

An Analysis of the Characteristics of a Large-Scale Heavy Precipitation in China during the Summer of 2016

Ci Song, Jiajin Zhu, Man Wang

Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: songcicuit@126.com

Received: Aug. 3rd, 2020; accepted: Aug. 17th, 2020; published: Aug. 24th, 2020

Abstract

Using NCEP/NCAR reanalysis circulation data, FY-2F satellite data and CMORPH hourly precipitation grid point data, the precipitation intensity and range variation characteristics of a large-scale heavy precipitation process occurred from June 19-23, 2016 were analyzed. The results show that under the influence of the stable two-trough and two-ridge structure in the 500 hPa geopotential field, the low-latitude south China area is controlled by the western Pacific subtropical high and the Qinghai-Tibet Plateau short-wave trough. The low-latitude vortex is generated in the east of the Sichuan basin. The stability of the high latitude trough and the western subtropical high over middle and low latitudes creates favorable conditions for the eastward movement of the low eddy over the southwest and North China vortexes and water vapor transport. The large scale heavy rain has a close relation to the movement and development of the deep low vortex system of China. The 700 hPa low pressure vortex over southwestern China can move towards to northeastern and became strengthened gradually during the movement process. Furthermore, the low pressure vortex system over southwestern and northern China gradually merged and its spatial structure developed into vertical vortex system. The development process of rainstorm is basically consistent with that of vortex system. In the center of positive vorticity, there is an obvious velocity convergence zone. The airflow converges in the lower troposphere and diverges in the higher troposphere. The upward movement of convection develops violently. In addition, the vorticity analysis also shows that the center of precipitation moves to the east in the positive value, and the center of precipitation corresponding to the rainstorm also moves to the east.

Keywords

Southwest Vortex, Heavy Rain, Circulation, Vorticity

2016年夏季我国一次大范围强降水变化特征分析

宋 辞, 朱家瑾, 王 蔓

成都信息工程大学, 四川 成都
Email: songcicuit@126.com

收稿日期: 2020年8月3日; 录用日期: 2020年8月17日; 发布日期: 2020年8月24日

摘要

利用NCEP/NCAR再分析环流数据、FY-2F卫星数据和CMORPH融合逐时降水格点资料, 基于大气环流背景下, 对2016年6月19~23日发生的一次大范围强降水过程的降水强度、范围变化特征进行了主要分析。结果表明: 受500 hPa高度场中高纬度稳定的两槽两脊结构的影响, 低纬华南地区受西太平洋副热带高压的控制, 以及青藏高原短波槽的影响, 低涡在四川东部生成。高纬度槽和中低纬度西太副高的稳定维持为西南涡和华北上空低涡的东移和水汽输送创造了有利条件。大范围暴雨天气与我国深厚低涡系统的移动、强烈发展有关, 西南地区的700 hPa低涡向东北方向移动, 移动过程中低层低涡逐渐加强, 西南地区和华北地区的涡度系统合并, 涡度的空间结构发展成垂直的低涡系统, 暴雨的发展过程和低涡系统的发展过程基本一致。涡度正值中心存在明显速度辐合区, 气流在低层辐合, 高层辐散, 对流上升运动发展剧烈, 不稳定能量大量释放, 为暴雨天气发生创造了有利条件。此外, 涡度分析也表明在正值中心向东移动, 对应暴雨的降水中心也向东移。

关键词

西南低涡, 暴雨, 环流, 涡度

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

受不同天气系统的影响, 我国暴雨频发。中国的大部分地区都受到能带来降水的亚洲季风系统的影响, 其主要集中在夏天。造成暴雨的天气系统有锋面、台风、西南低涡、东北冷涡等[1] [2] [3], 并且, 由于东亚夏季风的季节性变化, 我国的降水每年都呈现有规律的南北位移。3月中下旬~5月上旬主要为“江南春雨期”连阴雨; 5月中旬~6月上旬, 为“华南前汛期盛期”, 特点为雨量大, 持续时间长。到了6月中旬~7月上旬, 便是“江淮梅雨”的高发季节。华北、东北雨季多出现在7月中旬到8月上旬, 季节性年雨带的北推一般只到辽东半岛一带。一直以来, 发生在我国的暴雨引起的洪涝灾害会导致泥石流、农作物受损等一系列灾害, 甚至对人民的生命安全造成威胁。

