引文格式：张新长,张元梅,谭颂红,等. 智慧城市应急管理中的地理空间技术体系与全周期应用[J]. 地理空间信息, 2026, 24(6):10-16. doi:10.3969/j.issn. 1672-4623.2026.06.002

智慧城市应急管理中的地理空间技术体系与全周期应用

张新长[1,3]，张元梅[3*]，谭颂红[1]，阮永俭[1]，齐　霁[1,2]
（1. 广州大学 地理科学与遥感学院，广东 广州 510006；2. 广州大学 空天遥感创新研究院，广东 广州 510006；
3. 新疆大学 地理与遥感科学学院，新疆 乌鲁木齐 830017）

摘　要：随着智慧城市建设深入，城市应急管理正由灾后处置转向灾前预防、灾中响应和灾后恢复的全周期管理。地理空间技术凭借空间信息获取、多源数据融合与时空关联分析等优势，成为支撑智慧城市应急管理的基础。梳理了面向智慧城市应急管理的地理空间技术体系，探讨了多源时空数据获取与风险底图构建、异构数据融合与时空关联分析、灾害过程模拟与城市空间表达等关键链路，总结了该技术体系在灾前风险识别与预警、灾中动态感知与协同响应、灾后损失评估与恢复监测等全周期的应用逻辑。最后，针对多源异构数据融合困难、高精度数字底板动态更新滞后，提出了构建空天地一体化感知网络、强化智能分析推演及打造可计算城市数字底座的未来发展方向。

关键词：智慧城市；地理空间技术；应急管理；全周期应用；数字底座
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）06-0010-07

Geospatial Technology System and Full-cycle Applications in Smart City Emergency Management

ZHANG Xinchang[1,3], ZHANG Yuanmei[3], TAN Songhong[1], RUAN Yongjian[1], Qi Ji[1,2]
(1. School of Geography and Remote Sensing, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China;
2. Institute of Aerospace Remote Sensing Innovations, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China;
3. The College of Geography and Remote Sensing Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830017, China)

Abstract: With the deepening development of smart cities, urban emergency management is shifting from post-disaster response to a full-cycle management paradigm encompassing pre-disaster prevention, in-disaster response, and post-disaster recovery. Geospatial technology, with advantages in spatial information acquisition, multi-source data fusion, and spatio-temporal correlation analysis, has become a fundamental support for smart city emergency management. In this paper, we reviewed the geospatial technology system for smart city emergency management, and discussed key components, including multi-source spatio-temporal data acquisition and risk basemap construction, heterogeneous data fusion and spatio-temporal correlation analysis, disaster process simulation, and urban spatial representation. Then, we further summarized the application logic of this technology system across the full emergency management cycle, including pre-disaster risk identification and early warning, in-disaster dynamic sensing and coordinated response, and post-disaster damage assessment and recovery monitoring. Finally, in response to challenges such as difficulties in multi-source heterogeneous data integration and the lagging dynamic update of high-precision digital basemaps, we proposed future development directions, including the construction of a space-air-ground integrated sensing network, the enhancement of intelligent analysis and simulation capabilities, and the development of a computable urban digital base.

Key words: smart city, geospatial technology, emergency management, full-cycle application, digital foundation

随着新型城镇化深入推进和城市运行系统日益复杂，智慧城市建设已由早期侧重信息化设施部署和业务数字化改造，逐步转向以实时感知、动态分析、协同联动和智能决策为特征的综合治理阶段[1-4]。在这一过程中，城市治理对空间感知、状态识别和风险响应能力提出了更高要求。极端天气、城市内涝、地质灾害、地下空间风险以及生命线工程脆弱性等问题相互交织，使现代城市风险呈现出复合化、动态化和链式扩散特征[5-7]。传统以分散监测、人工研判和事后处置为主的应急管理方式，已难以适应复杂城市环境下对风险识别精度、响应效率和协同水平的现实需求。因此，如何在智慧城市建设框架下提升城市风险感知能力、强化灾害过程认知并优化全周期应急管理模式，已成为当前城市治理研究与实践的重要议题。

项目来源：国家自然科学基金面上项目（42371406、42571533）。
第一作者简介：张新长（1957—），博士，国际欧亚科学院院士，俄罗斯工程院外籍院士，主要从事空间数据整合及自适应更新技术方法、数字城市（智慧城市）理论与方法、深度学习与自然资源要素分类和提取等方面的教学与研究工作，E-mail: zhangxc@gzhu.edu.cn。
通信作者：张元梅（1998—），博士，研究方向为城市地理，E-mail: zhangym@stu.xju.edu.cn。

