

文章编号: 2096-1618(2022)02-0202-06

凉山“6·26”致洪暴雨天气的成因分析

陈文龙¹, 竹利², 黄欣¹, 陈朝平³

(1. 凉山州气象局, 四川 西昌 615000; 2. 南充市气象局, 四川 南充 637000; 3. 四川省气象台, 四川 成都 610072)

摘要:为提高凉山州致洪暴雨的预报水平,利用地面和高空观测资料、FY-2G 卫星的 TBB 资料、西昌多普勒天气雷达基数据以及 NCEP 和 ECMWF 的再分析资料,从天气学角度对 2020 年 6 月 26 日夜间发生在凉山州北部的一次致洪暴雨天气的成因进行诊断分析,结果表明:对流层中层的短波槽和低层具有气旋性曲度的偏南气流为暴雨的产生提供了有利的环流条件;低层偏南风与中尺度低涡后部的东北风形成的中尺度切变线支持了 MCC 的发展,是强降水发生的主要动力来源;雷达回波表现出显著的逆风区和“列车效应”特征;低层显著的水汽辐合配合深厚的上升运动,以及降水前低层的对流不稳定和斜压不稳定都有利于暴雨的发生。通过对“6·26”暴雨的分析为凉山州致洪暴雨的预报提供了有利的参考依据。

关键词:中尺度气象学;致洪暴雨;中尺度低涡;辐合;MCC;列车效应

中图分类号:P458.3

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2022.02.014

0 引言

凉山州地处四川省西南部,位于四川盆地向云贵高原过渡的多山地带,西北部紧邻青藏高原。凉山境内的主要山脉和河谷多为南北走向(图1),单位水平距离内海拔高度差异极大,最高峰为5958 m的恰朗多吉雪山,最低点在雷波县的金沙江河谷内,仅有305 m。虽然处于内陆,但由于有来自孟加拉湾和南海丰沛的水汽输送,短时间内的较强降雨容易在河谷及周边的山洪沟内引发洪水,因而暴雨成了凉山州最严重的灾害性天气。安宁河谷纵贯凉山州中部,河谷底部宽阔且较为平坦,人口密度大,工农业相对发达,是本地重要的经济中心。2020年6月26日夜间,凉山州北部的冕宁、越西等县出现一次突发的大暴雨天

气,暴雨在冕宁县的安宁河谷附近引发山洪,造成非常严重的人员伤亡和财产损失。

对凉山及周边暴雨特点和成因的大量研究^[1-16]表明:高空槽、低空切变线、低空低涡、低空急流等是产生暴雨的重要天气系统,而地形对降水的增幅作用也非常显著。由于凉山地理位置和地形的特殊性,暴雨发生时,各种天气系统的配置可能与周边地区,特别是四川盆地存在不同。本文利用多种气象资料详细分析此次罕见致洪暴雨天气的特点,以期对本地暴雨的成因有新的认识。

1 天气实况

从图2(a)可以看到,暴雨区主要分布在凉山州北部的冕宁、越西、甘洛、美姑4县,暴雨中心在冕宁县城到越西县城之间,其中共有大暴雨7站、暴雨32站,最大降雨量为冕宁县灵山寺的182.2 mm,洪灾就主要发生在灵山寺附近的沟谷中。在灵山寺的小时雨量图(图2b)上,26日19时开始出现降雨,但小时雨量都不大;26日22时小时雨量突然增大,即从21时的2.7 mm陡增至46.0 mm;之后3 h的小时雨量都超过了20 mm,其中27日00时的小时雨量达到峰值(69.3 mm),该小时雨量为凉山州自动气象观测以来的历史极值。27日02时的小时雨量迅速减小至1.2 mm,27日03时以后已无明显降雨。此次暴雨具有局地性和突发性强以及小时雨量大的特点,并以夜间降水为主。

