• 自然灾害防治体系 •
DOI: 10.3724/BNSFC-2025-0029

自然灾害风险调控管理体系研究进展、趋势与突破途径*

第宝锋[1**] 何春阳[2] 刘 冬[3] 骆晓龙[1] 庄建琦[1]

1. 四川大学—香港理工大学 灾后重建与管理学院,成都 610207
2. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室,北京 100875
3. 西安科技大学 建筑与土木工程学院,西安 710054

[摘 要] 针对我国自然灾害频发、承灾体脆弱性高、系统韧性不足等问题,本文系统探讨了自然灾害风险调控管理体系的研究进展、趋势与突破途径。研究基于“人—灾—地”协同的风险调控管理需求,提出了涵盖理论、技术与国家三大体系的综合治理框架。理论体系包括全周期闭环灾害风险系统理论、三生空间协同韧性提升理论与多主体参与式调控管理理论;技术体系包括国土空间韧性规划技术、社区风险调控减灾技术与人群响应能力提升技术;国家体系包括灾害防治法律法规与技术标准体系、跨域跨级跨部门联动调控体系与全域韧性的城乡灾害智能管理体系。研究进一步凝练了多尺度灾害风险系统的跨层级传导机制与调控路径、复杂承灾体系统的动态脆弱性演化规律与协同韧性机理、多主体协同治理中的利益均衡机制与集体行动逻辑等关键科学问题,以及基于复杂系统理论的灾害风险级联建模与断链减灾、面向协同韧性的承灾体智能优化与自适应调控、基于演化博弈的多主体协同机制与智能治理、社区层面的分布式自组织减灾创新体系等关键突破方向。研究成果为构建覆盖全面、响应高效、社会协同的现代化灾害风险调控管理体系提供了理论支撑与实践指导。

[关键词] 自然灾害;风险治理;风险调控;韧性减灾;多主体协同

1 背景与意义

当前,全球极端灾害与复合链生灾害事件频发,其强度、频次和复杂性不断突破历史记录,超越既有防治标准与科学认知,呈现突发性、群发性和链生性等新特征。城市(群)、重大基础设施、生命线工程、复杂结构超大型建筑以及新型人地系统正面临深度不确定性挑战。我国作为世界上受自然灾害影响最严重的国家之一,灾害种类多、分布地域广、发生频率高、造成损失重与灾害风险高仍是基本国情。随着新型城镇化进程进入高质量发展阶段,城市和区域系统的暴露度持续增加、脆弱性愈发凸显,但其整体防灾韧性仍显不足。这一短板对实现科学化、精细化、前瞻性的自然灾害风险调控管理构成严峻挑战,也制约着更高水平平安中国的建设。

我国已基本建成以“统一指挥、专常兼备、反应灵敏、上下联动”为特色的新型应急管理体制,在组织架构、预案体系、救援力量建设等方面取得显著成效,特别是在重特大突发事件的应急响应和救援处置方面展现出强大的动员能力和制度优势。然而,我国的应急管理体系仍处于由“事件响应”向“系统调控”转型的关键阶段。当前瓶颈集中表现为风险前瞻辨识与跨域协同能力不足,部门、区域与层级间存在的信息和资源壁垒尚

收稿日期:2025-07-31; 修回日期:2025-09-22
* 本文根据国家自然科学基金委员会第410期“双清论坛”讨论的内容整理。
** 通信作者,Email:dibaofeng@scu.edu.cn
本文受到国家重点研发计划项目(2023YFE0121900)和国家自然科学基金项目(42377168)的资助。

引用格式: 第宝锋,何春阳,刘冬,等. 自然灾害风险调控管理体系研究进展、趋势与突破途径. 中国科学基金,2025,39(6):950–958.
Di BF,He CY,Liu D,et al. Trends and breakthrough pathways in natural disaster mitigation and management system of China. Bulletin of National Natural Science Foundation of China,2025,39(6):950–958.(in Chinese)

未彻底破除，尤其在极端情景下面临治理碎片化和响应迟滞的潜在风险。

在全球气候变化背景下，复合链生灾害风险持续加剧，对不同区域的灾害防治提出了更系统、更协同的要求。我国的四个一级灾害区在风险类型与防控策略上也各有侧重：华北、东北作为政治经济核心区，需重点防御地震、旱涝和风暴潮等灾害，着力提升重大工程抗震韧性、优化水资源调度并加强海岸带防护；东南地区台风、暴雨及其链生洪涝灾害突出，需建设高标准海堤，完善城市防涝设施，实施高风险区移民搬迁并建立流域联防联控机制；西北地区干旱严重、生态脆弱，在发展节水农业、推进防风固沙工程的同时，应加强水土保持与生态修复，并构建覆盖广、精度高的综合监测网络；西南地区地质活动剧烈，地震及高位远程链生灾害频发，关键在于将活动断层探测和风险评估作为国土空间规划约束，加快建设空—天—地一体化的灾害早期识别与监测预警系统。

因此，亟待加快风险调控管理体系建设，以更好匹配大安全大应急框架下的国家战略需求[1]。需要明确指出，本文所探讨的“风险调控管理”是“风险管理”这一总体范畴中的重要深化和实践分支，同时也是在“风险治理”所提供的顶层制度与多元协同框架下的具体实施范式。其过程涵盖感知识别、预测评估、预报预警、调控治理、应急处置与灾后恢复重建等全链条环节，强调基于对风险形成与演化机理的深刻剖析，实现对灾害风险的主动干预与自适应优化。本文系统梳理了自然灾害全生命周期，耦合“人—灾—地”三大系统，构建理论、技术、国家三大体系的核心内涵框架(图1)，这既是灾害风险科学前沿课题，也是保障人民安全、支撑国家重大战略工程的迫切需求。

