

大型滑坡隐患综合遥感识别监测技术及应用

李为乐 二级教授

成都理工大学
地质灾害防治与地质环境保护全国重点实验室

2025.10.19

提 纲

1.前言

2.滑坡隐患综合遥感识别技术

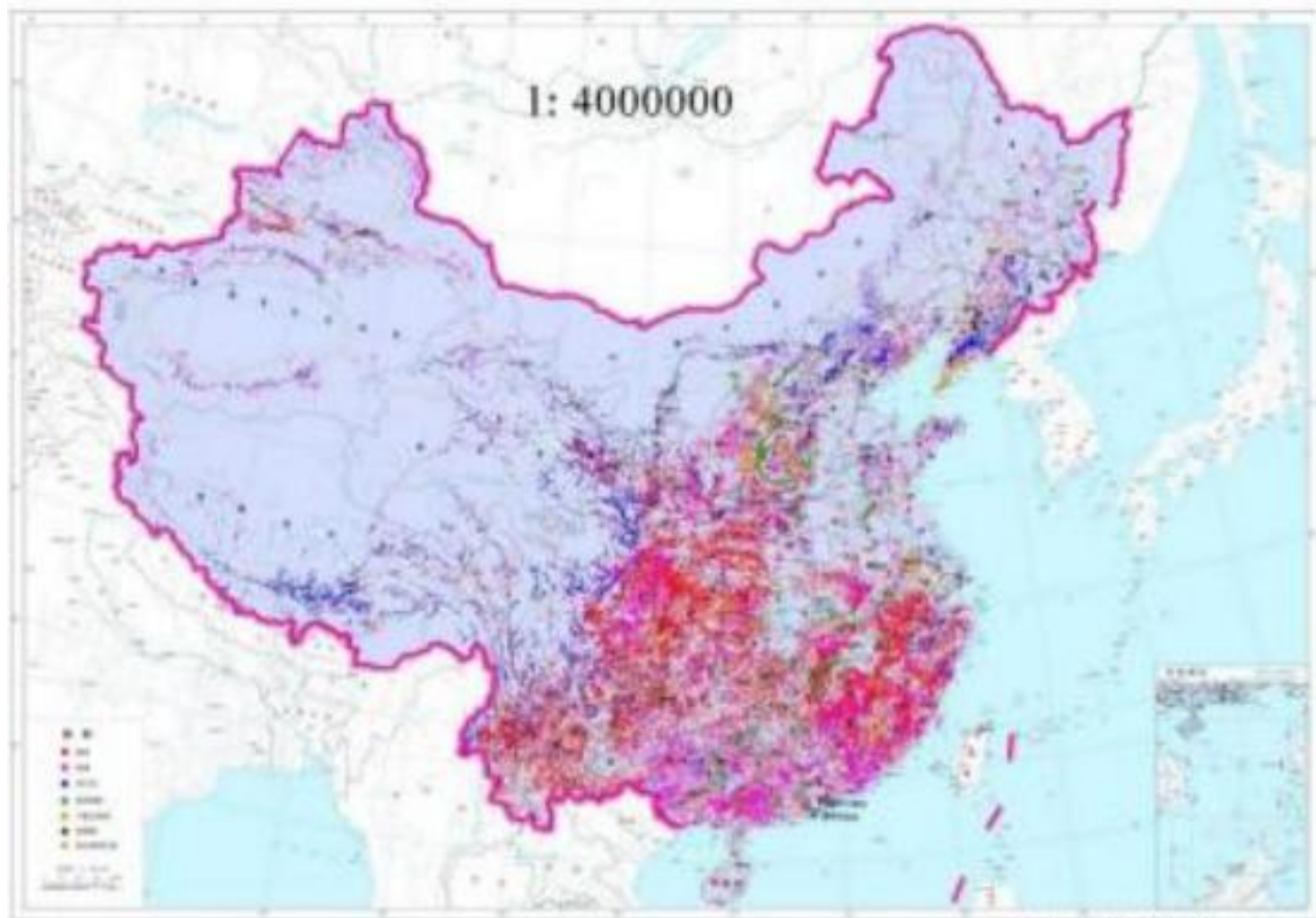
3.滑坡隐患综合遥感监测技术

4.典型应用案例

5.结语

我国地质灾害现状

中国地质灾害分布图



中国地质环境监测院 编制

我国是世界上地质灾害最为发育、灾害损失最为严重的国家之一。

截止2024年5月，我国已查明：

28.2万 余处

地灾隐患

1.2亿 人

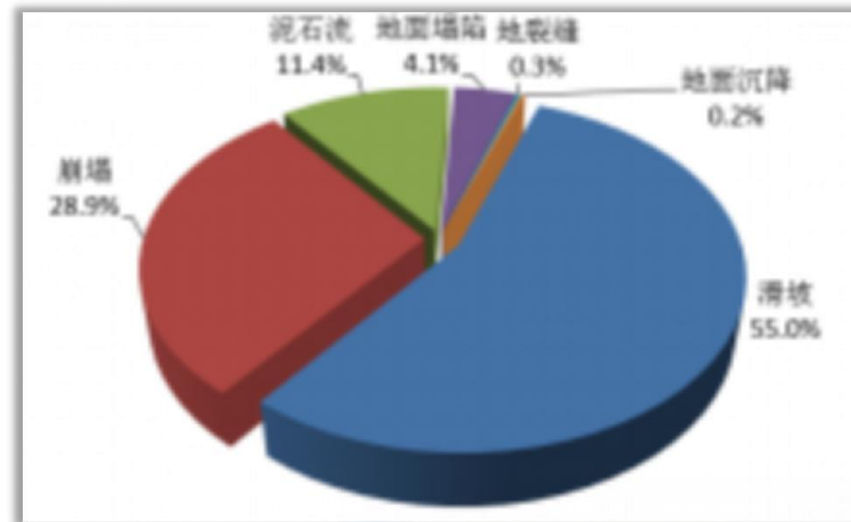
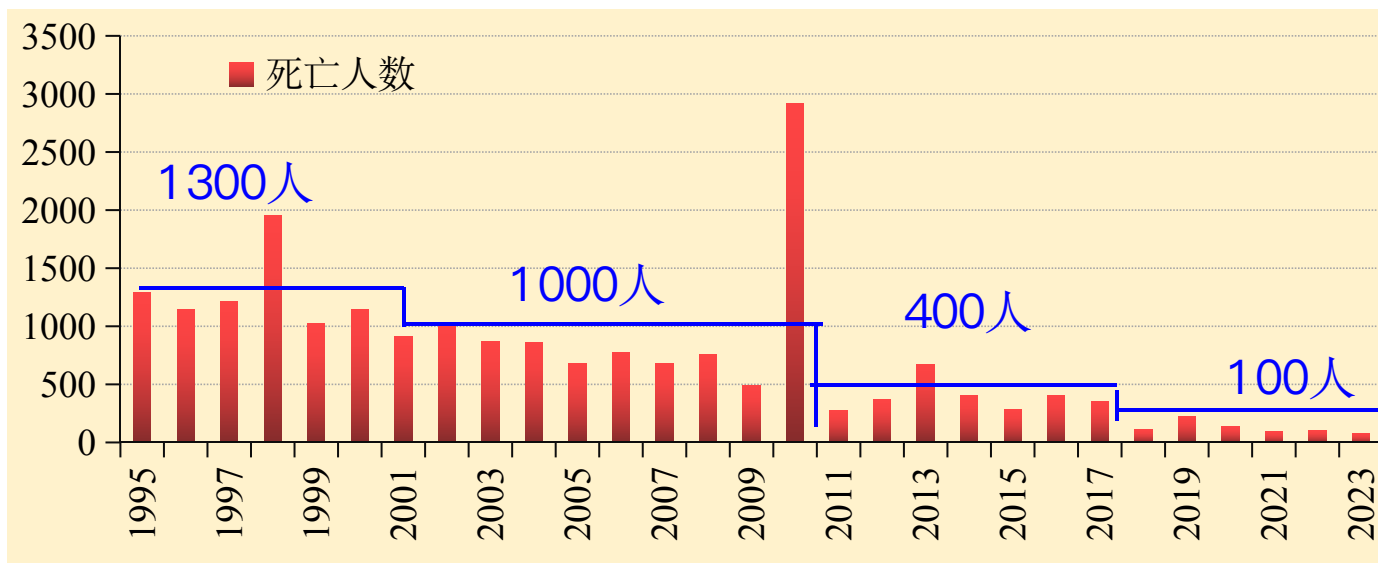
威胁人口

1.1万亿 元

威胁财产

我国地质灾害现状

- 我国地质灾害隐患主要以滑坡、崩塌、泥石流为主，占总数的95.4%；
- 每年发生地质灾害数万起，导致数百人死亡，其中70-80%灾难性地质灾害不在已有数据库中；
- 近年来地质灾害防治效果显著，**因灾年均死亡人数从超1000人降低至100人左右**，成功转移人数显著增加。



大规模灾难性地质灾害时有发生!!!

21世纪以来我国灾难性滑坡事件		
发生时间	滑坡位置	死亡人数
2004.12.03	贵州省纳雍县左家营	44
2009.06.05	重庆市武隆县鸡尾山	74
2009.08.06	四川省汉源县猴子岩	31
2010.06.28	贵州省关岭县岗乌	99
2013.07.10	四川省都江堰五里坡	166
2014.08.27	贵州省福泉市英坪村	23
2016.09.28	浙江丽水遂昌县苏村	26
2017.06.24	四川省茂县新磨村	83
2017.08.28	贵州省纳雍县普洒村	35
2018.10.11	西藏江达县白格村	42亿元
2019.7.23	贵州省水城县鸡场镇	51
2022.2.22	内蒙古新井煤矿	53
2024.1.22	云南省镇雄县凉水村	44
2025.2.8	四川省筠连县金坪村	29

2017年8·28贵州纳雍普洒村崩塌



2023年2月22日内蒙古新井煤矿滑坡



提 纲

1.前言

2.滑坡隐患综合遥感识别技术

3.滑坡隐患综合遥感监测技术

4.典型应用案例

5.结语

地质灾害防治需解决的关键问题

(1) 地质灾害防治的“四步”:

研究原理，发现隐患，监测隐患，发布预警。

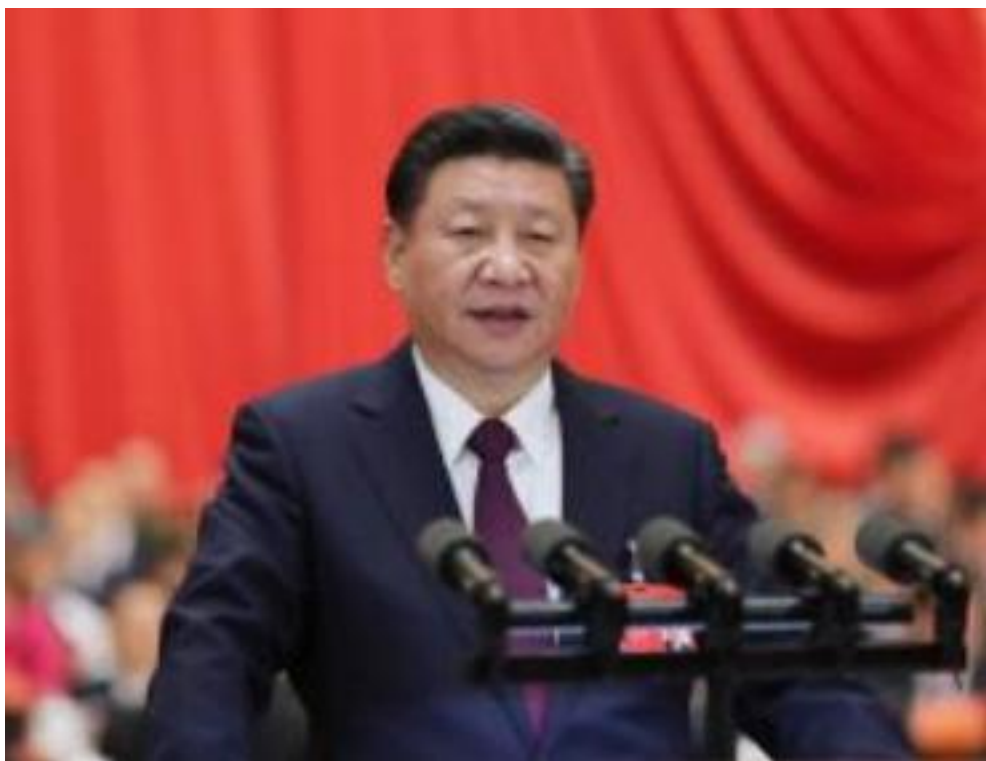
(2) 自然资源部地质灾害监测预警科技创新研讨会
(2018.11) :

聚焦突发性地质灾害“防”的核心需求——搞清楚“隐患点在哪里？”、“什么时间可能发生？”

隐患点在哪里？——**隐患早期识别**

什么时间可能发生？——**监测预警**

地质灾害防治需解决的关键问题



习近平总书记主持召开中央财经委员会第三次会议强调大力提高我国自然灾害防治能力,并提出实施

“九大工程” , 其中 :

- ◆ 灾害风险调查和重点**隐患排查工程** , **掌握风险隐患底数** ;
- ◆ 实施自然灾害**监测预警信息化工程** , **提高多灾种和灾害链综合监测、风险早期识别和预报预警能力**

如何识别高位远程、高隐蔽性滑坡？



茂县新磨村滑坡：2017.6.24



茂县石大关大店村滑坡：2017.8.6

如何识别高位远程、高隐蔽性滑坡？

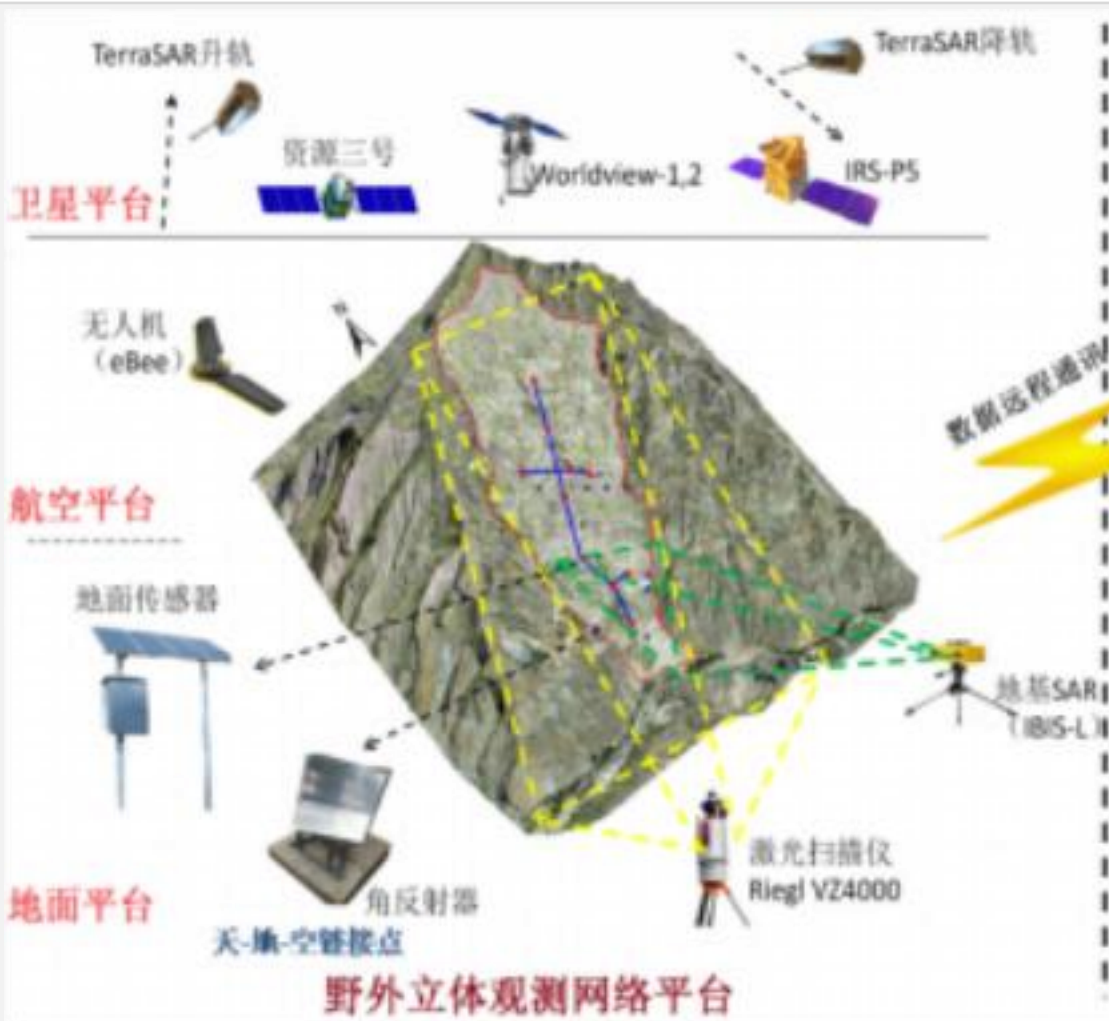
传统的调查、排查手段在高位、隐蔽性滑坡面前已显得无能为力，必须借助现代高新技术。

构建空—天—地一体化的“三查”体系，对潜在重大灾害隐患进行早期识别和提前发现！

- ◆ 普（排）查：高精度遥感、InSAR—全面体检
- ◆ 详（筛）查：机载LiDAR、航拍—大病检查
- ◆ 核查：地面调查复核——临床诊断确认

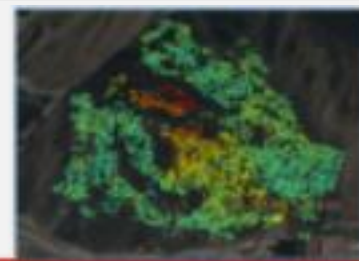
地质灾害隐患“三查体系”

星



空

地



光学遥感+InSAR

→ 形变

普查

(全面体检)



LiDAR+UAV摄影

→ 形态

详查

(大病检查)



地面调查+监测

→ 形势

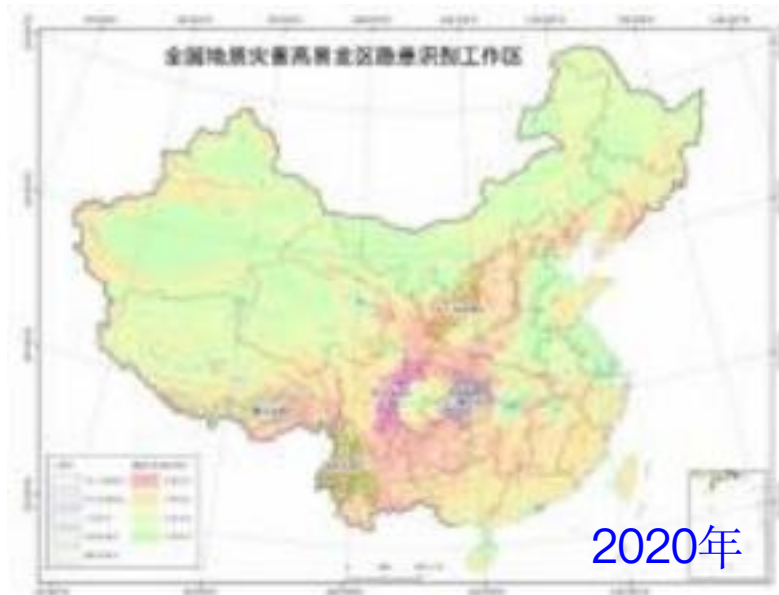
核査

(专家会诊)

单一技术手段很难实现西部山区地质灾害早期识别与监测预警!

技术手段	覆盖范围和精度	优缺点	适用范围
卫星光学	最大覆盖范围: 数万km ² 区域调查: 1:50,000, ≤5.0 m; 重点区调查: 1:10,000, ≤1.0 m; 单体调查: 1:1,000 ~ 1:2,000, ≤0.5 m 时间分辨率: 数月~数天	优点: 广域覆盖, 多波段, 固定重访, 历史存档, 具备立体观测能力, 性价比高; 缺点: 受天气、 冰雪和高植被覆盖 限制, 机动性不强	成灾环境背景调查, 单体滑坡识别, 宏观变形迹象解译
卫星InSAR	最大覆盖范围: 数万km ² ; 空间分辨率: 1m -20m 时间分辨率: 数天~1月	优点: 广域覆盖, 全天候, 高精度, 固定重访, 历史存档, 性价比高; 缺点: 受 地形、冰雪和高植被覆盖 限制, 不动或运动过快不能有效识别, 机动性不强	缓慢形变滑坡早期识别与动态监测
航空光学遥感	覆盖范围: > 数 km ² ; 空间分辨率: < 1 m 时间分辨率: 机动	优点: 精细立体测量, 机动性强; 缺点: 覆盖面积小, 受 地形、天气、冰雪和高植被覆盖 限制, 高寒地区数据获取困难 , 无存档, 性价比一般	单体精细调查
机载LiDAR	最大覆盖范围: > 数km ² ; 空间分辨率: < 1 m 时间分辨率: 机动	优点: 全天时, 精细立体测量, 可滤除植被, 机动性强; 缺点: 覆盖面积小, 受 地形、天气、冰雪和高植被覆盖 限制, 高寒地区数据获取困难 , 无存档, 性价比低	高植被覆盖区单体精细调查
地基InSAR	最大覆盖范围: < 数km ² ; 空间分辨率: < 1m 时间分辨率: 机动	优点: 全天时, 高频率高精度, 机动性强; 缺点: 覆盖面积小, 受 地形、天气、冰雪和高植被覆盖 限制, 高寒地区数据获取困难 , 无存档, 性价比低	快速变形崩滑临滑监测

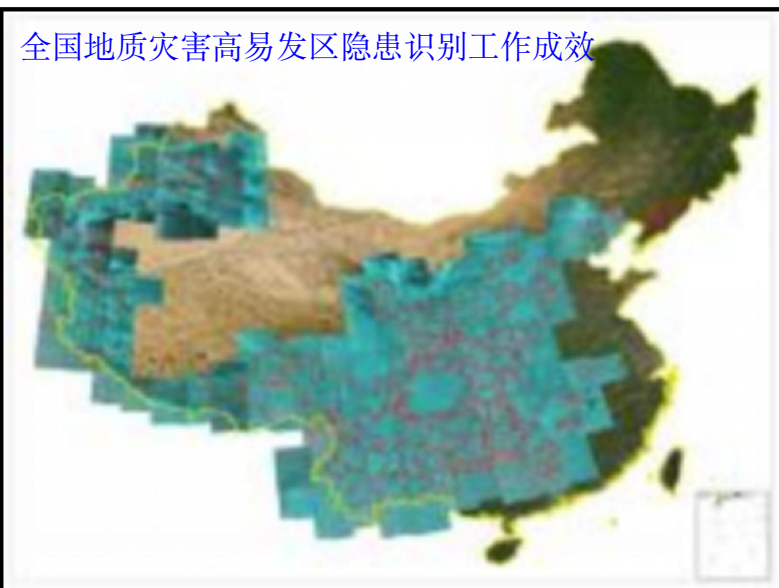
全国地质灾害高易发区隐患识别



2020-2022年，利用综合遥感技术累计完成全国**710**个高易发县市**394万km²**隐患识别工作，经核查确认新识别隐患**8986**处，对其中**3337**处隐患安装了普适性监测预警设备。

自然资源部“十四五”规划明确：完成易发区1:5万风险调查工作后，后续**不再部署常规扫面调查**，取而代之持续开展“**光学遥感解译+InSAR+地面核查**”的隐患综合遥感识别工作。

全国地质灾害高易发区隐患识别工作成效

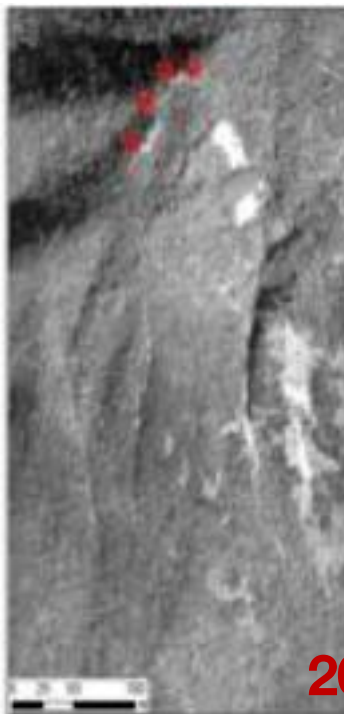


自然资源部“十四五”规划

- ▶ 科技地质灾害防治三年行动、全国第一次自然灾害风险普查等工作
- ▶ 转变工作模式
 - 完成易发区1:5万风险调查、普查后，不再部署扫面调查。
 - 通过综合遥感、动态调查、逐年提高精度，以识别一定规模以上的潜在隐患；通过野外核查识别隐患点，并及时纳入管理体系。
- ▶ 向精细化调查深入
 - 针对极高、高和部分中风险区，对山体裂缝、隐患点开展精细化调查（精细化）。
 - 以查清“隐患点结构”为目标，为监测预警选点及仪器布设等提供靶标。
 - 可视需要部署工作量，不受比例尺限制。

- ◆ 1:5万地质灾害风险调查、风险普查工作，主要采用空、天、地一体化技术方法。
- ◆ 隐患综合遥感识别主要采用“光学遥感解译+InSAR+地面核查”方法。

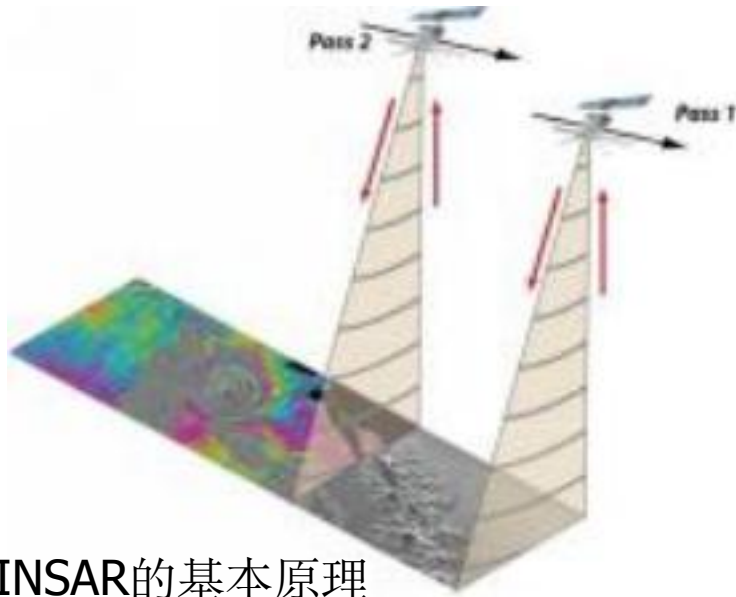
(1) 采用高精度遥感识别正在变形(滑移)斜坡—普查



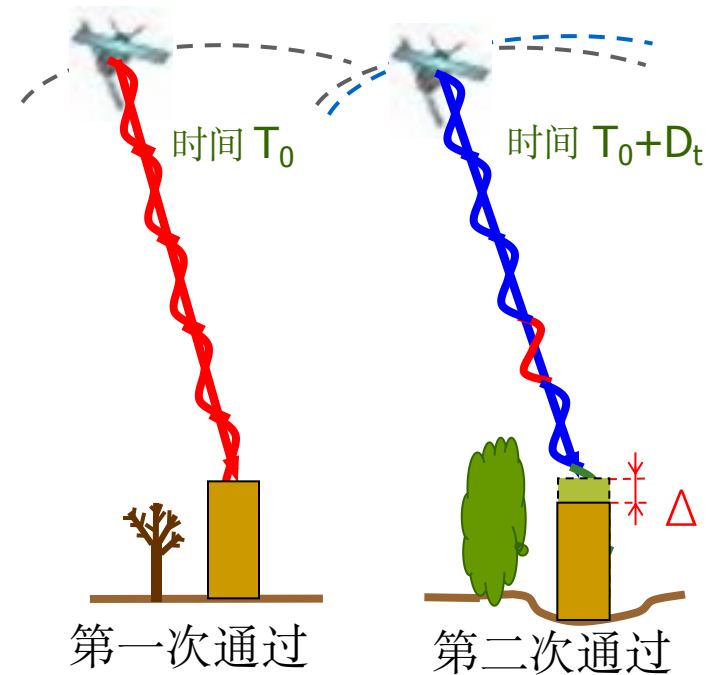
浙江丽水



(2) 采用InSAR识别正在变形(滑移)的斜坡—普查

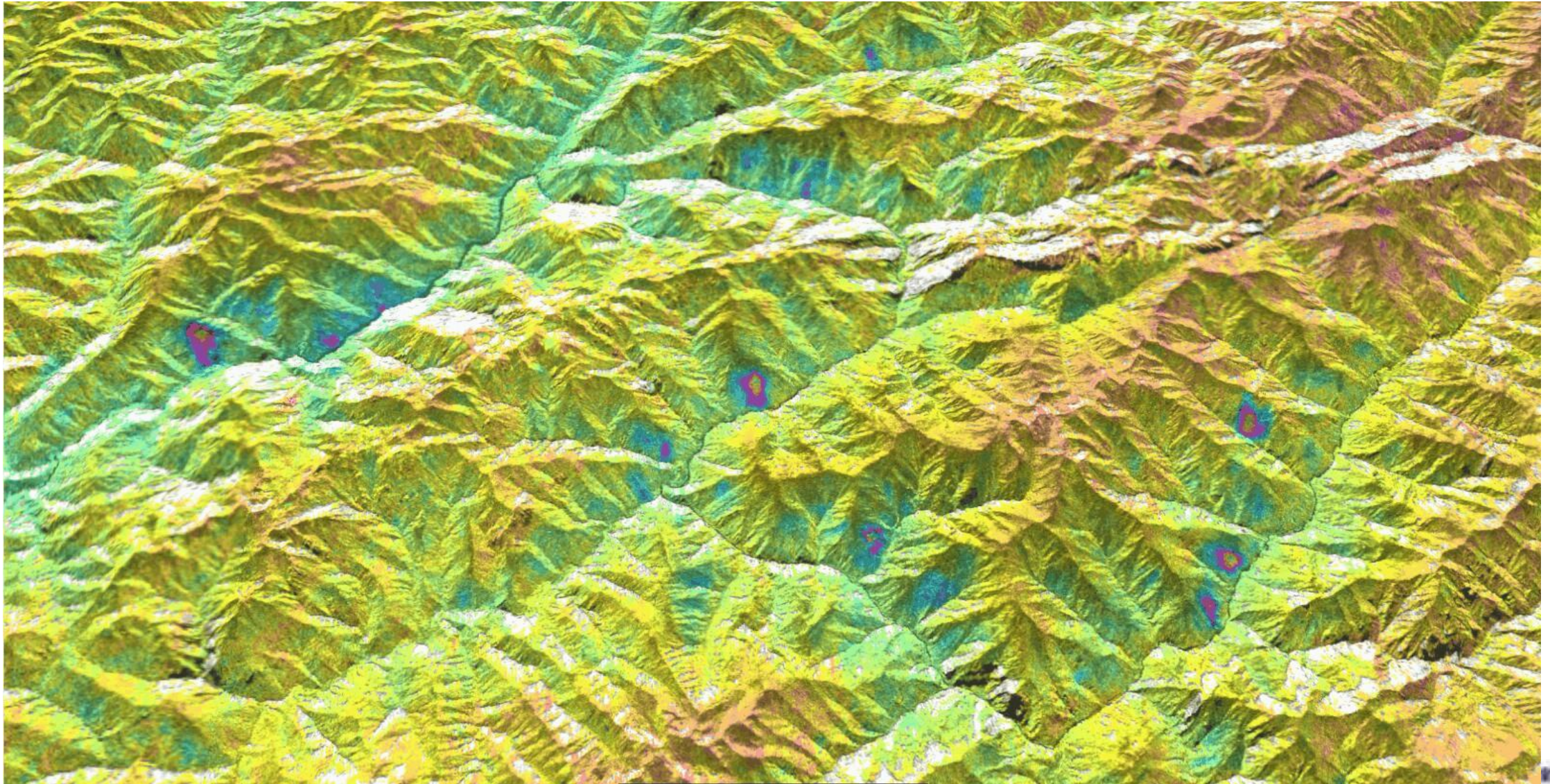


INSAR的基本原理



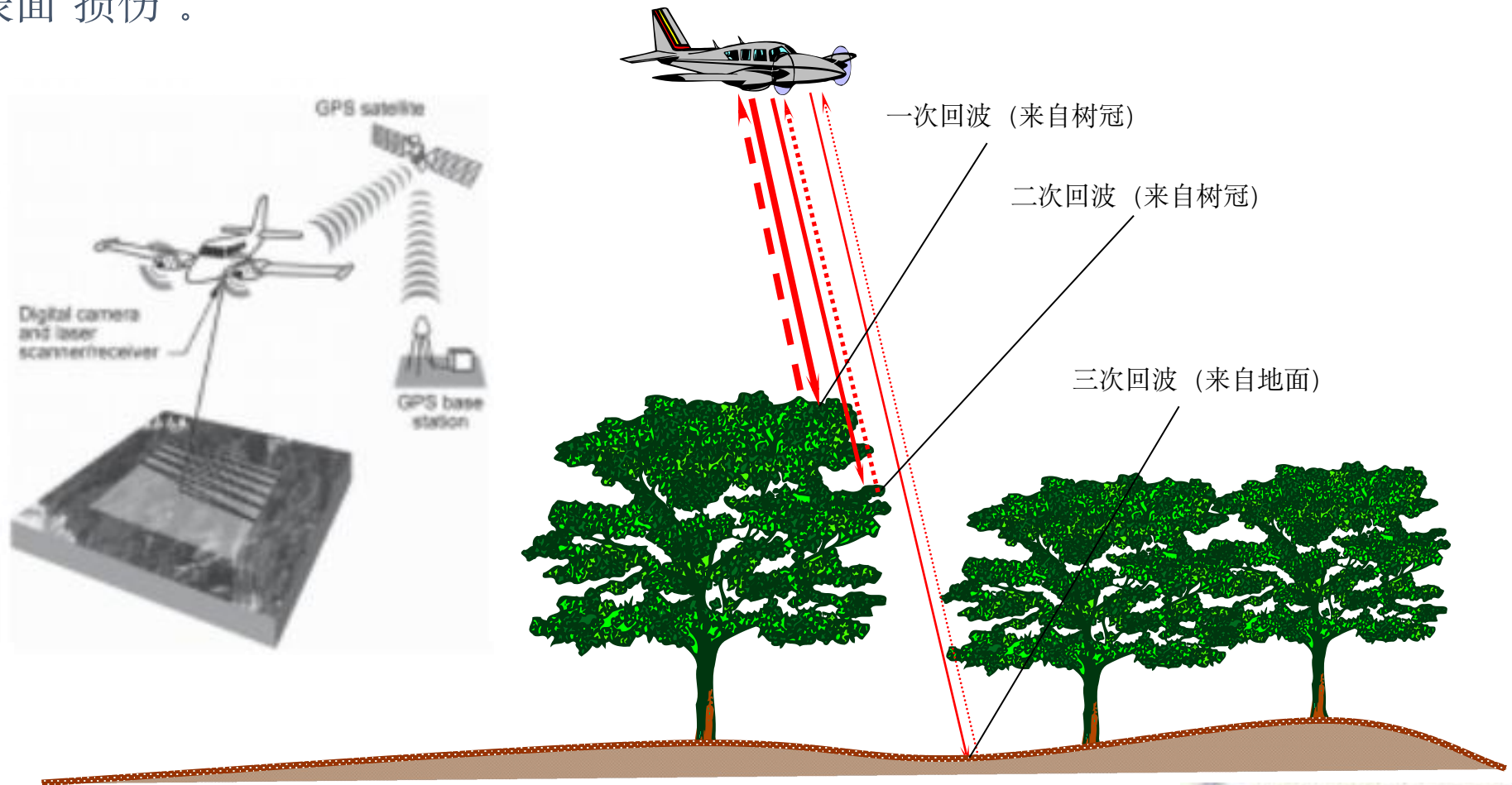
- InSAR 融合同一区域不同时间获取的雷达影像的相位 (phase) 信息来生成干涉图 (interferogram) .
- 干涉图描述了雷达至地面点斜距的变化,从而进一步反演得到 (DEM) 和地表形变 (ground deformation) ,
- 其空间分辨率为米级-十米级, 覆盖范围为 $\sim 100 \text{ km} \times 100 \text{ km}$, 形变监测精度为cm-mm级。

(2) 采用InSAR识别正在变形(滑移)的斜坡—普查

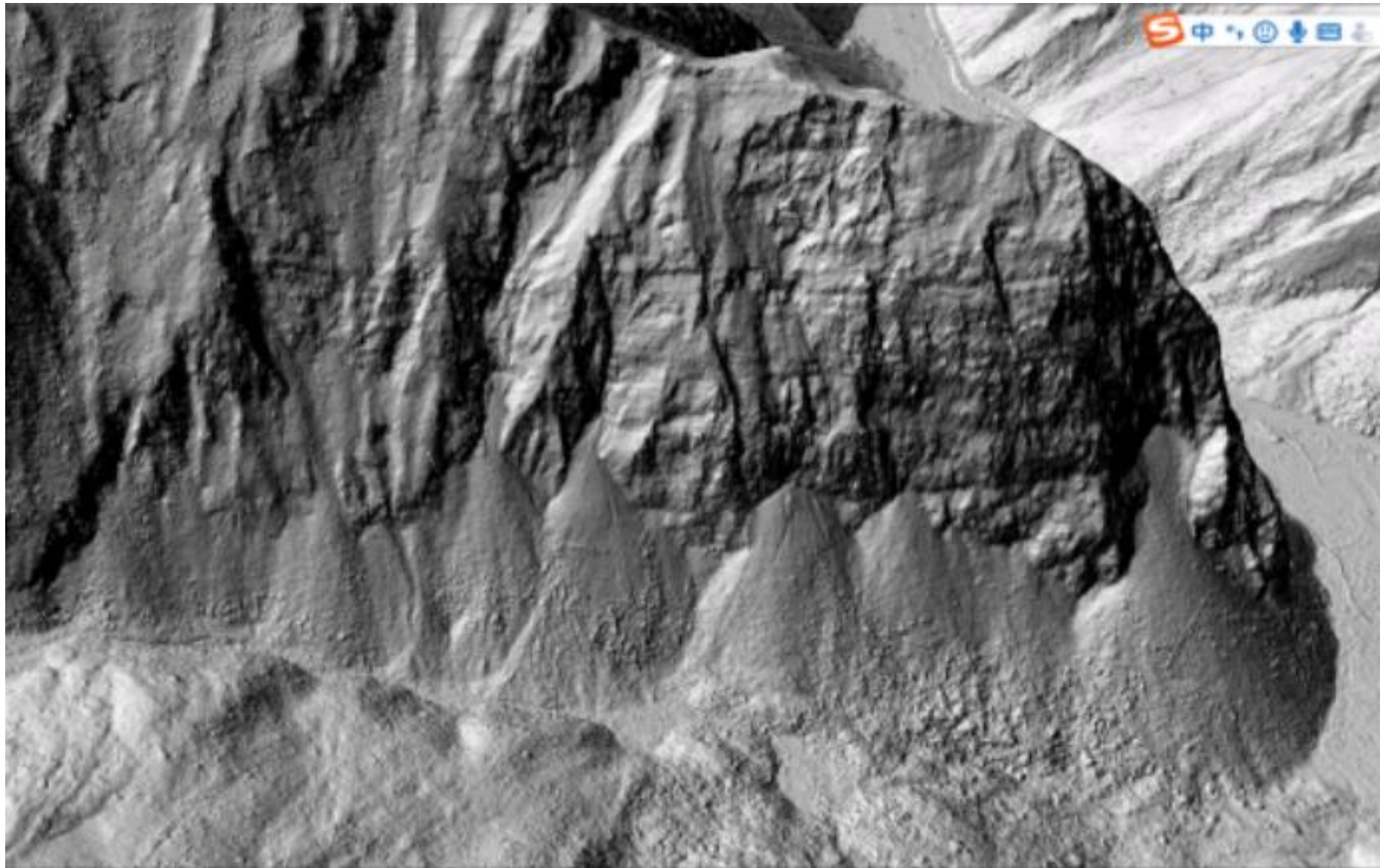


(3) 采用LiDAR识别已有“损伤”的斜坡—详查

机载激光扫描 (LiDAR)：在小型飞机或直升机上搭载激光扫描仪、成像装置、定位系统、飞行惯导系统,获取高精度数字高程模型, 去除植被后可清晰鉴别山体表面“损伤”。



