

祁連山現代冰川資源 及其利用問題

施雅風

(中国科学院地理研究所 中国科学院高山冰雪利用研究队)

对河西走廊与柴达木盆地等干旱的逕流消失区来说,祁連山是比较潮湿的逕流形成区,从祁連山流出的河川水源,相当重要的一部分依賴高山冰川与积雪融水补给,大河河源都与冰川沟通。因此,充分利用高山冰川资源,人工调节祁連山冰雪融化的时间与速度,在改造河西与柴达木干旱面貌上,有重大意义。但是冰川学在我国一向是个空白点,我們几乎完全不掌握高山冰雪资源、物质平衡与冰川生活历史的资料,冰川所在人迹罕至的高寒的自然条件与冰川表面活动可能产生的一些危险,使多少人望而却步,不敢去碰。1958年春季,党中央和毛主席倡导解放思想,破除迷信,给科学工作者以深刻的影响。6月下旬,在中共甘肃省委的大力支持下,中国科学院组织了高山冰雪利用研究队,分七路向高山冰雪进军。

本文仅就祁連山现代冰川分布、类型和储量,冰川的积累和消融现象,以及高山冰雪资源利用远景方面,作一概括介绍。至于人工促进冰雪消融的试验情况,由朱崗崑同志另文报导。

一 祁連山现代冰川的分布、类型和储量的初步估算

1. 雪线高度与冰川类型:祁連山现代冰川广泛分布于海拔4,500米以上的高山区,大部分在西段和中段。疏勒河中游西侧的野馬山、上游南侧的疏勒南山、走廊南山中段的洪水壩河上游,冰川规模最大。至祁連山东段,冰川稀少,只产源武威間的冷龙嶺有較大的冰川羣。

冰川的发育程度大体决定于雪线以上常年积雪区的面积大小和降雪量的多寡,雪线高低則依赖于大气降水量和气温的关系、坡向和地形条件。祁連山区地势西高东低,气候西干东湿,因此雪线很明显的由东向西逐渐上升。高山南北坡比较,南坡雪线高于北坡,差异很大,这不但是由于阳坡与阴坡接受日射强度的不同,同时也是由于北坡迎盛行风向(西北风),降水較多的原故。

上面所说的雪线大体以冰川上粒雪区下界为准,雪线以上,每年降雪积累大于消融,新鲜雪盖逐渐变成颗粒状的雪——粒雪(由0.5—5毫米大小的无定形雪

粒组成),粒雪冻结受压逐渐变成致密的冰层,冰层堆积至临界厚度就向下运动,流至雪线以下成为伸向山谷的冰舌(有些人把冰舌的末端当作雪线是錯誤的),冰舌部分消融大于积累,表面积雪很薄(以新鲜雪为主)以至没有,根据粒雪区和冰舌的关系、冰川所在的地形,冰川在形态上可分成若干类型,祁連山区的冰川类型主要有下列6种:

(1) 山谷冰川:分布于疏勒南山、野馬山、走廊南山(特别是冷龙嶺与洪水壩河上游)等地区,数量不多,但体积大,坡度平缓,储量丰富,利用价值最大。例如野馬山老虎溝20号冰川,是由二股汇流的复合山谷冰川组成,长10.8公里,面积27.4方公里,储冰量12.31亿公方,冰舌末端伸至海拔4,100米,粒雪区后侧高达海拔5,200米,是目前祁連山已知冰川中最大的一个。



2 大西溝二号冰川的齿状冰舌

(2) 冰斗—山谷冰川:在各冰川区都有分布,数量上远超过山谷冰川,但每个冰川面积、储量不及山谷冰川,典型的例子是鏡鉄山西南的“七一”冰川,冰川最高点4,950米,冰舌末端4,200米,长3.5公里(冰舌长1.5公里),面积3.6方公里,储冰量1.9亿公方左右。这类冰川的利用价值也是比较高的。

(3) 冰斗冰川:广泛分布于各个冰川区,是祁連山区佔优势类型的冰川,大的冰斗冰川如柴达木山北坡红旗1号冰川,位于4,880—5,773米高度間,面积4.68方公里,储冰量2.11亿公方,超过一些小的冰



由山谷冰川衰退成的大冰斗冰川(五个山谷冰川)

