

2023年6月贵阳机场一次雷雨天气过程诊断分析

罗 阳, 杨新宇, 杨凤婷

中国民用航空西南地区空中交通管理局贵州分局, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年9月21日; 录用日期: 2023年11月1日; 发布日期: 2023年11月8日

摘 要

利用贵阳机场自动观测站数据、常规观测地面资料和高空资料、多普勒雷达资料, 对贵阳机场2023年6月5日雷雨天气过程的天气形势、物理量条件以及雷达图像进行诊断分析。结果表明: 本次雷雨天气过程具有降水持续时间较长, 短时降水强度大等特点。700 hPa和850 hPa上贵州附近有明显切变线和地面辐合线为此次过程提供了触发机制; 高层辐散、低层辐合的结构配置提供了良好的动力条件; 西南急流和中低层显著的水汽辐合提供了充沛水汽。雷达强回波中心过境时间与强降水发生时段有着良好的对应。

关键词

贵阳机场, 雷雨, 环流形势, 水汽

Diagnostic Analysis of a Thunderstorm Process at Guiyang Airport in June 2023

Yang Luo, Xinyu Yang, Fengting Yang

Guizhou Air Traffic Control Sub-Bureau of CAAC, Guiyang Guizhou

Received: Sep. 21st, 2023; accepted: Nov. 1st, 2023; published: Nov. 8th, 2023

Abstract

Using Guiyang airport automatic observatory data, ground observation data and high-altitude data, Doppler radar data to diagnose and analyze the weather situation, physical quantity conditions and radar images of June 5, 2023 thunderstorm weather process at Guiyang Airport, the results show that this thunderstorm weather process is characterized by a long duration of precipitation and high intensity of short-term precipitation. The significant shear lines on 700 hPa and 850 hPa and surface convergence lines near the Guizhou provided the triggering mechanism for this process. The structural configuration of high-level divergence and low-level convergence provides a good dynamic condition. Abundant water vapor is provided by the Southwest Rapids and signif-

icant moisture convergence in the lower and middle levels. The transit time of the radar strong echo center corresponds well with the period of occurrence of heavy precipitation.

Keywords

Guiyang Airport, Thunderstorm, Circulatory Situation, Water Vapor

Copyright © 2023 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

雷暴是一种强对流天气，具有突发性强、范围小、发展快、破坏力大等特点，是影响航空飞行的重要天气灾害之一。在航空运输中，雷暴天气对飞行带来的影响不容忽视，在雷暴区域飞行，常会遇到颠簸、积冰等恶劣天气，有时还会遇到冰雹、飇、龙卷等灾害性天气，对飞行安全构成极大的威胁。因此，在航空预报中，强对流天气是预报工作中的重点和难点，研究人员对这方面进行了大量的研究。针对强对流天气，许爱华等[1]从强对流天气形成机制的差异性进行分类，提出强对流天气的5种基本类别：冷平流强迫类、暖平流强迫类、斜压锋生类、准正压类、高架对流类；刘玉玲[2]结合强对流天气发生发展的物理机制，利用对流参数，分析了这些参数在强对流天气潜势预测中的指示作用；龚乃虎等[3]指出多普勒雷达能够提供降水区中粒子的运动信息、风场结构及其他特征。刘开宇等[4]通过对雷暴发生前环境的合成和诊断对比分析，指出高空具有高MPV值的干冷空气叠加在低层扰动上，对位势不稳定能量的储存和释放十分有利，促进对流的发展；不同地区的学者根据当地的数据资料，分析整个天气过程，揭示了强对流天气发生发展的特点和成因[5] [6] [7] [8] [9]。由于这类天气属于中小尺度现象，其突发性和局地性强，预报难度较大，探索强对流天气的成因，提高预报预警的精度和准确度，依然是预报工作中的重点难点。

在全年各季中，贵阳机场夏季雷暴日数最多，且具有鲜明的特点，贵阳机场处于云贵高原中东部，具有高原雷暴的特征，即雷暴多产生于午后至夜间，而夜间雷暴是贵阳机场雷暴的典型特征。本文利用贵阳机场2023年6月5日贵阳机场自动观测站数据、常规观测地面资料和高空资料以及多普勒雷达资料，通过天气学分析及物理量诊断的方法，从雷雨过程的环流形势、动力条件、水汽条件等物理量特征进行分析，探讨该过程的成因，提高预报的准确性，为贵阳机场强对流天气的预报和预警以及相应的气象服务提供一定的参考。

2. 过程简介

贵阳机场(26°N, 106°E)位于贵州省中部贵阳市东部，受云贵高原独特的山地丘陵地形地貌影响，导致贵阳机场天气的局地性较强，尤其是雷暴等强对流天气过程，常多发于春夏两季。2023年6月5日03时~08时(北京时，下同)，贵阳机场出现一次强降水伴雷暴的天气过程。图1为贵阳机场小时累积降水量分布图，根据2023年6月5日贵阳机场自动观测站数据，结合当日地面观测簿的纪要栏数据来看，降水持续时间为5小时，贵阳机场于5日02时53分开始出现小阵雨天气，持续至03时57分，小时降水量达到3.1 mm/h，之后转为中阵雨伴雷暴天气，最大小时降水量达到31.4 mm/h，出现在04时~05时，05时之后雷雨逐渐减弱，至06时贵阳机场又转为小阵雨天气，至08时过程结束，整个过程降水量达到42.4 mm。

