

2008年汶川地震后的三次强余震 地表峰值加速度衰减场研究

姚凯¹, 孙崇绍¹, 朱珊珊², 刘旭宙¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃兰州 730000; 2. 防灾科技学院, 北京 065201)

摘要:利用甘肃省强震动台站获取的2008年汶川地震后的三次强余震记录资料,分别研究了在甘肃南部地区的地表自由场加速度衰减场,认为地震引起的地表峰值加速度(PGA)随震中距的衰减基本都遵从幂指数规律,衰减的形式基本相同,但是三次强余震的衰减指数之间也存在着一定的差异。因此要得到陇南地区的中强地震动衰减的普遍规律,尚需做进一步的研究。

关键词:汶川地震强余震; 强震动; 峰值加速度; 衰减场

中图分类号: P315.914 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2012)01-0099-06

Study on PGA Attenuation of Three Strong Aftershocks of 2008 Wenchuan Earthquake

YAO Kai¹, SUN Chong-shao¹, ZHU Shan-shan², LIUN Xu-zhou¹

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China; 2. Institute of Disaster Prevention, Beijing 065201, China)

Abstract: Using the data of three strong aftershocks after the 2008 Wenchuan earthquake recorded by Gansu strong motion stations, the free field acceleration attenuation in southern Gansu province are studied. The attenuation of Peak Ground Acceleration (PGA) with the epicentral distance follows the exponential law, and the forms of attenuation are parallel. However, the attenuation index of three strong aftershocks also has some differences. The condition of the strong motion stations has certain influence to ground motion intensity and frequency spectrum. So further research to get the universal attenuation law of strong earthquakes in southern Gansu province is needed.

Key words: Strong aftershocks of Wenchuan great earthquake; Strong motion; Peak acceleration; Attenuation field

0 引言

2008年5月12日四川汶川发生8.0级地震后,在甘肃南部地区原有的6个固定强震台的基础上,甘肃省地震局又分别在中庙、碧口、玉垒、丹堡、文县、什坊、石矾坝、桥头、外纳等地使用美国生产的流动数字强震动仪器,布置了若干流动强震台。其后在2008年5—9月间发生了多次较强的余震,获得了一系列强震动记录,其中以5月25日四川青川

M_s 6.4、5月27日陕西宁强 M_s 5.7、8月5日青川 M_s 6.1等3次强余震的记录较为系统完整。在分析研究陇南地区的地震动衰减规律时,本文作者首先处理了这三次强余震记录资料,处理过程中使用全部台站的记录资料,统计了甘肃省南部地区自由场加速度衰减场。

统计回归结果表明,地震引起的地表峰值加速

收稿日期:2010-08-04

基金项目:中国地震局预测研究所基本科研业务专项 A80;中国地震局业务专项:甘肃省强震动台网运行与维护;中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2011048

作者简介:姚凯(1962—),男(汉族),工程师,主要从事强震观测工作。

度(PGA)随震中距的增大,其衰减基本遵从幂指数规律,但三次强余震由于震级、震源机制、震中距等多种因素的差别,其衰减指数存在着一定差异。同时,对固定台站和流动观测台获取的近场典型记录进行了比较,由于固定台站(特别是基岩台站)的观测墩与地基结合紧密,较之流动台记录其优势频率较高而峰值加速度偏小,这在对陇南地区衰减规律的应用中还应注意。

流动台一律使用美国生产的数字化流动仪器 Altus-etna 型(内置加速度计);武都、迭部、宕昌、岷县固定台使用 etna 记录器配合国产外置加速度计;天水、文县、岷县、舟曲固定台使用瑞士生产的 MR2002 记录器配合国产外置加速度计,满量程均为 $\pm 2\text{ g}$,输出电压为 $\pm 2.5\text{ V}$ 。

台基情况:除文县、舟曲两个固定强震台外,其余均为土层台,土层台址的场地主要以坡积物为主,场地上部为土层,厚度不大,下多为砂卵砾石层。因

1 资料

表 1 3 次强余震甘肃南部各台站记录到的峰值加速度 ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$)

