

文章编号: 1673-1719 (2007) 02-0080-05



1959—2003年中国天山积雪的变化

杨青^{1,2}, 崔彩霞¹, 孙除荣², 任宜勇¹

(1 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002; 2 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081)

摘要: 利用天山山区17个气象站1959—2003年的气象观测资料, 分析了天山山区冬季(12—2月)气温、积雪变化趋势特征, 并采用Mann-Kendall统计量对最大积雪深度的变化进行了突变检验, 通过GIDS插值方法和DEM数据计算了它的空间分布。结果表明, 天山山区冬季平均气温存在明显的上升趋势, 倾向率为 $0.44^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 与北半球冬季平均气温的变化有着较好的相关性, 最低气温的增加更为明显, 其倾向率为 $0.79^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。45 a来天山山区最大积雪深度具有明显的增加趋势, 倾向率为 $1.15\text{cm}/10\text{a}$, 检测表明, 最大积雪深度在1977年前后发生了突变; 与多年平均相比, 积雪深度增加幅度最大的是西天山地区的昭苏、尼勒克, 分别增加了39.3%和39.7%。天山山区积雪变化以2.8 a左右的周期为主。另外, 积雪日数的增加主要出现在 $\geq 10\text{cm}$ 的积雪深度上; 积雪初、终日期并没有表现出明显的提前或推迟。

关键词: 积雪; 天山山区; 气候变化

中图分类号: P426.63+5 **文献标识码:** A

引言

冰雪是气候系统五大圈层之一冰冻圈的重要组成部分。在天山山区, 发育着许多现代冰川, 仅中国境内就有冰川9081条^[1], 冰川储量 1011.748km^3 , 占中国冰川总储量的22.95%, 列第二位。天山山系是亚洲中部最大的山系, 呈东西走向, 全长2500 km左右。中国境内的天山位于整个天山山系的东部, 习惯上又把中国境内的这一段按位置分别称为东天山、中天山和西天山, 是新疆众多河流最主要的发源地。发源于新疆境内天山山区的河流有373条, 总径

流量达474亿 m^3 , 占新疆河流总径流量的53.6%^[1]。河水径流主要来源于天山山区大气降水和冰川融水两个方面, 而积雪是冰川积累的物质基础。因此, 天山冰雪也被称为新疆的固体水库, 它的变化对新疆社会经济的发展有着十分重要的影响。

积雪对气候变化的响应十分敏感, 而全球气候变暖最突出的特征是冬季的明显增暖, 新疆乃至西北地区近几十年来也出现气候暖湿化转型的信号^[2-4], 新疆积雪对气候变暖的响应引起了一些学者的关注。李培基^[5]用3种方法对青藏高原累积雪深进行了检验, 认为青藏高原累积雪深具有长期稳定的增加趋

收稿日期: 2006-06-23; 修订日期: 2006-11-27

基金项目: 中国气象局气候变化专项(CCSF2005-2-QH27); 中国沙漠气象科学研究基金项目(sqj2005004); 科技部社会公益研究专项(2004DIB3J118)资助

作者简介: 杨青(1956-), 男, 研究员, 主要从事气候变化与环境研究。E-mail: yangq@idm.cn

势; 利用气象资料和多通道微波扫描辐射仪 (SMMR) 卫星遥感的积雪资料研究表明, 虽然近 50 a 来新疆冬季变暖十分显著, 但积雪并未出现持续减少的现象^[6-7]。叶佰生等^[8]分析了整个新疆地区冰雪径流对气候变暖的响应, 结果表明, 1980 年以来大多数河流春季径流明显增加, 平均增加约 10%。在这些研究中, 针对天山山区积雪变化的分析却不多见。本文利用 1959—2003 年的观测资料, 重点分析了天山山区积雪的空间分布特征和变化趋势及其可能的原因。

1 资料与方法

本文采用了天山山区 17 个气象站 1959—2003 年的气温、积雪观测资料, 对冬季 (12—2 月) 的平均气温、最高气温、最低气温、最大积雪深度、各级别 (≥ 0 cm、 ≥ 5 cm、 ≥ 10 cm) 的积雪日数、积雪初始日期、终止日期等因子进行了统计, 并计算其线性倾向率。对冬季平均气温、降水量、最大积雪深度的趋势突变检验采用 Mann-Kendall 统计量, 用最大熵谱分析了积雪的年际变化周期。

