



飞马无人机

在四川省地质灾害隐患遥感识别监测项目中的应用

自然资源部第三地理信息制图院 王夏





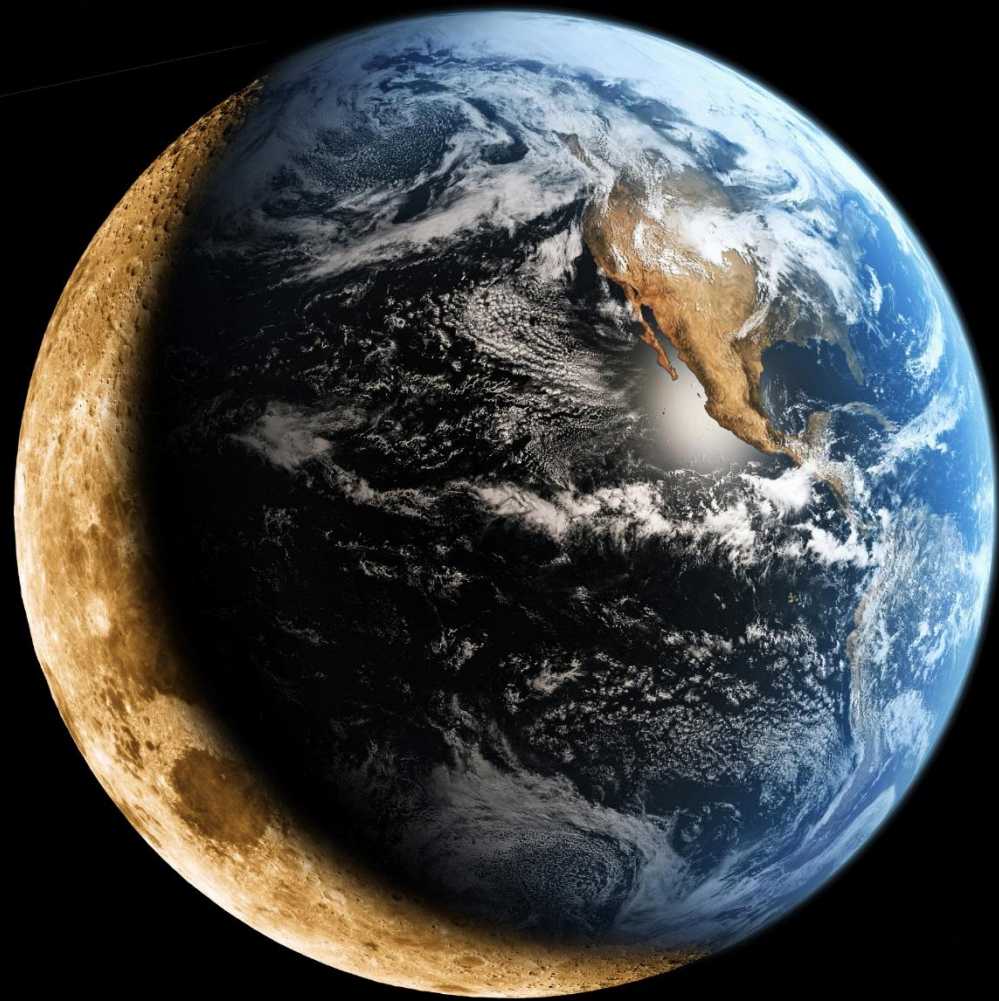
I -项目背景-为什么做？

II -组织实施-怎么做？

III-案例分析-成果如何应用？

IV-入库及组织-成果如何管理？

V-总结与展望



W H Y T O D O

为什么做？

四川省位于我国陆地地势第一级青藏高原和第二级长江中下游平原的过渡带
地貌东西差异大，地形高差悬殊，地质构造复杂，河流切割强烈

多面广
类型多
规模大
成因复杂
发生频率高
防范难度大

“5.12”汶川特大地震

“4.20”芦山强烈地震

“8.8”九寨沟强烈地震

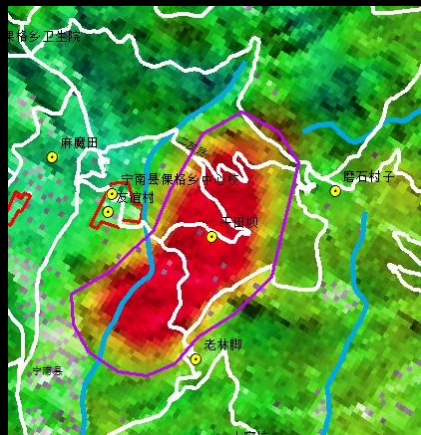
“7.17”茂县山体滑坡



全面落实党中央、国务院加强地质灾害防治体系建设新要求 提升四川省地质灾害隐患的风险管控能力

“普查”

高精度光学遥感
合成孔径雷达InSAR



天

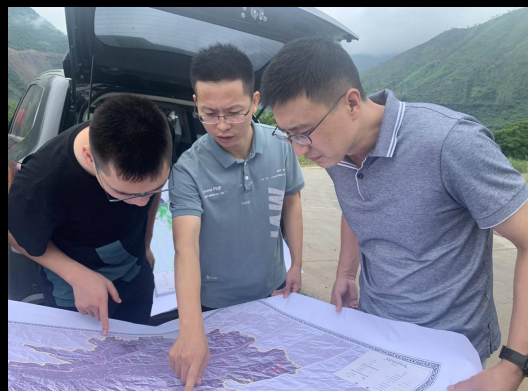
空

“三查体系”

地

“详查”

无人机机载 LiDAR
无人机正射或倾斜摄影



“核查”

地面调查核实
实地实时监测



类型涵盖:

高位远程滑坡、堵江 (潜在)

滑坡、高位崩塌

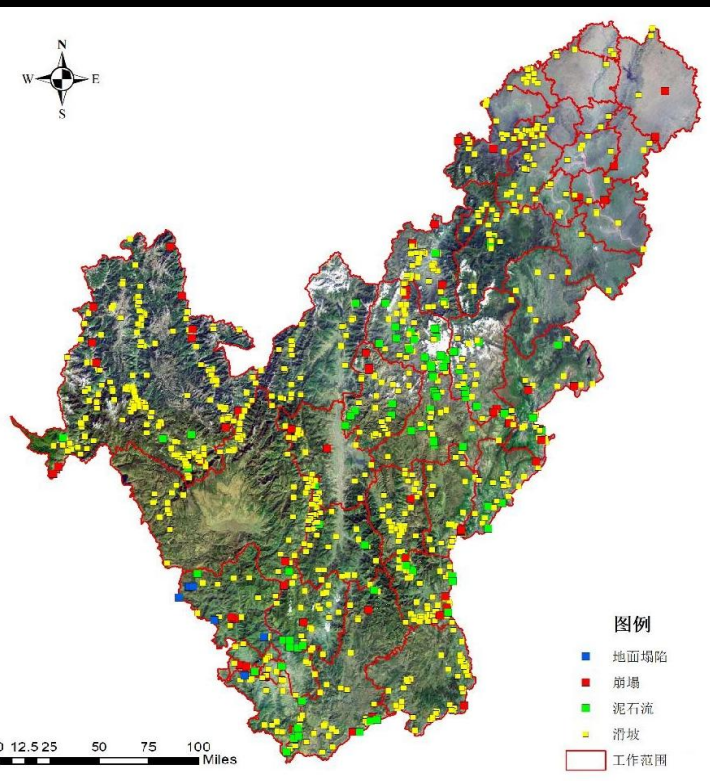
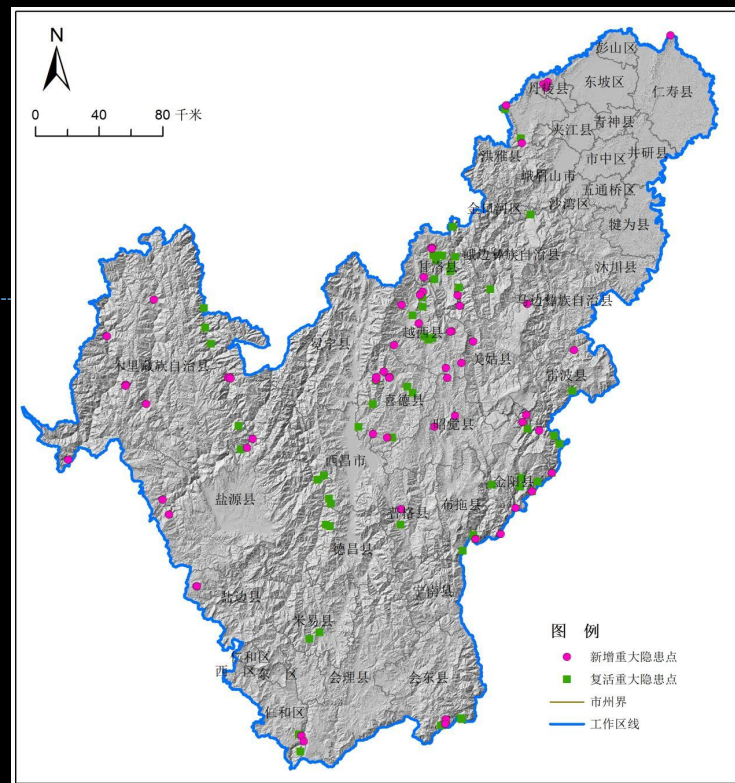
识别来源:

InSAR点、光学点
及综合解译点

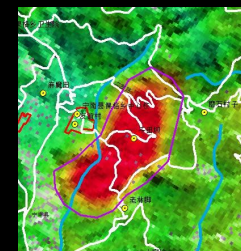
122处重大地质灾害隐患点

总体技术路线

- ◆ 工作区位于四川省眉山市、乐山市、凉山州、攀枝花共4个市（州），共计39个县。
- ◆ 采用哨兵雷达数据和中高分辨率光学卫星数据，开展地质灾害隐患InSAR监测和光学遥感筛查，发现和圈定高位地质灾害隐患点或疑似靶区。
- ◆ 选取任务区重大地质灾害隐患点开展1:5000机载LiDAR、无人机航拍数据采集及遥感追踪监测评价。
- ◆ 选择新发现的、存在重要威胁对象的地质灾害隐患点，开展野外核查。
- ◆ 结合地质灾害解译、航飞和调查成果，建设地质灾害隐患点三维管理平台。



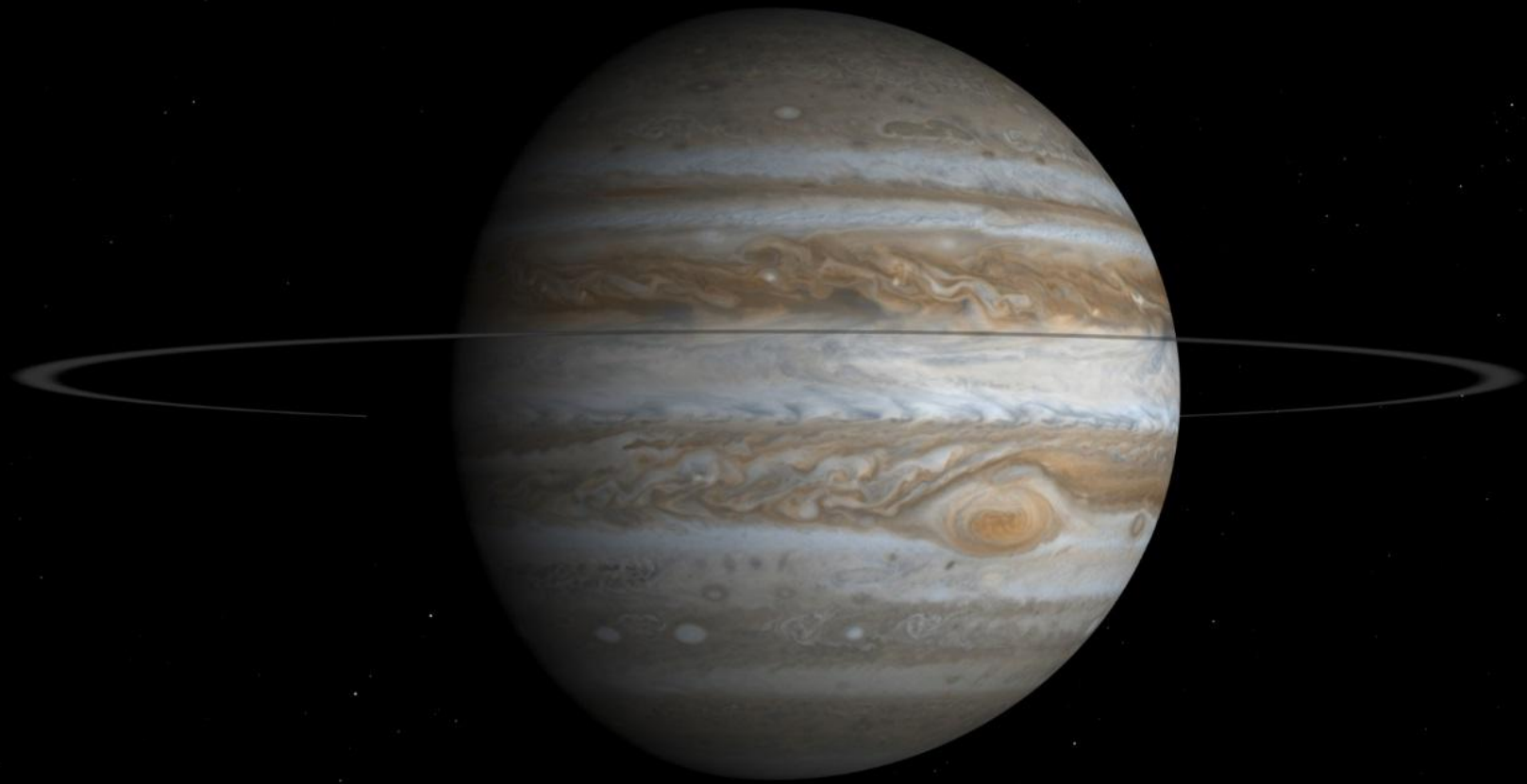
疑似滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等共900余处



