

# 甘肃省若干地段强震地面运动特征

孙崇绍, 卢育霞

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 73000)

**摘要:**以甘肃、陕西等地历年来获得的强震记录,主要是汶川大震的强震记录,研究了甘肃省强震地面运动的特征以及不同场地的地震反应。注意到本地地震动具有大陆板内地震的特点,与强震记录最多的美国西部地震动有较大的差别。甘肃的场地类型大致可以分为四个区域:河西走廊、黄土地区、陇南山区和甘南高原区,强震地面运动特征各自具有其自身的特点,又和地震动的特性有密切的关系。认为有必要对汶川大震的强震记录作全面而系统的研究,进而应用到我国的地震安全性评价中去。

**关键词:**汶川大地震;加速度记录;甘肃;频谱特性;场地因素

**中图分类号:** P315.75      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0844(2010)01-0001-10

## Characteristics of Ground Motion during Strong Earthquakes in Some Regions of Gansu Province

SUN Chong-shao, LU Yu-xia

(Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 73000, China)

**Abstract:** Based on the strong motion recordings, especially the recordings of the great Wenchuan Earthquake in Gansu and Shaanxi, the characteristics of ground motion during strong earthquakes and the response features of different sites in Gansu province are studied. It is denoted that local earthquakes have special characteristics of ground motion which are identified from the interplate events, and they have big difference from events in western U. S. A. . Also the characteristics of ground motion are closely depended on the site conditions and local topography, so the Gansu territory is able roughly departed into 4 areas with different site conditions, i. e. , Hexi Corridor, the loess regions in central part of Gansu, the mountain region in Southern Gansu and the plateau in Southern Gansu. Every area possesses special features of ground motion and its characteristics are depended upon the earthquake mechanism. The author proposes to study the recordings of the great Wenchuan Earthquake should be in details.

**Key words:** Great Wenchuan earthquake; Accelerogram; Gansu; Frequency character; Factor of the site

## 0 引言

甘肃省地处我国大陆的腹地,境内及邻近地区的地震属于板内地震。板内地震与世界上大多数的板缘地震相比,主要的特点是数量相对较少,偶发性强,偶发的大震破坏性很大<sup>[1]</sup>。2008年5月12日

发生在四川汶川的8级大震造成了我国空前的大灾难。板内地震引起的强震地面运动在频谱成分、持时、衰减规律等方面有其自身的特点。

近年来在甘肃省境内发生过若干次中强地震,

收稿日期:2009-05-02

基金项目:中国地震局老专家预报科研基金(D08029);中国地震局地震预测研究所基本科研业务费项目(No. 2009A25);甘肃省科技计划资助(省级自然科学基金项目 096RJZA011)

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。

取得了一些主震或强余震的加速度纪录,特别是汶川大地震强烈波及到甘肃南部地区,设在甘肃南部的强震台记到了大震的主震,取得了大量的强震纪录<sup>[2]</sup>,随后又在甘川交界附近架设了若干流动强震台,收到了强余震的加速度纪录。这些记录对研究甘肃省的强震地面运动具有不可估量的价值。

本文对甘肃省若干地段强震地面运动特点做初步探讨,对强震记录的频谱成分、衰减规律等特征进行分析,研究强震动在甘肃省及邻近地区引起的不同场地的地面运动特点。同时根据场地条件的不同对强震地面运动的影响,将甘肃省划分为不同的场地类型区。

## 1 强震动的频谱特性及振动强度

### 1.1 强震加速度纪录的傅氏分析

地震工程最关心的是造成建筑物破坏的地震动主要部分的频谱成分。一次事件求得的傅氏谱是随机的。陇南几个强震台取得的汶川大震主震的强震记录都在百秒以上,分析中截取了记录中振幅最大的部分 40.96 s 的长度;较小的地震由于震动持时短,尾波部分衰减很快,故可取纪录的全程进行傅氏分析。

时域内取数值的间隔  $\Delta t = 0.02$  s,时域输入采用矩形窗,傅氏谱的折叠频率为  $1/0.02 \times 2 = 25$  Hz。傅氏分析采用快速傅氏变换程序(FFT),傅氏谱用傅里哀模量表示。汶川大震甘肃南部六处强震台记录的傅氏谱见图 1。

