

喀喇昆仑山巴托拉冰川 考察与研究

中国科学院兰州冰川冻土研究所

科学出版社

CARPENTER

555R

100% COTTON

100% COTTON

喀喇昆仑山巴托拉冰川 考察与研究

中国科学院兰州冰川冻土研究所

科学出版社

1980

内 容 简 介

《喀喇昆仑山巴托拉冰川考察与研究》是中国科学院等单位组成的巴托拉冰川考察组于1974—1975年,在执行喀喇昆仑公路巴托拉地区考察任务中冰川方面综合考察的科学总结。

本专集以专题的形式分别论述了世界上山地冰川最发育的喀喇昆仑山区中巴托拉冰川及其邻近地区冰川的生成、发育和进退变化;冰川运动、厚度变化、消融和水文气象特征;未来百年内冰川最大融水量、冰川发展趋势的预测方法和结果;以及冰融水道变迁和灾害性冰川泥石流的调查研究结果;书后附表列出了各项观测的有关数据资料,并附有1:60000彩色巴托拉冰川图一幅。这不仅对工程设计有着重要的意义,而且对冰川学的理论研究有重要的科学价值。

本专集可供冰川、水文、气象、气候、测量、地理等有关方面人员及公路工程设计人员参考。

喀喇昆仑山巴托拉冰川考察与研究

(后附1:60000全张彩色巴托拉冰川图一幅)

中国科学院兰州冰川冻土研究所

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1980年7月第一版 开本:787×1092 1/16

1980年7月第一次印刷 印张:17 1/2

印数:精1—810 插页:精11 平9

平1—980 字数:402,000

统一书号:13031·1317

本社书号:1831·13—13

定价:精装本 5.30 元
平装本 4.35 元

前 言

1974—1975 年间,由中国科学院等有关单位组成的巴托拉冰川考察组参加了中华人民共和国和巴基斯坦伊斯兰共和国合作修建的喀喇昆仑公路的考察工作。考察组在巴托拉冰川及其邻近地区进行了冰川、水文、气候、地面立体摄影测量和泥石流的系统考察与研究工作,取得了大量珍贵的科学资料。

《喀喇昆仑山巴托拉冰川考察与研究》专集就是这项工作的专门性科学总结。本专集不仅是考察组辛勤劳动的结晶,还充分体现了中、巴两国人民的友好合作和征服自然的坚强毅力。

本专集以十六个章节系统地分析和论述了有关巴托拉冰川及邻近地区冰川的生成、发育、历史演变、冰川动态、消融以及融水径流、气候等特征;计算了冰川融水的最大流量和百年以内未来的冰川进退变化以及冰融水道的稳定性和泥石流灾害等问题。从而揭示了世界上山地冰川最发育的地区——喀喇昆仑山,在新冰川期后冰川的生存发展的规律;在预测冰川未来发展趋势的基础上,提出了合理的公路修建方案。这无论在冰川学基础理论研究上和实际应用中都是很有意义的。同时也为冰川与气候变迁的研究增添了有益的知识,作出了应有的贡献。

然而,在如此巨大而复杂的冰川区进行上述问题探讨,仅是一次初步尝试,经验不足和方法手段上的欠缺是在所难免的,还有许多分析和论述不够深入细致的地方。因此,采用附录和图表形式同时发表所观测到的主要资料数据,以弥补不足。

巴托拉冰川考察组的考察、研究任务由中国科学院兰州冰川冻土研究所承担,参加的人员有施雅风、张祥松、苏珍(冰川学与地貌学),谢自楚(冰川学),白重瑗、张金华、刘光远(冰川气象与气候学),王文颖、陈建明、张怀义、孙作哲、刘景璜(地面立体摄影测量与大地测量),李械、蔡祥兴、李念杰(泥石流与冰川水文学),顾钟炜(地球物理勘探)和何兴(行政)等;中华人民共和国体育运动委员会登山处教练员刘大义、陈山、杨德友、洛桑德庆,兰州医学院王恒大大夫以及筑路指挥部翻译张春祥等和十多位工人同志协助工作,而整个考察是在喀喇昆仑公路筑路指挥部领导下进行的。

本专集的各章节由各有关专业同志负责编写,文集由施雅风同志主持,张祥松、白重瑗同志协助编辑的。工作中先后得到赵松乔、左大康(地理研究所)、罗开富(广州地理研究所)、俞杰(甘肃师范大学)等同志的许多帮助;冯毓荪、王银学同志绘制和清绘了文中图件,在此深表感谢。

