

文章编号: 1006-4362(2024)01-0055-08

近 20 a 来我国地质灾害链研究综述

高峰^{1,2}, 高秀¹

(1. 中南大学资源与安全工程学院, 长沙 410083; 2. 中南大学高海拔寒区采矿工程技术研究中心, 长沙 410083)

摘要: 作为生活和工程中常见的一种灾害形式, 地质灾害具有突发性和广泛性等特点, 应用灾害链理论对其进行研究已成为当前地质灾害研究领域的重要方向。为了解近年来我国地质灾害链的研究进展, 采用文献分析法对近 20 a(2002~2021 年) 相关研究文献进行检索, 结果表明现阶段地质灾害链研究内容侧重于地震、滑坡、泥石流和降雨灾害链, 形式多为对历史已发生地质灾害链的统计分析, 有关地质灾害链的研究方法和风险评价仍有待完善。最后, 根据文献分析结果及当前灾害链发展现状, 对地质灾害链的未来发展进行了展望。

关键词: 地质灾害链; 地震灾害链; 降雨灾害链; 研究文献; 研究进展

中图分类号: P694; X4 **文献标识码:** A

ON GEOLOGICAL HAZARD CHAIN RESEARCH IN CHINA IN RECENT 20 YEARS

GAO Feng^{1,2}, GAO Xiu¹

(1. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Research Center for Mining Engineering and Technology in Cold Regions,

Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: As a common form of disasters in life and engineering, geological disasters have the characteristics of sudden occurrence and extensive, and the application of disaster chain theory has become an important direction in the research field of geological disasters. To master the progress of geological disaster chain in China in recent years, this paper adopts literature analysis method for nearly 20 years (2002~2021), relevant research literature retrieval, the results show that the present geological disaster chain research content focused on earthquake, landslide, debris flow and rainfall disaster chain, form is the history there have been more statistical analysis of geological disaster chain, The research methods and risk assessment of geological hazard chain need to be improved. Finally, according to the literature analysis results and the current development status of the disaster chain, the future development of the geological disaster chain is prospected.

Key words: geological hazard chain; earthquake disaster chain; rainfall hazard chain; research literature; the research progresses

收稿日期: 2023-06-30 改回日期: 2023-09-22

基金项目: 湖南省自然科学基金(2020JJ4704); 中南大学研究生创新项目(2022ZZTS0514)

地质灾害是指在一定动力作用诱发下产生的多要素破坏性地质事件,其分类和标准复杂多样,主要形式有地震、泥石流、崩塌、滑坡等。近年来,随着自然演化的进行和工程活动的加剧,我国地质灾害发生频繁,特别是地势较高、山地分布众多的西部地区,地震、滑坡等地质灾害屡屡发生,造成严重的人员伤亡和经济损失,以及持久深远的灾后社会负面影响。继2008年汶川地震催发一系列山地次生灾害后,2022年9月5日四川省甘孜州泸定县又发生6.8级地震,震源深度16 km,造成重大人员伤亡。据灾后新闻发布会消息显示,此次地震造成的死亡和失联人员中81.4%为地震诱发的山体崩垮、滑坡、滚石等次生灾害所致。因此,对地质灾害事件本身予以重视的同时也要密切关注其所诱发的次生灾害间的耦合作用,切实落实“十四五”规划对多灾害事件研究的最新要求。

本文通过对2002~2021年20 a来我国地质灾害链的研究历程和现状进行梳理,意在总结现阶段我国学者对于地质灾害链的研究内容、研究方法和实际应用的研究进展,据此对地质灾害链发展作出一定展望,以期对地质灾害的预防、管理与防治提供参考。

表1 地质灾害链基本类型划分

分类依据	类型	定义
时空关系	空间链	形成条件和诱发因素相似且在同一条河流、交通线、构造带或断裂带上线性分布的地质灾害构成的地质灾害链
	时空链	由一系列发生时间上存在先后顺序、空间上具有依存关系、成因上具有因果关系且呈现连锁反应顺次出现的灾害构成的灾害链
主要诱发因素	内动力地质灾害链	由地球内营地质动力作用诱发的灾害及其次生灾害构成的灾害链
	外动力地质灾害链	由地球外地质动力作用诱发的灾害构成的灾害链
	人类工程地质灾害链	人类在建设、开发活动中诱发的灾害构成的灾害链
	复合型地质灾害链	在上述3种动力联合作用下导致的灾害链

2 近20 a相关论文发表情况

论文的发表数量和质量是反映某一领域研究历程、当前动态及未来趋势的重要指标。从该角度出发,本文对我国有关地质灾害链的文献资料进行知网检索,依据检索结果统计论文发表情况并进行文献分析,以了解地质灾害链的发展状况。

