

2003年10月25日甘肃省民乐-山丹 $M_s 6.1$ 地震强震近场记录和分析

闵祥仪, 姚 凯, 何新社

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要 2003年10月25日甘肃民乐-山丹间发生 $M_s 6.1$ 地震. 震前在兰州地震研究所明确的预报意见指导下就派出4台数字流动强震仪到甘肃省河西地区进行流动观测, 其中民乐流动台获得近场主震记录. 震中距为 12.6 km, EW 向加速度峰值为 331 cm/s^2 , NS 向加速度峰值为 332 cm/s^2 , 垂直向加速度峰值为 209 cm/s^2 . 其它固定自由场数字强震台山丹、肃南、武威也获得记录. 本文分析了近场主震频谱以及远场加速度衰减规律.

关键词 民乐-山丹地震, 近场强震动, 数字化记录, 衰减

中图分类号 P315.63 **文献标识码** A **文章编号** 1000-0844(2003)04-0289-04

0 引言

2003年10月25日20时41分甘肃省民乐-山丹间发生 $M_s 6.1$ 破坏性地震, 7分钟后, 紧接着发生 $M_s 5.8$ 强余震. 震前甘肃省地震局(中国地震局兰州地震研究所)对这一地区震情有明确的预报意见, 强震组按局(所)应急工作部署出动了7台数字化流动强震仪, 其中在河西走廊的安西、玉门、民乐和古浪各架设1台流动强震仪(古浪尚未及架设地震即发生了). 民乐流动台架设好数小时后即发生6.1级地震, 仪器很好地记录下了这一主震. 邻近的山丹、肃南、武威固定强震台也获得了主震和7分钟后发生的 $M_s 5.8$ 强余震记录. 目前, 强震动流动台站仍在民乐地震区继续观测.

本文根据这次地震获取的强震记录资料, 就甘肃省西部地区强震动自由场衰减和这次主震近场加速度的频谱进行分析.

1 资料

$M_s 6.1$ 地震发生时, 民乐数字化流动强震台获得近场主震记录. 震中距为 12.6 km, 经过静校正后, EW 向加速度峰值为 331 cm/s^2 , NS 向加速度峰值为 332 cm/s^2 , 垂直向加速度峰值为 209 cm/s^2 . 此外, “九五”期间数字化改造后的山丹、肃南、武威固定强震台也获得主震记录. 7分钟后发生 $M_s 5.8$ 强余震, 上述4个台站也获得记录, 各台站记录主震的加速度峰值见表1.

主震发生后, 我们按甘肃省地震局(所)紧急通知, 撤下甘肃东部的漳县流动强震仪, 和尚未架设的古浪流动强震仪一起连夜赶赴民乐地震灾区执行震后强余震流动观测任务. 10月25日23时甘肃西部组赶到民乐县城, 10月26日09时甘肃东部组经过800 km的长途跋涉也赶到民乐县. 下午即完成民乐县永固水管所强震台和山丹霍城强震台的架设. 至此震区形成由3个流动台组成的完整的近场流动强震观测系统(表2). 数字化流动台仪器为 Altus-etna 型, 固定数字化强震台仪器为国产 GDQJ-1 型. 满量程均为 $\pm 2g$, 输出电压均为 $\pm 2.5V$.

图1是民乐公路所强震流动台观测到的主震加速度的时间进程.

表 1 2003 年 10 月 25 日民乐 - 山丹 $M_s6.1$ 主震加速度观测结果

台名	经度	纬度	震中距/km	台基类型	峰值加速度/[$\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$]		
					EW 向	NS 向	垂直向
民乐(流动台)	100.819 28°	38.437 31°	12.6	卵石层	330.9	332.4	209.8
山丹	101.033 33°	38.766 67°	41.3	变质砂岩	41.2	25.7	23.0
肃南	99.616 67°	38.850 00°	124.7	砂岩	8.6	6.4	3.7
武威	102.609 17°	37.934 67°	157.4	卵石层	5.2	5.6	5.3

