

文章编号: 1000-0240(2011)04-0729-09

1961—2007年辽宁省降雪量和降雪日数的气候变化特征

王颖¹, 赵春雨¹, 严晓瑜², 李栋梁³

(1. 沈阳区域气候中心, 辽宁 沈阳 110016; 2. 宁夏气象服务中心, 宁夏 银川 750000;
3. 南京信息工程大学/气象灾害省部共建教育部重点实验室, 江苏 南京 210044)

摘要: 利用辽宁省52个站1961—2008年的逐日降水量、降雪天气现象资料提取出了逐日降雪数据, 分析了近47 a(1961—2007年)的年降雪量和降雪日数的空间分布、长期变化状况、突变和周期性特征。结果表明: 辽宁的降雪量和降雪日数是在1月达到最大值。近47 a降雪量没有明显的长期变化趋势, 降雪日数明显减少, 平均每10 a减少1.6 d, 降雪日数的显著减少主要表现为微量降雪和小雪日数的减少, 尤其是微量降雪日数。辽宁省的降雪量不存在明显的突变点, 降雪日数有明显突变, 突变时间为1988年。降雪量和降雪日数都存在着6~8 a的周期。

关键词: 降雪量; 降雪日数; 辽宁省

中图分类号: P467 **文献标识码:** A

0 引言

Diaz等^[1]在Bradley等^[2]的基础上, 指出降水在各个季节的变化趋势差异很大, 北半球秋、冬季降水有增加的趋势, 而春、夏季则不明显。李帅等^[3]的研究表明, 中国冬季降水日数明显减少, 其中东北区和西北东部减少趋势最为显著; 冬季降水量以增多趋势为主, 但是变化趋势不明显, 东北区、华北区、西北东部和西北西部冬季降水呈弱的减少趋势。更多的研究证明^[4-6]了在东北地区冬季降水量变化趋势不明显。

那么, 降水的固态形式-降雪是如何变化的, 国内的很多专家对积雪和降雪从气候学上进行了大量的研究, 但大部分工作倾向于与大尺度环流有关的积雪研究上^[7-12], 而对于降雪的研究也主要集中在西部地区。邹进上等^[13]根据1966—1975年青藏高原气象资料, 分析了高原上自然降雪的时空分布特点和形成的物理条件, 归纳出有利于降雪的6种天气型式。何晓红等^[14]的研究结果表明, 拉萨市从

20世纪60年代至90年代降雪的终止日期有明显提前的趋势, 并且降雪量存在明显的20 a周期。李岩瑛等^[15]的结果表明, 祁连山区降雪量与中雪日数关系最密切, 降雪日数有3~4 a、5~7 a和12~14 a的变化周期。暴雪出现的主要天气环流形势为北方横槽南压型和新疆冷温槽发展东移型, 且均出现在山脉冬季风的迎风坡和峡谷地带。杨晓玲等^[16]分析了河西走廊东部的自然降雪分布特征, 结果表明这一区域70年代降雪偏少, 60、80年代居中, 90年代最多。徐亮等^[17]对青南牧区连阴雪天气做了初步研究, 吴长平等^[18]对阿坝牧区连阴雪做过初步研究。陕西省则依据陕西的连阴雪定义及等级标准, 建立了陕西省连阴雪气候特征分布数据库资料库, 并分析了连阴雪气候概况和时空分布特征^[19]。周晋红^[20]和李晓霞等^[21]分别对太原市和兰州市冬季降雪的气候特征进行了分析。而辽宁地区关于降雪的气候学特征和长期变化规律的研究还比较少, 因此, 揭示降雪变化规律的研究是必要的。本文利用降水量和天气现象数据计算降雪量和降雪

收稿日期: 2010-10-03; 修订日期: 2011-12-05

基金项目: 中国气象局2010年气候变化专项(062700s010c01); 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2007CB411506); 中国气象局气象新技术推广项目(CMATG2008M19; CMATG2010M10); 林业公益性行业科研专项(200804001)资助

作者简介: 王颖(1979-), 女, 黑龙江齐齐哈尔人, 工程师 2006年在南京信息工程大学获硕士学位, 现从事区域气候变化研究。

E-mail: bluerobbin1011@163.com

日数,应用气候诊断方法,进一步探讨降雪量和降雪日数的时空特征.

1 资料和方法

1.1 选用资料

本文所用资料是由沈阳区域气候中心档案科提供的辽宁省 52 个站 1961—2008 年的逐日降水量、降雪天气现象、逐日平均气温、平均最高气温、平均最低气温等资料.从逐日降水量和降雪天气现象数据中提取出逐日降雪资料(该降雪资料不包括雨夹雪).降雪日数定义为天气现象中存在降雪(但当天不存在降雨)的日数.本文取当年 9 月到翌年 5 月,定义为一个冬半年.

1.2 采用方法

用趋势系数和气候倾向率来研究辽宁省 52 个站点降雪量和降雪日数的长期变化特征.根据文献[22]可知,趋势系数是要素序列与自然数列的相关系数,气候倾向率是要素序列与时间序列之间建立的一元线性回归方程的回归系数的 10 倍.这两个量可以用来研究气象要素在气候变化中升降的定量程度和反映气候要素上升或下降的速率.

