

Review on International Research Dynamic of Debris Flows Disaster

Xuehong Zhao¹, Zhi Chen^{2*}, Faxing Shen³

¹Inner Mongolia Coal Science Research Institute Co., LTD., Huhhot Inner Mongolia

²Faculty of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan

³Jiangxi Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang Jiangxi

Email: *443196863@qq.com

Received: Nov. 12th, 2015; accepted: Nov. 26th, 2015; published: Nov. 30th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In many geological disasters, debris flows is a kind of relatively strong destructive power, which not only causes permanent damage to the local geological environment, but also seriously affects the production and life of local residents. Therefore, to carry out related research of debris flows is very necessary. In this paper, based on bibliometric methods, and according to the related concepts of debris flows, we reviewed the latest research dynamic of debris flows at home and abroad, and analyzed the important development direction for future research in the field in order to provide theoretical guidance for the scientific management of debris flows in our country.

Keywords

Debris Flows, Formation Mechanism, Pattern Features, Research Dynamic

泥石流灾害国内外研究动态评述

赵学宏¹, 陈志^{2*}, 沈发兴³

¹内蒙古煤炭科学研究院有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特

²昆明理工大学环境科学与工程学院, 云南 昆明

³江西省水土保持科学研究院, 江西 南昌

Email: *443196863@qq.com

*通讯作者。

收稿日期：2015年11月12日；录用日期：2015年11月26日；发布日期：2015年11月30日

摘要

在众多的地质灾害里，泥石流属于破坏力比较强的一种，它不仅对当地的地质环境造成永久性破坏，还严重影响当地居民的生产和生活。因此，开展泥石流的相关研究非常必要。本文以文献计量学方法为基础，从泥石流灾害相关概念出发，评述了国内外泥石流研究的最新动态，并对今后该研究领域的重要发展方向进行了分析，以期为我国泥石流灾害的科学治理提供理论指导。

关键词

泥石流，形成机制，模式特征，研究动态

1. 泥石流灾害相关概念

泥石流是指在山区或者其他沟谷深壑，地形险峻的地区，因为暴雨、暴雪或其他自然灾害引发的山体滑坡并携带有大量泥沙以及石块的特殊洪流[1]。泥石流灾害在突发性地质灾害中以其成灾面积大、冲击破坏力强和灾害损失大而占有十分突出的位置。泥石流是山区一种非常独特的自然地质灾害现象，美国地质学家 Bacwkilder 在 1928 年最早提出泥石流这一现象[2]。随后各国学者对泥石流的各个方面都进行了深入全面地研究。目前国内外专家学者都普遍认为，形成泥石流的过程必须具备三个最基本的条件依次是：有利的地形地貌、丰富的固体物质补给以及适当的降雨激发泥石流发生[3]。我国专家学者把对泥石流源地的研究作为泥石流形成条件的重点研究方向。邓养鑫等[4]对冰雪融水所激发的泥石流作了初步的分析研究；谭万沛等[5]从山坡坡度、主沟长度、比降、流域面积等地形特征方面分析了泥石流的活动规律以及发育程度；吴积善等[6]研究了不同类型的源地对泥石流形成的影响、同时分析了泥石流的物源补给方式；此外，陈景武等[7]则从泥石流与降雨的关系出发，对降雨数据进行了分析，并提出了泥石流的预警预测。我国是山地大国，山地占国土面积的 2/3，因此有泥石流发育的基础环境，系统研究泥石流形成的机制、模式、特征、影响因素等对我国泥石流地质灾害的防治具有重要的意义[8] [9]。