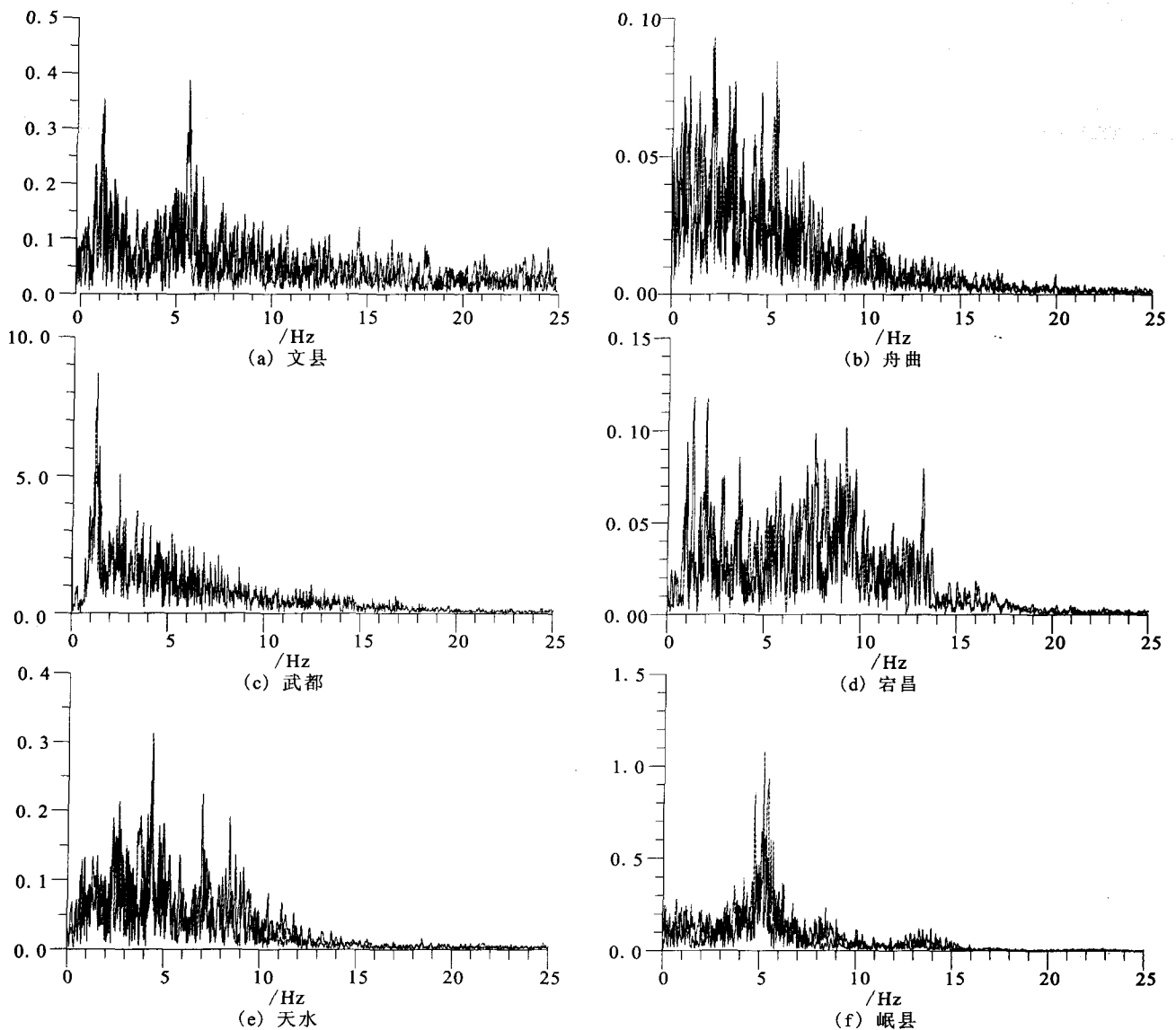


图 1 汶川大地震甘肃南部 6 处强震台记录的傅氏谱

Fig. 1 The Fourier spectra of Wenchuan great earthquake recorded by 6 stations in southern Gansu province.

图 2 是甘肃省其他地震强震记录的傅氏谱及 1988 年云南省耿马  $M7.2$  强震的加速度纪录傅氏谱。由上两图可以看出,汶川 8 级地震最显著的特征是低频分量较之以前记到的我国西部若干次地震要大得多,甚至 1976 年 8 月 16 日发生在四川松潘—平武的 7.2 级大震的频谱中的低频含量都比汶川大震同一地点强震记录要少很多<sup>[3]</sup>。可见,随着震

级的加大,地震动低频(长周期)分量增加,特别是从 7 级到 8 级这一区段内低频分量的增加非常明显。当然地面运动的频谱成分还受到震中距离的远近、强震台址场地条件的影响。仅由此不多的资料只能说明频谱成分变化的趋势。傅氏谱峰点处的频率和震级之间的关系见表 1。

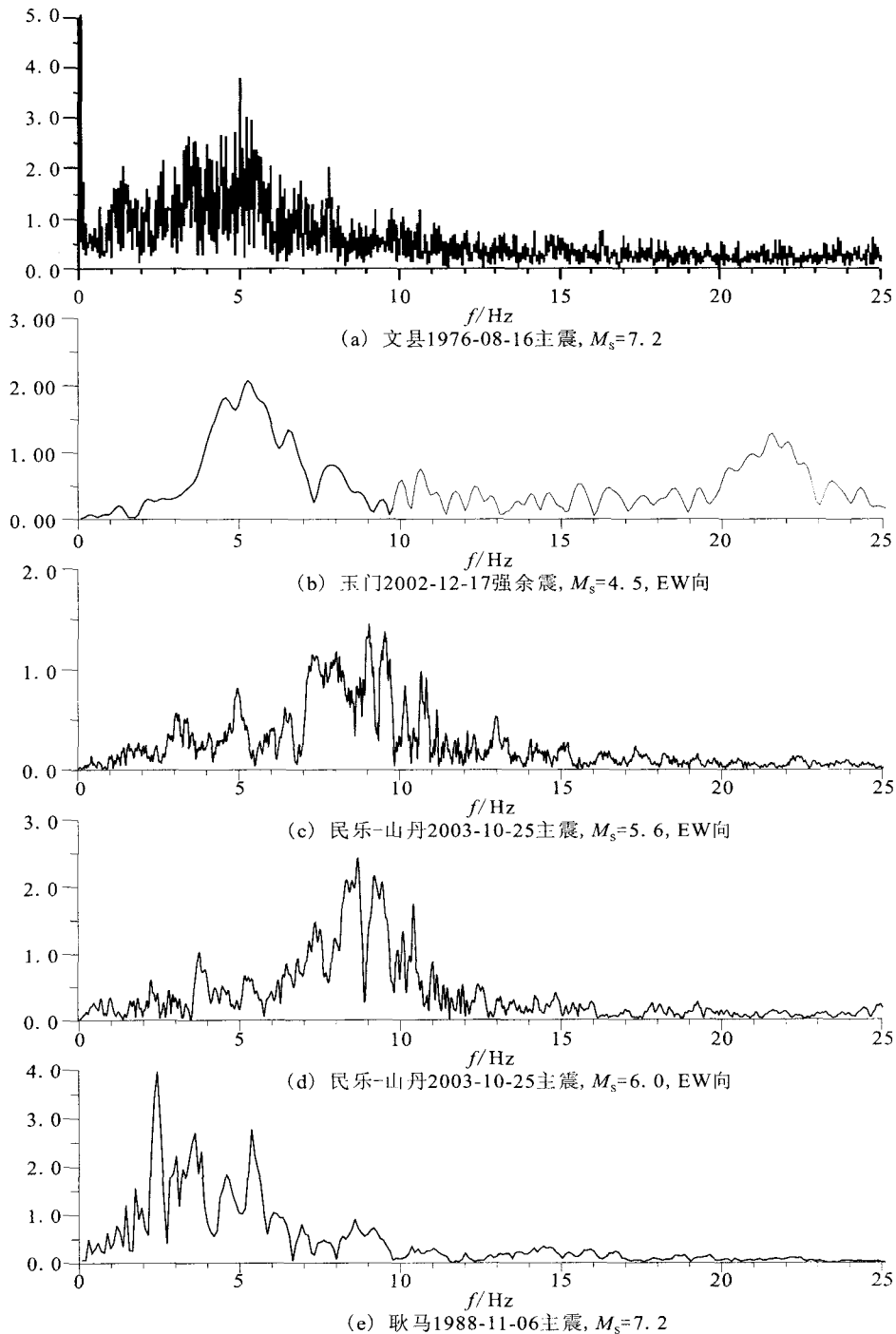


图 2 甘肃省其它地震及 1988 年云南耿马  $M7.2$  强震记录的傅氏谱

Fig. 2 The Fourier spectra of other earthquakes recorded in Gansu, and Gengma  $M7.2$  earthquake in Yunnan.