地理空间技术因其在空间定位、时空整合、过程模拟和场景表达方面的优势，成为支撑智慧城市应急管理的重要技术基础[8]。以遥感、地理信息系统、全球导航卫星系统、无人机、激光雷达和城市信息模型等为代表的技术体系[9-10]，能够获取和组织自然环境、建成空间、重点设施、人口活动及风险状态等多类信息[11]，为城市风险要素的精细感知与空间表达提供支撑。依托多源时空数据获取、异构数据融合、时空关联分析和灾害过程模拟，地理空间技术不仅能够支撑城市风险底图构建，还能够揭示风险源、承灾体与城市空间结构之间的耦合关系，增强对风险形成机制、影响范围和演变过程的认知[12]。在智慧城市背景下，应急管理正由灾后处置转向灾前预防、灾中响应与灾后恢复相衔接的全周期管理模式[13]，这也使地理空间技术在数据支撑、动态分析和场景表达中的作用进一步凸显。

在此背景下，有必要对智慧城市应急管理中的地理空间技术进行系统梳理。现有研究已在多源时空数据获取、风险识别、动态监测和应急应用等方面积累了较为丰富的成果，但相关内容多分散于具体灾种、单项技术或单一阶段，缺乏面向全周期应急管理的整体性归纳。本文围绕地理空间技术体系及其全周期应用展开讨论，重点分析其在风险底图构建、时空关联分析、灾害过程模拟与空间表达中的支撑作用，并梳理其在灾前预警、灾中响应和灾后恢复中的应用逻辑，以期为智慧城市背景下城市应急管理能力提升提供参考。

1　智慧城市应急管理中的地理空间技术体系

智慧城市应急管理的有效运行，依赖于对城市空间要素、风险状态与动态事件的持续感知和系统认知。相较于传统应急管理主要依赖统计资料、人工巡查和分散业务系统的信息支撑方式，地理空间技术能够从空间维度整合自然环境、建成空间、基础设施和监测状态等多类信息，形成面向应急管理的数字基础。如图1所示，围绕智慧城市应急管理需求，地理空间技术体系主要包括多源时空数据获取与城市风险底图构建、多源异构数据融合与时空关联分析，以及灾害过程模拟与城市空间表达3个层面。

1.1　多源时空数据获取与城市风险底图构建

地理空间技术支撑智慧城市应急管理的前提，在于建立稳定、连续并具备空间定位能力的数据获取体系。城市风险涉及自然环境、建成环境、基础设施和社会活动等多个方面，相关信息具有多源、动态和异构等特征，单一数据源难以满足应急管理需求。遥感、地理信息系统、全球导航卫星系统、无人机、激光雷达、视频监测和物联网感知设备等技术，可在不同尺度获取不同精度和频率的数据，共同形成覆盖自然环境、建成空间和设施运行状态的多源时空数据体系[14-16]。在多源数据支撑下，城市风险底图构建成为重要环节。风险底图以城市基础空间框架为基础，将风险源、承灾体、应急资源和关键设施统一纳入同一空间参照体系，其内容既包括地形地貌、道路、水系、建筑物、地下空间和重要公共设施等基础空间信息，也包括人口分布、功能分区、避难场所、医院、消防站和物资储备点等管理对象信息。通过统一组织分散在不同系统中的空间对象和管理要素，风险底图能够为后续分析、模拟和应用提供基础支撑，也是城市应急管理数字底座的重要组成部分。

