

热孜瓦古·孜比布拉,阿依谢姆古丽·孜比不拉. 南疆西部秋季一次罕见暴雪过程诊断分析[J]. 陕西气象, 2023(5): 12-18.

文章编号:1006-4354(2023)05-0012-07

南疆西部秋季一次罕见暴雪过程诊断分析

热孜瓦古·孜比布拉¹,阿依谢姆古丽·孜比不拉²

(1. 喀什地区气象局,新疆喀什 844000;

2. 克孜勒苏柯尔克孜自治州气象局,新疆阿图什 845350)

摘要:利用常规气象观测资料, FY-2G 卫星、喀什多普勒雷达、全球同化系统(global data assimilation system, GDAS)数据及 NCEP($1^{\circ} \times 1^{\circ}$)再分析资料,对 2020 年 11 月 20—23 日发生在南疆西部喀什、克州地区的一次暴雪天气过程进行了多尺度诊断分析。结果表明:500 hPa 中亚低涡为此次暴雪天气过程发生的大尺度环流背景,700~850 hPa 切变线提供有利的动力条件,中低层持续上升运动以及低层辐合、高层辐散的配置为暴雪提供动力支持;HYSPLIT 水汽后向轨迹模拟结果显示,此次暴雪水汽源地主要在里海—咸海、西西伯利亚,不同高度上两者水汽贡献率有明显差别,里海水汽贡献率大于西西伯利亚水汽贡献率,因此偏西路径水汽输送占比略多;整个暴雪天气过程中雷达回波以层状云回波为主,回波强度仅为 20~25 dBz,但有弱的对流特征;降雪开始时卫星云图上云顶亮温迅速下降,降雪区处于其等值线边缘的梯度大值区。

关键词:环流背景;暴雪;南疆西部;水汽输送

中图分类号:P458

文献标识码:A

南疆西部包括西部喀什、克孜勒苏柯尔克孜自治州(简称克州),在地理上北有西天山,南有昆仑山,西部为帕米尔高原,海拔高度均在 3 km 以上,东部为塔克拉玛干沙漠,平原地区平均海拔高度在 1 200 m 以上,水汽较难进入盆地,属于较严重的干旱地区。南疆西部降水时空分布极不均匀,山区降水量大于平原,北部大于南部,平原地区降水主要集中在 5—9 月。根据喀什、克州历年月降水资料来看,各地 11 月降水量 2~5 mm,月平均气温 3.0~4.5℃,入冬期在 11 月 30 日左右。随着全球气候变暖,近年来新疆极端降水增多,秋冬季极端降雪也增多^[1-6],近年来对南疆极端暴雪也有少量的研究,如杨霞等^[7]对 2011 年冬季南疆西部罕见大暴雪天气多尺度特征和物理量

配置做了分析。张云惠等^[8]对中亚低涡影响的两次南疆西部降雪天气机制进行了对比分析。有研究指出南疆西部大暴雪的水汽源地可追溯到阿拉伯海地区,且阿拉伯海水汽主要是在高空偏南气流引导下输送到南疆西部上空^[9-11]。本文针对 2020 年 11 月 20—23 日南疆西部喀什、克州地区出现的雨转暴雪天气,从大尺度环流背景、动力、热力及水汽条件、雨雪相态转换、中小尺度系统等与降水时间、落区、强度的对应关系进行分析。

1 数据和方法

使用的资料包含:(1)2020-11-19T08—24T20 时(北京时,下同)南疆西部喀什、克州地区国家气象站及区域自动气象站逐小时降水观测资料、探空资料、喀什多普勒雷达资料及 NCEP/

收稿日期:2022-08-09

作者简介:热孜瓦古·孜比布拉(1987—),女,维吾尔族,新疆阿图什人,本科,高工,从事天气预报预警及研究。

通信作者:阿依谢姆古丽·孜比不拉(1989—),女,维吾尔族,新疆阿图什人,本科,高工,从事天气预报预警及研究。

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金(2021D01F10);喀什地区科技计划项目(KS2022058)

NCAR ($1^{\circ} \times 1^{\circ}$)再分析资料,计算不同层次的等压面、风场、水汽通量散度、比湿、温度平流、垂直速度等物理量。(2)FY-2G 卫星红外云图的云顶亮温(T_{BB})资料,1 h 平均相当黑体亮度温度用于中尺度对流云团特征。(3)全球资料同化系统(global data assimilation system, GDAS)的水平分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 逐 6 h 资料,用于后向轨迹计算。

