

文章编号: 1008-2786-(2019)6-932-11

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000483

宜宾长宁 M_s 6.0 级地震诱发地质灾害应急调查

张跃跃, 罗永红*, 王运生, 赵波, 朱兴貌

(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, 成都 610059)

摘 要: 2019 年 6 月 17 日四川省宜宾市长宁县发生 M_s 6.0 级地震。对震中双河镇开展野外应急调查, 查明了此次地震诱发地质灾害的发育特征, 并开展了环境噪声测试。调查发现, 此次地震诱发地质灾害主要有崩塌、滑坡、路基破坏(沉降或隆起)、屋基沉降、地表裂缝或塌陷、粉土液化等类型, 且地质灾害主要沿北西向、北东向两条断裂地表破裂带沿线分布; 地震诱发斜坡场地动力效应产生的崩塌、滑坡规模较小且发育密度较低, 断层活动导致地表同震破裂产生地表裂缝、塌陷及喷水冒泥砂等震害; 典型灾害点的水平与竖向谱比(HVSR)放大系数高于一般测试场地, 且以高频放大为主(>10 Hz), 与斜坡靠近活动断层带附近的高频振动产生共振效应导致破坏密切相关; 研究区测点的南北分量(NS)放大值普遍高于东西分量(EW), 具有明显的方向效应, 与调查区开挖公路边坡所形成的临空方向密切相关。调查结果可为震区的灾害评估、震后救援、灾区重建和灾害治理提供科学指导。

关键词: 宜宾地震; 地震地质灾害; 环境噪声; 水平与竖向谱比; 方向效应

中图分类号: P694

文献标志码: C

根据中国地震台网正式测定: 北京时间 2019 年 6 月 17 日 22 时 55 分 43 秒, 四川省宜宾市长宁县发生 M_s 6.0 级地震, 震中位置位于北纬 28.34° , 东经 104.9° , 震源深度为 16 km, 距离成都约 262 km。地震造成 13 人死亡、15 人受伤、14 万余人受灾, 部分水电、交通、通信等基础设施受损。长宁主震发生后余震持续不断, 截至 6 月 25 日 8 时, 共记录到 M_s 2.0 级及以上余震 173 次, 其中 M_s 5.0 ~ 5.9 级地震 3 次, M_s 4.0 ~ 4.9 级地震 5 次, M_s 3.0 ~ 3.9 级地震 40 次, M_s 2.0 ~ 2.9 级地震 125 次。

截至 2019 年 7 月 4 日宜宾珙县再次发生 M_s 5.6 级较大余震, 此次长宁地震主要特点具有: 主震震级不大、余震震级偏大、数量偏多、地质灾害以

地表裂缝或塌陷、地基或路基沉降、小型崩塌、滑坡为主, 与汶川地震^[1-2]、尼泊尔地震^[3]、芦山地震^[4-5]及九寨沟地震^[6]均有明显差异。

地震不仅可能诱发山地斜坡产生大量地质灾害^[7], 导致人员伤亡, 破坏房屋、道路等建筑及基础设施, 次生地震地质灾害还可能影响救援与震后恢复重建的顺利进行。地震诱发的地质灾害发育密度与破坏程度, 不仅与地震烈度相关, 而且与斜坡地形条件、岩体介质风化程度、斜坡岩体结构发育特征等因素密切相关^[8-10]。宜宾长宁 M_s 6.0 级地震发生后, 为摸清震中地区地震诱发地质灾害等情况, 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组织应急小组赶赴灾区, 在震中区长宁县双河

收稿日期 (Received date): 2019-07-20; **改回日期** (Accepted date): 2020-12-28

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开放基金研究资助 (SKLGP2019K024); 国家自然科学基金 (41877235); 国家创新研究群体科学基金 (41521002)。[Open Research Funds of State Key Laboratory for Geohazards Prevention and Geo-environment Protection (SKLGP2019K024); National Natural Science Foundation of China (41877235); the Funds for Creative Research Groups of China (41521002)]

作者简介 (Biography): 张跃跃 (1996-), 男, 山东济宁人, 硕士研究生, 主要研究方向: 工程地质。[ZHANG Yueyue (1996-), male, born in JiNing, ShanDong province, M. Sc. candidate research on engineering geology] E-mail: 411747923@qq.com

* **通讯作者** (Corresponding author): 罗永红 (1981-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 工程地质。[LUO Yonghong (1981-), male, Ph. D., associate professor, specialized in engineering geology] E-mail: lyh445890689@qq.com

镇一带开展地震地质灾害应急调查,并对典型地震崩塌、滑坡滑源区及典型斜坡场地等进行环境噪声测试,基于测试数据采用水平与竖向谱比(HVSR)分析^[11-12],探究地震地质灾害分布与场地动力响应的关系^[13-14]。地质灾害应急调查和测试分析成果对震区的灾害评估、震后救援提供参考,同时也可为宜宾长宁地区地震后的恢复重建和地质灾害治理提供科学依据。

1 调查区地质概况

宜宾市地处四川盆地东南缘,同时处于北东向华蓥山-盐津断裂带与北西向马边-盐津交汇部位(图1),为地震强度相对较低但发震较频繁的地震带。

华蓥山-盐津断裂带,南起云南巧家,经莲峰、盐津、宜宾、荣昌,至重庆华蓥山,由一系列断续出露的北东向断层组成,断裂带宽约60 km,全长约650 km。该断裂带在盐津一带受北西向马边-盐津断裂切割,空间上明显分为巧家-盐津段,盐津-达县段^[15]。其中巧家-盐津段活动性较强,主体位于云南境内的山地。盐津-达县段位于四川盆地南