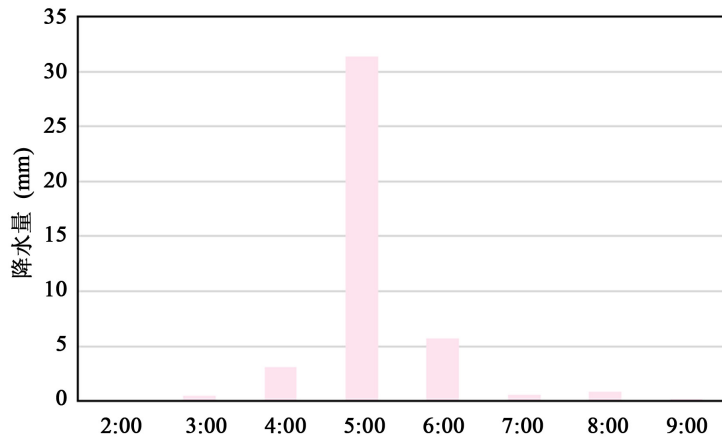


Figure 1. Hourly precipitation (unit: mm) from 02:00 to 09:00 on June 5, 2023
 图 1. 2023 年 6 月 5 日 2 时~9 时小时降水量(单位: mm)

3. 天气形势分析

3.1. 500 hPa 环流特征

图 2 分别为 6 月 4 日 20 时和 6 月 5 日 08 时 500 hPa 的环流形势。从图中可以看出, 4 日 20 时欧亚大陆中高纬地区呈现两槽一脊的形势, 乌拉尔山脉至贝加尔湖地区为一高压脊控制, 巴尔喀什湖北部存在一个高压中心。两个低压槽分别位于乌拉尔山脉以西和鄂霍茨克海以东延伸至日本海附近。中低纬地区主要受副热带高压控制, 环流形势东高西低, 588 线位于 30°N 附近, 西脊点位于 110°E 以西, 高原东部有短波槽, 位于青海、甘肃和四川的交界处(具体描述下槽位置), 为后续的对流天气发生提供了潜在条件。至 5 日 08 时, 中高纬两槽一脊的形势略微往东移动, 位于西西伯利亚的高压脊有加强的趋势, 588 线南压东移, 西脊点退至 110°E 以东, 副高东退使得槽进一步东移, 贵州转为槽前西南气流, 提供一定上升运动条件。

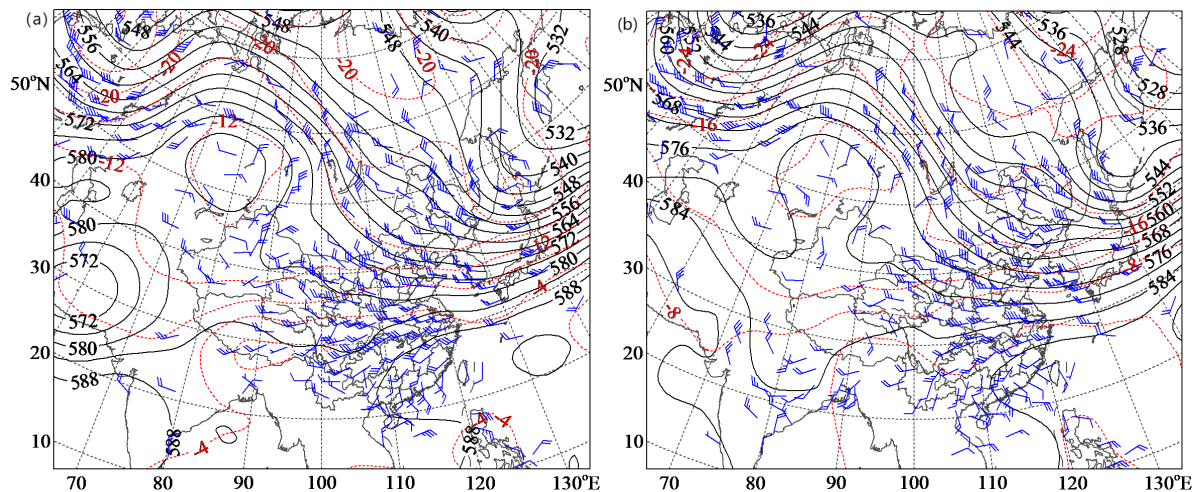


Figure 2. Potential height field, temperature field and wind field at 500 hPa at (a) 20:00 on the 4th and (b) 08:00 on the 5th. (solid line is the isopotential height line, unit: dagpm; dashed line is the temperature field, unit: °C; wind vector field, unit: m/s)

