

周姝天, 翟国方, 施益军, 等. 城市自然灾害风险评估研究综述[J]. 灾害学, 2020, 35(4): 180–186. [ZHOU Shutian, ZHAI Guofang and SHI Yijun, et al. A Literature Review of Urban Natural Disaster Risk Assessment [J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(4): 180–186. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.04.033]

城市自然灾害风险评估研究综述^{*}

周姝天¹, 翟国方², 施益军³, 鲁钰雯²

(1. 南通大学 艺术学院(建筑学院), 江苏 南通 226001; 2. 南京大学 建筑与城市规划学院, 江苏 南京 210093; 3. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 杭州 311300)

摘要: 基于大量国内外文献, 梳理风险评估理论与灾害系统论的观点与风险评价方法, 并分别评述当前城市单灾种自然灾害和多灾种自然灾害风险评估的研究内容及方法模型。已有的城市自然灾害风险评估研究成果丰富, 多学科交叉研究与多灾种风险研究已成为趋势, 但在尺度上和方法上, 灾害学领域的研究成果与当前城市尺度的综合防灾规划及公共安全管理存在一定脱节。未来研究需进一步: ①探索多学科方法在灾害风险评估领域的应用; ②强化灾害风险中生命价值损失的研究; ③创新多灾种综合风险评估的思路与方法; ④推动适用于城市规划管理尺度的灾害风险评估理论与方法的研究。

关键词: 城市灾害风险; 灾害风险评估; 灾害系统论; 多灾种风险; 综述

中图分类号: X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2020)04-0180-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.04.033

自然灾害的发生与人类的发展始终相随相伴, 频发的自然灾害已成为全球性问题。随着自然灾害与人口增长、污染加剧和资源匮乏等问题的耦合, 各国对自然灾害、灾害风险和公共安全议题的重视不断提高^[1]。中国是自然灾害最为严重的国家之一, 政府一直对风险评估和管理研究工作的开展以及防灾减灾工作的推进十分关注。

城市灾害风险评估是优化城市风险管理和构建城市空间安全格局的基础性工作。既有研究成果丰富, 多学科交叉研究与多灾种综合风险研究成为趋势, 但在尺度上和方法上, 灾害学领域的研究成果与当前城市尺度的综合防灾规划及公共安全管理研究存在一定脱节。本文梳理风险评估理论与灾害系统论的基本观点与灾害风险评估方法, 并基于大量国内外文献, 分别综述城市单灾种自然灾害和多灾种自然灾害风险评估的研究内容和方法模型, 总结和展望自然灾害风险评估的研究方向, 以期丰富城市灾害研究的视角和内容, 协助综合防灾规划与风险管理工作的开展。

1 相关理论的回顾

1.1 风险评估理论

1.1.1 风险的定义

“风险”一词在韦伯英文词典中指“面临的伤害

或损失的可能性”;《辞海》将其定义为“可能发生的危险”, 包括人们在生产和生活中遭遇的能导致人员伤亡、财产损失和其他损失的自然灾害、事故及其他不测事件的可能性。尽管在保险业、经济学、工程学和灾害学等领域, 风险被赋予了诸多不同含义(表1), 但通常都是从两方面特征去描述: 一是可能性, 即发生的概率; 二是后果, 即造成的损失。2009年, 风险管理国际标准(ISO31000:2009)^[2]将风险定义为“一个事件后果与其发生可能性的组合”;我国目前国家风险管理系列标准(如《GB/T24353-2009 风险管理原则与实施指南》^[3])中也采用这一风险定义。

表1 不同行业对风险的定义^[4-8]

行业领域	风险定义
保险业	损失的可能性
灾害领域	一定概率性灾害造成的损失或破坏
消防	着火概率
经济学	可得确定其结果与概率的情况

风险评估是根据对风险发生可能性(概率)及其后果(财物损失或伤亡)影响程度, 判断系统是否安全, 并进一步决定是否采取相应措施的过程^[9]。这是一个对特定事件造成后果的可能性和危害程度的量化过程。从定义出发, 风险可以用

* 收稿日期: 2020-04-07 修回日期: 2020-06-30

基金项目: 浙江省自然科学基金(LQ20D010002); 日本学术振兴会项目(18K03022)

第一作者简介: 周姝天(1992-), 女, 江苏南通人, 博士, 校聘副教授, 主要从事城市灾害风险研究、空间规划研究。

E-mail: shutian_zhou@ntu.edu.cn

通讯作者: 翟国方(1964-), 男, 江苏江阴人, 博士研究生导师, 主要从事城市与区域规划、城市灾害风险综合评估、空间规划与城市安全研究。E-mail: guofang_zhai@nju.edu.cn

后果的期望值来表征,即事件概率和事件后果的乘积:

$$R = P \times C. \quad (1)$$

式中: R 、 P 、 C 分别表示风险、发生概率、后果。

1.1.2 自然灾害风险的评估思路

自然灾害风险是指“在特定的时间内,在特定的区域内,由可能发生的特定自然现象所造成预期损失的程度”^[8]。期望值的计算是将每个可能的结果乘以它对应的概率后求总合。因此,灾害风险评估即针对风险区遭受灾害的可能性及后果进行定量的评估分析^[10]。根据风险评估的基本原理,黄崇福提出综合风险评估基本模式,即通过合并一系列函数,如概率密度函数、剂量反应函数等来表示风险^[11]:

$$R = D \circ H. \quad (2)$$

式中: R 、 D 、 H 分别表示风险、描述剂量-反应关系的函数族、描述风险源的函数族, \circ 表示该模型的合成规则。最简化情况下的 \circ , 是计算概率密度函数和剂量-反应曲线围成的面积,此时的风险值 R 的计算可用图 1 表示。在信息不完备的情况下, D 、 H 都是模糊集族, \circ 是模糊合成算子族^[11]。

