

2021年6月末至7月初贵州持续暴雨维持机制分析

龙先菊^{1*}, 毛倩¹, 杨滨璐², 白慧¹, 董文韬¹, 罗冰^{3#}

¹黔东南州气象台, 贵州 凯里

²麻江县气象局, 贵州 麻江

³天柱县气象局, 贵州 天柱

收稿日期: 2022年8月1日; 录用日期: 2022年8月26日; 发布日期: 2022年9月2日

摘要

本文利用MICAPS平台提供的常规观测资料、区域自动站降水资料和NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 6 h再分析资料计算的相关物理量资料, 对2021年6月28日~7月4日贵州持续暴雨天气过程进行分析总结。得出: ① 此次持续暴雨天气过程是在亚洲中高纬度地区维持稳定双阻形势, 西伯利亚地区冷涡低槽发展东移, 槽底不断分裂短波槽从河套地区东移引导弱冷空气南下以及副高先东退后西伸北抬, 云南和四川不断有短波槽东移影响贵州, 中低层切变线长时间维持, 为持续暴雨的发生发展提供了大尺度背景和动力抬升条件。② 中低层西南低空急流加强北抬并长时间维持, 贵州长时间处于急流左侧高能高湿不稳定区, 为暴雨的维持和发展提供了充足的水汽和能量条件。③ 涡度“低层辐合、高层辐散”的有利配置结构, 使中低层系统得以发展和维持, 为暴雨的发生提供了持续的动力条件; ④ 地面弱冷空气夜间从河套或华北地区南下, 使梅雨锋夜间增强活跃, 其西段长时间在贵州境内维持摆动, 触发持续暴雨天气, 暴雨主要出现在夜间到早晨。

关键词

贵州, 持续暴雨, 物理量, 维持机制

Analysis on the Maintenance Mechanism of Continuous Rainstorm in Guizhou from the End of June to the Beginning of July 2021

Xianju Long^{1*}, Qian Mao¹, Binlu Yang², Hui Bai¹, Wentao Dong¹, Bing Luo^{3#}

¹Qiandongnan Meteorological Bureau, Kaili Guizhou

²Majiang County Meteorological Bureau, Majiang Guizhou

³Tianzhu County Meteorological Bureau, Tianzhu Guizhou

Received: Aug. 1st, 2022; accepted: Aug. 26th, 2022; published: Sep. 2nd, 2022

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 龙先菊, 毛倩, 杨滨璐, 白慧, 董文韬, 罗冰. 2021年6月末至7月初贵州持续暴雨维持机制分析[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(5): 658-666. DOI: 10.12677/ccrl.2022.115069

Abstract

This paper uses the conventional observation data provided by MICAPS platform, the precipitation data of regional automatic stations and NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 6 h relevant physical quantity data calculated by reanalysis data to analyze and summarize the continuous rainstorm weather process in Guizhou from June 28 to July 4, 2021. It is concluded that ① The continuous rainstorm weather process is to maintain a stable double resistance situation in the middle and high latitudes of Asia. The cold vortex trough in Siberia develops and moves eastward, the trough bottom continues to split, and the short wave trough moves eastward from the Hetao area, guiding the weak cold air southward and the subtropical high retreats first eastward and then extends westward and northward. The short wave trough in Yunnan and Sichuan continues to move eastward to affect Guizhou, and the shear line in the middle and low layers is maintained for a long time, it provides a large-scale background and dynamic uplift conditions for the occurrence and development of continuous rainstorms. ② The southwest low-level jet in the middle and low levels strengthened its northward lift and maintained for a long time. Guizhou has been in the high-energy and high humidity unstable area on the left side of the jet for a long time, providing sufficient water vapor and energy conditions for the maintenance and development of rainstorms. ③ The favorable configuration structure of vorticity “low-level convergence and high-level divergence” enables the development and maintenance of the middle and low-level system, and provides continuous dynamic conditions for the occurrence of rainstorms; ④ The weak cold air on the ground descends southward from Hetao or North China at night, making the Meiyu front more active at night. Its western segment has been swinging in Guizhou for a long time, triggering continuous rainstorm, which mainly occurs from night to morning.

Keywords

Guizhou, Continuous Rainstorm, Physical Quantity, Maintenance Mechanism

Copyright © 2022 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

梅雨锋是一条数千公里、横贯东亚和西太平洋地区的雨带，梅雨锋是引发 6~7 月江淮地区持续性暴雨的主要影响系统之一，备受广大气象工作者关注，针对梅雨锋暴雨气象工作者做了大量研究[1] [2] [3] [4] [5]。梅雨期间环流形势稳定，低纬度地区西太平洋副热带高压(以下简称副高)呈带状分布，脊线从日本南部至我国华南地区，孟加拉湾一带有稳定的低槽，槽前和副高西北侧西南气流为持续降雨输送水汽，中高纬度地区巴尔喀什湖及东亚东岸建立有稳定的浅槽，高纬地区为三阻或双阻或单阻形势[6]。每年 6 月中下旬至 7 月中旬，贵州持续性暴雨与长江中下游梅雨密切相关，被看作是梅雨锋西段暴雨[7]。此期间贵州常频繁出现持续性暴雨和大暴雨天气，持续时间长、降雨总量大、范围广，造成严重的城镇内涝、山体滑坡、泥石流等次生灾害，导致人员伤亡和经济损失，给人民群众生命财产安全和生产生活带来严重影响。杜小玲等[8]对梅雨锋西段持续性暴雨的环境场特征及贵阳极端降水成因进行了分析研究，在单阻型梅雨稳定的背景下，当地持续 3~4 d 的强降水由中低层低涡切变、低空急流及地面静止锋(梅雨锋)共同作用造成。

