

山区强震灾害的环境效应分析

苏生瑞,成良霞,李松,张宁博

长安大学地质工程与测绘学院,西安 710054

摘要 结合2010年8月汶川地震灾区实地调查结果,将山区环境系统分为山区自然环境、山区社会环境和山区生态环境3个子环境系统,同时对强震造成的不同子环境系统的影响效应类型及特征进行了系统分析,包括自然环境的破坏效应、社会环境的震损效应和诱发效应,以及生态环境的生态效应。这些灾害效应均十分巨大,并且不是孤立存在的,处于一个共同体中相互影响,或同时发生,或前后相继,共同对灾区环境造成破坏。对此进行深入分析可以为强震改变后的山区环境的治理与恢复提供科学依据和理论基础。

关键词 汶川强震;山区环境;破坏效应;震损效应;诱发效应;生态效应

中图分类号 X43

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.09.005

Environmental Effects of the Wenchuan Earthquake in Mountain Areas

SU Shengrui, CHENG Liangxia, LI Song, ZHANG Ningbo

College of Geology Engineering and Geomatic, Chang'an University, Xi'an 710054, China

Abstract Based on previous studies of Wenchuan earthquake, combined with the results of field studies in August 2010, with human factors as the focus, the mountain environment system can be divided into three sub-environmental systems, that is, the natural environment, the social environment and the ecological environment of the mountainous area. Accordingly, this earthquake would be related with four environmental effects in three sub-environmental systems including destructive effects for the natural environment, earthquake damage effects and inductive effects for the social environment and ecological effects for the ecological environment. These environmental effects of Wenchuan strong earthquake in mountain regions were systematically analyzed. These hazard effects are dramatic and are closely related to one another. Some of them were almost simultaneous or one following another, with a tremendous destructive effect in the earthquake-hit areas. The analysis of environmental effects of the Wenchuan earthquake in mountain areas can provide a scientific and theoretical basis for environmental recovery.

Keywords Wenchuan earthquake; mountain area; destructive effect; earthquake damage effect; inductive effect; ecological effect

0 引言

中国是一个震灾严重的国家,地震活动频度高、强度大、震源浅、分布广,20世纪死于地震的人数超过113.6万,占全世界地震死亡人数的50%以上^[1]。2008年5月12日发生的汶川8.0级地震,是中国内地解放以来在人口较为密集的山区所发生的破坏性最强、受灾面积最广、救灾难度最大、灾后重建最为困难的一次强震灾害。由于其震级高、震源浅、持续时间长、释放能量巨大,给灾区人民生命财产、经济社会和自然

环境带来巨大的破坏^[2]。据民政部报告,截至2008年7月24日12时,四川汶川地震已确认69197人遇难,374176人受伤,失踪18209人。截至2008年9月4日,地震造成的直接经济损失达8451亿元人民币。

汶川地震发生在山区,由于山区环境具有多样性和脆弱性,这次地震不仅对人们生命财产造成了巨大破坏,而且对震区的环境,特别是地质环境也造成了破坏。地震导致山区地质环境改变——山体松动、岩层破碎,以及天气和人类活

收稿日期:2011-02-01;修回日期:2011-02-21

基金项目:交通运输部西部交通建设科技项目(2009318 000095)

作者简介:苏生瑞(中国科协所属全国个人会员登记号:S330290689M),教授,研究方向为地质灾害和环境工程地质,电子邮箱:dcsusr@chd.edu.cn

动因素的影响,从而促使2010年8月13日的汶川特大泥石流灾害的发生。山区强震的这种环境效应在震后相当长的一段时间内都将存在,并且威胁着灾区的灾后重建工作和灾区人民的生命财产安全。

中国是一个多山的国家,山区面积约占国土面积的2/3^[4]。汶川强震导致山区山体整体震裂、松动和破碎,在强震后数年内,灾区将会进入地质灾害高发期,尔后山区环境才能慢慢恢复,基本稳定至少需要长达数10年的时间。开展山区强震的环境效应研究,如地质环境效应、生态环境效应等,对震后居民居住地的选址、灾后重建工作和防灾减灾等均具有十分重要的意义。本文在前人研究的基础上,结合汶川地震灾区实地调查结果,系统分析了山区强震灾害环境效应的类型及特征,为灾区灾后重建工程的建设 and 生态环境的改造提供部分理论支撑。