表 2 震区强震动流动观测台站

台名	经度	纬度	开始工作时间	备注
民乐公路所	100.819 28°	38.437 31°	2003-10-25 14 时	etna 强震流动台
永固水管所	100.905 36°	38.362 64°	2003-10-26 14 时	etna 强震流动台
霍城镇政府	101.040 00°	38.390 00°	2003-10-26 18 时	etna 强震流动台

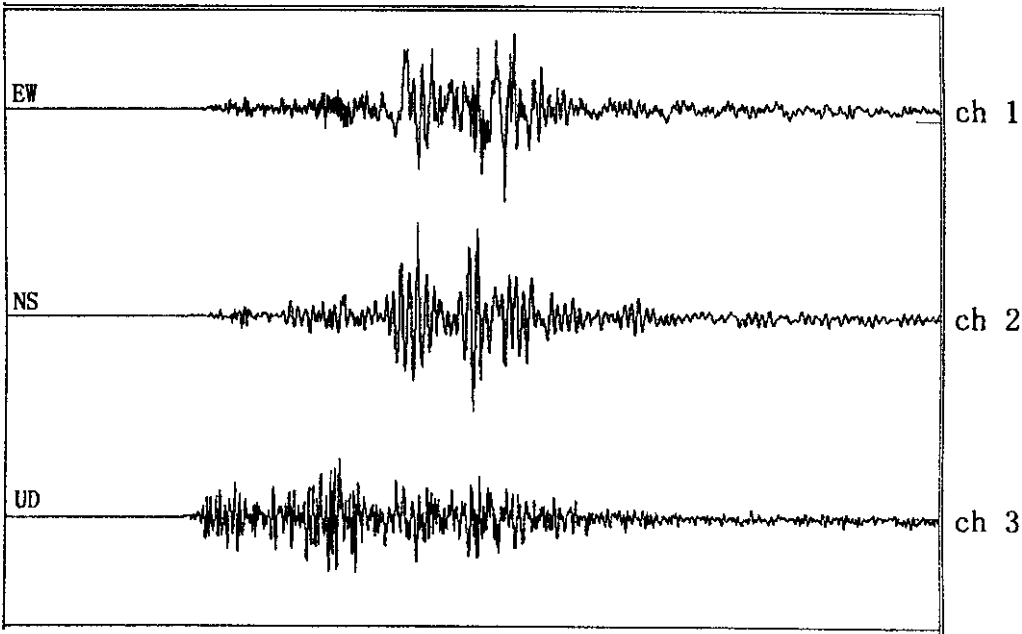


图 1 民乐公路所强震流动台观测到的主震加速度波形

Fig.1 Observational data of mobile seismic station for Minle - Shandan M_s 6.1 earthquake in Minle.

2 余震特征

本次地震的 M_s 5.8 强余震和主震间隔时间很短,相隔仅 7 分钟,2 次地震释放了大量能量.大部分强余震发生在震后 2 天内,仅永固水管所台 10 月 26 日至 27 日一天内即记录余震 141 条,民乐公路所台一天内即记录余震 192 条.到 10 月 30 日 06 时 09 分 M_s 4.0 余震发生时,中间 50 多小时几乎没有强余震发生,距震中最近的永固水管所台也仅增加 2 次余震记录.本次地震的余震发生具有明显的不均匀性.

3 主震的衰减场初步分析

沿祁连山东中段山前分布的 4 个数字化强震台获得了主震记录,其震中距从 12.6 km 的民乐公路所流动台到 157.4 km 的武威固定台基本分布在一条直线上(台基类型见表 1).依据各台记录的加速度振幅峰值绘制出主震自由场加速度随震中距的衰减曲线(图 2).

