Climate Change Research Letters 气候变化研究快报, 2020, 9(4), 310-317
Published Online July 2020 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/ccrl
https://doi.org/10.12677/ccrl.2020.94034

An Analysis of Heavy Rain Caused by Southwest Vortex

Man Wang, Ci Song, Jiajin Zhu

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

Received: Jul. 1st, 2020; accepted: Jul. 15th, 2020; published: Jul. 22nd, 2020

Abstract

In order to study a strong precipitation process caused by the eastward movement of the southwest vortex from June 29 to July 2, 2016, the FNL global analysis data provided by NCEP/NCAR and the CMORPH hourly precipitation data were used to analyze the weather circulation background, dynamic and thermal properties of the process. The results show that the formation and rapid eastward movement of the southwest vortex are caused by the eastward movement of the deep trough at 500 hPa, the cyclone shear at 700 hPa and the enhancement of the warm and humid air flow at low altitude. The stable maintenance of the subtropical high and the combination of the two troughs at high altitude cause the abnormal rainstorm in Hubei Province. During the period of vortex development, the convective upward movement develops violently and the unstable energy is released in large quantities, which is the favorable condition for the rainstorm weather. The enhancement of southwest low level jet and the addition of East wet air flow are conducive to the rainstorm. The warm and humid air from the bay of Bengal and the South China Sea converges with the dry and cold air from the north, providing sufficient water vapor supply for this precipitation process. The center of the wet Q convergence area basically coincides with the center of the heavy rainfall.

Keywords

Southwest Vortex, Circulation, Heavy Rain, Vorticity

一次西南低涡暴雨过程特征分析

王　蔓，宋　辞，朱家谨

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

收稿日期：2020年7月1日；录用日期：2020年7月15日；发布日期：2020年7月22日

文章引用: 王蔓, 宋辞, 朱家谨. 一次西南低涡暴雨过程特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2020, 9(4): 310-317.
DOI: 10.12677/ccrl.2020.94034

摘　要

利用NCEP/NCAR提供的逐日4次的FNL全球再分析格点资料和CMORPH融合逐时降水格点数据，对2016年6月29日~7月2日发生的一次西南涡东移引发的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，结果表明：本次西南涡主要发展在850 hPa附近，西南地区上空500 hPa高原深槽东移、700 hPa的气旋切变和低空暖湿气流的增强促使西南涡生成并迅速东移发展，副高的稳定维持和深厚的中低空西南急流为特大暴雨的产生提供了有利的条件。本次西南涡暴雨降水过程的水汽主要来源于孟加拉湾。西南涡在湖北东部滞留发展的主要原因是受到588线的阻挡，高原低槽和冷槽合并发展，副高西侧的西南急流作为充足的水汽来源和强烈的动力触发条件，导致了该天气过程的发生。降水中心位于涡度大值区与负散度区和垂直运动中心重合区域，有利于降水进一步增强。

关键词

西南涡，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

西南低涡是一种尺度较小的短波系统。回溯其研究历史，关于西南涡的具体定义仍存有疑惑，但不可否认的是，公认的西南涡定义是指在青藏高原的侧边界摩擦作用及西南地区的特殊地形条件下，产生于我国西南地区低空的一种具有气旋式环流的闭合性低压，其涡旋直径约在 300~400 km，一般出现在对流层的中下部，有时在 700 hPa 等压面上只表现为气旋性弯曲的气流，属于中尺度天气系统，生成源地主要集中出现在川西高原(九龙、巴塘、德钦)，其次是四川盆地中心[1]。

西南涡初生时期多为暖性浅薄系统，常产生阴雨天气，移出概率较低。若 500 hPa 上有青藏高原低槽发展东移，或低涡西北部有强冷空气入侵时，西南涡往往会东移发展，在下游地区造成大范围的大风、暴雨、雷暴等灾害性天气活动[2]。西南涡东移活动路径主要有三条：偏东路径、东北路径和东南路径，其中偏东路径最多，东南路径最少[3]。西南涡全年都有出现，其中夏季出现最多，春秋次之，冬季最少，是我国重要的暴雨系统之一[4]-[11]。

