

# 乌鲁木齐机场2021年2月一次冻雾、冻降水天气过程特征分析

张 茜, 孙少明, 丁 旭, 杨 乐

民航新疆空中交通管理局, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2021年12月24日; 录用日期: 2022年1月19日; 发布日期: 2022年1月26日

## 摘 要

本文通过对FNL ( $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ )再分析资料、常规高空与地面资料、机场跑道自动观测系统(下文简称AWOS)、微波辐射计等资料的分析,探讨了乌鲁木齐机场2021年2月22日~23日一次冻雾、冻降水天气的时空分布、持续时间、气象层结等气象要素特征。研究结果表明: 1) 此次冻雾、冻降水天气是受低涡底部偏西气流中的弱短波影响产生的; 2) 此次冻降水天气低层水汽充沛,配合温度有丰富的过冷却水,受弱扰动影响,过冷却水凝结成过冷却水滴降落形成冻毛毛雨; 3) 由于波动微弱,没有打破低层的稳定层结,同时前期降水使得低层增湿明显,有利于冻雾的出现和维持; 4) 微波辐射计探测资料对大雾生消预报具有一定的指导意义。

## 关键词

乌鲁木齐机场, 冻雾, 冻降水, 微波辐射计

# Analysis on Weather Process Characteristics of Frozen Fog and Frozen Rain at Urumqi Airport in February 2021

Qian Zhang, Shaoming Sun, Xu Ding, Le Yang

Xinjiang ATMB CAAC, Urumqi Xinjiang

Received: Dec. 24<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jan. 19<sup>th</sup>, 2022; published: Jan. 26<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

This paper analyzes the data of FNL ( $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ), conventional high altitude and ground data, airport

runway automatic observation system (AWOS), Microwave radiometer etc., the temporal and spatial distribution, duration and stratification of frozen fog and frozen rain at Urumqi Airport 2021 from February 22 to 23. The results show that: 1) the frozen fog and frozen rain are influenced by the weak short wave in the westerly flow at the bottom of the vortex. 2) The frozen rain is full of water vapor in the lower layer, and there is abundant supercooled water in the lower layer with the weak disturbance. The supercooled water condenses into the supercooled water droplets and falls to form the freezing drizzle. 3) The weak fluctuation doesn't break the stable layer of the lower layer. The early precipitation makes the lower layer wet obviously, which is beneficial to the occurrence and maintenance of frozen fog. 4) The Microwave radiometer data have certain guiding significance for the fog generation and dissipation prediction.

## Keywords

Urumqi Airport, Frozen Fog, Frozen Rain, 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

随着新疆被确定为丝绸之路经济带核心区，乌鲁木齐国际机场作为西部枢纽机场的地位逐渐确立。低能见度是影响乌鲁木齐国际机场航空器起飞和着陆的危险天气之一，其中冻雾是造成乌鲁木齐国际机场冬季低能见度的主要天气现象，乌鲁木齐国际机场近年来是国内低能见度日数最多的机场。乌鲁木齐国际机场特殊的地理位置，使得本场冻雾具有明显的局地性；由于周边化工等高污染企业较多，乌鲁木齐机场的烟雾物理成分复杂；乌鲁木齐地处北疆沿天山一带，整个北疆盆地冬季经常形成区域性冻雾天气，具备平流雾的明显特征，但同时乌鲁木齐国际机场受日变化影响也具备辐射雾的特征；个别年份冻雾持续时间长，反复性强[1] [2] [3] [4] [5]。王楠等[6]统计了乌鲁木齐机场冬季大雾特征，指出了乌鲁木齐机场大雾的不均匀性；王春红等[7]利用数值预报模式对乌鲁木齐机场一次辐射雾进行模拟研究，发现在水汽条件以及天气形势具备的情况下，局地热力条件日变化特征导致的气温及风场的变化，是辐射雾发生的重要影响因素；韩磊等[8]研究了乌鲁木齐机场主导能见度和跑道视程都低于标准的冻雾天气的特征，发现持续性双低浓雾容易出现在前期有降水而温度偏高的冬季；朱雯娜等[9] [10]研究了微波辐射计在冻雾天气中的应用，发现对冻雾的生消有一定的指示意义。

乌鲁木齐机场冻雨天气较少，但近几年来有增多趋势，冻雨天气造成道面结冰，设施设备冻结失灵，极易造成跑道摩擦系数超标和机场关闭，给乌鲁木齐机场的航班正常和安全运行造成重大影响。

本文利用 NCEP 再分析资料、常规高空与地面资料、机场跑道自动观测系统(简称 AWOS)、微波辐射计资料等对 2021 年 2 月 22 日~23 日一次冻雾、冻降水天气过程进行研究，以期为提高乌鲁木齐机场应对冬季复杂天气的监测与预报提供参考。

