

陈淑琴,徐燚,曹宗元,等,2018.冷空气和热带低压共同作用下的一次暴雨预报失败原因分析[J].气象,44(1):142-150.

冷空气和热带低压共同作用下的一次暴雨预报失败原因分析*

陈淑琴¹ 徐 燚² 曹宗元¹ 刘 菡¹ 陈梅汀¹

¹ 浙江省舟山市气象台,舟山 316021

² 浙江省气象台,杭州 310017

提 要: 利用 NCEP 再分析资料、高空、地面观测资料和雷达资料分三个阶段,从水平、垂直方向分析了 2014 年 8 月 18—20 日冷空气和热带低压共同作用下的浙江暴雨过程中水汽输送、垂直运动过程,以及对流不稳定特征,总结预报失败原因。结果表明:(1)第一阶段浙北的暴雨主要是由冷锋引起的,但南海热带低压的存在加强了西南暖湿气流,使得北方冷空气与西南暖湿气流相遇,产生变形场锋生作用。预报偏小的原因主要是没有注意到热带低压的存在和影响,其次是对降水时间的长度也估计不足。(2)第二阶段浙中南的大暴雨,水汽主要是由热带低压东侧和南侧的偏南或西南气流输送的。热带低压在福建登陆后,与冷空气相遇,移动缓慢,导致低层在浙南有中尺度辐合线长时间维持。两个系统耦合,产生了强烈的上升运动,低层又有不稳定能量释放,最终产生了大暴雨。预报偏小的原因是对热带低压的作用估计不足(包括水汽、动力和不稳定能量方面)。(3)第三阶段预报偏大的原因主要是数值预报误差较大。得出的一些启示:预报暴雨时要注意分析降水时间长度,也应重视分析热力条件,以及对数值预报的订正应用。热带系统和经纬度系统相遇,往往会造成大暴雨,主要原因是两个系统耦合会造成强烈的上升运动,同时两个系统对峙会使强降水区长时间维持在同一个地方,热带系统附带的急流又提供了充足的水汽、能量,所以实际雨量往往会比数值预报更大。

关键词: 热带低压,冷空气,暴雨

中图分类号: P456,P458

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.01.012

Results of a Failure Forecast About a Rainstorm Caused by Cold Air and Tropical Low Pressure

CHEN Shuqin¹ XU Yi² CAO Zongyuan¹ LIU Han¹ CHEN Meiting¹

¹ Zhoushan Meteorological Observatory of Zhejiang Province, Zhoushan 316021

² Zhejiang Meteorological Observatory, Hangzhou 310017

Abstract: Based on the NCEP/NCAR reanalysis data, high-level and surface observation data and radar data, this paper analyzes the three stages of the heavy rainfall that occurred in Zhejiang Province during 18—20 August 2014. The water vapor transmission, vertical movement and convective instability of the rainstorm are investigated from horizontal and vertical directions, so the lesson of a failure forecast could be summarized. The results are as follows. (1) The first stage of the heavy rainfall in northern Zhejiang was mainly caused by the cold front, but the existence of the tropical depression played a positive role in strengthening warm wet flow coming from southwest, making the north cold air meet with the warm wet flow, which induced the frontogenetic function in the deformation field. So, the neglected existence and influence of the tropical depression are the main inaccurate reason of the less precipitation forecast. In

* 国家自然科学基金青年科学基金项目(41705031)和中国气象局预报员专项(CMAYBY2017-029)共同资助

2017年2月28日收稿; 2017年7月17日收修定稿

第一作者:陈淑琴,主要从事天气预报工作. Email:457920850@qq.com

addition, the duration of the rainstorm was also underestimated. (2) The second stage of the heavy rainfall happened in the central and southern Zhejiang. The southerly and southwesterly flow around the eastern or southern side of the low pressure drew abundant water vapor. There was a slow-moving cold front that resulted in the maintenance of the mesoscale convergence line in the lower atmosphere for a long time when the tropical depression landed at Fujian Province. There existed the coupling of the two systems, generating strong upward motion, and the instability energy in the lower level released. Finally, the severe downpour occurred. So, the underestimated influences of the tropical depression (moisture, dynamic and instability energy conditions) are the main inaccurate reason for the less precipitation forecast. (3) The big error of numerical forecasting is a crucial reason for overestimating the precipitation in the third stage. As a result, we find that the duration of the rainfall, heat condition and correction of numerical forecasting played important roles in predicting the precipitation of such rainstorm. Besides, there was strong upward motion caused by the coupling of tropical weather system and mid-latitude weather system, and meanwhile, severe precipitation area maintained at the same place when the two systems confronted each other. What is more, plenty of water vapor and energy brought by jet caused the heavy rainfall frequently. Therefore, the actual rainfall was bigger than the forecasted rainfall.