2021 年 6 月 28 日~7 月 4 日贵州省持续暴雨天气过程发生在双阻型梅雨形势下，暴雨天气过程持续时间长达 7 d，为揭示此次梅雨锋西段暴雨的维持机制，本文利用 MICAPS 平台提供的常规观测资料、区域

自动站降水资料和NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 6 h再分析资料计算的相关物理量资料,用天气学原理和方法,从环流背景、影响系统及水汽、热力、动力条件入手进行综合分析,以期能对今后梅雨期间持续性暴雨预报提供参考。

2. 暴雨天气过程概况及主要特点

受梅雨锋西段摆动维持影响,2021年6月28日~7月4日贵州出现了持续性暴雨天气过程,本次暴雨天气过程主要特点:一是持续时间长,暴雨持续时间长达7 d(图1(a)~(g));二是影响范围广,全省85个国家气象站中有9站次出现大暴雨、38站次暴雨,全省2853个区域自动站中出现267站次大暴雨、1619站次暴雨,暴雨影响范围涉及全省9个市(州);三是对流性和夜雨特征显著,本次持续性暴雨天气过程以对流性降雨为主,多数站点强降雨集中在2~6 h内,最大雨强为黔东南州榕江县寨蒿镇票寨村71.5 mm,出现在6月28日7时至8时(图1(h)),强降雨主要出现在夜间到次日上午;四是日降雨量和过程累计降雨量大,6月28日、30日和7月1日降雨强度和影响范围较大(表1),日最大降雨量为德江堰塘露青245.5 mm,出现在6月27日20时至28日20时,过程累计雨量有534站超过200 mm,主要分布在贵州中部及以南地区(图1(i)),以铜仁市江口县回香坪501.2 mm最大。

