

万瑜,胡顺起,李辉,等.乌鲁木齐达坂城谷地一次极端暴雪成因分析[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(6):85-92.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2022.06.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



乌鲁木齐达坂城谷地一次极端暴雪成因分析

万瑜^{1,2},胡顺起³,李辉^{4*},曹兴⁵

(1.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,新疆 乌鲁木齐 830002;2.新疆气象台,新疆 乌鲁木齐 830002;3.临沂市气象局,山东 临沂 276004;4.乌鲁木齐市气象局,新疆 乌鲁木齐 830002;5.新疆气象局,新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要:2018年3月17—18日乌鲁木齐达坂城谷地出现一次极端暴雪天气,过程累积降雪量达28.7 mm,为冬半年平均降水量的4.35倍。本文利用常规与加密观测、区域自动气象站、FY2G卫星相当黑体亮温(TBB)、NCEP/NCAR再分析等资料,分析此次极端暴雪成因。结果表明:此次极端暴雪天气是以500 hPa中亚低涡、700 hPa气旋性辐合中心及切变线、850 hPa西北气流作为环流背景的低涡型暴雪;水汽主要是地中海、红海的水汽沿着偏西气流经波斯湾—阿拉伯海加强后,随中亚低涡前西南气流输送至暴雪区,另一支为低层西北路径水汽输送,同时由低涡携带的里、咸海水汽,随着系统东移沿其前部的偏西气流输送补充至暴雪区。700~850 hPa达坂城谷地附近为强上升运动区,西北气流受天山阻挡强迫爬升,其较强的上升支气流为暴雪提供了有利的中尺度动力条件;乌鲁木齐至达坂城一线受斜压不稳定增长机制作用,利于暴雪的持续与增强;先后有2个中 β 云团和1个中 α 云团东移北上影响造成极端暴雪,强降雪区均位于中尺度云团的北至东北侧TBB等值线梯度最大区。

关键词:达坂城谷地;极端暴雪;环流背景;天气成因

中图分类号:P458

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2022)06-0085-08

暴雪天气有利于空气净化、促进越冬作物生长,但极端暴雪会对交通运输、农牧业生产以及城市运行带来不利影响。国内学者从暴雪形成的大尺度成因、热动力环境条件、锋生强迫和不稳定机制、山脉地形和城市边界层等多角度,对不同地区的暴雪进行研究并取得了诸多成果^[1-5]。从降雪时间分布看,冬末春初出现大雪和暴雪概率最高^[6];从影响范围看,局地暴雪出现频次远高于大范围暴雪和区域暴雪^[7]。有研究表明,我国北方暴雪形成多为回流型,低层回流不仅对水汽有贡献,还能形成冷空气垫,利

于西南暖湿气流爬升,加强地面的动力抬升作用,增强垂直运动^[8-10],高、低空急流耦合作用也对动力抬升和水汽汇合有重要贡献^[11]。20世纪80年代,新疆气象工作者在《新疆降水概论》^[12]论著中,总结了新疆强降雪的3种天气形势,给出北疆降雪的天气尺度影响系统,以及地形对强降雪的作用,至今仍是强降雪预报的主要参考依据。近年来,随着区域自动气象站、天气雷达、微波辐射计、风廓线雷达等观测和模拟手段的不断改进,非常规观测资料在预报业务和研究中也取得了进展^[13-17],为新疆强降雪预报和研究提供了有力支撑。杨莲梅等^[18]利用近50年降水资料,研究发现暴雪区均存在300 hPa极锋急流、500 hPa强西风锋区和700 hPa低空西风急流,造成新疆持续性暴雪的水汽源地有高纬北大西洋、巴伦支海,中纬地中海、里咸海,低纬红海,但主要以中低纬水汽输送为主。刘晶等^[19]对北疆北部一次暴雪天气过程研究分析得出,暴雪区与中尺度云团边缘

收稿日期:2022-02-16;修回日期:2022-10-10

基金项目:中国沙漠气象科学基金项目(Sqj2018007);新疆自治区科技厅自然科学计划面上项目(2021D01A151)

作者简介:万瑜(1983—),女,高级工程师,现从事天气预报及灾害性天气研究。E-mail:tc-alien@163.com

通讯作者:李辉(1973—),男,工程师,现从事综合天气观测业务。E-mail:602612556@qq.com

TBB 等值线梯度大值区有较好的对应。杨霞等^[20]研究发现南疆西部一次大暴雪过程存在偏西、偏东和偏南3支异常水汽输送,中 β 尺度云团是造成大暴雪的主要系统,强降雪出现在中尺度云团增强阶段。万瑜等^[21-22]认为中天山北坡暴雪与非地转湿 Q 矢量散度辐合及锋生函数的最强区有较好的对应关系。但与暴雨研究相比,对暴雪的研究和认识深度仍显薄弱,非常规观测资料在暴雪研究中的应用仍不够充分,尤其是暴雪预报中涉及的难点,例如强降雪落区、小时雪强、持续时间等,以及其成因的研究明显不足。达坂城谷地常年干旱少降水、多大风,年平均降水量为70.5 mm,年大风日数为145.1 d,降水主要集中在6—9月,占全年降水量的84.9%,所以目前多以大风天气作为达坂城谷地气候和天气的研究对象,少见其暴雪天气的研究工作,达坂城谷地在地理分区上属于乌鲁木齐,但其降水的极端性却有别于北疆其他地区。

