

# 基于 InSAR 技术的地灾隐患点 早期识别及形变时序分析

王 芮

(四川省地质工程勘察院集团有限公司, 四川 成都 610000)

**摘 要** InSAR 技术已广泛应用于地灾识别与监测, 本文基于哨兵 1 号数据, 利用 SBAS-InSAR 技术对 2018 年金沙江白格滑坡和 2019 年万源向前广场后山滑坡进行了地表形变监测、滑坡隐患点识别, 并利用实测点位高程数据验证其精度。研究发现金沙江滑坡典型点变形趋势和相关历史资料吻合, 万源向前广场后山滑坡监测点变形整体趋势和累计垂直形变量与实测数据基本吻合, 说明 SBAS-InSAR 可以有效地监测地表形变、识别滑坡隐患点。

**关键词** SBAS-InSAR 哨兵 1 号 形变监测 滑坡隐患点

中图分类号: P237; P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2021)04-0001-02

## 1 前言

SBAS-InSAR 技术是一种时间序列 InSAR (合成孔径雷达干涉测量) 分析方法, 其主要思想是通过对时间基线和空间基线进行限制来生成多个短基线干涉对集合, 然后对每个集合内的形变信息通过最小二乘法进行求解, 最后将所有集合通过奇异值分解法 (SVD) 进行联合求解, 进而得到整个时间序列的形变信息<sup>[1]</sup>。该方法不仅能够克服 D-InSAR 技术无法去除的时空失相关、大气延迟相位等因素干扰的缺点, 同时因其基于多景主影像产生干涉对, 之后再提取在一定时间内保持相干性的分布式点目标, 从而能够解决 PS-InSAR 技术因选取一幅影像作为公共主影像而造成的部分干涉对相干性较差的问题。较之 PS-InSAR 时序技术, SBAS-InSAR 则更适用于自然场景的地表形变监测<sup>[2]</sup>。

Sentinel-1A 卫星是欧洲空间局哥白尼计划发射的首颗环境监测卫星, 于 2014 年 4 月 3 日发射升空, 对全球大范围的地质、环境灾害的监测提供了丰富的数据。

本文基于 Sentinel-1A 卫星数据, 利用 SBAS-InSAR 技术做了两个滑坡案例的形变监测: (1) 金沙江白格滑坡; (2) 万源市向前广场后山滑坡。

## 2 金沙江白格滑坡隐患探测

### 2.1 研究区概况

2018 年 10 月 11 日和 2018 年 11 月 3 日, 西藏自治区江达县波罗乡白格村附近金沙江右岸先后发生了两次大规模高位滑坡堵江事件, 堰塞湖库容最大超过  $5 \times 108 \text{m}^3$ , 堵江事件发生后, 巨量的泄流洪水导致了下游 318 国道金沙江大桥等多座桥梁和大量公路路基被冲毁, 云南省丽江市巨甸镇、石鼓镇等居民区被大面积淹没, 灾害损失严重。

### 2.2 研究区范围

白格滑坡下游 70~100km 范围, 属滑坡堵江风险的重点区域。

### 2.3 数据源

(1) Sentinel-1A 数据: 空间分辨率 15 米, VV 极化,

2017/12/07—2018/11/20 重访周期 12 天, 共 29 期 SAR 影像。

(2) DEM 数据: 30 米分辨率。

### 2.4 结果分析

本文利用 SBAS-InSAR 技术识别到 5 个典型滑坡隐患点: H28、H31、H36、H37、H39, 对滑坡隐患点形变量进行时序分析, 时间从 2017 年 12 月 7 日至 2018 年 11 月 20 日, 每隔 12 天一景 SAR 影像, 共 29 期, 每一期形变量都是相对于第一期 2017 年 12 月 7 日的, 第一期形变量默认为 0, 如图 1 所示。

从图上很明显看出, 2017—2018 年间, 五个隐患点一直处于缓慢下滑变形状态。下滑最大的点 H31 最大形变量为 110mm 左右, 在 10 月份略有抬升, 可能是滑坡后缘下滑导致前缘挤压抬升, 其次是 H28, 最大形变量为 92mm 左右, 此结果和相关历史资料吻合。

