

新疆喀什机场一次雷暴天气过程分析

谢木西努尔·肖开提

新疆机场(集团)喀什机场, 新疆 喀什

收稿日期: 2025年12月23日; 录用日期: 2026年1月22日; 发布日期: 2026年1月28日

摘要

为探究新疆喀什机场强对流天气的形成机制, 利用常规气象观测资料、探空资料、再分析数据及民航观测报文, 对2024年7月24日喀什机场强对流过程从环流形势、热力、动力、水汽条件等方面进行了综合诊断分析。结果表明: 本次强对流天气是中亚低槽东移与地面低压扰动及高低空系统耦合的结果。过程具有典型的环境场配置, 低层暖湿不稳定、中低层强上升运动, 三者共同构成了强对流发展的热力、动力和水汽支撑, 同时强的垂直风切变促进了积雨云的组织化发展。研究结果为喀什机场强对流天气的精细化预报预警及航空安全保障提供了科学参考。

关键词

雷暴天气, 中亚低涡, 诊断分析, 喀什机场

Analysis of a Thunderstorm Weather Process at Kashgar Airport in Xinjiang

Xiemuxinuer·Xiaokaiti

Xinjiang Airport (Group) Kashgar Airport, Kashgar Xinjiang

Received: December 23, 2025; accepted: January 22, 2026; published: January 28, 2026

Abstract

In order to explore the formation mechanism of severe convective weather at Kashgar Airport in Xinjiang, the conventional meteorological observation data, sounding data, reanalysis data and civil aviation observation messages were used to comprehensively diagnose and analyze the severe convective process at Kashgar Airport on July 24, 2024 from the aspects of circulation situation, heat, power and water vapor conditions. The results show that the severe convective weather is the result of the coupling of the eastward movement of the Central Asian low trough with the surface low pressure disturbance and the high and low altitude systems. The process has typical environmental field

configuration, low-level warm and humid instability, and strong ascending motion in the middle and low levels. The three together constitute the thermal, dynamic and water vapor support for the development of severe convection. At the same time, strong vertical wind shear promotes the organizational development of cumulonimbus clouds. The research results provide a scientific reference for the refined forecast and early warning of severe convective weather and aviation safety guarantee at Kashgar Airport.

Keywords

Thunderstorm Weather, Central Asian Vortex, Diagnostic Analysis, Kashgar Airport

Copyright © 2026 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

强对流天气作为新疆干旱半干旱区典型的灾害性天气类型，以短时强降水、雷暴大风、冰雹等为主要表现形式，具有突发性强、局地性显著、致灾潜力大的核心特征。喀什地区位于新疆西南部，地处帕米尔高原东麓、塔克拉玛干沙漠西缘，特殊的地形地貌与大气环流背景相互作用，使该区域成为新疆强对流天气的高发区之一，喀什机场作为连接我国西北边疆与内地及中亚地区的重要航空枢纽，跑道起降、航班调度等关键运行环节对天气条件高度敏感，强对流天气引发的风切变、强颠簸、雷暴大风引起的沙暴等天气现象，极易导致航班延误、备降甚至飞行事故，严重威胁航空运输安全与效率[1]。因此，深入剖析喀什机场强对流天气的形成机制、演变特征及影响因子，对于提升机场精细化预报预警能力、筑牢航空安全防线具有重要的现实意义。

新疆强对流天气的研究众多学者基于不同观测资料与诊断方法，开展了系统性探索并取得丰硕成果。中亚低涡作为影响新疆强对流天气的关键天气系统，其活动特征与作用机制已成为研究核心方向。张家宝等[2]研究中明确了咸海以东至新疆区域与乌拉尔脊关联的冷性涡旋系统定义，将其命名为中亚低涡，并指出其对新疆暴雨雪、强对流等灾害性天气的主导影响。张云惠等通过对1971~2010年长期观测数据的分析，揭示了中亚低涡的时空分布规律、持续时间特征及移动路径类型，并阐明了不同路径低涡对新疆各地天气的差异化影响[3]。有学者系统总结了中亚低涡研究的进展与亟待解决的科学问题，为后续相关研究提供了重要理论框架[4]，这些研究为理解新疆强对流天气的大尺度环流背景提供了坚实基础。于玉斌[5]等全面梳理了干侵入的基本理论、结构特征及其在天气系统发展中的作用，指出高层干空气注入低层是触发对流发展的重要动力因子[6]，湿位涡诊断分析证实，对流层中高层高值位涡干空气的侵入，会通过倾斜涡度发展效应导致低层垂直涡度急剧增强，进而触发强对流天气，这一诊断方法也为新疆强对流天气的机理分析提供了有效工具[7]。

