

王斌, 罗莉, 刘采玮, 等. “摩羯”台风登陆粤西应急遥感试验[J]. 华南地震, 2026, 46(4): 124–132. [WANG Bin, LUO Li, LIU Caiwei, et al. Emergency Remote Sensing Experiment of Typhoon Yagi Landing in Western Guangdong [J]. South China journal of seismology, 2026, 46(4): 124–132]

“摩羯”台风登陆粤西应急遥感试验

王斌^{1,2}, 罗莉³, 刘采玮^{1,2}, 李雷^{1,2}, 张伟⁴, 刘想林⁵

(1. 广东省国土资源测绘院, 广州 510663; 2. 自然资源部大湾区地理环境监测重点实验室, 深圳 518060; 3. 广东省广建设计集团广东省测绘工程有限公司, 广州 510663; 4. 广东省地质环境监测总站, 广州 510500; 5. 东莞市沙田测绘有限公司, 广东 东莞 523993)

摘要: 台风“摩羯”(国际编号2411)生成于2024年9月1日, 8日停止编号, 6日达到极端强度并于当日22:20左右登陆广东省徐闻附近区域, 环流庞大、台风持续、暴雨增水对各类生产生活造成重大威胁, 给应急遥感监测提出新的挑战。通过应急调度拍摄台风侵袭区域高分辨率合成孔径雷达影像, 分析台风中心附近核心区短临增水显著、强风影响作用损失。基于高精度数字高程模型划定斜坡单元, 并构建以斜坡单元为基础的地质灾害防御评价指标方法, 快速评价台风环流影响强降雨区不同防御等级。试验表明: 台风作用下核心区耕地种植情况总体影响较轻, 主要增水区分布沿岸附近尚未造成农作物大面积淹没; 海堤西北至中段防护效果明显, 尚未出现大面积越浪淹没现象, 在东段海堤防护范围内出现较大范围陆域淹没; 筏式养殖区总体损失较轻, 少量养殖设施出现淹没。台风作用下环流强降雨区地质灾害防御评价结果总体与在库隐患点在空间上表现一致性, 各级防御区呈统计正态分布。说明国产商业高分辨率合成孔径雷达能够满足台风作用下耕地种植作物淹没、海堤风暴越浪以及海上养殖设施安全防灾减灾要求, 地质灾害防御区快速评价指标在应急遥感监测中具有可行性。

关键词: 摩羯台风; 数字高程模型; 合成孔径雷达; 地质灾害防御; 应急遥感

中图分类号: P315.72+2

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2026)04-0124-09

DOI: 10.13512/j.hndz.2026.04.15

Emergency Remote Sensing Experiment of Typhoon Yagi Landing in Western Guangdong

WANG Bin^{1,2}, LUO Li³, LIU Caiwei^{1,2}, LI Lei^{1,2}, ZHANG Wei⁴, LIU Xianglin⁵

(1. Surveying and Mapping Institute Lands and Resource Department Guangdong Province, Guangzhou 510663, China; 2. Key Laboratory of Geographic Environmental Monitoring for the Greater Bay Area, Ministry of Natural Resources, Shenzhen 518060, China; 3. Guangdong Guangjian Design Group Guangdong Surveying and Mapping Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510663, China; 4. Guangdong Provincial Geological Environment Monitoring Station, Guangzhou 510500, China; 5. Dongguan Shatian Surveying and Mapping Co., Ltd., Dongguan 523993, China)

收稿日期: 2025-02-05

基金项目: 自然资源部大湾区地理环境监测重点实验室开放基金课题(EMLab-2024002); 国家自然科学基金项目(42471340); 中央财政广东省地质灾害防治体系建设专项联合资助

作者简介: 王斌(1986-), 男, 高级工程师, 从事地质灾害遥感, 摄影测量与遥感研究工作。

E-mail: 547539038@qq.com

通信作者: 刘想林(1990-), 男, 工程师, 主要从事测绘地理信息工作。

E-mail: 276280075@qq.com

Abstract: Typhoon Yagi (International No. 2411) formed on September 1, 2024, and was decommissioned on September 8. It peaked in intensity on September 6, and made landfall near Xuwen, Guangdong Province at around 22:20 on the same day. The huge circulation, continuous typhoon and rainstorm increase water pose a major threat to all kinds of production and life, posing new challenges to emergency remote sensing monitoring. The study acquired emergency dispatch to capture high-resolution synthetic aperture radar images of typhoon affected areas via emergency imaging scheduling, and analyzes the significant short-term water surge and wind-induced losses in the core area near the typhoon center. And based on high-precision digital elevation models, slope units are delineated, and a geological hazard defense evaluation index method based on slope units is constructed to quickly evaluate the impact of typhoon circulation on different defense levels of rainstorm-hit zones affected by typhoon circulation. The experiment shows that: The overall impact of the typhoon on the cultivation of arable land in the core area is relatively light, and the main water increasing areas are distributed near the coast, which has not yet caused large-scale flooding of crops; the protective effect of the northwest to middle section of the seawall is obvious, and there has not been a large-scale wave inundation phenomenon. Within the protection range of the eastern section of the seawall, there has been a large-scale land inundation; the overall loss of raft aquaculture areas is relatively light, with a small number of aquaculture facilities being encroached upon. The evaluation results of geological disaster prevention in areas with heavy rainfall caused by typhoons are generally consistent with the spatial performance of hidden danger points in reservoirs, and the defense zones at all levels show a statistically normal distribution. The domestically produced commercial high-resolution synthetic aperture radar can meet the requirements of crop submergence in farmland under typhoon action, storm surges on seawalls, and safety disaster prevention and mitigation of offshore aquaculture facilities. The rapid evaluation index of geological disaster defense zones is feasible in emergency remote sensing monitoring.

