

利用汶川余震流动观测资料探讨地形 对峰值加速度的影响

姚 凯¹, 卢大伟², 刘旭宙¹, 周民都¹, 闵祥仪¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国地壳运动研究中心, 北京 100081)

摘要:2008年汶川8.0级地震后,使用相同仪器在甘肃文县县城山脚、山腰和山顶分别架设数字流动强震仪,获得12次近场强余震记录。分析表明地形起伏对于观测点的峰值加速度影响明显。山顶的加速度峰值在相同地质条件下较山脚的观测值大1.5倍左右,在记录值较大时优势频率也偏低。在强震动作用下同一地区的地形条件不同造成了地面峰值加速度和卓越频率的差异,致使山顶建筑物所受损坏程度普遍较重。初步分析结果提示对于不同地形条件下的建筑物抗震设计应有所不同。

关键词:场地效应;强震动;峰值加速度;汶川大地震;甘肃文县

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2009)01-0046-05

Using Observational Data from the Aftershocks of Wenchuan Great Earthquake to Study the Influence of Geography on Peak Ground Acceleration

YAO Kai¹, LU Da-wei², Liu Xu-zhou¹, Zhou Min-dou¹, Min Xiang-yi¹

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. National Earthquake Infrastructure Service, Beijing 100036, China)

Abstract: After $M_s 8.0$ Wenchuan great earthquake in 2008, we immediately installed digital strong earthquake instruments with same type near Wenxian county town, Gansu province, at mountain top, mountainside and foot of mountain respectively, and acquired 12 strong aftershock records. By analysis it is shown that difference of geography has effect to the peak ground acceleration (PGA) of observation point. The PGA values at top of mountain is 1.5 times or so to the value at foot of mountain which in same geological condition. The advantage frequency at the top of mountain are lower than at the foot of mountain, especially for that with bigger recorded values. Under strong ground motion, the differences of PGA and advantage frequency in same place caused by geography condition are main factor for earthquake damage being more serious at top of mountains. The result hints that the earthquake resistant design for engineering and building on difference geographic condition should be different.

Key words: Site effects; Strong ground motion; Peak ground acceleration; Wenchuan great earthquake; Wenxian county of Gansu province

0 引言

2008年5月12日四川汶川发生8.0级大地震

后,甘肃省地震局当天就派出强震动流动观测队伍,陆续在四川理县、甘肃陇南布设流动观测点,其中在

收稿日期:2008-06-08

基金项目:中国地震局“十五”重点项目《甘肃省数字地震观测网络项目强震动分项目》;中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2009014

作者简介:姚 凯(1962-),男(汉族),山西太原人,工程师,主要从事强震动观测与研究。

甘肃文县县城的山脚、山腰和山顶,使用美国凯尼公司生产的数字流动观测仪器各设一个测点,获得 12 次强余震的近场强震动观测资料,共 36 个三分向数字化记录,真实的反应了观测点的地表震动加速度。本文利用这些资料分析每一次地震事件在 3 个不同高程观测点峰值加速度的差异,以研究地形条件不同同时对强震峰值加速度的影响,为工程建设的抗震设计提供参考。

1 资料

2008 年 5 月 17 日在文县县城同一个山包上,在不同高度架设 3 台流动观测仪器(表 1)。各测点的地质条件基本相同,观测物理量为自由场地表加速度,仪器技术参数见表 2。

自 2008 年 5 月 22 日至 6 月 28 日期间,3 个流动台站都同时获得 12 次地震记录,震中距自 68 至 136 km。地震信息、各台站记录的最大加速度值和

记录资料时间长度见表 3。图 1 显示 12 次地震震中相对于观测点的方位,图 2 为 3 个观测点局部地区的相对位置,图 3 是 5 月 27 日宁强 5.7 强余震分别在山顶、山腰、山脚的加速度记录典型波形示例。

表 1 流动观测点信息

台站位置	经度	纬度	高程/m	仪器型号(内置摆)
山腰	104.671 585°E	32.946 060°N	960	ETNA(内置)
山脚	104.669 998°E	32.939 999°N	927	ETNA(内置)
山顶	104.670 000°E	32.940 000°N	969	ETNA(内置)

表 2 ETNA 流动强震动仪器参数

项目	技术指标
通道数及传感器制式	美国生产 etna 型强震动仪,内置式三分量传感器
显示记录信道	东西向;北南向;垂直向
满量程输入	±2.5 V;单端输入
频率响应	0~50 Hz
采样率	200 sps,可编程
数据通信	GPRS 无线通讯
功耗	小于 3 W(等待记录状态)
环境温度	-20 ℃~+70 ℃
灵敏度	1.25 V/G

