

乌鲁木齐机场一次强降水天气过程分析

张 茜

民航新疆空管局气象中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2022年8月19日; 录用日期: 2022年9月17日; 发布日期: 2022年9月26日

摘 要

2021年7月30~31日乌鲁木齐机场出现了一次中到大雨天气过程。本文利用常规气象观测资料、NCEP再分析资料和微波辐射计资料对此次强降水天气进行诊断分析。结果表明: 乌鲁木齐机场此次强降水是发生在“两槽一脊”的环流背景形势下, 由于下游脊的阻挡, 导致高空槽移动缓慢, 造成此次降水持续时间长, 降水量大; 较强的水汽辐合配合强烈的上升运动以及不稳定能量的积聚造成了此次强降水的发生; 微波辐射计资料中的相对湿度、液态水及综合水汽含量都反映了此次强降水的发生, 微波辐射计的高时空密度的连续监测资料对强降水天气的航空气象预报预警服务有一定的辅助参考作用。

关键词

强降水, 环流形势, 物理量, 微波辐射计

Analysis of a Heavy Precipitation Process at Urumqi Airport

Qian Zhang

Meteorological Center, Xinjiang ATMB, CAAC, Urumqi Xinjiang

Received: Aug. 19th, 2022; accepted: Sep. 17th, 2022; published: Sep. 26th, 2022

Abstract

A moderate to heavy rain weather process occurred at Urumqi Airport on July 30~31, 2021. This paper diagnoses the heavy precipitation weather through the conventional meteorological observation data, NCEP reanalysis data and microwave radiometer data. The results show that the heavy

rainfall at Urumqi Airport occurred in the circulation background of “two trough and one ridge”. Due to the blocking of the downstream ridge, the upper trough moved slowly, resulting in the long duration and heavy precipitation. Abundant water vapor convergence combined with strong upward movement and unstable energy accumulation caused the occurrence of this heavy precipitation. The contents of relative humidity, liquid water and integrated water vapor in microwave radiometer data all reflect the occurrence of the heavy precipitation. The continuous monitoring data of high spatial and temporal density of microwave radiometer has a certain auxiliary reference function for the aeronautical meteorological forecast and early warning service of heavy precipitation weather.

Keywords

Heavy Precipitation, Circulation Situation, Physical Quantities, Microwave Radiometer

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

暴雨是新疆夏季主要的灾害性天气之一，常常伴有大风、沙尘等现象，会带来洪涝、山体滑坡等次生灾害，对交通运输、农林渔牧、通讯电力等行业及公民日常生活有着举足轻重的影响。

暴雨常常发生在山地的迎风坡、气流汇合的山谷、喇叭口地形等地方[1]，乌鲁木齐地处天山北坡，独特的地理位置使得夏季强降水频发。暴雨天气对民航业的影响是多方面的，暴雨天气发生时跑道会变湿滑，民航客机不仅面临冲出跑道的风险，其起飞效率也会大大降低。成片的降水云系覆盖机场及航路关键区域时，会造成大面积的航班绕飞、盘旋等待，管制、流量等部门指挥压力陡增，为航空安全带来隐患。因此，为确保民航运行的两个“绝对安全”，对强降水的成因、发展机理进行分析很有必要。气象学者从统计分析[2] [3]、典型天气过程分析[4] [5] [6]等方面对暴雨进行了大量研究。张超等[2]对2012~2016年乌鲁木齐暖季的22场短时强降水进行研究，将500 hPa影响系统进行分为西西伯利亚低槽、中亚低涡和西北气流3类概念模型，归纳出了乌鲁木齐市短时强降水的空间分布、月变化特征，并指出K、SI、LI等不稳定指数的月变化差异较大，6~7月各指数指示意义较好。黄艳等[3]对近十年新疆暖季468场短时强降水分析总结，将探空温湿廓线分为I型(整层干)、II型(上干下湿)、III型(上湿下干)和IV型(整层湿)，给出了各类型短时强降水发生时的关键环境参数阈值。在典型天气过程分析方面，曾勇等[4]对三次典型暴雨过程的中尺度特征进行分析研究，发现强对流型暴雨的低层水汽条件更好、大气层结更加不稳定，对短时强降水的出现更为有利。此类暴雨主要由 β -中尺度对流单体、 γ -中尺度对流单体造成，相对孤立、生命史短，生消突然且移动迅速。张俊兰等[5]研究表明低层水汽输送主要在暴雨前6~12小时，持续的低空急流与中层水汽输送决定暴雨的维持时间与强度。冯瑶等[6]研究表明高低空偏南急流在暴雨区上空垂直方向耦合，加强了暴雨区上升运动的维持和水汽的辐合上升。强地面风辐合及地形抬升为极端暴雨提供触发机制。

还有学者通过对地基微波辐射计资料、多普勒天气雷达资料、风廓线雷达资料等[7] [8] [9]观测资料分析，研究暴雨生消过程中各物理参数的变化规律，对暴雨的短临预报有一定的参考意义。