针对喀什地区强对流天气的区域性研究，已有成果揭示了其独特的形成条件。黄艳等对喀什2011年夏季两次超级单体致雹风暴的对比分析表明，不稳定层结、频繁的冷空气活动及充足的抬升触发条件是该区域强对流天气的共性环境场特征，而充足的水汽供应与强垂直风切变则是深厚湿对流发展的关键保障[8]。喀什地区雹暴过程存在显著的水汽输送差异，初夏雹暴以单支异常水汽输送为主，而盛夏雹暴则出现三支水汽输送通道，且 θ_e 陡立区与冰雹落区具有良好对应关系，垂直涡度与倾斜涡度的旺盛发展是大范围雹暴形成的主要原因[9]。尽管新疆强对流天气的研究已取得诸多进展，但喀什地区复杂的地形地貌使得强对流天气呈现出更为显著的局地性与特殊性，机场区域作为特殊下垫面，其强对流天气的触发

机制、演变规律与影响范围仍需进一步细化研究,本文选取喀什机场2024年7月一次典型强对流天气过程,结合常规气象观测资料、探空资料及再分析数据,在借鉴已有研究成果的基础上,重点分析其环流背景、物理量场特征及演变规律,旨在揭示机场区域强对流天气的形成机制与预报关键点,为提升喀什机场强对流天气的预报预警精度、保障航空运输安全提供科学支撑。

2. 实况简介

7月24日喀什机场天气实况出现一次明显的强对流天气过程,当日19:00,出现少量积雨云,20:00风向转为300°,风力增至11 m/s、阵风16 m/s,出现中雷雨,机场积雨云发展3~4分量,雷暴降雨持续至当日21:00。整体来看,当日上午至午后喀什机场经历了从晴到雷暴降雨的强对流过程,伴随积雨云发展、风力突变及气温下降。

3. 诊断分析

3.1. 环流形势

08:00 500 hPa(图1(a)),高纬存在深厚冷涡(中心位势高度 ≤ 556 dagpm,温度 $\leq -20^{\circ}\text{C}$),新疆北部受西北气流控制;喀什机场位于中亚低槽前侧(槽线大致在70°E附近),槽前为西南气流。槽前西南气流为喀什输送了中层水汽,同时槽前正涡度平流利于低层辐合上升,为对流发展提供了高空动力抬升条件。20:00 500 hPa环流(图1(b)),高纬冷涡维持,中亚低槽东移,喀什处于槽线附近(槽线东移至80°E附近),槽前西南气流增强且更靠近喀什。槽线附近涡度最大,正涡度平流显著增强,高空辐散与低层辐合的耦合作用加剧,直接触发了对流的垂直上升运动。

