

阿尼玛卿——科学考察与登山探险

纪克诚 主编

Anyemaqên



中国地质大学出版社

高山可攀

杨得志



一九六四年八月十日



1984年9月13日9时50分中日两国队员胜利登上二峰



杨得志名誉主席与中日两国队员合影留念

前 言

1983年底经中国登山协会批准,成立了我国第一个基层登山协会——武汉地质学院登山协会。中国登山协会委派武汉地质学院登山协会承担1984年中、日两国登山合练任务。为此,我院登山协会立即组建了登山科学考察队,并决定对阿尼玛卿山进行一次大规模的登山科学考察活动。

阿尼玛卿山位于青海省果洛藏族自治州境内,属昆仑山系东端北支(见图1)。它群山起伏,气势磅礴,早已闻名于世。它不仅是登山探险和高山旅游的理想地区,而且是解决我国大地构造疑难问题的关键性地区之一。对它的探险与考察,对组建不久的我院登山科学考察

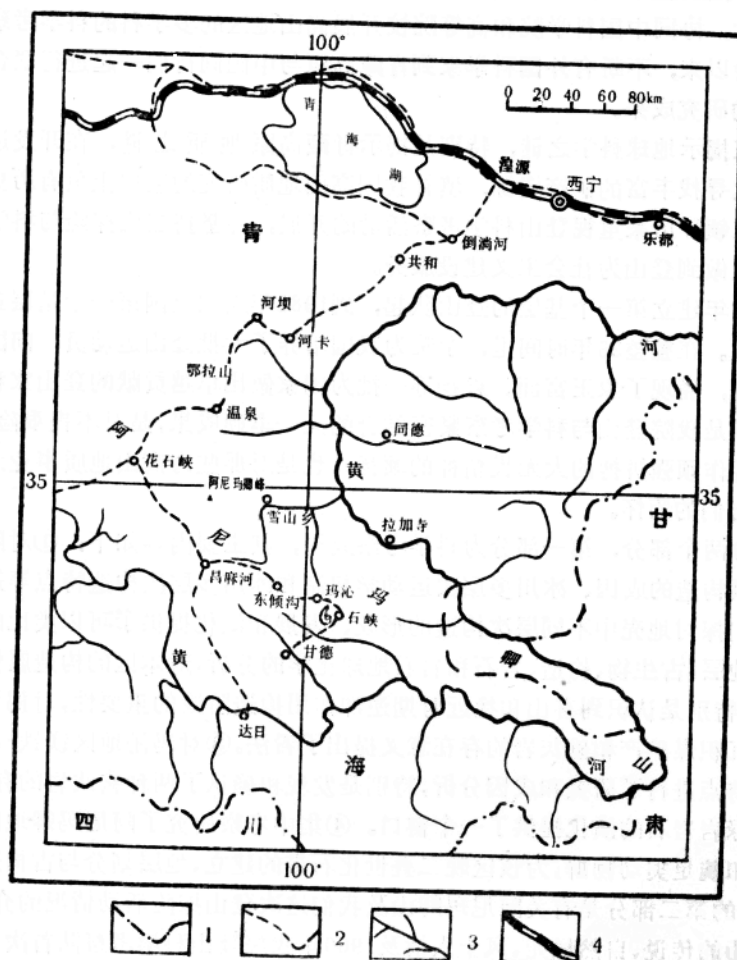


图1 阿尼玛卿地区交通位置图

1.省界 2.公路 3.河流 4.铁路

队将是一次严峻的考验。

登山探险与科学考察分两阶段进行。1984年5月至7月为我院登山科学考察时间,8月底至9月中旬为中、日两国联合登山技术训练时间。本书着重记述武汉地质学院登山科学考察队在第一阶段取得的登山与科学考察成果。

这次登山科学考察活动是我院迁至武汉以来进行的一次最大规模的高山考察与高山探险活动,考察范围西起玛积雪山、东至玛沁县,长达100余公里,宽达20余公里,并对无人征服过的三峰进行了攀登。这次登山科学考察活动得到了中国登山协会的全力支持,得到了青海省登山协会的大力协助以及青海省果洛藏族自治州有关单位的热情帮助,使得登山与科学考察任务胜利完成。在此,谨向中国登山协会、青海省登山协会、果洛藏族自治州各级人民政府表示最衷心的感谢!

我国幅员辽阔,拥有世界屋脊之称的青藏高原,拥有世界第一高峰——珠穆朗玛峰,海拔6000m以上的山峰更是不可胜数。这不仅为世界登山探险家们所向往,也为世界科学工作者所瞩目。新中国成立之后,党和政府多次组织科学考察工作,中国登山协会也在组织攀登我国高山的同时,协同中国科学院和高等院校开展高山地区的多学科的科学考察工作。党的十一届三中全会以来,不断有外国科学家到青藏高原与中国同行们一起进行联合考察,并取得了一些重要的研究成果。

我们学院在揭示地球科学之谜,特别是揭示青藏高原地质之谜,在开发边疆、建设边疆,为祖国四化寻找丰富的矿产资源,填补我国高山地质研究的空白上负有历史的重任。正因为如此,学院领导历来重视登山科学考察活动的开展,并坚持登山探险与科学考察紧密结合的方针,真正做到登山为社会主义建设服务。