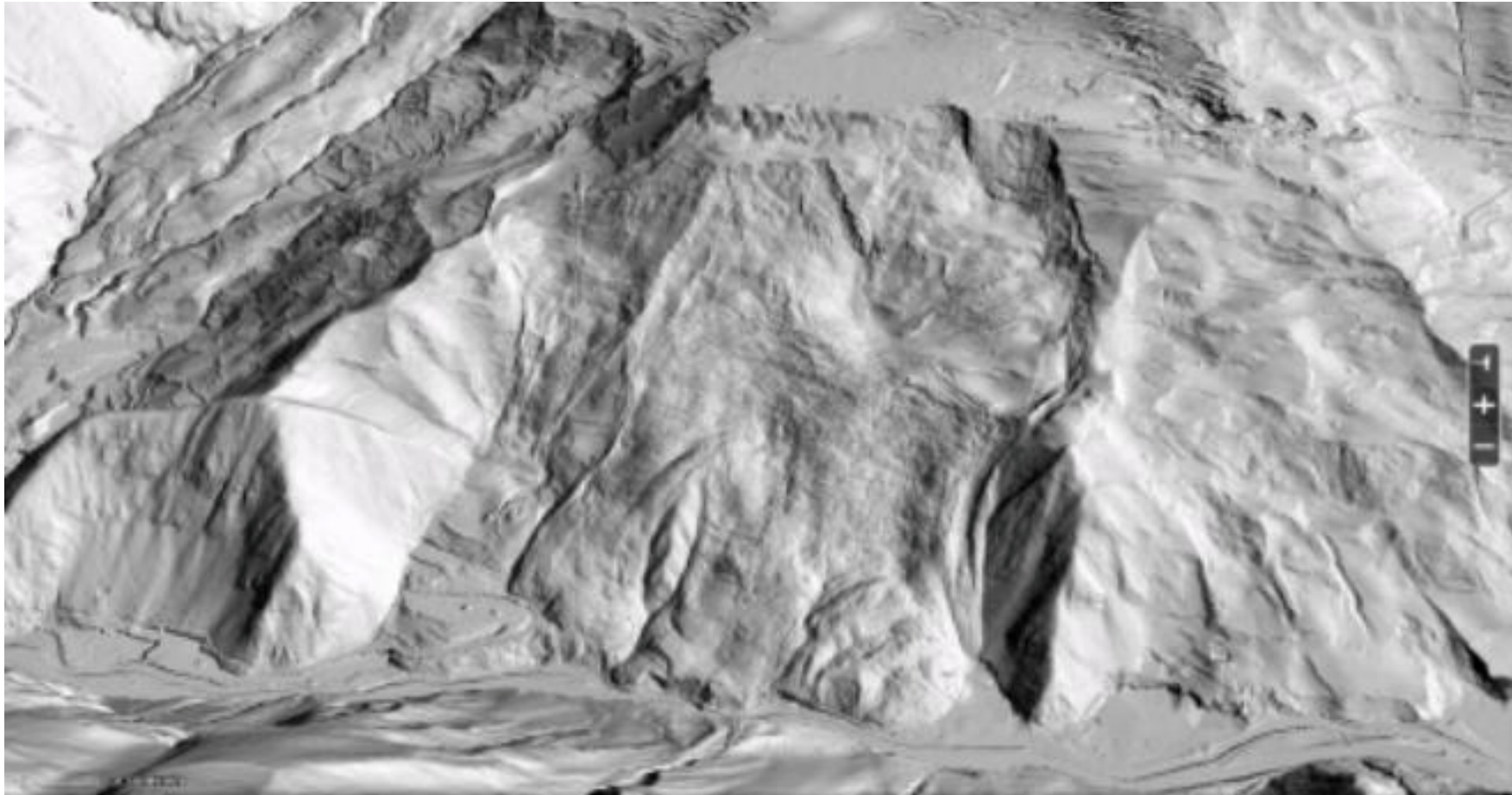
崩塌识别



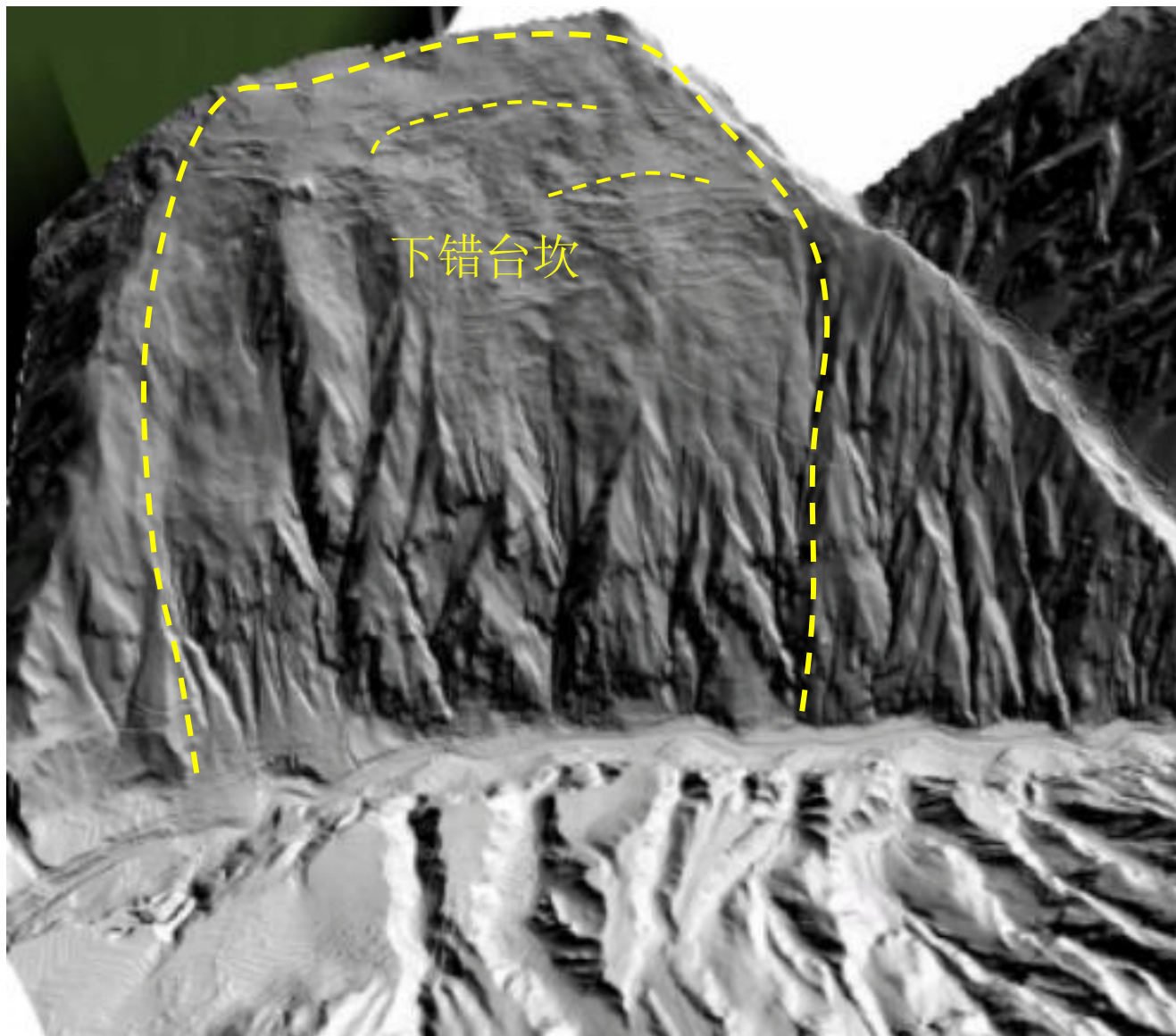
古老滑坡识别



古老滑坡识别



潜在滑坡隐患识别



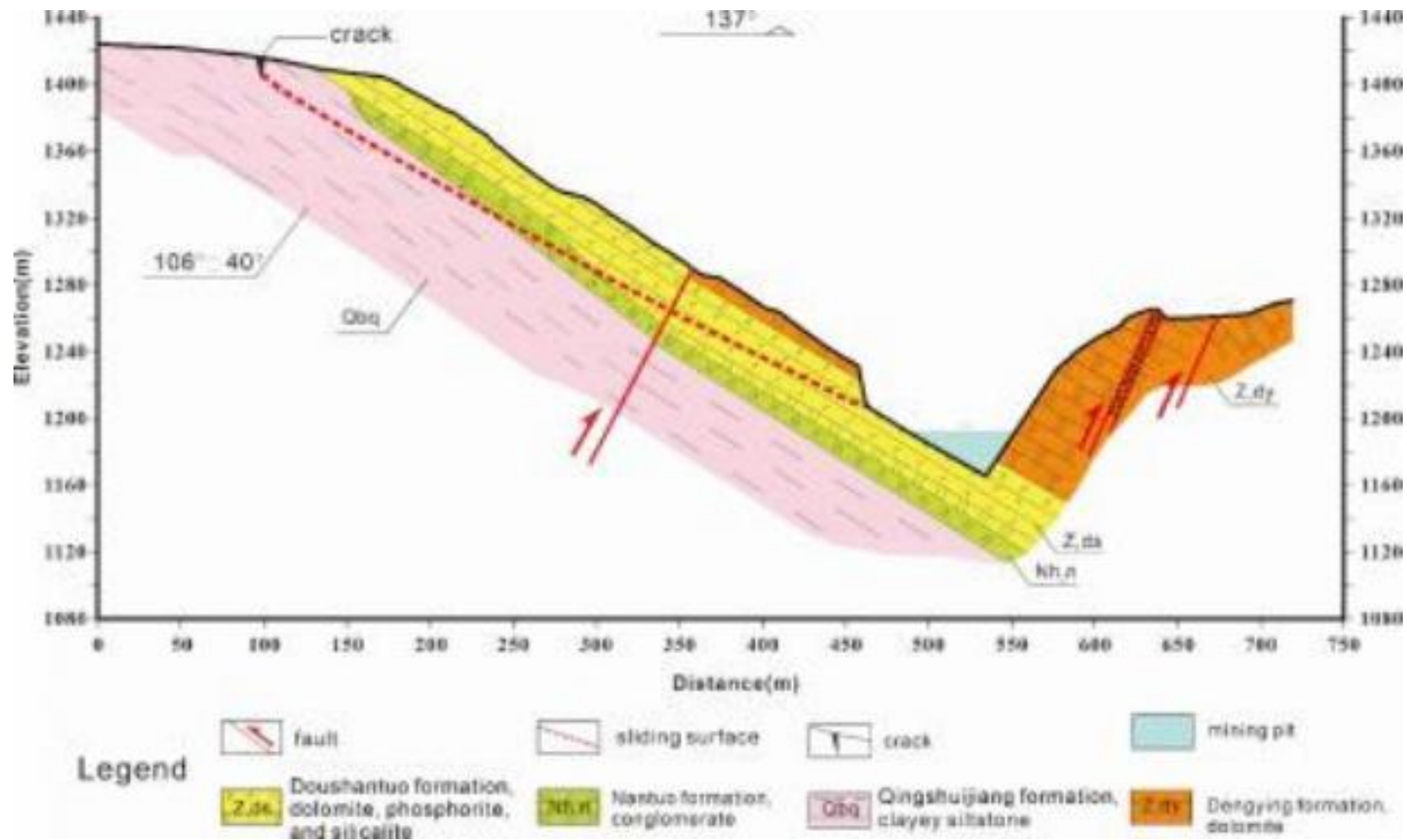
小金县唐家山滑坡

(1) 2014年8·27贵州福泉滑坡

2014年8月27日晚
上8点30分左右，
贵州省黔南州福泉
市发生了一起山体
滑坡，导致两个村
民小组房屋被掩埋，
23人死亡。



(1) 2014年8·27贵州福泉滑坡



Lin et al. 2018



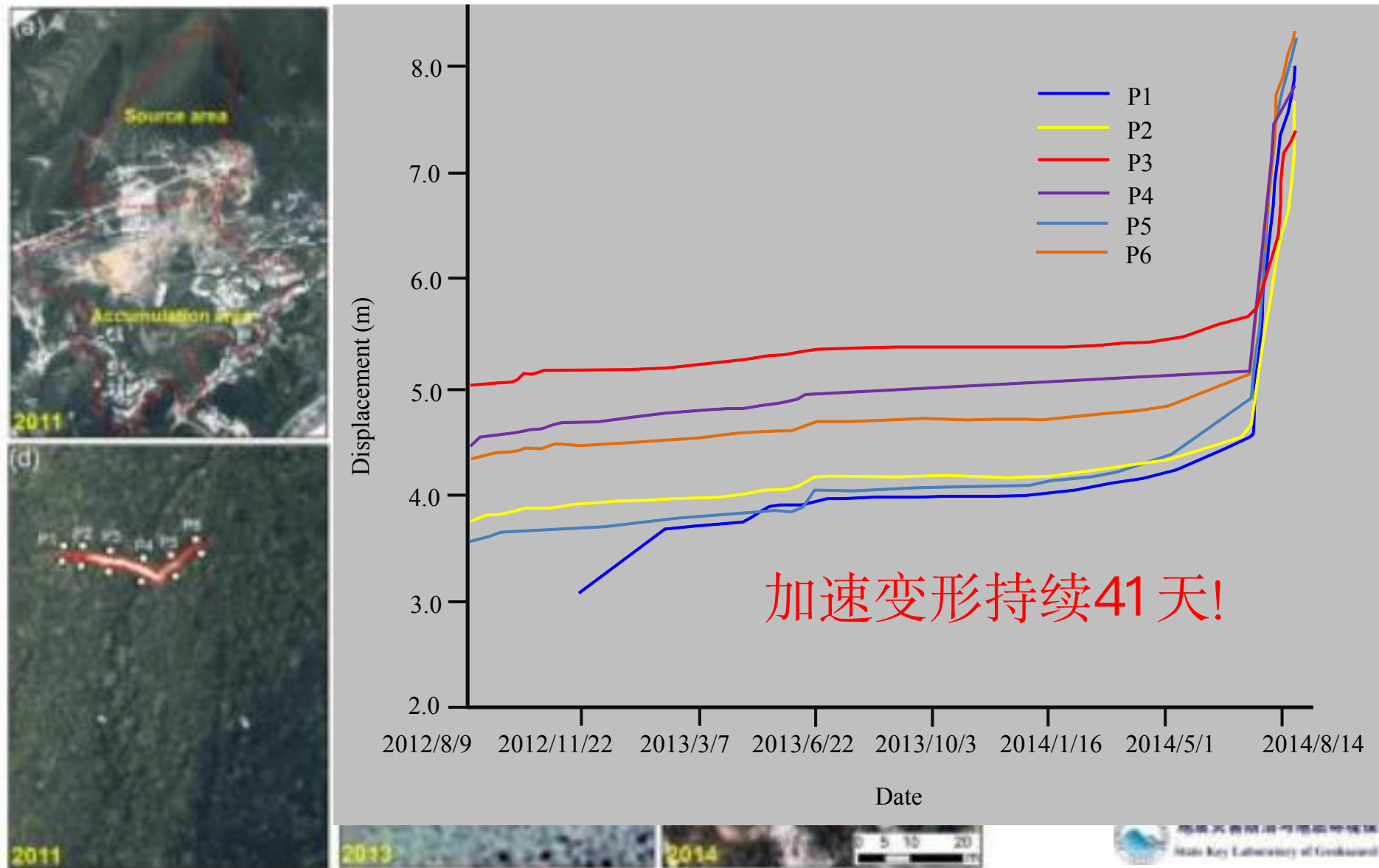
2011, 航片



2013.8.28, Google Earth



(1) 2014年8·27贵州福泉滑坡

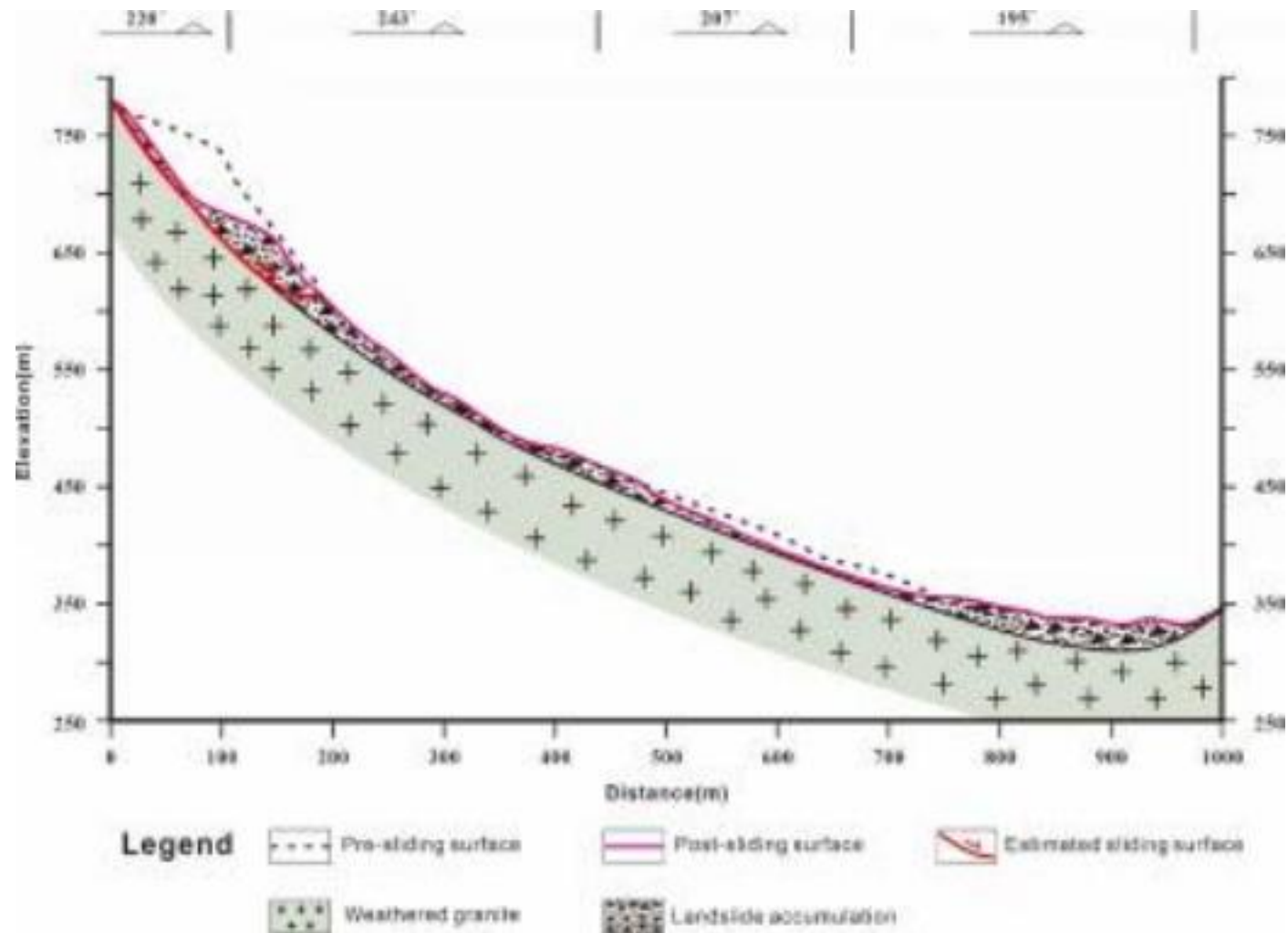


(2) 2016年9.28浙江丽水苏村滑坡

2016年9月28日17点30分许，浙江丽水遂昌县北界镇苏村发生山体滑坡灾害，20余栋房屋被埋，26人死亡。



(2) 2016年9.28浙江丽水苏村滑坡



Ouyang et al. 2018





该影像显示，2010年滑坡源区便有多处变形迹象，前部有小规模滑塌，顶部可见拉裂缝！

2010.12.20



该影像显示，滑坡源区前部发生了一次较大滑塌，顶部依然可见拉裂缝！

2013.10.13



该影像显示，滑坡源区前部继续发生大滑塌，顶部拉裂缝明显边长，变宽！

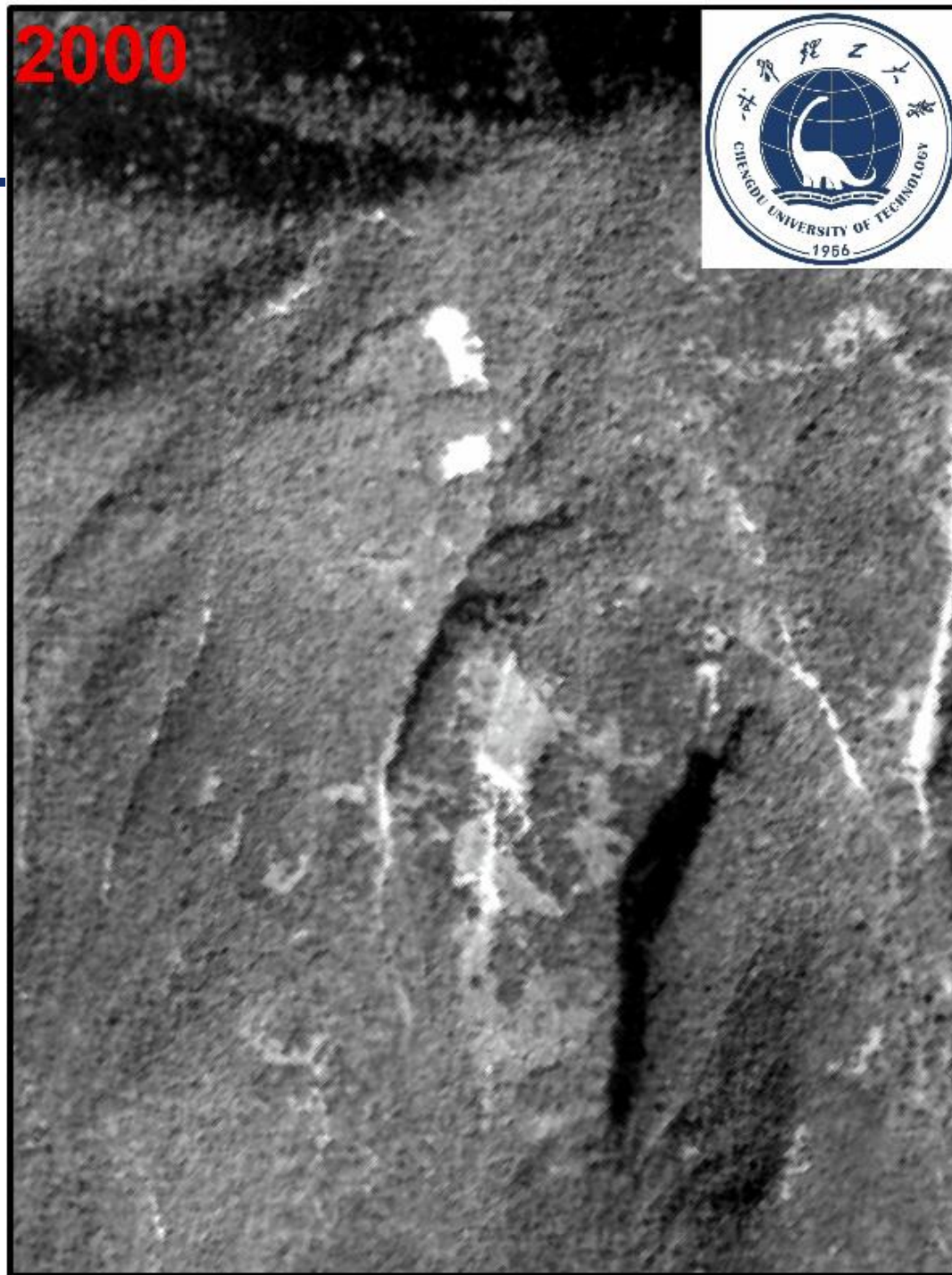
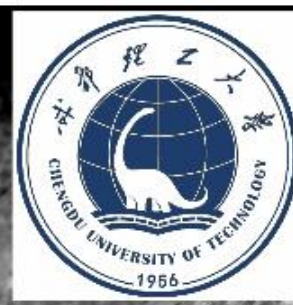
天地图影像

(2) 2016年9.28浙江丽水苏村滑坡



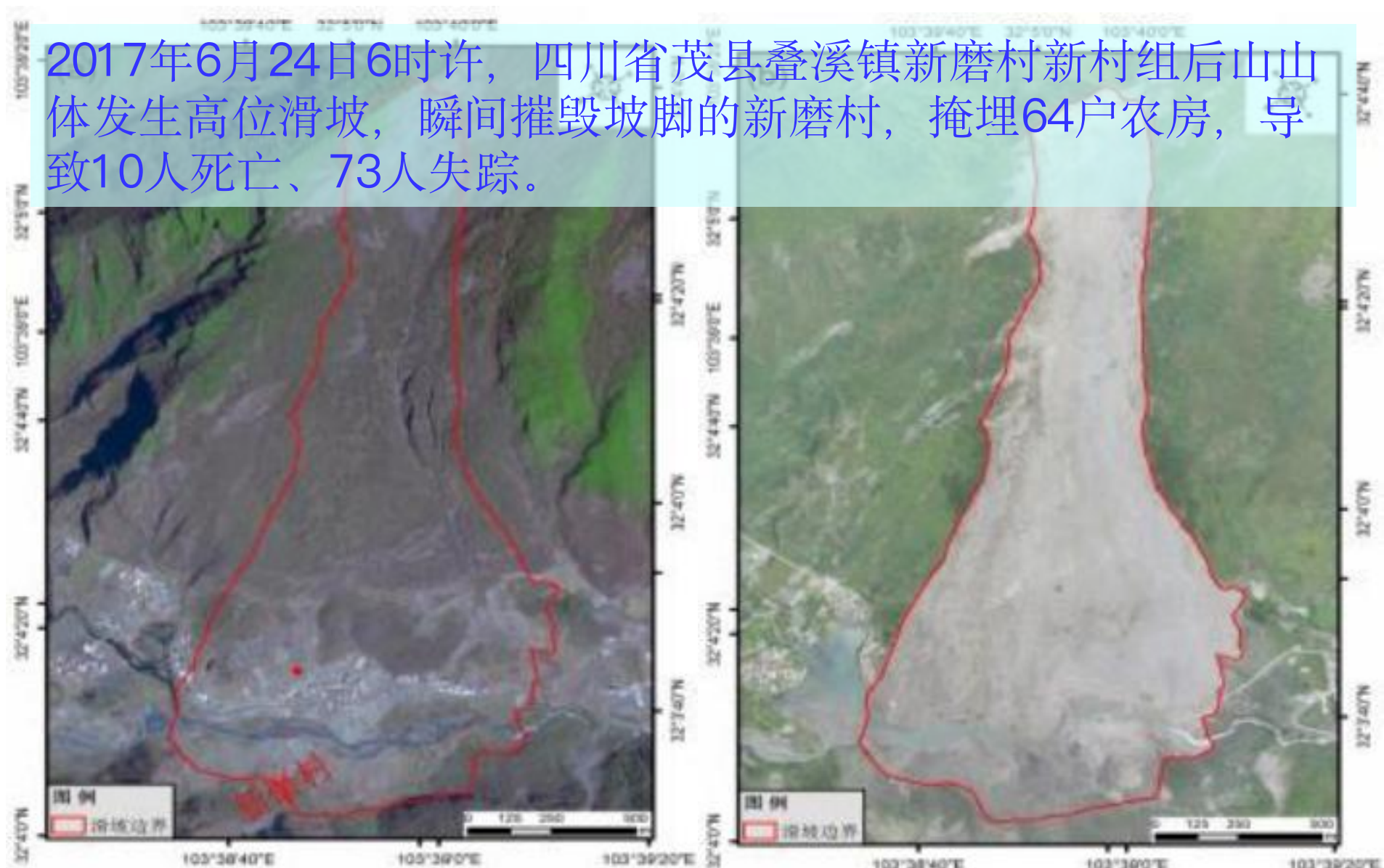
对影像分析可以发现，2000年之前滑坡后缘右侧已经有拉裂缝，滑源区前缘有小规模崩塌。2010年、2013年两期影像显示，滑坡后缘裂缝没有明显变长，但滑源区前缘崩塌范围和规模在不断增大。2015年遥感影像显示该滑坡后缘拉裂缝已经从右侧边缘一直延伸到左侧边缘，2016年的滑坡正是沿着这条拉裂缝发生整体失稳的。

2000

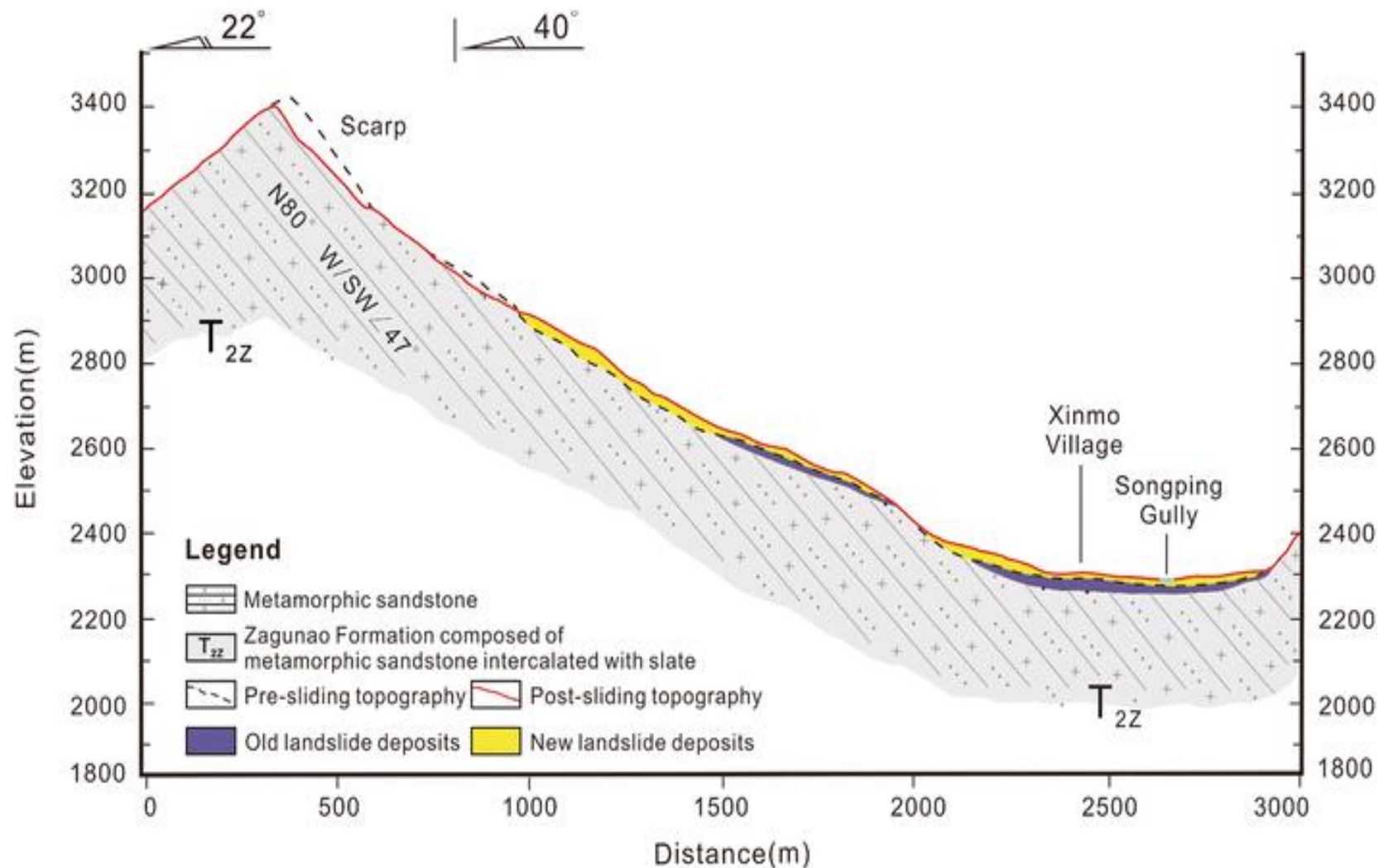


(3) 2017年6·24茂县新磨村滑坡

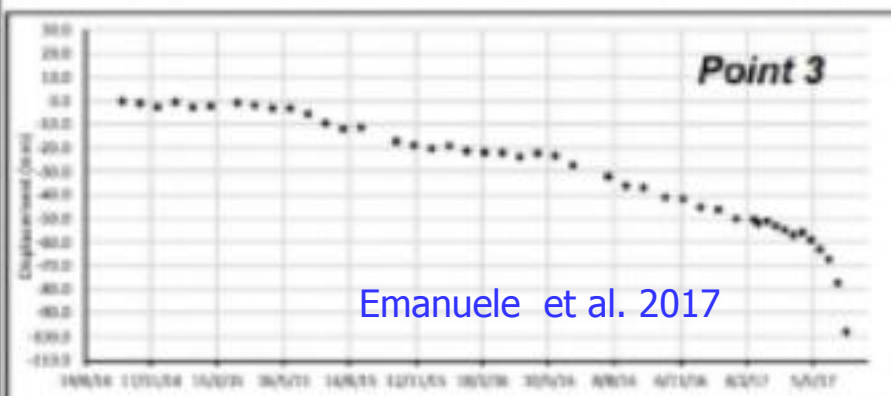
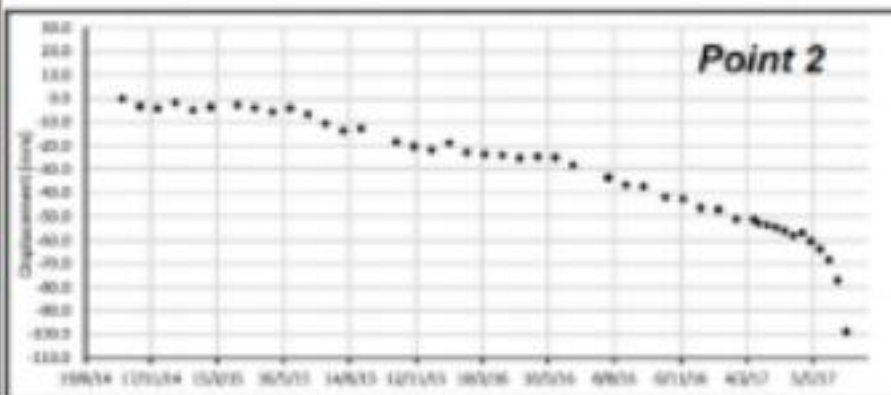
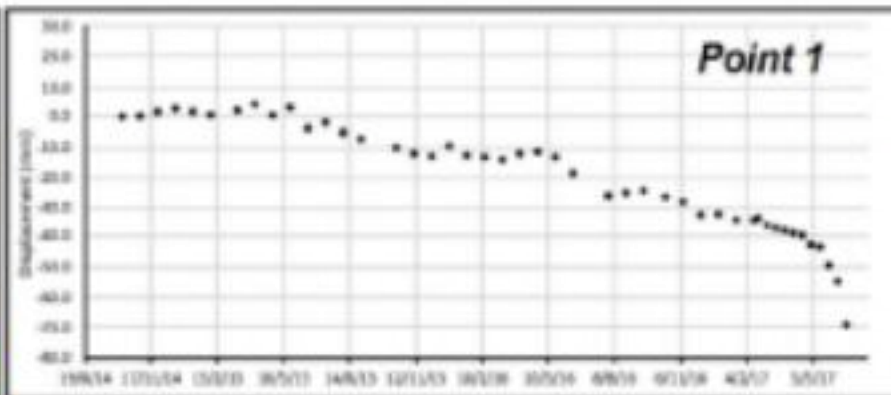
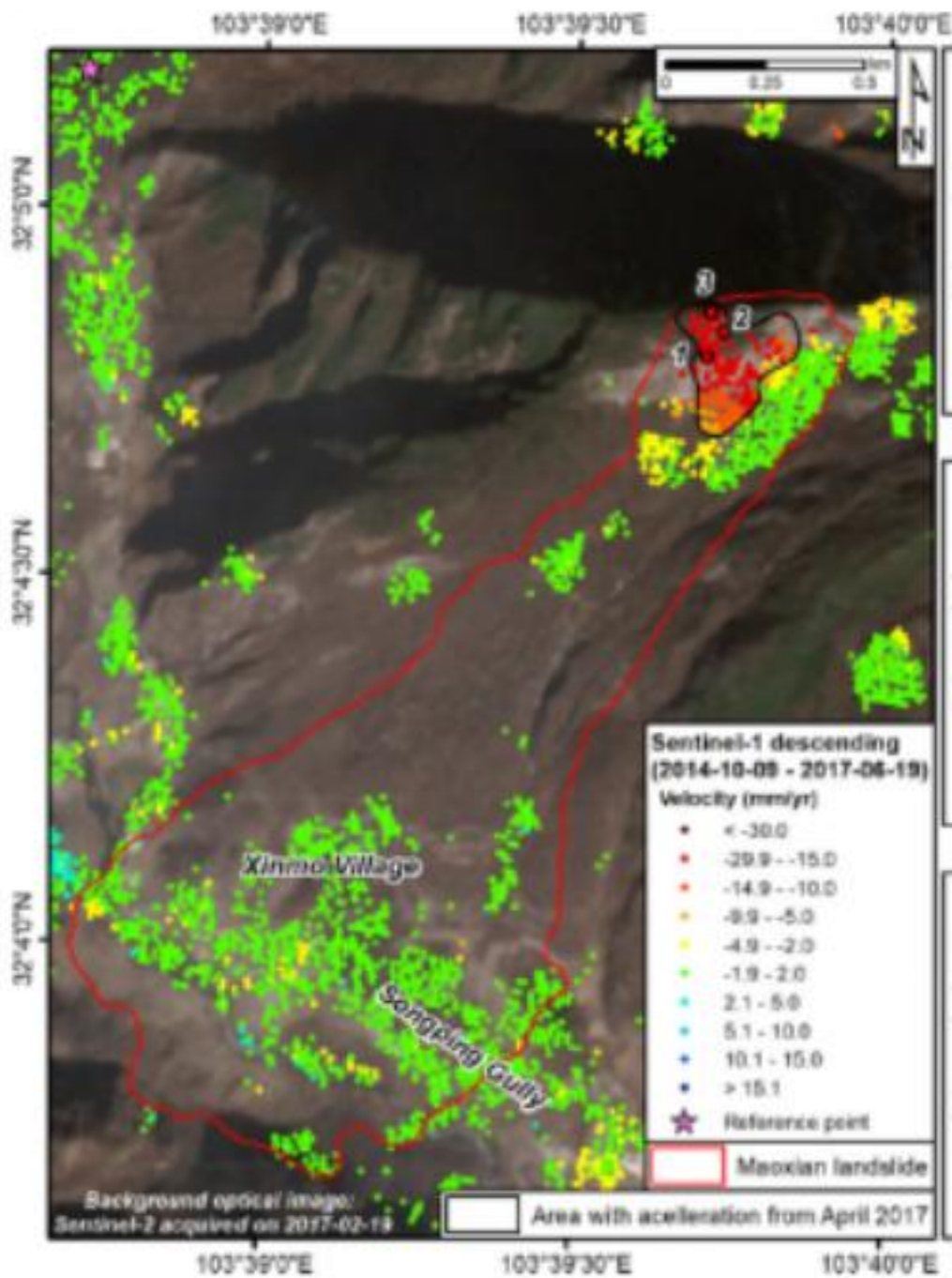
2017年6月24日6时许，四川省茂县叠溪镇新磨村新村组后山山体发生高位滑坡，瞬间摧毁坡脚的新磨村，掩埋64户农房，导致10人死亡、73人失踪。



