

青藏高原喀喇昆仑山-昆仑山地区科学考察丛书

喀喇昆仑山-昆仑山地区 冰川与环境

中国科学院青藏高原综合科学考察队

苏 珍 等 著

1998

内 容 简 介

本书是青藏高原综合科学考察专集之一。本书主要根据 1987~ 1992 年期间在喀喇昆仑山-昆仑山地区进行冰川考察收集的宝贵资料,并参考国内外有关青藏高原冰川的文献,系统地阐述了喀喇昆仑山-昆仑山地区冰川发育条件、数量、分布、水热特征、物理及化学性质、冰川进退变化、水文特征及冰川水资源、冰湖溃决洪水与泥石流等;并对第四纪冰川遗迹、冰期划分、序列对比、古冰川发育与高原隆起关系和环境变化,以及多年冻土和冰缘环境等问题进行了研究。全书共分十章,内容充实,观点新颖,图文并茂,并附有照片。

本书可供冰川、冻土、水文、气象、自然地理、地貌、第四纪地质等方面的科研和教学人员参考使用,也可供有关地方生产建设部门使用。

图书在版编目(CIP)数据

喀喇昆仑山-昆仑山地区冰川与环境/苏珍等著. -北京:
科学出版社,1998. 6

(青藏高原喀喇昆仑山-昆仑山地区科学考察丛书)

ISBN 7-03-006351-1

I. 喀… II. 苏… III. 青藏高原-冰川-研究-中国
IV. P343. 74

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 23167 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

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

*

1998 年 6 月第 一 版 开本: 787× 1092 1/16

1998 年 6 月第一次印刷 印张: 14 插页: 3

印数: 1—800 字数: 319 000

定价: 0.00 元

THE SERIES OF THE SCIENTIFIC EXPEDITION TO
THE KARAKORUM AND KUNLUN MOUNTAINS,
QINGHAI-XIZANG PLATEAU

GLACIERS AND ENVIRONMENT OF THE KARAKORUM-KUNLUN MOUNTAINS

The Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Xizang
Plateau, Chinese Academy of Sciences

Edited by Su Zhen et al.

SCIENCE PRESS, BEIJING, CHINA

1998

《青藏高原喀喇昆仑山-昆仑山地区科学考察丛书》

编辑委员会

主 任：孙鸿烈

副主任：郑 度

委 员：文世宣

冯祚建

张玉泉

林振耀

张青松

王富葆

苏 珍

张累德

顾国安

武素功

邓万明

孙东立

李炳元

潘裕生

尹集祥

吴玉虎

李渤生

《青藏高原喀喇昆仑山-昆仑山地区 科学考察丛书》序

素有“世界屋脊”之称的青藏高原西自帕米尔和喀喇昆仑山,东抵横断山区,北起昆仑山和祁连山,南界喜马拉雅山,幅员广阔,地势高亢,是全球海拔最高和独特的地域单元。自 50 年代起,国家曾组织过多次对青藏高原的科学考察,取得了丰硕的成果。自 70 年代初开始,中国科学院组织了青藏高原综合科学考察队,以“青藏高原的形成、演化及其对自然环境和人类活动的影响”为中心问题,对青藏高原进行了全面、系统的综合考察研究。第一阶段(1973~ 1980 年)考察了青藏高原南部的西藏自治区;第二阶段(1981~ 1986 年)考察了青藏高原东南部川西、藏东和滇西北的横断山区;第三阶段(1987~ 1992 年)考察了研究程度最低、资料甚少的青藏高原西北部的喀喇昆仑山和昆仑山地区。

喀喇昆仑山-昆仑山地区包括喀喇昆仑山和西、中昆仑山,它西起帕米尔东缘,东到昆仑山垭口,南达喀喇昆仑山及羌塘高原北部可可西里山,北抵昆仑山北翼,面积约 40 万平方公里。这一地区是阐明青藏高原有关地学、生物学一些重要问题的症结所在,是研究东特提斯形成演化及板块碰撞机制的关键地区。晚新生代以来这里隆起强烈,自然环境演变急剧;气候极端寒冷干旱,却又是高山冰川集中发育的中心;生物区系迁移融合比较复杂,形成独特的高原生物区系,优势自然景观是荒漠和草原,高寒荒漠、高寒草原在全球高山区域占有独特的席位,其山地垂直自然带类型也迥异于高原的其他区域。开展对这一地区的研究,不仅将促进对高原形成演化、自然环境变迁、生物区系起源、自然地域分异及演化趋势等重大问题认识的深化与完善,而且对全球环境变化的研究也有重要意义,同时也将为这一地区自然资源的开发利用、山地自然灾害的防治和自然保护以及区域的持续发展提供必要的科学依据。

“喀喇昆仑山-昆仑山地区综合科学考察”是国家自然科学基金委员会资助和支持的重大项目,也是中国科学院重点支持的基础研究项目。根据在喀喇昆仑山-昆仑山地区所要解决的科学问题,这一研究项目包括如下 4 个综合性课题:

1. 喀喇昆仑山-昆仑山地区各地体的地质特征、碰撞机制与东特提斯的演化;
2. 晚新生代以来喀喇昆仑山-昆仑山地区的隆起过程及自然环境变化;
3. 喀喇昆仑山-昆仑山地区生物区系的特征、形成与演化;
4. 喀喇昆仑山-昆仑山地区自然地理环境的特点、区域分异及演化趋势。

这一研究项目的中心问题和各课题综合性强,相互之间联系密切,需要多专业协作、多学科交叉。中国科学院青藏高原综合科学考察队组织了中国科学院下属 16 个研究单位和部分高等院校约 50 余位科学工作者参加了这一项目的研究工作,主要包括构造地质、地层、古生物、沉积学、岩石地球化学、同位素地质、古地磁、重力、第四纪地质、地貌、冰川、冻土、地热、植物区系、动物区系、自然地理、气候、陆地水文、土壤、地植物和遥感制图等专业。

在中国科学院、地方和部队有关部门的领导、支持和协助下,项目组连续进行了四年

野外科学考察,搜集了大量珍贵的科学资料,在此基础上进行了室内的鉴定、分析、测试和总结研究工作。

《青藏高原喀喇昆仑山-昆仑山地区科学考察丛书》包括《喀喇昆仑山-昆仑山地区古生物》、《喀喇昆仑山-昆仑山地区地质演化》、《喀喇昆仑山-昆仑山地区晚新生代以来的环境变迁》、《喀喇昆仑山-昆仑山地区冰川与环境》、《喀喇昆仑山-昆仑山地区昆虫》、《喀喇昆仑山-昆仑山地区植物志》、《喀喇昆仑山-昆仑山地区脊椎动物》、《喀喇昆仑山-昆仑山地区自然地理》和《喀喇昆仑山-昆仑山地区土壤》等专著。我们希望《丛书》能在探索青藏高原的自然规律和我国的现代化建设中发挥积极的作用,殷切地期望读者对《丛书》的不足和缺点给予批评指正。我们愿意和更多的科学工作者一道为进一步揭开青藏高原的奥秘,为建设好青藏高原而继续努力。

中国科学院青藏高原综合科学考察队

PREFACE OF *THE SERIES OF THE SCIENTIFIC EXPEDITION TO THE KARAKORUM AND KUNLUN MOUNTAINS, QINGHAI-XIZANG PLATEAU*

The Qinghai-Xizang Plateau, which is called “the Roof of the World”, has covered a huge area from the Pamir and the Karakorum in the west to the Hengduan Mountains in the east, and from the Kunlun and Qilian Mountains in the north to the Himalayas in the south. It is the highest plateau and a unique region on the earth. Since the 1950's, the People's Republic of China had organized a series of comprehensive scientific expeditions to the Qinghai-Xizang Plateau area and had made much achievements. From the beginning of the 1970's, the Chinese Academy of Sciences had organized the Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Xizang Plateau. Having made the “Formation and Evolution of the Qinghai-Xizang Plateau” and Its Influences on the Natural Environment and Human Activities” as the key issues, the team had developed three stages of comprehensive and systematic expeditions. The first stage was from 1973 to 1980 in which the Xizang Autonomous Region was investigated, and the second one from 1981 to 1986 was mainly in the west Sichuan, east Xizang and north-west Yunnan. The third one from 1987 to 1992 occurred in the Karakorum and Kunlun Mountains where the research level was lower and the data were less in the past.

The Karakorum and Kunlun Mountains, including Karakorum and west, middle Kunlun, ranges from the east border of the Pamir in the west to the Kunlun Pass in the east, and from the Karakorum and north Qiangtang Plateau, Hoh Xil Mountains in the south to the northern foot of the Kunlun Mountains in the north. This huge area, with an area of $4.0 \times 10^5 \text{ km}^2$, is the key area for expounding some important problems about the geo-science and biology of the Qinghai-Xizang Plateau, and for studying the formation and evolution of the east Tethys and the collision mechanism of tectonic plates. Their intensive uplifting since the Late Cenozoic Era has brought about drastic changes in the natural environment. Though the climate here is extremely dry and cold, they are the center in which the mountain glaciers are very developed. Various biotic elements have been admixed, interpenetrated, and specialized in evolutionary process that formed a unique plateau biotic fauna. Serving as the dominant landscapes, alpine desert and alpine ateppe are well developed and occupy the unique status in the alpine region of the earth. The spectrum of altitudinal belts in this area also differs greatly from that in other parts of the plateau. Therefore, investigation and research on this area will not only promote the deepening and broadening of knowledge on such issues as the formation

and evolution of the plateau, changes of the natural environment, origins of the biota, physico-geographical regional differentiation, environmental evolution tendencies, etc., but also make great significance to the study for global environmental change. In addition, this investigation and research will provide a solid scientific basis for the exploitation and utilization of natural resources, the control and prevention of natural hazards and nature conservation as well as the sustainable development in these mountainous areas.