降水量级使用新疆标准^[12],即日降雪量 0.0~0.2 mm 为微雪,0.3~3.0 mm 为小雪,3.1~6.0 mm 为中雪,6.1~12.0 mm 为大雪, ≥ 12.1 mm 为暴雪。

此次过程影响范围大、持续时间长、降雪累积量大,针对这个特点,首先利用 NCEP 再分析资料对这次过程的环流形势进行分析,然后从动力条件、热力条件及水汽条件等方面进行物理量的诊断分析,最后根据卫星云图和雷达回波的演变

进一步分析这次过程的中小尺度特征。

2 暴雪实况

图 1 给出 2020-11-20T08—23T08 南疆西部喀什、克州等 15 个国家观测站累计降雪量及暴雪中心逐日降水量。从图 1a 中可以看到,喀什、克州地区普降小到中雪,局地大到暴雪。台站观测到阿图什、喀什国家站过程累计降雪量均为 18.3 mm,阿图什城区累计降雪量最大值为 21.5 mm,积雪深度 8~9 cm,喀什市城区累计降雪量 15.2 mm,积雪深度 9~10 cm。从图 1b 逐日降水量来看,20 日 20 时—21 日 20 时为主要降水时段,阿图什城区日降水量为 16.2 mm,达到暴雪标准。从小时降水量(图略)来看,此次天气过程中阿图什国家站 20 日 16 时—22 日 23 时、喀什国家站 20 日 19 时—22 日 20 时出现降水,持续时间分别为 55 h、49 h,是一次范围广、持续

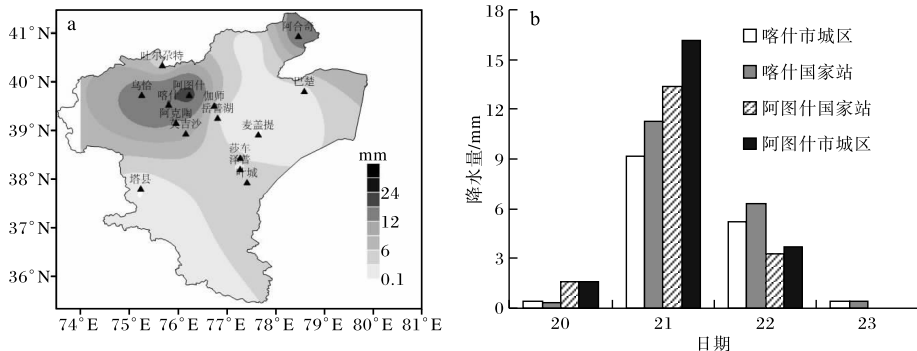


图 1 2020-11-20T08—23T08 南疆西部累计降水量(a)及暴雪中心逐日降水量(b)

时间长的暴雪天气过程,喀什创历史 30 年同期初雪及积雪日出现时间最早、降雪量最大、持续时间最长记录,属历史罕见。

此次降雪过程中出现了明显的雨雪相态转换。喀什、克州等 15 个国家站中有 8 站出现雨雪相态转换,其中偏北的阿图什、伽师、岳普湖站 20 日 13—17 时出现小雨,18—19 时出现雨夹雪,20 时转为小雪;偏南的莎车 20 日 12—22 时出现小雨,23 时转为降雪;偏东的巴楚 20 日 14—18 时出现雨夹雪,19 时转为降雪;山区的吐尔尕特、乌恰、阿合奇因海拔高度在 2 000 m 以上,降水相态为雪。从气温日变化来看,喀什站日平均气温从 19 日的 2.4°C 一直下降到 -6.3°C ,24 日最低气温为 -10.9°C ,大范围雨雪、 $5\sim 8^{\circ}\text{C}$ 降温对林

果、设施农业造成较大损失。

3 环流形势分析

图 2 给出 20 日 08 时 500 hPa、700hPa 的高度场和风场。从图 2a 中可以看到,500 hPa 欧亚范围呈两槽一脊型。欧洲脊向东发展,西伯利亚东部贝加尔湖至巴尔喀什湖有一深厚的东北—西南向低槽,并在向南加深过程中分裂为南北两段。南段低槽南撤过程中在塔什干地区加强形成低涡,低涡前西南气流强盛,并有一 -32°C 的冷中心配合。20 日低涡前分裂短波进入南疆西部,北段低槽南压至新疆东部,形成“东西夹攻”形势,有利于南疆西部明显降水天气^[11]。20 日 08 时—22 日 20 时低涡继续加强,低涡前西南气流为暴雪提供有利的水汽条件。22 日上游西伯利亚高压脊发展,脊