本文针对2021年7月30~31日乌鲁木齐机场出现的中到大雨天气的预报难点进行分析探讨，旨在为

提高乌鲁木齐机场夏季强降水天气预报准确率提供参考和积累预报经验。

2. 天气实况和环流特征

2.1. 资料与方法

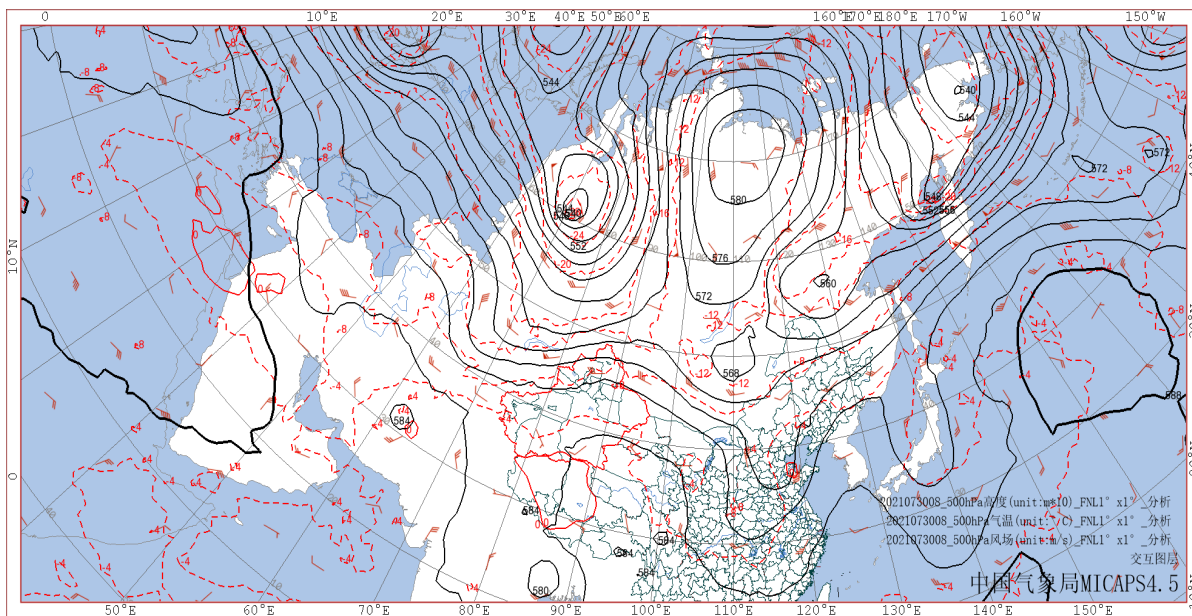
本文以常规观测资料、NCEP 再分析资料和微波辐射计资料为基础,利用天气学、大气物理等原理和方法,从大尺度环流背景、高低空系统配置、物理量场、微波辐射计探测降水资料特征等方面分析此次夏季强降水天气过程,剖析最强降水时段的中尺度系统的发展与变化特征。

2.2. 天气实况

2021年7月30~31日,受较强冷空气影响,北疆、东疆大部,南疆西部出现大范围降水天气,受其影响乌鲁木齐机场7月30日17:00~20:00开始出现偏西风8~11 m/s,阵风14~17 m/s,于7月30日23:30~31日02:00出现小阵雨,31日04:30~21:00出现中到大雨天气,整个过程降水量达到15.4 mm,7月31日因天气原因延误5架次。

2.3. 环流特征

如图1(a)所示,从500 hPa高空形势场来看,7月29日欧亚地区中高纬地区呈“两槽一脊”的经向环流形势。在乌拉尔山附近有一个中心高度542 hPa、 -27°C 的低涡,东欧脊向东南方向衰退,推动乌拉尔山低涡加深向东移动,同时与中纬度短波在巴尔喀什湖附近合并影响新疆地区,由于受到下游脊区阻挡,高空槽到达巴尔喀什湖之后移速减慢,从7月30日08时开始,新疆区域转为高空槽前偏南气流控制,乌鲁木齐地区处于槽前脊后正涡度区中,上升气流较强,垂直方向动力扰动强烈,到31日08时,高空槽进入新疆区域并缓慢移动。由于下游脊区阻挡,导致高空槽移动缓慢,造成了此次维持时间较长的降水天气过程。如图1(b)所示,700 hPa在巴尔喀什湖附近为一明显的气旋性风场闭合环流,在北疆区域可见明显的风场切变线。综合以上可以看到此次强降水时发生在“两槽一脊”的环流背景下,在500 hPa偏南气流及700 hPa切变线附近发生。



(a)

