

2021年5月3日贵州省中东部一次强对流天气过程综合分析

吴和俐¹, 周博洋¹, 张艳梅², 赵宝筑³

¹贵阳市气象局, 贵州 贵阳

²贵州省气象台, 贵州 贵阳

³贵阳市乌当区气象局, 贵州 贵阳

收稿日期: 2022年2月5日; 录用日期: 2022年3月1日; 发布日期: 2022年3月7日

摘要

本文利用常规观测资料, ERA5再分析资料, 欧洲中心预报资料等, 分别从环流背景、大气环境物理量、动力场结构、可预报性等对2021年5月3日贵州省一次强对流天气过程进行综合分析。结果表明: ① 此次天气过程是在高空冷槽的背景下, 配合低层的切变线以及南风急流, 在中尺度辐合线的触发下发生的强对流天气过程。② 高层冷平流配合低层暖脊以及地面热低压发展, 使得贵州地区具有“上干冷, 下暖湿”的不稳定层结。③ 对流发生前贵州中东部具有较强的不稳定能量、垂直风切变和适宜的0℃层高度。④ 冰雹发生区域有明显的正涡度柱以及低层辐合高层辐散, 上升运动较强。⑤ 参考模式预报可以对此次对流的发生以及移向移速等进行较准确地预报, 但可能会对部分地区的降水量级以及强对流天气的强度等预报存在误判。

关键词

强对流天气, 贵州, 垂直速度, 欧洲中心预报

Comprehensive Analysis of a Convective Weather in the Central and Eastern of Guizhou on May 3, 2021

Heli Wu¹, Boyang Zhou¹, Yanmei Zhang², Baozhu Zhao³

¹Guiyang Meteorological Bureau, Guiyang Guizhou

²Guizhou Meteorological Station, Guiyang Guizhou

³Wudang District Meteorological Bureau, Guiyang Guizhou

Received: Feb. 5th, 2022; accepted: Mar. 1st, 2022; published: Mar. 7th, 2022

文章引用: 吴和俐, 周博洋, 张艳梅, 赵宝筑. 2021年5月3日贵州省中东部一次强对流天气过程综合分析[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(2): 136-144. DOI: 10.12677/ccrl.2022.112014

Abstract

In this paper, a severe convective weather process in Guizhou Province on May 3, 2021 was comprehensively analyzed from the atmospheric circulation, environmental physical field values, dynamic structure and predictability of model, according to meteorological observation data, ERA5 reanalysis hourly data and ECMWF numerical forecasting products. The results show that: ① This weather process was a strong convective weather process triggered by the mesoscale convergence line under the background of upper-air cold trough, coupled with low-level shear line and southerly jet. ② With the development of high-level cold advection, low-level warm ridge and warm low on surface, Guizhou has an unstable stratification of the dry and cold in the high, warm and wet in the low. ③ Before convection, there were strong unstable energy, vertical wind shear and suitable 0°C layer height in central and eastern Guizhou. ④ There were obvious positive vorticity columniations, structure of convergence-divergence from lower levels of troposphere to upper level in the hail occurrence area, with strong ascending motion. ⑤ According to ECMWF numerical forecasting products could accurately predict the occurrence, direction and velocity of the convection, but it might lead to misjudgment in intensity of precipitation and severe convective weather in some areas.

Keywords

Convective Weather, Vertical Velocity, Guizhou, ECMWF

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

贵州省属于中国西南地区,是位于青藏高原东南侧的高原山区,境内整体地势呈现西高东低,地形复杂,东西向海拔差距约达 1600 米,在复杂的地形地貌下,贵州强对流天气频发,使得人民的生产、生活、等各方面受到不同程度的威胁,突发的、较强的强对流天气甚至威胁到人民的生命以及财产安全[1] [2]。为了应对强对流天气带来的不利影响,提高预报预警的精度和准确度,众多气象工作者和学者对强对流天气进行了一定的分析研究[3] [4] [5]。王迪[6]等统计分析不同月份三类强对流天气的关键物理参数特征,并发现物理参数特征的月际差异非常明显。崔丽曼[7]分析了一次在华北冷涡背景下的强对流天气,指出中小尺度动力辐合促使强对流回波发展。万雪丽[8]等统计了多年贵州的强冰雹天气过程,将春季强冰雹天气发生的有利形势分为西北气流型,高空槽型,锋前降雹型和高架雷暴型。吴古会等[9]统计了贵州省国家站 10 分钟平均风数据,发现 6 级以上的大风一般发生在非暴雨过程中。周明飞[10]等研究了贵州近 10 年的算是强降水分布特征,发现贵州的短时强降水呈现出南多北少空间分布特征。每一次的天气过程具有普遍性,同时也具有特殊性,因此分析总结每一次强对流天气过程特征,有助于加深预报员对天气发生发展的认识,进而提高预报预警的质量和精度。因此,本文利用常规观测资料,ERA5 0.25°*0.25°再分析资料,欧洲中心细网格预报资料等,对 2021 年 5 月 3 日发生在贵州省中东部的一次强对流天气过程进行综合分析。

