

2013年7月22日岷县漳县6.6级地震 强震记录及特征分析^①

黄旭涛, 温瑞智, 任叶飞, 徐培彬

(中国地震局工程力学研究所, 中国地震局地震工程与工程振动重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要:2013年7月22日甘肃省定西市岷县漳县交界发生6.6级地震, 国家强震动台网在甘肃、四川和陕西的64台强震仪触发并获得了主震加速度记录。本文对强震动记录进行了常规处理, 统计了强震动记录数量随震中距的分布, 绘制了空间地震动加速度等值线图; 通过观测数据与霍俊荣和意大利新一代地震动衰减公式对比, 分析了峰值加速度(PGA)及谱加速度衰减关系, 发现此次地震观测数值远低于常用地震动预测值; 利用渭河盆地的远场记录验证了远场地震动卓越周期变大的特点以及场地对记录的影响; 参考岷县地区地质特点并通过分析宏观烈度及地震动的谱烈度, 初步确定了地震震害与烈度的相关性。

关键词: 岷县漳县 6.6 级地震; 强震动记录; 衰减关系; 烈度

中图分类号: P315.914

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2013)03-0489-08

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.03.0489

Strong Motion Records and Its Characteristics in Minxian— Zhangxian M_s 6.6 Earthquake on July 22, 2013

HUANG Xu-tao, WEN Rui-zhi, REN Ye-fei, XU Pei-bin

(Institute of Engineering Mechanics, Key Laboratory of Earthquake Engineering and
Engineering Vibration, CEA, Harbin, Heilongjiang 150080, China)

Abstract: The Minxian—Zhangxian M_s 6.6 earthquake occurred on July 22, 2013, at Minxian country, Gansu province (34.5°N, 104.2°E), which had resulted in 95 persons dead and 1366 persons injured until July 24, 2013. Digital strong ground motion records of high quality have been obtained in this earthquake for the third time in China following the Wenchuan earthquake and the Lushan earthquake. 64 strong motion stations installed in Gansu, Sichuan and Shanxi province were triggered and acceleration records in the main shock were obtained. In this paper, the preliminary characteristics of these records were analyzed including the spatial locations of these stations, the number of records within different epicenter distances and PGA contours. Comparing the observed data with the attenuation relationship (ground motion prediction equations: one is HUO (1989) and another one is Italy08), it has been found that the observed PGAs and spectral accelerations are remarkably lower than the empirically predicted ones. In general, the far-field strong ground motion is much lower; however, long-period ground motion attenuates slower than the near-field ground motion due to the particular traveling path and site effect. The

^① 收稿日期: 2013-08-03

基金项目: 中国地震局工程力学研究所基本科研业务资助项目(2013C03); 国家自然科学基金(51308515, 51278473); 中国地震局公益性行业科研专项(201208014)

作者简介: 黄旭涛(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为工程地震。电话: 15630354007。E-mail: hithuangxutao@163.com

通信作者: 温瑞智(1968—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为工程地震。电话: 15804610440。E-mail: ruizhi@iem.ac.cn

reason of the amplification is that some stations located in the center of the basin have a thick overburden than the station located at the edge of the basin. The analysis of the far-field records obtained in Weihe Basin indicates the predominant period become longer. Housner $G W$ proposed I_H as an effective intensity measure to correlate seismic severity with structural damage to buildings. For this reason, records and code values have also been compared in terms of I_H . By analyzing the Macro seismic intensity and Housner spectral intensity and consulting the geological characteristics of Minxian, the good correlation between the earthquake damage and seismic intensity has been preliminarily presented. Because of the economic backwardness, the houses in rural areas are mainly of masonry structures, of which the seismic performance is poor. Many houses are severely damaged in the earthquake, especially the houses near the epicenter in Minxian country. Most of them are sited in poor geological region, such as valleys, steep slopes and hills. What's more, the slope effect amplifies the effect, so the houses are damaged more seriously. The original structure of loess looses because of the ground motion, and then led to the landslides. So the Minxian—Zhangxian earthquake was not very strong, but the earthquake also caused a lot of geological disasters. The macro intensity of China has the characteristics of integrated indicators. This study has an important role on ground motion characteristics and engineering damage investigation in the western region of China. Strong motion records in Minxian—Zhangxian earthquake can be used in further study of ground motion characteristics by combining with that in the Wenchuan earthquake and Lushan earthquake.

