

梁田甜,苗运玲,周嘉珍,等.哈密降雪异常的大气环流及水汽特征[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(4):112-118.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2022.04.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



哈密降雪异常的大气环流及水汽特征

梁田甜¹,苗运玲²,周嘉珍²,李如琦^{3*},潘存良⁴

(1.新疆气象灾害防御技术中心,新疆 乌鲁木齐 830002;2.乌鲁木齐市气象局,新疆 乌鲁木齐 830002;
3.新疆气象台,新疆 乌鲁木齐 830002;4.哈密市气象局,新疆 哈密 839000)

摘要:利用1960—2020年哈密市6个气象站降雪观测数据及NCEP再分析资料,对哈密市降雪的时空分布特征及降雪异常年的大气环流和水汽特征进行了分析,结果表明:哈密市降雪中部多、南北少,降雪日数12月最多,降雪量11月最多;降雪量和降雪日数总体呈增加趋势,但主要在2010年前增加,之后减少;降雪以小雪为主,大雪以上量级降雪较少。降雪偏多时,高层偏西急流增强,急流区北扩,中层伊朗副高加强北抬,极锋锋区南压,脊前低槽南下东移;低层风速增大,出现风向辐合和气旋性切变,地面锋面气旋加强,水汽输送增大,低层水汽含量多。降雪偏少时,高层急流偏弱,急流轴南移,中层西风气流控制,极锋锋区偏北,新疆脊东移,冷空气偏北,低层风速辐散增强,北方气旋偏北偏弱,水汽输送量小,水汽含量也少。

关键词:时空分布;降雪异常;环流特征;水汽输送;哈密

中图分类号:P426.634

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2022)04-0112-07

哈密市位于新疆最东端,地处96°23′~91°06′E,40°52′~45°05′N,横跨天山南北的独特地貌使哈密素有“新疆缩影”之称。哈密市属典型的温带大陆性干旱气候,天山山脉自东向西横亘其中,形成中部和南部迥然不同的两大自然环境区,中部的巴里坤、伊吾两县草原广阔,夏季凉爽宜人,冬季冰优雪丰;山南哈密(伊州区)盆地、山北的淖毛湖盆地干燥少雨,昼夜温差大,日照时间长。

降雪使积雪增加,有利于缓解旱情,但持续、大范围的降雪又会致灾,可见降雪与人们的生活息息相关,也吸引了许多气象工作者的关注。李如琦等^[1]、杨霞等^[2]、刘成武等^[3]分析了北疆不同量级降雪

的时空分布和环流特征,指出新疆北部是降雪较为集中的区域,因此,更多的分析集中于北疆降雪特别是暴雪的成因^[4-7],对北疆暴雪的研究已经深入到对其锋面结构、动力特征及中尺度系统的分析^[8-10],同时对水汽、物理量特征的研究也取得了成果^[11-13]。相比而言,对南疆、东疆暴雪的研究较为少见,杨利鸿等^[14]、施俊杰等^[15]对南疆西部暴雪的个例进行了分析,李如琦等^[16]、阿衣夏木·尼亚孜等^[17-18]则分析了哈密南、北部暴雪的特征和成因。已开展的研究主要针对暴雪,对于不同区域降雪特征的分析较少,未见到对哈密市降雪特征的研究。为深入了解哈密市降雪的特征,本文在分析哈密市降雪事件的空间分布和时间变化特征的基础上,进一步研究与哈密市降雪异常相联系的环流配置和水汽输送特征,为全面认识新疆降雪、提升降雪预报能力提供技术支撑。

1 资料和方法

采用1960—2020年哈密市6个气象站的日降水量资料和NCEP/NCAR逐日再分析资料,水平分辨率为2.5°×2.5°,分析哈密降雪的时空分布特征,

收稿日期:2022-01-29;修回日期:2022-04-22

基金项目:国家重点研发计划“重大自然灾害监测预警与防范”专项(2019YFC151050102);第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK010206)

