

贵州一次秋季暴雨过程的成因及湿位涡诊断分析

毛春旭, 孙翔, 高鹏, 张润琼

贵州省六盘水市气象局, 贵州 六盘水
Email: 419859418@qq.com

收稿日期: 2020年8月20日; 录用日期: 2020年9月4日; 发布日期: 2020年9月11日

摘要

利用常规气象观测资料、区域自动站资料及NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料对2019年9月7~9日贵州暴雨过程进行成因及湿位涡诊断分析。结果表明: 东部沿海维持的低槽对高原槽有明显的阻挡作用, 使高原槽在川东至黔西北地区加深为低涡, 为贵州中西部连续暴雨提供有利的动力条件; 孟加拉湾强烈的水汽输送是此次暴雨产生的重要条件之一; 地面弱冷空气持续入侵贵州, 为地面辐合锋生提供触发条件; 低层MPV1 < 0 、MPV2 > 0 是贵州发生暴雨天气的有利形势, MPV1低层负值、高层正值的“垂直叠加”配置形势有利于暴雨的出现。

关键词

高原槽, 低涡, 孟加拉湾水汽, 湿位涡

Diagnostic Analysis of Causes and Moist Potential Vorticity for an Autumn Heavy Rain in Guizhou

Chunxu Mao, Xiang Sun, Peng Gao, Runqiong Zhang

Liupanshui Meteorological Bureau of Guizhou, Liupanshui Guizhou
Email: 419859418@qq.com

Received: Aug. 20th, 2020; accepted: Sep. 4th, 2020; published: Sep. 11th, 2020

Abstract

Based on the data from the conventional meteorological and automated stations, NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ reanalysis, diagnostic analysis of cause and moist potential vorticity for a heavy rain in Guizhou on

September 7-9, 2019, the results show that the rough-maintained along the eastern coast has an obvious blocking effect on the plateau trough, the plateau trough deepens a vortex at eastern Sichuan and northwest Guizhou, which provides favorable dynamic conditions for continuous heavy rain development in central and western Guizhou; strong water vapor transport from the Bay of Bengal is one of the important conditions for this process. The weak cold air continues to invade Guizhou, providing triggering conditions for surface convergence front generation; lower layers $MPV1 < 0$, $MPV2 > 0$ are a favorable situation for heavy rain in Guizhou. It is a good situation when uphole stack of $MPV1$ negative value is in lower layers and $MPV1$ positive value in higher layers.

Keywords

Plateau Trough, Vortex, Water Vapor from Bay of Bengal, Moist Potential Vorticity

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

贵州省处于云贵高原东段的青藏高原东南坡上,属于亚热带季风气候,地形复杂,灾害天气频繁。暴雨灾害是贵州主要的气象灾害之一。贵州暴雨出现时间按季节划分为4个时段:春季暴雨(3至4月)、初夏暴雨(5月至6月中旬)、盛夏暴雨(6月下旬至8月)和秋季暴雨(9至10月)。大量学者对夏季季风最为活跃的夏季暴雨的成因、特征等进行了研究,对秋季暴雨的分析则较少。9月以后,由于副热带高压势力减弱南撤,西风带逐渐恢复,贵州降水减少。若中低层暖湿气流活跃,导致水汽、能量条件持续输送,同时低层或地面有冷空气侵入,将会导致秋季暴雨的发生。吉廷艳等[1]分析了水汽条件、不稳定能量及动力条件等因子在一次贵州省秋季暴雨过程中的重要作用。赵杰等[2]对贵州一次秋季暴雨的涡度、水汽通量散度、动能等物理量特征进行分析,研究暴雨落区与物理量的相互关系。本文对2019年9月7~9日发生在贵州中西部的一次秋季暴雨天气进行成因及湿位涡诊断分析,以期对今后贵州秋季暴雨预报提供一定的参考。

