

面向 2035 年的灾害事故智慧应急科技发展战略研究

刘奕, 张宇栋, 张辉, 范维澄

(清华大学公共安全研究院, 北京 100084)

摘要: 智慧应急科技发展是公共安全保障的重要组成部分, 也是实现国家治理现代化、建设更高水平的平安中国的应有之义。本文研究旨在深化 2035 年远景目标, 进而为我国灾害事故智慧应急发展的系统规划和前瞻部署提供支撑。本文以灾害事故智慧应急科技发展需求为导向, 全面分析了国际态势和主要发展趋势; 重点从自然灾害防御、事故灾难防范、应急平台建设等方面着手, 对我国相关领域发展的基本状况和面临的问题进行剖析。在此基础上, 紧密结合新一代信息技术的发展, 提出了我国灾害事故智慧应急科技发展的总体思路框架与战略方向, 涵盖重要科技发展方向、重点基础研究方向、重大科技研发任务等; 针对我国自然灾害和事故灾难的智慧应急体系与能力现代化建设的科技发展路径, 从政策和理论体系研究方面提出了相应发展建议。

关键词: 自然灾害; 事故灾难; 智慧应急科技; 信息技术赋能

中图分类号: D73/77-3 **文献标识码:** A

Development Strategy of Smart Emergency-Response Technology for Disasters and Accidents by 2035

Liu Yi, Zhang Yudong, Zhang Hui, Fan Weicheng

(Institute for Public Safety Research, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The development of smart emergency-response technology for natural disasters and accidents is an important part of public safety; it is also vital for China to improve its national governance and safety level. This study aims to clarify the long-term goals for smart emergency-response technology development by 2035 and provide support for the systematic planning and forward-looking deployment of a smart emergency-response strategy in China. Considering the development needs, this study analyzes the international situation and main development trends of the smart emergency-response technology for disasters and accidents. Subsequently, we analyze the current status and problems of China's development from the aspects of natural disaster prevention, accident prevention, and emergency platform construction. Considering the development of the new-generation information technology, we propose an overall framework and strategic directions for the development of smart emergency-response technology in China, including important technological development directions, key basic research directions, and major scientific and technological research and development tasks. Furthermore, we propose corresponding suggestions from the aspect of policy and theoretical system research.

Keywords: natural disaster; accident; smart emergency-response technology; information technology enabling

收稿日期: 2021-03-01; **修回日期:** 2021-05-30

通讯作者: 范维澄, 清华大学公共安全研究院教授, 中国工程院院士, 研究方向为公共安全; E-mail: wfan@tsinghua.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“智慧应急发展战略研究(2035)”(2020-ZD-18)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

我国属于灾害事故多发的国家，自然灾害总体上呈现灾害种类多、影响地域广、灾害损失重等特征。根据国家统计局近 10 年的统计数据 [1]，年均受灾人口约为 2.5×10^8 人次，年均因灾死亡人口约为 1800 人，年均直接经济损失约为 3800 亿元，年均森林火灾火场总面积达 $4.85 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ；事故灾难情况总体好转但形势依然严峻，2019 年各类生产安全事故死亡人数为 29 519 人，其中工矿商贸企业 1.474 人 / 10 万人、煤矿 0.083 人 / 10^6 t 、道路交通 1.8 人 / 万车 [2]。全面提高应急能力，构建全方位、立体化的公共安全网络，建设更高水平的平安中国，是国家发展的重大需求 [3]。

随着新一代信息技术的发展，灾害事故应急向智慧化发展已成为国际趋势。构建智能化的多层次公共安全防护体系，为国家和社会稳定持续发展、为居民生命健康和财产安全提了精准保障 [4]，成为国家新的重大战略需求。强化科技支撑，是提高全过程风险防范、监测预警、处置救援、恢复重建等应急管理能力和精细化水平的核心驱动力 [5]。

物联网、互联网、第五代移动通信技术（5G）、云计算、大数据、AI 等新一代信息技术的发展给应急管理带来新的创新机遇 [6]。面向全面提升国家应急管理能力的目标，探索适应国家经济社会发展需求的智慧应急科技发展战略是重大而紧迫的历史使命。本文围绕灾害事故智慧应急科技问题，以需求为导向，基于国际态势分析和主要发展趋势，着重针对我国灾害事故领域的发展状况及问题，探索面向 2035 年远景目标的智慧应急发展战略思想框架与方向任务。

二、灾害事故智慧应急科技发展的需求分析

（一）自然灾害防御

随着城市化进程加快，人口、财富、生产力的富集与重大自然灾害多发地区的交叠日益加剧，公众遭受巨灾的风险有所增加。近年来，全球进入地质活跃期，世界范围内地震灾害趋于多发，我国也发生了多起不同震级的地震。气候变化导致的超强台风，对东部沿海地区城市群造成了严重威胁。国

