

巫丽芸, 何东进, 洪伟, 等. 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. [Wu Liyun, He Dongjin, Hong Wei, et al. Research advances and prospects of natural disaster risk assessment and vulnerability assessment [J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(4): 129–135.]

# 自然灾害风险评估与灾害易损性研究进展<sup>\*</sup>

巫丽芸, 何东进, 洪伟, 纪志荣, 游巍斌, 赵莉莉, 肖石红

(福建农林大学 林学院, 福建 福州 350002)

**摘 要:** 自然灾害风险评估是区域减灾防灾重要的基础工作之一。从风险概念和风险度的表达入手, 探讨了自然灾害风险评估的对象及其构建的指标体系, 对主要自然灾害风险评估方法进行了综合比较, 并对灾害易损性评估研究进行了总结, 认为对灾害风险下的生态系统易损性关注不多。因此以区域为研究尺度, 构建了生态系统灾害风险评估框架, 选择危害风险性指数反映灾害危险程度, 选择防灾能力指数、承灾能力指数、恢复力指数等构建了生态系统灾害易损性评估指标体系。在对自然灾害风险评估研究认真梳理的基础上, 认为复杂性灾害系统的研究、灾害易损性基础理论及定量方法的探索、自然灾害风险研究体系的时空尺度的扩展、自然灾害风险评估精度和可信度的提高是未来自然灾害风险评估值得重视的趋势。

**关键词:** 自然灾害; 风险评估; 灾害易损性; 生态系统; 研究进展

**中图分类号:** X43    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1000–811X(2014)04–0129–07

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2014.04.024

进入21世纪以来, 全球自然灾害频发。而灾害是社会与自然相互作用的产物, 往往会给一个区域的社会、经济、生态系统进程带来巨大的影响, 甚至可能造成系统崩溃。灾害问题已经成为区域可持续发展的主要障碍因素, 受到了国内外学术界和社会各界的高度关注<sup>[1]</sup>。1994年, 联合国第一届国际减灾大会通过横滨战略, 提出了建立更安全世界的预防、防备和减轻自然灾害的指导方针<sup>[2]</sup>; 2005年, 联合国减灾大会又通过神户战略, 提出将减灾战略由减轻灾害调整为减轻灾害风险, 并从单纯的减灾调整为把减灾与可持续发展相结合<sup>[2]</sup>。2008年, 在瑞士达沃斯举行了第二届国际灾害与风险会议上, 提出将高度重视致灾因子、灾害与风险研究整合为一体, 强调形成全球与区域性的综合灾害风险防范模式与范式<sup>[3]</sup>。随着国内外对防灾减灾各方面问题认识的不断深化, 作为减灾实践的科学基础, 灾害风险评估愈来愈受到关注, 国内外关于灾害风险评估的文章不断涌现, 因此, 急需对目前灾害风险评估的研究框架、研究方法等进行分析与梳理, 探讨灾害风险评估的未来发展趋势, 为进一步总结灾害风险评估研究成果, 促进和推动灾害风险理论的发展奠定基础。

## 1 自然灾害风险的表达

自然灾害风险评估是指通过风险分析的手段或观察外表法, 对尚未发生的自然灾害之致灾因子强度、潜在受灾程度进行评定和估计, 是风险分析技术在自然灾害学中的应用<sup>[3]</sup>。目前, 有关自然灾害风险的定义很多。由于自然灾害风险理解的不同导致了对自然灾害风险度产生不同的表达。1989年, Maskrey<sup>[4]</sup>提出自然灾害风险是危险性与易损性之代数。1991年, 联合国<sup>[5]</sup>提出自然灾害风险是危险性与易损性的乘积, 此观点获得较多学者的认同。1996年, Smith<sup>[6]</sup>提出风险表达式为灾害发生概率与灾害损失的乘积。1997年, Tobin 和 Montz<sup>[7]</sup>提出了灾害发生概率加上易损度的风险表达式。1998年, Deyle<sup>[8]</sup>和 Hurst<sup>[9]</sup>提出风险为危险度与结果的乘积。KaPlan 和 Garrick<sup>[10–11]</sup>认为, 风险不是一个数字, 也不是一条曲线或是一个向量, 它应该是一个三联体的完备集, 并于1997年的风险分析学会大会报告上提出风险表达式为:

$$R_{\text{risk}} = \{ \langle s, P_i(\phi_i), P_i(x_i) \rangle \}_c \quad (1)$$

式中:  $s_i$  为第  $i$  个有害事件,  $P_i(\phi_i)$  代表第  $i$  个事件频

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2014–03–28    修回日期: 2014–05–13

基金项目: 国家自然科学基金项目(31200365, 31370624, 30870435); 福建农林大学林学院青年科学资助项目(6112C039V)

作者简介: 巫丽芸(1977–), 女, 福建光泽人, 博士研究生, 讲师, 主要从事海岸带森林与环境研究. E-mail: lywu2001@163.com

通讯作者: 何东进(1969–), 男, 福建福鼎人, 教授, 博士生导师. E-mail: fhdj1009@126.com

率为  $\varphi_i$  的概率,  $P_i(x_i)$  指第  $i$  个事件的结果为  $x_i$  的概率。

史培军<sup>[12]</sup> 于 2005 年提出了对灾害系统可能造成的风险估计的表达式:

$$R = \{ < S_i, P_o(P_r(S_i)), P_o(x_i) > \}_c. \quad (2)$$

式中:  $s_i$  为第  $i$  种致灾因子;  $P_r(S_i)$  为第  $i$  种致灾因子发生的概率;  $P_o(P_r(S_i))$  为  $P_r(S_i)$  的可能性分布;  $x_i$  为第  $i$  种灾害造成的损失,  $P_o(x_i)$  为第  $i$  种灾害的可能性分布。

