

我国阿尔泰山现代冰川的基本特征

——以哈拉斯冰川为例

王立伦 刘潮海 康兴成 尤根祥

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

阿尔泰山是我国纬度最高(45°47′—49°10′N)、又唯一属于北冰洋水系的冰川区。虽然一些国内外学者曾在中、低山进行过地质地貌调查,也涉及到第四纪冰川作用^[1-6],但有关现代冰川的考察研究却是空白。

1980年,中国科学院兰州冰川冻土研究所组织了阿尔泰山冰川冻土考察队,首次对阿尔泰山最大的山谷冰川,即哈拉斯冰川(5 A255E21)进行了半定位研究,观测了该冰川的积累、消融、冰川温度和运动速度等,并对哈拉斯河流域和其东部地区作了线路考察。本文仅以哈拉斯冰川为例,就现代冰川的若干特征概述如下。

一、现代冰川发育的自然条件

阿尔泰山是亚洲中部的宏伟山系,全长1600公里。我国阿尔泰山属该山脉的中段,为一系列走向北西—南东的高大山体,山脉长达500余公里,最宽处约150公里。山峰海拔高度一般在3800米以上,中蒙边境上的友谊峰海拔4374米,为阿尔泰山脉的最高峰,是现代冰川集中发育的地区。由此向西和东南,山势逐渐低缓,海拔高度降至3400—3800米,并且山脉愈益狭隘,仅发育有少量的小型冰川。

阿尔泰山在构造上系褶皱断块山,经过几次剥蚀和隆升,成为现代高峻的山脉,加之第四纪以来的冰川和河流强烈侵蚀作用,使山地更加破碎,改变了气流运行方向,并使地形遮蔽度增大,减少太阳辐射收入,从而更加有利于冰川的发育。

阿尔泰山气候主要受西风气团的影响和支配,使夏季多云,并带来大量的降水;冬季处于强大的西伯利亚反气旋影响之下,以晴朗而严寒的天气为主。来自北冰洋的极地气团,沿额尔齐斯河谷入境,带来了低温和降雪天气。在上述气团影响下,阿尔泰山区气候有气温低,年较差大,以及降水丰富,年内分配较均匀等特点。阿尔泰山麓地带气象资料见表1。

依据阿勒泰站3000—4000米的高空资料所计算的0.59℃/100米的气温垂直递减率推算,年平均0℃等温线在1100—1300米间。雪线附近年平均气温可达-7—-8℃。山麓地带冬季长达5—6月,冰川带的冬季至少有8—9个月。据1980年哈拉斯河源2300米的气象观测资料,该处七月份的平均气温为10.8℃,夏季仅有2—3个月。由此推算,冰

表 1 阿尔泰山麓各气象站的有关要素统计

Table 1. Statistics of meteorological elements from five station at piedoment of Mt. Altay

台 站	拔海高度 (m)	资料 年限 (年)	平均气温(°C)			平均降水量(mm)			年 较 差(°C)		
			年	5—9月	10—4月	年	5—9月	10—4月	1月平均	7月平均	年较差
哈 巴 河	533	22	4.0	17.9	-5.9	166.5	91.6	78.1	-16.7	22.6	39.3
布 尔 津	474	20	4.0	18.5	-6.3	116.6	67.0	51.5	-17.3	22.5	39.8
阿 勒 泰	735	25	4.1	18.5	-6.4	176.4	83.3	96.2	-16.8	22.5	39.3
富 蕴	803	19	1.8	17.4	-9.6	157.7	74.8	83.2	-19.4	22.8	42.2
青 河	1218	22	-0.2	14.8	-10.9	158.9	93.2	69.1	-22.9	18.6	41.5

川粒雪线(3000—3100米)附近七月份的月平均气温为4°C左右,0°C层高度可达3800米。严寒而漫长的冬季和温暖而短促的夏季,使该区年较差大,极端年较差可达50°C以上。阿尔泰山区降水主要来自西风水汽输送,极地气团的频繁过境也使得冬春季节降雪量较大。山麓地带年降水量在150毫米以上,较邻近的准噶尔盆地丰富。随着拔海高度的增加降水量明显增大,其递增率为20—28毫米/100米。据此推算,雪线附近的降水量可达600—800毫米。冬春季节降水量在年内分配中约占45—50%,积雪厚度在2000米以上的山地可达1.5—2.0米。较丰沛的降水,特别是冬春季节的降雪与低温相结合,有利于寒温带泰加林景观的形成,并对冰川补给类型、冰川温度等特征以深刻影响。