图 2. (a) 4 日 20 时和(b) 5 日 08 时 500 hPa 的位势高度场、温度场和风场(实线为等位势高度线, 单位: dagpm; 虚线为温度场, 单位: °C; 风矢量场, 单位: m/s)

3.2. 700 hPa 环流特征

从图3可以看出,4日20时700 hPa中高纬的环流形势与500 hPa相似,也为两槽一脊的形势。我国北部地区受脊前西北气流影响,在青藏高原东部、四川及云南北部有一低涡存在,副热带高压外围的西南气流与中高纬脊前的偏北气流在长江中下游交汇,在贵州北部经重庆、湖北到达长江中下游地区有一西南急流存在,急流中心风速达16 m/s,贵阳地区位于低涡外围的东南侧,受西南气流影响。至5日20时,脊前回流的冷平流有所加强南压,副热带高压略微南退,低涡消散,此时在四川和重庆的交界处出现一条自东北向西南方向的切变线延伸至云南中部,贵阳地区位于切变线前部,冷暖空气在此地汇聚,为此次降水过程提供了不稳定的条件。西南急流与副热带高压外围的西南气流为此次过程提供了充足的水汽。

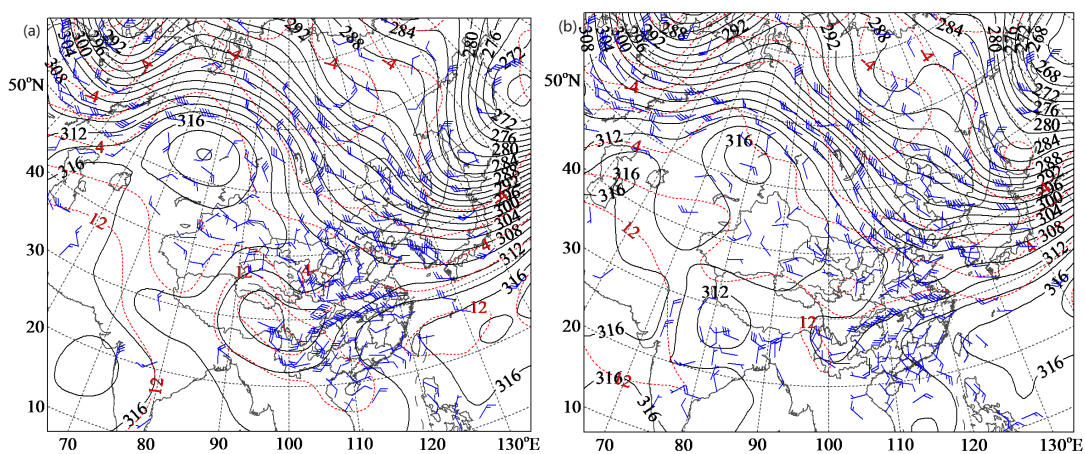


Figure 3. Potential height field, temperature field and wind field at 700 hPa at (a) 20:00 on the 4th and (b) 08:00 on the 5th. (solid line is the isopotential height line, unit: dagpm; dashed line is the temperature field, unit: °C; wind vector field, unit: m/s)

图3. (a) 4日20时和(b)5日08时700 hPa的位势高度场、温度场和风场(实线为等位势高度线,单位: dagpm; 虚线为温度场,单位: °C; 风矢量场,单位: m/s)

3.3. 850 hPa 环流特征

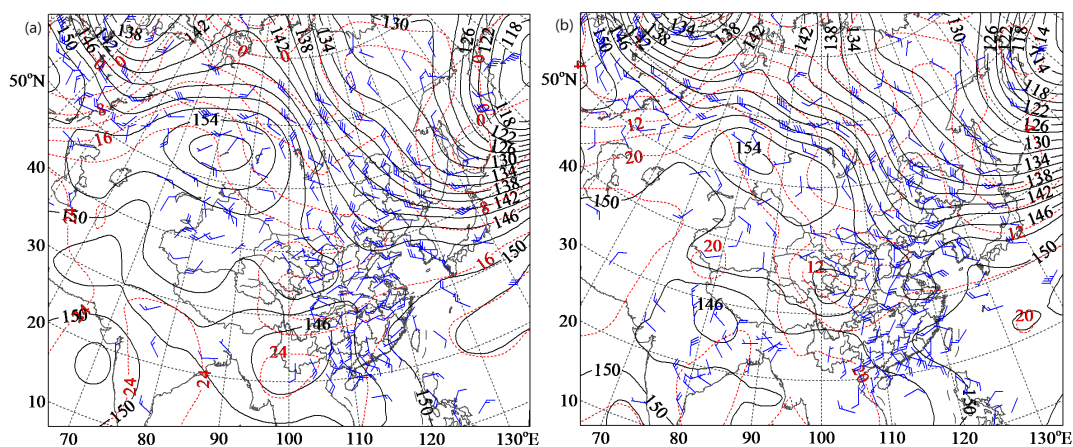


Figure 4. Potential height field, temperature field and wind field at 850 hPa at (a) 20:00 on the 4th and (b) 08:00 on the 5th. (solid line is the isopotential height line, unit: dagpm; dashed line is the temperature field, unit: °C; wind vector field, unit: m/s)