可见, 对于某些领域来讲, 选用适当的风险表达式将风险问题简化成便于比较大小的一维问题是可行的<sup>[3]</sup>。但风险本质上是一个多维现象, 因而风险的评价趋向于多维表达, 尤其是针对区域大尺度的风险评估或是灾害系统可能造成的风险评估方面。

按照自然灾害风险的基础表达, 可以将自然灾害风险评估过程分为三个阶段, 形成自然灾害风险评估的概念模型(图 1)。

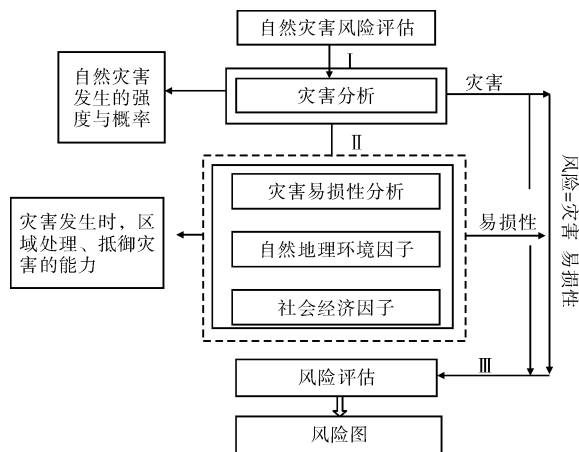


图 1 自然灾害风险评估概念模型<sup>[13]</sup>

## 2 自然灾害风险评估原理与方法

### 2.1 自然灾害风险评估的对象

就自然灾害风险评估的灾种类型而言, 研究还是较为多样的, 多发的、危害较大的灾种研究都有涉及。国内主要研究的灾种涉及洪水<sup>[14]</sup>、地震<sup>[15]</sup>、滑坡<sup>[16]</sup>、台风<sup>[17]</sup>、干旱<sup>[18]</sup>、风沙<sup>[19]</sup>、风暴潮<sup>[20]</sup>等自然灾害。自然灾害风险评估主要集中在地质灾害和洪水方面, 对洪水灾害系统风险评估研究比较系统<sup>[17]</sup>。国外报道较多的是地震<sup>[21]</sup>、滑坡<sup>[22]</sup>、火山<sup>[23]</sup>、全球变暖<sup>[24]</sup>、台风<sup>[25]</sup>、洪涝<sup>[26]</sup>等自然灾害方面的研究。

根据评价灾种多寡, 可将自然灾害风险评估分为单灾种风险评估与多灾种综合评估。目前灾害风险评估多针对单灾种, 即对一种灾害类型可能带来风险进行评估。多灾种综合风险研究主要有: 联合国开发计划署(UNDP)<sup>[27]</sup> 研究的灾害风险指数(disaster risk index, DRI)选择地震、热带气

旋、洪水和干旱为研究对象; 灾害风险热点地区研究计划(The Hotspots Projects)<sup>[28-29]</sup> 选取洪水、龙卷风、干旱、地震、滑坡和火山六种主要灾害进行研究; 灾害风险管理指标系统(System of Indicators for Disaster Risk Management)<sup>[30]</sup> 选择飓风、洪水、地震、火山作为对象展开研究; Juan<sup>[31]</sup> 在评价西班牙地中海岸带综合灾害风险时, 分别对暴风雨引起的侵蚀、暴风雨带来的洪水、长期侵蚀、河流洪灾、水母泛滥、污染、人类破坏六种灾害进行分析; Kappes<sup>[32]</sup> 对地震、滑坡、洪水、暴风对建筑物的潜在风险进行评估, 等等。但多灾种综合风险研究仍然十分薄弱。多灾种综合风险评估的主要挑战在于它不仅要考虑多种致灾因子的可能影响, 还必须综合分析不同灾害下不同系统的易损性。

许多种类的自然灾变, 特别是等级高、强度大的自然灾变, 在它的发生、发展过程中常常诱发出一系列的次生灾害与衍生灾害, 从而形成灾害链<sup>[33]</sup>。我国对灾害链分析主要针对台风、地震、暴雨、滑坡等, 比如高翔<sup>[34]</sup> 尝试借鉴链式风险评估模式, 构建区域灾害链风险评估模型, 来定量计算灾害链的风险值。国外学者也对灾害链问题进行了相关的研究, 比如 Floyd 和 Delnord<sup>[35]</sup> 对瓦尔迪兹港油溅灾害、Henry<sup>[36]</sup> 对 1991 年奥克兰大量山体崩塌、滑坡以及对随后发生的大灾害有系统的讨论。但目前对灾害链的研究多为定性分析灾害链的特性与成因, 如何定量地表述灾害链之间的能量传递规律或动力流动过程仍然是研究的难题<sup>[1]</sup>。

### 2.2 自然灾害风险评估的指标体系

当今国际的灾害风险评估正逐步趋于标准化和模型化<sup>[37]</sup>。UNDP(2004)<sup>[27]</sup> 研究的灾害风险指数系统以全球视角提供了第一个以国家为单位的人类脆弱性指标。DRI 选择暴露区致灾因子下死亡人数、死亡率或相对于受灾人口的死亡率代表暴露区的损失风险, 并从经济、经济活动类型、环境质量和依赖性、人口、健康和卫生条件、早期预警能力、教育、发展等 8 个方面选择 24 个变量来刻画不同社会经济环境的脆弱性。灾害风险热点地区研究计划<sup>[28-29]</sup> 是由世界银行和哥伦比亚大学联合发起的一个分析全球自然灾害风险的研究项目。它的评价指标由风险指标、灾害暴露指标、脆弱性指标三类构成, 其中风险指标由死亡率、经济损失总量和经济损失占 GDP 的比重三个指标构成; 灾害暴露指标根据不同的灾种提出不同的衡量参数共同构成, 如洪水采用极端洪水事件次数, 龙卷风用风力频率的历史资源统计而来, 脆弱性指标则采用历史灾损数据计算的每一灾种的损失率及受损与财富水平的相关系数作为脆弱性系数。灾害风险管理指标系统<sup>[30]</sup> 主要针对美洲国家灾害风险管理相关方面进行系统地、定量地评价。它选择灾害赤字指数(disaster deficit index, DDI)、地方灾害指数(local disaster index, LDI)、