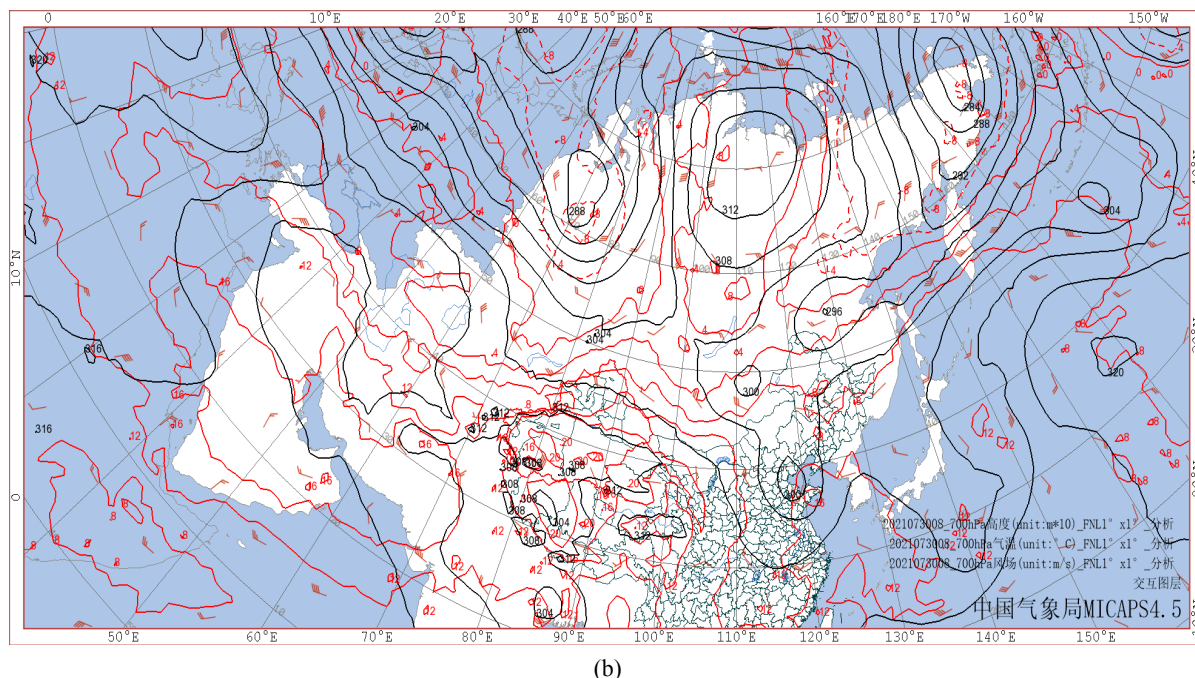


Figure 1. (a) 500 hPa synoptic situation at 08:00 on July 30; (b) 700 hPa synoptic situation at 08:00 on July 30
 图 1. (a) 7月30日08时500 hPa 高空形势; (b) 7月30日08时700 hPa 高空形势

3. 物理量场分析

3.1. 水汽条件分析

强降水发生时, 常伴有强的水汽输送和强烈的水汽辐合, 如图 2(a)所示, 通过分析此次天气过程比湿图可以看到, 700 hPa 比湿场大值区位于天山山区、北疆沿天山一带至北疆东部, 乌鲁木齐处于一明显的湿舌区域内, 比湿达到了 $6\sim 7\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 850 hPa 比湿达到 $8\sim 9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。水汽通量散度是反映水汽输送的源与汇, 其负值越大, 表示水汽通量汇合越强, 越有利于强降水产生。如图 2(b)所示, 从水汽通量散度图可以看到, 天山山区到北疆东部一线都是水汽通量散度负值区, 以上区域在 700 hPa 有明显的水汽的辐合, 乌鲁木齐机场在 30 日 14~20 时, 低层水汽迅速聚集辐合上升, 强度达到 $-15 \times 10^{-6}\text{ g}\cdot\text{hPa}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 到 31 日 02 时本场开始降水, 850~500 hPa 水汽辐合加强, 水汽聚集上升至 500 hPa 附近, 中心强度加强为 $-40 \times 10^{-6}\text{ g}\cdot\text{hPa}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 说明水汽上升高度高, 湿层深厚。500 hPa 以上为弱的水汽辐散区, 即中低层水汽辐合及高层水汽辐散有利于水汽的集聚上升, 为乌鲁木齐强降水提供充足的水汽条件。

3.2. 动力条件分析

如图 3(a)所示, 2021 年 7 月 30 日 08 时~8 月 1 日 02 时乌鲁木齐机场散度的时间 - 高度剖面。由其可以看出, 降水发生前低层 800 hPa 以下为辐合区, 800~600 hPa 之间存在明显的辐散, 随着降水的出现, 辐合区上升, 700~500 hPa 均为辐合区, 辐合中心值达到 $-15 \times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$, 400 hPa 以上辐散加强。这种低层辐合, 高层辐散的垂直结构变化有利于大气的垂直运动的发展和维持, 同时加强水汽的垂直输送, 是强降水发生的必要条件。如图 3(b)所示, 由垂直速度的时间 - 高度剖面图可以看到, 在降水开始前, 上升运动加强, 不断向高空伸展, 到了 30 日 20 时, 垂直运动上升至 300 hPa, 强烈的上升运动使大气层结处于不稳定状态, 到了 20 时之后, 低层由于降水开始转为弱的下沉运动, 而 700~500 hPa 则维持强的上升运动, 垂直速度最大达到了 $0.8\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$, 强上升运动源源不断地将水汽和能量向上输送造成强降水天气。