2018年3月17—18日乌鲁木齐达坂城谷地出现大暴雪天气,其天气发生条件尚未达到凝练的暴雪预报指标,造成暴雪漏报,此次暴雪天气是达坂城气象站自1956年建站以来最强的降雪天气过程,对公路、铁路等交通以及城市运行带来严重影响。此次最大暴雪落区出现在降雪极少、以大风著称的达坂城谷地,故对此次极端暴雪的气候背景、大尺度环流特征、动热力条件、水汽来源及中尺度云团特征等问题进行探讨十分必要,有助于丰富对达坂城谷地暴雪天气发生机理的认识,为极端暴雪预报预警提供科学依据和有益思路。

1 研究区概况和资料选取

1.1 研究区概况

达坂城位于乌鲁木齐市东南,呈西北—东南走向,长约80 km,宽约15~30 km的谷地(图1)。北倚东天山北麓的博格达山,南接天山中段山脉的天格尔山,东处喀拉塔格山脚下与吐鲁番市托克逊县交界,西临乌鲁木齐县,是南北疆地理、气候的分界线。

1.2 资料与方法

本文利用1959—2020年冬半年(10月—次年3月)乌鲁木齐达坂城区气象站(43°35'N, 88°32'E, 海拔1 103.5 m)降水资料以及美国气象环境预报中心(NCEP)空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 全球再分析资料,同时结合水汽后向追踪、FY2G卫星相当黑体亮温(TBB)等资料,采用天气动力学分析方法,对暴雪天气过程

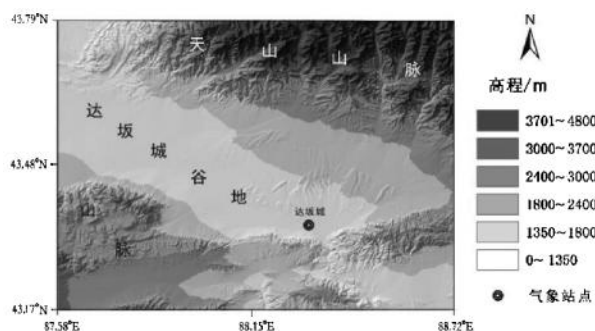


图1 达坂城谷地地形及测站位置

的大尺度环流背景及动力、水汽、热力条件进行诊断分析。

文中采用新疆降水量级标准(修订版)规定,24 h降雪量(R), $R \geq 12.1$ mm为暴雪,并按照中国气象局评分办法,当出现雨转雪时,积雪深度增加10 cm以上认定为暴雪。

2 达坂城冬半年降水气候特点及大暴雪实况

2.1 达坂城冬半年降水气候特点

1959—2020年冬半年达坂城降水量总体呈缓慢上升态势,倾向率为 $1.1 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ($R=0.364$, $P<0.01$)。冬半年平均降水量为6.6 mm,峰值出现在2018年,为36.4 mm;谷值出现在2008年,为0.4 mm。从滑动平均曲线来看,除2018年,降水量年际间波动差异较小,年较差为17 mm;1964—1986年为降水量偏少阶段,1987—2007年转为波动性偏多阶段,2008—2015年降水量为偏少阶段,2016—2020年转为偏多,尤其是2018年降水量突增(图2),高达36.4 mm。此次暴雪天气发生在3月中旬,且降水量达到冬半年平均降水量的4.35倍。以往研究认为新疆北部降雪的高频中心主要出现在伊犁州、塔城地区,古尔班通古特沙漠边缘附近为低频区^[23]。也有研究表明在全球变暖的大背景下,极端天气事件出现的概率增加^[24],此次达坂城谷地暴雪天气降水量突破冬半年极值,属于区域内一次典型的极端天气

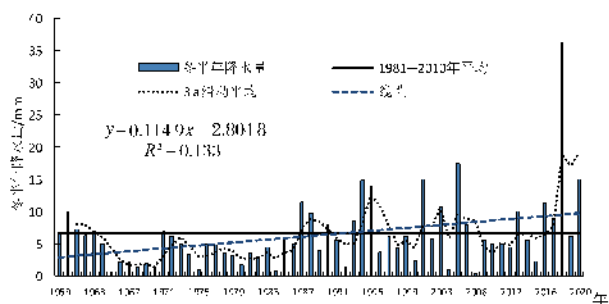


图2 1959—2020年达坂城冬半年降水量年际变化

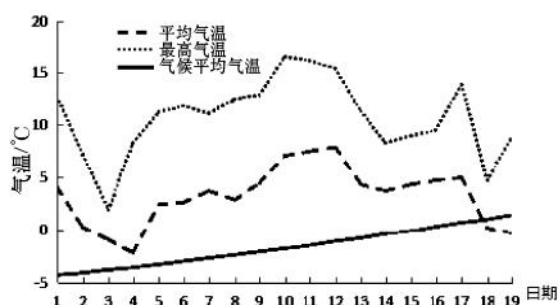


图3 2018年3月5—17日达坂城区气温变化

气候事件。

2.2 暴雪前气温异常偏高

2018年3月5—17日,新疆长时间处于高压脊控制下,气温持续攀升且维持较高,乌鲁木齐平均气温较历年偏高 6.1°C ,偏高幅度居历史同期第二位。达坂城4日受冷空气影响,日平均气温接近气候平均值,5—17日达坂城站日最高气温维持在 $8\sim 16^{\circ}\text{C}$ (图3)。前期气温异常偏高,为本次暴雪天气积蓄了较好的热力条件。

