

# 多遥感技术在丹巴县地质灾害解译中的实践

王锐 宋班\* 张堃 张肃

四川省综合地质调查研究所

DOI:10.12238/gmsm.v7i4.1746

**[摘要]** 本文以四川省甘孜州丹巴县云母矿区中的地质灾害滑坡点为例,采用无人机航空遥感影像、LiDAR(机载激光雷达)和 InSAR(合成孔径雷达干涉测量)时序监测相结合的多源遥感技术手段,对云母矿区滑坡进行综合分析;并结合现场调查,总结该滑坡形成原因,现状及演变过程,并对其稳定性和危害进行深入分析,为丹巴县云母矿区的防灾减灾工作提供基础资料和科技支撑。通过多源技术的融合分析证明,面向地质灾害的“三查技术”体系(由高精度遥感+InSAR的“普查”、机载Lidar+无人机航拍的“详查”、地面调查核实的“核查”共同组成)提高了地质灾害遥感调查的精准度和观测频率,强化了对灾害体在广度和精度上的监测能力。

**[关键词]** LiDAR; 无人机; InSAR; 空天地调查; 滑坡灾害

中图分类号: P642.22 文献标识码: A

## Practice of Multi Remote Sensing Technology in Geological Disaster Interpretation in Danba County

Rui Wang Ban Song\* Kun Zhang Su Zhang

Sichuan Institute of Comprehensive Geological Survey

**[Abstract]** This paper takes the geohazard landslide in the mica mining area of Danba County, Ganzi Prefecture, Sichuan Province as an example, and adopts multi-source remote sensing technology means combining UAV aerial remote sensing imagery, LiDAR (airborne LiDAR) and InSAR (synthetic aperture radar interferometry) time-sequence monitoring, to carry out a comprehensive analysis of the landslides in the mica mining area, and combines with the on-site investigation to summarize the reasons for the formation of the landslides, their current situation and the evolution of the process, and to provide in-depth analysis of their stability and hazards. It also summarizes the reasons for the formation of the landslide, the current situation and the evolution of the landslide, and analyzes its stability and hazards in depth, providing basic information and scientific and technological support for the disaster prevention and mitigation work in the mica mining area of Damba County. Through the integration and analysis of multi-source technology, it is proved that the system of “three investigation technologies” for geologic disasters (the “census” of high-precision remote sensing + InSAR, the “detailed investigation” of airborne Lidar + UAV aerial photography, and the “ground investigation and verification” of ground investigation and verification) can provide basic information and scientific and technological support for the disaster prevention and mitigation work in Damba County mica mining area. The system of “three investigation technologies” for geological disasters (consisting of “census” of high-precision remote sensing + InSAR, “detailed investigation” of airborne Lidar + UAV aerial photography, and “verification” of ground investigation and verification) improves the accuracy and observation frequency of remote sensing investigation of geological disasters, and strengthens the monitoring capability of disasters in terms of both breadth and precision.

**[Key words]** LiDAR; UAV, InSAR; space survey; landslide disaster

### 引言

激光雷达LiDAR是Light Detection And Ranging(光波探测与测距)的缩写,在地质领域,越来越多的高分辨率数据应用于

地球科学研究和地质调查中,如使用机载LiDAR对断裂带进行大面积扫描,获得的高分辨率(最高可达亚米级)的地形数据,可展示断裂带丰富的变形特征;通过对这些变形特征的统计分析,

研究活动断裂的破裂习性。无人机机载航空摄影技术是以无人驾驶飞机作为空中平台,以机载遥感设备获取信息,是集成了高空拍摄、遥控、遥测技术、视频影像微波传输和计算机影像信息处理的新型应用技术。在地质灾害识别调查方面,Glenn et al. (2006)利用LiDAR数据成功分析了美国爱达荷州南部两处滑坡的形态组成及活动;Prentice et al. (2010)充分考虑滑坡的光谱特征和形态特征,利用遥感影像和DEM进行了滑坡识别,并证实基于多源数据的提取结果明显优于基于单一数据的提取结果。