图4. (a) 4日20时和(b)5日08时850 hPa的位势高度场、温度场和风场(实线为等位势高度线,单位: dagpm; 虚线为温度场,单位: °C; 风矢量场,单位: m/s)

图 2 分别为 4 日 20 时和 5 日 08 时 850 hPa 的环流形势。根据图 4 可以看出, 4 日 20 时, 中高纬地区与 500 hPa 和 700 hPa 类似。西南地区为热低压控制, 低压中心位于云南地区, 贵阳地区位于低压东部, 受偏南气流影响。至 5 日 20 时, 热低压消散, 青海与四川交界处的小高压逐渐发展加强, 不断有西北气流补充至贵州北部地区, 副热带高压控制我国东南沿海地区, 其外围带来的偏南气流向贵州南部补充, 在贵州中部经湖南至长江中下游地区存在一条切变线, 呈东北 - 西南走向, 较 700 hPa 的切变线稍显偏南, 受切变线过境的影响, 导致贵阳地区产生降水天气。

3.4. 地面形势分析

根据图 5 分析, 过程开始前, 4 日 20 时, 在我国甘肃陕西一带存在一个小高压, 高压前沿的冷空气从东北方向经两湖盆地回流进入贵州北部。云南与四川的交界处存在一西南热低压, 中心值低至 992.5 hPa, 此时贵州地区大部还是受热低压前部的偏南气流控制。至 5 日 02 时, 位于陕甘地区的高压逐渐加强下压, 高压前沿的冷空气也逐渐加强进入贵州地区, 处于云南的热低压中心较上个时次略微向南移动, 且强度减弱, 地面辐合线位于贵州中部。在 5 日 08 时, 陕甘地区的高压加强下压至重庆北部, 冷空气南下加强影响贵州地区, 热低压中心继续减弱南移, 地面辐合线相较上个时次也向南移动, 此时贵州地区基本受冷空气占据。此后, 高压继续向南移动, 贵州地区完全受冷空气影响。

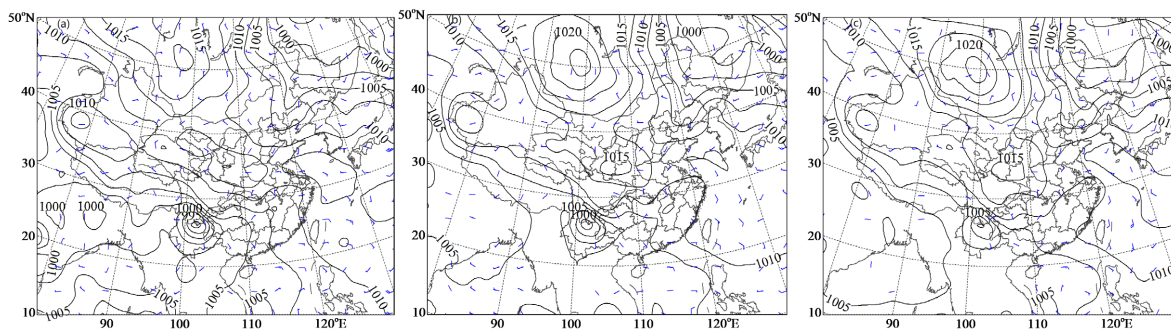


Figure 5. Sea level pressure field and wind field at (a) 20:00 on the 4th (b) 02:00 on the 5th (c) 08:00 on the 5th (Solid line is the sea level pressure line, unit: hpa; wind vector field, unit: m/s)

图 5. (a) 4 日 20 时(b) 5 日 02 时(c) 5 日 08 时海平面气压场和风场(实线为海平面气压线, 单位: hpa; 风矢量场, 单位: m/s)

4. 物理量诊断分析

4.1. 动力条件

雷暴的发生机制需要不稳定层结, 上升运动能促使能量的释放。沿 26°N 做涡度和散度的垂直剖面图如图 6 所示。在 4 日 08 时(图略), 贵阳地区低层 850 hPa 以下有较弱的辐散区, 850 hPa~500 hPa 之间存在一个正涡度区。至晚上 20 时, 贵阳地区上空的涡度趋近于 0, 没有明显结构特征, 此时散度的分布出现明显的低层辐合, 高层辐散的垂直结构, 贵阳地区上空的辐合区延伸至 700 hPa, 中心值达 $-16 \times 10^{-6}/\text{s}$ 以上, 存在强烈的辐合上升运动, 而在 700 hPa 转为辐散区域, 且在 600 hPa 附近存在一个辐散中心, 中心值在 $4 \times 10^{-6}/\text{s} \sim 8 \times 10^{-6}/\text{s}$ 之间。这种低层辐合, 高层辐散的配置, 形成强烈的抽吸效应, 使上升运动大幅度加强, 为强对流的发生提供良好的动力条件。在降水过程发生之后, 5 日 08 时, 涡度区明显东移, 贵阳地区上空虽然在 700 hPa~925 hPa 之间存在一个正涡度区, 但强度值依旧趋近于 0, 与 4 日 20 时相比变化不大, 而此时的散度场上, 位于 600 hPa 的辐散中心加强, 低层辐合上升运动的高度降低至 850 hPa, 在一定程度上抑制了上升运动的发展。

