

青藏高原地面站积雪的空间分布 和年代际变化特征*

韦志刚 P4 A

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

黄荣辉 陈 文 董文杰

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要 作者选取了青海省和西藏自治区境内的 72 个气象站逐日观测的积雪深度资料, 分析了青藏高原积雪的空间分布和年代际变化特征, 结果表明: 高原积雪的年变程并不完全一致, 高原东南缘的积雪主要发生在 3 月份; 高原东南和东北部的积雪一年有两个高值区: 前冬 10~12 月, 后冬 2~4 月; 高原中部和西南部的积雪主要在隆冬 12~1 月; 中部一些站点的积雪一年存在 3 个峰值: 10 月、1 月和 5 月。青藏高原的积雪主要发生在 10 月至 5 月份, 9 月和 6 月的积雪相对来说很少, 7 月和 8 月基本无积雪, 高原沿唐古拉山、念青唐古拉山、巴颜喀拉山、阿尼玛卿山以及喜马拉雅山坡的站点最早开始有积雪, 8、9 月份就会有积雪产生, 并且这些地区最迟有积雪的月份也较晚, 6、7 月份还会有积雪存在; 而柴达木盆地、青海湖盆地到湟水流域、沿雅鲁藏布江的河谷地带积雪出现得晚 (10、11 月), 最迟出现积雪的月份却要早 (5、6 月份), 雅鲁藏布江东段地带甚至最迟出现积雪的月份要提前到 3、4 月份。高原积雪存在三个高值中心: 一是由喜马拉雅山脉北麓沿线各站组成的南部高值中心; 二是唐古拉山和念青唐古拉山的东段山区; 三是位于高原东部的阿尼玛卿山和巴颜喀拉山地区。青藏高原积雪总的来讲呈平缓的增长态势, 20 世纪 60 年代初积雪稍偏多, 20 世纪 60 年代中到 20 世纪 70 年代中是积雪偏少时期, 20 世纪 70 年代末到 20 世纪 90 年代是积雪偏多期。从 20 世纪 60 年代中到 20 世纪 80 年代末, 积雪明显增加, 20 世纪 90 年代积雪又表现出减少的趋势。高原冬春多雪年为 1983、1978、1982、1998、1993、1962、1968、1989、1995、1990; 冬春少雪年为 1965、1999、1984、1969、1985、1971、1976、1967、1960、1991。

关键词: 青藏高原; 积雪; 变化特征

1 引言

自从 19 世纪末 Blanford^[1]提出喜马拉雅山的冬春积雪和随后印度的夏季风降水存在反相关以来, 人们虽然关注雪盖对气候的影响, 但直到拥有了卫星测雪的资料以后, 积雪和大气之间的相互作用才开始倍受重视, 科学家们利用不同手段从不同方面论证积雪变化对气候确实存在重大影响, 并由此引发对雪盖变化过程如包含雪盖内部物质、能

2000-12-17 收到, 2001-02-12 收到修改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目 G1998040900 第一部分、中国科学院知识创新工程重要方向项目 ZKCX2-SW-210 和中国科学院寒区旱区环境与工程研究所创新项目 CX210097 共同资助

量的平衡等的雪盖模式的研究。青藏高原西起 70°E , 东至 105°E , 南起 25°N , 北至 45°N , 占我国陆地面积的 $1/4$, 平均海拔 4 000 m 以上, 是欧亚大陆重要的积雪地区, 积雪的热力影响可直达对流层中部, 因此青藏高原的积雪变异对短期气候影响深刻。陈烈庭等^[2,3]利用高原东部 9 站积雪日数的年际变化最早分析了青藏高原积雪冬春异常对东亚夏季风及其中国降水的影响, 此后, 徐国昌等^[4]、郭其蕴等^[5]、韦志刚等^[6]都进行过类似的分析, 研究结果不完全一致, 是由于对高原积雪资料的不同应用引起的^[6], 所以有必要对高原积雪的分布特征作进一步的分析研究。

目前, 研究高原积雪影响所用的资料有卫星资料和地面观测资料两大类。卫星所测的积雪资料分为两类, 一类是光学传感器所测的可见光积雪资料, 一类是微波遥感器所测的微波积雪资料。地面观测资料主要是气象站所观测的积雪量、积雪日数和积雪深度资料。截至目前, 在相关研究中, 使用次数最多的青藏高原积雪资料是由 NOAA 卫星观测资料所计算的积雪面积即雪盖率资料, 但它有以下缺点^[7]: 一是分辨率低, 不适合区域尺度的积雪研究; 二是可见光遥测, 只能得到积雪面积或雪盖率的资料, 可见光测雪深受云的影响, 而青藏高原又是多云地区, 云的影响会造成积雪的大面积漏测, 此外 1972 年以前的影像图质量较差; 三是 NOAA 北半球月积雪面积资料在 1981 年前后统计方法有所改变, 前后积雪面积有数十到 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的误差, 此误差又主要在中纬度地区, 所以用平均的青藏高原 NOAA 雪盖率资料表示高原积雪的年际或年代际演变是存在一定缺陷的, 这一资料对少雪年的界定比较可信, 但它所反应出的多雪年目前还只能作为参考, 运用时最好用其他资料予以补充订正。目前, 微波遥测的积雪资料能比较准确地反应高原积雪年际和季节变化。但由于微波遥测积雪起步较晚, 资料较短, 不利于年际特别是年代际变化研究的需要。地面气象站的积雪资料长, 适于做年代际变化的研究, 但是由于站点分布不均匀, 资料的空間连续性差, 但这是目前最为可靠和应用最多的积雪资料。