1.2　多源异构数据融合与时空关联分析

在风险底图基础上，应急管理需要进一步解决多源数据的融合组织问题。多源异构数据融合主要是围绕统一空间对象和时间过程，对遥感影像、传感器监

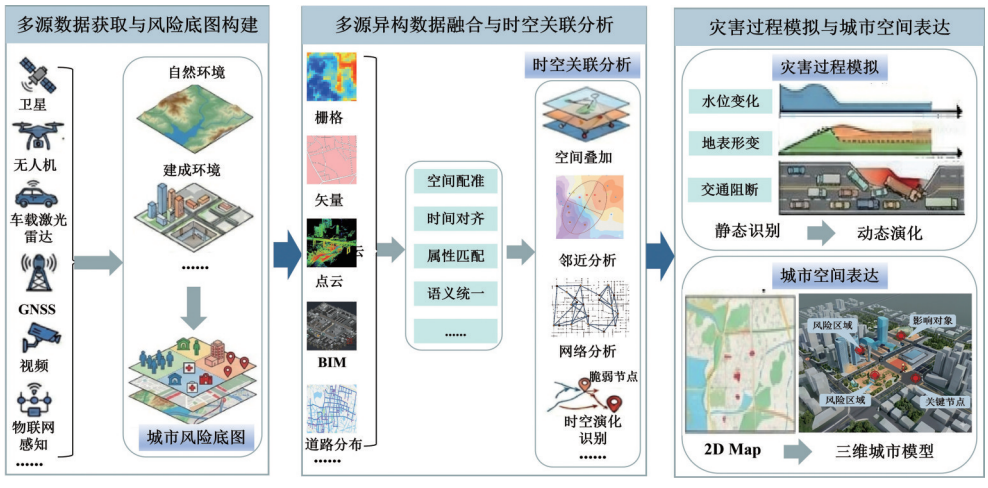


图1　智慧城市应急管理地理空间技术体系

测、基础地理信息、人口活动和业务管理等不同来源的数据进行联合组织[17]。通过空间配准、时间对齐、属性匹配和语义统一，不同数据能够在位置、时序和对象层面建立对应关系[18]，使建筑、道路、设施、人口和监测状态等信息能够围绕同一空间单元进行综合分析。这样形成的数据体系既保留了不同数据源之间的互补信息，也为风险识别和动态分析提供了统一的数据基础。在多源融合基础上，时空关联分析进一步用于分析风险源、承灾体、基础设施、交通网络和人口活动之间的关系[19]。通过空间叠加、邻近分析、网络分析和时空演化分析等方法，可以识别不同区域和对象的暴露程度、脆弱性及其关联机制[20-21]，并在单一时点判断的基础上进一步分析风险变化过程、传播路径和影响范围，从而提高风险识别和综合研判的准确性。

1.3 灾害过程模拟与城市空间表达

应急管理面对的不是静态结果，而是持续变化的灾害过程，因此地理空间技术不仅需要识别风险对象，还需要分析灾害在城市空间中的演变过程。结合地形地貌、地表覆盖、基础设施分布和环境状态等信息，可以对积水扩展、地表形变、交通阻断和影响传播等过程进行模拟，进而分析灾害作用范围、变化趋势和可能影响。灾害过程模拟的作用，在于为应急管理提供过程信息，而不仅限于结果判断。在此基础上，城市空间表达为应急管理提供统一的场景支撑。传统二维地理信息系统在位置表达和空间关系展示方面具有较强基础，但在高密度建成区、地下空间、多层设施系统和动态状态叠加等场景下仍存在一定局限。随着三维城市模型、城市信息模型（city information modeling，CIM）、文生图技术和数字孪生技术的发展，建筑、道路、水系、公共设施及其运行状态能够在统一空间场景中进行组织和展示[22-24]。这种表达方式有助于识别风险范围、受影响对象和关键节点，并为复杂灾害场景下的信息组织和辅助分析提供支持。

2 应急管理中的地理空间技术应用

全周期应急管理强调将灾前预防、灾中处置和灾后恢复纳入连续衔接的治理过程。智慧城市背景下，地理空间技术的应用不再局限于单一环节，而是贯穿风险识别、态势感知、损失评估和恢复监测等不同阶段。与第二部分侧重技术体系不同，本部分重点讨论地理空间技术在全周期应急管理中的具体应用方向，分析不同阶段的主要任务、应用内容及空间信息支撑方式。

2.1 灾前风险识别与预警

灾前阶段的地理空间技术应用主要包括风险源与隐患区识别、承灾体暴露度与脆弱性分析以及预警支撑。城市风险分布于地质环境、地表形态、基础设施、地下空间和建成环境等多个方面，结合多源遥感影像、数字高程模型（digital elevation model，DEM）、干涉合成孔径雷达（interferometric synthetic aperture Radar，InSAR）、激光雷达（light detection and ranging，LiDAR）以及土地利用和基础地理信息数据，可对滑坡隐患点、地表沉降区、城市易涝低洼区、危旧建筑集中区、地下空间高风险区和生命线工程薄弱区进行空间筛查与定位[25-28]，并可结合地表形变、坡度、地层、降雨和道路切坡分布等信息识别潜在滑坡敏感区域。在此基础上，结合人口热力、建筑密度、功能分区、学校与医院分布、避难场所布局和交通网络结构，还可进一步分析不同区域的暴露水平和脆弱特征[29]，使灾前风险分析由单一危险性判断扩展到危险性、暴露度和脆弱性综合分析。与此同时，基于实时降雨、水位、地表形变、道路积水、设施运行状态和人口活动等监测信息，并结合既有风险分布结果，可以对风险变化进行动态判断，形成面向不同行政单元、街道、社区、重点设施和重点节点的预警结果[30-31]。

以杭州市临安城区为例[32]，从致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性和防灾减灾能力4个维度构建城市内涝风险评估指标体系，并结合GIS空间分析与主成分分析方法，在200 m×200 m栅格尺度上形成风险分区结果。图2展示了临安城区内涝风险的空间分异特征，其中高风险区主要分布于地势相对低洼、建成环境较为密集且排水条件相对薄弱的老城区及部分新开发区域，低风险区则更多分布于外围地势较高区域。该案例补充表明，在灾前阶段，地理空间技术不仅可用于识别风险源的空间分布，还可将地形条件、土地利用、建成环境和承灾体特征共同纳入风险分区分析之中，从而形成更具空间针对性的风险识别结果。