Keywords: Typhoon Yagi; Digital elevation model; Synthetic aperture radar; Geological hazard prevention; Emergency remote sensing

0 引言

受全球变暖、极端天气环境影响，台风强降雨等极端天气越发频繁^[1]，华南地区夏秋季发生概率高、强度大、影响范围广，对海上养殖^[2]、海防堤坝^[3]、耕地种植^[4-5]等各类工程活动及生产设施造成极大威胁。台风暴雨是台风灾害主要形式之一^[6]。台风登陆时所携带的大量水汽在短时间内的强降水会使河流、湖泊等水体迅速上涨，进而引发洪水^[7]，一些地区由于排水设施相对薄弱，更易受到洪水的影响，致使城市内涝、耕地受淹。地质条件较为复杂的区域，如山区、丘陵地带在遭遇强降雨时易发生山体滑坡等次生地质灾害。强风在运移过程中易造成房屋建筑结构受损或倒塌。

2024年9月1日，台风“摩羯”在菲律宾以东洋面上生成，并逐渐发展增强，于9月6日达到68 m/s 极端强度，并于当日16时20分以近巅峰强度(62 m/s)登陆中国海南省文昌市翁田镇沿海，又于当日22时20分前后以超强台风级(58 m/s)登陆中国广东省徐闻县沿海^[8]。伴随短临强强对流天气影

响，海堤越浪建筑冲毁、海洋牧场海水网箱、耕地种植影响成为台风灾害应急遥感监测的重要内容，近年来已成为自然灾害遥感领域研究热点之一^[9]。王斌等^[10-11]利用国产卫星数据开展受淹区域水体提取、耕地受损监测分析，验证了国产SAR数据成像质量、应急响应等关键指标，防灾减灾成效明显。黄世昌等^[12]基于河口海岸水动力计算分析超强台风引发的潮浪对海堤作用的影响，总结了超强台风引起的增水类型以及不同路径条件下的增水分布，王国新等^[13-14]对台风作用村镇建筑损失、树木折毁进行评估，分析了结构类型、保存完好程度、建筑面积密度、不同构件间相互作用等因素对建筑损失的影响程度，杜照钧等^[15-16]基于ADICRC-SWAN耦合模式，研究海洋牧场的增水与有效波高的分布特征。但总体均采用评估模型进行灾情统计分析，基于响应及时性、分辨率高的应急遥感监测应用还不多，特别是随着国产高分SAR星座的快速发展，其对台风灾害防御监测研究文献还比较少。

由于台风伴随短临强降雨强风影响，传统无人机航空摄影^[17]、可见光卫星遥感^[18]等观测手段易

受云雨覆盖影响而难以实现对目标区域有效监测。合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)能够主动发射信号,不受光照和恶劣天气的影响,具有成像分辨率高、监测范围广等显著特点,成为台风灾害防御监测重要手段之一^[19-20]。本文利用国产商业组网SAR卫星精准调度获取超强台风“摩羯”过境广东省湛江市徐闻县及周边沿海核心区域影像,并基于斜坡单元构建地质灾害防御指标体系划定环流降雨区精细化防御等级,首次对沿海海堤越浪、海水养殖、“隐患点+风险区”地质灾害防御开展应急综合试验,对本次台风造成耕地种植水淹情况进行评估,可为应急测绘、地质灾害点面双控、农业损失保险等提供参考。

