

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2020.0060

YANG Xia, LI Aqiao, ZHAO Yizhou, et al. Spatial-temporal distribution and general circulation of snowstorm in northern Xinjiang from 1961 to 2018[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2020, 42(3):756-765. [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.]

# 1961 – 2018年新疆北部冬季暴雪时空分布及其环流特征

杨霞<sup>1</sup>, 李阿桥<sup>2</sup>, 赵逸舟<sup>3</sup>, 魏娟娟<sup>1</sup>

(1. 新疆维吾尔自治区气象台, 新疆乌鲁木齐 830002; 2. 新疆维吾尔自治区气象信息中心, 新疆乌鲁木齐 830002;  
3. 新疆维吾尔自治区气象局, 新疆乌鲁木齐 830002)

**摘 要:** 基于1961 – 2018年冬季逐日降水资料, 研究了新疆北部不同类型暴雪的时空分布和环流特征。结果表明, 冬季新疆北部的局地暴雪日数最多(73.1%), 区域暴雪次之(20.9%), 大范围暴雪最少(6.0%)。总暴雪、区域暴雪和大范围暴雪日数呈显著的增加趋势, 局地暴雪的增加趋势不显著。总暴雪、局地暴雪和区域暴雪日数在12月最多; 大范围暴雪日数在2月最多。20世纪60 – 80年代, 新疆北部冬季以局地暴雪为主, 暴雪中心主要位于伊犁河谷和塔城地区北部; 90年代至今, 区域暴雪和大范围暴雪日数显著增加, 除伊犁河谷和塔城地区北部外, 阿勒泰地区、天山北坡中段的暴雪日数增加显著, 乌鲁木齐成为天山北坡新的暴雪中心。新疆北部冬季暴雪的环流形势可分为3类6型, 其中锋区波动类最多, 低槽类次之, 低涡类最少。20世纪90年代前, 锋区波动类最多; 进入21世纪后, 低槽类明显增多。

**关键词:** 暴雪; 类型; 时空分布; 环流形势; 新疆北部

**中图分类号:** P458.1\*22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2020)03-0756-10

## 0 引言

暴雪是我国冬季主要的灾害性天气之一, 其造成的大范围积雪对全球气候反馈、生态环境和城市运行等都有重要影响<sup>[1-5]</sup>。我国对北方暴雪、高原暴雪、环渤海冷流暴雪等都已开展了系统的研究。东北暴雪<sup>[6-7]</sup>主要出现在春季和秋季, 近50年来东北地区春季暴雪呈显著增加趋势, 而秋季暴雪则呈显著减少趋势。天气学研究表明, 造成东北地区暴雪的主要天气系统是低涡、暖锋和锢囚锋; 造成华北地区暴雪的天气系统主要是蒙古气旋、黄河气旋<sup>[8-10]</sup>。青藏高原全年都可出现暴雪, 近年来青藏高原暴雪频次呈减少趋势; 造成青藏高原暴雪天气过程的环流形势分为印度低压型、南北支槽型、巴尔喀什湖低压型、伊朗高压型和高原低涡-切变型5

种类型; 其中南支槽在每类环流型中都起着重要作用<sup>[11-12]</sup>。环渤海冷流暴雪以山东半岛最为显著, 主要出现在每年的1 – 3月, 造成此类暴雪的冷空气主要有西北、偏北和偏西三条路径, 其中偏北路径是造成冷流暴雪的主要路径<sup>[13-14]</sup>。

新疆虽然为干旱、半干旱地区, 但暴雪过程在每年冬季都会出现<sup>[15-17]</sup>。研究表明, 新疆北部大到暴雪多发于西部、北部和天山北坡一带, 其中阿勒泰地区、塔城盆地、伊犁河谷、乌苏到木垒的天山北坡一带及天山中部的中山带是新疆北部4个大到暴雪过程的高频区<sup>[18]</sup>。冷锋是造成新疆暴雪的主要天气系统, 锋前、锋面和锋后都有暴雪出现, 其中天山北坡一带和天山中部的中山带为锋面或锋后降雪, 而新疆西部、北部的暴雪则常出现在冷锋

收稿日期: 2019-07-26; 修订日期: 2020-06-20

基金项目: 新疆维吾尔自治区气象局面上项目(MS201801); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(IDM2020007)资助

作者简介: 杨霞(1980 – ), 女, 甘肃武威人, 副高级工程师, 2006年在南京信息工程大学获硕士学位, 从事灾害性天气机理研究。

E-mail: Yangxia921@163.com

通信作者: 赵逸舟, 副高级工程师, 从事气候变化研究。E-mail: ZYZ\_93@163.com.

前部的暖区之中。低空急流、辐合线和切变线是新疆北部暴雪的主要触发机制<sup>[19–20]</sup>。新疆北部暴雪的水汽主要来自北大西洋、巴伦支海、地中海、里咸海和红海,以中低纬向水汽输送为主<sup>[21–23]</sup>。新疆暴雪过程中伴随着中尺度云团的生消,暴雪落区与中尺度云团 TBB 等值线梯度大值区的对应关系较好<sup>[24–26]</sup>。

目前针对新疆北部暴雪的研究多为天气个例分析<sup>[27–29]</sup>,针对暴雪气候特征的研究多将春、秋季暴雪与冬季暴雪作为一个整体进行分析,专门针对新疆北部冬季暴雪开展的研究相对较少。过去几十年新疆北部冬季暴雪的时空分布和变化趋势呈现何种特征,特别是新疆气候由暖干向暖湿转型后,冬季暴雪的时空分布和环流系统是否发生了变化,是否呈现出新的特征?这些问题尚不明晰。此外,目前新疆的暴雪研究多关注于单站暴雪,对于区域暴雪和大范围暴雪的系统性研究尚不多见。近年来,随着全球气候变暖新疆北部冬季暴雪降水量呈显著增加趋势,冬季降水极端化特征愈加明显,暴雪造成的灾害也日益凸显<sup>[30–32]</sup>,因此系统分析新疆北部暴雪特征和环流配置对提高区域防灾减灾能力具有重要意义。本文利用 1961–2018 年冬季逐日降水资料,给出新疆北部不同类型暴雪的客观定义,研究各类暴雪的时空变化和大尺度环流系统特征,以期为新疆暴雪天气预报提供有益的参考。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

本文所用资料包括:(1)新疆气象信息中心提供的 1961–2018 年冬季新疆北部地区 45 个国家气象站逐日降水资料;文中冬季指当年 12 月至次年 2 月。(2)NCEP/NCAR 500 hPa 高度场和风场的逐日再分析资料,水平分辨率为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

### 1.2 暴雪日及暴雪分类统计标准

新疆降水等级业务标准<sup>[3]</sup>中规定:日降水量  $R$ ,当  $12.1 \text{ mm} \leq R \leq 24.0 \text{ mm}$  时为暴雪,  $24.1 \text{ mm} \leq R \leq 48.0 \text{ mm}$  为大暴雪,  $R \geq 48.1 \text{ mm}$  为特大暴雪。一日内有一个或以上观测站出现暴雪,则定义该日为一个暴雪日。