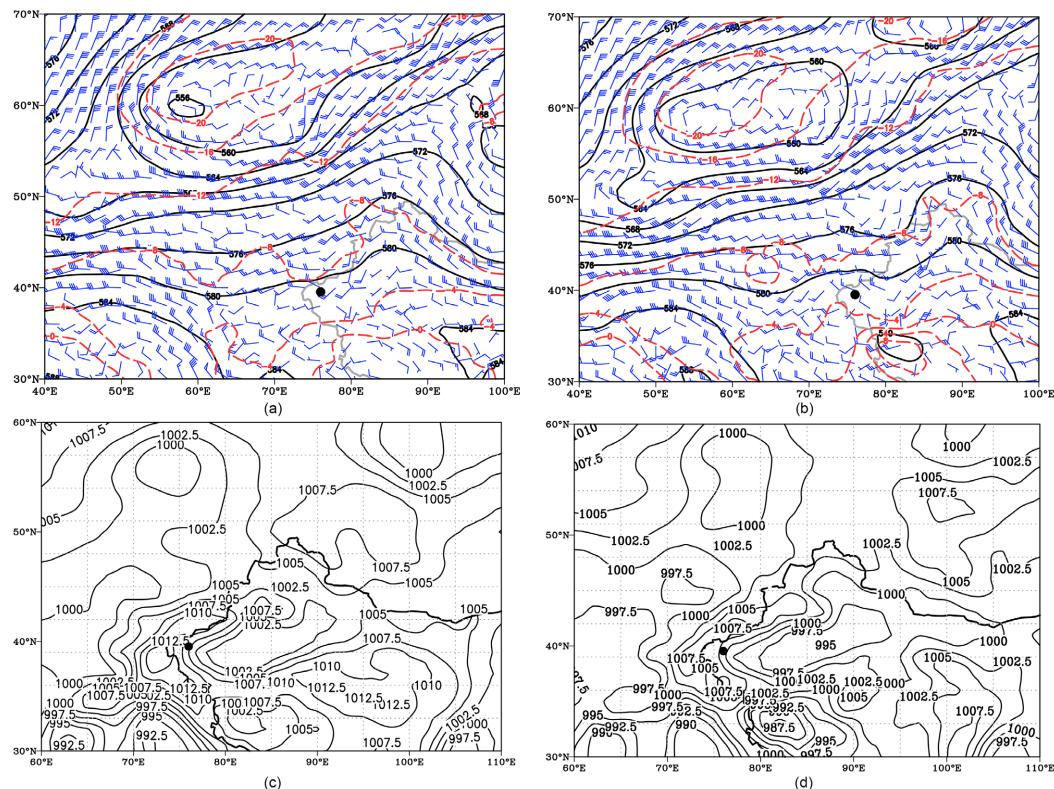


Figure 1. 500 hPa circulation (a). 08:00, (b). 20:00, sea level pressure field (c). 08:00, (d). 20:00 on July 24
图1. 7月24日500 hPa环流(a). 08:00、(b). 20:00、海平面气压场(c). 08:00、(d). 20:00

海平面气压场反映低层热力结构和地面触发系统，是强对流“接地触发”的关键。08:00 喀什机场位于高压脊控制下，气压 $\geq 1012.5 \text{ hPa}$ (图 1(c))，高压脊抑制了低层对流的触发，高压控制下地面增温明显，为大气积累不稳定能量。20:00 高压脊东退(图 1(d))，喀什附近出现低压扰动(地面气压 $\leq 1000 \text{ hPa}$)，低压中心附近辐合上升运动强烈，低压扰动打破了地面高压的抑制，同时低压与高空槽线的垂直叠加(高低空系统耦合)，使动力抬升作用最大化，直接引发了积雨云和中雷雨。

强对流的爆发需要高空动力抬升与低空热力触发的协同作用，这一过程在当日体现为高空槽东移与地面低压发展的耦合：08:00 高空槽前动力抬升为对流“蓄力”，地面高压抑制触发至大气积累大量不稳定能量。20:00 高空槽东移至喀什附近，动力抬升增强，地面高压东退、低压发展，打破抑制对流快速爆发，形成积雨云和中雷雨。综上，7月24日喀什强对流的爆发是高空槽东移 + 地面低压发展的高低空系统耦合结果：08:00 在高压控制下积累不稳定能量，20:00 高低空系统耦合触发对流，最终形成中雷雨和积雨云。

3.2. 热力因素

从喀什机场假相当位温时间高度剖面分析(图 2)，低层(850 hPa-近地面层)整个时段 θ_e 随高度显著减小，说明低层持续维持强不稳定层结，暖湿空气集中在近地面，为对流提供了充足的热力和水汽基础。中层(500 hPa~700 hPa)，00:00~09:00 期间，中层(约 400 hPa~600 hPa)出现 θ_e 低值区(336~340 K)，且与低层高 θ_e 区形成上冷干、下暖湿的强不稳定配置。高层(300 hPa 以上) θ_e 随高度增大，表示高层为稳定层结，这种低层不稳定、高层稳定的垂直结构，利于对流垂直发展。结合当日 20:00 喀什机场中雷雨和积雨云的实况， θ_e 的时间演变可分为两个阶段，分别时 00:00~09:00 低层高 θ_e (暖湿)与中层低 θ_e (冷干)的垂直梯度持续增大，不稳定能量不断积累，12:00 后低层 θ_e 梯度虽有所缓和，但低层暖湿、高层稳定的结构仍在，且中层不稳定区的残余能量与地面低压、高空槽的动力抬升结合，最终在 20:00 触发强对流，形成中雷雨。