1 山区强震灾害的环境概况

山区是指以山脉或山系组成的自然空间区域,系山区、丘陵和高原的总称^[5]。山区有着生态环境复杂多样性、生物资源丰富多样性、生态景观众多等特点。同时,山区生态环境具有脆弱性,易受破坏和侵害。地震是对山区环境破坏最大的一种灾害,尤其是强震。

汶川大地震震中位于四川省汶川县映秀镇。汶川县地处四川盆地西北缘,龙门山脉和邛崃山脉分别位于县城东北与西南部,境内山势巍峨陡峭,层峦叠嶂,河流切割较深,汶川地震影响范围非常大,属于山区强震的一个典型。

2 山区强震灾害的环境效应

山区环境是一个复杂的集合体,以人为核心,可将山区环境分为山区自然环境、山区社会环境和山区生态环境3类。相应地,山区强震的环境灾效应包括自然环境效应、社会环境效应和生态环境效应。

2.1 自然环境效应

强震对山区自然环境的影响主要表现为破坏效应,是指强震灾害给自然环境带来的灾害效应,即震害本身对自然环境的破坏和引发的次生灾害带来的对自然环境的改变,如地裂缝、崩塌、滑坡、泥石流和堰塞湖等的影响。此次地震仅在四川省就引起共计9556处次生地质灾害,其中滑坡5117处、崩塌3575处、泥石流358处^[6]。汶川地震的损失约有1/3的损失不是地震直接造成的,而是由于地震诱发的山体滑坡、崩塌等地质灾害所造成的,这些次生灾害沿主震断裂带和河流、沟谷成带状分布,规模大、数量多、密度高、类型复杂,是改变自然环境的主要因素。

2.1.1 地裂缝

通常地震烈度超过7度时,地面开始出现裂缝。通常裂缝只有几厘米,在极震区则会伴有更宽的裂缝。最宽的裂缝宽度,不仅与烈度有关,也与地震的发震断层的类型有关。像汶川地震这样的逆冲断层,以垂直错动和挤压为主,裂缝宽

度往往都不大;以走滑为主的断层发生地震,因主要错动是地面水平错动,裂缝在一些地段窄,在另一些地段就会比较宽;而像唐山地震那样的正断层地震,主要错动方式是垂直错动加张裂,常会产生宽度巨大的裂缝,宽度甚至可达数米。

汶川地震形成了3条同震地表破裂带:映秀—北川地表破裂带、白鹿—汉旺地表破裂带和介于上述两地表破裂带之间的小鱼洞破裂带^[6]。在极震区,凡是跨越地震断层(主、次地震断层)的房屋、桥梁、道路以及其他构筑物,无论有否抗震设计,均被地震断层错断、倾覆、完全倒塌或严重破坏(图1和图2)。因此,在灾后重建中要注意重建的建(构)筑物与地表破裂带之间应有一定的避让距离。



图1 小鱼洞镇地表抬升
Fig. 1 Surface uplift in Xiaoyudong



图2 虹口八角庙部队
培训楼遭破坏
Fig. 2 Collapsed training
building in Bajiaomiao, Hongkou

2.1.2 崩塌

汶川强震崩塌按与地震发生的时间关系划分,可分为同震崩塌与震后崩塌。同震崩塌是地震震动引起岩体或土体脱离母体、在重力作用下极其快速地下滑、堆积。震后崩塌是由于强震荷载作用下使斜坡的整体性遭到破坏,降低了斜坡岩土体的抗剪强度,使得大量斜坡处于欠稳定状态,还有相当数量受地震破坏的山坡上存在摇摇欲坠的危岩,稳定性很差,稍有外力作用,便会形成崩塌或滚石,即震后崩塌灾害。震后崩塌灾害除直接对山区环境造成破坏外,还能形成崩塌—泥石流、崩塌—堰塞湖等形式的二次环境破坏。可见,与震时崩塌相比,震后崩塌对自然环境的破坏更长久。