合成孔径雷达(InSAR),是新近发展起来的对地观测技术,是传统的SAR遥感技术与射电天文干涉技术相结合的产物。它利用存在相干条件的SAR复图像对,从而得到干涉图,根据干涉图的相位值,得出两次成像中微波的路程差,从而计算出目标地区的地形、地貌以及表面的微小变化,可用于数字高程模型建立、地壳形变探测等。自然资源部地质灾害防治技术指导中心殷跃平院士(2022)提出了结合高精度光学影像、InSAR、机载LiDAR、无人机航拍结合地面核查的地质灾害调查技术体系。

## 1 研究区域概况

1.1 滑坡位置概况。云母矿区滑坡位于四川省甘孜藏族自治州丹巴县革什扎镇瓦坝村,地理位置坐标为 $101^{\circ}46'33.218''E$ ,  $30^{\circ}56'38.659''N$ 。滑坡区后缘高程约3750m,前缘高程约2350m,相对高差为1400m。滑坡平面形态呈舌形,剖面形态呈折线型,坡度 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 不等,坡向为 $185^{\circ}\sim 215^{\circ}$ ,滑坡体长3100m,宽度 $500\sim 1150$ m,平均宽度约850m,面积约 $229.5\times 104\text{m}^2$ ,滑体厚度约 $10\sim 40$ m,滑坡体积约 $6800\times 10^4\text{m}^3$ ,属于特大型规模滑坡。

### 1.2 地质环境条件。

1.2.1 地层岩性。滑坡周边区域出露的地层岩性主要为志留系茂县群,包括茂县群第一岩组( $\text{Smx}^1$ ),茂县群第二岩组( $\text{Smx}^2$ ),茂县群第三岩组( $\text{Smx}^3$ )以及茂县群第四岩组( $\text{Smx}^4$ )。其中志留系茂县群第一岩组( $\text{Smx}^1$ )岩性主要为灰-银灰色石榴二云石英片岩、片麻岩夹少量大理岩条带;志留系茂县群第二岩组( $\text{Smx}^2$ )岩性主要为灰白色中-厚层大理岩、银灰色灰-银灰色石榴二云石英片岩及变粒岩;志留系茂县群第三岩组( $\text{Smx}^3$ )岩性主要为上部浅灰色含白云母石英岩夹白云母片岩及二云母片岩,下部灰色二云石英片岩及黑云石英片岩夹绿泥石英片岩及黑云石英岩;志留系茂县群第四岩组( $\text{Smx}^4$ )岩性主要为银灰色石榴二云石英片岩夹变粒岩。该滑坡体物质组成则主要以老滑坡堆积形成的碎块石土为主。

1.2.2 地质构造。云母矿区滑坡所属大地构造位置位于松潘-甘孜造山带东缘、康滇南北向构造带北端、小金弧形构造带西北部。在大地构造位置上,夹于东侧扬子准地台西缘褶皱带和西侧松潘-甘孜褶皱系东缘雅江褶皱带的茂汶-丹巴地背斜之间。不同阶段、不同期次的构造活动,形成了不同层次、不同尺度的,相互叠加改造的构造形迹,使本区成为构造运动最为活跃、构造形迹最为丰富、构造序列最为复杂的地区。

