震后灾害链生机制及其对汶川地震城镇重建的影响*

向灵芝[1,2]，崔 鹏[1]，方 华[1,2]

（1. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所，中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室；四川 成都 610041；2. 中国科学院研究生院，北京 100049）

摘 要：汶川 8 级大地震对地表产生强烈扰动，导致次生山地灾害极度发育，影响到震后灾害的活动特征及其相应的减灾对策。震后松散固体物质急剧增加、流域微地貌变化明显(沟道堵塞严重)、水文变化利于侵蚀和洪峰，使得灾害群发链生：崩塌、滑坡→泥石流→堰塞湖→溃决洪水(泥石流)，8 月中旬灾区各地因强降雨而大规模爆发泥石流堵塞河道，洪水冲毁掩埋重建城镇，给地震重灾区造成巨大损失。从以汶川县映秀镇为例，在阐述灾害链研究成果的基础上，分析震后灾害链的形成条件、成灾过程以及对城镇重建居民点的危害特点，进而提出灾害防治措施，为灾后城镇建设防灾减灾提供参考建议。

关键词：灾害链；汶川 8 级地震；城镇

中图分类号：P315. 9　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000 - 811X(2010)S0 - 0278 - 04

0 引言

2008 年汶川 8 级特大地震后，山体破碎、岩石松动，新增了大量地质灾害隐患。地震直接诱发的山地灾害形成灾害链，即：崩塌、滑坡→泥石流→堰塞湖→溃决洪水(泥石流)。震后即有专家指出：震后次生灾害将进入活跃期，崩塌、滑坡的活跃期可能持续 5 ~ 10 年，泥石流的活跃期将可能持续 20 年。在未来 5 ~ 10 年内因滑坡、泥石流强烈活动，灾害链表现比较突出；随着泥石流、滑坡的活动强度降低，灾害链表现相对弱，出现概率减小。根据次生山地灾害的特征和发展趋势不仅要在震后采取应急减灾措施防止次生山地灾害造成更大的危害，还要在震后的恢复重建中采取减灾措施，防止次生山地灾害对恢复重建的基础设施和重建场址造成危害[1-2]。

2010 年 8 月 12 日以来，四川部分地区普降大到暴雨，致使极重灾区绵竹市清平乡、汶川县映秀镇和都江堰龙池镇受灾尤为严重。据 2010 年 8 月全国地质灾害通报，截至 19 日 17 时，初步统计全省 14 个市(州)、67 个县(市)、576 万人受灾，共发生较大规模的地质灾害 75 处(其中滑坡 30 处，崩塌 6 处，泥石流 39 处)，因灾死亡 16 人，失踪 66 人。全省因灾直接经济损失 68. 9 亿元人民币。

震后灾害链的危害已全面体现，本文以四川省汶川县映秀镇红椿沟因强降雨激发形成崩塌 - 滑坡 - 泥石流 - 洪水灾害链为例，阐述分析灾害链的形成过程及对城镇的危害特点，为恢复重建提供理论支持。

1 汶川 8 级地震灾害链

灾害链是指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。所谓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；次生灾害是由原生灾害引起的“连带性”或“延续性”灾害[3]。灾害链的分类有多种[4-7]，韩金良按时空划分为空间链和时空链，按诱发因素分为内动力，外动力，人类工程活动地质灾害链，内外地质作用耦合地质灾害链、复合型地质灾害链；地震及其诱发的断层、地裂缝、崩塌和滑坡形成的灾害链即属于内动力地质灾害链。唐晓春将灾害链划分为因果型、同源型、重现型、互斥型、偶排型灾害链；针对汶川地震，将地震诱发的灾害链详细划分为地震 - 建筑倒塌 - 人员伤亡及财产损失灾害链；地震 - 山体崩塌、滑坡以及泥石流 - 阻断道路交通灾害链；地震 - 山体崩塌、滑坡、泥石流 - 阻断河流形成堰塞湖 - 堰塞坝溃决形成洪水灾害链；地震 - 水库大坝破坏 - 水库大

