

文章编号: 1008 - 2786 - (2017) 2 - 238 - 08

DOI: 10. 16089/j. cnki. 1008 - 2786. 000217

表碛覆盖冰川信息提取方法 ——以波密县为例

吴淼¹ 韩用顺^{1 2*} 张东水² 王欣² 格桑旺杰³

(1. 湘潭大学 土木工程与力学学院, 湖南 湘潭 411105; 2. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;

3. 西藏自治区公路局, 西藏 拉萨 850015)

摘 要: 针对表碛覆盖冰川提取困难的问题, 本文结合 TM 影像、DEM 和野外调查资料, 基于地物光谱、地形和纹理特征, 将研究区分为表碛覆盖冰川区、无表碛覆盖冰川区和阴影下冰川区, 采用模糊逻辑方法建立定量化提取规则, 综合利用了面向对象和波段比值两个方法的各自优点, 建立面向对象 - 波段比值信息提取方法, 进行了有无表碛物覆盖的冰川信息的分区提取, 并以波密县为典型研究区, 通过混淆矩阵进行精度分析。研究结果表明: 1) 提出的面向对象 - 波段比值法, 能够较完整地提取研究区表碛覆盖冰川, 精度可达 93%, 冰川信息提取总体精度为 98%, kappa 系数为 0.97; 2) 研究区冰川总面积为 7 655.27 km², 占研究区总面积的 46.18%, 无表碛覆盖冰川、表碛覆盖冰川、阴影下冰川面积分别为 5615.20 km²、65.13 km²、1 974.94 km², 占总冰川 73.35%、0.85%、25.80%。初步建立的表碛覆盖冰川自动信息提取方法可以为类似地区冰川遥感监测提供依据和参考。

关键词: 表碛覆盖冰川; 面向对象 - 波段比值法; 特征分区; 快速信息提取; 波密县

中图分类号: P343.6

文献标志码: A

冰川与全球气候变化、水资源利用及自然灾害都存在密切联系。全球气候变暖, 冰川退缩, 直接影响区域水资源平衡与经济可持续发展, 威胁生态系统健康与安全, 为冰川泥石流等地质灾害提供丰富的物源和水源条件^[1]。传统冰川监测方法耗费大量人力物力, 监测区域有限, 遥感技术的发展与观测精度提高, 为冰川监测提供了新方法。

目前, 自动提取冰川信息的方法主要有基于像元的方法^[2-4], 如监督与非监督分类法、波段比值法、神经网络等, 还有基于面向对象的方法。波段比

值法操作简单, 精度较高, 被广泛应用于冰川监测与规律特征等研究, 但无法提取表碛覆盖冰川, 容易误分水体。面向对象方法兼顾使用地物结构、特征等信息, 分类精度明显提高。多项研究表明^[5-6], 面向对象方法在提取高海拔山地区域冰川信息时, 比基于像素的分类方法精度更高。它一般用于高分辨率遥感影像, 有利于长时间大范围冰川研究^[7]。

表碛覆盖冰川与纯冰川不同, 其与周围岩石的光谱信息混淆, 信息提取困难, 是目前冰川信息提取研究的热点。研究表明, 将坡度、曲率等地形数据作

收稿日期(Received date): 2016 - 11 - 18; 改回日期(Accepted date): 2017 - 01 - 22。

基金项目(Foundation item): 交通运输部科技计划项目(20153161T906); 岩土力学与工程安全湖南省重点实验室开放基金(16GES06); 特殊环境道路工程湖南省重点实验室开放基金(kfj120404); 湖南省研究生科研创新基金(CX2015B471)。[Ministry of Transport Science and Technology Program(20153161T906); Hunan Key Laboratory of Geomechanics and Engineering Safety(16GES06); Key Laboratory of Special Environment Road Engineering of Hunan province, Changsha University of Science & Technology(kfj120404); Hunan Provincial Innovation Foundation for Postgraduate(CX2015B471)]