斗-山谷冰川,但多数冰斗冰川小于冰斗-山谷冰川。

(4) 冰斗-悬冰川: 这个过渡性类型比较模糊,数量也比较少,例如党河南山的白金沟2号冰斗悬冰川,面积1方公里,储冰量0.25亿公方。

(5) 悬冰川: 这种冰川数量最多,分布最广,每个冰川的体积很小,面积都不到1方公里,冰储量只数百万公方,由于分散与陡峻,利用上比较困难。

(6) 平顶冰川: 是一个特殊类型,数量最少,只见于走廊南山中段与祁连山西南区,铺盖在平缓的可能经过准平原化的山顶上。例如走廊南山中段的一个平顶冰川高度界于4,300—4,600米间,面积2.61方公里,储冰量1.9亿公方。

除平顶冰川由特殊地形形成外,其余各类冰川在发育上相互联系,第四纪末一次冰期至今,世界各地冰川普遍退缩,祁连山也不例外。根据古冰川的遗迹,不少冰斗冰川是古代的冰斗山谷冰川以至山谷冰川退缩的残余,不少现代悬冰川只占有古代冰斗的部分侧壁。祁连山西南区的平顶冰川则可能是古代冰盖收缩分裂而成。

2. 冰川储量估算方法与储量估算: 冰川储量决定于面积、厚度与密度三个要素。冰川面积估算主要根据航摄照片,至于没有航空照片的地区,除个别经过实地考察的冰川,可以比较正确地测量长度、宽度外,一般根据照片与目测估算,误差较大。

冰川厚度的计算比较困难,我们利用地貌形态法作了粗略的估算。山谷冰川与冰斗-山谷冰川的厚度一般在冰舌末端较薄,后部较厚,粒雪盆中央最厚,粒雪盆边缘最薄。冰斗-悬冰川或悬冰川的厚度则以冰舌末端最厚,上部较薄。祁连山各类冰川厚度大体上薄的在20米左右,厚的超过100米。

高山冰川密度: 新鲜雪在0.2左右,粒雪在0.25—0.45左右,冰层密度为0.8—0.9。由于冰面雪层厚度一般只20—30厘米,最厚不超过一米。对于数十米厚的冰层来说,雪量是否计算,影响不大,可略去不计。冰层密度则根据各冰川区冰层标样分别规定为0.8、0.85与0.9。

至于冰川的分布,我曾作了区、群、组的划分。考察过的与在航空照片上判读的10个冰川区、33个冰川群、135个冰川组、950条冰川(不全),总面积为1,154方公里,储水量约340亿公方。这里还缺失疏勒南山东段与哈拉湖附近的冰川,把这些缺失地区冰川都估计进去,祁连山冰川总面积可能达到1,300方公里左右,储水量约达400亿公方左右。



贯穿冰川的横裂缝

二 冰川的积累和消融

1. 积累与消融特征: 冰川积累主要依靠大气降水,在形式上或为冰面直接降雪,或为从邻近高处的

雪崩堆积,或由风將鄰近地区雪吹送来堆积。冰川的消融方式,主要是蒸发和融化,由于祁連山区沒有高山冰川观测站,累积較長期的记录,我們不能定量地确定每年积累和消融的收支情况,只能根据考察期間片断的冰面观测记录与較低地区的水文气象站資料来討論这个問題。

祁連山現代冰川的积累适应降水的季节分配,明显的以夏季为主(山区5—9月降水,佔全年65—80%),而夏季又是消融最强烈的季节。因此,积累与消融相間是祁連山冰川的重要特征。夏季每次降雪后,天气轉晴,强烈的日射与升溫,使积雪消融,而夜晚低溫,使消融剩余的雪,再行冻结。因此,粒雪盆中积雪(包括新鮮雪和粒雪)一般都很薄,极少超过一米,冰舌部分,很多冰层直接暴露。冬季(10—4月)消融基本停頓,冰面完全冻结,不多的降雪增加了冰川积累。在考察期間,冰川面上的降水形式,祁連山中段、西段主要以降雪为主,次为降雹;东段冷龙嶺冰川区,雪雹以外,尚降雨。每年冰川上降水究有多少?据在祁連山东段高山谷地观测資料,如臺源,已达到580毫米,高山冰川上降水可能超过700毫米,甚或达800毫米左右,这是为什么最高峯不超过4,800米的冷龙嶺出現了148方公里冰川羣的主要原因。在祁連山中段,托賴山西段的“七一”冰川4,900米高处,观测到6个年层的冰层,平均每个年层厚433毫米,折合水层370毫米,加上这个高度上虽然少但一定还有的消融損失,估計年降水量超过500毫米。在祁連山西段,野馬山老虎溝冰川有8个年层,平均每个年层厚345毫米,折合降水286毫米,加上消融損耗,估計年降水400毫米以上。