2. 国内外泥石流研究现状

泥石流的发生不像崩塌和滑坡为固体物质在重力下发生的破坏，其破坏是在暴雨作用下形成的，既具有土体性质，又具有流体性质是其典型的特征。以往对泥石流的研究主要集中在其形成条件和过程。而分析的重点为泥石流形成的三个必备的条件，即大量的松散堆积的物源条件、有利于运动和停淤的陡峻的地形及突发性的水源(即暴雨)，但不同的研究者对其内容、范围及其深度的研究有所不同[10]-[14]。1980 年 Mountst Helens 地区发生的火山泥石流灾害，引起美国政界和公众的极大关注，美国地质调查局派出一大批工程技术人员投入到该火山泥石流研究，最有影响力的学者有 Richard M. Iverson 和 Kevin M. Scott。Richard M. Iverson [15] [16]利用 USGS 的百米水槽试验对大型崩滑型泥石流模型试验进行模拟，得出泥石流形成过程中的孔隙水压力升高会导致土体强度降低，从而引发泥石流的发生，并对泥石流发生过程以及泥石流发生机理进行了深入的研究和探讨。前苏联是泥石流灾害最严重的国家之一，第二次世界大战暴发以后，随着苏联经济的恢复和发展，政府对泥石流灾害越来越的重视，1947 年成立了前苏联科学院“泥石流研究委员会”，随即相继出版了包含多学科的综合系统性研究专著和论文集，内容包括对泥石流的物理性质以及运动特征等分别做了系统的论述[17]。亚洲国家对泥石流的研究起步于 20 世

纪中叶, 其中日本对泥石流的研究进展最快, 日本对泥石流的研究始于 20 世纪 60 年代, 起步虽晚, 但取得的成果非常显著。日本国土可居住的面积有限, 受火山、地震影响都比较大, 在遭受暴雨时在火山地区以及地震带常伴随有泥石流灾害的发生, 因此日本设置了专门对泥石流灾害的研究与防治机构, 其中最具代表性的有 Sassa、高桥堡等学者。Sassa [18]-[20] 曾根据区域性泥石流的特征, 采用碎屑流来描述火山灰形成泥石流的过程, 分析探索了泥石流灾害的形成过程与启动机理。高桥堡[21]对沟床堆积物在水动力作用下启动形成泥石流的物理力学机理进行了探索, 提出了泥石流发生的临界判别式, 他编著的《泥石流》一书系统的论述了泥石流的基本特征、发生发展、运动机理和堆积过程。

我国对泥石流的研究起步比较晚, 建国初期几乎没有任何机构对泥石流进行研究[22]。直到修建川藏公路、宝天铁路、东川铁路支线等工程时, 技术人员才对沿线的泥石流灾害进行了勘察研究。在 20 世纪 60、70 年代我国对泥石流的研究得到了飞快的发展, 中科院首先开辟了对泥石流研究的研究领域, 设置了中科院——水利部成都山地灾害与环境研究所, 该研究所以研究泥石流为主要方向, 形成了中科院泥石流研究中心, 至今已有 40 多年的研究工作经验[23]。针对早期云南小江流域、成昆铁路、四川攀西、川藏铁路地区的泥石流灾害, 通过多年对泥石流灾害的野外调查、观测和防治工程的进行, 取得了泥石流灾害区域成灾特征、预测预报、发育规律、综合防灾减灾和运动力学等多方面的研究成果, 将我国对泥石流灾害的研究提升到了国际前沿水平[24] [25]。其中在泥石流灾害的启动机理方面, 崔鹏等[26] [27] 通过对水槽试验的研究提出了准泥石流体的概念, 将摩尔——库仑理论用于泥石流的启动研究。此外, 我国也很重视泥石流监测方面的研究, 监测内容主要涉及泥石流固体物质来源(物源)监测、气象水文条件(水源)监测、泥石流运动特征及流体特征监测[28]。

