

· 专题一:石油矿业安全领域学科发展(矿业与安全工程) ·

我国安全科学与工程学科“十四五”发展战略研究

范维澄¹ 苗鸿雁² 袁亮^{3,4} 周福宝^{4*}
张来斌⁵ 刘乃安⁶ 钟茂华¹

1. 清华大学 公共安全研究院,北京 100084
2. 国家自然科学基金委员会 工程与材料科学部,北京 100085
3. 安徽理工大学 安全科学与工程学院,淮南 232001
4. 中国矿业大学 安全工程学院,徐州 221116
5. 中国石油大学(北京) 安全与海洋工程学院,北京 102249
6. 中国科学技术大学 火灾科学国家重点实验室,合肥 230026

[摘要] 在安全科学与工程学科发展现状与发展布局的基础上,根据学科发展规律与发展态势,结合学科发展的自身特点和未来五年我国经济社会发展的需求,提出了“十四五”期间安全科学与工程学科向公共安全“大安全格局”发展的目标,梳理出 7 项应加强的优势方向、7 项需培育的发展方向、5 项应促进的前沿方向、6 项鼓励交叉的研究方向,并凝练出 5 项“十四五”优先发展领域和 4 项“中长期”(2035)优先发展领域。具体给出了安全科学与工程学科交叉发展与国际合作前沿的具体方向。

[关键词] 安全科学与工程学科;发展战略;“十四五”;学科交叉

DOI:10.16262/j.cnki.1000-8217.2021.06.003

安全科学与工程学科(以下简称“安全学科”)是研究人类生产及生活过程中事故、灾难的发展机理和规律及其预防与应对的科学体系。研究对象为工业生产、自然环境、社会生活等领域的各种事故、灾难。研究内容主要包括事故、灾难的孕育、发生、发展的机理和规律,预防、控制、应急等技术原理和方法,后果及其影响分析、防控方法优化等^[1]。安全学科综合性强,应用领域广(矿业、冶金、化工等),和其他相关学科间存在明显的相互交叉、相互支撑和促进特征,涵盖了公共安全、矿业安全、工业安全、火灾安全、爆炸安全、建筑安全、石油安全、化工安全、交通安全、航空安全、城市安全、安全技术等领域,包含了矿山灾害动力学理论与防控方法、职业危害机制、个体防护与灾害医学、工业爆炸与防治、风险评估与灾害模拟、安全监测预警、灾害综合应急、城市公共安全、地下空间安全、隧道火灾与爆炸等多科学与工程方向^[2,3]。

习近平总书记在中央政治局第二十六次集体学习时强调,坚持系统思维,构建大安全格局。安全学



范维澄 中国工程院院士、清华大学公共安全研究院院长。国家减灾委专家委员会委员、国务院学位委员会“安全科学与工程”一级学科首届评议组召集人、国家中长期科技发展规划(2021—2035)战略研究公共安全专题专家组组长、十三五科技部重点研发计划重点专项“公共安全风险防控与应急技术装备”和“科技冬奥”专家组组长、住建部城市安全与防灾减灾专业委员会主任、工信部安全产业联盟理事长、全国公共安全基础标准化技术委员会主任委员。主要研究领域:公共安全动力学演化、风险评估、监测监控、预测预警与应急管理的理论、技术及其综合集成;火灾动力学与防治技术。获国家科技进步奖一等奖 1 次,二等奖 2 次;国家级教学成果一、二等奖各 1 次;全国五一劳动奖章、亚澳火灾科学技术学会首届终身成就奖、2018 年度国际埃蒙斯奖。



周福宝 中国矿业大学教授、博士生导师。长江学者特聘教授、国家杰出青年科学基金获得者、国务院学位委员会“安全科学与工程”一级学科第八届评议组联合召集人,“煤矿瓦斯与煤自然防治”教育部创新团队带头人。主要从事工矿安全与职业健康方向研究。承担国家重点研发计划项目、国家自然科学基金多项课题,获国家科技成果奖二等奖 4 项,第一完成人授权发明专利 58 件,以第一/通讯作者发表论文 100 余篇,获中国工程院光华工程青年奖、腾讯科学探索奖、国家有突出贡献的中青年专家等。