PROFESSIONAL PAPERS ON THE BATURA GLACIER, KARAKORAM MOUNTAINS

CONTENTS

Preface

1. An Introduction of the Glaciological Study on the Batura Glacier in the Karakoram Mountains
2. General Features of the Batura Glacier
3. Measurements and Analysis on the Ice Movement of the Batura Glacier
4. Gravimetric Determination of Ice Thickness and the Calculation of Ice Quantity of the Batura Glacier
5. Some Features of Radiation and Heat Balance of the Batura Glacier
6. The Surface Ablation and Its Variation of the Batura Glacier
7. The Climate of the Batura Glacier and Its Adjacent Areas
8. Basic Features of the Meltwater of the Batura Glacier
9. Calculating the Peak Discharge of the Batura River
10. The Mud-rock Flows in the Vicinity of the Batura Glacier
11. The Migrating Subglacial Channel of the Batura Glacier and the Tendency of the New Channel
12. On the Buried Ice Near the Highway Bridge at the Batura Glacier Terminus
13. Changes of the Batura Glacier in the Quaternary and Recent Times
14. Forecasting the Change of the Batura Glacier This and the Next Centuries
15. The Terrestrial Stereophotographic Mapping of the Drainage Area of the Batura Glacier
16. The Cartographic Methods of the Map of Batura Glacier

Appendices

The Map of Batura Glacier

目 录

前言

一、喀喇昆仑山巴托拉冰川研究概述·····	1
二、巴托拉冰川的一般特征·····	8
三、巴托拉冰川运动速度的测量和分析·····	28
四、巴托拉冰川的厚度测定和冰量计算·····	42
五、巴托拉冰川辐射和热量平衡的某些特征·····	57
六、巴托拉冰川的冰面消融及其变化·····	83
七、巴托拉冰川及其邻近地区的气候状况·····	99
八、巴托拉冰川融水径流的基本特征·····	111
九、巴托拉冰川融水最大流量的计算·····	133
十、巴托拉冰川邻近地区的泥石流·····	146
十一、巴托拉冰川末端冰融水道的变迁与新河道的稳定性·····	153
十二、巴托拉冰川末端公路桥位附近的埋藏冰问题·····	166
十三、巴托拉冰川在第四纪与近代的历史变化·····	173
十四、巴托拉冰川本世纪内前进的预测和下世纪内变化的趋势·····	191
十五、巴托拉冰川流域的地面立体摄影测量成图·····	208
十六、巴托拉冰川图地貌表示方法·····	221
附录·····	229
巴托拉冰川图	

一、喀喇昆仑山巴托拉冰川研究概述*

喀喇昆仑山为世界上山岳冰川最发达的山脉之一。世界中、低纬度山区长度超过 50 公里的八条冰川,其中就有六条集中在喀喇昆仑山区。在此山西北部,洪扎喀喇昆仑山(最高峰海拔 7795 米)北侧的巴托拉冰川是一条北西西—南东东流向的树枝状纵谷冰川。冰川长 59.2 公里,面积 285 平方公里,雪线海拔 4700—5300 米,末端伸入洪扎河谷,终止于海拔 2540 米处。勤劳的巴基斯坦人民利用冰川两旁的山坡草地进行放牧和耕作,并引用冰雪融水灌溉农田。古代从中国通向南亚的丝绸之路和现代联结中国和巴基斯坦的喀喇昆仑公路都通过巴托拉冰川的末端,冰川进退和冰融水道的变迁经常影响交通。1973 年冰川洪水将洪扎河右岸巴托拉段喀喇昆仑公路及桥梁冲毁。为了提供合理的修复设计,必须查明巴托拉冰川的变化特征和未来的进退趋势,最大洪水量,冰融水道再变迁的可能性,以及其他有关现象。为此,中华人民共和国和巴基斯坦伊斯兰共和国双方同意,由中国派出专门的冰川考察组承担上述任务。在中华人民共和国喀喇昆仑公路筑路指挥部领导下,巴托拉冰川考察组于 1974—1975 年期间对巴托拉冰川进行了较为详细的考察,巴基斯坦政府和人民热情友好地支持了考察组的工作。Amanat 少校(1974)和 Bashir 少校(1975)等先后参加考察组工作,并在各方面提供了方便条件。巴托拉冰川附近的帕苏村与开巴尔村的群众热情地为考察组运送物资、担任向导、提供冰川变化的某些历史资料。

