

# 昭通机场2024年8月9日雷雨天气诊断分析

马涛, 靳圣鸿

云南机场集团有限责任公司昭通机场, 云南 昭通

收稿日期: 2025年4月11日; 录用日期: 2025年5月13日; 发布日期: 2025年5月21日

## 摘要

本文基于昭通机场的整点观测报文以及NCEP/NCAR提供的FNL全球大气再分析资料, 对昭通机场2024年8月一次强对流天气过程的天气学成因进行了诊断分析, 得出以下结论: 中高层的槽线和地面锋面系统是此次昭通地区强对流天气的主要影响因素。高空槽后的偏北气流引导冷空气南下, 与中低层的暖湿气流交汇, 并配合地面锋面过境, 为强对流天气的发生提供了良好的动力和热力条件。昭通机场上空的低空辐合和高空辐散结构产生了显著的抽吸作用, 有利于垂直上升运动的加强和维持, 为强对流天气的发生和发展提供了有利的动力条件。昭通地区上空大气层结呈现上干下湿的特征, 这为强对流天气的持续发展提供了有利的动力和热力条件。

## 关键词

昭通机场, 强对流天气, 雷暴, 诊断分析

# Diagnostic Analysis of Thunderstorm Weather at Zhaotong Airport on August 9, 2024

Tao Ma, Shenghong Jin

Zhaotong Airport, Yunnan Airport Group Co., Ltd., Zhaotong Yunnan

Received: Apr. 11<sup>th</sup>, 2025; accepted: May 13<sup>th</sup>, 2025; published: May 21<sup>st</sup>, 2025

## Abstract

Based on the whole-point observation message of Zhaotong Airport and the FNL global atmospheric reanalysis data provided by NCEP/NCAR, this paper makes a diagnostic analysis of the synoptic causes of a strong convective weather process in Zhaotong Airport in August 2024, and draws the following conclusions: the trough line and surface frontal system in the middle and upper layers are

the main influencing factors of the strong convective weather in Zhaotong area. The northerly airflow behind the upper trough guides the cold air to move southward, intersects with the warm and humid airflow in the middle and lower layers, and cooperates with the surface frontal transit, which provides good dynamic and thermal conditions for the occurrence of severe convective weather. The low-level convergence and high-level divergence structure over Zhaotong Airport have a significant suction effect, which is conducive to the strengthening and maintenance of vertical upward motion, and provides favorable dynamic conditions for the occurrence and development of strong convective weather. The atmospheric stratification over Zhaotong area shows the characteristics of upper dry and lower wet, which provides favorable dynamic and thermal conditions for the sustainable development of strong convective weather.

## Keywords

Zhaotong Airport, Strong Convective Weather, Thunderstorm, Diagnostic Analysis

Copyright © 2025 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

昭通地区位于云南省东北部,地处云贵高原与四川盆地的过渡地带,地形复杂多变。这种独特的地理位置使得昭通成为强对流天气的高发区之一。研究表明,昭通地区的强对流天气主要发生在春末夏初和夏秋之交,这两个时段大气层结不稳定,冷暖气流交汇频繁,容易触发强对流活动。昭通强对流天气的特征主要表现为:发生突然、发展迅速、持续时间短、破坏力强。这些天气事件通常伴随着极端的气象要素,如极端风速、极端降水等,给当地的防灾减灾工作带来巨大挑战。因此,深入研究昭通地区的强对流天气特征、成因及预报方法,对于提高灾害预警能力、减少损失具有重要意义。

近年来,随着气象科技的快速发展,对云南强对流天气的研究取得了显著成果,这些研究不仅揭示了强对流天气的成因和演变机制,还为提高预报准确性和防灾减灾能力提供了重要支持。云南地处低纬高原,干湿季分明,干季降水仅占15%,而85%的降水量集中在雨季[1]。秦剑等[2]指出云南全省性寒潮强降水天气过程由南支槽与强冷空气结合产生,关键在于南支槽的水汽充沛与否以及北方冷空气对昆明静止锋的加强程度。段旭等[3]研究指出南支槽位置、水汽输送、湿度锋区、低空急流和冷空气强弱等条件的不同决定了短时强降水的强弱或是否有强对流天气出现。艾永智等[4]利用地面站点资料和数值模式预报资料相结合的方法,计算出云南省每个地面站点逐时的高分辨对流有效位能(CAPE),并用其对2012年8月5~6日发生在云南省的一次强对流天气作了应用分析。结果表明,在此次强对流天气过程发生前,云南大部有较强的对流不稳定能量存在,强对流天气主要发生在CAPE为2000 J/kg以上的区域。在MJO背景下,云南省3次台风强对流天气的对比分析显示,台风登陆前后,强对流天气因台风登陆位置和强度、MJO位相、MJO强弱、前期地面热力条件等不同而不同[5][6]。

昭通机场位于云贵高原北部的昭通盆地内部偏东南位置,是一个重要的交通枢纽。由于其地理位置和气候条件的特殊性,夏季影响昭通机场飞行活动的主要天气现象是雷暴,雷暴是航空界的“空中杀手”,飞机飞行区域通常为大气层中的对流层,因而飞行活动与对流层内的各种天气现象有紧密联系,飞机飞行不可避免地会受到天气的影响。雷暴对飞行的影响主要包括了强降水、冰雹、风切变、颠簸、积冰、闪电、低云和低能见度、发动机吸水,以及对高度表的影响等。在所有的天气现象中,恶劣的雷雨天气对

飞行安全的影响最为严重。因此,对昭通机场雷雨天气进行诊断分析,对于提高机场应对恶劣天气的能力和保障飞行安全具有重要意义。本文以2024年8月9日夜间昭通机场区域的一次雷暴伴短时强降水天气过程为例,利用机场气象观测资料、FNL再分析资料、多普勒气象雷达资料等数据,对此次短时强降水天气的成因、演变过程和影响进行了详细的诊断分析,旨在揭示昭通机场雷雨天气的特点和规律,为今后提高机场天气预报准确率和机场运营提供科学依据。

## 2. 资料与方法

机场数据来源于昭通机场天气过程期间整点观测报文,天气形势、相关物理量基于NCEP/NCAR提供的FNL(Final Operational Global Analysis)全球大气再分析资料,空间分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ,时间分辨率为6 h。