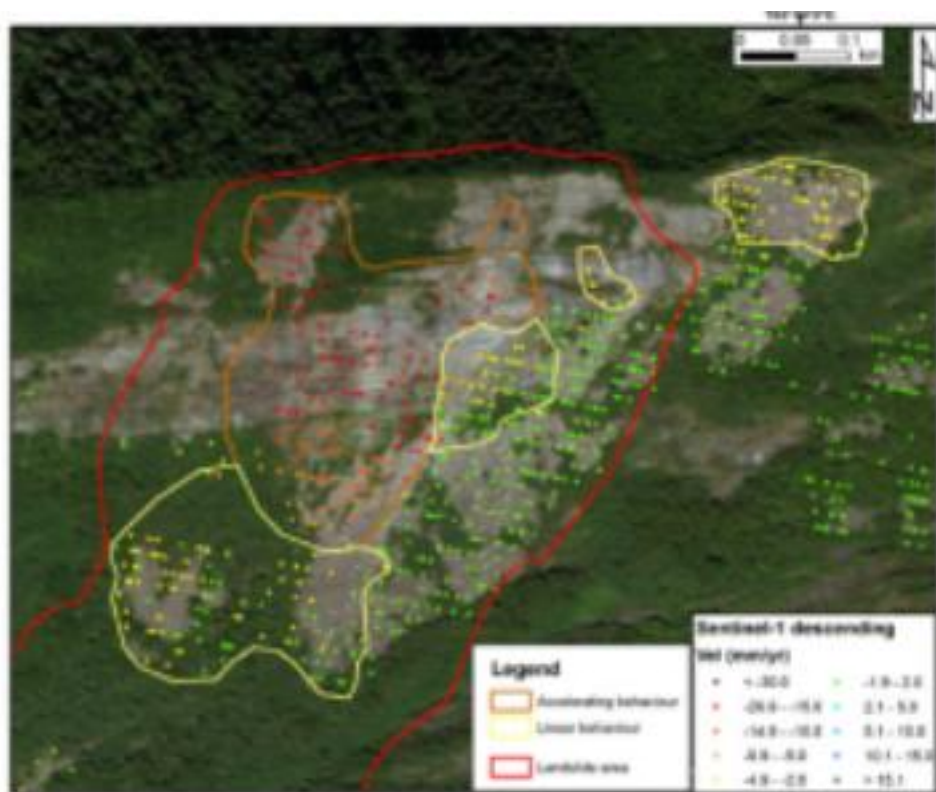
(3) 2017年6·24茂县新磨村滑坡



Fan et al. 2017

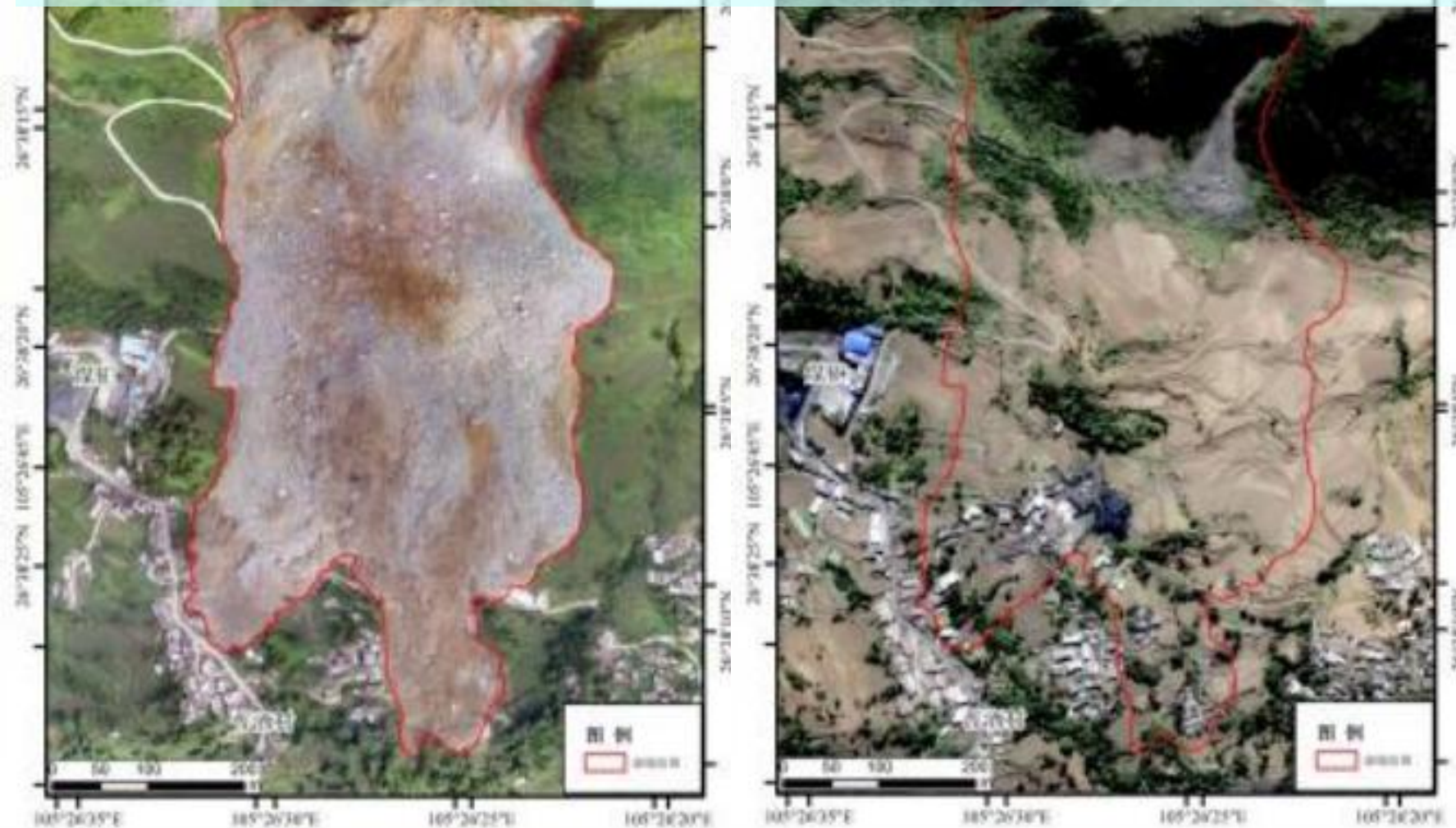


Emanuele et al. 2017

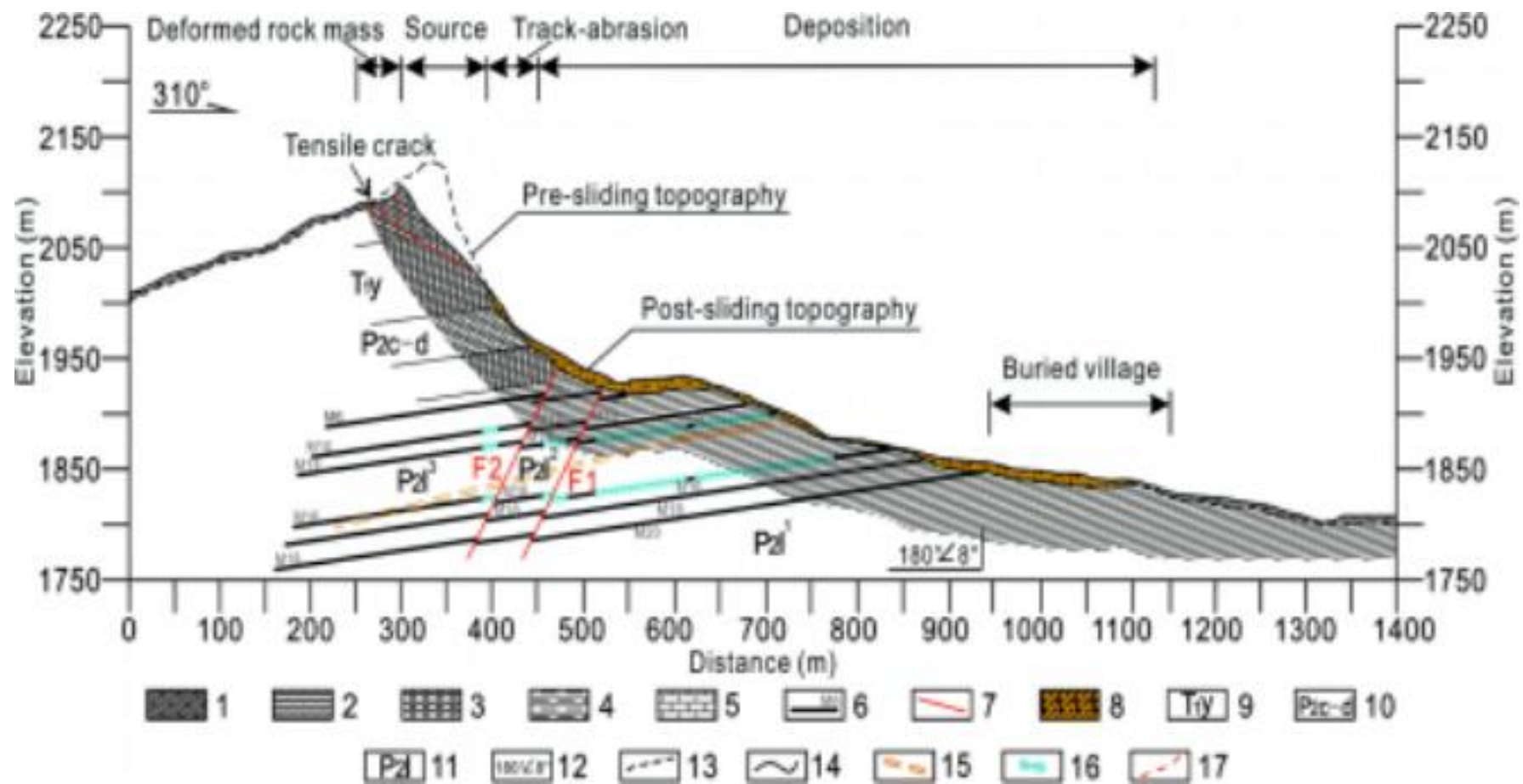


(4) 2017年8·28贵州纳雍普洒村崩塌

2017年8月28日10时30分，纳雍县张家湾镇普洒社区老鹰岩山体发生崩塌，造成3人遇难，8人受伤，32人失联。



(4) 2017年8·28贵州纳雍普洒村崩塌



Fan et al. 2018

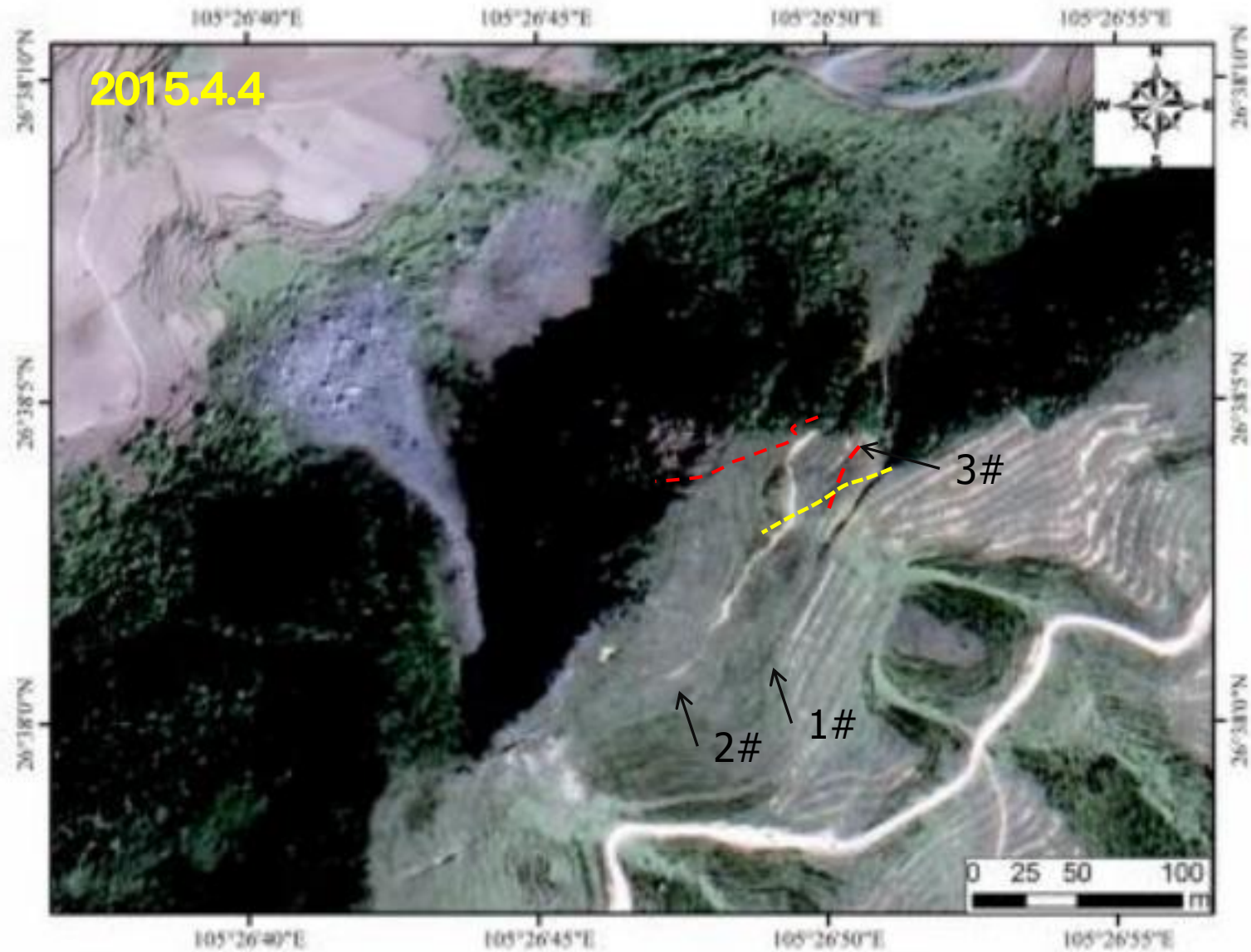
(4) 2017年8·28贵州纳雍普洒村崩塌



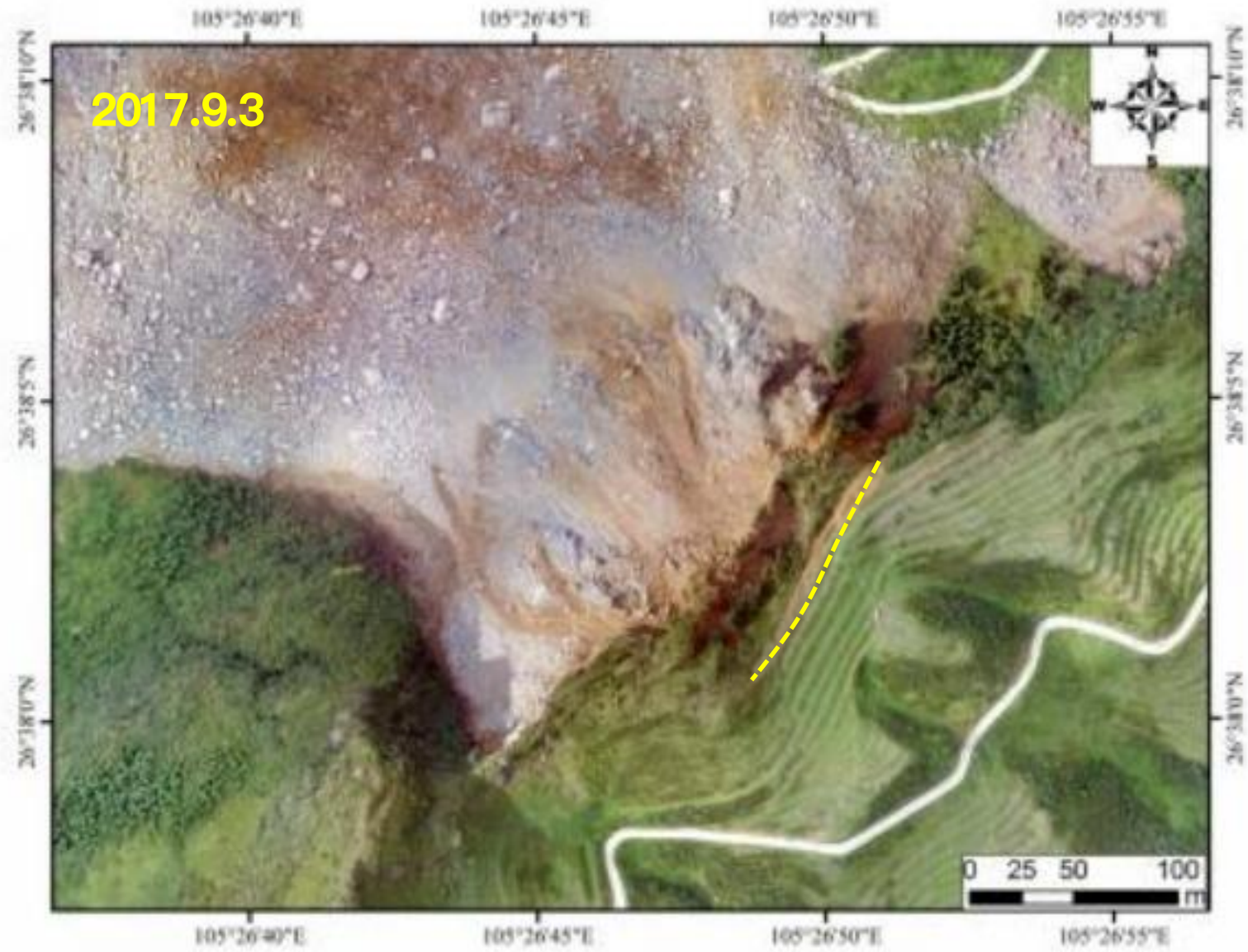
(4) 2017年8·28贵州纳雍普洒村崩塌



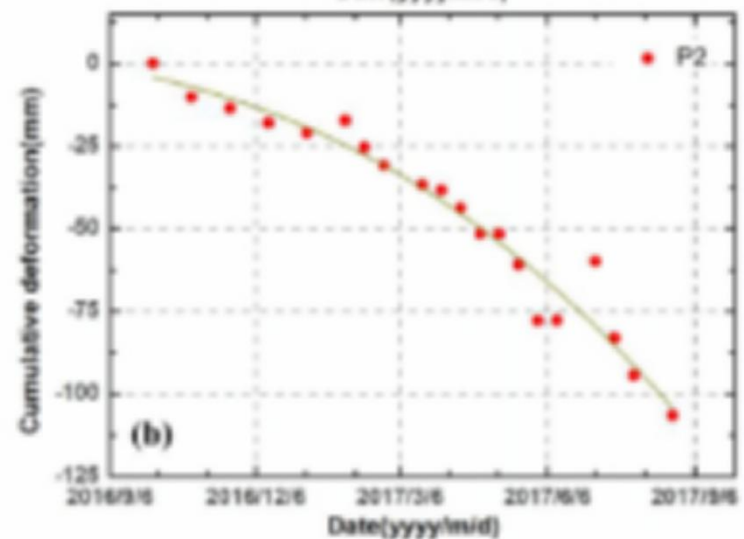
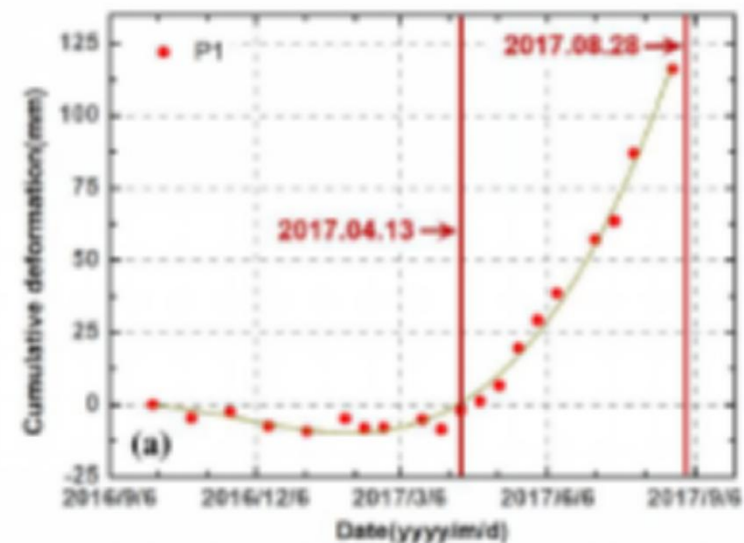
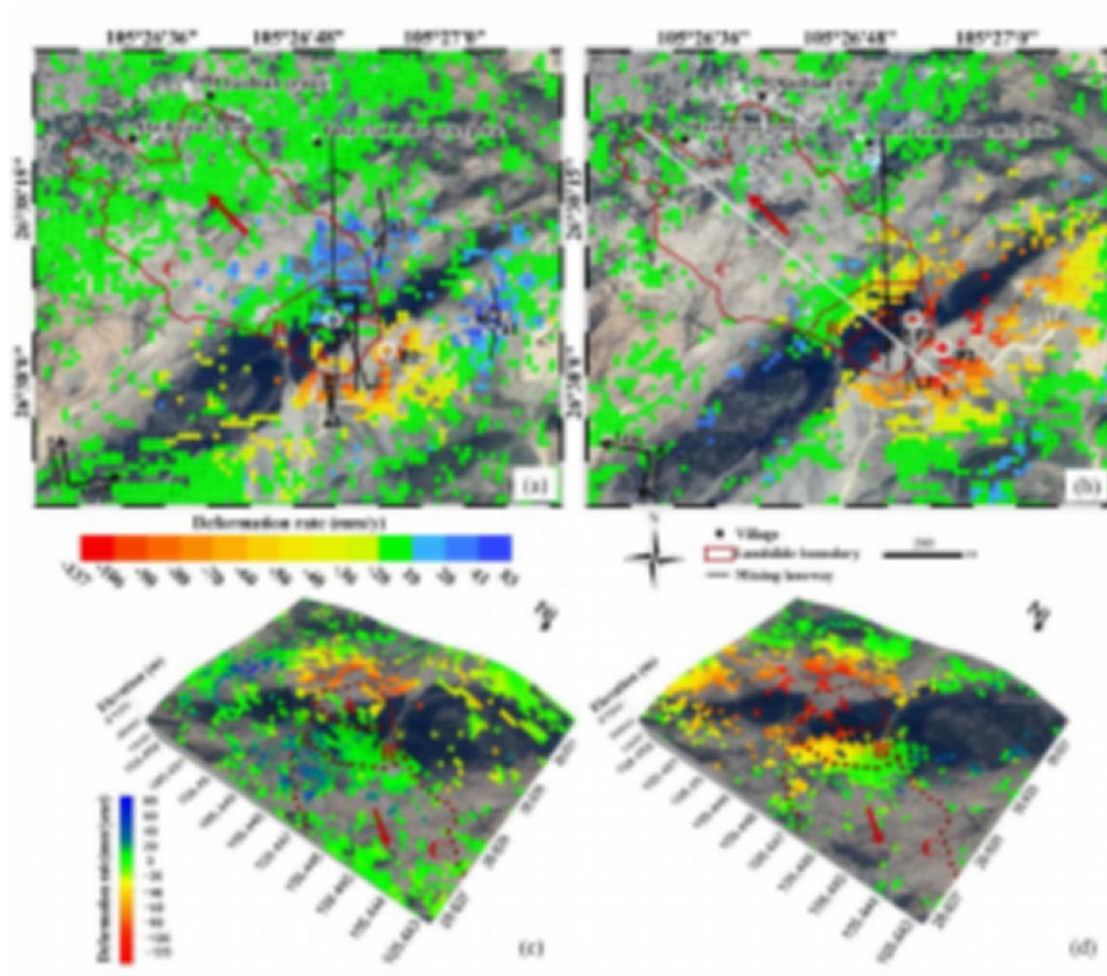
(4) 2017年8·28贵州纳雍普洒村崩塌



(4) 2017年8·28贵州纳雍普洒村崩塌



(4) 2017年8·28贵州纳雍普洒村崩塌

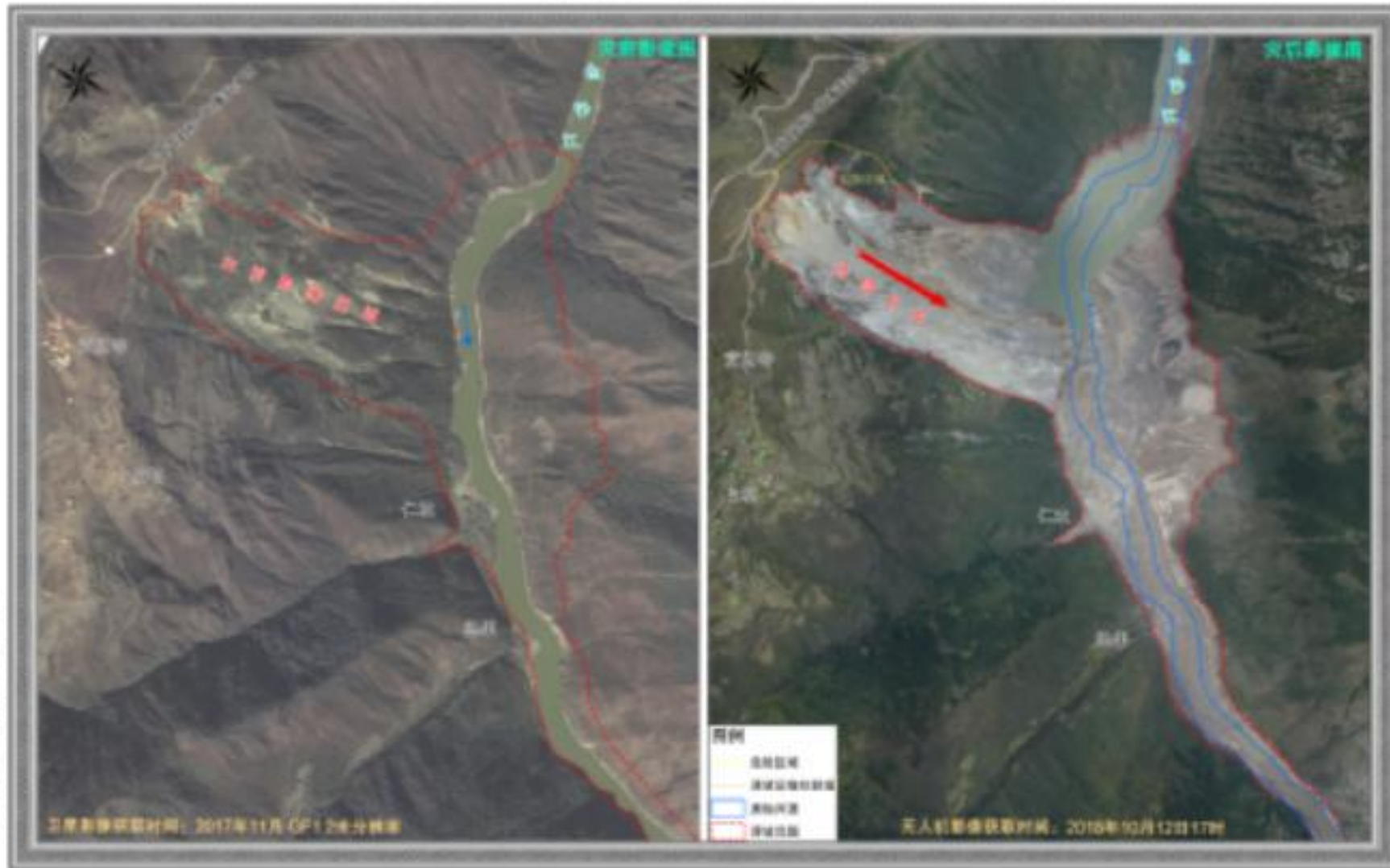


加速变形持续137天!

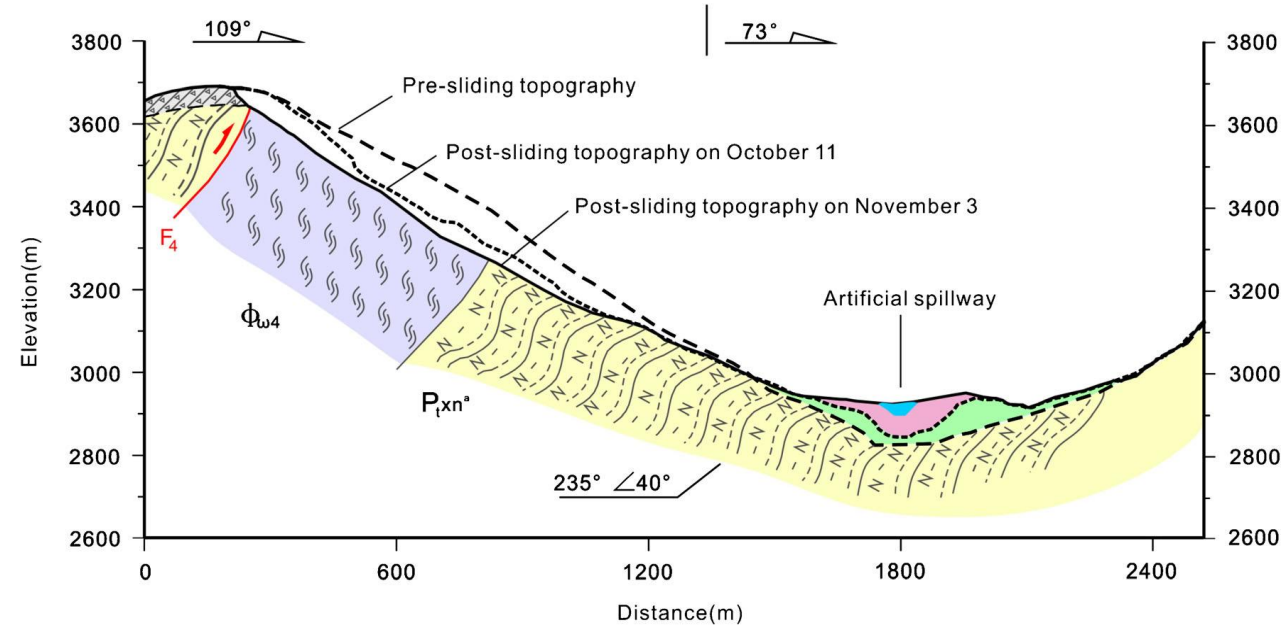
Chen et al. 2020

(5) 2018年10·11 西藏江达县白格滑坡

四川测绘地理信息局



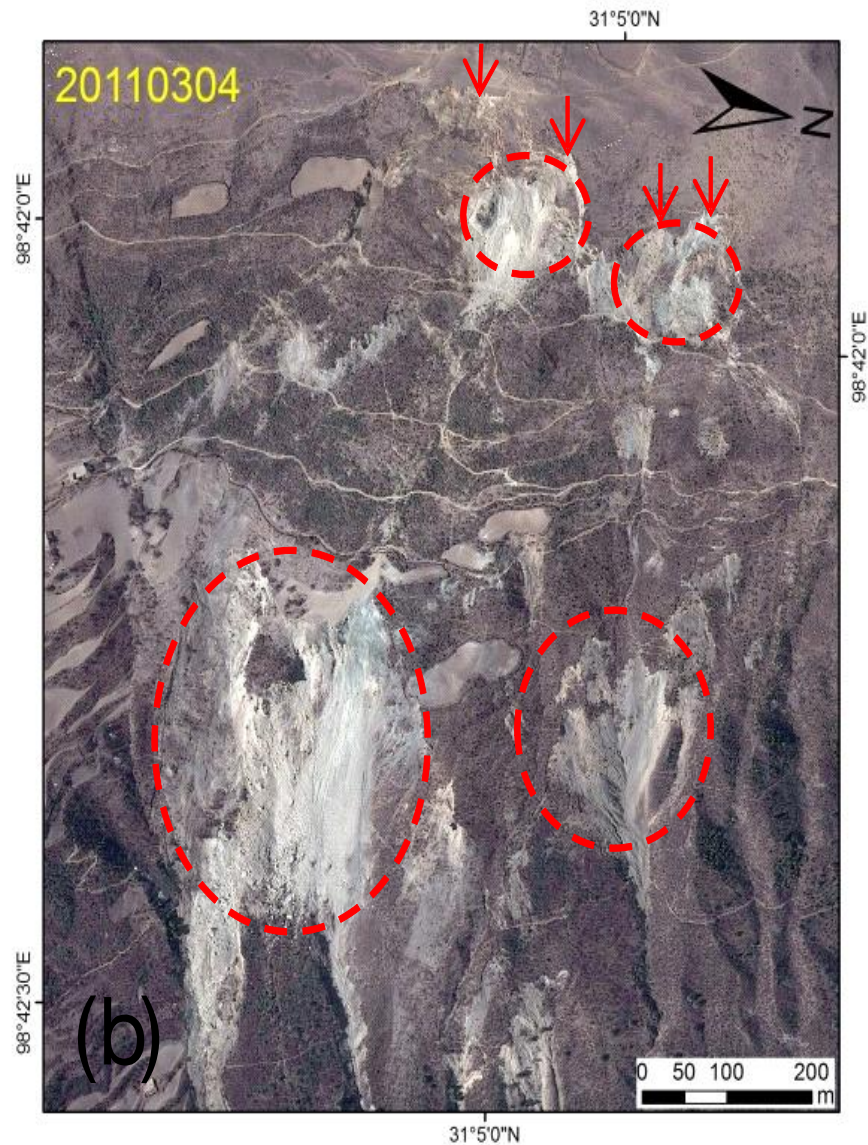
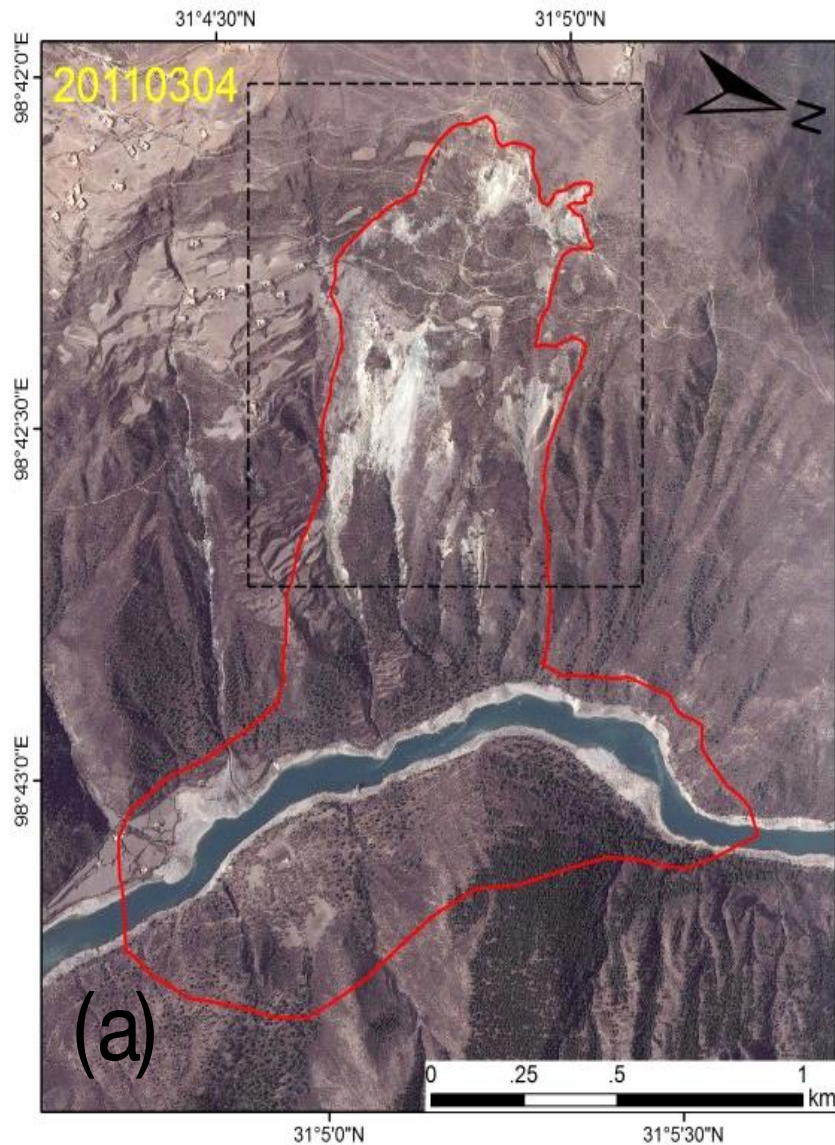
(5) 2018年10·11 西藏江达县白格滑坡



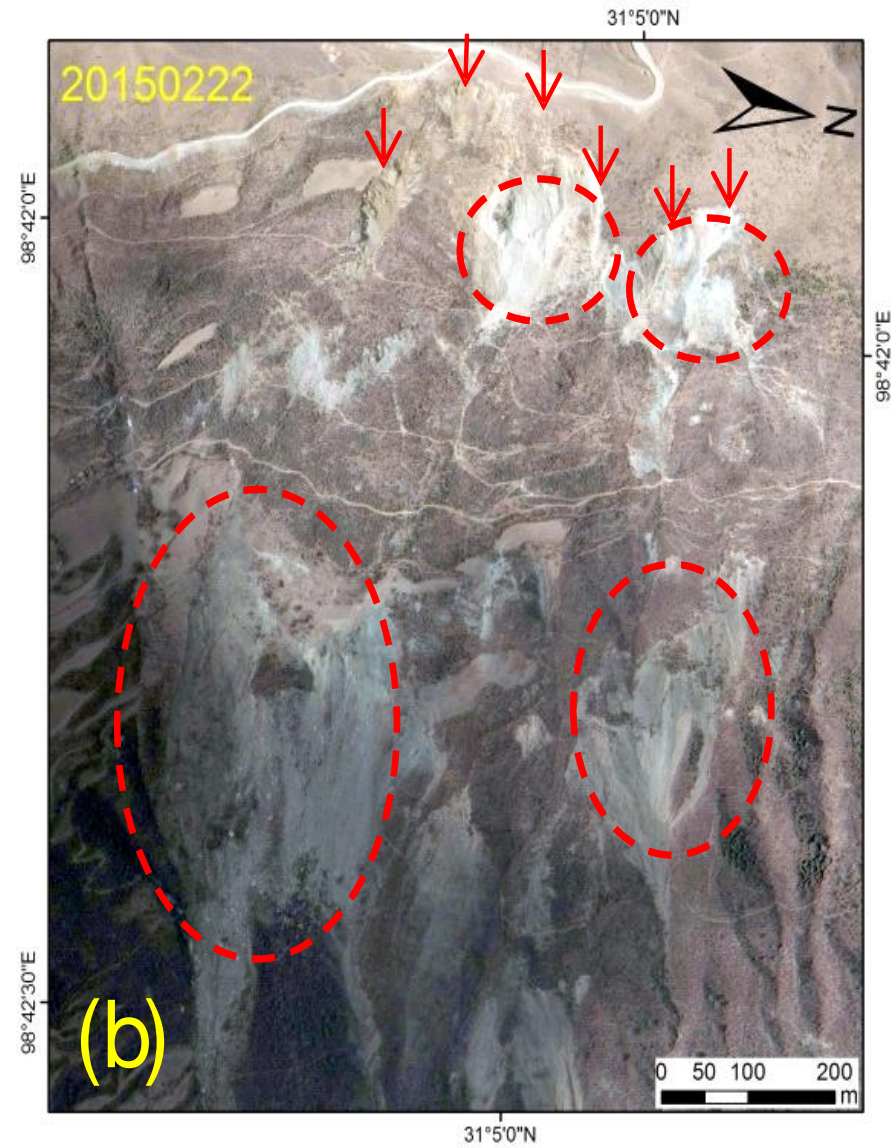
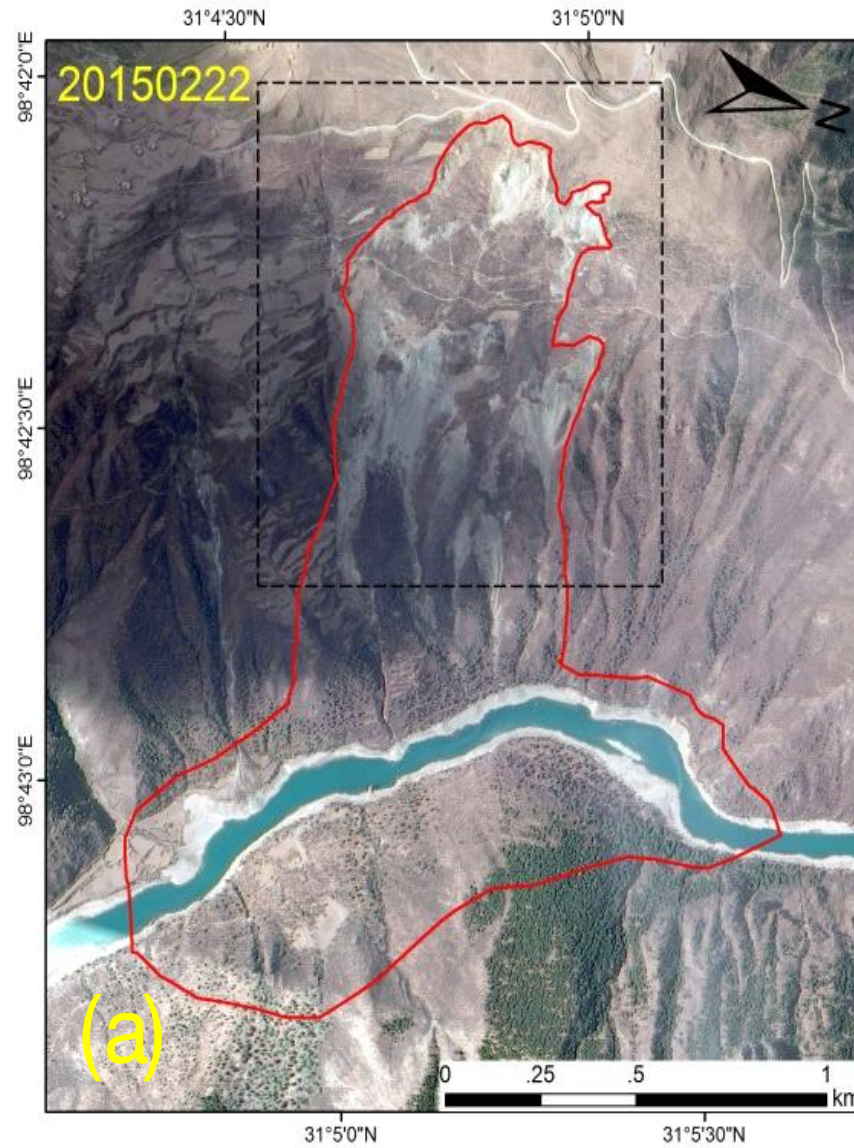
Legend

- | | | | |
|-------------|---|--|------------------------------|
| P_{1xn} | Upper Proterozoic Xiongsong Group Gneiss Formation | | Artificial spillway |
| Φ_{w4} | Variscan jinshajiang ultramafic belt and serpentinite | | Amphibole plagioclase gneiss |
| F_4 | Fault | | Serpentinite |
| | Landslide deposits on November 3 | | Quaternary overburden |
| | Landslide deposits on October 11 | | |

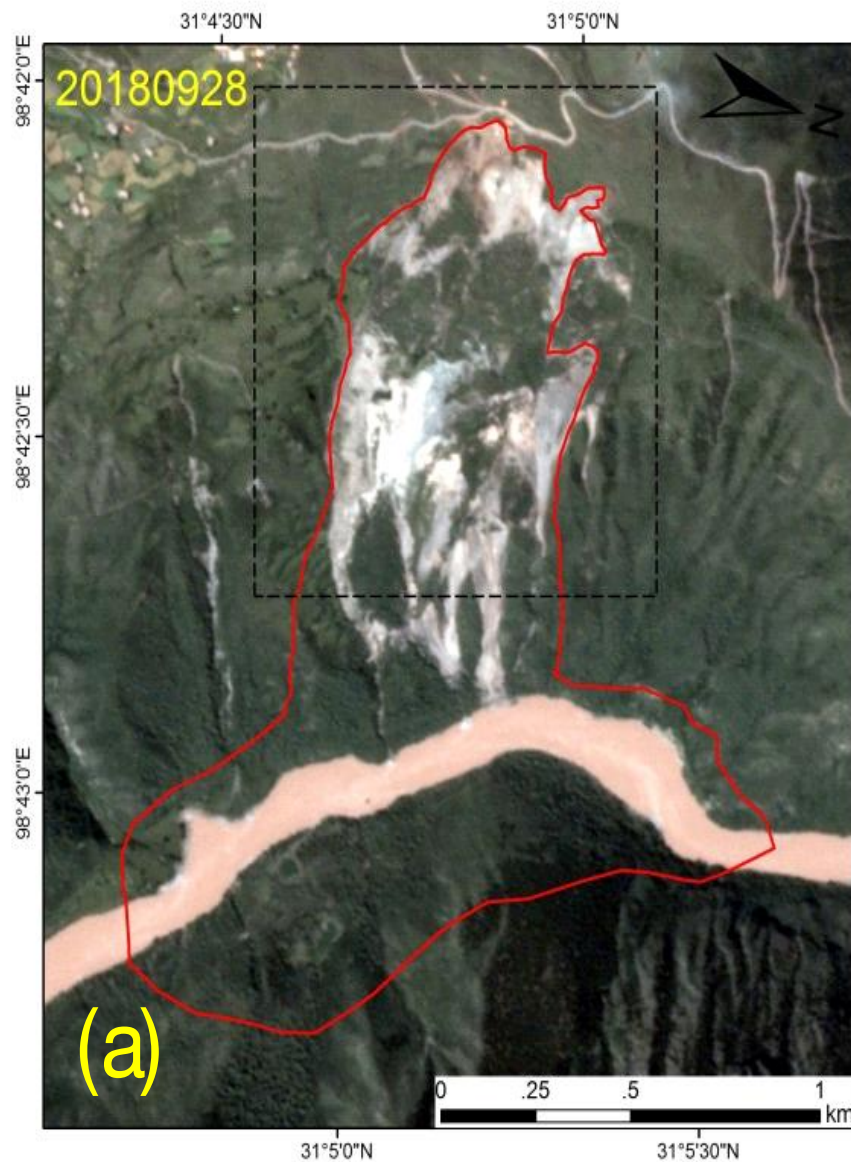
(5) 2018年10·11 西藏江达县白格滑坡



(5) 2018年10·11 西藏江达县白格滑坡

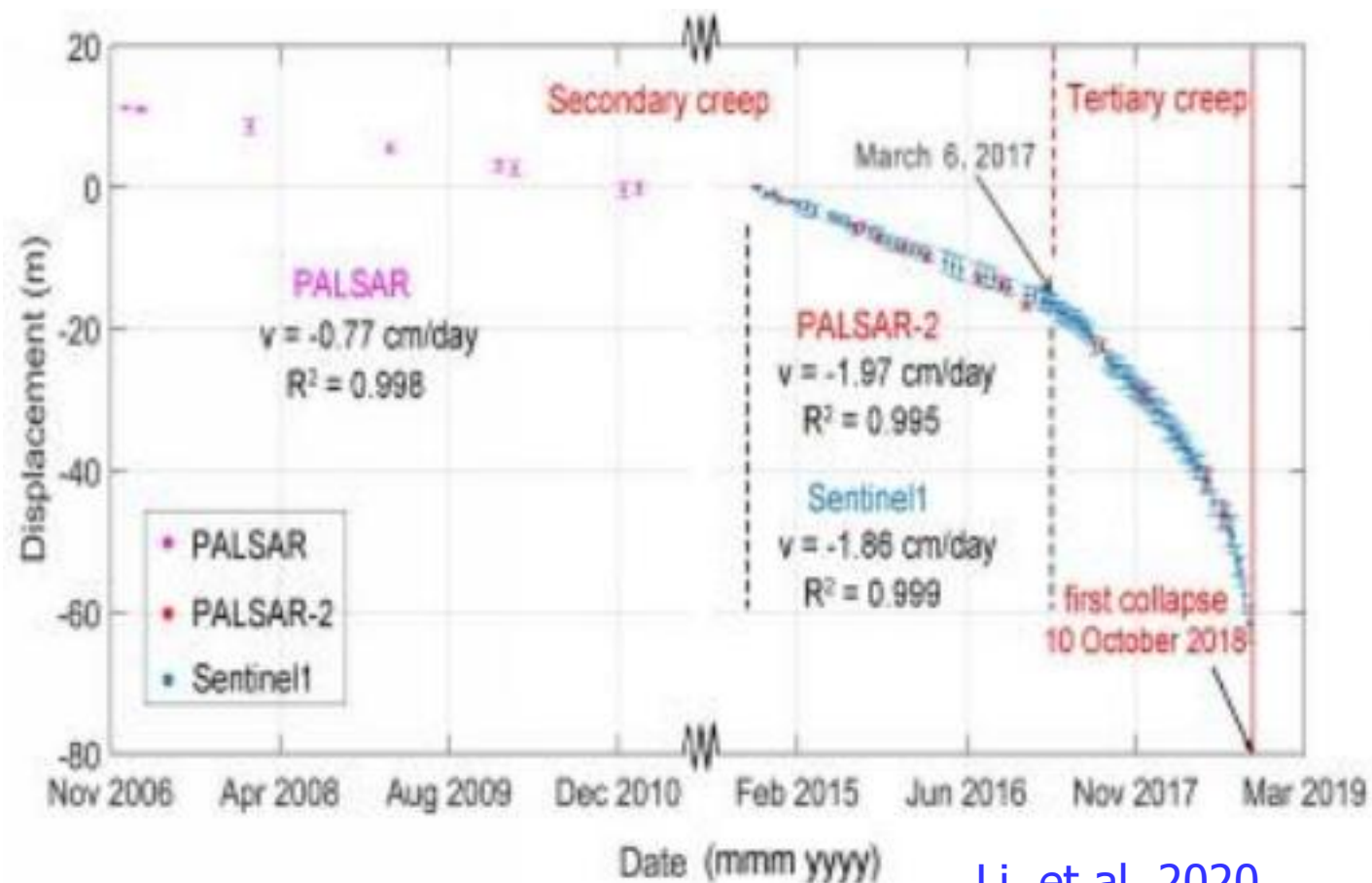
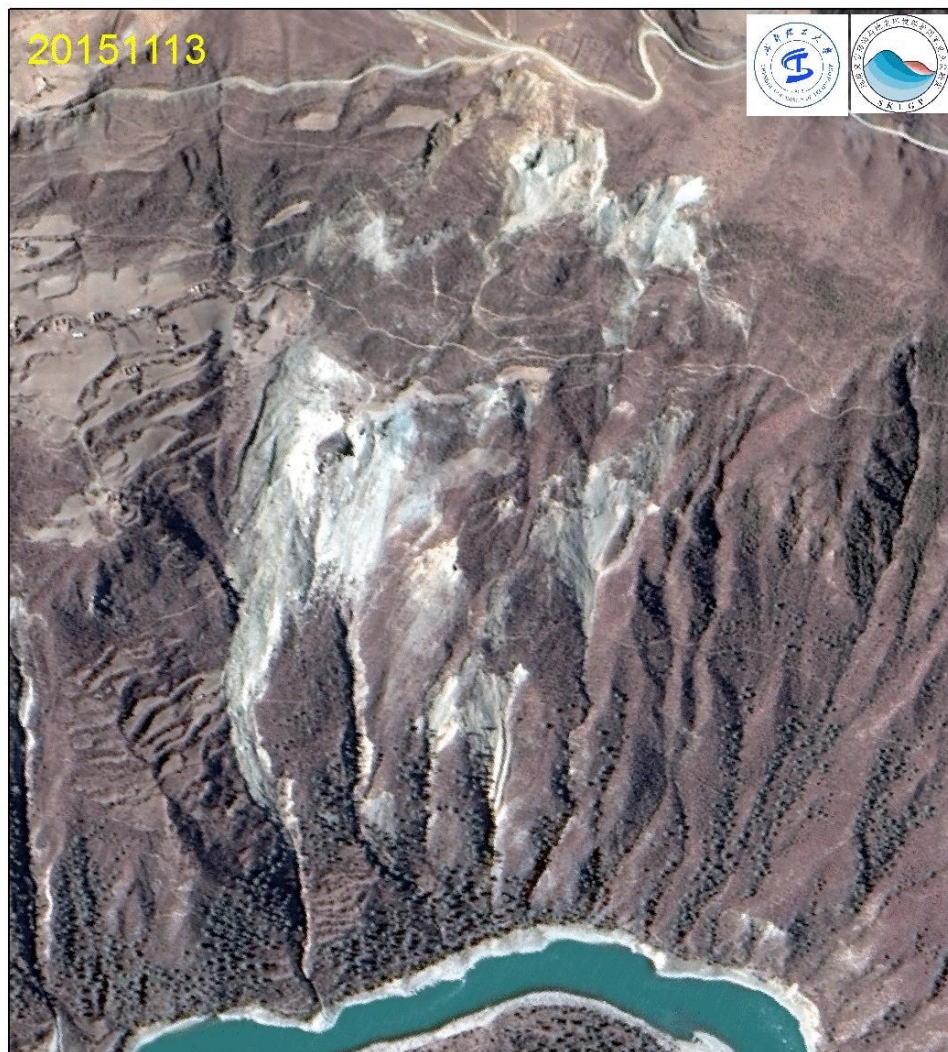