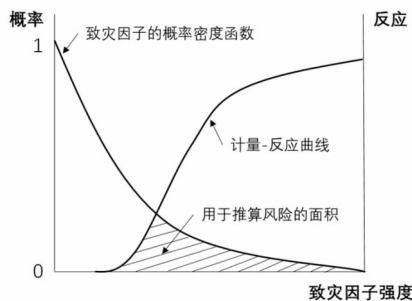


图1 综合风险评估基本模式简化示意图^[11]

自然灾害历史经验数据有助于评估者研究不同灾害的强度及其发生概率,如在进行地震和洪涝风险评估时,评估者通常可以根据当地该强度灾害的历史发生频率进行预测,而对不同强度灾害发生后果的预测则需要借助计算机进行模拟分析。然而,历史灾害损失数据不完整、部分社会经济数据不精确等问题是许多灾害风险研究的现状,对灾害保险业起步较晚的发展中国家和地区来说更是如此。

1.2 灾害系统理论

1.2.1 基本观点

灾害不是孤立存在的。自然灾害系统被认为是地球表层系统的一个组成部分,受地球整体运动的控制和其他系统的变化所影响;它由气象灾害、地质灾害和生物灾害等几大子系统构成,每个子系统由其所在圈层的物质运动和变异形成,具有多层次、动态关联性,开放性、非线性性和一定的周期性等特征^[12-14]。随着研究的深入,对灾害风险概率与其发生后果的研究逐渐转向为对灾害风险系统各部分的研究。

灾害系统论认为影响灾害风险水平的要素至少包括致灾因子和承灾体两方面^[15]。潘耀忠与史培军提出一定区域内灾害的发生是孕灾环境、致灾因子与承灾体三个子系统相互作用的结果^[16-17],

即由孕灾环境稳定性(敏感性)、致灾因子危险性和承灾体易损性(脆弱性)共同决定^[16-19]。

1.2.2 自然灾害风险的评估思路

灾害风险评估是通过研究造成生命、财产及环境潜在影响的致灾因子及承灾体的脆弱性,判定风险性质与范围的过程^[18]。狭义的灾害风险评估研究围绕致灾因子展开^[20-21]。广义的灾害风险评估则根据灾害系统论,综合评估致灾因子、孕灾环境和承灾体“三大子系统”。 $H-E-V$ 框架是国际上灾害风险的主流评估框架^[22-28],模型表达为:

$$Risk = H \cap E \cap V. \quad (3)$$

式中: H 、 E 、 V 分别表示危险性、暴露度和易损性(脆弱性)。危险性研究重点关注灾害自然属性等致灾因子引发的风险;暴露度研究的对象是暴露在风险中的房屋、财产等要素;易损性(脆弱性)研究则分析致灾因子所造成的上述要素的损失程度。部分研究将易损性(脆弱性)和暴露度概括为承灾体的脆弱性属性。在计算风险时,可将危险性和易损性(脆弱性)评估结果用一定规则划分等级,并用风险矩阵法得到综合风险等级^[29]。灾害风险评估的重点近年来已从早期的危险性研究过渡到以易损性(脆弱性)为主^[30]。此外,一些研究认为实际情况中还应考虑防灾减灾能力^[31]、可接受风险水平^[32]等方面对区域风险等级的影响。

2 单灾种自然灾害风险评估

2.1 研究内容

在既有文献采用的评估模型中,地震、洪涝和地质灾害等常见自然灾害风险评价主要从致灾因子危险性、暴露度、孕灾环境敏感性、韧性、易损性(脆弱性)、防灾减灾能力等方面研究。下表整理了部分自然灾害风险评估文献采用的评估模型表达式(表2)。孕灾环境敏感性主要是指地形、地质条件、土壤类型等方面因素对灾害的放大和缓解作用;韧性和防灾减灾能力通常考虑防灾设施、应急响应等方面,但概念上存在一定交叉,不作赘述。下面分别总结 $H-E-V$ 框架中危险性、暴露度和易损性(脆弱性)的研究内容。

表2 灾害风险评估模型表达式

表达式	代表文献
$Risk = H + V$	[33]
$Risk = H * V$	[34]
$Risk = (H * V) / R$	[35]
$Risk = f(H, V, E)$	[22, 25]
$Risk = \frac{H * V * E}{P}$	[31]
$Risk = f(H, V, E, R)$	[36]

注: H 为致灾因子危险性; V 为脆弱性; R 为韧性; E 为暴露度; P 为防灾减灾能力。

2.1.1 危险性分析

致灾因子危险性分析通常是灾害风险分析的第一步,分析灾害发生的时间(概率)、强度、规模和空间位置等方面。不同灾害有不同的致灾因子,以地震与洪涝灾害为例,致灾因子危险性的

主要研究思路简述如下。

地震灾害致灾因子危险性分析主要分为三种:

①概率性分析。基于地震活动性在空间上的随机性假设,采用泊松分布概率模型模拟和分析不同强度地震的发生概率^[37-38]。②历史数据的确定性统计分析。根据地质断层调查数据和区域历史地震数据构建回归模型来分析地震危险性^[39-40]。③主震害事件分级法。基于特定地震区每轮孕育周期的主震事件震级值相差较小的前提,可根据主震震级值划定各地震区的危险性等级^[41-42]。《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)的确定综合了上述三类方法。