对泥石流的研究所涉及到的另一重要方面是对泥石流的危险度评价。唐邦兴教授认为[29], 泥石流危险度一词最早在我国正式使用是出现在 1988 年的研究文献中, 早期的单沟泥石流危险度评价一共选取了 8 个因子, 后期唐川、朱静、朱平等学者对单沟泥石流的评价模型进行了研究应用[30]-[34]。最早的单沟泥石流危险性评价一词出现在 1996 年《国际防灾大会论文集》上, 受到了德国学者 Becht 和 Rieger 博士的关注[35]。新的单沟泥石流评价体系主要突出了泥石流规模 M 和发生频率 F 两个因子对泥石流灾害影响的重要性。对此, 国内外众多学者开始了对泥石流规模与发生频率之间关系的深入研究, 通过对美国加州沙斯塔山脉、阿尔卑斯山脉等山地近百年来暴发的泥石流所收集到的数据进行了分析, 取得了很大的研究成果, 但还是无法用一个确定的关系式来描述两者间的联系, 仍然有待研究[36]-[39]。

综上所述, 我国 20 世纪 80 年代以前, 对于泥石流的研究主要致力于对灾害点的野外调查、灾害的发育程度及其进一步的发展趋势上, 在工程中的各个领域得到了较好的发展, 且与水文及工程地质勘查和调查工作相结合, 但仍局限于对灾害点的定性描述阶段, 此时对泥石流的研究还不全面。自 80 年代起, 随着各国对泥石流危险性的大力发展, 不断的创新, 一些新的研究方法应用其中, 使其突破了传统的研究模式, 研究内容也趋于丰富、全面。发展到了 90 年代至今, 随着计算机的迅猛发展, 使泥石流的研究趋于数字化, 发展也越来越成熟, 方法得到了日益的创新, 致使泥石流研究由传统的定性描述逐渐发展为半定量及定量的方向发展, 各种数学、统计方法应用其中, 致使研究的结果更加科学合理。

3. 泥石流形成模式研究现状

根据马东涛等[40]研究成果, 世界上所有的滑坡、泥石流、崩塌等一系列山区地质灾害几乎都主要分布在地壳板块边缘上升山脉形成的地质构造和地震活跃地带, 尤其是在阿尔卑斯——喜马拉雅山系和环太平洋山系这两大地震带上。地震对泥石流灾害的影响一般包括以下三点: 首先是破坏山体边坡的稳定性, 为泥石流提供松散的固体物源; 其次是地震的活动使沟谷的侵蚀作用加强, 有利于泥石流沟的启动和形成; 最后地震为泥石流灾害的发生提供动力条件。如果在高山冰川区, 地震还能提供充

足的水源条件。

全世界各个国家对震区泥石流灾害的研究都很重视。我国台湾地区在 1996 年 9 月 21 日集集地震发生后,成立了集集地震专题研究小组。林庆伟等[41]对集集地震发生前和发生后的遥感图像进行了对比,然后分析了地震对降雨诱发滑坡的影响,以及通过对泥石流的野外调查发现,地震后泥石流的发生频率以及泥石流沟域面积等特征与震前都有很大的变化,诱发泥石流启动的临界雨量明显降低。我国 2008 年 5 月 12 日汶川地震发生后,在雨季期间,震区各地相继暴发了多条泥石流沟,并且泥石流的发生是区域性的。唐川等[42] [43]对 2008 年 5·12 汶川震区暴发的 9.24 暴雨泥石流的特征进行了研究,指出了震区泥石流的启动有两种模式:第一种模式是由于暴雨所导致的斜坡地表径流使悬挂于斜坡上的滑坡体表面和滑坡体前缘固体松散物质向下移动,进入沟道后直接转为泥石流的启动过程;第二种模式是“消防水管效应”,即沟道内水流快速集中,并强烈冲刷沟床内的固体松散物质,导致沟床内固体松散物质启动并形成泥石流的过程。游勇等[44]对地震灾区北川苏保河流域泥石流进行了分析;许强等[45]对 2010 年 8 月 13 日的绵远河流域特大型泥石流灾害进行了分析,发现地震前和地震后、地震区和非地震区的泥石流在启动条件、发育分布规律、活动形式、暴发规模及其危害性和成灾方式等方面都具有非常显著的差别。