InSAR

光学



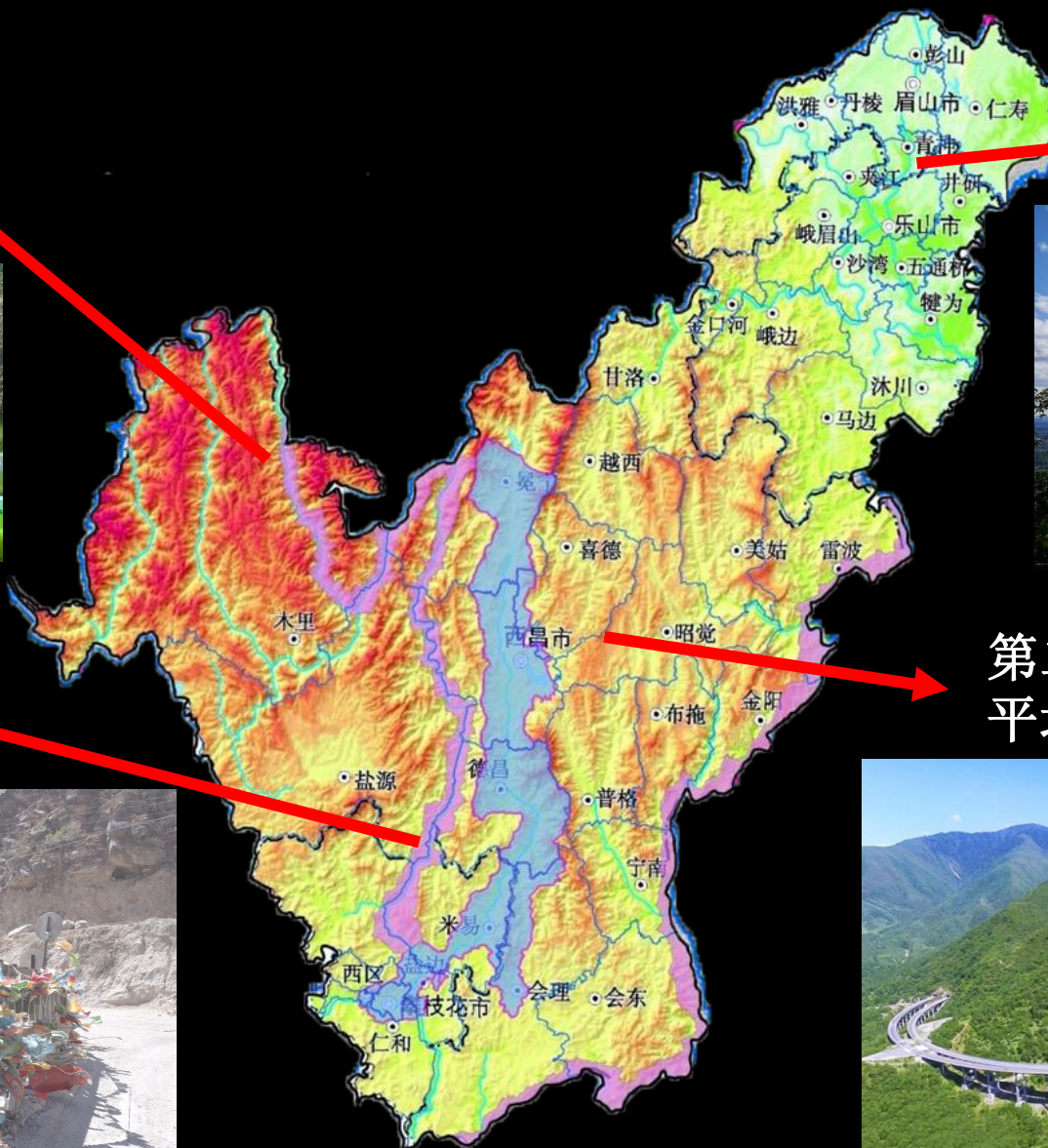


H O W T O D O

怎么做？

第四级高原地区
平均海拔3300米

第一级平原地区
平均海拔500米

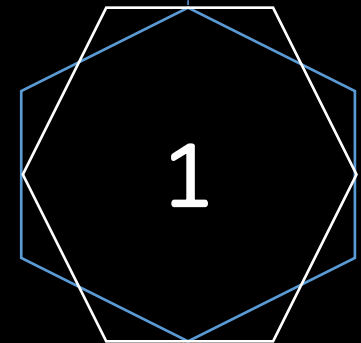


第三级峡谷地带
平均海拔2000米

第二级横断山脉
平均海拔1500米

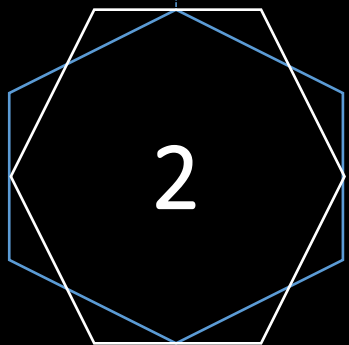


抗风、抗寒；高起飞海拔；飞行器能适应各种地形条件

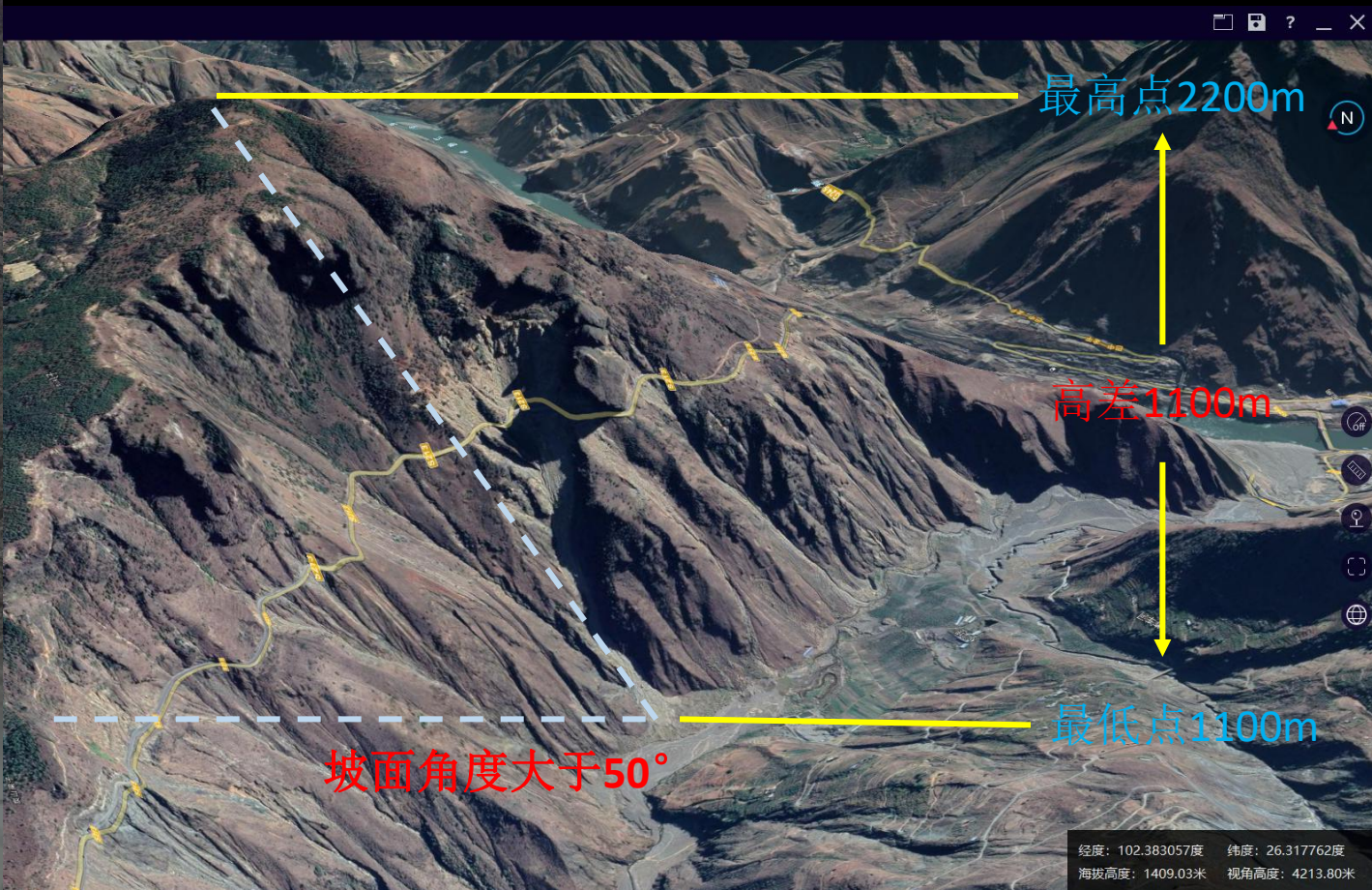


作业区地形地貌





任务点地势高差



精准变高飞行能力、安全避障能力、智能返航功能。



精度要求

航飞影像质量要求

调查比例尺	地形类别	影像分辨率 (米)	平面位置中误差 (米)
1:5000	平原、丘陵	0.2	2.5
	山地、高山地	0.2	3.7

点云密度要求

调查比例尺	林分郁闭度	点云密度 (点/平方米)
1:5000	[0.7, 1]	[15, 20)
	[0.2, 0.69)	[10, 15)
	[0, 0.2)	[2, 4)

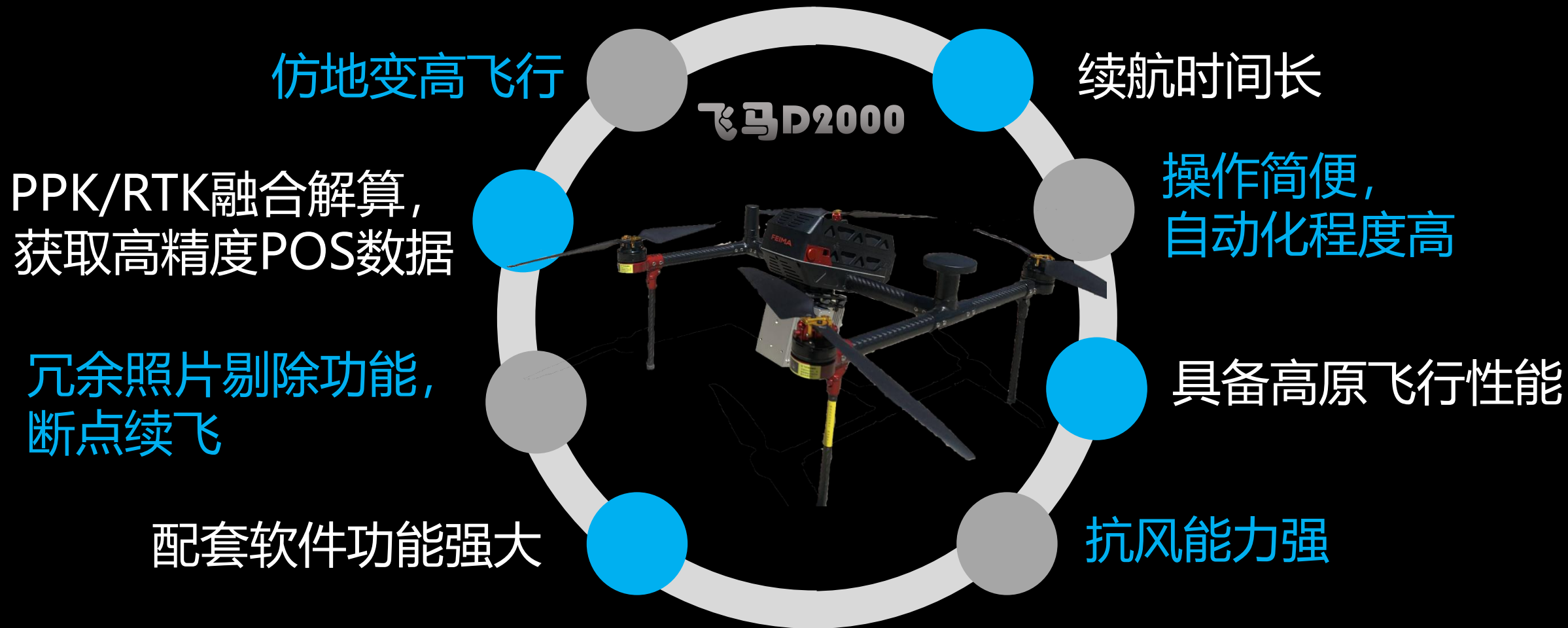


任务区普遍地物较少，多为植被、耕地或裸露地表，且地势陡峭，像控点布设困难

具备高精度GNSS差分性能，在免像控模式下能满足精度要求。



作业平台选择



根据数据质量要求，在充分考虑任务区地形情况和气候条件后，开展多种航飞平台对比调研，最终选择飞马D2000航测系统作为外业航摄平台。

D-OP3000 + D-LiDAR2000



倾斜摄影模块

D-OP3000

载荷参数

相机型号	SONY A6000
传感器尺寸	23.5×15.6mm (aps-c)
有效像素	约2430万*5像素
镜头焦距	25mm定焦(下视) 35mm定焦(倾斜)

镜头1: DOM
镜头1-5: 倾斜模型



点云数据: DEM

激光雷达载荷 D-LiDAR2000 载荷参数

型号	D-LiDAR2000
搭载平台	D2000
水平视场角	70.4°
垂直视场角	4.5°/77.2°
精度	5cm@50m
测距	190m@10%反射率@100klx 450m@80%反射率@0klx



激光	测距模式	TOF	POS	水平定位精度	0.02m
	激光等级	Class 1		高差定位精度	0.03m
	波长	905nm		横滚/俯仰精度	0.006°
	点频	240kpts/s		航向角精度	0.03°
	回波数	三回波		GNSS数据更新频率	20Hz
	回波强度	8bits		惯导数据更新率	200Hz
	测距精度	±2cm			

