

汶川地震灾区崩塌滑坡体几何特征信息 遥感定量提取与分析

范建容^{1,2}, 李秀珍^{1,2}, 张怀珍^{2,3}, 郭芬芬^{2,3}, 郭祥²

(1. 中国科学院 山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 选取灾区 107 个崩塌滑坡样本, 利用遥感影像获取崩塌滑坡面积, 遥感影像结合 DEM 获取崩塌滑坡体坡高(前后缘高差)、滑移距离、视摩擦角等信息, 通过野外调查获取体积信息, 对灾害评估中关注的两个关键因子崩塌滑坡体体积、滑移距离与各特征因子的相关性进行了分析, 探讨了体积、滑移距离与相关性显著因子间的关系。研究表明, 崩塌滑坡体体积与崩塌滑坡面积、坡高相关性显著, 且与崩塌滑坡面积呈显著的幂函数关系, 与坡高呈二次多项式关系, 与滑移距离、视摩擦角有一定关系, 但不显著; 崩塌滑坡滑移距离与坡高相关性显著, 且呈线性关系, 与崩塌滑坡面积也有一定关系, 但不十分显著。

关键词: 汶川地震; 崩塌滑坡; 遥感; 几何特征

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2012)02-0118-04

中图分类号: P642.2

Extracting and Analyzing Geometric Features of Landslides Induced by Wenchuan Earthquake Based on Remote Sensing

FAN Jian-rong^{1,2}, LI Xiu-zhen^{1,2}, ZHANG Huai-zhen^{2,3}, GUO Fen-fen^{2,3}, GUO Xiang²

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, Chinese Academy of Sciences, Chengdu,

Sichuan, 610041, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu, Sichuan 610041, China; 3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: In this study, we selected 107 landslides in the earthquake-stricken area for investigation. The geometric features of the landslides were extracted based on remote sensing, DEM (digital elevation model) data and field survey. The area of the landslides was obtained by interpreting individual landslides from remote sensing images. The apparent friction angles, travel distances, and the heights of the landslide bodies were extracted from remote sensing images combined with DEM. The total volumes of the landslides were gained by field survey. Furthermore, we linked the total volumes and travel distance of the landslides with the other geometric features factors, such as the areas, apparent friction angles and heights. The results indicate that the total volumes had significant relationship with landslide areas and landslide heights, which could be described well by a power equation and a quadric polynomial equation, respectively, while the travel distances correlated significantly linearly with the landslide heights. However, the other relationship was not statistically significant.

Keywords: Wenchuan Earthquake; landslide; remote sensing; geometric features

2008 年 5 月 12 日发生的 8.0 级汶川特大地震, 震中区地震烈度达到了 11 度^[1]。由这场大地震引发的大量滑坡、崩塌和泥石流等次生山地灾害造成植被毁坏、地层疏松、房屋掩埋等, 给当地人民生命财产与灾后重建工作带来了极大的威胁。强烈地震作用下产

生的崩塌、滑坡, 在有降雨或强烈震动作用下会二次成灾, 形成泥石流、堰塞湖等其它次生灾害^[2-5]。泥石流沟中的松散固体物质储量与供给方式, 是确定泥石流成因、制定泥石流防治方案、分析泥石流发展趋势的重要参数^[6]。而较为准确地获取崩塌滑坡体的体积, 对

收稿日期: 2011-05-26

修回日期: 2011-08-06

资助项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目“重大山地灾害综合风险分析的理论与方法”(ZCX2-YW-Q03-5); 国家自然科学基金项目“基于小波分析的滑坡灾变预测方法研究”(40802072)

作者简介: 范建容(1969—), 女(汉族), 四川省井研县人, 博士, 研究员, 主要从事遥感理论与技术应用、山地土壤侵蚀研究。E-mail: fjrong@imde.ac.cn。

通信作者: 李秀珍(1975—), 女(汉族), 内蒙古自治区乌盟人, 博士, 助理研究员, 主要从事地质灾害评价及预测研究。E-mail: lxzljt@sina.com。

