

# 青藏高原降雪的气候学分析

邹进上 曹彩珠

(南京大学大气科学系)

## 提 要

青藏高原上的自然天气季节和大气环流与我国东部平原极不相同，因此，高原上的降雪，无论是时空分布，或者是降雪天气系统都有很多特殊性。

本文根据1966—1975年青藏高原气象资料，阐述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六种天气型式；分析了大气环流季节变化与高原降雪之间的联系。高原降雪主要集中发生在冬夏环流的转换季节。

## 一、引言

青藏高原是世界上最大的高原，南北宽约12个纬距，东西长约30个经度，平均海拔高度在4km以上。如此庞大的高原，耸立在中纬度西风和热带东风的交替地带，加上复杂地形的影响，在我国气候区划上构成了一个独特的气候单位<sup>[1-3]</sup>。

由于青藏高原上的自然天气季节、环流条件与我国东部不同<sup>[4]</sup>，所以高原上降雪的天气气候特征，包括降雪集中期、降雪日数年分配、降雪量及降雪天气系统等均与我国东部平原迥异。本文根据高原常规观测资料<sup>[1,2]</sup>，分析青藏高原上自然降雪的时空分布规律、有利降雪的气象条件和天气型、大气环流季节变化与高原降雪之间的联系等，旨在为高原降雪的中长期预报和人工融冰化雪提供依据，并为高原气候学研究作一些补充。

## 二、青藏高原降雪的气候学特征

### 1. 降雪日数的时空分布

图1为青藏高原全年降雪日数的地理分布。嘉黎、那曲、索县等地为一高值区，全年降雪日数为60天或60天以上，其中嘉黎达104天；巴颜喀拉山以南和唐古拉山以北为另一相对高值区，全年降雪日数可达60天以上；位于雅鲁藏布江流域的测站，由于海拔高度较低，又因喜马拉雅山对水汽屏蔽的影响，全年降雪日数在20天以下，呈现出明显的东西向低值带，如拉萨、日喀则全年降雪日数不到10天。可见，测站的

1987年3月4日收到，6月3日收到修改稿。

1) 西藏自治区气象局：西藏自治区逐日气候资料(1966—1975)，1976年2月。

2) 西藏25站、青海10站降雪资料。

地理位置(纬度)、海拔高度、山脉及其走向对降雪日数分布的影响很大。

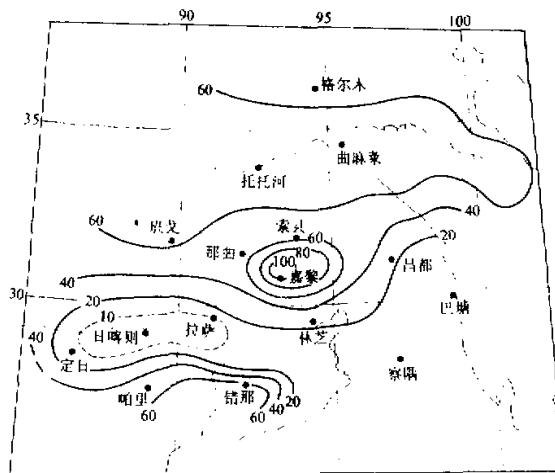


图1 青藏高原全年降雪日数的地理分布(1971—1980年平均)

我国东部降雪日数以1月份或2月份最多，而青藏高原上则不然。它是一个具有独特气候的地区。从图2可以看出，高原上测站的降雪日数年变化有两个明显的峰：一个出现在4月或5月(个别站出现在3月)；另一个出现在9月或10月。绝大多数降雪日数峰值是发生在地面月平均气温由负值转为正值，或者由正值转为负值的季节，也就是说，当地面平均气温在0℃附近而又高于0℃时最易发生降雪。

普查发现，青藏高原各站降雪日数峰值出现的月份具有明显的区域性。图3为青藏高原各测站第一峰值出现的月份(由冬至夏过渡季节降雪)，高原东南部降雪日数峰值出现的月份最早(2—3月份)，由高原东南向西北逐渐延迟。自囊谦、嘉黎、拉萨至帕里存在一条明显的分界线，在此线东南降雪日数峰值出现在4月份，此线西北降雪日数峰值均出现在5月份。