31日18时之后,上升运动明显减弱,下沉运动加强,降水开始减弱,到了31日20时,600 hPa以下都为强的下沉运动,降水趋于结束。

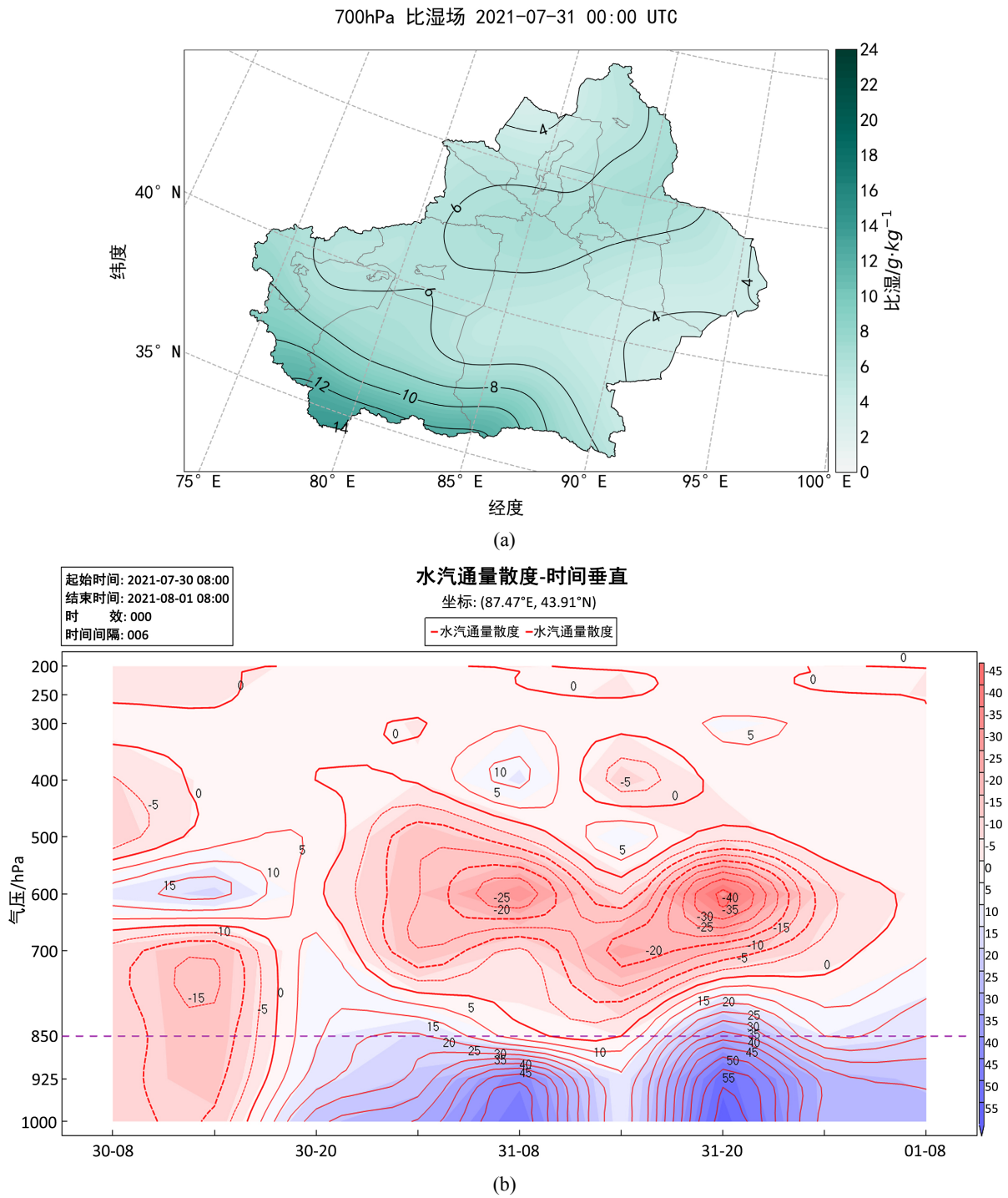


Figure 2. (a) Specific humidity chart of Xinjiang at 08:00 on July 31 (unit: $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); (b) time profile of water vapor flux divergence of Urumqi Airport (unit: $10^{-6} \text{g}\cdot\text{hPa}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

图 2. (a) 7月31日08时新疆区域比湿图(单位: $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); (b) 乌鲁木齐机场水汽通量散度时间剖面图(单位: $10^{-6} \text{g}\cdot\text{hPa}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

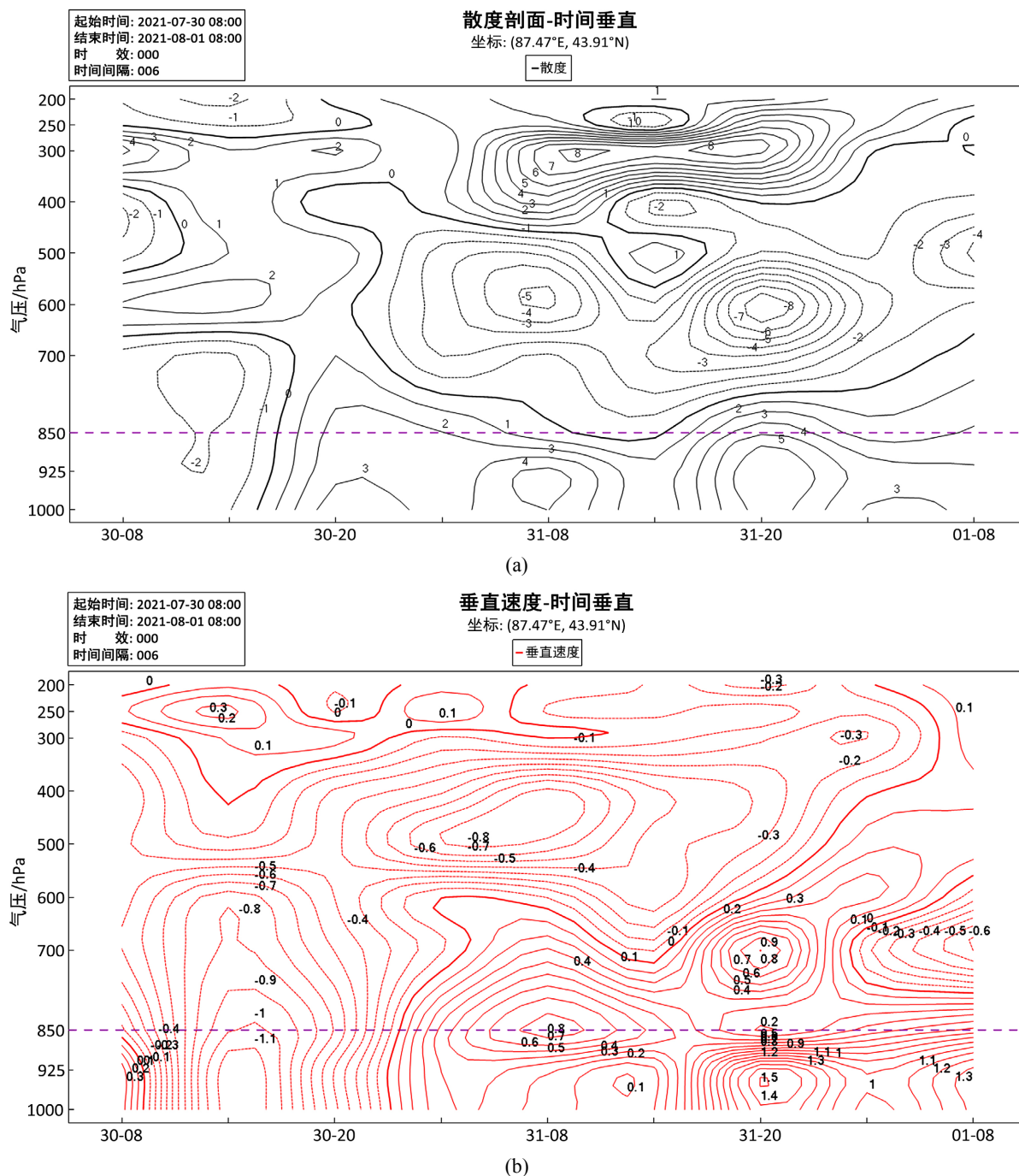


Figure 3. (a) Divergence time profile of Urumqi Airport (unit: 10^{-5} s^{-1}); (b) vertical velocity time profile of Urumqi Airport (unit: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)