收稿日期:2021-07-02;修回日期:2021-09-07

* 通讯作者,Email: f.zhou@cumt.edu.cn

本文受到国家自然科学基金项目(51942402)的资助。

科逐步面向公共安全的大学学科发展,概括了自然灾害、事故灾难、公共卫生事件、社会安全事件等各个方面。突发事件的发生有孕育、发展、突变、成灾的过程,需要精准把握突发事件发生发展的机理和规律,并以此为依据,进行风险评估与预防、监测预测预警、应急处置与救援、恢复与重建,实现有效防灾减灾。因此,需要健全公共安全体系,织密公共安全防护网^[4]。

在科技上,发展公共安全综合风险评估、综合防灾和安全规划等技术,研究重大基础设施风险管控等理论方法体系和技术标准,构建全方位、立体化、多维度的灾害综合治理一体化安全网,提升公共安全的风险预防和管控能力。在管理上,需要推动公共安全领域的相关部门协同管理、相互配合,提高预警和联动响应、应急处置能力;提升人民群众的安全意识,将国家的公共安全决策转化为全民维护公共安全的实际行动^[4-7]。

目前,我国社会正处于高速发展期,工业化、城市化进程快速推进,产业不断转型升级,安全学科向公共安全的新发展更加显著,新的安全事故、灾难易发领域及职业危害增加,且伴随全球科技化、数据化和智能化深入推进,多学科与技术变革融合成为必然趋势^[8-11],在大安全格局下快速发展公共安全领域,致使安全学科不断突破传统学科的局限,进入了全新的发展阶段。在我国“十四五”发展阶段初期,积极探索安全学科的发展方向和发展重点,尤其围绕建设公共安全体系和防护网的核心内容,确定符合我国国情的安全科学与工程学科的“十四五”发展战略,对促进我国安全科学与工程学科更快、更好的发展具有重要意义。

1 安全学科的发展特点和趋势

安全科学与工程学科虽然是一门新兴的综合性交叉学科,但我国在事故、灾难致灾机理、发展规律及其防治等方面的研究随着国家科技水平的提高越来越得到重视和发展。截至2020年,我国开设过“安全科学与工程”类本科专业的高校已有180多所,全国有硕士点66个、博士点27个(图1),每年招收本科生、硕士生、博士生分别约为6000名、1200名和220名,高层次专业化人才队伍已具规模。特别是近年来,我国在一些典型行业事故、灾难的发生、发展规律和致灾机理等方面取得了较为系统深入的研究成果。如在煤矿、建筑和石油等行业、火灾和爆炸等事故防治方面的研究,处于国际先进或领先水平,并引领若干研究方向。目前,我国建有安全领域直接相关的国家重点实验室共9个:中国矿业

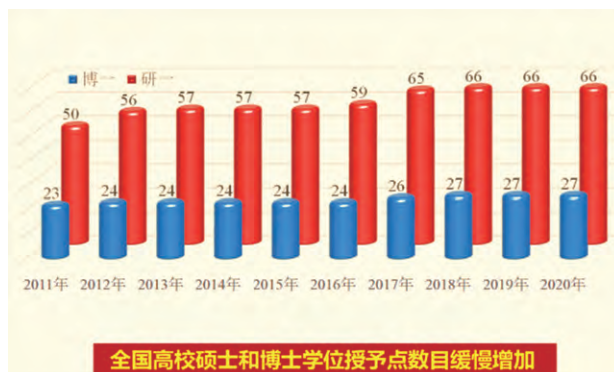


图1 安全学科硕博学位授予点数变化规律

大学“煤炭资源与安全开采国家重点实验室”、中国科技大学“火灾科学国家重点实验室”、北京理工大学“爆炸科学与技术国家重点实验室”、重庆大学“煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室”、北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室、中煤科工集团沈阳研究院煤矿安全技术国家重点实验室”、安徽理工大学“深部煤矿采动响应与灾害防控国家重点实验室”、中国石化青岛安全工程研究院“化学品安全控制国家重点实验室”、中煤科工集团重庆研究院“瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室”。此外,还包括中国安全生产科学研究院、清华大学公共安全研究院、中钢集团武汉安全环保研究院、徐州国家安全技术产业园、安全与应急国家技术创新中心(筹)等多个研究院所。另有多个省部级、校级重点实验室或研究中心等,共同构成了安全科学与工程的研究体系。