到目前为止,有许多专家学者分别运用各种方法对汶川震区泥石流灾害特征及其形成模式进行了研究,其代表性研究如下:黄河清等[46]通过现场调查分析认为,文家沟滑坡高启动速度是由于长持时的强烈地震作用所导致的结果,与山体的猛烈碰撞是导致滑体解体并转化为碎屑流的原因。王涛等[47]认为文家沟滑坡滑体上部的干碎屑流在两处路径转折处迅速压缩沟谷内的圈闭气体,形成非常明显的“气垫效应”,滑体下部的泥石流底层液化以及颗粒的有效动摩擦系数随着剪切速度的增大而减小的效应都是导致碎屑流体高速远程滑移的关键因素;同时,碎屑物流过程中还伴有明显的翻越效应、树木摧折、以及岸坡铲刮效应。5·12 汶川地震后到目前为止,滑坡碎屑堆积物在降雨的诱发作用下多次形成泥石流,这明显反映了地震后地震地质灾害的链生性以及长期性。余斌等[48]通过对汶川地震后文家沟发生的多次泥石流灾害进行了现场调查,并分析了文家沟泥石流的成灾原因、特征、泥石流的各重要参数以及泥石流成灾过程等,同时也探讨了今后文家沟泥石流的发展趋势,并提出了针对文家沟泥石流灾害的防治建议和措施,为今后泥石流的防灾减灾提供了理论依据。杨成林等[49]以汶川地震灾区典型的代表性泥石流灾害作为案例为基础,分析了汶川地震次生泥石流灾害的形成降水、地形地貌以及土体物源条件特征,概括分析了汶川地震次生泥石流灾害形成的 5 种模式,即 1) 沟床启动型; 2) 坡面崩滑转化型; 3) 震裂表土侵蚀启动型; 4) 滑坡表面土体液化型和 5) 松散坡积物冲切沟启动型。文联勇等[50]以文家沟特大型泥石流灾害为例,在现场详细调查、统计、试验等过程获得丰富资料的基础上,对文家沟泥石流的成因和典型特征进行了分析研究,根据调查和分析结果,最后提出了工程治理方案的意见和建议。倪化勇[51]等对文家沟泥石流灾害跟踪调查的基础上,探讨了泥石流的成灾机理和成灾特征。研究表明: 1) 文家沟泥石流是强降雨和地震共同作用下的结果,其成因可归纳为物源与震因以及水源与雨因这两个方面,在文家沟泥石流整个形成和发生的过程中,呈现出洪流 - 侵蚀下切 - 崩滑 - 席卷 - 进一步侵蚀下切 - 进一步崩滑 - 增大泥石流规模的“滚雪球式”循环模式; 2) 诱发泥石流发生所需的水动力条件、雨强条件以及雨量条件都非常显著的降低,泥石流规模的大小和雨量的多少之间呈现出非常明显的幂函数关系; 3) 泥石流灾害发生过程呈现出运动距离远、持续时间长的特征; 4) 成灾过程呈现出明显的链式效应,危害形式多样化; 5) 泥石流暴发频率呈现出高发性,规模呈现出放大性。游勇等[52]在野外现场调查的基础上,分析了文家沟泥石流灾害的典型特征,并从泥石流形成条件入手,探讨了文家沟泥石流灾害的成因和未来的发展趋势。唐川等[53]在野外调查的基础上,从气象特征等方面分析泥石流的启动机制,并对比其他地区发生泥石流的降雨强度和持续时间的临界值之间的关系,重点强调气象临界值对泥石流启动的影响。

4. 泥石流研究展望

目前,人类还无法从根本上解决泥石流的发生,只能通过筑坝、植树固坡等措施来减少损失。在具备泥石流发生的地质和地形相同条件时,降雨的特征是决定因素,人为活动往往为泥石流的形成起了扩大和加快的作用,有时也会成为主导作用。因此,今后应该从以下方面加大泥石流灾害的防治、监测与治理研究。

