

段长春,段旭,段苏芬,等. 近 50 年云南省降雪的气候变化特征[J]. 气象,2011,37(5):599-606.

近 50 年云南省降雪的气候变化特征^{*1}

段长春 段旭 段苏芬 陶云 任菊章

云南省气象科学研究所,昆明 650034

提 要: 利用云南省 1961—2008 年 120 个测站逐日降雪资料,分析了云南省降雪频次和范围的时空特征和气候变化。结果表明:近 50 年云南省的年降雪频次和范围总体呈减少趋势,平均每年频次约减少 4.5 频次。各月的降雪频次和范围都呈负趋势。12 月降雪频次减少趋势最显著,4 月降雪范围减少趋势最显著。降雪频次长期趋势变化有明显的空间变化。对于年降雪频次西北部比东北部和东部减少得多,滇西北降雪频次每年约减少 0.44 频次。进一步对云南省年降雪量和积雪深度的长期趋势变化进行分析。云南省近 50 年,降雪范围逐步减少,年降雪量和平均最大积雪深度呈增加的趋势。说明近年来在云南气候趋于暖湿背景下,年降雪频次和范围呈逐渐减少趋势,但强降雪的频次却增加了。

关键词: 降雪频次,降雪量,积雪深度,长期变化,趋势系数

Climate Variational Characteristics of Snowfall in Yunnan Province for the Last 50 Years

DUAN Changchun DUAN Xu DUAN Suqin TAO Yun REN Juzhang

Meteorological Institute of Yunnan Province, Kunming 650034

Abstract: Using the diurnal snow data of 120 meteorological stations in Yunnan Province during 1961—2008, the temporal and spatial distribution characteristics and the trend of climatic change of the annual and monthly snow fall are analyzed. It is pointed out that the total trend of snow frequency and covering stations has been decreasing in Yunnan in the recent 50 years. And the annual snow frequency has declined at a mean rate of 4.5 times per year. The temporal trends of monthly snow frequency and covering stations are all negative. Moreover the reduction of snow frequency in December is the largest in magnitude, therefore, it is the most remarkable. And the reduction of snow stations in April is the largest. As far as the spatial change of the secular trend variation of annual snow frequency is concerned, the reduction of annual snow frequency is larger in Northwest Yunnan than in its northeast and east, where the reduction rate is 0.44 times per year. And the temporal changes of annual snowfall and depth of snow cover are studied, the results show that the secular trends of annual snowfall and the maximum depth of snow cover are all positive. This means that in the nearly 50 years the heavy snow frequency has increased over Yunnan Province.

Key words: snow frequency, snowfall, depth of snow cover, multi-year variation, tendency

引 言

全球气候变暖已成为事实,特别是近年来,

IPCC 报告表明全球气温增加速度明显加剧。最明显的特征是冬季温度的上升。在这种背景下,与温度变化密切相关的冰川、雪盖和降雪的时空变化成为科学家研究气候变化的热点之一^[1-6]。降雪受许

* 中国气象局气候变化专项项目(CCSF-09-04)和云南省气象局气候变化专项项目(QH200904)共同资助
2010 年 4 月 4 日收稿; 2010 年 11 月 18 日收修定稿
第一作者:段长春,主要从事气候变化研究. Email:duancekm@126.com

多气候因素影响,但它对气候环境也有着深刻影响。相关研究表明中国西部地区积雪异常和变化对周围地区气候的变化有着密切联系^[7-8]。李培基^[9]、臧海佳等^[10]通过对观测资料的分析研究,认为青藏高原积雪深度呈现长且稳定增加的趋势。基于气象资料和卫星多通道微波辐射计(SMMR)微波遥感资料的研究表明,尽管近 50 年冬季温度有明显的增加,但新疆雪盖没有显示出减少的趋势^[11-12]。Ye 等^[13]分析了新疆冰川和雪融化成的水和河川流量对气候变暖现象的响应,认为 1980 年以来,冰川退缩和雪融致使春季河川流量有 10% 的明显增加。近年来,频繁的雪灾在我国新疆、内蒙古和青藏高原东部等地连年发生^[14-15],直接影响了当地的经济的发展,这不能不引起人们的关注。

