

公共安全领域工程科技未来 20 年发展战略研究

陈涛*, 黄丽达, 陈杨, 袁宏永, 范维澄

(清华大学安全科学学院, 北京 100084)

摘要: 安全是人类生存和发展的基本问题, 建设更高水平的平安中国是实现高质量发展的紧迫要求, 也是新发展阶段的重要目标。本文旨在展望 2040 年公共安全领域工程科技的远景目标, 为我国公共安全建设的发展战略和工程科技项目部署提供支撑。以未来新形势与新技术发展背景下的公共安全领域科技发展态势为导向, 全面分析了世界公共安全科技发展现状与发展趋势; 重点围绕自然灾害防御、事故灾难防范、安全韧性城市、综合应急 4 个领域, 剖析了我国公共安全领域的发展需求。在此基础上, 提出了我国公共安全领域工程科技发展的思路、战略目标与总体框架, 总结了我国公共安全领域工程科技的发展方向, 涵盖重点任务、基础研究方向、重大工程与重大工程科技项目。最后, 针对我国公共安全领域的科技发展路径, 从政策与研究体系方面提出了发展建议。

关键词: 公共安全; 自然灾害; 事故灾难; 韧性城市; 综合应急

中图分类号: P624.8 **文献标识码:** A

Development Strategy of Public Safety Engineering Science and Technology in the Next 20 Years

Chen Tao*, Huang Lida, Chen Yang, Yuan Hongyong, Fan Weicheng

(School of Safety Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Safety is the basis of human survival and development. Building a higher level of Peaceful China is crucial for achieving high-quality development in the new stage. This study aims to look forward to the long-term goals by 2040, thus to support the conception of development strategies as well as the deployment of engineering science and technology projects for the construction of public safety. Considering the new situations and technologies, this study analyzes the development status and the state-of-the-art level of public security science and technologies worldwide. Focusing on the aspects of natural disaster prevention, accident disaster prevention, safe and resilient cities, and comprehensive emergency management, this study analyzes the development needs of public safety science and technologies in China. Based on this, it proposes the idea, strategic objectives, and an overall framework for the development of public safety science and technologies in China and summarizes the development directions, covering key engineering tasks, basic research directions, and major engineering projects. With regard to the path of scientific and technological development in the field of public safety in China, development proposals are made in terms of policy and research systems.

Keywords: public safety; natural disaster; accident disaster; resilient city; comprehensive emergency management

收稿日期: 2024-07-12; **修回日期:** 2024-08-30

通讯作者: *陈涛, 清华大学安全科学学院研究员, 研究方向为应急技术与城市安全; E-mail: chentao.b@tsinghua.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“中国工程科技未来 20 年发展战略研究”(2021-XBZD-13), “城市基础设施安全技术创新与产业发展路径研究”(2023-03)

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

一、前言

建设更高水平的平安中国是国家的重大战略需求。党的十九届五中全会明确提出，统筹发展和安全，建设更高水平的平安中国^[1]。党的二十大报告将“平安中国建设迈向更高水平”作为新时代10年党和国家事业取得历史性成就、发生历史性变革的重要方面，把“平安中国建设扎实推进”确定为未来5年主要目标任务的重要内容^[2]。

受全球气候变化、城市及城市群快速发展等自然和经济社会因素的耦合影响，我国公共安全形势严峻复杂^[3]。城市群发展模式导致城市的集聚效应，人口、建筑、城市系统和工业设施高度集中且脆弱性突出，城市灾害事故耦合风险进一步提高^[4]。我国作为全球气候变化的敏感区和影响显著区，全球气候变化导致特大灾害风险增加，与国内的城镇及基础设施安全、经济社会活动、社会形态等多种因素相互影响，促使公共安全风险呈现长链传导和耦合放大效应。当前，新技术革命迅猛发展，尤其是大数据和人工智能（AI）等新一代信息技术、高性能功能材料、新一代通信技术等的快速进步，为公共安全领域工程科技发展提供了新的发展机遇和技术条件^[5]。

本文聚焦我国面临的自然灾害防御、事故灾难防范、安全韧性城市、综合应急救援等典型公共安全问题，结合新形势与大变局，进一步明确公共安全建设方面的科技发展现状。通过分析发展态势，提出未来20年支撑公共安全建设的工程科技发展思路、总体蓝图及战略目标。为全面提升国家应对重大突发事件的能力，进一步提出以工程科技体系创新为引领的科技发展实施机制和对策建议。

二、公共安全领域工程科技的发展现状及趋势

在全球气候变化、城市化快速发展和世界工业化发展不均衡等多重背景影响下，各类重大灾害事故和安全危机成为全球关注的焦点。为应对自然灾害、防范灾难事故、构建韧性城市、全面提高应急能力，构建公共安全网络已成为各国的重要国家战略。尤其是美国、欧洲、日本等发达国家和地区，持续在自然灾害观测与机理研究、重大灾害事故防

范与处置、韧性城市建设与城市运行安全监测、综合应急等领域进行科技创新部署，旨在提升全过程风险防范、监测预警、处置救援、恢复重建等公共安全管理能力与精细化水平（见表1）。

（一）自然灾害防御

目前，世界各国重视覆盖全国的自然灾害监测预警和灾害信息管理系统，并建立了国家和区域层面的预警系统。美国建立了国家自然灾害信息网，开发了多种类型的灾害识别专家系统，并与地理信息系统技术结合，形成了高效的决策支持系统。德国利用全球定位系统，构建了在线位移监控和预警系统，实现了自然灾害的高精度监测和早期预测预警。日本建立了全国范围的自然灾害监测预警和灾害信息管理系统，为应对自然灾害提供了有力支撑。

在气象灾害方面，美国建立了完善的气象灾害监测预警预报体系，不仅构建了防灾法律体系、专用警报系统和洪水预警系统，还借助地球气象卫星和资源卫星的遥感技术，实现了现代化的气象灾害监测；通过广播电台，在全国范围及时发送灾害性天气预警信息。基于深入的自然灾害机理研究，美国建立了完善的数值预报系统，为气象灾害监测预警提供了强大的技术支撑，其预报产品正逐渐从确定性向概率预报转变，集合预报产品在预报业务中发挥着越来越重要的作用。美国国家天气局作为主要负责机构，通过遍布全国的121个气象台，按照属地责任原则发布相关预警^[6]。美国国家强风暴实验室拥有世界领先的灾害性天气调查系统和研究能力，为气象灾害监测和预警工作提供了有力的支持^[7]。

在地质灾害方面，美国、日本、加拿大、澳大利亚、欧盟等国家和地区在地质灾害风险评估系统与预防技术方面取得了显著成就。美国地质勘探局能够提供多概率（50年，10%、5%和2%）、多谱值（峰值，周期0.2s和1s）的全国地震危险图^[8]。美国制定了滑坡减灾战略，综合运用数学模型、遥感技术、全球定位系统、雷达和激光测高技术等对滑坡活动进行实时监测与预警。美国联邦应急管理局开发的多灾种风险评估系统，能够对飓风、洪水、地震等灾害进行危险源及其危险性评估^[9]。日本已建立较为完备且延伸到产业的防灾应急系统，