积雪深度的空间分布是以 DEM (Digital Elevation Model) 模式的 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 网格数据为基础, 采用梯度距离平方反比法 (GIDS) 进行插值^[9], 计算了天山山区海拔 $\geq 1500 \text{ m}$ 区域内各点的积雪深度。

为了使回归方程能更好地反映积雪深度随地理因子的变化分布, 本文不仅采用了上述 17 个山区站, 还增加了山区周围的 18 个气象站, 共 35 个站的积雪深度资料。选定的参考点为 (72°E , 32°N), 以求出气象站点和各计算点的坐标值。这种方法的特点是既考虑了插值对象与地理因子的关系, 又考虑了周围站点要素值的大小对估算点插值对象的影响。

由于天山山区范围大, 地形复杂, 测站稀少, 尤其地处高海拔地区的站更少, 积雪数据差别很大, 所以这些资料很难完全反映整个山区的积雪情况。但是受大尺度天气系统的控制, 它们的变化具有较好的一致性。根据位于伊犁河支流巩乃斯河的中国科学院天山积雪雪崩实验研究站 (海拔 1776 m) 1967—1994 年积雪资料^[1] 与 17 个气象站平均值进行的分

析表明, 两者在变化趋势上存在一定的相关性, 最大积雪深度的相关系数为 0.60。

本文多年平均值指 1961—1990 年 30 a 平均。

2 冬季气温变化

近 45 a 来, 天山山区冬季平均气温存在明显的上升趋势, 这与北半球冬季平均气温的变化有着较好的相关性 (图 1), 两者的相关系数达到 0.58 ($\alpha=0.01$)。其中, 天山山区冬季平均气温变化的倾向率为 $0.44^\circ \text{C}/10 \text{ a}$ ($r=0.41$, $\alpha=0.01$), 而北半球只有 $0.24^\circ \text{C}/10 \text{ a}$ ($r=0.78$, $\alpha=0.01$)。此外, 天山山区气温的年际变化幅度也明显大于北半球平均的变化幅度。1991—2003 年冬季平均气温与多年平均值 (-10.6°C) 相比, 增加了 1.1°C 。

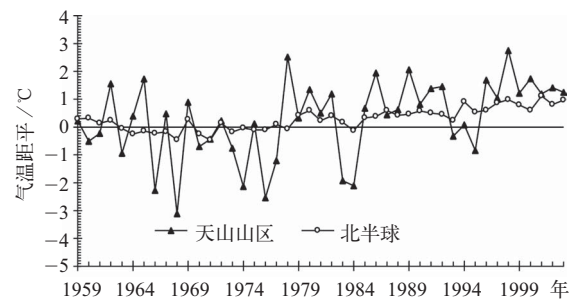


图 1 1959—2003 年天山山区与北半球冬季平均气温的变化
Fig. 1 Variations of winter average temperatures in the area of Tianshan Mountains and the Northern Hemisphere during 1959—2003

天山山区冬季最低气温的增加更为明显, 其趋势倾向率为 $0.79^\circ \text{C}/10 \text{ a}$ ($r=0.49$, $\alpha=0.01$), 1991—2003 年冬季平均最低气温与多年平均相比, 增加了 2.1°C 。

天山山区冬季最高气温的变化趋势则不显著, 趋势倾向率仅为 $0.14^\circ \text{C}/10 \text{ a}$, 远低于最低温度的倾向率, 表现出非对称变化特征。

3 积雪变化

3.1 积雪深度的空间分布

利用 DEM 数据对天山山区最大积雪深度的空

间分布进行了计算(图2)。可以看出,冬季积雪主要分布在天山山区北坡,厚度一般在30 cm以上,厚度最大的是在西天山伊犁地区的巩乃斯河流域,可达到60 cm以上。其次,是中天山的博格达峰地区,积雪深度也达到了40~50 cm。天山南坡积雪深度比较浅薄,大部分都在30 cm以下,而在托木尔-汗腾格里峰冰川地区,积雪深度达到了40 cm以上。积雪的这种分布特点与冬季降水量的分布特点十分一致,主要是由水汽来向和地理因素造成的。天山北坡是迎风坡,西风气流受地形作用在北坡抬升,使这里成为降水集中的地区;而南坡主要为下沉气流控制,降水相对较小。因此,天山积雪分布呈自西向东、由北向南减少的特点。

