

2024中国测绘学会年会



论无所不在的时空智能

李德仁院士

武汉大学

2024年10月16日 郑州



2022年6月28日习近平总书记在湖北武汉考察时强调：

**“把科技的命脉牢牢掌握在自己手中，
不断提升我国发展独立性、自主性、
安全性”。**



**2021年9月16日习近平总书记在致首届北斗规模应用国际
峰会的贺信指出，当前，全球数字化发展日益加快，时空
信息、定位导航服务成为重要的新型基础设施。**

报告内容

1. 新质生产力与时空智能

2. 空天时空智能：无所不在的PNT与PNTRC

3. 空地时空智能：无人机与移动测量机器人

4. 水面水下时空智能：传感网与无人舰艇

5. 深空时空智能：月球与火星智能探测

6. 结束语

习近平总书记论新质生产力

2023年9月8日，习近平总书记在听取黑龙江省委和省政府工作汇报时强调，整合科技创新资源，引领发展战略性新兴产业和未来产业，加快形成新质生产力。...新质生产力是以新产业为主导的生产力，特点是创新，关键在质优，本质是先进生产力。

我看新质生产力与时空智能

新：新时代（万物互联、数字孪生）

新基建（信息基础设施、融合基础设施、创新基础设施）

新能源（太阳能、核能、风能、水能、氢能）

新产业（未来产业、人工智能产业和机器人产业）

自主创新（自主、独立、安全、可用）

质：数字化、信息化、网络化、智能化、实时化、绿色化

时空智能是万物互联与数字孪生时代测绘遥感地理信息学的数字化、信息化、网络化、智能化与实时化，**时空智能自动和实时地感知、认知自然活动和人类活动，是人工智能的重要组成部分**

报告内容

1. 新质生产力与时空智能

2. 空天时空智能：无所不在的PNT与PNTRC

3. 空地时空智能：无人机与移动测量机器人

4. 水面水下时空智能：传感网与无人舰艇

5. 深空时空智能：月球与火星智能探测

6. 结束语

PNT服务

当今PNT服务是以提供时空基准的我国北斗等全球卫星定位系统（GNSS）及其增强系统为主体，协同其他辅助定位导航技术以提升其抗干扰能力和可用性，利用互联网和移动互联网等网络通信手段，向用户提供位置、方向、速度、时间信息和时间同步服务。



GNSS系统—BDS特点

- ◆保留了北斗一代的通信功能，提供短报文服务，一次可传送多达240个字节（120个汉字）的信息，北斗-3将达到1000个汉字。
- ◆采用 B1/B2/B3 三个频率调制信号和星基PPP技术，对于厘米级以上的高精度导航定位（载波相位整周模糊度解算）具有重要意义。
- ◆采用了高轨同步卫星、中轨卫星和倾斜轨道卫星相结合的轨道方案，对于亚太低纬地区和高纬地区的定位均比GPS有优势。

室内外一体化高精度位置服务

手机多源融合室内定位

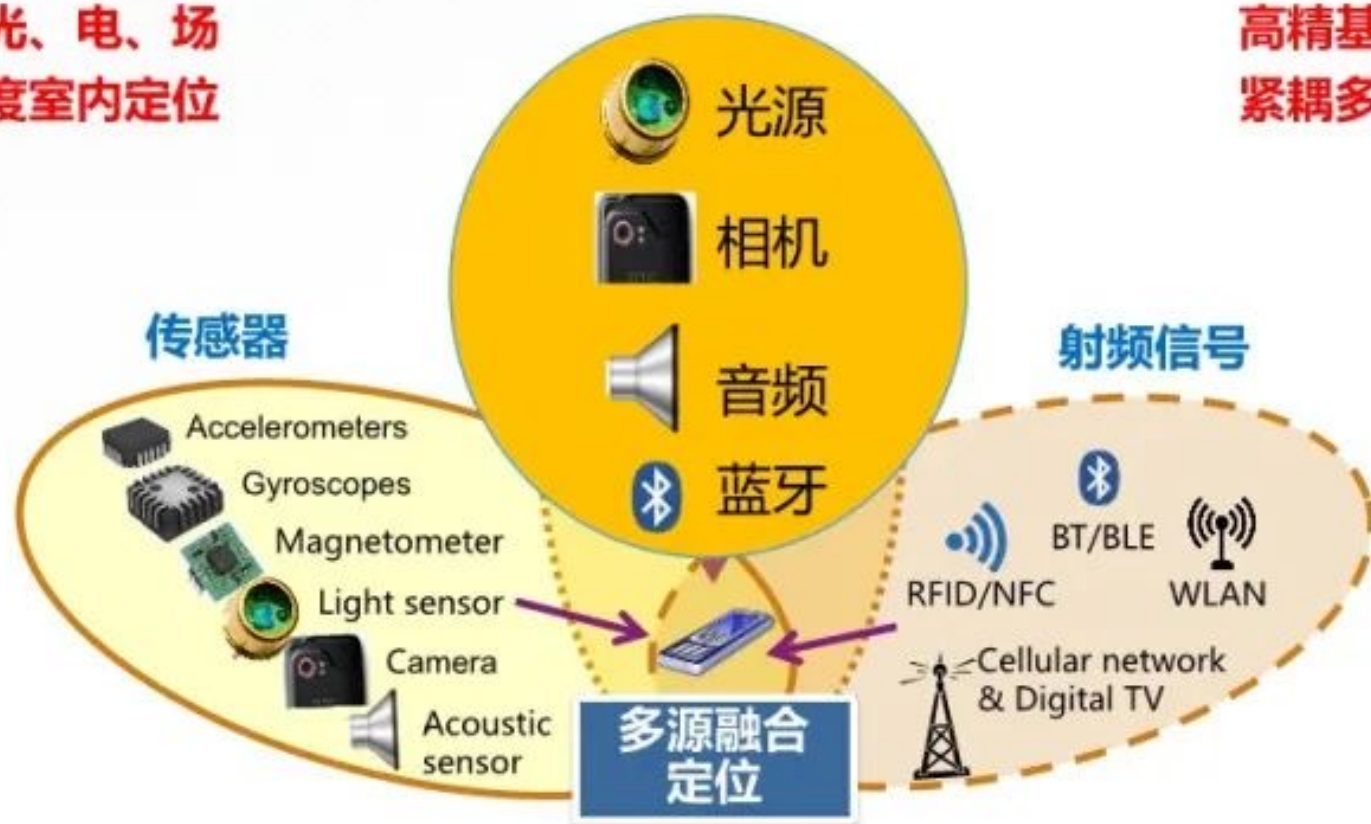
技术突破

声、光、电、场
高精度室内定位

卫星定位

技术路线

高精基准控制，
紧耦多源融合

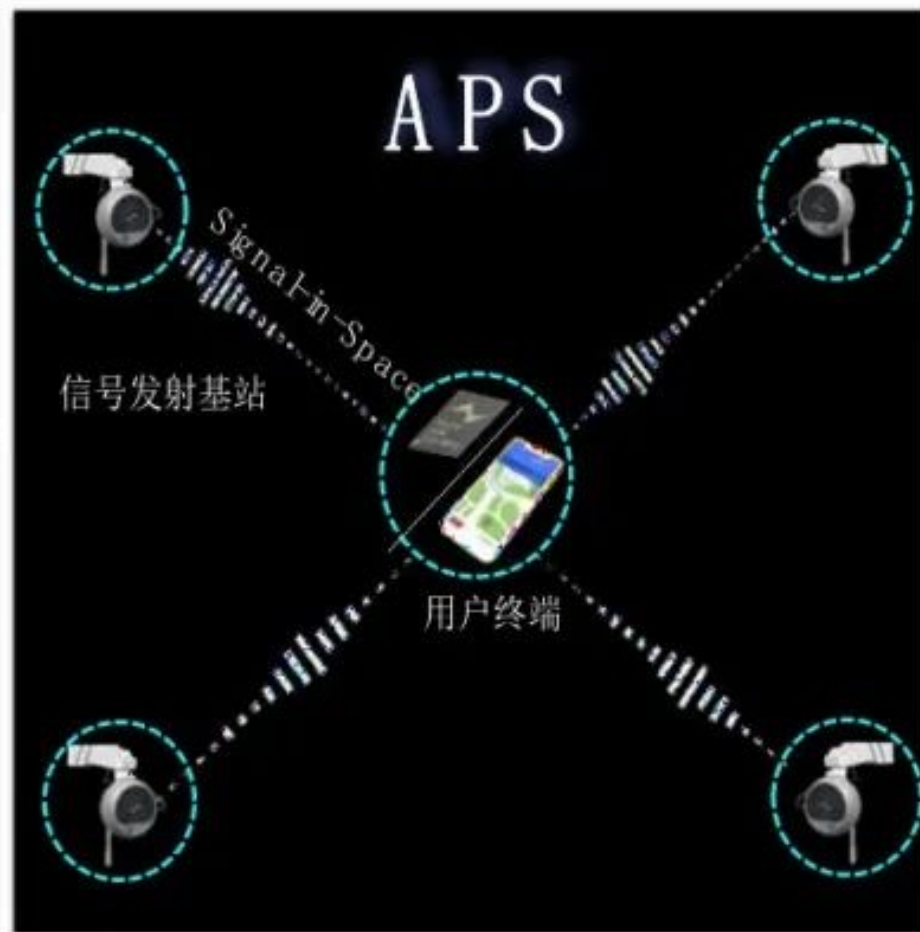
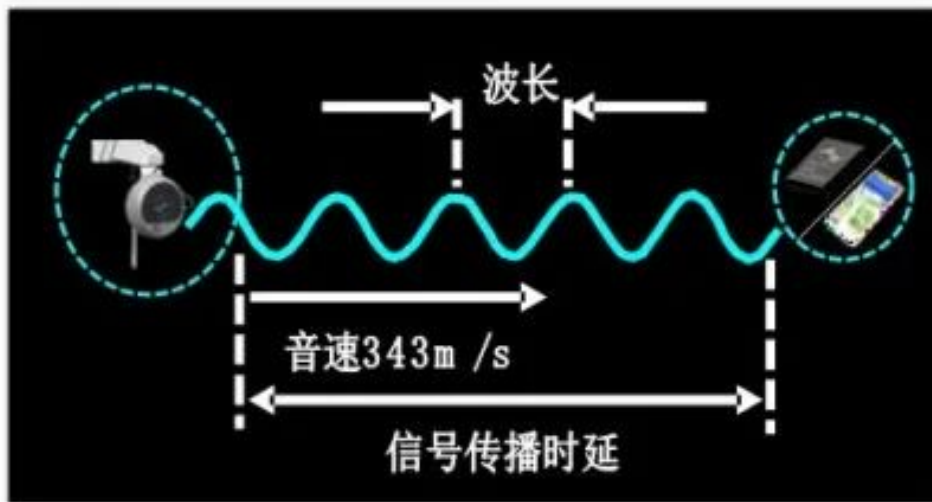


音频定位系统-Acoustic Positioning System

实现从定位信号设计、芯片、定位模组、定位标签、定位基站等全链条硬件解决方案和跨系统、跨平台的软件解决方案。

音频定位系统包括：

- 信号发射基站 —Signal Transmitter
- 定位信号—Signal-in-Space
- 用户终端（芯片/手机）—User Terminal
Chip/Smartphone



音频定位系统-软硬件一体平台



音视频一体化摄像头，助力国家平安工程2.0建设



一次安装
两张网

只需在机场、火车站、会展中心等公共空间更换摄像头，可赋能人-车-物亚米级定位服务

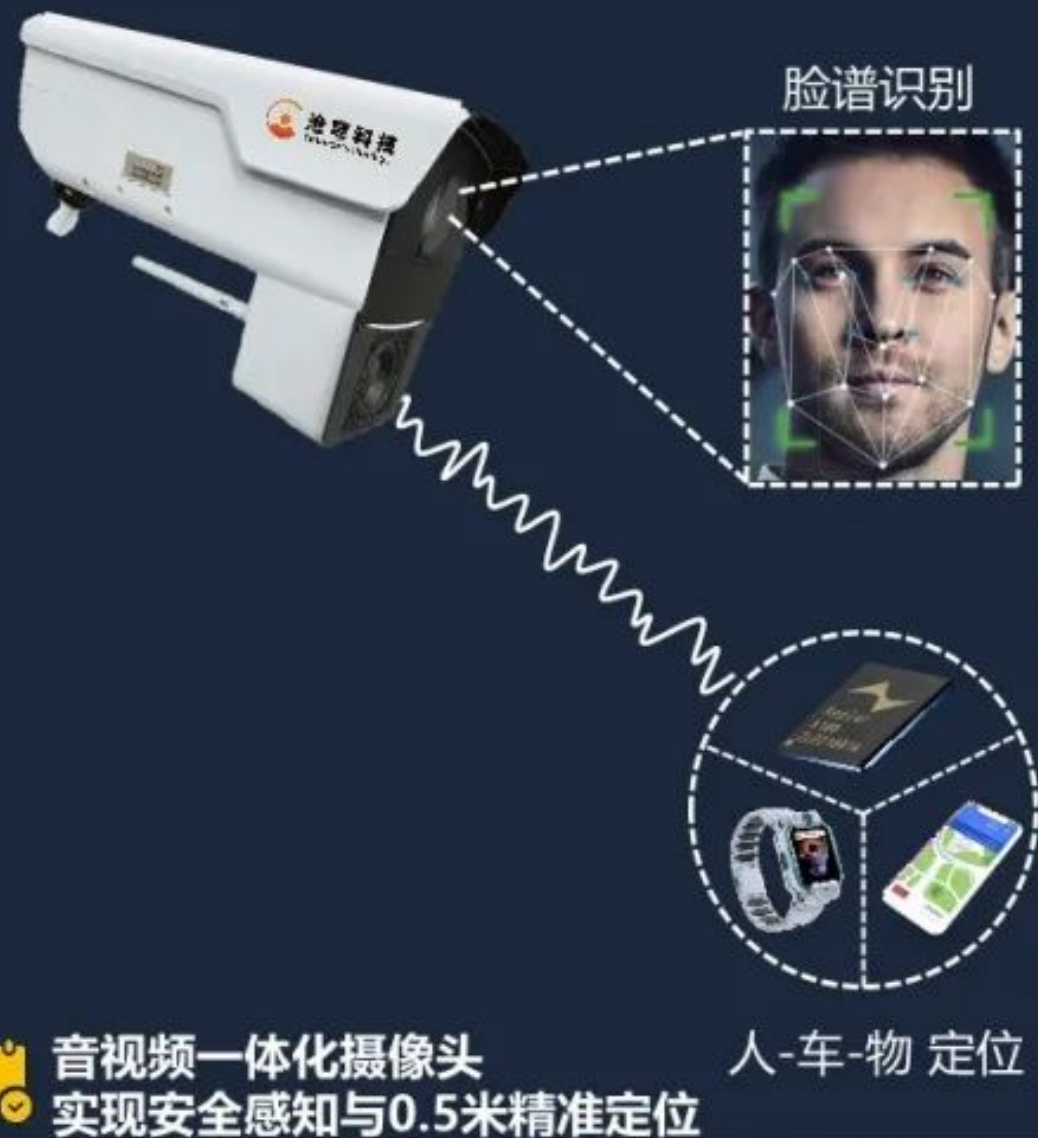


视频网



定位网

视频监控与高精度室内定位一体化



视频监控网

一次安装
两张网

北斗定位网



从芯片源头，自主可控

音频定位



中国

测距精度 0.1-0.4米

兼容智能手机
用户容量无限制

大众应用
易推广
(支持微信小程序)

同步精度要求低
建维成本低

与射频信号互不干扰

自主可控

目标：国产替代



超宽带UWB



美国

测距精度 0.1-0.4米

定位系统封闭
兼容性差

大众应用
难推广

同步精度要求高
建维成本高

与射频信号存在干扰风险

美国技术

综合性能优于美国技术

音频定位典型落地应用

案例一：智慧公安

南京南站

南京南站**1-3层**

覆盖覆盖面积**55万m²**

为公安民警提供实时位置服务，
支撑警勤调配、联防联控应用



案例二：智慧物流

鄂州顺丰机场



顺丰机场室内外一体化的人车
物定位**46万m²**

为机场工作人员、车辆和物资
提供精准的位置服务

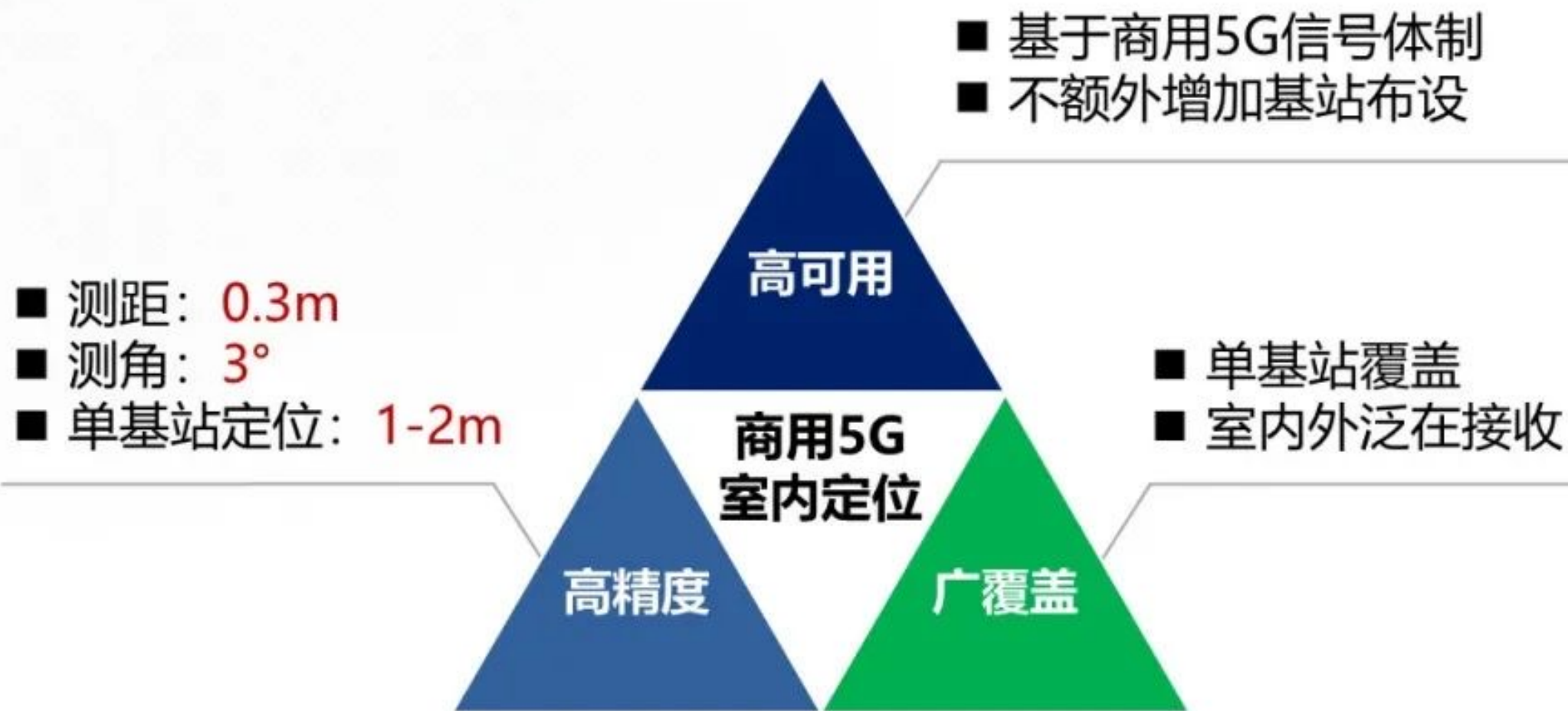
案例三：网约车服务

杭州东站

在室内**定位导航、位置共享、
网约车**等服务提供精准定位



商用5G多波束智能定位新方法



总结：依托商用5G网络，不改变现有5G信号体制，为5G室内定位提供有效解决方案

让5G指引方向 

5G Positioning, Life Beyond Imagination

Thank you for your attention



微型化高精度机载定位与测姿系统 (POS)



航空型POS

高动态、高采样率，最高可达400Hz!

研制具有自主知识产权的小型化、高精度、高动态POS系统，在重量、集成度、精度方面进行重点突破

多源泛在的智能感知+认知

从“传感器”发展为“多源泛在的智能感知+认知”导航定位，实现导航定位技术体制创新！



前视摄像头

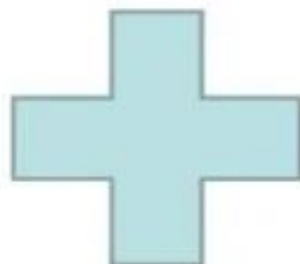
通过在感知层引入人工智能、实现道路周边场景的感知。



激光雷达



RSR（交通标志识别系统）



LKA（车道保持辅助系统）



GNSS/IMU组合导航模块



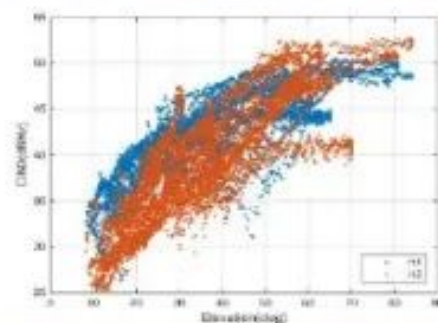
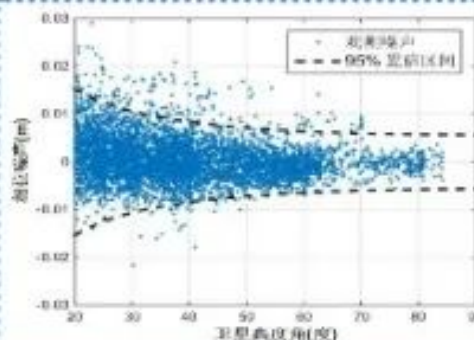
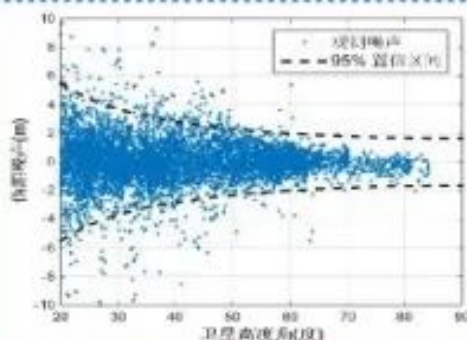
高精度地图

感知传感器+组合导航+激光雷达+高精度地图，通过多传感器融合，实现高可靠、精准定位、自动驾驶！

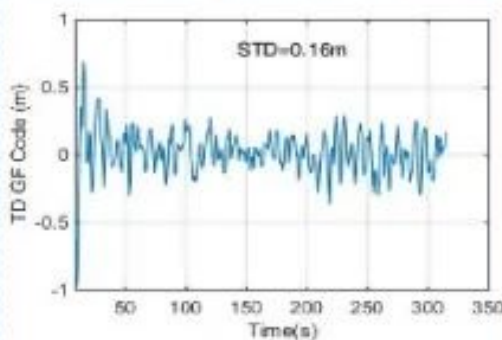
珞珈二号天基导航分系统在轨测试—导航增强试验结果

2023年9月8日，开展了导航增强初步试验，与珞珈一号导航增强试验结果对比，载波相位测量精度维持在7mm，H1和H2载噪比一致性问题得到妥善解决，**伪距测量精度从1.7m提升至0.16m**

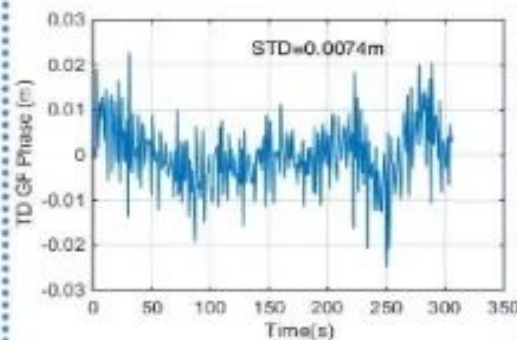
珞珈一号
导航增强信号
数据质量评估



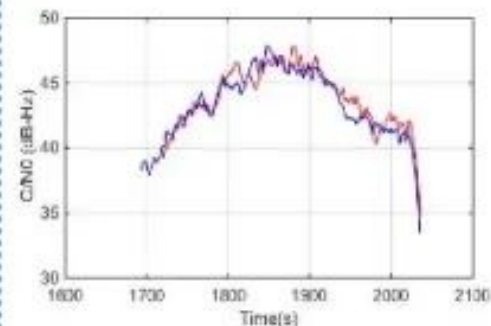
珞珈二号
导航增强信号
数据质量评估



伪距测量精度从1.7m提
升至0.16m

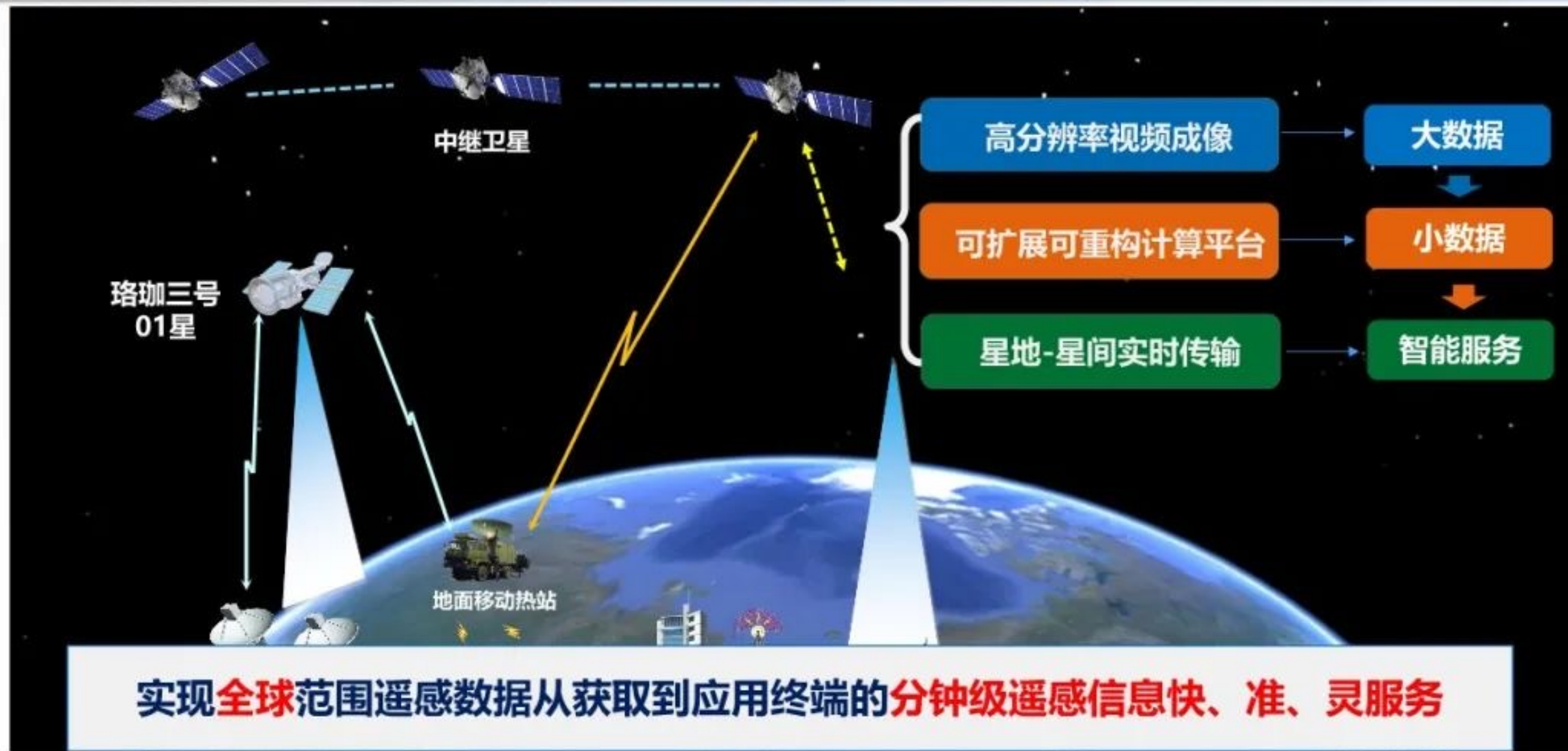


载波相位测量精度维持在
7mm，有提升空间



H1和H2载噪比一致性问
题得到妥善解决

从PNT到PNTRC（通导遥一体化）



软件定义的通导遥一体化实时智能服务

通信
导航
遥感
卫星
系统
各成
体系

系统**孤**立

一星多用，多星组网
天地互联，多网融合

系统**联**通

信息**分**离

统一基准，关联表征
数据挖掘，知识发现

时空**融**合

服务**滞**后

星地协同，组网传输
智能处理，按需服务

服务**畅**通

亟需↓建设

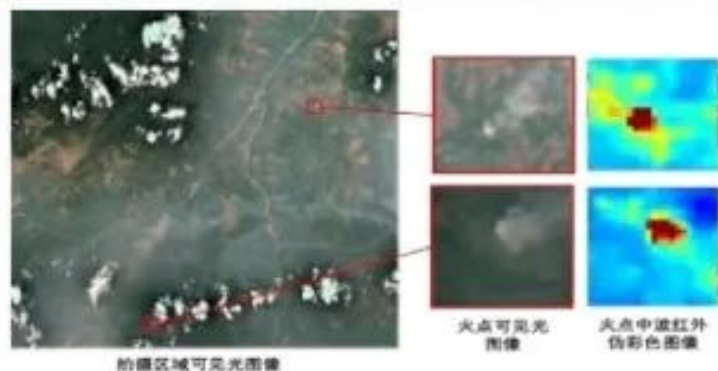
**通导遥一体化天基信息实时服务系统
(PNTRC)**

推动↓发展

天基信息：专业服务→大众应用
产业发展：国家扶持→市场化、国际化

卫星在轨智能森林火灾系统（秒级）

研制了卫星在轨处理系统，搭载“吉林一号”光谱01/02星，具有**森林火点自动识别、搜寻和定位功能**，利用北斗短报文通信，**实现了秒级的“从传感器到用户”**，从而极大地提升了应急响应的时效性



森林火点在轨处理自主识别



原理样机和工程样机



地球观测与导航重点专项项目在“星载在轨智能处理技术”研究中取得突破

发布时间：2019-07-09 15:03:42 作者：张超 来源：本站编辑 浏览次数：1118

高时效性是突发事件应急响应的灵魂，对卫星获取的视频/图像直接进行在轨智能处理，实现分钟级甚至秒级的“从传感器到射手”的应用，是提升应急响应工作效能的核心技术之一。

由武汉大学牵头承担的国家重点研发计划“地球观测与导航”专项“区域协同遥感监测与应急服务技术体系”项目针对此进行了深入研究，团队联合长光卫星技术有限公司等单位提出了星载在轨处理应急响应技术体系，突破了目标监测与跟踪、高性能处理、多任务调

科技部网站报道

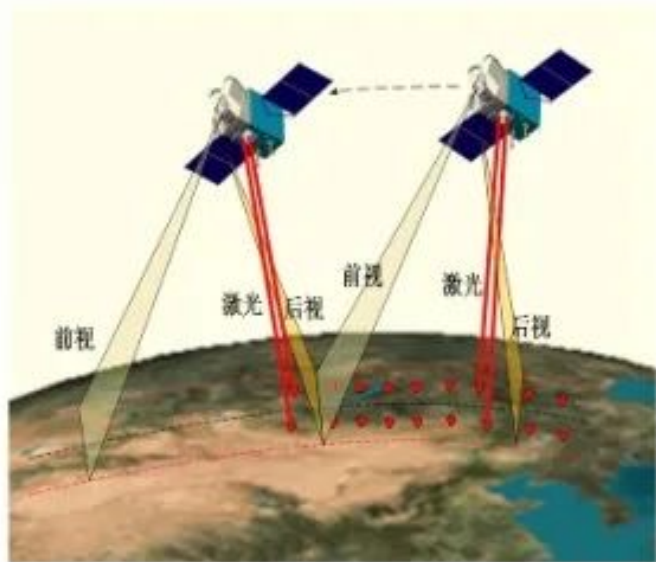
超大规模ZY-3数据无控制区域网平差与全球测图

利用60个CPU+GPU,对资源三号卫星全国数据进行整体无控制区域网平差计算（8810景，原始数据量20TB），采用选权迭代验后方差估计的粗差探测方法，从20亿个匹配点中自动选择300万个坚强连接点，遥感影像自主定位精度优于5米，满足全球1:50,000测图要求，**现已完成全球1亿3000万平方公里，支持了国防和一带一路建设。**

GF7号测绘卫星技术特点

**“双线阵相机+两波束激光
光测高仪”复合测绘体制**

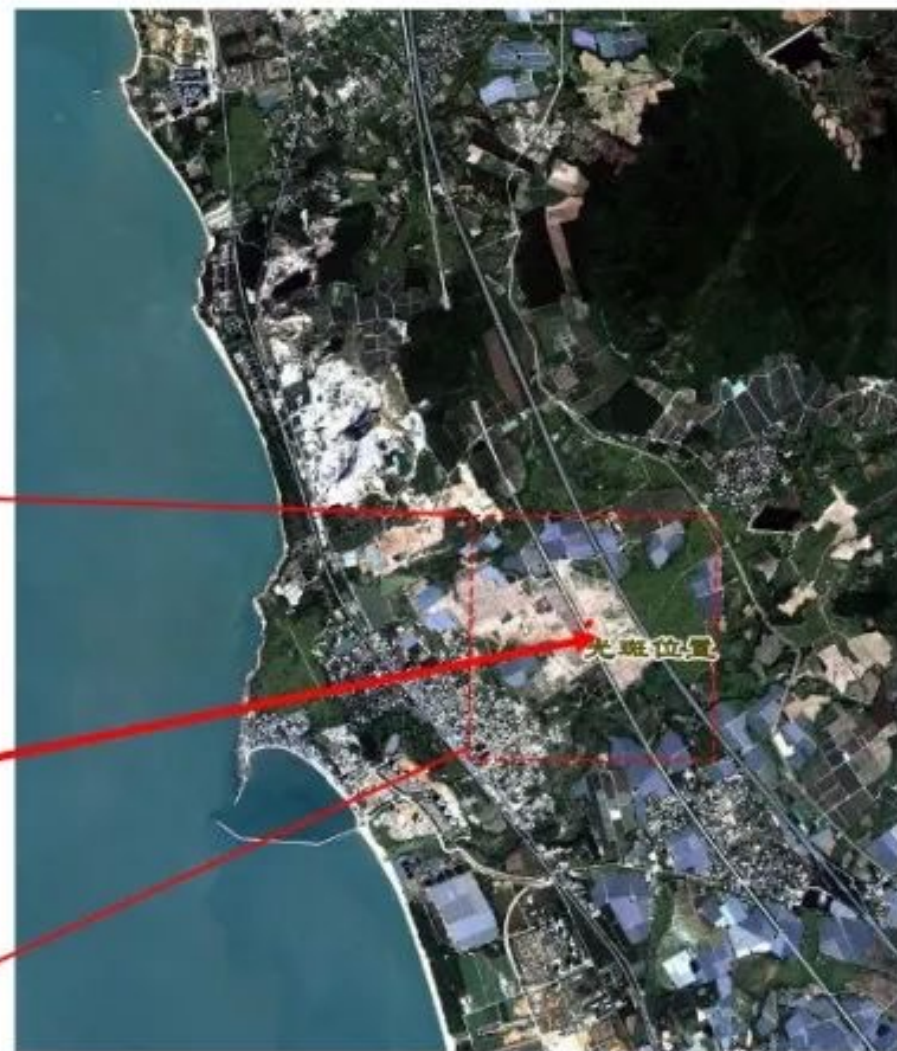
通过足印相机关联“不可见”激光与“可见光”影像，实现激光光学复合测绘。



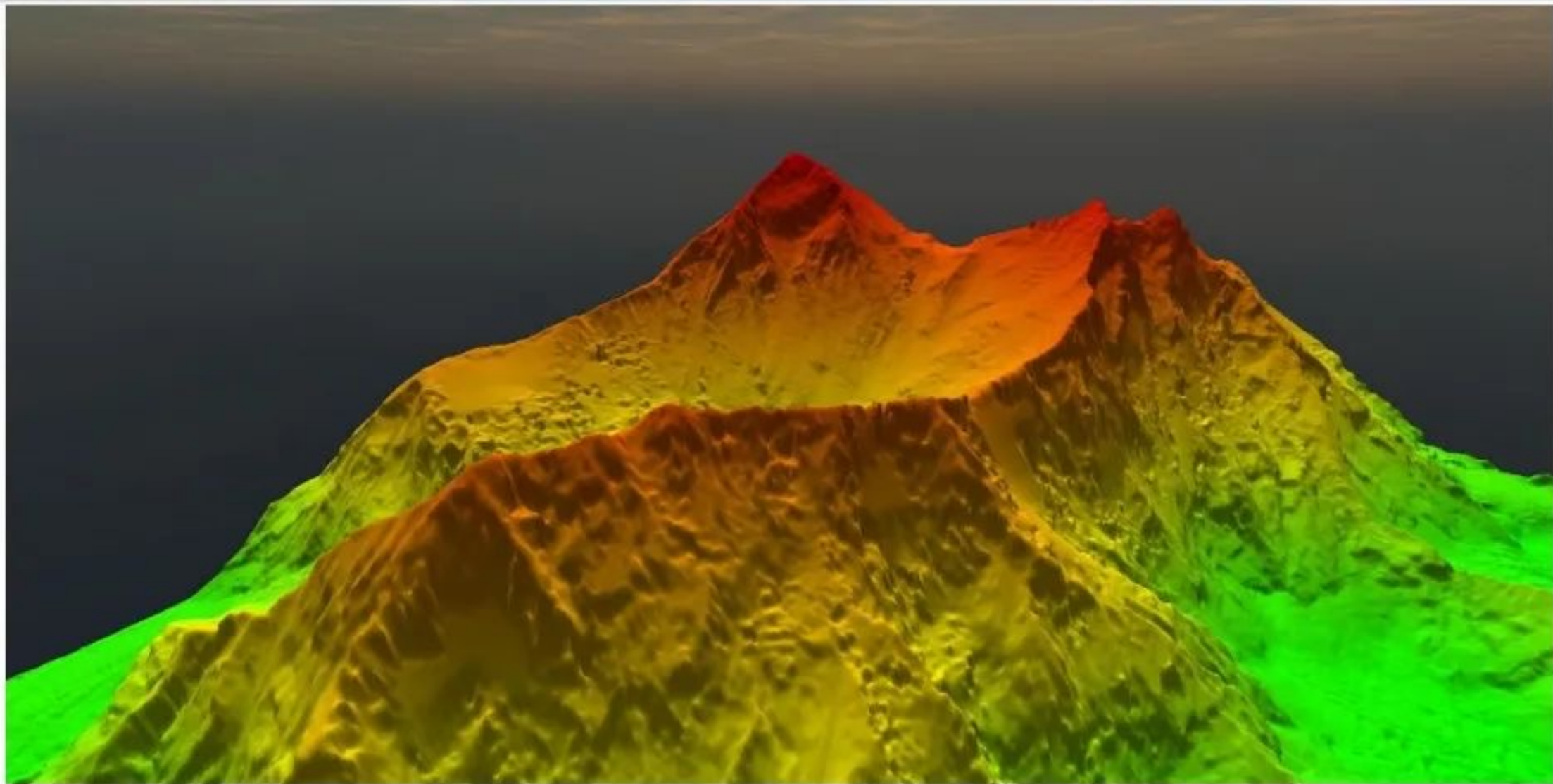
激光足印不可见



通过足印影像实现激光与光学影像的关联



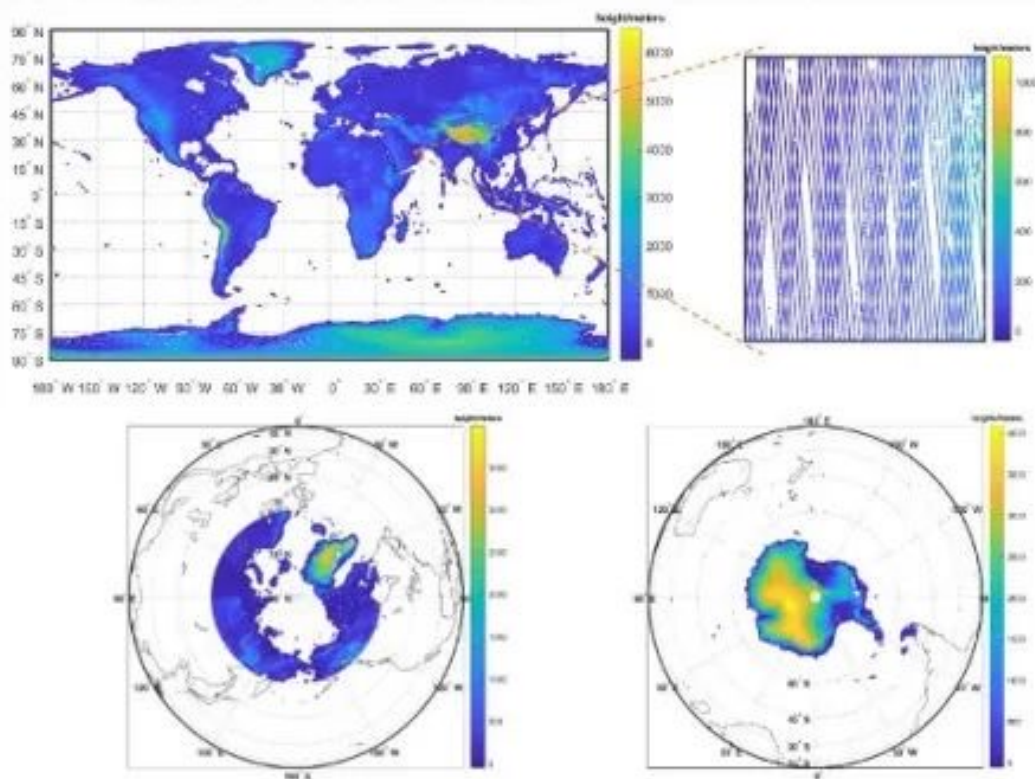
GF7号测绘卫星主要产品



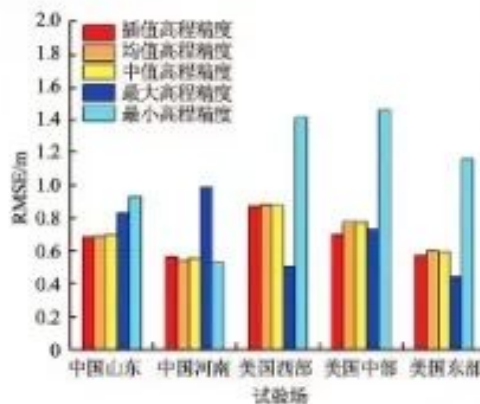
珠穆朗玛峰地区DSM

全球高精度、均匀分布激光高程控制点库构建

构建了全球星载激光测高高程控制点数据集，高程精度优于0.89米，数据量高达20.2G，为多源遥感数据信息融合提供了高精度星载激光数据



全球激光点库



- **密度**: 平均密度可达30-50个点/km²
- **高程精度**: 在全球五个试验场检验表明，精度RMSE小于0.89m
- **时间分布**: 收集近三年的数据 (约13 TB)
- **空间分布**: 可覆盖全球陆地