Key words: tropical depression, cold air, heavy rainfall

引 言

热带系统和 mid 纬度系统相互作用,往往会造成大暴雨,分为两种情况:一种是热带系统和 mid 纬度系统相遇产生的强降水,另一种是远距离作用产生的暴雨,这与陈联寿等(2002)指出台风造成的四块暴雨区中的第三块和第四块相对应,第三块暴雨区是指台风倒槽区或者台风减弱后留下的残涡倒槽区遇上冷空气结合后产生的暴雨,第四块是远离台风的北方中纬度西风槽前。这样的实例很多:0716 号台风罗莎与冷空气结合在浙江、上海造成的大暴雨。2012 年台风海葵在宁波象山登陆后减弱为热带低压,在安徽、江西和江苏产生了大暴雨。“080825”上海大暴雨,最强降水 $117.5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,当时在香港、广东有 0812 台风鹦鹉。2011 年 7 月 21 日北京特大暴雨历史罕见,当时在南海有一个热带低压,即将生成为热带气旋(TC)。

这些都是热带系统与 mid 纬度系统相互作用产生的暴雨,有直接作用,也有间接作用,其中的影响机制也有过一些研究。项素清(2003)及陈小芸等(2004)分析发现,冷空气侵入热带低压环流残体触发不稳定能量释放,导致中小尺度系统发展。台风罗莎(刘晓波等,2008)对上海造成的降水,冷空气侵入时间与上海降水开始时间非常吻合,冷空气南下和台风外围暖湿气流北上使辐合加强,为激发台

风外围中尺度对流云团提供了动力抬升机制。范学峰等(2007)对 0418 号台风艾利造成河南东部大暴雨过程分析表明台风倒槽外围的东南急流为暴雨提供了水汽条件和热力条件,台风倒槽顶部的强辐合作用则是暴雨发生发展的动力机制。孙欣和陈传雷(2009)对辽宁的一次暴雨分析指出北上热带气旋携带的暖湿空气为暴雨提供了热力条件,并使低空偏南急流加强维持,为暴雨提供了必要的动力和水汽条件。张清华等(2012)对 0903 号热带风暴莲花外围环流在粤东引发特大暴雨过程进行诊断分析,结果表明:台风低槽外围的西南急流为特大暴雨提供了充沛的水汽条件和热力条件;暴雨区上空存在强对流性不稳定层结。周福等(2014)对 2013 年 10 月 7—9 日台风菲特登陆减弱后浙江异常强暴雨事件的分析认为:由于北侧的弱冷空气从近地层渗透流入,导致垂直涡度加强,上升气流增强,低层能量锋区堆积,辐合增强,诱生中小尺度系统而产生的。谢惠敏等(2016)认为在“菲特”强降水第二阶段,“菲特”的环流已经基本消散,超强台风丹娜丝与冷空气的共同作用主导了这一阶段强降水的发生。孙力等(2015)利用中尺度非静力模式 WRF 对 2012 年第 15 号台风布拉万在中国东北地区造成的暴雨过程进行了数值模拟,结果表明:由于冷空气侵入造成了在台环流西北侧湿等熵面的陡立倾斜和水平风垂直切变的增强,导致了气旋性涡度的显著增强,气旋性涡度增强造成的强烈上升运动将降水区东南侧输

送过来的暖湿空气向上输送,从而导致了暴雨的发生。曹晓岗和王慧(2016)分析了一次远距离台风与北方扩散南下冷空气共同影响产生在上海及周边地区的大暴雨过程,发现北方扩散南下冷空气与台风北侧外围的东风急流汇合使得辐合抬升得到加强。梁军等(2015)对比分析影响辽东半岛两个台风米雷(Meari)和梅花(Muifa)暴雨环流特征,两个台风均进入西风槽区而变性,但两者影响辽东半岛时处于不同的变性阶段,因而降水强度不同。

由于热带系统与中纬度系统相互作用的过程非常复杂,暴雨产生的机理目前尚不是非常清楚,预报有很大的难度,有必要进一步深入地进行研究。2014年8月18—20日,受冷空气和热带低压的共同影响,福建、浙江大部分地区出现暴雨,部分地区达大暴雨,瓯江发生流域性洪水,温州、丽水、金华、绍兴等地发生了山体滑坡、农田受淹、道路中断、堤防和房屋受损等灾情。这次过程前期主要是受冷锋影响,热带系统间接影响,中期是由冷空气和热带低压共同影响,热带低压还有登陆、变性过程,后期是由变性后的低涡影响,是一个比较复杂的过程,当时的预报比实况偏小,对这次过程的预报思路进行梳理、对大暴雨产生的原因进行分析,可以进一步了解热带系统和低纬度系统相互作用产生暴雨的机制,为此类暴雨的预报提供经验。

1 降水实况和大气环流背景

2014年8月18—20日,受冷空气和热带低压的共同影响,浙江省大部分地区出现暴雨,部分地区达大暴雨量级。全省平均降雨量133 mm,其中丽水、宁波、台州、金华面雨量都在150 mm以上,舟山96.5 mm。全省有87座中小型水库超汛限水位,丽水城区、缙云县城受淹,倒塌房屋466间,直接经济损失8.6亿元。

8月18日,高空500 hPa为两槽一脊型,贝加尔湖地区为高压脊,东北有一冷涡,巴尔喀什湖地区和我东部地区分别有两支深厚的大槽,我国东部地区的大槽槽底到达 30°N 附近,槽上有冷平流,引导冷空气南下。在四川附近有一支较弱的南支槽逐渐东移。副热带高压588 dagpm线西脊点在 24°N , 114°E 附近。在菲律宾以西有一热带低压,缓慢朝西北偏北方向移动。低层850 hPa在黄海有一低压,低压西南侧有一东北—西南走向切变线。地面

