

地基微波辐射计资料在乌鲁木齐机场冻降水天气中的应用

孙少明, 张 茜, 朱雯娜, 王楠楠

民航新疆空管局气象中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2021年10月12日; 录用日期: 2021年11月11日; 发布日期: 2021年11月19日

摘 要

本文选取了2017年~2020年乌鲁木齐机场出现的冻降水天气,发现乌鲁木齐机场的冻降水有冻雨和冻毛毛雨,其中以冻毛毛雨天气为主,冻毛毛雨都出现在西北气流控制的天气形势下。同时分析了微波辐射计在冻降水天气时的监测资料,结果表明当冻降水天气出现时,700 hPa以下的相对湿度都有所增加,低层相对湿度甚至达到了95%以上,达到高饱和状态;乌鲁木齐机场的冻降水主要为暖雨机制,整层温度几乎都小于0°C,且分为弱减温层和弱逆温层两种温度结构,但是温差不大,近乎等温;冻降水出现时气温基本维持在-5°C~-7°C,1000米以下的温度维持在-10°C以内;由于乌鲁木齐机场冻降水以冻毛毛雨为主且持续时间短,所以综合水汽含量变化不大,液态水含量略有波动但不明显,液态水廓线呈现出两种形态,但是与冻降水没有很好的对应,考虑冻降水主要是空气中的过冷却水汽达到饱和凝结而成。

关键词

微波辐射计, 冻降水, 乌鲁木齐机场

Application of Ground-Based Microwave Radiometer Data on Frozen Precipitation in Urumqi Airport

Shaoming Sun, Qian Zhang, Wenna Zhu, Nannan Wang

Meteorological Center, Xinjiang ATMB, CAAC, Urumqi Xinjiang

Received: Oct. 12th, 2021; accepted: Nov. 11th, 2021; published: Nov. 19th, 2021

Abstract

This paper selects the frozen precipitation weather of Urumqi airport from 2017 to 2020, and

文章引用: 孙少明, 张茜, 朱雯娜, 王楠楠. 地基微波辐射计资料在乌鲁木齐机场冻降水天气中的应用[J]. 气候变化研究快报, 2021, 10(6): 689-698. DOI: 10.12677/ccrl.2021.106079

finds that the frozen precipitation of Urumqi airport includes frozen rain and frozen drizzle, of which the frozen drizzle weather is the main one, and the frozen drizzle occurs under the weather situation of Northwest air flow control. At the same time, the monitoring data of microwave radiometer on frozen precipitation weather are analyzed. The results show that frozen precipitation weather occurs, the relative humidity increases below 700 hPa, and the low-level relative humidity even reaches more than 95%, reaching a high saturation state. The frozen precipitation of Urumqi airport is mainly warm rain mechanism. The temperature of the whole layer is almost less than 0°C , and it is divided into two temperature structures: weak desuperheating layer and weak inversion layer, but the temperature difference is small and almost isothermal. When frozen precipitation occurs, the temperature is basically maintained at $-5^{\circ}\text{C}\sim-7^{\circ}\text{C}$, and the temperature below 1000 m is maintained within -10°C . As the frozen precipitation of Urumqi airport is mainly frozen drizzle and lasts for a short time, the comprehensive water vapor content changes little, and the liquid water content fluctuates slightly but not significantly. The liquid water profile presents two forms, which do not correspond well to the frozen precipitation. It is considered that the frozen precipitation is mainly formed by saturated condensation of supercooled water vapor in the air.

Keywords

Microwave Radiometer, Frozen Precipitation, Urumqi Airport

Copyright © 2021 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

冻降水是重要的气象灾害，冻降水过程及机制历来是国内外学者的研究热点。Huff Man 等(1988) [1] 研究发现冻雨发生机制有两种：一种为冰相机制，即大气垂直结构呈上下冷、中间暖的状态；另一种为暖雨机制，即大气垂直结构没有 $>0^{\circ}\text{C}$ 的暖层，整层温度均 $<0^{\circ}\text{C}$ ，雨滴以过冷却水的形式降落至地面冻结。中国北方地区出现冰相机制冻雨发生的比例较高[2] [3] [4] [5]。国内学者通过再分析资料、数值模式等方式，从温度结构、水汽条件、云微物理变化等方面进行了研究和讨论[6] [7] [8] [9]。也有学者通过天气雷达分析回波特征来研究冻降水天气[10]。乌鲁木齐机场冻降水天气属于小概率事件，冻降水在 11 月至次年 3 月均有出现，其持续时间差异大，有些持续时间不足 10 分钟很快就转为雨夹雪或降雪，有些可以持续几个小时，但是近年来有增多趋势，冻雨天气造成道面结冰，设施设备冻结失灵，给乌鲁木齐机场的航班正常和安全运行造成很大影响。

