



2013 年 8 月新疆乌鲁木齐市 5.1 级 地震强震动记录及特征分析^①

张振斌¹, 温瑞智², 魏 斌¹, 王宝柱¹

(1.新疆维吾尔自治区地震局,新疆 乌鲁木齐 830011; 2.中国地震局工程力学研究所,黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要:2013 年 8 月 30 日乌鲁木齐市发生 M_s 5.1 地震,乌鲁木齐烈度速报台网有 32 个强震动台触发获得了主震加速度记录。选取 23 条强震动记录进行常规处理,统计强震动记录数量随震中距分布,对比分析此次地震峰值加速度(PGA)与新疆土层加速度衰减关系;并利用强震动数据对此次地震进行定位,定位结果对应台站震中距与到时线性度较好;最后分析了典型强震动台站记录特性与建筑物震害及工程震害相关性。

关键词: 乌鲁木齐地震; 衰减关系; 强震动记录

中图分类号: P315.63

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2016)01-0144-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2016.01.0144

Characteristics of Strong Motion Records of Urumqi, Xinjiang M_s 5.1 Earthquake on August 30, 2013

ZHANG Zhen-bin¹, WEN Rui-zhi², WEI Bin¹, WANG Bao-zhu¹

(1.Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, Xinjiang, China;

2.Institute of Engineering Mechanics, CEA, Harbin 150080, Heilongjiang, China)

Abstract: On August 30, 2013, a M_s 5.1 earthquake occurred in Urumqi (43.8° N, 87.6° E), Xinjiang, China. This was the largest earthquake to have occurred in this area for decades, and the first earthquake with a magnitude equal to or greater than 5.0 to have occurred since establishment of the intensity fast report stations network in Urumqi. The microscopic epicenter of this earthquake was located in Hongshan. Although the earthquake was relatively small, most of the intensity fast report stations were triggered near the epicenter, and 32 main shock acceleration records were obtained. In this study, 23 typical strong motion records within different epicenter distances were selected to conduct a conventional analysis. By comparing the peak ground accelerations (PGA) of this earthquake with the acceleration attenuation relation of the soil layer in Xinjiang, observed values were found to be in good agreement with predicted values at a depth of 0~50 km. An earthquake location analysis was then conducted, and results were found to be influenced by several factors: the rationality of station distribution, accuracy of the regional velocity model, reliability of seismic phase discrimination, and the proper location method. We used the

① 收稿日期:2015-04-13

基金项目:新疆地震局青年科学基金项目(200508,200606);中国地震局交流访问学者计划

作者简介:张振斌(1975-),男,高级工程师,主要从事地震监测、强震资料的应用和研究。E-mail:zhang8@ustc.edu.cn.

strong motion data to locate the M_s 5.1 earthquake, and results showed a good linear relationship between P-wave travel time and epicentral distance. It is considered that in-depth research of motion characteristics could be conducted in other large cities, and results could be combined with records presented here.

Key words: Urumqi earthquake; attenuation relation; strong motion records

0 引言

2013 年 8 月 30 日 13 时 27 分 30.3 秒乌鲁木齐市(43.8° N, 87.6° E)发生 5.1 级地震。该地震是近十几年来乌鲁木齐市发生的较大地震,也是乌鲁木齐市烈度速报台建成以来市区发生的第一次 5.0 级地震,此次地震的微观震中位于乌鲁木齐市红山繁华地段。本次地震震级虽不大,但震中附近强震台密度较大,烈度速报台基本都触发。2012 年以来新疆多次发生 5 级以上地震,但真正发生在强震台网内的地震不多,2012 年 3 月 9 日新疆洛浦县发生 6.0 级地震,新疆强震台网最近台站距震中 217 km,获取最大峰值加速度为 31 cm/s^2 ;2013 年 6 月 30 日新疆新源、和静交界发生 6.6 级地震,震中位于无人山区,远偏离新疆强震台网。本次地震发生在乌鲁木齐市,烈度速报台包围较好,获取了一些高质量的数字加速度记录。本文在分析总结此次地震强震动记录基本特征的基础上,对比研究本次地震衰减关系,分析布设在市区不同建筑结构区域强震台获取的强震动记录基本特征;此外还利用强震动记录数据对此次地震的震源位置进行定位分析,以期取得一些新认识,这也是本文使用强震动资料在地震定位方面的一次探索,可为进一步开展新疆强震动资料的使用提供依据。