我院自1958年建立第一个基层的登山队起,到1983年成立全国第一个基层登山协会止,已有25年历史了。在整整25年时间里,学院为我国培养了大批登山运动员,向国家输送了一批优秀登山人才,涌现了象王富洲、袁扬等一批为国家做出卓越贡献的登山家和运动健将。

本书的出版是我院登山与科学考察紧密结合的又一丰硕成果,是对不畏艰险、勇于同大自然各种险恶条件作顽强拼搏的大无畏精神的颂扬,也是对那些为高山地质事业无私地献出了宝贵生命的同志们的缅怀。

本书内容分两个部分,第一部分为科学考察成果,其主要内容如下:①对阿尼玛卿冰川带状构造与连拱构造的成因、冰川多层次运动学机制和冰川多层次构造特点等进行了较深入的分析,为我们探讨地壳中不同层次构造的形成、发展和演化提供了可以类比的天然模型。②通过对本区地层、古生物、构造、岩石和岩石地球化学的分析,对本区的构造属性及其发展序列提出了解释,特别是认识到喜山和晚近时期逆冲作用构造阶段的重要性,对揭示逆冲推覆作用下被掩埋的沉积煤矿产和礁灰岩的存在意义提出了看法。③对玛沁地区镁铁-超镁铁岩岩石学和岩石化学特点进行了研究和成因分析,特别是发现和确认了两种玄武岩的存在,为我们认识上地幔和蛇绿岩岩石的演化提供了一个窗口。④集中考察研究了阿尼玛卿地区晚二叠世的有孔虫动物群和腕足类动物群,为该区晚二叠世化石带的建立、地层划分与古构造环境分析提供了资料。本书的第二部分是有关阿尼玛卿山及我们这次登山探险活动情况的介绍,其中包括有关阿尼玛卿山的传说、自然风光、风土人情及1960年我院登山科学考察队首次攀登二峰和近几年来对该山的登山探险活动情况,特别记述了我院登山队和日本登山队联合攀登活动情况。本书的末尾附有武汉地质学院登山科学考察简史。

由于野外条件艰苦、考察时间不长、作者水平有限，书中定有错误和不足，敬请读者批评指正。

作者

1987年5月

目 录

第一部分 科学考察

一、阿尼玛卿冰川的几个问题.....	纪克诚 何海之 郭铁鹰 梁定益 (1)
二、关于玛积雪山—玛沁一带构造性质的厘定.....	纪克诚 梁定益 何海之 郭铁鹰 (9)
三、玛沁地区镁铁—超镁铁岩.....	喻学惠 (19)
四、玛沁县石峡晚二叠世有孔虫动物群.....	宋志敏 聂泽同 (30)
五、阿尼玛卿地区晚二叠世腕足动物群.....	胡昌铭 (40)

第二部分 登山探险

邓祥明 何海之 纪克诚 包德清

一、美丽的阿尼玛卿山.....	(48)
神话般的传说.....	(48)
天然动、植物园.....	(49)
二、登山探险.....	(50)
在西去的列车上.....	(51)
从西宁到雪山脚下.....	(52)
在大本营的日日夜夜.....	(54)
通往顶峰的路.....	(56)
三、中日联合攀登阿尼玛卿峰.....	(58)
再上阿尼玛卿山.....	(58)
雪山深情.....	(60)
国旗，在顶峰上飘扬.....	(62)
尾声.....	(64)
附录 I 阿尼玛卿登顶路线介绍.....	(66)
附录 II 武汉地质学院登山科学考察活动的回顾与展望.....	纪克诚 (69)
主要参考文献.....	(71)
外文摘要.....	(73)
图版说明.....	(75)

第一部分 科学考察

一、阿尼玛卿冰川的几个问题

阿尼玛卿冰川是由类型不同规模各异的40余条冰川组成的羽状冰川系(图2),其覆盖面积 140km^2 。阿尼玛卿冰川运动机制是我们科学考察的重要项目之一,本书就阿尼玛卿冰川运动学机制等几个问题讨论如下:

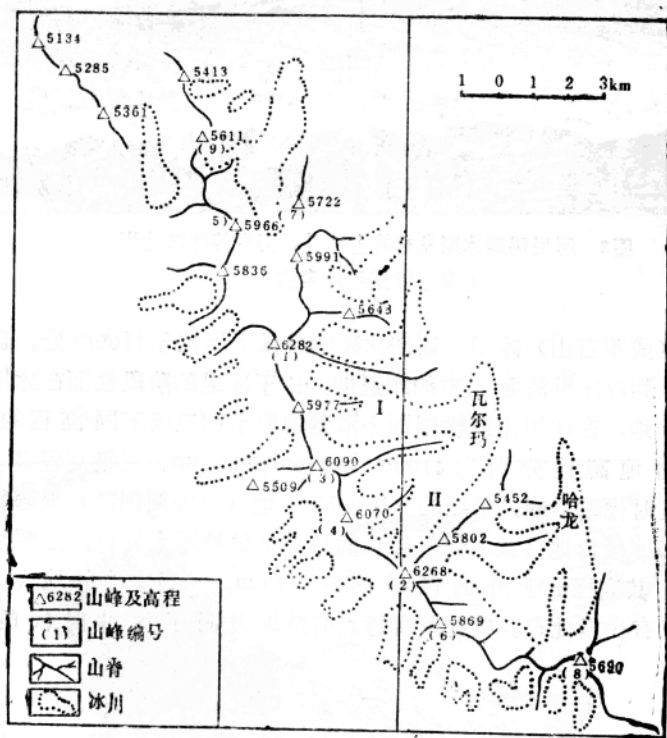


图2 玛积雪山冰川分布图

1. 阿尼玛卿冰川地貌

阿尼玛卿峰附近的冰川地貌以冰蚀地形和冰碛台地为主要特征。冰流创蚀和雪崩作用塑造出悬崖陡壁和巨大槽谷,冰川搬运沉积塑造了不同高程的冰碛台地以及由于冰蚀雪蚀作用造成的各级夷平面。这里尽管存在着内动力地质作用和其他外动力地质作用的影响,但冰雪作用则是塑造全新的现代地形的主要因素之一。

玛积雪山一级冰蚀夷平面的高程为 6000m 左右,终年为冰雪覆盖。 5000m 左右为冰蚀二

级夷平面,普遍发育有角峰、刃脊、古冰斗及“U”形谷等冰蚀地形(图3),它们是远比现在冰川分布范围广泛得多的古冰川活动的见证,我们认为可以将这一广泛发育的冰川活动时

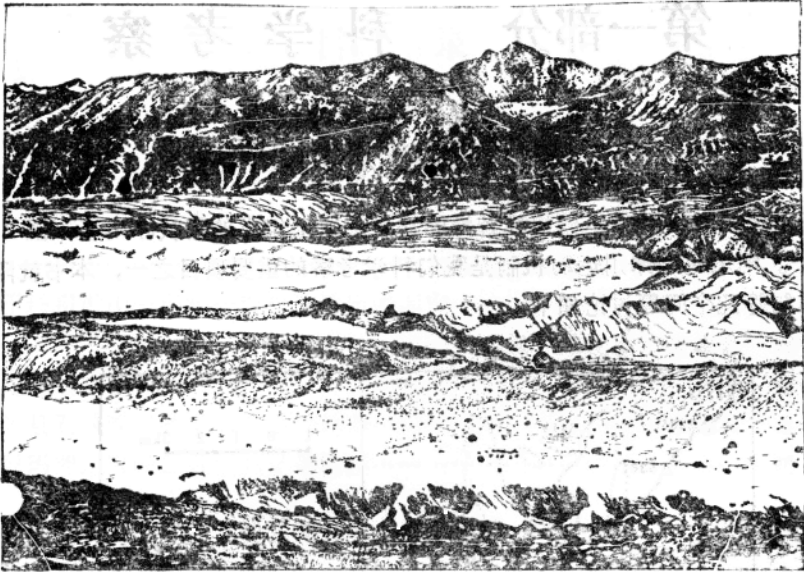


图3 阿尼玛卿冰期发育的古冰斗、刃脊等冰蚀地形
(秦志能据照片素描)

期称之为阿尼玛卿(或积石山)冰期。该期冰碛物最低下界位于4100m处。自此冰期之后,阿尼玛卿地区便进入到以冰川消融为主的冰退期。由于冰退的阶段性和在冰川纵向和横向上都形成了三级冰碛台地,在冰川上游横剖面上清楚地显示出三级不同高程的侧碛(图4)。纵向上三级冰碛台地高程分别为4100m、4300m和4500m。三级高程不等的侧碛,不但高程不同,而且时代也不同。早期的三级冰碛台地(或外侧侧碛)显著特点是已经草原化或灌木丛生。二级冰碛台地(或中侧侧碛)的特点是植被不太发育,主要是生长着地衣和高山垫状植物,其高程低于外侧侧碛约20—40m。一级冰碛台地(或内侧侧碛)的特点是没有植被或仅有少量地衣。植物发育特点清楚地表明了冰碛时代的先后顺序关系。