(5) 2018年10·11 西藏江达县白格滑坡



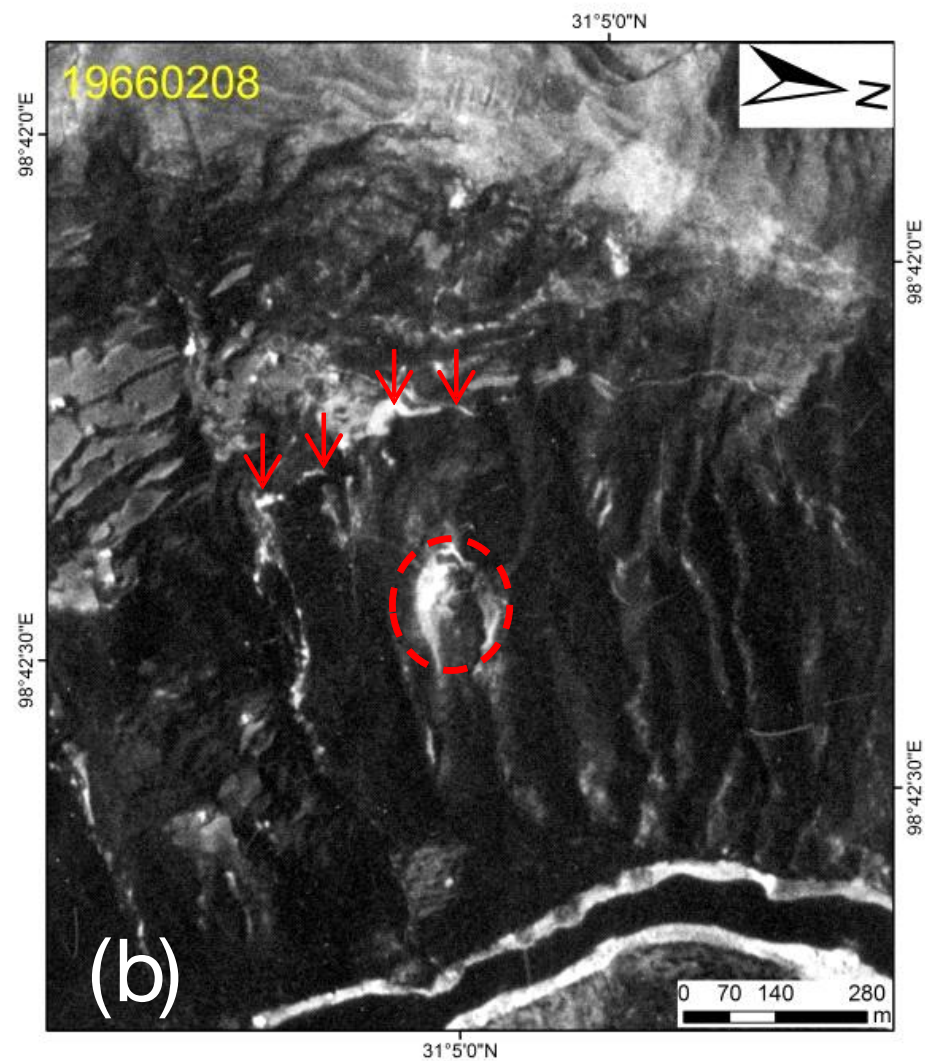
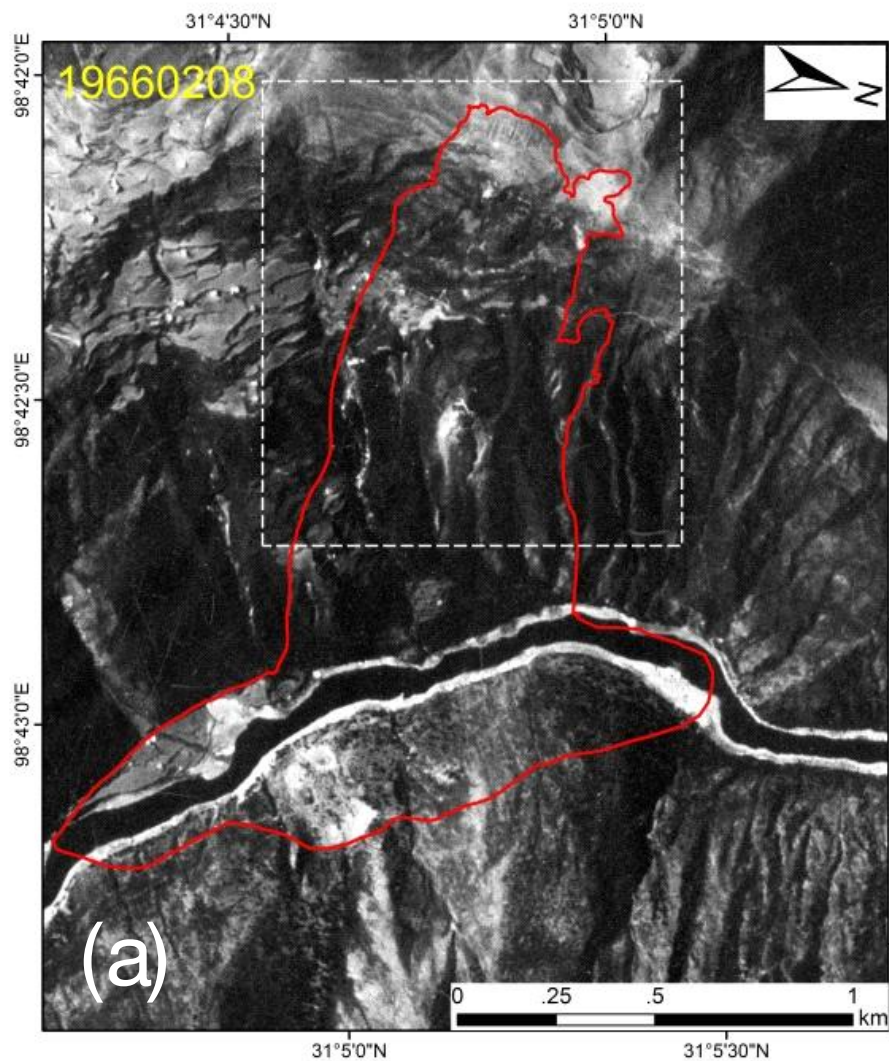
(5) 2018年10·11 西藏江达县白格滑坡

2011年1月-2018年2月累积位移约50米!!!



加速变形持续583天!

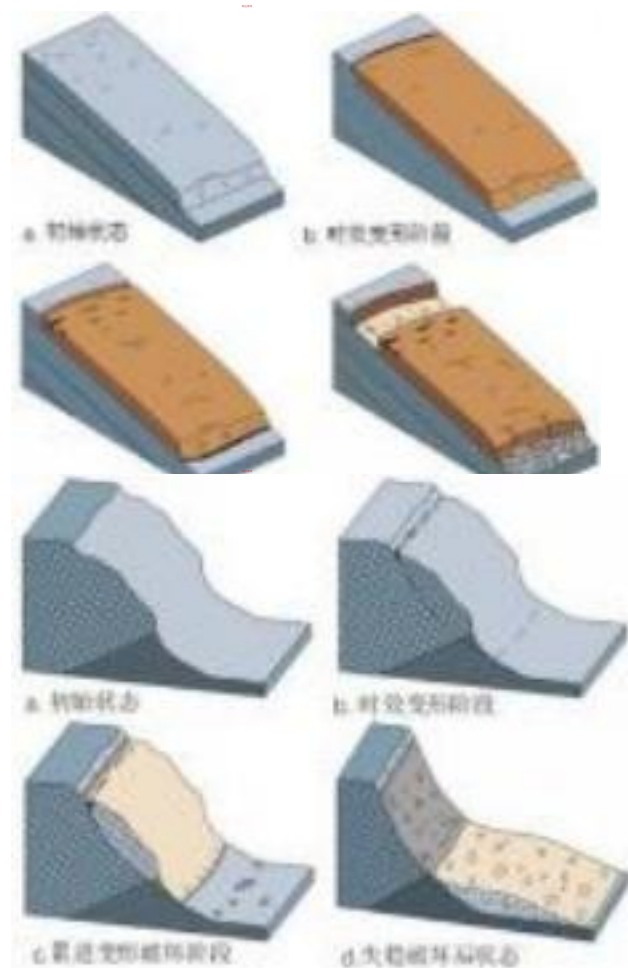
(5) 2018年10·11 西藏江达县白格滑坡



美国Keyhole侦查卫星

不同类型岩质滑坡形变特征和演化规律

划分标准	滑坡类型	形变特征和规律	滑坡案例
形成原因	自然重力作用	地表形变出现到整体失稳演化过程一般需要 10年以上	苏村滑坡、新磨村滑坡、白格滑坡
	人类工程活动扰动	地表形变出现到整体失稳演化过程可在 几年内 完成	英坪村滑坡、普洒村滑坡
坡体结构	顺层	后源裂缝在水平方向上的发展和前缘滑塌现象均不显著，滑坡加速变形到整体失稳需要的时间短， 一般为1~2月	英坪村滑坡、新磨村滑坡
	切层（含岩浆岩/岩浆变质岩）	后源裂缝不断延伸直至圈闭，可见多级裂缝，前缘变形主要表现为规模逐渐增大的崩塌，滑坡加速变形到整体失稳时间较长，可达 数月，甚至一年以上	普洒村滑坡、白格滑坡、苏村滑坡



提 纲

1.前言

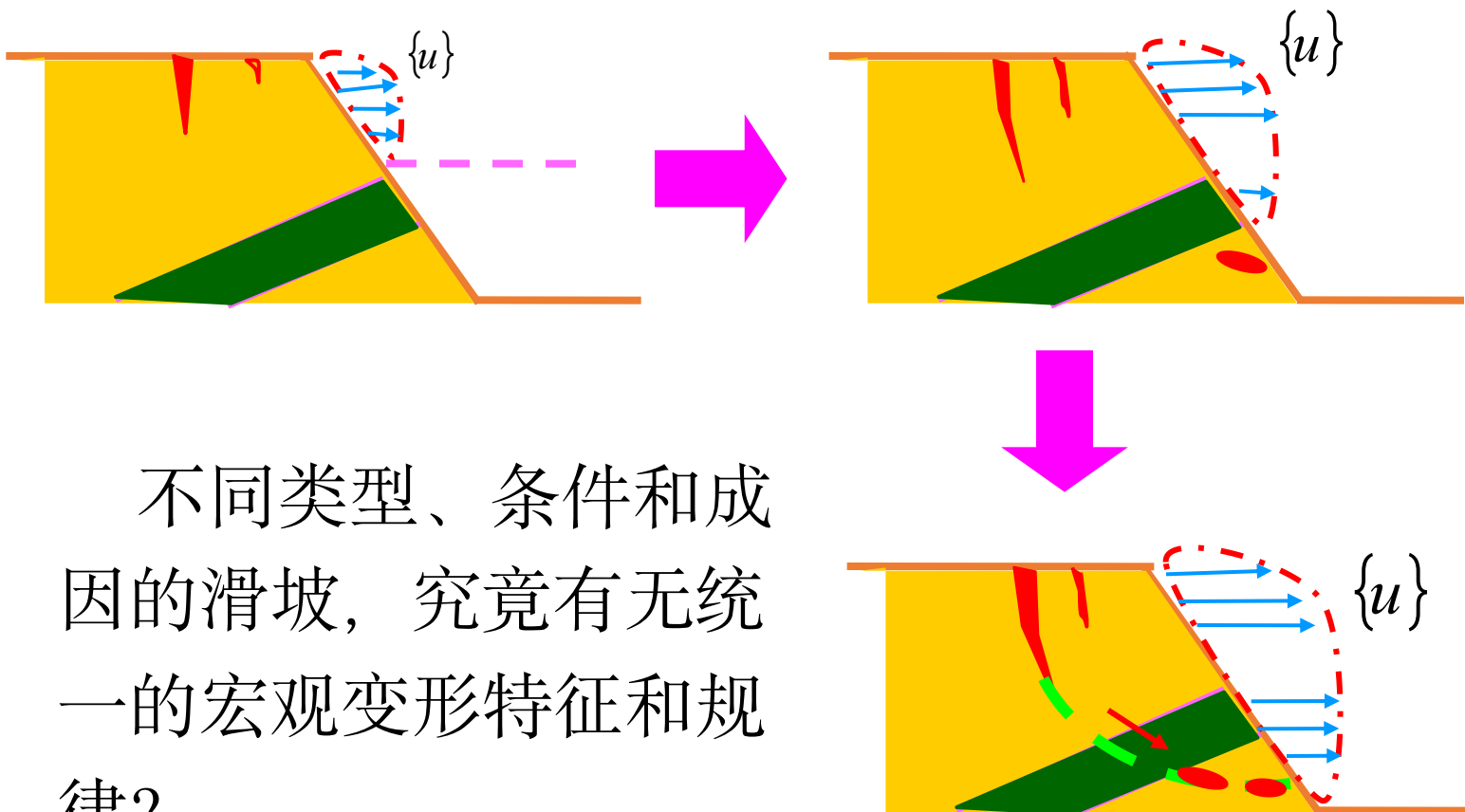
2.滑坡隐患综合遥感识别技术

3.滑坡隐患综合遥感监测技术

4.典型应用案例

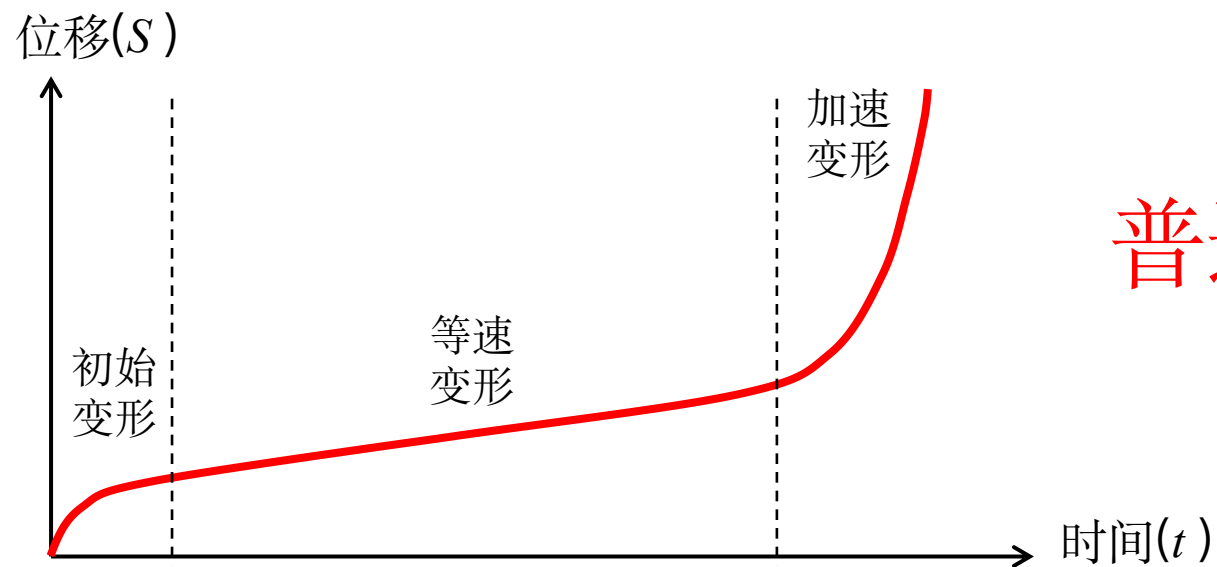
5.结语

3.1 缓慢蠕变型滑坡监测预警



3.1 缓慢蠕变型滑坡监测预警

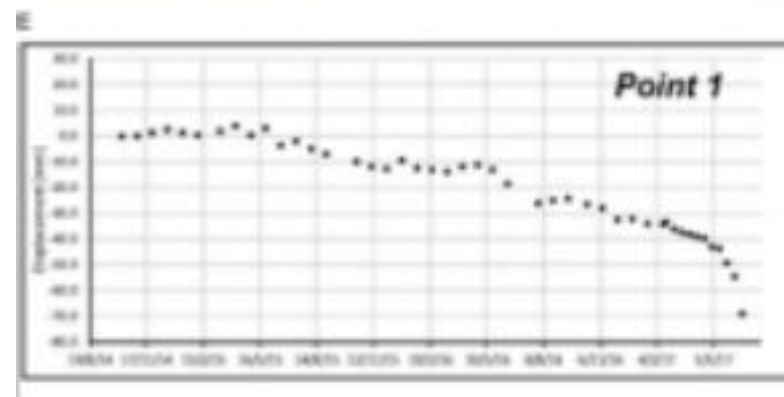
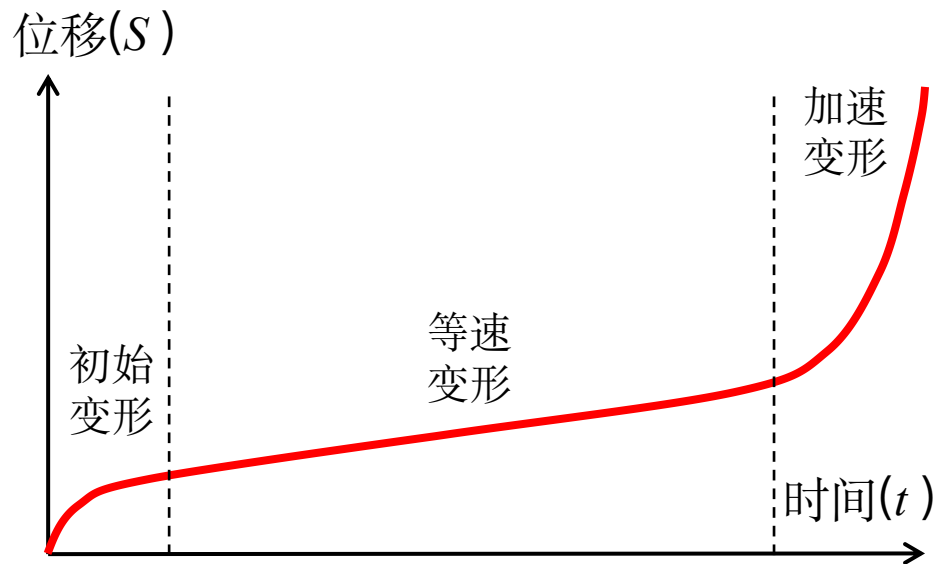
Satio (1969) 三阶段变形—时间曲线



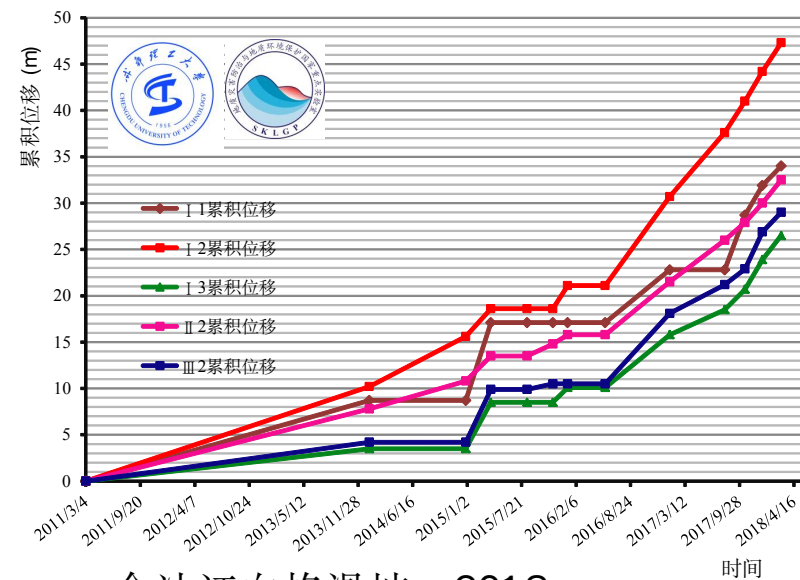
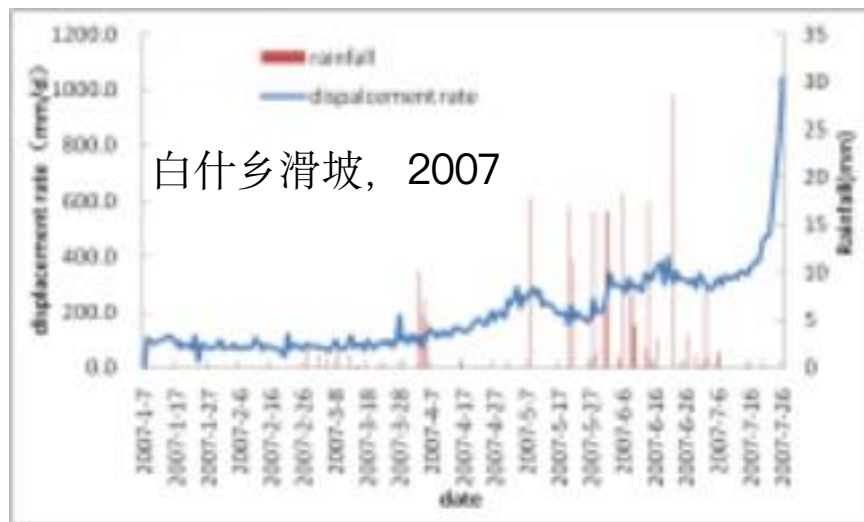
普适性?

滑坡的变形特征和规律

3.1 缓慢蠕变型滑坡监测预警

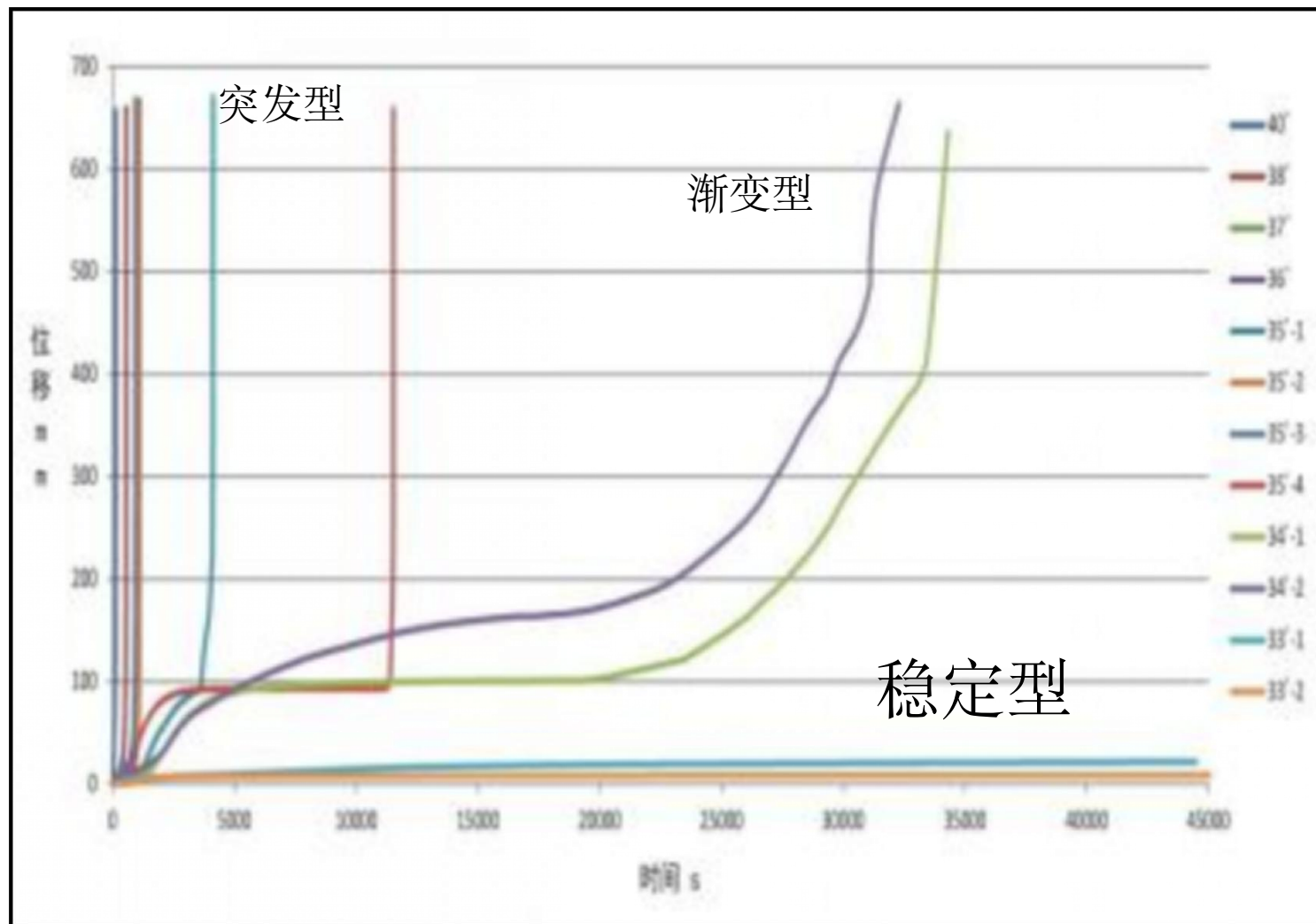


新磨村滑坡, 2017



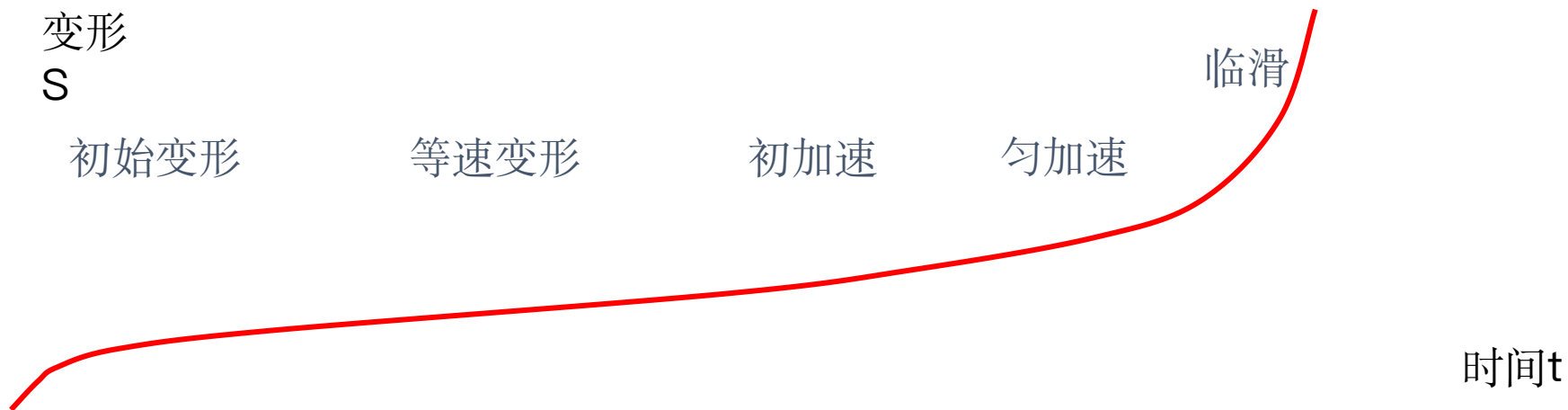
金沙江白格滑坡, 2018

3.1 缓慢蠕变型滑坡监测预警



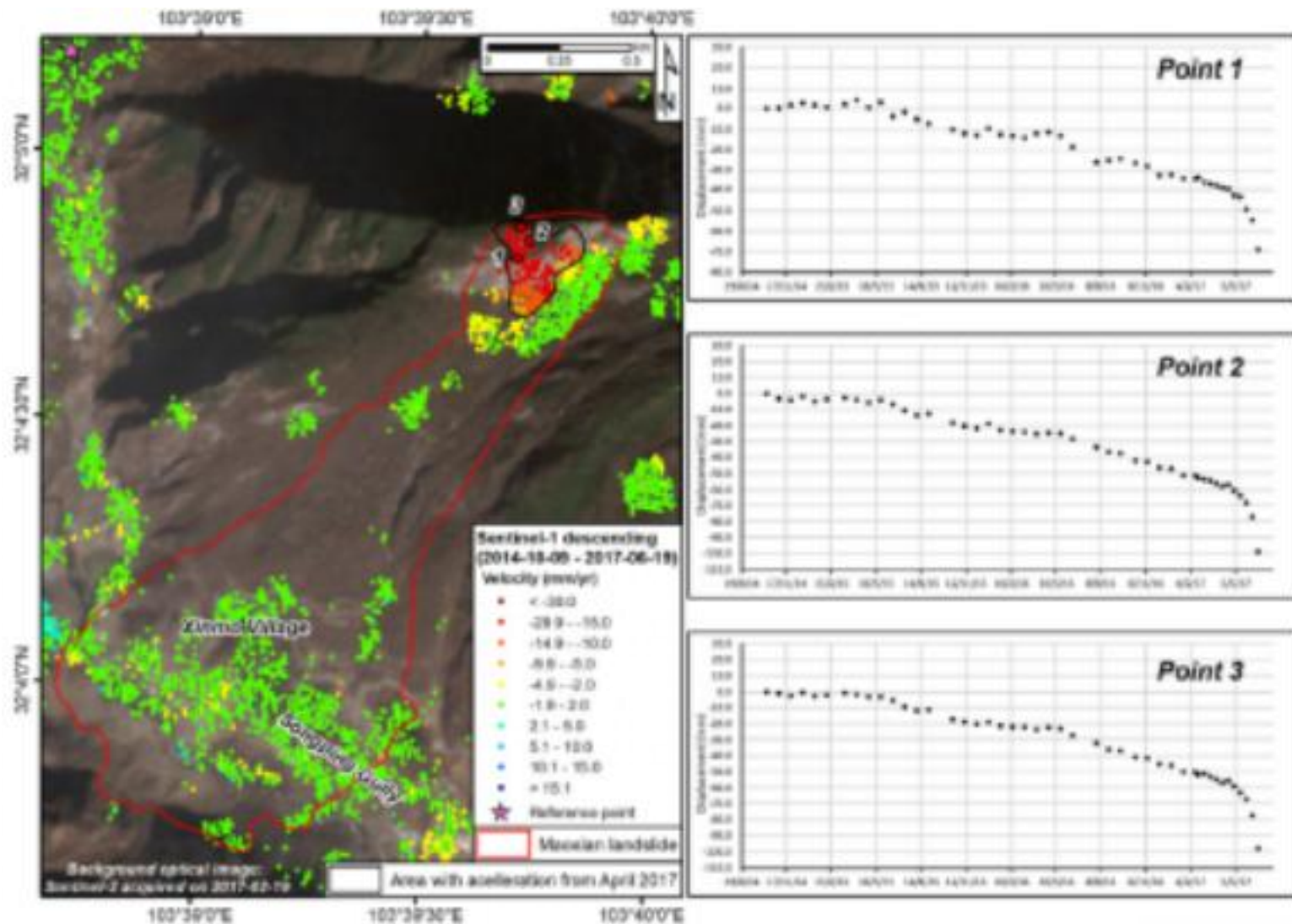
长达1年的平行滑坡物理模拟试验

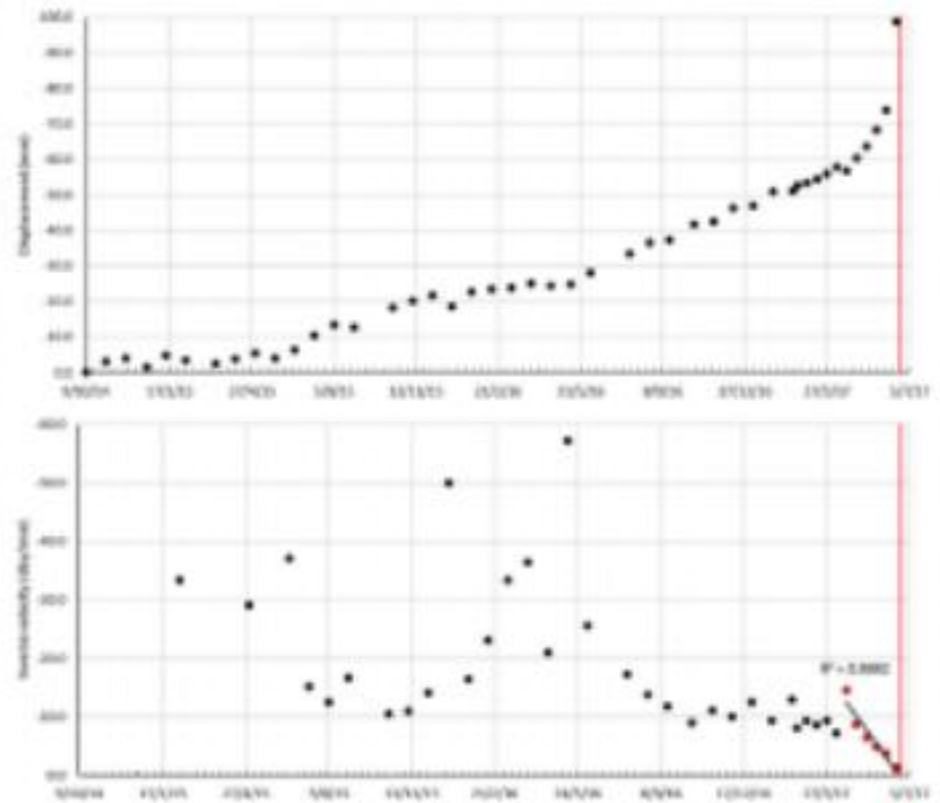
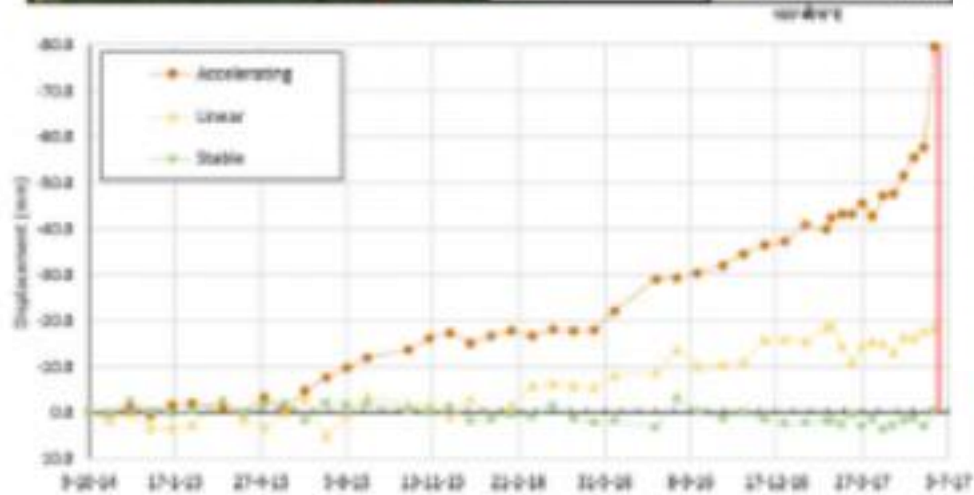
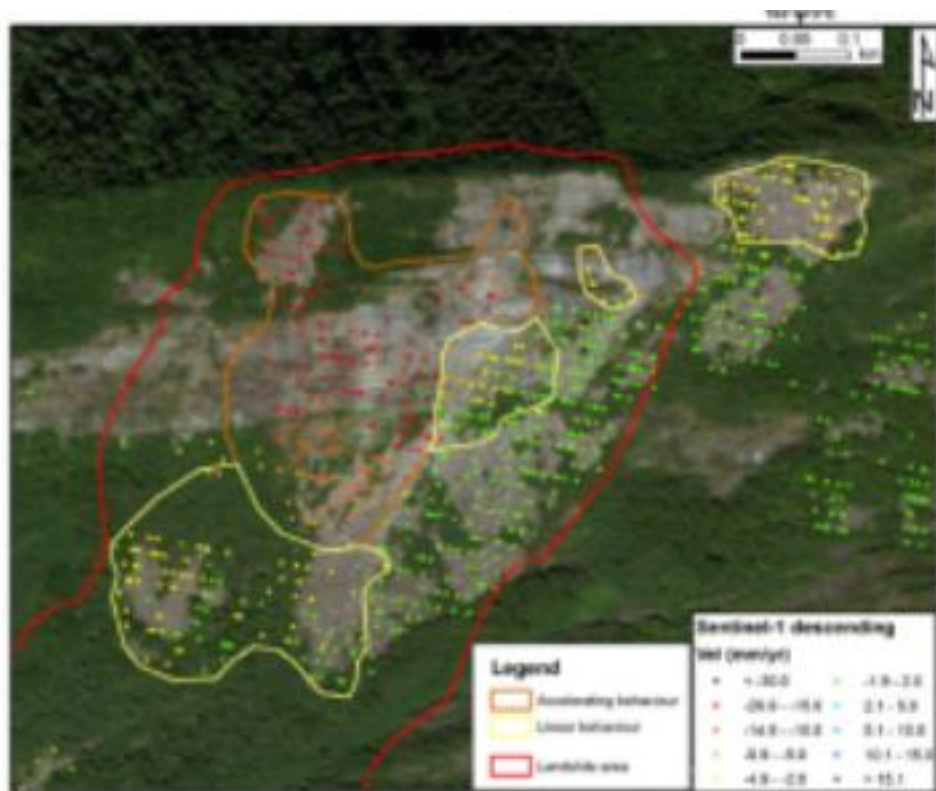
滑坡实时跟踪预警——过程预警