选择D-OP3000倾斜摄影模块和D-LiDAR2000激光雷达载荷为传感器开展外业航飞。

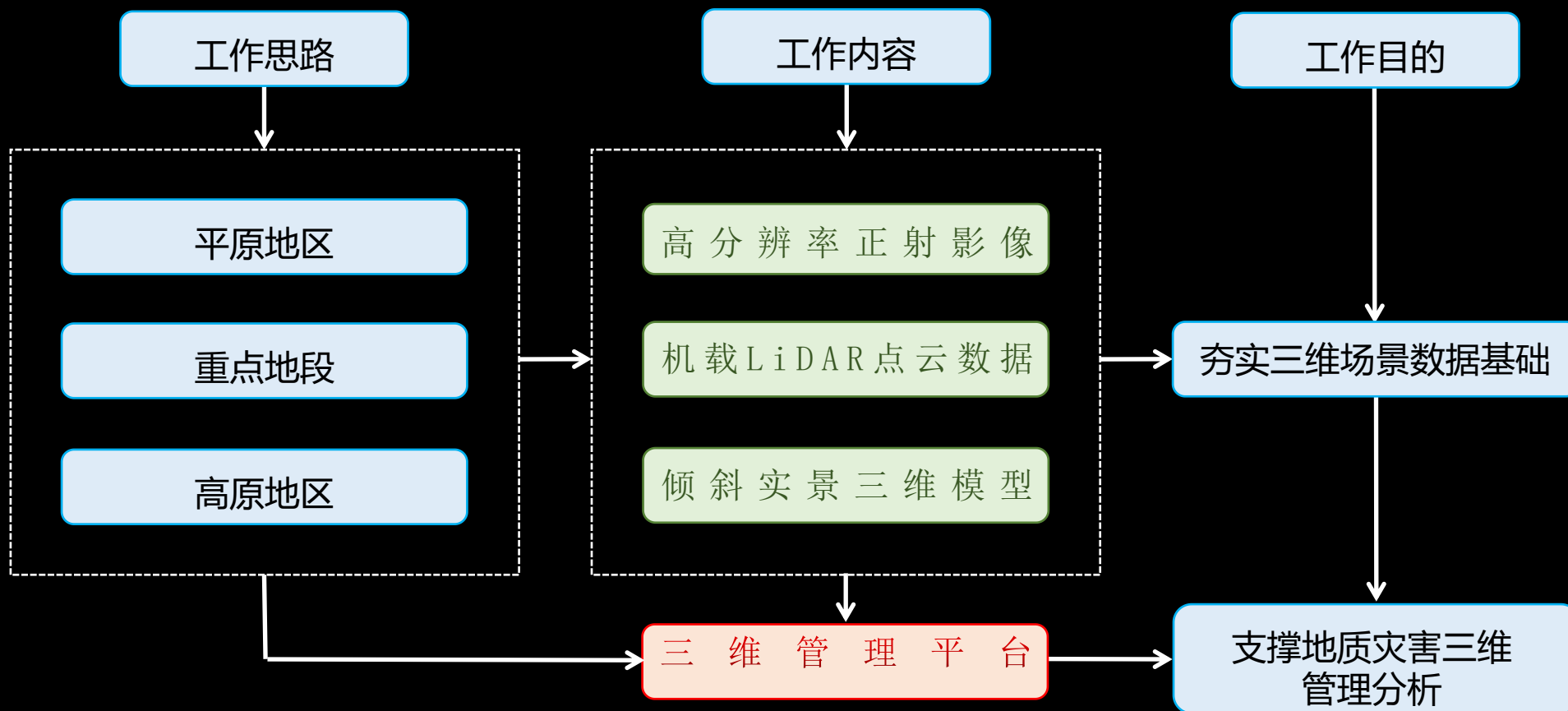


组织实施

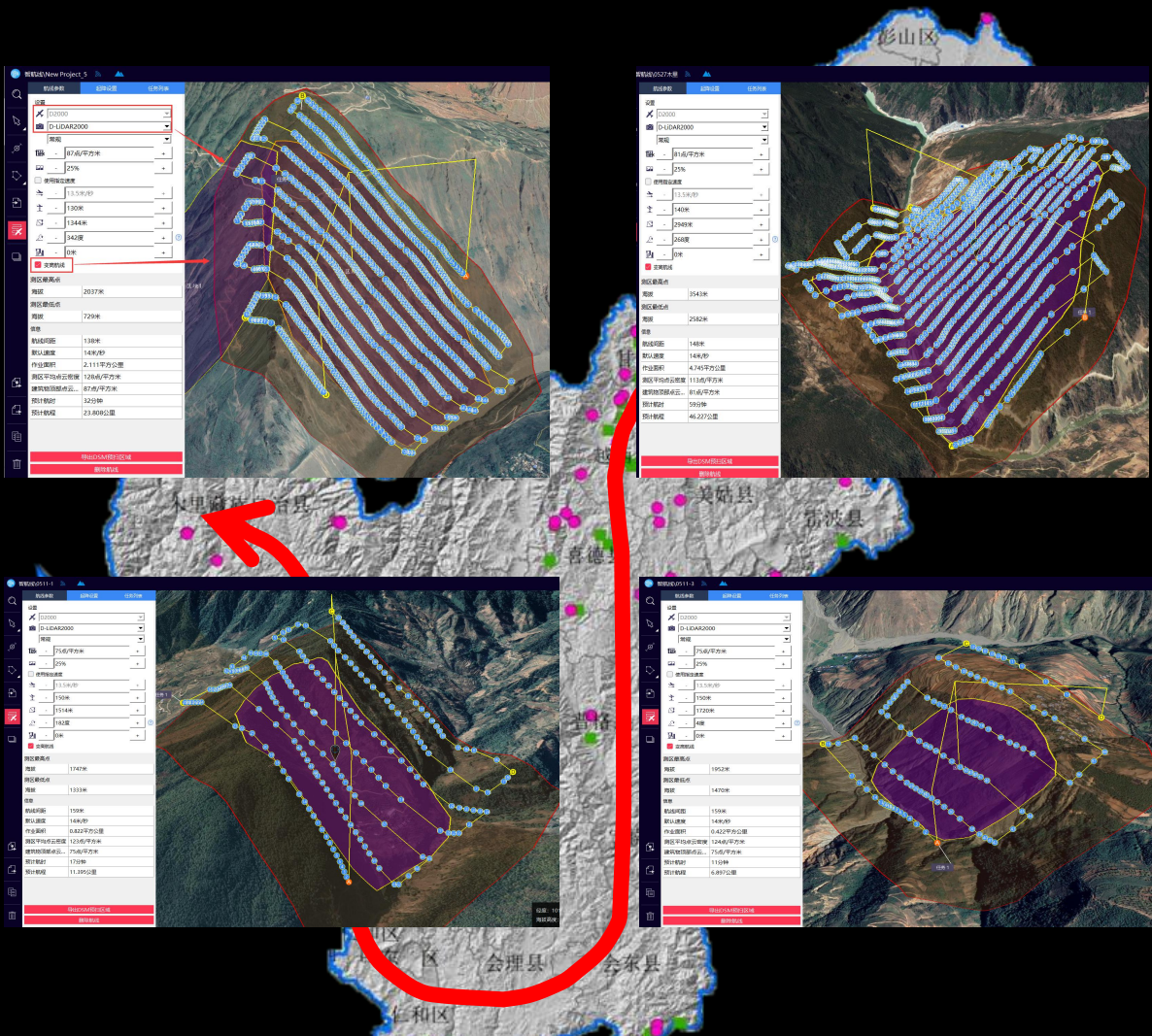
工作目标

建立川西南地区地质灾害隐患遥感识别监测评价体系，为四川省地质灾害防治和监测预警提供基础资料和决策依据，为四川省地质灾害防治工作提供科学支撑

工作路线



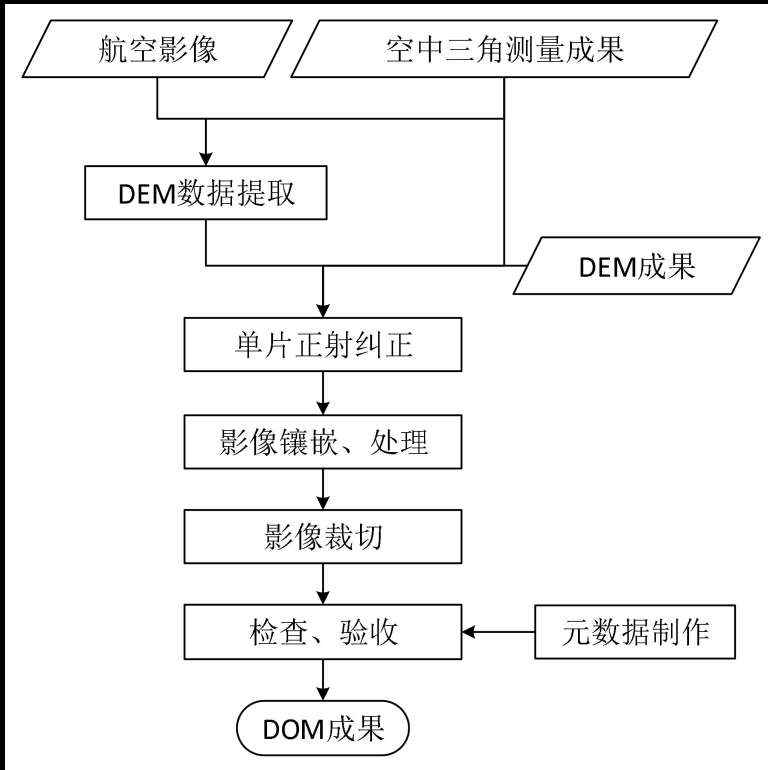
飞马展外机舱家数据获取线



总共飞行68个架次，总飞行时长约160小时，在高原复杂环境下，**没有出现设备安全问题**，设备可靠性高。

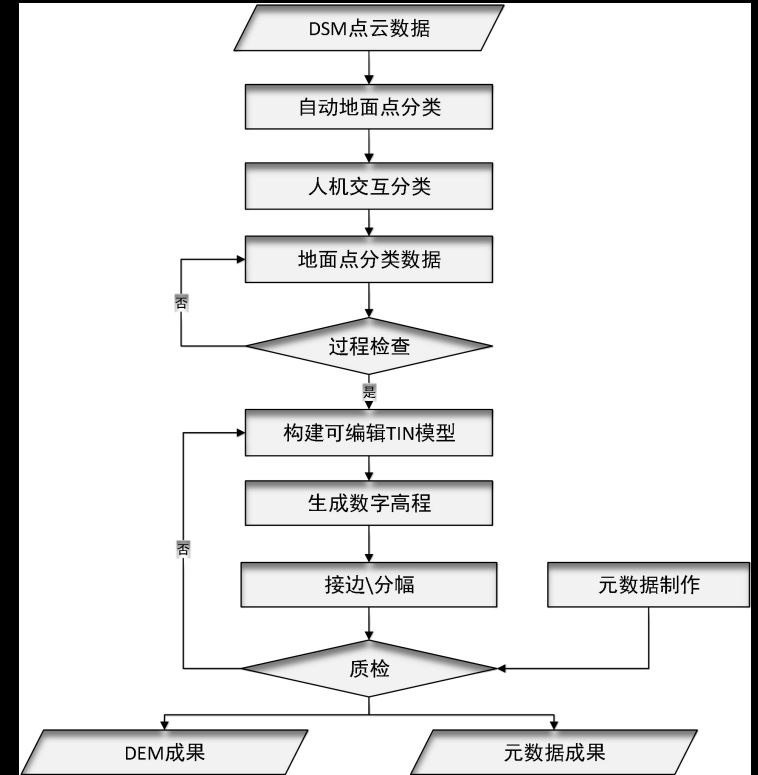
优于0.2米航空影像处理

采用“无人机管家专业版（测量版）”软件，采用免像控模式进行，对各区域进行空中三角测量，通过光束法区域网整体平差，得到加密点成果；基于加密成果生产数字正射影像（DOM）。



机载LiDAR数据处理

采用“无人机管家专业版（测量版）”软件，基于原始点云数据通过房屋、植被等非地面点剔除，保留地面点并基于此成果生产数字高程模型（DEM）





优于0.2米航空影像处理——数据检查及预处理



工程整理

命名规则前缀: 相机-架次 架次-相机

POS输出规则: 写入EXIF 导出文件 合并POS 按相机分类导出

合并POS: 浏览

影像输出规则: 位置保持不变 另存为

架次起始编号:

架次: 架次1 架次2 架次3 架次4 架次5 +

影像: 浏览 删除选中 删除所有

POS: 加载pos 加载缓存文件

架次附加前缀: 写入 撤销

ID	I/X	B/Y	H/Z	Omega	Phi	Kappa	影像
1	A_01_DSC00003.JPG			1.162747	46.556963	-68.240209	E:/0526fabancesh
2	A_01_DSC00004.JPG			7.656355	46.057652	-67.968243	E:/0526fabancesh
3	A_01_DSC00005.JPG			7.656355	46.057652	-67.968243	E:/0526fabancesh
4	A_01_DSC00006.JPG			15.797723	46.821058	-76.965605	E:/0526fabancesh
5	A_01_DSC00007.JPG			15.797723	46.821058	-76.965605	E:/0526fabancesh
6	A_01_DSC00008.JPG			16.888015	48.348105	-77.502374	E:/0526fabancesh
7	A_01_DSC00009.JPG			16.107165	46.226339	-77.824943	E:/0526fabancesh
8	A_01_DSC00010.JPG			16.266495	46.496349	-78.272073	E:/0526fabancesh
9	A_01_DSC00011.JPG			15.443237	46.685775	-77.883127	E:/0526fabancesh
10	A_01_DSC00012.JPG			15.690973	47.204107	-77.769149	E:/0526fabancesh
11	A_01_DSC00013.JPG			16.151578	47.253485	-77.729517	E:/0526fabancesh
12	A_01_DSC00014.JPG			16.151578	47.253485	-77.729517	E:/0526fabancesh
13	A_01_DSC00015.JPG			16.236174	47.186229	-77.460953	E:/0526fabancesh
14	A_01_DSC00016.JPG			16.387062	47.619211	-77.879313	E:/0526fabancesh
15	A_01_DSC00017.JPG			16.430004	48.152729	-78.091647	E:/0526fabancesh

开始整理

数据检查:

- ◆ 检查原始数据的完整性
- ◆ 检查影像是否损坏、虚焦、不清晰
- ◆ 检查机载POS

预处理:

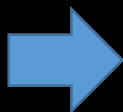
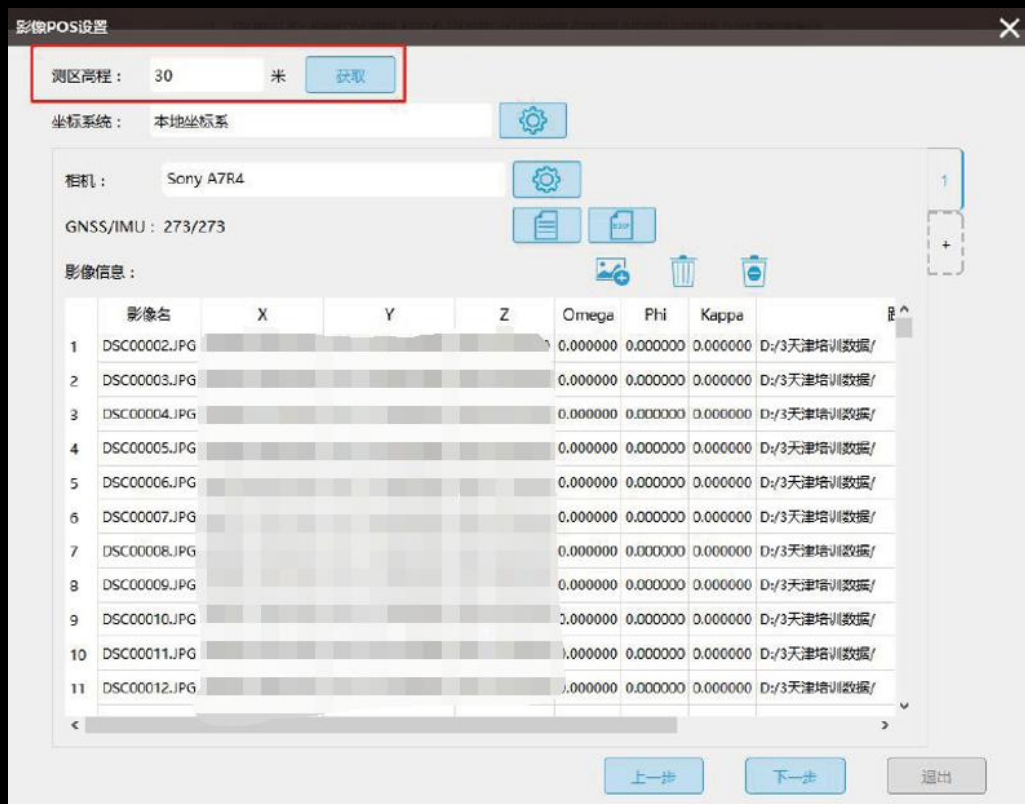
- ◆ 差分解算, 实现无控或稀少控制点成图
- ◆ 坐标转换, 经纬度坐标转换为所需平面投影坐标及高程系统
- ◆ 照片及POS数据整理



优于0.2米航空影像处理——空中三角测量

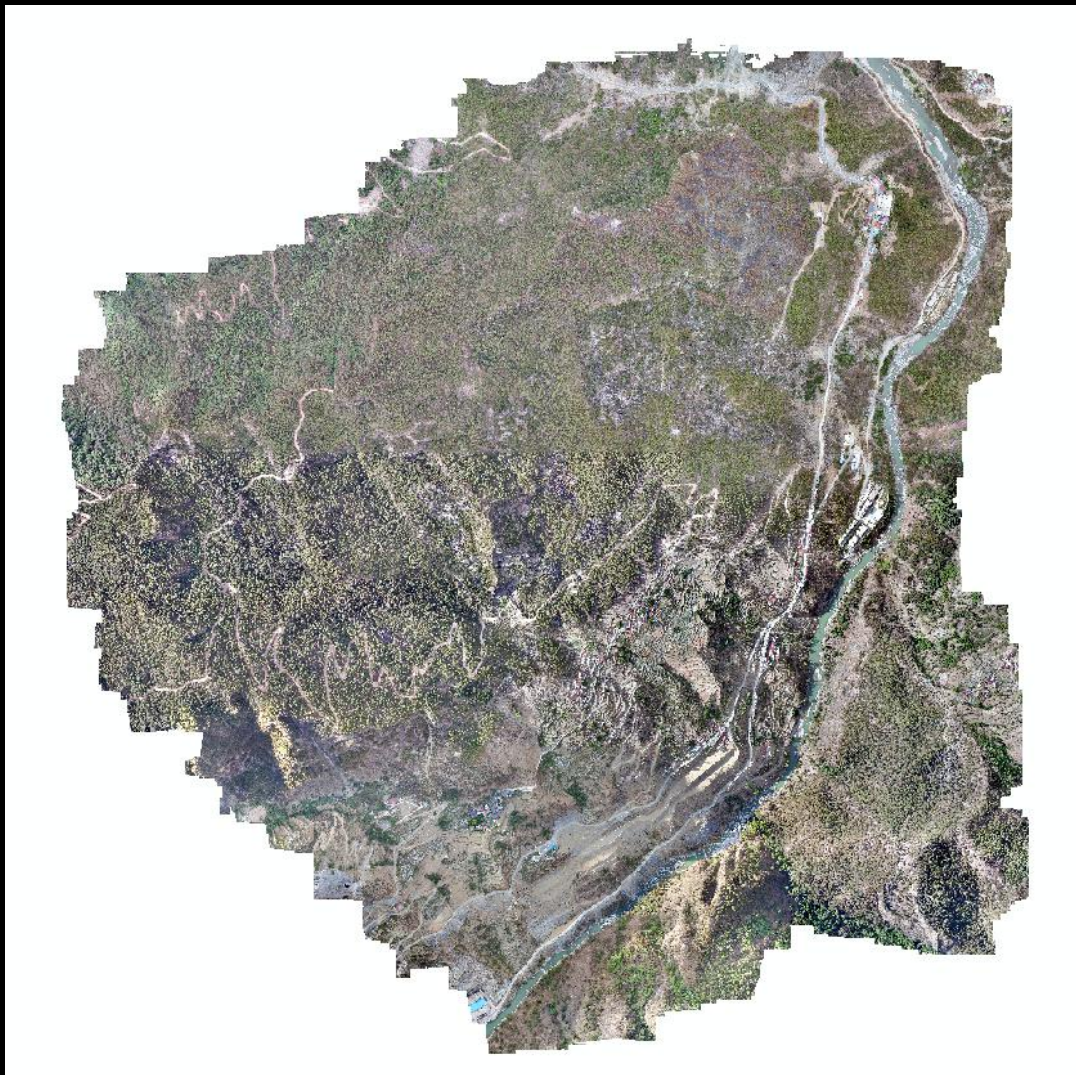
导入POS数据，设置相机参数并根据测区所处区位选择所需成果坐标系，根据试拍照片对应POS填写测区高程。

自由网空中三角测量。特征点提取与匹配，计算地面点的外方位元素。计算完成后，可通过3D视图查看空三是否正常。





优于0.2米航空影像处理——成果输出



正射影像 (DOM) 输出



遥感解译图



机载LiDAR点云数据处理——预处理

数据准备

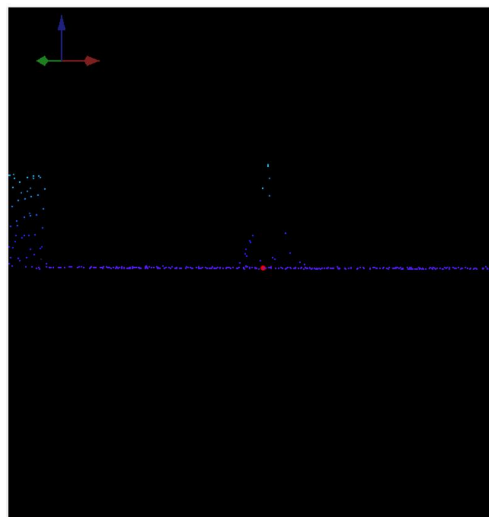
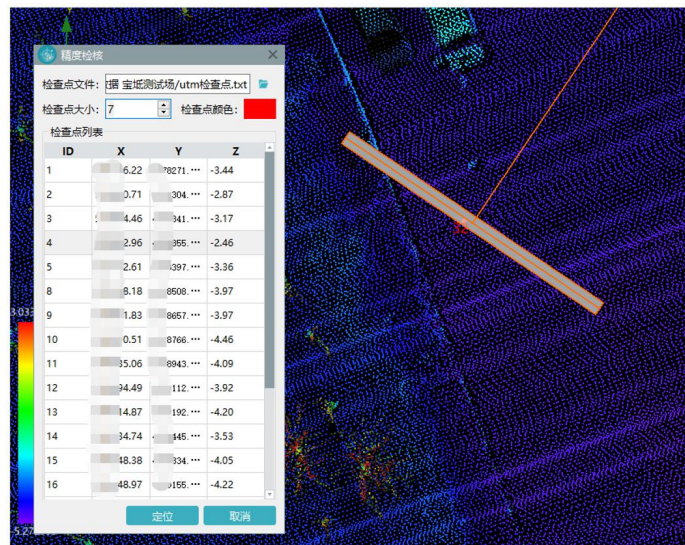
点云解算