东缘,习惯上称为华蓥山断裂带,该带长约470 km。马边-盐津断裂带位于盆地西南边缘区域,呈北西-南东向,延伸长度可能超过300 km,是盆地的西南边界断裂,又称为雅安-宜宾隐伏断裂带^[16]。

根据1:20万地质图^[17-18],震中位于断裂交汇处,构造复杂,受不同时期应力场的作用,发育有多条规模不大的次级断裂。

长宁地区内以中低山地貌为主,海拔高程250~1750 m,局部发育中等切割峡谷,地表出露碳酸盐岩、中生代红层泥、砂岩。本次地质灾害应急调查位于震中区双河镇附近(图2)。

2 地震诱发地质灾害发育特征

以震中区双河镇为野外应急调查重点,涉及双河镇笔架村、金鱼村、大水村、金鸡村,以及富兴乡十里村等受灾严重区域。现场应急调查表明,沿北西向雅安-宜宾隐伏断裂带沿线,除地震诱发屋基沉降开裂、路基破坏(沉陷或路面隆起)等震害较为严重外,此次地震诱发斜坡次生地质灾害以小型崩塌、滑坡为主,规模一般不超过10 m³。此外,沿着北东向华蓥山隐伏断裂带,地震导致地表开裂变形、地面

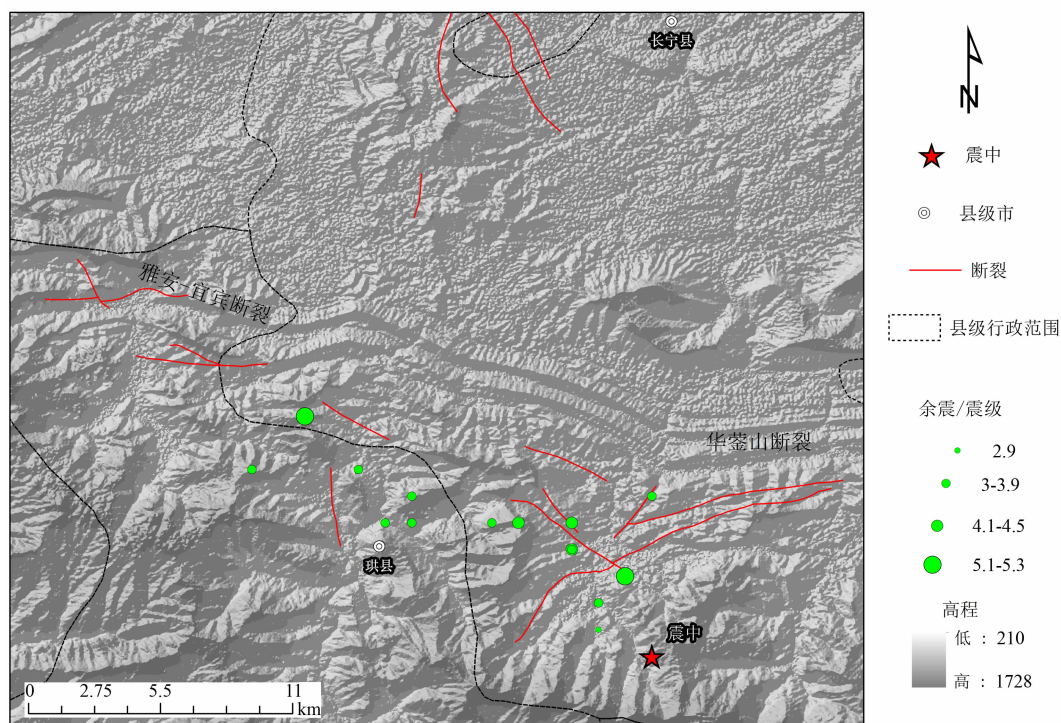


图1 震中位置及断裂展布特征^[17]

Fig. 1 Location of the epicenter and distribution characteristics of crustal fractures^[17]

