

文章编号: 1000 0240(2006)03 0312 07

塔里木盆地南缘喀拉米兰河-克里雅河流 内流区近 30 a 来的冰川变化研究

许君利¹, 刘时银^{1,2}, 张世强¹, 上官冬辉¹

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院 青藏高原研究所, 北京 10085)

摘 要: 对 1999 年的喀拉米兰河-克里雅河流内流区的 Landsat ETM+ 影像运用非监督分类、监督分类、雪盖指数域值法和比值域值法提取其中 176 条冰川的边界信息, 并与目视解译结果进行定量比较, 结果表明: 比值域值法精度最高, 达 98.32%; 将比值域值法提取 1999 年的冰川边界与 1970 年航测地形图勾绘的冰川边界进行叠加分析, 得到整个流域 29 a 来的冰川变化信息. 统计表明, 流域冰川条数减少了 0.6%, 总面积萎缩了 2.86%, 总冰储量减少了 3.10%, 大多数冰川处于稳定状态.

关键词: 冰川变化; 比值域值法; 喀拉米兰河-克里雅河

中图分类号: P343.6 **文献标识码:** A

冰川覆盖了世界陆地面积的 11%, 占据了淡水储量的 80%, 是巨大的固体淡水水库. 同时, 冰川也是环境变化的敏感指示器, 因此, 冰川监测成为全球变化和区域环境研究的重要部分. 遥感技术的发展为冰川检测提供了方便快捷的工具. 目前, 对于冰川变化的遥感监测方法可以分为两类: 基于目视解译的信息提取^[1-3] 和计算机辅助分类法^[6-11]. 目视解译精度高, 却耗时耗力, 广泛应用于精度要求较高的工作中. 刘时银等^[1-2] 利用该方法研究了祁连山西段小冰期以来以及青藏高原东南部岗日嘎布山 20 世纪初以来的冰川变化情况; 晋锐等^[3] 分析了近 30 a 来西藏朋曲流域的冰川变化. 计算机辅助分类法, 相对省时省力, 但精度在各个地区表现有差异, 总体上仍不及目视解译, 李震等^[7] 利用非监督分类法分析了青藏高原布卡塔格峰 1973—1994 年冰川变化信息; 上官冬辉等^[9] 运用雪盖指数域值与目视解译相结合的方法研究了玉龙喀什河 32 a 来的冰川变化情况; 张世强等^[10] 定性地分析了监督分类、非监督分类、比值域值法、雪盖指数域值法提取喀喇昆仑山区现代冰川边界精度, 得出了比值域值法效果最佳. 张明华^[11] 提出了用主成分变换法利用 ETM+ 影像提取西藏南迦巴瓦峰地

区海洋性冰川信息.

本文以喀拉米兰河-克里雅河流内流区为研究区, 以目视解译结果为标准, 定量分析各种计算机辅助分类方法的精度, 并选择效果最好的方法提取流域内的冰川边界信息, 并与 1970 年地形图进行对比分析冰川变化.

1 研究区概况和数据源

喀拉米兰河-克里雅河流内流区位于昆仑山北坡, 塔里木盆地南部, 西接和田河内流区, 东邻车尔臣河内流区, 其地理坐标介于 $80^{\circ} \sim 85^{\circ} \text{E}$ 和 $35^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$ 之间, 是昆仑山区较大的冰川作用区之一. 该流域属于塔里木内陆水系, 按照冰川编目^[12], 其编码“5Y63”, 按其干流和主要支流划分为 7 个子流域, 喀拉米兰河(5Y631)、莫勒切河(5Y632)、安迪尔河(5Y633)、牙通古孜河(5Y634)、尼雅河(5Y635)、克里雅河(5Y636)、策勒河(5Y637), 流域总面积为 $40\,010 \text{ km}^2$, 共有 895 条冰川, 冰川面积约 $1\,357.27 \text{ km}^2$, 冰储量为 100.67 km^3 . 本区冰川平均面积较小, 雪线高度较高, 冰川呈星状或羽状分布(图 1).