作者简介(Biography): 吴淼(1991 -), 女, 江苏无锡人, 硕士研究生, 主要从事灾害遥感研究。[Wu Miao(1991 -), female, born in Wuxi, Jiangsu, M. Sc. candidate, mainly engaged in disaster remote sensing research] E - mail: wumiao199191@163.com

* 通信作者(Corresponding author): 韩用顺(1974 -), 男, 教授, 主要从事山地灾害与 3S 技术及应用研究。[Han Yong-shun(1974 -), male, Professor, mainly engaged in mountain hazards, 3S technologies and their applications] E - mail: yongshunhan@126.com

为辅助数据应用到自动或半自动表碛覆盖冰川提取中^[8-9] ,或根据表碛覆盖冰川区域的温度特征 ,基于热辐射技术利用光学影像提取该类冰川信息^[10-11] ,都能提高表碛覆盖冰川信息提取精度。然而 ,上述方法大都以几条冰川为研究对象 ,大尺度的区域应用较少 ,主要还是基于人工解译方法^[12-13]。由于表碛覆盖冰川的分布在空间上的差异较大 ,人工解译方法也很难保证精度^[14]。

本文提出基于 TM 影像的面向对象—波段比值法 ,结合地形、纹理、光谱等特征 ,分特征区对多表碛覆盖冰川多阴影地区冰川信息进行自动提取 ,采用混淆矩阵对提取结果进行精度验证 ,探讨该方法在同类冰川信息提取中的效果。

1 研究区和数据处理

1.1 研究区概况

波密县位于西藏东南部 ,总面积 16 578 km² ,属深切割高山河谷地貌 ,平均海拔 4 223 m。该县属于温带半湿润高原季风区 ,年降水量分配不均 ,县城附近为 900 mm 左右。波密县分布着我国面积最大的海洋性冰川区 ,强烈的冰川运动产生了丰富的冰碛物 ,成为冰川泥石流发育物源。该区冰川主要分布在 3 500 m—6 000 m 的高山南坡 ,集中在 7°—45° 坡度之间。本研究区共有面积大于 20 km² 的大冰川 24 条 ,面积 1 592. 78 km² ,占波密县总面积的 9. 61%^[15]。

1.2 数据源与预处理

1.2.1 数据源

本研究以 2009 年 11 月 29 日获取的轨道号为 135-39 的 TM 影像作为基础数据 ,包括 4 景 TM 影

像(表 1) ,影像质量较好 ,云量均小于 10%。DEM 数据为辅助数据 ,分辨率为 30 m。影像数据与 DEM 数据均来自于地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>)。

表 1 遥感影像相关参数

Tab. 1 Parameters of remote sensing images

影像	接收日期 (年.月.日)	传感器	分辨率/m	轨道号
LT51340392009022BKT01	2009.01.22	TM	30	134-39
LT51350392009333KHC00	2009.11.29	TM	30	135-39
LT51360392011314KHC00	2011.11.10	TM	30	136-39
LT51340402006350BKT00	2006.12.16	TM	30	134-40

1.2.2 数据预处理

采用 ENVI 软件对遥感影像进行辐射定标、大气校正、影像镶嵌、影像裁剪等预处理 ,其中大气校正利用基于 MODTRAN4 + 辐射传输模型的 FLAASH 模块进行。根据 TM 影像波段反射率特征分析 ,选择波段 5(短波红外) 、4(近红外) 、3(红色) 作为红、绿、蓝 3 波段 ,冰川在图像上突出显示为蓝色。由预处理后的遥感影像生成波段比值、植被指数 NDVI、水体指数 NDWI、纹理等数据;由 DEM 数据生成坡度信息。上述数据作为参数 ,用于面向对象—波段比值法的规则制定。

