

综合防灾规划中多灾种风险评估技术研究*

Research on Multi-hazard Risk Assessment Technology in Comprehensive Disaster Prevention Planning

夏陈红 王 威 马东辉 苏经宇 XIA Chenhong, WANG Wei, MA Donghui, SU Jingyu

摘 要 多灾种风险评估结果作为城市综合防灾空间和设施布局的现状基底,是编制和实施综合防灾规划的前提。为揭示多灾种之间存在的发生时间、影响程度、影响范围等耦合而呈现的复杂机制,明确区域多灾种综合风险评估中忽略的相互作用关系,解决多灾种风险评估结果对城市用地规划指导缺乏的问题,在系统研究多灾种综合风险评估问题、应对策略、数据可视化表达、相互作用机制的基础上,分析多灾种风险评估方法体系的构建策略及技术路径,以为城市规划转型视角下综合防灾规划的编制提供技术支持,实现城市空间的安全有序发展。

Abstract The results of multi-hazard risk assessment, as the current basis of urban comprehensive disaster prevention space and facilities layout, are the premise for the preparation and implementation of comprehensive disaster prevention and control regulations. In order to reveal the complicated mechanism of the coupling of occurrence time, influence scope, and influence effect among multiple disasters, clarify the interaction relation neglected in comprehensive risk assessment of multiple disasters in the regional level, and solve the problem of lack of guidance for urban land use planning from multiple disasters comprehensive risk assessment results, this paper analyses the construction strategy and technical path of multiple disasters comprehensive risk assessment method system based on the systematic research on assessment problems, coping strategies, data visualization expression, and interaction mechanism, so as to provide technical support for the compilation of comprehensive disaster prevention planning from the perspective of urban planning transformation and to realize the safe and orderly development of urban space.

关键词 综合防灾规划;防灾减灾;多灾种风险;相关关系分析;综合评估

Key words comprehensive disaster prevention planning; disaster prevention and mitigation; multiple disasters and risks; correlation analysis; comprehensive evaluation

文章编号 1673-8985 (2020) 06-0105-07 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20200615

作者简介

夏陈红

南京大学建筑与城市规划学院 博士研究生

王 威 (通信作者)

北京工业大学建筑与城市规划学院
北京工业大学抗震减灾研究所
博士,硕士生导师,副研究员

马东辉

北京工业大学建筑与城市规划学院
北京工业大学抗震减灾研究所
博士,博士生导师,研究员

苏经宇

北京工业大学建筑与城市规划学院
北京工业大学抗震减灾研究所
博士生导师,研究员

综合防灾规划是城市安全与可持续发展的蓝图,在国土空间规划体系下属于专项规划的范畴,是一项具有综合性、系统性、复杂性的工作,是指导安全领域发展、合理配置应急资源、布局重大防灾设施工程项目、制定相关政策的重要依据,具有很强的约束性、综合性、系统性、导向性和可操作性。在全球气候变化、快速城镇化的大背景下,各类自然灾害事件频发,对综合防灾减灾规划的开展提出了更高的

要求。常态化和非常态化相结合的风险防范能力不足、城市抵御灾害能力不足、规划意识缺乏等问题成为我国综合防灾减灾工作存在的短板。如何实现安全发展、可持续发展目标,强化城市风险防范水平,积极应对未来发展的不确定性和提高规划韧性等都是新时代亟需解决的关键问题^[1-4]。

多灾种研究作为防灾减灾规划编制、政策制定和相关灾害管理工作的必要步骤和基

*基金项目:国家自然科学基金项目“城市供水管网基于性态的抗震防灾规划设计与控制方法研究”(编号51678017);国家重点研发计划课题“绿色宜居乡村住宅长寿命设计与建造评价指标体系研究”(编号2018YFD1100902);中国地震局重大政策理论与实践问题研究课题“城市抗震防灾进展、问题与建议”(编号CEAZY2019JZ14)资助。

础环节,其形成机制及演变规律一直是国内外社会研究的热点问题。在国际方面,典型的多灾种综合风险评估技术有国际科学联盟(ICSU)启动的灾害风险综合研究计划(IRDR)、欧洲观测空间网络(ESPON)在欧洲开展的多重风险评估技术、哥伦比亚大学与世界银行共同开发的美洲计划等,在多灾种综合风险评估方面取得了一系列优秀成果^[5-6]。

近年来,国内学者对综合灾害风险的研究也逐渐将关注点由“多因素综合”向“多灾种综合”的研究方向转变,如黄崇福等^[7]应用模糊信息优化处理技术建立的不完备信息情况下的自然灾害风险评估理论体系;任鲁川^[8]基于极值风险模型、概率风险模型、可能性风险模型,利用模糊集理论进行的多灾种综合风险评估技术;卢颖等^[9]基于灾害相互触发关系构建的多灾种耦合综合评估模型;盖程程等^[10]基于灾害触发关系运用GIS对多危险源进行的空间风险叠加技术;薛晔等^[11]基于灾害风险系统理论,利用模糊近似推理理论和方法建立的多灾种综合风险评估软层次评估模型。可见,当前国内外对于多灾种风险的评估已经取得了一系列成果。虽然这些方法都具备一定的科学性,但都未考虑灾害与规划用地的内在联系,缺乏对各灾种之间的关联性、触发关系的研究,难以反映出多灾种在空间上的分布格局及系统特征,难以用地规划提供具体的规范性和指导性建议;且无法将风险评估结果转化为有效的规划策略和管理措施,特别是在应对多层次规划、多尺度评价单元的多灾种风险综合问题方面。

