基于多源数据的城区内涝单次灾害快速精细化调查方法探索*——以2024年长沙市“6·24”内涝为例

Exploration of Rapid and Fine-Scale Investigation Method for Single Urban Waterlogging Events Based on Multi-Source Data: A Case Study of the “6·24” Changsha Urban Waterlogging in 2024

冉 静 蒋美琪 罗子悦 杨柳柳 陈 娜 焦 胜 Ran Jing, Jiang Meiqi, Luo Ziyue, Yang Liuliu, Chen Na, Jiao Sheng

摘 要 内涝灾害严重威胁城市运行与居民安全,针对单次城市内涝事件的快速精细化调查是灾中响应与灾害风险评估的重要依据。针对城市单次内涝事件,构建集成“灾前预判—灾时锁定—灾后调查与事件存档”的多源数据融合调查框架,明确各类数据的作用分工、应用尺度与时间节点,以规范内涝制图与存档。以2024年长沙市“6•24”内涝事件为例,综合水文水动力模型、降雨监测、社交媒体、地面测绘及卫星遥感等多源数据,在灾后48 h内精确判定淹没范围与水深并输出成果。调查结果表明,暴雨核心位于湘江东岸,降雨量显著高于西岸;内涝重灾区集中在河东老城区,导致交通瘫痪、设施损毁。该方法流程可显著提升调查效率与精度,为科研与风险普查提供可靠数据支撑。

Abstract Urban waterlogging disasters pose a serious threat to urban operations and public safety. Rapid and fine-scale investigation of individual urban waterlogging events is a critical basis for emergency response and disaster risk assessment. This study proposes a multi-source data-integrated investigation framework for single urban waterlogging events, incorporating pre-event forecasting, event-time impact localization, and post-event field investigation and event archiving. The framework clarifies the roles, spatial scales, and temporal stages of different data sources, thereby standardizing urban waterlogging mapping and documentation procedures. Taking the “6·24” urban waterlogging event in Changsha, China, in 2024 as a case study, multiple data sources—including hydrological-hydrodynamic modeling, rainfall monitoring, social media information, ground-based surveys, and satellite remote sensing—were jointly applied to accurately delineate inundation extent and water depth within 48 hours after the event. The results indicate that the rainfall core was concentrated on the eastern bank of the Xiangjiang River, with significantly higher precipitation than on the western bank. Severe waterlogging was mainly distributed in the older urban areas on the eastern side, causing traffic paralysis and infrastructure damage. The proposed methodological framework substantially improves both investigation efficiency and accuracy, providing reliable data support for scientific research and disaster risk assessment.

关 键 词 城市内涝;多源数据;单次灾害调查;内涝调查技术框架;快速精细化调查;暴雨

Key words urban waterlogging; multi-source data; single-disaster investigation; waterlogging investigation technical framework; rapid and refined investigation; rainstorm

文章编号 1673-8985（2026）04-0106-08 中图分类号 TU984 文献标志码 A DOI 10.11982/j.supr.20260415

作者简介

冉 静
湖南大学建筑与规划学院 副教授,博士生导师

蒋美琪（通信作者）
宁乡市金洲镇人民政府
硕士,jmq16673251501@163.com

罗子悦
广东省城乡规划设计研究院科技集团股份有限公司
规划师,硕士

杨柳柳
南宁市三美学校 中学高级教师

陈 娜
湖南大学建筑与规划学院 副教授,硕士生导师

焦 胜
湖南大学建筑与规划学院 教授,博士生导师

0 引言

全球气候变化引发极端暴雨频发[1-2],城市化进程改变了下垫面[3],削弱了雨水自然下渗能力[4]。当短时强降雨或持续降雨超过城市雨水排水设施承载极限时[5],城市道路及建成区发生地面积水[6],导致“城市内涝”。近

*基金项目:国家重点研发计划项目“基于传统智慧的城镇排水防涝模拟调控及水城适配关键技术研究与应用”（编号2024YFC3808500）;国家自然科学基金青年科学基金项目“城市洪涝灾害场景下车辆时空动态路径优化方法研究”（编号42501539）资助。

《上海城市规划》https://www.shplanning.com.cn/. All rights reserved.

年来，全球多个城市因极端降雨引发严重内涝，如2011年泰国曼谷洪灾、2021年中国郑州“7·20”暴雨事件，造成重大人员伤亡与经济损失[7-9]。这些事件表明，在暴雨引发内涝灾害的关键12—48 h内获取精确、全面的灾情信息，是有效实施应急响应、减轻损失和复盘成灾过程的前提。

单次灾害调查与风险普查在目标、侧重点上有所不同。单次灾害调查侧重特定一次灾害的快速、真实记录，关注灾害发生的时间、范围及直接影响。例如我国针对地质灾害已有“地质灾害应急调查”的相关要求，强调对突发性地质灾害信息的快速采集，要求在灾害发生后一至数日内提交应急调查报告[10]。然而，针对城市内涝，尚无单次灾害调查的要求和有效的方法流程。而风险普查侧重于长期灾害发生的普遍性规律，需要系统收集历史上致灾因子及其危险性、承灾体暴露度和脆弱性等信息并进行综合分析[11]。因此，单次灾害调查是风险普查的基础资料依据，风险普查的可靠性依赖单次灾害调查成果的精细化与准确性。

本文关注“城市内涝单次灾害调查”，旨在提出一套针对单次城市内涝事件的快速精细化调查方法，在灾后1—2 d内围绕致灾因子危险性（如雨情、淹没范围和淹没深度等）进行紧急信息采集与分析，并规范形成调查报告、灾害数据库和专题图件。这一调查时效要求高，成果的标准化是关键。

传统灾害调查方法以现场踏勘为主，优势在于能够直接获取真实可靠的一手资料，但也存在组织成本高、调查范围受限、效率受灾情条件制约等不足。现场踏勘及测绘仍是内涝灾害分析的基础环节，主要用于积水深度测量、淹没范围界定和对内涝模拟结果的验证。常用手段包括人工踏勘、地面GPS定位、传统测绘设备及激光扫描技术、无人机航拍等，可获取灾区高分辨率影像和现场信息。

