

崩滑流地质灾害链式机理及其优化防治^{*}

冯玉涛¹, 肖盛燮²

(1. 重庆市交通规划勘察设计院, 重庆 400067; 2. 重庆交通大学 防灾减灾研究所, 重庆 400074)

摘要: 崩塌、滑坡、泥石流一直是地质灾害学者研究的热点和重点。基于三者群发成灾的关联性, 从灾害链的角度出发, 对崩滑流链式灾害的内涵进行了界定。系统介绍了我国崩滑流灾害的时空发育分布规律, 重点研究了4类常见崩滑流灾害链的成灾条件和成灾机理。在此基础上, 通过对崩滑流3灾种(崩塌、滑坡、泥石流)综合治理方法的研究, 进一步提出了崩滑流灾害的优化防治方案。

关键词: 崩滑流; 地质灾害; 链式机理; 优化防治

中图分类号: P642.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)03-0022-05

0 前言

我国是一个多山的国家, 山地、高原、丘陵约占国土面积的69%, 河流纵横, 沟谷广布, 地势高差悬殊。在西部地区, 由于新构造运动强烈, 江河深切, 山高坡陡, 气候、植被类型复杂多变, 地质环境脆弱^[1-5]。自西部大开发以来, 人类活动日益增强, 环境破坏随之加剧, 以及近年来地震活跃, 降雨异常等因素的影响, 致使崩滑流地质灾害日趋强烈。我国是世界上崩滑流灾害特别严重的国家之一^[6-7]。

据有关学者统计, 全国分布有大型崩滑流灾害近8 000处, 中小规模的崩滑流地质灾害高达41万多处^[6,8-9]。全国26个省市, 350多个县、市的上万个村庄, 100余座大型工厂, 55座大型矿山, 22条铁路干线, 9 980 km线路以及数万km的山区公路、数万座山区水电设施都受到崩滑流的严重危害或威胁^[6,8-9]。据不完全统计, 1949-1990年间, 我国崩滑流灾害至少造成100亿元以上的直接经济损失, 1991年至今, 一次损失万元以上的崩滑流灾害超过30 290次, 平均年死亡人数至少928人, 年直接经济损失达36亿元^[1,6-9], 并有日趋严重的势态。如此严重的灾情, 在很大程度上影响了我国经济的发展和部分地区的和谐稳定。

纵观史料, 针对崩塌、滑坡、泥石流单个灾种或两个灾种的研究文献^[1-11]颇多, 而对3个关

联灾种相互渗透、互为条件、耦合成灾, 以崩滑流灾害链的形式致灾的研究文献却不多见, 但这种以崩滑流灾害链的形式群发成灾的现象是客观存在的, 并且异常严重。为此, 本文拟对其进行深入探讨, 将有助于推动我国崩滑流地质灾害的研究和防治进程。

所谓崩滑流地质灾害, 也就是在内外复杂因素的交互耦合作用下, 崩塌、滑坡、泥石流3灾种中的任一或二个灾种率先爆发, 诱使三重灾害先后接踵成链, 同期迸发, 其致灾强度及破坏作用急剧扩大的突发性灾害链式过程。

1 崩滑流地质灾害时空发育分布规律

从相关沉积分析和史料分析发现, 我国的崩滑流活动在时间序列上呈现出与气象、天文、人文和其他地质因素相关联的周期旋回变化^[11-12]: ①存在以数万年为周期的超长期旋回, 这与第四纪冰期和间冰期的变更基本一致; ②存在以数百至数千年为周期的长期旋回, 其原因与新世以来的气候旋回和次级波动有关; ③存在以8~13年为周期的中期旋回, 经过灰度分析, 发现地震、强降雨和崩滑流灾害关系密切; ④存在以1年为周期的短期旋回。崩滑流对水的敏感性很强, 其爆发的高峰期与降水强度的季节性变化基本同步旋回, 单次降雨强度和持续时间是诱发崩滑流的重要因

* 收稿日期: 2009-03-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(50879097)和重庆市国土局项目资助

作者简介: 冯玉涛(1979-), 男, 河南新郑人, 工程师, 主要从事交通设施防灾减灾及防护等方面的勘察设计和研究工作。

E-mail: fytiao@yahoo.com.cn.

