

2019年12月乌鲁木齐机场一次连续两场降雪特征分析

刘倩¹, 王楠¹, 尹才虎¹, 付文睿²

¹民航新疆空中交通管理局, 新疆 乌鲁木齐

²甘南藏族自治州气象局, 甘肃 合作

收稿日期: 2021年12月14日; 录用日期: 2022年1月17日; 发布日期: 2022年1月24日

摘要

本文利用乌鲁木齐机场自动气象观测系统观测资料及美国环境预报中心(NCEP)的FNL (Final Operational Global Analysis) 0.25×0.25 再分析资料对2019年12月22~24日机场连续两场降雪天气过程进行研究分析, 总结此类天气过程特征, 分析机场降雪承载量与除雪时间的关系, 为运行决策提供一定参考。结果表明: 1) 此次连续降雪的环流背景为中亚低涡稳定少动, 多短波活动; 2) 逆温层的存在, 为强降雪的发生提供了不稳定能量; 3) 800~950 hPa存在明显的辐合中心, 配合强盛的上升运动及水汽通量散度辐合场, 有利于地面出现短时中雪; 4) 当乌鲁木齐机场积水厚度达到1.2 mm时, 需要短暂关闭机场进行30 min左右的清雪, 当积水厚度超过2.2 mm时, 若降雪继续维持, 则需要长时间关闭机场进行清雪, 若降雪不持续时, 则跑道经过1小时左右的清雪作业, 可以正常使用。

关键词

航空气象, 强降雪, 飞行安全, 除雪时间

Characteristics Analysis of Two Consecutive Snowfalls at Urumqi Airport in December 2019

Qian Liu¹, Nan Wang¹, Caihu Yin¹, Wenrui Fu²

¹Xinjiang ATMB, CAAC, Urumqi Xinjiang

²Meteorological Bureau of Gannan, Hezuo Gansu

Received: Dec. 14th, 2021; accepted: Jan. 17th, 2022; published: Jan. 24th, 2022

文章引用: 刘倩, 王楠, 尹才虎, 付文睿. 2019年12月乌鲁木齐机场一次连续两场降雪特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(1):62-74. DOI: 10.12677/ccrl.2022.111007

Abstract

This paper uses the observation data of the Urumqi Airport Automatic Weather Observation System and the FNL (Final Operational Global Analysis) 0.25×0.25 reanalysis data of the National Center for Environmental Prediction (NCEP) to study the two consecutive snow weather processes at the airport on December 22~24, 2019, analyze and summarize the characteristics of such weather processes, analyze the relationship between the airport's snow carrying capacity and snow removal time, and provide a certain reference for operational decision-making. The results show that: 1) the circulation background of the continuous snowfall is the stable low-motion vortex in Central Asia, and more shortwave activities; 2) the existence of the inversion layer provides unstable energy for the occurrence of strong snow; 3) there is an obvious convergence center at 800~950 hPa. Combined with the strong upward movement and the divergence convergence field of water vapor flux, it is conducive to the occurrence of short-term moderate snow on the ground; 4) when the thickness of water in Urumqi Airport reaches 1.2 mm, the airport needs to be temporarily closed for snow removal for about 30 min; when the thickness of water exceeds 2.2 mm, if the snowfall continues, the airport needs to be closed for snow removal for a long time; if the snowfall does not last, the runway can be used normally after about an hour of snow removal.

Keywords

Aviation Weather, Heavy Snowfall, Flight Safety, Snow Removal Time

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

近年来,随着新疆地区航空运输业的迅速发展,因天气原因造成的航空不正常事件逐年增多。乌鲁木齐地窝堡机场[1] (以下简称乌鲁木齐机场)三面环山,地形复杂,位于亚欧大陆内部、天山中段北麓、准格尔盆地南缘,冬季常出现暴雪和强降雪天气,降雪天气易造成飞机积冰、跑道道面湿滑、跑道能见度下降等现象,严重危及飞行安全,一直以来备受民航交通运输业及航空气象服务部门的关注。但针对乌鲁木齐机场降雪时长与跑道道面积雪深度及除雪所需时间的预报一直是气象工作者研究及服务保障的重难点。因此,研究乌鲁木齐机场连续降雪环流特点,对提高降雪预报预警能力,保证航空运行安全与效率有重要的现实意义。

2019年12月22日~24日乌鲁木齐机场出现连续两场降雪,乌鲁木齐机场少有时间间隔短,降雪量明显的连续降雪过程,此次降雪由于持续时间长,造成大量航班延误、备降及返航,故本文利用机场自动气象观测系统观测资料及美国环境预报中心(NCEP)的FNL (Final Operational Global Analysis) 0.25×0.25 再分析资料(以下简称FNL),基于此连续强降雪的天气特征及环流背景进行分析,研究乌鲁木齐机场降雪承载量及除雪时间的关系,为今后此类天气的预报提供一定的参考。

2. 天气概况及对飞行的影响

2019年12月22日至24日,北疆大部地区普遍出现小到中雪,其中,伊犁河谷、塔城地区、天山山区,北疆沿天山一带局地出现大到暴雪。乌鲁木齐机场连续迎来两场强降雪。22日17:17至23日09:00

为小雪天气,降雪持续 17 小时,降水量 4.6 mm,新增积雪深度 6 厘米;间隔仅仅 10 小时,23 日 19:30~24 日 20:00 又再次出现小雪天气,其中 24 日 03:30~04:00 为短时中雪,降雪持续 24 小时,降水量 4.8 mm,新增积雪深度 6 厘米。两场降雪过程降水量总计 9.4 mm,新增积雪深度总计 12 厘米。12 月 22 日~24 日机场降雪期间,乌鲁木齐机场因天气原因备降 30 班,延误 272 架次,延误 2 小时航班 59 架次,取消 59 架次。对乌鲁木齐机场航班的正常运行产生了很大的影响。