2. 降雨实况及特点

2019年9月7~9日,贵州中西部遭遇了2019年入秋以来最强的降雨天气过程。此次降雨共出现暴雨672站,大暴雨412站,特大暴雨(大于200毫米)61站,累计最大降雨量达385毫米。其中,9月7日20时~8日20时(图1左),暴雨区位于贵州西北部,共出现暴雨310站、大暴雨104站,特大暴雨2站,最大降雨量为毕节市织金县桂果镇241.2毫米,最大小时雨强为99.2毫米;8日20时~9日20时(图1右),降雨落区南移至贵州西南地区,共出现暴雨392站、大暴雨172站、特大暴雨28站,最大降雨量为安顺市镇宁县炳云站368.8毫米,最大小时雨强为78.8毫米。此次降雨过程持续时间较长,强降雨区域从北到南,影响贵州省中西部地区,范围较广。降雨时段主要集中在7日夜间和8日夜间,降雨强度大,夜雨特征明显。

3. 成因分析

3.1. 环流形势

在强降雨开始前,500 hPa的中高纬度为“两槽一脊”形势,强台风“玲玲”位于我国东部沿海,孟加拉湾西北部存在季风低压,川南有低槽扰动,华北至川东北为一个弱高压脊控制,贵州为脊前西北气流影响。7日20时(图2(a)),“两槽一脊”形势基本维持,台风“玲玲”移至东北地区减弱为低涡槽,

其南部槽区在东部沿海维持，高原槽东移川东，我省中北部受槽前西南气流影响。沿海低槽的长时间维持对高原槽有明显的阻挡作用，使高原槽在缓慢东移过程中得到加深发展。8日20时(图2(b))，高原槽在川东和黔西北地区发展为低涡，暴雨区位于低涡东南侧的贵州西南部。随着沿海低槽的减弱，海上副热带高压加强西伸，低涡南落西移至滇东，贵州中西部的强降雨天气结束。

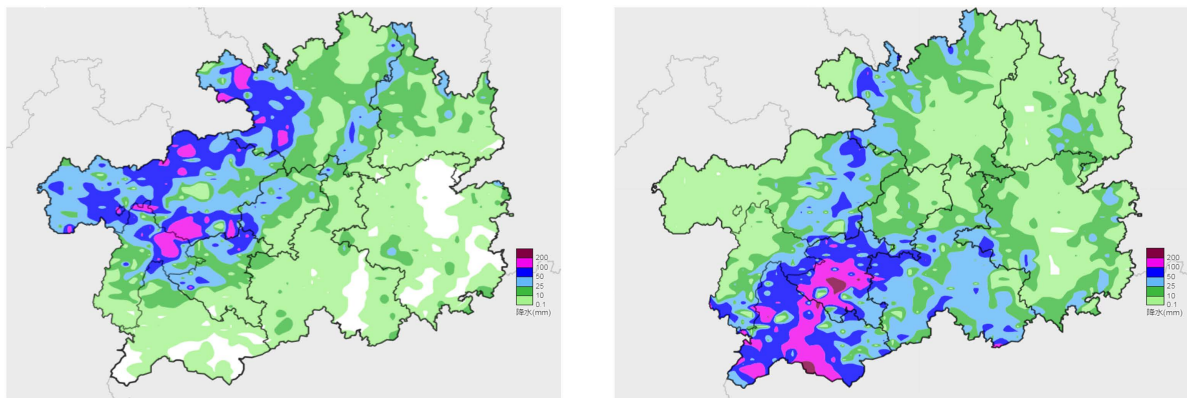


Figure 1. Rainfall distribution at 20:00 on September 7-8, 2019 (left) and 20:00 on September 8-9, 2019 (right) (unit: mm)
图 1. 2019年9月7日20时~8日20时(左)、8日20时~9日20时(右)降雨量分布(单位:毫米)

