**引文格式**: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.DOI:10.13203/j.whugis20240300

**Citation**:LIU Jiping,WANG Zhuolu,XU Shenghua,et al.Emergency Surveying and Mapping in the Era of Artificial Intelligence[J].Geomatics and Information Science of Wuhan University,2025,50(6):1029-1041.DOI:10.13203/j.whugis20240300

# 人工智能时代下的应急测绘

刘纪平[1] 王琢璐[2] 徐胜华[1] 任 福[3] 王 勇[1] 唐 晴[1] 周婷婷[4]

1 中国测绘科学研究院,北京,100830

2 辽宁工程技术大学测绘与地理科学学院,辽宁 阜新,123000

3 武汉大学资源与环境科学学院,湖北 武汉,430079

4 西南交通大学地球科学与工程学院,四川 成都,611756

**摘 要**:应急测绘是通过高效、准确和快速获取的灾区地理空间数据提供综合防灾减灾救灾服务,人工智能是新一轮科技革命与产业变革的核心驱动力,应用人工智能的应急测绘可提升突发事件应急管理的科学性和系统性。从人工智能视角对应急测绘技术和方法进行了深入分析和总结,阐述了智能应急测绘的概念与内涵,提出了应急测绘关键技术框架,回顾了应急测绘技术的研究进展,包括应急通信与高精度定位、多源灾情数据获取与融合、典型灾害模型与时空分析、应急救援指挥与保障服务等;以全息实景信息底座、典型灾害态势推演系统、天空地一体化指挥平台为例,介绍了应急测绘服务系统应用情况;围绕智能应急测绘理论体系、应急数据治理、应急大模型、智能应急测绘主动服务等方向对智能应急测绘技术进行了展望。

**关键词**:应急测绘;人工智能;应急管理;智能服务

**中图分类号**:P208 **文献标识码**:A **收稿日期**:2024-10-15

**DOI**:10.13203/j.whugis20240300 **文章编号**:1671-8860(2025)06-1029-13

# Emergency Surveying and Mapping in the Era of Artificial Intelligence

*LIU Jiping*[1] *WANG Zhuolu*[2] *XU Shenghua*[1] *REN Fu*[3] *WANG Yong*[1]
*TANG Qing*[1] *ZHOU Tingting*[4]

1 Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100830, China

2 School of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China

3 School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

4 Faculty of Geosciences and Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China

**Abstract**: **Objectives**: Emergency surveying and mapping is an important method for disaster management and rescue operations. It can acquire and analyze geographic data quickly and accurately, which is essential for post-disaster rescue and reconstruction. Advanced technologies in the era of artificial intelligence (AI) have promoted emergency surveying and mapping into a new development stage, effectively improving work efficiency and data accuracy. It not only provides powerful support for emergency response, but also offers precise guidance and basis of decision-making for rescue operations, thus significantly enhancing the overall response capacity of national disaster management. **Methods**: Emergency surveying and mapping technology in the era of AI has brought new solutions to emergency management and emergency response in emergencies. Through the integration of communication and positioning technology, the response speed and positioning accuracy of rescue are significantly improved. The fusion of multi-source disaster data increases the comprehensiveness and real-time nature of information, providing strong support for disaster assessment. The construction of disaster models provides a new perspective for predicting the development of disasters and enhances the scientific nature of decision-making. The intelligent rescue command and service

**基金项目**:国家重点研发计划(2022YFC3005705)。

**第一作者**:刘纪平,博士,研究员,主要研究方向为应急地理信息服务、政务地理空间大数据、政务地理信息服务。liujip@casm.ac.cn

**通信作者**:王琢璐,博士生。47221053@stu.lntu.edu.cn

guarantee system significantly enhances the efficiency and safety of rescue operations. This paper provides an empirical basis for the application of AI in the field of intelligent emergency surveying and mapping, demonstrating its potential to improve disaster response capabilities. **Results**: We conducted an in-depth analysis and summary of the technologies and methods for emergency surveying and mapping in the perspective of AI, elaborating on its characteristics such as space-air-ground integrated networks, human-cyber-physical collaboration, multi-source emergency data, real-time analysis and processing, intelligent decision-making service. Furthermore, we proposed a key technical framework of emergency surveying and mapping. The progress of emergency surveying and mapping technology is reviewed, which includes emergency communication and high-precision positioning, multi-source disaster data acquisition and fusion, typical disaster modelling and spatial-temporal analysis, emergency rescue command and protection services. In addition, taking the holographic reality information base, the typical disaster situation simulation system, and the space-air-ground integrated command platform as examples, the application of emergency surveying and mapping service system is introduced. The intelligent emergency surveying and mapping service technology is prospected from the directions of the theoretical system of intelligent emergency surveying and mapping, emergency data governance, emergency large model, and active service of intelligent emergency surveying and mapping. **Conclusions**: Technological advances in the AI era have provided accurate and efficient processing methods for emergency surveying and mapping, enhancing response speed and adaptability to complex situations. Faced with the increasingly severe needs of disaster risk and emergency management, the studies expand and deepen the theoretical basis and application practice of emergency surveying and mapping, and provide a set of systematic, refined and intelligent solutions for emergency management. It enhances the scientific and adaptability of disaster response measures, and also provides a solid theoretical basis and advanced technical support for building a comprehensive disaster management framework.

**Key words**: emergency surveying and mapping; artificial intelligence; emergency management; intelligent services

中国作为自然灾害严重的国家之一,气象、海洋、生物和生态环境等灾害在全国也频繁发生。2023年自然资源部《关于加快测绘地理信息事业转型升级 更好支撑高质量发展的意见》明确强调,构建智能化测绘技术体系,推进应急测绘保障能力“平急结合”,提升政府部门应对各类突发事件的能力。应急测绘作为突发事件预防、应对、处置和恢复的基础工作,是国家突发事件应急体系的重要组成部分。应急测绘通过提供实时、精准的测绘地理信息和综合防灾减灾救灾服务,支持决策者制定科学、有效的应急方案,最大限度地减少突发事件带来的损失和影响[1-2]。

应急测绘是测绘地理信息在应急管理领域的应用,加强应急测绘建设是保障应急管理工作高效有序运行、妥善预防处置各类突发事件的基础。文献[3]提出了新的应急测绘保障体系架构和任务驱动的聚焦服务机制;文献[4]介绍了近几年大数据技术在灾害管理中的研究;文献[5]围绕应急救援定位服务,梳理了全球导航卫星系统定位、自主定位、局域电磁波定位等技术在应急位置服务领域的研究现状;文献[6]分析了遥感快速应急响应方面的研究进展和技术挑战;文献[7]围绕测绘应急快速制图服务展开了研究;文献[8]则对大数据时代下的综合减灾服务方面的研究进行了分析和总结。应急测绘在突发事件应急处置和防灾减灾救灾中具有不可或缺的重要作用,在应急定位、应急测绘保障服务、应急管理、减灾智能服务等方面发展迅猛,当前还存在应急测绘概念不明确、内涵不清晰、技术体系不完善、智能服务水平不高等问题。

在当今人工智能快速发展的时代,应急测绘在自然灾害、事故灾难、公共卫生事件、社会安全事件预防与应急准备、监测与预警、应急处置与救援、事后恢复与重建等应对方面发挥着至关重要的作用,也正迎来人工智能带来的革命性变革,在数据获取、实时监控、风险预测、资源调度和灾后评估等多个环节实现了质的飞跃。这不仅为突发事件应急管理开辟了全面、高效、智能化的新路径,显著提升了应急管理能力,还确保