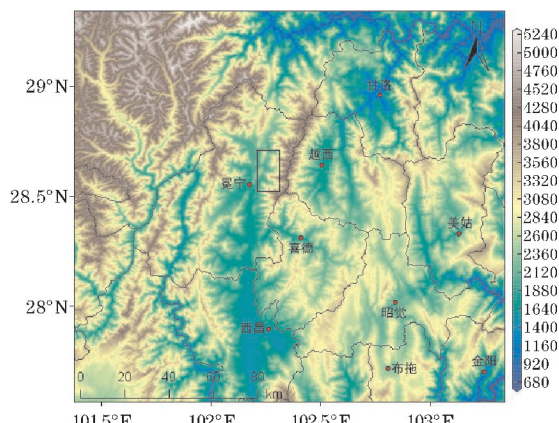
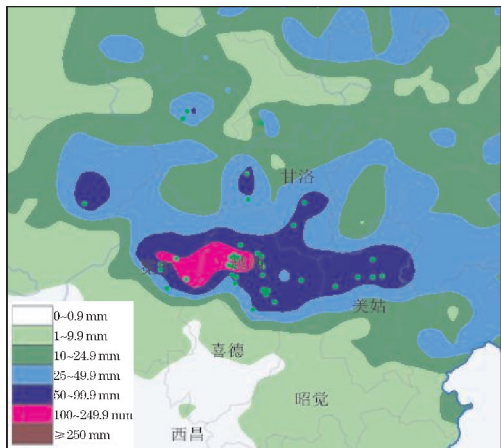


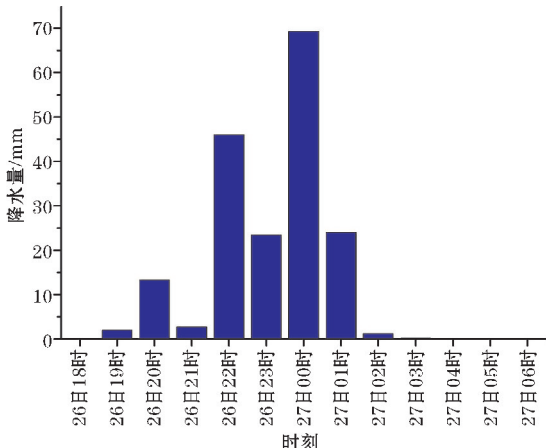
图1 凉山州北部及周边地形(黑色框内为发生山洪的大致范围)

收稿日期:2021-01-11

基金项目:中国气象局气象预报业务关键技术研发专项资助子项目(YBGJXM(2020)2A-14)



(a) 凉山州北部及周边 24 h 降水量填色图



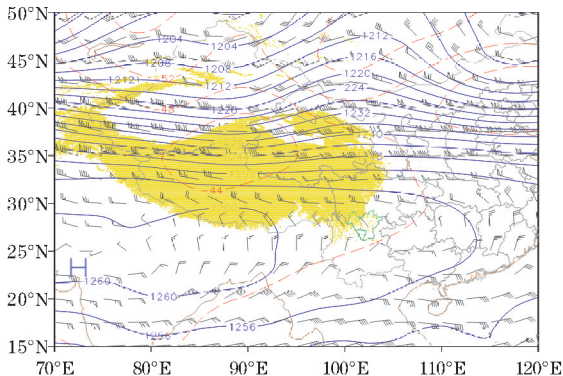
(b) 冕宁县灵山寺小时降水量柱状图

图 2 2020 年 6 月 26 日 08 时-27 日 08 时降水量实况

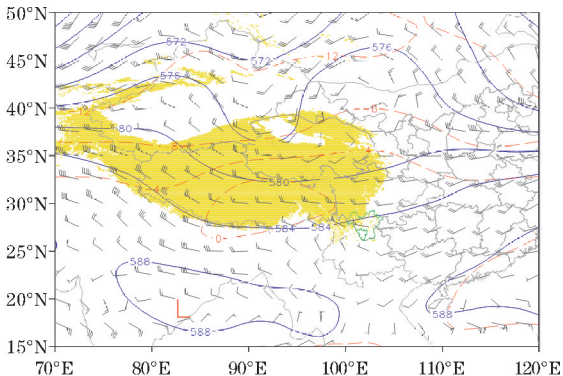
2 大气环流背景

从 26 日 20 时的高低层环流形势(图 3)上可以看到,200 hPa 上,南亚高压反气旋环流的范围在 18 °N ~ 32 °N,高压脊线位于 23 °N 附近,凉山州在高压东部脊线的北侧。500 hPa 上,东亚中纬度低槽的活动位置偏北,印度北部到中国西南地区的有短波槽活动,无温度