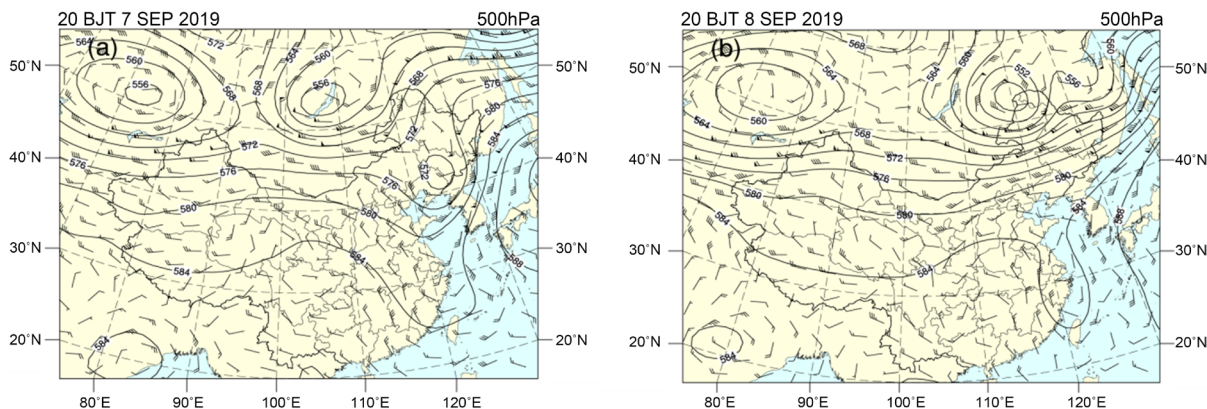


Figure 2. Height field and wind field of 500 hPa at 20:00 on September 7 (a) and 20:00 on September 8 (b), 2019
图 2. 2019年9月7日20时(a)、8日20时(b) 500 hPa 高度场和 wind 场

中低层影响系统主要是从川东南切变南压发展而来的低涡。叠加 500 hPa、700 hPa、850 hPa 三层系统配置分析可知，9月7日高原槽及中低层辐合位置偏北偏西，因此在贵州西北部出现局地暴雨天气；8日受沿海低槽的阻挡，高原槽及中低层切变在川东南至贵州西部发展为深厚的低涡，为贵州中西部暴雨的产生提供了十分有利的条件。

3.2. 冷空气的影响

从地面系统演变可以看出，贝湖低压后部不断有弱冷空气从偏北路径南下影响贵州，强降水天气发生在冷暖空气交汇的地方。7日夜间，地面辐合从黔西北边缘缓慢南压至贵州西部、北部，8日夜间地面辐合线位于贵州中南部一线。

3.3. 水汽通量

充沛的水汽是暴雨形成的必要条件之一，所以水汽条件已成为暴雨预报分析中重点考虑的问题之一。

为了定量描述水汽输送的方向、大小以及何处集中,引入了表征水汽条件的物理量,即水汽通量。水汽通量其实就是单位时间内通过单位面积的水汽质量。它表示了水汽的输送强度和方向。

从 700 hPa 水汽通量可知,6 日夜间贵州西北部水汽通量有一个明显增大的多过程(图略)。7 日 20 时(图 3(a)),孟加拉湾的水汽经云南输送到贵州的西部和北部,滇黔交界和黔渝交界分别有水汽通量大值区,中心值大于 $1.3 \text{ g/cm}^2\cdot\text{s}$,夜间云贵渝三省水汽通量大值区域不断扩大,强度增强。随着水汽输送通道南移及强降水的发生,至 8 日 08 时,贵州西北部的水汽通量值有所降低,但其余地区仍处于大值区,中心值达 $1.5 \text{ g/cm}^2\cdot\text{s}$ 以上。8 日 20 时(图 3(b)),水汽输送通道进一步南移,位于贵州中南部及东北部,水汽输送到达地区偏北,大值区北移,贵州西南部暴雨区的中心值达 $1.1 \text{ g/cm}^2\cdot\text{s}$ 以上,8 日夜间贵州中南部维持较大的水汽通量。