2.3 大暴雪天气实况

3月17日19:00—18日18:00(北京时,下同),新疆天山北坡出现暴雪天气,乌鲁木齐天山区站、米东站、昌吉州天池站过程累积降雪量分别为16.6、13.2和14.4 mm(图4a),其中达坂城站3月18日02:00—18:00累积降雪量为28.7 mm,最大积雪深度达19 cm,日降雪量突破历年冬半年总降雪量极值。从达坂城站逐小时降雪量可以看到,有2个强降雪时段,分别集中在18日02:00—08:00和18日12:00—17:00,累计降雪分别为14.5和12.1 mm,6 h降雪量均达暴雪量级,18日04:00、05:00和12:00的雪强 $>3\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,04:00—05:00的最大雪强达 $4.2\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,表明此次降雪具有降雪强度强且集中的特征(图4b)。

3 天气成因分析

3.1 环流背景和影响系统

降雪前期,15—16日500 hPa欧亚范围中高纬为两脊一槽经向环流,乌拉尔山至新疆为高压脊,中亚低涡维持在巴尔喀什湖至咸海附近,中亚低涡分裂短波槽影响北疆西部。17日20:00北欧低槽分裂部分冷空气东移南下,中亚低涡加深东移至新疆西部,槽底锋区加强并南伸至 42°N ,低涡前偏西气流达 $25\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,降水主要出现在博州和塔城地区(图5a)。18日08:00随着天山北坡降雪的持续和加强,200~500 hPa深厚的低涡系统随高度向西北倾斜,呈后倾结构;500 hPa里威海脊北挺发展,推动中亚低涡继续缓慢东移向南加深,低涡槽前强盛的西南暖湿气流与北部干冷气流交汇至中天山北坡(图5b)。强降雪时段700 hPa达坂城附近存在气旋式辐合中心,出现偏南风风速辐合,其东南部建立 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏南气流,且长时间维持明显的偏北风与偏南风切变线,18日14:00表现最为显著(图5c)。850 hPa中天山北坡维持 $14\sim 20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的向山西北低空急流,由于冷暖空气长时间交汇,大暴雪落区位于西北风与东南风切变线附近。地面形势场上,地面冷高为西北路径,自欧洲中部由西北向东南方向移动,16日20:00经乌拉尔山南端折向东移,17日20:00位于巴尔喀什湖北部中心强度为1030 hPa的冷高压开始影响新疆,18日02:00缓慢东移并加强到1032.5 hPa,同时配合地面准静止锋长时间维持在天山山脉附近,造成达坂城谷地持续性强降雪。

综上,200~500 hPa深厚的低涡系统,500~850 hPa中层较强西南暖湿气流和低层西北急流叠加,700~850 hPa风速辐合及风向切变,地面强冷锋和地形抬升共同作用,为达坂城谷地强降雪维持和加强提供了有利的环流背景。

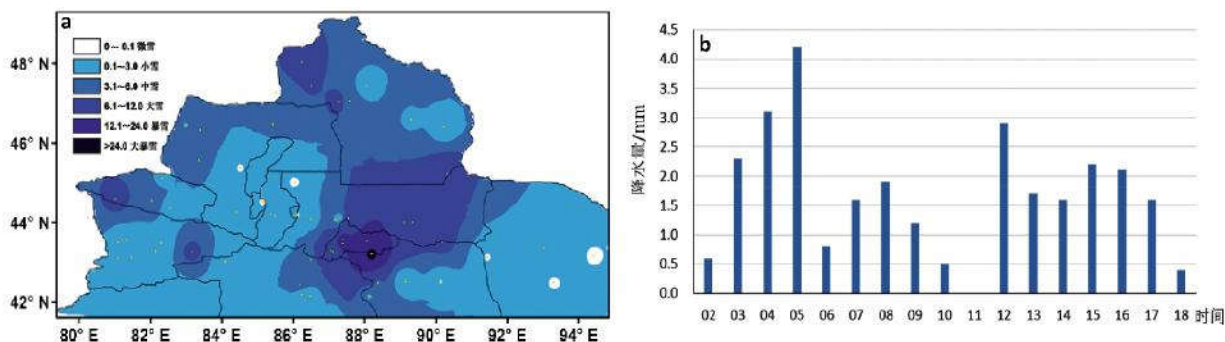


图4 2018年3月17日19:00—18日18:00国家站累计降雪量(a,单位:mm)和18日02:00—18:00最大降雪中心达坂城站逐小时降水量(b)