家已建或正在规划建设城市群，多数面临 7 级以上大地震、强烈台风、流域大洪水、巨型滑坡泥石流等的直接威胁；地震、台风、暴雨、洪水、干旱、地质灾害、森林火灾等是我国主要的自然灾害，巨灾应对成为紧迫的国家战略需求。

重大自然灾害危险性和风险评估、监测预警特别是短时局地极端灾害的预警能力、中长期预测预报技术等都需要提升，应对大城市和城市群重大灾害性事件的监测预警、预测预报、应急准备和应急救援等技术亟待发展，关键仪器设备进口依赖程度依然较高。随着城镇化进程的加快，自然灾害的次生衍生灾害形势趋于严重，堰塞湖、溃坝、决堤险情等重大灾害的监测预警技术仍需重点研发。

（二）事故灾难防范

面对产业转型升级和更加激烈的国际竞争，我国安全生产压力巨大。国家经济社会发展对能源、原材料等的需求居高不下，矿井开采趋于深部化，大规模化工园区增多，城市地下管网建设与运行更加稠密，生产安全面临严峻考验。多种灾害的可能耦合也增加了防灾的复杂性。生产过程中的职业健康问题较为突出，我国职业病危害的接触人数、职业病新发病例数、累计病例数、死亡病例数均居世界首位，并且呈现越来越严重的趋势。核与辐射安全问题凸显，其潜在危害性和社会影响力极大，核恐慌情绪极易在普通民众中蔓延；核与辐射事故中的剂量、类型、时间等快速检测技术，事故不同阶段的公众心理干预技术等，也是较为为迫切的研究课题。

高水平制造业趋于智能化，制造产业的绿色制造、清洁生产、循环化生产普及程度均在逐步提高，重大工业装备朝着超大型化、高参数、服役条件苛刻化等方向发展；系统全面且有针对性地推动重大工业装备安全保障关键技术发展，是保障装备安全及可靠性、实现长周期运行与全寿命安全管理的必要条件。

（三）应急平台建设

进一步提高国家应急平台技术体系的数字化、智能化、一体化水平，增强对突发事件的响应与应对效率。尤其要提高基于新一代信息技术的突发事件数据获取与快速分析能力，构建各层级应急平台

对突发事件的快速有效应急能力,发展对突发事件及其应急的科学预测与评估能力,完善国家应急平台体系的决策与指挥能力。

三、灾害事故智慧应急科技发展现状

(一) 国际态势

将新一代信息技术综合运用在自然灾害和事故灾难的风险评估与预防、监测预测预警、应急处置与救援、综合保障等环节,通过信息技术赋能,将应急的各个环节连通并集成,全面提升对各类灾害事故应急的智慧化、精准化水平。纵观全球,针对自然灾害和事故灾难的智慧应急发展积累了很多典型案例,美国、欧洲、日本等发达国家和地区都在积极发展智慧应急(见表1)[7]。

基于信息技术的自然灾害精准感知,是智慧应急科技发展的热点之一。以地震为例,美国发展了包括联邦应急管理局(FEMA)的国家风险指数(NRI)、地震恢复成本估算器、灾害评估管理系统(HAZUS)等工具,地质调查局(USGS)的国家地震监测台网系统(ANSS)、全国地震灾害图等一系列成熟的技术产品。日本地震研究委员会(ERC)也实施了国家地震危险性地图制作等项目。

融合多灾种综合应急的基础设施和体系能力建设得到世界各国的高度重视。美国国家科学基金会(NSF)支持的基于自然灾害工程研究的基础设施网络(NHERI)、计算建模与仿真中心(SimCenter)[8],以及国家标准与技术研究所(NIST)开发的龙卷风危险地图等,为美国综合应急能力构建提供了强有力支撑[9]。基于“韧性日本”战略,日本重点推进防灾减灾科技创新,特别是针对地震、海啸、气象灾害以及可能引发的次生事故灾难,逐步建立起完备的防灾应急系统,全天候监测运行、收集发布环境信息并开展灾害评估。东日本铁路公司(JR East)为防止地震期间发生重大事故引入的地震预警系统,国家地球科学和抗灾研究所(NIED)建造和运营的海底地震和海啸观测网,宇宙航空研究开发机构(JAXA)研制的降水雷达(DPR)用于改进天气模型[10]等,也是代表性的科技减灾应用。