二、现代冰川的基本特征

(一) 现代冰川分布概况

阿尔泰山在我国境内共计有冰川416条,面积293.20平方公里,估计储冰量164.92亿立方米¹⁾。主要分布在哈巴河、布尔津河等主要支流源头。其中布尔津河流域有冰川302条,面积247.55平方公里,分别占该山区冰川条数和面积的72.6%和84.4%,是我国阿尔泰山区最大的冰川作用区(表2)。由此向东南的诸河流域的冰川数量减少,并以悬冰川为主要类型。

阿尔泰山区84.2%的冰川面积小于1平方公里,而大于1平方公里的冰川条数虽占15.8%,面积却占山区冰川总面积的67.4%。其中大于5平方公里的冰川只有7条,全集中在布尔津河上游,大于10平方公里的3条冰川均发育在哈拉斯河源(图1)。哈拉斯冰川长10.8公里,面积30.13平方公里,末端海拔2416米,是我国阿尔泰山最大的复式山谷冰川,也是我国末端最低的冰川。该冰川由五支冰流组成,并在汇入主流时形成了四道中碛。这些中碛在2700米以下的冰面上散开,形成了不连续的表碛覆盖区,见有冰蘑菇、“蚁丘”等形态。

1) 刘潮海等,中国阿尔泰山区冰川目录,1982年。

阿尔泰山区冰川雪线在2850—3350米之间，是我国冰川雪线最低的山区。由于山脉拔海高度和降水量自西北向东南降低和减少，雪线也相应自西北向东南升高，即由哈巴河和布尔津河源的2850—3000米，升高到喀依尔提河一带的3350米，其递增梯度为180米/100公里。阿尔泰山区平均冰川积累区比率(AAR)为0.70，大于瑞士阿尔卑斯山冰川稳定状态的0.66^[7]，小于祁连山的0.75。

(二) 冰川物质积累特征

阿尔泰山区冰川带冷季为冰川主要补给期，其补给量占冰川总积累量的50%以上，和祁连山区冰川积累和消融都集中于暖季的特点^[8]形成鲜明的对比。

哈拉斯冰川左、右两支粒雪盆中的雪坑剖面 and 资料如图2所示。哈拉斯冰川右支雪坑(3380米)的雪层厚度为294厘米，可明显分为两个年层，纯积累量分别为579.6(1979/1980年)和714.0(1978/1979年)毫米水层，平均为646.8毫米水层。该雪坑接近冰川渗浸带的上界，考虑到内补给和消融流失部分，实际降水补给量可达800毫米以上。

积累年度	剖面厚度(厘米)	剖面图	雪层组构	颜色	密度(克/厘米 ³)	温度(°C)	相对硬度
1980/1981	0-17		新粒雪	洁白	0.44	0.0	
1979/1980	17-40		较密实的中粗粒雪	洁白	0.40-0.54	-0.2	铅笔可触入
	40-110		较松的粗粒雪		0.47		
	110-140		较密实的中粗粒雪		0.54		
1978/1979	140-182		较坚实的粗密粒雪	乳白	0.52		小刀柄可触入
	182-294		较坚实的粗密粒雪及少量冰片冰块	乳白	0.52-0.60		

左-4. 左支冰川粒雪盆, 海拔 3370 米

积累年度	剖面厚度(厘米)	剖面图	雪层组构	颜色	密度(克/厘米 ³)	相对硬度
1980/1981	0-12		新粒雪	洁白	0.44	
1979/1980	12-138		较密实的中粗粒雪及较松的粗雪	洁白	0.46	铅笔和手指分别可触入
	138-153		较坚实的粗密粒雪	乳白	0.52	
1978/1979	153-208		较坚实的粗密粒雪	乳白	0.52	小刀柄可触入
	208-273		较坚实的粗密粒雪及少量冰片冰块	乳白	0.52-0.60	

右-4. 右支冰川粒雪盆, 海拔 3380 米
 渗浸层冰片 消融面

图2 哈拉斯冰川粒雪盆上部雪层剖面

Fig. 2. Snow stratification profile of the upper part of firm basin in Halasi glacier