本文将新疆北部暴雪划分为局地暴雪、区域暴雪和大范围暴雪三类。综合新疆北部地域特征,站点分布和实际预报经验确定如下划分标准,即在一

个暴雪日中,出现暴雪的测站数为  $n$ ,若  $n < 3$  站,则定义该日为局地暴雪日;若  $3 \text{ 站} \leq n < 7$  站,则定义为区域暴雪日;若  $n \geq 7$  站,则定义为大范围暴雪日。

## 2 暴雪时间变化特征

### 2.1 年际变化特征

由图 1(a)可以看出,1961–2018 年冬季新疆北部共出现 134 个暴雪日,平均每年冬季出现暴雪日 2.3 天,其中最多可达 10 天(2009 年),最少为 0 天,9 年冬季未出现暴雪。在各类暴雪中,局地暴雪出现的日数最多,共出现 98 天,占总暴雪日的 73.1%,平均每年出现 1.7 天[图 1(b)];区域暴雪次之,共出现 28 天,占总暴雪日的 20.9%,平均每年出现 0.5 天[图 1(c)];大范围暴雪最少,仅出现 8 天,占总暴雪日的 6.0%,平均每年出现 0.1 天[图 1(d)]。1961–2018 年冬季新疆北部暴雪日数的年际变化较大,暴雪日数总体呈增加趋势,其中区域暴雪日数的增加趋势通过了 0.01 的信度检验,总暴雪日数和大范围暴雪日数通过了 0.05 的信度检验,局地暴雪日数虽也呈弱增加趋势,但未通过显著性检验。

### 2.2 月变化特征

从 1961–2018 年冬季新疆北部总暴雪日数的月分布特征中可以看出[图 2(a)],暴雪主要发生在 12 月,占总暴雪日数的 47.8%;2 月次之,占总暴雪日数的 28.4%;1 月最少,仅占 23.9%。局地暴雪[图 2(b)]和区域暴雪[图 2(c)]日数的月分布特征与总暴雪日数一致,也在 12 月最多,2 月次之,1 月最少。大范围暴雪日数[图 2(d)]的月分布特征与上述两类暴雪日数存在较大差异,表现为 2 月最多(占 62.5%);1 月次之(占 25.0%);12 月最少(占 12.5%)。

### 2.3 年代际变化特征

新疆北部冬季暴雪日数总体呈增加趋势,20 世纪 60–80 年代,以局地暴雪为主,20 世纪 90 年代后,区域暴雪和大范围暴雪日数增加。从不同类型暴雪日数在各年代所占的比例可以看出(图 3),20 世纪 60 年代仅有局地暴雪,无区域暴雪和大范围暴雪发生;进入 70 年代,区域暴雪开始出现,但仍无大范围暴雪,局地暴雪和区域暴雪所占比例分别为 75.0% 和 25.0%。80 年代,大范围暴雪开始出现,三类暴雪的占比分别为局地暴雪 85.7%、区域暴雪 4.8%、大范围暴雪 9.5%。90 年代,区域暴雪

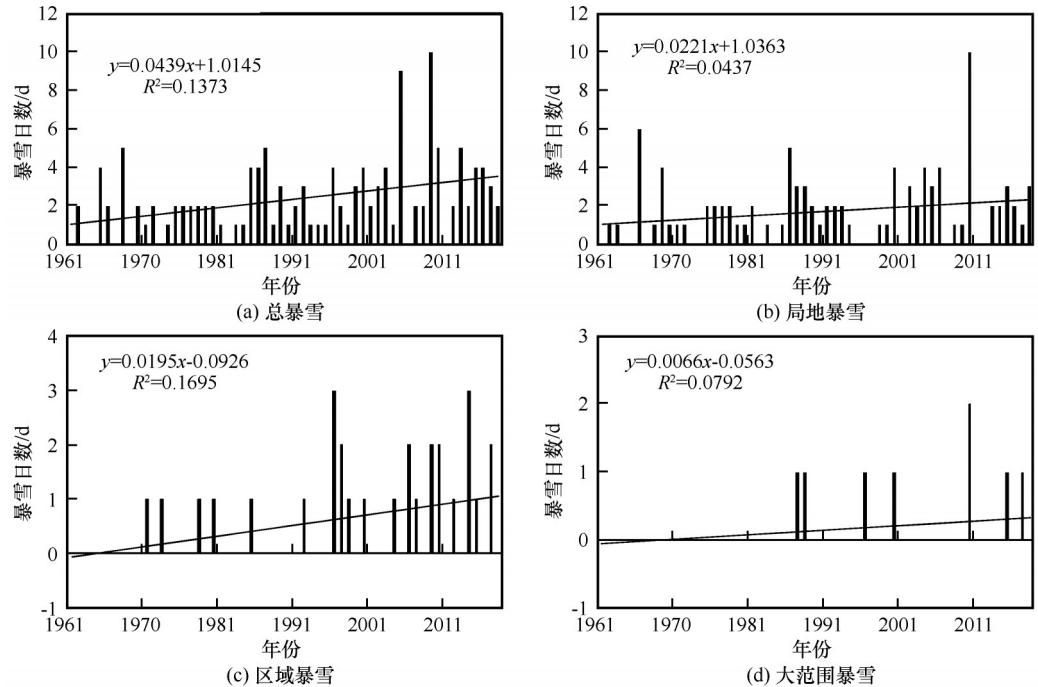


图1 1961 – 2018年冬季新疆北部暴雪日数的年际变化(黑色直线为暴雪日数趋势线)

Fig. 1 Annual variations of snowstorm days in northern Xinjing from 1961 to 2018: total snowstorm (a), partly snowstorm (b), regional snowstorm (c) and large regional snowstorm (d)