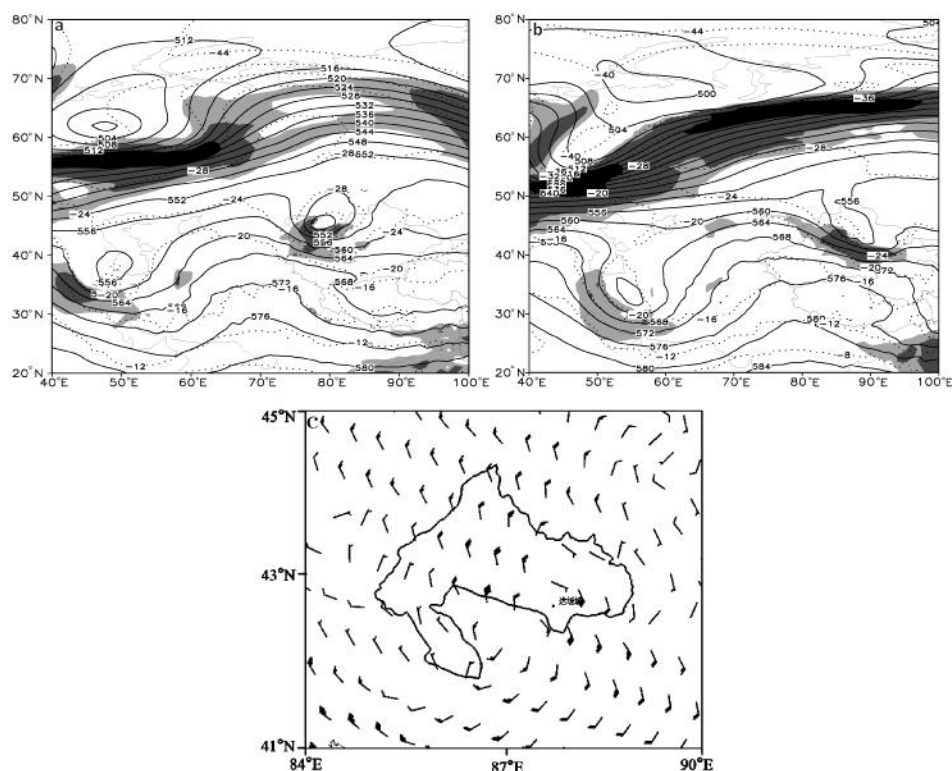


图5 500 hPa 位势高度场(实线,单位:dagpm)、温度场(虚线,单位:℃)风场(风羽,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 阴影区风速 $>20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)(a为3月17日20:00,b为3月18日08:00)和3月18日14:00 700 hPa 风场(c为风羽,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

3.2 动力及不稳定机制

3.2.1 垂直运动

为了分析此次暴雪天气的中小尺度特征,了解暴雪过程中西北气流遇天山山脉阻挡后的垂直结构,沿 43°N 做垂直剖面(图6)可以看到,18日14:00, $86^{\circ}\sim 88^{\circ}\text{E}$ 达坂城附近400 hPa以下为强上升运动区,此时低空西北气流在天山北坡加强为急流,向山的西北急流受天山阻挡沿地形爬升,在600~

850 hPa形成闭合中 β 尺度次级环流圈,地形强迫对中尺度垂直上升支起加强作用,其较强的上升支气流为暴雪提供了中尺度上升运动(图6a)。分析暴雪中心达坂城垂直速度高度一剖面可知(图6b),降雪过程前,400 hPa以下一直维持上升运动区;18日02:00,降雪开始后,地面至500 hPa的上升运动强度增强,中心达 $9\times 10^{-2}\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,随着降雪强度的加强,最强上升运动区主要位于700~850 hPa,最大垂直

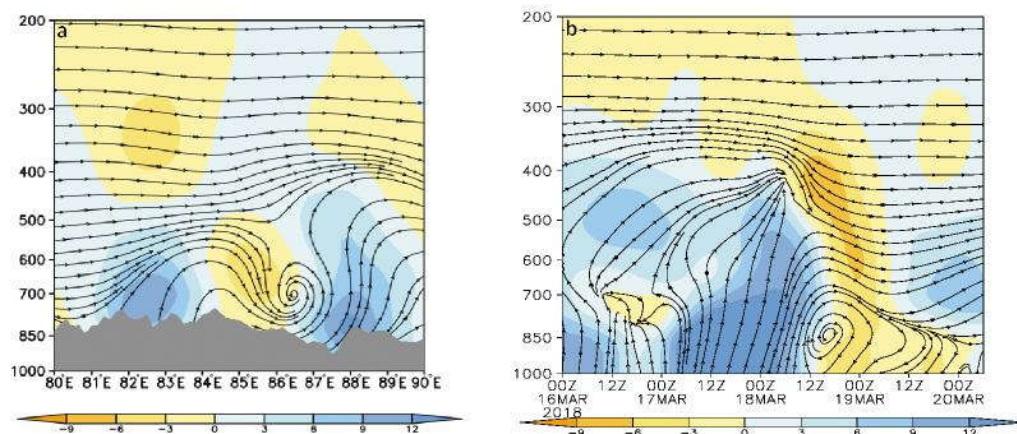


图6 3月18日14:00合成风场(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,流线)及垂直速度(单位: $10^{-2}\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,彩色区)沿 43°N 垂直剖面(a)和3月16日08:00—20日08:00合成风场(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,流线)及垂直速度(单位: $10^{-2}\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,彩色区)达坂城站时间高度剖面(b)

上升运动中心超过 $12 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 20:00, 400 hPa 以下迅速转为下沉运动区, 降雪天气趋于结束。中低层上升运动加强时段与暴雪时段对应, 长时间维持的强垂直上升运动为暴雪天气发生提供持续的动力支持。