表 3 记录地震事件信息

地震序号	日期	发震时间	震级/ M_s	经度/°	纬度/°	震中地名	震中距/km
1	2008-05-27	16:37:53	5.7	105.6	32.8	宁强	88
2	2008-05-27	21:59:34	4.9	105.16700	32.53300	青川	64
3	2008-06-05	12:41:08	5	105.00000	32.30000	青川	78
4	2008-06-07	10:18:00	3.2	104.93330	32.33330	平武	136
5	2008-06-07	14:28:35	4.3	105.40000	32.50000	青川	83
6	2008-06-08	06:14:29	4.7	105.10000	32.50000	青川	72
7	2008-06-10	10:14:00	3.7	105.05000	32.40000	青川	68
8	2008-06-17	13:51:00	4.5	105.60000	32.80000	宁强	87
9	2008-06-19	18:25:00	4.4	105.50000	32.80000	青川	78
10	2008-06-22	18:37:00	4.2	104.50000	32.20000	平武	84
11	2008-06-23	05:38:00	4.1	105.10000	32.40000	青川	72
12	2008-06-28	05:42:13	4.8	105.90000	32.31667	平武	136

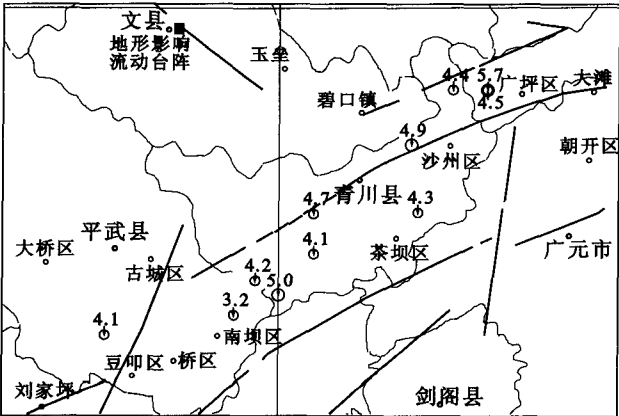


图 1 观测台阵位置和 2008 年 5 月 27 日—6 月 28 日余震布
Fig.1 Distribution of the after-shocks from May 27 to June 28 and position of observation stations at Wenxian county, Gansu province, after Wenchuan great earthquake with M_s 8.0 in 2008.

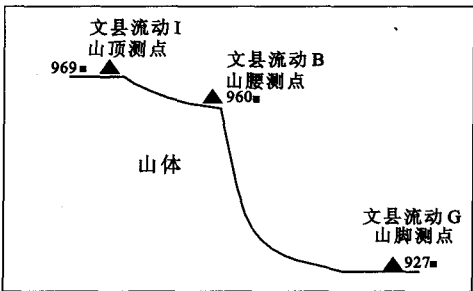


图 2 文县流动台观测点相对位置示意
Fig.2 The related positions of observation station near Wenxian county town.

2 地表峰值加速度记录

对数字记录进行基线校正后,按地震事件依次读取 3 个台站记录的峰值加速度(表 4)。为了对比架设于 3 个不同场地的台站记录同一地震事件峰值

加速度的差异,在12个地震事件中选择第1、2、5、9次的记录对比示于图4,图中横坐标1、2、3依次表示东西向、北南向和垂直向。4个典型记录中北南向的差异最大,山顶记录的峰值加速度(PGA)较山