洪涝灾害致灾因子危险性分析主要分为两种:

①基于概率分布理论流量规模的模拟分析。如采用极值分布和 P-III 型概率分布的线性矩阵方法划分不同量级区域洪水发生频率^[43],通过二元 Gumbel-Logistic 模型预测洪水发生频率^[44],通过 Copula 模型预测年洪峰流量和年洪水总量^[45]等。②基于流域产流、径流的淹没模拟分析。在地理信息系统中基于数字高程模型(DEM)通过输入降雨量、历史流量资料、流域特性、地表覆盖特征等数据,模拟淹没深度与范围,有 SCS^[46]、TOPMODEL^[47-48]、SWMM^[49]等常见模型。

2.1.2 暴露度分析

暴露度分析的对象是暴露在致灾因子危险性影响下的人口、建筑、财产、经济活动等生命与财产要素的暴露情况。有学者将暴露度分析看做连接致灾因子危险性与承灾体易损性(脆弱性)的桥梁^[50],需统计分析潜在受灾地区的社会经济、用地类型、建筑调查等数据^[51-53]。精细化人口分布和房屋建筑等数据信息的获取与研究是近年来暴露性分析的重要趋势。

2.1.3 易损性(脆弱性)分析

承灾体易损性(脆弱性)目前已成为一个涉及灾害学、社会学、经济学、管理学、环境科学、可持续性学科等多个专业领域的综合性概念,但尚未得到统一,不同学科视角的研究有不同侧重。防灾领域的研究主要是基于建筑数据,以及社会经济数据等,通过模拟实验或已有的灾害财产损失数据计算破坏率、或拟合不同财产、建筑物在不同强度致灾因子下的易损性(脆弱性)函数等^[54-59]。此外,在易损性分析框架^[60]、韧性评估^[61]、以及欧洲易损性改善框架^[62]等研究中,易损性(脆弱性)研究包含了承灾体暴露度、防灾能力和恢复能力等更为广泛的概念。

2.2 评估方法及述评

目前常见的单灾种风险评估方法可分为三类:一是采用主成分分析法、层次分析法、模糊评估法、灰色关联评估法等构建评估指标体系^[63];二是采用数据包络分析、回归分析等方法对历史灾情数据进行的实证研究方法^[39,64];三是采用系统动力学、Agent、复杂网络模型^[65-66]等的系统仿真方法。

其中,指标体系法通过指标优选、权重赋值和体系构建并根据评估结果判断风险程度的评估流程已较为成熟,被多数研究和实践采用^[63,67-73]。

冯浩对地震、洪涝、地质灾害和火灾四种常见灾害风险的孕灾环境敏感性、致灾因子危险性和承灾体脆弱性指标进行了综述^[74],可供参考。指标优选阶段一般是基于相关文献筛选指标,采用专家打分法(或德尔菲法)和层次分析法来确定多层指标及权重,并用概率统计、指数法、模糊数学方法、灰色系统方法等数学方法处理数据实现评估。然而,自然灾害是制约区域现代化和经济社会可持续发展的重要因素之一,重大灾害一旦发生意味着巨大的人员伤亡和深远的经济影响。指标选取过程中不可避免的主观性和权重间的高度相关性^[75],以及指标间的可补偿性^[76],也常给基于指标体系法的研究结果带来科学性和严谨性的质疑。仅通过经济密度、人口密度、防灾设施等几个指标难以真实描述灾害发生对不同承灾体造成的风险。

国际上目前较常用的灾害风险评估模型有 UN-DRO、NOAA、APEL 等模型^[74]。评估流出主要包括风险事件的目标识别、风险因子的危险性分析、承灾体的脆弱性或暴露度分析(包括基础设施、社会、经济、环境要素等)、风险分级和影响分析等内容。其中,UNDRO 模型因强调空间特性,被认为更加适用于规划领域^[74,77]。澳大利亚灾害协会提出的 SUMG 模型,主要根据严重程度、管理能力、紧急程度及发生概率,对风险预测结果进行评分^[78]。这一模型考虑了风险管理水平和灾害发生概率对总风险值的影响,但对灾害后果的评价主要还是基于经济损失,没有过多探讨人员伤亡等灾害造成的社会、文化影响。脆弱性评估研究中一些学者提出了更为详尽的指标体系和评估模型,如 Risk-Hazard^[79]、Hazard-of-Place^[54,61]、Pressure-of-Release^[80]、Airlie-House-Vulnerability^[60]、城市地震脆弱性^[81]、Vulnerability-Resilience^[82]等模型和评估框架。

大部分灾害风险评估都是依灾害系统论的逻辑展开。但在进行抗震防灾、防洪防涝专项规划研究等单灾种风险评估实践中,受研究对象尺度、历史灾情资料及指标数据可获取性等影响的指标优选过程,通常会简化指标,选取个别社会经济指标表征地区社会和经济脆弱性。且在城市灾害风险研究中,街道、社区等小尺度指标数据的精度问题也会影响最终风险评估结果的严谨性。此外,死亡人数是灾害等级判定中无法避免的指标,但由于生命损失的衡量维度与财产损失并不一致,灾害预期造成的人员伤亡也难以恰当地纳入风险评估结果中。

3 多灾种自然灾害风险评估

3.1 多灾种概念及风险评估对象

灾害之间存在复杂的响应、并发、互斥等关系。多灾种概念相对单灾种概念存在,指特定时段特定地区内多种致灾因子并存、并发的情况^[17]。多灾种风险目前尚没有统一的定义,一般是指多种致灾因子导致的总风险。科学评估多灾种风险需要对一个地区动力来源和特征各异的多种灾害