长江中下游区域地处亚热带季风气候，是热带海洋气团和极地大陆气团交替控制和互相交汇的地带，该地区天气和气候变化较为明显，特别是夏季，水汽充沛，暴雨频发，极易产生洪涝灾害。发生于盛夏季节 30°N 以南的西南涡强度远强于其余季节，所产生的天气现象更为激烈，其东移发展在长江中下游区造成的暴雨强度同样较强，且时间持续较长。因此，西南涡诱发的强降水过程对人民的生命财产安全产生了巨大威胁。因此，本文针对 2016 年 6 月 29 日~7 月 2 日一次西南涡东移发展对长江中下游地区引起致洪暴雨天气过程，对西南涡暴雨发生发展过程进行了研究。

2. 资料

本文选取的资料时间段为 2016 年 6 月 29~7 月 2 日，主要来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)联合制作的数据集，该数据集空间分辨率为 1° × 1°，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。中国气象局提供的中国自动气象站与 CMORPH (Climate Prediction Center Morphing technique)降水数据融合的 0.1° × 0.1°格点逐小时数据集。

3. 研究结果

3.1. 西南涡暴雨过程降水分布特征

图 1 为 6 月 29 日 12 时~7 月 1 日 12 时逐 12 h 累计降水量空间分布。由图可见，主要降水区呈现东移发展的趋势，其移动方向与西南涡移动路径基本一致。6 月 30 日 00 时(图 1(a))，西南涡处于川东边界附近，12 小时累计降水量降水中心与低涡中心基本重合，雨带呈东北－西南走向。西南涡在四川境内的发展路径与雨带基本一致，经过川西、川中，进而影响川东地区。7 月 1 日 00 时(图 1(b))，西南涡进一步东移至湖北中西部地区，12 小时累计降水量大值区主要位于湖北中东部地区，其中湖北武汉、黄冈等地区出现特大暴雨中心，降水量达到 140 mm 以上，暴雨中心位于低涡中心右侧，特大暴雨的产生可能与高空冷槽低槽结合以及低层低涡和低空西南急流的强烈发展有关。

