

分类_____

密级_____

西北師範大學

碩士學位論文

天山托木尔峰青冰滩 72 号冰川 消融特征研究

王 鹏

导师姓名职称： 李忠勤 教授

专业名称： 自然地理学 研究方向： 干旱区水资源

论文答辩日期： 2011 年 5 月 学位授予日期： 2011 年 6 月

答辩委员会主席：

评 阅 人：

二零一一年五月

硕士学位论文
M. D. Thesis

**天山托木尔峰青冰滩 72 号冰川
消融特征研究**

**Characteristics of ablation on Qingbingtan
Glacier No.72, Tuomuer Tianshan, China**

**王 鹏
Wang Peng**

**西北师范大学
Northwest Normal University
二零一一年五月**

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包括其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得西北师范大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签名：_____ 日期：_____

关于论文使用授权的说明

本人完全了解西北师范大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

（保密的论文在解密后应遵守此规定）

签名：_____ 导师签名：_____ 日期：_____

摘 要

利用中国科学院天山冰川观测试验站科研人员于 2008 年 7~9 月、2009 年 5~9 月对阿克苏库玛拉克河源地区托木尔峰青冰滩 72 号冰川进行大规模综合性野外科考得到的冰川消、积等相应的冰川物质平衡数据,使用传统的物质平衡计算方法,计算出单点物质平衡值后,结合实际考察经验,研究了冰川的消融特征。文章的主要结论如下:

(1) 72 号冰川冬平衡年是消融率变化幅度最小的时间段,其日变化率为 0~-4mm/d 之内,冰川在冬半年处于物质平衡状态;冰川在夏平衡年间,从 5 月底至 7 月中旬时出现加速消融的趋势,7 月中旬后冰川处于积累和消融的两高阶段,其强烈消融、积累期是每年的 7~8 月。

(2) 72 号冰川消融随海拔的变化主要分三个区域:一是海拔 3760~3820m 之间,处于冰舌末端,地形平坦,无山峰阻挡,消融强烈,消融量随海拔增加而减少;二是海拔 3820~4020m 之间,冰面起伏变化很大、高低不平。其中,3820~3850m 冰面落差高达 10~20m,有大量冰面河发育,还散落有不连续冰碛物,消融量出现增大趋势;3850~3930m 之间冰面起伏变缓,消融情况与冰川末端相似;3930~4020m 之间,该区冰川被东西两边的高大山体阴影遮盖,冰面起伏落差都在 20m 以上,有冰面湖发育,消融量缓慢增大,趋势减缓;三是海拔 4020m 以上,靠近粒雪盆,冰川表面平缓,消融量明显下降。总之,72 号冰川在整个物质平衡年内,由于受到冰川地形地貌的影响,其消融量的变化十分复杂,因此不能单独依靠海拔变化来判断冰川的消融量变化。

(3) 研究认为:冰川上冰碛覆盖物对于冰川消融的抑制作用是不容置疑的,但冰碛覆盖厚度的大小影响到这种抑制作用的强弱。研究表明:这种作用强弱趋势变化大体上呈现出 0~20mm、50~80mm 和 20~50mm, 80~450mm 三个阶段,前两者减少趋势大于后者;冰碛厚度为 0~20mm 之间时,减少率为 35, 20~50mm 时,减少率为 10, 趋势变缓, 50~80mm 时,减少率为 33, 80~450mm 时,减少率为 2。整体上看,冰碛厚度在 0~80mm 之间时,消融量受冰碛厚度影响极其明显;0~20mm 和 50~80mm, 影响最强;20~50mm, 影响较弱,为过渡区间,超过 80mm, 影响已不太明显,随厚度进一步增加,冰川消融趋向停止。

(4) 72 号冰川所在的大环境是大规模冰川发育的理想场所,同时冰川两旁山坡上经常有碎屑物质崩落在冰川表面,有利于冰川的储存,冰川主体有 2/3 以

上的区域都被东西两边高大的山峰阻挡，其冰川主峰的东南侧还发育有 73~76 号冰川群，在背面就是托木尔冰川的一个大型分支冰川，使得 72 号冰川处于托木尔峰一系列冰川的包围之中，这样的冰川地形和周围大冰川环境，以及冰川本身垫面复杂，且人类活动对该冰川影响甚小，无疑造就了该冰川消融的特殊性。

关键词：天山托木尔峰青冰滩72号冰川；单点物质平衡；消融特征；消融率；冰碛覆盖区；海拔；冰川物质平衡

Abstract

Using the accumulation and ablation, and other mass balance data of Qingbingtan Glacier No.72, Tuomuer, Tianshan, got by Chinese academy of sciences, researchers observed experiment stations in July to Sep. 2008~May to Sep. 2009; by traditional material balance calculation method to get the single point, with the material balance value, and combining with actual inspection experience, studies the glaciers melting characteristic. The main conclusions are as follows:

(1) Glacier No.72 winter balance years is ablation rate variation amplitude, the minimum period for 0~4mm/d day rate inside, glaciers is material balance accumulate state in the winter-half year. Glaciers in summer from the end May to mid-July when accelerating melting trend, after mid-july accumulated and melting of glacier is in better stage, it strongly ablation, accumulate period is from July to Aug. each year.

(2) With the elevations of the glacial melt are characterized by the following three areas: The first is divided between 3760~3820m glacier areas, the region is in the end tongue of ice, gently topography, by solar radiation most and ablation strongly. The second is between 3820~4020m glacier zone, the overall ablation is relatively complex, start to 3850m with ice ups and downs changing, there are large quantities of ice river, the melting difference led to glaciers melting tendency increase quantity; 3850~3930m, the melting same to the first zone; From 3930~4020m, because glacier ice cover the both sides of the mountain, glacier melting increased slowly and the entirety trend reduced although shadow increasingly violent; The third is the glacier area above an altitude of 4020m, the surface extremely flat, ablation was evidently decreased. Anyhow, due to the influence of glacier topography, the ablation amount of change is relatively complex of the glaciers in the material balance years, so we can't solely depending on elevation changes to determine the change of the glacier melting.

(3) Glacier surface ice melting ice covering inhibition can not be questioned, but the size of ice covering affects the thickness of the strength of the inhibiting effect. Which should be characterized by the following three: 0~20mm, 50~80mm and

20~50mm;80~450mm.Study found that ice covering thickness is 0~20mm, their ablation depletion rate are as following: 35,33,10,2.When thickness in the 0~80mm,the inhibition to melting glaciers began to present; Thickness in the 0~20mm and 50~80mm, its for ice melting inhibition is the most intense; Thickness in 20~50mm, the inhibition slackening again; After 80mm thickness achieve strong inhibition appear, and with further increases the thickness of the ice covering, glacier melting may stop.

(4)Glacier No.72 where the environment is an ideal place for large-scale glacier development on both sides, and glaciers hillside often have clastic particle caving in glacier surface, that will be helpful for ice storage, above 2/3 areas of the glacier main body is stopped by both sides of the mountain, and there are No.73~76 glaciers group in the southeast of the main peak, in the back is a branch of Glacier Tuomuer, makes No.72 surrounded by a series of glacier peak, this glacier topography and surrounding environment, as well as the glaciers itself underlying surface complex, and human activities on the glacier influence is very small, contributed to the disappearance of specificity undoubtedly.

Keywords: Glacier No.72; Single-point material balance; Ablation features; Ablation rate; Ice covering area; Altitude; Glacier mass balance

目 录

独创性声明.....	I
摘 要.....	II
Abstract.....	IV
第一章 绪论.....	1
1.1 冰川物质平衡和冰川积累、消融的相关定义.....	1
1.2 冰川积累、消融的气候和环境效应.....	1
1.3 冰川物质平衡线.....	2
1.4 冰川积累、消融的国内外研究进展.....	3
1.4.1 国内外研究进展.....	3
1.4.2 托木尔峰地区的相关研究.....	6
1.5 本文问题的提出和研究意义.....	6
第二章 研究区概况.....	8
2.1 青冰滩 72 号冰川及其周边地理环境.....	8
2.2 青冰滩 72 号冰川周边地区的人文环境.....	8
第三章 研究数据来源.....	10
3.1 冰川物质平衡数据采集.....	10
3.2 冰川气象数据采集.....	11
第四章 数据处理和研究方法.....	12
4.1 物质平衡数据的处理.....	12
4.2 气象数据的处理.....	12
4.3 研究方法.....	13
4.3.1 单点物质平衡的计算.....	13
4.3.2 冰川物质平衡的计算方法的选择.....	14
第五章 72 号冰川的消融特征.....	16
5.1 消融特征分析.....	16
5.1.1 物质平衡计算结果.....	16
5.1.2 消融率.....	17
5.1.3 消融随海拔的变化特征.....	18
5.1.4 冰碛覆盖区的消融特征.....	20
5.2 影响冰川消融的主要因素.....	22
5.3 小结.....	23
第六章 结论和展望.....	25
6.1 主要研究结论.....	25
6.2 问题与展望.....	26
参考文献.....	VI
致谢:.....	XII
个人简介.....	XIII

第一章 绪论

1.1 冰川物质平衡和冰川积累、消融的相关定义

冰川上物质的收入与支出之间的关系称为物质平衡(Mass balance)或物质收支(Mass budget) (谢自楚, 刘潮海, 2009)。冰川物质平衡有两个分量: 消融和积累。在物质平衡研究初期, 各国对于冰川物质平衡相关定义的表述上比较混乱, 自 1969 年 Anonymous 提出的统一术语得到了广泛应用, 后又经佩特森(Paterson)归纳入《冰川物理学》(中译本, 1987 年)中。我国的谢自楚和张金华, 刘时银等, 也进行了一些新的补充。主要归纳如下:

积累 (Accumulation): 冰川所收入的各种水分, 包含了冰川表面的降雪、凝华、再冻结的雨以及由风或者重力作用再分配的吹雪、雪崩等。即各种形式的水分最终都被收纳于冰川, 成为冰川的组成部分。以 c 表示。

消融 (Ablation): 冰川作为一个整体, 其固态水的所有支出, 包含了冰雪融化形成的径流、蒸发、冰体崩解、流失于冰川之外的风吹雪及雪崩。即固态水以各种方式最终从其所在冰川上分离出去, 造成了冰川物质的亏损。以 a 表示。

积累与消融之差便是物质平衡 (Mass balance), 以 b 表示:

$$b = c - a$$

此式在数据 c 和 a 以正值形式采集的情况下使用, 若二者以代数形式采集, 则 b 的值为两者的代数和, 即:

$$b = c + a$$

物质平衡各分量的量纲, 一般以单位面积上的水体质量或者水层深表示, 但为了野外观测方便, 多数研究者采用水层深表示, 即 mm。物质平衡的分量符号分别用大写的拉丁字母表示: B 、 C 、 A 。

由上述可见, 冰川积累和消融是冰川物质平衡的两个分量, 对某一冰川积累和消融研究有利于深入了解该冰川的物质平衡特征。

1.2 冰川积累、消融的气候和环境效应

全球气候变暖如今已是不争的事实, 而冰冻圈是地球表层和气候系统的重要组成部分, 对于气候有着明显的反馈作用: 一是通过冰雪的反射率和冰川融化起作用, 每年到达地面的太阳能大约有 30% 消耗于冰雪圈中, 冰雪下垫面的变化主要是冰盖、海冰和积雪的收缩与放大, 对能量平衡为基础的气候模式有重要影响;

二是通过水循环影响气候，全球变暖、冰川和冰盖融化促使海平面上升，海洋面积扩大，蒸发增加，由海洋上水汽输送到大陆，大陆降水也相应增加(丸山修孝，2006)。

冰川作为冰冻圈系统三大组分之一，是气候变化的敏感指示器，其生长和退缩响应着气温和降雪量的变化，冰川本身也影响着区域和全球气候，改变着大气环流系统。冰川一方面响应着气候变化，另一方面又给气候和环境以反馈作用(施雅风，2000)。气候变化导致冰川上物质收支的变化，也就是冰川物质平衡的变化，进而导致冰川末端位置、面积及冰储量的变化。因此，冰川物质平衡的研究对于分析气候和环境的改变，有着重要的、积极的意义。冰川物质平衡的研究已经成为国际冰川学研究的传统课题，随着国际社会对全球气候变化的愈加关注，这一研究在全球气候变化研究中也越来越受到各国科学家的重视。

