

陇南山区局部地形对地震动强度的影响

孙崇绍, 闵祥仪, 周民都

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:利用汶川大震后在文县县城附近架设在同一地点不同高度的三个流动台获取的 7 次强余震的记录, 通过对原始记录做零线调整并计算记录时程均方根值, 研究了局部地形高差对强震地震动的影响。结果表明, 局部孤突地形对地震动加速度有明显的放大作用, 在进行山区建筑选场和城镇规划时必须充分考虑局部地形的放大作用和影响。

关键词: 汶川大地震; 地震动; 流动台; 局部孤突地形; 峰值加速度; 均方根值

中图分类号: P315.913

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2011)04-0331-05

Influence of Local Topography on Ground Motion in Mountain Region of Southern Gansu Province

SUN Chong-shao, MIN Xiang-yi, ZHOU Min-du

(Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on seven strong aftershock accelerograms recorded by three mobile stations installed on the top, half way and foot of a small hill respectively near Wenxian county town after the great Wenchuan earthquake, through adjusting the reference line of the records and calculating the root-mean-square (RMS) of the records, the influence of the local topography on ground motion during strong shocks are studied. The result shows that the isolated-protruding topography has obviously amplifying action to the ground motion acceleration. So it is necessary to evaluate the influence of local topography on ground motion during strong shocks in urban and town planning.

Key words: Great Wenchuan earthquake; Ground motion; Mobile station; Local isolated-protruding topography; Peak acceleration; Root-mean-square (RMS)

0 前言

大震作用下局部孤突地形对地震烈度和建筑物破坏的影响已为历次大震的震害分布所证实, 这一问题也早已引起了地震工作者的密切关注。有的作者用分析方法研究了这一问题, 探讨了孤突地形对地震作用放大的机制^[1-2], 1970 年云南通海地震时对孤突地形的影响曾做过详细的研究, 地震中共收集到 67 个位于孤立小山头上的村庄以及相应的山下村庄的震害情况, 用震害指数做了对比, 确定了上下村庄之间震害指数的差异^[3], 陈丙午采用双向剪

切模型计算了该次地震时云南某山嘴孤突地形对地面加速度值的放大作用, 计算结果与宏观调查的震害分布结果相当吻合^[2]。其他强震时也有不少宏观的对比资料, 但多以宏观考察性的资料为主, 比较零碎^[4]。总之, 以上述及的这些研究, 大都限于宏观考察及分析方法得到的结果, 有些考察和分析尽管做得很详细, 但缺乏仪器纪录, 不能定量说明地形影响的程度, 也不能说明在地形的影响中哪一个物理量起到了主要的作用。

收稿日期: 2010-03-24

基金项目: 西部交通建设科技项目(武罐高速公路抗震优化设计及灾害防治技术研究); 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2011001

作者简介: 孙崇绍(1936—), 男(汉族), 山东济宁人, 研究员, 主要从事地震工程及地震区划研究。

汶川大震时,甘肃省陇南地区的烈度达Ⅶ~Ⅷ度,烈度随地形高度的差异在主震时再次为震害的宏观分布所证实。陇南地区山大谷深,短距离之内地形差异很大。为取得局部孤突地形对地震动定量的影响数据,主震后在甘肃省距离震中最近的文县增设了 15 处流动强震台,其中专门增设了一组 3 个研究地形高差影响的流动台,架设在文县县城旁一个小山梁上,分别位于山顶、山腰和山脚处。这些流动台记录到了很多汶川地震强余震。目前有人利用 3 个流动台记录到的余震资料对有关地形对地震动的影响做了初步研究,如姚凯^[8]等曾用 2008 年 6 月间 12 次余震的记录比较了上述设在山顶、山腰和山脚处各台的伪矢量峰值加速度,论证了局部地形对峰值加速度的影响。本文对地形的影响做进一步的研究,选取流动台自建立之日起至 2008 年 9 月记到的较大的、峰值加速度大于或接近 10 gal,能较好反映地形高差影响的强余震,通过对原始记录做零线调整和计算记录时程均方根值,研究局部地形对强震地震动的影响。