Key words: Minxian—Zhangxian $M_s 6.6$ earthquake; strong motion records; attenuation relationship; seismic intensity

0 引言

2013 年 7 月 22 日 07 时 45 分,在甘肃省定西市岷县、漳县交界(北纬 34.5° ,东经 104.2°)发生 6.6 级地震。此次地震发生在位于南北地震带北段的甘东南地区,是中强震多发区,历史上和近代曾发生过多次中强地震。东南部地区的临潭—宕昌断裂的中东段为本次地震的孕震和发震构造。

近年来我国发生的地震较多,但由于种种原因许多地震未能获得较为全面的可供参考应用的强震动记录。2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震中台网获得了 388 个台站和 1 个地形台阵的记录,共获得主震记录约 1 160 条^[1];2013 年 4 月 20 日芦山 7.0 级地震国家数字强震动台网共获得 3 分量自由场记录 114 组,成都地震烈度速报台网获得了 63 组记录^[2]。本次地震是我国自汶川地震、芦山地震以来第三次比较全面的获得高质量数字强震动记录的地震。本文在分析总结岷县地震强震动记录的基本特征基础上,对比研究本次地震衰减关系及宏观烈度,并通过分析渭河盆地台站记录的特征研究本次地震的局部场地效应和远场长周期特点。

1 强震动记录特征

这次地震震中位于甘肃、四川、陕西的国家数字强震动台网在主震中共获得 3 分量自由场记录 64 组,台站分布见图 1。根据震中距大小对上述记录进行分类(图 2),其中震中距 ≤ 50 km 的记录有 2 组,震中距在 50~100 km 范围内有 4 组,其余震中距都在 100 km 之外。虽然此次地震获取的强震动

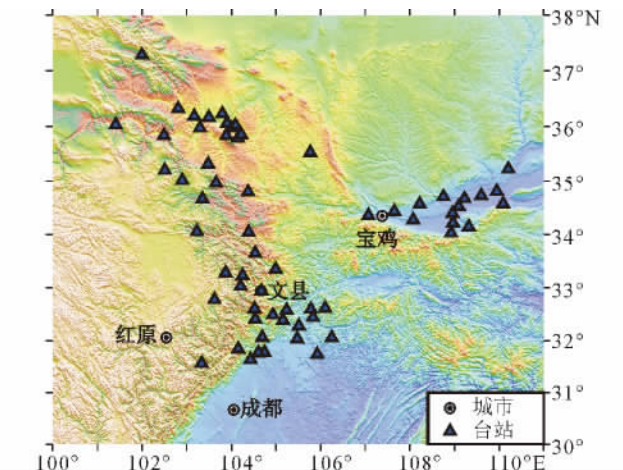


图 1 岷县 6.6 级地震强震动记录台分布

Fig. 1 Distribution of strong motion stations which recorded Minxian—Zhangxian $M_s 6.6$ earthquake

录较为全面,但由于震中附近台网相对稀疏,获得的近场记录并不多,能够供工程使用的强震动记录较少。

在强震动记录使用分析之前要对记录进行必要的^[3-4]的数据处理。原始强震动记录通过减去事前记录平均值的方式进行零线调整,消除基线漂移对于时程计算的影响。本文采用 Boore 方法对部分近场记录进行了基线校正处理^[3-4]。通过分析计算得出了近场典型台站强震记录的基本信息及其相关参数,见表 1。本次地震所记录到的最大的峰值加速度(PGA)来自于距离震中 17.44 km 的岷县台(062MXT),EW 方向为 177.70 gal,NS 方向为 172.20 gal,UD 方向为 76.10 gal。最远触发台站 051CXQ 距离震中 555 km,记录幅值小于 3 gal。图

3 给出了近场 4 个典型强震动台站加速度及速度时程。

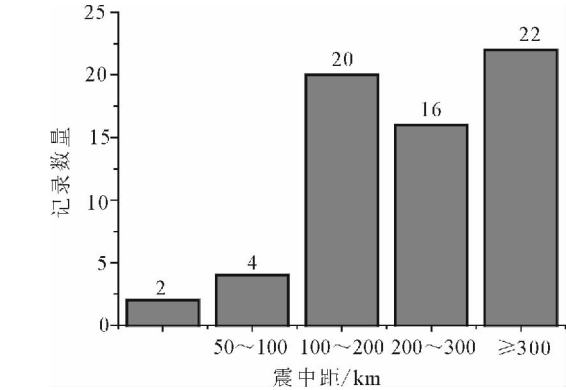


图 2 强震动记录数量与震中距的关系
Fig. 2 Numbers of strong motion records versus epicenter distances

表 1 典型强震动记录及其相关参数
Table 1 Typical strong motion records and some related parameters

台站名称	台站代码	场地类型	震中距/km	PGA/(cm·s ⁻²)			PGV/(cm·s ⁻¹)		
				EW	NS	UD	EW	NS	UD
岷县台	062MXT	土层	17.44	177.70	172.20	76.10	-8.34	7.47	3.48
舟曲台	062ZHQ	土层	37.04	13.60	14.24	-10.60	0.79	-1.03	-0.80
宕昌台	062TCH	土层	53.41	-77.60	-79.80	55.50	-4.11	3.11	-2.25
冶力关台	062YLG	土层	70.83	-38.10	-30.90	14.30	-1.52	1.16	0.94

