

Time Series Analysis of InSAR Landslide in Polo Township of Jinsha River Based on Sentinel Data

Huijun Sheng, Zhiwei Qiu, Xiaoxia Liu

School of Surveying and Ocean Information, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang Jiangsu
Email: 1440997190@qq.com

Received: Apr. 9th, 2020; accepted: Apr. 21st, 2020; published: Apr. 28th, 2020

Abstract

The Jinsha River is located at the junction of Tibet and Sichuan in China. The geological environment is complex and the climate change is large, which leads to unstable geological structure and landslide disaster. If the traditional level and GPS measurement methods are used, it has low resolution and it is not easy to implement its operation, and there will be huge consumption in all aspects. This article adopts the INSAR technology with short baseline set SBAS which has a wide range of high resolution. SBAS technology can effectively overcome the influence of conventional InSAR technology loss of coherence and atmospheric effects, and greatly improve the accuracy of deformation monitoring. Its monitoring accuracy can reach millimeter level, and it has certain applications in landslide and urban deformation detection. In this paper, the data of Sentinel No. 1 is used to intervene in the data of the Boluo Township of Jinsha River for a period of time, and the landslide results are obtained. The study shows that the mountain body on the west side of the Jinsha River in Ningba Village, Polo Township has experienced large settlement, the average rate of settlement is up to 28 mm/year, the settlement of the mountain on the east side is small, and the average settlement rate is 8 mm/year. A small amount of sedimentation also exists in a small part of the area.

Keywords

Jinsha River, landslide, Sentinel-1A, SBAS-INSAR

基于Sentinel数据的金沙江波罗乡地段滑坡 InSAR时序分析

盛辉军, 邱志伟, 刘晓霞

淮海工学院测绘与海洋信息学院, 江苏 连云港
Email: 1440997190@qq.com

收稿日期：2020年4月9日；录用日期：2020年4月21日；发布日期：2020年4月28日

摘要

金沙江位于我国西藏与四川的交界处，地质环境复杂、气候差异变化大导致地质结构不稳定容易发生滑坡灾害。如果采用传统的水准和GPS测量方法，其分辨率低并且不容易实现其操作，在各方面都存在巨大的消耗。本文采用短基线集SBAS的INSAR技术具有大范围高分辨率的等特点。SBAS技术可有效克服常规InSAR技术失相干和大气效应的影响，很大程度的提高形变监测精度，其监测精度可达毫米级，在山体滑坡和城市形变检测方面有一定的应用。本文采用哨兵1号数据，对金沙江博罗乡数据进行多时段干涉处理，得出其滑坡结果。研究表明，位于波罗乡宁巴村金沙江西侧的山体发生了较大的沉降，沉降的平均速率最大达至28 mm/年，东侧的山体沉降量较小，沉降平均速率8 mm/年，其余的小部分区域也存在着微量的沉降。

关键词

金沙江，滑坡，哨兵1号，短基线集(Small Baseline Subset, SBAS)

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

金沙江，作为长江的上游河段。指的是始于青海省、四川省交界处的玉树州直门达(称多县歇武镇直门达村)，止于四川省宜宾市东北翠屏区合江门(三江口、合江口)的长江干流河段，全长约 3364 公里。金沙江上游河段长约 965 公里，自然落差在 1720 米左右，平均坡降 1.78‰。金沙江中段大部分河段均为连续的“V”字型峡谷，如虎跳峡等地方，极少部分呈现开敞的“U”型河谷，岭谷间高差约 1000 米左右。金沙江下段两岸多在海拔 500 米以下，本段河流沉积作用显著，河床多砾石，沿岸有较宽阔的阶地分布。