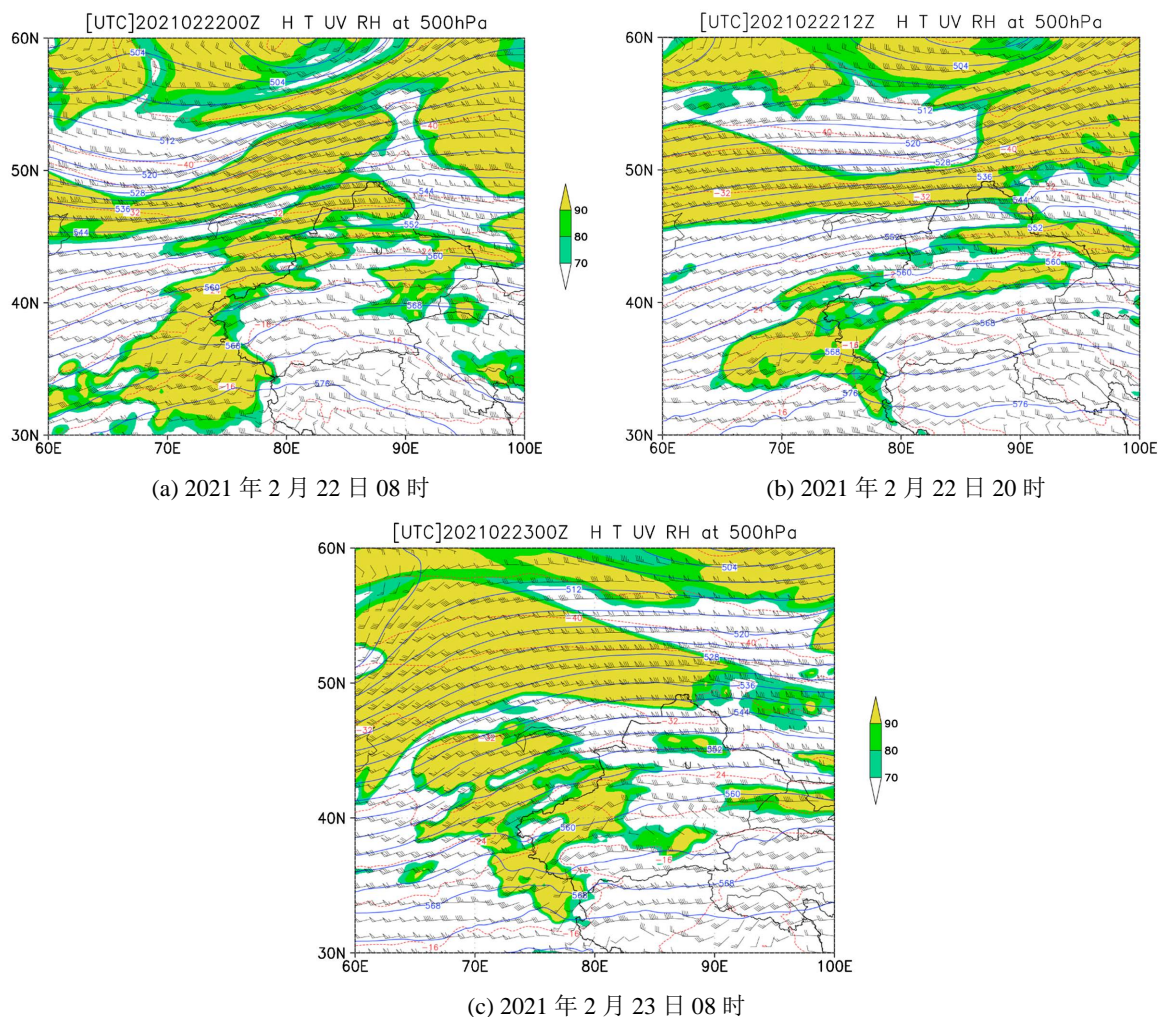
## 2. 资料选取及天气实况

### 2.1. 资料选取

本文所用资料包括 NCEP  $1^\circ * 1^\circ$ ，时间分辨率为 6 小时的全球再分析资料、时间常规高空与地面资料、机场跑道自动观测系统(下文简称 AWOS)资料、微波辐射计资料等。本文所用时间均为世界时。

## 2.2. 天气实况

2021年2月22日至23日(世界时,下同)北疆地区受西西伯利亚高空槽东移影响,北疆大部出现弱降水天气,北疆沿天山一带出现冻雾天气。乌鲁木齐机场22日07:30~08:00、09:30、10:30~14:00出现弱毛毛雨,08:30~09:00、14:30~17:30、22:00~23日05:00出现冻毛毛雨天气,18:00~20:30出现小米雪天气;其中22日08:00~09:00、11:30~20:30、23日00:00~01:30、03:30~04:00还伴随有冻雾天气,主导能见度在200~900米;其余时间均伴有轻雾天气,此次天气过程降水相态复杂,出现了毛毛雨、冻毛毛雨、小米雪三种降水天气,同时还伴随了冻雾造成的低云低能见度天气,给航班正常运行带来很大的影响。



**Figure 1.** Altitude, temperature, wind field and relative humidity on 500 hPa

**图 1.** 500 hPa 高度场、风场和相对湿度

## 3. 环流形势分析

由图1可以看到500 hPa高空形势场在西伯利亚地区有一只低涡,低涡缓慢东移,新疆位于低涡底部,受偏西气流控制,有弱短波活动,偏西风达到24~28 m/s,500 hPa高度上相对湿度>80%的区域在22日08时主要位于北疆北部、北疆西部及北疆沿天山一带,到了22日20时高湿区主要在北疆北部、北疆沿天山一带及天山山区,到了23日08时,高湿区主要位于南疆西部,北疆相对湿度明显减小。由

图 2 海平面气压场可以看到 22 日 08 时北疆北部受冷高压控制，冷高压主体位于巴尔喀什湖以西，到了 22 日 20 时，地面冷高压主体东移北上，到达巴尔喀什湖以北，冷高压强度为 1030 hPa，北疆沿天山一带气压梯度加强，到了 23 日 08 时地面冷高压继续东移，冷高压加强，强度增加到 1032.5 hPa，在北疆盆地有小冷高压强度为 1030 hPa，北疆沿天山一带依然维持较大的气压梯度。