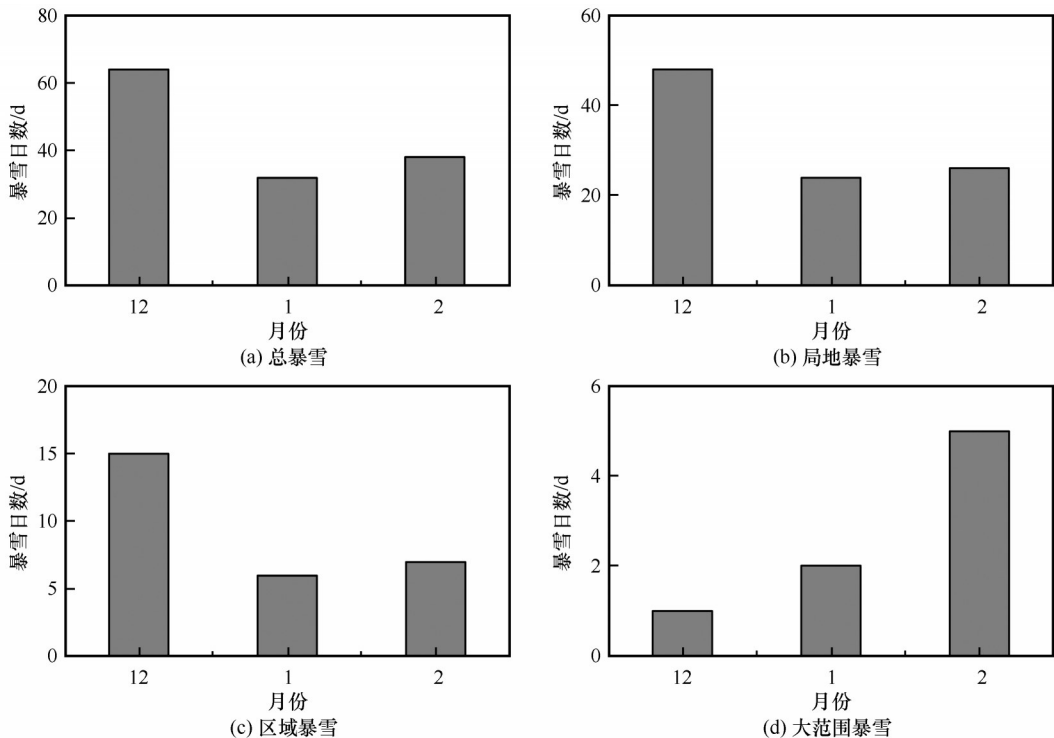


图2 1961 – 2018年冬季新疆北部暴雪日数的月变化特征

Fig. 2 Monthly variations of snowstorm days in northern Xinjing from 1961 to 2018: total snowstorm (a), partly snowstorm (b), regional snowstorm (c) and large regional snowstorm (d)

的占比大幅提高,达34.8%,局地暴雪和大范围暴雪分别占56.5%和8.7%。进入21世纪后,三类暴雪的占比相对稳定,局地暴雪在60.0%~73.0%,区域暴雪在21.0%~31.0%,大范围暴雪在5.0%~9.0%。

新疆北部不同类型暴雪在各月所占比例的年

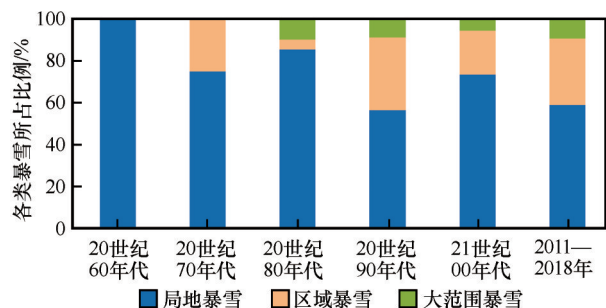


图3 不同类型暴雪日数在各年代所占比例

Fig. 3 Decadal snowstorm proportions (1960s, 1970s, 1980s, 1990s, 2000s and 2011 – 2018) of the three type snowstorms: partly snowstorm, regional snowstorm and large regional snowstorm

代际差异较大(图4), 总暴雪日数在各年代中以12月的占比最高, 1月次之, 2月最少。20世纪60年代, 新疆北部地区冬季无区域暴雪和大范围暴雪出现, 70年代, 区域暴雪出现, 主要集中在12月和2月; 80年代, 大范围暴雪开始出现, 区域暴雪和大范围暴雪都集中出现在2月; 90年代, 区域暴雪在冬季三个月均有出现, 其中以12月的占比最多; 大范围暴雪则主要出现在1月和2月, 二者的占比相当; 21世纪10年代, 区域暴雪和大范围暴雪在各月的占比与20世纪90年代类似, 2011—2018年区域暴雪日数在1月的占比最高, 大范围暴雪则主要出现在12月和2月。

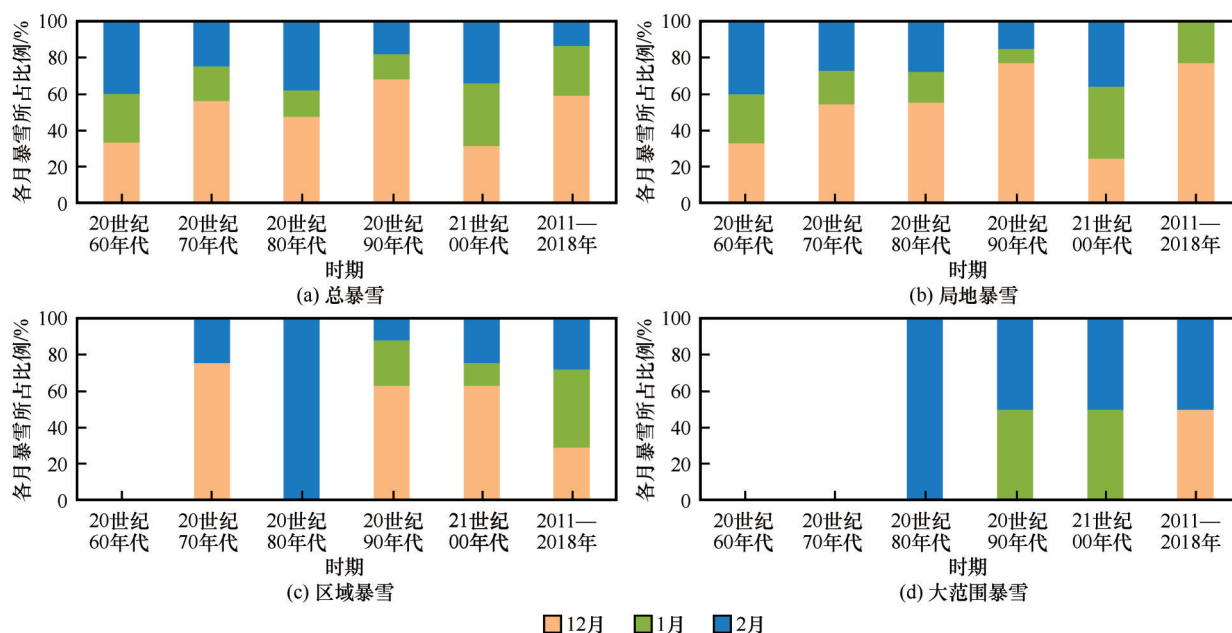


图4 各年代不同类型暴雪日数在各月所占比例

Fig. 4 Decadal proportions (1960s, 1970s, 1980s, 2000s and 2011 – 2018) of monthly (Dec., Jan. and Feb.) snowstorm days of total snowstorm (a), partly snowstorm (b), regional snowstorm (c) and large regional snowstorm (d)