第二峰值(图4)出现的时间(从夏至冬过渡期降雪)以西北部最早(9月份)，自西北向东南逐渐延迟，如安多、班戈为9月，那曲、当雄、拉萨、嘉黎为10月，昌都、林芝、泽当为11月。高原东南部，也就是横断山脉及其南部，降雪日数分布全年只有一个不太明显的峰，一般出现在冬季月份(12月至翌年2月)。

## 2. 各级日降雪量出现频数

将日降雪量分为四级( $<5\text{mm}$ ,  $5-9.9\text{mm}$ ,  $10-14.9\text{mm}$ ,  $\geq 15\text{mm}$ )，统计嘉黎、那曲等站4—6月和9—10月各级日降雪量出现频数。结果表明：降雪量小于5mm的日数占绝大多数，例如，嘉黎站10年内4—5月份降雪量小于5mm的总日数竟达256天，那曲为139天；日降雪量 $\geq 5\text{mm}$ 的日数相对地要少得多，例如，嘉黎站4—5月份总共为53天(表1)。

青藏高原上冬季完全受中纬度冷气团控制，气温低，水汽稀少，不仅降雪量小，而且次数也很少。自4月份起，降雪日数和降雪量均急剧增加，5月份达到峰值。

大于或等于15mm的强降雪主要出现在5月末和6月份，这与高原东部的低涡发

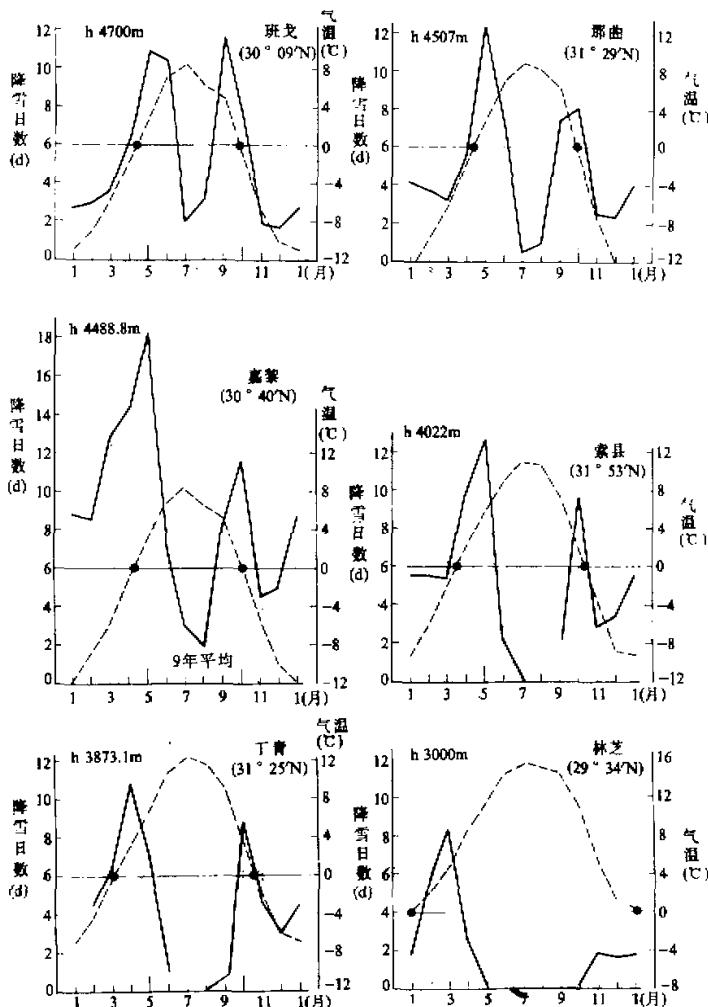


图2 青藏高原上某些代表性测站(不同海拔高度)降雪日数年变化  
实线：降雪日数 虚线：地面月平均气温(℃)

