第36卷第1期
2020年6月

华南地质与矿产
Geology and Mineral Resources of South China

Vol.36, No.1,38-45
June, 2020

doi:10.3969/j.issn.1007-3701.2020.01.005

基于多光谱遥感影像的巫峡滑坡灾害识别技术研究

郭　健,张　鹏*,张　全,黄波林,秦　臻

GUO Jian, ZHANG Peng, ZHANG Quan, HUANG Bo-Lin, QIN Zhen

(三峡大学土木建筑学院防灾减灾湖北省重点实验室,湖北 宜昌 443002)

(Hubei Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation, College of Civil Engineering & Architecture, China Three Gorge University, Yichang 443002, Hubei, China)

摘要:三峡库区地质结构复杂,尤其是巫峡高陡岸坡发育区域,历来是滑坡灾害高发区,对三峡库区的安全运行构成威胁。为了厘清巫峡高陡峡谷区滑坡灾害发育的高精度多光谱遥感影像特征,本研究以高精度遥感影像资料为基础,以巫峡高陡峡谷区为研究对象,应用面对对象的分类方法对研究区的高精遥感影像进行分割和分类,结合多尺度分割和ESP(Estimation of Scale Parameter)工具确定最优分割尺度,选取典型的滑坡对象样本进行最近邻分类,探索基于高精度多光谱遥感影像的高陡峡谷区滑坡灾害识别技术方法。经试验得出高陡峡谷区基于高精度多光谱遥感影像的滑坡灾害识别的最优分割尺度为720,形状因子和紧致度为0.5,在分割基础上,进行分类和滑坡信息提取。通过对比已有滑坡灾害资料,基于遥感影像自动识别滑坡灾害技术得到的研究区滑坡灾害分布结果总体精度达到了0.8696。研究结果表明,基于高精度的遥感影像自动识别滑坡灾害技术方法能够较好地进行分割与滑坡识别,精度评价的结果比较符合实际。研究结果为巫峡高陡峡谷区滑坡灾害的识别、调查、预测和防治提供依据,对三峡库区滑坡灾害的早期识别和防灾减灾有重要意义。

关键词:三峡库区;高陡峡谷区;巫峡;滑坡;遥感解译

中图分类号:P642.23　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1007-3701(2020)01-0038-08

Guo J, Zhang P, Zhang Q, Huang B L and Qin Z. Study on Landslide Hazard Identification Technology Based on Multispectral Remote Sensing Images in Wu Gorge. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2020, 36(2): 38-45.

Abstract: Because of its complicated geological structure, the Three Gorges Reservoir area has always been a region with high incidence of landslide hazards, especially the Wu Gorge high steep bank slope tract, which poses a threat to the safe operation of the Three Gorges Reservoir. In order to clarify the Wu Gorge based on high resolution multispectral remote sensing image the landslide development characteristics of high and steep canyon area, this study is based on high precision remote sensing image data, to Wu Gorge high and steep canyon area as the research object, apply to face object classification in the study area and high precision remote sensing image segmentation and classification, combined with multi-scale segmentation and ESP (Estimation of Scale Parameter) tool to determine the optimal segmentation scale, selection of typical landslide object nearest neighbor classification samples, thus set based on high resolution multispectral remote sensing

收稿日期:2020-3-25;**修回日期**:2020-4-10;**责任编辑**:董好刚

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC1504803);开放基金项目(2018KTL13/2017KJZ05);The National KeyR&D Program of China (ID: 2018YFC1504803); Open-access Fund Program (No.2018KTL13/2017KJZ05)

第一作者:郭健(1996—),男,硕士研究生,主要从事地质灾害发育特征方面的研究,E-mail:971996333@qq.com

通讯作者:张鹏(1982—),男,讲师,博士,主要从事地质灾害成灾机理与风险分析方面的研究,E-mail:pzhang@ctgu.edu.cn

万方数据

image of high and steep canyon area landslide recognition method. According to the experiment, the optimal segmentation scale of landslide disaster identification based on high precision multi-spectral remote sensing image in high and steep canyon area is 720, shape factor and compactness are 0.5, so the distribution characteristics of landslide disaster in high and steep canyon area are obtained. On this basis, by comparing the existing landslide disaster data, the coincidence degree is better. At the same time, the accuracy of landslide disaster identification was evaluated in the study area. In general, the overall accuracy of landslide disaster distribution results in the study area based on the technology of automatic landslide disaster identification based on remote sensing image reached 0.8696. The results show that the method based on high precision remote sensing image can segment and identify landslide disaster better and faster. The research results provide a reliable basis for the identification, investigation, prediction and prevention of landslide hazards in the Wu Gorge high and steep canyon area, and are of great significance for the early identification and disaster prevention and reduction of landslide hazards in the Three Gorges Reservoir area.