传统的傅立叶变换可以显示出气候序列不同尺度的相对贡献,而小波变换不仅可以给出气候序列变化的尺度,还可以显示出变化的时间位置,并应用于气象和气候序列的时频结构分析中^[23].Morlet 小波系数的实部表示不同特征时间尺度信号在不同时间上的分布和位相两方面的信息,正的小波系数反映出分析对象在该时间段为偏多期,负值时反映为偏少期,零值对应着突变点^[24].本文采用 Morlet 小波函数对辽宁省降雪量和降雪日数的时间序列进行离散小波变换,分析其周期变化特征.采用 Mann-Kendall 方法进行了突变检验^[23].对于具有 n 个样本量的时间序列 x ,构造一秩序列:

$$s_k = \sum_{i=1}^k r_i, k = 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

其中,

$$r_i = \begin{cases} +1, & \text{当 } x_i > x_j, \\ 0, & \text{当 } x_i \leq x_j \end{cases} j = 1, 2, \dots, i \quad (2)$$

可见,秩序列 s_k 是第 i 时刻数值大于 j 时刻数值个数的累计数.在时间序列随机独立的假定下,定义统计量:

$$UF_k = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{\text{var}(s_k)}}, k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中, $UF_1 = 0$, $E(s_k)$ 和 $\text{var}(s_k)$ 是累计数 s_k 的均值

和方差.在 x_1, x_2, \dots, x_n 相互独立,且有相同连续分布时,它们可由下式算出:

$$\begin{cases} E(s_k) = \frac{n(n+1)}{4}, \\ \text{var}(s_k) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \end{cases} \quad (4)$$

UF_i 为标准正态分布,它是按时间序列 x 顺序 x_1, x_2, \dots, x_n 计算出的统计量序列,给定显著性水平 α ,查正态分布表,若 $|UF_i| > U_\alpha$,则表明序列存在明显的趋势变化.

按时间序列 x 逆序 x_n, x_{n-1}, \dots, x_1 再重复上述过程,同时使 $UB_k = -UF_k (k=n, n-1, \dots, 1)$, $UB_1 = 0$.如果 UF_k 和 UB_k 两条曲线出现交点,且交点在临界线之间,那么交点对应的时刻是突变开始的时间.

1.3 辽宁省基本概况

辽宁省位于中国东北地区的南部,南濒浩瀚的黄海、渤海,辽东半岛斜插于两海之间,隔渤海海峡,与山东半岛遥相呼应;西南与河北省接壤;西北与内蒙古自治区毗连;东北与吉林省为邻;东南以鸭绿江为界与朝鲜民主主义人民共和国隔江相望(图 1).全省陆地总面积 $14.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,占全国陆地总面积的 1.5%.在全省陆地总面积中,山地为 $8.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,占 59.5%;平地为 4.8 万平方公里,占 32.4%;水域和其他为 $1.2 \times 10^4 \text{ km}^2$,占 8.1%.全省地形概貌大体是“六山一水三分田”,地势大致为自北向南,自东西两侧向中部倾斜,山地丘陵分列东西两厢,向中部平原下降,呈马蹄形向渤海倾斜.辽东、辽西两侧为平均海拔 800 m 和 500 m 的山地丘陵;中部为平均海拔 200 m 的辽河平原;辽西渤海沿岸为狭长的海滨平原,称“辽西走廊”.

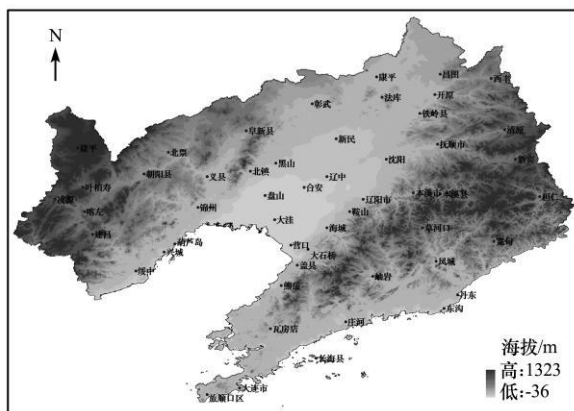


图 1 辽宁省地形图

Fig. 1 The topographic map of Liaoning Province

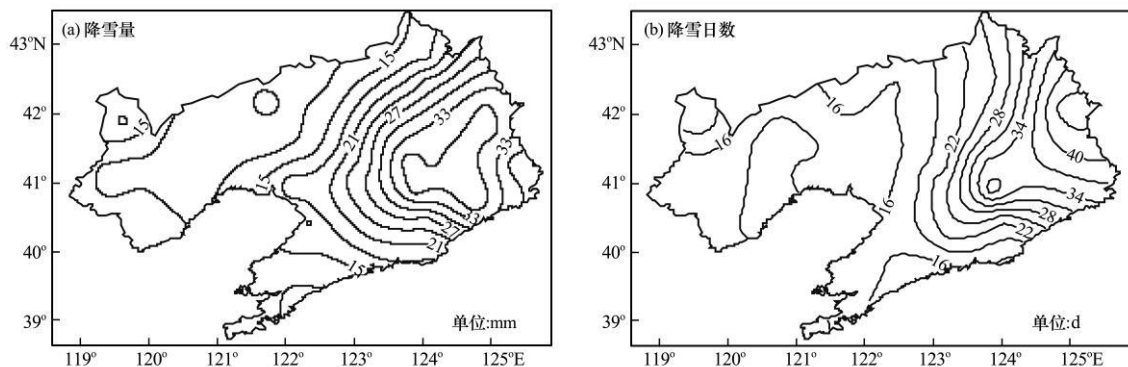


图 2 多年平均降雪量和降雪日数的空间分布

Fig. 2 The spatial distribution of annual mean snowfall (a) and snow fall days (b)