云南位于青藏高原东南缘,属于低纬、高山高原的地理环境,因此降雪的特点是降雪日比积雪日多。近 10 年,滇东北和滇西北强降雪引起雪灾次数不断加剧。基于此,张腾飞等^[16]对 2000 年以来出现的强降雪个例进行气候学分析。随着气候变化研究的不断深入,气象科技工作者对云南的气候变化研究也做了不少工作^[17-20]。但主要针对气温和降水的演变特征进行分析,少见对降雪的气候变化特征及其变化进行分析研究。陶云等^[21]通过分析全省观测站的气温和降水资料,认为近 46 年云南区域平均气温的变化趋势与全球变暖趋势基本一致,年平均降水略有减少,但冬春季节降水增加明显。因此,在云南冬春季节呈现暖湿趋势情况下,有必要对全省降雪的时空变化特征进行分析研究。本文从观测事实研究方面对全省降雪频次、降雪量和积雪深度的时空分布特征进行全面分析,以期了解近 50 年云南降雪的气候变化特征。

1 资料和方法

1.1 资料

选取云南省 120 个站的地面逐日天气现象、降水量和积雪深度资料。以某站某日出现降雪为 1 个频次,整理出 1961—2008 年逐年和逐月的降雪频次、降雪量和积雪深度资料。分别以降雪频次和站点数的变化来表征降雪发生频次和范围的变化。

云南地处低纬地区,通常降雪伴随降雨。因此,统计降雪频次时包含了降雪和雨夹雪的频次。统计

降雪量时,由于雨夹雪的日降雪量和降雨量无法分离,因此本文统计的降雪量剔除了天气现象为雨夹雪频次对应的降雨量。图 1 给出云南省 120 个观测站 1961—2008 年总降雪频次的月分布。由图可见,年总降雪频次主要分布在 1 月、2 月、3 月、4 月、11 月和 12 月,这几个月的总降雪频次占全年的 98%。因此,本文统计时分别以当年 11 月至下一年 4 月的降雪频次、降雪量和积雪深度作为这一年的值。

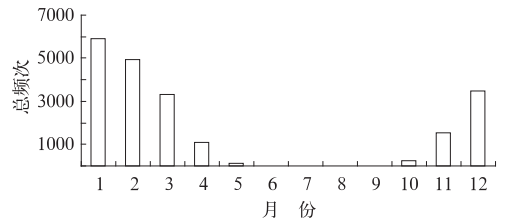


图 1 云南省 120 个观测站降雪频次的月变化

Fig. 1 Monthly variation of the snow frequencies at 120 stations in Yunnan Province

1.2 方法

(1) 长期变化的定量指标——趋势系数。为了解气象要素的长期趋势变化,根据文献^[22]介绍的方法,计算气象要素的时间序列与自然数数列之间的相关系数(称为趋势系数)。可以证明,这样定义的趋势系数,就是标准化的一元线性回归系数,它消除了气象要素的均方差和单位对线性回归系数数值大小的影响,从而可以在不同的地理位置的不同的气象要素之间比较趋势变化的大小。对趋势系数的统计检验使用相关系数的 t 检验方法。

(2) 移动 t 检验方法。为检测气象要素序列的变化是否有突变,采用了移动 t 检验方法。

2 云南降雪频次和降雪量的多年平均特征

图 2 给出云南 1961—2008 年多年平均的年降雪频次和降雪量图。可以看出两幅图非常相似,多年平均的年降雪频次和降雪量都主要分布在滇西北、滇东北及滇中以东地区。年平均降雪频次最多的是西北部德钦(86 频次)和香格里拉(60 频次)地区,其次在滇东北。