2　研究进展与瓶颈

2.1　主要研究进展

当前灾害风险的理论研究主要侧重于破解“理论脱离实践”的核心矛盾，呈现出系统化与集成化趋势。例如，形成了生态减灾技术与空间规划相融合的理念[2]，针对减灾与产业发展脱节等问题，形成了“减灾—产业—生态”协同发展模式[3]，集成生态岩土技术控制灾害规模、新增土地、促进绿色产业[4]；针对规划标准碎片化等问题，形成规划标准整合与韧性用地管控模式，提出用地分类二次定义机制，构建双维用地体系[5,6]；针对土地资源紧张等问题，形成高密度空间功能垂直复合模式，整合避难场所、应急设施与商业/居住功能[7,8]。

技术革命的驱动正使得灾害管理工具从离散化、单点化应用向系统性、智能化解决方案集成。例如，引入复杂系统分析技术构建经济—社会—环境耦合模型[9]，运用熵值法量化非线性作用，解析社区工程偶联效应[10]；结合机器学习进行多指标权重分析与风险路径可视化；创新评估体系如原型指标量化治理整合度[11]；集成无人机倾斜摄影、机器人三维激光扫描及虚拟现实(Virtual Reality，VR)技术实现多灾害数字孪生[12]；运用运动捕捉技术分析人群步态轨迹揭示安全行为机制[13]；使用倾向得分匹配等因果推断技术量化干预措施效果[14]。

在全球层面，灾害风险治理范式正经历从被动响应向前瞻性智慧韧性调控的根本性转型，并通过法治、科技与绿色三大路径构建了全链条、国际化的治理网络。例如，中国的智慧城市灾害感知网络与荷兰的三角洲计划实时水灾预警系统实现了风险全时监控[15,16]；美国的“全社区”应急管理模式致力于精准识别需求，赋权居民参与，整合联邦与地方协作[17]；欧盟莱茵河流域建立

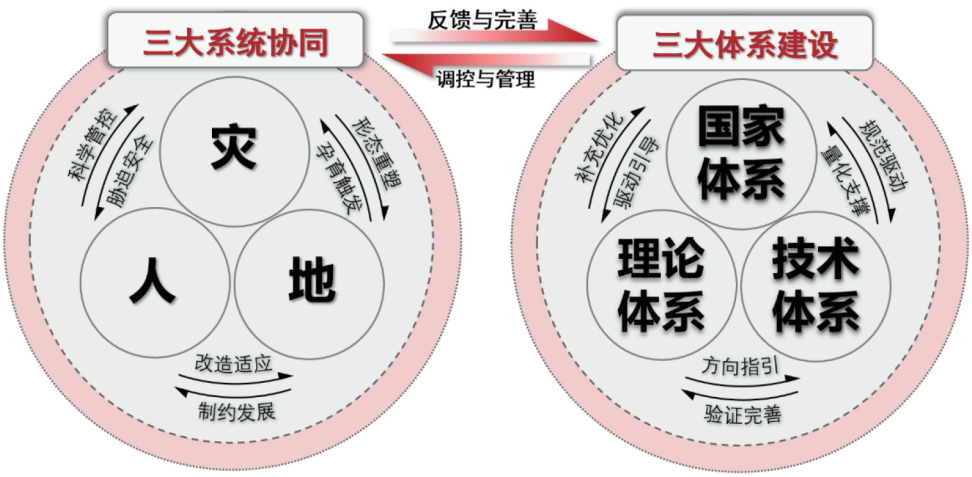


图1 “人—灾—地”系统协同与风险调控管理体系框架

Fig.1 Framework of the “Human-Disaster-Earth” System Synergy and Risk Mitigation and Management System

跨国洪灾联防机制[18]；英国的《民事紧急状态法》推动了应急体系向综合减灾能力转型[19]；日本提出了“自助—共助—公助”的社区治理模式[20]；澳大利亚的“有准备的社区”模式注重社区预案编制及与地方政府的衔接[21]；菲律宾培育居民自主风险评估能力，形成技术赋能与社会参与结合的韧性建设模式[22]。

此外，针对不同类型自然灾害，国际同行也发展了各具特色的风险管理模式。针对洪水灾害，荷兰“还地于河”的防洪计划[23]代表了从“围海造田”到“与水共处”的范式转变，通过防洪安全、空间拓展和生态保护等综合治理手段，改善境内主要河流的流域空间质量，极大提升了区域韧性。美国的国家洪水保险计划[24]通过政府与私营保险公司合作，由联邦紧急事务管理署管理并提供资金支持，强制洪泛区居民参保，以补贴保费方式向符合规划的社区提供洪水保险。针对地震灾害，日本建立了全球最密集的地震监测预警系统[25]，并推行严格的抗震设防标准与全民防灾教育，其“防灾减灾日”和定期演练形成了深厚的韧性文化。针对林火灾害，澳大利亚发展了以“燃料管理”为核心的综合治理策略[26]，包括计划性火烧、建立防火带以及社区参与的“邻里守望”计划，凸显了主动风险管理的重要性。