强对流活动天气是产生暴雨、强风、冰雪和龙卷风等强灾害性天气的直接原因, 但由于强对流过程时空尺度小, 发展变化过程较快, 发生发展机理较为复杂, 因此强对流天气一直是气象学界研究重点[4] [5] [6]。西南低涡是强对流活动的产物之一, 在我国的降水中扮演着重要角色。西南低涡(简称西南涡)是指形成于西南地区 700~850 hPa 的闭合小低压, 具有气旋性环流的特点, 其直径在 300~500 km, 多为暖性结构, 是青藏高原高笋地形和其周围中尺度地形地貌和大气环流共同作用下形成的[7]。由西南涡引发的暴雨对人类社会、经济和自然生态系统带来的巨大损失更是难以估计。西南涡在生成初期是一个浅薄的系统[8]。半数以上的西南涡生命史低于 36 h, 长生命史的低涡主要出现在春夏季节, 个别可维持 6~7 天,

大多数低涡在源地减弱消亡,有少数移动类西南低涡,主要取偏东路径,沿长江流域东移入海[9]。其东移伴随着剧烈的天气现象,是造成我国西南地区夏季暴雨的主要天气系统[10][11][12]。据有关记录显示,低涡也是引发华北暴雨的主要天气系统之一,如“63.8”华北特大暴雨[13]和2012年7月21日北京发生的特大暴雨[14]。2016年7月18~22日的大范围强降水过程对我国造成了巨大的人员伤亡和经济损失,因此,对本次大范围降水的基本特征进行分析十分必要。

2. 资料

本文选取的资料时间段为源于美国气象环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR)的2016年7月18~至7月23日再分析数据集,其空间分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$,空间覆盖全球的逐日四次(00, 06, 12, 18) FNL 大气环流场全球分析资料[15]。中国气象局提供的 FY-2F 卫星的高时空分辨率 TBB 数据[16]和中国自动气象站与 CMORPH (Climate Prediction Center Morphing Technique)降水数据融合的每小时 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 格点数据集[17]。

3. 研究结果

3.1. 大型环流形势与降水概况

2016年7月18~23日我国西南地区在西南涡的影响下出现了一次自西向东的持续性强降水过程,受降水影响的省份主要有四川东部、贵州、重庆、湖北、湖南等地,对应西南涡有明显的东移,随后,华北地区也出现了大面积的强降水。在7月19日00时500 hPa高度(图1(a)),在中高纬度地区存在明显的两槽两脊的特征。到了20日00时,低槽明显东移加强,在低纬华南地区,受西太平洋副热带高压的控制,印度洋的水汽源源不断向我国华北地区输送,低涡系统受到东侧副高的阻挡在华北上空停滞(图1(b))。除此之外,孟加拉湾的水汽绕过青藏高原大地形,将水汽运输到我国西南部。同时,中纬度槽和副热带高压稳定维持,为我国中部水汽的输送提供了有利条件。

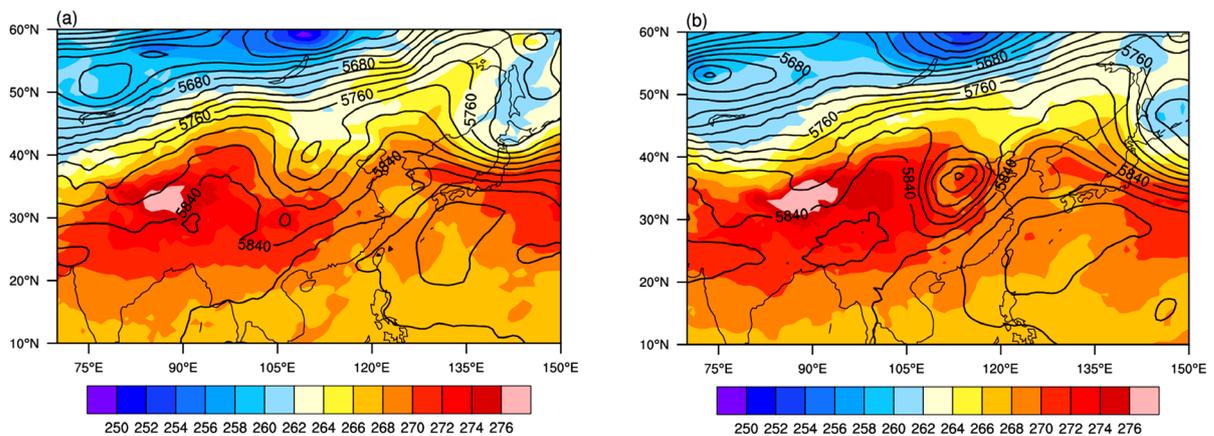


Figure 1. 500 hPa height field and temperature field at 00 hours on (a) 19 and (b) 20 July 2016
图 1. 2016年7月(a)19日00时和(b)20日00时的500 hPa高度场和温度场(填色图,单位:°C)