表 1 给出 1961—2008 年云南省多年平均降雪频次最多的 10 个站点,以及它们的多年平均的降雪

频次、降雪量和对应的趋势系数。多年平均降雪频次的线性趋势都为负数,其中云南西北部的德钦、东

北部的鲁甸分别为 -0.70 和 -0.55 ,达到 0.01 的显著性水平检验。

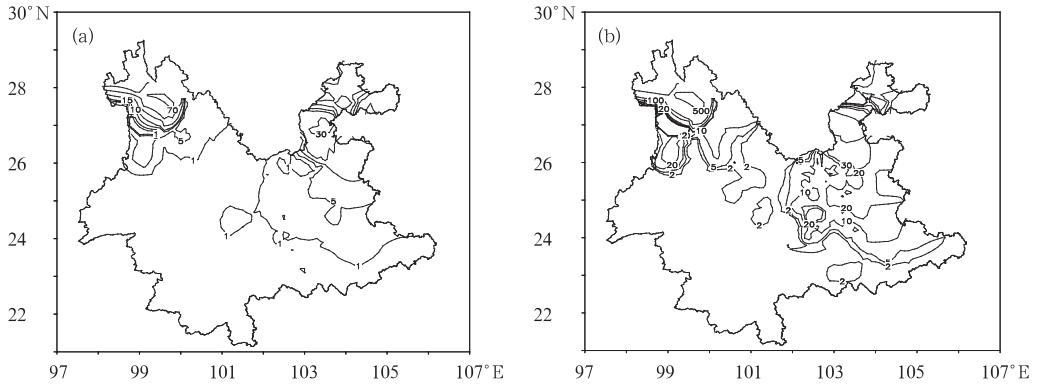


图 2 云南省 120 个站的年降雪频次(a)以及年降雪量(b, 单位:0.1 mm)多年平均图

Fig. 2 Annual snow frequencies (a) and annual snowfall amounts (unit: 0.1 mm, b) at 120 stations in Yunnan Province

表 1 云南省年降雪频次最多的 10 个站点

Table 1 Top ten stations with the maximum snow frequencies of Yunnan Province

站名	平均年降雪频次/次	趋势系数	年平均降雪量/mm	趋势系数
德钦	86.3	-0.70	93.7	-0.36
香格里拉	60.2	-0.38	45.8	0.41
镇雄	30.8	-0.43	1.5	-0.05
昭通	29.9	-0.32	10.0	0.23
鲁甸	26.8	-0.55	14.7	0.20
威信	18.0	-0.23	1.7	-0.13
会泽	15.2	-0.46	6.7	0.22
维西	14.2	-0.05	3.1	0.28
宣威	13.3	-0.26	2.8	0.15
富源	9.4	-0.21	3.2	-0.03

3 云南省降雪的时空变化特征

3.1 降雪频次和范围时空变化特征

3.1.1 时间变化特征

为了分析云南省降雪频次和范围的年际和年代际变化特征,图 3 分别给出全省逐年总降雪频次和站数的时间系列。从逐年总降雪频次来看(图 3a),其总体呈减少趋势,平均每年约减少 4.5 频次。全省 120 个县市年总降雪频次以 1982 年最多,为 956 频次,比常年多 523 频次。2005 年最少,仅为 193 频次,比常年少 240 频次。从逐年降雪站数来看(图 3b),降雪范围也呈减少趋势,平均每年大约减少 0.30 个县市。全省降雪范围是 1985 年最大,达到 99 个县市,比常年多 49 个。2005 年降雪范围最小,仅为 18 个县市,比常年少 32 个。综合两幅图可看

出,近 50 年云南省年总降雪频次和降雪范围都呈减少趋势,降雪频次减少趋势显著,通过了 0.05 显著性水平检验。从年代际的变化特征来看,20 世纪 80 年代初期以前云南年降雪频次偏多,范围偏大;80、90 年代降雪频次和范围都呈明显减少趋势,2001 年后减少趋势趋于平缓。

云南年降雪频次和站数的 10 年变化也反映了上述年代际的变化特征。无论对于年降雪频次还是降雪站数,20 世纪 60、70 和 80 年代都偏多,60 年代偏多较明显;90 年代以后均偏少。比较而言,2001—2008 年降雪频次和降雪站数均减少幅度最大,减少最明显。