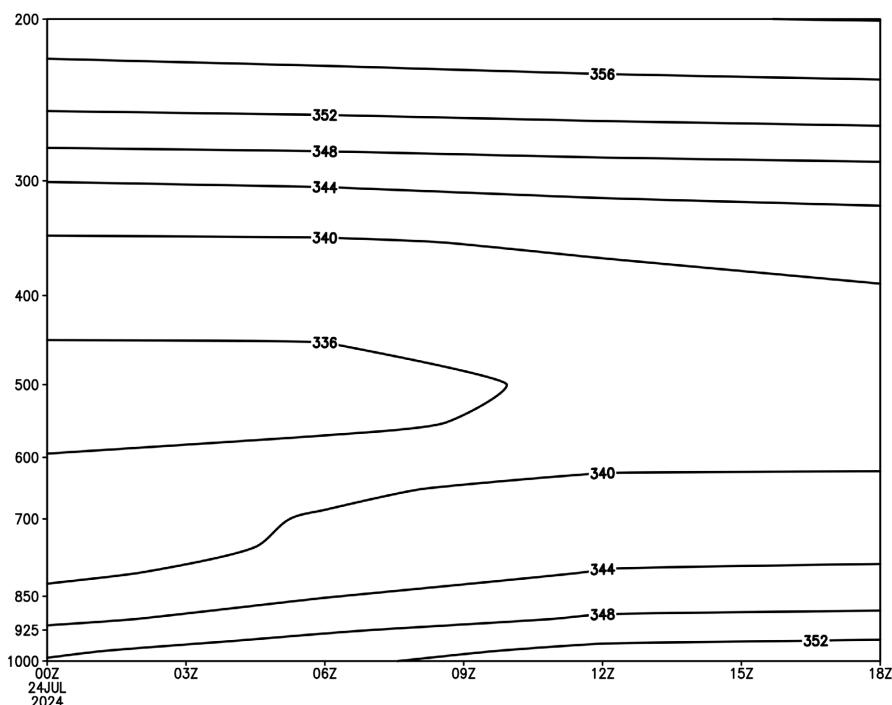


Figure 2. Time-height profile of pseudo-equivalent potential temperature at Kashgar Airport
图 2. 喀什机场假相当位温时间高度剖面

3.3. 动力因素

从喀什机场垂直速度时间高度剖面分析(图 3), 00:00~20:00 期间, 700 hPa 以下持续维持强烈上升运动, 其中 20:00 前后 700 hPa 附近出现 -1.0 Pa/s 的强上升中心, 说明低层暖湿空气被强烈抬升, 是对流触发和发展的直接动力源。中层(500 hPa~700 hPa) 17:00~23:00 期间, 500 hPa 附近出现 $0.6\text{--}0.8 \text{ Pa/s}$ 的强上升中心, 与低层上升运动形成“垂直耦合”, 说明上升运动从低层延伸至中层, 对流在垂直方向上强烈发展。高层(300 hPa 以上)以弱下沉运动为主, 这种低层强上升、高层弱下沉的垂直结构, 是强对流天气中典型的抽吸效应, 直接导致了 20:00 前后雷暴的爆发。