子。据不完全统计, 崩滑流 6-10 月份发生的频次占全年发生频次的 70%~90%, 这与我国大部分地区的降水期相吻合, 进一步表明崩滑流灾害具有季节周期性和诱发性。

从总体上看, 我国西部地区特别是西南一些省区长期处于地壳上隆过程之中^[1-4], 地震活动频繁, 地形切割剧烈, 地质构造复杂, 岩土体支离破碎, 再加上西南地区降水量和降水强度较大, 西北地区植被极不发育, 因而崩滑流发育强烈, 如云南、四川、重庆、贵州、陕西、甘肃、宁夏等省市; 其它地区由于新构造运动一般相对发育较弱, 其中华北、东北地区的降水量偏少, 中南、华东大部分地区植被发育较好, 因而这些地区的崩滑流发育强度一般不及西部严重。我国崩滑流灾害危害严重的省市有: 四川、重庆、云南、陕西、宁夏、甘肃、贵州、湖北、河北和辽宁等地(图 1)^[6]。

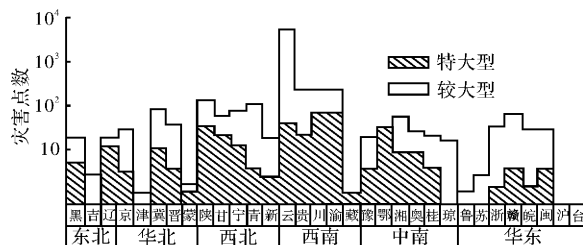


图1 我国崩滑流灾害主要分布直方图

崩滑流的空间分布, 在地域上, 基本上可划分为 15 个多发区: ①横断山区; ②黄土高原地区; ③川北陕南地区; ④川西北龙门山区; ⑤金沙江中下游地区; ⑥川滇交界地区; ⑦汉江安康-白河地区; ⑧川东大巴山地区; ⑨三峡库区; ⑩黔西六盘水地区; ⑪湘西地区; ⑫赣西北地区; ⑬赣东北上饶地区; ⑭京郊怀柔-密云地区; ⑮辽东岫岩-凤城地区。我国崩滑流主要灾害地区见图 2^[9]。