从图 4 可见云南各月降雪频次有不同变化特征。

11 月总体呈减少趋势,平均每年减少 0.49 频次。11 月降雪最多年份是 1976 年,为 117 频次,比

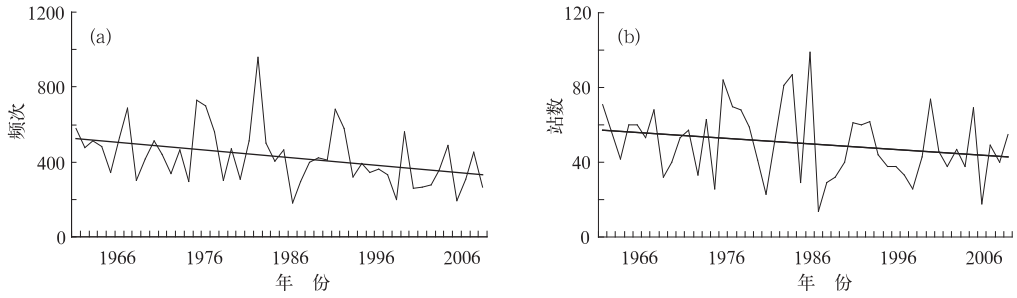


图 3 云南省逐年降雪频次(a)和站点数(b)曲线及线性趋势线
折线为历年变化曲线,直线为线性趋势线

Fig. 3 Time series of yearly snow frequencies (a) and numbers of yearly snow stations (b) during 1961—2008
Broken line curve represents the variation of past years, straight line represents the liner trend

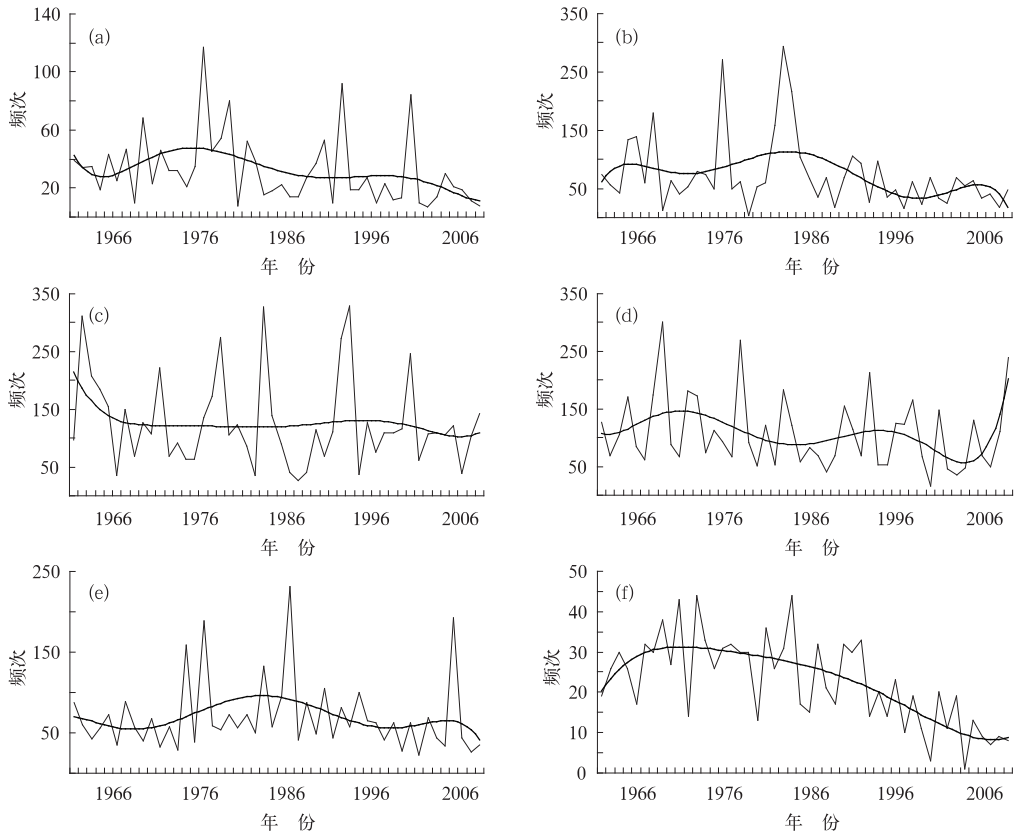


图 4 1961—2008 年云南省 11 月(a)、12 月(b)、1 月(c)、2 月(d)、3 月(e)和 4 月(f)降雪频次的时间变化及回归线

Fig. 4 Time series and regression curves of snow frequencies in November (a), December (b), January (c), February (d), March (e) and April (f) in Yunnan Province during 1961—2008

常年偏多 82 频次;最少年份出现在 2002 年,为 7 频次,比常年偏少 28 频次。11 月降雪存在明显的年代际变化特征,20 世纪 60 年代略偏少,70 年代明显偏多,80 年代以后明显偏少。