分别计算上述台站记录 EW 和 NS 方向的加速度反应谱,如图 4 所示,可以看出本次地震所得近场记录的卓越周期在 0.1 s 附近,VI 度区以内随着震中距的增大反应谱的卓越周期变化不大。本文统计了强震记录的峰值加速度(PGA),采用克里格插值方法获得了 EW、NS、UD 三个方向的 PGA 自然对数等值线图,如图 5 所示。由于此次地震多数台站获得峰值较小,为了等值线的显示清晰,将 PGA 进行自然对数取值后再作插值计算。根据中国地震局网站提供的震源机制解,该地震为带走滑的逆冲型。从图 5 中可以看出 PGA 自然对数等值线的水平向图形走向与地震宏观烈度的走向具有较强的相似性。

2 衰减关系

本次地震发生在我国西北黄土高原地区,因黄土在厚度、地貌等方面的突出特点及动力易损性等特殊的土力学性质,黄土地区地震震害有场地地震害重、震害范围大等特点^[9]。考虑到岷县地区工程地质的特点以及强震台的选址,本文中选用了霍俊荣衰减关系^[5],选取中国西北地区土层场地分项系数计算 PGA 衰减关系,该关系适用范围为 300 km。

图 6 是此次地震观测加速度峰值(包括 EW、NS 和 UD 向)和预测值之间的对比。从图中记录观测 PGA 与霍俊荣衰减关系预测值对比发现,此次地震 PGA 离散性较大,总体看来水平方向(EW、NS)的观测值较预测值显著偏小,而竖向(UD)观测值与预测值吻合较水平方向好。通常强震动观测数据存在少数质量问题,部分数据由于各种原因会产生不良信号,但这些数据可以利用经验剔除。造成此次地震预测数据偏高的原因,可否归为该衰减关系的可靠性较低或是地震震级较低,值得进一步探讨。但该衰减关系在我国目前仍被广泛使用。

2013 年 4 年 20 日 7.0 级芦山地震后,温瑞智等选取了意大利的新一代衰减关系(Italy08 GMPE)作为对比地震的预测方程,通过与芦山地震强震动记录对比获得了与观测记录较一致的结果^[3,8]。因此本文也将观测值对比了意大利的新一代衰减关系值,探讨国外衰减关系在我国的适用性,见图 7。由于该衰减关系的适用范围为震中距 100 km,但为了与图 6 进行比较因而延长至 300 km,可以看出在近场的 2 个台站吻合较好,但大多数观测数值仍明显低于衰减关系均值,且该衰减关系的曲线下降速度较慢。综上,此次地震的强震动观测 PGA