以映秀至卧龙的公路为例,根据地震前后及崩塌的稳定性,可将此次调查范围内的已有崩塌划分为4类,分别为震时崩塌目前基本稳定、震时崩塌目前仍不稳定、震后崩塌目前基本稳定和震后崩塌目前仍不稳定。研究山区强震崩塌的机制及特点,总结强震崩塌规律,有助于提高监测预警水平,降低或是避免崩塌带来的破坏。

同震崩塌目前基本稳定的典型崩塌见图3。地震时,坡体上部基岩在地震力作用下发生倾倒式崩塌,块石堆积于坡脚形成倒石堆,部分落石损毁路面、掩埋路基。灾后对崩塌堆积物经过加筑挡墙等方法处理和自然的修复,调查期间,堆积物表层植被较为发育,并且通过对该标段的项目部相关人员及当地居民问询,在地震发生后,该崩塌没有再发生过较为猛烈的失稳现象,目前已基本稳定。

同震崩塌目前仍不稳定的典型崩塌如图4所示。地震时斜坡中上部失稳,土层震裂溃散、滑移,顺冲沟下泻,基岩陡坡岩体倾倒、错断破坏,顺坡滚动、弹跳。震后在降雨及其他外力作用下,斜坡微冲沟上方残留地震崩塌堆积物及残坡积层,暴雨启动,顺微冲沟下泻形成泥石流,掩埋公路、损坏挡墙。微冲沟两侧和斜坡上部震裂岩体,在暴雨以及泥石流下切沟床作用下,崩塌可能失稳,从而增加泥石流物源。

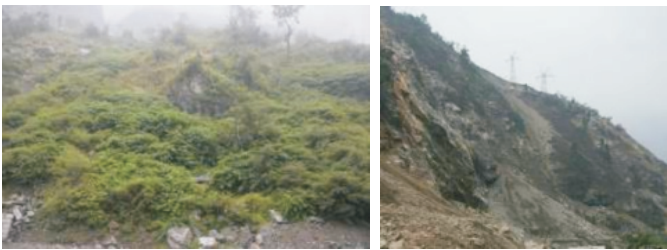


图3 同震崩塌堆积体
(K17+374—K17+610)

Fig. 3 Stable slope after co-

图4 同震崩塌全景
(K1+280—K1+650)

Fig. 4 Unstable slope after co-

seismic collapse

seismic collapse

震后崩塌目前基本稳定的典型崩塌如图5所示。由于坡体高差较小,且修筑了镀锌钢丝网墙,挂上主动防护网,目前基本稳定。

震后崩塌目前仍不稳定的典型崩塌可见图6。震裂裂缝主要沿片理面分布。典型倾倒式崩塌,局部发生溃屈。坡体上部牵引褶皱发育,岩体较破碎,已产生掉块。在降雨作用下易产生失稳。



图5 治理的崩塌体
(K20+532—K20+750)

Fig. 5 Stable slope after post-

图6 崩塌侧面全景
(K41+488—K41+608)

Fig. 6 Unstable slope after post-

seismic collapse

seismic collapse

2.1.3 滑坡

与崩塌一样,山区强震滑坡按与地震发生的时间关系划分,也可以分为同震滑坡与震后滑坡。同震滑坡主要是由强震荷载导致的山体滑坡。震后滑坡主要是由于地震造成很多地区山体松动、开裂,但还未滑落,在外界因素影响下,如降雨,使得坡体失稳从而产生的滑坡。

据初步统计,汶川地震触发了15000多处滑坡,估计直接造成2万人死亡,约占地震灾害造成8.8万人死亡的1/4^[7]。滑坡造成震区灾害形式主要为掩埋、冲毁房屋和田地,造成人员伤亡。同样,强震滑坡灾害也能形成滑坡-泥石流、滑坡-堰塞湖等形式的二次环境破坏。