随着技术发展，卫星遥感结合地理信息技术成为洪涝淹没范围识别的重要技术手段[12]。光学数据（TM、ETM、MSS、SPOT、CBERS、MODIS等）和雷达数据（SAR、ASAR、SSM/I、MRI等）[13]在大范围洪水淹没区识别中取得较大进展；Google Earth Engine（GEE）可近实时接入卫星数据，实现全球范围内暴雨、洪涝等灾害的快速分析[14]。但该方法受限于影像获取周期，检测结果存在误差且效率不高[15]，特别是在复杂的城市环境中，受建筑、植被、桥梁、隧道等的影响，内涝水淹范围的判识精度仍不理想[16-17]。

近年来，社交媒体数据因覆盖广、实时性强，被用于内涝位置、水深判读及灾情热区识别，成为新的调查数据源[18-20]。Fang等[21]提取2016年武汉暴雨相关的微博文本信息，分析洪涝灾害的灾前、灾中、灾后不同阶段特征，绘制了洪涝灾害热点地图；富璇等[22]通过BiLSTM-CRF模型提取微博文本中有关城市内涝的地名地址信息，实现了城市内涝位置的有效识别；张凌嘉等[23]提出了一种基于YOLOv5与Mask-RCNN组合模型的城市内涝水深提取方法，通过识别社交媒体用户上传的轿车图像中关键部位的淹没情况，转换得到淹没深度。与此同时，社交媒体信息也面临地理位置缺失、信息碎片化与虚假信息等问题，难以独立支撑高标准成果产出。

综上，当前洪涝灾害调查多局限于单一技术，或仅关注灾前、灾时、灾后的某一阶段。尽管部分研究尝试结合遥感、社交媒体与水力模型等技术提升灾情预测和地图绘制能力，如Scotti等[24]以飓风“哈维”造成的洪水为例，将卫星图像检测到的淹没区域用于水力模型校准，并通过社交媒体信息验证，实现事后洪水图绘制。但相比河流洪水，城市内涝具有突发性强、影响空间尺度小等特点，难以依靠单一技术与事后反演完成调查。因此，有必要构建快速精细化多源数据融合的城市单次内涝灾害事件调查框架，贯通“灾前预判—灾时锁定—灾后调查与事件存档”全过程。

1 城区内涝单次灾害调查方法

城区内涝单次灾害调查应坚持“快”“精”“准”3大原则，注重调查时效性、数据精细化、成果标准化。本文提出以多源数据为基础，“灾前—灾中—灾后”全过程推进的调查技术路线（见图1），具体分为“内涝模拟与风险预判”“灾时快速制定现场踏勘方案”“灾后多维度调查与事件存档”3个环节。灾前阶段通过水文水动力模型预判潜在受灾区；灾时融合社交媒体数据、实时雨量监测数据、道路积水点信息与内涝模拟结果锁定受灾靶区；灾后统筹利用地面踏勘测绘与卫星遥感影像，实现淹没范围与水深的精确调查，并完成标

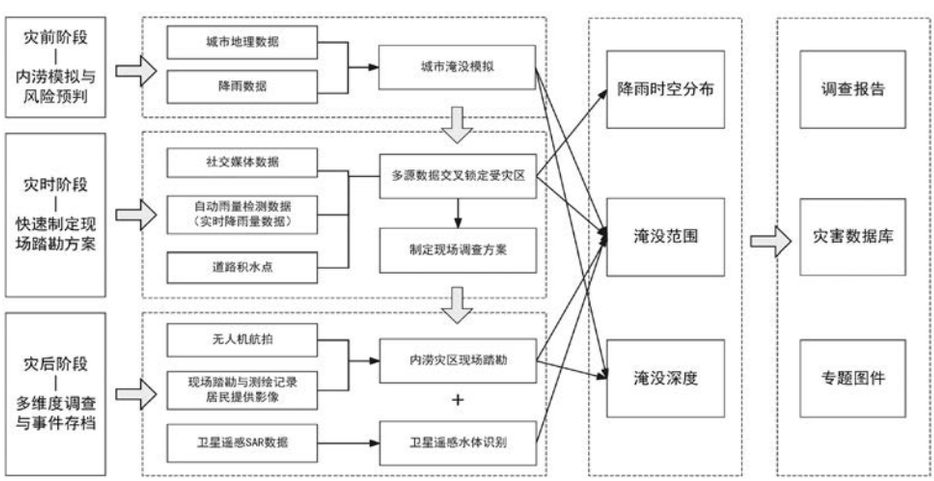


图1 城市内涝单次灾害调查技术框架

Fig.1 Technical framework for investigating single urban waterlogging disasters

资料来源：笔者自绘。

《上海城市规划》https://www.shplanning.com.cn/. All rights reserved.

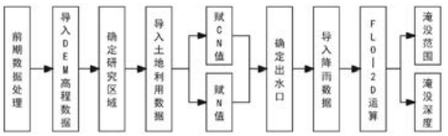


图2 以FLO-2D为例的城市内涝模拟操作流程图
Fig.2 Flowchart of the urban waterlogging simulation procedure using FLO-2D as an example

资料来源：笔者自绘。

准化成果的编制。这样既保证了应急阶段决策所需的高时效性，又兼顾后续评估所要求的精确度与可溯源性。

1.1 灾前阶段：内涝模拟与风险预判

在每一场内涝事件发生前，需要提前对城市内涝情景进行模拟，辅助调研队伍夯实其对该城市内涝成因机制的认知和理解，在平时熟悉高风险区的建成环境情况，积累经验。而内涝模拟的结果在单次内涝事件发生时，也可用于提前锁定潜在受灾区，为灾时响应和后续调查提供靶区，缩小或锚定初期信息收集重点区域。内涝模拟的准备，已有各类水文水动力模型可供选择，如MIKE、InfoWorks ICM、SWMM、LISFLOOD-FP、FLO-2D等[25]，量化不同暴雨情景下的淹没范围和淹没深度（见图2）。