作者简介:梁田甜(1980—),女,工程师,主要从事应用气象与气象服务工作。E-mail:411015507@qq.com

通信作者:李如琦(1974—),男,正高级工程师,主要从事天气预报和灾害性天气机理研究工作。E-mail:liruqi@sohu.com

以降雪量的 ± 1 个标准差^[9]为界限选取哈密降雪异常年,合成分析降雪异常年的大气环流和水汽特征。根据哈密市各站的气候概况,在选取降雪数据时,先以日最高气温 $<4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为标准选取所有降水日,其中日最高气温 $<0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的降水均认定为降雪,对于日最高气温在 $0\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且不在11、12、1、2月的降水日重新进行资料核查,降水期间有观测记录为雪、雨夹雪、雨转雪且有积雪增加的均保留,否则予以剔除。20时一次日20时(北京时,下同)的降雪量 $\geq 0.1\text{ mm}$ 作为1个降雪日样本,哈密市6站共2981个降雪样本。降雪量级采用新疆量级标准,即 $0.1\sim 3.0\text{ mm}$ 为小雪, $3.1\sim 6.0\text{ mm}$ 为中雪, $6.1\sim 12.0\text{ mm}$ 为大雪, $12.1\sim 24.0\text{ mm}$ 为暴雪。

2 哈密降雪事件的时空特征

2.1 空间分布

哈密市降雪具有极为明显的区域性特征(表1),降雪量和降雪日数均以哈密市中部偏西的巴里坤最多,较其他5站合计还多,中部偏东的伊吾次之,北部淖毛湖盆地少于南部哈密盆地,南部偏西的十三间房最少。不同量级的降雪也表现为相同的特征,南部偏西的十三间房和南部偏东的红柳河从未出现过暴雪,巴里坤出现暴雪次数最多,为5次。日降雪极值出现在伊吾,时间为1998年3月8日,日降雪量为 22.2 mm 。

表1 哈密市各站降雪统计

站名	累积总降雪量/mm	降雪日数/d	日降雪极值/mm	极值日期	小雪日数/d	中雪日数/d	大雪日数/d	暴雪日数/d
十三间房	49.9	95	6.3	2020-01-05	92	3	1	0
巴里坤	1798.6	1297	19.6	1998-04-30	1143	154	42	5
淖毛湖	140.5	170	16.9	2005-11-19	163	7	1	1
伊吾	593.4	616	22.2	1998-03-08	578	38	11	3
伊州区	309.4	299	19.1	2005-11-20	277	22	5	1
红柳河	304.0	483	9.1	1998-03-08	474	9	3	0

2.2 月变化

哈密市的降雪量和降雪日数存在明显的月际变化(图1),降雪最早出现在9月,最晚出现在5月,夏季6—8月无降雪。降雪日数的月变化呈单峰型,峰值出现在12月。降雪量的月变化呈双峰型,主峰值出现在11月,次峰值出现在3月,在季节交替时的次均降雪量明显较大,与气温变化大导致的降水相态变化有直接关系。

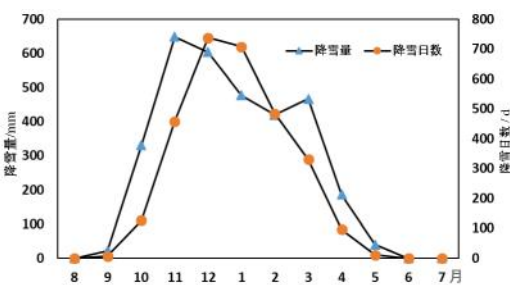


图1 哈密市降雪量和降雪日数距平的月变化

2.3 年际变化

从哈密市降雪的年变化趋势(图2)来看,降雪量和降雪日数总体呈增多趋势,降雪量的增量约为 $12.1\text{ mm}/10\text{ a}$,降雪日数增量约为 $1.1\text{ d}/10\text{ a}$,但主要是在2010年前增多,而在2010年后呈减少趋势。降雪量最大值出现在1998年,最小为1997年;降雪日数最多出现在2010年,最少在2017年。哈密市降雪量和降雪日数变化具有较好的一致性,两者的相关系数达0.61,通过0.001的显著性检验。