展和西风槽前暖湿气流盛行有关。嘉黎降雪量极值为36.1毫米，出现在1970年5月29日。

9月份高原上对流活动强，多雹夹雪或雹夹雨天气。10月份高原上气温急剧下降，接近0℃，降雪日数迅速增加，出现第二峰值，但日降雪量 $\geq 5\text{ mm}$ 的日数却略有减少。

必须指出的是：由冬至夏地面气温升高较快，降雪量虽大，但易于融化，不致积雪成灾；而自夏至冬过渡期则相反，日降雪量 $\geq 5\text{ mm}$ 的次数虽逐月减少，但降雪日数却逐渐增多，10月份（有些测站为11月份）达第二峰值。由于中纬度冷空气的不断侵袭，加上高原总辐射逐月递减，地面气温很快下降至0℃以下，故每发生一次较大降雪过程，常造成积雪，长久不化，往往给交通、畜牧业带来严重灾害。

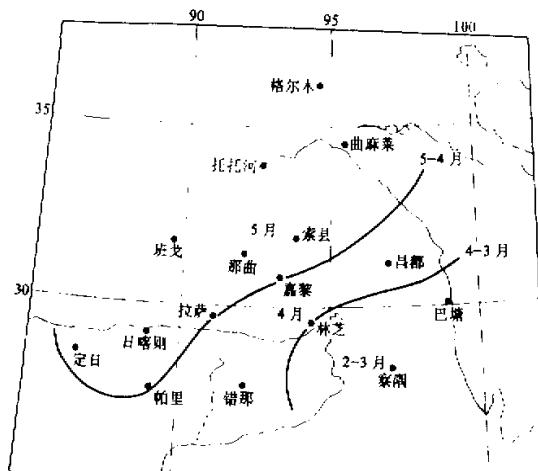


图3 第一峰值(从冬至夏过渡期降雪)出现的月份

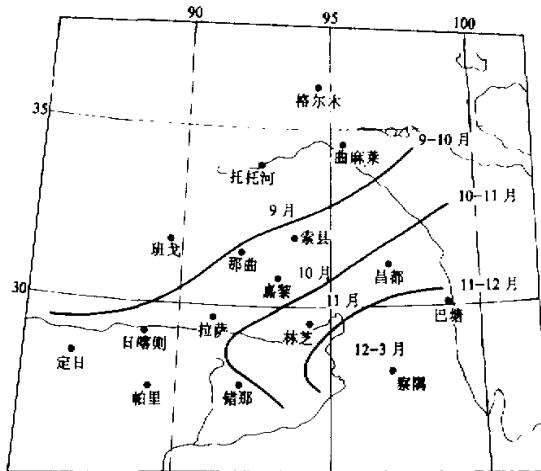


图4 第二峰值(从夏至冬过渡期降雪)出现的月份

### 三、青藏高原降雪的有利气象条件及其物理解释

青藏高原上降雪有三个主要气象条件：

1) 500 hPa 上温度在  $-2 - -12^{\circ}\text{C}$  范围内。统计结果指出：当降雪大于 5 mm 时，4—6 月份气温变动在  $-6 - -10^{\circ}\text{C}$  范围内，而 9—10 月份则变动在  $-2 - -6^{\circ}\text{C}$  范围内（如表 2 所示）。

2) 必须有较充沛的水汽供给。统计表明：当发生大于 5 mm 降雪时，500 hPa 上比湿变动在 1—7 g/kg 范围内。4—6 月份当比湿为 2—4 g/kg 时，出现降雪次数最多；而 9—10 月份出现降雪最多的湿度条件则是 3—5 g/kg（表 3）。

表 1 各月各级日降雪量出现频数(天)和极值(1966—1975年)

测站 月份	级别 (mm)					极值 (mm) (日期)
		<5	5—9.9	10—14.9	≥15	
嘉	4	121	12	2	0	13.7 (71.4.25)
	5	135	24	10	5	36.1 (70.5.29)
	6	15	7	8	21	35.7 (67.6.29)
黎	9	26	16	6	7	19.2 (71.9.27)
	10	85	6	2	1	25.5 (70.10.11)
那	4	41	3	0	0	7.8 (68.4.27)
	5	98	17	2	0	10.7 (73.5.23)
	6	30	10	8	7	31.8 (73.6.18)
	9	30	16	5	2	28.6 (68.9.12)
	10	59	5	3	1	17.1 (72.10.8)