表1 发达国家或地区开展的公共安全相关领域科技创新战略部署

国家 / 地区	发布机构 / 部门	科技创新战略
美国	国土安全委员会	开展边境安全、化学生物和爆炸防御、反恐、网络安全、第一响应者 / 社区和基础设施韧性、物理安全和关键基础设施韧性等七大类应急管理相关研究 发布《科技战略计划》，着眼于5个科技任务领域：防止恐怖主义和加强安全、保护和管理边界、执行和管理移民、保障网络安全和确保抗灾能力
	联邦应急管理局	发布《美国联邦应急管理局研究计划（2022—2026年）》，提出了应急管理领域的三大目标：平等的应急资源、提高城市应对气候变化的能力、提升联邦紧急救援署的领导能力 ^[10]
欧盟	欧盟	发布《欧盟安全联盟战略（2020—2025年）》，强调了4项战略优先行动：建立永不过时的安全环境、应对不断变化的威胁、保护欧洲民众免受恐怖主义和有组织犯罪的袭击、建立强大的欧洲安全生态系统 ^[11] 提出“欧洲地平线计划”，第一个战略计划包括：创建一个更具韧性的欧洲社会，为威胁和灾难做好准备并作出反应 ^[12] 发出《关于国家风险评估与风险图编制的指引》，包括欧洲洪水风险指令、欧洲关键基础设施的保护指令以及地震危害性的标准等 开发e-Risk系统，协助成员国开展涉及洪水、海啸、地震、火灾、核泄漏、恐怖事件等各类风险的监测和信息分析
英国	环境部	开展洪水水文规划项目，提出未来25年洪水水文发展愿景，提升英国应对洪水的韧性
	国家科研与创新署	发布2022—2027年科创战略——“共同改变明天”，强调建设绿色未来 ^[13]
法国	国家工业环境与风险研究院	启动HyPSTER项目 ^[14] ，涵盖生产、储存和使用氢气等安全技术 开发应用Chimere模型，监测、预测并发布欧洲每日空气质量地图 ^[15]
日本	日本政府	发布《气候危机时代的“气候变动与防灾”战略》 提出“基于生态系统的防灾减灾”框架 ^[16]
	日本政府	通过《第六期科学技术创新基本计划（2021—2025年）》，提出“社会5.0”，提出确保国民安全与安心的可持续发展的强韧社会和实现人人多元幸福的社会愿景 ^[17]

可以全天候监测和收集环境信息，应对地震、海啸及次生事故，代表性的科技应用包括：东日本铁路公司的地震预警系统、国家地球科学和抗灾研究所的海底地震与海啸观测网等。

在森林火灾方面，主要发达国家在国家森林火险、火蔓延模型和监测系统方面进行了深入研究，开发了多个先进的计算模拟系统，如美国国家火险等级系统^[18]、加拿大森林火险等级系统^[19]、澳大利亚McArthur模型^[20]等。这些系统不仅提高了森林火灾的预警和监测能力，还为火灾预防和扑救提供了科学依据。美国设立了国家森林城镇交界域防火规划和国家火灾计划，旨在研究降低森林城镇交界域火灾的有效方案。欧盟的“火焰星计划”专注于地中海地区森林—城镇交界域的火灾控制^[21]，通过国际合作推动该地区的森林火灾防控工作。

我国的重大灾害防治研究与技术装备研发起步较晚，在防灾、减灾、救灾仪器装备及产业化方面

的发展相对滞后，高性能应急救援装备的对外依存度较高，存在明显的科技瓶颈与短板，迫切需要通过科技创新，提升在重大灾害风险防控理论、高精度感知识别、定量评估预测、精细化预报预警、精准防控治理、高效救援处置与风险综合管理等方面的能力，减少自然灾害带来的损失。

未来，鉴于全球重点地区自然灾害频发且影响日益严重的现状，迫切需要建立多源信息融合的危害实时监测网络系统，对灾害的发生、演变、发展进行实时监测和评估，为灾害预警和应对提供及时、准确的信息支持。地球综合观测系统的持续发展必将提升全面认识突发性自然灾害的能力，构建一体化的“空天地深”灾害监测体系，实现对灾害的全方位、多角度观测。对于重点区域，将加强以多波段雷达为主的精密监测，结合地基遥感技术，实现大气廓线的精密监测，从而基本实现对中小尺度灾害性天气的实时组网探测。新型观测仪器的研

发和应用,地面站布局的调整与完善,无人机、飞机、系留飞行器、探空火箭等新型高空探测业务的发展,将进一步丰富和提升灾害监测的手段与能力。同时,结合卫星探测的支撑作用,将构建起天地一体、互为补充的灾害监测网络。面对防灾减灾和应急服务的现实需求,仍需持续开展监测技术研发并增加投入,有针对性地加强不同种类自然灾害监测技术和手段的研究,同时加强监测网络平台建设,在国家统一组织和协调下,逐步建立灾害综合监测网络和平台。

(二) 事故灾难防范

事故灾难防范是全球面临的重要课题。随着城市化、工业化、新能源、新材料等的快速发展,各国面临的安全生产压力不断增加。我国经济社会发展对能源、矿产、化工原料的需求不断增加,矿山深部开采、化工园区增多、城市地下管网复杂,致使重大事故和耦合事故发生的风险增加,事故灾难防控更加困难。目前,在事故灾难防范方面,国际组织和主要发达国家着重开展重大灾害事故的智能化风险防控与应急处置科技创新能力建设。

在矿山事故预警防控与应急救援方面,国际上普遍致力于高效、安全的矿山开采,不断提升机械化、自动化和智能化水平。南非、俄罗斯等国家广泛应用主动隔抑爆技术以预防瓦斯、煤尘爆炸,在降低事故发生概率的同时,提高矿山开采的整体安全性。主要发达国家在出现煤矿突水和灾变时采用的智能注浆、通信定位、救援等先进技术,具有智能化程度高和精度高、响应快速(响应时间约为1h)等特点;已实现多维度井上下、主被动实时监测预警,可以全方位、多角度地监测矿山的安全状况,及时发现潜在的安全隐患。透地通信技术可以穿透不同岩性地层并达到300m,实现地面与井下之间的实时通信,为应急救援提供重要的通信保障^[22]。

在危化品灾害事故防控方面,主要发达国家在危化品安全风险防控基础理论、关键技术和装备研发方面均展现出显著优势,已实现对化工园区风险的精确监测、危化品储运过程的智能风险感知和园区内危化品全流程的严密监控。英国、德国、荷兰、美国等国家结合建筑信息模型建模、事故模拟与仿真技术、智能化风险评估技术以及多标准决策分析,

确定危险化学品外部安全防护距离;针对危化品运输过程中的潜在风险,建立了个人和社会风险评估模型,综合考虑气象、道路和交通等因素,全面评估运输风险,如ARIPAR-GIS^[23]、SOCRATES^[24]等风险评估软件已用于工业和危险化学品运输评估,进一步提升了评估的准确性和效率。

在城市火灾与地下空间管廊安全监测预警方面,主要发达国家基于光谱、光声等火灾探测方法研究,研发了精准度高和可靠性强的双光感烟、量子点传感器等。通过建立数据采集与分析平台,助力消防行业大数据分析,实现城市火灾智能安全预警。在燃气管理方面,美国和欧洲通过无人巡线机、高灵敏激光测漏设备、多功能分析仪等先进设备与技术,实现了高效化、科技化的燃气运营。美国、瑞典等国家已拥有灵敏度优于10ppbv的移动或车载式燃气浓度分析仪,探测距离达到150m^[25]。美国、欧洲、日本等国家和地区还开发了管网泄漏快速监测和溯源预警技术系统,普遍实现了管廊管理的智能化、综合化和信息化,通过布设火灾报警、气体检测、渗水警报、远程监控、缺氧检测、自动排水、智能通风等防灾安全设备,确保管廊安全运行^[26]。

经过多年发展,我国在矿山、危化品、油气管道与地下管廊等领域的安全风险监测预警基础理论、预警模型、关键技术方面取得了一定进展,有效提高了事故防范水平。但与世界领先国家相比,我国事故灾难防范技术总体上仍处于中试阶段,落后于发达国家所处的产业化阶段。

随着AI、“互联网+”、第五代移动通信(5G)技术、大数据、大模型以及各类先进传感器的不断发展,传统矿山、危化品、油气管网等领域用于监控、预警、决策及险情处理的技术设备正快速向自动化、智能化、精准化方向发展。城市与地下空间的安全探测及分析技术逐渐智能化、实时化、可视化,服务于城市火灾高危场所智慧消防、火灾风险智能评价、火灾探测与智能预警防控、道路地下病害快速探测、地铁隧道安全隐患综合探测、地下管网安全探测等场景的先进技术与仪器装备不断涌现。这些技术与装备的发展,提升了危险化学品、矿山、城市火灾及地下管网等重点领域的安全生产风险防控与应急救援装备的技术水平,实现了事故灾害的精密监测、精确预警、精准防控、高效救