安全科学与工程学科既不单纯属于自然科学领域,也不单纯属于社会科学领域,其具有很强的学科综合交叉性^[12]。安全科学与工程的应用领域涉及到社会文化、公共卫生、行政管理、检验检疫、能源、消防、冶金、矿业、石油、土木、交通、运输、航空、机电、食品、生物、农业、林业等多个行业乃至人类生产和生活的各个领域^[13],并且与上述各学科相互交叉。具体单从自然科学范畴来看,本学科应归属于矿业、冶金与安全领域,和其他与安全相关的学科之间亦存在明显的相互交叉、相互支撑和促进特征。

(1)“复杂性”成为安全学科未来发展所面临的严峻挑战。

安全科学与工程学科是从矿业工程的二级学科(安全技术及工程)发展成为一级学科,因此,按照学科发展脉络以矿山安全为起点,发展面向冶金、石油、化工、材料等工业生产为导向的生产安全、面向包括矿山安全在内的工业生产职业危害因素(如粉尘、高温、噪音等)防治为导向的职业危害防控,并结

合矿山地下工程学科优势拓展到城市地下空间和隧道(如海底隧道、川藏铁路等)、地铁、城市燃气管道、城市水源等重大基础设施安全。此外,风险评估、监测预警和应急救援是安全科学与工程学科共性的内涵和研究基础。上述研究领域和研究内容形成了安全科学与工程学科的纵向和横向脉络,系统复杂性成为安全学科发展的新挑战(图 2)。我国安全学科在矿产资源方面已从浅部向深部开采新问题延伸,灾害重心从矿井瓦斯、火向通风和职业危害偏移、从矿业安全向城市地下空间安全扩展、从事后灾害治理向事先风险评估和监测预警发展(图 3)。

(2)“新技术融合”成为安全学科未来发展所需解决的重要难题

当前以物联网和智能制造、智能控制为主导的工业变革,正在深刻影响今后的全球工业产业布局。信息化、智能化、绿色化迅速向各学科领域渗透^[14],带动产生各种新的活动领域和合作形式。安全学科逐步呈现系统复杂性、多灾种耦合性和大数据性、安全控制技术由灾害治理向风险评估和监测预警前移,安全应急救援逐步呈现远程化和智能化。因此,以信息化、智能化、绿色化为创新驱动的新技术融合发展将极大提升安全学科的原始创新力,是学科未来发展急需解决的重要难题。

(3)“多领域交叉”成为安全学科未来发展的必然趋势

安全科学与工程学科本身是一门新兴的综合性交叉学科,涉及公共安全、矿业安全、工业安全、火灾安全、爆炸安全、建筑安全、石油安全、化工安全、交

通安全、航空安全、城市安全、安全技术的 12 个领域,在多灾种耦合致灾演化机制、风险评估与灾害模拟、安全监测预警、灾害综合应急等关键理论与技术上,各领域相互重叠交叉,因此进行“多领域交叉”成为安全学科各领域未来协同发展的必然趋势。

2 “十四五”发展目标及优先领域

根据国内外安全工程学科发展的趋势和需要解决的科学问题,加强安全工程学科基础理论研究,形成支撑安全工程智能化的基础理论体系,加强相关理论、学科、技术等交叉,实现安全科学理论系统化、安全工程技术智能化、人才平台国际化。产出一批国际领先的安全科技成果,培养成一批国际知名的安全工程科学学者、专家、学术带头人,建成一批国际一流的安全工程学院平台,广泛推进国际性学术交流,引领世界安全工程学科发展。

