

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.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2021.01.001

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



乌鲁木齐暴雪天气的环流配置 及中尺度系统特征

张俊兰^{1,2},施俊杰^{1,2},李伟^{1,2},罗婧文^{1,2},魏娟娟^{1,2}

(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.中亚大气科学研究中心,新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要:乌鲁木齐暴雪在天山北坡暴雪天气中强度更强、频次更高,具有较好的代表性,本文选取近些年来乌鲁木齐最强的3场暴雪天气过程,就大尺度环流形势、高低空天气系统配置和中尺度天气系统对比分析。结果显示:乌鲁木齐暴雪出现在经向环流转纬向或环流经向度减弱的大尺度环流背景下,主导系统欧洲高压脊东南衰退过程中乌拉尔山低槽东南下,均存在南支低值系统配合,暴雪均出现在500 hPa槽前西南急流前部、700~850 hPa西北急流前部和300 hPa高空急流右侧的风速辐合区内,给出暴雪环流形势和高低空天气系统的三维空间结构和天气模型。乌鲁木齐暴雪天气发生时雷达回波图像显示,中低层均有风场辐合,回波强度和中低层风场辐合越强,回波顶高越高,降雪强度越大。3场暴雪均出现在卫星云图中尺度云团边缘云顶黑体亮温TBB等值线梯度最大处附近,TBB等值线梯度越大,降雪越强。最强降雪发生前的4~6 h,中低层4 000 m以下上升运动明显增强,700 hPa以下低层上升运动增强可作为强降雪出现的预示指标。

关键词:乌鲁木齐;暴雪;环流配置;TBB;风廓线雷达反演;垂直速度

中图分类号: P458.121

文献标识码: A

文章编号: 1002-0799(2021)01-0001-08

新疆暴雪主要发生在北疆,雪灾也出现在北疆,北疆为我国三大雪灾发生区之一。自1970年以来北疆暴雪日数呈增多趋势,暴雪灾害的发生频次也在增多^[1]。新疆在全国具有重要的战略地位,北疆是古丝绸之路必经之地,是“丝绸之路经济带”的关键区域之一,面对暴雪灾害,各级政府和广大民众十分重视,雪灾防御不容忽视。乌鲁木齐位于天山北坡,是新疆首府城市,是新疆政治、经济和文化中心,作为第二座亚欧大陆桥中国西部桥头堡和我国向西开放的重要门户,它距海洋较远,属中温带半干旱大陆性气候,地形地貌复杂,乌鲁木齐三面环山,地势东南

高、西北低,平均海拔800 m,市区海拔900 m左右,乌鲁木齐越来越重要的政治和经济地位使之对气象防灾减灾的要求越来越高。乌鲁木齐冬半年最重要的气象灾害就是雪灾,对社会经济和人民生活造成较大影响,成为制约经济可持续发展的重要因素之一。北疆暴雪天气明显多于南疆,在天山北坡的乌鲁木齐暴雪发生较多,研究乌鲁木齐暴雪具有重要意义。

近年来,新疆暴雪天气研究取得了许多成果^[2-5],分析揭示了南北疆暴雪天气500 hPa环流形势特征、水汽输送特点,张俊兰等^[6-7]就2015年12月天山北坡极端暴雪天气和乌鲁木齐极端暴雪天气的形成机制研究中,指出此次极端暴雪天气的环流形势、高低空天气系统配置与新疆大降水研究成果^[3-5]吻合,研究了南北低值系统结合、高低空气流在暴雪区上空汇合时有利的大尺度环流形势。我国西北地区

收稿日期:2020-03-30;修回日期:2020-04-24

基金项目:第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0102)

资助:2020年气象小型建设项目“全球预报业务能力建设”(二期)

作者简介:张俊兰(1967—),女,正高级工程师,从事天气预报和应用气象研究。E-mail: zjl_0997@163.com

东部、华北、中原等地的气象学者在暴雪天气的环流形势、影响系统、物理量场诊断以及新资料应用等方面有许多进展,特别是在暴雪的环流形势、结构演变、锋区特征以及雷达反演风场方面取得了一些新认识^[6-14]。本文选取乌鲁木齐历史上最强的3场暴雪天气过程,对比分析和综合判断得出乌鲁木齐暴雪天气的环流配置,通过分析大尺度环流背景、天气系统高低空配置,得出暴雪天气的三维空间配置结构,揭示暴雪天气强度与雷达回波、云图黑体亮温 TBB 以及风廓线雷达反演的垂直速度等中尺度系统的关系,阐明乌鲁木齐暴雪天气环流形势和天气系统空间结构配置特点,指出暴雪落区与高低空急流的配置关系,进一步明确预报思路,对提升乌鲁木齐暴雪预报能力和精细化水平有积极意义,并为“丝绸之路经济带”建设防灾减灾提供一定技术支撑。

