兰州观象台存放台阵汶川 M_s8.0 强震动记录与分析

卢大伟1,3,姚 凯2, 闵祥仪2, 王东彬3

(1. 中国地震局地球物理研究所,北京 100081; 2. 甘肃省地震局,甘肃 兰州 73000;
 3. 地壳运动监测工程研究中心,北京 100036)

摘 要:兰州观象台存放台阵在汶川特大地震中获取了 10 组三分量数字强震动加速度记录。本文 依据这些实际观测资料研究了黄土场地在地震发生后的自由场地面运动加速度过程及其特征。结 果表明在震源、场地和震中距相同情况下,场地上不同测点记录的加速度峰值存在一定程度的差 异,较明显地反映了场地地形对 EW 分向地面自由场加速度的影响。10 个测点的峰值加速度 (PGA)均显示 EW 向大于 NS 向,而垂直向最小;各测点的傅里叶谱值,尤其是在小于1 Hz 频段范 围内,差异极小。

Strong Motion Records of Paking Array in Lanzhou Earth Observatary for Wenchuan M_s8. 0 Earthquake and Prelimitary Analysis

LU Da-wei^{1,3}, YAO Kai², MIN Xiang-yi², WANG Dong-bin¹

(1. National Earthquake Infrastructure Service, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China;
 2. Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 73000, China;

3. National Earthquake Infrastructure Service, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China)

Abstract: Paking array in Lanzhou Earth Observatary obtained ten groups of 3-directions strong ground motion records from the main shock of great Wenchuan earthquake. Based on the records the acceleration time history and characteristics of ground motion in loess site are studied. The result shows that peak ground acceleration (PGA) at different point in a small area of same site, with same seismic source and epicentral distance, had a certain degree of difference which obviously effected by site topography. In all ten strong motion observation points, PGA in EW direction were largest and PGA in the vertical direction were smallest. The difference of Fourier spectra in different points, especially for frequencies less than 1 Hz, is insignificant.

Key words: Wenchuan great earthquake; Ground motion; Paking array in Lanzhou Earth Observatary; Strong ground-motion record

0 引言

为了研究场地对地震动的影响,必须布设场地 影响专用台阵,以便在一次地震中获取多条完整记 录,反映场地地震动的效应。"十五"期间在兰州观 象台内布设了10台数字强震动仪组成存放台阵。 在汶川特大地震中该存放台阵 10 个台站全部获得 了这次地震事件的 3 分向数字化强震动记录。本文 依据这些实际观测资料研究以该场地为代表的黄土 场地在地震发生后的自由场地面运动加速度过程及

收稿日期:2010-03-02

基金项目:国家科技支撑计划课题(2009BAK55B05)

作者简介:卢大伟(1980一),男(汉族),吉林扶余人,助理研究员,主要从事中国数字强震动台网项目建设的管理与地震工程及强震动 观测技术研究.

其特征,探讨在震源、场地和震中距基本相同的情况下,小范围场地上加速度峰值及傅立叶幅值谱的差异,为工程建设的抗震设计提供参考。

1 兰州观象台存放台阵观测系统

兰州观象台存放台阵属于"中国数字强震动台 网"单位工程之一,于 2007 年 9 月正式投人运行。 兰州观象台土地面积近 80 亩,位于兰州市城关区 内,属于黄河IV级阶地,为典型的黄土地区。场地表 面地形平坦,属于 IV 类土层,无滑坡、泥石流等不 良地质现象,其西 3 km 有金城关活动断层分布。