## 2 云母矿滑坡发育特征遥感及LiDAR解译

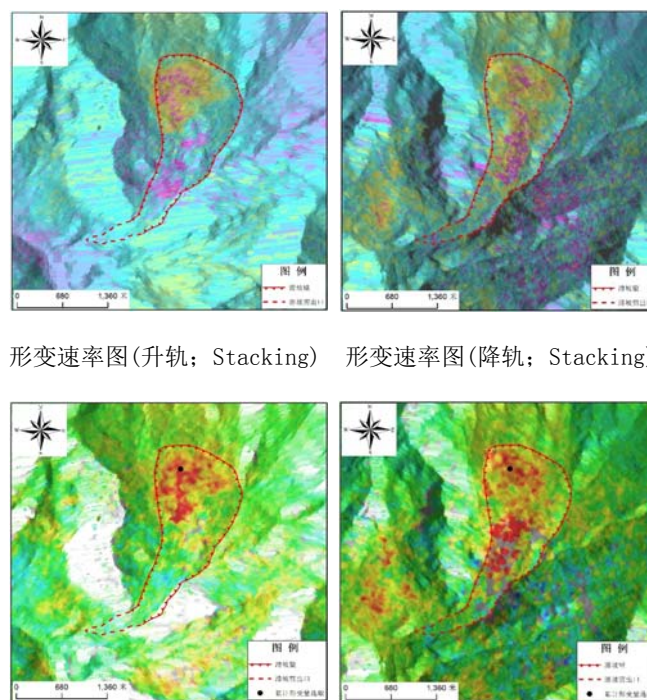
2.1 滑坡地形及形态特征。研究团队于2021年6月开展了该

区机载LiDAR航测工作,并获取了滑坡区域的DSM(数字表面模型)和DEM(数字高程模型)在获取机载LiDAR激光点云数据基础上,为得到云母矿区滑坡高精度的DEM产品,本次LiDAR激光点云分类目标为地面点点云数据以及非地面点点云数据,着重去除斜坡表部植被、房屋、输电线塔等人工设施影响。点云分类基于MicroStation V8平台的TerraSolid系列软件的TerraScan和TerraModeler模块进行。

2.2 滑坡区域的地形表面特征。由航空影像数据观察可看出,云母矿区滑坡去除植被前原始地表模型,受植被覆盖影响,研究区范围内斜坡坡面相对平整,未见明显冲沟、陡坎及局部滑动特征;相比而言,去除植被等地表覆盖物后,该滑坡呈舌形的边界范围显现出来,滑坡区两侧山脊耸立,滑坡体由上至下逐渐狭长,滑坡区中下部坡向出现明显转折。此外,滑坡后缘大规模下错陡坎、上部缓坡平台、中部陡坡、前缘平缓堆积以及左侧边界冲沟等原先被地表植被所遮蔽的微地貌特征得以显现。

依据图1的结果,SBAS-InSAR形变速率监测结果,选取滑坡体上部形变速率较大位置,分别提取该点的升轨累计形变量(2019年9月-2020年9月)和降轨累计形变量(2018年9月-2020年9月)。根据形变量的时间序列结果,升轨沿视线向累计变形量约 $9\text{cm/yr}$ ,降轨沿视线向累计变形量约 $3\text{cm/yr}$ ,两者变化趋势基本一致,均表明该滑坡近年来一致处于持续变形状态。升降轨累计形变量的数值差异是由于该累计形变量是沿着雷达视线向方向,升轨数据和降轨数据飞行方向不同,而导致两者数值存在差异。

## 3 InSAR形变监测



形变速率图(升轨; Stacking) 形变速率图(降轨; Stacking)

形变速率图(升轨; SBAS) 形变速率图(降轨; SBAS)

图1 云母矿区滑坡InSAR监测形变速率图

#### 4 滑坡成因机制分析

结合光学遥感解译、InSAR时序监测分析以及现场调查等手段,云母矿区滑坡为一老滑坡堆积体,为一典型逆向岩质斜坡,受断裂控制,岩体节理裂隙发育,岩体破碎,最终导致云母矿区老滑坡堆积体的形成。此后,受到降雨、沟道冲刷、地震和人类工程活动等因素影响,云母矿区滑坡逐渐复活,并导致局部失稳。滑坡的成因包括了以下几个方面。

(1)地形地貌。该滑坡所处地势陡峭,滑坡堆积体平面形态呈舌形,坡体落差达1400余米,滑坡体两侧边界外侧山脊耸立,基岩出露。此类地形有利于降雨以及融雪等水体汇集,当汇集量足够大时,将使滑坡体原有平衡被打破。此外,滑坡区位于斜坡中上部,滑坡前缘距主河道高差达300 m,在陡峭地形影响下,一旦高位滑坡整体失稳,将严重威胁主河道两侧分布的农户及公路。

(2)地震。滑坡区内新构造运动强烈,以频繁的间歇性上升运动为主,兼有断裂复活和新断裂的产生。丹巴县境内西侧鲜水河断裂带为一地震频发带,近20年来先后发生的多次强烈地震,均对区内的地质环境条件造成了不同程度的影响,使得堆积体变得更为松散,降低滑坡整体稳定性。