2 面向对象—波段比值法

面向对象方法是通过影像分割 ,自下而上合并同质象元形成影像对象 ,利用影像数据的空间、光谱、纹理等特征识别对象的分类信息 ,实现类别信息

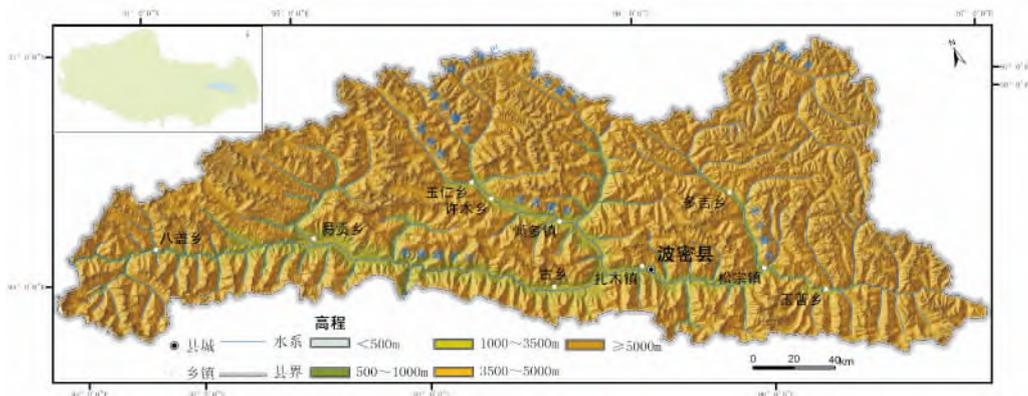


图 1 波密县地势图

Fig. 1 Topography in Bomi County

自动提取。该方法主要包括影像分割和信息提取两部分。影像分割是面向对象方法的关键,决定影像对象的形状与属性。在冰川信息提取中,面向对象方法利于使用多种特征数据进行冰川信息提取。但该方法不利于快速信息提取,也因在阴影区不能目视检验阈值设置,无法有效提取阴影区冰川信息。

波段比值法能压制反照率、地形坡度等不同的信息,增强成分信息,在冰川信息提取中,被公认为一种快速、稳健的方法。其基本原理是采用冰雪在可见光和近红外波段的强反射与在短波红外波段的低反射的光谱特性来区分冰川与其周围的背景信息(图2)。公式主要有 Red/MIR 与 NIR/MIR,其中,Red、NIR 与 MIR 分别为红波段、近红外波段与中红外波段的灰度值,在 LandsateTM 传感器中,分别为 3、4、5 波段。TM4/TM5 波段的比值法无表碛覆盖冰川区信息提取效果最好,而在深阴影区, TM3/TM5 波段比值法比 TM4/TM5 波段比值法的提取效果更好^[16]。但该方法无法提取表碛覆盖冰川(图3a),易误提冰川湖(图3b)。

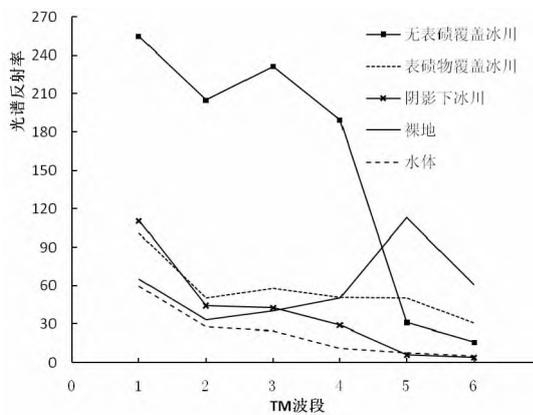


图2 地物均值波谱反射率曲线图

Fig.2 Mean spectral reflectance curve of ground objects

综合面向对象和波段比值法的优势,提出面向对象-波段比值法,应用于多类型冰川区快速信息提取研究。技术流程图如图4所示。

3 波密县冰川信息提取

3.1 多尺度影像分割

分割尺度决定了影像对象的大小,尺度越大,面积越大,异质性越大,对象数量越少。本研究采用 ENVI ZOOM 软件的 Feature Extraction 模块自带的基于边缘分割算法对影像进行分割。该算法快速、



a. 波段比值法无法提取表碛覆盖冰川
a. Debris covered glaciers is unable to be extracted.



b. 波段比值法易将冰川湖误提为冰川
b. Glacial lake is treated as glacier.

