

文章编号:2096 - 5389(2022)05 - 0019 - 07

2 次持续性暴雨天气的螺旋度对比分析

蒙 军¹, 徐良军¹, 李启芬¹, 邓世有¹, 金凡琦²

(1. 贵州省安顺市气象局, 贵州 安顺 561000; 2. 贵州省气象服务中心, 贵州 贵阳 550002)

摘 要:该文利用常规观测资料、逐小时区域自动站观测资料、NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 逐 6 h 再分析资料等对安顺 2019 年 6 月 5—11 日和 9 月 5—10 日的持续性暴雨天气进行分析。结果表明:①6 月 5—11 日天气过程主要是由于两高之间不断有短波槽东移造成的, 9 月 5—10 日天气过程主要是由于副高稳定少动, 西南涡在副高外围稳定维持较造成的;②垂直螺旋度垂直积分越大越有利于产生强的短时强降雨, 垂直螺旋度强中心发展高度越高越有利于短时强降雨持续不断的产生;③水汽垂直螺旋度在这 2 次持续性暴雨天气过程中对短时强降雨的发生和降雨强度有很好的指示, 水汽垂直螺旋度在短时强降雨出现前 6 h 出现增大, 且中心值越大短时强降雨强度越强, 在短时强降雨发生期间迅速减小;④6 月 5—11 日天气过程中, 质量垂直螺旋度值增大—减小得越多, 出现的短时强降雨强度越强。

关键词:持续性暴雨; 垂直螺旋度; TBB; 水汽垂直螺旋度

中图分类号:P458.1+21.1 **文献标识码:**A

Comparative Analysis of Helicity of Two Continuous Rainstorm Weather

MENG Jun¹, XU Liangjun¹, LI Qifeng¹, DENG Shiyong¹, JIN Fanqi²

(1. Anshun Meteorological Bureau of Guizhou Province, Anshun 561000, China;

2. Guizhou Meteorological Service Center, Guiyang 550002, China)

Abstract: Based on the conventional data, hourly regional automatic station observation data, and NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ reanalyzes data of every 6 hours, the heavy rain process occurred in Anshun City, Guizhou Province on June 5 to 11 and September 5 to 10, 2019 were analyzed. The results show that: ①The weather process was mainly caused by the continuous eastward movement of short wave trough between the two highs, resulting in the generation from June 5 to 11, and the weather was mainly caused by the stable and less movement of the subtropical high, the stable maintenance of the southwest vortex around the subtropical high from September 5 to 10. ②The larger the vertical integral of vertical helicity, the more favorable to produce strong short-term heavy rainfall, and the higher the development height of the strong center of vertical helicity, the more conducive to the continuous generation of short-term heavy rainfall. ③The moisture vertical helicity has a good indication of the occurrence and intensity of short-term heavy precipitation in the two continuous rainstorm weather processes. The moisture vertical helicity increases 6 hours before the occurrence of short-term heavy precipitation, and the larger the value, the stronger the short-term heavy precipitation, and the moisture vertical helicity decreases rapidly during the occurrence of short-term heavy precipitation. ④During the weather process from June 5 to 11, the more the mass vertical helicity increases and decreases, the stronger the short-term heavy rainfall intensity.

Key words: continuous rainstorm; vertical helicity; TBB; moisture vertical helicity

收稿日期:2021 - 10 - 14

第一作者简介:蒙军(1988—),女,工程师,主要从事短期天气预测预报服务工作,E-mail:460248283@qq.com。

资助项目:贵州省气象局科研业务项目(黔气科登[2019]11-05号);安顺市 2019 年持续性暴雨天气研究。

0 引言

安顺市地处青藏高原东侧的云贵高原,容易出现范围大、持续时间长、累计雨量大的暴雨天气,常常造成严重的灾害,给人民的生产和生活带来很大的影响。持续性暴雨天气成因复杂,预报难度大,国内外学者对暴雨天气进行了大量的研究,发现系统的螺旋度和暴雨有着密切的联系。卢小丹等^[1]提出相对风暴螺旋度在台风暴雨中与强降雨落区有很好的对应关系,并且对预报台风暴雨有至少 6 h 的提前量。宋雯雯等^[2]对四川低涡暴雨的研究指出,低涡类影响系统的涡度作用比散度更明显,这使得垂直螺旋度的垂直结构从低层到高层均变得更为明显。李琴等^[3]研究指出垂直螺旋度、质量垂直螺旋度、水汽垂直螺旋度等和降雨的相关系数较大。随着科技的发展,利用卫星资料对暴雨天气的预报和研究越来越多,陈传雷等^[4]利用 TBB 卫星资料对辽宁长历时暴雨的中尺度对流系统进行了分析,指出一般性对流云团、暖云和深对流云团均可造成长历时暴雨。王宁等^[5]、黎惠金等^[6]对暴雨天气过程中的 MCC 特征进行了研究,指出 MCC 发展移动和暴雨的强度降雨时长密切相关。然而大部分学者对暴雨的研究仅针对单日暴雨,对超过 2 d 以上的持续性暴雨天气的研究较少。