地震动衰减规律是地震区划和工程场地地震安全性评价的重要依据。由于我国目前强震记录较少,我国第 4 代地震动区划图直接应用 Chandra 的地震烈度衰减公式。石树中、沈建文曾详细研究了美国西部地震烈度的衰减规律^[1],我国河西走廊此前尚无强震多台记录资料。本次民乐 - 山丹 6.1 级地震后,由于取得了较丰富的强震记录,已有可能建立河西走廊地区自由场加速度的衰减规律。我们取 $y = e^A \cdot x^B$ 幂函数衰减规律,对 3 个分量分别拟合 $M_s6.1$ 地震引起的地表自由场加速度随震中距的变化关系。其中 y 为峰值加速度(以 cm/s^2 为单位); e^A 代表与震级相关的近场极限加速度; B 代表与地震波传播介质有关的几何扩散系数; γ 是线性相关系数。对 2 次地震记录拟合结果见表 3。

可见在祁连山北缘河西走廊的中段,3 个分量的自由场加速度峰值均随震中距的增加迅速衰减,其加速度振幅关于震中距的衰减大体服从幂函数规律,即加速度、震中距均取其对数时,线性衰减规律比较明显($\gamma \geq 0.96$)。依据本文确定的这个经验公式,编制 $M_s6.1$ 地震在河西走廊地区不同距离时的经验值(表 4),以利于工程界参考。

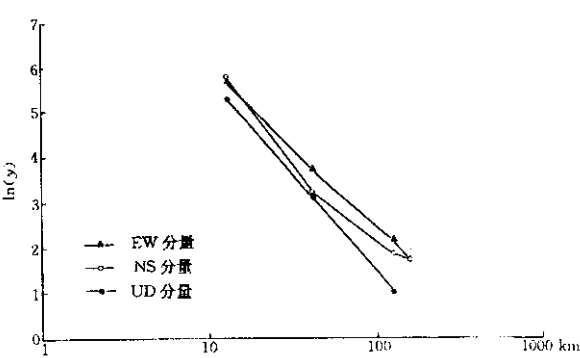


图 2 主震自由场加速度随震中距衰减曲线

Fig. 2 Acceleration attenuation curve of free field with distance in Hexi region, Gansu province.

表 3 地表自由场加速度按 $y = e^A \cdot x^B$ 幂函数衰减规律的拟合结果

事件	分向	$\ln A$	B	γ
$M_s6.1$	EW	9.624	-1.567	-0.999 1
	NS	9.667	-1.613	-0.987 3
	UD	9.216	-1.594	-0.974 6
$M_s5.8$	EW	9.458	-1.653	-0.995 1
	NS	8.105	-1.208	-0.961 1
	UD	8.273	-1.280	-0.988 1

表 4 按 $y = e^A \cdot x^B$ 幂函数衰减规律计算得出的地表自由场加速度峰值

距离/km	加速度峰值/ $\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$		
	EW 向	NS 向	UD 向
30	73.24	65.32	44.52
40	46.66	41.07	28.15
50	32.89	28.65	19.72
60	24.72	21.40	14.75
70	19.41	16.70	11.54
80	15.75	13.46	9.33
90	13.09	11.14	7.73
100	11.10	9.39	6.54
110	9.56	8.06	5.62

4 主震的频谱特征和震源性质

4.1 造成近场民房破坏的主要原因是较强的垂直向加速度作用的结果

由图 3(a)和图 3(b)可见震中距最小的公路所记录的 2 个水平分量的频谱成分均集中在 9~10 Hz 之间,而垂直分量在 10~20 Hz 间,明显高于水平分量。在能量相同的条件下,尽管地震的卓越频率远离平房的固有振动频率,但加速度值在高频振动时引起的附加重力远大于低频段,故对平房造成的破坏作用主要是地基、墙体、砖柱乃至屋顶横梁的附加超重部分。尤其对软地基(高湿沉积黄土层地基),地震引起附加变形可能很大。由于墙体的质量很大,而墙体发生下沉振动时和屋顶发生的振动通常并不同步,可能有墙体振动的谷值对应屋顶峰值的情况出现,更容易超过横梁的破坏极限。

4.2 近场水平向加速度的主要分量是 EW 方向

近场自由场加速度观测表明,EW 向振幅大于 NS 向。这和地震对建筑物破坏程度的宏观调查结果相吻合,NS 走向的墙体倒塌居多,即使距震中远达 20 km 的山体黄土陡坡,也有 NS 走向出现塌陷或滑坡者较 EW 走向为多的现象。

4.3 固定台站的卓越频率反常原因初探

本次距震中最远的武威台 NS 向与 UD 向的卓越频率稍大于较近的肃南台,可能由台站台基不同造成.肃南台位于砂岩山洞内,由于山体的存在,致使较大范围内的地表介质的振动频率降低.