通用脆弱性指数(prevalent vulnerability index, PVI)和风险管理指数(risk management index, RMI)4个综合指标评估每个国家的风险脆弱性和在风险管理方面的进展。Juan<sup>[31]</sup>在评价西班牙地中海岸带综合灾害风险时,选择海岸带作为栖息地、缓冲干扰、水源地、休闲娱乐和人文价值等生态系统服务功能的价值作为指标。Kappes<sup>[32]</sup>则选择建筑物的材料、层数、周边环境、建筑排列等来评估综合灾害下的物理易损性。

史培军等<sup>[12]</sup>认为区域灾害系统由致灾因子、致灾环境和承灾体三者综合而组成,所以国内各研究者在构建风险评估指标体系时,多采用致灾因子风险性、孕灾环境敏感性和承灾体易损性共同构成了区域灾害系统的风险评估体系。陈香等<sup>[17]</sup>在此“三因素”的基础上添加了防灾能力因素。针对不同的灾种,不同学者构建的具体指标则各有不同。以暴雨洪涝、台风、地质灾害为例。国内学者研究洪涝灾害<sup>[14,38-39]</sup>时一般选择暴雨强度、频次等来反映致灾因子的危险性;反映孕灾环境敏感性则选择地形、水系、植被等指标;反映承灾体易损性时主要选择地均人口、地均 GDP、

耕地比重等;反映防灾减灾能力时常选择人均 GDP、旱涝保收面积等。研究台风灾害<sup>[40-42]</sup>时一般选择风力、日平均雨量或过程最大雨量等来反映致灾因子的危险性;选用人口密度、耕地面积、地均 GDP、人均 GDP、城市人口比重等反映承灾体脆弱性;陈香等<sup>[17]</sup>还选用农民人均纯收入、单位面积基建投入、医疗人员比重、中等教育在校生数、单位面积公路通车里程等反映区域防灾减灾能力。研究地质灾害<sup>[43-45]</sup>时致灾因子选择降雨量指标表示降雨的危害性;孕灾环境主要从植被覆盖、坡度、地形地貌、地质构造、水文、人类工程状况等中选择具体指标;承灾体易损性主要选择人口密度、经济密度、人均 GDP、道路密度等指标加以评价。

### 2.3 自然灾害风险评估的评估方法

自然灾害风险评估是在发展中的一门科学,目前尚无成熟的技术方法<sup>[33]</sup>。随着自然灾害风险研究的不断深入,其评估方法日渐丰富并日趋定量化<sup>[2]</sup>。为此,笔者对国内外自然灾害风险评估方法进行了归纳、整理,对各方法优缺点进行了比较分析(表1)。

表1 自然灾害风险评估方法综合比较

评估方法	方法原理	主要应用	评价
概率统计	概率统计方法主要针对灾害随机不确定性,运用历史监测的样本估计灾害发生的概率。常用的统计方法有极大似然估计、区间估计、经验贝叶斯估计、直方图估计等。	概率统计方法主要用在灾害极值估计、灾害风险等级排序、幂次定律分布、异常事件的频数等分析 <sup>[46-47]</sup> 。	当样本容量无穷大时,统计结果是可靠的,因此概率统计要求样本容量足够大,才能与实际状况较为吻合。
指数法	根据研究区域和研究灾种选择影响因素,并确定各因子的权重,多采用层次分析法或专家打分法,最终加权各因子形成综合量化指标以评价风险。	指数法在台风 <sup>[17]</sup> 等单灾种风险评估还是综合灾害风险 <sup>[31-32]</sup> 评估中都多有应用。	可根据不同区域不同灾种有针对性地构建指标体系,操作方便灵活,适于综合评价,但指标的构建和权重的确定存在一定的主观性。
模糊数学	通过构建模糊子集,判断选择的自然灾害风险指标的隶属度,并利用模糊变换原理综合各指标反映风险度。	广泛应用于洪涝 <sup>[48-49]</sup> 、台风 <sup>[50]</sup> 、森林火灾 <sup>[51]</sup> 、地震 <sup>[21]</sup> 等多种灾害的风险评估与预测。	能较好地分析模糊随机性的问题,适用于多指标综合评价,但在确定指标、指标权重、隶属度等方面有一定的主观性。
信息扩散	它是为了弥补信息不足,而对样本进行集值化的模糊数学处理方法。用这种方法,对一个给定的不完备的样本可以扩散为一个模糊集。	目前,该方法受到较多学者的推崇,在灾害风险评估中得到了许多应用,基于信息扩散理论,学者们分析了洪灾 <sup>[52]</sup> 、热带气旋 <sup>[53]</sup> 、风暴潮 <sup>[20]</sup> 、生物灾害 <sup>[54]</sup> 等风险。	是一种较为新颖的定量评价方法,能优化处理小样本,但对于扩散函数的形式、扩散系数的选取、针对不同灾害的实际应用等方面仍需进一步研究。
灰色系统	灰色系统理论主要通过对“部分”已知信息的生成、开发,提取有价值的信息,实现对系统运行行为、演化规律的正确描述和有效监控。	人们利用灰色关联来评估泥石流 <sup>[55]</sup> 等风险;利用灰色预测模型暴雨洪涝 <sup>[56]</sup> 、农业气象灾害 <sup>[57]</sup> 、热带气旋 <sup>[53]</sup> 的未来趋势。	计算过程简便快捷,适用于信息数据不充分不完备的情况。但争议颇大。
人工神经网络	该方法划分评价单元,选定典型评价单元,将这些单元的评价指标值输入网络进行训练,然后将其余单元的指标值输入训练后的神经网络进行仿真,根据仿真结果得到每个单元的危害风险度。	人们应用神经网络对洪灾 <sup>[58]</sup> 、地质灾害 <sup>[43]</sup> 、大雪灾害 <sup>[59]</sup> 、滑坡灾害 <sup>[22]</sup> 等的风险性进行了分析,极大地推动了灾害风险评估定量化的研究。	神经网络能自动调节连接权值,因此在一定程度上避免了主观赋权所带来的误差。但它有可以因为收敛速度慢而导致训练结果存在差异。
GIS	以地理空间数据库为基础,采用地理模型分析方法,选择可以空间表达的风险指标,进行数据库管理和空间分析,直接以二维或三维图像形式输出。	GIS技术在滑坡 <sup>[60]</sup> 、土壤侵蚀 <sup>[61]</sup> 、洪涝 <sup>[14,62]</sup> 、土地退化 <sup>[44]</sup> 、台风 <sup>[40]</sup> 等风险评估与城市洪水与地质综合灾害易损性分析 <sup>[63]</sup> 等方面都有诸多成功地案例。	以图像形式输出,形象直观,易于理解,但GIS在风险指标的处理上往往需要集成其他的数学方法才能达到较好的风险评估效果。