对于青藏高原积雪的时空变化特征已有一些研究, 以海拔 3 000 m 廓线 (见图 2, 除传统意义的青藏高原外, 还包括了新疆天山山脉和中国西边界外的兴都库什山脉) 作为青藏高原主体, 韦志刚等^[8]对 NOAA 高原雪盖率资料的研究表明, 青藏高原主体的积雪分布主要以西部兴都库什山脉、天山山脉和南部喜马拉雅山脉为主, 虽然高原中部唐古拉山脉、昆仑山脉和东部巴颜喀拉山脉的积雪相对较少, 但年际变化大。李培基^[9]研究了 1978~1987 年 9 个冬季积雪鼎盛时期 SMMR 观测的高原积雪深度分布, 指出积雪的分布特点是, 高原腹地藏北高原和柴达木盆地、藏南谷地为少雪区, 高原四周特别是天山、昆仑山、唐古拉山、喜马拉雅山为多雪区, 高原东侧多雪区以念青唐古拉山和唐古拉山东段为中心。冬季积雪鼎盛期仍有 21% 的地表无积雪覆盖, 平均积雪深度 18.5 cm。

我们感兴趣的是积雪的变化, 从根据 1978~1987 年 SMMR 资料计算的青藏高原雪深距平分布图^[10]上很明显地看到, 青藏高原雪深年际波动最大的地区是高原东部, 而不是平均积雪最多的高原西部和南缘地区, 具体来讲, 从唐古拉山东段以北到巴颜喀拉山和阿尼玛卿山地区是高原雪深波动最大的地区。韦志刚等^[8]对 NOAA 卫星积雪面积资料的研究也表明, 高原冬春积雪面积的年际变化以高原中东部最强烈。

我们之所以感兴趣于积雪变化, 就是希望能够有助于弄清楚高原积雪的年代际演变

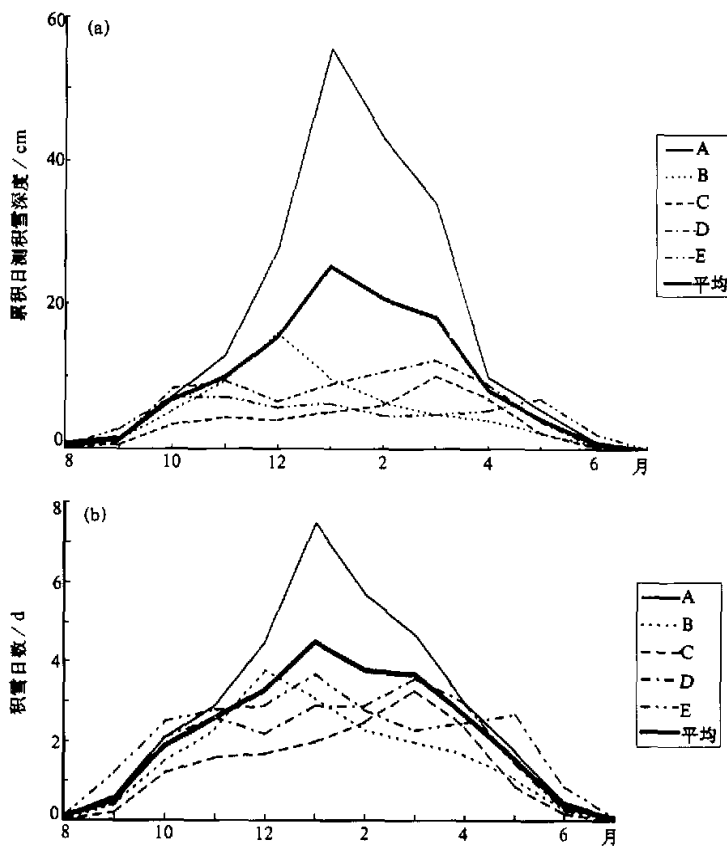


图 1 青藏高原积雪的年变化

(a) 月累积日测积雪深度; (b) 月积雪日数

A、B、C、D、E 为表 1 所列 5 种类型, 粗实线为 5 种类型平均

及其对周边环境的影响。虽然 SMMR 积雪资料有较好的代表性, 但年限太短, 不能满足我们的研究要求, NOAA 资料较长, 但对青藏高原这个区域来讲, 代表性有些欠缺。那么目前许多科学家应用的由李培基^[9]整理的地面气象站雪深资料对青藏高原的代表性如何, 值得我们深入研究, 因为这是关系到已有的一些统计关系的可信度和适用范围。

李培基^[9,10]研究认为, 青藏高原的积雪过程主要在 10 月至 3 月, 他研究所用的青藏高原 60 个基本气象站主要分布在高原东部地区和喜马拉雅山北麓地区, 各气象站建站或开始观测积雪的年份不一, 1957 年冬春才有 21 个积雪观测台站, 到 20 世纪 60 年代中期约增加了 1 倍, 20 世纪 70 年代中期进一步稳定到 58 个台站, 1981 年才具备了 60 个台站的规模。李培基用不同年份站点的冬春累积日测积雪深度的站平均值来代表整个青藏高原冬春积雪深度序列, 存在样本不一致的问题, 有可能造成对高原积雪变化的认识上的一些错误。本文对此加以深入分析。