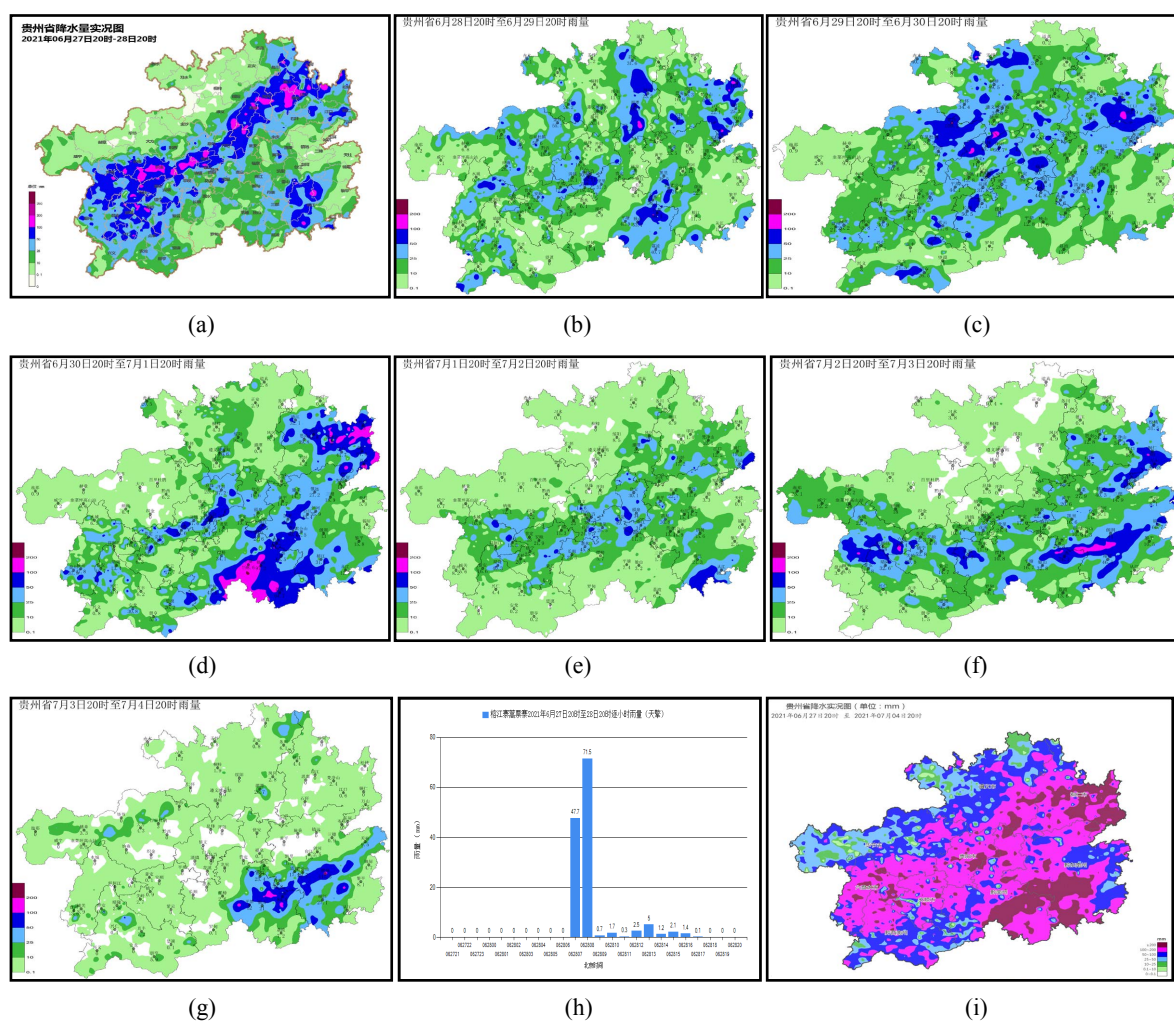


Figure 1. Distribution diagram of daily rainfall (a)~(g), maximum rainfall intensity (h) and total process rainfall (i) from 20:00 on June 27 to 20:00 on July 4, 2021

图 1. 2021 年 6 月 27 日 20 时~7 月 4 日 20 时逐日降雨量(a)~(g)、最大雨强(h)及过程总降雨量(i)分布图

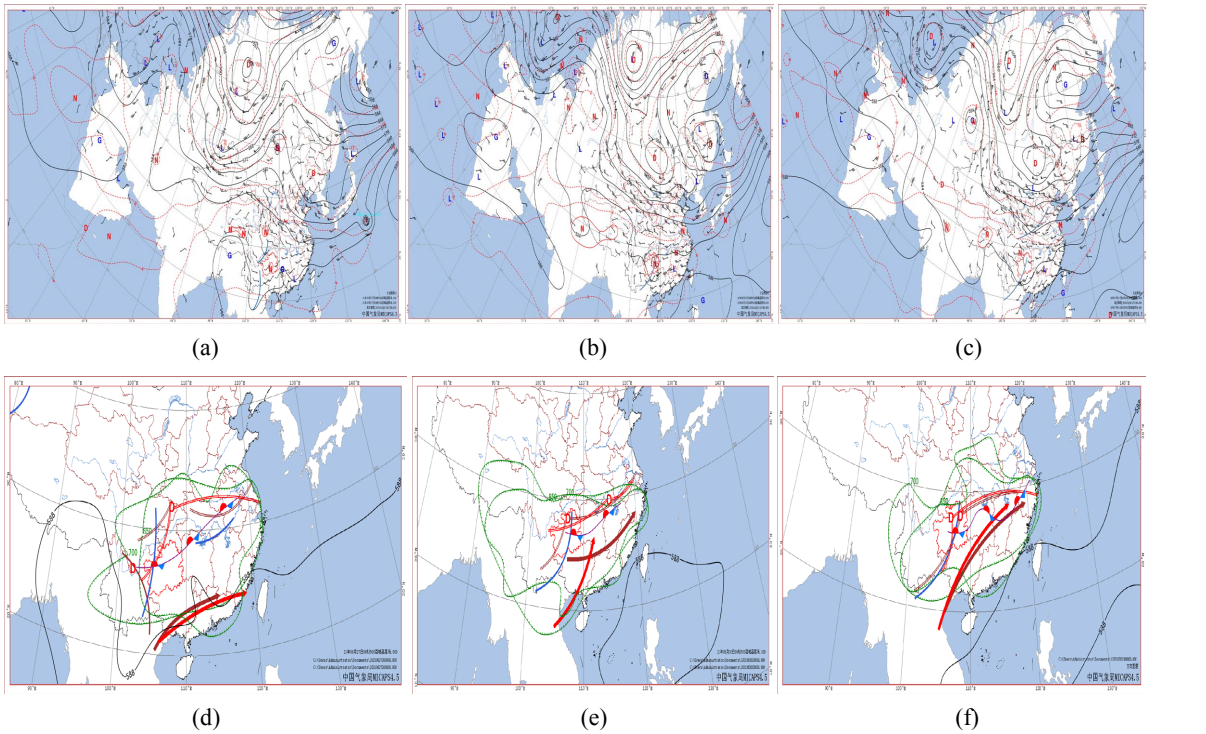
Table 1. Statistics of daily rainfall of different grades and stations in Guizhou Province from June 28 to July 4, 2021
表 1. 贵州省 2021 年 6 月 28 日~7 月 4 日逐日不同等级雨量及站数统计

时段 (20~20 时)	国家站					区域站				
	大暴雨站数	暴雨站数	大雨站数	最大雨量		大暴雨站数	暴雨站数	大雨站数	最大雨量	
				量级/mm	地点				量级/mm	地点
28 日	6	10	24	156.6	思南	142	564	686	245.5	德江堰塘露青
29 日	1	6	21	102.6	松桃	15	100	604	130.1	松桃平头
30 日	1	6	29	109.2	金沙	14	270	882	175.5	镇宁本寨洋金
1 日	1	12	21	198.6	平塘	69	349	534	212.2	平塘者密
2 日	0	0	14	49.7	贵定	0	62	342	99.3	万山下溪
3 日	0	3	15	76.1	三都	18	203	550	141.5	三都都江羊福
4 日	0	1	3	84.8	三都	9	71	157	126.1	平塘牙舟卡罗