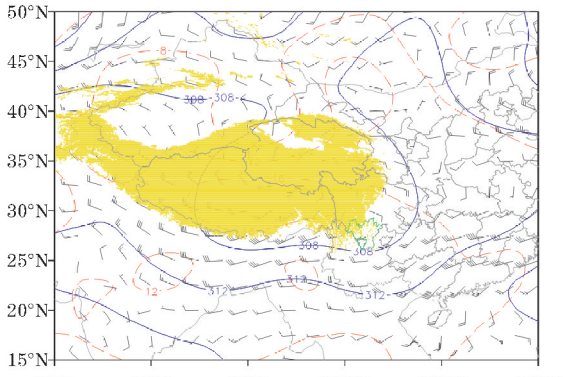
槽与之配合,凉山州位于短波槽槽区附近。700 hPa 上,印度北部的西风气流在绕过青藏高原东南侧后北上,在凉山州形成气旋性弯曲,同时还伴有风速辐合,等温线非常稀疏,青藏高原东南侧没有锋区存在。地面上,东亚无明显冷空气活动,西南地区东部有一闭合热低压,其中心位于凉山州到黔西一带,中心气压在 997.5 hPa 以下。



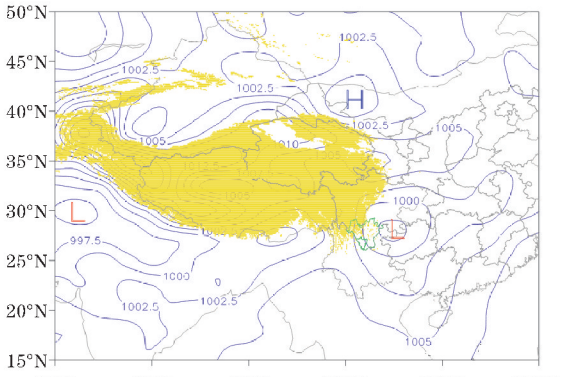
(a) 200 hPa



(b) 500 hPa



(c) 700 hPa



(d) 地面

图 3 2020 年 6 月 26 日 20 时天气图(黄色阴影为东亚海拔 3 km 以上地形,绿色边界内为凉山州)

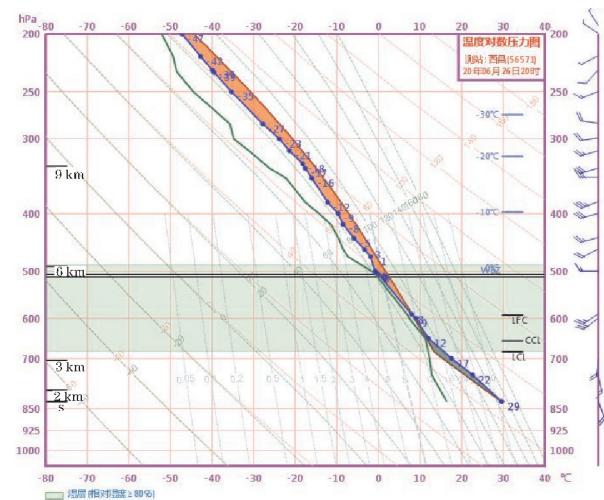


图 4 2020 年 6 月 26 日 20 时西昌站(海拔高度 1590 m)T-lnP 图

图 4 可以看到,在距离暴雨中心不远处的西昌站上空,从低层到中层由南风顺转为偏西风,有明显的暖平流,抬升点的气温达到了 29°C ;湿层位于 700 ~ 500 hPa 且绝对湿度大,500 hPa 和 700 hPa 的比湿分别达到了 $7\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $13\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;自由对流高度适中,在 600 hPa 附近;CAPE 为 $1101.8\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$,SI 为 -2.03°C ,

具有较强的对流不稳定能量。从环流与环境特点不难看出,这是一次典型的暖区暴雨天气。

3 中尺度特征

3.1 低空风场和卫星图像

700 hPa 的风场上,26 日午后甘孜州南部开始出现东北风和东南风的辐合线,零散的对流云合并后迅速发展,MCC 开始形成;26 日傍晚到夜间(图 5),凉山州中南部到云南为大范围的偏南风低空急流,偏南风在凉山州北部形成明显的风速辐合。第一阶段(图 5a ~ c),偏南风的一支在凉山州东北侧转向西南,出现气旋性弯曲,并与强盛的偏南风在凉山北部形成中尺度切变线。该切变线两侧的气流来源相同,均具有暖湿的特性。随着气旋曲率的增加,切变辐合强度逐渐加强。此时的 MCC 进入发展阶段,冷云区面积增大,形状近似圆形,中心 TBB 达到了 -72°C 以下,出现降水。第二阶段(图 5d ~ f),凉山州东北侧气流的中尺