去冗余

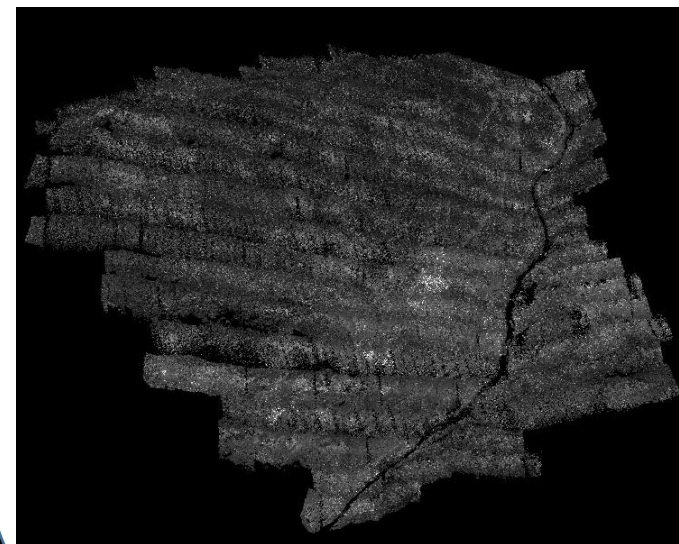
坐标转换

精度检查

拉剖面检查



预处理后点云数据





机载LiDAR点云数据处理——后处理

数据去噪

点云分类

数据编辑

断裂线

精度检查

未去除植被前点云剖面

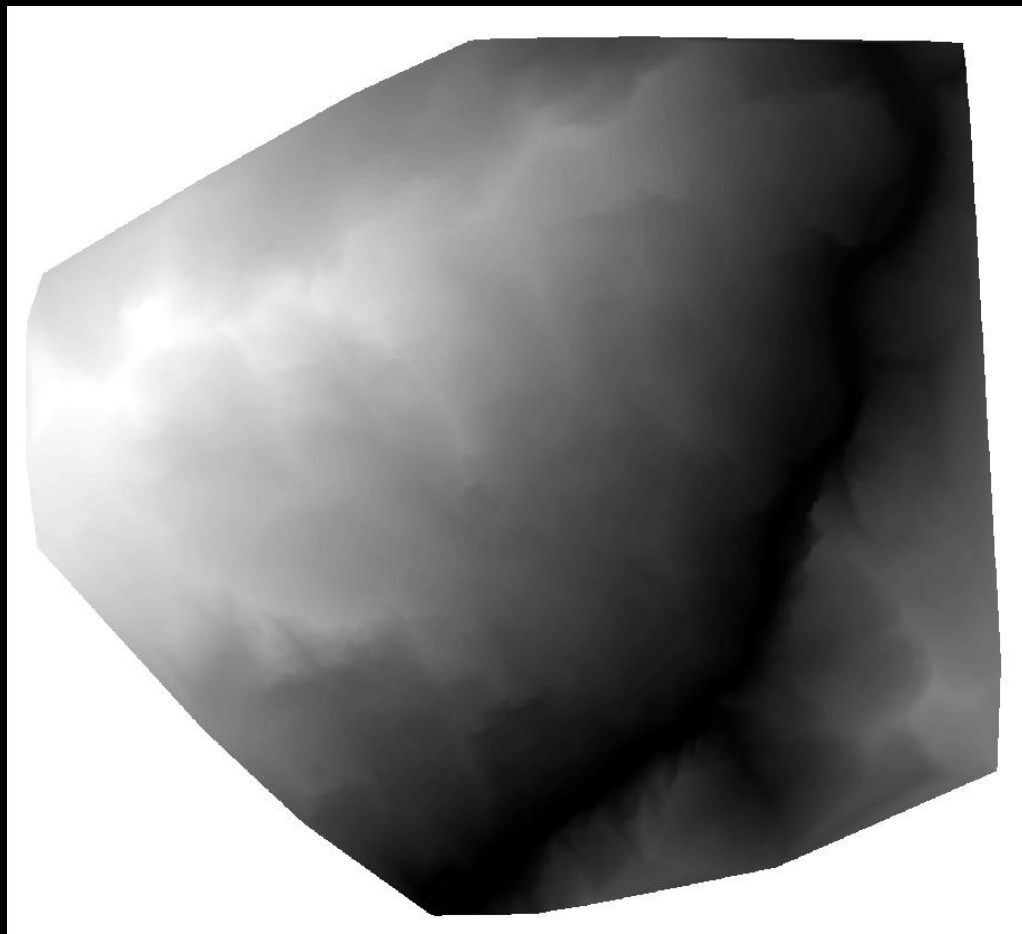


去除植被后点云剖面

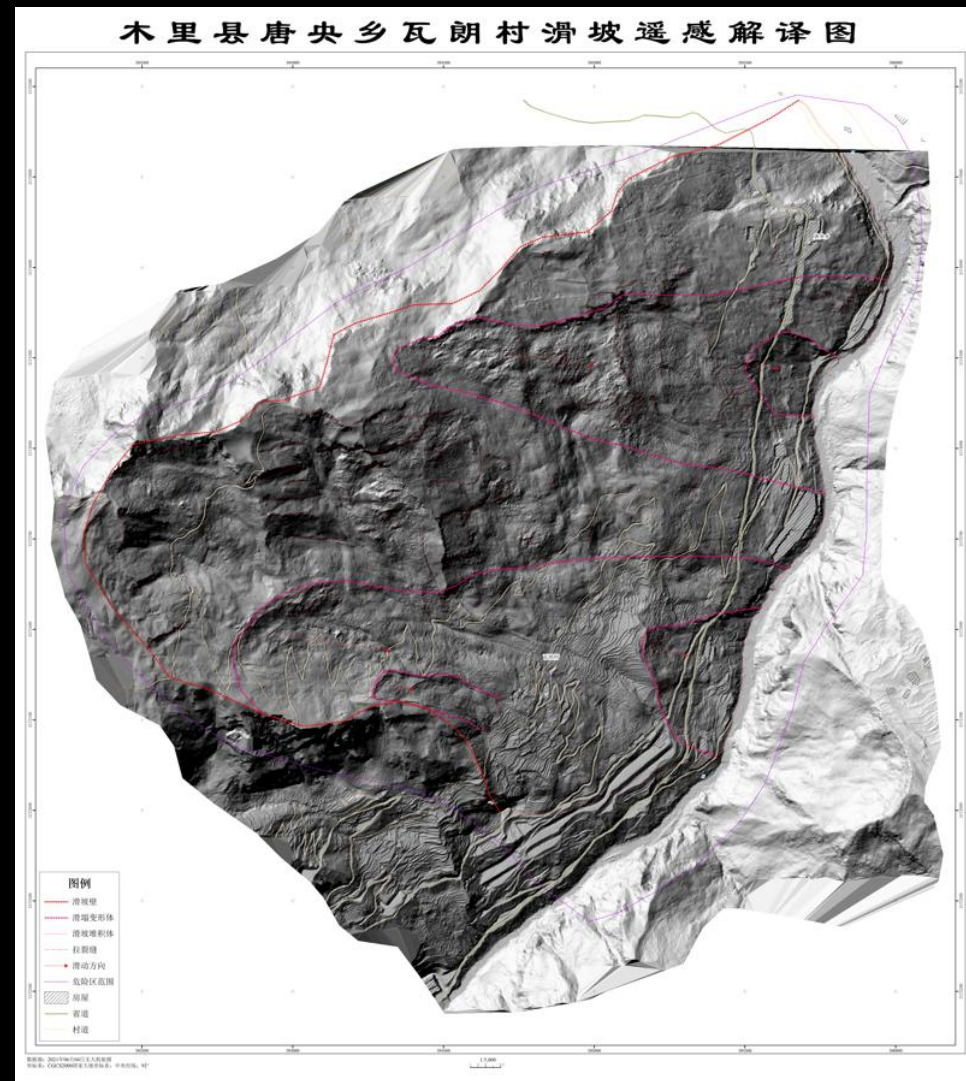




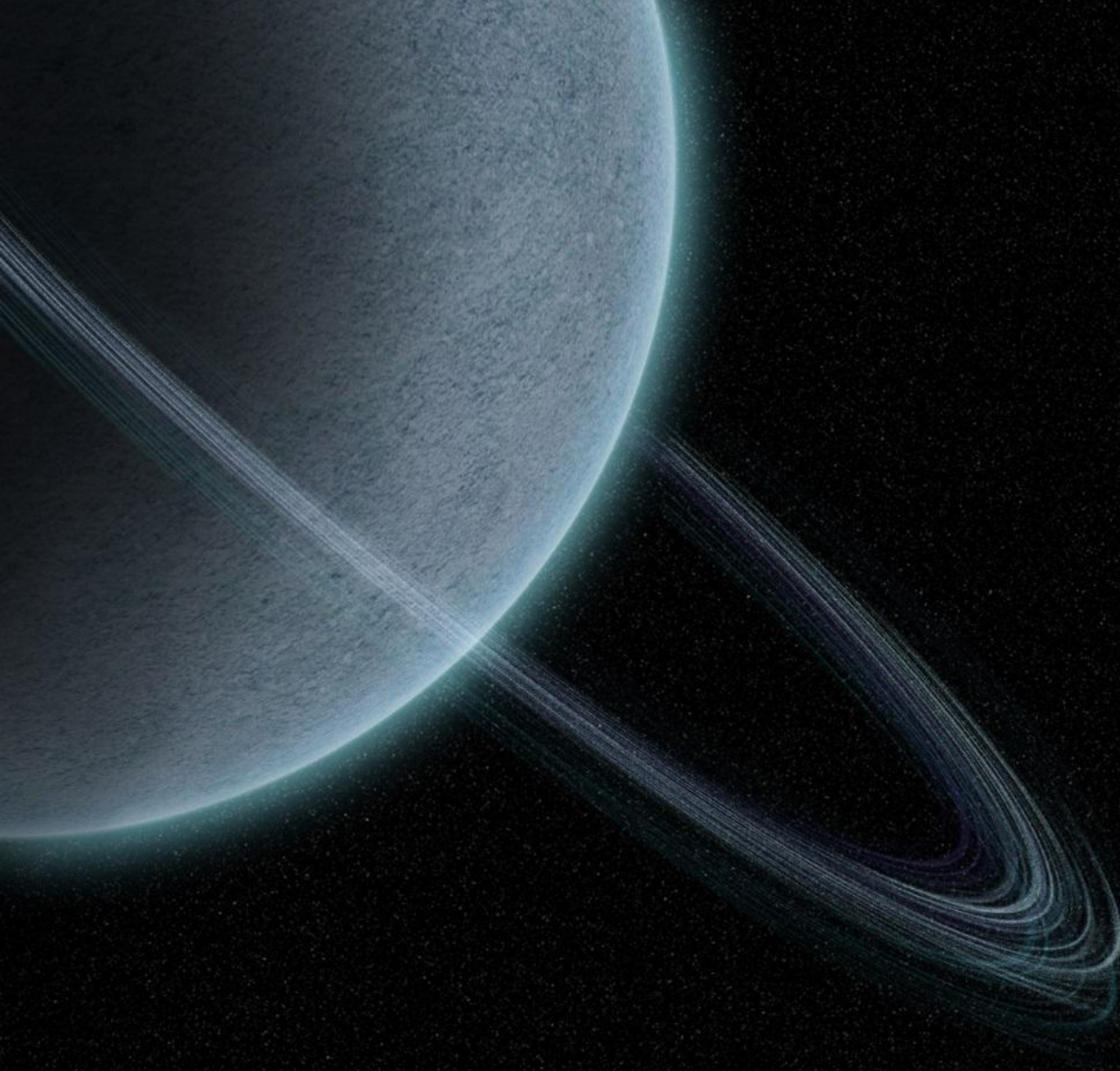
机载LiDAR点云数据处理——成果输出



数字高程模型（DEM）输出



遥感解译图-DEM

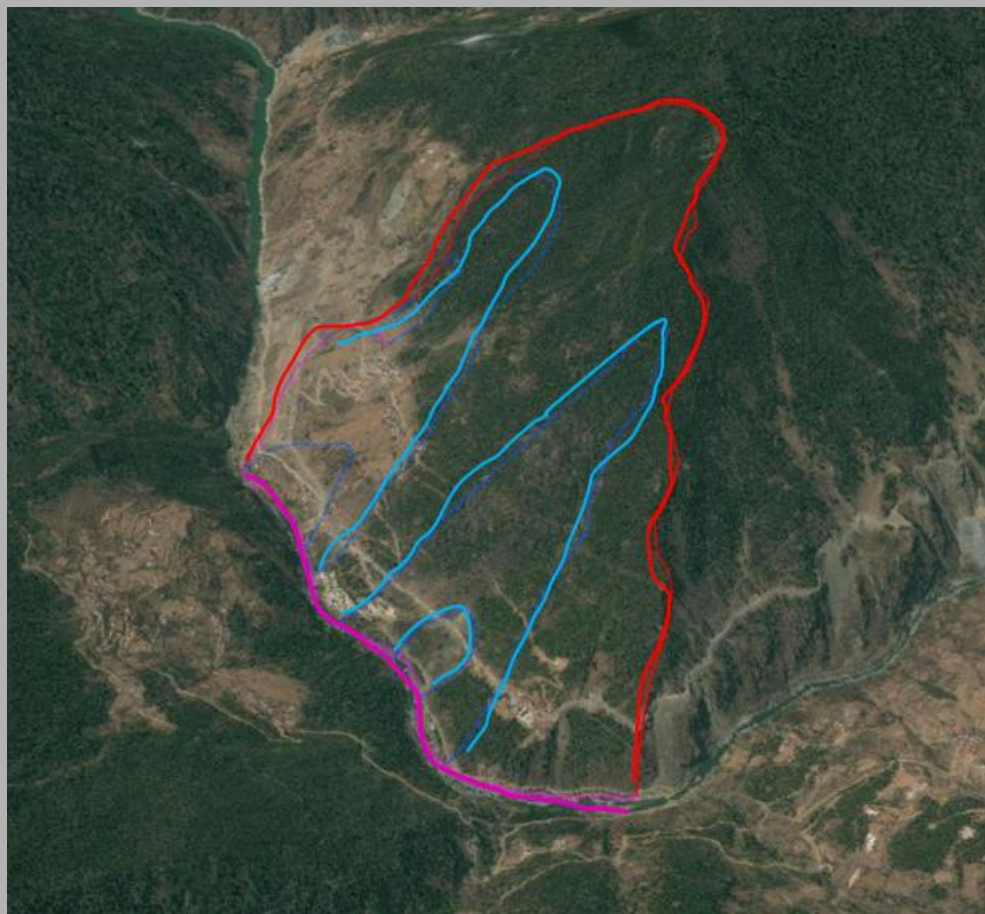


H O W T O U S E

成果如何应用？



木里藏族自治县唐央乡瓦朗村滑坡



瓦朗村滑坡三维影像图

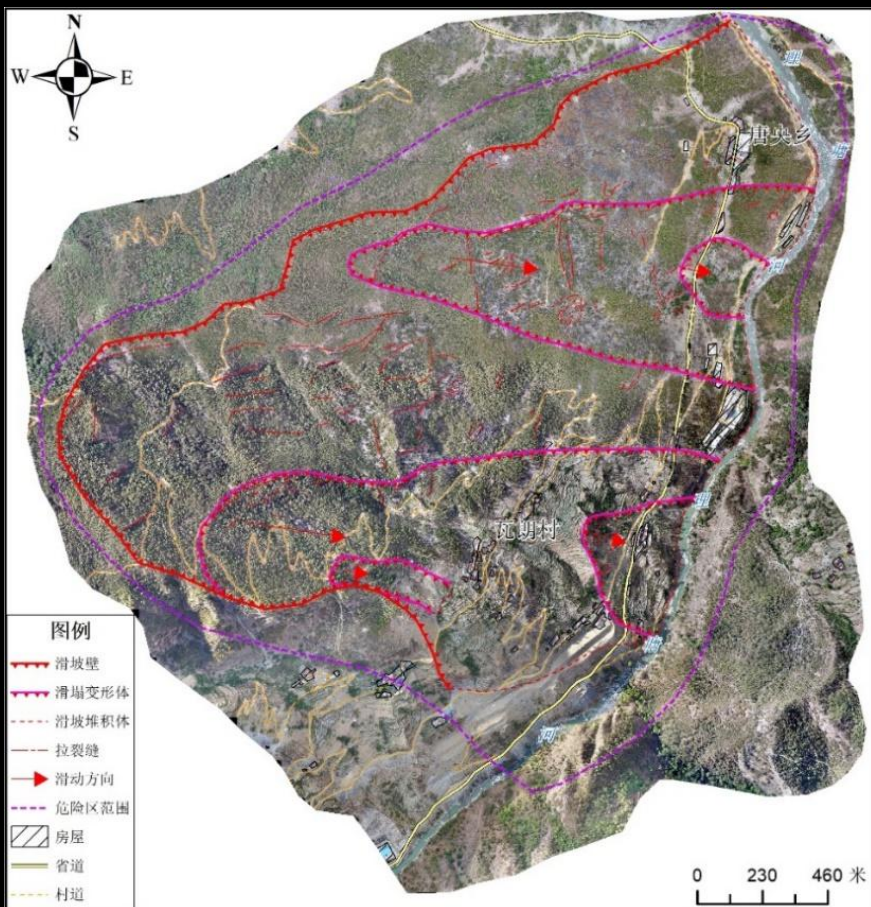


隐患点概况

瓦朗村滑坡平面上整体呈不规则“梨形”，纵长约2430m，底宽约2170m，主滑方向 92° ，平面面积约为 $354.62 \times 10^4 \text{m}^2$ ，估算体积约为 $8865.58 \times 10^4 \text{m}^3$ 。滑坡主要威胁坡体中下部的聚居区、学校、村道、省道以及部分耕地，结合滑坡范围及其威胁对象，滑坡危险区范围面积约为 $476.04 \times 10^4 \text{m}^2$ 。

