

许映龙, 吕心艳, 张玲, 等. 2015. 1323 号强台风菲特特点及预报难点分析. 气象, 41(10):1222-1231.

1323 号强台风菲特特点及预报难点分析^{*}

许映龙^{1,2,3} 吕心艳³ 张 玲³ 黄奕武³

1 中国气象科学研究院, 北京 100081
2 南京信息工程大学, 南京 210044
3 国家气象中心, 北京 100081

提 要: 1323 号台风菲特突然西折和近海强度维持是业务预报的主要难点, 也是其风雨预报偏差的主要来源。本文利用常规气象观测资料、实时业务数值预报模式和 NCEP 再分析资料($1^{\circ}\times 1^{\circ}$), 对“菲特”的特点和预报难点以及造成强风雨的成因进行了综合分析。主要结论如下: 东亚高空副热带西风急流迅速增强导致副热带高压加强西伸是“菲特”路径突然西折的主要原因; 副热带西风急流入口区右侧的强辐散是“菲特”近海强度维持及其北侧强风雨发生的主要动力机制; “丹娜丝”的存在除了为“菲特”强降雨的发生和维持提供充足的水汽输送外, 还有利于副热带高压的西伸, 也是“菲特”路径发生西折的主要原因之一; 业务预报中, 对对流层高层流场(尤其是副热带西风急流)的分析以及双台风相互作用的关注不够, 可能是“菲特”路径、强度和风雨预报出现较大偏差的重要原因; 此外, 当台风路径集合预报发散度较大或不同集合预报系统出现截然不同的路径预报结果时, 采用多模式集合预报订正技术将是提高台风路径预报准确率的有效途径之一。

关键词: 台风菲特, 预报难点, 副热带西风急流, 副热带高压, 双台风

中图分类号: P456 **文献标志码:** A **doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2015.10.005

Analysis on the Characteristics and Forecasting Difficulty of Severe Typhoon Fitow (No.1323)

XU Yinglong^{1,2,3} LÜ Xinyan³ ZHANG Ling³ HUANG Yiwu³

1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081
2 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044
3 National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: By using the observation data, operational model data and NCEP reanalysis data ($1^{\circ}\times 1^{\circ}$), the characteristics and forecasting difficulties of severe Typhoon Fitow (No. 1323) and the cause for the strong wind and heavy rainfall are analyzed synthetically. The results show that Fitow moves westward suddenly and intensifies near the offshore, and these are the major forecasting difficulties in operation and reasons of the big forecasting errors. The subtropical jet over East Asia intensifies rapidly and the subtropical high extends westward, causing Fitow to move westward suddenly. The strong divergence in the right side of the subtropical jet's entrance is an important dynamic mechanism for Fitow to intensify near the offshore and for the heavy rainfall and strong wind in Fitow's north side. Danas (No. 1324) provides plentiful water vapor transport, bringing the heavy rainfall and causing Fitow's intensity to sustain near offshore. In addition, Danas makes the subtropical high extend westward. Therefore, the existence of Danas is also an important factor causing Fitow to move westward suddenly. When forecasters failed to pay enough attention to the upper-level fields, especically subtropical westerly jet, which is likely the main reason of the

^{*} 国家自然科学基金项目(41275066、41175063 和 41475055)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906002 和 GYHY201106004)共同资助
2014 年 6 月 24 日收稿; 2015 年 8 月 21 日收修定稿
第一作者: 许映龙, 主要从事台风预报和相关研究工作. Email: xuyi@cma.gov.cn

bigger forecasting errors of the track, intensity, rainfall and gale of Fitow. Finally, when the tracks of the ensemble prediction systems have large divergence or the different models produce greatly different forecast results, the amending technique based on multi-model ensembles is an effective method to improve the accuracy of typhoon track forecasting.

Key words: Typhoon Fitow, forecasting difficulty, subtropical westerly jet, subtropical high, binary typhoon

引 言

近 20 年来,随着数值预报模式、集合预报系统、综合探测体系的发展和完善及其在台风/飓风业务预报中的应用,各国台风/飓风路径预报取得了显著进步(Cangialosi et al, 2014; Falvey, 2014; DeMaria et al, 2014; 钱传海等, 2012; 许映龙等, 2010),但对台风异常路径(如南海台风北翘、台风移入近海后的路径急变、路径打转、路径回旋等突变路径)的业务预报仍存在较大挑战,预报能力十分有限,如 1013 号超强台风鲑鱼西行进入南海后路径北翘(许映龙, 2011)和 1323 号台风菲特在台湾以东洋面的突然西折在实时业务预报初期均没有能够预报出来。另外,与台风/飓风路径预报相比,强度预报进展非常缓慢,目前台风强度业务预报仍以定性分析和主观经验预报为主,尚缺乏有效的客观预报方法支撑(Cangialosi et al, 2014; DeMaria et al, 2014; 钱传海等, 2012; 许映龙等, 2010),特别是对作为台风业务预报主要难点之一的台风近海突然增强,业务预报往往不能做出正确的分析和判断,导致预报服务效果不理想的情况时有发生。余晖等(2002)指出对流层高层环境流场与台风外流之间的相互作用在我国近海台风强度突变过程中可能起着关键作用。官晓军(2012)指出对流层高层台风南侧辐散中心趋于合并和加强,在对流层高层形成强的辐散外流,有利于 0518 号台风达维近海加强。林毅等(2005)指出 0116 台风百合在台湾海峡南部海面近海再次加强的主要原因是台风上层强辐散流场的叠加。于玉斌等(2008)研究指出对流层高层辐散的增强是“桑美”近海急剧增强的重要原因。可见,对流层高层辐散在近海台风增强过程中有着重要作用。

1323 号台风菲特在台湾以东洋面路径突然发生西折,登陆华东沿海,在秋季台风中实属历史罕见。“菲特”路径西折后,一直维持强台风强度,直至登陆福建沙垵,为 1949 年以来 10 月登陆我国大陆