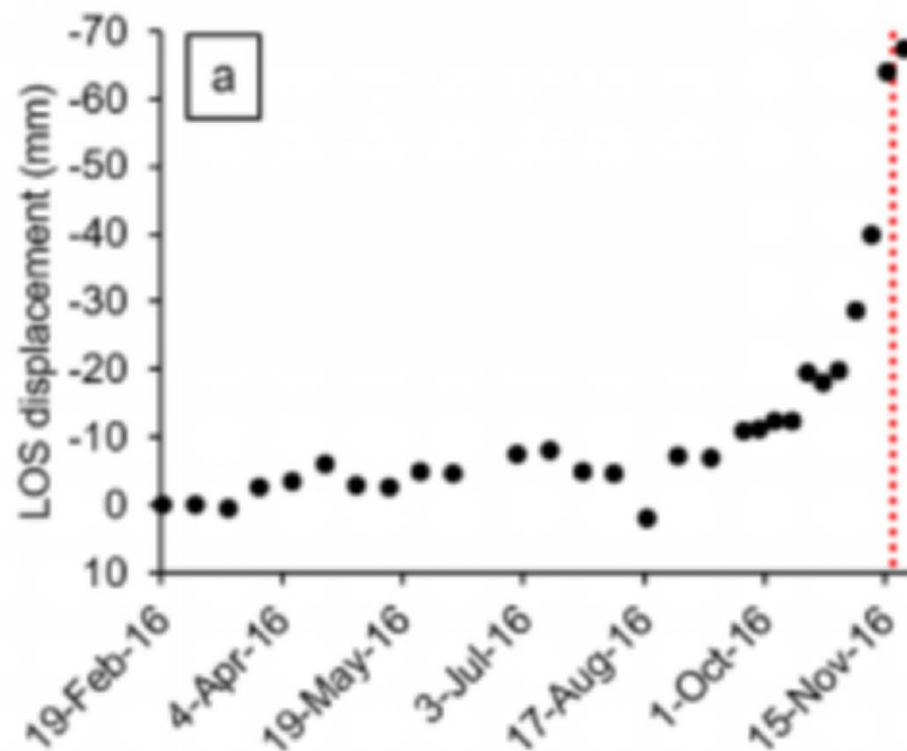
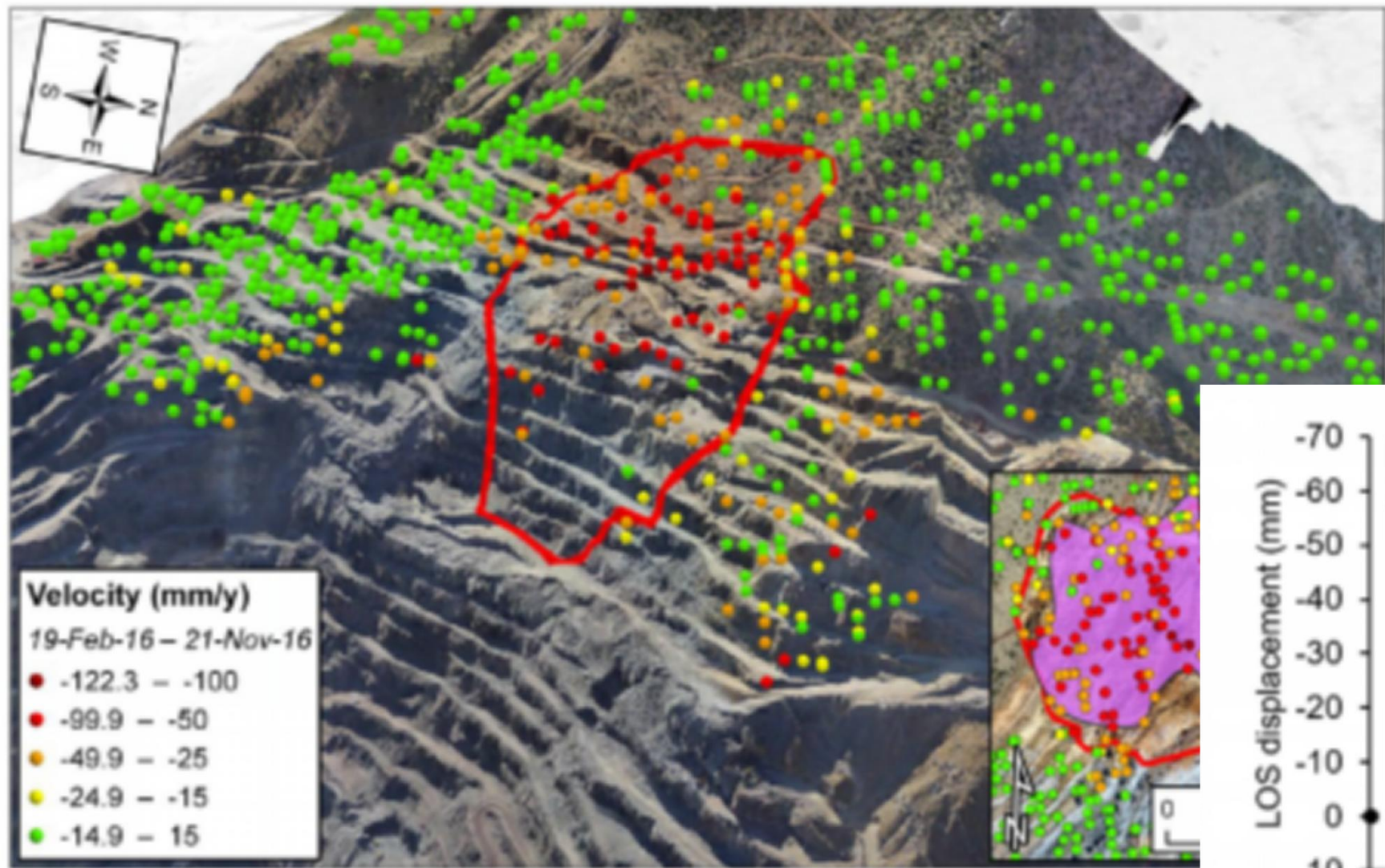
预警级别	注意级	警示级	警戒级	警报级
警报形式	蓝色	黄色	橙色	红色
地表裂缝(空间)	后缘、两侧及前缘裂缝分期有序形成	地面裂缝逐渐配套、贯通，并最终圈闭		后缘裂缝急剧拉开，前缘出现隆起、小崩小落
切线角(时间)	$\alpha \approx 45^\circ$	$45^\circ < \alpha < 80^\circ$	$80^\circ \leq \alpha < 85^\circ$	$\alpha \geq 85^\circ$
稳定系数(强度)	$1.0 \leq K \leq 1.05$	$0.95 < K < 1.0$		$K < 0.95$
加速度(时间)	在一定幅度范围内振荡			骤然剧增

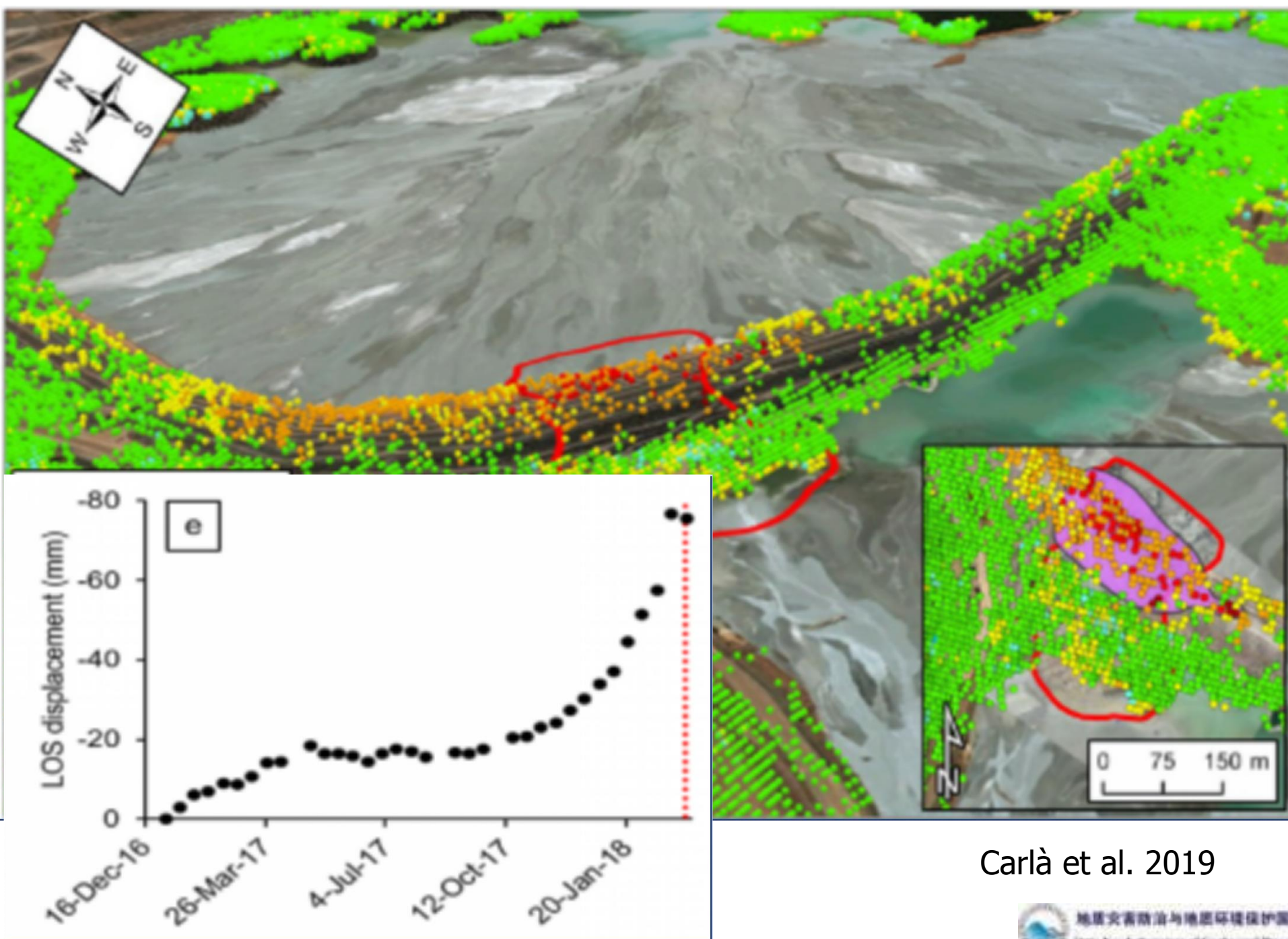
基于时序遥感技术的长期趋势监测





Emanuele et al. 2017

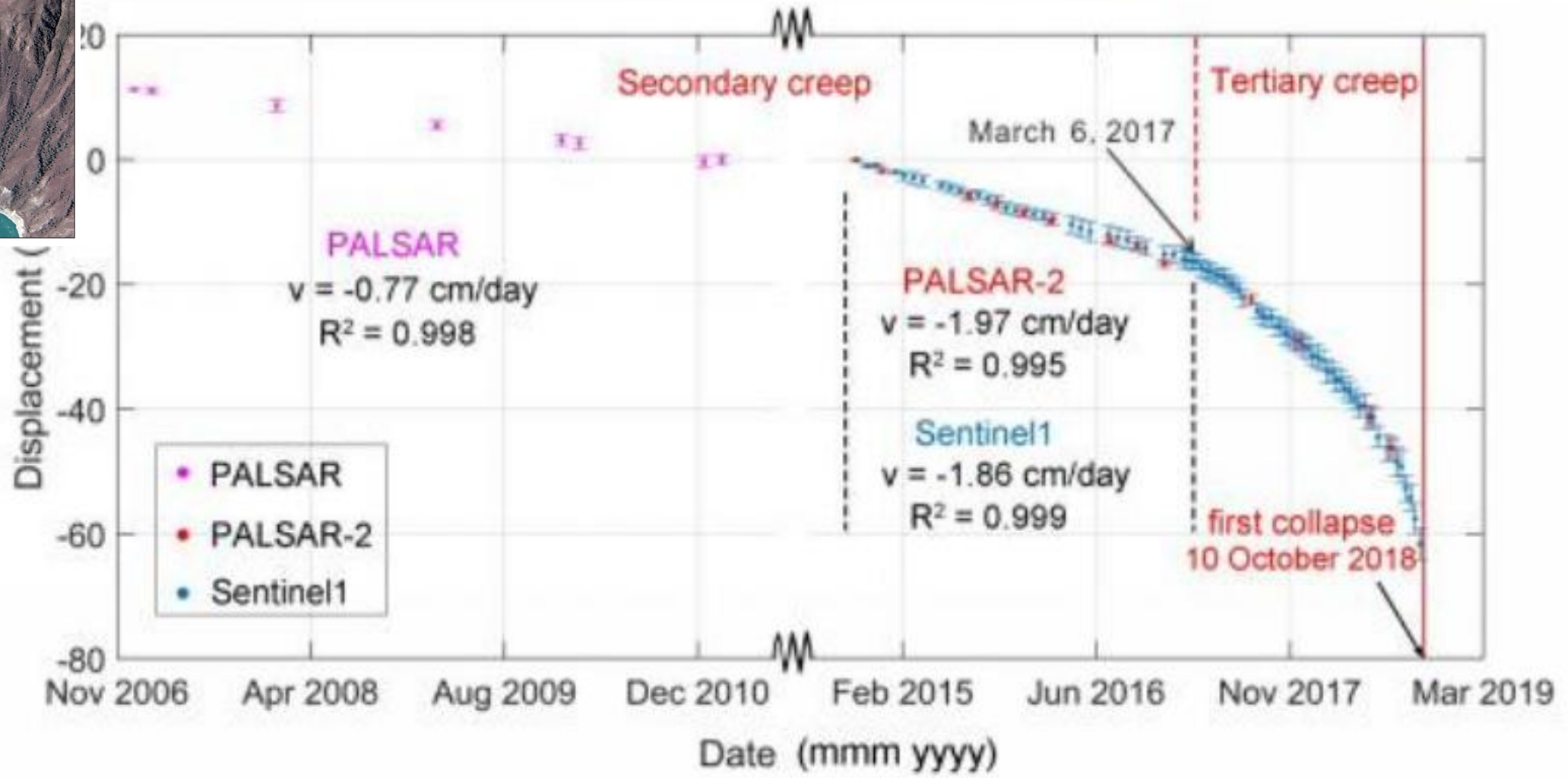




Carlà et al. 2019

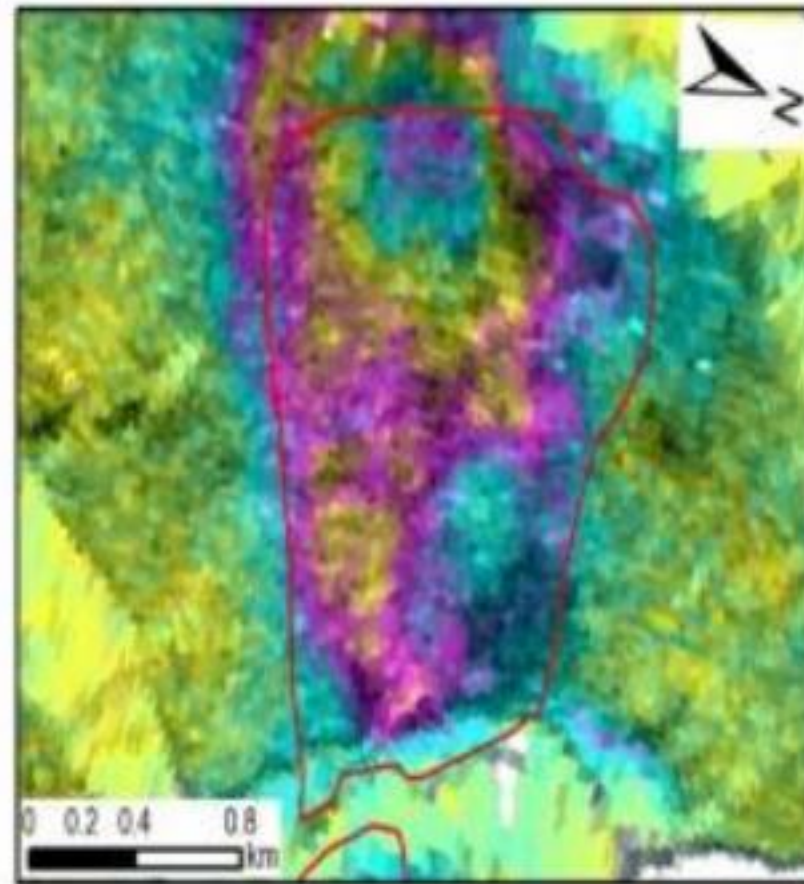


基于时序遥感技术的长期趋势监测



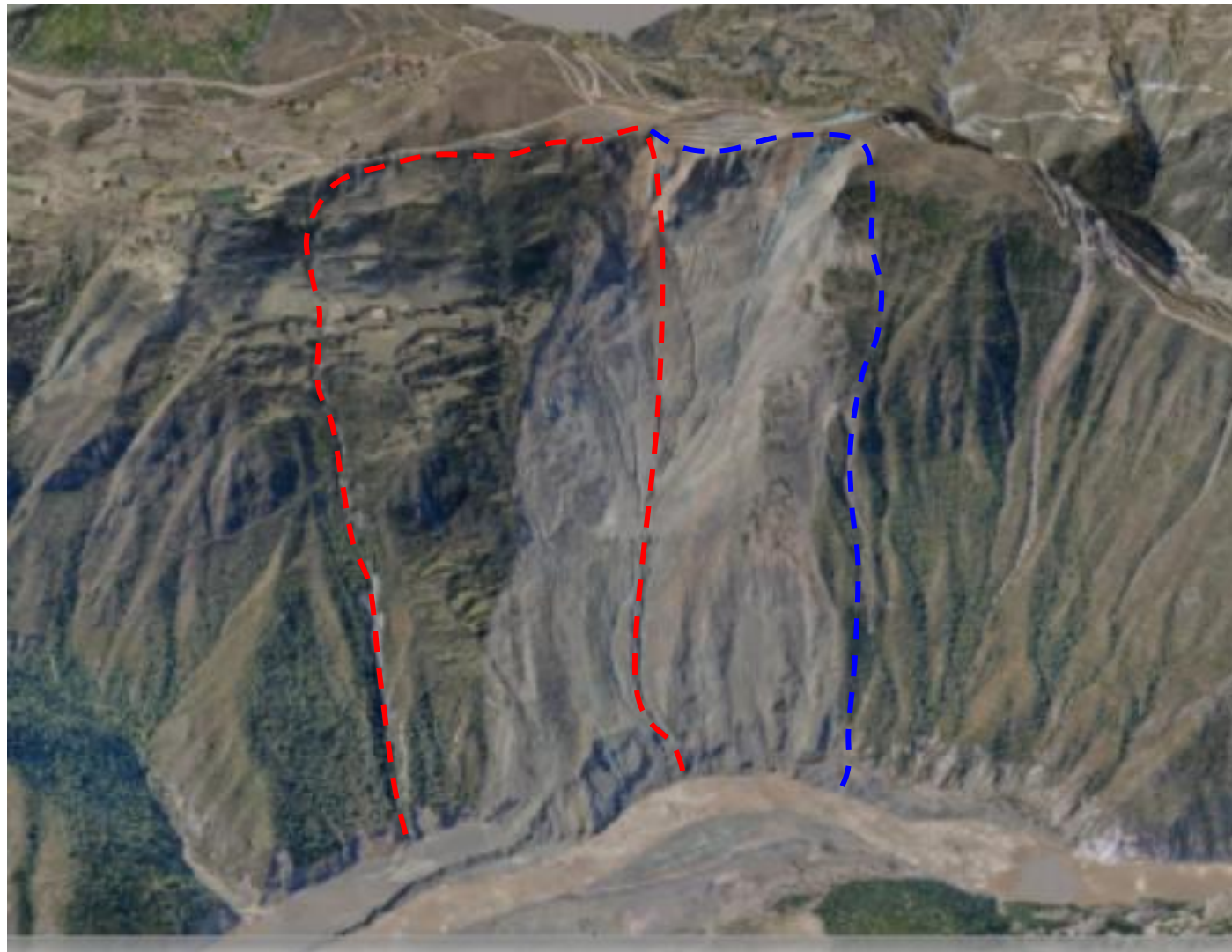
Li et al. 2020

2018年10·11 西藏江达县白格滑坡

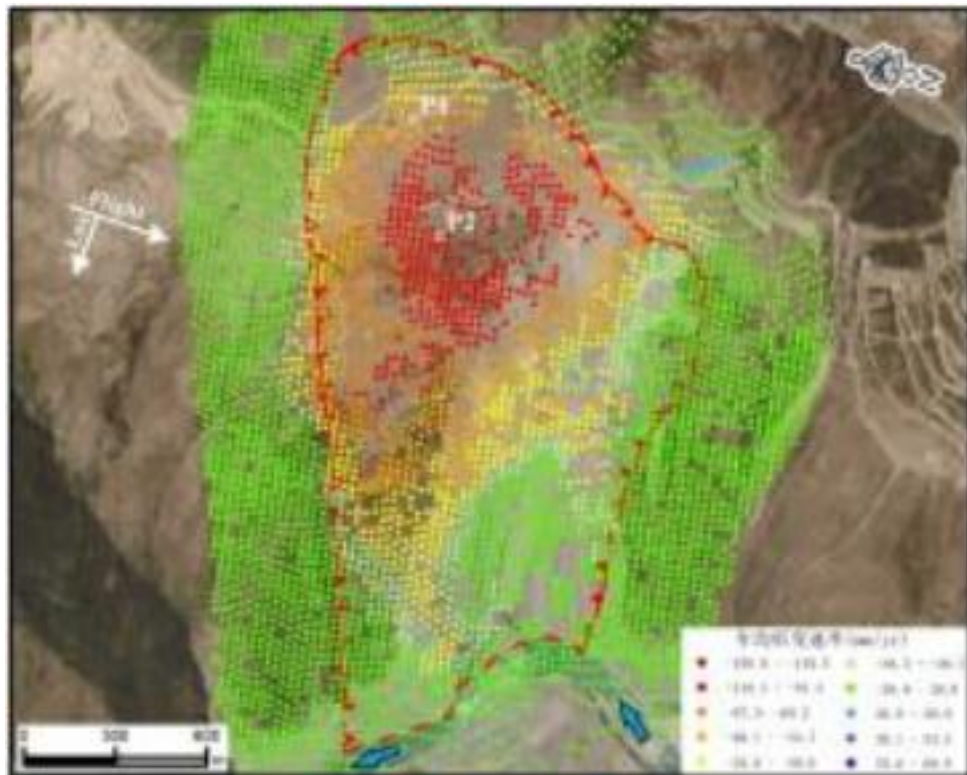


目前仍处于缓慢形变中!!

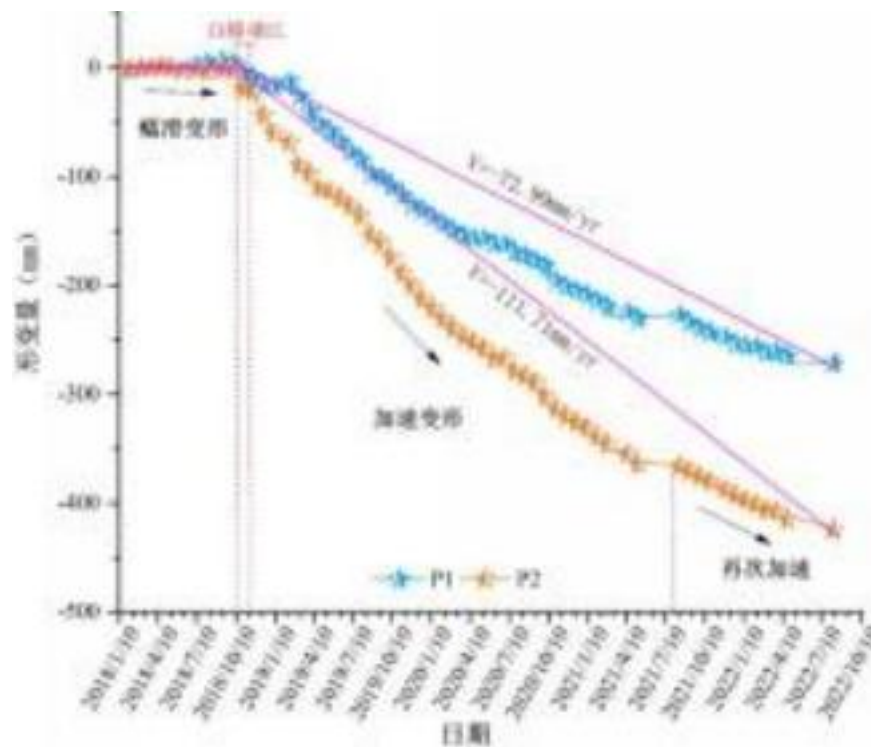
2018年10·11 西藏江达县白格滑坡



2018年10·11 西藏江达县白格滑坡

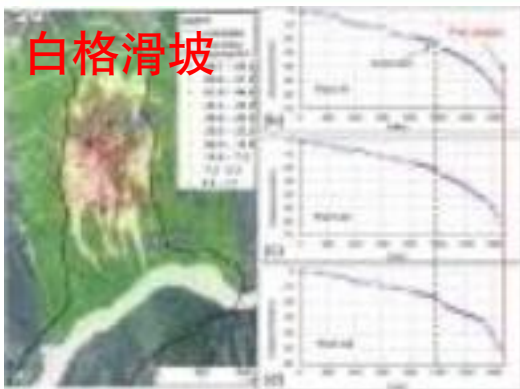


白格滑坡在2018年连续两次大规模失稳后，在其右侧产生了新的变形区，目前该区域呈现持续蠕滑变形，在2021年7月有一次加速变形，建议利用InSAR技术进行持续形变监测。

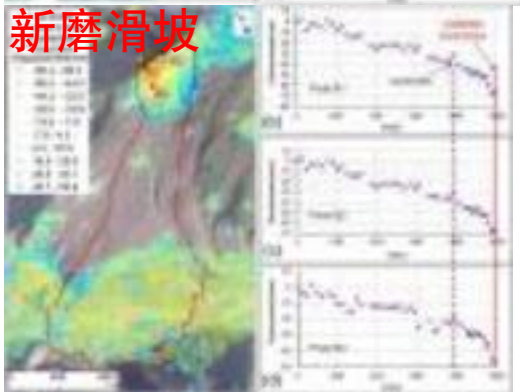


InSAR滑坡监测预警判据

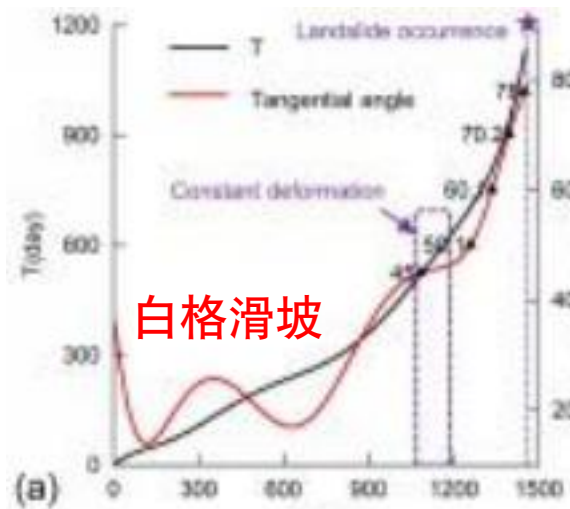
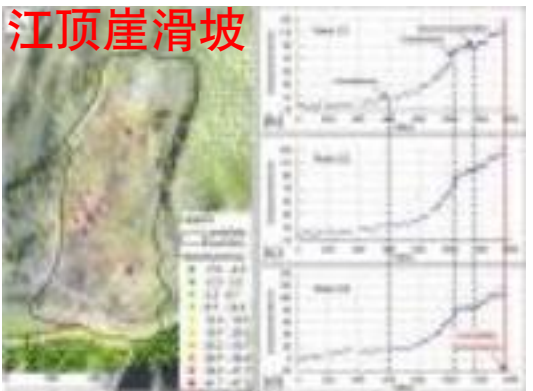
白格滑坡



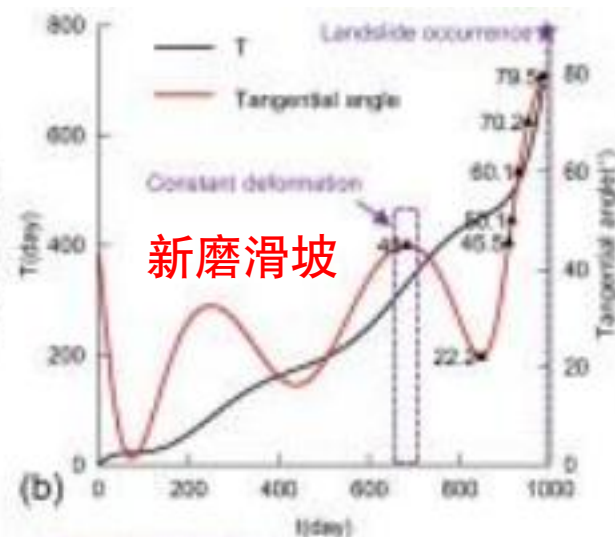
新磨滑坡



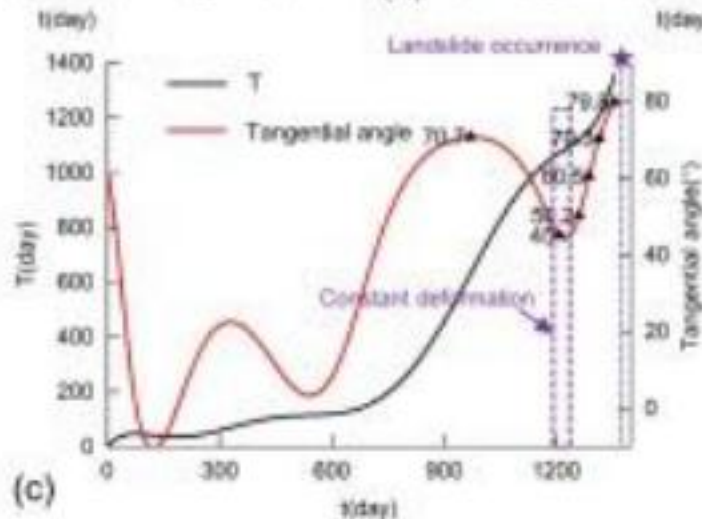
江顶崖滑坡



白格滑坡

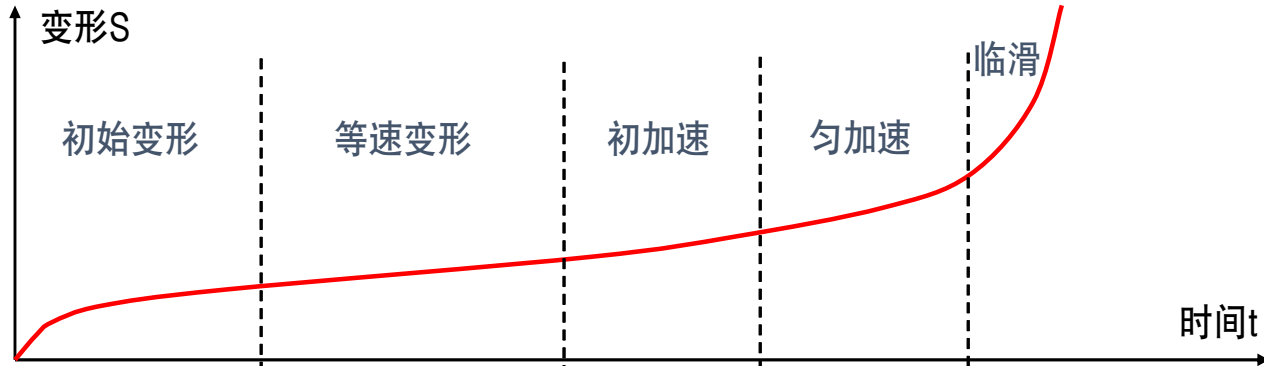


新磨滑坡



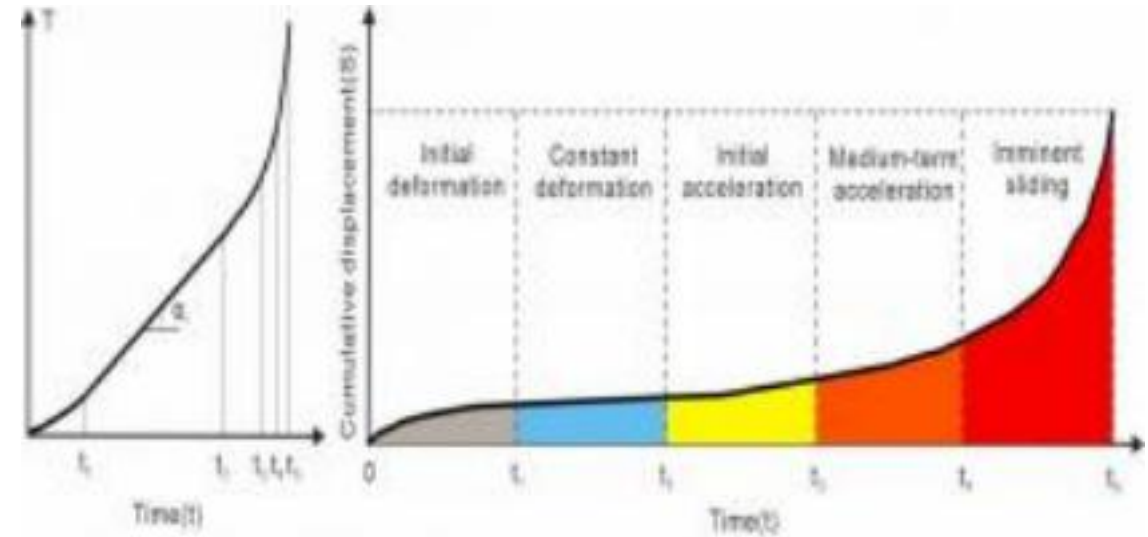
江顶崖滑坡

InSAR滑坡监测预警判据



预警级别	注意级	警示级	警戒级	警报级
警报形式	蓝色	黄色	橙色	红色
地表裂缝(空间)	后缘、两侧及前缘裂缝分期有序形成	地面裂缝逐渐配套、贯通，并最终圈闭		后缘裂缝急剧拉开，前缘出现隆起、小崩小落
切线角(时间)	$\alpha \approx 45^\circ$	$45^\circ < \alpha < 80^\circ$	$80^\circ \leq \alpha < 85^\circ$	$\alpha \geq 85^\circ$
稳定系数(强度)	$1.0 \leq K \leq 1.05$	$0.95 < K < 1.0$		$K < 0.95$
加速度(时间)	在一定幅度范围内振荡			骤然剧增

基于地面监测数据



Corresponding deformation stage	Initial deformation	Constant deformation	Acceleration deformation		
Tangential angle(°)	$\alpha < 45^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$45^\circ < \alpha < 60^\circ$	$60^\circ \leq \alpha < 75^\circ$	$\alpha \geq 75^\circ$
Early warning level	Observation	Attention	Caution	Vigilance	Alarm

基于卫星InSAR监测数据

提 纲

1.前言

2.滑坡隐患综合遥感识别技术

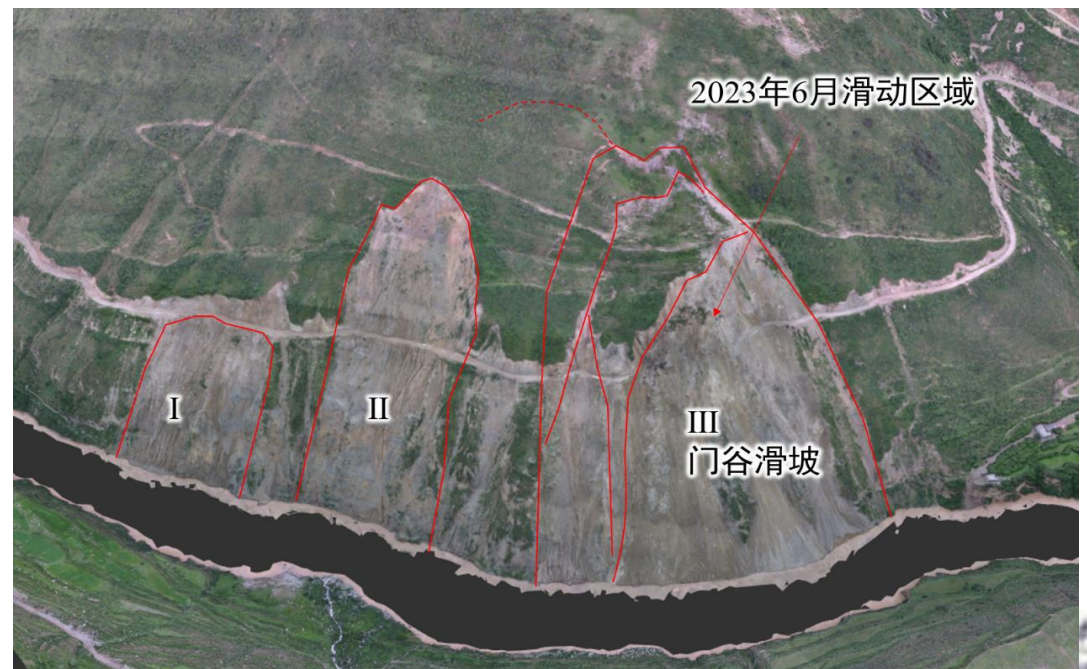
3.滑坡隐患综合遥感监测技术

4.典型应用案例

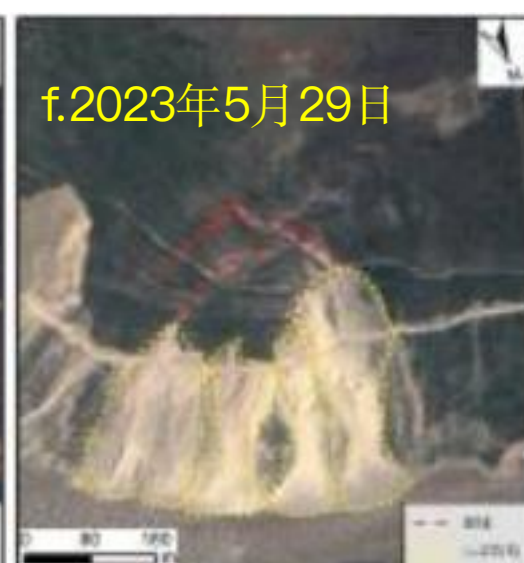
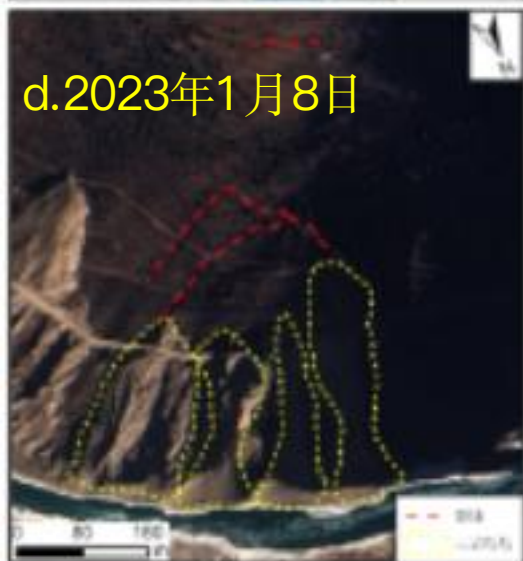
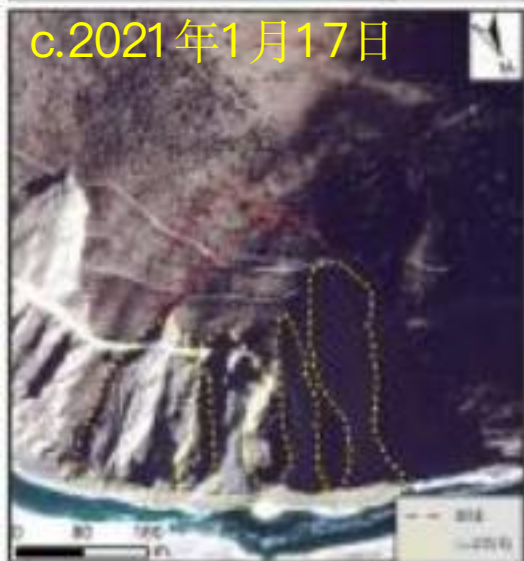
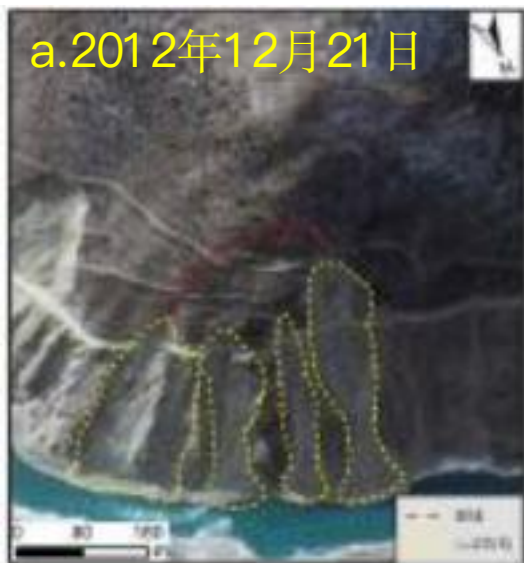
5.结语

综合监测案例1：金沙江上游门谷滑坡

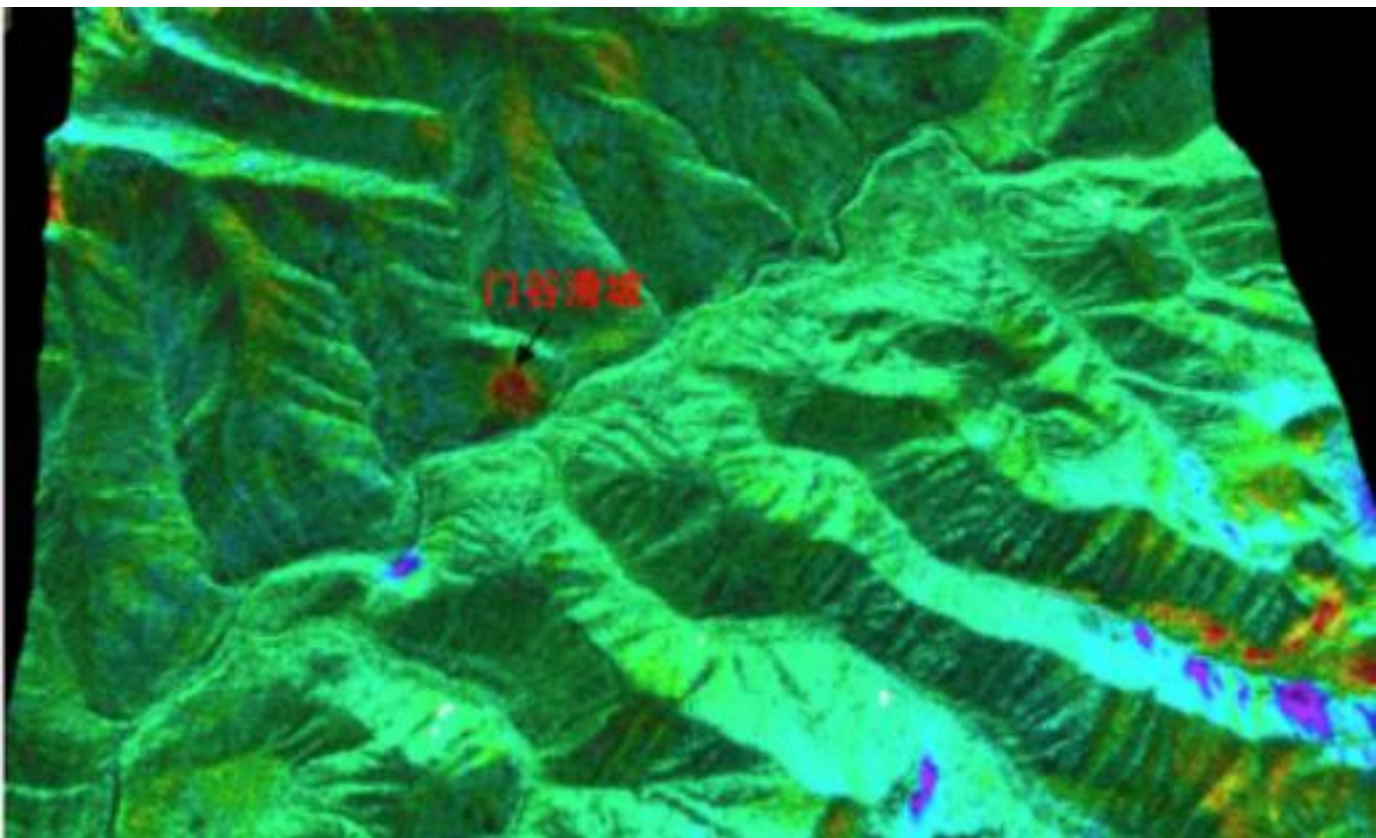
2023年6月29日甘孜州防汛抗旱指挥部办公室通报，受到持续降雨影响，青海省玉树市巴塘乡金沙江右岸门谷滑坡出现大面积滑坡现象，存在阻碍金沙江正常流向和断流形成堰塞湖的风险。