台号	台站位置	2008-05-25 M=6.4				2008-05-27 M=5.7				2008-08-05 M=6.1			
		震中距/km	EW	NS	UD	震中距/km	EW	NS	UD	震中距/km	EW	NS	UD
流动 A	中庙	12.37	411.0	392.0	276.0	23.74	138.4	188.2	134.5	14.45	163.1	153.7	161.9
流动 B	文县站山腰	72	80.0	106.0	94.0	89.22	47.8	66.6	47.7	79.94	30.6	39.6	32.5
流动 C	文县					88.68	19.4	22.7	16.1	79.41	5.9	7.4	5.5
流动 D	石坊	86.10	41.9	61.1	51.3	100.76	24.7	30.9	31.0	92	14.9	16.1	18.0
流动 E	丹堡	62	85.0	78.4	71.7	80	46.3	54.4	41.4	68	23.5	20.0	18.4
流动 F	碧口	16.37	297.9	158.8	228.1	34.25	94.1	147.0	105.4	24.95	57.6	70.2	115.2
流动 G	文县台站山脚	73.86	65.5	96.8	95.6	89.25	48.2	52.1	44.3	79.96	29.0	31.4	25.1
流动 H	石鸡坝	98.66	81.1	58.4	32.5	112.67	30.2	23.1	19.6	103.58	25.1	18.8	12.5
流动 I	文县台站山顶					89.25	43.5	95.6	48.2	79.96	36.5	69.0	29.4
流动 J	玉垒	38.15	118.3	237.9	219.5	54.27	57.2	72.9	91.3				
流动 K	青川沙洲									13.56	85.8	110.9	52.5
流动 L	姚渡									7.07	315.0	370.0	684.0
流动 M	碧口坝底									26.28	66.2	62.3	55.7
流动 N	碧口坝顶									26.36	41.2	49.8	80.0
流动 O	文县外纳	67	57.7	59.0	40.1	67.5	37.3	35.1	27.4	60.0	18.4	23.5	15.7
流动 P	桥头	73.50	69.3	50.0	49.2					74.12	23.9	18.4	13.7
固定台	武都	98	86.2	58.0	35.3	91	40.3	38.5	22.7	81.0	31.8	23.5	13.3
固定台	迭部	260	7.1	3.3	10.6					254	4.1	2	3.7
固定台	宕昌	187	14.5	7.8	16.9	178	7.2	3.4	7.3	173	8.2	3.7	9.8
固定台	岷县	241	15	11.8	5.6	232	10.2	4.4	2.8	227	13.7	9.4	3
固定台	天水	217	20	19	10.5	196	9.9	10	4.9				
固定台	文县(山洞中)	72	25	26	18	88	14.8	16	12	78	11	13	10
固定台	舟曲	164	6.3	6.5	2.8								

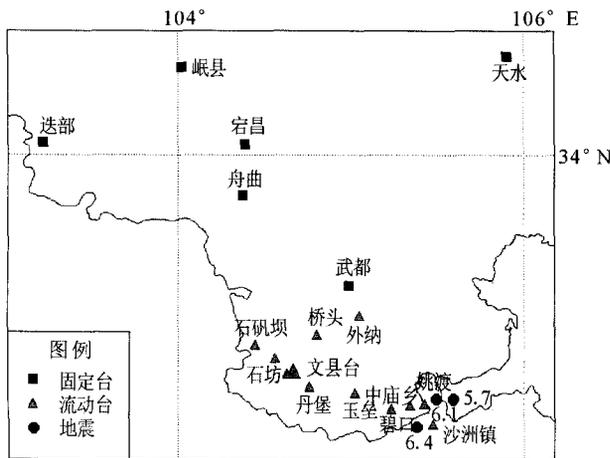


图 1 强震动台站与强余震震中分布图
Fig. 1 Distribution of strong motion stations and epicenters of strong aftershock.