1 流动台概况

选定的观测地点为一高差 40 余米的小山梁。山梁的相对高度约 50 m,山梁长 250 m,延伸近 SN 向,前端顶部宽约 150 m,两侧山坡的坡度 40°~45°左右。山体系被切割的古坡积—洪积阶地,为杂乱堆积的碎石,分选很差,夹有粗砂薄层,隐约可见有层理。地表有残坡积的粉质粘性土层覆盖,厚度由 2~3 m 至 5~6 m 不等。山梁上下场地结构基本一样。观测台有三个,所用的仪器都是美国生产的 Etna 内置式强震仪。三个流动台分别架设在山梁的顶部、中部和坡脚处,其基本情况如表 1,高度的分布见图 1,山梁的结构见图 2。

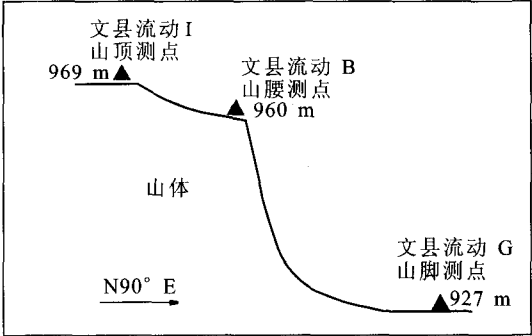


图 1 文县流动台观测点相对位置示意
(台站名称下面的数字为标高)

Fig. 1 Sketch of the position of mobile stations near Wenxian county town (The data below stations are its altitude).

表 1 流动台的位置、仪器型号及场地类型

流动台号	位置及场地土类	高程/m	仪器型号
G	文县县城附近,山脚,土层	927	Etna(内置)
B	文县县城附近,半山腰,土层	960	Etna(内置)
I	文县县城附近,山顶,土层	969	Etna(内置)



图 2 山梁的场地土结构
Fig. 2 Soil structure of the hill beam.

2 地震资料的处理

本文选取了流动台架设之后至 9 月间记录到的汶川地震强余震峰值加速度大于或接近 10 gal 的事件,共计 7 个。这 7 次强余震的震中分布及震级见图 3、表 2。

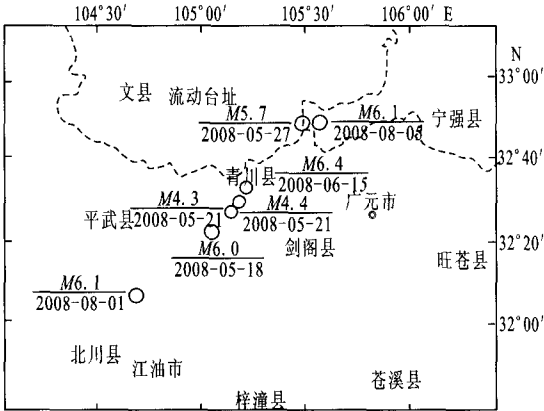


图 3 所选 7 次强余震的震中位置

Fig. 3 Epicentral distribution of selected seven strong aftershocks recorded by mobile stations.

加速度很早就被作为衡量地震动强弱的物理指标,本文中考虑的物理指标也从峰值加速度入手。表 3 中列入了各次事件的峰值加速度。但“峰值加速度”的概念不十分明确。表中的数据是从强震仪的读数中得到的,强震数字化采样是等时距的,采样时间间隔为 0.005 s,应该说表 3 中列出的峰值加速

表 2 7 次强余震的震中位置

余震 编号	地震发生 日期	发震 时间	震级 /M	震中位置		
				地点	经度/°E	纬度/°N
1	2008-05-18	01:08:28	6.0	四川江油	105.080	32.370
2	2008-05-21	17:33:17	4.4	四川青川	105.180	32.530
3	2008-05-21	23:29:57	4.3	四川青川	105.100	32.440
4	2008-05-25	16:21:53	6.4	四川青川	105.383	32.667
5	2008-05-27	16:37:53	5.7	陕西宁强	105.60	32.80
6	2008-08-01	16:32:00	6.1	四川平武	104.70	32.10
7	2008-08-05	17:48:00	6.1	四川青川	105.50	32.80