基于信息技术赋能,跨区域、跨层级、跨部

门的高效协同成为可能,如英国国民紧急事务秘书处(CCS)的Resilience Direct[11]、中央警报系统(CAS)[12],覆盖欧盟全部成员国的“112”应急联动系统。

大数据和大计算的应用成为趋势,欧洲各国在数据共享的基础上,建立了多个高性能计算系统并应用于气候、天气、应急救援领域,实现了运用大规模仿真对自然灾害和事故灾难进行精准分析的目标。应急系统与灾害探测系统、导航系统、信息通信技术结合,提高了应急效率和应急水平,在国际上得到广泛应用。

融合各种感知监测和数据采集技术,结合基于AI和大数据技术的各类量化模型方法及高端专业软件,不断提高自然灾害和事故灾难的风险识别预警、信息共享、远程响应、协同救援、综合保障能力,成为全球灾害事故智慧应急发展的前沿趋势。

(二) 主要发展趋势

新一代信息技术的发展给智慧应急的发展提出了新的任务,也带来了新的契机。信息技术赋能智慧应急发展的主要着力点,主要表现在以下方面[13]。

1. 非常规、未知风险的识别和评估

面向未来新材料、新工艺、新技术的革新发展,基于物联网、大数据、云计算、AI、模拟仿真、情景推演等技术,构建风险识别和评估方法与技术系统。考虑产业规划、设计、技术推广等与环境和社会的碰撞融合所产生的潜在未知风险,发展先兆事件的智慧识别与预判技术,形成对非常规、未知风险的综合控制能力。

2. 主动感知与预测预警的智能联动

新一代信息技术为智能化的主动感知提供了手段,结合物联网、数据分析、智能计算,实现有效的主动感知与预测预警的智能联动,是未来智慧应急的发展趋势。

3. 多元协同与系统化应急

信息技术的发展将突破原有应急参与主体单线和垂直联系的传统模式,进一步实现政府-社会-公众高度协同、个人-社区-城市-城际-省际-国际密切协作的系统化智慧应急管理体系。

4. 全行业整合、高共享、深应用的智慧应急

需求导向下的智慧应急发展,势必推动跨部门、

表 1 国际智慧应急应用系统案例

国家/组织	有关机构	典型案例
联合国	加勒比巨灾风险保险基金 (CCRIF) 拉丁美洲和加勒比海地区经济委员会 (UNECLAC) 欧盟 (EU)	发展和加强关键自然灾害风险知识库信息化； 开展关于气候变化经济学和自然灾害对旅游等特定部门影响的区域研究； 开发决策工具以协助减轻自然灾害的影响； 改进气候数据和信息系统，支持应急计划，实现更广泛的灾害韧性 [14]
美国	联合国大学环境与人类安全研究所 (UNU-EHS) 美国联邦应急管理局 美国地质调查局 美国国家科学基金会 国家标准与技术研究所	针对中低收入国家的新型评估工具 (InsuRisk Assessment Tool)，将气候和灾害风险与短期应对能力进行比较 [15] 国家风险指数 地震恢复成本估算器 (Seismic Rehabilitation Cost Estimator) 灾害评估管理系统损失估算软件 美国国家地震系统 自然灾害工程研究基础设施 龙卷风危险地图
欧盟	欧盟各成员国	“112”应急联动系统 建立多个高性能计算机系统，用于气候、天气领域，提高自然灾害预防控制能力 I-REACT项目将欧洲现有的服务能力集成到统一平台，支持整个应急管理周期，实现集成应急、灾害探测、导航卫星子系统的协同目标
英国	英国国民紧急事务秘书处 (CCS) 药品和保健管理局 (MHRA) 卫生部首席医疗官和国家患者安全局 (National Patient Safety Agency)	Resilience Direct韧性网络工具 中央警报系统
日本	地震调查研究推进总部 日本地震研究会 日本兵库县防灾中心 东日本铁路公司 (JR East) 国家地球科学和抗灾研究所 日本宇宙航空研究开发机构	国家地震危险性地图制作项目 菲尼克斯灾害管理系统 (Phoenix DMS) 地震预警系统 (Earthquake Early Warning System for the Shinkansen) 海底地震和海啸观测网 (Seafloor Observation Network for Earthquakes and Tsunami) 降水雷达

行业间数据壁垒的打通。整合诸如气象、环境、消防、医疗、住建、交通、电力、水利、通信、民生等行业资源，实现多元化、智能化、一体化的信息获取和共享，推动智慧应急向多行业大整合、高共享、深应用发展。