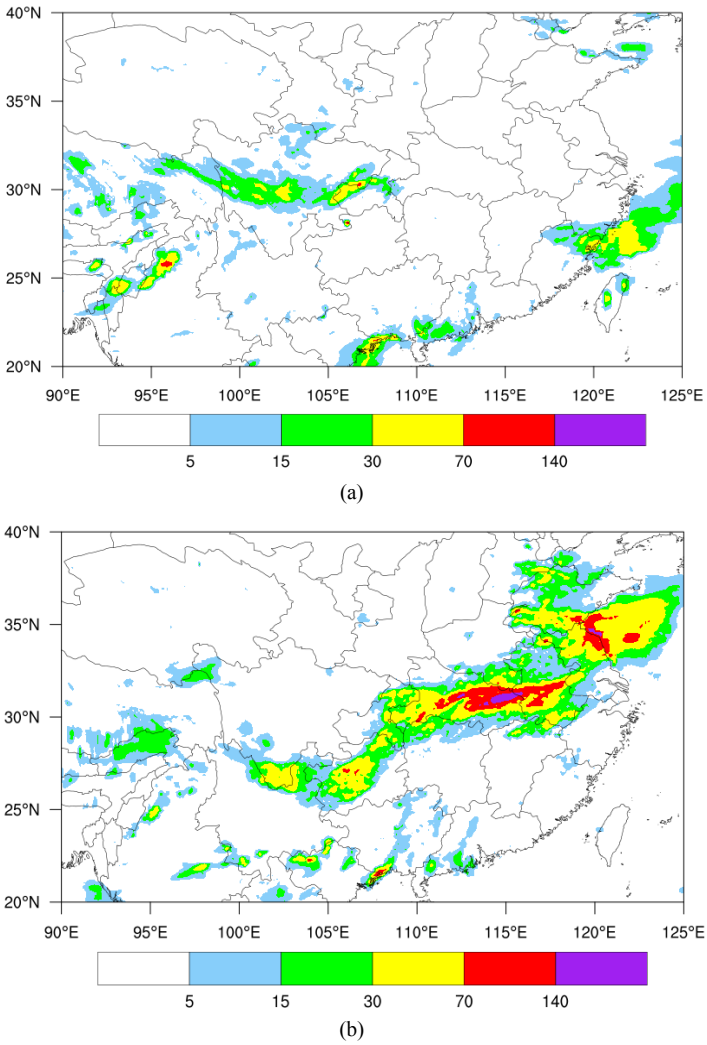

Figure 1. The 12 h accumulated precipitation (shaded) from 12:00 on 29th June to 00:00 on 1st July

图 1. 6 月 29 日 12 时~7 月 1 日 00 时 12 小时累计降水量(阴影)

3.2. 环流形势

为分析导致本次西南涡暴雨发生的基本大气环流形式，选取了 500 hPa 高度场、温度场和风场进行分析(图 2)。由 2016 年 6 月 29 日 18 时 500 hPa 高度场(图 2(a))可见，青藏高原东侧风场呈气旋式旋转，横槽明显，中高纬主要呈“两深槽一浅槽”的不稳定环流形势，两冷涡分别位于乌拉尔山以东和我国东北地区，蒙古西部地区上空有一低槽向南不断输送冷空气。6 月 30 日 06 时(图 2(b))，500 hPa 高度场上两个冷涡稳定维持，蒙古西部的浅槽减弱，但仍不断向华北地区输送冷空气。高原槽东移带来正涡度平流，有利于地面降压形成动力型涡旋，此时低槽发展到川渝地区，槽线呈东北－西南走向，588 线南退减弱。6 月 30 日 18 时(图 2(c))，大气环流形势基本稳定，500 hPa 上中高纬主要呈“两槽一脊”型，贝湖以西上空为脊区，西伯利亚和我国东北地区的冷涡低槽强度基本不变，冷空气经西北路径进入我国中部地区。此时 588 线随低槽东移南压至东南沿海附近，高原低槽处于鄂北、渝贵地区，与高空小冷槽合并加强，来自孟加拉湾的西南气流受 588 线影响，绕流进入华中地区，与来自西北的干冷空气和偏西的西风暖湿气流共同交绥于槽区。进一步由 7 月 1 日 06 时 500 hPa 高度场(图 2(d))可见，贝湖附近的脊向北继续延伸发展，位于蒙古左侧和东侧的低涡中心位置基本不变，但强度稍有减弱。低纬度地区，受位于福建、广东一带的西太平洋副热带高压阻挡，高原低槽移速减慢并稳定维持于鄂中北部附近，槽前西南风增大，急流增强，为湖北省和安徽省产生降水活动提供了有利的动力触发机制。