“The Comprehensive Scientific Expedition to the Karakorum and Kunlun Mountains” has been supported by the National Natural Science Foundation of China and the Chinese Academy of Sciences (CAS). Based upon the scientific problem which will be served in this area, the research project includes the studies of the following four interrelated issues:

(1) Geological characteristics and the collision mechanism of tectonic plates in the Karakorum-Kunlun Mountains region and the evolution of the eastern Tethys;

(2) Uplifting of the Karakorum-Kunlun Mountains region and environmental changes since the Late Cenozoic Era;

(3) The characteristics, origin and evolution of fauna and flora in the Karakorum-Kunlun Mountains region;

(4) Physico-geographical characteristics, regional differentiation and environmental evolution tendencies in the Karakorum-Kunlun Mountains region.

Because of the integration and close interrelation among the central issues and subissues and the necessity of coordination and crossing among multi-specialities and sciences, the Comprehensive Scientific Expedition Team to the Qinghai-Xizang Plateau, CAS, had organized some 50 scientists from 16 institutes of CAS and some universities to undertake the multidisciplinary research project, including stratigraphy, palaeontology, sedimentology, petrology, geochemistry, isotopic geology, tectonic geology, geophysics, Quaternary geology, geomorphology, glaciology, cryopedology, geothermics, systematic botany, florology, entomology, zoology, founology, physical geography, climatology, hydrography, geoecology, geobotany, pedogeography and remote sensing cartography.

Under the leading, supporting and cooperating of the Chinese Academy of Sciences, local governments and some related units of the People's Liberation Army, the project work group had continuously carried out 4 year's field scientific investigations and had obtained a lot of valuable scientific data, upon which the identification, analysis, test as well as researches have been completed.

The series are planned to be composed of *Palaeontology of the Karakorum and Kunlun Mountains*, *Geological Formation and Evolution of the Karakorum and Kunlun Mountains*, *Environmental Changes of the Karakorum-Kunlun Mountains Since the Late Cenozoic Era*, *Glaciers and Environment of the Karakorum-Kunlun Mountains*, *Insects of the Karakorum-Kunlun Mountains*, *Flora of the Karakorum-Kunlun Mountains*, *Vertebrate of the Karakorum-Kunlun Mountains*, *Physico-geography of the Karakorum-Kunlun Mountains*. We hope that this series will be able to give an active play in probing into the natural law of the Qinghai-Xizang Plateau and in the construction of Modern China. We sincerely hope that the read-

ers will give their real ideas for the insufficient of this series. We are willing to develop cooperations with more scientists to make efforts for mysteries discovering and regional development of the Qinghai-Xizang Plateau.

The Comprehensive Scientific Expedition
to the Qinghai-Xizang Plateau,
Chinese Academy of Sciences

前 言

喀喇昆仑山-昆仑山地区位于青藏高原的西北部,是由一系列高大山系组成,东西长约 2 600 公里。区内地形崎岖,海拔高度大,冰川作用广泛,历来就受到国内外科学工作者和登山家的注意。但是,由于其独特的地理位置,自然条件恶劣,交通不便,人烟罕见,要涉足这里进行工作存在不少实际困难,因此该区是青藏高原研究中唯一未被进行综合科学考察的一块空白区;许多涉及该区的地球科学基本问题,尚停留在推测阶段,还未获得比较圆满的结论。因此,本区是青藏高原研究中许多中心问题的关键地区。

鉴于上述原因,中国科学院在组织了 1973~ 1980 年西藏地区的考察(侧重南部)和 1981~ 1985 年横断山脉地区的考察之后,于 1987~ 1992 年又组织了对喀喇昆仑山-昆仑山地区的综合科学考察,这也是中国科学院组织的“青藏高原形成、演化及其对自然环境和人类活动影响”任务的第三阶段,被列为中国科学院、国家自然科学基金委员会的重大科研项目。参加此次考察主要涉及地学和生物学领域的许多学科,共分四个课题组。

第二课题组的冰川与环境的考察研究是由中国科学院兰州冰川冻土研究所主持,中国科学院地理研究所、中国科学院新疆地理研究所、南京大学地理系和中国科学院自然资源综合考察委员会等单位参加。前后经过四年野外的实地考察,获得了喀喇昆仑山-昆仑山地区现代冰川、第四纪冰川、多年冻土和冰缘等方面的大量实测资料。在室内分析整理和数据处理基础上完成了本书,对喀喇昆仑山-昆仑山地区的冰川与环境作了系统的阐述。

喀喇昆仑山-昆仑山地区发育有现代冰川 12 445 条,冰川总面积 21 194. 95 平方公里(其中,喀喇昆仑山冰川 2 991 条,冰川面积 6 295. 19 平方公里;帕米尔冰川 1 530 条,冰川面积 2 361. 4 平方公里;昆仑山冰川 7 924 条,冰川面积 12 538. 36 平方公里),占青藏高原中国境内冰川面积的 43%,冰川雪线介于海拔 5 000~ 6 100 米间,高差悬殊,变化大,冰川发育形态多样,类型齐全。由于该区深居内陆,干旱少雨,自然条件极差,为什么现代冰川还如此发育呢? 首先,这里巨大的海拔高度和突出于冰川雪线以上大片的山地面积,创造了积雪保存的地形条件,为现代冰川发育提供了宽阔的积累区;同时,这里的气候条件为冰川发育和生存提供了必要的物质条件和低温条件。这里除北半球的西风环流和南亚的季风环流对降水有影响外,高原上夏季特别盛行的局地环流对山地降水有重大作用,这是高原上冰川赖以生存的一种主要补给来源,加之冰川区的极端低温为冰川发育创造了有利的条件。

通过对冰川成冰作用、物质平衡、冰层温度、冰川运动等冰川物理性质的观测研究,发现该区附加冰带分布广泛,渗浸带宽度不大,冷渗浸带年层厚度小,含冰量大,个别超过 7 000 米以上高峰顶可能还有重结晶带存在。昆仑山西、中段冰川雪线附近的降水量在 300~ 500 毫米间,年平均气温低于 -13°C ,夏季 6~ 8 月平均气温在 -2°C ~ -3°C 间,冰川消融区活动层最低冰温低于 -7.3°C ,冰川消融量小,平均在 1 000~ 2 500 毫米间,冰川运动速度缓慢等特点,划为极大陆性冰川类型;而昆仑山东段和喀喇昆仑山冰川雪线附近

年降水量在 500~ 900 毫米间,年平均气温在 -7.5°C ~ -13°C 间,夏季 6~ 8 月平均气温在 -0.2°C ~ -2°C 间,冰川消融区活动层最低冰温 -3.4°C ~ -7.3°C 间,冰川消融量较小,平均在 2 500~ 6 000 毫米间,冰川运动速度不大等特点,划为亚大陆性冰川类型。

喀喇昆仑山-昆仑山地区冰川从小冰期结束以来,现代冰川总的趋势是以退缩为主,但其间也出现过短暂的前进或稳定阶段。在本世纪初至 30 年代间,多数冰川曾有过一次明显的前进或稳定阶段,30~ 60 年代冰川普遍转入退缩,70~ 80 年代多数冰川又有一次明显的前进或稳定阶段,以后冰川又普遍转入退缩。虽然冰川末端的进退变化对气候的响应有一定的滞后,而上述冰川的变化趋势与全球气候变化趋势基本一致:气候转暖,冰川后退;气候寒冷,冰川前进。

喀喇昆仑山-昆仑山地区冰川冰总储量 2 229. 216 立方公里,是巨大的固体淡水资源。经冰雪水化学分析,该区冰、雪水矿化度低,属软水,适合农牧业和生活用水,是人类有益的优质水源。据初步估算,该区冰川每年有 105 亿立方米的冰川融水补给河川径流。其中,冰川融水补给塔里木盆地河流占冰川融水总量的 78. 6%,高原内部湖泊及河流占冰川融水总量的 14. 5%,柴达木盆地河流占冰川融水总量的 5. 9%,还有少量冰川融水补给外流水系。该区发育的河流一般都由冰川融水补给,一些主要河流的冰川融水补给量占该河总径流量的 40%~ 60%。冰川融水补给为主的河流,其流量有明显的季节变化,而多年变化小,水量稳定,可供开发利用。但是,冰川形成的冰湖溃决洪水及泥石流等灾害,在该区也时有发生,特别是在喀喇昆仑山和昆仑山西段山区较为严重,在山区和河流沿线开发建设时应给予重视。

喀喇昆仑山-昆仑山地区第四纪冰川作用遗迹分布普遍,根据冰碛沉积组构、分布序列及年代测定等划分,有三次大的冰期,即中更新世早期的倒数第三次冰期、中更新世晚期的倒数第二次冰期和晚更新世的末次冰期,以及全新世的新冰期和小冰期。三次大的冰期与深海氧同位素曲线对比,末次冰期对应曲线 2~ 4 阶段,倒数第二次冰期对应曲线 6 阶段,倒数第三次冰期对应曲线 16~ 18 阶段,青藏高原在漫长的隆升过程中,促使季风逐步发展,喀喇昆仑山-昆仑山经历了早更新世 100 多万年间气候由湿热向冷湿方向发展,从没有冰川到发育冰川,再到冰川规模最大的倒数第三次冰期。这次最大冰期的到来,并未达到使整个高原被全部冰川覆盖的规模,最大冰期前的冰川遗迹多被破坏,很难寻觅。最大冰期之后,青藏高原加速上升,气候变干,以后的倒数第二次冰期和末次冰期逐次缩小。

多年冻土在本区也十分发育,海拔高度是控制多年冻土形成的主要因素,属中低纬高海拔多年冻土区。多年冻土分布下界,在西段沿新藏公路南下界海拔高度 4 450 米,北下界为 4 600 米,在海拔 4 900 米的甜水海地区,冻土厚度可达 84~ 119. 6 米,年平均地温 -3.2°C ;在昆仑山西段北坡策勒河上游,多年冻土北下界海拔高度为 4 200 米,这里黄土发育,厚 10~ 20 米, ^{14}C 测定年代为距今 $5\,686\pm 155$ 年;昆仑山中段北坡木孜塔格峰多年冻土下界海拔高度 4 800 米,月牙河上游河流阶地上有大于 10 米厚的冻土发育;西大滩北下界海拔高度 4 250 米,冻土厚度 1~ 10 米,昆仑山垭口冻土厚度超过 75 米,年平均地温 -3.5°C 。冰缘现象在该区也很发育,如石冰川、冻胀丘、古冰楔、冰锥等。

总之,反映在本书各章节中的内容涉及面较广,讨论中经常触及到一些敏感的理论问题和实际问题,难免有许多论述不当之处,欢迎读者批评指正。

本书由苏珍主编,谢自楚、王志超为副主编,参加编写的人员有:苏珍、谢自楚、王志超、李树德、刘时银、李世杰、曹真堂、杨惠安、邵文章、贺益贤、王平、李念杰等(具体见各章节注记)。书中引用的冰雪水化学资料由王平、盛文坤、皇翠兰等分析,岩矿由区荣康、王音、孙维贞等分析鉴定, ^{14}C 由顾功树等分析。文中插图由金得利、金正妹、顾佩、李玉芳、王银学、林经芳等清绘。

该书在编写过程中曾得到刘东生、施雅风、李吉均等院士的指导,并得到黄茂桓、张祥松、张青松、王富葆、李炳元、杨针娘等教授的帮助,在此表示感谢!