2.2 现存问题与瓶颈

(1)灾害防治法规体系存在制度惯性、技术局限与协调缺位等问题。管理体制中的制度惯性、技术赋能的应用局限、多元主体利益协调的机制缺位，共同导致灾害防治法律法规与技术标准体系在支撑高效治理方面存在明显不足。其一，部分基础性、综合性和全局性的法律缺位，导致体系呈现散碎化特征，表现为以单灾种立法为主体，缺少覆盖灾害全生命周期、统筹协调多灾种治理的综合性上位法。其二，部分法律法规的针对性和可操作性不强，不同法律规定之间存在不一致、不协调之处，影响管理效率和质量；同时，法规存在“滞后性”问题，更新机制僵化[27]，难以及时吸纳实践经验并有效应对新型灾害风险。总之，当前灾害防治法律法规体系因基础性上位法缺失导致体系“碎片化”，以及现有法规操作性不足、更新滞后难以适应实践需求，共同制约了高效治理的实现。

(2)灾害联动应对存在信息孤岛、跨域矛盾与预案脱节等问题。信息标准互斥致协同失效，跨域权责错配阻碍风险处置，预案僵化难以适应基层需求，这些问题整体削弱了灾害响应效能[28]。特别是关键术语定义模糊，核心数据格式与接口不统一，跨行业部门技术标准冲突，严重制约了信息共享与协同行动，进而形成了“信息孤岛”[29]。在跨域层面，灾害风险的“超辖区化”特性与“属地管理”原则之间存在结构性矛盾，缺乏有效的跨行政区风险处置、信息共享与协同响应机制。在跨级层面，国家标准化应急预案体系难以适应基层差异化的灾害特征与应急需求[30]，存在“上下一般粗”的脱节现象，导致预案缺乏动态适配性，灾情信息传递和资源指令的精准度不足。因此，跨阶段、跨部门存在信息共享壁垒，应急预案与演练情景对复杂灾变适配性不足，灾后评估反馈驱动制度与规划迭代机制薄弱，致使跨域、跨级、跨部门联动调控体系在自然灾害治理上存在显著瓶颈。

(3)全域韧性调控管理存在多环割裂、决策粗放及迭代升级不足等问题。减灾目标与产业发展相脱节、空间规划体系与标准碎片化，使得城乡灾害智能管理体系在支撑全域韧性提升方面存在明显瓶颈[31]。在感知层面，“社区—城镇”多尺度空间与生命线工程系统的风险监测网络覆盖不足且协同性差，城市多源异构数据整合度低，生命线工程关键节点的实时监控与深度预警能力薄弱。在决策层面，调控决策的智能化程度不足、动态灾害情景模拟精度有限，难预判连锁效应与次生风险，导致应急管理缺乏智能匹配与动态优化能力[32]。在机制层面，缺乏“风险识别—策略生成—效果评估—持续优化”闭环进化机制，导致韧性调控迭代升级不足，体系自我完善能力欠佳。因此，监测网络覆盖薄弱形成风险盲区，闭环机制缺失阻碍体系进化，全域韧性不足弱化系统适应是目前的关键瓶颈。

3 自然灾害风险调控管理体系建设研究内容

3.1 理论体系研究内容

理论体系建设以系统科学为基础，融合风险调控方法与可持续发展理念，统筹时间、空间与主体三大维度，旨在构建贯穿“防—减—救”全过程的综合框架，以实现协同优化、动态适应与系统韧性为核心的灾害治理目标(图2)。

(1)时间维度：全周期闭环灾害风险系统理论。该理论基于时间视角，旨在解决“何时治理”与“如何持续优化”问题。它根植于系统科学与应急管理理论，致力于构建覆盖“灾前—灾中—灾后”全周期、“风险判识—应急响应—韧性提升”全环节的动态闭环管理体系，以实现基于动态决策、资源适配与制度迭代的灾害风险治理。具体而言，灾前阶段侧重于强化风险识别评估与韧性建设，以管控风险；灾中阶段着力提升多源信息感知与分级响应能力，以防范多源风险叠加效应；灾后阶段则着力推动物理重建与制度迭代，以提升系统中长期的灾害适应能力。

(2)空间维度：三生空间协同韧性提升理论。该理



图2 自然灾害风险调控管理理论体系

Fig.2 Theoretical System of Natural Disaster Risk Mitigation and Management

论基于空间视角,旨在解决“在何处治理”与“空间如何适配”问题。它植根于人地关系理论,旨在优化“三生”空间的布局、功能与互动关系,构建一个融合社区安全、绿色减灾与生计发展的韧性国土空间利用体系,最终实现“人—灾—地”系统利益的协调一致。在生活空间,需提升居民区建筑与基础设施抗灾设防标准,并优化避难设施布局;在生产空间,应优化产业布局,降低高风险区域产业集中度;在生态空间,要加强保护和修复关键生态区域,从而强化其固有的减灾效能。该理论研究与实践探索强调生态减灾技术集成与空间规划机制创新,形成减灾—生态—产业协同、规划标准整合与韧性用地管控、高密度空间功能垂直复合等区域模式,实现产业绿色发展与灾害风险调控协同。

