梓淇,李爽,等.2018年辽宁两次致灾台风暴雨动力机制对比分析[J].灾害学,2019,34(3):76-84.
- [17] 刁秀广,孟宪贵,张立,等.台风“摩羯”与“温比亚”环流中龙卷小尺度涡旋特征及可预警性分析[J].海洋气象学报,2019,39(3):19-28.
- [18] 文永仁,戴高菊,龚月婷,等.我国台风路径突变研究进展[J].气象科技,2017,45(6):1027-1035.
- [19] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法[M].3版.北京:气象出版社,2000:507-558.
- [20] 董超华.气象卫星业务产品释用手册[M].北京:气象出版社,1999:23-30.
- [21] 杨诚,于文革.一种北上台风路径预报方法[J].气象,2006,32(8):88-91.
- [22] 陈联寿,丁一汇.西太平洋台风概论[M].北京:科学出版社,1979:225.
- [23] 陈秀杰,顾润源,耿勃,等.9711号台风的移动路径和影响山东的特大暴雨分析[J].气象,1998,24(4):46-49,33.
- [24] 寿绍文,励申申,王善华,等.天气学分析[M].2版.北京:气象出版社,2006:182-196.
- [25] 张飒,朱官忠.一次登陆北上热带气旋不连续北跳的成因分析[J].山东气象,1998,18(3):5-11.