受高空槽、低层低涡、中底层低涡快速发展的共同影响下,我国出现了一次大面积的降水过程。对于本次降水过程,选取了3天的24h累积降水过程,为6月18日、20日和22日。主要降水区为西南地区和华北地区。由7月18日24h累积降水量(图2(a))分布可见,四川东部的南充、巴中、达州、广安和重庆西部等地出现降水,此时降水强度小,范围小,只有小范围地区降水达到暴雨级别($>50 \text{ mm}/24\text{h}$),对应的四川东部地区出现低涡中心。同时,甘肃南部、陕西也出现降水,在20日(图2(b))西南地区降水

消散,我国华北地区的大面积降水更加显著,出现区域性大暴雨,个别地方甚至出现了特大暴雨(降水量 > 250 mm/24h),到了 22 日(图 2(c)),降水在华北呈零散状分布,降水减弱。上述分析表明,我国本次大范围降水过程与低涡系统的形成、移动并强烈发展过程有关,因此,对于低涡系统结构发生发展及其发展加强的机制研究是这次大范围降水过程的主要研究方向。

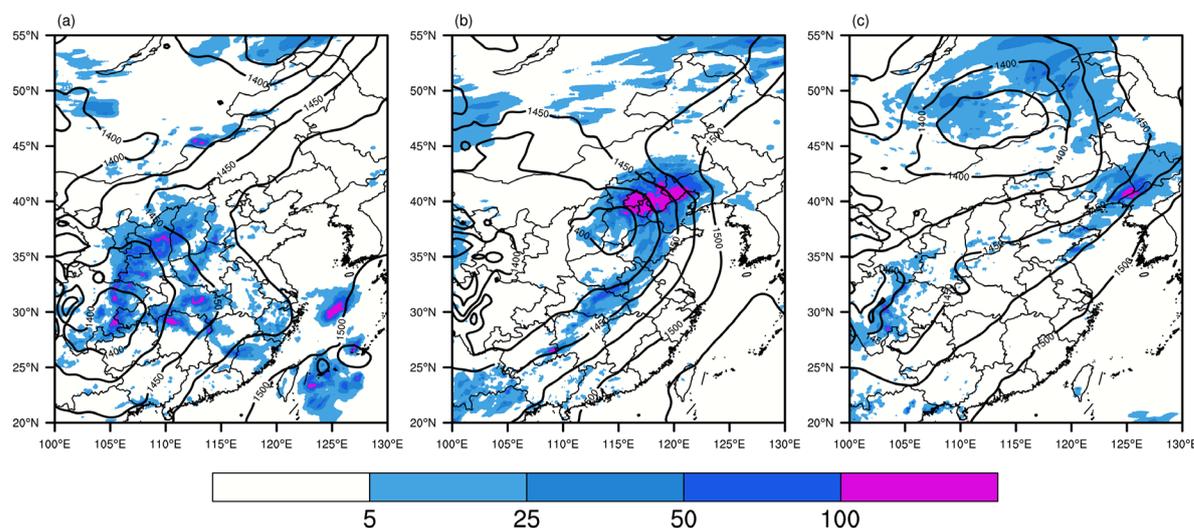


Figure 2. Cumulative precipitation in 24h (shading, unit: mm) and the potential altitude field of 700hPa at 12:00 on the corresponding day (contour line). (a) 18 July; (b) 20 July and (c) 22 July

图 2. 24 h 累积降水量(填色图, 单位: mm)和对应当日 12 时 700 hPa 位势高度场(等值线)。(a) 7 月 18 日; (b) 7 月 20 日; (c) 7 月 22 日