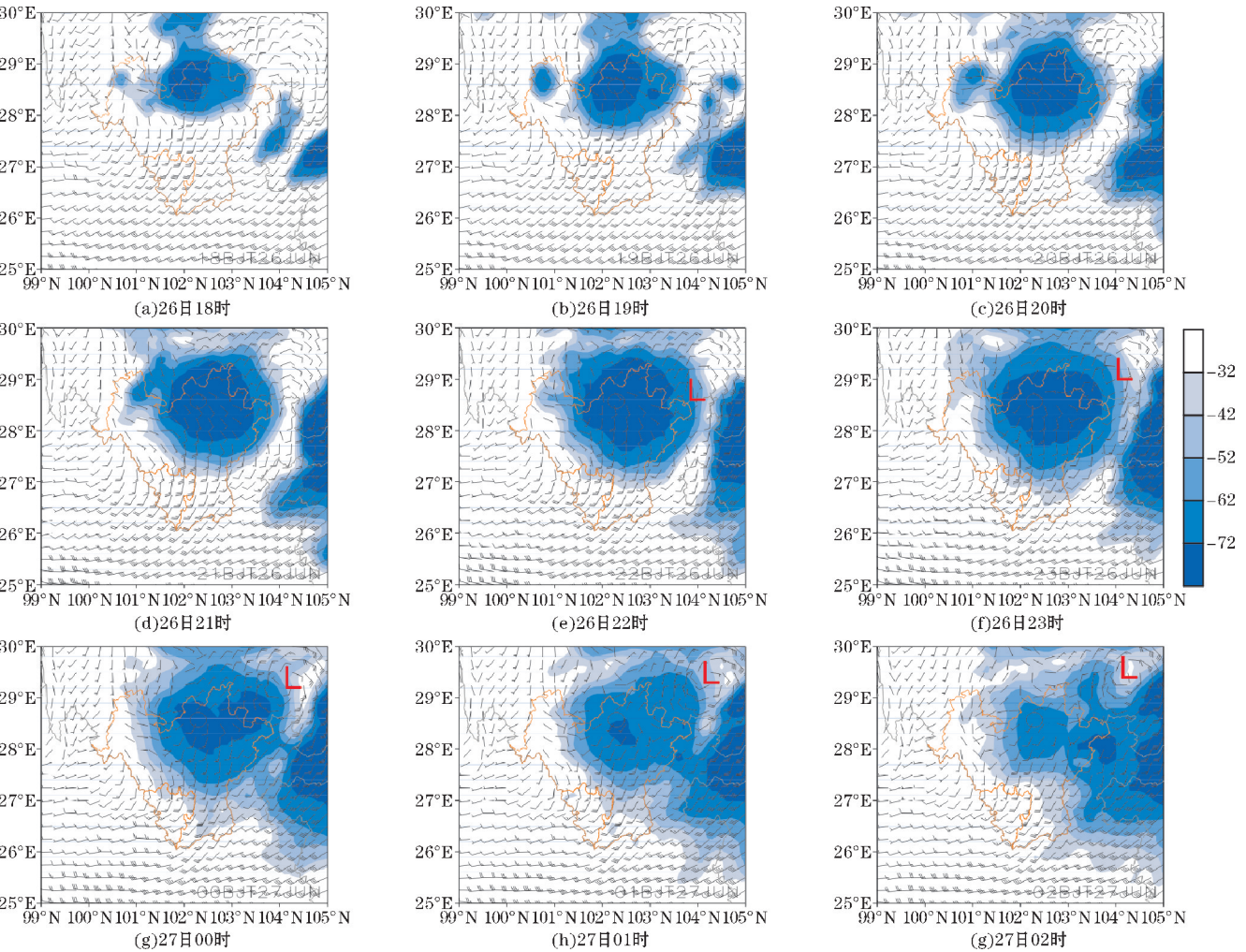


图 5 2020 年 6 月 26 日 18 时~27 日 02 时 FY-2G 卫星 1 h 平均相当黑体温度(TBB,阴影)和 700 hPa 风场(黑色圆圈处为暴雨中心)

