

乌鲁木齐机场“6·11”强对流天气环境场及雷达回波特征分析

张亚莉, 杜安妮, 田佳露

民航新疆空中交通管理局气象中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2024年4月12日; 录用日期: 2024年5月10日; 发布日期: 2024年5月17日

摘要

本文利用NECP $1^\circ \times 1^\circ$ 逐6小时的再分析资料、常规气象观测资料、乌鲁木齐机场自动观测资料(AWOS)及雷达等资料,对乌鲁木齐机场2021年6月11日雷雨大风的环流条件及雷达回波的特征进行分析,结果表明:1) 机场雷雨大风发生在西伯利亚槽底短波槽东移南下,新疆多短波活动,高低空西南急流、低空风切变和强冷平流的有利环流背景下。2) 强对流发生前,机场各指数表明大气处于层结不稳定状态,具有不稳定能量,低空3公里下水汽充足,有明显的水汽辐合,为水汽饱和,“低层辐合、高层辐散”的抽吸作用使上升运动加强,地面辐合线提供触发机制,具备雷暴发生的三要素。3) 雷达回波图像在对流性天气的临近预报中具有重要指示意义,多个中 γ 尺度对流单体在对流风暴右侧不断生成,然后在东移过程中增长、成熟、衰减,引起机场雷雨大风天气。

关键词

乌鲁木齐机场, 雷雨大风, 触发机制, 雷达回波

Analysis of Environmental Field and Radar Echo Characteristics of “6.11” Severe Convective Weather in Urumqi Airport

Yali Zhang, Anni Du, Jialu Tian

Meteorological Center of Xinjiang Air Traffic Management Bureau of Civil Aviation, Urumqi Xinjiang

Received: Apr. 12th, 2024; accepted: May 10th, 2024; published: May 17th, 2024

Abstract

Based on NECP $1^\circ \times 1^\circ$ 6-hour reanalysis data, conventional meteorological data, Urumqi airport automatic observation data (AWOS) and radar data, this paper analyzes the circulation conditions

文章引用: 张亚莉, 杜安妮, 田佳露. 乌鲁木齐机场“6·11”强对流天气环境场及雷达回波特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(3): 552-558. DOI: 10.12677/ccrl.2024.133060

and radar echo characteristics of thunderstorm and gale at Urumqi airport on June 11, 2021. The results show that: 1) The thunderstorm and gale occurred under the favorable circulation background of Siberian trough bottom short-wave trough moving eastward and southward, Xinjiang multi-short-wave activity, southwest jet at high and low levels, low-level wind shear and strong cold advection. 2) Before the occurrence of strong convection, the airport indexes indicate that the atmosphere is in a stratified unstable state with unstable energy, sufficient water vapor at low altitude 3 km, with obvious water vapor convergence, which is saturated for water vapor. The suction effect of "low-level convergence and high-level divergence" strengthens the upward movement, and the ground convergence line provides a trigger mechanism, which has three elements of thunderstorm occurrence. 3) Radar echo images have important indicative significance in the near forecast of convective weather. Several medium- γ -scale convective cells are continuously generated on the right side of convective storm, and then grow, mature and decay in the process of moving eastward, resulting in thunderstorm and gale weather at airport.

Keywords

Urumqi Airport, Thunderstorms and Strong Winds, Trigger Mechanism, Radar Echo

Copyright © 2024 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

雷暴大风是一种典型的强对流天气,近年来,国内学者对强对流天气的环境参数特征,天气学模型,时空分布、动力热力综合指标,云型分类、雷达回波特征等方面研究较多。强对流天气一般出现在冷空气南下与暖湿空气交汇的环流形势下,温度平流带的上冷下暖的不稳定层结,强风速切变、地面辐合线等都利于对流天气的发生[1] [2] [3]。张琳娜等[4]研究雷暴过程对流层中低空层动量通量和动能通量输送特征得出地面大风成因。静止卫星和多普勒雷达可辅助进行强对流云团的识别,方翀等[5]选取 18 次典型区域雷暴的云型分析得出,雷暴大风需关注 TBB 低负值区、TBB 高梯度区、IR1 和 WV 通道亮温差值区及大梯度区配合的区域。多普勒雷达反射率因子及径向速度图能有效监测雷暴大风,反射率因子回波为带状或线状,在径向速度图上有大风区和中层径向速度辐合等指标,雷达回波出现弓形回波、阵风锋和径向速度大值区等指标特征,均对大风预报有较好的指示意义[6] [7] [8]。