本文选取了青海省和西藏自治区境内的 72 个气象站逐日观测的积雪深度作为基础的分析资料，资料下限均到 1999 年 12 月 31 日，由于青藏高原各气象站建站日期不同，最早的站点的资料上限是 1952 年 1 月 1 日，最晚的站点是 1978 年 1 月 1 日，大多数站点的资料上限是 20 世纪 50 年代末到 20 世纪 60 年代初。利用这一资料，我们从分析年变特征入手，对地面气象站观测的积雪深度的时空特征加以系统的客观分析和综合，建立一种表征高原积雪多寡的可靠指标，以便进一步检验和研究高原积雪对东亚季风 and 区域气候的影响及其机理。

2 青藏高原积雪的年变特征

本文中规定只有观测到 0.5 cm 以上深度的积雪才算地面有积雪。由于种种原因，气象台站不可避免地有缺测存在，在青藏高原，这一问题更不容忽视，大多数站点都存在缺测日，有些站点甚至存在长时段的缺测。对缺测资料的剔除和处理是一个十分重要的问题，这直接关系到所得结果的可信度问题。这里我们首先对高原积雪的年变程作一研究。我们将各月逐日观测的积雪深度累加，得到月累积日测积雪深度序列，同时将各月地面有积雪日数相加，作为月积雪日数序列，规定只要某月存在一日缺测，则当月月累积日测积雪深度和月积雪日数均为缺测。这样我们统计了各站多年平均的各月月累积日测积雪深度和月积雪日数，缺测月不参加平均计算。

根据计算结果，我们分别研究了 72 个气象站积雪的年变化特征，将它们分为 5 种类型（见表 1），对于多峰类型 D 和 E，在分析中已规定，次峰的值必须是主峰值的一半以上，否则认定次峰不存在。图 1 给出高原 72 站平均的和这 5 类所属站点各自平均的月累积日测积雪深度和积雪日数的年变化，综合来看，这 5 类积雪的年变化是明显不同的，高原积雪平均的年变程呈现第 1 类的特征。图 2 给出青藏高原 72 个站年变程类型的空间分布，可以看出，高原的 72 个站点主要分布在高原中东部地区，年变程类型 A 和 B 主要分布在高原中部和西南部，C 类主要分布在高原东南边缘，D 类则以高原东北部和东南部为主，E 类在 D 类和 A、B 类之间的过渡地带。

表 1 青藏高原地面积雪的年变程类型

类型	特征	站点数
A	单峰，峰值在 1 月（个别站在 2 月）	26
B	单峰，峰值在 12 月	12
C	单峰，峰值在 3 月	8
D	双峰，一个峰值在 11 月附近，另一个在 3 月附近	22
E	三峰，峰值主要在 10 月、1 月、5 月	4

结合图 1 和图 2，我们认为高原积雪的年变程并不完全一致，高原东南缘的积雪主要发生在 3 月份；高原东南和东北部的积雪一年有两个高值区：前冬 10 月至 12 月，后冬 2~4 月；高原中部和西南部的积雪主要在隆冬 12 月至 1 月；中部一些站点的积雪一年存在 3 个峰值：10 月、1 月和 5 月。

我们进一步分析了高原各站有积雪的月数，有 14 个站各月都发生过积雪，这些站

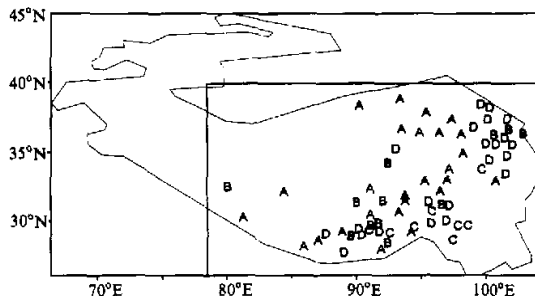


图2 青藏高原积雪年变程类型的空间分布
A、B、C、D、E表示表1所列5种类型，图形所示为青藏高原
海拔3 000 m廓线，小矩形为图3和图4表示的区域

主要分布在江河源头的高山区；而处于藏东南的林芝、加查、八宿等站，一年只有5个月（11~4月）有积雪，特别是最南的察隅站只有4个月（12~4月）发生过积雪，积雪来得晚，持续短；大多数台站都在9月至6月发生过积雪，但从量值上看（见图1），青藏高原的积雪主要发生在10月至5月份，9月和6月的积雪相对来说很少，7月和8月基本无积雪。

这里以上年8月1日作为开始，至当年7月31日结束，称作一个积雪年，即1958年表示1957年8月至1958年7月的年份，其余类推。我们统计了各站各年最早、最迟有积雪的月日、积雪日数、缺测日数、累积日测积雪深度和最大积雪深度，图3给出自建站以来各站出现过最早、最迟有积雪的月份，很明显，沿唐古拉山、念青唐古拉山、巴颜喀拉山、阿尼玛卿山以及喜马拉雅山坡的站点最早开始有积雪，8、9月份就会有积雪产生，并且这些地区最迟有积雪的月份也较晚，6、7月份还会有积雪存在；而柴达木盆地、青海湖盆地到湟水流域，沿雅鲁藏布江的河谷地带积雪出现得晚（10、11月），最迟出现积雪的月份却要早（5、6月份），雅鲁藏布江东段地带甚至最迟出现积雪的月份要提前到3、4月份。