同震滑坡的典型是北川县陈家坝乡太洪村滑坡。该滑坡分为上部滑体和下部滑体两部分。地震发生时,上部的滑体在地震力的作用下,脱离滑床,飞跃河谷,撞击对岸,发生解体,部分继续向前滑动,部分被抛撒出去,部分则在向上运动一定高度后,向后折返,堆积于下部滑体之上。与此同时,沿存在于上部滑体滑床上的地裂缝喷出红色的泥浆和碎石。有村民从家中向河边逃亡,不慎跌入地裂缝中。在下部滑体的剪出口附近存在承压水出口,在地震力的作用下产生的巨大地下水压力与地震力和重力形成合力,导致斜坡从隔水层顶部先行破坏,继而隔水层以上的斜坡体整体失稳,滑向对岸^[8]。

谢家店子滑坡(图7)是汶川地震诱发的典型高速远程滑坡,属于震后滑坡。震前为较平坦的大坪村,因风景优美引来源源不断的游客;震后整体被掩埋,变成了高高耸立的巨石堆,估计土石方量在 $2 \times 10^6 \text{m}^3$ 以上。滑坡体上全是较大石块,而且山体还不稳定,可能造成该区域内的次生灾害^[9]。与一般滑坡相比,强震滑坡由于震动造成岩体结构破坏,形成的滑坡规模较大,且有雨水可能形成泥石流等其他次生灾害。地震滑坡的可控制性不强,因此建议在震后这些地区进行地质调查,对易形成滑坡的地区的居民进行搬迁,以保证安全并将损失降到最低。



图7 谢家店子滑坡堆积物

Fig. 7 Xiejiaodianzi landslide accumulation

图8 坡面泥石流掩埋公路

Fig. 8 Provincial road S303 buried by slope debris

2.1.4 泥石流

地震泥石流是强震山区自然环境效应的一个常见现象。在震区内,按地震与泥石流暴发的时间顺序,可以将地震泥石流分为同发型地震泥石流和后发型地震泥石流。同发型地震泥石流是指发生地震的同时暴发泥石流,后发型地震泥石流是指发生地震后由暴雨、堰塞湖溃决等诱发因素激发产生的泥石流,震区内绝大多数的泥石流是地震后暴发的^[10]。由于强震诱发大量的崩塌堆积体与滑坡堆积体给泥石流提供了丰富的物源条件,同时山区存在大量的沟谷,均增加了泥石流暴发的概率。后发型地震泥石流的强烈活动可以长达数年甚至数十年。

地震泥石流冲毁和淤埋其流路上的各种设施,特别是对其流路上的居民住房和灾民安置点危害极大。2010年8月12日起,四川省部分地方降大雨或暴雨,局部地方降大暴雨,致使成都市、德阳市、阿坝州等10个市(州)34县(市)576万人受灾,引发多处特大山洪泥石流灾害,冲毁和淤埋刚刚恢复

的交通、电力、通信、供水等设施,给地震灾区恢复重建带来极大困难。如 S303 线映秀至卧龙的公路恢复重建工程第二项目部全部被泥石流冲毁,整修好的路基段再次浸泡在泥石流中,K6+400 段(瀑布山庄附近)新建的 400 余 m 大桥遭到近 10 万 m³ 泥石流掩埋。K37+420—K37+480 段震后堆积体在“8.13”强降雨后,形成坡面泥石流(图 8),掩埋公路、挡墙 70m,部分段砸坏挡墙,阻断交通达到半个月之久。