### 3 灾害易损性评估

近 20 年来,许多灾害研究者不断地研究和开展着灾害易损性。“易损性”不仅逐渐成为灾害研究领域里的一个中心概念,而且也成为国际社会解决贫困、人口、发展和环境问题的基础<sup>[64]</sup>。尽管易损性研究已有近 20 年的历史,但对不同的人来说,“易损性”仍有着不同的含义和理解<sup>[64]</sup>。广义上说,“易损性”指易于遭受自然灾害的研究和损害,多数人认为易损性是灾害风险的一个组成<sup>[64]</sup>。因而,易损性评估是灾害风险评价的重要环节。

国内外学者针对灾害易损性进行了长期的研究与完善。国外对海岸带灾害<sup>[65]</sup>、暴风潮<sup>[66]</sup>、海啸<sup>[67]</sup>、城市热浪<sup>[68]</sup>、气候改变<sup>[24]</sup>、洪水<sup>[26]</sup>、环境灾害<sup>[69]</sup>等易损性都有相关的评述。概况而言,它们多从人口指标(包括人口密度、易受灾人口数量等)、机构响应灾害的能力指标(包括灾害管理规划、早期预警系统、应急响应机制等)、社会指标(包括就业状况、受教育情况、灾害意识、有小孩的家庭数、有病人老人的家庭数等)、经济指标(包括人均收入、政府财政收入、家庭财产、土地价格等)、基础设施指标(包括网络数量、道路可达性、拥有汽车数、医疗状况等)、建筑物指标(包括建筑类型、建筑层数、易受灾建筑数量等)等指标中选择适宜的指标构建区域灾害易损性评估指标体系,多采用综合评价法进行评估。国内学者也在洪涝<sup>[70]</sup>、泥石流<sup>[71]</sup>、滑坡<sup>[72]</sup>、地质灾

害<sup>[73]</sup>、区域灾害<sup>[74]</sup>等易损性评估方面做了有益的探索。它们或者从人口指标、社会指标、经济指标、资源环境指标中选择适宜指标构建评价指标体系,或者直接核算易损体价值或转化成易损指数,来评价灾害易损性。

无论是国外的还是国内的灾害易损性评估,灾害风险评估往往聚焦于人类社会的应急响应和社会经济系统的损失,而忽视灾害与生态系统的作用机理及生态系统的反馈机制。灾害作用下的自然生态系统并非仅仅被动地作为孕灾环境而存在。它与人类社会经济系统一起承受灾害的侵扰,并能缓冲或减轻灾害的破坏力,如沿海防护林可以大大减轻风沙对海岸带的侵袭,也可能因为系统脆弱而加重灾害对人类社会的损害,如湖泊面积减少造成洪涝影响的加剧。在城市中由自然系统所构建的生态基础设施可能提供安全庇护的功能,而成为灾害风险防范的重要组成部分。因此,灾害风险下生态系统易损性评估应该是灾害风险评估的重要内容之一。然而关于生态系统易损性评估研究至今未见比较成熟的个案,存在着较大的挑战<sup>[37]</sup>。

目前,灾害风险评估中对于生态环境多作为孕灾环境进行研究,所选指标也较为简单,主要是地形、水系、植被覆盖等,这些指标并不能很好地理解自然生态系统的灾害响应特征。为此,笔者以区域为研究尺度,提出生态系统易损性评价模型,以此构建生态系统灾害风险评估框架(图 2),为生态系统灾害风险评估提供一个方向。