援,从而有效增强了全社会灾害事故风险的综合防范能力,为保障人民生命财产安全与国家安全奠定了坚实基础。

(三) 安全韧性城市

作为一种全新的城市安全发展范式,安全韧性城市具备逆境环境中承受、适应和快速恢复的能力。安全韧性城市的理念贯穿于城市“规划—建设—运行—再发展”的全生命周期,覆盖预防准备、监测预警、救援处置、恢复重建的全流程,并注重城市学习和适应能力的提升^[27]。

国际上,围绕安全韧性城市建设开展了大量研究。2011年,美国提出了实现“国家韧性”的战略目标,在国家工程和社区等方面开展了韧性研究。美国纽约市致力于韧性城市建设,注重保护城市生命线基础设施,如建筑、地铁、交通和道路等^[28]。美国国土安全部在城市基建保护、城市灾难管理方面有着较为完整的规划,涵盖持续监测、数据融合、巨灾预警等多个环节,能够根据预测和分析做出实时决策,并实施常态化的安全规划与核心要素管理^[29]。英国伦敦市倡导建立“韧性伦敦”,通过风险评估的方式,对可能面临的潜在灾难和应急能力进行全面评估^[30]。新加坡积极构建韧性城市,提升对发展趋势判断、政府决策等方面的领导力,加强个体与社区之间的互动,提升社区自我恢复、社会治理网络联动的能力^[31]。

近年来,城市极端灾害的发生频度、破坏强度、影响范围、级联效应和损失规模超出预期,如我国郑州“7·20”、京津冀“23·7”等极端暴雨洪涝灾害,带来了城市基础设施受淹,大规模断水、断电、断路等破坏,对城市安全构成了重大威胁。开展城市系统灾害链机理研究,揭示灾害对城市复杂巨系统的致灾规律,成为学术界的共识。主要发达国家通过构建大型灾害模拟实验装置,还原灾害演化过程及其与承灾体间的耦合机制,识别城市系统承灾体的脆弱性。美国商业建筑安全研究中心建设了可以模拟飓风、降雨、火灾、冰雹等多灾种的实验舱,尺寸为44.2 m×44.2 m×18.2 m,可对真实尺寸的房屋、车辆等进行灾害事故的研究测试^[32]。法国建筑科学技术中心建有可以模拟飓风、暴雨、暴雪、沙尘、高低温等灾害的实验设施^[33]。日本防灾科学技术研究所建有世界最大的地震台(台面尺寸

为20 m×15 m,最大承载能力为1200 t)、大型降雨装置、风雨实验楼、冰雪实验楼等,重点研究地震、火山、水土砂、冰雪灾害的耦合机理,支持多灾种耦合与风险评估研究^[34]。

加强城市基础设施生命线韧性建设,提升城市生命线的监测感知能力,是安全韧性城市建设的关键环节。主要发达国家在城市基础设施运行、评估、诊断与综合监测技术方面,开展了卓有成效的研究,形成了涵盖综合风险评估理论、动力学演化机制、灾害事件中个体与组织行为特征的多维层次化体系;建立了地下基础设施安全运行及其突发事件的次生衍生演化模型,如燃气泄漏引发火灾爆炸、供水管网漏失爆管引发路面塌陷等,形成了针对地下基础设施运行的物联网监测和风险评估理论体系。在基础设施运行病害监测与诊断识别方面,主要发达国家突破了管线探测雷达与地面气体检测、管道流体、振动和声学等多参数诊断技术,研发了适用于城市生命线的高性能基础探测传感器,如美国劳雷工业公司^[35]、加拿大探头及软件公司^[36]、瑞典MALA公司^[37]、意大利IDS公司^[38]等研发的高性能地面空洞塌陷探地雷达。在地下基础设施重点领域监管系统研发方面,美国、德国、日本等国家在供排水、燃气管网、轨道交通等领域形成了基于大数据、云平台的智能监管平台。

近年来,我国开始研究城市生命线智能感知与监测。清华大学合肥公共安全研究院在城市生命线监测预警方面,取得了理论方法—技术装备—工程应用的全链条系统性突破,通过风险实时监测预警来防范城市重大事故,建成了我国首个城市生命线安全工程^[39]。不过,当前城市生命线安全技术和应用的发展仍不平衡,各地建设规模、监测范围和技术深度参差不齐,部分高端监测传感设备仍然依赖进口、城市安全与灾害全域感知、精准分析预测能力,预警和应急响应协同与信息共享能力有待提升。

主要发达国家在安全韧性城市科技发展方面注重“产学研”合作。一方面,依托高校、科研院所等建设新型科研实验设施,汇聚多学科力量,研究城市大型灾害耦合、风险控制的基础问题和核心技术,形成对城市系统灾害的全面科学认知,为城市多维灾害风险量化和精细化风险预警提供理论基

础。另一方面,积极与高新技术企业合作,有针对性地加强不同种类灾害的监测技术和手段研究,研发高端监测传感技术,突破关键核心技术装备,加强城市安全风险的监测、感知、分析和预警能力建设,加强监测系统平台建设,有效识别不同风险源的发生和演化情况,实现城市安全的精准预警和协同处置。

(四) 综合应急

综合应急旨在预防和有效处置各类重特大灾害事故,力求将其影响最小化,关键在于现场信息的融合展现、指挥决策的科学智能、救援力量的协同联动。当前,全球正聚焦于利用新型工业技术,更加高效、系统地预防和解决应急工作中的各类难题。

在灾情快速感知领域,欧洲、美国、日本等发达国家和地区构建了“天空地”一体化的灾害事故全过程立体信息感知网络,同时,结合多源异构信息同化及共享标准,打造了灾害事故信息“高速公路”,实现了数据信息的畅通共享,并建立了高精度、多维度的动态灾害信息数据库,为应急救援提供了坚实可靠的数据支撑。

在灾情态势研判方面,主要发达国家依托新型多维网络信息的抓取与数据挖掘建模技术,建立了动态重大事故灾情态势研判及引导技术体系,利用遥感、地理信息系统(GIS)、仿真计算、灾害事故大数据分析等技术手段,研发了灾害事故分析模型和软件工具,并成功开发出了一系列成熟可业务化运行的专业分析软件。

在应急指挥决策方面,欧盟、美国等发达国家和地区面向不同灾害事故的应急处置与救援需求,形成了智能协同的指挥调度体系和实战化训练技术体系,研发了应急救援实战化模拟训练设施,可实现多灾种环境真实模拟、场景交互和智能评估。美国依托国家事件管理系统,在重大灾害事故处置中实现了现场态势可视、协同高效指挥和智能辅助决策^[40]。欧盟建立了应急协调反应中心,可在第一时间与各成员国以及分布在全球6大区域的44个分支机构实现突发事件灾情信息的实时互通和共享,确保在接到灾情信息后及时做出科学决策^[41]。

在应急救援装备方面,随着计算机技术的快速发展,救援机器人已具备自动评估受灾状况并自主

规划救援路径的能力,利用无人数据传输和热传感技术,展现了更高的自主性和精确性,显著降低了救援行动中的错误率。现代通信手段的应用实现了救援装备—装备、装备—指挥部、装备—人员之间的无缝通信。以美国和日本为例,救援装备在现场自组网通信方面实现了快速的现场通信和数据链路搭建,较多应用于高低温、核辐射、地下和狭窄空间等极端恶劣环境。“清洁驾驶室”概念的引入,使得救援车辆能够有效保护救援人员免受致癌物质等污染物的侵害,保障了救援人员的身体健康。另外,AI的进步推动了救援装备的发展,便携式诊断设备结合AI技术,能够在资源有限的灾区对病人进行准确的医学检查,甚至执行手术,以在应急条件下提供关键的医疗支持。

经过多年的发展,我国在综合应急技术与装备水平方面取得了显著进展,尤其是在跨部门与跨领域综合应急、应急决策指挥、应急装备等方面。例如,历时20年研建的两代应急平台系统,已覆盖全国所有应急管理部门,在日常应急管理和突发事件应急处置方面为相关部门提供了重要支持,显著提高了应急管理的科学性和效率^[42]。然而,与世界领先水平相比,我国在韧性通信网络、现场信息快速采集、智能决策等尖端技术和装备的研发与应用方面仍存在差距,亟需进一步加强技术创新与国际合作,以提升整体应急能力,确保在复杂多变的环境中能够有效应对各类挑战。