2.1.5 堰塞湖

地震堰塞湖为山区常见的地震次生灾害,由地震引发河道两侧山体产生滑坡、崩塌、泥石流,滑坡体、崩塌体、泥石流体进入河道形成堤坝、阻塞河道而形成的堰塞湖称为地震堰塞湖^[4]。由于堰塞湖坝的截流蓄水,其水位不断升高,淹没河谷两岸的城镇、村庄、农田。同时,由于坝体为快速堆积而成,一般较松散,当蓄水量达到一定时,易产生局部或整体溃坝,从而产生洪水灾害,造成下游严重损失。汶川大地震后,出现了 100 多个堰塞湖,其中 35 个经调查是危险的^[5],而唐家山堰塞湖是此次地震引发的最大堰塞湖^[6]。2010 年 8 月 13 日,因暴雨、泥石流、塌方阻断,S303 线 K7+000 段形成一个巨大的堰塞湖(图 9 和图 10)。如果溃堤,将会给下游带来毁灭性破坏。



图 9 “8.13”强降雨形成的堰塞湖(K7+000)
Fig. 9 Dammed lake caused by heavy rains on August 13, 2010



图 10 浸泡在水中的 S303 线重建项目二部
Fig. 10 Drowned project department II in provincial road S303

2.2 社会环境效应

社会环境的构成因素是众多而复杂的,可以将社会环境按所包含的要素的性质分为物理社会环境、生物社会环境和心理社会环境^[4]。强震对山区社会环境的效应主要是偏重于物理社会环境和心理社会环境。

2.2.1 物理社会环境效应

物理社会环境包括建筑物、公路、工厂等。由于物理社会环境涉及的方面较多,本文主要侧重对建筑物及公路的灾害效应进行分析。

强震对物理社会环境效应主要有震损效应和诱发效应两类。震损效应是指强震能量对物理社会环境造成的直接而快速的灾害效应。诱发效应是指由强震灾害带来的次生地质灾害如崩塌、滑坡和泥石流的影响以及堰塞湖等对物理社会环境造成的灾害效应。诱发效应是山区强震效应的特殊类型。

(1) 建筑物震损

由于此次地震能量巨大、烈度超强、发震方式特殊、震动

持续时间长,震源深度浅、破裂长度大、震害范围广,造成房屋倒塌 694.5 万间、严重破坏 593.25 万间^[5]。从 2008 年 5 月 14 日航拍的地震后汶川县映秀镇的照片上(图 11)可以看到,映秀镇超过 50% 的建筑物都在地震中倒塌。虽然汶川地震释放的能量大,造成大量的建筑物的倒塌,但也有保存较好的建筑物。因此,应对地震灾区的建筑进行房屋抗震鉴定,开展房屋震害调查,了解房屋损伤程度,分析房屋破坏原因,为今后结构抗震性能研究,特别是山区结构抗震性能和抗震设计方法的改进积累资料。



图 11 5 月 14 日航拍的地震后汶川县映秀镇
Fig. 11 Aero photograph of Yingxiu, Wenchuan after the earthquake on May 14, 2010

(2) 公路震损

山区公路作为山区交通动脉和震后抗震救灾生命线受到高度重视。“5.12”大地震中,四川省有 9 条高速公路、16 条重要公路干线和大量农村公路遭受不同程度的破坏。其中,S303 线映秀—卧龙段几乎全部瘫痪,是汶川地震灾区距震中最近、地震地质灾害最为发育,损毁最严重的一条公路^[4]。

强震对山区公路的危害主要有两类:震损效应与诱发效应。强震对公路的震损效应主要是表现在桥梁与隧道衬砌的破坏,如桥梁整体倒塌、梁体移位、桥墩开裂、墩身压溃、剪坏、挡块破坏、支座移位或滑落、桥台开裂、桥头路基沉降;隧道洞门开裂、结构破损、衬砌开裂掉块甚至坍塌、施工缝开裂错台、衬砌开裂后渗漏水等形式。图 12 为原小鱼洞大桥坍塌图。