滑坡是比较常见的地质灾害之一，如何能够精准的预测滑坡体的影响范围为后期制定有效的防治措施，是急需解决的问题[1]。金沙江干流蜿蜒曲折，支系发育，河型、河性、水速、水量、水位等多变，沿江沿河地质灾害易发，流域泥沙携带搬运堆积沿江呈现的变化量大，目前，金沙江下游已经逐渐成为长江的主要泥沙来源[2]。由于大量的河水冲刷江岸，导致江岸两侧山体移动，造成滑坡等自然灾害。其次金沙江地域由于谷深坡陡、断裂发育、岩层破碎、地面松散固体物质多，滑坡和塌方的现象比较常见。金沙江右岸支流小江流域是中国暴雨型泥石流集中发育的地区之一。小江流域断裂活动频繁，新构造运动强烈，是地震多发地。伴随着流域内各型水库开始蓄水，造成了库区内的地下水也会发生一定的变化，使得那些稳定的堆积体有可能再次发生滑动[3]。

Sentinel 卫星系列是由欧盟 - 欧空局打造的首个用于环境监测和安全监控的项目，其于 2014 年 4 月发射首颗卫星，该卫星工作于 C 波段，具有条带模式、干涉宽测绘带模式、超宽测绘带模式以及波模式等 4 种监测模式。与其他的在轨观测雷达卫星相比，Sentinel 卫星具有两大特点：第一种其具有超高的辐射分辨率，能有效的提升雷达图像参数反演的精度；第二种是其具有优良的覆盖性能和重访性能，能在一天之内覆盖整个欧洲和加拿大区域。

目前，比较常用的时序 InSAR 监测方法有 SBAS (小基线集) [4]和 PSI (永久散射体 InSAR)技术[5]。

SBAS 技术是由 Berardino 等人于 2002 年提出的,其目的是通过获取长时间的地表形变的时间序列以减少时空失相干的影响和去除大气延迟相位的干扰[6]。他能够解决 D-InSAR 技术中因为基线较长而导致的几何去相关等问题,利用获取的相关数据提高采样的时间分辨率,这样保证了变形的时间序列分析具有较高的空间密度。这种方法对于非城市区地域地表形变场时间演化分析比较适合[7]。

本文中采用的是欧空局新一代中高分辨率 C 波段的哨兵一号 A 星(Sentinel-1A),运用 SBAS-InSAR 技术,以获取金沙江西藏自治区昌都市江达县波罗乡白格村段的滑坡结果。最后对监测结果进行小基线时序分析,以获取金沙江波罗乡滑坡的形变数据,为后期的金沙江灾害监测提供相关的数据。

2. 研究区及数据覆盖概况

研究区域概况如图 1 所示,波罗乡位于川藏交界处,素有江达县南大门之称,距离江达县城约 78 公里,气候湿润,是典型的农业乡,其平均海拔约 2860 米。实验从欧洲空间局的哨兵科学数据中心处获取 16 景 Sentinel-1A 降轨道数据,时间跨度为 2017-11-8 至 2018-11-3,覆盖区域如图 2 中所示。该地区从北纬 $30^{\circ}51'3.13''$ 至 $31^{\circ}21'31.95''$,从东经 $98^{\circ}24'5.40''$ 至 $98^{\circ}59'40.32''$ 的范围。图 3 所展示的是研究区的数字高程模型,去除原有的地形信息以获得相应的地形形变信息。