未来,综合应急领域将运用大数据“一张图”、AI、灾害智能仿真预测、数字孪生与地理信息等现代化信息技术,构建智慧应急综合应用平台,为灾害监测预警、监督管理、应急救援、资源调配、灾后救助、事故调查等业务提供全面的信息化支撑,构建统一指挥、专常兼备、反应灵敏、上下联动、平战结合的综合应急救援体系。信息技术的发展将进一步提升巨灾处置与防控水平,逐步完善应急救援数智化战场决策指挥体系,强化重特大灾害事故现场应急救援实战效能,实现快速精准救援,有效遏制灾难事故危害扩散,减少生命财产损失。为此,需要加强应急装备关键技术研发,提高突发事件响应和处置能力,实现应急管理装备、应急处置与救援技术的协同化、自动化和智能化,以科技创新增强防范和化解重大安全风险的能力,为公共安全领域的技术提升发挥应有作用。

三、我国公共安全领域工程科技发展的需求分析

(一) 自然灾害防御

我国的自然灾害种类多、分布地域广、发生频率高、造成损失重。在全球变暖的背景下,多种自然灾害交织发生、影响叠加,增加了防灾、减灾、救灾工作的复杂性与艰巨性。针对我国自然灾害风险防控的现实需求,亟需构建一个科技先进、全面高效的自然灾害风险防控工程体系。为此,需织密空基、天基、地基三位一体的综合地球信息观测网络,建立灾害监测评估和情景模拟的基础大数据库。同时,将大气科学规律研究与现代信息技术紧密结合,实现灾害潜势、发生、演变的实时与多源信息融合的综合监测和评估。为满足国民经济各行业的精细化需求,还应加强自然与多领域的深度融合,研发标准化灾害预报预警产品,构建动态风险的评估系统和应对防御服务体系。推动自然灾害防治能力提升工程建设,提升各类自然灾害防御工程标准,如洪涝干旱、森林草原火灾、地质灾害、气象灾害、地震等。推动防灾、减灾、救灾工作的法治化、规范化、现代化水平显著提高,提高自然灾害、减灾、救灾能力,提升我国在全球自然灾害治理方面的贡献力和影响力,使之与实现社会主义现代化的要求相契合。

(二) 事故灾难防范

我国正处于油气替代煤炭、非化石能源替代化石能源的双重转型阶段,致力于能源结构的优化升级。在此期间,矿山、危化品、城市建筑火灾与地下空间安全仍将是我国安全生产工作的重点领域。为此,在事故灾难防范方面,需要继续加强矿山深部开采与重大灾害防治领域的科技创新,推动先进技术装备的应用,力求实现机械化、自动化、智能化的开采,逐步用机器人替代危险岗位的工作人员。加大新一代信息技术在矿山隐蔽灾害探测、灾害预警与防控中的应用力度,不断提升关键技术自主创新能力。实时采集危险化学品在生产、经营、运输、仓储、使用、回收等环节的流通信息,为相关监管部门提供数据支撑及决策支持;借助新技术和新装备,发展危化品本质安全技术,为化工企业提供更准确、快速的应急科技支撑。逐步推进建造

信息化、数字化和智能化转型,加快专业协同设计、参数化建模、服役阶段智能化安全诊治、全生命周期安全监测与评估等方面的发展,促进建筑业质量加快提升、结构优化、火灾防控升级转型。以道路地下病害快速探测、地铁隧道安全隐患综合探测、地下管网安全探测为代表的先进仪器装备将不断发展和改进,地下空间安全探测与评价体系持续完善,实现地下空间安全探测智能化和实时化。

(三) 安全韧性城市

在当前和未来相当长时期内,全球范围内频发的灾害将放大城市面临灾害时的“脆弱性”,严重威胁各个国家安全发展战略的实施,为此,安全韧性城市建设的需求日益迫切。目前,我国安全韧性城市科技创新还存在一些短板和弱项,主要体现在:对新型风险、新型安全和巨灾重灾的科学认知与基础理论存在缺失,多物理场耦合、多尺度演化的次生衍生灾害事故机理不清,城市基础设施的监测预警和安全强韧技术薄弱,公共安全装备高性能材料和部件、安全监测传感芯片和器件自给率低等。面对这些挑战,安全韧性城市领域的科技发展需求日益迫切,亟需深化对新型风险、新型安全和巨灾重灾的科学基础研究,提高复合灾害事故的灾情侦测及精准推演能力,增强城市和国家重大基础设施的承灾韧性,提高监测预警准确率,突破自主可控的高端安全传感芯片,开发具有完全自主知识产权的工业软件等。在科技创新发展方向上,我国目前应聚焦瓶颈性、根源性、本质性问题,着力解决城市安全基础理论与方法学上的难题,攻克多灾种耦合、多尺度演化的次生衍生灾害事故防控技术,突破城市基础设施安全韧性提升的理论与技术瓶颈。同时,加强国家级重大安全工程及科研实验平台建设,加大城市安全国家战略科技力量建设。

(四) 综合应急

我国的应急管理正在经历一场深刻变革,从单一类型灾害应对转向综合应急管理。构建具有中国特色的应急管理体系,亟需抓住新技术革命契机,借助科技创新,推进应急管理体系建设。受极端环境、复杂灾情和资源有限等因素影响,我国综合应急救援面临快速感知难、情景研判难、主动防控难、指挥决策难、人员搜救难等挑战,应急工作的

不确定性特征越来越凸显，需要全面加强应对重大风险挑战的应急管理核心能力建设，提升科学研判、应急准备、监测预警、应急响应、决策指挥和韧性恢复等综合应对能力。以建设应急救援数字化场景决策指挥体系为重点，提升精准救援、科学救援的指挥能力为目标，建设以应急战术互联网为骨干，智能化指挥调度平台为核心，装备物联网为神经的重特大灾害救援数智化作战决策指挥体系，实现救援要素数字化、救援态势可视化、指挥调度扁平化、救援行动协同化。同时，以科技为支撑，推进应急救援装备能力现代化，强化应急救援装备技术支撑，优化和整合各类科技资源，推进面向实战的应急救援科技自主创新，加大先进适用装备的配备力度，加强关键技术研发，提高突发事件响应和处置能力，依靠科技进步来提高应急管理的科学化、专业化、智能化和精细化水平。

四、我国公共安全领域工程科技发展战略构想

（一）发展思路

突发事件的发生、发展和演变通常遵循固有的规律与特征，只有深刻认识其规律，才能为科学预测和预防突发事件提供理论依据。应大力加强公共安全领域科技理论的基础研究，构建逻辑严谨、范围全面、符合我国实际情况的理论体系。在此基础上，深入研究全灾种发生、发展及其演变的过程，探究不同灾害之间，灾害和人类、环境、社会之间的相互耦合关系，进一步巩固平安中国建设的发展基石。

坚持自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来的指导方针，以公共安全科技理论体系为基础，全面覆盖风险评估与预防—监测预测与预警—应急处置与救援—综合保障全流程，综合运用新一代信息、AI大模型、新材料、生物、空间等先进技术，研发定量化、标准化、综合化、系统化的风险评估与预防技术，形成国际领先的监测预测与预警技术，应用智能化、网联化、协同化、全面化的应急处置与救援技术及装备，构建跨区域、跨层级、跨部门深入融合的综合保障体系。

立足当前，着眼长远，需加强高新技术应用和综合集成，深化实时感知与预知技术、大数据分析决策技术、多功能智能化应急装备等的研发工作，

积极引导国防科技成果向公共安全领域转化。聚焦安全事业，依靠科技创新驱动，以体制优化为保障，风险预防为立足点，有效应对和提高韧性为最终目标，构建全方位、立体化的公共安全网，打造“纵向到底、横向到边”的公共安全脉络体系，系统部署，重点突破，实现我国公共安全由被动应对型向主动保障型转变，开创公共安全新格局。

（二）战略目标

到2040年，建成全面、高效、智能、主动的全方位和立体化的公共安全体系，进入全面“领跑”阶段，实现风险评估与预防的全面覆盖，确保传统风险可控、新兴和非传统风险可知，实现信息全面感知、数据多源融合、预测高度智能和预警精准发布等目标，实现应急指挥有力、应急协同有序、应急处置高效，构建“海陆空”全方位、“人—物—信息”三位一体的智慧应急管理体系，实现综合应急领域重大装备、关键核心技术和装备自主知识产权等方面的全面自主。