此,本文统计得到的衰减规律相当于陇南地区一般场地(II类场地)的衰减规律。

$M_s 6.4$ 强余震发生时,中庙、碧口、玉垒、丹堡、文县、什仿、石矾坝、桥头、外纳等流动强震仪器获取了近场强震动记录。震中距最近的中庙为 18.1 km,经过基线校正后,NS 向峰值加速度为 $392.0\text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$;EW 向峰值加速度为 $411.0\text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$;UD 向峰值加速度为 $276.0\text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$ 。震中距最远的武都固定强震台为 90.8 km,经过基线校正后,NS 向峰值加速度为 $58.0\text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$;EW 向峰值加速度为 $86.2\text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$;UD 向峰值加速度为 $35.3\text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$;其它各次强余震观测资料的峰值加速度见表 1。以上 3 次强余震震中位置与获得资料的强震动台站位置见图 1。

天水强震动台站记录到的 $M_s 6.4$ 强余震加速度的波形见图 2。图 3 为舟曲固定强震动台站记录的加速度波形。

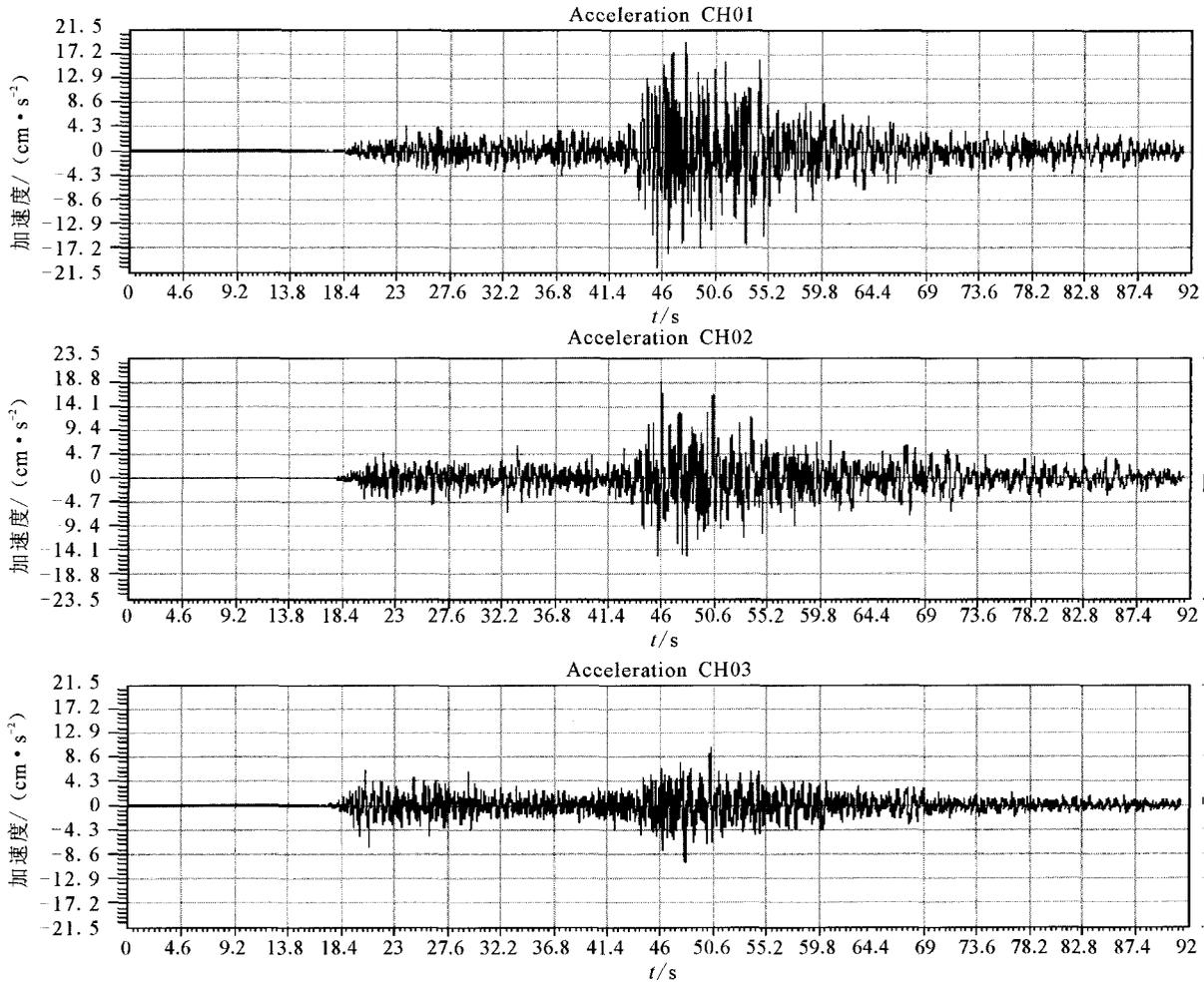


图 2 天水强震动台站记录的 $M_s 6.4$ 强余震加速度波形

Fig. 2 The acceleration waveforms of $M_s 6.4$ strong aftershock recorded by Tianshui strong motion station.

