

杭州市由超强台风“利奇马”引起的一次降水天气过程分析

吴卓亨

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都
Email: 1069901189@qq.com

收稿日期: 2020年9月1日; 录用日期: 2020年9月16日; 发布日期: 2020年9月23日

摘要

本文应用台风路径及强度资料和欧洲中尺度天气预报中心ERA-Interim再分析资料对2019年8月10日由台风“利奇马”引起的一次暴雨天气过程进行诊断分析, 结果表明: 中高纬西风槽及西太副高对台风的强度及路径的变化有一定指示作用。从台风前后散度场配置及垂直速度的分析猜测此次台风暴雨主要集中在台风移动方向前侧。暴雨的水汽来源主要为太平洋以及孟加拉湾地区, 充足的水汽供应为此次暴雨过程提供了良好的水汽条件, 高湿度的气柱配合较强水汽辐合是造成杭州地区极端降水的关键。这种明显的动力条件以及水汽条件可为该杭州市台风暴雨预报与防灾减灾提供参考依据。

关键词

台风, 暴雨, 环流形势, 垂直运动, 水汽

Analysis of a Precipitation Weather Process Caused by Super Typhoon Lichma in Hangzhou

Zhuoheng Wu

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: 1069901189@qq.com

Received: Sep. 1st, 2020; accepted: Sep. 16th, 2020; published: Sep. 23rd, 2020

Abstract

In this paper, the path and intensity data of the typhoon and the ERA-Interim reanalysis data are used to diagnose a heavy rain weather process caused by Typhoon “Lekima” on 10 August 2019.

Results showed that the mid-high latitude westerly trough and the West Pacific subtropical high have a certain indication effect on the intensity and path of the typhoon. From the analysis of the divergence field configuration before and after the typhoon and the vertical velocity, it is predicted that the typhoon rain is mainly concentrated in the front side of the typhoon movement direction. The water vapor sources of the rainstorm are mainly the Pacific Ocean and the Bay of Bengal. Sufficient water vapor supply provides good water vapor conditions for the rainstorm process. The high humidity air column combined with strong water vapor convergence is the key to extreme precipitation in Hangzhou. Such obvious dynamic conditions and water vapor conditions can provide a reference basis for typhoon rain forecast and disaster prevention and mitigation in Hangzhou.

Keywords

Typhoon, Heavy Rain, Circulation Situation, Vertical Movement, Water Vapor

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

台风的到来往往会伴随暴雨且是最强的暴雨系统，国内外许多极端降水都和台风的活动有关[1]。我国每年登陆的台风多、受灾重，台风暴雨就是重要的致灾因子之一[2]。学者们从各个方面对台风的发生发展机制进行探讨。陈寿联等将台风环流内的暴雨分5个暴雨落区：眼壁暴雨、小涡暴雨、倒槽暴雨、切变暴雨、螺旋雨带暴雨[3]。研究认为，暴雨的强度与位势不稳定层结、水汽辐合能量、垂直运动和边界层的辐合等有关；而充足的水汽和稳定的水汽输送则是发生暴雨的一个基本条件[4]。REN, *et al.*针对东南沿海的台风暴雨展开特征分析，其认为东南沿海地区极端降水的特征与地形和环境配置等有关，且高低层有利的辐合辐散形势和充足稳定的水汽输送也是台风暴雨产生的重要因素[5]。李英等通过试验，研究水汽输送方向对台风在的维持及所引发的降水的影响，发现通过切断台风环流的水汽输送，能够使台风强度减弱，同时台风暴雨的强度也会显著减小[6]。陈红专等对比分析了两次相似路径的台风造成的暴雨，结果发现暴雨上空有中尺度辐散结构，而在暴雨区东侧出现中尺度气旋性涡旋或地面中尺度辐合区，且有水汽通量的辐合时暴雨强度增强，台风暴雨区往往位于这类区域[7]。

1909号台风“利奇马”的强度位列建国以来登陆浙江的台风强度第三，其行进过程中浙江省普降暴雨，造成巨大的损失。本文从环流形势、垂直速度、水汽条件等产生极端降水的条件来进行诊断分析，以加深对台风暴雨的认识，希望通过本次研究对浙江防灾减灾行动提出参考性的建议。

2. 数据与研究方法

2.1. 数据资料概况

本文采用了日本气象厅(Japan Meteorological Agency, JMA)提供的台风最佳路径和强度资料，下载自http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/route_map/bstv2019.html [8]。

环流数据采用了欧洲中尺度天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)的ERA-Interim [9]再分析资料。时间范围为2019年8月。高度场风场取用了500、700、850 hPa三个层次的再分析资料，垂直速度采用100到1000 hPa每隔100 hPa的10个层次平均再分析资料，涡度和散度以及湿度数据为500、700、850 hPa层次再分析资料，资料的时间点为每日0至18时每六小时四个时段，采用资料的空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 。

2.2. 研究方法

现代天气预报有资料数据量大、数值预报产品丰富等基本特点,因此本文采用了现有的欧洲中心 ERA-Interim 的再分析资料绘图,来对本次过程进行分析研究。绘制过程时段的大气环流形势图和降水过程中杭州市上空垂直速度剖面图及涡度与散度分布图,并绘制水汽通量、水汽通量散度等物理量场图,来对引起暴雨的物理机制进行诊断分析。

其中水汽通量及水汽通量散度需要通过公式计算经纬风场数据及比湿得到,公式分别为:

$$F = \bar{v} \cdot q / g \quad [4] \quad (1)$$

$$A = \nabla \cdot \left(\frac{1}{g} \bar{v} q \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{g} u q \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{g} v q \right) \quad [4] \quad (2)$$

其中(1)为水汽通量的计算公式,(2)为水汽通量散度的计算公式。当水汽通量散度大于零时,水汽通量有辐散的趋势,当水汽通量散度小于零时,水汽通量有辐合的趋势。通过这两个公式的运算可以在一张图上直观地表现出水汽通量与水汽通量散度的分布特征,以此来研究其分布对降水的影响。