1 三场暴雪过程实况对比

20 世纪 70 年代以来的最强 3 场暴雪天气过程均发生在近 5 年,分别是 2014 年 12 月 8 日、2015 年 12 月 11—12 日、2017 年 12 月 27—28 日。表 1 对比了这 3 场暴雪过程的累计降雪量、最大日(20:00—次日 20:00)雪量、最大小时雪强、小时雪强>2 mm 时次、降雪持续时间以及新增积雪深度等降雪实况。过程累计雪量和新增积雪深度,2015 年 12 月 10—12 日均最大,为 46.3 mm 和 37 cm,2017 年为 26.5 mm 和 27 cm,2014 年为 17.7 mm 和 16 cm。最大日降雪量和降雪持续时间,2015 年均最大,为 35.9 mm 和 37 h;2017 和 2014 年最大日降雪量和降雪持续时间相当,2017 年为 16.8 mm、14 h,2014 年为 17.7 mm、15 h。最大小时雪强出现在 2017 年,为 3.2 mm/h,2015 和 2014 年为 2.8 和 1.9 mm·h⁻¹。小时雪强>2 mm 时次,2015 年最多为 8 h,2017 年为 7 h,2014 年为 0。综上,3 场暴雪过程的强度:2015>2017>2014 年(表 1)。

表 1 乌鲁木齐历史最强 3 场暴雪天气
降雪概况对比

暴雪过程 (暴雪日)	过程累 计雪量 /mm	新增积 雪深度 /cm	最大日 降雪量 /mm	最大小 时雪强 /(mm·h ⁻¹)	小时雪 强>2 mm 时次	降雪持 续时间 /h	强度 排序
2015 年 12 月 10— 12 日(12-11)	46.3	45	35.9	2.8	08 时	37	1
2017 年 12 月 27— 28 日(12-28)	26.5	27	16.8	3.2	07 时	14	2
2014 年 12 月 08 日(12-08)	17.7	16	17.7	1.9	0 时	15	3

2 资料与方法

选用常规地面、高空气象数据和乌鲁木齐新一代 C 波段天气雷达产品、FY-2 云图资料,其中,C 波段新一代天气雷达产品应用美国 Gibson Ridge Software LLC 公司 GR2Analyst 雷达产品处理软件生成,云顶黑体亮温 TBB 利用 FY-2E 红外云图数据通过等值线处理得到。

3 大尺度环流背景和天气形势

500 hPa 上,2015 年 12 月 8 日欧洲沿岸脊向北发展,乌拉尔山长波槽向南加深,里海南部的低值系统与乌拉尔山大槽合并叠加,槽前的西南风伸至 30°N 以南。9—10 日,东欧高压脊向东南方向衰退,推动乌拉尔山大槽东移南下,经向环流转纬向环流时降雪出现。2014 年 12 月 5 日,欧洲沿岸高压脊发展,6 日乌拉尔山低涡随欧洲沿岸高压脊衰退、减弱东南下,里海和咸海南部小槽东移,与乌拉尔山低槽合并,共同影响造成降雪,7—8 日 556 dagpm 位势高度线南压至 39°N 附近。2017 年 12 月 26 日,欧洲沿岸高压脊发展,欧洲低涡南压,随欧洲沿岸高压脊衰退、欧洲低涡减弱成槽东移,26—27 日 556 dagpm 位势高度线南压至 40°N 附近,里海南部小槽东移过程中与乌拉尔山低槽合并,东移后影响新疆降雪。3 场暴雪天气均是在环流经向度减弱过程中出现(图 1)。

地面气压场上,3 场暴雪过程均有明显的地面冷高压入侵北疆,地面高压的移动路径和中心强度并不相同,2015 和 2017 年均为西方路径,中心强度为 1 047.5 hPa,2014 年则为西北路径,中心强度高达 1 057.5 hPa(表 2),与降雪强度相比,地面冷高压以西方路径入侵北疆,更易造成较强的降雪,而西北路径影响则造成更强的降温。

对比 3 场暴雪天气的环流特征,均表现为降雪之前环流经向度增大,暴雪是在经向环流转纬向或环流经向度减弱过程中出现的,主导系统为东欧高压脊或欧洲沿岸高压脊,影响系统为乌拉尔山低槽,主导系统高压脊在东南衰退过程中乌拉尔山低槽东移南下,并出现里海和咸海南部小槽东移并入乌拉尔山低槽中,东移过程中共同影响造成降雪。500 hPa 脊前偏北急流($\geq 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)跨越纬距不尽相同,降雪最强的 2015 年跨越纬距达 27°,降雪最弱的 2014 年跨越纬距仅有 13°,500 hPa 槽前为西南风或南风,2015、2017 和 2014 年最大偏南风矢量方位约 190°、220°和 260°,说明南风分量越大降雪越强,

3 场暴雪中西南风或南风最强均超过 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 出现急流。

表 2 乌鲁木齐历史最强 3 场暴雪过程 500 hPa 和地面气压场主要特征

年份	影响系统	主导系统	南支系统是否配合	500 hPa 脊前偏北风跨越纬距	500 hPa 槽前风向	500 hPa 槽前最大风速($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	地面高压路径	地面高压中心最大值/hPa
2015	乌拉尔山低槽	东欧脊东南衰退	有	27°	南风	20	西方	1 047.5
2017	乌拉尔山低槽	欧洲沿岸脊东南衰退	有	15°	西南风	24	西方	1 047.5
2014	乌拉尔山低槽	欧洲沿岸脊东南衰退	有	13°	西南风	20	西北	1 057.5