4.1. 区域性防治与环境评价研究

泥石流防治已从单纯的工程防治发展为泥石流流域的综合治理,现已逐步发展为以一个泥石流发育区或一个县的综合治理,需要采用更综合性的形式,考虑泥石流体中泥沙搬运对环境的影响,因此需要更高层次的防治理念和对环境影响的研究。泥石流防治工程不仅要防治灾害,而且要达到改善环境的目的。

4.2. 防治工程合理结构研究

现有的泥石流防治工程的结构都由各防治设计单位自行设计,研究重点是工程构筑物的受力情况,因此对合理的结合形式和合理尺寸仍缺少研究,也没有标准图集作指导和参考。这是防治工程设计不够成熟的一个表现,因此优化现有防治工程结构,制订一些标准化的结构图纸方面需要加强研究。

4.3. 预警预报系统的研究

从20世纪80年代后期我国已开始研究泥石流的预警预报,并建立起一些泥石流预警站,规模较大的如长江上游滑坡、泥石流预警预报站网。中央电视台也已在气象节目中进行大区域的宏观预测预报,可以说已取得了很大成绩。但目前预测预报的技术还不完善,设备有待改进,公用性还不强,对不同层次的预报技术需要进一步加强研究。

4.4. 基础信息库的建立及交换研究

多年的研究中各单位积累了大量的基础数据,也各自做了很多的数据库,但其文件的基础软件各不相同,交换与查询很困难,因而使用量不大。很有必要建立行业性的规定,基本统一数据库的模式,建立情报交流制度。同时,要加强大数据、云计算平台的建设,实现泥石流数据库与其他环境资源数据的高效集成。

参考文献 (References)

- [1] 李树德,任秀生,岳升阳,等.地震与泥石流活动[J].水土保持研究,2001(2):26-27.
- [2] 谭万沛.泥石流及其灾害的极大值[J].灾害学,1987(8):81-83.
- [3] 唐川.汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测[J].山地学报,2010(13):341-349.
- [4] 邓养鑫.冰碛转化为泥石流堆积过程及其沉积特征[J].沉积学报,1995(4):37-46.
- [5] 谭万沛,王成华,著.暴雨泥石流滑坡的区域预测与预报——以攀西地区为例[M].成都:四川科技出版社,1994:64-76.
- [6] 吴积善,田连权,著.泥石流及其综合治理[M].北京:科学出版社,1993:51-59.
- [7] 陈景武,陈精日.泥石流监测预警站的组建[J].山地研究,1992(1):67-72.
- [8] 施雅风,杨宗辉,谢自楚,等.西藏古乡地区的冰川泥石流[J].科学通报,1964(6):542-544.
- [9] 唐晓春,唐邦兴.我国灾害地貌及其防治研究中的几个问题[J].自然灾害学报,1994(1):70-74.
- [10] Lin, C.W. and Liu, S.H. (2006) Impacts of the Chi-Chi Earthquake on Subsequent Rainfall-Induced Landslides in Cen-