图4给出多年观测到的高原各站最大年（上年8月~当年7月，下同）积雪日数、年累积日测积雪深度和最大积雪深度的分布，三者的高值区的分布是基本一致的，但极值站点有着一定的差别：沿喜马拉雅山脉是一高值区，最大年积雪日数从103天到154天，最大年累积日测积雪深度从1 630 cm到9 150 cm，最大积雪深度从47 cm到230 cm，其中聂拉木站的最大年累积日测积雪深度高达9 150 cm，最大积雪深度达230 cm，都是高原各站中最高的，最大年积雪日数为131天，也是非常高的；从高原中部长江源头的五道梁，沱沱河到藏北高原的安多、班戈、索县、嘉黎、杂多一带是另一高值区，最大年积雪日数从84天到169天，最大年累积日测积雪深度从426 cm到3 025 cm，最大积雪深度从20 cm到102 cm；还有一个高值区是在青海高原东部牧区的清水河、玛曲、达日、班玛一带，最大年积雪日数从72天到188天，最大年累积日测积雪深度从585 cm到1 360 cm，最大积雪深度从16 cm到25 cm，高原年最大积雪日数

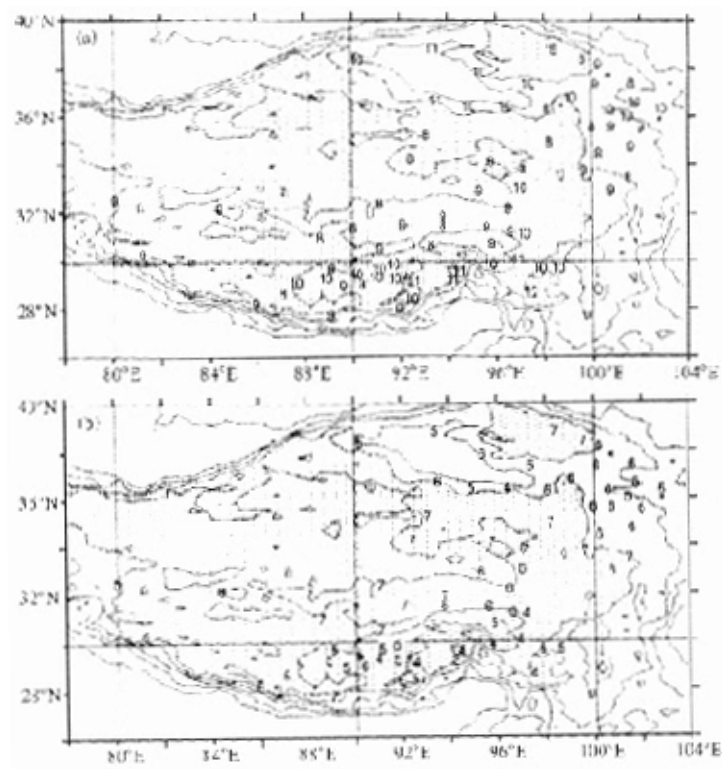


图 3 青藏高原各站多年观测到的地面积雪月份
(以 8 月为一年开始, 次年 7 月为结束, 图中数字表示月份)
(a) 最早; (b) 最迟

188 天出现在这一区域的清水河。三者的低值区都在日喀则地区, 最大年积雪日数从 3 天到 27 天, 最大年累积日测积雪深度从 9 cm 到 159 cm, 最大积雪深度从 6 cm 到 19 cm。

这里要说明的是, 高原西部由于没有站点, 积雪的分布和变化只能依靠其他手段的观测资料进行研究。

3 青藏高原冬春积雪的空间分布

上节分析表明, 青藏高原的积雪主要发生在 10 月至 5 月份, 高原的相当一部分站在 10 月和 5 月都有积雪的峰值存在, 所以在计算高原冬春积雪时, 我们并不能忽略 4、5 月的积雪。这里以上年 10 月 1 日作为开始, 至当年 5 月 31 日结束, 称作一个冬春积雪年, 即 1958 年冬春表示 1957 年 10 月至 1958 年 5 月共 8 个月份, 其余类推。我们统计了各站各冬春的积雪日数、缺测日数、累积日测积雪深度, 统计结果表明, 大多数台站在大多数冬春都有一定的缺测日存在, 如果将这些有缺测日存在的冬春年的积雪