图 3 是美国西部几次强震的傅氏谱,对比可以发现,由于震源机制的差别,板块边缘处的强震地震动的低频成分比同等震级的我国西部板内地震要显

著得多。美国西部其他大震的分析也得出了类似的结论<sup>[4]</sup>。

表 1 傅氏谱峰点处的频率

地震			震中距 /km	台址场地	傅氏谱的峰 点频率/Hz	相应的 周期/s
地点	时间	震级/M				
文县	2008-5-12	8.0(汶川主震,下同)	249	基岩	1.3672	0.73
武都	2008-05-12	8.0	304	土层,含淤泥质土	1.2207	0.82
天水	2008-05-12	8.0	456	土层	4.370 1	0.23
舟曲	2008-05-12	8.0	327	基岩	2.148 1	0.47
岷县	2008-05-12	8.0	388	土层	5.175 8	0.19
宕昌	2008-05-12	8.0	354	土层	1.5~9	
文县	1976-08-16	7.2	56	接近基岩	5.053 7	0.20
文县	1976-05-25	6.4	74	基岩	4.6~16.0	
姚渡	2008-05-25	6.4(汶川余震)	12	基岩	4.6~16.0	
民乐	2003-10-25	6.0	17	砾石层	6.691 4	0.15
民乐	2003-10-25	5.6	18	砾石层	9.033 2	0.11

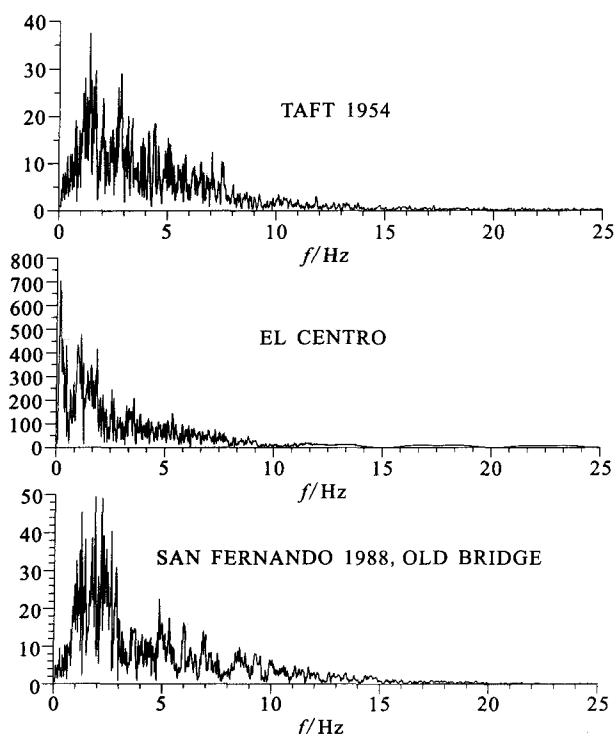


图 3 美国西部几次中强地震加速度记录的傅氏谱 (自上而下:震级分别为  $M_S 7.1, 6.6, 6.7$ )

Fig. 3 The Fourier spectra of several strong shocks in western USA (from above to below:  $M_S 7.1, 6.6, 6.7$ ).

## 1.2 强震加速度记录的反应谱分析

图 4 是甘肃境内的几处强震加速度记录的反应谱。不难看到,反应谱的形状首先和地震的震级有密切的关系,不同震级的地震加速度时程的反应谱差别更大。图 4(f)是 1976 年 8 月 16 日松潘—平武  $M7.2$  地震时文县台强震记录的加速度反应谱<sup>[3]</sup>,

其台址场地为卵砾石,近于基岩,但是与图 4(a)相比,差别非常显著。8 级地震相比于 7 级左右的地震其地面运动的频谱成分竟有如此之大的差别。图 4(e)是 2003 年 10 月 25 日民乐—山丹  $M6.0$  地震强震记录的加速度反应谱,几乎是在震中捕捉到的,其与 8 级地震频谱的差别就更明显了。

反应谱的形状同时也和场地条件有密切的关系,同样震级的地震,位于基岩上的文县台和武都、天水等几个台反应谱就有一定的差别(图 2(a), (b), (c), (d))。特别是武都台址,有 10m 左右的粉土夹淤泥质土,质地松软,因而反应谱的长周期分量最为明显,反应谱包线的拐点处对应的周期在 1 秒以上。天水的台址以圆砾和砾石层为主,宕昌的台址以粘土夹碎石土为主,土层较坚硬,反应谱峰值所对应的周期在 0.8 秒左右,相对较短。

## 1.3 强震动的振幅分析

甘肃南部及邻近地区汶川大震时强震台记到的峰值加速度见表 2。由表 2 可以看出,强震地震动的振幅取决于地震的震级和震中距,强震振幅总体上随着震中距的加大而减小:同是基岩台,从文县到静宁,震中距由 249 增至 552 km,水平向的峰值加速度由 140 gal 左右衰减至 10 gal 左右;同时衰减与台址的土层有密切的关系:同是土层,其厚度不同、性质不同对强震动的峰值加速度也有很大的影响,如土层较厚较软的武都台、天水台记到的峰值加速度比同样距离的基岩台就大得多。振幅的分析实际上是地震动的衰减问题。由于过去在甘肃周围发生的地震震级较小,而且记录也不完备,这次汶川大震取得了完整的纪录,刘旭宙等以甘肃省境内 20 个强震台得到的汶川地震主震记录拟和求得了这次大震