顶向东北伸展并形成一阻塞高压。23日08时随着上游脊的减弱,新疆东部低槽东移,中亚低涡减弱北收,南疆西部上空风速辐合明显减弱,西南气流转为偏西气流,降水趋于结束。

从图2b可看到,20日08时700 hPa南疆西部喀什为西北风,其东部盆地为偏东风,有明显的切变线。14时喀什转为偏东风,弱偏东风持续至23日08时,低空偏东气流有利于低层空气的辐合上升与水汽的辐合。此外,在南疆大降水前,当高空低值系统爬上高原时,南疆盆地气压较低,如

无偏东急流流入盆地起垫高作用,则从西部翻越高山的冷空气会向盆地下滑而不能出现强降水^[9]。850 hPa 20日08时南疆盆地建立一致的偏东风,20时风速加强到16 m/s,21日东风强度一直维持在12 m/s以上,22日风速有些减弱,23日00时转为偏西风,降水趋于减弱。偏东急流一方面与西部山区地形垂直,形成风的辐合及地形强迫抬升,另一方面将南疆盆地东部的湿冷空气输送到南疆西部,起到冷垫作用。中亚低涡稳定少动和偏东急流的维持导致南疆西部降水长时间持续。

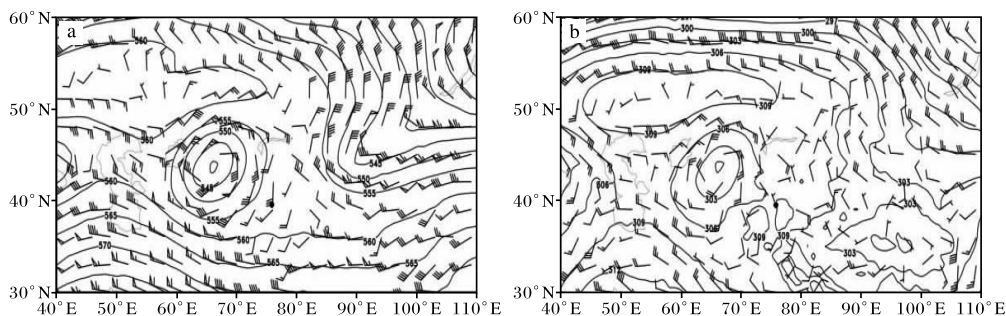


图2 2020-11-20T08 高度场(单位为 dagpm)和风场(单位为 m/s;a 500 hPa,b 700 hPa;黑点为喀什)

19日08时海平面气压场(图略)上,冷高压中心位于里海—咸海,中心强度达1 045 hPa,南疆盆地有一1 005 hPa热低压,南疆西部沿国境线一带等压线密集。20日08时(图3),冷高压中心以偏西路径东移至北疆沿天山一带,中心强度仍为1 045 hPa,与南疆盆地低压形成“北高南低”的气压场形势,南疆西部开始加压,14时南疆盆地海平面气压上升到1 030 hPa,16时阿图什开始出现降水,19时喀什开始出现降水。21日冷空气随着偏东气流灌入南疆西部,南疆西部继续加压,23日冷高压开始减弱,降水趋于结束。

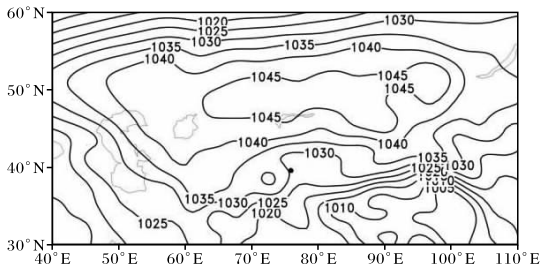


图3 2020-11-20T08 海平面气压场(单位为 hPa;黑点为喀什所在地)