12 月总体呈最明显的减少趋势,平均每年减少 1.18 频次。12 月降雪最多年份是 1982 年,为 293

频次,比常年偏多 213 频次;最少年份出现在 1978 年,为 3 频次,比常年偏少 77 频次。12 月降雪的年代际变化特征呈现 20 世纪 60、70 年代略偏少,80 年代偏多,90 年代以后明显偏少。

1 月平均每年减少 0.79 频次,减少趋势较明显。1 月降雪最多年份是 1993 年,为 329 频次,比

常年偏多 202 频次;最少年份出现在 1987 年,为 27 频次,比常年偏少 100 频次。1 月降雪总体没有明显的年代际变化特征,除 20 世纪 60 年代明显偏多,其他年代不存在明显的年代际变化。

2 月总体呈减少趋势,平均每年减少 0.8 频次。2 月降雪最多年份是 1968 年,为 301 频次,比常年偏多 204 频次;最少年份出现在 1999 年,为 16 频次,比常年偏少 91 频次。其年代际变化特征为:20 世纪 60、70 年代偏多,80 年代明显偏少,90 年代略偏多,2000 年以后偏少,但 2008 年明显偏多。

3 月总体略呈减少趋势,平均每年减少 0.15 频次。3 月降雪最多年份是 1986 年,为 231 频次,比常年偏多 155 频次;最少年份出现在 2001 年,为 23 频次,比常年偏少 53 频次。其年代际变化特征为仅 80 年代明显偏多,其他年代相对偏少。

4 月总体减少趋势与 11 月相似,平均每年减少 0.49 频次。4 月降雪最多年份是 1972 和 1983 年,为 44 频次,比常年偏多 20 频次;最少年份出现在 2003 年,为 1 频次,比常年偏少 23 频次。4 月降雪的年代际变化趋势为自 20 世纪 70 年代以后一直趋于减少。

3.1.2 空间变化特征

为了解空间变化,本文逐站地计算年降雪频次的趋势系数,做出趋势系数的空间分布图(图 5)。图中可见,年降雪频次趋势系数几乎为负值,且达到 0.05 显著性水平检验的站有 15 个,主要分布在滇东北和滇西北。最强的负趋势达到 -0.70,其中,趋势系数超过 -0.45 的有滇东北的永善、盐津、镇雄、彝良、鲁甸、会泽和滇西北的德钦都达到 0.01 显著性水平检验。说明这些地方的年降雪频次呈明显的减少趋势。计算的线性回归系数说明,上述站年降雪频次减少达到每 10 年 9 频次左右,减少最多是德钦(23 频次/10 年)。

由于云南降雪主要分布在滇西北、滇东北及部分东部地区,而降雪频次趋势系数的空间分布显著区域分布在滇西北和滇东北。因此,分别计算滇西北 3 个站(德钦、香格里拉和维西)和滇东北 7 个站(镇雄、鲁甸、会泽、威信、昭通、富源和宣威)经过空间平均的年降雪频次,得出它们的长期变化(图 6)。由图可见,滇西北 3 站平均的年降雪频次的负趋势明显大于滇东北 7 站平均年降雪频次的负趋势。计算得到,滇西北的年降雪频次趋势系数为 -0.52,降雪频次每 10 年减少 4.4 频次;滇东北的年降雪站次趋势系数为 -0.36,降雪频次每 10 年减少了 2.0

频次。所以滇西北各站的年降雪频次比滇东北各站的减少得多,负趋势更为明显。

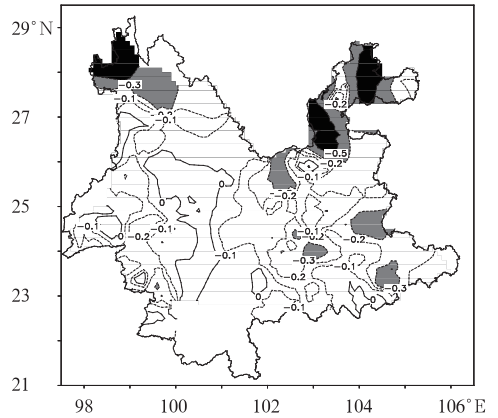


图 5 云南省年降雪频次的趋势系数空间分布图

黑色是通过 0.01 的显著性水平检验,灰色是通过 0.05 的显著性水平检验

Fig. 5 Trend coefficients of yearly snow frequencies with light grey (dark grey) region in Yunnan Province for significance level at 0.05 (0.01) The dashed curve indicates negative value