3.2.2 热力及稳定度

17日 08:00 近地层~700 hPa 天山北坡有 θ_{se} 等值线密集带, θ_{se} 随高度增大, 干暖气团位于冷湿气团之上, 层结稳定, 且 θ_{se} 垂直梯度随时间增强, 一直维持至 17 日 20:00, 近地层比湿最大为 $3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。18 日 02:00 随着低空西北急流携带湿冷空气的进入, 700 hPa 以下 θ_{se} 垂直梯度开始减小, 暖湿气流被迫沿锋面爬升释放潜热。18 日 14:00 随着暖湿气流继续沿低空冷垫爬升, 使得锋区在 600~850 hPa 加强且随高度向北倾斜, 暴雪中心 $43^\circ \sim 44^\circ \text{N}$ 附近 850 hPa 以上 θ_{se} 等值线明显上凸, 说明此时冷平流更强, 近地层比湿最大达 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 此种冷暖和干湿空气的剧烈交绥, 使得斜压不稳定增长, 这种机制的维持有利于乌鲁木齐城区至达坂城一线暴雪的持续与增强

(图 7a)。结合乌鲁木齐微波辐射计温湿水汽演变图也可以发现相同的特征, 2 个强降雪时段分别是 18 日 03:00—08:00 和 11:00—17:00, 强降雪时段中低层相对湿度维持较高, 空气达到饱和, 配合水汽密度分布可知, 较高的水汽密度在 4 km 以下, 0~2 和 2~4 km 为 $4 \sim 7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, 2 km 达到最大, 为 $8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 以上(图 7b)。达坂城谷地距乌鲁木齐 80 km 左右, 乌鲁木齐微波辐射计温湿水汽演变特征在此次天气过程中对达坂城谷地暴雪要素变化有较好的指示作用, 所以今后可以将微波辐射计资料应用于暴雪天气预报业务和研究中。

3.3 水汽特征

3.3.1 水汽源地及路径

从地面~300 hPa 整层水汽积分发现(图 8a), 水汽主要由中亚低涡偏西和西南气流自身携带的水汽和西北路径输送的水汽汇合至大暴雪区。由暴雪中心达坂城水汽通量散度的高度—时间剖面(图 8b)可以看出, 17 日 20:00—18 日 20:00 达坂城中高层 500~700 hPa 均为水汽通量散度的正值区, 即辐散

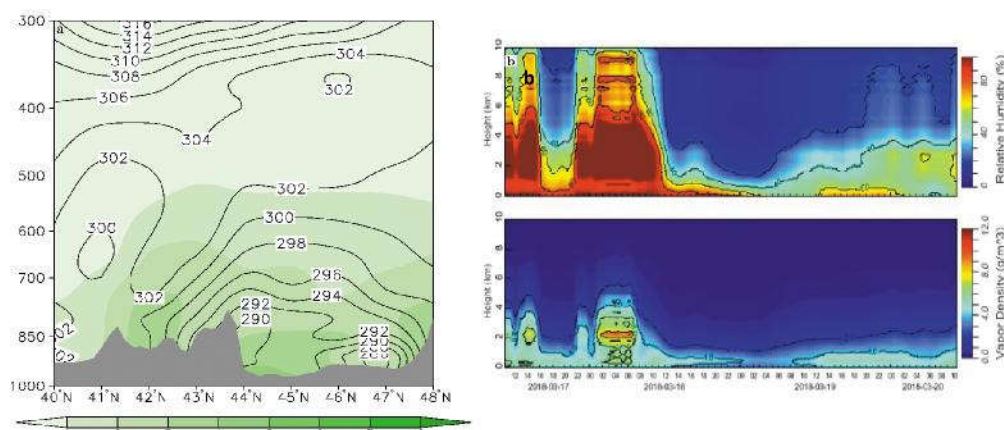


图7 3月18日14:00假相当位温 θ_{se} (单位: K, 实线)、比湿 q (单位: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 阴影)沿 88°E 垂直剖面(a)和17日12:00—20日10:00乌鲁木齐微波辐射计水汽要素变化特征(b)

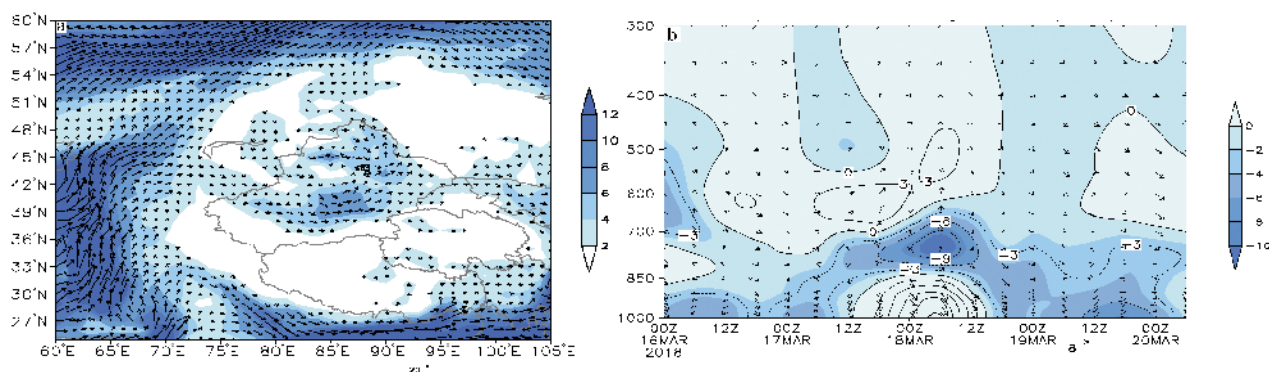


图8 3月18日08:00地面~300 hPa整层水汽通量(a, 单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)及3月16日08:00—20日08:00水汽通量(矢量, 单位: $\text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)和水汽通量散度(阴影区, 单位: $10^{-6} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)达坂城站时间高度剖面(b)