3) 必须有与上升运动相联系的低值系统，如西风槽、低涡切变线、孟加拉湾风暴、锋面系统等。由于西风槽前或孟加拉湾风暴东北部盛行偏南暖湿气流，给高原输送大量的热量和水汽，为降雪提供了“原料”。

普查1966—1975年4—6月和9—10月500 hPa天气图，将日降雪量大于或等于5 mm的天气形势归纳为六种降雪天气型(图5)。下面简述各类天气型的基本特点和出现频数(表4)。

### 1. 西风槽

这是一种最常见的降雪天气型式，特别是4—5月份出现次数最多。当西风槽在高原南部并由西向东移行时，槽前暖湿平流很强，为高原输送大量水汽，造成大范围降雪。1970年5月28—29日是西风槽降雪的典型例子。

### 2. 西风槽叠加

这是南北两个西风槽叠加，造成降雪的一种天气型式。北面西风槽的作用在于引导冷空气南下，而南面西风槽的作用则在于向高原输送暖湿空气。这两个西风槽的移速也不一样，前者快而后者慢。1966年10月3—5日是西风槽南北叠加的例子。

这种天气型主要出现在5月和10月。

### 3. 低涡切变

青藏高原是产生低涡的重要场所。特别是4—6月低涡产生频率很大，在低涡前部往往有很明显的暖式切变，降雪就发生在低涡前部暖式切变线附近。1966年6月中旬连续出现了两次低涡切变天气型，嘉黎站曾降落22.5 mm的大雪。

### 4. 孟加拉湾风暴

这种天气型主要发生在夏季，但5月下半月和10月份也偶有发生。当孟加拉湾风

表2 降雪大于5 mm时500 hPa上各级气温出现频数

气温级别(℃)	>-2	-2—-4	-4.1—-6	-6.1—-8	-8.1—-10	-10.1—-12	-12.1—-14	<-14
4—6月 频 数	17	48	54	77	90	35	18	10
9—10月 频 数	10	48	70	31	19	10	9	3

资料年代：1966—1975年每日08时（北京时）拉萨、那曲、沱沱河沿（托托河）三站探空资料  
合并统计（表3同）。

表3 降雪大于5 mm时500 hPa上各级比湿出现频数

比湿级别(g/kg)	<1.0	1.0—2.0	2.1—3.0	3.1—4.0	4.1—5.0	5.1—6.0	6.1—7.0	>7.0
4—6月 频 数	6	44	92	112	44	34	12	1
9—10月 频 数	0	11	25	55	64	32	11	0

暴（或印度季风低压）接近85°E高原南侧时，其前部的东南气流沿横断山脉河谷涌上高原，如高原上有冷锋切变，极易造成大雪。1967年6月份嘉黎两次大的降雪（6月7日为32.4 mm，29日为35.7 mm）均与孟加拉湾风暴或印度季风低压有关。

### 5. 横向切变

横向切变线的形成主要与高原北部的小高压活动有关。在横向切变线上往往还有中尺度低涡，造成较大的降雪。此时高原南部常有较浅的西风槽配合，以利于降雪区水汽的补充。这种天气型多出现在4—5月和9月。1971年5月6—7日嘉黎正好位于横向切变线附近，日降雪量达23.4 mm。

### 6. 冷锋切变

这种天气型主要发生在9—10月。当高原北部西风槽东移时，槽线北段移速快，而南段移速慢，因而形成冷锋式切变。在切变线和低涡附近发生大雪。1970年10月1日是一次带有低涡的冷锋切变，嘉黎曾降雪25.5 mm。