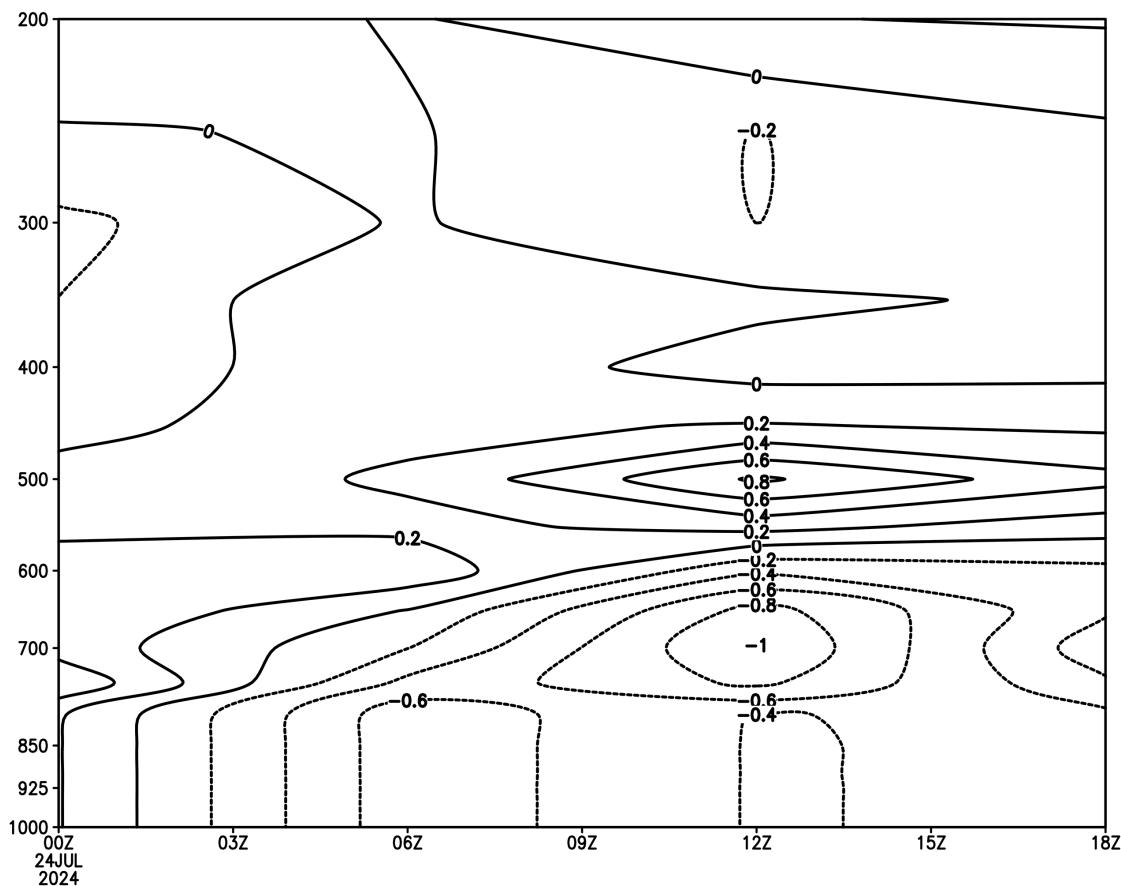


Figure 3. Vertical velocity time-height profile of Kashgar Airport
图3. 喀什机场垂直速度时间高度剖面

3.4. 水汽条件

从喀什机场比湿时间高度剖面分析(图 4)低层 850 hPa 以下整个时段低层比湿持续维持高值(925 hPa 比湿 $\geq 12 \text{ g/kg}^{-1}$, $850 \text{ hPa} \geq 10 \text{ g/kg}$), 说明近地面层水汽极其充沛, 为强对流提供了充足的水汽来源(与探空图中低层高露点温度、假相当位温的强不稳定层结完全对应)。中层(500 hPa~700 hPa)比湿随高度逐渐减小(700 hPa 比湿约 8 g/kg , 500 hPa 约 4 g/kg), 但仍维持一定水汽含量, 这种“低层高湿、中层中湿”的垂直结构, 利于对流在垂直方向上持续发展。高层(300 hPa 以上)比湿显著降低(300 hPa 以下比湿 $\leq 2 \text{ g/kg}$), 表示高层水汽稀少, 为干层。这种“低层湿、高层干”的垂直结构, 是强对流天气中典型的“湿对流”配置, 低层暖湿空气被抬升后, 高层干空气利于潜热释放, 进一步加剧对流发展。