更有序、高效地保护人民的生命和财产安全[9]。文献[10]系统性回顾了人工智能模型在自然灾害管理各个阶段中的应用,为自然灾害的监测和管理工作提供了全面的评估;文献[11]也关注了人工智能方法在应急测绘中的贡献,研究表明其在灾害的各个阶段均发挥了积极作用;文献[12]利用人工智能技术对灾情数据进行挖掘和分析,提高了突发事件响应速度和灾后重建恢复能力。人工智能理论与技术同应急测绘相结合,不仅是一个重要战略机遇,而且是一个重大精彩挑战。

本文在人工智能背景下对应急测绘技术进行了分析和总结。首先,介绍智能应急测绘的概念与内涵,提出了应急测绘关键技术框架,回顾应急测绘的研究进展;然后,介绍应急测绘服务系统及应用情况;最后,对智能应急测绘技术与服务进行展望和总结。

## 1　智能应急测绘的概念与内涵

ChatGPT、Sora 的横空出世,引燃了新一轮人工智能革命,智能化的方法、技术和装备已经完全渗透到经济社会发展的各个方面。在这样的大背景下,人工智能等新一代信息技术与应急测绘技术交汇融合,进一步拓展了应急测绘的内涵与外延。

### 1.1　智能应急测绘的概念

测绘地理信息不仅是自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和社会安全事件等突发事件应急管理的重要信息资源,也是整合各种突发事件相关信息的基础和框架。传统应急测绘是指在突发事件发生时,根据突发事件处置的不同阶段需要,利用一切可以利用的测绘技术手段,开展满足需求的测绘活动,提供突发事件区域的事发前、中、后的各类应急测绘成果,包括应急图、开展航空摄影等获取应急信息、灾情信息处理与分析、信息应用集成与服务、灾后重建规划测绘和更新等。传统应急测绘以提供测绘地理信息为主,可为准确定位、掌握现场、了解周边、跟踪过程、资源调度及事后评估等关键应急业务起着信息支撑的作用。

随着与测绘地理信息、应急管理、云计算、大数据、物联网和人工智能等其他高新技术的深度融合,应急测绘服务水平也得到了大幅度提升。智能应急测绘是以人工智能为驱动、大模型算法为基础、应急决策知识为引导的一种人机混合增强智能范式。智能应急测绘可以理解为通过人工智能的机器学习等能力、大模型算法等基础工具、应急决策知识等服务应用到应急管理领域后,再利用测绘地理信息领域的专业知识、方法原理,结合经济、社会、人口等其他信息,进行融合、分析提供综合性强的成果,从而形成更加智能化的生产体系和更加泛在和普适的应用服务方式。

### 1.2　智能应急测绘的特征

在紧急关头,测绘地理信息即时服务已经成为了解灾情、指挥决策、抢险救灾、应对突发事件的科学工具和基础数据。应急测绘主要是服务于各类突发事件处置的需要,与预防与应急准备、监测与预警、应急处置与救援、恢复与重建 4 个应急管理阶段密切相关。如图 1 所示,在这 4 个应急管理阶段中,智能应急测绘不仅具有突发性、临时性、应急性、不可预测性等特点,还具有一体化、协同化、多元化、实时化、智能化等特征。

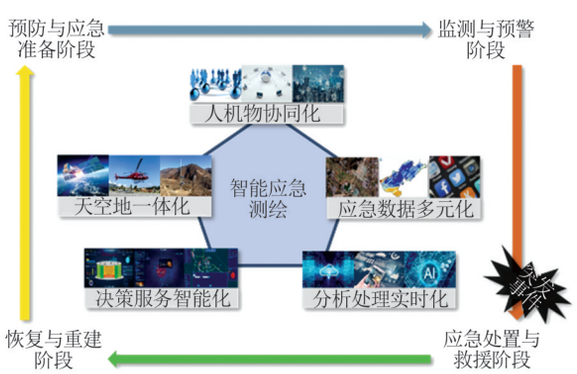



图 1　智能应急测绘技术特征

Fig. 1　Technical Characteristics of Intelligent Emergency Surveying and Mapping

1)天空地一体化

如何以最快的速度获取突发事件区域内最新的地形地貌是决定减灾救灾的关键环节。天空地一体的智能应急测绘技术体系贯穿于感知、认知、处理、分析、服务的全过程,由多卫星联合导航定位、灾情信息航天航空测绘、地面车载应急测绘指挥与勘测、应急测绘服务与应用系统以及网络化协同支撑环境等组成,可以提供具有覆盖范围广、高效快速、作业成本低等特点的灾区第一手测绘成果。

2)人机物协同化

面向智能应急测绘的人机物协同是一种通过聚集群体智慧解决应急管理问题的新模式,人主要体现为社会空间中的应急管理人员、社会公众、救援人员及其携带的应急测绘装备,机主要体现为信息空间中海量、多模态的应急数据和多样化的计算

资源,物主要体现为物理空间中泛在分布的用于应急感知的物联网终端、边缘设备等装备,通过人、机、物的全面互联互通推动全新的应急测绘服务体系构建。卫星物联网、测控物联网、卫星互联网是海量人、机、物融合的主体,协同感知、协同通信、协同传输、协同处理、协同计算是人、机、物协同的方式,人机物异构群智能体融合计算是实现人机物协作、对抗、迁移与竞争的重要手段,如图2所示。

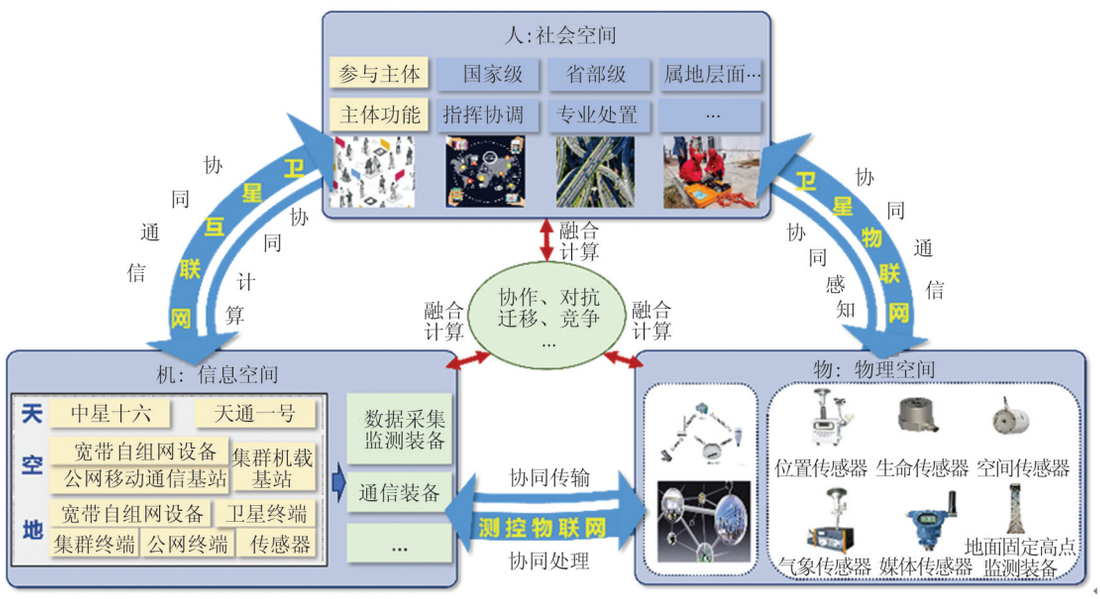



图2 人机物协同化

Fig. 2 Human-Cyber-Physical Collaboration

3)应急数据多元化

应急数据来源多、结构复杂、要素类型丰富,涉及民政、自然资源、水利、农业、地震、环境保护、海洋、林业、军队等众多部门,涵盖社会、经济、人文、资源、环境等要素。通过以测绘地理信息数据为基础框架,集成整合人口、社会经济、危险源、重点防护目标、避难场所、医疗卫生机构、通信保障机构、应急物资储备、应急物资生产企业等专题数据,能更好地综合分析、评价、模拟、预测灾害风险,提高应急决策水平,科学应对各类突发事件。