脚约大1.5倍。其它几次余震记录也显示:对于同一个地震事件,山顶记录的峰值加速度大于山腰,而山腰记录通常也略大于山脚(表4)。

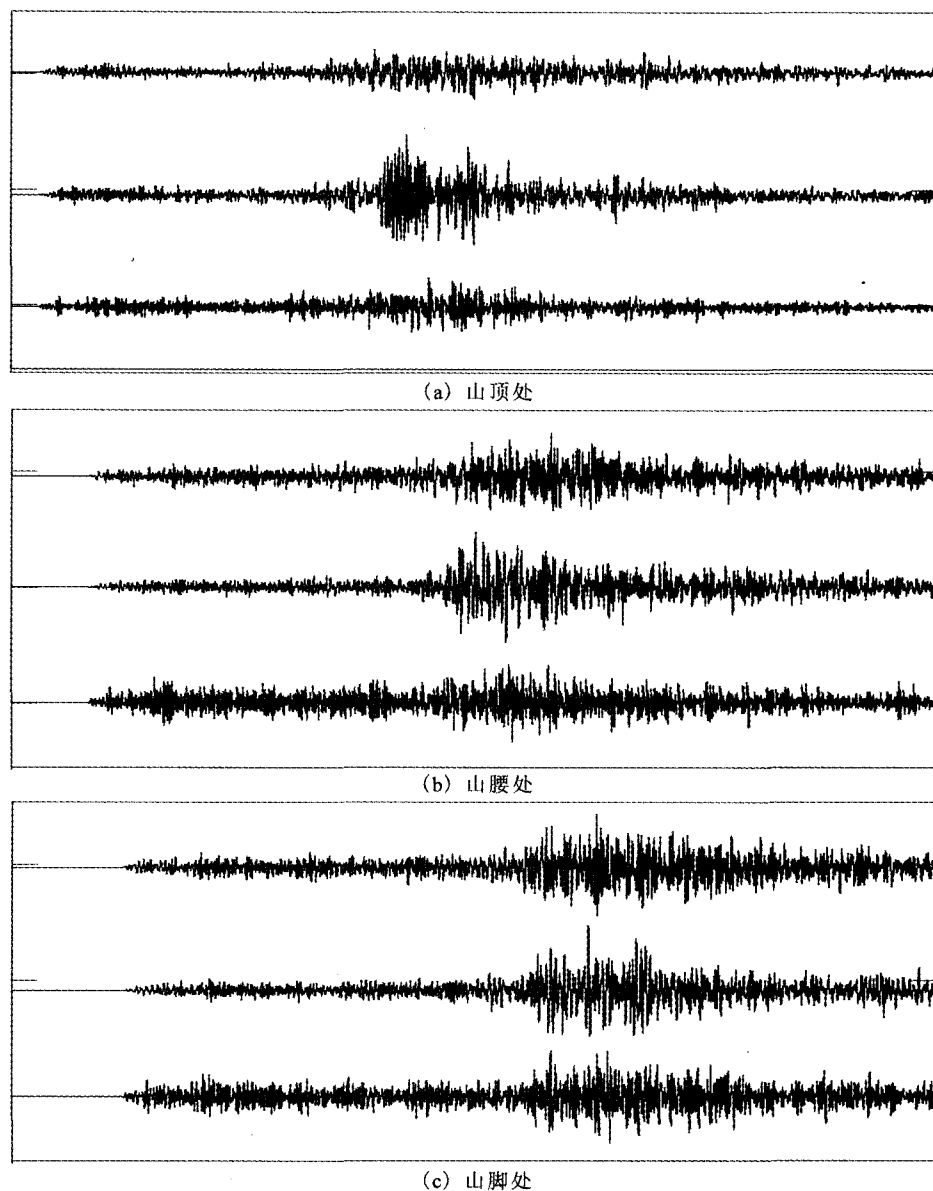


图3 文县3个台记录的2008年5月27日宁强5.7级强余震波形

Fig. 3 The recorded seismic waves of the Ningqiang $M_s5.7$ strong after-shock on May 27, 2008, from stations near Wenxian county town at mountain top, mountainside and foot of mountain separately.

从图2可以看出架设于山腰的仪器(文县流动B测点)距陡坡较近,由于陡坡自由面的影响,在一些事件观测结果中,某个分量的水平向峰值加速度也偶然大于山顶该分量的值(如发生于平武的第4、第12个地震事件记录)。

3 3个不同地形观测点加速度的比较

在对3个不同地形的观测点获得的地震事件的

加速度按照各分量进行比较的基础上,为了弱化方位的影响,计算各次地震记录的东向西、北南向、垂直向峰值加速度的平方和,然后再开平方,将其结果列于表4。图5为12次事件分别在山脚、山腰、山顶的加速度计算值的差别。