综上, 新疆北部区域暴雪和大范围暴雪在20世纪60—80年代占比较少, 且主要集中在2月; 90年代至今, 区域暴雪和大范围暴雪占比大幅增加, 区域暴雪在冬季各月均有出现; 大范围暴雪主要出现在1月和12月。研究表明<sup>[33-34]</sup>, 20世纪80年代后期以来, 新疆气候由暖干向暖湿转型, 结合前文分析, 可以看出在暖湿背景下, 新疆北部冬季暴雪日数和暴雪影响范围显著增加, 暴雪的极端性特征进一步增强。

### 3 暴雪空间变化特征

图5给出1961—2018年冬季新疆北部45站累

计暴雪日数和年平均暴雪日数的空间分布, 可以看出, 新疆北部暴雪日数的空间差异较大, 暴雪高发区域主要分布在伊犁河谷、塔城地区北部、阿勒泰地区东部和天山北坡中段[图5(a)]。新疆北部地区暴雪日数最大中心位于伊犁河谷的伊宁县站, 58年累计出现暴雪37天, 平均每年出现0.6天; 吉木乃、和布克赛尔、克拉玛依、北塔山、精河、炮台、巴仑台、大西沟和达坂城9站在过去58年的冬季未出现过暴雪。由年平均暴雪日数的空间分布可以看出[图5(b)], 北疆地区年平均冬季暴雪日数均不足1天, 除伊犁河谷的部分区域暴雪日数超过0.5天外, 北疆其他地区大多不足0.4天。



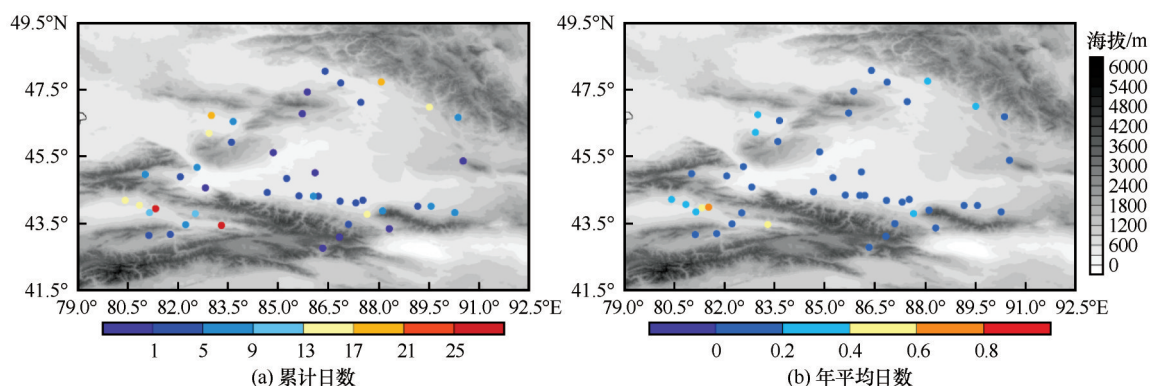


图5 1961—2018年新疆北部暴雪日数的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of snowfall days in northern Xinjiang from 1961 to 2018: cumulative snowfall days (a) and average annual snowfall days (b)

从各年代累计暴雪站次的空间分布可以看出(图略),新疆北部冬季暴雪呈年代际增加趋势,且从20世纪80年代开始,暴雪的空间分布从伊犁河谷向东扩展,至21世纪,乌鲁木齐成为一个新的暴雪中心。20世纪60年代,北疆仅出现20站次暴雪,且主要集中在伊犁河谷(11站次);70年代,暴雪增至27站次,其中伊犁河谷17站次;80年代,出现暴雪43站次,除伊犁河谷外(20站次),塔城地区北部、阿勒泰地区和北疆沿天山的暴雪开始增加;90年代,出现暴雪59站次,其中伊犁河谷33站次,塔城地区10站次,阿勒泰地区7站次,北疆沿天山地区9站次。21世纪00年代,出现暴雪84站次,为20世纪60年代的4.2倍;最大值仍位于伊犁河谷(31站次),北疆沿天山暴雪增加至19站次,特别是乌鲁木齐的暴雪日数增加至5天,成为北疆沿天山一带新的暴雪中心。

各年代各站累计暴雪日数距平的空间分布更加清晰的揭示了,新疆北部暴雪从20世纪80年代开始,从伊犁河谷向东扩展的特征。可以看出(图6),20世纪60年代,北疆大部地区的暴雪日数均为负距平,70年代,伊犁河谷和沿天山西部区域为正距平,北疆其他地区仍为负距平。80年代,正距平的范围扩大,伊犁河谷和北疆沿天山大部开始转为正距平。90年代,伊犁河谷大部、北疆北部为正距平区,沿天山的正距平站点较80年代有所减少。进入21世纪,北疆正距平站点显著增加,特别是塔城、阿勒泰地区的站点均为正距平,西沿天山的正距平站点较20世纪90年代增加。2011—2018年,北疆北部转为负距平区域,伊犁河谷和沿天山中部和东部地区仍为正距平区域。

综上,在20世纪60—70年代,北疆冬季暴雪

站次相对较少,暴雪主要出现在伊犁河谷和塔城地区北部;20世纪80年代至今,北疆冬季暴雪站次显著增加,除伊犁河谷地区外,塔城地区、阿勒泰地区和北疆沿天山一带的暴雪站次明显增多,特别是天山北坡中段成为新的暴雪高发区域。

#### 4 暴雪环流特征

本文重点针对1961—2018年冬季新疆北部地区36例一日内同时出现3站及以上的暴雪天气过程(即区域暴雪和大范围暴雪)的500 hPa典型环流形势进行分类,并将同类环流型的500 hPa高度场进行合成分析。由表1可以看出,造成新疆北部冬季区域暴雪和大范围暴雪的500 hPa环流形势主要分为3类6型,其中锋区波动类最多(22例),占总个例数的61.1%;低槽类次之(8例),占22.2%;低涡类最少(6例),仅占16.7%。由表1还可以看出,从20世纪70年代到21世纪,锋区波动类系统增多,低涡类系统的年代际变化不大;低槽类系统在20世纪70年代到21世纪00年代的年代际变化不大,进入21世纪10年代后开始增多。下面分别讨论各类型的主要环流特征。

##### 4.1 锋区波动类

锋区波动类是造成新疆北部区域暴雪和大范围暴雪天气过程最多的一种天气形势(表1),其包括偏西型和西北型2型,其中偏西型(12例)略多于西北型(10例)。20世纪70年代新疆北部冬季暴雪均为锋区波动类,其中偏西型和西北型各2例;80年代,仅出现1例锋区波动西北型暴雪;90年代锋区波动类暴雪占总暴雪的70%,7例均为偏西型;21世纪00年代锋区波动类暴雪占总暴雪的60%,6例均为西北型;2011—2018年,锋区波动类暴雪占