2. 天气概况

2021 年 5 月 3 日 08 时至 4 日 08 时,贵州省除西部地区均出现冰雹、大风、短时强降水等强对流天

气。降雹区域主要集中在省的中部地区,共 16 个县域内出现降雹,最大冰雹直径为 15 毫米,降雹时段主要集中在 3 个时段,分别为 13 时 20 分至 14 时 40 分在贵阳、毕节、遵义三市交界处,18 时 20 分至 20 时 10 分在黔南和安顺北部交界处,以及 21 时 20 分至 22 时,此时的降雹区域比较分散。全省共 67 个观测站出现大风,最大风速为 28.5 m/s,22 时 03 分出现在黔南州平塘县,大风的发生时段主要集中在 13 时 20 分到 21 时 30 分。共 372 站观测到短时强降水(小时雨强大于等于 20 毫米),小时雨强大于 50 毫米有 13 个站,主要发生在黔东南州和黔南州的 3 日 20 时至 4 日 0 时时段内,最大小时雨强达 77.8 毫米,22 时出现在黔东南州榕江县。全省 24 小时降水,大暴雨达 13 站,暴雨 155 站,暴雨主要集中在贵州省东南部以及东北部局地和中部局地。

3. 环流背景与探空环境

3.1. 环流背景分析

5 月 3 日 08 时(图 1),500 hPa 上空,贝湖至我国甘肃一带为一冷涡低槽,温度槽落后于高度槽,槽将继续发展东移,并引导冷空气东移南下影响我国,我国山西至云南东北部为一低压槽,贵州省受槽前西北气流控制,正涡度平流有利于地面气旋性的涡度发展,上升运动增强;700 hPa,暖式切变线位于川南至重庆一带,贵州省受切变线南部 20 m/s 西南急流,以及从广西伸至贵州省的暖脊影响;850 hPa,一暖式切变线位于贵州与重庆交界一线,切变南部为 20 m/s 偏南急流;700 hPa 温度露点差在 7℃~11℃之间,比湿在 6~7 g/kg 之间,850 hPa 温度露点差为 1℃,比湿为 14 g/kg,此时贵州中部有较浅的湿层,中高层均偏干。20 时,500 hPa,位于贝湖的冷涡低槽东移至我国内蒙西北部,我国中部的低槽移至河北至贵州东南部一带,槽底广西北部至江西中南部为 22 m/s 的西南急流;700 hPa,切变线略微南压至贵州省北部一线,中南部仍受 20 m/s 的西南急流影响;850 hPa,切变线已移至省的中南部地区,切变线南部急流维持;700 hPa 中南部温度露点差在 3℃~4℃之间,比湿约 9 g/kg,8500 hPa 中南部温度露点差在 1℃~4℃之间,比湿在 13~16 g/kg 之间,此时贵州中南部地区湿层明显增厚。4 日 08 时,500 hPa 上我国中部的槽减弱为短波槽,贵州为一弱波动影响;700 hPa 和 850 hPa 的切变均已基本移除贵州省,转为东北气流控制。

地面上,08 时地面贵州由一热低压控制,低压中心 1000 hPa,沿热低压的地面辐合线位于省北部地区,14 时,中心位于四川西北部的热低压略有发展,中心值为 995 hPa,偏北风与偏南或偏东风的地面辐合线略微南压至贵州毕节南部至铜仁中部一线,此时冷空气从偏北路径进入贵州省,影响北部地区,北部大部地区的 24 小时降温约 6℃左右;20 时,冷空气已影响至省的中部地区,此时中北部大部分地区的 24 h 降温在 8℃左右,辐合线继续东南压;4 日 08 时,高压中心位于陕西一带,中心值约 1030,冷锋前沿位于湖南南部至贵州省南部边缘一带,1010 线压至贵州西南部地区,全省除南部边缘,均转为偏北气流控制。