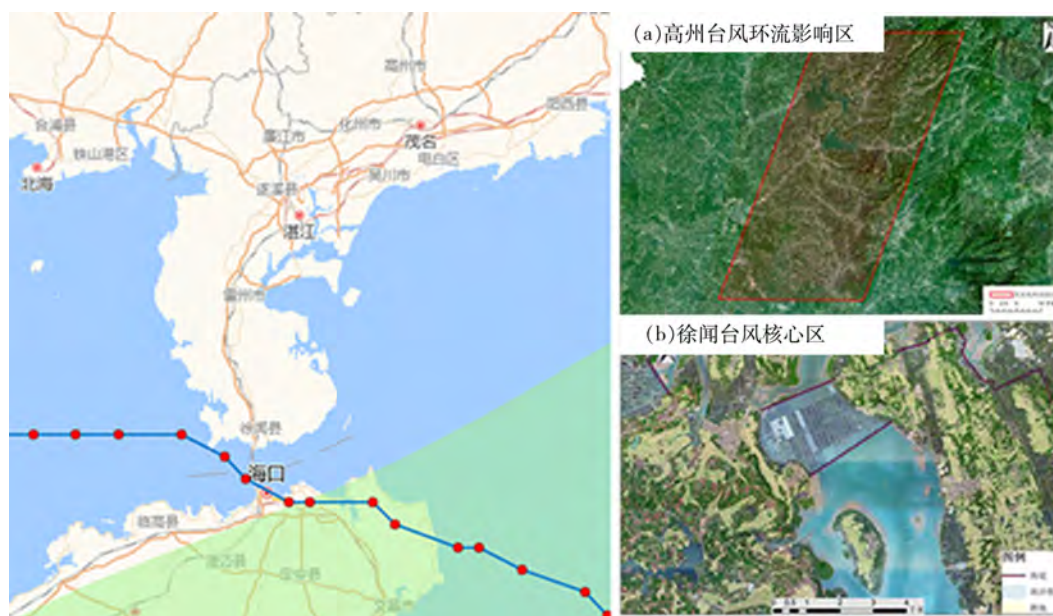
1 研究区概况与主要数据源

1.1 研究区概况

“摩羯”台风由于强度强、强风范围大、强降雨覆盖广,成为1949年以来登陆我国的最强秋台

风,其在超强台风级别维持时间长达64小时,造成海南、广东、广西3省区122.7万人不同程度受灾,3人死亡、95人受伤^[21]。台风中心于9月6日晚22:20前后登陆广东省湛江市徐闻县及周边沿海区域,对沿海养殖、耕地种植破坏及海堤设施构成重大威胁。受环流影响在距离中心约150 km处茂名市过程雨量100~200 mm,高州等东部山区达350~400 mm^[22]。

徐闻县东滨南海,南临琼州海峡,分布有海垭、港湾和岛屿,发展有近海养殖等水产业。土地资源丰富,土壤类型多样,以砖红壤土类、水稻土类和滨海土类为主,约占土地总面积的87%^[23]。地势自北向东、西、南三面倾斜,属雷州半岛台地平原区,以玄武岩台地和北海组冲洪积平原为主,主要发育地面沉降、地裂缝等地面破坏类地质灾害。高州市属茂名市下辖县级市,发育断块隆起侵蚀低山丘陵区,以中低山和丘陵为主,台地次之,坡残积层较发育,局部崩塌、滑坡、泥石流地质灾害发育。研究区如图1所示。



注:根据中央气象网提供的“摩羯”台风移动路径图制作。

图1 台风应急遥感监测研究区范围示意图

Fig.1 Schematic diagram of study area for typhoon emergency remote sensing monitoring

1.2 主要数据源

数据源主要采用省级基础地理信息、地表利用覆盖变更调查、基础地质调查等成果。其中高精度数字高程模型主要是2018年航飞获取的5 m格

网激光点云数据分类后处理成果,能够提供台风侵袭区域真实地表形态。台风增水致使海堤越浪对沿岸附近人类活动构成潜在威胁,主要采用自然灾害普查及优于1 m分辨率遥感影像等资源(详见表1)。

表1 主要数据源及用途
Table 1 Main data sources and purposes

数据	来源	用途
2018年高精度数字高程模型 DEM	广东省自然资源厅	用于坡度等指标计算及三维展示
2024年8月优于1 m卫星影像	广东省自然资源厅	用于与登陆后台风作用比对分析
2023年12月土地利用覆盖变更调查	自然资源部	用于耕地范围提取及风险防御评估
2020—2024年全省地表形表“一张图”	广东省自然资源厅	用于地质灾害隐患风险防御检核
气象卫星监测报告	中国气象局	用于降雨量等孕灾环境条件计算
海堤基础调查数据	广东省水利厅	海堤越浪等承灾威胁对象
“巢湖一号”商业SAR影像	长沙天仪空间科技研究院	用于台风登陆后研究区遥感分析
1:20万地质图	中国地质调查局地质云	用于地质灾害孕育条件分析
NDVI	资源环境科学与数据中心	用于地质灾害隐患风险防御评估
年降雨量	资源环境科学与数据中心	用于地质灾害隐患风险防御评估
地质灾害在库隐患点	广东省自然资源厅	用于地质灾害隐患风险防御检核
房地一体调查数据	广东省自然资源厅	用于地质灾害隐患风险防御评估

同时应急调度获取国产商业组网“巢湖一号”过境台风中心区域(9月6日晚22:24)拍摄的SAR卫星影像(如图2所示)。“巢湖一号”商业组网SAR卫星具备全天时全天候对地观测能力^[24],采用太阳同步轨道,轨道倾角97.43°,平均轨道高度535 km,工作频段C波段(5.40 GHz),采用VV极化方式,幅宽25 km,分辨率3 m,条带模式(StripMap)成像。

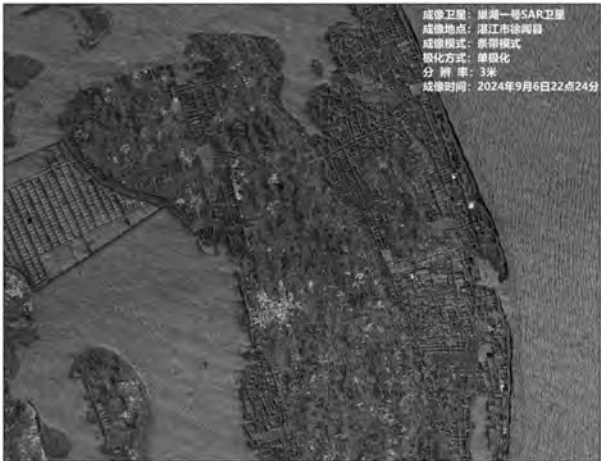


图2 “巢湖一号”过境台风中心区域SAR影像
Fig.2 SAR image of typhoon central area captured by "Chaohu 1" satellite