(1)完善安全科学与工程学科体系,满足社会发展的需求,形成完善的中国特色社会主义学科标准理论与人才培养体系,并逐渐被世界各国采纳。进一步完善的学科知识体系、知识结构,初步建成科学合理的本科、硕士和博士培养目标和培养方案,适应我国社会发展对安全人才的需要。优化合并或新建相关的学科方向,推动安全学科的持续创新发展。建设完成安全科学、安全技术、安全系统工程、安全应急与管理、职业安全健康等方向完善的科学理论体系和成熟的学科人才培养机制。形成 15~20 个创新研究群体,在清华大学、中国科学技术大学、中国矿业大学、中南大学、中国石油大学(北京)以及其他科研院所形成具有一流创新能力的研发队伍。建设完成一批适用于各行业安全相关的技术、管理标准。

(2)产出一批重大科研成果,原始创新能力大幅度提升。从风险评估、监测预警、综合应急、安全防护上,在地下空间生产与利用、生产安全、重大基础设施安全保障等方面形成成熟的科学理论和技术体系,产出对安全科学与工程学科发展具有推动作用的重大科研成果;建立跨区域大尺度火灾动力学理论与防控方法,形成公共安全综合保障的关键理论及技术,建设国际一流的生产过程安全综合保障技术平台,形成公共安全智能防控理论与技术^[4-7]。在风险评估与预防技术、监测预测预警技术、应急处置与救援技术、综合保障技术等方面取得重大突破,构建安全技术体系^[15-17],建立突发事件条件下地下空间灾害演化平台,形成公共安全生命线安全保障技术体系,城市公共安全防护与应急进入智慧化阶段^[18, 19]。

(3)培养一批优秀人才,国际影响力显著提升。

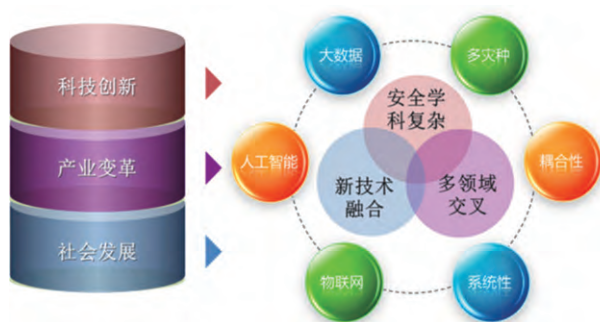


图 2 安全学科发展规律

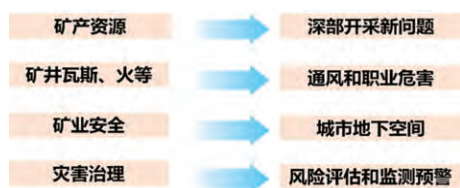


图 3 安全学科发展态势

加强安全科学与工程人才培养力度,培养 30~50 名在国际上有影响力的科学家。加强人才的国际合作与交流,提升我国科学家的国际影响力。

(4) 建设国际一流的研究基地,科研条件显著改善。充分发挥国家重点实验室、高校和研究院所在基础研究方面的优势,加强研究平台建设,建立 8~10 个具有国际影响力水平的安全科学与工程研究基地,开展国际交流与合作。另外,我国目前安全科学的研究已走向跨部门、跨专业、跨地区的联合模式,加强科技资源的整合,提高安全科学领域组织重大科技活动的能力。

在安全学科发展现状与发展布局的基础上^[20],根据安全学科发展规律与发展态势,结合安全学科发展的自身特点和未来五年我国经济社会发展的需

求,提出了“十四五”期间安全学科发展目标。根据矿业与冶金学部中安全学科的发展特点,在矿山瓦斯、煤岩动力灾害、矿井火灾与水害、监测预警,地铁火灾与化学品安全防控方面提炼了 7 项优势方向;根据我国安全学科发展不足,提炼出地下空间智能通风与灾害精准预警理论与技术等 7 项薄弱方向;根据我国安全学科发展趋势和社会经济需求,提炼出多灾种耦合孕灾演化机制及智能防控理论等 5 项前沿方向;根据我国安全学科发展需求,提炼出地下空间重大事故防控理论与技术等 6 项交叉方向(图 4~图 7)。

根据未来 5~15 年我国经济社会发展需求层次和科技发展水平,从上述发展方向中,凝练出 5 项“十四五”优先发展领域和 4 项“中长期”(2035)优先发展领域,如图 8、图 9 所示。