2.1 期刊论文检索结果

依据地质灾害包含的种类,剔除检索结果为0的检索词,以CNKI中国知网为检索工具,以“(地质+地震+滑坡+崩塌+地面塌陷+泥石流+岩爆+地裂缝+地面沉降+冻融+火山+地热害+突瓦斯+岩土膨胀+降雨+水土流失+砂土液化+台风+沙漠化)×灾害链”为检索词,时间范围设置为

1 地质灾害链基本概念及分类

1.1 地质灾害链基本概念

灾害链,是指一种自然灾害事件产生后并引发了一种或一系列次生灾害的过程,该科学概念在1987年由郭增建^[1]首次提出,随后文传甲^[2]、肖盛燮^[3-4]、史培军^[5]等人也对灾害链理论进行了深入论述。在《地质灾害链》一文中,韩金良^[6]将地质灾害链界定为由一系列成因相近且线性分布的或时间、空间和成因上有所联系的地质灾害构成的灾害链,常包含有地震、崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害。

1.2 地质灾害链分类

据国务院办公厅于2003年发布的《地质灾害防治条例》,全国地质灾害主要包括因地震、暴雨等引发的天然地质灾害,以及因爆破、施工开挖等引发的人为地质灾害,类型已达到30多种。这些自然灾害与其次生灾害共同发展,形成内部机制复杂的地质灾害链释放能量,准确梳理自然灾害链的基础类型,是揭示自然灾害发展规律性的关键手段。

根据灾害链的发生发展形式,常将其划分为因果型、同源型等5种,地质灾害链可按照时空关系、主要诱发因素划分为表1中几种地质灾害链类型。

“2002-01-01~2021-12-31”,采用“主题检索-高级检索”方式在知网数据库进行检索,共检索到637篇相关文献,所选论文各年度发表情况如图1所示。

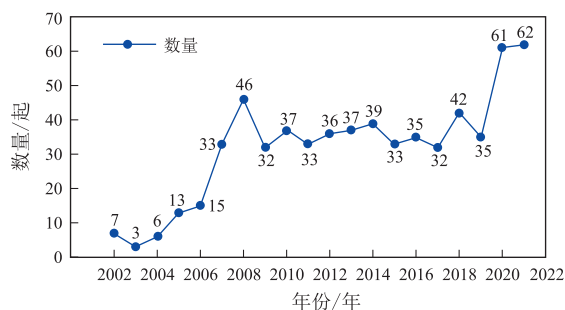


图1 2002~2021年论文发表情况

为掌握各类地质灾害链的具体研究状况,现将

上述检索结果按检索词分类如表 2 所示。

通过表 2 的检索结果可以看出,在地质灾害链相关研究中,地震灾害链研究最多;其次是滑坡灾害链;再次为泥石流、降雨和崩塌灾害链。应用灾害链理论进行其他灾种地质灾害研究的人员相对较少。

表 2 不同检索词检索的论文数量

检索词	论文数量
地质 * 灾害链	301
地震 * 灾害链	377
滑坡 * 灾害链	261
泥石流 * 灾害链	177
降雨 * 灾害链	118
崩塌 * 灾害链	106
台风 * 灾害链	88
地裂缝 * 灾害链	26
水土流失 * 灾害链	18
地面沉降 * 灾害链	14
地面塌陷 * 灾害链	13
火山 * 灾害链	9
岩爆 * 灾害链	8
冻融 * 灾害链	7
沙漠化 * 灾害链	5
砂土液化 * 灾害链	1

2.2 硕博论文和重要会议论文检索结果

在上述检索结果中对硕博论文和重要会议论文进行检索,发现 2002~2021 年“地质灾害链”主题下共有学位论文 178 篇,其中博士论文 57 篇,硕士论

文 121 篇,重要会议论文 69 篇,各年份论文详细发表情况见图 2。

由图 2 可以看出:2002 年已有博士论文和重要会议论文开始研究地质灾害链,但从 2007 年开始,硕士论文的数量才开始逐渐增长。学位论文发表情况总体呈上升趋势。重要会议论文数量总体趋于平稳,2008 年数量最多,为 16 篇。

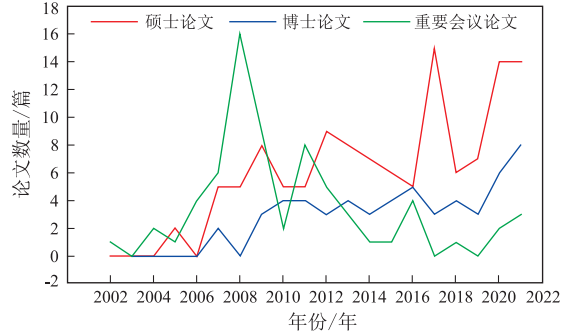


图 2 2002~2021 年硕博论文及重要会议论文检索情况

2.3 相关期刊杂志发表论文检索结果

进一步对所检索论文的发表期刊进行统计,发文数量最多的几种期刊论文发表情况如表 3 所示。由表 3 的各期刊论文发表统计数据可知,《灾害学》和《中国地质灾害与防治学报》是发表地质灾害链相关论文最多的两种期刊,但占其各自刊载论文的百分比仍然较小,表明从灾害链角度对地质灾害的研究仍较为小众化。