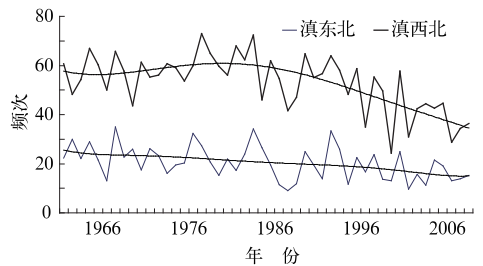


图 6 滇西北 3 站和滇东北 7 站逐年平均降雪频次的变化及回归线

Fig. 6 The time series of annual snow frequencies averaged at three stations of Northwest Yunnan and seven stations of Northeast Yunnan during 1961—2008

对于月时间尺度的特征,我们做类似的计算,得到月降雪频次的趋势系数图(图略)。可以归纳出逐月降雪频次趋势变化的空间分布情况(见表 2)。

从表 2 看出,全省各月年降雪频次的趋势系数均有负值站,其中 2 月和 12 月具有较强的负趋势,趋势系数达到 0.05 显著性水平检验负站数为 15 个左右。其次为 1 月和 11 月,趋势系数达到 0.05 显著性水平检验负站数仅为 5~6 个。3 月和 4 月负趋势最弱。从分别统计滇东北和滇西北的负趋势站

表 2 云南省各月降雪频次负趋势的站数
Table 2 The numbers of station with negative secular trend of month snow frequencies

月份	达 0.05 信度	滇东北	滇西北
1	5	4	1
2	15	13	2
3	1	0	1
4	3	1	2
11	6	4	2
12	14	12	2

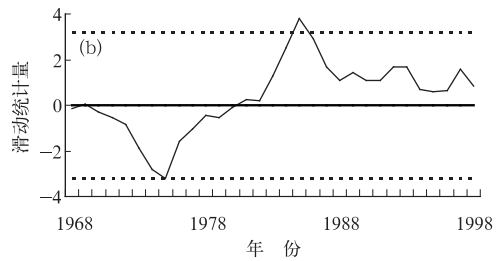
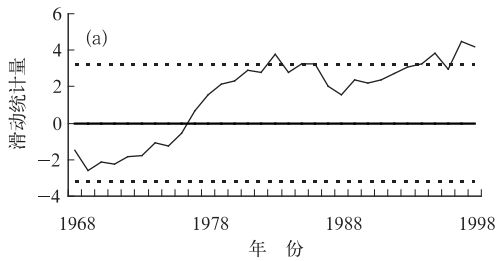


图 7 滇西北德钦站(a)和滇东北昭通站(b)降雪频次的突变检验
滑动 t 检验,虚线为 $\alpha=0.01$ 的临界值

Fig. 7 Smoothing t -test of snow frequencies at Deqin (a) and Zhaotong (b) Stations in Yunnan Province
Dashed line represents critical value of $\alpha=0.01$

1985 年为减少突变。其他站点的降雪频次没有明显的突变点。

3.2 降雪量和积雪深度时空变化特征

为分析降雪量的时间变化特征,图 8 给出 1961—2008 年全省的平均年降雪量(年总降雪量除以相应的年降雪站点数)和相应降雪站点的时间序

数可看到,1月、2月、11月和12月达到0.05显著性水平检验负站数主要为滇东北的观测站。而3月和4月达到0.05显著性水平检验负站数则为滇西北的德钦、香格里拉。

我们用滑动 t 检验方法对滇东北和滇西北这 10 个站的年降雪频次的时间序列进行了突变分析。由图 7 可见,近 50 年来滇西北德钦站的降雪频次呈明显减少趋势,1983、1997 年为突变点。滇东北昭通的降雪频次存在两次突变,1975 年为增加突变,