在黄海到舟山沿海有一条冷锋,浙江中部形成一条东北—西南走向的暴雨带。全省面雨量达41.4 mm,其中绍兴、衢州、金华和杭州四个地区面雨量超过50 mm。累计雨量最大为绍兴柯桥区钱清162.6 mm,小时最大雨强为丽水57.4 mm,同时,浙南和东南沿海地区出现50多站(含自动气象站)8~9级雷雨大风。

19日500 hPa东亚大槽南压到 30°N 以南,南支槽东移至江西到广西一带,南海热带低压环流不明显,但700 hPa以下还可看到明显的低压环流,并且在福建登陆,热带低压云系和冷锋云系相接,发展加强,在福建、浙江产生强烈的暴雨。热带低压随着高空槽前西南气流朝东北方向移动,19日半夜进入浙江境内,低压强度略有加强,在浙江南部地区产生很强的降水,浙江全省面雨量达62.4 mm,最大丽水达104.6 mm,累计雨量最大的自动站为温州龙湾区永强265.1 mm,小时最大雨强瑞安宁益达88.4 mm。

20日500 hPa东亚大槽进一步南压,甚至在安徽境内生成一个低涡。低层热带低压已经变性为温带低涡,朝东北方向移动,中午在杭州湾入海进入舟山海域,强度加强,5个小时地面中心最低气压从1006 hPa下降到1003 hPa,舟山海域出现11级大风,在宁波北部、杭州湾海面产生暴雨,雨量50~100 mm。

这次暴雨过程历时三天,从主要影响系统来看可以分为三个阶段:第一个阶段是18日,主要强降水在浙江中北部地区,降水带呈东北—西南走向,主要是由冷锋产生的降水,第二阶段是19日下午到20日早晨,主要由热带低压和冷锋共同作用产生的暴雨,也是最强烈的阶段,第三阶段是20日08时后由变性后的低涡在浙江境内产生的降水。下面利用常规高空、地面资料、雷达资料、数值预报资料、NCEP再分析资料(水平分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$)计算各种物理量,分三个阶段分别分析其预报失误原因。

2 第一阶段预报失误原因分析

18日舟山台只报了阵雨,实况18日08时至19日08时舟山南部地区中到大雨,北部出现了暴雨,雨量达90 mm,全省24 h雨量有两条超过50 mm的雨带。当时考虑的是18日500 hPa高空槽虽然深厚,但距离还较远,700 hPa有西南急流,但没有

明显的风向、风速辐合,850 hPa 有一条冷式切变线影响,但没有急流,西南风速只有 $4\sim 6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。主要影响天气系统就是冷锋,一般情况下,冷锋不太容易产生很强的降水,数值预报浙北的雨量的报得很小。

从雷达拼图(图略)上可以看到 18 日浙江省一直有一条东北—西南走向的带状回波维持,东移的速度非常缓慢。雨带主体的回波并不强,没有小时雨强大于 20 mm 的强降水,但是由于单体的移动方向和回波带走向一致,使降水长时间地经过同一个地方,形成列车效应。虽然降水强度不强,但是由于西面强盛的副热带高压阻挡,冷锋移动缓慢,降水持续时间很长,从而达到暴雨的量级。而在这条雨带的东面逐渐发展了一条强对流回波带,出现了短时强降水和雷雨大风,从而也达到了暴雨。

当时没有注意到南海还有一个热带低压,这个低压比较弱,在 700 hPa 以上没有明显的反映,主要在 925 hPa 反映最明显,在云图上有明显的云团,中央气象台没有编号,日本气象厅有编号。18 日 08 时 850 hPa(图 1a)流场图上可以看到在南海有一气旋性环流中心,在黄海有一温带气旋,其东南侧有一低压槽,引导北方的冷空气到达浙江,南方地区全部盛行西南暖湿气流,两支气流在浙江北部汇合,形成变形场,有利于锋生,低层的水平温度梯度不断增大。水汽通量大值区一个是在华西到华南,从孟加拉湾和北部湾输送水汽,另一个是在浙江沿海,由沿

海的西南气流输送水汽。08 时在杭州湾地区有一个 $1\times 10^{-7}\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的水汽通量辐合中心。14 时(图 1b)冷锋略东移,南海热带低压也有所北抬,南北两支气流的交汇更加明显,辐合上升运动更强烈,700 hPa 垂直速度中心由 08 时的 $-0.1\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 上升到 $-0.4\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$,浙北的水汽通量辐合中心达 $-2\times 10^{-7}\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,并且呈东北—西南走向,与强降水带走向一致。此阶段降水过程主要是由冷锋引起的,但通常情况下,单纯的冷锋很难产生暴雨,南海热带低压的存在,加强了西南暖湿气流和水汽输送,产生对流不稳定能量,并且使得北方冷空气与西南暖湿气流交汇,产生变形场锋生作用,所以也对浙江的暴雨产生了积极作用。

3 第二阶段预报失误原因分析

第二阶段是 19—20 日早晨,也是最强烈的阶段,强降水主要在浙江南部的台州、金华、丽水、温州地区,一般雨量都在 100 mm 以上,温州部分地区 200 mm 以上。浙江省气象台预报了大到暴雨,局部大暴雨,但与实况比还是偏小很多。分析原因主要是对热带低压的影响估计不足。19 日热带低压在福建南部登陆,一般情况下热带系统登陆后很快减弱,但实际上此热带低压从福建进入浙江的过程中并没有减弱,还略有增强,对浙江暴雨的产生从水汽、动力、热力条件各方面都起到了积极的作用。