Key words: Three gorges reservoir area; high and steep canyon area; Wu gorge; landslide; remote sensing interpretation

三峡库区地质结构复杂,尤其是巫峡等高陡岸坡发育区历来是滑坡等灾害高发区域,对三峡库区的安全运行造成威胁。伴随着传感器的发展,遥感正在蓬勃发展期,经历着技术不断完善、能力不断增强、应用领域不断扩大的发展过程[1-2]。遥感优势在于能够频繁持久地提供地表的面状信息,具有宏观、动态、精确地监测地表环境的变化的特点,能够与区域地质灾害很好的结合,有很好的发展前景。

在滑坡遥感解译方面,近年来很多研究人员做了大量研究工作。如鲁学军等提出滑坡高分辨率遥感多维解译方法[3],丁辉对黄土高原地区进行基于遥感技术滑坡灾害区划研究[4-5],冯杭建提出了隐性滑坡遥感解译技术方法并对我国东南地区浅层滑坡进行识别[6]。张雅莉将遥感技术应用于古滑坡的识别[7],宿方睿提出滑坡遥感信息量判别 (GVI) 模型,区分古滑坡和新生滑坡[8];许石罗利用数据驱动的机器学习方法,建立了单个滑坡体和区域范围的滑坡灾害空间预测模型[9]。由于滑坡在各个地区的形态特征不同,目前还缺少三峡高陡峡谷区滑坡灾害的遥感解译实验,而且解译效率和识别精度有待加强。

为此,本文针对三峡高陡峡谷区的滑坡,进行遥感解译实验,将多尺度分割实验和 ESP 工具结合应用到研究区滑坡的解译工作,快速准确的对滑坡对象分割、分类,并用已有资料验证准确性,提取到研究区滑坡的特征信息,为三峡高陡峡谷区滑坡灾害的识别、调查、防治和预测提供依据。

1 研究区概况与遥感数据

1.1 研究区概况

三峡库区斜坡地形地貌特征有明显的差异性,可以清楚的划分为高陡峡谷区和平缓宽谷区。相对高差大于 500 m 且平均坡角≥45°的岸坡可归为高陡岸坡[10-11]。高陡岸坡在三峡库区巫峡局部库岸段广泛发育,该库岸段长 42 km,库岸段内河谷狭窄,岸坡陡峭,属于中低峡谷地貌。发育有横石溪、神女溪、抱龙河、鳊鱼溪、链子溪几条大的次级支流。因受三峡库区水库调水的影响,河面宽度呈周期性变化。两岸岸坡坡度多为 40°~60°, 局部达到 75°以上。巫峡岸坡结构为斜向、横向结构,构造上该段主要由巫山向斜、横石溪背斜、神女溪-官渡口向斜构成,出露地层主要以三叠系灰岩、白云岩为主,植被在巫峡两岸岸坡发育较好。

滑坡是巫峡段岸坡失稳主要地质灾害之一,主要受降雨和库水位波动影响,如红岩子滑坡和龚家坊不稳定斜坡等(图 1)。

1.2 遥感数据

研究实验采用的遥感影像数据为高景卫星影像, 两景遥感影像的成像时间分别为 2018 年 7 月 24 日和 8 月 14 日(图 2),具有全色波段和四个标准多光谱波段:蓝色、绿色、红色和近红外波段(红波段的波长范围为 450 ~ 520 nm,绿波段的波长范围为 520 ~ 590 nm, 蓝波段的波长范围为 630 ~

万方数据

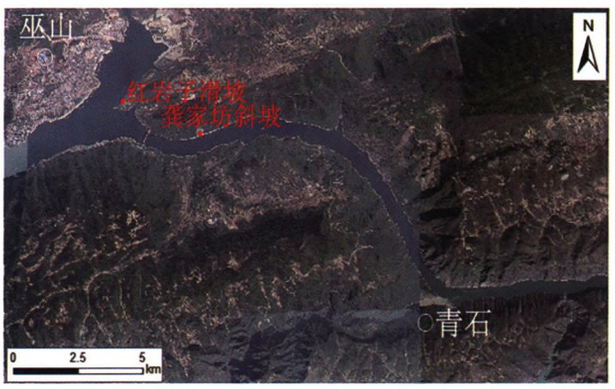

图1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographical location of the study area