因此,亟需针对现有多灾种综合风险评估存在的方法选用不合理、灾种之间相互关系考虑不充分、绝对值风险测度功能弱、对城市用地规划指导缺乏等问题,开展综合防灾规划中多灾种风险评估技术的研究。通过科学分析自然灾害的形成机制及其演变规律,探讨适用于城市综合防灾规划的多灾种风险评估技术,构建出能够真实反映多灾种空间关系的评估技术,为综合防灾规划的编制与实施管理、空间不确定性风险的应对,以及城

市的可持续发展提供科学决策依据。

1 综合防灾规划视角下多灾种风险评估的内涵

城市综合防灾规划作为应对多灾种风险的关键领域,对统筹城市建设、调度和分配空间资源具有重要的意义。而多灾种风险评估作为综合防灾规划编制和实施的依据,也为城市防灾空间和设施布局提供了现状依据。揭示多灾种之间存在的发生时间、影响范围、影响效果等耦合而呈现的复杂机制,明确区域多灾种综合风险评估中忽略的相互作用关系,可有效解决多灾种风险评估结果缺乏对城市用地规划指导的问题。因此,需要深入研究多灾种的形成机制以及对城市用地规划指导的功能作用,为城市用地规划和综合防灾控规编制提供有力的技术支持^[12-14]。

1.1 综合防灾规划中多灾种风险评估的作用与地位

1.1.1 综合防灾规划的特点

城市综合防灾是为应对地震、火灾、地质、洪涝、极端天气等各种自然和人为灾害,增强事故灾难和重大危险源防范能力,并考虑人民防空、地下空间安全、公共安全、公共卫生安全等要求而开展的城市防灾空间布局、防灾资源统筹、防灾体系优化和防灾设施整治的综合防御部署计划和行动^{[15]2、[16]}。

城市综合防灾规划依据多灾种风险评估的结果,指导城市用地建设,具有多灾种、多层次、全过程的特点^[17]。在实施多灾种风险评估指导时,应结合“宏观”“微观”等各个层面的规划特点,灵活贯彻安全防灾理念。在总规层面,总体规划具有地域范围广、协调力度大、用地可选择性大的特点,其多灾种风险评估多是以宏观调查为主,评估精度和技术深度较粗略;在详规层面,详规具有地块范围小、协调力度小、用地控制性强的特点,多灾种风险评估则是以微观详勘为主,评估精度和技术深度更加详尽,需精确确定各灾种的危害范围、空间分布状态和风险边界,并提出

具体的控制指标和划定相应控制界线。因此,在研究不同层级综合防灾规划时,应结合各层级规划需求,合理进行多灾种风险的勘察和评估。

1.1.2 多灾种风险评估的地位

多灾种风险评估不仅是综合防灾规划的基础一环,也是综合防灾规划的核心组成部分和根本前提,能够为城市用地规划建设的发展提供科学决策依据。因此,多灾种风险在综合防灾规划中占据重要的基础性支撑地位。在进行空间布局及设施安排时,必须遵循综合防灾控规阶段的需求和项目侧重点,以多灾种综合风险评估结论及有针对性的专项工程勘察结论为规划依据,分析城市的空间适宜性、建设适宜性、生态保护适宜性、文物保护适宜性、经济适宜性等条件,论证多灾种风险减缓或控制的可行性,最终提出规划建设依据与对策。通过多灾种风险的评估结果,精确标定灾害危害的范围,分析规划区内的城市控规分区的合理性,并据此在建设用地总量不变、用地结构不变的前提下,适度调整、修正城市规划已经确定的各类设施的用地性质、规模及用地边界,形成防灾空间保障、应急设施支撑、片区防灾设计共同防御的多灾种风险长效管控机制。

1.2 多灾种风险评估的作用解析

多灾种风险评估作为城市综合防灾规划编制和实施的重要基础和前提,能够为城市综合防灾空间布局提供现状基底。根据《城市综合防灾规划标准(GB/T51327-2018)》规定^{[15]8},城市综合防灾规划是基于多灾种风险评估的城市规划内容。即通过分析各类灾害可能发生的频度与规模,确定需预防的重点灾害类型,分析灾害的成因、影响程度、空间分布及特征、与次生灾害叠加时的耦合效应,评估城市防灾体系效能,分析确定灾害防御重点内容、设定防御标准和最大灾害效应,为合理设定城市灾害综合防御目标和防御标准,分析城市防灾需求及安全防护和应急保障服务要求,统筹完善城市防灾安全布