1.2 灾时阶段：快速制定现场踏勘方案

虽然社交媒体提供了实时内涝信息、雷达数据也可用于一定精度的内涝范围识别，但要精准识别城市复杂下垫面条件下的水淹范围与深度信息，存档并实现多次灾害的可比较，那么现场踏勘必不可少。在灾害发生时，特别是灾害演进和高峰期，考虑工作重点为抢险救灾和应急疏散，不宜立即开展踏勘，但需要快速制定现场踏勘方案，包括受灾区快速识别与制定实施方案。

1.2.1 实时多源数据辅助踏勘路线规划

综合利用社交媒体数据、降雨量实况数据和交通部门提供的道路积水点等多源数据，并与灾前模拟成果叠加分析，快速识别出本次事件的重点受灾区，进而锁定现场踏勘范围，结合调研队伍人数，制定踏勘路线。首先，利用Python爬虫技术实时采集社交媒体涉涝信息，结合自然语言处理（NLP）提取关键词，并对涉及的地域名称进行词频分析，识别受灾热点区域。需要注意社交媒体数据采集应确保时效性，若采集时间滞后，可能因用户内容隐藏或删除而影响数据完整性。其次，为弥补社交媒体信息空间可视化能力不足，利用ArcGIS Pro平台基于泰森多边形法处理降雨量实况数据，得出暴雨中心时空变化。最后，使用“地理编码”工具将应急部门提供的道路积水点Excel表格（含辖区、道路名称、发生地点字段）中的文本地址（如“西二环王家湾路段”）转换为空间坐标点。3类数据相结合初步划定受灾区，明确后续现场踏勘范围。

表1 灾区分级调查策略
Tab.1 Investigation strategies for disaster area grading

受灾程度	分级标准	调查方法
重灾区	D＞0.4 m	无人机摄影、实地测量、入户访谈
中等灾区	0.3 m<水深≤0.4 m，持续时间>15 min	车巡、入户访谈、道路积水点统计、卫星遥感解译
一般灾区	0.15 m<水深≤0.3 m，持续时间>30 min	社区上报、道路积水点统计、卫星遥感解译

资料来源：笔者根据参考文献[26]整理制作。

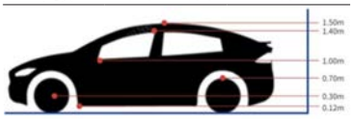
1.2.2 制定分级分类调查实施方案

结合实际灾情范围与调研队伍人数，制定分级分类踏勘方案。

（1）多级灾区单元划分：将调查区域划分为3级受灾单元（见表1）开展差异化踏勘。重灾区实施“无人机摄影+入户访谈+实地测量”的全要素调查，采用网格化采样法每50 m×50 m进行监测；中等灾区乘车快速巡检，结合道路积水点、卫星遥感水淹范围、内涝模拟数据修正淹没范围；一般灾区采用“社区上报+道路积水点+卫星遥感解译”的轻量化调查模式。

（2）特殊灾区调查：针对建筑物密集、有顶棚遮盖的室外及地下空间开展专项调查。进行淹没痕迹测量及居民访谈，记录淹没深度、淹没时间等情况；若数据可获取，还可结合地铁停运记录、地下连廊积水监测数据与视频影像补充调查结果。调查过程中，对淹没痕迹保存良好的区域，使用卷尺直接测量墙体、玻璃门等残留水痕高度，并结合居民访谈判断积水范围。在水痕难辨区域，通过目视解译社交媒体信息与灾区群众拍摄的视频、照片中淹没标志物（汽车、人等）估算水深，定性判断积水深度（见表2）。例如，水体淹没小轿车轮胎一半高度记录为约0.30 m，淹没至成人膝盖位置记录为约0.43 m。在受灾的城市建筑密集区进行踏勘，记录最大淹没深度及消退时间。

表2 媒体信息和居民访谈中内涝参照物的选择与水淹深度估测方法
Tab.2 The selection of flood reference objects in media information and resident interviews and the estimation method of water inundation depth

参考测量	参考对象和水深的关系		
	部位	高度范围/m	水深估计/m
人体	脚掌	0.00—0.01	0.01
	脚踝	0.05—0.10	0.10
	小腿	0.10—0.30	0.20
	膝盖	0.30—0.43	0.43
	大腿	0.43—0.65	0.65
	臀部	0.65—0.85	0.85
	腰部	0.85—1.10	1.10
	胸部	1.10—1.28	1.28
	颈部	1.28—1.50	1.50
	头部	1.50—1.70	1.70
小汽车	底盘	0.12—0.15	0.12
	轮胎顶部	0.60—0.80	0.70
	车门把手	0.80—0.95	0.85
	车窗底部	0.95—1.00	1.00
	车窗顶部	1.30—1.40	1.40
	车顶	1.40—1.50	1.50
			

资料来源：笔者根据参考文献[27]整理制作。

1.3 灾后阶段：多维度调查与事件存档

1.3.1 踏勘范围内：开展实地调查并绘制重点区域内涝图

当内涝灾害消退或不影响调研人员出行安全时，快速组织调研队伍，在上一阶段确定

《上海城市规划》 https://www.shplanning.com.cn/. All rights reserved.