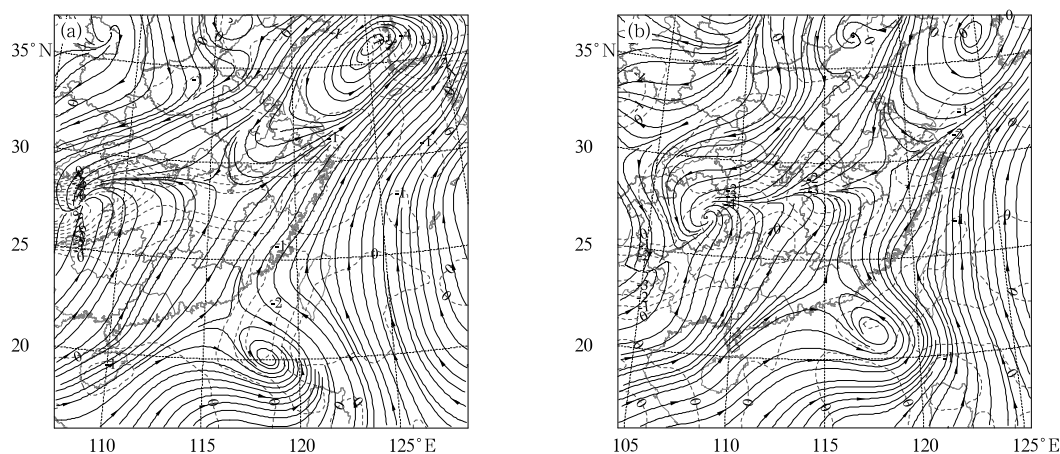


图1 2014年8月18日08时(a),14时(b)第一阶段暴雨发生时850 hPa水汽通量散度(虚线,单位: $10^{-7}\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)和流场的分布

Fig. 1 Moisture flux divergence at 850 hPa (dash line, unit: $10^{-7}\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) and flow field on the first stage of the rainstorm at 08:00 BT (a) and 14:00 BT (b) 18 August 2014

3.1 水汽条件分析

在18日08时,浙江省上空的水汽主要来源于北部湾和孟加拉湾(图1a),到了18日14时(图1b),来自北部湾的水汽通量减弱,来自热带低压东侧的水汽通道已经建立,而这支水汽也是18日浙江东部强对流降水的主要水汽来源。图2是19日14时至20日02时水汽通量700 hPa分布及沿120°E经向垂直剖面。19日14时(图2a),浙江仍有东西两支水汽通道影响,垂直方向看(图2d)水汽通量随高度向北方倾斜,有两个大值中心,一个在底层,由于山脉的阻挡,并未进入浙江,一个在700 hPa(中心值为 $14 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)。到了19日20时(图2b),随着热带低压沿副热带高压边缘北上,西路水汽被热带低压切断,输入到热带低压环流中,再经由热带低压东侧偏南气流向北输送,两支水汽合并加强,700 hPa浙江南面水汽通量中心值加强到 $16 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,500 hPa以下水汽通量都超过 $12 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (图2e)。20日02时(图2c),来自南海的水汽仍全部经由热带低压东侧输送到浙江省上空,而热带低压因为得到

来自西南季风的水汽输送,其强度得以维持和加强,并且华南沿海的水汽通量也比19日14时有所增强。垂直方向(图2f)水汽通量进一步向北向上发展。因此,伴随热带低压北上,两支水汽合并加强是19日浙江大暴雨的重要原因。

3.2 动力、热力条件分析

首先分析一下热带低压登陆后的强度变化情况。19日08时(图3a),热带低压在福建南部登陆,925 hPa中心最低高度是76 dagpm,在浙江南部到江西、湖南为等温线密集的锋区。14时(图3b),热带低压北抬,浙南的锋区略有南压,中低纬两系统靠近,等温线梯度加大。锋区北部为东北气流,锋区南部为偏南气流,在浙南形成了一条切变线,这条切变线加强了低层的辐合上升运动。同时热带低压的中心最低高度变为75 dagpm,到20时(图3c)热带低压的中心最低高度变为74 dagpm,说明这个热带低压在登陆后并没有减弱,反而略微有些加强。垂直速度的变化也能证实这一点,14时500 hPa低压中心附近最大的垂直速度为 $-0.7 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$,20时迅速增大到 $-1.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。20时热带低压继续北抬,冷

