

2002年12月17日玉门 M_L 4.5地震 的强震仪多条记录资料分析

何少林^{1,2}, 闵祥仪², 何新社²

(1. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:对2002年12月17日玉门 M_L 4.5地震近场多道强震仪的加速度记录进行了分析处理,校正了仪器响应和基线,计算了速度和位移时程曲线及各种谱值,并对记录特点做了分析。

关键词:玉门 M_L 4.5地震;近场;强震仪;记录;分析;

中图分类号:P315.63

文献标识码:A

文章编号:1000-0844(2004)03-0274-06

0 引言

地震近场加速度记录资料是研究震源机制、地震破裂过程和工程地震研究应用的重要基础数据,积累有价值的强震记录并进行分析处理是强震观测的基本任务^[1]。我省在“九五”项目执行期间引进了先进的固态存储数字强震仪,并在2002年12月17日玉门 M_L 4.5地震中第1次记录到了近场多条加速度数字化记录。所得记录波形完整、震相清晰。探索数字强震记录的处理和分析,对评价仪器工作性能和“十五”期间建立甘肃强震台网、兰州烈度速报台网和西北强震数据处理中心有促进意义。

1 地震与观测概况

1.1 地震基本参数

发震时间:2002-12-17 04:36:44.8;震中位置:97.38°E,39.83°N;震级: M_L 4.5(M_s 4.0);震中:甘肃玉门市。震中位于河西走廊西端酒西盆地南缘,大地构造属于北祁连褶皱带的走廊过渡带西端与阿尔金褶皱带的交接部位。

1.2 测点布置

此次地震布设有3台流动 Etna 数字强震仪。记录仪器信息见表1,地震震中和台站分布见图1。

表1 记录仪器信息

测点编号	仪器编号	测点位置			震中距/km	记录场地类型
		经度	纬度	高程/m		
1	2634#	97.424°	40.014°	1 570	21	自由地表(沙砾层)
2	2638#	97.556°	39.801°	2 317	15	自由地表(沙砾层)
3	2640#	97.280°	39.790°	2 395	10	自由地表(沙砾层)

震中距计算公式为^[2]: $\Delta(\text{km}) \approx 111.199 \sqrt{(\varphi_s - \varphi_e)^2 + (\lambda_s - \lambda_e)^2 \cdot \cos^2 \frac{\varphi_s + \varphi_e}{2}}$,其中 φ_s 、 λ_s 是台站纬度、经度; φ_e 、 λ_e 是震中纬度、经度,1°=111.199 km。

收稿日期:2003-06-17

中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC20040061

作者简介:何少林(1965-),男(回族),宁夏吴忠人,高工,现从事地震观测技术与地震应急技术工作。

1.2 仪器参数

Etna 强震仪是美国 Kinemetrics 公司生产的固态数字存储强震仪,其内置三分向力平衡加速度计和内置 GPS。我们在实际记录前对仪器进行了标定,分析标定结果证明仪器处于正常工作状态。

仪器主要参数:(1)动态范围:大于 145 dB;(2)频率范围:DC ~200 Hz;(3)满刻度范围:2 g;(4)满量程输出:2.5 V;(5)固有周期:208 Hz;(6)阻尼:0.7;(7)记录波形数据采样率:200 点/秒;(8)标准传递函数:

$$\frac{v(s)}{A(s)} = \frac{k_1 * k_2}{(s - p_1)(s - p_2)(s - p_3)(s - p_4)}$$

其中 $v(s)$ 是输出电压的 Laplace 变换; $A(s)$ 是输入加速度的 Laplace 变换; $k_1 = 2.46 \times 10^{13}$; k_2 是传感器的灵敏度(V/g); s 是 Laplace 变换变量,其极点值 $p_1 = -981 + 1\ 009i, p_2 = -981 - 1\ 009i, p_3 = -3\ 290 + 1\ 263i, p_4 = -3\ 290 - 1\ 263i$ 。

2 处理结果

2.1 未校正结果

对未校正(原始记录)加速度波形数据计算各分向零偏、均方根和最大加速度值,结果见表2。未校正加速度记录典型波形见图2。

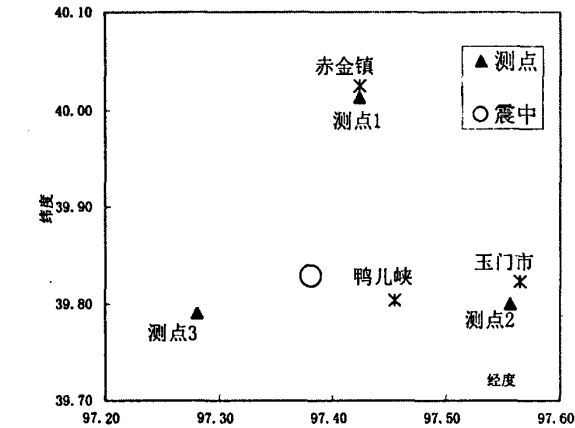


图1 玉门地震震中与测点分布图
Fig.1 Distribution of the epicenter of Yumen earthquake and the observation points.