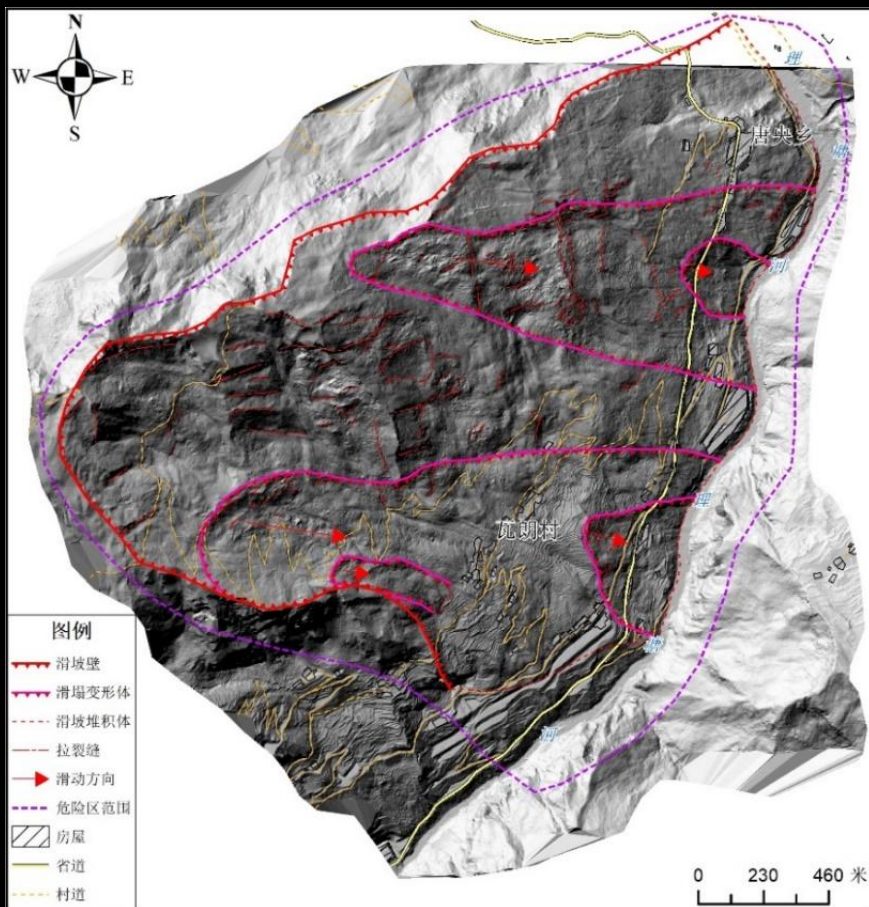


无人机数据特征



无人机正射影像解译图

滑坡体上发育多处次级滑体，其中二级次级滑塌发育2处，三级次级滑体发育3处。影像上次级滑体一般呈灰褐色、浅绿色，纹理较粗糙，后缘发育下挫陡坎，一般呈弧状。

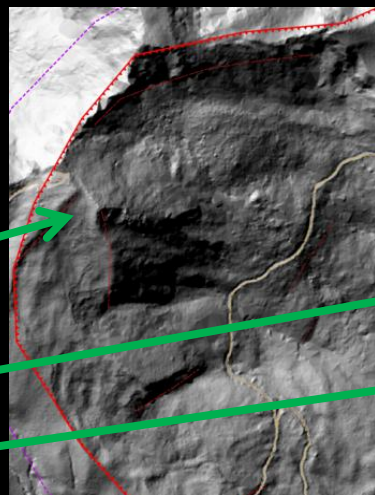
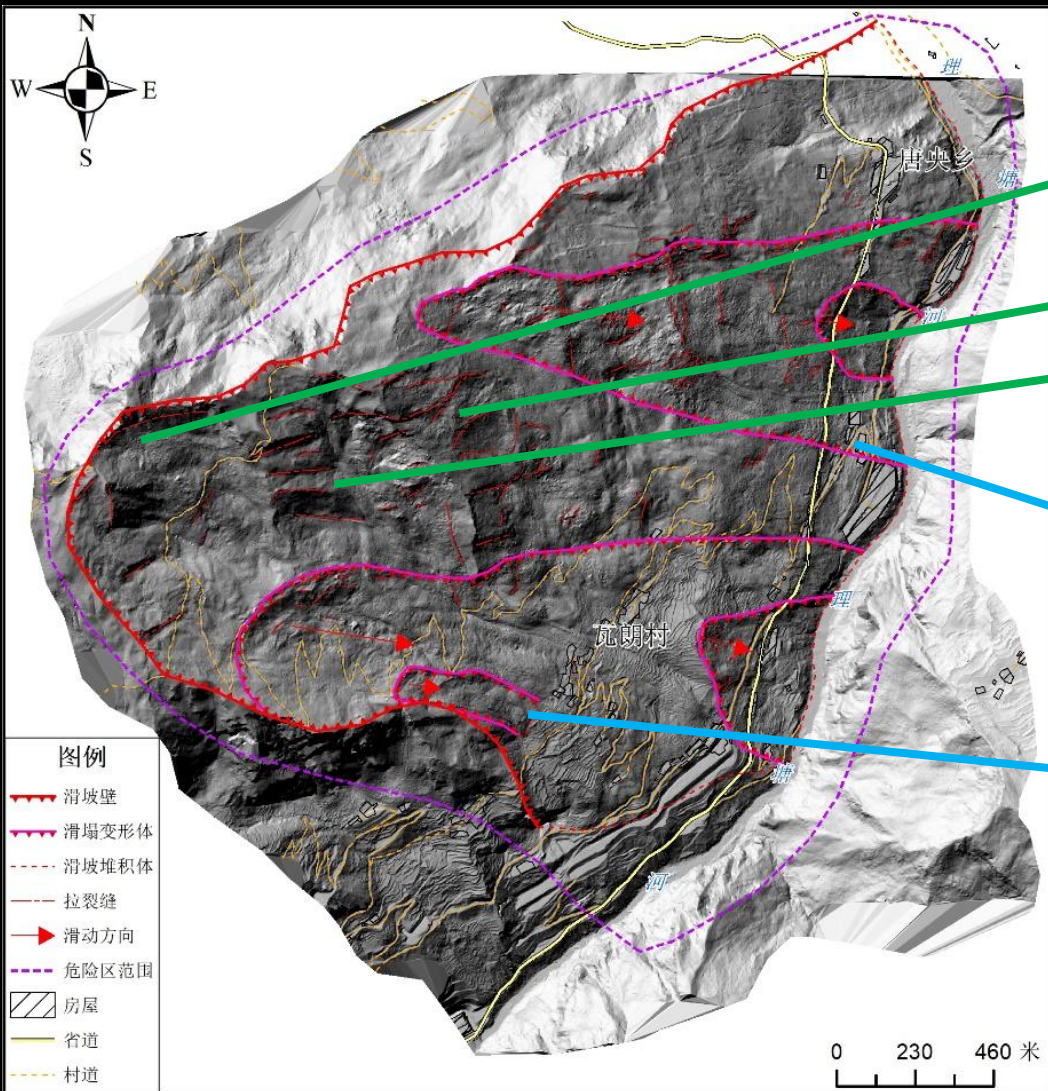


数字高程模型 (DEM)

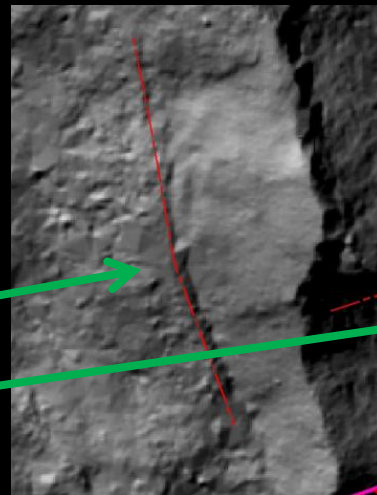
借助高精度数字高程模型 (DEM) 可获取滑坡壁、滑坡台阶、滑坡舌、滑坡鼓丘、拉张裂缝、剪切裂缝、鼓胀裂缝、后缘洼地等微地貌异常变形特征