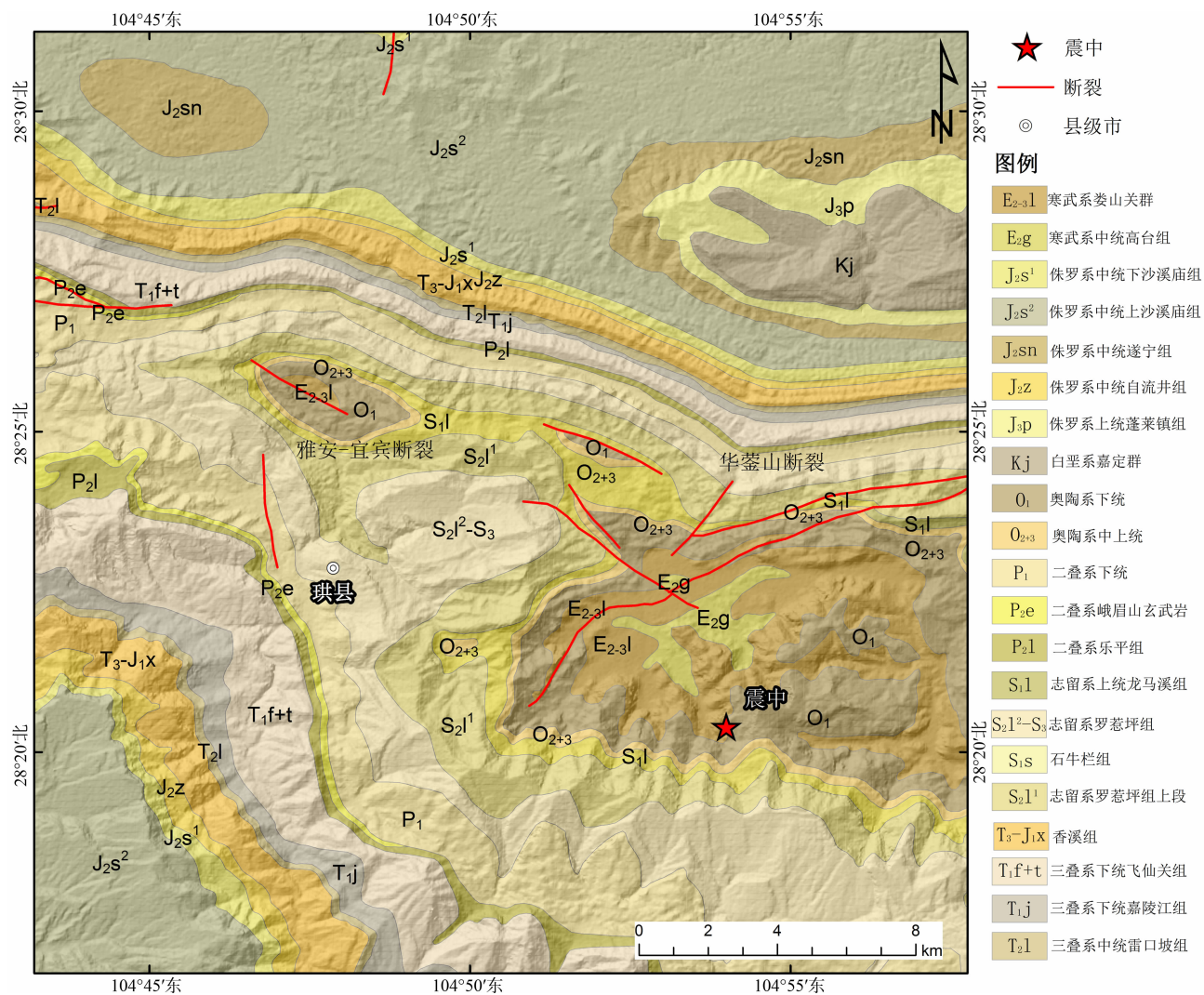


图 2 震中区地层出露特征^[18]
Fig. 2 Stratum characteristics of the epicenter^[18]

塌陷、喷水冒泥(粉土液化)等现象较发育。震中区同震地质灾害发育特征统计见表 1,震中区双河镇应急调查地质灾害分布见图 3。

表 1 同震地质灾害调查统计表
Table. 1 Statistical table of coseismic geo-hazards

灾害类型	数量/个	规模及分布特征	危害方式
崩塌	35	10 m ³ 内小型崩塌为主,沿道路两侧边坡分布	阻断公路,危及斜坡下方过往车辆及行人安全
滑坡	3	小型,沿公路边坡分布	阻断公路
基础沉降	较多	房屋、道路等建筑基础处分布,沉降量在15 cm 以内	对道路、房屋等建筑物基础造成破坏,影响安全使用
地表开裂	较多	在道路、田地等处分布,伴有粉土液化、小型塌陷坑	影响居民生产出行、生活用水等安全

调查表明,沿着北西方向笔架村一带,地震诱发小型崩塌较多,单个规模最大约 30 m³,主要沿开挖陡坎(或公路边坡)内侧发育,崩塌发育高度在 15 m 以内,部分影响交通通行。失稳坡体浅表层岩体风化较强烈,节理裂隙较发育,临空条件较好(图 4)。坡体失稳破坏部分受控于陡坎地形与浅表层强弱风化介质组合放大效应(图 4a、4b、4c、4d),部分受陡坡与坡体结构面组合影响(图 4e、4f)。

震中区内滑坡数量较少,其中区内最大规模地震滑坡位于距离长宁县宜叙高速双河镇入口约 2.5 km 处,地震诱发顺层岩质滑坡,堆积方量约 300 m³,阻断高速公路(图 5a);其余滑坡灾害主要为斜坡(>30°)浅表层松散堆积物,在地震作用下诱发表层土质滑动(图 5b),规模较小一般不超过 10 m³。