表 3 5 种相关期刊发表论文检索结果表

期刊名称	主办单位	发刊周期	20 a 间相关论文数	20 a 间期刊论文总数	百分比/%
灾害学	陕西省地震局	季刊	33	2 890	1.14
中国地质灾害与防治学报	中国地质环境监测院;中国地质灾害防治工程行业协会	双月刊	18	2 535	0.71
自然灾害学报	中国地震局工程力学所;中国灾害防御协会	双月刊	14	3 255	0.43
山地学报	中国科学院水利部;成都山地灾害与环境研究所/中国地理学会	双月刊	12	2 349	0.51
工程地质学报	中国科学院地质与地球物理研究所	双月刊	11	3 256	0.34

3 近 20 a 相关研究现状

地质灾害系统具有复杂性,现阶段有关地质灾害链的研究尚处于起步发展期,已有文献多为针对历史上已发生灾害链的成灾机理和演化过程的定性分析,少数研究人员采用数值模拟方法对灾害链的动力学发展过程进行了模拟,另有部分学者基于 GIS 对地质灾害链进行了风险评价,对于地质灾害链结链标准的界定以及风险分析的研究较为缺乏^[7],但总体仍具有重要的现实意义及研究价值。现根据地质灾害链的首发灾害不同,将其分为以下

几种灾害链并对其研究现状进行梳理。

3.1 以地震为首发灾害的地质灾害链

以地震为首发灾害的灾害链类型主要为地震-崩塌-(滑坡)-(泥石流)-(堰塞湖)-(洪水)灾害链、地震-倒塌/塌陷-(火灾/瘟疫灾害链)、地震-海啸灾害链以及地震-其他灾害链,现阶段学者多集中对第一种灾害链展开研究;特别是在“5.12”汶川大地震后,国内学者对地震灾害链的研究掀起了热潮,研究角度多为地震激发的灾害链类型及成灾机制。唐晓春等^[8]总结了汶川大地震后可能衍生的 11 种灾害链,全面涵盖了自然、社会和心理方面;崔鹏等^[9]指出汶

川地震引发的次生山地灾害类型主要有崩塌、滑坡、堰塞湖和泥石流,并分析预测了其 5~10 a 的灾害发展趋势;王春振等^[10]总结了汶川地震次生山地灾害链的发育成灾规律,并从自然和人为等方面简单介绍了该灾害链网的发育成因;Tian 等^[11]通过分析汶川地震前后的遥感影像,揭示了汶川地震的空间分布特征以及次生灾害的分布特点;崔云等^[12]分析了汶川地震诱发的堰塞湖及典型堰塞湖灾害链的成灾机制,找到了管制其演变的关键因素,据此确定了汶川地震灾区堰塞湖灾害链的防治思路;倪化勇^[13]通过对汶川地震 10 个重灾区进行调查,建立了含有 609 个泥石流信息的数据库,对震后灾区暴雨引发泥石流机理进行了归纳总结;汤敏^[14]通过研究汶川地震灾区在应对、灾后重建等阶段的实例,分析了灾后衍生效应下的区域韧性,并据此构建了韧性评价体系;吴鑫培^[15]将汶川地震引发的文家沟滑坡灾害链划分为两阶段进行研究,运用 PFC^{3D}对整个运动过程进行了模拟,模拟结果与现场灾害链发展情况基本吻合。

在对地震灾害链类型及成灾机制定性分析的基础上,概率分析理论、层次分析法和贝叶斯理论被国内学者广泛应用于地震灾害链风险研究的模型建立和过程模拟中。余世舟等^[16]建立了地震灾害链主影响要素的物理模型,初步构建了由灾害要素间内在联系确立的概率估算模型,该模型可经算例分析次生灾害发生几率从而确定灾害要素关键节点;尹卫霞等^[17]从孕灾环境和承灾体脆弱性两个方面对中国“5.12”汶川地震和日本“3.11”福岛地震灾害链进行对比,构建了承灾体脆弱性与灾情累积关系的相干概念模型;李云飞等^[18]联合概率分析理论和模糊层次分析法构建了灾害的危险等级评价模型,并以地震引发的三层等级地震灾害链为例验证了该模型的有效性;Zheng 等^[19]根据复杂网络模型构建了自然灾害链网络,以此来研究灾害链的形成机制及进行风险评价;Song 等^[20]提出了一种基于贝叶斯网络进行地震诱发滑坡灾害易发性分析的混合方法;魏利军等^[21]概括了地震诱发化工事故的灾害链,并将其转化为贝叶斯网络模型,比对不同震级下化工事故发作的后验概率,进而探寻遏制事故的关键节点;Han 等^[22]以长白山火山地震为研究对象,通过贝叶斯网络分析得到地震事件的灾害链概率和灾害烈度,利用 ArcGIS 生成的灾害链危害图判定高度危险区域的半径范围。此外,Lin 等^[23]运用信息量法和 GIS 空间分析技术对地震滑坡灾害开展了危险性分析。