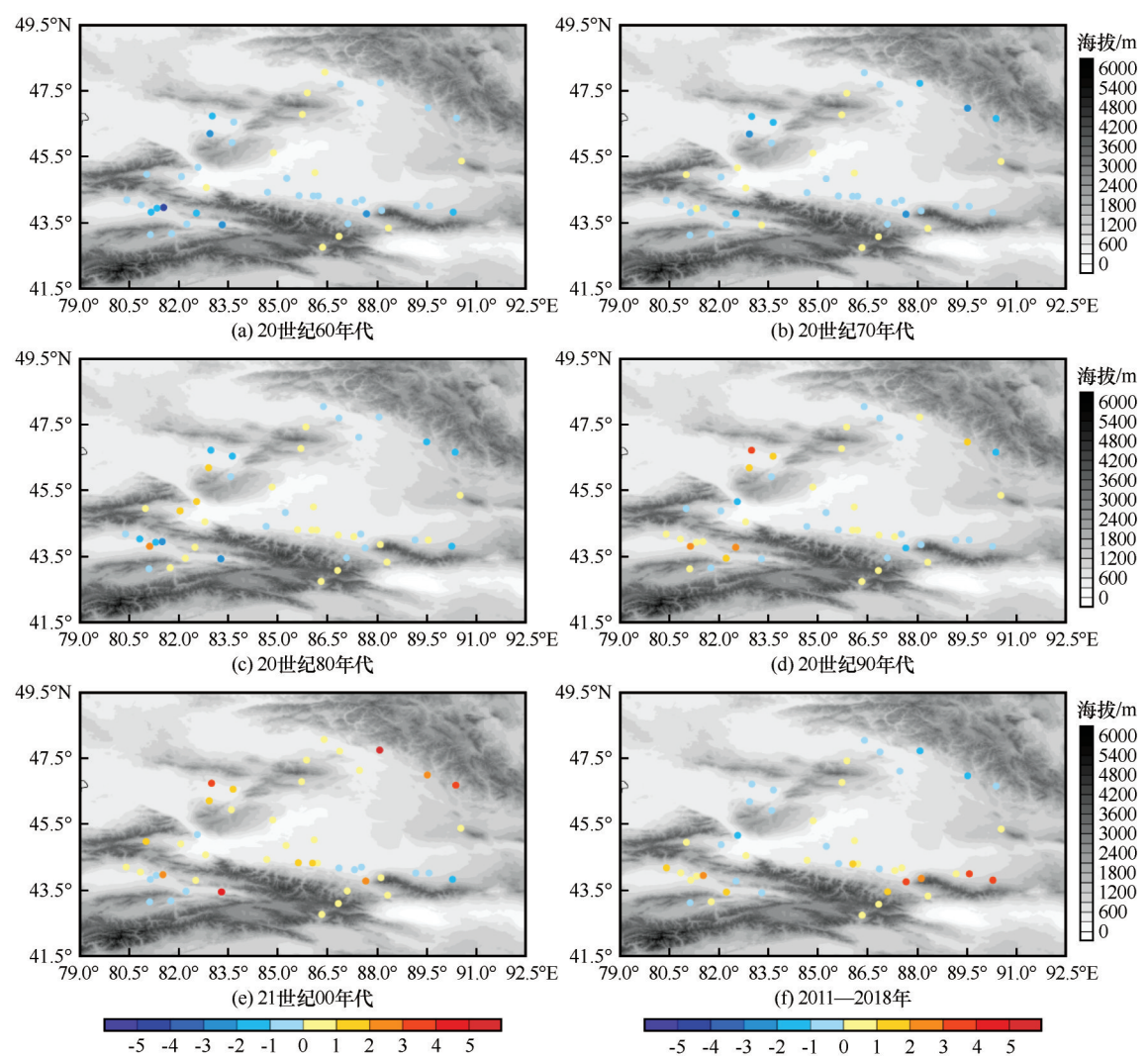


图6 新疆北部各年代累计暴雪日数距平值空间分布

Fig. 6 Spatial distributions of the decadal variation of snowstorm in northern Xinjiang in 1960s (a), 1970s (b), 1980s(c), 1990s (d), 2000s (e) and 2011–2018 (f)

表1 新疆北部暴雪影响系统分类							
Table 1 Decadal variation of the weather system of snowstorm in northern Xinjiang							
	锋区波动类		低槽类		低涡类		合计
	偏西型	西北型	横槽底部型	低槽前部型	低涡底部型	低涡前部型	
总数	12	10	2	6	4	2	36
20 世纪 70 年代	2	2	0	0	0	0	4
20 世纪 80 年代	0	1	0	0	1	1	3
20 世纪 90 年代	7	0	1	0	2	0	10
21 世纪 00 年代	0	6	1	1	1	1	10
21 世纪 10 年代	3	1	0	5	0	0	9

总暴雪的 44.4%，其中偏西型 3 例，西北型 1 例。

在锋区波动类偏西型暴雪天气过程中[图 7 (a)]，强锋区呈准东西向分布，位于 45°~55°N 附近，新疆北部处于强锋区底部，锋区上短波活跃，冷空气主要从偏西路径进入新疆北部，常造成伊犁河谷和天山北坡暴雪。在锋区波动类西北型暴雪天气过程中[图 7(b)]，北支极锋锋区与巴湖南侧高压脊前强锋区在新疆北部地区汇合，强锋区呈西北东南向分布，新疆北部为强西北锋区控制，冷空气主要从西北和北方路径进入新疆，易造成伊犁河谷、



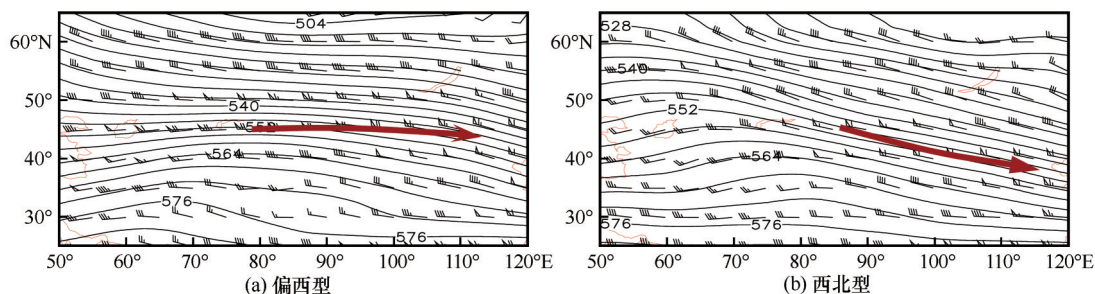


图7 新疆北部锋区波动类暴雪天气过程500 hPa位势高度场(实线, 单位: dagpm)和风场(矢量, 单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )合成分布  
Fig. 7 The composition distribution of geopotential height (contour, unit: dagpm) and wind field (vector,  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) at 500 hPa in a snowstorm weather in northern Xinjiang: by west type (a) and northwest type (b)