降水区域云团的发展变化可以由红外云顶亮温(TBB)大致反映,降水云团的变化也与天气系统的发展密切相关。有研究指出,风云二号气象卫星红外观测在云团降水监测中的应用中,系统识别出的云团与小时强降雨有 80%左右的相关性。提取本次我国暴雨上空有关红外云图的云顶亮温(TBB)值,可以看出,7 月 19 日 12 时(图 3(a))在贵州湖北地区有云系出现,主要为团状云系和带状云系,云系中心云顶亮温低于 -60°C 。这表明西南地区有降雨云覆盖,从红外云图上的云系分布可以看出,在湖北、湖南、贵州云南有一条长长的带状云系,在云带西北方向有一个中小尺度的涡旋云系,由涡旋中心位置可以确定西南涡的位置。华北地区由大面积涡旋云团覆盖,湖北、河南、山东都是被降水云覆盖的区域。从 12 时到 14 时(图 3(b)),贵州东部的云团的云顶亮温继续降低,云团增大、增强,内部对流活动强,主要影响贵州,重庆交界地区的降水。于此同时,华北地区也有大面积的涡旋云系从 12 时到 14 时,云系边界变得更清晰,云顶亮温低于 -60°C 的区域显著变大,由此可以看出,云系变厚,发展旺盛。

由 700 hPa 水汽通量分布可知,我国的此次降水有两个水汽辐合区,一个是位于西南地区的小的水汽辐合区,另一个是位于华北地区的大面积的辐合区。西南地区降水的主要水汽来源为孟加拉湾和南海,经云南、贵州和湖南(广东、广西)等地将暖湿水汽向北输送,与来自蒙古中部的偏北干冷气流交汇,从而在我国西南、华北地区产生较强的水汽辐合,为本次暴雨提供了充足的水汽,造成较强的上升运动,其辐合中心在四川东部。在 19 日 12 时(图 4(a)),在 105°E , 32°N 处出现了一个水汽辐合区,在 20 日(图 4(b))达到闭合状态。最明显的水汽辐合区位于华北地区,19 日华北地区的水汽通量散度达到 $-34 \text{ kg}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,说明有水汽的辐合,到了 20 日,水汽通量散度达到 $-38 \text{ kg}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,水汽辐合加强,辐合中心有明显的向东北方向移动的趋势。

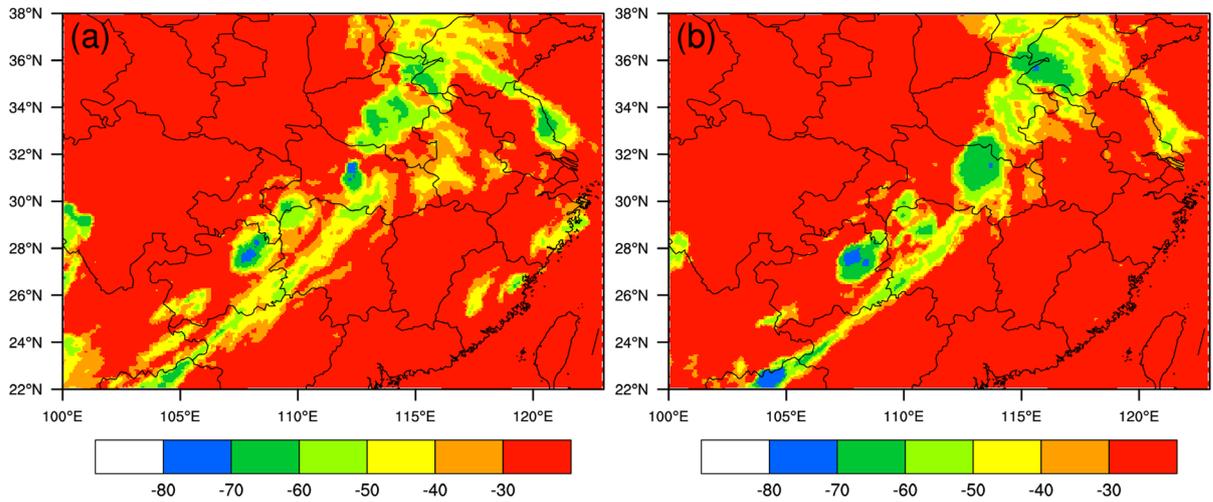


Figure 3. Infrared cloud image above the rainstorm at different times (unit: °C). (a) 12:00 on July 19; (b) 14:00 on July 19
图 3. 不同时刻暴雨上空红外云图云顶亮温(单位: °C)。 (a) 7月19日12时; (b) 7月19日14时