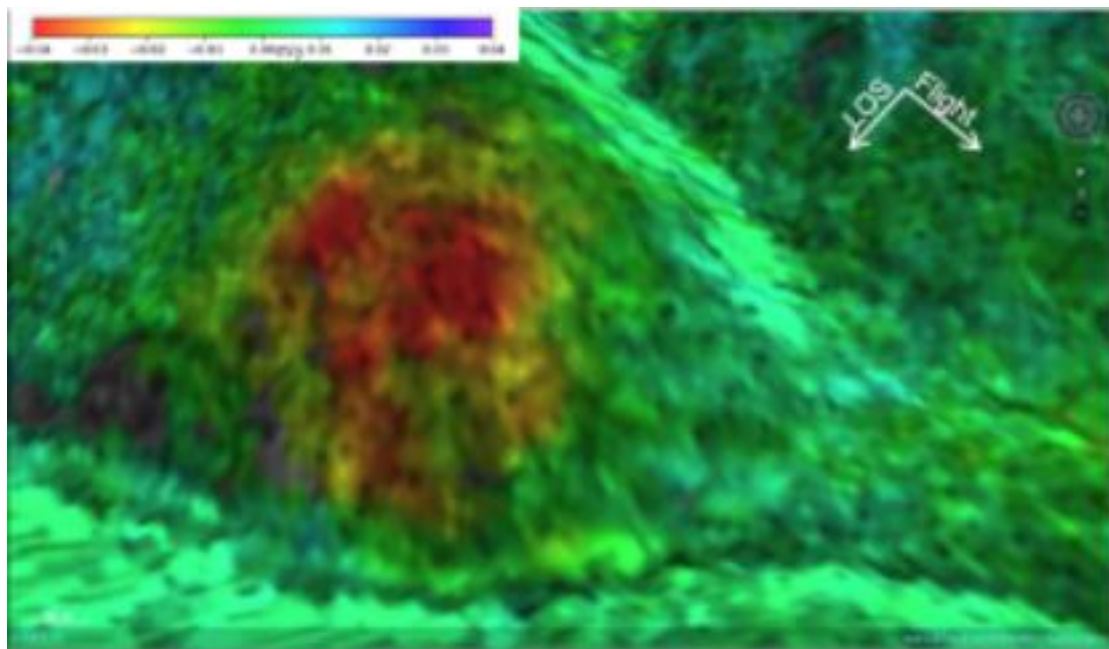
(1) 基于光学卫星遥感的变形演化特征



(2) InSAR滑坡历史形变分析



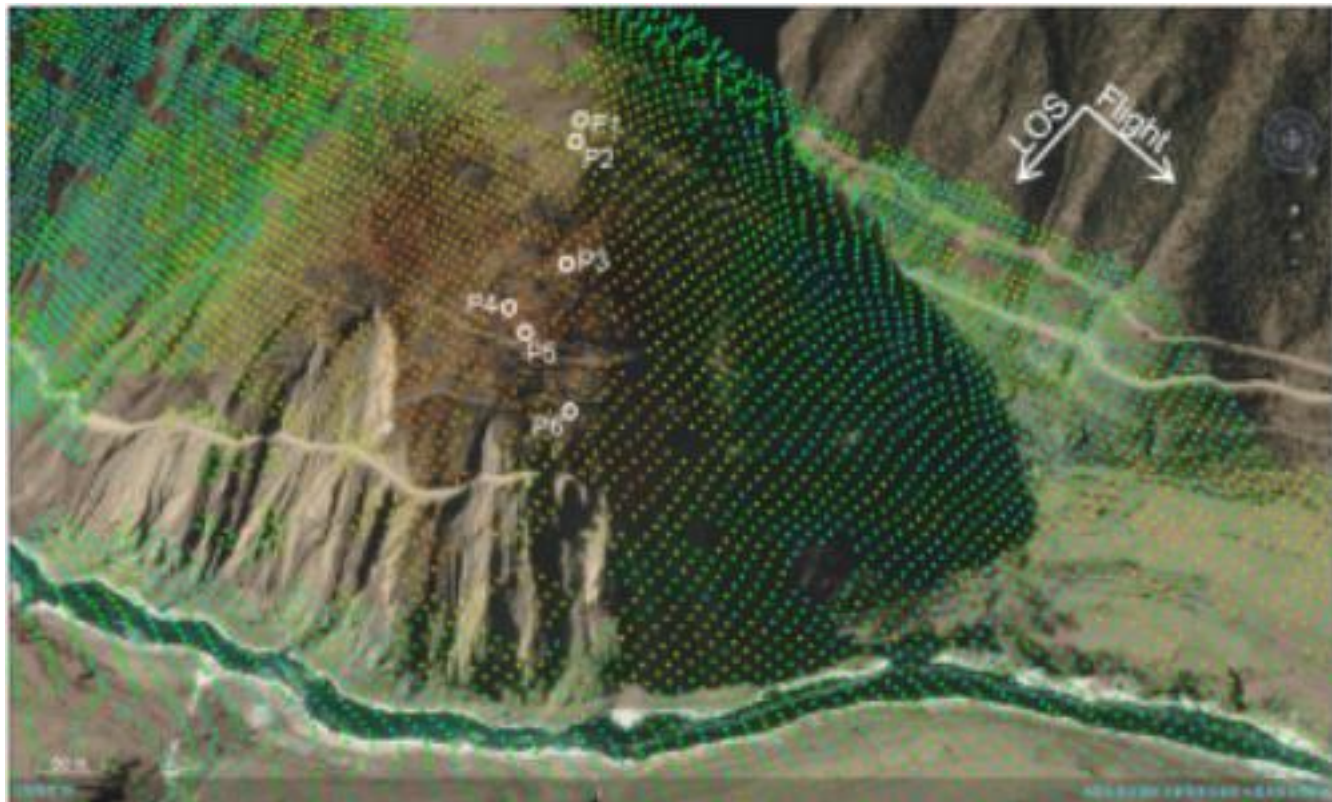
大范围SBAS-InSAR结果图 (2020-01-07至2023-06-20)



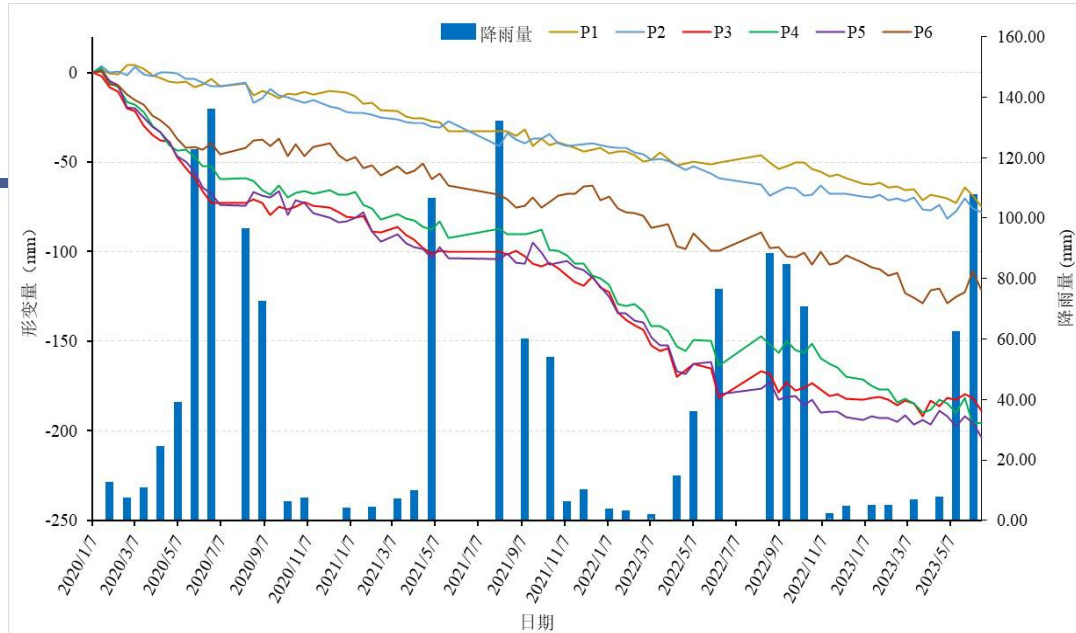
门谷滑坡SBAS-InSAR年均形变
速率栅格结果图 (2020-01-07至

2023-06-20)

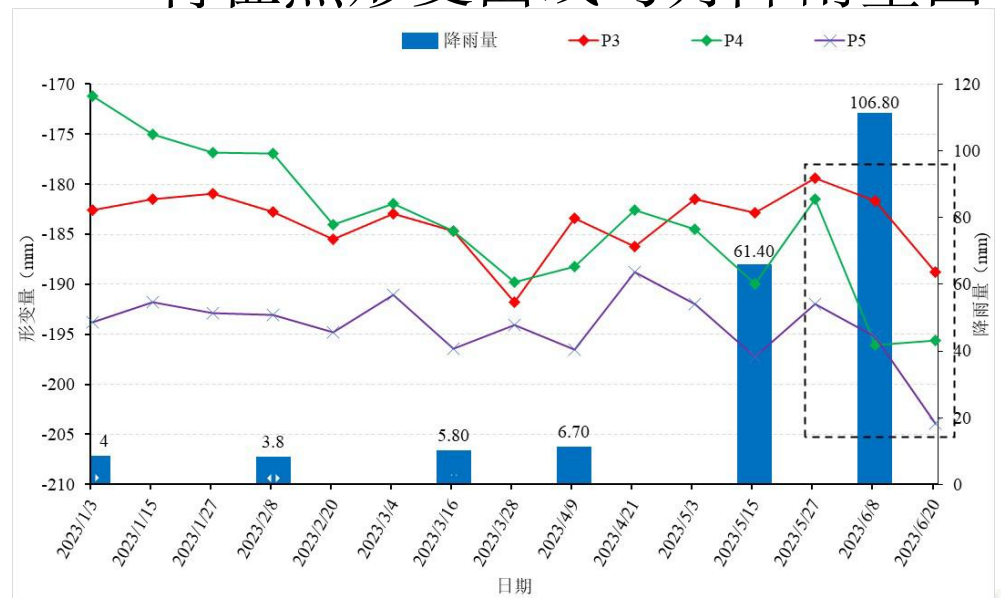
(2) InSAR滑坡历史形变分析



门谷滑坡SBAS-InSAR年均形变速率矢量结果图 (2020-01-07至2023-06-20)



特征点形变曲线与月降雨量图

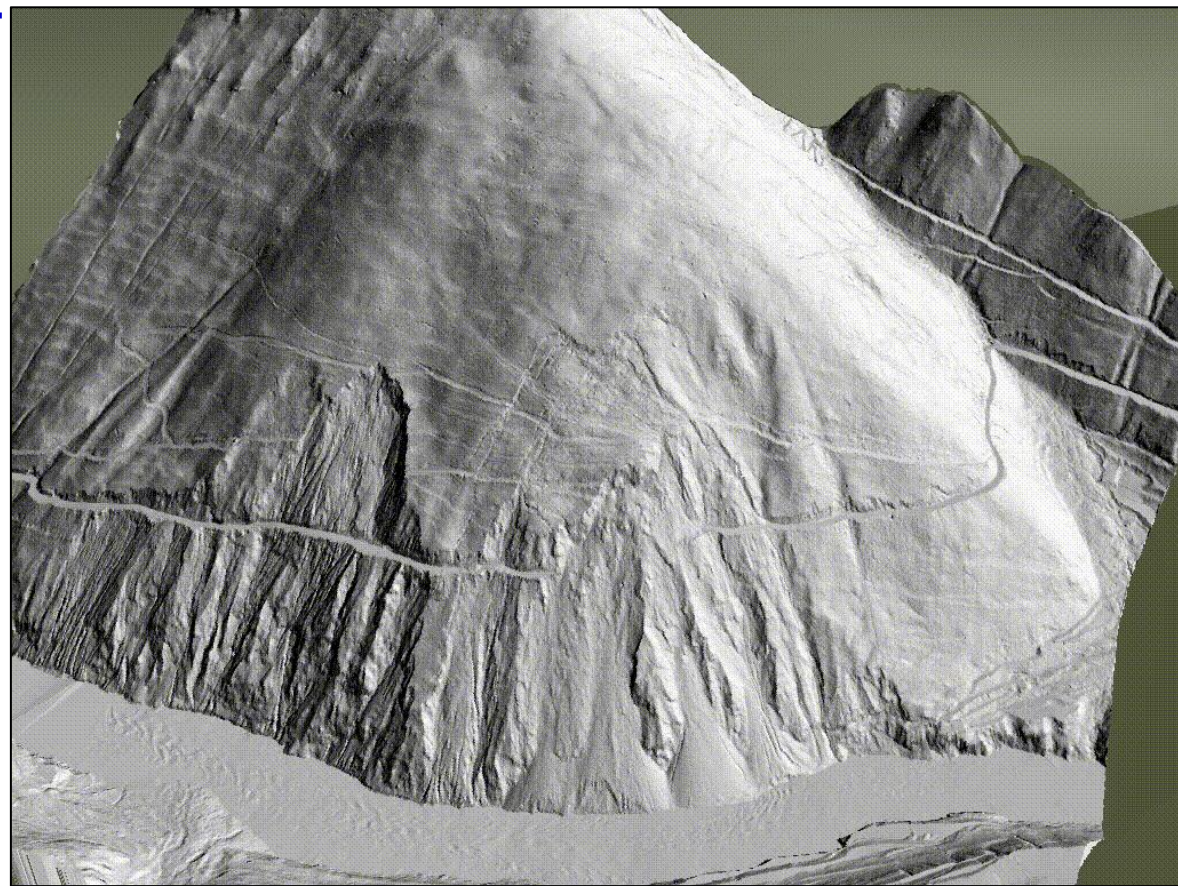


(2) 无人机航空遥感与机载LiDAR调查

门谷滑坡坡体岩体表现为薄层状、强风化、碎裂结构。该滑坡变形主要表现为**后缘逐级后退的拉裂缝**和**前缘规模逐渐增大局部垮塌**，表现出渐进后退式变形失稳特征。在滑坡下游侧一级和二级滑面之间，裂缝贯通且出现明显下错，侧边界上可见局部滑动。此部分失稳破坏的可能性较大。

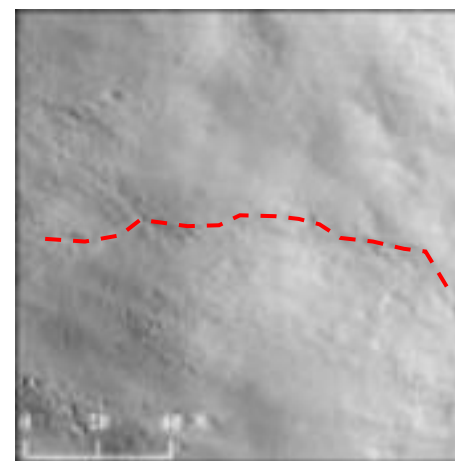
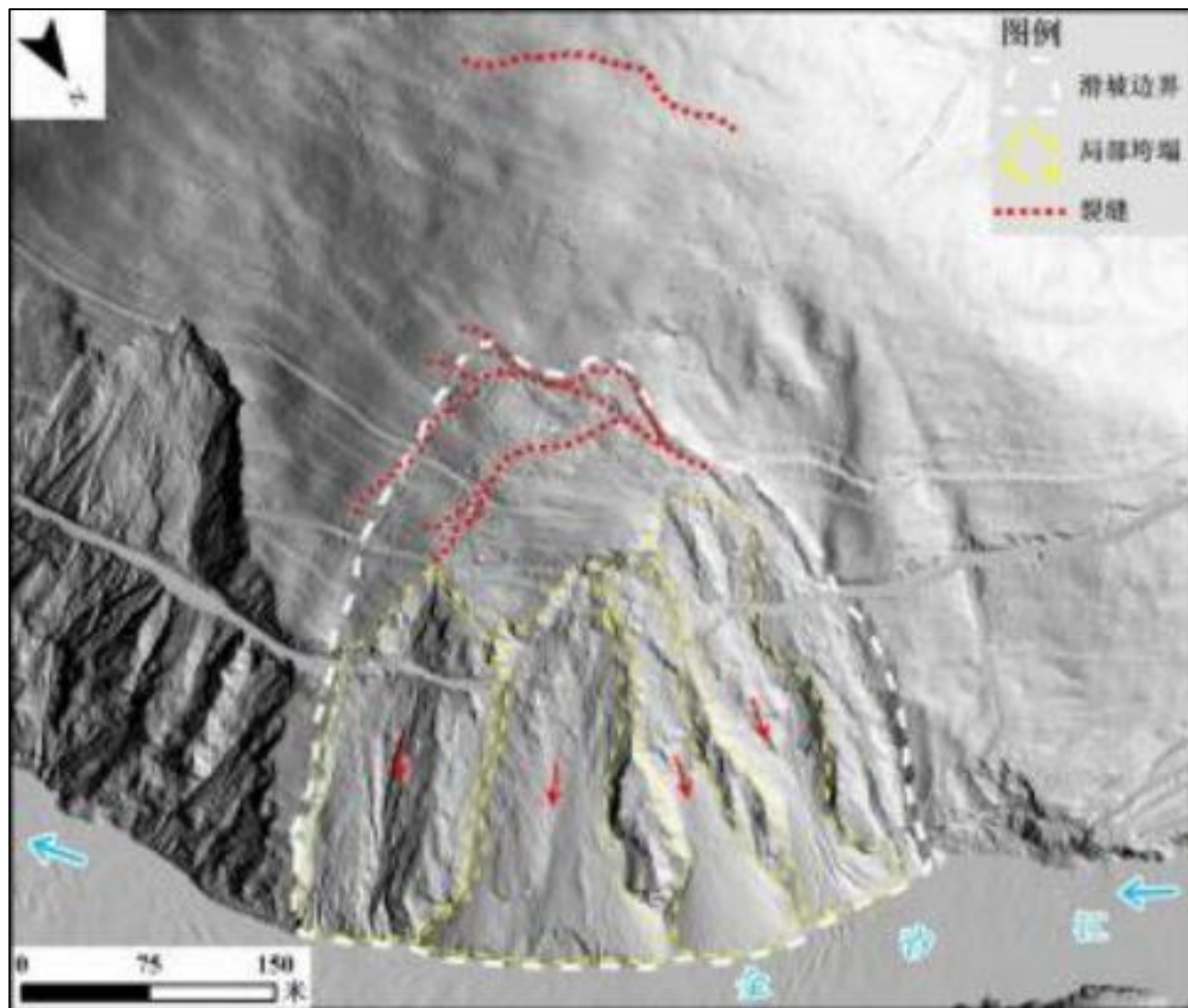


无人机倾斜摄影三维实景模型

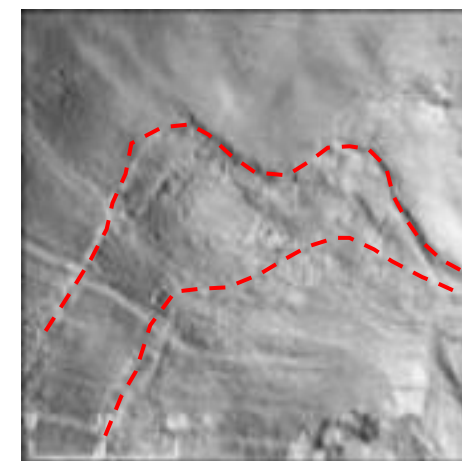


机载Lidar山体阴影三维实景模型

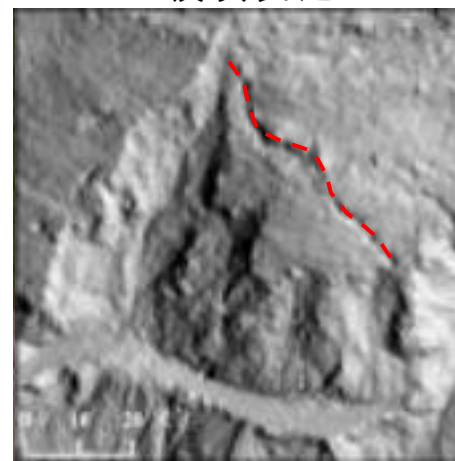
(2) 无人机航空遥感与机载LiDAR调查



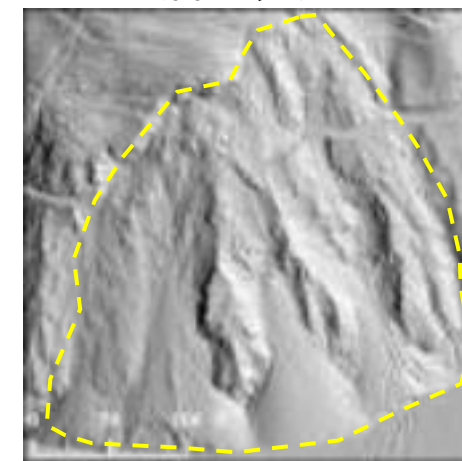
坡顶裂缝



后缘裂缝



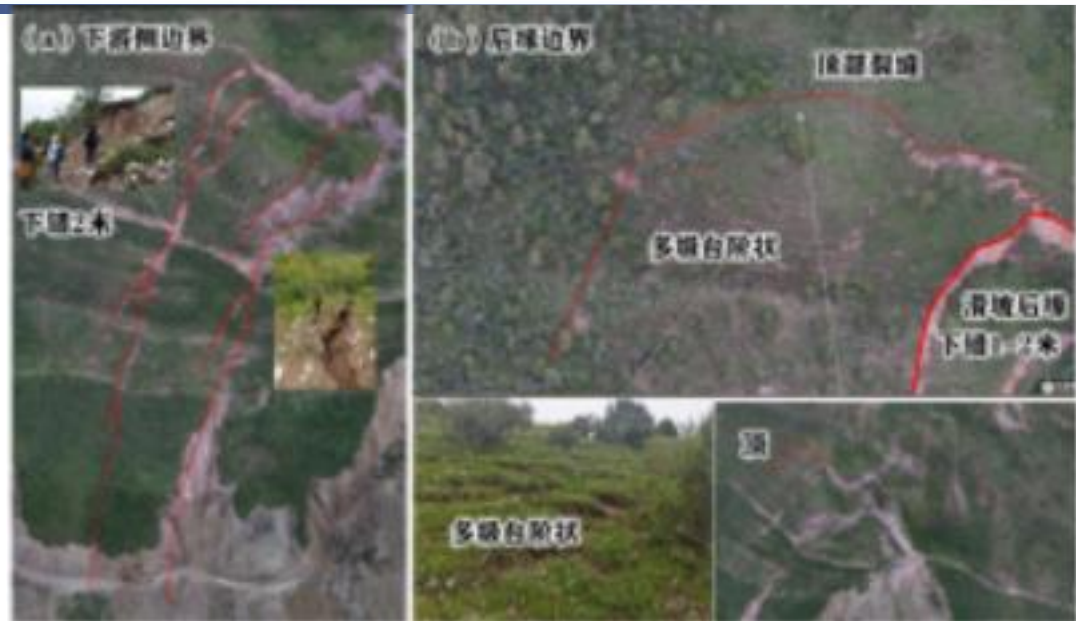
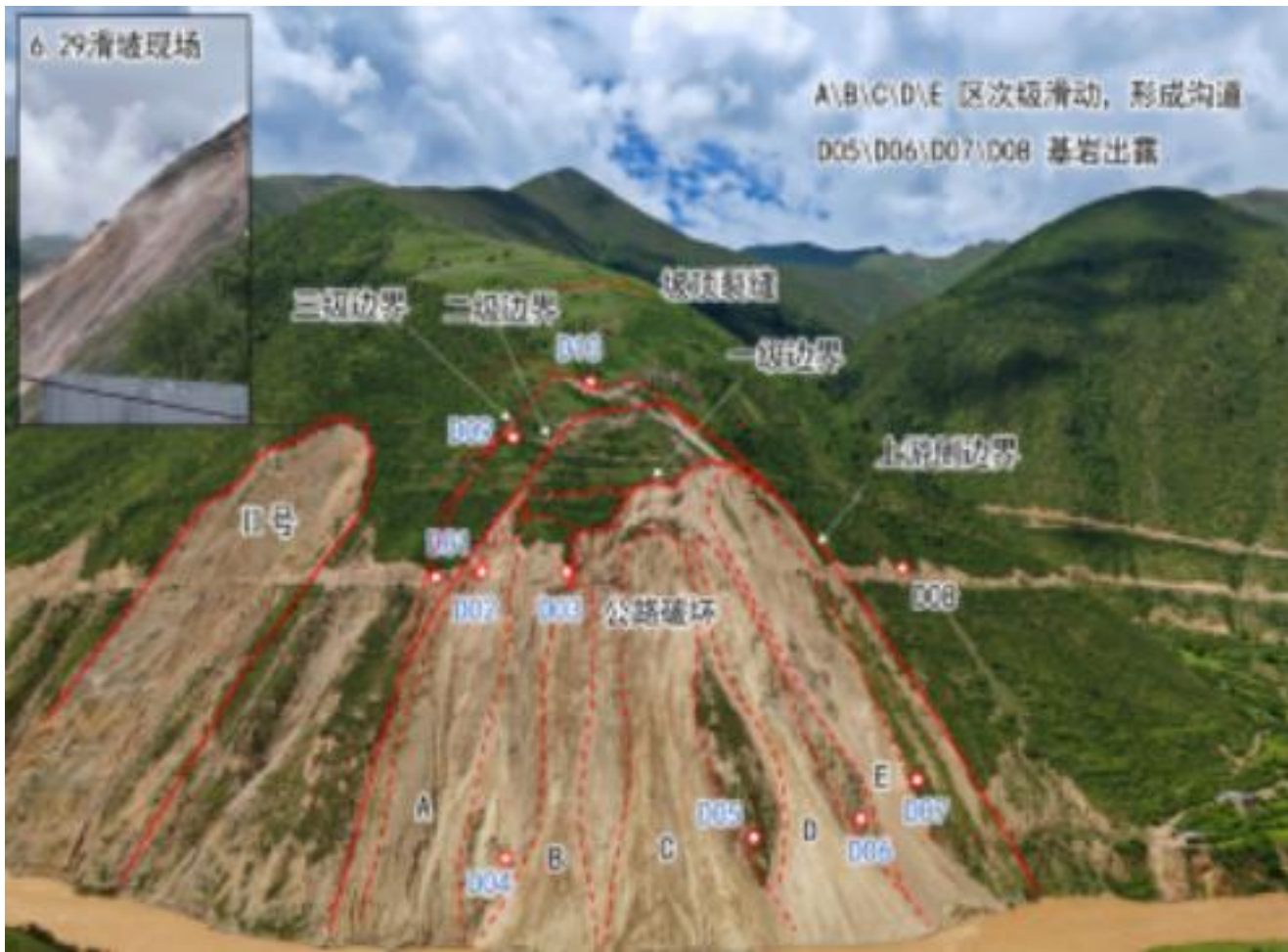
局部次级裂缝



前缘垮塌

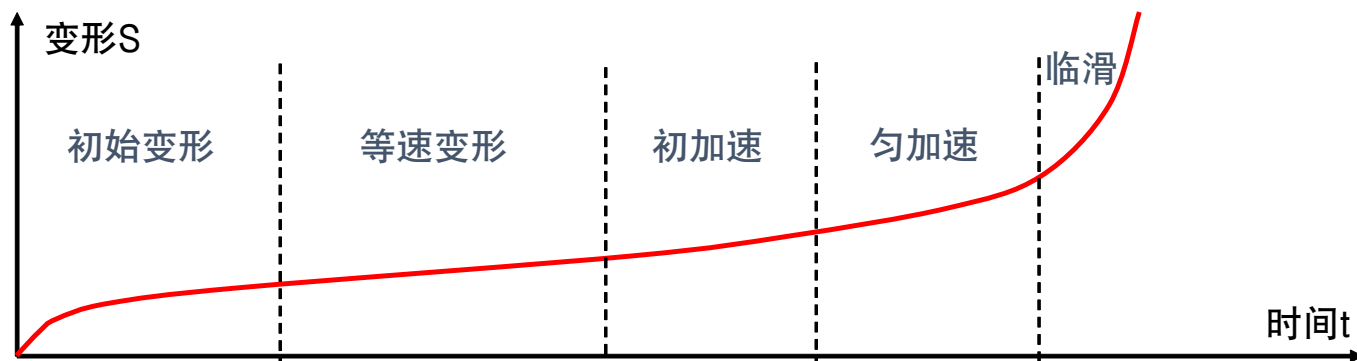
门谷滑坡机载LiDAR解译图(图一.DOM,图二.DEM)

(3) 现场调查

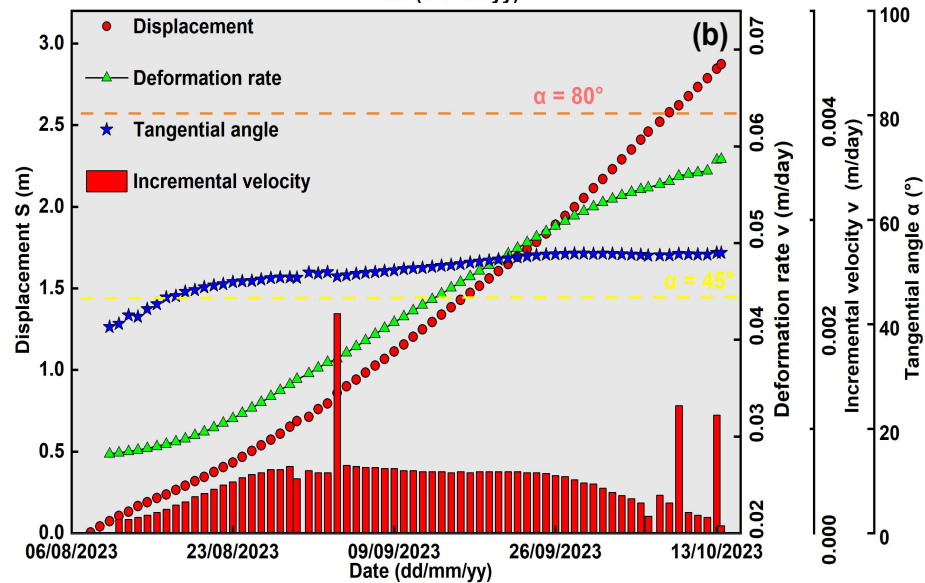
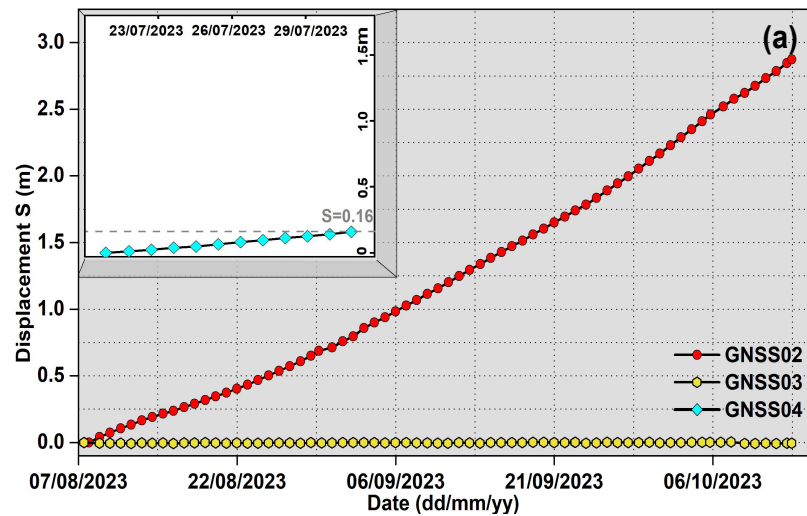


滑坡自下而上整体上可以分为三级，这三级边界在公路上方均已形成圈闭且伴有下错现象，其中一级边界和三级边界后缘下错较为显著。滑坡三级边界的下游侧边界呈雁状裂缝分布，后缘下错高度约1-2米，发展至公路位置下错高度约0.3米。二级边界张裂现象明显，中后缘下错高度约0.5米。另在滑坡三级边界外侧，还发育顶部裂缝，裂缝延伸长度有限。

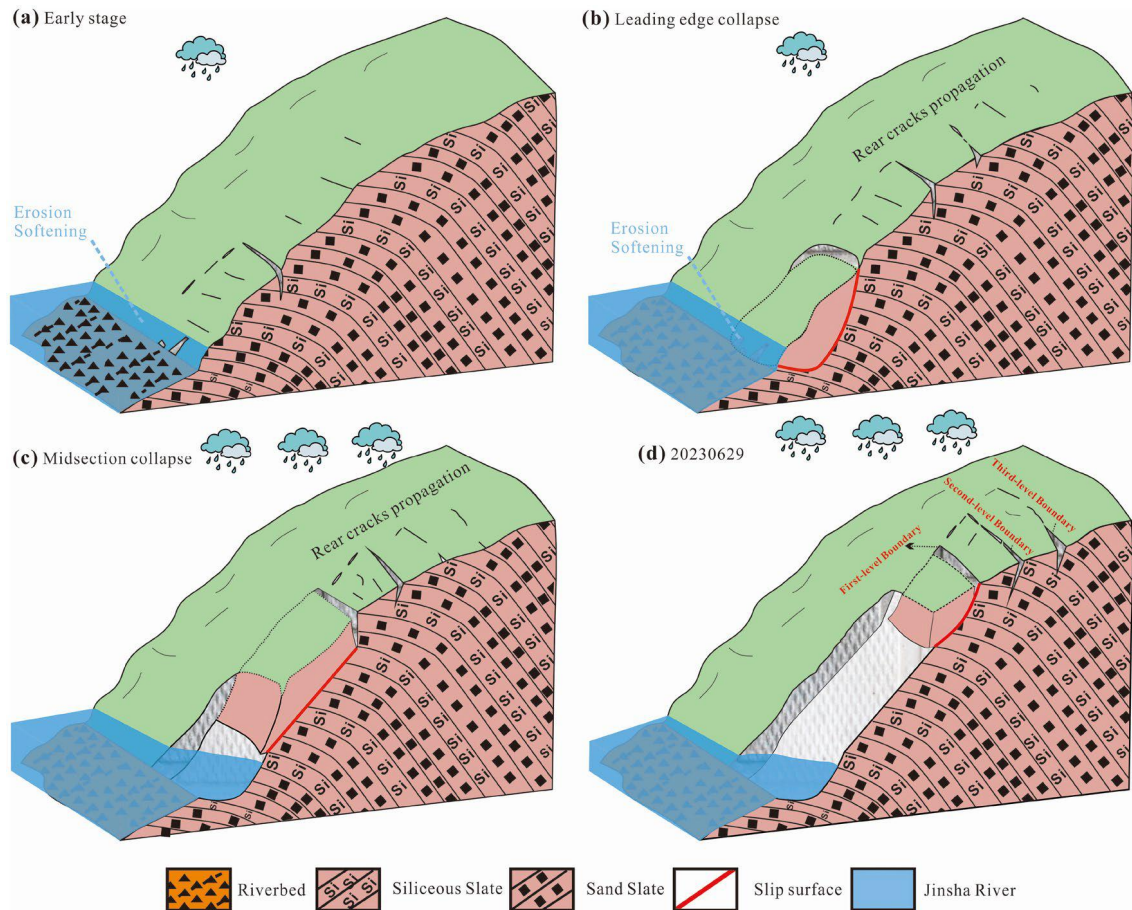
(4) 监测预警



预警级别	注意级	警示级	警戒级	警报级
警报形式	蓝色	黄色	橙色	红色
地表裂缝(空间)	后缘、两侧及前缘裂缝分期有序形成	地面裂缝逐渐配套、贯通，并最终圈闭		后缘裂缝急剧拉开，前缘出现隆起、小崩小落
切线角(时间)	$\alpha \sim 45^\circ$	$45^\circ < \alpha < 80^\circ$	$80^\circ \leq \alpha < 85^\circ$	$\alpha \geq 85^\circ$
稳定系数(强度)	$1.0 \leq K \leq 1.05$	$0.95 < K < 1.0$		$K < 0.95$
加速度(时间)	在一定幅度范围内振荡			骤然剧增



(4) 综合风险分析



- 门谷滑坡发育于三叠系上统巴塘群三段地层中，下伏基岩为板岩夹硅质板岩，岩层产状反倾坡内，推测为一**倾倒变形体**；
- 变形区面积达面积47000m²，推测滑坡平均厚度约30m，潜在最大失稳体积约150万m³；
- 从目前的变形破坏模式推测，其主要为**渐进后退式**失稳破坏，一次整体失稳的可能性较小，**堵江风险较小**。



综合监测案例2：汶川县绵虎镇飞沙关滑坡



2024年1月26日拍摄

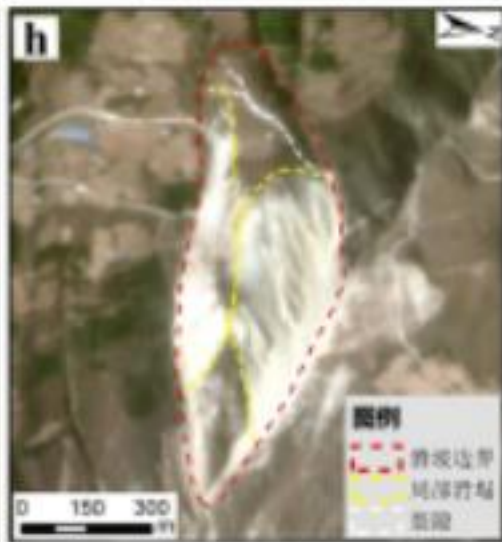
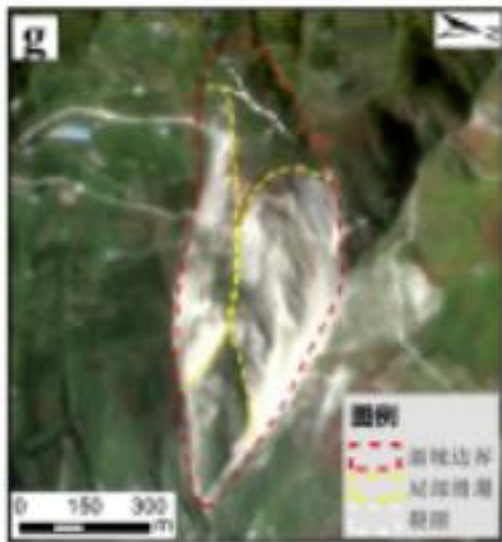
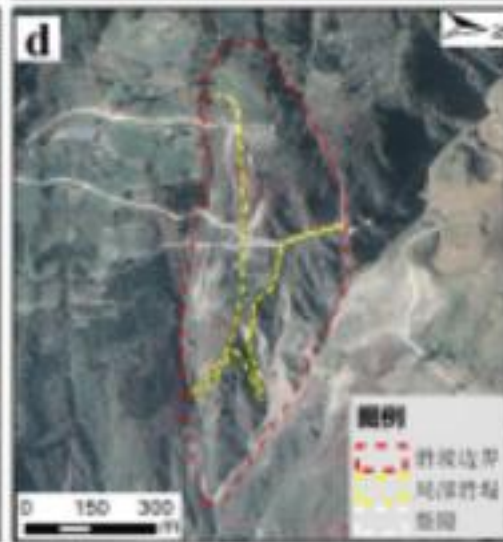
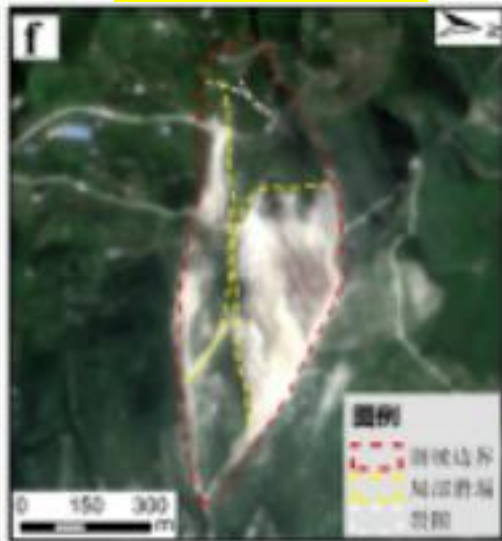
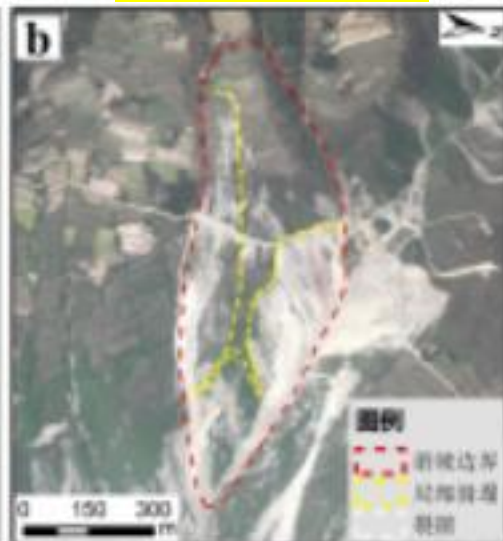
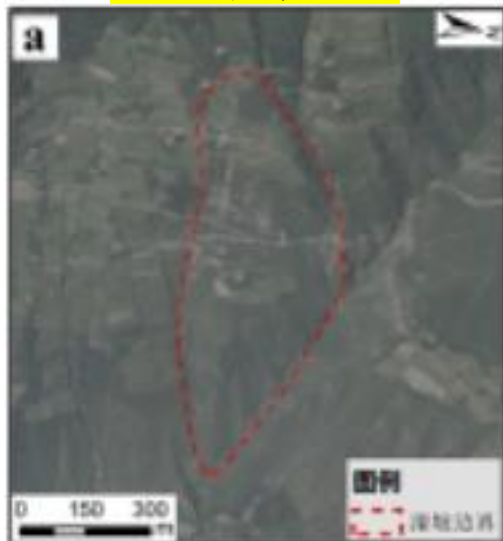
(1) 基于光学卫星遥感的变形演化特征