区;低层 700~850 hPa 均为水汽通量散度的负值区,低层辐合强度强于中高层。18 日 02:00 降雪开始,低层出现 $-4 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的辐合区,08:00 随着雪强增强,辐合区强度也随之增强,14:00—20:00 辐合中心最大值达 $-10 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,与达坂城谷地强降雪时段吻合。随着降雪强度的减弱,水汽通量散度高层辐散,低层辐合的配置也逐渐消失,水汽辐合中心大值区也逐渐减小。水汽通量与水汽通量散度分布基本一致,水汽主要集中在 700~850 hPa,低层水汽贡献高于中高层,新疆境内最大水汽通量为 $4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。达坂城 2 次强降雪时 850 hPa 均有西北路径的水汽输送,18 日 02:00—08:00,第一个强降雪时段 700 hPa 有偏西和西南路径的水汽输送,18 日 12:00—17:00 第二个强降雪时段随着中亚低涡系统东移,700 hPa 主要为西南路径的水汽输送,西北、偏西、西南 3 路水汽在地形抬升作用下,快速集中并辐合,为暴雪区提供了充沛的水汽条件。

3.3.2 水汽后向轨迹追踪

HYSPLIT 4 轨迹模式模拟采用 NCEP GDAS 全球 $1^\circ \times 1^\circ$ 气象资料作为背景初始场,该资料是应用全球中期预报谱模式(MRF)同化多种观测资料和预报结果,水平分辨率为 191 km,垂直方向分为 12 个等压面层,时间间隔为 6 h。本次研究计算为 240 h 后向轨迹,起始点经纬度为 43.30°N 、 88.30°E ,距离地面高度设为 3 层,分别为 1 100、2 100、3 200 m。

使用 HYSPLIT 水汽后向轨迹模式,选取追踪点初始高度即平均海平面以上 3 个高度(AMSL),向前

倒推达坂城 240 h 的水汽质点轨迹,可以发现 18 日 08:00 一支高度为 3 200 m 的轨迹通过地中海—红海—波斯湾,经过塔里木盆地东部沿偏西路径向中天山北坡中段输送,一支高度为 2 100 m 的轨迹通过北大西洋—东欧—西西伯利亚南下,经过威海东移沿西南路径向中天山北坡中段输送;一支高度为 1 100 m 的轨迹通过额尔齐斯河南部向南经巴尔喀什湖东部沿西北方向汇入降雪区。18 日 14:00 前两支水汽均通过北大西洋—东欧—西西伯利亚南下,经过威海东移沿西南路径向中天山北坡中段输送,另一支水汽通过伊塞克湖,经伊犁河谷南部沿偏西路径输送至暴雪区。水汽后向轨迹追踪结果与水汽特征分析一致,此次暴雪过程的水汽来源主要是地中海、红海的水汽沿着偏西气流经波斯湾—阿拉伯海加强后,随着低涡前西南气流输送至暴雪区,另一支为低层西北路径水汽输送,同时由低涡携带的里、咸海水汽,随着其东移沿其前部的偏西气流输送补充至暴雪区。

3.4 云顶亮温演变特征

分析逐小时 FY2G 卫星红外亮度温度(TBB)资料可以看到(图 9),第一个强降雪时段 18 日 02:00—08:00 影响达坂城谷地暴雪的为 $TBB \leq -50^\circ \text{C}$ 的中 β 云团 A 和其西南方向快速东移北上的 $TBB \leq -46^\circ \text{C}$ 中 β 云团 B,2 个云团先后持续影响近 6 h,造成 14.5 mm 的明显降雪,小时雪强最大为 $4.2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。云团 A 18 日 03:00 加强并造成 04:00—05:00 强降雪,云团 B 强度比云团 A 略弱,06:00 开始加强,09:00 减弱东移出达坂城谷地,第一时段强降雪区