四、我国灾害事故智慧应急科技发展现状分析

(一) 基本状况

我国在灾害事故的监测预警、风险评估、应急救援、恢复重建等关键环节不断加强科技攻关和系统研发，注重各环节的信息化和信息技术应用，显

著提升了国家综合防灾减灾和安全生产监管能力。

1. 气象灾害预测预报

基于气象卫星、多普勒天气雷达、自动气象站的台风全方位监测系统基本建成，能力达到世界先进水平。建立考虑海浪、海洋飞沫、潮汐作用的区域台风海气耦合模式，实现了台风数值预报关键技术的突破；台风初始化、物理过程参数化等多种技术的应用，显著提升了台风路径预报水平，提高了我国台风数值预报的国际影响力。建成的台风业务平台涵盖台风路径显示检索、预报制作、预警信息发布等业务功能模块，为国家气象中心、华东区域气象中心、华南区域气象中心等业务单位提供了种

类丰富、精度高的台风路径（登陆点）、强度、风雨集合预报产品，为沿海地区台风防范与应急决策提供了重要依据，在减轻气象灾害损失方面发挥了积极作用。

2. 煤矿开采安全保障

我国煤矿开采安全保障技术研究已经迈入建立安全型矿井、实现区域性综合防治的发展阶段。研发了瓦斯灾害易发区预测、高效瓦斯抽采及抽采效果评价、瓦斯灾害监测预警等综合性技术，逐步形成由基础理论、工艺技术、仪器仪表、专用装备构成的瓦斯灾害防治技术体系。煤矿瓦斯含量快速准确测定技术了解决了硬煤压风取样温升加速瓦斯解吸、松软煤层取不到样或取样时间过长、损失量估算误差大等难题，为瓦斯治理提供了依据。适应井下易爆环境的以太环网+现场总线、宽带接入设备、大容量本质安全电源设备、异常联动控制等技术的突破，支撑了集地质测量、生产技术、通风安全、办公自动化和数字化矿山、安全生产监控于一体的预警平台开发，实现了隐患联动控制和动态预警。采用无线传输和无线中继技术的矿井无线救灾通信系统技术与装备，实现了井下指挥基地与救援现场之间灾区图像、语音、环境参数三位一体的实时并行传输，建立了移动式矿井重大灾害应急救援指挥系统。

3. 国家应急平台体系

我国建设了第一代国家应急平台体系，在国务院、各省市、部门和企业得到广泛应用。提出了多因素耦合的事件链和预案链构造方法，建立了基于事件链的综合预测预警模型。梳理了满足平战结合要求的国家应急平台体系关键节点的功能要素，研发出国家、各级地方政府、多部门、大型企业配置的应急值守等应用软件系统和数据库系统。建立了跨领域、跨层级、跨时间、跨地区的“应急一张图”协同会商系统，针对应急现场“最后十千米”信息获取难题研制出了现场立体监测系统和移动应急平台装备。国家应急平台体系基本建成，构建了应急平台标准体系框架，形成了应急平台系统设计与开发、信息交换与共享、空间与非空间信息融合等关键技术标准规范。自动化、智能化的应急管理体系，为建立健全统一指挥、功能齐全、反应灵敏、运转高效的应急机制，有效预防和妥善应对各类灾害事故提供了先进技术手段。

（二）面临的问题

与国际主流水平比较，我国智慧应急科技虽然取得了长足发展，部分技术已经达到国际先进，但整体水平层次仍处于跟跑状态。

自然灾害和事故灾难风险底数不清。针对这一问题，我国计划 2020—2022 年组织开展全国自然灾害综合风险普查工作，旨在厘清孕灾致灾要素、承灾载体、历史灾害等风险底数，全面调查和评估各地防灾、减灾、救灾的能力，客观认识全国和各地地区的自然灾害综合风险水平，为智慧应急发展提供明确参照。

数据共享程度不够。国土测绘数据、地质调查数据、资源勘察数据、动植物分布数据、灾害普查数据、人口流动数据、城市各系统运行数据、行业安全生产数据等，分别由不同的职能部门掌握和管理，相关数据的时效性、可信性、安全性、共享性都不足，“信息孤岛”现象未能消除。

跨领域、多灾种、全流程的风险分析与评估系统研发不足，远不能满足未来经济社会发展对应急管理精准化水平的实际需求。面向大规模灾害的计算分析工具欠缺，特别是灾损评价的精准化计算方法和工具，无法满足智慧应急对相关参数精准度的需求。

五、我国灾害事故智慧应急科技发展方向

（一）发展思路

灾害事故智慧应急科技发展需适应平安中国建设的重大需求，立足现况、着眼未来。坚持统筹发展和安全，充分发挥科技引领作用，加强先进科学技术转化与系统集成应用，为全面提高国家治理体系和治理能力现代化提供支撑。