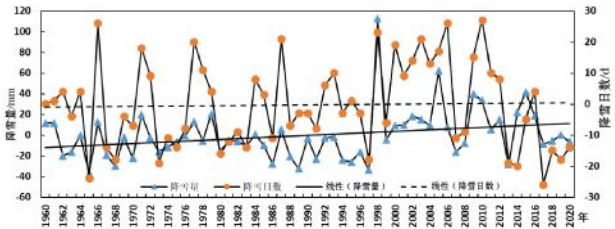


图2 哈密市1960—2020年降雪量和降雪日数距平

2.4 不同量级的降雪贡献

哈密市各站不同量级的累计降雪量及其在总降雪量的占比(表2)存在与降雨明显不同的特点,除淖毛湖的暴雪降雪量较大雪贡献大、红柳河的大雪降雪量较中雪贡献略大外,总体上量级越小的降雪对总降雪量的贡献越大。各站均为小雪的贡献最大,红柳河最大,达85.5%,最小的巴里坤小雪占比也达到53.5%。中雪累计降雪量除红柳河占比不足10%以外,其他站的中雪占比均达15%以上。这说明哈密降雪以小雪为主,大雪以上量级降雪较少。

3 哈密降雪异常的大尺度环流特征

基于1960—2020年哈密市6站降雪量的年际变化序列,以 ± 1 个标准差为界限,挑选出哈密市5个降雪偏多年(1998、2005、2009、2010、2015年)和7个降雪偏少年(1965、1968、1986、1989、1995、1997、2013年),针对11、12、1、2月主要降雪月进行环流特征分析。

表2 不同量级累计降雪量及其占比

		十三间房	巴里坤	淖毛湖	伊吾	哈密(伊州区)	红柳河
暴雪	降雪量/mm	0	74.5	16.9	56.0	19.1	0
	占比/%	0.0	4.1	12.0	9.4	6.2	0.0
大雪	降雪量/mm	6.3	302.8	0	71.6	25.7	23.8
	占比/%	12.6	16.8	0.0	12.1	8.3	7.8
中雪	降雪量/mm	8.4	459.6	24.6	110.6	73.5	20.3
	占比/%	16.8	25.6	17.5	18.6	23.8	6.7
小雪	降雪量/mm	35.2	961.7	99.0	355.2	191.1	259.9
	占比/%	70.5	53.5	70.5	59.9	61.8	85.5

3.1 200 hPa 纬向风

从对流层高层平均纬向风速的分布看,30°N附近存在一个高空偏西急流带,在新疆北部有大风速区向北扩展至西伯利亚。在哈密降雪偏多年(图3a),偏西风急流轴线附近为正距平中心,高空急流较常年偏强且急流轴偏西,另一个正距平中心位于55°N的西西伯利亚,新疆及其以北区域均为正距平,表明高空偏西急流明显偏强,急流区北扩,哈密市也位于增强的高空急流区,高空辐散抽吸作用增强,促使低层上升运动发展,对降水有利。在降雪偏少年(图3b),2个带状正距平中心25°N以南的低纬度地区和贝加尔湖以北的西伯利亚地区,中纬度地区为负距平区,表明高空急流较常年偏弱,急流轴