4)分析处理实时化

效率和质量是应急测绘工作的突出特点。智能应急测绘采用遥感卫星随遇接入互联网星座、星上遥感影像在轨实时智能处理、用于时空大数据分析处理的并行和分布式计算等技术,可在突发事件发生后的黄金救援时间内快速获取、处理、分析、提供灾区测绘成果。智能应急测绘装备具有高度的机动灵活性,通过卫星机动变轨技术、无人机遥感监测技术等能够在突发事件发生后的第一时间部署到灾区现场,并尽可能在灾区现场完成从数据获取到提供使用全过程的应急测绘服务工作,实现现场获取数据、现场实时分析处理数据、现场提供使用。

5)决策服务智能化

智能应急测绘具备全时空、全领域、全生命周期的应急决策服务能力,决策服务是智能应急测绘体系的“智慧大脑”。通过机器学习、知识图谱等算法,利用模型工厂、应用工厂和应用超市等智能化构建应急逃生疏散分析、智能应急语音导航、应急避难场所寻址分析、现场灾情智能评估分析等应急大模型,实现辅助决策、辅助风险与突发事件应对的应急测绘主动服务,为应急管理部门的监督管理、监测预警、指挥救援、政务管理等业务提供决策服务,有力支撑常态、非常态下的事前、事发、事中、事后全过程应急管理工作。

## 2 应急测绘关键技术框架

面对突发事件的非预期性、危险性、不确定性和紧急性,测绘地理信息在突发事件应急处置和防灾减灾救灾中发挥了重要作用。应急测绘关键技术框架如图3所示,应急通信与高精度定位、灾情数据获取与融合、灾害模型构建与时空分析、应急救援指挥与测绘保障服务是决定突发事件应急测绘的关键环节。

1)应急通信与高精度定位技术是突发事件应急测绘现场感知的根本保障。突发事件发生

后,迅速建立可靠的通信网络并提供精准的位置服务,不仅能保障救援任务的统一协调和信息传递的高效畅通,还能精准定位受困人员、车辆的位置。通信-导航-感知多元智能立体应急网络动态部署、通信-计算-缓存多维网络资源高效智能调配、北斗+5G/6G 通感融合高精度智能定位技术可精准感知现场信息,提升灾情数据传输的效率,提高应急定位的精准性和适应性。




图 3　应急测绘关键技术框架

Fig. 3　Framework of Key Technologies in Emergency Surveying and Mapping

2)多源灾情数据获取与融合技术是突发事件应急测绘精准认知的重要抓手。面向应急即时响应的卫星在轨分布式协商智能任务规划、基于天地互联网的智能遥感卫星数据快速获取、云边端智能协同的海量灾情数据治理技术可提供突发事件发生后多灾种、大区域、快速获取突发事件区域现场丰富的数据资源,是第一时间精准认知突发事件现场态的主要手段,从而实现全面、准确的突发事件时空画像。

3)典型灾害模型构建与时空分析技术是突发事件应急测绘决策指挥的主要依据。利用多智能体、元胞自动机等算法来模拟灾害发生的过程和可能的影响范围,基于应急时空大模型,利用时空关联与融合、时空计算与分析、时空推理与服务等工具,实现灾情模拟、灾损评估等灾情分析功能,为突发事件现场的风险评估、预测预警、灾害处置、灾损评估等提供更为精确和高效的解决方案。

4)应急救援指挥与测绘保障服务技术是突发事件应急测绘主动服务的核心手段。应急测绘服务的核心任务是利用基于智能算法的突发事件现场救援路径规划、生成式人工智能驱动的应急自适应快速制图等技术,为突发事件应对高效有序地提供专题地图、基础地理信息数据、社会化地理信息服务等测绘成果,保障前线应急指挥、生命线抢修抢通、工程抢险救援、人员搜救、人员安置等工作的顺利开展,为应急管理部门迅速了解灾情、科学指挥救灾及灾后重建规划提供了重要依据。

## 3　应急测绘关键技术研究现状

构建和完善智能应急测绘技术体系是国家应急管理能力提升的核心策略,应急通信与高精度定位、灾情数据获取与融合、灾害模型构建与时空分析、应急救援指挥与测绘保障服务等关键技术为突发事件应对提供了理论与技术支撑,是国内外应急体系建设的实践共识。

### 3.1　应急通信与高精度定位

应急通信是突发事件救援行动的生命线,确保信息的快速传递和指挥决策的高效执行。现

代应急通信已经形成天空地三维一体的管理体系,整合卫星通信、移动通信、互联网等技术,以提高通信的可靠性和覆盖范围。此外,北斗卫星导航系统的应用将高、中、低轨卫星的星基与地基结合,为应急救援提供了精确的定位服务,特别是在复杂环境下提高了应急救援的精确性和效率。

近年来,应急通信的研究主要可分为应急网络部署、频谱资源管理和应急可靠通信3类。在应急网络部署方面,文献[13]以最小化通行时间为目标,基于动态遗传算法设计应急车辆最佳路径规划;文献[14]利用深度回声状态网络精确估计用户的运动模式和位置,实现无人机的初始部署和轨迹设计。有效分配和管理频谱资源可确保在复杂环境下提供稳定可靠的应急通信保障,文献[15]引入深度强化学习并不断迭代最佳动作,促使智能体自主学习频谱环境状态,最终实现用户的最佳接入;文献[16]提出一种基于深度Q网络的非合作分布式频谱接入模型。应急可靠通信是影响传输可靠性和稳定性的决定性因素,文献[17]设计了新型链路自适应的马尔可夫链模型,在最大化链路吞吐量的同时提供严格时延和误块率需求;文献[18]采用动态优先级机制来提高网络的可靠性和关键节点通信的及时性。

高精度定位技术可提供比传统导航系统更高定位精度的位置服务,精度可达米级甚至厘米级,目前的定位技术主要包括Wi-Fi定位、无线射频标签定位、ZigBee定位、蓝牙定位、超宽带无线电定位(ultra-wideband,UWB)、视觉定位等[19-22]。人工智能技术的引入进一步提高了环境感知能力和定位精度的可靠性。文献[23]构建了基于到达时间差的混合加权最小二乘法的三维空间实时UWB定位系统,实现了实时自动应急定位跟踪;文献[24]提出改进的扩展卡尔曼滤波位置更新技术,利用ZigBee和惯性导航系统(inertial navigation system,INS)组合在灾情现场进行多人协作定位,监测救援人员位置;文献[25]通过自适应卡尔曼滤波技术,对全球定位系统、INS进行多源定位数据融合,进一步提高导航服务的稳定性和准确性;文献[26]将多个异构导航源信息转换为信息概率模型,设计了基于信息概率的多源异构信息融合定位方法。