度低涡逐渐形成,其水平尺度300 km左右,随着低涡后部的东北风增强,切变线的位置基本不变,强度进一步增强。同时强盛的偏南风维持,继续为暴雨区提供水汽和不稳定能量。MCC 进入成熟阶段,冷云区面积达到最大,结构紧密,形状保持圆形,出现46.0 mm的小时雨量。暴雨中心位于 MCC 的-72 ℃冷云区西部,中尺度切变线南侧。第三阶段(图 5g~i),凉山州东北侧中尺度低涡的气旋环流更加完整。27 日 00 时(图 5g),低涡后部虽然还维持较强的东北风,小时雨量达到最大(69.3 mm),但随着低涡向四川盆地内缓慢移动(图 5h~i),其后部的东北风对凉山州北部的影响也逐渐减小,切变辐合随之减弱。此时的 MCC 进入消亡阶段,其结构变得松散,TBB 显著升高,冷云区面积缩小,小时雨量迅速减小。中尺度低涡继续在四川盆地西南部向东北方向缓慢移动并维持了 12 h 左右,凉山北部的中尺度切变线消失,降水结束。

可以看出,中尺度低涡与偏南风低空急流共同作

用形成的中尺度切变线是此次暴雨的关键性天气系统。整个过程中,中尺度切变线的位置基本不变,切变辐合的强度由中尺度低涡决定。低涡形成使切变辐合增强,MCC 迅速发展,小时雨量陡增;低涡移动导致切变辐合减弱,MCC 走向消亡,降水也迅速减弱。同时由于暴雨中心位于凉山州北部的安宁河谷附近(图 1),整体地形北高南低并存在多处“喇叭口”地形,低空暖湿气流受地形强迫抬升和地形辐合作用,也有利于大暴雨的产生。

3.2 雷达回波

在西昌雷达的速度图上(图 6),暴雨区上空的降水回波自南向北移动,相对径向速度为+10 m/s 左右。冕宁到越西之间还存在几处范围不大的逆风区,其相对径向速度为-15 m/s 左右,这表明中低层存在有利于对流风暴发展的辐合或辐散气流。

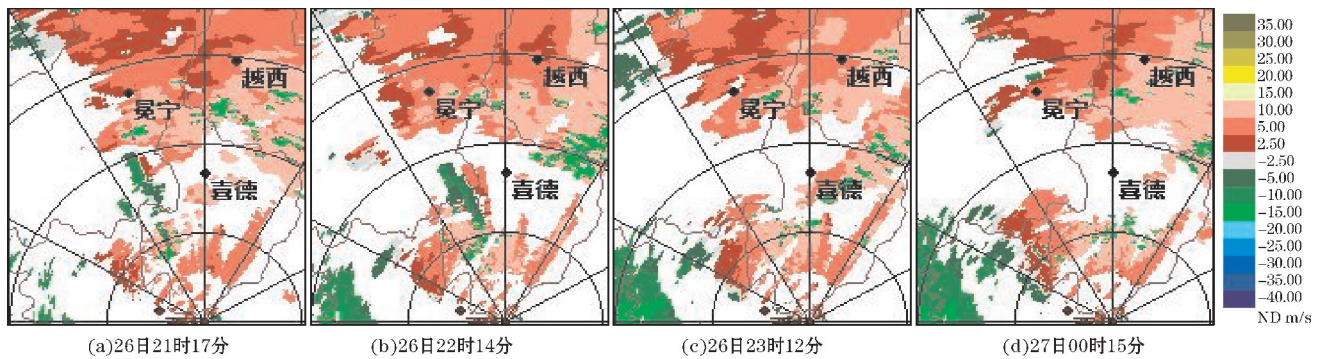


图 6 西昌多普勒天气雷达 1.5°仰角相对径向速度(暴雨中心位于冕宁县与越西县之间)

从强度图(图 7)上可以看到,在 26 日 21 日到 27 日 00 时,在短短 4 h 里,暴雨区上空始终存在典型的对流云降水回波。这些回波结构紧密,中心强度达 50 ~ 55 dBz,水平范围 20 ~ 40 km,通过连续观测发现,它们分属于不同的对流单体。这些对流单体在暴雨中心南侧生成后,向北移动过程中发展加强,在经过暴雨中心