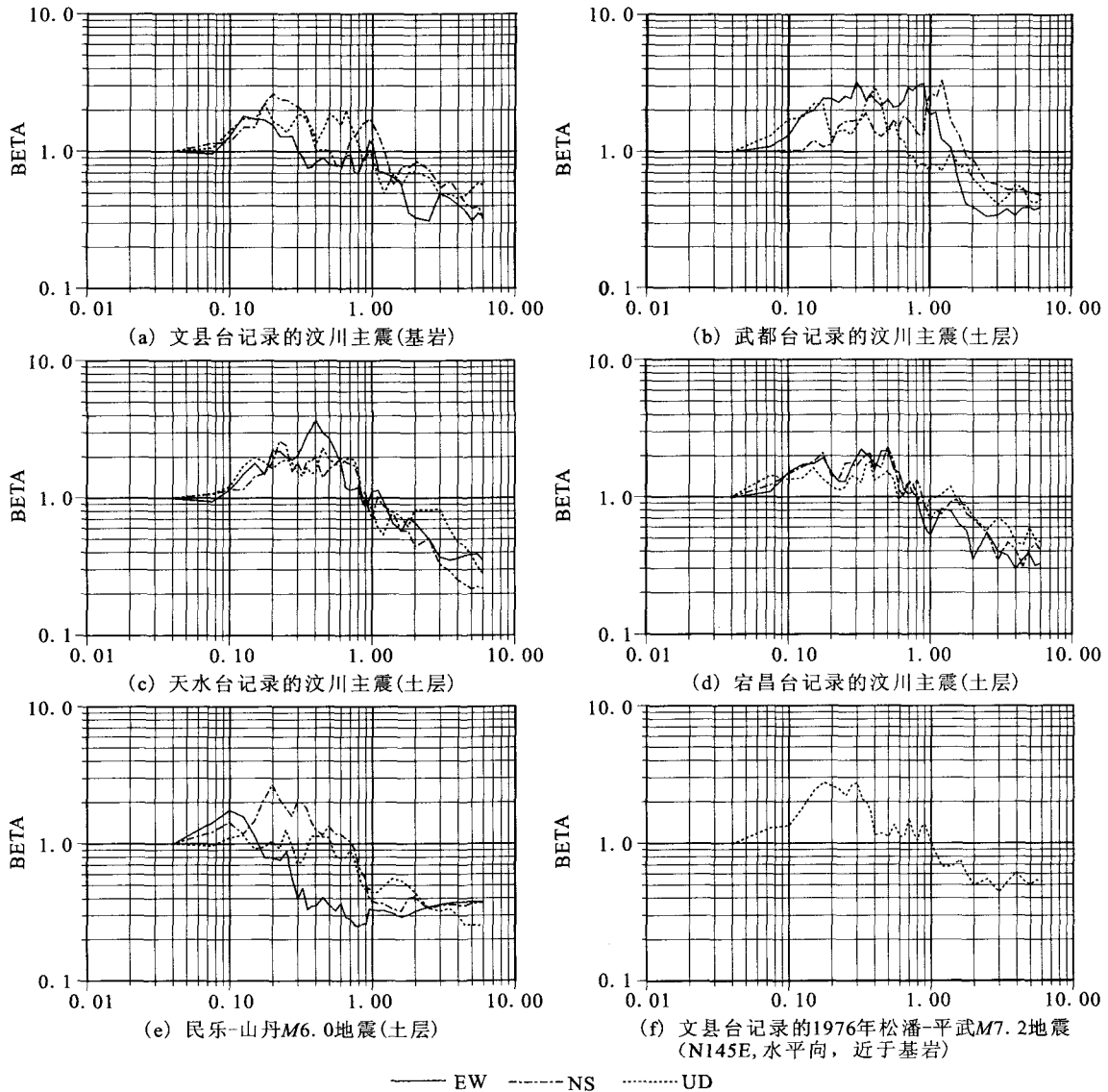


图4 甘肃境内的几处加速度反应谱( $\beta$ 谱)

Fig. 4 Several acceleration response spectra recorded in Gansu ( $\beta$ -spectra).

在甘肃境内的衰减规律<sup>[6]</sup>:发现“地震动的强度依从幂指数衰减规律”,其衰减规律为

$$\text{东西向: } y = \exp(26.628) \cdot x^{-3.786}$$

$$\text{南北向: } y = \exp(26.818) \cdot x^{-3.833}$$

式中  $y$  为加速度峰值(单位:  $\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$ ),  $x$  为震中距(单位:  $\text{km}$ )。按其得到的规律将震中距与峰值加速度(取对数)的函数关系绘于图5。这就是一次8级地震在甘肃省南部的峰值加速度的衰减规律。

但是地震动的衰减在大的范围内还具有明显的方向性,文献[6]中在拟合衰减规律时所取的台站记录数据与这次大震等震线的长轴有一定的夹角。对于其他方向上的强震台,记到的峰值加速度与上述规律之间就有一定的差异。我们将文献[6]中的

表2 甘肃南部及邻近地区汶川大震时强震台记到的峰值加速度<sup>[5]</sup>

台站名称	震中距 /km	加速度峰值(绝对值)/[ $\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$ ]			台址岩性
		EW	NS	UD	
文县	249	142.691	141.157	131.973	基岩
武都	304	163.990	108.611	184.874	土层
舟曲	327	32.504	37.862	22.652	基岩
宕昌	354	83.964	43.310	74.467	土层
岷县	388	70.629	44.976	25.259	土层
天水	456	130.619	116.591	51.471	土层
静宁	552	14.932	9.584	13.011	基岩
宝鸡	513	120.008	90.074	34.316	土层
汤峪	546	19.1	29.4	26.8	基岩
西安	630	52.714	44.587	13.351	土层
固原	~576	33.135	25.286	15.978	土层
西宁	~600	3.181	3.300	2.675	土层

衰减规律绘于图4,同时将陕西关中地区七个强震台的资料也一并绘入。可以看出,关中地区的峰值加速度就高出甘肃境内的衰减。其原因一是该地区接近于汶川地震的长轴方向;同时场地土的厚度比甘肃的强震台址大,场地土相对较弱,很可能,对地震动峰值的放大倍数较高。

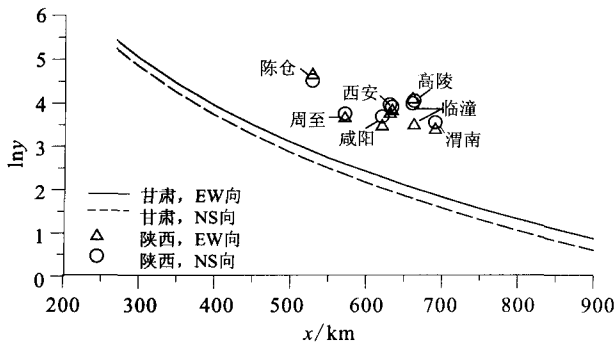


图5 甘肃境内汶川大震峰值加速度的拟合  
(据文献[6]的公式绘出)

Fig. 5 The regression result of PGA in Gansu during the great Wenchuan shock (according the fitting formula from reference[6]).