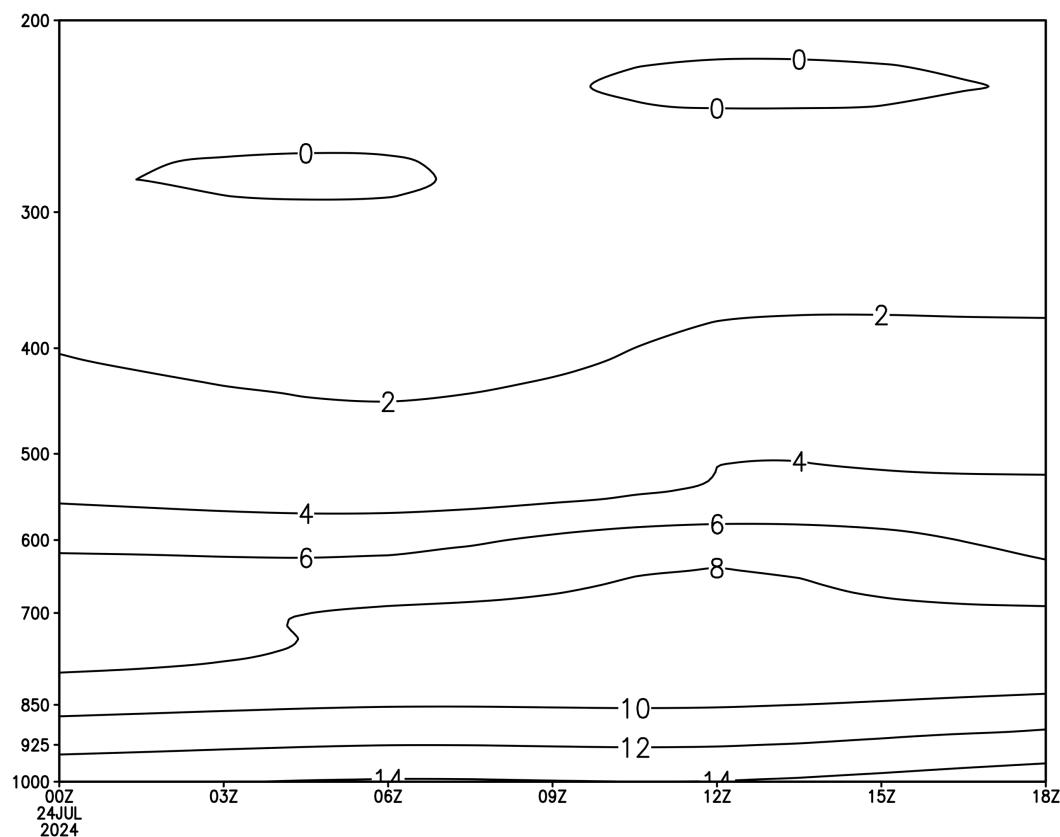


Figure 4. The specific humidity time height profile of Kashgar Airport
图 4. 喀什机场比湿时间高度剖面

3.5. 探空分析

分析当日 08:00 (图 5(a))、20:00 (图 5(b)) 喀什探空图可知, 08:00 CAPE 为 462.1 J/kg, 20 时降至 374.3 J/kg, CAPE 反映大气中可用于对流发展的不稳定能量, 两者数值均处于中等偏上水平, 说明大气具备支撑强对流的能量基础 08:00 CAPE 更高, 体现上午大气在“蓄能”, 20:00 虽有所降低, 但仍足以驱动中雷雨发生。从对流抑制能(CIN)分析, 08 时 CIN 为 239.4 J/kg, 20:00 降至 0 J/kg。CIN 是抑制对流发生的能量, 数值为 0 时对流触发门槛消失, 上午因 CIN 存在对流暂未触发, 20:00 CIN 清零, 大气稍有扰动引发对流。08:00 K 指数为 32.2°C, 20:00 为 40.5°C。K 指数综合反映层结不稳定和水汽条件, 通常 $K \geq 35^{\circ}\text{C}$ 即具备强对流潜势。两者均远超阈值, 说明喀什上空水汽充足且层结不稳定, 为强对流提供了水汽和热力支撑。沙氏指数 08:00 为 -2.17°C , 20:00 为 -1.6°C , 08:00 不稳定程度更高, 为午后对流发展积累了能量。08:00、20:00 中高层(200 hPa~500 hPa)风矢量差异显著, 体现了较强的垂直风切变, 强垂直风切变利于对流组织化发展, 为积雨云的维持和雷雨的发展提供了动力条件, 这也是当日喀什机场出现 3~4 分量积雨云的重要原因。