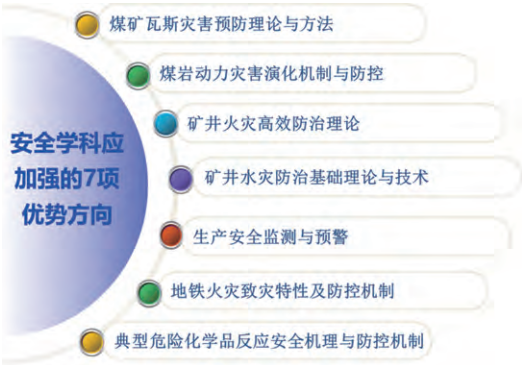


图 4 “十四五”期间我国安全学科应加强的优势方向



图 5 “十四五”期间我国安全学科应扶持的薄弱方向



图 6 “十四五”期间我国安全学科应促进的前沿方向

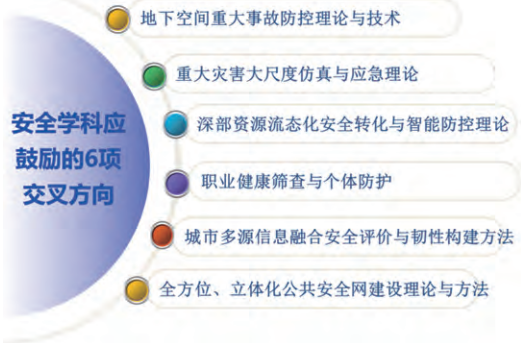


图 7 “十四五”期间我国安全学科鼓励交叉的研究方向



图 8 “十四五”优先发展领域



图 9 “中长期”优先发展领域

3 安全学科交叉发展与国际合作前沿

3.1 地下空间重大事故防控理论与技术

随着世界经济的持续发展,地下工程(城市地下空间开发与利用、矿山资源深部开采)已成为未来世界工程建设的重点和发展趋势^[21, 22]。在这些地下空间工程建设中,由于建设规模大、地质条件复杂,岩爆、突水、地表沉陷、冲击地压、热动力灾害(火灾与爆炸)等灾害事故频发,造成重大人员伤亡和经济损失。地下工程重大灾害孕育演化规律与成灾机制、监测预警技术、关键控制理论与技术等已成为地下工程面临的关键科学与技术难题。通过多学科交叉与融合探究地下工程重大事故防控理论与技术,对于推动我国乃至世界地下空间风险评估、灾害预测预报、安全防控的新理论、新方法、新技术的创新与突破具有重要战略意义。

由于地下工程中的复杂地质特征,地下工程中的重大事故灾害防控理论与技术是世界各国必须共同面对的重大问题。发达国家高度重视并不断加强地下工程重大事故灾害风险防控科技创新能力建设,主要表现在:负责地质条件下事故灾害风险识别评估与预警理论模型持续发展,地下工程建设与生产智能化能力不断提高;事故灾害全过程信息感知技术不断完善,高精度、多维动态数据获取能力持续提升;重大事故灾害防控技术装备不断发展。目前,我国在地下工程建设和安全保障技术方面位居世界前列,当前我国在地下工程建设与生产中重大事故的防治与应急管理、风险评估、预测预报等安全科技得到了快速发展,应急处置能力不断提升。

在地下空间风险评估方面:与发达国家相比,我国尚需在多灾种致灾理论、多技术协同防灾及其影响机制等方面开展系统、深入的研究^[23]。目前,国内外学者对于事故、灾难的研究大都局限于单个灾种,对多灾种共同作用导致的事故、灾难的发生机理、发展规律及其预测预报、风险评估理论等方面的研究甚少,尚缺乏系统的知识结构和完整的理论体系;单个灾种的信息数据库及其背景数据库比较完善,但多个数据库数据共享、信息融合,特别是大数据挖掘分析等方面的研究开展较少,尚缺乏数据共享机制及信息融合与分析方法等。此外,多参数耦合作用下事故、灾难的致灾机理和发展规律等方面的研究亦需得到重视。我国社会经济发展面临的安全问题不但涉及面广、影响因素复杂,且仍会有新问题不断出现,这就要求该学科必须面向我国社会经济发展的主战场,进一步加强学科建设,培养更多亟