地区的最强秋季台风。但是,在“菲特”实时业务预报中,针对“菲特”路径西折和近海强度维持的预报,均出现了一定的预报偏差。具体表现为:数值模式预报和主观综合预报前期均没有预报出“菲特”路径的西折;“菲特”路径发生西折后,24~72 h 的路径预报虽然预报出了“菲特”将在浙江中南部到福建北部一带沿海登陆,但预报路径较实况路径仍然存在较大的偏差。而对“菲特”趋向华东近海的强度预报,在实际业务预报中,由于考虑到“菲特”移至东海西部及华东近海海面时,海表温度偏低,且环境风垂直切变变大,因此,预报“菲特”在华东近海强度将有所减弱,但实际上“菲特”在华东近海仍维持强台风强度,且从雷达和地面自动站观测看,其强度还存在一定程度增强的趋势。此外,由于“菲特”路径和强度业务预报的偏差,也导致了“菲特”的风雨业务预报出现了较大的偏差,风雨量级的预报均比实况偏小,落区也出现了较大偏差。本文将利用常规气象观测资料、实时业务数值预报模式和 NCEP 再分析资料,对 1323 号台风菲特的特点和预报难点以及造成强风雨的成因进行综合分析总结,以期为今后台风业务预报提供参考。

1 “菲特”概况及特点

1323 号强台风菲特于 2013 年 9 月 30 日 20 时(北京时)在菲律宾以东的西北太平洋洋面上生成,生成后以 $5\sim 10\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度缓慢向北偏西方向移动,10 月 4 日 17 时加强为强台风。之后,“菲特”转向西偏北方向移动,最后于 7 日 01:15 在福建省福鼎市沙垵镇沿海登陆,登陆时仍为强台风级,中心附近最大风力达 14 级($42\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),中心最低气压为 955 hPa。登陆后,“菲特”强度迅速减弱,在福建省建瓯市境内减弱为热带低压后,中央气象台于 7 日 11 时对其停止编号(图 1)。“菲特”活动及其风雨影响具有如下显著特点。

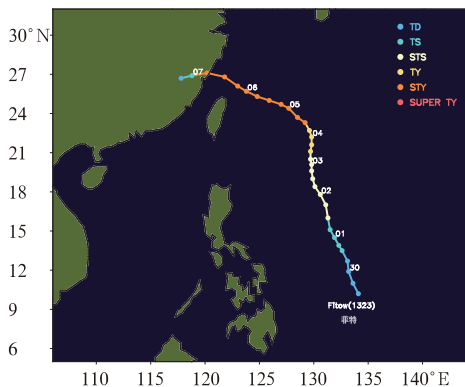


图 1 1323 号强台风菲特路径图

Fig. 1 The track of Severe Typhoon Fitow (1323)

1.1 路径西折登陆华东, 历史罕见

进入秋季以后, 菲律宾以东的西北太平洋洋面上生成的台风的主要移动路径一般有两条, 一条是穿越菲律宾群岛西行进入南海, 影响我国华南沿海或越南一带, 一条是西北行或北上至我国台湾以东洋面后转向东北方向移去(图略)。“菲特”则是在北上至我国台湾以东洋面后, 路径突然发生西折, 以近 90° 的直角西折, 最后登陆福建北部。“菲特”在我国台湾以东洋面路径突然发生西折, 登陆华东沿海, 实属历史罕见。

1.2 登陆强度高

“菲特”在北上过程中, 于 10 月 4 日 17 时加强为强台风, 之后路径突然发生西折, 一直维持强台风强度, 直至登陆福建沙垵。“菲特”登陆时中心附近最大风力达 14 级 ($42 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), 为 1949 年以来 10 月登陆我国大陆最强的秋季台风(除台湾和海南两大岛屿外), 历史罕见。

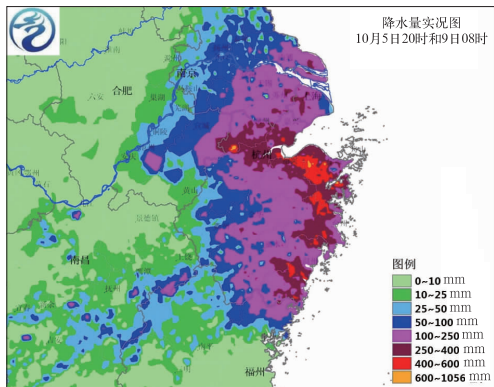
1.3 风力强、持续时间长

受“菲特”影响, 10 月 5 日夜以后, 浙江东部沿海及福建东北部沿海出现了 8 级以上大风(图略), 6 日下午风力增强到 10 级以上, 持续时间达 15 h 左右; 浙江东南部沿海及福建东北部沿海风力则达 12~14 级, 且持续时间达 11 h 左右; 福建和浙江部分海岛和山区观测站瞬时极大风速达 15~17 级以上, 瞬时风速较大的地点有: 福建福鼎星仔岛 $50.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (15 级), 浙江苍南马站 $63.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (17 级以上)、平阳南麂岛 $60.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (17 级), 平

阳上头屿 $55.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (16 级)、瑞安北龙 $55.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (16 级)、苍南龙沙 $53.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (16 级), 其中浙江苍南石砰山(海拔 316 m)和望洲山(海拔 468 m)瞬时风速则分别达 76.1 和 $73.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (17 级以上), 破浙江省瞬时大风历史纪录, 为浙江省超百年一遇极端大风。浙江苍南石砰山 10 min 平均风达 $59.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (17 级), 破浙江省 10 min 最大风速记录, 浙江平阳上头屿 10 min 平均风 $45.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、瑞安北龙 $44.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、苍南龙沙 $43 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