2019 年 6 月 5—11 日和 9 月 5—10 日安顺市出现了持续性暴雨天气,造成安顺市部分乡镇不同程度的洪涝灾害。为了提升对持续性暴雨天气的认识,分析持续性暴雨天气的不同,提高本地暴雨预报能力,本文利用 NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 逐 6 h 再分析资料、常规观测资料、地面自动站观测资料等对这 2 次持续性暴雨天气的螺旋度、TBB 特征和环流形势等进行对比分析。

1 降雨实况

1.1 过程降雨量分析

根据中国气象局对暴雨的定义,24 h 内降雨量达 50 mm 以上即为暴雨。本文将安顺市范围内的区域自动站中,有 1 个站出现 24 h 降雨量超过 50 mm 定为暴雨天气过程开始日;如连续出现 2 d 以上超过 1 个站 24 h 降雨量 ≥ 50 mm,则为持续性暴雨天气过程;将安顺市范围内有 0 站出现 24 h 降雨量 > 50 mm 的前 1 d 定为暴雨天气过程结束日,本文中 24 h 内降雨量统计时间为前 1 d 20 时—当日 20 时。

根据安顺市区域自动站 24 h 降雨量资料显示,2019 年 6 月 5—11 日和 9 月 5—10 日安顺市分别出现了持续性暴雨天气过程(图 1)。6 月 5—11 日天气过程的暴雨集中时段在 6 月 6—7 日,最强时段为 6 月 6 日,有 2 站 24 h 降雨超过 200 mm。9 月 5—10 日天气过程的暴雨集中时段在 9 月 8—10 日,最强时段为 9 月 9 日,有 2 站 24 h 降雨超过 300 mm,16 站 24 h 降雨超过 200 mm,其中镇宁炳云 24 h 降雨量达到 368.8 mm,为 2019 年贵州省单日单站最大降雨量。

从过程累计降雨量来看(图 2):6 月 5—11 日安顺市有 2 个监测站累计降雨量超过 300 mm,19 个监测站累计降雨量超过 200 mm,累计降雨量最大的西秀区岩腊达到 369.3 mm,大暴雨的落区主要分布在安顺市中东部;9 月 5—10 日安顺市有 1 个监测站累计降雨量超过 400 mm,有 2 个监测站累计降雨量超过 300 mm,有 19 个监测站累计降雨量超过 200 mm,累计降雨量最大的普定白岩降雨量达到 490.9 mm,大暴雨的落区主要分布在安顺市西南部。

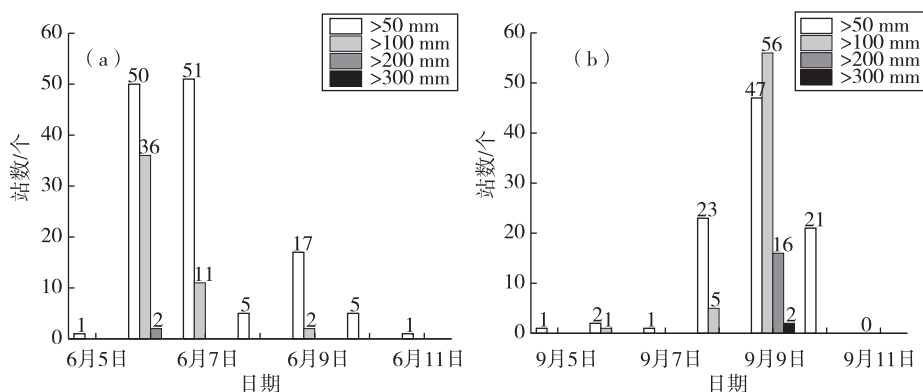


图 1 6 月 5—11 日(a)、9 月 5—11 日(b)区域自动站 24 h 降雨站数

Fig. 1 Number of regional automatic precipitation stations on Jun 5 to 11(a) and Sep 5 to 11(b)