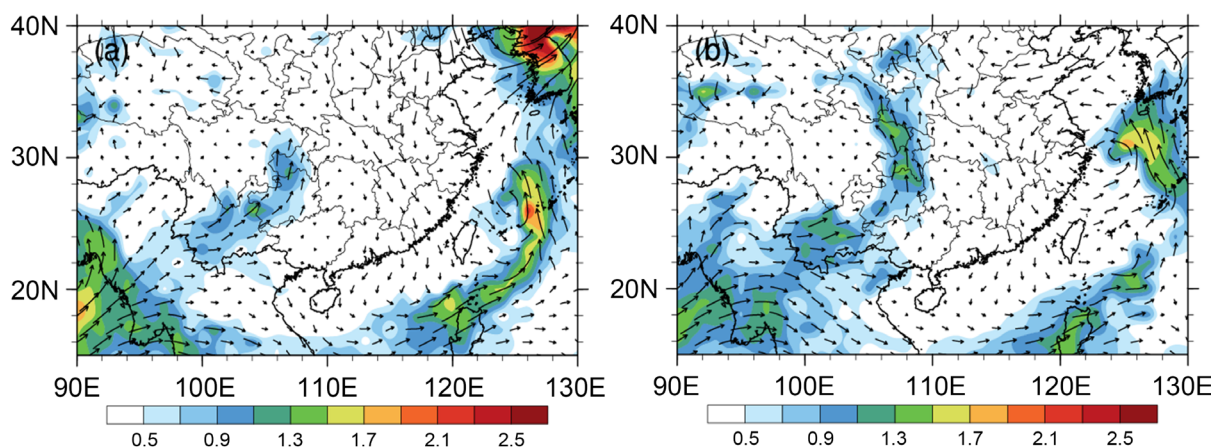


Figure 3. 700 hPa water vapor flux at 20:00 on September 7, 2019 (a) and 20:00 on September 8, 2019 (b) (unit: $\text{g/cm}^2\cdot\text{s}$)

图 3. 2019 年 9 月 7 日 20 时(a)、8 日 20 时(b)700hPa 水汽通量(单位: $\text{g/cm}^2\cdot\text{s}$)

从 850 hPa 的水汽通量可知,6 日夜间贵州中部水汽通量亦有所增大。7 日夜间,水汽通量值进一步增大,8 日 02 时(图 4(a)),孟加拉湾及南海水汽在广西附近加强北上贵州,黔桂交界有一水汽通量大值区,中心值达 $2.1 \text{ g/cm}^2\cdot\text{s}$,孟加拉湾经云南的西南风对贵州也有一定的水汽输送。到了 8 日夜间,贵州境内水汽通量的强度有所减弱,位置较 7 日夜间偏南偏东,大值区南移至广西境内,中心值约 $1.7 \text{ g/cm}^2\cdot\text{s}$ 左右(图 4(b))。

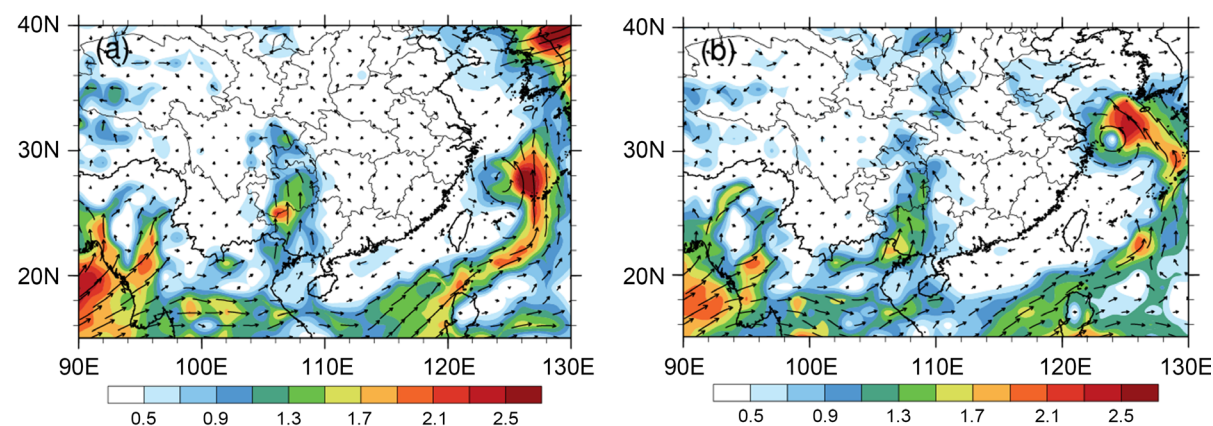


Figure 4. 850 hPa water vapor flux at 02:00 on September 8, 2019 (a) and 02:00 on September 9, 2019 (b) (unit: $\text{g/cm}^2\cdot\text{s}$)

图 4. 2019 年 9 月 8 日 02 时(a)、9 日 02 时(b) 850 hPa 水汽通量(单位: $\text{g/cm}^2\cdot\text{s}$)