塔城地区北部、阿勒泰地区东部和天山北部的暴雪。

#### 4.2 低槽类

低槽类可分为横槽底部型和低槽前部型2型, 其中低槽前部型(6例)多于横槽底部型(2例)。20世纪70和80年代均未出现过低槽类暴雪, 90年代出现1例横槽底部型暴雪, 占总暴雪的10%; 21世纪00年代, 横槽底部型和低槽前部型暴雪各出现1例, 占总暴雪的20%; 2011–2018年, 低槽类暴雪占总暴雪的比例达55.6%, 且均

为低槽前部型。

在低槽类横槽底部型暴雪天气过程中[图8(a)], 巴尔喀什湖至贝加尔湖地区为一个宽广的横槽区, 新疆北部处于横槽底部, 主要受偏西气流控制, 由于系统维持的时间较长易造成伊犁河谷持续性暴雪。在低槽类低槽前部型暴雪天气过程中[图8(b)], 低槽位于巴尔喀什湖附近, 新疆北部处于低槽前部, 主要受西南气流控制, 此型的环流径向度较大, 有利于南支水汽向北输送, 易造成伊犁河谷、塔城地区北部和天山北坡的暴雪。

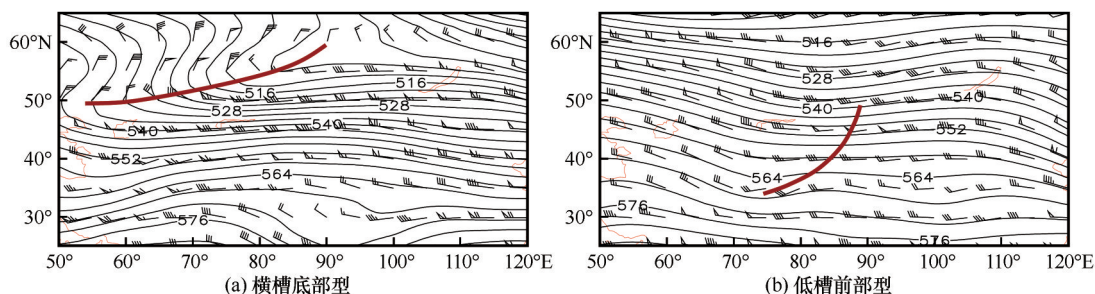


图8 新疆北部低槽类暴雪天气过程500 hPa位势高度场(实线, 单位: dagpm)和风场(矢量, 单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )合成分布  
Fig. 8 The composition distribution of geopotential height (contour, unit: dagpm) and wind field (vector,  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) at 500 hPa in a snowstorm weather in northern Xinjiang: transverse groove bottom type (a) and low groove front type (b)

#### 4.3 低涡类

低涡类暴雪相对较少, 主要分为低涡底部型和低涡前部型2型, 其中低涡底部型(4例)多于低涡前部型(2例)。20世纪70年代无低涡类暴雪出现, 80年代低涡类暴雪占总暴雪的66.7%, 低涡前部型和低涡底部型各出现1例; 90年代和21世纪00年代, 低涡类暴雪均占总暴雪的20.0%; 2011–2018年无低涡类暴雪出现。

在低涡类低涡底部型暴雪天气过程中[图9(a)], 低涡常处于 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ ,  $70^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ , 新疆北部位于低涡底部强锋区中, 此型常造成塔城地区和阿勒泰地区的大范围持续性暴雪天气过程, 降雪

量大, 灾害严重。在低涡类低涡前部型暴雪天气过程中[图9(b)], 低涡位于巴尔喀什湖附近, 新疆北部处于低涡前部的西南气流中, 该型的特征与低槽前部型较为相似, 不再赘述。

### 5 结论与展望

通过分析1961–2018年冬季新疆北部不同类型暴雪的时空分布及环流特征, 得到以下主要结论:

(1) 近58年新疆北部冬季暴雪日数总体呈增加趋势, 其中总暴雪、区域暴雪和大范围暴雪日数的增加趋势显著; 局地暴雪日数增加趋势不显著。

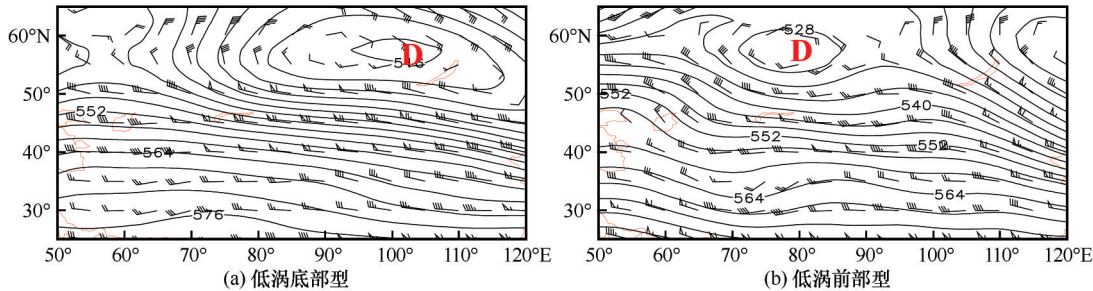


图9 新疆北部低涡类暴雪天气过程 500 hPa 位势高度场(实线, 单位: dagpm)和风场(矢量, 单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )合成分布  
Fig. 9 The composition distribution of geopotential height (contour, unit: dagpm) and wind field (vector,  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) at 500 hPa in snowstorm weather in northern Xinjiang: vortex bottom type(a) and vortex front type (b)

1961—2018 年冬季新疆北部共出现 134 个暴雪日, 其中局地暴雪最多(98 天), 占总暴雪日数的 73.1%; 区域暴雪次之(28 天), 占 20.9%; 大范围暴雪最少, 仅占 6.0%。

(2) 新疆北部年平均总暴雪日数为 2.3 天, 局地暴雪为 1.7 天, 区域暴雪为 0.5 天, 大范围暴雪仅为 0.1 天。总暴雪、局地暴雪和区域暴雪日数均为 12 月最多, 2 月次之, 1 月最少; 大范围暴雪日数为 2 月最多, 1 月次之, 12 月最少。

(3) 新疆北部暴雪日数呈现明显的阶段性差异, 20 世纪 60—80 年代, 以局地暴雪为主, 区域暴雪和大范围暴雪日数较少; 20 世纪 90 年代后, 特别是进入 21 世纪后, 区域暴雪和大范围暴雪日数明显增多, 占总暴雪日数的比例增加。

(4) 20 世纪 60—80 年代, 新疆北部的暴雪中心主要位于伊犁河谷和塔城地区北部, 20 世纪 90 年代后, 除伊犁河谷和塔城地区北部外, 阿勒泰地区、天山北坡中段的暴雪日数明显增加, 乌鲁木齐成为天山北坡新的暴雪中心。

