

文章编号: 1008-2786-(2010)6-753-05

# 群发性泥石流的危害效应及防范探讨

铁永波<sup>1,2</sup>, 唐川<sup>2</sup>, 倪化勇<sup>1</sup>

(1 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081; 2 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, 四川 成都 610059)

**摘要:** 由于目前对群发性泥石流形成机理及成灾模式的研究甚少,加之在防范经验上的欠缺,难以找到有效的办法来降低这类泥石流造成的危害。为此,针对2010年群发性泥石流灾害频发事件,以近年来四川省典型群发性泥石流灾害为例,探讨这类泥石流灾害的空间分布特征及其灾害效应,并对群发性泥石流成灾的“叠加—放大效应”及成灾的“链式效应”进行分析,对认识群发性泥石流的成灾规律有一定理论意义。最后,就群发性泥石流灾害的防范及对策进行了探讨,可为防灾减灾提供参考。

**关键词:** 群发性泥石流; 灾害效应; 成灾机制; 防范模式

**中图分类号:** P642.33

**文献标识码:** A

群发性泥石流是一种在极端天气条件下,在特定区域内同时暴发多处泥石流的地貌过程,具有极强的危险性,往往对区域内泥石流沟口的城镇、村庄及基础设施造成严重破坏,并造成重大人员伤亡和财产损失。群发性泥石流在国内外山区都极为常见,其中最为典型的是1999年在委内瑞拉北海岸Vargas地区发生的群发性泥石流灾害,暴雨在50 km的海岸线范围内同时诱发24处泥石流,对加勒比海滨沟口泥石流堆积扇上的多处城镇造成严重破坏,共造成15 000人死亡,23 000间房屋被摧毁,65 000间房屋遭受严重破坏,直接经济损失约1亿美元,该次群发性泥石流灾害也成为20世纪以来全球最为严重的泥石流灾害<sup>[1]</sup>。同样,1999年Mitch台风过境后引发尼加拉瓜地区的群发性泥石流灾害,造成Casita Volcano镇2 000人死亡的重大灾情<sup>[2]</sup>;2010-08-07,我国甘肃舟曲县城后山的罗家峪和三眼峪同时暴发泥石流,导致舟曲县城1 435人遇难、331人失踪、2 062人受伤及6.5亿元的直接经济损失,这是我国建国以来史上最为严重的泥

石流灾害事件<sup>[3]</sup>;仅在舟曲泥石流灾害发生后的一个多月,暴雨使得“5.12”汶川震区的绵竹市、都江堰等地再次暴发了群发性泥石流灾害,共引发区内39处泥石流,其中13人因灾死亡、7 000余间民房倒塌,直接经济损失达11.6亿元<sup>[4]</sup>。2010年在汶川震区暴发的群发性泥石流规模及危害在国内外均是较为罕见的。

一组组惊人的数据显示,群发性泥石流与一般泥石流的危害是具有显著差别的。从许多灾害案例可以看出,群发性泥石流有许多典型的特征,如在危害程度上的“叠加—放大”特点、空间分散与数量集中特点等。而正是因为这些独特效应,才使得我们往往会低估其危险性 & 破坏能力,以至于在这类泥石流暴发时显得束手无策。早在20世纪50年代,我国就已就西部山区工程建设中遇到的泥石流灾害开展了治理,并积累了较为丰富的单沟泥石流防治经验<sup>[5-9]</sup>。在2008年“5.12”汶川大地震发生后,针对地震区内潜在的泥石流沟也开展了大量的单沟治理工程。但遗憾的是,我们目前对群发性泥石流的

收稿日期 (Received date): 2010-04-15; 改回日期 (Accepted): 2010-09-01.