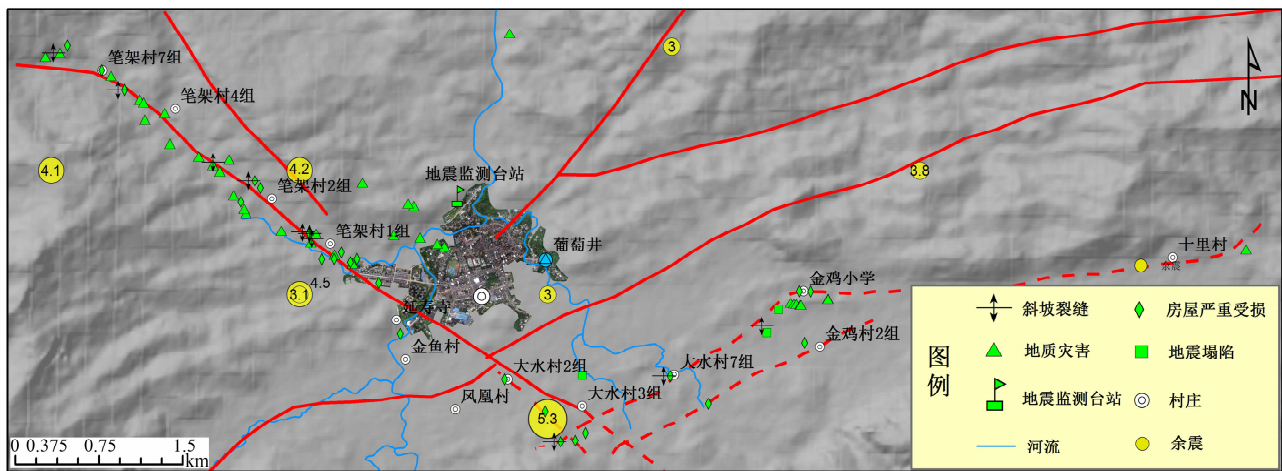


图 3 震中区双河镇应急调查地质灾害分布图

Fig. 3 The distribution map of geo - hazards of emergency investigation in Shuanghe Town



图 4 地震诱发崩塌灾害发育特征

Fig. 4 Development characteristics of earthquake - induced collapses

震中区除发育小型斜坡地质灾害外,沿双河镇北西侧大水村 2 组 - 延寿寺 - 笔架村 7 组,北东向大水村 3 组 - 金鸡小学 - 十里村等处,路基、屋基等

建筑物开裂或沉降变形较发育(图 6),竖向位移一般 5 ~ 10cm 不等,长度 10 ~ 30m 不等,因路基沉陷主要靠近陡坎或边坡部位,对道路中央的正常行驶

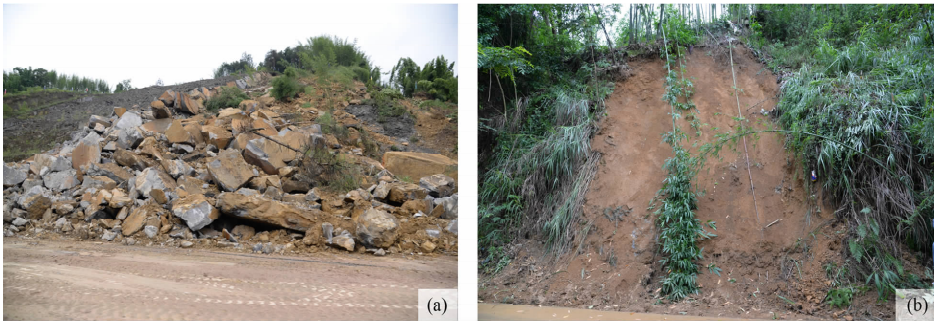


图 5 地震诱发滑坡灾害发育特征
Fig. 5 Development characteristics of earthquake - induced landslide



图 6 路基、屋基等变形及破坏特征
Fig. 6 Deformation and failure characteristics of road and building foundation

影响较小,但是由于路基沉降,加之雨水等因素的影响,存在二次变形或产生边坡滑塌破坏的风险。此外由于错动造成路面挤压隆起(图 6)等现象,影响交通及行驶安全。

沿双河镇北东向,地震导致延寿寺、大水村以及金鸡村等地表变形较严重,尤其是在双河镇大水村 7 组双河镇供水站一带,地震导致供水站泉水断流影响双河镇约 6000 人生活用水,并在供水站附近产生大量粉土液化现象,喷出黄色泥浆堆积院坝(图 7a、7b),在稻田间发育串珠状塌陷坑(图 7c、7d),以圆形和椭圆形为主,直径在 2 ~ 4 m 之间,深度在 2 m 以上,并且导致稻田水土流失枯竭。

3 场地及典型地质灾害点环境噪声测试分析

通过对震中双河镇地区地震诱发同震地质灾害应急调查表明,此次地质灾害虽不发育,但靠近震中附近斜坡场地地震动响应较为强烈。相关研究表明^[19-20],针对单一场地采用 HVSr 分析可获取场地响应特征。因此,为快速评价斜坡场地动力响应特征,通过环境噪声测试获取具有一定可靠度的场地基本共振频率等信息,用于表征场地动力响应特征。