表1 城市综合防灾空间布局影响要素
Tab.1 Factors affecting urban comprehensive disaster prevention spatial layout

类型	要素识别	举例
风险评估	灾害高风险片区	高密度片区
	抗灾能力薄弱片区	老旧房屋片区
	应急能力不足片区	应急服务难以覆盖片区, 疏散困难片区
	重大危险源	危化品仓库
用地安全	次生灾害高风险片区	次生火灾高风险片区, 堰塞湖
	可能发生特大灾难性影响的设施和地区	核材料生产储存设施, 核设施; 水面高于城市用地标高、一旦决堤短时间内可能淹没城市大范围地区的大面积水域; 抗灾能力不足的、储存规模特别大的重大危险源贮罐区、库区
	有条件适宜和不适宜用地范围	不利和危险地段: 地表断裂、地面塌陷、滑坡等
防灾设施	应急保障基础设施	应急通信、交通、供水、供电等; 保障级别; 保障对象
	应急服务设施	应急医疗设施, 物资储备分发设施, 避难场所
	防灾工程设施	防洪工程, 消防站, 防灾分隔带, 地质灾害防治工程
应急保障对象	要害系统, 指挥系统, 生命线系统等	应急指挥中心, 避难场所, 救灾医院, 城市出入口等
防灾组织	防灾分区, 避难场所责任区	—

资料来源: 笔者自制。

局、划定防灾分区、系统规划防灾设施提供决策支持 (见表1)。

1.3 多灾种风险的综合特性解析

1.3.1 成因综合性和多样性

灾害是由孕灾环境、致灾因子、承灾体共同组成的复杂性地层变异系统。孕灾环境是指由岩石圈、大气层、水圈、物质环境圈共同组成的地表空间环境。致灾因子是指可能造成人员伤亡、财产损失、承灾体受损、社会混乱等异变因子。承灾体是指致灾因子作用的对象, 包括城市中的人、物等。我国常见的灾害有多种, 典型的有台风、地震、地质、火灾等, 以及一些偶尔产生的旱灾、森林火灾、爆炸等。灾害事件的产生通常是自然系统自发产生与人为活动干预双重作用下的结果, 即因环境的不良刺激、人或物的不安全状态等多重因素之间相互影响、相互作用、相互转化、相互牵制所导致。这种不确定事件内部的复杂性韵律关系, 也间接加速了灾害事件的频繁发生。归结到根本成因上, 都有一个综合性的促成因素, 即全球城镇化加快导致的环境恶化和全球气候变暖导致的自然生态系统失衡现象。

1.3.2 灾害的链性和群发性

当区域内多种灾害并存时, 多灾种链发和群发的现象较多, 尤其是威胁强度大、影响范围广的自然灾害。这类灾害在形成过程中往往容易诱发出一系列的链式复合性灾害和次生灾害, 对城市空间及设施产生影响, 这也成为目前所有国家、社会, 包括联合国在内关注的重点问题^[19]。而且, 灾害系统中各灾种的性质各异, 不同性质的灾种之间往往存在相互触发的关系, 如洪涝、地震灾害之间虽然各自成因不同, 但陆地下的异常能量如重力、地温、地倾斜等的异常会使旱灾、洪灾、震灾之间存在时间、空间上的相互触发关系。随着全球气候的变化, 世界各国所经历的灾害也越来越频繁和严重, 灾害事件不仅对城市造成损失和破坏, 其潜在的风险因素也往往会诱发二次灾害, 更易加重城市的防灾御灾压力, 且遭受灾害破坏后的城市承灾体, 由于短期内难以恢复到正常状态, 更容易加剧灾害事件的潜在风险诱因。

2 综合防灾规划中多灾种风险评估的关键性问题

安全与风险防范不仅是当前国家可持续发展中面临的突出问题, 也是事关人民群众生命财产安全和社会稳定和谐的关键问题。

因此, 在开展多灾种风险评估时, 应结合城市综合防灾规划的特点和灾害特征深入分析多灾种风险评估存在的关键性难题, 从而构建出面向综合防灾规划的多灾种风险评估模型与评估流程, 识别出灾害高风险区、用地有条件适宜地段及不适宜地段、可能发生特大灾难性事故影响的设施与地区、应急保障服务能力薄弱的片区, 以高效服务于城市综合防灾规划的开展。

2.1 评估尺度的差异性

多灾种风险评估结果具有时空表达性, 能够直接为城市用地规划提供现实依据。从评价空间的尺度来看, 目前国内城市多灾种综合风险评估的结果可以划分为4种类型^[19]。第1种是宏观尺度的国家级或市域级风险评估, 用来比较国家与国家之间、城市与城市之间的综合灾害风险对比。第2、第3种是按照一定的城市行政单元为统计边界进行的中观尺度或小尺度评估, 主要针对城市市域范围内分县市或各分区综合风险评估结果的表达, 或者尺度较小的三级防灾社区或街道的风险表达。第4种是微观精细化无明显行政单元边界界限, 以地理信息栅格网为基本评价单元的微观尺度风险评估。由于灾害风险具有空间分布的差异性, 所以在评估时选择一个合适的空间尺度是极其重要的, 如果研究的尺度精度太大, 就会导致评估结果的可信度和准确度下降, 而研究的尺度精度太小, 则会导致工作量变得繁重、复杂。不同评估尺度下的评估目标与手段各不相同, 如表2所示。