表2 未校正处理结果

测点编号	分向	零偏/mV	最大加速度/g	RMS/g
1	CH1	-12.2	0.007 336	0.001 180
	CH2	20.6	0.011 218	0.001 344
	CH3	20.7	-0.007 714	0.001 025
2	CH1	2.5	-0.004 806	0.000 805
	CH2	18.4	-0.003 323	0.000 612
	CH3	-26.5	0.005 169	0.000 759
3	CH1	-10.4	-0.092 281	0.007 724
	CH2	-16.2	-0.124 981	0.010 039
	CH3	-25.1	-0.135 201	0.007 166

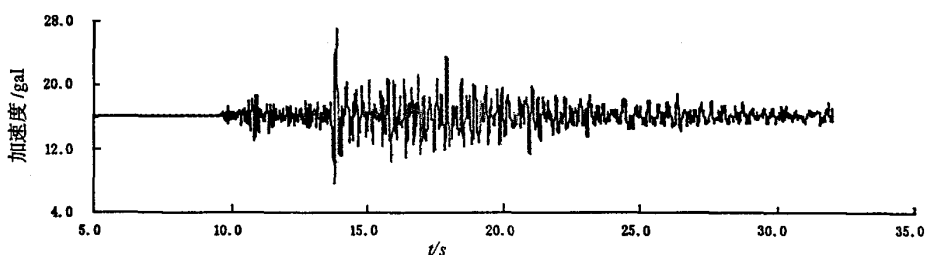
注:CH1、CH2、CH3 分别表示东西向、南北向和垂直向(以下相同)。1mV 电压相当于 0.784gal。

2.2 校正处理结果

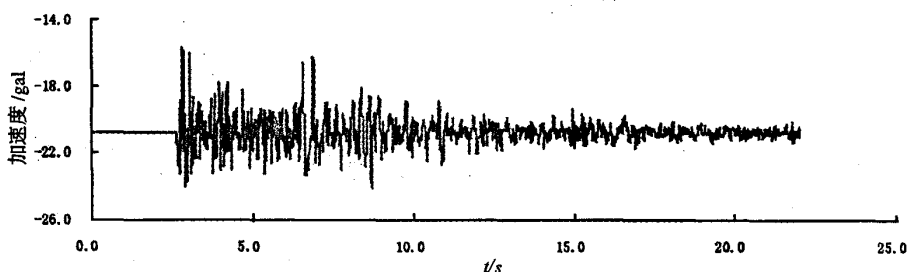
校正处理包括基线校正和记录仪器校正。基线校正是对整个波形文件计算偏差值。校正处理参数和计算结果见表3。

表3 校正处理参数和处理结果

测点编号	分向	校正处理参数			校正处理结果(峰值)		
		自振周期/s	阻尼	灵敏度/[V · g ⁻¹]	加速度/gal	速度/[cm · s ⁻¹]	位移/cm
1	CH1	0.0050	0.7000	1.251	7.193	0.258	0.034
	CH2	0.0050	0.7000	1.250	10.987	0.455	0.028
	CH3	0.0050	0.7000	1.249	7.677	0.129	0.010
2	CH1	0.0051	0.7000	1.250	4.717	0.370	0.014
	CH2	0.0047	0.7000	1.252	3.271	0.104	0.013
	CH3	0.0047	0.7000	1.252	5.150	0.192	0.015
3	CH1	0.0049	0.7000	1.2512	91.56	3.213	0.189
	CH2	0.0050	0.7000	1.2504	122.397	3.916	0.184
	CH3	0.0048	0.7000	1.2483	122.653	1.292	0.050



(a) 测点1 CH2分向



(b) 测点2 CH3分向



(c) 测点3 CH2分向

图2 未校正的加速度原始记录

Fig. 2 Uncorrected acceleration time series in the original record.