雪线至3380米之间的纯积累量随海拔高度上升而增加，其梯度左支为506毫米/100米，右支为497毫米/100米，平均为502毫米/100米，大于祁连山老虎沟12号冰川¹⁾，表明阿尔泰山区冰川有较大的作用能。

(三) 冰川消融特征

我们于1980年7月上旬在哈拉斯冰川2580米至雪线附近布设了7条断面，共27个消融测杆(表3)。测量结果表明，7月中下旬纯冰消融最为强烈，日平均最大消融深度在I-1号测点达74毫米(7月24—27日的平均值)。8月中旬气温逐渐下降，消融渐弱，雪线附近已有新雪积累。由此估计，哈拉斯冰川消融期可能终止于8月底前后。

表3 哈拉斯冰川各断面日平均纯消融值

Table 3. Daily mean net ablation value at various cross sections on Halasi glacier

断 面	测 点 数	拔 海 高 度 (米)	观 测 时 间 (月.日)	日平均纯消融冰层 (毫米)
I	3	2580	7.9—8.14	50.0
II	6	2670	7.9—8.13	37.0
III	1	2750	7.17—8.13	30.0
IV	8	2830	7.10—8.13	29.0
V	4	2940	7.10—8.13	30.0
VI	4	3100	7.11—8.13	23.0
VII	1	3180	7.15—8.13	15.0

资料分析结果表明，I-1、II-2的纯冰消融深与2300米考察营地的日平均气温有较好的相关关系(图3)，相关系数分别为0.94和0.99，其相关方程式为：

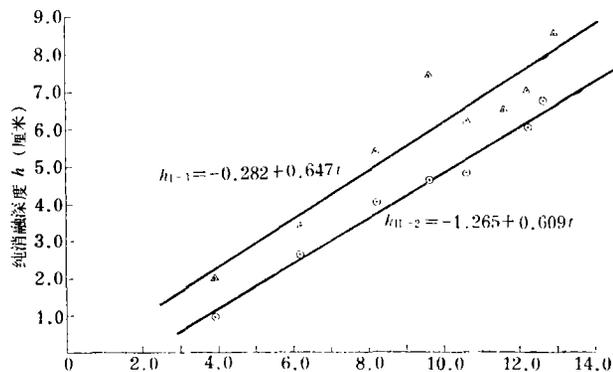


图3 哈拉斯冰川冰舌下部纯消融深度与考察营地日平均气温相关图

Fig. 3. Curve showing relationship between ablation depth of the lower part of the glacial tongue of Halasi glacier and daily mean temperature at sureying campsite

1) 祁连山冰雪利用研究队，祁连山冰川考察报告，1976年。

$$h_{I-1} = -0.282 + 0.647t$$

$$h_{II-2} = -1.265 + 0.609t$$

式中： h ——纯冰消融深度（毫米冰层/日）；

t ——相应时期的日平均气温（ $^{\circ}\text{C}$ ）。

据公式推算，日平均气温升高 1°C 所融化的冰层厚度为 7.0 毫米，接近苏联中亚、高加索冰川的融化温度系数（7—8 毫米/ $^{\circ}\text{C}$ ）〔9〕。

各断面的平均消融深以实测资料为依据，并以气温与消融的相关分析插补缺测时段的消融量，与海拔高度相关后发现（图 4），日平均消融深随海拔高度上升而呈指数减小，其相关方程为：

$$h = 17298e^{-0.00223H}$$

式中： h ——冰川日平均消融深（毫米冰层）；

H ——测量断面的平均高度（米）。

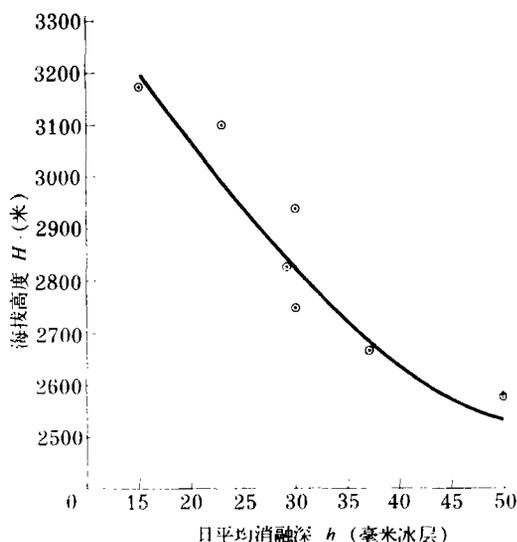


图 4 哈拉斯冰川日平均消融深与海拔高度相关图

Fig. 4. Curve showing relationship between daily mean ablation depth and elevation of Halasi glacier