4.4 从近场加速度记录和位移积分结果初步讨论震源机制

对民乐、山丹、肃南和武威台记录的加速度时程进行 2 次积分,经消除漂移获得各台的位移曲线.发现垂直向的位移只有民乐公路所的为正向,其余均为负向.而远离震中的台站大部分在震中东侧.由此推测震源机制主震当属逆冲走滑性质.公路所记录的位移分别为向北和向西,而发震断层为 NWW 走向,从近场强震记录加速度波形的初动极性推测,断层性质当为右旋.

5 结论和讨论

(1) 从近场强震记录的获取来看,这次民乐—山丹地震由于有较好的预报意见,取得了满意的强震近场观测记录.

(2) 依据 $M_s 6.1$ 和 $M_s 5.8$ 地震记录分析自由场的加速度衰减规律,在甘肃省河西走廊中段基本遵从幂函数衰减规律,在极震区内的加速度衰减非常剧烈.当加速度和震中距均取自然对数时,其线性相关系数达 0.96 以上.若取 3 个分量 A、B 的平均值,则经验衰减公式可近似表达为

$$y = e^{9.5} \cdot x^{-1.60} \quad (\text{对 } M_s 6.1 \text{ 地震});$$

$$y = e^{8.6} \cdot x^{-1.38} \quad (\text{对 } M_s 5.8 \text{ 地震})$$

其中 y 为自由场的加速度, x 为震中距.

(3) 对强震加速度记录进行频谱分析,得知民乐—山丹极震区的卓越频率分布在 10 Hz 附近,在震区灾后重建的房屋抗震设计中应注意避免接近此频率,并建议在湿陷性黄土覆盖地区尽量采用轻型结构的屋顶设计.

震区的地质背景和台基所在地的详细地质资料有待于进一步调研,并加以探讨.

本文应用的波形分析程序系哈尔滨北奥振动技术开发有限公司编制的公开程序,在此致谢.

[参考文献]

- [1] 石树中,沈建文.美国西部地震烈度衰减规律[J].世界地震工程,2003(3):50—55.