上空的时正好处于成熟阶段,产生多轮短时强降雨,形成典型的“列车效应”,直接导致大暴雨的出现。相较于 MCC 和中尺度切变线,尺度更小的对流单体,其生成和移动受到诸多外界因素的影响,具有很大的不确定性,“列车效应”亦能说明暴雨的突发性。

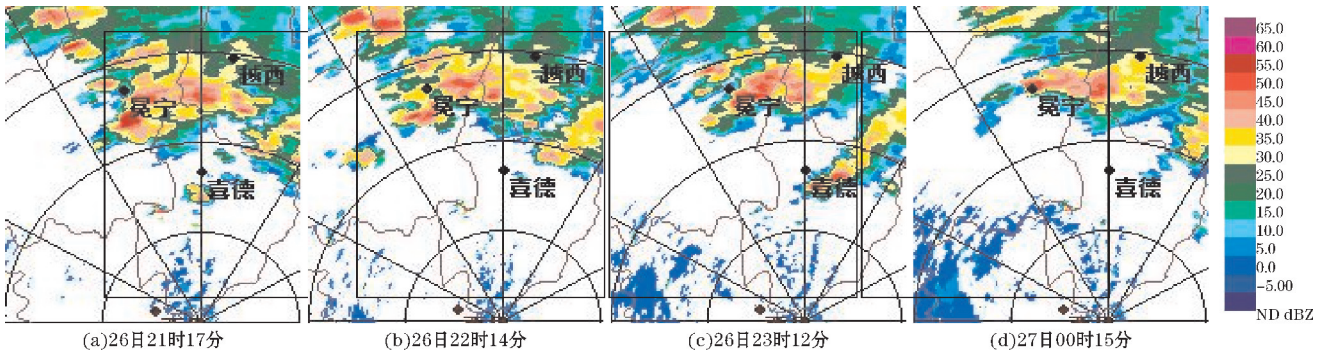


图 7 西昌多普勒天气雷达 1.5°仰角基本反射率(暴雨中心位于冕宁县与越西县之间)

4 物理量特征

4.1 水汽通量散度和垂直速度

从图 8 可以看到,降水开始前,低层的水汽辐合快速增加,其大值区在700 hPa附近,水汽辐合区向上最高扩展到550 hPa附近。降水过程中,水汽通量散度都维持在 $-5\times 10^{-6}\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下。与低层强烈水汽辐对应的是中层显著的上升运动。降水开始前,中层(400 hPa)最早出现上升运动,随后上升运动区开始向上和向下扩展。到26日20时,上升运动区向上扩展到了120 hPa;上升运动的中心位于400~300 hPa,强度超过了 $0.8\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$;500 hPa以下的上升运在 $0.6\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右。在降水的中后期虽然上升运动强度有所减弱,但中低层仍保持了显著的上升运动。

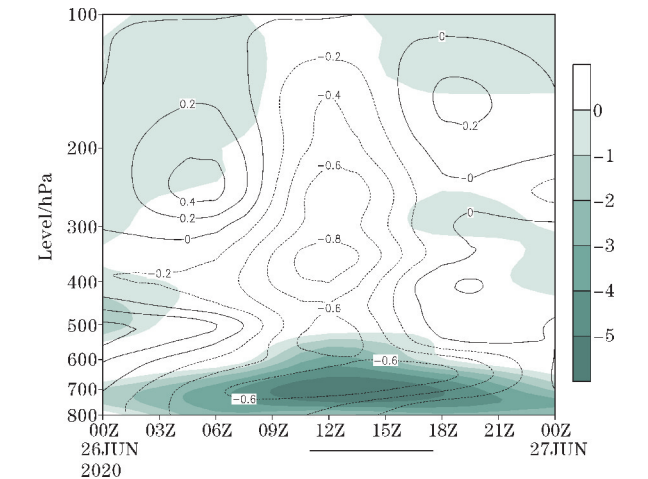


图 8 2020 年 6 月 26 日 08 时-27 日 08 时暴雨中心水汽通量散度(阴影)和垂直速度(等值线)的垂直-时间序列图(时间为世界时,主要降水时段下方已标注横线)

4.2 湿位涡

湿位涡(MPV)是综合反映大气动力、热力和水汽作用的物理量,能更全面、有效地描述强降雨的发生和发展。在 p 坐标系下忽略垂直速度 ω 的水平变化,在绝热无摩擦的饱和大气中,湿位涡守恒方程为^[17]:

$$\text{MPV} = -g(\zeta_p + f) \frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} + g \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial y} \right) = \text{Const}$$