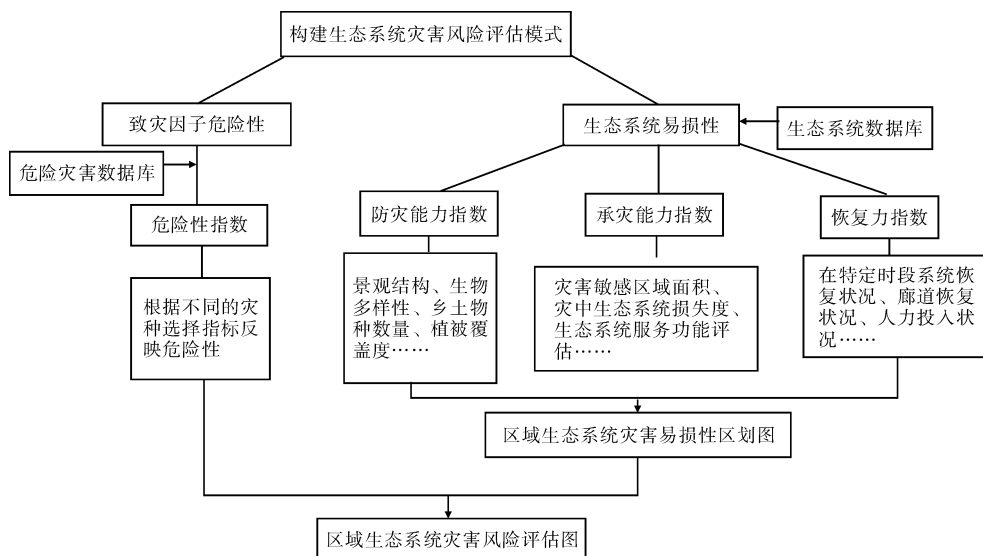


图 2 生态环境易损性评价框架与指标体系

生态系统灾害风险评估从致灾因子的危险性和生态系统易损性两个方面展开评价,选择危害风险性指数反映致灾因子的危险性,选择防灾能力指数、承灾能力指数、恢复力指数 3 种指数反映生态系统易损性。危害风险性指数针对不同的灾种选择不同的指标,如台风可选择最大风速,过

程最大降雨量等;防灾能力指数反映灾害发生前生态系统结构是否完善,可以选择景观格局指数、生物多样性指数、乡土物种数量、植被覆盖度、人为干扰强度等。承灾能力指数主要通过灾害敏感区域面积、灾害发生时生态系统的损失状况、生态系统服务功能来反映灾害发生时生态系统的

状况, 其中灾害敏感区域面积可以针对不同的灾种, 选择敏感性指标, 运用 GIS、RS 技术和实地调查的数据, 进行分析测量, 灾害发生时生态系统的损失状况, 可以采用样地法进行损失实测, 生态系统服务功能则针对不同的灾种选择主要功能进行评估; 恢复力反映的是生态系统在灾后的快速恢复能力, 主要通过特定时段生态系统恢复状况、廊道恢复状况、人力投入状况等来衡量, 特定时段生态系统恢复状况可以确定一个灾后具体时段, 如灾后一个月内, 其受损生态系统的恢复状况, 如植物生长恢复情况; 廊道往往是安全疏散通道, 廊道恢复状况主要强调受损廊道是否恢复; 人力投入状况可以用灾后救灾支出或恢复受损植被的财政支出等来衡量。

## 4 自然灾害风险评估研究展望

自然灾害风险评估的概念模型与评估方法不断在完善, 但自然灾害的影响是多尺度、多层次的, 涉及自然和人类社会的诸多方面, 基于资料、技术和工具的局限性及灾害系统的复杂多样性, 目前的自然灾害风险还存在不足, 仍需对以下方面进行深入探索。

### 4.1 加强自然灾害系统复杂性的研究

自然灾害具有不均匀性、多样性、差异性、随机性、突发性、迟缓性、重现性以及无序性等复杂性特点<sup>[75]</sup>。自然灾害系统是不可逆的复杂动态开放系统, 它以环境为外因而引发自然灾害系统内部结构的变异及对外的系列复杂响应行为<sup>[75]</sup>。自然灾害的复杂性可以从自然灾害系统的角度出发, 探讨其多灾种和演化上的复杂性。近年来, 已有不少学者提出要关注多灾种风险的评估问题<sup>[76]</sup>。一个区域, 特别是在环境敏感区域, 往往多种致灾因子并存或并发, 甚至是群聚或群发。对区域的自然社会经济系统的可持续发展威胁极大。因此, 在区域灾害风险评估时应考虑将对多种致灾因子进行综合分析, 形成区域综合灾害风险图, 这样对于区域灾害风险管理可能更有指导意义。目前, 区域多灾种综合研究实践并不多, 针对区域多灾种综合方法模型的研究应该是灾害风险评估的重要内容之一。

灾害通过渗透、转化、分解、合成、耦合等过程, 呈现出链发式的复杂行为过程。国内外学者都对灾害链风险进行了有益的探索, 但对于灾害链的动力机制和能量传递方式等方面的定量表述仍然是一个难题<sup>[1]</sup>。灾害链风险研究具有十分重要的意义, 如果能准确地定量分析灾害链发生机制, 就有可能采取有效措施切断或减缓灾害链的发生, 能大大减轻巨灾、大灾对人类系统的剧烈影响。因此, 灾害链风险评估是一个有着极强探索意义的研究方向。

### 4.2 完善灾害易损性基础理论及定量方法研究

虽然诸多学者不断地发展着灾害易损性分析

方法, 但对易损性研究还不成熟, 一些基本理论问题仍未得到很好地解决<sup>[65]</sup>。首先, 对于承灾体的认知集中于社会经济系统, 而较少关注生态系统。由于长期以来, 灾害损失都是统计人口、财产等指标, 土地、水、动植物等生态系统重要组成部分在自然灾害下的损失难以有效刻画, 因此在评估中缺乏相关数据。其次, 易损性的识别是一个复杂的过程, 涉及到时间尺度、空间范围等问题, 人类社会对灾害的正负反馈效应及生态系统的响应机制研究还有待深入, 因此易损性的识别标准与指标体系研究仍未形成系统。最后, 承灾体易损性的评价模型与方法仍需进一步的研究与实践。