图3 波段比值法解译冰川结果

Fig.3 Glaciers interpretation obtained by band ratio method

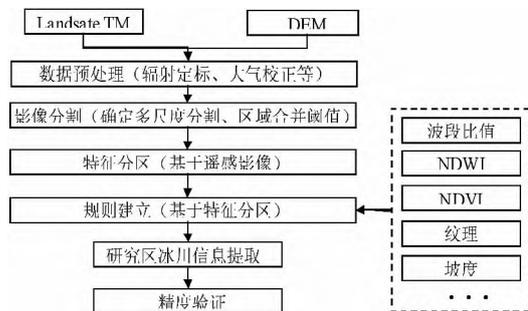


图4 冰川信息提取技术流程图

Fig.4 Flowchart demonstrating the procedures of extracting glaciers

准确,分割尺度可随时调整并多次预览,确立的尺度参数可自动反复处理。本研究最终确定研究区冰川的最佳分割尺度参数为30%,最佳合并尺度参数为85%。

3.2 基于遥感影像的特征分区

研究区冰川冰舌部分多表碛覆盖(图5),从影像上看,表碛覆盖冰川与周围岩石相差无几,其光谱信息(图2)也很相似,仅以光谱特征难以区分;无表碛覆盖冰川在影像中突出显示为蓝色区域,光谱特征明显(图2)。故将冰川分为表碛覆盖冰川区和无表碛覆盖冰川区分别提取。

研究区山高谷深,影像中阴影区域分布较多,裁剪多个矩形区作为样本进行阴影下冰川分布统计分析。以一个矩形区样本为例(图6),利用监督分类

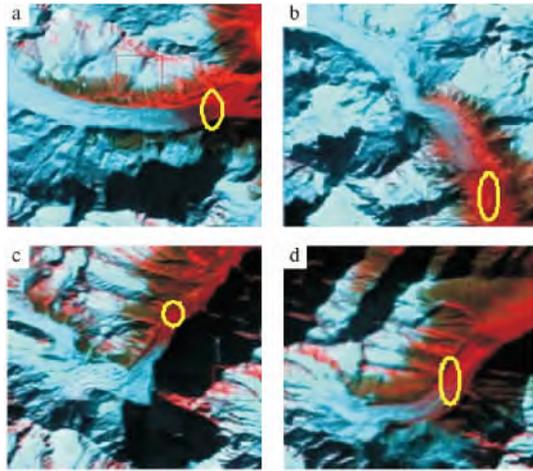


图 5 研究区分布的表碛覆盖冰川(黄色圈内)

Fig. 5 Debris covered glacier in the study area (shown in yellow circles)

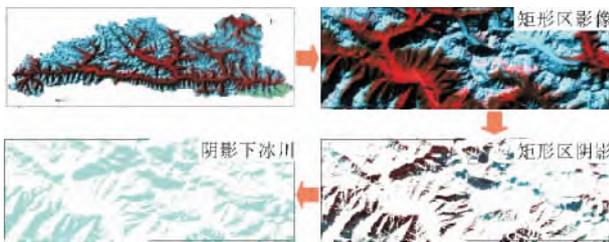


图 6 矩形区阴影下冰川解译结果

Fig. 6 Interpretation to glaciers under shadows in the rectangular areas

方法提取矩形区中的阴影,阴影面积占矩形区的 26.93% 通过波段比值法提取阴影区中冰川,由不同年代多期影像及野外调查对比检验,阴影区冰川面积占了矩形区冰川的 29.66%。故阴影区的冰川是整体冰川中不可忽略的一部分,将阴影区冰川作为一个分区进行提取。

表 2 矩形区冰川 面积统计

Tab. 2 Statistics of glacial area in the rectangular area

名称	面积(km ²)	阴影区/矩形区(%)
阴影区冰川	270.508	29.66
矩形区冰川	911.886	
阴影区	442.904	26.93
矩形区	1 644.458	

本文根据遥感影像特征对研究区进行冰川特征分区,分为光照区无表碛覆盖冰川、光照区表碛覆盖

冰川、阴影区冰川三部分。

3.3 基于分区特征的规则建立

在对三个特征分区冰川的光谱特征、纹理特征、空间结构等专家知识和样点分析的基础上,选择特征参数,根据各特征参数的直方图信息,通过文献阅读总结(如 SWIR/NIR 的波段比值、NDVI、NDWI、坡度等)^[17]和试错法,确定合理的阈值,运用模糊逻辑分类方法制定最优提取规则,构建的分类规则见表 3。