3. 台风概况

1909 号台风“利奇马”于 8 月 4 日下午 14 时(北京时,下同)生成,于 6 日 02 时加强,强度达强热带风暴,于 7 号间迅速加强,05 时加强为台风,17 时加强为强台风,23 时加强为超强台风,8 号夜间强度达最强,中心最大风速为 55 米每秒。10 日 01 时超强台风“利奇马”于浙江省台州市温岭城南镇登陆,中心最大风速达 16 级(52 米每秒),为建国以来登陆浙江第三强台风。“利奇马”登陆后,其强度逐渐减弱,移动方向为北偏西方向,从浙江中部穿过后,于 10 日 22 时离开浙江省进入江苏省,继续北上,后经黄海海域于 11 日 20 时在山东省青岛市沿海二次登陆,最后在渤海海面填塞消亡,生命期长达 9 天(路径如图 1) [10]。“利奇马”登陆浙江后在省内移动缓慢,在浙江省内停留时间长达 20 小时,为在浙江滞留时间最长的超强台风。

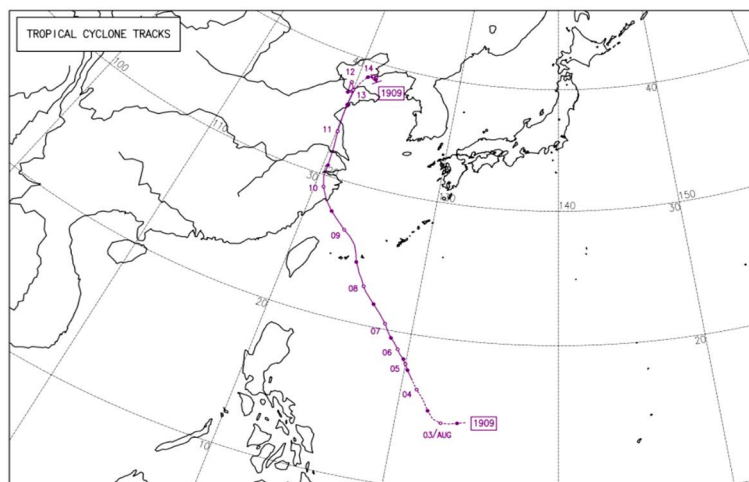


Figure 1. Japan meteorological agency super typhoon “Lichma” track changes map
图 1. 日本气象厅超强台风“利奇马”路径变化图

4. 暴雨过程环流场特征

4.1. 500 hPa 高度场的演变及分析

图 2 为 8 月 9 号、10 号两日 4 个时次的 500 hPa 高度场图,从中可以看出,台风“利奇马”登陆前及

登入后两天亚欧大陆高纬度环流整体呈现“两槽两脊”的环流形势。中低纬度地区除了台风“利奇马”的发展，其东侧还存在有1910号台风“罗莎”，且在“利奇马”和“罗莎”向西北移动并增强强度的过程中，东部槽也随西风带东移，9号08时位于内蒙地区的槽在东移过程中持续向南发展加深，西台副高北侧等高线和西南部的等高线在西风槽东部槽与台风的挤压下变密集，气压梯度加强，导致台风的非对称性结构更加显著，进一步加强台风强度。从以往的经验来看，热带气旋变性过程中，随着西风槽的东移会影响西太平洋副高减弱东撤[11]，但在此次过程中西太副高并未随此减弱东退，反而其脊线的位置略有西伸。

整个过程中台风“利奇马”一直位于西风槽前，有上升气流，也有助于“利奇马”强度的不断加强。在“利奇马”不断东进至浙江登陆的同时也裹挟了大量来自海上的水汽，在较强的上升气流的配合下极易形成降水。

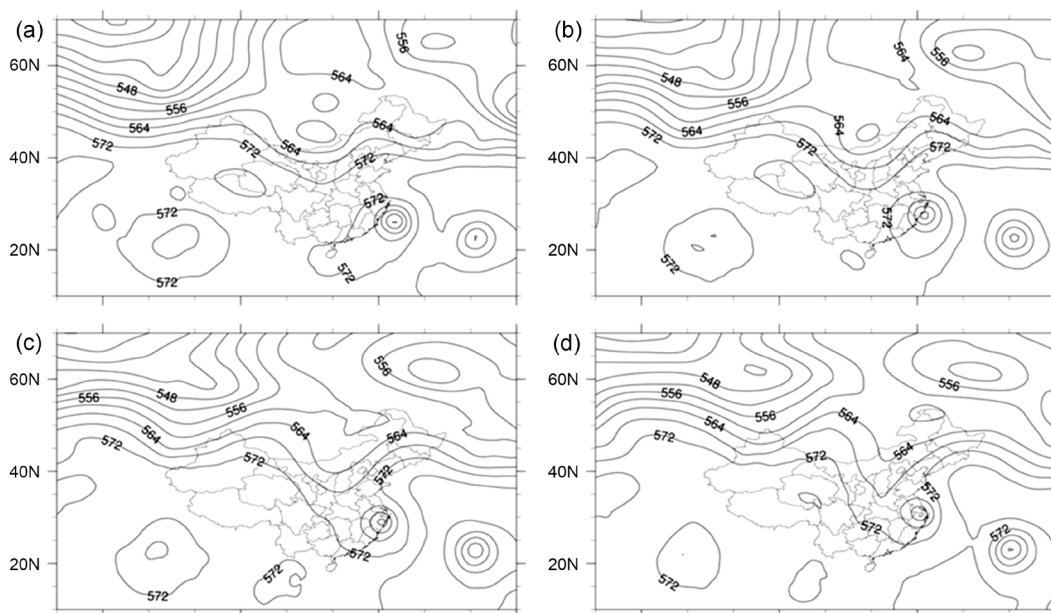


Figure 2. 500 hPa height field, a is 8:00 on the 9th, b is 20:00 on the 9th, c is 8:00 on the 10th, and d is 20:00 on the 10th, the unit is potential shin meter (dagpm)

图 2. 500 hPa 高度场, a 为 9 日 08 时, b 为 20 时, c 为 10 日 08 时, d 为 20 时, 单位为位势什米(dagpm)