2 降雪量和降雪日数的平均特征

2.1 降雪量和降雪日数的空间分布

图 2 为辽宁省多年平均的年降雪量、降雪日数以及一日最大降雪量的地理分布。辽宁省降雪量(图 2a)主要是呈东多西少的空间分布形式。辽东山区是年降雪量较多的地区,宽甸、草河口、本溪、新宾、清原以及抚顺等地的年降雪量均在 30 mm 以上;位于康平、台安以及盘山一线以西地区(除建平以北地区)平均年降雪量较少,不足 15 mm;其他地区在 15~30 mm 之间。辽宁省降雪日数(图 2b)为 10~44 d,主要分布特点为山地降雪日数多于平原地区,平原地区自东向西逐渐减少。辽宁东部山区为长白山的西南延续部分,是辽宁省降雪日数最多的地区,并且随着地势由东北向西南减少,位于辽东山区东北部的清原平均年降雪日数是 44 d (27~58 d),为辽宁省降雪日数最多的站点;123°N 以西地区(除了努鲁儿虎山地区)是降雪日数较少地区,降雪日数不足 16 d,降雪日数最少的站点是兴城,平均降雪日数为 11 d(1~21 d)。可见,台站的纬度、海拔高度、山脉及其走向对降雪量、降雪日数分布的影响很大。

2.2 各月和各旬降雪量、降雪日数的分布状况

辽宁的降雪量和降雪日数是在 1 月份达到最大值,分别占年降雪量和年降雪日数的 22.4% 和 24.4%,其次依次是 2 月(20.4% 和 22.5%)、3 月(19.2% 和 16%)、12 月(18.6% 和 21%)、11 月(14.8% 和 12.7%),4 月和 10 月的降雪量和降雪日数仅占年降雪量和年降雪日数的 4% 以下(图 3)。月平均气温与降雪量、降雪日数的月内分布情况相反,即月平均气温越低,该月降雪量和降雪日数越多。这与青藏高原地区的降雪情况并不相同。青藏

高原地区降雪日数峰值出现在冬至夏过渡季节(4 月或 5 月)或夏至冬过渡季节(9 月或 10 月)^[13],而辽宁的降雪量和降雪日数的峰值是出现在大陆上的最冷月。

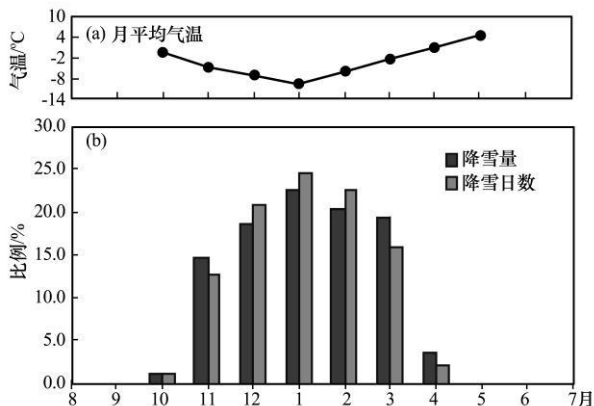


图 3 各月降雪量、降雪日数所占年降雪量和降雪日数的比例

Fig. 3 The proportions of monthly snow fall, monthly snow fall days in a year, together with monthly air temperature

从各旬降雪分布状况来看(图略),降雪量占年降雪量 6% 以上的旬为 12 月上旬、1 月上旬和下旬、2 月中旬和下旬、3 月上旬和中旬。其中,以 1 月上旬和 3 月上旬降雪量所占比例最大,达到 9% 以上,1 月上旬的降雪量偏多主要是因为降雪频次多,3 月上旬降雪量的多少取决于降雪强度的大小。

2.3 各级降雪分布特征

由表 1 可以看到,微量降雪日数和小雪日数占绝大多数,占年总降雪日数的 89%,对应的雪量占年总降雪量的 44%;其次为中雪日数约占年总降雪日数的 7%,对应中雪雪量占总雪量的 28%;大雪

以上降雪日数占年总降雪日数的 4%，但相应的降雪量占年总雪量的 28%。可见，发生频数较少的大雪及暴雪对辽宁省降雪量的贡献与中雪相当。各级降雪量和降雪日数的空间分布状况均与图 1 大致相同，山地降雪日数多于平原地区；平原地区自东向西逐渐减少(图略)。

表 1 各级降雪对应的降雪量和降雪日数所占总降雪量和总降雪日数的比例

Table 1 The proportions of snowfall, snowfall days of different levels

	小雪	中雪	大雪	暴雪	微量
雪量/%	44	28	19	9	0
日数/%	44	7	3	1	45

为了分析各级降雪在各月的分布情况，计算了 10 月到次年 4 月各级降雪的月平均降雪量所占年降雪量的比例结果(表略)。微量降雪、小雪和中雪主要发生在 12 月~次年 2 月，这 3 个月的降雪频数约占 60%~70%；大雪主要发生在 1 月和 3 月，占 40.6%；暴雪多数发生在 2~3 月，占 45.8%。可见，微量降雪、小雪以及中雪主要发生在气温相对较冷的月份，大雪及暴雪则在由冬季向春季转换的季节发生概率较大。

3 降雪的年际和年代际变化特征

3.1 降雪量和降雪日数的长期变化

辽宁省冬半年的降雪量在近 47 a 没有明显的长期变化趋势(降雪量的趋势系数为 -0.02，没有通过 0.05 信度检验)，但年际波动较大(图 4)。年降雪量在 20 世纪 60 年代末至 20 世纪 70 年代初、20 世纪 80 年代中后期以及 1999 年以来为多雪期，20 世纪 70 年代中后期和 90 年代处于少雪期(见图

4a)。这与青藏高原地区^[14]的降雪情况正好相反，拉萨在 70 年代后期至 80 年代初期以及 90 年代降雪量较多；60 年代末到 70 年代前期以及 80 年代中后期较少，这种反位相的年代际关系是否存在着某种必然的联系，将在以后进一步研究。降雪日数的年代际变化与拉萨地区大致相同，60 年代到 80 年代初期正常偏多，80 年代中期到 90 年代明显偏少^[14]。年降雪日数明显减少(见图 4b，趋势系数为 -0.44)，自 1988 年来降雪日数有 15 a 在平均值之下，平均每 10 a 减少 1.6 d。降雪日数的显著减少主要表现为微量降雪和小雪日数的减少，尤其是微量降雪日数，而中雪、大雪及暴雪的日数没有明显的变化趋势(表 2)。