2.2 多灾种风险的统一化度量

城市综合防灾规划中多灾种风险的评估是以地震、地质等灾害风险专业性评估结果为依据的, 但由于灾害系统的复杂性和不确定性, 常常会存在不同灾种之间的风险值难以统一化度量的问题。如由于不同灾种在风险评估时所选取数据的危险性因子、敏感性因子及脆弱性因子不同, 导致各灾种的评价指标和度量标准各有差异。因此, 在对多灾种综合评估之

前,必须归一化处理基础灾害数据、统一灾害区划模式,保证评价体系中地理实体灾害数据特征表达的可比拟性、可操作性。

2.3 多灾种之间的相关关系

城市灾种之间存在发生时间先后、影响效果彼此消涨、影响范围交叉、触动机制复杂等的关系,使得多灾种风险评估工作的开展非常困难^[20]。如何辨析多灾种之间的内在关系以及时空作用效果,不仅是综合防灾规划工作开展的重要前提,也是多灾种风险评估研究的难点和热点问题。因此,只有正确梳理多灾种风险综合测度的研究脉络、科学揭示各灾种之间的触发关系及耦合激励效应才能有效为研究工作的开展提供决策支持。目前,关于多灾种之间相互作用关系尚未有统一性的描述,常见的表述有灾害链、多米诺效应、耦合关系、激励关系、触发关系等。参考目前学者所研究的相关成果可知,从相互触发关系及耦合关系角度分析多灾种具有较强的可行性,但具体关系机制的建立还需根据具体问题进行分析,如对各灾种之间相互作用和相互影响过程的描述等。

2.4 多灾种风险的空间可视化

地理空间数据通常是用来描述城市自然界现象、社会事件现象及演变趋势的基础信息数据,可视化表达则是在数据挖掘模型和有效融合可视化信息的基础上,借助图像模式呈现出一种直观表达方式。

将灾害风险数据的空间分析结果用可视化技术直观展现出来,是研究灾害时空区划规律的有效途径。目前,应用最广泛的是基于空间数据建模的可视化,即充分利用计算机处理技术、人的思维想象及视觉感官认知来实现区域灾害事件的时空区划。在进行可视化表达时,由于宏观大尺度和中观中尺度的行政区划模式常常难以满足多维属性的复杂地理空间数据表达的需求,所以基于栅格GIS的空间数据表达形式应运而生^[21],它通过借助GIS强大的空间数据处理、分析的功

表2 不同尺度下的多灾种风险评估目标及手段

Tab.2 Targets and methods of multi-hazard risk assessment under different scales

评估尺度	尺度范围	目标	评估手段
宏观尺度	国家、市级	宏观决策或区域经济发展规划	区域调查、定性分析、统计分析
中观尺度	县级、市区、社区	指导地区开发建设,明确城市总体规划的空间结构布局	全面调查或重点勘察、定量分析
小尺度	社区、街道	指导城市设计或地块规划	专门勘察、定量分析
微观尺度	栅格单元	指导具体防灾工程、空间与设施的综合布局、具体安排和实施管理	情景模拟、定量分析

资料来源:笔者自制。

能,能够有效匹配地面灾害数据,提高数据的精确度、科学性、可操作性和实用性,为城市综合防灾规划中的空间设施布局提供技术支持。

3 综合防灾规划中多灾种风险评估方法体系构建策略

3.1 明确多灾种风险评估的目标

全面了解多灾种灾害对城市经济、社会、环境所造成的潜在影响,并指出其对城市内部用地规划指导不足的问题,从而为综合防灾规划提供参考依据,为整体性的防灾空间设施布局奠定建设基础。多灾种风险评估结果的核心包括两部分:一是基于量化模型评估的灾害风险等级排序图,即确定各灾种产生危害的可能性及后果,用以确定优先防御的灾害类型;二是基于耦合激励评估的多灾种风险影响程度与空间分布情况的综合风险区划图,用来明确城市规划空间各个区域的土地利用安全性,

修正城市规划中已经确定的各类设施的用地性质、规模及用地边界,最终形成防灾空间安全保障、应急设施全支撑的综合防御体系。

3.2 分析多灾种风险的形成机理

3.2.1 构建触发规则

触发关系是指系统中某些灾害风险达到自身阈值后,会刺激到相关灾害触发或突变产生新脉冲,而导致系统失去线性平衡的现象。对于多灾种而言,它们之间的触发关系可以划分为“零耦合”“弱耦合”“强耦合”3种状态^[22]。在一个完整的城市灾害系统中,完善的自调节、自适应、自防御等性能可以阻断风险因素达到触发阈值,使系统处于相互独立、互不干扰或静止状态的情形,即为“零耦合”或“弱耦合”状态;当城市灾害系统中风险因素逐渐加剧或堆积,导致风险因素间相互作用和影响程度增加而冲破触发阈值的情形,即为“强耦合”状态。为了削弱和减缓“强耦合”效应的发生,应