近年来，利用微波辐射计对天气的应用研究越来越多，微波辐射计通过被动遥感测量大气中氧气、水汽和液态水的多通道微波辐射强度，可获取高达 10 km 的大气温度、湿度和液态水含量廓线分布，分钟级分辨率的数据可全天候实时监测天气过程的演变，有其独特优势和较高的应用价值。近年来，微波辐射计资料以其可全天候实时监测天气过程演变的独特优势，越来越多地应用于短时强降水、暴雨、雷暴、冰雹等天气的研究及实际业务应用[11]-[17]。朱雯娜、王春红等研究了乌鲁木齐机场冻雾天气中微波辐射计的应用，发现微波辐射计能够反映浓雾天气时的一些特点，对预报浓雾有一定的指示意义[18] [19]。

2016 年 10 月起，北京爱尔达电子设备有限公司的 Airda-HTG3 型微波辐射计开始在乌鲁木齐国际机

场开展实验验证工作。该微波辐射计的探测传感器是从德国 RPG 公司引进的 HATPRO-G3 地基多通道微波辐射计, 是目前世界上比较先进和具有代表性的新一代微波辐射计。可以提供地面温湿压气象参数及降水状况、IWV (综合水汽含量)、LWP (液态水路径)等实测数据产品, 以及温度廓线、相对湿度/绝对湿度廓线、液态水廓线、对流稳定指数(TTI, KI, CAPE 等)等反演产品[20] [21] [22]。

本文拟利用乌鲁木齐国际机场 HTG-3 型微波辐射计在 2017 年 1 月~2020 年 12 月期间所获得的监测资料及数据产品, 对乌鲁木齐国际机场出现的冻降水天气进行分析, 研究探讨微波辐射计在冻降水天气监测与预警中的作用, 以为乌鲁木齐机场此类灾害性天气预报提供参考。

2. 乌鲁木齐机场冻降水天气概况

2017 年~2020 年, 乌鲁木齐机场共出现 6 次冻降水天气过程, 其中 1 次为冻雨天气, 其天气形势为槽前偏西气流多波动, 其余 5 次为冻毛毛雨天气, 均为西北气流控制。在冻降水发生时, 除了 2019 年 3 月 17 日出现了冻雾天气, 其余过程均伴有 1~3 公里的轻雾天气。具体情况见表 1。

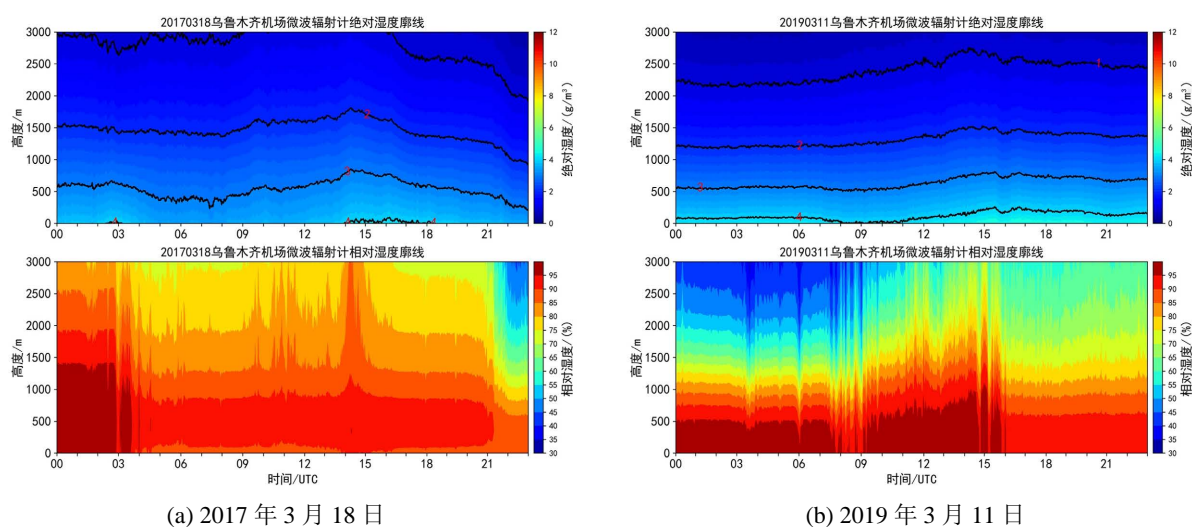
Table 1. Frozen precipitation

表 1. 冻降水实况

个例	出现日期	开始时间	结束时间	天气现象	持续时间
1	2017/03/18 槽前偏西气流	00:00	00:00	-FZRA	0 h
2	2019/03/11 西北气流	00:00	01:30	-FZDZ	1.5 h
		14:00	15:00	-FZDZ	1 h
3	2019/03/13 西北气流	16:00	23:00	-FZDZ	7 h
4	2019/03/17 西北气流	21:00	22:30	-FZDZ	1.5 h
5	2019/12/17 西北气流	20:00	00:30	-FZDZ	4.5 h