由于全球气候的变化，世界各地的冰川不同程度的出现了与气温变化特征相对应的退缩或者前进，而总的来看，当前世界冰川整体上是处于退缩的趋势。能证明冰川退缩最显著的科学数据之一就是冰川的物质平衡长期处于负值，即冰川的物质消融大于冰川的物质积累。冰川是天然的固体水库，而对于我国西北干旱半干旱地区来讲，高山冰川区每年释放大量的融水，补给河川，调节着河川径流的年际变化，成为山区河流稳定可靠的水源。据统计，每年约有 $564 \times 10^8 \text{m}^3$ 融水补给我国西部山区河流，占全国河川径流的 2% (施雅风，1988)；而同时高山冰川还常在某些地区形成像冰川泥石流、冰湖溃决等自然灾害，当前随着全球气温的普遍升高，这些冰川灾害已经愈演愈烈。

2010 年 4 月底至 5 月初，新疆北部大部气温急剧回升并伴随降雨，伊犁河谷、塔额盆地、阿勒泰、哈密等积雪大幅偏多区域中山带积雪开始大量消融，部分河、沟相继发生了不同量级的降雨融雪型洪水。5 月 5 日以来，新疆已发生洪涝灾害 43 场(次)，15.55 万人受灾，死亡 3 人，紧急转移 3.3 万人，直接经济损失 2.9976 亿元人民币 (天山网，2010)。

1.3 冰川物质平衡线

在非遮阴的平面上，如果雪的年平均收入量正好等于其年平均支出量，这个面就叫作物质平衡线 (Equilibrium line)，简称为 EL，其所在高度简称为 ELA，这便是俗称的雪线 (Snowline) (谢自楚，刘潮海，2009)。冰川物质平衡线是冰川学研究中区分某条冰川积累区和消融区的重要分界线，它的准确定位，影响到最终物质平衡的计算结果。

1.4 冰川积累、消融的国内外研究进展

1.4.1 国内外研究进展

由于冰川物质平衡的重要意义，它一直是冰川学中传统的观测及研究内容。自 20 世纪中期以来，世界上很多国家都相继选择了有一定代表性的冰川进行了系统而连续的物质平衡方面的观测研究。其中，北欧及阿尔卑斯山有关国家最早，接下来是北美和前苏联。中国从上世纪 50 年代末以来将物质平衡作为重要的冰川研究内容。

1962 年 Meier、1969 年 Anonymous、1972 年 Mayo 等对物质平衡各个分量进行了统一定义，后由 Paterson 总结入《冰川物理学》一书（中译本，1987 年）中。1988 年、2000 年分别由谢自楚、张金华，刘时银等进行了新的补充，主要内容前文已经概括，在此不再叙述。

国外关于物质平衡的研究主要有 Donald G. Sutherland 于 1984 年对现代冰川物质平衡的研究，认为平衡线高度是冰川和气候之间联系最重要的参数，冰川的积累主要来自于冰川平衡线附近的风吹雪、降水和雪崩；1986 年 J.C Leiva 等对安第斯山脉的 Piloto 冰川的研究，结果指出冰川上的冰碛物对于冰川物质平衡的影响显著；1997 年 Veijo Allan Pohjola 和 Jeffrey C. Rogers 对斯堪的纳维亚山的冰川进行的观测，发现世界上大部分被监测冰川在退缩，而这一地带的冰川却在前进，主要原因是这一地区冬季和夏季的持续强西风 and 冷流；1997 年 Julian A. Dowdeswell 等对北极冰川的研究认为该地区冰川严重的负平衡正是因为处于一个寒冷小冰期的结束，而格陵兰北极冰层的消融导致了全球海平面每年大约上升 0.13mm；Victor V Popovnin 等 1999 年对安第斯山巴塔哥尼亚冰川的观测，认为当前该地区的冰川以消融为主；Delphine Six 等于 2001 年的研究认为北大西洋涛动以及阿尔卑斯山和斯堪的纳维亚冰川物质平衡的变化之间的关系，反映了北大西洋地区气候变化规律；2003 年，Christian Schneeberger 等在北极地区进行了冰川物质平衡模型的相关研究；J.C. Leiva 等 2007 年在皮洛托冰川的冰川物质平衡的研究了厄尔尼诺与冰川物质平衡的关系，发现湿厄尔尼诺年通常与正积累相关，而干燥的厄尔尼诺年一般呈现负平衡；Mathias Vuille 等在 2008 年对秘鲁布兰卡山脉 41 年的平均冰川物质平衡的记录进行了重建，结果表明年际时间尺度降水变化是该地区冰川物质平衡波动的主要动力；同年 Koji Fujita 使用数值计算方法评估了季节性降水对于冰川物质平衡的影响。

国内关于冰川物质平衡的研究最早始于 1958 年祁连山七一冰川，而 1959

年建立的天山冰川观测试验站对乌鲁木齐河源 1 号冰川（以下简称：1 号冰川）进行了最早的系统监测。该站每年出版的《天山冰川观测试验站年报》，都会对当年 1 号冰川的物质平衡基本情况进行相应的论述。1 号冰川也是目前我国冰川监测时间序列最长，观测资料最详细，研究成果最多，唯一一条被 WGMS 国际冰川监测组织收录的中国冰川。

我国冰川物质平衡的研究性论文最早是由康兴成、丁良福发表于 1979 年的《冰川冻土》第三卷第一期上，文章主要讨论了天山和祁连山的冰川物质平衡、雪线位置与天气气候的关系；张金华于 1980 和 1984 年分别发表了对 1 号冰川 1958-1974 年的物质平衡进行的系统计算、研究和物质平衡变化与气候关系的文章；丁永健等分别于 1991、1996、1998 年论述了冰川物质平衡的简单数学表述法、近 40 年来冰川物质平衡变化及其对气候变化的响应、使用地理信息系统方法测定太阳辐射于冰川物质平衡的关系；秦大河等于 1994 年研究了南极洲 Nelson 冰帽排钻冰芯内的火山灰与冰川物质平衡的关系，同年，谢自楚总结研究了高亚洲（高亚洲：亚洲中部的高山及高原地区。1994，谢自楚）的冰川物质平衡；蒲健辰等于 1995 年论述了冬克玛底冰川和煤矿冰川的物质平衡；谢自楚、丁良福等于 1996 年讨论了冰川平衡线处的物质平衡和高亚洲冰川物质平衡对于气候变化的响应；刘潮海、曹梅盛、沈永平等在 1997 年分别做了 1 号冰川的物质平衡过程研究、天山地区冰川物质平衡突变探测研究、流域冰川平衡物质平衡的计算及应用研究；刘时银等于 1998 年研究了 1 号冰川物质平衡对气候变化的敏感性，2000 年作了高亚洲地区冰川物质平衡变化特征研究；谢自楚和沈永平等分别于 2001 对贡嘎山海螺沟冰川和祁连山北坡流域冰川的物质平衡及其对流域内水资源的影响作了研究；沈永平等于 2003 又对天山南坡台兰河流域冰川物质平衡及其径流进行了研究；鞠远江等于 2004 年讨论了山地冰川物质平衡线与气候的关系，温家洪等作了南极冰盖的物质平衡研究进展；杨惠安等在 2005 年对 1 号冰川过去 44 年的物质平衡结果和过程进行了整理研究；同年，韩添丁等对 1 号冰川 1980 年以来的冰川表面单点物质平衡进行了统计，并分析了不同季节物质平衡及其冰川变化特征，蒲健辰等也对祁连山七一冰川的物质平衡进行了观测；鞠远江等于 2006 对 1 号冰川的物质平衡特征进行了统计分析，同年张勇等对天山南坡科契卡尔巴西冰川的物质平衡作了物质平衡研究；周广鹏等于 2007 年对青藏高原中部扎当冰川作了物质平衡研究，同年温家洪对南极 Lambert, Mellor 和 Fisher 冰川的物质平衡进行了估算。

有关对冰川消融方面的研究，在国内外的文献中涉及的都很少。最早在 1909 年，佛列尔分析了冰川表面消融的各种因素，1965 年出版的丁亚梅等翻译的 C·B 克列斯尼克所著的《普通冰川学》对此进行了补充，认为影响冰川表面消融的因素有：太阳辐射、冰川岩石边坡的辐射、冰川辐射、空气的温度、冰面水汽凝结潜热、降雨、空气湿度、蒸发、冰川的坡向、冰面海拔高度、季节和昼夜变化；Carl Egede Bøggild 等在 1994 年对于 Storstrømmen 冰川的消融观测，但只是作为对物质平衡的辅助研究；E.M Morris 在 1999 年 Moraine Corrie 冰川的消融进行了研究，认为南极洲冰盖的消融对于海平面升高的贡献比以往人们研究的要高很多，同年，Jennifer Purdie 等对 Tasman 冰川的末端消融进行了研究，发现其消融的主要原因是冰崩；Roman J. Motyka 等在 2003 年对 Mendenhall 冰川的观测研究表明：该冰川主要是冰面消融，其次为冰湖发育引起的冰崩；M. Olefs 等在 2008 年对 Alpine 冰川研究认为：在冰川上覆盖 0.004m 的物质可以加快冰川的消融；Andrea Fischer 在 2010 年对 Hintereisferner 冰川研究认为：低海拔的冰川由于平均温度上升和地面高程的下降导致了消融的加大。

我国对冰川消融的研究主要有路传琳于 1983 年研究认为冰川消融深与冰川上的气温关系密切，同年，张文敬等对博格达峰冰川研究，比较了其 1 号冰川等的消融强度；康尔泗等在 1994 年研究了乌鲁木齐河源冰川的消融海拔分布，提出了天山冰川消融参数化能量平衡模型；张寅生等、叶柏生等于 1996 年分别研究我国大陆冰川的消融特征和提出了乌鲁木齐河源冰川的消融强度函数；沈永平等于 2001 年作了全球冰川消融加剧对人类环境造成威胁的报道，同年，包为民等作了冰川消融耦合模型的研究；程瑛等于 2002 年对祁连山的冰川消融与高空气温变化的关系作了研究；蒲健辰等于 2003 年对慕士塔格峰洋布拉克冰川的消融进行了观测分析；张勇等于 2004 年对科契卡尔巴西冰川的消融期气候特征进行了分析；2007 年李忠勤等对 1 号冰川的消融与气候变化的响应作了研究，同年，陈亮等对七一冰川消融期间的能量平衡作了论述；贺建桥等研究了七一冰川消融与气温日变化的关系；卿文武等在 2009 年对科契卡尔巴西冰川消融进行了估算，同年，陈浩等研究认为青藏高原冰川消融是引发其周缘大地震的原因；最近刘慧明等研究了新疆冰川消融对气候变化的响应。

在前人的研究中有关冰川物质平衡和冰川消融的文献，大多是对某条或某个区域冰川的物质平衡观测研究、统计分析，或对冰川消融与气候、环境的关系研究，也有部分人（张寅生、叶柏生等）做了大范围内的冰川消融方面的工作，但

较少有关冰川消融的系统且完整的讨论。

1.4.2 托木尔峰地区的相关研究

托木尔峰是天山最高峰，海拔 7435.3m，位于我国天山西段。该区不但是天山最大的冰川作用中心，而且也是世界上有名的山岳冰川区之一。最早是俄国人在 1857 年、1876 年考察了沙里扎斯山的冰川，1902 年德国人考察了西部和东部的一些冰川。我国科学家在 1959、1973、1977 年对该地区进行了考察，其中 1977 年的考察较为全面。之后，谢昌卫等在 2004 和 2006 年分别作了该区域部分冰川水文和冰川冰舌变化的研究。