的重点灾害范围内开展实地踏勘和成果汇总。

（1）集中测量阶段（灾后24 h内）：采用“车巡+步巡”模式联合无人机低空航拍，重点收集受灾热点区域与内涝模拟高风险淹没区的水淹范围、深度和时长信息。通过实地水痕测量、入户访谈和采集居民拍摄的淹没影像的方式，记录积水深度、积水范围、消退时间及交通阻断情况。调查数据每2 h回传至指挥中心，指挥中心实时汇总数据并动态调整调研人员作业区。

（2）补充测量阶段（灾后24—48 h）：针对数据模糊区域（实时数据与内涝模拟数据冲突区）、隐蔽区域（如有顶棚遮盖的市场、地下连廊等）及排查遗漏区域（快速排查阶段未覆盖的灾害扩展区）3类区域开展补充调查，补充完善灾情数据库。

（3）成图汇总阶段（灾后24—48 h）：对各组调研数据进行清洗与汇总，利用手机定位和卫星底图校正坐标并剔除异常点，对受淹范围与水深分布进行空间位置落图，绘制不同深度的积水范围线；最后对水深进行分级表达形成标准GIS格式数据库。

1.3.2 踏勘范围外：卫星遥感数据分析城郊内涝范围

中心城区下垫面复杂、建筑密集、遮挡物众多，卫星遥感技术识别小尺度城区洪涝误差较大[28-29]。但在调查人员难以到达、建设程度较低的大范围城市郊区，依然具有显著优势。综合考虑卫星重返周期和数据免费开放政策，选取Sentinel-1 SAR GRD产品数据，获取洪涝前和洪涝后影像，利用图像滤波和阈值算法提取水体区域（见图3），弥补地面调查不可达区域，确保覆盖城乡接合带等死角。

1.3.3 调查成果集成与存档

通过多源数据整合和多维度分析方法，最终形成一套标准化的成果，涵盖调查报告、数据库和专题图件。

（1）调查报告：采用综合性文字报告形式详细介绍灾情概述、数据来源与调查方法、淹没特征以及建议。灾情概述部分需涵盖灾害发生的时间、范围，淹没区域的空间分布、水淹深度，恢复建议则应结合调查结果提出具体的改进措施和应急响应方案。

（2）数据库：基于ArcGIS Pro平台整合城市淹没模拟数据库、降雨量数据库、地面调查数据库、卫星遥感水体提取数据、城市地形底图、行政区划等数据，构建城市内涝灾害调查数据库，参考风险普查数据库建设要求，实现空间关联与属性映射。

（3）专题图件：专题图件应准确反映灾情信息，统一制图模板，如图名、图例、比例尺、图幅内容、制图要素等（见表3）。必要图件包括内涝模拟淹没范围与淹没深度图、卫星遥感提取淹没范围图、实测灾区水淹范围与深度图、实测重灾区内涝淹没范围与淹没深度图等；建议图件如道路积水点分布图、降雨量时空分布图、多期卫星影像对比图（灾前、灾中、灾后）等。这些图件需标明水深并叠加卫星底图或其他城市底图显示位置，比例尺可根据实际调查区域的规模进行调整[11]4-5。

2 长沙市“6·24”内涝调查实践应用

2.1 案例区域概况

长沙市中心城区地处湘江下游，辖河东4区（天心区、开福区、雨花区、芙蓉区）和河西岳麓区，属典型的亚热带季风气候区，年均降水量超1 400 mm，4—7月为主汛期，降水时空分布不均，短时强降雨频发，城市内涝风险突出。2024年6月24日，长沙市遭遇极端暴雨，突破历史纪录，引发罕见的区域性内涝[30]。中心城区多地发生严重内涝，河东地势低洼、排水管网老化的区域受灾最重；河西地势较高、排水系统完善，受损相对较小。

2.2 内涝淹没情况调查与成果

通过卫星遥感、地面实测、社交媒体数据、降雨量数据等多源数据交叉验证，建立长沙城区“6•24”灾害数据库和空间图件，为后续灾害响应与评估提供及时、精准的科学依据。

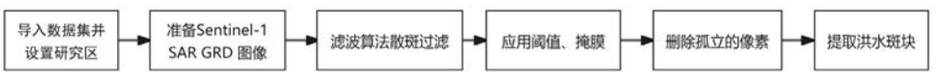


图3 卫星遥感提取淹没范围步骤

Fig.3 Steps for extracting flooded areas using satellite remote sensing

资料来源：笔者自绘。

表3 城市内涝单次灾害调查专题图件内容与制图要素

Tab.3 The content and mapping elements of the thematic map for the investigation of single urban waterlogging disasters

图件类型	专题图件名称	图幅内容	制图要素
必要图件	内涝模拟淹没范围与淹没深度图	内涝的预估淹没范围及淹没深度	内涝模拟淹没区、深度、行政区划、主要道路、河流、天地图在线影像底图
	卫星遥感提取淹没范围图	卫星遥感提取的水体淹没范围	水体淹没区、行政区划、主要道路、河流、天地图在线影像底图
	实测灾区水淹范围与深度图	灾区实地调查记录反演的内涝淹没范围及淹没深度	内涝淹没范围与深度、道路积水点、行政区划、主要道路、河流、天地图在线影像底图
	实测重灾区内涝淹没范围与淹没深度图	重灾区实地调查记录反演的内涝淹没范围及淹没深度	内涝淹没范围与深度、道路积水点、行政区划、受灾区照片、主要道路、河流、天地图在线影像底图
建议图件	道路积水点分布图	受内涝影响的道路积水位置分布情况	主要道路、河流、道路积水点、行政区划、天地图在线影像底图
	降雨量时空分布图	按降雨量大小显示研究区域不同时间段降雨范围	雨量中心、内涝模拟淹没区、行政区划、天地图在线影像底图
	卫星影像灾前灾后对比图	内涝灾害前、中、后期的卫星高清影像对比图	卫星影像、行政区划
	学校分布图	内涝影响范围或预估影响范围的学校分布情况	学校、内涝区、内涝模拟淹没区、主要道路、河流、天地图在线影像底图
	医院分布图	内涝影响范围或预估影响范围的医院分布情况	医院、内涝区、内涝模拟淹没区、主要道路、河流、天地图在线影像底图

资料来源：笔者自制。

《上海城市规划》https://www.shplanning.com.cn/. All rights reserved.