4 高低空环流配置

4.1 后倾槽结构

3 场暴雪过程发生前和发生时, 高低空主要天气系统配置均为后倾槽结构(图 2), 随高度的增高, 500~850 hPa 不同层次低槽和地面冷锋向移动方向的后方倾斜, 500 hPa 至近地层随高度下降低槽和地面移速加快, 受天山山脉阻挡, 地面冷锋与天山山脉几乎平行, 但其东段锋面移速快于 850 hPa 低槽, 高层低槽移动速度落后于低层低槽和地面冷锋, 高低空天气系统呈现明显的后倾槽结构。后倾槽结构倾斜程度不同致使暴雪强度和范围不尽相同, 2015 年低槽向后倾斜程度最大, 槽前上升运动范围更广,

持续时间更长, 在稳定持续性低云影响下, 降雪时间和累计降雪量均最长和最大, 这是 2015 年出现极端暴雪的重要原因, 说明天气系统结构的后倾程度与降雪强度和持续时间具有一定的相关性。

4.2 天气系统三维结构和天气模型

根据 3 场暴雪的不同层次环流形势变化, 结合图 2 中高低空天气系统后倾槽结构, 绘制了乌鲁木齐暴雪天气的三维空间结构(图 3), 3 次暴雪天气中, 乌鲁木齐上空均出现了 3 支气流, 分别是高层(300 hPa)的西南气流、中层(500 hPa)的西南气流、低层(700~850 hPa)的西北气流, 这 3 支气流均达到急流标准, 3 支急流为乌鲁木齐暴雪提供了有利的热力、动力和水汽条件。500 hPa 强盛的西南急流是乌鲁木齐暴雪天气的最重要信号, 两脊一槽的经向环流下, 乌拉尔山低槽东移南下至巴尔喀什湖附近或其西北部地区时, 中亚地区有南支小槽并入, 南、北低值系统结合也是乌鲁木齐暴雪的一个重要特征。

300 hPa 高空急流入口区右侧的辐散区与 500 hPa 西南急流、700~850 hPa 西北急流位置相重叠。300 hPa 高空急流位于巴尔喀什湖以西, 西南风 $>40\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 急流核位置较 500 hPa 低槽偏西, 急流核风速 $>50\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 高空西南急流入口区右侧有辐散中心, 使高空辐散。500 hPa 槽前为西南急流带, 500 hPa

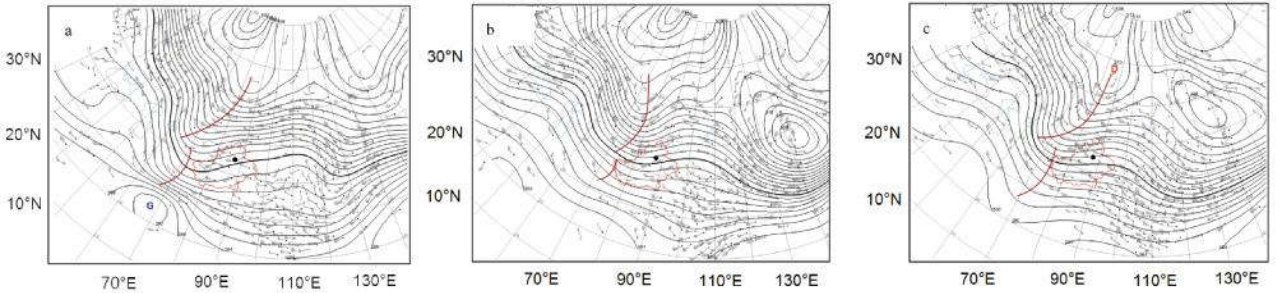


图 1 3 场暴雪过程 500 hPa 位势高度(单位: dagpm)和风矢量场(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

(a 为 2015 年 12 月 10 日 20 时, b 为 2017 年 12 月 27 日 20 时, c 为 2014 年 12 月 7 日 20 时, “●”为乌鲁木齐位置)

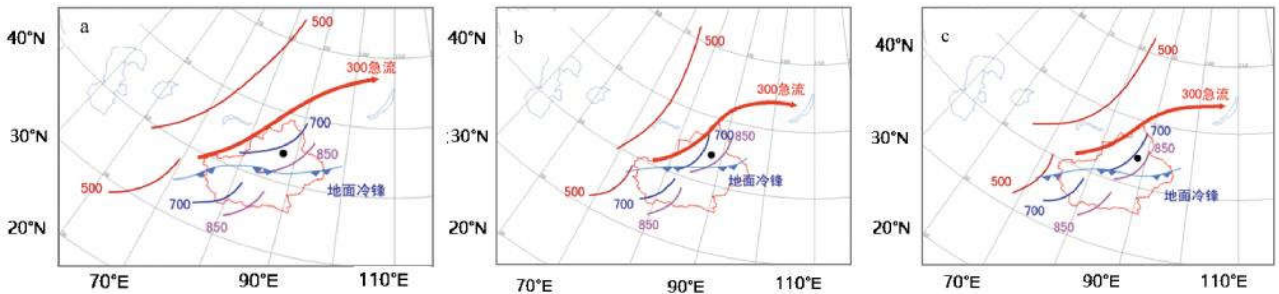


图 2 3 场暴雪过程的高低空天气系统的后倾槽结构

(a 为 2015 年 12 月 10 日 20 时, b 为 2017 年 12 月 27 日 20 时, c 为 2014 年 12 月 7 日 20 时; “●”为乌鲁木齐位置, 实线为槽线, 带箭头实线为急流, “▼”形线为地面冷锋, 图中数值的单位均为 hPa)