690 nm,近红外的波长范围为 770 ~ 890 nm),全色分辨率为 0.5 m,多光谱分辨率为 2 m,具有丰富的光谱信息和较高的空间分辨率。

2 研究方法

区域滑坡灾害遥感解译与识别的过程主要包括影像预处理、解译标志的建立、影像分割、影像分类和精度评价五个部分。本研究的影像预处理在 ENVI 软件中进行,影像的分割、分类和精度评价在 eCogniton 软件中进行完成。具体的基于高陡峡谷区滑坡灾害遥感解译与识别的过程如图 3 所示。

2.1 遥感影像预处理

遥感成像时,由于各种因素的影像,使得遥感

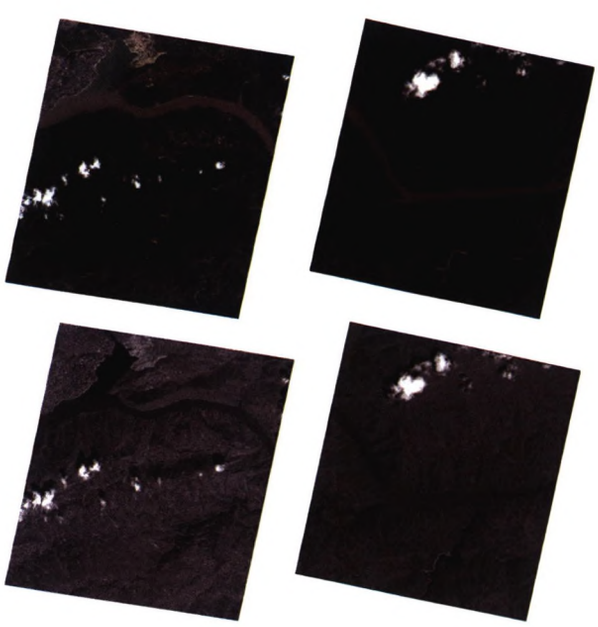

图2 多光谱和全色影像数据

Fig. 2 Multi-spectral and panchromatic image

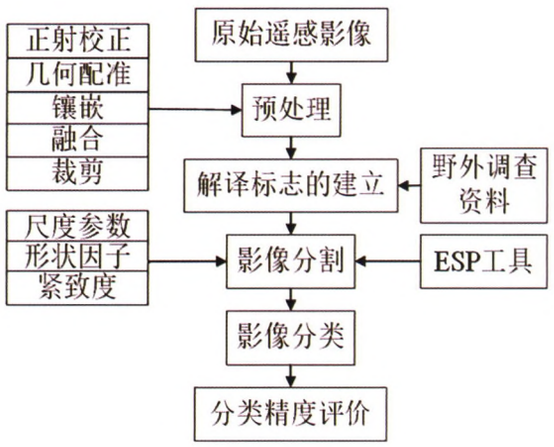

图3 高陡峡谷区滑坡灾害遥感识别过程

Fig. 3 Remote sensing identification process of landslide disaster in high-steep canyon area

影像存在一定的几何变形和辐射变化等现象,不利于遥感影像的分析,所以遥感影像的预处理是对影像进行分析前非常重要的工作。影像预处理的过程主要包括正射校正、几何配准、影像镶嵌、影像融合和影像裁剪。由于研究区为高陡峡谷区且超出单幅遥感图像所覆盖的范围 ,所以对图像预处理工作精度要求很高, 利用遥感专业软件 ENVI 和辅助 DEM 资料进行影像预处理得到实验影像(图 4)。

2.2 解译标志的建立

滑坡遥感识别是基于遥感图像,利用人机交互和目视解译方式来获取滑坡相关信息的技术方法,其原理是基于滑坡体与其背景地质体之间存在的色调、形状、阴影、纹理及图形的差异,在遥感图像上显示为特定的色调、纹理及几何形态组合,被称为滑坡识别的直接解译标志[12]。