3.2 以降雨为首发灾害的地质灾害链

以降雨为首发灾害的地质灾害链主要呈现形式为降雨-(堰塞湖)-洪涝灾害链、降雨-洪水灾害链、降雨-滑坡-(泥石流)灾害链及降雨-其他灾害灾害链。在降雨引发滑坡灾害链的研究中,研究内容多为降雨影响滑坡体的滑移特征改变及滑坡发生机理。万志强、肖盛燮等^[24]基于灾害链理论和有限元法,分析了降雨对滑坡体内应力和位移的影响,找出了降雨下滑坡体构造的稳定系数;Shen 等^[25]对湖北省恩施市某暴雨滑坡灾害链进行了初步分析,介绍了该降雨诱发滑坡灾害链的基本特征;曾元勇^[26]以大树湾震裂山体滑坡为研究区,通过分析降雨条件下震裂岩体裂缝的变形机制,确定了降雨作为滑坡诱发因子下的大树湾滑坡形成机理,叶丽梅^[27]从系统论出发,对研究区暴雨洪涝灾害的成灾机理、链式机制进行了分析。

有些研究通过表征降雨雨型、降雨过程在地质灾害发生时的规律,探求降雨条件对地质灾害链的控制作用。崔云等^[28]探究了山地降雨灾害链的链式作用,并通过构建力学模型表征降雨控制滑坡发育规律;倪化勇^[29]将 24 h 地质灾害发生雨型划分为短临降雨控制型、短临降雨主导型、前期有效降雨与短临降雨平衡型、前期降雨主导型 4 种,发现短时、临时强降雨对泥石流的产生具有激发作用。

对于降水诱发地质灾害链的临界雨量研究,目前主要有基于过程的实证法和基于历史统计资料的频率计算法两种。Zhou 等^[30]梳理了 2008~2012 年间降雨诱发泥石流历史资料记录,选取平均降雨强度(I)、持续时间(D)和归一化的平均年降雨量(MAP)绘制 ID 曲线确定了降雨临界值;丛威青等^[31]采用 Logistic 回归模型对当日雨量和初期有效降雨量开展回归分析,在辽宁省岫岩县取得了很好的成果;潘华利等^[32]提出通过类比分析与研究区条件相似且资料丰富地区的降雨特征,探究降雨启动滑坡的阈值参数,并成功利用水利类泥石流启动机制对史家沟进行了临界雨量推导计算。

在对降雨诱发地质灾害链的风险评价研究中,贝叶斯网络被广泛应用于风险四因子评价模型的构建。罗军华等^[33]将山区公路暴雨-洪水灾害链划分为暴雨灾害链和公路构筑物毁坏链,通过构建山区暴雨-洪水灾害链的贝叶斯网络推理模型实现对公路暴雨-洪水灾害链演化过程的推理分析;帅敏等^[34]采用贝叶斯理论建立暴雨灾害链拓扑模型,并求得暴雨灾害条件概率,完成了暴雨致灾等级预测;Rong 等^[35]构建了中国水城县滑坡灾害绘测的

GeoDector-Bayesian 模型框架,为降雨引发滑坡灾害链的空间预测起到了重要作用;宋英华等^[36]对堰塞湖灾害链演化模型进行节点和关键边分析,确定了堰塞湖灾害链的关键防治要素。

3.3 以火山喷发为首发灾害的地质灾害链

尽管我国火山群分布众多,但由于火山活动微弱以及周边人类活动程度较低,因此对以火山喷发为首发灾害的地质灾害链研究较少,对于火山喷发诱发地质灾害链的风险评价研究较为罕见。韩丽娜^[37]通过研究历史资料对长白山火山喷发所诱发的地质灾害链类型进行了汇总,对于火山附近高、中、低风险区进行了半径划分,运用贝叶斯网络模型对灾害链中各灾害发生概率进行预测分析,最后从危险性评价和脆弱性评价两方面建立模型对长白山火山喷发诱发的地质灾害链进行风险评价;张学霞等^[38]通过阅读国内外关于应用遥感技术、地理信息系统技术以及全球定位系统技术进行火山灾害预防、监测与评估的相关文献,指出我国火山灾害也可应用“3S”技术进行监测和研究;刘绪^[39]使用粗糙集理论和 Newmark 模型对长白山火山喷发诱发崩塌、滑坡灾害危险性进行了评估;秦胜伍等^[40]将火山伴生地震作为诱发崩塌、滑坡灾害产生的主要原因,并相应设定了震害参数,同时利用简化的 Newmark 累积位移模型对长白山天池火山喷发下次生灾害崩塌、滑坡的危险性进行评估,从而达到了较好的预期效应。