1.4 降雨强度大、范围广

“菲特”降雨呈现了秋台风降雨的特点, 降雨强度大且范围广。10 月 5 日 20 时至 9 日 08 时, 江苏东南部、上海、浙江北部和东部、福建东北部等地部分地区出现暴雨或大暴雨, 局部特大暴雨, 降雨量一般有 200~350 mm, 其中浙江北部和东部部分地区达 400~600 mm, 浙江安吉天荒坪达 1056 mm(图 2), 浙江奉化、余姚、上虞、慈溪、绍兴、杭州、宁波、湖州、瑞安等 13 个县(市、区)日雨量在 200~400 mm, 均破当地日雨量历史纪录, 其中奉化、余姚和杭州日降水量分别达 397、394 和 246 mm。

图 2 2013 年 10 月 5 日 20 时至 9 日 08 时
1323 号强台风菲特过程降雨量实况Fig. 2 The accumulative precipitation of Fitow
from 20: 00 BT 5 to 08:00 BT 9 October 2013

2 “菲特”路径预报难点及不确定性分析

2.1 路径预报难点分析

在“菲特”实时业务预报中, 无论是数值预报, 还

是主观综合预报,前期均没能够预报出“菲特”在台湾以东洋面的突然西折。为了分析“菲特”路径突然发生西折的具体原因,图 3 分别给出了“菲特”北上阶段(9 月 30 日 20 时至 10 月 4 日 20 时)和西折阶段(10 月 4 日 20 时至 7 日 20 时)的 500 hPa 平均流线图,以考察“菲特”西折前后的大气环流形势差异。“菲特”西折前后,对流层中低层大气环流形势存在显著的差异。在北上阶段,“菲特”一直处于对流层中低层东西两环副热带高压(以下简称副高)的鞍型场中,但“菲特”东侧有三支偏南气流汇入(图 3a),这三支气流分别是 110°E 附近和 130°E 附

近的越赤道气流及赤道高压西侧的偏南气流,因此,“菲特”在偏南气流的引导下向北偏西方向移动,但移速较慢。而从预报经验来看,如果大气环流形势不发生大的调整,“菲特”将在越过东环副高脊线以后,逐渐转向北偏东或东北方向移去。但西折阶段的环流形势却发生了根本性的改变,东环副高明显西进,西环副高则出现明显西退(图 3b),且在 700~850 hPa 的对流层中低层东西两环副高顺利打通,“菲特”北侧中低层盛行强盛的偏东气流(图略),因此“菲特”路径出现突然西折,最后登陆福建北部。

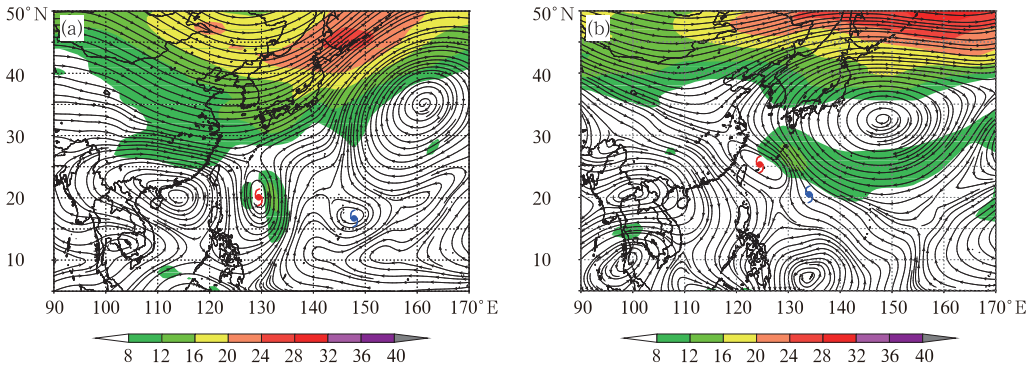


图 3 “菲特”西折前后 500 hPa 平均流线图
(填色区为 $\geq 8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的等风速区)
(a)北上阶段,(b)西折阶段
Fig. 3 The mean 500 hPa stream lines before and after Fitow’s turning west
(a) during the periods moving northward and (b) turning west
(Shadow indicates zone with speed $\geq 8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)

由上述的分析可知,东环副高的增强西进是对流层中低层大气环流形势调整的结果,那么是什么因素导致对流层中低层大气环流形势发生重大调整,并进而引起东环副高增强西进呢? 仔细分析“菲特”北上阶段的 500 hPa 高度形势场,可以发现,“菲特”北上阶段,欧亚中高纬为两槽一脊形势,两槽分别位于西西伯利亚—中亚一线以及东西伯利亚—我国东北西部—华北北部一线,高压脊则位于贝加尔湖以西到我国新疆北部一线(图略)。随着位于西西伯利亚—中亚一线的风槽发展加深,贝加尔湖以西到我国新疆北部的高压脊得到经向发展并东移,引导极地冷空气南下,导致在我国黑龙江北部到俄罗斯交界一带地区有切断低涡生成(图 4a)。在切断低涡东移的过程中,其西侧的高压脊逐渐减弱,亚洲中高纬环流逐渐由经向型环流调整为纬向型环流,同时由于切断低涡与位于日本东南洋面的东环

副高相叠加,日本海南部到日本东北部洋面一带的副热带锋区变得相当密集,副热带锋区上温度水平梯度迅速增大,于是东亚副热带西风急流也随之迅速增强,在西风急流上出现了超过 $80\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的急流核(图 4b)。此外,随着切断低涡的进一步东移,东亚副热带西风急流核的轴向也逐渐由东北—西南向转变为准东西向。正是由于东亚副热带西风急流核的迅速增强,使得其南侧的负涡度也迅速增加,而通过位势倾向方程可以得知,负涡度的迅速增加有利于其南侧中低层位势高度的增加,并由此导致东环副高增强西进。由沿 200 hPa 急流核轴线的涡度垂直剖面图(图略)也可以看到 150°E 以西的对流层中低层均为较强的负涡度带,有利于东环副高增强西进。同时,在对流层高层,可见大洋中部槽(TUTT)向西南延伸加强(图略),并有切断低涡(TUTT Cell)生成西移,而统计结果显示:当太平洋

