

# 浙江一次梅雨期强降水过程的诊断分析

郑一灵

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

Email: zhengylelaine@163.com

收稿日期: 2020年9月7日; 录用日期: 2020年9月20日; 发布日期: 2020年9月27日

## 摘要

利用亚洲地区地面气象台站常规气象资料、NCEP/NCAR和ECMWF再分析资料, 分析2019年7月8~14日浙江地区梅雨期暴雨的特征和成因。结果表明: (1) 2019年浙江地区梅雨的主要特点为暴雨过程频繁、强降水区重叠、“冷黄梅”明显。(2) 降水区呈明显的东西带状分布, 为典型的梅雨锋暴雨降水分布特征。(3) 稳定的环流形势, 急流和高空辐散场的维持, 东亚大槽的发展, 活跃的短波槽和低空切变线系统, 为浙江地区的持续降水提供了有利条件。明显的水汽辐合中心, 假相当位温锋区, 降水区存在不稳定性。水汽条件、涡度等动力热力条件均有利于暴雨的发生。

## 关键词

梅雨期, 强降水, 动力条件, 热力条件, 诊断分析

# Diagnostic Analysis of a Heavy Rainfall Process in Zhejiang Province during Meiyu Period

Yiling Zheng

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Email: zhengylelaine@163.com

Received: Sep. 7<sup>th</sup>, 2020; accepted: Sep. 20<sup>th</sup>, 2020; published: Sep. 27<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

Based on the conventional meteorological data of ground meteorological stations, reanalysis data of NCEP/NCAR and ECMWF, analyzes the characteristics and causes of Meiyu rainstorm in Zhejiang from July 8 to 14, 2019. The results show that: (1) In 2019, the main characteristics of the Meiyu

are frequent rainstorm, overlapping of heavy rainfall areas and obvious cold Huangmei in Zhejiang province. (2) Large-scale rainstorm processes are obviously East-West zonal distribution, which is a typical distribution feature of Meiyu Front Rainstorm. (3) Circulation field shows that the stable circulation situation, the maintenance of jet stream and high-altitude divergence field, the development of East Asian Trough, the active short wave trough and low-level shear line system provide favorable conditions for the continuous precipitation in Zhejiang Province. There are obvious convergence centers of water vapor, high value area of pseudo equivalent potential temperature field, and instability in precipitation area. The dynamic and thermal conditions, such as water vapor and vorticity are favorable for the occurrence of rainstorm.

## Keywords

Meiyu Period, Heavy Rainfall, Dynamic Conditions, Thermal Conditions, Diagnostic Analysis

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

### 1.1. 研究背景

梅雨期暴雨的持续时间长, 降水强度大, 影响范围广, 一直是气象学界关注的焦点之一。在全球变暖的环境下, 不同时空, 不同天气背景下的梅雨锋暴雨形成发展机制各异, 且更加复杂。极端降水的发生导致洪涝灾害风险的增加, 并给长江流域及以南的地区均带来了较大的损失。1998年, 我国长江流域发生了20世纪以来最大的洪水; 2006年附件地区受碧昂丝台风影响, 产生维持5天之久的大暴雨。

暴雨是影响我国的主要气象灾害之一, 由于各地降水和地形条件的差异, 不同类型降水的影响差异较大, 而梅雨期暴雨是我国长江中下游地区夏季的主要灾害之一。梅雨期降水是欧亚地区中高纬度环流系统和东亚夏季风系统相互作用的结果, 因而梅雨期降水既受到中高纬度环流系统及冷空气活动影响, 也受到低纬度环流系统的影响。梅雨期暴雨的进一步研究, 对梅雨期暴雨预报预警及防震减灾仍有着科学深远的意义。

### 1.2. 研究现状

我国是东亚著名的季风气候区, 幅员辽阔, 地形复杂, 各地降雨量的分布极不均匀。丁一汇的研究表明中国东部地区受东亚各季风系统和高中纬环流的影响, 是中国降水量多、洪涝灾害严重的地区[1]。顾薇和胡娅敏的研究表明我国东部的降水主要集中在夏季, 但中国东部地区南北跨度大降水的地域性差异也很大[2] [3] [4], 因此降水的多少不能完全反应雨带的移动规律, 夏季雨带分布是气候研究的重要课题之一。对于梅雨期暴雨的形成、维持和演变, 国内外学者已经做了许多有意义的研究, 例如梅雨的开始和结束与南支西风急流北跳过程密切相关[5], 以及对大气环流变化与梅雨锋的关系研究[6]。有关我国暴雨往往发生于高空西南急流右后方[7], 而将长江中下游梅雨锋低涡扰动分为两类: 第一类形成于高原的东侧, 并逐渐沿着梅雨锋向东边移动, 直至到达我国的长江中下游地区; 第二类暴雨是在动力、热力条件相互配合, 从而在梅雨锋上产生低涡, 移动比较缓慢。这类低涡对于强暴雨的行程具有非常重要的作用[8]。牛若芸等研究了梅雨异常期间的大尺度环流, 他们发现: 位于对流层的

高层、中层以及低层的多个尺度环流系统相互配合，最终会对江淮梅雨造成直接或者间接的影响[9]。封国林等对 2011 年的梅雨期长江中下游地区旱涝急转进行了成因分析[10]。夏季东亚西风带的南缘和副热带高压的脊线之间的地区最容易产生暴雨，因此监测副高的北进西伸以及西风带南缘的位置，是做好强降水预报的重要步骤[11]。陶诗言等则研究了 1998 年 7 月长江流域洪涝灾害的气候背景以及大尺度环流条件[12]。

以往的梅雨期降水研究主要集中在西南低空急流、西北太平洋副热带高压、SST、ENSO、副热带西风急流等低纬度系统的研究。但中高纬度阻塞高压也是维持梅雨降水的主要因素[13]，中高纬度阻塞高压是中高纬大气环流系统的重要组成部分。有研究表明，乌拉尔山阻塞高压和鄂霍次克海阻塞高压对我国梅雨的影响不可忽略，梅雨期间的降水量、梅雨期长度等于鄂海阻高出现的频率、维持天数有关。此外，每年梅雨期东北冷涡越多，降水量可能越多[14][15]。东北冷涡的发生和发展一方面促进中高纬度冷空气南下；一方面在增强南亚的过程中会诱发西南低空急流并携带大量北上的暖湿气流，冷暖气流交汇处有利于梅雨锋的形成，导致梅雨降水产生[16]。以及关于灾害性暴雨也已经有了许多研究，比如地形对暴雨机制的影响[17][18]，暴雨预报天气模式的应用[19]。

前人的研究还表明，梅雨降水的产生一方面与副热带急流的变化有关，一方面与温带急流有密不可分的关系；即，中高纬度系统和低纬度系统的协同作用是梅雨降水产生的关键，急流的季节内转换与东亚夏季风有关。梅雨雨带形成和维持与副热带急流造成的大尺度环境也存在一定关系，梅雨期间，副热带急流核有明显的东西向移动。梅雨期东亚地区的大尺度环流具有显著的独特性，对流层低层，有来自中南半岛、南海、西北太平洋和孟加拉湾的西南暖湿气流；对流层中层，西北太平洋副热带高压西北推进到欧亚大陆，副高脊线稳定维持在  $20^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$ ；对流层高层， $37^{\circ}\text{N}$  处有强西风带，这样的配置影响并控制了梅雨期降水。梅雨降水是南方北上的暖湿气流与北方南下的冷空气辐合的产物，只有东亚地区高低纬系统间频繁复杂的相互配合和共同作用才能产生梅雨期降水。