## 3 万源向前广场后山滑坡监测

### 3.1 研究区概况

2019 年 7 月位于四川省万源市的向前广场 (太平镇毛坝子) 及后山一些部位出现不同程度变形, 且呈现加剧趋势, 造成向前广场及周边部分房屋和地砖开裂甚至倾斜, 万源市政府于 7 月 4 日晚启动地质灾害 I 级应急响应, 划定地质灾害危险区, 紧急疏散撤离向前广场及周边住房安全有影响的群众 1300 多户 5000 余人。本文利用 SBAS-InSAR 技术对万源市向前广场及其后山一带进行长时间序列形变监测。

### 3.2 数据源

本文采用 2019 年 6 月 28 日—2020 年 3 月 6 日时段的 22 景 Sentinel-1A 升轨数据, 相对轨道号 157, 时间分辨率为 12 天, 观测模式为宽模式 (IW), 分辨率为  $5 \text{m} \times 20 \text{m}$ , 极化方式为 VV 极化。下载地理空间数据云平台发布的 30m 分辨率 SRTM DEM 数据以去除地形相位并进行地理编码。实测点位形变监测数据由本单位“万源地灾监测项目”提供。

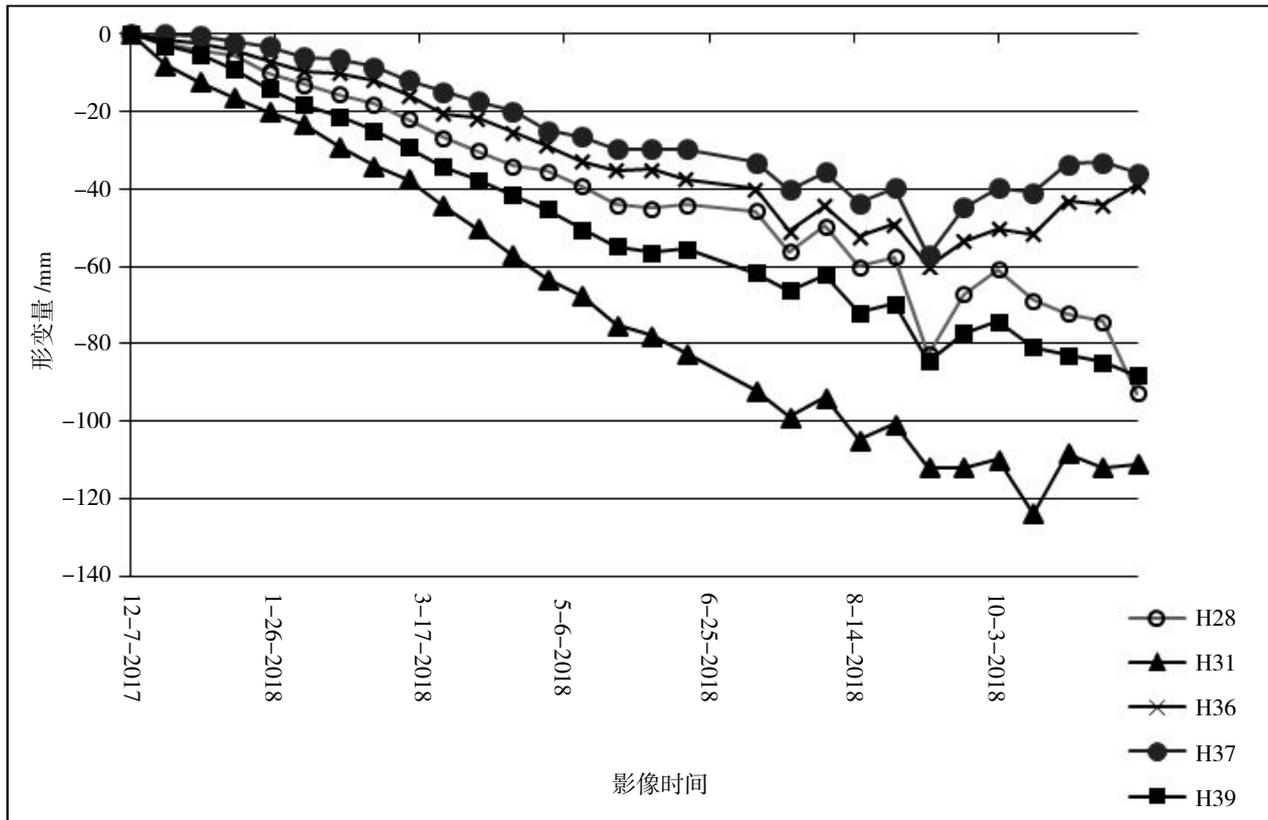


图1 典型滑坡隐患点形变时序分析曲线

### 3.3 结果分析

本文将 SBAS-InSAR 监测到的地表形变量与实测监测点数据做了对比, 分析 SBAS-InSAR 监测形变的精度。

整体趋势对比分析: 根据已有的实测点资料, 整理了 2019 年 7 月 10 日至 2020 年 3 月 13 日的 16 个实测点数据 (Q1、Q2、Q3、Q4、Q5、Q6、Q7、Q8、Q9、Q10、Z2、Z3、Z11、Z15、Z16 及 Z08-2), 并将 2019 年 7 月 10 日的高程作为基准点, 统计了此后不同日期的高程变化量。其中, 有 9 个监测点的实测数据呈现下降趋势, 包括 Z2、Q4、Z11、Z3、Q1、Q8、Q10、Z16 和 Z15, 与 SBAS-InSAR 方法监测的点位形变趋势基本一致; 7 个监测点实测值呈现上升趋势, 分别为 Q6、Q7、Q9、Q5、Q2、Q3 及 Z08-2, 可见滑坡前缘 - 向前广场主要呈现抬升趋势, 与 SBAS-InSAR 方法监测形变的结果类似, 论证了 SBAS-InSAR 方法监测形变的可行性。