图 3. (a) 乌鲁木齐机场散度时间剖面图(单位: 10^{-5} s^{-1}); (b) 乌鲁木齐机场垂直速度时间剖面图(单位: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)

3.3. 热力条件分析

假相当位温(θ_{se})反映大气的温湿和不稳定层结状况, 通常 θ_{se} 等值线越密集, 表示大气处于高温高湿状态, 层结越不稳定, θ_{se} 值越大, 对应降水越强。如图 4(a)所示, 分析此次天气过程的 θ_{se} 可以看到, 30 日 20 时北疆区域内 θ_{se} 等值线稀疏, 梯度小, 大气层结较为稳定, 随着时间的推移, 到 31 日 08 时, 北

疆区域 θ_{se} 逐渐增强, 等值线梯度不断增大, 为强降水的发生提供所需要的不稳定能量。

如图 4(b)所示, 低层温度平流场可以看到, 强降水发生前, 乌鲁木齐上空为暖平流, 且随时间变化暖平流加强, 700~500 hPa 温度平流较强, 达到 $8 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ 。且前期地面受热低压控制, 热力条件较好, 配合低层暖湿水汽, 在乌鲁木齐上空形成不稳定的大气层结为强降水的发生提供了有力条件。

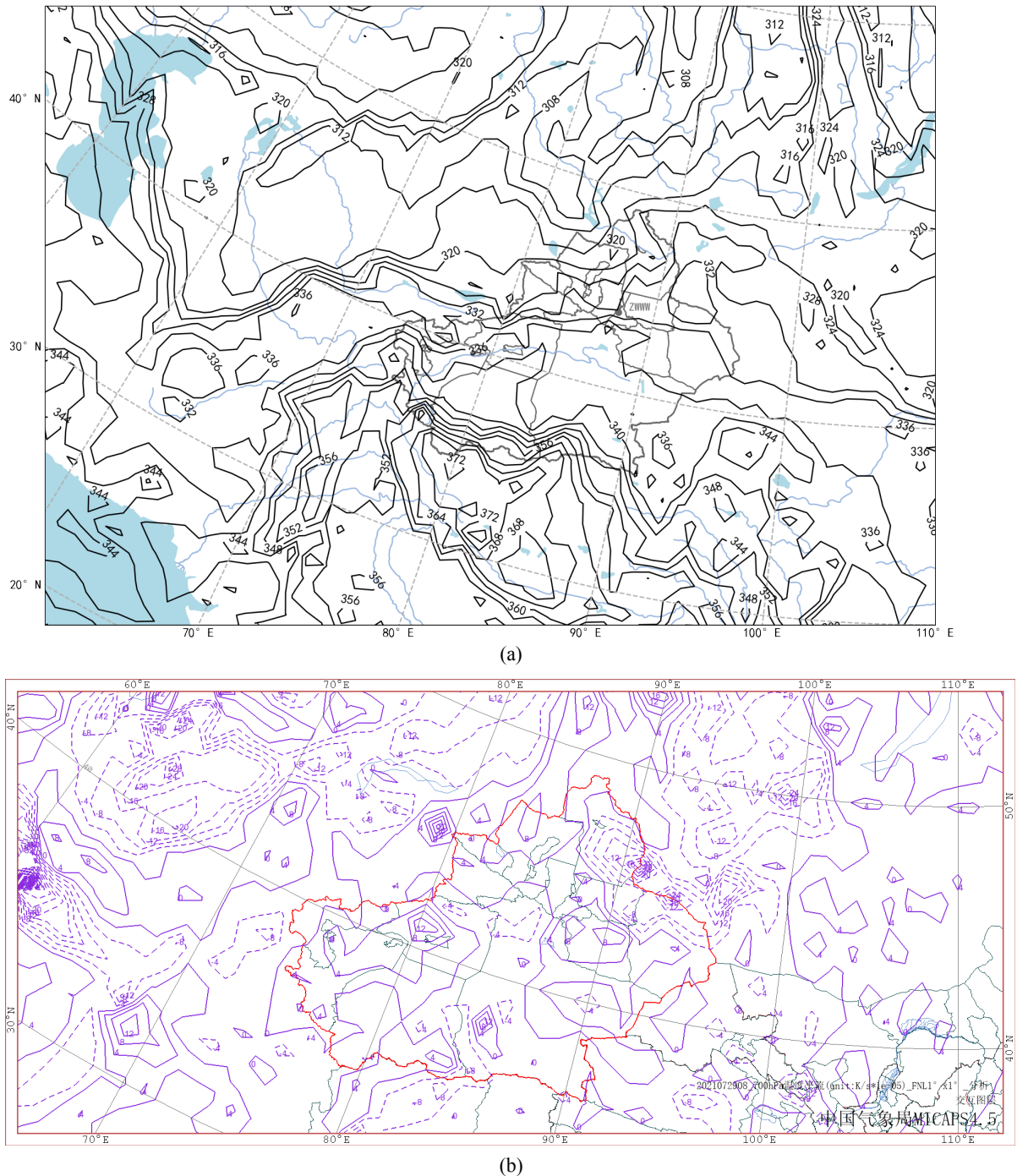


Figure 4. (a) Pseudo equivalent potential temperature diagram of 700 hPa at 08:00 on July 31 (unit: K); (b) temperature advection diagram at 08:00 on July 29 (unit: $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$)