灾害的治理和灾后重建有着很重要的意义,也为次生山地灾害的发生发展研究提供可靠的基础信息。

对于地震引发的滑坡、崩塌等次生山地灾害,由于发生区域范围较大,且大多数地方人或交通工具都不易到达现场进行考察和测量。无论是滑坡、崩塌、泥石流等单体灾害,还是由它们组合而形成的灾害群,在遥感影像上呈现的纹理、形态、色调等都有一定的特征,与周围背景存在一定的区别。因此,对崩塌、滑坡、泥石流等山地灾害的规模、形态特征和孕育特征,可以从遥感影像上获取。为此,本研究利用遥感技术结合DEM提取崩塌滑坡体几何特征信息,通过野外样点调查,分析崩塌滑坡体体积与面积、坡高、滑移距离、视摩擦角等因子的关系,为区域崩塌滑坡松散堆积储量的定量评估提供科学依据。

1 研究材料

1.1 遥感信息源

遥感数据的空间分辨率对地震次生灾害体的识别和检测能力有显著的影响,为了对崩塌滑坡进行更好的识别,选择适当的分辨率非常关键。分辨率太小会影响对灾害体的辨别,分辨率高了虽然可以更好地对灾害体进行提取,但成本太高,不适于较大范围的调查与研究。根据滑坡遥感实践,在滑坡遥感中较多使用较高分辨率的卫星数据。分别选择中分辨率和高分辨率遥感影像对研究区地震次生山地灾害进行特征信息提取。主要应用了SPOT 5, QuickBird 遥感数据和地形图、灾前DEM等地形数据以及野外测量与调查数据。

1.2 崩塌滑坡体调查数据

选取位于重灾区的都江堰、彭州、汶川、茂县、安县等地区的崩塌滑坡体107个。在这些崩塌滑坡体中,面积最小为1 000 m²,最大为510 000 m²,体积最小为1 000 m³,最大为2 100 000 m³。

2 崩塌滑坡体几何特征信息提取方法

2.1 影像预处理

由于遥感系统空间、波谱、时间及辐射分辨率的限制,很难精确地记录复杂的地表信息,因而误差不可避免地存在于数据获取的过程中。这些误差降低了遥感数据的质量,从而影响了图像分析的精度。因此在图像分析和处理之前,需要对遥感数据的原始图像进行预处理。图像预处理也可以称为图像纠正与重建。主要的目的就是纠正原始图像中的几何与辐射变形,即通过对图像获取过程中产生的变形、扭曲,模糊和噪音纠正,得到在几何和辐射上尽可能真实的

影像^[7]。研究区为山区,在进行几何精纠正时,引入DEM以确保纠正精度,保证影像之间的配准。

2.2 崩塌滑坡体识别

崩塌滑坡等山地灾害在影像上主要体现在其对地表形态、植被、建筑等的破坏,因而,与灾前的遥感影像进行对比分析可以较好地地区分崩塌滑坡体。通过对光谱反射特征进行分析,崩塌滑坡体由于破坏了地表覆盖植被,滑坡体后缘基岩裸露,体现的主要是岩石的反射特征,在各个波段反射率都较高,可以较好地与周围地物进行区分。根据光谱反射特征的分析可知,选择可见光和短波红外波段组合以识别崩塌滑坡体。

2.3 崩塌滑坡体几何特征提取

目前,地形因子的获取主要有4种手段:(1)通过现场测量,利用全站仪等测量设备,在一定平面参考下对载体进行测量,获取其地形参数;(2)利用航空或航天的方法得到立体相对,提取研究区地形的三维信息;(3)利用三维扫描仪,获取灾体几何特征;(4)利用DEM数据,通过三维分析,获取各地形参数。本研究利用DEM提取的方法得到研究区的三维信息,并以其为基础获得地形的各个参数。结合研究区的DEM数据,利用空间分析的方法可以较为方便的提取灾害区的地形信息,直接在三维地形上量取坡度、坡向、坡高、坡长、视摩擦角等信息。利用精纠正的遥感影像,通过人机交互解译识别,勾绘崩塌滑坡体范围,进而获得投影面积值 A_{\perp} 。利用精校正影像结合DEM提供的三维信息,获取崩塌滑坡的前缘高程、后缘高程及其坡高 h ,以及水平崩滑距离 L_h ,崩塌滑坡前后缘间的斜距 L ,崩塌滑坡斜坡面积由视摩擦角 ϕ 和崩塌滑坡投影面积计算获取;原坡面坡度 α 利用DEM由SLOPE函数生成的坡度图上计算获取。各指标含义如图1所示。