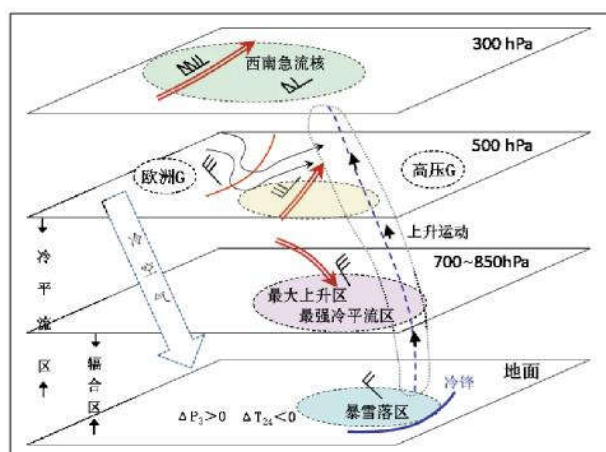


图3 乌鲁木齐暴雪天气系统的三维空间结构

以下冷平流作用下冷空气进入北疆；对应 500 hPa 槽前的西南风带中的低层 700~850 hPa 出现最大上升运动区、最强冷平流区和西北急流，西北急流在天山山脉的阻挡下，天山北坡出现了风向、风速辐合和地形强迫抬升，加剧了上升运动的发展和维持。而近地面层，伴随着冷空气和西北风入侵，地面冷锋移至天山山脉附近，出现升温降温的气象要素变化。暴雪位于 300 hPa 高空急流右侧、500 hPa 西南急流和 700~850 hPa 西北急流前部风速辐合区内，这种有利的大尺度环流形势和三维系统空间结构使大尺度垂直运动得以发生、发展，产生较强持续的上升运动，并提供热力和水汽条件。

5 中尺度天气系统

中尺度天气系统是强降水天气的重要触发机制，暴雪是大尺度环流背景下、天气尺度系统与中尺度系统相互作用的结果，通过乌鲁木齐新一代 C 波段天气雷达产品和 FY-2E 云顶亮温 TBB 资料，分析 3 次暴雪天气的中尺度天气系统的变化特征。

5.1 雷达回波特征

分析 3 次暴雪天气中乌鲁木齐新一代天气雷达产品的反射率因子及垂直结构、径向速度的回波图像，揭示乌鲁木齐暴雪天气的雷达回波特征。选取乌鲁木齐新一代天气雷达 1.5°仰角的反射率因子产品，并分析沿乌鲁木齐附近垂直剖面的回波特征，3 次暴雪天气中雷达反射率因子主要表现为层状云降水回波，随着高空槽和急流的缓慢东移，回波整体较为均匀，移动缓慢，回波形态呈现大面积片状结构。

降雪初始阶段。3 次暴雪天气刚进入乌鲁木齐时的回波形态、强度就有差异，2015 年 12 月 11 日暴雪中的反射率因子回波移速缓慢，回波变化较小，

10 日 18:00 后 >10 dBZ 回波东移进入乌鲁木齐上空，>10 dBZ 回波顶高约 1.5 km，径向速度图上出现西北风。2017 年 12 月 28 日暴雪中反射率因子回波移速较 2015 年 12 月略偏快，回波变化略大；27 日 15:00 后 >10 dBZ 回波东移进入乌鲁木齐上空，>10 dBZ 回波顶高不到 1.0 km，径向速度图上零速度线呈反“S”型结构，说明对流层中下层出现冷平流，冷空气进入乌鲁木齐。而 2014 年 12 月 9 日暴雪中反射率因子回波移速最快，回波变化较大；7 日 22:00 后 >10 dBZ 回波东移进入乌鲁木齐上空，>10 dBZ 回波顶高也不到 1.0 km，径向速度图上也出现反“S”型结构的零速度线，有冷空气进入乌鲁木齐。

降雪最强阶段。3 次暴雪天气回波形态、强度差异增大，2015 年 12 月 11 日 01:18，暴雪反射率因子图像片状结构明显(图 4a)，乌鲁木齐北部最强回波 26 dBZ，>10 dBZ 回波顶高达 2.0 km 左右(图 4b)，径向速度图上呈辐合风场结构，零速度线呈现“L”形，有西北风和东北风在乌鲁木齐上空辐合(图 4c)，11 日 01:00—02:00 小时雪强增强，由 1.7 mm·h⁻¹ 增为 2.1 mm·h⁻¹，07:00—08:00 小时雪强最强，小时雪强达 2.8 mm·h⁻¹，此时西北风和东北风仍在乌鲁木齐上空存在辐合。2017 年 12 月 28 日暴雪中反射率因子回波范围广，>20 dBZ 回波面积明显偏大，乌鲁木齐北部最强回波 28 dBZ(图 4d)，>10 dBZ 回波顶高约 2.5 km，>20 dBZ 回波顶高 1.5 km 左右(图 4e)，径向速度图上也呈辐合风场结构，零速度线也呈“L”形，除有西北风外也有东北风，但东北风强度明显弱于 2015 年 12 月 11 日(图 4f)，此时西北风和东北风之间的风向辐合最大，27 日 19:00—20:00 和 22:00—23:00 小时雪强均最大，为 3.2 mm·h⁻¹。而 2014 年 12 月 9 日暴雪中反射率因子回波面积最小，乌鲁木齐北部最强回波 24 dBZ(图 4g)，>10 dBZ 回波顶高 1.5 km 左右(图 4h)，径向速度图上有风场辐合，零速度线几乎东北西南向，主要以西北风为主入侵乌鲁木齐，有弱北风出现(图 4i)，8 日 06:00—07:00 小时雪强达到最大，为 1.9 mm·h⁻¹。