4.2. 700 hPa 高度场的演变及分析

图 3 为 8 月 9 号、10 号两日 4 个时次的 700 hPa 高度场图，可以看到 8 月 9 号 08 时 700 hPa 层次高纬内蒙地区有一低槽对应 500 hPa 的低压槽，我国西南方向印度半岛及孟加拉湾地区有一低涡存在，在孟加拉湾地区有上升气流，将孟加拉湾的暖湿气流向高空输送并配合风场向我国输送。9 号 20 时可以看到低槽向南加深，与利奇马引起的低压合并。10 号的高空图中可以看到，在西风槽与低涡合并后，在台风的挤压作用下等高线变密集，台风强度增强。同时也可以看到台风利奇马正持续向西北移动。

4.3. 850 hPa 高度场的演变及分析

图 4 为 8 月 9 号、10 号两日 4 个时次的 850 hPa 高度场图，从中可以看出，亚欧大陆高纬度有三个随着西风环流的作用向东移动且向南加深的低涡中心。低纬度西南反向上的低涡对应了 700 hPa 上的低压中心，说明印度半岛处存在一个较强的气旋，一直向上发展至 500 hPa 层次说明该地区整层具备上升气流。我国东南部太平洋上为两个强的气旋中心，分别为台风“利奇马”与台风“罗莎”对应在 850 hPa

上的低压中心，而由于我国西南地区夏季盛行西南季风，将孟加拉湾的湿热气流向台风的南部输送，同时也带来不稳定能量，使台风的强度持续加强。我国东南地区夏季盛行东南季风，东南季风引导着台风“利奇马”向西北方向移动，并带来较强的降水影响我国东部沿海地区。在图中也可以看到从9号08时至10号20时，台风持续向西北方向移动，但台风“利奇马”在登陆浙江后由于地形的摩擦作用强度有明显的降低，相反仍在海上的台风“罗莎”则持续增强。

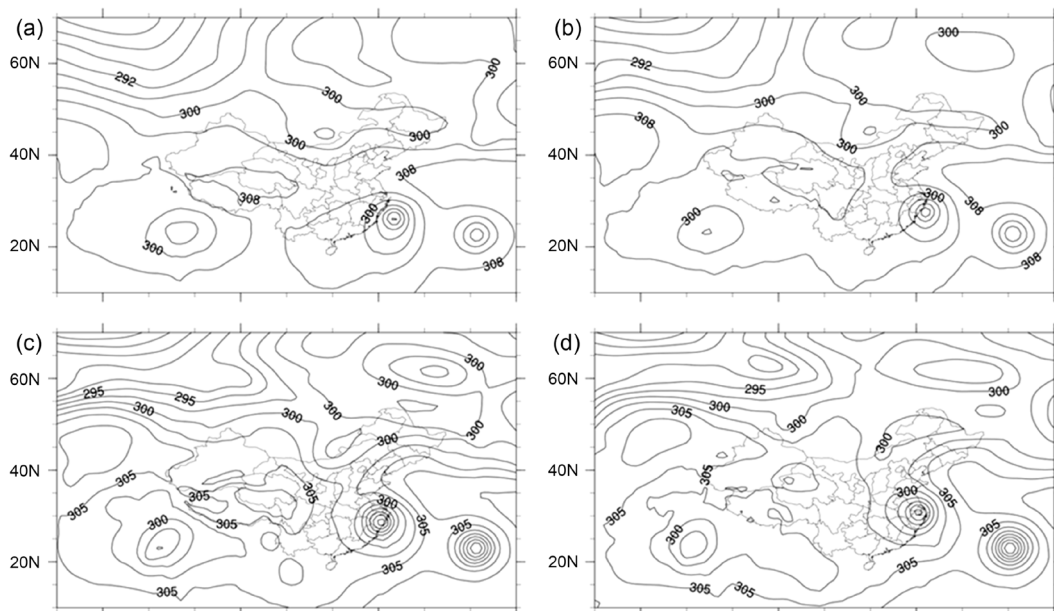


Figure 3. 700 hPa height field, a is 8:00 on the 9th, b is 20:00 on the 9th, c is 8:00 on the 10th, and d is 20:00 on the 10th, the unit is potential shin meter (dagpm)

图 3. 700 hPa 高度场, a 为 9 日 08 时, b 为 20 时, c 为 10 日 08 时, d 为 20 时, 单位为位势什米(dagpm)

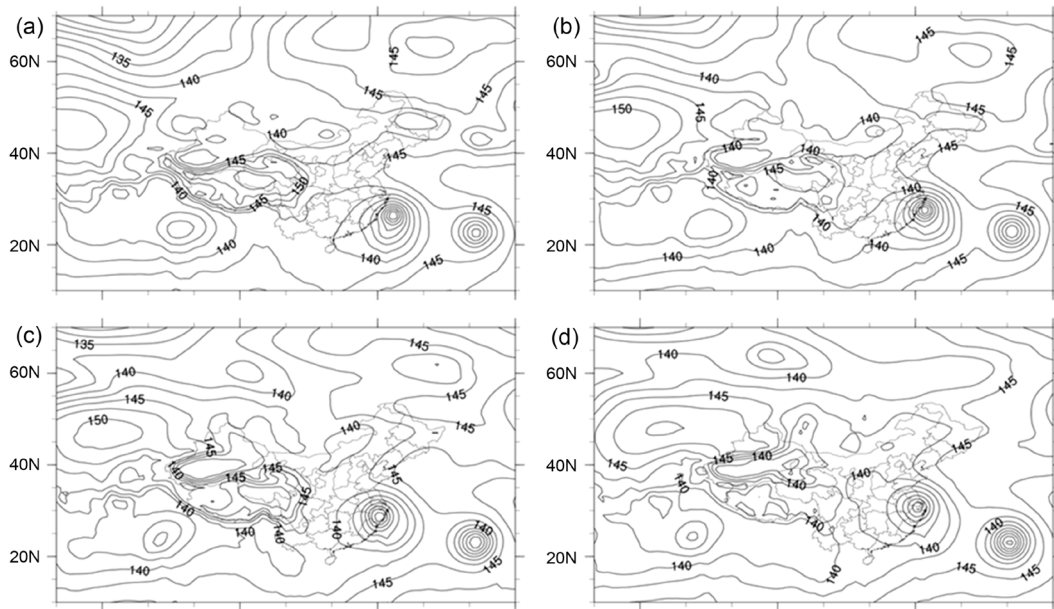


Figure 4. 850 hPa height field, a is 8:00 on the 9th, b is 20:00 on the 9th, c is 8:00 on the 10th, and d is 20:00 on the 10th, the unit is potential shin meter (dagpm)