苏 珍 谢自楚 王志超

目 录

《青藏高原喀喇昆仑山-昆仑山地区科学考察丛书》序

前 言

第一章 喀喇昆仑山-昆仑山地区现代冰川发育条件	(1)
第一节 冰川发育的地形条件.....	(1)
第二节 冰川发育的补给条件.....	(3)
第三节 冰川发育的温度条件.....	(7)
参考文献.....	(9)
第二章 喀喇昆仑山-昆仑山地区现代冰川的数量、形态类型及分布特征	(10)
第一节 现代冰川的数量与分布	(10)
第二节 冰川的形态类型及区域特征	(19)
第三节 雪线和冰川下限分布及特征	(33)
参考文献	(37)
第三章 喀喇昆仑山-昆仑山地区冰川的水热状况及成冰作用	(38)
第一节 冰川水热状况的气候背景	(38)
第二节 冰川积累、消融及物质平衡的具体资料分析.....	(40)
第三节 喀喇昆仑山-昆仑山地区冰川水热状况的一般特征	(47)
第四节 喀喇昆仑山-昆仑山地区冰川的成冰作用	(50)
参考文献	(56)
第四章 喀喇昆仑山-昆仑山地区冰川的物理与化学性质	(58)
第一节 冰川的温度状况	(58)
第二节 冰川的运动与厚度	(66)
第三节 冰川水化学特征	(73)
参考文献	(82)
第五章 喀喇昆仑山-昆仑山地区现代冰川波动与气候变化	(83)
第一节 现代冰川的变化动态	(83)
第二节 冰川变化的比较与区域性特征	(98)
第三节 冰川进退与气候波动的关系.....	(100)
参考文献.....	(102)
第六章 喀喇昆仑山-昆仑山地区的冰川水文特征与冰川水资源	(104)
第一节 冰川水文特征.....	(104)
第二节 冰川水资源及其利用.....	(119)
参考文献.....	(123)
第七章 喀喇昆仑山-昆仑山地区的冰川灾害	(124)

第一节 冰湖溃决洪水..... (124)

第二节 泥石流..... (135)

参考文献..... (139)

第八章 喀喇昆仑山-昆仑山地区第四纪冰川遗迹与冰期划分 (140)

第一节 第四纪冰川遗迹..... (140)

第二节 第四纪冰期划分及序列对比..... (159)

参考文献..... (169)

第九章 喀喇昆仑山-昆仑山地区第四纪冰川演化与青藏高原隆升的关系 (171)

第一节 第四纪冰川类型和规模..... (171)

第二节 青藏高原隆升对本区冰川发育的影响..... (175)

第三节 第四纪冰川作用环境及历史演变..... (177)

参考文献..... (180)

第十章 喀喇昆仑山-昆仑山地区的多年冻土与冰缘环境 (181)

第一节 喀喇昆仑山-西昆仑山地区的多年冻土与冰缘环境 (181)

第二节 新藏公路沿线多年冻土分布特征..... (186)

第三节 甜水海盆地厚层地下冰及冰楔特征和发育历史..... (192)

第四节 西昆仑山南坡的冰缘现象..... (196)

第五节 中昆仑山地区多年冻土与冰缘现象..... (200)

第六节 西大滩及青藏公路沿线多年冻土特征..... (204)

第七节 东昆仑山区的多年冻土与冰缘地貌..... (211)

参考文献..... (214)

CONTENTS

Preface of *The Series of the Scientific Expedition to the Karakorum and Kunlun Mountains, Qinghai-Xizang Plateau*

Foreword

Chapter1	Development conditions for modern glaciers in the Karakorum-Kunlun Mountains	(1)
1-1	Topographical condition for glacier development	(1)
1-2	Glacier nourishment status	(3)
1-3	Thermal condition for glacier development	(7)
	References	(9)
Chapter2	Number, shape and type of modern glaciers in the Karakorum-Kunlun Mountains and their spatial distribution	(10)
2-1	Number and distribution of glaciers	(10)
2-2	Shape type and regional characteristics of glaciers	(19)
2-3	Characteristics of snowline and terminus extension of glaciers	(33)
	References	(37)
Chapter3	Thermal-water regime and ice formation on glaciers in the Karakorum-Kunlun Mountains	(38)
3-1	Climatic background of glacier thermal-water regime	(38)
3-2	Detailed data analysis of glacier accumulation, ablation and mass balance	(40)
3-3	General feature of thermal-water condition of glaciers in the Karakorum-Kunlun Mountains	(47)
3-4	Ice formation of glaciers in the Karakorum-Kunlun Mountains	(50)
	References	(56)
Chapter4	Physical and chemical properties of glaciers in the Karakorum-Kunlun Mountains	(58)
4-1	Glacial temperature regime	(58)
4-2	Glacier movement and ice thickness	(66)
4-3	Chemical property of glacier water	(73)
	References	(82)
Chapter5	Glacier fluctuation in recent decades and its relationship with climatic change in the Karakorum-Kunlun Mountains	(83)
5-1	Terminus variations of modern glaciers	(83)
5-2	Comparison and regional characteristics of glacier fluctuation	(98)
5-3	Relationship between glacier fluctuation and climate change	(100)

References (102)

Chapter6 Glacier hydrological characteristics and water resource in the
Karakorum-Kunlun Mountains (104)

6-1 Glacier hydrological characteristics (104)

6-2 Glacier water resource and its utilization (119)

References (123)

Chapter7 Glacier hazards in the Karakorum-Kunlun Mountains..... (124)

7-1 Glacier lake outburst flood (124)

7-2 Mud and debris flow (135)

References (139)

Chapter8 Quaternary glaciation and ice age delimitations in the Karakorum-Kunlun
Mountains (140)

8-1 Quaternary glacier remnants (140)

8-2 Ice age delimitation and inter comparisons (159)

References (169)

Chapter9 Relationship between the evolution of Quaternary glaciation and
the uplift of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau (171)

9-1 Types and expansion of Quaternary glaciers (171)

9-2 Influence of the uplift of the Qinghai-Xizang Plateau on the glacier evolution
in this region (175)

9-3 Environment of the Quaternary glaciation (177)

References (180)

Chapter10 Permafrost and periglacial environment in the Karakorum-Kunlun
Mountains..... (181)

10-1 Permafrost and periglacial processes in the Karakorum-West Kunlun
Mountains (181)

10-2 Permafrost distribution along the Xinjiang-Xizang (Tibet) highway (186)

10-3 Thick underground ice, characteristics and evaluation of ice wedge
in the Tianshuihai lake basin (192)

10-4 Periglacial processes on the southern flank of the west Kunlun Mountains
..... (196)

10-5 Permafrost and periglacial phenomenon in the central Kunlun Mountains
..... (200)

10-6 Permafrost at Xidatan and along the Qinghai-Xizang highway (204)

10-7 Permafrost and periglacial environment in the east Kunlun Mountains ... (211)

References (214)

第一章 喀喇昆仑山-昆仑山地区 现代冰川发育条件^{*}

青藏高原是地球上最高的隆起区,喀喇昆仑山-昆仑山地区是青藏高原西北部最重要的组成部分。它西起我国与塔吉克斯坦、阿富汗、巴基斯坦、印度等国边界,东止黄河在青海向北拐弯处的阿尼玛卿山和巴颜喀拉山东端(约 103°E),是由一系列高大山系组成,全长约 2 600 公里。整个山势雄伟高峻,现代冰川发育,是我国最主要的现代冰川发育地区。喀喇昆仑山-昆仑山巨大的冰川融水,除部分汇入藏北高原的一些湖盆和河流外,多数补给和田河、叶尔羌河、盖孜河等河流,灌溉着塔里木盆地南缘一系列的绿洲。

喀喇昆仑山-昆仑山属中亚内陆干旱地区,原无发育冰川的条件,只是从更新世以来,强烈的隆升,使山地高度达到冰期和间冰期雪线以上,才出现冰川。山系的抬升,不仅改变了地面温度条件,而且导致大气环流形势,降水和热量收支状况也发生了改变,这就为现代冰川的发育创造了条件,同时对冰川的分布、规模和性质也有重大的影响。

第一节 冰川发育的地形条件

山岳冰川是一定的地形和气候条件相结合的产物。耸入雪圈的高大山地不但为冰川的发育创造了必要的低温和足够的固体降水条件,并因冰川作用正差的不同决定了冰川的规模和冰舌向雪线以下伸展的能力。同时,山脉走向、坡向等所造成的局部气候的差异和雪的再分配等又影响着冰川的形态、分布等。