1.5 本文问题的提出和研究意义

冰冻圈是与大气圈、水圈、岩石圈和生物圈一起，并称为地球系统中的五大圈层之一。冰川是冰冻圈的重要组成部分，是自然界中最宝贵淡水资源。地球上陆地面积的十分之一被冰覆盖，五分之四的淡水储存于冰川。虽然冰川储量的 96% 位于南极大陆和格陵兰岛，而对于亚洲中部干旱区的人民来讲，冰川乃生命之源。冰川是气候变化的敏感指示器，其生长和退缩响应着气温和降雪量的变化；而冰川本身也影响着区域和全球气候变化，改变着大气环流系统。冰川既是气候变化的记录器，又是气候变化的驱动器。冰川作为固体水库，是全球水循环的重要组成部分，冰川的融水变化对下游地区的社会经济发展具有深远的影响。为了更好地研究冰川及其对于人类社会的影响，就要把冰川作为一个系统来看，了解这个系统的输入和输出，及其与其他系统（如：大气、海洋、河流、景观等）的相互作用。冰川系统的物质和能量进入包括降水、岩石碎屑、重力、太阳辐射、地热，及其由水汽、水、冰、岩石碎屑和热释放到系统的物质和能量。这些物质和能量通过系统按一定的速率进行交换，并在一定时段储存在冰川内或冰下。冰川系统最重要的收支是冰川表面直接的降雪、风吹雪，及其冰川表面以上山坡的雪崩带来的冰和雪。与冰川物质收入有关的所有过程称为冰川的积累，而与冰川上物质消耗的所有过程称为冰川的消融。积累与消融之间的数量关系称为冰川的物质平衡。

冰川的物质平衡的特征及时空变化规律与气候环境特征及其变化密切相关。而物质平衡影响着冰川一系列物理特征以及冰川规模的变化。因此物质平衡是冰川与气候环境之间相互作用的关键链条。在研究气候变化的影响及其对气候变化的响应中，冰川物质平衡的研究具有更突出的地位，在冰芯研究中也是十分重要

的环节。同时，冰川作为一种重要的水资源，在冰川水利水能利用以及冰川灾害防治方面，冰川物质平衡也是一个重要的因素。

冰川消融作为冰川物质平衡的一个重要组成部分，集中体现了冰川的物质亏损情况。研究冰川的消融，有利于对冰川的消融状况、机理的全面把握，深入了解冰川的物质平衡过程。我们知道，在湿润低温的年份，冰川消融较弱，而高温干旱的年份，冰川消融强烈，释放出大量的冰川融水，对我国西北干旱区的水资源进行着自然的调节和补给，进而影响到当地的绿洲农业和人民的生产生活。但近年来，由于全球气候的变暖，冰川消融加剧，我国西北干旱区时有冰湖溃决、洪涝灾害的发生，严重威胁着冰川下游流域人民的生命财产安全。因此，了解冰川的消融情况，有利于指导冰川区对于冰湖、洪涝等灾害的预防，减少人民的损失。

冰川的积累由降雪、凝华、雨水再冻结以及由吹雪与雪崩等雪的再分配等组成。中国西部多数冰川属于大陆性冰川，冰川区的降水量小，气温较低，冰川积累强度弱，主要靠夏季降雪补给，属于暖季补给型。只有西藏东南部海洋性冰川属于冷季补给型，积累强度通常比大陆性冰川高 1~2 倍。消融包括冰雪融化并形成径流、蒸发、崩解、风吹雪及冰崩流失等过程。天山冰川夏季消融期一般为 1.5~3 个月，这期间由于夏季降雪多，也是积累速率最快的时段（刘潮海，谢自楚等，1998），因此，在这此期间研究冰川的消融，就可以更加准确的揭示冰川物质平衡的实际情况，进而有助于了解整个区域的冰川物质平衡状态。

中国科学院天山冰川观测试验站科研人员于 2008 年 7~9 月对托木尔峰青冰滩 72 号冰川进行了大规模综合性野外科考，并坚持进行连续年际观测。该冰川是冰斗-山谷复合型冰川，冰川表面起伏较大，冰面河发育较多，有大量冰裂（隙）缝，冰舌有冰碛覆盖，在研究区域内具有典型的代表性，目前研究区内还没有专业而详尽的冰川消融方面的研究。因此，本研究具有很好的区域代表性，是对冰川物质平衡研究的重要补充。

第二章 研究区概况

2.1 青冰滩 72 号冰川及其周边地理环境

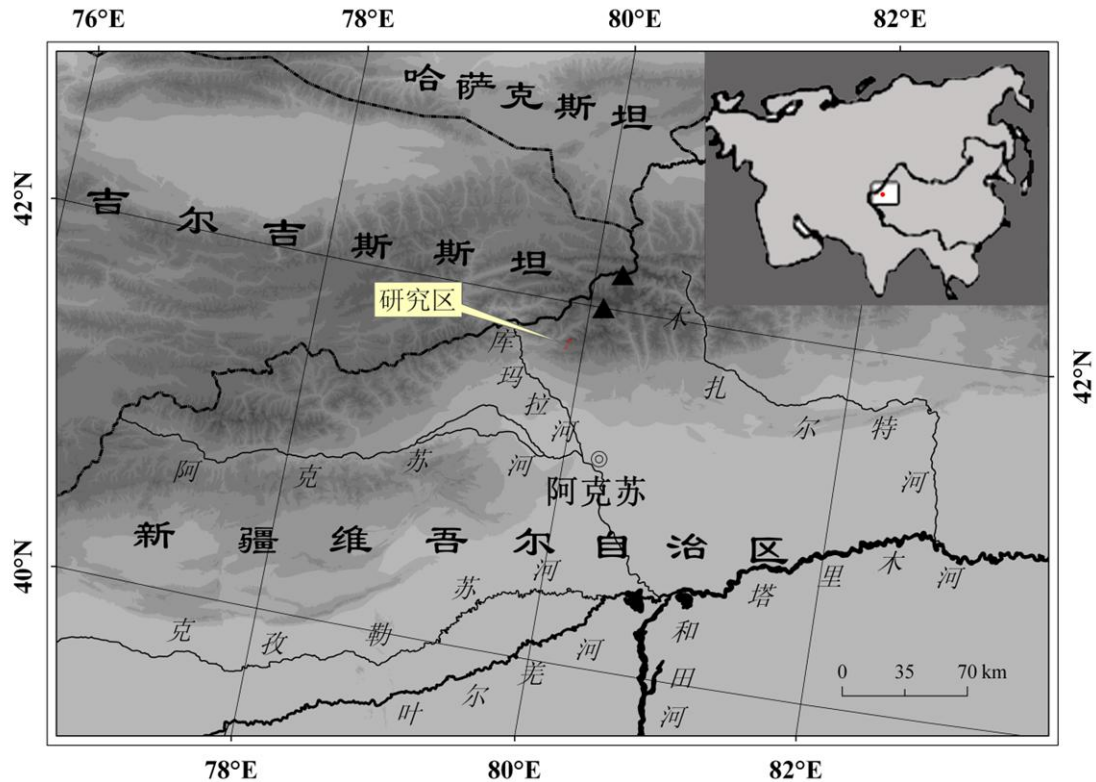


图 2-1 天山托木尔峰青冰滩 72 号冰川及其所处的周边地理环境

Fig.2-1 Qingbingtan Glacier No.72 Tuomuer, Tianshan and it's around environment

天山托木尔峰青冰滩 72 号冰川（以下简称：72 号冰川）（ $41^{\circ}45.51'N$, $79^{\circ}54.43'E$ ）位于阿克苏河的上游（见图 2-1），有较高的海拔和较低的气温。阿克苏河是塔里木河流域目前四条较大的组成河流之一，贡献了塔里木河干流 70% 以上的水量。72 号冰川属于阿克苏河支流库马拉克河流域，位于托木尔峰冰川群西南边缘，新疆阿克苏地区温宿县吐木秀克乡境内。据中国冰川编目记载，冰川编号为 5Y673P0072，冰舌末端海拔 3560m，最高处 5986m，平均海拔 4200m，冰川总面积为 5.23km^2 ，储量 0.398km^3 。72 号冰川是青冰滩神奇峰北坡冰川，属于冰斗-山谷复合型冰川，表面有大量的冰裂隙及冰面河发育，冰川东西两侧均覆盖有 2~50cm 不等的表碛，冰川上部由几个并列分支的粒雪盆组成，其中偏东方向的较大，冰川补给形式多为冰崩、雪崩。

2.2 青冰滩 72 号冰川周边地区的人文环境

72 号冰川位于新疆南疆阿克苏地区，温宿县吐木秀克乡境内，最近的人类

聚集区为相距 40km 左右的温宿县神木园景区。冰川海拔 3500m 以下为神奇峰南山牧场，分布有零星牧民，近年来由于该区的冰川旅游开发，夏季会有少量游客前往。但总体来看，研究区内受到人为的影响较少。

第三章 研究数据来源

3.1 冰川物质平衡数据采集

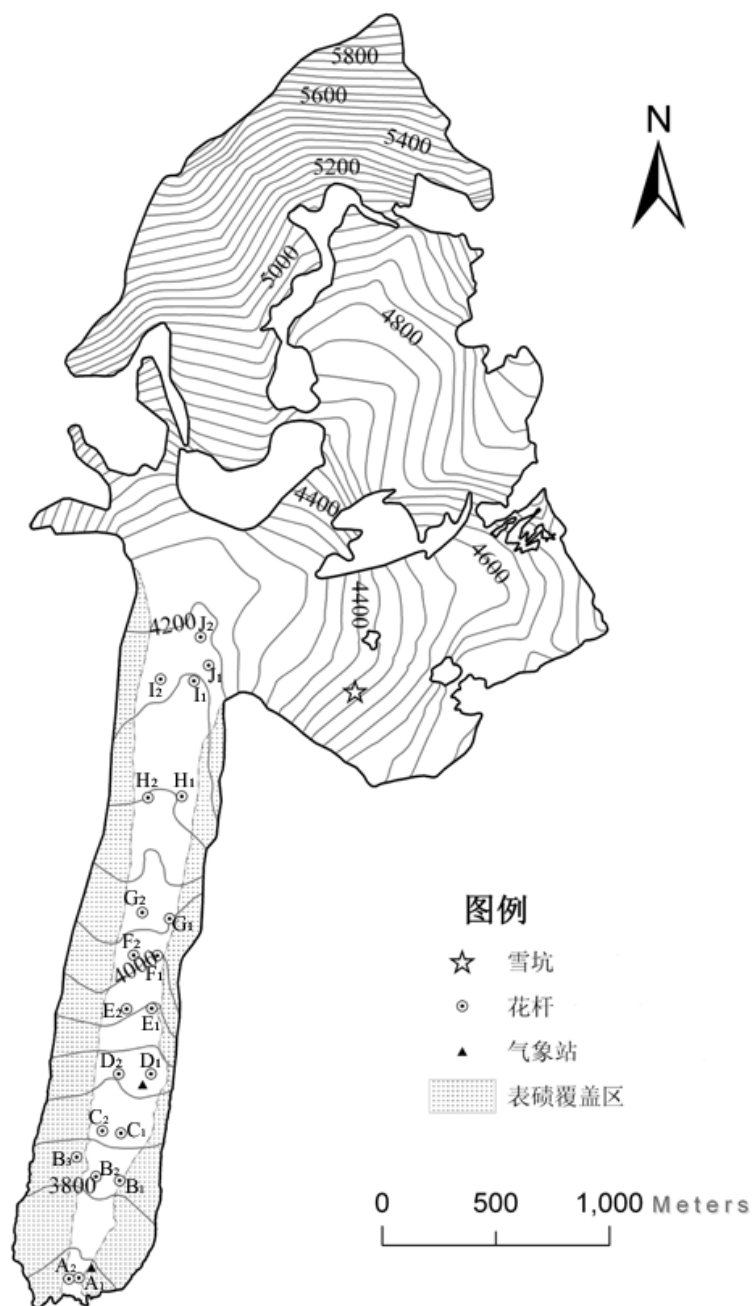


图 3-1 天山托木尔峰青冰滩 72 号冰川及花杆分布图

Fig.3-1 The stakes on Qingbingtan Glacier No.72 Tuomuer, Tianshan

中国科学院天山冰川观测试验站科研人员于 2008 年 7~9 月对阿克苏库玛拉克河源地区托木尔峰青冰滩 72 号冰川进行了大规模综合性野外科考。如图 3-1，按照冰川物质平衡的观测及研究标准，7 月 29、30 日在 72 号冰川表面使用蒸汽