2 主要研究方法

2.1 基于5 m 格网数字高程模型的斜坡单元划定

斜坡单元是承灾对象所在分水岭以下的汇水

区域,包含可能形成崩塌、滑坡、泥石流的区域及其影响范围^[25]。降雨型滑坡从隐患点的管理转变为“隐患点+风险区”点面双控管理,划定斜坡单元是关键一环^[26]。斜坡单元的自动化划定主要依赖于数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)的分辨率及斜坡单元的提取算法。基于水文分析法的山脊线与山谷线提取方法,被广泛用于构建斜坡单元^[27]。在水文原理基础上发展出的改进方法,例如曲率分水岭法^[28]、盆域山体阴影法^[29]等,这些方法各具特色与局限性。水文分析法在地质构造复杂区域能更准确地反映实际地形特征,但在平坦地带易产生平行线和直角等伪河道,需通过大量人工交互进行必要的调整;曲率分水岭法、盆域山体阴影法等则能生成分布均匀、大小相近的斜坡单元,在平坦区域无伪河道问题,但受限于高精度DEM数据,该方法会产生大量细碎斜坡单元,不利于宏观风险防御管理的实施。

本研究选择了与地形特征较为吻合,且单元面积控制在0.07 km²范围内的水文分析法划定斜坡单元,主要通过填洼处理、流向分析、流量累积等水文计算过程识别并划分出正向与反向汇水区域,并经人工修正进而确定斜坡单元的边界,其主要包括预划分和人机交互修正两个部分。其中预划分主要步骤为生成无洼地DEM,提取流向、流量、河网、集水区,反转DEM形成初步斜坡单元。人机交互修正在初步划定的斜坡单元基础上剔除地势平坦、发育地质灾害可能性极低的区域,并对1:2000无法识别出的斜坡单元进行相邻合并,

一般坡体上方及两侧以分水岭或沟谷为界、坡体下方以可能影响的承灾体范围或河流外侧为界，原则上保证同一个斜坡单元应有相似的地质环境条件、地质灾害成灾机理和致灾模式。其划定方法及效果如图3所示。

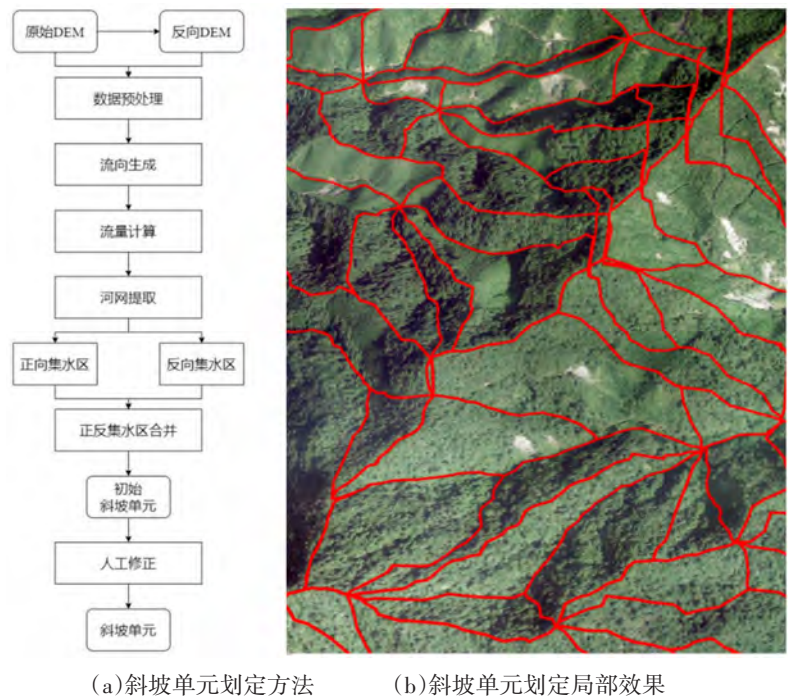


图3 基于5 m格网数字高程模型的斜坡单元划定

Fig.3 Slope unit delineation based on 5 m grid digital elevation model

2.2 基于信息量法的地质灾害防御快速评价

地质灾害防御评价是将地质条件、地形特征、历史发灾范围以及特定条件(如强降雨天气下、承灾体范围、承灾体属性)等多维度信息有机融合的

过程，通过构建包含坡向、曲率、地形起伏度、地层岩性、断裂带距离、NDVI等在内的综合指标体系(如表2所示)，采用信息量法进行量化计算与评估，并初步划分地质灾害防御区等级，实现点面结合、精准高效的地质灾害防控管理。

表2 地质灾害防御评价指标及权值分配表

Table 2 Evaluation indexes and weight allocation of geological disaster prevention