3.4 以冻融为首发灾害的地质灾害链

作为寒区面积分布最多的国家之一,我国的永久性冻土和季节性冻土约占全国陆地总面积的 75%,寒区地质冻融灾害演化的链式关系及其耦合作用的研究对于指导寒区工程和地质灾害的预防和治理具有重要的意义。现阶段已有的研究,主要是针对于寒区冻融灾害链型效应的研究。李杰林^[41]从致灾环、激发环、损害环和中断链循环几部分对寒区矿山冻融灾害链型效应展开了研究,并根据致灾链型图和阶段划分结果给出了寒区采矿冻融灾害链的减灾方法;邹雪晴^[42]采用 3D EC 模拟软件对 G317 公路边坡冻融后岩体稳定性进行模拟,剖析了冻融边坡的灾害链效应特征;张如意^[43]通过试验和有限元模拟对寒区渠道工程冻融灾害链中各致灾因子的链式关系和耦合过程进行分析,建立了寒区渠道冻胀毁坏的灾害链式模型,并结合工程实例提出抗冻胀工程举措建议;弋昭媛^[44]通过有限元模拟和原型试验对寒区渠道工程冻融灾害的链式效应进行分析,得到了渠道冻融过程中不同部位的最大冻深。

3.5 以人类活动为触发因子的地质灾害链

随着煤矿开采活动以及现代化建设的进行,人为诱发的地质灾害链占比不在少数,当前学者主要集中于对煤矿、隧道和建筑边坡 3 种情境下引发的地质灾害链展开研究。针对矿区采动破坏可能诱发的地质灾害链类型,姚寿斌^[45]将其分为矿井瓦斯灾害链、高温灾害链、矿井水灾害链和采空区灾害链;龙建辉等^[46,47]从系统的角度将采煤沉陷区灾害链细分为采空区、煤矸石和不稳定边坡灾害链;郭付三等^[48]指出豫西小秦岭地区金矿开采诱发的泥石流、崩塌滑坡、地面塌陷 3 种地质灾害链问题,并对乱石沟矿渣堆形成碎屑流的范围进行了危险性分析。

对于矿井突水、瓦斯等矿井地质灾害链成灾机理和事后治理,管恩太^[49]提出了注氮防灭火等防治措施;吴祥等^[50]通过脆性度分析与仿真分析给出了煤与瓦斯突出事故灾害链的关键链模型,结合案例分析构建了区域性煤与瓦斯突出的治理链式技术管理体系;胡建华等^[51]从致灾环境、致灾因素、承灾体和灾害输出 4 个部分出发构建了矿山水害灾害链的链式结构模型,并将其应用于实际工程的断链减灾;豆晓汪^[52]探讨了煤矿采空区失稳灾害链的链式特征,通过构建该区的耦合度模型分析了多因素耦合作用下该区的失稳机理;王东昊等^[53]从机理、评价手段和控制技术 3 方面对煤矿采空区失稳灾害展开研究,并指出采空区灾害链式机理和断链减灾技术是此后研究的重点。

此外,部分学者对隧道、建筑边坡和水电工程诱发的地质灾害链进行了简单分析。张学富等^[54]对昆仑山隧道漏水灾害的链式机制展开了论述,从防水渗入和堵塞渗入通道两方面提出了断链措施;鲍洋^[55]将偏压隧道存在的地质灾害链分为并联式、串联式和混联式 3 种,分别绘制了其链式成灾机理图。对于建筑-边坡灾害链的破坏机制,郑大鹏^[56]通过构建边坡在外部载荷作用下的力学变形模型,演绎出其受荷载的破坏过程,提出了建筑-边坡灾害的防治措施。针对水电工程洪水灾害链,黄亭亭^[57]构建了其应急态势推演模型和动态应急决策模型,为应急态势决策的选取提供了最优方案。

3.6 研究小结

我国幅员辽阔,地质环境复杂多样,人口密度大,多种类型的地质灾害不时发生,且灾害发生形式并不是单一存在或孤立的,而是彼此关联、密不可分的。一种灾害既是当前灾害链的中间环节,又可作为下一灾害链的起始灾害,因而在灾害链的研究中,研究对象、研究方法等存在交叉覆盖现象。通过归

纳,发现地质灾害链的研究方法可概括为理论分析、网络模型^[58,59]和数值模拟^[60]三大类(图3)。研究人员根据研究区历史灾害情况,以及实地考察和室内实验分析灾害发育机理和特点,确定灾害形成条件和影响因素;通过构建复杂网络、贝叶斯网络等模型有效地反映灾害间的内在关系,确定断链减灾的关键环节;以及采用数值模拟方法对灾害链发展过程进行反演模拟,从而精确地为后续风险分析和灾后救援提供依据。