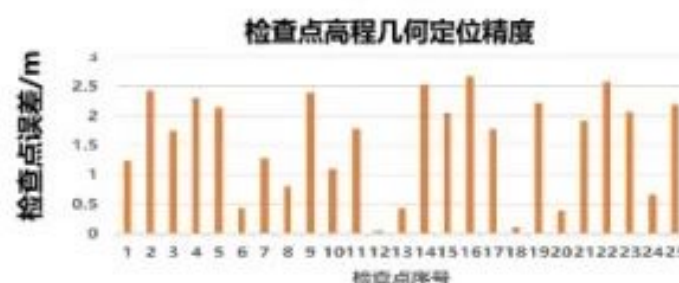
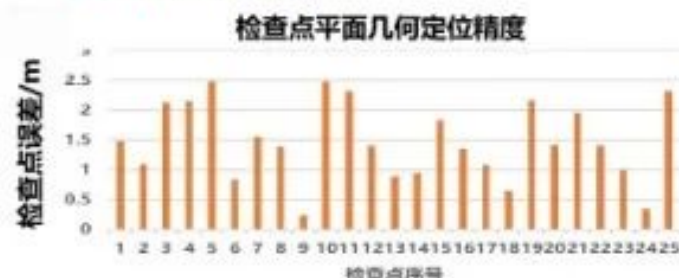
主要应用

- **产品质量检验**: 为数据产品精度检验提供高精度参考高程数据
- **激光测高数据联合平差**: 为无/少控制点立体测绘提供高精度高程控制点
- **多源地形融合**: 修补、精化其他DEM

多源遥感数据联合平差精度分析与质量控制

完成境外某地区GF14和GF7数据的联合平差处理，定位精度从**平面7.8米（中误差）、高程5.5米（中误差）**提升至**平面1.9米（中误差）、高程1.3米（中误差）**，**光学-光学接边精度优于1个像素**，**光学-SAR接边精度优于2个像素**

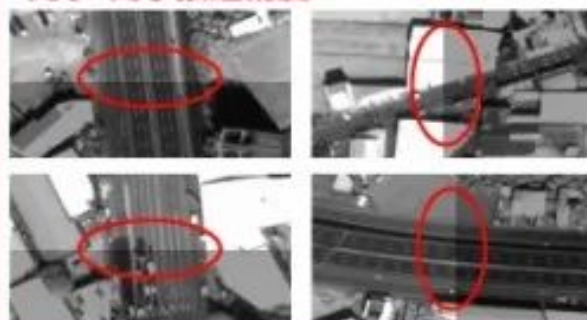
- 66景GF7光学立体像对;
- 48景GF14光学立体像对;
- 16景SV2 SAR影像;
- 88个激光点



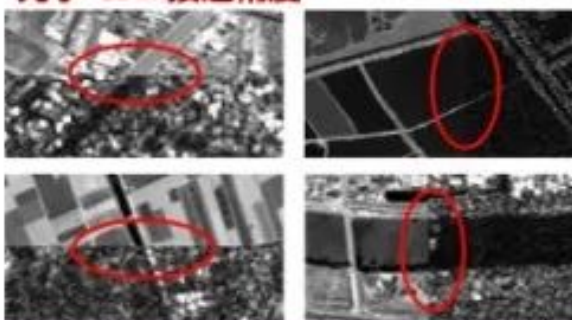
接边精度检查

接边精度	指标要求	行方向像方偏移 (像素)		列方向像方偏移 (像素)	
		中误差	最大误差	中误差	最大误差
光学-光学	优于1个像素	0.46	0.85	0.54	0.98
光学-SAR	优于2个像素	1.52	1.93	1.33	1.99

光学-光学接边精度



光学-SAR接边精度



全国地表形变一张图（哨兵一号）精度验证

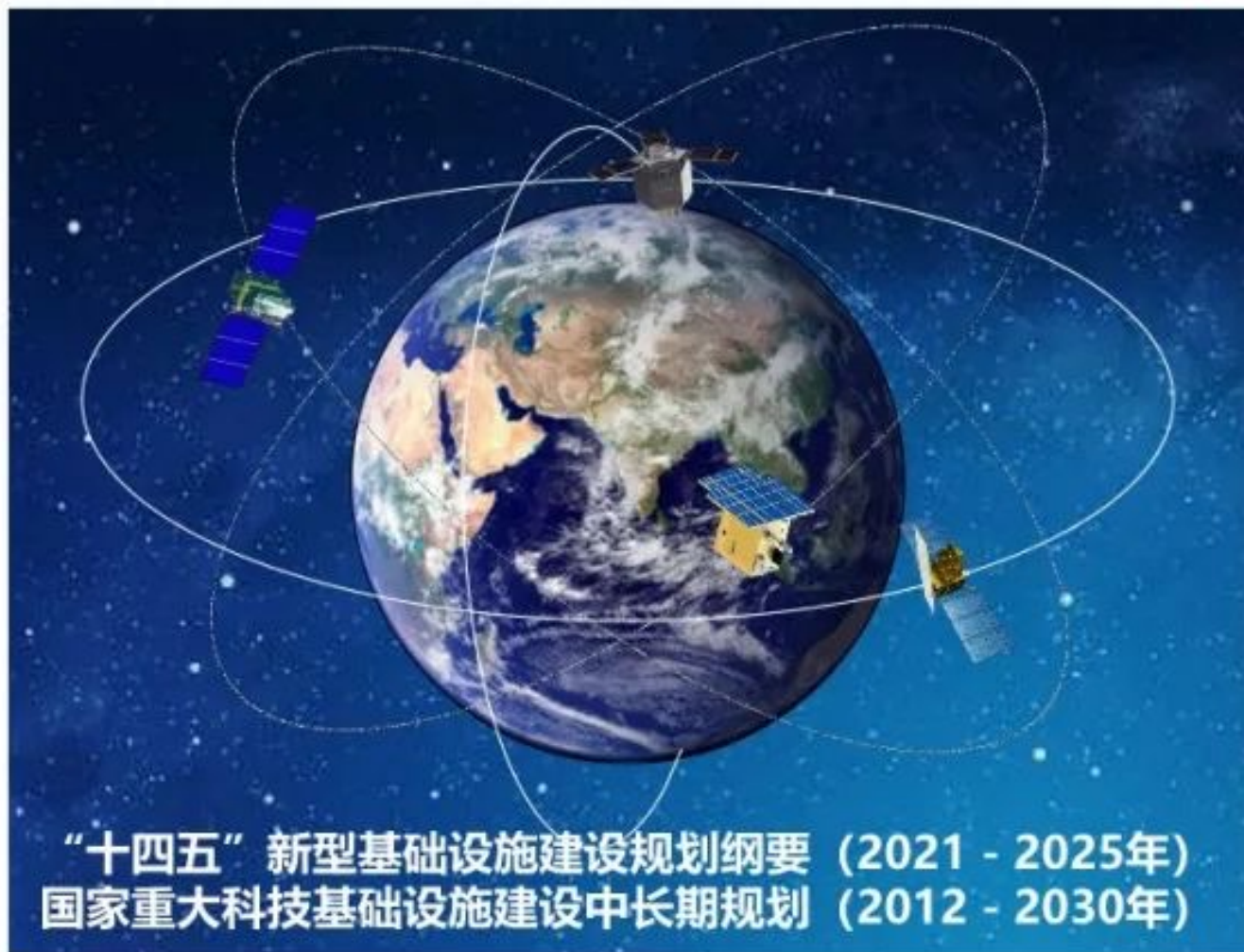
使用**2317**个千寻CORS站数据
进行验证，覆盖全国形变图
相干区域共计**2009**个，
验证形变精度为**4.818**毫米/年

精度统计（单位：毫米/年）

序号	站点	纬度	经度	CORS	InSAR	差值
1	UBYH	32.33	111.05	-2.68	-8.33	-5.65
2	SDRG	37.34	122.42	-3.33	-8.67	-5.34
3	YNES	24.18	102.40	-6.22	-9.01	-2.79
4	ENTB	32.38	113.41	-12.90	-9.02	3.88
5	FJMH	25.96	119.23	-2.95	-9.94	-6.99
6	YNLF	25.15	102.08	-5.85	-11.29	-5.44
7	BJDS	40.08	116.41	-7.60	-12.27	-4.67
8	ENLC	33.79	111.61	-9.16	-13.19	-4.03
9	GDDH	22.05	112.97	-9.14	-15.00	-5.86
10	XJWJ	44.17	87.54	-21.18	-23.19	-2.01
11	SDRG	37.34	122.42	-3.33	-8.67	-5.34
.....						
2009	YNSD	24.71	99.19	2.89	-8.48	-11.37
最大误差		41.5		中误差		4.818

AI遥感背景

- 我国初步形成了全天候、全天时、全球覆盖的高分辨率对地观测能力，遥感卫星数量近300颗，全球第二，每日新增遥感数据**50TB**，累积数据达**150PB**



商业卫星



东方慧眼星座
< 0.5米



吉林星座
< 0.8米



珠海星座
< 2米

民用卫星



高分系列
< 0.8m



资源系列
< 2.1米



天绘系列
< 2米

AI遥感解译



每日新增数据**50TB**



如何从**海量遥感数据**中**挖掘有用信息**？

AI遥感解译

人工智能回答何时 (when)、何地 (where)、何目标 (what object)、
发生了何种变化 (what change)

AI遥感的六大准则

①遥感大数据解锁人工智能潜力

从多平台、多时相的海量遥感数据中学习挖掘信息，大数据-大样本-大模型-总体解

③构建遥感本体语义数据基础设施

区别处理自然地物（分形不确定性）和人工地物（边界清晰），对自然地物语义化理解

⑤像素-目标-场景层次化解译

分解层次高频-低频信息，多层次多分辨率综合解译

②地理知识驱动AI深化遥感应用

将领域知识（knowledge-driven）与人工智能（data-driven）结合

④多源多时相遥感影像综合理解

一个框架同步完成地物分类、融合、变化检测

⑥质量智能诊断确保结果准确可靠

AI对解译结果输出置信度评分，人工干预低置信度区域



东方慧眼遥感卫星星座 (2022-2030)

Orient Smart Eye (OSE) -- 空天信息全球实时智能监测网



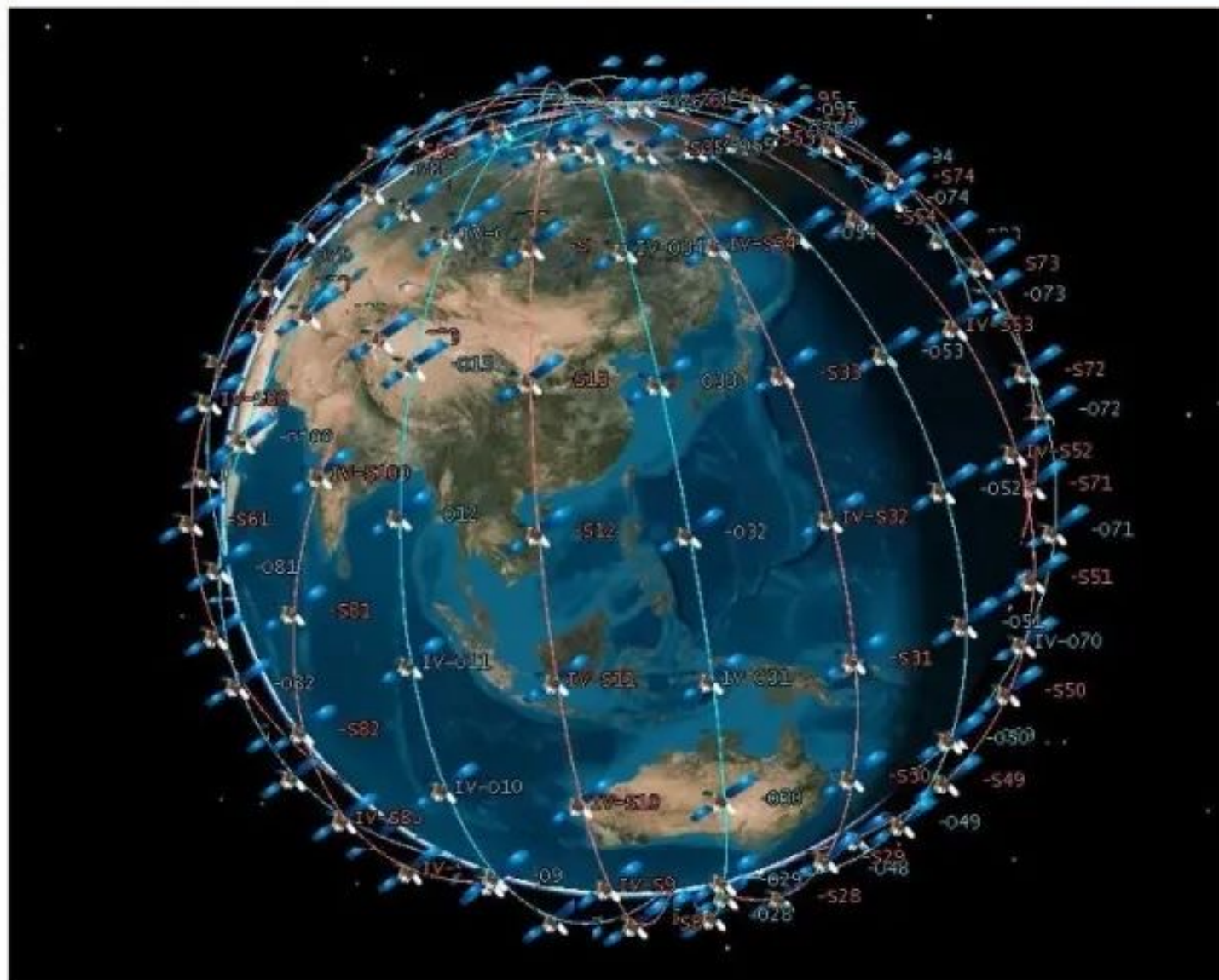
高光谱卫星:

Spatial Res.: 5米/20米 (夜光)、
Temporal Res.: 5 day
Spectral Res.: 22 bands
Location Accuracy.: 10m
5天覆盖地球一次

空间分辨率: 0.3-0.5米
时间分辨率: 5分钟
直接定位精度: 3-5米
量化级别: 12Bit
服务模式: B2B, B2G, B2C

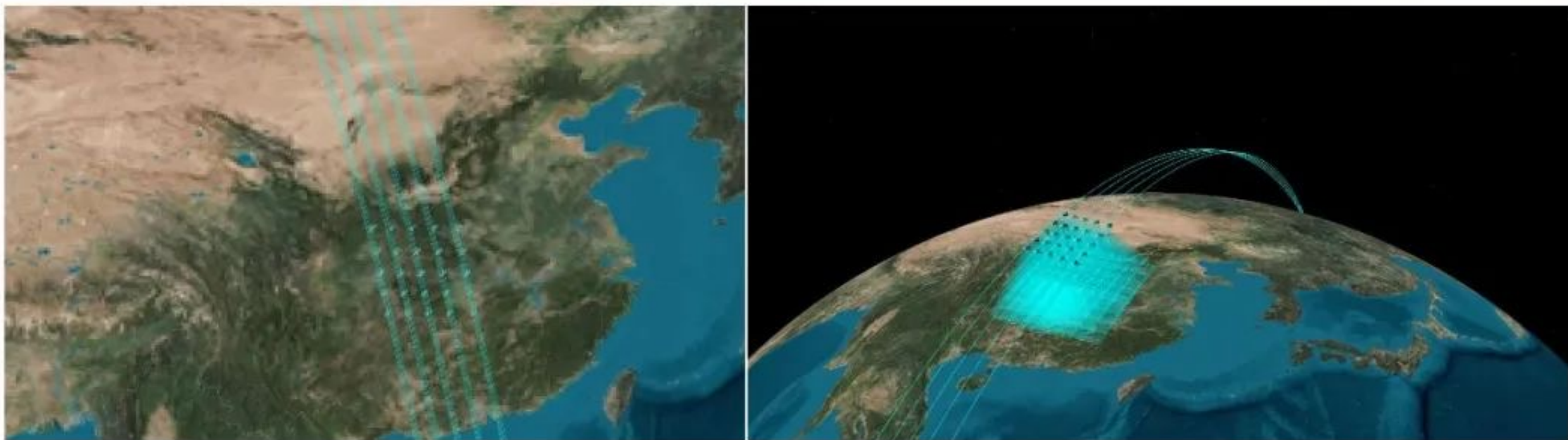
目标看得快、看得清、看得准、看得全、看得懂、送到位

东方慧眼星座 (2023-2030)



高分辨率 OSE-HR	144颗
雷达 OSE-SAR	100颗
高光谱 OSE-HS	4颗
热红外 OSE-HIR	4颗

卫星网格多角度摄影测量与遥感



软件定义的通导遥一体化智能多模**卫星网格摄影测量与遥感**

1x1,2x2,3x3,4x4,5x5多角度摄影测量与遥感
SAR摄影测量、干涉、差分干涉和层析雷达

通导遥一体化的珞珈三号01星

研制试验卫星：视频成像、智能处理、灵巧通信

打通两条链路：星地通信、星间中继通信

验证两个问题：在轨处理与稀疏压缩

场景一

智能遥感
试验卫星

中继卫星

场景二

控制中心

地面站接收站

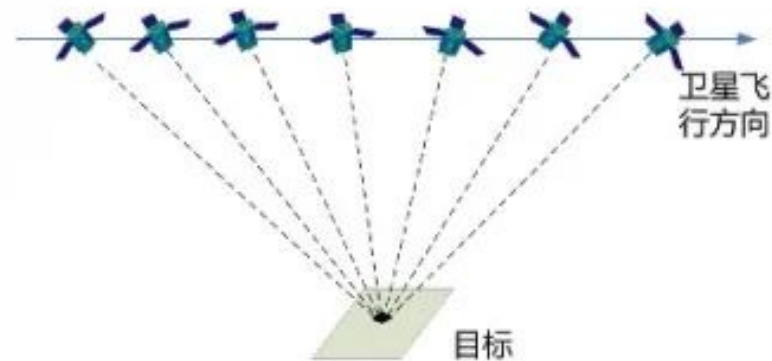
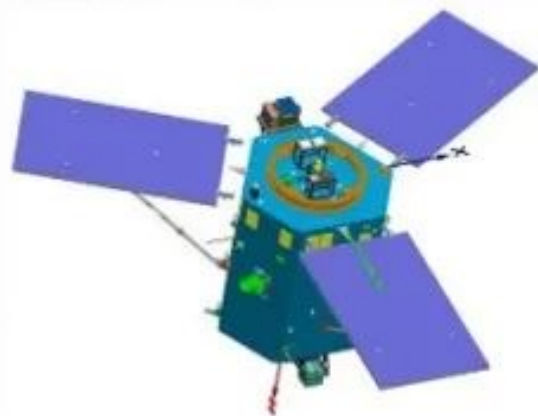


5G 200Hz 100Hz

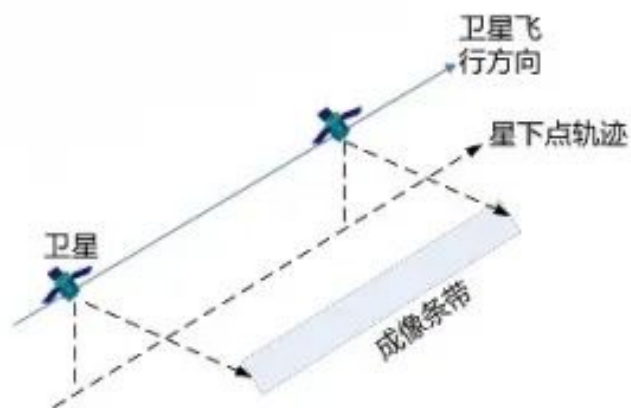
实现**全球**范围遥感数据从获取到应用终端的**分钟级**遥感信息**高效服务**

珞珈三号01星 总体方案设计

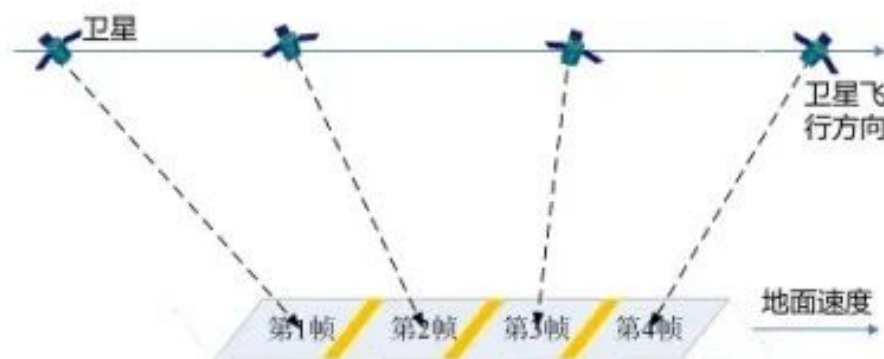
■ 成像模式



凝视视频成像模式 (动态视频)



推扫成像模式 (长条带)
(面阵CMOS数字TDI)



面阵推帧成像模式 (静态图像)

卫星在轨智能处理

基本模块

ROI
定位

传感器
校正

影像几
何纠正

视频稳
像

智能处理算法模块

云
检测

目标
检测

变化
检测

动目标
检测

图像
压缩

视频
压缩

语义
分割

场景
分类

专题信息
提取

控制点
匹配

时空
融合

三维
重建

集成验证平台

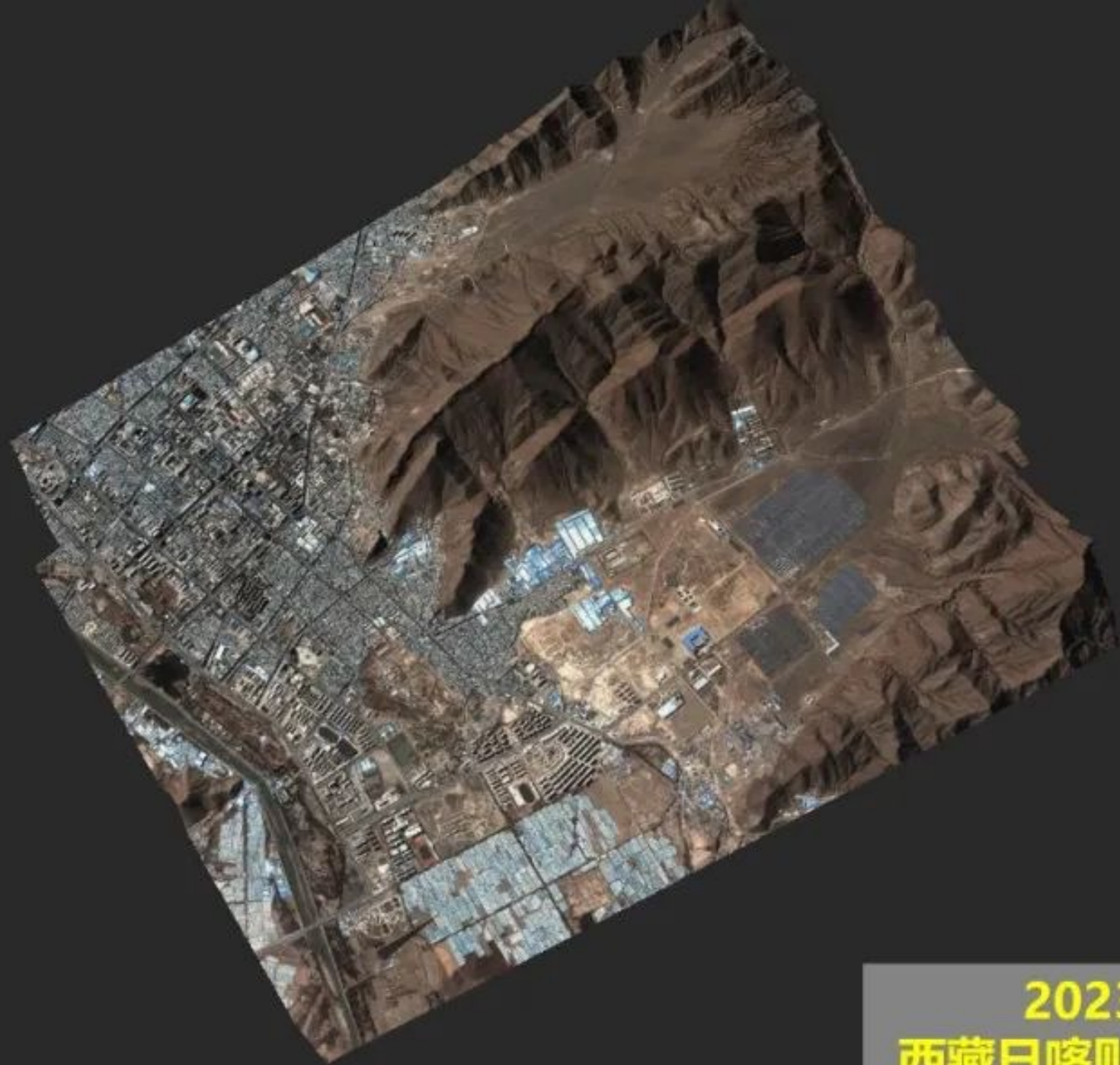
星上嵌入式GPU集成验证平台->基本算法与成熟智能处理算法验证
地面统用集成验证平台->创新算法验证



2023/02/21
韩国首尔乐天世界塔



2023/04/04
“世界第一高楼” 迪拜哈利法塔



2023/02/14

西藏日喀则三维场景重建



2023/02/21
迪拜机场动目标跟踪

珞珈三号02星（武汉一号卫星）



卫星概况

2024年5月21日中午12时15分，武汉一号卫星在酒泉卫星发射中心成功发射。

武汉一号（珞珈三号02）卫星重345公斤，采用530公里高太阳同步轨道，具有**0.5米分辨率全色成像、10米分辨率高光谱成像、高精度立体测绘、夜光成像**等多种任务模式以及在轨智能图像处理等功能。旨在用高性价比小卫星解决无控制点高精度定位的核心技术问题，推动遥感技术学科发展和武汉市空间信息产业发展。



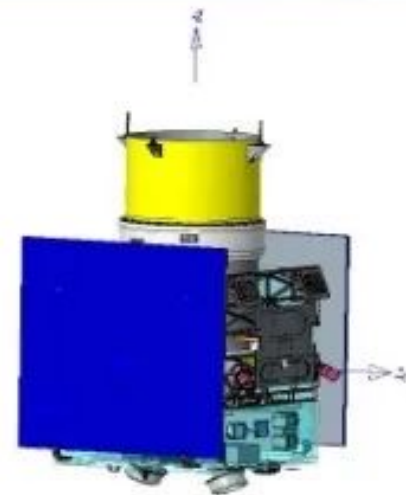
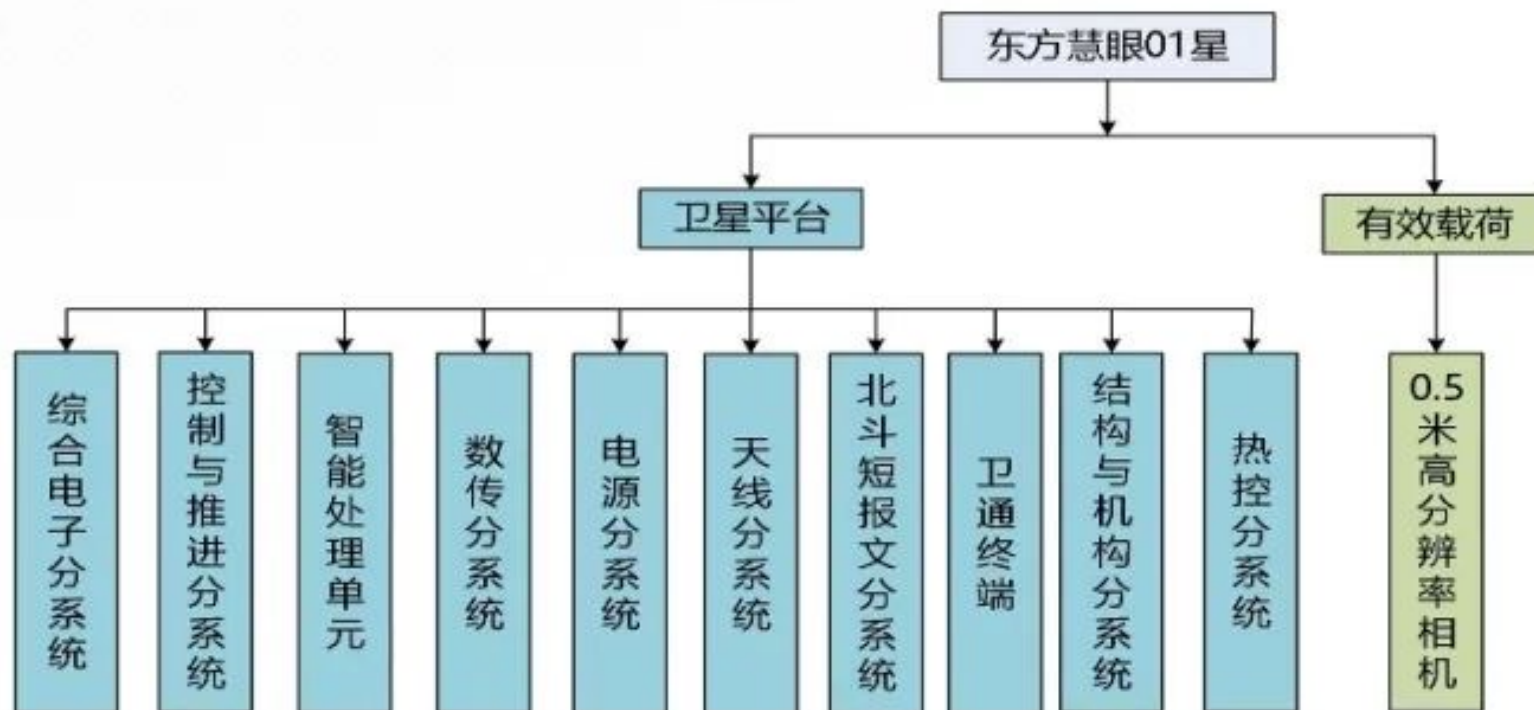
卫星载荷成像（武汉大学）



OSE-HR01高分卫星 (2024年2月3日发射)

卫星重量约230公斤，三大特点：

- (1) 北斗短报文可通过北斗三代全球导航系统进行应急测控和数据下传。
- (2) 卫星配备卫通通信终端，可实现前向5Mbps、反向10Mbps双向中继通信。
- (3) 全国产化的智能处理单元用于在轨数据处理。



卫星发射状态



卫星在轨飞行状态

A satellite with large solar panels is in orbit above the Earth. The Earth's horizon is visible at the bottom, showing clouds and landmasses. The background is a deep blue space with stars.

东方慧眼高分01星 全色多光谱融合影像

卫星载荷成像

◆ 2024年03月02日 加沙地区影像



被战争摧毁的建筑

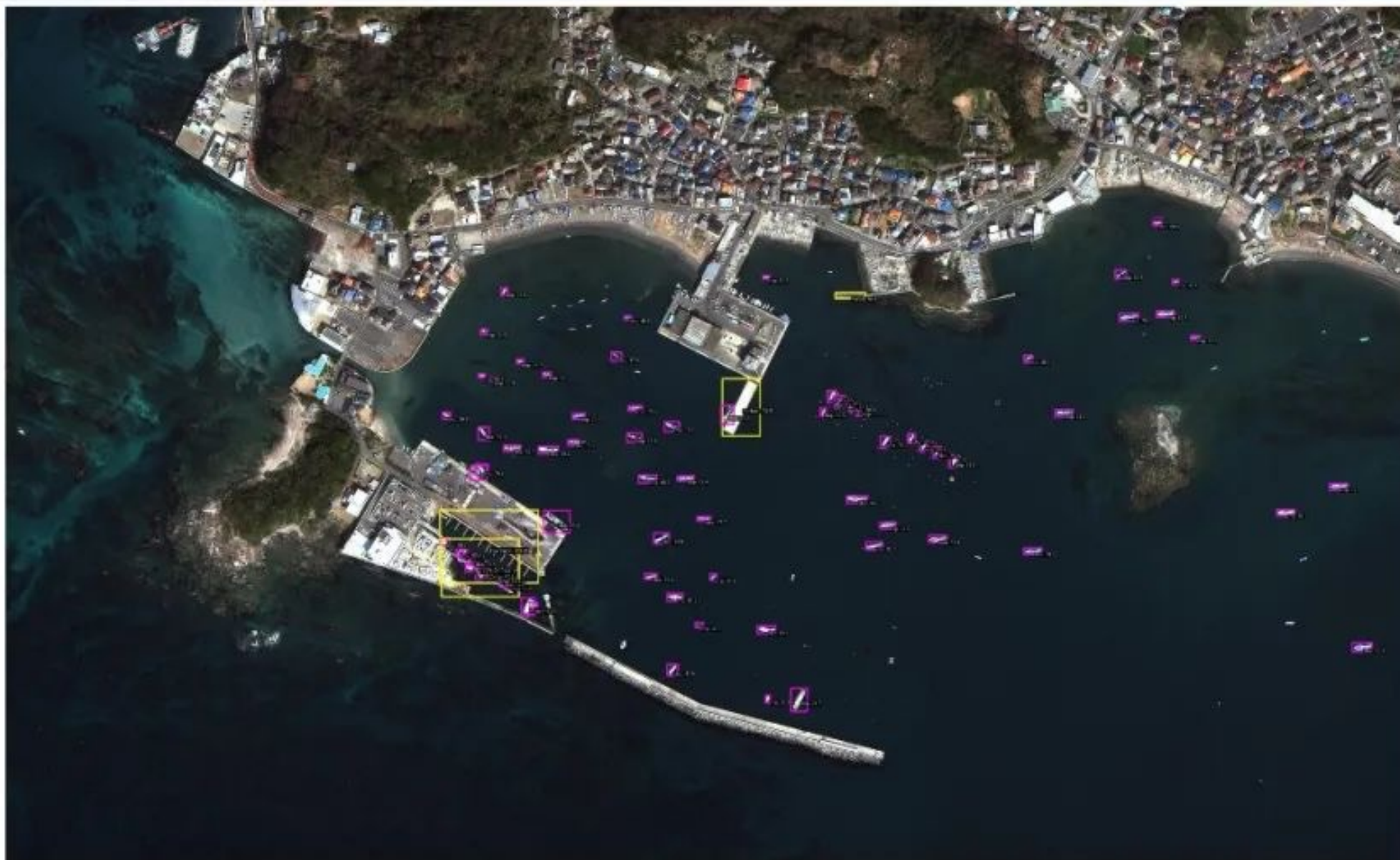
目标检测测试 示例1

飞机检测结果
(边框加粗)



目标检测测试 示例2

黄色 - 码头
品红色 - 船只



“珞珈三号01星”和“东方慧眼高分01星”监测加沙地带战争损毁

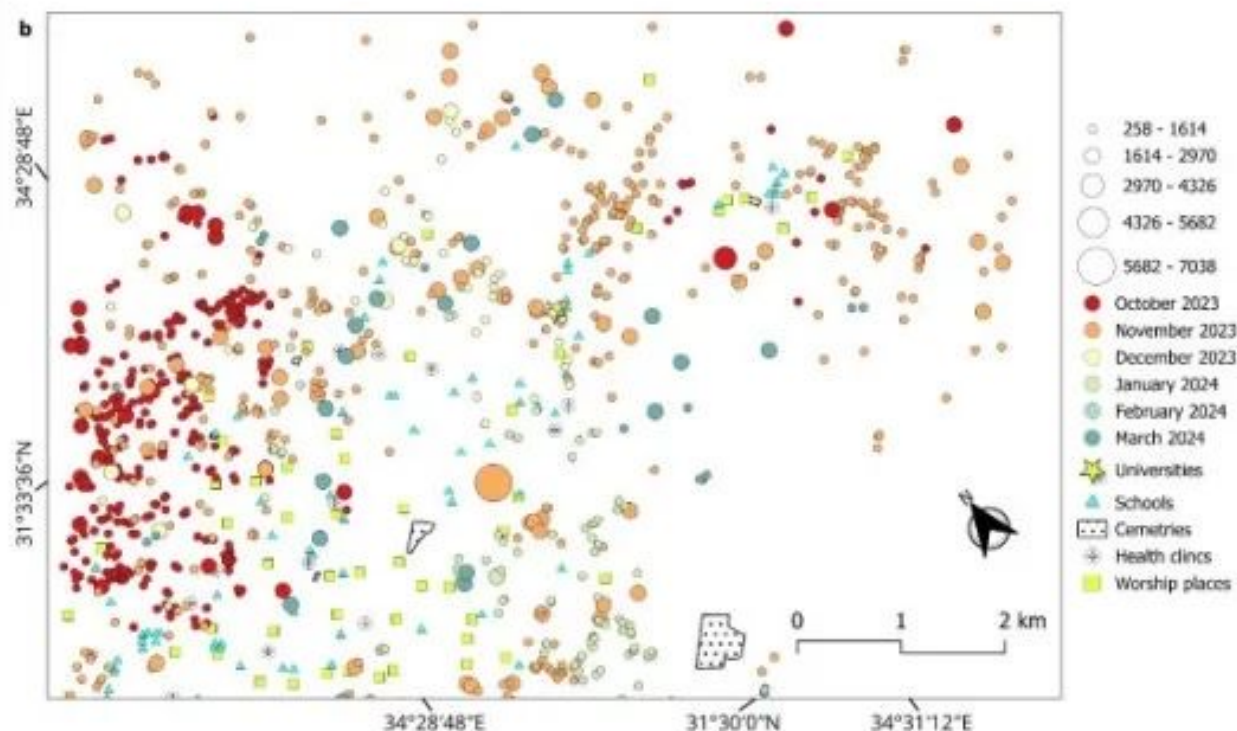
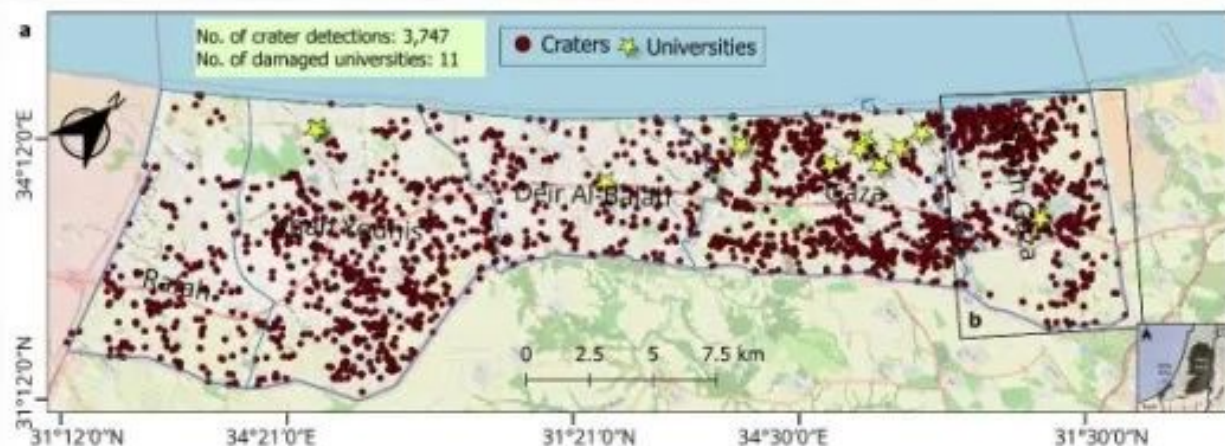
基于高精度时序变化检测的加沙地带导弹弹坑自动检测

能够全自动检测出每一时期的导弹弹坑的**位置、大小、数量**

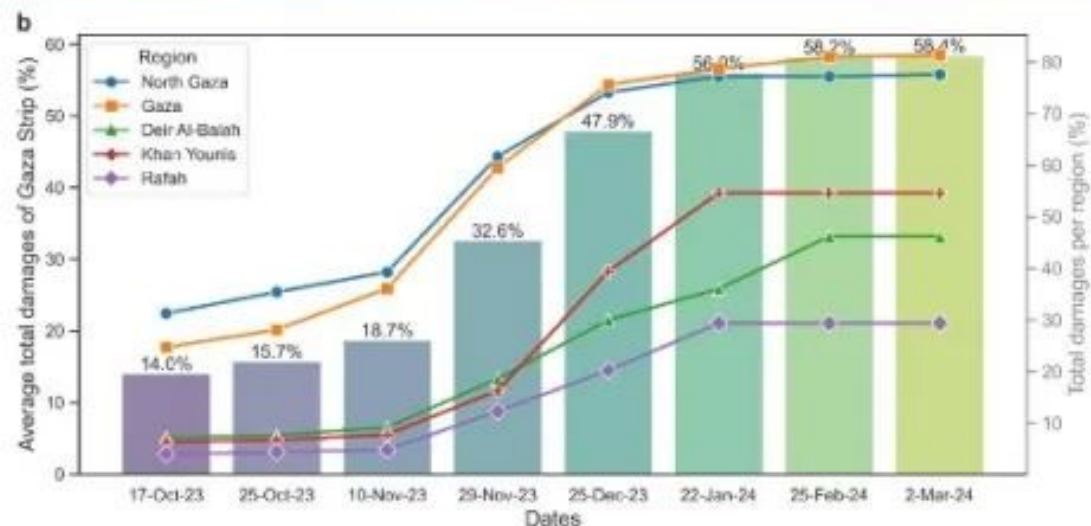
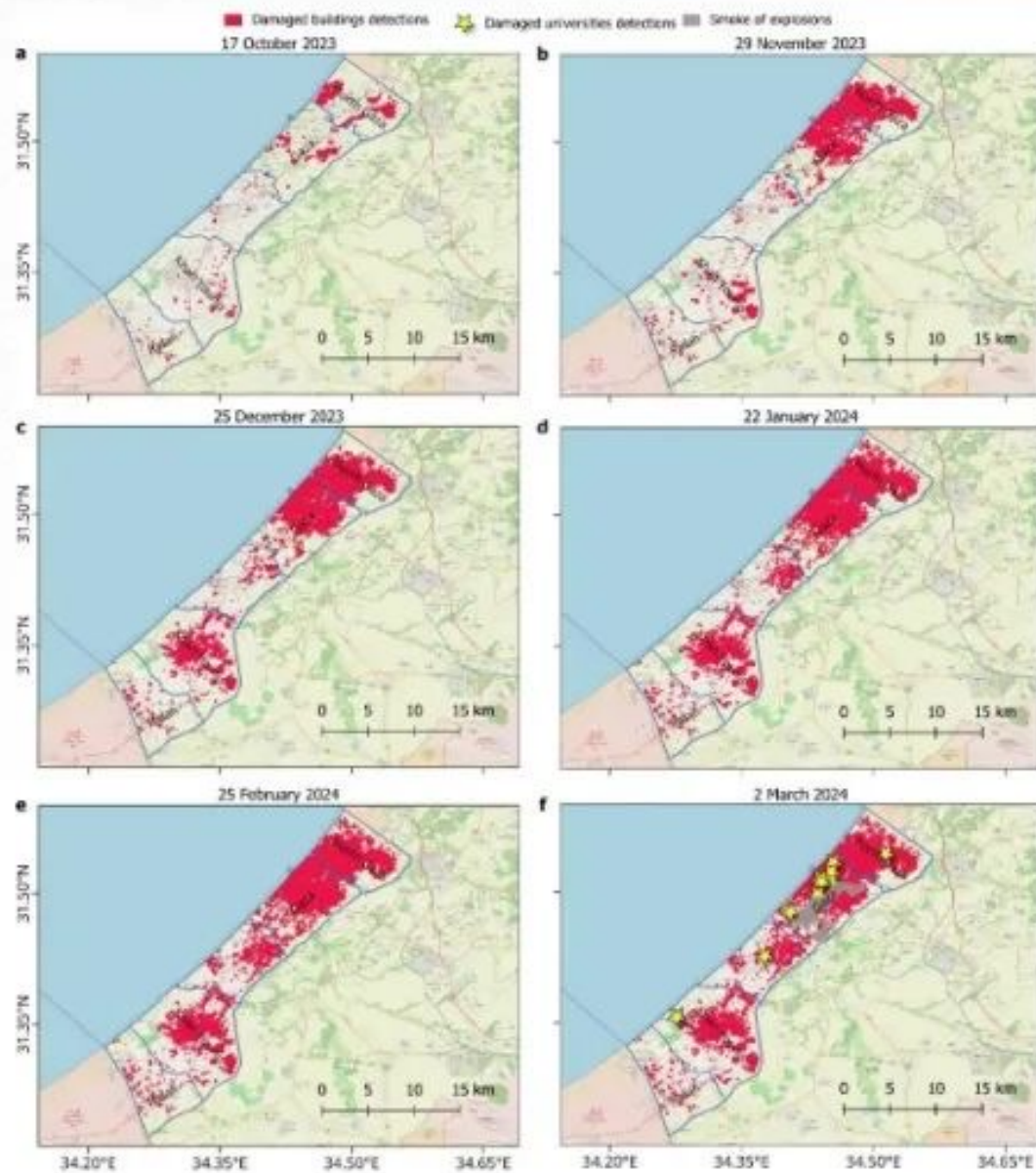
截至2024年3月2日，共检测出**3747个**不同大小的导弹单坑