用气象资料插补延长消融期各观测断面的纯消融量得知，哈拉斯冰川年纯消融量在 I 断面（2580 米）为 3350 毫米水层，II 断面（3180 米）为 350 毫米水层。据此推算，纯消融梯度为 500 毫米/100 米，与纯积累梯度相一致。

冰川表碛对消融强度也有一定的影响。我们在 2830 米覆有 10—15 厘米厚的砾石的两道中碛上布设了两根测杆，观测到的消融值只有纯冰消融值的 70%，长期的差别消融使中碛垄高出冰面 15—20 米。冰舌表面上的零星漂砾，由于抑制消融而形成了高出冰面 1.0—1.5 不等的冰蘑菇。细颗粒物覆盖而在冰面河道两侧形成了一系列大小不等的“蚁丘”，其中最大一个高出冰面 6 米，底部直径达 5 米。

(四) 成冰作用

成冰作用与冰川的水热条件密切相关，是反映冰川特征的重要指标。

雪层剖面的观测表明(图5)，哈拉斯冰川普遍发育有附加冰带，其分布高度左支冰流为3150—3200米，右支冰流为3240—3280米，垂直宽度仅40—50米。剖面中无粒雪，均由乳白色多气泡的渗浸冻结冰组成，属于典型的渗浸冻结成冰作用。附加冰的厚度为6—19厘米，折合水层48—150毫米，远小于该处的融水量，对冰川的补给作用不大。