度和实际的峰值加速度基本一致。但是峰值加速度的分布很复杂,最大和次大的加速度值以及总体的加速度的分布往往没有一定的规律可循^[3]。峰值加速度有偶然性,不能从整体上反映地震动的强度,如表 3 中的第一次余震(2008 年 5 月 18 日,江油 M6.0)时山顶台(I 台)的记录就偏小。克服和避免这一误差的方法有很多^[3],其中较为简单而有效的方法是计算加速度的均方值(RMS)。均方值定义是

$$a_{rms}^2 = \frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} a^2(t) dt \tag{1}$$

式中 T_d 为计算持时; $a(t)$ 为 t 时刻的加速度记录值。对离散的数据,将 $a(t)$ 的离散采样写成 $X(i)$,均方值可表示为

$$RMS = \frac{\sum_{i=1}^N X(i)^2}{N} \tag{2}$$

式中 $X(i)$ 为每一离散点的加速度值; N 为离散点总

数。

可见,均方值反映了某一过程的总体强度,计算均方值时需要考虑记录时程的起、终时刻和持时。确定一次地震记录的持时的方法很多^[3],对于同一个地震事件确定持时的原则和方法必须一致。由于这 3 个台站的震中距大致相等,其加速度记录的波形在整体上基本相似(图 4),7 次地震记录的主要部分持时都在 4~8 s 左右,因此采用了记录的主要部分作为计算长度,大致相当于前后两端取 a_{max} 的 1/3。在计算地震动的均方值时,首先对各台站的记录进行零线校正。计算结果也列入表 3。

3 结果分析

在比较时仅选用了两个水平向的记录,垂直分量的震动高频成分较多,而且对建筑物的影响远不如水平向的显著,所以不用来作为比较的数据。不同高度的三个流动台记录的均方值之比见表 4。

由表 4 可见,采用均方值比较时,7 次强余震加速度都随局部地形的高度增加而增大,反映了局部地形的放大作用。山顶和山脚之间两流动台的高差达 42 m,水平 EW 向地震动的放大倍数 1.37~2.15,平均可达 1.77,NS 向地震动的放大倍数 2.11~3.78,平均可达 2.85;山顶和半山腰间高差为 9 m,水平向地震动均方值的放大倍数平均达 1.20~