场地条件对地震动特性的影响在兰州市区的强震记录中也较明显。汶川地震时设在兰州市区的十余个强震台绝大部分都触发获得了记录。部分台的峰值加速度峰值及场地状况列于表3。

由表3可见,汶川地震影响到兰州盆地在10~30 gal左右,市区及附近各强震台的震中距都在560~590 km左右,峰值加速度的差异显然不是震中距造成的,而主要是场地条件的影响。由于场地土的性质相差不大,场地的差异主要表现在场地土的厚度上:场地土在10~20 m的范围内对峰值加速度的影响尚不明显,但是当厚度增大到30 m以上时,对地震动的放大作用就明显地显示出来(图6)。如设在和平乡的强震台,记录到40多伽尔的峰值加速度,高出市区各台的一倍左右。实例虽少,已能在一定程度上说明场地土对地震峰值加速度放大作用。

社会上一般对地震的振幅给予很大的关注,甚至不少人把它看作是与烈度对应的最直接的物理量,实际上地震动的幅值只能在一定程度上反映地震的强度,而不能全面反映地震对建筑物及环境的破坏程度。

表3 兰州市区及其附近汶川地震时的加速度峰值<sup>[5]</sup>

强震台位置	所在地貌单元	场地土厚度/m	2008-05-12 汶川地震时的记录峰值/[cm·s <sup>-2</sup> ]				等效剪切波速 V <sub>se</sub> /[m·s <sup>-1</sup> ]
			EW	NS	UD	伪水平向量	
五泉山		基岩	28.0	23.2	12.3	36.363	
博物馆	T <sub>2</sub> 后缘	4.0	-7.266	-6.525	4.267	9.766	487.8
崔家庄	漫滩	10.0	7.252	15.774	-14.663	17.361	286.5
儿童公园*	T <sub>1</sub>	11.0*	17.284	17.255	9.811	24.402	245.4
雁滩	高漫滩	16.0	-4.682	7.902	-7.548	9.185	216.8
刘家堡	T <sub>2</sub>	14.0	16.920	-15.486	-8.468	22.937	281.0
西固	T <sub>2</sub>	20.0	20.141	12.997	-8.536	23.970	257.1
地震局	T <sub>1</sub>	16.0	-11.582	-17.933	-21.143	21.384	295.2
观象台	T <sub>2</sub>	22.0	14.835	10.218	6.984	18.013	207.4
什川	高漫滩	16.0	2.1	9.8	3.0	10.022	249.8
河口	T <sub>4</sub>	>30	21.7	20.6	7.3	29.920	234.2
西果园	黄土塬?	>30	22.9	16.5	12.3	28.225	167.1
和平	黄土塬?	>50	41.172	-44.159	-24.782	60.375	221.2

\* 汶川地震发生时,儿童公园台已迁至相距不远的盆景园内,场地土层的数据与表中所载略异

表4 计算用输入波特征

名称	地震及其震级	特征
文县 EW 向	汶川大震, M8.0	本地大震, 基岩纪录
岷县 EW 向	汶川大震, M8.0	本地大震, 土层纪录
民乐-山丹 EW 向	民乐-山丹地震, M6.0	本地中震, 基岩纪录
塔夫波 (Taft)	美国加州克恩郡, M7.1	美国西部强震

## 2 甘肃省的主要场地类型及区域性的地面运动特征

甘肃省主要有四种类型的场地:(1)河西地区戈壁滩山前平原,(2)中部黄土高原,(3)陇南山区,(4)甘南高原。为了分析比较甘肃及邻近地区的地面运动特征,选择了4条输入地震波,其特征见表4。

### 2.1 河西走廊戈壁滩山前平原

河西地区戈壁滩山前平原以巨厚的砾石层为主,平原的前方地表有土层覆盖,为细土平原。卵砾

石层的密实度很大,剪切波速一般高于400 m/s,数米以下即高于500 m/s。这里的场地是接近于I类的II类场地<sup>[7]</sup>。随着远离山区,覆盖土层的厚度逐渐增大,特别在地下水的溢出带,土层逐渐变得软弱。河西的场地呈带状分布,主要的城市及居民点大