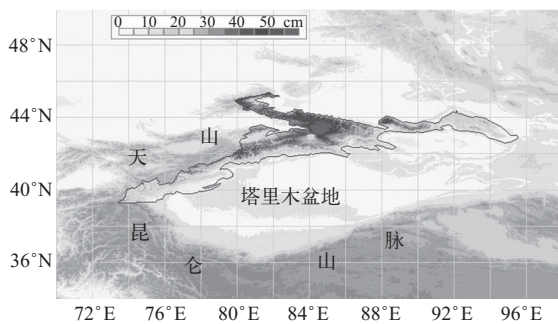


图2 1959—2003年天山山区最大积雪深度的分布

Fig. 2 Spatial distribution of maximum snow cover depth in the area of Tianshan Mountains during 1959—2003

从测站资料上看,积雪深度最大值出现在天池站(88°07'E, 43°53'N),达69 cm(1999年);其次是天山西部的新源(83°18'E, 43°27'N)和尼勒克(82°34'E, 43°48'N),分别为67 cm(1969年)和66 cm(1999年)。另外,天山积雪雪崩实验研究站(84°24'E, 43°16'N)的观测记录表明,该站积雪深度最大达到了149 cm^[10]。由此可见,积雪深度受地理因素的影响很大。

3.2 积雪深度年际变化

天山山区最大积雪深度的变化具有明显的增加趋势(图3),趋势倾向率为1.15 cm/10 a ($r=0.41$, $\alpha=0.01$)。与多年平均值(18.9 cm)相比,1991—2003年冬季最大积雪深度平均增加了2.9 cm(约16%),达

到21.8 cm。累积距平曲线也反映出了积雪深度年际变化的某些特征,其变化主要分为两个阶段,从20世纪50年代末到80年代初期,最大积雪深度以减少趋势为主,1984年后开始以上升趋势为主。

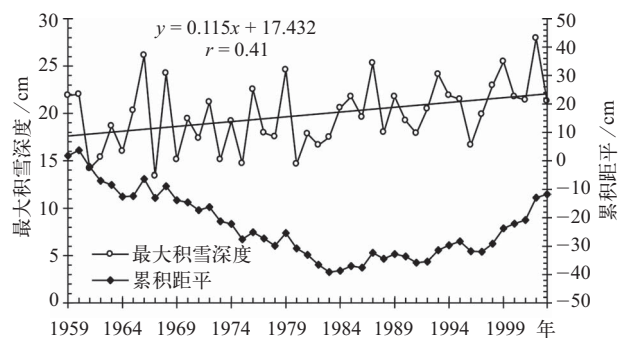


图3 1959—2003年天山山区最大积雪深度的变化

Fig. 3 Variation of the maximum snow cover depth in the area of Tianshan Mountains during 1959—2003

采用Mann-Kendall统计量对最大积雪深度变化进行突变检验,结果表明,在1977年前后发生了统计意义显著($\alpha=0.05$)的趋势突变现象;对冬季平均气温趋势的检测在突变时间上有同样的结果,这与整个新疆冬季气温升高的时间是一致的^[7]。

从空间分布来看,积雪深度增加幅度最大的是西天山地区的昭苏和尼勒克,分别增加了39.3%和39.7%。但天山东部地区的巴里坤积雪深度却明显减小,平均降低了17.0%;南坡的巴轮台也降低了7.7%。

积雪深度的这种变化与冬季降水量的变化也有很好的一致性,两者相关系数高达0.68;而积雪深度与冬季平均气温呈现低的负相关,相关系数仅为-0.11,但这并没有影响积雪深度与冬季气温同时增加。李培基^[7]认为,冬季降雪量的年际波动并非是由于冬季气温年际波动所引起的,冬季气温和降雪量变化受不同的欧亚环流振荡所控制,二者是相互独立、不可相互替代的气候变量。

3.3 积雪日数

天山山区积雪深度 ≥ 0 cm、 ≥ 5 cm和 ≥ 10 cm的积雪日数多年平均分别为95.6 d、64.0 d和42.9 d,分别占积雪期天数的56.2%、37.6%和25.2%。从其