置于统一区域系统中,综合考虑灾害对区域开发、居民生命和财产安全可能的影响程度^[1]。作为当前灾害风险评估的重要方向,多灾种风险评估的主要目的是掌握区域的总体风险状况、绘制风险地图、制定区域土地利用规划和防灾减灾规划,帮助有效减轻灾害影响^[15,83],按照评估对象的尺度可分为全球尺度^[84-86]、国家或地区尺度^[14,87]和局地尺度^[68,88-89]三类,评估尺度越小,结果精度越高。

3.2 评估方法及述评

现有的多灾种风险评估研究大多基于灾害系统论的逻辑展开。主流的多灾种风险评估方法主要基于单灾种风险评估展开,区别在于风险综合的方式^[15]。近年来相关研究中已采用的多灾种风险综合方式可以归纳为两个视角:一是灾害叠加视角,二是灾害耦合视角。两者的本质区别在于有无考虑灾害间的相互作用关系,下面对两者分别进行阐述。

3.2.1 灾害叠加视角

风险叠加视角的评估过程分为“风险结果的综合”和“风险要素的综合”两类:

(1)风险结果的综合:从灾害系统风险理论出发,首先评估得到单个灾种的风险评估结果,再采用一定方法综合评估结果得到多灾种风险:

$$R = \sum f_i(H_i, E_i, V_i). \quad (4)$$

式中: H 、 E 、 V 分别表示致灾因子、暴露性和脆弱性, i 表示灾害种类, Σ 表示综合过程,如叠加或加权叠加等,但不限于此。2005年Hotspot多灾种风险评估法基于EM-DAT灾情数据库,通过对地震、洪水、火山、热带气旋、干旱和滑坡的死亡风险及绝对和相对经济损失风险指数的计算结果,叠加得到全球多灾种综合风险地图^[84];哥伦比亚马尼塞莱斯市采用加剧系数改进概率风险综合评估模型(Comprehensive Approach to Probabilistic Risk Assessment, CAPRA)来计算整体风险^[90-91];我国部分多灾种风险评估^[72,92]也采用这类方法,灾害间差异主要体现在综合过程中权重差异上。

(2)风险要素的综合:从灾害系统理论出发,首先分别计算一定区域内的致灾因子危险性、暴露性和脆弱性,通过一定过程计算多致灾因子综合危险性和多致灾因子的综合脆弱性,得到多灾种风险:

$$R = f(\sum H_i, \sum E_i, \sum V_i). \quad (5)$$

式中: H 、 E 、 V 分别表示致灾因子、暴露性和脆弱性, i 表示灾害种类, Σ 表示综合过程。现有的一些文献通过标准化方法,如将致灾因子危险性分类并开发“连续指数”(Continuous Indices)等^[84],但也仅限于一些相关的灾害,且模型结构主观成分较大。在处理不同灾害灾情数据和承灾体脆弱性指标数据时,主要采用概率统计/指数法/模糊数学方法/灰色系统方法等数学方法构建模型,如通过模糊转换函数等方式构建逐级放大的多灾种风险评估软层次模型实现灾种的量纲,采用模糊综合评判方法构建灾害风险度评估模型实现多灾种风险的综合^[56,71,93-96]。

但由于不同灾害的影响过程和影响范围大相

径庭,灾害间很难在空间上直接进行比较和叠加,叠加视角下的多灾种风险评估无法客观体现不同致灾因子对地区造成影响的差异。

3.2.2 灾害耦合视角

现实中灾害往往并非孤立出现,而是存在复杂的相互作用。以沿海城市气象灾害和地震灾害为例,灾害间存在复杂的触发、伴随等关系^[68]。其他常见的灾害间关系还有耦合关系、级联效应、灾害链、多米诺效应等^[97]。灾害关系机理研究日益受到关注,如灾害链和灾害群理论模型^[13,17],地下能量聚散与干旱、旱涝、地震灾害的关联性^[98],灾害链场效机理与区链观^[99],链式效应数学关系模型^[100]等,都是从自然灾害系统的角度出发分析不同灾害在成因、过程和后果中的时空关联。在梳理不同学科对“耦合”定义的基础上,薛晖等对耦合灾害风险给出如下定义:“复杂的风险系统活动过程中,不同风险或风险因子间相互依赖和相互影响的关系和程度”^[101]。

由于多数灾害风险研究并未重视灾害间关系,如何处理区域内多种灾害间耦合形成的综合风险开始成为近几年灾害风险评估研究的热点。刘爱华等学者采用动力学演变模型、复杂网络等模型对灾害链风险进行理论上的模拟评估^[102-103]。一些学者基于致灾因子危险性的耦合来研究多灾种风险,如卢颖与郭良杰在单灾种分级的基础上,通过人为设定“耦合规则”构建基于触发关系的危险性耦合模型,实现多灾种风险的评价^[68,104];李双双与杨赛霓等基于复杂网络信息扩散理论,构建干旱和热浪的时空耦合二分网络模型,实现两种灾害时空分布特征的聚类分析^[105]。

灾害耦合视角下的多灾种综合风险研究目前仍处于理论模型为主的阶段,在耦合规则和模型构建的关键步骤中仍存在一些主观、定性的步骤,普适性的多灾种风险耦合模型及其实证研究很少。此外,由于致灾因子耦合风险研究只能关注两到三种关系密切的灾害,如地震与滑坡、洪涝与泥石流、干旱与热浪等组合,面对诱因不同的风险问题(如地震和暴雨)时则无法解决。