2005年9月9日

2011年4月26日

2023年1月7日

2023年9月15日



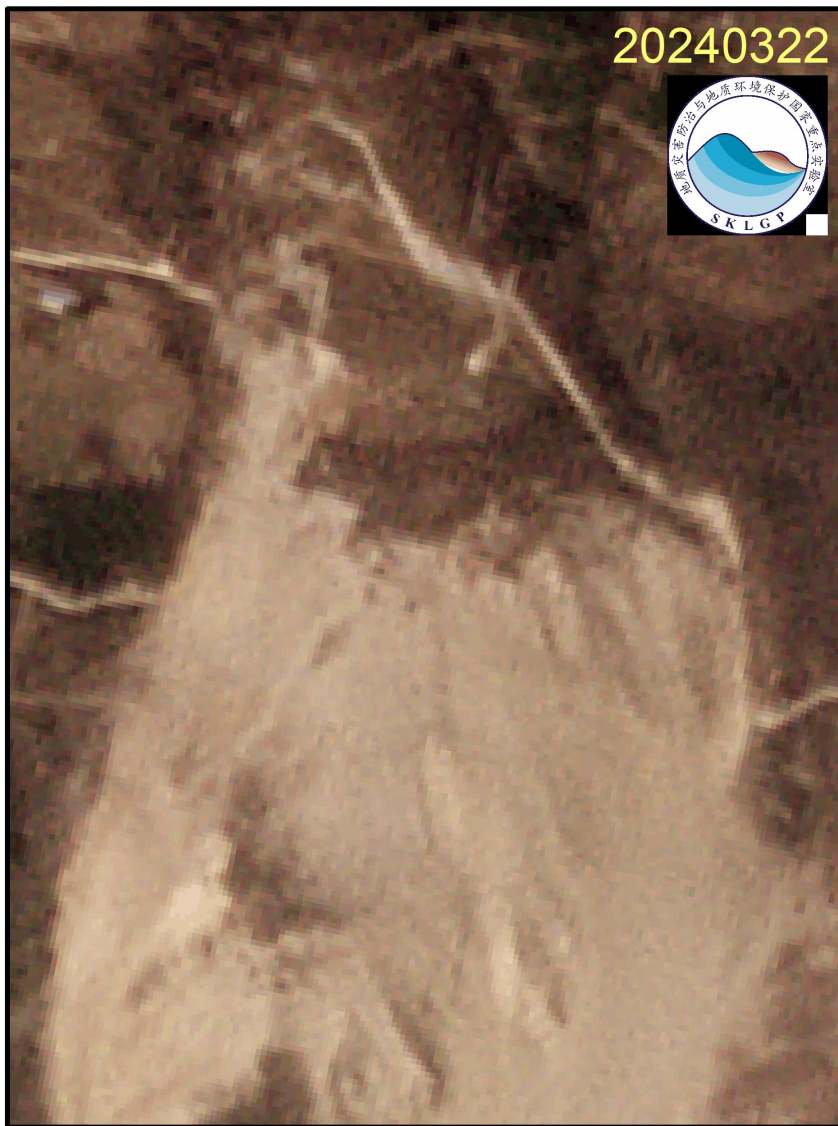
2018年4月16日

2021年11月14日

2023年11月6日

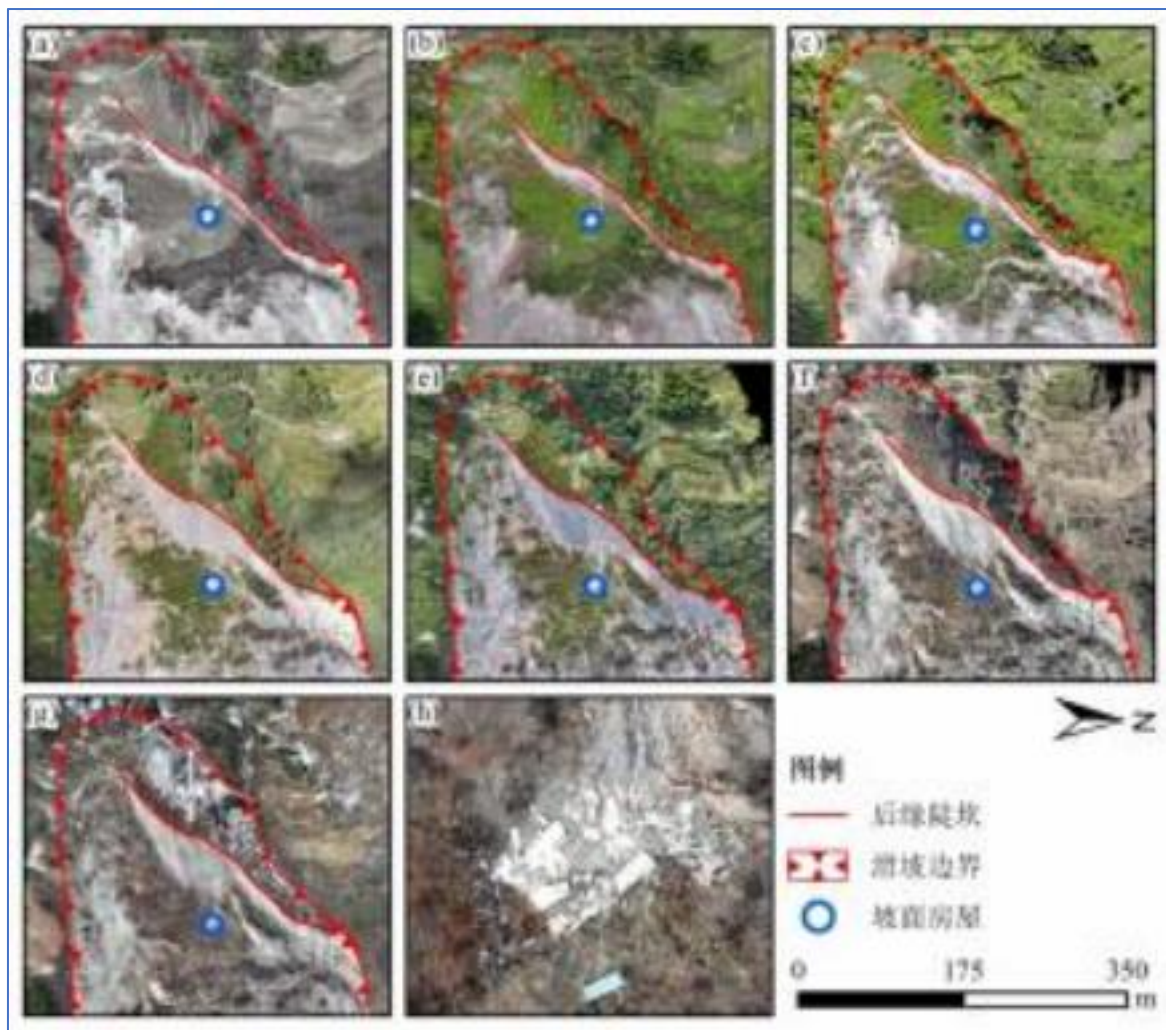
2024年2月18日

(1) 基于光学卫星遥感的变形演化特征

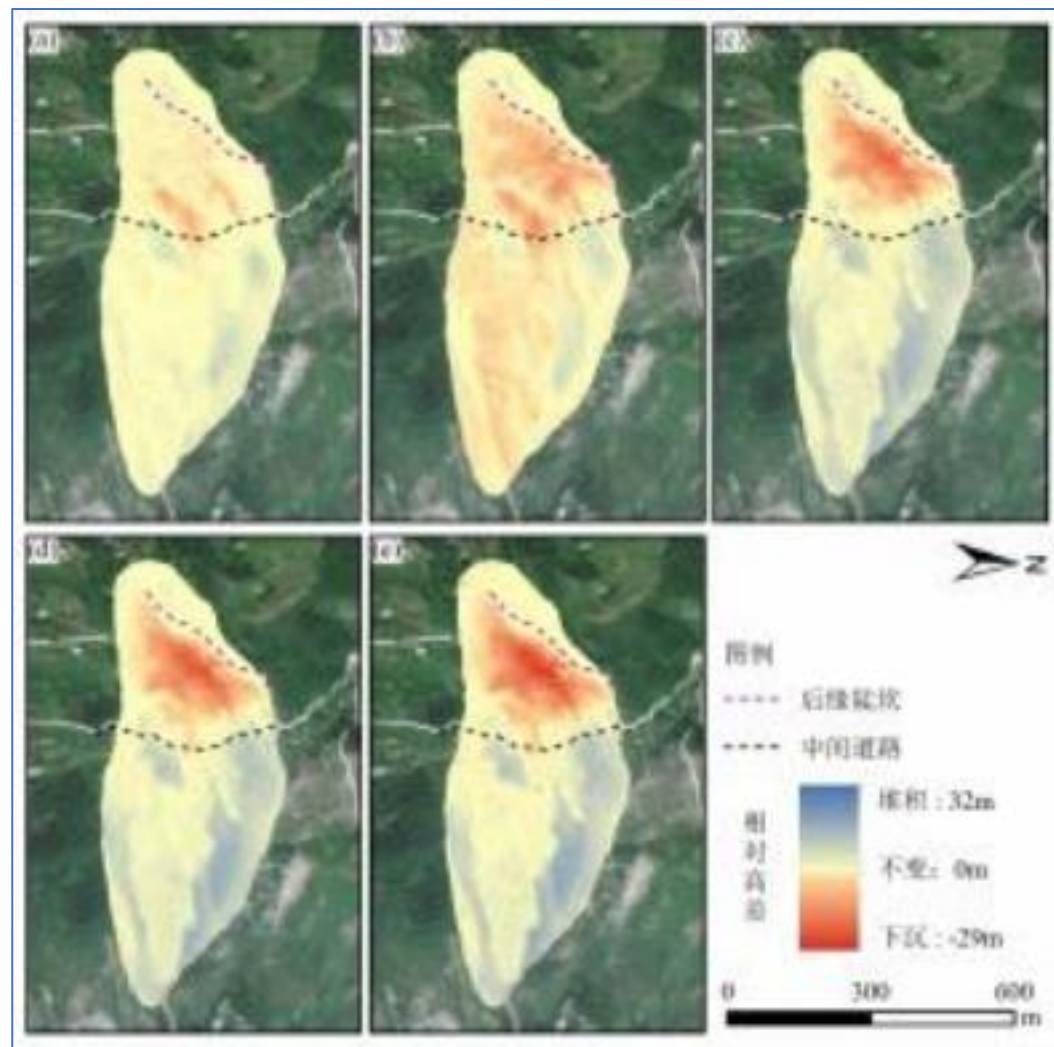


日期	位移量	间隔天数	累计位移	位移速率 mm/天
2024/1/28	/	/	/	/
2024/3/24	8200	55	8200	149.09
2024/4/23	5950	30	14150	198.33
2024/5/7	10400	14	24550	742.86
2024/8/5	21700	90	46250	241.11

(1) 基于光学卫星遥感的变形演化特征

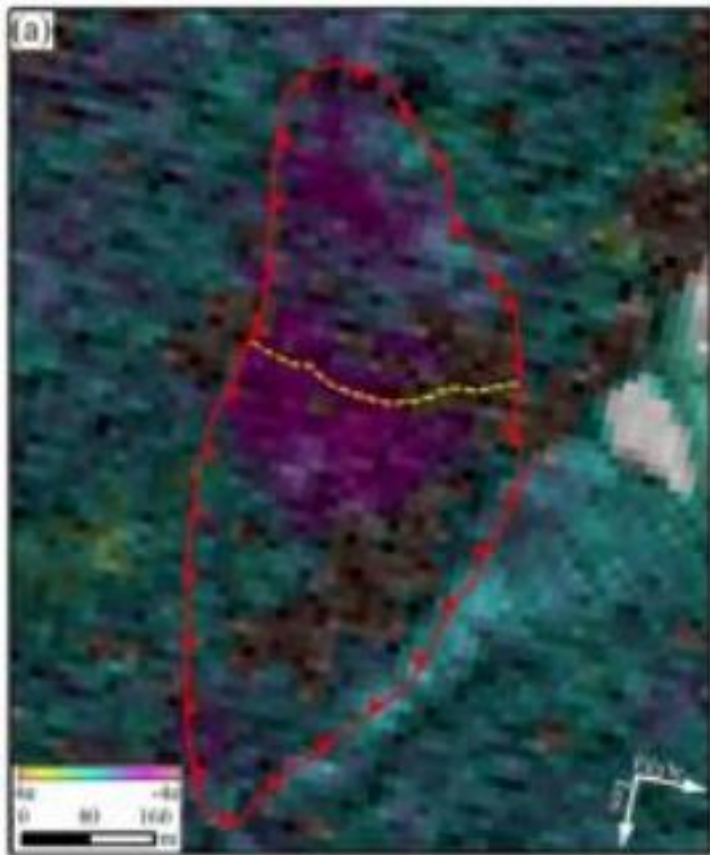


(a) 2024年3月24日; (b) 2024年4月23日; (c) 2024年5月9日; (d) 2024年8月9日; (e) 2024年8月29日; (f) 2024年12月18日; (g) 2024年1月10日; (h) 废弃房屋



a) 2024年4月23日; (b) 2024年5月9日; (c) 2024年8月29日; (d) 2024年12月18日; (e) 2024年1月10日

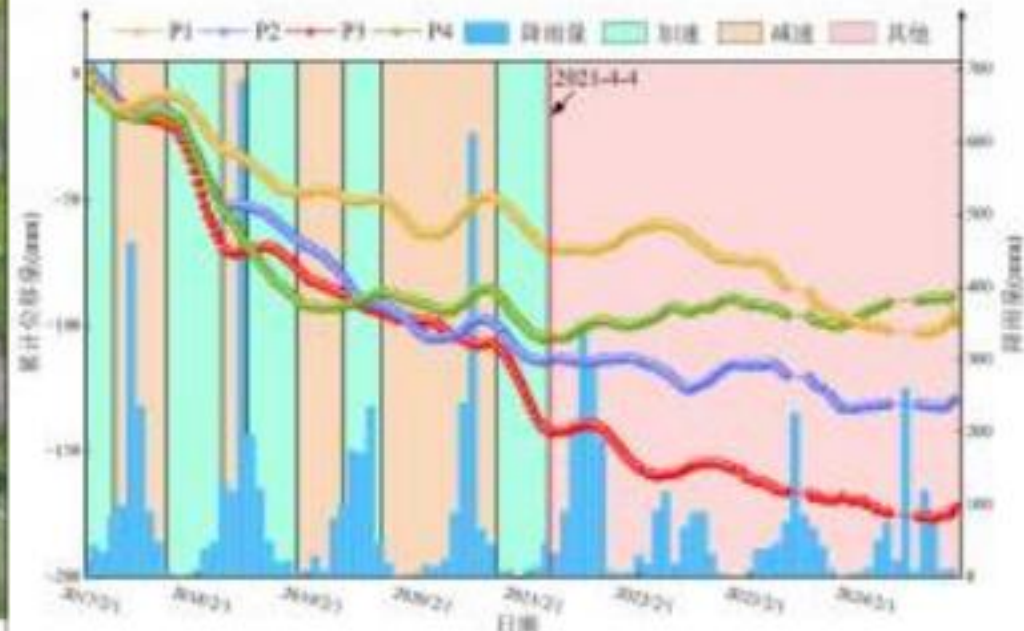
(2) 卫星InSAR滑坡形变监测



Stacking-InSAR形变监测

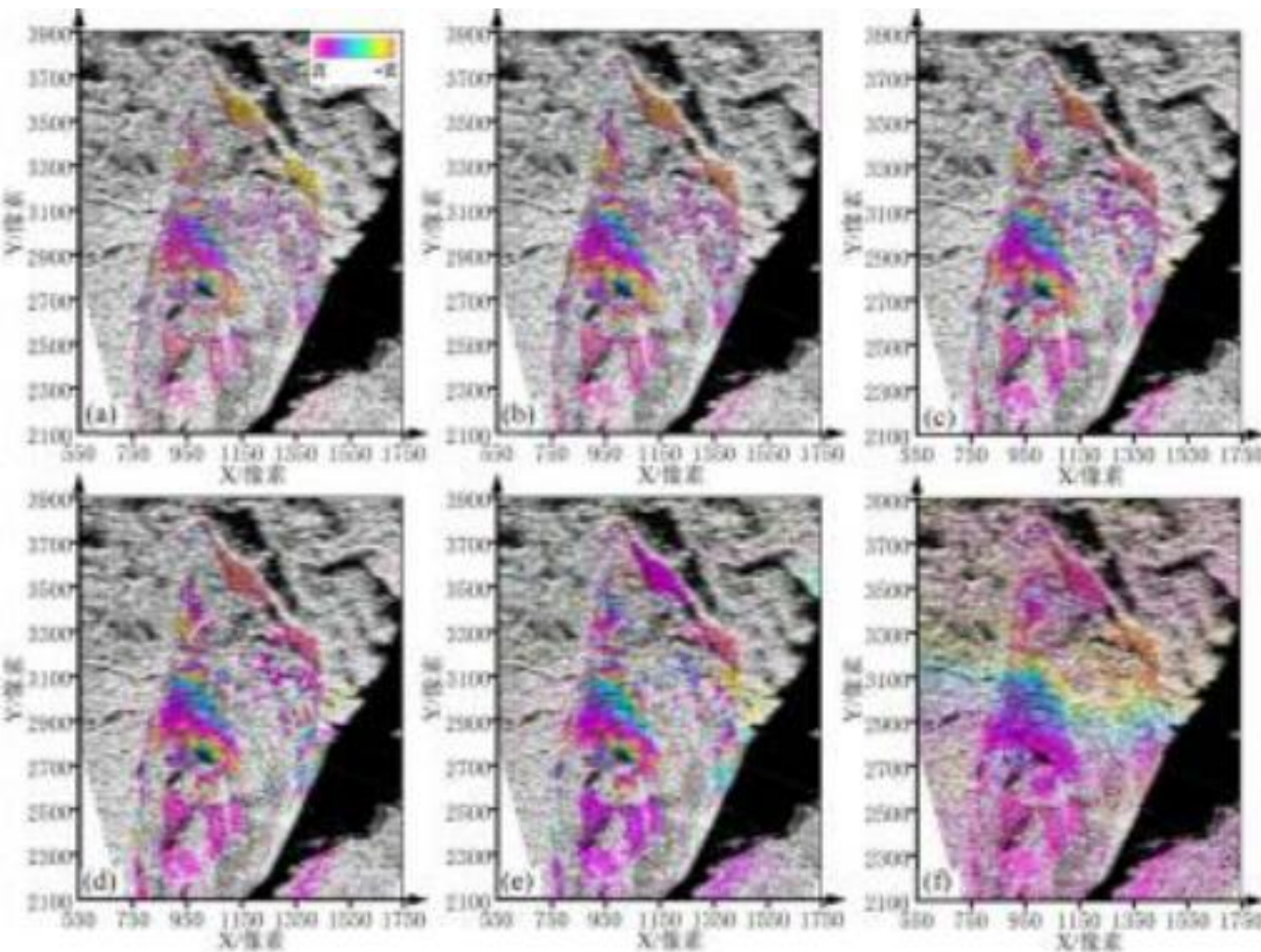


SBAS-InSAR形变监测

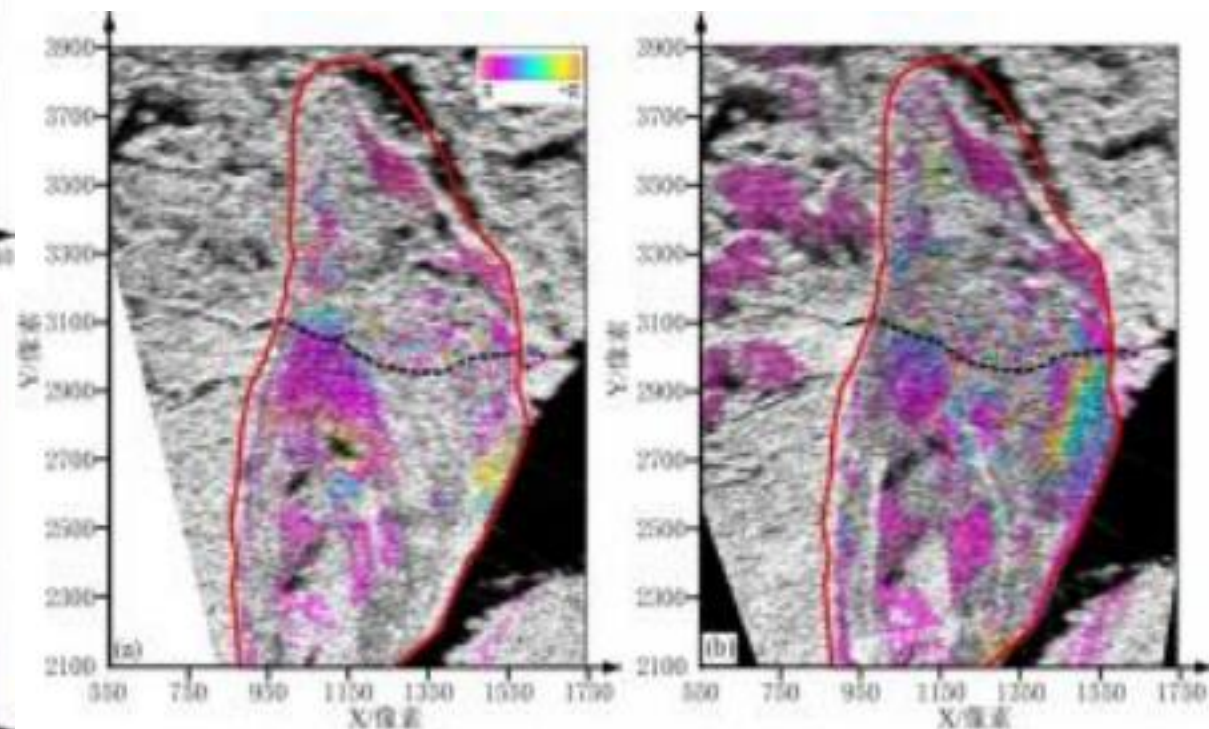


典型点累计位移量-月降雨时序曲线图

(3) 地基InSAR滑坡形变监测



随着时间基线的延长，滑坡区域的干涉条纹密度逐步降低，但整体变形特征更加清晰，4小时时间基线结果反映了滑坡主要变形集中在滑源区，剪出口下部相对稳定。

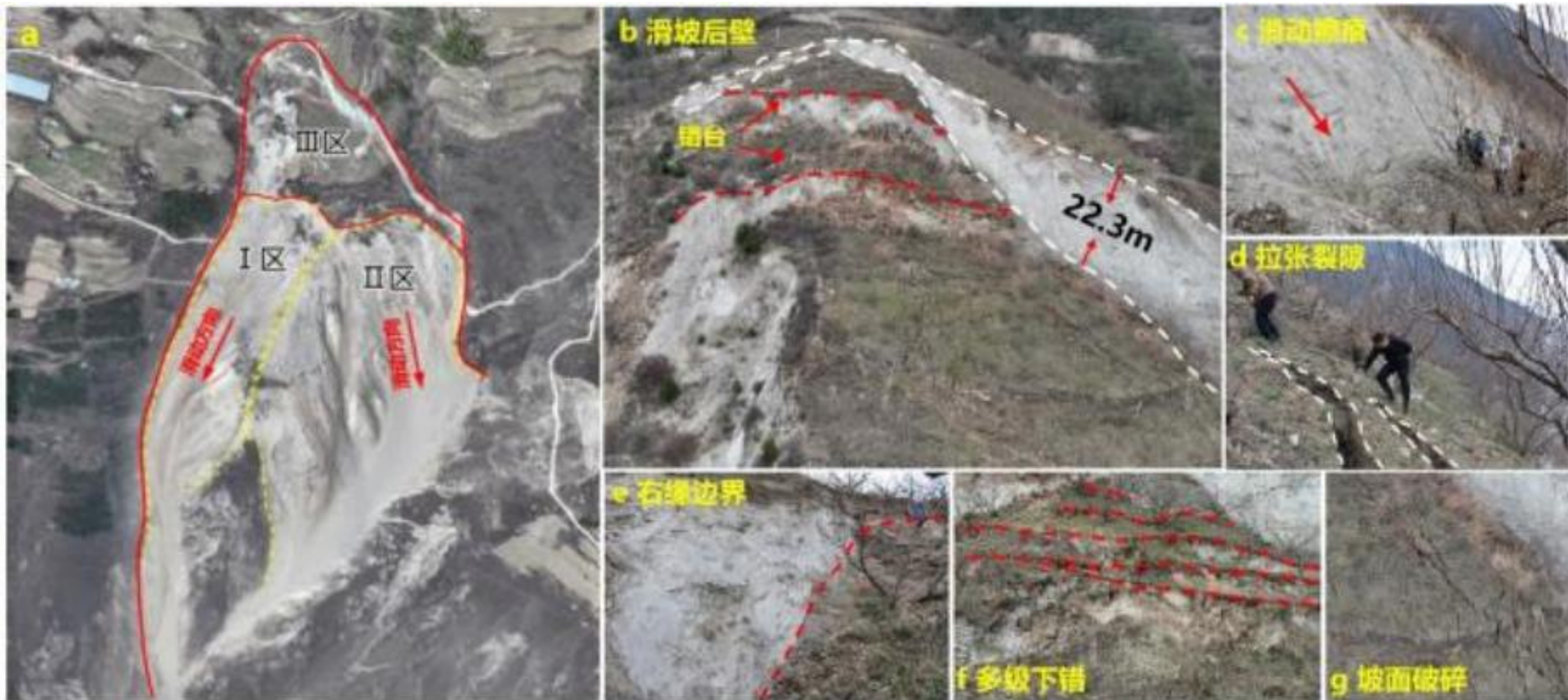


(a) 2024年8月监测结果

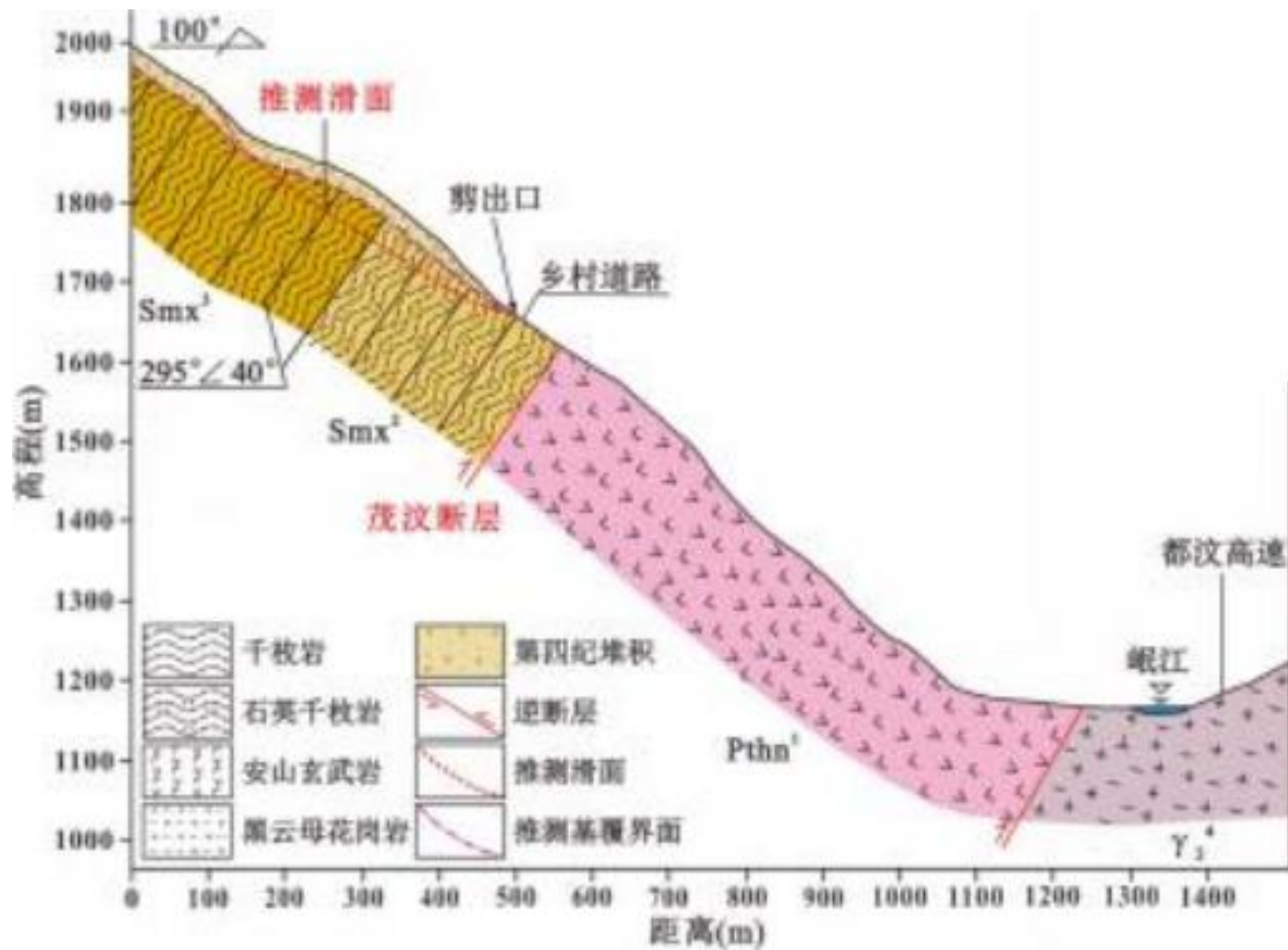
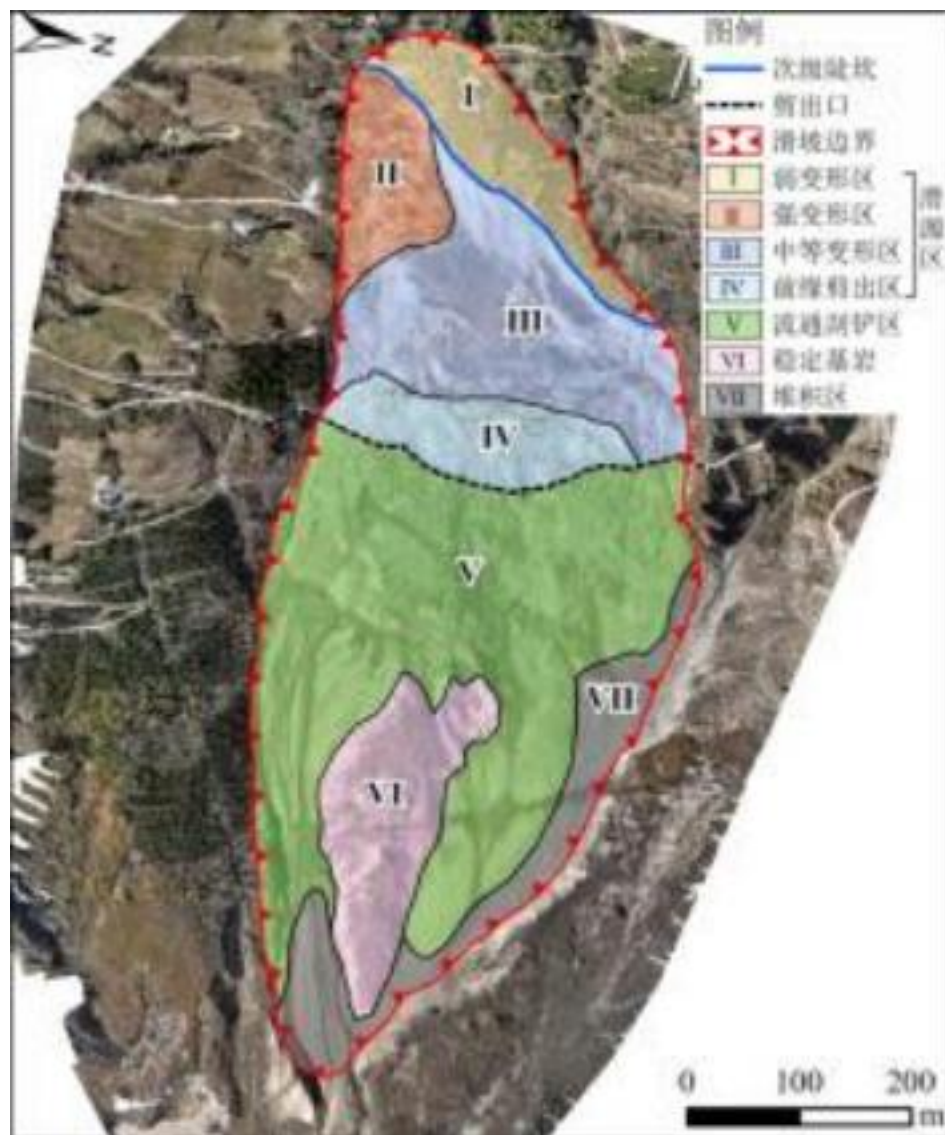
(b) 2025年1月监测结果

飞沙关滑坡2024年8月监测数据不同时间基线Stacking-InSAR结果
(a) 10分钟；(b) 20分钟；(c) 40分钟；(d) 1小时；(e) 2小时；(f) 4小时

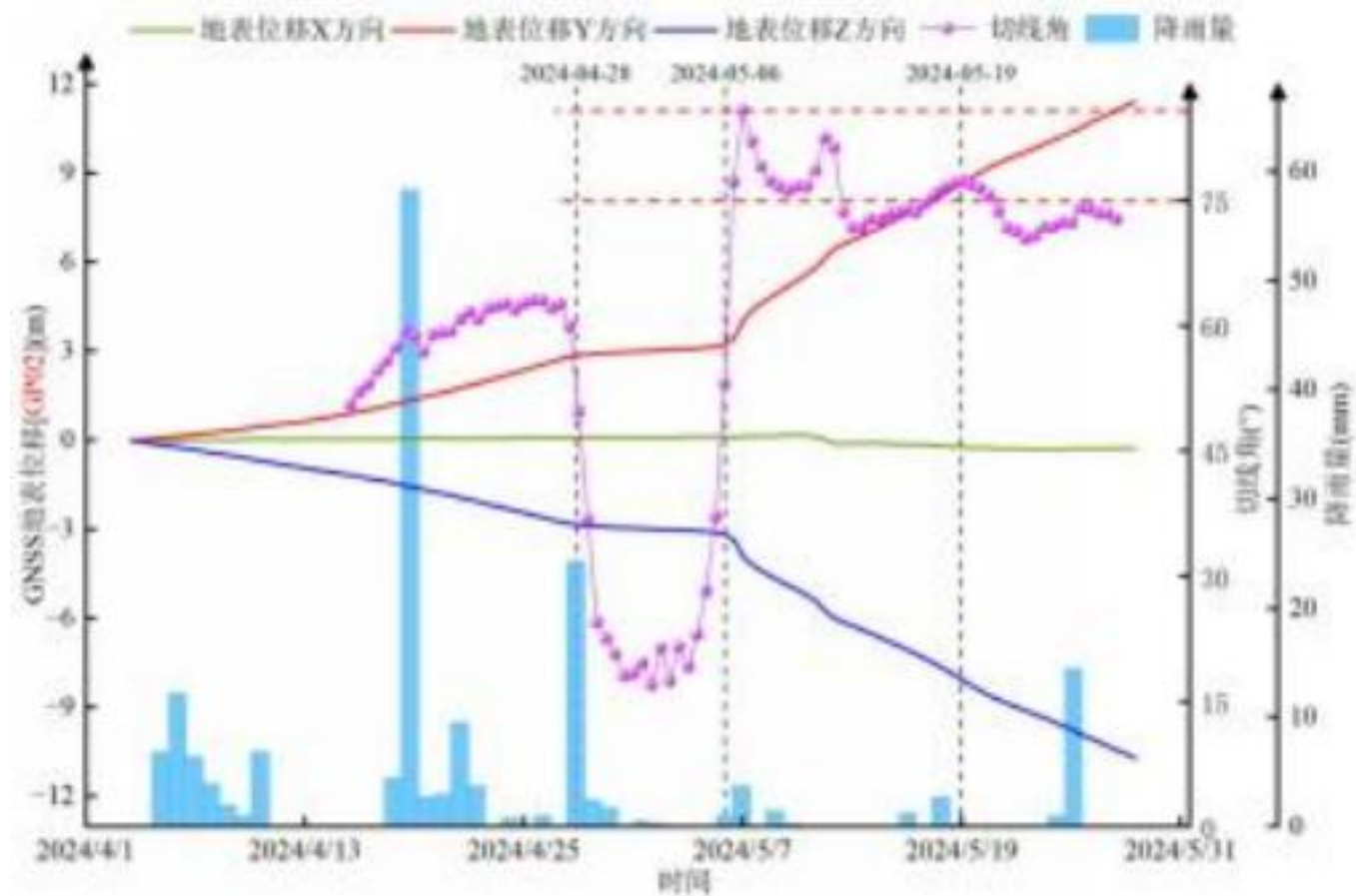
(3) 现场调查



(4) 现场调查



(5) 监测预警



GP02地表位移监测曲线

(5) 监测预警

4月16日星期二

【成都理工地灾预警】【汶川县飞沙关滑坡】(L1GP02)黄色预警: 水平方向变形速率120.22mm/d, 垂直方向变形速率102.34mm/d, 请关注。(04-16 22:32)

04:10:02 日

【成都理工地灾预警】【汶川县飞沙关滑坡】(L1GP02)黄色预警: 水平方向变形速率122.26mm/d, 垂直方向变形速率101.85mm/d, 当前水平方向切线角=51.60°; 请关注。(04-16 23:54)

04:11:04 日

4月17日星期三

【成都理工地灾预警】【汶川县飞沙关滑坡】(L1GP02)黄色预警: 水平方向变形速率122.52mm/d, 垂直方向变形速率101.80mm/d, 当前水平方向切线角=51.56°; 请关注。(04-17 00:13)

04:12:14 日

【成都理工地灾预警】【汶川县飞沙关滑坡】(L1GP02)黄色预警: 水平方向变形速率122.88mm/d, 垂直方向变形速率105.58mm/d, 当前水平方向切线角=50.51°; 当前垂直方向切线角=50.53°; 请关注。(04-17 04:14)



4月21日星期日

【成都理工地灾预警】【汶川县飞沙关滑坡】(L1GP02)黄色预警: 水平方向变形速率151.86mm/d, 垂直方向变形速率137.03mm/d, 当前水平方向切线角=56.63°; 当前垂直方向切线角=56.70°; 请关注。(04-21 01:52)

04:01:02 日

【成都理工地灾预警】【汶川县飞沙关滑坡】(L1GP02)黄色预警: 水平方向变形速率154.56mm/d, 垂直方向变形速率134.03mm/d, 当前水平方向切线角=57.10°; 当前垂直方向切线角=56.12°; 请关注。(04-21 05:54)

04:01:04 日

【成都理工地灾预警】【汶川县飞沙关滑坡】(L1GP02)黄色预警: 水平方向变形速率154.46mm/d, 垂直方向变形速率136.06mm/d, 当前水平方向切线角=57.08°; 当前垂直方向切线角=56.52°; 请关注。(04-21 09:56)

14:01:04 日

【成都理工地灾预警】【汶川县飞沙关滑坡】(L1GP02)黄色预警: 水平方向变形速率154.55mm/d, 垂直方向变形速率135.78mm/d, 当前水平方向切线角=65.63°; 当前垂直方向切线角



变形速率177.22mm/d, 垂直方向变形速率149.68mm/d, 当前水平方向切线角=68.45°; 当前垂直方向切线角=64.94°; 请关注。(04-25 17:27)

04:11:01 日

【成都理工地灾预警】【汶川县飞沙关滑坡】(L1GP02)黄色预警: 水平方向变形速率180.81mm/d, 垂直方向变形速率150.35mm/d, 当前水平方向切线角=68.84°; 当前垂直方向切线角=65.03°; 请关注。(04-25 21:29)

04:11:29 日

今天

【成都理工地灾预警】【汶川县飞沙关滑坡】(L1GP02)黄色预警: 水平方向变形速率183.01mm/d, 垂直方向变形速率152.98mm/d, 当前水平方向切线角=69.07°; 当前垂直方向切线角=65.41°; 请关注。(04-26 01:30)

04:01:31 日

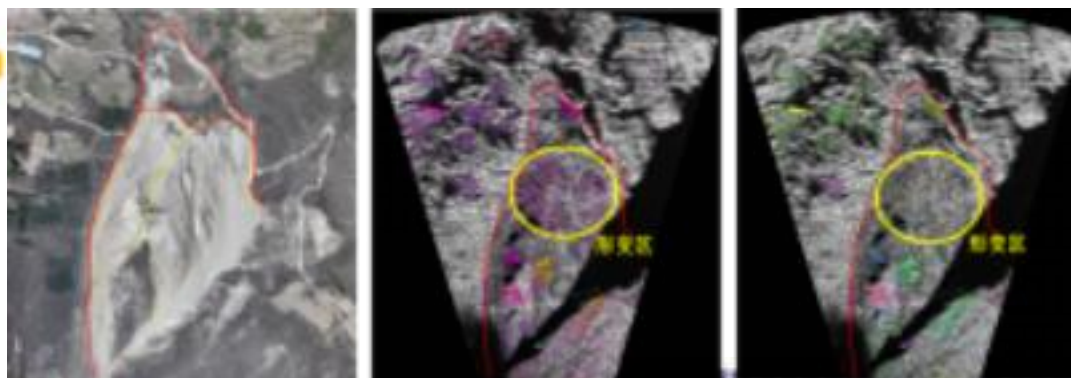
【成都理工地灾预警】【汶川县飞沙关滑坡】(L1GP02)黄色预警: 水平方向变形速率181.71mm/d, 垂直方向变形速率152.75mm/d, 当前水平方向切线角=68.93°; 当前垂直方向切线角=65.38°; 请关注。(04-26 05:32)

04:01:31 日

(5) 监测预警

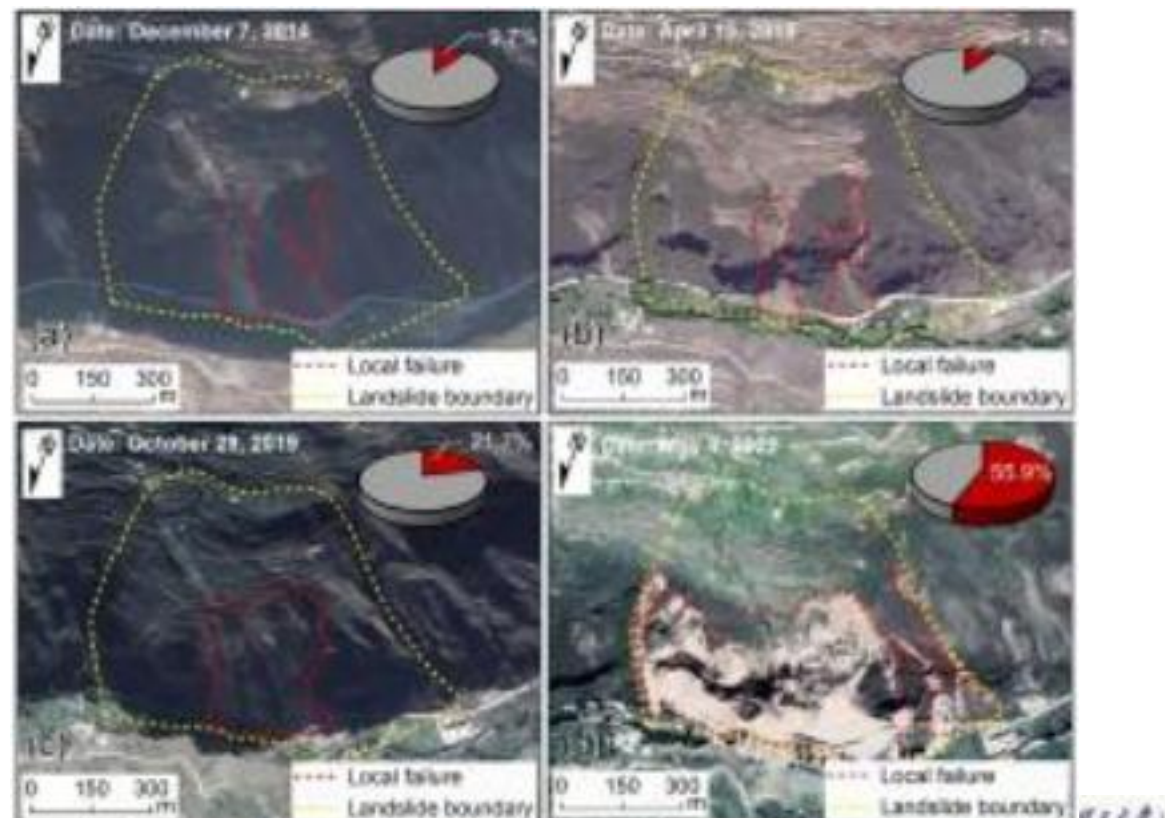
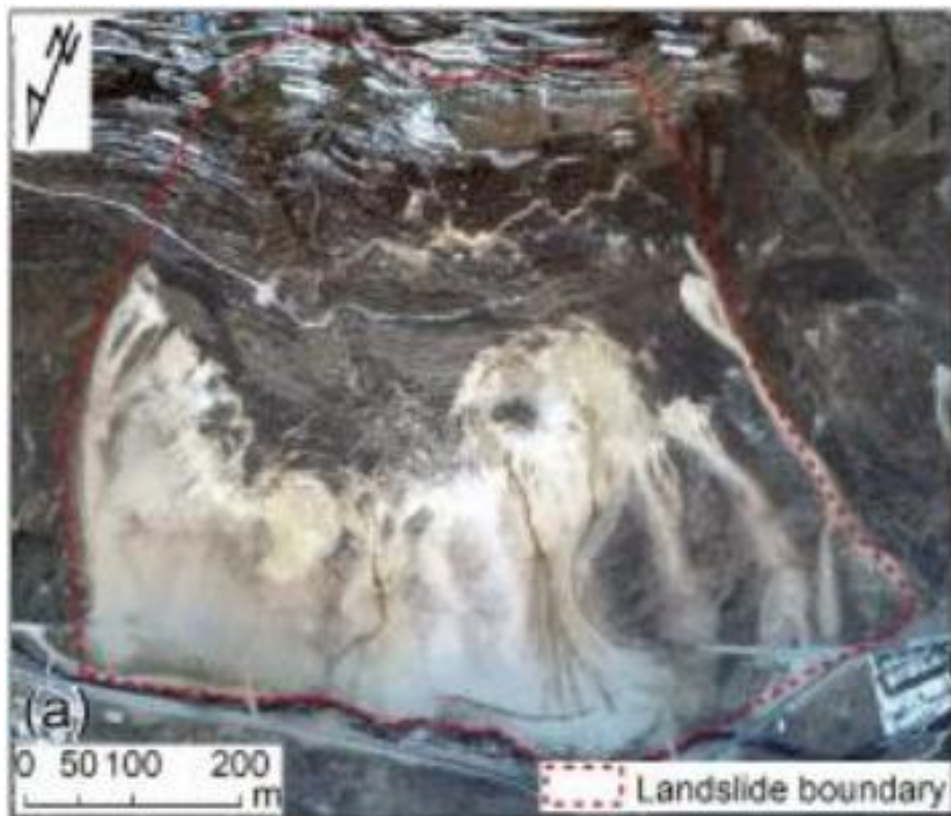