4 暴雪诊断分析

4.1 动力条件

沿39°N(暴雪中心)作垂直速度的剖面。从图4可以看到,降水开始前75°E~76°E低层850~300 hPa附近为强烈的上升运动,400~500 hPa上升运动最强中心为 $-28 \times 10^{-2} \text{ Pa/s}$,降水开始时600~700 hPa为 $-12 \times 10^{-2} \text{ Pa/s}$ 上升运动,500 hPa以上为弱下沉运动。降水过程(20—21日)中,中低层维持上升运动,21日20时300 hPa附近出现 $20 \times 10^{-2} \text{ Pa/s}$ 下沉运动,22日00时400~500 hPa上升运动又加强到 $-16 \times 10^{-2} \text{ Pa/s}$,22日14时上升运动加强到 $-28 \times 10^{-2} \text{ Pa/s}$,23日整层上升运动减弱,并转为下沉运动。可以看出中低层持续上升运动是此次暴雪发生的重要原因。

从沿39°N作散度的剖面图(图4)可看出,19日08时降水开始前76°E附近400~500 hPa有 $-60 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 辐合中心,600~700 hPa为 $20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 辐散中心。20日08时低层600~800 hPa为 $-40 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 辐合中心,300~400 hPa高层为

$30 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 辐散中心,形成明显的低层辐合、高层辐散的配置,强辐合中心有利于能量和水汽在暴雪区的汇聚。22 日 14 时高层 300~400 hPa 出现 $-40 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 辐合中心,20 时 500~600 hPa 有 $20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 辐散中心,700 hPa 以下为弱辐合区。表明强的低层辐合、高层辐散的发展和持续为暴雪产生提供有利的动力条件。

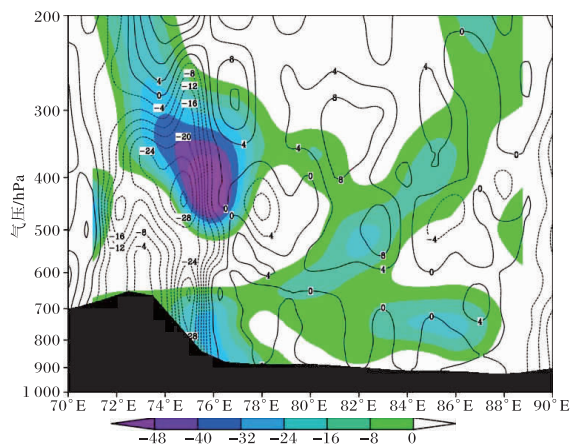


图4 2020-11-19T08 沿 39°N 垂直速度(实线;单位: 10^{-2} m/s)和散度(填色;单位为 10^{-5} s^{-1})剖面图

4.2 热力条件

沿暴雪区 39°N 作温度平流垂直剖面图(图5)。可以看到,19 日 08 时喀什、阿图什地面到 400 hPa 左右有冷平流,冷平流中心在 600 hPa 和 400 hPa,中心最大值为 $-40 \times 10^{-5} \text{ K/s}$,300 hPa 以上为 $30 \times 10^{-5} \text{ K/s}$ 暖平流。20 日 08 时地面到 500 hPa 为弱冷平流,加之其对应高空暖平流,有

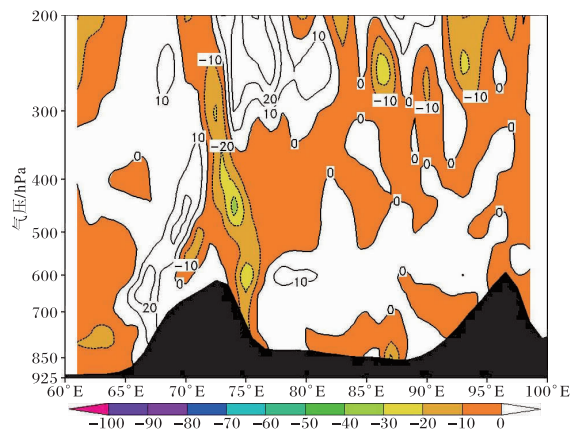


图5 2020-11-22T08 沿 39°N 剖面温度平流
(单位为 10^{-5} K/s)

有利于加强动力作用。22 日 08 时 300 hPa 高空有一 $-20 \times 10^{-5} \text{ K/s}$ 冷平流中心,在温度对数压力图上也表现明显,14 时低层转为弱暖平流,20 时上下暖、中间冷的夹心结构使垂直方向上温度梯度增加,16—22 时喀什出现持续稳定降水。