2.2 灾中动态感知与协同响应

灾中阶段的地理空间技术应用主要包括灾情快速获取、灾情态势分析以及应急资源调度与协同响应。由于灾中阶段面对的是已经发生并持续变化的事件过程，因此对信息时效性和更新频率要求较高。结合高分辨率遥感影像、无人机快速航测、视频监控、地面

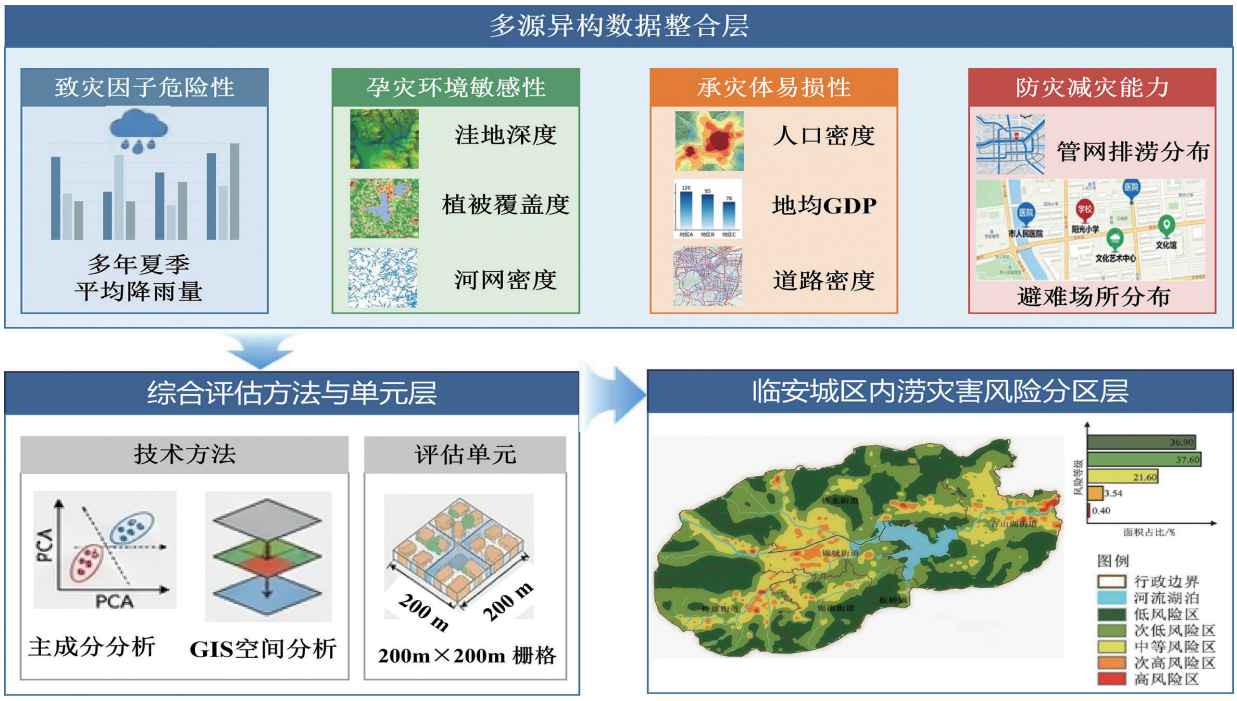


图2　杭州市临安城区内涝风险评估

传感器和移动位置数据等，可以在较短时间内识别积水范围、道路中断、建筑损毁、火点分布、地表形变和设施异常等信息[33-34]，并判定灾害发生位置、空间影响范围及其变化情况。在此基础上，进一步结合道路通行状态、设施运行情况、重点目标位置和人口活动分布，能够将受灾范围、阻断区域、危险点位、重点设施和可用通道统一组织到同一空间场景中，对灾情扩展方向、关键影响区域和高风险节点进行分析[35-36]。同时，结合道路网络、交通状态、避难场所、医院等信息，还可开展救援路径优化、资源配置和疏散组织分析，评估不同资源到达受灾区域的时间成本、通行条件和服务范围[37]，并为消防、交通、水务、住建、医疗等部门围绕同一受灾区域和相关设施对象开展协同响应提供统一的空间参照和分析基础。

在灾中动态感知方面，以2017年Hurricane Harvey[38]影响下的美国休斯敦城市洪水为例，基于Sentinel-1 SAR数据和InSAR coherence的城市洪水识别方法。研究利用合成孔径雷达数据在云雨条件下持续获取地表信息，并通过相干性变化识别城市建成区中的积水范围。图3反映了休斯敦洪水淹没范围在城市空间中的分