需的高层次人才;持续锐意创新,深化认识各类事故、灾难的致灾机理和发展规律,完善相关理论和模型,特别是重视新问题、新情况的研究。

在城市地下空间开发利用方面:我国城市地下空间开发系统性仍旧不足^[24-28],且目前主要集中于浅表层地下空间,对于地下空间的竖向分层规划尚无明确思路,导致整体空间利用效率低,严重影响城市未来地下空间开发潜力。目前,上海、北京,提出了开发利用深层地下空间的需求,城市深地空间利用面临复杂地质条件带来的各类安全和污染难题,因此开展城市深地空间利用安全关键技术研究是我国大城市立体空间综合利用的关键,具有很重要战略价值。

地下空间重大事故防控理论与技术的主要目标是阐明城市地下工程建设与矿山深部资源开采的重大事故灾害耦合成灾机制,推进复杂地质条件下灾情隐患超前识别、灾中快速准确预测预警和高效应急处置技术发展,建立城市燃气管道等地下重大基础设施安全防控平台,形成深部资源开采的复合动力灾害、热动力灾害的防控体系。培养一批高素质地下空间重大事故防控研究队伍,建设一定数量的地下空间重大事故防控理论与技术研发平台。主要包括以下5个主体方向。

(1) 地下有限空间次生—衍生与多灾种耦合致灾机理和动力学演化;

(2) 多灾害(火灾、水灾、地震等)作用下,深层地下空间的结构安全与人员逃生;

(3) 地下空间的智能化预防监控、灾害预警、快速反应、应急决策与快速救援关键理论;

(4) 城市地下空间基础设施(城市燃气管道等)风险评估、安全运行与安全保障理论;

(5) 城市深地空间生命线安全保障技术。

3.2 事故灾害大尺度模拟与仿真实验

安全事故的模拟与仿真可以解决复杂大系统问题及安全隐患^[29]。在安全专业涉及模拟与仿真的领域主要有火灾模拟、爆炸模拟、泄漏模拟、扩散模拟及设计模拟。安全模拟与仿真学科发展前景广阔,尤其伴随着数字孪生,在未来的感知研究、人机交互界面、高效软件和算法、廉价模拟仿真硬件系统以及智能虚拟人—机—环境都有广阔的发展前景。

重大灾害大尺度仿真与应急理论研究通过计算机、多媒体GIS等技术对各类重大灾害发生过程、演化机制、影响因素和危害程度以及应急控制措施进行分析和评估。重大灾害大尺度仿真与应急理论研究有利于对重大灾害的监测监控、制定减灾战略、优化救灾和重建资源的分配,科学决策抗灾救灾,对保

护人民群众的生命和财产安全具有重要意义。主要包括以下6个主要研究方向。

(1) 灾害链的时空尺度演化与量化表征。

(2) 工业生产系统点、线、面灾害事故情景构建方法。

(3) 重大灾害演化、基础设施风险评估与安全保障理论。

(4) 城市/城市群关联基础设施系统的相互关联关系、级联失效机理和大尺度仿真技术。

(5) 多灾种综合风险评估框架及灾情风险评估指标体系。

(6) 多灾种动态演化的灾害仿真方法及平台。

3.3 重大安全事故综合应急响应理论与处置方法

随着经济发展和人类活动增加,重大事故风险加剧,灾害损失呈现上升趋势。国内外实例表明,快速、高效的应急响应体系和科学的应急处置技术是降低人员伤亡和财产损失的有效途径。随着我国社会、经济、文化、政治的不断发展,防灾减灾越来越成为民生改善、社会和谐的重要保障。在全球变化背景下,重大事故风险加剧,开展应急响应体系及处置技术是减少事故损失的关键,是构建国家公共发展战略需要^[1, 3, 4]。国外对重大事故应急响应已有显著成果。美国、澳大利亚、日本等建立不同等级的应急响应联动体系,应急资源信息系统,快速、高效的应急响应系统为应急救援与现场处置、应急资源调配提供了技术支撑。