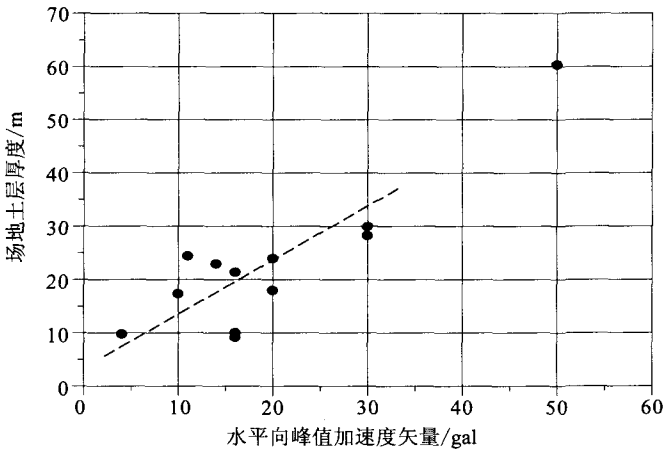


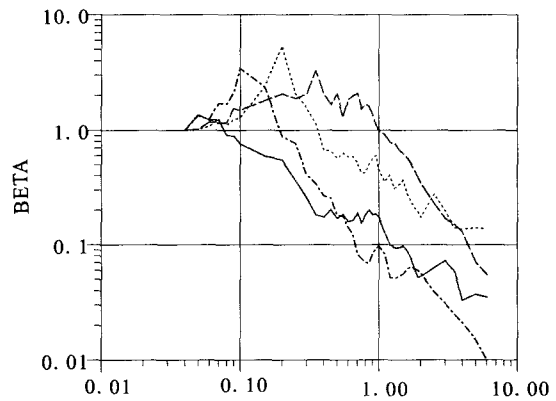
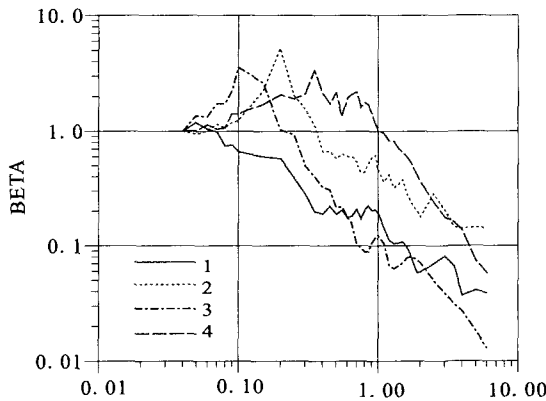
图 6 兰州市区及附近强震幅值与场地土厚度间的关系

Fig. 6 The relationship between PGA and thickness of soil in Lanzhou city and surrounding area.

都分布在山前平原的前部,靠近细土平原的地段。

近年来山前平原的上部,卵砾石层出露的地段也在逐渐开发。

图 7 是河西两个不同场地的反应谱,其中张掖的场地处在戈壁滩的中下部,地面没有土层覆盖,戈壁砾石层出露于地表;而酒泉场地则处于细土平原上,地表有 5~6 m 厚的砂质粘性土覆盖。两个场地的地震地面运动的频谱成分没有实质性的差别,但是输入地震对反应谱有巨大的影响。如文县波尽管是震级 8 级的地震,由于台址是基岩,地震动的短周期成分仍较突出,反应谱显示出离奇的形状,与同一地震、台址是土层的岷县波输入的结果相比,结果有较大的差异。而美国塔夫特强震的输入得到的反应谱与本地的地震输入有明显的差别。说明板内地震与板块边缘处的地震相比,所含有的高频成分较多。由此也可以看出我国大陆内部地震动具有较短周期的特点。



(a) 张掖,戈壁滩中部 1.2008-05-12文县EW向波; 2.同一地震,岷县EW向波; 3.2005-10-25民乐一山丹地震EW向波; 4.1952年美国Taft波

图 7 河西两个场地的反应谱( $\beta$ 谱)

Fig. 7 Response spectra of two sites in Hexi Corridor.

### 2.2 中部黄土高原

黄土高原地区是西秦岭以北、乌鞘岭以南的广大地区。以六盘山为界,大致可分为陇东、陇西两大盆地。陇东地区发育有黄土塬,黄土厚度大,塬间为冲沟切割,大河主要是泾河、马莲河、环江等,居民点主要分布于塬上及大河谷地之中。典型的塬上场地具有厚度大、结构均匀的黄土层,如庆阳西峰镇有些地段黄土的厚度在百米以上,地表以下 60 m 左右土层的剪切波速才有可能达到 500 m/s 以上,松软的场地必定表现出长周期的地震动。

陇西盆地的情况要复杂得多,黄土的厚度较陇东盆地小,多为梁塬状地形,河谷穿插于其间,发育有黄河、渭河、洮河等大河谷地,居民点多分布在河

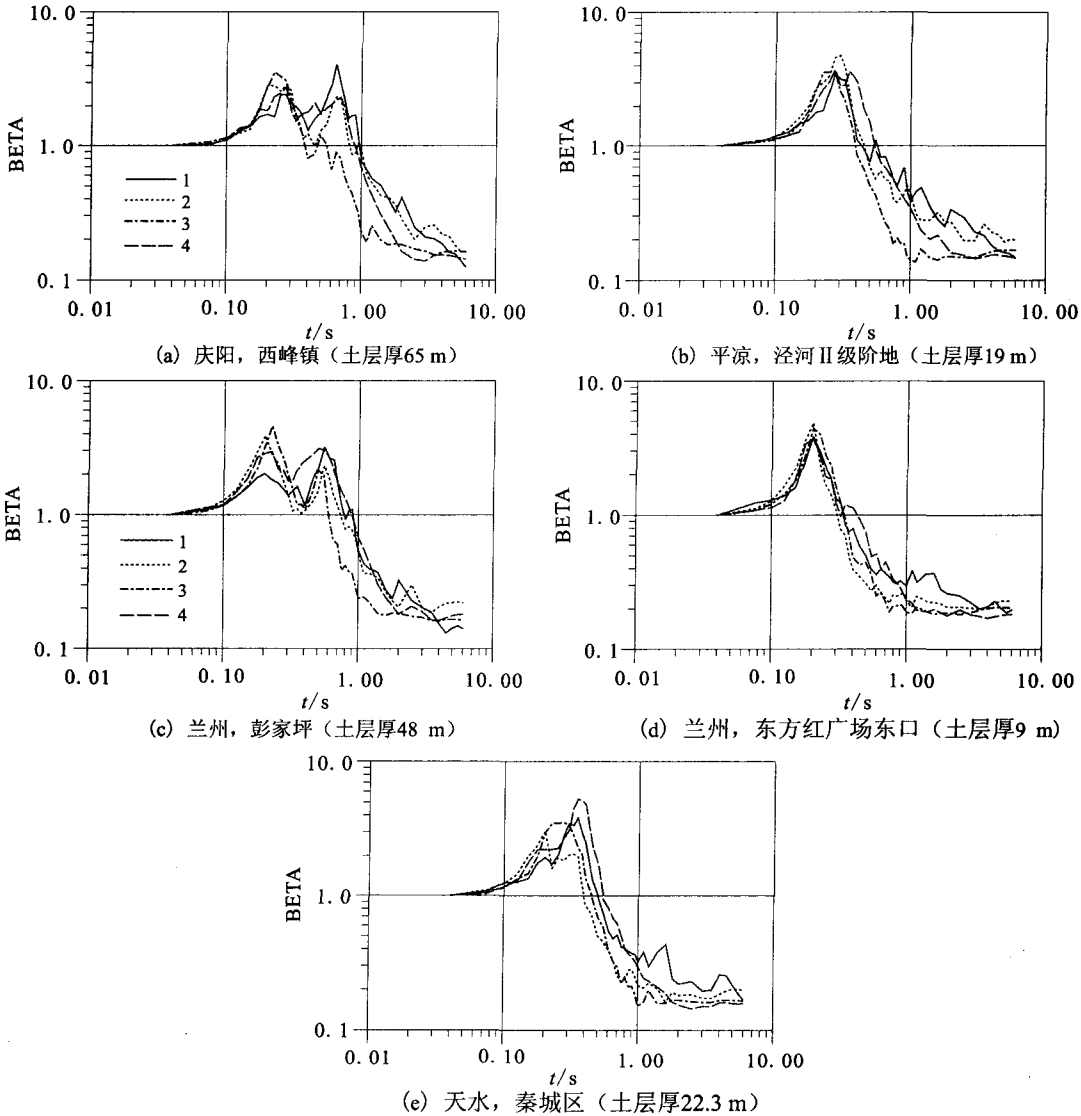
谷之中,其中最大的城市兰州、天水都建在大河谷地之中。场地的结构与河流阶地的等级和土层的厚度有密切的关系,各级阶地之间场地的差别很大:从漫滩上只有很薄的土层覆盖,到 IV、V 级阶地上 40~50 m 厚的黄土状土层,梁塬上的黄土层一般厚 10~20 m。但整个陇西盆地的基底,黄土层以下大部分地区发育有第三纪的红层一成岩程度较差的泥砂岩,质地较软,其最上部在力学上不能作为基岩看待。