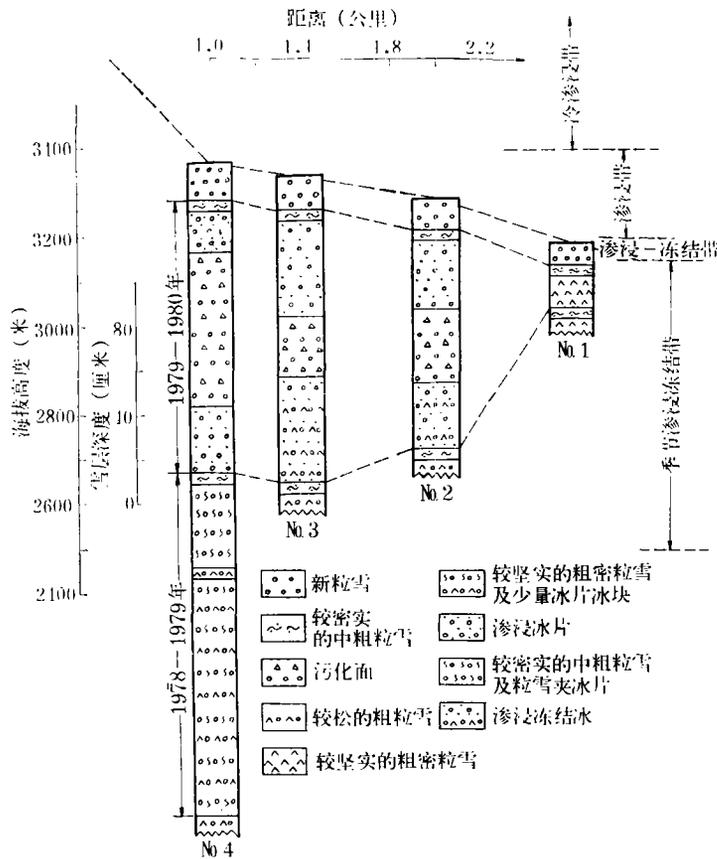


图5 哈拉斯冰川左支冰流成冰带

Fig. 5. Ice formation zone of the left branch of Halasi glacier

附加冰带以上为渗浸带，其海拔高度左支冰流为3200—3400米，右支冰流为3280—3480米，垂直宽度达200米，是冰川主要补给带。在渗浸成冰作用带中，冰川表面出现粒雪层，其厚度随海拔高度升高而增大。在渗浸带的下部，粒雪年层厚50—90厘米，平均密度0.45克/立方厘米，折合水层225—405毫米，粒雪层以下为污化的渗浸冻结冰。渗浸带的上部，雪层厚度为270—290厘米，由两个年层组成，中间由污化层所分开。新年层(1979/1980年)主要为圆化的中粗粒雪，色乳白，平均密度为0.46克/立方厘米。老年层(1978/1979年)由较密实的中粗粒雪夹少量的渗浸冻结冰片组成，平均密度为0.52克/立方厘米。雪层剖面中没有发现深霜冰晶的残骸，这可能是由于冷季积雪层厚，

雪的保温绝缘作用使其内部的温度梯度小, 逆变质作用不强之故。同时, 在雪层剖面中可以看到, 融水下渗对于粒雪圆化和加密起着重要的作用, 但夏季冰川表层 0—15 厘米深度内的温度为 0℃, 50—100 厘米深度内的温度仅 -0.2℃ 左右, 冰川冷储量较小, 沿粒雪孔隙下渗的融水只是以粒雪为核心形成粒雪冰晶层, 而没有形成像祁连山极大陆性冰川那样厚的冰板层。

渗浸带以上一般为冷渗浸带, 由于条件限制未能达到此高度。哈拉斯冰川后壁的最大高度和冰川渗浸带上界的高差近 1000 米, 成冰作用的水热条件无疑会发生很大的变化, 因而很可能在渗浸带以上发育有冷渗浸成冰作用带。

(五) 冰川温度状况

我们在冰川消融区 2780、2950 和 3180 米的冰面上分别打了 7、9.5 和 7.5 米的 3 个冰温钻孔, 用电阻温度计测得的冰温资料列入表 4。从表中的资料可以看出, 除 1 米深度内的冰层温度为 0℃ 或接近 0℃ 外, 活动层均为负温。最低温度出现在深 4—4.5 米间, 其值分别为 -2.8℃、-3.2℃ 和 -4.0℃, 即随高度上升而递减。在 4—4.5 米以上, 冰温随深度增加而降低, 热量向下输送; 在此深度以下, 冰温随深度增加而缓慢回升, 热量向上输送, 符合冰川消融期热量传递的一般规律。

表 4 哈拉斯冰川的温度资料 (℃)

Table 4. Temperature data at Halasi glacier (℃)

深 度 (米)	1	2	3	4	4.5	6	7.5
I 号测孔, 拔海 2780 米							
7 月 27 日	0.0	-0.9		-2.8		-2.5	-2.4
8 月 10 日	0.0	-0.5		-2.4		-2.2	-1.9
II 号测孔, 拔海 2950 米							
7 月 27 日	0.0	-2.2	-2.8	-3.2		-3.0	
8 月 5 日	0.0	-1.8	-2.4	-2.8		-2.7	
III 号测孔, 拔海 3180 米							
7 月 27 日	-0.5	-2.2	-3.0	-3.7	-4.0		
8 月 10 日	-0.5	-1.8	-2.5	-3.3	-3.7		

哈拉斯冰川温度与我国其他山区的若干冰川的比较 (图 6) 表明, 活动层最低温度比祁连山羊龙河 5 号冰川高 5—6℃, 比大雪山老虎沟 12 号冰川高 8—10℃^[10], 最低温度出现的层位比上述两条冰川浅 1—3 米, 夏季 0℃ 层的厚度也较后者大 (后者只有

0.5米)。哈拉斯冰川冬春积雪厚达1.5—2.0米，由于雪的保温绝缘作用，使冷波传播的深度浅，冰川冷储量小，而暖季融水下渗冻结又释放出潜热，两者都有利于冰温的升高。哈拉斯冰川的温度状况和我国西天山的西琼台兰冰川相近^[11]，属于亚大陆性冰川的温度类型。

