

哈斯, 张继权, 佟斯琴, 等. 灾害链研究进展与展望[J]. 灾害学, 2016, 31(2): 131-138. [Ha Si, Zhang Jiquan, Tong Siqin, et al. Progress and Prospect of the Research on Disaster Chain[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(2): 131-138.]

灾害链研究进展与展望*

哈 斯, 张继权, 佟斯琴, 李思佳

(东北师范大学 环境学院 东北师范大学自然灾害研究所, 吉林 长春 130117)

摘 要: 灾害的形成、发生与发展过程具有链式规律, 灾害链已经成为灾害研究的热点问题之一。为全面了解国内外灾害链的研究进展, 通过梳理和分析灾害链研究相关文献对已取得的研究成果进行归纳和总结, 探讨了研究中存在的一些不足, 并对今后灾害链的研究趋势进行了展望。首先, 梳理了国内外研究中不同学者对灾害链概念的理解; 其次, 总结了灾害链研究中灾害链分类的3种方式——基于灾种的灾害链分类、基于灾害链时空结构的灾害链分类和基于灾害系统要素的分类; 重点阐述了灾害链研究的主要内容, 包括灾害链形成机制、灾害链风险评估、灾害链损失评估以及灾害链孕源断链减灾对策; 归纳出灾害链研究中采用的3类主要方法——基于数据的概率分析方法、基于复杂网络的研究方法和基于遥感实测的研究方法; 最后对灾害链研究目前存在的问题和未来可能的发展趋势进行了探讨。

关键词: 灾害链; 灾害链分类; 风险评估; 损失评估; 研究进展; 研究展望;

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2016)02-0131-08

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.02.027

近年来, 由于全球气候变化导致自然变异的加剧, 伴随着人口急剧增长, 社会经济不断发展和城市化进程加快, 使得全球自然灾害活动强烈、破坏损失特别严重, 对人类生命、财产、社会及生态等多个方面造成了巨大的影响。多种灾害的链式发生与相互叠加, 使得这种影响尤为明显。2004年印尼苏门答腊9级大地震引发海啸, 导致23.2万人死亡或失踪, 因海啸死亡的人数远远超过因震死亡人数^[1-2]; 2005年美国卡特里娜飓风及其诱发的一系列风暴潮、洪涝灾害造成1300多人死亡, 经济损失超过960亿元^[3-4]; 2008年中国南方雨雪冰冻灾害造成损失约1500亿元^[5]; 2008年中国汶川发生8级地震, 由地震引发山体滑坡、泥石流及堰塞湖等多种灾害, 造成6.9万余人遇难^[6]; 2011年日本9级大地震及引发的海啸造成1.5万多人死亡, 同时地震还引起了核泄漏事故^[7-8]。可见, 这些发生在陆地和海洋圈层的灾害过程, 给生态环境带来了严重的破坏, 对人类构成了巨大的威胁, 因此灾害链的研究极为迫切和重要。

以往的灾害研究多侧重于单一灾种的研究,

并且认为不同灾种之间是同质的, 相互独立的线性关系。但大量的实例表明, 任何灾害的发生发展都不是孤立的、静止的, 很多重大自然灾害的发生往往会伴随其他灾害的产生, 其损失也并不是由某一种灾害造成的, 而是由多种灾害的连锁反应及其在时间、空间上复杂的相互作用而产生的。各种灾害之间的相关性已经得到国内外学者的关注, IPCC也在适应性政策中加入了多种灾害管理战略^[9], 这也使得灾害链从最基本的理论问题逐渐成为灾害研究领域的热点问题。同时, 由于各种灾害之间呈现链式结构不断演化的态势, 使得其造成的危害和影响远比单一灾害事件大而深远, 也使人们认识到, 从灾害链的角度对灾害进行研究, 可以更加有效地进行防灾减灾工作, 以减少由灾害连锁效应带来的损失。

当前, 灾害链的相关研究刚刚兴起, 不同学者对灾害链的概念存在多种理解, 对灾害链的研究内容与方法也各不相同。为全面了解国内外灾害链的研究进展, 本文通过梳理和分析相关文献, 对已取得的研究成果进行归纳和总结, 探讨了研究中存在的问题, 并对灾害链的研究进行了展望,

* 收稿日期: 2015-12-09 修回日期: 2016-01-25

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题(2013BAK05B02、2013BAK05B01)

作者简介: 哈斯(1992-), 男, 蒙古族, 内蒙古通辽人, 硕士研究生, 主要从事自然灾害风险评估与灾害损失评估等方面研究。

E-mail: has441@nenu.edu.cn

通讯作者: 张继权(1965-), 男, 吉林九台人, 教授, 博士生导师, 主要从事综合灾害与生态环境风险评价、预警与应急管理等方面研究。E-mail: zhangjq022@nenu.edu.cn

以期对灾害链研究提供借鉴和参考。

1 灾害链的概念

随着研究的深入, 尽管对于灾害链的概念研究有了较大的进步与发展, 灾害间的相互关系也得到了众多学者的关注, 但关于灾害链的定义目前还没有一个明确统一的界定。

在国外, Menoni^[10]最先提出用灾害损失链的概念代替目前使用的简单耦合灾害损失观念。Delmonaco^[11]认为连锁失效是指系统中部分失效引发其它相互关联的部分失效, 对于自然灾害的研究, 是指特定的灾害引发次生灾害的高可能性。Carpignano^[12]认为灾害链是灾害事件间的相互作用而形成的多米诺现象。Dombrowsky^[13]认为独立的自然灾害并不存在, 它是自然系统内部相互作用并与社会系统相互关联的后果, 灾害具有不断演化扩散的特征。Kappes^[14]认为在复杂的自然灾害系统中多种灾害过程之间是相互关联的, 灾害的发生会改变灾害系统的整体状态, 从而影响另一灾害的发生。Helbing^[15]在“Nature”杂志上发表文章指出“灾害之间通常具有因果关系, 这使得灾害系统的复杂性大大加深”。除此之外, 很多国外学者还提出了连锁效应、诱发效应、级联效应等名词, 描述灾害链的概率, 解释一种灾害引发另一种灾害的现象。