3. 微波辐射计资料分析

3.1. 相对湿度廓线与绝对湿度廓线



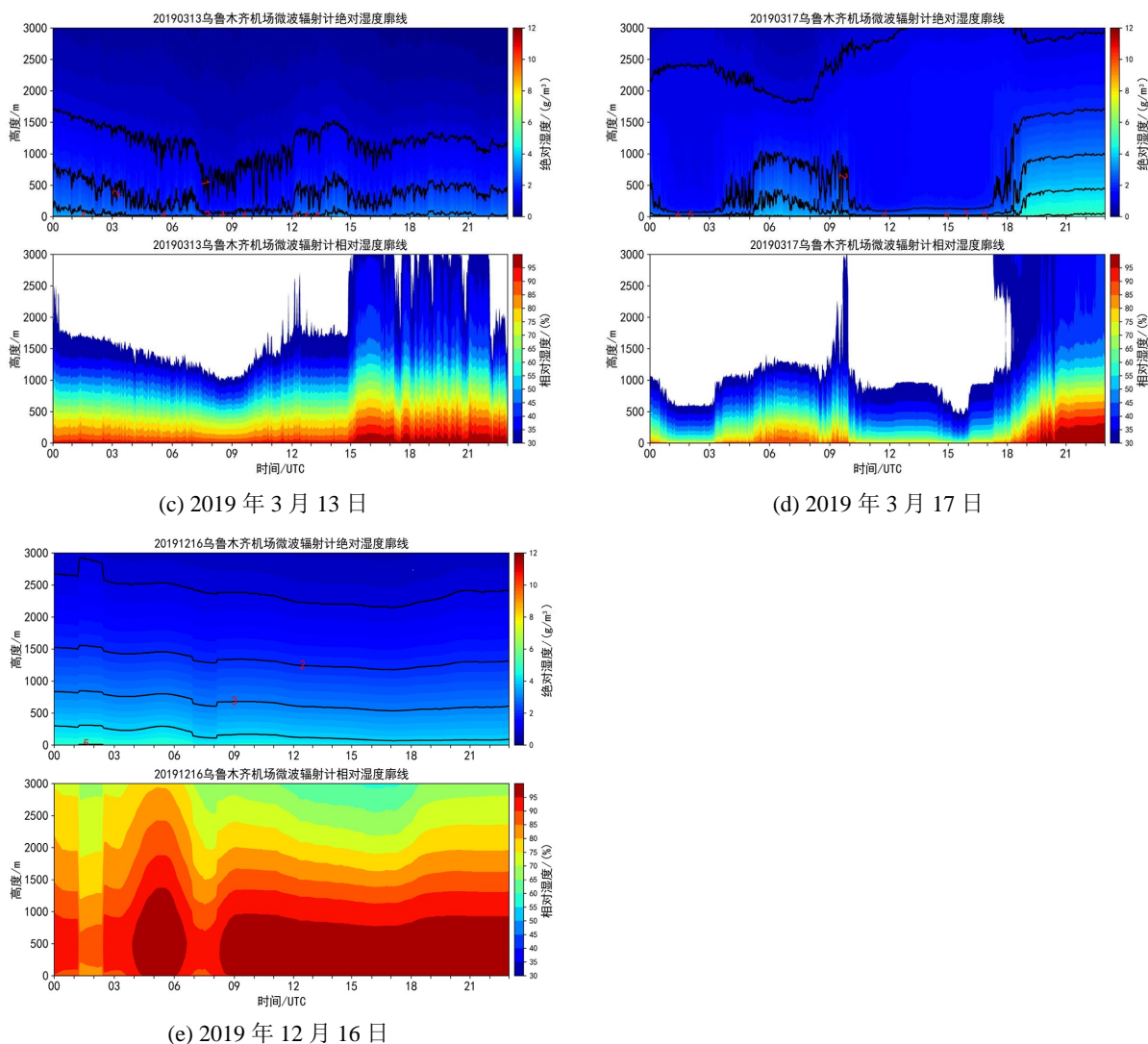


Figure 1. Relative humidity profile and absolute humidity profile
图 1. 相对湿度廓线与绝对湿度廓线

由图 1 相对湿度廓线与绝对湿度廓线可以看到，图(a)、(b)、(e) 700 hPa 以下相对湿度都比较大，当冻降水发生时，1000 米以下的相对湿度都能达到 80% 以上，500 米以下相对湿度都达到了 95% 以上，水汽近乎饱和；而图(c)、(d)由于空中东南风的影响，中层很干，随着天气系统影响，当冻降水天气发生时，整层湿度开始增加，低层水汽充沛，200 米以下相对湿度达到 95% 以上。而绝对湿度来看，当 850 hPa 为偏西或西北气流时，绝对湿度比较稳定，波动不大，当 850 hPa 出现东南风时，绝对湿度会有明显的波动，但是当冻降水发生时，绝对湿度基本都达到 4 g/m^3 。

3.2. 温度廓线

由图 2 温度廓线可以看到：

1) 温度结构基本分为两类，一类是 1000 米以下为减温层，一类是 1000 米以下为逆温层，最高温度都出现在 1000 米左右的高度上，而逆温层又有两种表现形式，一种是从地面到 500 米高度温度随高度增加而增加，另一种是 500 米以下的高度，温度先减小再增加；