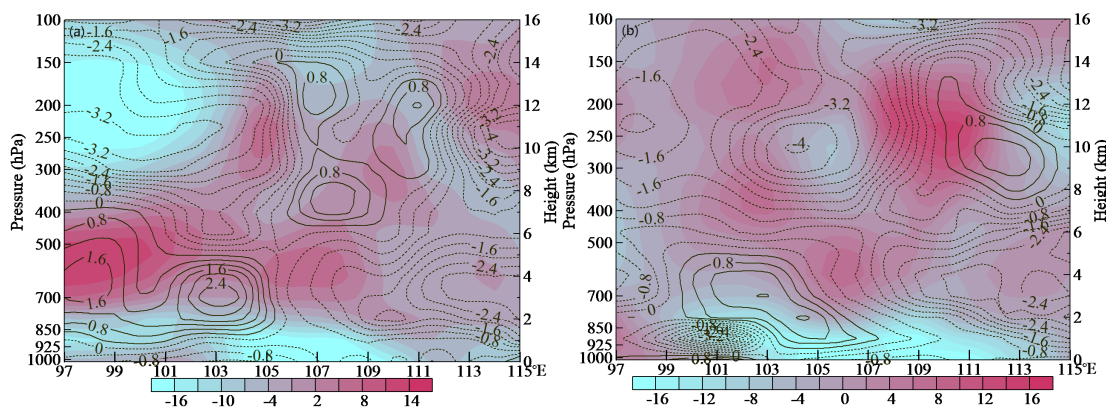


Figure 6. Vertical profiles of divergence (unit: $10^{-6}/s$) and vorticity (unit: $10^{-6}/s$) along $26^{\circ}N$ at (a) 20:00 on the 4th, (b) 08:00 on the 5th

图 6. (a) 4 日 20 时、(b) 5 日 08 时的散度(阴影, 单位: $10^{-6}/s$)和涡度(曲线, 单位: $10^{-6}/s$)沿 $26^{\circ}N$ 的垂直剖面示意图

分析 4 日 20 时与 5 日 08 时的垂直速度(图 7)可知, 4 日 20 时, 降水过程发生前, 贵阳地区从低层一直延伸至 200 hPa 都为负值区, 大值区在 700 hPa~850 hPa 之间, 最大值达 3×10^{-1} Pa/s 以上, 表面该区域存在着强烈的上升运动, 与高层相比, 低层的垂直运动更为强烈, 有利于对流天气的发生, 随后贵阳机场出现强降水天气。到 5 日 08 时, 贵阳地区虽然整层都还是一个负值区, 但与 4 日 20 时相比明显已经减小, 上升运动的大值区东移至贵州东部。

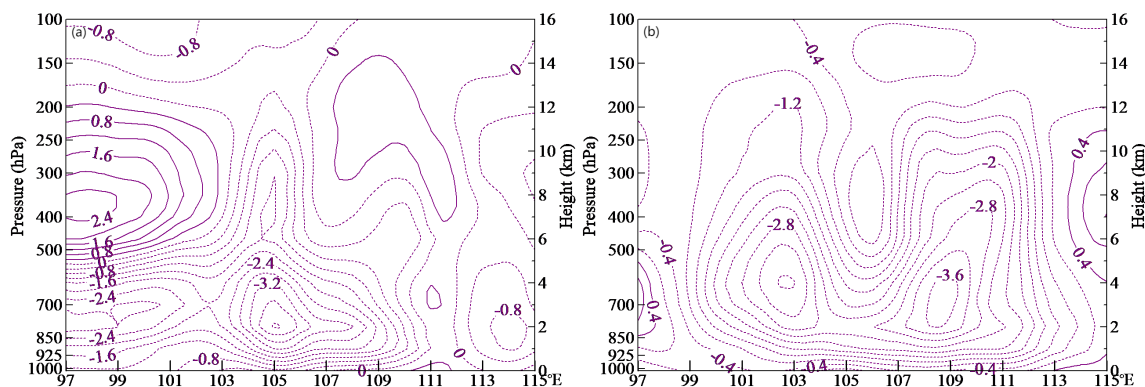


Figure 7. Vertical profiles of vertical velocity (unit: 10^{-1} Pa/s) along $26^{\circ}N$ at (a) 20:00 on the 4th, (b) 08:00 on the 5th