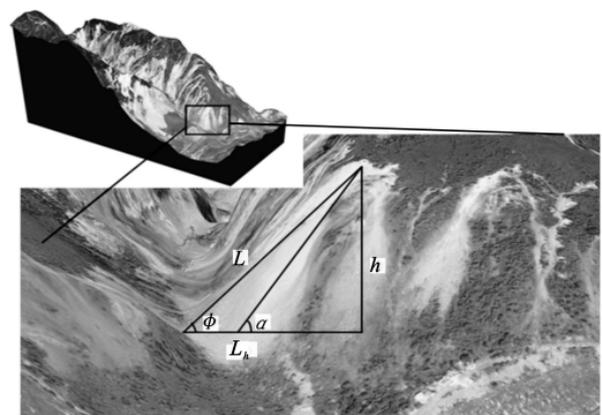


图1 崩塌滑坡体特征指标获取示意图

注: h 坡高; L_h 水平崩滑距离; ϕ 视摩擦角; α 坡度; L 前后缘间的斜距

3 结果与讨论

3.1 崩塌滑坡体积、滑移距离与几何特征因子的相关性

通过对研究区 107 个崩塌体体积及滑移距离与坡体几何特征因子的相关性进行分析,可以得出研究区地震诱发崩塌体的体积主要与崩塌体的投影面积、

斜面面积和坡高具有较好的相关性;崩塌体的滑移距离仅与崩塌体的坡高有较好的相关性(表 1)。一般而言,滑坡体积越大,滑移距离也越大。但由于本研究中所选取的 107 个样本点,大部分是位于江河两岸的浅表层崩塌体,滑移距离普遍较短,且在一定程度上受到了河谷地貌的限制,因此,滑移距离与体积的相关性不甚显著,相关系数仅为 0.177 6。

表 1 崩塌滑坡体积、滑移距离与几何特征因子相关性

要素	体积 V	投影面积 A_{\perp}	斜面面积 A_{φ}	坡高 h	滑移距离 L_h	视摩擦因子 $TAN(\varphi)$	地形坡度 α
体积	1.000 0	0.797 7	0.821 0	0.603 7	0.177 6	0.115 5	0.139 6
滑移距离	0.177 6	0.284 5	0.298 9	0.885 9	1.000 0	0.099 9	0.105 9

3.2 崩塌滑坡体积与投影面积(A_{\perp})的关系

通过对研究区数据进行拟合分析,得出崩塌滑坡体体积与投影面积之间的关系由图 2 所示。由图 2 可以看出,体积与投影面积之间存在幂函数的关系,可决系数 R^2 大于 0.7,与 Guzzetti^[8]对全球崩塌滑坡体积与面积的统计分析关系一致。但拟合程度与 Guzzetti 的研究结果相比有所降低,点的分布较为离散。主要是因为研究区内崩塌滑坡的诱发因素为 8.0 级特大地震,地震震级高、持续时间长、震区地形地质环境复杂,因而所触发的崩塌、滑坡不仅数量巨大,而且成因机制也极为复杂,具有与通常重力环境下斜坡失稳机制迥异的特征,表现出许多现象非常特殊并超越了以往认识,超强的动力特性和大规模的高速与远程运动较为突出,崩塌滑坡影响范围差异较大。