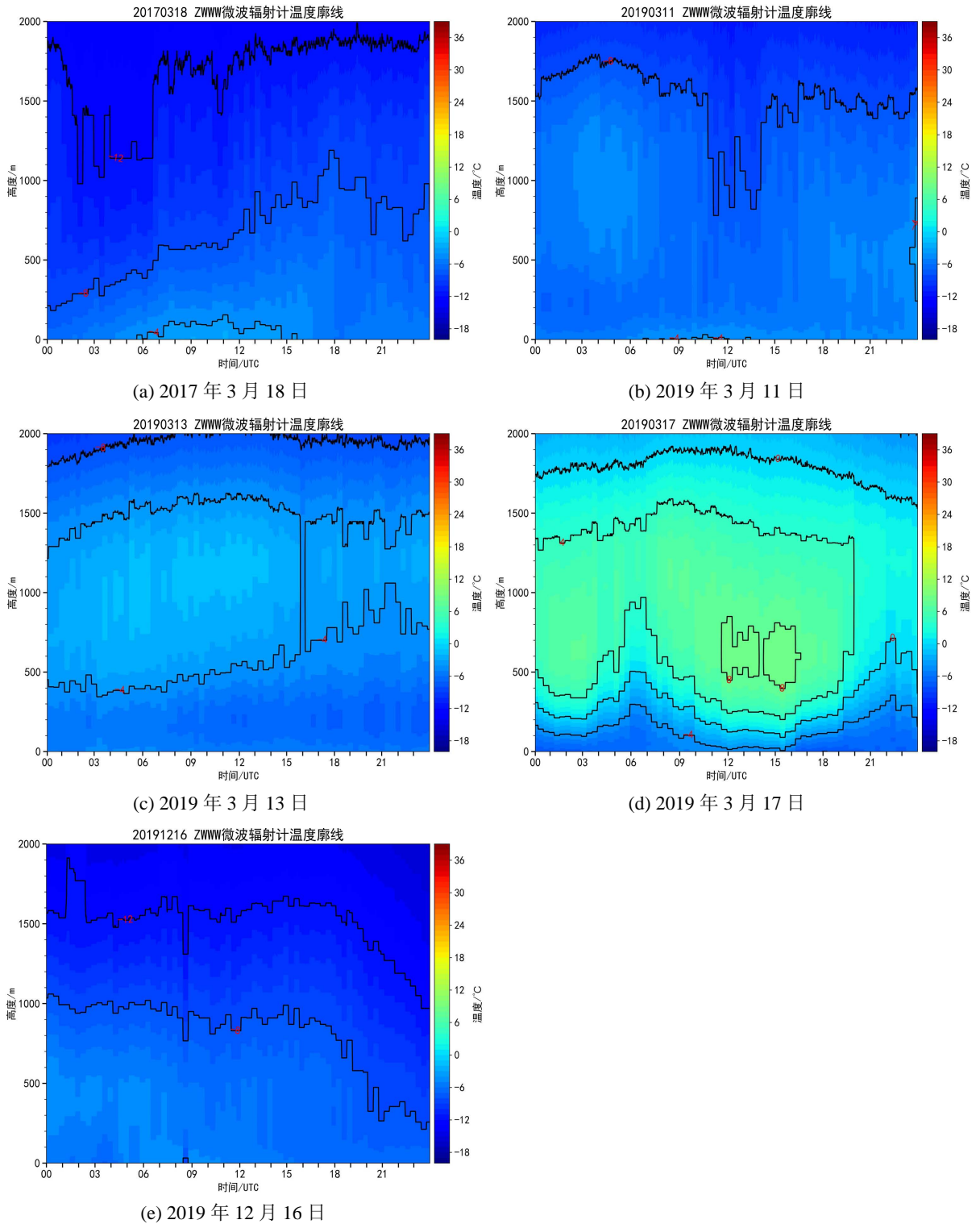


Figure 2. Temperature profile
图 2. 温度廓线

2) 冻降水发生期间, 不管是减温结构还是逆温结构, 500 米以下的温度差基本维持的 3°C 以内, 气温维持在 -5°C ~ -7°C, 1000 米以下温度维持在 -10°C 以上。