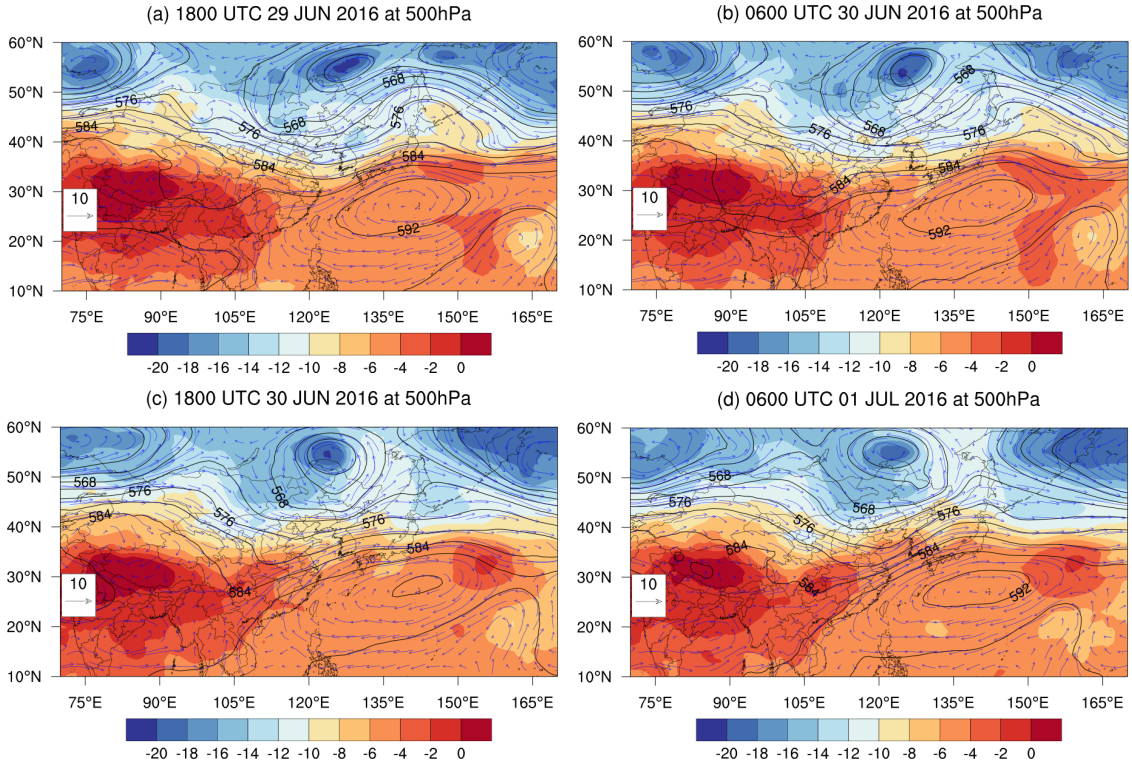

Figure 2. 850 hPa geopotential height (contour), temperature (shaded) and wind (vector) at (a) 18:00 on 29th June, (b) 06:00 on 30th June, (c) 18:00 on 30th June and (d) 06:00 on 1st July

图 2. (a) 6 月 29 日 18 时，(b) 6 月 30 日 06 时，(c) 6 月 30 日 18 时和(d) 7 月 1 日 06 时 850 hPa 高度场(等值线)，温度场(阴影)和风场(矢量)

本次天气过程中，西南涡形成于甘孜理塘、新龙一带。6 月 29 日 18 时，低空 700 hPa 上西南气流增强，川西地区有明显的气流辐合形势，西南涡初步生成。6 月 30 日 00 时(图 3(a))，四川东部有闭合性低

压中心，南充、遂宁和重庆潼南一带有暖式切变存在，为强辐合区。700 hPa 上，川东与重庆交界地区存在明显的气旋性环流，西南气流持续加强。6 月 30 日 12 时(图 3(b))，重庆低空风场呈逆时针旋转，气流辐合上升，但低涡强度有所减弱。7 月 1 日 00 时(图 3(c))，西南涡东移发展至湖南中西部，低涡切变东移辐合增强，西南急流强盛，造成热力不稳定增长，有利于对流产生，急流轴主要位于广西、湖南、安徽等地上空。700 hPa 上，山东半岛附近的浅槽和河南、湖北、贵州等地的深槽合并加强，湖北中东部地区和安徽省位于槽前，槽前为低空急流带，西南暖湿气流与来自北方的冷空气在湖北中东部地区交汇，形成持续性降雨。12 小时后(图 3(d))，西南涡发展至湖北、安徽交界处，切变线东移，西南低空暖湿急流无减弱趋势。700 hPa 上环流配置与 12 小时前基本相同，鄂东、皖中均位于槽前冷暖空气交汇处。