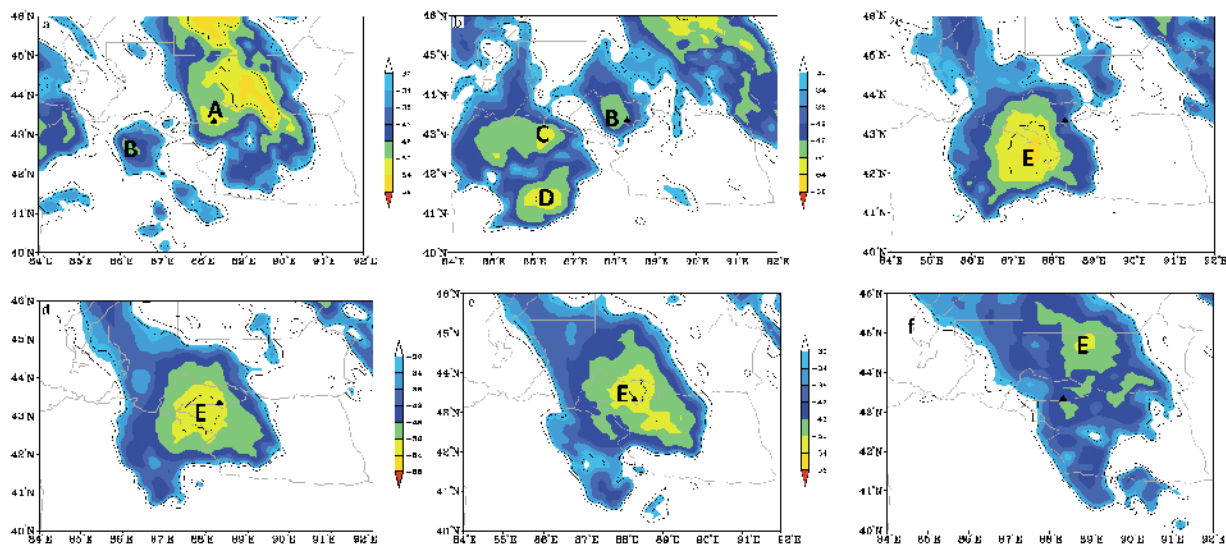


图9 2018年3月18日日分辨率为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 的逐小时FY2G红外云图TBB演变
(a为03:00,b为07:00,c为10:00,d为11:00,e为12:00,f为14:00;▲标识处为达坂城站)

位于云团 A、B 东北侧 TBB 等值线梯度最大区。18 日 07:00 B 云团西南方向新生出 2 个 $TBB \leq -50$ °C 的中 β 云团 C、D, 10:00 随着 C 云团东移与东移北上的 D 云团合并加强, 形成 $TBB \leq -54$ °C 的中 α 云团 E, 第二个强降雪时段 18 日 12:00—17:00, 云团 E 随着低涡前西南引导气流缓慢东移北上, 维持时间长达 5 h, 造成达坂城谷地降雪量达 14 mm, 小时雪强最大为 $2.9 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。E 云团从 09:00 开始生成至 10:00 加强, 一直维持至 16:00 减弱消失, 其生命史近 7 h, 主要影响乌鲁木齐至达坂城一线, 强降雪时段也出现在 TBB 最强的 12:00, 第二时段强降雪区位于云团 E 北侧 TBB 等值线梯度最大区。本次暴雪天气主要是由 2 个中 β 云团 A、B 和 1 个中 α 云团 E 先后东移北上共同影响, E 是本次暴雪天气维持时间长且形状完整强度最强的云团, 强降雪区均位于中尺度云团的北至东北侧 TBB 等值线梯度最大区。

4 结论

(1) 1959—2020 年冬半年达坂城谷地平均降雪量为 6.6 mm, 降雪量呈缓慢上升态势, 2018 年 3 月 18 日出现的极端暴雪天气, 突破冬半年降水极值, 是冬半年历年平均降水量的 4.35 倍, 为区域内一次罕见的极端暴雪天气过程。

(2) 此次极端暴雪过程是以 500 hPa 中亚低涡、700 hPa 气旋性辐合中心及切变线、850 hPa 西北气流作为环流背景的低涡型暴雪, 3 月 5—17 日达坂城谷地日最高气温异常偏高, 为暴雪天气积蓄了较好的热力条件。

(3) 极端暴雪水汽来源主要是地中海、红海的水汽沿着偏西气流经波斯湾—阿拉伯海加强后, 随中亚低涡前西南气流输送至暴雪区, 另一支为低层西北路径水汽输送, 同时由低涡携带的里、咸海水汽, 随着系统东移沿其前部的偏西气流输送补充至暴雪区。

(4) 700~850 hPa 达坂城谷地附近为强上升运动区, 存在闭合的中 β 尺度次级环流圈, 其较强的上升支气流为暴雪提供了中尺度的上升运动; 乌鲁木齐至达坂城一线受斜压不稳定增长, 这种机制的维持有利于暴雪的持续与增强。

(5) 中尺度云团是造成暴雪最直接的影响系统, 先后有 2 个中 β 云团和 1 个中 α 云团东移北上影响, 最强 $TBB \leq -54$ °C, 小时雪强最大达 $4.2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, 强降雪区均位于中尺度云团的北至东北侧 TBB 等

值线梯度最大区。

参考文献:

- [1] 王遵娅, 周波涛. 影响中国北方强降雪事件年际变化的典型环流背景和水汽收支特征分析 [J]. 地球物理学报, 2018, 61(7): 2654–2666.
- [2] 胡顺起, 曹张驰, 陈滔. 山东省南部一次极端特大暴雪过程诊断分析 [J]. 高原气象, 2017, 36(4): 984–992.
- [3] 杨成芳, 周雪松, 李静, 等. 基于构成要素的一次切边线暴雪天气分析 [J]. 高原气象, 2015, 35(5): 1402–1413.
- [4] 王慧清, 付亚男, 孟雪峰. 内蒙古东北部地区一次极端降雪过程的水汽输送特征 [J]. 干旱气象, 2019, 37(2): 277–287.
- [5] 孙艳辉, 李泽春, 寿绍文. 东北地区两次历史罕见暴风雪天气过程分析 [J]. 高原气象, 2017, 36(2): 549–561.
- [6] 周晓宇, 赵春雨, 崔妍, 等. 1961—2017 年中国东北地区降雪时空演变特征分析 [J]. 冰川冻土, 2020, 42(3): 766–779.
- [7] 陈长胜, 王盘兴, 杨秀峰, 等. 东北地区暴雪天气的统计学划分方法及其时空分布特征 [J]. 地理科学, 2012, 32(10): 1275–1281.
- [8] 李津, 赵思雄, 孙建华. 一次华北破纪录暴雪成因的分析研究 [J]. 气候与环境研究, 2017, 22(6): 683–698.
- [9] 胡玲, 刘锦, 东高红, 等. 天津城区暴雪的环流形势与雷达特征分析 [J]. 气象与环境科学, 2020, 43(1): 34–42.
- [10] 王丛梅, 李永占, 刘晓灵. 河北省南部回流暴雪天气结构特征 [J]. 气象与环境学报, 2015, 31(3): 23–28.
- [11] 陈雪珍, 慕建利, 赵桂香, 等. 华北暴雪过程中的急流特征分析 [J]. 高原气象, 2014, 33(4): 1069–1075.
- [12] 张家宝, 邓子凤. 新疆降水概论 [M]. 北京: 气象出版社, 1987: 278–281.
- [13] 庄晓翠, 李健丽, 李博渊, 等. 天山北坡两次暴雪过程机理分析 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(1): 29–38.
- [14] 张俊兰, 施俊杰, 李伟, 等. 乌鲁木齐暴雪天气的环流配置及中尺度系统特征 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(1): 1–8.
- [15] 于碧馨, 洪月, 张云惠, 等. 天山两麓一次极端暴雪天气多尺度配置特征及机制分析 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(5): 11–18.
- [16] 王智敏, 冯婉悦, 李圆圆, 等. FY2E 卫星反演云特性参数产品在乌鲁木齐暴雪天气分析中的应用 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(3): 53–60.
- [17] 张月华, 王健, 谢葭颖, 等. 风廓线雷达资料在乌鲁木齐一次大暴雪过程分析中的应用 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(5): 49–54.
- [18] 杨莲梅, 刘雯. 新疆北部持续性暴雪过程成因分析 [J]. 高原气象, 2016, 35(2): 507–519.
- [19] 刘晶, 李娜, 陈春艳. 新疆北部一次暖区暴雪过程锋面结构及中尺度云团分析 [J]. 高原气象, 2018, 37(1): 158–

- 166.
- [20] 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.
- [21] 万瑜,曹兴,窦新英.中天山北坡一次区域暴雪气候背景分析[J].干旱区研究,2014,31(5):891-897.
- [22] 万瑜,曹兴,窦新英.中天山北坡春季寒潮型暴雪致灾成因分析[J].干旱区地理,2015,38(3):478-486.
- [23] 庄晓翠,李博渊,李如琦,等.新疆北部强降雪天气研究若干进展[J].沙漠与绿洲气象,2016,10(1):1-8.
- [24] IPCC.Summary for policymakers of the synthesis report of the IPCC fourth assessment report [M].Cambridge,UK: Cambridge University Press,2007:1-18.

Causes of an Extreme Snowstorm Process in Dabancheng Valley of Urumqi

WAN Yu^{1,2}, HU Shunqi³, LI Hui⁴, CAO Xing⁵

(1.Institute of Desert Meteorology, Chinese Meteorological Administration Urumqi 830002;
2.Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, China; 3.Linyi Meteorological Administration,
Linyi 276004, China; 4.Urumqi Meteorological Administration, Urumqi 830002, China;
5.Xinjiang Meteorological Administration, Urumqi 830002, China)

Abstract An extreme snowstorm occurred in Dabancheng Valley of Urumqi from March 17th to 18th in 2018, the snowfall was 28.7 mm, which was 4.35 of the average annual precipitation in winter half year. Using the conventional and intensive detecting data, automatic meteorological stations, the FY2G Bold Bright Temperature data and the NCEP reanalysis data, the causes were analyzed, the results showed that the event occurred under the background with the central Asian Vortex at 500 hPa, a shear line and a cyclonic convergence center at 700 hPa and northerly flows below 850 hPa. The source of water vapor was mainly from the Mediterranean Sea and the Red Sea, which were strengthened by westerly flows through the Persian Gulf -Arab Sea, and transported to the snowfall area by southwesterly flows before the low vortex. The other water vapor was low-level transported along the northwest path. Meanwhile, the water vapor was supplied by westward flows of the vortex from the Caspian Sea and the Aral Sea. The area of strong ascending motion was at 700-850 hPa near Dabancheng Valley. The northwest airflow was forced to climb through the Tianshan Mountains. There existed stronger ascending branch which provided favorable mesoscale dynamic conditions for snowstorm. From Urumqi to Dabancheng, the increasing of baroclinic instability was conducive to the maintaining and strengthening of the snowstorm. Two meso- β convective clouds and a meso- α convective cloud sequentially moved northeastward to cause extreme snowfall. Heavy snowfall areas were all located in areas with the maximum gradient of TBB which was from the north to northeast side of the cloud cluster.

Key words Dabancheng Valley; extreme snowstorm; circulation background; weather cause