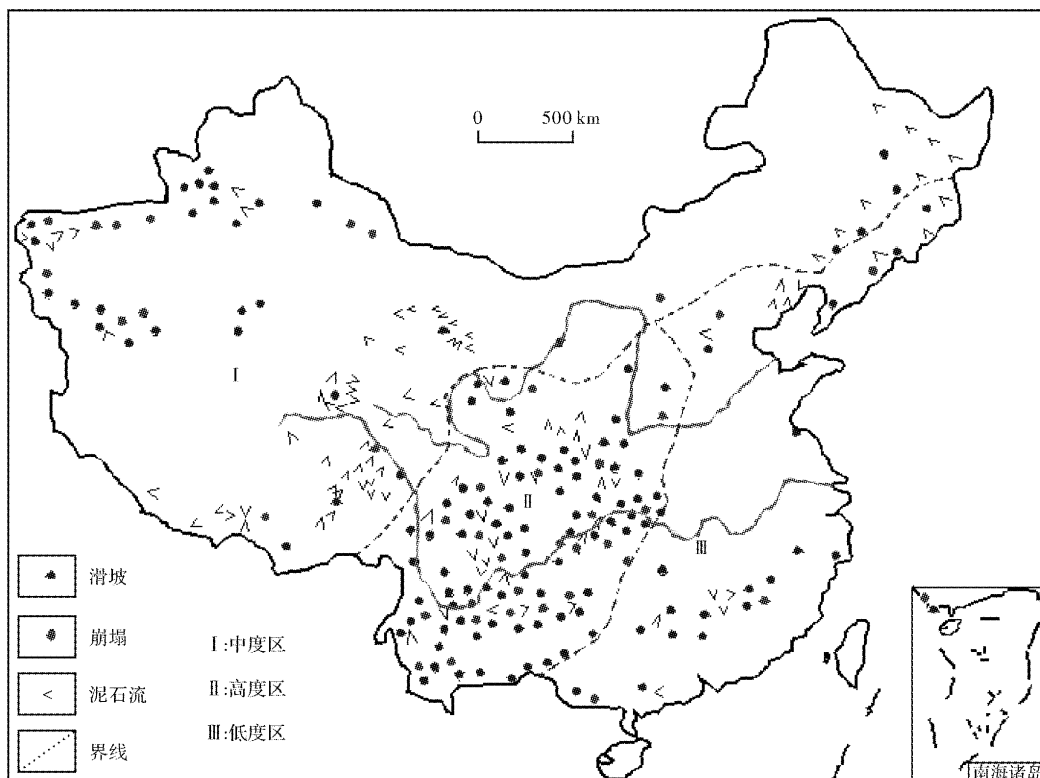


图2 我国崩滑流灾害主要区域分布示意图

从图 1、2 可以看出, 无论是灾害点分布密度或是灾害发生频度, 我国大陆崩滑流灾害的总体分布规律是^[6]: 中部地区最发育, 西部地区较发育, 东部地区较弱。

但是, 由于崩滑流地质灾害的形成受区域性和地带性的双重控制, 人为影响因素比较显著^[5,13-14], 随着近年来我国经济的发展和西部大开发战略的实施, 其发生范围和灾情有进一步扩

大和恶化的趋势^[10]。

2 崩滑流地质灾害的成灾条件及其链式机理

2.1 崩滑流地质灾害的形成条件

崩滑流地质灾害是多种因素综合作用的结果^[9,14-15], 但归结起来, 主要取决于 4 个方面:

①工程地质条件(地形地貌、新构造运动强度和方式、岩土体工程地质类型和地质构造条件);②气象水文条件(降水和地下水活动);③植被发育程度;④人类活动影响程度等。不同因素的作用方式和影响程度不同。其中,地质构造条件是崩滑流灾害产生的关键内因,起主导控制作用,而强降雨则是形成崩滑流灾害链的最主要的外部因素。

明显的地形地貌差异是崩滑流灾害产生的第一个必要条件^[9,13],这些差异为岩土体失稳运动提供了重力势差。较高的重力势差为崩滑流灾害提供了基本的运动条件;地壳新构造运动、地质构造条件、地下水作用和地壳表层的物理化学风化等因素耦合作用,导致地表岩土体内结构面大量发育,造成岩土体强烈变形、破碎,力学性能大大降低或发展成松散体,为崩滑流灾害提供了物质条件;地震和大气降水为崩滑流灾害提供了强大的动力条件。

这些诱发成灾条件一旦发育成熟,接踵成链,极具破坏力的崩滑流灾害即将顺势而生。值得说明的是,崩滑流灾害链式过程受到地域植被和人类活动等因素的显著影响,所以良好的植被情况和合理的人类活动在一定程度上都将会制约崩滑流灾害链的发育、发生和发展。

2.2 崩滑流灾害链式机理分析

崩滑流灾害链的成灾机理和一般灾害相似。从时间进程来看,都经由孕育潜伏期、启动爆发期、持续演绎破坏期、作用衰退平静期4个阶段;从能量转化过程来看,都经由能量的聚积耦合、迸发转化、耗竭稳定3个阶段;从形成因素来看,都包含主因灾种、孕源灾种和次生灾种等作用因子。不同的是崩滑流灾害的3个作用因子是三种具体的灾害类型:崩塌、滑坡和泥石流,且其每个作用因子都可独立成灾。

一般来说,许多地质灾害往往是数种灾害的相互关联渗透、互为因果的错综耦合反映,其成灾形式常常以灾害链^[16-19]的形式牵连迸发。根据崩滑流灾害链演化^[10]的特征机理和各灾种关联成灾的链状关系(并联式、串联式和混联式^[16]),考虑降水等因素在灾害链形成过程中的链接媒介作用,可将崩滑流灾害分为以下4种主要的链式类型:

(1) 滑坡^{诱发}→崩塌^{引发}→泥石流^{促成}→崩滑流灾害链

崩滑流成灾机理如图3。不稳定坡体在暴雨或振动荷载作用下形成第一级诱发灾源滑坡;随着前

缘坡体的失稳下滑,后缘坡体架空形成危岩,诱发第二级次生灾害崩塌;在暴雨和洪水等外因继续耦合作用下,其不同粒径的岩土体将在强烈水力和能量冲击下,以不同体态(固、液或气态)物质产生集散与搬运作用,构成破坏力极强的第三级主灾链泥石流,严重淘蚀沟谷生态,摧毁村庄和交通设施,致使能量在极度散失中达到相对稳定的这种演绎链式全过程,是第1种崩滑流链型。

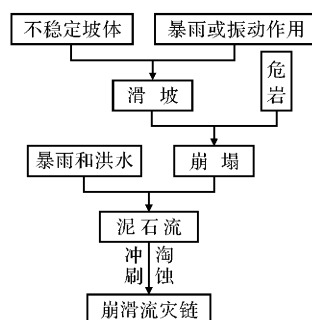


图3 崩滑流灾害链(串联式)成灾流程图

(2) 崩塌^{诱发}→滑坡^{引发}→泥石流^{促成}→崩滑流灾害链

崩滑流成灾机理如图4。裸露岩体在暴雨、风化等环境因素长期侵蚀下,其节理、裂隙不断向纵深层扩展,加之振动脉冲荷载或淘蚀作用的诱发,形成第一级崩塌灾源;岩崩过程使不稳定坡体失去支撑或在巨大能量冲击下,促使第二级次生灾害链滑坡的形成;再经暴雨及洪水径流汇集不同体态(固液或气态)物质和能量的强烈耦合、集散与搬运,形成对构筑物与生态破坏作用极大的第三级灾害泥石流,随着能量耗竭或在地物地貌变态阻尼中达到相对稳定的这种演绎链式全过程,称为第2种崩滑流链型。大盈江等地灾链属于该种类型。

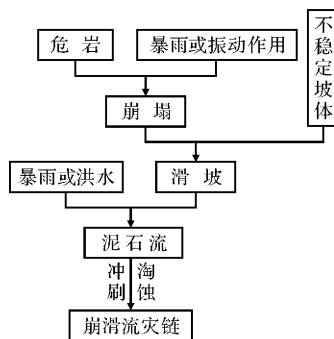


图4 崩滑流灾害链(串联式)成灾流程图

(3) 崩塌·滑坡^{引发}→泥石流^{促成}→崩滑流灾害链

崩·滑流成灾机理如图5。危岩与不稳定坡体在暴雨、振动作用等外因影响下近乎同时发生,

交互渗透形成第一级“崩塌·滑坡”次生灾源;在水的渗透和能量急剧冲击下,使崩滑岩土体迅速聚集多相物质与能量,通过冲击和搬运作用,构成强大破坏力的第二级灾害泥石流;在继续冲刷、淘蚀过程中,能量与作用力逐步耗竭使其趋于相对稳定的演绎全过程,是第3种崩滑流链型。1996年丽江发生的崩滑流灾害就属于该类型。

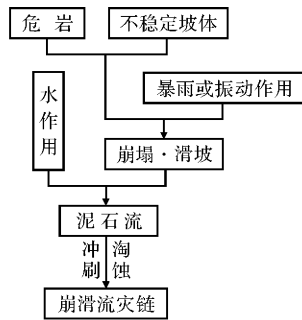


图5 崩滑流灾链(混联式)成灾流程图

(4) 泥石流 $\xrightarrow{\text{冲刷, 淘蚀引发}}$ 崩塌·滑坡 $\xrightarrow{\text{促发}}$ 崩滑流灾链

流崩·滑成灾机理如图6。地表松散体或不稳定坡体,在暴雨、洪水等外因诱发下,爆发第一级次生灾害泥石流;随着泥石流的汹涌而下,对沟谷边坡产生强烈的冲刷与淘蚀,致使“崩塌·滑坡”第二级次生灾害形成;伴随泥石流中固态物质的迅速增加,其冲击作用的动能骤然增强,在其随后的破坏过程中能量逐步耗竭的这种灾害链式演绎全过程,是第4种崩滑流链型。东川蒋家沟等处灾害链就属于此类链型。