通过温度廓线、露点廓线的配置可判断大气的湿层厚度、逆温层存在与否及对流触发高度。08:00 探空(强对流“蓄能期”)湿层与不稳定层, 850 hPa 以下露点温度较高, 且温度廓线与露点廓线分离显著, 说明低层水汽充足且层结高度不稳定; 中高层(300 hPa~500 hPa)干冷(温度 $\leq -29^{\circ}\text{C}$), 形成“上干冷、下暖湿”的强不稳定结构, 为 CAPE 积累提供了绝佳条件。近地面无明显逆温, LFC(自由对流高度)较低, 但因存在 CIN(239.4 J/kg), 上午暂未触发强对流, 处于能量积累阶段。20:00 探空(强对流“爆发期”)CIN

降至 0, 说明抑制对流的能量消失。850 hPa 露点仍达 24°C , 中低层水汽持续充足, 温度廓线与露点廓线在中高层交汇, 说明对流发展至较高层, 形成深厚的积雨云(3~4 分量符合积雨云的垂直厚度特征)。垂直风切变维持较强, 促使对流系统组织化发展, 从而产生中雷雨天气。08:00 大气处于高 CAPE、高 CIN 的蓄能状态, 不稳定能量充足但缺乏触发机制, 因此上午无明显强对流。20:00 CIN 消失, 结合持续的水汽、不稳定层结和垂直风切变, 对流被快速触发, 形成积雨云并伴随中雷雨。

综上, 本次强对流过程是上午能量积累, 午后触发条件成熟的典型演变, 08:00 的高 CAPE 为对流储备了动力, 20:00 CIN 清零则是强对流爆发的直接触发因子, 再配合充足的水汽和垂直风切变, 最终导致了喀什机场中雷雨天气出现。