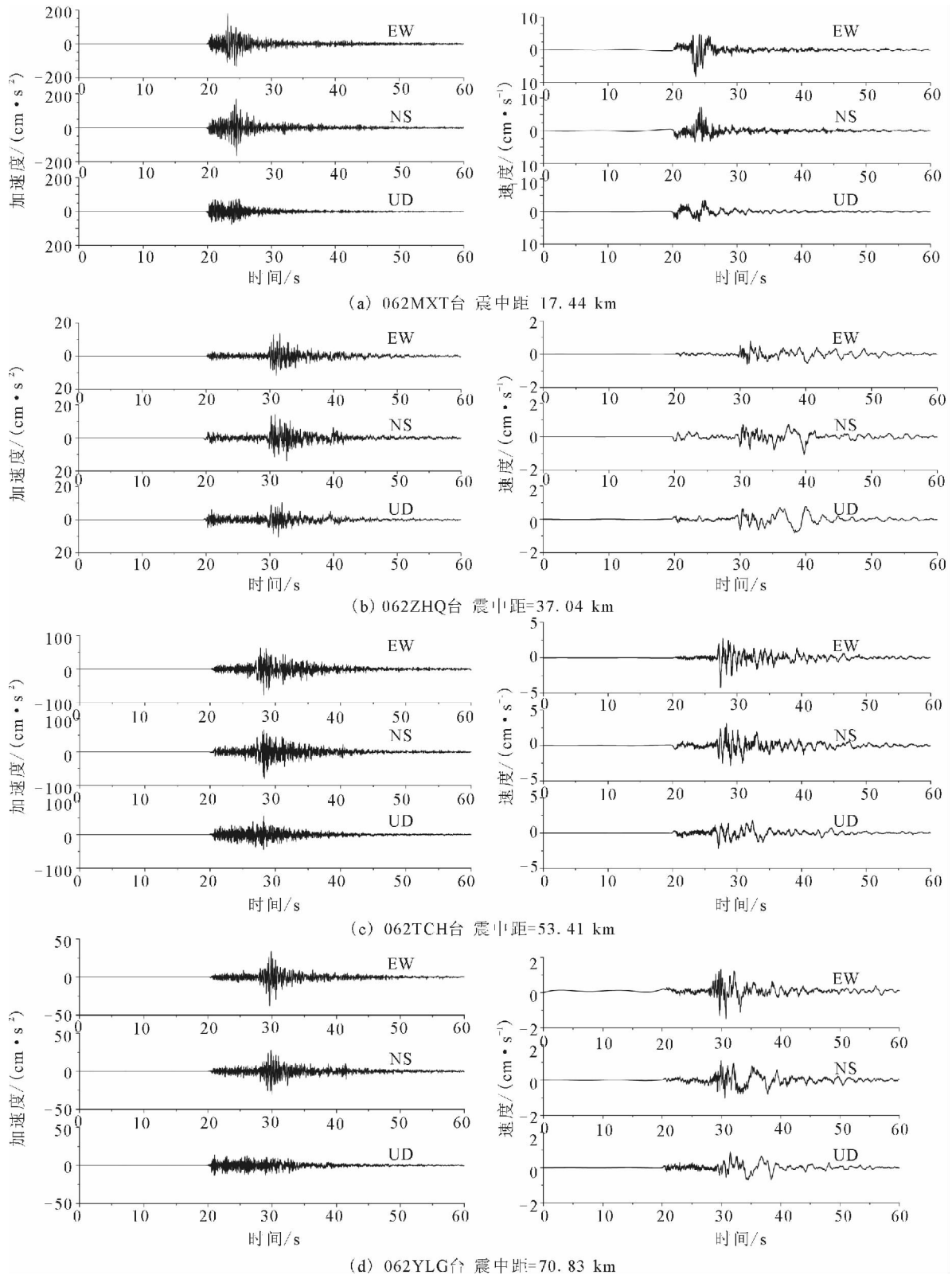


图3 4个强震台的加速度与速度时程

Fig. 3 The acceleration and velocity time histories recorded by four strong motion stations

要显著低于常见衰减关系值。

为了研究分析强震动记录的反应谱变化特征,采用霍俊荣中国西北地区土层场地反应谱衰减关系

与周期在 $T=0.2\text{ s}, 0.5\text{ s}, 1.0\text{ s}, 2.0\text{ s}$, 阻尼比为5%的反应谱加速度值进行了对比。由图8可见本次地震的反应谱加速度小于经验的GMPE值,与

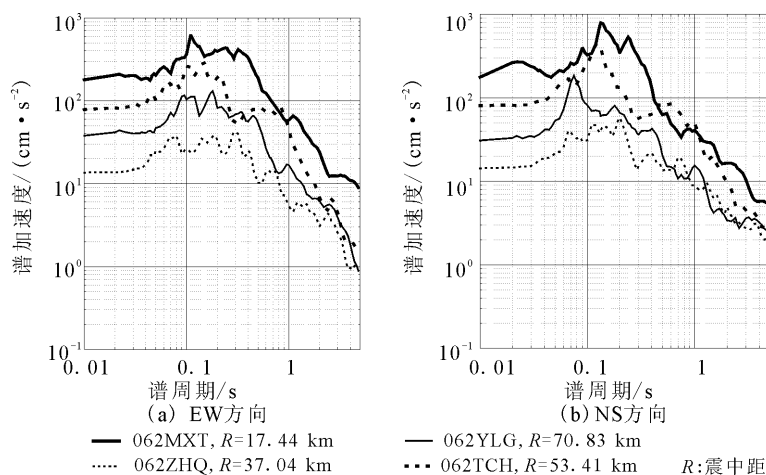


图 4 4 个不同震中距的台站记录加速度反应谱比较(阻尼比 5%)

Fig. 4 Comparison of horizontal 5% damping-ratio spectral acceleration among four stations with different epicenter distances