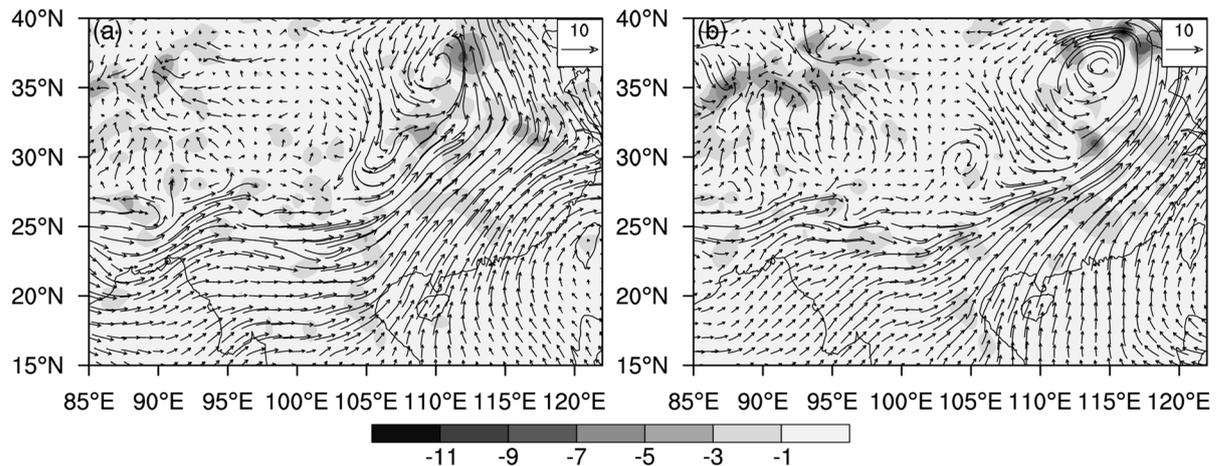


Figure 4. Water vapor flux (vector, unit: $1 \text{ kg}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) and divergence of water vapor flux (shadow, unit: $10^{-7} \text{ kg}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) at 700 hPa at different times. (a) At 12:00 on the 19th; (b) At 12:00 on the 20th
图 4. 不同时刻 700 hPa 水汽通量(矢量, 单位: $1 \text{ kg}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)和水汽通量散度(阴影, 单位: $10^{-7} \text{ kg}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。 (a) 19日12时; (b) 20日14时

3.2. 涡度与垂直速度

本次暴雨过程中,低涡系统在移动过程中不仅水平强度发生了变化,垂直结构也发生了很大的变化。从西南涡垂直结构出发,研究过程为19日00时,06时,12时,18时沿32°N的涡度散度垂直剖面图(图5)。从19日开始追踪低涡的垂直演变,在19日00时,涡度正值最大区在750 hPa,105°E左右,850 hPa以下主要为负散度值区,气流强烈辐合上升,为暴雨发生发展提供了有利条件。在112°E处也有一个涡度的正值区,但其强度和范围比在105°E处的涡度正值区小的多。在此后的12小时中,两个涡度正值中心逐渐合并,且正涡度最大值中心向东移动。到了19日18时,正涡度中心最大值在700 hPa,112~113°E附近。在此处,正涡度区存在明显的负散度值区,并且正涡度区从对流层低层一直延伸到300 hPa附近,高低空正涡度柱在12小时内逐渐变得垂直,演变成为一个近似直立的涡柱,并且涡柱水平范围变窄,整层涡度强度增强。说明该区域存在较强的上升运动,为暴雨的发生发展创造了条件。在200 Pa附近有明

显的散度正值区，高层气流辐散，低层气流辐和上升，对流运动强烈发展，降水中心即涡度大值区与负散度区重合的地方。在 19 日西南涡的发展过程中，可见在东移的过程中强度明显增强，降水强度增加。