从回归系数和趋势系数空间分布上来看(图中的分色图为回归系数，点图为趋势系数)，降雪量(图 5a)在辽东山区主要为略减少趋势，其余大部分地区有所增加，但增加或减少的趋势并不显著(仅部分站点存在明显的变化趋势。辽中县降雪量明显增加，而大石桥、东沟、旅顺口、宽甸、熊岳等地降雪量则明显减少)。降雪日数(图 5b)大部分地区呈显著的负趋势，以 $1 \sim 5 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 速率减少。其中，34 个站点的趋势系数通过 0.05 信度检验，19 个

表 2 各级降雪对应的降雪日数的趋势系数

Table 2 Trend coefficients of snowfall snowfall days of different levels

	趋势系数
微量降雪日数	-0.7
小雪日数	-0.26
中雪日数	-0.02
大雪及暴雪日数	0.07
降雪日数	-0.44

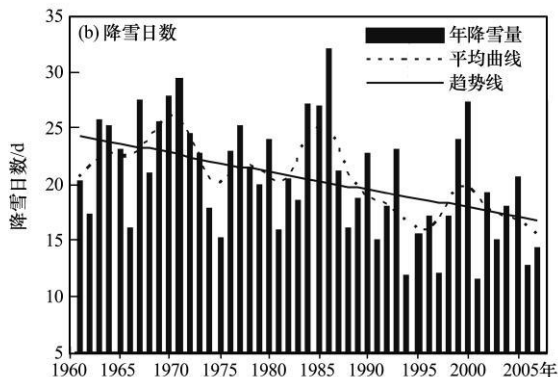
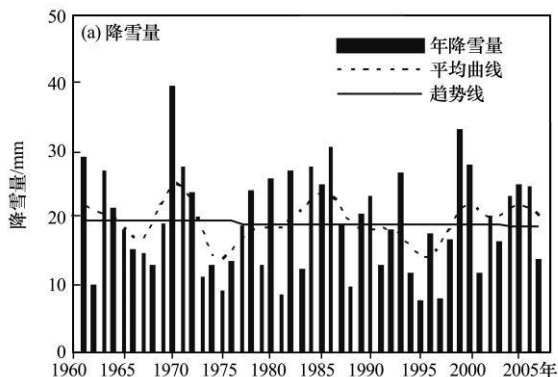


图 4 1961—2007 年降雪量和降雪日数的年际变化

Fig. 4 The time series of the annual snow fall (a) and snow fall days (b) from 1961 to 2007

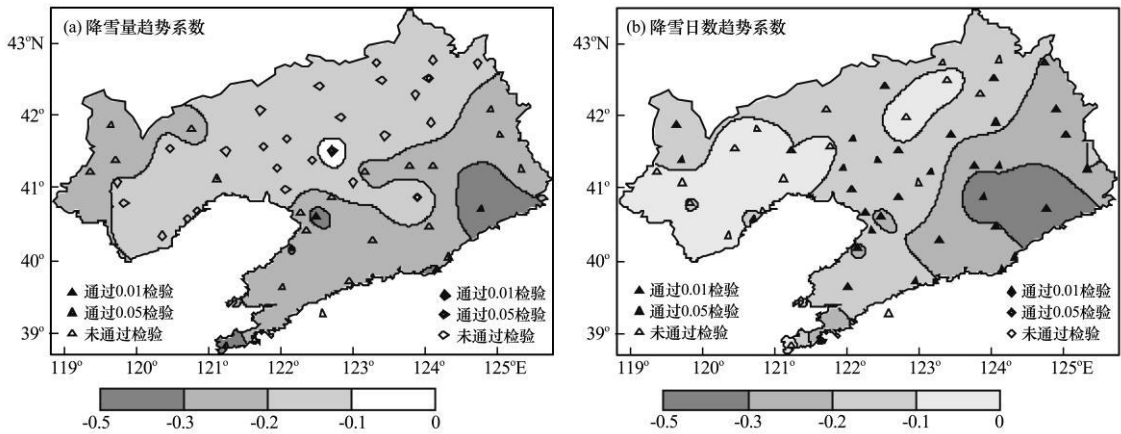


图 5 降雪量(a)和降雪日数(b)趋势系数的空间分布

Fig. 5 The spatial distributions of trend coefficients of snowfall (a) and snowfall days (b)

站通过 0.001 信度检验(宽甸、岫岩、东沟、丹东、凤城、大石桥等站趋势系数的绝对值在 0.5 以上,以宽甸趋势系数的绝对值最大为 0.74). 减少最明显的地区在辽东山区(平均每 10 a 减少 3~5 d).

3.2 极端降雪过程的长期变化

大到暴雪过程(图 6)在近 47 a 呈减少趋势,但趋势并不显著. 从年代际来看, 20 世纪 60 年代和 90 年代是极端降雪过程发生频次较少的年代; 20 世纪 70 年代至 80 年代中期是大到暴雪过程发生频