由图可见,除了第3次地震事件,其山腰加速度的记录小于山脚、山顶外,其余各次记录基本显示山

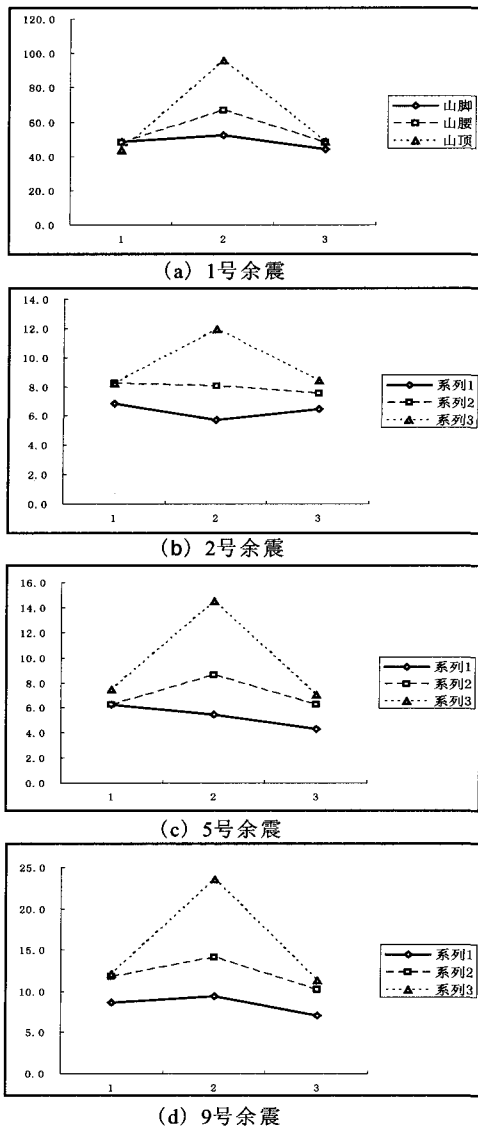


图 4 4 次典型地震记录各测点峰值加速度对比(横坐标 1、2、3 依次表示东西向、北南向和垂直向)

Fig. 4 Comparison among the PGA of 4 typical after-shocks recorded by 3 stations at Wenxian county town.

顶加速度大于山脚以及山腰的记录。而且,加速度计算值越大(震级越大或观测点距震中地点越近),山顶加速度计算值大于山脚的现象更趋明显(最上一条线为 2008 年 5 月 27 日宁强 5.7 级地震,震中距 88 km)。

4 傅立叶谱分析

将 3 个观测点获得的 12 次事件的数字记录一一进行傅立叶谱分析,分别读出其 3 个分量的优势频率点,发现大多数事件中东西向的优势频率均有山顶低于山脚的趋势,尤其是在加速度记录大于 20 gal 的第 1、第 3 个事件中(宁强 5.7、青川 5.0),这

个规律非常明显(图 6)。低频率、强烈度对于房屋的破坏力更大,本文显示的强震动观测结果,提示在较高地势建造的房屋,其抗震设防更值得注意。

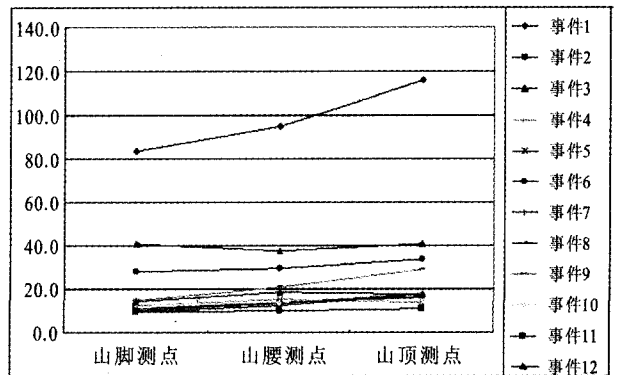


图 5 不同地形观测点获得的地震事件的加速度计算值的比较

Fig. 5 Comparison of PGA records from 3 stations at Wenxian for 12 events.

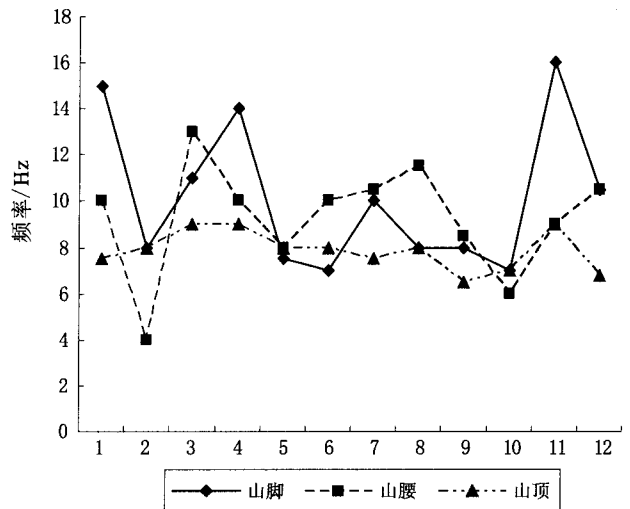


图 6 12 次记录中山脚、山腰、山顶观测点的优势频率比较(东西向)

Fig. 6 Comparison of advantage frequency among 3 stations records for 12 events.