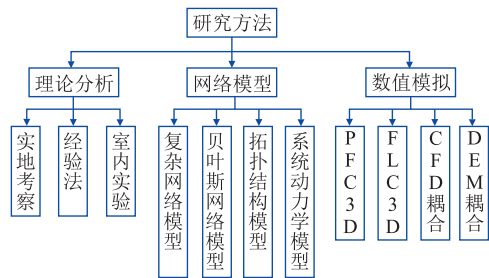


图3 地质灾害链研究方法

4 地质灾害链发展展望

地质灾害链是灾害链研究的重要分支,通过分析近20 a来我国地质灾害链在各个方面的研究进展,现从研究种类、研究内容等方面对地质灾害链发展趋势作出以下展望:

(1) 地质灾害链的研究种类。当前我国对于自然地质灾害链研究多集中于地震、滑坡、泥石流和降雨灾害链,较少研究火山喷发、冻融引发的地质灾害链,缺少对干旱等灾种的地质灾害链的研究。纵观近年来全球性的冰川融化、海平面上升、持续干旱以及突发性城市洪涝等现象,预测未来对地质灾害链的研究可能倾向于冰川融化对地质环境的后续影响灾害链、持续干旱引发的地质灾害链、持续高温造成的路面变形灾害链等。

(2) 地质灾害链的研究思想。在地质灾害链的演化过程中,各种因素相互影响与作用,现阶段多对灾害链分阶段研究,重视各阶段单一灾种的后续影响,较少体现灾害链的整体性研究思想。未来研究有待于以系统观点对灾害链以及灾害间的不同组合展开研究,且随着交叉学科的发展,断链减灾措施的提出将更兼具多技术的协调性。

(3) 地质灾害链的研究内容。现阶段有关地质灾害链的研究内容多为对已发生的某一具体灾害链的成灾机制与演化过程的定性分析,缺少对灾害链触发阈值和转化强度的研究,以及精确化的地质灾害链的预测与预报。在对以往发生的地质灾害链的

基础研究之上,后续基于数学分析、模拟技术和遥感技术的发展,结合数学、物理、力学模型的建立,对地质灾害链的动态预演及预测将更加完善与精确化。

(4) 地质灾害链的研究方法。现阶段对于地质灾害链的风险评价研究,多为基于灾害风险论与四因子构建风险评估模型的定性或半定量分析,缺少量化的、系统性的风险评价技术研究。针对具体类型灾害链,通过采取多方法分析对比,有望归纳或研究出相应的最匹配的数值模拟方法与风险分析方法,从而为相应灾害链的致灾后果分析与断链减灾技术研究提高效率。

(5) 地质灾害链的研究侧重点。目前我国地质灾害链研究侧重分析原始灾害引发的次生灾害类型及灾害间的转化,忽略灾害链发生对社会效应和经济发展带来的影响,以及灾害链演化中带来的人员心理创伤。随着对心理健康的重视,地质灾害链研究过程中将对灾害链各阶段灾种不同可能造成的不同类型、程度的心理环境破坏引起关注。

参考文献

- [1] 郭增建,秦保燕. 灾害物理学简论[J]. 灾害学,1987,(2):25-33.
- [2] 文传甲. 广义灾害、灾害链及其防治探讨[J]. 灾害学,2000,(4):14-19.
- [3] 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,(S1):2675-2681.
- [4] 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,(S1):2629-2633.
- [5] 史培军. 灾害研究的理论与实践[J]. 南京大学学报(自然科学版),(自然灾害研究专辑),1991,27(11):37-42.
- [6] 韩金良,吴树仁,汪华斌. 地质灾害链[J]. 地质前缘,2007,(6):11-23.
- [7] 邢静康. 基于GIS的肯尼亚地质灾害链风险评价[D]. 长沙:湖南大学,2021.
- [8] 唐晓春. 四川“5.12”地震灾害链探讨[J]. 西南民族大学学报(自然科学版),2008,34(6):1091-1095.
- [9] 崔鹏,韦方强,陈晓清,等. 汶川地震次生山地灾害及其减灾对策[J]. 中国科学院院刊,2008,(4):317-323.
- [10] 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(S1):84-88.
- [11] Tian B, Ling W, Koike K, et al. Analysis and assessment of earthquake-induced secondary mountain disaster chains based on multi-platform remote sensing[A]. Geoscience & Remote Sensing Symposium[C]. IEEE, 2010.
- [12] 崔云,孔纪名,吴文平. 地震堰塞湖灾害链成灾演化特征与防灾思路[J]. 科技创新导报,2010,(30):221-223.
- [13] Ni H Y, Tang C, Zheng W M, et al. An overview of formation