巫峡为典型的高陡峡谷区,高差较大,附近有少量居民聚集,植被覆盖率高。根据野外实地调查资料,选取较典型滑坡,进行解译标志的建立,然后根据遥感影像,归纳高陡峡谷区滑坡遥感特征。

通过对比野外调查资料,选取了典型滑坡分析其发育特征(图 5)。滑坡多数都为涉水滑坡,沿江两岸分布,最终确定研究区的滑坡灾害解译标志为光谱特征和形状特征。光谱特征主要表现为:滑坡体表面植被较发育,同时零星分布小型崩塌或人类建筑;滑坡底部为三峡库区消落带(145 ~ 175 m 库岸岸坡),无植被发育。根据滑坡两侧明显的冲沟可以看出滑坡发育的形状特征, 其主要表现为倒 U 型、倒 V 型、簸箕状。滑坡体表面的小型崩塌和人

万方数据

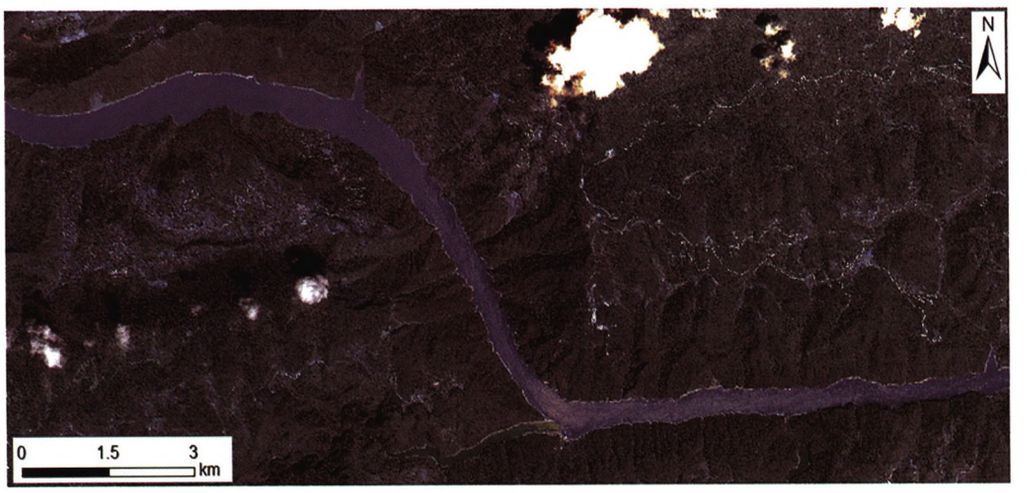

图 4　预处理后实验影像

Fig. 4　Preprocessed experimental images

图5　巫峡典型滑坡地貌特征及其边界

Fig. 5　Geomorphologic features and boundary of typical landslide in wuxia gorge

类建筑与植被的光谱信息有差异,会造成一定的干扰,边界冲沟使得形状特征较为明显。

2.3 影像多尺度分割

滑坡在遥感影像上是一个个影像对象,其分类利用对象的光谱特征和几何特征,所以滑坡遥感解译采用面向对象影像的分类思想。面向对象影像分类主要分成两部分:影像对象构建和对象的分类。

滑坡影像的构建采用 e-Cogniton 软件中的多尺度分割算法对研究区影像进行分割处理实验。进行分割实验之前,可进行影像的波段组合,可以综合选取各波段的特点提高地物的可判读性,使判读结果更为科学合理。本次采用的波段组合(R、G、B)为 3、2、1,用近红外波段对绿波段做增强(图 6)。

多尺度分割算法是一种自下而上的方法,通过合并相邻的像素或小的分割对象,在保证对象与对象之间平均异质性最小、对象内部像元之间同质性最大的前提下,基于区域合并技术实现影像分割[13-14]。在多尺度分割算法中需要考虑影响影像异质性的两种因子即光谱因子和形状因子,而形状因子又包括光滑度异质性与紧致度异质性两个因子。由于多尺度分割算法耗费的时间较长,所以选取研究区滑坡代表区域。为了确定分割尺度(Scale)、形状因子

万方数据

图6 波段组合影像

Fig. 6 Band composite image

(Shape)和紧致度因子(Compactness)三种参数对分割结果的影响,采用简单比较法分别控制尺度因子(一组)、形状因子(二组)和紧致度因子(三组)改变,其他因素不变,在滑坡代表区域进行多尺度分割实验(表1、图7)。