图4 FLO-2D的淹没范围及深度模拟（单位：m）
Fig.4 Simulation of inundation range and depth using FLO-2D (unit: meter)

资料来源：笔者基于自然资源部标准地图服务网站审图号GS(2025)1508号的标准地图制作，底图边界无修改。

2.2.1 内涝淹没范围及深度模拟

灾害发生前，研究团队应用FLO-2D模型进行城市淹没快速模拟。结果显示（见图4），潜在高风险区主要位于河流漫滩敏感区、城市局部洼地以及排水管网超载的老城区，包括洋湖湿地公园、龙王港沿岸、圭塘河中下游、浏阳河马栏山公园段、圭塘河—浏阳河交汇区、捞刀河开福大道周边等区域。模拟结果为灾时靶区锁定及后续踏勘指明了重点方向。

2.2.2 受灾范围初步识别与现场踏勘

灾害发展阶段，通过Python爬虫抓取小红书平台中关键词为“长沙内涝”“长沙暴雨”“长沙大雨”等的帖子，有效采集样本共计152条，并对内容中的地名和具体场景进行抽取和热度分析。发现热度较高的灾区集中在圭塘河中下游（特别是万家丽高架及喜盈门广场）、长沙火车站、韶山南路周边（中南大学铁道学院、中南林业科技大学）。

结合湖南省水利厅降雨量数据分析，发现2024年6月24日7:00—10:00时段为该次过程性降水的集中发生期，湘江东岸累积强降雨及持续时长明显高于西岸，暴雨中心由东向西逐步扩散。其中暴雨峰值核心区位于圭塘河中下游的城市建成密集区（见图5），在8:00—9:00暴雨峰值达74.5 mm/h，成为触发流域性内涝的直接动因。

综合社交媒体提取的内涝热点、降雨空间分布、道路积水点和FLO-2D模拟结果，确定圭塘河中下游区域、长沙火车站、韶山南路周边、圭塘河—浏阳河交汇区等内涝重灾区进行实地踏勘。灾后24 h内，研究团队组建6个调查小组，采用“车巡＋步巡＋无人机低空航拍＋入户走访”的协同方式，对灾情进行全方位、多层次的精细化现场踏勘（见图6）。由于6月25日积水已基本消退，无人机航拍对积水范围实时统计的贡献有限，在调查中侧重于灾后环境状况和损毁情况的影像资料留存，为灾害评估和后续对比分析提供依据。道路积水点数据为实地调研提供空间位置指引，而现场核查补齐了积水点的范围和深度。

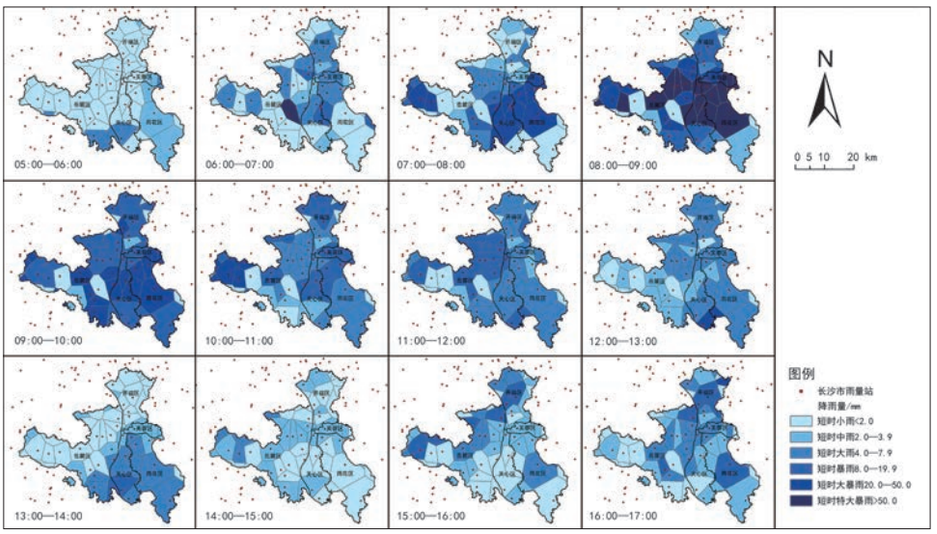


图5 降雨量时空分布图（6月24日5:00—17:00）
Fig.5 Spatial and temporal distribution map of rainfall (from 5:00 to 17:00 on June 24th)

资料来源：笔者基于自然资源部标准地图服务网站审图号GS(2025)1508号的标准地图制作，底图边界无修改。



图6 现场踏勘记录
Fig.6 On-site survey record

资料来源：研究团队拍摄。

表4 实地调查受灾区域与水淹深度
Tab.4 On-site investigation of affected areas and water depth

受灾区域类型	位置	最大水淹深度/m
居民区	新星小区、五矿万境水岸、水云间	1.1
商业区	喜盈门、井塘海绵公园商业设施、洞井商贸城等	1.3
道路	万家丽高架、五一大道、晚报大道、人民东路、东二环、长沙大道、劳动东路、雨河路、韶山南路、圭塘路等	1.0
交通枢纽	长沙火车站前广场	1.0
地下空间	长沙火车站地下通道、长沙火车站地铁站、地下车库	2.5

资料来源：笔者自制。

2.2.3 本次内涝灾害调查结果集成

（1）基于现场踏勘的内涝重灾区淹没范围及深度

实际调查表明，受灾区域涵盖居民区、商业区、道路、交通枢纽及地下空间等多类典型城市下垫面（见表4，图7）。积水深度呈现显著的空间分异：地下空间和低洼商业区受灾最

《上海城市规划》https://www.shplanning.com.cn/. All rights reserved.