短信信息查询			
人员类型	[管理办公室]部门人员	信息产生时间	2024/5/7 7:05:25
信息接收人	向朝阳【13516206640】	信息发送时间	2024/5/7 7:05:25
预警等级	红色预警~	信息发送状态	文本短信: 发送成功
监测点	【513221010180】 【汶川】飞沙关滑坡		
短信内容	【汶川】飞沙关滑坡【L10P02】红色预警: 水平方向变形速率627.16mm/d, 垂直方向变形速率571.20mm/d, 当前水平方向切线角=85.44°, 当前垂直方向切线角=84.50°, 请关注。(05-07 07:05)		

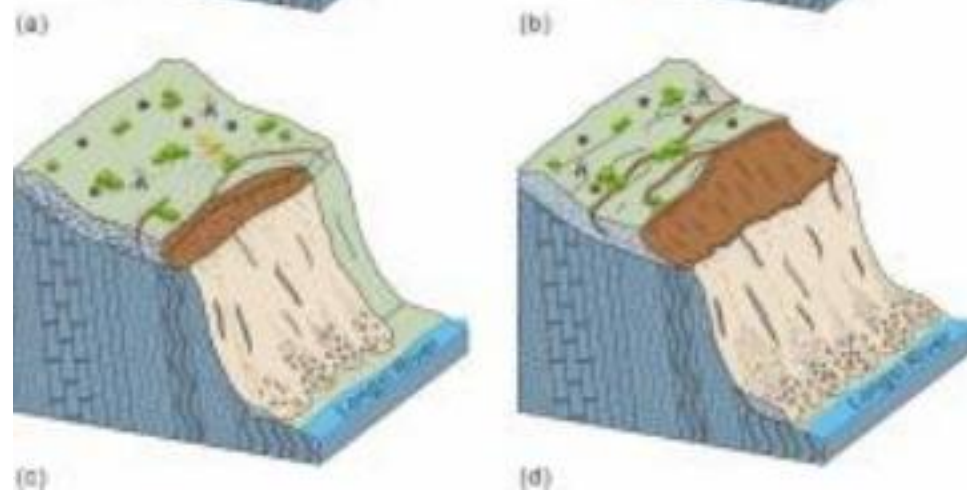


综合监测案例3：汶川县龙溪沟厂部滑坡

厂部滑坡位于位于中国四川省阿坝藏族羌族自治州汶川县岷洲镇，属于典型了**土质高位滑坡**，多期光学影像显示，**2014年滑坡前缘开始出现垮塌迹象**，之后**垮塌区域逐渐扩大**，到**2022年5月滑坡前缘已经贯通**，且垮塌的土体将下方**道路掩埋**。

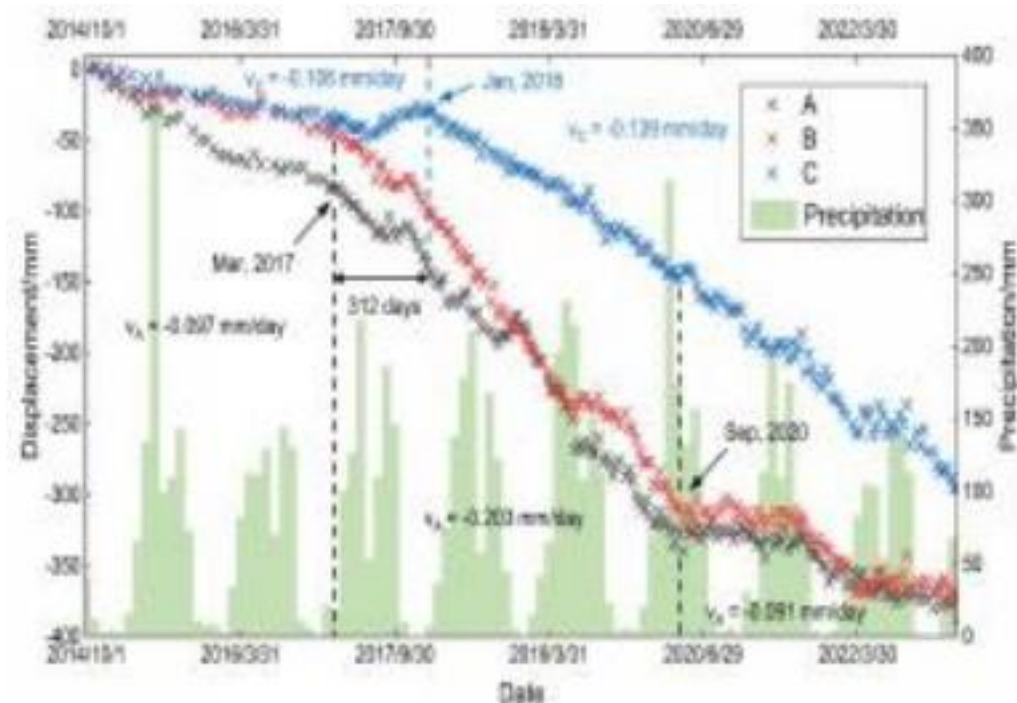
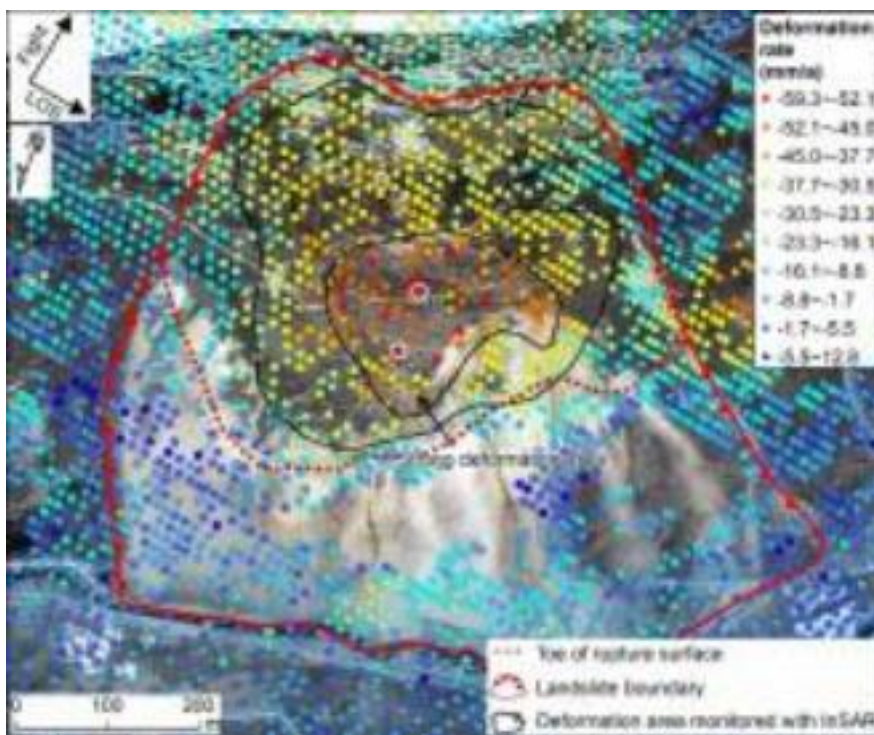


综合监测案例3：汶川县龙溪沟厂部滑坡



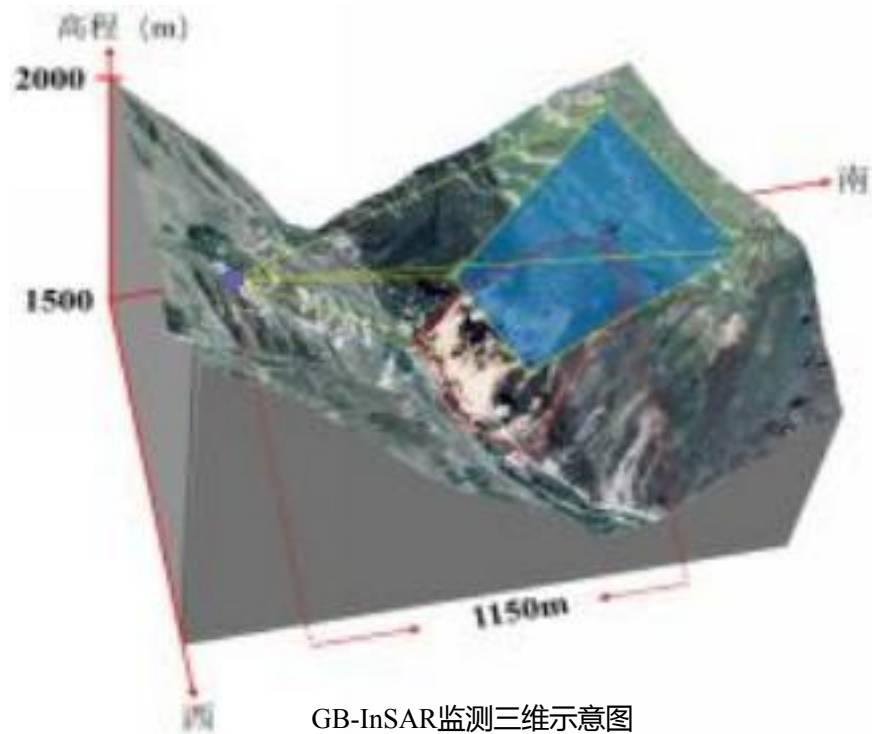
InSAR监测结果

- ◆ 利用2022年1月到2024年1月的Sentinel-1A数据和SBAS-InSAR技术，探测到布兰村滑坡后缘具有强烈变形迹象;
- ◆ 实地调查后发现，滑坡前部形变更为强烈，与星载InSAR结果不相符。说明滑坡前缘的形变强度已经超过了星载InSAR的探测能力。

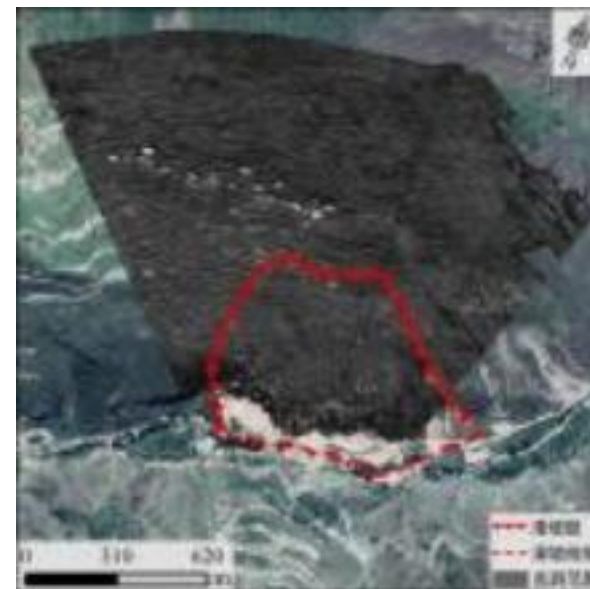


GB-InSAR监测

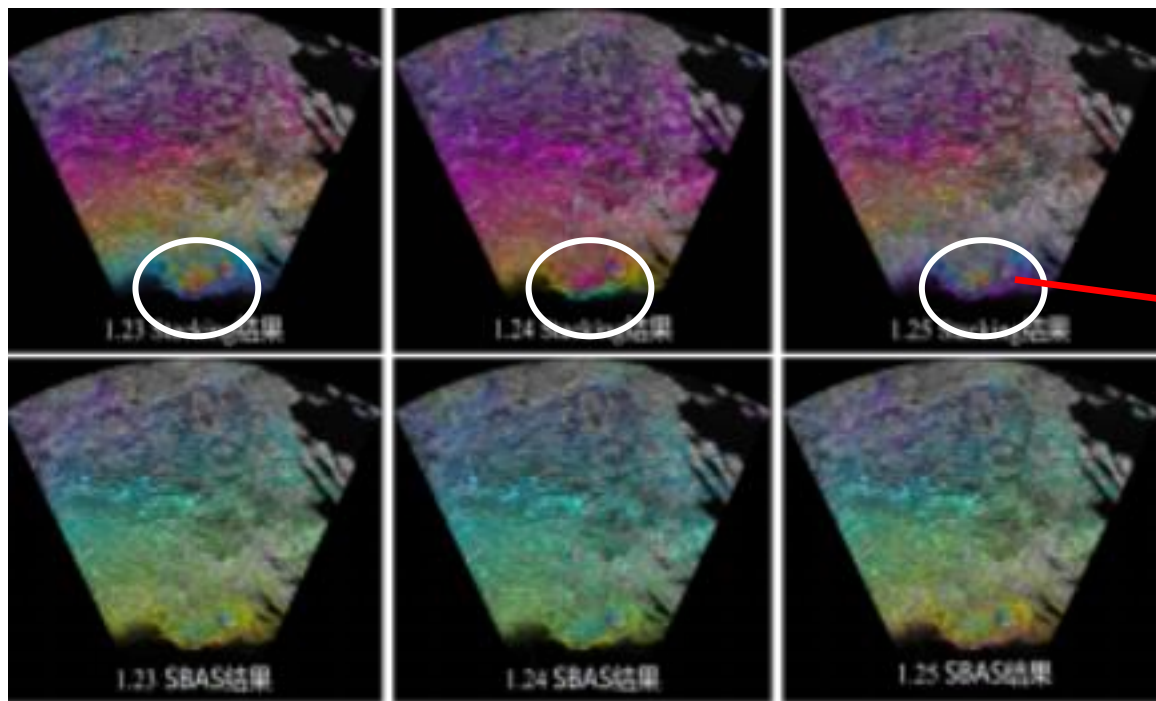
将监测点位设置在滑坡对面的饲料厂空地，将GB-InSAR仪器固定于提前浇筑的水泥桩基座上，监测距离为1150米，扫描间隔设定为5分钟。在2024年1月23日至2024年1月25日期间，开展了3期非连续监测，共采集496景监测数据，并利用SBAS-InSAR技术对多期数据进行处理。



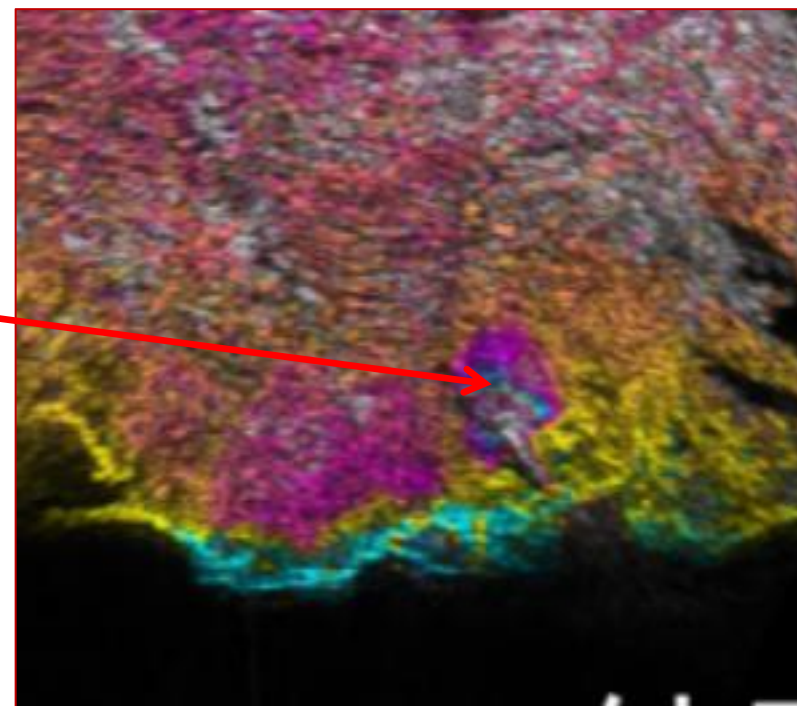
GB-InSAR监测三维示意图



- 滑坡前缘存在两处强变形区，分别位于滑坡前缘两处冲沟附近，监测期间最大累计形变量-191 mm；
- 强变形区整体呈现出远离地基雷达方向的形变趋势。这与滑坡前缘存在的多级拉张下错的变形现象一致；
- 厂部滑坡呈现出牵引式破坏特征。



多期次GB-InSAR数据处理结果



滑坡前缘形变迹象

提 纲

1.前言

2.滑坡隐患综合遥感识别技术

3.滑坡隐患综合遥感监测技术

4.典型应用案例

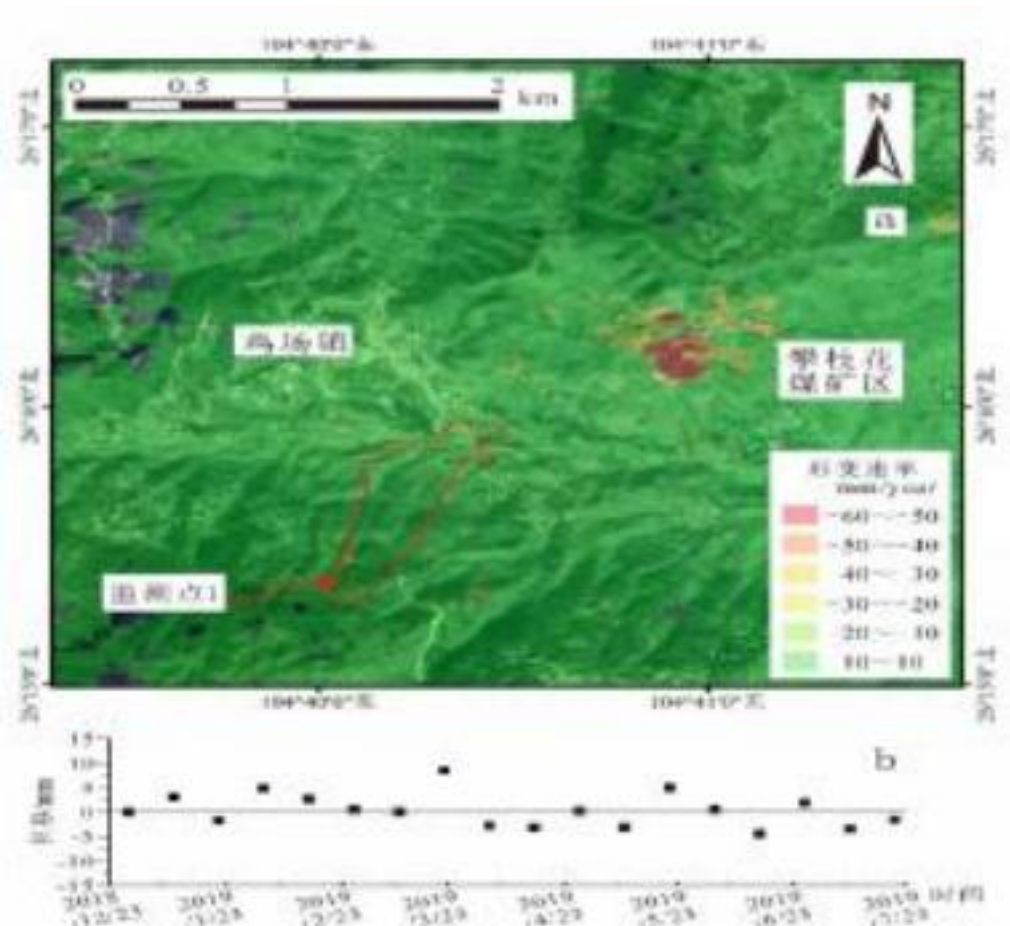
5.结语

- ◆ 就像大多病人可通过体检、专项检查，查处所患疾病一样，利用“三查体系”+传统人工排查是可以识别出大多数大型地质灾害隐患的。
- ◆ 地质尺度与人类尺度不在一个数量级。隐患并不一定很快就会成灾。对潜在隐患进行分析评判和监测是风险防控的重要手段，据此制定针对性的防控措施。
- ◆ 理论上讲，非突发性灾害是可以提前预警的，但对于突发型滑坡，基于变形的提前预警难度很大。

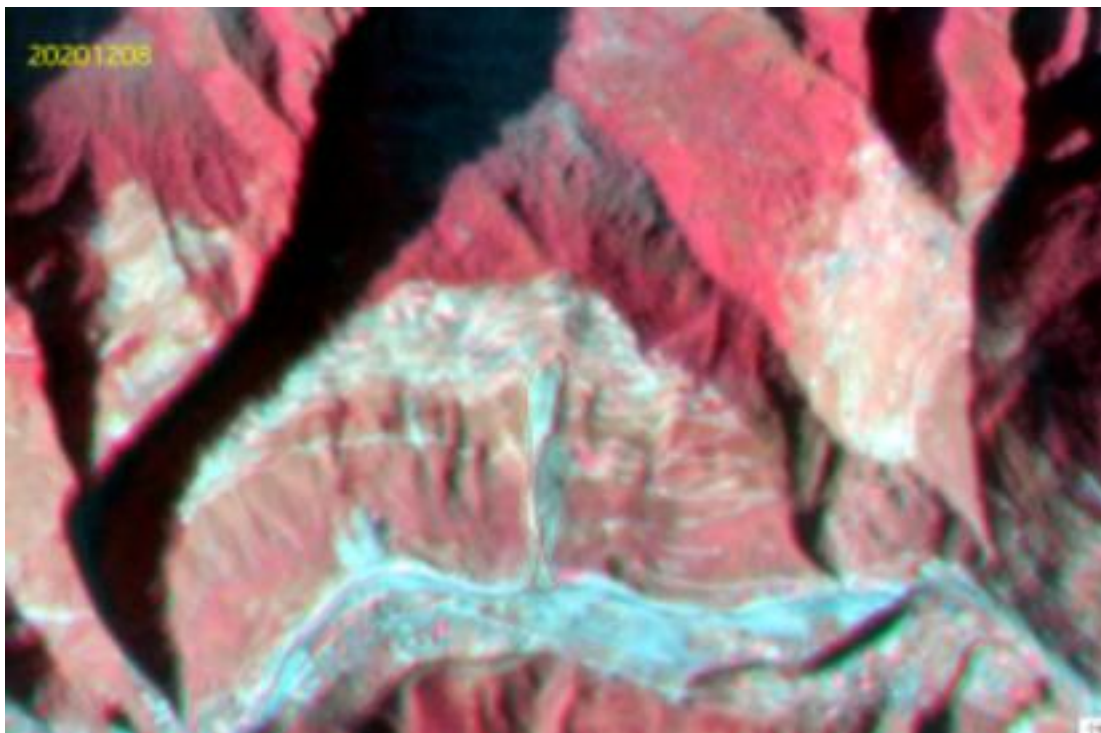
(1) 部分地灾隐患可能在一次降雨过程中开始变形并发生整体失稳，必须认识到对其早期识别仍然十分困难。



通过对2018年12月28日~2019年7月22日共计18景哨兵卫星数据进行差分分析，发现鸡场镇滑坡发生前坡体未见明显变形迹象，表现出显著的突发性。



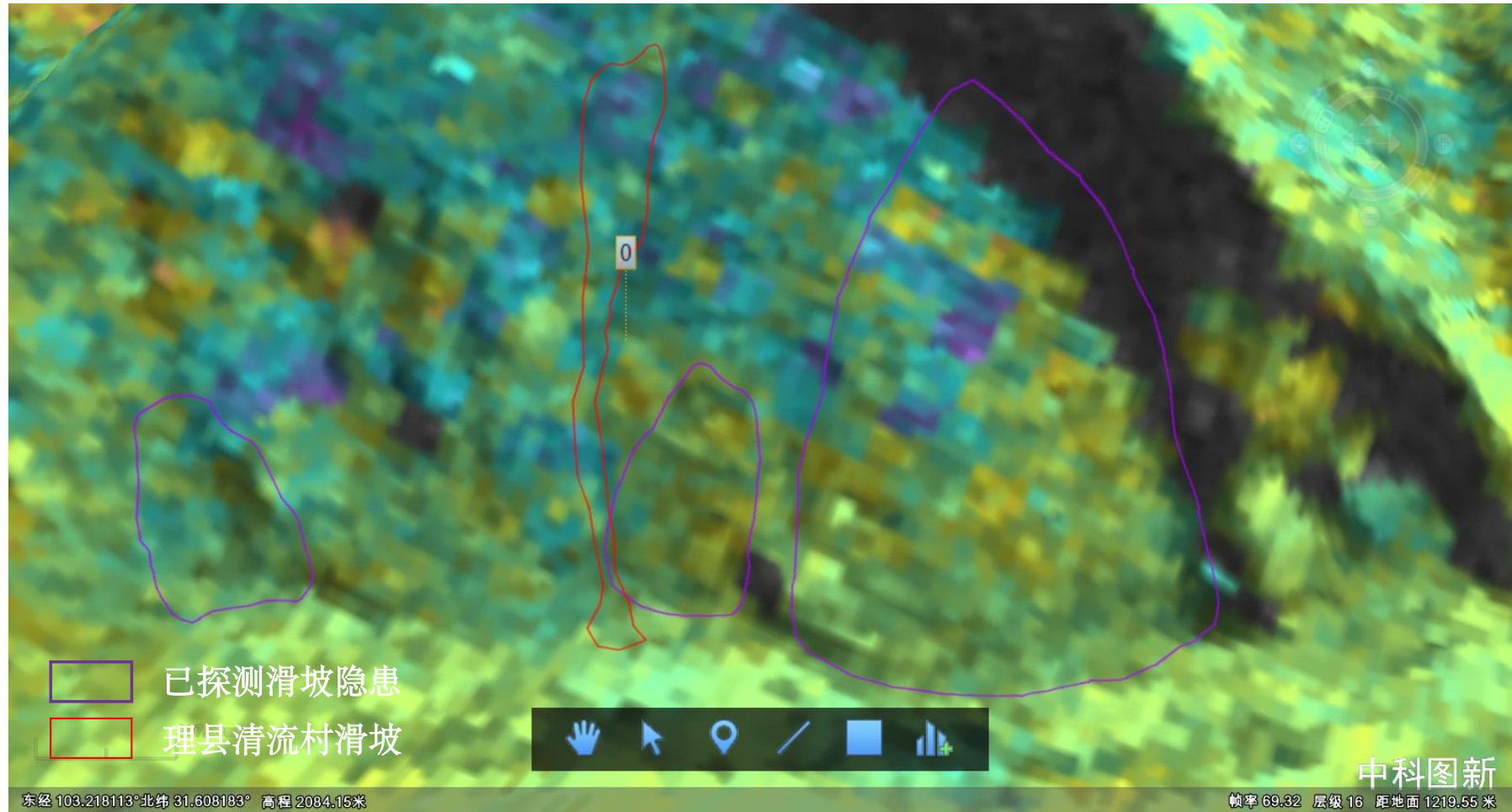
(2) 规模较小的地灾隐患，容易漏判



2020年12月4日理县清流村滑坡



(2) 规模较小的地灾隐患，容易漏判

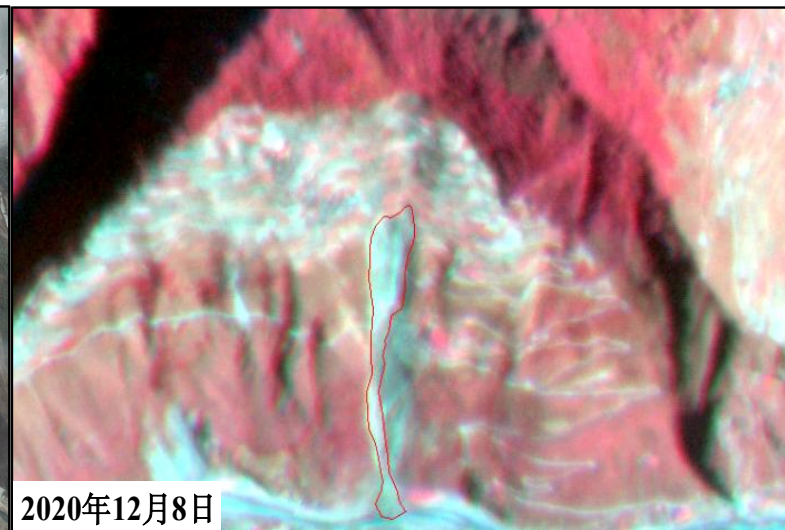


(2) 规模较小的地灾隐患，容易漏判



2023年6月4日金口河区永胜乡鹿儿坪滑坡

非显性滑坡隐患

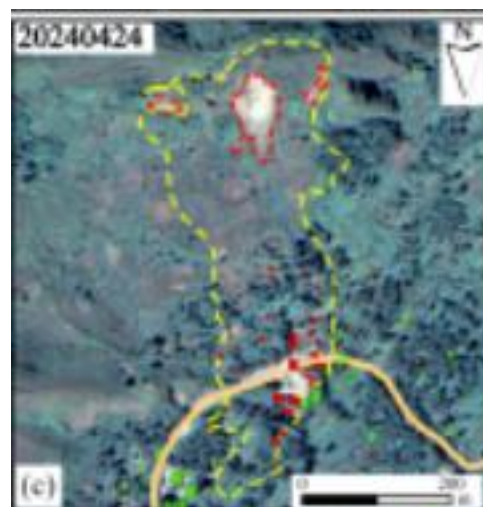
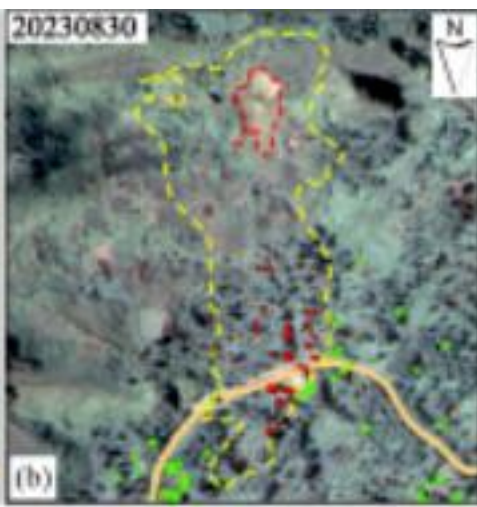
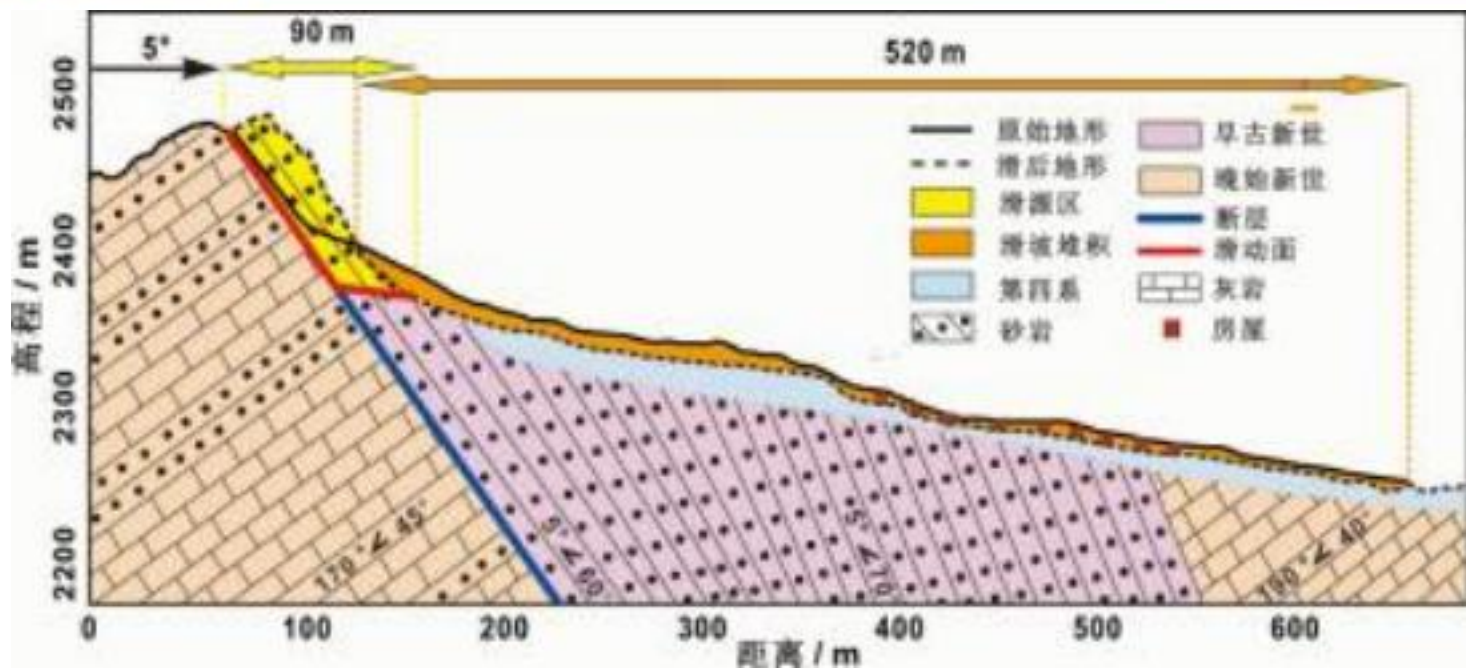


- 规模小、突发性强
- 宏观、微观形变不显著
- 目前遥感很难提前识别
- “点面双控”，开展**精细化**风险评价可能是出路

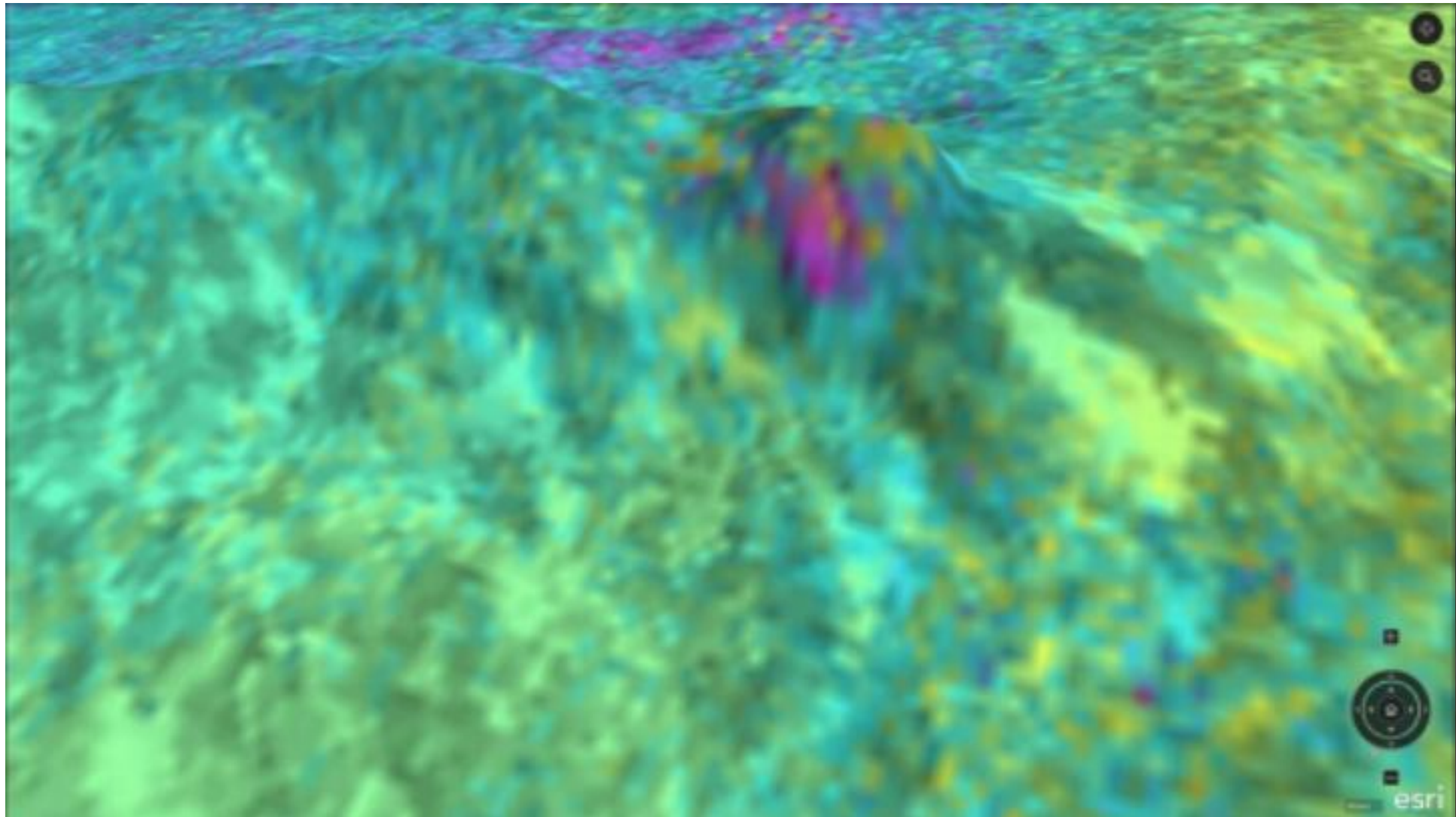
巴布亚新几内亚大型滑坡灾害



巴布亚新几内亚大型滑坡灾害

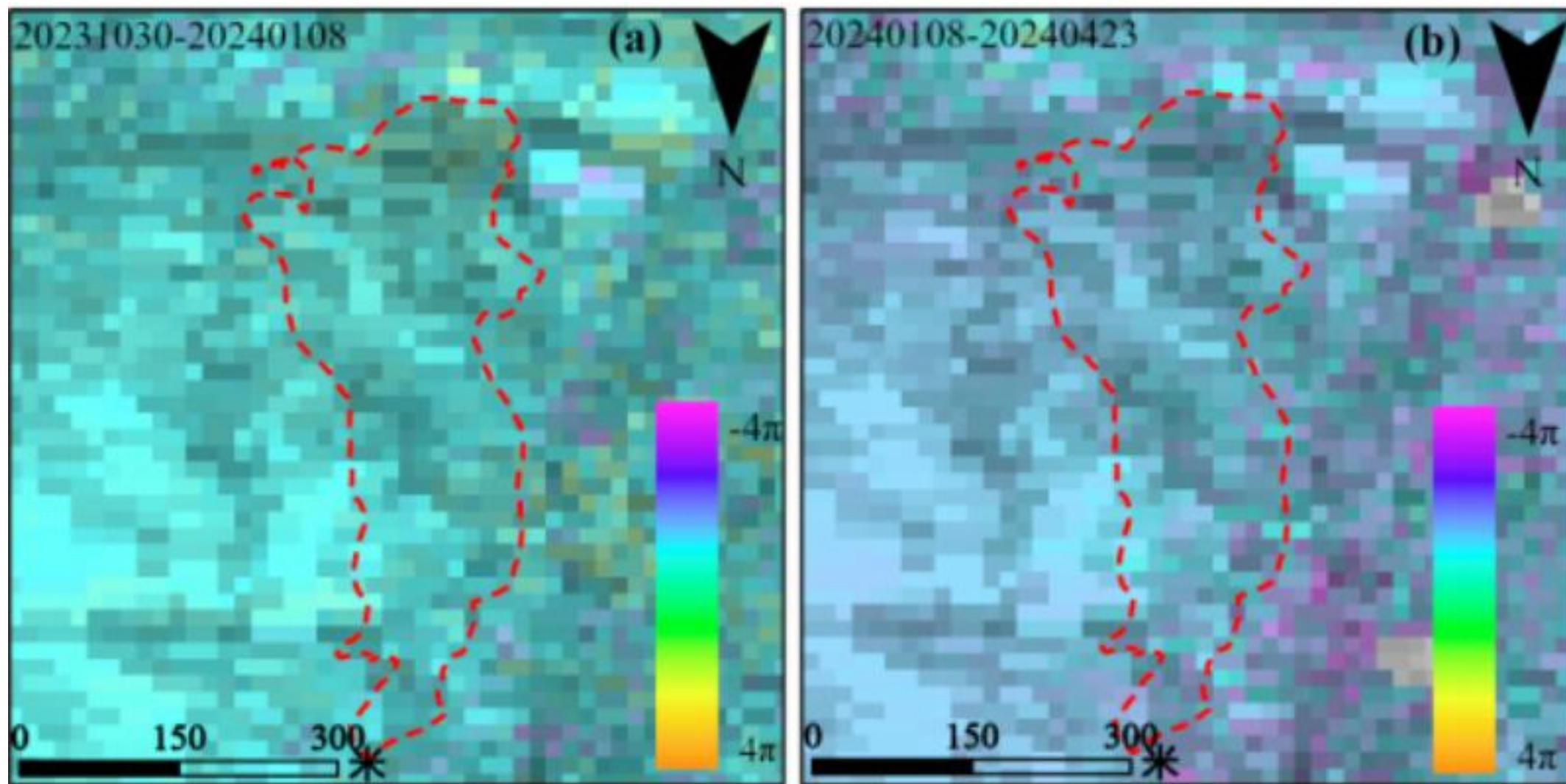


巴布亚新几内亚大型滑坡灾害



LT-1 D-InSAR, 葛大庆提供

巴布亚新几内亚大型滑坡灾害





成都理工大学
CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室
State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection



谢谢!

THANKS !



手机:13540649901 (微信同号)