### 3.2 多源灾情数据获取与融合

突发事件应急管理服务对多样化数据的需求日益增长。面对复杂多变的灾害现场情况,单一数据源往往难以满足全灾种、大应急任务需要。文献[27]总结了数据挖掘与分析技术在自然灾害管理过程中,预测、检测和管理多源灾情数据方面的研究成果;文献[28]针对不同数据模式(如文本、音频、图像和视频)在灾情响应的应用情况进行了全面的总结与分析。异构、多时相、跨平台的多源数据能够实现自动化的信息提取、智能分析和实时更新,对快速评估灾情具有重要意义,不仅能够提供更全面、更细致的灾情信息,还能够增强灾情评估的时效性和准确性。

围绕多源灾情数据当前的研究主要集中在数据处理和数据融合两方面。文献[29]考虑到多源灾情数据的异构性,提出了基于门控循环单元神经网络的无监督多源兴趣点地址分词和标准化方法,应用于多社交媒体网站的突发事件融合和时空分析;文献[30]利用基于变换器的双向编码表征进行迁移学习,建立文本分类模型,对地震灾害事件的相关数据进行多标签分类,定向挖掘可用于灾情分析的精细化专题信息,更精确地反映出实际受灾情况。针对重大灾害应急跨部门数据协同联动需求,文献[31]研发了基于云服务架构的时空分布式大数据管理、云+端多渠道信息服务技术,面向政府、企业和公众建立了双向自适应的部门微服务数据共享机制,实现了多源异构数据的融合处理和协同共享;文献[32]将灾情现场的视频流信息和地理场景进行深度融合,实现测绘无人机灾害现场多源数据集成管理;文献[33]提出基于案例推理的异构多属性相似度嵌入应急决策模型,建立多源异构数据相似性融合框架,构建城市内涝应急决策模型,检索出当前灾害应急的最优方案。

### 3.3 典型灾害模型构建与时空分析

通过构建地震、地质灾害和森林火灾等典型灾害模型[34-36],能够对这些灾害的发生、发展和影响进行详细的模拟和预测。灾害的动态特性和复杂性对准确掌握灾情时空演变过程提出了更高要求。灾情时空分析通过获取和处理受灾区域大规模的时空数据,利用灾害模型捕捉灾害发生前后的地表变化和动态特征。文献[37]提出基于凹陷多源协同监测的地震演化过程模拟和风险动态评估算法模型,实现了多源时空信息快速获取、智慧服务模型构建、灾害监测信息要素集成表达;文献[38]设计了基于大

数据分析的地质灾害监测预警系统,能够实时监测地质变形和灾害诱发因素,利用云计算技术挖掘异常地质信息并发布预警。

很多研究学者针对灾害模拟、分析和预测多个方面,提出了多种专业模型,以提升应急管理的科学性和实用性。文献[39]建立了双并联前馈神经网络模型应用于地震影响系数的计算和管道损伤的预测;文献[40]构建了多重约束下的动态群组形成机制,提出动态加权任务分配的协调方法,综合考虑了灾害环境中的时间、空间和通信约束;文献[41]通过形式化地理过程和事件之间的关系,构建了以过程-事件为核心的时空动态过程表示模型,支持地理场景的时空推理;文献[42]基于加权贝叶斯网络建立了改进的灾害风险评估模型,能够有效处理数据不完整和变量相关性问题;文献[43]结合随机森林与地理信息系统技术分析洪水风险的空间模式和内在规律,并对不同时期的洪水灾害风险进行评估;文献[44]集成人工神经网络和层次分析法构建城市地区地震风险估计模型;文献[45]针对不确定性条件下的灾害响应规划,提出了用于位置-运输-分配问题的双目标鲁棒优化应急模型。

### 3.4　应急救援指挥与测绘保障服务

应急测绘保障服务直接服务于应急决策、应急救援、应急指挥等各阶段,对突发事件进行空间统计、时空演变、时空模拟、预测预警等分析,提取事件空间分布及影响,确定应急处置及各种防灾减灾救灾需求和风险,并通过丰富、直观、动态的可视化方式直观再现突发事件的发生位置、历史过程、现场信息、发展趋势等的图件、数据、报告和信息系统等。

用于满足应急决策指挥、应急救援分析的地图是应急测绘的重要产品[7]。文献[46]提出了多源卫星遥感数据驱动的应急制图技术,为地震救援提供时效性强的多专题地图;文献[47]采用基于模板匹配的地震应急制图方法构建地震应急制图模板库,以满足不同制图需求;文献[48]结合双向长短期记忆网络和条件随机场,将自然语言处理和最优路径推荐结果应用于微地图制作,提升制图效率;文献[49]将灾害场景可视化以直观、易理解的形式展现复杂的应急数据,为救援行动提供了实时的地理信息支持;文献[50]采用概念图来组织和引导洪水灾害知识的动态可视化表示,旨在提升公众对洪水防治的认知和应对能力;文献[51]基于Twitter提取的相关信息提出一种语义可视化方法。通过仿真技术模拟各种紧急情况,并评估和优化救援方案;文献[52]提出了基于元胞自动机的森林火灾传播逆向推演方法,用于仿真火灾的燃烧过程并预测火点位置;文献[53]研究了基于地理信息系统和人工智能的地震灾害评估智能仿真系统,实现了灾害损失评估、应急响应方案及震后恢复计划优化;文献[54]提出基于贝叶斯的用户情绪变化点检测方法,分析Twitter用户在紧急情况下的行为特征,提升应急人员的规划和救援效率;文献[55]提出对飓风桑迪期间的推文进行情感分析,并在地图上可视化用户情感状态。

## 4　应急测绘服务系统实践

聚焦典型自然灾害应急测绘服务场景,在国家重点研发计划项目“天空地一体化的应急救援通信指挥关键技术及装备”的支持下,基于测绘地理信息技术研发了面向应急测绘的全息实景信息底座、典型灾害态势推演系统、天空地一体化指挥平台,实现了集感知、通信、决策、指挥、评估等功能于一体的应急测绘服务。