2 统计方法

取幂指数函数拟合地面峰值加速度随震中距的衰减关系

$$y = e^A \cdot x^B$$

其中 y 表示自由场地面峰值加速度 (cm/s^2), x 表示震中距 (km), A 和 B 为回归系数。 A 的物理意义是,假设震源深度为零,震中可能的极限加速度值; B 是衰减指数,描述地表加速度随震中距的增加衰减速率的快慢,绝对值越大,衰减越快;为表示线性回归结果的可信程度,引入线性度 r ,其绝对值越接近 1,则表示线性回归时各数据点偏离回归直线的离散性越小。

对于 3 次强余震记录资料,分别进行线性拟合。由于记到强震动记录的台站中的绝大多数是建在 II 类场地上的流动台站,为了保持统计结果的客观性,

对观测资料经过常规的基线校正后,读取峰值加速度值,采用每次强余震观测结果的全部数据参加统计。仅有文县山洞中固定台的强震动记录例外,其台址与各流动台的台址相比差别过大;记录的数据和附近的流动台相比也有较大的差别,统计时未采用。

3 地震动峰值加速度的衰减

汶川大震后,刘旭宙等曾根据甘肃省若干强震台的记录,回归得出该次强震动峰值加速度在甘肃省南部局部地区的衰减规律^[3]:峰值加速度随震中距按幂函数关系衰减。闵祥仪等也发现 2003 年民乐一山丹 6.1 级地震地面加速度衰减规律为幂指数关系^[4]。