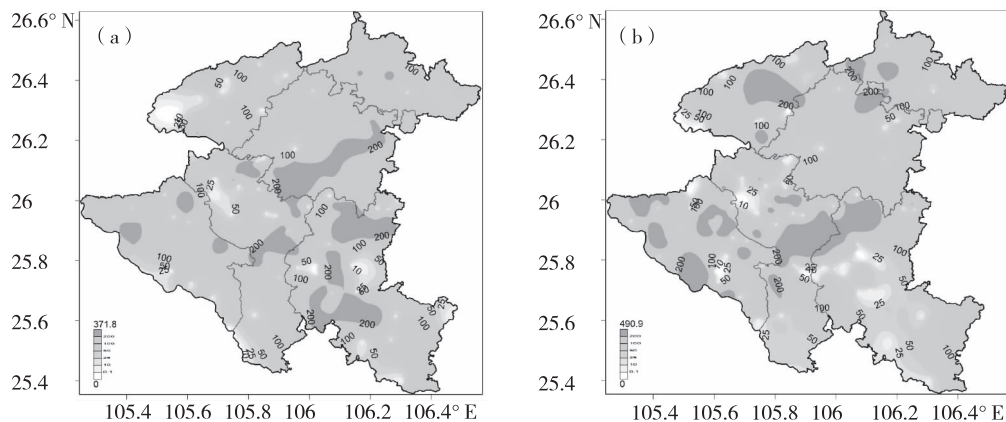


图2 6月5—11日(a)、9月5—10日(b)累计降雨量(单位:mm)

Fig. 2 Accumulated rainfall on Jun 5 to 11(a) and accumulated rainfall on Sep 5 to 10(b), (unit:mm)

1.2 逐小时降雨量分析

从逐小时降雨量(图略)看到,6月5—8日期间西秀区岩腊和紫云翁弄的降雨主要为对流性降雨。岩腊有4个时次小时雨量超过20 mm(每小时降雨量大于20 mm即为短时强降雨),其中有2个时次的小时雨量超过80 mm,最大小时雨量为89.7 mm,降雨主要出现在夜间。9月7—10日普定白岩和镇宁炳云为混合性降雨。白岩有6个时次小时雨量超过20 mm,最大小时雨量为46.7 mm;炳云有8个时次小时雨量超过20 mm,最大小时雨量为70 mm,降雨全天都有出现。6月4—9日相比9月6—10日的降雨对流性更强,小时雨强更强,而9月6—10日的短时强降雨持续时间更长。

2 环流背景分析

6月5—11日期间500 hPa上欧亚为两槽一脊形势,高原上多短波槽活动,贵州处于南亚高压和副热带高压之间的西南水汽输送带中。700 hPa和850 hPa上贵州受到西南气流影响,四川东部有切变维持,这有利于贵州地区的水汽不断积累。地面上在云南东北部有辐合中心维持。贵州西部处于辐合中心东南侧,贵州东部受西南气流影响,辐合中心进入贵州之后沿着西南气流北侧移动,使得安顺中东部出现了大范围的暴雨天气。

9月5—10日期间受到台风法茜影响,500 hPa上副热带高压脊线退至130°E附近,没有副高的阻挡,高原西侧的短波槽易越过青藏高原向四川盆地及以南地区移动,这有利于西南涡的形成^[7]。在700 hPa和850 hPa上偏南气流自南海到34°N以北维持,流经贵州地区,孟加拉湾到贵州也有西南气流输送,四川南部维持有低涡发展,使得低涡进入

贵州之后可以长时间停留,并且水汽源源不断地向贵州地区输送。地面上辐合中心维持在四川南部,贵州大部分地区受到辐合中心南侧和东侧的偏南气流影响,由于偏南气流的阻挡,辐合中心向南缓慢移动,并且偏南气流不断向辐合中心南侧输送水汽,使辐合中心得以维持。所以9月5—10日降雨量比6月5—11日更强,降雨时间更长,并且暴雨落区主要分布在安顺西部。

2次持续性暴雨天气期间在四川南部都有弱冷空气向贵州输送,贵州西部受到静止锋的影响,冷暖气流在贵州西部交汇,均为降雨提供了有利条件。

3 螺旋度分析

Lilly^[8-9]研究指出,强对流风暴具有高螺旋度特征,它的螺旋度从环境场中获得并在浮力效应下增强,同时高螺旋度阻碍了扰动能量耗散,对超级单体风暴的维持有重要作用,稳定的强对流风暴常发生在螺旋度值大的地方。陆慧娟等^[10]研究表明,垂直螺旋度更倾向为反映系统维持状况和系统发展、天气现象剧烈程度的一个参数。冉令坤等^[11]在垂直螺旋度的基础上引入水汽和低涡对暖湿气流的抽吸作用,从而提出了质量垂直螺旋度和水汽垂直螺旋度。本文利用(表1)垂直螺旋度、质量垂直螺旋度、水汽垂直螺旋度3个螺旋度因子,对6月5—11日和9月5—10日2次持续性暴雨天气进行对比分析。