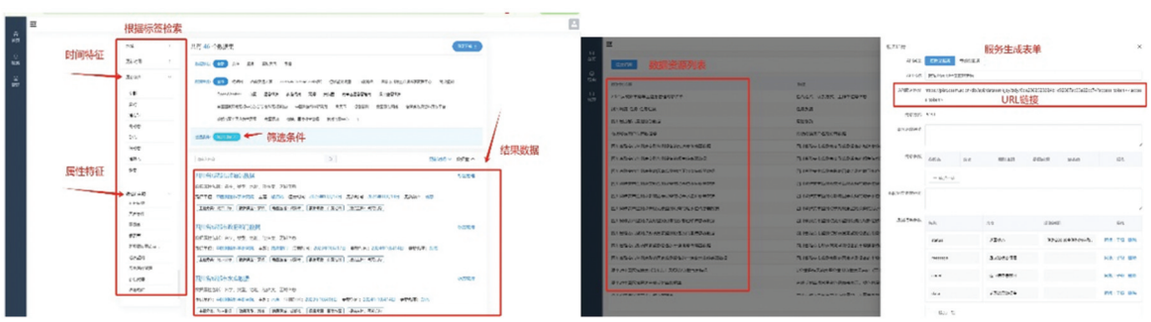
### 4.1　面向应急测绘的全息实景信息底座

面向应急测绘的全息实景信息底座集成了多源数据汇聚存储、数据精准画像、资源在线服务等关键技术,支持视频、音频等数据存储管理以及天气、地质等传感器的实时接入,可在应急场景下提供综合、高效、精准、快速的测绘信息服务,实现了数据资源管理、数据可视化、功能权限管理、数据标签管理等功能。利用基于随机森林与规则匹配结合的数据标签生成、顾及语义特征的数据整合等技术,实现了多源异构灾情数据治理。根据应急主题、数据更新频率等标签快速检索结果,可以快速精准获取与现场灾情相关的数据,如图4(a)所示。利用灾情实时信息服务模板自动生成、全流程数据-资源-服务转换技术,将用户注册的应急数据资源转为应用程序编程接口(application programming interface, API)服务,提供实时在线调用接口,如图4(b)所示。

### 4.2　典型灾害态势推演系统

典型灾害态势推演系统面向灾害演化、损失评估以及救援需求3个维度,集成了森林草原火灾、地震和地质灾害等典型自然灾害的态势演变

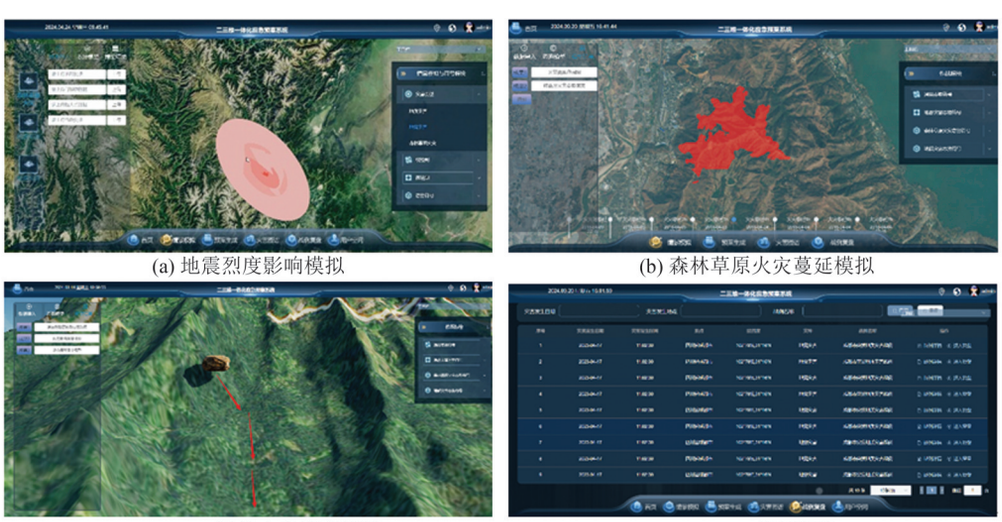
模型,实现了典型灾害情景模拟、结构化预案动态生成、灾害知识图谱查询、灾害案例复盘、通用态势和特定灾种符号标绘等功能。综合地震震中位置、破裂方向、震级三要素,建立基于神经网络的地震烈度衰减模型、结合深度学习和物理参数特征的实时地震烈度预测模型,实现地震烈度影响场快速评估,图5(a)为地震烈度影响模拟,可为震后进行灾情初判提供参考信息。结合地理、可燃物、气象等情景数据,构建基于元胞自动机的森林草原火灾蔓延动力学模型、情景知识驱动的森林草原火灾态势演变模型,实现森林草原火灾主要蔓延路径及范围的模拟计算及可视化展示;图5(b)为森林草原火灾蔓延模拟。构建物理驱动+数据驱动的滑坡态势演变概化模型,对滑坡形状、大小、高度、坡度以及摩擦角等因素进行抽象和概括,并模拟出在不同因素组合下滑坡失稳的情况及产生的堆积特征;图5(c)为滑坡灾害演变模拟,可为预防和应对滑坡灾害提供决策支持。结合历史灾情数据,通过基于检索增强生成的回溯分析,总结应急响应中的经验与教训,图5(d)为案例复盘,帮助应急管理人员评估和优化应急响应过程。




(a) 数据多维检索 (b) 资源在线服务

图4 全息实景信息底座

Fig. 4 Holographic Reality Information Base



(a) 地震烈度影响模拟 (b) 森林草原火灾蔓延模拟

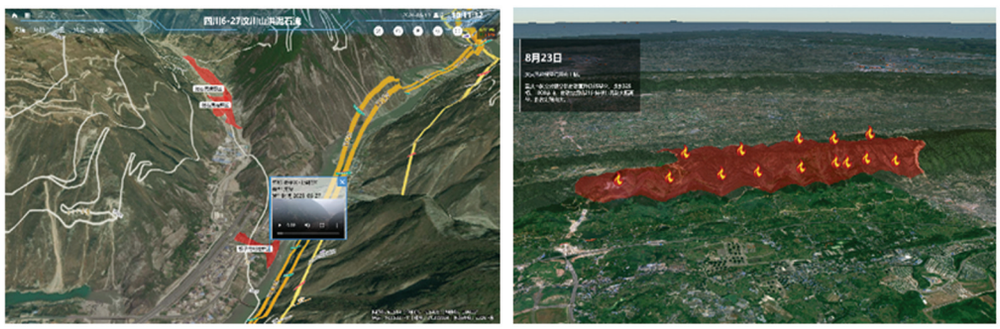
(c) 滑坡灾害演变模拟 (d) 案例复盘

图5 典型灾害态势推演系统

Fig. 5 Typical Disaster Situation Simulation System

### 4.3 天空地一体化指挥平台

天空地一体化指挥平台面向作战指挥人员,依托全息实景信息底座,基于实景三维模型,实现了应急战场情报的全源汇集、实时态势分析、实景标绘功能。系统主要包括情报汇聚与多级化指挥中心部署、实时数据更新与可视化展示、基于实景标绘的辅助决策等模块,具备对环境动态、风险态势、力量分布的感知能力。基于情报信息多级感知、三维灾情态势可视化、多模态灾情数据接入技术,实现实时数据的更新与可视化,图6(a)展示了泥石流灾害现场态势,使指挥人员能够直观地了解现场动态,及时调整战略部署。基于应急现场情报的全源汇聚、实景标绘与决策分析技术,实现了森林火灾灾害全过程模拟分析,图6(b)展示了森林火灾灾情回溯过程,有助于应急管理人员对灾害变化过程和应对措施的深入理解。




(a) 实时态势可视化　　(b) 灾情回溯

图 6　天空地一体化指挥平台

Fig. 6　Space-Air-Ground Integrated Command Platform

## 5　人工智能时代下的应急测绘技术展望

通过与深度学习、5G/6G、云计算、物联网等技术的紧密结合,将加快智能应急测绘理论体系的建立,进一步推动应急测绘数据感知获取、分析处理与应用服务的技术转型升级,从基于传统测绘的影像获取拓展到泛在智能测绘的动态感知,从模型、算法为主的数据分析处理转变为以大模型算法为基础、人机智能协同为驱动、应急知识为引导的混合智能计算范式,从平台式数据信息服务上升为人机物融合智能服务,并在应急数据治理、应急大模型建立、应急测绘保障服务等方面快速发展,呈现出智能化时代应急测绘技术的新亮点和新特点[1,8]。