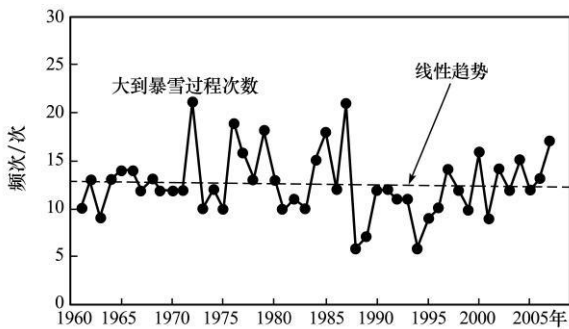


图 6 1961—2007 年大到暴雪过程次数的年际变化

Fig. 6 The time series of the heavy-hard snowfall frequency from 1961 to 2007

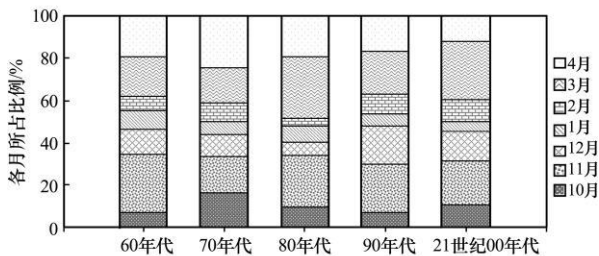


图 7 各年代大到暴雪过程次数在各月所占比例

Fig. 7 Decadal proportions of monthly frequencies of heavy-hard snowfall

次明显偏多的时期; 20 世纪 90 年代末至今大到暴雪过程发生频次开始偏多.

近 47 a 辽宁地区气候变暖明显, 尤其是冬春季气温显著增加, 这种变化也明显影响到春季的降雪. 统计表明, 20 世纪 80 年代后相较 80 年代以前 3 月份极端降雪过程所占比例在增加, 4 月份的极端降雪过程所占比例呈减少趋势(图 7).

3.3 降雪量和降雪日数的突变特征

由图 8(a)可见, 近 47 a 来辽宁省的降雪量没有明显的趋势, 也不存在明显的突变点, 但具有明显的年际变动. 降雪日数自 20 世纪 80 年代以来明显减少, 尤其 20 世纪 90 年代至今减少趋势超过了显著性水平 0.05 临界值(见图 8b 中的 UF 曲线). 根据图 8(b)中 UF 与 UB 两条曲线的交点可知, 辽宁省降雪日数是从 1988 年开始发生突变的. 辽宁省降雪日数的减少趋势及发生突变的时间均与冬季平均气温相一致(辽宁冬季气温的变化趋势和突变时间见文献[25]).

3.3 降雪量和降雪日数的周期性特征

图 9 给出了全省平均后的年降雪量和降雪日数的 Morlet 小波变换图(年降雪量和降雪日数在小波变换前经过标准化处理), 其中左侧图 9a 为小波系数实部的分布图(灰色阴影部分为通过 0.1 信度检验区域, 虚线阴影部分为边缘效应影响区域), 右侧图 9b 是总体小波能量图(虚线为显著性水平 0.05 临界值). 从图 9 中可以看出, 降雪量主要表现为 6~8 a 的周期和 15 a 的周期; 20 世纪 90 年代降雪量存在明显的 3 a 周期, 而在整个研究时段 6~8 a 的周期都是非常显著的(见图 9a); 降雪日数同样存在 6~8 a 的周期, 其中 20 世纪 70 年代至 20 世纪 80

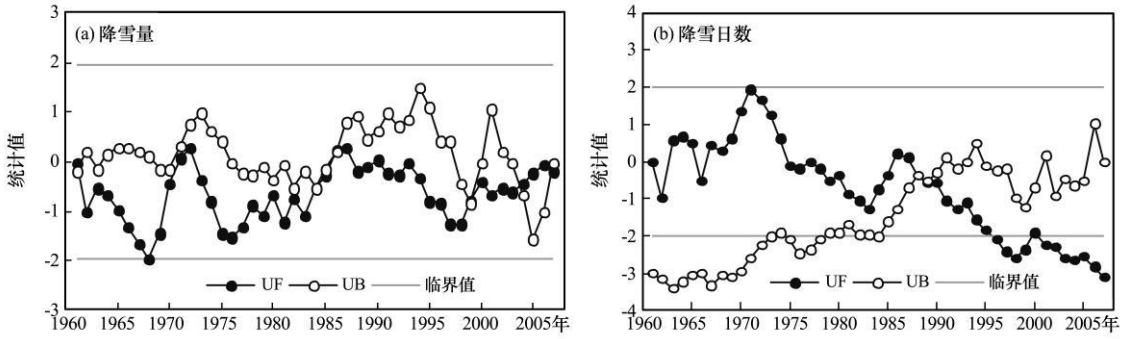


图 8 降雪量(a)和降雪日数(b)的 Mann-Kendall 统计量曲线

Fig. 8 The Mann-Kendall curves of snowfall (a) and snowfall days (b)

年代主要为 6~8 a 的周期, 20 世纪 90 年代以 3 a 周期为主(见图 9b)。

4 丰雪年和枯雪年的气候特征

把距平值的绝对值 ≥ 1.5 倍标准差定义为丰雪年和枯雪年的划分标准。距平值为正, 且绝对值 ≥ 1.5 倍标准差, 为丰雪年; 距平值为负, 且绝对值 ≤ 1.5 倍标准差, 为枯雪年。正常雪年定义为距平值的绝对值 ≤ 0.5 。根据定义, 得到丰雪年、枯雪年的出现时间见表 3。从表中可以看到, 在 1.5 倍标准差的条件下, 丰雪年和枯雪年各有 3 个年, 丰雪年为 1970/1971、1999/2000、1986/1987 年度,

枯雪年为 1995/1996、1997/1998、1981/1982 年度。枯雪年与文献[26]中东北-内蒙古积雪对应的枯雪年是一致的, 而丰雪年仅有 1999/2000 年度是相同的, 这可能与文献所取的资料年限和异常值的标准不同有关。