(3)主体维度:多主体参与式调控管理理论。该理论基于主体视角,旨在解决“谁来治理”与“如何协同”的问题。它植根于制度分析与发展框架(Institutional Analysis and Development,IAD)和社会生态系统框架(Social-Ecological Systems,SES)等理论基础[33,34],旨在构建一个多层级、广覆盖、强韧性的灾害风险治理网络体系,以充分调动和激发社会组织、企事业单位、基层组织、城乡居民群众等各类主体的积极性,最终实现政府引导、市场协同、社会参与、公众行动的多主体治理模式。政府需要强化统筹协调与制度保障职能,市场需要发挥高效配置资源与创新技术应用的作用,社会组织应专注于精准对接需求与促进公众参与,而公众则需要提升自身的风险意识与自救互救能力。例如,通过推行网格化管理,构建资源整合—信息共享—协同响应机制,可以有效提升多元主体的应急响应效率[35];通过打造数字孪生平台,推动物理—社会—数字空间的融合,以辅助风险评估与决策[36];积极探索权责均衡与数据共享机制,通过建立行政管控—社区自治相结合的制度以及跨部门数据共享平台,旨在破解信息壁垒与业务割裂问题。

3.2 技术体系研究内容

技术体系建设面向区域、社区与人群三大尺度,聚焦于空间规划、风险调控与行为响应等关键环节,致力于研发覆盖国土空间韧性优化、社区减灾能力提升和人群临灾响应增强的集成技术系统,旨在为实现精准、高效和全覆盖的风险调控提供核心技术支撑(图3)。

(1)区域尺度:国土空间韧性规划技术。该技术的发展植根于持续深化的多学科融合理论框架与研究视角,其研究视角正从早期侧重单一生态韧性,向“防灾韧性—服务韧性—气候适应”多维度协同转变,并强调将全生命周期韧性管理理念贯穿于规划全过程。在技术方法上:一方面,需探究人工智能等新技术,以构建高时空分辨率的风险诊断能力与面向未来极端环境的多场景风险图谱,从而为空间避险提供核心底图;另一方面,需针对高、中、低等不同等级的多情景风险区,研发基于复杂人地系统的灾害风险评估新技术,并将灾害风险评估与国土空间“双评价”(资源环境承载能力评价、国土空间开发适宜性评价)相结合,构建“双评价—冲突调解”模型,用以识别关键冲突区域,提出韧性发展区的划定规则,最终提升复合型灾害风险的识别精度与动态监测能力。

(2)社区尺度:社区灾害风险调控减灾技术。大量风险与事故灾难隐患存在于基层社区,社区既是各类灾害及突发事件的直接承受者,也是重要的影响者与应对者。社区作为基层风险管理的基本单元,其效能的提升亟待更高效的组织形式和自下而上的主动性。通过科技赋能,可以促进多元主体形成合力,共同构建参与式的社区风险管理模式。社区风险减灾技术可围绕防灾、备灾、应激响应及恢复重建等全过程关键环节,聚焦于多元主体共治下的社区风险知识图谱绘制、避险空间规划、应急响应物资与队伍适配等重点内容,研发低成本、可落地、易操作的实用技术,从而实现自下而上的灾害风险调控。

(3)人群尺度:人群响应能力提升技术。该技术及其理论体系将为精准识别灾时人群状态奠定基础。可运用GPS定位等现代信息通信技术,结合机器学习方法,对应急疏散过程进行动态监测,追踪居民在应激逃



图3 自然灾害风险调控管理技术体系

Fig.3 Technical System of Natural Disaster Risk Mitigation and Management

生演习中的微观行为响应和宏观路径选择,进而分析社区居民临灾疏散的行为响应特征,最终识别出临灾应急疏散的关键环节。通过量化山区居民的灾害应激响应特征,可着力发展沉浸式山地灾害教育模式,例如,构建融合多民族语言的减灾科普知识库,研制山地灾害全场景VR减灾教育设备等,以期人群防灾能力实现“知识触发意识—意识驱动行为—行为固化为习惯—习惯升华为文化”的递进式转化,最终提升社群防灾韧性。

3.3 国家体系研究内容

国家体系建设以法治化、协同化与智慧化为核心导向,旨在构建一个涵盖法规政策、联动调控与智能决策的三层治理结构,从而形成权责明晰、多方协同、智能高效的综合治理框架,最终推动灾害风险防控实现从被动应对向主动调控的体系性转变(图4)。

(1)法律法规体系:灾害防治法律法规与技术标准体系。首先,需制定自然灾害防治综合性法律作为基本法,确立防灾减灾的基本原则与权责体系,并建立法规动态更新机制,通过灾后评估不断优化其内容,确保不同法律之间的良好衔接。其次,应优先制定全国统一的基础技术规范,明确关键的术语定义、数据标准及风险评估方法,通过立法保障数据共享,同时鼓励地方和行业制定差异化的实施细则。同时,巨灾保险作为国家灾害治理的重要金融工具,应建立财政支持下的巨灾风险分摊和管理体系。可考虑先行建立政府支持下的巨灾保险制度,以实现对财政资金的预算管理,并有效配置全社会的防灾资金。最后,需建立跨行政区的生态补偿与风险共担机制,整合各部门的执法资源,探索“一地授权,全域执法”的创新模式,并通过立法提升基层社区在灾害防治中的权限与能力。

(2)协同调控体系:跨域、跨级、跨部门联动调控体系。在跨域协同方面:可构建国家级灾害风险数据资源池,推行“属地采集—跨域建模—分级应用”机制以实现风险的全域感知;建立以灾害发生地主导、波及区域协同响应的法律责任框架,并配套跨域生态补偿和应急资源损耗共担机制。在跨级协同方面:可发展“国家基准框架+地方动态插件”的预案模型,即由国家层面确立通用应急响应基准框架,省、市、县则嵌入本地化策略插件;优化以属地管理为主、上级协调为辅的原则,并依托智能信息平台,实现五级预案的动态匹配与指令协同。在跨部门协同方面:可设立“灾害链阻断联合指挥部”,由应急管理部门牵头整合关键部门的力量与权限,构建联动指挥平台,并利用AI技术实时生成并推送最优处置方案。