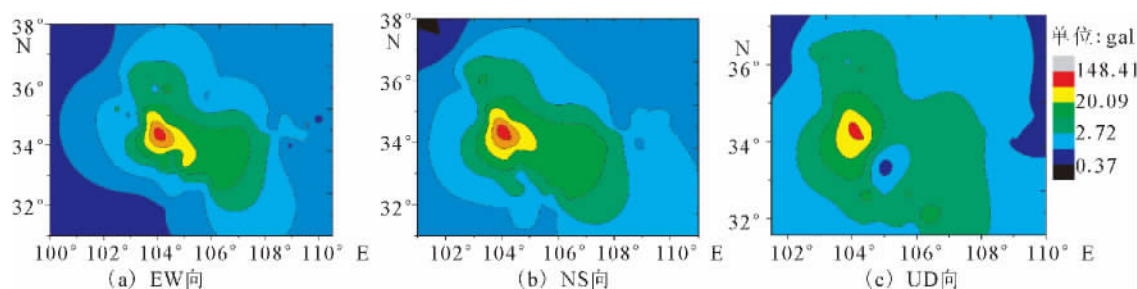


图 5 PGA 自然对数等值线图

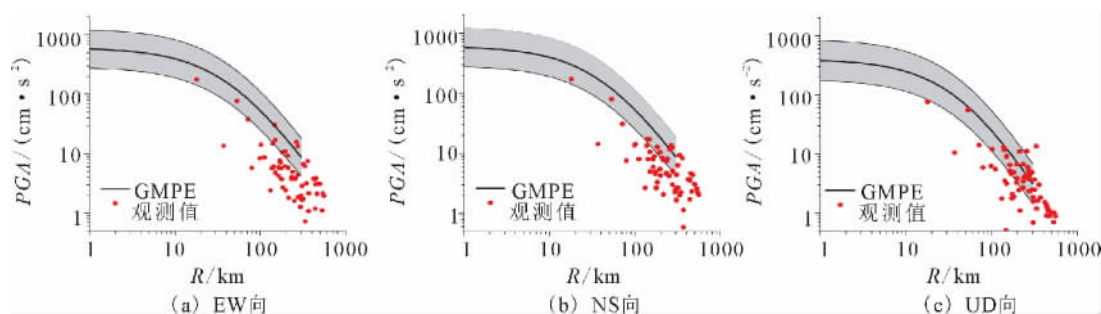
Fig. 5 Contour map of $\ln(PGA)$ in the event

图 6 PGA 与霍俊荣衰减关系对比

Fig. 6 Comparison of observed PGA in the event with HUO Junrong's GMPE

PGA 衰减关系的比较结果一致,随着周期的增大谱加速度与衰减公式的符合度相差越来越大,这表明远场地震高频成分衰减较快,远场长周期成分由于受到场地条件的影响越来越显著,离散性增加,但整体趋势仍低于衰减关系值。

3 远场地震动

近场地震动的复杂性和特殊性早就被人们所认识。近场地震动主要通过震源效应体现,如地震动的方向性。远场地震动通常较小,但长周期地震动

衰减相比近场地震动缓慢,原因主要是受到特定传播路径和场地条件的影响。远场地震动的破坏首次在 1985 年的墨西哥得到认识:此次地震墨西哥城距震中大约 400 km,基岩峰值加速度为 0.05 g 左右,由于老湖泊基床沉积层呈弹性性能使得这些峰值加速度增大了 5 倍,并引起在 2~3 s 区内具有大部分能量的地面运动的加强。墨西哥城建在软而潮湿的古代湖床冲积层上,其卓越周期大约为 2 s。因为受到场地土对基岩地震动的放大作用以及土层和结构的共同作用,400 多栋 7~18 层楼房和长周期