实现了对加沙地带不同类别损毁建筑物的自动检测

能够全自动检测出 中小学、大学、医院、礼拜场所 等不同类别建筑物的损毁情况



加沙地带战争损毁监测与评估

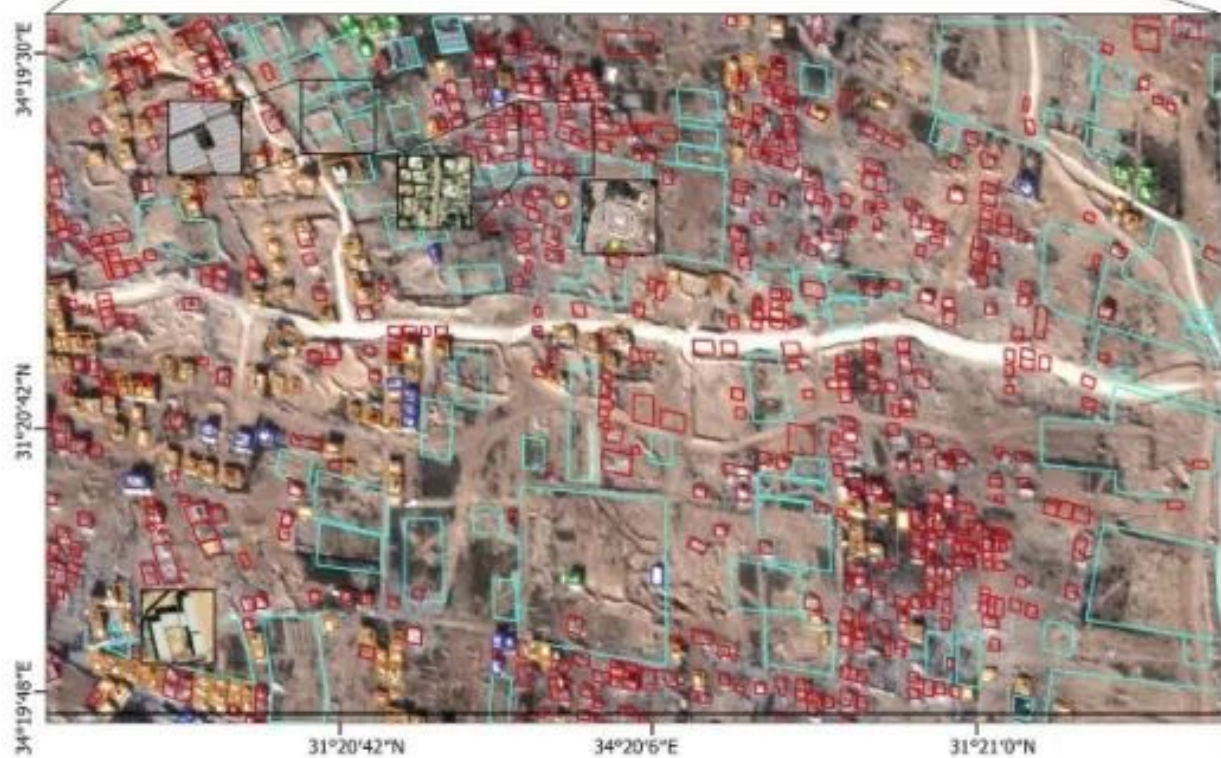
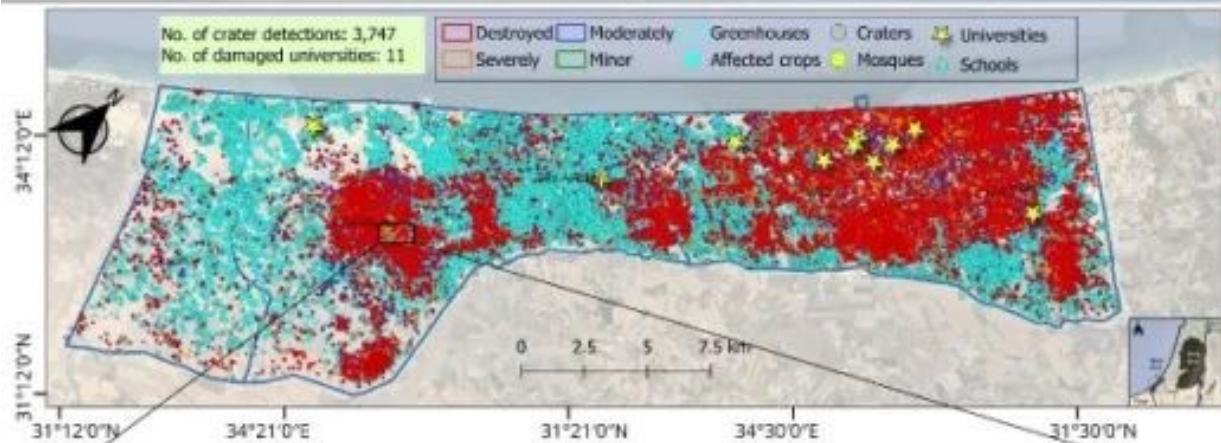


基于高精度时序变化检测的加沙地带建筑物损毁监测 (左图中红色区域, 为建筑物在不同时期的损毁情况)

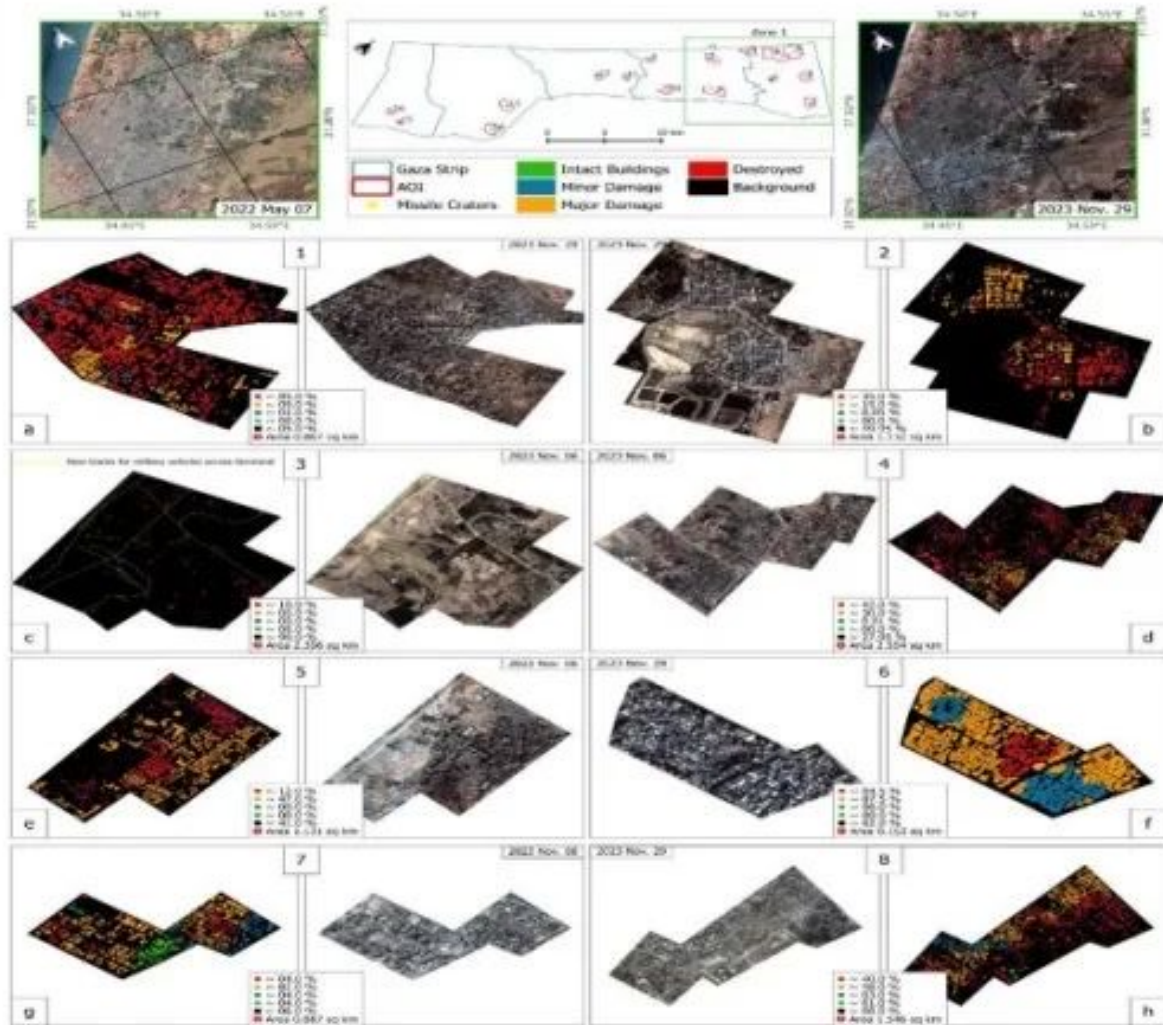
➤ **实现了对 加沙地带5个省份 在不同时期的建筑物损毁情况 的高精度监测。上图, 是对加沙地带5个省份 建筑物损毁情况的趋势分析。**

截至2024年3月2日, 加沙地带建筑物损毁比例 高达 58.4%

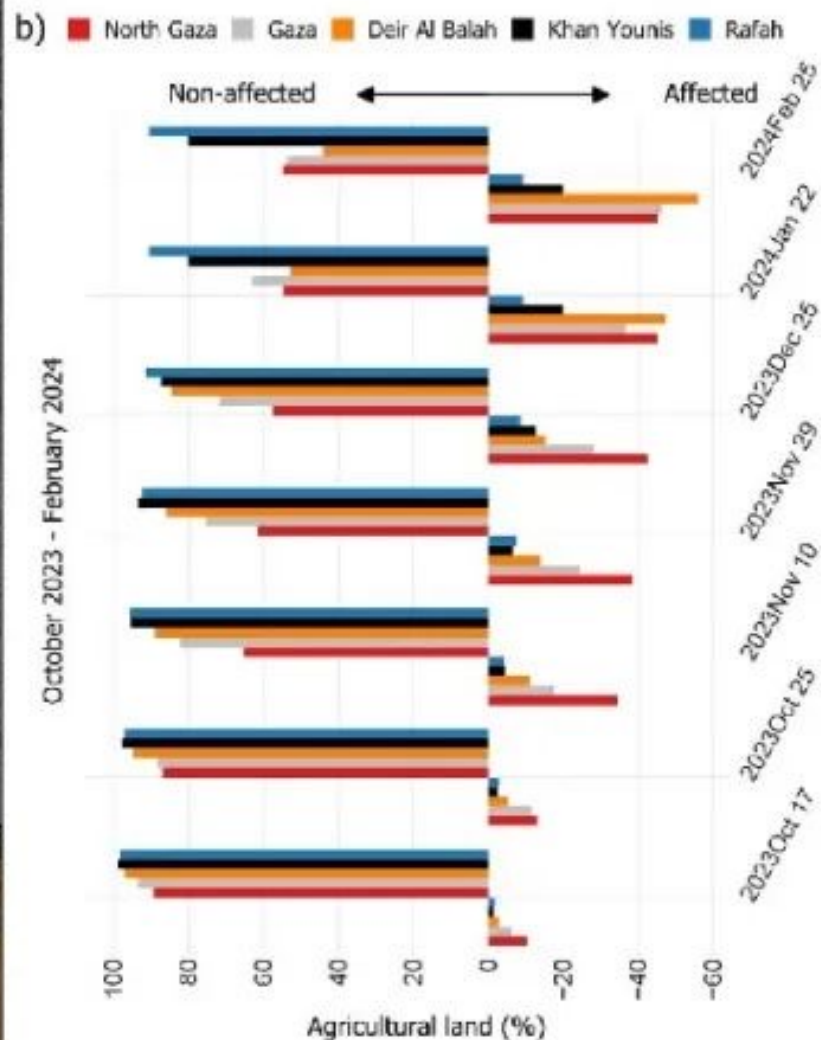
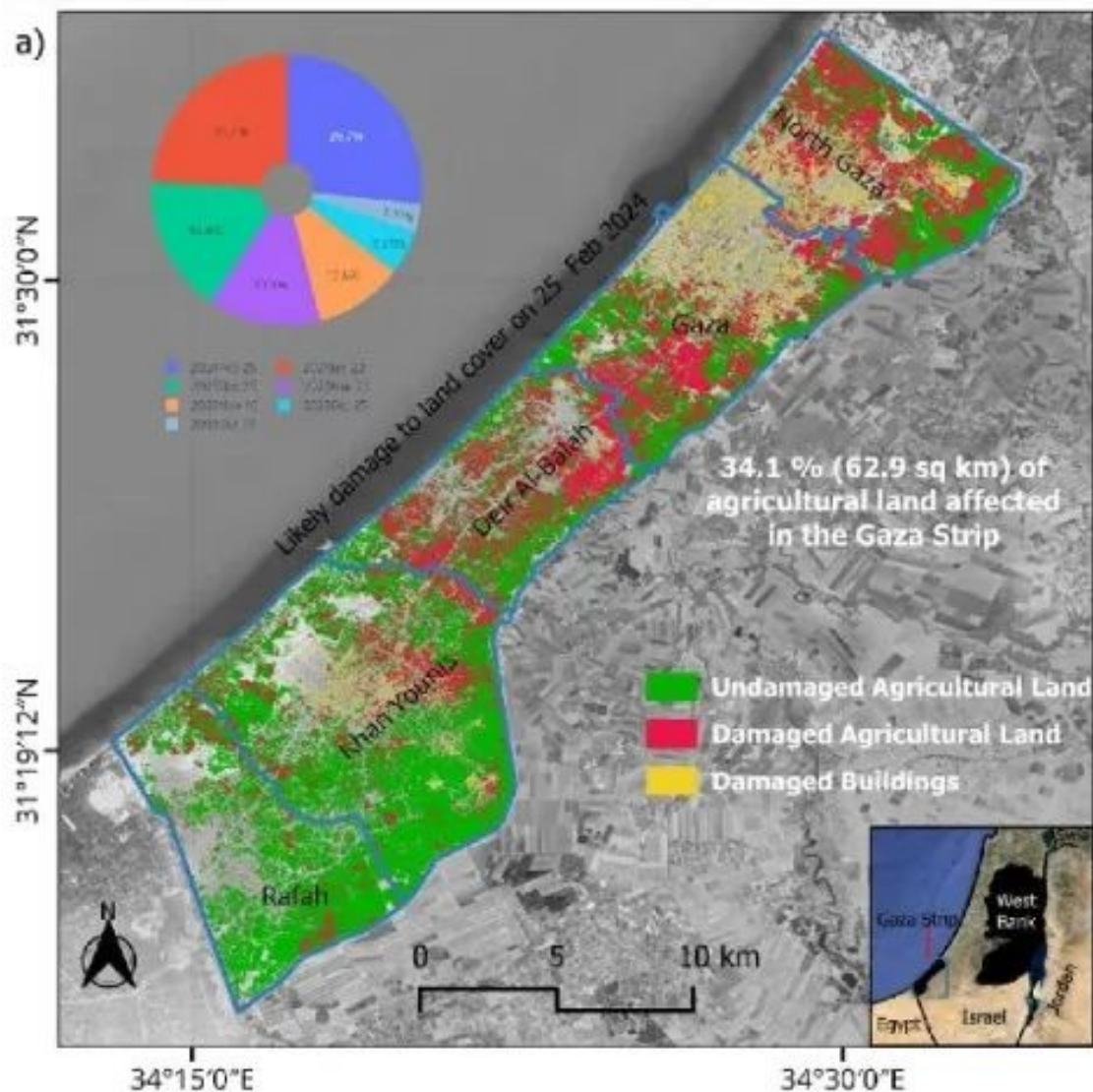
“珞珈三号01星”和“东方慧眼高分01星”监测加沙地带战争损毁



实现了对不同类别建筑物的损毁等级自动评估
(5个等级：无损毁、轻度、中度、重度、完全损毁)



“珞珈三号01星”和“东方慧眼高分01星”监测加沙地带战争损毁



2023年10月—2024年03月，加沙地带5个省份在不同时期的农田损毁情况(左图中红色区域，为损毁的农田)

截至2024年3月2日，加沙地带农田损毁比例为34.1%

珞珈二号01星在轨测试与初步结果



2023年5月21日16时0分，长征二号丙运载火箭在酒泉卫星发射中心顺利升空，以一箭三星方式将搭载发射的珞珈二号01星送入预定轨道。

5月21日发射，23日首次开机成像，获取了国际首幅0.5米分辨率星载Ka波段SAR影像，目前已建成业务化的“云+端”遥感应用系统，将首次实现“天+端”移动设备操控高分辨率SAR卫星应用服务

聚束模式

大兴机场
建筑散射特征明显



Ka SAR聚束模式

电力塔



电力线



Ka SAR聚束模式

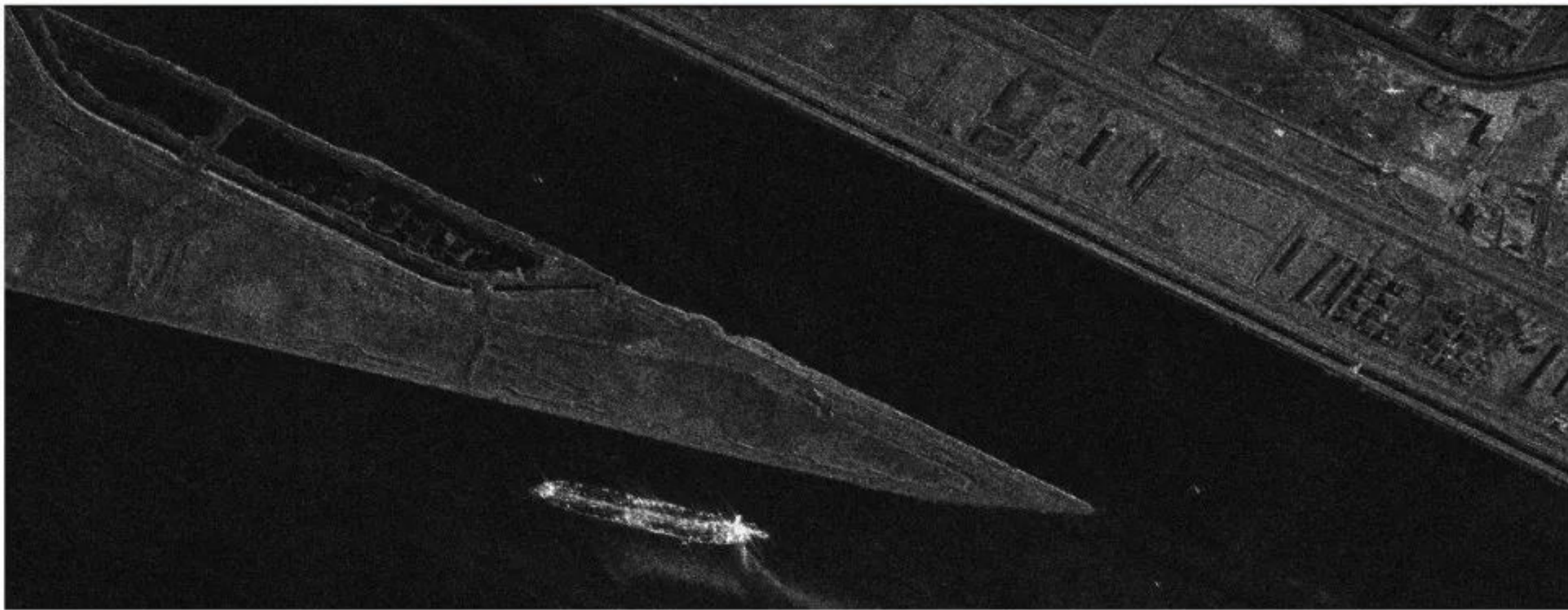


城市楼群



道路两旁的路灯

视频SAR



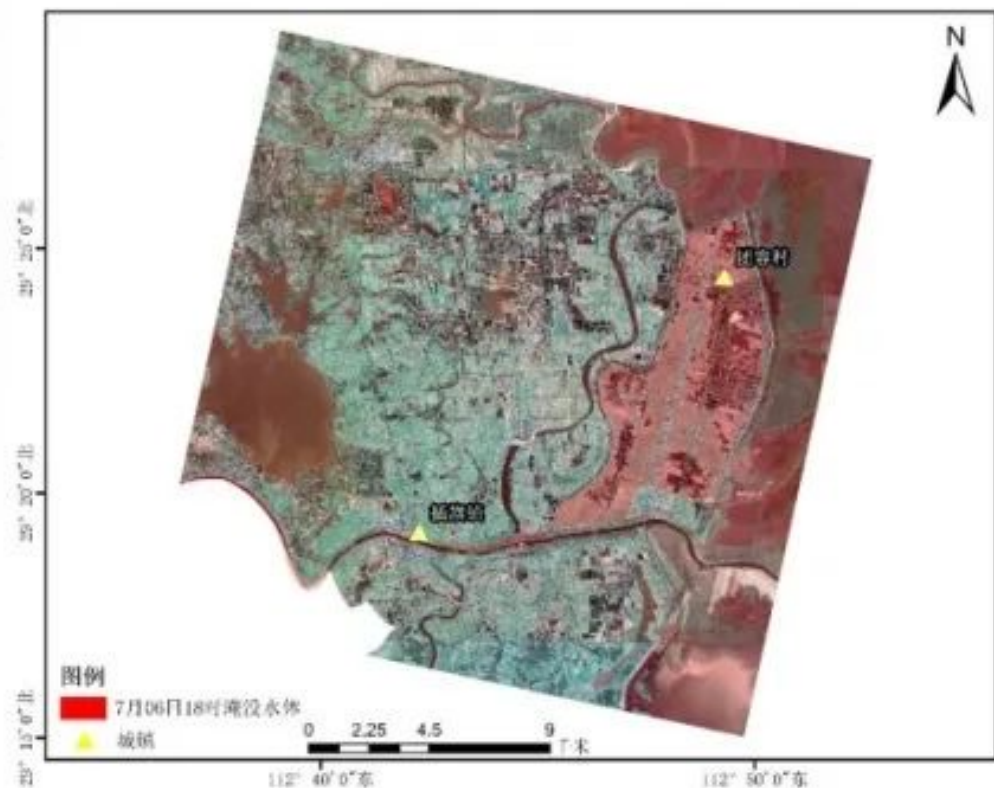
珞珈二号01星30秒视频 (苏伊士运河, 驳船靠岸)

国内首次实现星载视频SAR试验验证，对全天候运动目标检测和跟踪应用创新具有重要意义

遥感防汛-洞庭湖

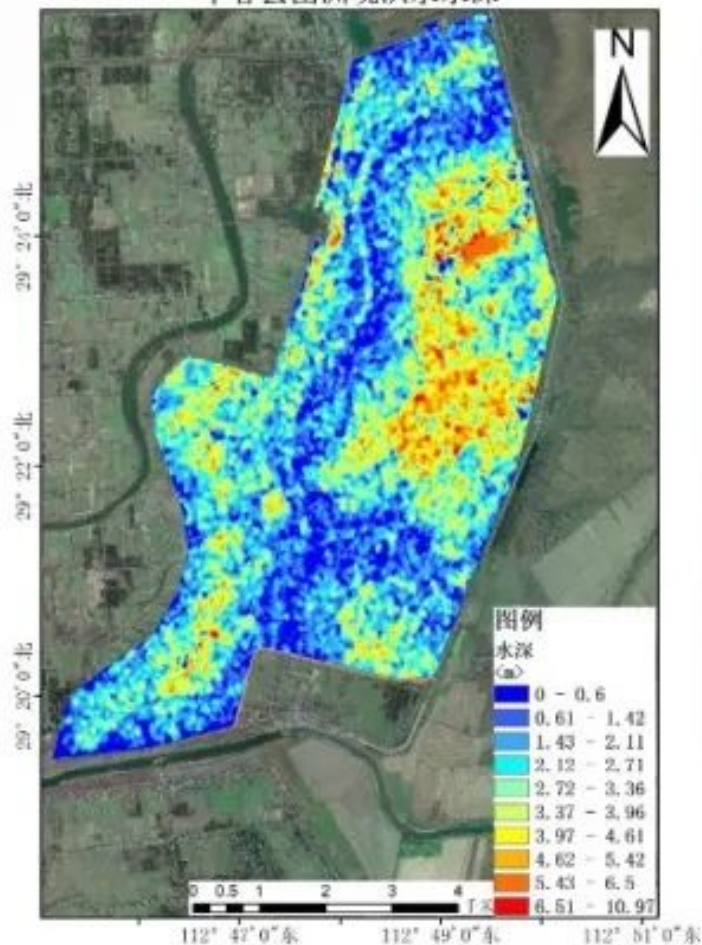
2024年7月5日16时管涌，7月5日17点48堤坝决堤，7月6日团容村附近出现大范围淹没，截至7月6日18时，**洪水淹没面积达47.63平方千米，水量达2.22亿立方米**

2024年7月6日18时洞庭湖洪水遥感监测图

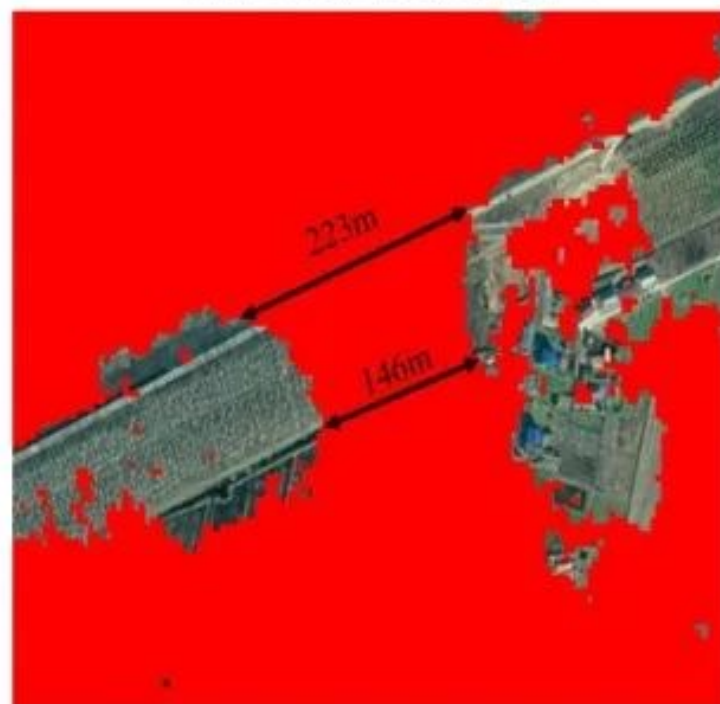


制图单位：武汉大学水利水电学院、武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室
高分辨率对地观测系统湖北数据与应用中心
SAR数据：国家航天局对地观测与数据中心（高分三号）

华容县团洲垸洪水水深



华容县洞庭湖堤防溃口

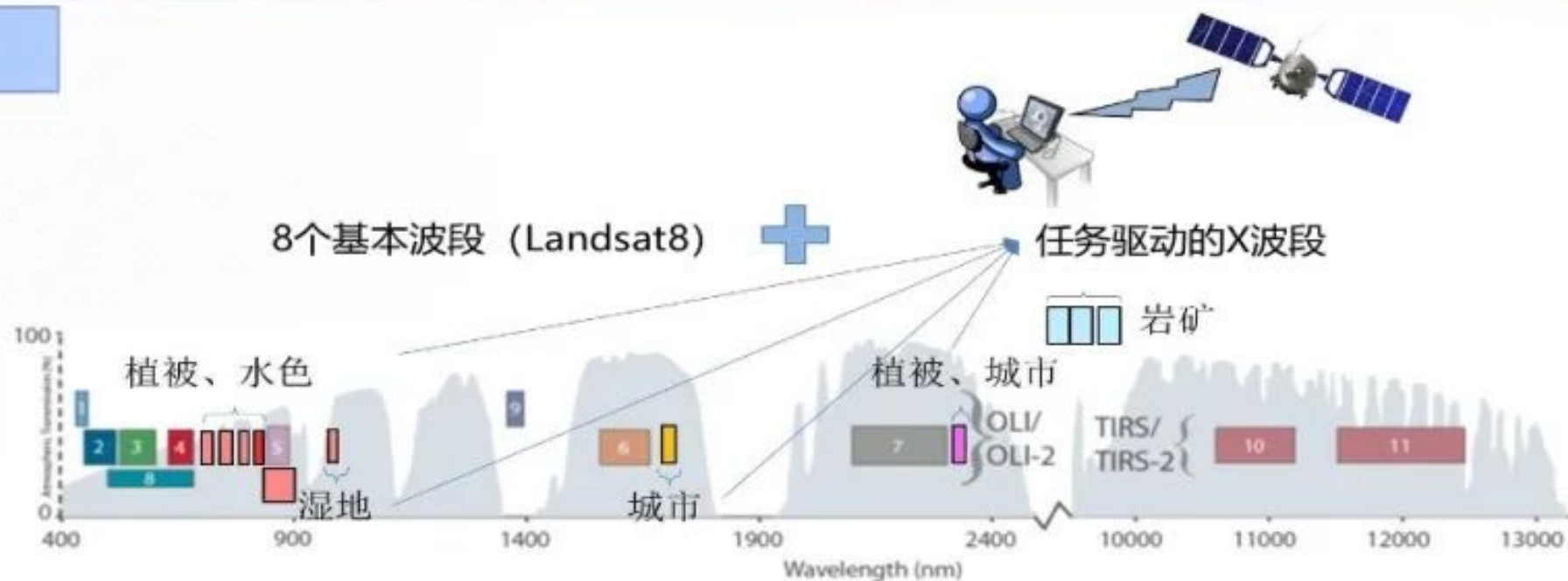


溃口 (112.82°E, 29.43°N)
呈喇叭形，上边缘宽223m，下
缘宽146m

高几何高光谱小卫星-东方慧眼光谱OSE-01/02星

东方慧眼高光谱卫星

特色



对标国际一流光谱型遥感卫星 (Sentinel-2/LandSat-9/LandSat Next)

- ✓ 轨道相似性: 轨道相似 (780km冻结SSO), 双星5天全球重访
- ✓ 光谱兼容性: 光谱谱段兼容, 数据处理更容易
- ✓ 指标先进性: 谱段更多、分辨率更高、幅宽更大、重量更轻
- ✓ 应用广泛性: 支持白天高光谱+夜光; 支持可见光+短波红外; 支持海洋成像

高光谱卫星方案

参数	Sentin-2A/2B	LandSat-8/9	OSE-HS01/02
轨道	786km	705km	786km
星座	双星等相位部署		
幅宽	290km	185km	300km
分辨率	10m/20m/60m	15m/30m/100m	5m/20m
谱段	4 / 6 / 3	1 / 9 / 1	17 / 5
数据速率	1.36Gbps	440Mbps	28Gbps
数传速率	450Mbps	384Mbps	2×900Mbps
重量	1200kg	1512kg	~230kg
双星全球区域覆盖能力	5天	8天	5天
AI	无	无	支持
星座部署方式	2A: 2015.6.23 2B: 2017.2.7	L8: 2013.2.11 L9: 2021.9.27	2024.6前 一箭双星
寿命	D7年/R12年	D5年/R10年	D5年

报告内容

1. 新质生产力与时空智能

2. 空天时空智能：无所不在的PNT与PNTRC

3. 空地时空智能：无人机与移动测量机器人

4. 水面水下时空智能：传感网与无人舰艇

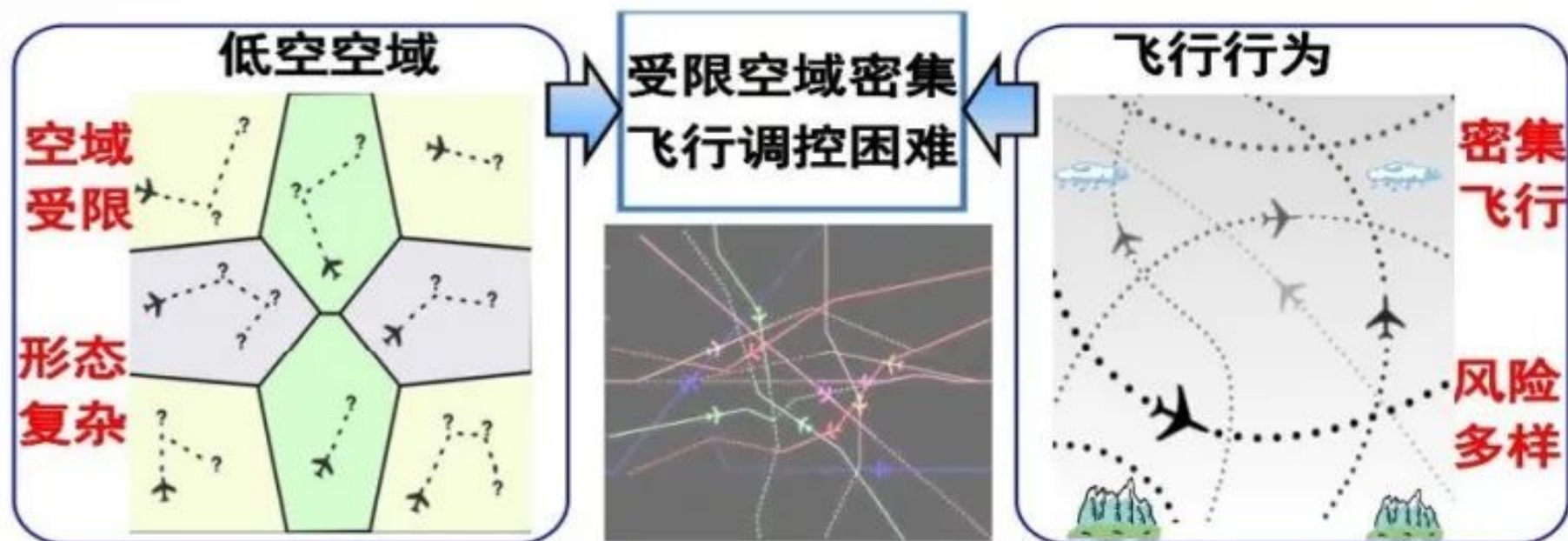
5. 深空时空智能：月球与火星智能探测

6. 结束语

低空区域飞行器密集飞行协同控制

导航信号的协同增强定位方法

- 基于飞行性能判定与推演的碰撞风险评价
- 低空飞行器航迹规划方法
- 复杂环境下的协同控制与快速避险策略



雷达自动目标识别（ATR）技术用于低空智能空管

◆ 雷达自动目标识别（ATR）技术促使低空空域活动“看得见、呼得着、管得住”！

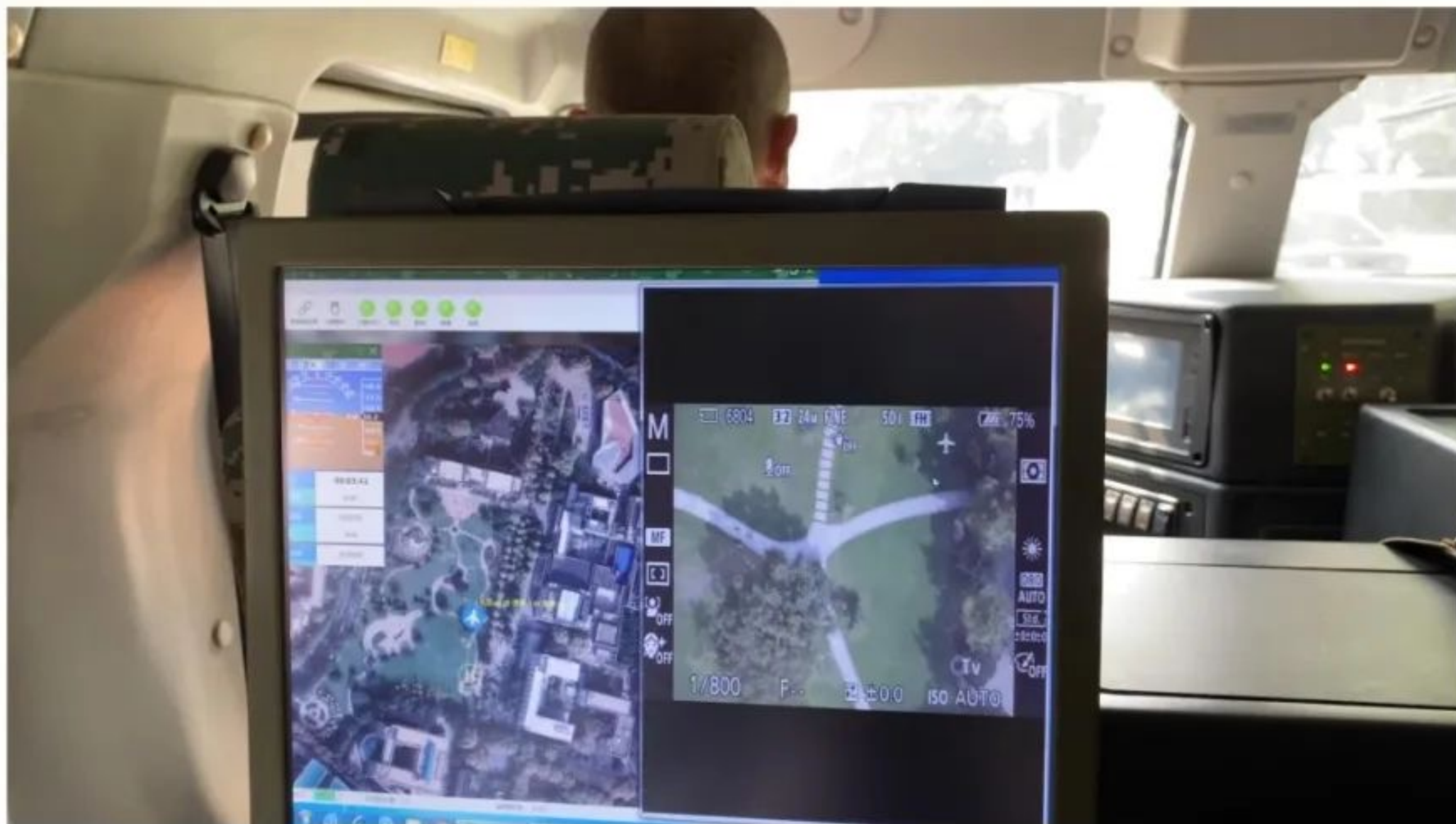


无人机与移动测量车组网集群系统

本系统包含了移动测量车和无人机设备，无人机放在车辆后备厢中，车内配备了两台高性能计算机，一台用于实时监控无人机数据，另一台用于实时监控车载采集数据。作业时将车辆开到指定区域，将无人机展开升空，采集过程中因为地面物体遮挡导致车辆无法采集的地方，可用无人机从空中进行同步采集，达到面向城镇三维无缝全息时空信息精准快速获取的能力。



武大校园——车机组网实时采集作业视频



空地协同无人系统

CCTV.com 央视

大家都在搜

登录 | 注册 | 客服 | 返回央视网 >>

PC客户端 手机客户端

首页 直播 节目单 频道大全 栏目大全 片库 专题 主持人

无人机:

- (1) **实时构图**和提取路网
- (2) 目标识别与**定位追踪**
- (3) 将路网、真目标动态定位结果实时传输给无人车。

无人车:

利用路网文件、真目标的动态位置文件, 进行路径规划, **自主拦截真目标**, 对真目标越境行径进行多张清晰的拍照取证, 传输到指挥中心。

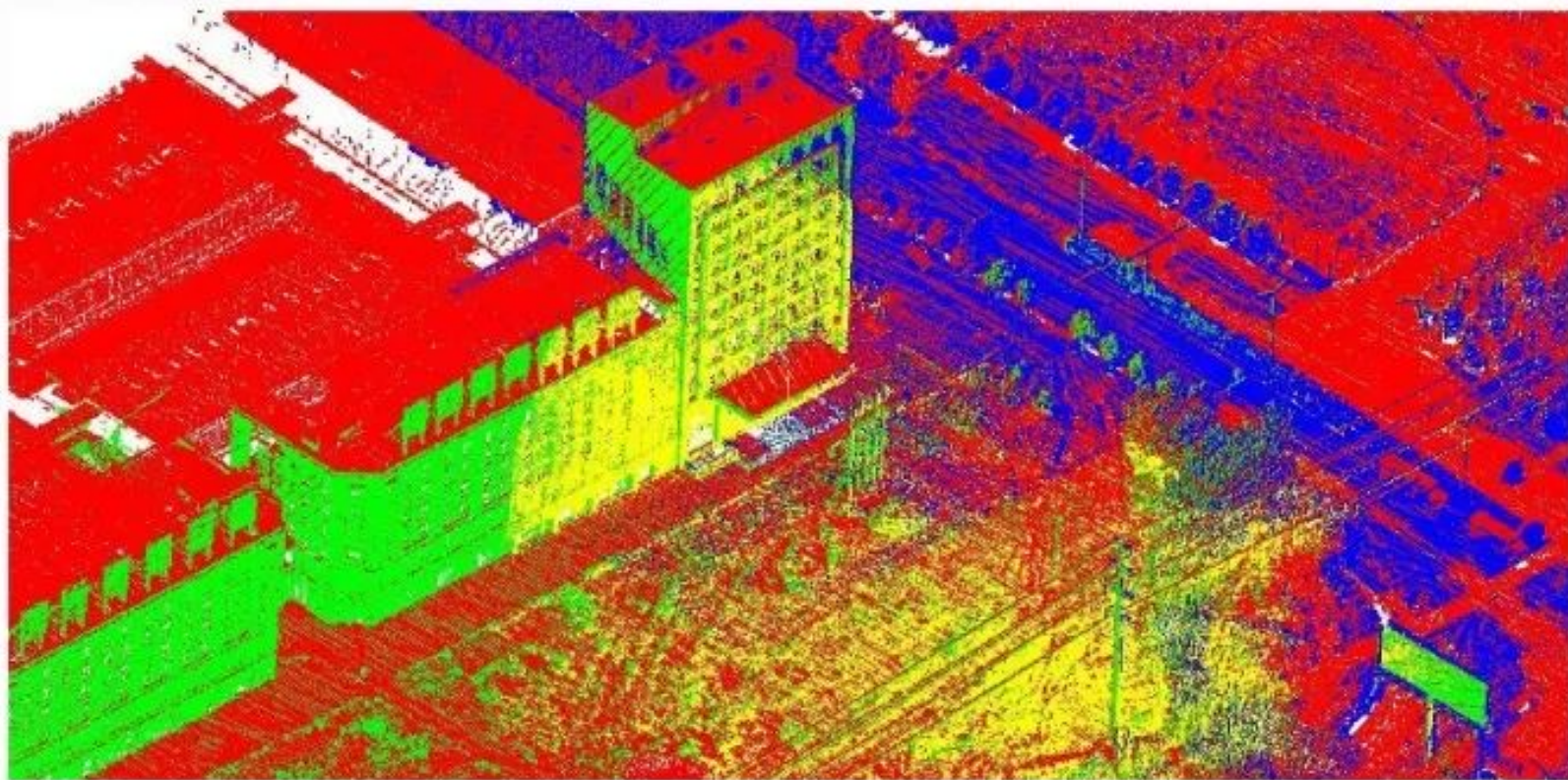
执行完任务, 无人车和无人机返回指定起点。



获得CCTV13新闻直播间的1分钟报道

多源点云数据融合

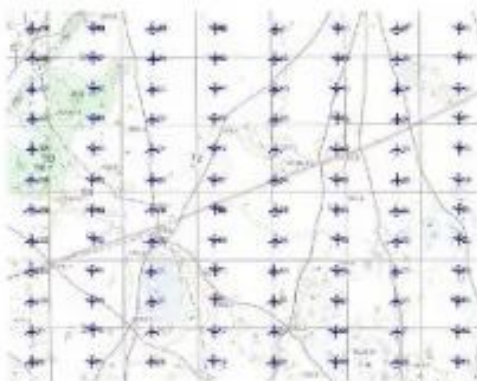
□ 机载、地面站、车载和背包点云高精度融合，融合精度达0.03m。



多源城市空间信息数据高精度融合

(红色、绿色、蓝色、黄色分别为机载、地面站、车载和背包采集的点云)

灾害应急无人机数据自动变化检测



无人机应急起飞



实时传回灾害现场图片



实时匹配1秒/景
生产正射产品



15秒目标变化检测



三维实时
展示



传至灾害应急指挥大厅

远程无人机自动感知系统

已迭代研发3代无人机机巢，可以实现无人机在野外环境下一键收发、自动规划、自动采集、自动存储、自动充电、远程通信。

科技部国家遥感中心无人机第二届无人机遥感比测第一名
高分无人飞行器智能感知技术竞赛 (RoboMaster赛)

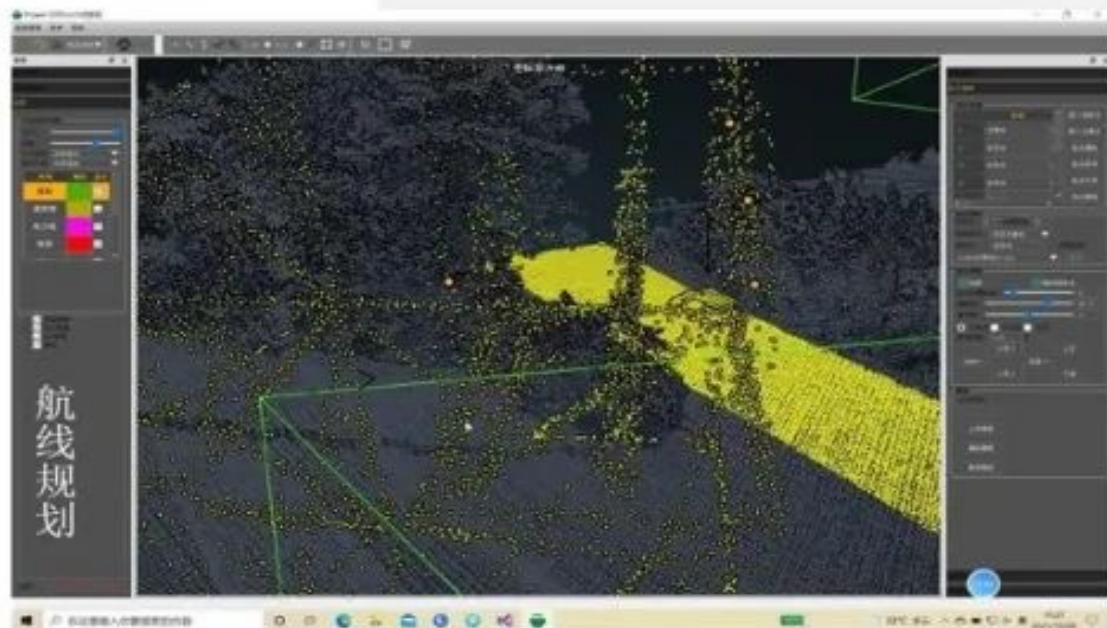
2018年线上赛第三名

2020年仿真赛第一名，真机赛第三名

2023年仿真赛第一名

已经在以下部门和单位进行应用：

中国南方电网有限责任公司超高压输电公司柳州局、
中国南方电网有限责任公司超高压输电公司百色局、
中国南方电网有限责任公司超高压输电公司惠州局、
长江流域生态环境监测与科学研究中心等等



机巢重量不大于40Kg，不大于1*1*0.6米，功耗不大于800W

复杂构筑物无人机集群精细测图

桥梁建模效果

精模



粗模



模型完整性与精细度的显著提升，达到毫米级精度

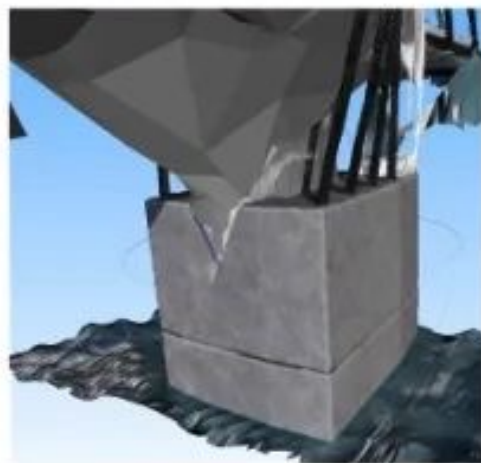
复杂构筑物无人机集群精细测图

桥梁建模效果

精模



粗模

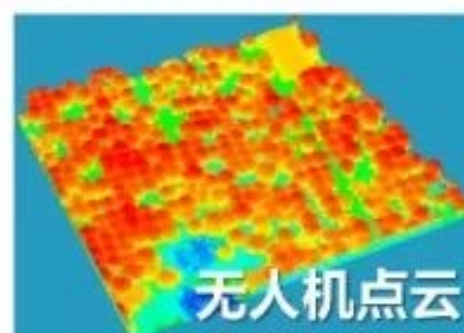
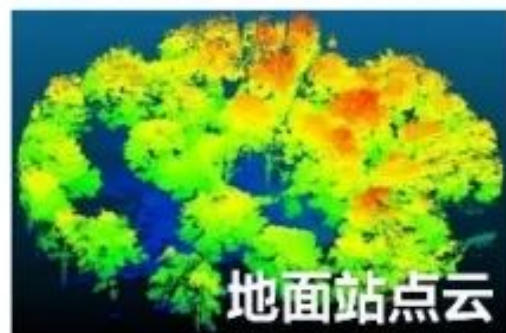
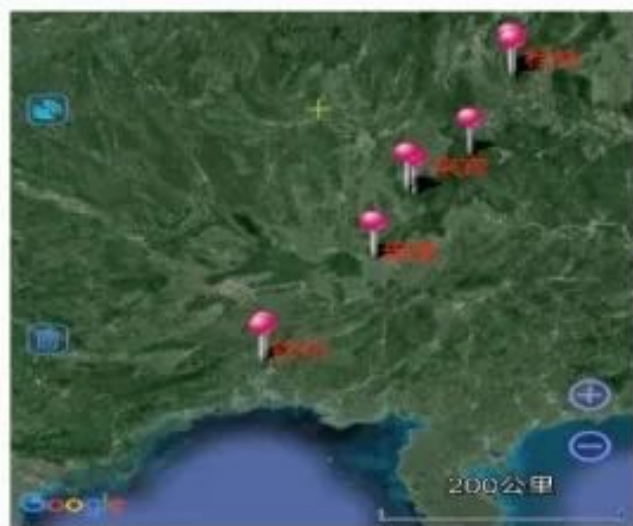


结构完善，细节清晰

融合空中/地面实时视频的“动态一张图”



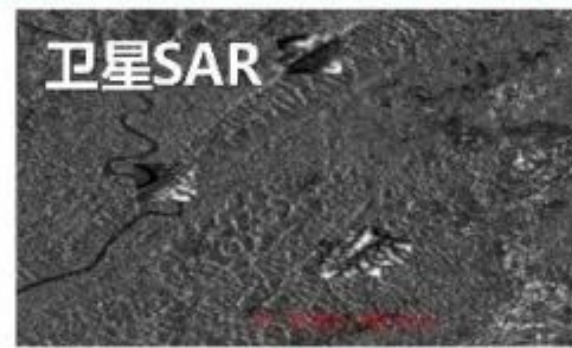
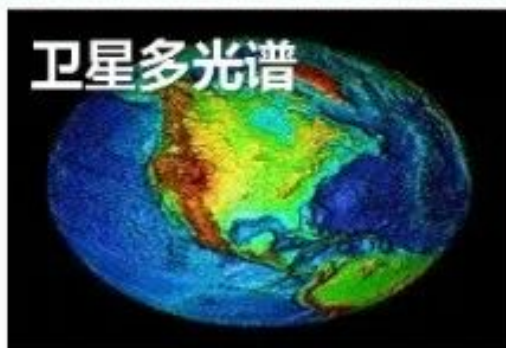
森林样地碳储量计量



胸径
&
树高
&
冠幅



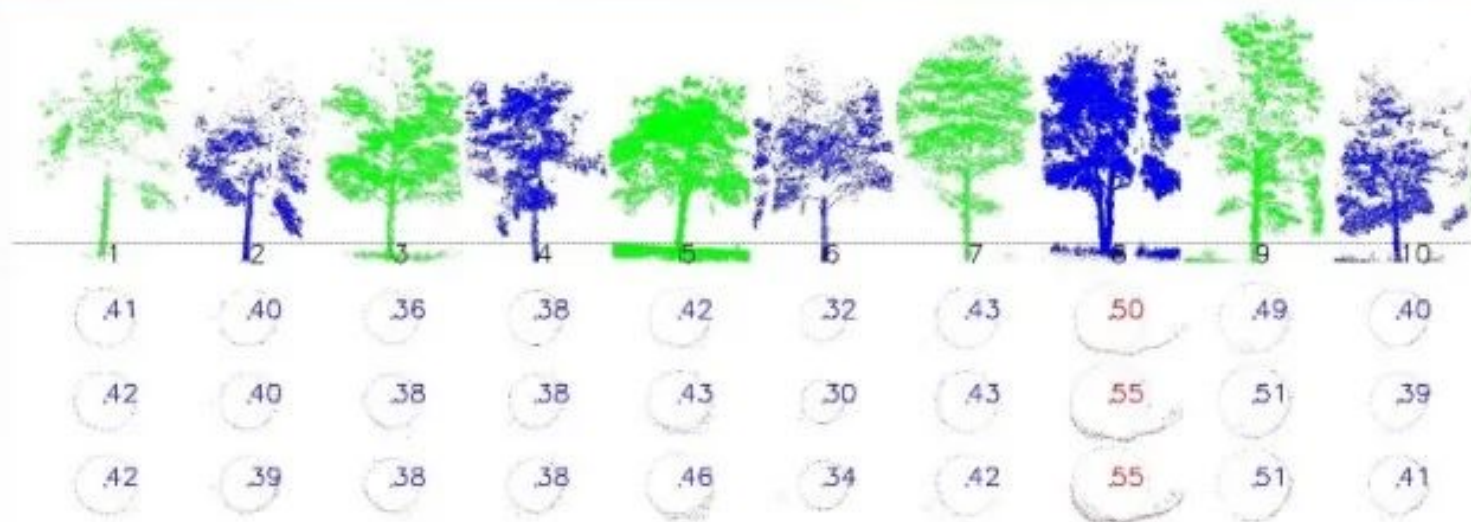
树龄



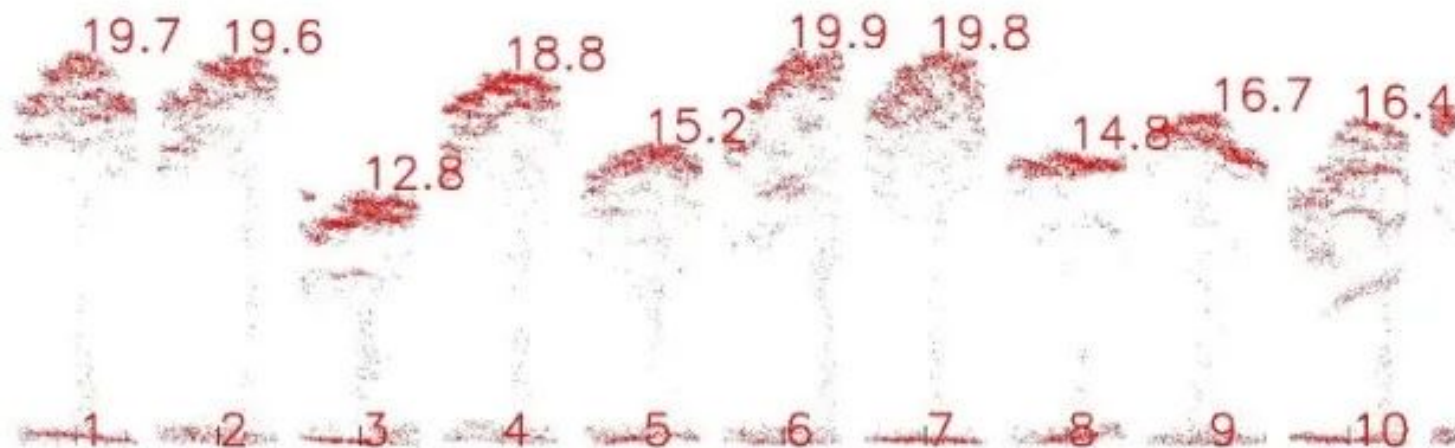
森林样地碳储量计量

$$C = c_1 \cdot D^{c_2} \cdot H^{c_3}$$

↓ ↓ ↓
单木 胸 树
碳储量 径 高



地面站点云胸径参数获取

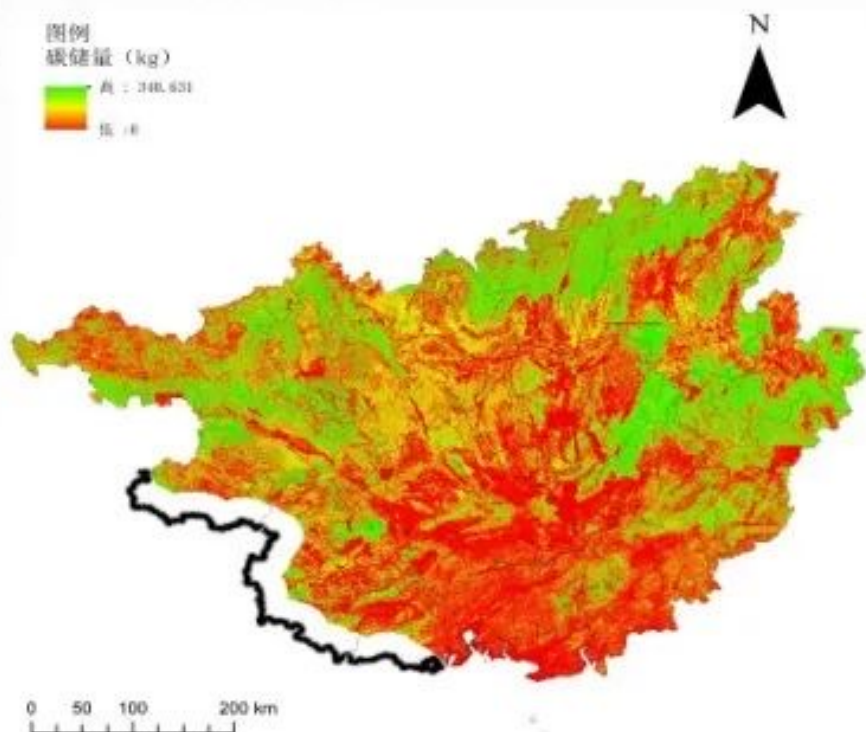


无人机点云树高参数获取

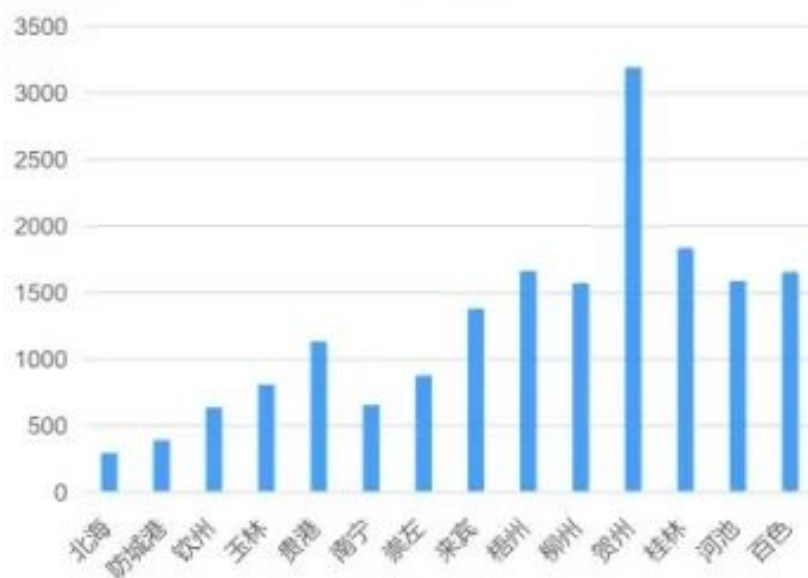
森林样地碳储量计量

全球首个20万平方公里量级2米分辨率森林碳储量制图

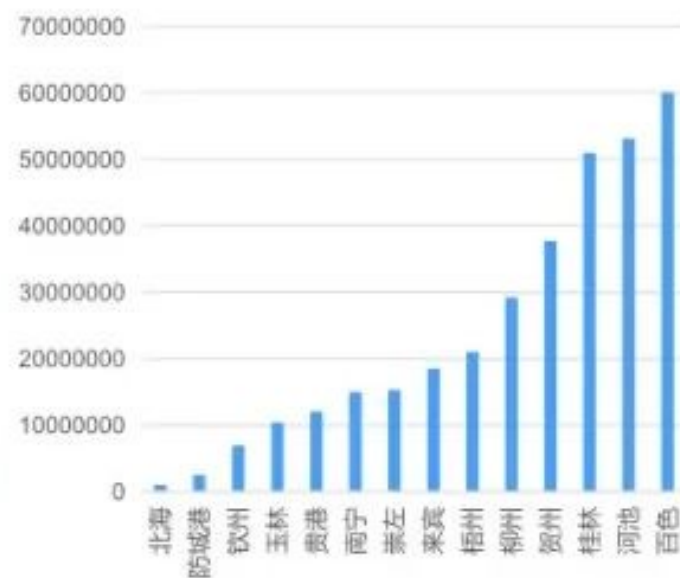
● 武汉大学 ● 广西壮族自治区自然资源遥感院 ● 中国—东盟卫星遥感应用联合研究中心



广西各市森林植被碳储量密度统计图
(Mg/km²)



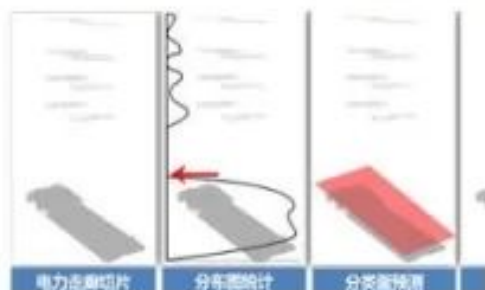
广西各市森林植被碳储量统计图
(Mg)



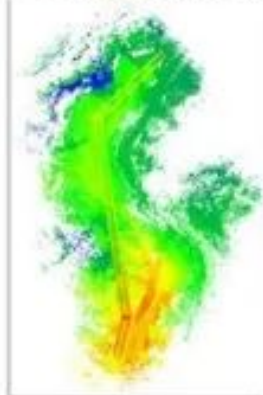
数字孪生的智慧电网

建立了电力走廊多要素的精准定位、识别与建模以及3D空间关系计算模型一体化的软硬件系统，解决了电力走廊安全风险的定位和预警

LiDAR诊断子系统 倾斜摄影诊断子系统



1 电力走廊点云分类



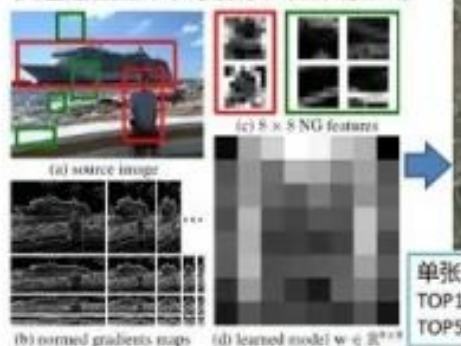
2 杆塔定位

4 悬链线



1 深度学习绝缘子自动识别 (RCNN : BING+CNN)

快速定位图片中可能存在物体的区域



2 周期区域连通性爆片位置检测



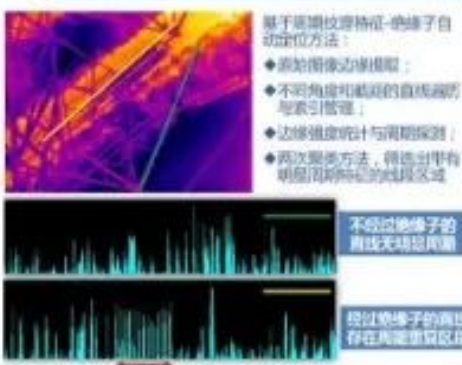
悬链线拟合

红外热成像诊断子系统

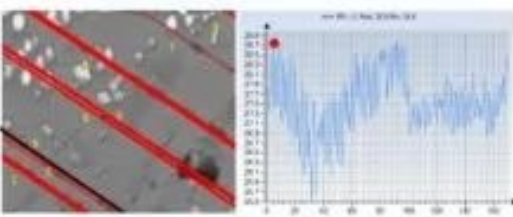
1 复杂背景下的输电线识别



2 复杂背景下的绝缘子串识别



3 输电线/绝缘子发热故障探测



■ 表面温度判别法：最大值为28.8摄氏度
■ 相对温差判别法：
$$\frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} = \frac{\text{最高温度} - \text{最低温度}}{\text{最高温度} - \text{环境温度}} = \frac{28.8 - 27.1}{28.8 - 15} = 12.32\%$$

用于智慧电网的电力巡检机器人

电力巡检机器人能够实现对变电、输电、配电设备进行全天时、全方位、全自主智能巡检和安全防护，包括自动巡逻、智能读表、图像识别、红外测温、实时视频回传等功能，以人工智能先进化手段代替传统人工完成电站巡检及设备查明工作，降低人员安全风险，保障电网本质安全，提升电网智能化巡检技术水平。

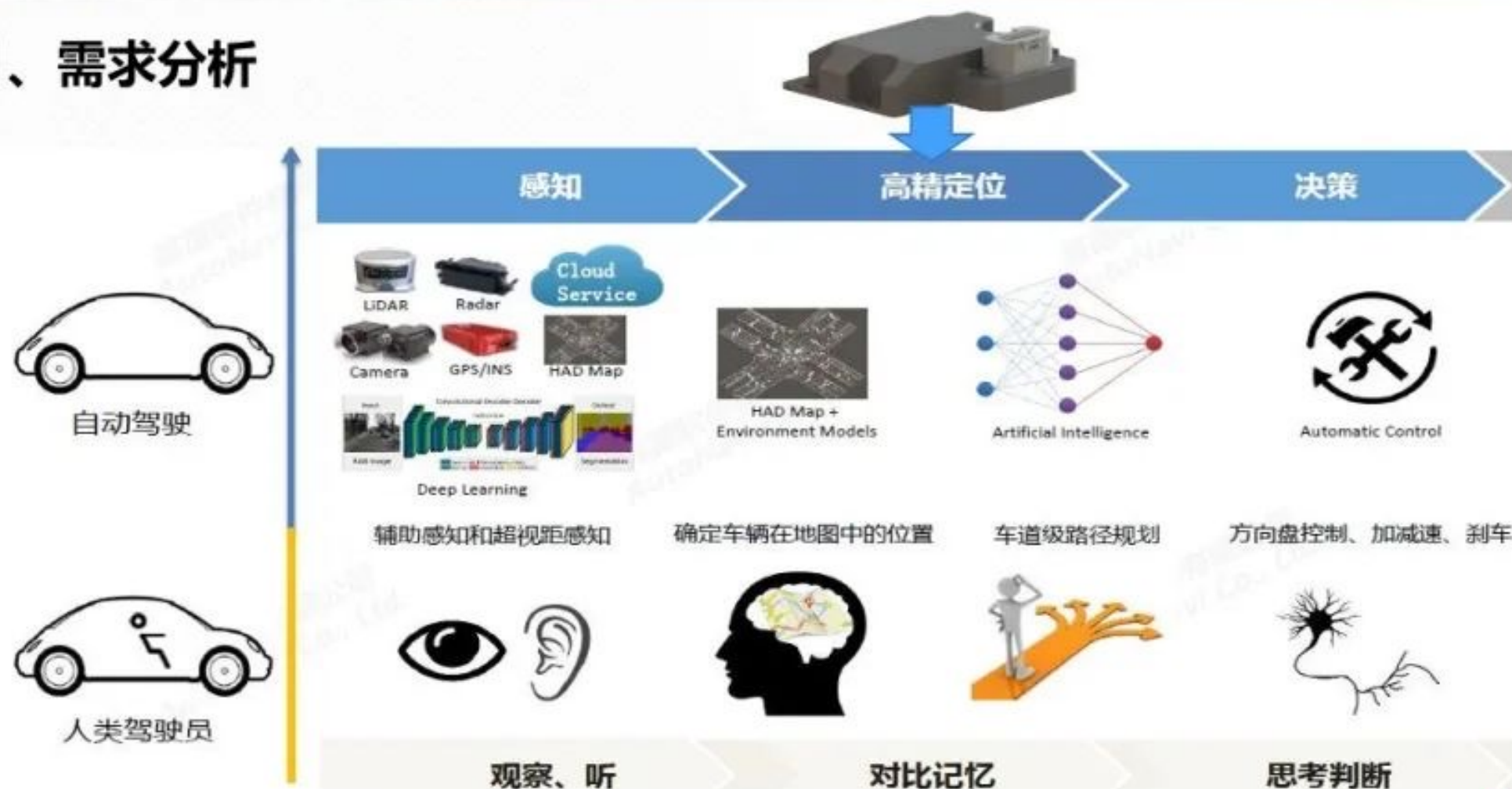


变电站巡检机器人（大场景）



智能、自动驾驶与移动机器人产业

1、需求分析



智能汽车面向复杂的城市使用场景（建筑物遮挡、隧道、地下车库），需要高精度、**高可靠**解决“**最后一公里**”的问题

智能汽车高性能定位测姿光器件重点解决高精度定位问题，同时提升多源数据融合性能

无人车产品与应用

特殊行业机器人



无人运输平台



自动驾驶与实时感知

L4等级的智能驾驶即将在**量产车型**上实现，实现城市峡谷，地下车库等**复杂条件**下最后一公里的自动驾驶！

视频为上汽某车型



立得公司与东风汽车合作的自动驾驶业务

2019年3月16日，全国春季农业生产暨农业机械化转型升级工作会，胡春华副总理莅临东风井关检查指导工作。



立得公司与东风汽车合作研发物流机器人，可以按路径规划和作业要求，精确地执行并停靠到指定地点，完成一系列作业功能，具有安全保护以及各种移载功能。



立得公司无人驾驶物流机器人“运霸”



导航方式：3D激光导航

定位导航精度：10cm

定点停靠精度： $\leq 10\text{cm}$

主动避障触发范围： $\geq 0.5\text{m}$

载重：300kg

满载牵引量：1.4T

行驶最大速度：18km/h

续航时间：8小时

粮仓进出仓运输与仓库自动管理



卸车入库

无人驾驶车到达卸货点后，拖斗自动翻斗，将粮食卸入料斗中，漏斗中粮食经过输送机，输送到粮仓



卸船装车

无人驾驶车车辆到达码头之后，通知开始卸货装车，抓取机自动装粮，装粮完成之后，无人驾驶车辆拖着拖斗去称重。



称重计费

无人驾驶车经过地磅，称重计费，将信息上传至结算系统。

产品三：
机器人
物流运输

“天空地”一体化林草感知监测

“天空地”立体监测网：集成卫星通信实现远距离传输

高通量卫星通信系统相较于传统卫星通信具有**通信容量大、速率高、抗干扰**的特点，可支撑更广阔地理区域下更快速的通信。在西藏格拉丹东区域部署了一套超远距离高清动物监测仪、高通量卫星等设备，实现了对旗舰动物、冰川及水源的**实时感知监测**。

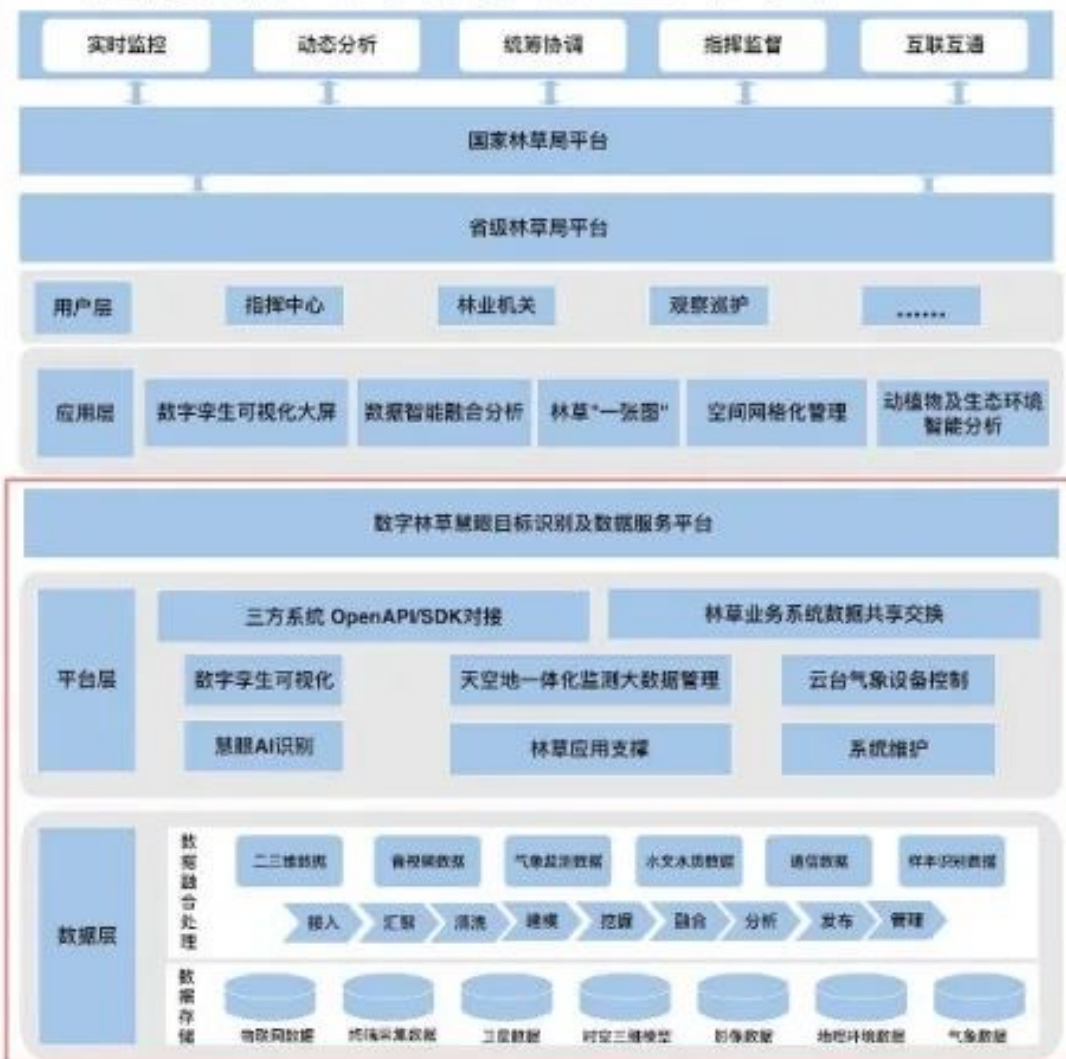
- 三江源国家公园中第一次采用高通量卫星进行监测画面实时传输
- 国家林草局指挥中心第一次接收高通量卫星传输的实时画面





“天空地”一体化林草感知监测

4 智慧林草数字孪生平台



通过数字空间编码对各类林草监测设备进行精细网格管理，建立唯一性标识。将各类监测设备与“3DGIS”模型进行叠合，打造数字孪生国家公园的“身体和神经网络”，平台提供超远距离视频监控、“天空地”一体化多源数据融合分析、动植物及生态环境智能分析、可视化大屏展示等系统，实现国家公园全时空、全方位的感知监测和管理。



图1.时空数据分布



图3.视频数量统计



图2.动物活动节律



图4.种群活跃趋势

Autonomous Under Canopy UAV Forest 3D Mapping

全自动无人机林间三维测绘系统



M-SpaceLab
MULTI-SENSING PERCEPTION AND CONSCIOUSNESS



惯性测量：国际首创漂流式管网检测胶囊机器人

8cm

15cm



胶囊硬件构成



光流计



MEMS
惯导



WiFi
芯片



散热
片



存储
卡

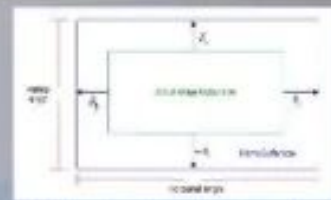


鱼眼
相机

结构与算法设计

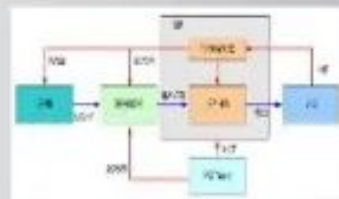


巧妙的结构设计



DIS防抖六自由度算法

图像处理及运行效果



ISP图像处理



实际运行效果

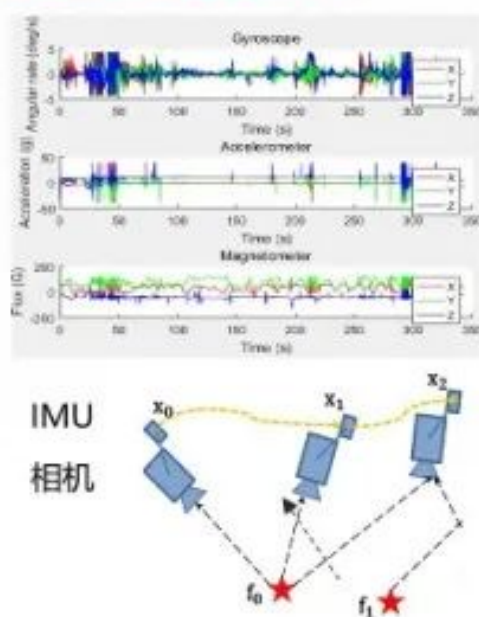
研制了有水服役工况下低成本、作业便捷的大范围高效普检设备

惯性测量：漂流式排水管道内部变化检测新方法

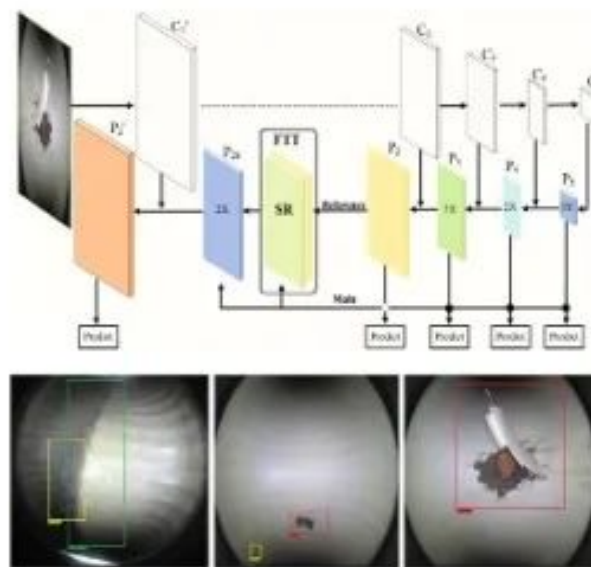
提出惯性辅助大畸变图像可靠配准和三维建模方法，颠覆了传统控水清淤管道检测作业模式，实现管网病害智能分析，在深圳、武汉、合肥等十余城市应用



检测胶囊与手机APP



IMU+视觉+管井定位



DCNN模型病害自动识别



检测现场视频

研制管网病害定位、低质量图像智能处理等关键技术，实现规模应用

硬件产品：研发多种矿山无人系统装备并实现规模化工业应用

无人驾驶卡车端



域控制器

高性能嵌入式AI计算设备



车载电源

大功率、宽电压输入、升降压的车载稳压电源系统



定位导航

井下高精度导航定位设备



惯性导航

露天矿高精度组合导航设备



无线通信终端

以更快传输速度、更低延时与其他终端实现无线通信

其他车载端设备



协同作业终端

集V2X通讯、5G移动通讯、多模GNSS等功能于一体的车规级智能网联设备



授时同步服务器

NTP 授时服务功能，支持对多主机提供授时服务



有人车导航终端

支持单点定位，RTK定位，满足分米级定位需求

配套中心端设备



远程遥控座舱

产品覆盖日常监控、应急接管和远程作业三大类业务和自动驾驶、有人驾驶、安全作业与5G展示四大场景



智能点检终端

可满足科学的车辆设备巡检和点检。

基础设施设备



路侧单元

- 应用于露天矿山的交汇路口、装卸载区、山体遮挡盲区、停车区、破碎站等场景
- 可以解决单车环境感知局限、复杂路况混编行驶、动态环境实时监管等难点

亮点产品：研发矿山新能源无人系统机器人 载山CarMo

软件定义硬件，打造更安全、更经济、更高效、更智能的终端平台



全无人驾驶设计
全天候矿山无人驾驶运行

全方位感知融合

多场景控制模式

高精度组合定位

高性能底盘支持

平台化数字管理

- 电池电量 (kwh) : 525
- 最大爬坡能力: 35%
- 额定功率 (kw) : 450
- 最高车速 (km/h) : 40
- 外廓尺寸 (mm) : 8980×3550×3420
- 额定载质量 (kg) : 60000
- 转向形式: 电液转向
- 充电方式: 双枪快充

煤炭（露天）：应用全面覆盖煤炭行业四大能源集团，落地多个标杆矿区

无安全员状态下连续运行超过一年



国家能源集团 宝日希勒项目

- 世界首个极寒（-40℃以下）环境无人矿卡编组运行示范项目
- 世界首个5G SA独立组网露天煤矿无人驾驶项目
- 国内首个200吨级以上矿卡无人改造
- 国内首个全天候三班无人编组运行
- 国内首个矿卡无安全员编组运行
- 运行时速达到每小时40千米

5G+无人驾驶运输运营示范工程



新疆天池能源 将二矿项目

- 无人戈壁极端工况运输运营
- 近百台无人驾驶宽体车部署
- 7*24小时常态化无人驾驶运营
- 运输效率达人工效率92%
- 5G+无人驾驶运输运营示范工程

煤炭（露天）：应用全面覆盖煤炭行业四大能源集团，落地多个标杆矿区

山西省最大规模5G+无人驾驶智慧矿山项目



中煤集团 平朔项目

- 在安太堡煤矿建成国内首家智慧矿山测试示范基地
- 东露天煤矿“1+7+N”编排模式，实现采-运-排全流程无人化
- 国内真实作业场景下具备常态化编组运行能力的示范引领项目
- 东露天煤矿山西省最大规模5G+无人驾驶智慧矿山项目

极寒环境下的解决方案快速复制的第三个案例



中国华能 伊敏项目

- 复杂气候地区全天候无人驾驶项目
- 实现24小时三班倒连续作业
- 全工况条件下自动作业效率基本达到人工标准
- 充分发挥伊敏露天矿“煤电一体化”生产优势
- 多领域全面合作，具备全天候作业环境

煤炭（井下）：陆续落地国内首例、次例井下无人化项目，引领井下智能化开采

国内首例井工矿辅助运输设备无人驾驶项目



小保当5G+智慧矿区示范项目



国家能源集团 神东项目

- 实现车辆自动预警并主动减速
- 全面监测驾驶员状态、规范驾驶行为
- 实现车辆智能限速
- 实现车辆周围360度范围内的实时全景影像

陕煤集团 小保当项目

- 国内次例井工矿辅助运输设备无人驾驶项目
- 多源异构融合感知技术
- 多项技术研制的高精度组合定位系统
- 实现在无GPS信号环境中的大范围精准定位
- 适应井下巷道弱光照和水汽干扰工况

报告内容

1. 新质生产力与时空智能

2. 空天时空智能：无所不在的PNT与PNTRC

3. 空地时空智能：无人机与移动测量机器人

4. 水面水下时空智能：传感网与无人舰艇

5. 深空时空智能：月球与火星智能探测

6. 结束语

长江干流水质监测

利用水环境监测船开展长江在线监测巡航，搭载水质自动在线监测设备，协同无人荷载高光谱仪随船动态巡测，结合遥感卫星等多源平台实现星-机-地监测组网测试，获取同步数据支持高精度水质参数反演建模



星-机-地监测组网监测长江干流水质状况 (2020年10-12月)