### 4.3 扩展自然灾害风险研究体系的时空尺度

不同尺度下自然灾害格局、过程及驱动力以及效应的多尺度和数据协调等风险分析和评估方法研究应该得到重视。时间尺度上, 可以进行不同时间发生的灾害的危险性、损失程度、易损区域的比较研究, 也可以进行灾前、灾中、灾后的区域比较研究, 以期反映不同时期人类灾害响应能力, 为灾害管理提供依据; 空间尺度上, 目前的研究多以行政区为单位进行研究, 这种研究有一定的局限性, 可以进行社区、乡村、城市或群落、生态系统、景观等多尺度、多类型灾害风险分析, 从而能全面认识灾害影响。

### 4.4 提高自然灾害风险评估的精度和可信度

模型的应用是自然灾害风险评估研究的有效分析手段, 使得定量描述自然灾害风险成为可能。目前使用的模型方法众多, 而且不断有新方法引入这一领域, 但这些方法各有优缺点, 因此, 今后研究的一个重要任务是不断提高模型方法对灾害风险模拟和预测的精度和可信度, 同时研究和改进能够有机集成人类社会系统与生态系统的响应机制的评估模式。

自然灾害风险评估需要获取、分析、模拟大量的信息。RS 和 GPS 技术的应用, 可以建立灾害系统的遥感、监测网络, 可以实现大规模、大范围、全天候地采集灾害区域的动态实时数据和信息, GIS 能整合各种数据建立数据库, 还能对社会经济、生态等各类要素进行空间分析, 执行分析、模拟和预测等功能, 有助于问题的发现和决策制定。因此, 3S 技术为自然灾害风险评估提供了一个良好的平台和应用前景。

自然灾害风险评估所需的各种新技术和新方法仍在不断研究和改进, 如何完善这些新技术方法, 使灾害风险评估更精确、更可信, 也是当前自然灾害风险评估研究的重点。

## 参考文献:

- [1] 史培军. 三论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(3): 1-9.
- [2] 叶金玉, 林广发, 张明锋. 自然灾害风险评估研究进展[J].