中部槽在增强或重建时(中国科学院大气物理研究所热带气象研究组,1977),副高将增强西伸,因此,TUTT Cell 的西移也有利于副高的增强西伸。

此外,“菲特”活动期间,其东侧还有 1324 号超强台风丹娜丝活动,两者最近相距不到 1300 km。“丹娜丝”北侧强劲的偏东风气流,对副高的南落起着阻挡作用,有利于副高进一步西伸和“菲特”西行。利用 1 km 高分辨率 ARW-WRF 中尺度数值模式(3.5.1 版本)模拟的结果也显示“丹娜丝”的存在一定程度阻挡了副高的南落,并有利于副高的西伸和“菲特”西行,且数值试验结果表明“丹娜丝”强度越

强,副高的西伸幅度越大,“菲特”路径西进更为明显,且“菲特”登陆后的路径还会出现进一步的南掉;相反,若减弱“丹娜丝”强度或滤除其环流后,则副高西伸的幅度将明显减小,并出现南落,从而导致“菲特”在华东近海北上转向。因此,“丹娜丝”的存在也是“菲特”路径西折的重要原因之一。这与李春虎等(2002)、任素玲等(2007)得出的台风与副高的相互作用可导致副高西伸的研究结论是一致的。关于“丹娜丝”对“菲特”路径西折的数值试验结果的具体分析将另文阐述,这里不再赘述。

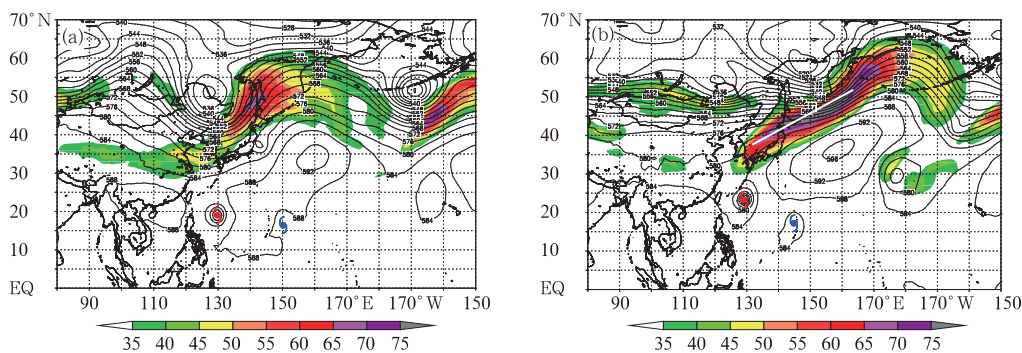


图 4 “菲特”西折前后 500 hPa 高度(等值线)与相应时刻的 200 hPa 副热带西风急流核分布图
(填色区, $\geq 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 白色线为急流核轴线)

(a)北上阶段的 2013 年 10 月 2 日 20 时, (b)西折阶段的 10 月 4 日 20 时

Fig. 4 The 500 hPa geopotential height (isogram) and 200 hPa subtropical westerly jet

(Shadow indicates zone with speed $\geq 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, the white line is 200 hPa jet axis)

(a) Fitow moves northward at 20:00 BT 2 October 2013; (b) Fitow moves westward at 20:00 BT 4 October 2013

2.2 路径预报不确定性分析

上述针对“菲特”路径西折的分析结果表明,对流层中低层大气环流形势调整导致东环副高增强西进是“菲特”路径西折的重要原因。那么,不同业务数值模式对东环副高增强西进的预报又有怎样的表现呢?图 5 为不同业务数值模式 9 月 30 日 20 时起报的 500 hPa 高度 120 h 预报场与 10 月 5 日 20 时分析场的对比,可见,“菲特”生成后的北上阶段初期,ECMWF、NCEP、T213 和 JMA 模式均未能预报出东环副高的增强西进,而是预报我国东部海区将处于副高西侧和西风槽前的西南或偏南气流控制之下,“菲特”未来将在我国东部海区转向东北或北偏东方向移去。而从不同业务数值模式 10 月 1 日 20 时起报的 500 hPa 高度 96 h 预报场图上可见(图略),ECMWF 和 JMA 模式虽均预报出东环副高的

增强西进,但副高主体西伸的幅度仍较分析场偏东,NCEP 和 T213 模式则未能预报出东环副高的增强西进,NCEP 模式直到 10 月 2 日 20 时起报的 500 hPa 高度 72 h 预报场才与实况接近,而 T213 模式直到 10 月 3 日 20 时起报的 500 hPa 高度 48 h 预报场才与实况接近(图略)。可见,“菲特”北上阶段,不同业务数值模式对大尺度环流形势(尤其是副高)的预报存在较大的分歧,且随着预报时效的临近,不同业务数值模式对大尺度环流形势预报调整的速度也不尽相同,ECMWF 模式调整速度较 NCEP 模式快 1 天左右,而 T213 模式调整速度最慢。正是由于不同业务数值模式对大尺度环流形势的预报存在较大的分歧,从而导致不同业务数值模式针对“菲特”的路径预报也存在着较大的不确定性,并具体表现为不同业务集合预报系统的路径预报结果也均呈现出非常大的发散度(图略),尤其是 ECMWF 和

NCEP 早期均未能预报出“菲特”路径的西折,而 CMC、UKMO 和 JMA 虽有部分成员预报出“菲特”路径将出现西折,但路径预报成员的发散度非常大,从菲律宾北部到日本西南部均有登陆的可能。可见,当不同数值预报模式尤其是不同集合预报系统

出现非常大的发散度或者是出现截然不同的预报结果时,在业务预报中必须考虑台风路径将发生较大改变的可能性,而采用多模式集合预报订正技术则可能是提高台风路径预报准确率的有效途径之一。