在国内, 20世纪80年代, 灾害链的概念最早作为一个灾害学基本理论问题被提出。郭增建^[16]认为灾害链是一系列灾害相继发生的现象。李永善^[17]认为灾害链就是大系统长周期的放大过程、成灾时的自然放大过程和成灾时的社会放大过程。史培军^[18-19]认为灾害链是因一种灾害发生而引起的一系列灾害发生的现象, 是某一种原发灾害发生后引起一系列次生灾害, 进而形成一个复杂的灾情传递与放大过程。马宗晋^[20]认为灾害链是原发灾害派生出的一系列次生灾害, 形成的次生灾害链。文传甲^[21]认为灾害链是一种灾害启动另一种灾害的现象, 即前种灾害为后种灾害的部分原因, 前种灾害为启动灾害链环, 后种灾害为被动灾害链环, 这一定义强调了在灾种之间的关联性。刘哲民^[22]认为等级高、强度大的灾害发生后, 会诱发出一连串的次生灾害接连发生, 从而形成灾害链。倪晋仁等^[23]认为灾害链是由两种或多种灾害因因果关系或同源关系而形成接续发生或同步发生的序列。黄崇福^[24-25]认为灾害链是由一种灾害启动另一种或多种灾害的现象, 还提出了多态灾害链的概念及其具体形式化的数学描述关系, 即一种灾害在不同条件下可能诱发不同灾害链的现象。刘文方等^[26]认为灾害链是指包括一组灾害

元素的一个复合体系, 链中各灾害要素之间和各灾害子系统之间存在着一系列自行连续发生发应的相互作用, 其作用的强度使该组灾害要素具有整体性。门可佩等^[27]认为重大自然灾害一经发生, 极易借助自然生态系统之间相互依存、相互制约的关系, 产生连锁效应, 由一种灾害引发出的一系列灾害, 从一个地域空间扩散到另一个更广阔的地域空间, 这种呈链式有序结构的大灾传承效应称为灾害链。余瀚等^[28]认为灾害链可定义为在特定空间尺度与时间范围内, 受到孕灾环境约束的致灾因子引发一系列致灾因子链, 使得承灾体可能受到多种形式的打击, 形成灾情累积放大的灾害串发现象。

随着多学科的交叉融合以及灾害研究的不断深入与完善, 不同专业与不同背景的学者从各自研究角度出发, 借鉴多学科的理论, 对灾害链的概念定义进行了界定。《地球科学大辞典》^[29]将灾害链定义为原生灾害及其引起的一种或多种次生灾害所形成的灾害系列。其中, 原生灾害是指由动力活动或环境异常变化直接形成的自然灾害, 次生灾害是指由原生灾害引起的“连带性”或“延续性”灾害。肖盛燮^[30]把灾害链概括为“链式效应”或“链式关系”, 认为灾害链是将宇宙间自然或人为等因素导致的各类灾害, 抽象为具有载体共性反映特征, 以描绘单一或多灾种的形成、渗透、干涉、转化、分解、合成、耦合等多相关的物化流信息过程, 直至灾害发生给人类社会造成损坏和破坏等各种连锁关系的总称, 其重点在于灾害链的演化过程。郑大玮^[31]对灾害链的进行了进一步扩展, 指出广义灾害链是灾害系统在孕育、形成、发展、扩散和消退的全过程中与其它灾害系统之间, 各致灾因子和影响因子相互之间, 以及这些因子与承灾体之间各种正反馈与负反馈链式效应的总和。姚清林^[32]从物理学中“场论”的观点出发, 认为灾害链是物理、化学场平衡——失衡——平衡的过程产物, 链中事件皆是场态的“象”, 事件间不是简单的因果关系, 而是自然变异、演化过程中系统“扰动”效应的渐次影响关系, 是场因果关系而非孤立的点因果关系。韩金良等^[33]从灾害链的特征出发, 定义地质灾害链是由成因上相似并呈线性分布的一系列地质灾害体组成的灾害链或者是由一系列在时间上有先后, 在空间上彼此相依, 在成因上相互关联、互为因果, 呈连锁反应依次出现的几种地质灾害组成的灾害链。徐道一^[34]从自组织理论出发, 把灾害链具有隐性有序性的变量类比为协同学的“序参量”, 从而提出“似序参量”, 作为表示灾害链演变过程的重要参数。王春振等^[35]认为灾害链是对某种灾害从发生时到该种灾害对人类社会造成损失或破

坏后的各种连锁关系的总称。尽管不同学者因专业背景和关注视角的不同使其对灾害链的理解存在差异, 但灾害链对孕灾环境和承载体的破坏损失在时间、空间上起到扩散放大作用等方面的认识较为一致。

2 灾害链的分类

灾害链分类对于深入了解灾害链的形成机制、时空演变规律及其断链减灾对策具有重要意义。由于各自研究角度的不同, 各学者对于灾害链的分类方法也有所差异。归纳总结为以下三类。

2.1 基于灾种的灾害链分类

灾害链研究侧重于不同灾种之间的联系, 因此, 将灾种为分类标准是最直观和最基本的灾害链分类方法, 是现有研究中对于灾害链的最常见分类方法之一。

按照圈层、灾害种类等标准进行分类, 史培军^[36]提出了4种常见的灾害链, 即台风-暴雨灾害链、寒潮灾害链、干旱灾害链和地震灾害链。卢耀如院士^[37]将灾害链分为气候-地质灾害链、地震-地质灾害链、海洋-陆地灾害链、河流上下游间地质灾害链和地质-生物灾害链。Yasuhara^[38]将灾害链分为与水相关的灾害链和与地质相关的灾害链。xu^[39]认为灾害链可分为地质灾害链、气象灾害链和地质-气象灾害链3大类。