从天气系统的配置可以看到,此次贵州中部的强对流天气过程,主要是由高空槽前的正涡度平流、850 hPa 低空切变辐合、急流风速辐合,配合地面辐合线,为贵州中东部地区强对流天气的发生提供了较好的动力抬升条件,夜间 700 hPa 切变线南压触发新一轮局地的对流天气。地面白天热低压发展,不稳定能量集聚,随着冷空气的渗透,冷暖空气交汇,锋面系统的抬升作用使得上升运动进一步增强,利于对流发展更旺盛。白天湿层浅薄,不利于大范围暴雨发生,夜间,东南部比湿和相对湿度增大,水汽条件转好,达到暴雨阈值,使得东南部地区出现较大范围的暴雨至大暴雨天气。低空西南急流和偏南急流的维持,700 hPa 暖脊发展,使得贵州低层有较好的水汽和热力条件,与高层的冷平流相结合,使得贵州具有“上干冷,下暖湿”的不稳定层结,不稳定度增强,有利于强对流天气的发生发展。

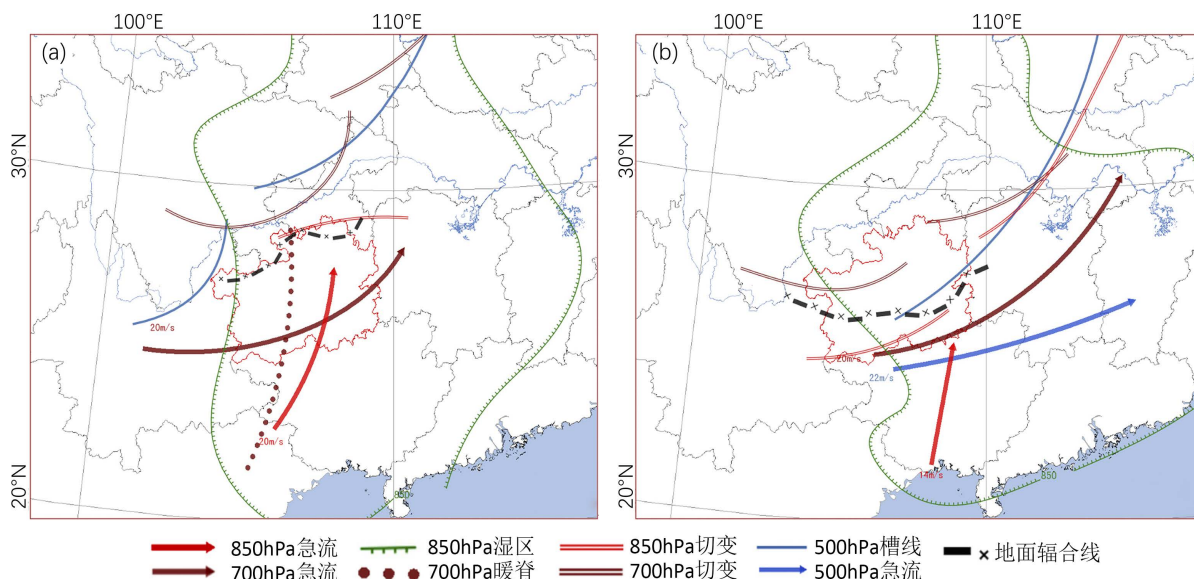


Figure 1. The weather system configuration at 08:00 (a) and 20:00 (b) on May 3, 2021

图 1. 2021 年 5 月 3 日 08 时(a)和 20 时(b)天气系统配置

3.2. 大气环境物理量特征

大气的的不稳定度与对流天气发生发展的强弱有关[10] [11], 本文通过分析对流有效位能 CAPE 值、K 指数、抬升指数 Li、沙氏指数 SI、垂直风切变 V_{ws} 、700 hPa 与 500 hPa 的温差 T_{75} 以及 850 hPa 与 500 hPa 的温差 T_{85} 等物理量, 对此次的天气过程中大气的的不稳定度进行评估。表 1, 贵阳站点当日 08 时的 CAPE 值为 1473.2 J/kg, 利用当日高温 $T = 28^{\circ}\text{C}$ 对其进行订正后, CAPE 值达 3500 左右, 并且 T_{75} 为 18.4°C , T_{85} 为 24.5°C , SI 指数为 -2 , 56°C , K 指数为 30.3°C , 均达到了贵州发生强对流天气的阈值, 各项数值均表明当日早上至午后时间段, 中部地区不稳定能量充足, 若有适宜的触发条件, 将有较大概率发生强对流天气[12] [13] [14]。此时贵阳站点的 V_{ws} 为 0.76, 0~6 km 风速差约 18 m/s, 中等到强的垂直风切变有利于强对流有组织的维持和发展[15]。相对应的可以看到毕节 08 时的探空, CAPE 值为 0 J/kg, 利用当日高温 $T = 22^{\circ}\text{C}$ 订正后, CAPE 值约 900 J/kg, 数值不算很大, $T_{75} = 15.4^{\circ}\text{C}$, 但 SI 指数为 2.93, 发生强雷暴的可能性较小[16]。因此, 当日白天对流在毕节至遵义一带触发, 但对流在毕节大部地区的发展没有中东部地区的对流发展旺盛。