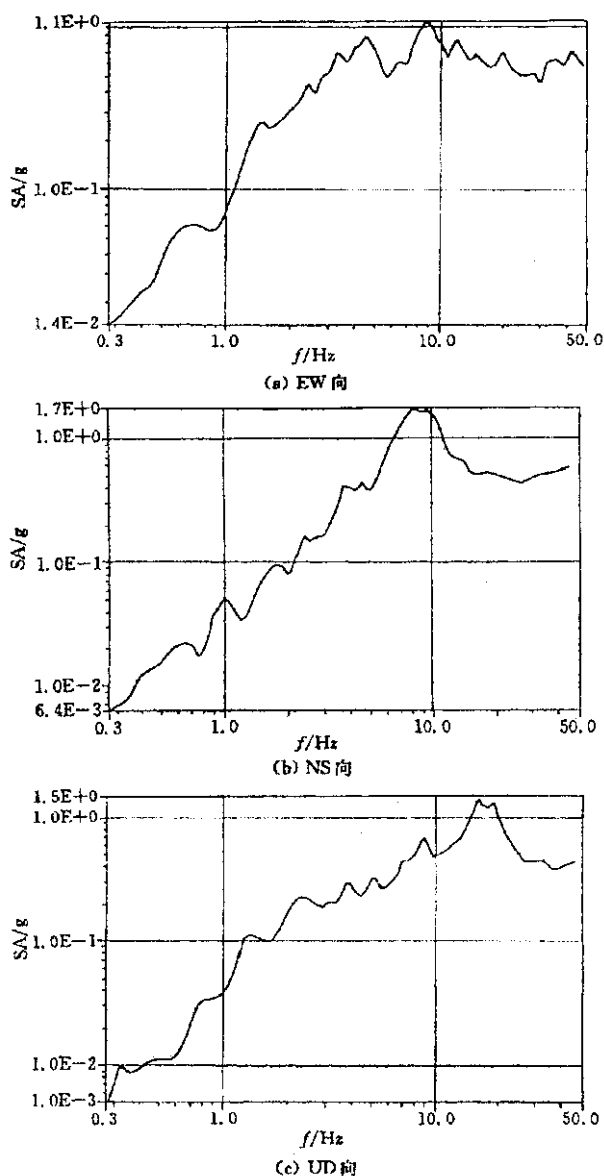


图3 民乐公路所流动台加速度反应谱

Fig. 3 Acceleration response spectrum in Minle mobile seismic station for $M_s 6.1$ earthquake.

CURRENT CRUSTAL DEFORMATION IN NORTH SECTION OF XIANSHUIHE FAULT CONSTRAINED BY GLOBAL POSITIONING SYSTEM

LI Tie-ming¹, DENG Zhi-hui¹, LUI Yi-pei², LIU Ben-pei³

(1. *Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing 100029, China;*

2. Seismological Bureau of Sichuan Province, Sichuan Chengdu 610041, China;

3. Institute of Surveying and Mapping of Wuhan University, Hubei Wuhan 430070, China)

Abstract Global Positioning System(GPS) network on north section of Xianshuihe fault is arrayed in 1991 and measured 3 times in 1991, 1996 and 2000. The result shows that : (1) The displacement velocity increase regularly from Xialatuo station in rate of 8.5 ± 0.8 mm/yr with SE direction to Qianning station in rate of 13.8 ± 1.7 mm/yr with EW direction along the fault. (2) On the Daofu measure profile which cross the fault, the velocity rise as stations are far from the fault on the SW wall of fault. (3) The relative movement of the stations on two walls of the fault is little so we infer that at present the slip rate of the Xianshuihe fault is not obvious that is in accordance with the conventional geodetic data along the fault. As the conclusion, in the period of minor activity of Xianshuihe fault, the Chuandian and Chuanqing plates should be thought as a whole when studying its seismic hazard, in other time we should put our studying focal on the activity of the fault and the relationship with the seismic hazard.

Key words Xianshuihe Fault ; GPS survey ; Crustal deformation

(上接 292 页)

STRONG MOTION RECORDS AND PRELIMINARY ANALYSIS FOR MINLE – SHANDAN M_s 6.1 EARTHQUAKE ON OCT. 25 2003, GANSU PROVINCE

MIN Xiang-yi, YAO Kai, HE Xin-she

(*Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Gansu Lanzhou 730000, China*)

Abstract Minle – Shandan M_s 6.1 earthquake occurred on Oct. 25 2003. in west of Gansu province. Just before the earthquake 4 digital mobile strong motion instruments were erected in Hexi region, near the epicenter, by Lanzhou Institute of Seismology, according to the definite prediction opinion of the Institute. One instrument of them in Minle mobile station obtained the near-field strong motion seismic record of main shock. The distance to epicenter is 12.6 km. The maximum acceleration on direct EW is 331 cm/s^2 , on NS is 332 cm/s^2 and on UD is 209 cm/s^2 . Furthermore some immobile strong motion stations in Hexi region (Shandan, Sunan and Wuwei) also obtained this event. In the paper the observed near-field frequency spectrum of main shock and the acceleration attenuation equation for Hexi region, Gansu province, are discussed based on the data of M_s 6.1 main shock and M_s 5.8 aftershock.

Key words Minle – Shandan earthquake ; Near-field strong motion ; Digital data ; Attenuation