在自然灾害防御方面，形成新一代捕捉范围广、高分辨率、高响应速率的自然灾害探测体系，全面提升自然灾害综合监测能力；实现多圈层耦合、无缝隙、高精度的数值预报模式研发的关键性突破，全面提升自然灾害孕灾机理和预测预报能力；全面发展气象、水文、地质、海洋等灾害双向耦合预报技术，全面提升基于影响预报的灾害风险动态评估能力；构建全周期和全链条式的风险评估与预防体系；构建适应极端环境条件的应急抢险处置和高效救援体系，发展减灾、避灾和救灾技术，大幅提升自然灾害监测预警与防灾减灾能力。

在事故灾难防范方面，建成重点行业领域多灾害耦合风险评估和事故预防体系，大型及超大型风险源风险实时定量评估体系，重大灾害监控预警和突变综合判识体系，突发灾变下灾情侦测、应急通信、遇险人员精准定位、次生衍生灾害预防预报体系。

在安全韧性城市方面，构建覆盖城市安全韧性各领域、多纵深的全方位评估体系，建成覆盖全国区县级别的城市灾害监测网络，促使超大型、特大型城市完全具备应对灾害的监测、预知、抵御和恢复能力；形成完整的城市安全韧性相关传感器和监测仪器产业链，建成具备灾情预测、推演、应对、

决策能力的城市安全数字孪生系统；实现对城市安全不确定风险扰动的智能感知与实时推演应对，自主减少新技术和新应用场景对城市转型、产业发展、社会交互带来的不确定影响。

在综合应急方面，进一步强化综合应急领域的基础理论研究与科学技术创新，建成具有自主知识产权的重大突发事件应急处置与救援技术体系，注重多学科交叉融合与装备技术的融合，加快航天、航空、船舶、兵器等国防技术装备向应急领域转移和转化，拓展先进安全技术装备在应急各专业领域的推广应用。

（三）总体构架

展望2040年，我国综合国力预计将持续提升，新型工业化、信息化、智能化的加速推进必然引起生产和生活方式的变革。面向2040年的我国公共安全领域工程科技发展总体架构如图1所示。公共安全领域工程科学技术发展的重点任务包括：构建具备全面感知、高效预测、指挥决策和主动保障的公共安全综合保障一体化体系；研发包括城镇多灾种耦合实验与仿真技术、城镇重大综合灾害情景构建与推演技术；基于数学建模和知识图谱的案例建模

与推演技术，突发事件应急处置关键过程再现与全过程评估技术，多源异构公共安全大数据的获取、挖掘、识别与分析技术等，实现多灾种综合应对和行业深度协同。全面提升公共安全的自然灾害防御、事故灾难防范、安全韧性城市和综合应急技术能力与水平，构筑全方位和立体化的公共安全网，突破技术“跟跑”局面，迈入全面“领跑”新格局。

五、我国公共安全领域工程科技的发展方向

（一）我国公共安全领域工程科技的重点任务

1. 加强自然灾害机理研究，发展预测预报评估模型

未来，随着科技的飞跃发展及人类对社会、自然认识的深化，借助数字孪生等技术可以构建更加精准的自然灾害机理研究及发展预测模型，全面覆盖预测、预报、预防、应急、救灾、评估、重建等环节，形成灾害防治的闭环管理。应用AI技术，发掘地球系统观测和数值模式产品等海量数据的价值，推动灾害性天气识别、短时临近预警、短中期预报、气候预测、气候变化及检验评估等全系列技术的数字化创新和标准化升级。同时，结合经济

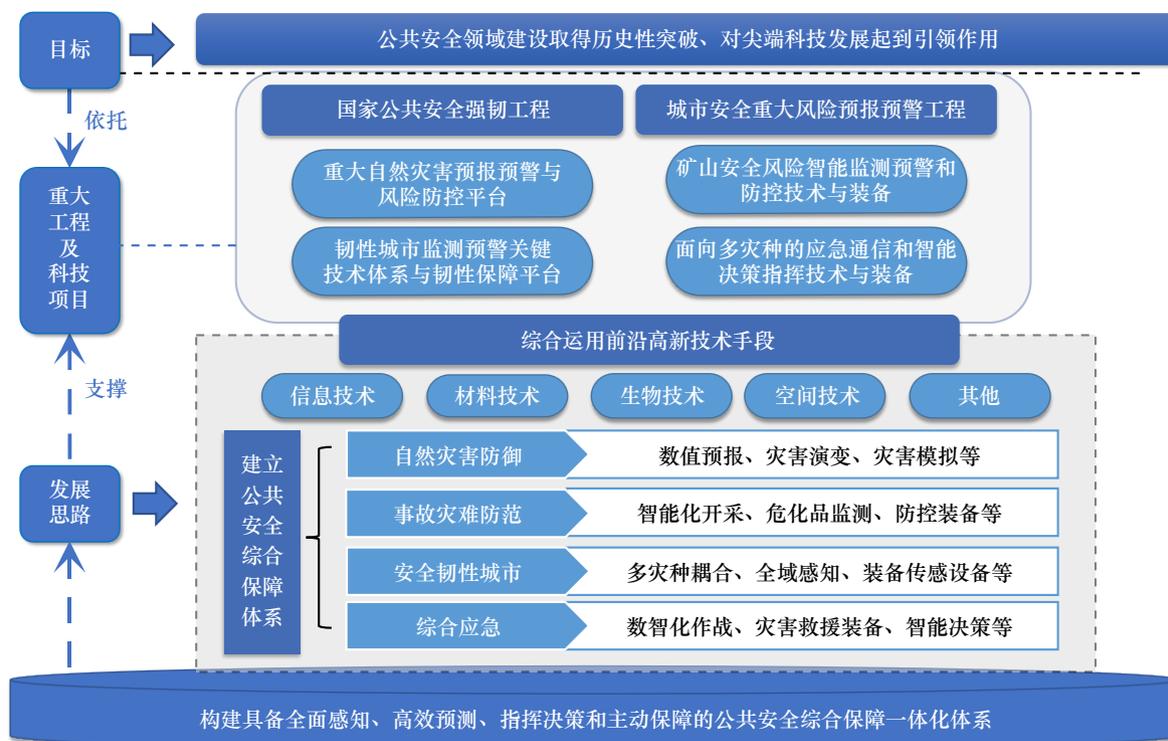


图1 面向2040年的公共安全领域工程科技发展总体构架

学、灾害社会学及自然科学的成果，形成防灾减灾的系统工程，为决策提供科学依据。进一步明晰重大自然灾害的内部机理，通过模型精准预测及研判不同类型自然灾害的发展趋势，借助移动应用、短信、社交媒体等渠道，确保灾情发展和预警信息能够迅速、精准、有效地传达给公众，并通过开展应急演练确保取得实效。

2. 提高矿山深部开采的智能化水平和危化品全链条的监测预警能力

针对矿山深部开采带来的安全和环境挑战，需加强矿山深部开采地质灾害的透明探测、重大灾害防治等方面先进技术装备的创新应用，推动危险岗位的机器人替代，促进煤矿装备和工艺过程的智能化升级，实现固定岗位的无人值守，进而推动各生产环节的智能化联动，加快智能化与绿色开采技术的融合。

针对危化品消防、抑爆、堵漏、个体防护等场景的技术装备严重依赖进口现状，重点加强 $1 \times 10^5 \text{ m}^3$ 储罐全液面大型火场灭火技术的研发，深入研究现场灭火、冷却、侦检、排烟等AI技术以及三相射流灭火技术。推动危化品安全管理平台形成一体化监控预警网络体系，运用物联网、区块链、GIS等技术，结合移动终端和“一张图”，实时监管危化品从化工生产、交通运输、仓储设施环境、经营销售、使用操作到废弃物回收处理等全链条各环节的流通信息，为相关监管部门提供数据支撑和决策支持。基于新技术、新装备的危化品本质安全技术，将为化工企业应对突发状况提供准确、快速的应急科技支持。

