

和海霞, 李素菊, 刘明, 等. 云南鲁甸 6.5 级地震灾区滑坡分布特征研判分析[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 92–95. [He Haixia, Li Suju, Liu Ming, et al. Research on Landslide Spatial Distribution in Ludian Earthquake Disaster Area[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(1): 92–95.]

# 云南鲁甸 6.5 级地震灾区滑坡分布特征研判分析<sup>\*</sup>

和海霞, 李素菊, 刘 明, 黄 河

(民政部国家减灾中心 民政部卫星减灾应用中心, 北京 100124)

**摘 要:** 地震灾区滑坡损毁房屋造成人员伤亡, 损毁道路造成交通中断, 堵塞河道形成堰塞湖, 这些严重威胁着灾区人民的生命财产安全, 所以滑坡分布特征研判对提高灾害应急救援救助效率和开展灾害损失评估具有重要的意义。为此, 基于多源多尺度遥感影像和地震烈度数据, 以决策树分类为主, 结合目视研判开展滑坡解译和分布特征研判。结果表明, 鲁甸地震诱发滑坡 604 个, 面积 8.21 km<sup>2</sup>。其中, 中型滑坡[崩滑面积 > (100 m × 100 m)]149 个, 共计 7.18 km<sup>2</sup>, 小型滑坡[崩滑面积 < (100 m × 100 m)]455 个, 共计 1.03 km<sup>2</sup>。地震滑坡主要分布在道路两侧、居民地附近、河流两侧等孕灾环境稳定性低和承灾体脆弱性较高地区。

**关键词:** 滑坡; 分布特征; 决策树; 地震灾区; 云南鲁甸

**中图分类号:** X43; P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2016)01–0092–04

**doi:** 10.3969/j.issn.1000–811X.2016.01.019

我国西南地区地震频发, 强震诱发大量滑坡<sup>[1–2]</sup>, 滑坡损毁房屋造成人员伤亡, 损毁道路造成交通中断, 堵塞河道形成堰塞湖, 这些严重威胁着灾区人民的生命财产安全。1933 年 8 月 25 日四川叠溪 7.5 级地震诱发河流岸坡及河谷斜坡的崩塌与滑坡, 摧毁了 21 个羌寨, 造成 6 895 人死亡<sup>[3]</sup>; 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震诱发滑坡 4 372 处<sup>[4]</sup>; 2010 年 4 月 14 日青海玉树 7.1 级地震诱发滑坡 2 036 处, 总面积约 1.194 km<sup>2</sup><sup>[5]</sup>; 2013 年 4 月 20 日四川芦山地震诱发滑坡 3 883 处<sup>[6]</sup>。分析滑坡分布特征对有效进行灾情特征和变化趋势研判、提高灾害应急救援救助效率和灾害损失评估具有重要的意义。

国内外滑坡遥感研究主要集中在滑坡探测和识别、滑坡动态监测、滑坡空间分析和危险性预测<sup>[7]</sup>等方面。滑坡探测与识别主要目的是定量确定滑坡的大小(例如长度、宽度、厚度)、动力、坡度、分布、类型和特征<sup>[8]</sup>。童立强通过分析巫山大清坎滑坡、千将坪滑坡、武隆滑坡及西藏 102 滑坡群等典型滑坡影像特征, 建立了包括滑坡体本身的形态、纹理、地形标志和色调特征在内的滑坡遥感识别标志<sup>[9]</sup>。滑坡动态监测是在对比分析不同时期滑坡分布范围、移动速度、表面地貌、土壤含水量等特性基础上开展滑坡运动特征评价<sup>[10]</sup>。陈莹等利用灾前灾后遥感数据开展地震灾区河道滑坡变化检测<sup>[11]</sup>。滑坡空间分析和危险性预测是滑坡危险性区划的核心, 重点关注影响滑坡的基础要素和诱发要素。基础要素包括地质条