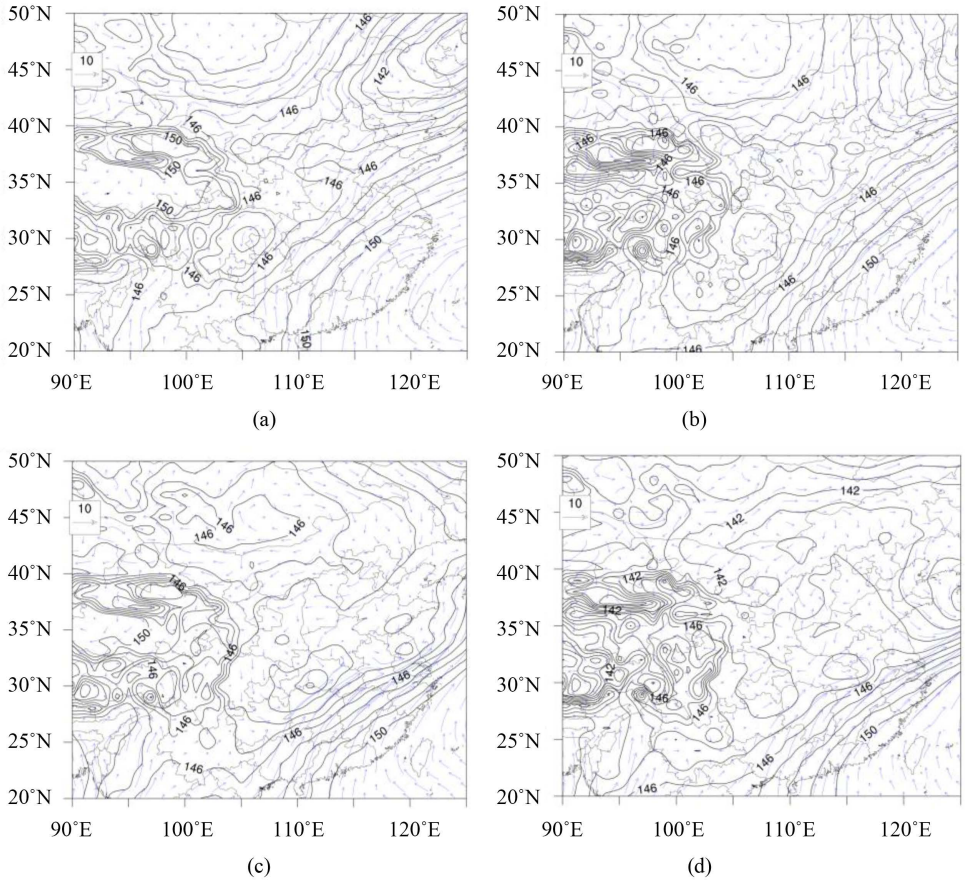

Figure 3. 850 hPa geopotential height (contour) and wind (vector) at (a) 00:00 on 30th June, (b) 12:00 on 30th June, (c) 00:00 on 1st July and (d) 12:00 on 12th July

图 3. (a) 6 月 30 日 00 时，(b) 6 月 30 日 12 时，(c) 7 月 1 日 00 时和(d) 7 月 2 日 12 时 850 hPa 高度场(等值线)和风场(矢量)

3.3. 水汽特征

水汽通量的方向和大小说明了水汽来源和水汽输送量的大小，水汽通量散度说明一定空间范围内的水汽辐合、辐散程度。由 700 hPa 水汽通量场(图 4)可知，此次暴雨过程的水汽输送通道主要有两条，分别为由孟加拉湾地区输送的水汽到达青藏高原东南侧时由于抬升绕流作用随西南气流输送进入四川盆地；另一条是来自孟湾的西南气流和来自中国南海地区的东南季风气流共同携带的水汽在西太副高作用下进入长江中下游地区。6 月 30 日 06 时(图 4(a))，重庆北部附近存在两个较强的水汽辐合区，重庆南部