降雪回波强度、风向辐合大小与降雪强度有一定的对应关系，回波强度越强，回波顶高越高，降雪强度越大，反之亦然。乌鲁木齐暴雪天气过程中，中低层均存在风场辐合，风场辐合越明显，降雪强度越大，另外，回波移速较慢、回波稳定时，累计降雪量更大。

5.2 云顶黑体亮温特征

FY-2 系列卫星云图是目前应用最广泛的云图

资料,利用 FY-2E 红外云图数据通过等值线处理得到 3 次暴雪天气的云顶黑体亮温 TBB 的变化图像(图 5),随着乌拉尔山大槽东移南下,槽前高空急流云系发展东移进入北疆,高空云系由多个相对独立的中 β 尺度云团组成,中 β 尺度云团在图像上表现为 TBB 低值带或低值区,在高空引导气流下云系东移,中 β 尺度云团自西向东或向东北方向移动经过乌鲁木齐暴雪区上空。

分析暴雪中 TBB 强度与降雪强度之间的关系,对比乌鲁木齐逐半小时 TBB 与降水量变化曲线(图 6),2015 年 12 月 11 日暴雪中,有 3 个中 β 尺度云团东移影响乌鲁木齐,当乌鲁木齐上空 TBB 最低值约 -44°C 时,最大降雪强度 $0.3\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$;当 TBB 最低值在 $-44\sim-48^{\circ}\text{C}$,最大降雪强度多数在 $1.0\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 左右;当 $\text{TBB}<-56^{\circ}\text{C}$ 时,降雪强度一般 $>2.0\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,11 日 4:00,TBB 最低值降至 -64°C ,降雪强度达

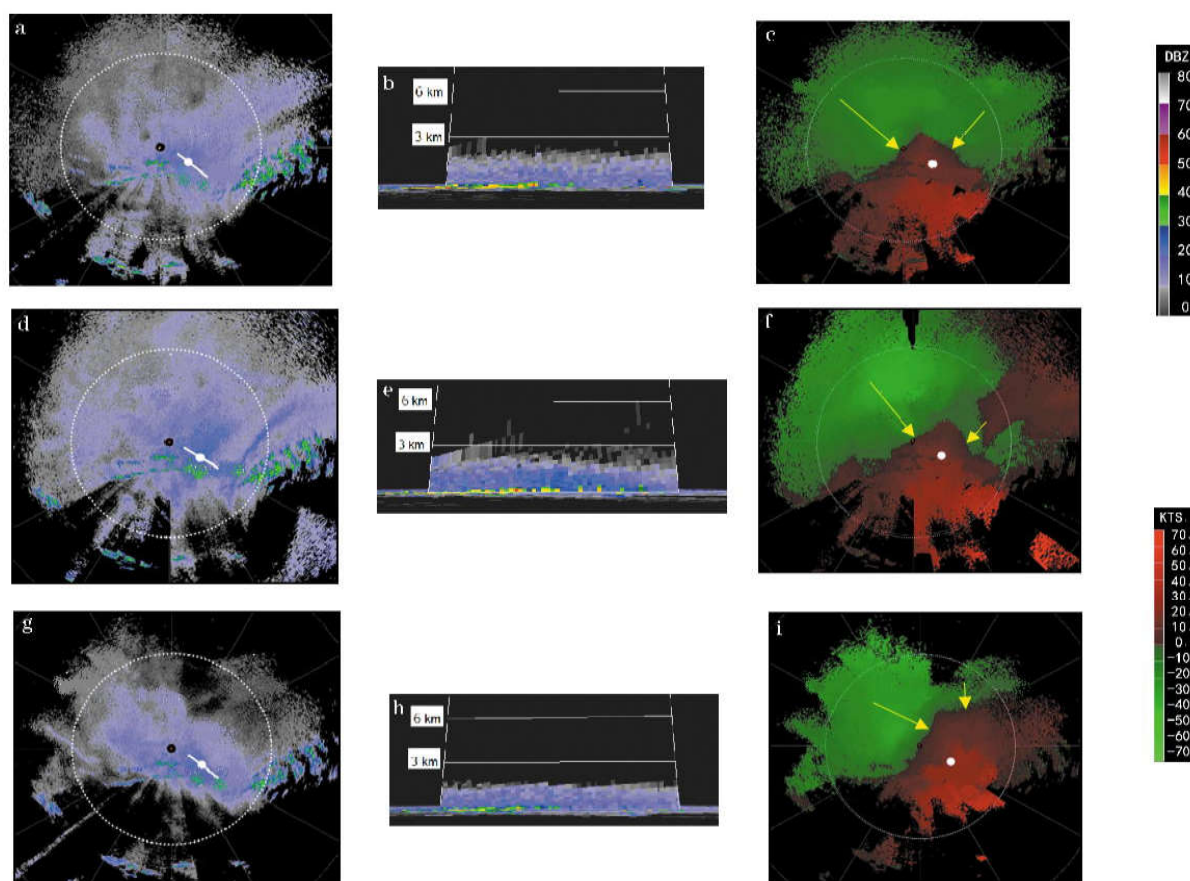


图 4 乌鲁木齐新一代天气雷达 1.5° 仰角的反射率因子、沿乌鲁木齐反射率因子剖面(单位 dBZ)及径向速度(单位:kts)