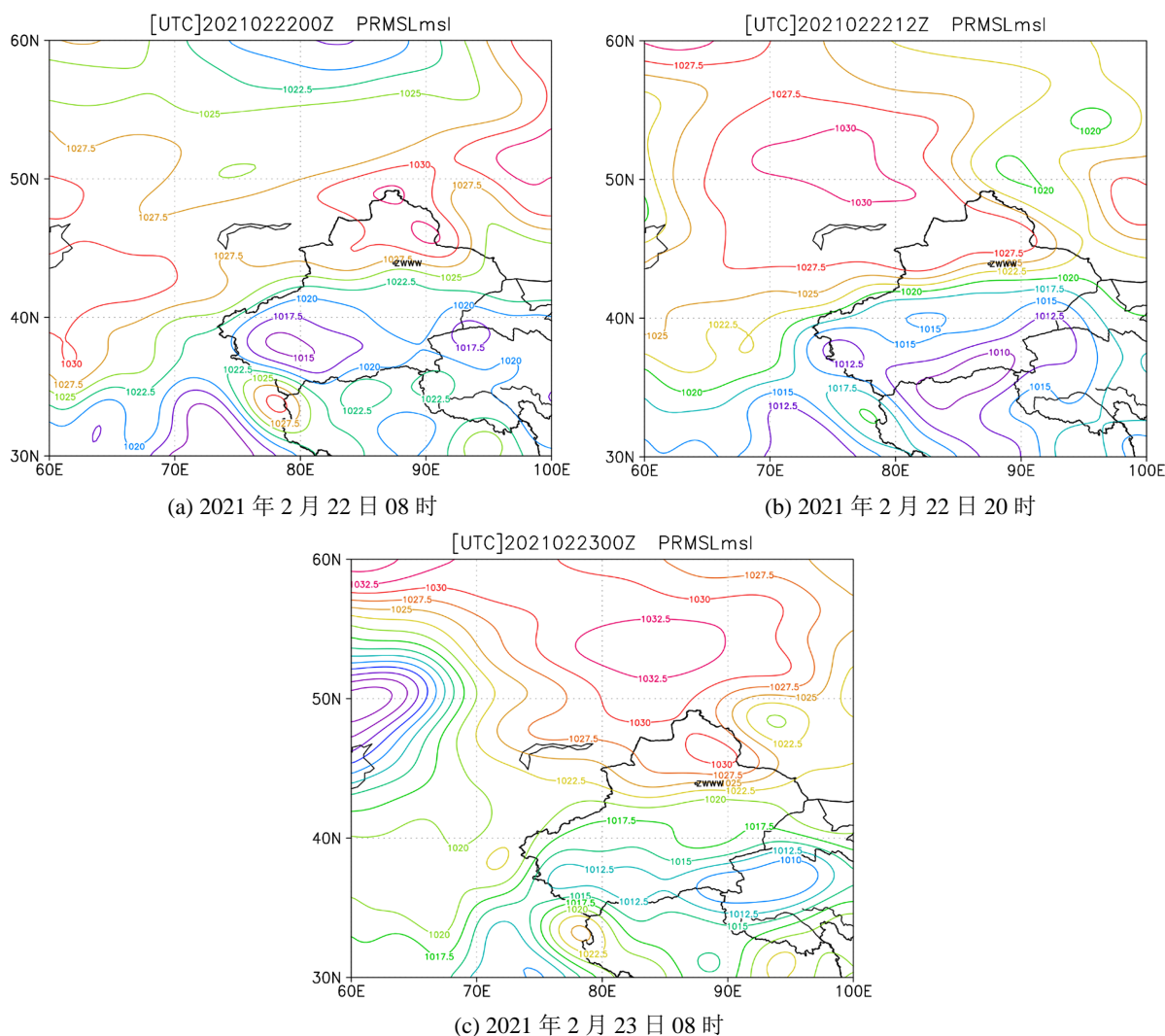


Figure 2. Sea-level pressure field

图 2. 海平面气压场

## 4. 低层风、温度、相对湿度分析

### 4.1. 风场分析

由图 3(a) 2 月 22 日 08 时 700 hPa 风场可以看到，当低能见度和冻雨发生前，700 hPa 以西北风为主，风速为 4 m/s，由图 3(b) 看出 22 日 20 时，700 hPa 维持西北风，风速增大至 8 m/s，弱冷空气进入，由图 4(b) 看出 850 hPa 的风场都比较弱，风速都维持在 4 m/s 以内，说明冷空气很弱，对整个层结起到弱扰动作用，所以本场出现了弱毛毛雨和弱冻雨天气。由图 3(c) 看出 23 日 08 时，700 hPa 转为东南风，风速达到 10 m/s，由图 4(c) 看出 850 hPa 在乌鲁木齐周围有弱的风场的辐合，有利于冻雾的维持。