3. 构建多灾种、多尺度、多层级城市系统韧性全链条系统平台

城市巨灾作为大城市发展中的重要议题，其复合性、多样性、区域性、连锁衍生性、突发性等特点不容忽视。需要研发城市关键基础设施的重大危险源探测、重大灾害事故风险监测、系统大规模失效后果评估和巨灾应急决策关键技术及装备，研发“端边云网”多层级智能监测预警技术，构建新型城市尺度灾变遥测系统、城市综合风险“孪生平台”、超大规模物联网预警平台等一系列韧性监测预警平台，形成超大城市安全运行的精细化数字仿真模拟和运行调度关键技术，支撑“工业互联网+智能制造+智慧服务”的城市安全产业新生态。

4. 跨区域、跨层级、跨部门深度融合应急处置与救援

为实现不同区域、层级、部门间的深度融合，提高应急现场处置与救援的效率，应重点加强救援理论与先进技术的研究力度。研究巨灾耦合应急救援理论，建立以“救生命、救生产、救生活”为宗旨的巨灾综合风险管理和应急救援体系；研究远程化应急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、人员响应量化分析与疏散管控技术、数字化重构与态势感知技术、舆情传播演化与作用机理分析技术、网络舆情大数据分析等技术，提升应急现场处置与救援技术的智能化、智慧化水平；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，实现协调有序化、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与高效。

针对非城市地区应急力量相对薄弱问题，需要加强对农村和偏远地区的应急设施与资源配置，并在发生突发事件时具备快速响应能力。完善信息传递路径，充分利用5G、卫星等通信技术，提高在应急情况下信息的传递能力和效率，确保“全区域叫应”，实现应急信息的及时传达和反馈，保障各级政府和相关部门的协同处置。

（二）我国公共安全领域工程科技的基础研究方向

随着AI、通信、遥感、大数据、云计算等前沿信息技术的应用以及新材料、新能源等资源结构的不断变化，公共安全工程科技领域的基础研究方向需要更加精准地把握和满足实际需求。未来，我国公共安全领域工程科技的研究方向主要包括以下11项。

1. 灾害过程的输运动力学与仿真方法

相关基础研究主要包括灾害要素输运过程的特点和机理，灾害环境对其他输运过程的影响机理，灾害条件与多物理场交互作用下的物质动量能量输运原理，灾害触发源头信息缺失条件下的输运过程反演和溯源，灾害要素耦合源项和边界条件下的模型重构，耦合过程相似理论和缩尺实验设计原理。

2. 自然灾害全过程一体化协同监测与智能预警技术基础

相关基础研究主要包括“空天地”立体监测遥

感反演规律与技术基础,多源信息一体化协同观测同化融合理论与初始场构建方法,自然灾害早期识别原理、预报预警模型与智能化方法。

3. 自然灾害及链生灾害的形成机制与演化规律

相关基础研究主要包括自然灾害形成机制、演变特征及物理规律,自然灾害与地球系统多领域耦合研究,极端气象、地震地质等自然巨灾与城乡、工业系统相互作用的致灾演化机理及耦合链生规律。

4. 重点行业领域典型职业危害防治理论与技术基础

相关基础研究主要包括呼吸性粉尘的扬尘致病基础理论、矿山粉尘职业病危害防治基础理论与方法、高海拔超长隧道施工安全防护基础理论与方法、应急救援人员职业健康监测与保障理论及技术基础。

5. 重大危险源事故隐患辨识及风险评估技术基础

相关基础研究主要包括危险化学品生产过程反应失控的基础理论、危险化学品生产本质安全化原理与方法、重大危险源多类危化品耦合事故机理与预警防控技术基础、化工园区重大风险智能感知与预警方法。

6. 煤矿深部开采重大灾害防控理论与技术基础

相关基础研究主要包括矿井和地下工程高效救援的基本理论、深部煤岩多尺度结构冲击失稳基础理论、深部矿井耦合动力灾害基础理论与防控方法、深部矿井多灾种链生灾害防控基础理论、煤矿深部开采突水动力灾害诱发基础理论和深井建设及安全保障基础理论。

7. 城市跨类复合灾害定量风险评估理论与方法

相关基础研究主要包括城市跨类事故灾害演化机制与链生致灾机理、多源数据驱动的动态定量风险评估方法和基于动态风险量化分析的智能化管控机制。

8. 城市地下空间事故灾害多源信息智能侦测技术基础

相关基础研究主要包括城市地下空间连锁复合灾害演化机理及致灾模式、多源灾情信息感知与特征融合理论及智能预警方法和固移融合的边端协同地下空间事故灾害一体化侦测技术基础。

9. 安全韧性科学原理与方法

相关基础研究主要包括复杂承灾系统韧性表征

模型与特征参数、韧性动力学理论与方法、微观作用-中观现象-宏观涌现系统韧性原理与仿真方法、先天差异化特征和后天能力培养作用下个体生理/心理韧性过程演化机制与量化机理以及基于本构关系与控制理论的个体生理/心理韧性过程模型。

10. 突发事件应急决策支持理论与方法

相关基础研究主要包括突发事件的启发式决策和结构化决策方法,动态决策与突发事件演化的相互作用规律,突发事件应对的主动诱导和干预决策机制,信息支撑、量化分析、机构协同与机制驱动的四位一体决策体系。

11. 应急救援人员生理应激机制与智能预警方法

相关基础研究主要包括复杂灾害环境下救援人员生理认知变化规律与应激损伤表征和基于“模型-数据”混合驱动的救援人员异常状态智能预警方法。

(三) 我国公共安全领域的重大工程

重大工程是直接服务于我国国民经济建设、立足于解决制约经济社会发展的重大问题、直接形成现实生产力或服务能力,且需要有工程科技的重大突破来支撑的工程项目。重大工程的实施将极大推动我国公共安全领域的科技创新突破和发展应用,显著增强国民经济、社会和民众安全的保障能力。面向2040年,我国公共安全领域重大工程包括以下两项。

1. 国家公共安全强韧工程

面对气候变化和社会发展带来的极端灾害与重大事故的严峻挑战,需提高国家预防、抵御、恢复和适应各类突发事件的能力。实施国家公共安全强韧工程,旨在增强从个人到国家多层面的安全韧性,实现对突发事件的及时感知、快速应对、迅速恢复,确保国家和社会平稳运行,通过自我调节更好地应对未来的灾害风险;建立智能化、全方位、立体化的公共安全网,形成系统化的安全保障体系,推动安全应急理念向风险驱动、数据驱动、主动保障、以人为中心转变,不断增强人民群众的获得感、幸福感、安全感。

2. 城市安全重大风险预报预警工程

研究和建立由数字地球、大型灾难实验设施与实体灾难监测网协同的虚实结合-数字孪生城市安全重大风险预报预警平台,充分利用我国举国体制

的风险普查数据和空-地监测数据优势,以巨量承灾体数据为节点,搭建灾害链计算引擎,具备发现和预见国土空间不同尺度、不同地域、不同时间的灾难形态、现象、规律的能力,支撑开展复合灾难模拟、灾难监测预测、灾难预报预警、灾难防控与应对、重大基础设施风险评估、未知灾难探索预见等相关研究,实现灾害事故风险从周期性评估向常态化预报转变,提升灾害事故预报预警和风险控制的能力。

(四) 我国公共安全领域的重大工程科技项目

重大工程科技项目主要指由多个具有前瞻性、先导性和探索性的重大关键技术组成,支撑未来重大工程突破和新兴产业发展的重大科技攻关项目。面向2040年,我国公共安全领域的重大工程科技项目包括以下4项。

1. 重大自然灾害预报预警与风险控制平台

立足自然灾害防御,运用数值预报技术,基于自然灾害演变的动力学、热力学(流体力学)等原理构建可预报的方程,研究局地极端灾害经济结构及演变机理,研究地球系统模式框架下的高分辨率和变分辨率的多分量模式耦合技术与同化技术,研究基于多学科交叉、多技术(计算、遥感、卫星、雷达等)融合、地球环境各圈层(大气、海洋、生物、冰雪、固体)耦合的预报预警技术,实现对局地突发极端灾害的精准预报与精确预警;研究多因素耦合风险的主动感知与综合评估技术,研究精准预测和预警救援联动的风险防范与应对技术。