图 4. 850 hPa 高度场, a 为 9 日 08 时, b 为 20 时, c 为 10 日 08 时, d 为 20 时, 单位为位势什米(dagpm)

4.4. 风场

从图5的8月9号~10号500 hPa风场示意图中可以看到8月9号08时蒙古高原地区存在一大一小两个气旋性低压中心,但强度不高风速较小,气旋的上游为较强的平直西风带,低纬度印度半岛上空为一个较强气旋,气旋南侧有西南方向的急流向东输送,为台风气旋提供不稳定能量,台风“利奇马”的气旋中心仍居于海上,中心风速极大。到9号20时高纬度蒙古高原上的气旋有转化为低槽的趋势,台风“利奇马”即将登陆浙江。至10号08时高纬度低槽彻底转化成低槽影响我国华北及东北地区,台风“利奇马”已经登陆浙江,从风速来看台风强度有所降低。10号20时,台风中心即将离开浙江省,中心风速相对在海上有明显减小,高纬度低槽南伸影响我国华南地区,槽后发展为高脊向北伸至蒙古高原一带。整个天气过程中也可以看到西太平洋副热带高压脊线位于35°N左右,并持续北抬,脊后东南方向的气流也是引导台风“利奇马”向西北方向移动的主要原因。

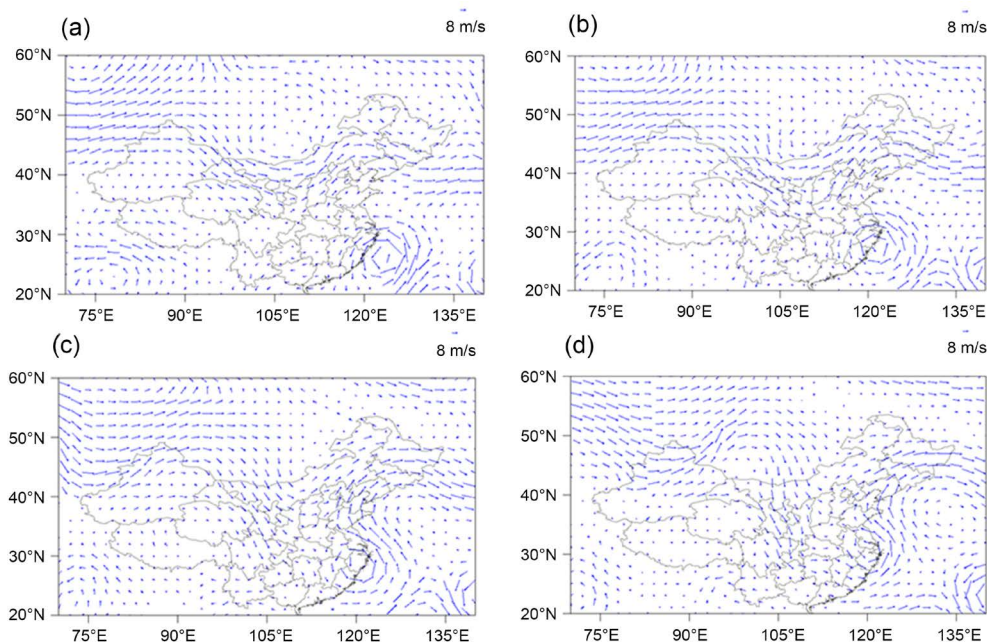


Figure 5. 500 hPa wind field, a is 8:00 on the 9th, b is 20:00 on the 9th, c is 8:00 on the 10th, and d is 20:00 on the 10th
图5. 500 hPa风场, a为9日08时, b为20时, c为10日08时, d为20时

图6,图7分别是8月9号~10号700 hPa和850 hPa上风场示意图。700 hPa上整体的环流形势的演变与500 hPa上基本一致,但台风中心的风速与其他地区的风速差相较500 hPa更大。850 hPa上可以看到印度半岛地区的气旋更为显著,风速的辐合更大,台风中心风速较周边地区也更加明显,内蒙古东部地区一直存在一个低涡,并持续东移。

5. 暴雨有关物理量场相关分析

5.1. 垂直速度分析

从图8杭州市区(130°E, 30°N)8号20时至11号08时上空垂直速度剖面图中可以看出,在8号20时至9号02时杭州市区上空以下沉气流为主,最大下沉速度出现在700 hPa及300 hPa层,而地面为不明显的上升气流。9号早上08时左右,杭州市区上空被上升气流覆盖,而600 hPa及200 hPa层的上升气流更为显著但整体仍不明显,此时超强台风“利奇马”位于海上。9号傍晚05时左右在500 hPa至400 hPa层

之间出现微弱下层气流。到了 10 号凌晨 01 时台风登陆浙江之后，杭州市区近地面至 300 hPa 层之间为明显的上升气流，其中最强的上升气流出现在 10 号早上 06 时 500 hPa 层左右，为此次过程中最强的上升气流。直到 10 号早上 08 时，杭州市区上空的上升气流减弱，且在 400 hPa 以及高空 250 hPa 到 100 hPa 出现微弱的下沉气流，但近地层至中层仍为较强的上升气流。持续到 10 号晚上 08 时上升气流逐渐减弱，低层逐渐转化为下沉气流，高层以下沉气流为主。到晚上 22 时台风离开浙江之后，杭州市区上空气流转为以下沉气流为主，近地层与高层下沉较为明显，最大下沉气流出现在 11 号午后的 850 hPa 层左右。