4 总结与展望

4.1 探索多学科方法在灾害风险评估领域的应用

自然灾害风险评估是灾害风险研究的核心,也是风险管理的重要内容。科学分析一种或几种灾害发生对地方经济、社会和环境带来的潜在影响、风险等级排序及空间分布,可为城市空间发展提供可持续性和安全性方面的参考。当前,从灾害系统理论出发对致灾因子、孕灾环境和承灾体分别建立评估模型仍是自然灾害风险评估的主要范式,如从灾害成因、自然条件、社会经济、防灾工程的角度模拟和预估灾害发生的概率及其可能的影响程度。过去由于历史灾害损失统计数据的不完善和不公开问题,大尺度或精细化灾害风险模型研究都受到限制,随着计算机技术的突破和多学科交叉研究的兴起,神经网络模型、大数据结构模型、信息扩散模型、动态可计算一

般均衡模型、联合风险概率模型等一系列其他学科的模型和方法也正在灾害风险评估研究中被不断改进和应用。

4.2 强化灾害风险中损失的生命价值研究

自然灾害背景下,将人员伤亡影响与灾害经济影响置于同一维度进行分析的模型非常少。特别是以往在开展多灾种风险评估时,伤亡人数作为灾害等级评估中是无法避免的一个指标,生命损失的货币化议题由于存在一定伦理上的争议,反而在“风险的综合”过程中被模糊带过,仅用人口密度、经济量等承灾体脆弱性指标来表征。某一个人的生命值多少,固然不应该被贴上价格标签,但任何人、任何研究、任何制度都不应否认和忽视灾害中人员伤亡对整个社会造成的实际影响。环境经济学中的生命价值理论或能成为生命损失研究与灾害风险评估研究的重要衔接点。将灾害中生命折损所造成的价值流失,这一重要的非经济损失通过科学、严谨和合理的方法进行量化,并与经济损失实现数学维度上的统一,可以成为灾害风险研究的新方向,这将有助于人们对灾害风险的全面理解,也有利于风险管理和防灾减灾工作成效的定量评估。

4.3 创新多灾种综合风险评估方法

随着对灾害风险认知的加深,单一灾害的风险评估结果难以满足城市综合防灾研究的需要,灾害研究领域,多灾种风险综合评估研究正成为热门的研究方向。灾害间多次耦合关系仍处于理论研究阶段,也是目前灾害研究领域的难点,可以从触发关系和缓变型耦合关系出发,逐步实现灾害链的风险评估。当前大部分多灾种风险研究和实践主要仍基于单灾种风险评估,采用灾害叠加视角或灾害耦合视角进行综合。然而,灾害叠加视角下的多灾种风险评估过程难以严谨地量化不同灾害在强度和频率上的差异,导致综合风险结果与实际情况存在一定不符;灾害耦合视角下的多灾种风险评估过程主要适用于同源致灾因子的灾害,需要根据研究对象的实际情况定义耦合规则,模型普适性较弱。所以在面对城市综合防灾规划需求时,这两种传统的风险“综合”思路仍存在不足。未来的研究或许可以从灾害损失或灾害韧性的视角来研究多灾种风险,为灾害综合风险防范提供更科学和直观的依据。

4.4 推动适用于城市规划管理尺度的灾害风险研究

城市综合防灾规划是我国地方规划体系的组成部分,其编制离不开对城市综合风险,特别是自然灾害风险的科学测度和系统分析。在单灾种风险评估转向多灾种风险评估的过程中,大部分研究在国家、区域层面开展。全球、国家或区域等大尺度的灾害综合风险评估研究一般采用定性-定量结合的方法,并根据历史灾情数据、自然灾害记录、社会经济条件等资料从致灾因子危险性、承灾体暴露度和易损性(或脆弱性)、孕灾环境敏感性角度展开分析;小尺度的研究则需要基于建筑和市政设施等精确数据,通过参考或构建灾损函数预测特定灾害可能对承灾体造成的

影响。现阶段,城市层面上、中小尺度的多灾种风险定量研究还较少,尚未形成权威、公认的研究范式,在理论框架和方法模型上难以有效衔接城市综合防灾规划和应急管理,一定程度上影响了灾害学领域既有成果在城市规划管理领域的应用。因此,未来研究应更多地面向城市层面的评估单元,有针对性地研究城市灾害风险评估理论、模型,以及尺度恰当、具有普适性的指标体系。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] ISO31000: 2009 风险管理国际标准[S]. Geneva: International Organization for Standardization (ISO) Technical Committees (TC), 2009.
- [3] GB/T24353-2009 风险管理原则与实施指南[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [4] HARDY C. Wildland fire hazard and risk: problems, definitions and context[J]. *Forest Ecology and Management*, 2005, 211 (1/2): 0-82.
- [5] HELM P. Integrated risk management for natural and technological disasters[J]. *Tephra*, 1996, 15(1): 4-13.
- [6] KNIGHT F H and PUBLICATIONS D. Risk, uncertainty, and profit[J]. *Social Science Electronic Publishing* 1921, (4): 682-690.
- [7] UNEP. Global Outlook 3: Past, Present and Future Perspectives [M]. London: Earthscan Publications Ltd. 2002.
- [8] VARNES D J. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice [M]. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation, 1984.
- [9] 金子史郎. 世界大灾害 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1991.
- [10] 黄崇福. 自然灾害风险评价: 理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [11] 黄崇福. 综合风险评估的一个基本模式[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2008(3): 371-381.
- [12] 高庆华. 自然灾害系统论概说[J]. *科技导报*, 1991, 9(2): 51-54.
- [13] 申曙光. 灾害系统论[J]. *系统辩证学学报*, 1995, 28(1): 102-106.
- [14] 王铮, 张丕远, 刘啸雷. 中国自然灾害的空间分布特征[J]. *地理学报*, 1995 (3): 248-255.
- [15] 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 (1): 126-132.
- [16] 潘耀忠, 史培军. 区域自然灾害系统基本单元研究 - I: 理论部分[J]. *自然灾害学报*, 1997, 6(4): 3-11.
- [17] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践[J]. *自然灾害学报*, 1996, 5 (4): 6-17.
- [18] UNISDR. Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiative [M]. Geneva: UN Publications. 2004.
- [19] TIMMERMAN P. Vulnerability, resilience and the collapse of society: A review of models and possible climatic applications'. *Environment Monograph* [M]. Toronto: Institute for Environment Studies. 1981.
- [20] 尚志海, 刘希林. 基于 LQI 的泥石流灾害生命风险价值评估[J]. *热带地理*, 2010, 30 (3): 289-293.
- [21] 巫丽芸, 何东进, 洪伟. 自然灾害风险评估与灾害易损性研究进展[J]. *灾害学*, 2014, 29(4): 129-135.
- [22] IPCC. Climate change: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the Fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [R]. Cambridge: Cambridge University Press 2014.
- [23] MERZ B, KREIBICH H, THIEKEN A, et al. Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings[J]. *Natural*