为了进一步分析,对表1所列的螺旋度(用 B 表示)从1000~200 hPa作垂直积分,即 $\int_{1000}^{200} \rho |B| dp$,其中 $|B|$ 为螺旋度取绝对值, ρ 为空气密度。

表 1 螺旋度简介
Tab. 1 Introduction of helicity

螺旋度	计算公式	物理意义
垂直螺旋度	$H = \frac{\omega}{\rho} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$	相对涡度的垂直通量
质量垂直螺旋度	$HD = \omega \cdot \rho \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$	低涡对暖湿气流
水汽垂直螺旋度	$HO = \frac{\omega}{\rho} \left[\frac{\partial(vq)}{\partial x} - \frac{\partial(uq)}{\partial y} \right]$	水汽通量涡度的垂直输送

质量垂直螺旋度^[3,11-12]表示低涡对暖湿气流的抽吸作用,水汽垂直螺旋度^[2,11]表示水汽通量涡度的垂直输送。当垂直螺旋度为正值时表示反气旋性涡度垂直向上输送,当垂直螺旋度为负值时表示气旋性涡度的垂直向上输送。本文对垂直螺旋度取绝对值后积分,综合考虑反气旋性涡度和气旋性涡度的垂直向上输送。

3.1 垂直螺旋度分析

6月5日14时(图3)在贵州西北部出现大于100 m²·s⁻²的垂直螺旋度中心,5日20时中心向南移,安顺西部一直位于强中心附近,5日22时紫云翁弄出现56.4 mm·h⁻¹的降雨。6日02—08时垂直螺旋度减弱,6日14时贵州西部再次出现30~40 m²·s⁻²的垂直螺旋度中心,6日20时中心值依然维持在20~30 m²·s⁻²,6日21时在西秀区岩腊出现89.7 mm·h⁻¹的降雨。7日02—08时垂直螺旋度中心减弱,7日14时—8日02时贵州中西部仅出现了20 m²·s⁻²的螺旋度中心,此时段是本次过程中降雨最弱的时段。8日08—14时贵州中西部的垂直螺旋度中心从20 m²·s⁻²增强至70 m²·s⁻²,到8日20时继续增强至100 m²·s⁻²,8日19时西

秀区岩腊出现85.1 mm·h⁻¹的降雨。

9月6日14时—7日08时(图3)贵州境内没有大的垂直螺旋度中心,此时段降雨也较弱;7日14—20时在贵州中西部出现了20~30 m²·s⁻²的垂直螺旋度中心,7日22时普白岩出现26.9 mm·h⁻¹的降雨。8日02时垂直螺旋度减弱至0,8日08时贵州西部再次出现20 m²·s⁻²的垂直螺旋度中心,8日14—20时中心仍维持在贵州西部但中心值有所减弱,8日13时、16时、17时、18时镇宁炳云分别出现了短时强降雨,其中8日17时出现70 mm·h⁻¹的降雨。9日02时垂直螺旋度弱中心维持在贵州中部,但中心值仅为5 m²·s⁻²,炳云在8日22时—9日01时连续出现4个时次的短时强降雨,但最大小时雨量仅为38.2 mm·h⁻¹;9日08时垂直螺旋度减弱至0,此时段降雨也较弱;9日14时贵州西部出现了40 m²·s⁻²的垂直螺旋度中心,9日20时中心强度减弱为10 m²·s⁻²,9日14时普定白岩出现46.7 mm·h⁻¹的降雨。

对比岩腊和炳云的垂直螺旋度垂直分布(图4)还可以看到:岩腊在6月5—6日和6月8—9日期间分别出现了20 m²·s⁻²左右的垂直螺旋度中心,高度在800~200 hPa之间,与岩腊出现大于80 mm·h⁻¹的降雨时间吻合,说明涡度的迅速垂直输送有利于产生强短时强降雨;炳云在9月8—9日期间出现了20~50 m²·s⁻²的垂直螺旋度中心,50 m²·s⁻²的垂直螺旋度中心最先出现且位于300 hPa,中心高度不断降低,中心值不断减小,说明涡度的强垂直输送使得降雨系统强度得以维持,导致了炳云持续出现短时强降雨。