(5) 新疆北部暴雪的环流形势分为 3 类 6 型, 锋区波动类最多, 占 61.1%, 包括偏西型和西北型 2 型。低槽类次之, 占 22.2%, 包括横槽底部型和低槽前部型 2 型。低涡类最少, 仅占 16.7%, 包括低涡底部型和低涡前部型 2 型。20 世纪 70 年代新疆北部冬季暴雪均为锋区波动类; 80 年代, 为锋区波动和低涡两类; 90 年代, 以锋区波动类最多, 低涡类次之, 低槽类最少; 21 世纪 00 年代, 锋区波动类仍最多, 低槽类次之, 低涡类最少; 2011—2018 年, 为低槽和锋区波动两类。进入 21 世纪后, 低槽类暴雪显著增加, 特别是 2011—2018 年, 低槽类成为造成冬季北疆暴雪的主要环流类型。

新疆位于西北干旱区西部, 其降水变化和西北干旱区东部不同, 由于不受东亚夏季风影响, 因而

降水的年代际变化也不同于我国季风区, 其气候在我国具有一定特殊性, 更多体现中亚气候特征。由前文分析可知新疆北部冬季暴雪与新疆气候由暖干向暖湿转型的时间变化趋势基本一致, 近 58 年来新疆北部暴雪增加, 特别是区域暴雪和大范围暴雪日数呈显著增加趋势, 暖湿背景下新疆冬季降水异常的成因还有待进一步研究。此外, 20 世纪 80 年代开始, 新疆北部暴雪高发区的空间分布从伊犁河谷向北疆沿天山一带扩展, 至 21 世纪, 乌鲁木齐成为一个新的暴雪中心, 导致上述现象的物理机制目前尚不清晰, 下一步我们将利用数值模拟的方法, 开展更加深入的研究。

#### 参考文献(References):

- [1] Li Peiji. Analysis research on snow disaster in pasture area [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1998: 15—18. [李培基. 牧区雪灾的分析研究[M]. 北京: 气象出版社, 1998: 15—18.]
- [2] Huang Danqing, Dai Aiguo, Zhu Jian, et al. Recent winter precipitation changes over eastern China in different warming periods and the associated East Asian jets and oceanic conditions [J]. Journal of Climate, 2017, 30: 4443—4462.
- [3] Zhang Jiabao, Deng Zhifeng. Precipitation generality of Xinjiang [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1987: 276—280. [张家宝, 邓子凤. 新疆降水概论[M]. 北京: 气象出版社, 1987: 276—280.]
- [4] Yao Junqiang, Yang Qing, Mao Weiyi, et al. Evaluation of the impacts of climate change and human activities on the hydrological environment in Central Asia [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2016, 38(1): 222—230. [姚俊强, 杨青, 毛伟峰, 等. 气候变化和人类活动对中亚地区水文环境的影响评估[J]. 冰川冻土, 2016, 38(1): 222—230.]
- [5] Chen Xi, Jiang Fengqing, Wang Yajun, et al. Characteristics of the eco-geographical pattern in arid land of Central Asia [J]. Arid Zone Research, 2013, 30(3): 385—390. [陈曦, 姜逢清, 王亚俊, 等. 亚洲中部干旱区生态地理格局研究[J]. 干旱区研究, 2013, 30(3): 385—390.]
- [6] Chen Changsheng, Wang Panxing, Yang Xiufeng, et al. Classification and features of spatio-temporal variation of snowstorms in Northeast China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(10): 1275—1281. [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.]
- [7] Wang Ying, Zhao Chunyu, Yan Xiaoyu, et al. Changing characteristics of snowfall and snowfall days in Liaoning Province during 1961 - 2007[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, 33(4): 729 - 737. [王颖, 赵春雨, 严晓瑜, 等. 1961 - 2007年辽宁省降雪量和降雪日数的气候变化特征[J]. 冰川冻土, Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(6): 1446 - 1453.]
- [8] Fu Liang, Zhao Yu, Yang Chenfang, et al. Statistical characteristics of the northward extratropical cyclone snowstorm affecting Northeast China[J]. Plateau Meteorology, 2018, 37(6): 1705 - 1715. [付亮, 赵宇, 杨成芳, 等. 影响东北的北上温带气旋暴雪的统计特征[J]. 高原气象, 2018, 37(6): 1705 - 1715.]
- [9] Wang Xueqing, Wang Chenghai, Meng Xuefeng, et al. The synoptic characteristics of a snowstorm during winter of 2012 in Xilingol League, Inner Mongolia[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(6): 1446 - 1453. [王学强, 王澄海, 孟雪峰, 等. 内蒙古锡林郭勒盟2012年冬季暴雪过程天气特征研究[J]. 冰川冻土, 2013, 35(6): 1446 - 1453.]
- [10] Wang Huiqing, Fu Yanan, Meng Xuefeng. Analysis on characteristics of water vapor transportation during an extreme snowfall process in the northeast of Inner Mongolia[J]. Journal of Arid Meteorology, 2019, 37(2): 277 - 287. [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.]
- [11] Lin Zhiqiang, Jia La, Xue Gaiping, et al. Spatial-temporal distribution and general circulation of heavy snow over Tibet Plateau in 1980 - 2000[J]. Plateau Meteorology, 2014, 33(4): 900 - 906. [林志强, 假拉, 薛改萍. 1980-2010年西藏高原大到暴雪的时空分布和环流特征[J]. 高原气象, 2014, 33(4): 900 - 906.]
- [12] Xu Jianfen, Tao Jianhong, Xia Jianping. A meso-scale analysis of Qinghai-Xizang Plateau snow storm and its overtax source study[J]. Plateau Meteorology, 2000, 19(2): 187 - 197. [徐建芬, 陶建红, 夏建平. 青藏高原切变线暴雪中尺度分析及其涡源研究[J]. 高原气象, 2000, 19(2): 187 - 197.]
- [13] Bao Baoleerqimuge, Ren Guoyu. Sea-effect precipitation over the Shandong Peninsula, Northern China[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2018, 57: 1291 - 1308.
- [14] Wang Yuliang, Hu Shunqi. Influence systems and circulation characteristics of snowstorm in Southern Shandong during 1999 - 2018[J]. Desert Oasis Meteor, 2019, 13(3): 8 - 15. [王玉亮, 胡顺起. 1999 - 2018年鲁南地区暴雪天气的影响系统及环流特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(3): 8 - 15.]
- [15] Zhao Yong, Cui Caixia, Li Xia. Climatic characteristics of winter precipitation in Northern Xinjiang Region[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, 33(2): 292 - 299. [赵勇, 崔彩霞, 李霞. 北疆冬季降水的气候特征分析[J]. 冰川冻土, 2011, 33(2): 292 - 299.]
- [16] Zhao Yong, Hang Danqing, Zhu Jian, et al. The feature analysis of regional and persistent extreme precipitation events in Northern Xinjiang region[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, 33(3): 524 - 531. [赵勇, 黄丹青, 朱坚, 等. 北疆极端降水事件的区域性和持续性特征分析[J]. 冰川冻土, 2011, 33(3): 524 - 531.]
- [17] Yang Xia, Cui Caixia, Abulitijiang·Abulikemu, et al. Review on study of warm sector heavy snowstorm weather in Xinjiang[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2013, 7(4): 21 - 25. [杨霞, 崔彩霞, 阿不力米提·阿布力克木, 等. 新疆暖区暴雪天气研究概述[J]. 沙漠与绿洲气象, 2013, 7(4): 21 - 25.]
- [18] Yang Lianmei, Yang Tao, Jia Lihong, et al. Analyses of the climate characteristics and water vapor of heavy snow in Xinjiang Region[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, 27(3): 389 - 396. [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): 389 - 396.]
- [19] Yang Lianmei, Liu Wen. Cause analysis of persistent heavy snow processes in the Northern Xinjiang[J]. Plateau Meteorology, 2016, 35(2): 507 - 519. [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.]
- [20] Zhang Suping, Zhu Congwen. Possible causes of circulation anomalies associated with subsequent snowstorms over the north of Xinjiang during winter 2009[J]. Chinese Journal Atmospheric Sciences, 2011, 35(5): 833 - 845. [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 - 845.]
- [21] Zhang Junlan, Cui Caixia, Chen Chunyan. Study on water vapor characteristic of typical heavy snowstorm case in Northern Xinjiang[J]. Plateau Meteorology, 2013, 32(4): 1115 - 1125. [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.]
- [22] Xinjiang Meteorological Bureau. Guide handbook on Xinjiang short-term weather forecast[M]. Urumqi: Xinjiang People's Publishing House, 1986: 184-217. [新疆气象局. 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: 184 - 217.]
- [23] Li Ruqi, Tang Ye, Rouzi·Aji. Atmospheric circulation and water vapor characteristics of snowstorm anomalies in northern Xinjiang in 2010[J]. Plateau Meteorology, 2015, 34(1): 155 - 162. [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.]
- [24] Liu Jing, Li Na, Chen Chunyan. The frontal structure and analysis on mesoscale cloud characteristic during a warm zone blizzard process in north Xinjiang[J]. Plateau Meteorology, 2018, 37(1): 158 - 166. [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.]
- [25] Zhuang Xiaocui, Cui Caixia, Li Boyuan, et al. Analysis of warm zone mesoscale environmental and heavy snowfall drop zone in Xinjiang[J]. Plateau Meteorology, 2016, 35(1): 129 - 142. [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.]
- [26] Liu Song, Huang Fuxiang, Yang Lianmei, et al. Monitoring of conditions for heavy snow storm in Northern Xinjiang using satellite remote sensing data[J]. Plateau Meteorology, 2018, 37(4): 994 - 1001. [刘崧, 黄富祥, 杨莲梅, 等. 北疆暴雪发生条件的卫星遥感监测[J]. 高原气象, 2018, 37(4): 994 - 1001.]
- [27] Zhan Junrong. The characteristics and causation of infrequency continuous warming torrential storm weather in the Xinjiang Altay area[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(5): 117 - 123. [赵俊荣. 2010年1月新疆北部罕见连续性暖区大暴雪特征及其成因分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(5): 117 - 123.]
- [28] Yang Xia, Zhang Yunhui, Zhao Yizhou, et al. Analysis on rare snowstorm in west of Southern Xinjiang[J]. Plateau Meteorology, 2013, 32(4): 1115 - 1125.