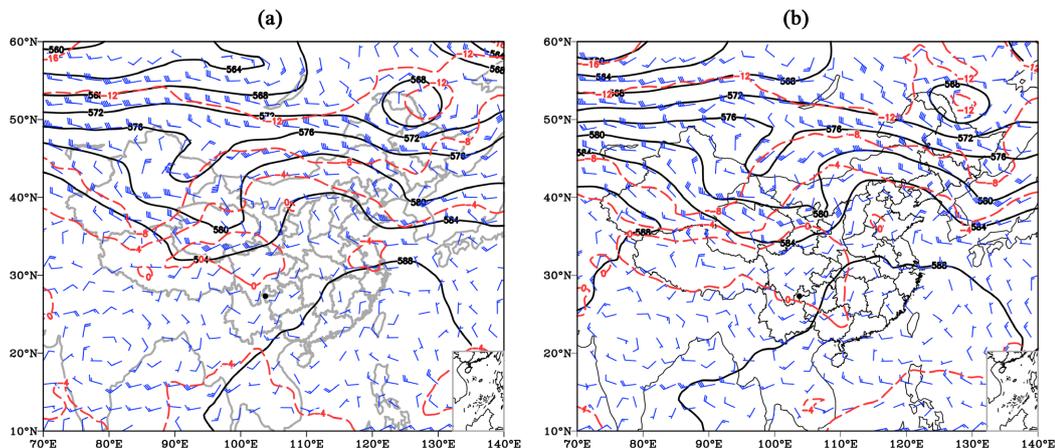
## 3. 天气实况简介

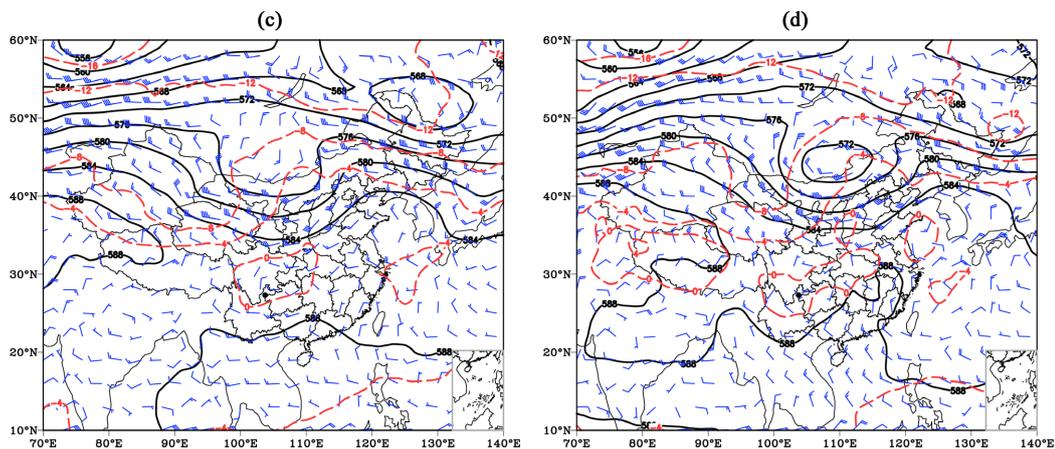
受低涡和切变线共同影响,8月9日夜间昭通市自北向南出现一次中到大雨、局部暴雨和大暴雨过程,短时强降水过程中伴雷暴、大风。本次短时强降水过程期间,昭通机场出现雷暴伴随阵雨天气,8月9日19:42~10日04:48机场降水量达15.5 mm,此次过程主要影响机场周边5~50 km,持续时间近9小时左右。

## 4. 环流形势分析

强对流天气通常在高低空系统配置有利的情况下出现,8日08:00(图1(a)),500 hPa亚欧大陆中高纬度地区呈现出“两槽一脊”的环流形势,高压脊位于贝加尔湖东南侧、我国内蒙古中西部以及华北地区一线;低压槽区则分布在贝加尔湖西南侧、我国内蒙古西部、河套地区以及西南地区一线。在中低纬地区,西太平洋副热带高压较强,其西伸脊点位于(120°E,35°N)附近。副高的加强西伸延滞了东亚深槽的移动,促使偏西气流加强。至8日20:00(图1(b)),槽线进一步向东移动。9日08:00(图1(c)),昭通机场位于槽区附近,气流由西南气流转为西北气流,槽线移动至我国内蒙古中西部、华北以及西南地区一线,9日20:00(图1(d)),槽线进一步向东南方向移动,昭通机场受西北气流控制。综合以上高空环流形势分析可知,对流中层风场出现辐合,配合一股弱冷空气南下,为强对流天气的发生提供了有利的环流条件。

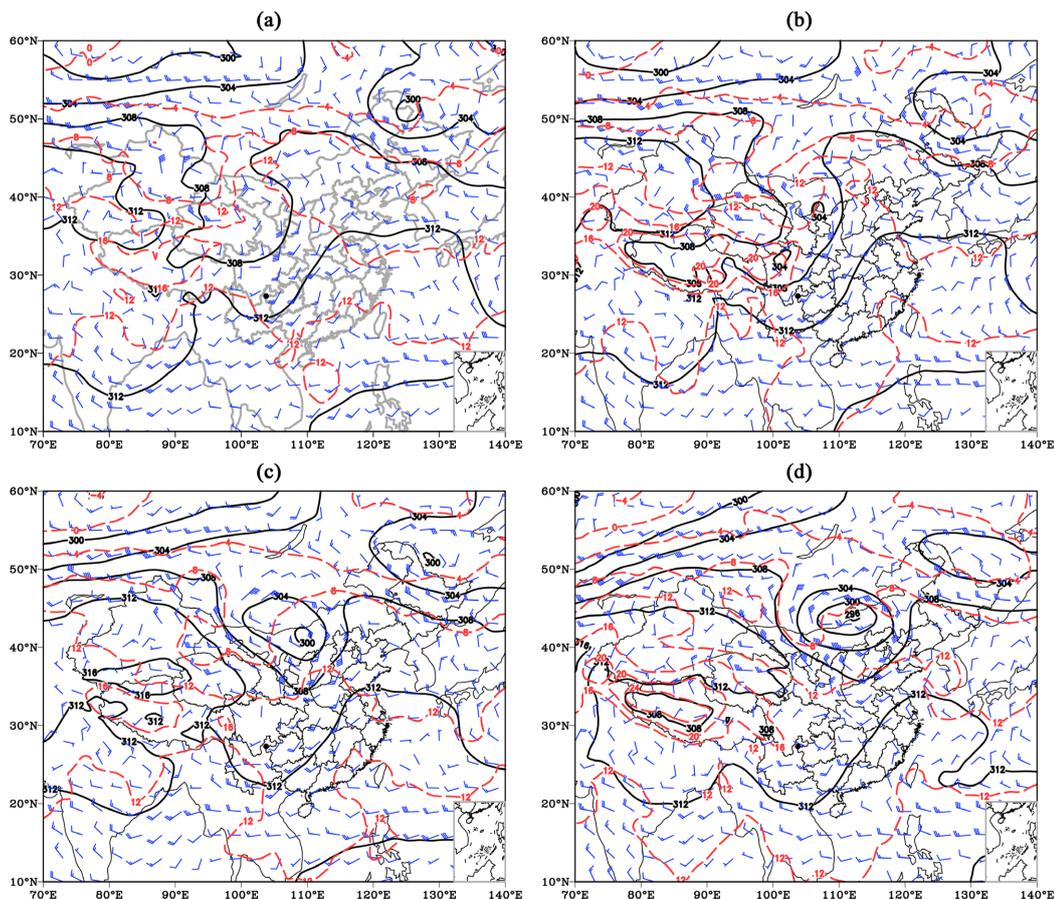
700 hPa形势场表现为,8日08:00(图2(a)),昭通机场位于槽前位置,西南气流将大量暖湿气流输送到降水区域,显示出明显的水汽输送特征,主要影响云南南部地区。到8日20:00(图2(b)),槽线继续向东南方向推进,冷空气也随之向东和向南移动,昭通机场仍处于槽前西南气流的控制之下。9日08:00