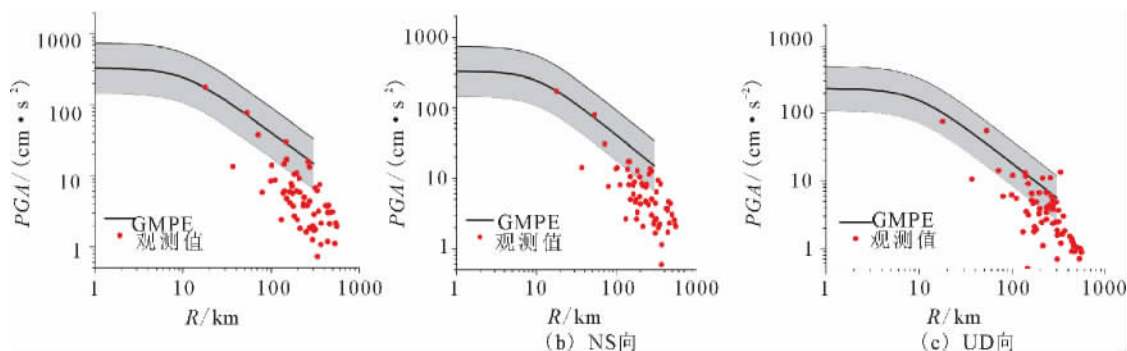


图7 PGA与意大利衰减关系 Italy08 GMPE 对比

Fig. 7 Comparison of observed PGA in the event with Italy08 GMPE

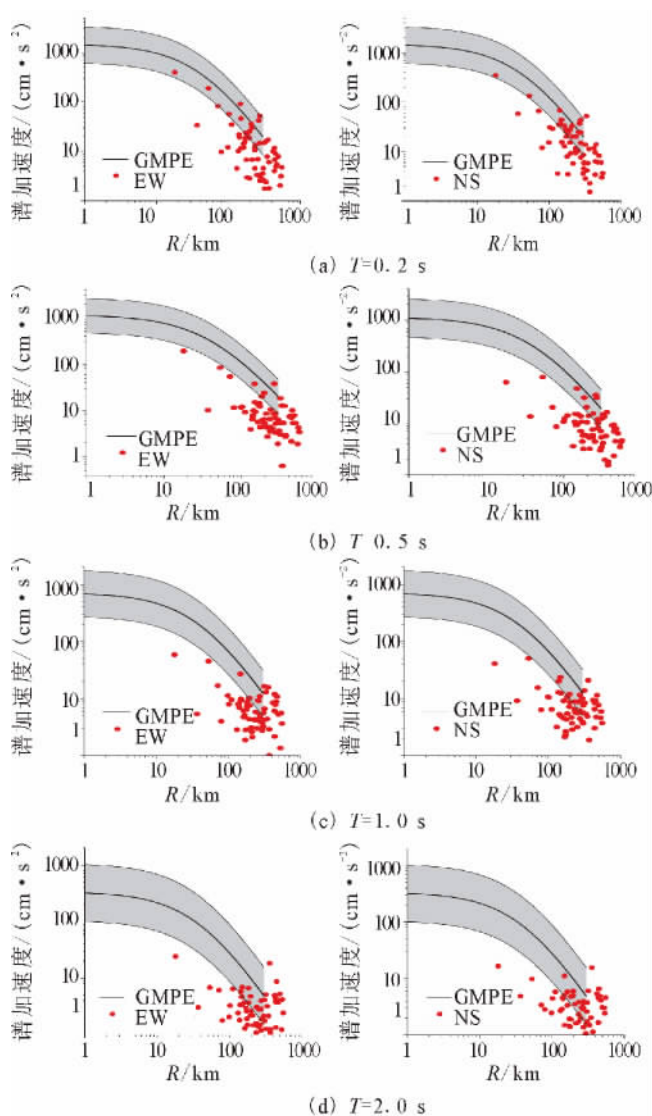
图8 谱加速度与霍俊荣衰减关系对比
(左列为东西向,右列为南北向)

Fig. 8 Comparison of observed spectral acceleration with HUO Junrong's GMPE

结构严重破坏,而低层砌体和填充墙框架的建筑破坏较轻。岷县地震中位于渭河盆地的强震台网获得

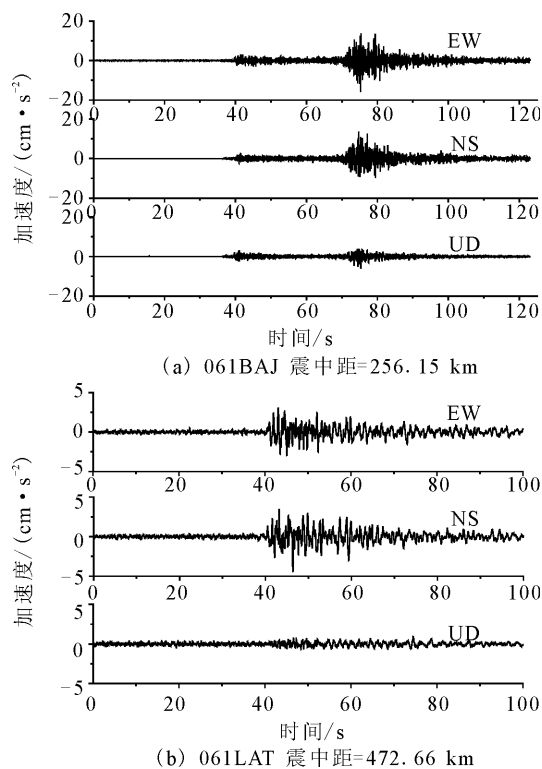
图9 061BJA(基岩台)与061LAT
(土层台)加速度记录

Fig. 9 Acceleration time histories recorded at 061BJA and 061LAT

了15组强震动记录,本文选取6组台站记录(061BJA、061LAT、061QIS、061CAT、061YLI、061XYD)来研究远场地震动在盆地地形中的特征。由于篇幅所限,本文仅绘制了061BJA和061LAT的加速度记录,如图9。可以看出土层台061LAT相比基岩台061BJA包含了更多的长周期成分。为了比较远场强震动记录的频谱成分,绘制了061BJA(基岩台)与其它5个台站(土层台)归一化的水平加速度反应谱,如图10,可以明显看出061BJA相对于其他5个土层台卓越周期明显较小。这是因为

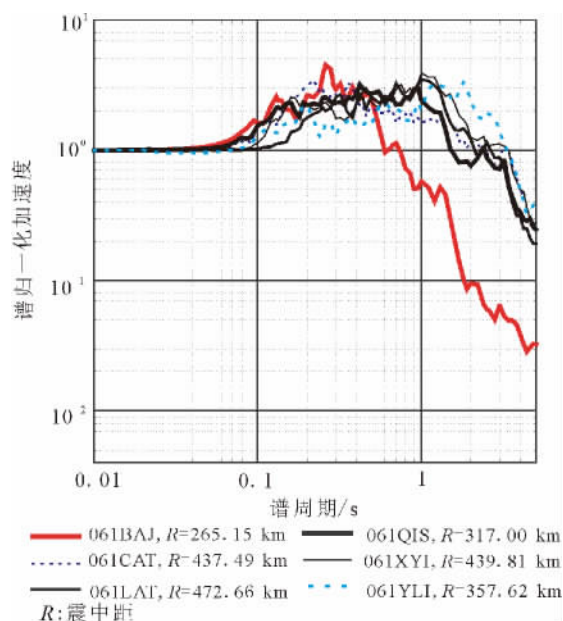


图 10 渭河盆地不同场地类型归一化水平加速度反应谱对比(阻尼比 5%)