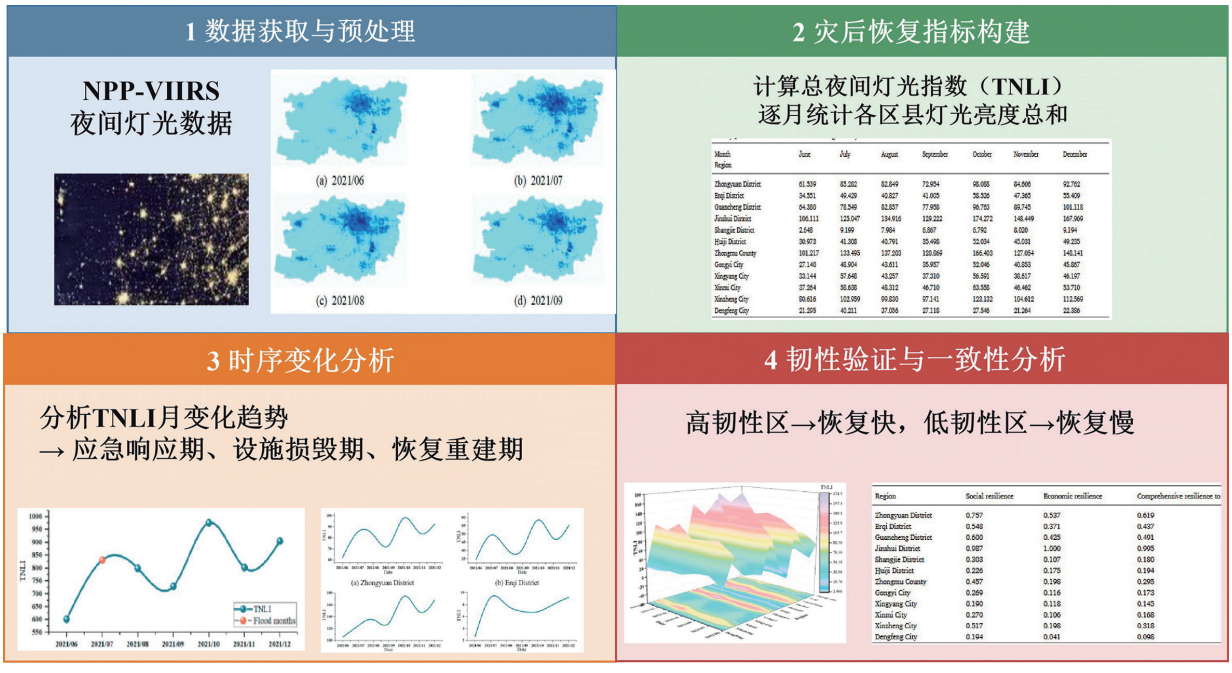


图3　休斯敦Hurricane Harvey洪水遥感识别

布特征，显示洪水识别结果不仅覆盖裸地区域，也能够识别道路、建筑密集区等复杂建成环境中的受淹区域。该案例补充了灾中阶段地理空间技术在灾情快速获取中的应用特点，即在传统光学遥感受天气条件限制较大的情况下，雷达遥感仍能够提供较高时效性的空间化灾情信息，用于判定受灾范围及其变化情况。

2.3 灾后损失评估与恢复监测

灾后阶段的地理空间技术应用主要包括损失识别与空间评估、恢复过程监测以及重建对象识别与空间优化分析。灾后评估通常结合灾前灾后遥感影像、无人机调查成果、基础设施数据库和地面调查信息，对建筑物、道路、桥梁、管网、电力设施、公共服务设施和生态环境受损情况进行分类识别和空间分级[39]，从而在空间单元尺度上明确受损范围、受损对象类型和受损等级分布。在此基础上，结合夜光遥感、人口活动数据、交通流数据、设施运行数据和遥感序列影像，还可对人口回流、交通恢复、公共服务重启、商业活动恢复和基础设施修复等过程进行连续监测，分析不同区域的恢复进展。进一步结合受损等级、设施重要性、服务范围和人口分布，可识别重建优先片区、基础设施修复优先序列和公共服务补强区域，为灾后恢复和重建中的空间组织提供支持。

在灾后恢复监测方面，以郑州“7·20”特大暴雨事件为对象的研究表明[40]，该研究首先基于社会经济统计数据构建了城市内涝韧性评估模型，对郑州市各区县的社会韧性、经济韧性与综合韧性进行了量化评估。在此基础上，进一步利用NPP-VIIRS夜间灯光数据对不同区县灾后恢复过程进行连续监测。图4展示了郑州市不同区域在灾后恢复阶段的空间差异，夜间灯光变化结果表明，韧性评估结果与灾后恢复进程具有高度一致性：韧性等级较高的区县（如金水区）在灾后恢复速度更快、恢复程度更高；而韧性等级较低的区县（如登封市）恢复过程则相对滞后。该案例补充了灾后阶段地理空间技术在恢复监测中的具体表现，即通过时序遥感数据持续跟踪城市功能恢复状态，并从空间分异角度反映灾后恢复进程，同时也验证了韧性评估结果在预测灾后恢复能力方面的有效性。