20 时, 贵阳站 CAPE 值为 202.5 J/kg, 不稳定能量释放, SI 指数升高至 -0.49°C , V_{ws} 降至 0.36, 0~6 km 风速差约 14 m/s, 指示强对流天气的各物理量特征值数值不同程度的下降, 能量减弱, 此时的雷暴云团已经基本移过中部, 至省的中部偏东南地区。此时河池站 CAPE 值为 1448.5 J/kg, T_{75} 为 14.4°C , T_{85} 为 23.5°C , SI 指数为 -0.74°C , K 指数为 36.3°C , V_{ws} 为 0.16 具备一定的不稳定能量, 此时中南部地区的能量不如贵州中部地区的能量充足, 雷暴云团移至此时, 强对流天气以短时强降水为主, 雷暴大风和冰雹均比较弱。与 08 时相比, 威宁站夜间 20 时的不稳定能量有一定的发展, CAPE 值为 945.6 J/kg, T_{75} 为 15.4°C , SI 指数为 -1.77°C , 夜间省的中部, 西部地区 700 hPa 切变南压, 配合一定的地面辐合, 新的对流云团触发, 后逐渐东南移, 强度逐渐减弱。3 日 08 时贵阳站的 0° 湿球温度高度(WBZ)约 4000 m, -20° 湿球温度高度(WBN)约 7556 m, 威宁站 WBZ 约 4047 m, WBN 约 7607, 20 时河池站 WBZ 为 3986 m, WBN 为 7729 m, 可以看到温度层结适宜本地冰雹发生的背景条件, 若对流发展旺盛, 均有冰雹出现的可能。

Table 1. Convective parameters from 08:00 on 3 to 08:00 on 4 May, 2021

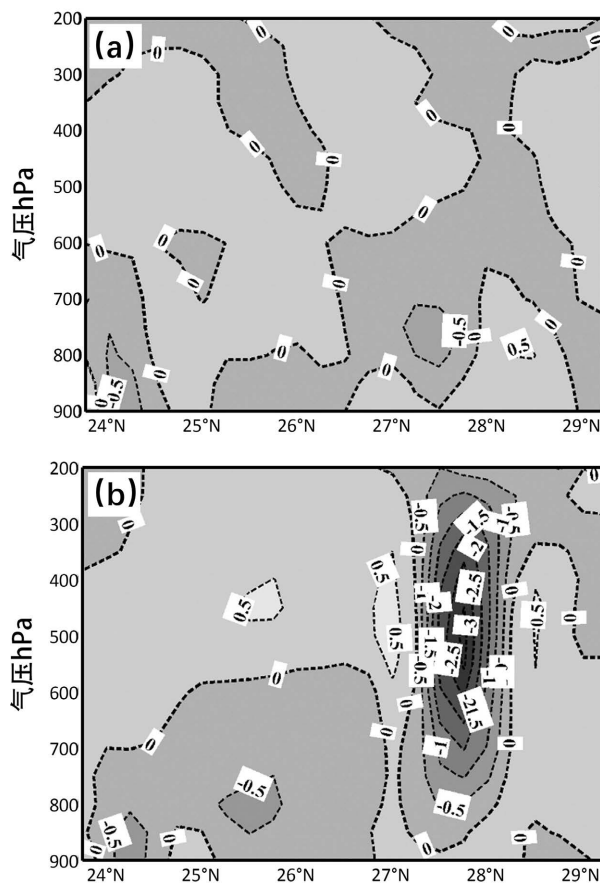
表 1. 5月3日08时至4日08时对流参数

站名	时间	Cape	K	SI	Vws	T75	T85
贵阳	3日08时	1473.2	30.3	-2.56	0.76	18.4	24.5
	3日20时	202.5	36.9	-0.49	0.36	16.1	24.6
威宁	3日08时	0	-	2.93	0.54	15.4	-
	3日20时	945.6	-	-1.77	0.48	19	-
河池	3日20时	1448.5	36.3	-0.74	0.16	14.4	-23.5
	4日08时	23	38.7	-1.6	0.36	15.6	23.8

4. 动力结构特征及其演变

为讨论垂直方向上物理量场随时间的演变特征，以最大冰雹点附近(27°N~28°N)为例，做 106.75°E 处纬度随高度变化的剖面图，研究该地附近的垂直速度，散度以及涡度在 08 时，14 时，20 时的变化情况。