件、坡度、坡向、高程、岩土类型、植被覆盖等, 诱发要素包括强降雨、冰川爆发、地震等<sup>[12–14]</sup>。王治华利用航空遥感技术解译了关岭滑坡特征, 分析了滑坡产生的地层条件、软弱结构面条件、地形, 以及强降雨等触发条件<sup>[15]</sup>。总的来说, 遥感技术因其观测范围广、重访周期高、受地面环境影响小等特性在滑坡特征研判领域发挥着重要作用。近年来, 我国卫星遥感事业蓬勃发展, 宽覆盖、中高分辨率卫星在滑坡研究领域发挥着重要作用。

由于地质孕灾环境特征差异、植被覆盖特征差异等原因, 不同等级和破坏性的地震在不同地区引发的滑坡特征与分布差异较大。此外, 滑坡在不同尺度遥感数据上存在较大特征差异。因此, 本文基于多源多尺度遥感数据, 建立滑坡解译标志, 开展不同烈度区内滑坡解译、统计分析和分布特征研判。

## 1 研究区概况及数据来源

### 1.1 研究区概况

据中国地震台网测定, 2014 年 8 月 3 日 16:30, 云南省昭通市鲁甸县(27.1°N, 103.3°E)发生 6.5 级地震, 震源深度 12 km。此次地震能量在短时间内集中释放, 造成的破坏极大, 据民政部统计, 此次地震共造成 617 人死亡, 112 人失踪。灾区活动断裂密集发育, 山体破碎疏松, 造成滑坡

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2015–06–03 修回日期: 2015–07–31

基金项目: 国家自然科学基金“冬小麦旱灾致灾因子危险性高光谱遥感定量诊断研究”(41401605)。

作者简介: 和海霞(1980–), 女, 河南焦作人, 副研究员, 主要从事空间技术减灾应用研究。E-mail: hehaixia@ndrec.gov.cn

表 1 研究数据及基本参数

传感器	幅宽/km	工作谱段/ $\mu\text{m}$	地面分辨率/m	获取时间
ZY-3	51	0.45~0.52, 0.52~0.59 0.63~0.69, 0.77~0.89	5.8	2014 年 8 月 4 日
GF-1	800	0.45~0.52, 0.52~0.59 0.63~0.69, 0.77~0.89	16	2014 年 8 月 5 日
SJ-9	30	0.45~0.52, 0.52~0.59 0.63~0.69, 0.77~0.89	10	2014 年 8 月 6 日
HJ-1 CCD	720	0.43~0.52, 0.52~0.60 0.63~0.69, 0.76~0.90	30	2014 年 8 月 7 日

等次生灾害多发。根据中国地震局发布的地震烈度, 此次地震灾区最高烈度为 IX 度, 等震线长轴总体呈北北西走向。IX 度区面积为  $90 \text{ km}^2$ , VIII 度区面积为  $290 \text{ km}^2$ , VII 度区面积  $1580 \text{ km}^2$ , VI 度区面积  $8390 \text{ km}^2$ 。鉴于 VI 度区滑坡较少, 距震中较远, 因此本文选择 IX 度区、VIII 度区、VII 度区开展研究(图 1)。

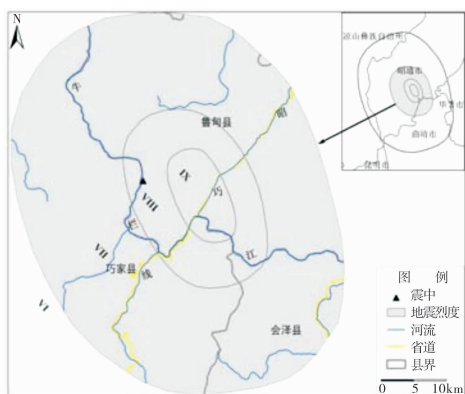


图 1 研究区地理位置示意图

## 1.2 研究数据

本次滑坡解译选择环境减灾卫星、实践九号、高分一号、资源三号等多尺度国产卫星数据(基本参数如表 1 所示)为基本数据源。在进行几何校正后, 统一采用 UTM 投影。