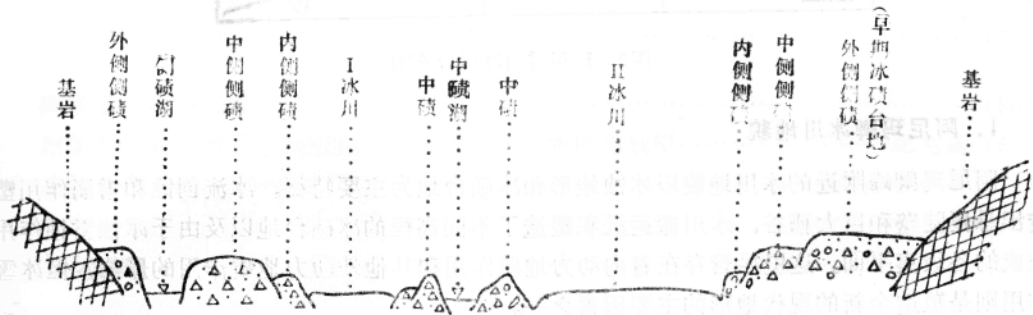


图4 瓦尔玛复冰川横断面结构示意图

4100m之下为以融冰作用和水流作用为主的冰缘地貌和侵蚀地貌。

根据前人对昆仑山、天山和祁连山的冰川调查, 1780年—1870年有一次寒冷期(近代小冰期), 该寒冷期在阿尼玛卿地区也有表现, 使冰川由冰退期进入到冰进期(但时间延续似乎并不太长), 冰川高程可达上述中侧侧碛的高度, 因而它对中、内侧侧碛进行了不同程度的改造, 使内侧侧碛不全, 使中侧侧碛某些部位加高。当该期冰川快速退却时, 在外侧侧碛与中侧侧碛之间形成了残留的侧碛湖或侧碛洼地。该寒冷期可暂称之为玛积小冰期。该寒冷期过后, 阿尼玛卿地区又进入了较强消融的冰退期, 本世纪30至40年代达到了消融高潮时期, 致使冰川表面降低了30—40m。

2. 阿尼玛卿冰川的带状构造

用“带状构造”或“条带状构造”这样的术语来描述冰川构造已有很久的历史了, 由于很多冰川学家考虑到带状构造的某些成因, 或者是为了更形象化又加上了“层状构造”、“片状构造”、“叶理构造”、“筋脉状构造”、“细条带构造”等术语。

阿尼玛卿冰川带状构造极为发育, 它在很大程度上说明了阿尼玛卿冰川的形成、演化以及运动学特征。阿尼玛卿冰川中的带状构造按其成因可分为: 沉积带状构造和构造带状构造。

沉积带状构造: 沉积带状构造(或原生沉积带状构造)在粒雪盆地发育最为清楚, 它是由不同时间降雪的冰化过程形成的, 因此, 也可称为原生沉积层理。沉积带状构造(原生沉积层理)的厚度一般以毫米至厘米计算, 宏观上的粗大层理厚度以十几至几十厘米计算, 在空间上各层厚度大体上保持一致, 有时也呈现很大的差异甚至局部尖灭。沉积带状构造的产状是有变化的, 在粒雪盆地内大体上呈水平状产出(图5), 在围谷边壁则呈倾斜状产出, 倾斜角度陡缓不一。沉积带状构造产生的根本原因是不同时期的降雪经聚集、压实、冰化作用而成, 显示层理的基本原因有两个: 一是表层雪融化成水向下渗透, 渗透不远便冻结成冰, 因含气泡



图5 阿尼玛卿冰川粒雪盆地张裂缝中呈现出的原生沉积带状构造

(李致新摄影、秦志能素描)

较少，故略呈蓝色。二是雪中尘埃以及大气降落的灰尘聚集而显示土黄、浅灰或杂色色调。阿尼玛卿冰川中的沉积带状构造主要发育于积冰区的围谷壁和粒雪盆地中，粒雪盆地以下和雪线以上区间只有少量发育。冰舌部分的带状构造均不是原生的沉积带状构造，而是被改造了的沉积带状构造，即构造成因的带状构造。

构造带状构造（构造成因带状构造）：构造带状构造有两种，即顺层剪切型和一般断裂型。

顺层剪切型带状构造（简称剪切带状构造）：是指沿沉积带状构造面剪切滑动而成的带状构造。每一个剪切滑动界面都构成了一个蓝冰带。蓝冰带的基本成因是构造复冰作用的结果，蓝冰带之间为白冰带，白冰带的复冰作用很弱并具有大量气泡。蓝白冰带相间的这种带状构造大体上是沿原生沉积带状构造面剪切滑动而成的，但是每个带的厚度远较沉积带状构造中每个带的厚度大。剪切带状构造乃是粒雪盆地以下冰舌中的主要变形面，它的主要变形表现为高塑性流动的相似褶皱和宽缓开阔的平行褶皱以及冰川侧碛与冰川汇集处的倾斜。对于纵向开阔的平行褶皱以及侧碛附近变形面倾斜乃是冰川侧向扩展以及冰川汇聚而挤压的结果。

关于沉积带状构造与剪切带状构造的关系，H·Reid和H·Crammer根据他们对阿尔卑斯冰川的调查，提出过剪切带状构造与粒雪盆地层状构造（沉积带状构造）具有一致性的看法。H·Crammer作了这样的描述：“至粒雪线附近，粒雪层已经不是水平分布，而是形成一

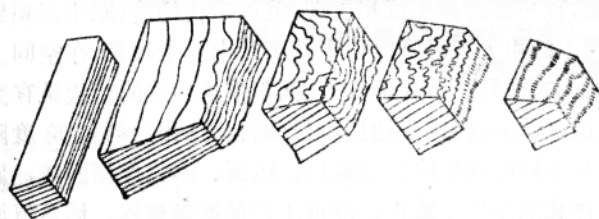


图6 沉积带状构造（原生层状构造）向剪切带状构造的转变
（据С·В·Калесник）

些宽广的波浪形，其轴与冰川长度方向平行。再往下游一些，便可看到冰内出现很清楚的褶皱（图6）。由于消融作用越往下游越强烈，因而冰川表面切割这些背斜层和向斜层的深度越来越大，各冰层在表面上的露头其投影呈连拱形。更下游一些褶皱越来越密，越来越陡，而连拱本身则扯成许多与冰川纵轴平行的直线”。对于