本次工作采用的数据有 40 多幅 1970 年航测的

收稿日期: 2005 11 21; 修订日期: 2006 02 27

基金项目: 国家自然科学基金项目(40371026); 国家自然科学基金重大项目(90202013)资助

作者简介: 许君利(1983—), 女, 江苏东海人, 2005 年毕业于兰州大学地理信息系统专业, 现为中国科学院寒区旱区环境与工程研究所在读硕士研究生, 主要从事冰川变化的遥感分析研究. E-mail: wjshuigong@lzb.ac.cn

1:100 000 的地形图, 6 景分别为 1999 年 9 月 15 日、22 日(2 景)、10 月 22 日和 31 日, 以及 2001 年 9 月 29 日(部分地区 1999 年左右没有好的影像)云覆盖很少的 Landsat ETM+level 4 遥感影像(已经过辐射纠正、几何精纠正、地形校正, 投影为 UTM, 椭球体为 WGS84), 以及昆仑山区(喀拉米兰河-克里雅河内流区)冰川编目。图像预处理主要是地形图几何纠正以及遥感影像投影转换。

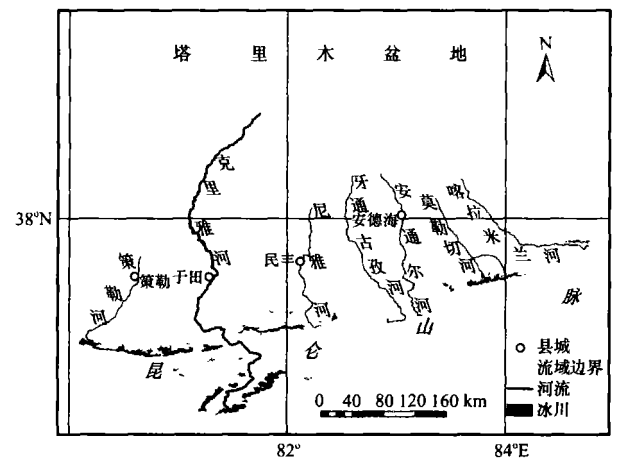


图 1 研究区的冰川分布

Fig. 1 Distribution of glaciers in the study area

2 冰川边界提取方法对比

1970 年的冰川边界直接由地形图数字化获得, 依据冰川编目对每条冰川编目。1999 年冰川边界由计算机自动分类获得, 通过抽样调查的方式将监督分类^[6-7]、非监督分类、雪盖指数域值法^[8-9]、图像比值域值法^[10]以及主成分分析^[11]几种方法的提取效果与目视解译的效果进行对比, 并选用效果最好的方法提取 1999 年的冰川范围。样本数为 176 条冰川, 其中大、中、小型冰川均占据一定比例。

2.1 非监督分类

非监督分类是根据影像上地物光谱特征的分布规律将其自动分类。在 GEOIMAGE 3.1 软件环境下, 将遥感影像采用 4, 3, 2 波段组合进行假彩色合成。考虑冰川信息提取的准确性, 确定分类的地物类别数为 4 类最合适。

2.2 监督分类

监督分类是使用者对遥感影像上地物类别已明确, 使用者根据经验将其有目的地分类。分类过程中仅将地物分为 2 个类别: 冰川和非冰川(包括基岩、河流、湖泊等)。冰川区的训练样本选择了 40 个, 非冰川区选择了 20 个, 分类器选择了最大似然法。

2.3 比值域值法

比值运算可以在一定程度上消除同物异谱现象, 这里主要是为了识别阴影区冰川, 比值波段根据各种地物的谱间关系来选择, 各地物具有不同的光谱亮度曲线(图 2), 利用冰雪在可见光波段的强反射率和在短波红外波段强吸收的特性可以将它与其他地物区分开。可以用可见光波段比短波红外波段, 这里选择了 3 波段比 5 波段。直方图是灰度分布的直观体现, 所以域值的选取可以根据比值图像的直方图, 如图 3(a)。直方图上有两个分离的集中区域, 其中一个就是冰雪的范围, 选取域值 2.6~14.2。