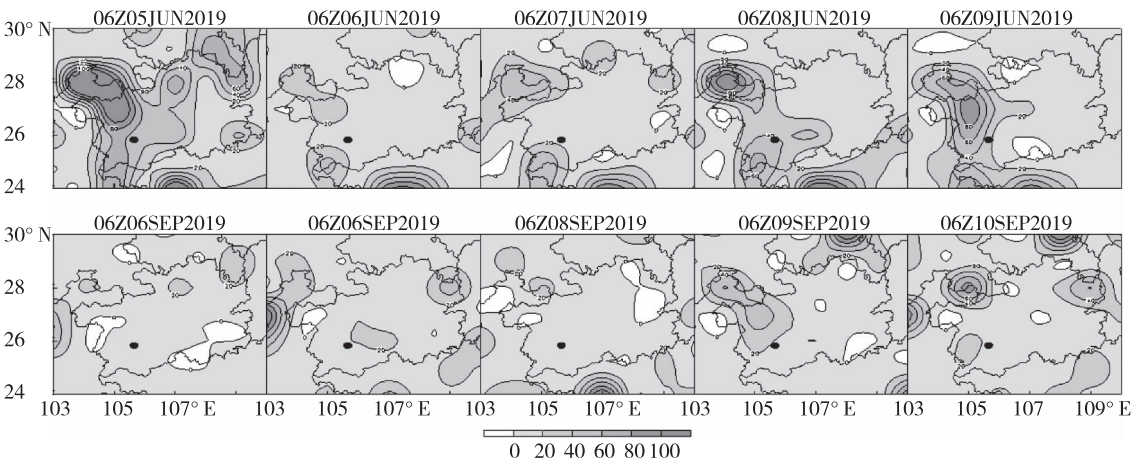


图3 垂直螺旋度垂直积分(单位:m²·s⁻²)第1行为6月5—9日,第2行为9月6—10日
Fig. 3 Vertical helicity vertical integral(unit:m²·s⁻²) First line: June 5 to 9; Second line: September 6 to 10

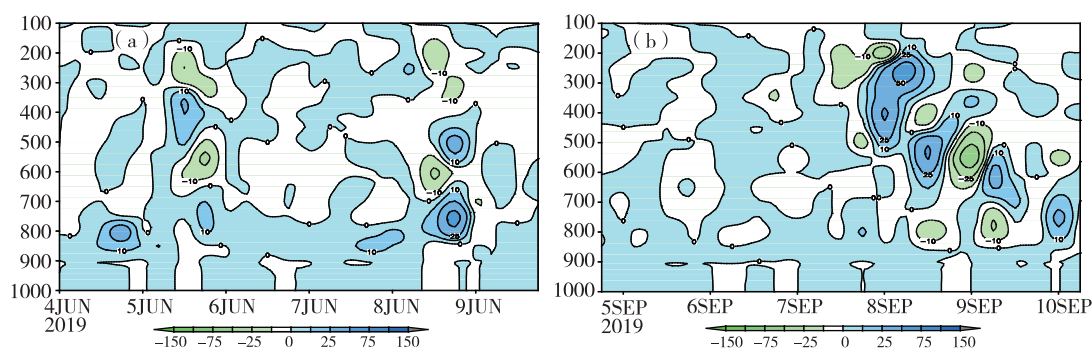


图4 6月4—9日西秀区岩腊(a)、9月5—10日镇宁炳云(b)垂直螺旋度(单位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$)

Fig. 4 Vertical helicity on June 4 to 9 about Yanla(a) and September 5 to 10 about Bingyun(b) (unit: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$)

对比2次过程的垂直螺旋度可以看到,垂直螺旋度垂直积分值越大造成的短时强降雨越强,并且在降雨出现前就有明显的增长。垂直螺旋度强中心维持在固定区域有利于垂直螺旋度向上增大,会造成持续时间长的短时强降雨。垂直螺旋度的迅速增大—减小易造成强的短时强降雨。

3.2 质量垂直螺旋度分析

6月5日14时(图5)四川南部到贵州西部有 $22 \text{ kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$ 的质量垂直螺旋度中心,5日20时四川西部质量垂直螺旋度中心减弱,贵州西部质量垂直螺旋度中心值增强至 $11 \text{ kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$,5日21—22时西秀区岩腊和紫云翁弄出现了短时强降雨(翁弄 $56.4 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)。6日20时贵州西部有2个值为 $3 \text{ kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$ 的质量垂直螺旋度中心,7日08时2个中心均减弱为0,7日05时西秀岩腊出现了 $89.7 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的降雨,7日05—08时紫云翁弄持续出现了4h的短时强降雨。8日20时在贵州西部出现了 $22 \text{ kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$ 的质量垂直螺旋度中心,9日02时中心减弱为 $6 \text{ kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$ 且移到贵州西北部,9日08时中心继续减弱消失,9日03时西秀岩腊出现 $85.1 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的降雨,9日04时紫云翁弄出现 $36.2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的降雨。