- mechanism and disaster characteristics of post - seismic debris flows triggered by subsequent rainstorms in Wenchuan earthquake extremely stricken areas[J]. *Acta Geologica Sinica - English Edition*, 2014, 88(4): 1310-1328.
- [14] 汤敏. 山地型特大地震衍生效应下的区域韧性研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2020.
- [15] 吴鑫培. 汶川地震高速远程滑坡灾害链链生机理研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2021.
- [16] 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(S1): 479-483.
- [17] 尹卫霞, 王静爱, 余瀚, 等. 基于灾害系统理论的地震灾害链研究——中国汶川“5.12”地震和日本福岛“3.11”地震灾害链对比[J]. *防灾科技学院学报*, 2012, 14(2): 1-8.
- [18] 李云飞, 许令顺, 张飞, 等. 基于灾害链理论与FAHP的灾害风险评估研究[J]. *安徽理工大学学报(自然科学版)*, 2020, 40(5): 36-41.
- [19] Zheng L, Wang F, Zheng X. . Complex network construction method to extract the nature disaster chain based on data mining [A]. 2017 7th IEEE International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC)[C]. IEEE, 2017.
- [20] Song Y Q, Gong J H, Gao S, et al. . Susceptibility assessment of earthquake-induced landslide using Bayesian network: a case study in Beichuan, China [J]. *Computers & Geosciences*, 42: 189-199.
- [21] 魏利军, 王向阳, 罗艾民, 等. 基于贝叶斯网络的化工园区地震次生灾害情景分析[J]. *中国安全生产科学技术*, 2017, 13(12): 73-78.
- [22] Han L, Zhang J, Zhang Y, et al. . Hazard Assessment of Earthquake Disaster Chains Based on a Bayesian Network Model and ArcGIS[J]. *International Journal of Geo-Information*, 2019, 8(5): 210-225.
- [23] Lin G W, Hung C, Syu H S. Evaluation of an enhanced FS method for finding the initiation time of earthquake-induced landslides[J]. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2017, 78(1): 497-506.
- [24] 万志强, 肖盛燮. 降雨对滑坡体发育稳态趋势的演变分析[J]. *交通科技与经济*, 2011, 13(3): 1-4.
- [25] Shen D, Shi Z, Peng M, et al. . Preliminary analysis of a rainfall-induced landslide hazard chain in Enshi City, Hubei Province, China in July 2020[J]. *Landslides*, 2020, 18(6): 1-4.
- [26] 曾元勇. 降雨诱发震裂山体滑坡变形失稳机理研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2014.
- [27] 叶丽梅, 周月华, 周悦, 等. 暴雨洪涝灾害链实例分析及断链减灾框架构建[J]. *灾害学*, 2018, 33(1): 65-70.
- [28] 崔云, 孔纪名, 田述军, 等. 强降雨在山地灾害链成灾演化中的关键控制作用[J]. *山地学报*, 2011, 29(1): 87-94.
- [29] 倪化勇. 泥石流发生雨型响应及其临界降雨条件[D]. 成都: 成都理工大学, 2016.
- [30] Zhou Q, Tang C. Rainfall thresholds for debris flow initiation in the Wenchuan earthquake-stricken area, southwestern China[J]. *Landslides*, 2014, 11(5): 877-887.
- [31] 丛威青, 潘懋, 李铁锋, 等. 降雨型泥石流临界雨量定量分析[J]. *岩石力学与工程学报*, 2006, (S1): 2808-2812.
- [32] 潘华利, 欧国强, 黄江成, 等. 缺资料地区泥石流预警雨量阈值研究[J]. *岩土力学*, 2012, 33(7): 2122-2126.
- [33] 罗军华, 林孝松, 牟凤云, 等. 山区公路暴雨-洪水灾害链贝叶斯网络建模推理[J]. *中国安全科学学报*, 2018, 28(12): 1-6.
- [34] 帅敏, 郭海湘, 刘晓, 等. 基于贝叶斯网络的暴雨-地质、暴雨-洪涝灾害链推理模型[J]. *科技管理研究*, 2021, 41(04): 191-197.
- [35] Rong G, Li K, Han L, et al. . Hazard Mapping of the Rainfall-Landslides Disaster Chain Based on Geo Detector and Bayesian Network Models in Shuicheng County, China[J]. *Water*, 2020, 12(9): 2572-2587.
- [36] 宋英华, 吕贝贝, 吕伟. 我国堰塞湖成因分析及灾害链构建研究[J]. *中国安全生产科学技术*, 2021, 17(9): 45-51.
- [37] 韩丽娜. 长白山火山喷发诱发地质灾害链风险评价研究[D]. 东北师范大学, 2020.
- [38] 张学霞, 薄立群, 张树文. 基于RS和GIS的长白山火山灾害风险评估研究[J]. *自然灾害学报*, 2003, (1): 47-55.
- [39] 刘绪. 长白山天池火山喷发诱发崩塌滑坡灾害危险性评价[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [40] 秦胜伍, 马中骏, 刘绪, 等. 基于简化Newmark模型的长白山天池火山诱发崩塌滑坡危险性评价[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2017, 47(3): 826-838.
- [41] 李杰林. 基于核磁共振技术的寒区岩石冻融损伤机理试验研究[D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [42] 邹雪晴. 高寒山区岩质边坡冻融孕灾时效特征研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2017.
- [43] 张如意. 寒区渠道工程冻融灾变链式模型及断链减灾研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2017.
- [44] 弋昭媛. 西北寒区渠道工程冻融灾害链式试验研究[J]. *水利技术监督*, 2018, (4): 129-131+154.
- [45] 姚寿斌. 煤矿区环境地质灾害链及其环境效应[J]. *科技创新与应用*, 2013, (23): 143.
- [46] 龙建辉, 崔丽鹏, 郭启明, 等. 关于山西省工程地质环境“3F”问题链的探讨[J]. *工程地质学报*, 2014, 22(5): 965-974.
- [47] 龙建辉, 秦朝亮. 采煤沉陷区断链减灾模式分析及应用[J]. *自然灾害学报*, 2015, 24(6): 180-186.
- [48] 郭付三, 袁巧红, 殷坤龙, 等. 矿山小流域地质环境灾害链及系统治理技术研究——以豫西小秦岭地区金矿开采为例[J]. *金属矿山*, 2010, (4): 146-152+158.
- [49] 管恩太. 裴沟煤矿采动诱发地质灾害链的研究[J]. *矿业安全与环保*, 2006, (6): 60-62.
- [50] 吴祥, 程远平, 侯少杰, 等. 煤与瓦斯突出事故关键链理论研究[J]. *煤炭技术*, 2010, 29(5): 86-89.
- [51] 胡建华, 何川, 邓红卫, 等. 矿山水害灾变链式模型与工程应用[J]. *科技导报*, 2013, 31(21): 34-38.
- [52] 豆晓汪. 煤矿采空区失稳灾害链式响应特征研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2018.
- [53] 王东昊, 李文, 张彬. 煤矿采空区失稳灾害防控技术研究现状及展望[J]. *煤矿安全*, 2020, 51(3): 188-193.
- [54] 张学富, 张耀南, 梁波, 等. 昆仑山隧道漏水灾害的链式机制及断链新措施[J]. *岩石力学与工程学报*, 2006, (S1): 2719-2729.
- [55] 鲍洋. 偏压隧道施工链式地质灾害形成机理探讨[J]. *四川建筑*, 2020, 40(3): 133-134.