考察组于 1974 年 4 月—1975 年 11 月对巴托拉冰川地区进行了冰川地质地貌,冰川物理,冰川水文、气象(包括冰面辐射及热量平衡),冰川测绘及重力勘探等考察和观测。此外,在考察期间由于 1974 年 4 月 11 日夏希卡特村(Yashcart)附近帕提巴尔沟(Baltbar Nala)的冰川泥石流突然爆发,大约有五百万立方米的泥石流物质冲向洪扎河,淹没公路桥梁。而巴托拉冰川段的洪扎河左侧则有小型的泥石流危害。为此,考察组还对这些泥石流进行了一定工作。考察工作结束后,在巴托拉营地进行了初步总结,回国后又以将近一年时间进行专题总结,并编辑了《喀喇昆仑山巴托拉冰川考察与研究》专集。现将这次考察的主要研究成果概述如下:

1. 应用地面立体摄影测量,编制巴托拉冰川图

为了对巴托拉冰川流域进行详细的地面立体摄影测量,首先对巴托拉冰川进行了控制测量,用菱形基线网扩大边作基本控制,从冰川末端往冰川上游至西冰流和北冰流汇合处附近布设一条长约 45 公里,由 21 个控制点组成的三角锁(见附录 1)。并在控制网点上交汇了具有控制意义的 22 个山头 and 明显的特征点作为检查点。在 51 个摄影测站上布设了 65 条摄影基线。摄影站的海拔高程在 2570—4900 米之间,控制点和摄影点的平均高度为 4000 米左右。摄影基线的平均长度为 320 米,一般摄影竖距为 8—10 公里,个别最大摄影竖距为 14 公里,摄影基线的测角误差为 1.1 秒,摄影死角占 7%。其中巴托拉冰川下游

* 作者: 施雅风。

180 平方公里的 1:25000 地形图的摄影“死角”面积小于 1%。此外,还对尤克苏戈兹冰流(Yoksugoz Ice Flow)和瓦尔都沟(Wartom Nala)分别引进了 5—7 个控制点。在室内对 53 条摄影基线加密 265 个检查定向点,图中“死角”以卫星象片和照片填绘补齐。从而成功地测绘了全流域 1:50000 和冰川末端 1:10000 地形图。所测绘的 1:50000 冰川地形图进行了整饰加工,编制成彩色的 1:60000 巴托拉冰川图。通过测图获知:在 687 平方公里的巴托拉流域内,冰川面积为 332 平方公里,占 48.3%,南侧有 12 条大小冰流汇入主冰川,北侧仅有 4 条冰流汇入。南北两侧尚有 55 条已与巴托拉冰川分离的小冰川,其总面积为 47 平方公里。粒雪线以上积累区面积为 144 平方公里(不包括积累区中裸露基岩的面积 70 平方公里),消融区面积为 141 平方公里。

2. 冰川表面运动速度的测量研究

在上述测量的基础上,用控制测量和地面立体摄影测量结合的方法测定冰面速度。我们从冰川末端到冰川纵深 43 公里的冰川上,布设了 18 个测量冰川运动速度的横断面,实测测点 129 个。大部分测点取得了 1974 年和 1975 年两个夏季的实测资料,其中在冰川中下段范围内有 50 个测点有全年实测结果(见附录 2)。据此,绘制了冰川下段年冰面流速等值线图,见图 3-6(c)。并发现最大冰面流速出现于巴托拉第一冰流上的 XII₁ 点,达 517.5 米/年;在冰川中下段有两个高速区,一个高速区位于断面 III 附近,高速闭合等值线是 80 米/年;另一高速区位于断面 IX 附近,高速闭合等值线是 170 米/年。该冰川下段运动速度的纵向变化不大,年际变化一般不超过 20%。对比 1954 年西德-奥地利考察队观测结果发现:两次所测得数值相差不大。冰川末端所测出某些测点运动速度骤增的现象表明,冰川有局部快速块体滑动。此外,冰川上显出流明显,在 6—7 月份,平均可以抵销消融量 32%。