喀喇昆仑山-昆仑山占据了青藏高原的西北部,是世界上巨大而雄伟的山地。喀喇昆仑山脉是世界上最高大的山系之一,它位于中国与克什米尔之间,由多列从西北向东南延伸的山地组成。中国境内的喀喇昆仑山,东以叶尔羌河干流为界,西到喀喇昆仑山主山脊,北至克克拉去考勒山,南界羌臣摩山,包括的主要山脉有:克克拉去考勒山、红其拉甫喀喇昆仑山、喀喇昆仑山主脉、阿吉里山、拐弯达坂山、玛雷克恰塔格、天神达坂喀喇昆仑山、团结峰喀喇昆仑山和阿里喀喇昆仑山等,山体长约 700 多公里,宽约 100 多公里(图 1-1)。喀喇昆仑山主山脊平均海拔在 6 500 米左右,最高峰为乔戈里峰,海拔 8 611 米,为世界第二高峰(照片 1-1)。乔戈里峰附近,又有迦雪布鲁姆 I 峰(8 068 米)、布罗德峰(8 047 米)和迦雪布鲁姆 II 峰(8 035 米)等 3 座超过 8 000 米的高峰。此外,还有超过 7 000 米以上的山峰 25 座。在如此短短的距离内,群峰汇聚的高大山体为世界其它冰川区所罕见。喀喇昆仑山在地形上是典型的深切极高山,相对高差达 3 000~ 5 000 米。山体宽阔,谷地多为纵谷,与山脉走向大体一致,有利于冰川发育。

号称“亚洲脊柱”的昆仑山,是中国境内最长大的山系。西起新疆叶尔羌河中游的塔什

^{*} 本章作者:苏珍(中国科学院兰州冰川冻土研究所)。

库尔干谷地(约 75°E),东止阿尼玛卿山东端(约 105°E),是由一系列近于东西走向的平行排列的山脉组成,全长 2 500 公里,分西、中、东三段。昆仑山西段是指叶尔羌河至琼木孜塔格—尼雅河段,绵延约 700 公里,这里山势雄伟高峻,呈向南弯曲的弧形分布,包括的主要山脉:喀热巴得热克山、克拉达坂山、桑株达坂山、阿孜孜山、皮的其力孜山、塔西土鲁克山、西昆仑山结、康西瓦北山、喀拉塔什山、喀什塔什山、喀拉塔格山、南屏雪山、谷顶雪山、西昆仑山主脉和乌斯腾塔格等。昆仑山西段拥有海拔超过 6 000 米以上的山地面积之广,超过我国西部任何山系,最高峰达 7 167 米。这里和喀喇昆仑山的强烈隆起,与喜马拉雅山区基本一致,始于上新世末—更新世初,山地的上升量与山前洼地的下降量超过天山,仅山前洼地中堆积的上新世—早更新世砾石层厚度就达 2 500 米之多,隆升活动一直延续至今。1960~ 1980 年叶城至狮泉河沿线水准测量资料的对比分析表明,青藏高原西部目前的上升速度为每年 4.2 毫米,以昆仑山西段北坡为最大,每年可达 6~ 8 毫米^①。这里尽管气候干燥,仍形成巨大的冰川中心,昆仑山系大约三分之二的冰川集中于此(照片 1-2)。发源于高山冰川的许多大河如叶尔羌河、喀拉喀什河、玉龙喀什河及克里雅河等切穿山体,经过宽广的山前平原浇灌着肥沃富饶的绿洲。

有人把叶尔羌河中游以北的昆盖山、公格尔山和慕士塔格山-公格尔山等也划归昆仑山西段,我们则划归帕米尔。慕士塔格山-公格尔山呈北西-南东走向,山峰或山脊大多接近或超过 6 000 米,主峰公格尔山和慕士塔格山分别为 7 649 米与 7 509 米(照片 1-3、1-4)。

昆仑山中段,指琼木孜塔格—尼雅河至格尔木河段(83°~ 95°E),是宽广而散漫的山段,绵延近 110 公里,也是山系最宽的地段,宽约 500 公里,包括的主要山脉:阿尔金山、阿喀祁漫塔格、祁漫塔格山、库木巴彦山、托库孜达坂山、阿克塔格山、阿尔格山、西沙松乌拉山、沙松乌拉山、木孜塔格山、巍雪山、布喀达坂峰、马兰山—大雪峰、博卡雷克塔格山、唐格乌拉山和可可西里山等。山脉中有若干分散在 6 000 米以上的山峰和保存良好的山顶夷平面,形成若干规模不大的冰川发育中心(照片 1-5)。

昆仑山东段,从格尔木河至阿尼玛卿山东端(95°~ 103°E),长约 800 公里,包括的主要山脉有:鄂拉山、布尔汗布达山、布青山、阿尼玛卿山和巴颜喀拉山等,山势比西昆仑和中昆仑低得多,只有阿尼玛卿山的最高峰——玛卿岗日峰(6 282 米)超过 6 000 米,一般山脊多在 5 500 米左右,是昆仑山系中山地高度最低的一个地段。

从上述不难看出,喀喇昆仑山-昆仑山的海拔高度是由西向东逐渐降低,突出于冰川雪线(5 000~ 6 100 米)以上的山地面积喀喇昆仑山和昆仑山西段(包括帕米尔东缘)最多,昆仑山中段次之,昆仑山东段最少。这些突出于冰川雪线以上山地的冰川作用正差无疑为冰川发育提供了极为有利的地势条件。加之,突出于冰川雪线以上大片的山地面积,创造了有利于终年积雪保存的地形条件,为现代冰川的发育提供了宽阔的积累区。另外,喀喇昆仑山-昆仑山深居亚洲大陆腹地,远离海洋,降水少,但由于雄伟高大的山地对周围气流带来的降水有明显的屏障作用,使得本区山地要较平地、边缘要较高原内部获得较多的降水补给,这也可能与整个青藏高原山体效应的影响有关。

喀喇昆仑山-昆仑山地区,由于位于青藏高原西北部,沿高原边缘的山地相对高出山

① 郑度,1990,喀喇昆仑山-昆仑山区自然环境及其利用与保护,打印本。

麓平原和谷地达 3 000~ 5 000 米,而且山地多受到极其强烈的切割侵蚀,坡陡谷深,夷平面保存很少,一般多发育以冰斗冰川和山谷冰川为主的冰川类型组合。这类冰川的冰川作用正差大,积累区冰雪崩盛行,冰川的刨蚀和搬运作用较强,暂称这类冰川为山地型冰川,在山地型冰川中,长大的山谷冰川类型似于天山托木尔型冰川;而在高原内部,山顶夷平面分布广泛,山地相对高差起伏不大,多在 1 000~ 2 000 米,一般多发育以平顶冰川和冰帽为主的冰川类型组合。这类冰川雪线以上多年积雪有效覆盖率高,冰川作用正负值小,刨蚀和堆积作用弱,冰面洁净,被称为高原型冰川。由于地形的复杂性,冰川类型有时也会出现复杂情况,如在边缘山地有时也保存有夷平面,而在高原内部有些地方因新构造运动强烈,地形切割也比较强。

第二节 冰川发育的补给条件

冰川是依靠大气固体降水补给的。目前,喀喇昆仑山-昆仑山的现代冰川规模甚大,必然要有一定的固体降水补给才能保证冰川的生存和发育。喀喇昆仑山-昆仑山作为青藏高原的一部分,它的环流形势和特点与整个高原所受的环流形势是分不开的。青藏高原的地理位置决定了它主要受两大环流的影响,其一是北半球的西风环流,再就是地球上最强大的南亚季风环流。从环流形势变化来说,基本上可分为冬季环流形势和夏季环流形势,春、秋季为两种环流形势的过渡和转变时期,比较短暂。每年 9 月底 10 月初南亚季风结束,西风急流南进,在高原动力作用下,分为南北两支,分别从南北两侧绕过高原,部分气流在高原西部受阻被迫爬升,整个高原处在西风环流的支配下。这时,由于急流的分支,爬坡运动,除了高原南北侧和西部边缘山区受急流影响较大外,高原内部的大部分地区和东部边缘山区盛行下沉气流,形成冬季冷高压。这样,除了因南北支急流位置的摆动或强大的西伯利亚寒潮侵袭而造成降水天气外,高原大部分地区天气晴好,盛行西风,极少降雪,这是青藏高原的干季和风季,是冬季环流形势下的天气特点。对冰川来说,这就决定了高原冰川在冬季得不到较大补给。可是,对于高原西部则有所不同,喀喇昆仑山和帕米尔是属于显著的地中海冬雨型气候区^[1]。其原因是西风急流在高原西侧受阻后,有明显的爬坡运动。这种爬坡运动,不但使西风气流在高原西侧形成一个低槽区,而且也使地中海上空的水汽随着气流爬升可达西部山区。据研究,在 3 000 米高空从阿富汗和巴基斯坦常年都有一个湿舌伸向高原西部,湿中心数据冬季小、夏季大^[2]。配合 3 000 米高空的流场,冬季有向北的流线,夏季有向南偏西的输送,使充足的水汽有利于向喀喇昆仑山和昆仑山西段输送。

青藏高原的环流形势从冬季型转为夏季型是一个逐渐变化的过程。每年从 3 月开始,随着太阳高度角的加大,地面感热的加强,西风急流的北撤,到 5 月底和 6 月初青藏高压的形成,使冬半年一直存在的南支西风急流从高原南侧北撤到北纬 30°以北地区。这种环流形势的突然变化导致南亚季风的爆发,整个印度半岛被控制在季风环流带来的淫雨中。部分季风环流带来的印度洋暖湿气流爬上高原,向北推进,进入腹地,配合西风环流中的槽脊移动,使高原从西向东先后进入雨季,昆仑山西段正处在 500 百帕多年平均槽区中;同时,也有部分季风在偏东气流的吹送下逐渐向西移动,使高原东部由东向西先后进入雨季,昆仑山东段正好是这支气流的受益区。

除了上述大的环流形势对降水的影响外,还不能不指出高原上夏季特别盛行的局地环流对山地降水的重大作用。夏季高原卫星云图上经常出现大量对流云团,它们均以山地为中心。在这种意义上夏季青藏高原上每个山峰都会成为一个“热岛”,加强高原上的对流活动^[3]。这种对流活动的强烈发展,导致了多以山地为中心的地形降水,无疑是高原上许多山地降水多,高山冰川赖以生存的一种主要补给来源。据考察期间证明,夏季大天气系统过境时山地和平地的降水梯度不大,但地方性对流引起的阵性降水则往往仅限于山地,如果山上山下同时降水则相差数倍。看来这就是高原内部某些地方平地上气象台站年降水不过数十毫米,山上冰川却很发育的原因。