H·Crammer等人提出的带状构造具有继承性的观点，曾引起许多人的反对。但在50年代末60年代初期，V·Vareschi利用冰川中的花粉进行分析，重新肯定了冰川带状构造（我们所说的剪切带状构造）是来源于粒雪层构造。

另一种观点是把沉积带状构造同剪切带状构造（蓝冰带与白冰带相交替的带状构造）截然对立起来，强调这两种带状构造毫不相干，完全是一种新生的断裂构造。

我们认为沉积带状构造（粒雪盆地中的层状构造）与剪切带状构造是既有联系又有区别的两种不同的带状构造。那种把沉积带状构造与剪切带状构造截然对立起来或者把两者完全等同起来的观点都是忽视了沿沉积带状构造面所发生的剪切作用，而正是由于这种剪切作用既构成了两者之间的差别又构成了两者之间的联系。也就是说，沉积带状构造是剪切带状构造的基础，而剪切带状构造是沉积带状构造的发展，因此，剪切带状构造既具有继承性又具有新生性。

剪切带状构造由于蓝冰带与白冰带的密度不同（蓝冰带致密，白冰带气泡多而密度小）、矿物质含量不同，因而在冰川表面具有不同的融化形态。白冰带融化得快，蓝冰带消

融得慢，致使冰川表面形成犁沟与埂堤相间的外貌（图7）。这种外貌亦称里德脊。

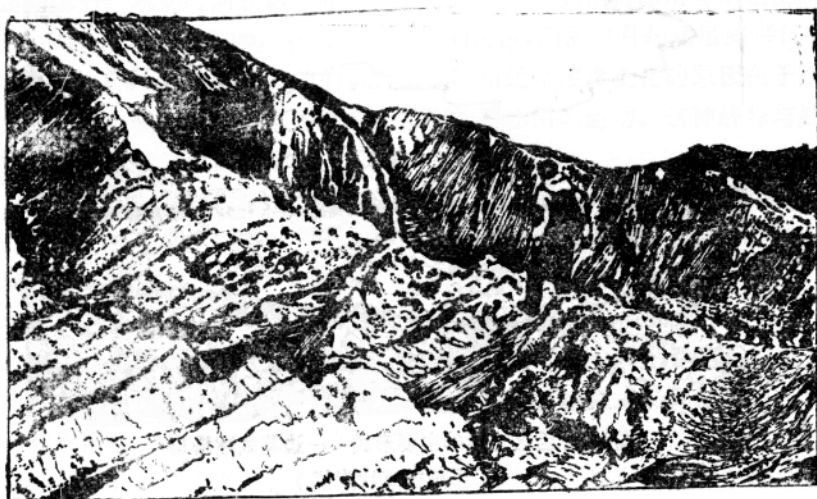


图7 蓝冰带与白冰带相间而形成的犁沟与埂堤
(秦志能据照片素描)

构造带状构造的第二种类型是断裂带状构造，这种带状构造形态上一般上陡下缓呈勺形广泛发育于冰川舌部，而尤以冰舌前缘和冰舌两侧最为发育，成为具有折劈理表征的断裂带状构造或者具有逆冲表征断裂带状构造。这种断裂带状构造就其成因上讲与剪切带状构造并无本质差别，仅仅以其对剪切带状构造的切割性及产状普遍向冰川上游或向冰川中部倾斜和相对分布稀疏性为特点。这些断裂带状构造绝大部分都不是贯通整个冰川的，而是具有区间性和局限性。

某些冰川学家所描述的边幕式带状构造、横向带状构造在阿尼玛卿冰川上并无特殊表现。阿尼玛卿冰川特别是在冰瀑布上确实存在着边幕侧裂隙，直至两侧的侧裂隙相连而成的横过冰川的裂隙，但均未构成蓝冰带（即带状构造）。这些裂隙的宽度可达0.5—2m，深度可达20—30m。由于裂隙的渗漏性很强，融化的雪水无法填满，因此也就形成不了蓝冰带。

3. 阿尼玛卿冰川连拱

连拱（Ogивен）这一术语是由Шлагинтвейт建议描述A. Agassiz观察到的冰川表面弧形沟痕的。而后，连拱这一术语被扩大化并非指一个冰带而是由整个冰带综合体构成的波浪形或弧形外观。由于对连拱解释有压力波之说，故连拱也称连拱波。因此，连拱是对冰川表面呈规律出现的波浪状外观形态的一种描述。阿尼玛卿冰川连拱也就仅仅局限于这样的涵义。

阿尼玛卿冰川连拱发育于冰瀑布前端及冰舌区。冰瀑布前端连拱大体上表现为横过冰川的冰丘与冰凹，相邻两冰丘或冰凹之间间距约10m，冰丘、冰凹高差约5—10m。冰舌区连拱主要表现为边幕式冰塔群（图8），分布于冰川两侧或与两侧边幕式冰塔群相连构成凸向冰川下游的弧形连拱，这与一般由带状构造构成的连拱凸向正好相反。冰舌区连拱波长（即两冰塔之间的距离）一般小于冰瀑布前端连拱波长，且在冰塔之间聚集有更多的冰碛物。