由以上分析表明：强降水发生前，水汽通量值已经有所增大；此次贵州中西部连续暴雨是在孟加拉湾较长时间持续输送水汽的条件下产生的；水汽通道的位置及强度对暴雨落区有较好的指示意义，暴雨一般发生在 700 hPa 水汽通量中心值线附近以及 850 hPa 水汽通量中心值线左前方及左侧。

3.4. 垂直速度

7 日午后至夜间，贵州中北部为一致的负垂直速度区，负速度中心值维持在 $-0.4 \sim -0.8$ m/s 之间(图 5(a))，说明上升运动明显，且持续时间长；8 日白天到夜间，川黔渝处于大范围的上升运动区，贵州东北部有一个负速度中心，强度有所减弱(图 5(b))，到 9 日 08 时上升运动运动已不明显，降水明显减弱。

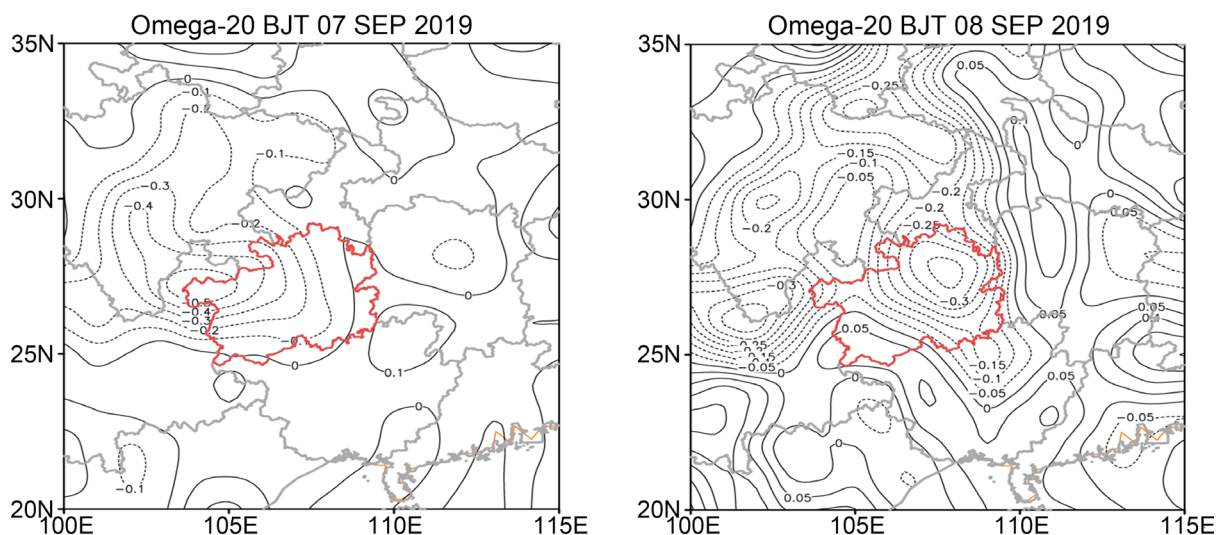


Figure 5. 700 hPa Vertical velocity at 20:00 on September 7 (a) and 20:00 on September 8 (b), 2019 (unit: m/s)

图 5. 2019 年 9 月 7 日 20 时(a)、8 日 20 时(b) 700 hPa 垂直速度(单位: m/s)

4. 湿位涡诊断分析

根据湿位涡守恒理论[3]，湿位涡(MPV)可分解成垂直分量(湿正压项)和水平分量(湿斜压项)。湿正压项的值取决于空气块绝对湿度的垂直分量与相当位温垂直梯度的乘积[4]。对于湿正压项(MPV1)有：(1) 大气是对流不稳定时， $MPV1 < 0$ ；(2) 大气是对流稳定时， $MPV1 > 0$ 。湿斜压项(MPV2)的值则由风的垂直切变和 θ_{se} 的水平梯度决定，反映了大气的湿斜压性。低层较大的正 MPV2 可以作为低空暖湿气流的示踪[5]。湿位涡的单位为 PVU， $1PVU = 10^{-6} \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$ 。