列。从平均年降雪量来看(图 8a),其总体趋势呈增加趋势,平均每年约增加 0.15 mm。从参与降雪量统计的站点数来看(图 8b),降雪范围的趋势却呈减少趋势,平均每年大约减少 0.25 个县市。综合从这两幅图上可看出,近 50 年云南省在降雪范围呈明显减少趋势下,平均的年降雪量却呈增加的趋势。

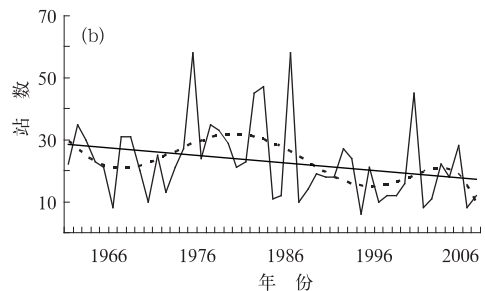
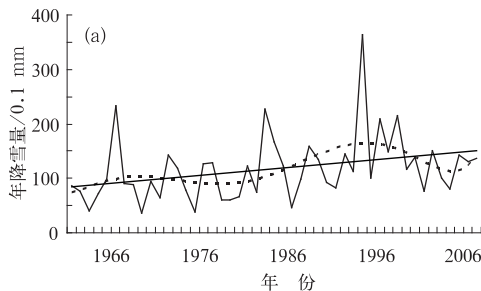


图 8 云南省逐年降雪量(a)和降雪范围(b)曲线(粗实线)及其线性趋势线(细直线)、六阶主值函数趋势(虚线)

Fig. 8 Time series of yearly snowfall averaged at snow stations (a) and numbers of snow stations (b, thick line) in Yunnan Province during 1961—2008
Thin line represents the liner trend, dashed line represents six step of principal value function

为了解空间变化,我们逐站地计算趋势系数。表 1 给出平均年降雪频次最多的 10 个站点相应的

年降雪量 and 对应的趋势系数。其中 6 个站的趋势系数都为正,香格里拉为 0.41,达到 0.05 的显著性水

平检验。另外有3个站降雪量的趋势系数接近零,只有德钦降雪量的趋势系数为 -0.36 。这说明云南全省主要降雪站点的降雪量几乎都呈明显增加的趋势。

由于云南特殊的地理位置,降雪日数明显比积雪日数多,积雪深度与降雪频次和降雪量有着非常密切关系。因此,为更好反映云南省降雪的气候变化,我们对全省120个站有观测以来的积雪深度进行了统计。图9给出1961—2008年全省经过空间平均的逐年平均最大积雪深度时间序列。总体而言,平均最大积雪深度呈增加趋势,平均每年增加约 0.045 cm 。1965年以前,平均最大积雪深度明显偏少,而后到2000年呈较为明显的增加。2000—2008年则为减少的趋势。

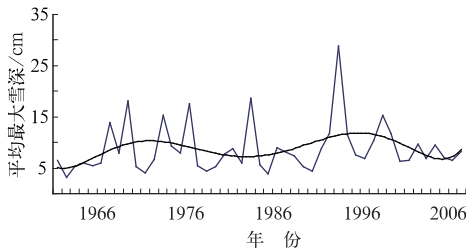


图9 云南省年平均最大积雪深度的时间变化及回归线

Fig. 9 Time series of yearly maximum depth (cm) of snow cover averaged at snow cover stations and its regression line in Yunnan Province during 1961—2008

4 小 结

本文利用云南省1961—2008年120个测站逐日降雪资料,分析了近50年来全省年、月降雪频次和范围的时空特征和气候变化。进一步对年降雪量和平均最大积雪深度的长期趋势变化进行初步研究。得到以下结论:

(1) 多年平均的降雪频次空间分布和降雪量空间分布基本一致。年降雪频次和降雪量最多的都是德钦,其次是香格里拉。

(2) 云南近50年的年降雪频次呈明显减少趋势,趋势系数为 -0.37 (全省平均每年降雪频次约减少4.5频次);降雪范围也呈减少趋势,各月的降雪频次和范围都呈负趋势。

(3) 全省降雪频次的长期趋势变化有明显的空

间变化。频次减少最多的是德钦为每年约减少2.3频次。滇西北的年降雪频次比滇东北减少得多,滇西北的频次平均每站每年约减少0.44频次,而滇东北的站次平均每站每年减少0.2频次。