3. 环流形势分析

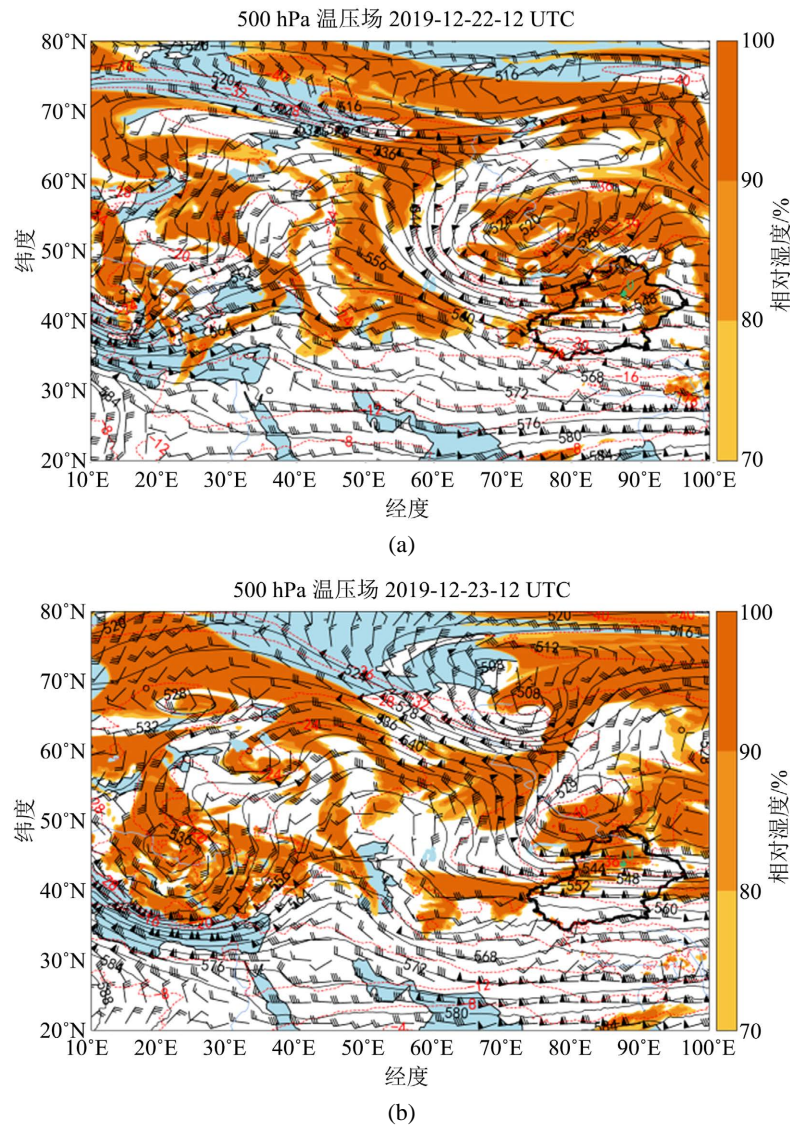


Figure 1. (a) 20:00 on December 22, 2019 and (b) 20:00 on December 23, 2019 500 hPa circulation chart

图 1. (a) 2019 年 12 月 22 日 20 时与 (b) 12 月 23 日 20 时 500 hPa 环流形势图

2019 年 12 月 22 日~12 月 24 日, 500 hPa 中高纬呈现为两脊一槽型, 中亚低涡位于威海与巴尔喀什湖之间, 位于乌拉尔山与新疆地区之间高压脊引导中亚低涡东移南压, 不断加强(图 1(a))。低涡中心发展深厚位置偏南, 配合 -36°C 的冷中心及槽后大于 40 米/秒的西北急流, 引导地面强冷空气南下自西向东影

响新疆地区。低涡稳定少动，且不断分裂短波影响新疆地区，给北疆地区带来多次降水。至12月23日20时(图1(b))，500 hPa锋区压至西部国境线，并进一步东移南压，高空槽也随之加深南压，里海长脊，使得乌拉尔山的冷空气和水汽不断向中亚低涡补充，冷中心温度为 -40°C ，高空槽后有20米/秒以上急流，配合冷空气南下影响新疆地区，有利于第二次降雪天气过程的出现，24日20时中亚低涡减弱为槽并东移北抬至乌鲁木齐机场以东(图略)，降雪结束，形势场同2018年春季中天山北坡两场强降雪类似[2]。

22日08时至23日20时，700 hPa北疆西部以西南气流为主，22日08时(图2(a))槽前西南气流达到了24米/秒，24日08时(图2(b))北疆西部转为一致西北风，并且从北疆西部至天山山区一带存在明显的风速辐合。与乌鲁木齐2015年12月9~12日日一次暴雪过程相似[3]，中纬度水汽沿着西南气流进入新疆区域，有利于后续降水的出现和维持，700 hPa形势和500 hPa表现明显一致，锋面完整，槽区深厚，随着系统的推移，有高湿区逐渐向乌鲁木齐机场输送。