4.3 水汽条件

4.3.1 水汽后向轨迹追踪 对暴雪中心阿图什(39.72°N , 76.15°E ; 图 6a)、喀什(39.48°N , 75.75°E ; 图 6b)分别以 24 日 20 时、08 时为起点作向后 120 h 轨迹模拟,因研究区域海拔高度在 1 200 m 以上,模拟起始高度高于地表 200 m 以上,因此将轨迹追踪高度设定在 1 500、3 300、5 000 m。从图 6a 可以看出,阿图什 1 500、5 000 m 高度湿空气 20 日 20 时在 2 000 m 高度汇合,并经过里海—咸海由偏西气流输送至南疆西部。3 300 m 高度湿空气通过西伯利亚南下至巴尔喀什湖,22 日 20 时与 5 000 m 湿空气在咸海以南汇合,再由偏西路径输送至暴雪区。通过喀什不同高度水汽轨迹追踪(图 6b)发现,中高层水汽为西伯利亚南下湿空气,低层水汽来源为里海以南中亚区域。

以往研究认为,南疆暴雨(雪)的水汽主要是从孟加拉湾出发后翻越青藏高原再沿偏东气流达到降水区,但此次暴雪天气过程中孟加拉湾水汽并未占主要比例^[13-14]。阿图什 3 300 m 高度上主要水汽源地为里海—咸海以南中亚地区,占比 57%,以偏西路径输送到暴雪区(图 6c);5 000 m 高度上主要水汽源地有 5 个通道,其中里海有两个水汽通道,分别占比 33%、20%,西西伯利亚水汽通道占比 24%,其余两条来自于孟加拉湾水汽,此高度上的水汽也以偏西路径为主输送到暴雪区(图 6d)。

4.3.2 水汽输送及辐合 降水开始前期的 19 日,500 hPa 上里海以南有一水汽通道,通过中亚低涡底部偏西气流将水汽输送至南疆西部。从图 7a 可以看到,700 hPa 有两条水汽通道,一支为西西伯利亚—巴尔喀什湖—咸海的水汽通过偏西气流输送至南疆西部,另一支从印度半岛—青藏高原东部—河西走廊西部通过偏东气流输送至南疆盆地。