4.1. 湿位涡正压项(MPV1)分析

贵州位于东经 $103.6^{\circ} \sim 109.5^{\circ}$ 、北纬 $24.6^{\circ} \sim 29.2^{\circ}$ 之间。沿连续强降水中心附近的 $105^{\circ}E$ 作 MPV1 的经向垂直剖面得到图 6 所示。此次过程中湿位涡的负值区一般达 550 hPa 至 500 hPa。7 日 20 时，贵州区域 550 hPa 以上为正值区，但无明显的高值区，说明此时高空槽及冷空气较稳定，550 hPa 以下为负值区， -1.2 PVU 的中心位于 $27^{\circ}N$ 附近的 850 hPa 高度，表明此高度存在强的对流不稳定区。此外， $28^{\circ}N$ 以北有中心值为 0.2 PVU 的正值区向下伸至 850 hPa，说明此时贵州北部边缘已有冷空气入侵到低层。8 日 02 时至 08 时，位于上述地区的负中心值减弱为 -1.0 PVU，但是 $24^{\circ}N \sim 28^{\circ}N$ 对流层低层负值区对应的对流层高层有“漏斗”形高湿位涡区向下伸展，中心值为 0.4 PVU，表明对流层高层为对流稳定区，冷空气向下入侵。这种低层负值区对应高层正值区的“正负值垂直叠加”配置[5] [6]有利于强对流的发

展,是产生暴雨天气的有利形势。8日20时,负值中心区向南移至 26°N ,强度为 -0.8 PVU ,对流层高层同样有明显正值区配合, 27°N 以北有中心值为 0.2 PVU 的正值区向下伸展到 700 hPa ,说明冷空气南压至贵州中北部,暴雨区南移至中南部。9日08时对流高层正值中心值进一步增强至 0.8 PVU ,贵州中南部地区的正值范围扩展到 750 hPa 附近,仅在低层有明显的负值,说明对流不稳定层结转为浅薄,降水减弱。