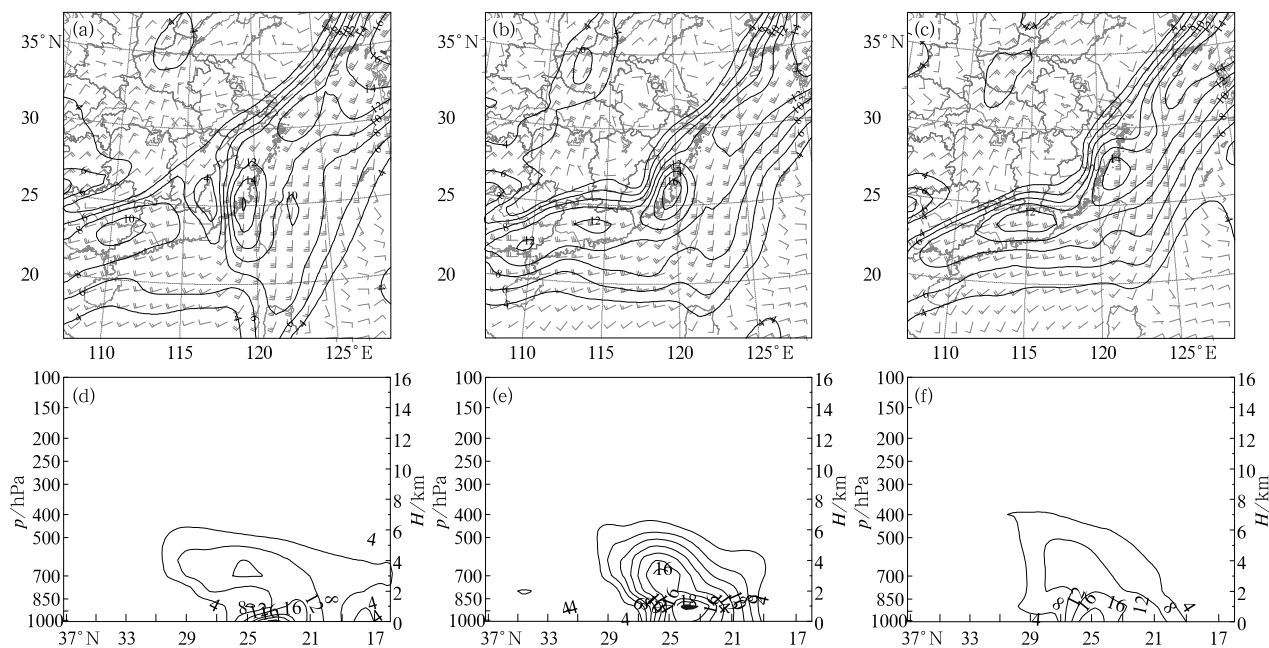


图2 2014年8月19日14时(a, d),20时(b, e),20日02时(c, f)风场和水汽通量(单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) 700 hPa分布(a, b, c)及沿120°E经向垂直剖面(d, e, f)

Fig. 2 Wind field and water vapor flux at 700 hPa (a, b, c; unit: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and vertical cross-section of water vapor flux along 120°E (d, e, f) at 14:00 BT (a, d) and 20:00 BT (b, e) 19 and 02:00 BT (c, f) 20 August 2014

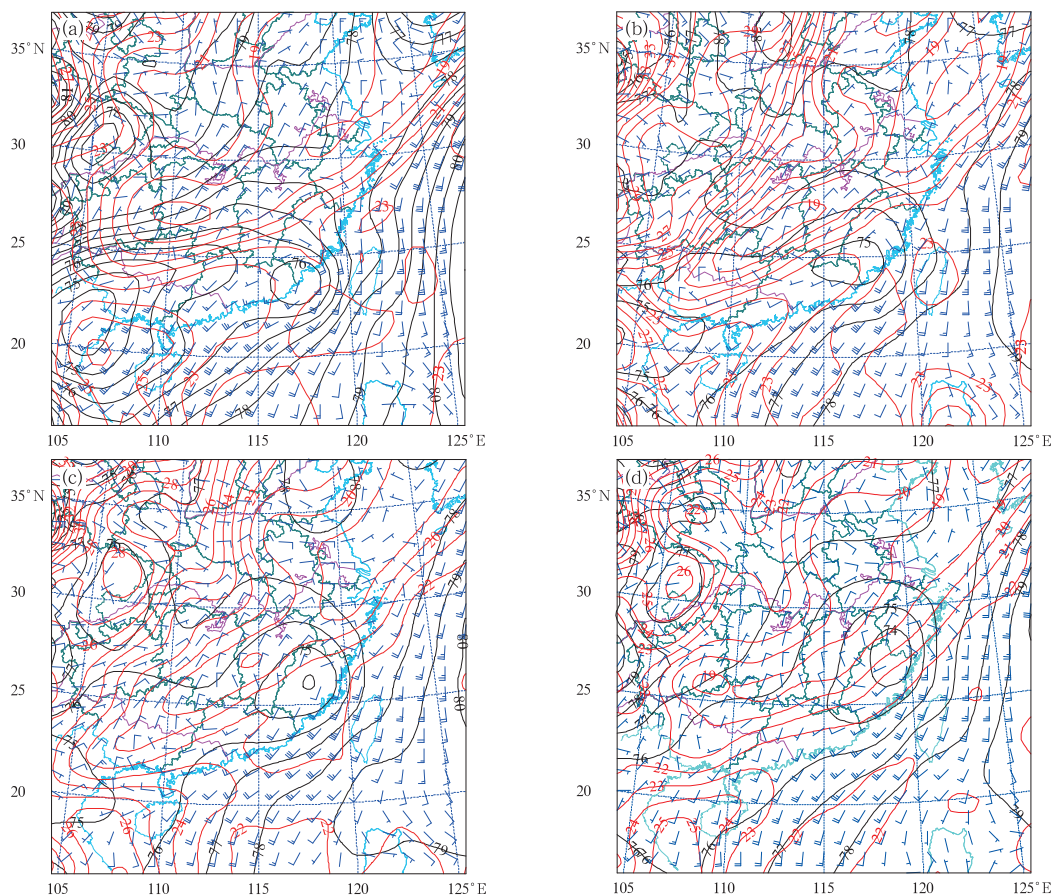


图 3 2014 年 8 月 19 日 08 时(a),14 时(b),20 时(c)和 20 日 02 时(d)925 hPa 高度场(黑色线,单位: dagpm)、温度场(红色线,单位: $^{\circ}\text{C}$)及平均风