图 7. (a) 4 日 20 时、(b) 5 日 08 时的垂直速度(单位: 10^{-1} Pa/s)沿 $26^{\circ}N$ 的垂直剖面示意图

4.2. 水汽条件

雷雨天气发生的条件之一, 是需要充足的水汽, 水汽通量的大小一般与空气密度和比湿有一定的关系。图 8 分别给出了过程前后的水汽通量和水汽通量散度的情况, 分析水汽通量大小与水汽通量散度场可知, 4 日 20 时, 在贵阳地区上空 400 hPa 以下水汽通量数值较为明显, 且在 700 附近存在充足的水汽, 与西南急流相对应, 西南急流在输送的过程中加强了水汽的堆积, 有明显的水汽输送。而在 700 hPa 以下水汽通量散度为负值, 在 850 hPa~925 hPa 之间有一个负值中心区, 中心值为 $-4 \text{ g}(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$, 存在明显的水汽辐合, 对应着强降水区域, 而在 700 hPa 以上的区域, 水汽通量散度为正值, 在贵阳上空, 高空为水汽辐散区, 低空为水汽辐合区, 且辐合强烈, 这种高层水汽辐散, 低层水汽辐合的形势, 有利于水汽的垂直交换, 促进对流天气的发展, 致使出现强降水天气。至 5 日 08 时, 贵阳地区整层的水汽含量

与4日20时相比有所减少,水汽辐合中心略微西移,且强度减弱,贵阳地区处在水汽辐合中心边缘,800 hPa以上为水汽辐散区域,且强度有所加强,不利于对流天气的维持。

比湿对地面降水具有较好的指示意义,比湿增大降水的可能性也增大,因此在地面降水预报中,考虑高空比湿的指示意义是十分必要的。图9为4日20时和5日08时沿26°N做出的比湿垂直剖面,结合水汽通量散度分析,4日20时,贵阳地区比湿的分布较为均匀,800 hPa以下的比湿均超过了10 g/kg,且从当日08时起~20时,800 hPa以下的比湿呈上升趋势。4日20时~5日08时,高层比湿的变化不显著,但低层的比湿值有所下降,水汽层有所降低。综上所述,降水过程开始前,贵阳机场中底层存在较好的水汽条件,大量的水汽被西南急流和偏南气流输送至降水区,为此次降水过程带来了充沛的水汽。

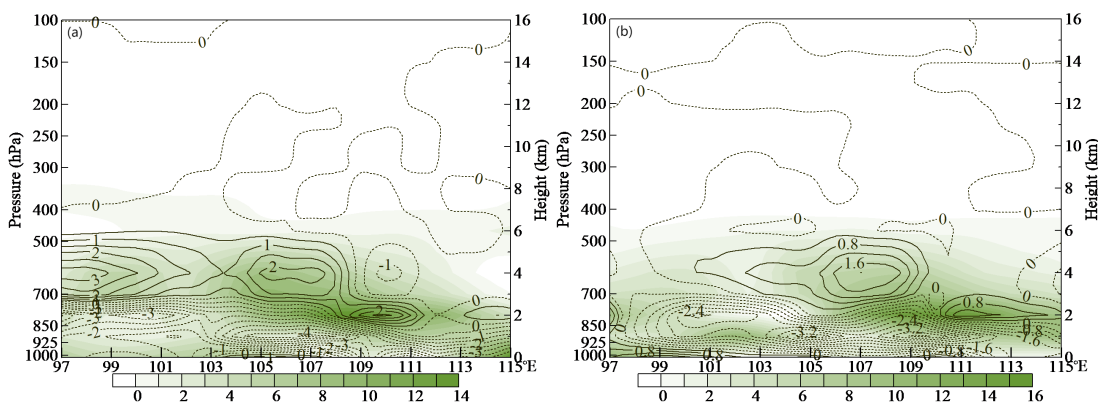


Figure 8. Vertical profiles of Vapor flux (shaded, unit: $\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$) and moisture flux divergence (curves, unit: $\text{g}/(\text{cm}^2\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$) along 26°N at (a) 20:00 on the 4th, (b) 08:00 on the 5th

图8. (a) 4日20时、(b) 5日08时的水汽通量(阴影, 单位: $\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$)与水汽通量散度沿 26°N (曲线, 单位: $\text{g}/(\text{cm}^2\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$)的垂直剖面示意图

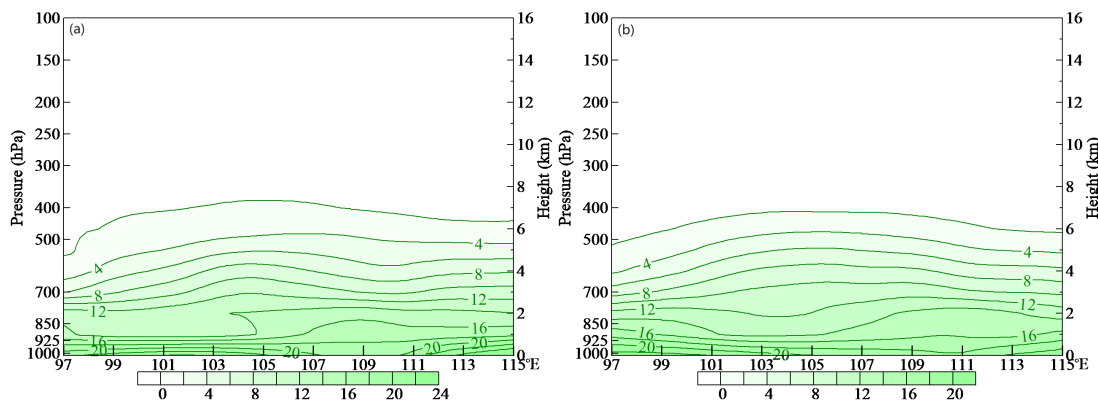


Figure 9. Vertical profiles of specific humidity (unit: g/kg) along 26°N at (a) 20:00 on the 4th, (b) 08:00 on the 5th