### 1.3. 研究意义

每年的梅雨期降雨都会受到不同环流背景的影响，东亚高空急流的不同配置及其气候影响对梅雨降水有着不可忽视的作用；梅雨期主要影响因子的不同也给预报及预警带来难度。梅雨季天气的异常，与受影响地区的旱涝灾害直接相关，对当地经济发展和人民生活都有重要影响，探究梅雨期暴雨的成因、影响条件、变化规律有助于提高对梅雨期暴雨的科学认识和预报水平，特别是对该地区的防灾减灾能力的提高有着重要的作用。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 资料概况

本文所用资料包括：

(1) 2019 年 7 月 8 日至 14 日亚洲地区地面气象台站的常规气象资料，使用 12 小时观测的站点资料，包括高空及地面观测资料，涉及到的物理量有：降水量，位势高度，温度及风场。

(2) 2019 年 7 月 12 日至 14 日美国国家环境预报中心和国家大气研究中心(NCEP/NCAR)提供的全球 NCEP/NCAR Reanalysis 1 逐日再分析资料[20]，空间分辨率为  $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ ，垂直方向从 1000~300 hPa 共 8 层等压面。涉及到的物理量包括：温度，位势高度，相对湿度及大气可降水量。

(3) 2019 年 7 月 12 日至 14 日欧洲中期天气预报中心(ECMWF)提供的 ERA Interim 的一日四次再分析资料[21]，空间分辨率为  $0.75^{\circ}\times 0.75^{\circ}$ ，垂直方向从 1000~100 hPa 共 10 层等压面。涉及到的物理量包括：位势高度，温度，风场，相对湿度，散度，涡度等。

## 2.2. 研究方法

本文主要使用动力学分析以及天气学诊断的方法对浙江地区 2019 年 7 月 8 日至 14 日, 主要是 12 日至 14 日的梅雨期暴雨个例进行环流背景分析以及中尺度特征分析揭示此次梅雨期暴雨的特征和成因。首先对比此次梅雨暴雨期间浙江地区 24 小时的降水量分布, 分析得到整个强降水过程及各个时段的降雨特点; 再结合 200 hPa, 500 hPa 以及 850 hPa 的高度场, 风场, 温度场等物理量的环流形势得出此次暴雨过程的大尺度变化特征。最后利用能够反映此次梅雨暴雨过程的水汽、热力、动力情况的涡度、水汽通量散度、假相当位温等物理量进行具体分析比较。

关于使用的物理量的计算方法, 散度  $D(\text{s}^{-1})$  为:

$$D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad (1)$$

涡度  $\zeta(\text{s}^{-1})$  为:

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2)$$

当用符号  $\nabla_p(Vq/g)$  表示水汽通量散度, 单位为  $10^{-5} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 有:

$$\nabla_p(Vq/g) = \frac{\partial}{\partial x}(uq/g) + \frac{\partial}{\partial y}(vq/g) \quad (3)$$

这里风速  $V$  为向量,  $q$  为比湿,  $u, v$  为  $x$  轴,  $y$  轴方向风分量。假相当位温  $\theta_{se}(K)$  为:

$$\theta_{se} = T \times \exp \left[ 0.28586 \times \ln \frac{1000}{P} + \frac{2500 \times q}{338.52 - 0.24 \times T + 1.24 \times T_d} \right] \quad (4)$$

其中  $P$  为压强,  $T$  为温度,  $q$  为比湿,  $T_d$  为露点温度。

## 3. 环流背景分析

### 3.1. 降雨实况

浙江地面台站的历年监测资料表明, 浙江地区梅雨季的多年平均降水量为 301 mm, 而 2019 年同期降水量高达 451 毫米, 比多年均值高出约 50%。自浙江 2019 年 6 月 17 日入梅的一个月内, 浙江地区的平均降水量比多年同时期降水量高出 115%, 一度达到浙江地区的历史降水最高值。比常年入梅(6 月 10 日)偏晚, 出梅(7 月 10 日)偏迟, 梅期 30 天, 与常年持平。梅雨期间共出现了七次较大范围的暴雨过程, 分别出现在 6 月 17 日至 19 日、6 月 20 日至 22 日、6 月 25 日至 26 日、6 月 30 日至 7 月 1 日、7 月 3 日至 5 日、7 月 7 日至 9 日、7 月 12 日至 14 日, 浙北南部、浙中以及浙南北部是强降雨的重叠区域。梅雨期间, 气温总体偏低, 6 月 17 日至 7 月 16 日全省平均气温 24.9℃ 较历史同期偏低 1.9℃, 为 1999 年以来最低。全省的平均最高气温为 28.3℃, 比历史同期气温均值低 2.9℃, 这是 1999 年以来的历史最低值。此次梅雨期主要特点是暴雨过程频繁、强降雨区域重叠、“冷黄梅”特征明显。7 月上旬的降水集中在浙江中南部地区。由图 1, 7 月 8 日至 7 月 14 日一周的降水量集中在浙江北部及浙江西部地区, 衢州、杭州以及金华等地降水较强。在全省范围内, 平均降水量超过 200 mm 的有 10 个县(市、区), 其中, 7 个乡镇(街道)的累计降水量甚至超过了 300 mm, 强降水中心在江山双塔街道, 降水高达 385 mm。浙江省的一周平均降水量为 145 mm, 此次梅雨总量较大, 是同时期的多年平均降水量的 340%。



浙江省2019年7月8日-7月14日平均降水量

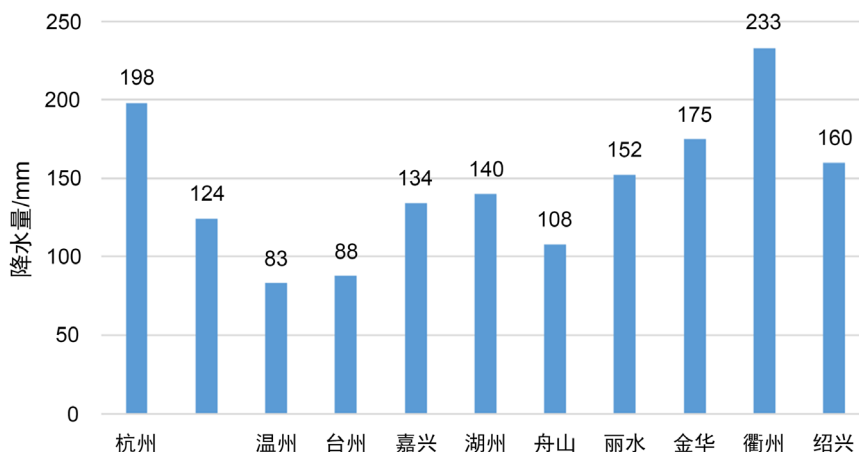


Figure 1. Average rainfall of Zhejiang Province from July 8 to July 14, 2019 (unit: mm)  
图 1. 浙江省 2019 年 7 月 8 日至 7 月 14 日平均降雨量(单位: mm)