从环流形势对降水的影响看出,喀喇昆仑山-昆仑山各地冰川的水汽来源和降水季节分配是不相同的,在降水的分布上也有如下表现:①降水的分布有从东、西两端逐渐向中间减少的趋势。因为昆仑山东段的阿尼玛卿山、巴颜喀拉山接近青藏高原的东缘,主要靠夏季季风降水,降水量较多,由此向西降水逐渐减少;喀喇昆仑山、昆仑山西段及帕米尔等山接近高原西部边缘,降水主要集中在春、夏季,降水也相对较多,由此向东降水逐渐减少;昆仑山中段山地,季风现象不明显,降水主要靠夏季的地方性对流降水,多集中在七八月份,降水量普遍极低。②降水的分布也有沿青藏高原边缘山地向高原内部逐渐减少的趋势,这显示了边缘山地对气流带来的降水有明显的屏障作用。另外,沿高原边缘山地还观测到明显的“第二大降水带”存在,它的形成是夏季高山地区地方性局部环流的产物。③降水对冰川的补给主要在暖季,虽然这时气温高,降水基本为液态,但在高山随着气温的递减也产生大量固态降水补给冰川。即使液态降水,在冰川粒雪盆也能渗浸于雪层中,由粒雪层中的冷储使其冻结亦能起到补给冰川的作用。

表 1-1 阿尼玛卿山东南缘气象观测资料

站名及 高度(米)	项 目	月 份												全 年
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
久 治 3 628.5	气温(℃)	- 11.2	- 8.4	- 3.5	1.3	4.9	7.3	9.9	9.2	6.1	1.0	- 5.4	- 9.9	0.1
	降水(毫米)	5.0	6.9	17.8	38.9	87.2	121.0	155.6	134.9	136.7	49.6	8.2	2.5	764.4
达 日 3 967.5	气温(℃)	- 12.9	- 10.3	- 5.1	0.0	3.9	6.7	9.1	8.3	5.1	- 0.4	- 7.5	- 12.4	- 1.3
	降水(毫米)	5.6	5.1	11.4	21.1	55.4	101.7	111.8	98.3	87.1	32.0	4.8	2.6	536.6
玛 沁 3 719	气温(℃)	- 12.7	- 9.8	- 4.6	0.8	4.7	7.3	9.7	9.0	5.7	0.2	- 6.9	- 11.8	- 0.7
	降水(毫米)	1.9	3.2	7.7	16.2	61.6	85.9	108.7	113.3	78.5	28.9	3.3	0.6	509.7
玛 沁 4 211.1	气温(℃)	16.5	- 13.3	- 8.1	- 2.4	2.0	4.9	7.5	7.1	3.6	- 2.7	- 11.5	- 16.0	- 3.8
	降水(毫米)	4.1	5.0	9.5	17.0	47.8	74.7	96.9	82.6	71.6	27.9	4.7	2.1	444.1

喀喇昆仑山-昆仑山地区的降水,在昆仑山东段的阿尼玛卿山和巴颜喀拉山,由于接近青藏高原边缘,降水相对较多,一般年降水量在 500~ 800 毫米,降水分布除有从东向西逐渐减少的趋势外,还有从南向北逐渐减少的趋势,这从表 1-1 即可看出。久治、达日、玛沁 3 站位于阿尼玛卿山和巴颜喀拉山之间的东端,久治在达日和玛沁的东南方向,虽然久治的海拔高度比上述两站的低,但年降水量却较多,这主要是分布在靠东南方向的久治优先阻拦了由东南方向来的较多水汽的原因。在同一地区降水梯度的变化,如玛沁的大武滩,海拔 3 719 米处多年平均的年降水量为 509.7 毫米;而向上至海拔 4 211.1 米处的仁

侠姆,多年平均的年降水量减少至 444.1 毫米,估计阿尼玛卿山东端的第一最大降水带的高度就在 3 600 米上下。从海拔 4 211.1 米向上至阿尼玛卿山的冰川区,这里虽然没有直接的降水观测资料,但根据 1981 年在哈龙冰川雪线附近(4 900 米)冰裂隙中测量的 1 个 1.75 米深冰层剖面,可分 3 个年层,其密度 0.89,年平均纯积累量为 519 毫米,这个数字显然偏小(表 1-2),因为该年层剖面位于雪线附近还存在着一定的消融,真正的年积累量应加上消融损耗的部分,估算哈龙冰川雪线附近(4 900 米)年降水量为 700~ 900 毫米,估计积累区降水量可达 1 000 毫米左右^[4],这可能是该区第二最大降水带。自此向西,进入高原内部,降水逐渐减少,至伍道梁(海拔 4 612.2 米)的年降水量已降至 270 毫米左右,附近的西大滩煤矿冰川(雪线 5 040 米),根据冰川积累区雪层剖面估算,冰川上的年降水量在 400 毫米左右。

表 1-2 哈龙冰川海拔 4 950 米处冰层剖面观测

年 层	纯积累厚度 (毫米)	纯积累折合水层深度 (毫米)	备 注
I	550	489.5	雪线附近海拔 4 950 米处冰裂隙 中深 1.75 米的冰层剖面,清晰 的可分为三层
II	630	560.7	
III	570	507.3	
平 均	583.3	519.16	

昆仑山中段,南依寒冷干燥的藏北高原,北俯极端干旱的塔里木盆地,是喀喇昆仑山-昆仑山降水最少的地段,这里自然条件极差,一般年降水量在 100 毫米以下,例如海拔 3 138.5 米处的茫崖,年降水量仅为 46.1 毫米(年平均气温 1.4℃),普遍呈现为高寒荒漠的自然景观。但是,冰川区的降水远大于高原面上的平均降水量,根据 1988 年 7~ 8 月我们对木孜塔格山月牙河 15 号冰川的考察,该冰川是一条高原型的冰斗山谷冰川,冰川雪线 5 700 米,根据雪层剖面的观测分析,该冰川积累区年降水量在 300~ 400 毫米。这里虽然深居大陆腹地,地势高亢开阔,经过层层阻截湿润气流的影响较弱,但在夏季高原上每个山峰都是一个“热岛”,即水汽凝结的中心,加强了高原上的对流活动,导致了昆仑山中段冰川区降水多以阵性天气为主,地方性对流引起的阵性降水是这里冰川发育和生存的主要补给来源。

昆仑山西段的降水,从昆仑山中段向西降水逐渐有所增加。在昆仑山西段的高原面上,普遍仍表现为干燥的荒漠景观,降水多在 150 毫米以下。昆仑山西段主山脉周围,如北坡海拔 1 427 米处的和田站,多年平均降水量为 44.1 毫米(年平均气温 11.6℃),海拔 3 090 米处的塔什库尔干站,多年平均降水量为 68.3 毫米(年平均气温 3.3℃);南坡海拔 4 278 米的狮泉河站,多年平均降水量为 77.5 毫米(年平均气温- 0.6℃),海拔 3 986 米处的康西瓦站,年降水量 37.3 毫米(年平均气温- 0.6℃)。但是,实际情况却与此有很大差别,特别是冰川区及附近地区的降水要较高原上的平均降水量大得多。根据 1987 年我们对崇测和郭扎冰川的考察,康兴成等在海拔 5 250 米处的大本营气象观测表明,6 月 23 日至 8 月 31 日 70 天的降水量为 102.5 毫米,其中 6 月 23~ 30 日为 11.3 毫米,7 月为 75.2 毫米,8 月为 16 毫米,与同期北坡地区的叶城站和距该地约 300 公里处的康西瓦站降水量相比,几乎是后两站降水量的 5 倍以上(表 1-3)。另外,这个地区 6~ 8 月的降水,几

乎全为固态降水。其中 50% 左右的降水是来自于阵性降水过程,也就是说系统天气过程的降水只占 50% 左右。采用不同方法估算大本营 5 250 米处的年降水量在 200~ 250 毫米之间。冰川上的降水量,根据 1987 年我们在崇测冰川雪线(6 000 米)以上 6 300 米处雪层剖面观测分析,估算冰川区年降水量在 350~ 500 毫米之间。

表 1-3 1987 年昆仑山西段不同地点同期降水对照 (单位:毫米)

站 名	海拔高度 (米)	6 月 23~ 30 日	7 月	8 月	总 量
和 田	1 374	0. 0	16. 7	1. 4	18. 1
叶 城	1 360	0. 0	13. 8	0. 1	13. 9
康西瓦	3 986	0. 4	10. 8	8. 1	19. 3
考察大本营	5 250	11. 3	75. 2	16. 0	102. 5

帕米尔东缘慕士塔格-公格尔冰川上的降水,1960 年中国科学院高山冰雪利用研究队推测冰川雪线处的降水量为 200~ 250 毫米,这个数字显然太小,我们利用以下两种冰川学方法进行推算。

(1) 雪层剖面方法。原苏联莫斯科大学考察队在帕米尔最高峰共产主义峰海拔 5 400 ~ 6 000 米间 20 多平方公里面积上,用雪层剖面方法测量到该处平均积累量达 940 毫米^[5]。我们用雪层剖面方法估算慕士塔格-公格尔冰川积累区的年降水量在 600 毫米左右^[6]。

(2) 冰川学方法。按照国际水文十年某些流域的观测资料,整条冰川的平均消融量可以采用等于平衡线高度处的消融量值。平衡线高度处的消融量和积累量的计算公式为:

$$A = 1.33(t_{6-8月} + 9.66)^{2.85}$$

式中,A 为平衡线高度处每年的消融量或积累量(毫米); $t_{6-8月}$ 为平衡线高度处冰川上 6~ 8 月份夏季平均气温(℃)。

按照上述公式计算慕士塔格-公格尔冰川上的年降水量在 477~ 679 毫米之间,从而可以看出这里冰川上的降水补给比原来推算的要高。

中国喀喇昆仑山地处喀喇昆仑主山脊北侧,南来湿润的南亚季风,经喀喇昆仑山水汽含量大大减少,其屏障作用相当明显,主要表现在喀喇昆仑山主山脊南侧的冰川规模巨大,而北侧的冰川规模相应要小,冰川雪线也较南坡高。虽然如此,位于喀喇昆仑山主山脊北侧中国喀喇昆仑山冰川区的降水还是比较丰富的。丁良福等利用祁连山冰川研究所得计算雪线附近降水量的经验公式:

$$R = 423.4e^{-0.0024\Delta H}$$

式中: R 为冰川雪线附近年平均降水量(毫米); ΔH 为冰川雪线平均海拔和高空 6~ 8 月零度层平均海拔之差。冰川雪线平均海拔高于 6~ 8 月零度层平均海拔为正,反之