* 收稿日期：2010 - 09 - 25
作者简介：向灵芝(1980 -)，女，博士生，研究方向：山地灾害风险分析. E-mail：xlz1223@ yahoo. com. cn

坝溃决形成洪水灾害链；地震－致使化工企业管道断裂造成有毒危险物质溢出－人员伤亡灾害链；地震－造成炉具倒塌、漏电、漏气及易燃易爆物品引起火灾－人员伤亡及财产损失灾害链；地震－沙土液化、喷沙冒水－地基失稳灾害链；地震－人、畜死亡后尸体腐烂－污染水源－瘟疫灾害链；地震－毁坏植被和农田－形成荒芜的迹地－林业和农业减产灾害链；地震－放射性废物库以及危险废物处理、处置库(场)损毁－生态环境污染灾害链；地震－伤员及救援人员受灾情强烈刺激－心灵伤害灾害链。

地震发生至今两年多时间内，已经发生过多起典型灾害链事件，其中最主要的就是强降雨引发因地震震松和堆积在沟谷里的松散物质启动，形成泥石流，危害河道、道路、房屋等设施。如2008年9月24日，北川县、平武县等地遭遇多年不遇暴雨袭击，暴雨中心日降雨达370 mm，在强暴雨作用下，导致该区域河水暴涨，淹没了大片农田、板房安置区，冲毁公路、桥梁，诱发了区域性泥石流灾害。2010年8月8日，甘肃省舟曲县城区及上游村庄遭受特大山洪泥石流灾害，造成1 481人死亡、284人失踪。8月13日四川普降暴雨，绵竹县清平乡爆发特大泥石流淤埋清平乡场镇，都江堰龙池镇爆发山洪泥石流，8月14日，汶川映秀红椿沟泥石流堵断岷江，洪水冲进重建居民区。

2　“8.14”山洪泥石流灾害链发育特征、形成因素及成灾过程

2.1　发育特征和形成因素

红椿沟特大泥石流的形成具备了以下三个基本条件：

(1)有陡峭便于集水集物的适当地形：红椿沟流域面积3.51 km^2，沟长3.6 km，在地形上山高沟深，地形陡峻，沟口至沟源相对高差1 288 m，沟床坡度大，沟床纵坡沟口段10°～15°，沟源段15°～35°。上游形成区的地形多为三面环山，一面出口为瓢状或漏斗状，地形比较开阔、周围山高坡陡、山体破碎、植被生长不良，这样的地形有利于水和碎屑物质的集中；中游流通区的地形多为狭窄陡深的峡谷，谷床纵坡降大，使泥石流能迅猛直涌进岷江。

(2)上游堆积有丰富的松散固体物质且堆积物胶结差：汶川地震发震断裂映秀－北川断裂从该沟通过，断裂褶皱发育，地震烈度高达Ⅺ度。地表岩石破碎，崩塌、错落、滑坡等不良地质现象发育，汶川地震诱发的崩塌滑坡在沟内堆积松散物源达380万 m^3，为泥石流的爆发提供了异常丰富的物源。沿沟堆积物主要为岩粉、岩屑、角砾、碎块石，粘粒含量极少，很难自身胶结和固结，在流水冲刷下，很容易产生底蚀和侧蚀。在下蚀的过程中还不时伴随有沟壁斜坡的局部滑塌，容易在沟道产生局部堵塞和瞬时溃决。

(3)短期内有突然性的大量流水来源。水既是泥石流的重要组成部分，又是泥石流的激发条件和搬运介质(动力来源)，泥石流的水源，有暴雨、水雪融水和水库溃决水体等形式。我国泥石流的水源主要是暴雨、长时间的连续降雨等。8月14日凌晨，映秀镇遭受强降雨，2 h降雨量高达163 mm。