2021 年 6 月 11 日,新疆北疆、天山山区一次大范围的强对流天气,对飞行安全和航空运行造成了严重影响。本文通过 NECP $1^\circ \times 1^\circ$ 逐 6 小时的再分析资料、常规气象观测资料、乌鲁木齐机场自动观测资料(AWOS)及雷达等资料等,对其发生发展的环境条件、雷暴发生的三要素、雷达回波特征等进行分析,以期将来对此类强对流天气的预报累积经验。

2. 天气实况及要素特征

2021 年 6 月 11 日,受短波槽影响,北疆大部、天山山区及其两侧对流发展旺盛,局地短时强队流性天气。12 日 02:00 前,强对流天气主要集中在阿勒泰地区、塔城-克拉玛依地区、伊犁河谷-阿克苏及其北部山区、乌鲁木齐地区等。其中,伊宁机场 15:00~15:25、24:00 出现雷暴,博乐机场 22:26~12 日 02:00 出现雷暴转弱雷雨,克拉玛依机场 18:46~19:00 出现西北风,平均风速 12~13 m/s,阵风 17 m/s,塔城机场 21:12~24:00 雷暴,阿克苏机场 22:26~02:00 雷暴,富蕴机场 24:00 雷暴,各机场对流性天气主要出现在进出港高峰期,对航班运行带来了不小的挑战。

由实况报文可知,6月11日,乌鲁木齐机场(简称“机场”,以下同)21:30~24:00出现强对流性天气。21:30~22:04雷暴,22:18~23:30弱雷雨,23:37中雷雨,23:50~24:00小阵雨伴CB。22:04~22:30机场出现偏西风,平均风速10~15 m/s,阵风18~20 m/s,其中,22:04出现沙暴,主导能见度降至900 m。11日,机场航班正常率降低至84.98%,计划航班取消12架次,出港延误航班33架次,延误2小时以上8架次,20:00~23:56因机场雷暴天气备降6架次,对飞行的影响较大。

3. 对流发展环境条件分析

3.1. 环流形势

500 hPa,11日欧亚高空高纬度地区为“两脊一槽”型,高压脊为欧洲和亚洲东部,西伯利亚地区为宽广的槽区。08:00,西伯利亚槽底有短波槽东移南下,在巴湖以北切出低涡,与南支西风气流在巴湖附近汇合。14:00,新疆位于槽前西南气流控制,大风风速区位于北疆西部国境线附近,风速达到20米/秒以上。20:00,大风区东移至北疆西部,最大风速增大至24米/秒,有明显的风速辐合,天山山区西端及其北坡有明显的短波活动(图1(a))。槽前西南气流的风速辐合和短波东移为此次北疆大部、天山山区及机场等地的强对流性天气提供了大尺度的环流背景。

14:00,700 hPa,北疆西部塔城地区存在12米/秒的西南急流存在,利于中纬度地区的水汽向新疆输送,北疆大部相对湿度大于70%,饱和湿区较大,利于短时强降水发生。850 hPa,克拉玛依、伊犁河谷、天山山区西段等地存在风向的风向风速辐合,温度梯度较大,冷平流较强。20:00,700 hPa,北疆西部偏西急流加强,最大风速增大至20米/秒,天山北坡有明显的风速辐合(图1(b))。850 hPa,天山北坡有风向风速的辐合区,冷暖空气在天山北坡交汇,利于触发强对流天气。