本文研究的汶川地震后的三次较大余震引起的

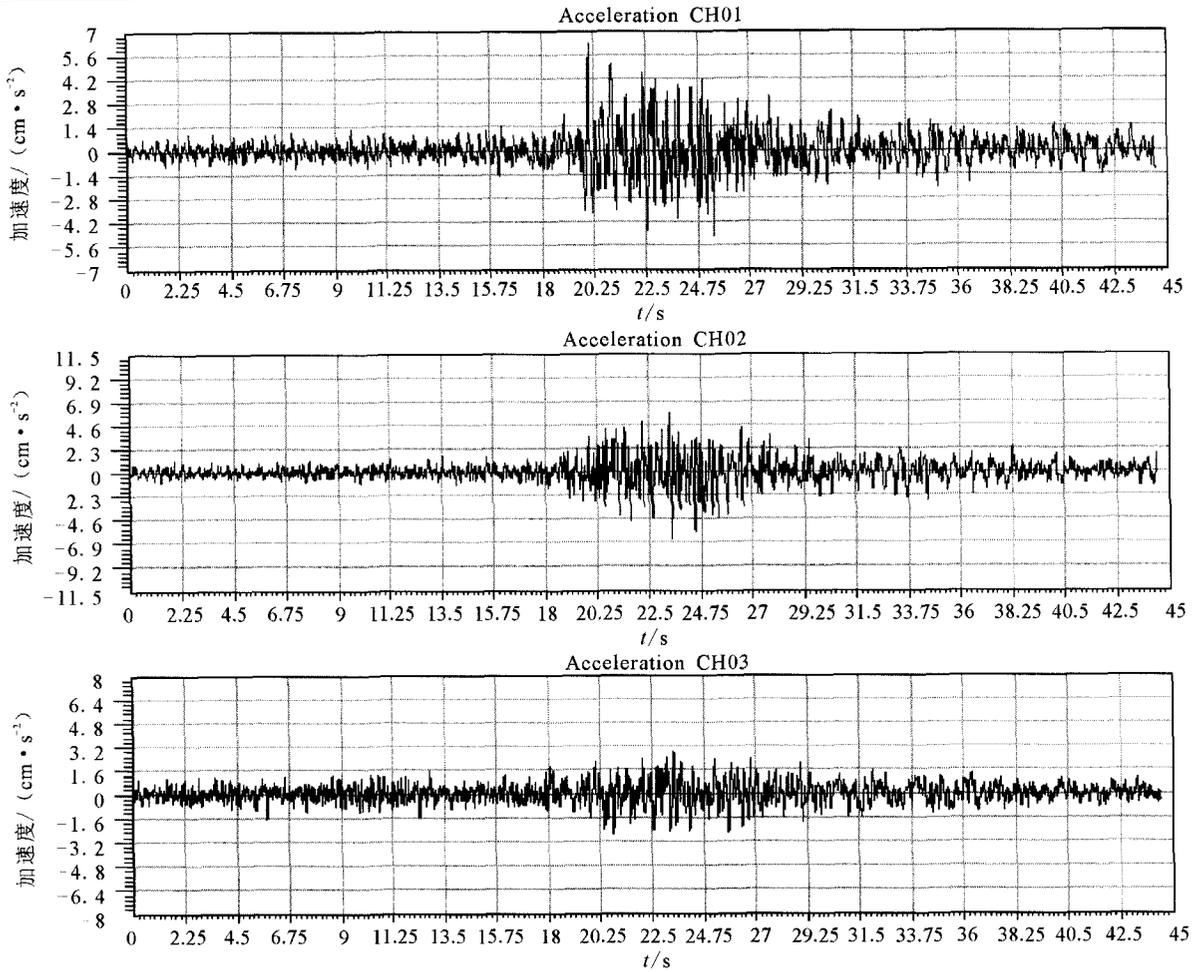


图3 舟曲固定强震动台站记录的青川 $M_S6.4$ 强余震加速度波形

Fig.3 The acceleration waveforms of $M_S6.4$ strong aftershock recorded by Zhouqu stationary strong motion station.

地面峰值加速度也是随震中距的增加而衰减,随震中距的衰减也呈幂函数关系,对 $y = e^A \cdot x^B$,取自然对数,得到

$$\ln y = A - B \ln x$$

三次强余震的峰值加速度随震中距的衰减关系如下:

(1) 2008年5月25日 $M6.4$ 余震:

EW向: $\ln y = 9.354 - 1.246 \ln x, r = -0.9047$

NS向: $\ln y = 9.7409 - 1.356 \ln x, r = -0.8810$

(2) 2008年5月27日陕西宁强 $M5.7$ 余震

EW向: $\ln y = 9.0645 - 1.2500 \ln x, r = -0.8857$

(3) 2008年8月5日四川青川 $M6.1$ 余震

EW向: $\ln y = 7.3985 - 1.0025 \ln x, r = -0.8915$

三次余震记录的散点图及回归结果见图4、5、6。

由以上三图及统计结果可以看到,峰值加速度随震中距衰减的规律性很明显,但仍有一定的离散

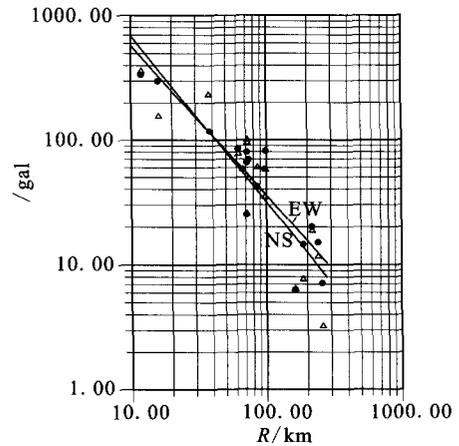


图4 2008年5月25日青川 $M6.4$ 强余震台站记录值及回归关系(实心黑点为EW向,空心三角为NS向)

Fig.4 Record values and regression of Qingchuan $M6.4$ aftershock on May 25, 2008, recorded by strong motion stations.

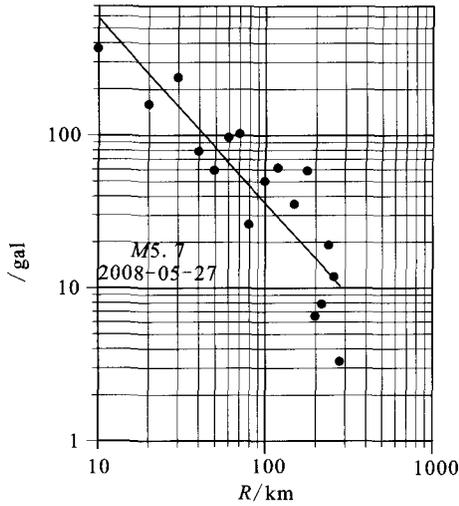


图 5 2008 年 5 月 27 日陕西宁强 M5.7 余震台站记录值及回归关系

Fig. 5 Record values and regression of Ningqiang M5.7 aftershock on May 27, 2008, recorded by strong motion stations.