## 2 滑坡特征研判

### 2.1 滑坡特征分析及解译标志建立

分析遥感影像特征的基础上, 辅助先验知识信息, 建立滑坡解译标志。典型滑坡在不同尺度遥感影像上的特征如图 2 所示。

(1) 色调和颜色。滑坡体大多由松散的堆积物组成, 具有强反射特征, 呈相对浅色调, 且与周围地物背景颜色差别较大, 具有明显的边界特征。滑坡体内色调呈现多样性和不均一性特征。

(2) 形状。形状是地物的外部几何轮廓在影像上的反映。人工地物相对于自然地物具有更为规则的形状。滑坡因崩滑区、大块石堆积区、碎屑堆积区、散落区等组成不同, 与人工地物相比, 形状多样且不规则。

(3) 纹理。滑坡破坏原地物的整体性和均一性, 造成纹理破碎、随机性强。与周围地物一致性纹理相比, 明显异常。滑坡体上颗粒状明显,

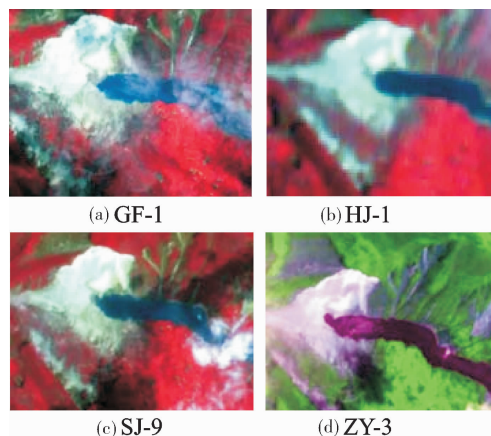


图 2 典型滑坡在不同尺度遥感影像上的特征

多为点型。

(4) 图型。人工地物图型相对于自然地物有更好的规律, 图型比较完整, 有规律。滑坡因为废墟和瓦砾较多, 形状和大小发生了严重的变化, 因此图型呈现出随机特征, 每处滑坡构成不同, 不具有规则图型。

### 2.2 滑坡特征提取方法

GF-1、HJ-1、SJ-9、ZY-3 滑坡特征提取的技术流程和方法具有相似性。本文以 GF-1 CCD 数据为例, 开展滑坡特征提取方法研究。

利用对数残差法(Log Residuals)对 GF-1 CCD 数据开展辐射校正, 得到相对反射率。根据解译标志, 选取滑坡、水体、植被等主要地物样本, 测定光谱值, 得到光谱响应曲线(图 3)。