3. 冰川厚度测定与冰量计算

我们选用中国制,观测精度为 0.1106 毫伽/格的 ZS₂-67 型石英弹簧重力仪,沿着冰川运动速度和消融观测剖面 II, III, VI, VIII, XI 各断面布设了 5 条重力测厚断面,66 个重力测点。测量间距一般为 100—200 米,野外所得的重力值进行了地形改正、布伽改正和纬度改正后,按无限平板公式计算了巴托拉冰川下段 5 个重力断面的冰川厚度(见附录 3-A、3-B、3-C、3-D、3-E)。据此,绘制了各断面横截面图和冰厚度等值线图,在距冰川末端 20 公里的 XI 断面,冰川平均厚度为 309.8 米,最大厚度 431.7 米(XI₁₀),在接近末端的 II 断面,平均厚度降至 84.7 米,最大厚度 115.4 米。结合冰面速度资料,考虑冰内运动速度衰减,计算了冰川下段的冰通量和冰储量。由计算得知:在巴托拉 II—XI 断面间 39.8 平方公里的面积上,冰川的平均厚度为 229.5 米,总储冰量达 9134 百万立方米。重力测量提供了巴托拉冰川的形态和深度的良好标志,并发现巴托拉冰川冰床是南低北高的不对称的 U 形谷。

4. 巴托拉冰川的基本特征的观测研究

通过在东北冰流(BN-III)、西小冰斗(BS-XI)和北冰流(BN-II)三个粒雪盆中的雪层剖面观测,表明雪层演变过程属于冷变质型,雪层间存在着显著的温度梯度。在物质零

平衡线以下普遍发育着季节性的附加冰,属于渗浸-冻结冰带,由渗浸冻结成冰作用形成。

1974年夏季分别在2520米,3400米和4500米三个海拔高度上用国产争光型钻机打成了深4.7-13米的钻孔3处,用热敏电阻温度计测量冰温。八月在4500米处4.7米孔深处测得的冰温为 -1.5 — -1.7°C ,3300米处13米深孔内温度为 -0.5 — -0.9°C ,而海拔2560米处冰温为 0°C 。由此得知,冰舌上段为冷性冰川,向下游逐渐变为温性冰川。冰川上的明显气候差异,使冰川作用具有较大的垂直差异,形成上冷下温的温度状况。

此外,在北冰流海拔5100米处的两个裂隙中还量取了5个年层的冰厚度,折算出年纯积累量为1030—1250毫米水层;在西冰流西小冰斗4850米高度上测出的年纯积累量相当于1034毫米水层。根据冰川融水量推算,雪线以上年降水量在2000毫米以上。

由温度推算得知在雪线附近,年平均温度为 -5°C 左右,年 0°C 等温线大体在4200米高度上。由此得知:巴托拉冰川上游高山区既有比较充沛的降雪补给,又有比较优越的低温条件,在有利地形的配合下孕育了世界中、低纬度山区有名的大冰川。

可以把巴托拉冰川的基本特点概括如下:该冰川为一“高物质平衡,积极活动的常态冰川”。其雪层演变属于冷变质型,并出现冷冰川所特有的渗浸-冻结成冰作用,从上游到下游冰温逐渐提高,由冷冰川变为温冰川,运动速度虽然较快,而且进退频繁,但变化幅度却相对较小。巴托拉冰川的活动性远高于我国天山、祁连山以及珠穆朗玛峰的冰川。但并没有Surging冰川的特点。这种结论和前人认为它是第四纪冰川残余的观念不相同的。

5. 冰川气象和辐射、热量平衡观测研究

为提供基本研究资料,在巴托拉基本营地建立的简易气象站(1974年5月—1975年8月,海拔2563米,北纬 $36^{\circ}31'$ 东经 $74^{\circ}53'$)和三号营地3375米的侧碛上建立的气象观测点(1974年6月20日—8月31日)所进行的定时气温、降水等项目的气候观测外,1974年夏季在冰舌中段海拔3380米,7月5—15日冰舌上段4475米处(8月5—21日)与4950米处的粒雪线附近的冰雪面上(8月8—10日)进行了对比和定点观测。得出在两个观测年度内,巴托拉冰川末端年平均气温为 9.3°C (多年平均气温为 10°C),最高温度为 34.1°C ,最低温度为 -10.9°C ,按 $0.63^{\circ}\text{C}/100$ 米的气温垂直递减率,计算雪线附近的年平均气温为 -5.4°C 。冰川末端年降水量为97.1毫米,一日最大降水量为15.3毫米。河谷内山谷风环流影响明显,盛行偏西山风和偏东谷风。最大风速为22.6米/秒(见附录4-A、4-B)。