台阵在兰州观象台内布设了 10 个观测点,台阵 孔径约为 280 m,各测点均位于黄土土层自由地表, 台阵测点分布如图 1 所示。

表1 K2、Etna 型数字强震动记录器的主要技术指标

K2 型	Enta 型			
3 道(内置 EpiSensor 型三分向力平衡式传感器))			
±2.5 V				
120 dB	108 dB			
0 -50 Hz				
24 位	18 位			
≪1 LSB(均方根值)				
阈值触发,STA 与 LTA 差、比值触发,手动触发	(等)			
50,100,200,250,500 sps 可程控				
标准 UTC,内部时钟守时精度优于 10 ⁻⁶ ,GPS 表	受时精度优于1 ms			
支持网络通信和远程通讯与数据传输的 RS- 19 200,38 400,57 600,115 200 BPS 可选	-232 实时数据流串口,通讯速率 9 600,			
CMOS 固态盘,容量 64 M 字节,可扩充记忆内存	字			
1×RS-232,DB25 或 DB9 串口,1×10-Base~ 保护	-T(RJ45)以太网口,不小于 15 kV 的浪涌			
自动诊断系统电压、记录线道零位电压、充电状; 度等;触发或诊断出错误时自动报警	态、校时状态、可用数据存储空间及环境温			
无,所有通道同步采样				
 ①通讯程序:支持 TCP/IP、XMODEM 通讯协议 对话式命令菜单,参数设置自检功能,提供在线料 ②图形显示程序:自动定标的加速度图形显示,前支持 VGA 等多种图形方式。 ③其他实用程序,包括图形硬拷贝输出,ASCIIS 实测电压值。 ④完备的监控命令和诊断命令,包括实时显示记 间、可存储空间、系统错误及环境温度等。 ⑤自动呼叫,触发、诊断出错及存储空间不足自动 	及直连双向通讯,可在 PC 机上运行,人机 帮助。 记录主要参数的快速显示,图形细化功能, 这件格式转换等,其中 ASC II 文件数据应为 已录线道零位电压、电池电压、充电状态、时 动呼叫。			
小王 3 W(等待记录状态)	· · ·			
- 20℃~+70℃ - 20℃~+70℃				
小王 00%				
小」 30/0 小王 0 kg				
發 学 学 学 学 学				
	K2型 3 道(内置 EpiSensor 型三分向力平衡式传感器 ±2.5 V 120 dB 0 ~50 Hz 24 位 <1 LSB(均方根值)			





台阵各测点的主要仪器设备包括:数字强震加速度仪(第1、3测点为 K2型,其余为 Etna型)、GPS 系统、供电及避雷设备、通讯设备等(图 2)。

配置的强震动加速度仪为美国 Kinemetrics 公司生产的 K2 型和 Etna 型数字强震动加速度仪,内置力三分向平衡式加速度计,型号为 EpiSensor。 有关记录器和加速度计等设备的详细技术参数见表 1 及表 2。加速度仪参数设置事前和事后记录各为 20 s,三个通道触发阈值都为 4 gal,通道极性设置见 表 3。







表	2	EpiSensor	型力	平衡	式加	速度	t计	技术	:指标
---	---	-----------	----	----	----	----	----	----	-----

	技 术指标
测量范围	±2 g
满量程输出	± 2.5 V
灵敏度	± 1.25 V/g
动态范围	145 dB
零位飘移	< 2% FS(-20 °C $\sim +70$ °C)
频带	0~200 Hz,线性相位
横向灵敏度	< 1% (包括非正交性)
线性度	< 1 000
迟滞	< 0.1% FS
静态耗电电流	$\leq 12 \text{ mA}(\pm 12 \text{ V DC})$
工作温度	-20°C~+70°C

表 3 仪器各道极性设置

记录信道	对应方向	极性
第一道	EW	波形向上为地面向东
第二道	NS	波形向上为地面向北
第三道	UD	波形向上为地面向上

2 记录处理与分析

2008 年 5 月 12 日汶川 M_s8.0 特大地震中,兰 州观象台存放台阵获得了 10 组三分量波形完整的 数字加速度记录。从仪器获得的原始记录为电信号 数据,依据仪器灵敏度 1.25 V/g 将电信号数据转 变成加速度数据。为了消除仪器零位的影响,对原 始加速度记录进行了零阶基线校正,具体处理步骤 如下:(1)确定整个波长的加速度记录平均值;(2)从 原始加速度记录减去记录平均值。

处理后的所有测点的加速度时程曲线如图 3 所示。图中每组时程曲线从上至下依次是 EW 向、NS 向和 UD 向。由各测点处理后的加速度记录计算各 测点峰值加速度,数据处理结果见表 4。

表 4 显示,10 个台站的峰值加速度均显示 EW

向大于 NS 向,垂直向最小。虽然该台阵的观测孔 径较小,但各台站峰值加速度仍有差异。由于使用 相同型号的强震动仪器观测,各台站记录的 PGA 则显示出各观测点的场地间差别:就 EW 向而言, 位于兰州观象台西部的场地的第2、3 观测点的测值 明显大于第1、8、7 点测值,由图1(b)可知是由于其 西部存在较深陡坎,因此对于 EW 分向的地面自由 场加速度具有明显的放大作用; NS 向也有类似趋 势,但场地整体在此方向相对平坦,故各测点 PGA 差异不很明显。