由此可见，乌鲁木齐机场发生的冻降水天气几乎都是暖雨机制的，虽然有减温或逆温结构但是整体温差较小，可近似为等温层。

3.3. 综合水汽含量

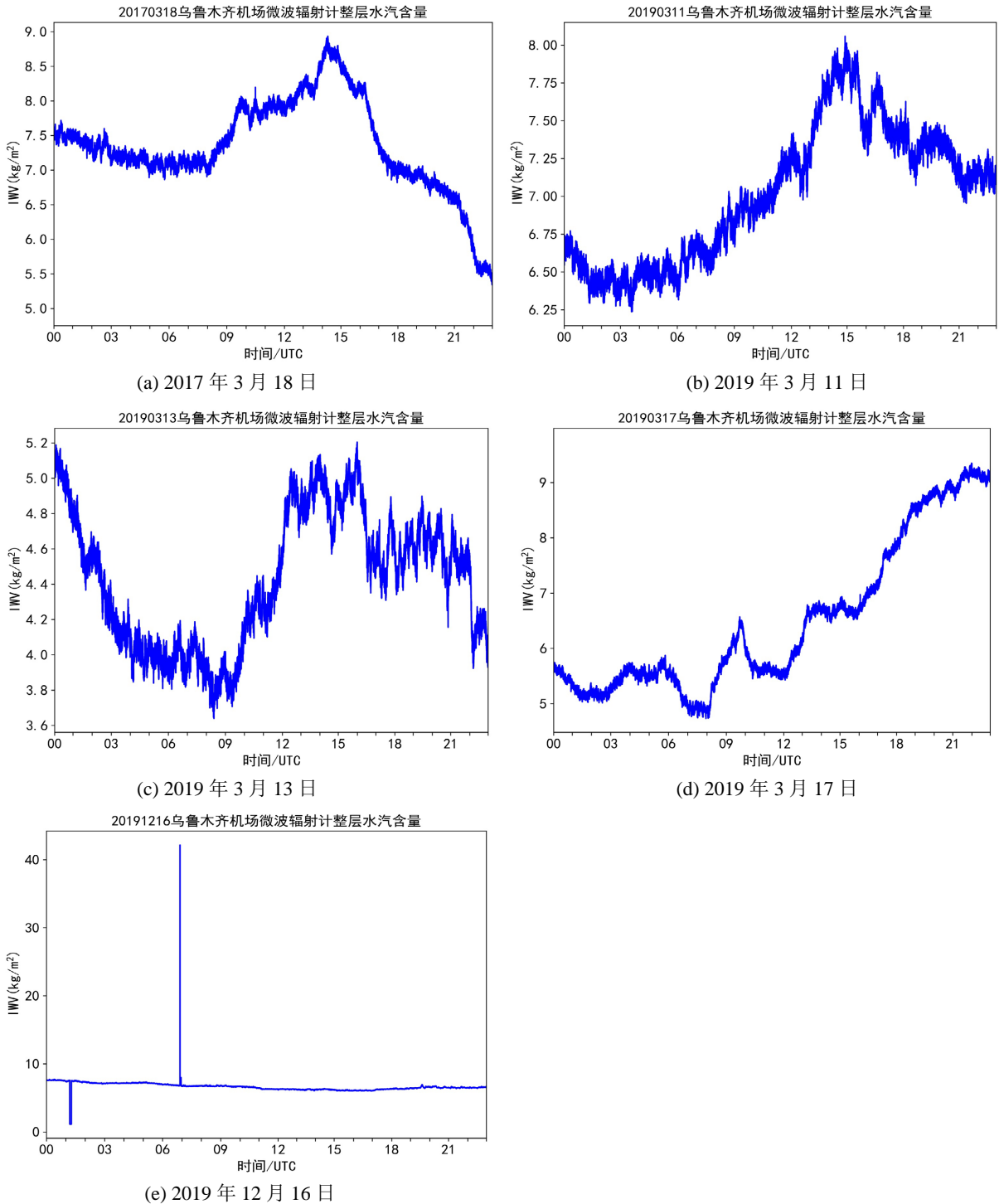


Figure 3. Moisture content of the whole layer
图 3. 整层水汽含量

由图 3 综合水汽含量可以看到, 冻降水发生时, 综合水汽含量在 $5\sim 10\text{ kg/m}^2$, 乌鲁木齐机场出现冻毛毛雨天气居多, 降水量较小, 所以出现冻降水天气时, 综合水汽含量呈现弱波动的变化趋势, 没有水