(a,b,c 为 2015 年 12 月 11 日 01:18,d,e,f 为 2017 年 12 月 27 日 22:26,g,h,i 为 2014 年 12 月 8 日 06:38;

a,d,g 为反射率因子,b,e,h 为沿乌鲁木齐反射率因子剖面,c,f,i 为径向速度;

“.”为乌鲁木齐气象站位置,“↘”代表风向,kts 是 knots per hour 的简称,即为节或海里/小时)

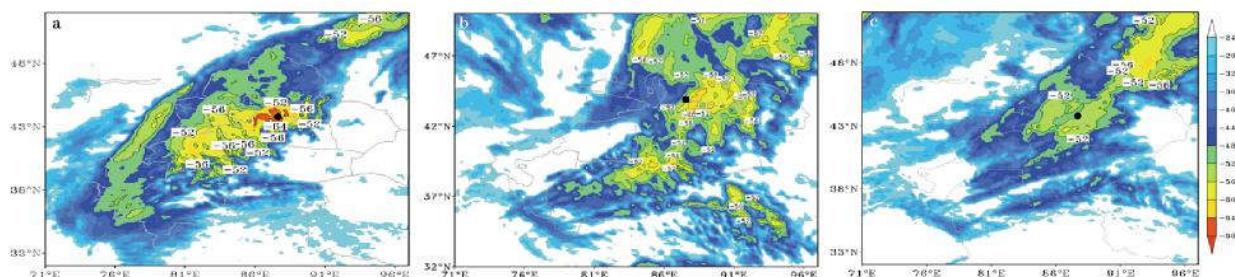


图 5 乌鲁木齐 3 次暴雪 FY-2 卫星云图云顶亮温 TBB(单位: $^{\circ}\text{C}$)分布

(a 为 2015 年 12 月 11 日 04:30,b 为 2017 年 12 月 27 日 22:00,c 为 2014 年 12 月 8 日 07:00,“.”为乌鲁木齐位置)

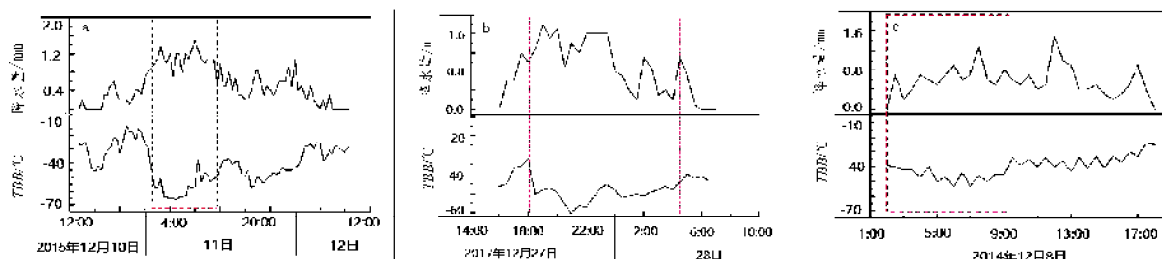


图6 乌鲁木齐3次暴雪FY-2卫星云图逐半小时云顶亮温TBB(单位:℃)和降水量(单位:mm)变化
(a为2015年12月10—12日,b为2017年12月27—28日,c为2014年12月8日)

2.2 mm·h⁻¹(图5a)。逐半小时TBB与降水量变化(图6a)显示,多数情况下,TBB下降,降水量增大,TBB上升,降水量减小。TBB<-50℃时,降水量大多>1.0 mm(图6a中红矩形框内)。2017年12月27—28日暴雪中,TBB最低值高于2015年12月11日暴雪,暴雪前后乌鲁木齐上空TBB大多在-47℃左右,27日22:00,TBB最低值为-56℃时,降雪强度达3.2 mm·h⁻¹(图6b),当TBB<-50℃时,降水量大多>1.3 mm(图6b),27日18:00—20:00,TBB波动下降中,降水量波动增加;2014年12月8日暴雪上空TBB最高,大多在-42℃左右,8日7:00,TBB最低值为-52℃时,降雪强度也最强,为1.9 mm·h⁻¹(图5c),当TBB<-45℃时,降水量大多>0.6 mm(图6c)。