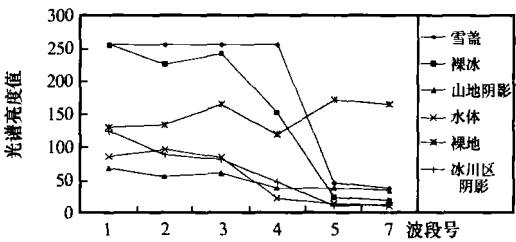


图 2 各类地物的光谱亮度值分布

Fig. 2 The digital number ranges of the six land covers changing with band

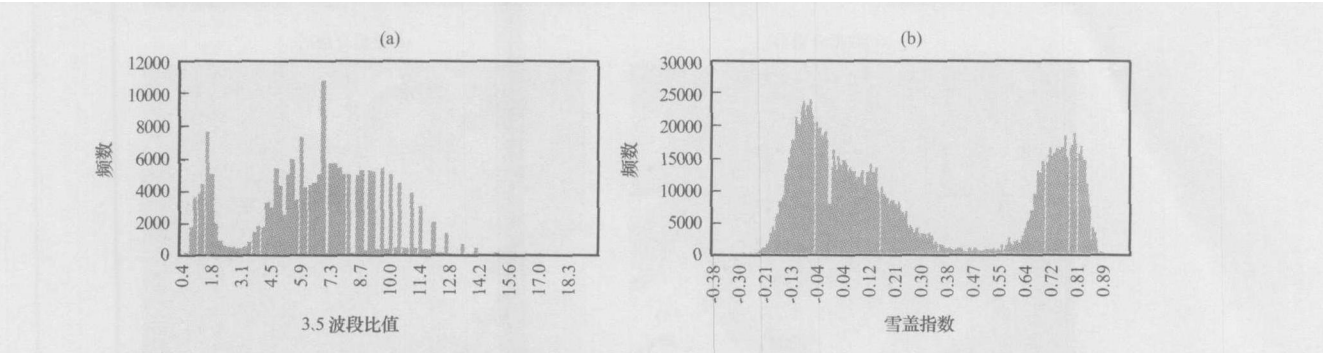


图 3 直方图

a. 比值图像直方图; b. 雪盖指数图像直方图

Fig. 3 Histograms of ratio image (a) and of snow cover index image (b)

2.4 雪盖指数法

雪盖指数是植被指数的应用推广，是基于雪在某一波段的强反射与另一波段的强吸收特性，计算公式如下：

$$NSVI = (CH(n) - CH(m)) / (CH(n) + CH(m))$$

(1)

式中：*n* 为强反射的光谱波段号；*m* 为强吸收的光谱波段号。

Landsat ETM+影像一般选用 2 波段和 5 波段经雪盖指数处理后的图像直方图被拉伸，从而达到了将冰雪与其它地物分离的目的。域值的选取一般依据直方图，如图 3(b)，据此域值选择了 0.46~0.89。

2.5 4 种方法对比分析

4 种方法与目视解译结果比较对比表明(表 1)：非监督分类为最简单方便，几乎不需要人为干涉，但是精度最低，适用于无云、无表碛覆盖、雪盖较少的冰川；实施监督分类时，如果训练区选择的

好，精度要比非监督分类高，但是无法处理阴影问题；雪盖指数域值法是根据雪在可见光波段的强反射与近红外波段的强吸收特性来分类的，可以处理一些阴影问题，精度也比前几种方法要高，但会把阴影错分成冰雪；比值域值法是寻找可以将冰雪与其它区分的比值波段，但是对于区分表碛覆盖问题目前只有通过目视解译方法。

表 1 5 种方法获得的冰川分类结果对比

Table 1 The glacier areas derived from the five methods, together with their precisions

方法	非监督 分类	监督 分类	雪盖 指数法	比值 图像法	目视 解译
面积/km ²	303.29	329.62	327.55	325.40	320.02
精度/%	94.77	97.00	97.65	98.32	—