图9. (a) 4日20时、(b) 5日08时的比湿沿 26°N (单位: g/kg)的垂直剖面示意图

4.3. 能量条件

雷暴能够顺利的发生,能量条件必不可少,相当位温的水平梯度对暴雨发生和降水区都有较好的指示性[10]。为分析此次过程中的不稳定能量,沿 26°N 做相当位温的垂直剖面图(图10)。由图分析可知,在雷雨天气发生前,4日20时,贵阳地区上空850 hPa以下,相当位温随高度的增加而减小,说明在低层存在不稳定层结。至5日08时,贵阳地区整层的能量值都有所下降,说明在凌晨期间发生的对流天气过程中,已经将能量释放出来,从低层到500 hPa之间的相当位温差值减小,气层逐渐趋于稳定。

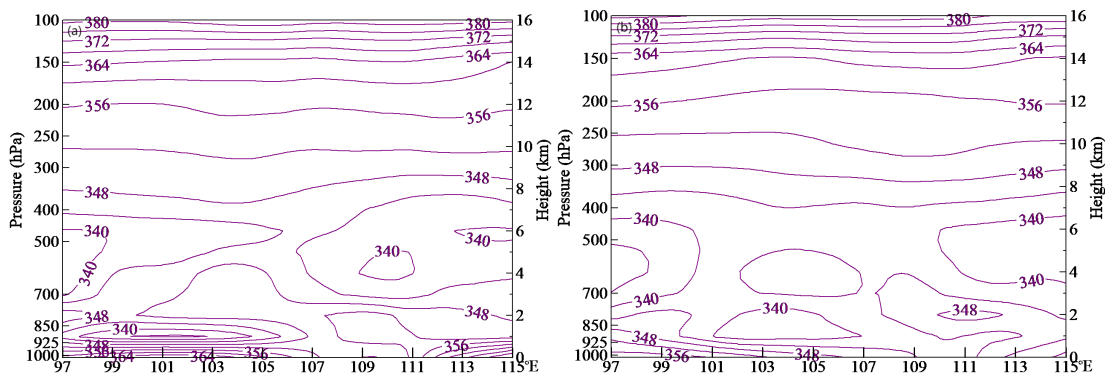


Figure 10. Vertical profiles of potential equivalent temperature (unit: K) along 26°N at (a) 20:00 on the 4th, (b) 08:00 on the 5th
图 10. (a) 4 日 20 时、(b) 5 日 08 时的相当位温 θ_e 沿 26°N (单位: K) 的垂直剖面示意图