- Hazards and Earth System Science, 2004, 4 (1): 153–163.
- [24] MILETI D S. Disaster by Design: A Resessment of Natural Hazards in the United States [M]. Washington, DC: Joseph Henry Press, 1999.
 - [25] OKADA N, TATANO H, HAGIHARA Y. Integrated Research on Methodological Development of Urban Diagnosis for Risk and its Applications [J]. 京都大学防災研究所年報, 2003; 1–8.
 - [26] 葛全胜, 邹铭, 郑景云. 中国自然灾害风险综合评估初步探究 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
 - [27] 尹占娥. 城市自然灾害风险评估与实证研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2009.
 - [28] 尹占娥, 许世远, 殷杰, 等. 基于小尺度的城市暴雨内涝灾害情景模拟与风险评估 [J]. 地理学报, 2010, 65 (5): 553–562.
 - [29] 王望珍, 张可欣, 陈瑶. 基于 GIS 的神农架林区多灾种耦合综合风险评估 [J]. 湖北农业科学, 2018(5): 49–54.
 - [30] YIN Z, YIN J, XU S, et al. Community-based scenario modelling and disaster risk assessment of urban rainstorm waterlogging [J]. Journal of Geographical Sciences, 2011, 21 (2): 274–284.
 - [31] 张继权, 冈田宪夫, 多多纳裕一. 综合自然灾害风险管理 [J]. 城市与减灾, 2005 (2): 2–5.
 - [32] 杨翼舫, 张利华, 黄宝荣, 等. 城市灾害应急能力自评价指标体系及其实证研究 [J]. 城市发展研究, 2010 (11): 118–124.
 - [33] MASKREY A. Disaster Mitigation: A Community based approach [M]. Oxford: Oxfam, 1989.
 - [34] UNHHA. Mitigating Natural Disasters: Phenomena, Effects and Options. A Manual for Policy Makers and Planners [M]. New York: United Nations, 1991.
 - [35] UN. Risk awareness and assessment in living with risk [R]. Geneva: UNISDER, UN, WMO. Asian Disaster Reduction Center, 2002.
 - [36] GUO E, ZHANG J, REN X, et al. Integrated risk assessment of flood disaster based on improved set pair analysis and the variable fuzzy set theory in central Liaoning Province, China [J]. Natural Hazards, 2014, 74 (2): 947–965.
 - [37] 高孟潭. 关于地震年平均发生率问题的探讨 [J]. 国际地震动态, 1988 (1): 1–5.
 - [38] 高孟潭. 基于泊松分布的地震烈度发生概率模型 [J]. 中国地震, 1996 (2): 91–97.
 - [39] 刘静伟. 基于历史地震烈度资料的地震危险性评估方法研究 [D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2011.
 - [40] 齐玉妍, 金学申. 基于历史地震史料记载的地震危险性分析方法 [J]. 震灾防御技术, 2009, 3 (4): 289–301.
 - [41] 秦四清, 李培, 薛雷, 等. 地震区危险性等级确定方法 [J]. 地球物理学进展, 2015, 30 (4): 1653–1659.
 - [42] 秦四清, 杨百存, 吴晓娟, 等. 中国大陆某些地震区主震事件判别 (I) [J]. 地球物理学进展, 2015, 30 (6): 2517–2550.
 - [43] 张静怡, 徐小明. 极值分布和 JKLL 型分布线性矩法在区域洪水频率分析中的检验 [J]. 水文, 2002, 22 (6): 1–5.
 - [44] YUE S, OUARDA T B M J, BOBEE B, et al. Corrigendum to the Gumbel mixed model for flood frequency analysis [J]. Journal of Hydrology, 1999, 226 (1/2): 88–100.
 - [45] 郭生练, 闫宝伟, 肖义, 等. Copula 函数在多变量水文分析计算中的应用及研究进展 [J]. 水文, 2008(3): 1–7.
 - [46] LIU X, LI J. Application of SCS model in estimation of runoff from small watershed in Loess Plateau of China [J]. Chinese Geographical Science, 2008, 18 (3): 235–241.
 - [47] NOURANI V, KISI Ö, KOMASI M. Two hybrid Artificial Intelligence approaches for modeling rainfall-runoff process [J]. Journal of Hydrology, 2011, 402 (1/2): 41–59.
 - [48] NOURANI V, MANO A. Semi-distributed flood runoff model at the subcontinental scale for southwestern Iran [J]. Hydrological Processes, 2007, 21 (23): 3173–3180.
 - [49] SHARIFAN R A, ROSHAN A, AFLATONI M, et al. Uncertainty and Sensitivity Analysis of SWMM Model in Computation of Manhole Water Depth and Subcatchment Peak Flood [J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2010, 2 (6): 7739–7740.
 - [50] 张会, 李铨, 程炯, 等. 基于“H–E–V”框架的城市洪涝风险评估研究进展 [J]. 地理科学进展, 2019, 38 (2): 175–190.
 - [51] HANSON S, NICHOLLS R, RANGER N. A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes [J]. Climatic Change, 2011, 104 (1): 89–111.
 - [52] SMITH A, MARTIN D, COCKINGS S. Spatio-Temporal Population Modelling for Enhanced Assessment of Urban Exposure to Flood Risk [J]. Applied Spatial Analysis and Policy, 2016, 9 (2): 145–163.
 - [53] WEIS S, AGOSTINI V, ROTH L. Assessing vulnerability: an integrated approach for mapping adaptive capacity, sensitivity, and exposure [J]. Climatic Change, 2016, 136(3): 615–629.
 - [54] CUTTER S L. Vulnerability to environmental Hazards [J]. Progress in Human Geography, 1996, 20 (4): 529–539.