探索智慧应急科技发展路径的着力点在于，围绕灾害事故的主动、全面、精准监测监控，多灾种、跨尺度灾害事故的早期预警和快速有效预测，跨区域、跨层级、跨部门的科学决策、综合协调与高效处置等科学问题，开展共性、关键性、颠覆性技术分析，提出智慧应急科技发展的前瞻性、全局性战略规划。面向“十四五”规划和 2035 年远景目标，我国灾害事故智慧应急科技的发展战略如图 1 所示。进一步完善国家应急管理体系，发挥科技创新与引领作用，实现应急管理由被动

应对型向主动保障型转变。

(二) 科技发展重要方向

1. 全周期、全链条的量化风险评估技术与系统研发

围绕灾害事故全周期和应急管理全链条，探索灾害成灾机理和评估模型，实现风险评估的量化、标准化、系统化、综合化。重点发展基于多灾种、多尺度、多物理场，系统化的风险评估技术，多灾害耦合致灾过程模拟和情景构建技术，“数据—计算—推理”融合的风险评估技术与系统等。

2. 多灾种耦合、多领域协同的监测预测预警技术与系统研发

我国自然灾害多发、重发，迫切需要建立实时、多源信息融合的灾害监测网络系统，推动灾害演化预测技术和系统研发，构建纵横贯通、全覆盖的复合型高效预警系统。实现监测微观化、泛在化、综合化，预测标准化、规范化、智能化，预警自动化、网络化、精准化，构建智慧的灾害事故监测预测预警系统。

3. 跨区域、跨层级、跨部门深度融合的应急处置救援技术与装备

发展远程化、可遥控、智能化的应急现场处置与救援关键技术、快速疏散和避难技术、多维信息实时传输技术、虚拟仿真技术、人员自动搜救技术、人体损伤评估技术，开发“人—机—物”深度融合的在线应急感知系统和应急机器人等装备；增进协调有序化、救援自动化和管控智能化，发展防灾减灾救灾技术、提升公众自救互救能力，实现应急处置的智能高效。

4. 一体化智慧应急平台建设

基于物联网、云计算、大数据、模拟仿真、情景推演、虚拟现实、数字孪生等新一代信息技术和公共安全技术，构建风险评估与预防、监测预测预警、应急处置与救援、业务持续性管理一体化的智慧应急平台。构建多灾种、多类型灾害事故应急管理的跨部门、跨区域信息共享和应急协作联动机制，建设从公众个体到建筑/建筑群、社区，再到城市/城市群、省和国家的新一代应急平台体系。

(三) 基础研究重点方向

1. 重大灾害事故及多灾种耦合致灾机理与规律

相关基础研究主要包括重大危险源识别评价与监测预警理论，复杂条件下重大灾害事故的多物理场耦合演化模式，重大灾害事故的动力学演化规律与风险分析方法，多灾种并发和次生衍生的演变规律与致灾机理，地震、台风、地质灾害等重大灾害的风险评估理论和计算分析方法。

2. 多因素耦合的情景构建与情景推演理论方法

相关基础研究主要包括多类型灾害事故在自然因素、技术因素、环境因素等复杂交互作用下的结构化和量化情景构建方法，大数据分析、高性能计算、虚拟现实、AI 等技术支持下的情景推演与态势评估方法。

3. 承灾载体灾变机理与韧性评估方法

相关基础研究主要包括建筑/建筑群、关键基础设施、城市/城市群等不同类型承灾载体的脆弱性与鲁棒性分析方法，建筑/建筑群典型灾害荷载作用下的快速大规模计算分析和结构安全综合评价理论，隧道、地下洞群与管线等重大基础设施在高应力、爆炸等复杂工程环境下的岩土体性能演化规律、岩土体与结构体的相互作用机制和灾变机理，不同重大基础设施的安全相互依赖性和关联效应评价理论。

4. 多粒度信息综合集成与融合分析方法

相关基础研究主要包括基于数据流阈值触发的主动预警方法，基于决策支持模型及专家系统的危机预警理论，基于大数据、云计算、物联网、AI、复杂系统建模等技术的综合预测、预警、分析和决策理论与方法，基于“数据—模型—知识”融合的精准决策方法。