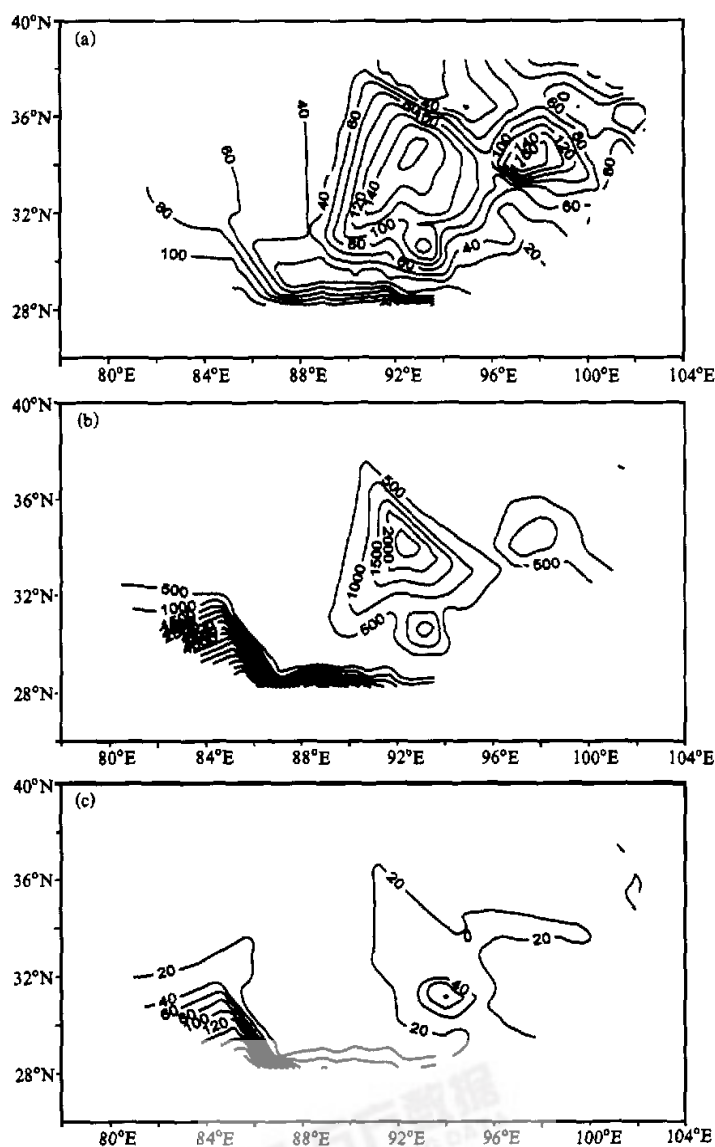


图4 青藏高原各站多年观测到的最大年(上年8月~当年7月)的积雪分布
(a) 积雪日数(单位: d, 等值线间隔 20 d); (b) 年累积日测积雪深度(单位: cm, 等值线间隔 500 cm); (c) 最大积雪深度分布(单位: cm, 等值线间隔 20 cm)

资料都舍去不用, 就没有多少资料可用, 我们只能在一定的精确度范围内使用分析这些资料。我们规定, 如果缺测日数在一定天数(在这些天中可能有雪也可能无雪)以内, 就保留使用这些冬春年的资料, 否则不使用冬春年资料。表2给出不同缺测日数下各冬

表 2 青藏高原各冬春年在不同缺测日数下可用资料的站点数

缺测日数	冬春年（上年 10 月 1 日至当年 5 月 31 日）															
	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968
0	0	1	4	8	12	14	21	22	28	25	31	30	31	29	32	28
8	0	3	4	9	16	23	29	37	40	38	45	42	43	45	45	44
16	0	3	5	10	18	27	30	37	42	44	48	47	49	50	50	50
24	0	3	5	10	18	28	33	37	43	47	48	50	50	52	51	53
32	1	3	5	10	20	28	34	37	44	47	49	51	51	52	53	54
40	1	3	5	10	20	29	34	37	44	47	49	51	51	52	53	54

缺测日数	冬春年（上年 10 月 1 日至当年 5 月 31 日）															
	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
0	32	34	30	31	33	30	34	32	32	32	40	37	34	36	34	35
8	44	46	44	47	48	51	51	50	51	48	54	56	57	59	53	61
16	52	53	52	50	54	56	56	58	55	51	64	63	65	68	64	67
24	53	54	54	55	56	57	59	59	58	57	65	68	71	71	68	69
32	53	55	55	56	56	58	59	60	60	60	66	69	72	72	70	71
40	53	55	55	56	56	59	59	60	60	61	66	69	72	72	72	71

缺测日数	冬春年（上年 10 月 1 日至当年 5 月 31 日）															
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
0	34	37	36	43	34	39	36	37	31	40	37	37	38	38	46	
8	55	59	58	58	60	57	61	58	55	57	57	60	59	55	64	
16	68	64	62	65	70	61	67	66	64	67	66	67	67	65	70	
24	70	69	68	71	70	65	70	69	69	68	70	71	71	68	72	
32	72	71	72	72	72	69	71	71	72	72	72	71	72	70	72	
40	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	71	72	71	72	

春年可用资料的站点数，可以看出，如果使用无缺测（缺测 0 日）的资料，只有 1999 年冬春可使用资料的站点达到 45 站；如果允许平均每月缺测 1 日（冬春 8 个月缺测 8 日），有 32 个冬春年份可使用资料的站点达到 45 站；如果允许平均每月缺测 2 日（冬春 8 个月缺测 16 日），有 37 个冬春年份可使用资料的站点达到 45 站；如果允许平均每月缺测 5 日（冬春 8 个月缺测 40 日），有 38 个冬春年份可使用资料的站点达到 45 站，比每月缺测 2 日仅仅多了 1 个冬春年份，改善不大。站点数和缺测数都会影响到将要求取的表征整个高原冬春积雪资料的序列的精度，这里允许平均每月缺测 2 日，在冬春 245 天（闰年 246 天）中，只允许缺测 16 日，这样保证自 1963 年冬春开始，就有不少于 45 个站的资料可供使用，而且从 1979~1999 年的冬春基本上都有 65 个左右的站点资料可用，在下面的计算（本节和下节）中都舍去了缺测 16 日以上的各站冬春积雪值。