有一个较强的水汽辐合区，最大通量散度值可达到，结合 12 h 累计降水量分布可知，大暴雨区主要处于右侧，即重庆北地大范围出现强降水天气过程，该处水汽输送较强，主要途径是西南气流经孟加拉湾进入降水区域。7 月 1 日 06 时(图 4(b))，暴雨中心移至湖北东部，水汽来源主要途径是经孟加拉湾的西南低空急流直接进入水汽辐合区，次要途径是经南海的东南气流随西南暖湿气流并入降水区域。

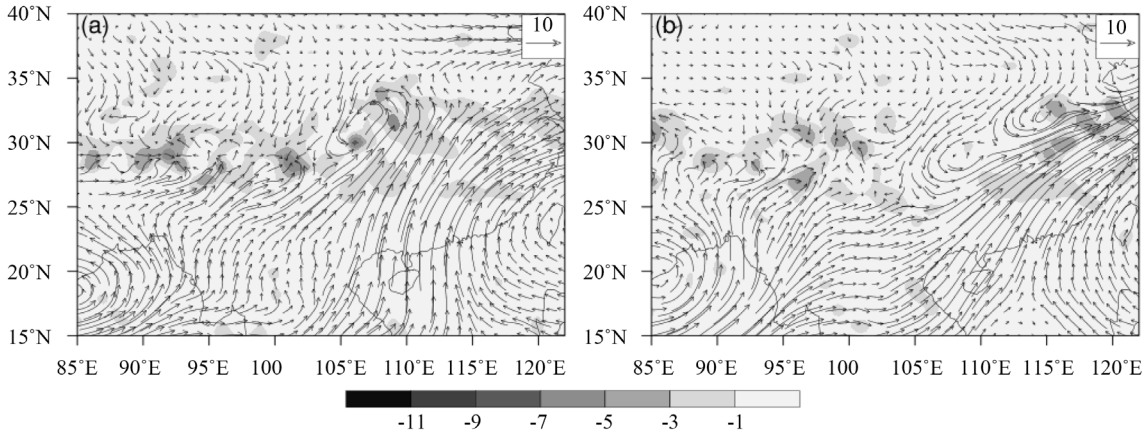

Figure 4. 700 hPa water vapor flux (vector) and divergence of water vapor flux (shaded) at (a) 00:00 on 30th June, (b) 12:00 on 30th June, (c) 00:00 on 1st July and (d) 12:00 on 12th July

图 4. (a) 6 月 30 日 06 时，(b) 6 月 30 日 12 时，(c) 7 月 1 日 00 时和(d) 7 月 12 日 12 时 700 hPa 水汽通量(矢量)和水汽通量散度(阴影)

3.4. 物理量诊断

进一步对西南涡垂直结构进行分析。6 月 30 日 00 时(图 5(a))，西南涡初移阶段，300 hPa 以下为一致的正涡度平流区和负散度值区，700 hPa 高度层附近出现正涡度中心，其中正涡度最大值达到 16×10^{-5} s^{-1}。“Y”型低涡中心柱的左右两侧皆为负散度值区，其辐散速度中心值达 7×10^{-5} s^{-1}，位于 700 hPa 高度层左右，与低涡中心基本重合，300 hPa 高度层上的弱辐散对于整层大气的辐合上升运动无明显影响。结合对应的垂直速度分布(图 6(a))可知，川中东部地区 200 hPa 高度以下气流主要表现为垂直上升运动，400 hPa 左右出现垂直速度最大值，中心速度达到 7 hPa/s，说明此时对流运动强烈发展，降水中心位于涡度大值区与负散度区重合区域。