表4 各测点记录处理结果

测点	记录	记录时	峰值加速度/[cm・s ⁻²]			
编号	文件名	₭/s ¯	EW	NS	UD	
1	BN009	59	13.5	9.3	6.3	
2	AP015	83	21.0	18.1	7.6	
3	BB025	122	23.3	14.7	6.7	
4	AI015	67	18.7	13.0	7.2	
5	AO022	79	22.7	13.7	6.6	
6	AK028	72	20.0	12.7	7.7	
7	AZ016	72	16.7	14.2	7.1	
8	AP010	73	16.8	12.8	7.7	
9	AL047	83	21.3	12.8	8.0	
10	AM007	85	23.2	12.5	8.5	

各台的垂直向峰值加速度均未显示明显差异。 10 组记录的 EW、NS、UD3 个方向 PGA 分别进行 平均计算,求得平均值及标准方差和离散系数(表 5),可见两个水平向的 PGA 离散程度较大,并且都 要大于竖直向,主要原因在于水平向地震动受土层 放大作用影响较竖向要明显。图 4 给出了每个记录 PGA 的离散程度,可以发现除测点 1 的 EW、NS 方 向及测点 2 的 NS 方向离散程度超过 30%以外,其 他各记录 PGA 离散程度都在 20%以内。

分别计算这 10 组记录的傅立叶幅值谱(FAS)。 由于篇幅有限,本文只给出 EW 方向各记录傅立叶 幅值谱,见图 5。从中可以发现各方向各记录的傅 立叶幅值谱基本上一致。为了能更好的说明这种一 致性,我们计算了这 10 组记录的平均傅立叶幅值谱 (图 6)。并且运用帕曾窗进行平滑,目的是为了能 消除大量的"尖峰",使各记录的傅立叶幅值谱与平 均谱进行比较更为清晰。从图 6 可以发现,各方向 的平均傅立叶幅值谱在频率低于 1 Hz 时标准差非 常小,尤其是 NS 及 UD 向,几乎为 0;在卓越频率周 围,也就是水平向 2 Hz、竖向 4 Hz 周围标准差相对 偏大;高于卓越频率部分标准差又相对减小,并且始 终维持在一个水平。EW、NS、UD 向的平均 FAS 卓越频率及标准方差和离散系数见表 5。





第 33 卷





图4 各记录 PGA 离散程度

Fig. 4 PGA discrete degree of the acceleration records.

表 5 各方向 PGA 值及 FAS 卓越频率离散性统计

体出会数	PGA			FAS 卓越频率			
犹叶参数	EW	NS	UD	EW	NS	UD	
均值	19.720	13.382	7.341	1.780	2.454	3,605	
标准方差	3.264	2.203	0.698	0.076	0.323	0.497	
离散系数	16.6%	16.5%	9.5%	4.3%	13.2%	13.8%	

3 结论

通过峰值加速度和傅立叶谱初步分析,表明在 震源、场地和震中距相同情况下局部小范围场地上





图 6 平均傅里叶幅值谱(已平滑) Fig. 6 Smoothed average acceleration Fourier

spectr in three directions.

不同测点记录的加速度峰值存在一定程度的差异, 在 EW 方向较为明显,较好地反映了场地地形对自 由场加速度的放大作用。10 个台站的峰值加速度 均显示 EW 向大于 NS 向,而垂直向最小。傅立叶 谱分析结果表明各测点傅立叶谱值的差异较小,尤 其在小于1 Hz 频段范围内,傅立叶幅值谱之间的差 异极小。可以推断,不同测点记录的加速度峰值之 间的差异主要是高频成分不同造成的。

[参考文献]

- [1] 闵祥仪,姚凯,何新社. 2003 年 10 月 25 日甘肃平乐一山丹 M_s6.1 地震强震动近场记录和分析[J].西北地震学报,2003, 25(4):289-292.
- [2] 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.
- [3] 卢寿德,李小军主编. 汶川 8.0 级地震未校正加速度记录 [M]. 北京:地震出版社,2008.
- [4] 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.