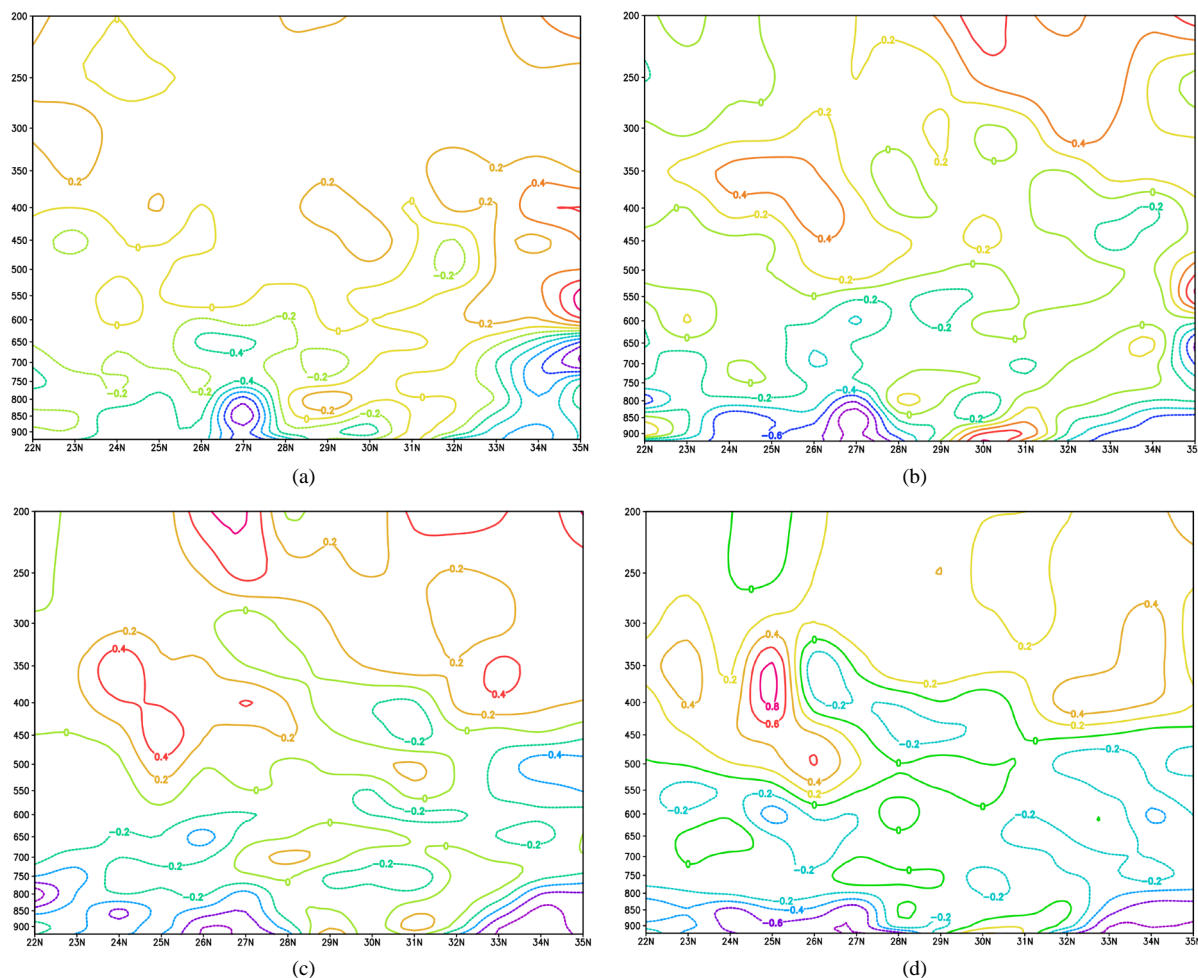


Figure 6. Latitude-height cross section of MPV1 along 105°E at (a) 20:00 on 7, (b) 08:00, (c) 20:00 on 8 and (d) 08:00 on 9 September 2019 (unit: PVU)

图 6. 2019年9月7日20时(a)、8日08时(b)、8日20时(c)、9日08时(d) MPV1 沿 105°E 经向垂直剖面图(单位: PVU)

4.2. 湿位涡斜压项(MPV2)分析

沿 105°E 作 MPV2 的经向垂直剖面可得图 7 所示。7日20时,贵州北部和南部低层各有一个正值区,中心值达分别达到 0.15 PVU 和 0.2 PVU ,说明贵州南部及暴雨区上空存在暖湿气流输送,有较强的斜压性。贵州北部 700 hPa 附近同时存在一个负值区,中心值为 -0.1 PVU ,暴雨区位于正值过渡带的 MPV2 等值线密集区域内。8日08时贵州区域上空正值区强度大范围减弱,降水减弱。8日20时,正值区明显向南扩展, 23°N 和 25°N 各有一个正值中心,中心值为 0.15 PVU , 25°N 近地面有负值区,中心值 -0.05 PVU ,说明贵州南部暴雨区存在明显的暖湿气流,9日08时,贵州区域低层正值区减小,强度减弱,降水减弱。