而强震对公路的诱发效应,主要为强震对自然环境破坏造成的次生地质灾害(滑坡、崩塌、泥石流、落石)对公路(路基、路面、桥梁、隧道)的破坏。震后山区在外因作用下,将会产生大量次生地质灾害(岩土体崩塌、滑坡、泥石流、堰塞湖),威胁山区公路安全运营和行车(人)安全。同时,公路作为山区生命线,因次生地质灾害带来的破坏,给灾区恢复重建工程及社会稳定造成严重影响。据地震后国土资源航空物探遥感中心对震中附近的映秀镇地区 317 国道和 S303 省道灾害的航空遥感图像和解译,地震在映秀镇地区毁路共 36 段,毁路总长度约为 13168m,所占比例为 65.3%。其中,崩塌引起的毁路 24 段,毁路长度约为 8123m,所占比例为 61.7%^[7]。S303 线 K08+440—K08+584 段由震后崩塌毁坏公路的情况可见图 13。



图 12 原小鱼洞大桥坍塌
Fig. 12 Collapsed
Xiaoyudong bridge



图 13 崩塌堆积物掩埋公路
Fig. 13 Provincial road S303
buried by collapse accumulation

2.2.2 心理社会环境效应

强震对山区社会环境的影响,不仅在于破坏了物理社会环境,给灾区的经济、文化、社会带来了难以估量的创伤和损失,而且更在于对心理社会环境有着更深层次的强烈而显著的影响。不管是亲身经历强震的人还是参与救援的人,面对灾难中触目惊心的惨状,在心理上与生理上都会产生极大的震荡,这种巨大的心理创伤带来的压力很大程度上超过了人内心能承担的负荷,如果不及时治疗,外界任何刺激都极易引发灾后综合症,对灾后的生活和工作都造成严重影响。根据国外经验,震后半年很可能是灾区自杀行为的高发期。而这一经验再次由汶川地震后的事实得到证实。自 2008 年 10 月至 2009 年 4 月,灾区接连发生了一系列自杀事件,公开报道的自杀个案(已死亡)已有 11 例^[18]。据世界卫生组织的调查,自然灾害后的一年之内,20%的人可能出现严重心理疾病,他们都需要长期的心理干预才能慢慢康复。中国汶川大地震中受影响的民众中,多达 10%的人需要长期的心理治疗^[19]。可见,强震灾害给人们造成的心理伤害虽是无形,但影响是巨大的、极具破坏性。为了减少灾区人们自杀的发生,在救灾重建的过程中,要加倍重视灾害心理的治疗和求助,从而减轻人们的心理创伤,为日后正常的生活铺平道路。

2.3 生态环境效应

山区是生态环境脆弱区,生态体系复杂。强震引起大量地质滑坡、泥石流、堰塞湖、火灾等次生灾害,对生态环境造成较大危害,主要有以下 4 个方面的生态效应。

(1) 植被损失最为明显。由于地震破坏,植被丧失,低海拔地区竹子出现大面积死亡。大熊猫栖息地破坏面积达 3.7 万 hm^2 ,占栖息地面积的 3.8%^[20]。根据在卧龙镇的观察和初步分析,卧龙保护区下面的木江坪保护站离震中最近,损毁最严重,从而影响到卧龙大熊猫的栖息地:虽未造成大熊猫的直接死亡,但严重破坏了它们种群繁衍生息的环境。

(2) 农田基础受重创。由于山区农田大多处在河谷区域和山体中下部的坡地上,很容易被崩塌滑坡掩埋,泥石流、洪水冲毁和淹没,从而导致农田面积急剧减少。并且很多农田的损毁属于不可逆变化,基本上不可能复耕。如强震后,不少地区的农田被数十万方的土石掩埋,即使出动大型施工机械也不可能完全清理,治理的时间太长,难度太大,成本太高。同时,地震还严重损坏山区已经建成的农田基础设施。

(3) 生物多样性减少。汶川地震除了直接给野生动物造成重大伤亡外,还能使得某些物种面临灭绝的危险。伴随地震堰塞湖的形成,在水位抬升过程中,不少植物被淹。而湖水一旦决堤,水位又会大幅下降,导致湖两岸的生态环境在短时间内骤变,这给依赖植物生存的动物以致命的打击,生物链结构也随之改变。

(4) 生态景观遭破坏。由于强震对山区自然环境的破坏,大量崩塌、滑坡和泥石流造成原本葱郁的山体岩石裸露,交通瘫痪,给原本秀丽的山川造成了不可弥补的创伤(对比见图 14)。