对于连拱的成因有着完全不同的解释，J. Forbes等人认为冰川的冰瀑布下端每年都要

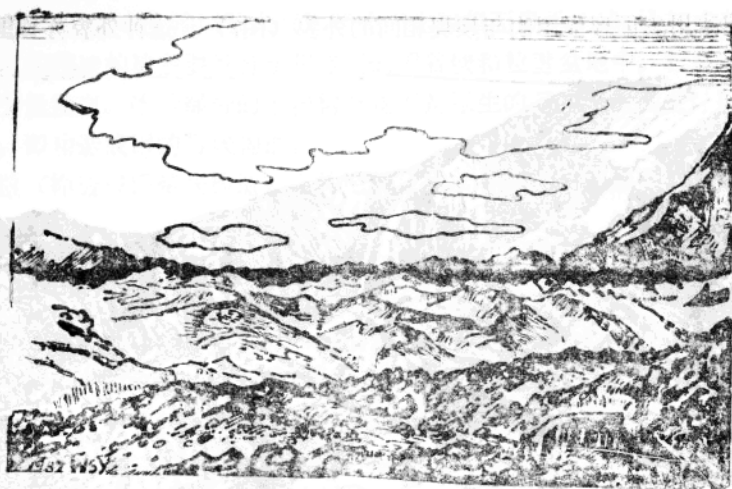


图8 冰舌区连拱的主要形式——边幕式冰塔群
(王思源据照片素描)

产生一个压力波，年复一年便形成了压力波系，随着冰川的运动波幅增大，波峰渐渐凸向下游。我们将这种观点称之为压力波成因说。另一些冰川学家认为连拱的形成是由于塑性变形和消融机制相结合所致，即当冰流过冰瀑布时，由于运动速度的局部增大而发生塑性纵向伸展，并因此而增大了冰的总面积，这样以来，夏季通过冰瀑布的一部分冰，其消融量就要比在运动速度较小的区“度夏”的那部分冰更大，因而便在冰瀑布下端产生凹陷，如此年复一年的加大凹陷与凸起便形成连拱。С. В. Калесник 提出了关于“冰瀑布下方的消融凹陷、横裂隙或剪切面同样具有参与连拱的形成的可能性”。С. В. Калесник 的认识与阿尼玛卿冰川连拱的形成更接近些，但是，作者认为阿尼玛卿冰川连拱的形成中，断裂、裂隙起着主导作用。据调查，从4900m至5200m300m长度的冰瀑布上分布有宽度大于0.5m以上的张裂隙达29条之多，平均间距约为10m。冰面消融作用使冰川携带的冰碛、尘埃充填于这些裂缝中，从而加速冰裂缝处的消融作用并逐渐变为凹地，而裂缝之间逐渐变为凸起的脊形。冰裂缝在冰瀑布处边幕式斜列排列，随着差异运动在冰瀑布下端逐渐变为横向分布，而在冰川舌部又变为斜列排列形式，只是与冰瀑布位置的斜列方向正相反，若与两侧边幕式冰塔群相连，则呈现出向下游凸出的弧形，因此，阿尼玛卿冰川连拱是以冰瀑布的边幕式裂隙为基础而又在冰舌区发育而成的。

4. 阿尼玛卿冰川运动学机制

关于冰川运动学方面的机制至今尚未取得一致的看法。二百多年来创立了90余种的冰川运动理论，这正说明了冰川运动机制上的复杂性与多变性。最初人们曾用滑动或重力假说来解释冰川运动，这种假说，视冰川为整体沿冰床滑动，当冰床倾斜、在重力作用下冰就克服摩擦阻力而运动。但这种假说无法解释冰川各部分运动速度上的差异及冰川在其下游为什么速度没有递增？有人曾设想冰川是一些纵向破开的冰条彼此滑动，以此来解释冰川各部分运动速度上的差异，但这是难以想象的。在以后很长时间里人们一直研究冰川运动的新机制，然而在滑动论几乎被遗忘了150多年后，现在重新又为某些冰川学家们所重视。最近

F. Raymond等人曾对脉动型的Variegated冰川的运动提出解释,他们通过冰层上的钻孔测量冰下水的流速和压力,观测时间长达十年之久。1932年初他们测得冰川运动速度由通常的每日1—2 m,到夏季前上升到每日8m,秋初时又恢复到正常,而到11月却猛增到每日54m,这一速度一直持续到1983年7月才结束。他们认为引起冰川运动速度变化的原因在于冰下融水的增加,水压力的增高会减小冰川运动的摩擦,从而加速冰川的运动。这种解释与最初人们创立的滑动论说相比并无本质上的差别。

某些学者在研究了冰斗冰川中稍为弯曲的凸向冰床圆弧形断裂面后,提出了旋转滑动的运动机制,而这种机制对整个山谷冰川而言并不具备这样的条件,但对冰川的某一局部,如对冰瀑布的根(下)部则是有可能的。

J. Tyndall (J. 廷德尔) 等人认为冻结作用在冰川运动中起主导作用。其冻结方式可以非常不同,有人认为冰晶互相接触点受压而融化,并在非接触点上又冻结起来。

20世纪初,关于冰川运动的理论可归纳为两类,其一为塑性流动理论。塑性流动机制包括粒间滑动、粒内滑动、重结晶作用、碎粒化作用等,这也正是人们用的解释一般岩石或一般固体塑性化的机制。其二为断裂理论,其中层流运动是一种富有特色的解释。