由图 2 可以看出，08 时冰雹发生前，在 106.75°E 附近，均没有明显的上升运动。14 时，垂直速度明显增大，从低层一直延伸达 200 hPa，大值区在 700 hPa 至 400 hPa 之间，中心最大值达 $-3 \times 10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上，表明该区域具有较强的上升运动，随后贵阳市息烽县、毕节金沙县降雹。到 20 时，该地的上升运动已经明显减小，上升运动的大值区南压，约在 25°N 附近，此时强对流回波也已经随着地面辐合线南压至 25°N 附近。



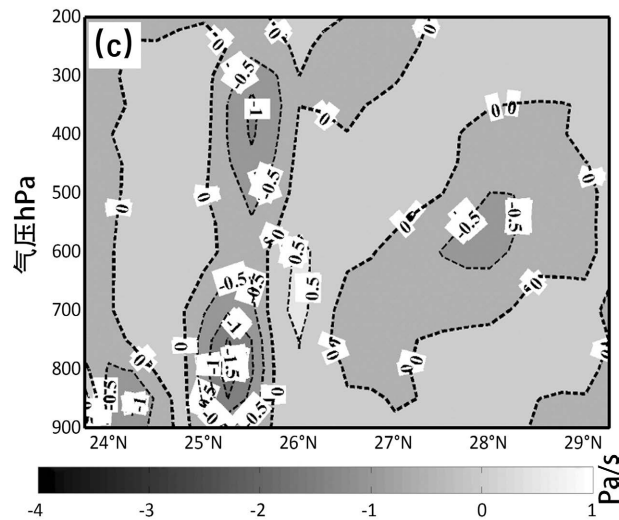
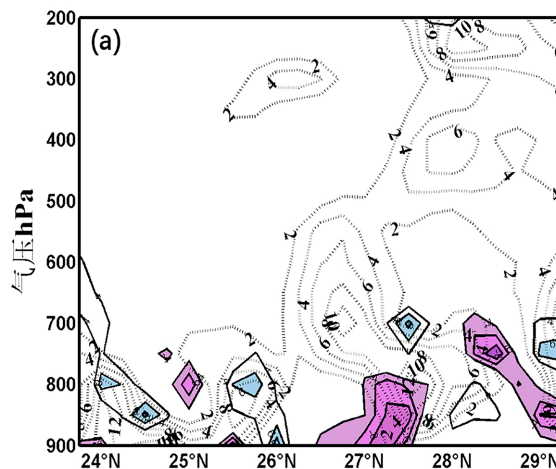


Figure 2. Vertical sections of vertical velocity along 106.75°E at 08:00 (a), 14:00 (b) and 20:00 (c) of 3 May 2021 (Unit: $10^{-1} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)

图 2. 2021 年 5 月 3 日 08 时(a)、14 时(b)、20 时(c)沿 106.75°E 的垂直运动剖面图(单位: $10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)

图 3 展示了散度和涡度随高度的分布变化, 在对流开始前 08 时, 低层 700 hPa 以下有较弱的辐散, 正涡度分布区域较小, 大值区中心主要集中在低层, 整体分布比较散乱。14 时, 临近冰雹发生时段, 此时 106.75°E 处有较大范围的正涡度区存在, 与 08 时相比有明显扩展, 范围扩大, 并且在 27°N 至 28°N 之间, 正涡度向高处伸展, 形成了深厚的直立正涡度柱, 中心强度约 $10 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$, 此时散度的分布呈现出明显的高层辐散, 低层辐合的垂直结构, 辐合大值区的伸展高度达 600hPa, 中心大值区约 $8 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$ 至 $10 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$, 400 hPa 转为辐散区域, 中心值约 $12 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$ 至 $14 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$, 高低层配合紧密, 具有更明显的结构特征。20 时, 回波南压以后, 原本的冰雹发生区域, 涡度和散度的分布变得散乱, 辐合区域以及正涡度区域均分布在中高层, 辐合, 辐散强度弱, 没有明显的结构特征, 此时低层的正涡度和辐合大值区域已经转移至 25°N 附近。可以看到, 在冰雹发生前后, 从低层到高层存在比较明显的正涡度柱, 上升运动伸展高度可达 200 hPa, 中心大值区处于中高层, 并且有明显的高层辐散和低层辐合结构。