- [56] 郑大鹏. 基于灾变链式理论的建筑与边坡互相影响研究[D]. 重庆交通大学, 2011.
- [57] 黄亭亭. 水电工程洪水灾害链态势推演和应急决策的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2017.
- [58] 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.
- [59] 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.
- [60] 冯文凯, 何川, 石豫川, 等. 复杂巨型滑坡形成机制三维离散元模拟分析[J]. 岩土力学, 2009, 30(4): 1122-1126.

作者简介: 高峰(1981—), 男, 苗族, 湖南怀化人, 博士, 副教授, 研究方向为矿山开采、灾害机理与控制。E-mail: csugaofeng@csu.edu.cn

通信作者: 高秀(1998—), 女, 汉族, 河北保定人, 硕士研究生, 研究方向为地质灾害。E-mail: gaoksiuxiugao@126.com

《地质灾害与环境保护》征稿启事

本刊主管单位: 四川省教育厅; 主办单位: 成都理工大学、地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室。学术性期刊, 季刊。1990年9月创刊, 国内外公开发行人。本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”, “万方数据网络系统(ChinaInfo)数字化期刊群”, “中文科技期刊数据库”。欢迎投稿, 欢迎订阅。

征稿内容: 自然灾害(特别是地质灾害)与人为灾害防治, 生态环境、资源环境和地质环境保护, 水文地质与工程地质, 岩土工程与工程勘察, 与本学科有关的边缘和交叉学科等方面的优秀论文, 最新科技成果, 新理论、新方法、新技术研讨, 及工程技术经验总结, 新成就、新动向方面的综述、述评, 新书刊、新设备评介等。

来稿注意事项: (1) 每篇稿件一般以中文6000字为宜, 最多不超过8000字(包括图表等所占版面字数)。(2) 每篇稿件必须有: 中英文篇名、摘要(摘要以第三人称书写, 200字左右)、图表名, 所在单位中英文名称; 第一作者简介, 主要包括: 姓名、性别、出生年、职务、职称, 最高学历、专业、研究方向, 主要科技成果及其获奖情况, 以及出版专著、发表论文等简况。(3) 来稿请交电子文档, 另可附打印件1份, 可电子邮件投稿, 地址: dzzh@cdut.edu.cn。

《地质灾害与环境保护》编辑部

2024年3月25日