**Figure 1.** August 2024 (a) 08:00 on 8<sup>th</sup>, (b) 20:00 on 8<sup>th</sup>; (c) 08:00 on 9<sup>th</sup>; (d) 20:00 on 9<sup>th</sup>, 500 hPa geopotential height field (black solid line, unit: dagpm), wind field (wind plume, unit: m/s) and temperature field (red broken line, unit: °C, “•” is the location of Zhaotong Airport)

**图 1.** 2024 年 8 月(a) 8 日 08 时; (b) 8 日 20 时; (c) 9 日 08 时; (d) 9 日 20 时 500 hPa 位势高度场(黑色实线, 单位: dagpm)、风场(风羽, 单位: m/s)以及温度场(红色断线, 单位: °C, “•” 为昭通机场位置)



**Figure 2.** August 2024 (a) 08:00 on 8<sup>th</sup>; (b) 20:00 on 8<sup>th</sup>; (c) 08:00 on 9<sup>th</sup>; (d) 20:00 on 9<sup>th</sup>, 700 hPa geopotential height field (black solid line, unit: dagpm), wind field (wind plume, unit: m/s) and temperature field (red broken line, unit: °C, “•” is the location of Zhaotong Airport)

**图 2.** 2024 年 8 月(a) 8 日 08 时; (b) 8 日 20 时; (c) 9 日 08 时; (d) 9 日 20 时 700 hPa 位势高度场(黑色实线, 单位: dagpm)、风场(风羽, 单位: m/s)以及温度场(红色断线, 单位: °C, “•” 为昭通机场位置)

(图 2(c)), 昭通机场已处于槽区内, 槽前西南气流与槽后西北气流的交汇进一步增强, 到 9 日 20:00 (图 2(d)), 昭通机场处于西南气流与西北气流的交汇区, 水汽输送过程持续时间较长。

图 3 可以看出, 昭通地区的海平面气压场因高空槽后冷平流的输送而逐渐降低, 同时地面温度也显著下降, 8 日 08:00 (图 3(a)), 锋面位于我国内蒙古西部—河套地区—西南地区北部一线, 昭通机场处于锋面之前。到 8 日 20:00 (图 3(b)), 随着锋面系统的东移南下, 锋面呈东北—西南走向, 昭通机场即将受到锋面过境的影响。9 日 08:00 (图 3(c)), 锋面系统进一步东移南下, 昭通机场处于锋区位置, 这种形势有利于短时强降水天气的发生和发展, 9 日 20:00 (图 3(d)), 锋面过境后, 昭通机场处于锋后位置。锋面过境进一步增强了昭通机场上空大气的的不稳定度, 为强对流天气的持续提供了有利的动力和热力条件。