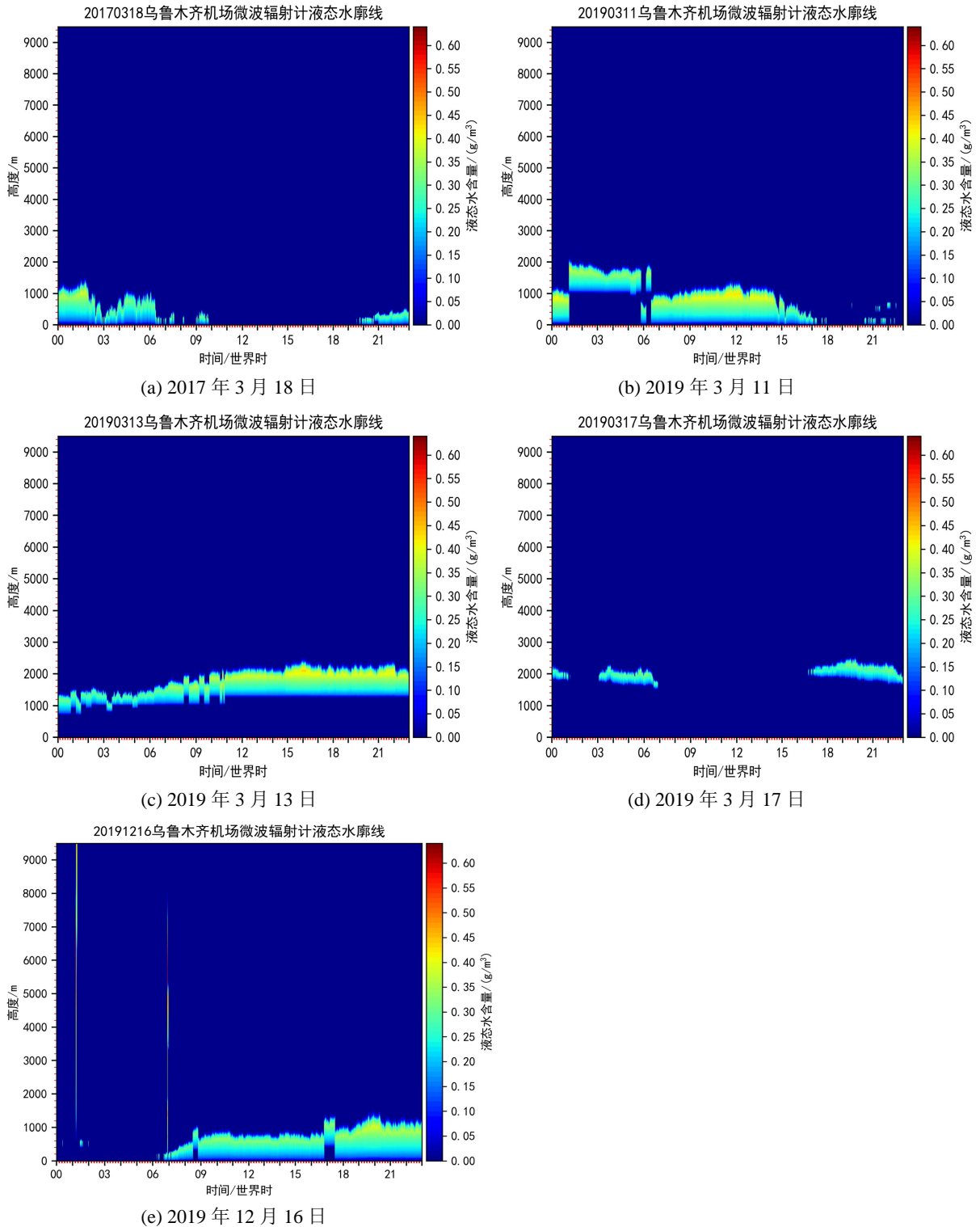


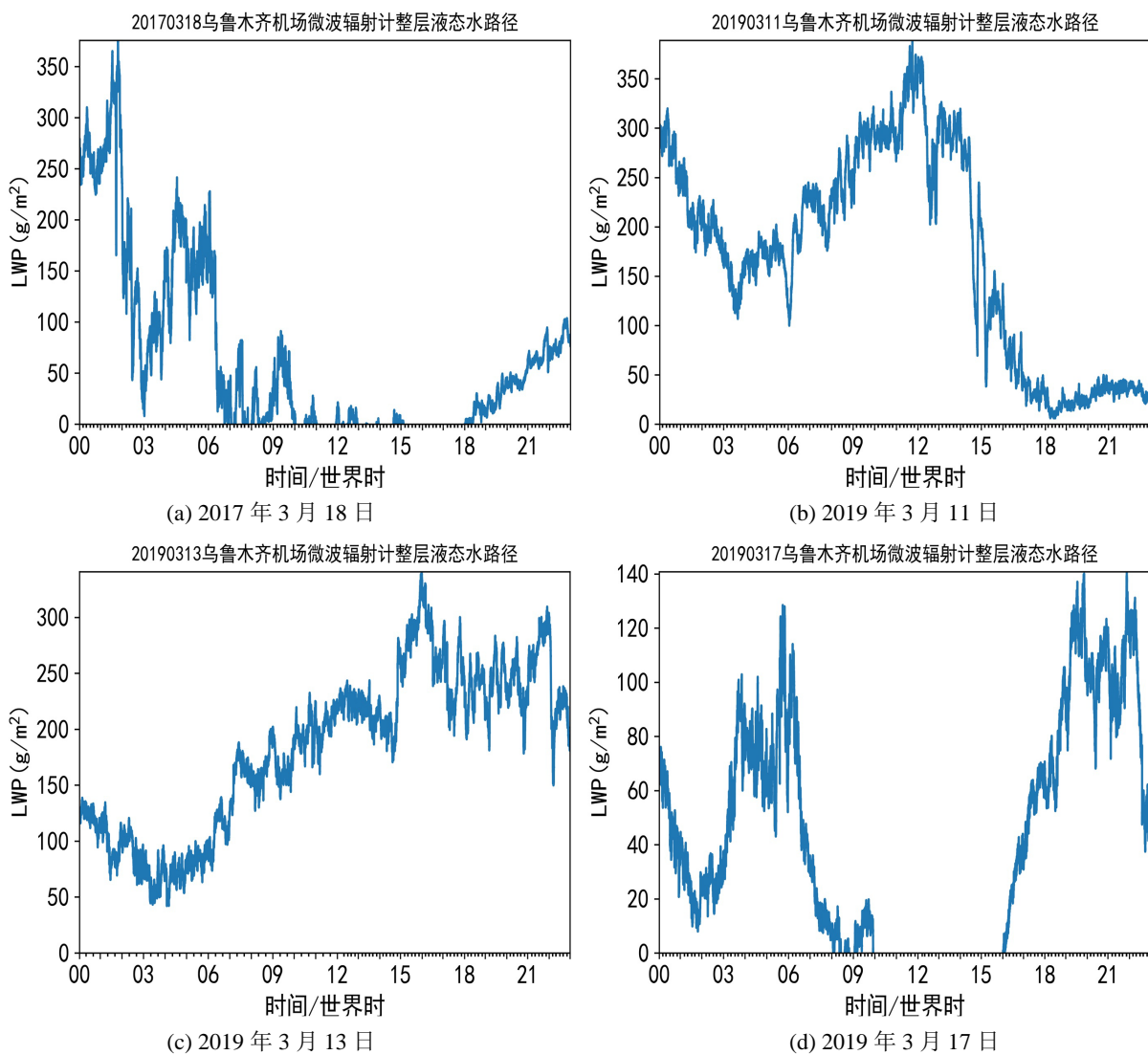
Figure 4. Liquid water profile
图 4. 液态水廓线