如图 2, 7 月 7 日至 9 日降水集中在浙江南部及中部地区。如图 3 和图 4, 7 月 12 日至 14 日降水集中在浙江中北及浙江西南地区的衢州、杭州、嘉兴、丽水、金华、台州、温州西部等地。从 12 日上午开始, 降雨首先从浙江北部发展起来。12 日 08 时至 13 日 08 时, 浙江全省平均雨量 28.8 mm, 其中杭州 83.1 mm, 湖州 80.2 mm。共有 27 个县(市、区)累计雨量超过 50 毫米, 最大临安 112 毫米; 共有 55 个乡镇(街道)超过 100 毫米, 单站最大开化齐溪镇钱江源 203 毫米、淳安姜家镇双溪村 172 毫米。12 日 08 时至 14 日 08 时, 近 24 小时全省平均雨量 37.6 毫米, 县区平均雨量较大的有开化 90.2 毫米, 桐庐 89.2 毫米, 柯桥区 88.2 毫米。有 450 个乡镇超过 50 毫米, 53 个乡镇超过 100 毫米, 单站最大出现在开化华埠镇花卉公园 135.3 毫米。14 日晚至 15 日上午仍有部分地区有较大降雨。整个降水过程从浙江西北部开始呈东移南压的趋势, 持续时间较长。

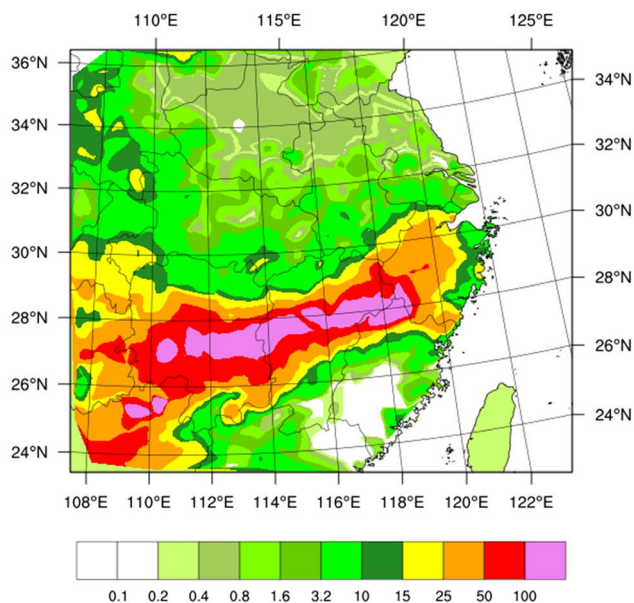
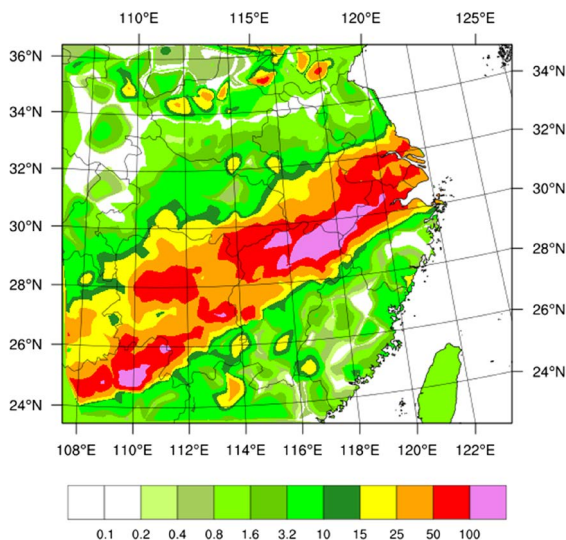
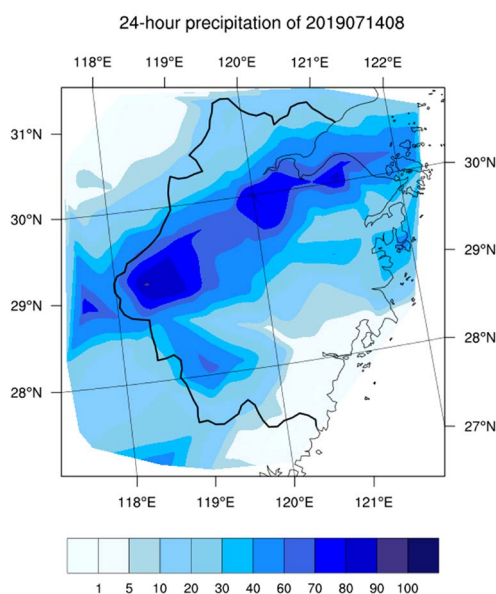


Figure 2. 24-hour precipitation at 08:00 on July 9, 2019 (unit: mm)  
图 2. 2019 年 7 月 9 日 08 时 24 小时降雨量(单位: mm)



**Figure 3.** 24-hour precipitation at 08:00 on July 13, 2019 (unit: mm)  
**图 3.** 2019 年 7 月 13 日 08 时 24 小时降雨量(单位: mm)

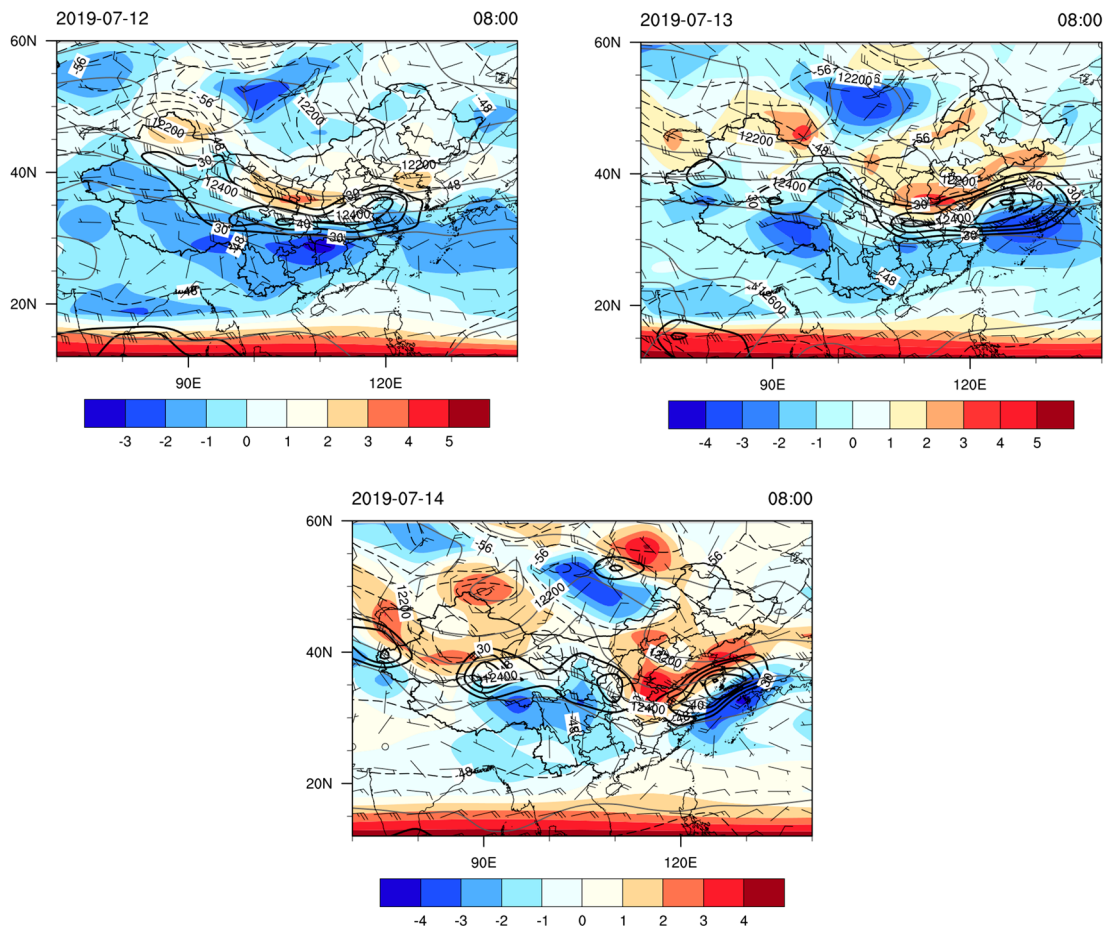


**Figure 4.** 24-hour precipitation at 08:00 on July 14, 2019 (unit: mm)  
**图 4.** 浙江 2019 年 7 月 14 日 08 时 24 小时降雨量(单位: mm)