可见，这些低值系统不仅出现在夏季<sup>[3]</sup>，而且也发生在过渡季节。

何以降雪日数峰值是出现在5月（丁青、嘉黎、拉萨、帕里一线以南为4月）和10月（杂多、那曲一线以北为9月）呢？何以大于10 mm的降雪几乎都出现在5月下半月和6月份，以及9月下半月或10月上半月呢？这主要决定于高空温湿条件和环流条件。

为了弄清这个问题，我们还分析了80—90°E 100 hPa上南亚高压脊线位置的季节变化（表5）。分析发现：脊线自南向北越过25°N的日期是在5月份，紧接着高原

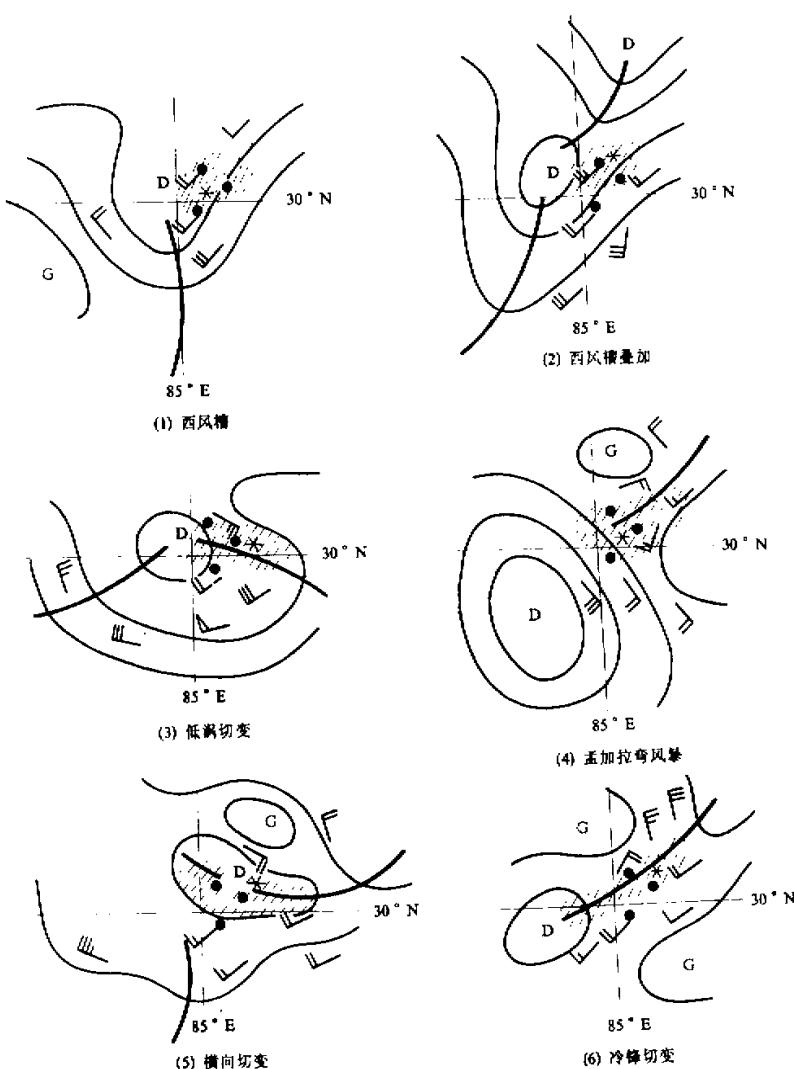


图 5 青藏高原降雪的六种主要天气型式

阴影区为降雪区；G 为高压中心，D 为低压中心；那曲、嘉黎、拉萨的地理位置由三个小黑圆点表示。

南侧西风急流北撤，于是高原夏季来临；脊线自北向南越过  $25^{\circ}\text{N}$  的日期却发生在 10 月份，紧接着南支西风建立，于是高原冬季开始。另外，印度西北部  $500\text{ hPa}$  上高压代替低槽标志着冬季环流向夏季环流转变；如果上述地区低槽发展代替了高压，则表示冬季环流开始。上述环流转换日期均已列入表 5 中。