(3)人类工程活动。由于2013年云母矿区关闭,滑坡体中上部近年来基本无大规模人类工程活动,之前正常运转的排水系统由于无人管理而损坏失效,大量降雨、融雪等水体无法有效排出,渗入滑坡体内,从而影响滑坡整体稳定性。

(4)降雨。暴雨、持续降雨是滑坡形成的主要诱发因素。降雨使松散土体自重增大,增加下滑力,同时软化土体,使抗剪强度降低。滑坡区降雨集中于在每年5~9月,由于排水系统损毁,雨水入渗导致滑坡体下错台坎以及拉张裂缝等进一步加剧变形,从而引发大规模滑动失稳破坏。

#### 5 滑坡稳定性判断及危害

根据该滑坡的变形特征、形成机制以及破坏模式分析,云母矿区滑坡为一老滑坡堆积体,在2013年云母矿区正式关闭之前,矿山公路以及排水系统正常运行,老滑坡堆积体整体处于稳定状态。在云母矿区关闭之后,沿矿山公路分布的排水系统无人管理,大量人工水渠堵塞、损毁,降雨、融雪等水体入渗导致老滑坡堆积体的复活。目前,滑坡体中下部处于稳定状态,未见明显新近变形迹象,变形区集中分布于滑坡体中后部,后缘下错台坎呈圈椅状基本贯穿滑坡后缘边界,下错高度达20~30m,表现为整体宏观变形,且近年来台坎长度及下错高度仍在不断加剧,根据InSAR时序监测表明滑坡体中后部处于持续匀速变形阶段。未来在降雨、地

震作用下,若滑坡体中后部强变形区进一步加入加速变形阶段,将可能导致滑坡体中后部大规模失稳下滑,并在运动过程中沿途铲刮原本处于稳定状态的老滑坡体中下部堆积物,形成滑坡规模的放大效应,最终直接威胁草什扎河两岸居民的生命财产安全。

#### 6 结语

本文以丹巴县云母矿滑坡点为研究对象,综合运用了无人机航空遥感、InSAR时序监测以及现场实地勘查等技术手段,对滑坡的成因、滑坡的稳定性、滑坡的危害进行了深入的研究,得出了以下结论:

(1)结合光学遥感解译、InSAR时序监测分析以及现场调查等手段,云母矿区滑坡为一老滑坡堆积体,受到降雨、沟道冲刷、地震和人类工程活动等因素影响,云母矿区滑坡逐渐复活,并导致局部失稳。由于2013年云母矿区关闭,滑坡体中上部近年来基本无大规模人类工程活动,之前正常运转的排水系统由于无人管理而损坏失效,大量降雨、融雪等水体无法有效排出,渗入滑坡体内,从而影响滑坡整体稳定性。暴雨、持续降雨是滑坡形成的主要诱发因素。

(2)利用无人机航空遥感数据能够有效识别滑坡表面的各种变形特征,依据变形特征发育时间、规模以及所分布区域,能够判断滑坡是否处于局部或整体复活状态;基于InSAR技术能够监测滑坡复活的演化过程,依据滑坡体各部位的形变速率变化趋势,可用于滑坡复活机理以及稳定性的分析。综合运用多源遥感技术能够为丹巴县云母矿滑坡复活的防灾减灾工作提供有效支撑。

#### [参考文献]

- [1]殷跃平.地质灾害风险调查评价方法与应用实践[J].中国地质灾害与防治学报,2022,33(04):5-6.
- [2]董秀军,黄润秋.三维激光扫描技术在高陡边坡地质调查中的应用[J].岩石力学与工程学报,2006,25(z2):3629-3635.
- [3]刘俊龙.基于无人机影像的精细化地形建模在滑坡识别中的应用一以云南蒋家沟流域为例[D].西南科技大学,2019.

#### 作者简介:

王锐(1987—),男,汉族,江西萍乡人,硕士,工程师,从事无人机航拍、影像数据处理、遥感解译方面的研究。

#### 通讯作者:

宋班(1989—),男,汉族,湖北天门人,本科,助理工程师,从事无人机航空摄影测量和无人机机载雷达数据处理工作。