云顶黑体亮温TBB值与降水强弱具有一定的对应关系,中尺度云团东移或东北移过程中,TBB降低时降雪强度大多有所增强。TBB最低值<-56℃区域可能出现较强降雪,最大小时雪强可能>2 mm·h⁻¹。滞留暴雪区上空时间长则累计降雪量大,2015年暴雪过程中尺度云团移动缓慢,TBB≤-64℃云团在乌鲁木齐上空维持3~4 h、TBB≤-56℃云团持续10 h以上,因此此次降雪时间更长,累计降雪量更大。对比还得出,中β尺度云团边缘TBB等值线梯度与暴雪区位置有一定关系,3次暴雪均出现在TBB等值线梯度最大处附近,2017年12月27—28日暴雪中,乌鲁木齐上空TBB等值线梯度最大,降雪强度也最强。

6 乌鲁木齐风廓线雷达反演的垂直速度

风廓线雷达反演回波资料可以通过返回信号信噪比和系统噪声功率的方法估算得到,并业务应用^[9],图7为3次暴雪天气中乌鲁木齐风廓线雷达资料估算的垂直速度高度—时间垂直剖面,图中垂直速度反演回波图像可看出上升运动变化。

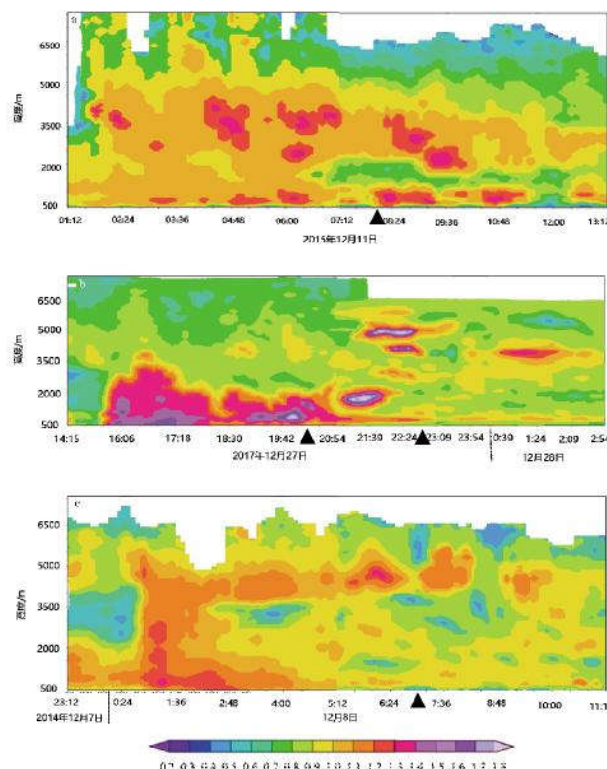


图7 乌鲁木齐风廓线雷达反演的垂直速度
(单位:m·s⁻¹)高度—时间垂直剖面

(a为2015年12月11日,b为2017年12月27—28日,c为2014年12月7—8日,“▲”为最大小时雪强出现时间)

(1)2015年12月11日,降雪最强阶段(11日02:00—11:00),降雪强度>2 mm·h⁻¹,此阶段4 500~2 500 m高度的上升运动>1.0 m·s⁻¹,最强降水时段(07:00—08:00,2.8 mm·h⁻¹)之前的4 h左右,3 500~4 000 m高度的上升速度>1.3 m·s⁻¹,当上升区高度下降时,降水强度减弱。4 000 m附近上升区的出现和高度下降预示降水增强。

(2)2017年12月27日20:00最强降雪(3.2 mm·h⁻¹)出现前的4 h左右,2 000 m以下出现上升速度>1.2 m·s⁻¹区域,最强降雪出现前的30 min左右,750 m附近最大上升速度约为1.8 m·s⁻¹,21:00—

22:30, 1 500 和 5 000 m 附近分别出现了上升速度为 $1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的大值中心, 23:00 又出现最强降雪 ($3.2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)。

(3) 2014 年 12 月 8 日, 在最强降雪 (06:00—07:00, $1.9 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$) 出现前, 上升运动经历了从低层出现向高层伸展的过程, 4 000 m 附近上升运动大值区持续了 6 h 左右, 8 日 06:00 前后, 最大上升运动在 4 700 m 附近出现, 为 $1.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右。可知, 最强降水出现前上升运动大小与降水强度呈正比关系, 上升运动越强, 降雪强度越大。

7 结论

本文分析了乌鲁木齐典型的 3 场暴雪天气过程中的环流形势和中尺度系统特征, 重点分析了环流形势及高低空天气系统的空间配置结构, 揭示了雷达、云图等中尺度系统特征, 得出以下结论:

(1) 乌鲁木齐暴雪均是在有利的大尺度环流背景下, 不同层次的多个天气系统相互配合、共同作用产生的, 主要表现为, 暴雪前环流经向度逐渐增大, 暴雪均发生在经向环流转纬向或环流经向度减弱过程中, 主导系统东欧或欧洲沿岸高压脊在东南衰退过程中, 乌拉尔山低槽东移南下, 并出现南支系统与乌拉尔山低槽结合和东移。就暴雪落区与高低空急流的配置可看出, 暴雪均出现在 500 hPa 槽前西南急流前部, 700~850 hPa 西北急流前部和 300 hPa 高空急流右侧的风速辐合区内, 这种三维空间结构使大尺度垂直运动得以发生和发展, 产生较强持续的上升运动, 是产生暴雪天气的有利大尺度环流形势和空间结构。且 500 hPa 西南风越强, 降雪强度越大, 高压脊前偏北风带跨越纬距越宽, 累积降雪越大。