本次对未破坏的一般场地与典型斜坡地质灾害破坏场地进行环境噪声对比分析测试。现场测试采

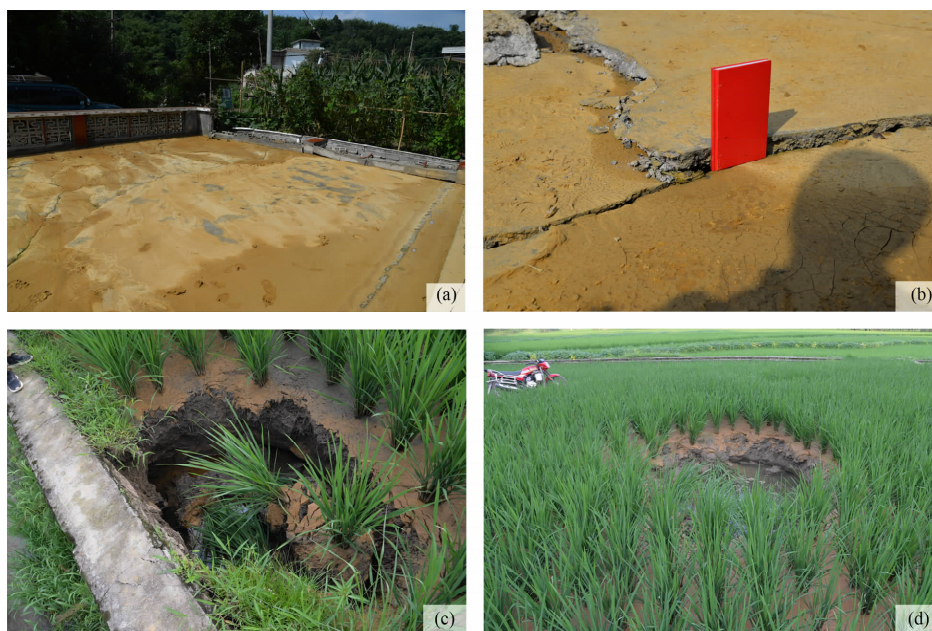


图7 粉土液化和地表塌陷

Fig. 7 Silty liquefaction and surface subsidence



图8 环境噪声测试

Fig. 8 Environmental noise test

用中国地震局工程力学所微震动传感器和GOINET-3 斜坡地震动监测数据采集仪,以及外接GPS 接收器组成(图8)。数据采集仪采样频率范围为1~2000 Hz,测量精度为0.005 mV,每个通道含独立的低噪声24 位ADC,动态范围可达120 dB。采集时分别采用三通道模式,获取水平向东西、南北及竖直向的环境噪声信息,每个点测试35~40 min。

在震中区选取两类测试场地:第一类,沿着双河镇登云亭至山脚荷叶村出露基岩及土质斜坡场地(图9,1#~6#测点);第二类,选取典型的小型崩塌、滑坡等灾害点的滑源区场地(图9,7#~12#测点)。数据处理采用Geopsy 软件,对单点场地水平/竖直向谱比(HVSR)进行分析,其谱比特征见图9。

1#~6#号测试点峰值频率与HVSR 放大值见表2,各测试点场地条件见表3。第一类测试场地在地

震中无滑坡、崩塌等地质灾害出现,其单点场地HVSR 谱比放大值在1.2~2.2 之间,场地放大效应最高位于登云亭山顶(1#),其次为坡脚土质场地(6#)。对比表明,山顶放大效应以低频值(4~6 Hz)为主,与山顶地形尺寸存在一定相关性,而坡脚等放大效应受到土层影响作用明显。此外,NS 向谱比放大峰值普遍高于EW 向,峰值频率在低频(0~10 Hz)和低频(10~20 Hz)都有出现,无明显规律。

7#~11#典型灾害点滑(崩)源区基岩场地(高程<450 m)测试显示,场地峰值频率多为高频率值(>12 Hz,表2),其放大峰值在1.1~2.6 之间,场地放大效应明显,除此外,12#场地峰值频率为低频值(4~5 Hz),放大峰值系数在2~2.5。对比两类场地环境噪声测试表明,第二类场地谱比放大强度略高于第一类场地,但均表现为NS 向谱比峰值普遍高于EW 向。