2. 矿山安全风险智能监测预警和防控技术与装备

研发应对煤矿强矿震、瓦斯爆炸和粉尘爆炸等重大事故的风险智能化预警及防控技术,研发隐蔽地质灾害的透明化探测技术装备,突破金属矿山的火灾爆炸、尾矿库溃坝等典型重大事故风险智能化预警及防控技术,开发应对油气生产的溢流、井喷、浅层地质灾害等重大隐患智能监测预警、防控及应急技术与装备,基于以上成果开展应用示范,显著提升矿山事故综合防控能力和水平。

3. 韧性城市监测预警关键技术体系与韧性保障平台

研究城市多灾种及其耦合仿真模拟技术、灾害耦合平台大数据分析集成技术与大规模计算技术,

实现地震、强风、暴雨、暴雪、冰冻、火灾、危化品泄漏等原生灾害以及次生衍生等多灾种及其耦合作用的综合模拟;研究水、电、气、热、交通、通信等城市生命线工程运行安全的实时监测、精准预警技术和系统;研究城市系统与人类社会耦合运行的灾害情景模拟技术,包括“楼宇-社区-街区-城市”跨尺度耦合的社会仿真技术、典型人员密集场所人流精准感知与预测、应急疏散协同管控技术;研究典型灾害处置应对情景推演、效果评估与方案优化技术;研究基于精准安全的空间着力范围、时间着力点、着力方式与强度应急方法,依靠科学安全的理论、方法、模型、技术、标准和装备,构建智慧精准的多层公共安全防护体系,保障人民的生命安全。

4. 面向多灾种的应急通信与智能决策指挥关键技术及装备

研究巨灾耦合致灾机理、重大灾害事故及多灾种耦合实验仿真与情景推演技术;开展重大灾害事故现场灾情全天时、全天候高效立体侦测与综合评估技术,态势重构、趋势预测与综合影响研判技术研究;研发具备三维多源灾害现场态势感知、重构、研判、评估、反演功能的一体化技术、系统及终端装备;开展综合性应急救援数智化战场的理论模型和关键技术体系研究;研究适用于灾害现场抗干扰、高效协同的通信技术,研发高可靠指挥通信系统;研究可快速搭建、天地一体化的远程通信广播与应急宽带网络、现场物联网组网,开发适应多种极端、恶劣环境的感知通信终端及快速接入成套技术与装备;研究面向现场需求和恶劣条件的应急资源智能调配技术与装备;研究灾害事故前后方广域时空协同会商研判和辅助决策系统与装备;开展复杂应急现场处置与救援关键技术与智能化、高效能装备研究。

六、我国公共安全领域工程科技的发展建议

(一) 政策性建议

1. 加强组织领导,建立统筹协同机制

完善跨部门协同与信息共享机制。建立跨部门的组织体系,加强工作衔接与协调配合,打破部门壁垒,实现从数据共享、风险治理到应急协调的协同发展,科学合理的顶层设计到网格联动的基层合

作, 加快推进军用与民用相结合的国家科技支撑平台建设, 促进安全科技的发展。

加强安全科技需求的引导与管理, 完善科学评价体系。注重合理布局, 在需求分析的基础上, 完善安全科技规划技术。以情景需求为引导, 尊重科学技术的发展规律, 发挥第三方评估作用, 完善综合保障能力的评价指标体系, 建立全面有效的技术、经济和社会效益评价体系, 以确保安全科技发展的持续性与稳定性。

2. 统筹资源配置, 构建国家实验室体系

在更大范围、更高层次、更有效率方面配置国家安全领域科技创新资源, 通过重组和新建公共安全领域全国重点实验室、技术创新中心, 构建包括国家实验室在内的安全领域高水平科研创新基地, 强化公共安全领域国家战略科技力量。创建以安全为主题的国家实验室, 以统筹发展和安全的国家顶层设计为牵引, 面向国家公共安全发展重大需求, 瞄准世界公共安全科技前沿, 建设“理工文管”大跨度、多学科交叉融合的公共安全综合开放式创新研究基地。

3. 坚持需求导向, 推进重大工程实施

统筹“项目-基地-人才”建设布局, 实施安全领域重大示范工程, 加大国家财政资金对重大工程的投入, 引导金融资本加大对安全应急装备研发和产业发展的支持, 开辟多元化、多渠道的科技投入渠道。

在公共安全领域, 开展知识产权、科研院所、高等教育、人才流动、国际合作、金融创新、激励机制、市场准入等改革试验, 努力在关键领域和环节取得新突破, 及时总结和推广经验, 发挥示范和带动作用, 促进创新驱动发展战略的深入实施。积极创造有利条件, 增加公共财政对公共安全领域的科技投入, 建立完善的公共安全科技创新投资机制, 积极引导和拓展社会资本、风险基金、担保机构、成果转化资金等多种渠道投入。引导地方和行业加大科技投入, 形成全社会的多元化安全科技投入机制, 使安全科技领域的经费投入与保障国家安全的实际需求相适应。

(二) 研究建议

1. 夯实基础研究, 统筹安全学科建设

目前, 我国安全学科涵盖安全科学与工程、国

家安全学两个一级学科, 都是典型的多学科交叉、复合型、战略性新兴学科。未来, 需要进一步统筹这两个一级学科的建设与人才培养, 紧密围绕国家重大需求, 遵循学科发展与教育规律, 创新安全人才培养模式。

探索学科交叉, 贯通融合的学科建设路径。发挥好学科交叉作用, 一方面, 避免因交叉导致两个一级学科的研究问题在其他各学科里被边缘化、碎片化; 另一方面, 避两个一级学科的研究问题泛化为其他各学科的研究问题。另外, 要把政治学、军事学、法学、工学、管理学等学科的研究内容、方法手段及人才特征融入学科建设中, 从而切实增强人才培养的实践性与多样性。

2. 加强自主创新, 突破“卡脖子”技术

注重多学科、跨领域的融合发展, 将公共安全技术与新一代AI、前沿材料与先进制造等技术紧密结合, 加强科技自主创新能力, 以关键共性技术、前沿引领技术、现代工程技术、颠覆性创新性技术为突破口, 针对公共安全领域的科技创新瓶颈, 突破“卡脖子”技术。开展公共安全科技前瞻性、系统性的顶层设计, 加快标准化建设, 创新公共安全数据共享机制, 力争解决目前存在的低端过剩、高端不足、核心材料和高端装备依赖进口的问题, 推动公共安全科技向更高水平迈进。

3. 强化产业对接, 加快科技成果落地应用

建立“科技-管理”深度融合机制, 促进科技成果无缝对接实际应用。通过构建跨部门、跨领域的协同平台, 加强技术研发部门和管理部门的沟通与合作, 确保科技成果在研发阶段就充分考虑管理需求, 实现技术与管理的一体化设计。制定统一的科技成果应用标准规范, 推动标准化、规模化应用, 加强应用效果评估, 及时调整优化技术应用策略, 确保科技成果的持续有效应用和整体公共安全水平的不断提高。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: July 12, 2024; **Revised date:** August 30, 2024

Corresponding author: Chen Tao is a research fellow from the School of Safety Science, Tsinghua University. His major research fields include emergency technology and urban safety. E-mail: chentao.b@tsinghua.edu.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on the Development Strategy of China Engineering Science and

Technology in the Next 20 Years” (2021-XBZD-13), “Research on Urban Infrastructure Safety Technology Innovation and Industrial Development Path” (2023-03)