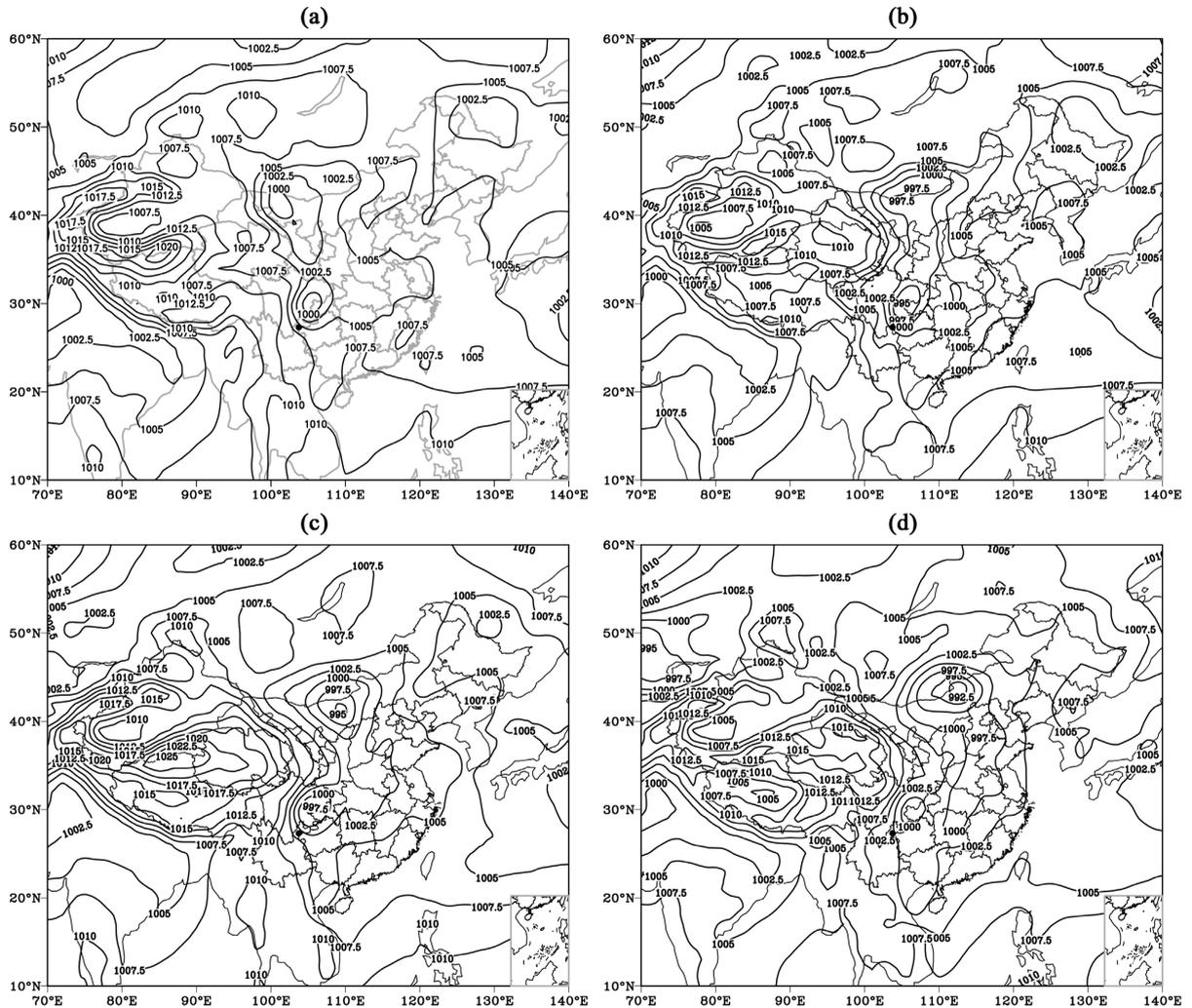


Figure 3. August 2024 (a) 08:00 on 8<sup>th</sup>; (b) 20:00 on 8<sup>th</sup>; (c) 08:00 on 9<sup>th</sup>; (d) 20:00 on 9<sup>th</sup> on the ground pressure field (unit: hPa, “•” for the location of Zhaotong Airport)

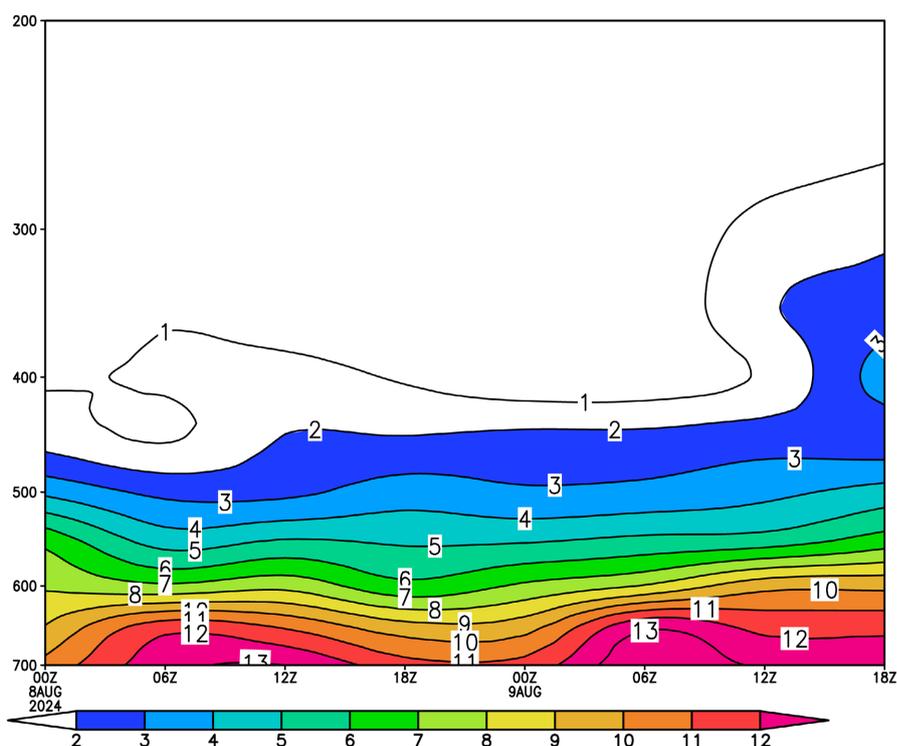
图 3. 2024 年 8 月(a) 8 日 08 时; (b) 8 日 20 时; (c) 9 日 08 时; (d) 9 日 20 时地面气压场(单位: hPa, “•” 为昭通机场位置)

由以上分析可知, 出现在中高层的槽线以及地面的锋面系统, 是此次昭通机场地区强对流的主要影响天气系统。高空槽后偏北气流引导冷空气南下与中低层的暖湿气流相交汇, 同时配合地面锋面过境, 为本次强对流天气过程提供了较好的动力及热力条件。

## 5. 物理量诊断

### 5.1. 水汽条件

一个地区上空水汽含量的多寡对短时强降水的产生、发展和结束有着直接的影响, 同时某地降水的强度及频率与该地上空整个大气柱的水汽含量以及水汽饱和程度有着紧密的关联[7]。分析本次昭通机场强对流天气比湿变化(图 4), 8 日 08:00 在昭通机场近地层至 600 hPa 之间比湿较大, 超过 8 g/kg, 8 日 14:00~20:00, 随着天气系统的移动, 机场上空比湿进一步增大, 近地层比湿超过 12 g/kg。之后 9 日 14:00~20:00 机场上空比湿再次增大, 近地层比湿超过 13 g/kg, 由以上分析可知, 在此次昭通雷暴过程中大气中水汽较为充沛, 为雷暴的发展提供了较好的水汽条件。



**Figure 4.** The specific humidity time-height profile of Zhaotong area from 08:00 on August 8 to 02:00 on August 10, 2024 (fill color, unit: g/kg)