3. 持续暴雨维持机制分析

3.1. 环流背景分析

从 27 日 8:00~7 月 4 日 8:00 500 hPa 形势图上可以看出，亚洲中高纬度地区稳定维持典型的双阻形势，乌拉尔山和亚洲东北部地区为高压脊控制，西北利亚到蒙古国为低涡冷槽，槽底不断分裂短波槽东移南压，



注: 500 hPa 等高线 —— 500 hPa 槽线 —— 500 hPa 700 hPa 槽线 —— 700 hPa 切变线 —— 850 hPa 切变线 —— 700 hPa 急流轴 —— 850 hPa 急流轴 —— 700 hPa、850 hPa 和 925 hPa 饱和湿区 —— 地面静止锋(梅雨锋) ——

Figure 2. Mesoscale analysis chart (d, e, f) of 500 hPa situation and corresponding time at 8:00 (a) on June 27, 8:00 (b) on June 30, and 8:00 (c) on July 1

图 2. 6 月 27 日 8 时(a)、30 日 8 时(b)、7 月 1 日 8 时(c) 500 hPa 形势及相应时间的中尺度分析图((d), (e), (f))

引导弱冷空气从套或华北地区扩散南下的大尺度环流形势长时间稳定维持,使江淮到贵州境内摆动的梅雨锋维持并在夜间到早晨加强,触发持续暴雨天气。中低纬度地区副高压先东退后西伸北抬,588 dp_{gm}等值线27日到28日由华南地区东退到菲律宾西部洋面上,四川高空槽和云南东部的高空槽东移影响贵州(图2(a));29日到7月1日副高加强西伸北抬,588 dp_{gm}等值线伸至华南沿海,高空槽东移受阻,在贵州中部地区上空滞留摆动(图2(b),图2(c)),造成大范围暴雨天气;2日至4日副高逐渐西伸北抬至广西中部,云南东部不断有短波槽东移影响贵州(图略),贵州中南部地区处于槽前和副高西北侧高温高湿不稳定区,出现持续暴雨天气;5日副高进一步加强西伸北抬,588 dp_{gm}等值线北界到达淮河流域、西伸脊点至云南西部,中高纬度地区两脊一槽形势转为平直气流,引导冷空气南下的环流形势破坏,贵州境内梅雨锋锋消,暴雨天气过程结束。

3.2. 中尺度分析

6月27日8:00~7月4日8:00 500 hPa到地面影响系统中尺度分析(图2(d)~(f))可知,暴雨持续期间,不断有高空槽东移影响贵州,中低空切变线维持,地面梅雨锋西段在贵州维持摆动,夜间有弱冷空气从河套或华北地区补充南下,使梅雨锋明显加强活跃,同时西南低空急流逐渐加强北抬,低层从孟加拉湾和南海均有水汽向暴雨区输送,同时贵州为假相当位温超过335 K的高能舌区控制(图3),大气处于高能高湿不稳定状态。低空急流的加强北抬,贵州长时间处于850 hPa急流左侧辐合区,边界层形成持续的水汽、热力输送和动力辐合,为持续暴雨天气提供了重要条件。