基金项目 (Foundation item): 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室 (成都理工大学) 开放基金 (GZ2009-09) 和中国地质调查局“典型泥石流防治关键技术及示范” (1212010814038) 资助。 [ Special Research fund and Research Fund of State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geo-environment Protection (Chengdu University of Technology), "Typical Debris Flow Prevention Technique and Demonstration of Chinese Geologic Survey ]

作者简介 (Biography): 铁永波 (1979-) 男, 博士, 主要从事环境地质和灾害地貌学方向研究。 [ Tie Yongbo (1979-), male P.H.D. majoring in environmental geology and geological disasters research ] E-mail: tyongbo@cgs.cn

形成机理及成灾模式的研究甚少,尤其是在汶川震区这样一个泥石流物源极其丰富的典型区域,对群发性泥石流开展的防治目前尚无针对性的措施,故难以找到有效的办法来降低这类泥石流的危害。

# 1 群发性泥石流分布特征及成灾效应

## 典型群发性泥石流的分布特征

群发性泥石流是单个泥石流过程的集中表现形式,在空间上具有显著的区域性,主要表现为集中在某一个或某几个特定的区域内发生,如我国四川省的西部山区和盆地交接带尤为常见。在时间尺度上,群发性泥石流具有较为典型的不确定性和随机性,这主要是由于目前对泥石流的预测多是基于降雨预测预报前提下的“二次预测预报”过程。根据近年来四川省内典型群发性泥石流灾害事件的统计可以看出,从2005年至今,基本每年都有群发性泥石流发生,且每次灾害过程都造成重大的人员伤亡和财产损失,其中以2010年最为严重(表1)。

研究地质过程在空间尺度上的分异规律是地学研究的显著特点<sup>[17]</sup>。作为一种特殊的地貌演化过程,群发性泥石流在时间和空间尺度上也具有典型的分异特征。根据对近年来四川省内暴发的典型群发性泥石流灾害的空间分布图可以看出,群发性泥石流在大的区域尺度下是呈面状分布的,在这种面状分布的控制下,某一个面状区内的泥石流沟数量则又呈现出集中分布的特点(图1)。如2008年北川县境内就集中暴发72处泥石流;2010年绵竹市仅清平乡范围内就集中暴发27处泥石流,其数量均

呈现出集中分布的特点。同时,这些群发性泥石流在空间分布上还呈现出沿川西高原和四川盆地交接带分布的特征,这与该区域的地质构造(龙门山断裂带和鲜水河断裂带)有很大的关联性。

## 群发性泥石流的“链式灾害”效应

从目前已发生的群发性泥石流灾害事件看,群发性泥石流→堵塞主河→溃决洪水(或回淤淹没)过程是一个较为普遍的现象。堵塞程度严重,便会形成堰塞湖,对上游的地区造成回淤淹没,并造成潜在溃决洪水灾害的风险;轻度的堵塞亦会挤压主河道,迫使河流改道,往往使得河流对岸遭受强烈冲刷,引起岸坡的坍塌,从而对公路及房屋设施造成破坏(图2)。如2005年四川省甘孜州磨西河流域群发性泥石流冲出雅家埂河后,直接造成大渡河堵塞达20 m<sup>3</sup>,导致大渡河回淤至上游3 km处的彩虹桥,随后溃决,致使下游河道岸坡遭受严重冲刷,使沿江公路遭受严重破坏。

群发性泥石流的“链式灾害效应”过程除了在时间尺度上的连续性特征外,还在空间尺度上具有重复的成灾过程,即群发性泥石流在空间分布上的差异,会使得它们在同一条主河的多个地段形成多次堵江过程,在空间尺度上再次形成“链式灾害效应”的重复成灾过程。如2010-08-14四川省汶川县群发性泥石流致使岷江多处被堵断,形成规模大小不一的堰塞湖,其中银杏乡毛家湾泥石流冲入岷江形成蓄水量350~400×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>的堰塞湖、银杏乡东界脑村泥石流冲入岷江形成蓄水量400×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>左右的堰塞湖、映秀城区附近的洪春沟泥石流完全将岷江河道堵塞,迫使河流改道,冲向河岸边的映

表 1 近年来四川省典型群发性泥石流灾害统计表  
Table 1 The group debris flow occurred in recent years in Sichuan Province