两次暴雨的降水区域呈明显的东西向带状分布，集中在长江以南地区，具有典型的梅雨锋暴雨的降水分布特征。而对比两次暴雨过程的降雨分布，雨带有明显的向北移动的现象。

### 3.2. 高空辐散条件

如图 5，根据 2019 年 7 月 12 日~14 日的 200 hPa 环流形势图，分析表明，我国东部时空处于西南风急流，急流中轴位于长江流域上空，呈东北 - 西南向分布。自 12 日起，浙江地区在降雨期间始终位于高空急流的南部，在急流控制下的高空辐散区域内。南亚高压及副热带高压形成两高对峙的形势。200 hPa 高空槽在急流北侧缓慢东移，槽前的西南气流和槽后的西北气流分流特征愈加明显，高空辐散场在 13 日午时达到最强，后缓慢减弱并一直维持到降雨结束，为 14 日至 15 日的持续降雨提供了有利条件。



**Figure 5.** 200 hPa geopotential height (gray solid line, unit: gpm), temperature (gray dotted line, unit: °C), horizontal wind (wind pole, unit: m/s), vorticity (color filling, unit:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ), jet (black thick line, unit: m/s), the corresponding time of three subgraphs are: 08:00 on July 12, 13, 14, 2019

**图 5.** 200 hPa 位势高度(灰色实线, 单位: gpm), 温度(灰色虚线, 单位: °C), 水平风(风向杆, 单位: m/s), 涡度(彩色填充, 单位:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ), 急流(黑粗线, 单位: m/s), 三个子图对应时间分别为: 2019 年 7 月 12 日, 13 日, 14 日 08 时

### 3.3. 高空槽线系统

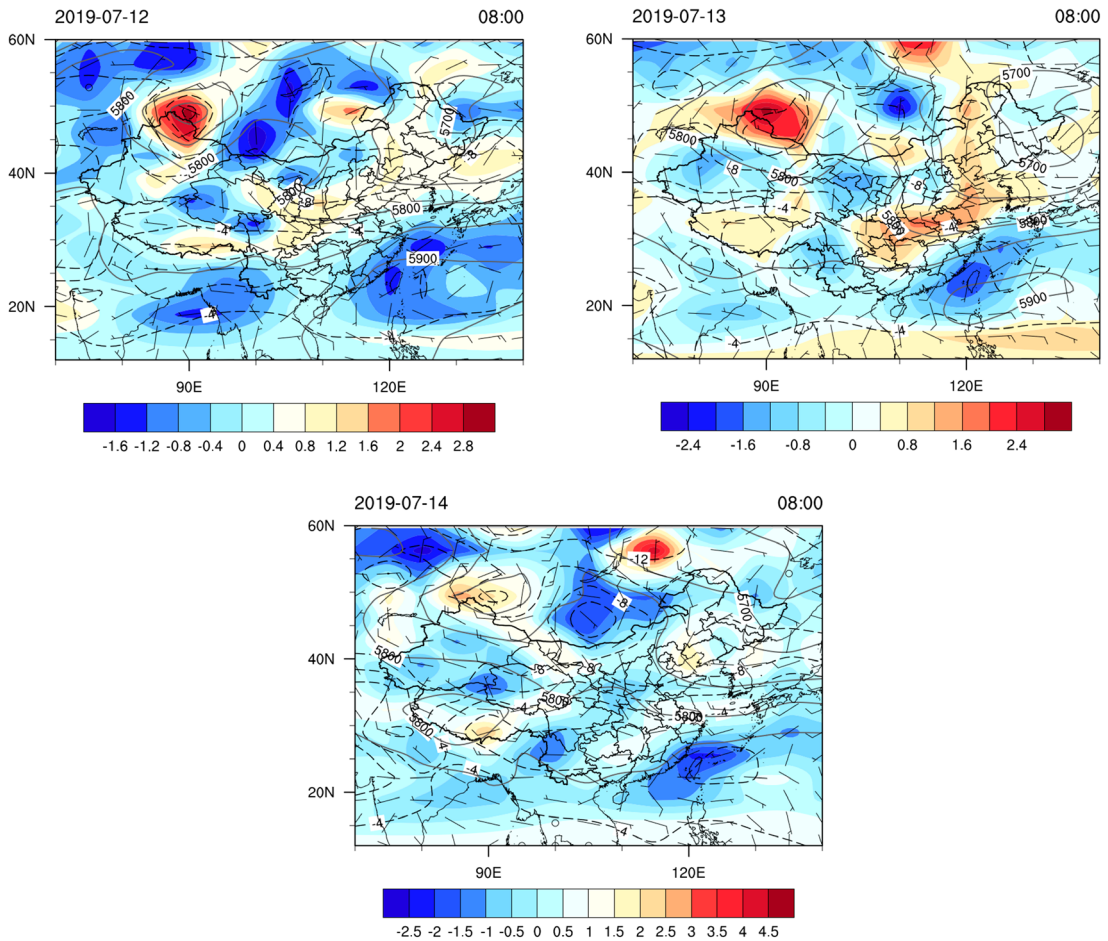
如图 6, 根据 500 hPa 环流形势图分析得出, 7 月 12 日至 14 日高纬地区有稳定的乌拉尔山阻塞高压维持, 且东北低压持续发展南压。稳定的环流形势使得江淮地区暴雨得以持续。随着高空东亚大槽缓慢东移并加深, 冷空气自西北地区南下至长三角地区, 且有显著的正涡度平流向暴雨区输送。而在青藏高原东部, 有短波槽的活动, 也引导了冷空气的输入。副热带高压稳定, 梅雨期副高位置与往年基本一致, 副高脊线维持在  $20^{\circ}\text{N}$  左右, 使副高西部地区气层抬升, 降雨维持稳定持续发展。这也是典型的梅雨期环流形势, 为中高层气层抬升提供了有利条件。

### 3.4. 低空切变线系统

在 7 月 12 日~14 日 850 hPa 流场上, 如图 7, 长江以南地区的低空切变线系统尤为活跃, 低空急流稳定在暴雨区南侧, 副高脊线以北的地区, 而西南气流带来充足的水汽条件, 利于暴雨的形成。西南气流与西北气流在江淮流域上空汇合形成比较明显的江淮切变线。13 日低空环流系统整体较为稳定, 较 12 日急流有明显加强, 低空急流北侧有较强的正涡度平流, 南侧有较强的负涡度平流, 所以在浙江北部地

