引文格式：王斌,王英谋,李雷,等. 利用海丝/巢湖SAR开展台风应急测绘实验[J]. 地理空间信息, 2024, 22(9): 108-111. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.09.023

利用海丝/巢湖SAR开展台风应急测绘实验

王　斌[1,2,3]，王英谋[1,2,3*]，李　雷[1,2,3]，邓建辉[4]
（1. 广东省国土资源测绘院，广东 广州 510663；2. 自然资源部华南亚热带自然资源监测重点实验室，广东 广州 510663；
3. 广东省自然资源科技协同创新中心，广东 广州 510663；4. 长沙天仪空间科技研究院，湖南 长沙 410006）

摘　要：首次利用国产海丝/巢湖雷达卫星开展台风登陆、运移应急测绘实验研究。以2022年11月“尼格”台风为例，应急调度获取台风登陆3 h和12 h的3 m条带SAR影像，采用监督分类快速提取耕地淹没、道路水淹等变化。结果表明：①国产SAR影像成像清晰稳定，双星实现12 h同一区域覆盖；②24 h警戒线风暴潮预测模型增水范围是卫星应急调度的主要依据；③实验区耕地淹没面积从0.098 km²缩小至0.064 km²，道路积水面积从5.032 km²缩小至2.385 km²，未形成明显的城市内涝现象，说明利用高分辨率雷达卫星开展台风应急测绘是可行的。增加星座数量、优化轨道空间布局是保障应急数据快速响应的发展方向。

关键词：台风；应急测绘；海丝；巢湖；SAR
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）09-0108-04

Typhoon Emergency Mapping Experiment Based on Hisea/Chaohu SAR

WANG Bin[1,2,3], WANG Yingmou[1,2,3], LI Lei[1,2,3], DENG Jianhui[4]
(1. Surveying and Mapping Institute Lands and Resource Department Guangdong Province, Guangzhou 510663, China;
2. Key Laboratory of Natural Resources Monitoring in Tropical and Subtropical Area of South China, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510663, China;
3. Guangdong Science and Technology Collaborative Innovation Center for Natural Resources, Guangzhou 510663, China;
4. Changsha Tianyi Space Technology Research Institute Co., Ltd., Changsha 410006, China)

Abstract: In this paper, we used the domestic Hisea/Chaohu radar satellite for the first time to carry out emergency mapping research on typhoon landing and movement. Taking the “Nige” landing typhoon in November 2022 as an example, we emergency scheduling obtained 3-meter strip SAR images of typhoon landing phases 3 h and 12 h, and used supervised classification method to quickly extract changes in farmland flooding and road flooding. The results show that ①the domestic SAR images are clear and stable, with dual satellites achieving 12 h coverage in the same area. ②The surge range of 24 h warning line storm surge prediction model is the main basis for satellite emergency scheduling. ③The flooded area of cultivated land in the experimental area decreases from 0.098 km² to 0.064 km². The accumulated water area on roads decreases from 5.032 km² to 2.385 km², without significant urban waterlogging. It is feasible to use high-resolution radar satellites for typhoon emergency mapping. Increasing the number of constellations and optimizing the orbital spatial layout are the development directions for ensuring rapid response to emergency data.

Key words: typhoon, emergency mapping, Hisea, Chaohu, SAR

台风灾害防治是一项事关人民群众生命财产安全、社会稳定和可持续发展的大事[1-2]。台风会诱发风灾、雨灾和风暴潮[3]等风险灾害。广东省每年均遭受不同程度的台风灾害，1949—2021年共发生重大台风灾害264次[4]，因此探究台风登陆、运移、消亡全过程“天空地”协同应急测绘保障体系是应对台风灾害的重要课题[5]。目前我国已基本建成高时空分辨率的台风立体监测体系[6]，如风云系列气象卫星、高密度地面自动站、高空探测和移动观测可全方位实时观测台风[7-8]，及时提供台风动态和降雨信息，但气象卫星影像分辨率低、易受云雨雾遮挡、地面监测站分布离散，给灾害应急测绘造成很大困难。参考文献[9]~[11]均采用合成孔径雷达（SAR）监测台风，但受限于雷达卫星重返周期长、卫星调度保障等客观因素[12]，还

