

青藏高原区域性积雪增量 序列及其变化特征

臧海佳^{1,2} 周自江²

(1. 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871; 2. 国家气象信息中心)

提 要: 利用青藏高原 83 个气象台站的逐日积雪观测资料, 充分考虑每次降雪过程所引起的积雪变化, 建立了该地区 1960—2007 年度的区域性积雪增量序列, 并讨论了其长期变化特征。结果表明: (1) 积雪增量序列具有其他积雪参数指标的代表性, 又较其他积雪参数指标序列有明显的统计学优点。 (2) 在 48 个年度里, 1960—1966 年度青藏高原区域性积雪增量处于负位相, 1967—1998 年度为多雪的正位相, 1999—2007 年度又为少雪的负位相, 其中 1998 年度是个具有显著性的突变点。

关键词: 青藏高原 积雪增量序列 年代际变化

Regional Snow Depth Increment Time Series with Its Variation in the Qinghai-Tibet Plateau

Zang Haijia^{1,2} Zhou Zijiang²

(1. Department of Atmospheric Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871;

2. National Meteorological Information Center)

Abstract: Based on the snow depth observation data from 83 high-elevation meteorology stations located in the Qinghai-Tibet Plateau during 1959—2007, the time series of regional snow depth increment that shows the snow depth variation with every snowfall events has been constructed. The results show that (1) comparing with the monthly or annual maximum snow depth and the accumulated snow depth series, the new series can represent the two others, has excellent features in statistics, and is the most stable one; and (2) the regional snow depth increment is keeping a negative phase during 1960—1966, a positive side during 1967—1998 and a negative phase again since 1999, and there is a significant jump point in the snow depth increment series that appears in 1998.

Key Words: the Qinghai-Tibet Plateau snow depth increment series inter-decadal variation

引 言

青藏高原的地面积雪(或雪盖)一直是大气科学领域关注的热点。目前已有诸多学者研究了青藏高原积雪的时空分布特征^[1-2],以及高原积雪对地面反照率的影响^[3]、对季风和大气环流的影响^[4-5]、对长江流域降水的影响^[6-7]等,得出了一系列有重要价值的结论。积雪持续状况是表征积雪影响的一个重要参数。李培基等利用积雪日数对我国积雪进行了分类和分区^[8],韦志刚等利用积雪日数和深度情况分析了青藏高原积雪的年代际变化^[2]。归纳起来,上述研究大致使用了三种积雪参数指标,即卫星遥感积雪指数、地面观测月、季、年最大积雪深度和累积积雪深度,但是从气候变化的研究需求来看,这三种指标皆存在着各自的不足之处:(1)卫星遥感积雪指数受到云的干扰较大,而且资料的时间序列较短,尚不足以研究其长期变化趋势;(2)月、季、年的最大积雪深度往往受到该时间尺度内单次极端强降雪过程的左右,属极端事件,随机性也较大。如果被用作季节或年积雪量的评价指标,其代表性值得商榷;(3)月、季、年的累积积雪深度重复计算了前期积雪,可能放大了前期积雪的影响。

事实上,地面积雪的长时间存在体现了降雪过程与融雪过程的动态平衡,其中融雪过程是连续的,而降雪过程是非连续的。因此,合理的月、季、年积雪评价指标需要体现出在连续融雪过程中的多次不连续降雪的叠加。基于以上分析,本文拟通过逐日积雪深度的变化,建立积雪增量时间序列,以克服最大积雪深度和累积积雪深度序列的缺点。同时,文章还以此为基础探讨青藏高原积雪的长期变化特征。

1 研究区域与资料

参考张懿铨等^[9]关于青藏高原范围的讨论结果,本文的研究区域选定为广义的青藏高原区,包括青海、西藏,以及甘肃西部祁连山脉,四川西部岷山、大雪山和邛崃山脉,云南西北部横断山脉。在上述区域内选取海拔高度在 2000m 以上、连续观测时间 30 年以上的共计 83 个国家级基准、基本气象站(图 1)。其中有 43 个站的平均年积雪日数在 30 天以上,有 19 个站的平均年积雪日数在 60 天以上,属于稳定积雪区^[8]。

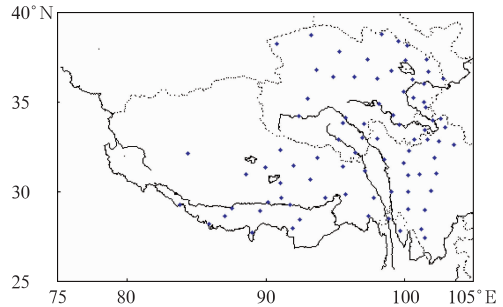


图 1 青藏高原地区 83 个代表站的地理分布

依据地面观测规范^[10],积雪深度是在雪(包括米雪、霰、冰粒)覆盖地面达到气象站四周视野面积一半以上,且雪深超过 0.5cm 时测量的从积雪表面到地面的垂直深度。本文使用的逐日积雪深度资料均取自国家气象信息中心存档的 1959—2007 年原始地面观测报表及其信息化文件,资料经过严格的质量控制。