5. 雷达图像分析

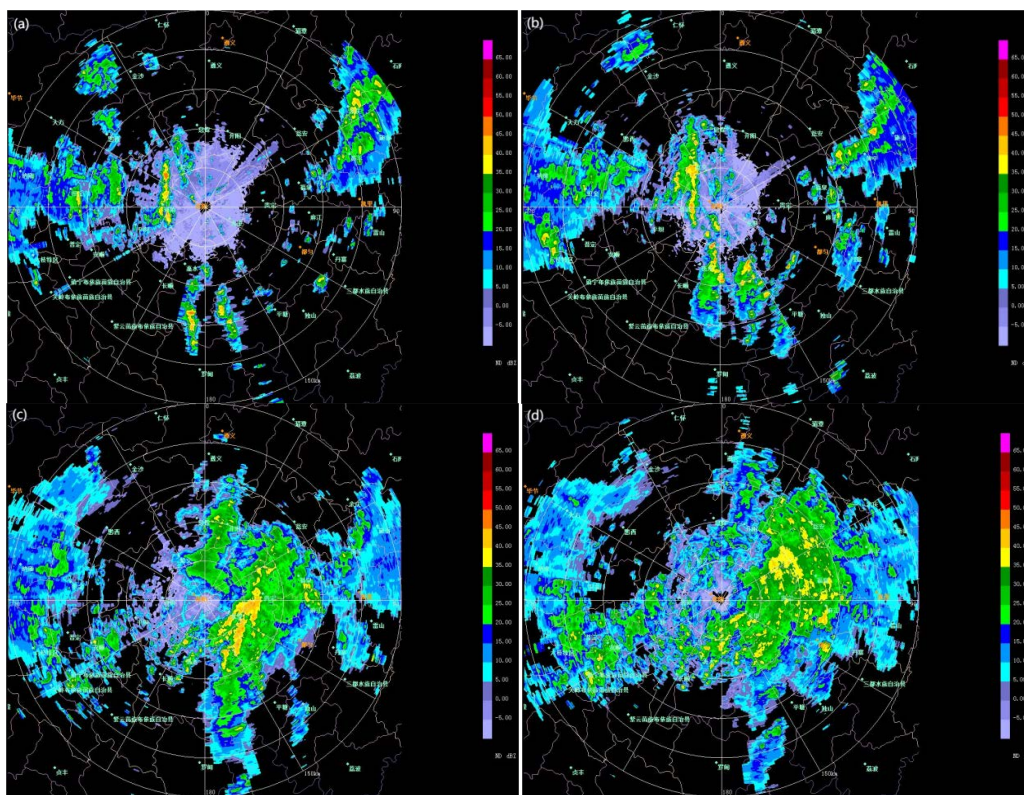


Figure 11. Radar combined reflectivity images of Guiyang airport at (a) 02:00 on the 5th (b) 03:00 on the 5th (c) 06:00 on the 5th (d) 07:00 on the 5th

图 11. (a) 5 日 02 时 (b) 5 日 03 时 (c) 5 日 06 时 (d) 5 日 07 时 贵阳机场雷达组合反射率图像

在强对流天气的临近预报中，多普勒雷达在分析回波强度的演变过程中，具有良好的指示作用[3]。

图 11 为此次天气过程贵阳机场雷达组合反射率的图像，以贵阳机场为中心，显示距离为 150 km。5 日 02 时，在机场范围内已经出现较强的回波，其组合反射率中心强度达到 45 dBZ 以上，回波呈线性，降水回波主体自西向东推进，此时距离贵阳机场 30 km。至 03 时，回波继续向东移动，距离本场大约 20 km 的位置，逐渐往贵阳机场靠近，此时机场可见远闪，大片混合降水回波逐渐覆盖本场，相继出现短时中

雷雨、弱雷雨、小阵雨天气,至 06 时,回波继续东移,逐渐远离机场,但降水回波仍有覆盖贵阳地区。随着回波减弱东移,07 时,大范围降水回波东移,移出贵阳地区范围。贵阳机场此次降水过程以短时强降水和雷暴为主,降水持续时间长,但雷雨发生时段期间夜航结束,航班量少,因此此次过程未对航班造成影响。雷达降水回波的过境时段与机场降水的起止时段有着较好的对应,强回波中心的影响时间也与强降水的出现时间基本吻合。可见,雷达回波的强度及其移动趋势,对雷雨天气的短临预报具有一定辅助作用。

6. 结论

本文对 2023 年 6 月 5 日贵阳机场发生的一次雷雨天气过程进行了诊断分析,从环流形势、物理量条件、雷达回波等方面进行了探讨,得出的结论如下:

(1) 700 hPa 和 850 hPa 切变线和地面辐合线是形成此次对流性天气过程的主要影响系统。

(2) 西南低空急流是此次过程水汽输送的重要通道,中低层大气具有良好的水汽条件,有显著的水汽辐合,水汽的输送和聚集为强对流天气过程提供了充足的水汽和能量。

(3) 通过对散度、涡度和垂直速度的分析,低层辐合、高层辐散的层结结构有利于上升运动的发展,低空垂直速度为负,促使气流上升。

(4) 雷达降水回波的过境时段与机场降水的起止时段有着较好的对应,强回波中心的影响时间也与强降水的出现时间基本吻合。

参考文献

- [1] 许爱华,孙继松,许东蓓,等.中国中东部强对流天气的天气形势分类和基本要素配置特征[J].气象,2014,40(4):400-411.
- [2] 刘玉玲.对流参数在强对流天气潜势预测中的作用[J].气象科技,2003,31(3):147-151.
- [3] 龚乃虎,蔡启铭.雹云的特征及其雷达识别[J].高原气象,1982,1(2):43-52.
- [4] 刘开宇,龚娅,高勇,等.贵阳机场春季雷暴发生环境和条件的合成分析[J].贵州气象,2006,30(5):403-406.
- [5] 樊利强,王迎春,陈明轩.利用雷达资料反演方法对北京地区一次强对流天气过程的分析[J].气象,2009,35(11):9-16.
- [6] 朱家亮,潘江萍,陈婷,等.2016年7月2~4日长沙特大暴雨天气过程技术分析[J].气候变化研究快报,2019,8(2):12.
- [7] 张昆,彭艳青,王起唤,等.2020年1月初怀化一次罕见强对流天气过程分析[J].贵州气象,2021,45(1):63-69.
- [8] 孟祥翼.新乡一次大暴雨过程的强对流特征[J].气候变化研究快报,2019,8(5):12.
- [9] 刘艳杰,李娜.河北廊坊一次局地强对流天气过程分析[J].气候变化研究快报,2020,9(3):8.
- [10] 陈栋,李跃青,黄荣辉.在“鞍”型大尺度环流配置下西南低涡发展的物理过程及其对川东暴雨发生的作用[J].大气科学,2007,31(2):185-201.