通过尺度分割实验发现适宜滑坡的分割尺度范围在650~950,形状因子和紧致度都为0.5。为了在保证滑坡对象同质性较大的情况下,确定最优分割尺度,借用ESP(Estimation of Scale Parameter)尺度评价工具[15-17],该工具通过计算不同分割尺度参数下影像对象同质性的局部变化(local variance, LV),作为分割对象层的平均标准差(standard deviation),以此来判别分割效果是否最佳。并用变化率值ROC-LV(rates of change of LV)来指示对象分割最佳尺度参数,当变化率值最大即呈现峰值时,该点对应的分割尺度值即为最佳分割尺度。并通过目视判别分割效果并与矢量图匹配效果来选择地物的最优分割尺度参数。通过对比分析(图8),选取720,790,830,890四个分割尺度进行对比,确定最优分割参数为720,最终确定的多尺度分割参数分别为分割尺度(S)720,形状因子(A)和紧致度(C)都为0.5,分割结果如图9所示。

表1 多尺度分割实验

Table 1 Multiscale segmentation experiment

组别	尺度因子(S)	形状因子(A)	紧致度 (C)
一组	250	0.5	0.5
	350	0.5	0.5
	450	0.5	0.5
	550~1150	0.5	0.5
	1250	0.5	0.5
二组	750	0.4	0.5
	750	0.3	0.5
	750	0.2	0.5
	750	0.1	0.5
三组	750	0.5	0.9
	750	0.5	0.8
	750	0.5	0.7
	750	0.5	0.6

3 研究结果

3.1 影像对象分类和信息提取

滑坡的分类方法采用基于样本的最近邻分类方法,选择分割后的代表滑坡对象做为样本,通过对选择的样本对象构建其特征空间,并根据对象间最小距离作为判别依据进行分类。具体过程是通过在构建的特征空间中计算待分类影像对象与各确定类别的训练样本之间的距离,然后将该待分类对象判定为其最近距离样本对象所在的类别。

面对滑坡的最近邻分类在分割尺度720,形状因子和紧致度都为0.5的研究区影像基础上,选取滑坡特征样本,采用e-Coniton软件中的最邻近(nearst neighbor)算法对分割后影像进行分类,得到结果如图10。

确定了利用高分辨率多光谱遥感影像的解译高陡峡谷区滑坡灾害特征值,最邻近分类选取的滑坡光谱特征主要为各波段均值、标准差和亮度,几何特征为面积和形状指数。滑坡对象亮度值范围为