在 4 种方法中，在该地区效果最好的方法是比值图像域值法，精度高达98.32%。同时，由于该

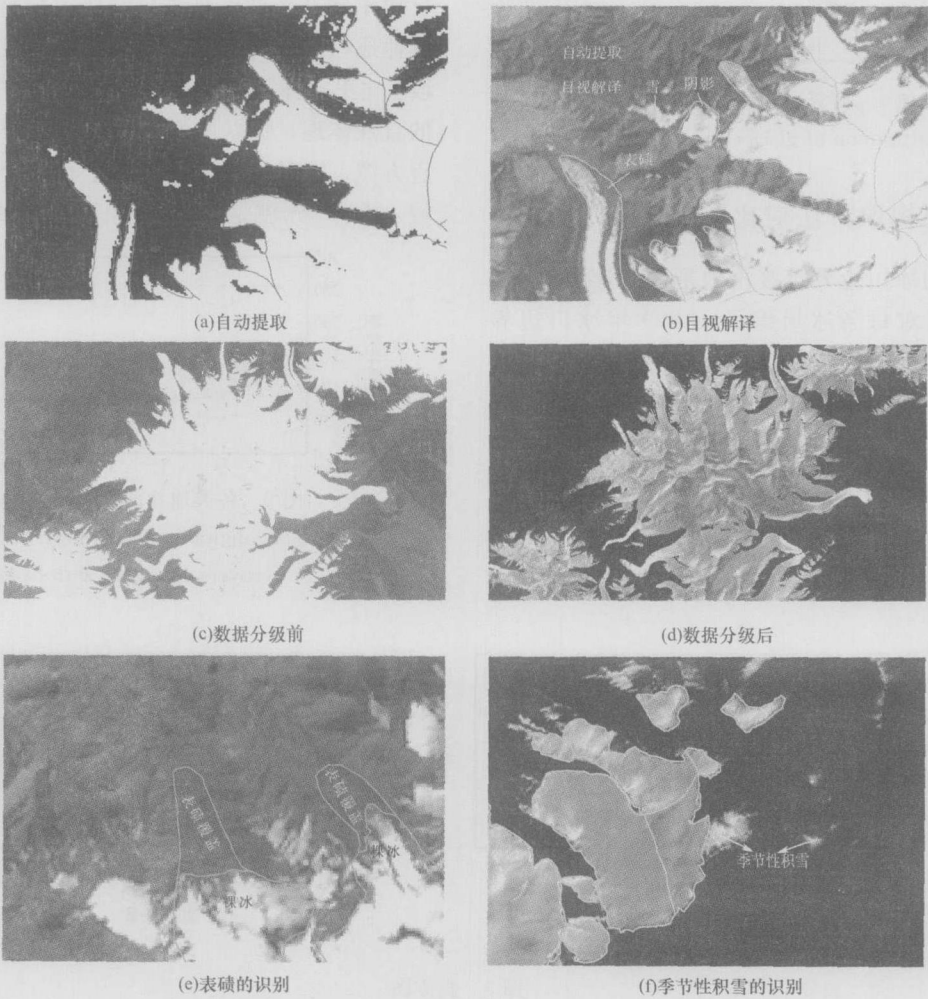


图 4 冰川边界提取

Fig.4 Extract the glacier boundaries

区的图像质量很好, 云盖、雪盖以及阴影的影响都很少, $< 4\%$, 所以其它方法的精度也不错。比值图像法自动提取效果如图 4(a)。对于带表碛的地方, 可以采用自动分类与目视解译结合的方法以提高分类精度^[13], 目视解译后的效果如图 4(b), 表碛的识别主要根据冰川运动作用留下的纹理, 如流线的形态及曲面等如图 4(e)。

对于季节性雪斑的处理, 比值图像采用了下列方法处理: 由于整个比值图像是浮点型的, 而计算机最多可以显示 256 级的灰度, 为了获得更好的显示效果将比值图像进行数据分级处理(Data Scaling), 从而将整个图像显示在直方图集中的范围。图 4(c), (d) 表示比值图像分级前后的对比, 数据分级前由于整个区域的冰川颜色都显示在一个灰度级白色上, 因而看不到冰川的纹理特征, 经过分级, 突出显示直方图集中的范围使得冰川一些细节得以显示。依据分级后影像中冰川的流体特性, 如流线性以及整体性等来区分, 而季节性雪斑没有黏力呈现松散状, 并且没有什么纹理特征如图 4(f)。

3 冰川变化结果及结果分析

3.1 冰储量的计算方法

在地理信息系统(GIS)技术支持下, 利用地形图数字化后得到 1970 年全流域的冰川面积为 $1\,374.18\text{ km}^2$, 与冰川编目资料记载的 $1\,357.27\text{ km}^2$ 相比, 误差为 1.2% , 本文以数字化量算的数据为对比依据。冰储量(km^3)的计算采用 Liu Shiyin *et al.*^[14] 的计算公式:

$$V = 0.04S^{1.35} \quad (2)$$

式中: V 为冰川体积即冰储量(km^3); S 为冰川面积(km^2)。据此, 1970 年的冰川储量为 97.09 km^3 , 1999 年的冰川面积和储量分别为 $1\,334.91\text{ km}^2$ 、 94.08 km^3 。