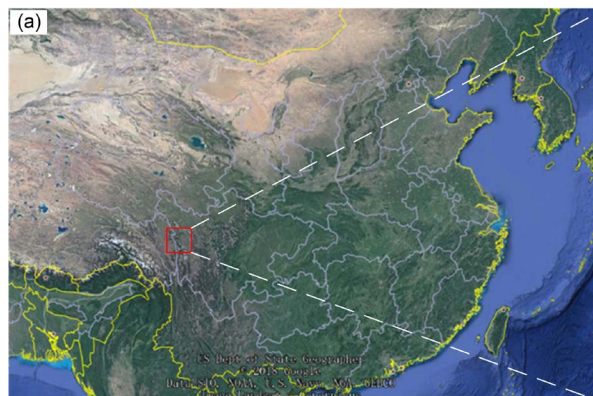


Figure 1. Google Map display study area location Map

图 1. Google 地图显示研究区域位置图

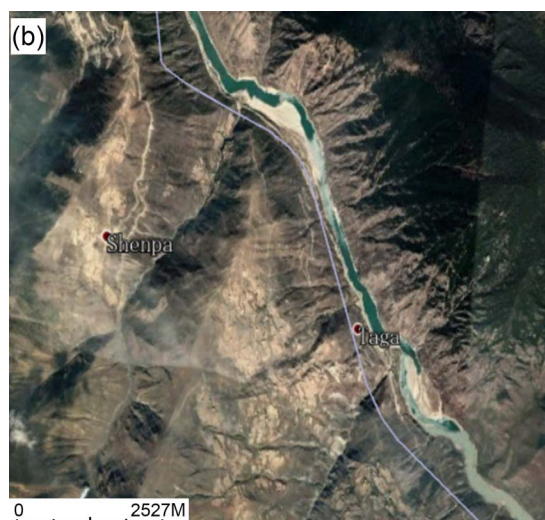


Figure 2. Google Maps shows specific study areas

图 2. Google 地图显示具体研究区域

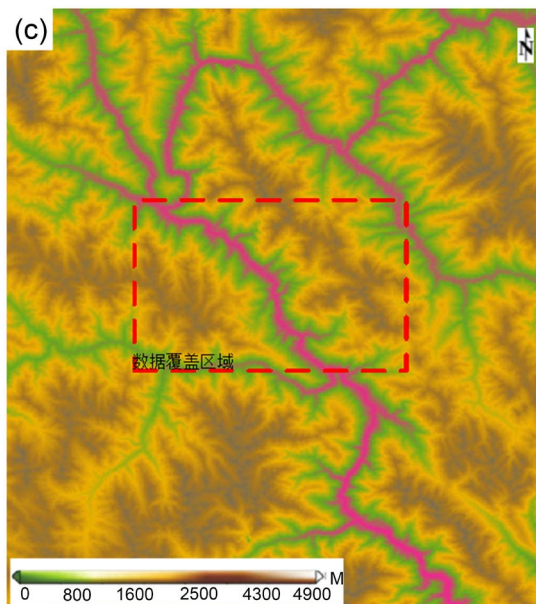


Figure 3. DEM display of the study area

图 3. 研究区的 DEM 显示

本实验采用了 16 景 sentinel-1A 数据，哨兵卫星使用近极地太阳同步轨道，重访周期为 12 天，具有双极化、单极化等多种极化方式，本文采用的是相同极化方式中的垂直极化(VV)。具体数据参数如表 1 所示。

Table 1. List of Sentinel-1 SAR data parameters obtained by experiment

表 1. 实验获取的哨兵一号 SAR 数据参数列表

序号	时间	升/降轨	成像 E 式	极化方式	垂直基线/m	时间基线/d
1	2017/11/08	降轨	IW	VV	0	0
2	2017/11/20	降轨	IW	VV	69.38	12
3	2017/12/02	降轨	IW	VV	28.495	24
4	2017/12/26	降轨	IW	VV	-46.826	48
5	2018/01/31	降轨	IW	VV	34.124	84
6	2018/02/12	降轨	IW	VV	66.583	96
7	2018/03/20	降轨	IW	VV	-63.026	132
8	2018/04/01	降轨	IW	VV	18.858	144
9	2018/05/07	降轨	IW	VV	-18.794	180
10	2018/06/24	降轨	IW	VV	36.496	228
11	2018/07/06	降轨	IW	VV	-73.636	240
12	2018/09/04	降轨	IW	VV	38.99	300
13	2018/09/28	降轨	IW	VV	17.314	324
14	2018/10/10	降轨	IW	VV	51.538	336
15	2018/10/22	降轨	IW	VV	35.71	348
16	2018/11/03	降轨	IW	VV	27.223	360