(4) 年降雪频次的突变现象不明显,只有德钦、昭通存在突变,其年降雪频次在20世纪80年代末期以后明显减少,其他地区年降雪频次没有明显的突变。

(5) 近50年在降雪范围呈明显减少趋势下,全省平均年降雪量略有增加,平均每年约增加 0.15 mm ;平均最大积雪深度总体呈增加的趋势,平均每年增加约 0.045 cm 。

气温对于降雪频次、降雪量和积雪深度的作用显而易见,较高的气温不利于降雪的产生和积雪的维持。在全球气候变暖下,云南气温与全球及北半球的变化强度基本一致,21世纪以来气温变暖强度更为显著;全省区域年降水略有减少,但冬春季降水呈明显增加趋势^[16]。因此,近50年云南气候趋于暖湿情况下,全省年总降雪频次和范围逐渐减少,但平均降雪量和平均最大积雪深度却明显增加,这说明强降雪的频次增加了。

参考文献

- [1] Whetton P H, Haylock M R, Galloway R. Climate change and snow cover duration in the Australian[J]. Alps Climatic Change, 1995, 32: 447-479.
- [2] 施雅风,沈永平,胡汝骥,等.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.
- [3] Qin D H, Ding Y H, Su J L, et al. Assessment of climate and environment changes in China (I): Climate and environment changes in China and their projections[J]. Advances in Climate Change Research, 2006, 2 (Suppl): 1-5.
- [4] 杨青,魏文寿.新疆现代气候变化特征和趋势的分析[C].气候变化与生态环境变化论文集.北京:气象出版社,2004:202-209.
- [5] 赵珊珊,高歌,张强,等.中国冰冻天气的气候特征[J].气象,2010,36(3):34-38.
- [6] 郑婧,许爱华,刘波,等.江西大雪天气的时空变化及其影响系统分析[J].气象,2010,36(4):30-36.
- [7] 陈烈庭.青藏高原异常雪盖和 ENSO 在 1998 年长江流域洪涝中的作用[J].大气科学,2001,25(2):184-192.
- [8] Wu T W, Qian Z A. The relation between the Tibetan winter snow and the Asian summer monsoon and rainfall: An observational Investigation[J]. J Climate, 2003,16:2038-2051.
- [9] 李培基.青藏高原积雪对全球变暖的响应[J].地理学报,1996,51(3):260-265.

- [10] 臧海佳,周自江. 青藏高原区域性积雪增量序列及其变化特征[J]. 气象,2009,35(6):77-81.
- [11] 李培基. 1951~1997年中国西北地区积雪水资源的变化[J]. 中国科学(D), 1999, 29(增1):63-69.
- [12] 李培基. 新疆积雪对气候变暖的响应[J]. 气象学报, 2001, 59(4):491-500.
- [13] 叶佰生,丁永建,康尔泗,等. 近40a来新疆地区冰雪径流对气候变暖的响应[J]. 中国科学(D), 1999, 29(增1):40-46.
- [14] 张俊岚,刘勇达,杨柳,等. 2008年初南疆持续性降雪天气过程水汽条件分析[J]. 气象,2009,35(11):55-63.
- [15] 张广周,沈桐立,李戈,等. 一次暴雪天气的数值模拟及诊断分析[J]. 气象,2008,34(9):65-72.
- [16] 张腾飞,鲁亚斌,张杰,等. 2000年以来云南4次强降雪过程的对比分析[J]. 应用气象学报,2007,18(1):64-72.
- [17] 王宇. 云南气候变化概论[M]. 北京:气象出版社,1996.
- [18] 解明恩,张万诚. 云南短期气候预测方法与模型[M]. 北京:气象出版社,2000.
- [19] 陶云,曹杰,段旭. 云南省五月雨量转折突变的研究[J]. 气象科学,2002,22(3):287-293.
- [20] 陶云,郑建萌,万云霞,等. 云南雨季开始期演变特征分析[J]. 气候与环境研究,2006,11(2):229-235.
- [21] 陶云,何群. 云南降水量时空分布特征对气候变暖的响应[J]. 云南大学学报,2008,30(6):587-595.
- [22] 高鸿,施能,白彬人,等. 1948—2001年12—2月全球陆面降水长期变化特征与旱涝气候[J]. 气象科学,2004,24(4):387-396.