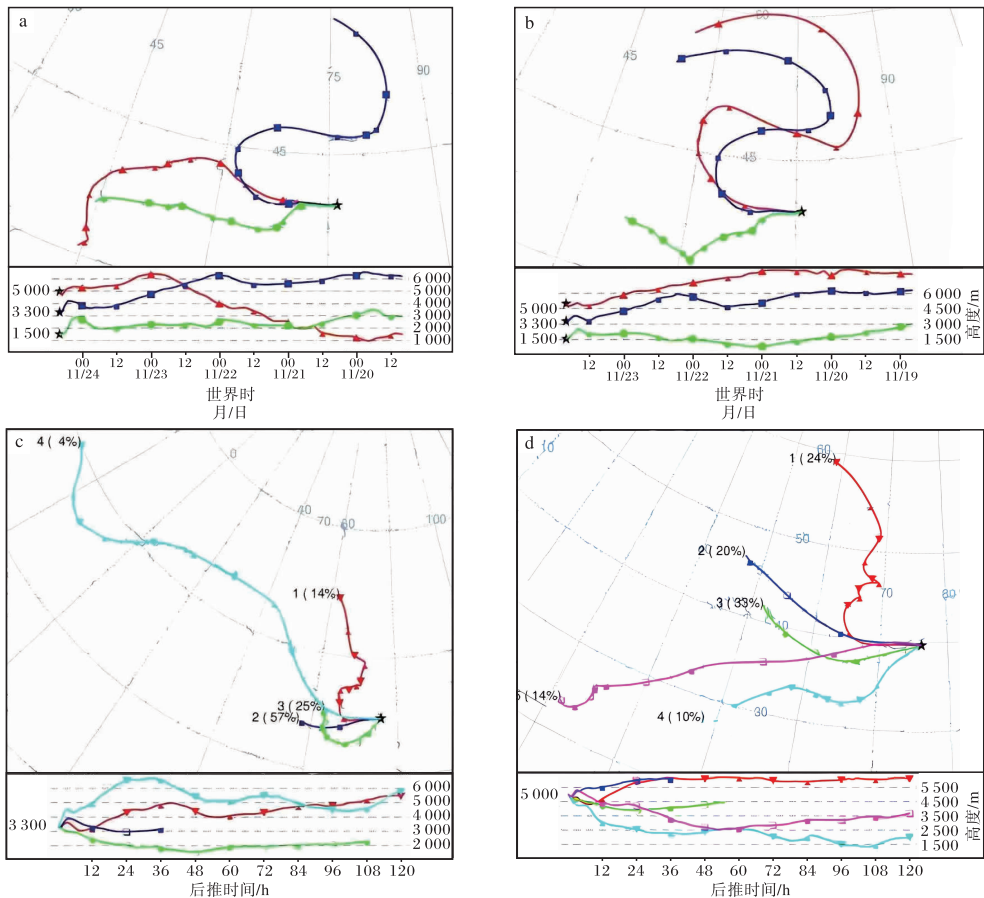


图6 2020-11-19—24阿图什、喀什两站 HYSPLIT 水汽后向轨迹追踪(a 阿图什;
b 喀什)及阿图什不同高度、不同区域水汽贡献率(c 3 300 m;d 5 000 m)

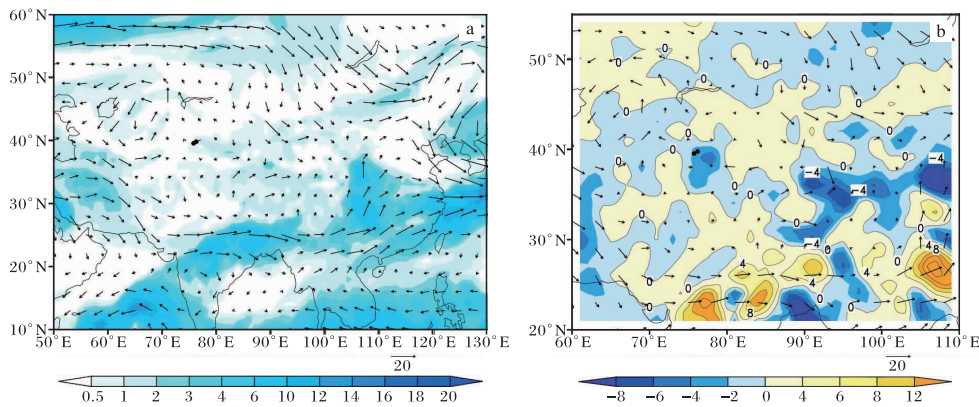


图7 2020-11-20T08 700 hPa 水汽通量(a,单位为 $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$;黑点为喀什)和水汽
通量散度(b,单位为 $\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$;黑点为阿图什)

从19日08时700 hPa水汽通量散度图(图7b)可以看到,南疆西部为辐合中心,辐合中心最大值为 $-4 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$,20日08时700 hPa喀什、阿图什上空辐合中心强度达 $-6 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 。低空强烈水汽辐合有利

于将水汽快速集中到暴雪区,20日16时阿图什开始出现雨夹雪,19时喀什出现小雪。沿阿图什作19日08时至25日08时比湿的垂直剖面(图略),可见20日08时阿图什比湿迅速增加,地面到700 hPa比湿 $\geq 3 \text{ g/kg}$,一直持续到23日比湿

迅速下降,降雪趋于结束。

综上所述,500 hPa 中亚低涡底部前部偏西气流携带充足的水汽输送至南疆西部,低空偏东气流也输送水汽,使南疆西部喀什、阿图什迅速增湿,为后期暴雪提供有利的水汽条件,这与上一节水汽轨迹模拟分析结果基本一致。

5 中小尺度特征

5.1 FY-2G 卫星云图

利用 FY-2G 红外云图的云顶亮温(T_{BB})资料(图 8)分析此次暴雪过程中小尺度对流系统演变特征。从图 8a、图 8b 可以看到,阿图什降水开始时(20 日 16 时),南疆西部西天山南脉和帕米尔高原至青藏高原西部有 $T_{BB} \leq -36^{\circ}\text{C}$ 的天气尺度云系,呈西北—东南向分布,云体结构松散,其