从表 4 可以看出, 各级降雪的雪量和降雪日数在丰雪年、枯雪年的比例是不同的。丰雪年的小雪雪量所占的比例相对枯雪年要小, 仅占 34.1%, 而枯雪年的小雪雪量占到全年降雪量的 63.3%; 大雪、暴雪的雪量在丰雪年所占比例比较大, 分别占 24.4%和 13.5%, 在枯雪年仅占 11.6%和 0.6%。小雪日数在丰雪年、枯雪年相差不多, 但中雪日

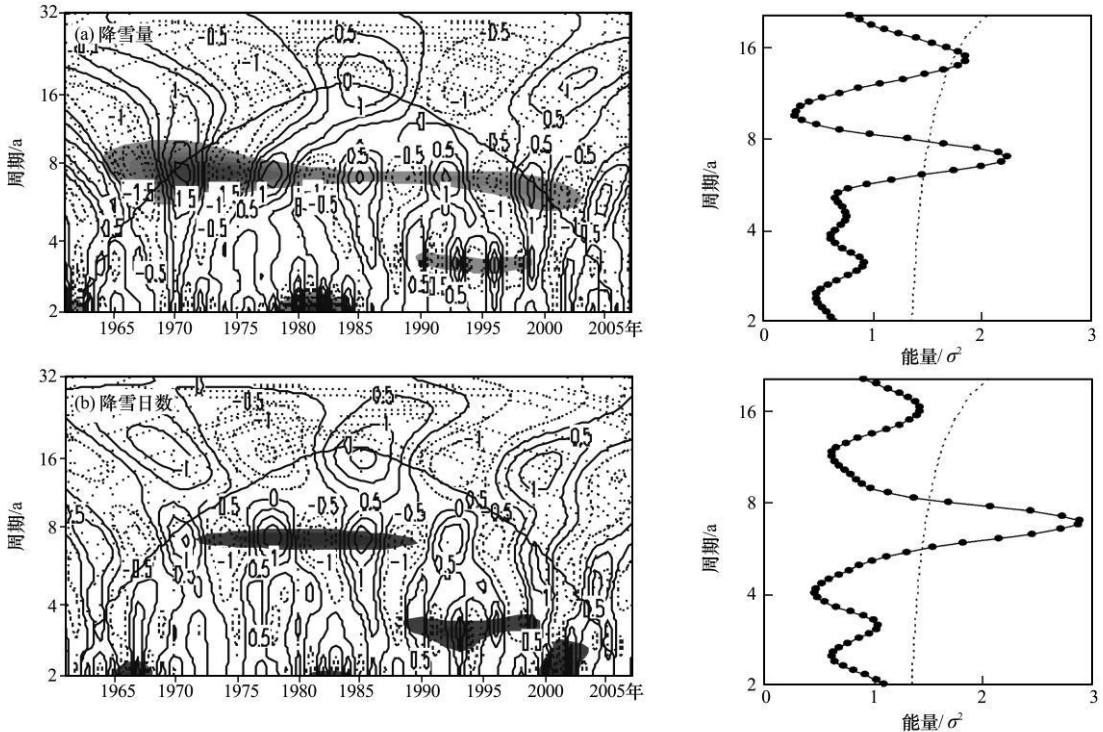


图 9 降雪量(a)和降雪日数(b)的 Morlet 小波变换图

Fig. 9 Morlet wavelet transforms of the snowfall (a) and snowfall days (b)

表 3 近 47 a 辽宁地区丰雪年以及枯雪年出现的时间

Table 3 The heavy snow years and the light snow years in Liaoning province from 1961 to 2008

丰雪年	枯雪年
1970/1971、1999/2000、 1986/1987	1995/1996、1997/1998、 1981/1982

表 4 丰雪年和枯雪年各级降雪对应的降雪量和降雪日数所占比例

Table 4 The proportions of snowfall and snow fall days of different levels in the heavy snow years and light snow years

		小雪	中雪	大雪	暴雪	微量
丰雪年	雪量/%	34.1	28.0	24.4	13.5	0.0
	日数/%	44.9	9.6	4.8	1.6	39.1
枯雪年	雪量/%	63.3	24.5	11.6	0.6	0.0
	日数/%	44.5	4.8	1.7	0.1	48.9

数、大雪日数、暴雪日数在丰雪年要明显多于枯雪年,并且在丰雪年时段微量降雪所占比例也相对缩小。从上面的分析可以看出,丰雪年的大雪和暴雪的雪量较之枯雪年要多,主要是丰雪年大雪和暴雪的出现次数较多。

枯雪年、丰雪年降雪量在冬半年各月的分布是不同的。枯雪年的月降雪量在 11 或 12 月份、1 月份比较多,暴雪发生较少,在 1997 年和 1981 年没有暴雪发生;在丰雪年期间,2、3 月份的降雪量占有较大比例,尤其是暴雪的发生几率也较大。

5 结论

通过对辽宁省降雪量和降雪日数的气候和气候变化特征分析,得到如下结论:

(1) 辽宁省平均年降雪量和降雪日数主要是呈东多西少的空间分布形式。

(2) 从各月降雪分布状况来看,辽宁的降雪量和降雪日数是在 1 月份达到最大值,其次依次是 2 月、3 月、12 月、11 月。从各旬降雪分布状况来看,12 月上旬、1 月上旬和下旬、2 月中旬和下旬、3 月上旬和中旬占的比例最大,其中以 1 月上旬和 3 月上旬降雪量所占比例最大,达到 9% 以上。

(3) 辽宁省降雪主要以降微量雪和小雪为主,其次为中雪,发生频数仅占全年降雪 4% 的大雪及暴雪对辽宁省的降雪量的贡献却与中雪相当。微量降雪、小雪以及中雪主要发生在气温相对较冷的月