1)智能化应急测绘理论体系构建

新一代人工智能技术是加快推动应急测绘转型升级的核心驱动力,将推动应急测绘从传统测量仪器获取现场信息的方式转变为由智能传感器支撑的现场动态实时感知监测,从依赖模型和算法的数据处理方式转向以应急知识引导和应急时空分析算法支持的混合型智能计算模式演进,从依赖经验判断到数据驱动智能应急决策的转变。在知识工程、深度学习、逻辑推理、群体智能、事理图谱等技术的支持下,智能化应急测绘理论体系将打破传统测绘理论体系中大地测量学与测量工程、摄影测量与遥感、地图学与地理信息系统、地图制图学与地理信息工程等传统专业界限,从应急业务信息流的角度进行整体谋划与顶层设计,探索智能化应急测绘的智能机理、计算范式、赋能机制,强化应急测绘标准制定、技术研发、装备研制、系统集成、示范落地、决策分析与应用推广全链条科技创新能力,形成具有系统性和逻辑性的应急知识体系与成套应急理论方法,实现应急测绘的感知、认知、表达及计算,为智能化时代的应急测绘活动提供新思路、新方法和新工具。

2)人机智能协同视角下的应急数据治理

人工智能与人类智慧的结合成为提升应急测绘智能化水平的关键,人机智能协同则将人类的判断与机器的分析能力结合,通过自动化的数据治理,能够提升数据质量和共享水平,使得应急决策过程更加科学和迅速。人机智能协同模式下的应急数据治理将推动应急测绘数据结构从结构化向包含结构化、半结构化和非结构化数据在内的混合模式方向进一步演进,数据应用模式从单纯关注数据应用到关注数据能力体系化建设转型,传统的多源数据融合难以解决应急测绘中存在的数据需求不畅通、应用治理分离、跨域协同难等问题。如图 7 所示,结合机器的计算能力和人类智慧的人机协同理论,建立联合人机智能协同和事件驱动融合的应急数据治理融合新范式,构建集感知、治理、应用于一体的自动化数据流水线,采用数据编织重塑智能应急测绘数据架构,支持应急测绘业务数据的汇聚、管理,形成统一的应急测绘大数据资源中心,实现应急测绘业务数据的体系化、统一化、标准化、精细化、权限化管理。

3)大数据驱动的应急大模型建立

在大数据和通用人工智能的驱动下,越来越强大的人工智能大模型将在应急测绘中发挥越来越重要的作用[56]。应急大模型利用外部知识建立数据与知识双轮驱动的研究新范式,通过增量学习和动态知识库持续适应新数据流、更新知识表达,并借助强化学习技术进行自我优化,以适应环境变化。高效的人机交互、融合感知、执行和交互等技术的应用赋予大模型多模态的能力,使其更深刻理解并响应真实世界的需求。模型剪枝、模型量化以及知识蒸馏等深度模型压缩

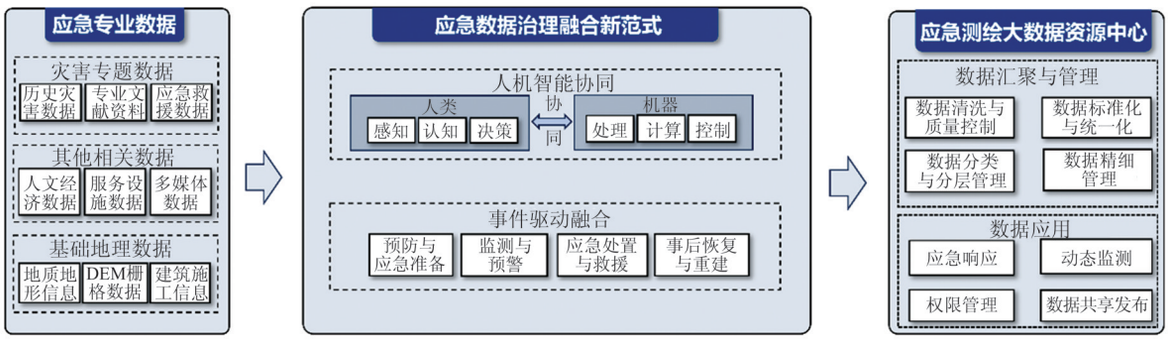



图7 智能应急数据治理

Fig. 7 Data Governance for Intelligent Emergency

方法可实现应急大模型自适应的轻量化设计,能有效降低了模型的复杂度。如图8所示,人工智能大模型是大数据+大算力+强算法的结合,内含大数据的隐式知识。基于人工智能对突发事件应急决策的赋能机制,通过大规模数据的训练,学习特征和规则,建立大数据驱动的应急大模型,提供生成式地图、智能救援方案、综合决策报告等,以适应突发事件预防、发生、演化等不同阶段及不同场景应急决策需求,为突发事件预测、风险评估、资源调配策略等提供精准、高效的解决方案。

4)人机物融合的智能应急测绘主动服务

信息技术和人工智能的快速发展正在推动应急测绘保障服务进入人机物三元融合的万物智能互联时代。人机物融合研究正在探索如何通过系统工程的方法来解决复杂异构性、缺乏适当抽象、动态黑盒集成、功能性能和服务质量要求以及设计实施和维护等方面的挑战。社会空间、信息空间和物理空间中对应的人、机、物3种要素在应急测绘应用场景下相互联结、和谐共生,需要综合利用协作、迁移、竞争、对抗等学习方式,探索面向应急测绘的多智能体分布式深度学习模型、人机物融合群智泛在计算范式、场景驱动主动服务模式,通过协作交互来实现智能应急测绘主动服务能力增强,进而完成智能应急测绘的感知和计算任务。

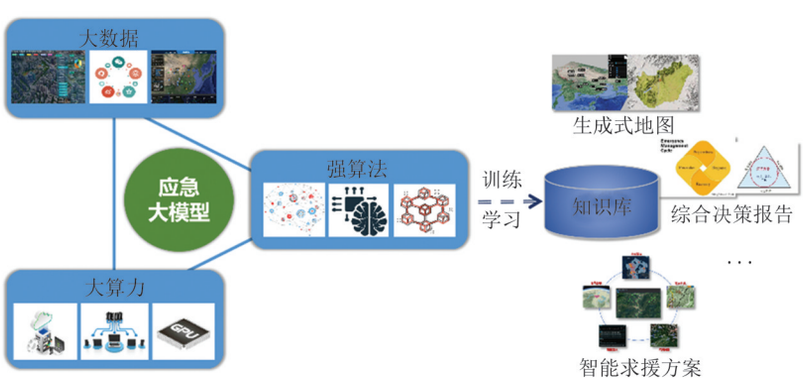



图8 智能应急大模型

Fig. 8 Large Model for Intelligent Emergency

## 6 结 语

应急测绘已进入了数据驱动的智能化时代,不再局限于传统的数据获取和处理,而是逐步向智能化、多模态数据综合治理和应急决策知识服务方向发展。这进一步推动了应急测绘理论体系的智能化演进,涵盖了从数据感知获取、信息分析处理到决策知识服务的应急管理全过程升级。本文对近年来应急测绘方面的研究进行总结,阐述了智能应急测绘的概念和特征,分析和展望了人工智能时代下,应急测绘技术与服务涉及的理论问题、关键技术和发展趋势,介绍了自主研发的应急测绘服务系统,并指出智能应急测绘理论体系、人机智能协同视角下的应急数据治理、大数据驱动的应急大模型建立、人机物融合智能应急测绘主动服务等新兴发展方向。这些研究不仅推动了应急测绘技术的进一步发展和应用,还有效提升了国家在应对突发事件方面的整体能力。

## 参 考 文 献


[1] 刘纪平,刘猛猛,徐胜华,等. 大数据时代下的一体化综合减灾技术综述[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2020,45(8):1107-1116.
LIU Jiping, LIU Mengmeng, XU Shenghua, et al. A Survey on Integrated and Comprehensive Disaster Reduction Technology in the Era of Big Data[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(8): 1107-1116.