重大事故应急响应研究的关键科学问题是重大事故应急救援动态响应体系、多层次应急资源统筹优化配置、重大事故应急响应辅助决策等关键科学;应急管理理论与快速响应机制;重大灾害事故跨部门、跨区域综合协同联动应急与疏散保障基础理论;重大事故应急保障能力评价理论与方法;信息化和智能化预防监控、快速反应和应急决策方法等。其主要研究内容如下。

(1) 重大事故应急救援动态响应理论与方法;重大事故应急规划与预案设计方法;重大事故优化处理逻辑方法;重大事故跨部门、跨区域应急协同联动机制;重大事故应急救援数据库及信息动态管理系统。

(2) 多层次应急资源统筹优化配置理论与方法;多灾种耦合应急资源需求预测;多层次应急资源统筹优化配置理论、模式和智能优化算法。

(3) 重大事故应急响应辅助决策系统;重大事故应急响应动态信息采集技术;重大事故应急响应态势评估理论与方法;不完全信息下重大事故应急资源动态调度理论与方法;重大事故应急保障能力评价理论与方法。

4 主要结论

根据安全学科发展特点和国内外安全学科发展趋势,可以得出以下几点结论:

(1) 安全学科包含了矿山灾害动力学理论与防控方法、职业危害机制、个体防护与灾害医学、工业爆炸与防治、风险评估与灾害模拟、安全监测预警、灾害综合应急、城市公共安全、地下空间安全、隧道火灾与爆炸等多科学与工程方向。

(2) 我国安全学科在矿产资源方面已从浅部向深部开采新问题延伸、从矿井瓦斯、火等灾害向通风和执业危害偏移、从矿业安全向城市地下空间安全扩展、从灾害治理向风险评估和监测预警发展。

(3) 安全学科逐步呈现系统复杂性、多灾种耦合性和大数据性、安全控制技术由灾害治理向风险评估和监测预警前移,安全应急救援逐步呈现远程化和智能化。在多灾种耦合致灾演化机制、风险评估与灾害模拟、安全监测预警、灾害综合应急等关键理论与技术上,各领域相互重叠交叉。信息化、智能化等新技术融合和多领域交叉成为安全学科发展和原始创新力提升的必然趋势。

(4) 地下空间重大事故防控理论与技术是学科交叉融合的一个具体方向,是提升我国工业及城市化进程安全的重要保障。事故灾害大尺度模拟与仿真实验、重大安全事故综合应急响应理论与处置方法是促进我国建设“世界一流安全学科”重要的国际合作前沿方向。

参 考 文 献

- [1] 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部. 冶金与矿业学科发展战略研究报告(2016~2020). 北京: 科学出版社, 2017.
- [2] 茹继平. 建筑、环境与土木工程: 国家自然科学基金委员会、中国科学院 2011~2020 学科发展战略研究专题报告集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [3] 国家自然科学基金委员会, 中国科学院. 未来 10 年中国学科发展战略. 北京: 科学出版社, 2012.
- [4] 范维澄. 织密公共安全防护网. 巴中日报, 2021-01-08(06).
- [5] 范维澄. 推进国家公共安全治理体系和治理能力现代化. 人民论坛, 2020(33): 23.
- [6] 范维澄. 应急产业研究: 一个新的开始. 北京日报, 2020-05-11(12).
- [7] 范维澄. 公共安全与应急管理的科技创新. (2020-04-06)/[2021-12-10]. <https://k.cnki.net/CInfo/Index/3037>.
- [8] Mcmurtry A. The complexities of interdisciplinarity: integrating two different perspectives on interdisciplinary research and education. Complicity: An International Journal of Complexity and Education, 2011, 8(2): 19—35.
- [9] 原帅, 黄宗英, 贺飞. 交叉与融合下学科建设的思考——以北京大学为例. 中国高校科技, 2019(12): 4—7.