也有学者通过列举出区域中所发生的灾害链案例, 进行汇总与合并对灾害链进行分类。叶金玉等^[40]讨论福建的台风灾害链的类型主要包括台风-暴雨灾害链、台风-大风灾害链和台风-风暴潮灾害链。居丽丽等^[41]对上海地区台风、大雾和高温灾害特征进行研究, 构建了上海台风-暴雨-洪涝、台风-大风(龙卷风)、台风-风暴潮(巨浪)灾害链, 以及大雾灾害链和高温灾害链。王萌等^[42]分析了陕西省暴雨灾害链典型案例, 提出陕西省2010年主要有暴雨-洪涝、暴雨-崩塌/滑坡-泥石流、暴雨-洪灾-环境污染-疾病灾害链。

2.2 基于时空结构的灾害链分类

灾害链的结构可以从时间与空间上的关系来研究。时间上是指灾害链中各灾害事件发生的先后顺序, 而空间上指各灾害链引发的灾害在范围上扩展的方式。

郭增建^[16]从灾害链产生原因将灾害链分为因果链、同源链、互斥链和偶排链4种。史培军^[18]把灾害链划分为并发性灾害链与串发性灾害链。文传甲^[21]把灾害链的结构形状分为鞭状、树枝状、环状、多链-灾群。陈兴民^[43]从灾害过程将灾害链分为灾害蕴生链、灾害发生链、灾害冲击链3

种。肖盛燮^[44]根据链的载体反映不同性状的灾害演化过程链式类型特征, 把灾害链划分为崩裂滑移链、周期循环链、支干流域链、树枝叶脉链、蔓延侵蚀链、冲淤沉积链、波动袭击链、放射杀伤链8种类型。李智^[45]从灾害链的连接和交错情况进行分析, 将灾害链分为直式灾害链、发散式灾害链、集中式灾害链、循环式灾害链、交叉式灾害链5种类型。尽管各位学者的划分差异较大, 主要在于不同研究者对灾害链的认识与理解不同, 这也反映了灾害链的复杂多样性。

2.3 基于灾害系统要素的灾害链分类

这种分类方法主要依据区域灾害系统论, 综合考虑致灾因子、孕灾环境和承灾体, 从成灾机制的角度进行分类, 对于灾害链评估、区划具有重要的意义。

李景保等^[46]从湖南省四水流域暴雨径流灾害链孕灾环境出发, 划分了其致灾因子链的类型。刘爱华^[47]从承灾体的角度入手, 将城市灾害链划分为城市地震灾害链、城市洪涝灾害、城市台风灾害链、城市暴雪低温冰冻灾害链4种典型灾害链。李英奎等^[48]在探讨泥沙灾害链的分类分级体系与方法时, 在泥沙灾害分级的基础上, 从单指标法及系统分类法两个角度提出了泥沙灾害链的分级分类原则与体系, 其分级思想具有借鉴作用。钟敦伦等^[49]根据山地灾害链的致灾因素不同将其划分成地球内营力作用、外营力作用和人为作用致灾的灾害链3种类型。此类灾害链分类方法为灾害链分类研究提供了新的思路与方法, 但这类划分方法仅针对特定区域且分类过程较为复杂。

3 灾害链的主要研究内容

灾害链是一种复杂的灾害系统, 当前研究尚处于起步阶段。目前国内外关于灾害链的研究内容主要包括: 灾害链形成机制、灾害链风险评估、灾害链损失评估以及灾害链孕源断链减灾对策等方面。

3.1 灾害链形成机制研究

灾害链形成机制是指灾害链形成时, 不同灾害之间的物质和能量相互作用过程, 对于这些过程的深入研究可以进一步认识灾害链、揭示灾害链形成的规律与特征。当前, 对灾害链形成机制的研究大部分处于定性分析与描述阶段, 也有小部分学者通过建立数学、物理模型来研究灾害链形成机制, 但只是基本的概念模型^[50-51]。

杜翠^[52]研究了高寒、强震山区泥石流堵塞大河的沟谷灾害链判断依据, 并提出了线路工程减灾对策。朱伟等^[53]分析了城市暴雨灾害链的演化特点, 提出交通堵塞是暴雨灾害链的关键节点。

吴瑾冰^[54]对华南地区的地震与洪涝、台风、风暴潮所形成的灾害链及其机制进行了讨论。王劲松等^[55]对西南和华南地区的干旱灾害链的形成特征进行了分析。帅嘉冰等^[56]对长三角地区的台风灾害链进行了特征分析。周靖等^[57]分析了受暴雪冰冻灾害链影响的城市生命线系统灾害链的形成机理与致灾原因,并归纳了其灾害链的类型,提出了防灾减灾对策。

3.2 灾害链风险评估研究

研究灾害链的目的就是对未来灾害链发生、损失的风险进行评估,进而为断链减灾提供防治和控制对策。灾害链与单灾种及多灾种叠加不同,它具有诱发性、时间延续性及空间扩展性^[58],以灾害链为中心进行区域灾害综合风险评估,能厘清各灾种之间的相互作用关系,并更加真实的刻画出灾害链式演变过程所带来的风险。对此,也有不少学者对不同灾害链进行了风险评估。

刘爱华^[59]提出了一种基于复杂网络结构的灾害链风险评估模型的建模方法,并以珠海市台风灾害链为例进行了验证,验证结果精度较高。王静爱等^[60-61]以广东为例,详细分析了台风灾害链的形成过程、损失分布和风险评估,并建立了区域台风灾害链风险防范模式。王翔^[62]通过借鉴供应链和事故链的链式风险评估模式,构建了一个区域灾害链的影响因素指标体系,并提出了区域灾害链风险评估模型,来定量计算灾害链的风险值。张卫星与周洪建^[63]提出了灾害链风险评估的概念模型,并以汶川8级大地震灾害链为案例进行了分析。