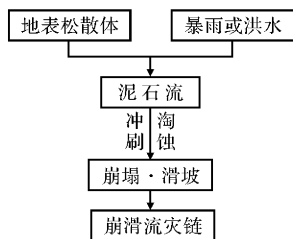


图6 崩滑流灾链(混联式)成灾流程图

了解崩滑流地质灾害链的发生、发展和致灾规律,以及各个灾种间的关联性和链式特性,对我们深入认识灾链形成机理,针对性地制定优化防治方案,采取有效措施,促进防灾减灾学科领域的发展具有重大意义。

3 崩滑流地质灾害的优化防治

崩滑流地质灾害防治的基本途径,应从灾害

链的形成条件和发育机理入手,因地制宜,因势利导,抓住关键因素和关键环节,采取适当的防治和治理措施,使防治工程取得良好的成效。就崩滑流灾害而言,尽管3个灾种的关联性和群发性^[17-21]较强,但是,它们也均有其自身的形成机制和发育规律。所以我们可以利用国内外对崩塌、滑坡、泥石流等灾种现有的研究成果,从其各自的防治措施中优化出崩滑流地质灾害链的防治方案。

任何一种地质灾害的防治,不是单一的某种方法所能解决的,往往需要有相关配套的工程技术措施。因而,在崩滑流地质灾害的防治过程中,可以借助系统工程的思路和方法进行优化。总结崩滑流地质灾害各关键灾种防治的基本方法如图7所示。

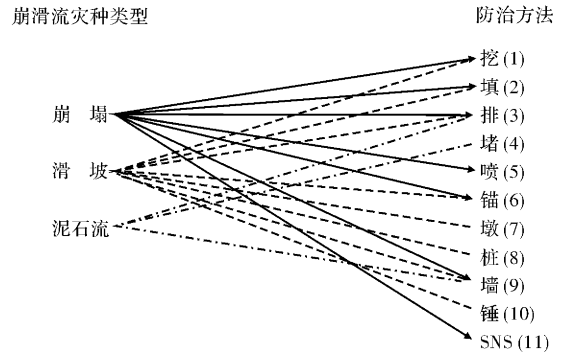


图7 崩滑流地质灾害灾链类型与防治方案

对不同的具体灾种,采用不同的优化组合,一般综合治理优化方案如下:

崩塌灾害综合治理方案 = (1) + (2) + (3) + (5) + (6) + (9) + (11);

滑坡灾害综合治理方案 = (1) + (2) + (3) + (6) + (7) + (8) + (9) + (10);

泥石流灾害综合治理方案 = (3) + (4) + (9)。

要做到对崩滑流灾害链科学、有效地治理,就应该追本溯源,总结优化方案,力争从源头和中间媒介进行整治、控制或切除崩滑流灾害链发生、发展的阈值环节,切断其链式关系,从而达到科学有效的防灾、减灾、和治灾的目的。例如,针对第一种灾链类型,我们可以从崩塌滑坡泥石流流灾害综合治理方案中优化出(9) + (11) + (3)的治理方案。

4 结语

崩塌、滑坡、泥石流等一直是地质灾害学者

研究的热点和重点。本文在崩塌、滑坡、泥石流群发成灾现象的基础上,从灾害链的角度出发,重新定义了崩滑流灾害。系统分析了我国崩滑流灾害的时空发育分布规律,重点研究了4类崩滑流灾害链的成灾条件和成灾机理。在此基础上,进一步研究了崩滑流灾害3灾种(崩塌、滑坡、泥石流)的综合治理措施,进而提出了崩滑流灾害链的优化防治方案,以便力争从源头和中间媒介入手,控制或切断崩滑流灾害链发的关键环节,达到科学有效的防灾、减灾的目的。