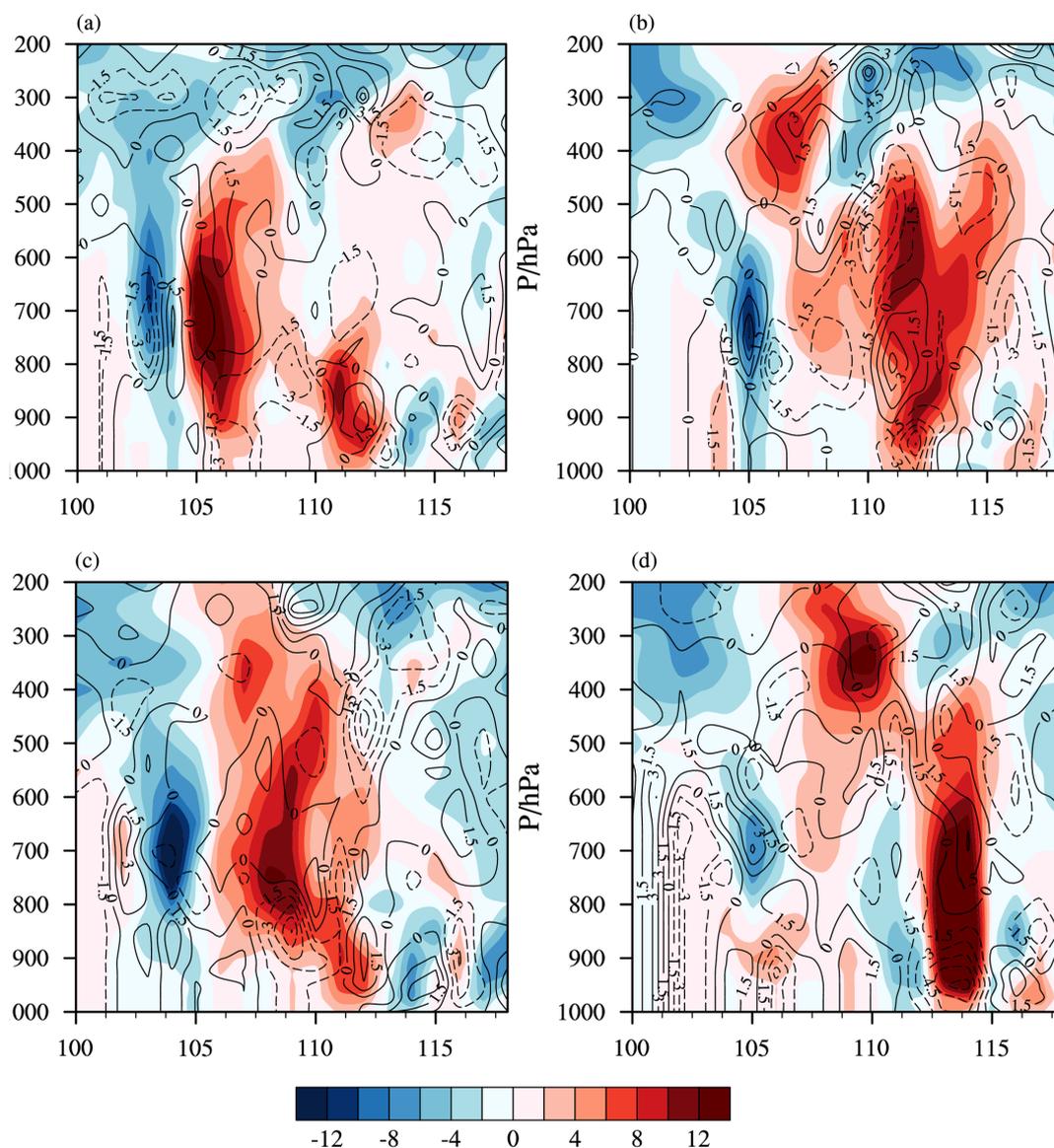


Figure 5. The vertical distribution of relative vorticity (shaded area, unit: 10^{-5} s^{-1}) and divergence along 32°N (contour line, unit: 10^{-5} s^{-1}) at (a) 00:00; (b) 06:00; (c) 12:00 and (d) 18:00 on July 19

图 5. 7 月 19 日沿 32°N 相对涡度(阴影区, 单位: 10^{-5} s^{-1})及散度的垂直分布(等值线, 单位: 10^{-5} s^{-1})。(a) 00 时; (b) 06 时; (c) 12 时; (d) 18 时

强烈的垂直上升运动是暴雨发生的重要条件之一，其单位在本文中用 w 表示，单位为 0.01 hPa/s ， $w > 0$ 时，表示有上升运动； $w < 0$ 时，为下沉运动。19 日 00~06 时(图 6(a), 图 6(b))，对流层高层(200~300 hPa)上升运动强烈，速度最大达到 0.04 hPa/s ，19 日 12 时(图 6(c))，位于 $100^{\circ}\text{E} \sim 105^{\circ}\text{E}$ 的垂直速度正值中心在 750 hPa 的高度上，速度上升区域贯穿整个对流层，形成了一个柱形，上升运动强烈，对流发展旺盛。六小时后(图 6(d))，上升运动的柱形结构明显东移， 115°E 处对流层低层上升运动强烈，为气流的辐合上升提供动力，暴雨也在此处达到最强。这说明了强烈的上升运动为暴雨提供了有利的动力条件。