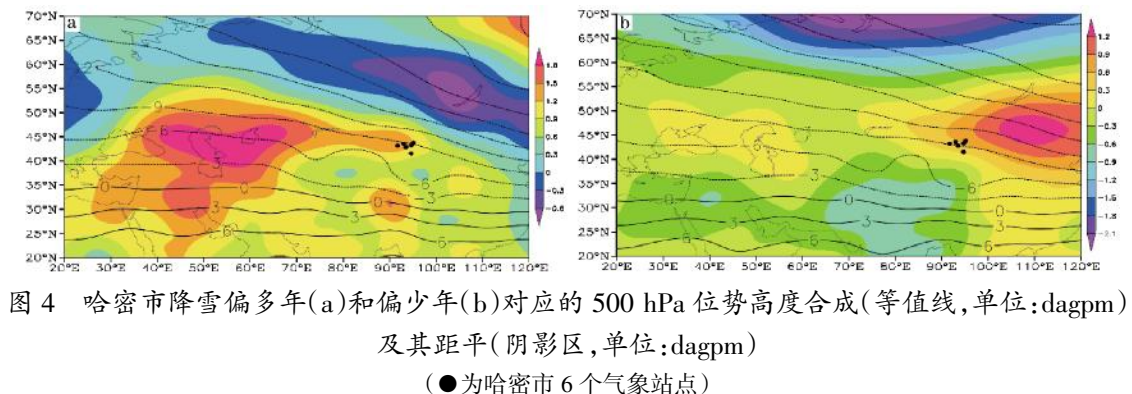
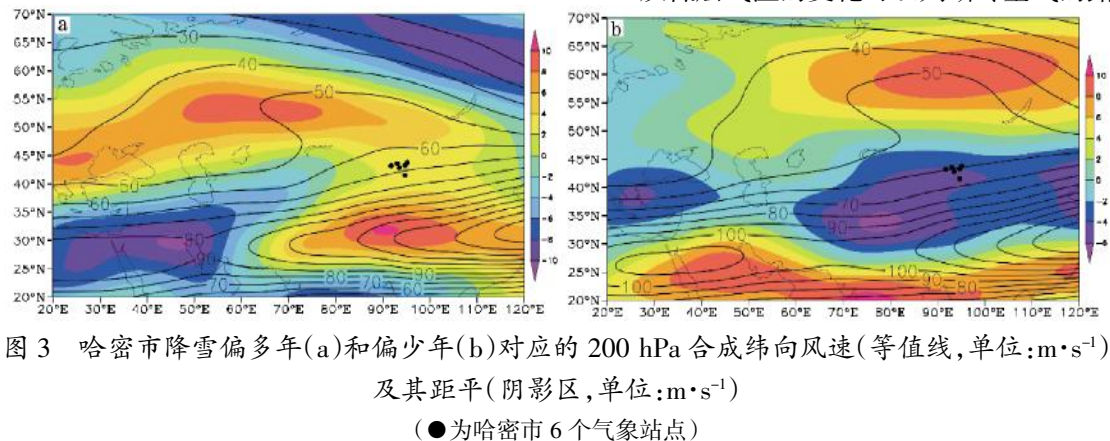
偏南,哈密市上空的偏西急流弱于常年,不利于上升运动发展,降水偏少。

3.2 500 hPa 位势高度

影响哈密市降水的天气系统主要有2个,一是主体位于47°N以南的中亚槽,由上游里海脊发展东扩推动,低槽沿天山北坡东移,影响哈密市造成降水;二是主体位于47°N以北的北支槽,受上游系统东移的影响,北支槽南下东移影响哈密市。在500 hPa位势高度平均场上,巴尔喀什湖—北疆为弱脊,哈密市位于脊前西北气流带上。在哈密市降雪偏多年(图4a),中纬度新疆及其以西地区为正距平区,正距平中心位于伊朗高原北侧的里海地区,新疆以北、以东为负距平区,负距平大值区位于60°N以南,表明伊朗副高较常年偏强并北抬,脊线偏西,脊前的西北气流偏强,极锋锋区位置偏南,影响槽强于历年且位置偏南,哈密市处于低槽活动区,有利于降水的出现。当哈密市降雪偏少时(图4b),新疆以西、以北地区均为负距平区,负距平大值区位于60°N以北,北疆及其以东为正距平区,正距平中心位于蒙古高原,表明伊朗副热带高压弱于常年,极锋锋区位置偏北,新疆脊脊线东移,哈密市位于脊区,没有明显的低值系统影响,不利于降水的形成。