3.2 本区冰川的数量、面积和冰储量特征

根据面积将 1970 年冰川分为 9 个等级来计算其数量、面积以及冰储量在流域中所占的比例(图 5), 面积 $\leq 20\text{ km}^2$ 的冰川数量、面积、冰储量分别占 99.44% 、 90.05% 、 81.79% , 而 $> 20\text{ km}^2$ 的冰川仅有 5 条, 最大的面积 39.91 km^2 , 面积在 $10 \sim 20\text{ km}^2$ 的只有 19 条, 并且面积占了 28.23% 。因而, 该区是中小型冰川占优势。冰川的条数、面积和冰储量取决于雪线以上的山体流域面积和冰川作用正差(流域最高高度与雪线高度之差), 山体高出其雪线愈高, 冰川发育的规模就越大, 高出 $300 \sim$

500 m 的山地一般发育着小冰川, 而山脊或山峰高出雪线 $600 \sim 700\text{ m}$ 以上的山体, 就有可能发育山谷冰川, 其中高差在 $1\,000\text{ m}$ 就有可能发育长度 10 km 的山谷冰川^[15]。据冰川编目^[12], 本区最大的冰川(5Y636J69)发育在乌斯滕塔格山, 其高差也只有 $1\,120\text{ m}$, 因此雪线的相对高度和绝对高度都较高是本区发育中小型冰川的重要原因之一。

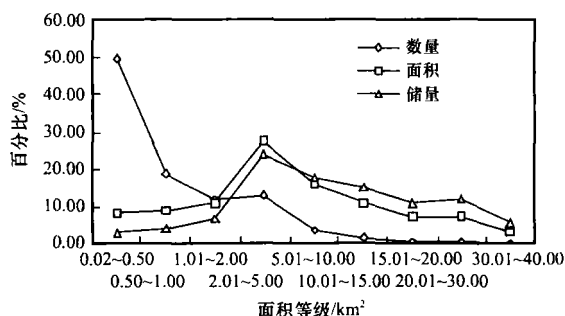


图 5 不同等级规模所对应冰川的数量、总面积及冰储量的所占百分比

Fig. 5 Percentages of glacier number, area and volume for different area grades

3.3 冰川变化结果统计

该区 7 个子流域冰川变化情况如表 2, 每个流域都处在萎缩状态, 但是萎缩的幅度都很小, 只有尼雅河和克里雅河流域变化比较大, 并且消失的冰川都在克里雅河流域, 其中变化较大冰川是: 5Y636J0037 (19%)、5Y636N0014 (16%)、5Y635E0045 (26%)、5Y636E0013 (33%) 等。

整个流域有 353 条冰川萎缩, 面积占整个面积的 46.39% , 萎缩量 52.75 km^2 , 其中完全消失的冰川有 5 条, 且面积都很小, 最大的只有 0.12 km^2 。117 条冰川面积增加, 面积只占 19.69% , 并且增加幅度很小, 仅 13.38 km^2 。总体上该区冰川处于较稳定状态, 1970—1999 年间冰川面积、储量分别萎缩了 2.86% 、 3.10% , 这与 AAR (积累区比率)值的计算结果也相一致, 该区 AAR 的平均值为 0.76 , 远大于一般稳定状态冰川的 0.60 , 因此本区大多数冰川属于波动较小的稳定冰川^[12]。

将面积萎缩的 353 条冰川根据面积等级(由于最后一级只有一条冰川, 为了计算标准差故将最后两个等级合并)统计出冰川变化情况如表 3。从面积变化率看, 一般随着面积增大, 面积减少率跟着减小, 这也证明了小冰川对气候的敏感性比大冰川大。但面积等级为 $15.01 \sim 20.00\text{ km}^2$ 却出现了减少率增大的情况, 经检查, 这主要是由编号为 5Y636N0014 的冰川引起。从 ETM+影像上看, 该

表 2 各子流域冰川的数量、面积及储量变化规律

Table 2 Glacier number, area and volume in the sub basins of Karamiran—Keriya Rivers in 1970 and 1999