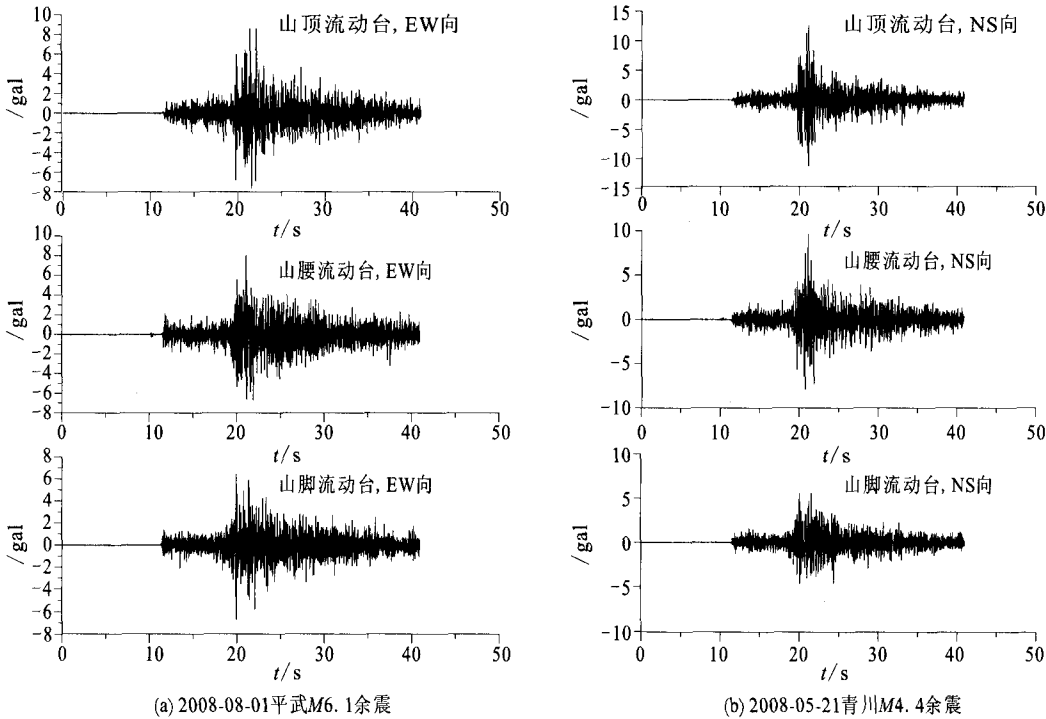


图 4 3 个流动台记录的 2 次典型余震加速度时程

Fig. 4 The time histories of two selected strong aftershocks recorded by three mobile stations.

表 3 各流动台记录的加速度峰值

余震 编号	流动台	震中距 [*] /km	峰值加速度/[cm·s ⁻²]			(ΣX ² /N)		计算均方值 所用持时/s
			EW	NS	UD	EW	NS	
1	I	74	12.3	12.8	9.4	60.1	53.6	8.192
	B	74	61.9	53.7	44.0	50.3	42.9	
	G	74	44.0	42.7	41.5	29.5	25.4	
	C	74	41.0	63.5	56.8	—	—	
2	I	70	11.8	15.7	15.7	1.47	2.41	4.096
	B	70	16.3	17.1	18.0	1.39	1.35	
	G	70	13.6	11.1	13.3	0.97	0.77	
3	I	67	8.2	11.7	6.7	3.29	3.77	4.096
	B	67	8.0	9.0	6.6	3.02	3.15	
	G	67	12.6	11.3		2.20	1.86	
4	I	73	—	—	—	—	—	8.192
	B	73	80.0	106.0	94.0	99.8	130.8	
	G	73	65.5	96.8	95.6	72.4	79.0	
5	I	89	43.5	95.6	48.2	38.8	104.5	8.192
	B	89	47.8	66.6	47.4	36.8	47.8	
	G	89	48.2	52.1	44.3	28.2	27.9	
6	I	94	40.4	43.1	32.1	38.9	37.1	8.192
	B	94	36.8	38.4	35.3	28.4	27.1	
	G	94	35.7	27.4	25.5	19.2	16.0	
7	I	79	36.5	69.0	29.4	24.1	48.8	8.192
	B	79	30.6	39.6	32.5	16.8	22.7	
	G	79	29.0	31.4	25.1	11.2	12.9	

* 山上、半山腰及山下 3 个流动台之间的距离与震中距相比很微小,故可认为 I、B、G 三台的震中距相同。

表 4 各次强余震不同高度流动台站所记得的峰值加速度均方值的比值

余震 编号	山顶(I)/半山腰(B)(高差 9 m)		半山腰(B)/山脚(G)(高差 33 m)		山顶(I)/山脚(G)(高差 42 m)	
	EW	NS	EW	NS	EW	NS
1	1.19	1.25	1.71	1.69	2.04	2.11
2	1.06	1.79	1.43	1.75	1.52	3.13
3	1.09	1.20	1.37	1.69	1.49	2.03
4	—	—	1.38	1.66	—	—
5	1.05	2.19	1.30	1.71	1.37	3.74
6	1.37	1.37	1.48	1.67	2.03	2.29
7	1.43	2.15	1.50	1.76	2.15	3.78
平均值	1.20	1.66	1.45	1.70	1.77	2.85

1.66;半山腰和山脚间高差为 33 m,水平向地震动均方值的放大倍数平均达 1.45~1.70。换算成宏观烈度,局部地形高差在 50 m 左右时,山梁上的烈度比山脚处几乎可提高一度。

值得注意的是,NS 向加速度的放大值都大于 EW 向。即顺着山梁走向地震动的放大反而比垂直于其走向的要大,这与我们认识的概念不同。从这 7 次记录的结果来看这一现象不是偶然的,究竟是什么原因引起有待于将来进一步的研究。本文所用的流动台站都设在一条孤突山梁的端部,因而上表中列出的数据中除地形的高差的影响而外,还有孤突山梁端部鞭梢效应的影响,比单纯地形高差的影响稍高。