为了研究冰川的水热条件,在上述气象站点附近分别设置了5个辐射、热量平衡观测点,于各种天气条件下进行3—7天的短时段观测。

由辐射平衡各主要分量观测得知,散射辐射不仅有较大数值,而且在总辐射中占有较高比率,从而使总辐射有很高的数值(1号场地1974年7月8日为845卡/厘米²·日)。云层影响下强烈的大气辐射使冰雪面上的长波辐射平衡以供热形式出现,不同的反射率控制着冰面辐射热独特的时空分布规律。在收入热量中,辐射供热占89.2%,相对最大辐射平衡量为666.4卡/厘米²·日(3号场地,1974年8月8日)。湍流交换及水汽凝结潜热占10.8%。在热量支出中,冰面消融耗热占83.3%,剩余热量用于冰面及冰碛层中热交换、蒸发耗热和以湍流交换形式向近地层大气散失热量。当冰面有2—3厘米厚表碛覆盖时,表碛层中

热交换增大到 9.1%，相应地冰川消融耗热量减至 78.5%。表碛越厚，耗于增温、热交换和湍流交换的热量愈多。

6. 冰面消融的观测研究

在 1974—1975 年两个夏季消融期内，我们在巴托拉冰川上，自冰舌末端 2610 米至北冰流粒雪盆地布设了 16 个消融观测断面，在 66 个测点上观测了冰川的消融。其中在冰川中下段 20 公里范围内 10 个断面的 47 个测点上有整个强烈消融期的完整消融观测数据。根据不同海拔高度处的气象、辐射与热量平衡观测资料的分析，既找出了冰面消融与日平均气温的良好关系，而且还依据推导出的经验方程和冰川各部位的气温，估算出各类天气状况下的日消融数值。此外，还提供了不同消融强度下冰碛覆盖冰消融强度的查算图表。从而为冰碛污化和覆盖下的大冰川消融问题提供了一种研究方法。在上述研究基础上计算了冰川中下段消融量（见附录 5），并绘制了等值线图。研究发现，巴托拉冰川消融非常强烈，冰川末端裸露冰的消融期长达 315 天，年消融冰层高达 18.41 米，这在世界各冰川中是罕见的。

表碛分布情况对巴托拉冰川消融有强烈影响，它不仅削弱了冰川的消融，而且造成局部地段出现海拔高度增加，消融量仍然递增，消融等值线与地形等高线垂直或斜交等特殊现象。由于厚表碛的覆盖，巴托拉冰川下游段 41 平方公里范围的平均年消融冰层深度为 4.36 米。

7. 冰川水文特征和洪水设计流量

设立了三个水文断面，一在洪扎河上桥（在巴托拉河口上游 1725 米）；二在洪扎河下桥（巴托拉河口下游 1750 米），在这二个断面上，进行连续二十个月的水位和流量测量；三在巴托拉河上，由于水流汹涌湍急，缺乏过河设备，仅观测水位与水温，间或用浮标法测验流速，用区间迳流汇入法（即洪扎河上下桥流量的差数）计算巴托拉河的流量。实测得巴托拉河出口断面上夏季水面宽 35 米，最大水深 3 米，最大流速 8 米/秒（见附录 6-A、6-B、6-C、6-D、6-E、6-F）。推算所得 1974 年 5 月至 1975 年 4 月的平均流量为 29.4 立方米/秒，年迳流量为 9.3 亿立方米；夏季 6—8 月平均流量 1974 年为 89.4 米³/秒，1975 年为 124.6 立方米/秒。最大瞬时流量 1974 年出现于 7 月 23 日为 308 立方米/秒，1975 年出现于 8 月 18 日为 417 立方米/秒。

由计算分析得知，巴托拉冰川融水具有：流量变化与气温密切相关；水位日变幅小，具有独特的迳流变化过程；融水径流模数大；流量大，冲刷强烈；以及水温低（0.1—0.6℃），冬季不断流等基本特点。

应用流量与气温相关，洪水调查以及巴托拉河和洪扎河丹沃尔站、叶尔羌河卡群站的流量相关三种方法，对巴托拉河可能出现的最大洪水，进行了推算。据洪水调查，巴托拉河百年一遇流量为 578 立方米/秒，五十年一遇为 558 立方米/秒，依据流量相关法，百年一遇为 692 立方米/秒，五十年一遇为 646 立方米/秒。