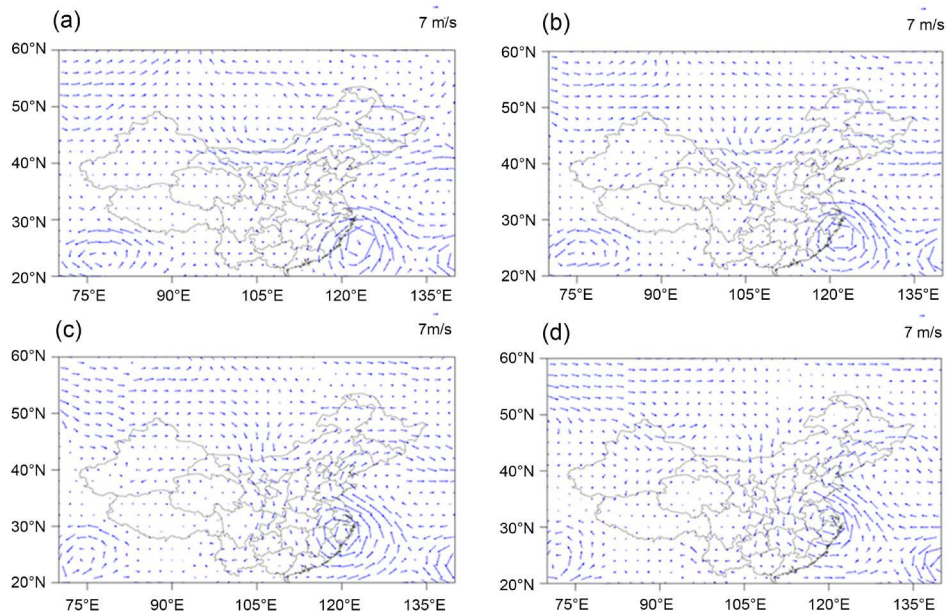


Figure 6. 700 hPa wind field, a is 8:00 on the 9th, b is 20:00 on the 9th, c is 8:00 on the 10th, and d is 20:00 on the 10th
图 6. 700 hPa 风场, a 为 9 日 08 时, b 为 20 时, c 为 10 日 08 时, d 为 20 时

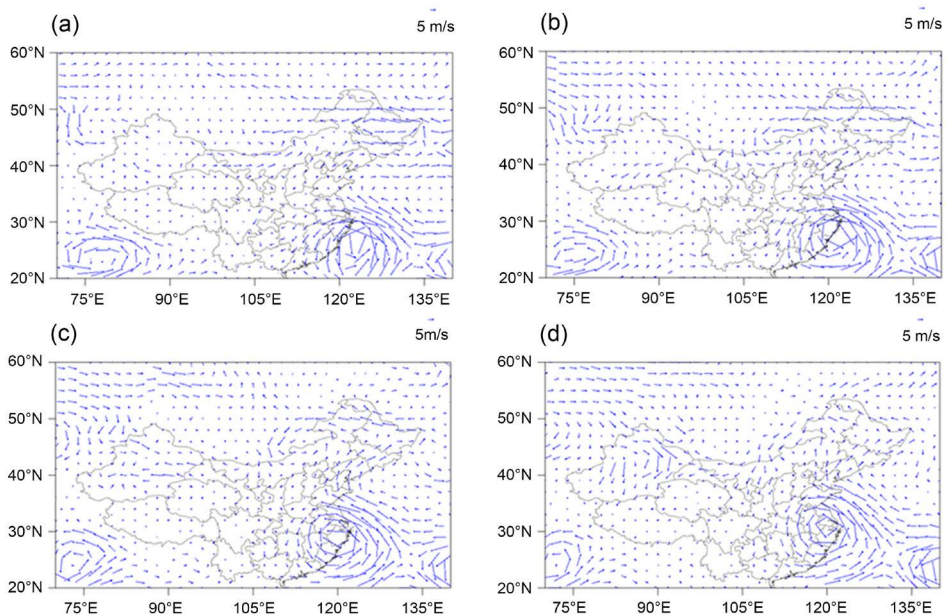


Figure 7. 850 hPa wind field, a is 8:00 on the 9th, b is 20:00 on the 9th, c is 8:00 on the 10th, and d is 20:00 on the 10th
图 7. 850 hPa 风场, a 为 9 日 08 时, b 为 20 时, c 为 10 日 08 时, d 为 20 时

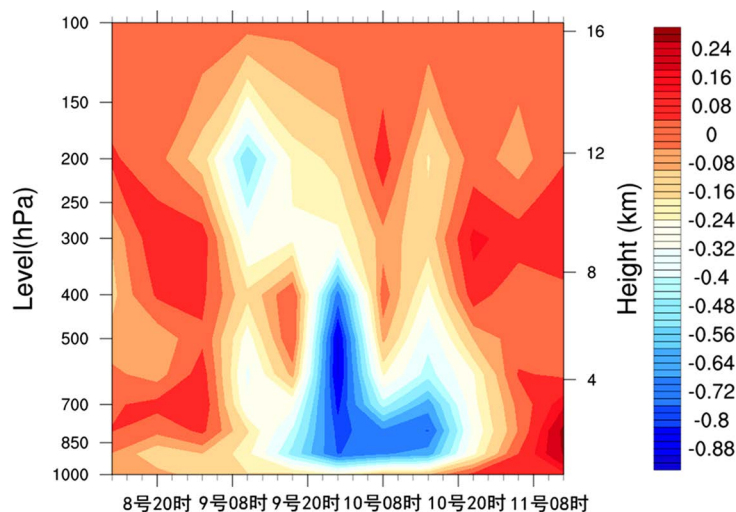


Figure 8. Vertical velocity profile of Hangzhou area (120°E , 30°N), every 6 hours at 20:00 on the 8th to 8:00 on the 11th, in Pa/s
图 8. 杭州市区(120°E , 30°N)垂直速度随时间(8号 20 时至 11 号 08 时每 6 小时)变化剖面图, 单位为 Pa/s

垂直速度剖面图可以让我们直观地看到过程中的对流天气发生的时间及强度。故得出以下结论：强对流天气在 10 号 01 时开始发生，持续至 10 号 20 时，对流天气在 04 时至 09 时达到最强，上升运动在对流性不稳定的大气层结中剧烈发展，激发了深层对流，这为暴雨的生成提供有利的动力条件。20 时以后，对流减弱，降水强度随之减弱。由此可知台风“利奇马”引起的暴雨主要集中在台风前，在台风中心经过杭州之后，降水强度减弱。