Fig. 10 Comparison of horizontal 5% damping-ratio normalized spectral acceleration among different station sites in Weihe basin

061BJA 位于渭河盆地边缘,而其余台站位于盆地中内部,由于盆地较厚的场地覆盖层使其对地震动有一定的放大作用,中长周期地震动的放大。

4 强震动记录台与宏观烈度

本次地震极灾区烈度为Ⅷ度,Ⅵ度区及以上总面积为 16 432 km²,等震线长轴呈 NW 走向分布,共造成甘肃省 13 个县受灾,包括定西市岷县、漳县、临洮县、渭源县、陇西县、甘南州临潭县、卓尼县、迭部县、舟曲县,陇南市宕昌县、礼县、临夏州康乐县和天水市武山县,如图 11。此外,位于Ⅵ度区之外的部分县市也受到了地震影响,造成个别居民点少量破坏。美国地震工程学家 Housner 在 1952 年提出了“谱烈度”概念,即速度反应谱曲线在一定周期区间内所包含的面积,认为在此周期区间,速度反应谱值变化不大,且与工程震害具有良好的相关性,定义如下^[7]:

$$I_H = 8 \int_{T_1}^{T_2} S_p(T, \xi) dt \quad (1)$$

其中, T 为结构周期; ξ 为阻尼比通常取 5%; T_1 和 T_2 为积分上下限,一般取 $[0.1 \sim 2.5 \text{ s}]$ 。在欧洲宏观烈度中采用(EMS) $[0.2 \sim 2.0 \text{ s}]$ ^[8]。

图 12 为根据本次地震宏观地震裂度图内大于

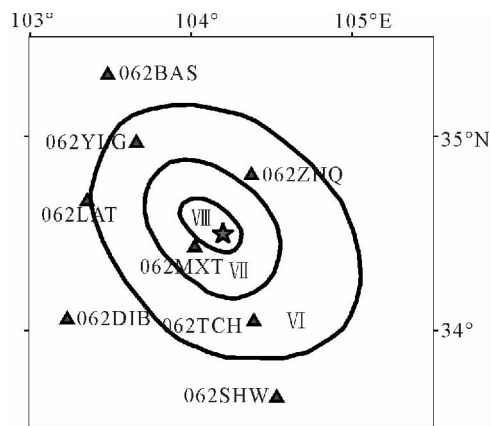


图 11 宏观烈度分布及台站分布

Fig. 11 Macro intensity map and strong motion stations

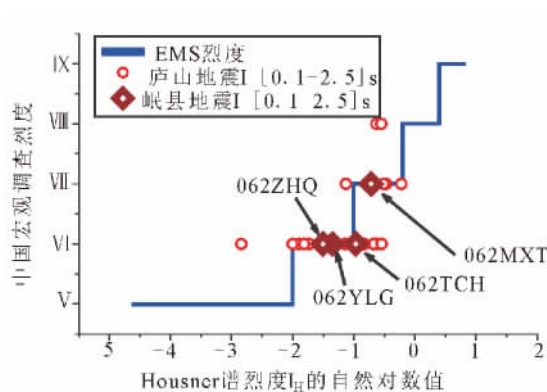


图 12 宏观烈度与 I_H 对比 $[0.1 \sim 2.5 \text{ s}]$

Fig. 12 Comparison of the macro intensities with $I_H [0.1 \sim 2.5 \text{ s}]$

Ⅵ的强震记录计算的 I_H 与欧洲宏观烈度中的参考范围值对比,应当注意欧洲烈度表与我国烈度分级一致。此次地震Ⅵ度以上的记录台站共有四个(分别为 062MXT 岷县台、062TCH 宕昌台、062YLG 冶力关台和 062ZHQ 舟曲台),分别位于Ⅵ、Ⅶ烈度圈内。由图 12 可见,岷县地震中 I_H 与宏观烈度吻合较好,只有 062TCH 宕昌台位于Ⅵ、Ⅶ之间。不过本次地震近场记录较少,在Ⅷ烈度区内没有布设强震动台站获得记录,缺乏足够的对比数据。