3.3 700 hPa 温度

从低层气温的变化可以判断冷空气的路径和强



度,冷空气的活动有利于降雪的出现。冬季 700 hPa 平均气温场上,新疆区域的 0°C 线一般位于 35°N 以南,哈密市附近温度为 -9°C 左右。在哈密市降雪偏多年(图 5a),中亚—新疆均为正距平,气温偏高,正距平中心位于里海、咸海,北疆沿天山一带—哈密市气温较常年偏高 1°C 左右,哈密市东部、北部为负距平区,气温偏低,表明冷空气东移,气温回升,在东移冷空气的影响下,哈密市降雪偏多。当哈密市降雪偏少时(图 5b),南疆为弱的负距平区,主要的负距平区位于 60°N 以北的区域,北疆及其以东为正距平区,正距平中心位于蒙古高原,表明冷空气主要在极区活动,很少有南下的冷空气影响到哈密市及其以东的地区,气温高于常年,降水也较常年偏少。

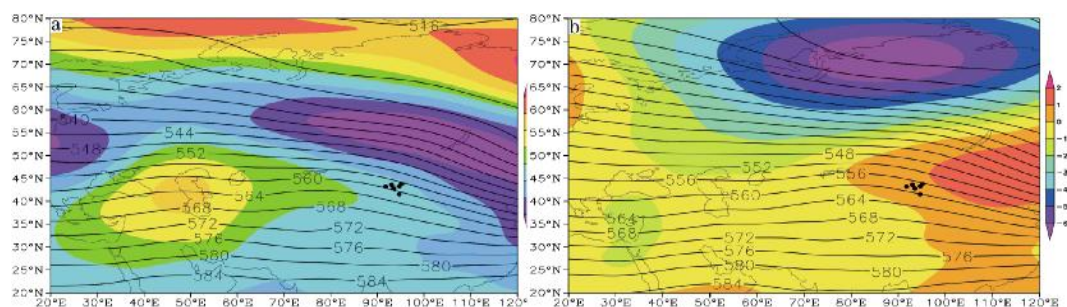
3.4 850 hPa 风场

低层切变线或辐合线是降水的重要影响系统。分析 850 hPa 平均风场发现,哈密市南部区域多为西南或偏西风。在哈密市降雪偏多年(图 6a),南部区域为西南风,但其西部有西北风加强并指向哈密区域,与西南风形成风向辐合,并在哈密市附近形成气旋性切变,风速在整个区域均为正距平,且出现西北风区域的正距平值较大,表明哈密市降雪偏多时水汽输送强于常年,并会出现西北风和西南风的辐合,形成气旋性切变,使低层辐合抬升,有利于降雪

的出现。在哈密降雪偏少年(图 6b),南部为西南风,哈密市及其以东区域为西风,以西区域风速较小,表明低层水汽输送较常年偏弱。整个区域的风速也为正距平,但哈密市以东的距平值明显大于西部,表明哈密市降雪偏少时低层风速略大于常年,东部偏大幅度大于西部,低层更易出现辐散,不利于上升运动的加强,导致降水偏少。

3.5 海平面气压

在海平面气压平均场上,一般呈北高南低形势,高压中心位于新疆以北的西伯利亚地区,高压区南扩至天山山脉,南疆盆地主要由低压控制,哈密市位于 1030 hPa 等压线附近。在哈密市降雪偏多年(图 7a),南疆盆地为正距平,正距平中心位于 43°N 附近,西伯利亚为负距平中心,哈密市位于正负距平中心之间梯度较大的负距平区,南疆出现加压,而西伯利亚高压强度低于常年,表明北方地面锋面气旋强于常年,南下影响哈密市,造成哈密市的降雪多于常年。在哈密市降雪偏少年(图 7b),南疆也是正距平,但强度较弱,正距平中心也偏南至 35°N 以南,西伯利亚至新疆北部、东部为弱的负距平区,西伯利亚高压接近常年,哈密市也属于高压控制区,表明北方西伯利亚地面气旋较弱,很难南下影响到哈密市,因此哈密市的降雪也较常年偏少。