年际变化来看(图4),不同深度的积雪日数都存在微弱的增加趋势,但并不显著。与多年平均相比,1991年以来积雪深度 ≥ 0 cm、 ≥ 5 cm和 ≥ 10 cm的积雪日数(占积雪期天数的百分比)分别增加了3.1 d (3.3%)、5.4 d (8.4%)和5.1 d (11.8%)。相对来讲,深度 ≥ 10 cm的积雪日数增加较明显。

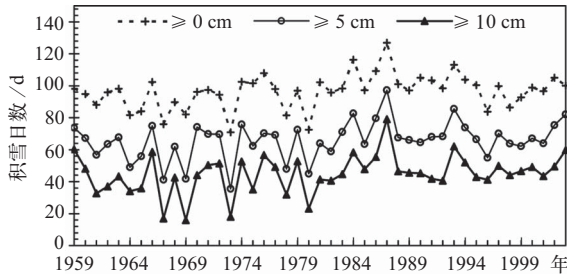


图4 1959—2003年天山山区不同积雪深度积雪日数的变化
Fig. 4 Variations of snow days with different snow cover depths in the area of Tianshan Mountains during 1959–2003

从积雪初始、终止日期看,其变化基本稳定,没有表现出明显的提前或推迟趋势。积雪初、终日之间的日数从时间上反映了积雪期的长短,天山山区平均积雪期长达170 d,积雪初、终日期各地相差很大,与气象站的位置和海拔高度有很大关系。天山山区北坡积雪初、终日期与海拔高度呈现出显著的线性关系,随海拔高度的升高积雪初始日期逐步提前,而积雪终止日期逐步推迟(图略)。

积雪初、终日期无明显变化,说明积雪期非常稳定,这主要受季节影响所致。从积雪日数与积雪期所占的比例来看,积雪深度 ≥ 0 cm的日数平均只占到积雪期天数的56.2%,因此,积雪日数仍然可以有很大的上升空间,积雪日数的增加并不一定从积雪初始日期和终止日期的变化上反映出来。

3.4 积雪日数最大熵谱分析

最大熵谱分析的结果表明(图5),天山山区最大积雪深度存在2.8 a、7.3 a的变化周期,积雪日数存在2.8 a的主导周期,积雪初始日期存在11 a、2.6 a的变化周期,积雪终止日期存在3.4、2.3 a的变化周期。说明天山山区积雪变化以2.8 a左右的周期为主。另一方面,冬季降水量存在22 a、2.9 a的变化周期,

最低气温存在3.7 a、2.8 a的变化周期。

积雪初始日期、冬季降水量的11 a和22 a周期与太阳活动的周期变化有关;而其他因子主要以2~3 a的周期为主。积雪深度的2.8 a、7.3 a周期可能与北大西洋涛动(NAO)有一定的关系,因为冬季NAO指数也表现出2.6 a、6.3 a主要周期。

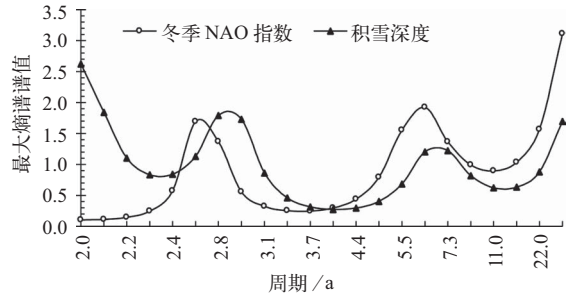


图5 天山山区积雪与冬季北大西洋涛动指数的最大熵谱
Fig. 5 Maximum entropy spectrum analyses of the snow cover depth in the area of Tianshan Mountains and the North Atlantic Oscillation index in winter

4 讨论

天山山区冬季平均气温的变化趋势表现出与北半球冬季气温增暖有着较好的同步性。在气候变暖的背景下,天山山区冬季降水量呈现出明显的增加,与多年平均值17.3 mm相比,1991—2003年冬季降水平均增加了4.6 mm,增幅达26.6%。天山山区冬季平均气温为 -10.6°C ,虽然近10多年冬季平均气温增加了 1.1°C ,仍达到 -9.5°C ,因此并不影响积雪维持的条件。从这个意义上讲,天山冬季积雪的多少与气温的高低并没有太大的关系,冬季积雪的深度主要取决于降水量的变化。