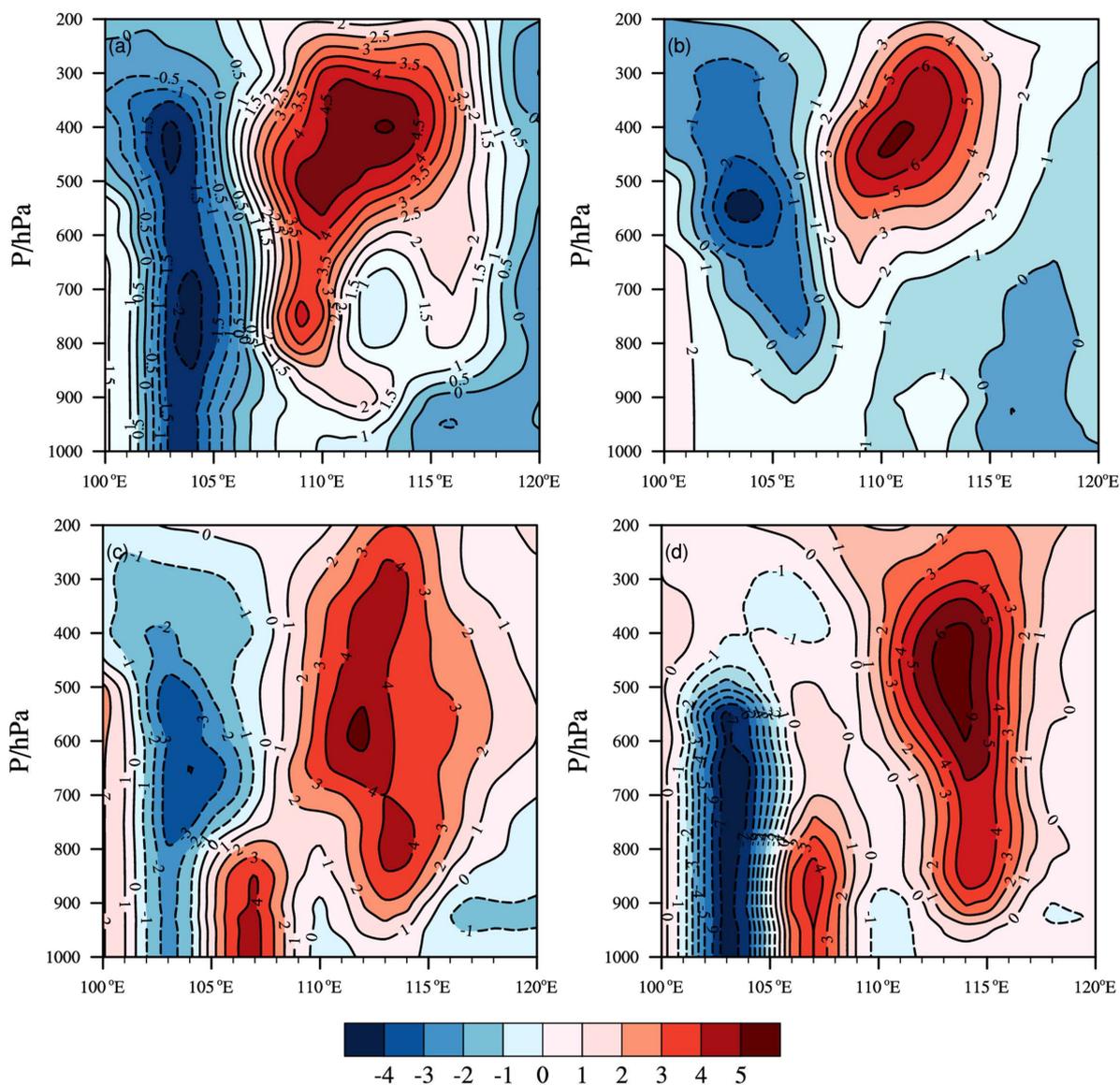


Figure 6. Vertical velocity profile along 32°N on July 19 (unit: 0.01 hPa/s) at (a) 00:00; (b) 06:00; (c) 12:00 and (d) 18:00 on July 19

图 6. 7 月 19 日沿 32°N 的垂直速度剖面(单位: 0.01 hPa/s)。 (a) 00 时; (b) 06 时; (c) 12 时; (d) 18 时