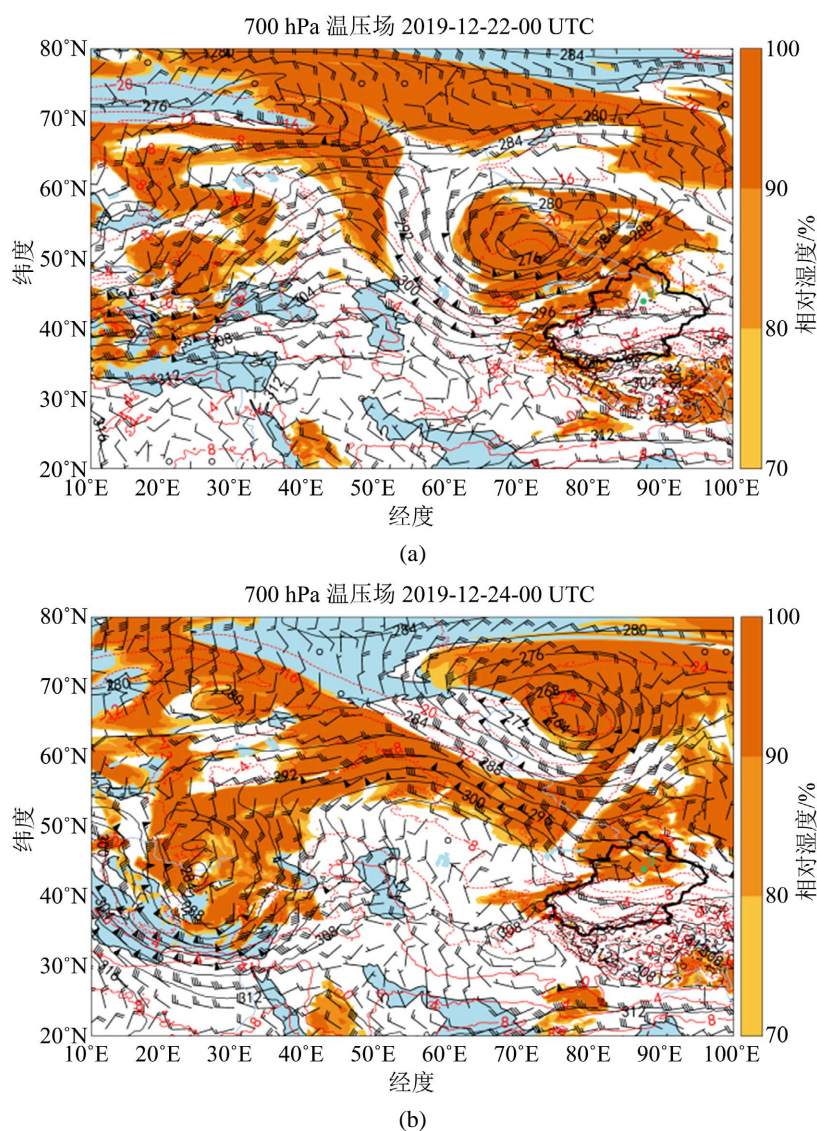


Figure 2. (a) 08:00 on December 22, 2019 and (b) 08:00 on December 24, 2019 700 hPa circulation chart

图 2. (a) 2019 年 12 月 22 日 08 时与 (b) 12 月 24 日 08 时 700 hPa 08 时环流形势图

22日20时(图3(a))850 hPa偏北风与偏西风在天山北坡汇合加强水汽辐合产生降雪,偏北风与天山山脉的相互作用导致地形强迫抬升加强了降雪。23日20时(图3(b)),850 hPa乌鲁木齐机场及周边处于暖区且盛行偏东风,中低层的暖湿气流和偏东风为降雪提供热力和水汽条件;24日02时(图略)天山山区北坡存在明显的风场辐合,中低层风场的切变和辐合促进上升运动的发生发展。

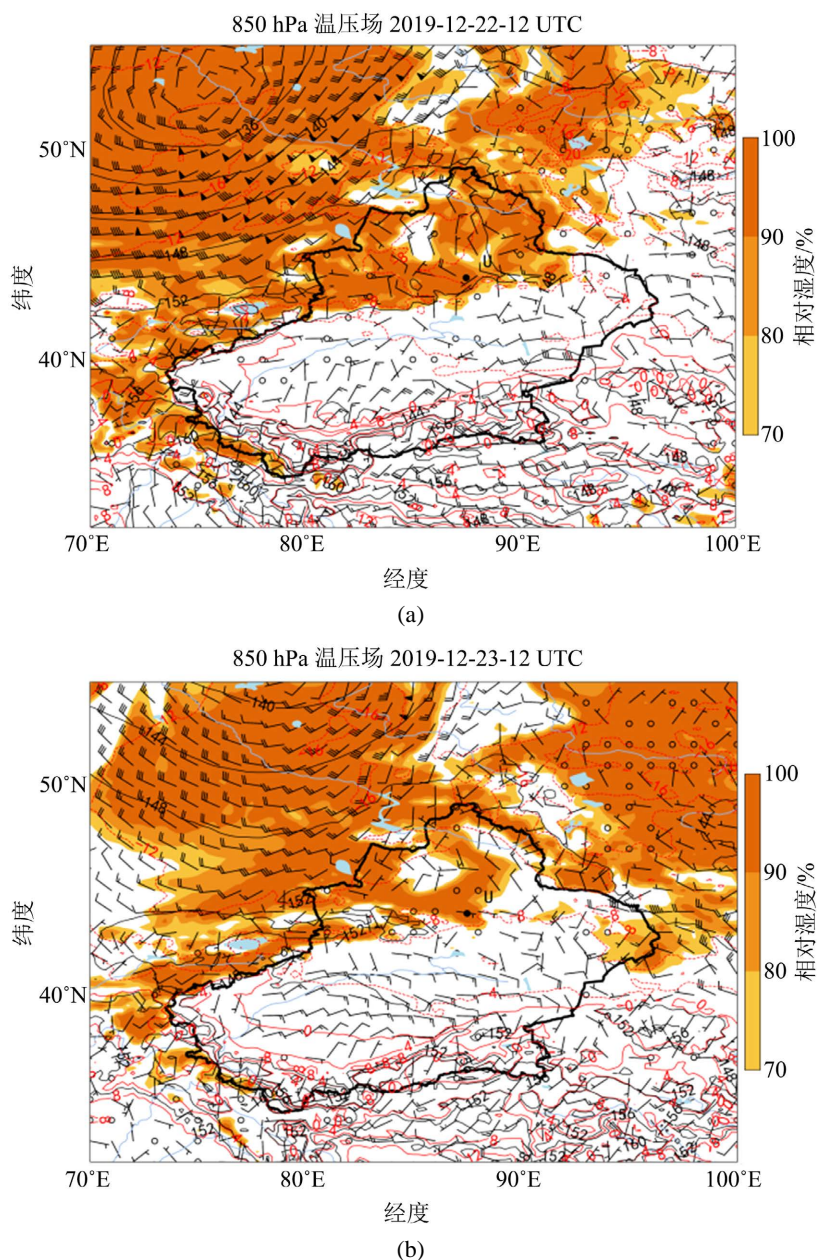


Figure 3. (a) 20:00 on December 22, 2019 and (b) 20:00 on December 23, 2019 850 hPa circulation chart

图 3. (a) 2019 年 12 月 22 日 08 时与 (b) 12 月 23 日 08 时 850 hPa 环流形势图

地面 22 日 20 时(图 4(a))冷高压位于里海和咸海之间,中心值 1030 hPa,长轴呈准南北向,高压前部有冷锋锋生;至 23 日 08 时(图略)地面冷高压缓慢东移,为偏西路径,冷锋进入北疆区域受地形影响由伊

犁河谷,塔城地区,到北疆沿天山一带,自西向东移动。新疆区域受地面冷高前部分裂小高压影响,降水强度不强。由于中亚地区暖低压阻挡作用,高压主体移动缓慢,稳定加强。23日20时(图4(b))至24日08时地面高压中心强度增强到1037.5 hPa,范围明显增大,北疆大部受宽广的高压带控制,高压强度加强,降水强度加强,24日20时(图略)乌鲁木齐机场处于两个分裂的冷高压中心,冷高压中心强度高达1042.5 hPa,随后减弱东移北抬,乌鲁木齐机场降雪结束,第二次降雪持续时间较第一次降雪时间更长。