重，局部最大水深超过2 m；老旧居民区与交通广场次之，普遍在1 m左右；而主干道路虽淹没范围广，但水深相对较浅，多不足0.5 m。从时间过程看，积水涨落与强降雨峰现时刻高度吻合，多数点位于降雨后半小时内迅速成涝，数小时后自然消退。此次内涝暴露出城市老旧管网排涝标准偏低、极端降雨下地表径流汇集过快等突出短板，加之部分区域地势低洼、排水出口受外河水位顶托，导致积水范围广、退水缓慢，对城市运行和居民生活造成严重影响。

（2）基于卫星遥感影像的淹没范围提取受限于Sentinel-1重返周期（Sentinel-1双星重返周期为6 d，目前仅Sentinel-1A单星运行，故为12 d），卫星遥感提取水体范围实际未能在期望的灾后48 h内完成。采集Sentinel-1 SAR洪涝前（2024年6月22日）与洪涝后（2024年7月4日）影像，极化方式VV、VH，利用GEE平台及Refined Lee滤波算法处理，快速提取水淹范围（见图8）。

3 多源数据灾害调查识别结果讨论

3.1 内涝模拟和社交媒体、积水点数据对比

多源数据融合对比显示（见图9），部分FLO-2D 预测水淹高风险区在实地调查中并未出现明显积水，典型区域包括浏阳河沿岸的马栏山公园、岳麓山实验室集聚区、恒大江湾及芙蓉万国城等。这些区域多为近年建设开发区，地势抬高且具备较完善排水设施，因此实际受涝风险较低；河西洋湖湿地公园及龙王港沿岸预测高风险区未出现灾情，则主要与本次强降雨集中在河东区域有关。上述差异说明：内涝模型参数与城区下垫面数据仍需进一步精细化，以更准确地反映城市更新和排水体系改善的成效。

社交媒体灾害热区可快速指示典型受灾点位（如长沙火车站、韶山南路、圭塘河沿线

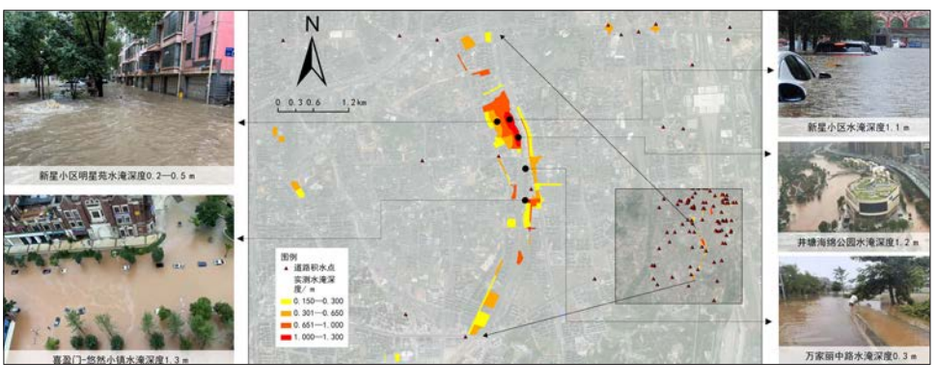


图7 重灾区—圭塘河中下游淹没范围与淹没深度实测图（单位：m）

Fig.7 Measured map of inundation extent and flood depth in the middle and lower reaches of the Guitang River, a severe disaster area (unit: meter)

资料来源：笔者自绘，底图来源为国家地理信息公共服务平台（天地图）卫星影像。

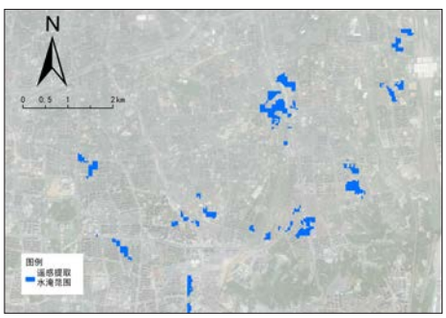


图8 以圭塘河为例利用雷达影像图提取的水淹范围

Fig.8 Inundation extent extracted from radar remote sensing imagery: a case study of the Guitang River

资料来源：笔者自绘，底图来源为国家地理信息公共服务平台（天地图）卫星影像。

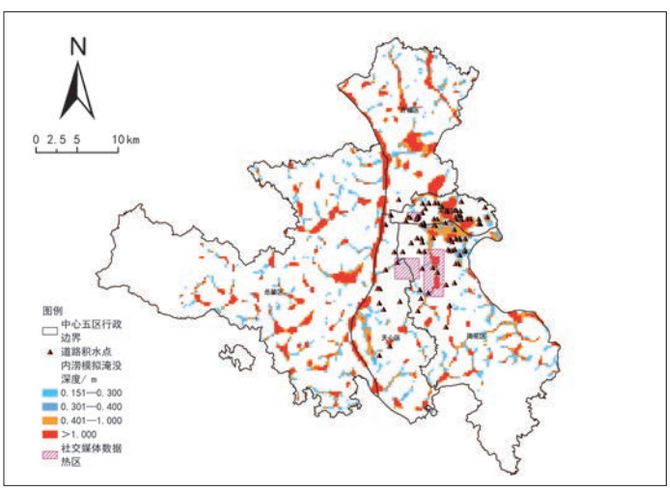


图9 内涝模拟和社交媒体热区、积水点数据对比

Fig.9 Comparison of waterlogging simulation with social media hotspots and water accumulation point data

资料来源：笔者基于自然资源部标准地图服务网站审图号GS(2025)1508号的标准地图制作，底图边界无修改。

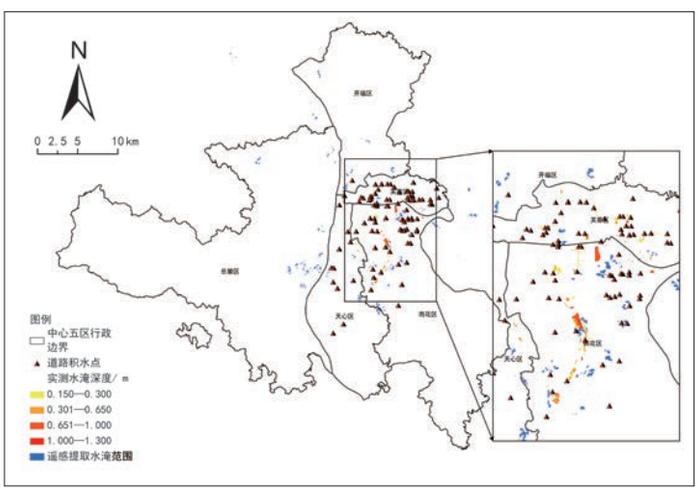


图10 实地踏勘与卫星遥感结果对比

Fig.10 Comparison between on-site survey results and satellite remote sensing results

资料来源：笔者基于自然资源部标准地图服务网站审图号GS(2025)1508号的标准地图制作，底图边界无修改。

《上海城市规划》https://www.shplanning.com.cn/. All rights reserved.