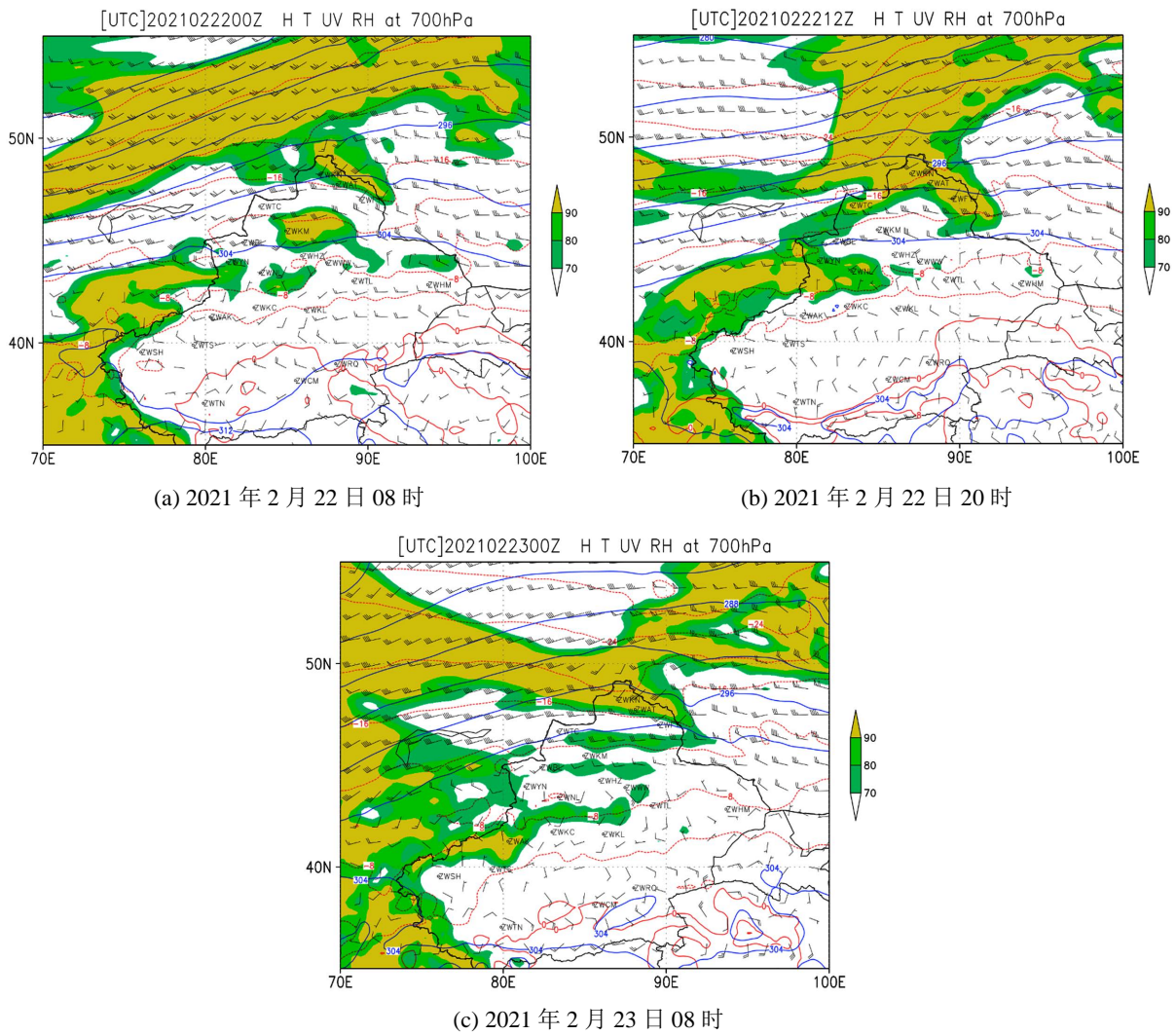
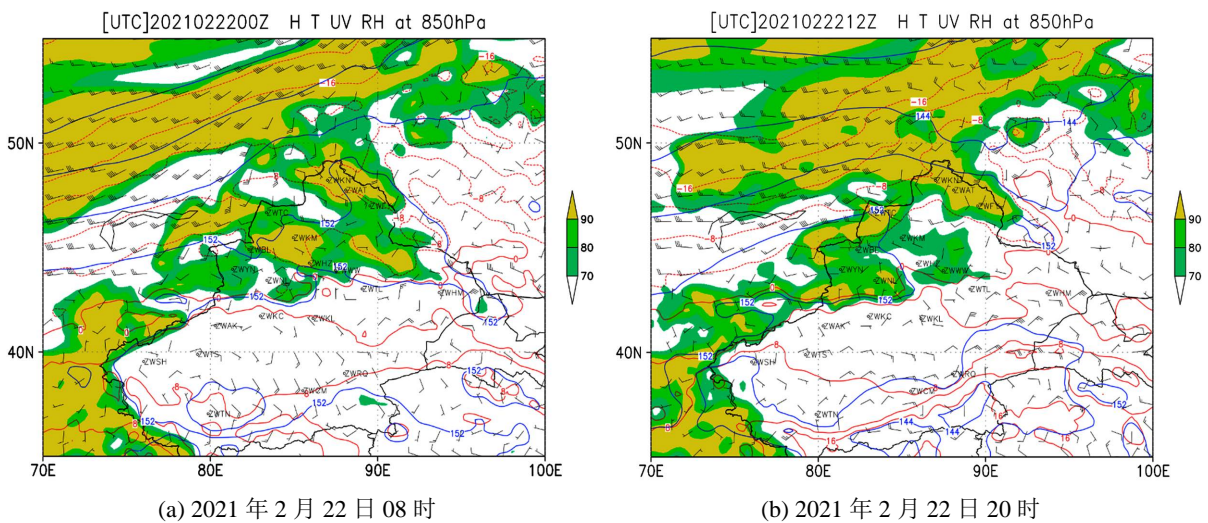
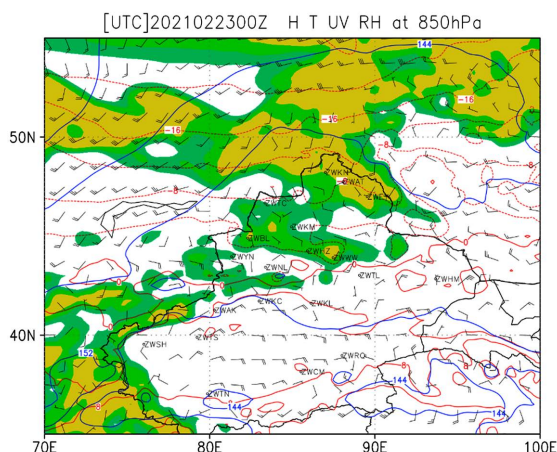