3.3 灾害链损失评估研究

灾害链损失评估既是理解灾害链演化过程的重要手段,也是开展救灾工作、进行救灾资源调配的重要前提。灾害链损失评估贯穿于整个灾害管理过程中。评估时需要注意灾害链的系统性、层次性及交叉性。其灾情累计放大过程的研究更是需要综合分析灾害链中的各个要素。周洪建等^[64]通过对半干旱地区极端强降雨灾害链的研究,结合流域范围、实时降雨、遥感解译与实地调查,构建了极端强降雨灾害链损失快速评估方法,并对甘肃岷县2012年5月10日特大强降雨山洪泥石流灾害链的房屋损失进行快速评估,结果误差小于0.15。史培军^[58]采用了基于“区域灾害系统”的脆弱性和易损性模型,评估汶川地震灾害链造成的直接经济损失、居民住房和房屋损失。

3.4 灾害链孕源断链减灾研究

孕源断链减灾是指在灾害链形成初期利用工程措施、生物措施等手段阻止灾害发生,从灾害源头削弱、消灭或回避灾变,限制或疏导灾害载体,并保护或转移承灾体,达到切断灾害链的目

的^[65]。近年来,国内孕源断链减灾的理论研究日益受到关注,孕源断链减灾在灾害链防范中的实践应用也在不断扩展^[66]。

王志超等^[67]以四川省汉源县2010年7月27日的地质灾害链为例,对地质灾害链防治中采用的断链、削弱、对信息流的重视等策略进行了分析。秦朝亮^[68]提出了采煤沉陷区灾害链的断链减灾模式与采煤沉陷区的综合治理方案。李文鑫等^[69]从能量的角度分析了汶川地震引发的次生山地灾害链切断次生灾害链方法。周科平等^[70]将尾矿库溃坝灾害链演变过程进行了划分,并从各阶段的特征出发,提出了相应断链减灾措施。刘磊等^[71]提出了矿山灾害链“初次断链+预防断链+灾后重建”组合断链减灾模型。马保成等^[72]对公路滑坡灾害用模糊数学的方法进行分析,概括了滑坡演化阶段的特征规律,划分了其链式演变阶段;向灵芝等^[73]在对震后灾害链产生机制及其对城镇重建影响的研究中,提出通过治理震后泥石流、滑坡等重点次生地质灾害,加强震后监测预报等明确的减灾措施。吴立等^[74]在对巢湖流域灾害进行深入研究的基础上,提出从人-地关系地域系统的调控上来制定区域减灾对策,并针对该流域提出了采取生物措施与工程措施相结合、上下协同控制的六条减灾对策措施。刘文方和李红梅^[75]运用熵权理论对斜坡地质灾害链源致灾因素进行探讨,对斜坡稳定性及斜坡地质灾害链进行综合识别和判断,为断链减灾提供依据。

4 灾害链的主要研究方法

现有的研究方法多数是通过不同角度对于灾害链的形成与演化过程机制、特征的定性分析与描述。主要包括了基于数据的概率分析方法、基于复杂网络的研究方法和基于遥感实测的研究方法等。

4.1 基于数据的概率分析方法

灾害链过程涉及多种形式的灾害引发关系,但这种引发关系只是逻辑上的关联,在实际案例中并不表示一种灾害发生后一定能引发次生灾害^[28]。利用概率统计方法一般是先构建灾害链事件树来分析灾害发生后可能引发的次生灾害^[76-78],再计算次生灾害发生的条件概率。

贝叶斯网络方法可以利用有限的信息推理得到其网络内其他事件的条件概率,有学者应用贝叶斯网络模型对灾害链中各事件的概率进行推理分析^[79-82]。除此之外,神经网络、专家打分系统等方法也可用于确定灾害链中各灾害的条件概率^[83-84]。Wang等^[85]利用人工神经网络与GIS相结合来分析地震引发的多层建筑损毁。李藐等^[86]

提出了一种描述事件链式效应的数学模型, 并以地震灾害链为例对该方法进行了实例验证。Gitis 等^[87]建立了一个概率模型, 来描述灾害链中灾害之间的互相影响, 并且分析了危险性与灾害链风险。Heibing^[88]应用统计物理学中的主方程, 构造灾害链间各事件的影响矩阵来反映灾害之间的关联性, 进而推演其随时间变化的特征。当前灾害链研究中, 条件概率主要集中在致灾因子之间的相互关系上, 对其他要素考虑的还不够充分, 并不能精确的描述灾害链中个灾害之间的关系。

4.2 基于复杂网络的研究方法

复杂网络是一种拓扑结构特征十分复杂的网络。它存在于数理科学、生命科学、工程科学、信息科学和社会科学等多个领域^[89]。灾害链作为一个灾害复杂网络, 其研究本身就是多学科交叉的产物, 可以通过复杂网络理论研究灾害链的动力学过程。首先通过案例或逻辑判断构建灾害链复杂网络^[90-92], 灾害链中各灾害事件可表示为网络的结点, 灾害间的关系可表示为网络中的有向边, 灾害损失可用复杂网络结点的状态来表述^[93], 再计算灾害链复杂网络演化过程, 确定复杂网络基本动力学演化过程模型的具体形式^[94-95]。