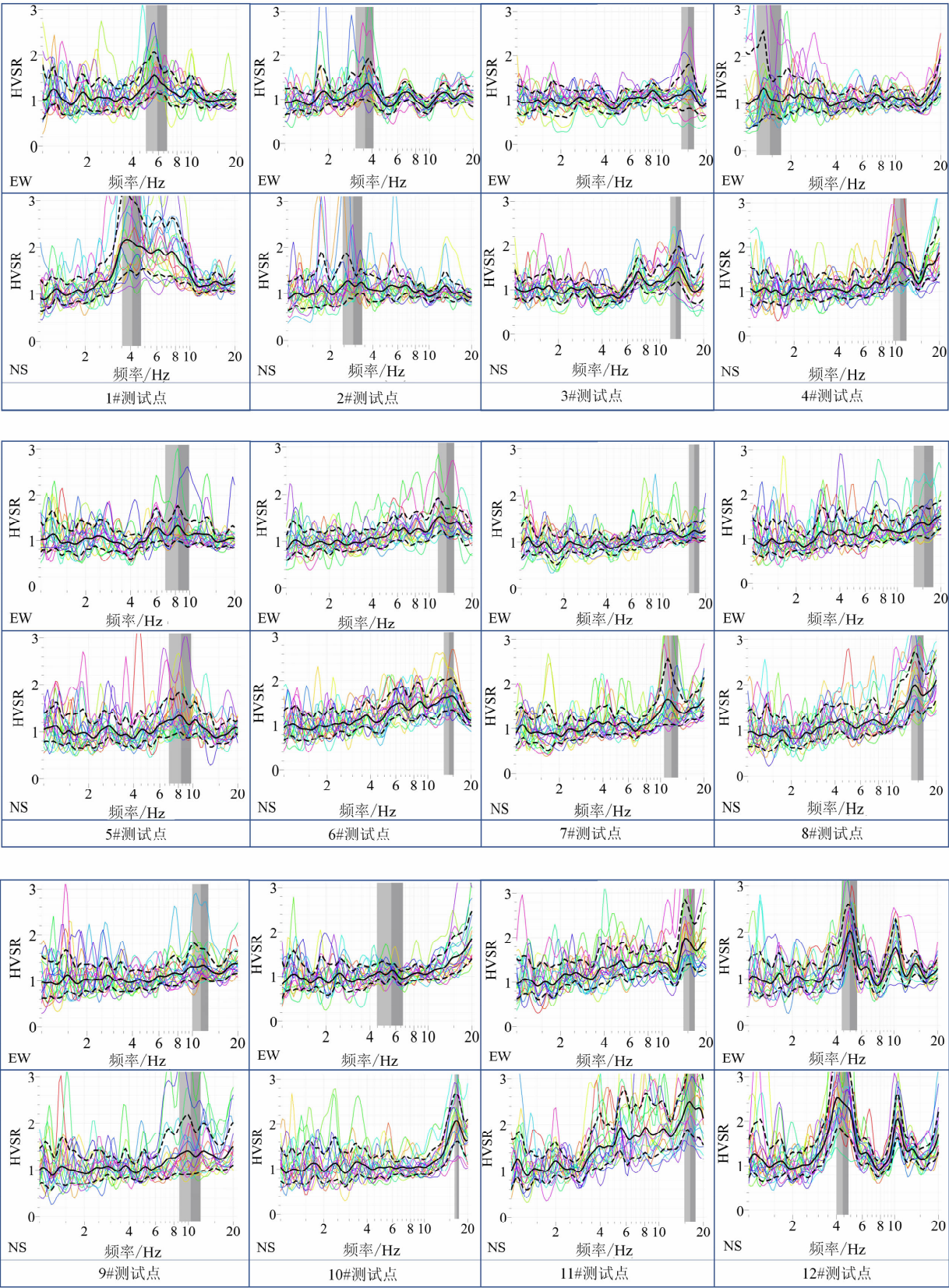


图 9 单点场地环境噪声 HVSR 谱比放大特征

Fig.9 Amplified characteristics of HVSR for ambient noise of single site

表 2 测试点 HVSR 峰值频率与放大值统计特征

Tab. 2 The peak frequency and amplified values of HVSR at test point

测试点				测试点			
		峰值频率/Hz	HVSR 峰值			峰值频率/Hz	HVSR 峰值
1#	EW	6	1.60	7#	EW	18	1.20
	NS	4	2.20		NS	12	2.00
2#	EW	4	1.30	8#	EW	18	1.30
	NS	3	1.30		NS	16	2.00
3#	EW	16	1.20	9#	EW	12	1.20
	NS	14	1.50		NS	12	1.40
4#	EW	0.80	1.20	10#	EW	6	1.10
	NS	12	1.60		NS	18	2.10
5#	EW	8	1.40	11#	EW	16	1.90
	NS	8	1.40		NS	18	2.60
6#	EW	12	1.40	12#	EW	5	2.00
	NS	16	1.80		NS	4	2.50

表 3 1#~6#号测试点统计

Tab. 3 1#~6# Details of test points

点号	经纬度	高程/m	场地地质条件
1#	104.88°E,28.38°N	362	山顶登云亭旁,砂泥岩互层结构
2#	104.88°E,28.38°N	347	人工开挖边坡处,微风化泥岩
3#	104.88°E,28.38°N	342	山间公路旁,砂泥岩互层结构
4#	104.88°E,28.38°N	334	山间公路旁,砂泥岩互层结构
5#	104.88°E,28.38°N	322	山脚位置,砂泥岩互层结构
6#	104.88°E,28.38°N	317	荷叶村土质场地,未见基岩

4 讨论

长宁 M_s6.0 地震与近年来西南地区主要地震相比,其主震震级不大,地质灾害类型多样、规模较小,主要沿北西、北东向两条隐伏断裂的地表同震破裂沿线分布。

通过对现场地震诱发地质灾害发育特征调查分析表明,地震诱发地质灾害主要分为两个因素,其一,由地震波引起的场地动力作用,如地基沉陷、边坡震裂等;其二,由断层活动产生的地表同震破裂作用引起灾害,如地表破裂缝、沿断层带沿线的串珠状塌陷、喷水冒泥浆等现象。对比两种作用产生的地震地质灾害现象,后者(地表同震破裂)作用导致场地破坏效应更加强烈,由此表明此次地震破坏效应

并非主导破坏效应因素。通过对比对应急调查区场地响应特征环境噪声测试显示典型斜坡灾害点场地谱比峰值总体上强于一般场地,且高频范围峰值放大效应明显,均具有 NS 分量的方向效应。由于典型灾害点分布均靠近隐伏断层地表破裂带,近活动断层场地的高频振动对于此类场地共振效应导致斜坡破坏失稳具有较强的影响,而且由于公路开挖边坡形成较陡坡度,失稳斜坡的整体坡向倾向 NS 临空方向,因此场地测试 NS 分量具有明显的方向效应。

除此外,个别基岩场地及斜坡灾害点在低频段产生比较明显的放大效应,如第一类测试场地 1#及 2#测试点在 3~6 Hz,单一放大峰值较明显,放大系数约为 2.2。分析表明 1#、2#测试点所处位置分别为山顶或靠近山顶附近,山顶地形凸出且孤立,测试场地受场地地形放大效应影响明显,因此 1#、2#场地低频段放大表现出明显的地形共振效应。第二类场地如 12#测试点(图 10)峰值频率在 5 Hz 附近,放大系数约 2.6,与其余峰值频率多在高频段出现的地质灾害点相比,其边坡高度更大(>10 m),推测为地形放大组合地层结构导致该顺层岩质滑坡的产生。

5 结论

通过对宜宾市长宁县 M_s6.0 级地震震中区双



图 10 12#号测试点

Fig. 10 12#Test point

河镇地震诱发地质灾害应急调查,以及对一般场地及典型地质灾害点环境噪声测试分析,得出以下结论:

(1)同震地质灾害主要有崩塌、滑坡、路基破坏(沉陷或隆起)、屋基沉降、地表裂缝或塌陷、粉土液化等类型,震害规模不大且主要沿北西向、北东向两条隐伏断裂分布。

(2)地震诱发地质灾害主要以断层活动产生的地表同震破裂致灾为主,其次为地震引起场地或斜坡动力响应导致。

(3)地震诱发典型斜坡灾害点场地谱比放大效应总体强于一般场地,且以近断层高频振动诱发斜坡产生共振效应导致破坏为主;应急调查区无论一般场地还是典型地质灾害点场地均存在明显 NS 分量的方向效应,揭示了场地放大效应受临空方向影响,与人为活动开挖公路边坡密切相关。