对校正处理后的加速度进行积分形成速度和位移波形^[3]。其中测点3的CH2分向校正处理后的加速度记录波形、校正速度波形、校正位移波形见图3。

2.3 谱计算

对校正后的加速度、速度和位移计算各种谱,包括加速度响应谱、速度响应谱、位移响应谱、功率谱密度、傅立叶振幅谱、FFT、伪速度响应谱。

(1) 反应谱计算参数:对阻尼取5个典型值,分别是0.00、0.02、0.05、0.10、0.20;周期取91个周期点值,最小取值0.040 s,最大取值15.000 s;最小间隔0.002 s,最大间隔1.000 s。

(2) 功率谱密度(PSD)计算参数:拐角频率取100 Hz;滤波器阶数取6;重叠系数取0.625。

(3) FFT计算参数:窗类型取矩形窗;锥性系数取0.100;填补范围取1.100。

测点部分谱结果见图4和表4。

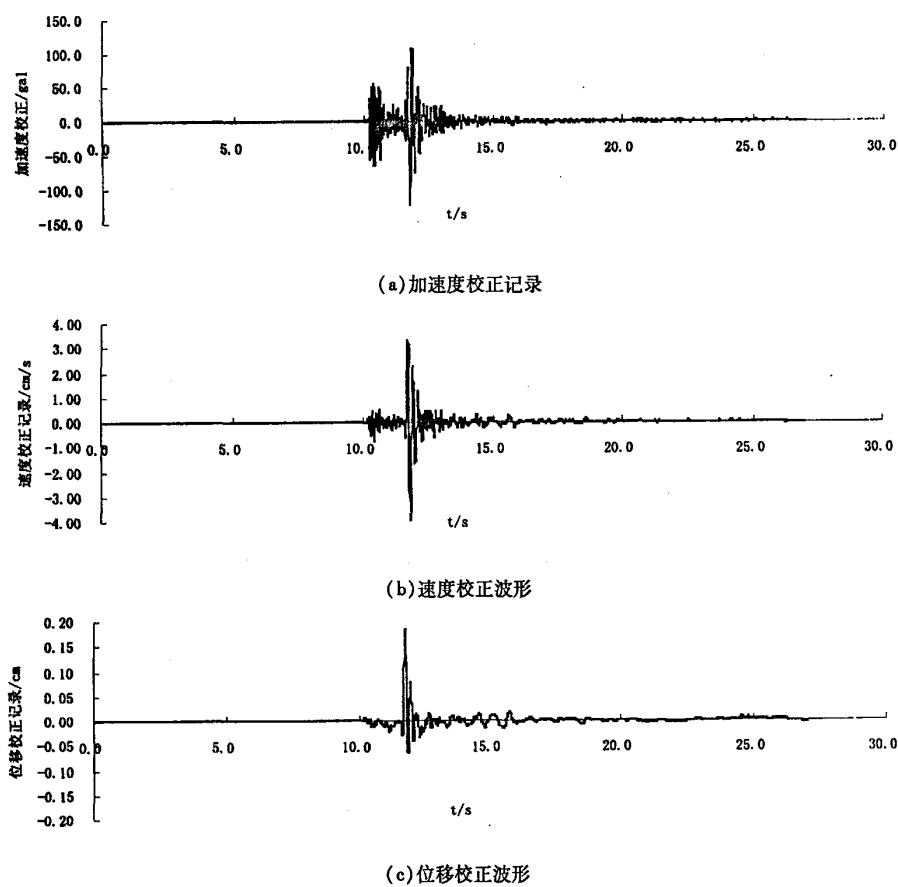
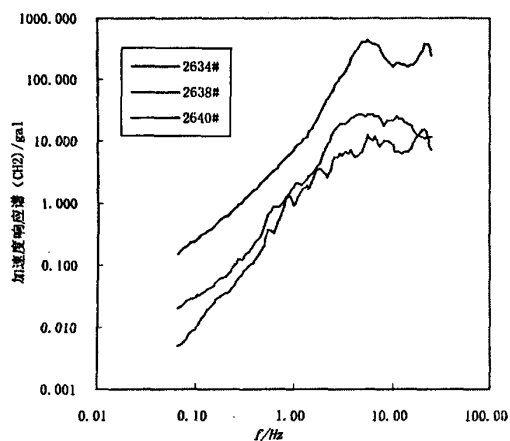


图3 测点3 CH2分向校正后的加速度时程曲线、速度时程曲线和位移时程曲线

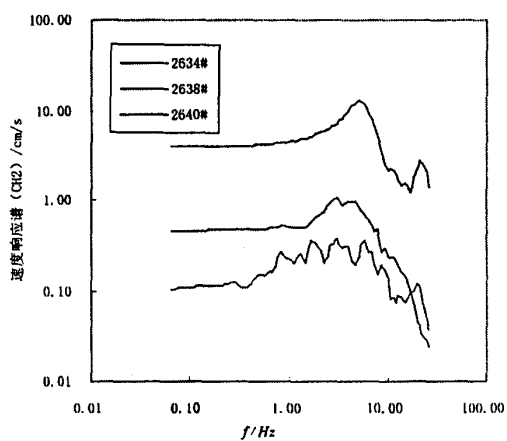
Fig.3 Corrected acceleration, velocity and displacement time series at 3# observation point.