这项工作弥补了喀喇昆仑山区以及我国对大冰川融水迳流研究和洪水分析计算中的不足。

8. 冰川冰融水道和埋藏冰的观测研究

巴托拉冰川消融强烈,但冰面水系却不发育,分散的冰面融水都通过裂隙、冰井转入冰内。两侧山坡来水与分离的小冰川融水流注入巴托拉河床时,也进入冰洞,流至冰下。显然,巴托拉冰川的冰内、冰下有完整的水道系统。全部融水经由冰川末端的冰洞内排水,自本世纪初至1973年初,排水冰洞一直在冰川中部主流线上,1973年冰下的融水道突然迁移至南侧冰洞外泄。通过比较深入的野外考察,多次对当地居民的访问,参阅有关文献记叙,联系冰川运动与进退变化历史,我们分析了冰融水道的历史变迁;并从冰面地形与冰下汇流,冰厚度与冰下水道闭合率,不同冰流的动态,以及新旧排水道的纵断面与冰床地形特征分析,认为目前的排水道是稳定的,它在相当长时间不会发生大的变化。

根据对冰川前端埋藏冰区地貌、探坑调查和对设置在钻孔1、钻孔2不同深度层内的电阻温度测量,以及地面高程变化与冰碛埋藏冰区的热量条件的分析,讨论了冰川末端埋藏冰的分布与区域划分;并着重对公路桥位下不可能存在大片埋藏冰进行了详细的论证。

在上述研究的基础之上,综合重覆测量、地貌调查、访问群众、文献记述资料和应用冰川运动、厚度、消融以及树木年轮分析成果着重地研究了两个问题,即巴托拉冰川在近代的历史变化,巴托拉冰川本世纪内前进的预测和下世纪内的变化趋势。

9. 巴托拉冰川在第四纪与近代的历史变化

在第四纪期间,本区至少经历了三次冰期(夏诺兹、云兹和洪扎冰期)。晚更新世洪扎冰期时,雪线高度在4200—4300米,比现代雪线低700—800米。此后,巴托拉冰川进退变化频繁,但由于上、下游特殊的地形和气候条件而使变化幅度较小。巴托拉冰川在近二、三百年内曾有过两次前进和两次后退。后一次前进发生在上世纪末、本世纪初(大约1890—1930年间),冰川前进到洪扎河床,并在一个冬季超过洪扎河。以后转入后退,到二十世纪六十年代,处于主流线上以大冰崖为标志的冰川末端,自洪扎河后退827米。1966年左右又转入前进,到1974年大冰崖平均升高15米,前进了90米;至1975年又前进了10米,每年平均以11米的速度向前推进。

比较气候变迁与巴托拉冰川的近期变化,发现巴托拉冰川的前进和后退对气候变迁的降温和升温的滞后时间为50—70年左右。这反映在上世纪80年代开始的全球性增温趋势,表现在1930年以后到1966年以前的迅速退缩。本世纪初到20年代的小的低温阶段,表现在1966年后的小前进。

10. 巴托拉冰川本世纪和下世纪变化的预测

采用了二种方法预测本世纪内的冰川前进:一是根据冰川末端运动速度递减率进行预测。1974—1975年实测冰川末端,大冰崖脚的冰流速约为30米/年,除去消融损耗,实际前进量为10米/年。当冰川继续前进,冰流速降低至20米/年时,冰流速与消融损耗相当,冰川停止前进。根据冰川末端III断面以下冰流速递减率,当冰川继续前进240米左右,前进即行终止。二是根据波动冰量平衡进行预测。从冰流量与消融量分段平衡计算,自XI断面至III断面间,冰量呈亏损状态。III断面以下至II断面以至冰崖间,有较大的余

冰量,可使冰川继续前进与增厚。经过计算,冰川继续前进值为180米左右,大体在1991年左右,前进终止,以后冰川转入衰退。不论上述中任何一种计算,都表明冰川的继续前进,都在距公路300米左右处终止,不产生危害公路的后果。从本世纪九十年代起,冰川再度转入衰退,至少延续至下世纪初。

11. 洪扎河左岸泥石流考察

在考察期间,对位于洪扎河左岸,巴托拉冰川附近的泥石流和距冰川以南18公里左右的帕提巴尔沟的泥石流进行过多次调查,完成了泥石流发育的自然条件、基本特征、分布和危害程度等方面的研究。此外,还对某些形成河道阻塞、淹没公路桥涵的特大灾害性泥石流进行了详细的讨论。这些考察和研究对泥石流频繁发生的喀喇昆仑山区来说是很具有理论意义和实用价值的。

在上述项目研究的基础上,考察组提出了比较经济的喀喇昆仑公路巴托拉地段的修复建议。建议已被筑路工程指挥部接受,正在顺利施工。

1. AN INTRODUCTION OF THE GLACIOLOGICAL STUDY ON THE BATURA GLACIER IN THE KARAKORAM MOUNTAINS

Shi Yafeng

The Karakoram is one of the mountain ranges with full development of alpine glaciers. Of eight alpine glaciers with a length over 50 km in the world of middle and low latitudes, six are in the Karakoram Range. The Batura Glacier flowing from WNW to ESE in the northwestern part of the range is a dendritic longitudinal one, 59.2 km long and 285 km² in area, extending down the Hunza Valley as low as 2540 m a.s.l..

