

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2017.03.07

引用格式: 阎永忠, 马露, 吕俊娥. 喀喇昆仑山厦呈、吕莫慕士塔格山段现代冰川分布及变化特征[J]. 中国地质调查, 2017, 4(3): 46-50.

喀喇昆仑山厦呈、吕莫慕士塔格山段 现代冰川分布及变化特征

阎永忠, 马露, 吕俊娥

(中国煤炭地质总局航测遥感局遥感应用研究院, 西安 710054)

摘要: 在全球气候普遍变暖、冰川大面积退缩的大背景下, 为揭示山岳冰川十分发育的喀喇昆仑山脉现代冰川分布及变化特征, 以中等空间分辨率(ETM 和 Landsat 8) 卫星数据为主要数据源, 采用人机交互式解译方法完成了厦呈慕士塔格山、吕莫慕士塔格山段冰川变化遥感调查, 基本查明了区内冰川面积、分布特征和变化状况, 共调查 1 373 处冰川, 其中中国境内有 554 处, 境外克什米尔印控区有 819 处; 同时对区内典型冰川变化进行了 2 期对比分析, 得出冰舌退缩、前进或稳定现象同时存在的结论, 为喀喇昆仑山脉冰川变化研究提供了参考依据, 为我国西部边海防地区水资源的开发利用和冰雪灾害的防治等提供了科学依据。

关键词: 喀喇昆仑; ETM; Landsat 8; 遥感; 冰川

中图分类号: TP79

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2017)03-0046-05

0 引言

随着全球气候普遍变暖造成冰川的变化引起一系列环境问题, 冰川研究一直受中国政府和学术界关注。喀喇昆仑山脉是全球山地冰川最为发育的地区之一, 国内外科学工作者曾对喀喇昆仑山进行过多次科学考察和探险活动。特别是经过编制中国第二次冰川编目数据集, 该区中国境内的冰川资源分布以及变化状况有了详实资料。然而, 作为中国和克什米尔分界的特殊地理位置, 该区境外地区的冰川分布及其变化资料相对匮乏。为此, 笔者基于中国地质调查局下达的“全国边海防地区基础地质遥感调查”项目, 结合前人研究, 利用遥感与地理信息系统相结合的技术手段, 对喀喇昆仑山脉现代冰川分布及变化特征进行了调查。为我国西部边海防地区水资源的开发利用和冰雪灾害的防治等提供科学依据。

1 研究区概况和数据源

1.1 研究区概况

喀喇昆仑山脉耸立在中国新疆和克什米尔边界上, 呈 NW—SE 走向, 绵延数千公里。喀喇昆仑山山势高大、宽阔, 海拔 7 000 m 以上的高峰众多, 雪线海拔 4 920 ~ 6 100 m^[1], 为冰川形成提供了广阔的积累空间, 在印度洋季风和西风带的影响下, 具备了有利于冰川发育的水热条件, 从而成为世界上中、低纬度山岳冰川最发育的高大山脉, 约 28% ~ 37% 的面积为冰川所覆盖, 整个山系的冰川面积达 18 009 km²^[1]。有冰斗冰川、悬冰川、冰斗—悬冰川、冰斗—山谷冰川、山谷冰川、峡谷冰川和坡面冰川等类型, 其中以冰斗冰川数量占主导地位, 但山谷冰川在面积上占主导地位。区内大型山谷冰川多为复合形冰川, 由多条支冰川构成, 表碛非常发育。

在喀喇昆仑山区存在着 2 000 m 和 4 500 m 以

收稿日期: 2017-03-08; 修订日期: 2017-04-05。

基金项目: 中国地质调查局“全国边海防地区基础地质遥感调查(编号: DD20160076)”项目资助。

第一作者阎永忠(1972—), 男, 高级工程师, 长期从事遥感技术与应用工作。Email: 526400036@qq.com。

上2条降水带,随着海拔的升高而递增,最大降水带可能在海拔5 800~7 500 m之间^[2],巨大的山势条件和高山冷储作用,以及高大山体截留高空水气的的能力,使得高山上的降水随高度递增,为冰川发育提供了丰富的物质来源;同时受山势的控制,克什米尔印控区山地海拔较高,山脉高度均超过7 000 m左右,是冰川最为发育区。

本文选取 N35°00′~35°30′, E76°30′~79°30′范围作为研究区,主要包括喀喇昆仑山脉厦呈慕士塔格山、吕莫慕士塔格山段^[3],以及西南的萨尔托罗山、东部中国境内长山岭团结峰、龙山岭和天河岭等部分山体。