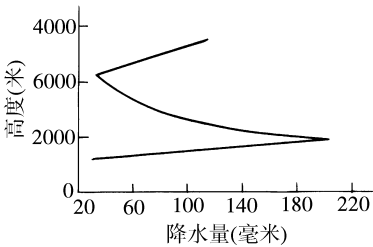


图 1-2 喀喇昆仑山区降水量随高度分布图

对喀喇昆仑山冰川雪线附近的降水进行了计算(表

1-4), 计算结果表明中国喀喇昆仑山冰川雪线附近的降水量在 400~ 640 毫米^[7]。马力根据喀喇昆仑山所有测站多年平均降水量按其海拔高度点绘的关系线图(图 1-2), 可以看出:

表 1-4 冰川区雪线附近的降水量

河流或地区			雪线平均海拔 (米)	6~ 8月零度层平均海拔 (米)	雪线附近降水量 (毫米)
叶 尔 羌 河	克勒青河	南 岸	5 420	5 500	510
		北 岸	5 510	5 500	410
	叶尔羌河 上游干流	南 岸	5 490	5 480	410
		北 岸	5 500	5 480	400
		河 源	5 670	5 600	360
	塔什库尔 干河	河 源	5 130	5 300	640
		干 流	5 180	5 250	500
	叶尔羌河中游		5 230	5 250	440
克里吉尔湖区			5 520	5 550	460

有两个大降水带:第一个降水带约位于中山带,海拔 1 800~ 2 200 米之间(表 1-5);第二个大降水带是存在的^[8]。根据 1986 年夏在神仙湾的探空资料看,在 400~ 500 百帕(海拔 7 500~ 5 800 米)间有一个相对湿度极大带,可能是造成冰川区降水丰富的水汽凝结带。降水分布的趋势是由西向东逐渐减少。

表 1-5 喀喇昆仑山地区各站月、年降水量统计表 (单位:毫米)

观 测 站	海拔高度 (米)	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全 年
喀什库尔干	3 090.9	3.5	3.6	2.5	4.4	12.0	12.3	11.3	8.2	7.5	1.1	0.5	1.3	68.3
克 里 杨	2 200	3.1	4.8	10.6	16.5	34.9	24.7	21.9	20.3	8.0	3.0	2.3	1.7	151.8
黑 山	1 800	0.2	1.4	4.2	14.1	44.8	60.3	31.8	9.6	26.7	4.9	3.6	0.3	201.9
甜 水 海	4 900	0.2	0.3	0.1	0.6	7.9	2.3	7.0	3.4	1.7	0.2	0.1	0.0	23.8
天 文 点	5 500	1.0	2.4	0.8	2.3	9.6	2.1	7.1	7.9	9.3	1.7	0.7	1.7	46.7
空卡山口	5 278	0.3	0.8	0.4	0.6	5.3	2.8	5.0	11.9	0.1	1.7	0.8	0.4	29.1
神 仙 湾	5 380	1.2	11.1	11.8	10.9	7.9	2.5	9.8	7.7	8.0	7.3	5.5	13.9	115.5

第三节 冰川发育的温度条件

冰川发育的另一个主要条件是低温。中低纬度的青藏高原冰川是依赖巨大的高原和山体所造成的低温条件来保存积雪和发育冰川的。冰川的补给量越少,为保证冰川发育所需的温度就越低。喀喇昆仑山-昆仑山除临近青藏高原边缘的一些山地和昆仑山东段冰川降水补给较多外,昆仑山中段及高原内部山地冰川上的降水补给都较小,这就需要更优越

的低温条件来保证冰川的发育,而高大的青藏高原为冰川生存和发育创造了所必须的低温条件。

昆仑山东段是喀喇昆仑山-昆仑山现代冰川发育最低的山地,阿尼玛卿山是昆仑山东段的终端,最高峰——阿尼玛卿峰海拔 6 282 米。根据气象台站观测资料,从海拔 3 719 米的玛沁县大武滩草地开始,年平均气温为- 0. 7℃,冷季长 5 个月;至海拔 4 211. 1 米的玛沁县仁侠姆草地,年平均气温为- 3. 8℃,冷季长达 7 个月,向上根据达日 500 百帕高空资料,海拔 5 500 米处年平均气温为- 10. 8℃,全年各月平均气温均在 0℃ 以下,全为冷季(表 1-6)。随着海拔高度的上升,气温逐渐降低,由于较大的海拔高度,使一些山地面积超过了阿尼玛卿山的雪线(4 900~ 5 200 米),这些突出在雪线以上的山地高度为现代冰川的发育创造了所需的低温条件。喀喇昆仑山-昆仑山的其它现代冰川分布的山势均较昆仑山东段高大,因而为现代冰川发育所创造的低温条件就更加优越。

表 1-6 昆仑山东段阿尼玛卿山气温随高度的变化 (单位:℃)

观测站	海拔高度 (米)	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全 年
大武滩	3 719	- 12. 7	- 9. 8	- 4. 6	0. 8	4. 7	7. 3	9. 7	9. 0	5. 7	0. 2	- 6. 9	- 11. 7	- 0. 7
仁侠姆	4 211. 1	- 16. 5	- 13. 3	- 8. 1	- 2. 4	2. 0	4. 9	7. 5	7. 1	3. 6	- 2. 7	- 11. 5	- 16. 0	- 3. 8
达 日	高空 500 百帕	- 19. 2	- 16. 9	- 15. 9	- 12. 4	- 8. 6	- 3. 5	- 1. 0	- 0. 9	- 5. 4	- 9. 8	- 17. 1	- 19. 4	- 10. 8

冰川区年平均气温要比邻近地区自由大气中相应高度的年平均气温为低,这是由于冰川的下垫面加之在夏季消融吸收了大量热量之故。根据康兴成等在昆仑山西段郭扎冰川考察营地 1987 年观测资料证明,从非冰川区过渡到冰川区气温递减率要较自由大气中的平均值大。海拔 5 250 米处的考察大本营,年平均气温为- 7. 3℃(表 1-7),全年只有夏季 3 个月(6~ 8 月)月平均气温为正值,年内其它时间均为负温。如果按日平均气温在 0℃ 以上计算天数,全年只有 81 天(6 月 21 日至 9 月 9 日);如果按日平均气温大于 5℃ 来计算天数,全年只有 29 天,还不足一个月,大于 0℃ 的积温为 332. 1℃。温度随海拔高度的变化,从表 1-8 中可以看出从非冰川区过渡到冰川区的递减率是十分明显的,一般在 - 1. 0℃/ 100 米以上,平均递减率为- 1. 28℃/ 100 米。从表 1-8 中还可以看出,温度的递减率在同一个地区不同时间也有着差别。如 7 月从和田到崇测冰川粒雪区 6 320 米处的平均递减率为 0. 61℃/ 100 米。而在该地区从郭扎湖边到崇测冰川上的平均温度递减率为 - 0. 84℃/ 100 米。在 8 月份,从和田到崇测冰川粒雪区 6 320 米处的平均温度递减率为 - 0. 77℃/ 100 米。

表 1-7 昆仑山西段郭扎冰川考察营地 5 250 米处月平均气温 (单位:℃)

项 目	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年
气 温	- 17. 8	- 15. 7	- 13. 3	- 8. 4	- 4. 3	0. 6	4. 8	3. 7	- 1. 4	- 7. 8	- 12. 7	- 15. 1	- 7. 3
极端最高	- 4. 7	- 3. 6	- 1. 6	6. 2	7. 1	17. 0	16. 7	16. 8	11. 6	1. 6	0. 1	- 3. 2	
极端最低	- 29. 6	- 27. 9	- 25. 9	- 22. 9	- 16. 0	- 12. 4	- 5. 9	- 7. 8	- 14. 5	- 19. 1	- 24. 3	- 30. 3	

表 1-8 昆仑山西段温度随高度的变化

站 名	高 度 (米)	7 月平均温度 (℃)	递减率 (℃/100 米)	8 月平均温度 (℃)	递减率 (℃/100 米)
和 田	1 375	23. 7	- 0. 56	25. 4	- 0. 61
康西瓦	3 986	9. 2		9. 5	- 0. 65
甜水海	4 800	4. 3		4. 2	
郭扎错湖边	5 050	4. 4		3. 3	- 0. 36
考察大本营	5 250	2. 4	- 1. 10	2. 6	- 0. 45
冰川雪线	6 000	- 0. 3	- 0. 36		- 0. 35
冰川粒雪区	6 320	- 3. 7	- 1. 06	- 5. 0	- 1. 5

冰川雪线附近的年平均气温是反映冰川发育的一般热量水准。根据地面气象观测资料和高空资料,我们对喀喇昆仑山-昆仑山冰川雪线附近的年平均温度及夏季 6~ 8 月平均气温进行了推算。昆仑山东段阿尼玛卿山冰川雪线(4 900~ 5 200 米)处的年平均气温为- 7. 5~ - 9. 2℃之间,夏季 6~ 8 月平均气温在- 0. 2~ - 0. 65℃;昆仑山中段木孜塔格冰川雪线(5 600~ 5 900 米)处的年平均气温- 13. 4~ - 15. 2℃,夏季 6~ 8 月平均气温- 2. 25~ - 2. 96℃;昆仑山西段昆仑峰(海拔 7 167 米)冰川雪线(6 000 米)处的年平均气温为- 13. 8℃,夏季 6~ 8 月平均气温- 2. 1℃;慕士塔格-公格尔南坡冰川雪线(4 800~ 5 100 米)处的年平均气温为- 10~ - 13. 3℃,夏季 6~ 8 月平均气温- 0. 74~ - 1. 78℃;喀喇昆仑山叶尔羌河冰川雪线(5 220~ 5 670 米)处的年平均气温- 10~ - 13℃,夏季 6~ 8 月平均气温- 0. 92~ - 2. 25℃。从上述冰川雪线附近平均温度可以看出,昆仑山中段和西段最低,与祁连山西段冰川雪线附近年平均温度- 12~ - 14℃相近;喀喇昆仑山和帕米尔东缘次之;昆仑山东段较高,与祁连山东段冷龙岭冰川雪线附近年平均温度- 8. 9℃相近。