The Karakoram Highway, built jointly by China and Pakistan, crosses the Batura Glacier terminus on the right bank of the Hunza River. The 1973 flood damaged the highway and the bridge over the Batura channel. In order to propose a reasonable reconstruction project, the governments of the Islamic Republic of Pakistan and the People's Republic of China agree that a research group of Chinese scientists be sent to the Batura Glacier. Subsequently an investigation plan was carried out under the leadership of Karakoram Highway Engineering Headquarters of the People's Republic of China in 1974—1975. The group was cordially supported by the people and government of Pakistan.

The research items include: (1) the terrestrial stereophotogrammetric mapping of the Batura Glacier with a resulting map on the scale 1:60,000, (2) measuring the velocity of surface motion of the glacier, (3) determining the thickness (by gravimetric method) and the ice quantity of the glacier, (4) a general surveying of the glacier, such as ice formation, ice temperature and glacier morphology, and analysing the characteristics of the glacier, (5) radiation, heat balance and other meteorological observations on the glacier surface, (6) observation of glacier ablation, (7) hydrological

observations, as well as determination of flood discharge, (8) researching the meltwater channels and buried ice near the highway, (9) investigation on variations of the glacier in Quaternary and recent times, (10) forecasting the advance of the glacier in this century and the possible trend in the next century, (11) surveying mudrock flow phenomena on the left bank of the Hunza River. Based upon the upper works, a comparably economic reconstruction proof of the highway and the bridge was proposed and accepted by the Highway Headquarters. Now the reconstruction work has been finished.

二、巴托拉冰川的一般特征*

巴托拉冰川为世界上中、低纬度有名的大冰川之一,长达 59.2 公里。位于喀喇昆仑山系西北部,洪扎喀喇昆仑山北侧,是一条呈北西西—南东东流向的树枝状纵向山谷冰川。冰川末端降入洪扎河谷(印度河的支流)中海拔 2540 米处。自 1885 年来,不少旅行家和考察者对巴托拉冰川进行过记述,其中主要是 Ph. C. Visser (1925) 领导的荷兰科学考察队首次到达巴托拉冰川上游的报告^[1], K. Mason (1930) 的综合性记述^[2], W. Pillewizer (1954) 和 H. J. Schneider (1959) 组织的西德-奥地利冰川和地质考察队的简略报道^[3,4],此外,英国(1959)^[5]、波兰(1974)^[6]、日本(1974)、意大利(1975)^[7]的登山家多次攀登巴托拉冰川附近的海拔 7000 多米的高峰。上述考察者虽然对于巴托拉冰川现象,特别是冰舌最下段的进退变化有所记述,但长期以来在本区孕育那么大规模冰川的原因却不甚了解,对冰川物理特性知道得更少。

1974—1975 年间,结合喀喇昆仑公路巴托拉段的公路桥位问题,我们对巴托拉冰川进行了较详细的考察。在巴基斯坦朋友和各兄弟单位的热情支持下,克服了重重困难,一直考察到冰川源头。在雪线以上的粒雪盆内,观测了冰川的积累情况和成冰作用;在冰川中、下游三个地点量测了上部冰层的温度;进行了比较全面的地面立体摄影测量和较广泛的冰川地貌考察,本文结合冰川运动、消融、水文、气象各方面的观测资料,对巴托拉冰川的发育条件、数量分布、冰面地貌、成冰作用以及冰层温度状况作一初步总结。