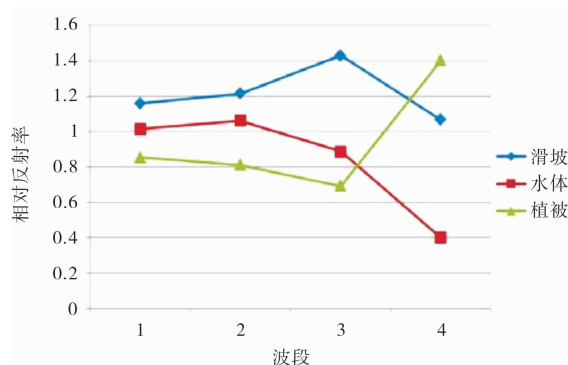


图 3 主要地物 GF-1 CCD 光谱特征

采用决策树分类方法开展滑坡特征提取, 基本思路如图 4 所示。

决策树分类是一种分层处理的遥感图像分类方法, 其基本思想是通过一些判断条件对原始数

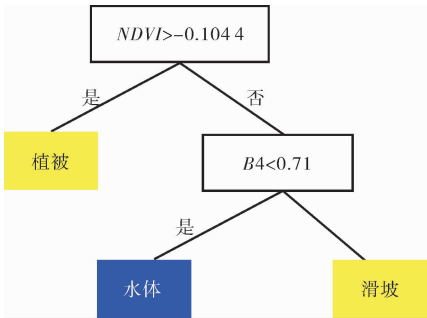


图4 滑坡识别流程图

据集进行逐步二分和细化。

(1)滑坡、水体、植被三种地物光谱曲线存在较大差异,尤其是  $B3$  和  $B4$  波段关系变化明显,植被在  $B4$  附近出现抬升,其他两种地物在  $B4$  波段持续下降。因此可利用  $B3$  与  $B4$  的关系,采用归一化植被指数( $NDVI$ ),来区分植被和其它两种地物。

$$NDVI = (B4 - B3) / (B4 + B3), \quad (1)$$

式中:  $B4$ ,  $B3$  分别代表利用内部平均法计算得到的 GF-1 CCD 数据第四波段和第三波段的相对反射率。根据样本统计后确定,  $NDVI > -0.1044$  为植被。

(2)滑坡和水体光谱响应曲线走势大致相似。但在  $B4$  上,滑坡的相对反射率远远大于水体的相对反射率,利用该特征区分水体和滑坡。根据采样统计确定阈值,确定  $NDVI \leq -0.1044$  且  $B4 < 0.71$  的地物为冰和道路,  $NDVI \leq -0.1044$  且  $B4 \geq 0.71$  的地物为滑坡。

(3)使用 ENVI 软件提供的分类后处理聚类(Clump)工具解决分类图像中出现的斑点问题。运用形态学算子将临近的类似分类区域聚类合并。变化核选择  $2 \times 2$  像素对分类图像进行侵蚀操作。

图 5a 表示 GF-1 CCD 标准假彩色合成影像,图 5b、图 5c 分别表示决策树分类结果、聚类结果。在图 5c 中,黄色区域是滑坡,蓝色区域是水体,绿色区域是植被。

从图 5 中可以看出,滑坡碎屑物堆积在水面上,该部分地物归类为滑坡。因异物同谱和同物异谱造成的误分、错分内容(如图 5c 标注所示)主要包括个别阴影被错分为水体,零星居民地和空地被错分为滑坡,部分滑坡被错分为植被,这些需采用人工方法进行去除。总的来说,决策树分类方法精度为 98%,大大提高了滑坡提取效率,

能够满足减灾业务的需求。

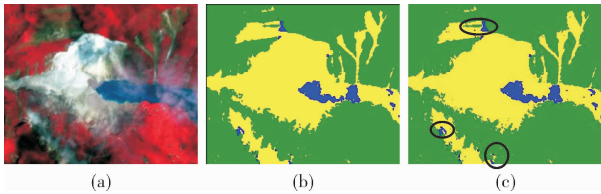


图5 决策树分类结果

3 滑坡分布特征与影响分析

3.1 滑坡分布特征

灾区范围大,云覆盖较多,单一遥感数据无法有效覆盖全灾区。本文以 HJ-1 数据为主,充分利用 SJ-9、ZY-3、GF-9 等数据开展滑坡提取,有效数据分布如图 6 所示。