收稿日期：2023-02-23。
项目来源：广东省科技计划资助项目（2021B1111610001、2021B1212100003）；广东省自然资源厅科技资助项目（GDZRZYKJ2022008）；广东省自然灾害防治体系建设专项资助项目。
第一作者简介：王斌（1986—），硕士，高级工程师，研究方向为摄影测量与遥感，E-mail：547539038@qq.com。
通信作者：王英谋（1981—），本科，高级工程师，研究方向为摄影测量与遥感，E-mail：48461740@qq.com。

难以满足突发自然灾害应急测绘快速响应的要求。随着国产雷达卫星产业的迅速发展，对于重点关注区域可定制化快速成像[13]，为台风灾害快速应急测绘、灾损评估提供了可能。由天仪研究院研制的我国首颗商业SAR轻小型卫星“海丝一号”于2020年12月成功发射[14]，“巢湖一号”于2022年2月开始提供SAR卫星遥感数据服务，最高成像分辨率均提升到1 m。星载SAR能穿透云雾雨，具备全天时全天候对地观测的能力，可昼夜连续成像[15-16]。

本文首次利用海丝/巢湖国产SAR卫星进行台风应急测绘实验，获取了“尼格”台风登陆、移动过程3 m条带SAR影像，提出了从卫星预报过境、规划拍摄、上注下传，到快速制作应急影像产品、统计分析耕地与道路淹没变化的总体技术方案，为台风应急测绘保障工作提供了参考。

1　海丝/巢湖SAR数据源

天仪研究院研制运营的“海丝一号”和“巢湖一号”SAR卫星具备全天时全天候对地观测能力，卫星指标（表1）已达到国际轻小型C波段商业SAR卫星的最高分辨率[17-19]。

表1　两种SAR卫星指标参数

项目	“海丝一号”	“巢湖一号”
设计寿命/a	3	5
轨道类型	太阳同步轨道	太阳同步轨道
重访周期/d	2~3	2~3
升交点地方时	12：00（±25 min）	10：30（±25 min）
轨道倾角/(°)	97.45	97.43
平均轨道高度/km	512	535
工作频段/GHz	C波段（5.40）	C波段（5.40）
左右视能力	均具备	均具备
极化方式	VV	VV
整星质量/kg	185	285
天线类型	二维扫描有源相控阵	二维扫描有源相控阵
扫描角度/(°)	20~35	15~40
分辨率/m	1~20	1~20
成像幅宽/km	5~100	7~175
无控定位精度/m	~20	~20

为尽可能大范围获取台风侵袭高分辨率SAR影像，本文采用“海丝一号”和“巢湖一号”卫星条带模式正射校正影像产品（ORG）。ORG产品是根据地形数据和严格正射校正模型对图像进行地理校正重采样，得到的具有地理编码的图像数据[20]。“海丝一号”卫星条带模式的地面测绘带被天线波束连续覆盖，在成像过程中天线波束在方位向和距离向均不进行扫描。该模式下产品在方位向具有同等质量的影像品质，一级影像产品最佳分辨率为3 m，标准产品每景幅宽为20 km×20 km（距离向×方位向），方位向最大获取能力为840 km。相较于“海丝一号”卫星，“巢湖一号”卫星增加了滑聚模式和TOPS模式，且其聚束模式、条带模式和扫描模式提升了标准影像产品的成像幅宽和方位向最大获取能力，其中条带模式每景幅宽为25 km×25 km，方位向最大获取能力为2 000 km。

2　“尼格”台风应急测绘响应

2.1　“尼格”台风引发风暴潮蓝色预警

“尼格”台风于2022年10月27日在西北太平洋洋面生成[21]，于10月28日5时形成热带风暴向西北穿过我国48 h警界线，其中心气压值为998 hPa，20时加强为强热带风暴，中心气压为982 hPa；于10月30日8时进入我国12 h警戒线范围；于10月31日升级为台风级别，中心气压为975 hPa，进入广东省东沙群岛海域，距离珠江口岸约400 km，引发珠海、江门、中山等沿海城市的强风暴雨天气。

中心气压950 hPa风暴潮增水淹没水深预测模型（图1）是台风测绘应急的重要基础资料。根据登陆区地形条件、基础设施布局等可预测，淹没区位于地势低洼平坦的海岸附近，主要为耕地等农用地分布区域，为实施城区短期排涝、耕地淹没灾损评估提供支撑，也为雷达影像应急成像编程提供依据。