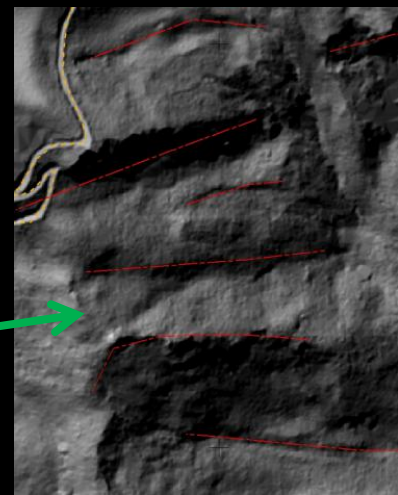
基于LiDAR技术滑坡解译标志建立



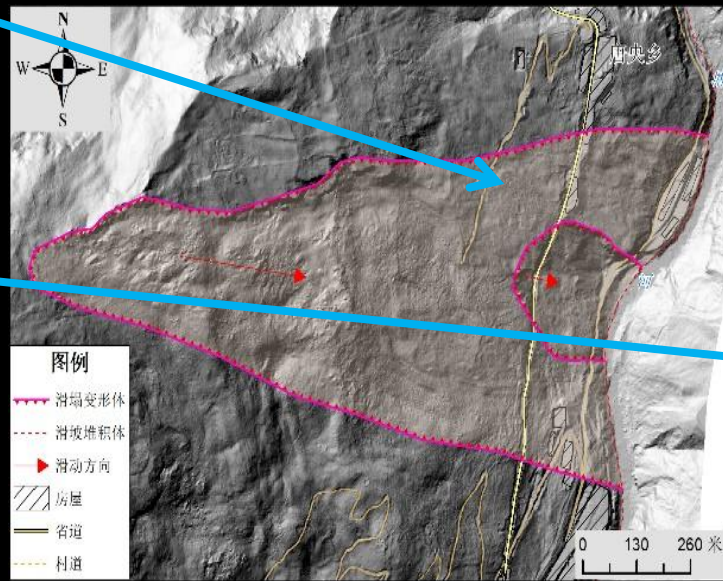
a. 滑坡壁



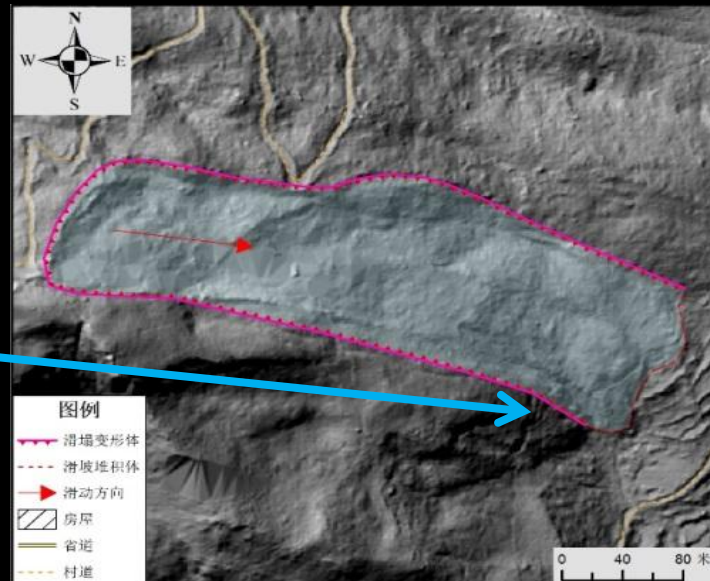
b. 拉张裂缝



c. 剪切裂缝



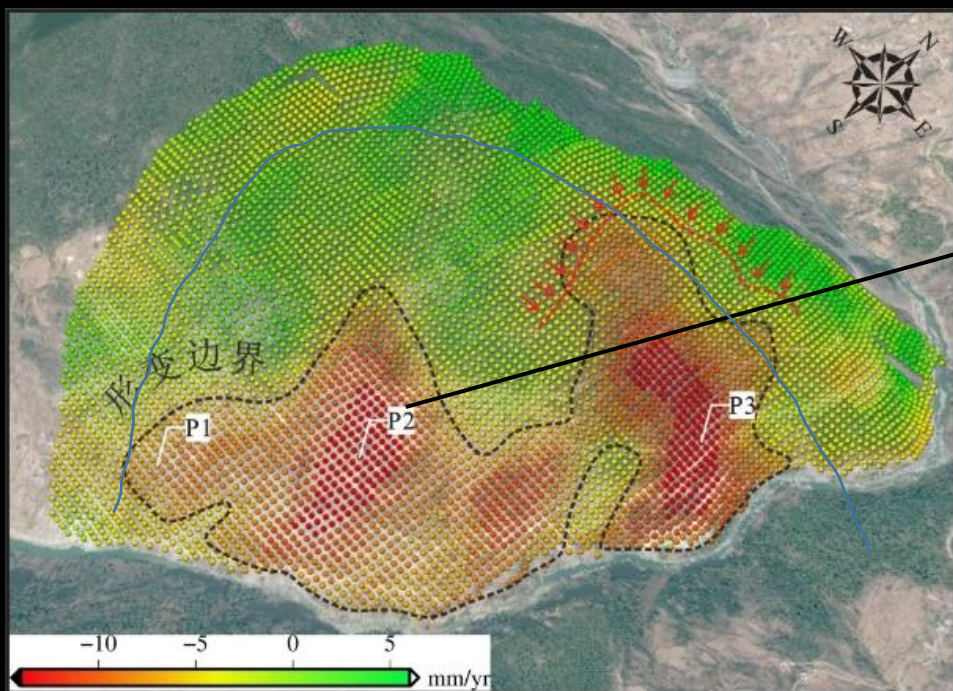
d. H2次级滑体



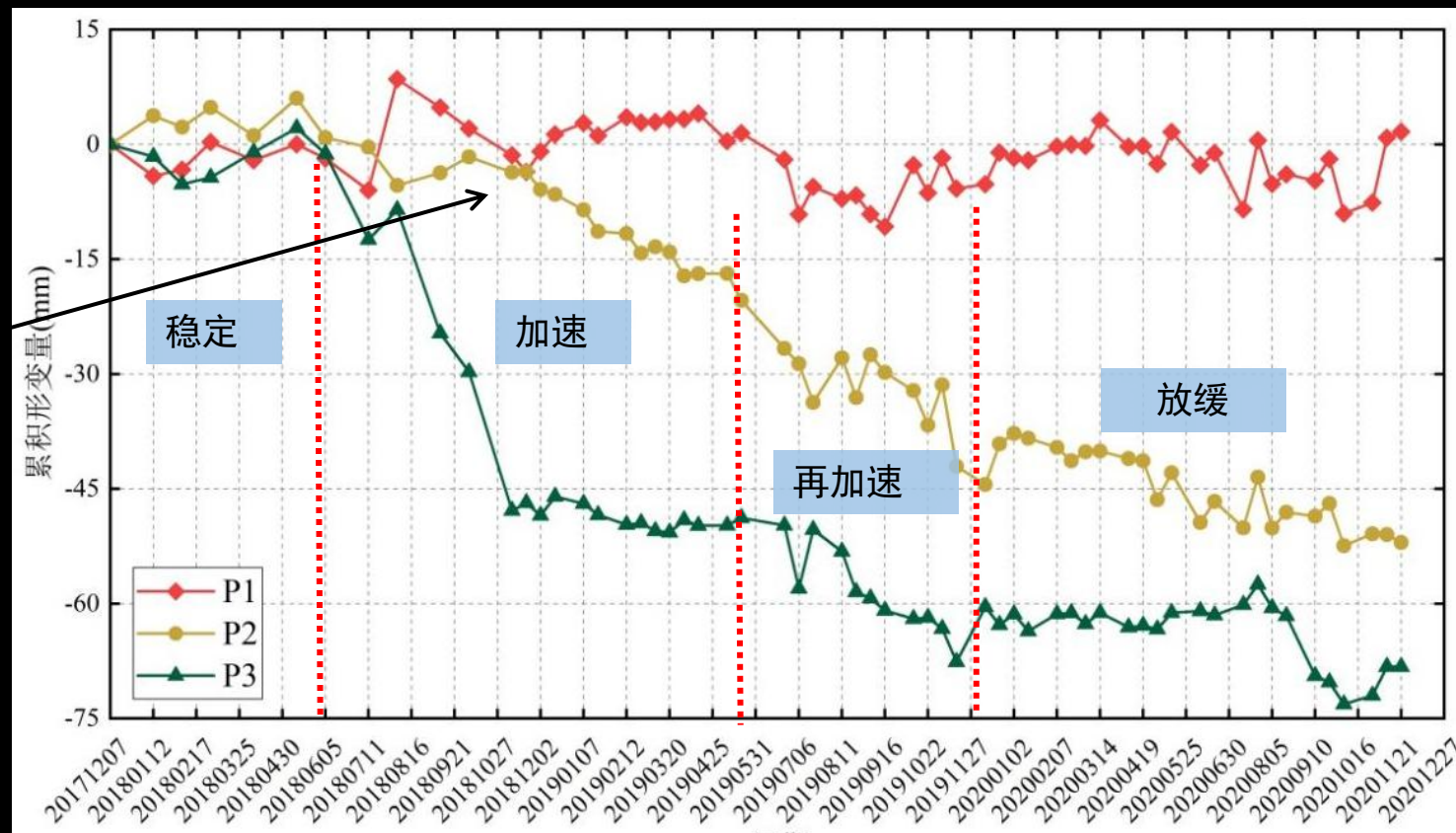
e. H4次级滑体



InSAR监测形变特征



瓦朗村滑坡InSAR形变速率图



瓦朗村滑坡InSAR形变点形变时间序列曲线



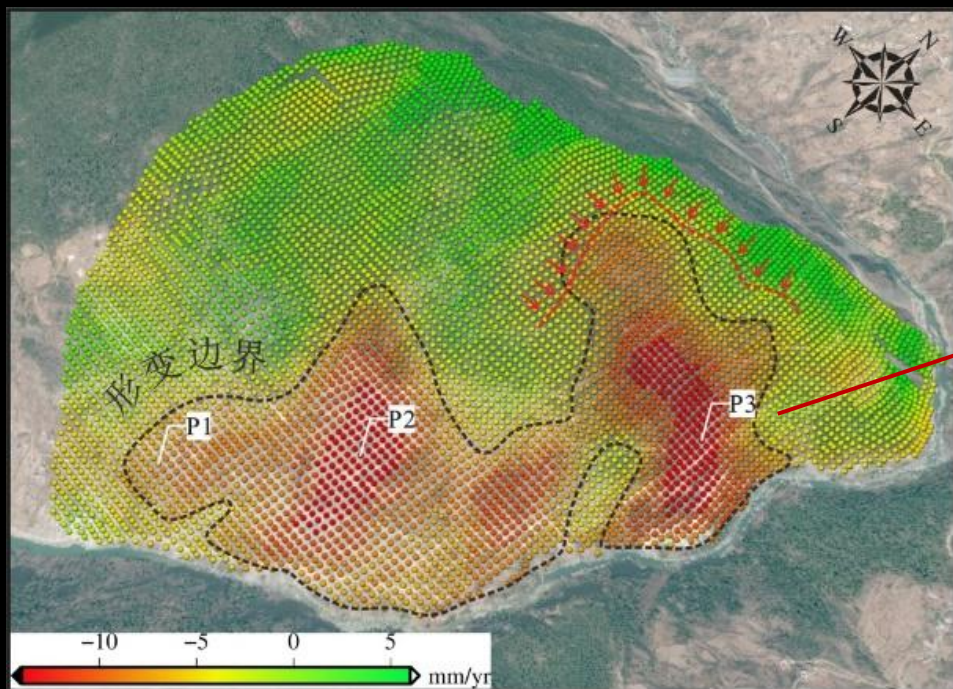
滑坡在2017年12月至2018年6月期间均处于**稳定状态**

P1: 形变量级较小, 在整个监测时段处于相对稳定状态, 年平均形变速率为**3.98 mm/year**。

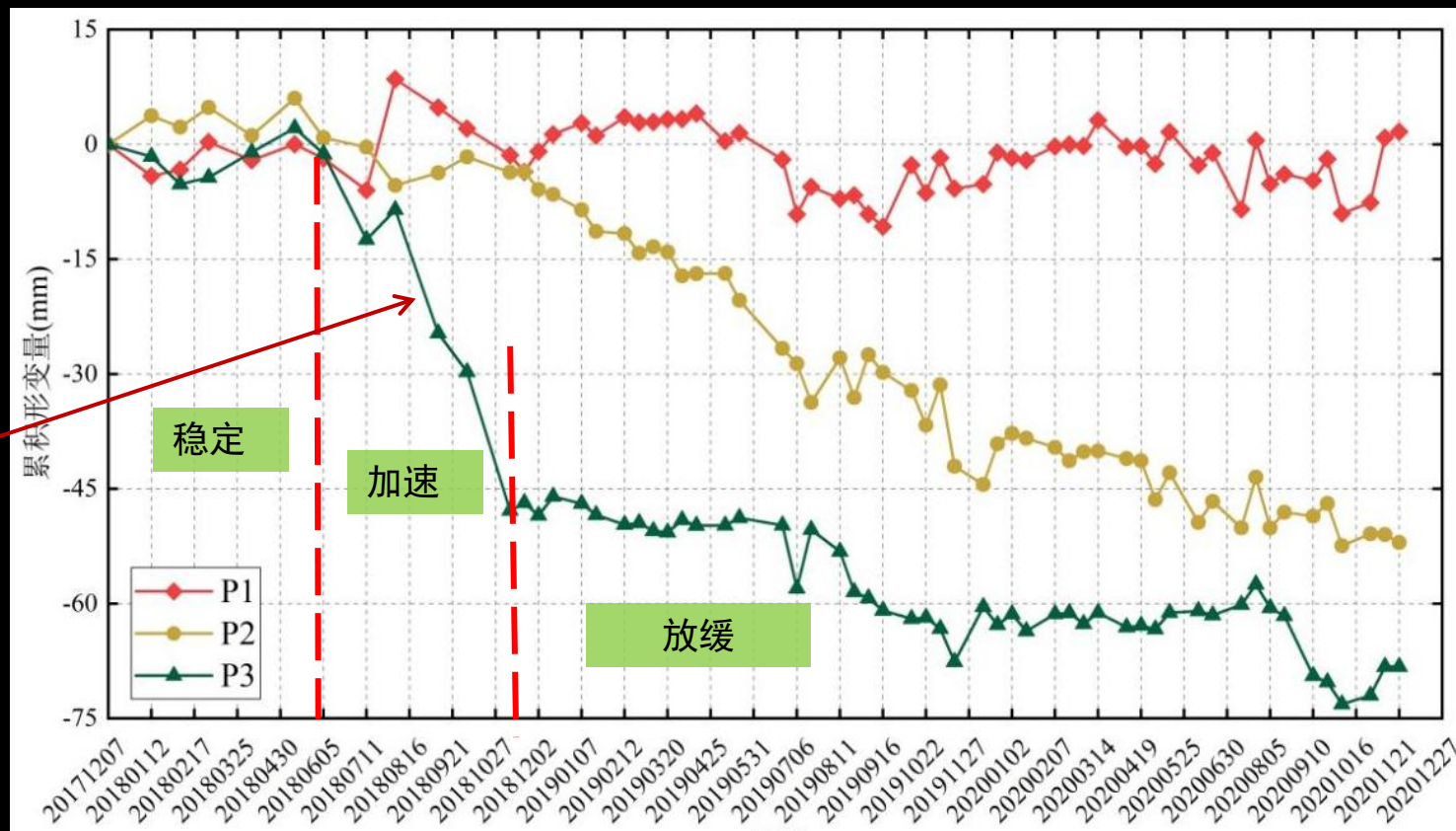
P2: 在**2018年6月之前**一致处于**稳定状态**, 不超过5 mm, **2018年6月之后**累计形变量**持续增加**, 在**2018年9月至2019年11月**形变速率**较大**, **2019年11月之后**形变速率较之前**放缓**。



InSAR监测形变特征



瓦朗村滑坡InSAR形变速率图



瓦朗村滑坡InSAR监测点形变时间序列曲线

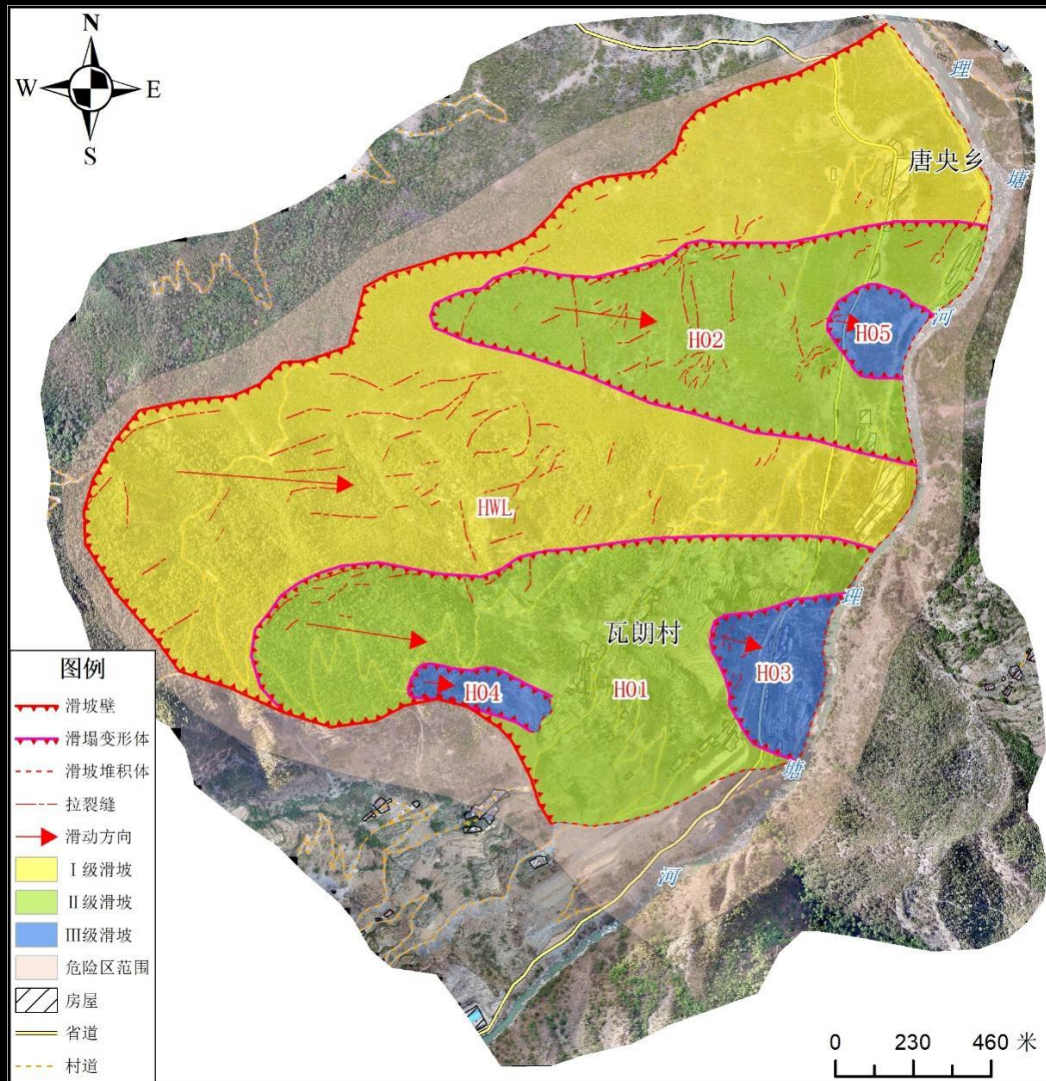


滑坡在2017年12月至2018年6月期间均处于**稳定状态**

P3：处于形变区形变信号最明显的区域，其在监测时段的累积形变量也最大，最大累积形变量达到**68.23 mm**，年平均形变速率为**10.76 mm/year**。但**P3**点在**2018年4月至2018年12月**期间处于**加速形变阶段**，**2018年12月**之后**形变速率放缓**。



综合遥感判识



根据上述解译结果，分析得到瓦朗村滑坡精细化解译图
 滑坡纵长约2430m，底宽约2170m，主滑方向92°，平面面积约为354.62×104m²，估算体积约为8865.58×104m³。坡体上发育5处次级滑体，其中2处二级滑体，3处三级滑体（如下表）；发育拉裂缝149处，遍布滑坡后缘、中部及前缘，其中最317m。

编号	等级	经度	纬度	面积/m ²
HWL	I级滑坡	100°	28°	354
H01	II级滑坡	100°	28°	100
H02	II级滑坡	100°	28°	65
H03	III级滑坡	100°	28°	12
H04	III级滑坡	100°	28°	4
H05	III级滑坡	100°	28°	5

木里县瓦朗村滑坡精细化解译图



外业核查及危害分析



成灾模式

- ◆ 综合上述滑坡变形特征分析结果，瓦朗村滑坡为一牵引式滑坡；
- ◆ 其内动力地质作用主要是受断裂构造的影响，导致山体破碎，发育多组优势结构面；
- ◆ 外动力作用主要为降雨和人类工程活动；
- ◆ 人类工程活动主要为坡脚不规范的公路开挖和削坡建房，为滑坡的发生提供了有利的临空条件。



危害分析

- ◆ 滑坡表部为一中-高陡斜坡，为一滑坡易发地形；
- ◆ 斜坡受降雨和风化作用易产生局部滑塌变形；
- ◆ 斜坡中前部受公路开挖影响，坡脚产生滑塌变形；
- ◆ 斜坡后缘变形迹象明显，发育多处滑塌变形体；
- ◆ 坡体中后部有村道通过，路基外侧因坡表滑塌逐步被掏空，有局部失稳的可能。

灾害预警 & 风险管控



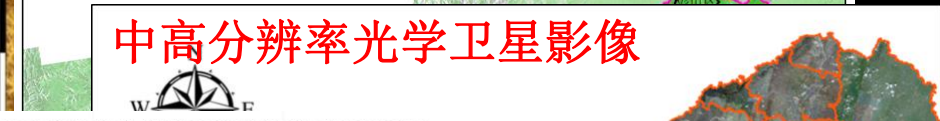
形成多源数据成果

InSAR获取范围



InSAR-Sentinel-1/ALOS-2

中高分辨率光学卫星影像



木里藏族自治县地质灾害隐患遥感解译图

1: 10万图件

1: 2.5万图件

室内解译表

野外核查表

解译矢量

DOM




DEM



倾斜模型



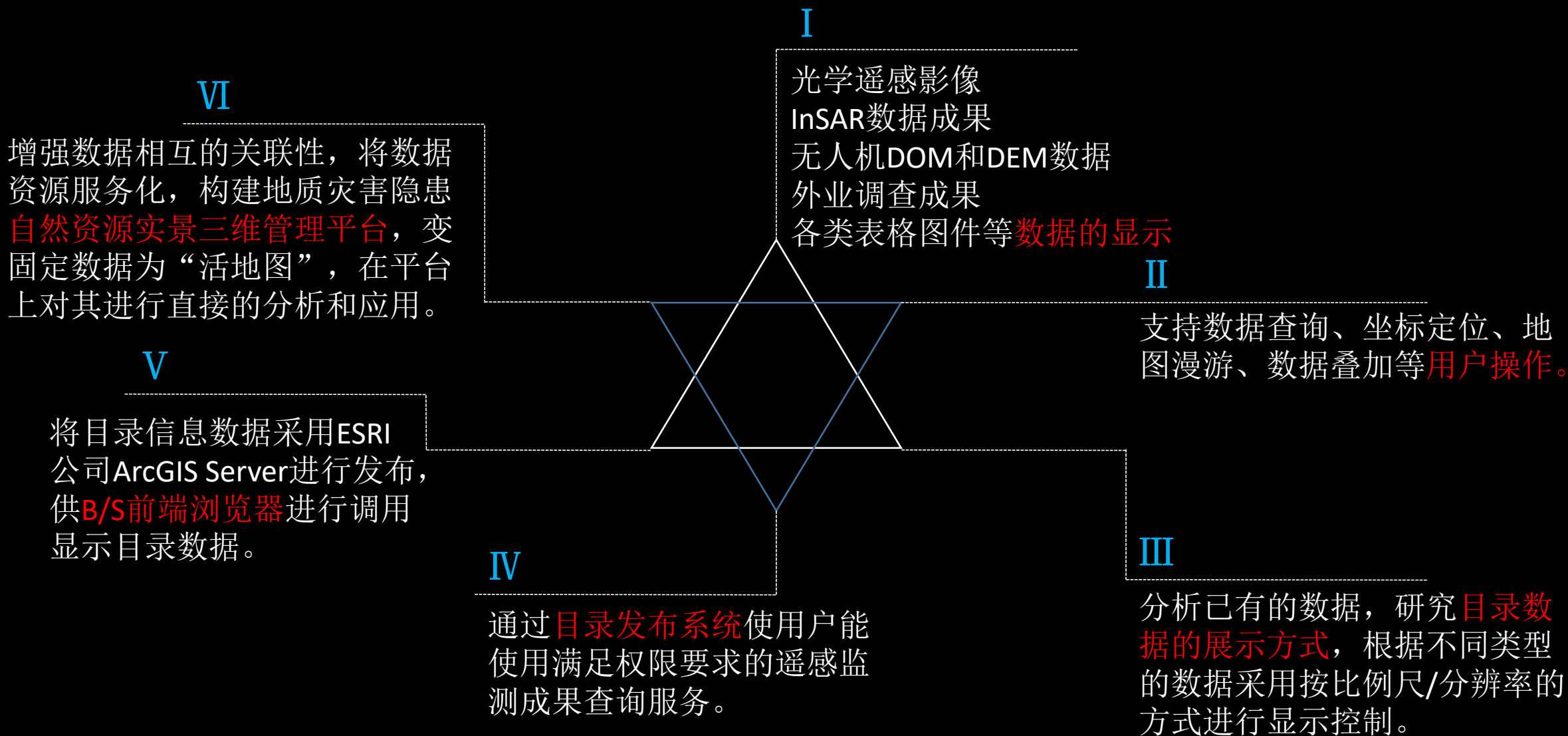


HOW TO MANAGE

成果如何管理？



地质灾害遥感监测成果三维管理与共享交换





自然资源实景三维管理平台研发

★ 自然资源实景三维管理平台



自然资源实景三维管理平台

用户手册

User's Manual



自然资源部第三地理信息制图院

二〇二一年八月



成果建库与目录组织

四川省地质灾害隐患遥感识别监测项目

成果入库规定

四川省国土空间生态修复与地质灾害防治研究院
自然资源部第三地理信息制图院

二〇二〇年十二月



- 四川省地质灾害隐患遥感识别监测项目 (XX片区) 成果目录结构设计
 - 01 遥感识别监测基础数据
 - 01 原始SAR数据
 - 02 中高分辨率航天遥感正射影像数据
 - 03 无人机遥感数据
 - 02 InSAR处理成果 (按不同技术方法组织)
 - IPTA-InSAR数据成果
 - PS-InSAR数据成果
 - SBAS-InSAR数据成果
 - Stacking-InSAR数据成果
 - 03 室内遥感解译成果 (按县组织)
 - 汉源县
 - 犍为县
 - 青神县
 - 天全县
 - 04 野外核查成果 (按县组织)
 - 汉源县
 - 犍为县
 - 青神县
 - 天全县
 - 05 图件成果 (按县组织)
 - 汉源县
 - 犍为县
 - 青神县
 - 天全县
 - 06 文档成果
 - 01 XX片区地质灾害隐患遥感识别监测项目设计书
 - 02 XX片区地质灾害隐患遥感识别监测项目成果报告
 - 03 XX片区地质灾害隐患遥感识别监测工作方法及技术指南
 - 04 专题报告