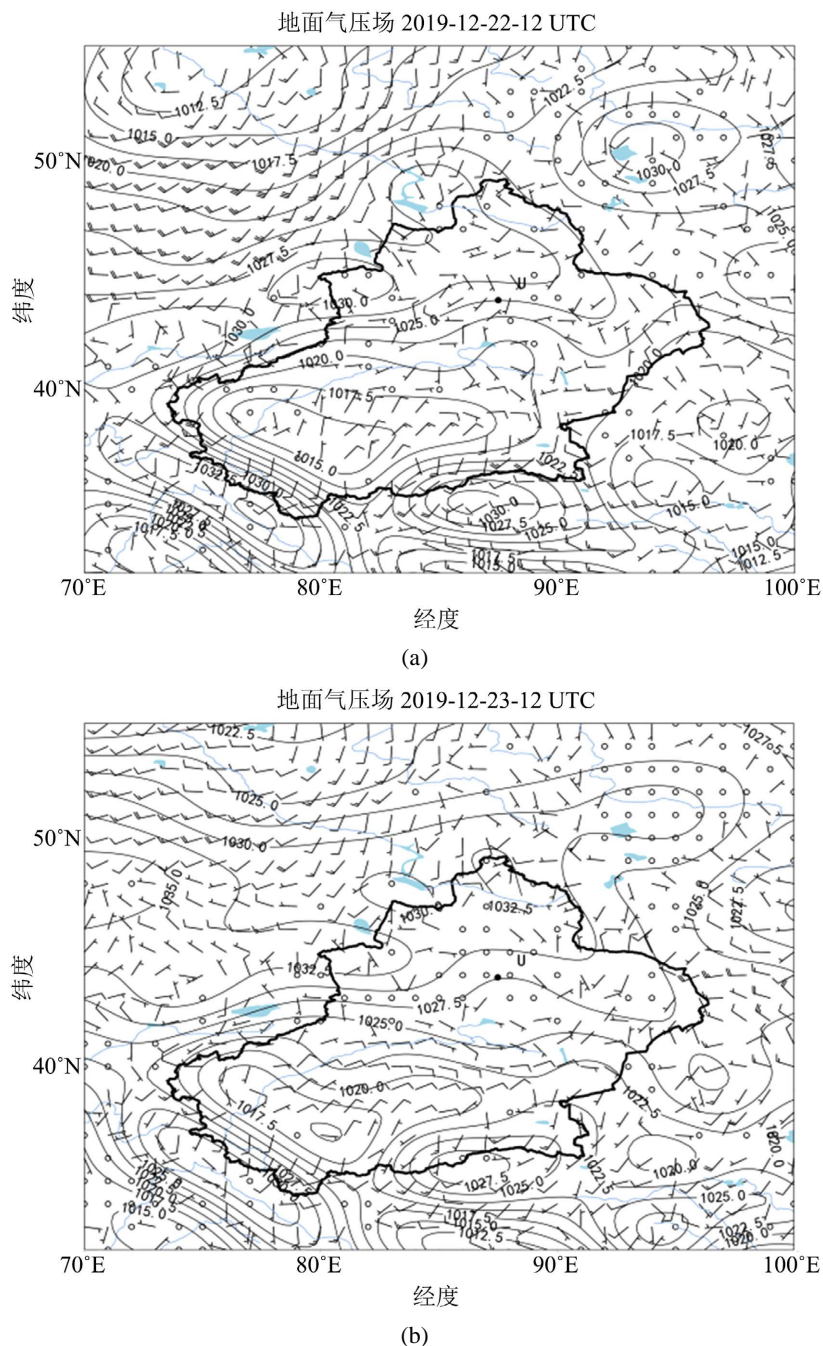


Figure 4. (a) 20:00 on December 22, 2019 and (b) 20:00 on December 23, 2019 surface pressures charts

图 4. (a) 2019 年 12 月 22 日 20 时与 (b) 12 月 23 日 20 时地面图

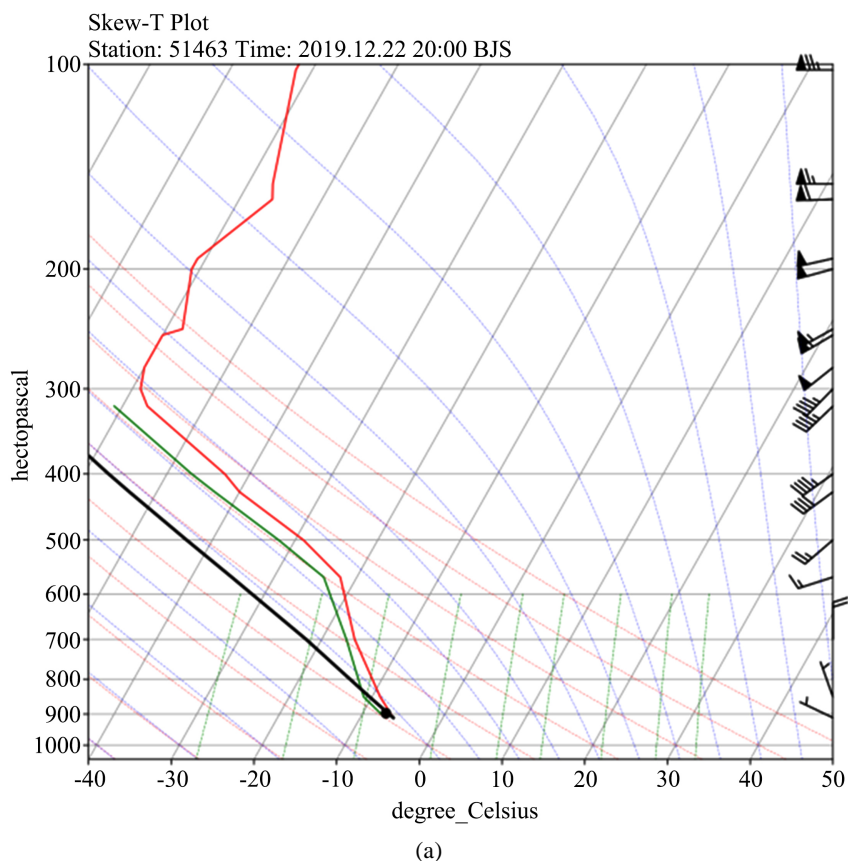
4. 不稳定能量分析

4.1. 温度对数压力图分析

降雪的发生除了水汽条件、动力条件、还有不稳定条件。2019年12月21日20时(图略): 925 hPa~700 hPa 东南风略有加强, 925~850 hPa 温度层结变化明显, 为“减温-增温-减温层”结构, 850~700 hPa 逆温明显加强, 逆温强度为 $7^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。2019年12月22日08时(图略): 850~700 hPa 为西北风转东南风, 风随高度顺时针旋转, 说明有暖平流, 850~700 hPa 温度层结变化明显, 为“减温-增温-减温-增温-减温-增温层”结构, 说明冷暖空气交汇比较明显, 且有明显温度露点差, 呈现“湿-干-湿-干”结构, 逆温强度为 $5^{\circ}\text{C}/\text{km}$, 减弱明显。2019年12月22日20时(图5(a)), 逆温层结构消失, 温度-露点廓线接近, 湿度集中在925~600 hPa, 空中湿度增加, 850~700 hPa 为西北风转偏北风, 风随高度顺转, 有暖平流, 空中有明显的风向风速辐合; 有利于地面出现降雪[4]。