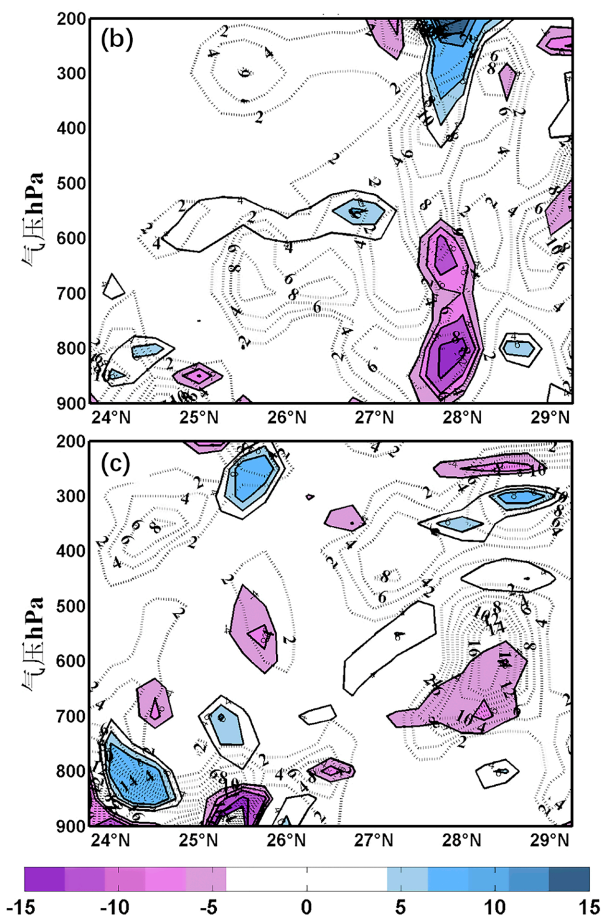


Figure 3. Vertical sections of divergence (color filling, unit: $10^{-5} \cdot s^{-1}$) and positive vorticity (dotted line, unit: $10^{-5} \cdot s^{-1}$) along $106.75^\circ E$ at 08:00 (a)、14:00 (b) and 20:00 (c) of 3 May 2021

图 3. 2021 年 5 月 3 日 08 时(a)、14 时(b)、20 时(c)沿 $106.75^\circ E$ 的正涡度以及散度剖面图(点线为正涡度区, 单位 $10^{-5} \cdot s^{-1}$, 阴影区域为散度, 单位 $10^{-5} \cdot s^{-1}$)

5. 模式可预报性分析

对 3 日 08 时欧洲中心最新时次的预报结果与实况进行对比分析, 以讨论模式对此次过程的可预报性。从图 4 可以看到, 模式预报的系统过境过程比较明显, 与 3 日 20 时实况对比, 850 hPa 预报的切变位置, 风向, 风速大小以及水汽条件均与实况比较吻合。700 hPa 上, 位于贵州省西段毕节附近的切变线位置, 比实况上更偏南一些, 其预报的水汽条件比实况略差, 会造成后半夜, 切变东南移时, 对降水量级的预报比实况偏小。

对比模式预报与实况的地面风场(图 5), 14 时与 20 时地面风场中, 风向风速以及辐合位置比较吻合, 结合高空系统的移动, 通过预报场可以比较准确的推测出雷暴移动的方向和速度。

在 CAPE 值的预报中(图 6), 与系统移动相结合来看, 20 时冰雹主要集中在黔南以及安顺地区, 模式预报的 CAPE 大值区与实况发生冰雹的区域比较吻合, 但是 14 时, 冰雹主要集中在中部一带, 而大值中心主要集中在东部和西部地区, 西部存在 CAPE 值高估的情况, 配合天气系统的移动, 将导致对西部的强对流天气考虑过大。通过分析可以发现, 模式的预报可以较准确的预报出此次天气过程的发生和持续时间, 雷暴的移向和移速等, 但其对 CAPE 值的高估以及水汽条件的低估, 会导致对部分地区的降水量级以及强对流天气的强度预报存在误判。

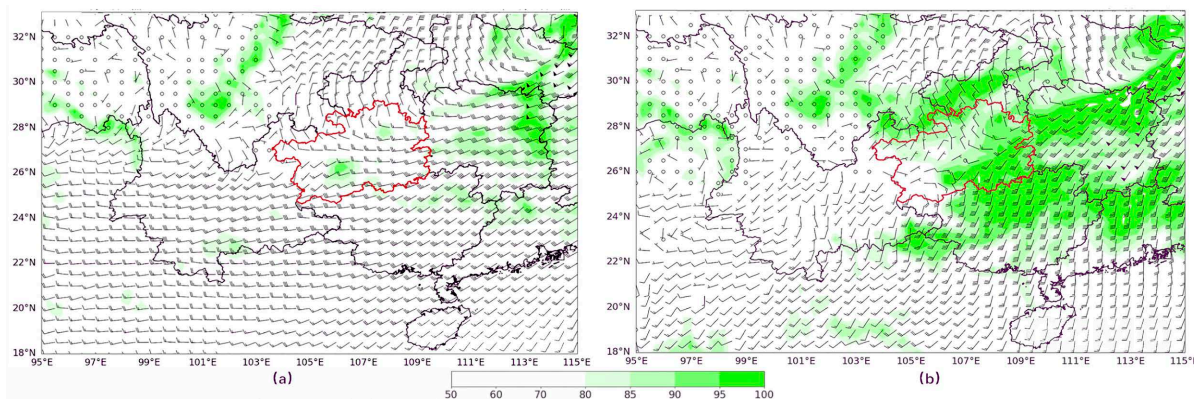


Figure 4. The ECMWF relative humidity (color filling, unit: %) and wind forecast fields for 12 h at 700 hPa (a) and 850 hPa (b) from 8:00 on May 3, 2021