遥感卫星监测

陆地资源 水环境
资源一号02D卫星、
吉林一号光谱星



无人机遥感监测

高光谱 热红外

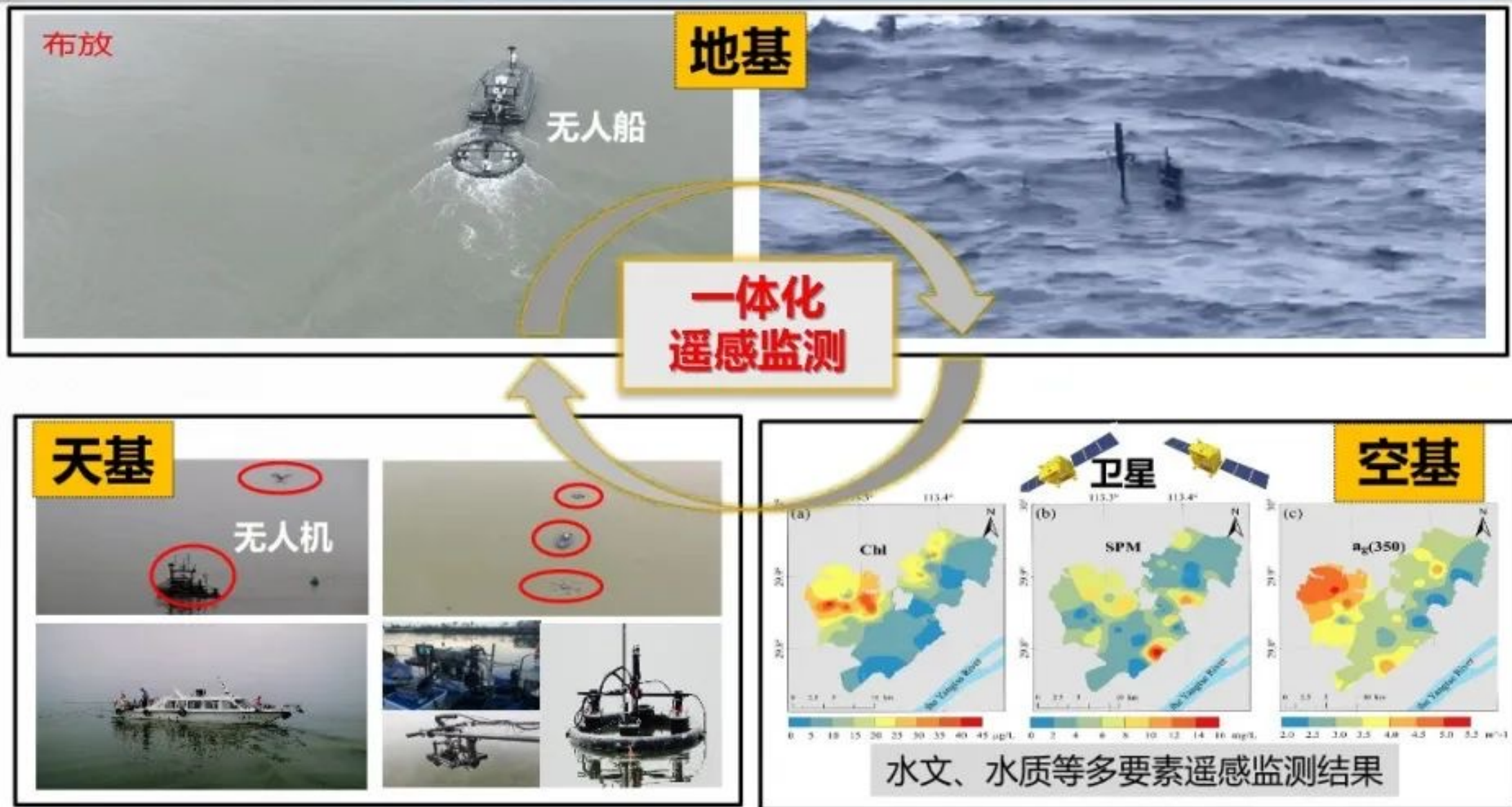


地面监测

原位人工 自动监测
近端高光谱

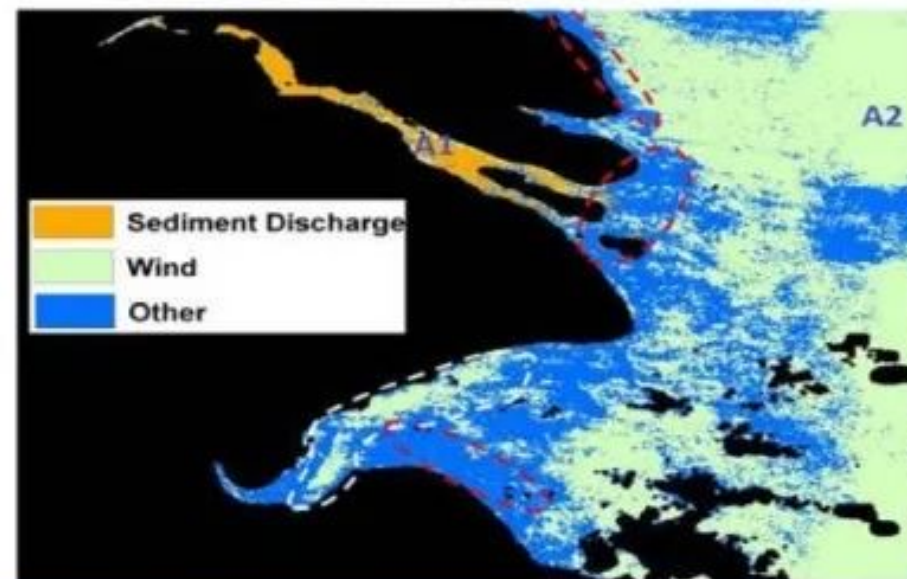
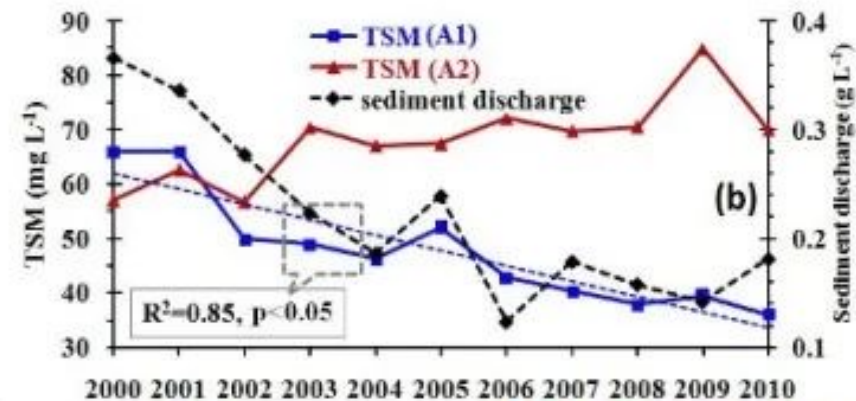
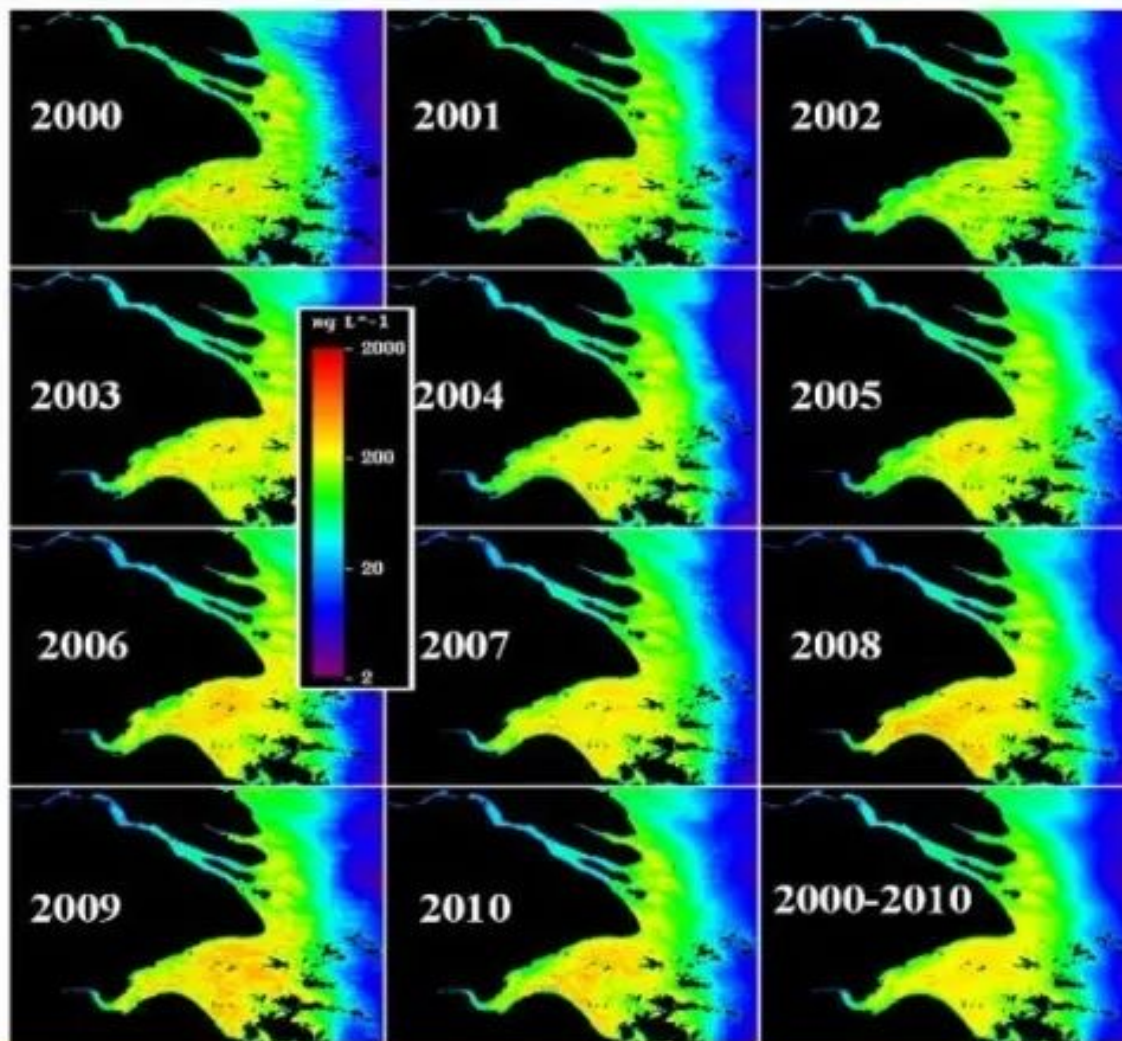
长江流域生态环境监督管理局
生态环境监测与科学研究中心，武汉大学

空天地海一体化水环境参数协同遥感监测



综合卫星与地面传感网监测信息，有可能实现高精度实时“无缝”协同监测

遥感水环境参数监测

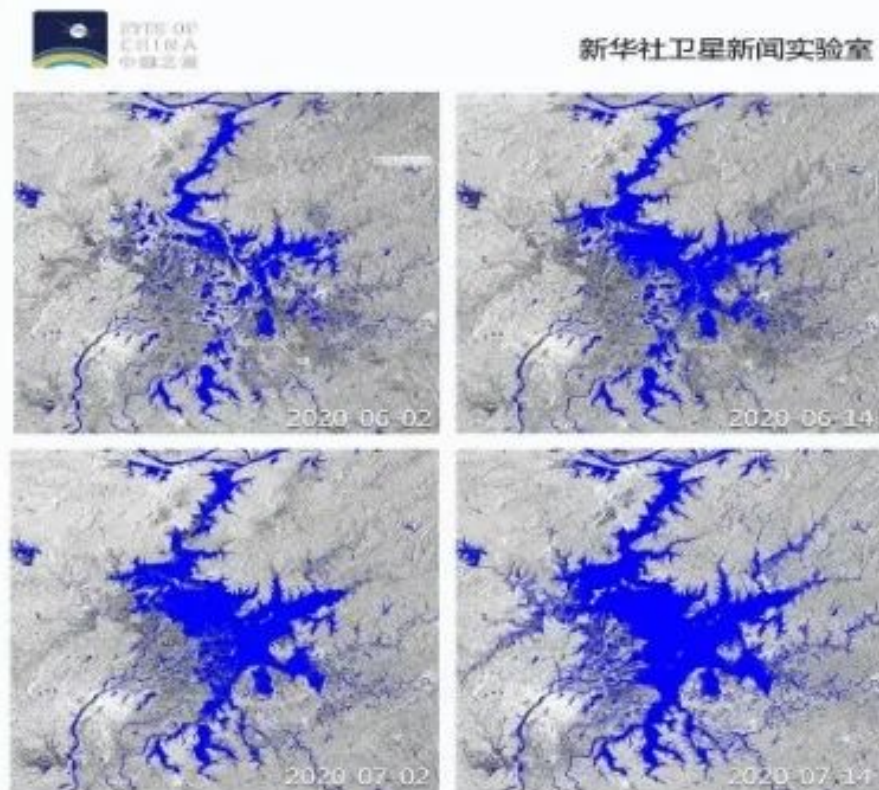


利用MODIS跟踪长江口泥沙动态，长江口泥沙格局受径流、风速、潮汐等多种因素共同影响，三峡工程对长江口悬浮浓度有减少的影响

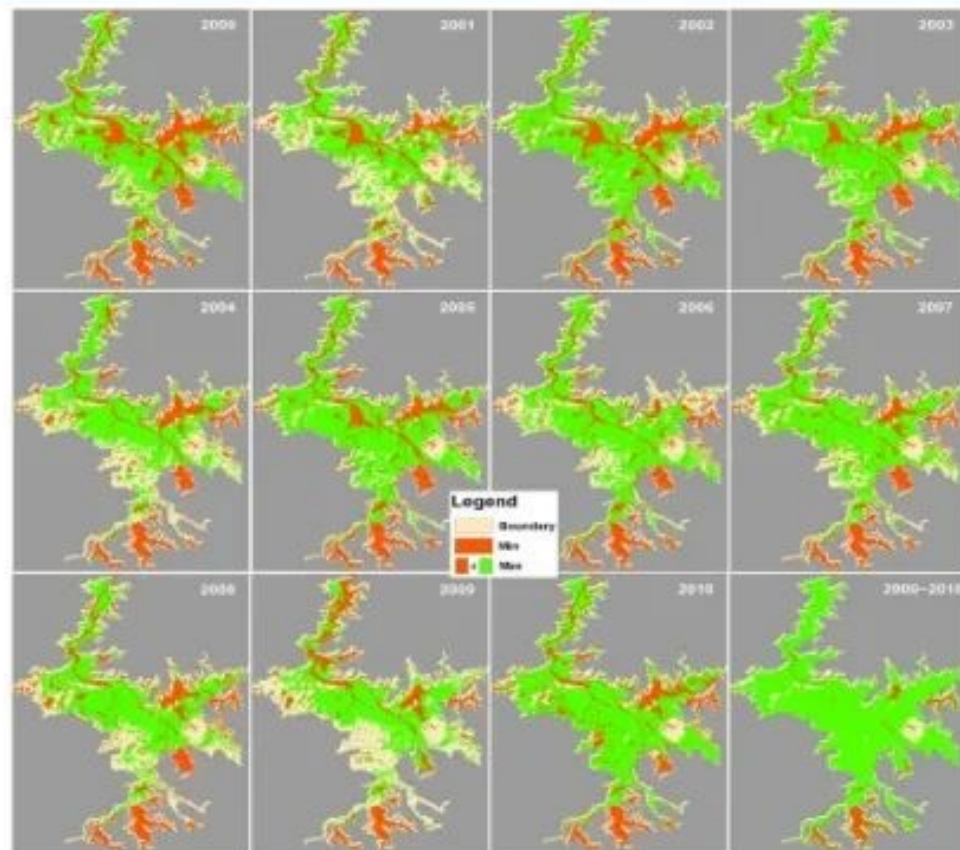
水灾害：水体范围&洪涝

- 遥感可持续跟踪水体范围变化情况，快速确定洪水淹没范围，为救援工作及防灾减灾提供科学依据

2000-2010鄱阳湖水体范围变化剧烈，最大淹没范围是最小淹没范围的**14倍**

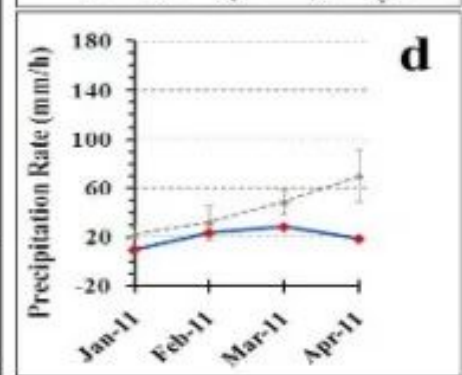
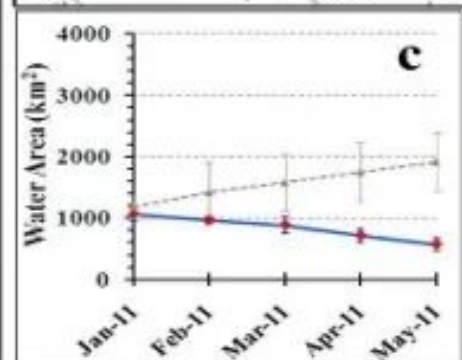
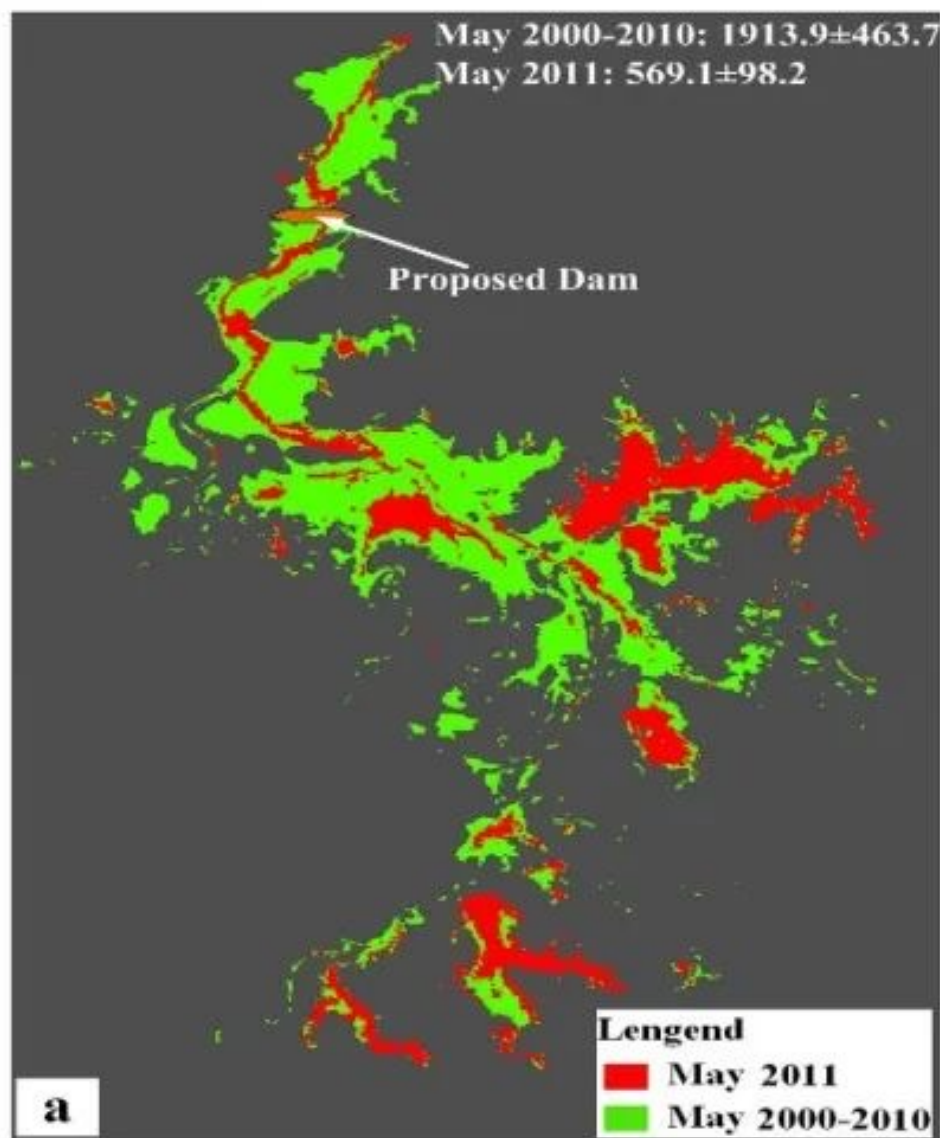


江西省鄱阳湖水域变化图



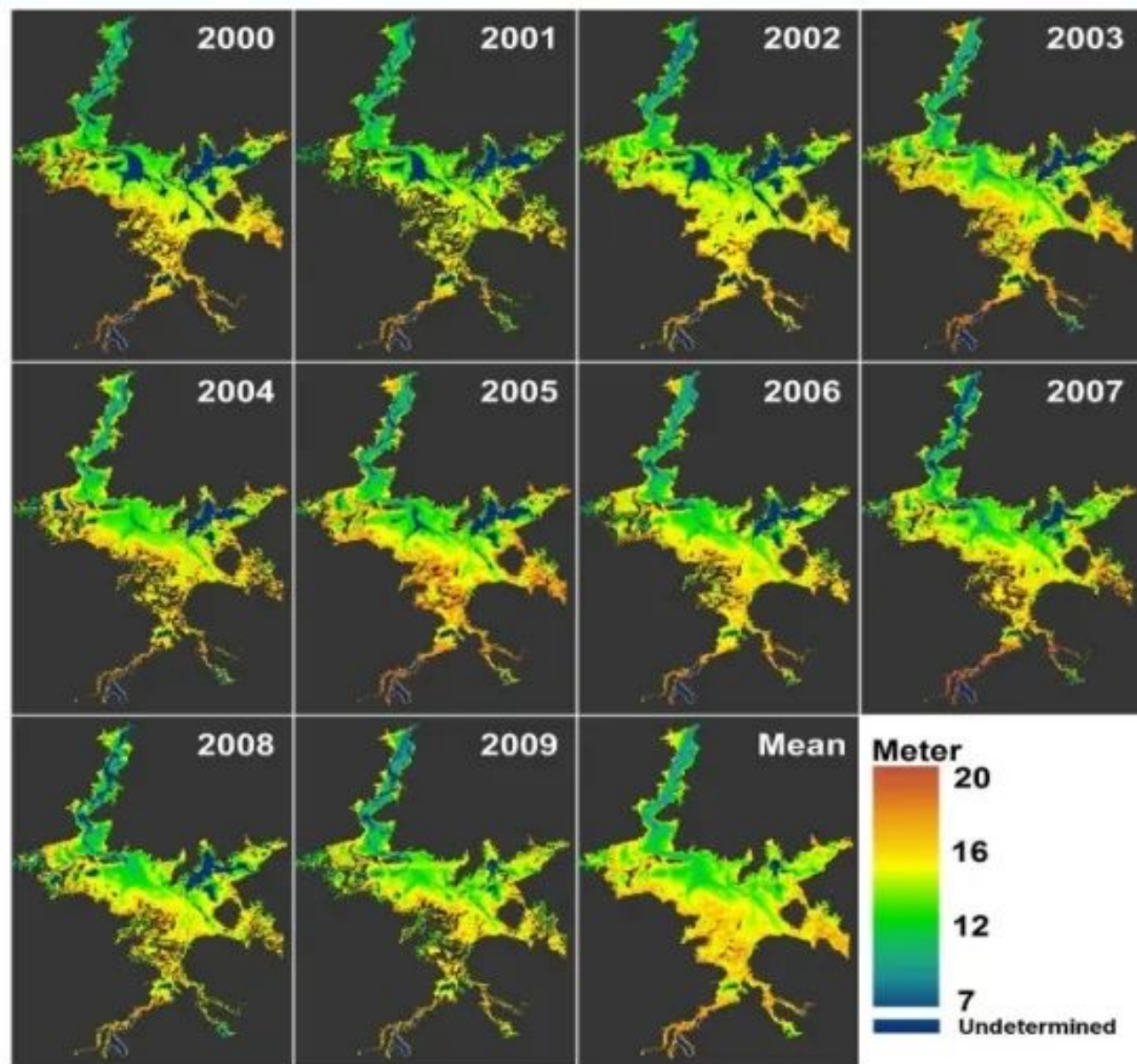
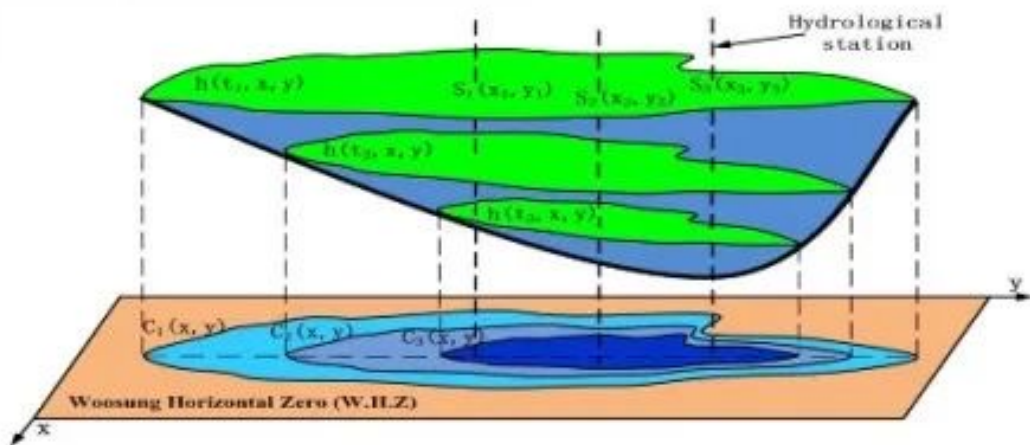
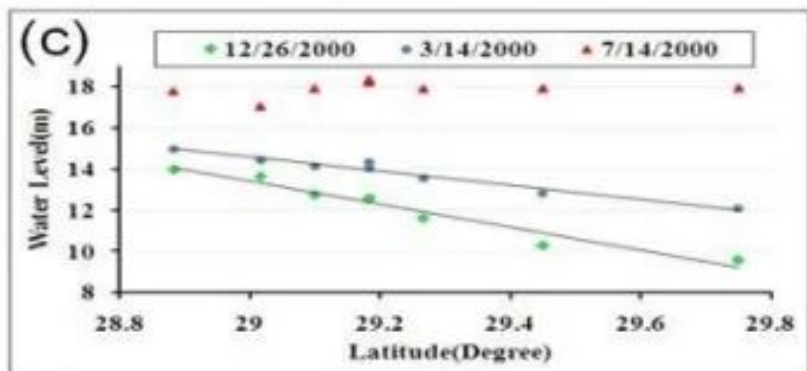
水灾害：水体范围&旱灾

- 水体范围的剧烈减少,从一定程度上能反映干旱的严重程度,可以支持旱灾评估,指导政府决策
- 以2000-2010年鄱阳湖淹没面积为基础,定量描述2011年5月鄱阳湖的重大干旱,结合其他数据分析表明当年大旱主要原因在于年初**降水的显著性减小**



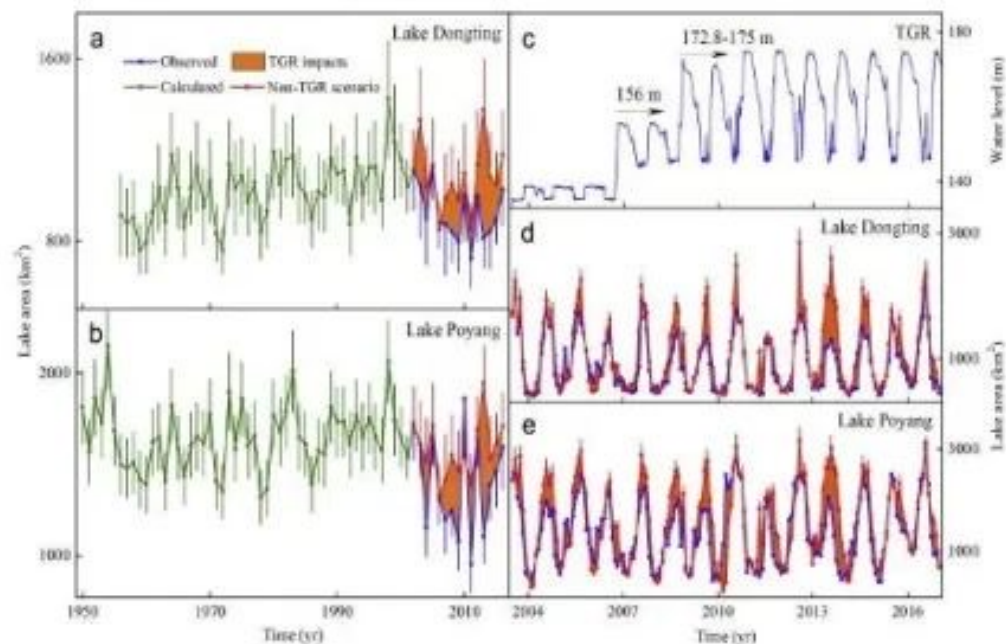
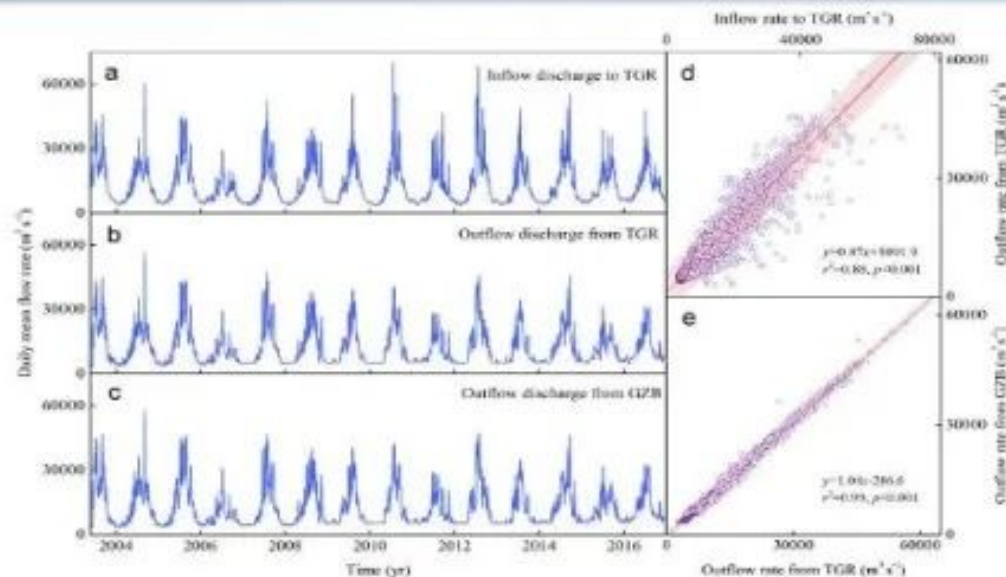
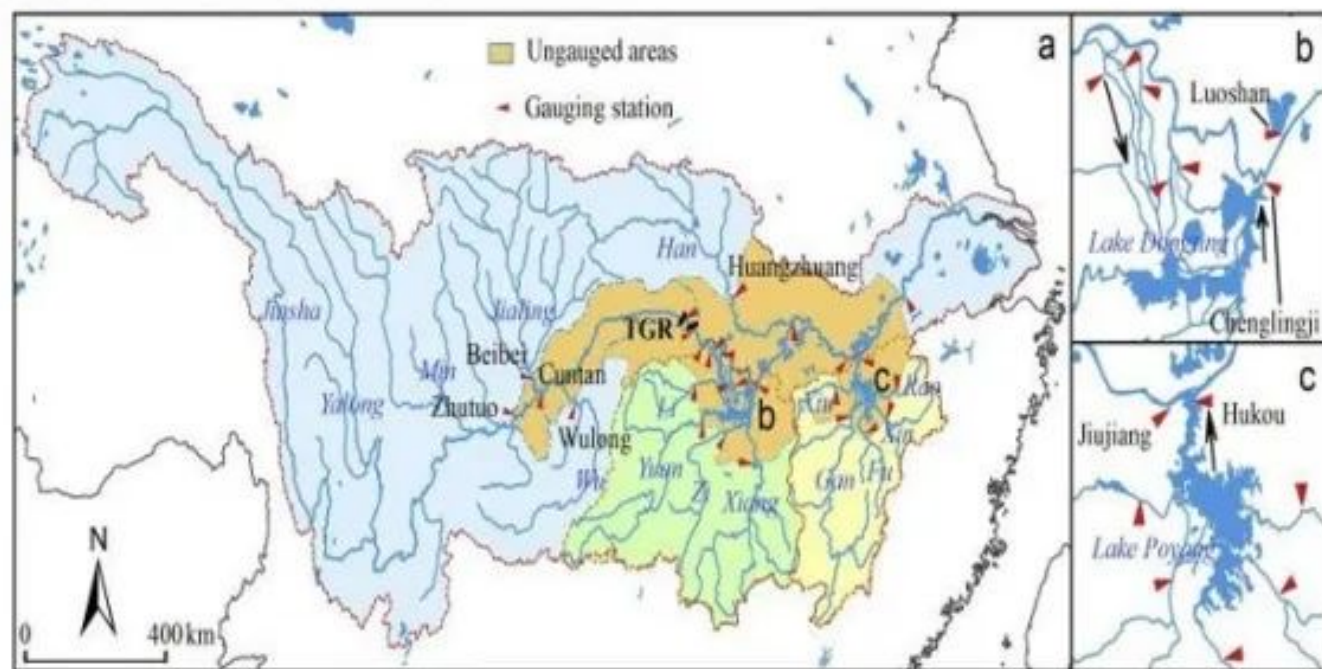
水资源：水底地形

2000-2009年间，卫星遥感监测显示鄱阳湖水底地形有**抬升**趋势，支持航道清淤与管理等政府决策



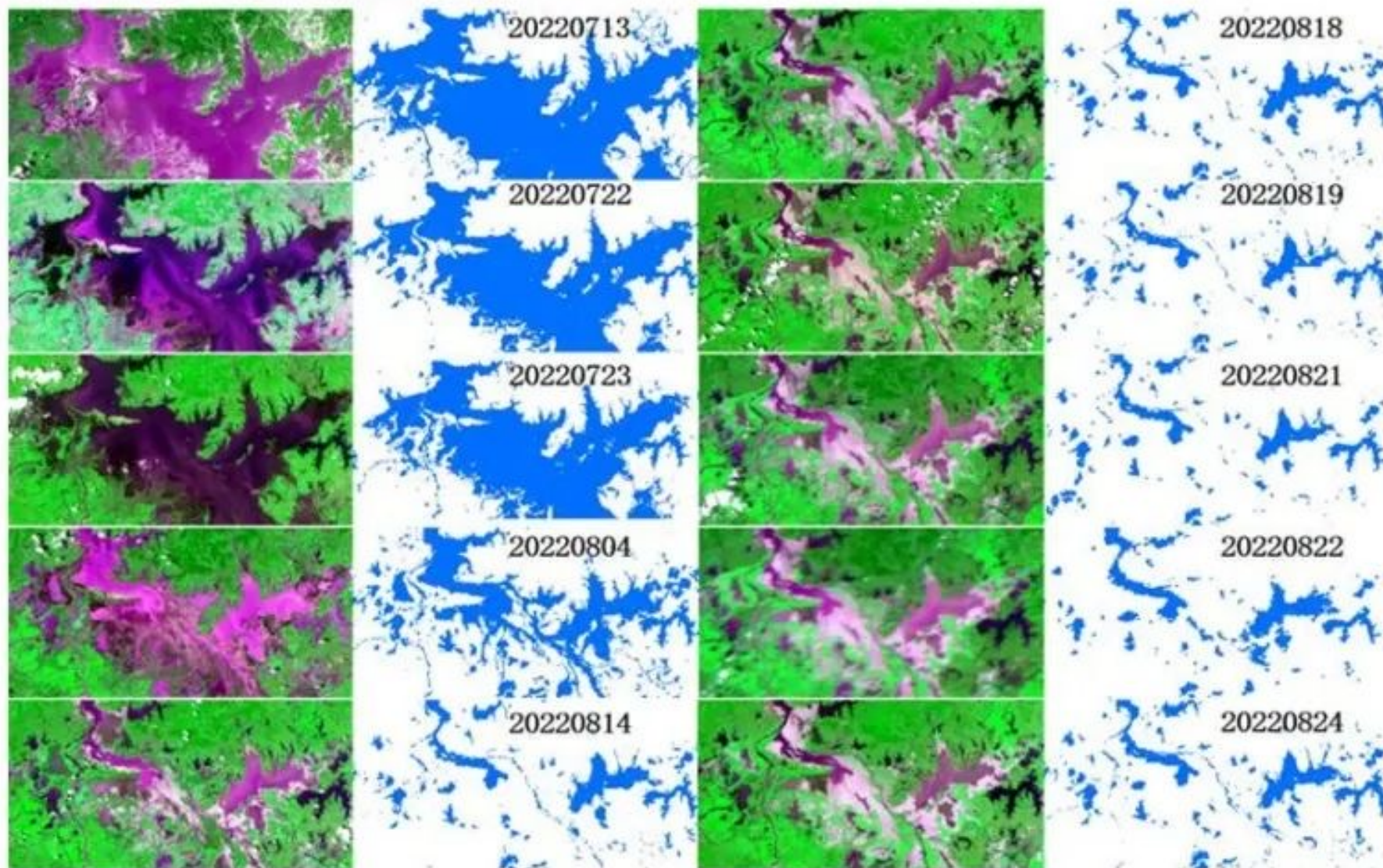
水资源：水量变化与重大工程

卫星遥感对长江流域大型通江湖库水量变化监测显示三峡大坝的修建可能影响大型湖泊萎缩，最终分析人为活动（大型工程）对水资源分配的影响进而为维持健康的河湖关系和合理的水资源调度提供支撑，支持流域高质量发展（冯炼）



FY-3D MERSI-II监测鄱阳湖中段“汛期反枯”异常

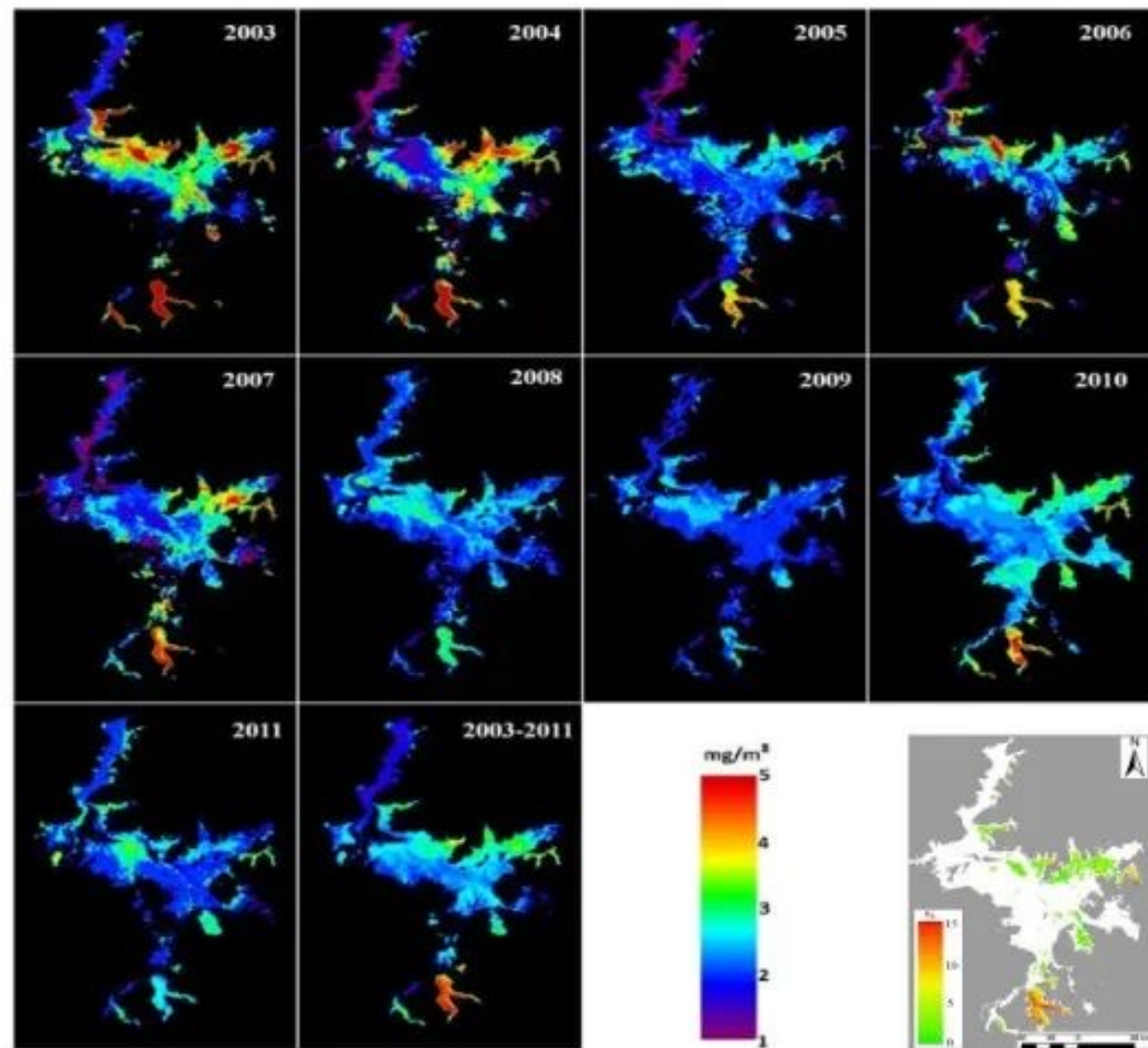
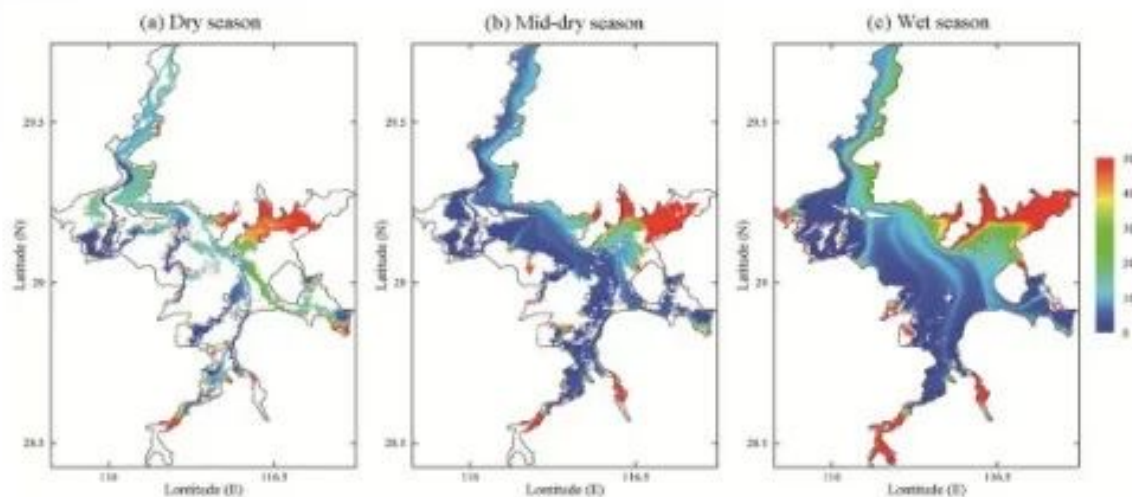
面向风云气象卫星的应用研究（每日超分辨率100米）