3. SBAS 数据处理

3.1. SBAS-InSAR 技术

在 2002 年, Berardino 提出的一种改进过后的 D-InSAR 时间序列分析技术 SBAS 技术[8], 其基本原理是利用具有较短时空基线的影像对产生干涉图提高相干性, 通过对差分干涉图的多视处理降低相位噪声, 提取高相干像元, 应用奇异值分解求得影像序列间地表形变速率的最小范数最小二乘解, 进而得到整个时间段的形变时间序列。SBAS-InSAR 方法提高了形变监测的时间分辨率, 并且能获取长时间缓慢地表形变的演变规律[6]。SBAS 基本方法是将同一时间序列中得到的 SAR 图像根据由研究区背景、DEM 等数据限制综合考虑在内所得到的时空基线最优解进行组合, 利用这种规则可得到若干个集合[9]。其技术理论是假设 $N+1$ 幅(N 为奇数)同一地区的 SAR 影像, 获取的是时间依次为 $t_0, t_1 \dots t_i \dots t_{N-1}, t_N$ 。以任意一幅主影像进行配准, 根据相关参数的阈值规定, 对生成的 K 幅干涉对做差分干涉处理。大量的 SAR 数据用来增加监测的时间采样率、研究区域的高空间重叠度以及小基线图的准确性是该技术的重要核心。SBAS-InSAR 技术适用于相干性较高的区域, 对生成干涉图时引入的 DEM 误差具有一定的健壮性, 同时还可采用时间滤波操作以去除大气相位所带来的影像[10]。

现如今在分辨率低、大范围尺度上的形变信息的提取中时序分析方法被广泛的应用。SBAS 技术的监测精度可达毫米级, 可极为有效克服采用常规 D-InSAR 技术失相干和大气效应所造成的影响, 形变监测精度得到了极大的提高[11] [12] [13]。

SBAS-InSAR 处理流程图如图 4 所示:

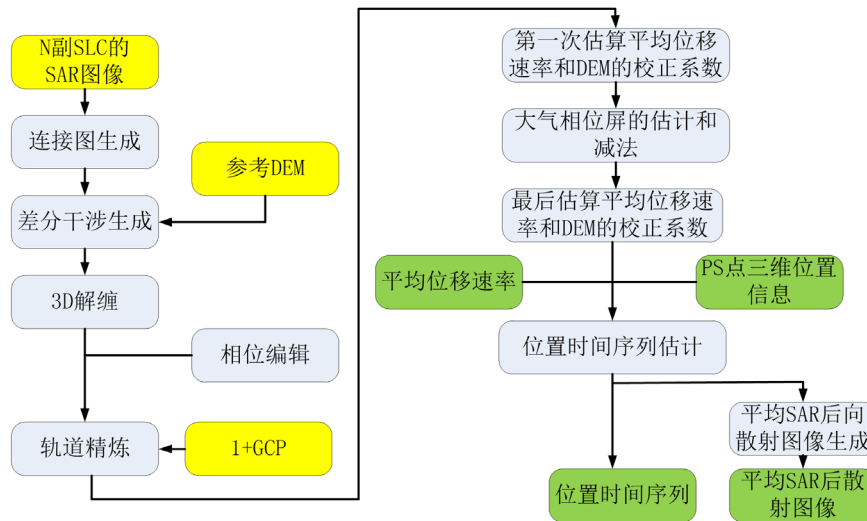


Figure 4. SBAS processing flow chart
图 4. SBAS 处理流程图

3.2. 实验数据处理

实验首先将下载的原始哨兵 1 号数据转化为 slc 格式数据, 实验过程中采用 STRM 的高程数据进行配准, 在完成配准后。然后对影像进行的裁切, 以减少数据运算过程中的运算量。在差分过程使用分辨率为 90 m 的 SRTM 数据作为外部 DEM 数据以去除地形相位信息, 以减少地形相位对形变提取精度的影响。利用输入的时间基线和空间基线阈值和相关的输入参数, 生成 SAR 数据对连接图。如图 5 所示。