份(12 月至次年 2 月),大雪及暴雪则在由冬季向春季转换的季节发生概率较大(2—3 月)。

(4) 辽宁省冬半年的降雪量在近 47 a 里没有明显的长期变化趋势,但年际波动较大。年降雪量在 20 世纪 60 年代末至 20 世纪 70 年代初、20 世纪 80 年代中后期以及 1999 年以来为多雪期,20 世纪 70 年代中后期和 90 年代处于少雪期。降雪日数的年代际变化与拉萨地区大致相同,60 年代到 80 年代初期正常偏多,80 年代中期到 90 年代明显偏少。年降雪日数明显减少,自 1988 年来降雪日数有 15 a 在平均值之下,平均每 10 a 减少 1.6 d。降雪日数的显著减少主要表现为微量降雪和小雪日数的减少,尤其是微量降雪日数,而中雪、大雪及暴雪的日数没有明显的变化趋势。

(5) 大到暴雪过程在近 47 a 呈减少趋势,但趋势并不显著。但年代际变化显著,20 世纪 60 年代和 90 年代是极端降雪过程发生频次较少的年代;20 世纪 70 年代至 80 年代中期是大到暴雪过程发生频次明显偏多的时期;20 世纪 90 年代末至今大到暴雪过程发生频次开始偏多。

(6) 近 47 a 来辽宁省的降雪量不存在明显的突变点,但降雪日数存在明显的时间突变,突变开始时间是 1988 年。降雪量和降雪日数都存在着 6~8 a 的周期,而降雪量在整个研究时段 6~8 a 的周期都是非常显著的,降雪日数在 20 世纪 70 年代至 20 世纪 80 年代为 6~8 a 的周期。

参考文献(References):

- [1] Diaz H F, Bradley R S, Eischeid J K. Precipitation fluctuation over global land areas since the late 1800's [J]. *J Geophys. Res.*, 1989, **94**(D1): 1195—1210.
- [2] Bradley R S, Diaz H F, Eischeid J K, *et al.* Precipitation fluctuations over Northern Hemisphere land areas since the mid-19th century [J]. *Science*, 1987, **237**(4811): 171—175.
- [3] Li Shuai, Chen Li, Ren Yuyu. Changes of winter precipitation during 1951/1952-2004/2005 in China [J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2008, **24**(1): 94—98. [李帅, 陈莉, 任玉玉. 1951/1952—2004/2005 年中国冬季降水变化研究 [J]. *热带气象学报*, 2008, **24**(1): 94—98.]
- [4] Cai Fu, Ming Huiqing, Chen Pengshi, *et al.* Spatio-temporal trends in seasonal precipitation in northeastern China from 1961 to 2004 [J]. *Resources Science*, 2008, **30**(10): 1456—1462. [蔡福, 明惠青, 陈鹏狮, 等. 1961 年~2004 年东北地区四季降水的时空演变特征 [J]. *资源科学*, 2008, **30**(10): 1456—1462.]
- [5] Ji Qi, Song Jifeng, Liu Hui. Characteristics of temperature and precipitation in northeast China from 1951 to 2000 [J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2006, **22**(5): 1—5. [吉奇, 宋冀凤, 刘辉. 近 50 年东北地区温度降水变化特征分析