Fig. 3 Height field at 925 hPa (black lines, unit: dagpm), temperature field (red lines, unit: $^{\circ}\text{C}$) and wind field at 08:00 BT (a), 14:00 BT (b) and 20:00 BT (c) 19, and 02:00 BT (d) 20 August 2014

锋锋区停滞不动,925 hPa 浙南的切变线仍然维持,850、700 hPa 在浙南没有明显的风向切变,但有明显的风速切变,700 hPa 浙南为偏南风 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,福建北部为偏南风 $14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,所以低层的辐合特别强烈,这是浙南强降水的一个动力条件。20 日 02 时(图 3d),低压中心 $< 74 \text{ dagpm}$ 的范围进一步扩大,已经进入等温线密集的锋区,它的温度水平分布变得不对称,从垂直分布来看,从 925~700 hPa 向西北方倾斜,已经变性为一个温带的低涡了。冷空气与热带低压相遇,导致低层中尺度辐合线长时间维持,是这阶段浙南大暴雨的一个动力原因。

热带低压在登陆后没有减弱,反而略有加强。这主要的原因应该是 500 hPa 华南地区有一支深厚的南支槽,热带低压正处于槽前,有较强的正涡度平流。随着南支槽的东移,福建境内的正涡度平流越来越强,19 日 20 中心达 $28 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$ (图 4a),正好

处于低层低压所在的位置,非常有利于低层低值系统的发展。低压东侧低空的偏南急流到达 27°N 后,遇上冷锋,沿着冷锋前沿上升(图 4b),上升气流一直延伸到 200 hPa 以上。北方冷锋锋区等温线密集,而且陡立,根据湿位涡理论(吴国雄等,1995),在湿位涡守恒的制约下,由于相当位温面的倾斜,大气水平风垂直切变能够导致垂直涡度显著发展,倾斜越大,气旋性涡度越剧烈,这种涡度的增长称为倾斜涡度发展,这使得低压强度维持,并且向西北倾斜,变性为温带低涡。

由于 500 hPa 华东地区一直有一支深厚的西风槽,槽前正涡度平流引起上升运动,而低层(图 3)浙南地区一直有西南气流与偏东气流形成的切变线,产生辐合上升运动,垂直速度沿 120°E 剖面的图上(图 4c)可以看到有两个中心,一个在 30°N 附近,主要在 850 hPa 以上,这是由中纬度系统冷锋引起的,