- orology, 2015, 34(5): 1414–1423. [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.]
- [29] Chen Tao, Cui Caixia. The frontal structure and precipitation mechanism in the 6 January 2010 heavy snowfall event happening in north Xinjiang[J]. Meteorological Monthly, 38(8): 921–931. [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.]
- [30] Yang Lianmei. Climate change of extreme precipitation in Xinjiang[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(4): 577–583. [杨莲梅. 新疆极端降水的气候变化[J]. 地理学报, 2003, 58(4): 577–583.]
- [31] Mao Weiyi, Jiang Yuan'an, Li Jiangfeng. Analysis on the linear tendency of precipitation in northern Xinjiang [J]. Arid Land Geography, 2006, 29(6): 797–802. [毛伟峰, 江远安, 李江峰. 新疆北部的降水量线性变化趋势特征分析[J]. 干旱区地理, 2006, 29(6): 797–802.]
- [32] Guan Xuefeng, Sun Weiguo, Li Minjiao, et al. Climate change in north Xinjiang and its response to Arctic Oscillation during the period of 1965–2012 [J]. Arid Zone Research, 2016, 33(4): 681–689. [关学锋, 孙卫国, 李敏娇, 等. 1965–2012 年新疆北部地区气候变化及其对北极涛动的响应[J]. 干旱区研究, 2016, 33(4): 681–689.]
- [33] Shi Yafeng, Shen Yongping, Li Dongliang, et al. Discussion on the present climate change from warm-dry to warm-wet in Northwest China[J]. Quaternary Sciences, 2003, 23(2): 152–164. [施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152–164.]
- [34] Shi Yafeng, Shen Yongping, Hu Ruji. Preliminary study on signal, impact and foreground of climate shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(3): 219–226. [施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3): 219–226.]

## Spatial-temporal distribution and general circulation of snowstorm in northern Xinjiang from 1961 to 2018

YANG Xia<sup>1</sup>, LI Aqiao<sup>2</sup>, ZHAO Yizhou<sup>3</sup>, WEI Juanjuan<sup>1</sup>

(1. Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, China; 2. Xinjiang Meteorological Information Center, Urumqi 830002, China; 3. Xinjiang Meteorological Bureau, Urumqi 830002, China)

**Abstract:** Based on the daily precipitation data of 45 meteorological stations in northern Xinjiang from 1961 to 2018, the temporal and spatial distribution and circulation characteristics of different types of snowstorms in northern Xinjiang were studied. The results show that among the three types of snowstorms in northern Xinjiang, the number of partly snowstorms was the most, followed by regional snowstorms, and the number of large regional snowstorms is the least. Partly snowstorm days accounted for 73.1% of total snowstorm days, regional snowstorm days accounted for 20.9% and large regional snowstorm days only accounted for 6.0%. Except for partly snowstorms, the days of the other two types of snowstorms increased significantly. The snowstorms in northern Xinjiang mainly occurred in November and March, and the snowstorms in January were the least. Before the 1990s, local snowstorms dominated the northern part of Xinjiang, and the snowstorm centers were mainly located in the northern part of the Ili Valley and Tacheng area. Since the 1990s, the number of days of regional and large regional snowstorms had increased significantly. The number of days of snowstorms has increased significantly in the Altay and the middle part of the northern slopes of the Tianshan Mountains. Urumqi has become a new center of snowstorms on the northern slopes of the Tianshan Mountains. The circulation situation of snowstorm in northern Xinjiang can be divided into three types and six models. Among them, the front wave type is the most, the low trough type is the second one, and the low vortex type is the last one. Before the 1990s, the front wave type was the most, and into the 21st century, the low trough type has significantly increased.

**Key words:** snowstorm; type; spatial-temporal distribution; circulation characteristics; northern Xinjiang

(责任编辑: 王澄海; 编辑: 周成林)