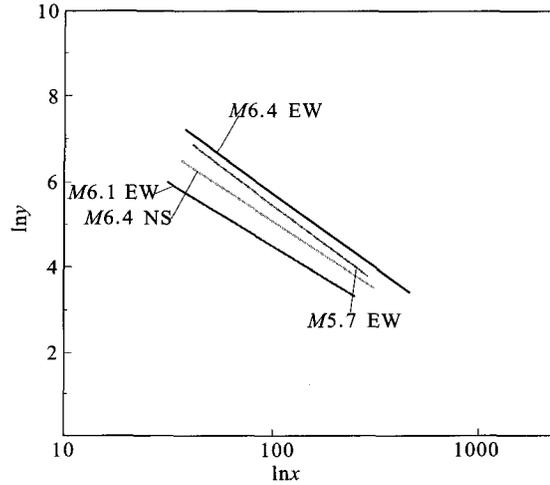


图 7 3 次强余震与汶川主震记录回归结果的比较

Fig. 7 Comparison of the regression results among three strong aftershocks and main shock of Wenchuan earthquake.

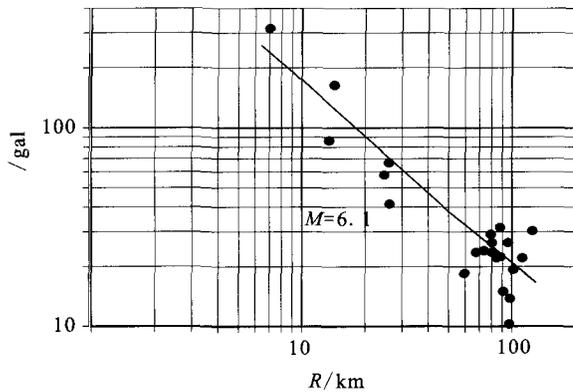


图 6 2008 年 8 月 5 日四川青川 M6.1 强余震台站记录值及回归关系

Fig. 6 Record values and regression of Qingchuan M6.1 aftershock on August 5, 2008, recorded by strong motion stations.

在统计中强余震的衰减规律时,我们注意到上述 3 次强余震观测资料中,仪器墩位置和场地的差别不但影响峰值加速度值,频谱成分也有较明显差异。我们用文县附近三个台站 5 月 25 日四川青川 M6.4 地震记录的优势频率做了对比,傅立叶谱分析结果显示震中距相近的台站之间,它们记录的波形,其优势频率有一定差别(表 2),这一差别既有台址场地条件的影响,也有地形高差的影响,本文仅指出此问题存在,且值得重视,但由于影响的因素很多,在此不再做进一步的分析。

表 2 青川 M6.4 基岩场地与土层场地加速度记录的优势频率对比

台号	台站位置	震中距/km	EW/Hz	NS/Hz	UD/Hz
流动 B	文县台站山腰	72	4	5.6	14
流动 G	文县台站山脚	73.86	6.4	7.4	8.2
固定台	文县	72	8.2	10.3	8.2

性。图 4、6 中所示的两次余震(青川 M6.4 与 M6.1)的衰减速率较为近似。从图 7 可以看出,陕西宁强 M5.7 强余震在 EW 方向的衰减速率与青川的两次余震相比差别较大,其随震中距的增加衰减速率快得多;该次强余震在震中附近引起了地表的峰值加速度异常较高,但随震中距的增加,峰值加速度衰减也较快。而青川 6.1 级强余震却不同,距离震中较近的地区,峰值加速度不太高,而随震中距的增加其衰减速率却较小。