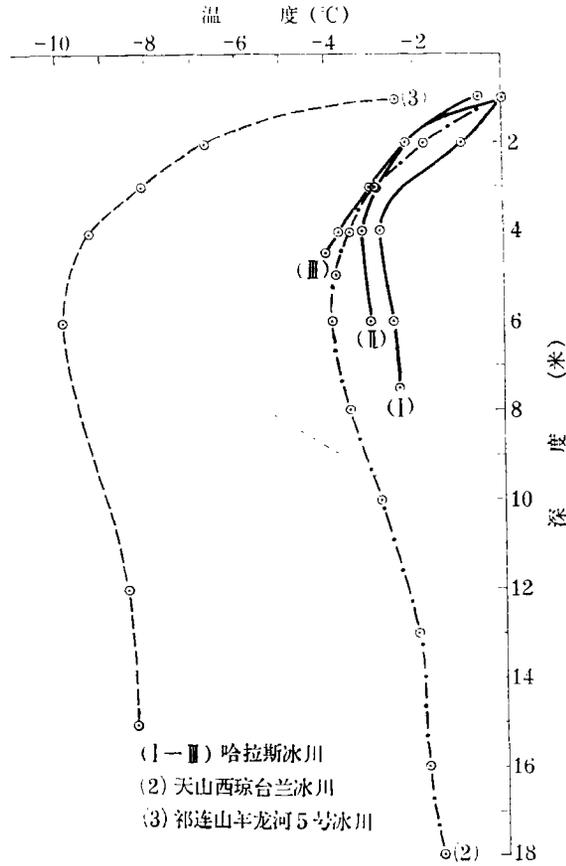


图6 阿尔泰山、天山(托木尔峰地区)、祁连山(西段)冰川温度对比

Fig. 6. Glacial temperature of Altay, Tianshan (Tomuer) and Qilianshan (west section)

(六) 冰川运动特征

我们利用测杆和冰面上大漂砾等40多个点作为冰川运动速度的观测点。观测的结果表明，哈拉斯冰川主流线日平均流速介于6.42—20.27厘米/日之间，折合年流速为23.4—74.0米。考虑到冰川流速暖季大于冷季的特点，因而根据消融最盛期观测资料所

推算的年流速值偏大。哈拉斯冰川物质补给较丰富，夏季消融较强，冰温较高，因而冰川流速显然要比极大陆性地区同等规模的冰川，如大雪山老虎沟12号冰川^[10]大得多。

主流线上的流速纵向变化(图7)表明，除粒雪盆内裂隙集中发育的特殊部位外，冰川运动速度自上而下递增，并在雪线附近(E₁)达最大值。进入消融区后，冰流速递减慢，并在V₅等处增大，距冰舌末端400米处又出现高达48.11米/年的高速区，使冰流速纵剖面呈现出波浪起伏的变化。前者是由于支冰流的汇入，冰量增加和冰面坡度变陡而引起的，后者则是由于冰川在此处变窄和融水注入冰下河道，冰面壅高和水体对冰床的润滑作用而引起的。

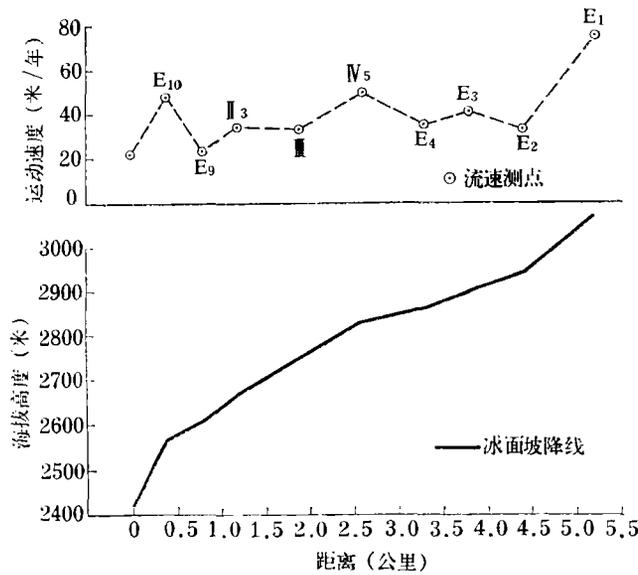


图7 哈拉斯冰川主流线流速与冰面坡度对比

Fig. 7. Comparison of the glacier surface slope with the flow velocity of main current line in Halasi glacier