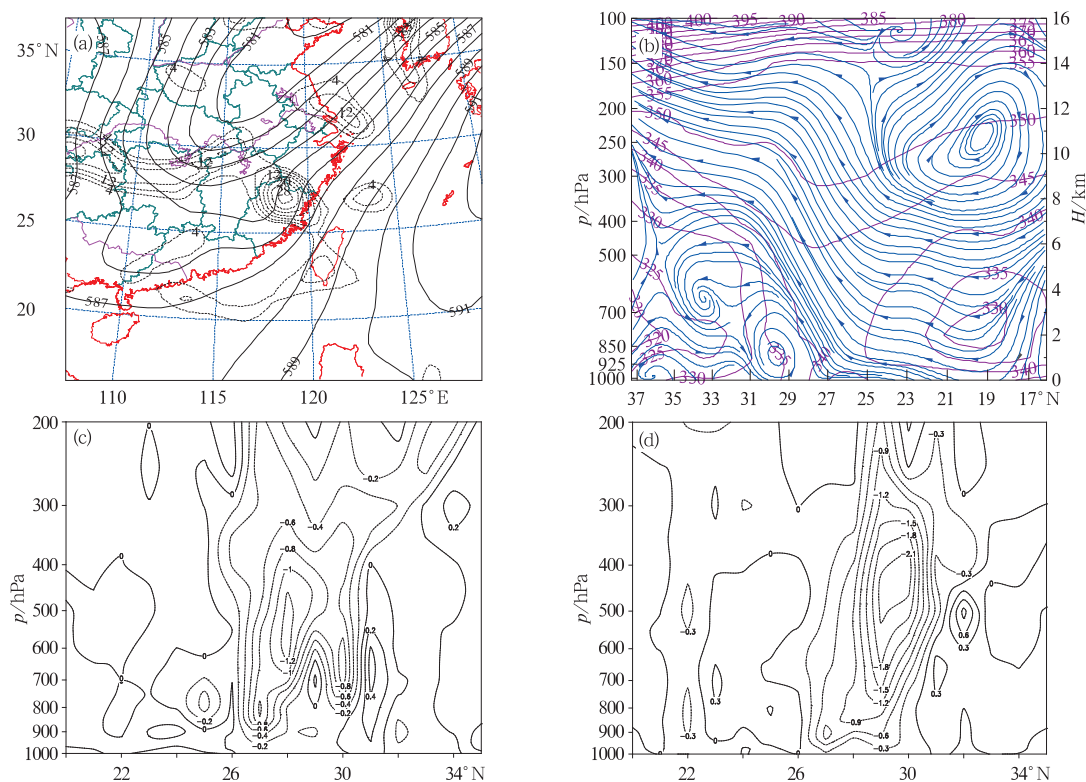


图4 2014年8月(a)19日20时500 hPa高度场(黑实线,单位: dagpm)和涡度平流(虚线,单位: 10^{-10} s^{-2}), (b)20日02时沿 120°E 剖面的流线、假相当位温(单位: K), (c)19日14时和(d)20日02时沿 120°E 剖面的垂直速度(单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 4 Height field at 500 hPa (black lines, unit: dagpm) and vorticity advection (dotted lines, unit: 10^{-10} s^{-2}) at 20:00 BT 19 August (a), profile of streamline and potential pseudo-equivalent temperature (unit: K) along 120°E at 02:00 BT 20 August (b), profile of vertical speed (unit: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) along 120°E at 14:00 BT 19 (c) and 02:00 BT 20 (d) August 2014

一个在 27°N , 位置较低, 这主要是由低层辐合上升引起。随着冷锋南压, 热带低压北上, 这两个中心逐渐靠近合并, 形成一个中心(图4d), 强度大大加强, 达到了 $-2.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$, 高度也伸展到了 400 hPa, 这是非常强的上升运动。

第二阶段的降水也有一些强对流性质的特征, 温州雷达产品显示 19 日下午组合反射率最强回波达 60 dBz, 顶高最高达 15 km, 部分小时雨强达到 50~80 mm。计算 MPV1 诊断不稳定情况。19 日 14 时(图 5a)850 hPa 福建有一负值中心, 达 -0.8 PVU , 是由热带低压形成的不稳定区。19 日 20 时(图 5b)负值中心北抬到浙闽交界处, 说明有不稳定能量向浙南输送, 使浙南的大气层结变得更加不稳定, 有利于对流的发展。而且负值中心北侧 MPV1 梯度很大, 暴雨一般发生在 MPV1 梯度很大的负值

一侧, 浙南正处于这种情况下。

4 第三阶段预报失误原因分析

第三阶段在浙江境内产生的降水整体较弱, 仅 10—12 时在杭州湾附近有暴雨, 局地性较强。舟山台预报 19 日下半夜到 20 日白天有大到暴雨, 实况全市为中到大雨过程, 预报偏大。

当时考虑从 EC 预报的各层形势场和物理量看, 都是预报大到暴雨比较合适。20 日 08 时 500 hPa 东亚大槽进一步南压, 甚至在安徽境内生成一个低涡, 槽前在沿海有一条水汽输送带。700 和 850 hPa 东南沿海有西南急流, 低层热带低压已经变性为温带的低涡, 从浙江西南地区朝东北地区移动, 08 时 850 hPa 在低涡东北方有暖切变影响舟

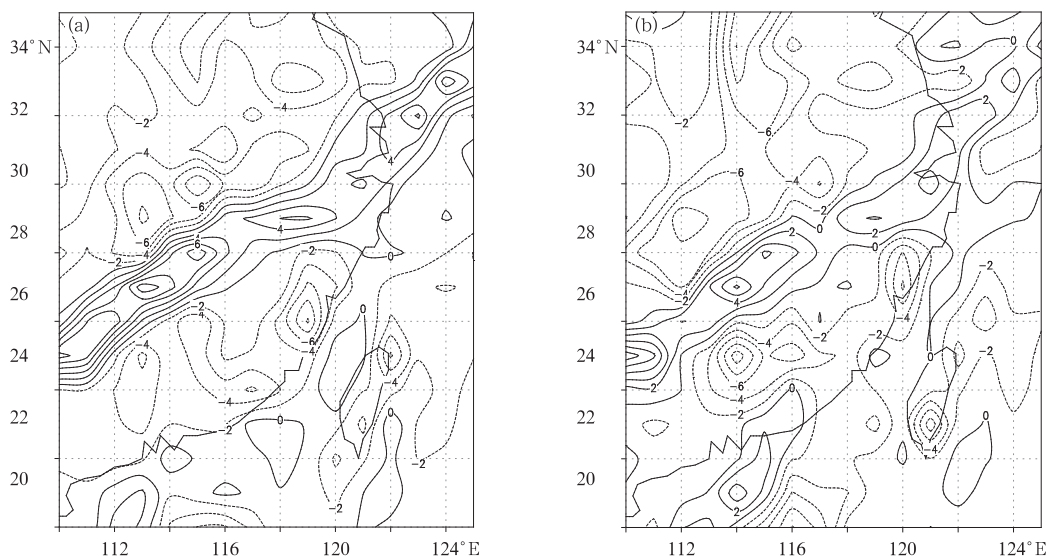


图5 2014年8月19日14时(a),20时(b)850 hPa MPV1 (单位: 10^{-1} PVU)

Fig. 5 The MPV1 at 850 hPa (unit: 10^{-1} PVU) at 14:00 BT (a) and 20:00 BT (b) 19 August 2014