5 结论

通过实地观测资料计算峰值加速度和傅立叶谱初步分析,表明地形起伏对于观测点的峰值加速度和优势频率影响明显。在地震动强烈时山顶的加速度峰值较山脚相同地质条件的观测值约大 1.5 倍,优势频率也偏低。汶川地震中一个普遍现象就是山顶房屋的震害大于平川地区,除了可能与两地房屋建筑质量有差别而外,本次实地观测资料证实建筑场地的地形和高差也会显著影响震害程度,因此,在

表 4 自由地表峰值加速度及其优势频率计算结果

地震 序号	台站编号	震中距 /km	记录 文件名	峰值加速度/gal			加速度计算值 /gal	东西向加速度 优势频率/Hz
				东西向	北南向	垂直向		
1	文县流动 G	88	L7271637	48.2	52.1	44.3	83.7	15
	文县流动 B	88	L2271640	47.8	66.6	47.7	94.9	10
	文县流动 I	88	L9290351	43.5	95.6	48.2	115.6	7.5
2	文县流动 G	64	L7272158	6.9	5.7	6.5	11.0	8
	文县流动 B	64	L2272200	8.2	8.0	7.5	13.7	4
	文县流动 I	64	L9290355	8.2	11.9	8.4	16.8	8
3	文县流动 G	78	L7051242	21.6	25.5	23.5	40.8	11
	文县流动 B	78	L2051242	20.4	21.6	4.3	30.0	13
	文县流动 I	78	L9061443	18.8	27.8	23.5	41.0	9
4	文县流动 G	136	L7071018	8.2	4.7	8.2	12.6	14
	文县流动 B	136	L2071018	7.4	8.2	10.6	15.3	10
	文县流动 I	136	L9071016	7.8	7.1	8.7	13.7	9
5	文县流动 G	84	L7071429	6.3	5.5	4.3	9.4	7.5
	文县流动 B	84	L2071429	6.3	8.6	6.3	12.4	8
	文县流动 I	84	L9071427	7.4	14.5	7.1	17.8	8
6	文县流动 G	72	L7080615	19.6	14.5	13.7	28.0	7
	文县流动 B	72	L2080615	17.6	17.2	16.1	29.4	10
	文县流动 I	72	L9080613	15.3	24.7	17.2	33.8	8
7	文县流动 G	68	L7101016	7.1	5.9	6.3	11.1	10
	文县流动 B	68	L2101016	7.8	8.6	6.3	13.2	10.5
	文县流动 I	68	L9101014	11.8	9.4	8.6	17.4	7.5
8	文县流动 G	87	L7171351	5.5	6.7	5.1	10.0	8
	文县流动 B	87	L2171352	6.7	8.2	9.0	13.9	11.5
	文县流动 I	87	L9171352	7.1	12.2	7.4	15.9	8
9	文县流动 G	78	L7191826	8.6	9.4	7.1	14.6	8
	文县流动 B	78	L2191827	11.8	14.1	10.2	21.0	8.5
	文县流动 I	78	L9200624	12.2	23.5	11.4	28.8	6.5
10	文县流动 G	84	L7221836	8.8	6.3	7.1	12.9	7
	文县流动 B	84	L2221842	8.2	7.4	8.2	13.8	6
	文县流动 I	84	L9221840	12.5	11.4	5.9	17.9	7
11	文县流动 G	72	L7230536	5.9	4.7	5.9	9.6	16
	文县流动 B	72	L2230543	5.5	5.6	6.3	10.0	9
	文县流动 I	72	L9230543	6.3	7.8	4.7	11.1	9
12	文县流动 G	136	L7280543	9.4	5.5	9.4	14.4	10.5
	文县流动 B	136	L2280542	13.3	9.4	8.6	18.5	10.5
	文县流动 I	136	L9280542	11.0	10.6	9.0	17.7	6.8

地震灾后恢复重建工作以及新建、改建、扩建一般建设工程的抗震设计时,应该考虑地形影响因素,适当提高典型山区场地工程或民房建筑的抗震设防标准。

[参考文献]

[1] 闵祥仪. 2003 年 10 月 25 日甘肃民乐—山丹 $M_s6.1$ 地震强震

近场记录和分析[J]. 西北地震学报, 2003, 25(4): 289-292.

[2] 唐丽华. 伽师—巴楚地区中强地震加速度衰减关系研究[J]. 西北地震学报, 2007, 29(4): 377-379.

[3] 李韬, 马建新. 地震拟合相关系数在青海地区地震预报中的应用[J]. 西北地震学报, 2008, 30(2): 184-188.

[4] 刘旭宙. 2008 年 5 月 12 日汶川 $M_s8.0$ 地震强震记录与初步分析[J]. 西北地震学报, 2008, 30(3): 266-269.