2 青藏高原区域性积雪增量序列的建立

2.1 积雪增量序列的建立

从 1959—2007 年青藏高原地区 83 个代表站平均积雪深度的逐日分布(图 2)来看,青藏高原地区秋、冬、春三季均有积雪,最大积雪深度(峰值)出现在 1 月份。峰值左侧(9 月至次年 1 月)是积雪的堆积期,降雪过程明

显强于融雪过程;峰值右侧(1月至6月)是积雪的融化期,但是期间也有很明显的降雪过程,导致积雪深度短暂的跃增。因此,本文所建的积雪增量序列将根据逐日积雪深度的变化,充分考虑整个年度内所有降雪过程所引起的积雪增加量。这种累积的积雪增加量可以更全面地体现年度内的天气气候背景及其变化特征。

根据图 2 所显示的积雪的季节分布特征,本文对原始资料进行了跨年度调整,以上一年 7 月至当年 6 月为 1 个积雪年度,即横坐标的原点为上一年 7 月 1 日,但年份记为 1 月(即积雪峰值时间)所在的年份,这样最后的序列跨度为 1960—2007 年度。

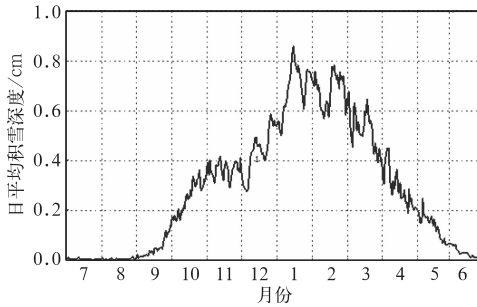


图 2 1959—2007 年青藏高原地区区域性积雪深度的逐日分布

青藏高原年度积雪增量序列的构建方法与步骤如下:

① 计算单站某年度(上一年 7 月 1 日至

当年 6 月 30 日,下同)的积雪深度(h)日际差(Δh):

$$\Delta h = h_{t+1} - h_t \quad (1)$$

其中 $t=1$ 代表 7 月 1 日, $t=2$ 代表 7 月 2 日,依此类推。当遇资料缺测时,剔除缺测日,后续资料自动前移,但整年度允许的最多缺测日为 24 天,否则该年度视为缺测年,不参与计算。

② 当年度内有 m 次 $\Delta h > 0$, 则单站年度积雪增量(H)为:

$$H = \sum_{i=1}^m \Delta h_i \quad (2)$$

公式(2)中要求 $\Delta h_i > 0$ 。

③ 对上述研究区域内各站的年度积雪增量进行平均,即得到青藏高原区域性年度积雪增量(\bar{H}):

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n H_j \quad (3)$$

其中, n 为年度内实有资料的台站数, H_j 为第 j 个站的年度积雪增量。同理,下文的区域最大积雪深度序列和累积积雪深度序列也是依据公式(3)按年度内实有资料的台站数计算的,这样可以保持三条序列的一致性。

通过对 1959—2007 年青藏高原地区 83 个代表站逐日积雪深度的计算,建立了 1960—2007 年度青藏高原区域性积雪增量序列(表 1)。

表 1 青藏高原区域性积雪增量序列(1960—2007 年度)

年份	区域性积雪增量/cm										平均值
1960—1969	25.01	33.47	32.34	29.56	35.07	23.21	33.94	37.60	41.64	27.72	31.96
1970—1979	38.59	35.84	37.61	37.03	34.10	34.52	35.57	46.22	44.08	33.06	37.66
1980—1989	36.75	36.47	41.13	44.07	29.34	30.07	38.65	37.13	39.04	42.43	37.51
1990—1999	40.29	34.21	33.87	40.59	36.95	33.14	41.16	35.00	42.55	25.11	36.29
2000—2007	29.69	32.26	26.38	28.87	26.09	37.05	28.29	28.54			29.65

2.2 区域性增雪量序列与最大积雪深度等序列的比较

将 1960—2007 年度青藏高原区域性积

雪增量序列与同期的最大积雪深度序列、累积积雪深度序列进行比较,发现前者与后两条序列长期演变趋势具有一致性。积雪增量序列与最大积雪深度序列、累积积雪深度序

列的相关系数分别为 0.825 和 0.725,均超过了 $\alpha=0.001$ 的显著性水平。这说明可以用区域性积雪增量序列替代后两条序列,来揭示青藏高原区域性积雪的变化特征。

另外,统计参数(见表 2)表明,累积积雪深度序列不遵从正态分布,不利于一些统计分析方法的运用;积雪增量序列和最大积雪深度序列遵从正态分布,其中积雪增量序列

的正态性更优一些。从表 2 还可以看出,累积积雪深度序列的离散度较大,而积雪增量序列和最大积雪深度序列区域平均的相对变率(其计算方法见文献[11])大体相当,在 12%左右,但从单站相对变率来看,积雪增量序列的稳定性最优,有 30 个台站的相对变率小于 30%。总之,从统计学角度来看,区域性积雪增量序列有诸多优点。