关于消融情况,根据若干晴天对冰川的观测資料,平均每日消融1.5厘米左右,按粒雪密度折合水层6毫米,消融最强烈的每天达3.2厘米,折合水层12.8毫米(8月12日烏蘭太吾冰川),消融最弱的每天仅0.7厘米(8月4日冷龙嶺北坡)。降雪日期,冰面均停止消融,有时降雨,則会促进消融。促使冰川面消融的热量来源为:太阳輻射,雪面与空气的热交换,冰川周圍或出露在冰川表面岩石峭壁的輻射和大气液体降水,而前两种是主要的。

2. 冰川自然融水量的估算:我們在各个重点考察的冰川末端可能观测的河床上設立了临时观测哨,作3—5天(最長的10天)的水位、流量、水溫等項观测,由于观测条件的限制(時間短,冰水礫石河床的不稳定,冰融水漲落的剧烈),影响冰川融水因素的复杂,各队所得的材料,正确度較低,誤差可能达10%左右。

根据考察期間15个重点考察冰川所得的資料統計,观测融水的冰川总面积101.3方公里,平均总流量9.457秒公方,每方公里冰川产生的流量平均为

0.0934秒公方。考察期間,正当冰川消融的强烈季节,虽然夏季消融時間,自5月至9月,延長达150天左右,但5、6月与9月的消融强度,远低于7、8月。因此,將上述冰川融水量以100天計,作为冰川整个夏季的融水量,可能比較合适。祁連山区冰川总面积以1,300方公里計,冰川融水量共約121.4秒公方,整个夏季融水量約10亿公方。

3. 渗漏問題:冰川融水的渗漏現象极为严重,普通由冰川发源的河流,一出山口,流經它自己所冲积的扇狀碎石平原,便大量渗漏。如托賴南山西段与中段冰川羣,每个大冰川的日出水量都超过1万公方,但从冰川末端算起,不出5公里,就渗漏殆尽,在托賴西川通疏勒河的寬广山間平原,虽然南側山地冰川不少,但平原上只有干涸河床,找水极为困难。最大的野馬山老虎溝冰川每天十多万方的水量,流了15公里,也渗漏干淨。

冰川融水补給地下水,到下游又以泉水形式溢出补給河流,例如托賴西川到下游切穿托賴山而成峡谷,在峡口泉水(高崖泉)湧出成为大河,冰川融水經过渗漏入地,以及再冒出时,究竟損耗了多少?由于缺乏实测資料,不能断定。估計有二种情况:(1)下游有峡谷与不透水岩层阻攔,由冰川融水补給的地下水,再流出补給河流。根据7月中“七一”冰川融水的逕流模数推算,“七一”冰川羣可产生0.4秒公方的流量,这些水流中途都滲入礫石河床,但到接近北大河时,又都溢出,同时期曾观测到0.8秒公方水量(还有其他地面与地下水补給),在这类情况下,冰川融水的实际損失可能是不多的。(2)下游沒有峡谷或不透土层攔住时,地下水层分散,不易再行集中,可能有較大損失,这在冰川补給河流流出祁連山进入河西走廊冲积、洪积平原时,特別显著。因此,利用冰川融水,必須同时解决渗漏問題。

三 使高山冰川为改造西北干旱服务

根据1958年的考察結果,祁連山冰川总数估計在1,000条以上,冰川总面积1,300方公里左右,总儲水量約达400亿公方。这些冰川起着高山水庫作用,积累的冰雪集中在夏季农作物生長期消融,这是河西与柴达木虽然缺水而供水比較稳定的一个重要因素。

祁連山冰川規模在西北各个高山区中还是最小的。新疆天山的冰川面积、儲水量虽然沒有經過詳細考察,但肯定要超过祁連山許多倍,天山的雪綫下降至3,500米至4,600米間。根据苏联学者的資料,仅中苏边境騰格里山冰川区(天山最大的冰川中心),冰川面积即达2,500方公里,最大的山谷冰川長53公里,厚400米(祁連山最大的山谷冰川長仅10公里,厚100米),天山的冰川資源很可能会达到祁連山的10倍左

右。綿亙在塔里木盆地、柴達木盆地南緣的崑崙山，由于山系長大，冰川数量也不会少于天山。新疆与克什米尔边界上的喀喇崑崙山不但是亞洲也是全世界冰川最发达的高山，山脊整个为冰雪复盖，只有个别高峰露出冰面。把上述干旱区的高山現代冰川算一总賬，面积超过 10,000 方公里，总儲水量可能达到一万亿至二万亿公方。如此巨大的富源，任其長眠高臥，不加利用，岂不可惜。