水环境：叶绿素浓度

卫星遥感可以监测水环境参数-叶绿素浓度变化，开展水体富营养化评价，进行水华风险评估，保障水生态安全

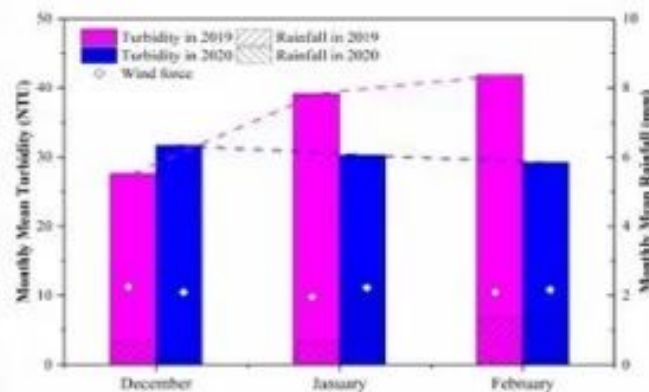
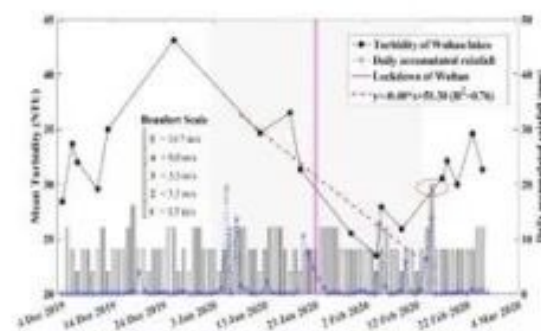
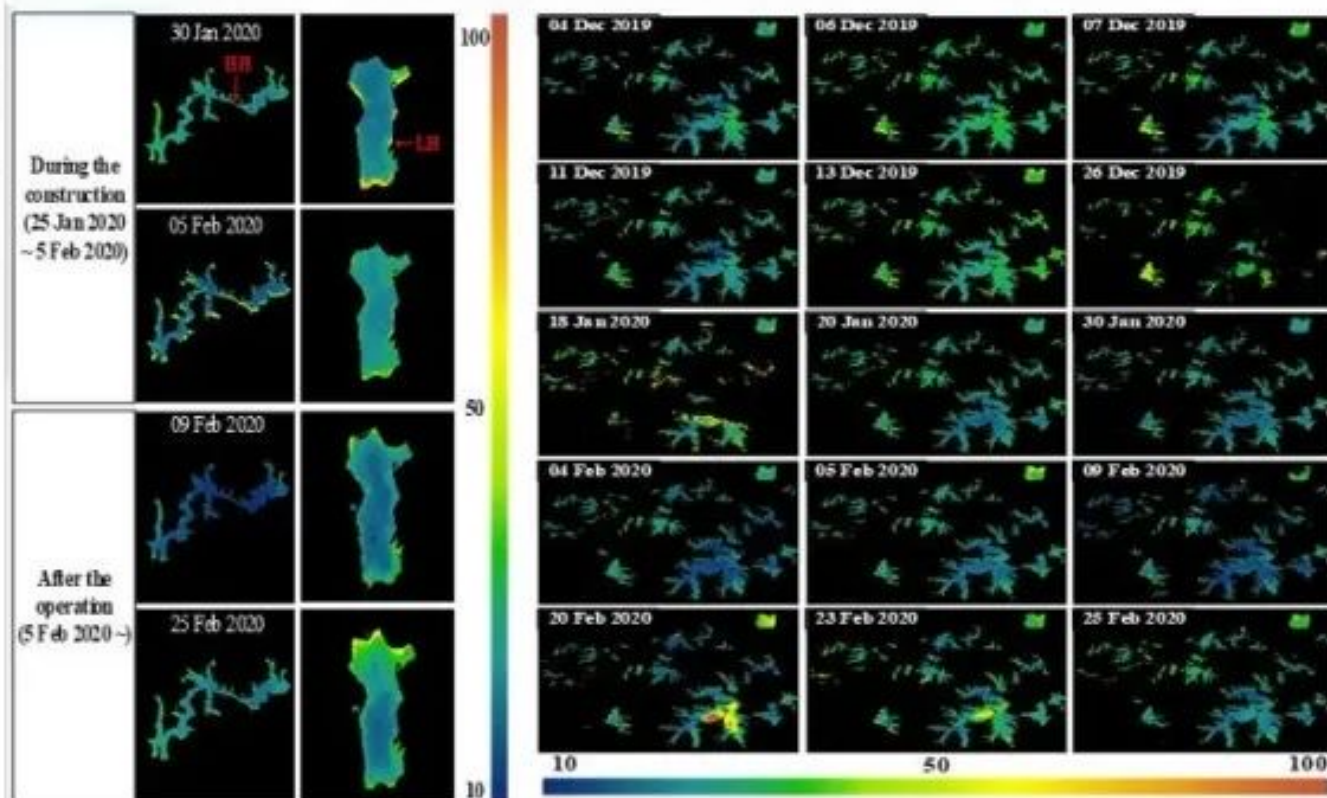
- 水体富营养化水平分级
- 水华风险评估



水环境：水体浊度

卫星遥感能为武汉新冠疫情期间水环境提供监测保障

➤ 中国HY-1C、GF-1及 Sentinel-2A多源卫星遥感数据监测2020年初新冠疫情封城期间与雷神山、火神山医院建设期间武汉湖泊（知音湖、黄家湖）水体浊度



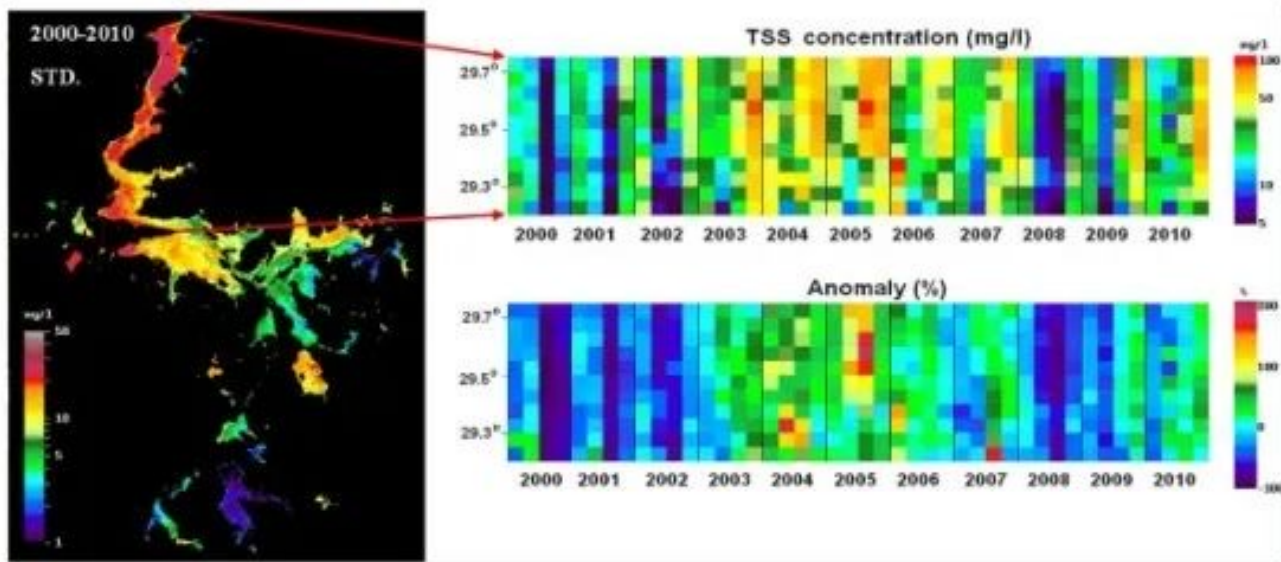
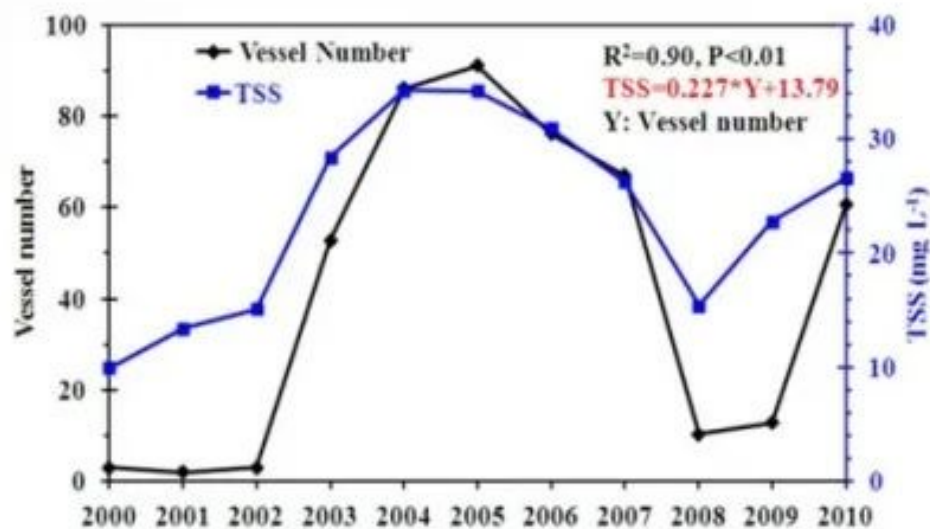
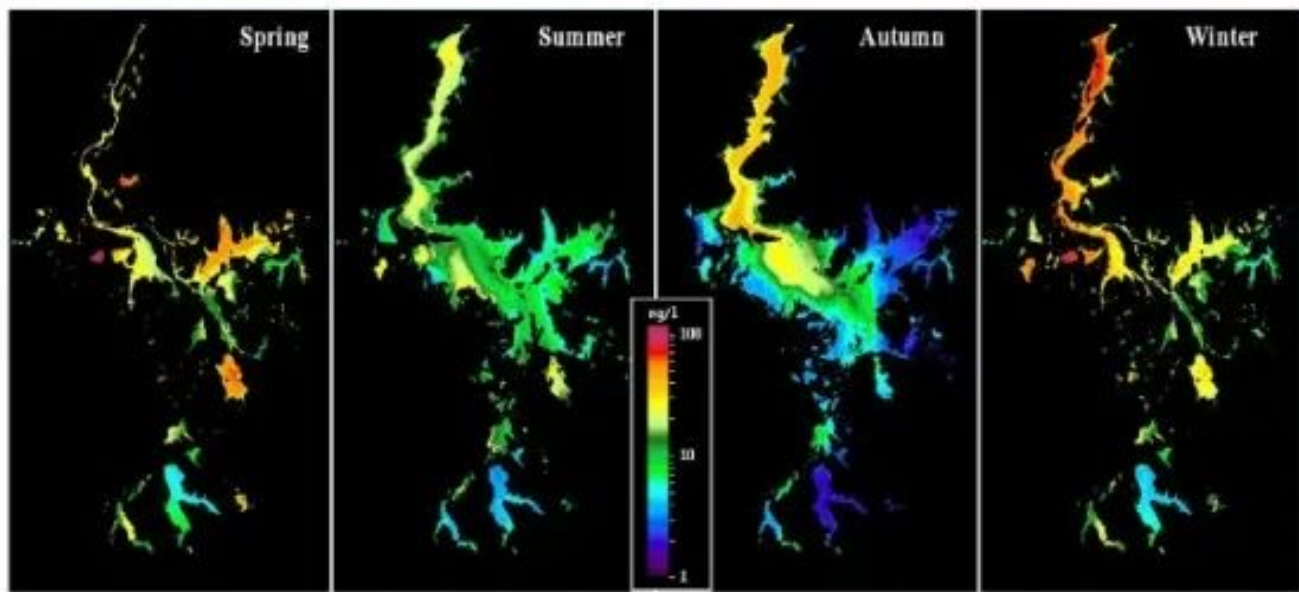
➤ 2020年1月23日武汉封城后，湖泊浊度出现明显的下降，约24.9%

➤ 雷神山、火神山医院建设和运行没有对邻近知音湖、黄家湖的水环境造成明显扰动

水环境：悬浮泥沙

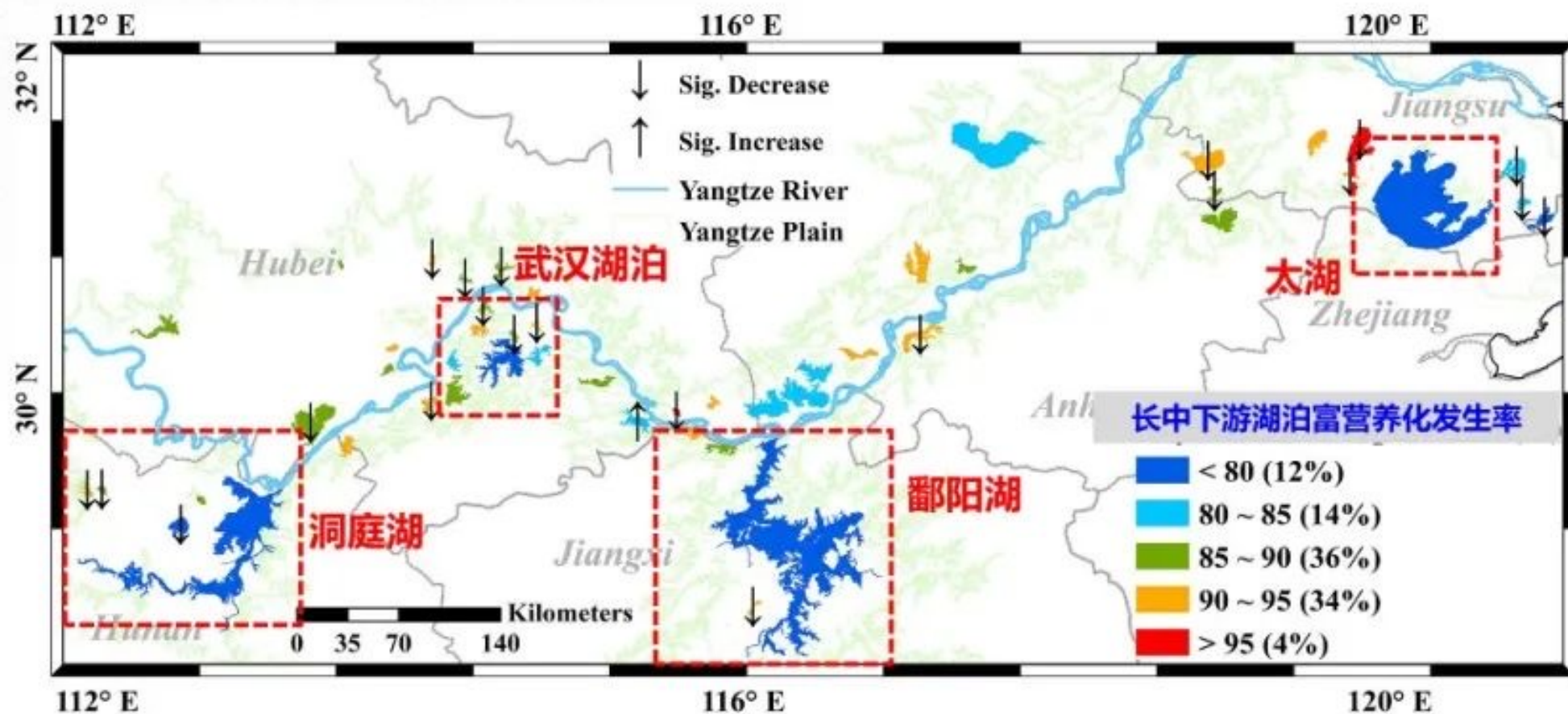
卫星遥感监测悬浮泥沙浓度变化，进而对采砂活动进行动态监测，规范采砂行为，支持政府决策。

泥沙浓度与采砂船的数量相关系数高于0.9。



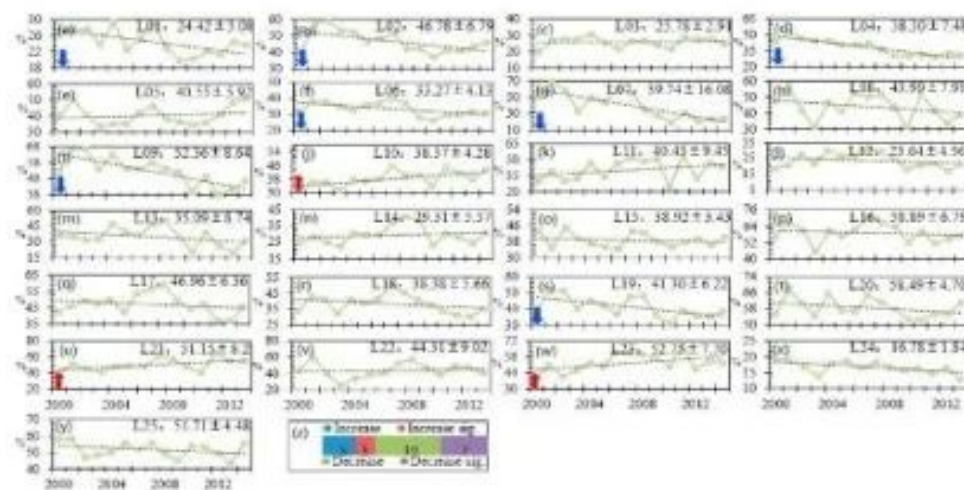
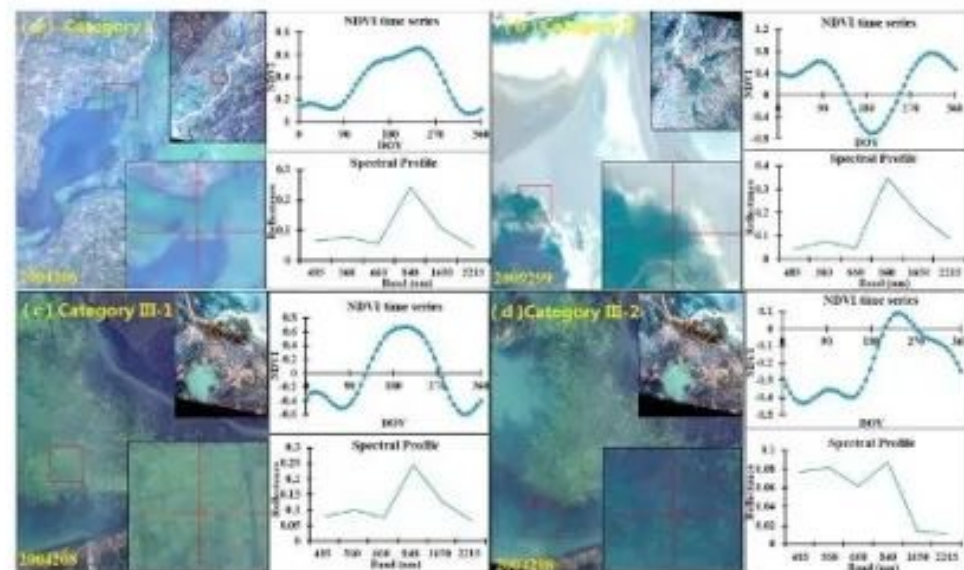
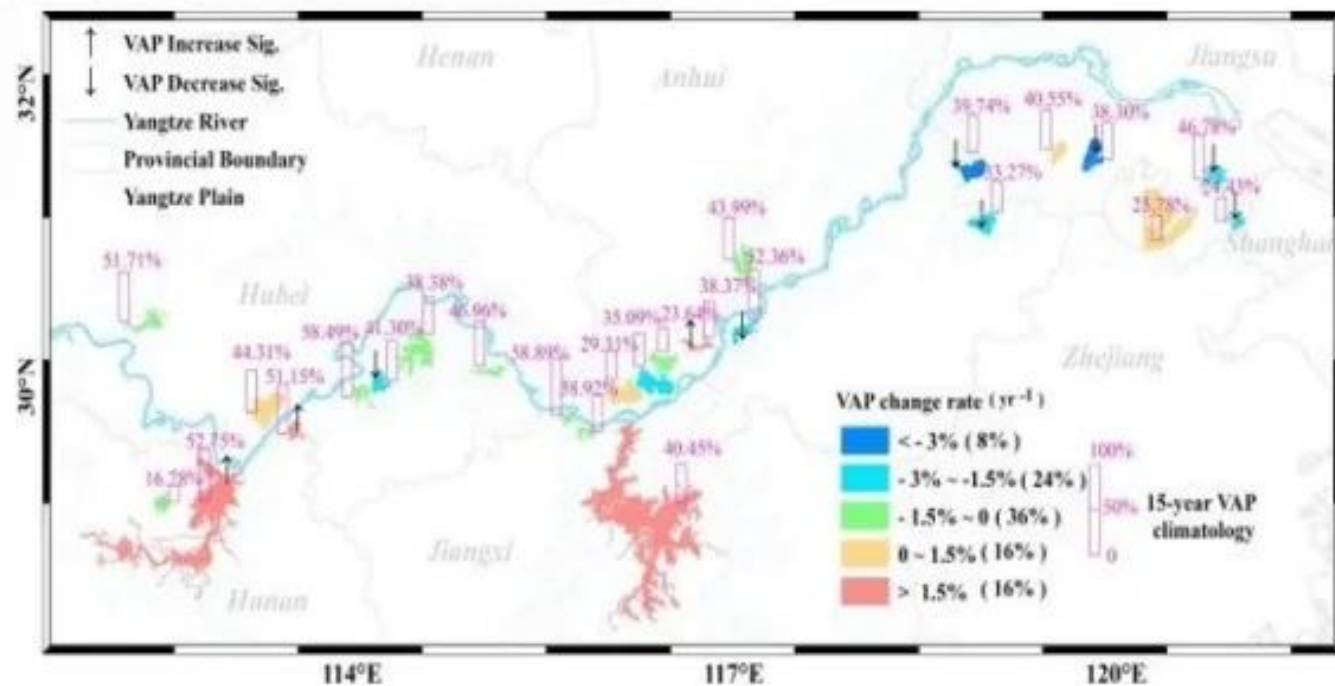
水环境：富营养化发生率

卫星遥感监测发现长江流域湖泊开始生态环境专项整治以来，鄱阳湖等湖区的水体富营养化发生率明显降低，多数湖泊实现了一湖清水入江（冯炼）



水生态：湿地植被

- 卫星遥感监测长江流域湿地变化表明：农田化学肥料，降水量，日照小时数，温度和水浊度对湿地植被的生长影响最大（冯炼等）
- 遥感湿地植被环境数据记录可为湿地环境保护和湿地植被恢复提供至关重要的基础信息



水下无人摄影测量与遥感



太空卫星海洋遥感



优点：广域覆盖、长时间监测

挑战：分辨率(低)、水下信息受限、云层干扰、重返周期

业务部署



空中无人机水下遥感



优点：分辨率(中)、机动性高、覆盖较广

挑战：水气界面、受限于水深

大量使用

UNDERWATER REMOTE SENSING 水下无人机摄影测量



优点：分辨率(高)、高精度、无水气界面、精准定位、深度观测能力强

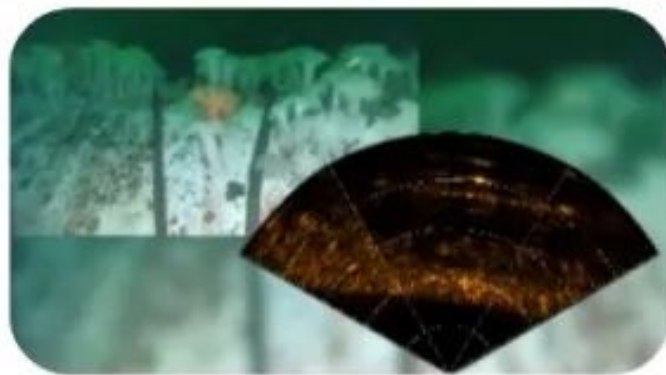
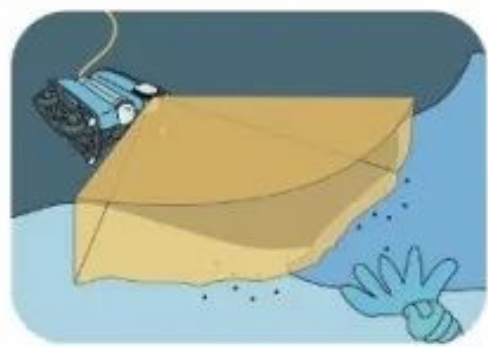
挑战：自主性差、覆盖范围有限、操作复杂、成本高

亟需突破

水下无人摄影测量与遥感 (水下)



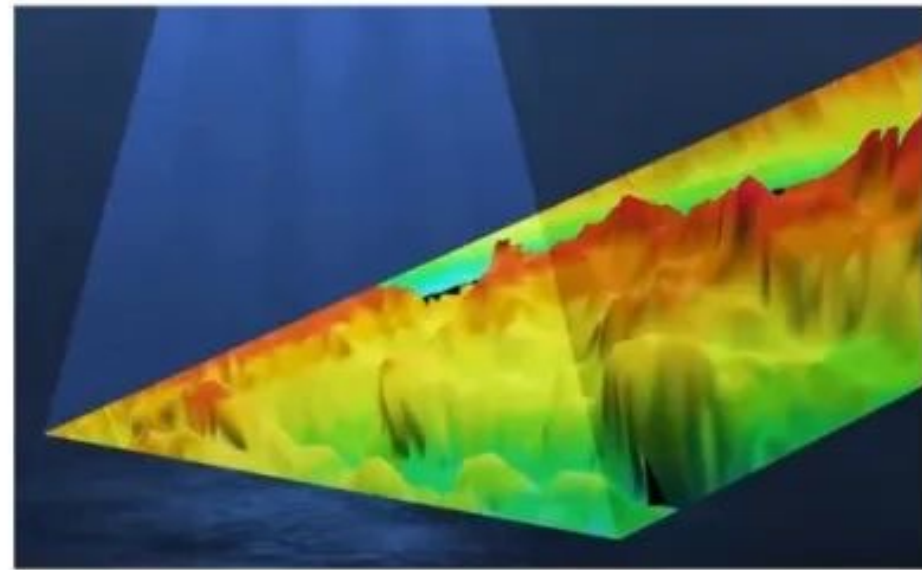
长期以来的水下探测技术



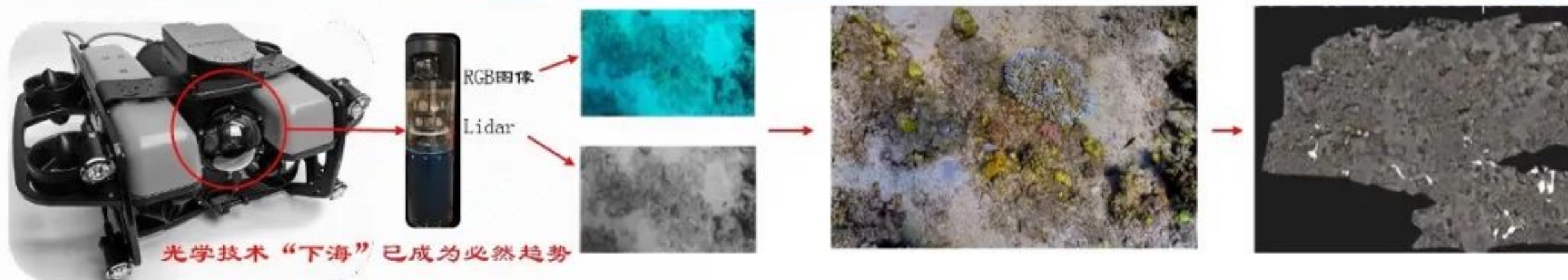
水下声学探测技术

测深精度可达厘米级，地形测绘精度米级，定位精度米级-数十米级，在靠近海岸/底或浅水区域作业能力差。

优点	缺点
穿透性强： 声波在水中传播效果好，适合深海探测	分辨率有限： 相较于光学探测，声呐的分辨率较低，难以捕捉小型或复杂目标
远距离探测： 覆盖范围广，适合大面积区域的探测	噪声干扰： 水下环境中的噪声会影响测量精度，如船只噪声和海洋生物的活动
全天候使用： 不受光照和天气影响，能在浑浊水体中工作	环境依赖性： 水温、盐度和压力等因素会影响声波的传播，需进行复杂的校正
多样化应用： 适用于水深测量、海底地形绘制和水下物体定位	盲区问题： 在不规则的地形或陡峭的海底，可能出现探测盲区
高效： 能快速获取大面积数据	较难进行精细化探测： 对小范围或高分辨率探测效果不如光学技术



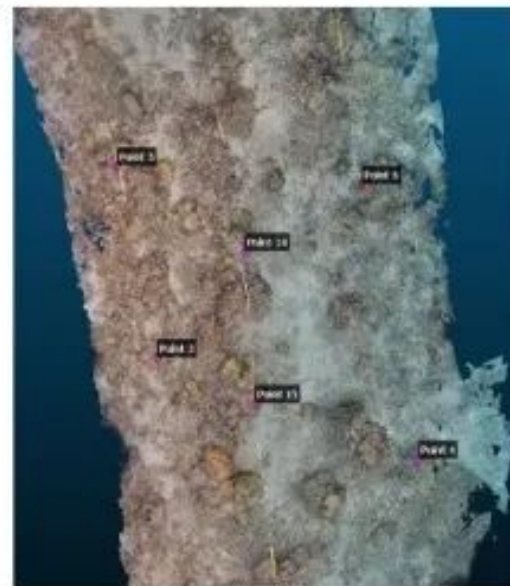
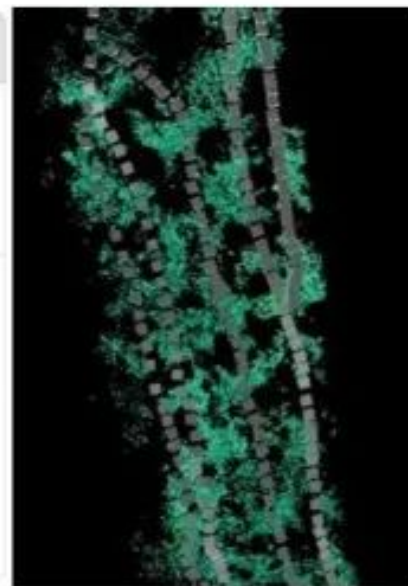
水下无人摄影测量与遥感 (水下)



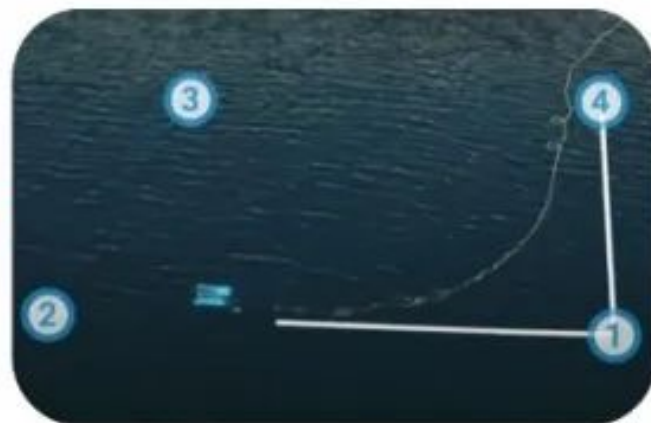
水下光学探测技术

近距离测量精度可达亚毫米级，适合在抵近海底或浅水清澈区域作业（典型的珊瑚礁环境、深海海床等）。

技术	优点	缺点
水下激光	- 高精度：分辨率高，适合精细结构测绘 - 短距离探测：在清澈水域短距离效果极佳 - 三维建模：可进行精确的三维重建	- 有效距离短：光在水中衰减快，探测距离有限 - 环境依赖性强：水质、浊度对成像影响大
水下摄影	- 直观图像：提供可视化图像，利于颜色、形态分析 - 高分辨率：在清水中，能捕捉极精细的细节 - 灵活数据处理：图像数据可通过后期处理进行分析	- 光线衰减：水中光线传播距离短 - 受水质影响大：浑浊或深水环境成像质量差 - 需额外光源：在黑暗环境中需增加光源，增加设备复杂性



水下无人摄影测量与遥感 (水下)



水下定位与测速技术

水下GPS (Global Positioning System) 和水下DVL (Doppler Velocity Log)

特性	水下GPS	水下DVL
优点	- 无需水面支持, 直接定位水下物体 - 可提供全球范围内的定位能力 - 适用于大面积海洋区域的定位	- 能够精确测量相对速度和位移 - 适合近海和浅水区域的自主导航 - 可用于保持姿态、定点悬停和自主移动
缺点	- 信号穿透水的效果差, 水下深度受限 - 依赖于海面浮标或其它中介设备 - 在复杂地形、深海环境中精度下降	- 需要依赖其他传感器 (如惯性导航系统) 进行长期位置推算 - 无法独立确定全球位置, 需结合其他导航系统 - 需要高效的计算能力和定期校准

特性	水下GPS	水下DVL
测量精度	- 在浅水区域, 理论精度可达到米级 - 深水区域精度较差 (可能达10-100米级别)	- 通常在0.1-1米级别精度 - 速度测量精度在0.1%以内, 位移计算误差较小
作用距离	- 一般可达100-300米, 具体取决于水体透明度和中介设备	- 通常用于100米以内的定位, 但可延伸到1000米
应用场景	- 海洋学研究、大面积海洋物体定位、潜水器跟踪 - 长距离航行器、水下传感器网络	- 水下无人机 (AUV)、ROV的导航与位置保持 - 地形测绘、水下移动平台的运动控制

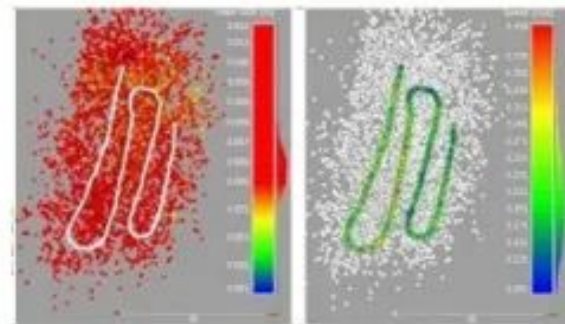
水下无人摄影测量与遥感 (水下)



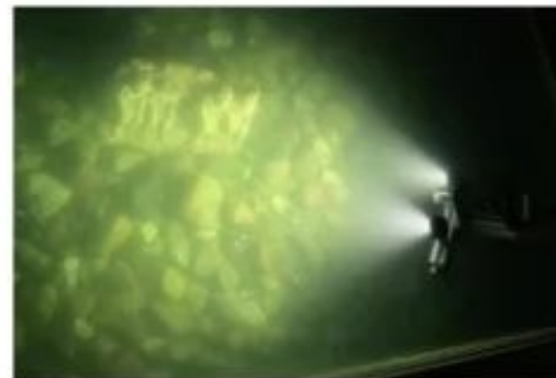
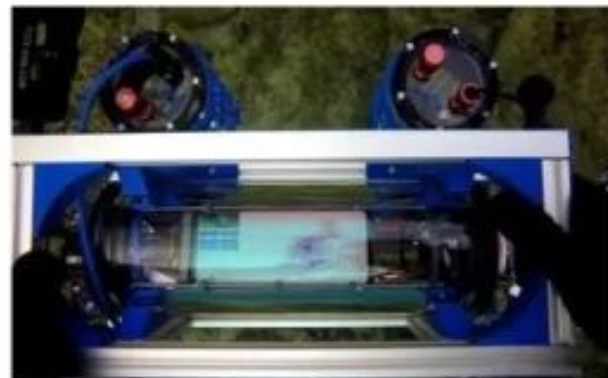
水下定位与信息传输是一直以来的难题，融合以**被动视觉系统**为中心的激光、声纳、IMU、重力场等的水下环境感知与定位技术，利用神经网络的图像压缩优势和强化学习能力，解决水下无人机的自主定位与路径规划问题，实现执行任务的隐匿性和灵活性。可用于台湾海峡、南沙水下测绘。



野外实验 →



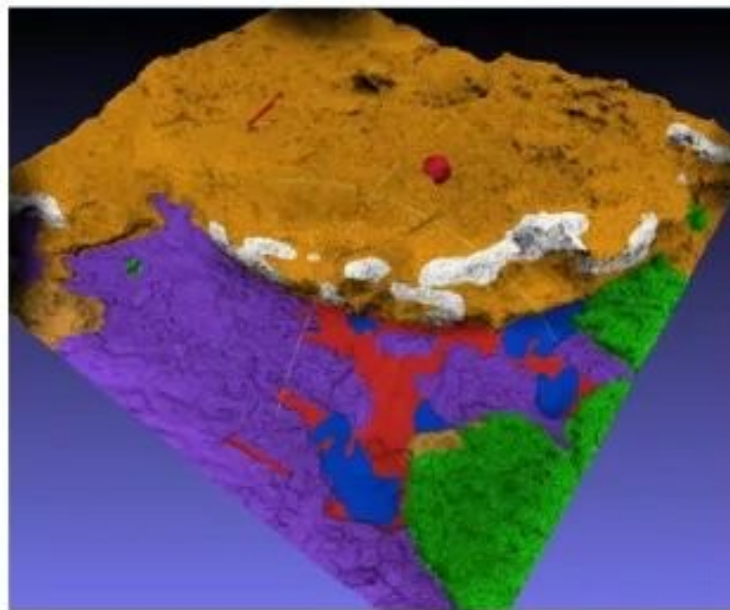
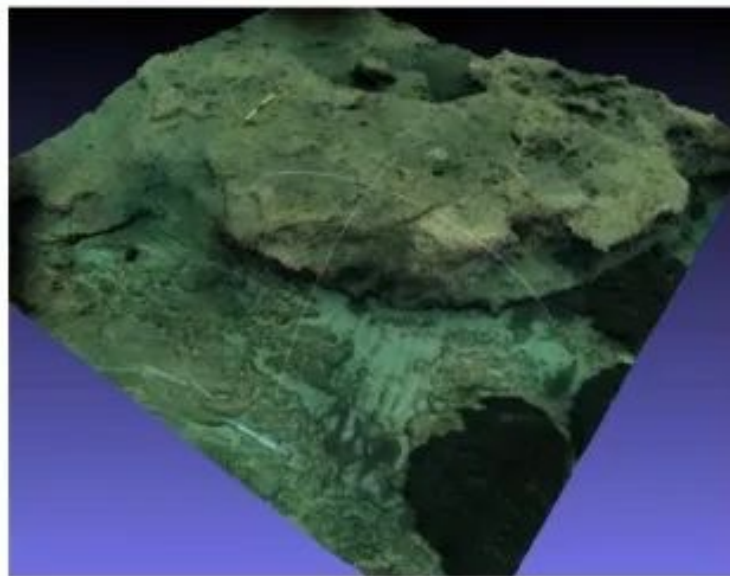
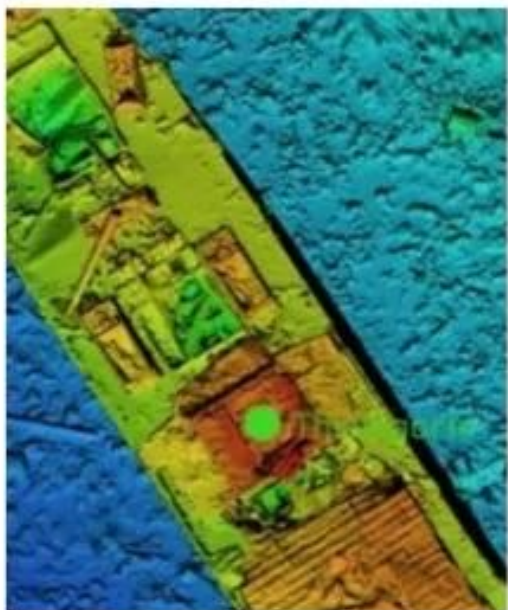
目前，团队已比较了最先进的基于神经网络的水下视觉感知与定位技术，正在开发基于大语言模型的强化学习仿真平台，已同合作伙伴在意大利地中海进行了大量平台搭建和传感器集成与测试工作。



水下无人摄影测量与遥感 (水下)



水下沉船勘察



水下多传感器观测与信息融合，不仅能帮助海军提供精确的水下环境信息，有助于潜艇导航、水雷探测、登陆和反潜作战。还可以用于生态环境保护的海底地形测绘、考古、物种多样性研究以及海床稳定性监测，对于科学研究和资源管理也至关重要。我们已经提出了一套水下数据半自动获取、信息压缩技术，并提出了新颖的图像理解与目标识别算法来完成我们对感兴趣对象的观测和特征提取。

但是，水下环境的多变性对测绘精度构成挑战，且目前的自动化水平尚不能完全满足快速、准确识别目标的需求。利用不断发展的人工智能技术树，帮助我们开发和迭代自动化和智能化系统提高目标识别的效率和准确性，实现更高级的信息融合与情报感知、收集和理解能力是未来的发展方向。



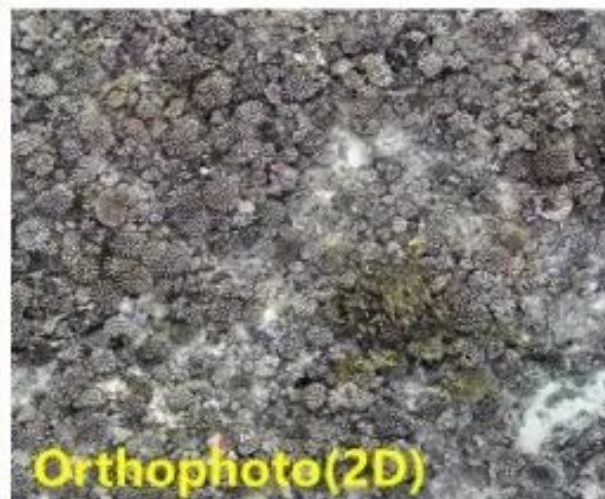
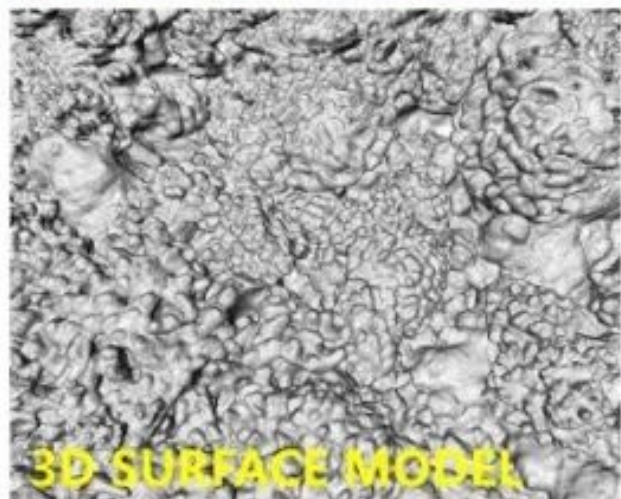
水下地形精密测量

水下无人摄影测量与遥感 (水下)