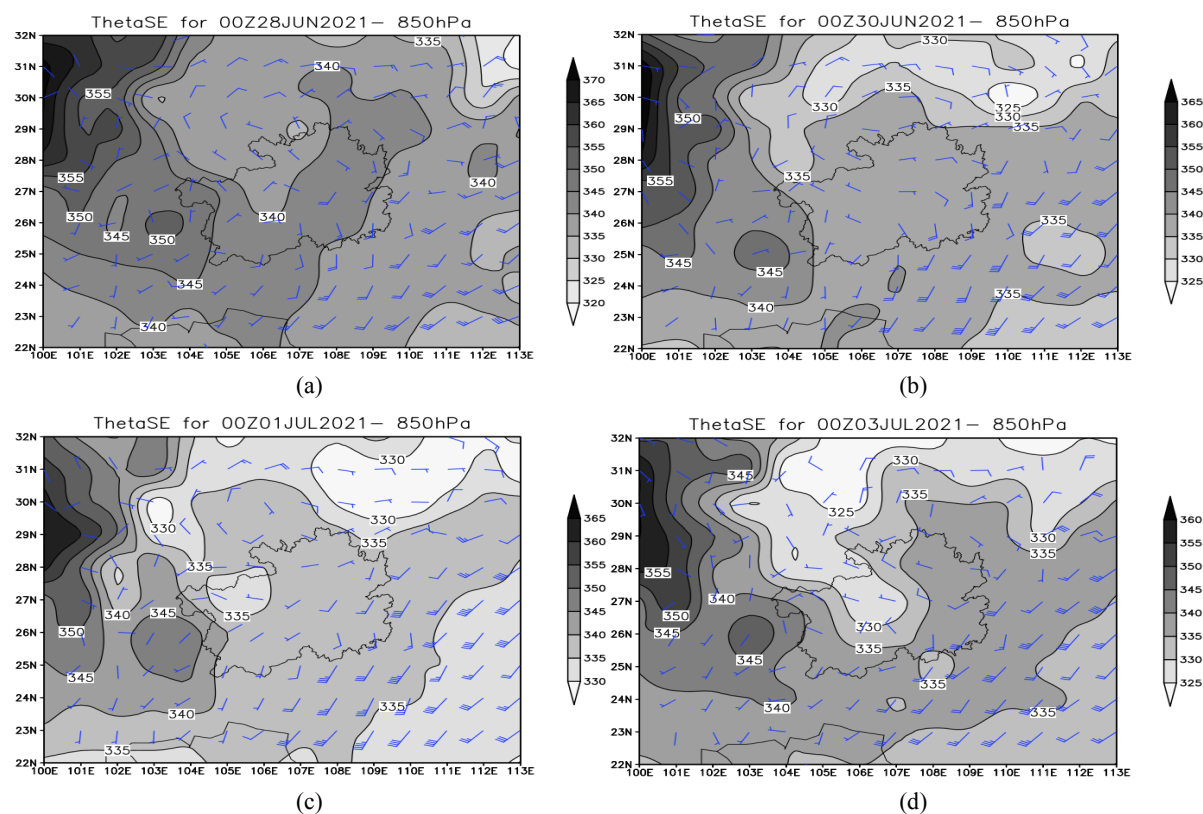


Figure 3. 850 hPa pseudo equivalent potential temperature and wind field (unit: k) at 8:00 on June 28 (a), June 30 (b), July 1 (c) and July 3 (d)

图 3. 6月28日(a)、30日(b)、7月1日(c)、3日8:00(d) 850 hPa 假相当位温及风场(单位: k)

总之,此次持续性暴雨天气过程是在北方有利于引导弱冷空气南下的环流形势以及副高减弱东退和加强西伸北抬的背景条件下,低空西南急流加强北抬、高空槽和中低层低涡切变线和梅雨锋西段长时间

在贵州维持、摆动造成。

4. 物理量诊断分析

4.1. 水汽条件分析

从贵阳、怀化、河池探空资料分析可知，6月27日8:00时~7月4日8:00暴雨发生前及发生期间，贵阳、怀化饱和湿层达到600 hPa以上，最高超过250 hPa，且维持有较高CAPE值(图4)，同时贵州及周边地区500 hPa比湿为5~8 g·kg⁻¹，700 hPa为10~13 g·kg⁻¹，850 hPa为14~17 g·kg⁻¹，表明水汽异常充沛，湿层深厚，超过贵州暴雨水汽条件指标。

4.2. 能量条件分析

表2是27日8:00~7月4日20:00逐12 h贵阳、怀化、河池SI指数、K指数、CAPE值逐日演变情况。从表2可知，贵阳、桂林、河池均存在不稳定能量，且20:00 K指数、CAPE值明显较8:00增大、SI较8:00减小，如贵阳20:00CAPE值均大于1000 J·KG⁻¹，K值≥40℃，SI≤-1℃，由于强降雨主要发生在夜间到早晨，白天有能量积聚、夜间有能量释放过程。可见，在暴雨持续发生期间，贵州维持高能高湿条件，有利于暴雨产生。