7 月 1 日 00 时，湖北地区上空 900 hPa~600 hPa 高度层为涡度最大正值柱，此时西南涡进入强盛发展时期，整个涡度正值柱的右侧为负散度值区，对应气流辐合上升区(图 5(b))，而湖北东部上空 400 hPa 高度层附近出现垂直上升速度最大值为 7 hPa/s，近地层有较弱下沉运动，说明该地上空垂直运动运动强烈，导致强降水过程，降水中心主要位于垂直运动大值中心(图 6(b))。7 月 1 日 12 时，西南涡强度减弱，近地层左右两侧各存在一个低涡中心，表现“倒 V”型垂直结构，其左侧涡度正值柱与散度正值区相重合，气流以辐散下沉为主，右侧涡度正值中心与负散度中心重合，其散度中心值高达 10×10^{-5} s^{-1}，说明该层大气辐合上升依旧剧烈(图 5(c))，降水中心位于垂直上升运动速度大值区，即负散度大值区与垂直上升运动大值区重合区域(图 6(c))。

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和 CMORPH 融合逐时降水格点数据，对 2016 年 6 月 29 日~7 月 2 日发生的一次西南涡东移引发的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，得到以下初步结论：

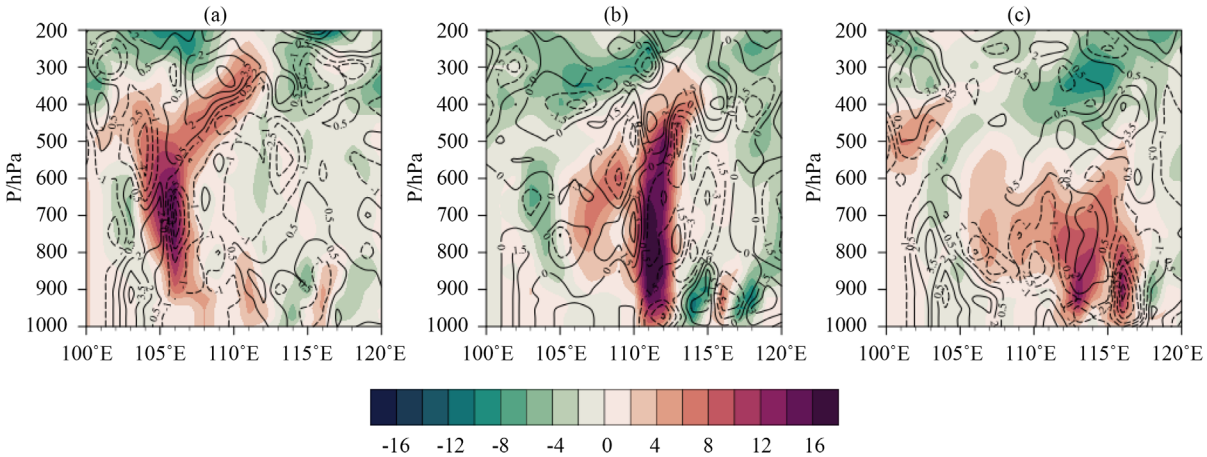

Figure 5. Vertical relative vorticity (shaded) and divergence (contour) along 30˚N at (a) 06:00 on 30th June, (c) 00:00 on 1st July and (c) 12:00 on 12th July

图 5. (a) 6 月 30 日 06 时，(b) 7 月 1 日 00 时和(c) 7 月 12 日 12 时沿 30˚N 相对涡度(阴影)和散度(等值线)垂直剖面图