万方数据

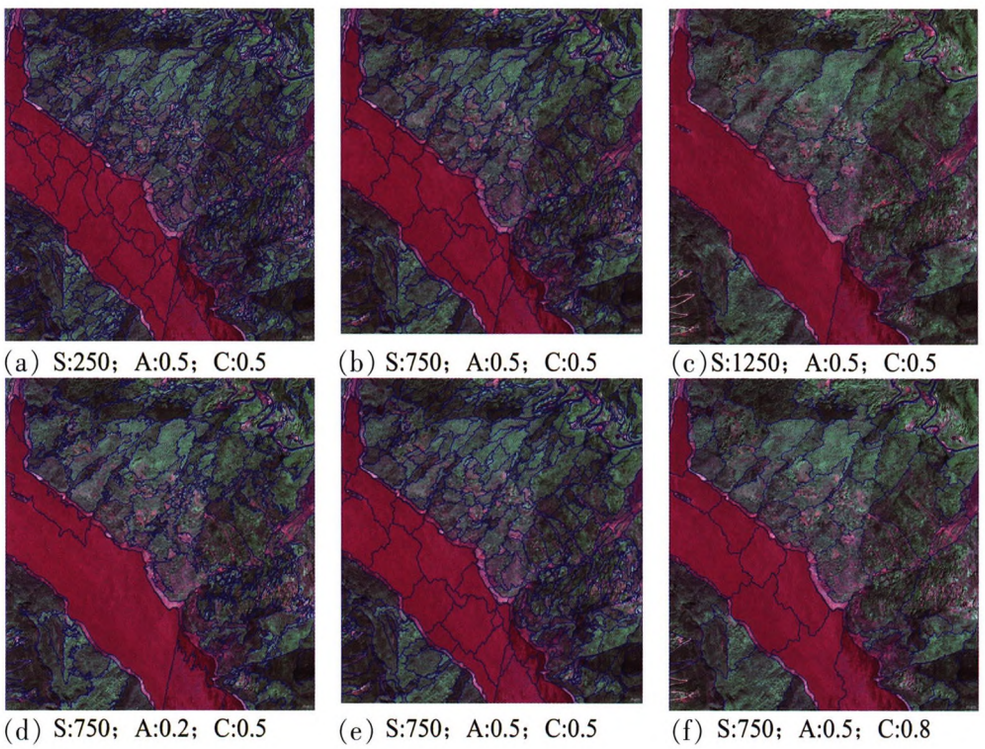

图7　不同分割参数的影像分割结果

Fig. 7　Image segmentation results with different segmentation parameters

b、e两幅影像分割参数相同,方便与两侧不同分割参数影像对比.

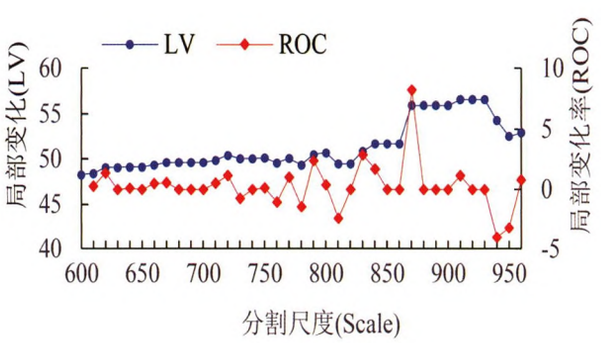

图8　形状因子及紧致度因子为0.5时计算得到的最优分割尺度

Fig. 8　The optimal segmentation scale calculated when the shape factor and the compactness factor are 0.5

450 ~ 600,红波段均值为 650 ~ 950,标准差为 60 ~ 170, 绿波段均值为 250 ~ 300, 标准差为 30 ~ 60,蓝波段的均值为 400 ~ 500,标准差为 30 ~ 55。面积范围为 100000 ~ 1500000(像素个数),形状指数为 1.8 ~ 4.5。

通过遥感影像自动识别滑坡灾害技术得到的研究区滑坡灾害分布结果与滑坡野外调查结果进行对比(图 11),二者结果吻合性较好。

3.2 遥感影像分类精度评价

遥感影像进行分类后要对分类结果进行精度验证与评价。通过对比已知滑坡资料,基于混淆矩阵法,采用生产精度、制图精度、总体精度三个指标来评价,评价结果如表 2。总体上,基于遥感影像自动识别滑坡灾害技术得到的研究区滑坡灾害分布结果总体精度达到了 0.8696。

4 结果与讨论

以面对对象分类的方法为基础,结合最优分割算法,对巫峡高陡峡谷区进行基于高分辨多光谱遥感影像的滑坡灾害解译,提出了适合于识别高陡峡谷区滑坡灾害的方法和技术。

(1)通过对野外资料的研究,归纳了研究区滑坡灾害遥感解译标志主要为光谱特征和形状特征,并通过分析地表特征,确定了光谱因子和形状因子的大概比例;