4 地面震动的频谱对比

5 结论

通过对 2008 年汶川大地震后 3 次较大余震记录的地面峰值加速度的统计,每次强余震记录均显示地面峰值加速度随震中距增加其衰减的规律为幂指数函数,但各次地震的衰减规律之间有一定的离散性。如陕西宁强 M5.7 强余震在 EW 方向衰减速率比青川强余震的记录较大;该次强余震在震中附近的地表的峰值加速度与青川两次强余震的记录相比都显得偏高。但随震中距的增加,峰值加速度衰减得较快,尤其是青川 M6.1 强余震时,距离震中较

近的地区峰值加速度虽不太高,而随震中距的增加衰减速率却较小。

在统计衰减关系时,我们注意到,在震级基本相同的情况下,距震中大致相同的个别观测点,峰值加速度的差别可能达一倍之多。引起这种差异的原因是多方面的,例如,震源机制、震源深度以及观测点相对于震中的方位、台基的场地条件等,观测条件的差别不但影响峰值加速度,而且记录波形的频率成分也有差别,通常场地土质越硬,优势频率越高,峰值加速度偏低。本文统计得到的甘肃南部地区地震动总体衰减的规律具有普遍性,但要得到陇南地区的地震动衰减的普遍规律尚需作进一步的研究。

[参考文献]

- [1] 唐丽华,李猛,王海涛.伽师—巴楚地区中强地震加速度衰减关系[J].西北地震学报,2007,29(4):377-379.
- [2] 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.
- [3] 刘旭宙,姚凯,何新社,等.2008年5月12日汶川 $M_s8.0$ 地震强震动记录与初步分析[J].西北地震学报,2008,30(3):266-269.
- [4] 闵祥仪,姚凯,何新社.2003年10月25日甘肃民乐—山丹 $M_s6.1$ 地震强震近场纪录和分析[J].西北地震学报,2003,25(4):289-292.
- [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.

(上接 22 页)

- [13] 叶青,杜学彬,陈军营,等.2003年大姚和民乐—山丹地震1年尺度预测[J].地震研究,2005,28(3):226-230.
- [14] 中国地震局监测预报司.数字地震观测技术规范——电磁[S].北京:地震出版社,2001.
- [15] 钱家栋,顾左文,赵家骝,等.地震台站观测环境技术要求电磁观测[S].北京:地震出版社,2004.
- [16] 杜学彬,赵家骝,谭大诚,等.地电台站建设规范——地电阻率台站[S].北京:地震出版社,2006.
- [17] 杜学彬,席继楼,谭大诚,等.地电台站建设规范——地电场台站[S].北京:地震出版社,2006.
- [18] 钱复业,赵玉林,许同春.地电阻率季节干扰变化分析[J].地震学报,1987,9(3):289-301.
- [19] 赵和云,钱家栋.地电阻率观测中的地表薄层影响与数学模拟[J].地震,1986,(5):37-41.
- [20] 李艳东,赵家骝,庞丽娜.地电阻率多极距观测中的最佳布极方式[J].地震,2004,24(2):17-24.
- [21] 田山,刘允秀,聂永安,等.地震地电阻率观测改进方法研究——电测井技术的移植应用与数值模型分析[J].地震学报,2009,31(3):272-281.
- [22] 金安忠,李言竹,李润贤,等.地电阻率观测中高压干扰场的研究[J].地震学报,1990,12(4):422-433.
- [23] 赵家骝,李海亮,李建,等.用正向供电技术提高视电阻率观测精度[J].西北地震学报,1996,18(2):31-36.
- [24] 刘昌谋,桂燮泰,柴剑勇,等.河源地电台全空间地电阻率试验[J].华南地震,1994,14(3):40-45.
- [25] 刘允秀,吴国有,王蕃树,等.深埋电极地电阻率观测的实验结果[A]//地震预测——地电方法论文集[G].福建:福建科学技术出版社,1985.
- [26] 田山,郑文俊,张建新,等.大地电场观测深埋铅电极测量系统试验[J].华北地震科学,2006,24(1):5-9.
- [27] 聂永安,巴振宁,聂瑶.深埋电极的地电阻率观测研究[J].地震学报,2010,32(1):33-40.
- [28] 聂永安,姚兰予.成层半空间深埋电极产生的电位分布[J].中国地震,2009,25(3):246-255.
- [29] 国家地震局科技监测司.地震电磁观测技术[M].北京:地震出版社,1995:89-91.