震区经济落后,农村地区民居以土木、砖木结构房屋为主,在地震中破坏严重,岷县震中附近民居破坏尤其严重。距震中较远的民居也出现垮塌现象。岷县现场的震害调查还发现,山区地形起伏,山坡陡峭,表层黄土覆盖较厚,很多民房坐落在陡坡或山顶,边坡效应放大了地震动,加重民房的破坏程度。

地质灾害也是造成此次地震损失的主要原因。

地震动松动了黄土边坡土体的原始结构,出现大量的节理、裂隙,加之震后的降水,为滑坡形成提供了条件^[10]。因此,岷县地震动不是很强,但地震地质灾害同样造成了损失,说明了我国的宏观烈度具有多种综合指标的特点,地震动参数仅应作为一种因素考虑^[6]。

5 结论

基于岷县地震所得到的强震记录,结合本次地震周围场地特征,本文的主要工作和结论如下:通过统计强震动记录随震中距的数量分布情况、加速度记录的特点和近场典型记录的加速度与速度时程,分析了近场地震动特点;对比观测值与地震动衰减关系,发现此次岷县地震的地震动 PGA 远低于预测值;结合渭河盆地的远场记录,验证远场地震动卓越周期较大,盆地覆盖层对中长周期地震动存在显著放大效应;通过分析宏观烈度、Housner 谱烈度,结合岷县的区域特点,分析了本次地震虽不是很强却产生震害的原因。本研究对我国西部地区地震动特征和工程震害调查具有重要的参考作用。岷县地震中的强震动记录可以进一步结合汶川地震、芦山地震等强震动记录开展更深入的地震动特征研究。

致谢:感谢与甘肃省地震局尹志文高工、李佐唐高工、吴志坚研究员关于岷县强震动记录特征及对震害认识的交流与讨论。

参考文献 (References)

- [1] Li Xiao-jun, Zhou Zheng-hua, Yu Hai-ying, et al. Strong motion Observations and Recordings from the Great Wenchuan Earthquake[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2008, 7(3): 235-246.
- [2] 任叶飞, 温瑞智, 周宝峰, 等. 2013 年 4 月 20 日四川芦山地震强地面运动三要素特征分析[J]. 地球物理学报, (待刊). REN Ye-fei, WEN Rui-zhi, ZHOU Bao-feng, et al. The Characteristics of Strong Ground Motion of Lushan Earthquake on April 20, 2013[J]. Chinese Journal of geophysics, (Accepted). (in Chinese)
- [3] 温瑞智, 任叶飞, 黄旭涛, 等. 芦山 7.0 级地震强震动记录及其震害相关性[J]. 地震工程与工程振动, 2013, 33(4): 1-14. WEN Rui-zhi, REN Ye-fei, HUANG Xu-tao, et al. Strong Motion Recordings in Lushan Earthquake on April 20, 2013[J]. Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2013, 33(4): 1-14. (in Chinese)
- [4] Boore D M. Effect of Baseline Corrections on Displacements and Response Spectra for Several Recordings of the 1999 Chi-Chi, Taiwan[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2001, 91(5): 1199-1211.
- [5] 霍俊荣. 近场强地面运动衰减规律的研究[D]. 哈尔滨: 国家地震局工程力学研究所, 1989. HUO Jun-rong. Study on Attenuation Laws of Strong Earthquake Ground Motion near the Source[D]. Harbin: Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, 1989. (in Chinese)
- [6] 中华人民共和国国家标准. 中国地震烈度表 (GB/T17742) [S]. 2008. Standard of Peoples Republic of China. The Chinese Seismic Intensity Scale (GB/T17742-2008) [S]. 2008. (in Chinese)
- [7] Housner G W. Intensity of Ground Motion during Strong Earthquakes[R]. Pasadena, California: California Institute of Technology, 1952.
- [8] Masi A, Chiauuzi L, Braga F, et al. Peak and Integral Seismic Parameters of L'Aquila 2009 Ground Motions; Observed Versus Code Provision values[J]. Bulletin of Earthquake Engineering, 2011, (9): 139-156.
- [9] 石玉成, 王兰民, 张颖. 黄土场地覆盖层厚度和地形条件对地震动放大效应的影响[J]. 西北地震学报, 1999, 22(2): 203-208. SHI Yu-cheng, WANG Lan-min, ZHANG Ying. Effects of Overburden Thickness and Topography of Loessial Sites on Earthquake Ground Motion[J]. Northwestern Seismological Journal, 1999, 22(2): 203-208. (in Chinese)
- [11] 才树华, 王兰民, 袁中夏. 陕甘宁晋地区黄土地震滑坡致灾距的初步研究[J]. 西北地震学报, 1998, 20(4): 75-82. CAI Shu-hua, WANG Lan-min, YUAN Zhong-xia. A Preliminary Study on the Seismic Landslide Distance in the Shaanxi-Gansu-Ningxia-Shanxi Loess Region[J]. Northwestern Seismological Journal, 1998, 20(4): 75-82. (in Chinese)