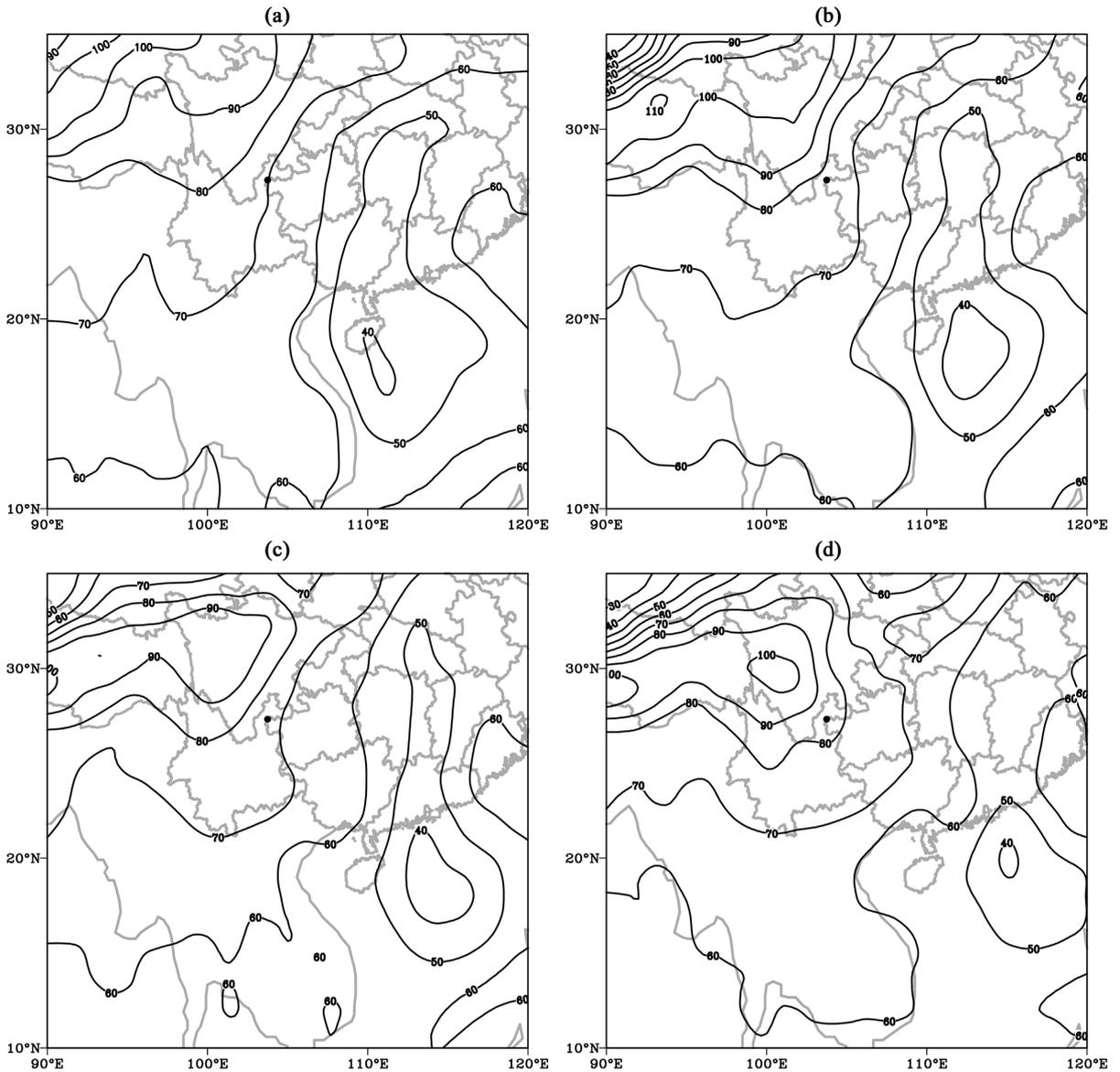
**图 4.** 2024 年 8 月 8 日 08 时至 10 日 02 时昭通地区比湿时间高度剖面(填色, 单位: g/kg)

通过整层大气可降水量分布中, 8 日 08:00~9 日 08:00 (图 5(a)~(c)), 在我国西南地区大气可降水量较大, 通过持续的西南气流, 水汽进一步向昭通地区输送, 此时昭通地区大气可降水量超过  $70 \text{ kg/m}^2$ , 其中昭通机场附近大气可降水量接近  $80 \text{ kg/m}^2$ , 这表明由于槽前西南气流的影响, 仍有大量水汽不断输送至降水区, 9 日 20:00 (图 5(d)), 随着空中槽线以及地面锋面系统的不断东移南下, 大气可降水量大值区中心此时位于我国四川省西部地区, 其中心最大数值超过  $100 \text{ kg/m}^2$ 。

### 5.2. 热力条件

#### 5.2.1. K 指数

从 K 指数分布中分析, 9 日 14:00 (图 6(a)), 我国四川省西部、南部以及云南省北部地区出现了 K 指数高值区, 其中心最大值超过  $46^\circ\text{C}$ , 昭通机场 K 指数超过  $46^\circ\text{C}$ , 表明此时机场附近大气的不稳定程度



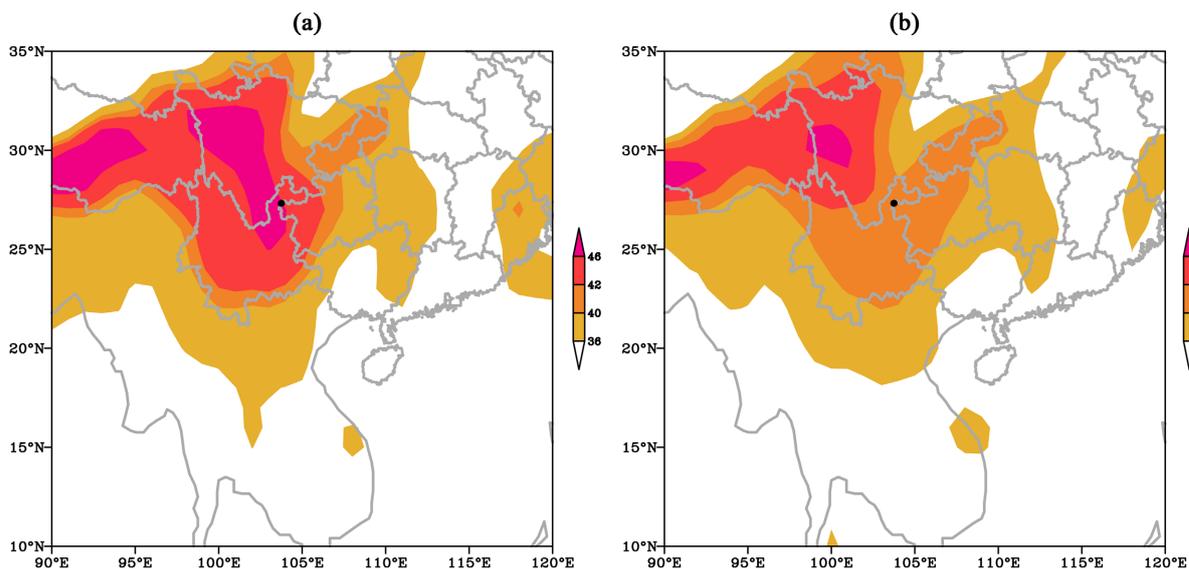
**Figure 5.** August 2024 (a) 08:00 on 8<sup>th</sup>; (b) 20:00 on 8<sup>th</sup>; (c) 08:00 on 9<sup>th</sup>; (d) 20:00 on 9<sup>th</sup>; total precipitable water vapor (unit: kg/m<sup>2</sup>, “•” is the location of Zhaotong Airport)