钻均匀布设 21 个测点（花杆），记录初始花杆高度（读数精确到 cm），并于 8 月 26 日记录了花杆的下一个平衡年初始高度。而后在 2009 年 5 月 23 日、7 月 18 日、8 月 24 日分别进行了物质平衡观测。

3.2 冰川气象数据采集

2008 年 7 月 30 日在位于 72 号冰川中部消融区海拔 3950 m 处架设 Davis Vantage Pro 气象站，采集了至 8 月 28 日的气象数据（如图 3-1），而后 2009 年 5 月 23 日分别在冰川末端 3800m 和冰川中部 3950m 架设了该型气象站，采集了至 7 月 21 日的气象数据；根据研究需要还使用了中国气象局统编的阿克苏地区 2008 年 9 月至 2009 年 9 月降水量和温度数据。

第四章 数据处理和研究方法

研究冰川的物质平衡，其使用的数据都为辛勤的科研工作者在长期的野外工作中依照科研观测规范，按所需数据要求取得的第一手原始观测数据，是极为宝贵的。其中，除了数据的实际真实可靠性之外，还倾注了科研工作者的大量的脑力和体力，以及现实的危险性，是很难能可贵的。因此，对于原始数据的处理，笔者本着无比细心的态度和崇敬之情而进行，力争数据源于事实还于事实，切实尊重数据的实际性，使得本研究的结果更为可靠。在研究方法的选择上，再三进行考证，使用能真实反应数据实际情况的软件和方法。

4.1 物质平衡数据的处理

冰川物质平衡单点数据采集到后，并不能直接用于计算使用，要进行一定的处理换算。其过程为：首先，我们在考察中所采集的数据为花杆的前后两次高度，其单位是 cm，因此要换算成 mm 后，在进行前后两次数据的代数求和，才能得到相应的花杆在某段时间内的消融或者积累数据，而这个数据只是一个冰川冰的高度数据，应该换算成水当量的高度才能使用；其次，如果所测花杆有粒雪存在，就要测出粒雪的密度，并将其换算成水当量的高度；第三，如果所测花杆有附加冰，那么还要换算出附加冰的水当量高度。这三者计算的都为冰川消、积水当量高度，其单位都是 mm，然后进行求代数和，所得值就是该花杆此某段时间的消融或者积累物质平衡量。

另外，在冰川积累区使用的雪坑法计算冰川的积累量，标准的方法最好是在每个的物质平衡年末，也就是每年 8 月 30 号左右在冰川的一个较为固定的积累区的雪层表面撒覆木屑之类的物质，等到下一个物质平衡年底据此来量测上一年的积累量。在测量时，还应该对雪层进行剖面分层，并分别取样带回实验室测量相应层次的密度，最后计算出所有层次的水当量，其代数和就是该物质平衡年的冰川积累量。

4.2 气象数据的处理

本次研究使用 Davis Vantage Pro 气象站采集了 2008 年 7 月 30 日至 8 月 28 日和 2009 年 5 月 23 至 7 月 21 日的气象数据。根据冰川物质平衡年的规定：中国冰川研究中物质平衡年度一般为 9 月 1 日至下年度 8 月 31 日（谢自楚，刘潮海，2009）。而本文所研究内容为冰川消融期内的特征，因此，考察所采集的气

象数据时间序列完全符合研究的需要。通过笔记本电脑和气象站有线连接后将数据下载，稍加统计处理即可以使用。

4.3 研究方法

4.3.1 单点物质平衡的计算

消融区单点物质平衡值，其计算过程详解如下。

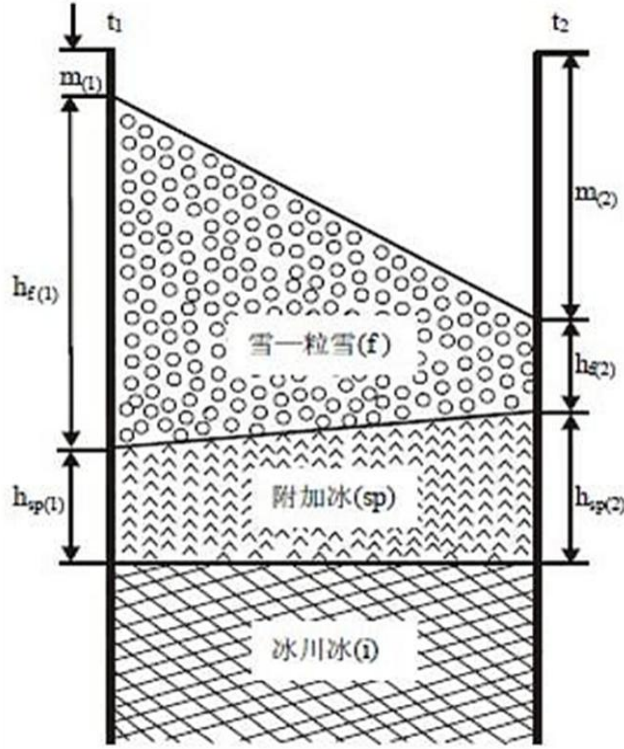


图 4-1 单点物质平衡值计算示意图

Fig.4-1 Mass balance calculating sketch map at one stake

根据图 4-1 中所示各分量，需计算的过程及公式分别为：

$$\text{计算某点某时段物质平衡: } b_{(1-2)} = b_{f(1-2)} + b_{sp(1-2)} + b_{g(1-2)} \quad (1)$$

$$\text{积雪分量: } b_{f(1-2)} = \rho_{f(2)} h_{f(2)} - \rho_{f(1)} h_{f(1)} \quad (2)$$

$$\text{附加冰分量: } b_{sp(1-2)} = \rho_{sp} (h_{sp(2)} - h_{sp(1)}) \quad (3)$$

$$\text{冰川冰分量: } b_{g(1-2)} = \rho_g [(m_{(1)} + h_{f(1)} + h_{sp(1)}) - (m_{(2)} + h_{f(2)} + h_{sp(2)})] \quad (4)$$

$$\text{单点全年物质平衡计算: } b_n = b_1 + b_2 + b_3 + \Lambda \quad (5)$$

式中：下标 i, sp, f 分别表示冰川冰、附加冰和雪（粒雪）；1, 2 表示观测的

顺序；密度 ρ 的量纲为 g/cm^3 ；测杆的读数 (m) 及厚度 (h) 的量纲为 cm；附加冰的平均密度(ρ_{sp})可取 0.85 g/cm^3 ；冰川冰的平均密度 (ρ_i) 为 0.9 g/cm^3 。

积累区的物质平衡计算公式为：

$$b_n = \sum_{j=1}^n h_j \rho_j \quad (6)$$

式中： h_j ， ρ_j 分别为各雪层的厚度(cm)及密度(g/cm^3)， n 为总层数。最后利用以下公式将冰川物质平衡换算成为水当量：

$$h = B/S \times 1000 \quad (7)$$

式中： h 为水当量高度 (mm)； B 为冰川的物质平衡(m^3)； S 为冰川的总面积(m^2)。

4.3.2 冰川物质平衡的计算方法的选择

计算冰川物质平衡目前通用的有等值线和等高线两种方法，在得到单点物质平衡值的前提下，结合相应的冰川地形图，绘制出物质平衡等值线，就可以使用等值线法计算整条冰川的物质平衡，这一方法比较繁琐，但是其计算精度较高。两种方法在冰川物质平衡计算流程如下：

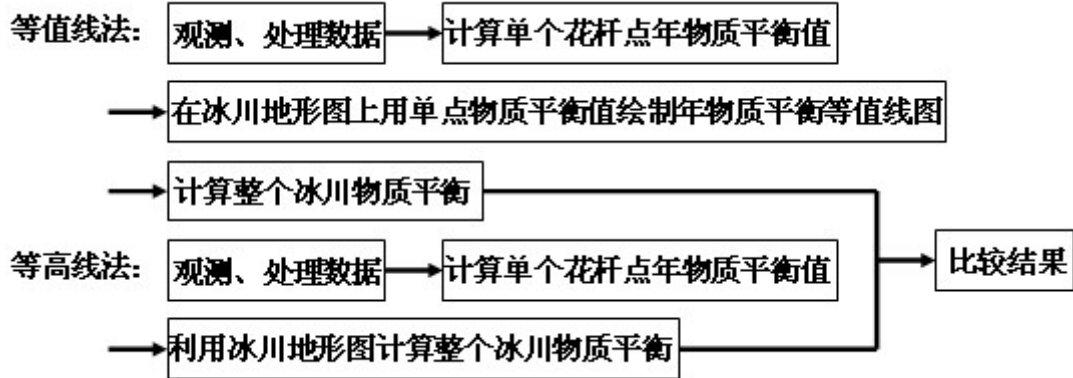


图 4-2 等值线、等高线法计算流程图

Fig.4-2 The calculating flowing chart of contour, contour line methods

由上图可见，两种方法在计算过程当中除等值线法比等高线法多了“绘制冰川年物质平衡等值线图”之外，其余各步骤一样。物质平衡等值线的绘制这一过程较为繁琐，计算和实施工作量很大，需要花费大量的精力。冰川等值线法相对于等高线法在计算物质平衡的方法上大同小异，两者在花杆单点物质平衡值得知的情况下，通过冰川区域划分后面积加权平均就可以得到冰川的物质平衡；二者在计算步骤上，等值线法使用的是等值线图 and 等高线法使用的地形图各有其优缺

点；两种方法在最后的计算结果上面，等值线法比等高线法所得研究结果相对全面，物质平衡等值线图本身也是一项重要的研究结果，为我们提供了很多宝贵的冰川物质平衡信息；等高线法很适合于计算表面海拔起伏均匀、朝向一致的，受其他客观因素影响较小的冰川，利于快速计算相同气候条件下流域内多条冰川的物质平衡，进行物质平衡对比研究；等值线法适用于详尽而完整对任意地形条件的冰川进行长期密集的观测，深入揭示冰川物质平衡机理。因此，本研究采用了等值线法来计算冰川的物质平衡。

第五章 72 号冰川的消融特征

冰川的消融特征在本文主要包含了两方面的意思，一个是指冰川的物质消融，一个是指冰川的物质积累。本章根据对 72 号冰川考察的实际情况，及得到的有效数据，对冰川的消融部分进行较详尽的论述，主要从消融率、消融随海拔的变化特征、冰碛覆盖区的消融特征、及影响冰川消融的主要因素，这几个部分进行分析；其积累部分由于考察所采数据的限制，只穿插在其中做较为简单的描述。

5.1 消融特征分析

5.1.1 物质平衡计算结果

自 2008 年 7 月、2009 年 5 月、7 月和 8 月的考察活动以来，通过科考队员的辛勤劳动，获得了冰川相应的测点消、积数据，在笔者进行细心处理后计算出了 72 号冰川的单点物质平衡，并换算成了以 mm 为单位的水当量，现统计于下表。