4 哈密降雪异常的水汽特征

水汽是形成降水的重要条件,水汽输送则是影响当地天气过程和气候的重要原因。由哈密市降雪的平均水汽通量场可知,水汽主要来自河西走廊向西北方向的输送。从哈密市降雪偏多年的整层水汽通量及其距平(图8a)来看,水汽主要为东南方向的输送,一条水汽输送带经过哈密市附近,区域大部均为正距平,在哈密市的东北部有一个正距平中心,表明有明显强于常年的水汽向哈密市东北部地区输送,更多的水汽输送有利于更多降水的出现。大的水汽通量散度负值区基本位于北部,哈密大部尤其是北部区域存在明显的水汽辐合,表明水汽辐合区偏北,而哈密北部的降雪贡献大,造成哈密降雪偏多。在哈密市降雪偏少年的整层水汽通量及其距平图(图8b)上,区域内水汽输送是东南输送,且大部区域为距平场,但距平强度明显弱于降雪偏多年,水汽输送带位于哈密市以北地区,正距平中心位于哈密

市偏东和偏北区域,表明输送至哈密市的水汽接近常年略偏多,水汽输送量少使降水过程少,气候较干燥。水汽通量散度绝对值明显小于偏多年,且负值区在哈密南部呈带状分布,表明水汽辐合小且位置偏南,不利于哈密降雪。从哈密市降雪异常年850 hPa比湿的合成分析可知,南方水汽含量明显大于北方,偏多年(图8c)比湿更大,并有湿舌向东北伸至哈密,表明降雪偏多年低层水汽含量大,且有水汽向哈密输送,而偏少年(图8d)比湿总体小于偏多年,向东北伸的湿舌偏弱且位置更偏南,表明低层水汽含量小,水汽向北输送少。

5 结论与讨论

分析近61 a哈密市降雪事件的空间分布和时间变化特征,以及与哈密市降雪异常相联系的环流配置和水汽输送特征,得到以下结论:

(1)哈密市降雪日数和降雪量具有一致的空间

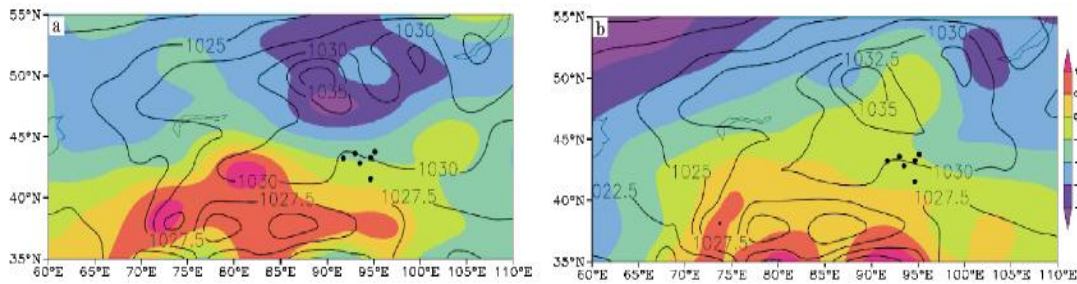


图7 降雪偏多年(a)和偏少年(b)对应的海平面气压合成(等值线,单位:hPa)及其距平(阴影区,单位:hPa)
(●为哈密市6个气象站点)