- [10] 董樊丽, 张兵, 聂文洁. 高校学科交叉融合创新体系构建研究. 科学管理研究, 2019, 37(6): 18—23.
- [11] 新华社. 国务院印发《“十三五”国家科技创新规划》. (2016-08-08)/[2021-12-10]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-08/08/content_5098259.htm.
- [12] 国家自然科学基金委员会政策局. 筑科技强国之基(国家自然科学基金“十三五”发展战略研究报告). 北京: 科学出版社, 2017.
- [13] 吴超. 安全学科体系构建综述研究. 安全, 2019, 40(1): 7—13.
- [14] 克劳斯·施瓦布. 第四次工业革命转型的力量. 北京: 中信出版集团, 2016.
- [15] 范维澄. 安全韧性城市发展趋势. 劳动保护, 2020(3): 18—23.
- [16] 范维澄. 落实新理念 实现新目标——《安全生产“十三五”规划》解读. 劳动保护, 2017(3): 12—15.
- [17] 范维澄. 公共安全科学多维技术思考. 中国信息化周报, 2017-01-02(07).
- [18] 范维澄. 构建智慧韧性城市的思考与建议. 中国信息化周报, 2015-11-23(07).
- [19] 范维澄, 晓讷. 公共安全的研究领域与方法. 劳动保护, 2012(12): 70—71.
- [20] 范维澄, 陈涛. 国家应急平台体系建设现状与发展趋势. 中国突发事件防范与快速处置优秀成果选编. 2009: 204—206
- [21] 范维澄, 刘奕, 翁文国. 公共安全科技的“三角形”框架与“4+1”方法学. 科技导报, 2009, 27(6): 3.
- [22] 钱七虎. 利用地下空间助力发展绿色建筑与绿色城市. 隧道建设(中英文), 2019, 39(11): 1737—1747.
- [23] 钱七虎, 戎晓力. 中国地下工程安全风险管理的现状、问题及相关建议. 岩石力学与工程学报, 2008(4): 649—655.
- [24] 孙钧. 国内外城市地下空间资源开发利用的发展和问题. 隧道建设(中英文), 2019, 39(5): 699—709.
- [25] 朱合, 骆晓, 彭芳乐, 等. 我国城市地下空间规划发展战略研究. 中国工程科学, 2017, 19(6): 12—17.
- [26] 谢和平, 高明忠, 高峰, 等. 关停矿井转型升级战略构想与关键技术. 煤炭学报, 2017, 42(6): 1355—1365.
- [27] 易荣, 贾开国. 我国城市地下空间安全问题探讨. 地质与勘探, 2020, 56(5): 1072—1079.
- [28] 林坚, 黄菲, 赵星烁. 加快地下空间利用立法, 提高城市可持续发展能力. 城市规划, 2015, 39(3): 24—28.
- [29] 姚光耀, 杨培中, 谈迅. 基于大涡模拟和线性规划的火灾重构方法研究. 系统仿真学报, 2015, 27(7): 1418—1425, 1434.

Development Strategy of Safety Discipline in China during the 14th Five-Year Plan Period

Fan Weicheng¹

Miao Hongyan²

Yuan Liang^{3, 4}

Zhou Fubao^{4*}

Zhang Laibin⁵

Liu Na'an⁶

Zhong Maohua¹

1. Institute of Public Safety Research, Tsinghua University, Beijing 100084

2. Department of Engineering and Material Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085

3. School of Safety Science and Engineering, Anhui University of Science & Technology, Huainan 232001

4. School of Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116

5. College of Safety and Ocean Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249

6. State Key Laboratory of Fire Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026

Abstract Based on the current situation and layout of the development of the safety discipline, according to its development law and development trend, combined with the characteristics of the development of the safety discipline and the needs of China's economic and social development in the next five years, the development goals of safety discipline to the “big security pattern” of public safety during the 14th Five-Year Plan Period are put forward. It puts forward seven advantageous strengthened directions, seven nurtured development directions, five promoted frontier directions, six encouraged cross-research directions, and summarizes five priority development areas in the 14th Five-Year Plan Period and four medium and long term (2035) priority development areas. The specific direction of the cross-development of security disciplines and the frontiers of international cooperation are given.

Keywords safety discipline; development strategy; 14th Five-Year Plan Period; interdisciplinary

(责任编辑 吴征天)

* Corresponding Author, Email: f. zhou@cumt.edu.cn