1.2 数据源

为监测现代冰川的分布及变化特征,采用了2期中等空间分辨率卫星遥感数据,分别为2000年8月的ETM数据和2013年6月的Landsat 8卫星影像数据。分别对2期卫星遥感数据进行了正射纠正、融合和镶嵌等预处理,制作的图像色调丰富、影像清晰,可用于遥感解译和调查,也可满足人机交互式解译需要。

2 冰川分布信息提取

山谷冰川和冰斗冰川是区内冰川的主要类型。山谷冰川多为复合形冰川,由多条支冰川构成,来自不同源头的冰流,由于组成表碛的岩性不同,颜色、厚度有异,冰流间界线非常清晰^[3-4]。冰斗冰

川为山脉的主脊两侧洼地中的冰川,轮廓近似圈椅形或三角形,表面微凹,向粒雪盆出口方向缓缓倾斜,而其他3个方向都由陡峭山坡环绕。

采用人机交互式解译对区内不同类型冰川进行信息提取。首先,利用卫星遥感影像判别冰川是否存在;然后,进行冰川边界解译,准确勾勒出冰川区山脊线矢量数据;最后,整理得到各单条冰川的矢量数据。以保证冰川轮廓(尤其是表碛覆盖区)的准确识别。冰舌末端形状是冰川进退变化趋势的良好标志^[5],利用遥感数据直观和宏观的特征,通过提取冰舌末端的形状,可以确定表碛下冰舌的前进或后退情况;另外,根据冰舌上裸冰的长度变化可直接判定区内冰川的演变状况。

本研究共调查了1 373处冰川,其中中国境内有554处,境外克什米尔印控区有819处。基本查明了区内冰川面积、分布特征和变化状况,为我国西部边海防地区水资源的开发利用和冰雪灾害的防治等提供了科学依据^[4-5]。

3 研究区冰川分布特征

按照国际冰川编目规范的水系划分原则,喀喇昆仑山中国境内冰川属于塔里木内流水系,喀喇昆仑山克什米尔印控区冰川属于印度河流水系^[6-7]。克什米尔印控区冰川规模相对较大,而中国境内山体相对都比较低矮,而且山脉范围也较小,一般海拔在6 000 m左右,冰川规模较小(图1)。

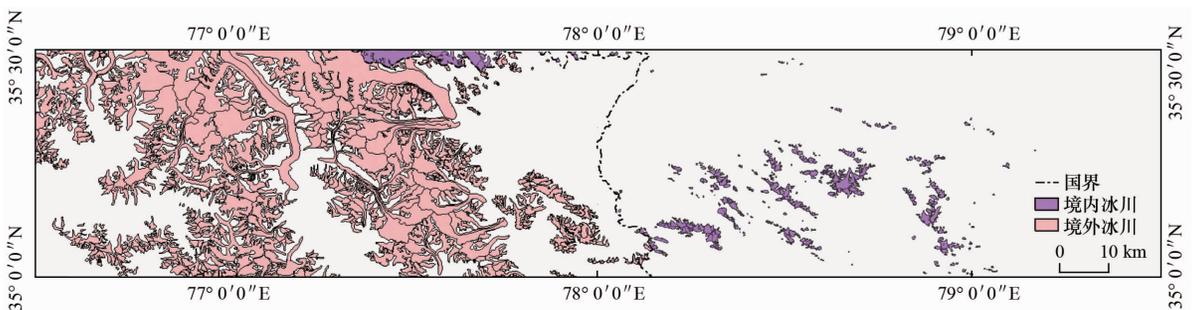


图1 研究区喀喇昆仑山现代冰川分布遥感解译

Fig. 1 Remote sensing interpretation about modern glaciers distribution of Karakoram Mountain Range in the study area

3.1 不同坡向冰川的发育特点

冰川数量在各朝向上的分布差异及其发育规模除与降水来源有关外,主要受山脉的走向控制,此外与地形、^{水力势槽}坡度、和下垫面对太阳辐射的反

射率大小等因素有关^[8]。区内喀喇昆仑山走向近NW向,冰川主要发育在NE坡向,SW坡向占小部分。朝向主要为NE方向和SE方向,该朝向冰川规模最大;N和NW朝向的冰川占据次要位置,冰