表 5-1 2008/2009 年 72 号冰川单点物质平衡值

Table 5-1 Single-point material balance value in Glacier No.72 of 2008/2009

花杆	编号	物质平衡 值 (mm)	海拔 (m)	花杆	编号	物质平衡 值 (mm)	海拔 (m)
A	1	-6109	3759	F	1	-3313	4013
	2	-6844	3760		2	-3516	4021
B	1	-4494	3810	G	1	-2958	4046
	2	-4355	3819		2	-2890	4058
	3	-1697	3821	H	1	-1434	4153
C	1	-4646	3852		2	-1484	4119
	2	-3778	3855	I	1	-1263	4159
D	1	-3671	3905		2	-1287	4170
	2	-3259	3904	J	1	-1056	4163
E	1	-3175	3960		2	-1120	4175
	2	-3498	3967	K	—	—	4460

表 5-1 中，整体上看，从冰川末端往上随海拔变化均匀布设了 10 排，21 根花杆，其中，除 B 排第 3 根位于冰碛完全覆盖区外，其余都布设在裸冰区，各个测点的消融都呈现随海拔的上升减少的趋势；很明显，冰碛上的花杆 B3 的消融小于与它同海拔的其余两根花杆，可见，冰碛物的覆盖对于冰川消融的影响是

十分明显的。

5.1.2 消融率

冰川的消融和积累是冰川物质变化最直接的表现，而计算冰川消融率是定量反应冰川亏损变化过程的重要手段。因此，研究 72 号冰川的消融特征，重要内容之一就是对它消融率变化的分析。

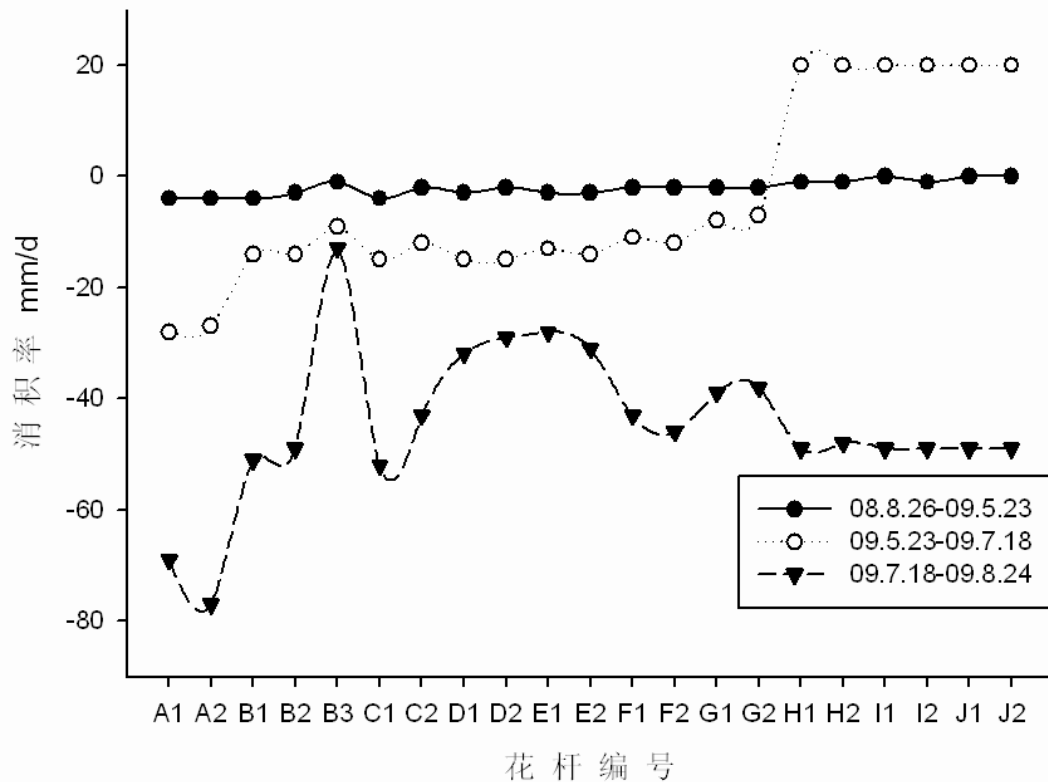


图 5-1 72 号冰川花杆观测月内消积率变化图

Fig.5-1 Months melting and deposition rate variations of stakes observed in Glacier No.72

图 5-1 是 72 号冰川沿末端往上随海拔增加所布设的 21 根花杆在所观测各月份内的日消融率变化曲线图。此图记录了该条冰川一个完整的物质平衡年内各个测点的消融率变化情况。其中，冬平衡年（08.8.26-09.5.23）是消融率变化幅度最小的时间段，这期间的消融率日变化在 0~4mm/d 之内，这样的小变化率，对于整个冰川来说是微乎其微的，几乎可以认为该冰川有测点的区域处于平衡状态，没有消融也没有积累的发生，那么冰川上部的积累区就更不可能发生消融了，由此可以推断：物质平衡积累状态存在于 72 号冰川冬平衡的整个过程。

而在该冰川的夏平衡阶段（09.5.23-09.8.24），冰川在 5 月底至 7 月中旬时，冰川的消融率变化发生的重大改变，首先是在冰川平均海拔 4050m 以下区域内

的各个测点的消融率明显的由平衡状态转变为 $-10\sim-30\text{mm/d}$ 之间，虽然较低，但可以看出冰川开始出现消融的趋势；值得注意的是，在此期间，海拔在 4050m 以上冰川区域内的测点消融率居然成了正值，出现了积累率，而且达到 20mm/d ，这与目前有观测研究的大陆性冰川情况相左。

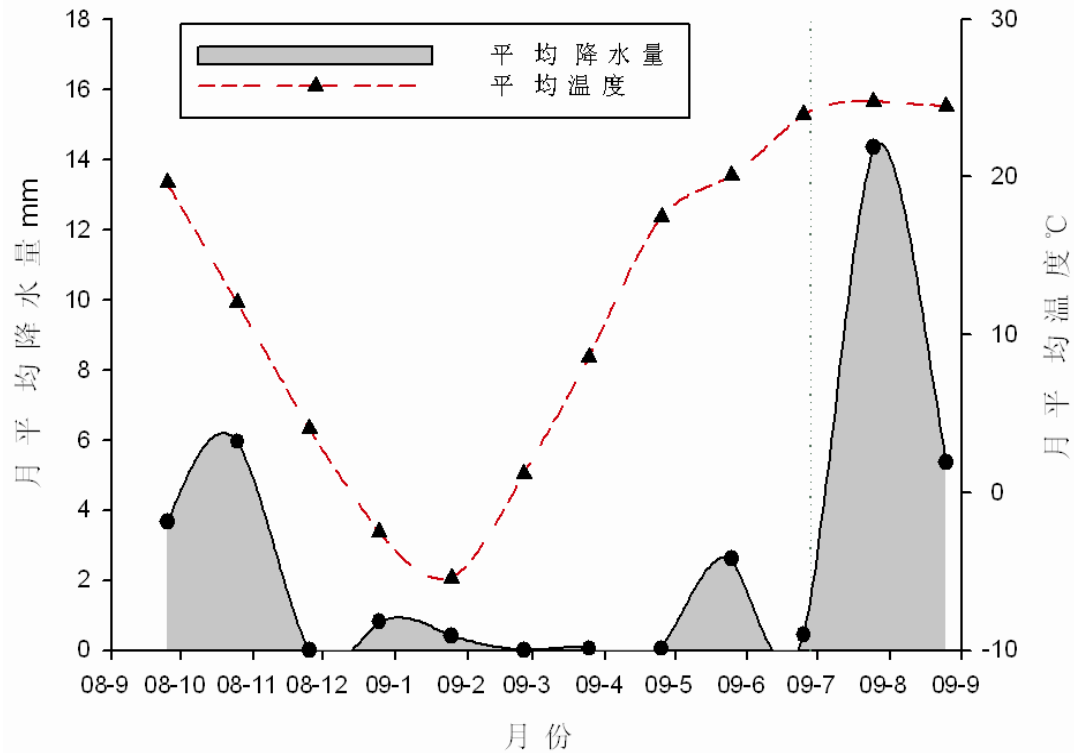


图 5-2 本研究物质平衡年内阿克苏地区月平均降水量、温度变化图

Fig.5-2 The changing chart of studying of material balance years average monthly rainfall and temperature variations in Aksu area

笔者为了解释这一情况，进行了相关资料的查阅，由图 5-2 不能看出 2009 年 7 月中旬至 8 月初，该冰川所处的阿克苏地区，月平均降水量明显超出了这个物质平衡年其他月份，经过考证，当时该地区出现了大范围的强雨雪天气，这可能正是这一时段 72 号冰川上出现物质平衡正值的原因；而从 8 月份开始，该地区的月平均降水量开始了急速下降，同时 8 月份的月平均气温自 7 月中旬以后上升以来，一直保持着较高的值，此时的冰川消融率也是这一平衡年内负值最大的时候，综合以上这些因素，我们不难得出：72 号冰川此时处于积累和消融的两高阶段，也说明该冰川属于典型的夏季积累、消融型大陆性冰川，其强烈消融、积累期是每年的 7~8 月。

5.1.3 消融随海拔的变化特征

冰川物质平衡各分量随海拔的变化称为物质平衡梯度，其与冰川所处环境、其表面地形有关，影响到冰川与周围环境的相互物理作用（刘潮海，谢自楚等，1998）。72 号冰川处于海拔 3700~5800m 之间，其中 4300m 以下属于冰舌区，也就是说冰川消融区海拔在 600m 之内变化，而冰舌的长度为 3km 还多，如果把冰川均匀分布，从冰川末端往上每上升 5m 的海拔，就需要直线前进 25m，但实际上，72 号冰川表面除了东西两侧覆盖有 2~50cm 不等的冰碛物之外，没有冰碛物覆盖的冰川主体也是凹凸不一，还发育有很多的冰塔林、冰面河，这不但能导致冰川不同区域的消融差异，也会使相同海拔的区域出现差别消融。

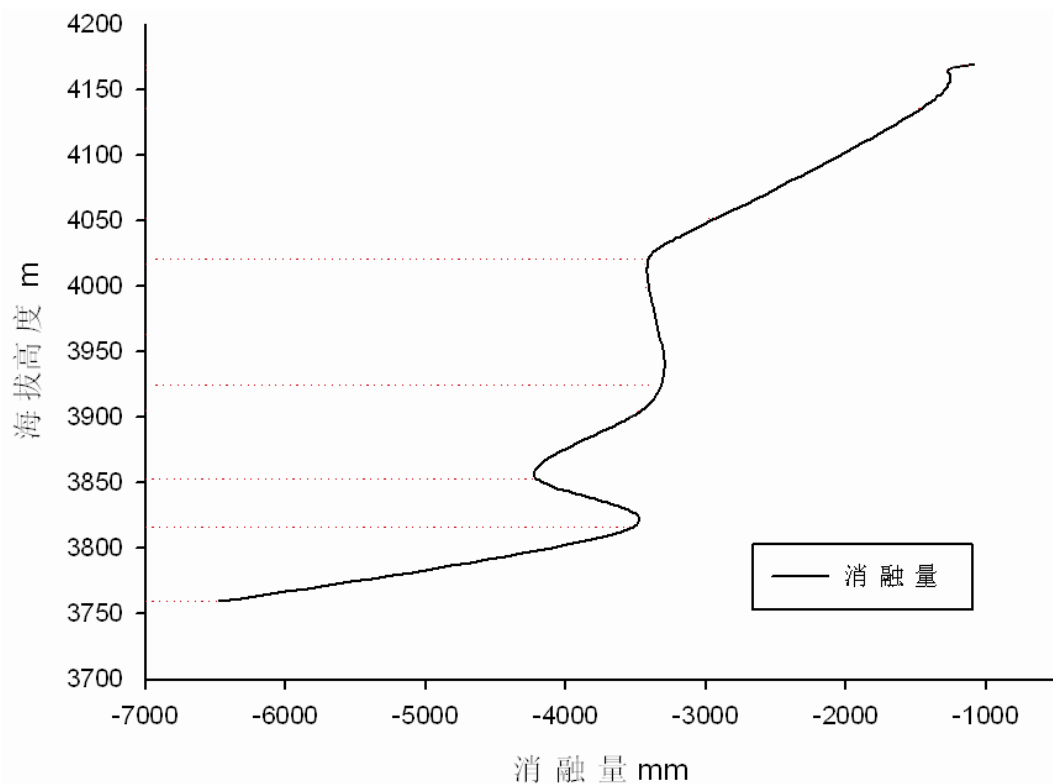


图 5-3 72 号冰川消融量随海拔的变化

Fig.5-3 Melting with the elevation changes in Glacial No.72.