(2)采用多尺度算法及 ESP 最优分割算法对研究区高精度遥感影像进行分割, 确定适宜于高景卫星多光谱影像的峡谷区滑坡解译最优分割尺度:分割

万方数据

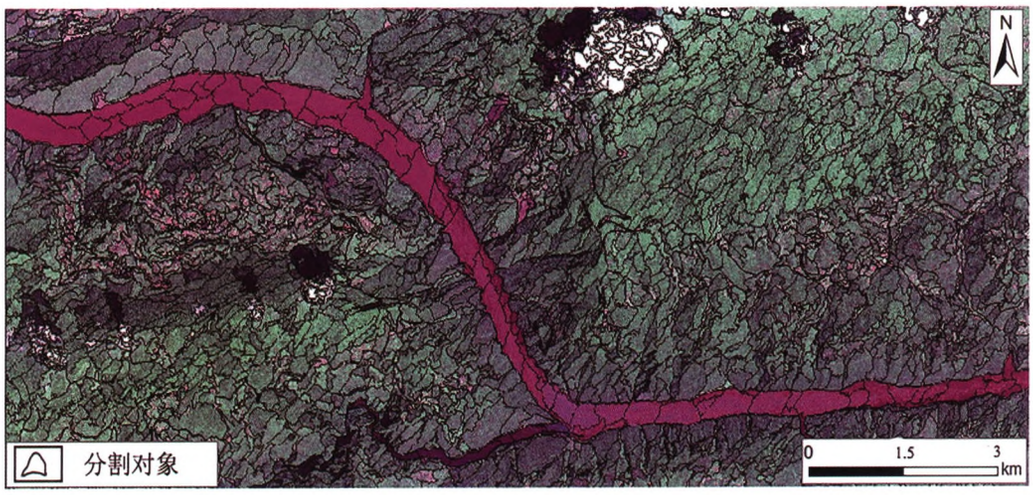

图9 研究区滑坡最优多尺度分割图

Fig. 9 Optimal multiscale segmentation map of landslide in study area

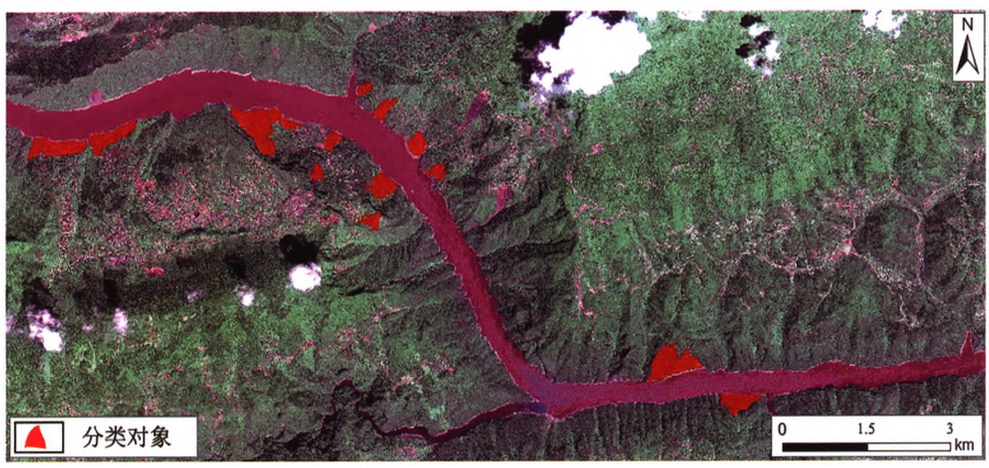

图10 研究区滑坡分类结果

Fig. 10 Results of landslide classification in the study area

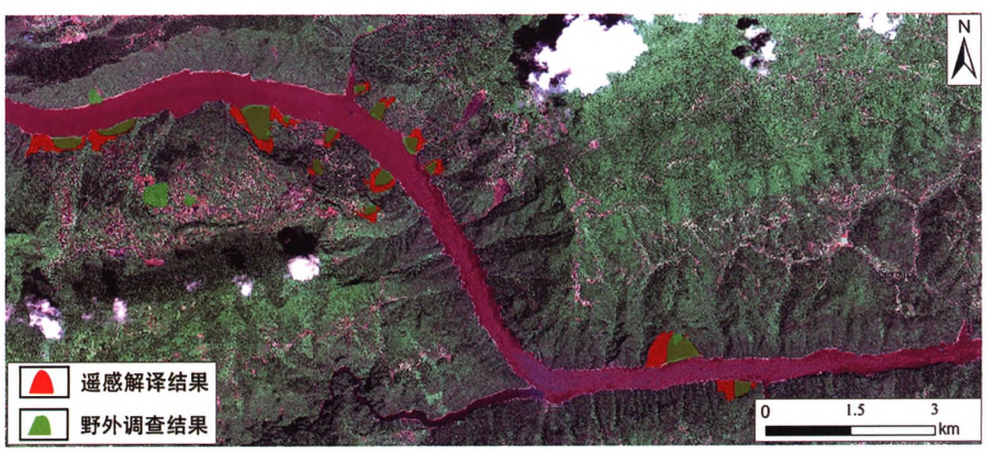

图11 遥感解译与野外调查结果对比

Fig. 11 Comparison of remote sensing interpretation and field investigation results

万方数据

表2 滑坡分类精度评价

Table 2 Accuracy evaluation of landslide classification

滑坡分类		分类总和	评价指标	精度
检测滑坡	20	23	生产精度	0.8696
			用户精度	1
未分类	3		总体精度	0.8696

尺度(S)720、形状因子(A)0.5、紧致度因子(C)0.5;