 - [55] FEKETE A, TZAVELLA K, BAUMHAUER R. Spatial exposure aspects contributing to vulnerability and resilience assessments of urban critical infrastructure in a flood and blackout context [J]. Natural Hazards, 2017, 86 (1 Supplement): 151–176.
 - [56] 樊运晓, 高朋会, 王红娟. 模糊综合评判区域承灾体脆弱性的理论模型 [J]. 灾害学, 2003, 18 (3): 20–23.
 - [57] 侯爽, 郭安薪, 李惠, 等. 城市典型建筑的地震损失预测方法 I: 结构易损性分析 [J]. 地震工程与工程振动, 2007, 27 (6): 64–69.
 - [58] 石勇, 许世远, 石纯, 等. 洪水灾害脆弱性研究进展 [J]. 地理科学进展, 2009, 28 (1): 41–46.
 - [59] 张会, 李铨, 程炯, 等. 基于“H–E–V”框架的城市洪涝风险评估研究进展 [J]. 地理科学进展, 2019, 38 (2): 175–190.
 - [60] TURNER B L, KASPERSON R E, MATSON P A. A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003, 100 (14): 8074–8079.
 - [61] CUTTER S, BARNES L, BERRY M. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters [J]. Global Environmental Change, 2008, 18 (4): 598–606.
 - [62] BIRKMAN J, CARDONA O, CARREN O, et al. Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework [J]. Natural Hazards, 2013, 67 (2): 193–211.
 - [63] 赵阿兴, 马宗晋. 自然灾害损失评估指标体系的研究 [J]. 自然灾害学报, 1993, 2 (3): 1–7.
 - [64] 胡丽. 台风灾情评估及其预估研究 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2015.
 - [65] 叶欣梁, 温家洪, 邓贵平. 基于多情景的景区自然灾害风险评估方法研究——以九寨沟树正寨为例 [J]. 旅游学刊, 2014 (7): 47–57.
 - [66] 赵思健, 黄崇福, 郭树军. 情景驱动的区域自然灾害风险分析 [J]. 自然灾害学报, 2012, 21 (1): 9–17.
 - [67] 高庆华. 中国自然灾害风险与区域安全性分析 [M]. 北京: 气象出版社, 2005.
 - [68] 卢颖, 郭良杰, 侯云玥, 等. 沿海城市多灾种耦合危险性评估的初步研究——以福建泉州为例 [J]. 灾害学, 2015, 30 (1): 211–216.
 - [69] 史培军. 中国自然灾害风险地图集 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.
 - [70] 颜峻, 左哲. 自然灾害风险评估指标体系及方法研究 [J]. 中国安全科学学报, 2010, 20(11): 61–65.
 - [71] 杨娟, 王龙, 徐刚. 重庆市综合灾害风险模糊综合评价 [J]. 地球与环境, 2014, 42 (2): 252–259.
 - [72] 杨远. 城市地下空间多灾种危险性模糊综合评价 [J]. 科协论坛(下半月), 2009(5): 145.
 - [73] 张继权, 蒋新宇, 周静海. 基于多指标的多空间尺度暴雨洪涝灾害风险评价研究 [J]. 灾害学, 2010, 25 (S1): 382–382.
 - [74] 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, 32 (8): 93–98.
 - [75] BECKER W, PARUOLO P, SAISANA M, et al. Weights and Importance in Composite Indicators: Mind the Gap [M]. Springer International Publishing, 2015.
 - [76] OCED, Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide, OECD Statistics Working Papers [M], 2008, OECD Publishing.
 - [77] 燕群, 康玉芳, 蒙古军. 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.
- [78] Natural Disaster Organization. Community Emergency Planning Guide[R]. Australia: Natural Disasters Organization, 1991.
- [79] BURTON I, WHITE G. The Environment as Hazard[M]. New York: The Guilford Press, 1993.
- [80] BLAIE P, CANNON T, DAVIS I. At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters[M]. London: Psychology Press, 2004.
- [81] DUZGUN H S B, YUCEMEN M S. An Integrated Earthquake Vulnerability Assessment Framework for Urban Areas[J]. Natural Hazards, 2011, 59 (2): 1607–1617.
- [82] COSTA L, KROOP P J. Linking Components of Vulnerability in Theoretic Framework and Case Studies[J]. Sustainability Science, 2013 (8): 1–9.
- [83] DELMONACO G, MARGOTTINI C, SPIZZICHINO D. Report on new methodology for multi-risk assessment and the harmonisation of different natural risk maps[R]. ARMONIA, 2006.
- [84] DILLEY M. Natural disaster hotspots: a global risk analysis[R], World Bank Publications, 2005.
- [85] FORZIERI G, FEYEN L, RUSSO S, et al. Multi-hazard assessment in Europe under climate change[J]. Climatic Change, 2016, 137 (1/2): 105–119.
- [86] 史培军, 李宁, 叶谦等. 全球环境变化与综合灾害风险防范研究[J]. 地球科学进展, 2009, 24 (4): 428–435.
- [87] CHEN L, VANWESTEN J C. Integrating expert opinion with modeling for quantitative multi-hazard risk assessment in the Eastern Italian Alps[J]. Geomorphology, 2016, 273 (15): 150–167.
- [88] LOZOYA J P, SARDÁ R, JIMÉNEZ J A. A methodological framework for multi-hazard risk assessment in beaches[J]. Environmental Science & Policy, 2011, 14 (6): 685–696.