当前, 复杂网络在冰雪、暴雨、台风等灾害链中都有应用^[96-97]。刘爱华^[59]应用复杂网络结构对灾害链的演化特征进行了表征, 并对灾害链的作用机理进行了数学描述, 提出了一种基于复杂网络结构的灾害链风险评估模型。林达龙等^[98]运用复杂网络理论, 研究了高校火灾灾害事件演化机理, 高校火灾灾害事件演化网络的结构类型进行分析。陈长坤等^[99]以 2008 年南方冰雪灾害链为例, 运用复杂网络的相关理论知识, 构建了冰雪灾害事件演化的网络结构, 对冰雪灾害危机事件演化构成和衍生链特征进行了分析。朱伟等^[53]利用复杂网络理论构建了北方城市暴雨灾害演化网络模型, 将危机事件分为三个等级, 并探讨了事件级别和出入度的关系。Li 和 Chen^[100]通过构建因果回路的复杂网络来表示某种灾害引发城市停电灾害链的过程。当前研究集中于灾害链复杂网络结点的演化过程, 应用中综合考虑灾害链时空规律的复杂性, 将会使模型更加接近实际情况。

4.3 基于遥感实测的研究方法

随着空间和信息技术的高速发展, 卫星遥感技术逐渐成为一种有效的灾害研究手段。遥感资料在综合观测系统中的作用越来越大, 遥感技术以其宏观、快速、周期性、多尺度、多层次、多谱段、多时相等优势, 为灾害链的研究提供了强有力的支持。姚清林^[32,101]在分析印尼苏门答腊巨震和西江大洪水前后数千张卫星遥感图像等其他资料的基础上, 提出了灾害链的场效机理与区链

观。刘洋^[102]利用多源多期遥感影像提取了泥石流信息, 并深入研究典型沟道的特征, 最终从遥感角度分析了西藏帕隆藏布流域的泥石流灾害链模式。

此外, 随着多源遥感影像的应用以及解译精度的提高, 为灾害链次生灾害的判断提供了可靠的依据, 特别是汶川地震后, 有学者应用遥感数据对地震引发的一系列山地灾害进行了评价与分析。范建容等^[103]利用多源遥感数据获取了汶川地震诱发堰塞湖泊的信息。崔鹏等^[104]利用汶川地震后的航空影像解译数据分析了汶川地震后引发堰塞湖的分布特征。徐梦珍^[105-107]利用遥感影像与实地勘测数据, 研究了汶川地震引发的地震滑坡-泥石流-剧烈河床演变-生态破坏灾害链。梁京涛等^[108]利用航空影像对青川县红石河区域进行遥感解译, 并结合汶川地震前地质灾害调查数据进行对比分析, 对研究区地震-地质灾害链的分布特征进行了探讨。遥感技术应用于灾害链的研究是未来的发展趋势, 现阶段其主要应用于遥感实测的灾害链, 以地质灾害为主, 其余灾种较少。

5 存在的问题与展望

5.1 存在的问题

灾害链因其形成机理复杂、预报难度大、防范要求高和造成的损失严重等特点而得到国内外学者的高度关注。近年来, 对于灾害链的定义、类型、形成机制和典型灾害链案例等方面的研究不断涌现。然而, 灾害链的研究才刚刚起步, 并未形成统一成熟的理论与方法体系。关于灾害链的研究仍存在以下几方面的问题:

(1) 目前国内外对于灾害链的研究多集中于沿海地区的台风灾害链与山区的地震地质灾害链, 缺乏其他类型的灾害链研究。

(2) 当前灾害链的研究内容主要集中在几种灾害之间的链式关系, 通常情况下只对灾害链研究中的最后一种灾害进行计算与评估, 而其他的灾害仅仅用来分析其引发过程, 忽略了灾害链研究的整体性。

(3) 现有的灾害链研究方法基本上是对区域典型灾害链的形成演化过程与灾害间扩散传播机制特征的定性描述。仅有少数研究通过建立数学、物理模型来量化研究灾害链。

(4) 现阶段针对某种灾害发生后防止次生灾害的发生而进行了大量研究, 但灾害链断链减灾研究中缺乏减灾技术之间的有机结合, 未能体现多部门, 多层次上减灾措施的相互协调。

5.2 展望

灾害链作为灾害系统的一个重要组成部分,

对其研究是全面认识复杂灾害系统的重要途径。灾害链的研究虽然刚刚起步,但是随着相关探索与实践的积累,灾害链的研究将得到完善与发展,最终实现综合防灾减灾的目标。

(1)未来随着可持续发展与防灾减灾的迫切需求,灾害链研究的基础理论和技术方法、灾害链风险评估技术、灾害链损失评估技术、灾害链断链减灾对策研究等将会得到加强,灾害链的研究思路将由静态分阶段向实时动态的方向发展,研究目标将由定性向定量发展,研究方法将由传统的统计分析向数值模拟可视化的方向发展。

(2)未来随着空间和信息技术的高速发展,逐渐完善的水文、气象、卫星遥感等监测系统将提供覆盖面更广、时效性更强、精度更高的监测数据和信息,3S技术的应用将显著提高灾害链评估的精细化程度。

(3)未来随着灾害系统基础理论和技术方法的发展与深化,其相关的理论与技术方法将不断被引入到灾害链研究中;多学科、多领域的交叉融合将使灾害链的研究内容得到丰富和拓展,灾害链的断链减灾结构更为清晰、内容更为全面,为灾害链的防范提供更为高效的决策规划与实施方案。

参考文献:

- [1] Tsuji Y, Tanioka Y, Matsutomi H, et al. Damage and height distribution of Sumatra earthquake - tsunami of December 26, 2004 [J]. Banda Aceh city and its environs, Journal of Disaster Research, 2006, 1(1): 103 - 115.
- [2] Thorne L, Hiroo K, Ammon C J, et al. The great Sumatra - Andaman earthquake of 26 December 2004 [J]. Science, 2005, 308 (5725): 1127 - 1133.
- [3] Hallegatte St'ephane. An adaptive regional input - output model and its application to the assessment of the economic cost of Katrina [J]. Risk Analysis, 2008, 28(3): 779 - 799.
- [4] Burby R J. Hurricane Katrina and the paradoxes of government disaster policy: Bringing about wise governmental decisions for hazardous areas [J]. The Annals of the American Academy of Political and Social Science, 2006, 604(1): 171 - 191.
- [5] Chen Q L, Li Z, Fan G Z, et al. Indications of stratospheric anomalies in the freezing rain and snow disaster in South China, 2008 [J]. Science China Earth Sciences, 2011, 54(8): 1248 - 1256.
- [6] Ge Y, Gu Y, Deng W. Evaluating china's national post - disaster plans: The 2008 Wenchuan Earthquake's recovery and reconstruction planning [J]. International Journal of Disaster Risk Science, 2010, 1(2): 17 - 27.
- [7] Krausmann E, Cruz A M. Impact of the 11 March 2011, Great East Japan earthquake and tsunami on the chemical industry [J]. Natural Hazards, 2013, 67(2): 811 - 828.
- [8] Tanaka H, Tinh N X, Umeda M, et al. Coastal and estuarine morphology changes induced by the 2011 Great East Japan Earthquake Tsunami [J]. Coastal Engineering Journal, 2012, 54(01): 547 - 562.
- [9] IPCC. A special report of working groups I and II of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2012: 1 - 19.
- [10] Menoni S. Chains of damages and failures in a metropolitan environment: some observations on the Kobe earthquake in 1995 [J]. Journal of Hazardous Materials, 2001, 86(1): 101 - 119.
- [11] Delmonaco G, Margottini C, Spizzichino D. ARMONIA methodology for multi - risk assessment and the harmonization of different natural risk maps [DB/OL]. (2010 - 07 - 19) [2015 - 08 - 05]. http://forum.eionet.europa.eu/eionetairclimate/library/public/2010_citiesproject/interchange/armonia_project/armonia_project_5/download/1/ARMONIA_PROJECT_Deliverable%203.1.1.pdf.
- [12] Carpignano A, Golia E, Di Mauro C, et al. A methodological approach for the definition of multi - risk maps at regional level: first application [J]. Journal of Risk Research, 2009, 12(3): 513 - 534.
- [13] Dombrowsky W R. Again and Again: Is a Disaster What We Call a Disaster [J]. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 1995, 13(3): 241 - 254.
- [14] Kappes M S, Keiler M, Elverfeldt K V, et al. Challenges of analyzing multi - hazard risk: a review [J]. Natural Hazards, 2012, 64(2): 1925 - 1958.
- [15] Helbing D. Globally networked risks and how to respond [J]. Nature, 2013, 497(7447): 51 - 59.
- [16] 郭增建, 秦保燕. 灾害物理学简论 [J]. 灾害学, 1987(2): 25 - 33.
- [17] 李永善. 灾害的放大过程 [J]. 灾害学, 1988(2): 18 - 24.
- [18] 史培军. 灾害研究的理论与实践 [J]. 南京大学学报, 1991(11): 37 - 42.
- [19] 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): 8 - 19.
- [20] 马宗晋. 中国减灾重大问题研究 [M]. 北京: 地震出版社, 1992.
- [21] 文传甲. 论大气灾害链 [J]. 灾害学, 1994, 9(3): 1 - 6.
- [22] 刘哲民. 灾害演化探析 [J]. 水土保持研究, 2003, 10(2): 64 - 66.
- [23] 倪晋仁, 李秀霞, 薛安, 等. 泥沙灾害链及其在灾害过程规律研究中的应用 [J]. 自然灾害学报, 2004, 13(5): 1 - 9.
- [24] 黄崇福. 自然灾害风险评估: 理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [25] 黄崇福. 综合风险管理的地位、框架设计和多态灾害链风险分析研究 [J]. 应用基础与工程科学学报, 2006, 14 (Supp. 1): 29 - 37.
- [26] 刘文方, 肖盛燮, 隋严春, 等. 自然灾害链及其断链减灾模式分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(Supp. 1): 2675 - 2681.
- [27] 门可佩, 高建国. 重大灾害链及其防御 [J]. 地球物理学进展, 2008, 23(1): 270 - 275.
- [28] 余瀚, 王静爱, 柴玫, 等. 灾害链灾情累积放大研究方法进展 [J]. 地理科学进展, 2014, 33(11): 1498 - 1511.
- [29] 《地球科学大辞典》编辑委员会. 地球科学大辞典——应用学科卷 [M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- [30] 肖盛燮, 冯玉涛, 王肇慧, 等. 灾变链式阶段的演化形态特征 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25 (Supp. 1): 2629 - 2633.
- [31] 郑大玮. 灾害链概念的扩展及其在农业减灾中的应用 [C]// 2008 中国可持续发展论坛论文集(2). 杭州: 中国可持续发展

