

李明辉, 王东辉, 高延超, 等. 鲜水河断裂带炉霍 7.9 级地震地质灾害研究[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 37-41. [Li Minghui, Wang Donghui, Gao Yanchao, et al. Research on the Geohazards Induced by the M7.9 Luhuo Earthquake in Xianshuihe Fault Zone[J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(1): 37-41.]

# 鲜水河断裂带炉霍 7.9 级地震地质灾害研究<sup>\*</sup>

李明辉, 王东辉, 高延超, 白永健

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

**摘 要:** 鲜水河断裂带是中国西南地区一条现今活动强烈的大型左旋走滑断裂带, 局部具挤压性质, 具有规模大、活动性强、地震频度高、强度大且往复迁移等特点。鲜水河断裂带发生的地震, 诱发了大量的地质灾害, 尤其是 1973 年炉霍 7.9 级地震。在基于前人资料之上, 结合现场调查, 对炉霍 7.9 级地震诱发滑坡的类型、规模、分布规律、运动特征, 地震滑坡与地层岩性、地形坡度的敏感性以及滑坡机理进行了分析研究, 并与 2008 年汶川地震滑坡进行了对比分析, 为今后该地区地震滑坡灾害的防治减灾提供必要的的借鉴和依据。

**关键词:** 鲜水河断裂带; 炉霍 7.9 级地震; 地震滑坡; 地质灾害

**中图分类号:** X43      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-811X(2014)01-0037-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2014.01.007

地震是引起滑坡发生的最重要的动力诱发因素之一, 地震滑坡是因为发生地震而引起的滑坡现象, 属于动力滑坡。它既可以随地震发生立即产生, 也可以是地震后一定时间发生。

在山岳地区, 强烈地震常常能在瞬间产生成千上万个滑坡, 从而造成难以估量的经济损失<sup>[1-4]</sup>。例如, 我国 1920 年宁夏海原 8.5 级特大地震, 因地震滑坡造成死伤人数达 10 万人<sup>[2-3]</sup>, 1964 年美国阿拉斯加 8.6 级大地震中因滑坡造成的经济损失约占总经济损失的 56%<sup>[3-4]</sup>。在日本, 自 1964 年以来震级大于 6.9 级的所有地震中, 因滑坡造成的死亡人数超过所有死亡人数的一半以上<sup>[4]</sup>。2008 年沿龙门山断裂带发生的汶川 8.0 级特大地震造成 69 227 人遇难, 17 923 人失踪, 375 783 人受伤, 地震造成直接经济损失 8 523 亿元<sup>[5]</sup>, 地震触发约 5 万处滑坡, 滑坡灾害造成的人员死亡约占地震总死亡人数的 1/3<sup>[6]</sup>。地震滑坡的发生除与震级、地震烈度、震源深度等地震参数有关外, 还与地震影响区的地质环境条件有着十分密切的关系, 只有具备了有利于滑坡发生的地质、地貌等条件, 才有可能发生地震滑坡。

近年来 2010 年玉树 7.1 级地震<sup>[7-8]</sup>, 2012 年昭通 5.7 级地震以及 2013 年芦山 7.0 级地震都引发了大量的地震滑坡, 造成了较大的人员财产损失。我国西部地区南北地震带地震的频繁发生, 预示着地震活动进入活跃期, 沿活动断裂带

地震引发的地质灾害引起了大家的广泛关注。本文着眼于我国南北地震带最活跃的鲜水河断裂带地震发生频度最高的炉霍断裂, 通过收集资料和现场调研对 1973 年炉霍 7.9 级地震引起的滑坡的分布情况与地震烈度以及当地自然地理环境条件之间的关系进行了详细的分析阐述, 找出了此区域地震滑坡发育分布规律, 为今后对鲜水河断裂带这类地震灾害的防灾减灾提供必要的的借鉴和依据。