时间	地点	群发泥石流事件	危害
2005-06-30	泸定县	3个乡镇9条沟同时暴发泥石流	13个村、10 516人受灾,造成4人死亡,5人失踪,230人受伤,直接经济损失3 190万元。
2005-08-11	泸定县	磨西河流域内4条沟同时暴发泥石流	致使1 200余名游客在海螺沟景区受阻,并堵塞大渡河。
2007-05-24	九龙县	5个乡镇共暴发12处泥石流	12人死亡,18人受伤,其中重伤2人。
2008-09-24	北川县	暴雨诱发该县境内72条沟同时暴发泥石流	造成44人死亡,北川老县城地震遗址被掩埋。
2009-08-19	德昌县	茨达乡政府后山3条泥沟同时暴发泥石流	5户房屋倒塌,40户房屋受损,直接经济损失258万元。
2010-08-13	绵竹市	仅清平乡境内就暴发27处泥石流	10人因灾死亡,5人失踪,倒塌民房7000余间。
2010-08-14	都江堰市	虹口乡境内14条沟同时暴发泥石流	
2010-08-14	汶川县	多个乡镇共有16条沟暴发泥石流	13人死亡,8000人被迫紧急转移。

注:以上表格资料来源于文献[10-12-16]  
©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

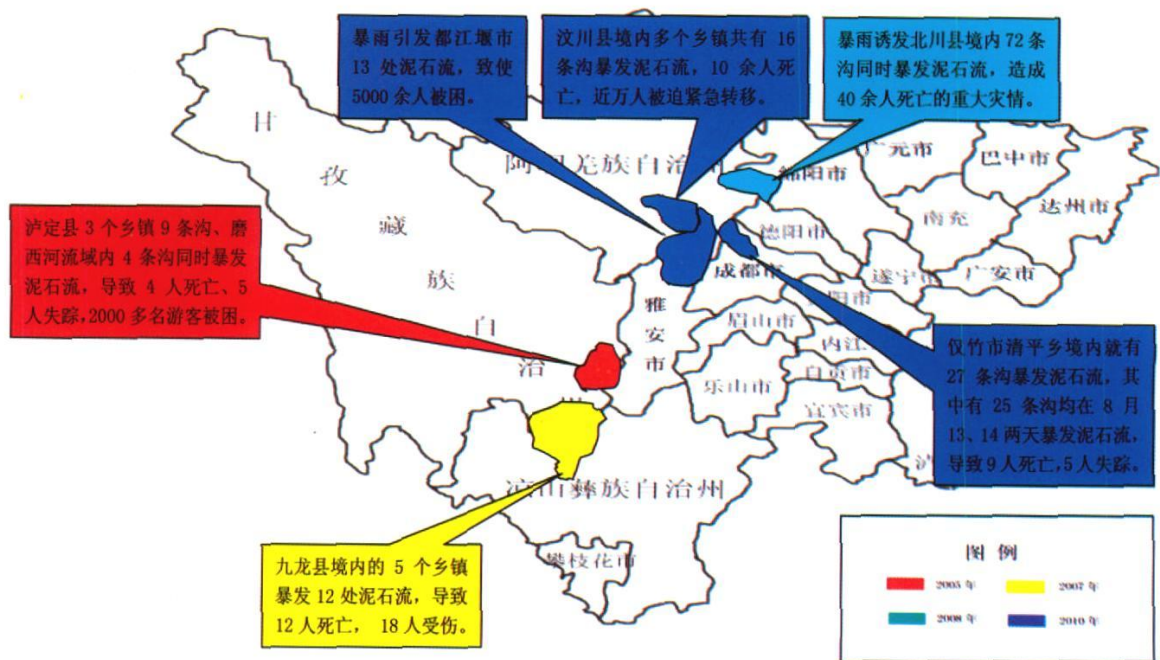


图 1 近年来四川省典型群发性泥石流灾害空间分布示意图

Fig 1 The space distribution of group debris flow in recent years in Sichuan Province