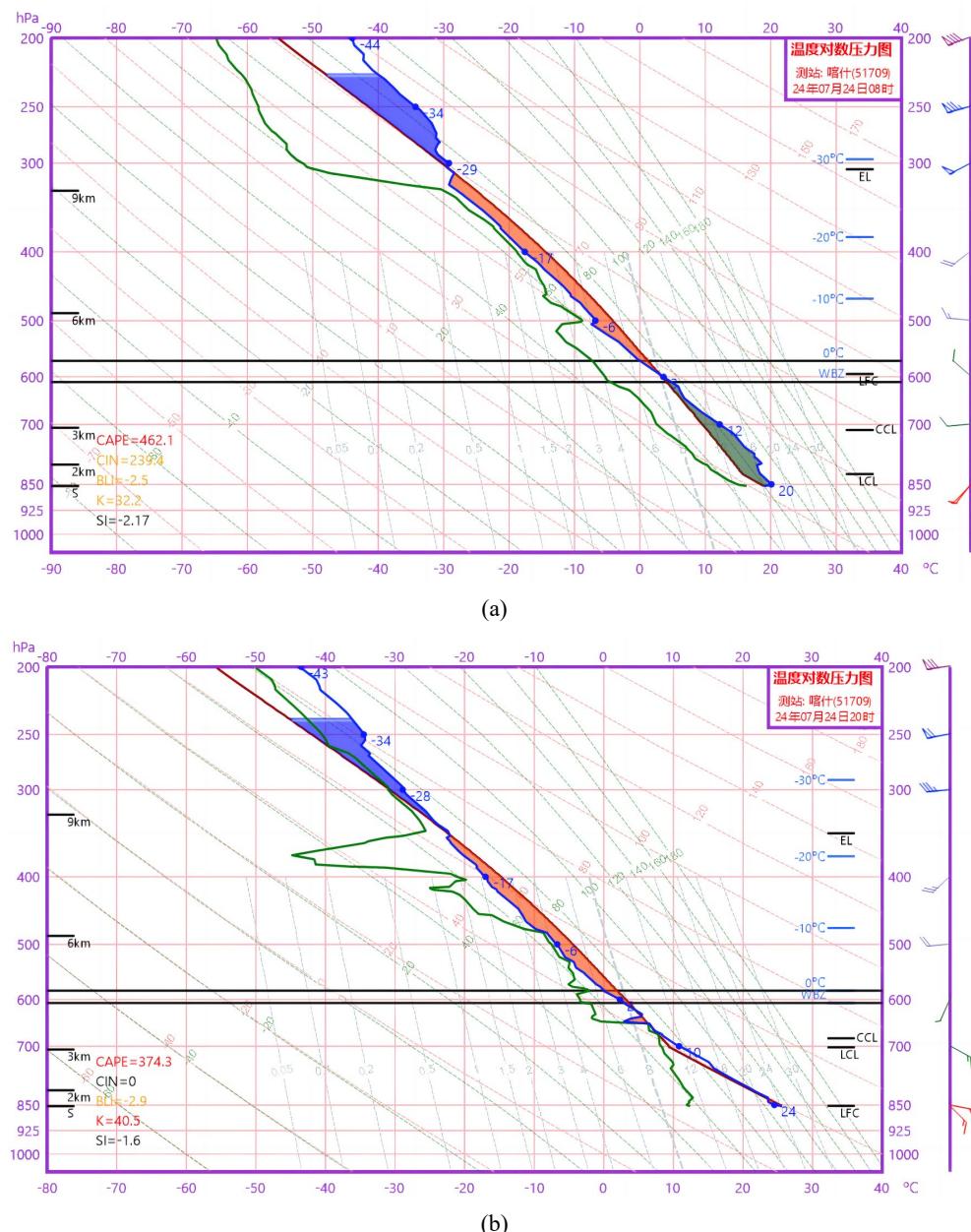


Figure 5. Radiosonde map of Kashgar station on July 24; (a). 08:00, (b). 20:00
图 5. 7 月 24 日喀什站探空图。(a). 08:00, (b). 20:00

4. 结论

本文基于喀什机场常规观测资料、NCEP FNL 再分析资料对 2024 年 7 月 24 日喀什机场强对流天气进行分析，结论如下：

1. 本次强对流天气是中亚低槽东移、地面低压扰动及高低空系统耦合的结果。500 hPa 中亚低槽东移带来的高空正涡度平流与地面高压东退、低压发展形成的低层辐合上升运动协同作用，是强对流触发的关键动力机制。
2. 本次强对流过程的热力、动力和水汽条件配置典型：低层持续维持暖湿不稳定层结(高 CAPE、负 SI、 θ_e 垂直强梯度)为对流提供了充足热力和水汽；中低层强烈上升运动与高层弱下沉运动的垂直耦合为对流发展提供了动力支撑；“低层湿、高层干”的水汽垂直分布进一步促进了对流的强烈发展和潜热释放。
3. 本次过程中喀什机场强对流天气呈现蓄能-爆发的典型演变特征，08:00 高 CAPE、高 CIN 的大气状态为对流积累了充足不稳定能量，20:00 CIN 清零是强对流爆发的直接触发因子，配合持续的水汽供应和垂直风切变，最终引发中雷雨天气。

参考文献

- [1] 曼吾拉·卡德尔, 刘鑫华, 李云翔, 等. 西北干旱区机场低空风切变基本特征分析[J]. 干旱气象, 2024, 42(3): 347-356.
- [2] 张家宝, 邓子风. 新疆降水概论[M]. 北京: 气象出版社, 1987: 345.
- [3] 张云惠, 杨莲梅, 肖开提·多莱特, 等. 1971-2010 年中亚低涡活动特征[J]. 应用气象学报, 2012, 23(3): 312-321.
- [4] 杨涛, 杨莲梅, 李建刚, 等. 中亚低涡及其对新疆强降雨影响研究进展[J]. 暴雨灾害, 2022, 41(6): 613-620.
- [5] 于玉斌, 姚秀萍. 干侵入的研究及其应用进展[J]. 气象学报, 2003(6): 769-778.
- [6] 李静楠, 潘晓滨, 臧增亮, 等. 一次华北暴雨过程的湿位涡诊断分析[J]. 暴雨灾害, 2016, 35(2): 158-165.
- [7] 冉令坤, 李娜, 高守亭, 等. 华东地区强对流降水过程湿斜压涡度的诊断分析[J]. 大气科学, 2013, 37(6): 1261-127.
- [8] 李圆圆, 支竣, 张超. 2013 年 6 月喀什地区一次强冰雹天气的成因分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8(2): 19-26.
- [9] 黄艳, 裴江文, 胡素琴, 等. 新疆喀什两次超级单体致雹风暴特征对比分析[J]. 气象科学, 2013, 33(6): 693-700.