## 1 鲜水河断裂带地震活动概况

鲜水河断裂带是中国西南地区一条现今活动强烈的大型左旋走滑断裂带, 局部具挤压性质, 具有规模大、活动性强、地震频度高、强度大且往复迁移等特点。广义的鲜水河断裂带全长近 700 km, 规模巨大, 包括鲜水河断裂和甘孜-玉树断裂<sup>[9-10]</sup>, 二者在甘孜附近呈左阶羽斜列, 在区域上共同构成中国西南川滇活动地块的北边界和巴颜喀拉地块的西南边界(图 1)。通常所说的鲜水河断裂带主要是指北起甘孜东谷附近, 大体呈 NW-SE 向展布, 经炉霍、道孚、康定延伸至泸定的磨西以南的部分, 全长约 350 km, 以惠远寺为界将鲜水河断裂划分为北西和南东两段, 北西段由炉霍断裂、道孚断裂、乾宁断裂 3 条次级剪切断裂呈

\* 收稿日期: 2013-07-01      修回日期: 2013-08-16

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目(1212010114020, 12120113004400)

作者简介: 李明辉(1968-), 男, 四川洪雅人, 教授级高级工程师, 主要从事地质灾害调查、评价与研究。

E-mail: Lmh680408@163.com

左阶羽列组合，炉霍断裂大致沿鲜水河延伸贯穿炉霍县全境<sup>[11]</sup>。

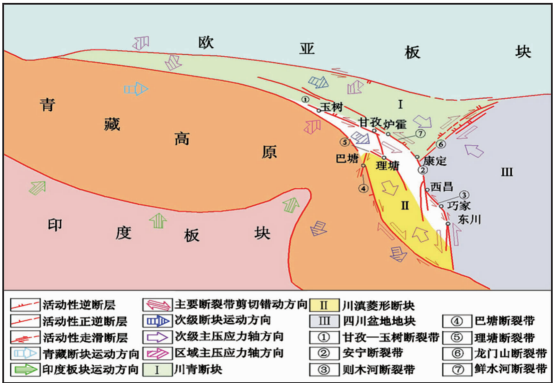


图1 鲜水河断裂带大地构造略图

鲜水河断裂带处于地中海至喜马拉雅山大地震带的范围内，又在我国南北地震带中段，为四川省地震最活跃、最强的一条地震带<sup>[12-14]</sup>。尤其西北段活动强烈，自全新世以来具有 $(15 \pm 5)$  mm/a 的滑动速率，而东南段只有 5.5 mm/a 左右的滑动速率<sup>[12]</sup>。

据史料记载和观测台网记录，鲜水河断裂带历史上多次发生 6.0 级以上地震，自公元 1700 年以来至今 300 余年间，该带共发生强震达 47 次之多，其中  $M=6 \sim 6.9$  级的 17 次， $M \geq 7$  级的 9 次，平均每 6~7 年一次强震。鲜水河断裂带炉霍段是该断裂最活跃的一段，炉霍断裂 20 世纪以来发生的强震主要为：炉霍虾拉沱 1904 年 6.0 地震、炉霍仁达 1923 年 7.3 级、炉霍朱倭 1967 年 6.8 级地震、炉霍县城北西雅德 1973 年 7.9 级地震。其中 7.9 级地震也是该断裂带有记载的最大的一次，地震使断裂沿线产生了长达 90 km，最大水平位错达 3.6 m 的地震地表破裂变形带<sup>[15-17]</sup>。本次地震引发大量的崩滑地质灾害并造成了重大的人员伤亡和财产损失。