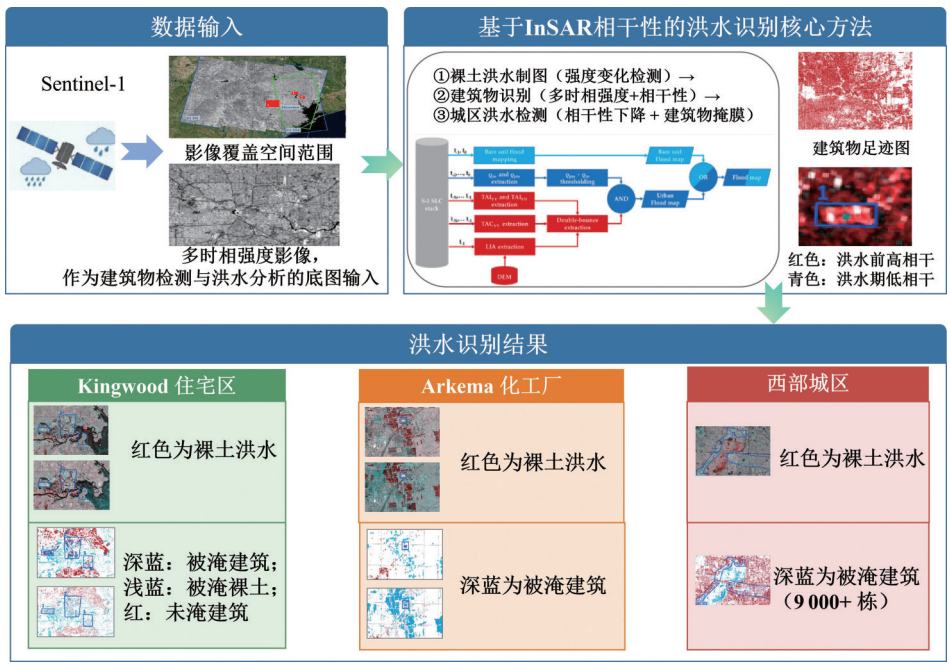


图4 郑州“7·20”暴雨灾后夜间灯光恢复监测

3 地理空间技术在灾害应急管理中面临的挑战

尽管地理空间技术在灾前、灾中和灾后不同阶段得到广泛应用，但在实际运行过程中仍面临若干基础性约束。首先，多源异构时空数据融合仍然存在较大难度。智慧城市应急管理所涉及的数据来源广泛，既包括遥感影像、基础地理信息和三维空间数据，也包括传感器监测数据、设施运行数据、人口活动数据和业务管理数据。不同数据在坐标体系、空间分辨率、时间粒度、更新频率和语义结构等方面存在显著差异，导致跨来源数据在接入、匹配和联合分析过程中仍面临较高成本。与此同时，不同部门之间的数据采集方式、管理标准和共享规则并不一致，基础地理数据、设施台账、监测状态和业务数据之间仍然存在一定程度的信息壁垒，影响了应急管理中多源数据的统一组织和快速调用。对于强调实时响应的智慧城市应

急管理而言，数据融合不仅涉及精度和完整性问题，还涉及实时性与稳定性的平衡问题，高精度数据往往更新周期较长，而高频动态数据又常常存在空间精度不足和结构不统一等问题，这些因素共同制约了多源时空数据在复杂场景中的协同应用。

其次，高精度城市数字底板的动态更新机制仍不完善。城市数字底板是风险底图、过程分析和场景表达的基础，但现实中的城市空间环境始终处于持续变化之中，建筑更新、道路调整、地下空间扩展、设施改造和功能转换等过程都会对空间底板的准确性产生直接影响。当前较多城市模型仍以阶段性更新为主，持续更新能力不足，特别是在地下空间、生命线工程和重点设施等对象层面，数据滞后现象较为突出。除空间对象本身的更新问题外，动态状态信息与静态空间底板之间的稳定挂接也仍存在困难。监测数据、运行状态和事件信息虽然能够持续产生，但在不同对象层级、不同空间尺度和不同业务系统之间缺乏统一组织方式，导致静态底板与动态场景之间存在衔接不充分的问题。上述问题直接影响了智慧城市应急管理中风险识别、过程分析和场景更新的连续性，也限制了城市数字底板在复杂应急场景中的支撑能力。