累计垂直形变量对比分析: 进一步统计了上述 16 个监测点的实测累计垂直形变量 (2019 年 7 月 10 日至 2020 年 3 月 13 日) 和 SBAS-InSAR 累计垂直形变量 (2019 年 7 月 10 日至 2020 年 3 月 6 日), 两者的绝对误差在 5mm 以内的点有 9 个, 5mm-10mm 内的点有 4 个, 大于 10mm 的有 3 个。考虑到监测仪器和卫星系统本身的误差, 去掉一个最大值和最小值, 求得两者绝对误差的平均值为 5.08mm。

由于监测仪器和卫星系统本身都有一个精度的问题, 且两者计算累计形变量的时段也相差了 7 天, 本研究认为

绝对误差平均值 5.08mm 属于允许的误差范围。

### 4 结论

综上所述, 利用哨兵 1 号数据、SBAS-InSAR 方法来监测地表形变是可靠的, 且 SBAS-InSAR 可做长时间序列形变分析, 这对滑坡隐患点的早期识别是相当有效的, 其结果可供有关部门及时采取预防措施, 减少人员伤亡以及经济财产损失。

可以进一步改进的地方: 在本文中, SBAS-InSAR 未监测到万源滑坡后缘的大部分监测点, 原因主要有两个: (1) 后缘植被茂盛, 哨兵 1 号采用的是 C 波段, 对植被茂盛的地方监测能力弱; (2) 我们采用的参考 DEM 分辨率是 30m, DEM 分辨率大小直接影响地形相位的去除是否准确, 即会影响最终反演出的形变量精度。综上, 对于西南植被茂盛的地方, 如果要达到更高精度的形变结果, 我们可以采用 L 波段数据源且升降轨数据结合的方式进行解译分析。

### 参考文献:

- [1] 王志勇, 张金芝. 基于 InSAR 技术的滑坡灾害监测 [J]. 大地测量与地球动力学, 2013, 33(03): 87-91.
- [2] 张路, 廖明生, 董杰, 等. 基于时间序列 InSAR 分析的西部山区滑坡灾害隐患早期识别 - 以四川丹巴为例 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(12): 2039-2049.