表4 谱计算结果(阻尼0.05)

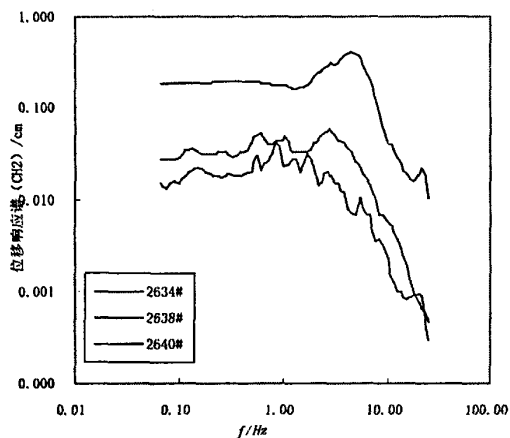
测点 编号	分向	谱峰值/对应频率						
		A/gal	V/[cm·s ⁻¹]	D/cm	PSV/[cm·s ⁻¹]	PSD/[g ² ·Hz ⁻¹]	FA/[cm·s ⁻¹]	FFT/[g·Hz ⁻¹]
		f/Hz	f/Hz	f/Hz	f/Hz	f/Hz	f/Hz	f/Hz
1	CH1	27.731	0.919	0.06360	0.9679	6.56×10 ⁻⁷	2.77	4.92×10 ⁻³
		4.546	4.545	1.176	4.545	4.49	4.55	4.49
	CH2	26.812	1.0504	0.05672	1.0207	5.93×10 ⁻⁷	3.57	4.69×10 ⁻³
		4.546	2.941	2.778	2.941	5.66	3.33	4.74
	CH3	30.261	0.4291	0.03316	0.4160	2.03×10 ⁻⁷	1.95	2.88×10 ⁻³
2	CH1	12.500	2.500	1.818	4.545	10.5	10.5	13.0
		15.7643	0.83791	0.0680	0.7880	2.64×10 ⁻⁷	2.1381	2.37×10 ⁻³
	CH2	5.882	2.174	1.667	2.083	1.953	1.818	1.904
		15.6581	0.3744	0.0426	0.3552	1.16×10 ⁻⁷	1.1872	1.23×10 ⁻³
	CH3	20.833	2.941	0.833	5.558	6.641	6.667	6.690
3	CH1	18.9757	0.4681	0.0379	0.4939	1.73×10 ⁻⁷	1.4308	2.05×10 ⁻³
		18.182	3.125	0.417	3.125	3.711	4.545	3.809
	CH2	350.592	7.8351	0.30181	7.2392	6.56×10 ⁻⁷	11.8557	1.27×10 ⁻²
		21.739	3.846	3.571	3.846	4.49	3.8462	3.906
	CH3	429.376	12.7191	0.41008	12.6137	5.93×10 ⁻⁷	21.8931	2.27×10 ⁻²
	CH2	5.556	5.000	4.545	5.263	5.66	4.5455	4.541
		445.631	3.3512	0.1157	3.0868	68.4×10 ⁻⁷	8.7051	1.01×10 ⁻²
	CH3	22.727	11.765	2.273	22.727	23.242	14.2857	15.820



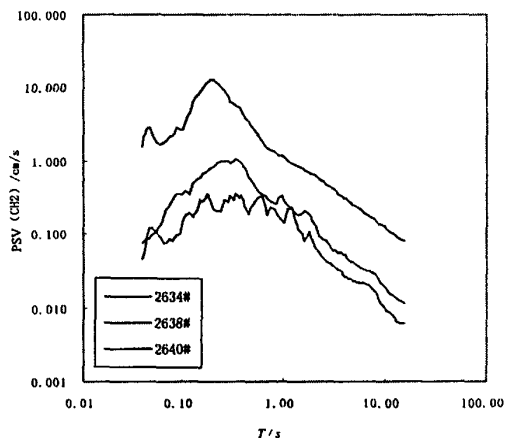
(a) 各测点加速度响应谱(CH2, D=0.05)