图 14 S303 线卧龙山门震前(a)、震后(b)的对比
Fig. 14 Comparison of Wolongshan gate in provincial
road S303 before (a) and after (b) the earthquake

3 结论

山区的环境系统以人为核心分为 3 个子系统:自然环境系统、社会环境系统和生态环境系统。汶川强震对这 3 个山区环境子系统的灾害效应十分巨大,集中于破坏效应、震损效应、诱发效应和生态效应 4 个效应。

(1) 强震对于山区自然环境的破坏效应,不仅造成自然环境的破坏,同时诱发大量的次生灾害,对社会环境及生态环境更具破坏性。

(2) 山区强震对物理社会环境的震损效应可以通过提高抗震设计减弱其震损影响。

(3) 因为山区强震对心理社会环境的诱发效应更加隐性、长期和持久,所以在灾后更应该重点对此进行关注,不仅要保证个人身体上的健康,更要保障心理上的痊愈。

(4) 强震对脆弱的山区生态环境破坏巨大,如依靠其自身的自我调节和修复,速度较慢,如果在某种程度上通过合理的人为调节和修复,能够加快山区生态环境的恢复。

由此可见,汶川强震给山区环境带来了巨大的灾难,但灾难所带来的后果不仅取决于灾难本身,更取决于人们对灾难的态度。人类目前虽然还不能阻止和准确预测地震的发生,但可以依靠自身努力从生命的代价中不断研究、总结和提高,从而指导山区灾后恢复重建、最大限度降低未来强震对山区环境灾害造成的损失。

参考文献 (References)

- [1] 宋天齐. 地震数据质疑[J]. 工程抗震与加固改造, 2006, 28(2): 105-108.
Song Tianqi. *Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting*, 2006, 28(2): 105-108.