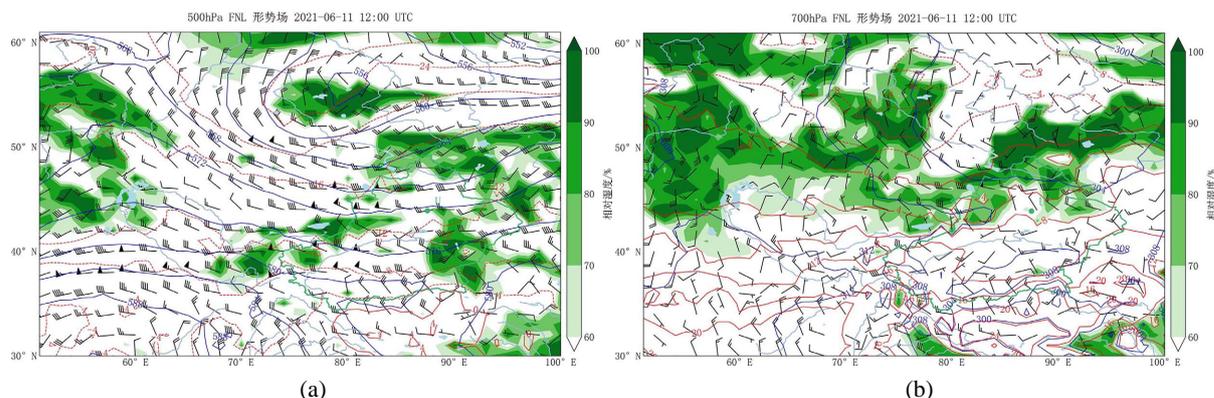


Figure 1. Circulation pattern of 500 hPa (a) and 700 hPa (b) at 20:00 (height (blue line: dagpm), temperature (red line: °C), relative humidity (green coloring) and wind field map, where U is the airport position (the same below))

图 1. 20 时 500 hPa (a) 和 700 hPa (b) 环流形势图(高度(蓝线: dagpm)、温度(红线: °C)、相对湿度(绿色填色)及风场图,图中 U 为机场位置(以下同))

3.2. 雷暴三要素

由 K 指数和 CAPE 值(图 2)可知,11 日 06:00,北疆大部 K 指数大于 30°C,塔城地区、博乐地区、石河子地区等 K 指数大于 40°C。塔城地区、伊犁河谷、天山山区及其北坡 CAPE 值大于 300 J·kg⁻¹,塔城地区、伊犁河谷和天山山区西段 CAPE 值更是大于 400 J·kg⁻¹。这表明、北疆西部地区处于强烈的层结不稳定状态。20:00,北疆西部 K 指数和 CAPE 大值区域减小,K 指数大于 35°C、CAPE 值大于 400 J·kg⁻¹ 区域位于天山山区及其北坡。此时,机场位于 K 指数大值区前沿,K 指数大于 30°C,CAPE 值大于 300 J·kg⁻¹,具备产生强对流天气所需的不稳定能量。

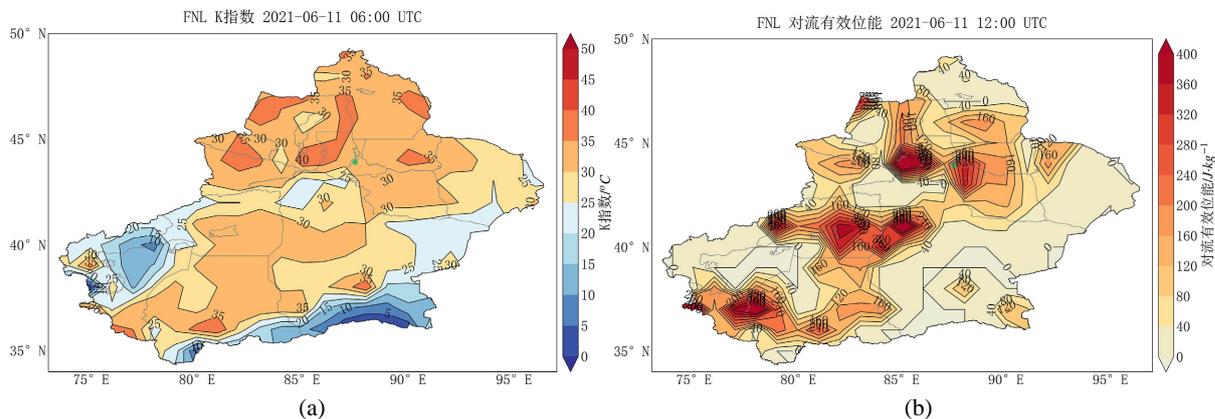


Figure 2. K index (a) (unit: $^{\circ}\text{C}$) at 14:00 and CAPE value (b) (unit: $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$) at 20:00 in Xinjiang