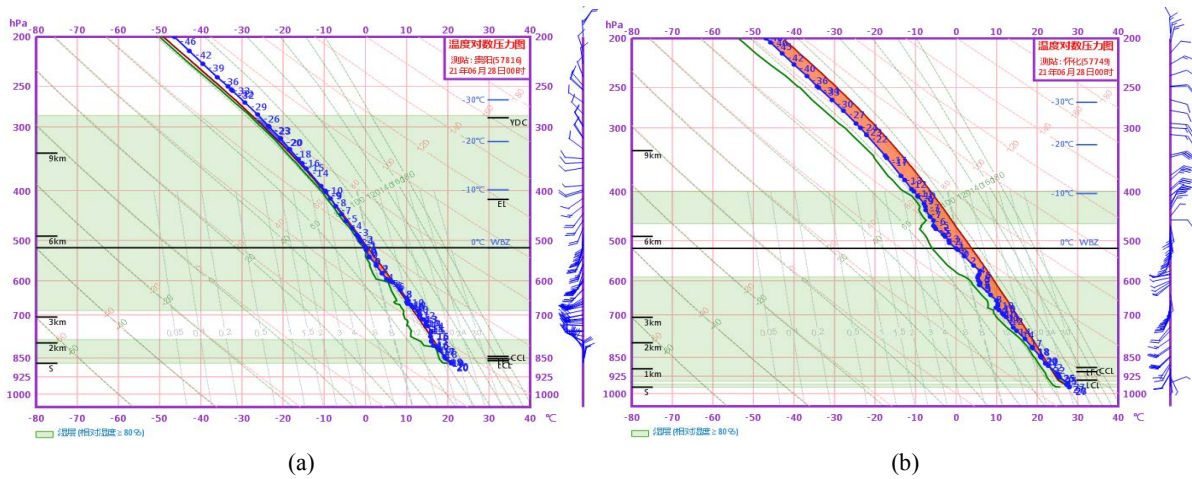
4.3. 动力条件分析

从持续暴雨期间涡度演变来看，6月27日~7月4日期间暴雨发生前和发生期间，贵州上空500 hPa以

Table 2. SI, K, CAPE of Guiyang and Huaihua from June 27 to July 4, 2021

表 2. 2021 年 6 月 27 日~7 月 4 日贵阳、怀化 SI、K、CAPE

站名	时间	27日 08时	27日 20时	28日 08时	28日 20时	29日 08时	29日 20时	30日 08时	30日 20时	1日 08时	1日 20时	2日 08时	2日 20时	3日 08时	3日 20时	4日 08时	4日 20时
贵阳	SI	0	-1	1	0	1	-2	0	-1	-2	0	0	-2	1	-1	-1	-2