4　发展趋势与未来展望

面向智慧城市应急管理的进一步发展，地理空间技术仍需在感知能力、分析能力和底座能力3个方面持续提升。首先，空天地一体化实时感知网络仍将是未来发展的重要方向。随着卫星遥感、低空无人机、地面传感设备和物联网终端的持续部署，城市空间感知将由多源观测向多源协同感知进一步发展。未来技术体系需要更加重视不同感知手段之间的连续接续、数据时效性提升以及多尺度观测的统一组织，从而形成覆盖城市全域、兼顾区域尺度与局部尺度、能够支持连续更新的实时感知网络。与此同时，围绕智慧城市应急管理需求，智能分析与情景推演能力也需要进一步增强。随着GeoAI、大模型方法和高性能计算手段的发展，多源时空数据的快速识别、动态分析和过程模拟将具备更强的自动化和智能化特征，风险研判、态势演变分析和情景推演有望从单一模型支持转向多源信息联合驱动，从结果展示转向面向复杂场景的综合分析。

未来发展的另一重点在于形成可更新、可计算的城市数字底座。城市数字底座不应仅停留于基础空间表达层面，而应进一步加强空间对象、实时状态、监测结果和业务场景之间的持续耦合，使城市空间底板具备更强的更新能力、计算能力和场景支撑能力。在智慧城市应急管理框架下，城市数字底座需要同时支撑风险底图构建、动态信息挂接、过程分析和空间表达，并保持与实际城市运行状态的一致性。只有在稳定的数据底座、持续更新的感知信息和更加智能的分析方法共同作用下，地理空间技术才能更有效地服务于智慧城市应急管理的全过程，并推动城市安全治理由分散响应向系统化、连续化和精细化方向发展。

参考文献

[1] Wang S, Chen D, Liu L. The Practice and Prospect of Smart Cities in China's Urbanization Process[J]. Frontiers of Urban and Rural Planning, 2023, 1(1):7

[2] 余煌, 杨子璇, 张晨, 等. 智慧城市建设对城市多中心化的影响研究[J]. 地理科学进展, 2025, 44(11):2230-2249

[3] 龚健雅, 张翔, 向隆刚, 等. 智慧城市综合感知与智能决策的进展及应用[J]. 测绘学报, 2019, 48(12):1482-1497

[4] Jacques E, Júnior A N, De P S, et al. Smart Cities and Innovative Urban Management:Perspectives of Integrated Technological Solutions In Urban Environments[J]. Heliyon, 2024, 10(6):e27850

[5] 郑学召, 熊艳玲, 童鑫, 等. 陕西省城市自然灾害韧性时空演变与影响因素[J]. 科学技术与工程, 2025, 25(16):6993-7003

[6] Liu C, Yang X, Li Y, et al. A Dynamic Emergency Decision-making Method for Urban Natural Disasters Considering Cascading Effects[J]. Natural Hazards, 2025, 121(14):16581-16627

[7] Tian Y, Ding S, Huang L, et al. A New Approach for Deep Prediction of Urban Complex System Risk Process During Natural Disasters[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2025, 264:111339

[8] Xia H, Liu Z, Efremochkina M, et al. Study on City Digital Twin Technologies for Sustainable Smart City Design:A Review and Bibliometric Analysis of Geographic Information System and Building Information Modeling Integration[J]. Sustainable Cities and Society, 2022, 84:104009

[9] Hlal M, Baraka M J C, Chenal J, et al. Digital Twin Technology for Urban Flood Risk Management:A Systematic Review of Remote Sensing Applications and Early Warning Systems[J]. Remote Sensing, 2025, 17(17):3104

[10] 顾建祥, 杨必胜, 董震, 等. 面向数字孪生城市的智能化全息测绘[J]. 测绘通报, 2020(6):134-140

[11] Costa D G, Bittencourt J C N, Oliveira F, et al. Achieving Sustainable Smart Cities Through Geospatial Data-driven