图 2. 新疆区域 14 时 K 指数(a)(单位: $^{\circ}\text{C}$)和 20 时 CAPE 值(b)(单位: $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)

700 hPa 水汽通量图上可知, 14:00, 西南急流将里海地区的水汽输送至新疆地区, 北疆西部、天山山区西段及其北侧东向西有明显的水汽通量带, 强度为 $4\sim 8 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ (图 3(a))。20:00, 水汽通量带东移加强, 东向西从北疆西部至北疆东部地区为明显的水汽通量带, 机场位于水汽通量带的右侧, 强度为 $2\sim 4 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ (图 3(b))。机场 700 hPa 下有明显的水汽通量辐合, 利于低层 3 公里以下水汽在机场汇聚, 水汽是雷暴的“燃料”, 低层水汽进入雷暴云中, 驱动了雷暴的上升气流。

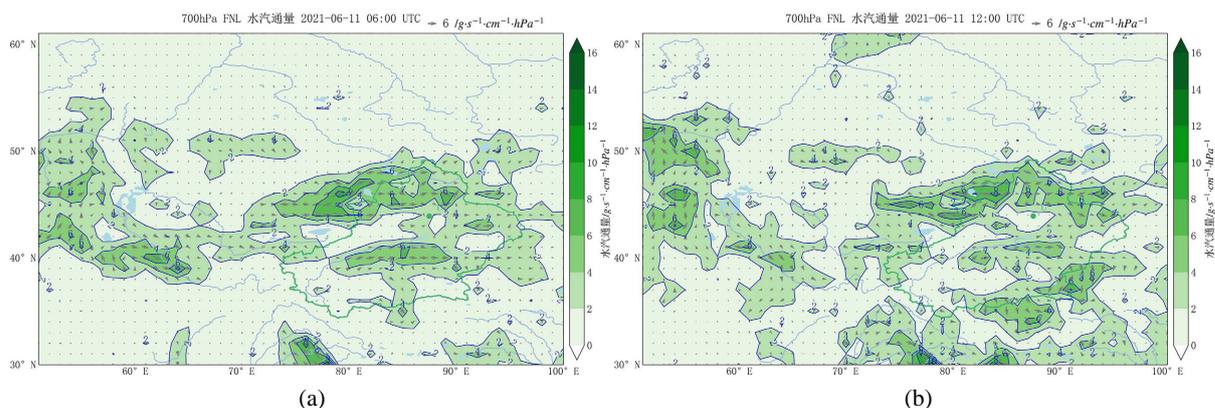


Figure 3. Water vapor flux at 14: 00 (a) and 20:00 (b), unit: $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$

图 3. 14 时(a)和 20 时(b)水汽通量, 单位: $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$

20:00, 700 hPa 以下机场为辐合区, 强度为 $-1\sim -2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 700 hPa 以上为辐散区, 较强辐散区位于 300~400 hPa, 强度为 $2\sim 3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, “低层辐合、高层辐散”的“抽吸”作用利于上升运动的加强。地面自动站可知, 乌鲁木齐地区为明显的风向风速的辐合区, 地面辐合线的存在为机场雷暴的发生提供了触发机制(图略)。