- [2] 黄润秋, 等. 汶川地震地质灾害研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
Huang Runqiu, et al. Geohazard assessment of the Wenchuan earthquake [M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [3] 吴宁, 卢涛, 罗鹏, 等. 地震对山地生态系统的影响——以 5.12 汶川大地震为例[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 5810-5813.
Wu Ning, Lu Tao, Luo Peng, et al. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(12): 5810-5813.
- [4] 李明华, 徐琪. 解决山区环境问题的制度导向[J]. 浙江社会科学, 2004, 6: 89-94.
Li Minghua, Xu Qi. *Zhejiang Social Sciences*, 2004, 6: 89-94.
- [5] 国家减灾委员会科学技术部抗震救灾专家工作组. 汶川地震灾害综合分析及评估[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
Expert group in Earthquake Relief Work, Ministry of Science and Technology, State Committee for the Mitigation of Natural Disaster. Comprehensive analysis and evaluation of the Wenchuan earthquake disaster[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [6] 徐锡伟, 闻学泽, 叶建青, 等. 汶川 MS8.0 地震地表破裂带及其发震构造[J]. 地震地质, 2008, 30(3): 597-629.
Xu Xiwei, Wen Xueze, Ye Jianqing, et al. *Seismology and Geology*, 2008, 30(3): 597-629.
- [7] 殷跃平. 汶川八级地震滑坡特征分析 [J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 29-38.
Yin Yueping. *Journal of Engineering Geology*, 2009, 17(1): 29-38.
- [8] 韩金良, 吴树仁, 何淑军, 等. 汶川 8 级地震次生地质灾害的基本特征及其形成机制浅析[J]. 地学前缘, 2009, 16(3): 306-326.
Han Jinliang, Wu Shuren, He Shujun, et al. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(3): 306-326.
- [9] 刘守江, 张斌, 杨清伟, 等. 汶川地震非规范滑坡体上植被的自然恢复能力[J]. 山地学报, 2010, 28(3): 373-378.
Liu Shoujiang, Zhang Bin, Yang Qingwei, et al. *Journal of Mountain Science*, 2010, 28(3): 373-378.
- [10] 钟敦伦. 1981 年四川暴雨泥石流[J]. 大自然探索, 1982(1): 52-58.
Zhong Dunlun. *Discovery of Nature*, 1982(1): 52-58.
- [11] 陈晓清, 崔鹏, 程尊兰, 等. 5.12 汶川地震堰塞湖危险性应急评估[J]. 地学前缘, 2008, 15(4): 244-249.
Chen Xiaqing, Cui Peng, Cheng Zunlan, et al. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(4): 244-249.
- [12] 王兆印, 崔鹏, 刘怀湘. 汶川地震引发的山地灾害以及堰塞湖的管理方略[J]. 水利学报, 2010, 41(7): 757-763.
Wang Zhaoyin, Cui Peng, Liu Huaixiang. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2010, 41(7): 757-763.
- [13] Zhang L M. Challenges in multi-hazard risk assessment and management: Geohazard chain in Beichuan Town caused by Great Wenchuan Earthquake [C]/Honjo Y, Hara T, Suzuki M, et al. Proceedings of the 2nd International Symposium on Geotechnical Safety and Risk (IS-Gifu 2009): Geotechnical Risk and Safety. London: CRC Press, 2009: 237-244.
- [14] 曲格平, 等. 环境科学基础知识 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1984.
Qu Geping, et al. Environmental science foundation knowledge [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1984.
- [15] 徐雷, 宋战平, 韩晓雷, 等. 汶川地震绵竹震害调查及对乡镇建筑抗震建设的思考 [J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2008, 40(5): 619-624.
Xu Lei, Song Zhanping, Han Xiaolei, et al. *Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition*, 2008, 40(5): 619-624.
- [16] 程强, 吴事贵, 苏玉杰, 映秀—卧龙公路沿线汶川地震地质灾害研究 [J]. 工程地质学报, 2010, 18(2): 160-161.
Cheng Qiang, Wu Shigui, Su Yujie. *Journal of Engineering Geology*, 2010, 18(2): 160-161.
- [17] 王治华, 徐起德, 徐斌, 等. 5.12 汶川地震航空遥感应急调查[J]. 中国科学 E 辑, 2009, 39(7): 1304-1311.
Wang Zhihua, Xu Qide, Xu Bin, et al. *Science in China: Series E*, 2009, 39(7): 1304-1311.
- [18] 邓明显. 四川“512”地震后灾民的自杀状况分析与预防措施[C]/邓明显. 四川“512”地震后心理援助第二届国际论坛论文集. 丹东: 国际中华应用心理学研究会, 2009: 398.
Deng Mingyu. Suicide analysis of victims and preventive measures after Wenchuan earthquake in Sichuan [C]/Deng Mingyu. The 2nd International Forum on Psychological Aid after Wenchuan Earthquake. Dandong: International Society of Chinese Application Psychology, 2009: 398.
- [19] 夏金彪. 灾后心理重建需要长效机制[N]. 中国经济时报, 2009-05-14(6).
Xia Jinbiao. Post-disaster psychological rehabilitation needs of long-term mechanism[N]. China Economic Times, 2009-05-14(6).
- [20] 崔书红. 汶川地震生态环境影响及对策 [J]. 环境保护, 2008, 399(13): 37-38.
Cui Shuhong. *Environmental Protection*, 2008, 399(13): 37-38.

(责任编辑 朱宇)

·学术动态·

“中国声学学会第九届青年学术会议”征文

中国声学学会将于 2011 年 11 月在广州召开“中国声学学会第九届青年学术会议”。

会议征文内容: 物理声学; 水声物理; 水声工程和水声信号处理; 超声物理; 超声电子; 环境声学、大气声学、建筑声学; 噪声与振动控制; 语言声学及语音信号处理; 通信声学及音频信号处理; 声学测量; 声学换能器等。

全文截止日期: 2011 年 7 月 10 日。

联系人: 邓京军; 通信地址: 北京市海淀区北四环西路 21 号中国声学学会办公室(100190); 联系电话: 010-62554285; 传真: 010-62561833。

会议网址: <http://www.aschina.org/news.asp?id=352>。