秀城, 导致映秀新城遭受严重破坏<sup>[18]</sup>。同样, 2008 年四川省北川县境内暴发的群发性泥石流导致岷江多处都不同程度被堵塞, 其中唐家山堰塞湖泄洪道和北川县城附近的堵塞最为严重<sup>[19]</sup>; 2010 年四川省绵竹市清平乡泥石流也造成绵远河被堵断, 形成多处堰塞湖。

## 群发性泥石流的危害的“叠加 放大”效应

群发性泥石流一个显著的特点就是各沟在暴发泥石流后汇入主河道, 使得主沟的泥石流规模得到叠加, 形成更大规模的泥石流; 同时, 这种叠加后的大规模泥石流侵蚀能力及冲击破坏能力都会有显著的加强和放大效应, 导致其危害更为严重。如 2005—08—11, 在甘孜州磨西河流域内暴发的群发性泥石流就是“叠加—放大”效应的典型案例, 磨西河流域内磨子沟、燕子沟、南门关沟和雅家埂河同时暴发泥石流, 各沟泥石流暴发后, 在其流域内并未造成多大危害, 但当各沟泥石流在摩岗岭吊嘴处汇入主沟后, 形成约  $3\,300\text{ m}^3/\text{s}$  的瞬时峰值流量, 造成沿途房屋、公路、桥梁和多座水电站被冲毁, 致使 1 200 余名游客在海螺沟景区受阻, 并堵塞大渡河 20 min 余<sup>[9]</sup>。

## 2 群发性泥石流防治思路的探讨

针对群发性泥石流灾害发生的不确定性及其危害严重等特点, 目前急需探索有效、可行的对策来降低这类泥石流灾害所带来的潜在危险。根据群发性泥石流的运动过程及成灾特点, 开展这类泥石流的有效防治不但要考虑到单点的防治效果, 还要从系统的角度出发, 考虑整个灾害链的整体防治效果。群

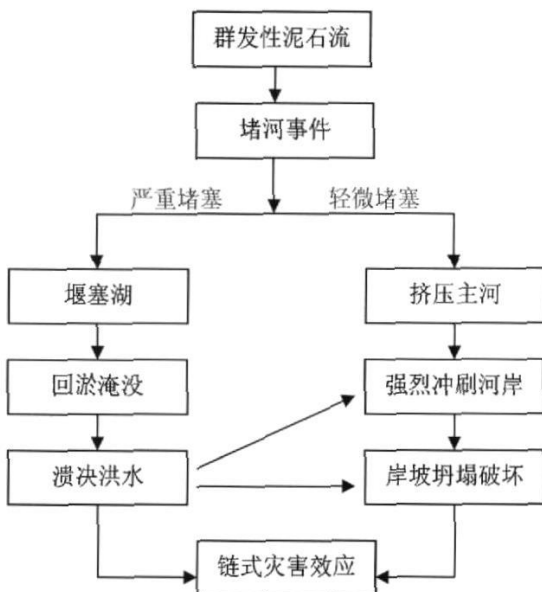


图 2 群发性泥石流“链式灾害效应”过程模式

Fig 2 The “Chain hazard effect” process of group debris flow

发性泥石流灾害的防范可以从以下几个方面开展。

### 建立群发性泥石流灾害的三维防范体系

根据目前对泥石流灾害防治经验及群发性泥石流的危害特征,要达到对这类泥石流有效防范的目的,须形成由政府职能部门牵头的政策或法律法规管理体系、应急防范体系和专业技术保障体系(图3)。管理体系的构建主要由国土资源部门牵头,形成从国土资源部到地方国土资源厅、县国土资源局、乡(镇)国土资源所及村国土管理员为一体的垂直管理体系,逐级责任明确,落实和实施地质灾害管理条例和法律法规,为泥石流灾害的防范提供政策和法律依据。应急防范体系主要集泥石流预警预报、应急预案编制及群测群防体系的建设等方面为一体,为群发性泥石流灾害防范提供基础保障。从专业技术层面上看,主要依靠专业技术人员在汛期前、汛期及汛期后分别开展排查、巡查和核查,并对潜在泥石流的危险性进行评估,确定出泥石流可能的危险范围,并对受到泥石流威胁的群众开展泥石流防灾减灾知识培训与教育,从专业角度为群发性泥石流灾害的防范提供技术支撑。