序号	一级指标及其权值	二级指标	权值分配
1	地表地形条件(0.35)	坡向	0.05
2		地势起伏度	0.1
3		坡度	0.15
4		TWI地形湿润度指数	0.05
5	孕灾地质条件(0.35)	地层岩性	0.2
6		距断裂带距离	0.15
7	人类活动强度(0.1)	距道路距离	0.1
8	土地覆盖利用(0.1)	NDVI	0.1
9	气象诱发因素(0.1)	年降雨量	0.1

信息量评价法运用熵的减少来衡量事件发生的概率，主要通过各个指标之间的信息量值进行计算后展开综合性评价，以斜坡单元为评价对象的计算如表达式(1)所示：

$$I = \sum_{i=1}^n W_i \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

式(1)中， N_i 是因素在*i*状态下的地质灾害面积或地质灾害点数， S_i 是在*i*状态下分布面积， N 是试验区内地质灾害总面积或总地质灾害点数， S 为试验区总面积， W_i 为指标影响因子的权重，采用AHP层次分析法确定各指标因子权值， I 为斜坡类地质灾害发生的总信息量，信息量值越大的区域，存在地质灾害隐患的可能性越大，并将计算的地质灾害发生的总信息量*I*的值划分防御等级。

3 “摩羯”超强台风应急灾害遥感分析

3.1 徐闻及周边沿海台风核心区作用损失分析

台风中心于9月6日晚22:20前后登陆广东省湛江市徐闻县及周边沿海区域，该区域处雷州半岛台

地平原区。图4(a)表明该区域耕地种植分布广且较为集中，总体呈与生产生活区交错散布格局，易受台风增水淹没影响。结合研究区已有耕地、坑塘水域等年度土地利用调查数据，利用当日晚22:24分应急拍摄的商业SAR卫星影像并选取三大类典型解译标志，通过监督分类^[30]划分耕地、水域及其他地类区图斑，分类提取总体精度优于93.4%，能够满足应急灾害遥感空间分析要求。图4(b)表明受总体地形条件影响，耕地范围内总体增水淹没情况较轻，研究区耕地总面积80 km²，淹没面积1.56 km²，占比1.95%。主要增水区分布沿岸附近，在生产生活区离散有分布。图4(b)西岸滩涂受台风增水影响较大，总体淹没区占比超过50%，对连片水产养殖造成一定程度损失。说明本次超前台风暴雨增水作用显著，9月6日16—19时降雨量接近100 mm，夜间持续强降雨。但由于其运移速度快(中心风速风力58 m/s，运移速度18 km/h)，七级半径覆盖350 km，并向西北偏西方向快速运移至北部湾区域，集中强降雨时间较短，9月7日10时徐闻气象台发布将暴雨红色预警信号降级为黄色，主要表现为强风灾害影响。

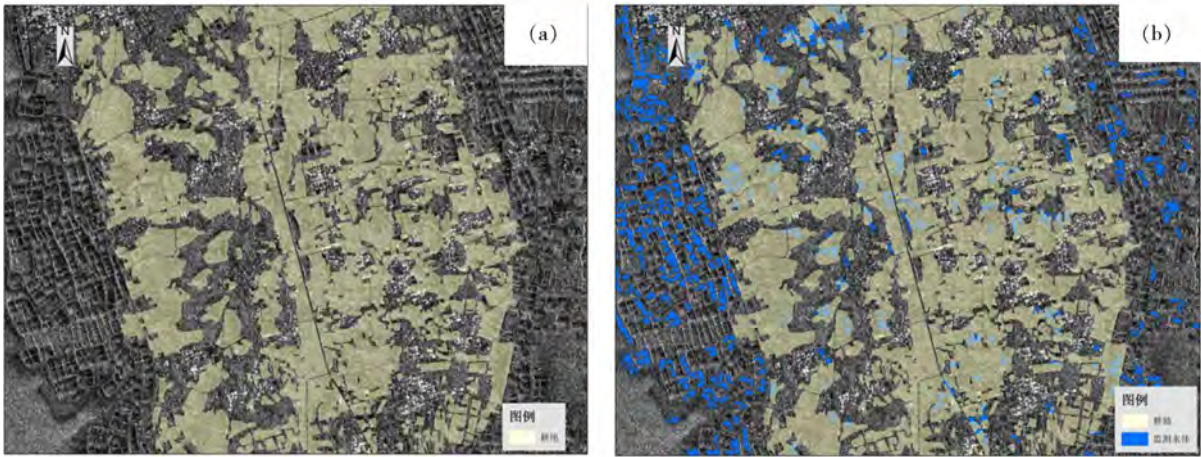


图4 台风核心区暴雨增水对连片耕地影响
Fig.4 Impact of storm surge in typhoon core area on contiguous cultivated land

海堤风暴越浪是当波浪在强风作用下越过海堤的灾害现象，不仅会造成陆域淹没，甚至可能造成近岸人员和设施的损害，这对现有海堤的安全性和防护能力提出更高要求。图5(a)表明研究区海堤设施防线较为完整连续，沿海岸方向总体布设有海堤相关设施。在9月6日持续一日强风降雨作用下，图5(b)显示海堤西北至中段防护效果