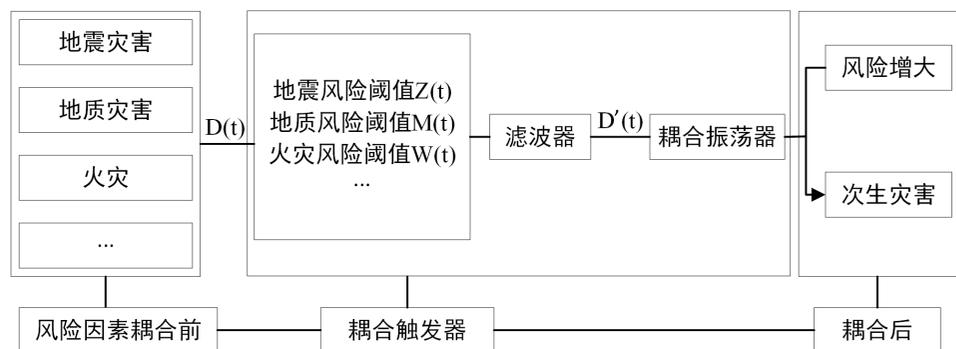


图1 多灾种之间的触发机理

Fig.1 Trigger mechanism among multiple disasters

资料来源:笔者自绘。

当从源头上摸清各灾种之间的触发机制和作用机理。完善的城市监测预警机制和设防水准可以有效降低灾害风险的发生(见图1)。

3.2.2 分析耦合激励效应

耦合激励效应是指系统中因各风险因素之间的相互作用和相互影响而改变风险大小的现象。通常表现为一种联动现象,如地震灾害发生后可引发山体滑坡、泥石流、爆炸、水灾、火灾等一系列复杂性灾害事件。在进行耦合效应分析时,考虑到并非所有灾害都会在同一时间、空间上突破防御系统达到城市能够承受的最大阈值,只有与局部耦合点发生耦合的风险才能在系统中进一步壮大或缩小。一个城市灾害系统中可以包含多层耦合形式,如单灾种耦合、双灾种耦合、三灾种耦合以及多灾种耦合等。如何识别灾种与灾种之间的复杂耦合效应,可根据区域实际灾种之间的触发规则来判定。风险矩阵^[23-24]作为风险管理的一种有效工具,能够对系统中的关键风险要素进行提取,并针对各风险要素发生的可能性和造成后果的影响程度进行量化分析,最后提出风险管控措施,以达到风险减缓的目的(见图2)。

3.3 构建多灾种风险综合评估模型

为实现快速、灵活化的城市综合灾害风

险评估,揭示多灾种之间存在的发生时间、影响范围、影响效果等耦合而呈现的复杂机制,本文在总结国内外相关研究成果的基础上^[25],构建耦合激励机制下的多灾种风险综合评估模型。该模型在建立多灾种间耦合激励机制的基础上,运用有序加权集结算子研究多灾种之间的耦合激励关系,按照耦合激励模型构建步骤:①依据综合风险的激励目标,给定各激励分位点,依据分布分位数公式计算灾害风险集结数据的相对发展水平;②确定激励子区间,构建激励系数及分位权重的表达式;③给定激励偏好系数,求解调整参数;④求解分位权重值,最终得出耦合激励后的多灾种风险综合结果。具体评估流程如图3所示。

基于耦合激励机制下多灾种风险综合评估模型的构建步骤,以河北省石家庄市中心城区多灾种灾害风险的研究为例,重点针对中心城区中影响范围大、发生频率高、造成损失严重、风险程度高或者潜在危险高的地震、地质、洪水、火灾和内涝灾害,建立多灾种之间的相互触发关系。在综合考虑灾害数据的客观信息和决策者主观意愿的基础上,通过灵活性参数调整的方式,对不同发展水平上的灾害进行耦合激励,获得相应的综合

风险耦合激励值,最终按照多灾种风险评估流程得到中心城区的综合风险区划图(见图4)。结果表明:石家庄市中心城区综合灾害危险性高的区域主要集中在滹沱河沿岸、重大危险源周边及石家庄断裂带区域。所得研究结果与实际情况高度吻合,有效验证了激励模型能精确融合各灾种信息并克服众多不确定性问题,可为综合防灾规划工作的开展提供有效的技术支持。

4 结论

多灾种的研究不仅仅是安全领域应当研究的重点问题,它更是未来城市安全与防灾领域、城市规划领域的重点研究方向,只有准确、科学、合理地评估城市多灾种的客观灾害水平,才能真正解决区域发展中的实际问题,构建和谐、稳定、可持续的人居环境空间。但由于目前大多数多灾种风险的研究成果主要集中于半定量和城市大尺度的研究上,而对于需要大量数据支撑的中小尺度精细化的单元研究却很少,且多数研究在对多灾种风险进行综合时缺乏对多灾种之间的触发机制、耦合激励效应的研究,常采用简单的叠加形式从而导致信息冗余量过大,与实际情况不符,难以反