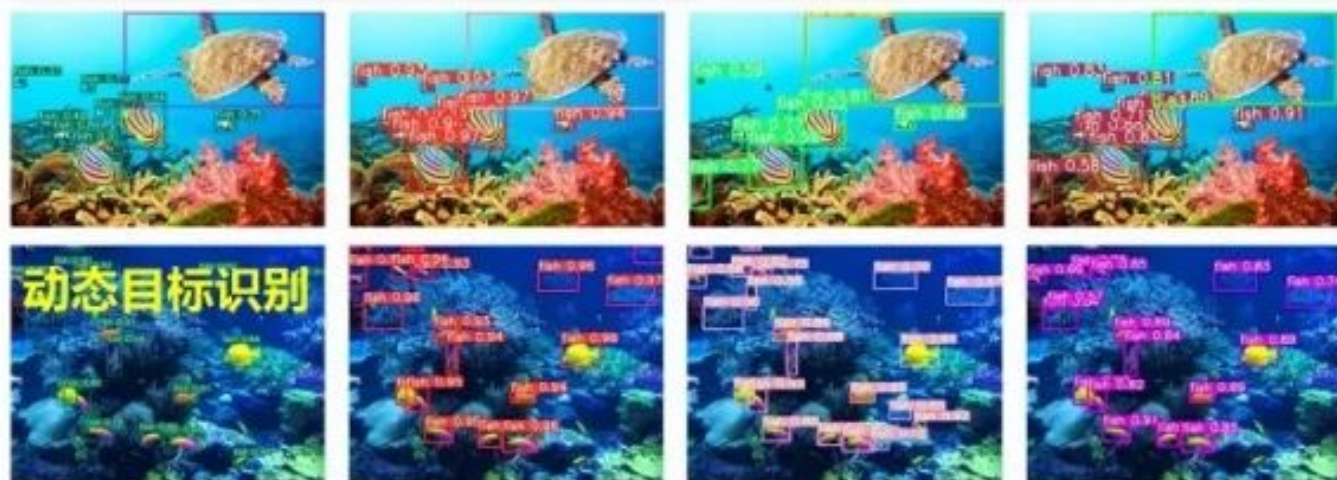
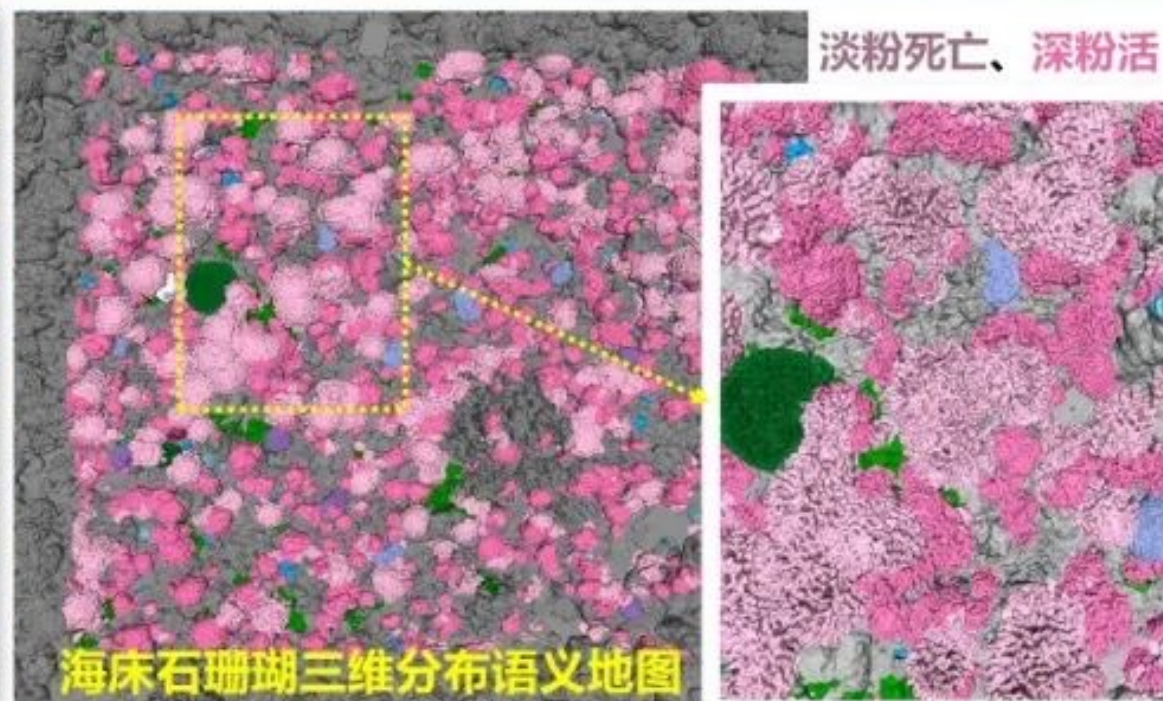
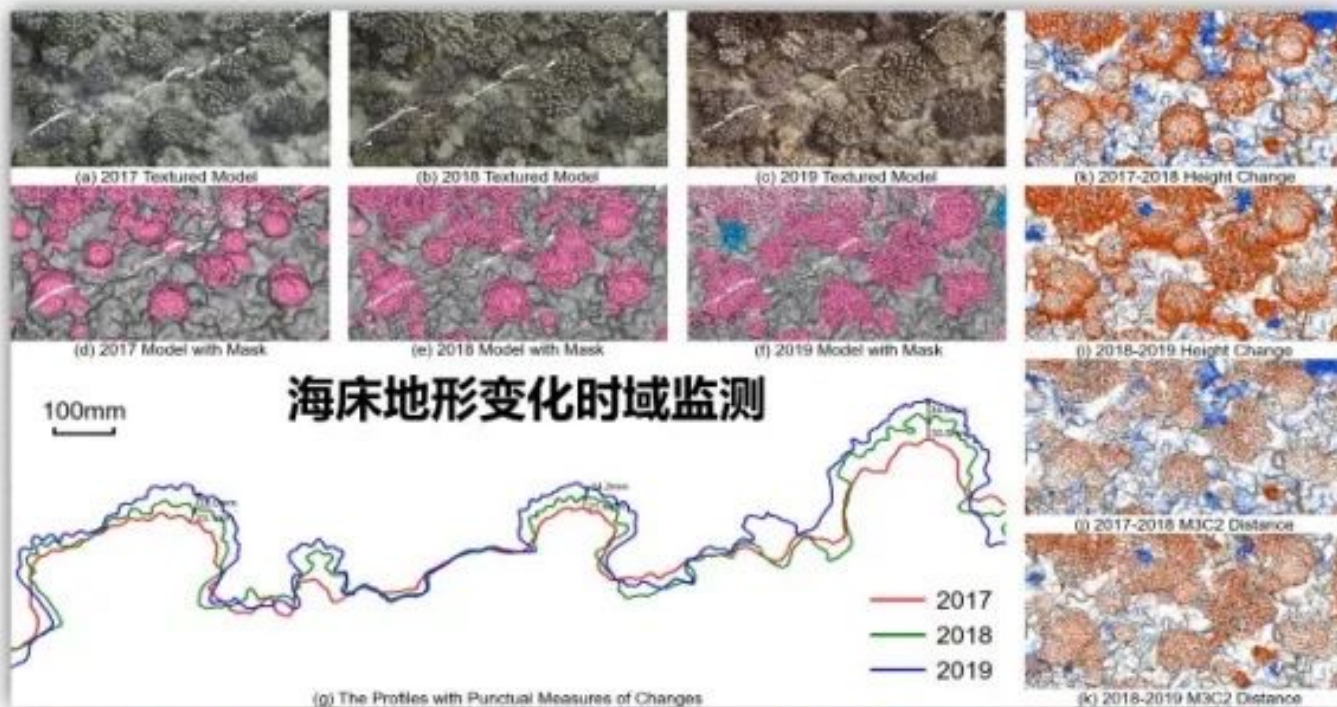


基于水下自然光源的人眼观测记录可以追溯到古希腊和罗马时代，但直到19世纪末，水下光学成像才成为海洋科学的有用工具。然而，直到现代电子、传感器技术、信号处理和计算机技术的迅速发展，才使水下光学成像在水下应用中起到了以前人们认为不可能、甚至做梦也想不到的发展高潮，特别是现代水下无人机、AI和深度学习的发展，更是使其广泛的出现在水下装备中。

水下光线复杂，水下光学（包括RGB成像和Lidar等探测）均受到水的吸收、水中颗粒和有机溶解物的散射影响，例如前向散射会致使图像模糊/炫光和分辨率降低，后向散射导致图像出现亮斑并降低图像对比度等。需要研究先进的算法来解决图像的质量问题。



水下无人摄影测量与遥感 (水下)



基于天地传感网的长江流域生态环境与灾害智能管理

背景：国家战略——长江流域生态文明治理



习近平（2016年）：
“要把修复长江生态环境
摆在压倒性位置”

防洪：汛前放水

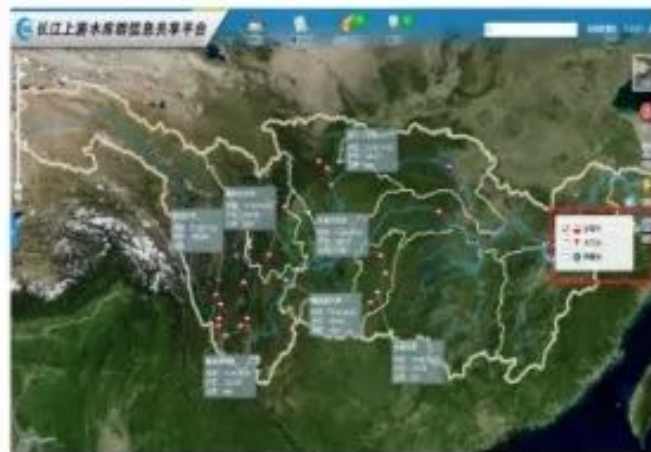
通航：水库放水

VS

发电：水库蓄水

如何保证长江生态环境安全的条件下

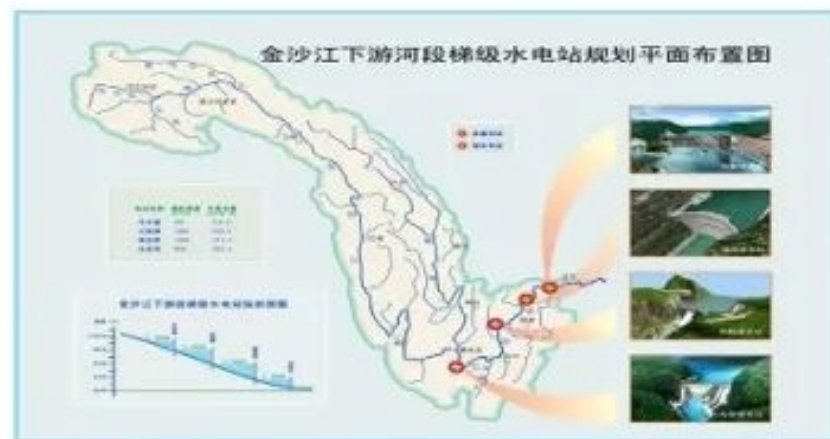
调和防洪、通航与发电的矛盾？



长江上游水库群防洪调度
(防洪)



长江中下游航道安全监测与应急响应
(通航)



金沙江下游河段梯级水电站综合管理
(发电)

方法：空天地观测平台的协同管理



地面传感器网络 水文、气象传感器

航标

地面观测平台



RadarSat2-SAR GF-1 MODIS

卫星观测平台

32种
上万个传感器
亿条观测记录



航空观测平台



数字孪生应用效果：金沙江下游梯级水电站蓄水发电



水文泥沙分析系统

效果

溪洛渡和向家坝冲淤发电

定时冲淤



实时冲淤

2013年汛期，提前蓄水8亿立方米

2014年汛期，提前蓄水16亿立方米

2015年汛期，提前蓄水18亿立方米

应用效果： 长江上游21座水库群防洪抗旱

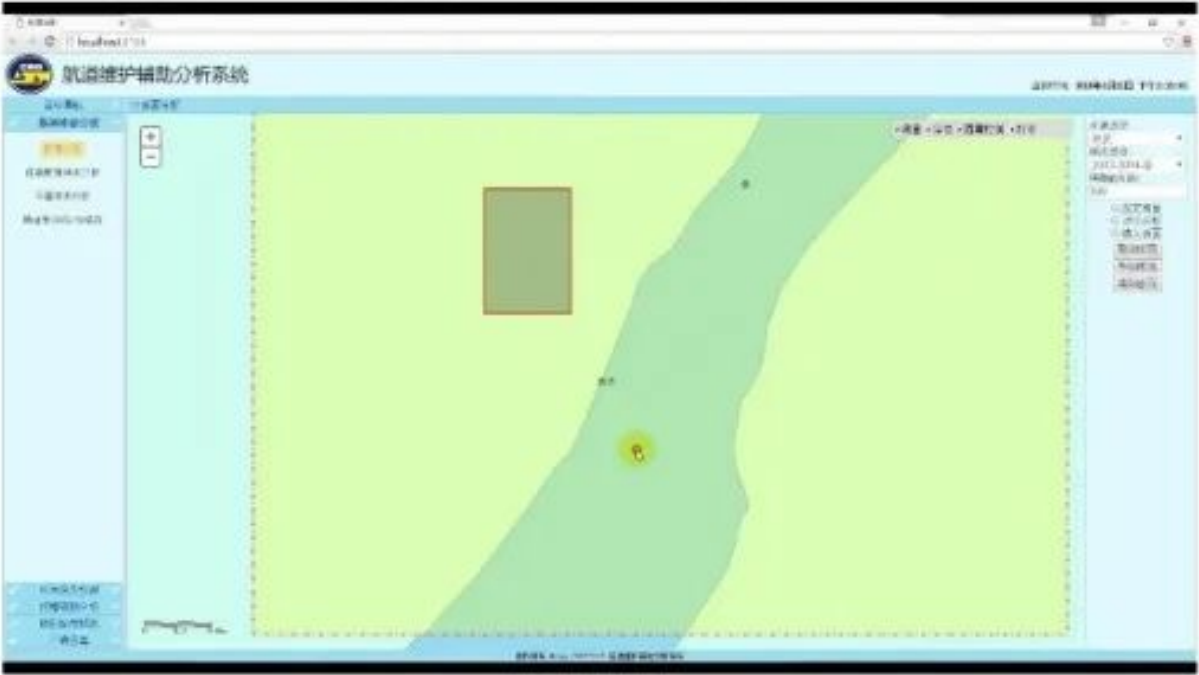


洪水演进模拟系统

效果

实现长江上游各控制性大型水库实时信息、预报调度信息以及流域内水雨情信息的实时共享；效率由原来的小时级提高到**20分钟到达长江防总、30分钟到达国家防总**

应用效果： 长江干线航道管理



航道维护辅助分析系统



应用场景	应用前	应用后
航标维护模式	巡检制	监控值守制
浅水航道尺度发布	每10天发布一次	每7天发布一次
航标异常发现时间	最长至1天	最长10分钟
航标异常恢复时间	8小时	2小时
水位测报	一天1次或3次人工读尺	每小时1次遥测遥报系统

报告内容

1. 新质生产力与时空智能

2. 空天时空智能：无所不在的PNT与PNTRC

3. 空地时空智能：无人机与移动测量机器人

4. 水面水下时空智能：传感网与无人舰艇

5. 深空时空智能：月球与火星智能探测

6. 结束语

对天观测的智能化

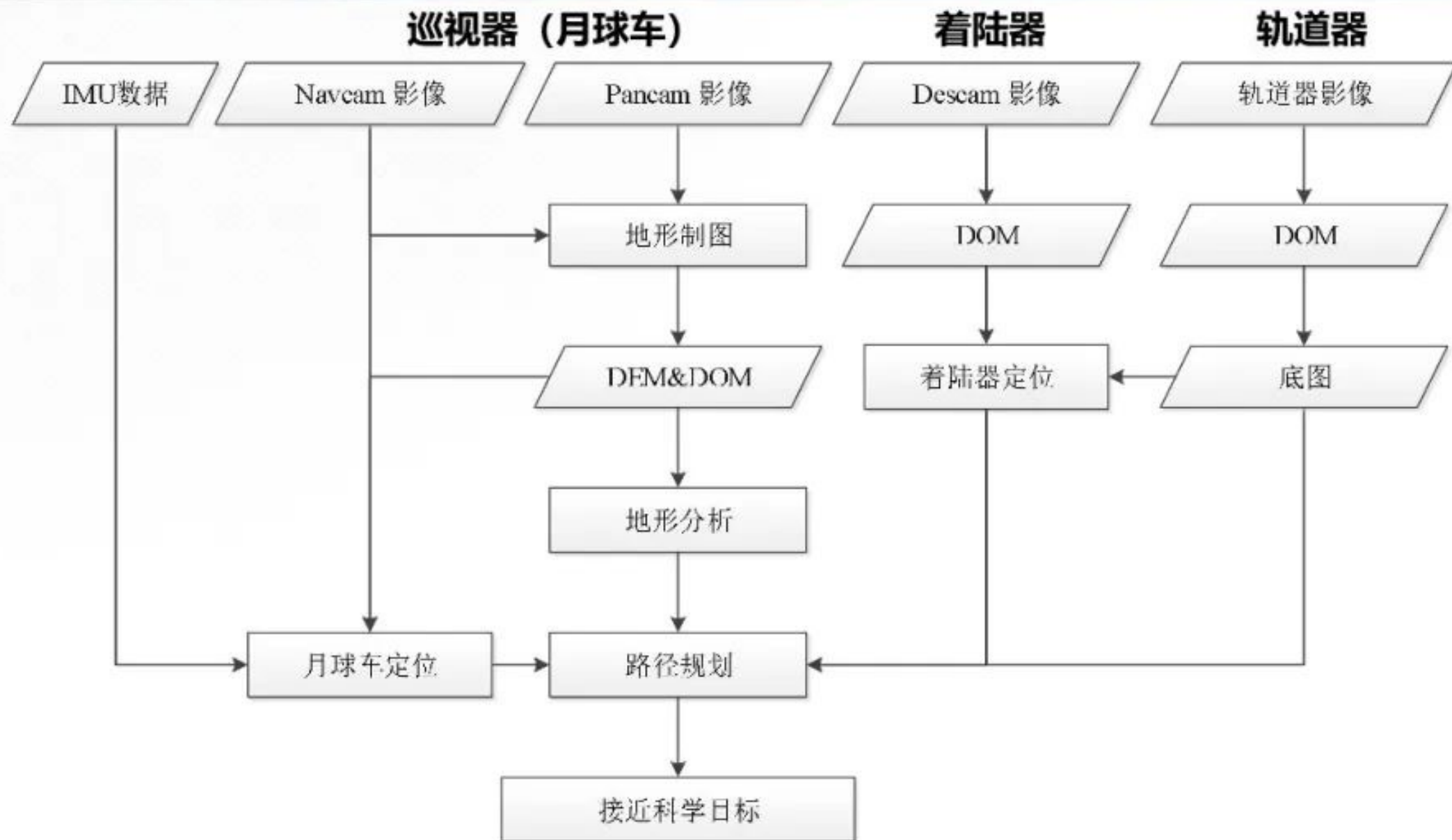
5.1 嫦娥四号任务中的遥感制图与导航定位

5.2 嫦娥五号任务中的着陆区遥感制图与形貌分析

5.3 嫦娥六号任务中的遥感制图、形貌分析及着陆点定位

5.4 天问一号任务中的遥感制图与导航定位

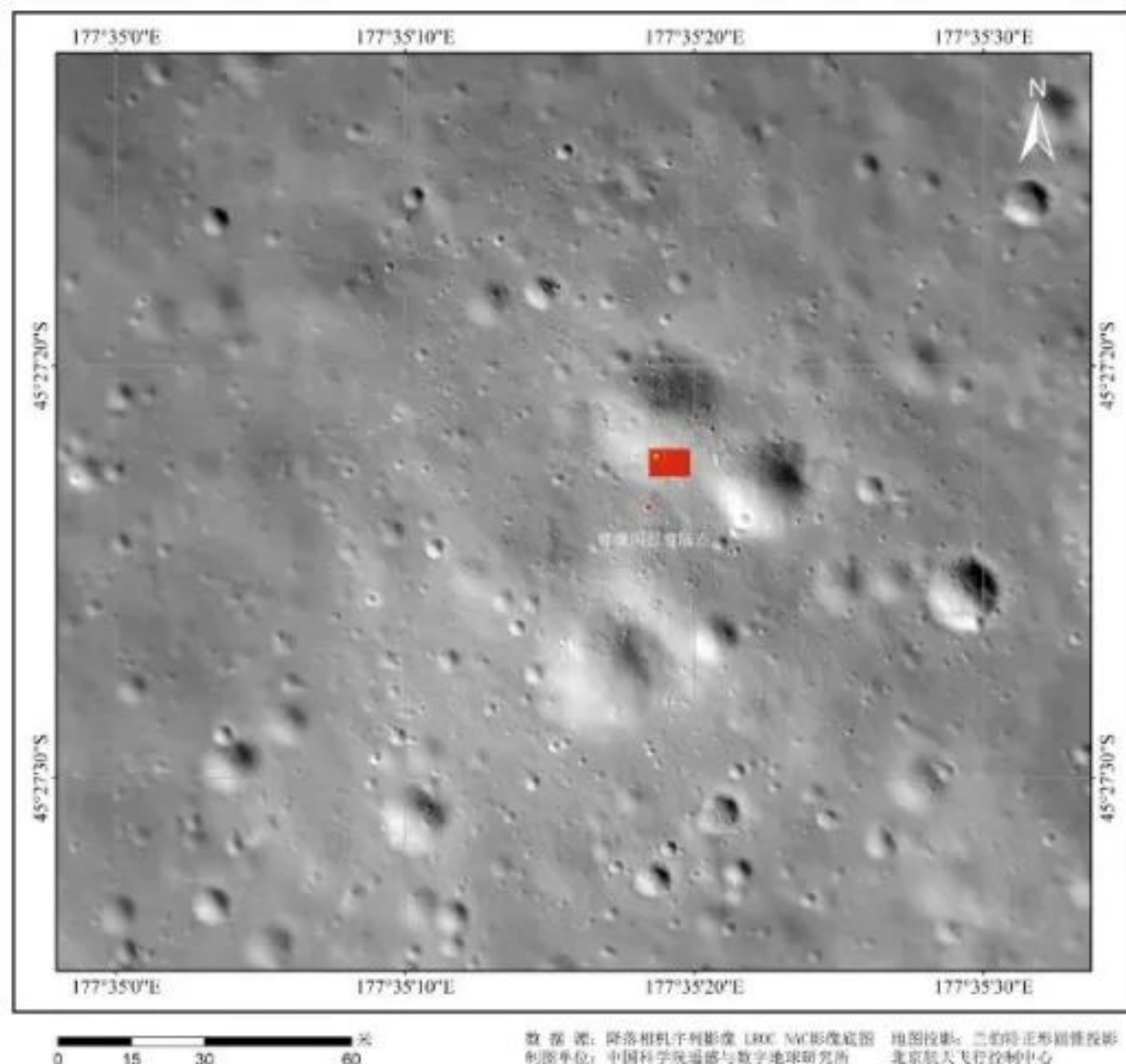
嫦娥四号遥感制图与导航定位技术流程



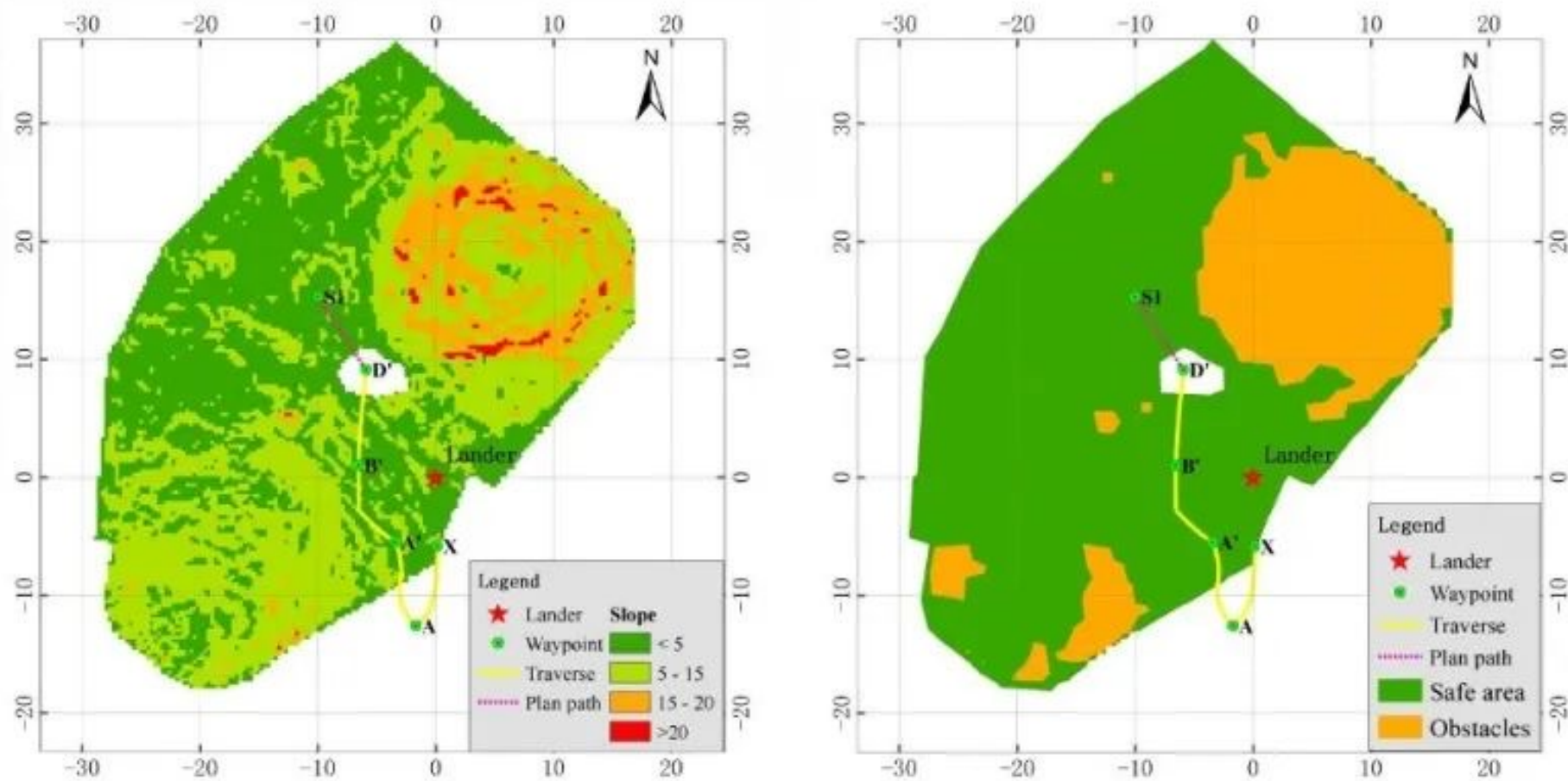
基于降落相机影像的着陆点定位与制图

由降落相机影像制作的
着陆区正射影像图

0.03m 分辨率
211 m × 187 m

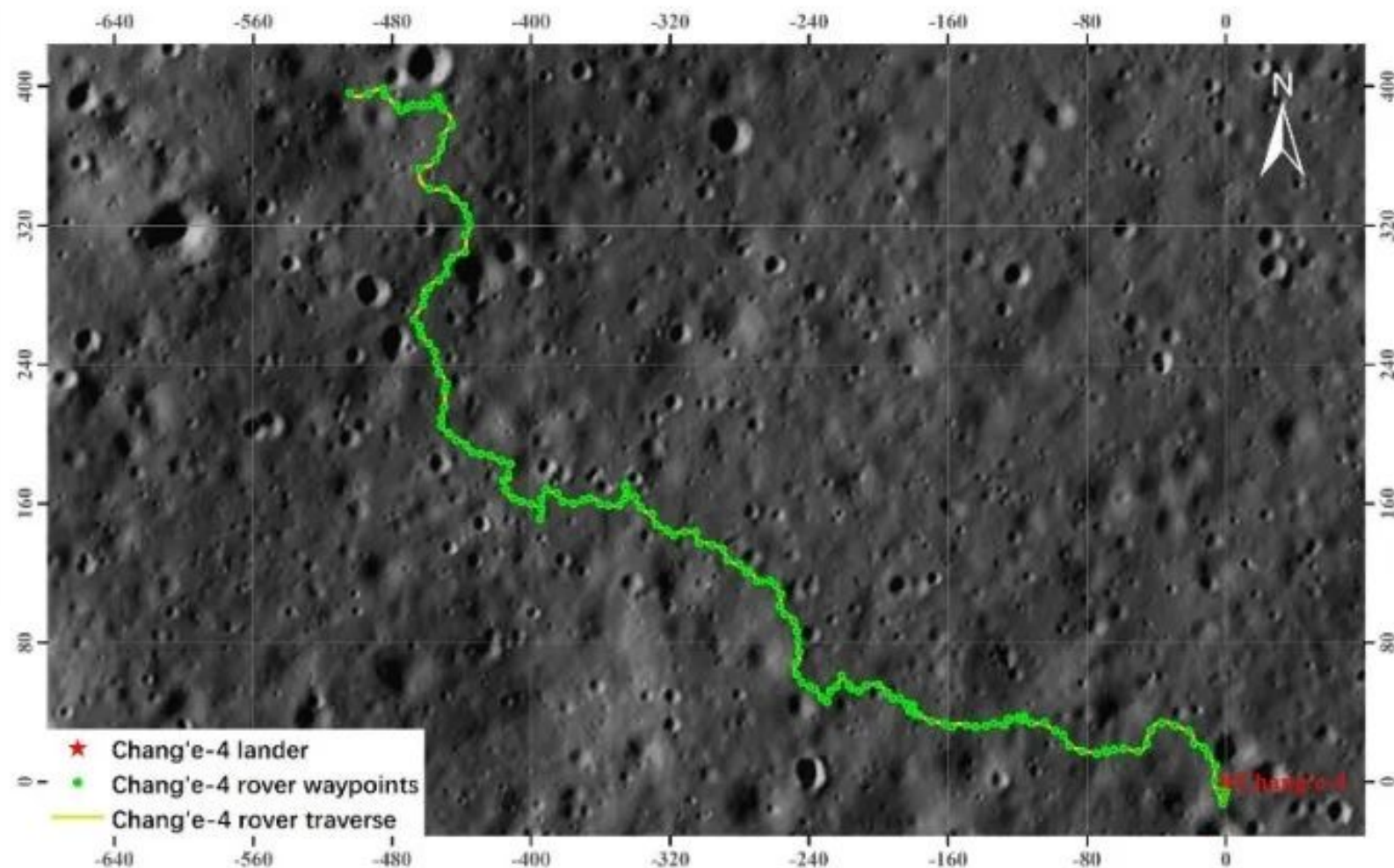


基于月球车影像的探测点精细制图与障碍识别



由DEM派生出的坡度图 (左) 和障碍图 (右) (0.02m 分辨率)

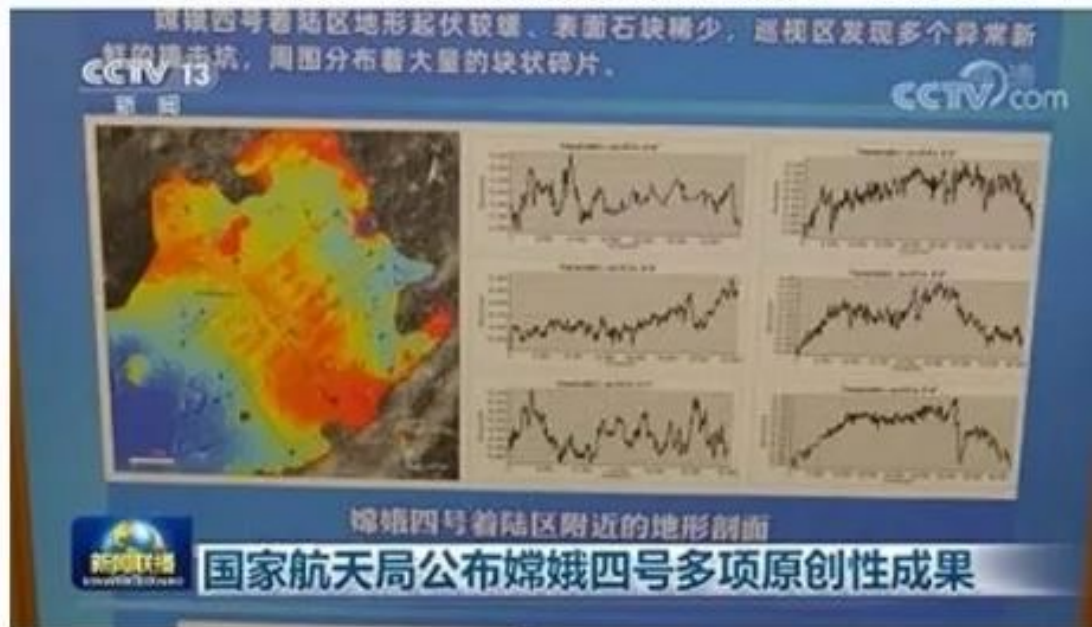
基于视觉的月球车导航定位



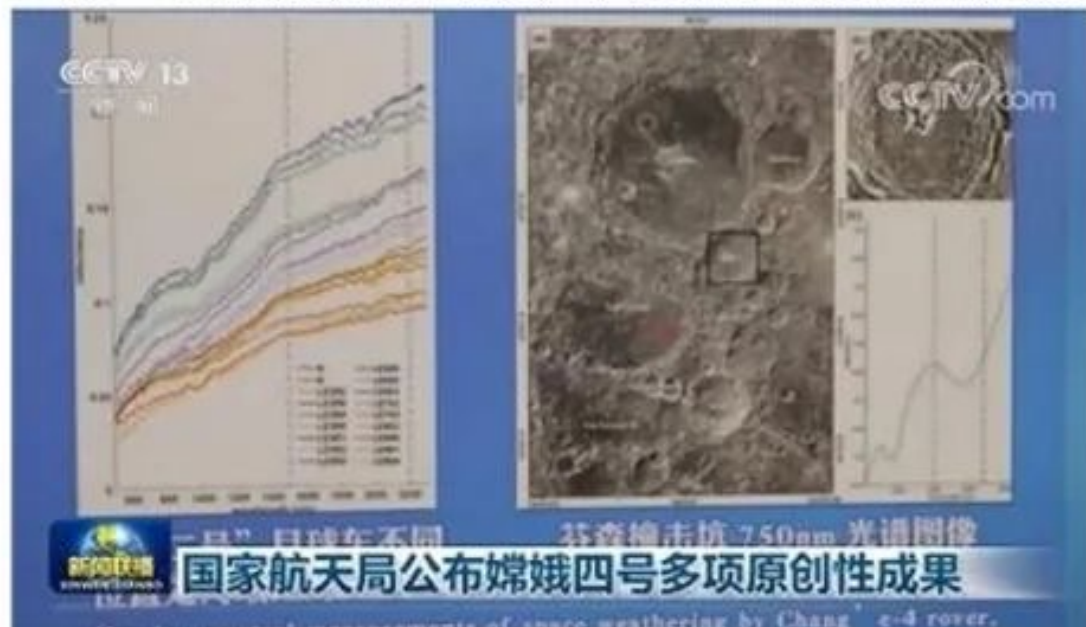
截止2022年3月9日,
玉兔二号月球车累计
行驶1087.1米。

着陆区形貌演化和矿物反演方面的重要成果

DEM量测与数值模拟相结合研究着陆区演化过程

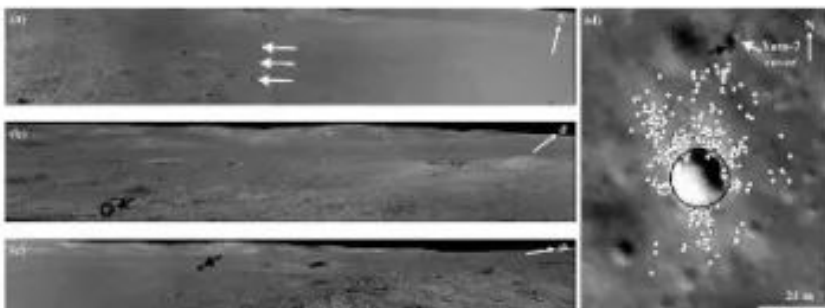


玉兔二号光谱数据评估太空风化效应和月壤成熟度



嫦娥四号完成第28月昼工作，科研成果揭示巡视区石块来源

中国探月工程 3月21日

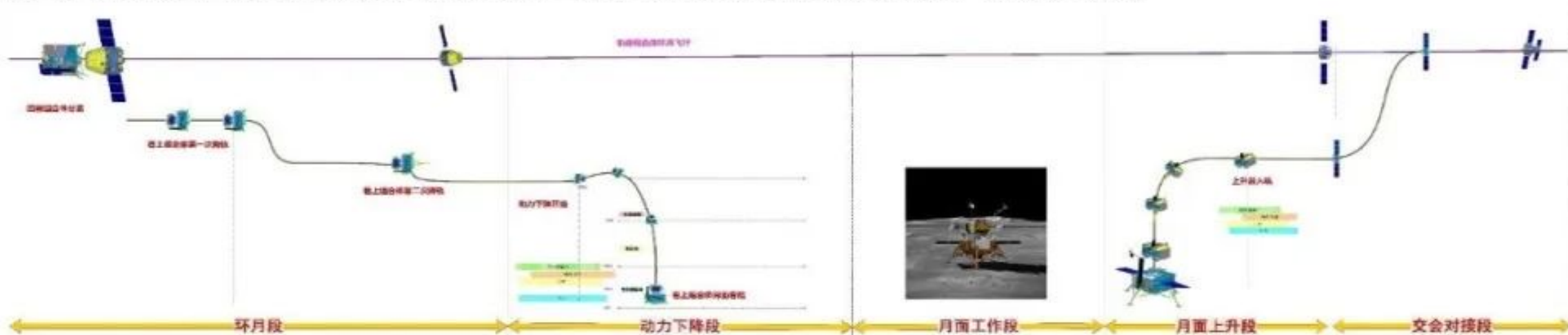


玉兔二号揭示“不明胶状物质”可能成因



嫦娥五号任务简介

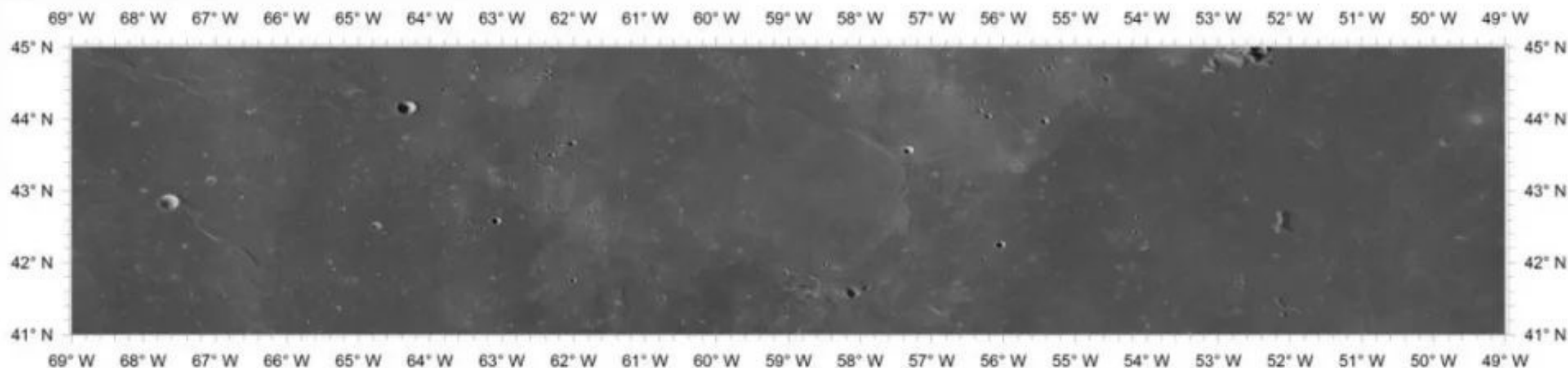
- 嫦娥五号(CE-5)探测器由轨道器、返回器、着陆器、上升器四部分组成，2020年11月24日在文昌发射场发射成功。
- 12月1日23时11分，CE-5着陆器和上升器组合体成功着陆在月球正面的吕姆克山脉区域。
- 12月2日22时，CE-5探测器顺利完成月表采样和封装工作。
- 12月3日23时10分，上升器携带样品从月面起飞，进入到预定环月轨道。
- 12月6日5时42分，上升器成功与轨道器和返回器组合体交会对接，并于6时12分将样品容器安全转移至返回器中。
- 12月17日凌晨，返回器携带月球样品在内蒙古四子王旗预定区域安全着陆，CE-5任务圆满成功。
- 着陆区遥感制图与着陆点定位技术为工程任务的顺利实施提供了有力支撑。



嫦娥五号着陆区制图

着陆大区域无缝DOM (该区域分辨率最高的正射影像产品)

- 分辨率 1.5 m
- 影像大小 224721 columns × 44945 rows

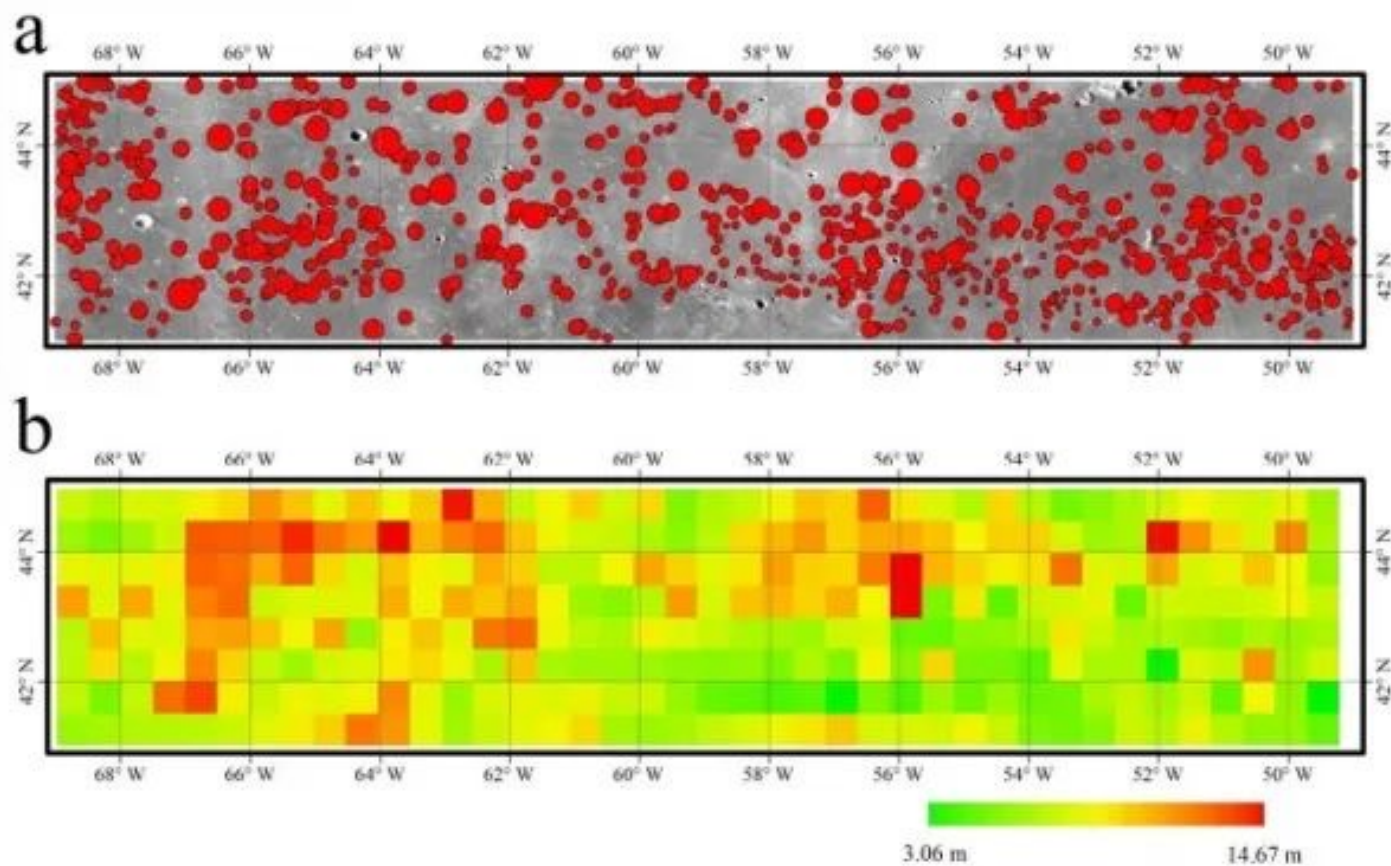
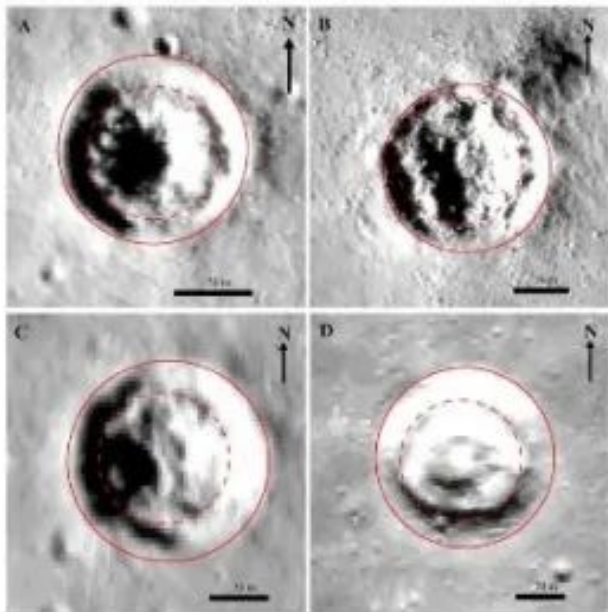


Di K, Jia M, Xin X, et al. 2019. High-resolution large-area digital orthophoto map generation using LROC NAC images. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 85(7): 481-491.