表 3 分类规则

Tab. 3 Classification rules

提取信息	分类规则
无表碛覆盖冰川	亮度 ≥ 0.7922 ; $B4/B5 > 2.8059$; 高程 ≥ 3000 ; $7^\circ < \text{坡度} < 50^\circ$
表碛覆盖冰川	亮度 < 0.7922 ; 饱和度 < 0.2246 ; 坡度 $< 18^\circ$; $\text{NDVI} > 0.0411$; $3000 \text{ m} < \text{高程} < 5000 \text{ m}$; $-0.3998 < (B2 - B1) / (B2 + B1) < -0.2830$; $0.2213 < \text{纹理} < 37.2160$; $-0.6363 < \text{NDWI} < 0.1092$
阴影区冰川	亮度 < 0.6079 ; 饱和度 > 0.2246 ; $B3/B5 > 2.5307$

1) 无表碛覆盖冰川

该区冰川光谱特征明显,较易提取。通过设置亮度阈值剔除表碛覆盖区域、阴影等亮度较低的区域。B4/B5 波段比值法在提取纯冰和无表碛覆盖冰川时,精度较高;研究区冰川属温带季风性山地冰川,纯冰和无表碛覆盖冰川区域坡度一般在 20° 以上;研究区有冰川覆盖的区域高程一般在 $3000 \text{ m} - 4000 \text{ m}$ 以上。通过以上特征,制定无表碛覆盖冰川提取规则。

2) 表碛覆盖冰川

设置亮度值与饱和度值确定特征分区大致范围。植被指数(NDVI)对于在冰川末端生长的植被较为敏感;研究区表碛覆盖冰川位于冰舌区,海拔较低,坡度较缓;表碛覆盖区域由于具有大量冰碛物覆盖,表面粗糙,位于冰舌部分,冰川运动明显,运动后留下特殊的运动纹理(如流线的形态、曲面等),与周围岩石的纹理存在差异;冰舌末端有时会分布冰川湖,可利用水体指数去除。根据以上特征,制定表碛覆盖冰川提取规则。

3) 阴影区冰川

设置亮度值与饱和度值确定阴影区大致范围。本研究主要关注冰川信息提取,经多年影像对比,冰川编目数据查询,高分影像分析得,波密县影像中阴影覆盖部分的冰川无冰川湖,少表碛覆盖冰川,故通过设定 B3/B5 波段比值合理阈值,提取阴影区冰川信息。

3.4 提取结果与精度验证

通过面向对象-波段比值法,划分无表碛覆盖冰川、表碛覆盖冰川和阴影区冰川三个特征分区,分别建立规则,提取的波密县冰川信息如图 7 所示,各分区冰川面积如表 4 所示。

表 4 各特征分区冰川面积统计表

Tab. 4 Statistics of glacial areas in different regionalization

名称	面积/km ²	占冰川总面积/%	占研究区总面积/%
无表碛覆盖冰川	5 615.20	73.35	33.87
表碛覆盖冰川	65.13	0.85	0.39
阴影区冰川	1 974.94	25.80	11.91
研究区总冰川	7 655.27	100	46.18

本研究通过实地考察和相关资料及图件查询等确定参考点,采用基于矢量样本的误差矩阵方法进行精度评价。最终确定 71 个样本,根据样本和分类的结果统计出分类结果中各类的对象数,得到分类结果误差矩阵,计算生产者精度、用户精度、总体精度和 kappa 系数,具体结果见表 5,总体精度为 98%,kappa 系数为 0.97。

表 5 面向对象-波段比值法分类信息提取的混淆矩阵

Tab. 5 Confusion matrix for OOB classification method

	无表碛覆盖冰川	表碛覆盖冰川	阴影下冰川	总样本数	用户精度
无表碛覆盖冰川	32	0	0	32	1
表碛覆盖冰川	0	28	2	30	0.93
阴影下冰川	0	4	30	34	0.88
总样本数	32	32	32	96	-
生产精度	1	0.88	0.94	-	-