川规模次之; S 和 SW 的冰川数量较少,EW 朝向的冰川数量大致相当,冰川规模最小。

3.2 境内冰川分布

中国境内有 554 处冰川,主要分布于喀拉喀什河上游及其支流奇普恰普河流南侧喀喇昆仑山的长山岭团结峰、龙山岭和天河岭等山脉两侧沟谷中,规模相对较小。其中天河岭最高海拔 6 500 m,周边分布冰川 82 处;鸡蛋山最高海拔 5 747 m,周边分布冰川 14 处;天河东达坂最高海拔 6 000 m,周边分布冰川 42 处;冰莲沟东大阪最高海拔 6 515 m,周边冰川分布 38 处;龙山岭最高海拔 6 080 m,周边冰川分布 49 处;长山岭团结峰最高海拔 6 662 m,周边分布冰川 197 处;喀拉喀什河以东兴山最高海拔 6 241 m,周边分布冰川 132 处。

3.3 境外冰川分布

境外克什米尔印控区主要位于喀喇昆仑山脉厦呈慕士塔格山、吕莫慕士塔格山段山体及西南的萨尔托罗山,分布有 819 处冰川,冰川规模较大、数量多、分布较为密集。山脉北东坡规模较大的有北吕莫冰川、中吕莫冰川、南吕莫冰川、忠空姆丹冰川和克吉克空姆丹冰川等,其中中吕莫冰川由 27 条大小不等的支流冰川组成,南吕莫冰川由 34 条大小不等的支流冰川组成,忠空姆丹冰川由 15 条大小不等的支流冰川组成,克吉克空姆丹冰川由 15 条大小不等的支流冰川组成;山脉南西坡规模较大的冰川有厦呈冰川、马慕斯坦冰川等,其中厦呈冰

川组成支流冰川数量最多。喀喇昆仑山东南侧分布有 18 条支流冰川,萨尔托罗山东坡分布有 93 条支流冰川,马慕斯坦冰川由 83 条支流冰川组成。萨尔托罗山西坡的冰川主要分布于萨尔托罗河上游的各个支沟,共分布有 302 处冰川。其他 232 处冰川均为小型规模的冰川,分布于喀喇昆仑山两侧的相对较低的山体沟谷间。

4 现代冰川的变化特征

由于全球气候变暖,冰川普遍呈现退缩的现象。根据区内喀喇昆仑山 2 期遥感数据上冰川变化信息提取对比分析,发现区内的冰川末端以退缩和较为稳定为主,少量冰川末端存在前进的现象。这一调查结果与 Hewitt^[9-10] 和 Iturrizaga^[11] 发现的 20 世纪 90 年代以来喀喇昆仑山中部的部分大型山谷冰川末端的前进和跃动现象相符合。

通过对 2000 年 ETM 数据和 2013 年 Landsat 8 数据相比,中国境内喀喇昆仑山雪被覆盖率较小,冰川的发育规模较小,冰川面积整体呈现为减少变化趋势,相对变化率不大。以团结峰东北坡 2 条相邻的冰川(中国第二次冰川编目冰川编码为 G078657E35215N 和 G078688E35224N)为例(图 2),2000 年冰川面积分别为 3.051 km² 和 8.903 km²,2013 年冰川面积分别为 3.043 km² 和 8.773 km²,13 a 间冰川面积分别减少了 0.008 km² 和 0.013 km²。