**图 5.** 2024 年 8 月(a) 8 日 08 时; (b) 8 日 20 时; (c) 9 日 08 时; (d) 9 日 20 时; 整层大气可降水量(单位: kg/m<sup>2</sup>, “•” 为昭通机场位置)

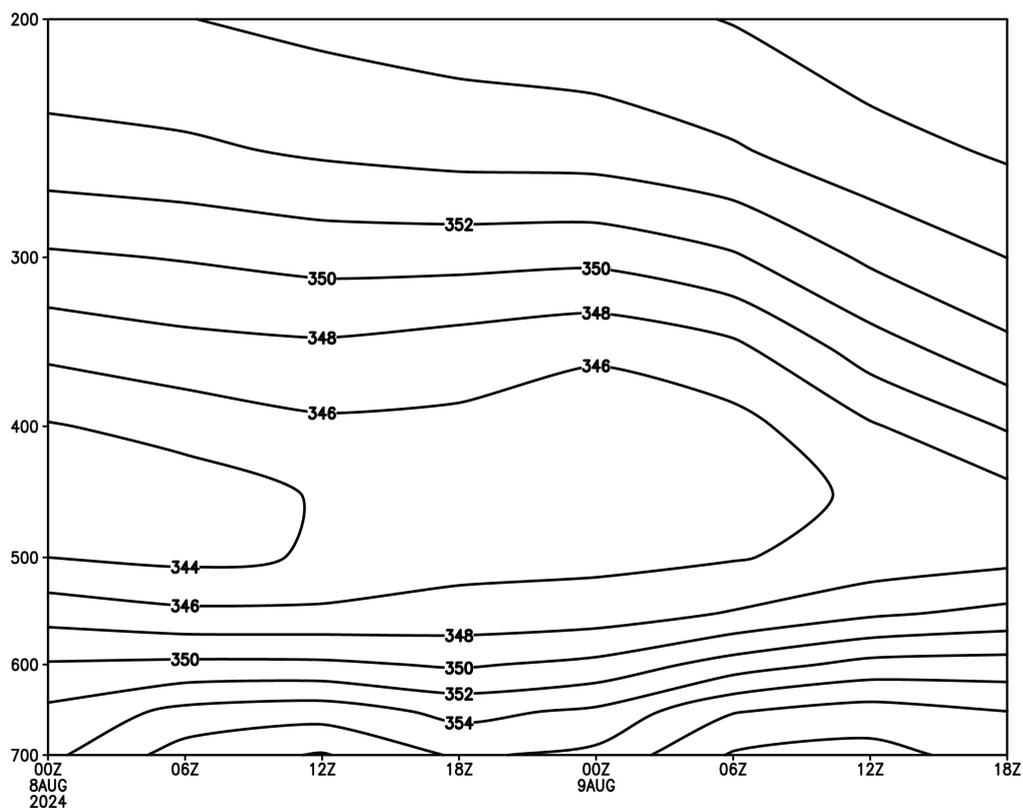
较高, 有利于强对流天气的出现。至 9 日 20:00 (图 6(b)), K 指数高值区向西北方向移动, 主要集中在四川省西部地区, 其中心最大值仍超过 46℃, 但高值范围有所缩小, 此时昭通机场 K 指数也有所降低, 数值在 40℃~44℃之间, 表明机场附近的大气不稳定性有所减弱。综合以上分析, 冷暖空气的交汇进一步加剧了大气层结的不稳定性, 随着 K 指数的增加, 垂直方向上的湍流运动增强, 为强对流天气的形成与发展提供了更有利的热力不稳定条件。

### 5.2.2. 假相当位温( $\theta_{se}$ )

分析机场假相当位温时间高度剖面(图 7)显示, 昭通机场近地层以及 400 hPa 以上的假相当位温较高, 数值超过 340 K, 且大值区从昭通机场近地层延伸至 650 hPa, 最大值超过 356 K。在 9 日 08:00~20:00



**Figure 6.** August 2024 (a) 14:00 on 9<sup>th</sup>; (b) 20:00 on 9<sup>th</sup> K index field (Unit: °C, “•” is the location of Zhaotong Airport)  
**图 6.** 2024 年 8 月 (a) 9 日 14 时; (b) 9 日 20 时 K 指数场 (单位: °C, “•” 为昭通机场位置)



**Figure 7.** Pseudo-equivalent potential temperature field along the height profile of Zhaotong Airport from 08:00 on August 8 to 02:00 on August 10, 2024 (Unit: K)

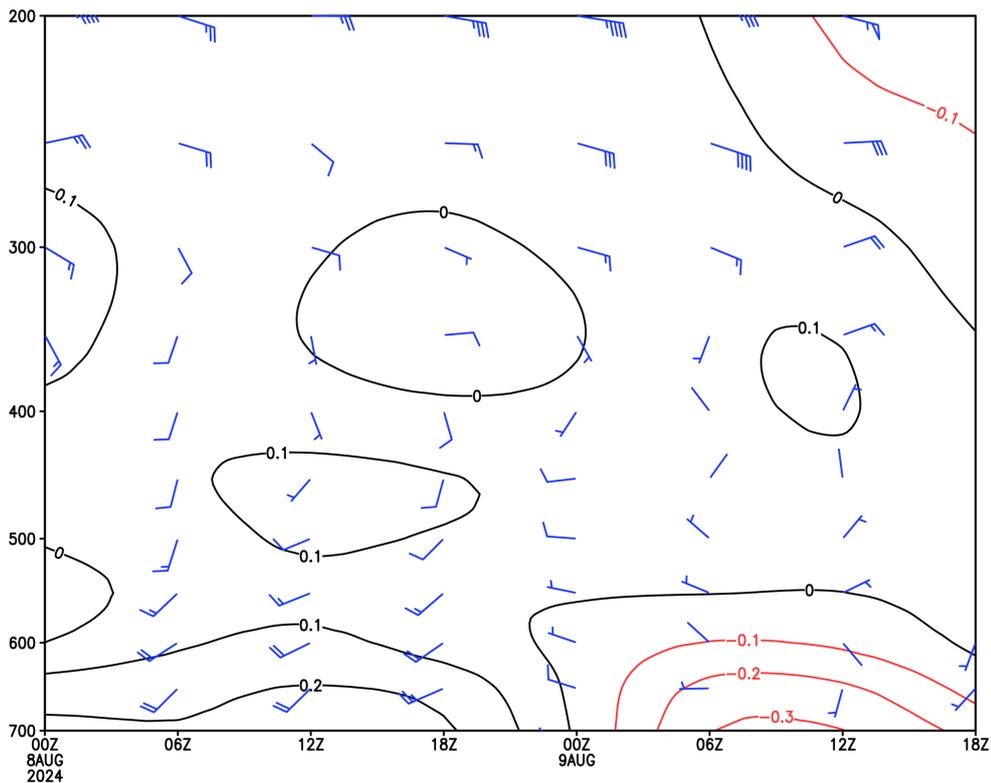
**图 7.** 2024 年 8 月 8 日 08 时至 10 日 02 时假相当位温沿昭通机场随时间高度剖面 (单位: K)

期间, 昭通机场近地层至 650 hPa 区域的假相当位温较高, 普遍超过 358 K, 中心最大值超过 360 K, 显示出高能高湿的不稳定特征。这表明昭通机场上空积累了大量不稳定能量, 有利于强对流天气的维持。