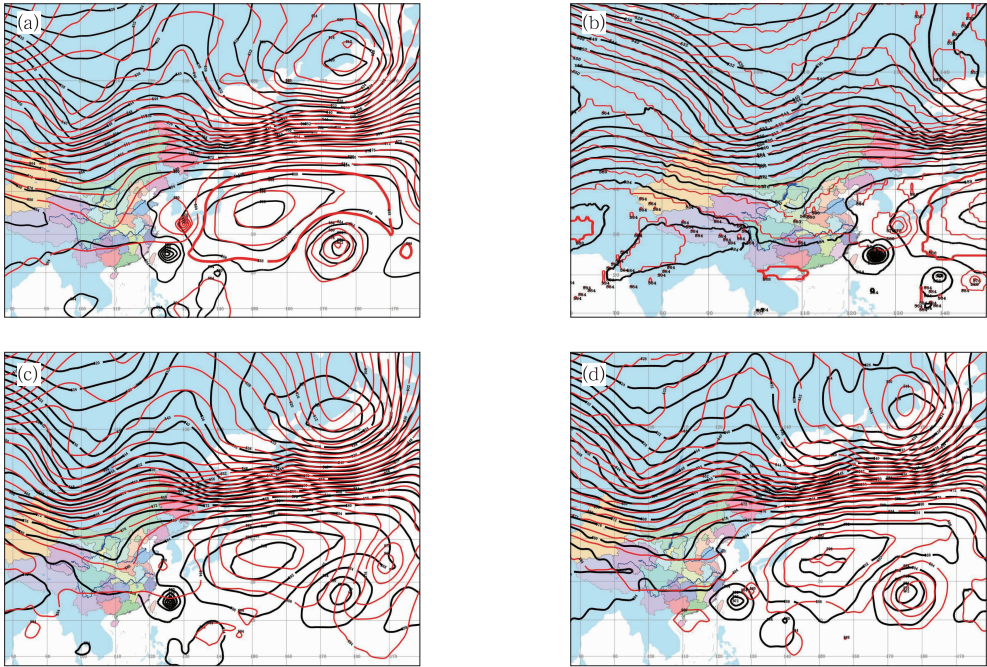


图 5 2013 年 9 月 30 日 20 时业务数值预报模式起报的 120 h 联 500 hPa 高度
预报场(红线)与 10 月 5 日 20 时分析场(黑线)对比
(a)ECMWF, (b)NCEP, (c)T213, (d)JMA

Fig. 5 The 500 hPa geopotential height comparison between the 120 h forecast field with
initial time 20:00 BT 30 September (red line) and analysis filed of 20:00 BT
5 October (black line) of the different operational models
(a) ECMWF, (b) NCEP, (c) T213, (d) JMA

3 “菲特”强度预报难点及风雨成因分析

众所周知,台风强度的变化与高空辐散流出、低层辐合、环境风垂直切变以及海温等因素密切相关。从大尺度环境场来看,台风眼区周围低层水平辐合形成大量的上升运动,高层辐散流出,因此,台风上空对流层高层上有无明显的辐散气流是台风能否继续发展的重要标志,特别是近海台风加强的主要原因(余晖等,2002;官晓军,2011;林毅等,2005;于玉斌等,2008;张玲等,2014;周冠博等,2015)。

“菲特”趋向华东近海时,当时考虑到东海西部海面及华东近海海面温度(简称 SST)较低($SST <$

26°C ,图略),且环境风垂直切变有变大的趋势,因此,预报“菲特”在华东近海将有所减弱,但实际上“菲特”在华东近海仍维持强台风强度,且从雷达和地面自动站观测看,还存在一定程度增强的趋势。仔细分析“菲特”进入东海到登陆我国期间的对流层高低层风场发现,对流层低层 850 hPa,由东环副高增强西进和“丹娜丝”西北移带来的低层偏东气流汇入其低层环流(图 6a),使“菲特”低层辐合得到加强;而在对流层高层 200 hPa 上,“菲特”进入东海后,从朝鲜半岛到日本北部一线一直维持一个近东北—西南向的高空急流区,急流核强度最强达到 $80\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,“菲特”正好处于该高空急流入口区的右侧(图 6b),该区域高层辐散很强,高层强烈的辐散气流导致低层上升运动加强,有利于台风环流低

层减压和增强。而在此期间,“菲特”环境水平风垂直切变虽然有所增大,但一直维持在 $5\sim 10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的小值区,也有利于“菲特”强度的维持或加强。综上所述,“菲特”北侧强高空急流的维持和存在是其强度近海维持或加强的重要原因,可见,“菲特”在近海维持或加强是大尺度环境场动力强迫的结果。因

此,当动力强迫作用显著时,不利的海洋热力条件对台风强度变化的影响可以忽略,如 2011 年 1115 号超强台风洛克登陆日本前,在日本西南部近海海面迅速加强也是在海洋热力条件差的条件下大尺度环境场动力强迫显著作用的结果(张玲等,2013)。

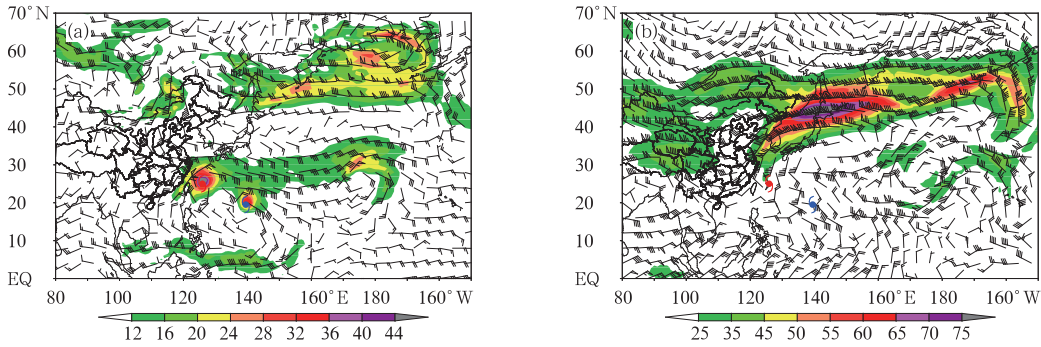


图 6 2013 年 10 月 5 日 20 时 850 hPa (a) 和 200 hPa (b) 风场
(填色为等风速区)