Figure 3. Altitude, temperature, wind field and relative humidity on 700 hPa  
图 3. 700 hPa 高度、温度、风场和相对湿度



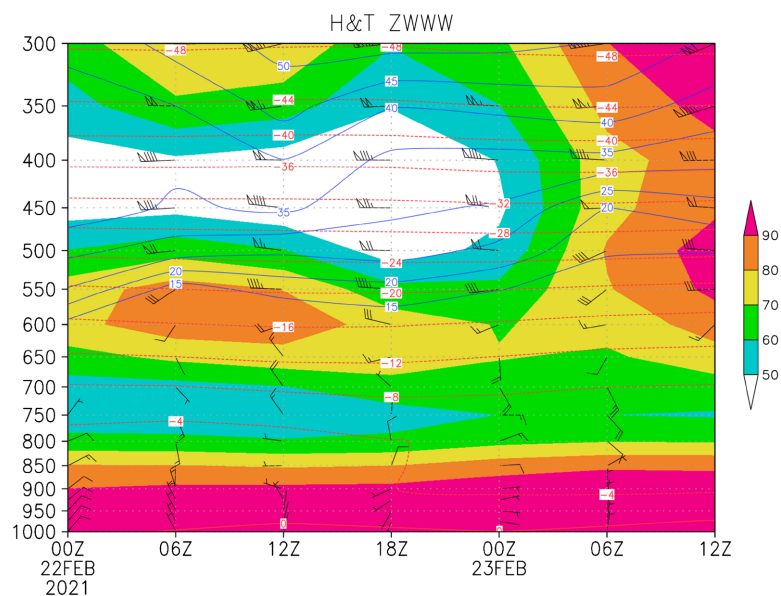


(c) 2021年2月23日08时

**Figure 4.** Altitude, temperature, wind field and relative humidity on 850 hPa  
**图 4.** 850 hPa 高度、温度、风场和相对湿度

#### 4.2. 温度场和相对湿度场分析

由 700 hPa 和 850 hPa 中的温度场来看,在冻雾和冻降水天气来临前,700 hPa 温度随时间是缓慢递减的,北疆沿天山一带 700 hPa 的温度在 $-8^{\circ}\text{C}$ 左右,而 850 hPa 上北疆伊犁河谷沿天山一带为弱暖平流区,温度略有上升,北疆沿天山一带温度基本上都在 $0^{\circ}\text{C}\sim-4^{\circ}\text{C}$ ,适合于过冷却水的存在,同时 850 hPa 温度维持并略有上升使得逆温继续维持和加强,有利于冻降水的形成和冻雾的维持。结合相对湿度来看,当本场出现冻雨和冻雾时,北疆沿天山一带 700 hPa 上的相对湿度较小,基本维持在 70% 以下,而 850 hPa 相对湿度较大,在 70% 以上,到了 23 日 08 时达到了 90% 以上,说明本场在发生冻雾和冻降水时,中层是比较干的,而低层湿度较大,从而可以看出此次偏西气流下的波动比较弱,前期的降雪给低层增湿,使得低层水汽充沛,而弱的扰动使得水汽发生凝结,配合温度出现了冻降水和冻雾天气。



**Figure 5.** Temperature and humidity profile of Urumqi Airport  
**图 5.** 乌鲁木齐机场温湿剖面图

### 4.3. 温度、相对湿度廓线分析

由图 5 乌鲁木齐机场温湿剖面图可以看到, 乌鲁木齐机场上空基本都是减温层, 温度都 $<0^{\circ}\text{C}$ , 在乌鲁木齐机场发生冻降水和冻雾时 850 hPa 以下的温度为  $0^{\circ}\text{C}$  至  $-4^{\circ}\text{C}$ , 呈现出弱的等温层, 低层湿度达到了 90% 以上, 因此低层有丰富的过冷却水。为乌鲁木齐机场出现冻雾和冻毛毛雨提供了很好的水汽和温度条件。

### 4.4. 垂直速度分析

由图 6 乌鲁木齐机场垂直速度剖面图可以看到, 乌鲁木齐机场出现冻降水和冻雾时, 850 hPa 以下垂直速度由  $-0.2\text{ Pa/s}$  变为  $0.2\text{ Pa/s}$ , 低空由弱的下沉运动变为弱的上升运动, 中空则相对比较稳定, 但是整体来看, 在 22 日 10 时~23 日 06 时之间, 乌鲁木齐 600 hPa 以下垂直运动都非常的微弱, 整体强度在  $0.2\text{ Pa/s}$  之间变化, 所以地面降水基本以毛毛雨和冻毛毛雨为主, 降水量微弱;同时相对稳定的层结也有利于冻雾的形成和维持。