新疆冬季主要受西风环流控制,北大西洋涛动实际上反映的是北半球中纬冬季的西风强度,冬季NAO指数和北半球西风指数间相关系数达0.61^[11]。因此,天山山区积雪的变化与冬季北大西洋涛动强弱可能存在一定的关系,两者变化的主要周期也十分一致。冬季NAO指数与冬季西伯利亚高压范围呈反向变化关系,冬季NAO指数异常偏高(低)时期, $30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 的亚洲大陆中部气压显著偏低(高),致使冬季西伯利亚高压和东亚冬季风减弱(增强)以及

亚洲大陆北部气温显著偏高(低)^[12]。20世纪70年代以来,冬季NAO一直呈强烈的增强趋势,经常处在促进强西风急流的位相,其中可能主要是由北半球西风环流系统的年代际变化造成的^[11-12],这与欧亚冷季的增暖有关,也可能是导致天山山区积雪增加的主要原因之一。■

参考文献

- [1] 胡汝骥. 中国天山自然地理 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [2] 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.
- [3] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰, 等. 中国气候与环境演变评估 (I): 中国气候与环境变化及未来趋势 [J]. 气候变化研究进展, 2005, 1 (1): 4-9.
- [4] 杨青, 魏文寿. 新疆现代气候变化特征及趋势分析 [C]// 全国政协人口资源环境委员会. 气候变化与生态环境研讨会论文集. 北京: 气象出版社, 2004: 202-209.
- [5] 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.
- [6] 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辑), 1999, 29 (增刊1): 63-69.
- [7] 李培基. 新疆积雪对全球变暖的响应 [J]. 气象学报, 2001, 59 (4): 491-500.
- [8] 叶佰生, 丁永建, 康尔泗, 等. 近40 a来新疆地区冰雪径流对气候变暖的响应 [J]. 中国科学 (D辑), 1999, 29 (增刊1): 40-46.
- [9] 林忠辉, 莫兴国, 李宏轩, 等. 中国陆地区域气象要素的空间插值 [J]. 地理学报, 2002, 57 (1): 47-56.
- [10] 张丽旭, 魏文寿. 天山西部中山带积雪变化趋势与气温和降水的关系—以巩乃斯河谷为例 [J]. 地理科学, 2002, 22 (1): 67-71.
- [11] 龚道溢, 王绍武. 北大西洋涛动指数的比较及其年代际变率 [J]. 大气科学, 2000, 24 (2): 145-151.
- [12] 李崇银, 李桂龙. 北大西洋涛动与北太平洋涛动的演变与20世纪60年代的气候突变 [J]. 科学通报, 1999, 44 (16): 1765-1769.

Snow Cover Variation During 1959–2003 in Tianshan Mountains, China

Yang Qing^{1,2}, Cui Caixia¹, Sun Churong², Ren Yiyong¹

(1 Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Ürümqi 830002, China;

2 Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: The meteorological data (1959–2003) from 17 weather stations in the area of Tianshan Mountains are analyzed to explore the trend characteristics in temperature and snow cover. The abrupt change test of the snow cover depth is carried out by using Mann-Kendall method, and the spatial distribution of maximum snow cover depth is also given by employing the GIDS interpolation and the DEM data. The results show that winter mean temperature had a rising trend at a rate of 0.44°C/10 a, which is closely related to the mean temperature of the Northern Hemisphere ($r = 0.54$). Winter minimum temperature increased at a rate of 0.79°C/10 a, greater than that for winter mean temperature. Maximum snow cover depth in winter has obviously increased at a rate of 1.15 cm/10 a, and in comparison with long-term normal, it has on the average increased by about 16% during the period of 1991 to 2003. The result of the abrupt change test of snow cover depth indicates that the abrupt change occurred in 1977. There were two places, Zhaoshu and Nileke, located in the Western Tianshan Mountains, with the greatest snow cover depth augment of 39.3% and 39.7%, respectively. There was a primary periodicity of about 2.8 years for snow cover. In addition, snow days with the snow cover depth more than 10 cm increased distinctly. There was no obvious change in the beginning and ending dates of snow cover.

Key words: snow cover; Tianshan Mountains; climate change