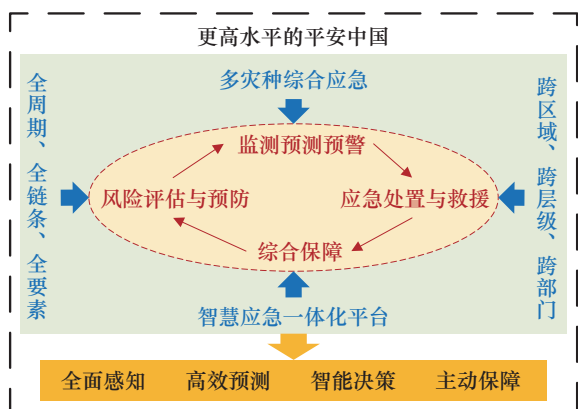


图 1 事故灾难智慧应急科技发展战略

5. 灾害事故舆情分析方法

相关基础研究主要包括网络舆情大数据快速采集和高速处理方法, 舆情自动发现识别与研判方法, 舆论评价模型, 舆论噪音辨别和虚假互联网声音过滤方法。

6. 数据驱动灾害事故案例推理方法

相关基础研究主要包括灾害事故案例要素的快速采集、数字化存储与分析方法, 案例快速检索与适配方法, 基于应急决策动态需求的数字化案例推理方法, 数据-模型-案例耦合推理与态势预测方法。

7. 应急处置与救援技术及装备理论基础

相关基础研究主要包括现场信息快速获取及高速传输理论与方法, 天-空-地一体化智能感知、协同、调度方法, 无人机和机器人在现场救援和指挥中的智能化应用方法, 人与机器人共享环境主动感知与自然交互原理, 机器人群体智能原理, 现代化智能救援装备原理。

8. 复杂灾害的大数据与大计算融合分析方法

相关基础研究主要包括数据-模型混合驱动灾害演化大规模快速分析方法, 大规模灾变过程仿真数据与现场数据的多参数、多维度匹配及灾害演化过程动态修正方法, 基于大数据的突发事件感知与预警理论和方法, 基于高性能计算的大规模复杂灾害事故场景快速计算方法; 云计算和边缘计算结合的人机交互式仿真建模理论与方法, 物理空间-信息空间-社会空间三元融合的集成化计算理论与方法。

(四) 科技研发专项任务

1. 巨灾监测预报技术与系统

大力支持地震、地质灾害、短时强降水、雷暴大风、冰雹、龙卷风等强对流天气的观测台网建设, 发展基于多普勒天气雷达数据的强对流天气的监测能力、以分钟级观测资料(地面自动站、雷达等)为核心的快速四维变分同化技术。以中尺度数值模式快速循环预报产品与高分辨率观测资料的融合技术为基础, 构建强对流天气系统移动(传播)、发展、消亡的快速循环预报技术。发展强对流天气在层结不稳定、动力不稳定、水汽条件变化、特性层高度变化和启动机制不同等环境条件下特征物理量的差

异与区分度统计分析技术, 构建以高分辨率数值预报模式诊断特征物理量为基础的网格化强对流分类概率预报技术。

2. 矿山事故风险评估与预防

研究多场耦合下矿山事故灾难演化规律及致灾机理, 构建基于定量风险评估的矿山事故灾难闭环动态管理体系。研究基于矿山复杂环境的“人、机、环”信息泛在感知技术, 提出矿山重大事故灾难大数据实时监测预警方法。研究矿山事故灾难通信定位及快速智能搜寻技术, 开发地面大功率大孔径顶驱式车载钻机、适用于井下复杂环境和井下应急的救援钻机, 发展灾区自动处置技术及装备。

3. 化工及危险化学品事故风险评估与预防

研究石化与危化品生产、储存、使用、运输等全过程实时监测技术与装备, 发展灾害源诊断与事故预警技术与装备、事故控制方法与技术, 实现对化工与危化品事故灾害的主动防护和控制。研究石化及危化品事故致灾范围快速检测技术、石化及危化品泄漏物公共安全危害评价技术、应急处置技术, 建立综合应急救援体系。建立油气管网及生命线工程风险评价与预防体系, 实质性提升管网本质安全水平, 全面保障供应安全; 建立油气管网统一管理平台, 实现在役燃气管网数字化。

4. 应急信息快速获取与传输技术和装备

研究抢险救灾、地震灾害、测绘应用、空中动态侦查、安全监控、摄影航拍等多用途功能, 不受海拔限制的现场信息快速获取及传输技术, 发展用于信息实时采集及传输、小型应急救援物资空投、紧急情况下的信息传输中继、远程指挥协调装备, 如轻型专用无人机、专用机器人等。

5. 数据计算融合的灾害事故预测预警技术

结合新型基础设施建设, 在物联网技术集成应用的过程中, 丰富灾害事故预测预警的基础数据资源。探索构建科学的数据计算融合方法, 实现智能化预测和自动化预警, 形成对灾害事故的智能研判能力, 进而将智慧应急从“物联”推向“智联”。研究人-机-物深度融合的预测预警技术, 发展“社区-城市-城市群”跨尺度的灾害事故大规模预测技术和态势研判系统、基于数字孪生的灾害事故情景推演与可视化系统、自然灾害与事故灾难知识图谱等。