(3)智能治理体系:全域韧性的城乡灾害智能管理体系。首先,通过融合物联网传感器、无人机巡检与网格化管理等手段,强化实时监测能力,并利用移动终端实现风险的即时上报与协同处置。构建统一的城市安全风险综合监测预警平台,将其打造为风险数据中枢。同时,部署高密度智能传感网络,以实现对关键基础设施运行状态的实时监控与深度异常预警。其次,可运用数字孪生技术构建高精度灾害演化模型,用于模拟极端情景下

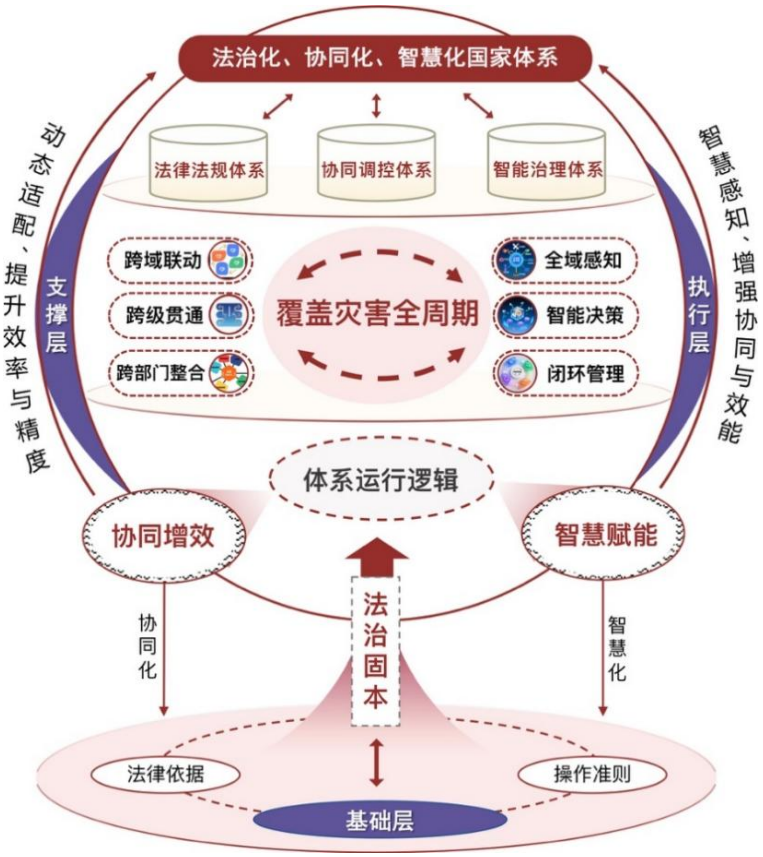


图4　自然灾害风险调控管理国家体系

Fig.4　National System of Natural Disaster Risk Mitigation and Management

的连锁效应与次生风险，从而提升预判能力。利用知识图谱技术对应急预案进行结构化建模，并结合历史案例库与实时数据流，通过智能匹配算法动态推荐最优策略[37]。最后，需构建“风险识别—策略生成—效果评估—持续优化”的全流程闭环：基于大数据挖掘风险因子；依托智能算法赋能决策；引入多维指标量化评估效果；并基于执行反馈数据，迭代更新风险模型与应急预案。

4　未来突破方向

4.1　需要解决的关键科学问题

构建科学有效的自然灾害风险调控管理体系，亟待突破以下三个关键科学问题。

(1)多尺度灾害风险系统的跨层级传导机制与调控路径问题。当前研究多局限于单一尺度评估，忽视了风险在局部社区、城市和区域等不同尺度间的耦合效应。亟需揭示不同尺度间风险传导的临界阈值、非线性突变规律及其关键节点的识别方法，为实现精准阻断和资源优化配置提供理论支撑，从而避免陷入局部治理困境。

(2)复杂承灾体系统的动态脆弱性演化规律与协同韧性机理问题。承灾体脆弱性在“人—灾—地”复杂耦合作用下呈现动态演化特征。必须深入探究其从脆弱性向韧性转化的临界条件、涌现机理以及不同类型承灾体的差异化韧性形成路径。这是实现从被动防灾向主动韧性建设转变的理论基础，对设计提升系统整体抗灾能力的调控策略具有决定性意义。

(3)多主体协同治理中的利益均衡机制与集体行动逻辑问题。灾害治理涉及政府、市场、社会组织、公众等多元主体，各主体间存在着复杂的利益诉求差异。核心挑战在于破解“集体行动困境”，即各主体追求自身利益最大化而导致整体次优结果的问题。需要设计激励相容的制度安排，构建促进深度协作的信任机制，建立协同效能的量化评估方法，从而使各主体利益与整体防灾目标相一致。

4.2　具体建设途径

(1)基于复杂系统理论的灾害风险级联建模与断链减灾技术。承灾体系统呈现多层耦合网络特征，风险通过物理基础设施、社会组织与信息网络之间的复杂交互作用产生级联传播效应。需从根本上突破传统单维度、静态化的分析框架，转向对多网络耦合、级联传播与系统韧性的深层机理探索。重点应聚焦于灾害风险跨领域传导的动力机制与临界规律研究，发展系统级建模与智能预警体系，实现对灾害链路的精准预测与前瞻性干