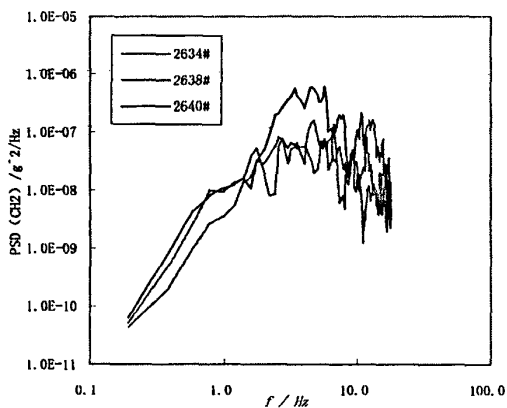
(b) 各测点速度响应谱(CH2, D=0.05)



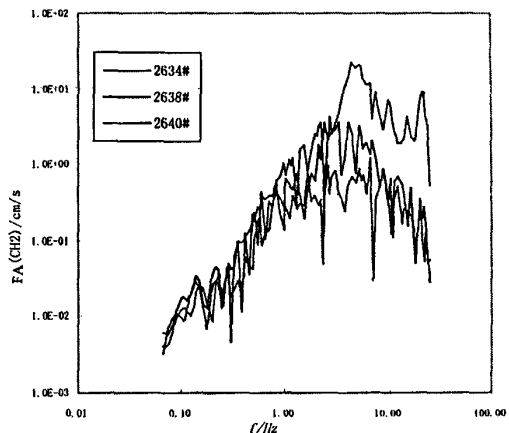
(c) 各测点位移响应谱(CH2, D=0.05)



(d) 各测点伪速度响应谱(CH2, D=0.05)



(e) 各测点功率谱密度(CH2)



(f) 各测点傅氏振幅谱(CH2)

图4 各测点谱曲线

Fig. 4 Spectra curves of three observation points.

2.4 烈度计算

表3中测点3(震中距10 km)记录的加速度峰值约为122 gal,即其对应的烈度约为Ⅶ区^[4],可得出该次地震震中烈度为Ⅶ。加速度记录为确定地震烈度提供了可供参考的定量依据。

3 结果分析

(1)由表3得出,基本趋势是加速度峰值随震中距的增加而减小,但受介质各向异性和记录场地覆盖层局部条件的影响,同一震中距(或震中距基本相等)的不同地点(如测点1和测点2)测得的加速度峰值并不相等;

(2)由表1和图1知道,3个测点基本包围震中,由表2、表3知道,同一测点的垂直向和水平向最大加速度峰值之比约为0.963,即基本相等,这与加速度近场记录特点基本相符;

(3)由表3、表4可基本得出,加速度峰值 $\approx$ 速度峰值 $\times 2\pi f$,其中 f 为加速度记录傅立叶振幅谱最大值对应的频率;

(4)由谱计算结果知道,不同阻尼取值,对各种谱的峰值影响较大,但对峰值对应的周期则影响较小;

(5)由图4和表4看出,各种谱的主频域约为3.0~12.0 Hz;

本文是对数字强震仪记录资料的基本分析,一方面是为了积累有价值的原始记录资料,也是对基本处理结果的积累,便于地震工程研究应用。以上的结果分析也是初步的,有待积累资料后进一步研究补充。

[参考文献]

- [1] 谢礼立,于双久.强震观测与分析原理[M].北京:地震出版社,1982.
- [2] 张诚.地震分析基础[M].北京:地震出版社,1988.
- [3] 胡聿贤.地震工程学[M].北京:地震出版社,1988.
- [4] 国家质量技术监督局.中华人民共和国国家标准.中国地震烈度表(GB/T 17742-1999)[S].1999.

ANALYSIS ON RECORDS OF STRONG MOTION ACCELEROGRAPH IN YUMEN $M_L4.5$ EARTHQUAKE ON DEC. 17, 2002

HE Shao-lin^{1,2}, MIN Xiang-yi², HE Xin-she²

(1. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China;
2. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The records of strong motion accelerograph in near field of Yumen $M_L4.5$ earthquake on Dec. 17, 2002 are analyzed. After the baseline adjustment and equipment corrected, velocity time series and displacement time series and all spectrum values are calculated. In the end, the characteristics of the records in Yumen region are analyzed.

Key word: Yumen $M_L4.5$ earthquake; Near field; Strong motion accelerograph; Record; Analysis