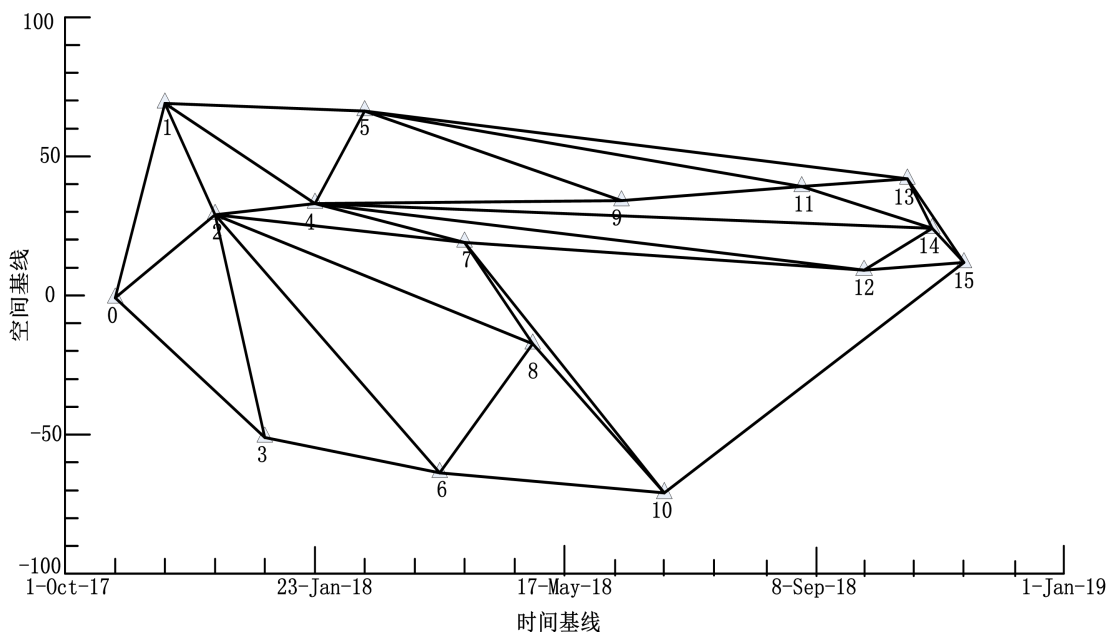


Figure 5. Data generation connection diagram
图 5. 数据生成连接图(小基线集)

对数据进行一系列的差分、相位解缠和轨道精炼以及去平之后，利用所得的结果进行反演以得出地理形变速率图，本实验采用的方位向和视线向的比为 5:1。SBAS 反演可分为两个步骤，第一步反演的目的是估计位移速率和残余地形，会做二次解缠来对输入的干涉图进行优化，以便进行下一步的处理；第二步反演在上一步反演得到的形变速率基础上，进行大气滤波，估算和去除大气相位，得到最终的时间序列的位移图。在时间序列形变后，对处理后的结果进行地理编码。将解算结果归算到 WGS-84 坐标系下。在进行地理编码的时候平面和高程精度阈值可设定为 25。图 6 即为平均形变速率图。