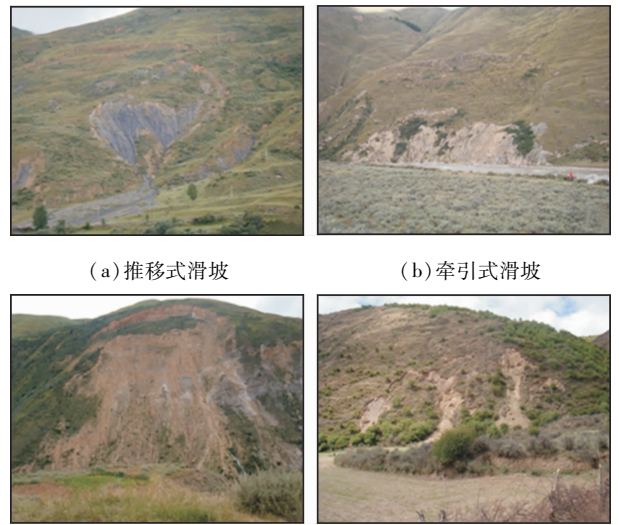
2 地震诱发滑坡特征

由于鲜水河断裂带历史上多次发生强烈的破坏性地震，形成较多的地震次生地质灾害滑坡、崩塌，由于滑坡、崩塌形成机理的复杂性，加之时代久远难以形成系统性调查资料，本次调查时也发现一些大规模的地震滑坡例如邦达滑坡和 55 道班滑坡，但许多浅表层小型滑坡难以确定为地震滑坡。而 2011 年 4 月 10 日炉霍县南东 5.3 级地震，由于震级较小，震中烈度Ⅶ度，仅仅局部陡峭处小规模土体塌落，基本没有崩塌、滑坡发生。因此本文的内容主要以 1973 年炉霍雅德 7.9 级地震后四川省地理研究所调查完成的《1973 年 2 月 6 日炉霍地震滑坡调查报告》为基础加上本次调查资料综合分析完成。

2.1 滑坡的类型和规模

1973 年地震在炉霍境内引发了大量的地裂缝，触发了 137 处滑坡(含崩塌)总计体积约 230 万 m<sup>3</sup>，本次地震诱发滑坡主要以发生急速滑动的崩塌型滑坡居多，其次为溜滑型和牵引式滑坡，而需要较大剪切作用的推移式滑坡较少(表 1、图 2)。本次地震诱发滑坡多以浅表层滑动为主，浅层滑坡 133 处，0~5m 的滑坡 114 处，占 83.2%，中层滑坡 4 处，最大厚度仅 18 m；滑坡规模上以小型为主，共 132 处，占 96.35%，其中小于 1 万 m<sup>3</sup> 的有 100 处，中型滑坡仅 5 处，其中规模最大的额日滑坡仅 24 万 m<sup>3</sup>；总体表现为地震以触发浅层小型滑坡为主与本次现场调查中整个县的滑坡崩塌都以中小型为主一致，也与区内经过夷平作用的丘状高原地貌特征吻合，地形缓、高差小，一般难以形成大规模滑坡<sup>[18]</sup>。

表 1 地震滑坡类型统计表		
类型	数量	百分比/%
崩塌性滑坡	41	29.0
牵引式滑坡	35	25.6
溜滑性滑坡	36	26.3
推移式滑坡	25	18.2
合计	137	100.0



(a) 推移式滑坡 (b) 牵引式滑坡 (c) 崩塌性滑坡 (d) 溜滑性滑坡

图2 鲜水河断裂带典型地震滑坡

2.2 滑坡的分布特征

根据历史地震记载中所反映的烈度，崩、滑大多发生在Ⅶ度及Ⅶ度以上的地区，Ⅷ度以上发生的可能性急剧增大<sup>[19]</sup>。炉霍 7.9 地震诱发 137 处滑坡，其中有 96 处分布于地震烈度Ⅹ度区，占 70%；37 处分布于地震烈度Ⅸ度区，占 27%；4 处分布于地震烈度Ⅷ度区，占 3%；Ⅶ度、Ⅵ度区以下未发现地震滑坡(图 3)。在Ⅹ度区滑坡多集中于烈度区的两端，而震中附近反而较少，Ⅹ度区长 42 km，最宽 5.8 km，沿长轴方向北西段久如——雄鸡岭 11 km 内有新滑坡 21 处，体积 40 万

m<sup>3</sup>; 南东端萨瓦 - 克木 12 km 内有滑坡 62 处, 体积 46 万 m<sup>3</sup>, 而震中雅德附近中段 19 km 范围内有滑坡 15 处, 体积 20 万 m<sup>3</sup>。体现为震中区滑坡密度小, 而距离震中 9 ~ 21 km 区域内的密度大, 这主要与地震波的作用有关, 从地震主裂缝两侧水平扭距和垂直断距的变化看, 沿主裂缝的走向, 自震中向外 21 km 范围内, 水平扭距增大, 由 0.5 m 分别增至 2.12 m 和 3.6 m, 而垂直断距变化不大, 表明距离震中 9 ~ 21 km 区域内水平运动更为强烈, 从而导致滑坡密度最大, 证明此次地震滑坡发育更多的受以水平运动为主的横波影响, 与断裂走滑性质一致。