4 结果分析

1) 研究区整体冰川信息提取分析

运用面向对象-波段比值法提取研究区冰川信息,总体精度达到了 98%,无表碛覆盖区冰川(图 8b)、表碛覆盖区冰川(图 8c)和阴影区冰川(图 8d)提取精度分别为 100%、93%、88%。利用 arcgis 空间分析,统计得研究区冰川冰雪总面积为 7 655.27 km²,占研究区总面积的 46.18%,其中阴影区冰川与无表碛覆盖冰川面积分别为 1 974.94 km²、5 615.20 km²,占总冰川的 25.80%、73.35%,两部分所占比例达到了总冰川的 99.15%。由图 8 所示,研究区冰川主要分布在河谷两侧的高山上,海拔在 3 500 m 以上,坡度为 7°-50°之间,由南向北、由西向东,冰川分布越密集。

2) 表碛覆盖冰川信息提取分析

通过将图 8c 中提取的表碛覆盖冰川边界(蓝色边界)叠加在图 8a 遥感影像中显示,可得提取的表碛覆盖边界与影像图中冰舌部分表碛覆盖区位置基本一致,只是末端少许区域未完全提取,需后期手动



图 7 研究区冰川提取结果图

Fig. 7 Extraction results of glaciers in the study area

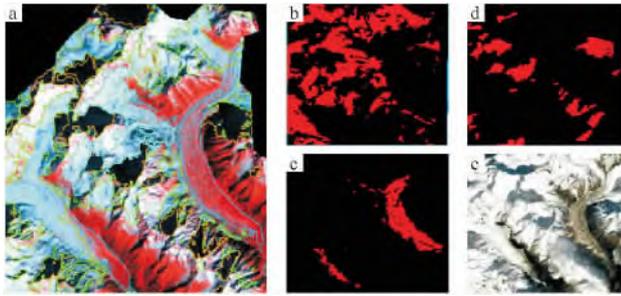


图 8 冰川分区提取结果

a: 蓝色边界内为提取的表碛覆盖冰川、绿色边界内为无表碛覆盖冰川、橘色边框内为阴影下冰川; b: 无表碛覆盖冰川提取结果; c: 表碛覆盖冰川提取结果; d: 阴影区冰川提取结果; e: 高分影像, 由图 e 可得阴影区均为冰川, 图 d 显示结果较为符合。

Fig. 8 Extraction result of glacier in three regions

a: The Blue boundaries comprise debris covered glacier, the green indicates naked glacier and the orange is for glaciers under shadows; b: the extraction result of naked glacier; c: the extraction result of debris covered glaciers; d: the extraction result of glacier under shadows; e: the Google earth image which proves that the region under the shadow is glacier.

修改, 但对整体精度影响不大, 该区冰川提取精度达到 93%。波密县表碛覆盖冰川提取结果如图 9 所示, 主要分布在河谷两侧低海拔缓坡区域, 面积较小, 零落分布。利用 arcgis 空间分析, 统计波密县共有表碛覆盖冰川面积为 65.127 km², 占波密县总面积的 0.39%, 占波密县冰川总面积的 0.85%, 该区冰川在总冰川中所占比例最小。

5 讨论与结论

本文提出面向对象—波段比值法, 基于 TM 影像, 对波密县进行冰川信息提取, 并对提取结果进行

精度验证和初步分析, 得出以下结论:

1) 利用面向对象—波段比值方法提取表碛覆盖冰川时, 引入坡度、高程和纹理特征, 能有效区分表碛覆盖冰川与周围岩石, 剔除低海拔山谷中与表碛覆盖冰川光谱相类似的碎石斜坡, 消除冰川湖错分影响, 解决光谱特征相似导致的信息误提, 确定表碛覆盖冰川区域。