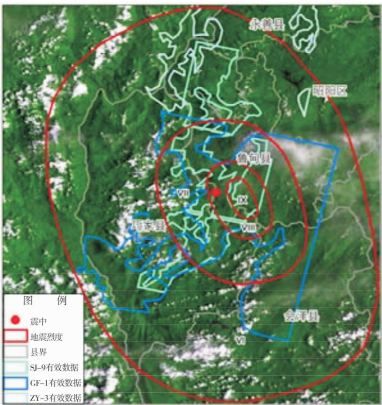


图6 多源有效数据分布图

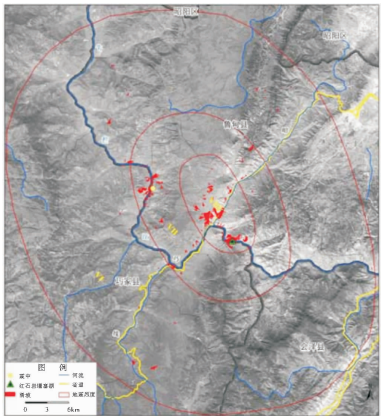


图7 滑坡分布图

表4 滑坡空间分布表

县名	地震烈度	小型滑坡		中型滑坡		小计		
		面积/ $m^2$	个数	面积/ $m^2$	个数	面积/ $m^2$	个数	个数百分比/%
鲁甸县	IX	528 410	249	329 323 6	68	382 164 6	317	52.48
	VIII	383 483	166	143 590 0	36	181 938 4	202	33.44
	VII	196 92	9	582 993	16	602 686	25	4.14
	小计	931 586	424	531 212 9	120	624 371 5	544	90.07
巧家县	IX	4 532	2	646 030	3	650 561	5	0.83
	VIII	432 84	10	632 653	13	675 937	23	3.81
	VII	463 43	19	592 708	13	639 051	32	5.30
	小计	941 58	31	187 139 1	29	196 554 9	60	9.93
总计		102 574 4	455	718 352 0	149	820 926 4	604	100.00

(1) 滑坡主要分布在Ⅸ烈度区内, 约占全部滑坡的 53.31%; Ⅷ烈度区滑坡数占全部滑坡的 37.25%; Ⅶ烈度区滑坡数占全部滑坡的 9.44%。滑坡主要分布在鲁甸县, 占全部滑坡的 90.07% (见表 4)。

(2) 滑坡分布与人类活动、地质条件关系密切, 主要分布在道路、房屋、水体附近。从图 7 可以看出, 主要分布在牛栏江两侧、省道昭巧线附近、居民地附近。

(3) 震中附近地质环境比较脆弱的地区滑坡分布较为集中, 尤其是老滑坡集中区, 诱发了大量新滑坡, 造成新老滑坡相连, 其他地区滑坡零星分布。

### 3.2 滑坡灾害损失估算

(1) 阻塞、损毁道路。Ⅶ度及以上地区省道 (S101) 损毁路段长度达 11 543 m, 损毁率为 18.3%, 其中, Ⅸ度区内损毁长度达 5 615 m, 损毁率为 59.3%。震中所在地鲁甸县境内 Ⅶ度及以上地区省道损毁率为 29.5%, 其中, 严重损毁路段达 3 111 m, 占省道存量长度的 11.4%。

(2) 鲁甸地震触发了甘家寨大滑坡, 掩埋了 32 户房屋。

(3) 受滑坡影响, 农林用地损毁面积共 1 226.4 hm<sup>2</sup>。

(4) 滑坡诱发高危型堰塞湖。本次滑坡造成牛栏江堵塞形成红石岩水电站堰塞湖, 堰塞湖水位不断上涨, 对上下游人民的生命财产安全造成重大威胁。

## 4 结语

本文基于多源多尺度遥感数据, 采用决策树分类结合目视解译开展地震灾区滑坡识别, 揭示鲁甸地震的滑坡空间分布特征。

(1) 强烈破坏性地震空间影响范围广, 但由于天气和传感器本身参数限制导致单一卫星遥感数据无法有效覆盖全灾区, 多源多尺度国产卫星遥感数据综合为全灾区滑坡识别和空间分布特征分析提供有效的数据源。

(2) 滑坡成因复杂、类型繁多、特征多样, 遥感自动识别方法难以识别所有特征, 因此需结合目视解译进行结果修订。

(3) 滑坡主要分布在牛栏江两侧、省道昭巧线附近、居民地附近等人类活动活跃、地质条件等孕灾环境稳定性较差和承灾体脆弱性较高地区。滑坡分布具有烈度区越高, 滑坡分布数量越多, 总面积越大, 分布越集中的特征。此外, 老滑坡集中区易诱发新滑坡, 造成新老滑坡相连。