明显，尚未出现大面积越浪淹没现象，在东段可能由于降雨影响而造成海堤防护范围内出现较大范围陆域淹没，面积约3 km²。说明本次台风总体未造成大面积海堤越浪灾害，但也发现研究区东北侧、北侧呈现分片集中的陆域淹没分布格局，这可能与人类生产活动对近岸空间改造、海堤设施缺失有关。

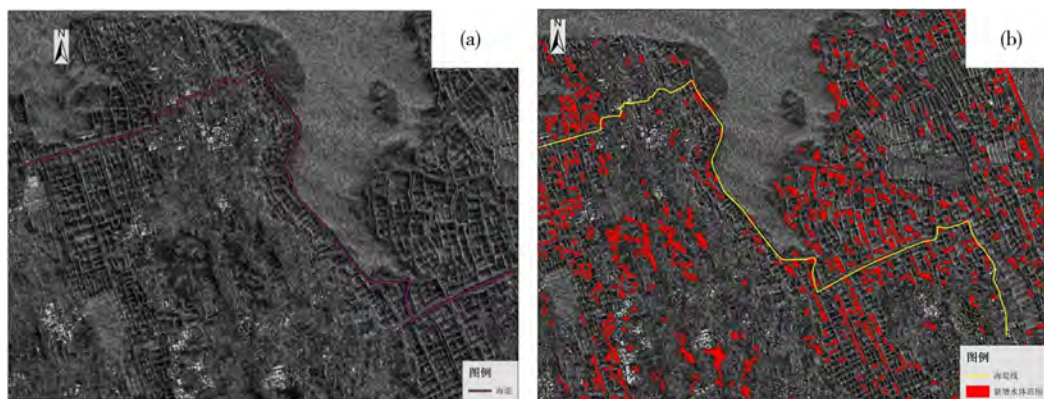


图5 台风核心区海堤风暴越浪影响

Fig.5 Impact of storm overtopping on seawall in typhoon core area

研究区分布有集中连片筏式养殖区域,在近岸海域采用旧船、绳索、锚、撇、浮筒等器材制成平台式、延绳式各种类型的筏架,进行大型贝类、藻类或其他海产生物的养殖^[31],其养殖设施结构及材料对SAR散射信号形成强反射,为台风应急遥感监测提供了重要途径。图6(a)表明SAR影

像清晰刻画了地物结构纹理,显示筏式养殖区通过海堤设施进行防护,削弱或减轻台风作用影响。图6(b)养殖设施总面积5 km², SAR结果统计侵没面积0.35 km²,占比7%,表明养殖区总体损失较轻,少量养殖设施出现侵没,这可能与强风浪造成浮筒等养殖器材短时越浪有关。

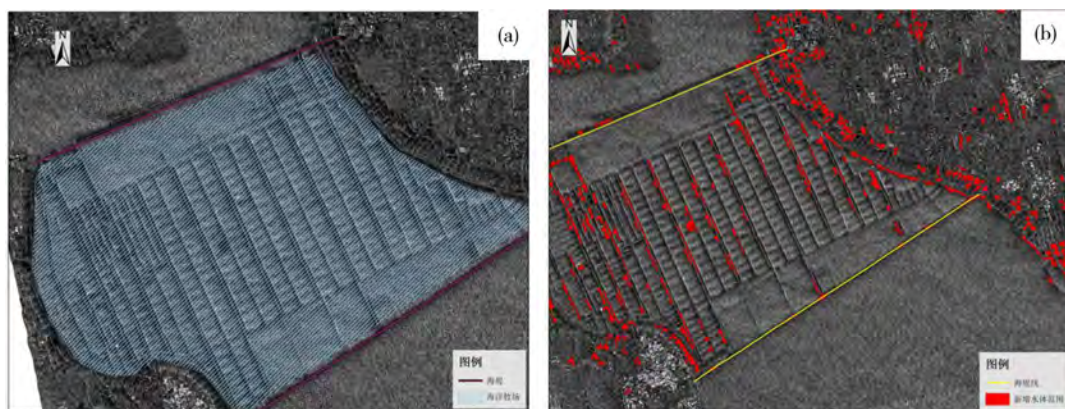


图6 台风核心区集中连片筏式养殖区域影响

Fig.6 Impact on concentrated raft aquaculture area in typhoon core area

3.2 高州市台风环流影响强降雨区损失分析

9月6日受环流影响高州等东部山区降雨量达350~400 mm,存在促发崩塌、滑坡等斜坡类地质灾害发生的可能。采用基于5 m格网数字高程模型划定斜坡单元,套合房地一体调查数据和长时序形变成果,选取具有承灾对象或明显变形破坏迹象的斜坡单元进行防御区等级评估,并采用地质灾害在库隐患点对划定等级斜坡单元进行检核,以验证斜坡单位及评估等级准确性。图7(a)划定的斜坡单元平均面积0.07 km²,并将其可能影响的房屋建筑、道路设施、水系网络等一并圈定,有

利于对斜坡单位进行独立标识建库,支撑台风降雨突发事件下转移人员及转移地点规划选址。

与以往1:200 000地质灾害调查易发等级评估工作程度有所不同,本文建立以斜坡单元为基础的地质灾害风险隐患防御等级,在颗粒度及指标引用数据等方面更侧重快速评估在防灾针对性、工作现势性和成果指导性等应急处置要求。在图7(a)综合考虑长时序地表形变成果用于辅助分析1:200 000地质灾害调查易发等级评价结果,形变速率或形变累积值越大,表明该区域越有可能处于加速蠕滑阶段,其易发性等级相应更高。