嫦娥五号着陆区形貌分析

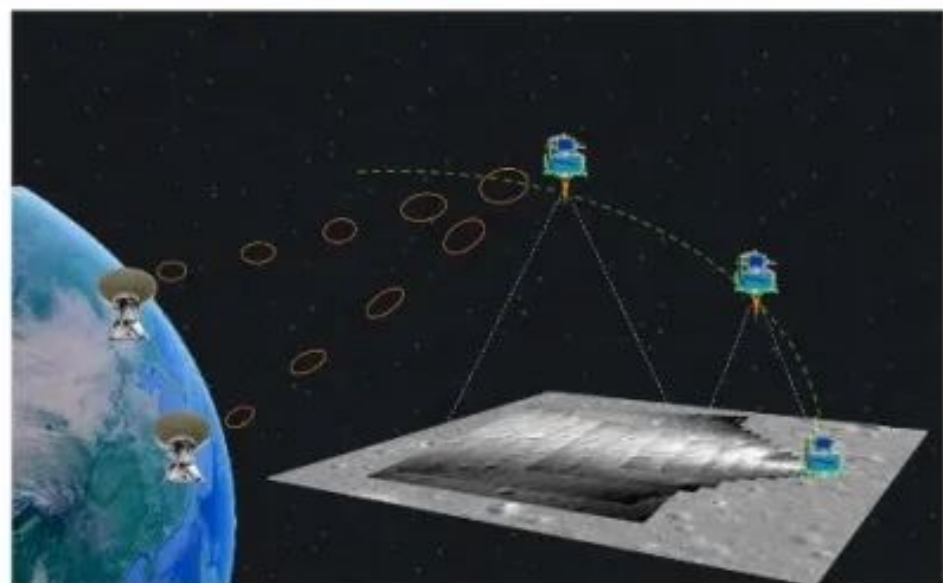
月壤厚度估算

- 识别了958个同心环撞击坑，月壤厚度0.74 - 18.00m, 图a中圆点的大小与厚度等比例;
- 通过内插得到15km×15km格网的平均月壤厚度.



Yue Z, Di K, Liu Z, et al., 2019. Lunar regolith thickness deduced from concentric craters in the CE-5 landing area, Icarus, 329:46-54.

嫦娥五号着陆点定位



Method and Strategy		L (°W)	B (°N)	δL (°W)	δB (°N)	δL (m)	δB (m)
Radio-tracking method	48 h data	51.9158	43.0587	-0.0004	0.0003	-8.9	9.1
	24 h data	51.9166	43.0594	0.0004	0.001	8.9	30.3
	12 h data	51.9181	43.0591	0.0019	0.0007	42.1	21.2
Image-based method	Image matching to Chang'e-2 DOM	51.9162	43.0584	—	—	—	—
	Image matching to LROC NAC DOM	51.9156	43.0591	-0.0006	0.0007	-13.3	21.2
	Direct observation in LROC NAC image [32]	51.9161	43.0576	-0.0001	-0.0008	-2.2	-24.3

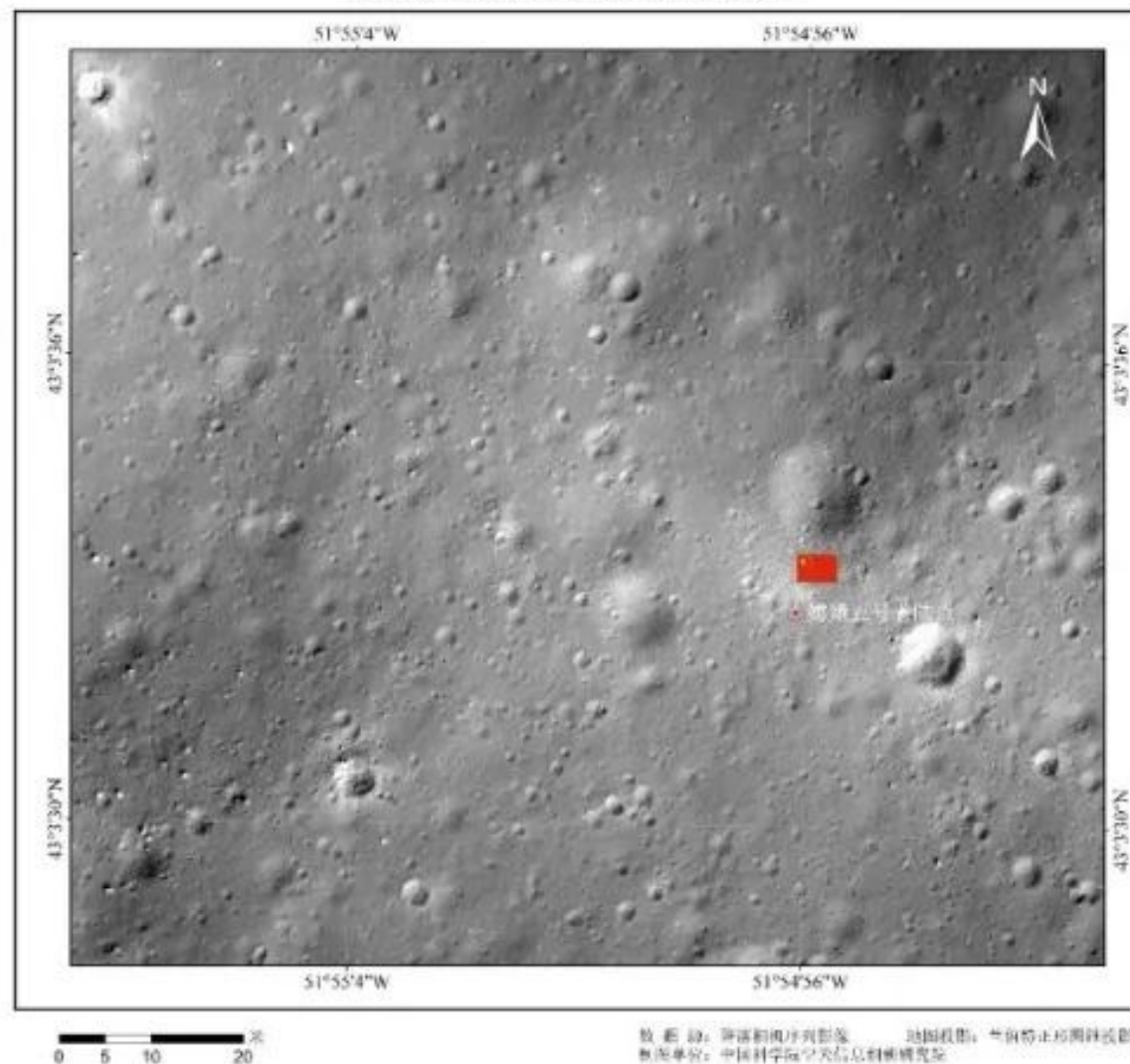
基于轨道器、着陆器和火星车影像的视觉定位与无线电测控定位相结合

着陆点的快速高精度定位对于上升器从月面起飞、与轨道器和返回器组合体交会对接方案的制定提供了关键信息。

Wang J, Zhang Y, Di K, et al., 2021. Localization of the Chang'e-5 Lander Using Radio-Tracking and Image-Based Methods, Remote Sensing, 13: 590.

嫦娥五号着陆区正射影像图

嫦娥五号着陆区正射影像图



由降落相机影像制作的着陆区正射影像图（0.1m 分辨率）

这些高分辨率遥感制图产品，为CE-5样品分析提供关键的地质背景信息。

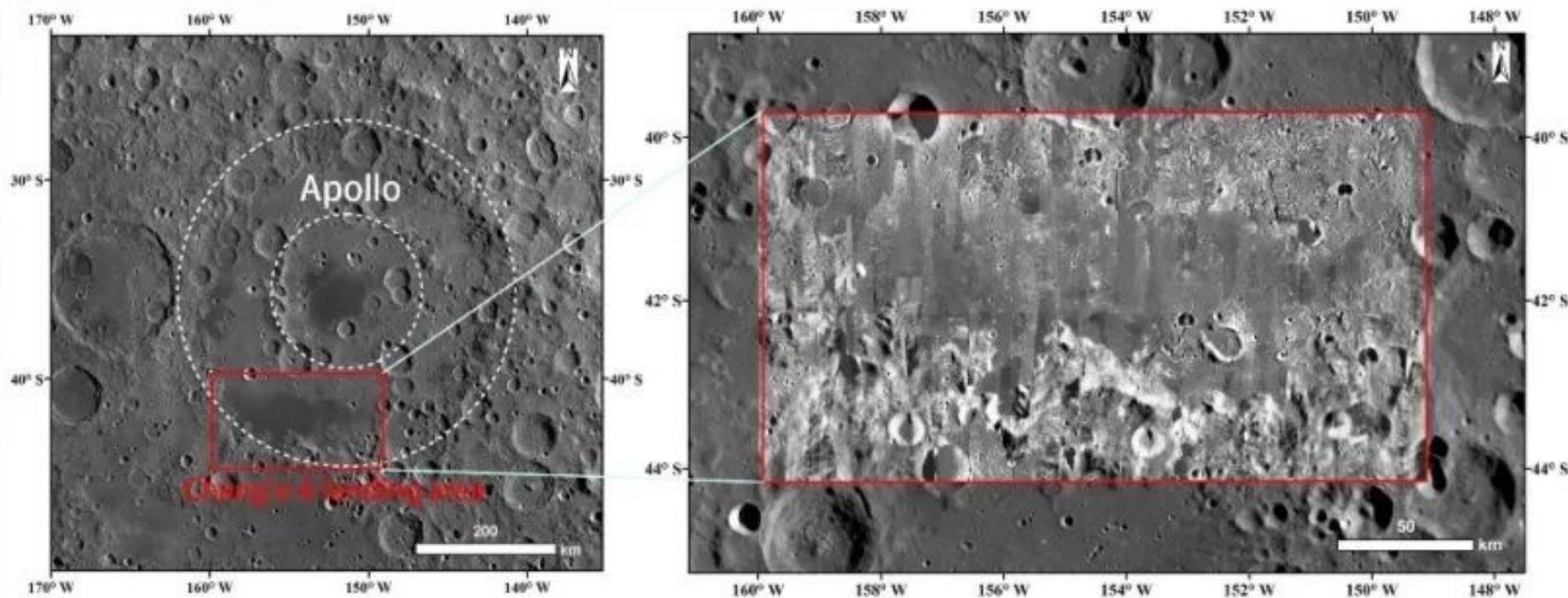
遥感分析与样品分析相结合，可望在区域地质演化、年代学模型改进等方面取得新的重大成果。

嫦娥六号任务简介

- 嫦娥六号(CE-6)任务是世界首次月背采样返回任务，探测器由轨道器、返回器、着陆器、上升器四部分组成，2024年5月3日在文昌发射场发射。
- 6月2日着陆器上升器组合体成功着陆在月球背面南极-艾特肯(SPA)盆地内的阿波罗盆地。
- 6月4日，上升器携带月球样品自月球背面起飞。
- 6月6日，上升器成功与轨道器和返回器组合体完成月球轨道的交会对接，并将样品容器安全转移至返回器中。
- 6月25日，返回器携带月球样品在内蒙古四子王旗预定区域安全着陆，CE-6任务圆满成功。CE-6任务采集月球背面样品1935.3克。
- 遥感制图、形貌分析、着陆点定位技术为工程任务的顺利实施提供了有力支撑。



嫦娥六号着陆区制图

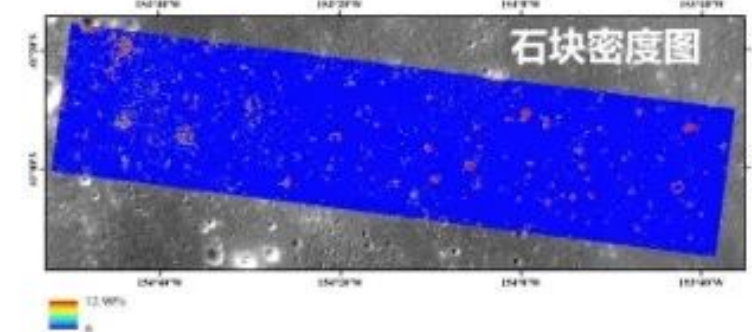
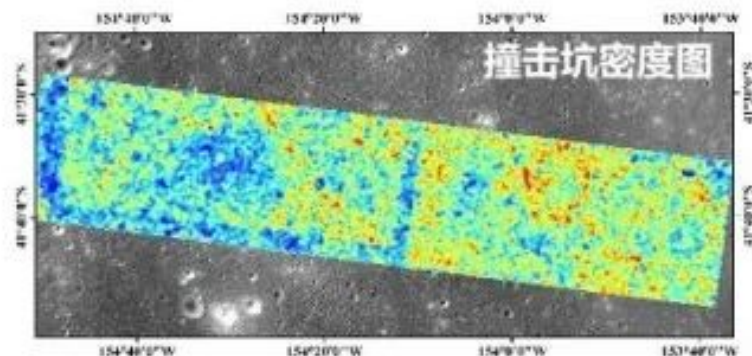
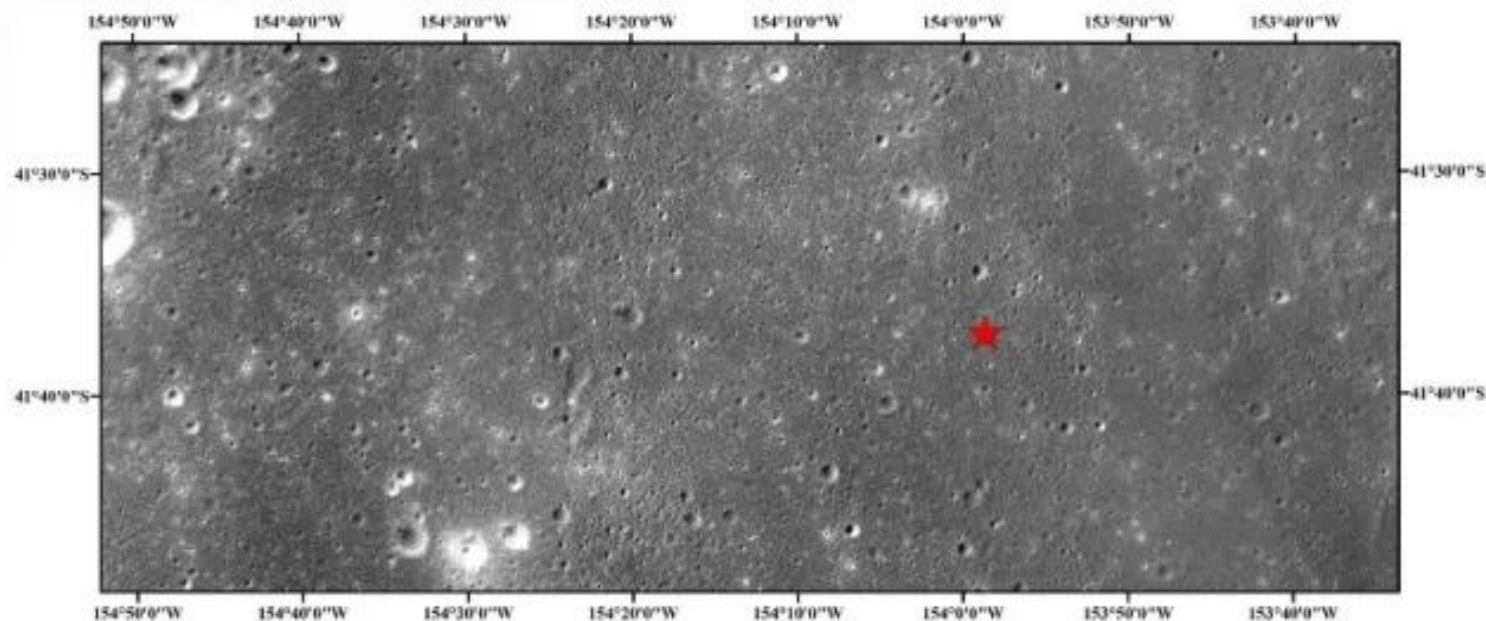
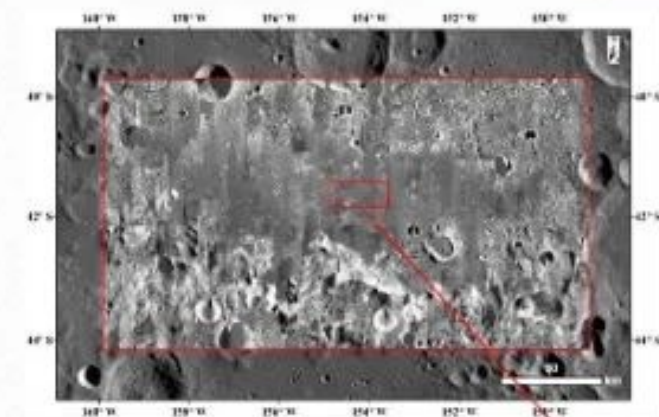


- 着陆区位置：月球背面SPA盆地内阿波罗盆地南部的暗平原（火山玄武岩填充区域）
- 着陆区初始范围：约 246 km × 134 km
- 743幅LROC NAC影像，制作出正射影像图，分辨率3 m/pixel

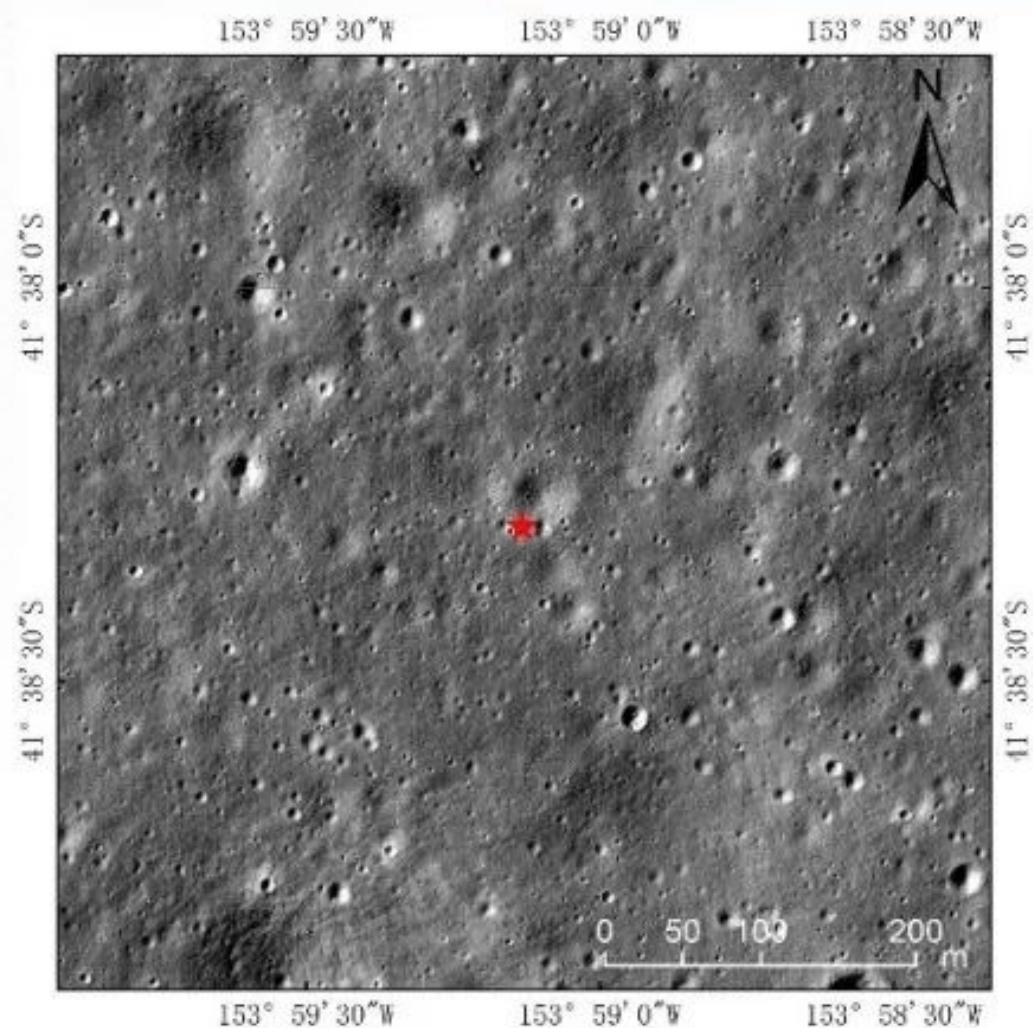
高分辨率制图和形貌分析支撑嫦娥六号着陆区精细选址

在89景LROC NAC影像中选取光照方向较为一致的17景影像，经过区域网平差生成该区域高分辨率正射影像图（30 km × 10 km），分辨率为0.86 m/pixel。同时利用SFS (Shape From Shading)技术生成了同分辨率的DEM。

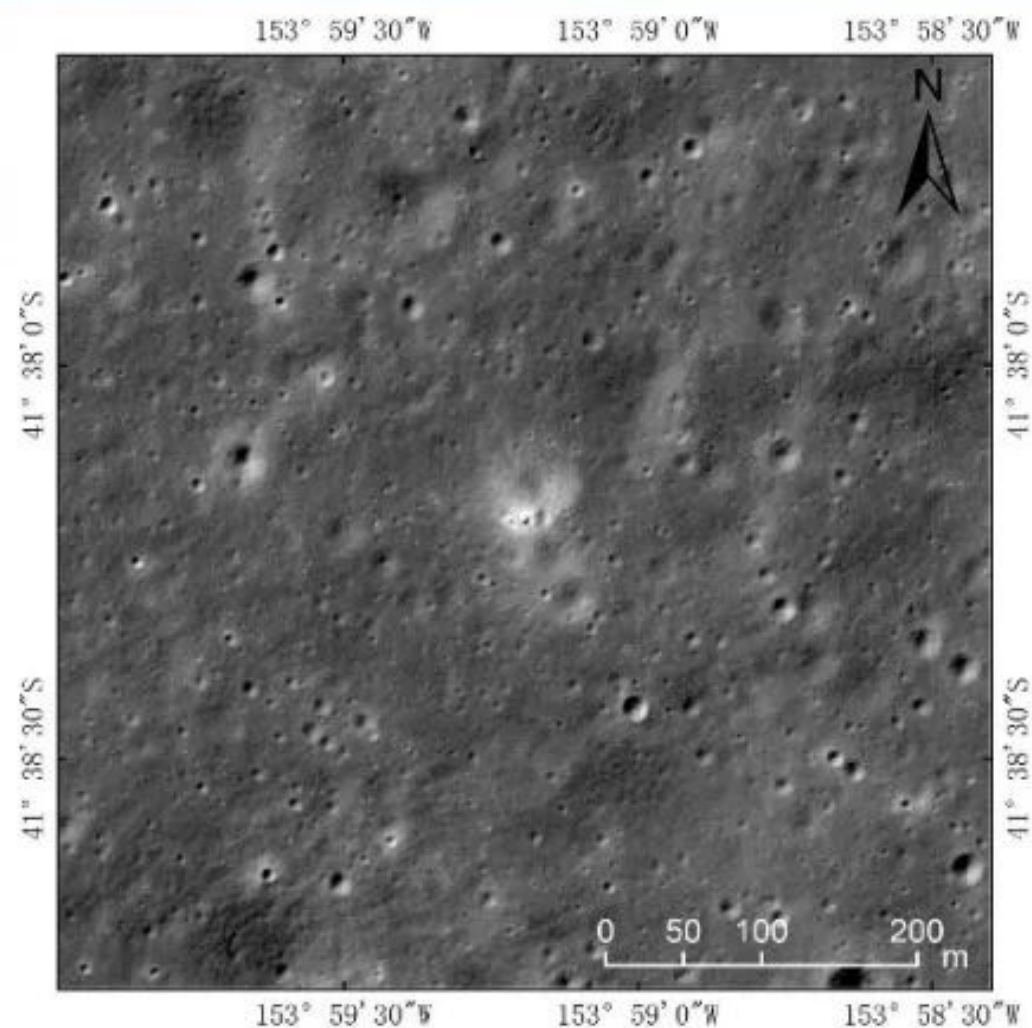
考虑安全着陆、月面工作、月面起飞几个关键阶段的工程安全性要求，开展了坡度分析、撞击坑密度分析、石块密度(丰度)分析，确定最终预选着陆区。



嫦娥六号着陆点自动化高精度定位



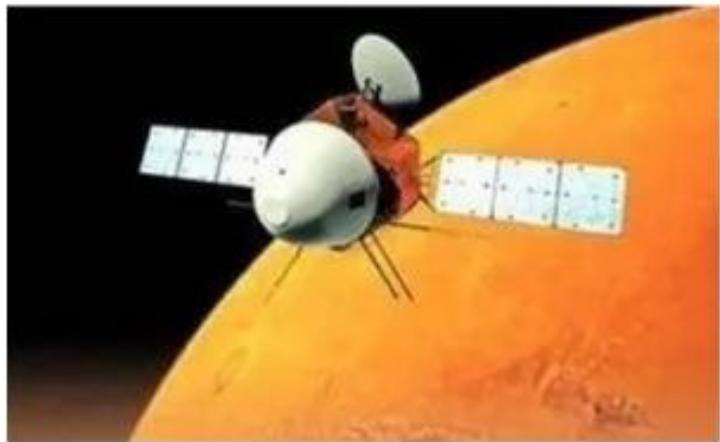
着陆点定位结果(153.9855°W, 41.6384°S)
LROC NAC (M166854798LE)影像底图



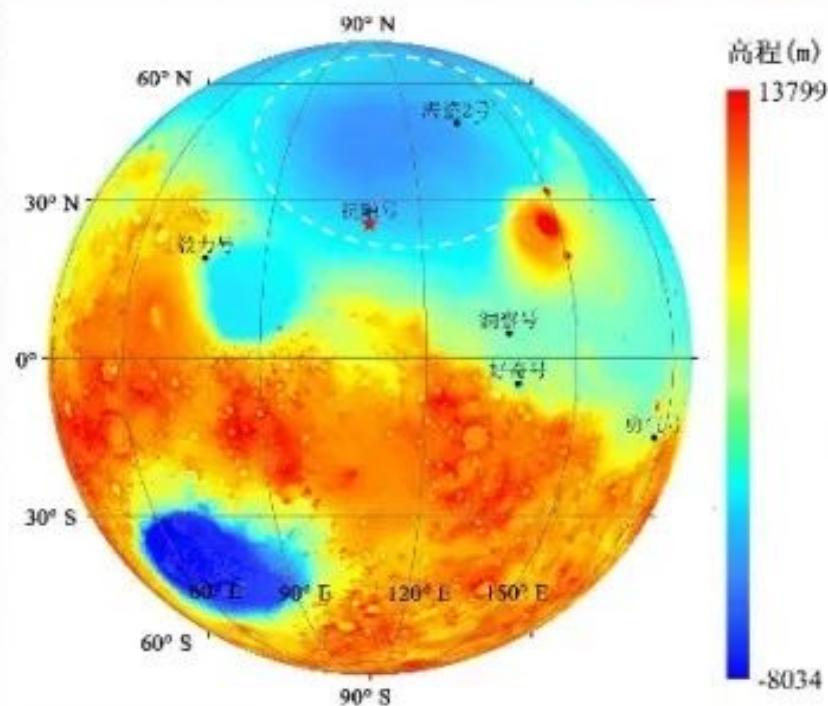
2024年6月7日LROC NAC获取的影像(M1472410644L)
中着陆器清晰可见，位置完全一致，验证了定位的高精度。

天问一号任务简介

- 天问一号任务是我国第一次自主火星探测任务，探测器包括轨道器（又称环绕器）、着陆器和巡视器（祝融号火星车），一次完成“绕、落、巡”三大任务。
- 2020年7月23日，天问一号探测器在文昌发射场发射成功；2021年2月10日，探测器成功进入火星轨道；5月15日着陆器在火星乌托邦平原南部预选着陆区着陆；5月22日，祝融号火星车成功从着陆平台驶离，开始了火星表面巡视探测。
- 天问一号的科学目标包括：火星形貌与地质构造特征、火星表面土壤特征与水冰分布、火星表面物质组成、火星大气电离层及表面气候与环境特征、火星物理场与内部结构。
- 遥感制图与导航定位技术在支撑工程任务的实施和火星科学研究上发挥着关键作用。

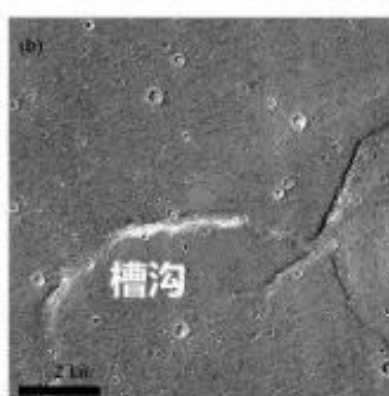
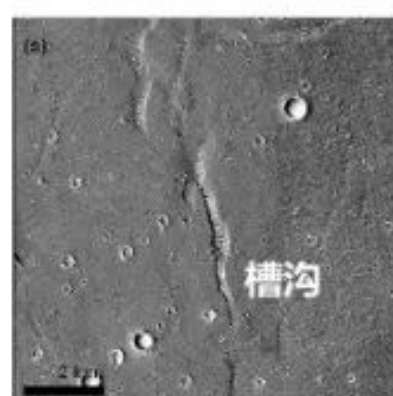
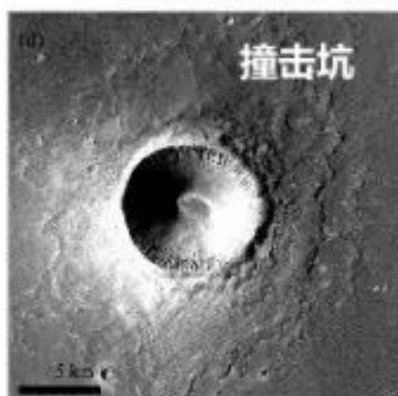
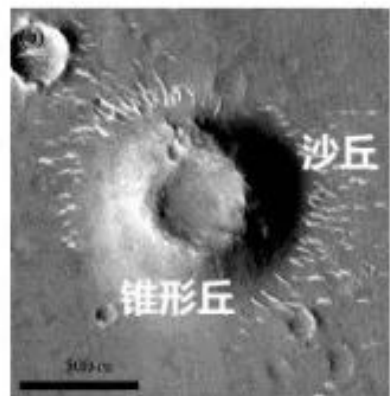
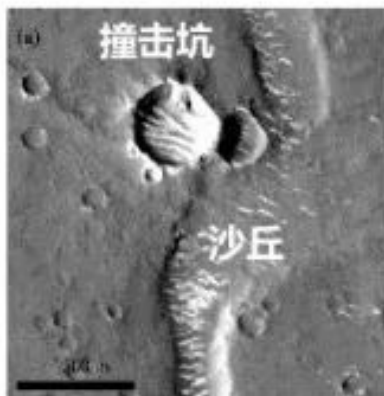
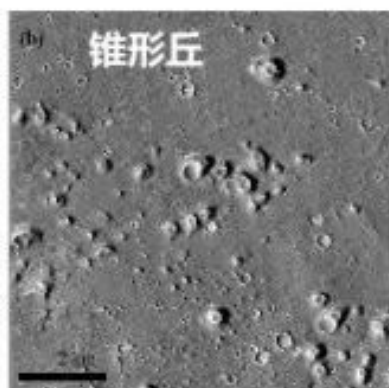
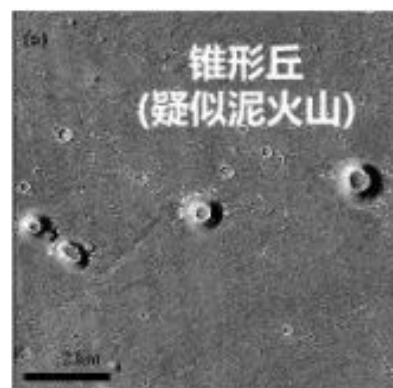
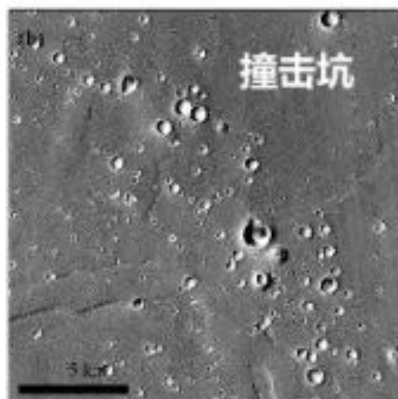


天问一号着陆区地貌

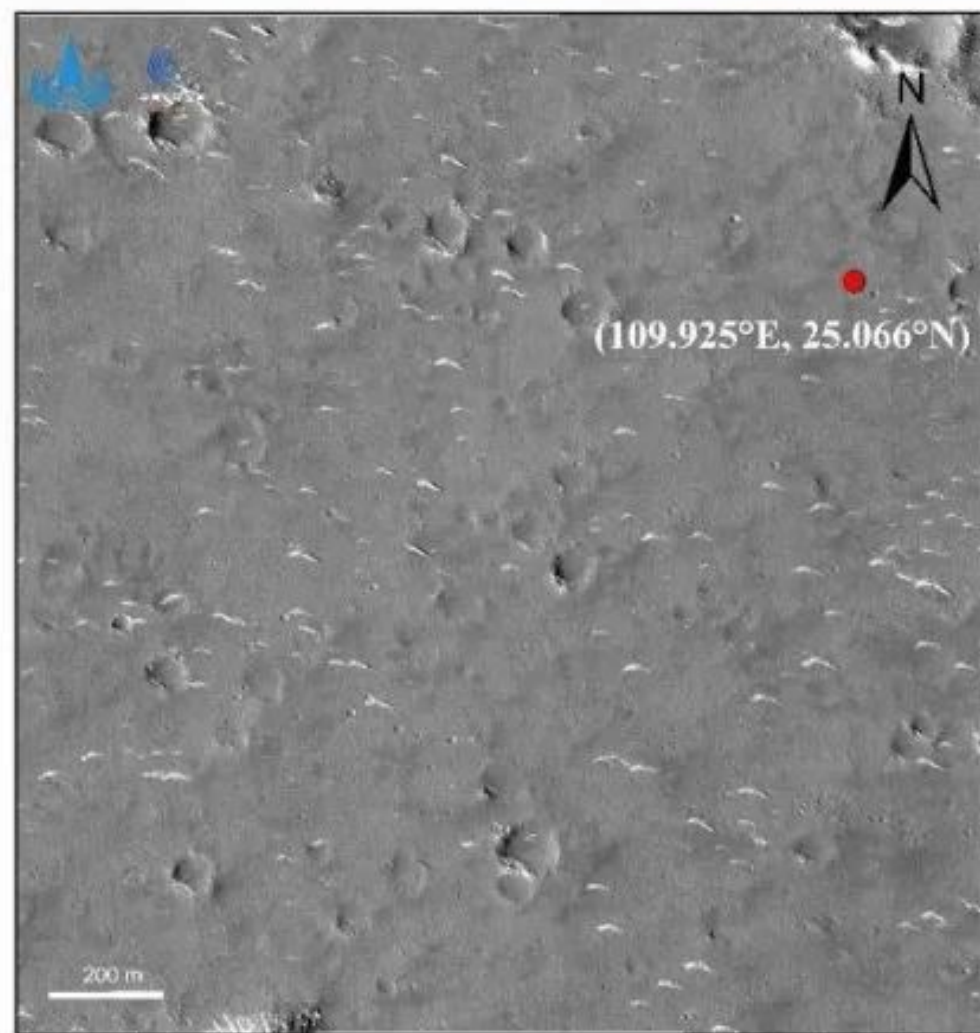


祝融号火星车着陆的乌托邦平原位于火星北部低地（有古海洋的假说）与南部高地的分界线附近。

乌托邦平原具有复杂多样的地质演化过程，存在多种与水与冰有关的地貌，过去可能存在具备孕育生命的环境。



天问一号着陆点定位



着陆点定位最终结果



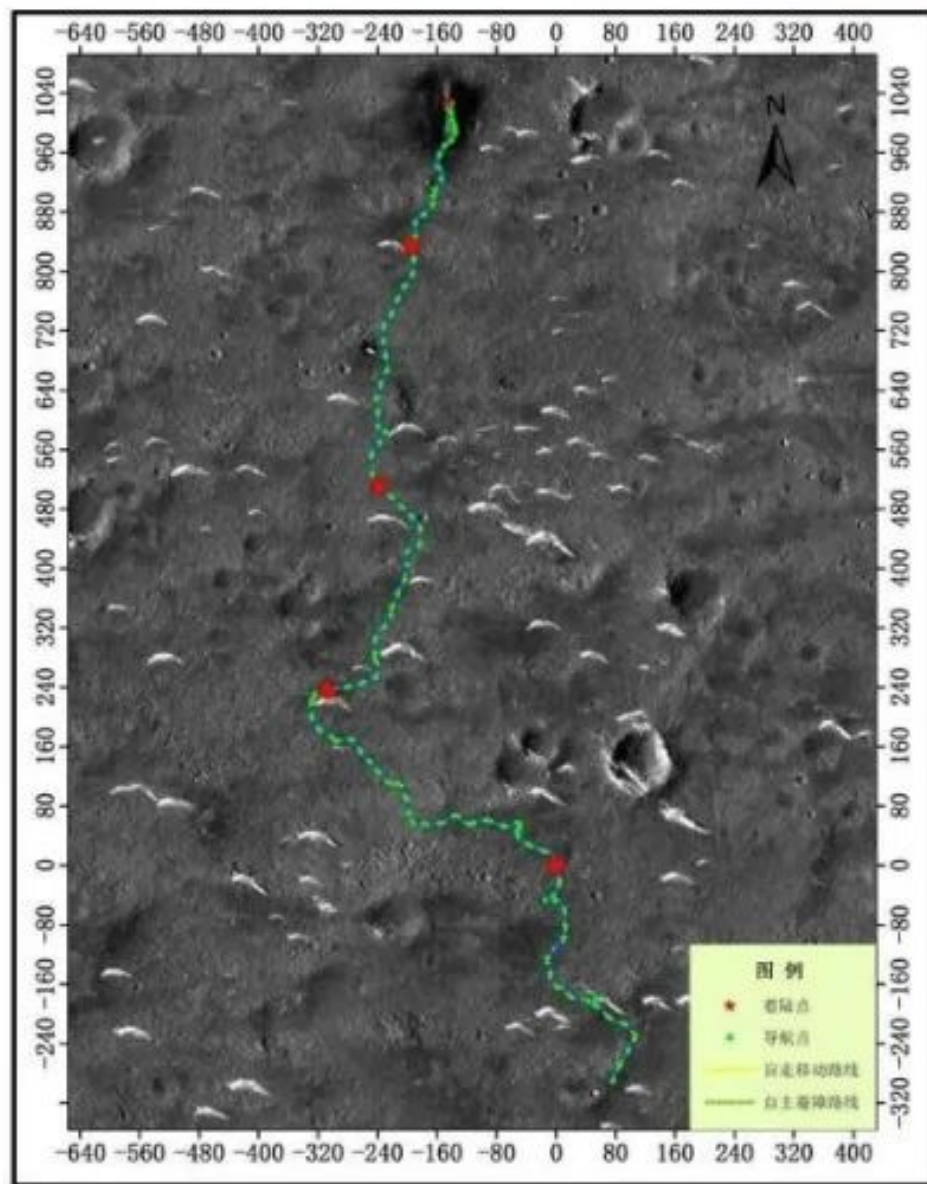
2021年6月21日天问一号轨道器高分相机获取的影像中，着陆器清晰可见，位置与之前的定位结果完全一致。

基于视觉的火星车导航定位

截至2021年8月15日，祝融号火星车在火星表面运行90个火星日(约92个地球日)，累计行驶889米，所有科学载荷开机探测，圆满完成既定巡视探测任务。后续将继续向乌托邦平原南部的古海陆交界地带行驶，实施拓展任务。

截至2022年5月5日，祝融号火星车在火星表面工作347个火星日，累计行驶1921米（行驶路线见左图）。

5月18日火星车转入休眠模式，应对沙尘天气导致的太阳翼发电能力降低及冬季极低的环境温度。预计今年12月前后，火星车巡视区将进入初春季节，环境条件好转后，将恢复正常工作。





报告内容

1. 新质生产力与时空智能

2. 空天时空智能：无所不在的PNT与PNTRC

3. 空地时空智能：无人机与移动测量机器人

4. 水面水下时空智能：传感网与无人舰艇

5. 深空时空智能：月球与火星智能探测

6. 结束语

时空智能学的兴起

世界是物质的，物质是运动的，运动着的物质世界是用时空信息来描述的。在当今万物互联和人工智能时代，时空数据获取、处理、信息提取与知识挖掘需要走向智能，时空智能学应运而生。

时空智能学的定义

时空智能学是利用通导遥智能传感器、云计算和人工智能方法对自然活动和人类活动进行感知、认知，支持智能决策的一门科学和技术，是当代和未来的测绘遥感地理信息学，是人工智能的重要组成部分，它能自动回答何时(When)、何地(Where)、何种目标(What Object)、有何种变化(What Change)及其机理(Why)，实现强军、富国、利民，推进人和自然的协同可持续发展。

时空智能学又是服务科学的重要组成部分，智能地在规定的时间内将所需要地点的正确的数据、信息和知识送给需要的人(4个Right)。

结束语

- 1. 从测绘遥感地理信息学到时空智能去拥抱新质生产力**
- 2. 要努力推进和实现天空地海无所不在的时空智能**
- 3. 要抓紧推进人工智能引导下的通导遥一体化的时空智能大众化服务，创造多个万亿级新质生产力产业**
- 4. 要勇敢推动测绘学走向时空智能学**



谢谢!