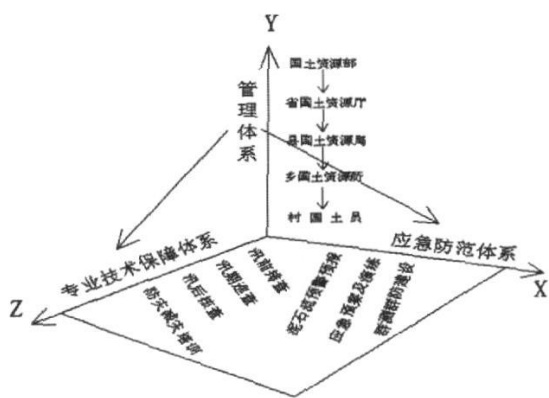


图3 群发性泥石流灾害防范的三维结构模式

Fig. 3 The 3 dimension mode of group debris flow prevention

### 建立动态的灾害过程监测体系

灾害链是不可逆的动态变化过程,且链中的前一个灾害可以提供后继重大灾害发生的关键信息<sup>[20]</sup>。群发性泥石流在链状灾害过程中亦是如此,如果能对“泥石流→堰塞湖→溃决洪水”的链状灾害过程中的各个环节进行监测,则可有效规避下一个次生灾害的潜在风险,故需要对整个链状灾害过程进行动态监测。开展群发性泥石流灾害链中各个环节的动态监测和预报,可为其潜在的堵塞主河位置及特征提供关键信息,并以此分析堵河后可能形

成的危险区及潜在的威胁对象,为这类链状灾害的防范和预测提供基础。如确定了潜在泥石流的危险区,即可预测可能形成堰塞湖的位置,可提前开展风险防范措施。建立动态的链状灾害过程的监测体系同样需要政府部门、专业队伍及群众的共同努力,研究和分析群发性泥石流发生后可能造成的链状灾害,并对其空间和时间分布特征进行预测,为灾害的监测和防范提出应对措施。同时,结合专业监测和预警仪器的研发与应用,实现整个灾害链的全程动态监测。

### 开展群发性泥石流灾害专项研究

虽然目前我们对单沟泥石流灾害的防范有了一定的基础和认识,但对群发性泥石流的危险性仍过于低估,特别是对群发性泥石流危害的“叠加—放大”效应方面表现得尤为明显。2010年汶川地震区绵竹市清平乡和都江堰虹口—龙池群发性泥石流的规模、危害及动力学参数值远超出了我们现有的经验计算范围,且对已有泥石流动力学参数的计算方法等提出了新的挑战。因此,需要对群发性泥石流开展专项研究,重点针对群发性泥石流的区域分布规律、形成机理、成灾规律、动力学参数特征及预警预报方面,为群发性泥石流的防灾减灾提供理论支持。尤其要重视在强烈地震这样一种极端事件影响下群发性泥石流的形成机理研究,这对汶川地震区或其他类似强烈地震区的群发性泥石流灾害防范有着极为重要的示范意义。