- 展研究会, 2008.
- [32] 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.
- [33] 韩金良, 吴树仁, 汪华斌. 地质灾害链[J]. 地学前缘, 2007, 14(6): 11-23.
- [34] 徐道一. 灾害链演变过程的似序参量[C]// 2008 中国可持续发展论坛论文集(2). 杭州: 中国可持续发展研究会, 2008.
- [35] 王春振, 陈国阶, 谭荣志, 等. “5.12”汶川地震次生山地灾害链(网)的初步研究[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2009, 41(Supp. 1): 84-88.
- [36] 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.
- [37] 卢耀如. 地质灾害防治与城市安全[N]. 解放日报, 2006-06-29(8).
- [38] Yasuhara K, Komine H, Murakami S, et al. Effects of climate change on geo-disasters in coastal zones and their adaptation[J]. *Geotextiles & Geomembranes*, 2011, 30(4): 24-34.
- [39] Xu L, Meng X, Xu X. Natural hazard chain research in China: A review[J]. *Natural Hazards*, 2014, 70(2): 1631-1659.
- [40] 叶金玉, 林广发, 张明锋. 福建省台风灾害链空间特征分析[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2014, 30(2): 99-106.
- [41] 居丽丽, 穆海振. 上海台风、大雾和高温灾害链的建立和分析[C]// 第十四届中国科协年会第 14 分会场——极端天气事件与公共气象服务发展论坛. 2012.
- [42] 王萌, 田伟平, 崔英强. 陕西省暴雨灾害链实例分析及综合减灾对策[J]. 交通企业管理, 2011, 26(7): 69-71.
- [43] 陈兴民. 自然灾害链式特征探论[J]. 西南师范大学学报: 人文社会科学版, 1998(2): 122-125.
- [44] 肖盛燮. 灾变链式演化跟踪技术[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [45] 李智. 基于复杂网络的灾害事件演化与控制模型研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [46] 李景保, 肖洪, 王克林, 等. 基于流域系统的暴雨径流型灾害链——以湖南省为例[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(4): 30-38.
- [47] 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.
- [48] 李英奎, 倪晋仁, 李秀霞, 等. 泥沙灾害与泥沙灾害链的分类分级[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(1): 15-24.
- [49] 钟敦伦, 谢洪, 韦方强, 等. 论山地灾害链[J]. 山地学报, 2013, 31(3): 314-326.
- [50] 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(S1): 2603-2611.
- [51] 余世舟, 张令心, 赵振东, 等. 地震灾害链概率分析及断链减灾方法[J]. 土木工程学报, 2010, 43(Supp. 1): 479-483.
- [52] 杜翠. 高寒、强震山区沟谷灾害链判据与线路工程减灾对策[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
- [53] 朱伟, 陈长坤, 纪道溪, 等. 我国北方城市暴雨灾害演化过程及风险分析[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 88-91.
- [54] 吴瑾冰. 滇、桂、粤、闽、台灾害链讨论[J]. 灾害学, 2002, 17(2): 82-87.
- [55] 王劲松, 张强, 王素萍, 等. 西南和华南干旱灾害链特征分析[J]. 干旱气象, 2015, 33(2): 187-194.
- [56] 帅嘉冰, 徐伟, 史培军. 长三角地区台风灾害链特征分析[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(3): 36-42.
- [57] 周靖, 马石城, 赵卫锋. 城市生命线系统暴雪冰冻灾害链分析[J]. 灾害学, 2008, 23(4): 39-44.
- [58] 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): 1-9.
- [59] 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.
- [60] 王静爱, 雷永登, 周洪建, 等. 中国东南沿海台风灾害链区域规律与适应对策研究[J]. 北京师范大学学报: 社会科学版, 2012, 1(2): 130-138.
- [61] 王静爱. 区域灾害系统与台风灾害链风险防范模式[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013.
- [62] 王翔. 区域灾害链风险评估研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2011.
- [63] 张卫星, 周洪建. 灾害链风险评估的概念模型——以汶川 5.12 特大地震为例[J]. 地理科学进展, 2013, 32(1): 130-138.
- [64] 周洪建, 王曦, 袁艺, 等. 半干旱区极端强降雨灾害链损失快速评估方法——以甘肃岷县“5.10”特大山洪泥石流灾害为例[J]. 干旱区研究, 2014, 31(3): 440-445.
- [65] 肖盛燮. 灾变链式理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [66] 蒙吉军, 杨倩. 灾害链孕源断链减灾国内研究进展[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(6): 246-251.
- [67] 王志超, 马金根, 纪海锋. 灾害链理论在地质灾害防治中的应用[J]. 四川地质学报, 2015, 35(2): 232-235, 239.
- [68] 秦朝亮. 采煤沉陷区灾害链断链减灾模式研究及应用[D]. 太原: 太原理工大学, 2015.
- [69] 李文鑫, 王兆印, 王旭昭, 等. 汶川地震引发的次生山地灾害链及人工断链效果——以小岗剑泥石流沟为例[J]. 山地学报, 2014, 32(3): 336-344.
- [70] 周科平, 刘福萍, 胡建华, 等. 尾矿库溃坝灾害链及断链减灾控制技术[J]. 灾害学, 2013, 28(3): 24-29.
- [71] 刘磊, 施龙青, 孙红华, 等. 矿山灾害链及其断链减灾模式分析[J]. 煤田地质与勘探, 2013, 41(5): 40-44.
- [72] 马保成, 王亮, 牟顺. 公路滑坡灾害链式反应阶段性识别方法研究[J]. 灾害学, 2011, 26(2): 54-58.
- [73] 向灵芝, 崔鹏, 方华. 震后灾害链生机制及其对汶川地震城镇重建的影响[J]. 灾害学, 2010, 25(Supp. 1): 278-281.
- [74] 吴立, 王传辉, 王心源, 等. 巢湖流域灾害链成因机制与减灾对策[J]. 灾害学, 2012, 27(4): 85-91.
- [75] 刘文方, 李红梅. 基于熵权理论的斜坡地质灾害链综合评判[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 8-11.
- [76] Khan F I, Abbasi S A. An assessment of the likelihood of occurrence, and the damage potential of domino effect (chain of accidents) in a typical cluster of industries[J]. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2001, 14(4): 283-306.
- [77] Keefer D K. Investigating landslides caused by earthquakes - a historical review[J]. *Surveys in geophysics*, 2002, 23(6): 473-510.
- [78] Perucca L P, Angillieri M Y E. Evolution of a debris-rock slide causing a natural dam: the flash flood of Río Santa Cruz, Province of San Juan—November 12, 2005[J]. *Natural Hazards*, 2009, 50(2): 305-320.
- [79] 董磊磊. 基于贝叶斯网络的突发事件链建模研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.
- [80] 裘江南, 刘丽丽, 董磊磊. 基于贝叶斯网络的突发事件链建模方法与应用[J]. 系统工程学报, 2012, 27(6): 739-750.
- [81] Wang J, Gu X, Huang T. Using Bayesian networks in analyzing powerful earthquake disaster chains[J]. *Natural Hazards*, 2013, 68(2): 509-527.