图 5-3 是冰川的消融量随海拔的变化。为了便于分析，我们将其划分为三个区域：

一是在海拔 3760~3820m 之间，该区处于冰川冰舌末端，地形平坦，没有山峰阻挡，消融很强烈，且消融量随海拔的升高，线性减小。

二是在海拔 3820~4020m 之间，此时，冰川表面起伏开始变大、高低不平，消融情况复杂。首先是在海拔 3820~3850m 之间，冰面的高低起伏落差高达 10~20m，发育有大量冰面河，冰面还散落有不连续的由黑褐色岩石碎屑组成的

冰碛物，冰川消融量出现了明显增大的趋势；其次是在海拔 3850~3930m 之间，冰面再次变缓，消融情况与冰川末端相似；第三，在海拔 3930~4020m 之间，冰川由于受东西两边的高大山体阴影遮盖，受到阳光直射范围变小，而此时冰面起伏落差却很大，都在 20m 以上，还有直径较大的冰面湖发育，冰川消融量缓慢增大，但趋势减缓。

三是 4020m 以上，这时候的冰川表面已经变得极为平缓，消融量明显下降了；另外值得一提的是，海拔 3950m 以上的冰川区域，在考察期间降水很频繁，且主要以霰的形势发生。

综上所述，72 号冰川在整个物质平衡年内，由于受到冰川地形地貌的影响，其消融量的变化极为复杂，因此不能单独依靠海拔变化来确定冰川的消融量变化。

5.1.4 冰碛覆盖区的消融特征

72 号冰川和所有在阿克苏地区的其它冰川一样，冰舌区域都或多或少被厚度不等的冰碛物覆盖（中国科学院登山科学考察队，1985），因此对于冰碛覆盖区域冰川消融特征的研究，具有一定的区域代表性。笔者根据此次考察绘制的高精度冰川地形图，计算出了冰碛覆盖区和裸冰区的面积、消融量等数据，现将其结果汇于表 5-2。

表 5-2 72 号冰川消融区面积、消融量情况

Table 5-2 Melting area, ablation quantity in Glacier No.72

项目	冰川消融区 面积(km ²)	冰川消融量 (10 ⁶ m ³)	占冰川总面 积百分比	占消融区面 积百分比	占总消融量 百分比
冰碛覆盖区	0.82	-1.82	15	49	46
裸冰区	0.84	-2.11	15	51	54

由上表可以看出，72 号冰川冰碛覆盖区面积为 0.82km²，占冰川总面积的 15%、消融区面积的 49%，具有消融区近一半的面积；消融量为-1.82×10⁶m³，占冰川总消融量的 46%；而裸冰区比冰碛覆盖区面积只多了 0.02km²，在面积比上两者是一样，但裸冰区的消融量比覆盖区多了 8 个百分点，可见冰碛覆盖对于冰川的消融有一定抑制作用。

为了进一步的研究冰碛覆盖对于冰川消融的这种抑制作用，考察队在 72 号冰川海拔 3950m 处（大体上在冰川的中部）的东边由裸冰区向冰碛覆盖区按照冰碛厚度递增的情况，依次布设了 6 根花杆，如图 5-4，用来观测该区域的消、

积情况。在观测之前分别量出每个测点冰碛的厚度，以便于了解同一海拔情况下，不同冰碛厚度覆盖的冰川消融情况，解释该冰川冰碛覆盖区的消融特征。



图 5-4 冰碛上的花杆

Fig.5-4 stakes on the ice Rock pyroclasts

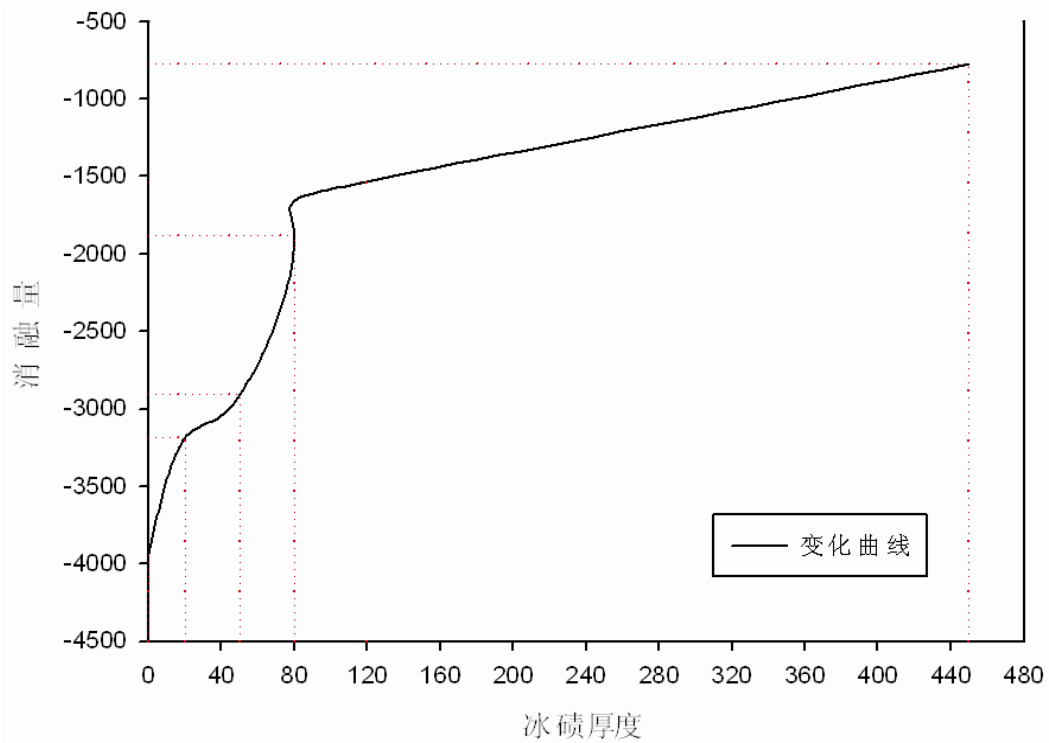


图 5-5 72 号冰川不同厚度冰碛覆盖区消融量的变化

Fig.5-5 Melting quantitative changes of different thickness ice covering area in Glacier No.72

图 5-5 是根据海拔 3950m 处冰碛覆盖区上的 6 根花杆观测的数据作出的曲线图。在这一海拔的裸冰区域我们也布设了相应的两根花杆，它们的平均消融量是-3650mm，而 0mm 厚度冰碛物覆盖区域的 1 号测点却达到了近-4000mm 的消融量，这样的消融差距，笔者根据现场的情况，将其原因解释为：1 号测点的位置处于冰川裸冰区和冰碛覆盖区的边界上，而且在 72 号冰川上无论东、西冰碛覆盖区与中部裸冰区的交界地带都发育有冰面河，且河水流量较大，极大地加强了处于河道附近的冰川消融；另外 1 号测点区域冰碛物都是零星的散布于各处，并非完全覆盖了冰川表面，因此，虽然测点处的冰碛覆盖厚度为 0mm，依然被认为是冰碛覆盖区，而正是这种（介于裸冰区和完全的冰碛覆盖区）冰川区域的消融才会如此的强烈。

从这个图的整体上来看，消融量随厚度的增加而减少，该区的消融量变化趋势大体上呈现出 0~20mm、50~80mm 和 20~50mm，80~450mm 三个阶段，前两者减少趋势大于后者。计算出各阶段减少率如下表：

表 5-3 不同冰碛覆盖厚度范围的冰川消融量减少率

Table 5-2 Ablation depletion rate under the different thickness of ice covering				
冰碛覆盖厚度范围(mm)	0~20	20~50	50~80	80~450
消融减少率	35	10	33	2

表中，冰碛覆盖厚度处于之间时，冰川消融量减少率为 35；冰碛覆盖厚度处于 20~50mm 之间时，其相应的减少率为 10，消融趋势明显变缓；覆盖厚度为 50~80mm 之间时，其减少率为 33，这和厚度为 0~20mm 时的减少率相近；覆盖厚度为 80~450mm 时，其减少率为 2，冰川消融量减少的最大。

据以上分析表明：冰碛覆盖物对冰川消融的抑制作用明显，但冰碛覆盖厚度的大小影响到这种作用的强弱。其中，当冰碛覆盖物厚度处于 0~20mm 之间和 50~80mm 之间时，其对于冰川消融量减少的影响最为明显；冰碛覆盖厚度为 20~50mm 时，影响作用较弱，为过渡区间；当厚度超过 80mm 时，其对消融量的影响虽不太强烈，但随冰碛厚度的进一步增加，冰川的消融趋向停止。

5.2 影响冰川消融的主要因素

鉴于 72 号冰川的消融的特殊性，笔者在此对导致这种特殊性可能的原因进行了分析。在冰川所出的大环境上，托木尔峰地区平均海拔 5400m，超出雪线（3900~4500m）的高度，是大规模冰川发育的理想场所，且在海拔 4000~5000m

之间存在一级高山夷平面，利于积雪堆积，同时冰川两旁山坡上经常有碎屑物质崩落在冰川表面，有利于冰川的储存（中国科学院登山科学考察队，1985）。72 号冰川也不例外，冰川除了大量冰碛覆盖之外，冰川主体有 2/3 以上的区域都被东西两边高大的山峰阻挡，其冰川主峰的东南侧还发育有 73~76 号冰川群，在背面就是托木尔冰川的一个分支冰川，可以说 72 号冰川处于托木尔峰一系列冰川的包围之中，而冰川的面积大小又对冰川的消融产生不可忽视的影响（王国亚，沈永平，2011），这样的冰川地形和周围大冰川环境无疑造就了该冰川消融的特殊性。

另外，冰川本身表面起伏不定，有时高差达 30~50m；冰面河纵横发育，有的宽达 3~5m，部分冰面还有直径达 8m 的冰面湖；冰裂隙宽达 2m 以上的地方在 4000m 以上随处可见，有的横切整个冰川；冰塔林也有发育，而且在冰川的下部存在有暗河；冰川东西两侧的冰碛覆盖也很严重。冰川区域外是托木尔地区神奇峰南山草场，只分布有零星的牧民，人类活动对该冰川影响甚小。

5.3 小结

（1）72 号冰川冬平衡年（08.8.26-09.5.23）是消融率变化幅度最小的时间段，其日变化率为 0~4mm/d 之内，冰川在冬半年处于物质平衡积累状态；而在夏平衡年（09.5.23-09.8.24），冰川在 5 月底至 7 月中旬的时出现加速消融的趋势，7 月中旬后冰川处于积累和消融的两高阶段，其强烈消融积累期是每年的 7~8 月。

（2）消融随海拔的变化主要分三个区域：一是在海拔 3760~3820m 之间，该区处于冰川冰舌末端，地形平坦，没有山峰阻挡，消融很强烈，消融量随海拔的升高呈线性减小。二是在海拔 3820~4020m，冰川表面起伏开始变大、高低不平，消融情况复杂。首先是在海拔 3820~3850m，冰面的高低起伏落差高达 10~20m，发育有大量冰面河，冰面还散落有不连续冰碛物，冰川消融量出现了明显增大的趋势；其次是在海拔 3850~3930m，冰面再次变缓，消融情况与冰川末端相似；第三，在海拔 3930~4020m，冰川受东西两边的高大山体阴影遮盖，而此时冰面起伏落差却很大，有直径较大的冰面湖发育，冰川消融量缓慢增大，趋势减缓。三是 4020m 以上，冰川表面已经变得极为平缓，消融量明显下降。总之，72 号冰川在整个物质平衡年内，由于受到冰川地形地貌的影响，其消融量的变化极为复杂，因此不能单独依靠海拔变化来确定冰川的消融量变化。