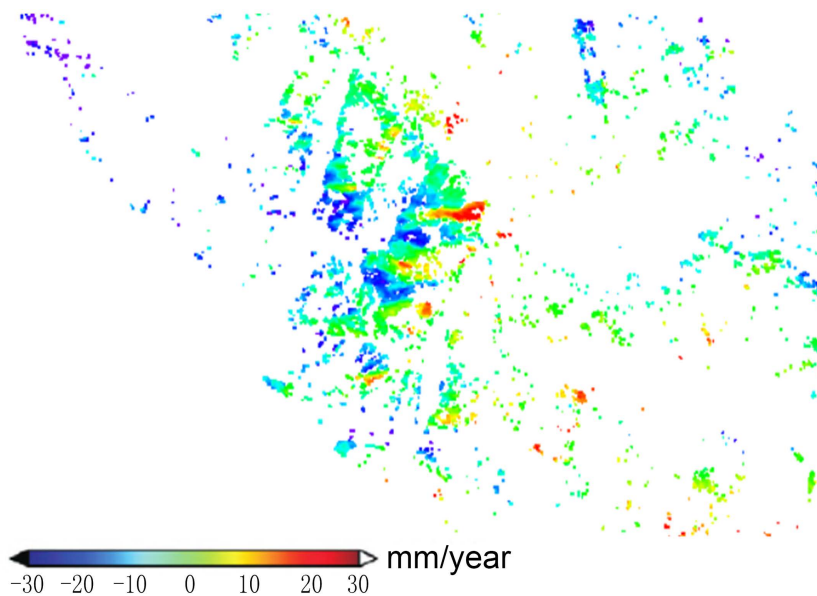


Figure 6. Average displacement rate in the study area
图 6. 研究区平均位移速率

4. 实验结果与分析

4.1. SBAS-INSAR 监测结果

如图 7 所示，通过 SBAS-InSAR 技术最终获取金沙江波罗乡宁巴村的年均地表形变信息。从图 6 中可以发现该地区有多处滑坡区域，其中对金沙江会产生影响的一共有三处，形变方向主要以两侧沿岸向金沙江滑动为主，按照形变量的大小，分别位于苏巴的 A 区域，申达的 B 区域以及申达对岸的 C 区域。位于金沙江东岸的滑坡体为 C 区域，该区域的形变量约为 0~10 mm/年，形变量较小。位于金沙江西岸的是苏巴滑坡体 A 区域和申达滑坡体 B 区域，苏巴滑坡 A 的形变量约为 20~30 mm/年，申达滑坡 B 的形变量约为 20~30 mm/年之间。

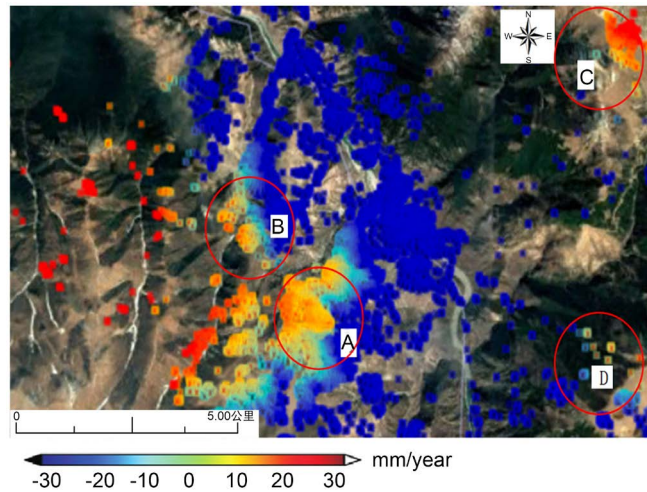


Figure 7. The study area is the annual average deformation rate field. The base map is Google Earth 2017 image
 图 7. 研究区为年均形变速率场，底图为 Google earth 2017 年影像

4.2. 监测结果分析

为了对形变区域内的形变有更加具体的了解，本实验对 A、B、C 和 D 区域的特征点绘制了一份在监测时间段内的历史形变图。如图 8 所示，随着时间的变化，A、B、C 和 D 区域的形变量不断地变化。其中 A 区域年形变量达至 28 mm/年；B 区域年形变量达至 27 mm/年；C 区域年形变量则只有 7 mm/年；D 区域则变化不大，故在此不做考虑。

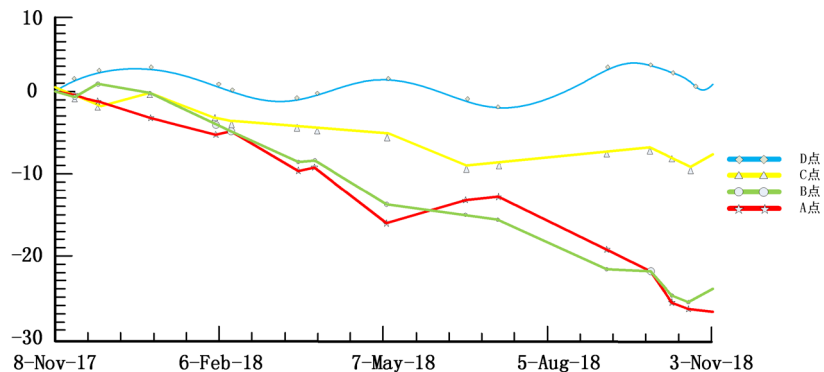


Figure 8. Historical deformation map of each feature point
 图 8. 各特征点的历史形变图

如图 9 所示，将整体的形变时间分为四个时间段，在 2017-11-8~2018-2-6 时间段，A、B、C 和 D 四个区域总体上变化不大，最大的形变量为 5 mm。在 2018-2-6~2018-5-7 时间段，A、B 两区域形变明显，A 区域形变量增长至 16 mm，B 区域增长至 13 mm，C、D 区域形变量最大增长了 2 mm。在 2018-5-7~2018-8-5 时间段，由图可以看出四个区域的形变量很小。在 2018-8-5~2018-11-3 时间段内，A、B 区域发生了剧烈的沉降，形变量最大增长了 13 mm，A 区域形变量增长至 28 mm，B 区域增长至 27 mm，C、D 区域则形变量增长很小。