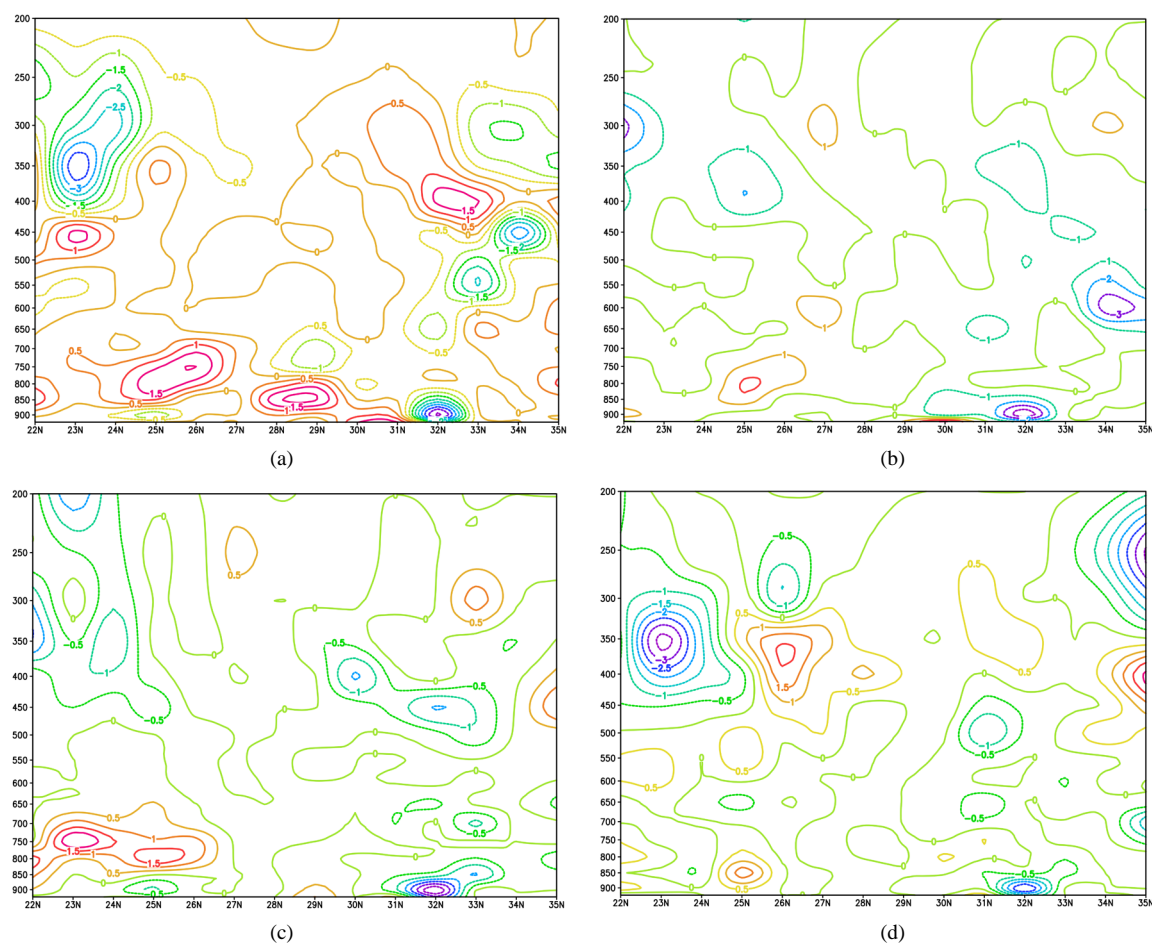


Figure 7. Latitude-height cross section of MPV2 along 105°E at (a) 20:00 on 7, (b) 08:00, (c) 20:00 on 8 and (d) 08:00 on 9 September 2019 (unit: $\text{PVU}\cdot 10^{-1}$)

图 7. 2019 年 9 月 7 日 20 时(a)、8 日 08 时(b)、8 日 20 时(c)、9 日 08 时(d) MPV2 沿 105°E 经向垂直剖面(单位: $\text{PVU}\cdot 10^{-1}$)

5. 结论

(1) 此次过程是由于高原槽缓慢东移至西南地区东部加深发展为低涡, 配合中低层切变, 在贵州中西部地区地面辐合线触发产生的强降雨天气;

(2) 此次暴雨产生的重要条件之一是孟加拉湾持续强烈的水汽输送;

(3) 低层 $\text{MPV1} < 0$ 、 $\text{MPV2} > 0$ 是贵州发生暴雨天气的有利形势。其中, MPV1 低层负值、高层正值的“垂直叠加”配置有利于暴雨出现; 中低层 MPV2 的正值区表明有暖湿气流存在, MPV2 正负交界的过渡区易产生暴雨。

参考文献

- [1] 吉廷艳, 杜正静. 贵州秋季一次大范围暴雨过程分析[J]. 贵州气象, 2001, 25(2): 25-28.
- [2] 赵杰, 杨静. 一次秋季暴雨过程的物理量特征分析[J]. 贵州气象, 2005(29): 7-9.
- [3] 吴国雄, 蔡雅萍, 唐晓箐. 湿位涡和倾斜涡度发展[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 387-404.
- [4] 张润琼, 刘艳雯, 沈桐. 贵州大暴雨的湿位涡诊断分析[J]. 灾害学, 2007, 22(4): 6-10.
- [5] 王宏, 寿绍文, 王万筠, 等. 一次局地暴雨过程的湿位涡诊断分析[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(3): 129-134.
- [6] 李静楠, 潘晓滨, 臧增亮, 等. 一次华北暴雨过程的湿位涡诊断分析[J]. 暴雨灾害, 2016, 35(2): 158-165.