子流域	条数		面积 /km ²			冰储量 /km ³		
	1970 年	1999 年	1970 年	1999 年	变化率 /%	1970 年	1999 年	变化率 /%
5Y631	49	49	47.54	44.90	-5.55	2.30	2.14	-6.96
5Y632	133	133	134.61	128.64	-4.44	6.95	6.64	-4.46
5Y633	5	5	5.80	5.75	-0.86	0.28	0.27	-3.57
5Y634	1	1	1.28	1.21	-5.46	0.06	0.05	-16.67
5Y635	60	60	74.85	70.45	-5.88	4.03	3.82	-5.21
5Y636	430	425	764.63	741.43	-3.03	60.66	58.69	-3.25
5Y637	217	217	345.47	342.53	-0.85	22.71	22.48	-1.01
合计	895	890	1374.18	1334.91	-2.86	96.99	94.09	-2.99

冰川末端有厚表碛覆盖, 由于裸露冰区和厚表碛区消融深度的重大差别, 经过若干年后, 裸露冰区与厚表碛区可以断开, 厚表碛覆盖的冰川冰成为死冰, 裸露冰区末端成为冰川末端而迅速后退^[19]。由于本区的冰川面积为 15.01~20.00 km² 的冰川数量较少, 导致了这一现象。分析面积变化率的标准差也可以得到相同的结论。标准差反映数据的离散程度, 标准差越大说明数据波动越大, 应用到这里, 说明冰川变化的不一致性(波动性), 即冰川对外界条件的反应差异性。从表上可以看出, 冰川越小其面积减少率的标准差越大, 但当样本数量太少时也会出现特殊情况, 如 15.01~20.00 km² 等级。

表 3 冰川规模对气候的敏感性

Table 3 The climate sensitivity of glaciers of different area grades

面积等级 /km ²	条数	冰川面积减少率 /%	
		平均值	标准差
0.02~0.50	149	-24.60	21.14
0.50~1.00	80	-14.07	12.27
1.01~2.00	48	-11.77	11.92
2.01~5.00	46	-8.44	7.78
5.01~10.00	18	-5.62	5.21
10.01~15.00	6	-2.89	3.40
15.01~20.00	3	-6.78	8.35
20.01~40.00	3	-1.99	1.78

3.4 冰川变化与气候变化的对比

气温和降水分别影响冰川的消融和积累过程, 是冰川发育气候条件中最主要的因素。该区内民丰气象站 40 a 来的降水气温变化情况如图 6, 从其简单的线性趋势来看, 过去 40 a 来, 气温和降水都有

所增加。气温升高有利于冰川消融并促进冰川退缩, 降水的增加有利于冰川的积累。据秦大河等^[17]对天山、祁连山、唐古拉山和贡嘎山 6 条冰川的研究, 在温度不升高条件下, 年降水量要增加 260~340 mm 或 40%~70% 才能维持平衡线不变, 如果再与蒸发增加相平衡, 就不可能制止由温度上升引起的冰川衰退。据苏宏超等^[18]对新疆 50 a 的气温变化研究表明, 山区气温平均增长率高于平原地区, 对于同一地区海拔愈高, 升温越明显。因此, 冰川区的升温幅度可能要比民丰气象站大, 该区的冰川萎缩主要是由气候变暖引起的。

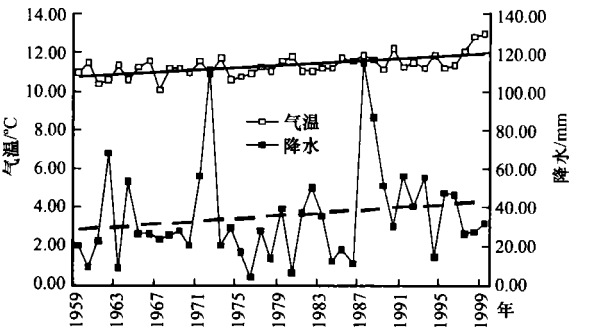


图 6 40 a 来民丰气象站的气温和降水变化

Fig.6 Variations of temperature and precipitation in Minfeng Meteorological Station during the past 40 years

4 结论

以喀拉米兰河-克里雅河流内流区为研究区, 首先在流域中选取了 176 条冰川, 以目视解译结果为标准, 定量对比了 4 种计算机自动冰川分类方法。利用比值域值法, 结合部分目视解译对 1999 年本流域的冰川边界进行了解译, 并与 1970 年的冰

川边界进行了对比, 获得了冰川的长度、面积和冰储量的变化信息, 得到如下结论:

(1) 与目视解译结果定量对比非监督分类、监督分类、雪盖指数域值法和比值域值法提取冰川边界的结果表明, 该地区效果最好的方法是比值图像域值法, 精度高达 98.32%。通过对比值图像增强处理, 可以有效提高对季节性雪斑的区分效果。但比值域值法仍无法处理表碛问题, 需要结合影像人工判读。

(2) 对比分析 1970 年和 1999 年左右本流域的冰川边界的结果表明, 整个流域冰川数目减少 0.6%, 面积萎缩了 2.86%, 冰储量减少了 3.10%, 总体相对稳定。

(3) 通过对冰川变化结果按面积分级统计表明, 随着面积的增大, 面积减少率有减少的趋势, 这说明小冰川对气候的敏感性比大冰川大。由于厚表碛的影响, 较大面积的冰川也可能出现后退较大的情况。

(4) 与邻近的民丰气象站的气象资料对比表明, 本流域的降水和气温在过去 30 a 中均有所增加, 冰川变化可能主要是由于气温增加幅度较大引起的。

参考文献 (References):

- [1] Liu Shiyin, Shen Yongping, Sun Wenxin, *et al.* Glacier variation since maximum of the Little Ice Age in the West Qilian Mountain, Northwest China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, **24**(3): 227–233. [刘时银, 沈永平, 孙文新, 等. 祁连山西段小冰期以来的冰川变化研究[J]. *冰川冻土*, 2002, **24**(3): 227–233.]
- [2] Liu Shiyin, Shangguan Donghui, Ding Yongjian, *et al.* Variation of glacier studied on the basis of RS and GIS [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, **26**(3): 244–253. [刘时银, 上官冬辉, 丁永建, 等. 基于 RS 和 GIS 的冰川变化研究[J]. *冰川冻土*, 2004, **26**(3): 244–253.]
- [3] Lu Anxin, Yao Tandong, Liu Shiyin, *et al.* Glacier change in Geladandong area of Tibetan Plateau monitored by remote sensing [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, **24**(5): 559–562. [鲁安新, 姚檀栋, 刘时银, 等. 青藏高原各拉丹东地区冰川变化的遥感监测[J]. *冰川冻土*, 2002, **24**(5): 559–562.]
- [4] Yang Jianping, Ding Yongjian, Liu Shiyin, *et al.* Glacier change and its effect on surface runoff in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers [J]. *Journal of Natural Resources*, 2003, **18**(5): 595–602. [杨建平, 丁永建, 刘时银, 等. 长江黄河源区冰川变化及其对河川径流的影响[J]. *自然资源学报*, 2003, **18**(5): 595–562.]
- [5] Jin Rui, Che Tao, Li Xin, *et al.* Glacier variation in the Pumqu basin derived from remote sensing data and GIS technique [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, **26**(3): 261–266. [晋锐, 车涛, 李新, 等. 基于遥感和 GIS 的西藏朋曲流域冰川变化研究[J]. *冰川冻土*, 2004, **26**(3): 261–266.]
- [6] Brown D G, Lush D P, Duda K A. Supervised classification of types of glaciated landscapes using digital elevation data [J]. *Geomorphology*, 1998, **21**: 233–250.
- [7] Li Zhen, Sun Wenxin, Zeng Qunzhu. Measurements of glacier variation in the Tibetan Plateau using Landsat data [J]. *Remote Sensing Environment*, 1998, **63**: 258–264.
- [8] Wang Jian. Comparison and analysis on methods of snow cover mapping by using satellite remote sensing data [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 1999, **14**(4): 29–36. [王建. 卫星遥感雪盖制图方法对比与分析[J]. *遥感技术与应用*, 1999, **14**(4): 29–36.]
- [9] Shangguan Donghui, Liu Shiyin, Ding Yongjian, *et al.* Glacier Changes at the Head of Yurungkax River in the West Kunlun Mountains in the past 32 years [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, **59**(6): 855–862. [上官冬辉, 刘时银, 丁永建, 等. 玉龙喀什河河区 32 年来冰川变化遥感监测[J]. *地理学报*, 2004, **59**(6): 855–862.]
- [10] Zhang Shiqiang, Lu Jian, Liu Shiyin. Deriving glacier border information on Qinghai Tibet by TM spectrum image [J]. *Journal of Geomatics and Information of Wuhan University*, 2001, **26**(5): 435–440. [张世强, 卢健, 刘时银. 利用 TM 高光谱图像提取青藏高原喀喇昆仑山区现代冰川边界[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2001, **26**(5): 435–440.]
- [11] Zhang Minghua. Extracting the temperate glacier information in the Mount Namjagbarawa, Tibet Autonomous Region, based on ETM+ image [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, **27**(2): 226–232. [张明华. 基于 ETM+ 影像的西藏南迦巴瓦峰地区海洋性冰川信息提取[J]. *冰川冻土*, 2005, **27**(2): 226–232.]
- [12] An Ruizhen, Yang Hu'an. Glacier Inventory of China, VI, Kunlun Mountains (Interior Drainage Area of Karamiran—Keriya River) [M]. Lanzhou: Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, 1994. [安瑞珍, 杨惠安. 中国冰川目录 VI 昆仑山区(喀拉米兰河—克里雅河内流区)[M]. 兰州: 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 1994.]
- [13] Shangguan Donghui, Liu Shiyin, Ding Yongjian, *et al.* Monitoring glacier changes and inventory of glacier in Muztag Ata—Kongur Tagh, East Pamir, China, using ASTER data [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, **27**(3): 344–351. [上官冬辉, 刘时银, 丁永建, 等. 利用 ASTER 影像对慕士塔格—公格尔山冰川解译与目录编制[J]. *冰川冻土*, 2005, **27**(3): 344–351.]
- [14] Liu Shiyin, Sun Wenxin, Shen Yongping, *et al.* Glacier changes since the Little Ice Age maximum in the western Qilian Shan, Northwest China, and consequences of glacier runoff for water supply [J]. *Journal of Glaciology*, 2003, **49**(1640): 117–124.
- [15] Shi Yafeng, Huang Maohuan, Yao Tandong, *et al.* Glacier and Their Environment in China—the Present, Past and Future [M]. Beijing: Science Press, 2000. 1–410. [施雅风, 黄茂桓, 姚檀栋, 等. 中国冰川与环境——现在、过去和未来[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 1–410.]
- [16] Shi Yafeng. Estimation of the water resources affected by climate warming and glacier shrinkage before 2050 in West Chi-