(3)结合野外调查资料,基于分割结果利用最邻近的分类方法,完成区域滑坡识别及滑坡周界提取,确定了利用高分辨率多光谱遥感影像解译高陡峡谷区滑坡灾害的特征值,最终获取了研究区滑坡灾害分布范围;

(4)对研究区滑坡灾害识别结果进行了基于混淆矩阵法的精度评价。总体上,基于遥感影像自动识别滑坡灾害技术得到的研究区滑坡灾害分布结果总体精度达到了0.8696。通过对比已有滑坡灾害资料,吻合度较好。

滑坡的遥感解译识别主要以自动化解译为主,但很多重要参数仍需人工判断,解译获取的滑坡灾害边界与实际边界的吻合度存在一定的误差。同时,由于地区季节性变化,会导致滑坡的解译标志发生较大变化,进而导致不同时间的遥感影像提取的滑坡对象信息也有很大差别,这一点对滑坡灾害的识别结果的准确性造成了很大的阻碍。因此在后续研究工作中可根据遥感影像的时间序列及其质量来进一步提高滑坡灾害遥感解译的精准度、自动化及时间序列识别,使得滑坡灾害遥感解译成果在地方区域防灾减灾中得到更好更快的应用。

参考文献:

[1] 徐宏根,李春来,杨 淼,董小环.光谱保真归一化卷积高光谱超分辨率重建方法 [J]. 华南地质与矿产,2019,35(4):504-513.

[2] 王 磊,章 昱,徐 帅,伏永朋.丹江口水库总磷浓度遥感反演及其时空特征研究[J].华南地质与矿产,2019,35(4):449-456.

[3] 鲁学军,史振春,尚伟涛,周和颐.滑坡高分辨率遥感多维解译方法及其应用[J].中国图象图形学报,2014,19(1):141-149.

[4] 丁 辉. 基于遥感技术滑坡灾害区划研究[D].长安大学博士学位论文,2011.

[5] 丁 辉,张茂省,李 林.西北黄土高原区滑坡遥感解译研究——以陕西延安、宁夏彭阳等地为例[J].第四纪研究,2011,31(6):1077-1085.

[6] 冯杭建,周爱国,唐小明,俞剑君.中国东南地区隐性滑坡遥感识别研究[J].地质论评,2014,60(6):1370-1380.

[7] 张雅莉,马金珠,张 鹏,顾春杰.快鸟影像在典型古滑坡识别应用中的研究[J].长江科学院院报,2015,32(11):130-135+148.

[8] 宿方睿,郭长宝,张学科,申 维,刘筱怡,任三绍.基于面向对象分类法的川藏铁路沿线大型滑坡遥感解译[J].现代地质,2017,31(5):930-942.

[9] 许石罗. 基于多源遥感影像的动态滑坡灾害空间预测模型研究[D].中国地质大学博士学位论文,2018.

[10] 黄波林,刘广宁,王世昌,陈小婷,齐 信. 三峡库区高陡岸坡成灾机理研究[M].北京:科学出版社,2015.

[11] 陈立德,黄波林,陈州丰, 董好刚, 彭轩明. 长江三峡高陡岩质岸坡与危岩体[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2012.

[12] 童立强,郭兆成.典型滑坡遥感影像特征研究[J].国土资源遥感,2013,25(1):86-92.

[13] 黄慧萍. 面向对象影像分析中的尺度问题研究[D].中国科学院研究生院 (遥感应用研究所) 博士学位论文,2003.

[14] 谭衢霖,刘正军,沈 伟.一种面向对象的遥感影像多尺度分割方法[J].北京交通大学学报,2007,31(4):111-114+119.

[15] Drăgut L, Csillik O, Eisank C, Tiede D. Automated parameterisation for multi-scale image segmentation on multiple layers [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014, 88: 119-127.

[16] Drăgut L, Tiede D, Levick S R. ESP: a tool to estimate scale parameter for multiresolution image segmentation of remotely sensed data [J]. International Journal of Geographical Information Science,2010,24 (6): 859-871.

[17] 马浩然. 基于多层次分割的遥感影像面向对象森林分类[D].北京林业大学硕士学位论文,2014.

万方数据