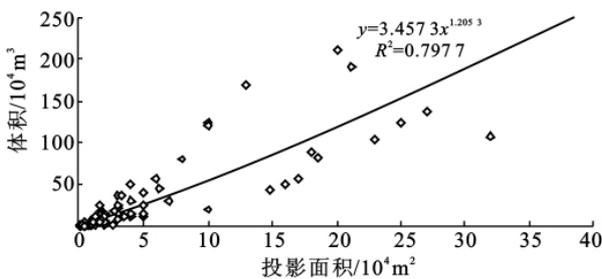


图 2 崩塌滑坡体体积与投影面积的关系

3.3 崩塌滑坡体积与斜面面积(A_{φ})的关系

利用视摩擦角将崩塌滑坡体投影面积修正为斜面面积,崩塌滑坡体体积与斜坡斜面面积之间幂函数进行拟合(图 3)。由图 3 可以看出,改用斜面面积比用投影面积的可决系数有所提高,说明视摩擦角对崩塌滑坡体积有所影响。据黄润秋^[9]研究结果,视摩擦角与滑坡体积关系密切,即随滑坡体规模的增大,视摩擦角呈指数迅速降低。而由遥感影像解译所得到的灾体面积为投影面积,不同坡度的灾害体可能具有

相同的地面投影面积,所以斜面面积更能对崩塌滑坡体的规模予以更为准确的反映。

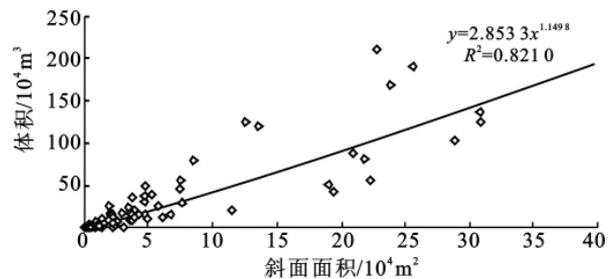


图 3 崩塌滑坡体体积与斜面面积的关系

3.4 崩塌滑坡体积与坡高(h)的关系

坡高对崩塌滑坡体的规模有着较大的决定作用,特别是对于滑坡,高差对滑坡堆积形状与分布有着较大的决定作用。具有相同高差的崩塌滑坡体的规模也有较大的差别。崩塌滑坡体体积 V 与其坡高 h 间的关系由图 4 所示。由图 4 可以看出,崩塌滑坡体体积 V 与其坡高 h 间存在较显著关系,可决系数达 0.603 7,表明崩塌滑坡体体积受坡高的影响较大。

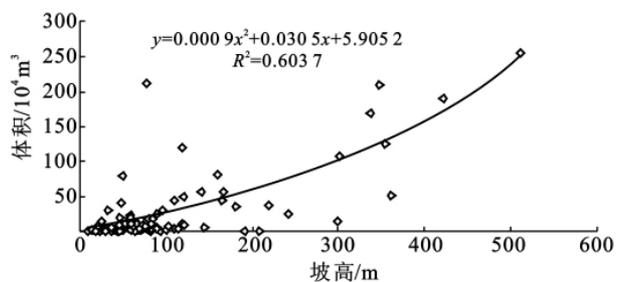


图 4 崩塌滑坡体体积与其坡高的关系

3.5 滑移距离(L_h)与坡高的关系

一般而言,崩塌体的坡高与其水平滑移距离呈正相关关系。对于相同体积的崩塌体,其坡高越大,崩塌体的势能也越大,因而滑动距离也越远。由图 5 可

知, 研究区崩滑体的滑移距离与其坡高之间存在着显著的线性增长关系, 二者的相关性较高, 可决系数为 0.885 9。

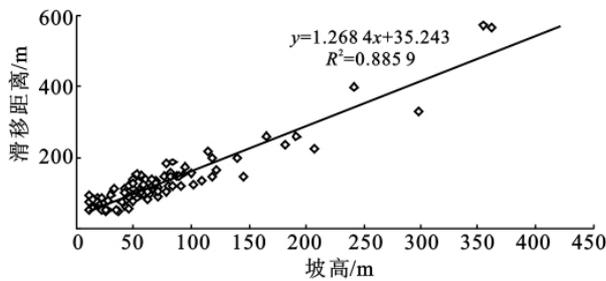


图 5 崩塌滑坡滑移距离与其坡高的关系

4 结论

通过汶川地震灾区崩塌滑坡体积与其特征指标的关系分析研究表明, 崩塌滑坡体积与其面积、坡高等特征指标关系显著, 崩滑体滑移距离与坡高呈线性增长关系。灾区大量崩塌滑坡分布于人员难以到达的地方, 野外调查难度大, 利用遥感技术结合 DEM 数据可以定量获取崩滑体的相关特征信息, 并运用崩滑体体积与其相关特征的经验统计关系, 可以在大范围内初步估算崩塌滑坡体的体积。