- [82] 颜峻, 左哲. 建筑物地震次生火灾的贝叶斯网络推理模型研究[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(3): 205-212.
- [83] Badal J, Vázquez-Prada M, González Á. Preliminary Quantitative Assessment of Earthquake Casualties and Damages [J]. *Natural Hazards*, 2005, 34(3): 353-374.
- [84] Chavoshi S H, Delavar M R, Soleimani M, et al. Toward developing an expert GIS for damage evaluation after an earthquake (case study: Tehran) [C]//Proceedings of the 5th international ISCRAM conference, Washington, DC, USA. 2008.
- [85] Wang J, Gao H, Xin J. Application of Artificial Neural Network and GIS in Urban Earthquake Disaster Mitigation [C]//International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA). Changsha, Hunan, China. 2010, 1: 726-729.
- [86] 李藐, 陈建国, 陈涛, 等. 突发事件的事件链概率模型[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2010, 50(8): 1173-1177.
- [87] Gitis V G, Petrova E N, Pirogov S A. Catastrophe chains; Hazard assessment [J]. *Natural Hazards*, 1994, 10(1/2): 117-121.
- [88] Helbing D, Kühnert C. Assessing Interaction Networks with Applications to Catastrophe Dynamics and Disaster Management [J]. *Physica A Statistical Mechanics & Its Applications*, 2003, 328(3): 584-606.
- [89] 陈关荣. 复杂网络及其新近研究进展简介[J]. 力学进展, 2008, 38(6): 653-662.
- [90] 王铎. 基于关联度的突发事件网络模型研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- [91] 葛月. 突发公共事件台风的衍生网络模型研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2012.
- [92] 路光. 基于分层认知模型的突发事件衍生网络研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- [93] Duenas-Osorio L, Vemuru S M. Cascading failures in complex infrastructure systems [J]. *Structural safety*, 2009, 31(2): 157-167.
- [94] Buzna L, Peters K, Helbing D. Modelling the dynamics of disaster spreading in networks [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2006, 363(1): 132-140.
- [95] 王建伟, 荣莉莉. 突发事件的连锁反应网络模型研究[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(11): 3288-3291.
- [96] 陈长坤, 李智, 孙云凤. 基于复杂网络的灾害信息传播特征研究[J]. 灾害学, 2008, 23(4): 126-129.
- [97] 陈长坤, 纪道溪. 基于复杂网络的台风灾害演化系统风险分析与控制研究[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 1-4.
- [98] 林达龙, 明亮, 何胜方, 等. 基于复杂网络的高校火灾衍生灾害群特征[J]. 消防科学与技术, 2012, 31(2): 205-206.
- [99] 陈长坤, 孙云凤, 李智. 冰雪灾害危机事件演化及衍生链特征分析[J]. 灾害学, 2009, 24(1): 18-21.
- [100] Li J, Chen C. Modeling the dynamics of disaster evolution along causality networks with cycle chains [J]. *Physica A Statistical Mechanics & Its Applications*, 2014, 401(5): 251-264.
- [101] 姚清林, 强祖基. 地震灾害链的机理过程与震-洪现象分析 [C]//中国首届灾害链学术研讨会. 2006.
- [102] 刘洋. 基于RS的西藏帕隆藏布流域典型泥石流灾害链分析 [D]. 成都: 成都理工大学, 2013.
- [103] 范建容, 田兵伟, 程根伟, 等. 基于多源遥感数据的5.12汶川地震诱发堰塞体信息提取 [J]. 山地学报, 2008, 26(3): 257-262.
- [104] 崔鹏, 韩用顺, 陈晓清. 汶川地震堰塞湖分布规律与风险评估 [J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2009, 41(3): 35-42.
- [105] 徐梦珍, 王兆印, 漆力健. 汶川地震引发的次生灾害链 [J]. 山地学报, 2012, 30(4): 502-512.
- [106] Xu M, Wang Z, Qi L, et al. Disaster chains initiated by the Wenchuan earthquake [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2012, 65(4): 975-985.
- [107] 徐梦珍, 王兆印, 施文婧, 等. 汶川地震引发的次生山地灾害链——以火石沟为例 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2010, 50(9): 1338-1341.
- [108] 梁京涛, 唐川, 王军. 青川县重点区域地震诱发地质灾害遥感调查与分析 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2012, 39(5): 530-534.

Progress and Prospect of the Research on Disaster Chain

Ha Si, Zhang Jiquan, Tong Siqin and Li Sijia

(School of Environment/Natural Disaster Research Institute, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: There is a chain rule in the process of the formation, occurrence and development of the disaster. So the disaster chain has become a hot topic of the disaster research. In order to know the research progress of the disaster chain at home and abroad thoroughly, we summarize the present research achievements by sorting out and analyzing the relevant literature of disaster chain research. We also discuss some shortcomings in the present research, and point out the research prospects of the disaster chain research trend. This review first focused on the understandings of the disaster chain conception among the domestic and foreign scholars. Second, it summed up three ways on disaster chain classification in the disaster chain research. The three ways include the kinds of disaster, the space-time structure of the disaster chain and the factors of disaster system. We concentrate on the main content of the disaster chain research which includes the formation mechanism, risk assessment, loss assessment of the disaster chain, and chain-cutting disaster mitigation from gestation source. Thereby, we conclude three main methods applied in the disaster chain research: probability analysis based on statistics; research methods based on the complex network and research methods based on remote sensing and actual measurement. Finally, there is a discussion on the problems in the present disaster chain research and possible trends for development.

Key words: disaster chain classification; risk assessment; loss assessment; research progress; research prospect