参考文献:

- [1] 胡海涛. 中国地质灾害类型、分布及防治建议[J]. 水文地质工程地质, 1993, 20(2): 1-7.
- [2] 胡海涛, 周平根. 论地质灾害与防治[J]. 西部探矿工程, 1997, 9(1): 2-4.
- [3] 段永侯. 我国西部地质灾害现状、趋势和对策[J]. 经济研究参考, 2000, (58): 14-16.
- [4] 段永侯. 我国地质灾害的基本特征与发展趋势[J]. 第四纪研究, 1999, (3): 208-212.
- [5] 王占礼, 彭珂珊. 中国主要灾害类型、成因及分布[J]. 桂林工学院学报, 1999, 19(4): 354-355.
- [6] 潘懋, 李铁锋. 灾害地质学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2002: 3-98.
- [7] 张春山, 张业成, 张立海. 中国崩塌、滑坡、泥石流灾害危险性评价[J]. 地质力学学报, 2004, 10(1): 27-31.
- [8] 张梁, 张业成. 推进减灾社会化是防治崩塌、滑坡、泥石流灾害的根本出路[J]. 中国地质, 1994, (12): 18-20.
- [9] 张业成. 中国崩塌、滑坡、泥石流灾害基本特征与防治途径[J]. 地质灾害与环境保护, 1993, 4(1): 11-18.
- [10] 刘哲民. 灾害演化探析[J]. 水土保持研究, 2003, 10(2): 1-3.
- [11] 王宇. 云南省崩塌滑坡泥石流灾害及防治[J]. 地质灾害与环境保护, 1998, 9(4): 38-39.
- [12] 盛海洋. 我国自然灾害特征及其减灾对策[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 269-271.
- [13] 李炳元, 李钜章, 王建军. 中国自然灾害的区域组合规律[J]. 地理学报, 1996, 51(1): 1-2.
- [14] 彭建兵, 马润勇, 邵铁全. 构造地质与工程地质的基本关系[J]. 地学前缘, 2004, 11(4): 543-544.
- [15] 崔鹏, 林勇明. 自然因素与工程作用对山区道路泥石流、滑坡形成的影响[J]. 灾害学, 2007, 22(3): 11-16.
- [16] 田连权. 西南山地灾链的区域分异[J]. 山地研究, 1995, 13(2): 116-117.
- [17] 文传甲. 广义灾害·灾害连及其防治探讨[J]. 灾害学, 2000, 15(4): 13-18.
- [18] 肖盛燮. 灾变链式理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 1-20.
- [19] 李明, 唐红梅, 叶四桥. 典型地质灾害链式机理研究[J]. 灾害学, 2008, 23(1): 1-5.
- [20] 汤爱平, 文爱华. 自然灾害的概念、等级[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(3): 62-64.
- [21] Keith Smith. Environmental Hazards [M]. London: Routledge Press, 1996: 21-30.

Chain Mechanism and Optimized Control of Collapses, Landslides and Debris Flows

Feng Yutao¹ and Xiao Shengxie²

(1. Chongqing Communications Planning Survey&Design Institute, Chongqing 400067, China; 2. Institute of Disaster Prevention&Mitigation Engineering, Chongqing Communication University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Collapses, landslides and debris flows are always the research focus and emphasis of geological disaster scholars. The definition of chained collapses, landslides and debris flows is fixed from the standpoint of disaster chain for a cluster of the three types of hazards would surely cause disasters. Temporal distribution regularity of the development of the three types of hazards in China is systemically introduced, and causing conditions and mechanism of four common disaster chains of them are studied mainly. According to the research of comprehensive control methods of collapses, landslides and debris flows, a optimized control method for the hazards is proposed.

Key words: collapses, landslides and debris flows; geological disasters; chain mechanism; optimized control