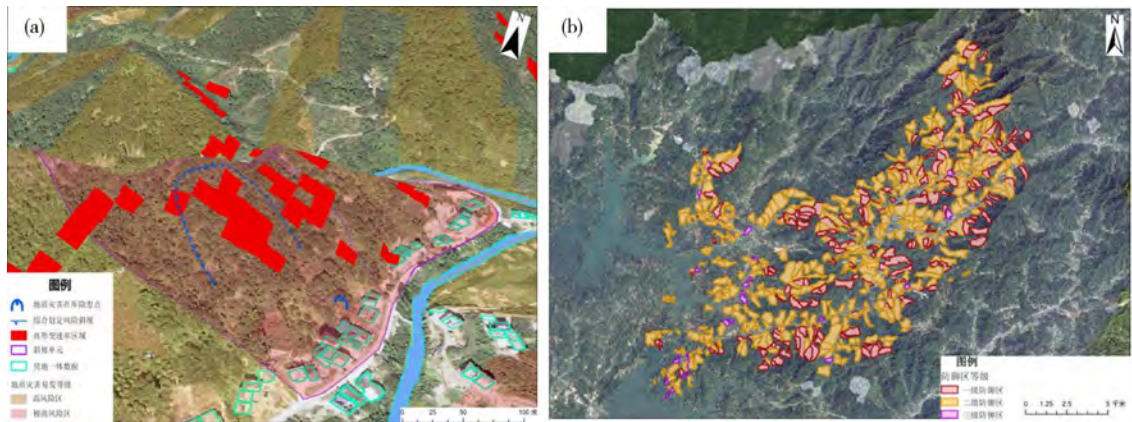


图7 环流影响区斜坡单元划定与防御等级评估

Fig.7 Slope unit delineation and defense level assessment in circulation affected area

表3 地质灾害隐患风险防御等级分级表

Table 3 Classification of geological hazard hidden danger prevention levels

防御等级	对应易发区等级	总信息量I值区间	在库隐患点数	在库点占比/(%)	斜坡单元数	防御等级占比/(%)
三级	低易发区	$0 \leq I \leq 250$	0	0.00	192	29.5
二级	中易发区	$251 \leq I \leq 350$	7	11.67	433	66.5
一级	高及极高易发区	$351 \leq I$	53	88.33	26	4.0

表3显示地质灾害在库隐患点等外部检核成果主要落在一、二级防御区(占比100%)，尤以一级防御区为主，占比88.33%，说明地质灾害防御评估结果总体与在库隐患点在空间上表现一致性，表明本文选取的地质灾害隐患风险防御评价指标具有较好的吻合性。表3统计表明不同防御等级斜坡单元总体呈统计正态分布，二级防御区对应的中易发区比重大，约为66.5%，三级防御区对应低易发区约为29.5%。结合地质灾害隐患点可以发现绝大部分(约88.33%)在库隐患均位于一级防御区内，为“隐患点+防御区”点面双控精细化管理提供决策依据。图7(b)从空间上进一步表明各防御等级斜坡单元呈同类分布集中，一、二级防御区分布连片，三级防御区呈带状分布，这与高州研究区地形特征、生产生活空间格局有关，也为台风应急精准防御提供了指导方向。

4 结语

试验对“摩羯”超强台风核心影响区和环流强降雨区作用损失开展综合应急遥感研究，分析降雨及强风作用在不同区域影响的宏观特征，为应急情况下针对性提出台风防御建议提供参考。

1)台风作用损失应急遥感应根据气象预测结果，台风中心附近核心区 and 环流影响强降雨区应

采取不同方法应对。在核心区短临增水显著强风影响明显，应重点关注耕地种植作物淹没或倒伏、海堤风暴越浪造成的人员财产损失以及海洋牧场海上养殖设施安全。在环流影响强降雨区应重点关注降雨促发次生地质灾害发生，采用基于信息量法的地质灾害防御快速评价方法具有较好适用性，并在本次“摩羯”台风防御发挥重要作用。

2)本文在应对台风防御过程中开展作用损失应急遥感综合试验，取得应用示范效果，但仍面临诸多挑战：国产商业组网SAR卫星资源还不足，针对广东省区域东西长、南北窄的自然地理环境亟需弥补倾斜轨道SAR卫星星座资源，提升应急遥感响应及时度。测绘地理信息与地质调查资料融合还不够紧密，突出表现为地质灾害体是一个复杂的综合体，既需要融合基础地理信息和基础地质调查成果，也需要综合测绘遥感和地质灾害在线监测预警等技术手段，提升台风灾害应急保障实效性。

致谢：广东省基础测绘地理信息项目支持，长沙天仪空间科技研究院在数据方面提供的大力支持，中国自然资源航空物探遥感中心、中南大学、中国科学院空天信息创新研究院提供的技术指导。