5.2. 涡度与散度分析

散度表征了微团相对体积的变化率，从散度场中可以直观地看到局部的气流辐合辐散情况。从图 9

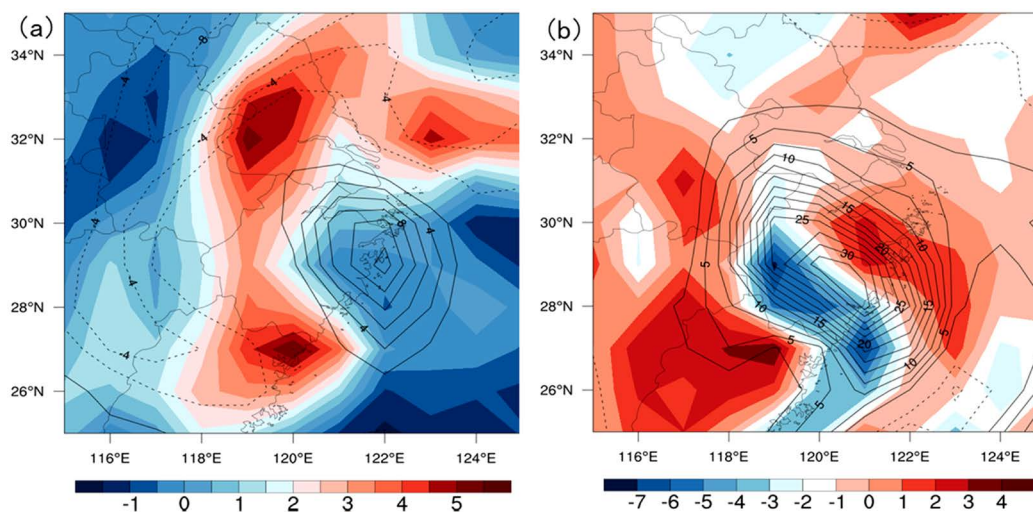


Figure 9. Distribution map of vorticity (contour) and divergence (shadow) at 8:00 on August 10, a is 200 hPa (higher level), b is 850 hPa (lower level), and the unit of divergence is s^{-1}

图 9. 8 月 10 号 8 时涡度(等值线)与散度(阴影)分布图, a 为 200 hPa (高层), b 为 850 hPa (低层), 散度单位为 s^{-1}

和图 10 中可以看出，在 8 月 10 号 08 时 850 hPa 上浙江地区散度一半为负一半为正，浙江西南地区散度为负、东北地区散度为正，其中杭州市与衢州市的交界处出现了散度负值最大中心，最大可达-7，杭州

地区散度平均达到了-2，低层有辐合。且在辐合区偏南福建省境内出现散度正值最大中心，最大散度可达 3，同时辐合区偏北也有较弱辐散区。两个辐散区的配合有助于中心辐合区的气流辐合上升。从同时次的高空(200 hPa)涡度散度分布图中可以看到低层的辐合区位置在高空变成弱辐散区，低层辐合区两侧的辐散区也对应了高层辐散区两侧的强辐合区。垂直结构上的高低层辐合辐散区的配合有助于气流垂直运动，产生强对流天气。由此印证了前面垂直速度分析中发生在 08 时前后的较强的上升运动。

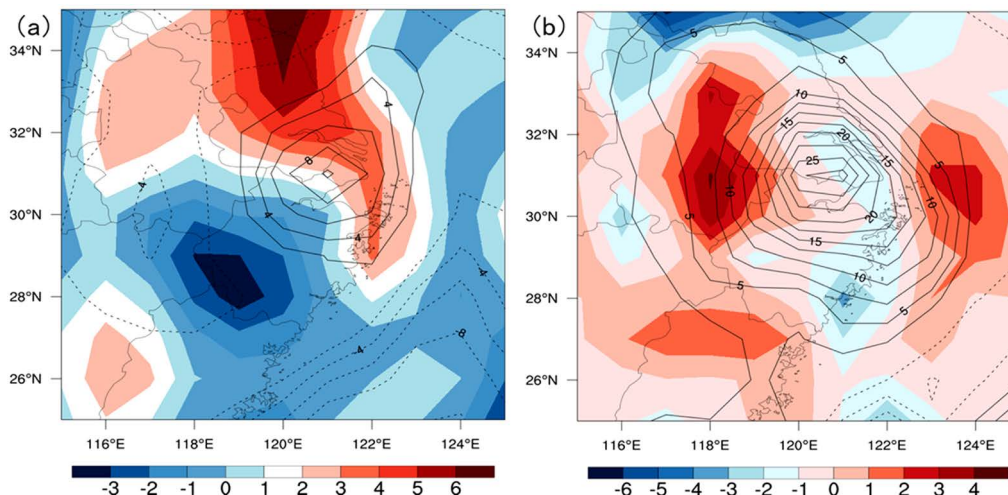


Figure 10. Distribution map of vorticity (contour) and divergence (shadow) at 20:00 on August 10, a is 200 hPa (higher level), b is 850 hPa (lower level), and the unit of divergence is s^{-1}

图 10. 8 月 10 号 20 时涡度(等值线)与散度(阴影)分布图, a 为 200 hPa (高层), b 为 850 hPa (低层), 散度单位为 s^{-1}

到 8 月 10 号 20 时, 台风中心位于浙江北部即将进入江苏省。此时杭州市境内雨势转小, 低层(850 hPa)浙江省境内以较弱的辐合为主, 强度不到-1; 最大的辐散区出现在浙江省周边安徽省内及东海上, 中心强度达 3 以上。高层浙江省境内为较强辐合区, 最大辐合区出现在衢州市中心强度-3 以上。高层强辐合区的存在抑制了浙江境内的对流, 使降水减少。

从涡度的分布来进行分析有以下结论, 8 月 10 号 08 时 850 hPa 上浙江地区整体为正涡度, 正涡度中心位于浙中偏东地区, 而高层 200 hPa 处的正涡度中心明显偏东, 且强度较低、范围较小周边为强度相当的涡度的负值区。这种涡度垂直方向上的分布结构说明气流的上升区域主要在浙东地区, 且不稳定能量较强上升气流明显, 易形成台风云系, 造成强降水。也可以看出台风“利奇马”在高层的涡度分布结构: 台风的东部为正涡度, 西部为副涡度。

5.3. 水汽通量与水汽通量散度分析

水汽条件是产生暴雨天气的重要条件, 以下通过公式计算水汽通量及水汽通量散度, 并将水汽通量与水汽通量散度绘制在同一张图上来观察“利奇马”期间浙江地区水汽通量及水汽通量散度的情况, 有以下结果:

见图 11 及图 12, 在 8 月 10 号 08 时 850 hPa 水汽图中看到, 有大量水汽由台风携带从东海输送至大陆上, 水汽通量有明显的气旋性弯曲。大量的水汽进入浙江地区, 浙江大部分, 尤其在偏西南地区是水汽通量的汇。除了宁波、绍兴地区, 浙江各市水汽通量散度都为负, 最大负值中心在杭州南部及衢州地区, 有水汽通量的辐合, 杭州市上空水汽十分充沛。08 时 700 hPa 上, 浙江北部(台风中心前部, 比较靠近中心)为一个较大的水汽辐散区, 但台风气旋的外围任为较强的水汽辐合区。与 850 hPa 的辐合中心对比, 700 hPa 的水汽辐合中心分为了两部分, 偏南的较强的一部分处于浙江南部福建境内, 偏北的一部分

位于安徽境内。以上分析说明在 08 时，水汽的辐合主要是在 850 hPa，与较强的上升气流配合，可使水汽抬升凝结，形成降水。

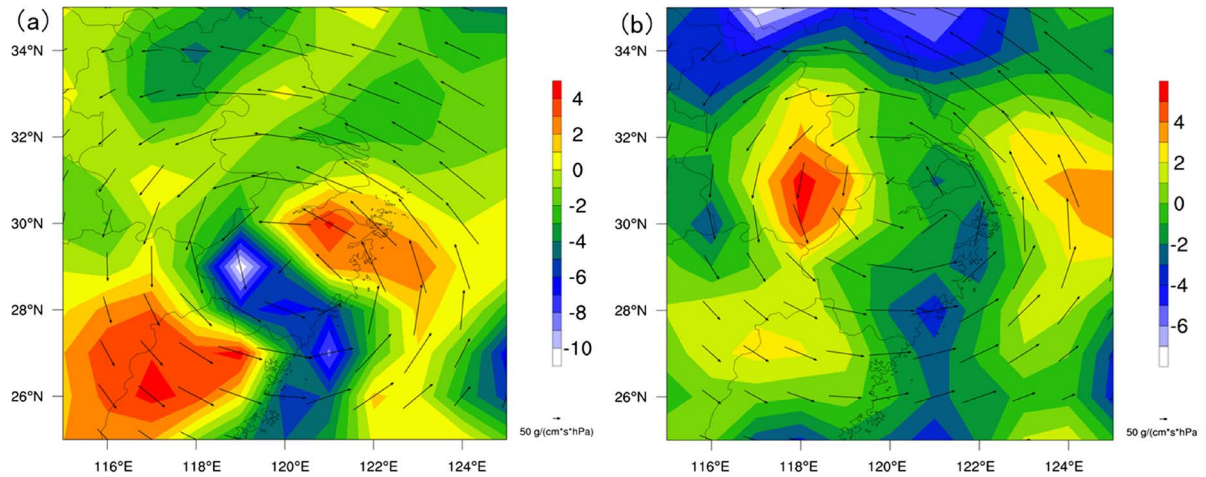


Figure 11. 850 hPa water vapor flux (arrow) and water vapor flux divergence (shadow) distribution map, a is 8:00 on the 10th, b is 20:00 on the 10th, the unit of water vapor flux divergence is s^{-1}

图 11. 850 hPa 水汽通量(箭头)和水汽通量散度(阴影)分布图, a 为 10 号 08 时, b 为 10 号 20 时, 水汽通量散度单位为 s^{-1}

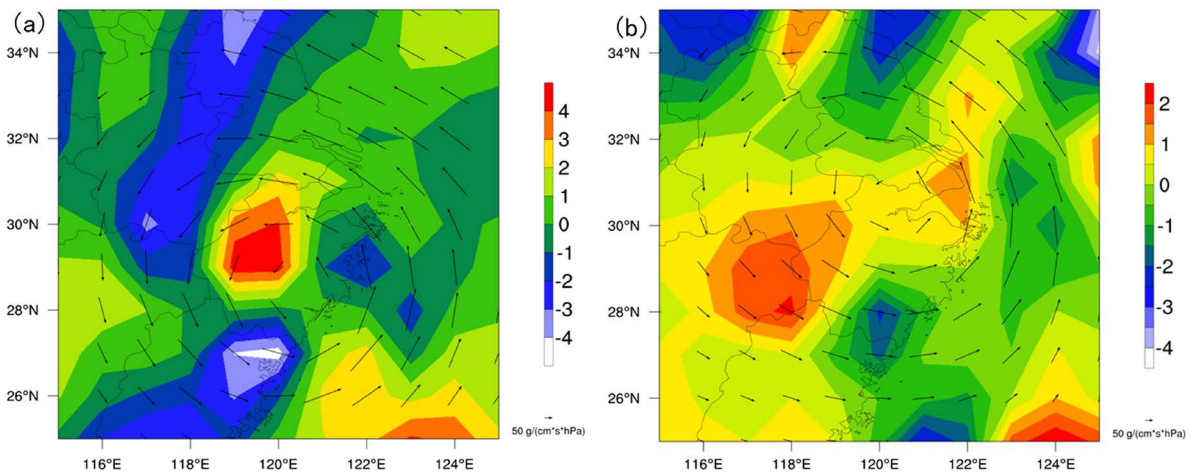


Figure 12. 700 hPa water vapor flux (arrow) and water vapor flux divergence (shadow) distribution map, a is 8:00 on the 10th, b is 20:00 on the 10th, the unit of water vapor flux divergence is s^{-1}

图 12. 700 hPa 水汽通量(箭头)和水汽通量散度(阴影)分布图, a 为 10 号 08 时, b 为 10 号 20 时, 水汽通量散度单位为 s^{-1}

8 月 10 号 20 时 850 hPa 水汽图上, 水汽通量的气旋性弯曲依旧很明显, 水汽通量的汇移至浙江东南部, 浙江整体水汽辐合较弱。杭州地区上空的水汽通量很小, 甚至在杭州的西北部分地区出现水汽的辐散。而到 700 hPa 层上, 浙江地区的水汽辐合更弱, 从浙江东南部向西北部出现水汽汇合的递减, 浙江西北部更多的地区出现了水汽的辐散。只有在浙江南部沿海地区仍有较大的水汽辐合。综上所述在 8 月 10 号 08 时, 杭州地区的水汽通量较大, 是水汽通量的汇。水汽通量辐合主要发生在 850 hPa 层次上, 水汽配合上升气流抬升凝结, 形成暴雨。至 20 时, 杭州地区的水汽通量明显减少, 随着台风经过, 降水持续但降水强度有所减小。