2.2　成灾过程

一个完整的链式过程包括致灾环、激发环、损害环和断链环。致灾环主要是由地质构造而形成的地质因素构成，激发环主要是由暴雨、地震、冰雪融水等非地质因素构成，损害环是由灾害发生后形成的灾害损失构成，断链环则是指工程治理与防护措施[8]。

映秀红椿沟位于岷江左岸，映秀新城区对岸，由于地貌复杂、地形陡峻、岩石破碎、风化严重，比较容易发生滑坡、崩塌和泥石流灾害，汶川地震的发震断裂映秀－北川断裂顺该沟穿过，在汶川地震中该沟两岸被整体震裂松动，并诱发了多处崩滑体。加之年初旱情导致一些岩石解体，裂缝暴露在外，雨水很容易进入，发生滑坡的概率较大。因此此次灾害链的致灾环即是因汶川地震而堆积在沟道内的大量松散固体物质；激发环即暴雨，2010年8月14日临晨02：30，映秀发生强降雨，2 h降雨量达163 mm，迅速引发了红椿沟特大泥石流(图1)，其一次冲出量高达70万 m^3，沟口堆积30万 m^3，冲入岷江河道内近40万 m^3 形成雍塞体，顺河总长约3.2 km。巨大的雍塞体冲毁了213国道，中断了都汶高速公路，同时覆盖阻断了岷江左河道，致使水流改道，迅速翻过右岸岸顶，直奔正在重建中的映秀集镇施工区，援建新房被冲、被淹(图2)。大量泥沙随着洪水淤积在房屋内，人民群众生命财产和映秀新镇灾后重建成果受到严重威胁，形成损害环。当时的映秀新镇瞬间变成了一座孤岛，平均水深约2～3 m，一楼全部被淹。涌入映秀新镇的江水沿着河堤奔流直

下，在堤岸上形成了一面‘瀑布墙’。2010 年 8 月 18 日 23：10，经过 3 h 多的连续暴雨袭击，使停积于红椿沟口的部分堆积物再次启动5～8 万 m^3，将刚刚开通行洪的左岸泄流明渠完全堵塞，导致洪水再次逼向右岸，离刚刚筑起的截水大坝只有 30 cm 左右，严重威胁映秀新镇的安全。造成这次灾害链的二次洪涝灾害。8 月 19 日 23：40，浸泡多日的映秀原河堤难以承受河水的巨大冲压力，约 60 m 长的防洪堤垮塌，直接威胁截水大坝以及新镇安全。

图 1　红椿沟泥石流

图 2　岷江改道淹没映秀新镇

3　“8. 14”灾害链对映秀的危害特点

此次“8. 14”特大山洪泥石流灾害链的直接危害对象为城镇，具有以下几个特点：

(1)从时间上看，灾害链启动过程迅速，从 8 月 11 日开始降雨，而灾害链的启动爆发阶段仅因 2 h的强降雨，但从其形成的整个过程来看，地震形成的崩塌、滑坡堆积体停积了 2 年多时间才发威，因此此次灾害链在致灾环上具有潜伏隐蔽的特点。

(2)此灾害链的每一个环节都可能造成危害，比如相似的“8. 8”舟曲泥石流灾害就是泥石流在流通和停积阶段就对沿线房屋、耕地、道路造成了重大破坏，最后堵塞白龙江，形成堰塞湖，使河水上涨，河面拓宽。而此次映秀灾害链只有其末端泥石流冲进岷江后洪水直接危害到重建居民点，使得重建楼房一楼普遍遭淹没，泥石流的固体物质并未直接破坏房屋建筑，因此，已有重建建筑还可以维护加固使用。