图 4. (a) 7月31日08时700 hPa 假相当位温图(单位: K); (b) 7月29日08时温度平流图(单位: $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$)

4. 微波辐射计资料分析

乌鲁木齐机场有 HGT-3 地基微波辐射计一台, 如图 5(a)所示, 分析此次降水天气相对湿度廓线图可以看到, 从 7 月 30 日 18 时开始, 乌鲁木齐机场相对湿度逐渐加强并向低层伸展, 到 30 日 23 时, 相对湿度 $\geq 80\%$ 的区域接地, 乌鲁木齐机场开始出现小阵雨, 如图 5(b)所示, 到 31 日 05 时前后, 低层相对湿度迅速加强, 相对湿度 $\geq 90\%$ 的区域接地, 可以看到从此时开始一直到 31 日 19 时, 3000 米以下整层相对湿度都是 $\geq 95\%$, 湿层深厚, 19 时之后相对湿度开始减弱, 到 20 时以后, 相对湿度明显减弱, 乌鲁木齐机场降水趋于结束。

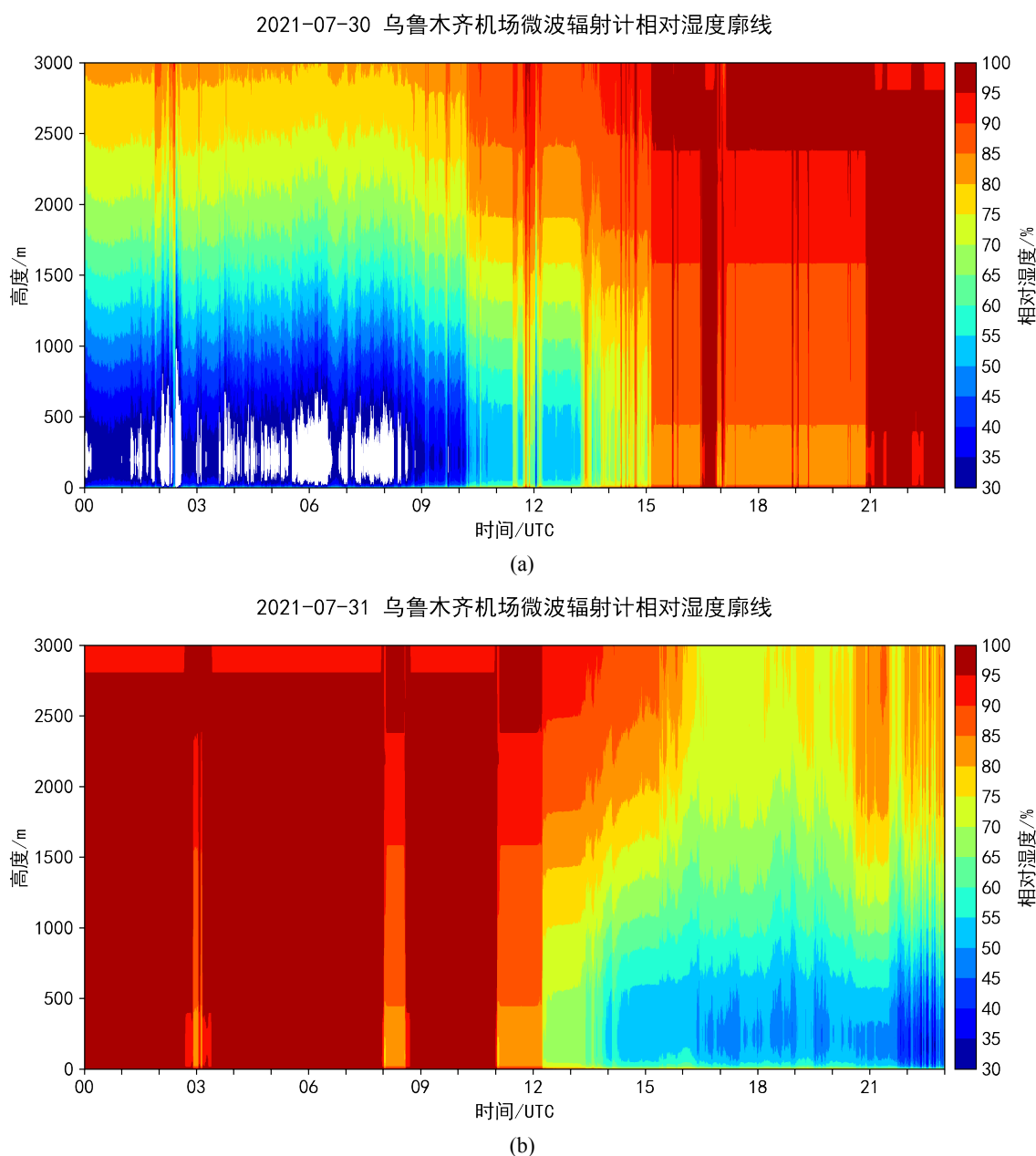


Figure 5. (a) Relative humidity profile on July 30; (b) relative humidity profile on July 31
图 5. (a) 7 月 30 日相对湿度廓线图; (b) 7 月 31 日相对湿度廓线图

如图 6(a)所示,由液态水廓线可以看到,30 日 23 时之后,乌鲁木齐机场整层水汽液态水都有所加强,但是液态水伸展高度不高,平均位于 3000 米以下,如图 6(b)所示,到 31 日 05 时,整层液态水加强明显,液态水高度伸展至 9000 米左右高度,液态水含量最大的高度在 5000~7000 米高度,强度达到 $0.55 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ 以上,一直持续至 31 日 19 时,19 时后液态水含量明显减小,降水趋于结束。