- tral Taiwan. *Engineering Geology*, **86**, 87-101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.02.010>
- [11] Lin, C.W. and Shieh, C.L. (2003) Impact of Chi-Chi Earthquake on the Occurrence of Landslides and Debris Flows: Example from the Chenyulan River Watershed, Nantou, Taiwan. *Engineering Geology*, **71**, 49-61. [http://dx.doi.org/10.1016/S0013-7952\(03\)00125-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0013-7952(03)00125-X)
- [12] Chang, F.J., Chiang, Y.M. and Lee, W.S. (2009) Investigating the Impact of the Chi-Chi Earthquake on the Occurrence of Debris Flows Using Artificial Neural Networks. *Hydrological Processes*, **23**, 2728-2736. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7369>
- [13] Iverson, R.M. and LaHusen, R.G. (1989) Dynamic Pore-Pressure Fluctuations in Rapidly Shearing Granular Materials. *Science*, **4931**, 796-799. <http://dx.doi.org/10.1126/science.246.4931.796>
- [14] Sassa, K. (1998) Recent Urban Landslide Disaster in Japan and Their Mechanisms. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Environmental Management*, Sydney, 26 July 1998, 47-58.
- [15] Iverson, R.M., Reid Richard, M.E. and La Husen, G. (1997) Debris-Flow Mobilization from Landslides. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **25**, 85-138. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.earth.25.1.85>
- [16] Major, J.J. and Iverson, R.M. (1999) Debris-Flow Deposition: Effects of Pore-Fluid Pressure and Friction Concentrated at Flow Margins. *Geological Society of America Bulletin*, **10**, 1424-1434. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1999\)111<1424:DFDEOP>2.3.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1999)111<1424:DFDEOP>2.3.CO;2)
- [17] Iverson, R.M. (1997) The Physics of Debris-Flows. *Reviews of Geophysics*, **3**, 245-296. <http://dx.doi.org/10.1029/97RG00426>
- [18] Sassa, K. (1998) Mechanism of Landslide Triggered Debris Flows. *Proceedings of the IUFRO Division 8 Conference Environmental Forest Science*, Kyoto, 19-23 October 1998, 499-518. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-5324-9_53
- [19] Sassa, K. (1985) The Mechanism of Debris Flow. *Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Francisco, 12-16 August 1985, 37-55.
- [20] Sassa, K., Kaibori, M. and Kitera, N. (1985) Liquefaction and Undrained Shear of Torrent Deposits as the Cause of Debris Flows. *Proceedings of the International Symposium on Erosion, Debris Flows Disaster Prevention*, Tsukuba, 3-5 September 1985, 231-236.
- [21] 章书成. 泥石流研究评述[J]. 力学进展, 1989, 19(3): 365-372.
- [22] 杜榕桓, 李鸿琏, 唐邦兴, 等. 三十年来中国泥石流研究[J]. 自然灾害学报, 1995(1): 64-73.
- [23] 崔鹏, 刘世建, 谭万沛. 中国泥石流监测预报研究现状与展望[J]. 自然灾害学报, 2004, 9(2): 11-15.
- [24] 杜榕桓, 康志成. 东川泥石流站开放以来的回顾与展望[J]. 山地研究, 1991(3): 45-47.
- [25] 吴积善, 康志成, 田连权, 等. 云南蒋家沟泥石流观测研究[M]. 北京:科学出版社, 1990: 36-45.
- [26] 崔鹏, 关君蔚. 泥石流启动的突变学特征[J]. 自然灾害学报, 1993, 2(1): 53-61.
- [27] 崔鹏. 泥石流起动条件及机理的实验研究[J]. 科学通报, 1991(21): 1650-1652.
- [28] 杨顺, 潘华利, 王钧, 等. 泥石流监测预警研究现状综述[J]. 灾害学, 2014(1): 150-156.
- [29] 唐邦兴, 柳素清, 刘世建. 我国山地灾害及其防治[J]. 山地学报, 1996, 14(2): 103-109.
- [30] 唐川, 刘洪江. 泥石流堆积扇危险度分区定量评价研究[J]. 水土保持学报, 1997(3): 63-70.
- [31] 朱静. 泥石流沟判别与危险度评价研究[J]. 干旱区地理, 1995, 18(3): 63-71.
- [32] 朱平一, 尊兰, 汪阳春. 长江上游暴雨泥石流与环境研究[J]. 水土保持学报, 1996(3): 51-59.
- [33] 刘希林. 泥石流危险度判定的研究[J]. 灾害学, 1988, 9(3): 10-15.
- [34] 刘希林, 唐川, 张松林. 中国山区沟谷泥石流危险度的定量判定法[J]. 灾害学, 1993, 8(2): 1-7.
- [35] Helsen, M.M., Koop, P.J.M. and Van Steijn, H. (2002) Magnitude-Frequency Relationship for Debris Flows on the Fan of the Chalance Torrent, Valgaudemar (French Alps). *Earth Surface Processes and Landforms*, **27**, 1299-1307. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.412>
- [36] Pelfini, M. and Santilli, M. (2008) Frequency of Debris Flows and Their Relation with Precipitation: A Case Study in the Central Alps, Italy. *Geomorphology*, **101**, 721-730. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.04.002>
- [37] Hupp, C.R. (2005) Dendrogeomorphic Evidence of Debris Flow Frequency and Magnitude at Mount Shasta, California. *Environment Geology Water Science*, **2**, 121-128.
- [38] van Steijn, H. (1996) Debris-Flow Magnitude-Frequency Relationships for Mountainous Regions of Central and Northwest Europe. *Geomorphology*, **15**, 259-273. [http://dx.doi.org/10.1016/0169-555X\(95\)00074-F](http://dx.doi.org/10.1016/0169-555X(95)00074-F)
- [39] 章书成, 陈英燕, 袁晓凤, 等. 粘性泥石流一维运动数学模型[J]. 自然灾害学报, 1996(4): 68-75.