参考文献

- [1] 建设更高水平的平安中国 [N]. 人民日报, 2021-09-02 (15).
Building a higher level of safe China [N]. People's Daily, 2021-09-02 (15).
- [2] 坚持以人民安全为宗旨 建设更高水平的平安中国 [N]. 人民日报, 2023-06-02 (09).
Stick to the principle of people's safety and build a higher level of safe China [N]. People's Daily, 2023-06-02 (09).
- [3] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability [R]. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022.
- [4] AghaKouchak A, Huning L S, Chiang F, et al. How do natural hazards cascade to cause disasters? [J]. Nature, 2018, 561(7724): 458–460.
- [5] van Dis E A M, Bollen J, Zuidema W, et al. ChatGPT: Five priorities for research [J]. Nature, 2023, 614(7947): 224–226.
- [6] Friday E W Jr. The modernization and associated restructuring of the national weather service: An overview [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1994, 75(1): 43–52.
- [7] Stumpf G J, Smith T M, Thomas C. The National Severe Storms Laboratory's contribution to severe weather warning improvement: Multiple-sensor severe weather applications [J]. Atmospheric Research, 2003, 67: 657–669.
- [8] Frankel A D, Mueller C S, Barnhard T P, et al. USGS national seismic hazard maps [J]. Earthquake Spectra, 2000, 16(1): 1–19.
- [9] Schneider P J, Schauer B A. HAZUS—Its development and its future [J]. Natural Hazards Review, 2006, 7(2): 40–44.
- [10] Hamele M. Integrating climate change into state hazard mitigation plans: A five-year follow-up survey [D]. Washington DC: University of Washington (Master's thesis), 2023.
- [11] Backman S. Risk vs. threat-based cybersecurity: The case of the EU [J]. European Security, 2023, 32(1): 85–103.
- [12] Pursiainen C, Kytömaa E. From European critical infrastructure protection to the resilience of European critical entities: What does it mean? [J]. Sustainable and Resilient Infrastructure, 2023, 8(sup1): 85–101.
- [13] Flinders M V. Research Leadership matters: Agility, alignment, ambition [M]. Oxford: Higher Education Policy Institute, 2022.
- [14] Moret Y E. The HypSTER project: Emergence of a new form of massive hydrogen storage essential to achieving carbon neutrality [J]. Realites Industrielles, 2022: 137–142.
- [15] Menut L, Bessagnet B, Khvorostyanov D, et al. CHIMERE 2013: A model for regional atmospheric composition modelling [J]. Geoscientific Model Development, 2013, 6(4): 981–1028.
- [16] Furuta N, Seino S. Progress and gaps in eco-DRR policy and implementation after the great East Japan earthquake [C]// Renaud F, Sudmeier-Rieux K, Estrella M, et al. Advances in natural and technological hazards research. Cham: Springer International Publishing, 2016: 295–313.
- [17] Çipi A, Fernandes A C R D, Ferreira F A F, et al. Detecting and developing new business opportunities in society 5.0 contexts: A sociotechnical approach [J]. Technology in Society, 2023, 73: 102243.
- [18] Walding N G, Williams H T P, McGarvie S, et al. A comparison of the US national fire danger rating system (NFDRS) with recorded fire occurrence and final fire size [J]. International Journal of Wildland Fire, 2018, 27(2): 99.
- [19] Wang X L, Wotton B M, Cantin A S, et al. Cffdrs: An R package for the Canadian forest fire danger rating system [J]. Ecological Processes, 2017, 6(1): 5.
- [20] Dowdy A J, Mills G A, Finkele K, et al. Index sensitivity analysis applied to the Canadian forest fire weather index and the McArthur forest fire danger index [J]. Meteorological Applications, 2010, 17(3): 298–312.
- [21] Morvan D, Dupuy J L, Rigolot E, et al. FIRESTAR: A physically based model to study wildfire behaviour [J]. Forest Ecology and Management, 2006, 234: S114.
- [22] Kilinc F S, Monaghan W D, Powell J B. A review of mine rescue ensembles for underground coal mining in the United States [J]. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 2014, 9(1): 174–185.
- [23] Spadoni G, Egidi D, Contini S. Through ARIPAR-GIS the quantified area risk analysis supports land-use planning activities [J]. Journal of Hazardous Materials, 2000, 71(1/2/3): 423–437.
- [24] Papazoglou A, Aneziris O, Bonanos G, et al. SOCRATES: A computerized toolkit for quantification of the risk from accidental releases of toxic and/or flammable substances [J]. International Journal of Environment and Pollution, 1996, 6(4–6): 500–533.
- [25] Cosofret B R, Marinelli W J, Ustun T E, et al. Passive infrared imaging sensor for standoff detection of methane leaks [C]. Philadelphia: Chemical and Biological Standoff Detection II, 2004.
- [26] Chapman D N, Metje N, Stark A. Introduction to tunnel construction [M]. Boca Raton: Chemical & Rubber & Company Press, 2017.
- [27] 黄弘, 李瑞奇, 范维澄, 等. 安全韧性城市特征分析及对雄安新区安全发展的启示 [J]. 中国安全生产科学技术, 2018, 14(7): 5–11.
Huang H, Li R Q, Fan W C, et al. Analysis on characteristics of safety resilient city and enlightenments for safe development of Xiongan New Area [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2018, 14(7): 5–11.
- [28] McArdle A. Storm surges, disaster planning, and vulnerable populations at the urban periphery: Imagining a resilient New York after superstorm Sandy [J]. The Idaho Law Review., 2014, 50(2): 19–48.
- [29] Tousley S, Rhee S. Smart and secure cities and communities [C]. Porto: 2018 IEEE International Science of Smart City Operations and Platforms Engineering in Partnership with Global City Teams Challenge (SCOPE-GCTC), 2018.
- [30] Davoudi S, Brooks E, Mehmood A. Evolutionary resilience and strategies for climate adaptation [J]. Planning Practice and Research, 2013, 28(3): 307–322.
- [31] Kempton Y, Salvati L, Vardopoulos I. Long-term planning and development for urban and regional inclusion, safety, resilience, and sustainability. Insights from Singapore [J]. Region & Periphery,

- 2023, 14(14): 59–79.
- [32] Standohar-Alfano C D, Estes H, Johnston T, et al. Reducing losses from wind-related natural perils: Research at the IBHS research center [J]. *Frontiers in Built Environment*, 2017, 3: 9.
- [33] Ba R, Deng Q, Liu Y, et al. Multi-hazard disaster scenario method and emergency management for urban resilience by integrating experiment–simulation–field data [J]. *Journal of Safety Science and Resilience*, 2021, 2(2): 77–89.
- [34] Horiuchi T, Ohsaki M, Kurata M, et al. Contributions of E-defense shaking table to earthquake engineering and its future [J]. *Journal of Disaster Research*, 2022, 17(6): 985–999.
- [35] Cui F, Lai X, Cao J, et al. Exploration technology of sound wave and electromagnetic wave united optical imagining verification for evaluating stability of mining roadway in steeply dipping coal seams [R]. Shanghai: SINOROCK 2013 3rd ISRM Symposium on Rock Mechanics, 2013.
- [36] Dallaire P L, Garneau M. The use of a ground-penetrating radar (GPR) to characterize peat stratigraphy and estimate the carbon pool in a boreal peatland, Eastmain region, James bay, Quebec, Canada [R]. Birmingham: 12th International Conference on Ground-Penetrating Radar, 2008.
- [37] Carcione J M, Karczewski J, Mazurkiewicz E, et al. Numerical modelling of GPR electromagnetic fields for locating burial sites [J]. *E3S Web of Conferences*, 2017, 24: 01002.
- [38] Benedetto A, Tosti F, Ciampoli L B, et al. GPR applications across engineering and geosciences disciplines in Italy: A review [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2016, 9(7): 2952–2965.
- [39] 袁宏永, 章翔, 黄丽达, 等. 城市生命线安全工程关键技术研究进展 [J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2024, 49(8): 1251–1263.
- Yuan H Y, Zhang X, Huang L D, et al. A review of progress of key technologies for urban lifeline safety engineering [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2024, 49(8): 1251–1263.
- [40] Alperen M J. *National incident management system (NIMS)* [M]. Hoboken: Wiley, 2011.
- [41] 曹海峰. 欧盟重大突发事件应急协调机制及其借鉴 [J]. *中州学刊*, 2016 (12): 60–67.
- Cao H F. EU coordination mechanism in emergency management and its successful experiences [J]. *Academic Journal of Zhongzhou*, 2016 (12): 60–67.
- [42] Yuan H Y, Huang L D, Chen T, et al. Key technologies of the emergency platform in China [J]. *Journal of Safety Science and Resilience*, 2022, 3(4): 404–415.