Approaches[J]. Sustainability,2024,16(2):640
[12] 刘纪平,王琢璐,徐胜华,等. 人工智能时代下的应急测绘[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2025,50(6):1029-1041
[13] 鲁钰雯,翟国方. 人工智能技术在城市灾害风险管理中的应用与探索[J]. 国际城市规划,2021,36(2):22-31
[14] 张新长,齐霁,陈一平,等. 面向城乡融合的智能规划关键技术与应用[J]. 地球信息科学学报,2026,28(1):15-27
[15] 郑安丽,宋军林,李景宜,等. 关中平原城市群内涝灾害韧性评估与影响因素分析[J]. 地理空间信息,2026,24(3):71-77
[16] 安少帅,贾林瑞,张树森,等. 智慧城市视角下数字孪生技术的可持续应用路径探析[J]. 地理空间信息,2026,24(2):25-29
[17] 潘俊钳,阮浩德,徐可,等. 一种基于多源异构空间规划数据的融合方法[J]. 测绘通报,2025(1):127-132
[18] 刘尚钦,张福浩,仇阿根,等. 基于城市信息单元的多源时空数据融合框架[J]. 集成技术,2023,12(3):34-47
[19] 王志涛,王志源,郭小东,等. 城市防灾控制线体系与规划管控策略研究[J]. 防灾减灾学报,2025,41(4):11-23
[20] Raduszynski T,Numada M. Measure and Spatial Identification of Social Vulnerability, Exposure and Risk to Natural Hazards In Japan Using Open Data[J]. Scientific Reports, 2023,13(1):664
[21] Ranabahu S S ,Lowry J H ,Imran M .An Indicator-based GIS Approach for Assessing A Community's Vulnerability to Mobility-related Disruptions Caused by Floods[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2025, 120:105342
[22] Gong L,Ding M. Urban Traffic Digital Twin System Development In Unity[J]. Scientific Reports,2025,15(1):40085
[23] 张新长,赵元,齐霁,等. 基于AI大模型的文生图技术方法研究及应用[J]. 地球信息科学学报,2025,27(1):10-26
[24] 刘一,刘江涛. 城市级实景三维与BIM集成技术研究与实践[J]. 测绘地理信息,2023,48(1):73-76
[25] He Y, Xu G, Kaufmann H, et al. Integration of InSAR and LiDAR Technologies for A Detailed Urban Subsidence and Hazard Assessment in Shenzhen, China[J]. Remote Sensing,2021,13(12):2366
[26] Qin Y,Cao L,Li S,et al. Multisource Geoscience Data-driven Framework for Subsidence Risk Assessment In Urban area[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2024,113:104901
[27] Zheng X, He G, Wang S, et al. Comparison of Machine Learning Methods for Potential Active Landslide Hazards Identification with Multi-source Data[J]. ISPRS International Journal of Geo-information,2021,10(4):253
[28] 郭广彬,田婷,周忠国,等. 多机器学习算法下沧源县滑坡地质灾害易发性评价[J]. 地理空间信息,2026,24(2):64-67
[29] Wang Y, Li C, Hu Y, et al. Evaluation of Urban Flooding and Potential Exposure Risk in Central and Southern Liaoning Urban Agglomeration, China[J]. Ecological Indicators, 2023,154:110845
[30] Jiang W B. Implementing Advanced Techniques for Urban Mountain Torrent Surveillance and Early Warning Using Rainfall Predictive Analysis[J]. Urban Climate, 2024, 53:101782
[31] Yigitcanlar T, Regona M, Kankanamge N, et al. Detecting Natural Hazard-related Disaster Impacts with Social Media Analytics:The Case of Australian States and Territories[J]. Sustainability,2022,14(2):810
[32] 叶瑞峰,潘耀忠,唐钰嫣,等. 基于主成分分析的城市内涝灾害风险评估:以杭州市临安区为例[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版),2022,21(3):320-326
[33] 耿蔚,崔甲,杨杰,等. 融合遥感与大数据技术对四川盆地城市洪涝灾害时空动态监测与评估的应用[J]. 高原山地气象研究,2025,45(增刊):69-74
[34] 吴阳. 基于Sentinel-1 D-InSAR的西藏定日县地震形变检测分析[J]. 测绘与空间地理信息,2026,49(1):208-211
[35] 汪驰升,郭雪晴,崔红星,等. 城市天际线对地动态观测:一种新型城市突发事件遥感监测方式探讨[J]. 中国科学:技术科学,2021,51(1):78-88
[36] Daud S M S M, Yusof M Y P M, Heo C C, et al. Applications of Drone In Disaster Management:A Scoping Review[J]. Science & Justice,2022,62(1):30-42
[37] Popescu C ,Brbulescu A. GIS-based Accessibility Analysis for Emergency Response in Hazard-prone Mountain Catchments:A Case Study of Vrbilu, Romania[J].Water (20734441),2025,17(19):2803
[38] Chini M,Pelich R,Pulvirenti L,et al. Sentinel-1 InSAR Coherence to Detect Floodwater in Urban Areas:Houston and Hurricane Harvey as a Test Case[J]. Remote Sensing, 2019,11(2):107
[39] 严涵,忻静,侯超. 基于自然灾害综合风险普查成果的城市防灾减灾一张图关键技术研究[J]. 测绘与空间地理信息,2024,47(6):72-76
[40] Liu Y, Liu W, Lin Y, et al. Urban Waterlogging Resilience Assessment and Postdisaster Recovery Monitoring Using NPP-VIIRS Nighttime Light Data:A Case Study of the 'July 20,2021' Heavy Rainstorm in Zhengzhou City, China[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2023, 90:103649