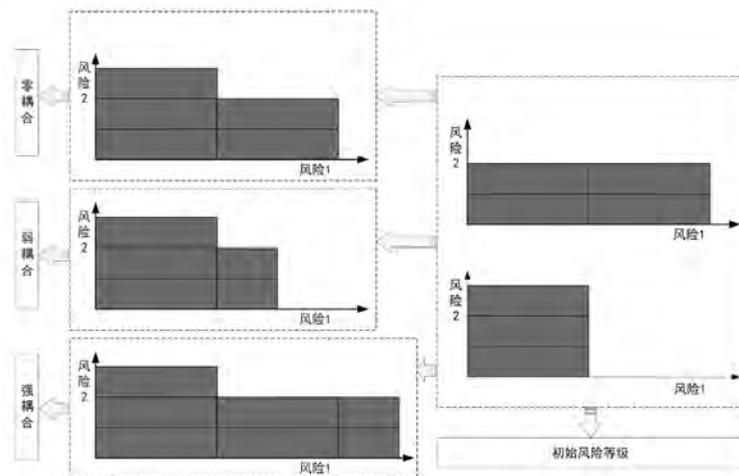


图2 风险矩阵直观反映灾害风险的耦合激励效应
Fig.2 The risk matrix directly reflects the coupling incentive effect of disaster risk

资料来源:笔者自绘。

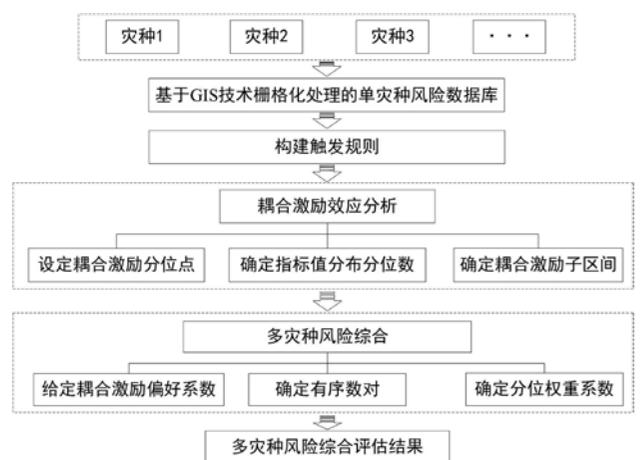
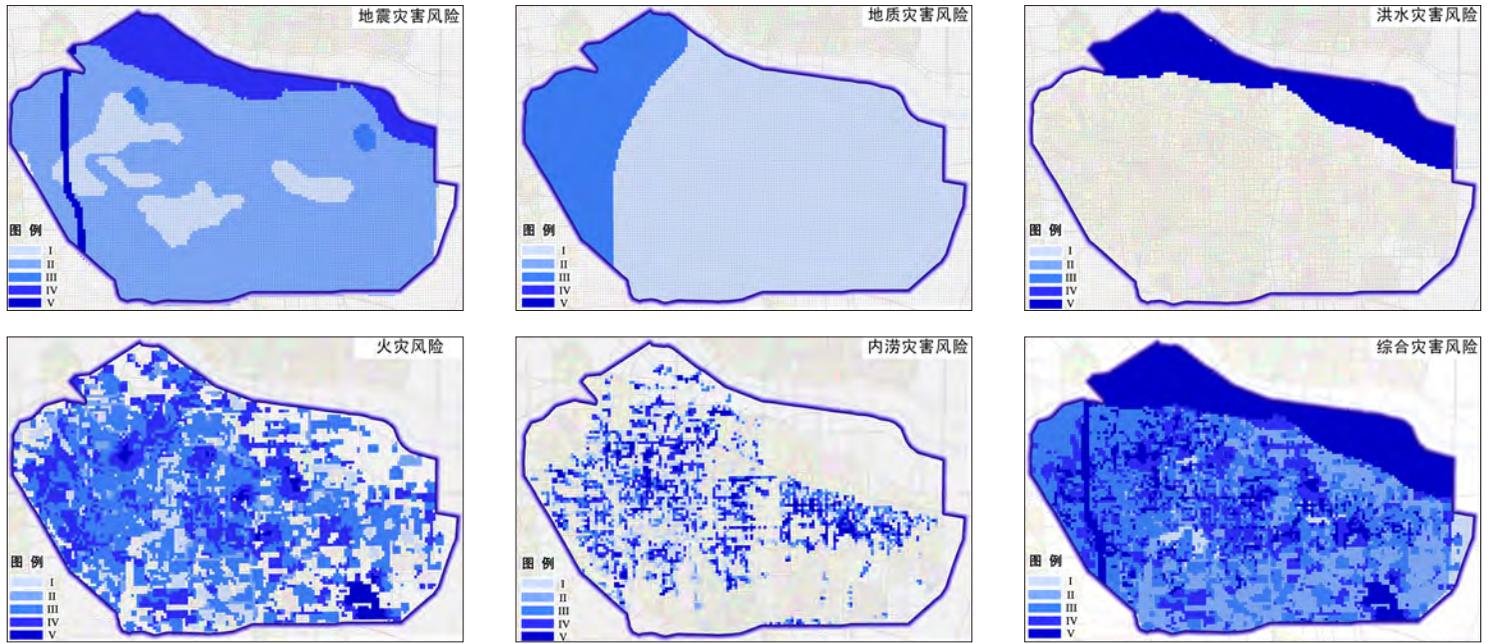