E. Orowan将冰视为理想的塑性固体,冰在未达到某一临界压力以前犹如刚体,而达到某一压力临界值之后极易弯曲,因此冰川运动应集中于下部。这虽然是冰川运动理论中最早的一种观点,但却与在冰川中所观察到的某些事实相符合。

仅就以上情况,足以说明冰川运动机制是很复杂的。事实上有许多冰川学家已经认识到冰川运动机制的多重性,这正如С. В. Калесник所指出的那样“冰川内存在几种运动机制的论断并不是折衷主义的”。J. K. Charlesworth 也认为“总的来说,冰的运动是由于诸过程结合所致,这些过程中包括沿冰床的滑动、塑性变形,沿断裂面的运动和再冻结作用等”,他认为“这几种运动,根据温度、压力、应力情况和其他条件可能同时存在于同一冰川的各个部分”。R. F. Flint认为冰的运动是由下列几种运动方式按不同比例的结合:冰晶粒沿其内基面的滑动、由于团粒状态的变化而引起的物质搬运、冰的断裂和薄冰片沿逆掩断层面的互相位移、冰晶粒的相对旋转(仅限于粒雪盆地内)以及冰川沿冰床的滑动。

下面我们仅就阿尼玛卿冰川的运动学机制作如下分析:

阿尼玛卿冰川存在着极为清楚的变形层次(详见阿尼玛卿冰川构造一文),不同变形层次是不同运动机制的表现。

(1) 冰川表面的某些机械滚动运动 冰川表面的机械滚动运动是指在重力失稳情况下冰雪的某一部分突发性的运动。最常见的突发性运动便是冰崩和雪崩,在冰川的某些部位它们甚至是冰川运动的主要形式。这种运动形式与缓慢的塑性变形运动机制有明显的区别。它主要发育于冰川的上部,如1984年9月14日,在瓦尔玛冰川粒雪盆地的后缘发生了大的雪崩,好几名中、日登山技术合练队员被掩埋于急速运动的粒雪之下。冰川瀑布区是骤然发生冰块滑动、滚动的危险区,它同样会给登山探险活动带来致命的危害。以冰崩、雪崩构成的冰雪滚动运动,虽然是局部性的,然而却是最为显著的运动型式之一。

(2) 以冰川表层整体性滑动为主要特点的运动 根据对瓦尔玛冰川的实地考察与测量,以整体滑动为主要运动机制的冰体最大厚度不超过30m,其冰体基本物性为脆性,变形主要形式是断裂和裂隙,其中包括粒雪盆地后缘的弧形张断裂;冰川瀑布区的边幕式张断

1820
500

裂，冰舌区的纵向张断裂、冰川两侧新生边幕式张断裂以及力学性质转化复合的断裂。在整体性滑动冰层中，冰川的塑性特点也有表现，但不如下部层位。其塑性表现主要有两点，其一是冰川上游的由雪—粒雪—冰的这一粒雪化作用和成冰过程，这主要是在自重重力作用下晶粒被细粒化和晶粒之间被压实（也就是粒间运动），从而使晶粒与晶粒之间不断接近，当密度达到 $0.8\text{g}/\text{cm}^3$ 时，粒雪便逐渐变成了冰（图9）。其二是差异性滑动。承认冰川边缘摩

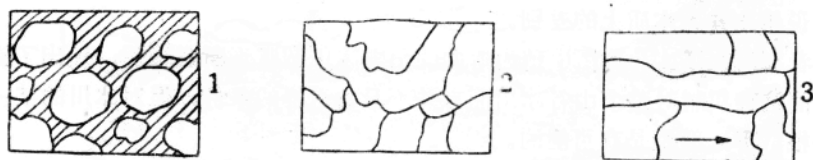


图9 由粒雪至冰的发育过程

1. 粒雪（圆颗粒，多孔隙，内填空气） 2. 幼冰（孔隙消失，晶粒互相嵌入，形状不规则） 3. 老冰（晶粒在压力和运动的影响下拉长）。

（据С. В. Калесник）

擦力的作用，中间运动速度要大于边缘运动速度，但是这种运动速度的差异除了进行冰晶颗粒之间的调整（可看作是微塑性流动）之外，其外观表象仍然是脆性破裂，正如图10所表现的那样，在冰川表面顺冰川运动方向呈现右行羽状剪列。冰川表层以脆性为特点的滑动构成了从冰川上游至冰舌区统一的而有规律的断裂裂隙系统。每一条断裂或裂隙性质都伴随冰川脆性层的整体运动而递进变化。



图10 冰川表面右行羽状剪裂隙

（3）以韧性剪切流动为主要特征的冰川运动 这是冰川表层以下最为典型的运动型式。20世纪初曾经把“层流运动”这一术语用于冰川学上，意思是指冰川被分成许多薄片，由于速度差而使这些薄片能以各种不同速度相对位移。薄片间是破裂面，这些薄片便构成了冰川运动的单元。阿尼玛卿冰川中的薄片或者冰川运动单元就是前面我们所说的剪切带状构造，它是由原生带状构造（原生层状构造）发展而成的，每一层蓝冰就是一个剪切面（实为剪切带），沿剪切面