- [J]. 气象与环境学报, 2006, 22(5): 1—5.]
- [6] Fang Qiaomin, Gong Daoyi, Mao Rui. Changes of daily precipitation of china in winter time during the last 46 years[J]. Scientia Geographica Sinica, 2007, 27(5): 711—717. [房巧敏, 龚道溢, 毛睿. 中国近 46 年来冬半年日降水变化特征分析[J]. 地理科学, 2007, 27(5): 711—717.]
- [7] Ke Changqing, Li Peiji. Spatial and temporal characteristics of snow cover over the Qinghai-Xizang plateau[J]. Acta Geographica Sinica, 1998, 53(3): 209—215. [柯长青, 李培基. 青藏高原积雪分布与变化特征[J]. 地理学报, 1998, 53(3): 209—215.]
- [8] Wei Zhigang, Huang Ronghui, Chen Wen, *et al.* Spatial distributions and interdecadal variations of the snow at the Tibetan Plateau weather stations [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2002, 26(4): 496—508. [韦志刚, 黄荣辉, 陈文, 等. 青藏高原地面站积雪的空间分布和年代际变化特征[J]. 大气科学, 2002, 26(4): 496—508.]
- [9] Gao Rong, Wei Zhigang, Dong Wenjie. Analysis of the cause of the differentia in interannual variation between snow cover and seasonal frozen soil in the Tibetan Plateau[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(2): 153—159. [高荣, 韦志刚, 董文杰. 青藏高原冬春积雪和季节冻土年际变化差异的成因分析[J]. 冰川冻土, 2004, 26(2): 153—159.]
- [10] Li Peiji. Response of Xinjiang snow cover to climate change [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2001, 59(4): 491—501. [李培基. 新疆积雪对气候变暖的响应[J]. 气象学报, 2001, 59(4): 491—501.]
- [11] Cui Caixia, Yang Qing, Wang Shengli. Comparison analysis of the Long-term variations of snow cover between mountain and plain areas in Xinjiang region from 1960 to 2003 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, 27(4): 476—490. [崔彩霞, 杨青, 王胜利. 1960—2003 年新疆山区与平原积雪长期变化的对比分析[J]. 冰川冻土, 2005, 27(4): 476—490.]
- [12] Pei Huan, Fang Shifeng, Qin Zhihao, *et al.* Remotes sensing-based monitoring of coverage and depth of snow in northern Xinjiang[J]. Journal of Natural Disasters, 2008, 17(5): 52—57. [裴欢, 房世峰, 覃志豪等. 基于遥感的新疆北疆积雪盖度及雪深监测[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(5): 52—57.]
- [13] Zou Jinsiang, Cao Caizhu. Climatological analysis of snow in Qinghai-Xizang plateau [J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1989, 13(4): 400—409. [邹进上, 曹彩珠. 青藏高原降雪的气候学分析[J]. 大气科学, 1989, 13(4): 400—409.]
- [14] He Xiaohong, Ma Xianyan. Annual variation characteristics of snowfall in Lhasa area [J]. Tibet's Science & Technology, 2005, 10: 52—54. [何晓红, 马艳艳. 拉萨降雪年际变化特征分析[J]. 西藏科技, 2005, 10: 52—54.]
- [15] Li Yanying, Zhang Qiang, Sun Aizhi. Climate characteristics of snowfall over the Qilian mountain and its ambient areas [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2008, 30(3): 383—391. [李岩瑛, 张强, 孙爱芝. 祁连山及周边地区降雪气候特征研究[J]. 冰川冻土, 2008, 30(3): 383—391.]
- [16] Yang Xiaoling, Xue Shengliang, Ding Wenkui, *et al.* Study on snowfall distribution and artificial snowfall in the east Hexi Corridor, Gansu Province [J]. Arid Zone Research, 2005, 22(4): 481—484. [杨晓玲, 薛生梁, 丁文魁, 等. 河西走廊东部降雪分布及人工增雪研究[J]. 干旱区研究, 2005, 22(4): 481—484.]
- [17] Xu Liang, Qing Ningsheng. Preliminary study on continuous snow in pastoral area of southern Qinghai-Tibet [J]. Journal of Qinghai Meteorology, 2001(1): 15—17. [徐亮, 秦宁生. 青南牧区连阴雪天气初步研究[J]. 青海气象, 2001(1): 15—17.]
- [18] Wu Changping, Zhang Zheng. Cause analysis on continuous snow in pastoral area of Aba [J]. Journal of Sichuan Meteorology, 1999, 67(1): 45—50. [吴长平, 张政. 阿坝牧区连阴雪天气成因分析[J]. 四川气象, 1999, 67(1): 45—50.]
- [19] Wang Chuan, Xu Yong. Analysis on climatic general situation and characteristics of continuous snow in Shanxi Province [J]. Journal of Shanxi Meteorology, 2009(3): 16—19. [王川, 徐勇. 陕西省 50 年连阴雪气候概况及特征分析[J]. 陕西气象, 2009(3): 16—19.]
- [20] Zhou Jinhong. Study on the climate characteristics and the influence snowed in recent years in Taiyuan [J]. Shanxi Coking Coal Science & Technology, 2004(7): 4—6. [周晋红. 太原市近 10 年冬季降雪气候特征及其影响[J]. 山西焦煤科技, 2004(7): 4—6.]
- [21] Li Xiaoxia, Wang Xiaoyong, Zu Yongan, *et al.* The climate change and snowfall situation analysis in winter of Lanzhou [J]. Arid Meteorology, 2004, 22(1): 30—33. [李晓霞, 王小勇, 祖永安, 等. 兰州市冬季天气气候变化及降雪形势分析[J]. 干旱气象, 2004, 22(1): 30—33.]
- [22] Shi Neng, Chen Jiaqi. 4-phase climate change features in the last 100 years over china [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1995, 53(4): 431—439. [施能, 陈家其. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 431—439.]
- [23] Wei Fengying. Modern Climate Statistical Diagnosis and Prediction Technology [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007. [魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007.]
- [24] Liao Xueping, Qin Weijian, Tang Bingli, *et al.* Wavelet analysis on rainstorm days in recent 50 years in Guangxi Province [J]. Meteorology Monthly, 2007, 33(12): 39—45. [廖雪萍, 覃卫坚, 唐炳莉, 等. 广西近 50 年暴雨日数变化的小波分析[J]. 气象, 2007, 33(12): 39—45.]
- [25] Zhao Lianwei, Jin Wei, Zhang Yunfu, *et al.* Spatio-temporal distributions of winter air temperature and its conceptual prediction model in Liaoning Province [J]. Journal of Meteorology and Environment, 2009, 25(1): 19—22. [赵连伟, 金巍, 张运福, 等. 辽宁冬季气温时空分布特征及其预测概念模型[J]. 气象与环境学报, 2009, 25(1): 19—22.]
- [26] Qin Dahe, Chen Yiyu, Li Xueyong, *et al.* Assessment of Climate and Environment Changes in China(I) [M]. Beijing: Science Press, 2005: 126—129. [秦大河, 陈宜瑜, 李学勇, 等. 中国气候与环境演变(上卷)[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 126—129.]

Changing Characteristics of Snowfall and Snowfall Days in Liaoning Province during 1961—2007

WANG Ying¹, ZHAO Chun-yu¹, YAN Xiao-yu¹, LI Dong-liang³

(1. *Shenyang Regional Climate Center of Liaoning, Shenyang Liaoning 110016, China*; 2. *Ningxia Meteorological Service Center, Yinchuan Ningxia 750000, China*; 3. *Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing Jiangsu 210044, China*)

Abstract: In this paper, the daily snowfall data were extracted from the daily precipitation and snow weather phenomena of 52 stations in Liaoning province from 1961 to 2008. Using daily snowfall data, the spatial distribution, long-term change, the catastrophe features, the periodic characteristics of snowfall and snowfall days were analyzed. The results showed that the snowfall and snowfall days were in the maximum in January and in the minimum in April and October in the province. In the 47 years, there was no significant

long-term changing trend of snowfall, but there was a significant decreasing trend of snowfall days, 1.6 days every decade. The remarkable reduction of snowfall days was mainly due to the reduction of days of light snow and trace snow, especially the trace snow. There was no obvious abrupt change of snowfall. However, there was a marked abrupt change of snowfall days in 1988. There was a period of 6~8 a in the variation cycle of snowfall and snowfall days.

Key words: snowfall; snowfall days; Liaoning Province