参考文献 (References)

- [1] 黄润秋. “5·12”汶川大地震地质灾害的基本特征及其对灾后重建影响的建议[J]. 中国地质教育, 2008, 17(2): 21-24. [HUANG Runqiu. Basic features of geological disasters of the “12 May” Wenchuan earthquake and suggestions for its impact on post-disaster reconstruction [J]. China Geological Education, 2008, 17(2): 21-24]
- [2] 黄润秋. 汶川地震地质灾害研究[J]. 工程地质学报, 2010, 16(4): 528-528. [HUANG Runqiu. Study on Wenchuan earthquake and geological disaster [J]. Journal of Engineering Geology, 2010, 16(4): 528-528]
- [3] 罗永红, 李石桥, 王梓龙. 尼泊尔地震诱发地质灾害发育特征及影响因素分析[J]. 地质灾害与环境保护, 2017, 28(3): 33-40.

- [4] LUO Yonghong, LI Shiqiao, WANG Zilong. Analysis on the development characteristics and influencing factors of earthquake-induced geological hazards in Nepal [J]. Geological Hazards and Environmental Protection, 2017, 28(3): 33-40]
- [4] 李秀珍, 孔纪名, 崔云, 等. 芦山地震诱发次生地质灾害的分布规律和类型、特征及演化趋势分析[J]. 工程地质学报, 2014, 22(2): 272-279. [LI Xiuzhen, KONG Jiming, CUI Yun, et al. Analysis of distribution rules and types, characteristics and evolutionary trends of secondary geological disasters induced by Lushan earthquake [J]. Journal of Engineering Geology 2014, 22(2): 272-279]
- [5] 谢和平, 邓建辉, 李碧雄. 四川芦山地震灾害调查与灾后重建的相关问题分析[J]. 地球科学与环境学报, 2013, 35(2): 1-7. [XIE Heping, DENG Jianhui, LI Bixiong. Analysis of problems related to Lushan earthquake disaster in Sichuan and reconstruction after disaster [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2013, 35(2): 1-7]
- [6] 戴岚欣, 许强, 范宣梅, 等. 2017 年 8 月 8 日四川九寨沟地震诱发地质灾害空间分布规律及易发性评价初步研究[J]. 工程地质学报, 2017, 25(4): 1151-1164. [DAI Lanxin, XU Qiang, Fan Xuanmei, et al. Preliminary Study on the Spatial Distribution and Vulnerability Evaluation of Geological Hazards Induced by the Jiuzhaigou Earthquake in Sichuan Province on August 8, 2017 [J]. Journal of Engineering Geology, 2017, 25(4): 1151-1164]
- [7] 黄润秋, 王运生, 裴向军, 等. 4·20 芦山 $M_s 7.0$ 级地震地质灾害特征[J]. 西南交通大学学报, 2013, 48(4): 581-589. [HUANG Runqiu, WANG Yunsheng, PEI Xiangjun, et al. 4·20 Lushan $M_s 7.0$ earthquake and geological disaster characteristics [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2013, 48(4): 581-589]
- [8] 黄润秋, 李为乐. “5.12”汶川大地震触发地质灾害的发育分布规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(12): 2585-2592. [HUANG Runqiu, LI Weile. Study on the development and distribution of geological disasters triggered by the “5.12” Wenchuan earthquake [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(12): 2585-2592]
- [9] 欧剑锋, 罗永红, 王运生, 等. 基于环境噪声及地震数据对斜坡地震动响应特征分析—以芦山仁加斜坡为例[J]. 山地学报, 2019, 37(3): 382-391. [OU Jianfeng, LUO Yonghong, WANG Yunsheng, et al. Analysis of response characteristics of slope ground motion based on environmental noise and seismic data: A case study of Lushan Renjia slope [J]. Journal of Mountain Science, 2019, 37(3): 382-391]
- [10] 张文, 刘勇, 王运生, 等. 地震作用下边坡及不利地质体的动力特征[J]. 山地学报, 2016, 26(6): 115-120. [ZHANG Wen, LIU Yong, WANG Yunsheng, et al. Dynamic characteristics of slopes and unfavorable geological bodies under earthquakes [J]. Journal of Mountain Science 2016, 26(6): 115-120]
- [11] ZHAO J X, IRIKURA K, ZHANG J, et al. An empirical site-classification method for strong-motion stations in Japan using H/V