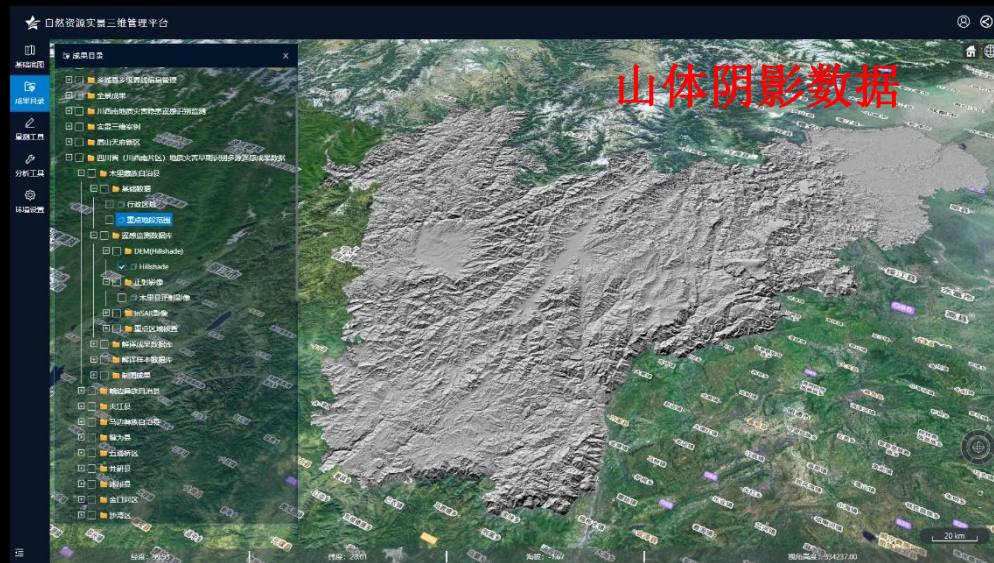
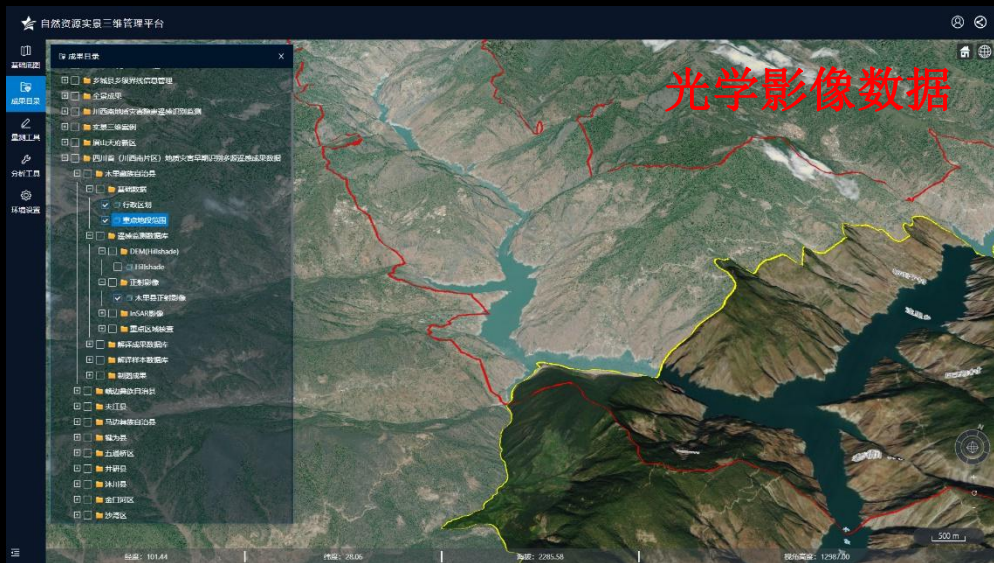
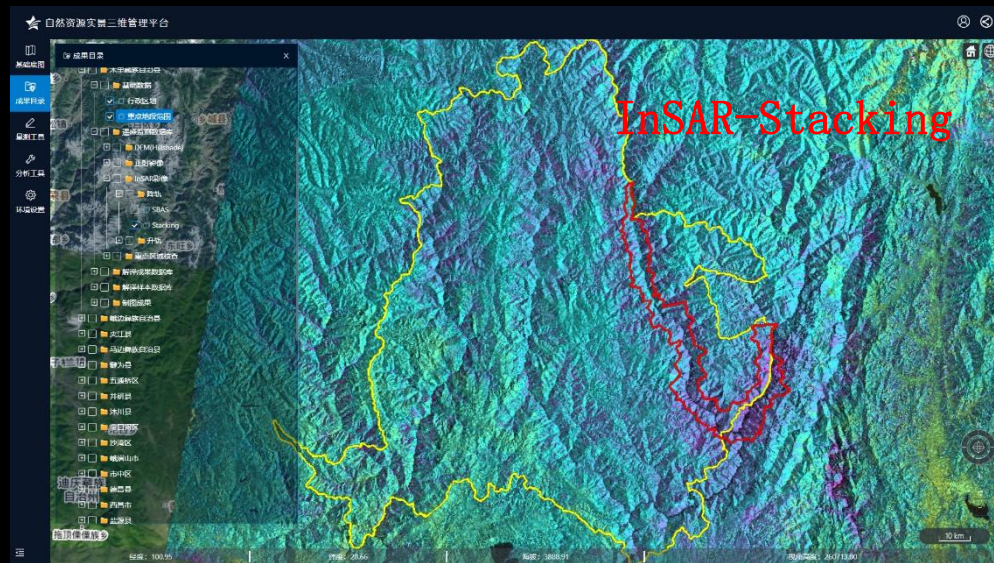
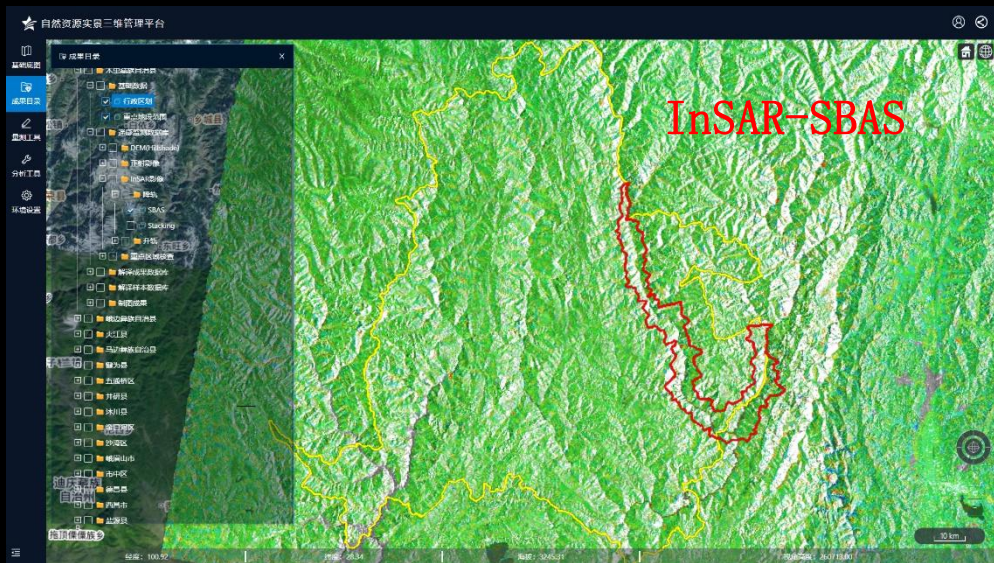
自然资源实景三维管理平台

成果目录

- 四川省 (川西南片区) 地质灾害早期识别多源遥感成果数据
 - 木里藏族自治县
 - 基础数据
 - 行政区划
 - 重点地段范围
 - 遥感监测数据库
 - DEM (Hillshade)
 - 正射影像
 - InSAR影像
 - 重点区域核查
 - 解译成果数据库
 - 木里县地质灾害总隐患点
 - 木里县地质灾害光学遥感解译矢量
 - 木里县地质灾害InSAR解译矢量
 - 解译样本数据库
 - 制图成果
 - 1:100000
 - 木里县地质灾害隐患遥感解译图
 - 木里县InSAR监测地表形变升轨异常分布图
 - 木里县InSAR监测地表形变降轨异常分布图
 - 1:25000
 - 重点地段地质灾害隐患遥感解译图
 - 重点地段InSAR降轨监测地表形变异常分布图
 - 重点地段InSAR升轨监测地表形变异常分布图
 - 重点地段InSAR (ALOS-2) 监测地表形变异常分布图
 - 1:5000
 - 木里县水洛乡平翁村滑坡遥感解译DOM
 - 木里县水洛乡平翁村滑坡遥感解译DEM
 - 木里县水洛乡尼古村滑坡遥感解译DOM



多源遥感影像三维表达





地灾隐患资料联动检索

传统的矢量点数据无法与图片、图表相结合，常在GIS软件中加载，并且无法与真实的地形相结合查看分析，无法做到真实场景下的地质灾害点位的**查看与查询**，对于本项目成果中的地质灾害隐患点可以进行相关点位的**快速搜索、定位**，以及显示对应的**室内解译成果和室外详细查核成果资料**。

自然资源实景三维管理平台

搜索定位

搜索图层: 木里县地质灾害总隐患点

关键字: 513422210205

室内解译编号	513422210205	野外核查编号	513422210205	是否为室内点	是否“双查”点
行政分区	木里县	木里县	木里县		
室内解译类型	崩塌	崩塌	崩塌		
室内外表形态	崩塌	崩塌	崩塌		
规模	崩塌	崩塌	崩塌		
治理措施	崩塌	崩塌	崩塌		
危险对象	崩塌	崩塌	崩塌		

野外核查记录表

编号	名称	位置	行政	备注	经纬度
513422210205	木里县	木里县	木里县		

地质灾害隐患点属性表

隐患点编号	隐患名称	隐患类型	隐患等级	隐患位置	隐患描述
513422210205	木里县	崩塌	崩塌	木里县	

地质灾害隐患点位查询及属性关联



地灾高精度三维小场景构建

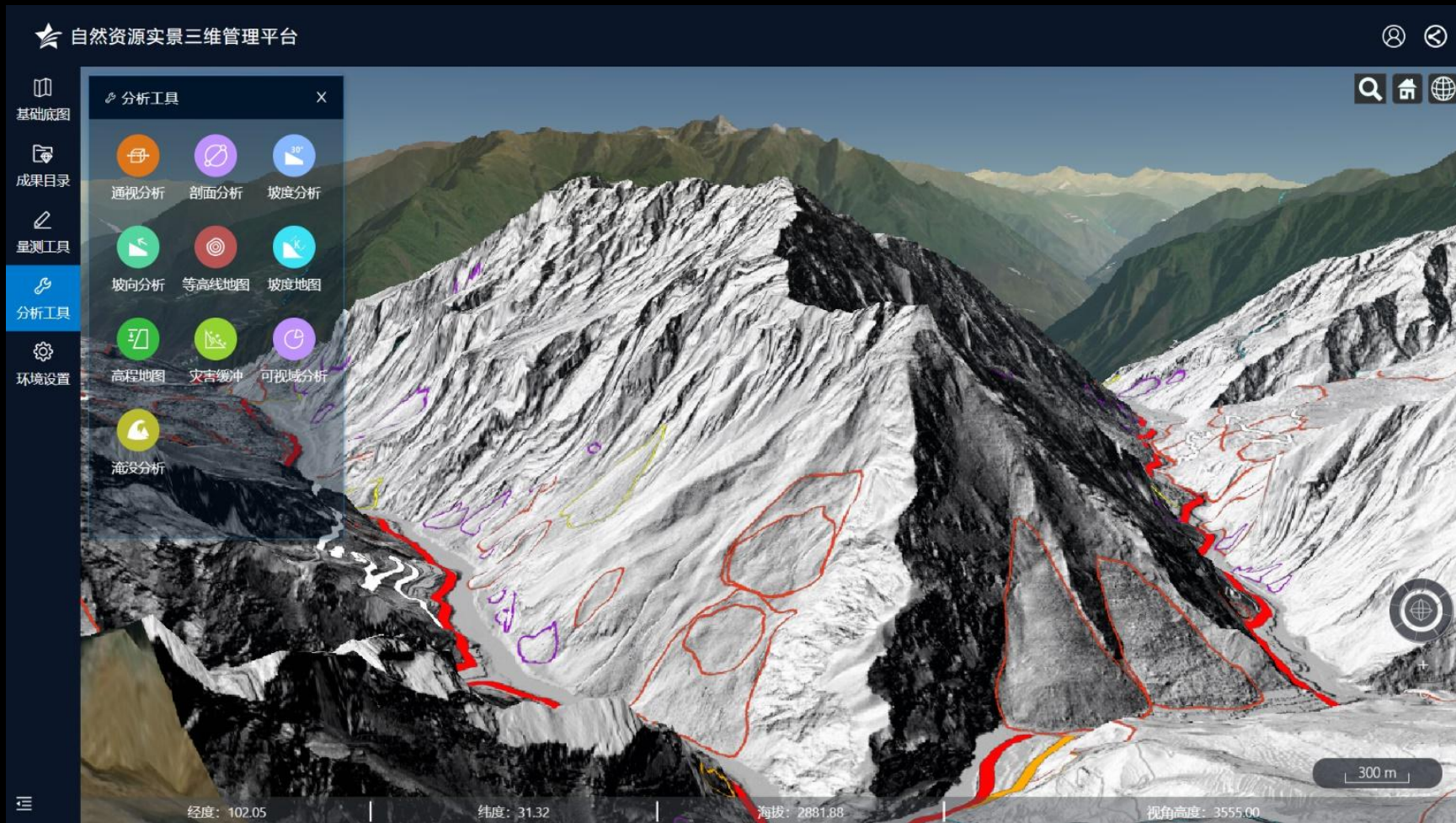


无人机航飞获取的高精度地形数据和正射影像数据能最大程度还原真实地形及地面纹理，通过将无人机成果数据相结合，发布成地形服务，对地形地貌状况的识别更加真实准确。

无人机DOM+DEM地形服务



无人机高精度地貌形态表达

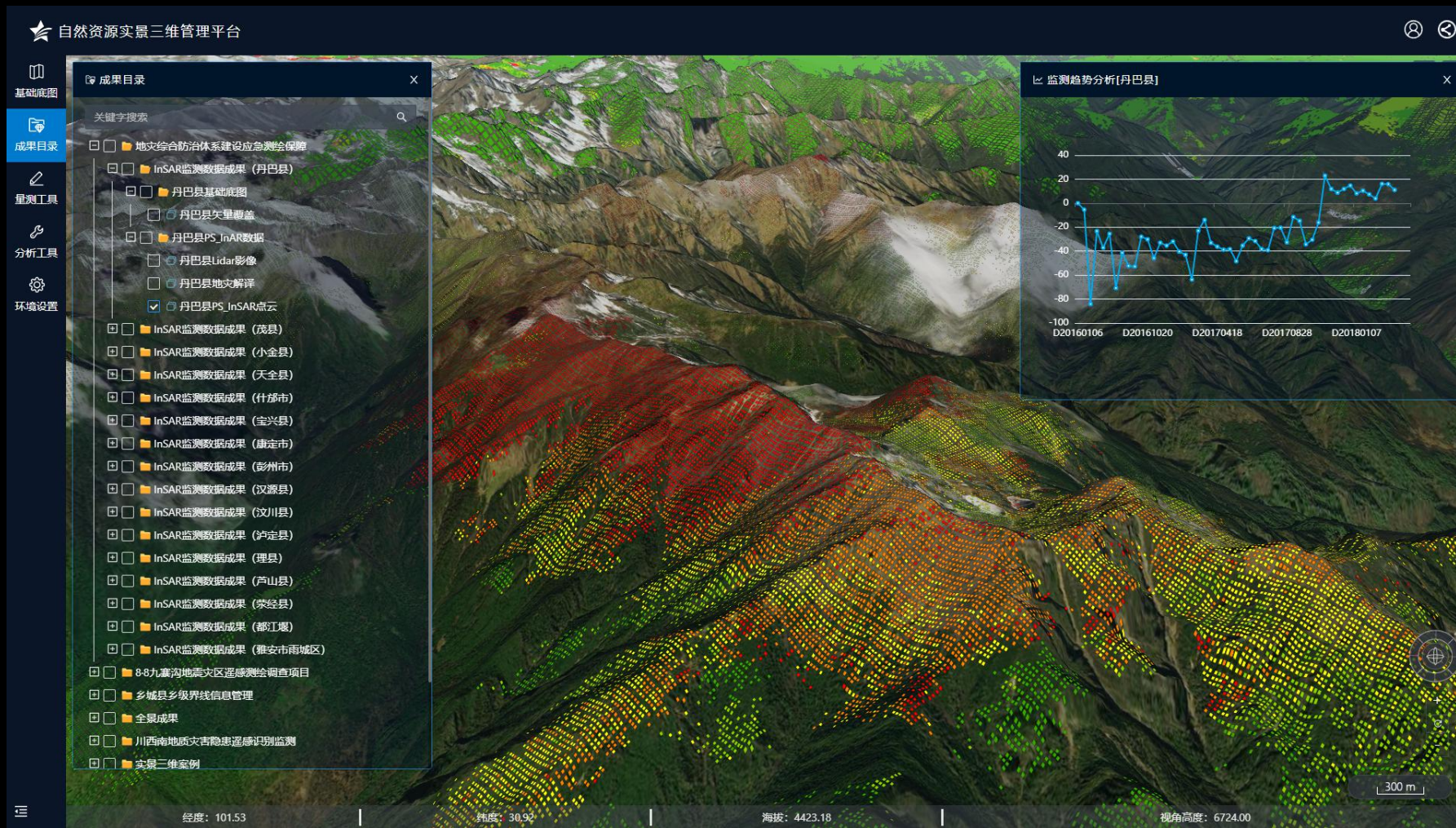


无人机LiDAR获取的点云数据生成高精度地形数据，配合三维地形，可以更好的观察地质灾害隐患点地貌的真实情况。

无人机LiDAR+三维地形



PS-InSAR形变趋势分析



对于InSAR数据成果，可以对其进行形变查询与显示，通过点击需要查询的InSAR点位，可以进行监测趋势分析，折线图走向能够更加直观显示地质灾害形变点的形变趋势。

PS-InSAR形变趋势分析

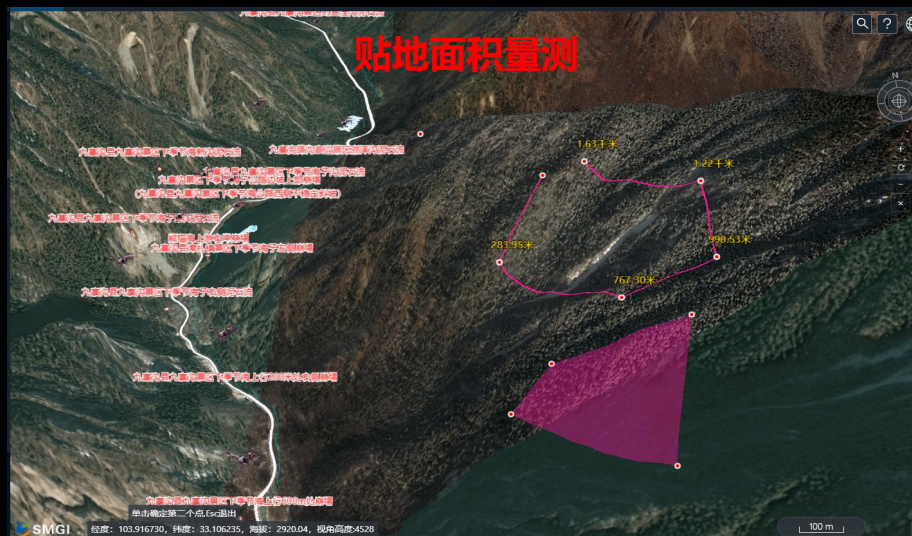
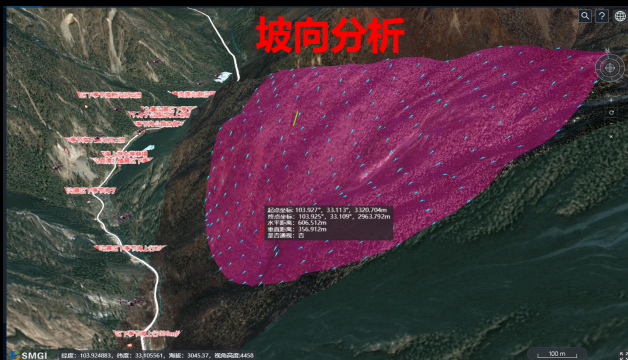