Fig. 6 The wind fields at 850 hPa (a) and 200 hPa (b) at 20:00 BT 7 October 2013
(Shadow indicates the isotach zone)

4 强风雨成因分析

4.1 强风成因分析

由地面风速观测可知(图略),“菲特”产生的大风区主要位于其中心经过的附近区域及其前进方向右侧的浙东南沿海,强风主要发生在其登陆前后的 6~10 h 内,这与“菲特”在华东近海强度的维持或

加强是吻合的。
由上述对“菲特”近海强度维持或加强的分析结果可以看出,“菲特”登陆福建前后,“菲特”前进方向右侧的浙东南沿海及海面位于对流层上部槽的槽前的强辐散区中,槽前伴有大于 $45\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的急流区,且槽后也相伴有大于 $45\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的急流区,并向东流向槽前(图 7a),导致槽前的急流区进一步增强(图 7b)。由涡度方程分析可知,槽前的气块由南向北移动,由气旋式涡度变到反气旋式涡度,涡度减

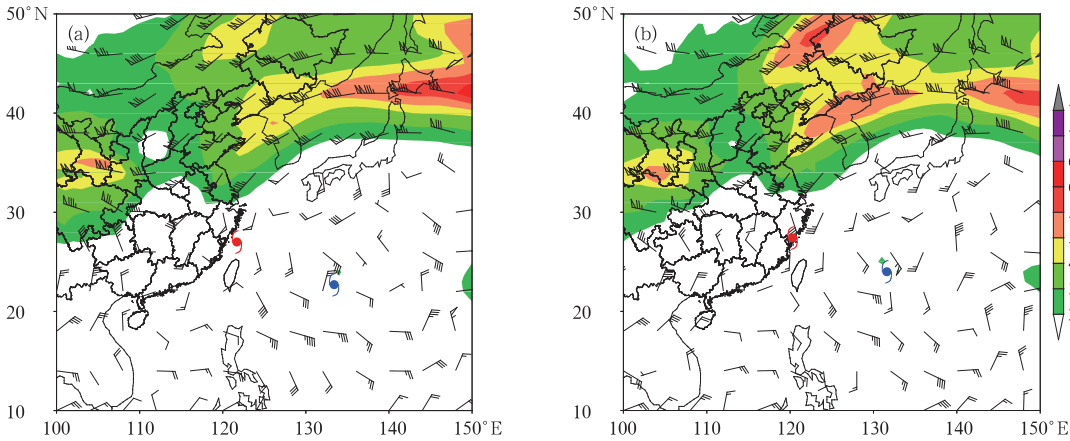


图 7 2013 年 10 月 6 日 20 时(a)和 7 日 02 时(b)200 hPa 风场和急流区(填色)
Fig. 7 The 200 hPa wind field and jet zone (shaded)
(a) 20:00 BT 6 October 2013, (b) 02:00 BT 7 October 2013

小,气块将产生水平辐散,因此槽前的急流区的增强,将使得高层辐散进一步加强,低层辐合和上升运动也将随之增强,导致台风环流北侧低层减压明显、云系对流增强,气压梯度迅速增加,地面风力相应也迅速加大。可以显见,“菲特”强风的发生同样也是大尺度环境场动力强迫的结果,2012 年 1215 号超强台风布拉万北上移入东北地区后产生的大风天气也是同样的情况。因此,当台风移到近海时,应关注高空大尺度环境场是否存在显著的动力强迫作用,如果存在,则应考虑出现强风发生的可能性。

此外,“菲特”造成的强风分布呈现极不均匀分布的特点,这主要是浙江东南沿海的复杂地形和海陆差异所造成的。

4.2 强降雨成因分析

由图 2 可以看出,“菲特”强降雨主要发生在江苏东南部、上海、浙江北部和东部、福建东北部等地,尤其是浙江北部和东部部分地区,降雨量达 400~600 mm,也即“菲特”的北侧,而其南侧降雨明显偏弱。强降雨主要发生在 10 月 6 日晚上至 8 日白天,其中 6 日晚上至 7 日上午为“菲特”本体、台风倒槽及偏东气流共同影响阶段,7 日下午至 8 日白天为“菲特”残余环流、冷空气与偏东气流共同影响阶段。对于“菲特”的这次强降雨过程,中央气象台早在 10 月 5 日下午在针对“菲特”的台风专题会商中就指出“菲特”登陆后,在双台风和冷空气的相互作用下,浙北地区(尤其是杭州湾附近地区)有可能出现超过

500 mm 的极端强降雨,但当时没有引起足够的重视,主要原因是包括 EC、JMA 和 NCEP 的各家业务数值模式预报的强降雨落区均偏南偏西且强度偏弱(图略),因此中央气象台 24~72 h 预报时效的 24 h 时降雨预报中的强降雨落区预报位置也偏南偏西,量级也偏小,预报偏差较大(图略)。可见,在台风降雨预报中,台风路径预报和数值模式降雨预报结果常常会成为左右强降雨落区预报的重要因素。