内部有四个 $T_{BB} \leq -48^{\circ}\text{C}$ 的小尺度云团。随着天气系统的发展,云系向西北方向发展,暴雪中心 T_{BB} 迅速下降。19 时,阿图什从 -18°C 迅速下降到 -42°C ,喀什下降到 -36°C 。20 时, $T_{BB} \leq -48^{\circ}\text{C}$ 的云团中心在喀喇昆仑山两侧附近加强扩大,暴雪中心位于 $T_{BB} \leq -42^{\circ}\text{C}$ 等值线梯度较大处,小时降雪量也相对增大。23 时,云系主体向东移动,暴雪中心 T_{BB} 开始迅速上升。从图 8c、图 8d 可以看到,21 日 05—06 时阿图什 T_{BB} 为 -24°C 、喀什 $T_{BB} \leq -20^{\circ}\text{C}$,阿图什小时降雪量为 1.3 mm。08—14 时暴雪中心 $-18^{\circ}\text{C} \leq T_{BB} \leq -12^{\circ}\text{C}$,阿图什、喀什 6 h 降雪量分别为 5.3 mm、4.9 mm,由此可以看出降雪开始时云顶亮温迅速下降,降雪区处于等值线边缘的梯度大值区。

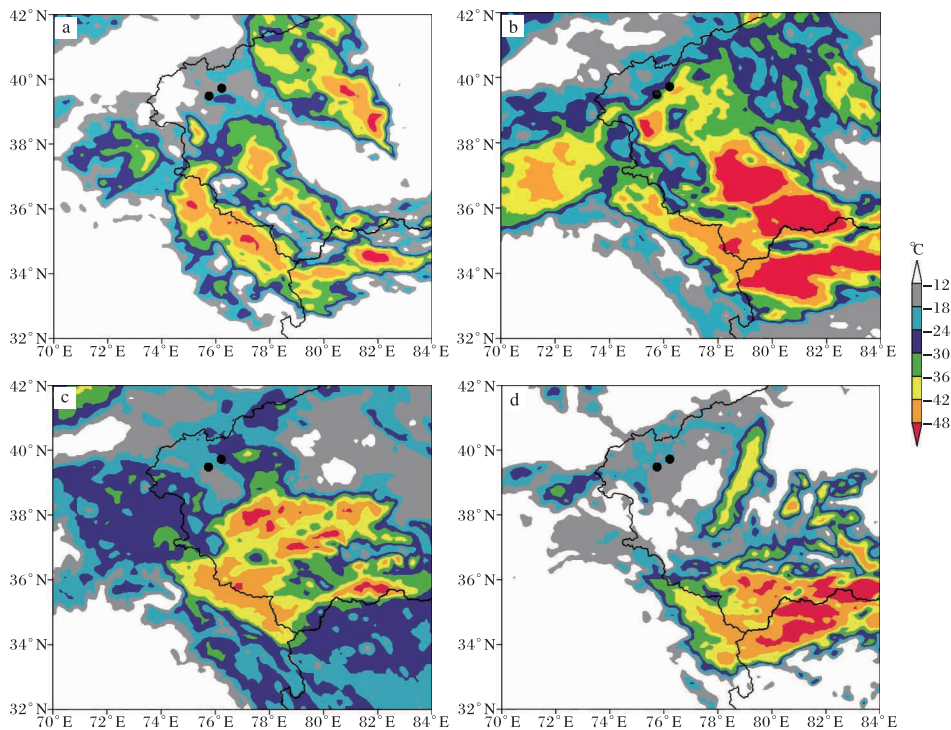


图 8 2020 年 11 月卫星 FY-2G 红外云图云顶亮温分布(图中左侧黑点为喀什位置,右侧黑点为阿图什位置;a 20 日 16 时,b 20 日 20 时,c 21 日 06 时,d 21 日 14 时)

5.2 雷达回波特征

利用喀什多普勒雷达资料进一步分析暴雪出现时间和落区与雷达回波的关系。从 1.5° 仰角反射率因子变化可以看出,整个暴雪天气过程中以层状云降水回波为主,回波强度仅为 20~

25 dBz,最大回波顶高约 2 km 左右。在小时降雪量最大的 21 日 05—06 时(阿图什小时降雪量为 1.3 mm),距离雷达站 45 km 偏北方向阿图什境内有一中- γ 尺度对流单体,最强回波中心达 35~40 dBz,回波顶高达 2.7 km,此回波稳定少动,有

弱对流特征。从图 9a、图 9b 可以看到,09 时阿图什境内距雷达站 35 km 偏西处也有一中- γ 尺度对流单体,最强回波中心达 30~35 dBz,回波顶