- response spectral ratio [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2006, **96**(3): 914–925.
- [12] BONILLA, L. F. Borehole Response Studies at the Garner Valley Downhole Array, Southern California [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, **92**(8): 3165–3179.
- [13] ALBARELLO D, LUNEDI E. Alternative interpretations of horizontal to vertical spectral ratios of ambient vibrations: new insights from theoretical modeling [J]. Bulletin of Earthquake Engineering, 2010, **8**(3, SI): 519–534.
- [14] GALLIPOLI M R, MUCCIARELLI M, CASTRO R R, et al. Structure, soil-structure response and effects of damage based on observations of horizontal-to-vertical spectral ratios of microtremors [J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2004, **24**(6): 487–495.
- [15] 张乐天, 金胜, 魏文博, 等. 2012. 青藏高原东缘及四川盆地的壳幔导电性结构研究[J]. 地球物理学报, 2012, **55**(12): 4126–4137. [ZHANG Letian, JIN Sheng, WEI Wenbo, et al. 2012. Research on the crust-mantle conductivity structure in the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau and the Sichuan Basin [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2012, **55**(12): 4126–4137]
- [16] 李智武, 刘树根, 陈洪德, 等. 龙门山冲断带分段—分带性构造格局及其差异变形特征[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2008, **35**(4): 440–454. [LI Zhiwu, LIU Shugen, CHEN Hongde, et al. Segmental-zonal structural pattern of Longmenshan thrust belt and its differential deformation characteristics [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Natural Science Edition, 2008, **35**(4): 440–454]
- [17] 邓起东, 张培震, 冉勇康, 等. 中国活动构造基本特征[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2002(12): 54–64, 91. [DENG Qidong, ZHANG Peizhen, RAN Yongkang, et al. Basic characteristics of Chinese active tectonics [J]. Science in China (Series D: Earth Science), 2002(12): 54–64, 91]
- [18] 四川省第一区域地质测量队. 1973. 中华人民共和国筠连幅地质图(1: 20 万)[R]. 成都: 四川省地质矿产勘查开发局. [The First Sichuan Province regional geological survey team. 1973. Geological map on Junlian (1: 200000)[R]. Chengdu, Sichuan Provincial bureau of geological and mineral resource prospecting and development]
- [19] 荣棉水, 李小军, 王振明, 等. HVSR 方法用于地震作用下场地效应分析的适用性研究[J]. 地球物理学报, 2016, **59**(8): 2878–2891. [RONG Mianshui, LI Xiaojun, WANG Zhenming, et al. Research on applicability of HVSR method for site effect analysis under earthquakes [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2016, **59**(8): 2878–2891.
- [20] 余嘉顺, 韩超, 王绪本, 等. 地震放大效应与地下地质结构—龙门山山前玉皇观区域观测数据分析[J]. 地球物理学报, 2017, **60**(6): 2239–2255. [YU Jiashun, HAN Chao, WANG Xuben, et al. Seismic amplification effect and underground geological structure: analysis of observation data of Yuhuangguan area in front of Longmen mountain [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2017, **60**(6): 2239–2255]

Emergency Investigation on Geological Hazards Induced by Changning M_s 6.0 Earthquake, Sichuan, China

ZHANG Yueyue, LUO Yonghong*, WANG Yunsheng, ZHAO Bo, ZHU Xingmao

(State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geo-environment Protection, Chengdu 610059, China)

Abstract: On June 17, 2019, a magnitude 6.0 earthquake struck Changning County, Yibin City, Sichuan Province, China, resulting in a number of co-seismic geological disasters. An emergency field investigation on the formation of geohazards and the environmental noises of the earthquake sites was carried out in Shuanghe Town, the epicenter of the Earthquake. This investigation found that the earthquake-induced geological disasters mainly included rockfalls, landslides, roadbed damages (sink or bulge), subsidence of house foundation, surface ruptures or collapses, sand liquefaction and other types. Geological disasters were mainly distributed along two surface rupture zones referred to a northwest fault and a northeast fault. Rockfalls and landslides generated on slopes due to localized seismic effects were small in scale and low in density. The surface ruptures, surface subsidence, water spraying and sand emitting followed by co-seismic ground ruptures caused by fault activity consisted of co-seismic

geohazards. The magnification factors of the horizontal to vertical spectral ratio (HVSr) at typical disaster points were higher than those at general test sites, and mainly amplification at high frequency range (>10 Hz), which was closely related to the resonance effect caused by the high frequency vibration of the near active fault... The amplification values of the north-south component (NS) at survey points in the study area were generally higher than those of the east-west component (EW), which had obvious directional effect and was closely related to the direction of free face of slopes formed by highway excavation in the shock-hit area. The survey results provide scientific guidance for disaster assessment, post-quake rescue, post-quake reconstruction, and disaster management in earthquake-stricken areas.

Key words: Yibin earthquake; earthquake-induced geological disaster; environmental noise; horizontal to vertical spectral ratio; Direction effect

江西省宜黄县太极岩——天然丹霞石拱

(汪震,姜勇彪,东华理工大学地球科学学院)

江西宜黄盆地($27^{\circ}23'09''N \sim 27^{\circ}34'45''N$ 、 $116^{\circ}8'35''E \sim 116^{\circ}14'19''E$)位于江西省中东部,面积约 42 km^2 ,是以晚白垩纪陆相红色碎屑岩沉积为主的红层盆地,盆地内发育了典型的穿洞、石拱等丹霞地貌景观。太极岩是宜黄盆地内南北对穿的天然丹霞石拱,石拱跨径约 40 m ,西侧崖壁直通山底高约 30 m ,东侧崖壁高约 15 m ,石拱顶部岩体厚约 10 m ;石拱顶部岩体中有两组倾斜节理发育,将岩体分成三叠,形成半月形石拱,整体形状如太极图,故称为太极岩,此地因石拱又名石礅岩。明代著名地理学家徐霞客在《徐霞客游记》中记录道:“东西横跨,若飞梁半天”。太极岩下有一千年古寺—石巩寺,由被佛教誉为“马八祖”的马祖禅师创立,也称“马祖第一道场”,为中国禅宗重要的祖师道场。太极岩周围有十八座造型独特的丹霞石峰,如众星拱月,有“十八罗汉朝石礅”之称。

详见本期《江西宜黄盆地丹霞地貌特征分析》一文。