- [89] SILVA V, CROWLEY H, PAGANI M. Development of the Open Quake engine, the Global Earthquake Model's open-source software for seismic risk assessment[J]. Natural Hazards, 2014, 72 (3): 1–19.
- [90] BERNAL G A, SALGADO-GÁLVEZ M A, ZULOAGA D, et al. Integration of Probabilistic and Multi-Hazard Risk Assessment within Urban Development Planning and Emergency Preparedness and Response: Application to Manizales, Colombia[J]. International Journal of Disaster Risk Science, 2017, 8 (3): 270–283.
- [91] CARREÑO M L, CARDONA O, BARBAT A H, et al. Holistic Disaster Risk Evaluation for the Urban Risk Management Plan of Manizales, Colombia[J]. International Journal of Disaster Risk Science, 2017, 8 (3): 258–269.
- [92] 王慧彦, 薛辉. 县域自然灾害综合风险区划图编制——以滦县为例[J]. 自然灾害学报, 2013, 22 (3): 84–90.
- [93] ARAYA-MUNOZ D, METZGER M, STUART J. A spatial fuzzy logic approach to urban multi-hazard impact assessment in Concepcion, Chile[J]. Science of the Total Environment, 2017 (576): 508–519.
- [94] WESTEN C V, KAPPES M S, LUNA B Q. Medium-Scale Multi-hazard Risk Assessment of Gravitational Processes[M]. Netherlands: Springer, 2014.
- [95] 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(自然科学版), 2011, 51 (5): 627–631.
- [96] 薛晖, 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.
- [97] KAPPES, KEILER M, GLADE T. From single-to multi-hazard risk analyses: a concept addressing emerging challenges[M]// Malet JP, Glade T and Casagli N. (eds). Mountain risks: bringing science to society. Proceedings of the international conference, Florence. Strasbourg: CERIG Editions, 2010: 351–356.
- [98] 聂高众, 汤懋苍, 苏桂武. 多灾种相关性研究进展与灾害综合机理的认识[J]. 第四纪研究, 1999, 19 (5): 466–475.
- [99] 姚清林. 自然灾害链的场效机理与区链观[J]. 气象与减灾研究, 2007, 30 (3): 31–36.
- [100] JI X, WENG W, FAN W. Cellular Automata-Based Systematic Risk Analysis Approach for Emergency Response[J]. Risk analysis: an official publication of the Society for Risk Analysis, 2008, 28 (5): 1247–1260.
- [101] 薛晖, 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.
- [102] 刘爱华. 城市灾害链动力学演变模型与灾害链风险评估方法的研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [103] 刘爱华, 吴超. 基于复杂网络的灾害链风险评估方法的研究[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35 (2): 466–472.
- [104] 王望珍, 张可欣, 陈瑶. 基于 GIS 的神农架林区多灾种耦合综合风险评估[J]. 湖北农业科学, 2018 (5): 49–54.
- [105] 李双双, 杨赛霓, 刘宪锋. 面向非过程的多灾种时空网络建模——以京津冀地区干旱热浪耦合为例[J]. 地理研究, 2017, 36 (8): 1415–1427.

A Literature Review of Urban Natural Disaster Risk Assessment

ZHOU Shutian¹, ZHAI Guofang², SHI Yijun³ and LU Yuwen¹

(1. School of Art, Nantong University, Nantong 226001, China; 2. School of Architecture and Planning, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 3. School of Landscape Architecture, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: On the basis of reviewing a large number of domestic and foreign literature, We first comb the ideas and risk evaluation methods in the risk assessment theory and the disaster system theory. It then reviews the contents and methods used in the studies of single-hazards risk assessment and multi-hazard risk assessment, respectively. There are abundant achievements in existing studies on urban natural disaster risk assessment, where the cross-disciplinary methods and focus on multi-hazard risk have become more popular. Yet, currently there is some research gap in connecting the fields of disaster sciences and comprehensive disaster prevention planning in the urban scale. Future studies could pay more attention on (1) exploring the application of multidisciplinary methods in assessing disaster risks, (2) strengthening the idea of value of life lost in disasters, (3) innovating the methods to assess multi-hazards risks, (4) and promoting study of disaster risk assessment theories and methods that suitable for the urban-scale planning and management.

Key words: urban disaster risk; disaster risk assessment; disaster system theory; multi-hazard risk; review