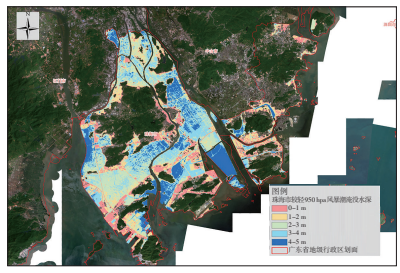


图1　中心气压950 hPa风暴潮增水淹没预测模型

2.2　台风应急测绘响应处置

与崩塌滑坡泥石流等突发自然灾害应急测绘不同，台风将诱发暴雨强风多云雾天气，使得卫星光学遥感、低空摄影测量服务成效显著减弱，甚至难以满足基本作业环境要求，因此SAR成为台风侵袭监测的重要补充手段[22-23]。快速获取台风登陆区、移动侵袭区高分辨率SAR影像并提取增水淹没范围，精准分析重点受灾区域并确定无人机低空应急测绘靶区，是台风应急测绘保障的主要任务要求。

“尼格”台风应急测绘保障响应总体路线见图2，分为风灾前、中、后3个阶段：①台风登陆前需及时

了解台风动态路径预警，收集登陆区专题矢量和光学影像，启动编程获取SAR影像调度工作，本文以“海丝一号”和“巢湖一号”卫星为主要数据源，在台风进入我国48 h警界线后启动应急预案，至登陆前3~6 h警界线调度SAR卫星拍摄区域，收集已有地质环境、人口交通、水系地貌、土地利用等专题数据，并统一加载到2022年10月0.7 m分辨率光学卫星影像生成的三维大场景中进行综合管理；②台风登陆后需充分利用微波遥感开展多期SAR卫星影像获取与预处理，快速分析受灾情况，确定重点受灾靶区范围、人口交通等基础信息，在明确拍摄需求后紧急实施任务规划，确定拍摄区域范围中心位置的经纬度坐标、SAR成像模式和过境时间，生成任务指令并经亚太测控/北斗上注执行，获取台风登陆后最新时相SAR影像数据，并根据台风移动速率、方向评估获取时序监测影像的范围和采集时间，将目标区域的回波数据传输到数据接收中心，并生产标准影像产品，质检合格后传输到应急测绘数据处理中心开展无地面控制R-D模型地理编码纠正[23-24]，供内业解译与空间分析使用，并为台风消亡后适时启动低空无人机现场应急测绘提供重要依据；③台风消亡减弱为热带低压，适时启动现场低空无人机应急测绘，支撑现场应急救援。