有些杞人忧天論者，从第四紀冰期以后，世界各地冰川一般都处于退縮状态这个情况出发，担心着冰川沒落的命运，認為不但宜扩大冰雪消融，而且主張保护冰川。我們的看法則不同，祁連山現代冰川較第四紀冰川盛行时期，确已縮小，現代冰川末端，一般都在 4,000 米以上，古冰川末端遺跡則可在 3,000 米左右高度找到。但目前冰川究竟在前进还是后退，还需作詳細研究，才能确定。我們曾发现若干冰川上有新鮮的前进中的活冰层超复在衰老的死冰层之上的現象，即使多数冰川是在后退中，其速度也是非常緩慢的。今天融冰化雪規模还很很小，对于巨大的冰川儲水量來說，問題不在于融冰化雪工作已經威胁了冰川的存在，而在于目前还缺乏一种便于大面积推广的經濟的办法，讓冰川扩大消融，为社会主义建設服务。当融冰化雪規模进一步扩大了，人类参与了冰川的变革，一方面可以人工黑化或其他方法促进冰川消融，另一方面也可以用人工降雪或其他方法增加冰川积累。我們相信，經過相当时期的努力，人类可以在一定程度上控制冰川的发生和发展，成为冰川的主人。

当然，要使千万年来人类可望而不可及的高山冰川，馴服地为社会主义建設服务，还存在許多困难。就人工黑化办法促进冰雪消融而論，黑化一方公里冰川需要数十吨材料，由于高山冰川交通不便与高寒自然条件的障碍，把这些材料搬上冰面，均匀撒布，不

論用人力或飞机，都很費周折；其次，夏季冰面的不时降雪，掩埋黑化材料，增加工作的复杂性；第三，冰川下的河床都有相当严重的滲漏問題，与融冰化雪同时必須举办防止滲漏工程。我們还没有深入地揭发各种不同条件下冰雪消融过程，因而也没有能开辟除人工黑化以外的融冰化雪的新途徑。一定要把專業的科学研究与羣众的融冰化雪工作結合起来，土洋并举，同时依靠应用現代科学技术与羣众的創造发明二条腿走路，努力創造出經濟、有效、易为羣众所掌握和便于大面积推广的融冰化雪方法。

高山冰雪利用工作的进展，不仅有着重大的經濟意义，还将帶动着一系列学科的发展，甚至新学科的誕生，而首先是以控制冰川发生发展为目标的新型的冰川学，其中包括冰川水文、冰川气象、冰川地貌与地質、冰雪結晶与構造研究等等；其次是由于冰川考察研究而联帶产生的高山学，研究在高山特殊条件下的自然資源和气象、地貌、植被、岩石风化、冻土、泥流作用等規律；从冰川水源出发，結合人工降水、地面逕流調节、地下水搜尋勘探，并以水分循环、平衡与調节的理論为中心建立起統一的干旱地区水源学。由此可知，科学工作者全力为国民經济服务，任务帶动学科，仅仅高山冰雪研究一項，就能为有关科学特别是地理科学开辟广闊的前途。

1959年是高山冰雪利用的研究进入重要战斗的一年，中国科学院高山冰雪研究队一方面要在祁連山区开展規模較大的融冰化雪实验，在中共甘肃省委的統一领导下，結合河西羣众性水利工作，准备在 10 个地点进行工作，爭取扩大融水 1 亿公方左右，一方面在天山和其他山区考察冰雪資源，找水源至少 1,000 亿公方。通过这场战斗，一定要取得經濟与学术兩丰收。

要使高山冰雪为人类服务

——关于祁連山人工加速冰雪消融的試驗和問題

朱 崗 崑

(中国科学院地球物理研究所 中国科学院高山冰雪利用研究队)

去年 6 月初，中国科学院地球物理研究所为了有效地解决西北地区的水源不足問題，曾提出要研究人工促进冰雪消融、人工降水和消雹，以及抑制水庫蒸发和合理計算灌溉定額等科学問題。这一倡議迅即得到各方面的大力支持，就在过去短短半年的时期內，

这几項都以河西地区为重点先后积极展开了工作，并取得了一定的成績。关于祁連山人工降水試驗以及考查祁連山現代冰川的分布、类型和儲量，已有較詳細的报导，本文着重敘述我們在祁連山进行融冰化雪試驗若干初步經驗、体会和其中的一些問題。