可见，5 月份和 10 月份正是青藏高原的过渡季节，或者说，是冬夏环流的转换期。

表4 各类降雪天气型的出现频数

月份 天气型 \ 月 份	4	5	6	9	10	总次数
西风槽	21	22	10	14	10	77
西风槽叠加	0	3	0	0	2	5
低涡切变	4	7	7	2	1	21
孟加拉湾风暴	0	3	4	10	2	19
横向切变	0	4	2	2	0	8
冷锋切变	1	1	1	2	2	7

资料年代：1966—1975年。

在这段时期内，与上升运动相联系的低值天气系统和高空温湿条件均有利于高原降雪。

表5 青藏高原冬夏环流转换日期

环流 特征 年份	由冬到夏环流转变日期			由夏到冬环流转变日期		
	南亚高压脊 线越过 25°N (↑) 的日期	印度西北部 500 hPa 上高 压出现日期	500 hPa 上 南支急流北 撤日期	南亚高压脊线 越过 25°N (↓) 的日期	印度西北部 500 hPa 上低 槽出现日期	500 hPa 上 南支急流 建立日期
1966	15/5	11/5	18/5	30/9	25/9	6/10
1967	24/5	19/5	24/5	8/10	2/10	9/10
1968	29/5	22/5	31/5	4/10	4/10	5/10
1969	23/5	21/5	26/5	5/10	1/10	6/10
1970	10/5	9/5	18/5	15/10	8/10	23/10
1971	18/5	17/5	27/5	11/10	11/10	14/10
1972	24/5	15/5	26/5	2/10	1/10	7/10
1973	15/5	6/5	23/5	16/10	6/10	16/10
1974	13/5	5/5	22/5	13/10	9/10	22/10
1975	24/5	8/5	27/5	10/10	10/10	13/10

表6 1971年5月上旬那曲等站旬降雪总量

站名	那曲	当雄	申扎	班戈	安多	杂多	托托河	察县	嘉黎	丁青	囊谦	清水河
旬降雪量 (mm)	27.8	30.1	21.8	27.5	33.4	21.4	7.9	38.2	57.4	35.8	20.6	13.5

#### 四、实况

图6为1971年那曲站降雪实况(图6a)和东亚环流季节转换的关系。4月18日南亚高压脊线第一次到达 $25^{\circ}\text{N}$ 以北，经过两次南退过程，于5月18日越过 $25^{\circ}\text{N}$ ，以后急剧北上。5月27日500 hPa上高原南侧西风急流北撤，在这一段时间内，那曲地面气温在 $0^{\circ}\text{C}$ 附近变动，降雪日数特别多。这一年5月份，那曲降雪26天，是有记录以来降雪日数最多的一个月。降雪量也很大，特别是5月上旬，青藏高原多数测站旬降雪量达20—57 mm之多(表6)。

500 hPa图上5月初高原南侧为带有低涡的西风槽，高原西北侧为移动性小高压，不断经过高原北部，造成横向涡切变，切变线位于巴塘、嘉黎、班戈一线，涡中心正好在嘉黎、索县、那曲地区。这个涡切变系统自5月6日起在高原上持续了近6天并伴有强降雪。5月27日以后，南亚高压脊线移到 $29^{\circ}\text{N}$ 以北，地面气温急剧升高，降水形式也转变为降雨或雪夹雹了。

9月24日南亚高压脊线第一次南退至 $25^{\circ}\text{N}$ 以南，10月上旬又出现一段北移过程，至10月11日最后退至 $25^{\circ}\text{N}$ 以南。10月14日高原南侧西风急流建立，之后，高原乃进入冬季，盛行较强的西风或西北风，气温下降，水汽稀少，降雪亦少。