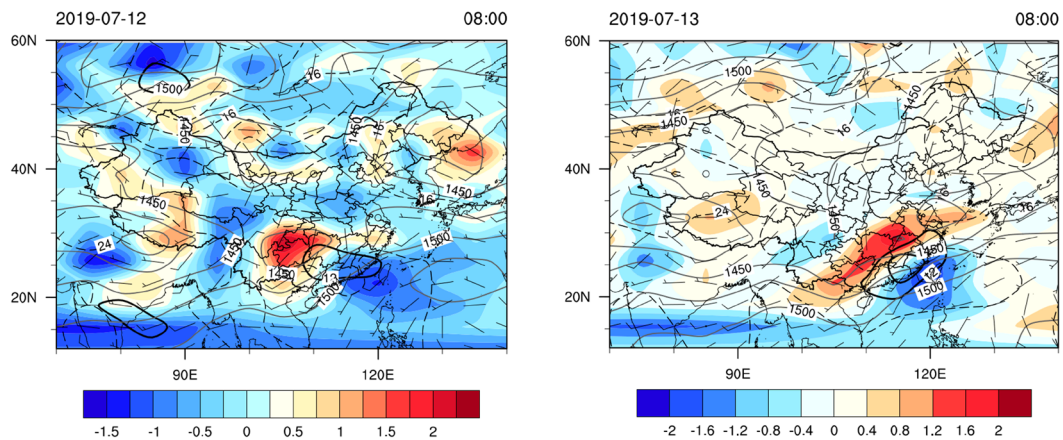


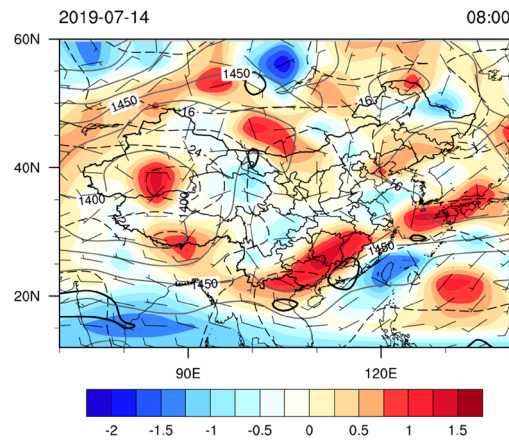
区有较强的辐合，明显的气层抬升，且伴随着水汽的输送，使得梅雨锋降雨得到稳定维持。同时可以分析得到，地面的梅雨锋系统能够稳定维持，有利于整个梅雨期降水的持续发展。



**Figure 6.** 500 hPa geopotential height (gray solid line, unit: gpm), temperature (gray dotted line, unit:  $^{\circ}\text{C}$ ), horizontal wind (wind pole, unit: m/s), vorticity (color filling, unit:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ), jet (black thick line, unit: m/s), the corresponding time of three subgraphs are: 08:00 on July 12, 13, 14, 2019

**图 6.** 500 hPa 位势高度(灰色实线, 单位: gpm), 温度(灰色虚线, 单位:  $^{\circ}\text{C}$ ), 水平风(风向杆, 单位: m/s), 涡度(彩色填充, 单位:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ), 急流(黑粗线, 单位: m/s), 三个子图对应时间分别为: 2019 年 7 月 12 日, 13 日, 14 日 08 时





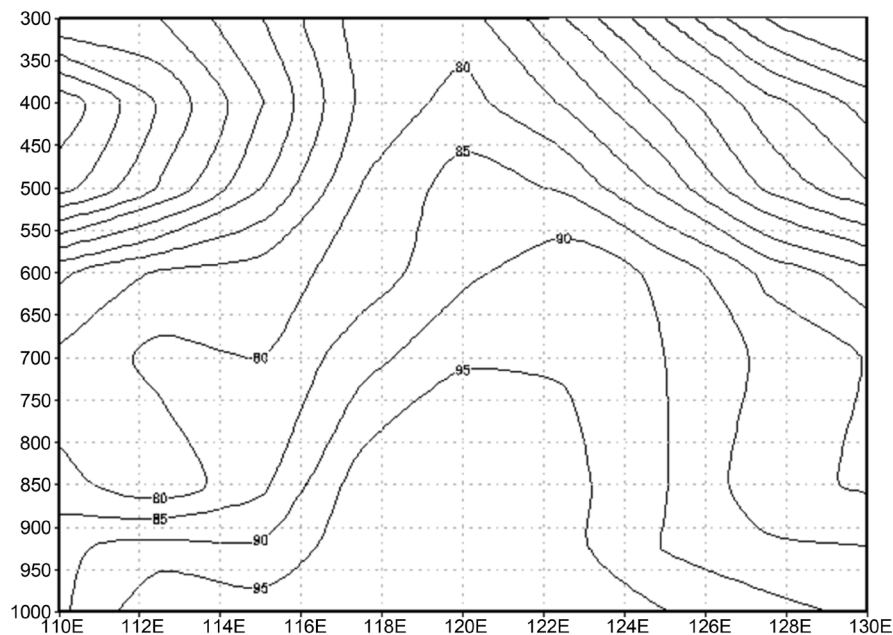
**Figure 7.** 850 hPa geopotential height (gray solid line, unit: gpm), temperature (gray dotted line, unit: °C), horizontal wind (wind pole, unit: m/s), vorticity (color filling, unit:  $10^{-5} s^{-1}$ ), jet (black thick line, unit: m/s), the corresponding time of three subgraphs are: 08:00 on July 12, 13, 14, 2019

**图 7.** 850 hPa 位势高度(灰色实线, 单位: gpm), 温度(灰色虚线, 单位: °C), 水平风(风向杆, 单位: m/s), 涡度(彩色填充, 单位:  $10^{-5} s^{-1}$ ), 急流(黑粗线, 单位: m/s), 三个子图对应时间分别为: 2019 年 7 月 12 日, 13 日, 14 日 08 时

## 4. 大气动力热力诊断分析

### 4.1. 水汽条件分析

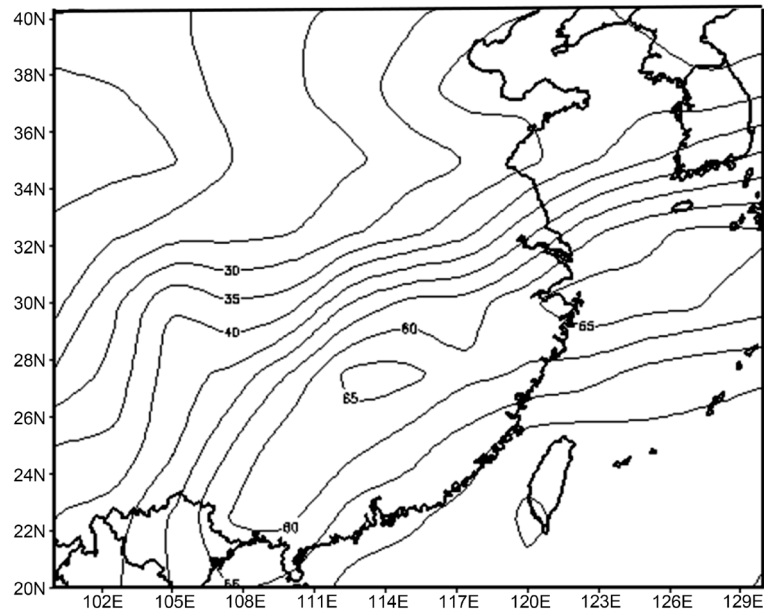
如图 8, 13 日的相对湿度的剖面图分析可知, 水汽集中在 120°E 左右, 即长江以南地区。以及 13 日可降水量图中, 如图 9, 等值线密集区域在 32°N 以南的地区。水汽通量散度对暴雨降水区域有一定的表征作用, 如图 10, 与 12 日相比, 13 日及 14 日的高层有几个明显的水汽通量的辐合中心, 且大值中心处于浙江, 江西等地区的上空, 与实况降水较大的区域基本符合。强降水产生在水汽通量的辐合东移的过程中。