汶川大震以后,陇南地区大量的宏观震害调查

结果都明显反映了局部地形高度的放大作用。考虑到这一点,震后甘肃省建设厅在组织紧急编制《甘肃省陇南、甘南灾区恢复重建建筑抗震技术规程》时,规定了表 5 所示的调整系数。

表 5 水平地震影响系数最大值随地形比高的调整系数^①

地形相对高差 ΔH/m	30≤ΔH<50	50≤ΔH<100	ΔH≥100
调整系数 λ	1.1	1.3	1.6

从本文分析的结果来看,山顶—山脚间的高差为 42 m,EW 向放大倍数平均为 1.77,与表 5 中高差 50~100 m 之间的数值相差不多;但是从山顶和半山腰之间的结果来看,高差在 30m 以下已有放大

^① 甘肃省建设厅. 甘肃省陇南、甘南灾区震后恢复重建建筑抗震技术规程. 2008.

作用。所以表5中将水平向加速度放大地形高差下限定为30 m,比较偏于危险,尚应当考虑30 m以下地形高差的影响。

本次流动台的架设地段为洪积碎石层,表面有风化层及残坡积层,累计厚度可达5~6 m。构成局部孤突地形岩性多种多样,不同的岩性构成的局部地形的放大倍数也不相同。本文所引用的材料仅是其中的一例,尚不能对局部地形的放大作用作做普遍性的论证。

流动台的记录没有取得高差大于50 m以上的实际资料。更多历史地震的震害调查表明,地震动的强度不是随高差的增大而一直上升,地形的高差不能无休止的放大地震动参数。表5中的数据是为了增加孤突地形高处民居的安全度而制定的,反映了地形放大的总体趋势。本文所引用的几次强余震的记录说明表5中规定的标准总体上是可行的。

4 结论

(1) 局部地形的影响为文县附近强震流动台站的多次记录所肯定。7次强余震的加速度都随局部地形的高度增加而增大,反映了局部地形的放大作用。高差42 m、洪积层碎石构成的孤突山梁顶上对中强地震的地面震动强度显示出了明显的放大作用,水平EW向地震动的放大倍数1.37~2.15,平均可达1.77,NS向地震动的放大倍数2.11~3.78,平均可达1.66~2.85倍,即局部地形50 m左右的高差,地震烈度几乎可提高一度;半山腰和山脚之间的高差33 m,水平向地震动的放大倍数平均可达

1.30~1.76,平均1.58倍;山顶和半山腰之间9 m多的高差也已经显示出地形的影响。

(2) 本文所用的流动台站架设在孤突的山梁的前端,除地形的高差而外,还有孤突山梁鞭梢效应的影响,所以比单纯地形高差的影响要强一些。

(3) 不同的岩性构成的局部地形的放大倍数也不相同。本文所引用的材料仅是其中的一例,对局部地形的放大作用仅能作趋势性的说明。

(4) 汶川地震以后,甘肃省建设厅编制的《甘肃省陇南、甘南灾区恢复重建建筑抗震技术规程》中规定的地震动峰值加速度随地形高差调整系数,基本符合当地的实际,但是地形影响的起始高度定为30 m,略显不够安全,宜进一步考虑30 m高差以下局部地形的影响。

[参考文献]

- [1] 陈丙午. 不规则地形对地震动及震害的影响[J]. 地震工程与工程振动, 1982, 2 (1): 12-19.
- [2] Chen Bingwu, Sun Chongshao. Characteristics of ground motion during strong earthquake in loess region[A]// A collection of papers of inter. symp. on continental seismicity and earthquake pred[C]. Beijing: Seism. press, 1984: 781-797.
- [3] 胡聿贤. 地震工程学[M]. 北京: 地震出版社, 2001: 9-11, 94-95.
- [4] 国家地震局兰州地震研究所, 宁夏回族自治区地震队, 编著. 一九二〇年海原大地震[M]. 北京: 地震出版社, 1980: 93-94, 114.
- [5] 姚凯, 卢大伟, 刘旭宙, 等. 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[J]. 西北地震学报, 2009, 31(1): 46-50.