12月23日20时(图5(b)): 925到700 hPa 为东北风转为偏南风, 风随高度顺转, 有弱的暖平流, 850~700 hPa 有弱的温度层结变化, 为“增温-减温层”结构, 但逆温强度较弱, 为 $3^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。2019年12月24日08时(图略): 温度-露点廓线接近, 空中湿度增大, 有利于地面出现降雪。500 hPa 以下为“西北风-东北风-偏西风”, 风随高度先顺转后逆转, 底层为暖平流中层为冷平流。2019年12月24日20时(图略): 850~700 hPa 上空转为一致的西北风, 700 hPa 风速达到12米/秒, 随后乌鲁木齐机场降雪转停。

综上所述, 此次两场连续降雪前, 乌鲁木齐地区上空均有逆温层存在, 为降雪的发生积累了不稳定能量, 不同的是, 第一场降雪前的逆温层强度更强, 但第二场降雪强度更强, 可见, 第二场降雪持续受第一场降雪前的逆温强度影响。



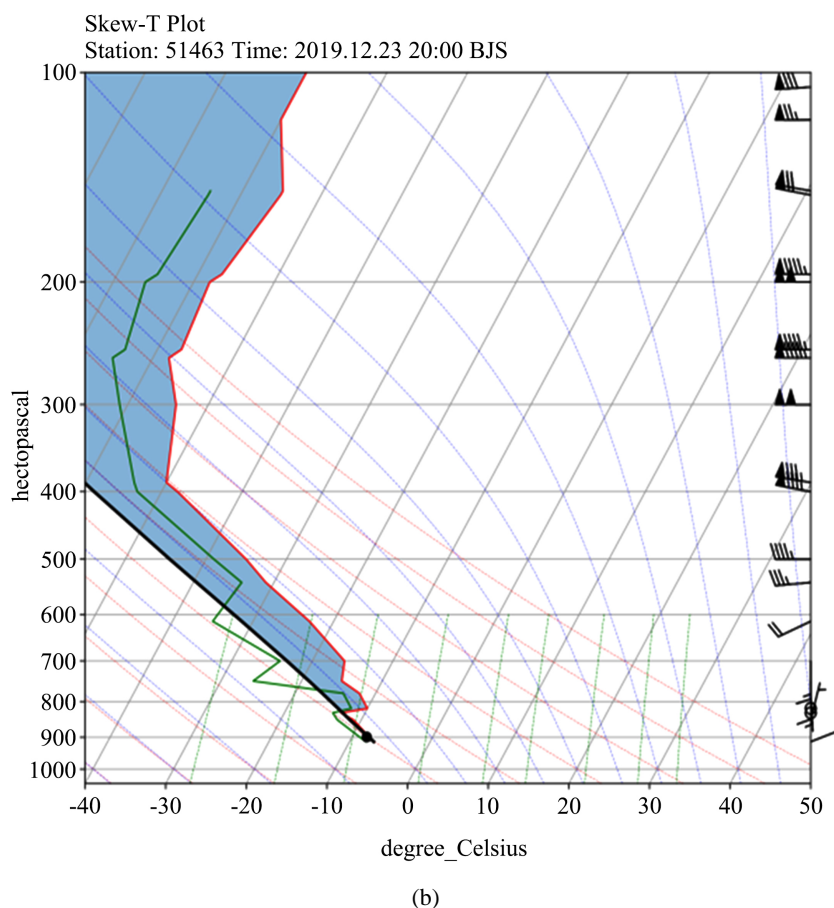


Figure 5. (a) 20:00 on December 22, 2019 and (b) 20:00 on December 23, 2019 skew T-log P diagram

图 5. (a) 2019 年 12 月 22 日 20 时与 (b) 12 月 23 日 20 时温度对数压力图

4.2. 垂直速度与散度场分析

12 月 22 日降水前乌鲁木齐机场上空 500 hPa 以下以辐散下沉气流为主, 22 日 08:00 乌鲁木齐机场 900 hPa 以上为弱的辐合上升气流, 随着系统主力逐渐移近(图 6(b)), 22 日 14 时 700 hPa 至 500 hPa 及 900 hPa 至 750 hPa 出现两个水平散度辐合中心, 至 22 日 17 时辐合中心出现最大值, 分别为 $-30 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 和 $-50 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ (图 6(a)), 垂直速度场同时呈现两个“中心”, 其中 600 hPa 至 500 hPa 为垂直速度大值区, 中心值为 $-0.6 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$, 在此高度层上辐合上升气流很强, 动力条件较好, 乌鲁木齐机场降雪开始出现, 23 日 08 时乌鲁木齐机场上空上升气流明显减弱且 800 hPa 至 400 hPa 转为弱的辐散下沉气流, 辐合上升气流明显下降, 动力条件减弱, 降雪趋于结束。

12 月 23 日 14 时乌鲁木齐机场低层 900 hPa 出现弱上升气流, 20 时上升气流明显抬升, 截至 24 日 20 时, 500 hPa 以下都以上升气流为主(图 6(a)), 24 日 03 时 800 hPa~900 hPa 垂直速度场及水平散度场同时出现最大值, 分别 $-0.5 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $-40 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ (图 6(b)), 03 时开始乌鲁木齐机场上空的上出现较强的辐合上升气流, 与此同时, 600~450 hPa 有较大的辐散, 散度中心值为 $60 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, 低层辐合高层辐散的形势有利于抽吸作用, 地面实况显示, 24 日 03 时 30 分至 04 时为短时中雪, 24 日 06 时至 10 时, 上升气流中心位于 900~800 hPa, 气流中心值为 $-0.5 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$, 24 日 18 时以后, 整层转为辐散下沉气流, 降雪过程逐渐结束。