预。同时,应推动高风险节点识别、关键链路阻断与自适应调控策略的融合创新,支撑构建可应对极端情景的一体化风险治理基础设施。该方向的突破将为国家灾害风险智能防控平台提供理论基石与技术引擎,并在国家重大战略区域开展系统集成与范式推广。

(2)面向协同韧性的承灾体智能优化与自适应调控技术。协同韧性是承灾体系统的一种复杂自组织过程。需建立基于复杂适应系统理论的韧性演化模型,将承灾体视为具有学习、适应与演化能力的智能体,以揭示韧性形成的内在机理。发展融合深度强化学习与演化计算的智能优化技术,用于探索韧性提升最优路径。构建“感知—学习—适应—演化”的自适应调控框架,使系统能够从历史灾害中学习并持续优化自身。通过数字孪生技术建设韧性演化实验室,以构建虚实结合的实验环境。开发基于人工智能的韧性优化算法库,并在不同类型承灾体中开展培育试验,以验证方法的有效性。

(3)基于演化博弈的多主体协同机制设计与智能治理技术。多主体协同治理本质是一种动态演化博弈过程。需构建考虑有限理性、学习能力、社会网络影响的多主体演化博弈模型,用以分析策略在群体中的传播演化规律。设计基于智能合约的分布式协同机制,利用区块链等技术降低协同成本、提高透明度并增强约束力。融合灾害经济学与行为动力学等方法,建立灾害治理行为实验室,开展大规模被试实验研究。开发支持多主体协同的区块链平台及智能合约体系,并在不同地区开展创新试点,以探索适应不同情境的协同模式,验证机制设计的激励相容性及实施效果。

(4)社区层面的分布式自组织减灾创新体系。社区是灾害治理的基本单元,需构建基于复杂性科学的社区自组织理论,以揭示减灾创新生成机制与扩散规律。发展适应本土情境的适宜性减灾技术,并结合传统智慧与现代科技,建立“草根创新—科技赋能—制度保障”创新生态系统,以激发社区内生动力。构建全国社区减灾创新网络,并开发面向社区的减灾技术工具包和能力建设平台。实施创新激励计划,以支持草根创新孵化推广。建立创新评估认证体系,以保障创新质量与可持续性,培育自下而上减灾力量,并与自上而下的制度体系形成良性互动。

5 结 语

构建可推广、高效能的自然灾害风险调控管理体系,是应对重大安全风险、保障民生福祉与提升国家治理能力的关键举措。我国在风险调控管理领域已积累重要基础,正稳步推动由应急响应向全过程管理、由单一灾种防治向系统韧性治理的战略转型。这一转型本质上是以系统思维深化对“人—灾—地”复杂系统相互作用机理的认识与调控,旨在实现三者关系的动态协调与可持续发展。然而,在气候变化与人类活动交织影响的背景下,灾害风险的长期性、复杂性等基本态势仍未改变,亟待实现从传统防灾向现代风险调控的范式转变。未来应坚持以“人—灾—地”系统协同为导向,持续推进理论创新、技术突破与制度协同,全面提升灾害风险治理的整体性和前瞻性。

参 考 文 献

[1] Cui P,Peng JB,Shi PJ,et al. Scientific challenges of research on natural hazards and disaster risk. Geography and Sustainability,2021,2(3):216—223.

[2] 彭建兵,兰恒星. 略论生态地质学与生态地质环境系统. 地球科学与环境学报,2022,44(6):877—893.
Peng JB,Lan HX. Ecological geology and eco-geological environment system. Journal of Earth Sciences and Environment,2022,44(6):877—893. (in Chinese)

[3] 史培军,宋长青,程昌秀. 地理协同论——从理解“人—地关系”到设计“人—地协同”. 地理学报,2019,74(1):3—15.
Shi PJ,Song CQ,Cheng CX. Geographical synergetics:Fromunderstanding human-environment relationship to designing human-environment synergy. Acta Geographica Sinca,2019,74(1):3—15. (in Chinese)

[4] 李明,刘勤,王玉宽,等. 构建山区综合减灾与特色产业协同模式,助力我国山区高质量发展. 中国科学院院刊,2023,38(12):1818—1832.
Li M,Liu Q,Wang YK,et al. Synthetical solution of disaster risk reduction and green development:A novel mode promoting high-quality development in mountain areas of China. Bulletin of Chinese Academy of Sciences,2023,38(12):1818—1832. (in Chinese)

[5] 司马晓,吴晓莉,李启军,等. 空间规划新形势下的地方用地分类标准探索——从《深标》到《雄安新区规划技术指南(试行)》的思考. 城市规划,2022,46(4):63—71.
Sima X,Wu XL,Li QJ,et al. Exploration of local land use classification standards under the new circumstance of spatial planning:Reflections from “Shenzhenurban planning standards and guidelines”to“technical guideline for the planning of Xiong’An New Area (for trial implementation)”. City planning review,2022,46(4):63—71. (in Chinese)

[6] 廖振珍,杨萌,尚晓琪,等. 城市小尺度生态基础设施的设计方法——以雄安新区启动区为例. 生态学报,2021,41(17):7037—7048.
Liao ZZ,Yang M,Shang XQ,et al. Design method of urban micro-scale ecological infrastructure:A case study of promoter regions in Xiong’An New Area. Acta Ecologica Sinica,2021,41(17):7037—7048. (in Chinese)