黄土地区的场地条件极为复杂,我们只选取具代表性的少量场地来研究这一地区的地面运动特征。图 8 是黄土地区几个不同场地的反应谱。可以看出,黄土地区的强震地面运动与土层的厚度关系

最密切,与地震动的特征也有相当大的关系,但与所在地区的关係不明显。

图8显示,各条反应谱下降“转弯”处(即所谓“特征周期”)所对应的周期与输入地震动有密切的关系。将图8中的这一周期与土层的厚度绘于图9,可以看到随着土层厚度的增加,反应谱“转弯”处对应的周期逐渐加长,且加长的程度与输入地震动的频谱成分有直接的关系:土层厚度小于10 m时输入地震动的频谱成分几乎没有影响;土层厚度接近20 m时影响开始显示,而且随着土层厚度的增加输

入地震动的频谱影响也越来越显著。如图8中的庆阳西峰镇和兰州彭家坪都是厚层黄土场地,不同的地震输入造成的地面运动频谱成分差别很大,短周期的山丹—民乐地震波输入时<sup>[9]</sup>,地面反应谱的峰点在0.2 s左右,而文县波和塔夫特波输入时,地面反应谱的峰点达0.7~0.8 s之多。相反,对土层较薄的兰州东方红广场东口场地,4条不同性质的地震动输入后,反应谱峰点的周期都在0.2 s左右,其他几个场地的情形介乎以上二者之间。可见松软的厚层土场地对地震动的特性更加敏感。



1.2008-05-12文县EW向波; 2.同一地震, 岷县EW向波; 3.2005-10-25民乐—山丹地震EW向波; 4.1952年美国Taft波

图8 黄土地区的反应谱( $\beta$ 谱)

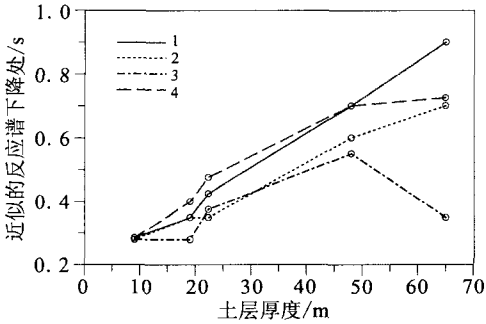
Fig. 8 The response spectra ( $\beta$ -spectrum) on several sites in loess area.

2.3 陇南山区

陇南山区位于秦岭以南的西汉水、白龙江流域。基岩山地,山高谷深,比高在1 000~2 000 m以上,

河谷狭窄,阶地宽度不大,两岸山坡上有坡积层较厚、地形相对平坦的坡地,居民点多分布在河谷中及山坡上相对平坦的地段。汶川大震时这一带的震害





1.2008-05-12文县EW向波; 2.同一地震, 岷县EW向波;  
3.2005-10-25民乐-山丹地震EW向波; 4.1952年美国Taft波

图9 甘肃黄土地区土层厚度与反应谱“特征周期”的关系

Fig.9 The "character period" of response spectra in sites with different thickness of soil strata.

很重,震害的分布显示出了地形的影响,凡是建在突

出的山梁、山嘴或陡坡上的村落,震害比邻近的河谷中的村落严重得多。

上世纪我国多次中强以上的地震都说明局部地形对地震动有明显的影响<sup>[1]</sup>,表5中列出了汶川大震后设在陇南地区若干强震台记到的峰值加速度,可以看出局部地形的放大作用。

表中半山腰流动台高出山脚约60~70m,半山腰的地震动峰值加速度放大1.08~1.34倍。但地形的放大不是绝对的,震级小时放大效应不显著,比如表中第二个地震(汶川地震的M4.4余震)时,半山腰的流动台和流动台I相比,记到的加速度甚至还略小一些。

宏观震害对地形的放大作用反应明显,有些震害加重的村落建在三面临空的山梁上,局部地形的放大作用还有鞭梢效应在起作用。

表5 汶川地震强余震时不同高度强震台记到的峰值加速度

震中位置	发震日期	震级/M	台站	震中距/km	峰值加速度/[cm·s <sup>-2</sup> ]			拟水平向矢量/[cm·s <sup>-2</sup> ]
					EW	NS	UD	
四川青川	2008-05-21	4.3	文县流动半山腰	70	16.3	17.1	18.0	23.6
			文县流动G	69	13.6	11.1	13.3	17.6
四川青川	2008-05-21	4.4	文县流动半山腰	67	8.0	9.0	6.6	12.0
			文县流动I	67	8.2	11.7	6.7	14.3
			文县流动半山腰	74	61.9	53.7	44.0	81.9
陕西宁强	2008-05-18	6.0	文县山洞	74	41.0	63.5	56.5	75.6
			山脚	74	44.0	42.7	41.5	61.3
			山顶	74	12.3	12.8	9.4	17.3