高 2 km 左右,造成喀什 1 h 出现 1.2 mm 的降雪。此次降雪过程主要为天气尺度系统中发展的中小尺度系统影响,具有弱对流特征。

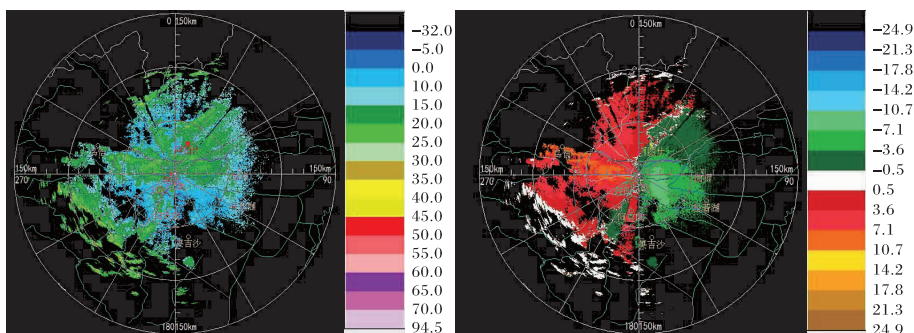


图9 2020-11-21T09:02 喀什多普勒雷达站 1.5°仰角反射率因子(a;单位为 dBz)和径向速度(b;单位为 m/s)

6 结论

通过对 2020 年 11 月 20—23 日南疆西部喀什、克州地区出现的秋季罕见暴雪天气过程分析,得出以下几点结论。

(1)此次暴雪天气过程发生在相对稳定的环流背景下,500 hPa 中亚低涡逆时针旋转并长时间维持为暴雪提供有利的动力条件,700 hPa 切变线、850 hPa 低空急流为主要的天气影响系统。

(2)HYSPLIT 水汽后向轨迹模拟结果表明,此次暴雪水汽源地主要为里海—咸海、西西伯利亚。不同高度上两者水汽贡献率有明显差别,但是里海—咸海水汽贡献率大于西西伯利亚水汽贡献率,3 300 m 高度上里海—咸海水汽通道贡献率占比 57%,以偏西路径水汽输送占比略多。

(3)雷达回波图上,整个暴雪天气过程中以层状云降水回波为主,回波强度仅为 20~25 dBz,最大回波顶高约 2 km 左右,并有弱对流特征;降雪开始时云顶亮温迅速下降,降雪区处于云顶亮温等值线边缘的梯度大值区。

参考文献:

- [1] 张俊兰,杨霞,李建刚,等. 2015 年 12 月新疆极端暴雪天气过程分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2018,12(5):1-9.
- [2] 万瑜,窦新英. 新疆中天山一次城市暴雪过程诊断分析[J]. 气象与环境学报,2013,29(6):8-14.
- [3] 李如琦,唐冶,肉孜·阿吉. 2010 年新疆北部暴雪异

常的环流和水汽特征分析[J]. 高原气象,2015,34(1):155-162.

- [4] 李桢宇,李如琦,李娜,等. 新疆北部持续暖区暴雪过程动力特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2020,14(5):53-60.
- [5] 高倩,井立红,井立军,等. 北疆地区极端降水事件气候特征分析[J]. 陕西气象,2017(3):23-28.
- [6] 谷秀杰,邵宇翔,王友贺,等. 一次暴雪成因及相态演变分析[J]. 陕西气象,2018(4):12-17.
- [7] 杨霞,张云惠,赵逸舟. 南疆西部一次罕见大暴雪过程分析[J]. 高原气象,2015,34(5):1414-1423.
- [8] 张云惠,于碧馨,谭艳梅,等. 2011 年两次中亚低涡影响南疆西部降雪机制分析[J]. 高原气象,2016,35(5):1307-1316.
- [9] 杨莲梅,杨涛,贾丽红,等. 新疆大一暴雪气候特征及其水汽分析[J]. 冰川冻土,2005,27(3):389-396.
- [10] 阿布力米提,向帆,玛依努尔. 克州地区一场特大暴雪天气过程分析[J]. 新疆气象,2004,27(6):13-15.
- [11] 张家宝,苏起元,孙沈清,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,1986:218-270.
- [12] 肖开提·多莱特. 新疆降水量级标准的划分[J]. 新疆气象,2005,28(3):7-8.
- [13] 牟欢,赵丽,王旭,等. 基于拉格朗日方法的一次南疆西部特大暴雨水汽来源分析[J]. 冰川冻土,2021,43(1):1-9.
- [14] 牟欢,赵丽,孙硕阳,等. 天山北麓两次暴雪天气对比分析[J]. 干旱区地理,2019,42(6):1262-1272.