	K	36	42	35	39	36	42	40	40	41	40	39	41	37	40	41	41
	CAPE	821	1520	77	608	22	1055	177	707	916	301	154	1437	63	634	187	1505
怀化	SI	0	0	-2	-1	0	-2	1	-1	-1	0	-1	0	-1	0	-1	-2
	K	37	39	40	37	38	41	38	40	40	37	40	39	41	40	40	41
	CAPE	469	2041	2037	2055	774	746	515	963	649	2556	238	1570	536	66	3	1105



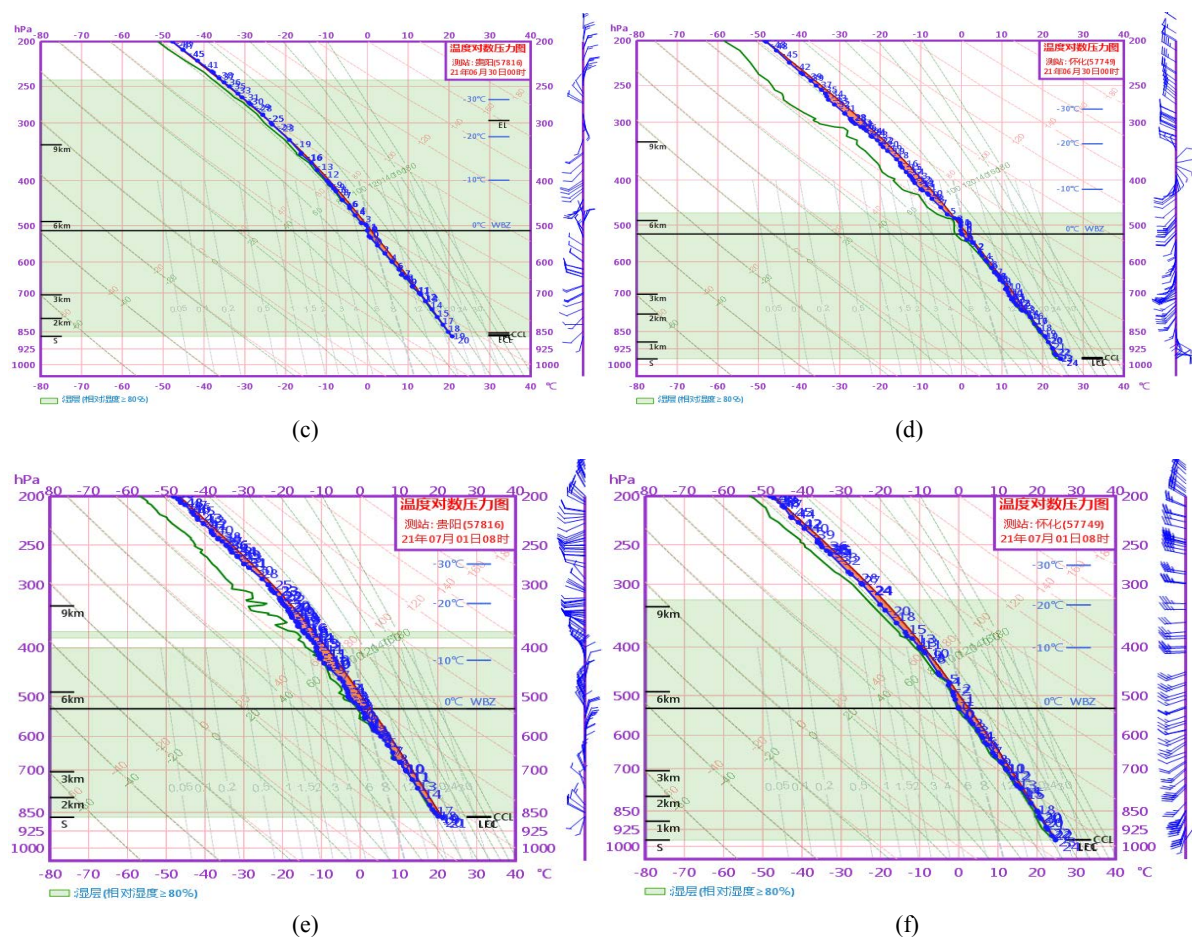
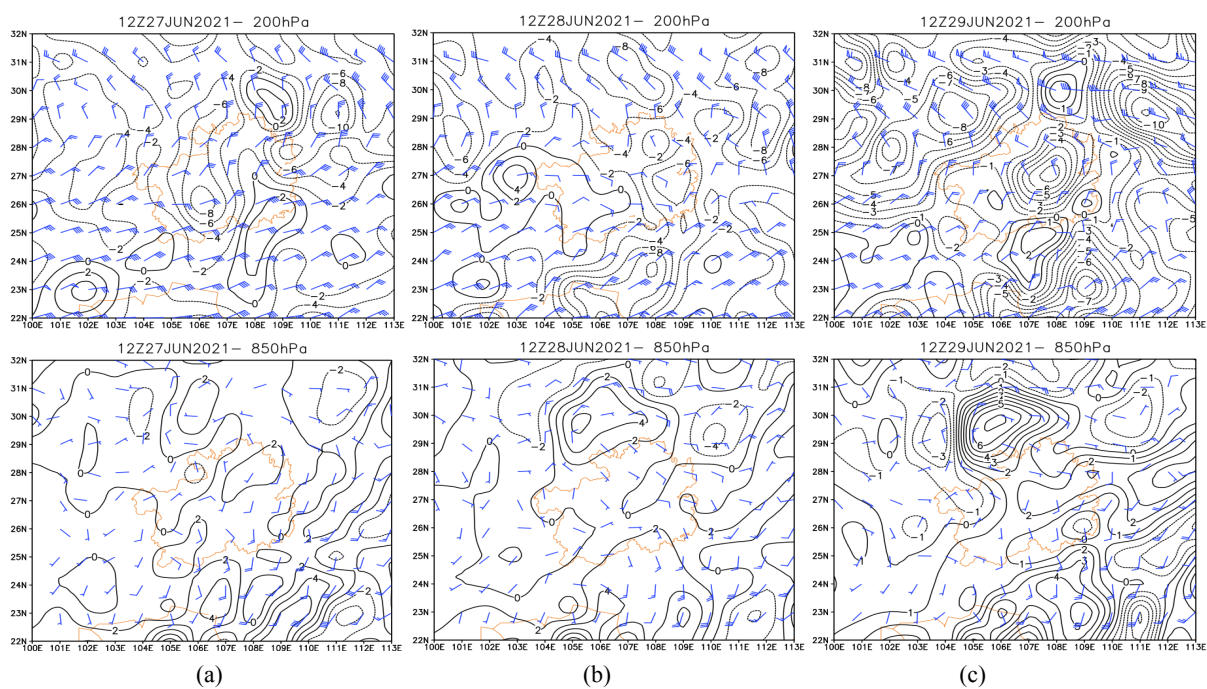