(一) 冰川的发育条件

1. 地形条件

巴托拉冰川位于喀喇昆仑山系主山脊——洪扎喀喇昆仑山的北侧(图 2-1)。洪扎喀喇昆仑山东西延伸,由花岗闪长岩组成,在花岗闪长岩中常出露细晶质的花岗岩和煌斑岩岩脉。最高山段称巴托拉慕士塔格,高达 7500 米以上的群峰并列,不具角峰状态,第一峰最高达 7794.6 米。冰川沿山脊两侧呈羽状发育,峰前形成巨大的“围谷冰川”,巴托拉第一冰流(高峰东北侧)和第二冰流(高峰西北侧)均发源于此(照片 2-1, 2-2)。自最高峰向西,山高均达六、七千米,山势陡峻,雪崩频繁。巴托拉慕士塔格向西约 23 公里为康披尔(Kanpir)峰,海拔 7168 米,是巴托拉西冰流的发源地。康披尔峰东北约 10 公里为库克莎(Kuksar)峰为北冰流源地。库克莎峰向东北,还有若干 6000 米以上山峰,是尤克苏戈兹(Yoksugoz)冰流源地。巴托拉冰川南侧,自帕苏(Pasu)峰(海拔 7295 米)以东,山势渐降,帕图达斯(Patundas)岭以东,山势降低到 4000 余米,为季节性积雪山地。属高度变质的片岩带,主要由千枚岩、板岩、石英岩、浅变质的石灰岩、白云岩所组成。巴托拉冰川北侧为罗布卡尔(Lupghar)山和夏其拉甫(Shaujerab)山,峰脊线高 4000—5000 米

* 作者: 张祥松, 陈建明, 谢自楚, 张金华。

1) 分别详见 1974 年和 1975 年 6 月 28 日的 The Pakistan Times。

左右,最高峰顶不超过 6000 米,为浅变质的石灰岩、白云岩夹片岩所组成。

上述山势为巴托拉冰川发育提供了极其有利的地形条件:

(1) 高耸的地势为冰川发育提供了优越的低温条件,南侧山岭的朝北坡雪线高度为 4700—4850 米,巴托拉慕士塔格峰顶与雪线之间的高差达 3000 米以上,与世界最高峰珠穆朗玛峰地区大致相当。但后者雪线以上积累区的面积不如洪扎喀喇昆仑山的山体广大。

(2) 山势陡峻,雪崩频繁,且规模巨大。如 1974 年 8 月 3 日在海拔 4475 米的 VI 号营地南侧高山发生一次大雪崩,雪崩气浪越过宽达 1.5 公里的冰川,到达冰川北边。雪崩形成的“雪云”(snow cloud),弥漫整个谷地,如浓雾笼罩。冰面降落大量的雪尘,历时长达 7 分钟。雪崩给旅行者以深刻的印象,Ph. C. Visser (1939) 曾写道:“没有一个地方能象喀喇昆仑山的这部分那样听到如此连续不断的雪崩隆隆声”^[1]。大量的雪崩补给,有利于冰川向较低的海拔延伸。

(3) 处于高山背阴面东西走向的纵向谷地,纵坡和缓,日照时间较短,有利于冰雪保存。

(4) 巴托拉慕士塔格峰位于冰川中游南侧,而冰川源头处的山体反而较低,有利于西风气流进入,带来充沛的雪量。

(5) 巴托拉冰川两侧北低南高的山体形势,造成了冰川分布规模南北之间明显的不平衡性。

2. 气候条件

喀喇昆仑山自第四纪以来经历了强烈的上升运动,上升量可能超过 3000 米,处于最活跃的地震带。由于新构造运动的强烈上升,河流迅速下切,形成了陡峻的深谷,造成了谷地与山坡峰顶之间巨大的气候差异。使所有位于干旱谷地与盆地中的气象台站的降水记录不能代表较高地区的情况。巴托拉冰川末端及邻近地区气象台站的降水记录如表 2-1 所示。

表 2-1 巴托拉冰川附近气象台站的降水记录*

站 名	平均年份	经 度	纬 度	海拔高度(米)	年降水量(毫米)
本 吉 (Bunji)	7	74.6°E	35.4°N	1300	158
吉尔吉特 (Gilgit)	47	76.4°E	35.9°N	1488	135
巴 托 拉 (Batura)	2	74.9°E	36.5°N	2563	97.1
米斯加尔 (Misgar)	15	74.8°E	36.8°N	3102	100

* 除巴托拉冰川末端降水记录外,其余均引用 H. Flohn (1968) 的综合资料,见文献[7]。

从上表可见,沿着印度河上游一些海拔 3000 米以下的谷地,年降水量均在 100 毫米左右,属干旱荒漠。而且,自南往北,随着海拔高度的增加,年降水量还有减少的趋势。因此,如何正确地估计高山冰川区的降水量成为必须探讨的问题。这个问题不清楚,就会对喀喇昆仑山区的冰川发育条件形成许多误解。由于资料短少,我们仅就如下几个方面加以讨论。