2) 研究区冰川信息提取总体精度为 98%, kappa 系数为 0.97, 表碛覆盖冰川、无表碛覆盖冰川、阴影区冰川提取精度分别为 93%、100%、88%。初步确定该方法适用于波密县冰川信息提取。通过 arcgis 空间分析得, 冰川总面积为 7 655.27 km², 三个分区冰川面积分别为 65.127 km²、5 615.20 km²、1 974.94 km², 占总冰川的 0.85%、73.35%、25.80%, 表碛覆盖冰川面积最少, 但表碛覆盖冰川对气候变化最敏感, 其信息变化能直观反映冰川消融状况, 对冰川监测、气候变化特征等研究具有参考价值。

本研究对山体阴影的处理及阴影下冰川信息提取有待深化, 在提取过程中可结合数据源的时相、分辨率、波谱范围等对相关阈值进行调整, 同时也可考虑通过地形矫正结合热辐射差异消除阴影, 以提高信息提取的精度。

致谢: 陈勇国、屈瑶瑶、黄鲜、曹泽辉和陈希虎对文稿和图件进行了修改。

参考文献(References)

[1] 怀保娟, 李忠勤, 孙美平, 等. 多种遥感分类方法提取冰川边界探讨——以喀纳斯河源地区为例 [J]. 干旱区研究, 2013, 30(2): 372-377 [HUAI Baojuan, LI Zhongqin, SUN Meiping, et al. Discussion on RS methods for glacier outline detection—A case study in headwaters of the Kanas River [J]. Arid Zone Research, 2013, 30



图 9 研究区表碛覆盖冰川提取结果图

Fig. 9 Extraction results of debris covered glacier in the study area

- (2) : 372 – 377]
- [2] RAUP B ,KÄÄB A ,KARGEL J S ,et al. Remote sensing and GIS technology in the Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) Project [J]. *Computers and Geosciences* ,2007 ,**33**(1) : 104 – 125
- [3] KARIMI N ,EFTEKHARI M ,FARAJZADEH M ,et al. Use of multi-temporal satellite images to find some evidence for glacier changes in the Haft-Khan glacier ,Iran [J]. *Arabian Journal of Geosciences* , 2014 ,**8**(8) : 1 – 18
- [4] 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 [ZHANG Ming-hua. Extracting the temperate glacier information in the Mount Nam-jagbarwa ,Tibet Autonomous Region ,based on ETM + Image [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology* 2005 ,**27**(2) : 226 – 232]
- [5] ROBSON B A ,NUTH C ,DAHL S O ,et al. Automated classification of debris-covered glaciers combining optical ,SAR and topographic data in an object-based environment [J]. *Remote Sensing of Environment* 2015 ,**170**: 372 – 387
- [6] BAJRACHARYA S R ,MAHARJAN S B ,SHRESTHA F. The status and decadal change of glaciers in Bhutan from the 1980s to 2010 based on satellite data [J]. *Annals of Glaciology* ,2014 ,**55**(66) : 159 – 166
- [7] PAUL F ,KÄÄB A ,HAEBERLI W. Recent glacier changes in the Alps observed by satellite: Consequences for future monitoring strategies [J]. *Global and Planetary Change* 2007 ,**56**(1 – 2) : 111 – 122
- [8] BHAMBRI R ,BOLCH T ,CHAUJAR R K. Mapping of debris-covered glaciers in the Garhwal Himalayas using ASTER DEMs and thermal data [J]. *International Journal of Remote Sensing* 2011 ,**32**(23) : 8095 – 8119
- [9] RACOVITEANU A ,WILLIAMS M W. Decision tree and texture analysis for mapping debris-covered glaciers in the Kangchenjunga Area ,Eastern Himalaya [J]. *Remote Sensing* ,2012 ,**4**(10) : 3078 – 3109
- [10] PAUL F ,BARRAND N E ,BAUMANN S ,et al. On the accuracy of glacier outlines derived from remote-sensing data [J]. *Annals of Glaciology* 2013 ,**54**(63) : 171 – 182
- [11] KARIMI N ,FAROKHNIA A ,SHISHANGOSHT S ,et al. Elevation changes of Alamkouh glacier in Iran since 1955 ,based on remote sensing data [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2012 ,**19**(19) : 45 – 58
- [12] NUIMURA T ,SAKAI A ,TANIGUCHI K ,et al. The GAMDAM glacier inventory: a quality controlled inventory of Asian glaciers [J]. *Cryosphere* 2015 ,**9**(3) : 849 – 864
- [13] SHANGGUAN D ,LIU S ,DING Y ,et al. Glacier changes in the Koshi River basin ,Central Himalaya ,from 1976 to 2009 ,derived from remote-sensing imagery [J]. *Annals of Glaciology* ,2014 ,**55**(66) : 61 – 68(8)
- [14] RACOVITEANU A E ,PAUL F ,RAUP B ,et al. Challenges and recommendations in mapping of glacier parameters from space: results of the 2008 Global Land Ice Measurements from Space(GLIMS) workshop ,Boulder ,Colorado ,USA [J]. *Annals of Glaciology* ,2010 ,**50**(53) : 53 – 69
- [15] 向灵芝 ,刘志红 ,柳锦宝 ,等. 1980 – 2010 年西藏波密地区典型冰川变化特征及其对气候变化的响应 [J]. *冰川冻土* ,2013 ,**35**(3) : 593 – 600 [XIANG Linzhi ,LIU Zhihong ,LIU Jinbao ,et al. Variation of glaciers and its response to climate change in Bomi County of Tibet Autonomous Region in 1980 – 2010 [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology* 2013 ,**35**(3) : 593 – 600]
- [16] SIDJAK R W. Glacier mapping of the Illecillewaet icefield ,British Columbia ,Canada ,using Landsat TM and digital elevation data [J]. *International Journal of Remote Sensing* ,1999 ,**20**(2) : 273 – 284
- [17] RAUP F ,BOLCH T ,KÄÄB A ,et al. The glaciers climate change initiative: methods for creating glacier area ,elevation change and velocity products [J]. *Remote Sensing of Environment* 2013 ,**162**: 408 – 426