汽的明显增大或减小。

3.4. 液态水廓线

由图4液态水廓线可以看到，图(a)、(b)、(e)都是在1000米以下有液态水，液态水含量随着高度增加而增加，最大达到了 0.4 g/m^3 ，图(c)、(d)是在1000~2000米高度而图冻降水天气发生时液态水廓线呈现出两种形态，一种是1000米以下有液态水，另外一种是在1000~2000米有液态水，1000米以下没有液态水，液态水含量也是随着高度增加而增加，最大值也是达到了 0.4 g/m^3 。对比相对湿度来看，c、d图低层相对湿度很大，中层相对湿度较小，液态水廓线上来看，低层反而没有液态水，中层有少量液态水，由此可见，当冻降水发生时，低层的水汽充沛，但可降水量几乎没有，冻降水发生时是低层空气湿度很大，温度使空中水汽以过冷却水的形式存在，当过冷却水汽达到饱和时凝结降落形成过冷却雨滴，所以乌鲁木齐机场的冻降水多以冻毛毛雨出现，液态水廓线并不能很好的反应冻降水天气出现时的特征。

3.5. 液态水路径



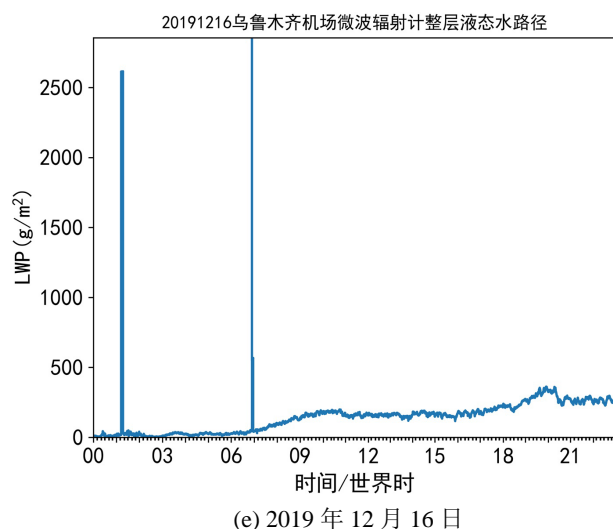


Figure 5. Liquid water path

图 5. 液态水路径

由图 5 液态水路径可以看到, 图(a)、(b)、(e)中在冻降水发生时, 液态水含量都维持在 $250\sim 300\text{ g/m}^2$, 而图(c)、(d)的液态水含量则相对偏少, 在 $100\sim 250\text{ g/m}^2$ 变化。在冻降水发生之前, 液态水含量会有上升, 当开始出现冻降水时液态水含量会出现小幅的回落。由于冻降水发生时本场以冻毛毛雨为主, 降水量小, 且以凝结降水为主, 所以液态水含量变化不大。

4. 小结

1) 乌鲁木齐机场的冻降水天气以冻毛毛雨为主, 都出现在西北气流控制的天气形势下, 当冻降水天气出现时, 700 hPa 以下的相对湿度都有所增加, 低层相对湿度甚至达到了 95% 以上, 达到高饱和状态;

2) 乌鲁木齐机场的冻降水主要为暖雨机制, 整层温度几乎都小于 0°C , 且分为弱减温层和弱逆温层两种温度结构, 但是温差不大, 近乎等温; 冻降水出现时气温基本维持在 $-5^\circ\text{C}\sim -7^\circ\text{C}$, 1000 米以下的温度维持在 -10°C 以内;