总的来说, 随着我国一系列卫星相关重大专项的建设, 国产卫星数据资源日益丰富, 为滑坡等灾害监测提供了重要保障, 为灾害损失评估提供了有力的支撑。

## 参考文献:

- [1] Keefer D K. Landslides caused by earthquakes [J]. Geological Society of America Bulletin, 1984, 95(4): 406-421.
- [2] 范一大, 杨思全, 王磊, 等. 汶川地震应急监测评估方法研究[J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 858-864.
- [3] 黄润秋. 20 世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(3): 433-454.
- [4] 马贵生, 罗小杰. 唐家山滑坡形成机制与堰塞坝工程地质特征[J]. 人民长江, 2008, 22(39): 46-47.
- [5] 许冲, 徐锡伟, 于贵华. 玉树地震滑坡分布调查及其特征与形成机制[J]. 地震地质, 2012, 34(1): 46-62.
- [6] 许冲, 徐锡伟, 郑文俊, 等. 2013 年四川省芦山“4.20”7.0 级强烈地震触发滑坡[J]. 地震地质, 2013, 35(3): 641-660.
- [7] Graciela M, Lorenz H, Radu G. Remote sensing of landslides: an analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 8: 284-303.
- [8] Singhroy V, Molch K. Characterizing and monitoring rockslides from SAR techniques [J]. Advances in Space Research, 2004, 33: 290-295.
- [9] 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.
- [10] Mantovani F, Soeters R, van Westen C. Remote sensing techniques for landslide studies and hazard zonation in Europe [J]. Geomorphology, 1996, 15: 213-225.
- [11] 陈莹, 孙洪泉, 赵祥, 等. 地震灾区河谷滑坡检测的遥感分析—以北川县滑坡为例[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(1): 97-104.
- [12] Dai F, Lee C, Ngai Y. Landslide risk assessment and management: An overview [J]. Engineering Geology, 2002(64): 65-87.
- [13] 乔建平, 蒲晓虹, 王萌, 等. 大地震诱发滑坡的分布特点及危险性区划研究[J]. 灾害学, 2009, 24(2): 25-29.
- [14] 李为乐, 伍霁, 吕宝雄. 地震滑坡研究回顾与展望[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 103-108.
- [15] 王治华, 郭大海, 郑雄伟, 等. 贵州 2010 年 6 月 28 日关岭滑坡遥感应急调查[J]. 地学前缘, 2011, 18(3): 310-316.

## Research on Landslide Spatial Distribution in Ludian Earthquake Disaster Area

He Haixia, Li Suju, Liu Ming and Huang He

(National Disaster Reduction Center of China and Satellite Disaster Reduction Application Center, Beijing 100124, China)

**Abstract:** Landslides in earthquake disaster area caused a lot of damaged and collapsed buildings, destroyed many roads, blocked the rivers and formed barrier lakes. Landslides result in enormous property damage and human casualties. Landslides spatial distribution analysis is significant to improve emergency rescue efficiency and to assess the disaster loss. We analyze landslides spatial distribution mainly using decision tree classification, combined with interpretation based on multi-source and multi-spatial remote sensing images and earthquake intensity. The results indicate that 604 landslides are caused by Ludian earthquake and the area is about 8.21 square kilometer. Among them, there are 149 middle landslides whose slump area is larger than 100 m × 100 m and their total area is 7.18 square kilometer. There are 455 little landslides whose slump area is less than 100 m × 100 m and their total area is 1.03 square kilometer. The landslides mainly lied in the place such as the sides of the road and river, or near the residents in that at these places the disaster-forming environment is not stable and the bearing body vulnerability is high.

**Key words:** landslide; distribution characters; decision tree; earthquake disaster area; Ludian in Yunnan