沿烈度线长轴方向, 地震能量的衰减缓慢, 滑坡的增减变化小, 而垂直长轴方向, 地震能量的衰减快, 地震烈度更替迅速, 滑坡数量急剧减少。因此说明滑坡垂直长轴方向分布的差异主要是因地震作用力的大小不一所造成。

相对于断层两盘地震滑坡的分布, 因鲜水河断裂为压扭性走滑断裂, 上下盘效应并不明显, 只是北东盘地震滑坡比南西盘滑坡数量多; 与 2008 年汶川地震形成的断层上盘效应有所不同, 汶川地震滑坡分布表现出了明显的“上/下盘效应”, 发震断层上盘较下盘地质灾害分布密度高、范围广、规模大<sup>[20]</sup>。

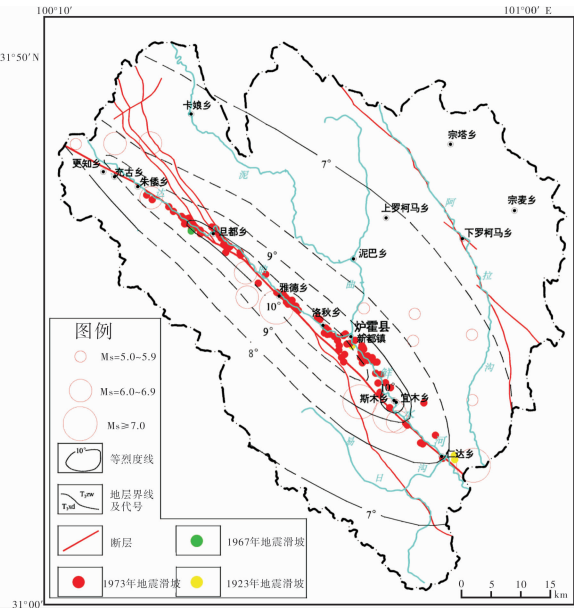


图3 1973 年地震等烈度线及地震滑坡分布图

2.3 滑坡的运动特征

一般滑坡的发育过程均经历较长的时间, 有明显的阶段性, 在滑坡发生显著位移以前就有裂缝发生和扩大连通的过程, 然后出现滑坡明显下滑变形过程和进一步达到暂时稳定的阶段。而地震的突发性和强大的地震力使滑坡的整个发育过程大为缩短, 很多地震触发的滑坡在震前并无裂缝出现, 而在地震的刹那间就由坡体震松出现裂

缝直接发展致下滑。几乎所有的崩塌性滑坡和一部分溜滑多在一次滑动后即停止运动而结束了整个滑坡的运动过程, 滑动距离多不大。本次地震诱发多为低位滑坡, 下滑距离一般较小, 与 2008 年汶川地震诱发大量高位滑坡不同, 一是断裂性质不同, 汶川地震发震断裂为高角度逆冲断层, 而鲜水河断裂为走滑断层, 其次地形地貌有很大的差异, 汶川地震区为高山峡谷区, 地形陡峻, 相对高差大, 一般相对高差大于 1 000 m, 而本次地震区为川西高原山原地貌, 地形相对开阔平缓, 相对高差小, 地形坡度缓, 第三是地震能量不同, 据学者研究逆冲为主的震源机制要比走滑和正断机制产生的能量多, 同样大小的震级, 逆冲机制的水平动峰值加速度要比走滑和正断机制的大 20 ~ 30%, 有时甚至大 30 ~ 40%<sup>[21]</sup>。汶川地震为逆冲为主的机制, 极震区烈度达 XI 度, 水平加速度接近 1.0 g, 竖向加速度也接近于 1.0 g, 因此地震力的抛掷作用非常大, 形成了很多高位滑坡, 而炉霍地震为走滑为主的机制, 极震区烈度为 X 度, 能量相对较小, 纵向振动小。

2.4 滑坡与地层岩性的关系

137 处地震滑坡(含崩塌和塌岸)中 136 处发生在第四系堆积层中, 仅一处发生在麦久附近的如年各组灰岩块体中(崩塌)。在堆积层中冲洪积和冰水堆积层滑坡 23 处, 类黄土沉积物 42 处, 残坡积层滑坡 71 处, 其中沿冻土界面滑坡 19 处, 滑面埋深仅 0.7 ~ 1.0 m, 占滑坡总数的 14.7%, 发生在坡洪积和冲洪积粗细二元结构界面处的滑坡 94 处, 占滑坡总数的 67%, 显示了软弱界面对滑坡发育的影响。