6. 韧性城市关键技术与韧性保障平台

研究多灾种（地震、台风、暴雨、滑坡、泥石流、火灾、爆炸、危化品泄漏等）条件下城市韧性评估技术，构建城市韧性分析的数据模型综合集成系统，实现实时、动态、互动、融合的信息采集、传递和处理。研发构建“多灾种—多尺度—多系统”特大城市韧性影响评估系统，包括燃气泄漏溯源定位技术，地下空间安全评价技术，城市区域内涝预警与防范技术，城市交通运输实时监测预测与动态调控技术，城市建（构）筑物、建筑群、重要基础设施安全评价技术与系统，构建城市韧性综合保障平台。

7. 自主知识产权软件研发

数字化建模、计算、仿真技术作为核心技术广泛应用于自然灾害和事故灾难应急管理领域。各类灾害事故分析都需要专业化的系统软件来支撑，而在许多先进软件已对我国实施限售，构成了制约智慧应急发展的“卡脖子”问题。亟需发展具有自主知识产权的智慧应急软件体系和软件工程，包括地震震源分析和烈度计算软件、重大基础设施风险评估与事故重现仿真软件、建（构）筑物结构安全分析评估软件、城市尺度灾害事故计算分析与仿真软件、城市交通仿真与应急疏散优化分析软件、气象监测预测预警分析软件、复杂灾害场景应急救援仿真软件、应急管理与决策指挥综合软件等。

六、我国灾害事故智慧应急科技发展建议

（一）政策建议

高度重视灾害事故智慧应急科技发展，将其作为应急管理体系及能力现代化改革的中心任务，纳入各级应急管理部门工作中去。充分利用各种资源，发挥产业优势，做好社会发展科技成果的转化和服务工作，共同推进应急管理从信息化到智慧化的更高水平迈进。进一步鼓励应急管理领域的前瞻性、基础性、原创性科学研究，合理加大公共财政对应急管理信息技术转化应用的投入，同时引导地方和行业的增量科技投入，逐步构建多元投入、多学科支持智慧应急发展的新格局。

在信息技术与应急管理交叉领域，建立国家重点实验室、国家工程技术研究中心等科技支撑机构，

建设一批代表国家水平、瞄准世界一流的研究基地。例如，在实验室中数字化、可视化再现灾害事故耦合作用，再现承灾载体破坏导致次生衍生事件及事件链过程的大型试验基地；智慧应急装备、信息系统等产品的检测认证中心；对自然灾害和事故灾难的发生、发展及应对处置全过程进行动态模拟仿真、情景构建推演、态势研判、优化决策、指挥跟踪的专题数据库、先进显示系统、综合分析平台等。

探索建立跨部门的组织机制，覆盖科学合理的顶层设计、网格联动的基层合作，优化组织过程、深化数据共享、打破部门壁垒，有效衔接不同时间尺度、实体虚拟空间的各类规划，体现技术突破的层次性和系统性。充分发挥政府应急管理部门的主导作用、市场对科技资源配置的基础性作用、企业在技术创新中的主体作用、国家科研机构的骨干和引领作用、高等院校的生力军作用、科技中介机构的催化服务作用，加强资源整合、集成共享与高效利用，逐步建立“政产学研用”相结合的应急管理工程科技协同创新机制。

积极引进国际先进技术和发展经验，按照“走出去、请进来”的国际科技合作理念，加强与国外相关领域的高水平科技交流合作；及时跟踪掌握全球智慧应急工程科技及装备发展趋势，努力实现我国智慧应急科技与世界先进水平同步发展。

（二）理论体系研究建议

一是构建新型风险理论体系。以科技创新、重大公共安全需求为双效驱动，以“一带一路”倡议的实施为契机，着力构筑多层次、可持续、不断创新的风险管理体系。加大对常规和未知风险的识别与评估力度，重点把握事前、事中防控，实现公共安全由被动应急向主动防控的转变。开展监测预警新模式开发、预警应急联动技术及装备研发，实现监测预测预警向主动感知、主动预防和预警应急联动发展。基于中国智造，引领应急平台和应急装备向智能化发展，全面支撑新时代的智慧应急。

二是建设全方位、立体化的公共安全网。实现纵向从国家到省、市、社区、公众，横向关联自然灾害、事故灾难、公共卫生事件、社会安全事件等

各类突发事件, 技术体系覆盖风险评估与预防、监测预测预警、应急处置与救援、公共安全综合保障各关键环节的全方位立体化的公共安全保障; 推进重要节点的互联互通, 突破支撑平安中国建设的关键技术创新和关键设备研发瓶颈, 为更高水平的平安中国建设打牢科技基础。