### 5.3. 动力条件

图 8 展示了昭通机场的垂直速度和风场的时间 - 高度剖面, 从图中可以看出, 9 日 08:00~20:00, 昭通机场上空近地层至 600 hPa 的垂直速度为负值, 其中中心最小值超过  $-0.3 \text{ Pa/s}$ , 表明该区域存在明显的垂直上升运动。而在 500~400 hPa 高度上, 垂直速度为正值, 表明该区域存在下沉运动。从垂直风场分析来看, 9 日 08:00~20:00, 昭通机场上空 400 hPa 以下为西南风, 400 hPa 以上为偏东风, 说明昭通机场处于槽前西南气流的控制之下。随后昭通机场上空逐渐转为西北风, 这表明地面锋面和空中槽正在过境, 同时大气层结的不稳定性进一步增强。

综合上述分析, 昭通机场上空的低空辐合与高空辐散结构形成了显著的抽吸效应, 这种效应不仅增强了垂直上升运动, 还使其得以持续, 从而为强对流天气的生成和发展提供了有力的动力支持。同时, 高空槽引导冷空气南下, 而低层则有充沛的暖湿气流, 这种高低层的配置导致斜压能量在中层大量积累。斜升区的斜压不稳定性为不稳定能量的积累和释放提供了强大的动力机制, 进一步促进了强对流天气的持续发展。



**Figure 8.** Vertical velocity field (isoline, unit: Pa/s) and wind field (unit: m/s) along the time-height profile of Zhaotong Airport from 08:00 on August 8 to 02:00 on August 10, 2024

**图 8.** 2024 年 8 月 8 日 08:00~10 日 02:00 沿昭通机场时间 - 高度剖面垂直速度场(等值线, 单位: Pa/s)以及风场(单位: m/s)

### 5.4. 不稳定能量

本文选取威宁站的探空图(图 9), 分析此次雷暴过程中的不稳定能量, 由探空的比湿曲线可以看出, 9 日 08 时(图 9(a)), 500 hPa 以下水汽含量在  $15 \text{ g/kg}$  以上, 说明近地层水汽条件较好, 在近地层至 700 hPa 之间存在逆温层, 有利于不稳定能量的储存。在 500 hPa 以下均为西南风, 在 400 hPa 以上为东北风,

这表明此时昭通机场空中处于横槽前, 且此时 CAPE 值为 47.5 J/kg。至 9 日 20 时(图 9(b)), 此时层结曲线落后于状态曲线, 且 CAPE 值仍较大为 1285.7 J/kg, 表明昭通地区上空仍积累了大量不稳定能量, 有利于强对流天气的进一步持续发展, 且上干下湿, 为此次强对流天气过程的持续发展提供了较为有利的动力以及热力条件。