### 参考文献 (References)

- [1] Lopez J L, Perez D, Garcia R. Hydrologic and geomorphologic evaluation of the 1999 debris flow event in Venezuela. In: 3rd International Conference on Debris flow Hazard Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment. Davos, Switzerland, 2003: 13~15.
- [2] Must V. Hurricane Mitch. National Geographic, 1999.
- [3] <http://baidu.com/view/4098677.htm> fromenter=%D6%DB%C7%FA%C4%E0%CA%AF%C0%F7&fe=alq\_1\_1.
- [4] <http://finance.sina.com.cn/roll/20100817/08408494227.shtml>.
- [5] Cui Peng. Advances in debris flow prevention in China. J. Science of Soil and Water Conservation, 2009, 7(5): 7~13. [崔鹏. 我国泥石流防治进展. J. 中国水土保持科学, 2009, 7(5): 7~13].
- [6] Tang Bang-xing, Li Xian-wen, Wu Ji-shan, et al. Flood Debris Flow, Land Slide Hazards and Prevention. Beijing: Science Press, 1994. [唐邦兴, 李宪文, 吴积善, 等. 山洪泥石流滑坡灾害及防治. M. 北京: 科学出版社, 1994].
- [7] <http://www.chinacourt.org/public/detail.php?id=167676>.
- [8] Liu Xi-lin, Zhao Yuan, Ni Hua-yong, et al. Investigation and Assess.

- ment of Group Debris Flow on June 30, 2005 in Luding County, Sichuan [J]. Journal of Catastrophology, 2006, 21(4): 58~65[刘希林, 赵源, 倪化勇, 等. 四川泸定县“2005.6.30”群发性泥石流灾害调查与评价[J]. 灾害学, 2006, 21(4): 58~65]
- [9] Chen Xiaoping, Cui Peng, Chen Binru. 050811 Large scale Debris Flow in Haijiao Valley and Prevention Countermeasures [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2006, 26(3): 123~126[陈晓晴, 崔鹏, 陈斌如, 等. 海螺沟 050811 特大泥石流灾害及减灾对策[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 123~126]
- [10] <http://news.sch.cn/20070527/1250243800.shtml>
- [11] Tang Chuan, Tie Yongbo. Reconnaissance and Analysis on the Ransom Induced Debris Flow in Weijigou Valley of Beichuan City after the Wenchuan Earthquake [J]. Journal of Mountain Science, 2008, 27(5): 625~630[唐川, 铁永波. 汶川震区北川县魏家沟暴雨泥石流灾害调查分析[J]. 山地学报, 2008, 27(5): 625~630]
- [12] <http://news.163.com/08/0925/04/4MLM6ED00001124J.html>
- [13] <http://www.szxc.cn/listnews.asp?page=139&article=%C1%B9%CB%D0%C2%CE%C5&midcode=>
- [14] <http://finance.sina.com.cn/roll/20100817/08408494227.shtml>
- [15] <http://news.qq.com/a/20100814/001303.htm>
- [16] <http://wenwen.soso.com/z/q14158189.htm>
- [17] Wu Guanghe, Tian Lian-shu, Hu Shuang-xi et al. Physical Geomorphology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000[伍光和, 田连恕, 胡双熙, 等. 自然地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000]
- [18] <http://post.m.com/s/E4000AEB2662.html>
- [19] <http://news.163.com/08/0925/08/4MM3M03U0001125G.html>
- [20] Men Ke-pei, Gao Jian-guo. Severe disaster chain and its defense [J]. Progress in Geophysics, 2008, 23(1): 270~275[门可佩, 高建国. 重大灾害链及其防御[J]. 地球物理学进展, 23(1): 270~275]

## Group Debris Flow Hazards Effect and Its Prevention

TIE Yongbo<sup>2</sup>, TANG Chuan, NI Huayong<sup>1</sup>

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China)

(2. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** The lack of research on group debris flow mechanism, disaster regulation and mitigation experience, its difficulty to find effective way to reduce the damage of this debris flow. Focus on the high frequency of group debris flow in 2010, this article take typical debris flow occurred in Sichuan province in recent year as an example, discussed the space distribution characteristic and hazard effect of group debris flow, and analyzed the “addition enlargement effect” and “chain effect”, this can provide useful information for us to know the mechanism of this type of debris flow. Finally, this article give some suggestions for group debris flow prevention and mitigation.

**Key words:** group debris flow; hazard effect; mechanism; prevention way