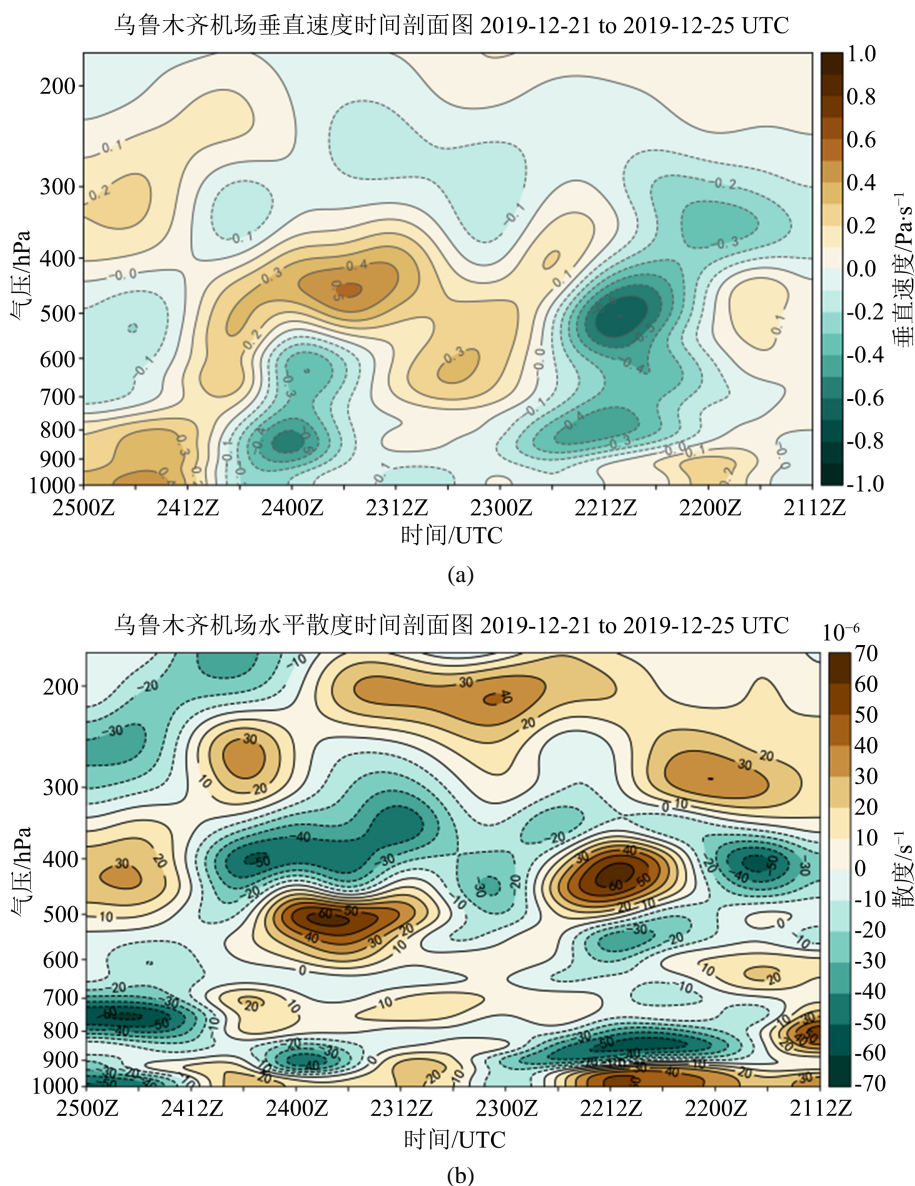


Figure 6. (a) Vertical velocity time profile; (b) horizontal diffuse time profile

图 6. (a) 垂直速度时间剖面图; (b) 水平散度时间剖面图

4.3. 水汽通量分析

此次连续降水的水汽通道主要有两条, 500 hPa 来自中亚低涡前部的西南气流输送, 中低层 850~700 hPa 的水汽输送主要来自西北方向, 沿着乌鲁木齐 87.47W°、43.9N° 上空做相对湿度的时间高度剖面图(图 7(a)), 可以看到 22 日 15 时, 400 hPa 以下水汽条件比较好, 至 22 日 20 时, 900~500 hPa 为高湿区, 相对湿度接近饱和(图 7(b)), 从 22 日 08 时至 23 日 08 时, 900~750 hPa 有水汽通量散度负中心, 最大值为 $-1.25 \times 10^{-5} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 水汽在乌鲁木齐机场上空此高度层内聚集, 23 日 17 时 850 hPa 风随高度顺时针旋转, 有暖平流, 水汽通量散度图由下到上呈现“辐合-辐散-辐合-辐散”结构, 其中 850 hPa 附近水汽通量散度值达到了最大值, 为 $-1.25 \times 10^{-5} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 且从 850~500 hPa, 整层为水汽辐合区, 且 850 h~600 hPa 为一致的西北风, 且存在风速的辐合, 乌鲁木齐机场在此时出现降雪天气, 至

23日08时, 850~700 hPa的水汽辐合明显减弱, 且850~700 hPa西北气流明显减弱并转为东北气流, 实况显示第一次降雪逐渐转停。

(图7(a))可以看到23日20时, 乌鲁木齐机场上空相对湿度达到85%随着时间的推移相对湿度趋于饱和并且水汽向上伸展, 24日08时850~600 hPa相对湿度达到95%以上, 且24日02时开始(图7(b)), 近地面水汽明显950~800 hPa存在明显的水汽辐合, 中心值为 $-1.25 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 从地面至500 hPa为一致的西北风, 850~500 hPa存在明显的风速风向辐合, 空中西北冷湿空气在乌鲁木齐机场上空聚集。与实况对应乌鲁木齐机场在24日03时至04时出现了短时中雪, 24日20时, 乌鲁木齐上空相对湿度明显减弱, 底层转为东南风, 850 hPa以下风随高度顺转, 存在明显的风向风速辐散, 水汽通量散度也明显减小, 600 hPa上空出现正值区, 地面降雪转停。