na [J] . Journal of Glaciology and Geocryology, 2001, 23(4): 333 – 341. [施雅风. 2050 年前气候变暖冰川萎缩对水资源影响情景预估[J] . 冰川冻土, 2001, 23(4): 333 – 341.]

[17] Qin Dahe, Ding Yihui. Assessment on Environmental Change in Western China Vol. 2[M] . Beijing: Science Press, 2002: 67. [秦大河, 丁一汇. 中国西部环境演变评估, 第二卷

[M] . 北京: 科学出版社, 2002: 67.]

[18] Su Hongchao, Wei Wenshou, Han Ping. Changes in air temperature and evaporation in Xinjiang during recent 50 years [J] . Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 174 – 178. [苏宏超, 魏文涛, 韩萍. 新疆近 50 a 来的气温和蒸发变化[J] . 冰川冻土, 2003, 25(2): 174 – 178.]

Glaciers fluctuations in the Karamilan Keriya River Watershed in the past 30 years

XU Jun li¹, LIU Shi yin^{1,2}, ZHANG Shi qiang¹, SHANGGUAN Dong hui¹

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 73000, China; 2. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Responding to the global warming, plenty of glaciers in West China have more or less retreated. In this study, the changes of glaciers in the interior drainage areas of the Karamiran Keriya Rivers in the Kunlun Mountains were investigated using topographic maps (1970) and Landsat ETM + (1999) imageries. Four methods, non supervised classification, supervised classification, threshold values of NDSI and threshold values of band ratio, were used to extract the boundaries of 176 glaciers, including smaller ones and larger ones, in the Karamiran Keriya Rivers, with Landsat ETM + image, and compared with the results

derived from visual interpretation. It is found that the method of threshold values of band ratio is the best. Glaciers fluctuations on the whole Karamiran Keriya River watershed were estimated by comparing the glacier boundaries derived from Landsat ETM + images in 1999 with that derived from topographic maps in 1970. If it is not certain for only using the method of threshold values of band ratio, visual interpretation is often used in order to enhance the accuracy. From 1970 to 1999, there were 5 glaciers disappeared, the total glacier area shrank by 2.86% and the ice reserve reduced by 3.10%.

Key words: glacier fluctuation; band ratio; Karamiran Keriya Rivers