- 防灾科技学院学报, 2010, 12(3): 20–25.
- [3] 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.
  - [4] Maskrey. A disaster mitigation: a community based approach [M]. Oxford: Oxfam, 1989.
  - [5] United Nations Department of Humanitarian Affairs (UNDHA). Mitigating Natural Disasters: Phenomena, Effects and Options: A Manual for Policy Makers and Planners [M]. New York: United Nations, 1991: 1–164.
  - [6] Smith K. Environmental hazards: Assessing risk and reducing disaster [M]. New York: Routledge, 1996.
  - [7] Tobin G A, Montz B E. Natural hazard: Explanation and integration [M]. New York: The Guilford Press, 1997.
  - [8] Deyle R E, French S P, Olshansky R B, et al. Hazard Assessment: The factual basis for planning and mitigation. [C]//Burby R J. Cooperation with Nature: Confronting Natural Hazards with Land-Use Planning for Sustainable Communities. Washington D. C.: Joseph Henry Press, 1998: 119–166.
  - [9] Hurst N W. Risk assessment: The human dimension [M]. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1998.
  - [10] Kaplan S, Garrick B J. On the quantitative definition of risk [J]. Risk Analysis, 1981, 1(1): 1–9.
  - [11] Kaplan S. The words of risk analysis [J]. Risk Analysis, 1997, 17(4): 407–417.
  - [12] 史培军. 四论灾害系统研究的理论与实践 [J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 1–7.
  - [13] Du Xiaoyan, Lin Xiaofei. Conceptual model on regional natural disaster risk assessment [J]. Procedia Engineering, 2012, 45: 96–100.
  - [14] 莫建飞, 陆甲, 李艳兰, 等. 基于 GIS 的广西农业暴雨洪涝灾害风险评估 [J]. 灾害学, 2012, 27(1): 38–43.
  - [15] 唐玉华, 苗崇刚, 宋立军, 等. 年度地震危险区地震灾害应急风险评估指标体系构建初探 [J]. 灾害学, 2013, 28(2): 153–155.
  - [16] 万石云, 李华宏, 胡娟, 等. 云南省滑坡泥石流灾害危险区划 [J]. 灾害学, 2013, 28(2): 60–64.
  - [17] 陈香. 福建省台风灾害风险评估与区划 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(6): 961–966.
  - [18] 刘航, 蒋尚明, 金菊良, 等. 基于 GIS 的区域干旱灾害风险区域研究 [J]. 灾害学, 2013, 28(3): 198–203.
  - [19] 任慧君, 岳德鹏, 冯露, 等. 基于物元模型的北京市大兴区风沙灾害危险性评价 [J]. 林业调查规划, 2011, 36(2): 47–49, 58.
  - [20] 齐鹏, 李明杰, 侯一筠. 基于信息扩散原理的渤、黄海沿岸风暴潮灾害风险分析 [J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(4): 628–632.
  - [21] Zekai Sen. Supervised fuzzy logic modeling for building earthquake hazard assessment [J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38: 14564–14573.
  - [22] Biswajeet Pradhan, Saro Lee. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: Backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling [J]. Environmental Modelling & Software, 2010, 25: 747–759.
  - [23] Ines Alberico, Lucio Lirer, Paola Petrosino, et al. Volcanic hazard and risk assessment from pyroclastic flows at Ischia island (southern Italy) [J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2008, 171: 118–136.
  - [24] Marshall N A, Stokes C J, Webb N P, et al. Social vulnerability to climate change in primary producers: A typology approach [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2014, 186: 86–93.
  - [25] Silvio Schmidt, Claudia Kemfert, Peter Höppe. Tropical cyclone losses in the USA and the impact of climate change-A trend analysis based on data from a new approach to adjusting storm losses [J]. Environmental Impact Assessment Review, 2009, 29: 359–369.
  - [26] Aleksandra Kazmierczak, Gina Cavan. Surface water flooding risk to urban communities: analysis of vulnerability, hazard and exposure [J]. Landscape and Urban Planning, 2011, 103: 185–197.
  - [27] Abchir M, Barrantes M, Basabe P, et al. United Nations International Strategy for Disaster Reduction Living with Risk [M]. Geneva: ISDR, 2003: 1–412.
  - [28] Pelling M. Visions of Risk: A Review of international indicators of disaster risk and its management [M]. ISDR/UNDP: King's College, University of London, 2004: 1–56.
  - [29] Dille M, Chen R S, Deichmann U, et al. Natural disaster hotspots: A global risk analysis [M]. Washington D C: Hazard Management Unit, World Bank, 2005: 1–132.
  - [30] Cardona O D, Hurtado J E, Chardon A C, et al. Indicators of disaster risk and risk management summary report for WCDR [R]. Program for Latin America and the Caribbean IADB-UNC/DEA, 2005: 1–47.
  - [31] Juan Pablo Lozoya, Rafael Sardá, José A. Jiménez. A methodological framework for multi-hazard risk assessment in beaches [J]. Environmental Science & Policy, 2011, 14: 685–696.
  - [32] Kappes M S, Papathoma-Köhle M, Keiler M. Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology. Applied Geography, 2012, 32: 577–590.
  - [33] 高庆华, 马宗晋, 张业成, 等. 自然灾害评估 [M]. 北京: 气象出版社, 2007.
  - [34] 高翔. 区域灾害链风险评估研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2011.
  - [35] Floyd H, Dennard J. Long-term community impacts of a technological disaster: The valdez oil spill [M]. Alabama: University of South Alabama, 1997.
  - [36] Henry R. Center prepared for multiple disasters [J]. American City & County, 2000: 7–16.
  - [37] 葛全胜, 邹铭, 郑景云, 等. 中国自然灾害风险综合评估初步研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
  - [38] 蒋卫国, 李京, 陈云浩. 区域洪水灾害风险评估体系—原理与方法 [J]. 自然灾害学报, 2008, 17(6): 53–59.
  - [39] 刘少军, 张京红, 蔡大鑫, 等. 台风过程引发洪涝灾害的风险评估—以海南岛为例 [J]. 自然灾害学报, 2010, 19(3): 146–150.
  - [40] 牛海燕, 刘敏, 陆敏, 等. 中国沿海地区近 20 年台风灾害风险评价 [J]. 地理科学, 2011, 31(6): 764–768.
  - [41] 陈文方, 徐伟, 史培军. 长三角地区台风灾害风险评估 [J]. 自然灾害学报, 2011, 20(4): 77–83.
  - [42] 赵飞, 廖永丰, 张妮娜, 等. 登陆中国台风灾害损失预评估模型研究 [J]. 灾害学, 2011, 26(2): 81–85.
  - [43] 成玉祥, 任春林, 张骏. 基于 BP 神经网络的地质灾害风险评估方法探讨——以天水地区为例 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(2): 100–104.
  - [44] 胡宝清, 严志强, 廖赤眉. 基于 GIS 的喀斯特土地退化灾害风险评价—以广西都安瑶族自治县为例 [J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 100–106.
  - [45] 张丽, 李广杰, 周志广, 等. 基于灰色聚类的区域地质灾害危险性分区评价 [J]. 自然灾害学报, 2009, 18(1): 164–168.
  - [46] 许飞琼. 灾害统计学 [M]. 长沙: 湖南人民出版社, 1998.
  - [47] Kim J. Probabilistic approach to evaluation of earthquake-induced permanent deformation of slopes [M]. University of California, Berkeley, 2001.
  - [48] 罗培, 张天儒, 杜军. 基于 GIS 和模糊评价法的重庆洪涝灾害风险区划 [J]. 西华师范大学学报: 自然科学版, 2007, 28(2): 165–171.
  - [49] 刘合香, 徐庆娟. 区域洪涝灾害风险的模糊综合评价与预测 [J]. 灾害学, 2007, 22(4): 38–42.
  - [50] Feng Li-Hua, Luo Gao-Yuan. Analysis on fuzzy risk of landfall typhoon in Zhejiang Province of China [J]. Mathematics and Com-