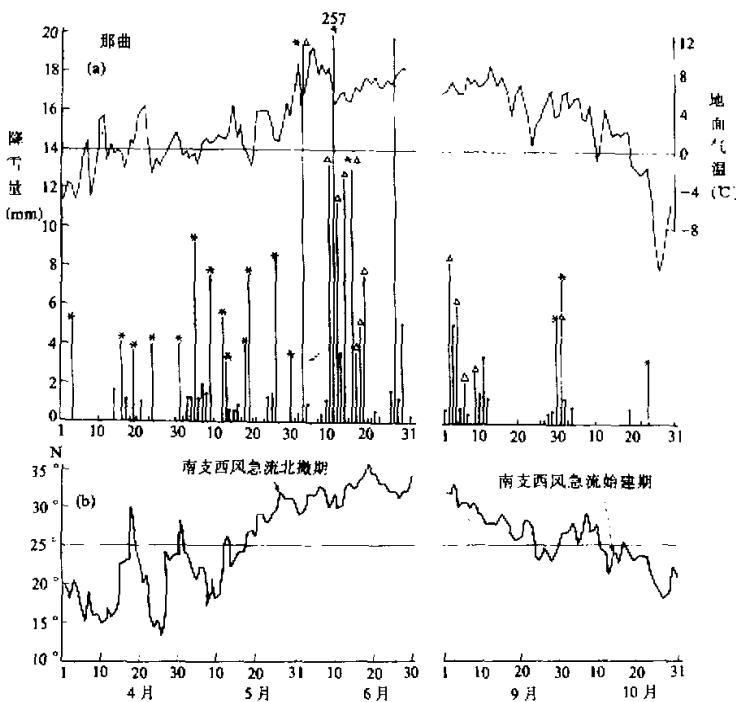


图6 1971年那曲站降雪情况(a)与南亚高压脊线位置的季节变动(b)

(a) 中曲线为地面日平均气温( $^{\circ}\text{C}$ ) (b) 中曲线为南亚高压脊线逐日位移

## 五、结 论

综上所述，可以得到下列几点结论：

(1) 青藏高原上的降雪主要集中在4—5月和9—10月，也就是发生在冬夏环流的转换季节。冬季月份内，高原受单一的冷气团控制，温度低，水汽少，故降雪次数少，日降雪量一般小于5mm。

(2) 高原上降雪日数峰值出现的月份具有明显的区域性。第一峰值出现的月份，高原东南部最早(2—3月份)，由高原东南向西北逐渐延迟；第二峰值出现的月份，高原西北部最早(9月份)，由高原西北向东南逐渐推迟。降雪次数、降雪量及其地理分布不仅取决于温湿条件和环流情况，而且还受地形屏蔽的作用和海拔高度以及雅鲁藏布江河谷的影响。

(3) 高原上降雪的有利气象条件是：

1) 500hPa 上温度在-2—-12℃范围内；  
 2) 当降雪量大于5mm时，500 hPa 上的比湿一般变动在1—7g/kg范围内，4—6月份有利于降雪的比湿条件(2—4g/kg)要低于9—10月份(比湿为3—5g/kg)；

3) 必须有与上升运动相联系的低值系统，可以将这些系统的配置情况归纳为六种降雪天气型，即：西风槽；西风槽叠加；低涡切变；孟加拉湾风暴；横向切变；冷锋切变。其中带有低涡的西风槽和孟加拉湾风暴常伴随着强降雪，横向切变降雪时间最持久。

(4) 印度西北部500 hPa 上最早出现高压，南亚高压脊线由南向北越过25°N，南支西风急流北撤，可以作为高原环流从冬向夏的转换标志；从夏向秋环流的转换相反：印度西北部出现低槽，南亚高压脊线同北向南越过25°N，高原南侧西风争流建立。高原上冬夏环流的转换季节正是高原降雪的集中期。

上述冬夏环流转换日期的确定，温湿指标的选取，对高原降雪的中、长期预报显然是有益的。

致谢：石宗祥同志为本文绘制了全部附图，作者在此深表谢忱。

## 参 考 文 献

- [1] 朱炳海，1962，中国气候，科学出版社，337—358。
- [2] 高由禧、徐淑英、郭其蕴、章名立，1962，中国的季风区域和区域气候，东亚季风的若干问题，科学出版社，49—63。
- [3] 盛承禹等，1986，中国气候总论，科学出版社，89—98。
- [4] 中央气象局，1975，中国高空气候，科学出版社，第一章，1—61。
- [5] 叶笃正、高由禧等，1979，青藏高原气象学，科学出版社，141—152。