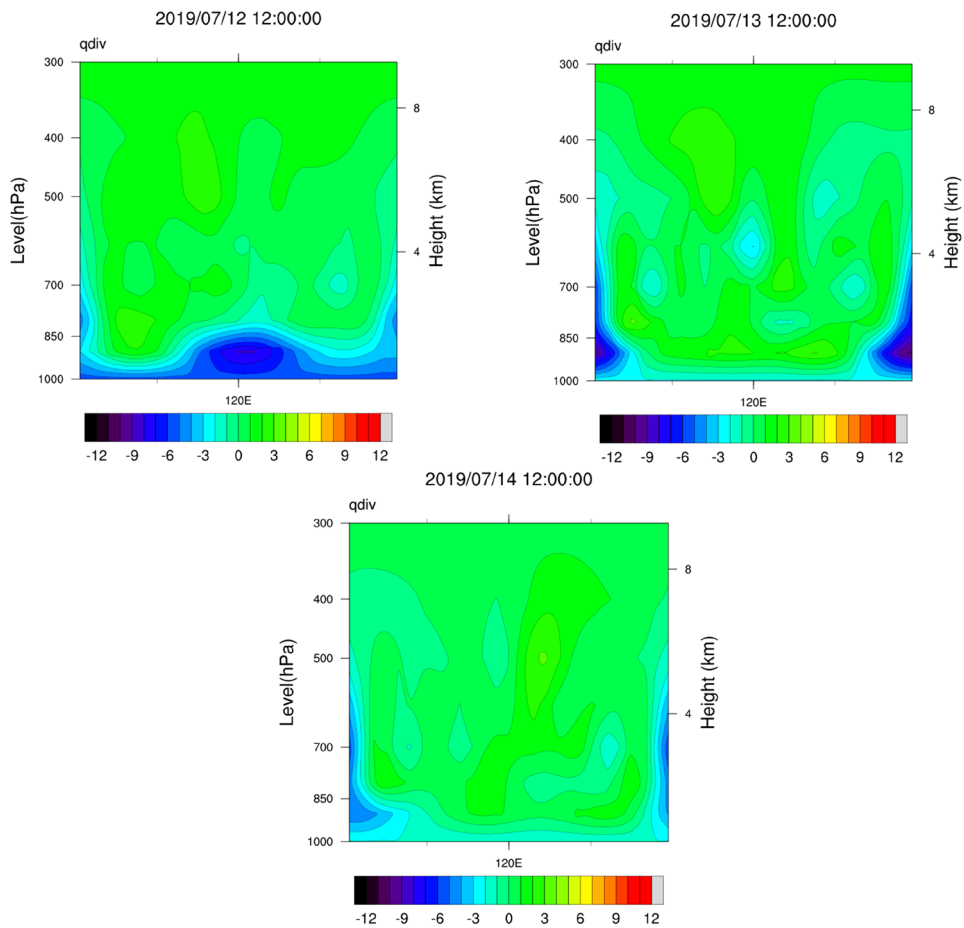
**Figure 8.** Vertical profile of 1000 - 300 hPa daily average relative humidity along 30°N on July 13 (unit: %)

**图 8.** 7 月 13 日, 1000~300 hPa 日平均相对湿度沿 30°N 的垂直剖面图(单位: %)





**Figure 9.** Average daily atmospheric precipitable water on July 13 (unit:  $\text{kg}/\text{m}^2$ )  
**图 9.** 7月13日, 日平均大气可降水量(单位:  $\text{kg}/\text{m}^2$ )



**Figure 10.** Vertical profile of water vapor flux divergence field along  $30^\circ\text{N}$  at 12:00, July 12, 13, 14 (unit:  $10^{-5} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )  
**图 10.** 7月12, 13, 14日12时水汽通量散度场沿  $30^\circ\text{N}$  的垂直剖面图(单位:  $10^{-5} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )

### 4.2. 热力条件分析

假相当位温考虑了气压以及水汽的凝结和蒸发对温度的影响。如图 11, 图 12, 利用 NCEP 的 6 h 间隔再分析资料分析了 12 日 12 时至 14 日 12 时的假相当位温的变化。从 700 hPa 水平假相当位温场(图 12), 可以看到 28°N 北侧有明显的假相当位温锋区, 而从假相当位温剖面图中(图 11)可以看到, 800 hPa 以下有较弱的假相当位温高值区, 可以说明底层雨区存在一定的不稳定性, 12 日的图中有强烈的上升气流, 能够把水汽输送到高层, 结合前面两点因素, 这种情况能够使得不稳定能量不断积聚, 促进对流的发生。而上升气流到 13 日有明显的减弱, 14 日没有明显的上升气流, 随着降雨的生成, 高空水汽减少, 所以降水到 14 日下午逐渐停止。12 日相对 13 日的假相对位温锋区偏北, 浙北地区处于暖区中, 雨量较大。