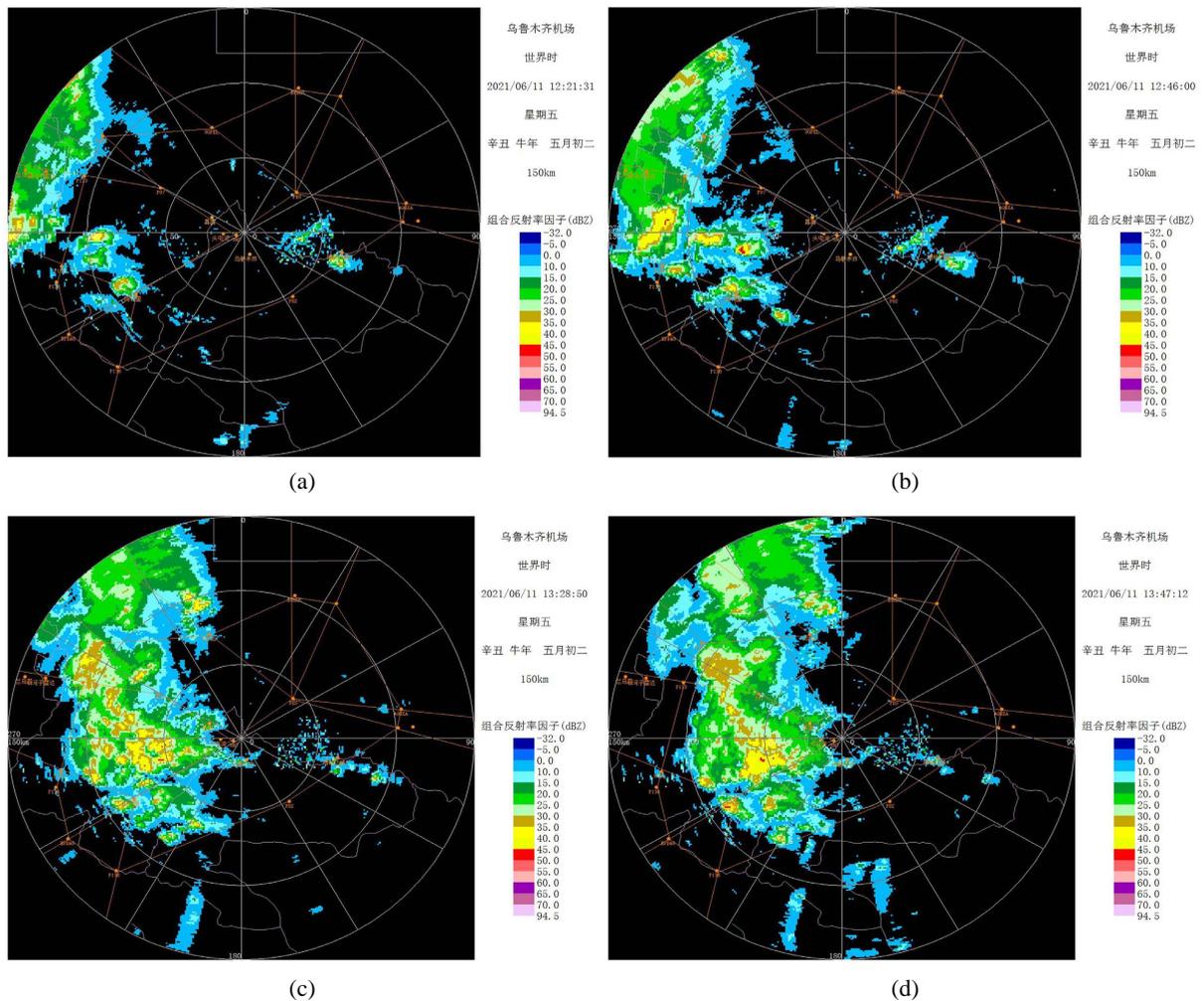
4. 雷达回波特征分析

研究表明, 多普勒雷达产品能直观的反映出强对流发生发展的特征[9] [10], 图 4 为机场多普勒雷达组合反射率, 由图可知, 20:21, 降水云团主要位于机场偏西~西北风方向, 为混合性降水回波, 云中夹杂着强对为 35~45 dBz 的对流单体。在机场偏西方向 150 公里处有强度为 35~45 db 隐嵌的对流单体(白色方框, 记为 A), 75~100 公里有孤立分散的对流单体发展, 其前部 75 公里左右(白色方框, 记为 B)激发出

弱回波快速发展,强度在 15 dBz 以下。20:46,对流单体 A 迅速东移发展加强,强度增强至 35~45 dBz,此时位于机场偏西方向 110~120 公里,对流单体 B 迅速发展加强,强度增强至 40~45 dBz, A 和 B 回波顶高达 10 公里以上,45~50 dBz 的回波发展高度达 7 公里以上(图略)。A 为快速东移的中 γ 尺度隐嵌的对流单体, B 为稳定少动的中 γ 尺度孤立的对流单体,移动速度 $A > B$, A 的移动速度为 50 km/h, B 移动速度为 30 km/h。21:28,随着对流单体发展东移过程中,其前部不断有对流单体生成,机场偏西 240°~300° 方向出现多个团状对流单体组成的多单体风暴(白色方框),结构松散,强度为 35~45 dBz,45 dBz 以上的回波主要在 2 公里以下,呈现成熟阶段多单体的特征(图略)。21:47,在机场偏西方向 40~60 公里,多单体风暴中的分散对流单体在东移过程中合并加强(白色方框,记为 C),迅速东移,水平尺度加强至 30~40 公里,此时机场已经观测到雷暴。22:11,随着对流单体东移,C 单体回波强度减弱至 35~45 dBz,在机场偏西方向 60 公里左右,有强度为 30~35 dBz 的对流云带(白色方框,记为 D)发展东移。22:36 对流单体 C 移动至机场上空衰减,机场观测到弱雷雨。D 东移至 30~50 公里,发展加强,回波强度增强至 35~45 dBz,在东移过程中发展为北向南的狭长的对流云带,23:27,狭长云带东移经过机场上空,导致机场中雷雨天气。