Information Extraction Method of Debris-Covered Glaciers in Bomi County

WU Miao¹ ,HAN Yongshun^{1 2*} ,LI Dongshui² ,WANG Xin² ,Ge Sang Wangjie³

(1. College of Civil Engineering and Mechanics ,Xiangtan University ,Xiangtan 411105 ,China;

2. School of Resource Environment and Safety Engineering ,Hunan University of Science and Technology ,Xiangtan 411201 ,China;

3. Highway Administration Bureau of Tibet Autonomous Region ,Lasa 850015 ,China)

Abstract: Aiming at the difficulty of extracting the debris-covered glaciers by means of remote sensing images ,the ground object spectra ,topographical characteristics and texture features of glaciers in different zones are determined according to TM images combined with DEM and field investigation data. Correspondingly ,glaciers in Bomi County are divided into three glacial zones ,including debris-covered glacier ,no debris covered glacier and shaded glacier.

The quantitative rules for extracting different glacial regions are established through fuzzy logic method ,therefore the respective advantages of object-oriented and band-ratio methods are comprehensively utilized. Meanwhile ,an automatic multi-subarea interpretation model ,known as the object-oriented & band-ratio model(abbreviated as OOB model) is set up to extract diverse parts of glaciers rapidly. The precision of the extracted glacier information is tested with confusion matrix and field investigation data by taking the Bomi County as the typical case study area. The results show that: a) the proposed OOB model is feasible to completely extract debris-covered glaciers in the study area with accuracy up to 93% and the overall accuracy of glaciers is up to 98% with the kappa coefficient to 0.97; b) the total area of glaciers is 77 655.27 square kilometers accounting for 46.18% of the total study area , and the areas of no debris covered glaciers ,debris-covered glaciers and shaded glaciers are respectively 5615.20 square kilometers ,65.13 square kilometers and 1974.94 square kilometers. It is better to draw the conclusion that the preliminarily established OOB model can provide basis and references for remote sensing monitoring of glaciers in similar areas.

Key words: Debris-covered glacier; OOB Method; Feature Zoning; Rapid Information Extraction; Bomi County