[7] 黄媛媛,何智荣. 香港滨水空间活力创新营造方法研究——以建设海洋社区为例. 中外建筑,2021(7):68—79.
Huang YY,He ZR. Research on the innovative construction methods of waterfront space vitality in HK:A case of marine communities development. Chinese and Overseas Architecture,2021(7):68—79. (in Chinese)

[8] 杨春侠,詹鸣,梁瑜,等. 山海城交融的城市滨海地区开发议题与策略——以深圳市深汕特别合作区滨海地区为例. 住宅科技,2021,41(7):1—6.
Yang CX,Zhan M,Liang Y,et al. Issues and strategies of development of urban coastal areas,an integration ofmountains,seas and cities:Taking the coastal area of Shenshan Special Cooperation Zone of Shenzhen Municipality as an example. Housing Science,2021,41(7):1—6. (in Chinese)

[9] Luo D,Liang LW,Wang ZB,et al. Exploration of coupling effects in the Economy–Society–Environment system in urban areas:Case study of the Yangtze River Delta Urban Agglomeration. Ecological Indicators,2021,128:107858.

[10] 孔锋,韩淑云,王一飞. 透视我国城市综合灾害防御能力建设及其提升方略. 灾害学,2022,37(1):30—34.
Kong F,Han SY,Wang YF. Perspective on China's urban comprehensive disaster defense capacity building and its enhancement. Journal of Catastrophology,2022,37(1):30—34. (in Chinese)

[11] Sandoval V,Voss M,Flörchinger V,et al. Integrated disaster risk management (IDRM):Elements to advance its study and assessment. International Journal of Disaster Risk Science,2023,14(3):343—356.

[12] 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. Journal of Safety Science and Resilience,2021,2(2):77—89.

[13] Ma Y,Lee EWM,Shi M,et al. Spontaneous synchronization of motion in pedestrian crowds of different densities. Nature Human Behaviour,2021,5(4):447—457.

[14] Wang XH,Peng L,Huang KX,et al. Identifying the influence of disaster education on the risk perception of rural residents in geohazard-prone areas:A propensity score-matched study. International Journal of Disaster Risk Reduction,2022,71:102795.

[15] van Buuren A. The Dutch Delta Approach:The Successful Reinvention of a Policy Success. Great Policy Successes. Oxford:Oxford University Press,2019:201—217.

[16] 陈航,吴卫东. 中国智慧城市灾害应急管理能力成熟度评价研究. 灾害学,2024,39(1):188—194.
Chen H,Wu WD. Evaluation on the maturity of disaster emergency management capability in smart city in China. Journal of Catastrophology,2024,39(1):188—194. (in Chinese)

[17] Koch H,Franco ZE,O'Sullivan T,et al. Community views of the federal emergency management agency's "whole community" strategy in a complex US City:Re-envisioning societal resilience. Technological Forecasting and Social Change,2017,121:31—38.

[18] Corbane C,Eklund G,Gyenes Z,et al. Cross-border and emerging risks in Europe - Overview of state of science,knowledge and capacity. Publications Office of the European Union,Luxembourg,2024,JRC137818.

[19] The planning,design,and governance of sustainable communities in the UK (three) - Securing an Urban Renaissance. Cambridge,UK:Bristol University Press,2007.

[20] Bajek R,Matsuda Y,Okada N. Japan's jishu-bosai-soshiki community activities:Analysis of its role in participatory community disaster risk management. Natural Hazards,2008,44(2):281—292.

[21] Jones R. In search of the 'prepared community':The way ahead for Australia? The Australian Journal of Emergency Management,2013,28(1):17—21.

[22] Florentin KM,Onuki M,Esteban M,et al. Implementing a pre-disaster recovery workshop in intramuros,Manila,Philippines:Lessons for disaster risk assessment,response,and recovery for cultural heritage. Disasters,2022,46(3):791—813.

[23] Rijke J,van Herk S,Zevenbergen C,et al. Room for the river:Delivering integrated river basin management in the Netherlands. International Journal of River Basin Management,2012,10(4):369—382.

[24] Strother L. The national flood insurance program:A case study in policy failure,reform,and retrenchment. Policy Studies Journal,2018,46(2):452—480.

[25] Goltz JD,Roeloffs E. Imminent warning communication:Earthquake early warning and short-term forecasting in Japan and the US. Disaster Risk Communication. Singapore:Springer Singapore,2020:121—153.

[26] Burrows N,McCaw L. Prescribed burning in southwestern Australian forests. Frontiers in Ecology and the Environment,2013,11(s1):e25—e34.