Figure 4. Radiosonde map of Guiyang ((a), (c), (e)) and Huaihua ((b), (d), (f)) at 8:00 on July 28, 30 and July 1, 2021

图 4. 2021 年 7 月 28 日、30 日、7 月 1 日 8:00 贵阳((a), (c), (e))、怀化((b), (d), (f))探空图



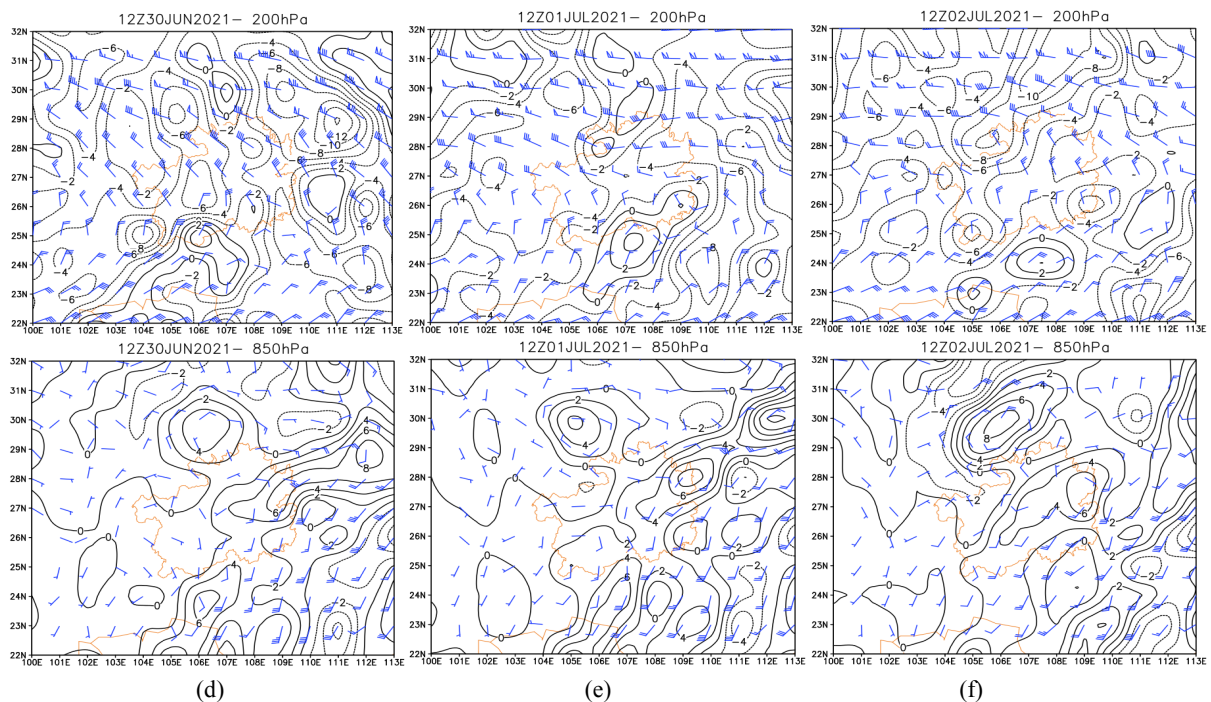


Figure 5. From June 27 to July 3, 20:00, 200 hPa and the corresponding 850 hPa vorticity (unit: 10^{-8} s^{-1})

图 5. 6 月 27 日~7 月 3 日 20:00 200 hPa 和对应 850 hPa 涡度(单位: 10^{-8} s^{-1})

下均风场为切变线和正涡度辐合区, 正涡度大值中心主要集中在 850 hPa, 中心值大于 $8 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$, 且正涡度中心维持有风场切变, 500 hPa 以上为负涡度, 200 hPa 处于南压高压东部脊线附近或分流区, 对应为负涡度辐散区, 负涡度中心值低于 $-8 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ (图 5), 这种“低层辐合、高层辐散”抽吸式动力配置维持, 且傍晚到夜间明显加强, 使中低层系统得以维持和发展加强, 是夜间到早晨暴雨持续发生发展的重要原因。

5. 小结

1) 此次持续性暴雨天气过程是在典型的双阻形势和副高先减弱东退后加强西伸北抬的背景条件下, 高空槽、中低层切变线和梅雨锋西段长时间在贵州维持、摆动造成。

2) 持续暴雨期间, 西南低空急流加强北抬并长时间维持, 贵州处于急流左侧高能高湿不稳定状态, 暴雨发生前水汽和能量有明显积累过程, SI 指数减小为负值, CAPE 值和 K 指数明显增大, 多数在 $600 \sim 1520 \text{ J} \cdot \text{KG}^{-1}$ 和 $38^\circ\text{C} \sim 42^\circ\text{C}$ 之间, 且假相当位温 $\geq 335 \text{ K}$ 的高能舌区持续控制贵州。低空急流的加强和维持, 为暴雨的维持和发展提供了充足的水汽和能量条件, 是此次持续暴雨天气过程以对流性降雨为主, 且局地雨强大的主要原因。

3) 持性暴雨期间, 中低层均为负涡度中心均有风切变存在和维持, 贵州中低层有较强的动力辐合, 中上层处于南亚高压东部脊线附近或分流辐散区为负涡度, 维持较强辐散抽吸作用, 形成持续有利的动力抬升结构, 使中低层系统得以发展和维持, 为暴雨的发生提供了持续的动力条件。

4) 地面弱冷空气夜间从河套或华北地区南下, 使梅雨锋夜间异常活跃, 其西段长时间在贵州境内维持摆动, 触发持续暴雨天气过程, 梅雨锋夜间增强活跃, 是暴雨主要出现在夜间到早晨的主要原因。

基金项目

黔东南州科技计划项目“基于区域自动站的黔东南‘两山’地区致灾暴雨研究”(黔东南科合基础[2022] 09 号), 贵州省气象局研究型业务关键技术攻关团队建设“黔东南雷暴大风攻关团队”(GGTD-202206)。

参考文献

- [1] 张雁, 丁一汇, 马强. 持续性梅雨锋暴雨的环流特征分析[J]. 气候与环境研究, 2001, 6(2): 161-167.
- [2] 周军辉, 郑江伟, 王萱. 一次梅雨锋短时暴雨的诊断和特征分析[J]. 江西科学, 2016, 34(5): 670-677.
- [3] 杨秀梅, 马敏劲, 朱安豹. 2013 年 7 月一次江淮暴雨成因分析[J]. 干旱气象, 2016, 34(4): 700-709.
- [4] 毛程燕, 李浩文, 龚理卿, 等. 2018 年一次非典型梅雨锋暴雨过程诊断分析[J]. 气象与环境学报, 2019, 35(6): 8-13.
- [5] 钱宏超, 马中元, 何文, 等. 一次梅雨锋连续大暴雨过程的诊断分析[J]. 江西科学, 2022, 40(2): 283-286.
- [6] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 第 4 版. 北京: 气象出版社, 2007: 351-357.
- [7] 杜小玲. 2012 年贵州暴雨的中尺度环境场分析及短期预报着眼点[J]. 气象, 2013, 39(7): 861-873.
- [8] 杜小玲, 吴磊, 杨秀庄, 等. 梅雨锋西段持续性暴雨的环境场特征及贵阳极端降水成因[J]. 暴雨灾害, 2016, 35(5): 415-426.