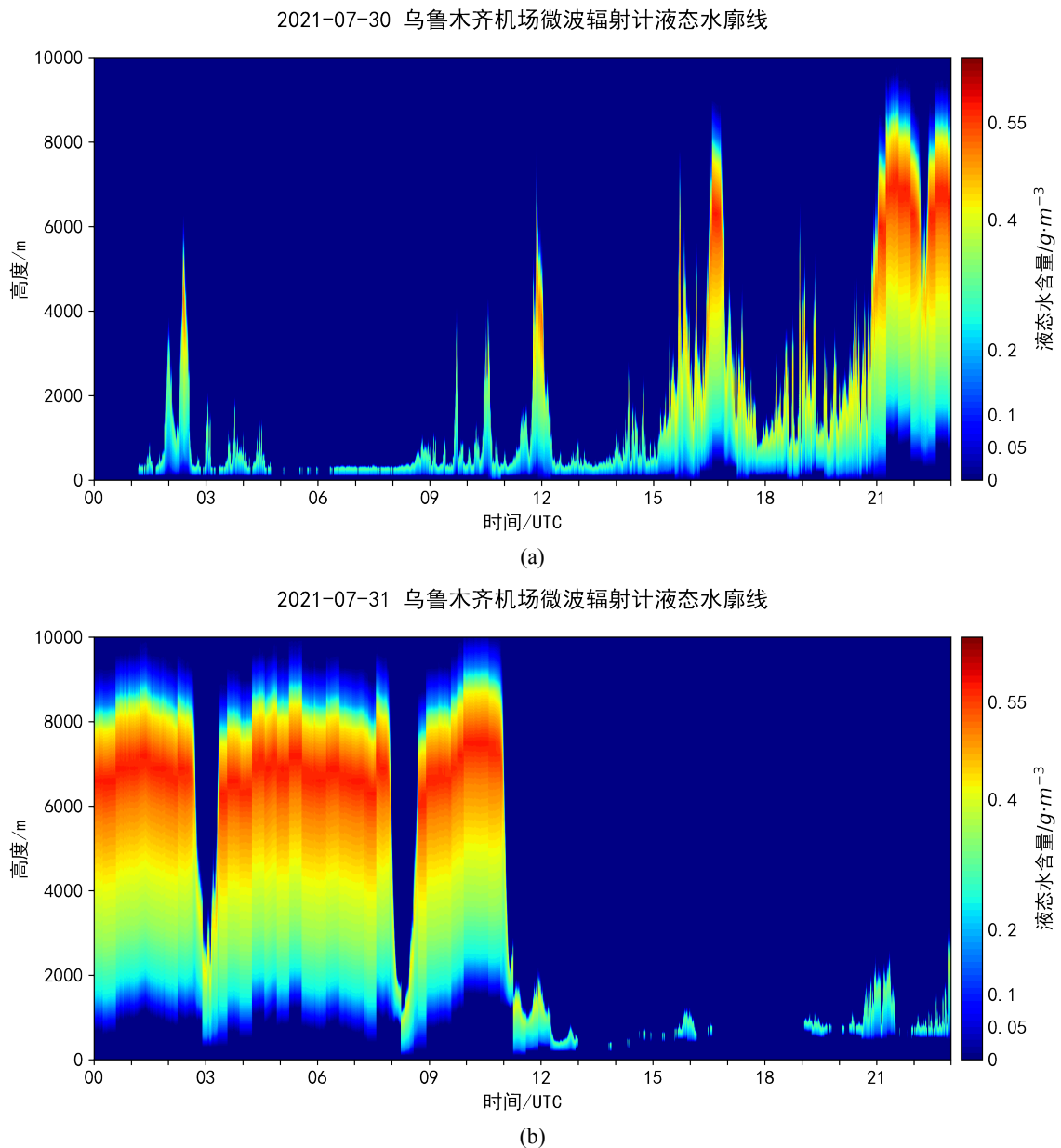


Figure 6. (a) Liquid water profile on July 30; (b) liquid water profile on July 31

图 6. (a) 7 月 30 日液态水廓线图; (b) 7 月 31 日液态水廓线图

如图 7(a)所示,由综合水汽含量可以看到,在降水开始前,乌鲁木齐机场综合水汽含量是缓慢增加的趋势,到 30 日 23 时前后,综合水汽含量平均达到 $40 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,如图 7(b)所示,到 31 日 05 时前后,综合水汽含量有一个明显的突增,且一直持续至 31 日 19 时前后,强度达到 $48 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,之后综合水汽含量迅

速下降,最后维持在 $20 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 左右,由此可以看到,乌鲁木齐机场降水时间主要集中在 31 日 05~19 时之间。与本场连续性降水开始和结束的时间对应的较好。