- [40] 马东涛, 石玉成. 试论地震在泥石流形成中的作用[J]. 西北地震学报, 1996(4): 38-42.
- [41] 曾擒龙, 林庆伟, 刘志斌. 高速公路软岩高陡滑坡破坏特征分析与治理[J]. 山西建筑, 2011(5): 28-31.
- [42] 唐川, 梁京涛. 汶川震区北川9·24暴雨泥石流特征研究[J]. 工程地质学报, 2008(6): 751-758.
- [43] 唐川, 铁永波. 汶川震区北川县城魏家沟暴雨泥石流灾害调查分析[J]. 山地学报, 2009(5): 625-630.
- [44] 游勇, 柳金峰, 陈兴长. “5·12”汶川地震后北川苏保河流域泥石流危害及特征[J]. 山地学报, 2010(3): 358-366.
- [45] 许强. 四川省8·13特大泥石流灾害特点、成因与启示[J]. 工程地质学报, 2010(5): 596-608.
- [46] 黄河清, 赵其华. 汶川震区诱发文家沟巨型滑坡——碎屑流基本特征及成因机制初步分析[J]. 工程地质学报, 2010(2): 169-175.
- [47] 王涛, 石菊松. 汶川地震触发文家沟高速远程滑坡-碎屑流成因机理分析[J]. 工程地质学报, 2010(5): 633-643.
- [48] 余斌, 马煜, 吴雨夫. 汶川地震后四川省绵竹市清平乡文家沟泥石流灾害调查研究[J]. 工程地质学报, 2010(6): 829-835.
- [49] 杨成林, 陈宁生, 李占鲁. 汶川地震次生泥石流形成模式与机理[J]. 自然灾害学报, 2011(3): 33-37.
- [50] 文联勇, 洪钢, 谢宇, 等. 文家沟“8·13”特大泥石流典型特征及成因分析[J]. 人民长江, 2011(15): 33-35.
- [51] 倪化勇, 郑万模, 唐业旗, 等. 汶川震区文家沟泥石流成灾机理与特征[J]. 工程地质学报, 2011(2): 263-269.
- [52] 游勇, 陈兴长, 柳金峰. 四川绵竹清平乡文家沟“8·13”特大泥石流灾害[J]. 灾害学, 2011(4): 69-71.
- [53] Tang, C. and Jvan Asch, T.W. (2011) Catastrophic Debris Flows on 13 August 2010 in Qingping Area, Southwestern China: The Combined Effects of a Strong Earthquake and Subsequent Rainstorms. *Geomorphology*, **12**, 780-789.