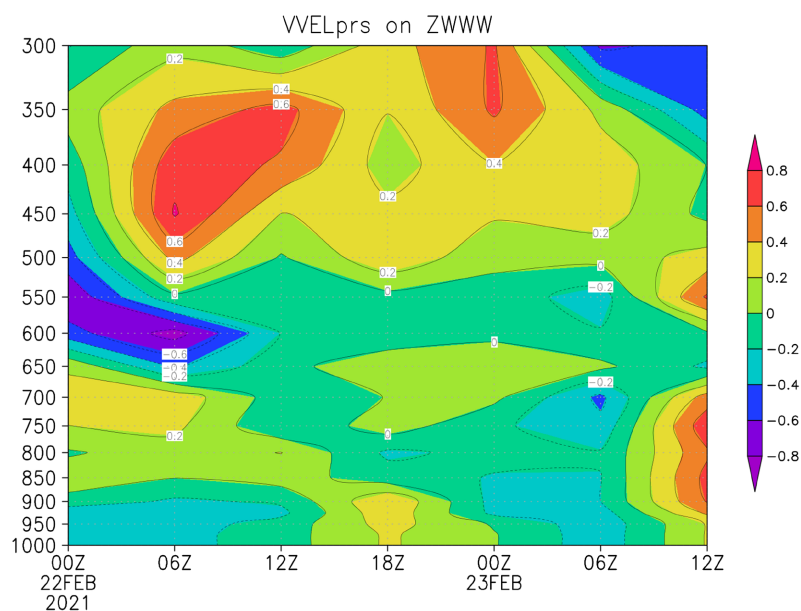


Figure 6. Vertical velocity profile of Urumqi Airport  
图 6. 乌鲁木齐机场垂直速度剖面图

## 5. 机场气象要素演变分析

乌鲁木齐机场跑道自动观测系统安装于机场 25 端和 07 端, 可实时监测跑道附近温湿等气象要素变化, 本文选择 25 端自观数据对跑道温湿条件进行分析。由图 7 看出 25 跑道温度与相对湿度变化趋势, 22 日 00:00~02:30 出现小雪, 使乌鲁木齐机场地面的湿度增加。22 日 16 时至 23 日 16 时, 乌鲁木齐机场的相对湿度就维持在 95% 以上, 相对湿度有利于大雾的维持。从 22 日 08 时开始乌鲁木齐机场 25 号跑道气温逐渐递增, 相对湿度减小, 升温时间持续至 12 时, 在此期间乌鲁木齐机场以轻雾为主, 后续乌鲁木齐机场气温变化不大。但地温在 22 日 13 时后迅速减小, 在 16 时左右减小至  $0^{\circ}\text{C}$ , 与本场出现冻毛毛雨的时间基本一致。后续地温先上升再下降, 在 22 日 19:00 再次下降降至  $0^{\circ}\text{C}$  以下, 在此期间乌鲁木齐机场出现冻雾天气。

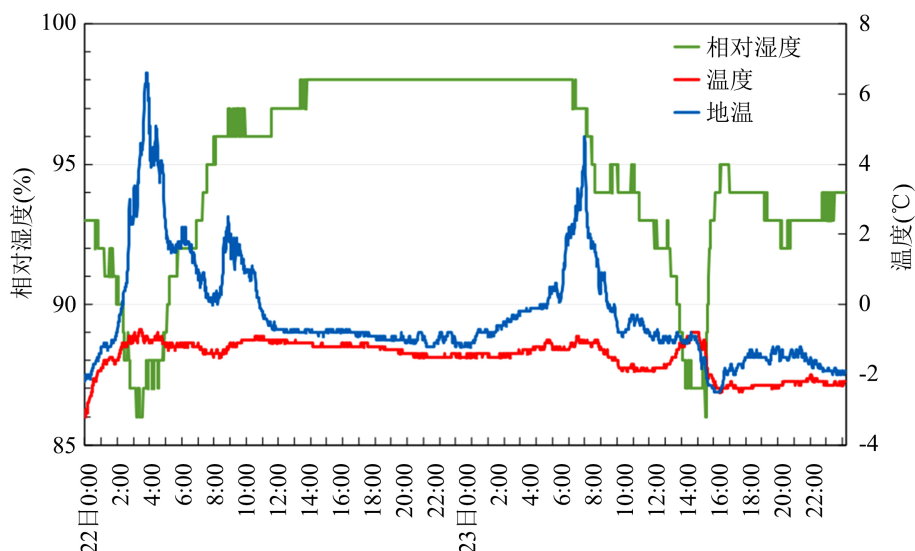


Figure 7. Variation trend of temperature and relative humidity on R25  
图 7. 25 跑道温度与相对湿度变化趋势

## 6. 微波辐射计资料分析

微波辐射计能够探测垂直方向上的温度和湿度场特征，能较为细致的分析大雾期间的温湿层结构，下文主要对微波辐射计产品进行分析。

由图 8 相对湿度廓线可以看到，22 日至 23 日低层相对湿度都比较大，而当乌鲁木齐机场出现冻雾和冻降水时，整层相对湿度都有明显增加，整个湿层深厚，1500 米以下相对湿度都达到了 90% 以上，1000 米以下几乎都达到 100% 的饱和状态。