将其写成分量形式:

$$\text{MPV1} = -g(\zeta_p + f) \frac{\partial \theta_{se}}{\partial p}, \quad \text{MPV2} = g \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial x} - g \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial y}$$

MPV1 为湿位涡的正压项,当大气为对流不稳定时,MPV<0;当大气为对流稳定时,MPV>0。MPV2 是湿位涡的斜压项,表征大气湿斜压性,即对称稳定度。湿位涡对强降雨具有较好的指示意义,对流层低层 MPV1<0 且 MPV2>0 的区域与强降雨区有很好的对应。

从暴雨中心垂直方向 MPV 随时间的变化(图 9)可见,降水开始前的 26 日 14 时左右,MPV1 达到最强,底层的 MPV1 达到 -1.0 PVU ,负值区向上扩展到560 hPa 左右,表明大气中的对流不稳定能量非常丰富;MPV2 在 26 日 14 时前后出现了弱的正值,高度在 700~600 hPa,此时段的大气具有一定的斜压不稳定特征,这样的 MPV1 和 MPV2 配置有利于 MCC 的迅速发展。降水过程中的 MPV1 值虽然有所上升,但700 hPa以下的 MPV1 仍为显著的负值,并且500 hPa附近也存在负的 MPV1,大气中仍有较强的不稳定能量;而 MPV2 在降水开始后下降到零附近,大气斜压性减弱。

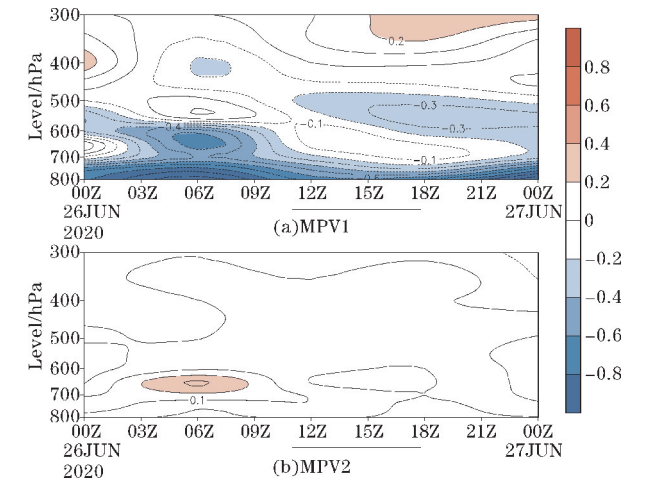


图 9 2020 年 6 月 26 日 08 时-27 日 08 时暴雨中心湿位涡的垂直-时间序列图(时间为世界时,主要降水时段下方已标注横线)

5 结束语

通过此次暴雨过程的降水特点、大气环流背景、中尺度系统以及物理量特征的分析,得出以下结论:(1)暴雨发生在凉山州北部,具有突发性和局地性强以及小时雨量大的特点,在短短数小时内累计雨量达到182.2 mm且最大小时雨量接近70 mm。(2)大气环流背景和环境条件有利。500 hPa的短波槽、700 hPa具有气旋性曲度的偏南气流、地面热低压、中低层的湿层以及较强的对流不稳定能量是此次暖区暴雨产生的有利条件。(3)中尺度系统是产生暴雨的关键。低层中尺度低涡与偏南风低空急流共同作用形成的中尺度切变线,其强度直接决定了 MCC 的发展和降雨的强弱。暴雨中心上空存在多处逆风区且不断有中心强度超过50 dBZ的对流单体经过,形成“列车效应”。(4)各物理量配置合理。低层显著水汽辐合贯穿降水过程始终并有强烈的上升运动配合,上升运动在降水前期达到最强且大值中心出现在 400~300 hPa。降水开始前,低层的 MPV1 为显著负值,MPV2 为弱的正值,大气中存在强的对流不稳定能量和一定的斜压性。

参考文献:

- [1] 武敬峰,徐晓芳,赵巍然,等. 川西高原持续性暴雨特征和水汽输送[J]. 气象科技,2020,48(5): 704-716.
- [2] 罗辉,肖递祥,匡秋明,等. 四川盆地暖区暴雨的雷达回波特征及分类识别[J]. 应用气象学报, 2020,31(4):460-470.
- [3] 殷菲,王磊,李谢辉,等. 一次四川暴雨过程的Q矢量和湿位涡分析研究[J]. 成都信息工程大学学报,2020,35(4):479-486.
- [4] 李强,王秀明,周国兵,等. 四川盆地西南低涡暴雨过程的短时强降水时空分布特征研究[J]. 高原气象,2020,39(5):960-972.
- [5] 李晓容,高青云,付世军. 四川盆地东北部三次持续性暴雨过程水汽输送特征分析[J]. 暴雨灾害,2020,39(3):234-240.
- [6] 肖递祥,王佳津,曹萍萍,等. 四川盆突发性暖区暴雨特征及环境场条件分析[J]. 自然灾害学报,2020,29(3):110-118.
- [7] 高青云,廖文超,李晓容,等. 四川盆地一次春季暴雨的特征分析和数值模拟[J]. 高原山地气象研究,2020,40(2):1-10.
- [8] 周懿,郭云云,余芳. 四川盆地一次西风槽和台风共同作用暴雨过程分析[J]. 高原山地气象研究,2020,40(2):11-17.
- [9] 张芳丽,李国平,罗潇. 四川盆地东北部一次突发性暴雨事件的影响系统分析[J]. 高原气象, 2020,39(2):321-332.
- [10] 高珩洲,李国平. 黔东南地形影响局地突发性暴雨的中尺度天气分析与数值试验[J]. 高原气象,2020,39(2):301-310.
- [11] 马志敏,杨素雨,王治国,等. 云南局地暴雨分开研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2020,42(1):108-118.
- [12] 廖文超,高青云,竹利,等. 川东平行岭谷对四川盆地暴雨影响的数值试验[J]. 高原山地气象研究,2019,39(4):16-23.
- [13] 程晓龙,何光碧,屠妮妮,等. 一次盆地强降雨过程的多模式结果对比分析[J]. 高原山地气象研究,2019,39(4):1-8.
- [14] 杨康权,肖递祥,罗辉,等. 四川盆地西部两暖区暴雨过程分析[J]. 气象科技,2019,47(5): 795-808.
- [15] 吕俊杰,牟端霞. 两次西行台风登陆对凉山州影响对比分析[J]. 高原山地气象,2020,40(3):34-40.
- [16] 周玉淑,颜玲,吴天贻,高原涡和西南涡影响的两次四川暴雨过程的对比分析[J]. 2019,43(4):813-830.
- [17] 吴国雄,蔡雅萍,唐晓菁. 湿位涡和倾斜涡度发展[J]. 气象学报,1995,53(4):387-404.

Analysis of the Cause of the Rainstorm Causing Flood Event Happened on June 26th in Liangshan Prefecture

CHEN Wenlong¹, ZHU Li², HUANG Xin¹, CHEN Chaoping³

(1. Meteorological Bureau of Liangshan Prefecture, Xichang 615000, China; 2. Meteorological Bureau of Nanchong City, Nanchong 637000, China; 3. Weather Station of Sichuan Province, Chengdu 610072, China)

Abstract: In order to improve the forecasting level of flood causing rainstorm in Liangshan Prefecture, based on the surface and high altitude observation data, TBB of Satellite FY-2G, the base data of the Doppler weather radar of Xichang and the reanalysis data of NCEP and ECMWF, an event of flood causing rainstorm happened, in the northern of Liangshan Prefecture on the night of June 26th, 2020 has been analyzed from the perspective of synoptic viewpoint. The results indicate that the short wave trough in the middle level of troposphere and the southerly airflow with cyclonic curvature in the lower level of troposphere provide favorable circulation conditions for the occurrence of rainstorm. The mesoscale shear line formed by the northeasterly wind behind the low-level mesoscale vortex and southerly wind supports the development of MCC, and those are the main power source of rainstorm. The radar echo shows obvious upwind zone and “train effect”. The obvious water vapor convergence in the lower layer combined with deeply upward movement, the convective instability and the baroclinic instability in the lower layer before precipitation are the favorable conditions for the occurrence of rainstorm. The analysis of the rainstorm event happened in June 26th provides a reference for the forecast of rainstorm in Liangshan Prefecture.

Keywords: mesoscale meteorology; flood causing rainstorm; mesoscale vortex; convergence; MCC; train effect