2.5 滑坡与地形的关系

据调查大多数滑坡皆发育于沟谷两岸、人工边坡和具有滑动空间的高陡边坡上, 137 处滑坡有 102 处发育在 31° ~ 50° 范围内, 占总数的 79.3% (表 2)。

表 2 地震滑坡与地形坡度的关系表							
地形坡度/(°)	0 ~ 10	11 ~ 20	21 ~ 30	31 ~ 40	41 ~ 50	51 ~ 60	> 60
滑坡数量/处	0	4	15	57	48	7	3
比例/%	0	3.0	11.2	42.5	35.8	5.2	2.3

2.6 地震滑坡造成的危害

本次地震滑坡造成了严重的危害, 国道 G317 公路 50 余处受到严重的破坏, 交通阻塞, 在雄鸡岭约有 70 m 长的一段路基全部产生崩滑, 造成公路改线; 地震摧毁炉霍县城老街居民点以及雅德吉鲁 30 多户房屋, 造成大量的人员伤亡和财产损失; 地震产生的地裂缝纵横破坏农田, 使大片的农田遭受破坏; 发育在沟谷中的地震崩滑体, 使沟谷中松散固体物质急剧增加, 成为泥石流的物源, 加大了泥石流的易发性和规模。在暴雨作用下易产生地质灾害链, 威胁村镇、重要交通设施



等的安全,震后泥石流隐患在县城新都镇周边山区沟谷比较发育,目前新都镇益娘四条至今仍在发生的泥石流沟当时在沟坡两岸即有大量滑坡发生,为其提供丰富的物源(图4)。



(a)1973 地震后新都镇益娘南泥石流<sup>[15]</sup>



(b)2010 年新都镇益娘南泥石流

图4 新都镇益娘南泥石流沟 1973 年地震后与现今对比图

### 3 地震活动诱发地质灾害机理分析

根据已有资料分析结合现场调查和鲜水河断裂带的地质环境条件,该震区地震触发滑坡的模式主要有以下几种:

(1)地震震动直接诱发产生滑坡,地震发生时,产生强大的地震波使原来处于极限平衡或接近极限平衡的边坡产生滑坡。

(2)地震产生崩塌而牵引后侧山体滑动。鲜水河断裂带局部地形山高坡陡,河流深切作用强烈,在地震波的作用下发生崩塌,由于前缘土(岩)崩塌,使后侧山体失去必要的支撑而导致滑动,出现了“先崩后滑”现象。

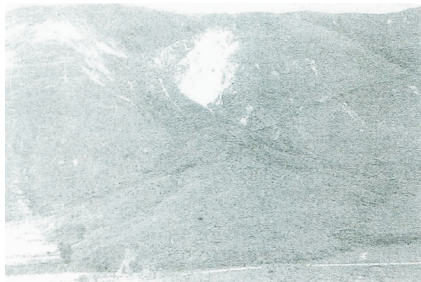
(3)地震使斜坡浅表层岩土结构松散,地面开裂,在降雨或其他因素作用下,导致滑坡、崩塌产生。在强大的地震波作用下,使山坡岩土体严重松动,结构破坏,并出现裂缝,抗剪强度严重降低,在汛期大气降水顺裂缝迅速渗入坡体,软化岩土体,增加自重,导致崩塌、滑坡发生进而引发泥石流灾害。

(4)地震诱发老滑坡复活。老滑坡的复活包括两种情况,一种是地震前已处于缓慢的蠕滑变形,地震加速了它的的活动;另一种是经过较长时间变形逐步趋于稳定的滑坡,在地震的诱发作用下,又一次失去原来的力学平衡,而产生加速变形或者失稳,属于这两种情况的滑坡有 59 处,占震前滑坡的 71%。

综上,1973 年炉霍 7.9 级地震主要诱发低位滑坡,运动快,时间短,均沿主裂缝两侧的鲜水河谷坡展布,主要为小型浅层滑坡,滑坡破坏以

崩塌性和溜滑性为主,滑坡发生坡度以  $31^{\circ} \sim 50^{\circ}$  常见,滑坡主要分布于地震烈度 VIII ~ X 度区, VII 度、VI 度区以下未发现滑坡,震中区滑坡密度小,而距离震中 9 ~ 21 km 区域内的密度大。