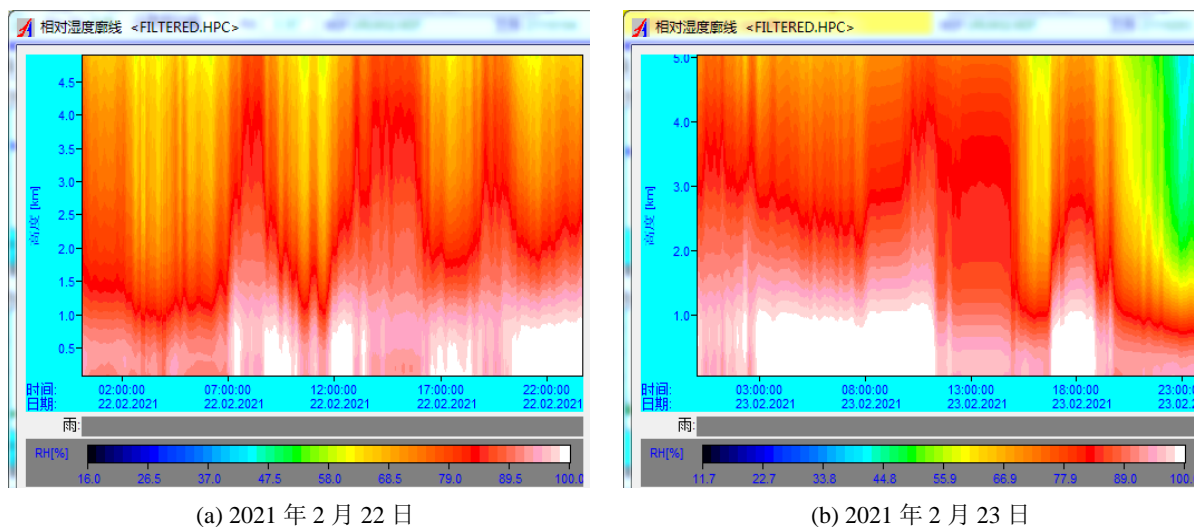
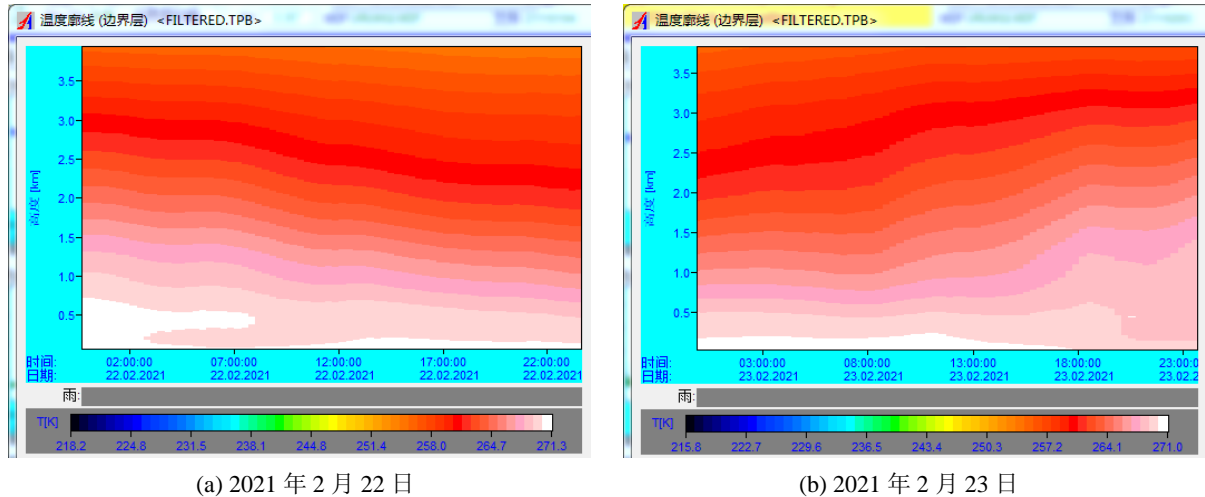


Figure 8. Relative humidity profile  
图 8. 相对湿度廓线

由图 9 温度廓线可以看到，22 日温度呈现缓慢下降的趋势，地面温度维持在  $-1^{\circ}\text{C}$ ，等温层逐渐降低，从 1000 米下降至 500 米，23 日温度层呈现出缓慢上升的趋势，等温层逐渐升高，从 500 米上升至 1000

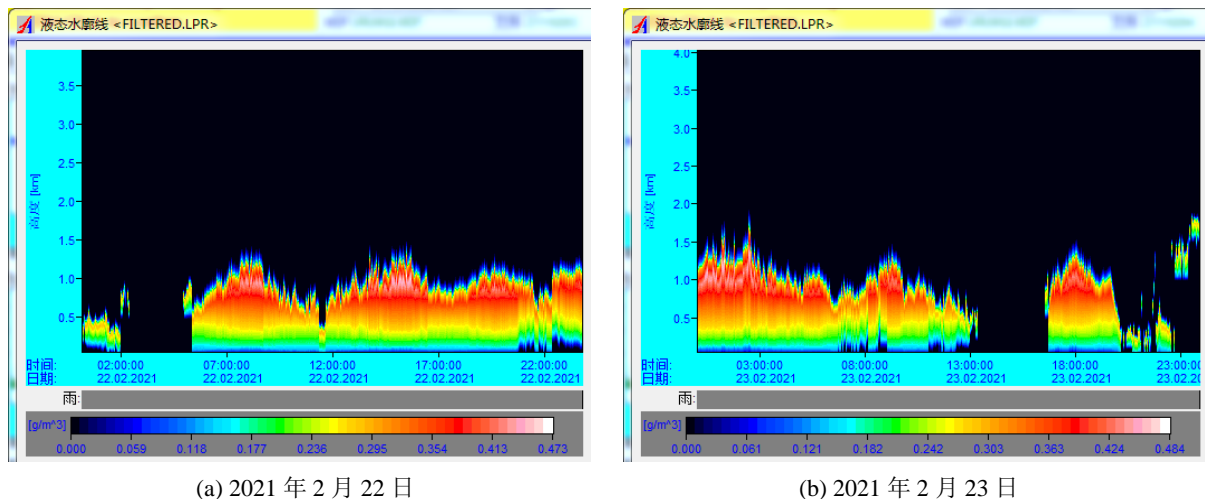


米，由此可以看出，当本场出现冻雾和冻降水天气时，等温层降低，由 1000 米下降至 500 米，地面温度维持在 $-1^{\circ}\text{C}$ ，500 米温度为 $-2^{\circ}\text{C}$ ，500~1000 米温度梯度加大，表明有弱冷空气扰动影响，使空中过冷却水滴凝结下落，形成冻毛毛雨和冻雨，同时伴有冻雾。