表 2 青藏高原 3 种积雪序列的统计特征(1960—2007 年度)

	峰度系数	偏度系数	是否正态	相对变率	相对变率<30%的站数
积雪增量序列	-0.97	-0.33	Y	12.9%	30
最大积雪深度序列	-0.42	0.65	Y	11.4%	10
累积积雪深度序列	3.16	3.96	N	30.5%	1

3 青藏高原区域性积雪增量的年际与年代际变化

图 3 给出了青藏高原 1960—2007 年度区域性积雪增量的逐年变化。可见,48 个年度中,1965 年度积雪增量最少,仅有 23.21 cm,1977 年度积雪增量达 46.22cm,是历史峰值,这两个年度的积雪增量距平值都超过了 2 倍标准差,达到了世界气象组织的天气、气候异常判定标准,属异常偏少(多)年度。如果以积雪增量距平超过 1 倍标准差作为多雪和少雪年的判定标准,则 1960、1963、1965、1969、1984、1999、2002、2003、2004、2006 和 2007 年等 11 个年度为青藏高原的少雪年,1968、1977、1978、1982、1983、1989、1993、1996、1998 年等 9 个年度为多雪年。

利用九点二次滑动平均方法^[12]将青藏高原区域性积雪增量序列的长期趋势变化分离出来,笼统地视作年代际分量(图 3 中粗实线)。可以看出,1960—1966 年度青藏高原区域性积雪增量处于少雪的负位相,平均年积雪增量为 30.37cm,1967—1998 年为多雪的正位相,平均年积雪增量为 37.39cm,

1999—2007 年又为少雪的负位相,平均年积雪增量为 29.14cm。

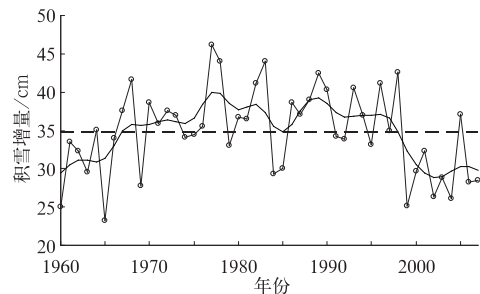


图 3 1960—2007 年度青藏高原区域性积雪增量的逐年变化

(粗实线为用九点二次滑动平均方法分离出的年代际变化,粗虚线为 48 年平均值)

进一步利用滑动 t 检验法^[12](取显著性水平 $\alpha=0.01$,子序列 $n_1=n_2=5$)和 Yamamoto 法^[12](取显著性水平 $\alpha=0.01$,子序列 $n_1=n_2=5$)检测出 20 世纪末青藏高原区域性积雪增量经历了一次由多到少的转变,突变点是 1998 年度。用同样方法对最大积雪深度序列和累积积雪深度序列进行检验,结果发现最大积雪深度序列和累积积雪深度序列在 1998 年存在类似的变化。尽管后二条序列突变的显著性较积雪增量序列弱(分别通过 $\alpha=0.02$ 和 $\alpha=0.05$ 的显著性检

验),但是这个一致性的变化特征足以证明青藏高原地区积雪 1998 年度的突变是可信的。

4 结论

(1) 本文新建的积雪增量序列充分考虑了每次降雪过程所引起的地面积雪变化,其不仅具有其他积雪参数指标的代表性,还较其他积雪参数指标序列有明显的统计学优点,且能更好地揭示青藏高原积雪的变化规律和机理。

(2) 1960—2007 年 48 个年度中,1960—1966 年度青藏高原区域性积雪增量处于负位相,平均年积雪增量为 30.37cm,1967—1998 年为多雪的正位相,平均年积雪增量为 37.39cm,1999—2007 年又为少雪的负位相,平均年积雪增量为 29.14cm。其中 20 世纪末积雪增量经历了一次由多到少的转变,突变点位于 1998 年度。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 韦志刚,吕世华. 青藏高原积雪的分布特征及其对地面反照率影响[J]. 高原气象,1995,14(2): 67-73.
- [4] 郑益群,钱永甫,苗曼倩. 青藏高原积雪对中国夏季风气候的影响[J]. 大气科学,2000,24(6): 761-774.
- [5] 徐国昌,李珊,洪波. 青藏高原雪盖异常对我国环流和降水的影响[J]. 应用气象学报,1994,5(1): 62-67.
- [6] 宋文玲,袁景凤,陈兴芳. 冬季高原积雪异常与 1998 年长江洪水关系的分析[J]. 气象,2000,26(2): 11-14.
- [7] 孙林海,宋文玲. 冬季积雪对我国夏季降水预测的评估分析[J]. 气象,2001,27(8):24-27.
- [8] 李培基,米德生. 中国积雪的分布[J]. 冰川冻土,1983,5(4):9-18.
- [9] 张懿铨,李炳元,郑度. 论青藏高原范围与面积[J]. 地理研究,2002,21(1):1-8.
- [10] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社,2003:61.
- [11] 王树廷,王伯民. 气象资料的整理和统计方法[M]. 北京:气象出版社,1984:12-13.
- [12] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京:气象出版社,1999:45-63.