3) 由于乌鲁木齐机场冻降水以冻毛毛雨为主且持续时间短, 所以综合水汽含量变化不大, 液态水含量略有波动但不明显, 液态水廓线呈现出两种形态, 但是与冻降水没有很好的对应, 考虑冻降水主要是空气中的过冷却水汽达到饱和凝结而成, 并没有明显的过冷却水滴。

4) HTG-3 型微波辐射计在乌鲁木齐国际机场尚属于实验验证阶段, 本文分析讨论的个例数量也很有限, 所有的分析以及结论有待于在今后工作中不断进行验证和修正。

参考文献

- [1] Huffman, G.J. and Norman, G.A. (1988) The Supercooled Warm Rain Process and the Specification of Freezing Precipitation. *Monthly Weather Review*, **116**, 2172-2182.
[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1988\)116%3C2172:TSWRPA%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1988)116%3C2172:TSWRPA%3E2.0.CO;2)
- [2] 吴哲红, 陈贞宏, 白慧. 2011 年与 2008 年贵州低温雨雪冰冻天气锋区特征对比[J]. 干旱气象, 2013, 31(4): 763-770.
- [3] 赵珊珊, 高歌, 张强, 王遵娅, 殷水清. 中国冰冻天气的气候特征[J]. 气象, 2010, 36(3): 34-38.
- [4] 马晓刚, 曲晓波, 李月安, 魏涛, 李辑. 冻雨落区基本概念模型的研究与建立[J]. 气象, 2010, 36(9): 68-73.
- [5] 漆梁波. 我国冬季冻雨和冰粒天气的形成机制及预报着眼点[J]. 气象, 2012, 38(7): 769-778.
- [6] 王传辉, 姚叶青, 苗开超, 等. 安徽省南部两次冻雨天气过程对比分析[J]. 气象, 2020, 46(2): 169-178.

- [7] 马立柱, 张靖. 2018 年 12 月延吉朝阳川机场一场冻雨天气分析[J]. 气象灾害防御, 2019, 26(1): 26-29.
- [8] 李哲, 陆正奇, 王津宇, 徐婉笛, 龚建福, 韩永翔, 等. 一次冻雨过程的云微物理过程分析、模拟和预测[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(1): 403-409.
- [9] 刘红武, 李振, 陈龙, 尹忠海, 徐靖宇, 蔡瑾婕. 湖南一次罕见低温雨雪冰冻天气过程分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(2): 18-26.
- [10] 雷之雨, 郑佳锋, 朱克云, 张杰, 程志刚. 一次冻雨天气的云雷达回波特征分析[J]. 气象科技, 2018, 46(6): 1233-1239.
- [11] 刘红燕, 王迎春, 王京丽, 李炬, 曹晓彦, 熊斌. 由地基微波辐射计测量得到的北京地区水汽特征的初步分析[J]. 大气科学, 2009, 33(2): 388-396.
- [12] 党张利, 张京鹏, 曲宗希, 赵慧, 张北斗, 张文煜. 微波辐射计观测数据在降水预报中的应用[J]. 干旱气象, 2015, 33(2): 340-343.
- [13] 张文刚, 徐桂荣, 颜国跑, 等. 微波辐射计与探空仪测值对比分析[J]. 气象科技, 2014, 42(5): 737-741.
- [14] 黄治勇, 周志敏, 徐桂荣, 张文刚, 王钰. 风廓线雷达和地基微波辐射计在冰雹天气监测中的应用[J]. 高原气象, 2015, 34(1): 269-278.
- [15] 唐仁茂, 李德俊, 向玉春, 徐桂荣, 李跃清, 陈英英. 地基微波辐射计对咸宁一次冰雹天气过程的监测分析[J]. 气象学报, 2012, 70(4): 806-813.
- [16] 崔雅琴, 张佃国, 龚佃利, 王洪, 张骞, 刘泉, 等. 新型探测仪器资料在短时强降水过程中的应用[J]. 气象科技, 2016, 44(6): 876-881.
- [17] 杨莲梅, 李霞, 赵玲, 王世杰. MP-3000A 型地基微波辐射计探测性能及其在乌鲁木齐降水天气中的初步应用[J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 570-578.
- [18] 朱雯娜, 王清平, 王春红, 陈阳权. 微波辐射计在乌鲁木齐机场浓雾监测中的应用[J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(5): 23-31.
- [19] 王春红, 王清平, 谭艳梅, 朱雯娜, 韩磊. 微波辐射计资料在乌鲁木齐机场持续浓雾天气中的试验应用[J]. 气象科技进展, 2020, 10(4): 22-27.
- [20] 欧建军, 周毓荃, 杨棋, 潘留杰. 我国冻雨时空分布及温湿结构特征分析[J]. 高原气象, 2011, 30(3): 692-699.
- [21] 北京爱尔达电子设备有限公司. Airda-HTG3 型地基多通道微波辐射计软件说明书[Z]. 北京: 北京爱尔达电子设备有限公司.
- [22] 北京爱尔达电子设备有限公司. Airda-HTG3 型地基多通道微波辐射计技术说明书[Z]. 北京: 北京爱尔达电子设备有限公司.