5. 结束语

机场 2021 年 6 月 11 日夜间出现的雷暴大风伴沙暴天气,对航班运行造成了较大影响,本文对此次强对流天气的环境条件及雷达回波特征进行初步分析,得出以下结论:



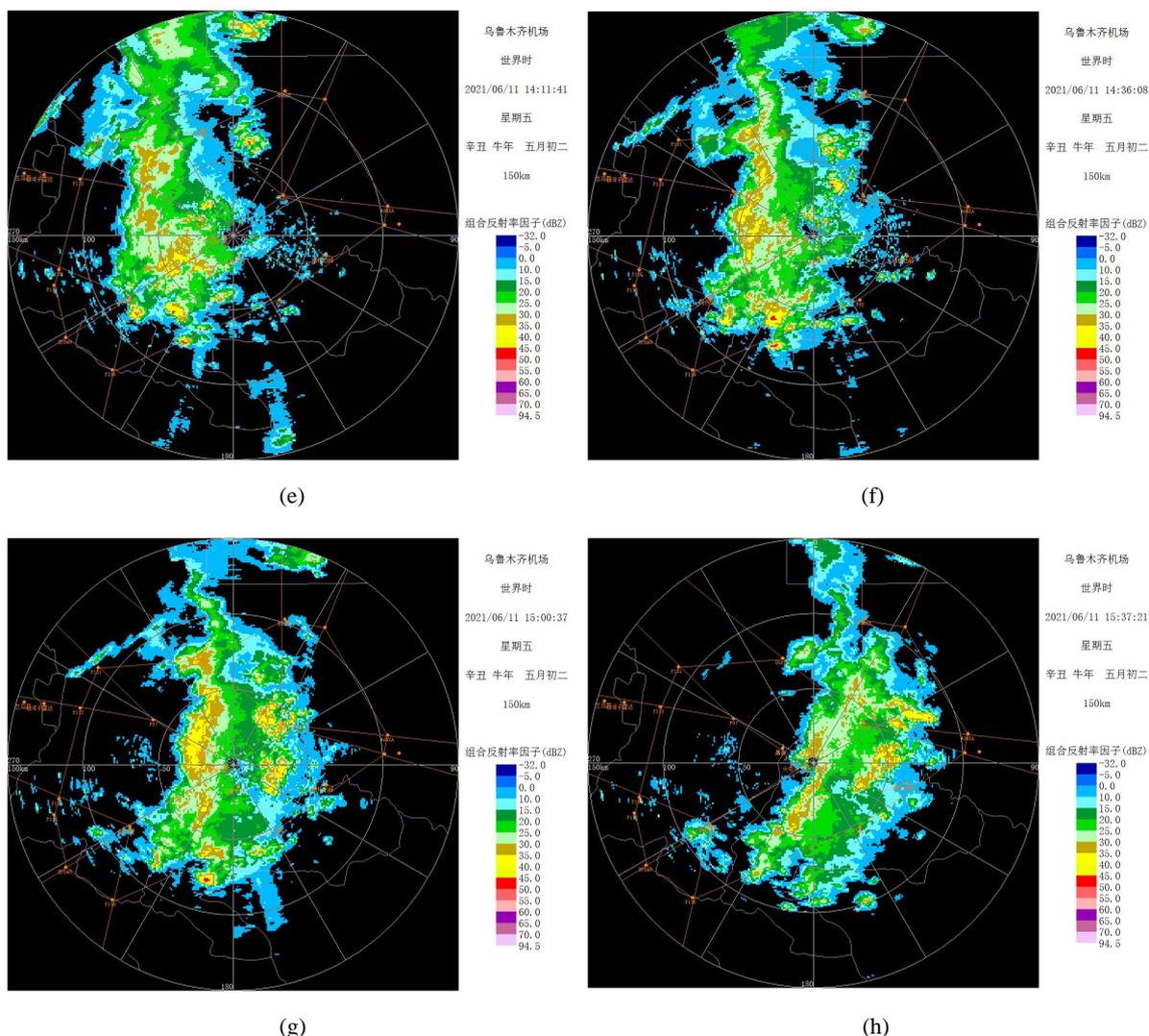


Figure 4. Combined reflectivity of Doppler radar in Urumqi Airport (unit dBZ). (a)~(h) is 20:21, 20:46, 21:28, 21:47, 22:11, 22:36, 23:00 and 23:37

图 4. 乌鲁木齐机场多普勒雷达组合反射率(单位 dBZ)。(a)~(h)分别为 20:21、20:46、21:28、21:47、22:11、22:36、23:00、23:37

1) 此次强对流天气发生在西伯利亚槽底分裂出短波槽东移南下, 新疆多短波活动, 高低空西南急流、低空风切变和强冷平流的有利背景下。

2) 强对流发生前, 机场 K 指数大于 30°C , CAPE 值大于 $300 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$, 处于层结不稳定状态, 具备产生对流天气所需的不稳定能量。机场位于水汽通量带的右侧, 700 hPa 下相对湿度大于 70%, 低层 3 公里以下水汽明显汇聚, 饱和湿区大, 利于短时强降水的发生。“低层辐合、高层辐散”的抽吸作用使上升运动加强, 提供有利动力条件, 地面辐合线的出现为雷暴发生提供了触发机制。

3) 11 日夜间机场终端区内多个中 γ 尺度对流单体在对流风暴右侧不断生成, 然后在东移过程中增长、成熟、衰减, 使得乌鲁木齐机场的强对流云团持续数小时, 并引起机场的强对流性天气。雷达回波图像清晰地再现了此次强对流云团发展移动过程, 可见, 雷达回波图像在对流性天气的临近预报中具有重要的指示意义。

参考文献

- [1] 李帆, 罗静静. 高空冷涡形势下一次雷暴大风过程的诊断分析[J]. 现代农业科技, 2022(1): 178-181.