[2] 赵勇,刘万增,李然,等. 新时代应急测绘保障技术体系框架设计[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2020,45(8):1312-1318.
ZHAO Yong, LIU Wanzeng, LI Ran, et al. Emergency Surveying and Mapping Technical Framework in the New Era[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(8): 1312-1318.

[3] 朱庆,曹振宇,林珲,等. 应急测绘保障体系若干关键问题研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2014,39(5):551-555.
ZHU Qing, CAO Zhenyu, LIN Hui, et al. Key Technologies of Emergency Surveying and Mapping Service System[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(5): 551-555.

[4] AKTER S, WAMBA S F. Big Data and Disaster Management: A Systematic Review and Agenda for Future Research [J]. *Annals of Operations Research*, 2019, 283(1): 939-959.

[5] 王坚,刘纪平,韩厚增,等. 应急救援无缝定位关键技术研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2020,45(8):1126-1136.
WANG Jian, LIU Jiping, HAN Houzeng, et al. Key Technologies of Seamless Location in Emergency Rescue[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(8): 1126-1136.

[6] 眭海刚,刘超贤,刘俊怡,等. 典型自然灾害遥感快速应急响应的思考与实践[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2020,45(8):1137-1145.
SUI Haigang, LIU Chaoxian, LIU Junyi, et al. Reflection and Exploration of Rapid Remote Sensing Emergency Response for Typical Natural Disasters [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(8): 1137-1145.

[7] 朱秀丽,赵勇,刘万增,等. 测绘地理信息应急快速制图系统研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2020,45(8):1303-1311.
ZHU Xiuli, ZHAO Yong, LIU Wanzeng, et al. Geographic Information Rapid Mapping System for Emergency[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(8): 1303-1311.

[8] 刘纪平,张用川,徐胜华,等. 一体化综合减灾智能服务顶层设计研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2018,43(12):2250-2258.
LIU Jiping, ZHANG Yongchuan, XU Shenghua, et al. Top-Level Design Study for the Integrated Disaster Reduction Intelligent Service[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(12): 2250-2258.

[9] IMRAN M, CASTILLO C, LUCAS J, et al. AIDR: Artificial Intelligence for Disaster Response [C]//The 23rd International Conference on World Wide Web, Seoul, South Korea, 2014.

[10] TAN L, GUO J, MOHANARAJAH S, et al. Can We Detect Trends in Natural Disaster Management with Artificial Intelligence? A Review of Modeling Practices[J]. *Natural Hazards*, 2021, 107(3): 2389-2417.

[11] SUN W J, BOCCHINI P, DAVISON B D. Applications of Artificial Intelligence for Disaster Management [J]. *Natural Hazards*, 2020, 103(3): 2631-2689.

[12] GUHA S, JANA R K, SANYAL M K. Artificial Neural Network Approaches for Disaster Management: A Literature Review[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2022, 81: 103276.

[13] 杨倩,王飞跃,卢佳节,等. 基于需求紧迫度的约束性应急物资车辆路径模型[J]. 清华大学学报(自然科学版),2024,64(6):1082-1088.
YANG Qian, WANG Feiyue, LU Jiajie, et al. Constrained Vehicle Routing Model for Emergency Relief Supplies Based on Demand Urgency[J]. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 2024, 64(6): 1082-1088.

[14] NASR-AZADANI M, ABOUEI J, PLATANIOTIS K N. Single- and Multiagent Actor - Critic for Initial UAV's Deployment and 3-D Trajectory Design[J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2022, 9(16): 15372-15389.

[15] TAN X, ZHOU L, WANG H J, et al. Cooperative Multi-agent Reinforcement-Learning-Based Distributed Dynamic Spectrum Access in Cognitive Radio Networks [J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2022, 9(19): 19477-19488.

[16] GAO X, DOU Z, QI L. A New Distributed Dynamic Spectrum Access Model Based on DQN[C]// The 15th IEEE International Conference on Signal Processing (ICSP), Beijing, China, 2020.

[17] NAYAK S, ROY S. Novel Markov Chain Based URLLC Link Adaptation Method for 5G Vehicular Networking[J]. *IEEE Transactions on Vehicular*

*Technology*, 2021, 70(12): 12302-12311.

[18] RAZA M, LE-MINH H, ASLAM N, et al. Dynamic Priority Based Reliable Real-Time Communications for Infrastructure-Less Networks[J]. *IEEE Access*, 2018, 6: 67338-67359.

[19] JIANG C H, SHEN J C, CHEN S, et al. UWB NLOS/LOS Classification Using Deep Learning Method[J]. *IEEE Communications Letters*, 2020, 24(10): 2226-2230.

[20] DAI P, YANG Y, ZHANG C C, et al. Analysis of Target Detection Based on UWB NLOS Ranging Modeling[C]//Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation and Location-Based Services (UPINLBS), Wuhan, China, 2018.

[21] LI W J, ZHANG T T, ZHANG Q Y. Experimental Researches on an UWB NLOS Identification Method Based on Machine Learning[C]//The 15th IEEE International Conference on Communication Technology, Guilin, China, 2013.

[22] GAO D Y, LI A, FU J. Analysis of Positioning Performance of UWB System in Metal NLOS Environment[C]//Chinese Automation Congress (CAC), Xi'an, China, 2018.

[23] YANG H, LI X B, PEDRYCZ W. Performance Evaluation of Three-Dimensional UWB Real-Time Locating Auto-Positioning System for Fire Rescue[J]. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 2023, 37(3): 3039-3058.

[24] JI M X, REN G H, ZHANG H J, et al. Collaborative Positioning for Emergency Rescuers Based on INS, GPS and ZigBee[J]. *Physica Scripta*, 2024, 99(6): 065530.

[25] LIU R, GREVE K, CUI P Y, et al. Collaborative Positioning Method via GPS/INS and RS/MO Multi-source Data Fusion in Multi-target Navigation[J]. *Survey Review*, 2022, 54(383): 95-105.

[26] TANG C K, WANG C, ZHANG L L, et al. Vehicle Heterogeneous Multi-source Information Fusion Positioning Method[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2024, 73(9): 12597-12613.

[27] GOSWAMI S, CHAKRABORTY S, GHOSH S, et al. A Review on Application of Data Mining Techniques to Combat Natural Disasters[J]. *Ain Shams Engineering Journal*, 2018, 9(3): 365-378.

[28] ALGIRIYAGE N, PRASANNA R, STOCK K, et al. Multi-source Multimodal Data and Deep Learning for Disaster Response: A Systematic Review[J]. *SN Computer Science*, 2022, 3(1): 92.