山地区,14时低涡中心到达舟山地区,动力抬升条件依然很好。从物理量场来分析,也有利于强降水,EC预报20日11时舟山的自由对流高度很低,有不稳定能量,CAPE达 $746 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,K指数也达 38°C ,各家数值预报模式的雨量预报也报得比较大。

但实况是强降水的范围较小,位置偏西,仅在杭州湾海面、宁波慈溪、上海南汇、奉贤有暴雨发生,舟山只有中到大雨。分析原因20日热带低压北上后,低层的水汽输送减弱,降水范围减小。在低涡的移动过程中,925 hPa低涡的南面基本上没有降水,降水都在低涡附近或北面,原因可能是因为垂直运动向北倾斜,700和500 hPa的垂直速度中心都在925 hPa低涡的北面。第二个原因低涡移动速度较快,比各家数值预报的都偏快,数值预报低涡下午入海,实际根据地面自动站的气压场和风场分析,10时就在宁波慈溪入海了,并且地面低压入海的位置比数值预报偏西,这样强降水中心位置偏西,降水的时间缩短,所以舟山整体的雨量就小了。热带系统进入西风带后北上的速度往往比数值预报偏快。

5 结 论

对这次暴雨过程分三个阶段分别总结其预报失误原因,可以得出以下结论:

(1) 第一阶段降水主要是由冷锋引起的,但南海热带低压的存在也起了积极的作用,加强西南暖

湿气流输送,使得北方冷空气与西南暖湿气流相遇,产生变形场锋生作用。预报偏小的原因主要是没有注意到热带低压的存在和影响,其次对降水时间的长度也估计不足,没有想到冷锋降水移动如此缓慢。

(2) 第二阶段强降水主要发生在浙南,是由热带低压和冷锋共同作用产生的暴雨,也是最强烈的阶段。水汽主要是由热带低压东侧和南侧的偏南或西南气流输送的。热带低压在福建登陆后,与冷空气相遇,移动缓慢,导致低层在浙南有中尺度辐合线长时间维持。两个系统耦合,产生了强烈的上升运动,低层又有不稳定能量要释放,最终产生了大暴雨。预报偏小的原因是对热带低压的作用估计不足(包括对热带低压环流的水汽输送、动力抬升、不稳定能量估计不足)。

(3) 第三阶段预报偏大的原因主要是数值预报误差较大,热带低压变性北上后,移动速度快,水汽输送减弱,对此预计不足。

总的体会和启发如下:

(1) 暴雨三要素:充足的水汽供应、强烈的上升运动、较长的持续时间。预报员在预报时是比较重视分析前两项,对影响时间的分析不够重视。

(2) 预报暴雨雨量时也应重视分析热力条件,在对流不稳定情况下雨强大,也会导致过程雨量大。

(3) 注意数值预报的订正应用,数值预报的形势场有时也不准确,热带系统进入西风带时移动速度往往比数值预报快,类似的经验要进行总结。

(4) 热带系统和中纬度系统相遇,往往会造成大暴雨,主要原因是两个系统耦合会造成强烈的上升运动,同时两个系统对峙会使强降水区长时间维持在同一个地方,热带系统附带的急流又提供了充足的水汽、能量,所以实际雨量往往会比数值预报更大,这在实际业务中值得注意。

致谢:国家气象中心郑永光教授在绘图上的指导与帮助!

参考文献

- 曹晓岗,王慧,2016.“8·23-24”上海远距离台风大暴雨影响分析[J].气象,42(10):1184-1196.
- 陈联寿,徐祥德,罗哲贤,等,2002.热带气旋动力学引论[M].北京:气象出版社:211-236.
- 陈小芸,黄姚钦,炎利军,2004.台风倒槽局地性强降雨分析[J].气象科技,32(2):71-75.
- 范学峰,吴蓁,席世平,2007. AERE 台风远距离降水形成机制分析[J].气象,33(8):12-16.
- 梁军,李英,张胜军,等,2015.影响辽东半岛两个台风 Meari 和 Mui-fa 暴雨环流特征的对比分析[J].大气科学,39(6):1215-1224.
- 刘晓波,邹兰军,夏立,2008.台风罗莎引发上海暴雨大风的特点及成因[J].气象,34(12):72-78,132.
- 孙力,董伟,药明,等,2015.1215号“布拉万”台风暴雨及降水非对称性分布的成因分析[J].气象学报,73(1):36-49.
- 孙欣,陈传雷,2009.“环高”热带风暴登陆后路径分析及其对辽宁暴雨影响[J].气象科学,29(4):536-540.
- 吴国雄,蔡雅萍,唐晓菁,1995.湿位涡和倾斜涡度发展[J].气象学报,53(4):387-405.
- 项素清,2003.热带低压环流引发的中尺度特大暴雨过程分析[J].气象科技,31(1):38-41,49.
- 谢惠敏,任福民,李国平,等,2016.超强台风丹娜丝对1323号强台风菲特极端降水的作用[J].气象,42(2):156-165.
- 张清华,吴建成,刘蕾,等,2012.热带风暴莲花外围特大暴雨的成因分析[J].气象,38(5):543-551.
- 周福,钱燕珍,朱宪春,等,2014.“菲特”减弱时浙江大暴雨过程成因分析[J].气象,40(8):930-939.