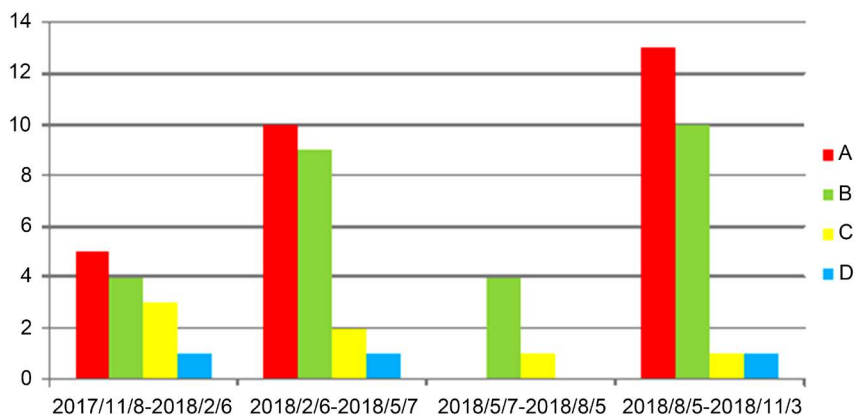


Figure 9. Comparison of various deformation points
图 9. 各形变点对比图

为了进一步的了解 3 个形变区域的动态变化过程，通过 SBAS-InSAR 技术得出不同时间序列上的形变场。图 10 显示从 2017-11~2018-11 共 16 个时刻的形变。从时序形变结果中可以看出，在 A、B 和 C 区域虽然在不同的时间形变的速度变化不一样，但是其主要的形变任以线性形变为主，随着时间的推移形变量在不断的增加。除此之外，在其他个别区域内同样也出现了微量的形变。

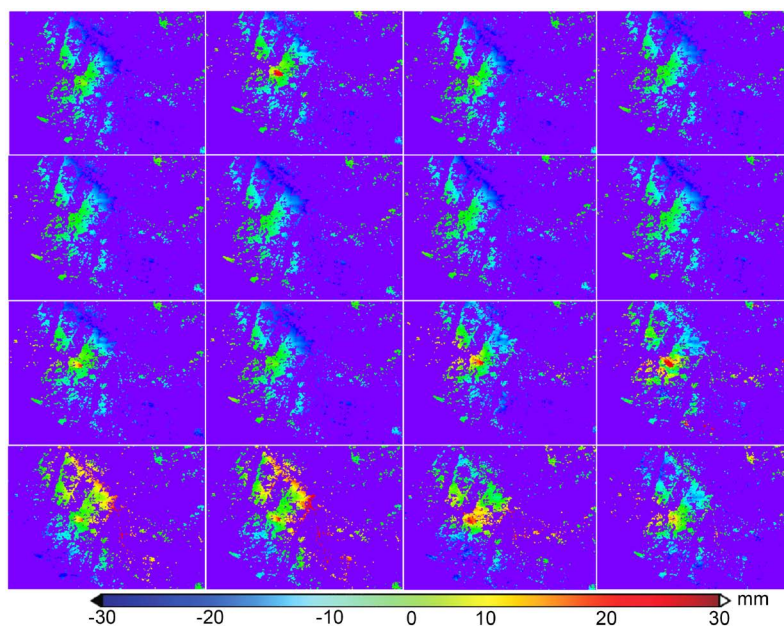


Figure 10. Time series deformation field, A-C is the deformation area
图 10. 时序形变场，A-C 为形变区域