[参 考 文 献]

- [1] 唐晓春. 四川 5.12 地震灾害链探讨[J]. 西南民族大学学报: 自然科学版, 2008, 34(6): 1091-1095.
- [2] 崔鹏, 韦方强, 何思明, 等. “5·12”汶川地震诱发的山地灾害及减灾措施[J]. 山地学报, 2008, 26(3): 280-282.
- [3] 范建容, 田兵伟, 程根伟, 等. 基于多源遥感数据的 5.12 汶川地震诱发堰塞体信息提取[J]. 山地学报, 2008, 26(3): 257-262.
- [4] 谢洪, 钟敦伦, 矫震, 等. 2008 年汶川地震重灾区的泥石流[J]. 山地学报, 2009, 27(4): 501-509.
- [5] 崔鹏, 韩用顺, 陈晓清. 汶川地震堰塞湖分布规律与风险评估[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2009, 41(3): 35-42.
- [6] 马东涛, 石玉成. 试论地震在泥石流形成中的作用[J]. 西北地震学报, 1996, 18(4): 39-42.
- [7] 赵英时, 李小文, 陈冬梅, 等. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [8] Fausto G, Francesca A, Mauro C, et al. Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2009, 279: 222-229.
- [9] 黄润秋. 汶川 8.0 级地震触发崩滑灾害机制及其地质力学模式[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(6): 1239-1249.
- [10] 井涌. 近 50 年陕西省水资源变化情势及对策[J]. 水资源管理, 2008(7): 44-46.
- [11] 井涌. 秦岭生态保护区水文水资源特征[J]. 长江职工大学学报, 2003, 20(2): 9-11.
- [12] 王国庆, 王军平, 荆新爱, 等. SMHYD 模型在清涧河流域的应用[J]. 人民黄河, 2006, 28(3): 29-30.
- [13] 程磊, 徐宗学, 罗睿, 等. SWAT 在干旱半干旱地区的应用: 以窟野河流域为例[J]. 地理研究, 2009, 28(1): 65-74.
- [14] 程肖侠, 方建刚, 孙娴, 等. 陕西省可利用降水资源的气候变化特征及敏感性分析[J]. 水土保持研究, 2009, 16(5): 45-50.
- [15] 高歌, 黄朝迎. 中国水资源年景评估方法及其应用研究[J]. 应用气象学报, 2005, 16(S): 105-110.
- [1] 毕银磊. 陕西省水资源管理问题探讨[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(4): 112-115.
- [2] 徐东霞, 章光新, 尹雄锐. 近 50 年嫩江流域径流变化及影响因素分析[J]. 水科学进展, 2009, 3(20): 416-421.
- [3] 陈桂亚, Derek C. 气候变化对嘉陵江流域水资源量的影响分析[J]. 水资源研究, 2006, 27(1): 25-30.
- [4] 张济世, 康尔泗, 姚尽忠. 气候变化对洮河流域水资源的影响[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 263-267.
- [5] 陈剑池, 金蓉玲, 管光明. 气候变化对南水北调中线工程可调水量的影响[J]. 人民长江, 1999, 30(3): 9-11.
- [6] 陈军锋, 张明. 梭磨河流域气候波动和土地覆被变化对径流影响的模拟研究[J]. 地理研究, 2003, 22(1): 1-6.
- [7] 朱利, 张万昌. 基于径流模拟的汉江上游区水资源对气候变化响应的研究[J]. 资源科学, 2005, 27(2): 16-27.
- [8] 国家气候中心气候变化影响评估部. 气候变化影响综合评估方法[M]. 2 版. 北京: 国家气候中心气候变化影响评估部, 2009: 15-40.
- [9] 李志, 刘文兆, 张勋昌, 等. 未来气候变化对黄土高原黑河流域水资源的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3456-3464.

(上接第 117 页)

[参 考 文 献]