综上所述,昆仑山东段冰川上有较丰沛的降水量,昆仑山中、西段,帕米尔东缘及喀喇昆仑山虽然冰川上的降水补给不如昆仑山东段,但巨大的山脉海拔高度提供了较昆仑山东段优越的低温条件,加之高隆起面和山顶提供的广阔的冰雪积累场所,为喀喇昆仑山-昆仑山地区冰川得以广泛发育和保存提供了良好的地形条件和气候条件,使得该区成为我国现代冰川最发育的地区。

参 考 文 献

[1]中国科学院青藏高原综合科学考察队,西藏冰川,科学出版社,1986,1~ 12。
[2]肖术,试论大气中的水汽、降水与我国现代高山冰川分布的关系,冰川冻土,1981,3(1)。
[3]叶笃正等,青藏高原气象学,科学出版社,1979。
[4]Jiao Kegin, The Characteristics of accumulation and ablation of Halong Glacier in the Anyemaqen Mountains, *REPORTS ON THE NORTHEASTERN PART OF THE QINGHAI-XIZANG (TIBET) PLATEAU*, by Sino-W. German Scientific Expedition, pp. 38~ 45, Science Press, Beijing, China, 1987。
[5]Kotlyakov, V. M. and Krenke, A. N., Investigations of the hydrological conditions of alpine regions by glaciological methods, *IAHS, Publ*, 138, 1982, 31~ 42。
[6]苏珍、刘时银、王志超,慕士塔格山和公格尔山的现代冰川,自然资源学报,1989,4(3)。
[7]丁良福、俞昕治,叶尔羌河流域冰川水资源及冰川物质平衡,喀喇昆仑山叶尔羌河冰川与环境,科学出版社,1991, 19~ 25。
[8]马力,喀喇昆仑山区气候初步分析,喀喇昆仑山叶尔羌河冰川与环境,科学出版社,1991, 143~ 148。

第二章 喀喇昆仑山-昆仑山地区现代冰川的数量、形态类型及分布特征^{*}

根据最新的编目调查结果统计,喀喇昆仑山-昆仑山地区分布的现代冰川面积达 21 194.95 平方公里(参看本章附录),约占新近公布的中国冰川总面积(58 735 平方公里)的 36%^[1]。这表明喀喇昆仑山-昆仑山是我国山地范围最广大、现代冰川数量分布最多的区域。由于这里山地广阔,空间跨度大,加之地势高耸,高峰林立,地形和气候条件错综复杂,因而使得喀喇昆仑山-昆仑山现代冰川的数量、形态类型、发育规模、雪线和冰川末端高度等分布特征因地而异,各具特色。

第一节 现代冰川的数量与分布

现代冰川是以高大山地为依托发育的。喀喇昆仑山-昆仑山系是世界著名的高大山系,其山峰、山岭绝大多数超过海拔 5 000 米,因而成为亚洲乃至世界重要的山地冰川分布场所。现代冰川作为地表水资源的重要组成部分,又归属于各个不同的水系和流域,而喀喇昆仑山-昆仑山冰川区亦是亚洲许多著名江河湖泊的发源区。因此,论述喀喇昆仑山-昆仑山冰川的数量,应包括各山脉冰川的分布和各河流及其流域系统的冰川分布两方面。

1. 各山脉冰川的数量分布

喀喇昆仑山-昆仑山系指中国境内的喀喇昆仑山和昆仑山全山系,并包含中国境内帕米尔山区的大部分,总共分布现代冰川 12 445 条,冰川总面积达 21 194.95 平方公里,计算冰川总储量约 2 229.216 立方公里(表 2-1)。由于不同山脉在地理位置的分布、山地海拔的高低和范围的大小以及地形、降水和气温等诸要素方面存在差异,因而使得冰川数量在各山脉的分布各不相同,且数量悬殊。

(1) 喀喇昆仑山区:喀喇昆仑山区处于喀喇昆仑山-昆仑山的西南部,我国喀喇昆仑山为该山系主山脊以北的一部分。以喀喇昆仑山口为界,喀喇昆仑山西段沿中国和巴基斯坦国境线北侧主要有乔戈里峰所在的喀喇昆仑山主脉(指北坡),红其拉甫喀喇昆仑山(北坡),克克拉去考勒山(南坡),以及阿吉里山等山脉;喀喇昆仑山东段系指什约克河(印度河上游)以东和班公湖以北的高原面上的河西大雪山、羌隆山、羌臣摩山、熊彩岗日、拉康巴和散尔多山等若干山脉,其东端止于昆楚克楚错附近,一般统称该段为阿里喀喇昆仑山。

除什约克河在我国境内的部分山区尚未进行冰川编目和目前暂空缺这一部分冰川数量资料之外,中国喀喇昆仑山的冰川总数有 2 991 条,冰川面积可达 6 295.19 平方公里,

^{*} 本章作者:杨惠安、苏珍(中国科学院兰州冰川冻土研究所)。

表 2-1 中国喀喇昆仑山-昆仑山各山脉冰川数量分布

山 脉		主峰海拔 (米)	冰川条数 (条)	冰川面积 (平方公里)	冰川储量 (立方公里)	平均冰川面积 (平方公里)
喀 喇 昆 仑 山	克克拉去考勒山	5 844	98	153.25	8.614 6	1.56
	红其拉甫喀喇昆仑山	6 180	333	691.21	50.881 1	2.08
	喀喇昆仑山主脉	8 611	372	2 234.81	409.318 1	6.01
	阿 吉 里 山	6 858	716	1 449.98	133.536 2	2.03
	拐弯达坂山	6 352	136	60.08	2.524 5	0.44
	玛雷克恰塔格	6 210	49	19.93	0.640 1	0.41
	西喀喇昆仑山(小计)		1 704	4 609.26	605.514 6	2.70
	天神大坂喀喇昆仑山	6 235	55	40.98	1.881 6	0.75
	团结峰喀喇昆仑山	6 644	202	219.31	13.746 0	1.08
	阿里喀喇昆仑山	6 790	1 030	1 425.64	104.967 6	1.38
	东喀喇昆仑山(小计)		1 287	1 685.93	120.595 2	1.31
	合 计		2 991	6 295.19	726.109 8	2.10
帕 米 尔	昆 盖 山	6 684	303	968.11	87.350 8	3.20
	公 格 尔 山	7 649	327	640.15	69.667 5	1.96
	慕 士 塔 格 山	7 509	139	257.93	25.995 2	1.86
	沙 里 阔 勒 岭	6 368	761	495.21	21.421 3	0.65
	合 计		1 530	2 361.40	204.434 8	1.54
西 昆 仑 山	喀热巴得热克山	5 400	17	6.80	0.228 3	0.40
	克 拉 达 坂 山	5 410	18	6.31	0.187 9	0.35
	铁 克 力 克 山	5 470	8	1.17	0.017 1	0.15
	皮的其力杂山	5 880	204	172.71	8.802 9	0.85
	塔西土鲁克山	6 354	324	405.10	26.068 0	1.25
	阿 杂 孜 山	5 940	206	169.56	8.468 2	0.82
	桑 株 达 坂 山	6 460	419	341.38	20.676 0	0.81
	西 昆 仑 山 结	6 412	484	563.79	44.587 5	1.16
	康 西 瓦 北 山	6 481	763	1 045.15	76.792 6	1.37
	喀 拉 塔 什 山	6 638	365	464.05	31.023 2	1.27
	喀 什 塔 什 山	6 691	191	190.16	10.187 0	1.00
	喀 拉 塔 格 山	6 320	460	232.54	10.561 4	0.51
	南 屏 雪 山	6 536	82	74.76	3.827 1	0.91
	谷 顶 雪 山	6 546	95	123.50	8.868 4	1.30
	西昆仑山主脉	7 167	1 587	4 346.41	652.665 5	2.74
	乌 斯 腾 塔 格	6 962	262	674.39	65.106 2	2.57
	合 计		5 485	8 817.78	968.067 3	1.61

续表 2-1

山 脉		主峰海拔 (米)	冰川条数 (条)	冰川面积 (平方公里)	冰川储量 (立方公里)	平均冰川面积 (平方公里)
中 昆 仑 山	阿克塔格山	6 748	213	219.35	11.785 9	1.03
	托库孜达坂山	6 284	81	99.62	5.973 5	1.23
	阿尔金山	6 295	235	275.00	15.840 2	1.17
	库木巴彦山	6 140	255	272.31	15.628 1	1.07
	阿喀祁漫塔格	5 684	26	16.12	0.586 6	0.62
	祁漫塔格山	5 670	136	70.84	2.762 0	0.52
	阿尔格山	5 840	272	122.05	4.488 6	0.45
	西沙松乌拉山	5 972	305	352.48	20.604 9	1.16
	沙松乌拉山	5 580	16	4.18	0.094 9	0.26
	木孜塔格	6 973	149	693.51	92.494 9	4.65
	巍雪山等	6 004	17	63.34	5.147 7	3.73
	布喀达坂峰	6 860	65	443.33	65.194 9	6.82
	马兰山—大雪峰	6 056	116	314.92	32.451 4	2.71
	博卡雷克塔格山	5 933	143	156.49	9.676 8	1.31
	唐格乌拉山	6 178	209	184.57	9.137 2	0.88
	可可西里山	6 371	86	283.96	27.195 0	3.30
	合 计		2 324	3 572.07	319.062 6	1.54
东 昆 仑 山	鄂拉山	5 320	6	1.68	0.041 8	0.28
	布尔汗布达山	5 731	27	9.84	0.285 9	0.36
	布青山	5 415	17	5.96	0.174 4	0.35
	阿尼玛卿山	6 282	58	125.95	10.818 9	2.17
	巴颜喀拉山	5 369	7	5.08	0.220 5	0.73
	合 计		115	148.51	11.541 5	1.29
总 计			12 445	21 194.95	2 229.216 0	1.70