（3）冰川上冰碛覆盖物对于冰川消融的抑制作用是不容置疑的，但冰碛覆盖厚度的大小影响到这种抑制作用的强弱。研究表明：当冰碛覆盖物厚度处于

0~20mm 之间和 50~80mm 之间时，其对于冰川消融量减少的影响最为明显；冰碛覆盖厚度为 20~50mm 时，影响作用较弱，为过渡区间；当厚度超过 80mm 时，其对消融量的影响虽不太强烈，但随冰碛厚度的进一步增加，冰川的消融趋向停止。

（4）72 号冰川冰川所出的大环境上是大规模冰川发育的理想场所，同时冰川两旁山坡上经常有碎屑物质崩落在冰川表面，有利于冰川的储存，冰川主体有 2/3 以上的区域都被东西两边高大的山峰阻挡，其冰川主峰的东南侧还发育有 73~76 号冰川群，在背面就是托木尔冰川的一个分支冰川，使得 72 号冰川处于托木尔峰一系列冰川的包围之中，这样的冰川地形和周围大冰川环境无疑造就了该冰川消融的特殊性；冰川本身下垫面复杂，且人类活动对该冰川影响很小。

第六章 结论和展望

6.1 主要研究结论

对 2008/2009 年 72 号冰川的消融特征研究主要得到以下结论：

(1) 72 号冰川冬平衡年是消融率变化幅度最小的时间段，其日变化率为 0~-4mm/d 之内，冰川在冬半年处于物质平衡积累状态；而在夏平衡年，冰川在 5 月底至 7 月中旬的时出现加速消融的趋势，7 月中旬后冰川处于积累和消融的两高阶段，其强烈消融、积累期是每年的 7~8 月。

(2) 消融随海拔的变化主要分三个区域：一是在海拔 3760~3820m 之间，该区处于冰川冰舌末端，地形平坦，没有山峰阻挡，消融很强烈，消融量随海拔的升高呈线性减小。二是在海拔 3820~4020m，消融情况复杂。首先是在海拔 3820~3850m，冰面的高低起伏落差高达 10~20m，发育有大量冰面河，冰面还散落有不连续冰碛物，冰川消融量出现了明显增大的趋势；其次是在海拔 3850~3930m，冰面再次变缓，消融情况与冰川末端相似；第三，在海拔 3930~4020m，冰川受东西两边的高大山体阴影遮盖，而此时冰面起伏落差却很大，有直径较大的冰面湖发育，冰川消融量缓慢增大，趋势减缓。三是 4020m 以上，冰川表面已经变得极为平缓，消融量明显下降。总之，72 号冰川在整个物质平衡年内，由于受到冰川地形地貌的影响，其消融量的变化极为复杂，因此不能单独依靠海拔变化来确定冰川的消融量变化。

(3) 研究认为：冰川上冰碛覆盖物对于冰川消融的抑制作用是不容置疑的，但冰碛覆盖厚度的大小影响到这种抑制作用的强弱。研究表明：当冰碛覆盖物厚度处于 0~20mm 之间和 50~80mm 之间时，其对于冰川消融量减少的影响最为明显；冰碛覆盖厚度为 20~50mm 时，影响作用较弱，为过渡区间；当厚度超过 80mm 时，其对消融量的影响虽不太强烈，但随冰碛厚度的进一步增加，冰川的消融趋向停止。

(4) 72 号冰川冰川所出的大环境上是大规模冰川发育的理想场所，同时冰川两旁山坡上经常有碎屑物质崩落在冰川表面，有利于冰川的储存，冰川主体有 2/3 以上的区域都被东西两边高大的山峰阻挡，其冰川主峰的东南测还发育有 73~76 号冰川群，在背面就是托木尔冰川的一个分支冰川，使得 72 号冰川处于托木尔峰一系列冰川的包围之中，这样的冰川地形和周围大冰川环境，以及冰川本身下垫面复杂，且人类活动对该冰川影响甚小，无疑造就了该冰川消融的特殊

性。

6.2 问题与展望

本文使用了 72 号冰川 2008/2009 一个物质平衡年的观测数据，对其消融特征进行了详细的研究，使用观测数据的时间年限较短，其研究结果可能只体现出该冰川短期内的情况，因此，若在未来获取到冰川长时间序列的物质平衡数据，应进行更加深入的研究；限于观测数据，笔者只将 72 号冰川与 1 号冰川做了一些对比，在将来取得其区域内附近冰川相应数据后，应该做些这方面的工作；文中一些细微的推论，需要进一步的观测研究论证。

参考文献

- 康兴成,丁良福.天山和祁连山的冰川物质平衡、雪线位置与天气气候的关系[J].冰川冻土,1979,3(1):53-58.
- 张金华.天山乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡研究[J].冰川冻土,1980,3(2):32-40.
- 张金华,王晓军,李军.天山乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡变化与气候相互关系的研究[J].冰川冻土,1984,6(4):25-36.
- 丁永健,谢自楚.冰川物质平衡的一种简单数学表述法[J].冰川冻土,1991,13(3):213-218.
- 丁永建,炳洪涛.近 40 年来冰川物质平衡变化及对气候变化的响应[J].冰川冻土,1996,18(增刊):23-32.
- 丁永建,李新,程国栋,等.基于地理信息系统的太阳直接辐射与冰川物质平衡的关系[J].冰川冻土,1998,20(2):157-162.
- 秦大河,G.A.zielinski, M.S.Germari,任贾文,等.南极洲 Nelson 冰帽排钻冰芯内的火山灰与冰川物质平衡[J].中国科学 B 辑,1994,24(7):779-784.
- 谢自楚.高亚洲冰川物质平衡研究[J].中国科学院院刊,1994,3:245-248.
- 蒲健辰,姚檀栋,张寅生,等.冬克玛底冰川和煤矿冰川的物质平衡(1992/1993 年)[J].冰川冻土,1995,17(2):138-143.
- 谢自楚,丁良福,刘潮海,等.冰川零平衡线处的物质平衡及其应用[J].冰川冻土,1996,18(1):1-9.
- 谢自楚,丁良福.高亚洲冰川物质平衡及其对气候变化的相应研究[J].冰川冻土,1996,18(增刊):4-11.
- 刘潮海,谢自楚,王纯足.天山乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡过程研究[J].冰川冻土,1997,19(1):17-24.
- 曹梅盛.天山地区冰川物质平衡的突变探测[J].冰川冻土,1997,19(1):25-29.
- 沈永平,谢自楚,丁良福.流域冰川平均物质平衡的计算方法及其应用[J].冰川冻土,1997,19(4):302-307.
- 谢自楚,苏珍,沈永平,等.贡嘎山海螺沟冰川物质平衡、水交换特征及其对径流的影响[J].冰川冻土,2001,23(1):7-15.
- 鞠远江,刘耕年,张晓咏,等.山地冰川物质平衡线与气候[J].地球科学进展,2004,23(3):43-49.
- 温家洪,孙波,李院生,等.南极冰盖的物质平衡研究:进展与展望[J].极地研究,2004,16(2):114-126.
- 杨惠安,李忠勤,叶佰生,等.过去 44 年乌鲁木齐河源一号冰川物质平衡结果及其过程研究[J].干旱区地理,2005,28(1):76-80.

- 蒲健辰,姚檀栋,段克勤,等.祁连山七一冰川物质平衡的最新观测结果[J].冰川冻土, 2005, 27(2):199-204.
- 鞠远江,魏遐,刘耕年,等.天山乌一号冰川物质平衡特征的统计分析[J].干旱区地理, 2006, 29(1):76-80.
- 周广鹏,姚檀栋,康世昌,等.青藏高原中部扎当冰川物质平衡研究[J].冰川冻土, 2007, 29(3):360-365.
- 温家洪,Kenneth C.Jezek,Beata M.Csathó,等.南极 Lambert,Mellor 和 Fisher 冰川的物质平衡及 Amery 冰架底部物质通量的估算[J].中国科学,D 辑:地球科学,2007, 37(9):1192-1204.
- 施雅风,李吉均.80 年代以来中国冰川学和第四纪冰川研究的新进展[J].冰川冻土,1994,29(1):1-14.
- 路传琳.冰川消融及其径流与气温的关系[J].冰川冻土, 1983, 5(1):79-84.
- 张文敬,谢自楚.天山博格达峰北坡现代冰川积累和消融特征及物质平衡的估算[J].冰川冻土,1983,5(3):59-70.
- 康尔泗,刘潮海,王纯足,等.乌鲁木齐河源冰川物质平衡季节变化和总消融海拔分布(韩添丁,张万昌,冰川冻土, 1994, 16(2):119-127.
- 康尔泗,Atsumu Ohmura,等.天山冰川消融参数化能量平衡模型[J].地理学报, 1994, 49(5):467-476.
- 张寅生,姚檀栋,蒲健辰.我国大陆型冰川消融特征分析[J].冰川冻土,1996, 18(2):147-154.
- 叶佰生,陈克恭,施雅风.乌鲁木齐河源冰川的消融强度函数[J].冰川冻土,1996, 18(2):139-146.
- 沈永平,梁红.全球冰川消融加剧使人类环境面临威胁[J].冰川冻土, 2001, 23(2):208-211.
- 包为民,翟思敏.冰川消融耦合模型研究[J].水科学进展, 2001, 12(3):318-323.
- 程瑛,李栋梁,胡文超,等.祁连山冰川消融与高空气温变化的关系[J].高原气象, 2002, 21(2):217-221.
- 蒲健辰,姚檀栋,段克勤.慕士塔格峰洋布拉克冰川消融的观测分析[J].冰川冻土, 2003, 25(6):680-684.
- 李忠勤,沈永平,李慧林,等.天山乌.木齐河源 1 号冰川消融对气候变化的响应[J].气候变化研究进展, 2007, 3(3):132-137.
- 李忠勤,韩添丁,井哲帆,杨惠安,焦克勤. 乌鲁木齐河源区气候变化和 1 号冰川 40a 观测事实[J].冰川冻土, 2003,25(2):117-123
- 李忠勤. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川东支顶部出现冰面湖[J].冰川冻土, 2005,27(1):150-152.
- 李忠勤,沈永平,李慧林,等.冰川消融对气候变化的响应——以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例[J]

- 冰川冻土.2007,29(3):333-341.
- 陈亮,段克勤,王宁练,等.祁连山七一冰川消融期间的能量平衡特征[J].冰川冻土, 2007, 29 (6):882-888.
- 贺建桥,王宁练,蒋熹,等.2006 年夏季晴天祁连山七一冰川消融与气温日变化的关系[J].冰川冻土, 2008, 30(4):578-582.
- 卿文武,陈仁升,等.天山南坡科契卡尔巴西冰川消融估算[J].山地学报, 2009, 27(4):394-401.
- 陈浩,李勇.高原冰川消融——青藏高原周缘特大地震的诱发因素[J].四川师范大学学报, 2009, 32(5):666-670.
- 刘慧明,荀斌,董孝斌,等.新疆冰川消融对气候变化的响应及应对策略[J].生态经济,2010(2):176-178.
- 杨大庆,刘潮海,王纯足.冰川积累量测量和计算方法研究. 冰川冻土, 1992, 14 (1): 1-10.
- 杨惠安,李忠勤.天山乌鲁木齐河源 1 号冰川 2003/04 年物质平衡[A]. 天山冰川观测试验站年报,Vol.17[C]. 兰州:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,2004.181.
- 杨惠安,李忠勤,王飞腾.天山乌鲁木齐河源 1 号冰川 2004/05 年度物质平衡[A]. 天山冰川观测试验站年报,Vol.18[C]. 兰州:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,2004.181.
- 杨惠安,李忠勤,王飞腾.天山乌鲁木齐河源 1 号冰川 2005/06 年度物质平衡观测研究结果[A]. 天山冰川观测试验站年报,Vol.18[C]. 兰州:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,2004.181.
- 王纯足,刘潮海,韦尧志,等.乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡过程研究[A]. 天山冰川观测试验站年报,Vol.9[C]. 兰州:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,1990.1.
- 王晓军,王新中,孟照军,等.乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡计算及积累消融梯度的变化[A]. 天山冰川观测试验站年报, Vol.3[C]. 兰州:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,1985.1.
- 刘潮海,王纯足.乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡过程观测研究[A]. 天山冰川观测试验站年报, Vol.10[C]. 兰州:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,1991.1.
- 刘潮海,王纯足.乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡过程观测研究[A]. 天山冰川观测试验站年报, Vol.11[C]. 兰州:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,1992.1.
- Дюргеров МБ, УжнурцевСН, 1988.Баланс маессы лээника СарыТор, МИГП.62, 199-202
- 中国科学院登山科学考察队.天山托木尔峰地区的冰川与气象[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,1985.
- 中国科学院兰州冰川冻土研究所.中国冰川概论[M].北京: 科学出版社,1988:69.