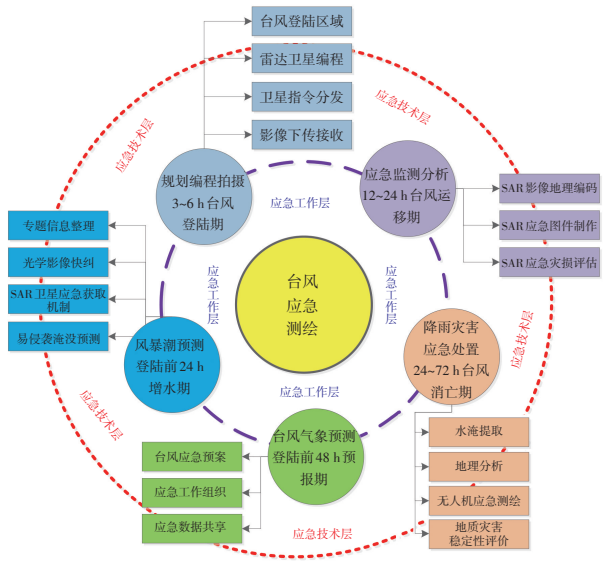


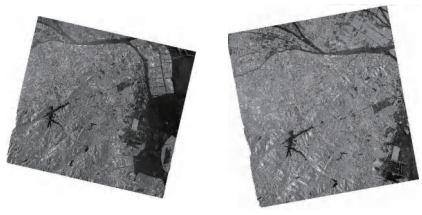
图2 台风应急测绘保障工作总体路线

3 实验结果与分析

“尼格”台风于11月3日5时登陆珠海市、中山市和江门市局部区域，制订的应急测绘SAR雷达数据保障规划见表2。本文获取“巢湖一号”卫星11月3日11时16分降轨SAR数据，条带模式，3 m分辨率，幅宽为25 km；“海丝一号”卫星11月4日0时24分升轨SAR数据，条带模式，3 m分辨率，幅宽为20 km（图3），总体来看，两种卫星高分辨率有源相控阵SAR影像成像清晰，几乎不受台风侵袭恶劣气象观测条件限制，国产独立卫星调控中心可为双星协同观测模式轨道姿态应急调整提供极大便利，相邻成像间隔约为12 h，具备较宽的左右视调整能力和天线扫描角度，满足台风路径即时变化环境下星基SAR成像位置的快速响应，相较于Sentinel-1等商业SAR卫星，资源固定扫描方向、成像时间获取[25]具有灵活、快速、可控等显著优势。图3a为台风登陆后6 h的雷达图像，水体发生镜面发射导致微波散射信号极弱，辐射亮度值极小、成像呈暗色调，台风增水淹没沿岸区域、城区内部道路也有明显积水现象；图3b为台风登陆后次日凌晨的雷达图像，沿岸区域水域覆盖明显收缩，城区范围成像灰度呈亮色调，说明城区积水有显著改善。

表2 应急测绘SAR雷达数据保障规划

卫星类型	拍摄区域	拍摄时间	拍摄时长/s	拍摄视角/(°)	轨道方向
“巢湖一号”	珠海市	2022/11/3 T11：16：45	100	-29.803 1	降轨
“海丝一号”	珠海市	2022/11/4 T00：24：52.544	30	24.344 9	升轨

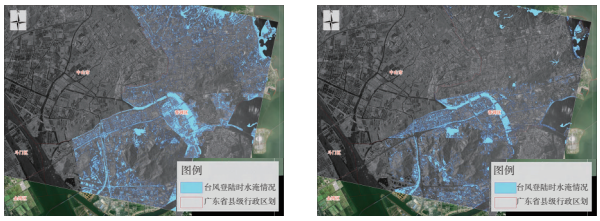


a “巢湖一号” b “海丝一号”

图3 国产应急测绘SAR雷达影像

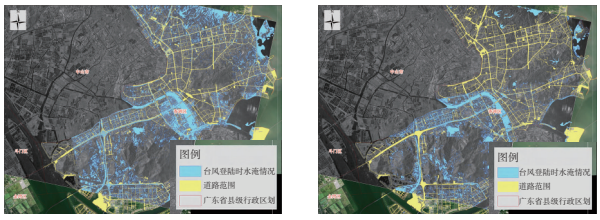
采用阈值分割结合人工判读修边综合的方法，分别基于2022年11月3日11时16分“巢湖一号”卫星数据和2022年11月4日0时24分“海丝一号”卫星数据提取水域淹没范围，结果见图4、5。阈值分割以图像统计分布为特征，当满足总体分类代价函数最小时获得最小错分率的结果[26]，并对其锯齿形边界进行光滑拟合，套合已有高分辨率光学影像和建筑交通等专题矢量，人工修整水体边界。考虑到SAR影像3 m分辨率和实际耕地面积大小，对10 m^2以下水体边界予以归并综合。空间叠加土地利用变更范围和道路范围线，对比分析“海丝一号”和“巢湖一号”卫星获取

的台风登陆中与登陆后重叠区域水体变化发现，耕地淹没从0.098 km²缩小至0.064 km²，特别是研究区北部、西南部区耕地积水收缩明显；道路积水从5.032 km²收缩至2.385 km²，特别是城区北部退水显著，这主要与研究区中间台地而周围地势较低，环境、水系较发达密切相关。利用SAR监测得到的淹没范围可作为道路交通、水利、农业等部门应急的基础数据，进而确定受灾重点区域。



a 2022年11月3日　　b 2022年11月4日

图4　研究区耕地淹没范围变化



a 2022年11月3日　　b 2022年11月4日

图5　研究区道路积水范围变化

4　结　语

以“尼格”台风造成登陆区洪涝为基本任务需求，本文首次引入高分辨率国产SAR影像快速实现土地利用（耕地、道路）淹没动态变化分析，部署开展台风云雨环境下SAR遥感技术方法，紧急调取了11月3日11时和次日0时两景3 m高分辨率SAR影像，并通过监督分类精细识别提取积水淹没范围、分布，实现台风侵袭受灾变化检测分析。结果表明，高分辨率高时相雷达遥感支撑台风应急测绘技术是可行的，利用双星模式可满足应急测绘12 h快速响应需求。随着后续雷达卫星星座的不断完善，应急测绘响应能力可进一步提升。