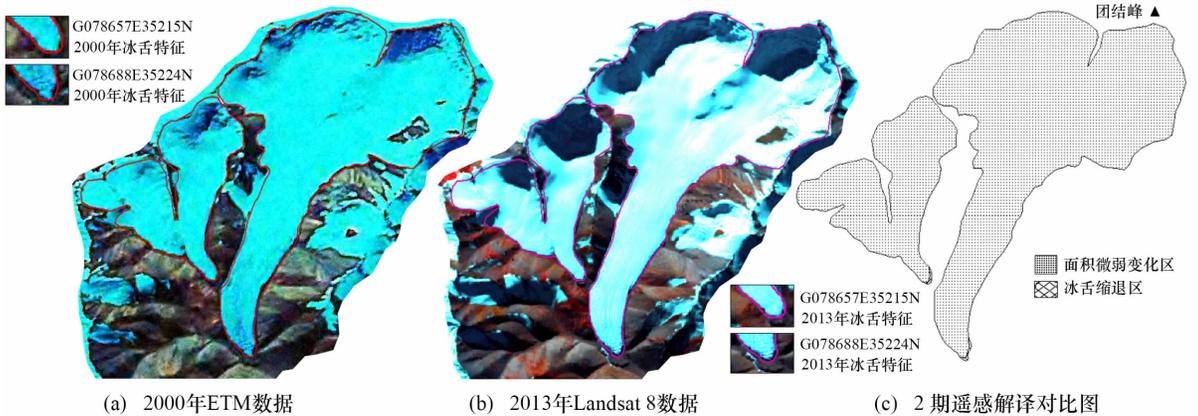


图 2 喀喇昆仑山(境内)现代冰川变化

Fig. 2 Modern glacier variation of Karakoram Mountain Range in our country

境外克什米尔印控区雪被覆盖率变化较大,冰川发育数量多,数据类型齐全、冰川面积变化较大。规

模较小的冰川类型为冰斗冰川、悬冰川及坡面冰川,呈面状退缩,以面积减少现象为主;规模大且有

较长冰舌的山谷冰川,冰舌末端以退缩为主,少量存在冰川前进或跃动现象,冰舌长度增加。以克吉克空姆丹冰川及南侧相邻的冰川为例(图3),克吉克空姆丹南侧相邻支冰川遥感特征显示,冰舌形状为明显的前进状,冰舌终碛垄上的碎屑物具有明显的向前扩张现象。根据2期监测结果相比较,2013年比

2000年冰舌最大前进的距离约1050m左右,冰川面积有增大趋势,增大了0.74 km²。克吉克空姆丹主冰川遥感影像显示,冰舌形状为明显的退缩状,冰舌上的变短和窄,冰舌终碛垄上的碎屑物具有明显的向后退缩现象。2013年比2000年冰舌退缩的距离约455m,冰川面积减少了2.98 km²。

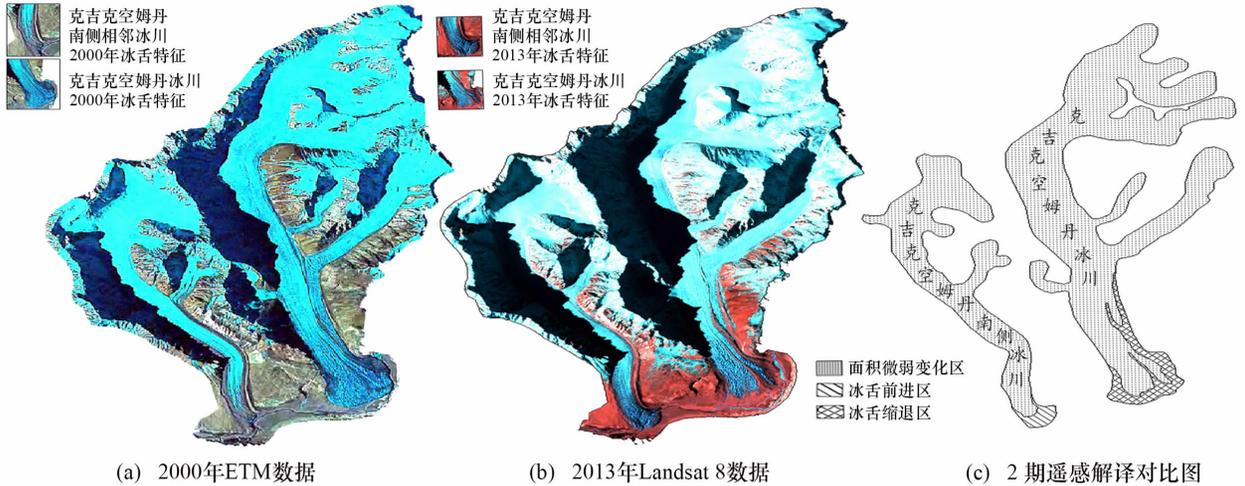


图3 喀喇昆仑山(境外)现代冰川变化

Fig.3 Modern glacier variation of Karakoram Mountain Range in outside China

冰川退缩是由于气温上升导致的冰川消融速率大于积累速率引起的,也就是支出大于收入,导致冰川末端缩短或面积减小;对那些面积稳定或变化较小的冰川,冰川退缩可能更多地体现在厚度减小或冰量减少上;对少量的前进冰川来说,可能与冰川积累区粒雪盆处降水量不均匀地增加^[12-16],导致雪崩频发,冰川物质积累持续或突然增加,引起冰川末端的前进或跃动,或与气温上升导致冰川融水增多,减少了冰川底部与岩石的摩擦力,进而引起冰川的运动速度加快有关。同时冰川的变化还与冰川规模、形态、雪被覆盖率以及周边的地质、地貌等密切相关。

5 结论

(1)受降水、坡向及山体的山势影响,境外克什米尔印控区冰川更为发育,且规模较大;而中国境内冰川规模均较小。

(2)冰川主要发育在北东坡,南西坡占小部分。NE和SE朝向冰川分布数量多,规模最大;N和NW朝向的冰川数据次要位置,冰川规模次之;S

和SW的冰川数量较少,EW朝向的冰川数量大致相当,冰川规模最小;山谷冰川和冰斗冰川是区内冰川的主要类型。

(3)冰川演变除受气温、降水量和冰川规模影响外,可能还与冰川类型、分布、雪被覆盖率以及周边的地质、地貌等密切相关。

(4)研究区范围内喀喇昆仑山境内冰川面积整体呈现为减少变化趋势,相对变化率不大。境外克什米尔印控区冰川面积变化较大,规模较小的冰川呈面状退缩,面积减少;规模大且有较长冰舌的山谷冰川,冰舌末端以退缩为主,少量存在冰川前进或跃动现象,冰舌长度增加。