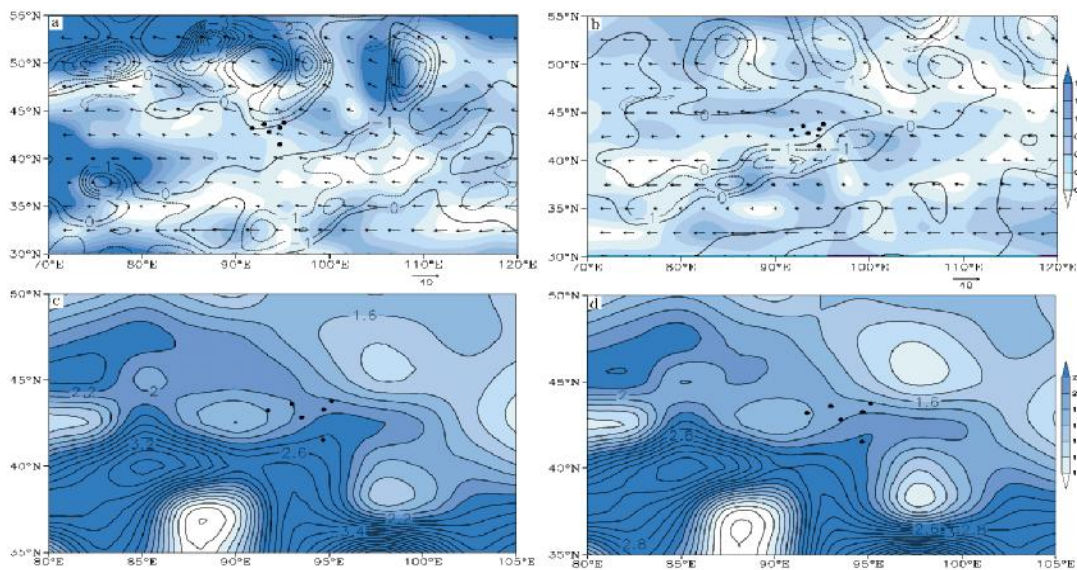


图8 降雪偏多年(a)和偏少年(b)的整层合成水汽通量(箭头,单位: $10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)、距平(阴影区,单位: $10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)、水汽通量散度(等值线,单位: $10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
和偏多年(c)、偏少年(d)的850 hPa比湿(阴影区,单位: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
(●为哈密市6个气象站点)

差异,中部的东天山北坡最多,南北部的戈壁盆地最少,大雪及以上降雪主要出现在巴里坤和伊吾,其他地区很少出现。哈密市除夏季以外均有降雪,降雪日数12月最多,降雪量11月最多。哈密市的降雪量和降雪日数总体呈增多趋势,增量分别为12.1 mm/10 a和1.1 d/10 a,但主要是在2010年前增多,2010年后呈减少趋势,降雪量最大值出现在1998年,最小为1997年;降雪日数最多出现在2010年,最少在2017年。哈密市降雪以小雪为主,大雪以上量级降雪较少。

(2)在降雪偏多年,高层偏西急流明显增强,急流区北扩,高空辐散抽吸作用增强,上升运动发展;中层伊朗副高偏强北抬,极锋锋区南下,西北气流加强,低槽携带冷空气南下东移;低层风速大于常年,出现西北风和西南风的辐合,并形成气旋性切变,低层辐合抬升,地面锋面气旋强于常年,同时有较多的水汽向哈密市东北部地区输送,水汽辐合区强且偏北,近地层水汽含量大,造成哈密市的降雪多于常年。

(3)在降雪偏少年,高层急流较常年偏弱,急流轴南移;中层伊朗副高弱于常年,极锋锋区位置偏北,新疆脊东移,冷空气活动偏北,气温高于常年;低层风速东部偏大幅度大于西部,辐散性加强;北方地面气旋偏北偏弱,东南水汽输送量少,水汽辐合弱且偏南,近地层水汽含量大,降雪过程少于常年。

本文重点分析了与哈密市降雪异常相关联的环流配置和水汽输送特征,从气候分析的角度定性地分析了哪些因子对哈密降雪的变化具有影响,但对于哈密市降雪的物理过程和机理究竟如何,可以用于哈密降雪预报的前期信号有哪些等诸多问题还需进一步从天气学角度深入研究,以期增进哈密市降雪机理的认识,提升降雪的预报能力,为新疆防灾减灾服务。

参考文献:

- [1] 李如琦,唐冶,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.
- [2] 杨霞,李阿桥,赵逸舟,等.1961—2018年新疆北部冬季暴雪时空分布及其环流特征[J].冰川冻土,2020,42(3):756-765.
- [3] 刘成武,安大维,张俊兰,等.1961—2019年北疆冬季不同等级降雪变化特征[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(4):115-122.
- [4] 赵俊荣,杨雪,蔺喜禄,等.一次致灾大暴雪的多尺度系统配置及落区分析[J].高原气象,2013,32(1):201-210.
- [5] 李圆圆,肖开提·多莱特,杨莲梅,等.一次中亚低涡造成的新疆暴雪天气过程分析[J].气象科学,2014,34(3):299-304.
- [6] 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.
- [7] 张书萍,祝从文.2009年冬季新疆北部持续性暴雪的环流特征及其成因分析[J].大气科学,2011,35(5):833-846.
- [8] 陈涛,崔彩霞.“2010·1·6”新疆北部特大暴雪过程中的锋面结构及降水机制[J].气象,2012,38(8):921-931.
- [9] 庄晓翠,崔彩霞,李博渊,等.新疆北部暖区强降雪中尺度环境与落区分析[J].高原气象,2016,35(1):129-142.
- [10] 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.
- [11] 张俊兰,崔彩霞,陈春艳.北疆典型暴雪天气的水汽特征研究[J].高原气象,2013,32(4):1115-1125.
- [12] 杨莲梅,杨涛,贾丽红,等.新疆大~暴雪气候特征及其水汽分析[J].冰川冻土,2005,27(3):83-90.
- [13] 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.
- [14] 杨利鸿,周宏,玛依热·艾海提.2011年2月喀什冬季一次暴雪天气过程分析[J].沙漠与绿洲气象,2015,9(5):69-74.
- [15] 施俊杰,孙鸣婧,吕新生,等.南疆西部春季一次极端暴雪天气综合分析[J].干旱区地理,2022,45(1):131-140.
- [16] 李如琦,史可传.伊吾98·3特大暴雪个例分析[J].新疆气象,1999,22(2):11-13.
- [17] 阿衣夏木·尼亚孜,孔期,杨贵名.2005年11月哈密暴雪天气过程的诊断分析[J].气象,2007,33(6):67-74.
- [18] 车罡,王荣梅.哈密南部一次罕见暴雪天气诊断分析[J].新疆气象,2005,28(增刊):26-28.
- [19] 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.

Characteristics of Atmospheric Circulation and Water Vapor Transport of Snowfall Anomaly in Hami

LIANG Tiantian¹, MIAO Yunling², ZHOU Jiazhen², LI Ruqi³, PAN Cunliang⁴

(1.Xinjiang Meteorological Disaster Prevention Center, Urumqi 830002, China;

2.Urumqi Meteorological Bureau, Urumqi 830002, China;

3.Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, China;

4.Hami Meteorological Bureau, Hami 839000, China)

Abstract Based on the snowfall observation data of six meteorological stations and NCEP reanalysis data in Hami during 1960–2020, the spatial and temporal distribution characteristics of snowfall in Hami and the characteristics of atmospheric circulation and water vapor in snowfall abnormal years were analyzed. The results showed that there were more snowfall in the middle of Hami than that in the north and south. The number of snowfall days peaked in December with the highest snowfall amount in November. The snowfall amount and snowfall days generally showed an increasing trend, increased mainly before 2010 and then decreased. The snowfall was dominated by light snow, and the snowfall above heavy snow was less. When there was more snowfall, the west jet at high-level strengthened, and the jet area expanded to the north. The Iran Subtropical High strengthened to the north, the polar front area moved to the south, and the low trough in front of the ridge moved to the south and east. The wind speed in the lower level increased, wind direction convergence and cyclonic shear appeared, the cyclone on the ground front strengthened. The water vapor transport increased, and the water vapor content in the lower layer was more. When there was less snow, the jet at high-level was weak, the jet axis moved south. The Iran Subtropical High weakened, the polar front area moved north, the Xinjiang Ridge moved eastly, the cold air was northward, the low-level wind speed divergence enhanced, the northern cyclone was weaker and northward, and the water vapor transport capacity and the water vapor content was less.

Key words spatial and temporal distribution; snowfall anomaly; circulation characteristics; water vapor transmission; Hami