参考文献

[1] 张健峰，王代堃. 省级应急测绘保障体系建设研究与应用[J]. 地理空间信息，2020，18(6)：6-8

[2] 王中山，袁金锦. 面向灾害风险评估的台风数值模拟及可视化[J]. 测绘通报，2015(4)：108-110

[3] 刘少军，张京红，何政伟，等. 应用GIS技术的台风灾害危险性评估系统[J]. 地理空间信息，2011，9(1)：34-35

[4] 潘安定，唐晓春，刘会平. 广东沿海台风灾害链现象与防治途径的设想[J]. 广州大学学报(自然科学版)，2002，1(3)：55-61

[5] 马玉玲，袁艺，潘东华. 我国台风灾害救助应急响应的时空分布特征[J]. 灾害学，2012，27(3)：132-136

[6] 端义宏，陈联寿，许映龙，等. 我国台风监测预报预警体系的现状及建议[J]. 中国工程科学，2012，14(9)：4-9

[7] 林明森，张毅，宋清涛，等. HY-2卫星微波散射计在西北太平洋台风监测中的应用研究[J]. 中国工程科学，2014，16(6)：46-53

[8] 胡潭高，张登荣，王洁，等. 基于遥感卫星资料的台风监测技术研究进展[J]. 遥感技术与应用，2013，28(6)：994-999

[9] 于鹏，钟小菁，耿旭朴. 基于哨兵1号的台风风场反演方法研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版)，2022(3)：125-136

[10] 陈卫荣，黄世存. 国产陆地观测卫星应急监测“威尔逊”台风和云南鲁甸地震[J]. 卫星应用，2014(10)：40-41

[11] 杨浩，童丽闺. 天地一体技术在台风灾害中的应用[J]. 测绘与空间地理信息，2014，37(4)：127-128

[12] 李成绕，薛东剑，张露，等. 基于Sentinel-1A卫星SAR数据的水体提取方法研究[J]. 地理空间信息，2018，16(1)：38-40

[13] 熊金涛，陈娟，黄钰林，等. 条带模式SAR快速反投影成像算法研究[J]. 电子科技大学学报，2007，36(增刊2)：1 102-1 105

[14] 谢婷，王怡人，吕素娜，等. 海丝一号卫星及其应用展望[J]. 卫星应用，2021(10)：40-44

[15] 张直中. 合成孔径雷达(SAR)的最新发展[J]. 现代雷达，2003，25(1)：1-8

[16] 周环，宫辉力，李小娟，等. 合成孔径雷达(SAR)在湿地中的应用综述[C]//《测绘通报》测绘科学前沿技术论坛摘要集，2008：920-926

[17] 作者不详. “海丝一号”中国首颗轻小型SAR卫星[J]. 雷达科学与技术，2021，19(1)：2

[18] 李泉锟，高海英，赵一迪，等. 海丝一号合成孔径雷达卫星及应用概况[J]. 卫星应用，2022(7)：31-35

[19] 封面说明“海丝一号”卫星墨西哥查帕拉湖SAR遥感影像[J]. 遥感学报，2021，25(3)：846

[20] 林璐，周群强，王爽，等. 星载SAR在基础地理信息数据快速更新中的应用研究[J]. 地理空间信息，2020，18(10)：55-59

[21] 刘蕊，王美丽. “尼格”为何给菲律宾带来严重灾损？[N]. 中国气象报，2022-11-07(3)

[22] 林明森，袁新哲，刘建强，等. 高分三号卫星在台风监测中的应用[J]. 航天器工程，2017，26(6)：167-171

[23] 刘永孝，张景辉，栾曙光，等. 合成孔径雷达影像反演台风浪的研究[J]. 海洋预报，2013，30(3)：58-65

[24] 杨杰，潘斌，李德仁，等. 无地面控制点的星载SAR影像直接对地定位研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版)，2006，31(2)：144-147

[25] 王磊，连增增. 基于Sentinel-1A的2020年鄱阳湖流域洪水灾害遥感监测[J]. 地理空间信息，2022，20(6)：43-46

[26] 经波，宁文怡. 基于阈值分割与决策树的SAR影像水体信息提取[J]. 地理空间信息，2021，19(3)：46-49