4. 结论

采用 NCEP/NCAR 提供的逐日 4 次的 FNL 全球再分析格点资料、CMORPH 融合逐时降水数据与 FY-2F 卫星资料, 对 2016 年 6 月 18 日至 22 日发生的一次大范围强降水过程的降水变化特征、大气环流背景、水汽输送和动力特征进行了分析, 得到以下结论:

- 1) 受 500 hPa 高度场中高纬度稳定的两槽两脊结构的影响, 低纬华南地区受西太平洋副热带高压的控制, 以及青藏高原短波槽的影响, 低涡在四川东部生成。
- 2) 高纬度槽和中低纬度西太副高的稳定维持为西南涡和华北上空低涡的东移和水汽输送创造了有利条件。
- 3) 此次大范围暴雨天气与我国西南地区深厚低涡系统的移动、强烈发展有关, 西南地区的 700 hPa

低涡向东北方向移动, 移动过程中低层低涡逐渐加强, 西南地区和华北地区的涡度系统合并, 涡度的空间结构发展成垂直的低涡系统, 暴雨的发展过程和低涡系统的发展过程基本一致。

4) 在涡度正值中心, 有明显的速度辐合区, 气流在低层辐合, 高层辐散, 对流上升运动发展剧烈, 不稳定能量大量释放, 为暴雨天气的发生创造了有利条件。涡度正值中心向东移动, 对应暴雨的降水中心也向东移。

基金项目

四川省省级大学生创新创业训练计划项目(S201910621105)和成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019007, BKJX2019013, JY2018012)支持。

参考文献

- [1] 陶诗言, 丁一汇, 周晓平. 暴雨和强对流天气的研究[J]. 大气科学, 1979, 3(3): 35-46.
- [2] 丁一汇. 暴雨和中尺度气象学问题[J]. 气象学报, 1994, 52(3): 274-284.
- [3] 高守亭, 赵思雄, 周晓平, 等. 次天气尺度及中尺度暴雨系统研究进展[J]. 大气科学, 2003, 27(4): 618-627.
- [4] 薛晓颖, 任国玉, 孙秀宝, 等. 中国中小尺度强对流天气气候学特征[J]. 气候与环境研究, 2019, 24(2): 199-213.
- [5] 孙虎林, 黄焕卿, 于庆龙, 等. 2012-2017 年珠江口海区短时强对流天气灾害的统计分析[J]. 海洋预报, 2019, 36(4): 35-43.
- [6] 朱平, 俞小鼎. 青藏高原东北部一次罕见强对流天气的中小尺度系统特征分析[J]. 高原气象, 2019, 38(1): 1-13.
- [7] 卢敬华. 西南低涡概论[M]. 北京: 气象出版社, 1986: 1-73.
- [8] 陶诗言, 等, 编著. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 196-199.
- [9] 陈忠明, 文彬. 西南低涡的统计研究[M]//陶诗言, 陈联寿, 徐祥德, 等, 主编. 第二次青藏高原大气科学试验理论研究进展. 北京: 气象出版社, 2000: 368-378.
- [10] 陈忠明, 徐茂良, 闵文彬, 等. 1998 西南低涡活动与长江上游暴雨[J]. 高原气象, 2003, 22(2): 162-167.
- [11] 程麟生. “81.8”持续暴雨期中 α 尺度低涡发展的涡度变率及其热源[J]. 高原气象, 1991(4): 337-350.
- [12] 何光碧. 西南低涡研究综述[J]. 气象, 2012, 38(2): 155-163.
- [13] 游景炎. 暴雨带内的中尺度系统[J]. 气象学报, 1965, 37(3): 293-304.
- [14] 孙建华, 赵思雄, 傅慎明, 等. 2012 年 7 月 21 日北京特大暴雨的多尺度特征[J]. 大气科学, 2013, 37(3): 705-718.
- [15] 汪柏阳, 覃丹宇, 刘传才. 利用 FY-2 扫描数据检测快速发展对流[J]. 遥感学报, 2015(5): 138-145.
- [16] 沈艳, 潘昶, 宇婧婧, 等. 中国区域小时降水量融合产品的质量评估[J]. 大气科学学报, 2013, 36(1): 37-46.
- [17] 吴晓京, 朱小祥, 毛紫阳, 等. 风云二号气象卫星红外观测在云团降水监测中的应用[J]. 海洋气象学报, 2019, 39(3): 1-10.