图 5 是多年平均的高原冬春累积日测积雪深度、积雪日数以及它们的标准差的空间分布，可以看出，它们的分布与图 4 表示的最大年积雪日数、年累积日测积雪深度和最大积雪深度的分布是基本一致的，存在三个高值中心：一是由喜马拉雅山脉北麓沿线各站组成的南部高值中心（以普兰、聂拉木、帕里、错那站为代表，称之为高原南区），该区域的值远高于其他区域，尤其聂拉木站的值更是远高于其他站点；二是唐古拉山和念青唐古拉山的东段山区（以西藏的嘉黎、安多、那曲、班戈、索县和青海的杂多、

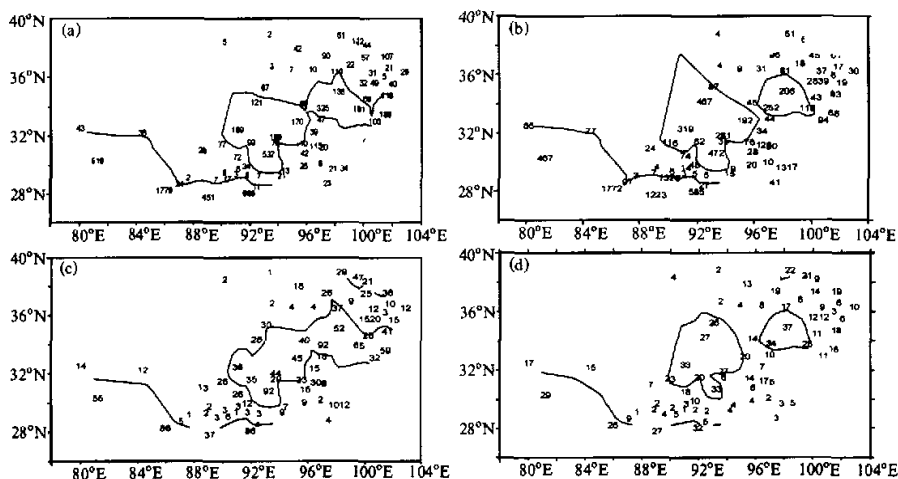


图5 青藏高原冬春积雪量的多年平均值

(a) 累积日测积雪深度 (单位: cm, 粗实线为 100 cm 等值线); (b) 累积日测积雪深度标准差 (单位: cm, 粗实线为 100 cm 等值线); (c) 积雪日数 (单位: d, 粗实线为 30 d 等值线); (d) 积雪日数标准差 (单位: d, 粗实线为 25 d 等值线)

沱沱河站为代表, 称之为高原东 1 区); 三是位于高原东部的阿尼玛卿山和巴颜喀拉山地区 (以青海清水河、玛多、达日、班玛、久治、河南站为代表, 称之为高原东 2 区)。

柴达木盆地和藏南谷地是少雪区, 藏南日喀则附近河谷地区的积雪最少。由于图 5 中标准差的分布与平均值分布基本一致, 所以, 积雪的高值区也是积雪变化的高值区, 由地面站点所观测到的高原积雪的变化也主要发生在上述东 1 区、东 2 区和高原南区。

4 青藏高原冬春积雪的年际和年代际变化

如何表征整个高原主体积雪的变化呢? 李培基^[10]用 60 个站积雪的站平均序列来表征, 由于资料的缺测, 该平均序列存在样本不一致的问题。关于这一点在引言中我们已作了说明。从图 5a 来看, 高原南区的积雪均值要比其他各站高得多, 仅聂拉木单站的积雪及变化就占据总值的 26%, 再加上南部的其他三站, 几乎占总值近一半, 使得高原冬春积雪深度的平均值序列主要反应高原南部积雪的演变状况。另外由于高原南部站点建立晚, 有积雪资料的年份较迟, 大大影响平均的积雪序列, 图 6 为包含聂拉木站 (虚线) 和不包含聂拉木站 (实线) 的青藏高原各冬春 (上年 10 月至当年 5 月) 年累积的日测积雪深度的站平均值序列, 图 6 的实线序列与李培基^[10]根据上年 10 月至当年 3 月计算的高原冬春站平均积雪深度序列的演变是基本一致的, 聂拉木站从 1972 年才开始有资料, 它的变化值相对又很高 (见图 5b), 这样造成了 1957 至 1971 年的站平均值

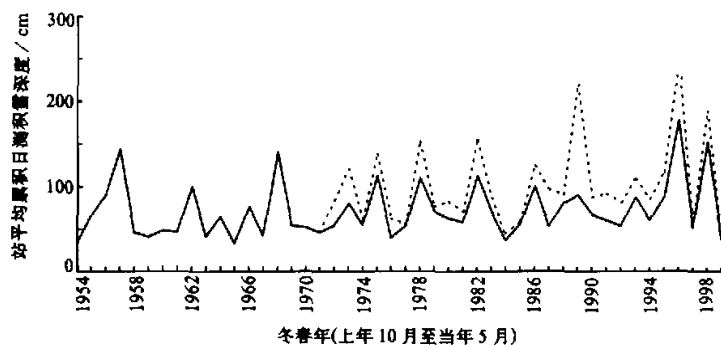


图6 包含聂拉木站(虚线)和不包含聂拉木站(实线)的青藏高原各冬春(上年10月至当年5月)年累积的日测积雪深度的站平均值序列

明显偏低,造成一种前期少雪和积雪变化剧烈的错觉(图6中实线);如果去除聂拉木站再平均,所得序列(图6中虚线)的年代际尤其是年际演变会有明显改变,比较图6中的实线和虚线,可以看出,去除聂拉木站后,一些积雪很大的年份(如1989年)变得小了,另一些明显异常的年份其异常程度也大大降低,积雪的年代际变化也较为平缓了。存在类似问题的站不止聂拉木一个。