9月5日20时(图5)在贵州西北部有 $3 \text{ kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$ 的质量垂直螺旋度中心,6日02时中心向南移动,中心值减弱为 $2 \text{ kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$,普定白岩出现 $54.3 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的降雨。6日08时中心值减弱为0,6日07时白岩出现 $20.6 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的降雨。7日14时贵州中部偏西南区域出现了 $3 \text{ kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$ 的质量垂直螺旋度中心,7日20时贵州西北部出现 $5 \text{ kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$ 的质量垂直螺旋度中心。8日02时贵州西部质量垂直螺旋度值减小为 $1 \text{ kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$,8日08时

贵州西北部再次出现 $3 \text{ kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$ 的质量垂直螺旋度中心,8日20时贵州西南部仍有 $5 \text{ kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$ 的质量垂直螺旋度中心,8日08时西秀区七眼桥出现 $64.3 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的降雨。9日02—08时贵州大部分区域质量垂直螺旋度为0,但在9日00—09时镇宁炳云连续出现了7h的短时强降雨,其中9日01时出现 $70 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的降雨。9日14时贵州西部出现 $7 \text{ kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$ 的质量垂直螺旋度中心,9日20时中心值减小为 $1 \text{ kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$,10日02时质量垂直螺旋度中心维持,10日08时中心值加强为 $3 \text{ kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$,9日22时普定白岩出现 $46.7 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的降雨,10日04时关岭谷目长冲出现 $33.7 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的降雨。

以上分析说明,在短时强降雨前期到短时强降雨发生期间,质量垂直螺旋度会出现增大—减小的过程,增大—减小得越明显出现的短时强降雨强度越强,这个特征在6月5—11日天气过程中更为显著。

3.3 水汽垂直螺旋度分析

6月5日08时(图6)贵州中部偏南区域出现了 $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-1}$ 的水汽垂直螺旋度中心,5日14时中心范围扩大至整个贵州中西部,5日20时中心范围缩小,但依然维持在贵州西部。6日02—08时贵州境内水汽垂直螺旋度均较小。6日14时贵州西部再次出现水汽垂直螺旋度中心,中心最大值为 $60 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-1}$,6日20时水汽垂直螺旋度中心值减小到 $40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-1}$ 。7日02—08时水汽垂直螺旋度继续减小。7日14—20时贵州西部水汽垂直螺旋度值增加,且出现了 $40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-1}$ 的水汽垂直螺旋度中心。8日02—20时贵州西部水汽垂直螺旋度值不断增大,8日20时中心值增大到 $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-1}$ 且覆盖了贵州西部。9日

02—08 时水汽垂直螺旋度减小到 0。结合图 1 逐小时降雨进行分析可以看到,西秀区岩腊在 6 月 7 日 05 时出现 $89.7 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 降雨和 6 月 9 日 03 时出现 $85.1 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 降雨前期到出现降雨期间,水汽垂直