参考文献

- [1] 国家统计局. 国家统计局 2010—2019 年度数据 [EB/OL]. (2020-02-28)[2021-02-01]. <https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>.
National Bureau of Statistics of China. 2010—2019 data of National Bureau of Statistics [EB/OL]. (2020-02-28)[2021-02-01]. <https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>.
- [2] 国家统计局. 中华人民共和国 2019 年国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. (2020-02-28)[2021-02-01]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202002/t20200228_1728913.html.
National Bureau of Statistics of China. Statistical bulletin of national economic and social development of the People's Republic of China in 2019 [EB/OL]. (2020-02-28)[2021-02-01]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202002/t20200228_1728913.html.
- [3] 范维澄. 织密公共安全防护网 [N]. 人民日报, 2020-12-31(09).
Fan W C. Weaving public safety protection net [N]. The People's Daily, 2020-12-31(09).
- [4] 范维澄. 推进国家公共安全治理体系和治理能力现代化 [J]. 人民论坛, 2020 (33): 23.
Fan W C. Promoting the modernization of the national public safety governance system and capacity [J]. People's Tribune, 2020 (33): 23.
- [5] 黄明. 深入推进改革发展 全力防控重大风险 为开启全面建设社会主义现代化国家新征程创造良好安全环境 [N]. 中国应急管理报, 2021-01-13(01).
Huang M. Push forward reform and development, spare no effort to prevent and control major risks, and create a good safety environment for starting a new journey of building a socialist modern country in an all-round way [N]. China emergency management news, 2021-01-13(01).
- [6] 刘奕, 倪顺江, 翁文国, 等. 公共安全体系发展与安全保障型社会 [J]. 中国工程科学, 2017, 19(1): 118–123.
Liu Y, Ni S J, Weng W G, et al. Development of the public safety system and a security-guaranteed society [J]. Strategic Study of CAE, 2017, 19(1): 118–123.
- [7] 庞宇. 美日澳应急管理体系现状及特点 [J]. 科技管理研究, 2012, 32(21): 38–41.
Pang Y. Review on status of emergency management system among America, Japan and Australia [J]. Science and Technology Management Research, 2012, 32(21): 38–41.
- [8] Federal Emergency Management Agency. National earthquake hazards reduction program [EB/OL]. (2020-08-02)[2021-02-01]. <https://www.fema.gov/emergency-managers/risk-management/earthquake/nehpr>.
- [9] NWIRP Strategic Plan. Impact reduction program-biennial progress report to congress for fiscal years 2017 and 2018. [EB/OL]. (2020-02-24)[2021-02-01]. <https://www.nist.gov/el/materials-and-structural-systems-division-73100/national-windstorm-impact-reduction-program-5>.
- [10] Cabinet Public Relations Office of Japan. Technologies supporting the future [EB/OL]. (2020-01-15)[2021-02-01]. <https://www.japan.go.jp/regions/resilientjapan/>.
- [11] Cabinet Office. Guidance-Resilient communications: How responders can reduce the risk of communications disruption during emergencies by using ResilienceDirect, HITS and Telecoms Sub-Groups [EB/OL]. (2018-12-19)[2021-02-01]. <https://www.gov.uk/guidance/resilient-communications>.
- [12] Medicines and Healthcare products Regulatory Agency. Central alerting system (CAS): Access to urgent safety guidance [EB/OL]. (2014-12-11)[2021-02-01]. <https://www.gov.uk/drug-safety-update/central-alerting-system-cas-access-to-urgent-safety-guidance>.
- [13] “中国工程科技 2035 发展战略研究”项目组. 中国工程科技 2035 发展战略·公共安全领域报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2020: 213–218.
Project team of “Research on 2035 development strategy of Engineering Science and technology in China”. 2035 development strategy of China's engineering science and technology public safety report [M]. Beijing: Science Press, 2020: 213–218.
- [14] United Nations Department of Economic and Social Affairs: UN, CCRIF and UNECLAC-united nations partnerships for SDGs platform. [EB/OL]. (2014-04-30)[2021-02-01]. <https://sustainabledevelopment.un.org/partnership/?p=2325>.
- [15] Hagenlocher M, Garschagen M, Klockemann L, et al. UNU-EHS, Social impact partners, BMZ & GIZ (2017): Disaster risk and readiness for insurance solutions. A novel assessment tool for low to lower middle-income countries (InsuRisk Assessment Tool) [EB/OL]. (2017-06-08)[2021-02-01]. <https://sustainabledevelopment.un.org/partnership/partners/?id=66>.