等),但受限于用户发文分布不均及定位偏差,其与积水点和实测结果存在明显差异,对于洞井商贸城、汽车东站等区域没有反馈,更多适合作为受灾区域初步识别的辅助验证数据。

3.2 实地踏勘结果与遥感识别结果对比

灾后实地踏勘与遥感识别比对表明(见图10),遥感提取水淹范围在城郊低密度开发区识别准确性较高,但在中心城区建筑密集、遮挡严重区域存在漏判风险;而实地踏勘在此类复杂场景下可有效补充、校正遥感识别误差,两者结合可显著提升灾情空间表达的真实性与完整性。

4 结论与展望

本文面向城市内涝事件,构建了多源数据集成的快速调查与标准化成果体系,并在长沙市“6•24”特大暴雨事件中验证了实用性。主要结论为:

(1)多源数据融合能提升内涝灾害调查的效率与精确度。通过内涝模拟、社交媒体数据、现场测绘和卫星遥感等多线并举,可实现灾区快速锁定、水深还原与成果生成,为应急决策提供支撑。

(2)全流程、标准化的调查技术体系具有可复制性和通用性。本文提出“风险预判—灾区锁定—成果集成与存档”的技术路线,可适应不同城市、不同类型内涝的调查需求。

(3)在实际应用中,除卫星遥感存在一定时效限制外,其余调查手段基本能实现48 h内灾情要素的空间化提取、数据库与图件输出,具备城市级灾害应急推广应用基础。

实证表明,该体系在快速响应方面较传统方法效率提升,但在模型自动化、数据实时共享等方面仍存在瓶颈。针对上述问题,未来研究需重点突破3个方向:

(1)持续推进数据自动化与智能化。利用AI、深度学习等手段提升社交媒体信息自动定位、积水深度识别及遥感影像智能解译的水平,提高调查自动化程度。

(2)推动大数据共享和标准化建设。建议联合多部门共建“城市内涝多源调查信息共享平台”,实现卫星遥感、气象大数据、市政感知、群众上报等信息共享平台,为应急管理与科学决策奠定基础。

(3)拓展方法体系至多灾种、复杂场景(如滑坡、泥石流、台风风暴潮等城市复合灾害)的快速调查,实现灾情态势与动态变化的精细刻画,推进韧性城市和“安全中国”建设。

参考文献 References

[1] 赵超辉,万金红,张云霞,等. 城市内涝特征、成因及应对研究综述[J]. 灾害学,2023,38(1):220-228.
Zhao Chaohui, Wan Jinhong, Zhang Yunxia, et al. Review on characteristics, causes and countermeasures of urban waterlogging[J]. Journal of Catastrophology, 2023, 38(1): 220-228.

[2] 周波涛,钱进. IPCC AR6报告解读:极端天气气候事件变化[J]. 气候变化研究进展,2021,17(6):713-718.
Zhou Botao, Qiao Jin. Interpretation of IPCC AR6 report: changes in extreme weather and climate events[J]. Advances in Climate Change Research, 2021, 17(6): 713-718.

[3] 史培军. 深圳市土地利用变化对流域径流的影响[J]. 生态学报,2001(7):1041-1049.
Shi Peijun. Impact of land use change in Shenzhen on watershed runoff[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001(7): 1041-1049.

[4] 扈海波. 城市暴雨积涝灾害风险突增效应研究进展[J]. 地理科学进展,2016,35(9):1075-1086.
Hu Haibo. Progress on the study of urban storm-flood disaster risk surge effect[J]. Progress in Geography, 2016, 35(9): 1075-1086.

[5] GB 51222—2017 城镇内涝防治技术规范[S].
GB 51222—2017 Technical code for urban waterlogging prevention[S].

[6] 易嘉伟,王楠,千家乐,等. 基于大数据的极端暴雨事件下城市道路交通及人群活动时空响应[J]. 地理学报,2020,75(3):497-508.
Yi Jiawei, Wang Nan, Qian Jiale, et al. Spatio-temporal response of urban road traffic and population activities under extreme rainstorm events based on big data[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(3): 497-508.

[7] 刘远,李莹,王国复,等. 河南省“21•7”极端暴雨灾害多区域间接经济损失评估[J]. 灾害学,2022,37(4):45-51.
Liu Yuan, Li Ying, Wang Guofu, et al. Assessment of multi-regional indirect economic losses caused by the “21•7” extreme rainstorm disaster in He'nan Province[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(4): 45-51.

[8] 胡畔,陈波,史培军. 中国暴雨洪涝灾情时空格局及影响因素[J]. 地理学报,2021,76(5):1148-1162.
Hu Pan, Chen Bo, Shi Peijun. Spatio-temporal pattern and influencing factors of rainstorm and flood disasters in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(5): 1148-1162.

[9] 杜文瑄,施益军,徐丽华,等. 韧性理念下流域洪涝灾害治理及规划启示——以韩国汉江为例[J]. 上海城市规划,2022(6):40-47.
Du Wenxuan, Shi Yijun, Xu Lihua, et al. Governance and planning implications of basin flood disasters under the concept of resilience: a case study of Han River, South Korea[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2022(6): 40-47.

[10] 王宇,黄成,周翠琼,等. 山区地质灾害应急调查的内涵及方法分析评述[J]. 中国岩溶,2020,39(4):492-499.
Wang Yu, Huang Cheng, Zhou Cuiqiong, et al. Connotation and method analysis and review of emergency investigation of mountain geological disasters[J]. Carsologica Sinica, 2020, 39(4): 492-499.

[11] GB/T 39195—2020 城市内涝风险普查技术规范[S].
GB/T 39195—2020 Technical specification for urban waterlogging risk census[S].

[12] 张伟,董世元,张明杰. 多源遥感数据在洪涝灾害分析中的应用[J]. 北京测绘,2024,38(11):1593-1598.
Zhang Wei, Dong Shiyuan, Zhang Mingjie. Application of multi-source remote sensing data in flood disaster analysis[J]. Beijing Surveying and Mapping, 2024, 38(11): 1593-1598.