图 4. 欧洲中心细网格 2021 年 5 月 3 日 08 时 700 hPa (a)和 850 hPa (b)风场和相对湿度 12 小时预报(20 时), 阴影部分表示相对湿度(单位: %)

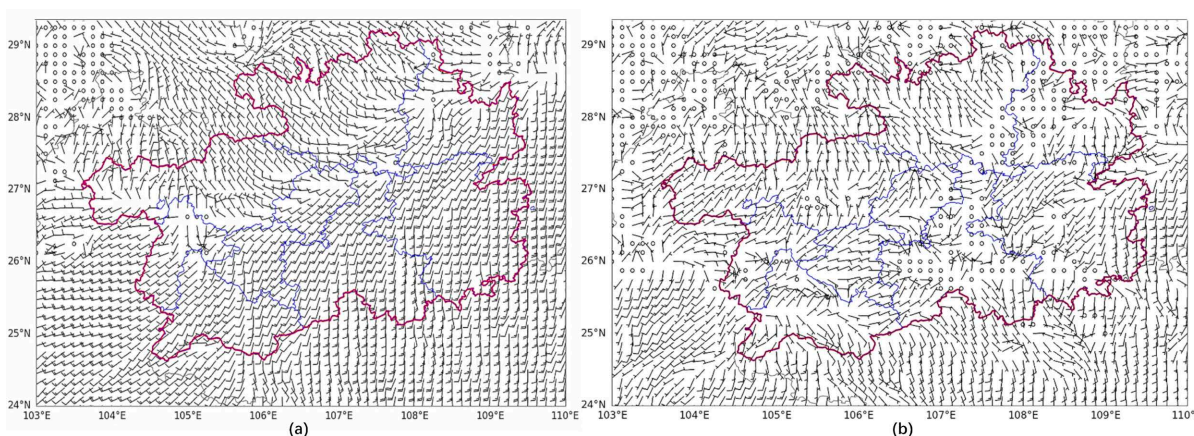


Figure 5. The ECMWF 10 m wind forecast fields for 6 h (14:00) (a) and 12 h (20:00) (b) from 8:00 on May 3, 2021

图 5. 欧洲中心细网格 2021 年 5 月 3 日 08 时 10 m 风场 6 小时(14 时) (a)和 12 小时(20 时) (b)预报

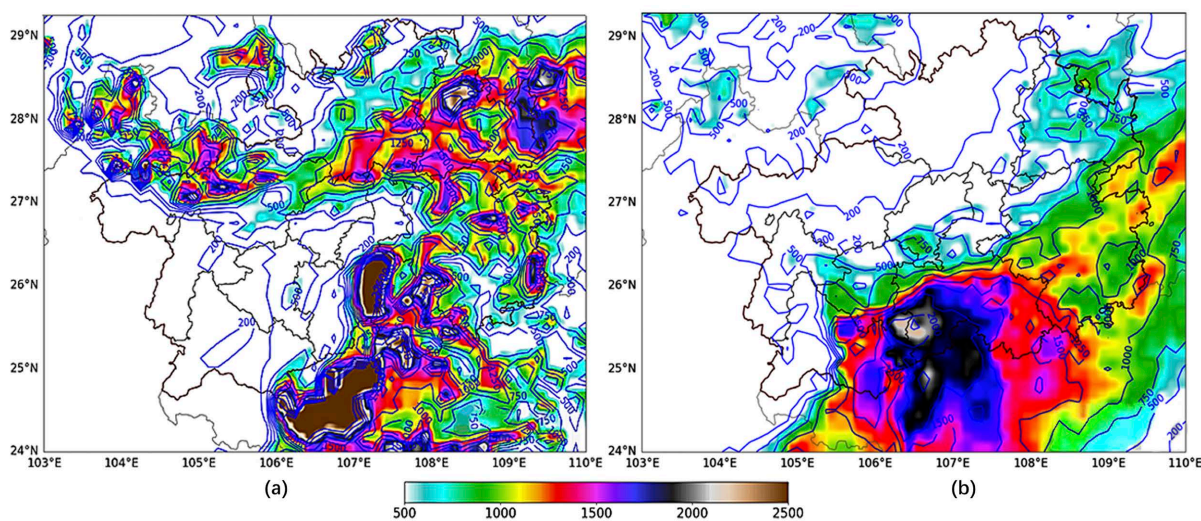


Figure 6. The ECMWF CAPE forecast fields for 6 h (14:00) (a) and 12 h (20:00) (b) from 8:00 on May 3, 2021