由于时代久远对于地震诱发的地质灾害无确切的记录,但据野外调查,沿鲜水河断裂带两侧岩体破碎,有大量崩滑堆积体,推测与地震活动有关,并有几处大型滑坡堆积体,滑坡后缘断壁清晰可见,垂直下滑距离较大,与 2008 年龙门山地震带汶川地震滑坡较为类似,在断裂西北端发育两处较为明显的地震滑坡,滑坡堆积体挤压了达曲河,引起河流改道,如 55 道班滑坡和邦达滑坡。55 道班滑坡位于断裂交汇部位,规模为特大型,滑坡后壁高陡,应该为地震滑坡无疑,而据调查邦达滑坡曾经掩埋了一个村庄造成了 80 多人伤亡,说明其发生突然,资料显示 1973 年地震时其侧壁再次发生了崩塌(白色)(图 5),两处滑坡都需要较大的突发能量才会发生,说明历史上在 1973 年以前在同一区域可能还发生过震级更高极震区烈度更大的破坏性地震,诱发了大规模的崩滑体,也从一个侧面佐证了鲜水河断裂活动的迁移性、往复性和原地重发性,该区域今后可能还会发生强地震引发次生地质灾害,鉴于此有必要在该区域应该开展地震强震条件下斜坡的动力响应规律研究,进行地震地质灾害易发性区划与风险评估,提前作出防范措施。



(a)1973 地震后邦达滑坡<sup>[15]</sup>



(b)2010 年邦达滑坡

图5 邦达滑坡对比图

### 4 结论

通过本次地质灾害详细调查结合收集 1973 年

炉霍地震调查报告资料, 对鲜水河断裂带(炉霍段)地震滑坡进行了系统的研究得出如下结论:

(1) 1973 年 7.9 级炉霍地震触发了 137 处滑坡, 多以浅表层滑动为主, 浅层滑坡 133 处, 0~5 m 的滑坡 114 处, 占 83.2%, 中层滑坡 4 处; 滑坡规模上以小型为主, 共 132 处, 占 96.35%, 其中小于 1 万  $\text{m}^3$  的有 100 处, 中型滑坡仅 5 处; 与区内经过夷平作用的丘状高原地貌特征吻合, 地形缓、高差小, 一般难以形成大规模滑坡。

(2) 根据滑坡的运动形式, 1973 年 7.9 级炉霍地震滑坡可分为崩塌性、溜滑性、牵引式和推移式滑坡 4 种类型, 本次地震诱发滑坡主要以发生急速滑动的崩塌型滑坡居多, 其次为溜滑型和牵引式滑坡, 而需要较大剪切作用的推移式滑坡较少。

(3) 1973 年 7.9 级炉霍地震主要诱发低位滑坡, 运动快, 时间短, 均沿主裂缝两侧的鲜水河谷坡展布, 滑坡主要分布于地震烈度 VIII—X 度区, VII 度、VI 度区以下未发现滑坡, 震中区滑坡密度小, 而距离震中 9~21 km 区域内的密度大。表明距离震中 9~21 km 区域内水平运动更为强烈, 而导致滑坡密度最大, 证明此次地震滑坡发育更多的受以水平运动为主的横波影响, 与断裂走滑性质一致。

(4) 从物质组成上炉霍 7.9 级地震滑坡主要发育在松散堆积层中, 共 136 处, 占 99.27%, 与区内第四系堆积物比较发育密切相关;

(5) 地形坡度是地震滑坡发育的主要控制因素之一, 滑坡主要发育于沟谷两岸具有滑动空间的高陡边坡上, 发生坡度主要集中在  $31^\circ \sim 50^\circ$  范围内, 占 79.3%。

## 参考文献:

- [1] 李忠生. 国内外地震滑坡灾害研究综述[J]. 灾害学, 2003, 18(4): 64~70.
- [2] 柴贺军, 刘汉超, 张倬元. 1933 年叠溪地震滑坡堵江事件及其环境效应[J]. 地质灾害与环境保护, 1995, 6(1): 7~17.
- [3] Zhou bengang, Zhang Yuming. Some characteristics of earthquake