- puters in Simulation, 2009, 79: 3258–3266.
- [51] Iliadis L S, Spartalis S I. Fundamental fuzzy relation concepts of a D. S. S. for the estimation of natural disasters' risk (the case of a trapezoidal membership function) [J]. Math. Comput. Model, 2005, 42: 747–758.
- [52] Li Qiong, Zhou Jianzhong, Liu Donghan, et al. Research on flood risk analysis and evaluation method based on variable fuzzy sets and information diffusion [J]. Safety Science, 2012, 50: 1275–1283.
- [53] Liu Hexiang, Zhang Da-Lin. Analysis and prediction of hazard risks caused by tropical cyclones in Southern China with fuzzy mathematical and grey models [J]. Applied Mathematical Modelling, 2012, 36: 626–637.
- [54] Hao Lu, Yang Li-Zhe, Gao Jing-Min. The application of information diffusion technique in probabilistic analysis to grassland biological disasters risk [J]. Ecological Modelling, 2014, 272: 264–270.
- [55] 黄伟, 唐川, 刘洋. 基于灰色关联度的冰川泥石流危险性评价因子分析 [J]. 灾害学, 2013, 28(2): 172–176.
- [56] 姚俊英, 朱红蕊, 南极月, 等. 基于灰色理论的黑龙省暴雨洪涝特征分析及灾变预测 [J]. 灾害学, 2012, 27(1): 59–63.
- [57] 张星, 陈惠, 周乐照. 福建省农业气象灾害灰色评价与预测 [J]. 灾害学, 2007, 22(4): 43–45, 56.
- [58] 李绍飞, 余萍, 孙书洪. 基于神经网络的蓄滞洪区洪灾风险模糊综合评价 [J]. 中国农村水利水电, 2008, 6: 60–64.
- [59] Wu J, Li N, Yang H. Risk evaluation of heavy snow disasters using BP artificial neural network; The Case of Xilingol in Inner Mongolia [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2008, 22(6): 719–725.
- [60] Ainon Nisa Othman, Wan Mohd Naim W M, Noraini S. GIS based multi-criteria decision making for landslide hazard zonation [J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2012, 35: 595–602.
- [61] Md Rejaun Rahman, Z H Shi, Cai Chongfa. Soil erosion hazard evaluation—an integrated use of remote sensing, GIS and statistical approaches with biophysical parameters towards management strategies [J]. Ecological Modelling, 2009, 220: 1724–1734.
- [62] 薛晓萍, 马俊, 李鸿怡. 基于 GIS 的乡镇洪涝灾害风险评估与区划技术——以山东省淄博市临淄区为例 [J]. 灾害学, 2012, 27(4): 71–74, 91.
- [63] Michael Fedeski, Julie Gwilliam. Urban sustainability in the presence of flood and geological hazards: the development of a GIS-based vulnerability and risk assessment methodology [J]. Landscape and Urban Planning, 2007, 83: 50–61.
- [64] 郭跃. 灾害易损性研究的回顾与展望 [J]. 灾害学, 2005, 20(4): 92–96.
- [65] Saxena S, Geethalakshmi V, Lakshmanan A. Development of habitation vulnerability assessment framework for coastal hazard: Cuddalore coast in Tamil Nadu, India-A case study [J]. Weather and Climate Extremes, 2013, 2: 48–57.
- [66] Tim G Frazier, Nathan Wood, Brent Yarnal, Denise H. Bauer. Influence of potential sea level rise on societal vulnerability to hurricane storm-surge hazards, Sarasota County, Florida [J]. Applied Geography, 2010, 30: 490–505.
- [67] Sandra Eckert, Robert Jelinek, Gunter Zeug, et al. Remote sensing-based assessment of tsunami vulnerability and risk in Alexandria Egypt [J]. Applied Geography, 2012, 32: 714–723.
- [68] Yaella Depietri, Torsten Welle, Fabrice G Renaud. Social vulnerability assessment of the Cologne urban area (Germany) to heat waves: links to ecosystem services [J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2013, 6: 98–117.
- [69] Timothy W Collins, Sara E Grineski, Maira de Lourdes Romo Aguilar. Vulnerability to environmental hazards in the Ciudad Juárez (Meico)-EI Paso (USA) metropolis: A model for spatial risk assessment in transnational context [J]. Applied Geography, 2009, 29: 448–461.
- [70] 葛鹏, 岳贤平. 洪涝灾害承灾体易损性的时空变异——以南京市为例 [J]. 灾害学, 2013, 28(1): 107–111.
- [71] 唐川, 张军, 周春花, 等. 城市泥石流易损性评价 [J]. 灾害学, 2005, 20(2): 11–17.
- [72] 石莉莉, 乔建平. 基于 GIS 和贡献权重迭加方法的区域滑坡灾害易损性评价 [J]. 灾害学, 2009, 24(3): 46–50.
- [73] 陈新宇, 卢新中, 王琛. 昆明市地质灾害易损性模糊综合评价 [J]. 安全与环境工程, 2012, 19(2): 54–57.
- [74] 唐波, 刘希林, 李元. 珠江三角洲城市群灾害易损性时空格局差异分析 [J]. 经济地理, 2013, 33(1): 72–78, 85.
- [75] 范海军, 肖盛燮, 郝艳广, 等. 自然灾害链式效应结构关系及其复杂性规律研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25 (Sup. 1): 2603–2611.
- [76] 史培军. 五论灾害系统研究的理论与实践 [J]. 自然灾害学报, 2009, 18(5): 1–8.

## Advances of Research on Natural Disaster Risk Assessment and Disaster Vulnerability

Wu Liyun, He Dongjin, Hong Wei, Ji Zhirong, You Weibin, Zhao Lili and Xiao Shihong  
(Forestry College, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou 350002 China)

**Abstract:** Natural disaster risk assessment is an important basic work of regional disaster prevention and reduction. Starting from the concept of risk and the expression of risk degree, the object of natural disaster risk assessment and the index system of its construction are discussed. The main assessment methods are comprehensively compared, and the disaster vulnerability assessment is summarized, and the vulnerability of ecosystem in disaster risk is believed to be less concerned. Therefore, the ecosystem disaster risk assessment framework is constructed based on regional research scale. Hazard risk index are chosen to reflect the hazard degree, and disaster prevention ability, disaster bearing capacity index, restoring force index, etc. are chosen to construct vulnerability assessment index system of ecosystem disasters. According to carding of the former researches on natural disaster risk assessment, worthy trends of the future disaster risk assessment are considered as research on complex disaster systems, exploration of the basic theory and quantitative methods on disaster vulnerability, Extended spatial and temporal scales of natural disaster risk research system, and to improve the accuracy and credibility of natural disaster risk assessment.

**Key words:** natural disaster; risk assessment; disaster vulnerability; ecosystem; research progress