考虑到地形的放大作用,震后在编制《甘肃省陇南、甘南灾区震后恢复重建建筑抗震技术规程》<sup>[8]</sup>时,规定了表6的调整系数。

表6 水平地震影响系数最大值随地形比高的调整系数<sup>[8]</sup>

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

上表中的调整系数在比高超过50m、特别是超过100m处略有偏高,是为了留得一定的安全度。根据历次地震的经验,地形的放大作用不能随高度的增加无休止地增大,我们还没有取得放大高度的上限的实际纪录。

陇南地区除了局部地形的影响而外,场地土也在其起着一定的作用。明显的例子是武都强震台址,该台址土层中有软弱的淤泥质土,在汶川大震主震记录中,武都台的记录与周围文县、宕昌、天水台的记录相比,长周期的分量都要多(图1)。

### 2.4 甘南高原

甘南高原上高山和广阔的山间高原盆地相间,高山地区的强震地面运动特征和陇南山区相近,山

间盆地的特点是有较厚层的软弱场地土分布—高含水量的、含淤泥质的粘性土—分布。预计这些地区地面运动的长周期成分较多。主要的居民点集中在山间盆地之中。目前对这一地区地震动特性的实际资料尚不够多,研究刚刚起步。

### 3 结论

本项研究的结果表明,地震的影响场非常复杂。震源机制,传播途径,大区域的地质构造和岩性以及建筑场地的特征都能在一定程度上影响强震地面运动特征,影响震害的分布。

我国西北地区发生了多次中强地震,取得了一系列的强震记录,特别是2008年5月12日汶川8级大震所取得的大量的强震记录,填补了西北地区缺乏强震加速度记录的空白。本文是初步分析,主要涉及到地震动特征及有关参数。

(1) 首先,板内地震所引起的地震动有其自身的特征。与环太平洋等板块间的强震相比,主要的特点是在震级相近、震中距相近、场地条件相似的情

况下地震动的高频成分较多。

(2) 中国西部的大震和中强震的地震动的频谱成分差异显著。汶川 8 级大震的强震记录低频成分显然比 6 级左右的中强震要丰富得多,甚至比 1976 年 7.2 级的松潘—平武地震的加速度低频成分都多。由于松潘—平武地震只获得了一个地点的纪录,以及仪器性能的限制,记录不够完整,所以还不能完全肯定 7 级地震和 8 级地震之间的差别,但是和 6~6.5 级地震之间的差别却是显而易见的。

(3) 地震动的衰减在不同的方向间有显著的差别。我国西部大震的等震线是椭圆形的,长短轴之间衰减规律不相同。汶川大震时陕西关中地区地震动强度的衰减比甘肃省南部要慢,其原因之一是关中地区接近汶川大震等震线的长轴方向,同时还有场地因素在起作用。

(4) 场地土层厚度对地震动的强度有显著的影响。如兰州地区各强震台在汶川大震时记到的地震动峰值加速度,总的趋势是随着场地黄土厚度的增大而增大。

(5) 局部地形对强震地震动的影响不容忽视。汶川大震时陇南山区的震害分布情形是对地形影响的最好的说明,山区孤突地形的增高对峰值加速度的放大作用约在 1.1~1.3 之间。

(6) 西北地区强震地面运动的频谱特征既有区域的差异,也有局部场地的差异。甘肃省的场地大致可分为 4 个区:河西走廊的戈壁砾石场地,陇西盆地、陇东盆地的黄土场地,陇南山区场地、甘南高原的草原场地。场地之间的差异既取决于场地土层厚度和性质以及地形等综合的场地条件,也取决于地震的震级和震源机制。影响场地地震动特性的因素既和场地土层本身的性质有关,也和地震动的特性有关。相比之下,随着场地土的厚层逐渐增加,场地

的性质变得松软,对地震动特性的差别越加敏感。

(7) 在进行地震安全性评价特别是对重大工程进行地震安全性评价时,应从上述各个环节做全面的研究,以提高安全性评价的水平,为建筑场地提供更加合理准确的地震动参数。

目前由于各种因素的制约,本项工作远远不够细致,今后应从重大工程开始进行这研究工作。为地震安全性评价提供更充分的依据。

致谢:闵祥仪、周民都、刘旭宙为本文提供了汶川地震强震记录数据,作者在此对三位工作者致以衷心的感谢!

#### [参考文献]

- [1] 胡聿贤. 地震工程学[M]. 北京:地震出版社,2001.
- [2] Li Xiaojun, Zhou Zhenghua, Yu Haiyin, et al. Strong motion observation and recordings from the great Wenchuan Earthquake[J]. Earthquake eng. and Eng. vibration, 2008, 7(3): 235-246.
- [3] 何韞如, 邵世勤. 1976 年 8 月 16 日四川松潘—平武  $M_s 7.2$  地震强震记录分析[M]. 北京:地震出版社,1988.
- [4] Campbell K W, Bozorgnia Y. Empirical analysis of strong motion from the 1992 Landers, California, earthquake[J]. BSSA, 1994, 84(3): 573-588.
- [5] 中国地震局震害防御室编. 汶川 8.0 级地震未校正加速度记录[M]. 北京:地震出版社,2008:44-58.
- [6] 刘旭宙, 姚凯, 何新社, 等. 2008 年 5 月 12 日汶川  $M_s 8.0$  地震甘肃强震记录与初步分析[J]. 西北地震学报, 2008, 30(3): 248-252.
- [7] 建筑抗震设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2001:217-218.
- [8] 甘肃省陇南、甘南灾区震后恢复重建建筑抗震技术规程[S]. 兰州,2008:8.
- [9] 何少林, 陈文凯, 李佐唐. 2003 年 10 月 25 日民乐—山丹  $M_s 6.1, 5.8$  地震加速度记录特征分析[J]. 地震研究, 2006, 29(2): 157-161.