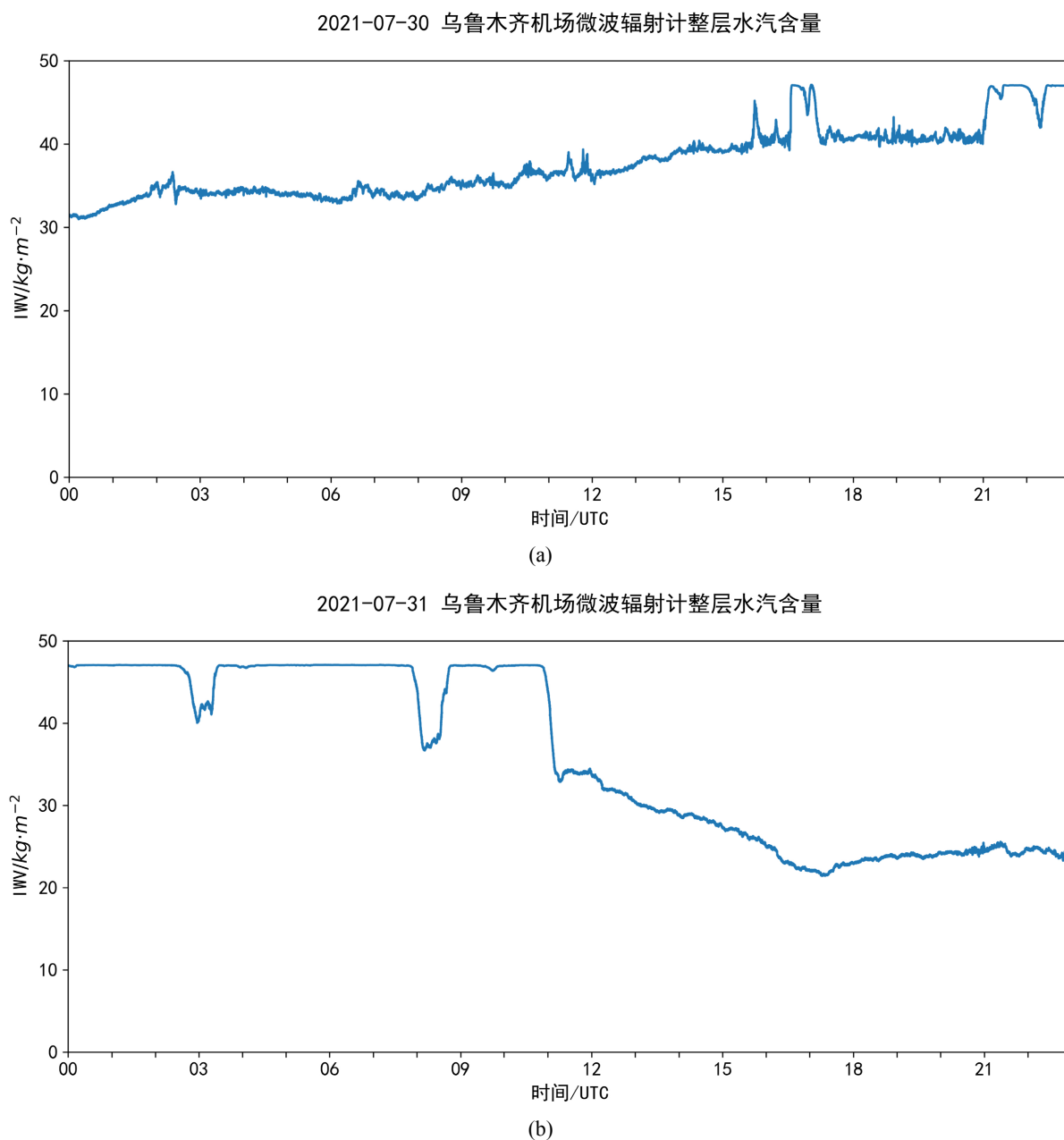


Figure 7. (a) Water vapor content of the whole layer on July 30; (b) water vapor content of the whole layer on July 31
图 7. (a) 7 月 30 日整层水汽含量图; (b) 7 月 31 日整层水汽含量图

5. 小结

1) 乌鲁木齐机场 2021 年 7 月 30~31 日出现中到大雨天气过程,此次强降水是发生在“两槽一脊”的环流背景形势下,乌拉尔山低涡东移过程中与中亚短波合并,影响新疆区域,由于下游脊区阻挡,导致高空槽移动缓慢,造成了此次维持时间较长的降水天气过程。

2) 高空槽前的偏南气流为乌鲁木齐区域源源不断的输送水汽, 中低层水汽辐合上升, 垂直气流上升运动的及加强为强降水提供了水汽和动力条件, 北疆区域 θ_{se} 的高能舌区的不稳定层结为此次强降水提供了不稳定能量和热力条件。

3) 微波辐射计资料中的相对湿度、液态水含量和综合水汽含量都对此次强降水有较好的对应, 微波辐射计的高时空密度的连续监测资料对强降水天气的航空气象预报预警服务有一定的辅助参考作用。

参考文献

- [1] 何立富, 陈涛, 孔期. 华南暖区暴雨研究进展[J]. 应用气象学报, 2016, 27(5): 559-569.
- [2] 张超, 贾健. 乌鲁木齐市短时强降水分布特征及环境条件分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(3): 41-47.
- [3] 黄艳, 俞小鼎, 张云惠. 新疆短时强降水天气主要流型及环境参量特征分析[J]. 气象科技, 2022, 50(1): 85-93.
- [4] 曾勇, 杨莲梅. 乌鲁木齐两类暴雨的中尺度影响系统和大气垂直结构分析[J]. 高原气象, 2020(4): 774-787.
- [5] 张俊兰, 李娜, 秦贺, 等. 新疆一次暴雨过程的观测分析及水汽特征[J]. 暴雨灾害, 2016, 35(6): 537-545.
- [6] 冯瑶, 阿依先木·尼牙孜, 热依拉·玉努斯. 新疆哈密“7·31”极端大暴雨过程成因分析[J]. 干旱气象, 2021, 39(3): 426-435.
- [7] 王健, 吕新生, 赵克明, 等. 地基微波辐射计对乌鲁木齐暴雨天气过程的观测分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2012(3): 45-49.
- [8] 阿不力米提江·阿布力克木, 于碧馨, 李海燕. 乌鲁木齐风廓线雷达资料在暴雨天气分析中的应用[J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8(3): 42-47. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0799.2014.03.006>
- [9] 庄晓翠, 张云惠, 周雪英, 等. 新疆短时强降水天气雷达回波特征[J]. 气象, 2021, 47(11): 1402-1415.