(3)这场特大山洪泥石流灾害链的损失环直接危害到城镇建设设施，造成映秀镇新建的自来水厂和 70 多栋房屋被淹，交通、通信、电力、供水中断，特别是岷江河映秀段因近 70 万方垮方泥石流迫使河道改道，形成堰塞湖，将沿江的九寨沟环线、213 国道淹没 200 m 米，道路中断，大量人员滞留或被困，岷电公司所属输电线路 110 kV 杨(柳坪)百(花)线、35 kV 草(坡)百(花)线、35 kV 郭(家坝)百(花)线、35 kV 杨(柳坪)白(沙)线均因灾不同程度受损。洪水退去后，一些原本被淹在水中的楼房，洁白的外墙被江水泡过的痕迹依稀可见，室内和道路上到处堆满了淤泥，造成巨大损失。

4　震后灾害链减灾对策

(1)提高山区城镇防洪标准，加固和延伸截水大坝边坡，加宽坝顶，防止超常洪水对城镇的危害。

(2)治理重点灾害，确保重建安全。对无法避开灾害的灾后重建点，应再次进行详细的勘察，查明泥石流、滑坡、堰塞湖的性质、规模、潜在危害，对于有潜在危害的泥石流沟采取拦挡、导流、停淤、排导等工程措施，并与生态措施和预警措施相结合的方法，进行综合治理和灾害监测，保证重建工程的安全。

(3)做好综合性自然灾害的监测预报，加强震后滑坡和泥石流灾害监测预警。震后滑坡和泥石流灾害多数由暴雨诱发，应加降水(特别是局地强降水)的监测预报，及时做出滑坡和泥石流灾害预测预报同时，对具有重要危害对象的滑坡和泥石流点进行监测和预警，减轻滑坡和泥石流灾害。加强卫星遥感、3S 等高新技术在综合减灾工作中的应用，提高防灾减灾决策服务的科技含量，力

争把灾害损失降到最低程度。

(4)在城镇和村庄重建过程中，尽量避免开挖边坡，保持坡面自然状态，避免诱发新的滑坡。在山区道路恢复重建中，进行道路地质灾害评估，对有大型滑坡和泥石流灾害点和隐患点重新选线，尽量采取绕避方案，从源头上减少灾害。

参考文献：

[1] 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]. 科技赈灾，2008，23(4)：317－323.

[2] 崔鹏，韦方强，何思明，等. "5·12"汶川地震诱发的山地灾害及减灾措施[J]. 山地学报，2008，26(3)：280－282.

[3] 《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，2005：479－480.

[4] 韩金良，吴树仁，汪华斌. 地质灾害链[J]. 地学前缘，2007，14(6)：11－23.

[5] 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.

[6] 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(S1)：2675－2680.

[7] 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(S0)：84－88.

[8] 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.

Mechanism of Disaster Chain after Earthquake and the Impact to Urban Reconstruction in Wenchuan Earthquake Area

Xiang Lingzhi[1,2], Cui Peng[1] and Fang Hua[1,2]

(1. *Institute of Mountain Hazards and Environment*, *Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy*, *Chengdu* 610041, *China*; *Key Lab. of Mountain Hazards and Earth Surface Processes*, *Chinese Academy of Sciences*, *Chengdu* 610041, *China*; 2. *Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *China*)

Abstract: The Wenchuan earthquake produced strong disturbance to ground surface, which caused extreme development of secondary mountain disasters and influenced the activity characteristics of seismic disasters and disaster countermeasures. After the earthquake, loose mass in the gully channel was increased rapidly, micro-topography was changed significantly and hydrological changes were favorable to erosion and flood. Thus the disaster chain as collapse, landslide, debris flow, dammed lake and outburst flood occurred frequently. Large-scale debris flows due to torrential rains in mid August of 2008 dammed river courses and flood damaged and buried the towns under reconstruction in different disaster areas and caused great loss to heavily hit areas of earthquake. In this paper, taking Yingxiu town of Wenchuan as an example, the results of research on disaster chain are described and formative conditions of post-earthquake disaster chains, disaster development process and characters of damages to urban residential areas under reconstruction are analyzed. Moreover, disaster preventive measures are put foreword which are of referential value to disaster prevention and mitigation in post-disaster urban reconstruction.

Key words: disaster chain; Wenchuan earthquake; urban