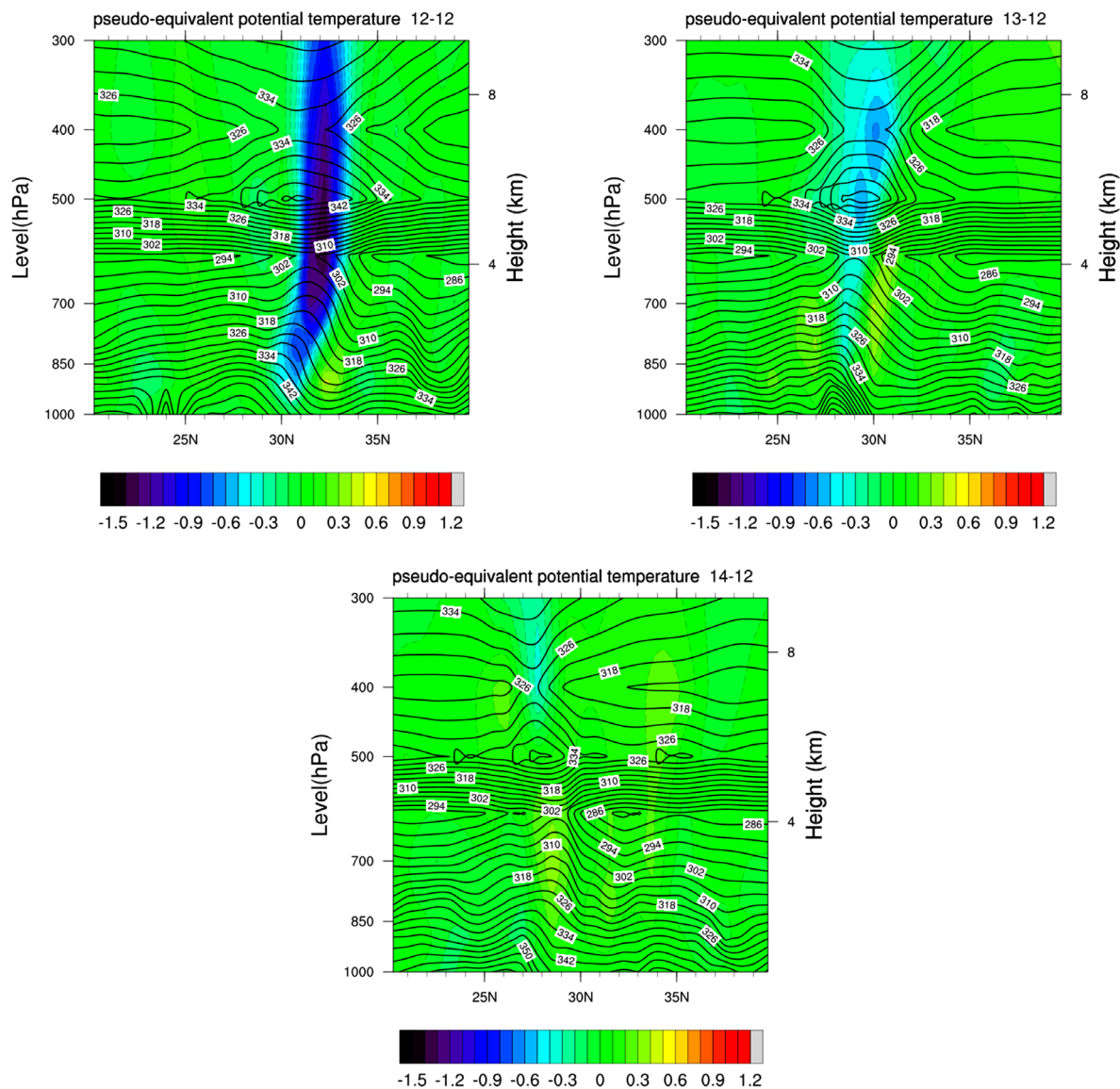
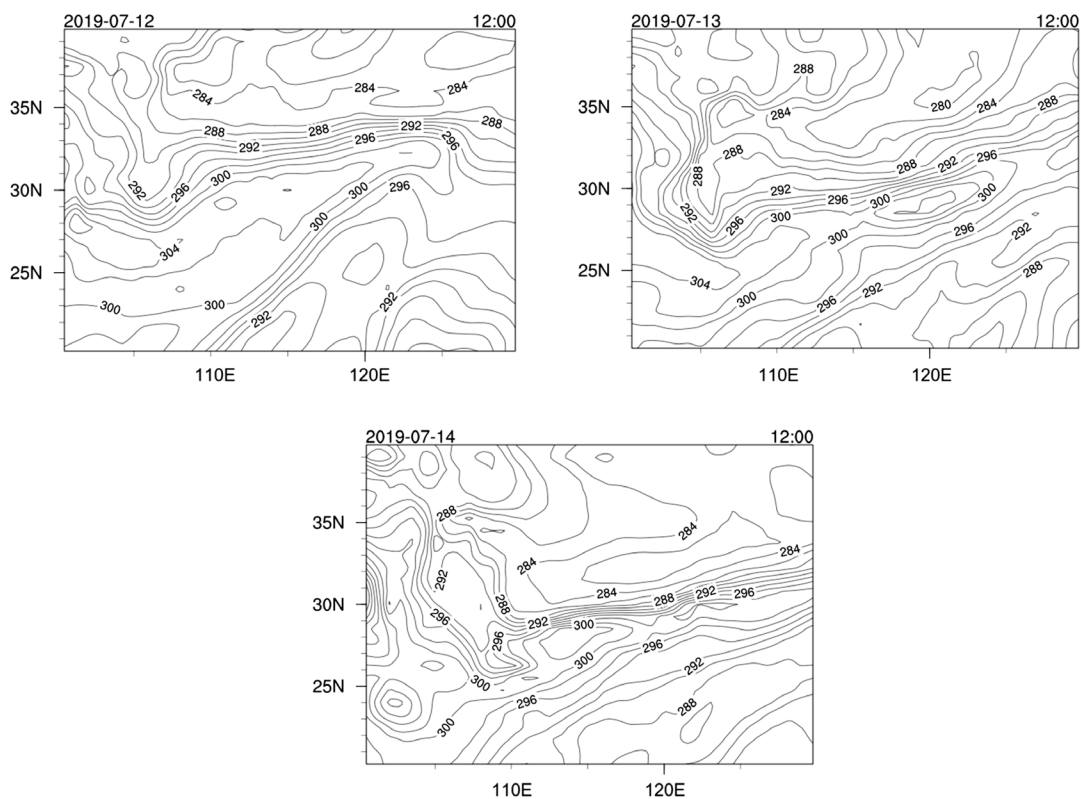


Figure 11. Profile of vertical velocity and pseudo equivalent potential temperature along 120°E at 12:00 on July 12, 13 and 14 (unit: K)

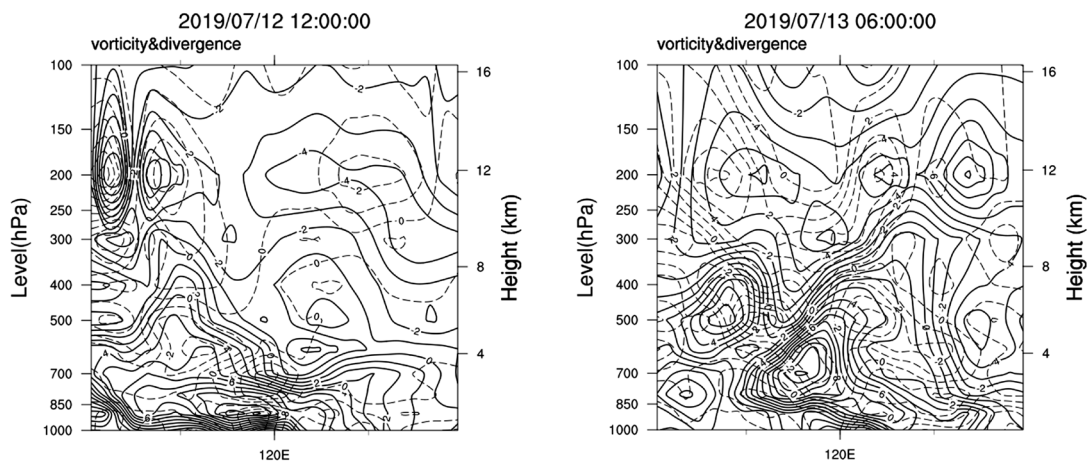
图 11. 7 月 12, 13, 14 日 12 时沿 120°E 垂直速度与假相当位温剖面图(单位: K)

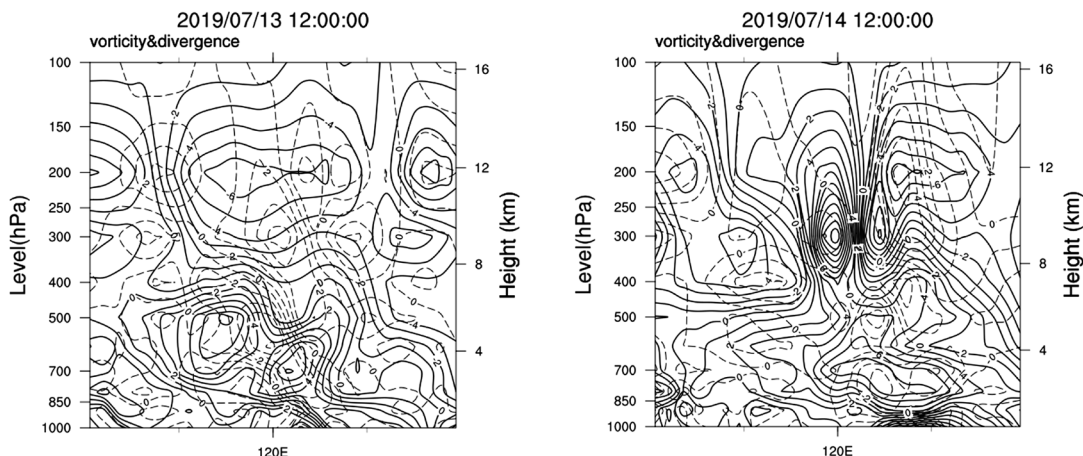


**Figure 12.** 700 hPa pseudo equivalent potential temperature at 12:00 on July 12, 13 and 14, 2019 (unit: K)  
**图 12.** 2019 年 7 月 12 日, 13 日, 14 日 12 时 700 hPa 假相当位温(单位: K)