结合图 13 以及台风“利奇马”的行进情况及结构来看。水汽通量以台风中心为中心的呈环状分布，在 10 号 08 时时水汽输送强度的分布为西多东少，20 时时东侧的水汽输送更多。从图中可以看到台风东北侧是台风与副热带高压作用产生的东南风急流，该急流是台风北侧的水汽输送的主要来源。而在台风南侧的水汽则来自南海乃至孟加拉湾地区。两个水汽输送通道的维持以及共同作用为利奇马产生的强降水提供了有利的水汽条件。

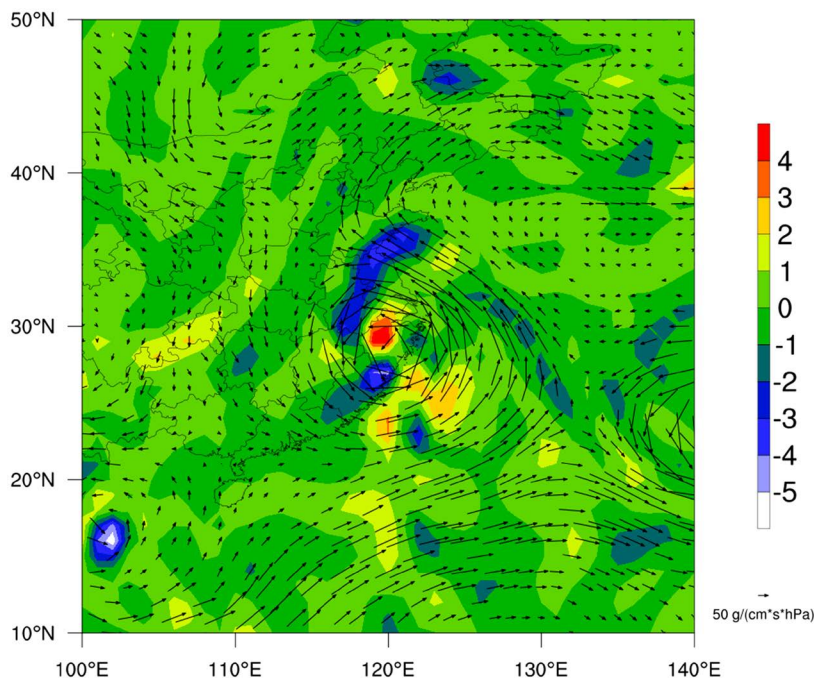


Figure 13. Distribution map of 700 hPa water vapor flux (arrow) and water vapor flux divergence (shaded) at 8:00 on the 10th (110°E - 140°E, 10°N - 50°E), the unit of water vapor flux divergence is s^{-1}

图 13. 10 号 08 时 700 hPa 水汽通量(箭头)和水汽通量散度(阴影)分布图(110°E~140°E, 10°N~50°E), 水汽通量散度单位为 s^{-1}

从图中可以发现水汽辐合中心和水汽输送中心并不一致。水汽辐合中心强度从低层往高层递减，且辐合主要集中在台风中心的西北侧。对比实时降水数据发实际暴雨落区大致为 850 hPa 水汽通量的辐合的大值区，这表明强降水的发生需要有较好的水汽输送条件，而极端降水则还需要配合更强的水汽辐合区，强水汽辐合配合局部较好的水汽条件才能造成极端降水。

6. 结论

综合上述对 2019 年 8 月 10 日台风“利奇马”引发的暴雨天气过程期间高空环流形势的分析和暴雨过程中各物理量的分析得到以下结论：

- (1) 依据外推法推测未来的天气形势，可以根据未来的天气形势的变化来粗略判断未来台风强度的变化，并可通过西台副高的状况大致推测台风的移动方向；
- (2) 垂直速度与涡度散度能直观地看到对应地区高空是否存在较强的上升气流，低层辐合高层辐散的环流配置有助于产生强上升气流，而上升气流与极端降水有较直接的关系；
- (3) 水汽通道的维持是形成极端降水的必要条件，同时可通过寻找水汽通量的大值区与水汽通量的汇来粗略判断台风暴雨落区，以此在台风来之前做好防灾准备。

基金项目

本文受到都信息工程大学引进人才科研启动项目(KYTZ201736)和成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019047)的资助。

参考文献

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [2] 陈联寿, 徐祥德, 罗哲贤, 等. 热带气旋动力学引论[M]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [3] 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.
- [4] 朱乾根. 天气学原理和方法[M]. 第3版. 北京: 气象出版社, 1992.
- [5] Ren, F.M., Wang, Y., Wang, X., *et al.* (2007) Estimating Tropical Cyclone Precipitation from Station Observations. *Advances in Atmospheric Sciences*, **24**, 700-711. <https://doi.org/10.1007/s00376-007-0700-y>
- [6] 李英, 陈联寿, 徐祥德. 水汽输送影响登陆热带气旋维持和降水的数值试验[J]. 大气科学, 2005, 29(1): 91-98.
- [7] 陈红专, 叶成志, 唐群, 等. 2013 年影响湖南的两次相似路径台风暴雨对比分析[J]. 气象科学, 2016, 36(4): 537-546.
- [8] Kunitsugu, M. (2012) Tropical Cyclone Information Provided by the Rsmc Tokyo—Typhoon Center. *Tropical Cyclone Research and Review*, **1**, 51-59.
- [9] Berrisford, P., *et al.* (2011) The ERA-Interim Archive. 2nd Edition, Shinfield Park, Reading, ECMWF.
- [10] 娄小芬, 马昊, 黄旋旋, 等. 台风“利奇马”造成浙江极端降水的成因分析[J]. 气象科学, 2020, 40(1): 78-88.
- [11] 卓鹏, 王举, 黄泓, 等. 台风“卢碧”变性增强过程的诊断研究[J]. 气象科学, 2018, 38(3): 310-319.