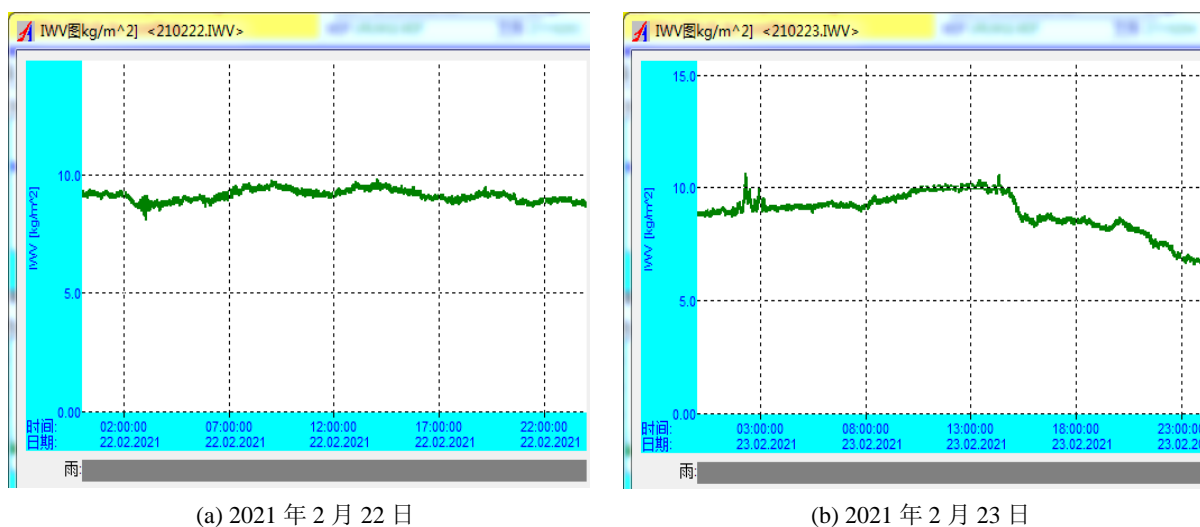
**Figure 9.** Temperature profile  
**图 9.** 温度廓线

由图 10 液态水廓线可以看到，当出现冻雾和冻降水时，1500 米以下有丰富的液态水，其中 1000 米左右高度上液态水含量最高，达到了  $0.4\sim 0.5\text{ g/m}^3$ ，结合温度可以看到，在 1000 米高度温度基本维持在 $-3^{\circ}\text{C}$ 至 $-5^{\circ}\text{C}$ 之间，所以空中有丰富的过冷却水，当遇到弱冷空气扰动时，过冷却水凝结成雨滴降落至地面。



**Figure 10.** Liquid water profile  
**图 10.** 液态水廓线廓线

由图 11 综合水汽含量来看，在出现冻雾和冻降水期间，综合水汽含量整体变化不大，呈现弱波动的形态，表明在出现冻降水和和冻雾天气时，整体降水量很小，对空气中的水汽耗散小，所以整体水汽含量变化不大。



**Figure 11.** Moisture content of the whole layer

**图 11.** 综合水汽含量

## 7. 结论

1) 本次冻雾和冻降水天气是低涡底部偏西气流控制下的弱波动引起的，前期降水使得乌鲁木齐机场低层增湿明显，地面受冷高压控制，形势较为稳定，弱波动使空气中水汽凝结成冻毛毛雨和冻雾。

2) 由于波动较弱，700 hPa 和 850 hPa 风场较弱，短波过境后 700 hPa 迅速转为东南风，使得中低层更加稳定，850 hPa 上乌鲁木齐机场附近有弱的风场辐合，有利于冻雾的维持。

3) 此次冻降水伴冻雾天气，低层水汽充沛，相对湿度达到 90% 以上，同时温度维持在 0~−4℃，有利于空中过冷却水的存在，弱扰动使得空中过冷却水凝结形成冻毛毛雨和冻雾，同时较为稳定的层结使得冻雾维持。

4) 此次大雾过程中，微波辐射计探测资料与实况匹配较好，因此熟练运用新型探测资料对于预报大雾的生消具有一定的指导意义。

## 参考文献

- [1] 张家宝, 孙沈清, 张凤廷, 等. 新疆短期天气预报指导手册[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1986.
- [2] 张学文, 张家宝. 新疆气象手册[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [3] 夏玉莲, 王敏仲. 古尔班通古特沙漠南缘近 40 年大雾变化特征分析——蔡家湖区域[J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8(4): 54-60.
- [4] 马燕, 马洪亮, 摆琰. 昌吉雾的统计特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2008, 2(5): 46-48.
- [5] 安东亮, 魏勇, 于瑞波, 等. 石河子地区一次大雾天气的诊断分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2009, 3(2): 24-26.
- [6] 王楠, 杨洪儒, 梁艳. 近 37a 乌鲁木齐机场雾的不均匀性特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(4): 43-49.
- [7] 王春红. 乌鲁木齐国际机场 2009 年秋冬初雾天气的数值模拟分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2011, 5(5): 15-19.
- [8] 韩磊, 王春红, 王勇, 等. 乌鲁木齐国际机场“持续双低浓雾”天气特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(5): 9-16.
- [9] 朱雯娜, 王清平, 王春红. 等. 微波辐射计在乌鲁木齐机场浓雾检测中的应用[J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(5): 23-31.
- [10] 王春红, 王清平, 谭艳梅. 等. 微波辐射计资料在乌鲁木齐机场持续浓雾天气在的试验应用[J]. 气象科技进展, 2020, 10(4): 22-27.