### 4.3. 涡度散度分析

通过 12 日至 14 日的涡度散度剖面图(图 13), 可以分析得出在 13 日强降水天气时的有较明显的散度大值中心, 这是南亚高压北侧的分流所产生的。而 120°E 左右的雨区上空 500 hPa 以下有较强的涡度大值中心, 中低层辐合区与高空辐散相配合产生强降水。对比 12, 13 日的涡度散度图, 高层的辐散明显增强, 但与中底层的辐合强度相比要小得多, 并且范围也有明显得扩大。到 14 日, 高层有非常明显的辐合大值中心, 辐散中心下移, 浙北地区降水减弱, 部分地区有晴好天气。低层的辐合抬升作用对暴雨的产生有较大的促进作用, 中低层的低涡和切变线系统的维持对本次的强降水过程有非常重要的影响。





**Figure 13.** Vertical profile of vorticity (solid line, unit:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) and divergence (dotted line, unit:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) along  $30^{\circ}\text{N}$  at 12:00 on July 12, 06:00 on July 13, 12:00 on July 13, 12:00 on July 14, 2019

**图 13.** 2019 年 7 月 12 日 12 时, 13 日 06 时, 13 日 12 时, 14 日 12 时涡度(实线, 单位:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )与散度(虚线, 单位:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )沿  $30^{\circ}\text{N}$  的垂直剖面图

## 5. 结论

本文采用亚洲地区地面气象台站常规气象资料、NCEP/NCAR 和 ECMWF 逐日再分析资料, 以 2019 年 7 月 8~14 日浙江地区的梅雨期暴雨为例, 对环流背景及中尺度特征进行深入分析, 以此揭示梅雨期暴雨的特征和成因。结果表明:

(1) 2019 年浙江地区梅雨期平均降水量较常年明显偏多。此次梅雨与以往的梅雨过程相比较, 主要特点为暴雨过程频繁、强降水区重叠、“冷黄梅”特征明显。

(2) 梅雨期间最后两次大范围暴雨有典型的梅雨锋暴雨降水分布特征, 暴雨过程的雨带位置有明显北移的现象。

(3) 200 hPa 环流场显示, 7 月 12~14 日, 我国东部地区处于西南风急流, 高空急槽东移, 高空辐散场的维持, 为持续降水提供了有利条件。500 hPa 环流场显示, 7 月 12~14 日乌拉尔山阻塞高压稳定维持、东北低压持续发展南压, 东亚大槽缓慢东移加深, 青藏高原东部短波槽活跃, 副热带高压稳定维持在  $20^{\circ}\text{N}$  附近, 有利于降水持续。850 hPa 环流表明, 长江以南地区的低空切变线系统活跃, 低空急流稳定在暴雨区南侧, 为浙江地区提供了良好的水汽辐合条件。

(4) 7 月 13~14 日浙江地区存在明显的水汽辐合中心, 700 hPa 假相当位温场存在明显锋区, 800 hPa 以下存在较弱的高值区, 降水区存在一定的不稳定性, 有强烈上升气流, 不稳定能量积聚, 促进对流发生。13 日中低层低涡和切变系统的维持有利于强降水发生。

2019 年 7 月 12~14 日浙江地区的高空辐散条件、中层槽线、低层切变线, 以及水汽条件、热力条件及位涡等动力热力条件均有利于暴雨的发生。这次过程各种气象条件配合良好, 为典型梅雨期暴雨降水。

## 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] 丁一汇. 亚洲季风[M]. 北京: 气象出版社, 1994: 263.

- [2] 顾薇, 李崇银, 杨辉. 中国东部夏季主要降水型的年代际变化及趋势分析[J]. 气象学报, 2005, 63(5): 728-739.
- [3] 胡娅敏, 丁一汇, 廖菲. 近 52 年江淮梅雨的降水分布型[J]. 气象学报, 2010, 68(2): 235-247.
- [4] 李爱华, 江志红. 中国东部夏季雨带推进过程的年际、年代际变化[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(2): 187-193.
- [5] 陶诗言, 赵煜佳, 陈晓敏. 东亚的梅雨期与亚洲上空大气环流季节变化的关系[J]. 气象学报, 1958(2): 59-74.
- [6] 叶笃正, 陶诗言, 李麦村. 在六月和十月大气环流的突变现象[J]. 气象学报, 1958(4): 27-41.
- [7] 朱乾根. 暴雨维持和传播的机制分析[J]. 大气科学学报, 1979(1): 1-7.
- [8] 高坤, 徐亚梅. 1999 年 6 月下旬长江中下游梅雨锋低涡扰动的结构研究[J]. 大气科学, 2001, 25(6): 740-756.
- [9] 牛若芸, 金荣花. 2008 年梅雨异常大尺度环流成因分析[J]. 高原气象, 2009(6): 118-126.
- [10] 封国林, 杨涵洧, 张世轩, 等. 2011 年春末夏初长江中下游地区旱涝急转成因初探[J]. 大气科学, 2012(5): 149-166.
- [11] 陶诗言, 张小玲, 张顺利. 长江流域梅雨锋暴雨灾害研究[M]. 北京: 气象出版社, 2004.
- [12] 陶诗言, 张庆云, 张顺利. 1998 年长江流域洪涝灾害的气候背景和大尺度环流条件[J]. 气候与环境研究, 1998, 3(4): 290-299.
- [13] 周曾奎. 1991 年异常梅雨和连续暴雨的环流特征[J]. 气象, 1992, 18(8): 27-32.
- [14] 何金海, 吴志伟, 江志红, 等. 东北冷涡的“气候效应”及其对梅雨的影响[J]. 科学通报, 2006, 51(23): 2803-2809.
- [15] 王丽娟, 何金海, 司东, 等. 东北冷涡过程对江淮梅雨期降水的影响机制[J]. 大气科学学报, 2010, 33(1): 89-97.
- [16] 陶诗言, 赵煜佳, 陈晓敏. 中国的梅雨. 东亚季风和中国暴雨——庆贺陶诗言院士八十华诞文集[M]. 北京: 气象出版社, 1998: 3-48.
- [17] Zhou, X.S., Yang, C.F. and Zhang, S.L. (2011) Study on Possible Mechanism of Terrain Influence on Cold-Flow Snowstorm. *Meteorological and Environmental Research*, 2, 48-51, 85.
- [18] Wang, L., Ding, Z.Y. and Liu, L. (2011) Study on the Influences of GWDO Parameterization Scheme and Terrain on a Rainstorm in Dabie Mountain. *Meteorological and Environmental Research*, 2, 61-66.
- [19] Jiang, H.Q. and Zhang, J.M. (2012) Lizi Synoptic Model for Rainstorm Forecast and Its Applicable Sample. *Agricultural Science Technology*, 13, 852-856, 896.
- [20] Kalnay, et al. (1996) The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 437-470. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2)
- [21] Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., et al. (2011) The ERA-Interim Reanalysis: Configuration and Performance of the Data Assimilation System. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137, 553-597.