螺旋度值均出现了增大—增大—减小的过程。说明在降雨前期低涡对暖湿气流的抽吸不断加强,在降雨出现后抽吸作用迅速减弱。

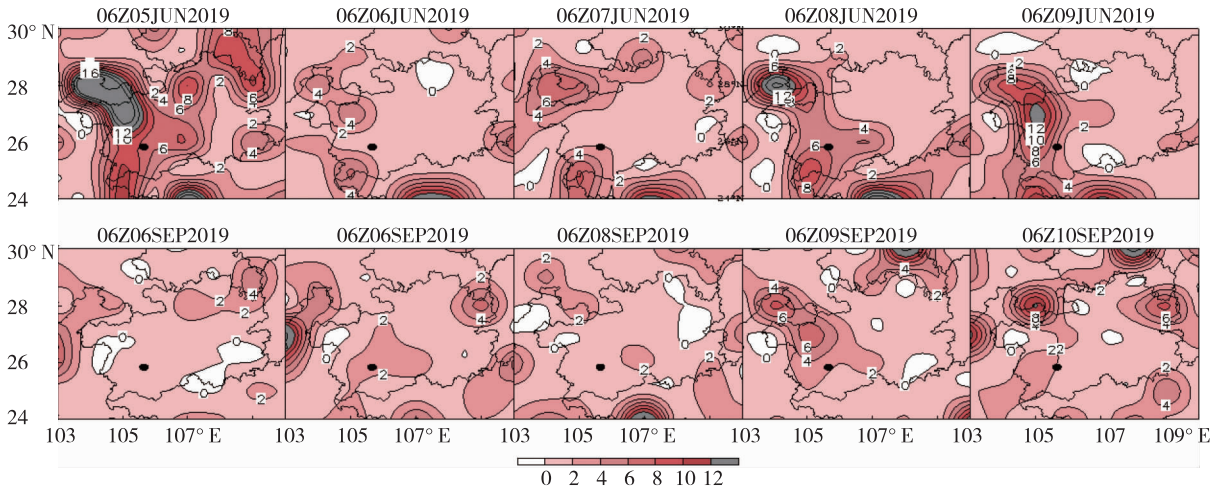


图 5 质量垂直螺旋度垂直积分(单位: $\text{kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$)第 1 行为 6 月 5—9 日,第 2 行为 9 月 6—10 日
Fig. 5 Mass vertical helicity vertical integral(unit: $\text{kg}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 10^{-3}$) First line: June 5 to 9; Second line: September 6 to 10

9 月 5 日 14 时(图 6)贵州西部出现中心值为 $60 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-1}$ 的水汽垂直螺旋度中心,5 日 20 时中心值减小为 $40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-1}$ 。6 日 02 时—7 日 08 时贵州大部分地区水汽垂直螺旋度均较小。7 日 14 时,贵州出现了东北西南向 2 个水汽垂直螺旋度中心,西部的中心值为 $50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-1}$,7 日 20 时西部的水汽垂直螺旋度中心值增大为 $80 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-1}$,且中心移至贵州西北部。8 日 02 时水汽垂直螺旋度中心值减小为 $30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-1}$,8

日 08 时中心值增大为 $50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-1}$,8 日 14 时水汽垂直螺旋度值有所减小,中心值依然为 $40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-1}$ 。8 日 20 时水汽垂直螺旋度中心值增大至 $60 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-1}$,中心移至贵州西南部。9 日 02—08 时水汽垂直螺旋度减小为 0。9 日 14 时贵州西北部出现了 $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-1}$ 的水汽垂直螺旋度中心,9 日 20 时—10 日 02 时水汽垂直螺旋度值减小。

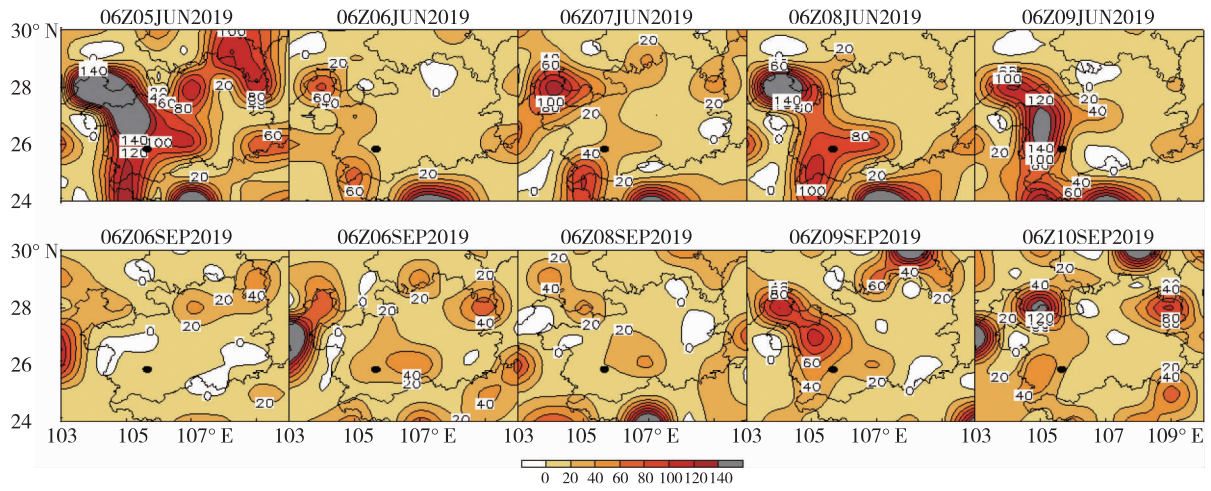


图 6 水汽垂直螺旋度垂直积分(单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-1}$)第 1 行为 6 月 5—9 日,第 2 行为 9 月 6—10 日
Fig. 6 Moisture vertical helicity vertical integral(unit: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-1}$) First line: June 5 to 9; Second line: September 6 to 10