[27] 应松年. 巨灾冲击与我国灾害法律体系的完善. 中国应急管理,2010(9):20—23.
Ying SN. Catastrophic shocks and the improvement of China's disaster legal system. China Emergency Management,2010(9):20—23. (in Chinese)

[28] 梁牧云. 成渝地区双城经济圈应急管理跨域协同研究. 成都:西南交通大学,2022.
Liang MY. Research on cross regional collaboration of emergency management in Chengdu-Chongqing Economic Circle. Chengdu:Southwest Jiaotong University,2022. (in Chinese)

[29] 关凤峻. 构建科学完善的地灾防治标准体系. 水文地质工程地质,2014,41(1):3.
Guan FJ. Establish a scientific and comprehensive standard system for geological disaster prevention and control. Hydrogeology Engineering Geology,2014,41(1):3. (in Chinese)

[30] 张小明. 城市跨域风险协同治理的模式与路径. 人民论坛,2022(22):69—73.
Zhang XM. Models and pathways for collaborative governance of urban cross-jurisdictional risks. People's Tribune,2022(22):69—73. (in Chinese)

[31] 史培军. 完善防灾减灾救灾体系 提升巨灾风险防范能力. 中国减灾,2025(1):20—21.
Shi PJ. Improve the disaster prevention,mitigation,and relief system to enhance capacity for catastrophic risk prevention. Disaster Reduction in China,2025(1):20—21. (in Chinese)

[32] 彭建兵,李振洪. 地学大数据可否助力地质灾害预报? 地球科学,2022,47(10):3900—3901.
Peng JB,Li ZH. Can geoscience big data help with geological hazard forecasting? Earth Science,2022,47(10):3900—3901. (in Chinese)

[33] Ostrom E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. Science,2009,325(5939):419—422.

[34] Ostrom E. Background on the institutional analysis and development framework. Policy Studies Journal,2011,39(1):7—27.

[35] 何继新,付美佳. 网格化管理在社区基层公共服务网络关系中的变迁动力与反思对策. 杭州师范大学学报(社会科学版),2021,43(6):114—123.
He JX,Fu MJ. The change power and reflective countermeasures of grid managementin community's grassroots public service network relations. Journal of Hangzhou Normal University (Humanities and

Social Sciences),2021,43(6):114—123. (in Chinese)
[36] 唐京华. 数字技术驱动科层组织领域化运作的逻辑——基于浙江“基层治理四平台”的案例分析. 治理研究,2023,39(1):40—52,158.
Tang JH. The logic of digital technology driving the territorial operation of bureaucratic organizations:A case Study of the “Four Platforms of Grassroots Governance” in Zhejiang Province. Governance Studies,2023,39(1):40—52,158. (in Chinese)
[37] Wang JG. Vision of China's future urban construction reform:In the perspective of comprehensive prevention and control for multi disasters. Sustainable Cities and Society,2021,64:102511.

Trends and Breakthrough Pathways in Natural Disaster Mitigation and Management System of China

Baofeng Di[1*] Chunyang He[2] Dong Liu[3] Xiaolong Luo[1] Jianqi Zhuang[1]

1. *Institute for Disaster Management and Reconstruction, Sichuan University-The Hong Kong Polytechnic University, Chengdu 610207, China*
2. *State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*
3. *College of Architecture & Civil Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China*

Abstract To address critical challenges in China's disaster risk mitigation,such as the increasing frequency of natural disasters,vulnerability of high-risk entities,and inadequate disaster prevention resilience,this study systematically investigated the pathways for establishing an integrated natural disaster risk mitigation and management framework. Grounded in the coordinated management requirements of the “human-disaster-earth” paradigm,we propose a comprehensive framework encompassing three interconnected pillars:theoretical,technical,and national systems. The theoretical system delineates foundational paradigms for risk mitigation across the entire life cycle of natural disasters,including multi-stakeholder participation,and synergistic resilience enhancement in the co-development of production-living-ecological spaces,thereby distinguishing risk governance (as an overarching multi-actor coordination) from targeted risk reduction (focused on operational adjustments). The technical system incorporates pivotal innovations,including territorial resilient spatial planning for risk mitigation (emphasizing impact alleviation through engineering measures),community-based risk reduction and preparation (integrating risk reduction strategies to minimize exposure and vulnerability),and extraction of crowd behavioral response features during imminent disasters. The national system,on the other hand,establishes institutional architectures that comprise legal and regulatory frameworks for risk governance,as well as cross-domain,cross-hierarchical,and cross-departmental linkage mechanisms for risk mitigation. Additionally,it includes intelligent urban-rural disaster management systems to facilitate adaptive risk governance. Furthermore,this research identifies key scientific challenges,including multi-scale risk transmission mechanisms across hierarchical levels,evolutionary patterns of dynamic vulnerability in hazard-bearing entities,and interest-balancing mechanisms in multi-stakeholder collaborative governance to differentiate risk mitigation (specific hazard dampening) from broader risk reduction (holistic vulnerability diminishment). It also outlines breakthrough pathways,such as complex network modeling of risk cascades,intelligent optimization of collaborative resilience,design of evolutionary game-theoretic mechanisms for synergistic coordination,and disaster mitigation innovations based on community-based approaches. Ultimately,these findings could potentially help inform theoretical and practical approaches for developing a modernized,comprehensive and collaborative disaster risk management system that bridges risk governance with operational risk control and mitigation strategies.

Keywords natural disaster;risk management;risk mitigation;resilient disaster reduction;multi-participant collaboration

第宝锋 四川大学—香港理工大学灾后重建与管理学院院长、教授,博士生导师,应急管理部山区灾害风险预警与防控重点实验室副主任,长期从事地质灾害防控、灾害风险管理领域研究。主持国家重点研发计划项目、国家自然科学基金联合基金重点支持项目、面上项目等,迄今已发表学术论文100余篇。获宝钢优秀教师奖、自然资源部高层次科技创新领军人才、四川省学术和技术带头人等荣誉称号。

(责任编辑 贾祖冰 张 强)

* Corresponding Author,Email:dibaofeng@scu.edu.cn