下面分别从“菲特”强降雨的两个阶段来具体分析强降雨发生的原因。

在强降雨发生的第一阶段(6 日晚上至 7 日上午),随着东环副高的西伸,“菲特”在福建福鼎沙埕登陆,其东侧的 1324 号台风丹娜丝则快速西北移,两者相距大约 1000~1100 km,双台风的相互作用使得“菲特”及其后减弱的低压环流长时间滞留浙闽交界地区,这与徐洪雄等(2013)敏感性试验结果指出“天鹅”台风涡旋的存在对于“莫拉克”台风发展与维持过程有显著的贡献是一致的。与此同时,副高南侧的偏东气流与“丹娜丝”西北移带来的偏东气流则向浙江东部沿海汇合,在 850 hPa 风场上可以看到一支大于 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏东急流流向浙江东部沿海(图略),并将丰沛的水汽向浙江东部沿海输送,大于 $0.28\text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的水汽通量大值区几乎覆盖浙江全境(图 8a)。从对流层高层 200 hPa 风场看,“菲特”登陆前后,其北侧高空有大于 $50\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西风急流,位于“菲特”北侧的浙江中东部地区处于高空急流入口区右侧的强辐散区(图 8b),高

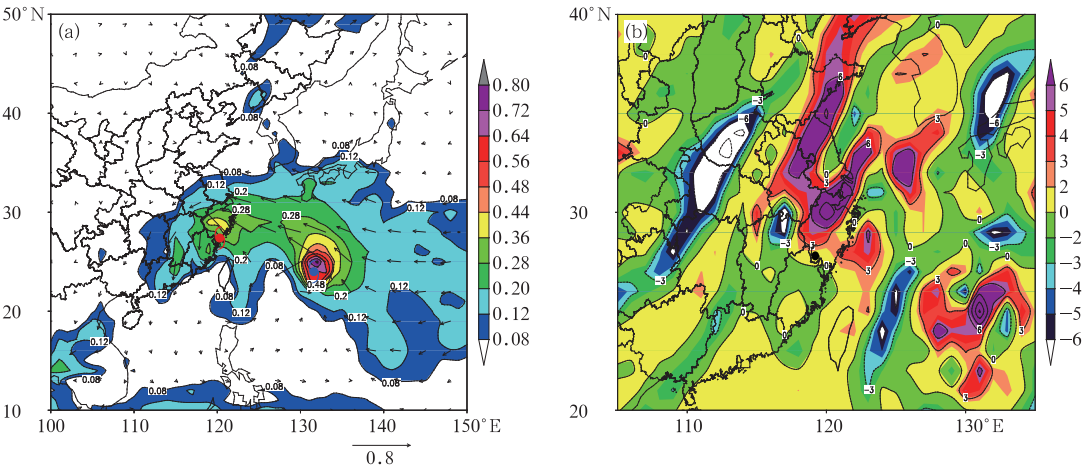


图 8 2013 年 10 月 7 日 02 时 850 hPa 水汽通量场(a,单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)
和 08 时 200 hPa 散度场(b,单位: 10^{-5} s^{-1})
Fig. 8 The 850 hPa vapor flux (a, unit: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) at 02:00 BT and
the 200 hPa divergence (b, unit: 10^{-5} s^{-1}) at 08:00 BT 7 October 2013

层强辐散气流导致低层辐合和上升运动加强,从而有利于强降雨的发生;而位于“菲特”南侧的福建大部地区高层则为辐合区,低层为下沉运动(图略)。因此,该阶段的强降雨主要发生在浙江大部及福建东北部一带,强降雨的落区与高层辐散区和低层上升运动区存在很好的对应关系。这与 2012 年 1215 号超强台风布拉万北上深入黑龙江中部引发大暴雨的情况是一致的(任丽等,2013)。

强降雨发生的第二阶段(7 日下午至 8 日白天),由于受地形摩擦和环境风水平垂直切变增大的影响,“菲特”减弱后的低压环流趋于填塞,而其东南侧的 1324 号台风丹娜丝继续快速西北移。从对流层中低层风场看,7 日下午以后,由于“丹娜丝”快速西北移和西风槽东移,东环副高略有北抬且开始东退,使得副高南侧和“丹娜丝”北侧的偏东急流北抬至浙江北部到江苏东南部一带,水汽输送带也随之北抬至这一带(图 9a)。与此同时,在对流层低层的

蒙古国到我国华北一带有冷高压发展,引导冷空气由低层扩散南下,与北抬至浙江北部到江苏东南部一带的偏东风急流交汇于杭州湾附近地区,在对流层低层形成中尺度辐合线(图 9b),并稳定维持在杭州湾至长江口一带。在对流层高层,西风槽东移导致副高北侧的水平温度梯度加大,西风急流随之加强,急流强度增强到 $65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上(图略)。江苏东南部到浙江北部一带正好处于高空急流入口区的右侧,西风急流的加强导致高层强辐散气流随之加强,使得该区域低层上升运动加强,上升运动的大值区由浙江中东部北抬至浙江北部到江苏东南部一带(图略),强降雨也随之北抬。上述这种低层中尺度辐合线与高层强辐散流场的高低层环流配置,有利于低层上升运动的加剧,因此第二阶段的雨量也较第一阶段大。8 日以后,随着“丹娜丝”向东北方向移动,浙江北部到江苏东南部一带逐渐转为东北或偏北气流控制,强降雨也随之趋于结束。