图 6. 欧洲中心细网格 2021 年 5 月 3 日 08 时 CAPE 值 6 小时(14 时) (a)和 12 小时(20 时) (b)预报

6. 结论

1) 此次天气过程是在高空槽带动冷空气南下影响我省的背景下, 槽前正涡度平流配合地面辐合、低层切变线和急流以及冷锋前沿的抬升作用, 为此次强对流天气过程提供一定的动力抬升条件。热低压、700 hPa 暖脊、低层急流以及高层的冷平流使得我省具有“上干冷, 下暖湿”的不稳定层结, 高低层温差增大, 不稳定性增强。

2) 较强的具有强对流指示意义的大气环境物理量特征, 配合东南移动的系统, 使得冰雹、大风、短时强降水主要集中在中部和东部地区。

3) 夜间水汽条件转好, 系统移速变慢, 贵州省东南部地区出现暴雨至大暴雨天气。

4) 冰雹发生时, 大气具有明显的低层辐合高层辐散的垂直结构, 有明显的正涡度柱, 垂直运动伸展高度达 200 hPa, 中心数值约 -3 Pa/s 。

5) 模式对此次天气过程的移动、发生、移速等具有较好的可预报性, 但对于降水量级以及强对流天气的范围和强度可能会造成一定的预报误判。

参考文献

- [1] 唐浩鹏, 王芬, 金强兵. 2014 年 7 月 13-17 日贵州持续性暴雨的分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(6): 41-49.
- [2] 曾勇, 黄钰, 李丽丽, 等. 贵阳 4 月 5 日冰雹天气过程闪电频次变化特征分析[J]. 中低纬山地气象, 2018, 42(3): 80-82.
- [3] 俞小鼎, 周小刚, 王秀明. 雷暴与强对流临近天气预报技术进展[J]. 气象学报, 2012, 70(3): 311-337.
- [4] 闵锦忠, 吴乃庚. 近二十年来暴雨和强对流可预报性研究进展[J]. 大气科学, 2020, 44(5): 1039-1056.
- [5] 杨珊珊, 陈浩, 沈梦宇, 等. 冷涡背景下爬线过程发生前环境场分析[J]. 气候变化研究快报, 2019, 8(4): 412-420.
- [6] 王迪, 牛淑贞, 曾明剑, 等. 河南省分类强对流环境物理条件特征分析[J]. 气象, 2020, 46(5): 618-628.
- [7] 崔丽曼, 苏爱芳, 张宇星, 等. 2016 年河南省一次大范围强对流天气成因分析[J]. 气象与环境学报, 2020, 36(2): 9-19.
- [8] 万雪丽, 周明飞, 曾莉萍, 等. 贵州春季强冰雹天气量化概念模型研究及试应用分析[J]. 贵州气象, 2017, 41(2): 1-7.
- [9] 吴古会, 张艳梅. 贵州省近 10a 日最大风特征分析[J]. 贵州气象, 2018, 42(2): 13-20.
- [10] 周明飞, 熊伟, 杜小玲. 贵州近 10 年短时强降水统计分析[J]. 成都信息工程大学学报, 2016, 31(4): 425-432.
- [11] 罗菊英, 谭江红. 鄂西山区一次早春局地强冰雹过程分析[J]. 气象科技, 2019, 47(6): 976-985.
- [12] 赵海军, 王庆华. 山东极端强降水天气环境参数特征[J]. 中国农学通报, 2015, 31(5): 189-194.
- [13] 陈关清, 杨群, 李伟栋, 等. 贵州铜仁连续两次冰雹天气过程的对比分析[J]. 干旱气象, 2016, 34(1): 163-172.
- [14] 彭芳, 吴古会, 杜小玲. 贵州省汛期短时降水时空特征分析[J]. 气象, 2012, 38(3): 307-313.
- [15] 黄荣, 刘日胜, 翟丽萍, 等. 广西一次强冰雹天气诊断和预警特征分析[J]. 中国农学通报, 2018, 34(21): 127-135.
- [16] 马素艳, 韩经纬, 斯琴, 等. 冷涡背景下呼和浩特市冰雹特征分析[J]. 暴雨灾害, 2016, 35(6): 529-536.