参考文献

- [1] 贾艳红,邓丽婷,李坦霖,等.基于GIS的钦州市暴雨洪涝灾害风险区划研究[J].测绘与空间地理信息,2024,47(6):8-11.
- [2] 何复亮,汤湖丁,周玉岑.基于UAV-RS技术的海上养殖区识别研究[J].江西测绘,2023(4):17-20.
- [3] 吴江昊.大笔架山海岛面积信息提取及其变化分析[J].北京测绘,2019,33(6):692-695.
- [4] 郭力娜,李帅,牛振国,等.基于物候差和多时相影像的耕地种植结构遥感调查——以唐山玉田为例[J].测绘科学,2019,44(10):50-58.
- [5] 姜丽丽,李晶晶,刘红军.遥感自动解译在农作物种植结构调查中的应用[J].测绘与空间地理信息,2023,46(S1):48-50.
- [6] 韩晖.近50年中国台风暴雨研究[D].北京:北京师范大学,2005.
- [7] 王雪.西北太平洋上层海洋对热带气旋的响应[D].青岛:自然资源部第一海洋研究所,2021.
- [8] 中国气象报社.气象卫星监测台风“摩羯”[EB/OL].(2024-09-04)[2025-01-05].https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxw/2011xtpxw/202409/t20240904_6535962.html, 2024-09-04.
- [9] 睦海刚,刘超贤,刘俊怡,等.典型自然灾害遥感快速应急响应思考与实践[J].武汉大学学报(信息科学版),2020,45(8):1137-1145.
- [10] 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(09):108-111.
- [11] 段玉林,黄健熙,张帅,等.台风“杜苏芮”影响下华北农田洪涝遥感监测与评价[J].中国农业综合开发,2024(1):18-21.
- [12] 黄世昌.浙江沿海超强台风引发的潮浪及其对海堤作用[D].大连:大连理工大学,2008.
- [13] 王国新,李明鑫.风灾致村镇建筑损失评估及台风灾害管理系统[J].沈阳工业大学学报,2020,42(01):96-102.
- [14] 肖毅强,古亚宁,林瀚坤,等.台风灾害下城市受损树木的空间分布特征——以广州为例[J].风景园林,2020,27(10):112-117.
- [15] 杜照钧,王延平,毛新燕.基于ADCIRC-SWAN耦合模式的山东海洋牧场近30年风暴潮和海浪灾害特征分析[J].海洋科学,2023,47(06):1-11.
- [16] 张广平,张晨晓,余伟.基于小程序的海洋牧场台风灾害预警预报服务[J].灾害学,2021,36(01):82-87.
- [17] 雷添杰,李长春,何孝莹.无人机航空遥感系统在灾害应急救援中的应用[J].自然灾害学报,2011,20(01):178-183.
- [18] 杨肖琪,林敏基.海洋/海岸带环境与灾害遥感监测[J].集美大学学报(自然科学版),1997,(01):13-19.
- [19] 陈杰,谭璐,蒋昌波,等.基于Sentinel-1A SAR影像的珠海市台风降雨淹没特征分析[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2024,21(06):1-13.
- [20] 李晓峰,张彪,杨晓峰.星载合成孔径雷达遥感海洋风场波浪场[J].雷达学报,2020,9(03):425-443.
- [21] 光明网.“摩羯”为1949年以来登陆我国最强秋台风[EB/OL].(2024-09-09)[2025-01-05].<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1809675489972731289&wfr=spider&for=pc>, 2024-09-09.
- [22] 南方网.受“摩羯”环流影响,茂名东部、南部将有强降雨[EB/OL].(2024-09-06)[2025-01-05].<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1809187588650647694&wfr=spider&for=pc>, 2024-09-06.
- [23] 徐闻县人民政府.徐闻地理环境[EB/OL].(2024-04-08)[2025-01-05].http://www.xuwen.gov.cn/zjxw/mlxw/zg/content/post_445704.html, 2024-04-08.
- [24] 张永贺,张旭,王韶波,等.微小型SAR卫星发展现状与分析[J].航天器工程,2022,31(05):119-125.
- [25] 汪木林,郭婷婷,杨彦武,等.基于MaxEnt和斜坡单元的崩滑灾害易发性评价——以云南省孟连县为例[J].地质灾害与环境保护,2024,35(03):11-17.
- [26] 铁永波,徐伟,向炳霖,等.西南地区地质灾害风险“点面双控”体系构建与思考[J].中国地质灾害与防治学报,2022,33(03):106-113.
- [27] Mowen X, Tetsuro E, Cheng Q, et al. Spatial three-dimensional landslide susceptibility map tool and its applications[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(6): 73-84.
- [28] 颜阁,梁收运,赵红亮.基于GIS的斜坡单元划分方法改进与实现[J].地理科学,2017,37(11):1764-1770.
- [29] 刘壮,李远耀,张为,等.基于改进斜坡单元法的山区城镇建设用地适宜性评价[J].安全与环境工程,2019,26(06):42-49+55.
- [30] 黎夏,叶嘉安.利用遥感监测和分析珠江三角洲的城市扩张过程——以东莞市为例[J].地理研究,1997,(04):57-63.
- [31] 闫静,张彩云,张永年,等.基于无人机遥感技术的港湾养殖区监测[J].厦门大学学报(自然科学版),2016,55(05):742-748.