根据上节的规定,我们在计算中要舍去缺测16日以上的各站冬春积雪值,由表1可以看出,1953至1956年冬春有资料的站点数都不到15个,1957年冬春达到18个,1960年冬春才超过半数36个,1966年冬春达到50个,最多年份有70个站点有资料。站点太少可信度就低,这里选择1960~1999年40个冬春作分析研究,为降低样本不一致特别是聂拉木站对整个高原序列的影响,在利用气象站点资料表征高原主体积雪的多寡变化时应该慎重。我们认为,高原的多少雪应该表现大多数站点的情况,既要考虑积雪深度、日数的情况,还要考虑到发生多雪的站点的数目。我们分别计算了代表高原积雪的4个序列:(1)高原冬春累积日测积雪深度标准化序列的站平均(图7中曲线a), (2)高原冬春累积日测积雪深度距平大于0的站数与无缺测总站数比值的标准化序列(图7中曲线b), (3)高原冬春积雪日数标准化序列的站平均(图7中曲线c), (4)高原冬春积雪日数距平大于0的站数与无缺测总站数比值的标准化序列(图7中曲线d)。可以看出,这4个序列的演变是基本一致的,由这4个序列各自确定的积雪异常年份基本没有矛盾,这4个序列所反映的年代际变化也是一致的。积雪日数和累积日测积雪深度的演变是基本一致的,但也存在差别,积雪日数主要考虑了积雪的持续性,积雪深度主要考虑的是积雪量,4个序列所确定的积雪异常年和所表达的年代际演变虽然一致,但在确定积雪异常年次序时还是有差别的,这里我们不研究这些差别,用这4个序列的平均(图7中曲线e)来代表高原积雪的演变。

从图7中曲线e可以看出,青藏高原积雪总的来讲呈平缓的增长态势(线性拟合系数为正,曲线略),20世纪60年代初积雪稍偏多,20世纪60年代中到20世纪70年代中是积雪偏少时期,20世纪70年代末到20世纪90年代是积雪偏多期。从20世纪60

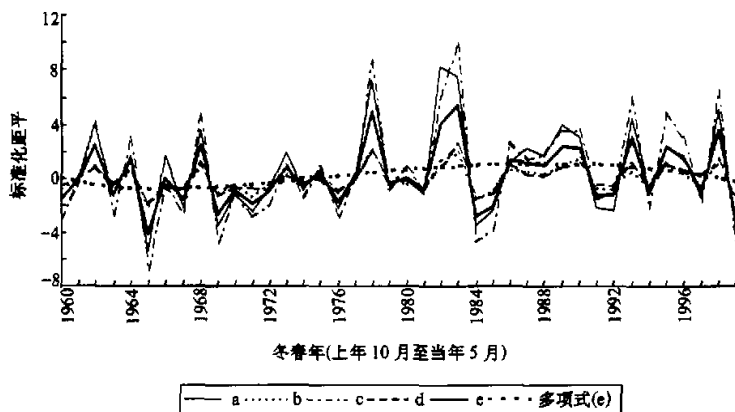


图7 青藏高原冬春累积积雪的4个序列及其平均

曲线 a: 高原冬春累积日测积雪深度标准化序列的站平均; 曲线 b: 高原冬春累积日测积雪深度距平大于 0 的站数与无缺测总站数比值的标准化序列; 曲线 c: 高原冬春积雪日数标准化序列的站平均; 曲线 d: 高原冬春积雪日数距平大于 0 的站数与无缺测总站数比值的标准化序列; 曲线 e: 青藏高原平均的冬春积雪标准化序列的年际变化及其 5 阶多项式拟合

年代中到 20 世纪 80 年代末, 积雪明显增加, 20 世纪 90 年代积雪又表现出减少的趋势。按照 1:2:1 为正异常: 正常: 负异常的原则, 我们根据图 7 中曲线 e 积雪的演变趋势确定出典型的多雪年冬春和少雪年冬春, 多雪年冬春为 1983、1978、1982、1998、1993、1962、1968、1989、1995、1990; 少雪年冬春为 1965、1999、1984、1969、1985、1971、1976、1967、1960、1991, 以便于进一步分析研究。所选定的这些年份中除 1982、1967 年外, 其他年冬春积雪的变化与 NOAA 卫星积雪面积序列 (参见文献 [4], 此处略) 不矛盾。

4 结论

(1) 高原积雪的年变程并不完全一致, 高原东南缘的积雪主要发生在 3 月份; 高原东南和东北部的积雪一年有两个高值区: 前冬 10 月至 12 月, 后冬 2~4 月; 高原中部和西南部的积雪主要在隆冬 12 月至 1 月; 中部一些站点的积雪一年存在 3 个峰值: 10 月、1 月和 5 月。青藏高原的积雪主要发生在 10 月至 5 月份, 9 月和 6 月的积雪相对来说很少, 7 月和 8 月基本无积雪。