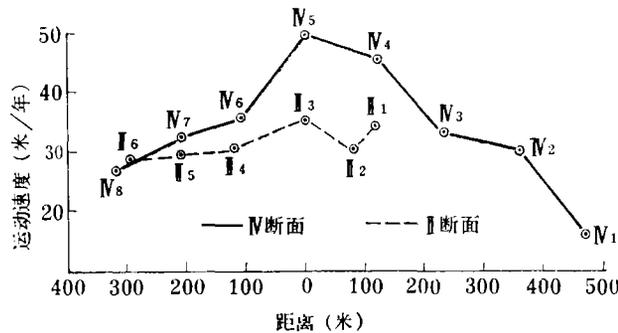


图8 哈拉斯冰川运动速度横断面示意图

Fig. 8. Cross section sketch of moving velocity of Halasi glacier

冰流速横向变化(图8)表明,Ⅳ断面上的最大流速出现在主流线附近,并向两侧减小,大体呈对称性分布。但在Ⅱ断面1号测点上出现了接近主流线处的流速,使该断面的流速分布呈现出不对称性,这是由于1号测点位于边缘裂隙发育地段,受侧向滑动的影响而引起的。

综上所述,哈拉斯冰川冷季补给比重大,暖季消融较强,并具有冰温较高、运动速度较快等特点,既区别于藏东南的季风海洋性冰川,又不同于深居内陆腹地的极大陆性冰川,与我国西天山的冰川相似,为冷季补给占优势的亚大陆性冰川。

参加野外工作的还有刘海生、周伯诚、王平等同志。本文承施雅风、谢自楚、张祥松、任炳辉等同志指导,谢维荣同志协助计算,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 〔1〕 W.A. Obrutschew, Über Gletscher und Gletscherspuren in Tarbagatai und Saur, Zeitschrift für Geomorphologie, Bd.2,1907.
- 〔2〕 J.G. Granö, Beiträge Zur Kenntnis der Eiszeit in der Nordwestlichen Mongolei und Einigen ihrer Sudsibirischen Grenzgebirge, Geomorphologische Studien aus den Jahren 1905, 1906, 1907 und 1909. Fennia, Vol.28, No.5, 1910.
- 〔3〕 R.V. Klebelsberg, Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie, Zweiter Band, 1949
- 〔4〕 徐近之,天山与阿尔泰山间所见地形上的一些特点,地理学资料,第6期,1959.
- 〔5〕 严钦尚、夏训诚,新疆额尔齐斯河与乌伦古河流域地貌发育,地理学报,第28卷,第4期,1962年.
- 〔6〕 周廷儒,新疆第四纪陆相沉积的主要类型及其地貌与气候发展关系,地理学报,第29卷,第2期,1963年.
- 〔7〕 F.Müller, T. Caffish, G. Müller, Firn und Eis Der Schweizer Alpen Geographisches Institute, Publ, Nr, 57, Zürich, 1976.
- 〔8〕 谢自楚,冰川物质平衡及其与冰川特征的关系,冰川冻土,第2卷,第4期,1980年.
- 〔9〕 Институт Географии А.Н. СССР, Руководство по составлению каталога Ледников СССР И.Гидрометеопиздат, 1966.
- 〔10〕 伍光和、谢自楚等,祁连山现代冰川基本特征研究,兰州大学学报,第3期,1980年9月.
- 〔11〕 王立伦、张文敬等,托木尔峰地区冰川温度状况,天山托木尔峰科学考察报告(冰川与气象),新疆人民出版社(待出版)。

(本文于1982年7月19日收到)

Fundamental Features of Modern Glaciers in the Altay Shan of China

Wang Lilun, Liu Chaohai, Kang Xingcheng and You Genxiang

(Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, Academia Sinica)

Abstract

The glacierized area in the Altay Shan is at the highest latitude ($45^{\circ}47'$ — $49^{\circ}10'N$) in China. In Chinese Altay, there are totally 416 glaciers with an area of 293.2 km^2 and an estimated ice storage of 16.49 km^3 . The largest valley glacier is called Halasi glacier (5A255E21), 10.8 km long with an area of 30.13 km^2 and its terminus descending to 2416 m. The Halasi glacier is characterized by plentiful accumulation in cold season, strong ablation in warm season, higher ice temperature in active layer, and large velocity of glacial movement, features different both from the maritime glaciers in southeast Xizang (Tibet) and from the extreme continental glaciers in Qilian Shan, but similar to the glaciers in western Tian Shan, which belong to the subcontinental type with dominant replenishment in cold season.