注：中国喀喇昆仑山冰川含巴基斯坦境内 142 条，面积 609.54 平方公里，冰储量 72.3721 立方公里；尚缺什约克河流域中国境内冰川资料。

冰川储量计算为 726.1098 立方公里(其中包括叶尔羌河上游在巴基斯坦境内的部分冰川,见表 2-1 注)。就冰川面积比较,喀喇昆仑山约占喀喇昆仑山-昆仑山冰川总面积的 30%。

喀喇昆仑山的冰川主要分布在喀喇昆仑山口以西的该山系西段。统计表明,喀喇昆仑山西段的冰川有 1 704 条,冰川面积 4 609.26 平方公里,分别与该山系冰川相应总数的 57% 和 73% ;阿里喀喇昆仑山(包括天神达坂和团结峰区在内)为喀喇昆仑山的东段,其冰川分布条数(1 287 条)与西段较为接近,但其冰川面积(1 685.93 平方公里)仅稍大于或接近西段冰川面积的三分之一,只占中国喀喇昆仑山冰川总面积的 27%。

喀喇昆仑山东、西两段冰川数量分布的巨大差别,主要是受本地区冰川发育的自然条

件制约的结果。喀喇昆仑山主要受西风带气流所控制,并有西南季风的影响,而水汽自西向东输送,其含量亦逐渐减弱,故喀喇昆仑山西段受高空水汽的补给量要比其东段多。对喀喇昆仑山区高山降水量的近期研究亦表明,其西部塔什库尔干河源区(即红其拉甫喀喇昆仑山和克克拉去考勒山之间)雪线(5 130 米)附近的年降水量可达 640 毫米,再向东在叶尔羌河源头的喀喇昆仑山口一带雪线(5 670 米)附近的年降水量减少到 360 毫米^[2]。雪坑剖面获得的叶尔羌河源头处雪线附近两年的降水量分别为 464 毫米和 675 毫米,年平均约 570 毫米^[3]。同一地区的计算值(360 毫米)显然偏低,但实测雪坑降水年平均值仍然较西部塔什库尔干河源区的计算降水值要小。喀喇昆仑山东段的阿里喀喇昆仑山伸入高原面上,气候资料极为贫乏,但推测雪线(5 850 米)附近年降水量亦超过 300 毫米。由此可见,高山区的喀喇昆仑山自西向东减少的降水量的趋势是明显的,这是造成喀喇昆仑山东、西两段冰川数量分布差异的主要原因之一。

喀喇昆仑山东段和西段在山势和地形上的差异是造成冰川数量分布不均的另一个重要原因。喀喇昆仑山西段的山势由北向南升高,并以乔戈里峰所在的主山脉山脊沿线最高。高峰林立,峡谷密布,山地高差大。一般山地相对高差多在 2 000 米左右,最大则超过 4 000 米。如包括乔戈里峰在内的主山脉沿线就分布着海拔 8 000 米以上的四座高峰,而海拔 7 000 米和 6 500 米以上的次高峰亦多达 25 座和 40 座。如此高大众多的山峰,其本身就具备了形成高山低温冷储和拦截高空水汽的优越条件,因而使得喀喇昆仑山主脉(北坡)在范围不大的空间分布着占该山系冰川总面积 36% 的冰川(2 234. 81 平方公里),为喀喇昆仑山冰川发育规模最大、分布最为集中的冰川区。阿吉里山(亦称阿格勒山)处于喀喇昆仑山主脉北侧,由一系列断块山形成,山势较主山脉为低,但其众多的山峰一般都超过海拔 6 000 米,最高山峰亦达海拔 6 858 米。阿吉里山山势虽不及喀喇昆仑山主脉而与阿里喀喇昆仑山相当,但其水汽补给要比东段的阿里喀喇昆仑山优越,故冰川分布数量(1 449. 98 平方公里)仍然接近于比其山地范围大得多的阿里喀喇昆仑山的冰川面积(1 685. 93 平方公里)。红其拉甫喀喇昆仑山在喀喇昆仑山系中山势最低,山峰高度一般均为海拔 5 800 米左右,而海拔 6 000 米以上的山峰更是寥寥无几,最高山峰也只有海拔 6 180 米,但其处于喀喇昆仑山系的最西端,是西来水汽首当其冲的受惠者,因而使其成为喀喇昆仑山系中发育规模不大而分布密度较大的冰川分布区。相反地,喀喇昆仑山的东段除了西进水汽沿途减少补给的因素之外,还由于东段阿里喀喇昆仑山大部凸出于高原面上,山地高差在 1 000~ 1 500 米之间,明显小于喀喇昆仑山的西段。山岭海拔一般都在 6 000~ 6 500 米之间,没有一座海拔高度在 7 000 米以上的山峰,熊彩岗日海拔 6 790 米的他拉冬加就峰为喀喇昆仑山东段的最高山峰。总体上说来,喀喇昆仑山的东段山地切割程度较西段弱,山地整体性同样地较西段差。由于处在大高原面上之故,东段地面蒸发应该说比西段山区要大。这些都是抑制东喀喇昆仑山冰川发育的原因,从而使得东喀喇昆仑山(山地范围长约 490 公里)和西喀喇昆仑山(山地范围长约 350 公里)的冰川数量分布截然相反。

(2) 帕米尔山区:喀喇昆仑山-昆仑山系包括了喀喇昆仑山北部、昆仑山西部(即塔什库尔干谷地以西和叶尔羌河下游谷地以北)和玛尔坎苏河(喀什噶尔河上游)主谷以南的中国帕米尔大部分山地,冰川面积 2 361. 40 平方公里,约占中国帕米尔冰川总面积(2 749. 19 平方公里)的 86%。本区帕米尔山区主要包括昆盖山、公格尔山、慕士塔格山

(木斯塔格山)和沙里阔勒岭(东坡和北坡)。沙里阔勒岭山地范围较大,但山势较低,超过海拔6 000米的山峰只有2座,最高峰海拔6 368米,山峰高度一般为海拔5 500米左右,冰川分布零散,个体发育规模小。慕士塔格山和公格尔山为帕米尔的著名高峰,主峰分别为海拔7 509米和7 649米,两峰区为巨大的浑圆状断块山,山岭大部分处于海拔6 000米以上,帕米尔冰川面积的38%分布在这里。昆盖山为帕米尔冰川主要分布区,山岭高度大部在海拔6 000米左右,最高峰海拔6 684米,冰川分布密集,帕米尔山区41%的冰川面积分布在昆盖山。在喀喇昆仑山-昆仑山的冰川总面积中,帕米尔山区占11%。这里需要说明的是,帕米尔山区的冰川除叶尔羌河流域所属部分利用大比例尺航测图和航空像片进行量测外,其余大部分冰川是利用陆地卫星影像图进行量测,故其冰川面积带有估算性质。

(3) 昆仑山区:昆仑山是喀喇昆仑山-昆仑山最大的山系,西起塔什库尔干河谷,东至黄河上游大拐弯处的松潘草地,全长2 500公里,横跨30个经度,素有“中国的脊柱”之称。包括阿尔金山在内的整个昆仑山系分布现代冰川7 924条,冰川面积12 538.36平方公里,冰川储量可达1 298.671 4立方公里(表2-1)。昆仑山冰川面积占喀喇昆仑山-昆仑山冰川总面积的59%以上。昆仑山山地面积广阔,地形复杂,地势以西部最高,并自西向东倾斜,划分为西、中、东三段。随着西高东低的地势特点,冰川数量的分布也以西段最多,并向东呈递减趋势。

昆仑山西段(或西昆仑山)介于东经 $75^{\circ}10'$ ~ $84^{\circ}40'$ 。沿其主山脊自西向东包括西部山结、康西瓦北山、昆仑峰区和乌斯腾塔格一线,山岭高度大都在海拔6 000~6 500米。最高地段昆仑峰区的山岭、山峰多数超过海拔6 500米,主峰昆仑峰海拔7 167米,成为整个昆仑山系的最高峰。西昆仑山的冰川面积为8 817.78平方公里,占昆仑山冰川总面积的70%以上。其中西部山结至乌斯腾塔格一线的主山脊就分布着6 601.42平方公里的冰川(占西昆仑山冰川的75%),而这其中的45%的冰川(2 962.91平方公里)又分布在仅东西长约150公里、南北宽约50公里的昆仑峰区。这表明主山脊的山岭和高峰区是西昆仑山冰川的主要分布区。

昆仑山中段(或中昆仑山)介于东经 $83^{\circ}40'$ ~ $95^{\circ}10'$,主要包括西自阿克塔格山、东至唐格乌拉山(刚欠查鲁马)和北抵阿尔金山、南达可可西里山之间的广大山地,共分布冰川2 324条,冰川面积3 572.07平方公里,冰川储量为319.062 6立方公里(表2-1)。中昆仑山的山地范围东西长度超过1 000公里,冰川面积较东昆仑山为多,但只及西昆仑山的40%。这是因为中昆仑山大部分为该山系中部的山间封闭湖盆区和在高原面上突出的若断若续的断块山(可可西里山等),其相对高度一般不超过1 000米,只是这些山地较高的山峰及其峰区成为现代冰川的主要分布区。如中昆仑第一高峰木孜塔格峰,海拔6 973米,峰区山岭大部超过海拔6 000米,相对高度1 000~1 770米,峰区冰川面积693.51平方公里,为中昆仑山最大的冰川作用区。再如阿尔格山东部的布喀达坂峰(我国地名新称此名,1:10万地图称莫诺马哈山峰,本文予以更正)主峰海拔6 860米,峰区山岭海拔均超过5 800米,相对高差800~1 970米,冰川发育面积亦达419.91平方公里,是中昆仑山仅次于木孜塔格的高峰和冰川作用区。其它海拔接近或超过6 000米的较高山峰及其峰区也是中昆仑山主要的冰川分布区,如巍雪山(海拔6 004米),可可西里山的岗扎日(海拔6 305米)、金阳峰(海拔6 136米)和耸峙岭(海拔6 371米),马兰山(海拔6 056米),博