(2) 高原沿唐古拉山、念青唐古拉山、巴颜喀拉山、阿尼玛卿山以及喜马拉雅山坡的站点最早开始有积雪, 8、9 月份就会有积雪产生, 并且这些地区最迟有积雪的月份也较晚, 6、7 月份还会有积雪存在; 而柴达木盆地、青海湖盆地到湟水流域、沿雅鲁藏布江的河谷地带积雪出现得晚 (10、11 月), 最迟出现积雪的月份却要早 (5、6 月份), 雅鲁藏布江东段地带甚至最迟出现积雪的月份要提前到 3、4 月份。

(3) 高原积雪存在三个高值中心: 一是由喜马拉雅山脉北麓沿线各站组成的南部高

值中心, 该区域的值远高于其他区域, 尤其聂拉木站的值更是远高于其他站点; 二是唐古拉山和念青唐古拉山的东段山区; 三是位于高原东部的阿尼玛卿山和巴颜喀拉山地区。

(4) 青藏高原积雪总的来讲呈平缓的增长态势, 20 世纪 60 年代初积雪稍偏多, 20 世纪 60 年代中到 20 世纪 70 年代中是积雪偏少时期, 20 世纪 70 年代末到 20 世纪 90 年代是积雪偏多期。从 20 世纪 60 年代中到 20 世纪 80 年代末, 积雪明显增加, 20 世纪 90 年代积雪又表现出减少的趋势。高原多雪年冬春为 1983、1978、1982、1998、1993、1962、1968、1989、1995、1990; 少雪年冬春为 1965、1999、1984、1969、1985、1971、1976、1967、1960、1991。

参 考 文 献

- 1 Blanford, H. F., On the connection of the Himalayan snowfall with dry winds and seasons of drought in India, *Proc. Roy. Soc. London*, 1884, 37, 3~22.
- 2 陈烈庭、阎志新, 青藏高原冬春积雪对大气环流和我国南方汛期降水的影响, 中长期水文气象预报文集 (1), 北京: 水利电力出版社, 1978, 185~194.
- 3 陈烈庭、阎志新, 青藏高原冬春季异常雪盖影响初夏季风的统计分析, 中长期水文气象预报文集 (2), 北京: 水利电力出版社, 1981, 133~141.
- 4 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, *应用气象学报*, 1994, 5(1), 62~67.
- 5 郭其德、王继琴, 青藏高原冬春积雪及其对东亚季风的影响, *高原气象*, 1986, 5(2), 116~124.
- 6 韦志刚、罗四维、董文杰等, 青藏高原积雪资料分析及其与我国夏季降水的关系, *应用气象学报*, 1998, 9 (增刊), 39~46.
- 7 李培基, 高亚洲积雪监测, 冰川冻土, 1996, 18 (增刊), 105~114.
- 8 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, *高原气象*, 1995, 14(2), 67~73.
- 9 李培基, 高亚洲积雪分布, 冰川冻土, 1995, 17(4), 297~298.
- 10 李培基, 青藏高原雪灾时空分布特征, 牧区雪灾的分析研究, 北京: 气象出版社, 1998, 15~18.

Spatial Distributions and Interdecadal Variations of the Snow at the Tibetan Plateau Weather Stations

Wei Zhigang

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute,
Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Huang Ronghui, Chen Wen and Dong Wenjie

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract By using the data of snow depth of 72 weather stations standing in Qinghai Province and Tibet Autonomous Region, the spatial distributions and interdecadal variations of the snow on the Tibetan Plateau are analysed. The result shows that the annual variations of snow are not fully consistent in different areas of the Plateau. The main snow falls in March on the Southeast edge of the Plateau, from October to December and from February to April in the Southeast and the Northeast Plateau, from December to January in the Middle and the Southwest Plateau. The snowfall exists in three main periods: October, January and May at several stations in the middle Plateau. The mean snow

in the Plateau mainly falls from October to May, falls much fewer in September and June, and almost no snow falls in July and August. We assume a year starts from August and ends in July. In the Plateau, the earliest snow starts in August or September and the latest snow ends in June or July at the weather stations along the Tanggula Range, Nyainqentanggula Range, Bayan Har Mountains, A'nyemaqen Mountains and Himalayas Mountains. The snow of the Qaidam Basin, from Qinghai Lake Basin to the drainage area of the Huangshui River and in the basin of the Yarlung Zangbo River starts late (in October or November) and ends early (in May or June). The snowfall in the east basin of the Yarlung Zangbo River ends in March or April. There are three centers of the maximal snow on the Tibetan Plateau: the southern center at the northern foot of the Himalayas Mountains, the mountainous area in the east Tanggula Range and east Nyainqentanggula Range and the mountainous area in A'nyemaqen Mountains and Bayan Har Range on the east Plateau. The snow on the Tibetan Plateau increased over the last 40 years. The snow was rich at the initial stages of the 1960s, little from the middle stages of the 1960s to the middle stages of the 1970s, rich again from the later stages of the 1970s to the later stages of the 1990s. The snow obviously increased from the middle stages of the 1960s to the later stages of the 1980s, and decreased in the 1990s. The rich snow winter-spring years (from October of the previous year to May of the current year) are 1983, 1978, 1982, 1998, 1993, 1962, 1968, 1989, 1995 and 1990. The little snow winter-spring years are 1965, 1999, 1984, 1969, 1985, 1971, 1976, 1967, 1960 and 1991.

Key words: Tibetan Plateau; snow; variation character