对比2次天气过程,在出现较强短时强降雨前期和降雨期间水汽垂直螺旋度均有增大—增大—减小的过程。9月5—10日天气过程水汽垂直螺旋度增大和减小的幅度相比6月5—11日天气过程要小,6月5—11日天气过程水汽垂直螺旋度中心最大值比9月5—10日天气过程要大。结合逐小时降雨量分析,9月5—10期间最大小时降雨量为西秀区七眼桥9月8日08时的 $64.3\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,而6月4—9日期间最大小时降雨量为西秀区岩腊6月7日05时的 $89.7\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。可以看到,水汽垂直螺旋度增大—增大—减小的幅度越大造成的短时强降雨强度越强。

4 结论

本文利用常规观测资料、逐小时区域自动站观测资料、NCEP $1^\circ\times 1^\circ$ 再分析资料等对安顺市2019年6月5—11日和9月5—10日持续性暴雨天气进行对比分析,对天气过程的环流背景、垂直螺旋度、质量垂直螺旋度、水汽垂直螺旋度等进行详细分析,得出以下结论:

①6月5—11日期间,500 hPa安顺市位于两高之间,700 hPa和850 hPa上维持有西南气流,且不断有东移的短波槽影响,为对流系统不断发展创造了条件;9月5—10日期间,700 hPa和850 hPa上强偏南气流向北输送,西南涡在贵州西部长时间维持,为对流系统稳定维持提供了条件。

②垂直螺旋度的垂直积分越大,低涡的垂直输送越强,造成的小时雨强越强;垂直螺旋度迅速增大—减小,低涡迅速垂直输送,造成的短时强降雨就越强;垂直螺旋度在固定区域不断增大,中心强度越强,低涡垂直输送的高度就越高,对降雨系统强度的维持越有利,使得短时强降雨持续不断地产生。

③水汽垂直螺旋度在2次天气过程期间都出现了增大—增大—减小的过程,在短时强降雨前期能

够很好地提示短时强降雨的发生,且根据水汽垂直螺旋度增大—减小的幅度可以推断短时强降雨的强弱。

参考文献

- [1] 卢小丹,王黎娟,刘国忠,等.两个不同季节台风引发广西特大暴雨的水汽和螺旋度对比分析[J].热带气象学报,2017,33(3):375-385.
- [2] 宋雯雯,李国平,龙柯吉,等.两类动力因子对四川盆地一次低涡暴雨的应用研究[J].高原气象,2018,37(5):1289-1303.
- [3] 李琴,杨帅,崔晓鹏,等.四川暴雨过程动力因子指示意义与预报意义研究[J].大气科学,2016,40(2):341-356.
- [4] 陈传雷,管兆勇,纪永明,等.辽宁长历时暴雨中尺度对流系统特征分析[J].气象,2018,44(8):1051-1062.
- [5] 王宁,王秀娟,张硕,等.吉林省一场持续性暴雨成因及MCC特征分析[J].气象,2016,42(7):809-818.
- [6] 黎惠金,李向红,黄芳,等.广西一次特大暴雨的MCC演变过程及结构特征分析[J].高原气象,2013,32(3):806-817.
- [7] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法(第四版)[M].北京:气象出版社,2007:371-374.
- [8] LILLY D K. The truecture, energetics and propotation of rotating convective storms. Part I: Energy with the mean folw[J]. J Atmos Sci,1986,43(2):113-125.
- [9] LILLY D K. The truecture, energetics and propotation of rotating convective storms. Part II: helicity and storm[J]. J Atmos Sci,1986,43(2):126-140.
- [10] 陆慧娟,高守亭.螺旋度及螺旋度方程的讨论[J].气象学报,2003,61(6):684-691.
- [11] 冉令坤,楚艳丽.强降雨过程中垂直螺旋度和散度通量及其拓展形式的诊断分析[J].物理学报,2009,58(11):8094-8106.
- [12] 王成鑫,高守亭,梁莉,等.动力因子对地形影响下的四川暴雨落区的诊断分析[J].大气科学,2013,37(5):1009-1110.
- [13] 张杰.中小尺度天气学[M].北京:气象出版社,2007:98-110.
- [14] 谢智沛,吴曲琳,闵怡,等.2018年6月贵州一次持续性降水天气过程分析[J].中低纬山地气象,2020,44(1):49-53.
- [15] 冉仙果,胡萍,付瑞滢,等.贵州沿河县两次极端强降水的对比分析[J].中低纬山地气象,2020,44(2):31-39.
- [16] 陈宇聪,刘炳锋,刘嘉劲,等.2013—2017年汕尾市大暴雨特征及影响天气系统归类研究[J].中低纬山地气象,2021,45(5):94-98.