图3 多灾种风险评估流程
Fig.3 Multi-hazard risk assessment process

资料来源:笔者自绘。



注:I为极低等级风险;II为低等级风险;III为中等等级风险;IV为高等级风险;V为极高等级风险。

图4 石家庄市中心城区多灾种风险的综合评估结果

Fig.4 Comprehensive assessment results of multi-hazard risks in Shijiazhuang downtown

资料来源:笔者自绘。

映多灾种的空间分布格局及有效指导用地规划建设。因此,聚焦城市典型灾害并厘清各灾种之间的相互作用关系,客观、科学、合理地将多灾种风险评估结果反映到城市用地布局上,才能更加真实合理地为城市规划建设提供安全发展指引,构建出完善的城市防灾减灾救灾体系。

本文综合考虑了目前多灾种风险评估过程中的现实难题,通过分析多灾种风险评估在综合防灾规划中的作用、地位和内涵,确定多灾种风险的评估目标、形成机理,梳理多灾种风险评估的关键问题,制定应对策略和工作路径,构建耦合激励机制下的多灾种风险评估模型。为有效实现多灾种风险评估提供了新途径,也为城市综合防灾空间布局提供了科学依据,在一定程度上对城市控制和减缓城市灾害、编制城市综合防灾规划具有一定的现实意义和理论价值。■

参考文献 References

- [1] 王志涛,王晓卓.新形势下城市综合防灾规划转型的若干思考[J].城市与减灾,2019(6):14-18.
WANG Zhitao, WANG Xiaozhuo. Some thoughts on transformation of urban comprehensive disaster prevention planning under the new situation[J]. Cities and Disaster Reduction, 2019(6): 14-18.
- [2] 冯浩,张方,戴慎志.综合防灾规划灾害风险评估方法体系研究[J].现代城市研究,2017(8):93-98.
FENG Hao, ZHANG Fang, DAI Shenzhi. The research on the method system of risk assessment in multi-hazard mitigation plan[J]. Modern Urban Research, 2017(8): 93-98.
- [3] 王江波,戴慎志,刘婷婷,等.城市综合防灾规划编制中的关键问题探讨[J].城市规划,2017,41(4):69-73.
WANG Jiangbo, DAI Shenzhi, LIU Tingting, et al. Research on the key problems in comprehensive urban disaster prevention planning[J]. City Planning Review, 2017, 41(4): 69-73.
- [4] 新华社.中共中央国务院关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见[N].人民日报,2019-05-24(1).
XinhuaNet. Several opinions of the CPC Central Committee and the State Council on establishing a land and space planning system and supervising its implementation[N]. People's Daily, 2019-05-24(1).
- [5] MCBEAN G A. Introduction of a new international research program: integrated research on disaster risk-the challenge of natural and human-induced environmental hazards[M]//Beer T. Geophysical Hazards. Dordrecht: Springer, 2009: 59-69.
- [6] 明晓东,徐伟,刘宝印,等.多灾种风险评估研究进展[J].灾害学,2013,28(1):126-132,145.
MING Xiaodong, XU Wei, LIU Baoyin, et al. An overview of the progress on multi-risk assessment[J]. Journal of Catastrophology, 2013, 28(1): 126-132, 145.
- [7] 黄崇福,张俊香,刘静.模糊信息优化处理技术应用简介[J].信息与控制,2004(1):61-66.
HUANG Chongfu, ZHANG Junxiang, LIU Jing. Applications of fuzzy information optimization technology[J]. Information and Control, 2004(1): 61-66.
- [8] 任鲁川.区域自然灾害风险分析研究进展[J].地球科学进展,1999(3):31-35.
REN Luchuan. Research progress on regional natural disaster risk analysis[J]. Advances in Earth Science, 1999(3): 31-35.
- [9] 卢颖,郭良杰,侯云玥,等.多灾种耦合综合风险评估方法在城市用地规划中的应用[J].浙江大学学报(工学版),2015,49(3):538-546.
LU Ying, GUO Liangjie, HOU Yunyue, et al. Application of multi-hazard coupling comprehensive risk assessment method in urban land use planning[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2015, 49(3): 538-546.
- [10] 盖程程,翁文国,袁宏永.基于GIS的多灾种耦合综合风险评估[J].清华大学学报(自然科学),2011,51(5):627-631.