倾斜模型、实景三维模型





三维场景动态分析





T H E N

总结与展望

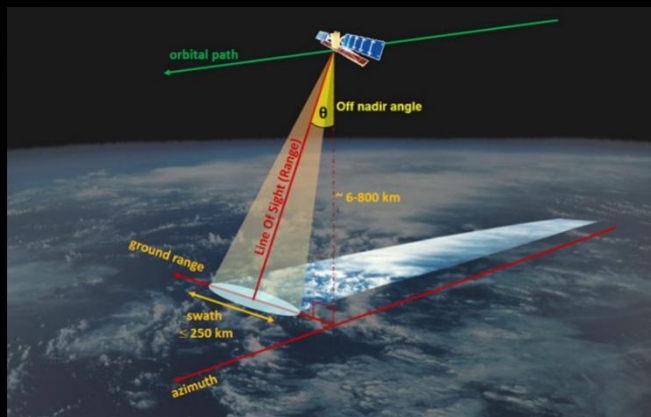


技术创新点一 数据相互验证、作业严谨、真实可靠

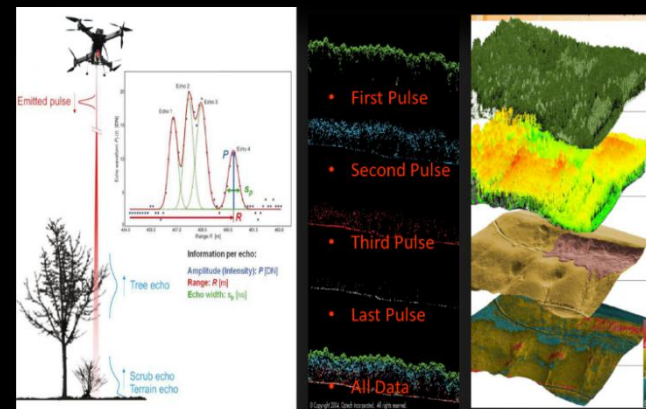
多源数据组合



倾斜三维摄影技术



合成孔径雷达 (InSAR)



激光雷达技术 (LiDAR)

实地验证+跟踪监测





技术创新点二 基于飞马的内外业一体化摄影测量方案

外业
影像
获取

内业
数据
处理



飞马D2000:
高精度差分GNSS
智能避障功能强
满足高海拔地区作业
仿地变高飞行功能成熟
工程建立智能化程度高
后期处理软件功能完善
技术支持保障

实景三维+DOM+DEM



技术创新点三 为项目提供了一套地质灾害隐患管理解决方案

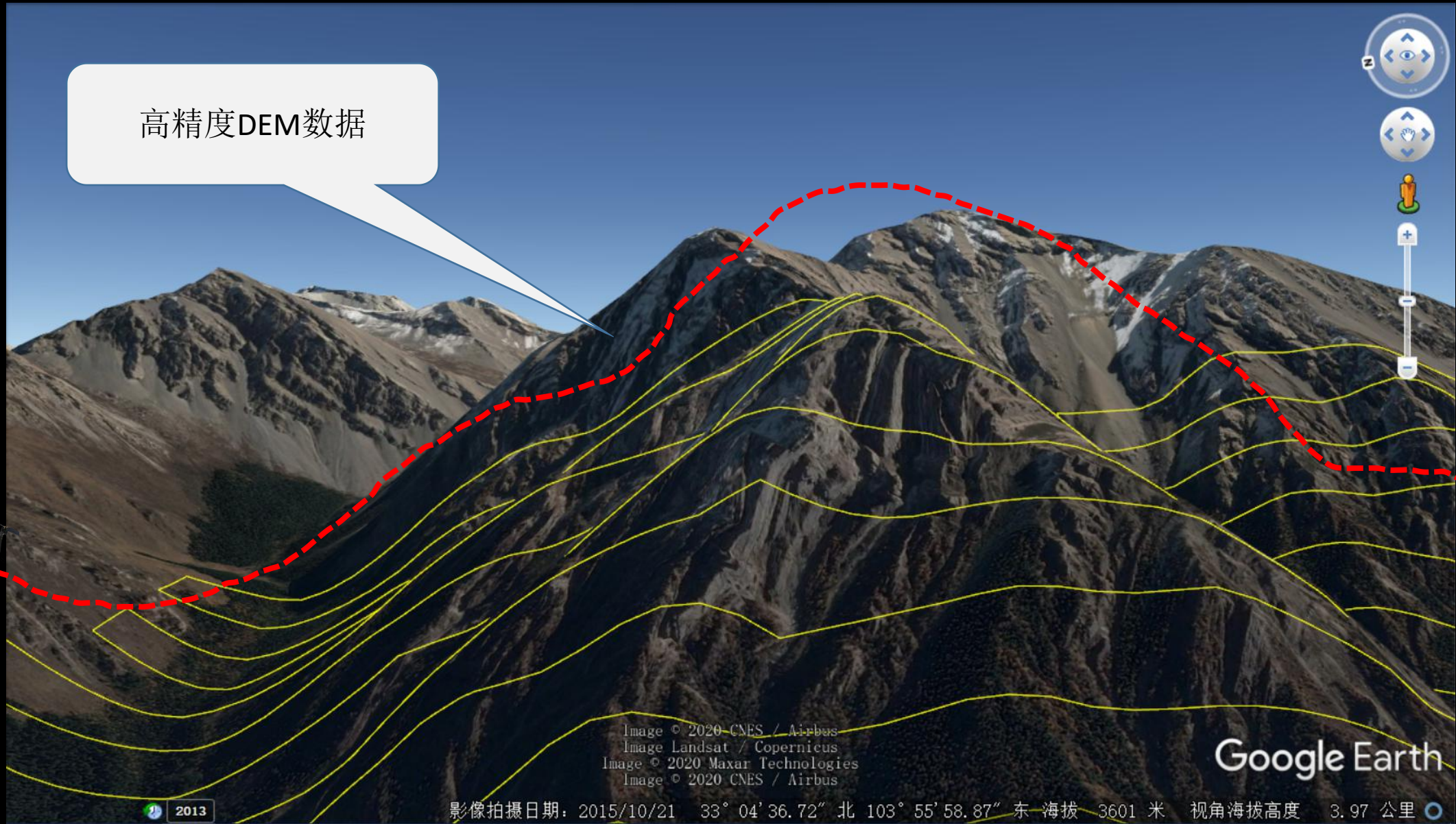
自然资源实景三维管理平台

自然资源实景三维管理平台



飞马无人机外业航飞作业经验一：仿地飞行

高精度DEM数据

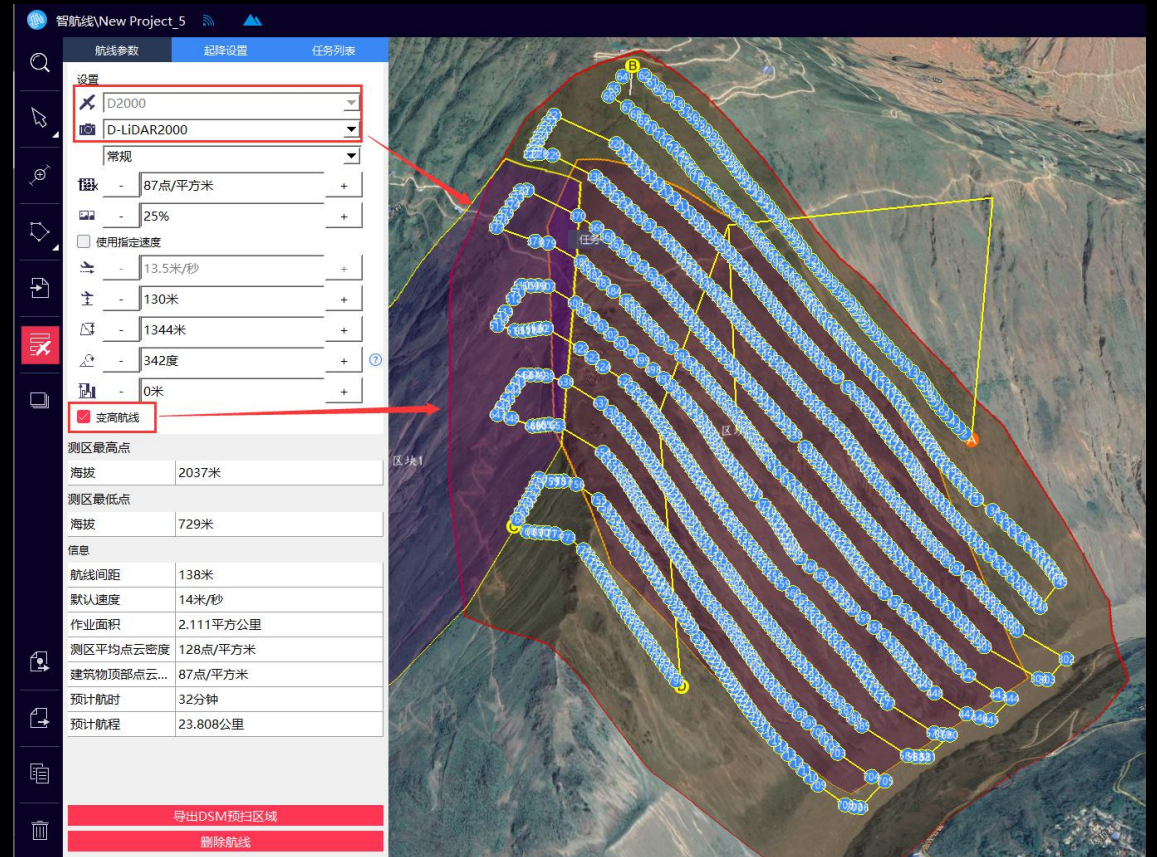
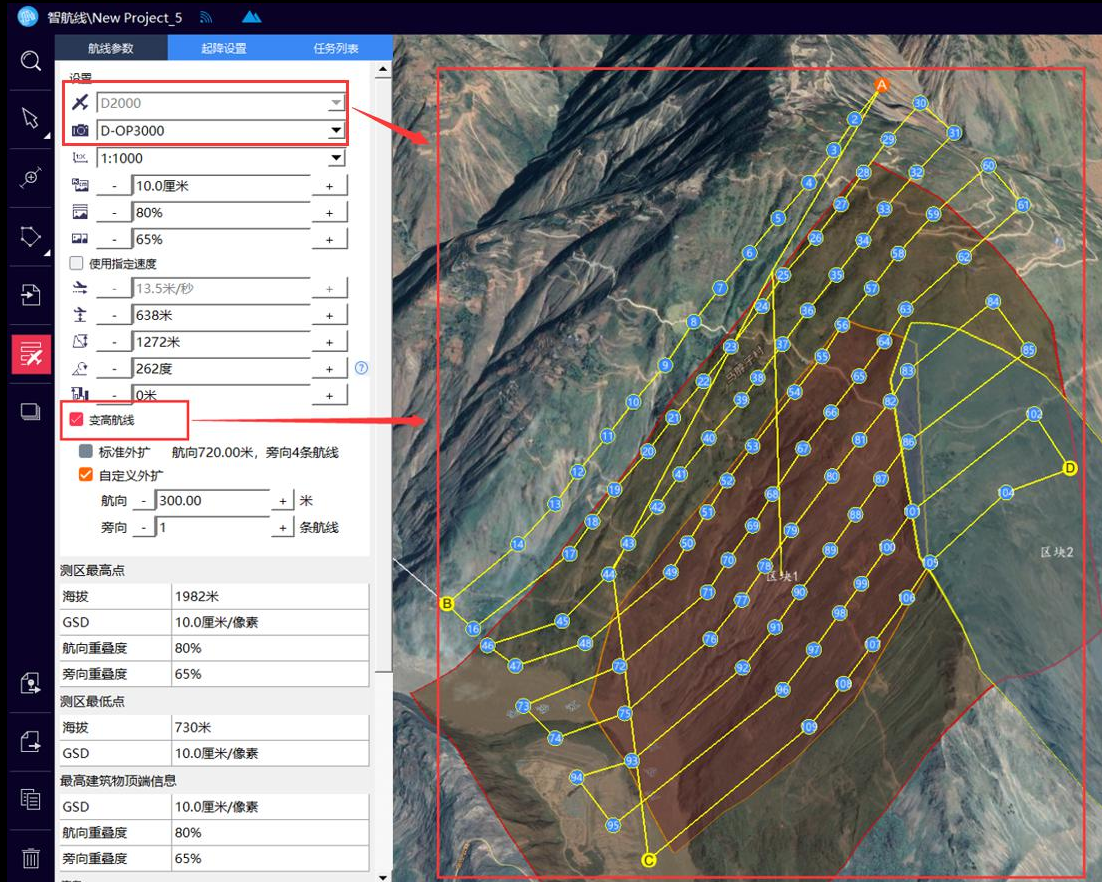


飞马无人机外业航飞作业经验二：分区分块



面积较大区域，分区分块，协同作业

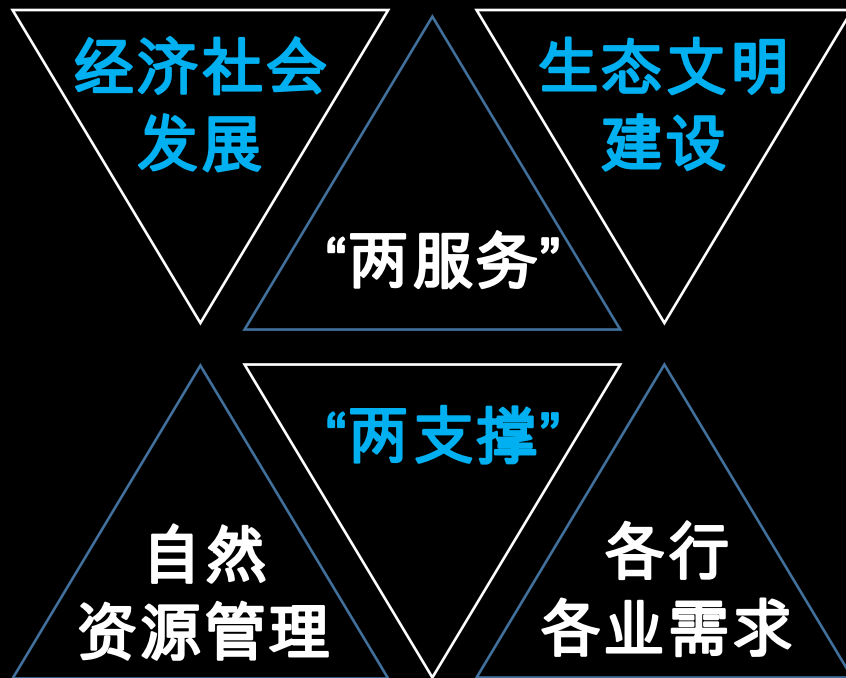
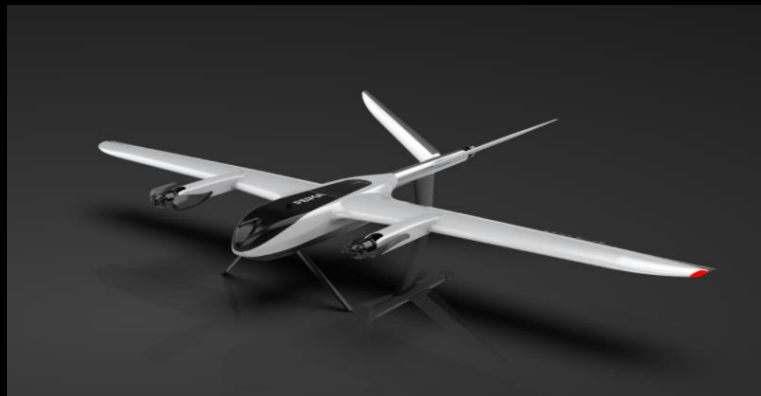
飞马无人机外业航飞作业经验三：航线布设



坡度较大区域，航线航向垂直于坡面，以防断层

展望未来

“支撑经济社会发展，支撑自然资源管理；不断提升测绘地理信息工作的能力和水平”



未来可期！

T H A N K S