[29] LUO A, LIU J P, LI P P, et al. Chinese Address Standardisation of POIs Based on GRU and Spatial Correlation and Applied in Multi-source Emergency Events Fusion[J]. *International Journal of Image and Data Fusion*, 2021, 12(4): 319-334.

[30] 林森, 刘蓓蓓, 李建文, 等. 基于BERT迁移学习模型的地震灾害社交媒体信息分类研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2024, 49(9): 1661-1671.
LIN Sen, LIU Beibei, LI Jianwen, et al. Social Media Information Classification of Earthquake Disasters Based on BERT Transfer Learning Model[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2024, 49(9): 1661-1671.

[31] 廖永丰, 吴玮, 杨赛霓, 等. 自然灾害综合风险防范信息服务技术体系构建及展望[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(12): 2282-2296.
LIAO Yongfeng, WU Wei, YANG Saini, et al. Construction and Prospect of Information Service Technology System for Comprehensive Risk Prevention of Natural Disasters[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2022, 24(12): 2282-2296.

[32] 任丽艳, 李英成, 肖金城, 等. 测绘无人机灾害现场多源数据集成与智能服务[J]. 测绘科学, 2020, 45(12): 139-144.
REN Liyan, LI Yingcheng, XIAO Jincheng, et al. Multi-source Data Integration and Intelligent Service of Surveying and Mapping UAV for Disaster Scene[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2020, 45(12): 139-144.

[33] XIAO H M, WANG L, CUI C S. Research on Emergency Management of Urban Waterlogging Based on Similarity Fusion of Multi-source Heterogeneous Data[J]. *PLoS One*, 2022, 17(7): e0270925.

[34] MA Z J, MEI G. Deep Learning for Geological Hazards Analysis: Data, Models, Applications, and Opportunities[J]. *Earth-Science Reviews*, 2021, 223: 103858.

[35] JENA R, PRADHAN B, BEYDOUN G, et al. Seismic Hazard and Risk Assessment: A Review of State-of-the-Art Traditional and GIS Models[J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2020, 13(2): 50.

[36] 徐胜华, 刘纪平, 王想红, 等. 熵指数融入支持向量机的滑坡灾害易发性评价方法: 以陕西省为例[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(8): 1214-1222.
XU Shenghua, LIU Jiping, WANG Xianghong, et al. Landslide Susceptibility Assessment Method Incorporating Index of Entropy Based on Support Vector Machine: A Case Study of Shaanxi Province[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(8): 1214-1222.

[37] LI W, WANG Q, CHENG W, et al. Development

and Application of a Smart Emergency Response Platfrom for Earthquake Disasters Based on Multi-source Monitoring Data[J]. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2022, XLVIII-3/W1: 25-30.

[38] ZHANG W H. Geological Disaster Monitoring and Early Warning System Based on Big Data Analysis [J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2020, 13(18): 946.

[39] CHEN J, ZHU Q J, SU Y P. Predictive Model of Artificial Neural Network for Disaster Prevention [C]//The 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering, Chengdu, China, 2010.

[40] SU X, ZHANG M J, BAI Q. Coordination for Dynamic Weighted Task Allocation in Disaster Environments with Time, Space and Communication Constraints [J]. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 2016, 97: 47-56.

[41] HE Y F, SHENG Y H, HOFER B, et al. Processes and Events in the Centre: A Dynamic Data Model for Representing Spatial Change [J]. *International Journal of Digital Earth*, 2022, 15(1): 276-295.

[42] LI M, HONG M, ZHANG R. Improved Bayesian Network-Based Risk Model and Its Application in Disaster Risk Assessment[J]. *International Journal of Disaster Risk Science*, 2018, 9(2): 237-248.

[43] ZHU Z J, ZHANG Y. Flood Disaster Risk Assessment Based on Random Forest Algorithm[J]. *Neural Computing and Applications*, 2022, 34(5): 3443-3455.

[44] JENA R, PRADHAN B, BEYDOUN G, et al. Integrated Model for Earthquake Risk Assessment Using Neural Network and Analytic Hierarchy Process: Aceh Province, Indonesia [J]. *Geoscience Frontiers*, 2020, 11(2): 613-634.

[45] SUN H L, WANG Y, XUE Y F. A Bi-Objective Robust Optimization Model for Disaster Response Planning Under Uncertainties[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2021, 155: 107213.

[46] 王杰，张双成，吴桐，等. 多源卫星遥感数据驱动地震灾害应急制图研究：以2022年青海门源Mw 6.7地震为例[J]. 大地测量与地球动力学，2024, 44(1): 52-56.
WANG Jie, ZHANG Shuangcheng, WU Tong, et al. Research on Earthquake Disaster Emergency Mapping Driven by Multi-source Satellite Remote Sensing Data: A Case Study of the Mw 6.7 Menyuan Earthquake in Qinghai Province in 2022[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2024, 44(1): 52-56.

[47] 徐敬海，周海军，聂高众，等. 基于模板匹配的地震应急制图方法[J]. 地震地质，2020, 42(3): 748-761.
XU Jinghai, ZHOU Haijun, NIE Gaozhong, et al. Research on Earthquake Emergency Mapping Method Based on Template Match[J]. *Seismology and Geology*, 2020, 42(3): 748-761.

[48] 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. A We-Map Mapping Method for Urban Waterlogging Scenarios[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2024, 26(5): 1166-1179.

[49] WANG D Q, GUO D H, ZHANG H. Spatial Temporal Data Visualization in Emergency Management: A View from Data-Driven Decision[C]//The 3rd ACM SIGSPATIAL Workshop on Emergency Management Using, Redondo Beach, USA, 2017.

[50] GUO Y K, ZHU J, YOU J G, et al. A Dynamic Visualization Based on Conceptual Graphs to Capture the Knowledge for Disaster Education on Floods [J]. *Natural Hazards*, 2023, 119(1): 203-220.

[51] ONORATI T, DÍAZ P, CARRION B. From Social Networks to Emergency Operation Centers: A Semantic Visualization Approach [J]. *Future Generation Computer Systems*, 2019, 95: 829-840.

[52] MOUILLOT F, RATTE J P, JOFFRE R, et al. Some Determinants of the Spatio-Temporal Fire Cycle in a Mediterranean Landscape (Corsica, France) [J]. *Landscape Ecology*, 2003, 18(7): 665-674.

[53] TANG A P, WEN A H. An Intelligent Simulation System for Earthquake Disaster Assessment [J]. *Computers & Geosciences*, 2009, 35(5): 871-879.

[54] SINGH N, ROY N, GANGOPADHYAY A. Analyzing the Emotions of Crowd for Improving the Emergency Response Services [J]. *Pervasive and Mobile Computing*, 2019, 58: 101018.

[55] NEPPALLI V K, CARAGEA C, SQUICCIARINI A, et al. Sentiment Analysis During Hurricane Sandy in Emergency Response[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2017, 21: 213-222.

[56] 杨必胜，陈一平，邹勤. 从大模型看测绘时空信息智能处理的机遇和挑战[J]. 武汉大学学报(信息科学版)，2023, 48(11): 1756-1768.
YANG Bisheng, CHEN Yiping, ZOU Qin. Opportunities and Challenges of Spatiotemporal Information Intelligent Processing of Surveying and Mapping in the Era of Large Models[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2023, 48(11): 1756-1768.