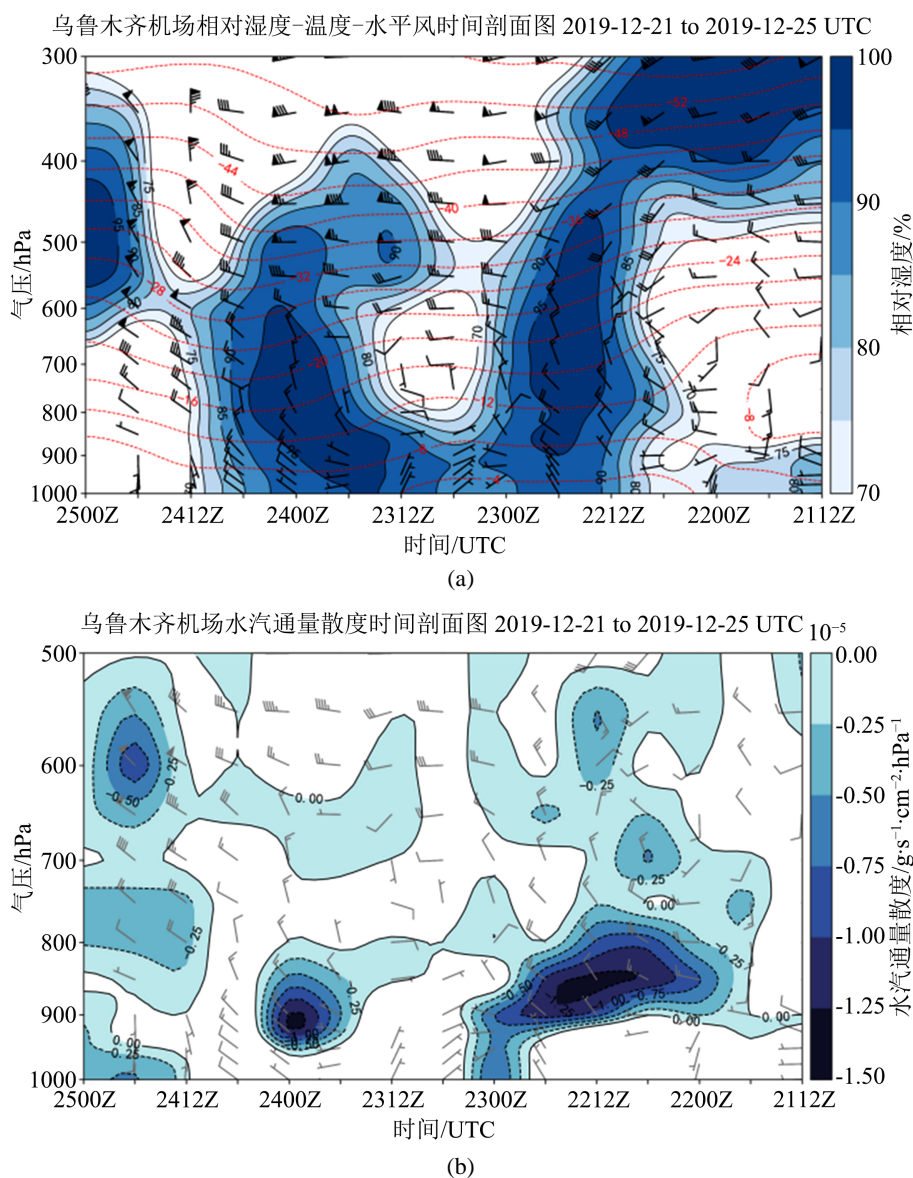


Figure 7. (a) Relative humidity-temperature-horizontal wind time profile; (b) Water vapor flux divergence time profile

图 7. (a) 相对湿度 - 温度 - 水平风时间剖面图; (b) 水汽通量散度时间剖面图

5. 降水量与跑道关闭时间的关系初探

由于 AWOS 里 rain 的量级都为 0, 没有办法统计到逐小时的降水量, 故采用 AWOS 数据 rosa 里的 water thickness 来表征降水强度。为方便描述, 提出一个指标, 称其为积水厚度, 图 8 为 25 号及 07 号跑道的 waterthickness 与跑道关闭时间及降雪实况相对应的图, 为更直观的表征降雪实况, 将小雪表征为 1, 中雪表征为 2, 由图 8 可知, 25 号及 07 号跑道的 waterthickness 与实况的拟合效果还是比较可观的, 07 号跑道 waterthickness 的量级与机场短时中雪的时段拟合的比较好。跑道关闭时间与降雪时间的关系可以进行进一步的统计分析。

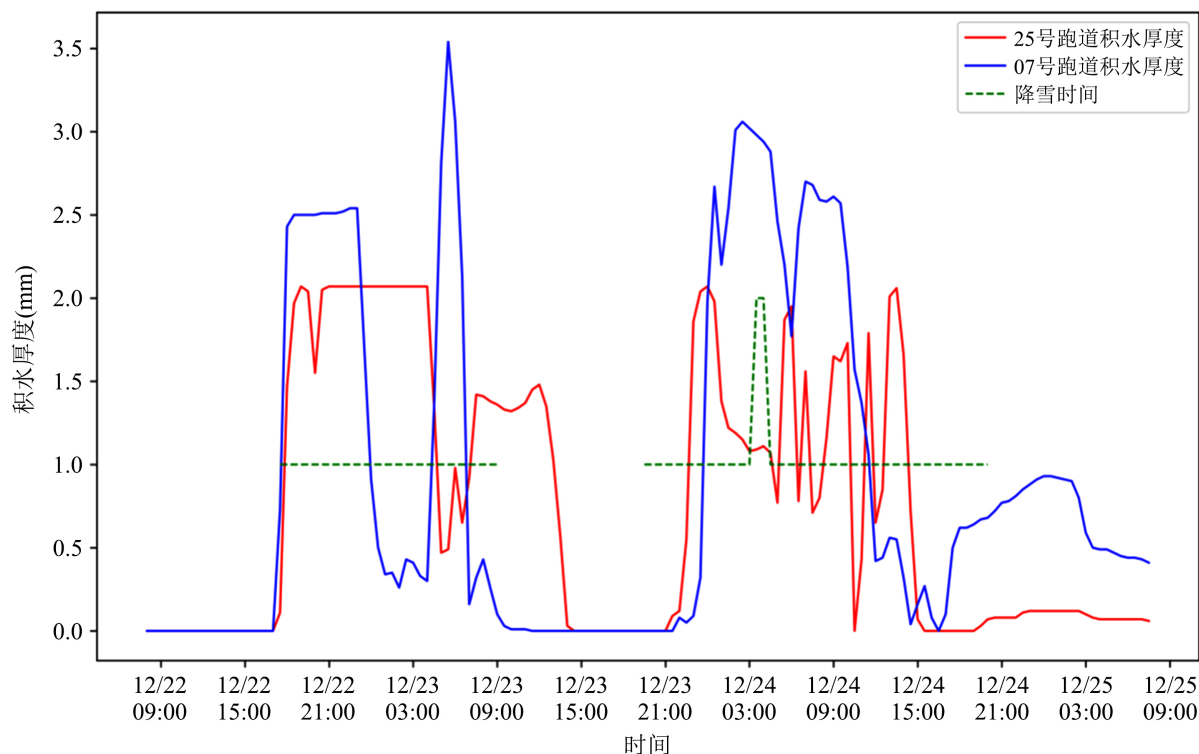


Figure 8. Comparison and analysis chart of waterthickness of Runway 25 and runway 07 in Urumqi Airport
图 8. 乌鲁木齐机场 25 号跑道及 07 号跑道降雪承载量雨降雪实况对比分析图