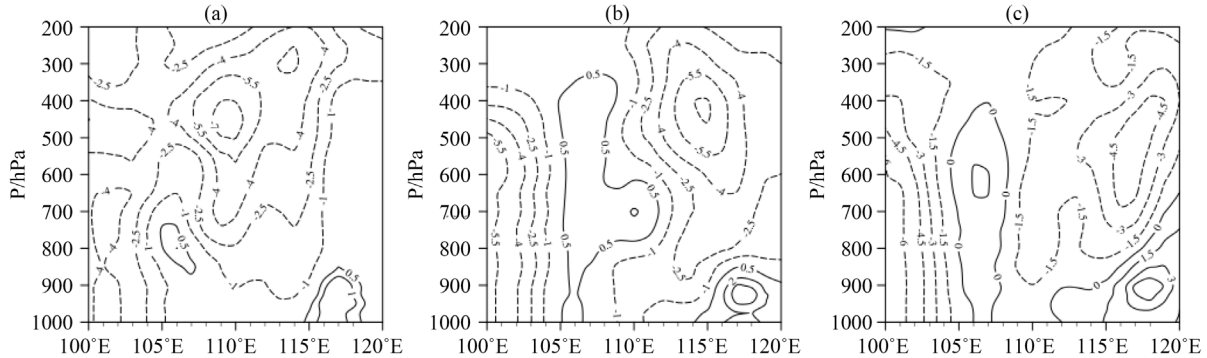

Figure 6. The vertical velocity along 30˚N at (a) 06:00 on 30th June, (c) 00:00 on 1st July and (c) 12:00 on 12th July

图 6. (a) 6 月 30 日 06 时，(b) 7 月 1 日 00 时和(c) 7 月 2 日 12 时沿 30˚N 垂直速度剖面图

1) 本次西南涡主要发展在 850 hPa 附近，西南地区上空 500 hPa 高原深槽东移、700 hPa 的气旋切变和低空暖湿气流的增强促使西南涡生成并迅速东移发展，副高的稳定维持和深厚的中低空西南急流为特大暴雨的产生提供了有利的条件。

2) 本次西南涡暴雨降水过程的水汽主要来源于孟加拉湾。西南涡在湖北东部滞留发展的主要原因是受到 588 线的阻挡，高原低槽和冷槽合并发展，副高西侧的西南急流作为充足的水汽来源和强烈的动力触发条件，导致了该天气过程的发生。

3) 降水中心位于涡度大值区与负散度区和垂直运动中心重合区域，有利于降水进一步增强。

基金项目

四川省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] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理及方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 366-372.

[2] 刘红武, 李国平. 近三十年西南低涡研究的回顾与展望[J]. 高原山地气象研究, 2008(2): 68-73.

[3] 范娇, 陈科艺. 有无台风影响下西南涡特征统计分析[J]. 高原气象, 2019, 38(4): 744-755.

[4] 姜勇强, 张维桓, 周祖刚, 等. 2000 年 7 月西南涡暴雨过程的分析和数值模拟[J]. 高原气象, 2004(1): 55-61.

[5] 李国平, 万军, 卢敬华. 暖性西南低涡生成的一种可能机制[J]. 应用气象学报, 1991(1): 91-99.

[6] 刘国忠, 丁治英, 贾显锋. 影响华南地区西南低涡以及致洪低涡活动的统计研究[J]. 气象研究与应用, 2007(S1): 53-59.

[7] 张小峰, 刘元珺, 徐娟娟, 等. 西南低涡背景下秦巴山区强降水特征[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(34): 191-193.

[8] 陈志恺, 张福元. 对 1963 年 8 月上旬海河流域特大暴雨的初步分析[J]. 水利水电技术, 1964(5): 23-27+59-4.

[9] 吴国雄, 蔡雅萍. 湿位涡和倾斜涡度发展[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 387-405.

[10] 孙婕, 李国平. 西南低涡东移引发重庆暴雨的综合诊断[J]. 高原山地气象研究, 2013, 33(2): 10-17.

[11] 赵思雄, 傅慎明. 2004 年 9 月川渝大暴雨期间西南低涡结构及其环境场的分析[J]. 大气科学, 2007, 31(6): 1059-1075.