(2) 雷达回波产品和云顶黑体亮温 TBB 是监测暴雪天气中尺度系统的有利工具, 分析得出, 乌鲁木齐降雪回波强度、风向辐合大小与降雪强度有对应关系, 乌鲁木齐暴雪天气过程中, 中低层均存在风场辐合, 回波强度越强, 回波顶高越高, 中低层风场辐合越明显, 则降雪强度越大。TBB 量值与降水强弱也有对应关系, TBB 最低值 $< -56 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的区域出现较强降雪可能性增大, 最大小时雪强可能 $> 2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。3 场暴雪均出现在中尺度云图边缘 TBB 等值线梯度最大处附近, TBB 等值线梯度越大, 降雪强度越强。

(3) 乌鲁木齐风廓线雷达资料估算的垂直速度可以反映上升运动变化, 3 场暴雪均在最强降雪发生前的 4~6 h, 中低层 4 000 m 以下上升运动明显增强, 最强降水出现前上升运动大小与降水强度呈正比关系, 上升运动越强, 降水强度越大。700 hPa 以下低层上升运动增强可作为强降雪出现的预报指标。

参考文献:

- [1] 崔彩霞, 庄晓翠, 贾丽红, 等. 新疆北部暴雪天气预报预警技术研究[M]. 北京: 气象出版社, 2017: 12-26.
- [2] 张学文, 张家宝. 新疆气象手册[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 90-97.
- [3] 李如琦, 唐治, 肉孜·阿基. 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] 杨霞, 张云惠, 赵逸舟, 等. 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 张俊兰, 万瑜, 闵月. 乌鲁木齐“2015.12.11”极端暴雪天气的综合分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(1): 1-10.
- [8] 杨成芳, 周淑玲, 刘畅, 等. 一次入海气旋局地暴雪的结构演变及成因观测分析[J]. 气象学报, 2015, 73(6): 1039-1051.
- [9] 杨成芳, 周雪松, 李静, 等. 基于构成要素的一次切变线暴雪天气分析[J]. 高原气象, 2015, 35(5): 1402-1413.
- [10] 吴庆梅, 杨波, 王国荣. 北京地区一次回流暴雪过程的锋区特征分析[J]. 高原气象, 2014, 33(2): 539-547.
- [11] 德勒格日玛, 李一平, 孙永刚, 等. 内蒙古东部初冬一次暴雪天气过程诊断[J]. 干旱区研究, 2015, 32(4): 726-734.
- [12] 闫慧, 赵桂香, 张朝明, 等. 山西中部一次暴雪天气过程分析[J]. 干旱气象, 2015, 33(5): 838-844.
- [13] 顾佳佳, 武威. 2014 年 2 月 4—7 日河南暴雪过程的环流特征及其持续原因[J]. 暴雨灾害, 2015, 34(2): 117-125.
- [14] 王琪, 杨成芳, 王俊. 一次大范围海效应暴雪的雷达反演风场分析[J]. 气象科学, 2015, 35(5): 653-661.
- [15] 钟刘军, 阮征, 葛润生, 等. 风廓线雷达回波信号强度定标方法[J]. 应用气象学报, 2010, 5(21): 598-605.

Atmospheric Circulation and Meso-scale System Characteristics of Snowstorm in Urumqi

ZHANG Junlan^{1,2}, SHI Junjie^{1,2}, LI Wei^{1,2}, LUO Jingwen^{1,2}, WEI Juanjuan^{1,2}

(1.Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, China;

2.Center for Central-Asia Atmosphere Science Research, Urumqi 830002, China)

Abstract The snowstorm in Urumqi is with stronger intensity and higher frequency over the northern slope of the Tianshan Mountains. This investigation selects the three strongest snowstorm processes in Urumqi in recent years. The large-scale circulation, the configuration of high- and low-altitude weather systems, and the meso-scale weather system of the snowstorm process was conducted a comparative analysis. The results indicated that Urumqi snowstorm occurred on the large-scale circulation background where the Meridional circulation becomes zonal circulation or the circulation meridian weakens. When the high-pressure ridge of the European dominant system moves to the southeast and weakens, the Ural trough moves to the southeast. The snowstorm areas in the front of the southwest jet in front of the 500 hPa trough, the front part of the 700-850 hPa northwest jet and the wind speed convergence zone on the right side of the 300 hPa high altitude jet. At the same time, the typical circulation situation of the Urumqi snowstorm and the three-dimensional space structure of the high-altitude weather system are also given. The Urumqi snowstorm occurred under the conditions of a convergence of wind fields in the low and medium layers showed on the radar echo. The stronger the radar echo intensity, the stronger the convergence of the middle and lower layer wind fields, and the higher ET, the greater the snowfall intensity would be. All the three snowstorms occurred at the maximum TBB brightness temperature gradient at the edge of the mesoscale cloud. The larger the TBB contour gradient, the greater the snowfall intensity. The ascent movement below 4000 m height is obviously enhanced 4 to 6 hours before the strongest snowfall occurring. Enhancement of ascending motion below 700 hPa can be considered as a predictive index for heavy snowfall in Urumqi.

Key words Urumqi; snowstorm; circulation configuration; TBB; wind profile radar inversion; vertical velocity