5. 结论

本文以川藏交界江达县波罗乡的滑坡地段作为研究对象, 基于 16 景新一代中高分辨率的哨兵一号 A 星的数据, 采用 SBAS-InSAR 技术获取该地区 2017 年 11 月至 2018 年 11 月的形变信息。采用 SBAS 方法对川藏边界波罗乡金沙江滑坡地区进行时间序列形变监测, 基本查明波罗乡滑坡体在监测时间段内的地表形变演化历史。形变结果表明, 该地区山体总体处于不稳定状态, 如检测结果显示, 金沙江波罗乡宁巴村附近山体发生了明显的形变, 金沙江西侧沿岸地区中的苏巴滑坡体 A 区域产生较大的沉降, 2017 年 11 月 8 日至 2018 年 2 月 6 日, 期间形变量达至 5 mm; 2018 年 2 月 6 日至 5 月 7 日形变量达至 10 mm; 2018 年 5 月 7 日至 8 月 5 日则无形变量; 2018 年 8 月 5 日至 11 月 3 日, A 区域形变量达至 13 mm, 其年平均速率达至 28 mm/年, 而申达滑坡体 B 区域也产生了较大的沉降, 其最大形变时间为 2018 年 8 月 5 日至 11 月 3 日, 形变量达至 10 mm, 年平均速率达至 27 mm/年。而金沙江东侧的 C 区域也有着微小的沉降, 虽形变量不大但也应该引起相关部门的警觉, 提前做好有关的防范措施。因此, 对沉降区域进行位移检测, 尤其是那些地震和滑坡高频发的区域的周期性位移监测是必要的。实时掌控地面沉降的情况, 能有效的避免因沉降趋势的继续扩大而对周围的环境、建筑和人员带来伤害的不良后果。

基金项目

淮海工院校级自然科学基金项目, 名称《基于地基干涉雷达的变形监测方法研究(项目编号: Z2016015)》。

参考文献

- [1] 尹明. 浅析滑坡地质灾害的诱发因素及防治措施[J]. 世界有色金属, 2018(19): 297-298.
- [2] 何政伟, 黄润秋, 许向宁, 赵银兵, 吴柏清, 许辉熙, 张雪峰, 张瑞英. 金沙江流域生态地质环境现状及其对梯级水电站工程开发过程中生态环境保护的建议[J]. 地球与环境, 2005(S1): 605-613.
- [3] 郑万基, 孙倩, 刘小鸽. 利用 Sentinel-1A 数据和 TCP-InSAR 技术监测金沙江中游兴培当至草可都段滑坡[J]. 测绘工程, 2018, 27(9): 51-58 + 63.
- [4] 洪祥元. 基于语音识别技术的智能地球仪系统设计[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2012.
- [5] 石燕. 倾斜式电磁、永磁混合悬浮地球仪及旋转系统的研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2010.
- [6] 刘广全. 基于 SBAS-InSAR 的丹巴县滑坡探测与监测[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2015.
- [7] 王桂杰, 谢谟文, 邱骋, 江崎哲郎. D-INSAR 技术在大范围滑坡监测中的应用[J]. 岩土力学, 2010, 31(4): 1337-1344.
- [8] Berardlno, P. (2002) A New Algorithm for Surface Deformation Monitoring Based on Small Baseline Differential SAR Interferograms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **40**, 2375-2383. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2002.803792>
- [9] 刘筱怡. 基于 SBAS-InSAR 鲜水河断裂带及蠕滑型滑坡特征研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.
- [10] 胡乐银, 张景发, 商晓青. SBAS-InSAR 技术原理及其在地壳形变监测中的应用[J]. 地壳构造与地壳应力文集, 2010(00): 82-89.
- [11] 廖明生, 王腾. 时间序列 InSAR 技术与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [12] 朱建军, 李志伟, 胡俊. InSAR 变形监测方法与研究进展[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 64-67.
- [13] Covello, F., Battazza, F., Coletta, A., et al. (2010) COSMO-SkyMed an Existing Opportunity for Observing the Earth. *Journal of Geodynamics*, **49**, 171-180. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2010.01.001>