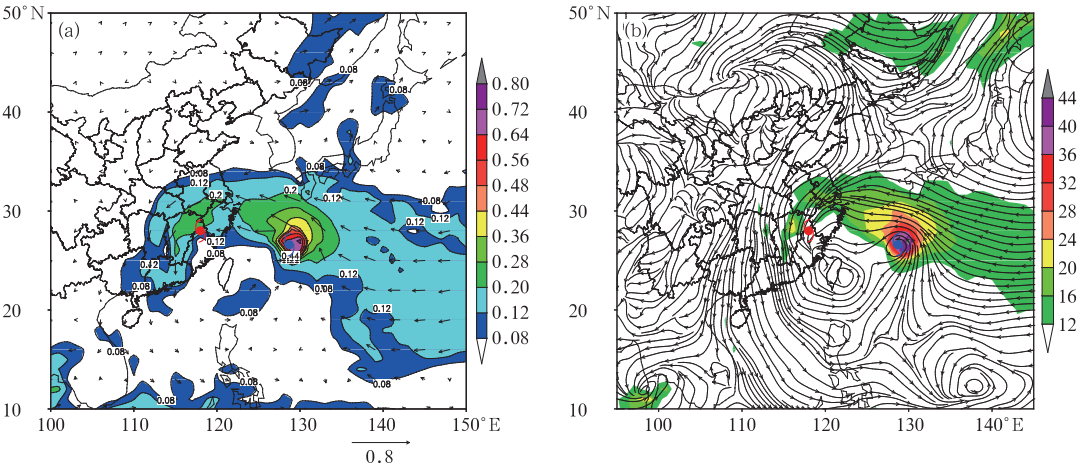


图 9 2013 年 10 月 7 日 14 时 850 hPa 水汽通量场(a, 单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)
与 925 hPa 流场(b, 填色为 $\geq 12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的等风速区)
Fig. 9 The 850 hPa vapor flux field (a, unit: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) and the 925 hPa stream line
(b, shadow indicates zone with speed $\geq 12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) at 14:00 BT 7 October 2013

由上述的分析可知,“菲特”强降雨的发生和落区的变化,与副高南侧及“丹娜丝”北侧偏东急流位置的变化及水汽输送密切相关,低层冷空气的扩散南下则是触发“菲特”第二阶段强降雨发生及雨量加大的主要因素,对流层高层强辐散气流的抽吸作用则是“菲特”强降雨发生的主要动力机制。而在台风降雨业务预报中,对流层高层流场分析往往得不到应有的重视,则可能是“菲特”强降雨预报出现较大偏差的主要原因。

5 结 论

(1) 副高西伸是“菲特”路径突然西折的主要原因。而副高的西伸与东亚副热带高空西风急流的迅速增强和稳定西进具有密切相关。此外,与“丹娜丝”双台风的相互作用以及大洋中部槽切断低涡(TUTT Cell)的西移,也对副高的西伸具有一定的作用。

(2) “菲特”近海强度维持或增强的主要原因是大尺度环境场动力强迫作用的结果,这种动力强迫作用与其北侧强高空辐散气流密切相关,这是台风强度预报中应给予重点关注的预报着眼点。

(3) 高空急流入口区右侧的强辐散区的抽吸作用是“菲特”北侧强风雨发生的主要动力机制。“菲特”强降雨的落区与副高南侧及“丹娜丝”北侧偏东急流位置的变化密切相关,低层冷空气的扩散南下则是触发第二阶段强降雨发生及雨量加大的主要因素。

(4) 业务预报中,对对流层高层流场(尤其是副热带西风急流)的分析以及双台风相互作用的关注不够,可能是“菲特”路径、强度和风雨预报出现较大偏差的重要原因。

(5) 目前,长时效的台风路径集合预报结果仍具有较大的不确定性,因此,当集合预报路径发散度较大或不同集合预报系统路径预报结果存在较大差异时,采用多模式集合预报订正技术将是提高台风路径预报准确率的有效途径之一。

参考文献

官晓军. 2012. 台风“达维”迅速加强数值模拟研究. 气象科技, 40(2): 241-248.

李春虎, 黄福均, 罗哲贤. 2002. 台风活动对副热带高压位置和强度的影响. 高原气象, 31(6): 576-582.

林毅, 刘爱鸣, 刘铭. 2005. “百合”台风近海加强成因分析. 台湾海峡, 24(1): 22-26.

钱传海, 端义宏, 麻素红, 等. 2012. 我国台风业务现状及其关键技术. 气象科技进展, 2(5): 36-43.

任丽, 王承伟, 张桂华, 等. 2013. 台风布拉万(1215)深入内陆所致的大暴雨成因分析. 气象, 39(12): 1561-1569.

任素玲, 刘屹岷, 吴国雄. 2007. 西北太平洋副热带高压和台风相互作用的数值试验研究. 气象学报, 65(3): 329-340.

徐洪雄, 徐祥德, 陈斌, 等. 2013. 双台风生消过程涡旋能量、水汽输送相互影响的三维物理图像. 气象学报, 71(5): 825-838.

许映龙. 2011. 超强台风鲇鱼路径北翘预报分析. 气象, 37(7): 821-826.

许映龙, 张玲, 高拴柱. 2010. 我国台风预报业务的现状及思考. 气象, 36(7): 43-49.

余晖, 费亮, 端义宏. 2002. 8807 和 0008 登陆前的大尺度环境特征与强度变化. 气象学报, 60(增刊): 78-87.

于玉斌, 陈联寿, 杨昌贤. 2008. 超强台风“桑美”(2006)近海急剧增强特征及机理分析. 大气科学, 32(2): 405-416.

张玲, 黄奕武. 2013. 超强台风梅花和超强台风洛克预报偏差的天气学分析. 气象, 39(7): 842-847.

张玲, 许映龙, 黄奕武. 2014. 1330 号台风海燕强烈发展和快速移动原因分析. 气象, 40(12): 1464-1480.

中国科学院大气物理研究所热带气象研究组. 1977. 盛夏亚洲和西太平洋副热带地区高压活动规律的若干研究. 大气科学, 1(2): 123-131.

周冠博, 冉令坤, 高守亭, 等. 2015. 台风莫拉克动力结构的高分辨率数值模拟及诊断分析. 气象, 41(6): 727-737.

Cangialosi J P, Franklin J L. 2014. 2013 National Hurricane Center Forecast Verification Report. http://www.nhc.noaa.gov/verification/pdfs/Verification_2013.pdf.

DeMaria M, Sampson C R, Knaff J A, et al. 2014. Is tropical cyclone intensity guidance improving? Bull Amer Met Soc, 95(3): 387-398.

Falvey R J. 2014. 2013 Review in Joint Typhoon Warning Center. 68th Interdepartmental Hurricane Conf, College Park, MD, OFCM. <http://www.ofcm.gov/ihc14/presentations/Session1/s01-02falvey.pdf>.