- 施雅风.中国冰川学的成长[M].北京:科学技术文献出版社,1995.
- 施雅风,吴士嘉.冰川的召唤[M].长沙:湖南少年儿童出版社,1997.
- 刘潮海,谢自楚, M.B.久尔盖诺夫.天山冰川作用[M].科学出版社,1998.
- 施雅风.中国冰川与环境——现在、过去和未来[M].北京:科学出版社,2000,101-131.
- 秦大河.冰川[M].北京:气象出版社,2003.
- 施雅风.中国第四纪冰川与环境变化[M].石家庄:河北科学技术出版社,2006.
- 谢自楚,刘潮海.冰川学导论[M],上海:上海科学普及出版社,2009,66-102.
- 周平. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川气溶胶可溶性离子研究.兰州:西北师范大学硕士毕业论文
论文[D]. 2008.
- 张明军,李忠勤,秦大河,等.南极冰盖冰川化学和冰芯记录的气候环境及物质平衡研究进展[J].
自然杂志,23(1):19-24.
- 谢昌卫,丁永建,刘时银,等.托木尔峰南坡冰川水文特征及其对径流的影响分析[J].干旱区地
理,2004,27(4):570-575.
- 谢昌卫,丁永建,刘时银,等.近 30a 来托木尔峰南麓科其喀尔冰川冰舌区变化[J].冰川冻
土,2006,28(5):672-677.
- 佩特森 著,张祥松,丁亚梅 译,冰川物理学[M].北京:科学出版社,1987,26-28.
- 施雅风,中国冰川概论[M].北京:科学出版社,1988,69-87.
- 丸山修孝 著,王庆 译.冰川[M].北京:科学出版社,2003,3.
- 王国亚,沈永平.天山乌鲁木齐河源 1 号冰川面积变化对物质平衡计算的影响[J].冰川冻
土,2011,33(1):1-7
- Donald G. Sutherland. Modern glacier characteristics as a basis for inferring former climates with
particular reference to the Loch Lomond Stadial. Quaternary Science Reviews, 1984, 3(4):
291-309.
- J.C Leiva, G Cabrera, L.E Lenzano. Glacier mass balances in the Cajon del Rubio, Andes
Centrales Argentions. Cold Regions Science and Technology, Oct.1986, 13(1): 83-90.
- Veijo Allan Pohjola, Jeffrey C. Rogers. Atmospheric Circulation and Variations in Scandinavian
Glacier Mass Balance. Quaternary Research, Jan.1997, 47(1): 29-36.
- Julian A. Dowdeswell, Jon Ove Hagen, Helgi Björnsson. et.al. The Mass Balance of
Circum-Arctic Glaciers and Recent Climate Change. Quaternary Research, July. 1997, 48(1):
1-14.
- Victor V Popovnin, Tatyana A Danilova, Dmitriy A Petrakov. A pioneer mass balance estimate for

- a Patagonian glacier: Glaciar De los Tres, Argentina. *Global and Planetary Change*, Oct.1999, 22(1-4): 255-267
- E.M Morris. Surface ablation rates on Moraine Corrie Glacier, Antarctica. *Global and Planetary Change*, Oct.1999, 22(1-4): 221-231.
- Delphine Six, Louis Reynaud, Anne Letréguilly. Bilans de masse des glaciers alpins et scandinaves, leurs relations avec l'oscillation du climat de l'Atlantique nordAlpine and Scandinavian glaciers mass balances, their relations with the North Atlantic Oscillation. *Comptes Rendus del' Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, Dec.2001, 333(11): 693-698.
- Christian Schneeberger, Heinz Blatter, Ayako Abe-Ouchi, et al. Modelling changes in the mass balance of glaciers of the northern hemisphere for a transient $2\times\text{CO}_2$ scenario. *Journal of Hydrology*, Nov.2003, 282(1-4):145-163.
- J.C. Leiva, G.A. Cabrera, L.E. Lenzano. 20 years of mass balances on the Piloto glacier, Las Cuevas river basin, Mendoza, Argentina. *Global and Planetary Change*, Oct. 2007, 59(1-4): 10-16.
- Mathias Vuille, Georg Kaser, Irmgard Juen. Glacier mass balance variability in the Cordillera Blanca, Peru and its relationship with climate and the large-scale circulation. *Global and Planetary Change*, May. 2008, 62(1-2):14-28.
- Koji Fujita. Effect of precipitation seasonality on climatic sensitivity of glacier mass balance. *Earth and Planetary Science Letters*, Nov.2008, 276(1-2):14-19.
- Carl Egede Bøggild, Niels Reeh, Hans Oerter. Modeling ablation and mass-balance sensitivity to climate change of Storstrømmen, northeast Greenland. *Global and Planetary Change*, Jan.1994, 9, (1-2):79-90.
- E.M Morris. Surface ablation rates on Moraine Corrie Glacier, Antarctica. *Global and Planetary Change*, Oct. 1999, 22(1-4):221-231.
- Jennifer Purdie, Blair Fitzharris. Processes and rates of ice loss at the terminus of Tasman Glacier, New Zealand. *Global and Planetary Change*, Oct.1999,22(1-4):79-91.
- Roman J. Motyka, Shad O'Neel, Cathy L. Connor, et al. Twentieth century thinning of Mendenhall Glacier, Alaska, and its relationship to climate, lake calving, and glacier run-off. *Global and Planetary Change*, Jan.2003, 35(1-2):93-112.
- M. Olefs, A. Fischer. Comparative study of technical measures to reduce snow and ice ablation in

Alpine glacier ski resorts. Cold Regions Science and Technology, May 2008, 52(3):371-384.

Andrea Fischer. Glaciers and climate change: Interpretation of 50 years of direct mass balance of Hintereisferner. Global and Planetary Change, Mar.2010, 71(1-2):13-26.

致谢:

光阴似箭，岁月如流。兰州 2011 年的夏天已悄然到来了，我三年的研究生生活也到了尾声。回想起三年来各位师长与同学的关心和帮助，心中感慨万千，在这离别之际，我也只能用短短的几行字来表达对你们由衷的谢意！

感谢我的导师李忠勤三年来倾心的培养和教导，您的教诲让我深受裨益，您的为人师表和处世原则为我树立了一生学习的榜样，在您的教导下，我不仅在科学知识的学习上得到了提升，也使自己养成了更好的品行，同时也锻炼了意志，各方面都愈加成熟起来；感谢张明军老师，您对学术的严谨和渊博的学识，让我一直以来十分敬畏，而您在师大对我的学习和生活上给予的无微不至的照顾，又让我倍感亲切。借此机会，向两位老师致以诚挚的感谢！

特别感谢张勃、刘普幸、赵成章、杨东、辛存林和白燕老师在我硕士期间对我学习和生活上的指导和帮助，是你们让我的研究生生活过的更加完美，从你们身上，我也学会了很多做人的道理。在此，也一并表示深深的谢意！

三年来，是师兄师弟们的关怀和理解让我感受到了团队的温暖与力量。在此，感谢王飞腾、王文彬、周平、金爽、熊友云、董志文师兄，李慧林、王璞玉、王林、孙美萍、李瑞雪、刘园园、赵菊琴师姐，是你们在我研究生期间给予了我大量学习上的帮助和指导；感谢同门的辛宏、曹敏、高闻宇、高文华、李云、王利伟同学在学习上给予的建议；感谢同门的师弟、师妹颜东海、江合理、折远洋、李旭亮、王圣杰、锥园、白金忠在野外工作时给予的支持和理解；感谢我的同学戴声佩、董小刚、杨东辉在论文写作上提出的宝贵建议；感谢天山冰川站的武禄喜、马启兵、马应辉、杨进禄、马成立、陈洪模师傅，在野外考察期间给予的关心和帮助。特别值得一提的是，在外出科学考察期间，王飞腾、王文彬、周平、金爽师兄给予我的关心和理解，以及让我永生难忘的兄弟情谊；也一并感谢曹敏同学，是你让我体会到了什么叫“黄金搭档”！

感谢宿舍的兄弟柴建忠、张克新、张想泰、张学斌、王科明，是你们在我生活和学习上给予的关怀和帮助，让我的研究生生活过的更加舒心。

回想自己二十几年来，爸爸妈妈含辛茹苦的供我上学，内心倍感愧疚！你们是儿子一直以来坚定的依靠和避风遮雨的港湾，是你们无私无尽的爱，才让儿子有了今天的一切！在此，说一声感谢，已显得太微不足道，儿子只能在今后的日子中，倾尽自己的所有，用爱去回报你们！感谢我的女友贺晋云，你的温柔和贤惠是对我学习和生活的最大慰藉，一生有你，夫复何求！

王 鹏

2011 年 5 月 4 日于西北师大

个人简介

1、个人简介

王鹏，男，汉族，1984 年出生，陕西省城固人，2007 年 7 月毕业于山西大学，2008 年 9 月至今，在西北师范大学自然地理学专业学习，主要从事干旱区水资源方面研究。

2、研究生期间参加课题及科学考察情况

参与的课题：

中国科学院知识创新工程重要方向项目：新疆水资源的形成、转化与调控研究。（项目编号：KZCX2-YW-127，ARP：O725871001）

国家重点基础研究发展计划(973)计划项目：我国冰冻圈动态过程及其对气候、水文和生态的影响机理与适应对策。（项目编号：2007CB411501）

国家重点基础研究发展计划(973)计划项目：气候变化对西北干旱区水循环影响机理与水资源安全研究。（项目编号：2010CB951003）

国家基金委黑河项目：基于冰川动力学模式的黑河流域冰川变化模拟预测研究。（项目编号：91025012）

参与的野外科学考察：

2008 年 8~9 月随天山冰川站科学考察队前往新疆阿克苏地区托木尔峰青冰滩 72 号冰川科学考察。

2009 年 5~9 月随天山冰川站科学考察队先后前往新疆阿克苏地区托木尔峰青冰滩 72 号冰川、新疆乌鲁木齐市博格达峰冰川、黑沟 8 号冰川、新疆阿克苏地区托木尔峰青冰滩 72、74 号冰川、托木尔峰冰川科学考察。

2010 年 5~10 月随天山冰川站科学考察队先后前往新疆阿克苏地区托木尔峰青冰滩 72 号冰川、新疆奎屯市 51 号冰川、青海祁连山十一冰川、甘肃祁连山七一冰川科学考察。

3、攻读硕士期间发表的学术论文

天山乌鲁木齐河源 1 号冰川 NH_4^+ 沉积特征研究，王鹏，李忠勤等.安徽农业科学，2010。

基于被动微波遥感反演雪深的时间序列分析我国积雪时空变化特征，冰川冻土，2010。（第五作者）

新疆气候变化研究进展，干旱区研究，已接收。（第三作者）