呈规律性的差异滑动。蓝冰带之间是白冰带，蓝冰带的结构截然不同于白冰带的结构，在宏观上它是具有片理化特点的有序结构。很早以前有人就曾认为，冰晶结构就象一叠纸，冰晶的光轴与纸叠垂直。如果白冰冰晶光轴是杂乱的话，那么蓝冰冰晶光轴就具有规律性的排列。阿尼玛卿冰川剪切流动的主要证据有三：其一是靠冰川底部层位发育有完好的剪切褶皱，呈横向或斜向分布，顶部厚度大，翼部被拉得很薄。其二是常常可见上陡下缓呈勺形的逆冲剪切带，它向深部延伸渐渐与蓝冰带产状相一致。其三是蓝冰带的片理化构造特点及其有序结构。韧性剪切流动是阿尼玛卿冰川中最为显著、最为特征的运动机制，基本特点是低应力高应变而呈现粘性流体状态。

（4）以塑性变形为特点的塑性流动 阿尼玛卿冰川的舌部有良好的塑性变形表现，即具有开阔而圆滑、而且厚度无明显变化的（顶部略有加厚）平行褶皱，轴向与冰川延伸方向

相一致或近于一致，这清楚的表明冰体的可塑性，也就是说冰川可以表现为塑性流动的运动方式。塑性变形的变形面是剪切带状构造面，蓝冰带在褶皱过程中更多的是起滑动作用，白冰带则以各种塑性化机制进行调配。关于这种褶皱构造的形成正如前面所叙及的那样，是由于冰川汇聚或冰川伸展而造成的。

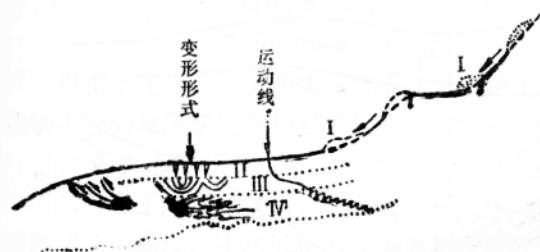


图11 阿尼玛卿冰川运动学机制综合断面图

- I. 表面机械滚动 II. 表层整体性滑动
III. 塑性变形流动 IV. 韧性剪切流动

以上我们概要地分析了阿尼玛卿冰川不同层次的运动学特点或运动学机制的某些问题，即冰川中、下部具有粘性流体性质，以剪切流动为特点；上部冰体呈脆性特点，表现为各种断裂发育的整体性滑动；表层某些部位具有明显的机械滚动运动特点；冰川的汇聚挤压还可产生通常的塑性流动。图11是阿尼玛卿冰川运动学机制的综合断面图，图上除了表现运动型式与变

形型式统一之外，还揭示出阿尼玛卿冰川运动的如下特点：①运动速度上快下慢，呈近弧形曲线。②存在着渐变而连续的运动和突变的间断运动。③剪切流动运动型式占有主导地位。

二、关于玛积雪山—玛沁一带构造性质的厘定

本次考察，构造地质的调查范围是从阿尼玛卿峰开始，东至玛沁县，平面上呈一北西南东向延伸的狭长地带（图1）区内绝大部分地层为二叠系（它是构成雄伟壮观的玛积雪山主要地层），断裂构造极为发育，岩浆活动频繁，大型的铜、钴等多金属矿床和小型煤矿床均有分布。正确厘定其构造性质不仅在理论上而且在实践上都有重大意义。也正因为如此，考察区虽然雪山耸立、气候严寒、交通不便，但它的地质问题一直为我国地质学家们所关注。青海省地质矿产局、四川省地质矿产局、中国科学院、中国地质科学院以及北京地质学院（武汉地质学院前身）都先后对该区作过调查工作。青海省地质矿产局科学研究所于1960年编制了包括该区在内的1：1000000青海省地质图，近几年来青海省地质矿产局区调二队在该区开展了1：200000的区域地质调查工作，大大提高了地质研究的程度。

随着本区地质工作的开展，我国地质学家们相继对本区大地构造属性和构造性质提出了不同的看法，分别把它隶属于不同的构造单元。从槽台理论出发，许多人把它归之为地槽范畴，但有人把它视为地槽中的正向构造单元，也有人把它视为地槽中的负向单元。从板块构造理论出发，一些人认为它具有地缝合线的性质，也有人认为属于裂谷性质。从构造的类别出发，有人把它视为断裂带，也有人把它视为复背斜构造带。

我们认为该带的构造性质属于地质历史上长期发育且各历史时期活动性质有显著差异，并由复杂断裂控制的裂隙—愈合带（图12）。它是在中国古地台的基础上以反复裂隙扩张—挤压愈合为总特征的。它和青藏高原其他几条巨型断裂带一样对整个青藏高原的地质构造发展与演化起着重要的控制作用。为了分析本区大地构造属性，我们将从以下几个方面阐述：

1. 从沉积地层组合与生物组合看它所反映的构造环境

一个地区的沉积组合与生物组合可以反映其构造环境并为认识其大地构造属性提供重要的依据。