- [2] 严仕尧, 李昀英, 齐琳琳, 等. 华北产生雷暴大风的动力热力综合指标分析及应用[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(1): 17-23.
- [3] 费海燕, 王秀明, 周小刚, 等. 中国强雷暴大风的气候特征和环境参数分析[J]. 气象, 2016, 42(12): 1513-1521.
- [4] 张琳娜, 冉令坤, 李娜, 等. 雷暴大风过程中对流层中低层动量通量和动能通量输送特征研究[J]. 大气科学, 2018, 42(1): 178-191.
- [5] 方翀, 郑永光, 林隐静, 等. 导致区域性雷暴大风天气的云型分类及统计特征分析[J]. 气象, 2014, 40(8): 905-915.
- [6] 杨雪艳, 张梦远, 姚瑶, 等. 吉林省盛夏最强的一次雷暴大风天气分析[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(25): 10402-10404+10428. <https://doi.org/10.13989/j.cnki.0517-6611.2013.25.014>
- [7] 王福侠, 俞小鼎, 裴宇杰, 等. 河北省雷暴大风的雷达回波特征及预报关键点[J]. 应用气象学报, 2016, 27(3): 342-351.
- [8] 杨璐, 陈明轩, 孟金平, 等. 北京地区雷暴大风不同生命期内的雷达统计特征及预警提前量分析[J]. 气象, 2018, 44(6): 802-813.
- [9] 刘欣, 王咏青, 胡志群, 周玉淑. 青藏高原一次冰雹强对流天气过程的诊断及雷达回波特征分析[J]. 气候与环境研究, 2019, 24(5): 611-625.
- [10] 尉英华, 陈宏, 张楠, 何群英, 林晓萌. 冷涡影响下一次冰雹强对流天气中尺度特征及形成机制[J]. 干旱气象, 2018, 36(1): 27-33.