- GAI Chengcheng, WENG Wenguo, YUAN Hongyong. GIS-based integrated risk assessment of multi-hazard coupling[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2011, 51(5): 627-631.
- [11] 薛晔,陈报章,黄崇福,等. 多灾种综合风险评估软层次模型[J]. 地理科学进展, 2012, 31 (3): 353-360.
XUE Ye, CHEN Baozhang, HUANG Chongfu, et al. Soft hierarchy model for comprehensive risk assessment of multiple disasters[J]. Progress in Geography, 2012, 31(3): 353-360.
- [12] 张孝奎. 防灾减灾视角下的城市空间布局规划研究——以唐山市为例[J]. 灾害学, 2018, 33 (1): 89-95.
ZHANG Xiaokui. Study on urban spatial layout planning from the perspective of disaster prevention and reduction-taking Tangshan City as an example[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(1): 89-95.
- [13] 编辑部. 国家重点研发计划“大都市区多灾种重大自然灾害风险综合防范关键技术研究及示范”项目启动[J]. 中国安全生产科学技术, 2018, 14 (8): 22.
The Editorial Department. National key research and development plan "Research and Demonstration of Key Technologies for Comprehensive Prevention of Catastrophe and Major Natural Disaster Risks in Metropolitan Areas" project launched[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2018, 14(8): 22.
- [14] 张靖岩,袁沙沙,韦雅云,等. 城镇要害系统综合防灾关键技术综述[J]. 工业建筑, 2016, 46 (6): 1-4.
ZHANG Jingyan, YUAN Shasha, WEI Yayun, et al. Review on comprehensive disaster prevention key technology of urban vital system[J]. Industrial Construction, 2016, 46(6): 1-4.
- [15] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家市场监督管理总局. 城市综合防灾规划标准 (GB/T51327-2018) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
Ministry of Housing and Urban-rural Development of P. R. China, State Administration for Market Regulation. Standard for urban planning on comprehensive disaster resistance and prevention (GB/T 51327-2018)[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018.
- [16] 燕群,蒙吉军,康玉芳. 基于防灾规划的城市自然灾害风险分析与评估研究进展[J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27 (6): 78-83, 95.
YAN Qun, MENG Jijun, KANG Yufang. Progress of urban natural disaster risk analysis and assessment based on urban disaster prevention plan[J]. Geography and Geo-Information Science, 2011, 27(6): 78-83, 95.
- [17] 陈颖. 综合防灾视角下的城市灾害风险评估研究——以厦门市为例[C]//活力城乡美好人居——2019中国城市规划年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 129-145.
CHEN Ying. Study on urban disaster risk assessment from the perspective of comprehensive disaster prevention-taking Xiamen City as an example[C]// Proceedings of Annual National Planning Conference. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019: 129-145.
- [18] 代文倩. 城市综合灾害风险评估[D]. 唐山: 华北理工大学, 2019.
DAI Wenqian. Urban comprehensive disaster risk assessment[D]. Tangshan: North China University of Science and Technology, 2019.
- [19] KAPPES M S, KEILER M, ELVERFELDT K, et al. Challenges of analyzing multi-hazard risk: a review[J]. Natural Hazards, 2012, 64(2): 1925-1958.
- [20] 尚志海. 基于人地关系的自然灾害风险形成机制分析[J]. 灾害学, 2018, 33 (2): 5-9.
SHANG Zhihai. Natural disaster risk formation mechanism based on man-land relationship[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(2): 5-9.
- [21] 李军,周成虎. 基于栅格GIS滑坡风险评价方法中格网大小选取分析[J]. 遥感学报, 2003 (2): 86-92, 161.
LI Jun, ZHOU Chenghu. Analysis of grid size selection in landslide risk assessment based on grid GIS[J]. Journal of Remote Sensing, 2003(2): 86-92, 161.
- [22] 薛晔,刘耀龙,张涛涛. 耦合灾害风险的形成机理研究[J]. 自然灾害学报, 2013, 22 (2): 44-50.
XUE Ye, LIU Yaolong, ZHANG Taotao. Research on formation mechanism of coupled disaster risk[J]. Journal of Natural Disasters, 2013, 22(2): 44-50.
- [23] 申思,张明媛,袁永博. 基于改进的风险矩阵法生命线网络地震脆弱性分析[J]. 地震工程学报, 2015, 37 (4): 963-968.
SHEN Si, ZHANG Mingyuan, YUAN Yongbo. Seismic vulnerability analysis of lifeline networks using improved risk matrix method[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2015, 37(4): 963-968.
- [24] 何汉平. 基于多因素耦合的井筒完整性风险评价[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13 (7): 168-172.
HE Hanping. Risk evaluation of wellbore integrity based on multi-factor coupling[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2017, 13(7): 168-172.
- [25] 王威,夏陈红,马东辉,等. 耦合激励机制下多灾种综合风险评估方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29 (3): 161-167.
WANG Wei, XIA Chenhong, MA Donghui, et al. Multi-hazard comprehensive risk assessment based on coupling incentive mechanism[J]. China Safety Science Journal, 2019, 29(3): 161-167.