参考文献:

- [1] 苏珍,谢自楚,王志超,等. 喀喇昆仑山—昆仑山地区冰川与环境[M]. 北京:科学出版社,1998:33-35.
- [2] 方洪宾,赵福岳,张振德,等. 青藏高原现代生态地质环境遥感调查与演变研究[M]. 北京:地质出版社,2009:49.
- [3] 张祥松,米德生. 喀喇昆仑山现代冰川的研究[J]. 冰川冻土,1982,4(3):15-28.
- [4] 陈亚宁,王志超. 喀喇昆仑山北坡冰川地质及地貌[J]. 新疆地质,1991,9(3):284-290.
- [5] 张瑞江. 青藏高原冰川演变与生态地质环境响应[J]. 中国地

质调查,2016,3(2):46-50.

[6] 聂洪峰,方洪宾,杨金中,等. 国土遥感综合调查工程总体目标的设计与实现[J]. 中国地质调查,2016,3(5):1-6.

[7] 刘潮海,施雅风,王宗太,等. 中国冰川资源及其分布特征——中国冰川目录编制完成[J]. 冰川冻土,2000,22(2):106-112.

[8] 刘时银,姚晓军,郭万钦,等. 基于第二次冰川编目的中国冰川现状[J]. 地理学报,2015,70(1):3-16.

[9] Hewitt K. The Karakoram anomaly? Glacier expansion and the elevation effect, Karakoram Himalaya [J]. Mount Res Dev, 2005, 25(4):332-340.

[10] Hewitt K. Tributary glacier surges: An exceptional concentration at Panmah Glacier, Karakoram Himalaya [J]. J Glaciol, 2007, 53(181):181-188.

[11] Iturrizaga L. Historical and recent glacier variations in the Karakoram Mountains [J]. Geophys Res Abst, 2007(9):05470.

[12] 蒲健辰,姚檀栋,王宁练,等. 近百年来青藏高原冰川的进退变化[J]. 冰川冻土,2004,26(5):517-522.

[13] 上官冬辉,刘时银,丁永建,等. 中国喀喇昆仑山、慕士塔格公格尔山典型冰川变化监测结果[J]. 冰川冻土,2004,26(3):374-375.

[14] 施雅风,刘时银,上官冬辉,等. 近30 a 青藏高原气候与冰川变化中的两种特殊现象[J]. 气候变化研究进展,2006,2(4):154-160.

[15] Fowler H J, Archer D R. Conflicting signals of climatic change in the upper Indus Basin [J]. J Climate, 2006, 19(17):4276-4293.

[16] Archer D R, Fowler H J. Spatial and temporal variations in precipitation in the upper Indus Basin, global teleconnections and hydrological implications [J]. Hydrol Earth Sci Syst, 2004, 8(1):47-61.

Distribution and variation characteristics of the modern glaciers in Siachen and LyuMo Muztaghata Mountains of Karakoram Mountain Range

YAN Yongzhong, MA Lu, Lyu Jun'e

(Remote Sensing Application Institute of Aerial Photogrammetry and Remote Sensing Co Ltd, Xi'an 710054, China)

Abstract: In the background of global warming and glaciers shrinking, the authors took the medium spatial resolution satellite data (ETM, Landsat 8) as the main data of remote sensing, and completed the remote sensing investigation of glaciers variation in Siachen and LyuMo Muztaghata Mountains by human-computer interactive interpretation, in order to reveal distribution and variation characteristics of the modern glaciers in Karakoram Mountain Range where mountain glaciers are well developed. The glaciers area, distribution and variation characteristics of a part of glaciers were ascertained in the study area. This study totally investigated 1 373 glaciers, including 554 glaciers in our country and 819 glaciers in India-controlled Kashmir. Also the ETM data and Landsat 8 data about the typical glaciers in the study area were contrasted. The result shows that the ice tongue shrinking, expanding and steady exist at the same time, which can provide references for the study of glaciers variations in Karakoram Mountain Range. The results above have important scientific significance and practical value for the water resources utilization of our western frontier and prevention of snow disaster.

Key words: Karakoram Mountain Range; ETM; Landsat 8; remote sensing; glacier

(责任编辑:刘永权)