根据表 1 分析可知, 在 12 月 22 日 17:40, 积水厚度达到 1.2 mm 之后, 跑道便无法维持正常放行, 需要进行跑道清雪, 在结束 25 min 的清雪过程后, 在 19:05 积水厚度达到 2.29 mm 时, 再次进行清雪过程, 但此时降雪依旧维持, 在结束 40 min 的清雪过程后跑道开放 30 min 后便无法维持间歇性放行状态, 故关闭机场进行长时间跑道清雪。

在 24 日 08:30 积水厚度达到 1.9 mm 时, 需要进行长达 40 分钟的清雪过程, 便开始间歇性放行飞机, 当积水厚度达到 2.22 mm 时, 且降雪不再继续维持, 经过前后 70 min 的清雪过程, 跑道可以继续维持正常使用, 故不需要长时间关闭跑道进行清雪。进行推算可知, 当积水厚度达到 1.2 mm 时, 需要短暂关闭机场进行清雪, 清雪时间为 30 min 左右, 当积水厚度超过 2.2 mm 时, 若降雪继续维持, 则需要长时间关闭机场进行清雪, 若降雪不持续时, 则经过 1 小时左右的清雪作业, 可以正常使用。

图 9 为 25 号和 07 号跑道积雪承载量的平均值与 EC 细网格累计降水量的比对图, 分析可知 EC 细网格预报的降水量与 waterthickness 反映的降水趋势基本一致, 故猜测用 waterthickness 表示实时降水情况

可用,对于两场降雪 EC 细网格 20 时起报对 25 号跑道降雪量的模拟效果均比 08 时起报的要好。针对降雪天气的预报,EC 预测效果比较好,用 watrthickness (跑道积雪承载量)再表征降水强度方面有进一步挖掘的价值。

Table 1. Runway opening time and watrthickness analysis table

表 1. 跑道开放时间 & 降雪承载量分析表

时间	跑道开放时间	开放时间(min)	截止时间	积水厚度(mm)	跑道关闭时间	关闭时长(min)
22 日	17:17~17:40	23	17:40	1.20	17:40~18:05	25
	18:05~19:05	60	19:05	2.29	19:05~19:45	40
	19:45~20:15	30	20:15	2.29	20:15~23 日 07:00	645
24 日	07:56~08:30	34	8:30	1.90	08:30~09:10	40
	09:10~09:40	30	9:40	2.22	09:40~10:20	30

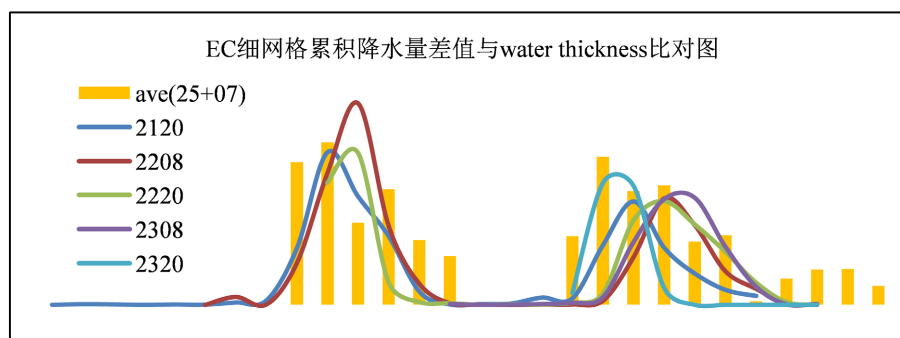


Figure 9. Comparison diagram between EC fine grid cumulative precipitation difference and water Thickness

图 9. EC 细网格累积降水量差值与 water thickness 比对图

6. 总结与讨论

本文利用 2019 年 12 月 22~24 日乌鲁木齐机场自动气象观测系统观测资料及 FNL 再分析资料对机场连续降雪特征进行研究分析,主要结论如下:

1) 此次连续降雪出现在中亚低涡稳定少动,不断分裂短波影响新疆地区的环流背景下,冷空气不断南下给新疆地区带来一次又一次降雪,中纬度水汽沿着西南气流进入新疆区域,中低层的暖湿气流和偏东风为降雪提供热力和水汽条件,风场的切变和辐合促进上升运动的发生发展,有利于连续降水的出现和维持。

2) 逆温层存在,可以为降雪的发生积累不稳定能量,逆温层结构消失,温度-露点廓线接近,底层空中湿度增加,空中有明显的风向风速辐合,有利于地面出现降雪,当逆温层比较深厚时,可产生连续降雪。

3) 当 800~950 hPa 水平散度场存在明显的辐合中心,与此同时,配合有明显的垂直上升运动及水汽通量散度辐合场时,有利于地面出现短时中雪。

4) 当积水厚度达到 1.2 mm 时,需要短暂关闭机场进行清雪,清雪时间为 30 min 左右,当积水厚度超过 2.2 mm 时,若降雪继续维持,则需要长时间关闭机场进行清雪,若降雪不持续时,则经过 1 小时左

右的清雪作业，可以正常使用。

参考文献

- [1] 王健, 宫恒瑞, 贾健, 等. 乌鲁木齐“12·27”高影响大暴雪天气综合分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(3): 36-42.
- [2] 李海花, 张云惠, 张萌, 等. 2018年春季中天山北坡两场强降雪分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(3): 28-35.
- [3] 朱雯娜, 张茜, 谭艳梅. 乌鲁木齐一次暴雪过程地形敏感性试验[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(4): 62-69.
- [4] 朱蕾, 王清平, 王勇, 等. 乌鲁木齐两次极端暴雪天气过程对比分析[J]. 暴雨灾害, 2020, 39(3): 225-233.