- induced landslides in southwestern China[J]. Northwestern Seismological Journal, 1994, 16(1): 96~103.
- [4] Wang H B, Sassa K, Xu W Y. Analysis of a spatial distribution of landslides triggered by the 2004 Chuetsu earthquakes of Nigata Prefecture, Japan[J]. NatHazards, 2007, 41: 43~60.
- [5] 郑通彦, 李洋, 侯建盛, 等. 2008 年中国大陆地震灾害损失述评[J]. 灾害学, 2010, 25(2): 112~118.
- [6] 李为乐, 伍霁, 吕宝雄. 地震滑坡研究回顾与展望[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 103~108.
- [7] 殷跃平, 张永双, 马寅生, 等. 青海玉树 M7.1 级地震地质灾害主要特征[J]. 工程地质学报, 2010, 18(3): 289~296.
- [8] 秦松涛, 李智敏, 谭明, 等. 青海玉树 7.1 级地震震害特点分析及启示[J]. 灾害学, 2010, 25(3): 65~70.
- [9] 罗灼礼, 钱洪, 闻学泽. 鲜水河断裂与圣安德列斯断层的地震地质对比研究[J]. 四川地震, 1987(4): 1~10.
- [10] 李天招. 鲜水河断裂带及强震危险性评估[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1997.
- [11] 周荣军, 闻学泽, 蔡长星, 等. 甘孜—玉树断裂带的近代地震与未来地震趋势估计[J]. 地震地质, 1997, 19(2): 115~124.
- [12] 钱洪, C R 艾伦, 罗灼礼, 等. 全新世以来鲜水河断裂的活动特征[J]. 中国地震, 1988, 4(2): 9~18.
- [13] 唐荣昌, 韩渭宾. 四川活动断裂与地震[M]. 北京: 地震出版社, 1993.
- [14] 熊探宇, 姚鑫, 张永双. 鲜水河断裂带全新世活动性研究进展综述[J]. 地质力学学报, 2010, 16(2): 176~188.
- [15] 四川省地理研究所. 1973 年 2 月 6 日炉霍地震滑坡调查报告[R]. 成都: 四川地理研究所, 1973.
- [16] 高名修, 唐荣昌. 鲜水河断裂带地震地裂缝的初步研究[C]//四川地震局. 鲜水河断裂带地震学术讨论会文集. 北京: 地震出版社, 1985: 25~32.
- [17] 李天, 游泽李, 杜其方, 等. 1985. 鲜水河断裂带的地质特征及其运动方式[C]//四川地震局. 鲜水河断裂带地震学术讨论会文集. 北京: 地震出版社, 1985: 1~8.
- [18] 中国地质调查局成都地质矿产研究所. 甘孜地区(炉霍县)地质灾害详细调查报告[R]. 成都: 中国地质调查局成都地质矿产研究所, 2011.
- [19] 孙崇绍, 蔡红卫. 我国历史地震时滑坡崩塌的发育及分布特征[J]. 自然灾害学报, 1997, 6(1): 25~30.
- [20] 黄润秋, 李为乐. 汶川大地震触发地质灾害的断层效应分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 19~28.
- [21] Jonathan P Stewart, Shyh-Jeng Chiou, Jonathan D Bray, et al. Ground motion evaluation procedures for performance-based design[J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2002(22): 765~772.

# Research on the Geohazards Induced by the M7.9 Luhuo Earthquake in Xianshuihe Fault Zone

Li Minghui, Wang Donghui, Gao Yanchao and Bai Yongjian  
(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** Xianshuihe fault zone is a large active sinistral strike-slip fault zone with thrust characteristic in southwest China. It has the characters with large scale, intense activity, high frequency, high strength and reciprocating migration of earthquakes. The earthquakes in Xianshuihe fault zone induced a lot of geological hazard, especially in 1973, the M7.9 Luhuo earthquake. On the basis of the former research and the on-site investigation, the earthquake landslide type, distribution, scale and motion features are analyzed; the seismic landslide sensitivity between terrain slope and lithology is discussed, and mechanism of the landslide is studied. Further comparing the difference with the landslide induced by 2008 Wenchuan earthquake, reference and basis are provided to the mitigation and prevention basis for future geological hazard.

**Key words:** Xianshuihe fault zone; M7.9 Luhuo earthquake; earthquake-induced landslide; geological hazard