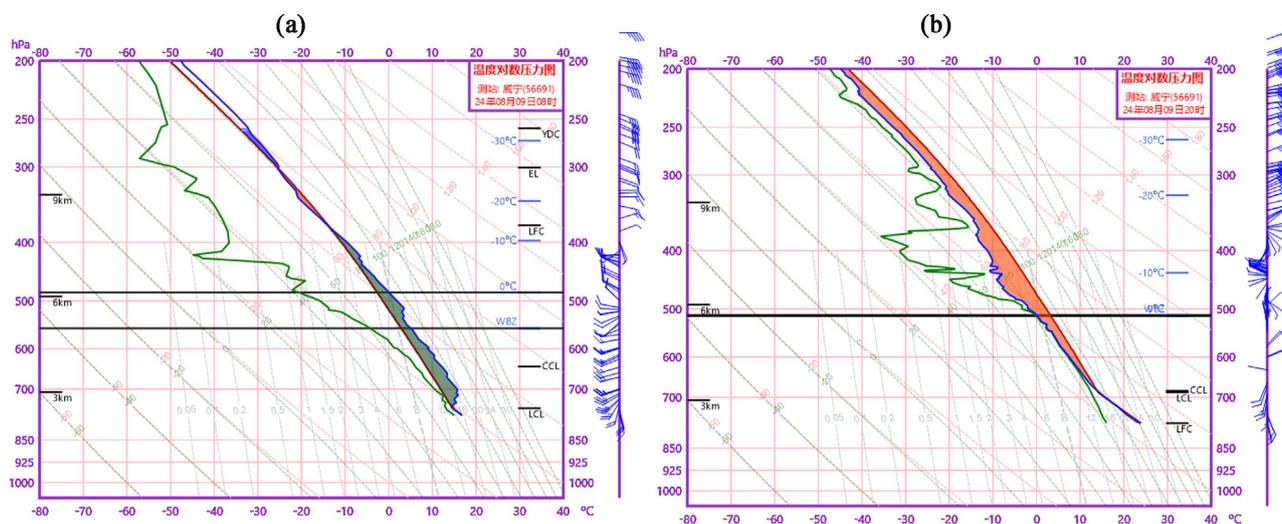


Figure 9. August 9, 2024 (a) 08: 00; (b) 20: 00 radiosonde at Weining station

图 9. 2024 年 8 月 9 日(a) 08:00; (b) 20:00 时威宁站探空

## 6. 雷达特征

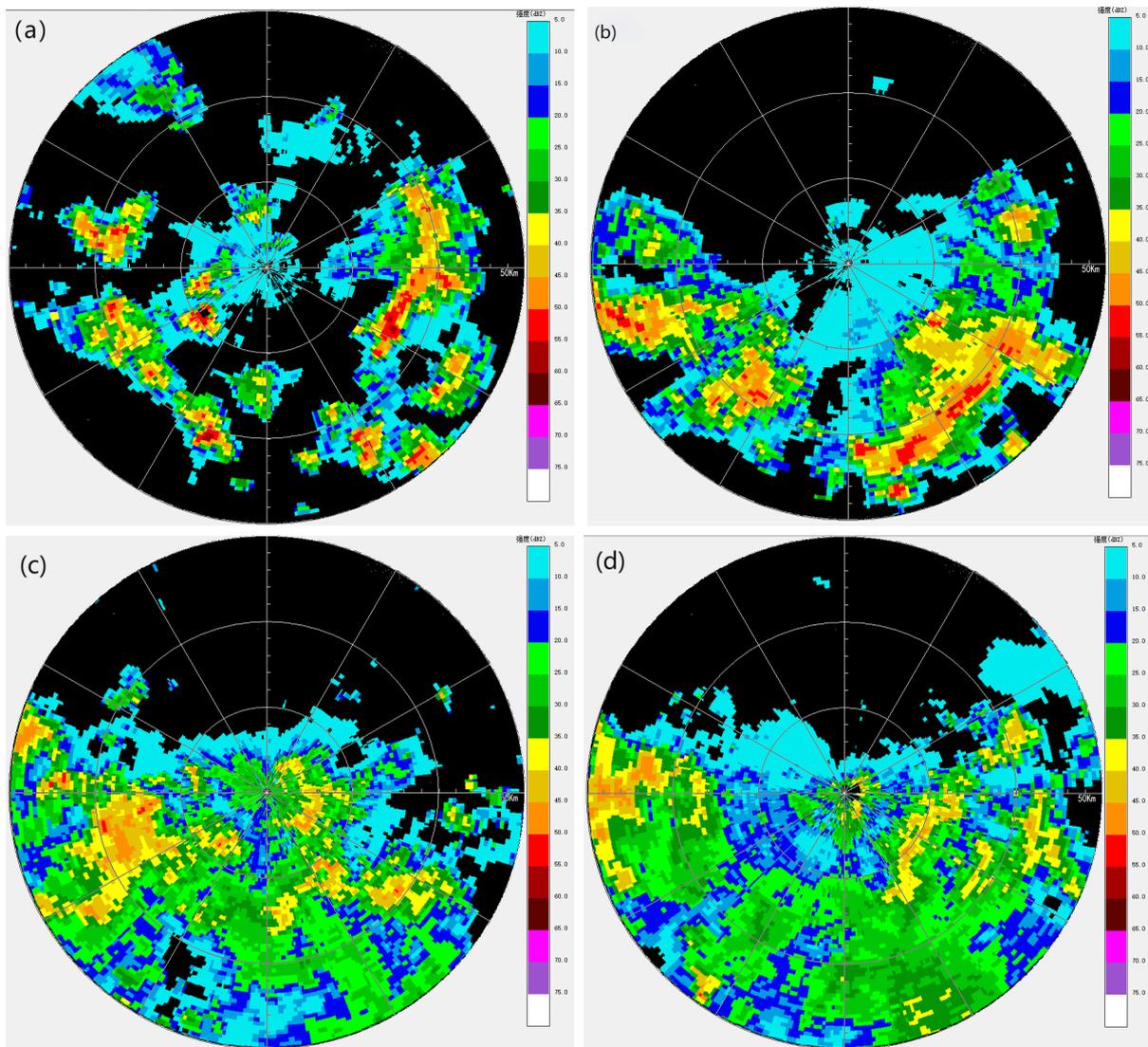
由昭通机场的雷达图可知(图 10), 8 月 9 日 17:31(图 10(a)), 探测到昭通机场西部、西南部、东部以及东南部地区已经出现了大范围的强对流天气, 其中心最大值已超过 55 dBZ, 降水回波由西南向东北方向推进。18:11(图 10(b)), 强对流回波范围进一步扩大, 此时在昭通机场西部、南部以及东部大范围区域均出现了强对流天气, 其中短时强降水主要集中在昭通机场西南以及东南部地区, 且此时在昭通机场 237° 方向, 距离 31 km 处, 回波顶高已超过 12 km, 表明此时强对流天气势力较强。20:40(图 10(c)), 强对流回波范围进一步扩大, 强度有所减小, 其中心最大值超过 45 dBZ。21:19(图 10(d)), 在昭通机场附近降水回波主体已经趋于消散, 但在其西部以及东部地区仍有分散性强对流天气。昭通机场此次强对流回波的移动与降水实况基本对应。

## 7. 结论

受空中槽线以及地面锋面过境影响, 2024 年 8 月 9 日云南省昭通机场出现了一次强对流天气过程, 并伴有雷暴、短时强降水等天气现象, 本次强对流天气持续时间较长, 对于航班保障的影响较大, 造成 1 个航班取消。本文使用昭通机场天气过程期间整点观测报文, 以及 NCEP/NCAR 提供的 FNL 全球大气再分析资料对 2024 年 8 月 9~10 日昭通机场强对流天气过程的天气学成因进行了诊断分析, 得到如下结论:

(1) 中高层的槽线和地面锋面系统是此次昭通机场强对流天气的主要影响系统。高空槽后的偏北气流引导冷空气南下, 与中低层暖湿气流交汇, 同时配合地面锋面过境, 为强对流天气提供了良好的动力和热力条件。

(2) 在水汽条件方面, 昭通机场上空水汽充沛, 降水期间整层大气的可降水量维持在较高水平, 为强降水的发生和发展提供了有利的水汽支持。在热力条件方面, 随着天气系统的移动, 冷暖空气交汇进



**Figure 10.** August 9, 2024 (a) 17: 31; (b) 18: 11; (c) 20: 40; (d) 21: 19, the combined reflectivity of radar at Zhaotong Airport, Yunnan (unit: dBZ)  
**图 10.** 2024 年 8 月 9 日(a) 17:31; (b) 18:11; (c) 20:40; (d) 21:19 云南昭通机场雷达组合反射率(单位: dBZ)

一步加剧了大气层结的不稳定性。K 指数的增加和温度差的增大表明垂直方向上的湍流运动增强, 为强对流天气的形成和发展提供了热力不稳定条件。此外, 在短时强降水期间, 昭通地区上空的高能高湿状态有利于强对流天气的维持。在动力条件方面, 昭通机场上空的低空辐合和高空辐散结构产生了抽吸作用, 有利于垂直上升运动的加强和维持, 为强对流天气的发生和发展提供了有利的动力条件。

(3) 在不稳定能量方面, 通过对威宁站探空图的分析可知, 昭通地区上空积累了大量不稳定能量, 有利于强对流天气的持续发展。上干下湿的层结为强对流天气的持续发展提供了有利的动力和热力条件。雷达图特征分析表明, 昭通机场此次强对流回波的移动与降水实况基本对应, 降水以阵雨和雷暴为主, 说明此次降水为对流性强降水, 具有较强的破坏力。

### 参考文献

[1] 许美玲, 段旭, 杞明辉, 等. 云南省天气预报员手册[M]. 北京: 气象出版社, 2012.

- 
- [2] 秦剑, 刘瑜. “低纬高原”上南北低涡结合的强暴雨过程分析[J]. 气象, 1989(3): 24-28.
  - [3] 段旭, 李英, 周毅. 春季滇南大风冰雹天气的大尺度环境特征[J]. 气象, 1998, 24(6): 40-44.
  - [4] 艾永智, 杨传荣, 金少华. 高分辨对流有效位能在云南一次强对流天气中的应用分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2014, 36(S1): 77-85.
  - [5] 杞明辉, 牛法宝, 严欣, 等. 利用 MJO 活动规律进行云南雨季开始期的延伸期预测试验[J]. 气象科技进展, 2013, 3(1): 57-63.
  - [6] 米瑞芝, 牛法宝, 向影, 等. MJO 影响下 2016 年云南首场强降水过程的成因[J]. 干旱气象, 2017, 35(2): 232-238+249.
  - [7] 王珏, 梁琪瑶, 易伟霞, 等. 一次区域性暴雨过程综合诊断分析[J]. 气象与环境科学, 2009, 32(3): 10-14.