[13] 李加林,曹罗丹,浦瑞良. 洪涝灾害遥感监测评估研究综述[J]. 水利学报,2014,45(3):253-260.
Li Jialin, Cao Luodan, Pu Ruiliang. Review on remote sensing monitoring and assessment of flood disasters[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 45(3): 253-260.

[14] Gorelick N, Hancher M, Dixon M, et al. Google earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone[J]. Remote Sensing of Environment, 2017, 202: 18-27.

[15] 武燕茹,廉旭刚,高玉荣. 基于哨兵数据相干性的洪水淹没范围确定方法[J]. 测绘通报,2022(11):96-100.
Wu Yanru, Lian Xugang, Gao Yurong. Flood inundation range determination method based on

《上海城市规划》https://www.shplanning.com.cn/. All rights reserved.

Sentinel data coherence[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2022(11): 96-100.

[16] 王敬明,王世新,王福涛,等. 基于Sentinel-1 SAR数据洪水淹没提取方法研究[J]. 灾害学，2021，36（4）:214-220.
Wang Jingming, Wang Shixin, Wang Futao, et al. Study on flood inundation extraction method based on Sentinel-1 SAR data[J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36(4): 214-220.

[17] 樊航,王恒,刘伟男,等. 利用国产高分卫星影像数据提取洪涝灾害影响分析[J]. 地理空间信息，2023，21（8）:65-67.
Fan Hang, Wang Heng, Liu Weinan, et al. Extraction and analysis of flood disaster impact using domestic high-resolution satellite image data[J]. Geospatial Information, 2023, 21(8): 65-67.

[18] Hou H, Shen L, Jia J, et al. An integrated framework for flood disaster information extraction and analysis leveraging social media data: a case study of the Shouguang flood in China[J]. Science of the Total Environment, 2024, 949: 174948.

[19] 赵晓丽,苏筠. 基于微博文本数据的灾害信息公众关注分析——以河南暴雨洪涝事件为例[J]. 自然灾害学报，2024（3）:17-27.
Zhao Xiaoli, Su Jun. Analysis of public attention to disaster information based on Weibo text data: a case study of He'nan rainstorm and flood event[J]. Journal of Natural Disasters, 2024(3): 17-27.

[20] 刘淑涵,王艳东,付小康. 利用卷积神经网络提取微博中的暴雨灾害信息[J]. 地球信息科学学报，2019，21（7）:1009-1017.
Liu Shuhan, Wang Yandong, Fu Xiaokang. Extraction of rainstorm disaster information from Weibo using convolutional neural networks[J]. Journal of Geo-information Science, 2019, 21(7): 1009-1017.

[21] Fang J, Hu J, Shi X, et al. Assessing disaster impacts and response using social media data in China: a case study of 2016 Wuhan rainstorm[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2019, 34: 275-282.

[22] 富璇,闫浩文,王小龙,等. 城市内涝场景下的微地图制作方法[J]. 地球信息科学学报，2024，26（5）:1166-1179.
Fu Xuan, Yan Haowen, Wang Xiaolong, et al. Micro-map making method in urban waterlogging scenarios[J]. Journal of Geo-information Science, 2024, 26(5): 1166-1179.

[23] 张凌嘉,周欣磊,许月萍,等. 基于YOLOv5和Mask-RCNN组合模型的社交媒体内涝灾害分析[J]. 浙江大学学报（工学版），2024，58（9）:1822-1831.
Zhang Lingjia, Zhou Xinlei, Xu Yueping, et al. Urban waterlogging disaster analysis based on social media using YOLOv5 and Mask-RCNN[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2024, 58(9): 1822-1831.

[24] Scotti V, Giannini M, Cioffi F. Enhanced flood mapping using synthetic aperture radar (SAR) images, hydraulic modelling, and social media: a case study of Hurricane Harvey (Houston, TX)[J]. Journal of Flood Risk Management, 2020, 13(4): e12647.

[25] 李绍铭,金辉,李鹏,等. 基于MIKE FLOOD耦合模型的城市暴雨洪涝模拟[J]. 南水北调与水利科技（中英文），2025，23（5）:1143-1152.
Li Shaoming, Jin Hui, Li Peng, et al. Urban rainstorm and flood simulation based on MIKE FLOOD coupled model[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2025, 23(5): 1143-1152.

[26] T/GDJSKB 014—2023 城镇内涝风险评估与治理技术标准[S].
T/GDJSKB 014—2023 Technical standard for urban waterlogging risk assessment and governance[S].

[27] Yan Z, Guo X, Zhao Z, et al. Achieving fine-grained urban flood perception and spatio-temporal evolution analysis based on social media[J]. Sustainable Cities and Society, 2024, 101: 105077.

[28] Amitrano D, Martino G D, Simone A D, et al. Flood detection with SAR: a review of techniques and datasets[J]. Remote Sensing, 2024, 16(4): 56.

[29] 邓滢,张红,王超,等. 结合纹理与极化分解的面向对象极化SAR水体提取方法[J]. 遥感技术与应用，2016，31（4）:714-723.
Deng Ying, Zhang Hong, Wang Chao, et al. Object-oriented polarimetric SAR water extraction method combining texture and polarization decomposition[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2016, 31(4): 714-723.

[30] 湖南省人民政府. 湖南降雨较历年同期偏多近五成 长沙单小时雨量破纪录—湖南省人民政府门户网站[EB/OL].（2024-06-25）[2025-03-26]. https://www.hunan.gov.cn/topic/fx2024/xqbb24/202406/t20240625_33336111.html.
Hu'nan Provincial People's Government. Rainfall in Hu'nan nearly 50% higher than the same period in previous years, Changsha hourly rainfall breaks record[EB/OL]. (2024-06-25) [2025-03-26]. https://www.hunan.gov.cn/topic/fx2024/xqbb24/202406/t20240625_33336111.html.

《上海城市规划》https://www.shplanning.com.cn/. All rights reserved.