1 记录分析处理

乌鲁木齐烈度速报台网由 50 个子台组成,其中包括 4 个基岩台和 46 个土层台,台间距约 2~5 km,分布基本均匀。台站使用的仪器有三种,其中 33 个台使用 GSMA-2400 IP,12 个台使用 GSR-18,8 个台使用 ETNA 型数采,仪器采样率设置为 200 samples/s,量程为 $\pm 2g$,台站仪器传感器为力平衡加速度计。本次地震有 32 个烈度速报台获得加速度记录,其余 18 个台没有触发原因是 8 个台由于台站搬迁停机,10 个台在地震时停电或仪器发生故障。图 1 为其中 23 个记录台站震中分布图;图 2 为不同震中距上强震动记录数量分布。从图 2 可见,震中附近台站分布较密集,震中距在 0~5 km 获取

记录台站有 11 个,5~10 km 有 5 个,10~15 km 有 7 个,大于 15 km 有 5 个,另有 4 个大于 30 km,本文不予分析。

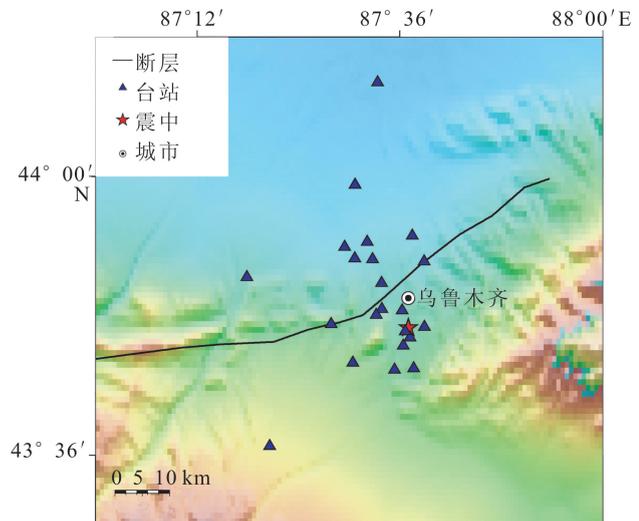


图 1 强震动记录台站分布

Fig.1 Distribution of strong motion stations

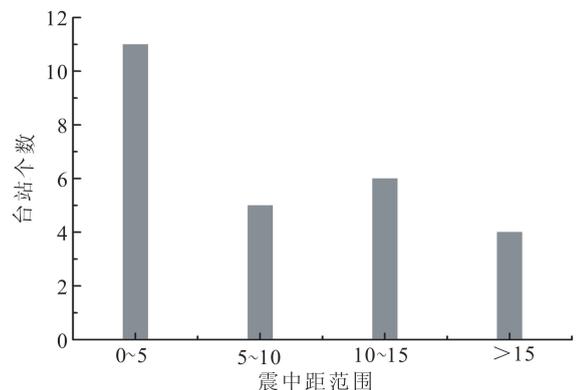


图 2 不同震中距强震动记录数量分布

Fig.2 Quantitative distribution of strong motion records within different epicentral distances

不同仪器采用不同信号处理技术,本文针对不同仪器记录的本次强震动记录进行了必要的数据处理工作^[1-3]。原始强震动记录通常采用二进制的数据存储格式,在转换后通常采用事件前记录平均值的方式进行零线调整,消除基线漂移对于数据计算的影响,因此采用 Boore 方法对所用记录进行基线

校正处理^[4],分析处理了其中23个台的强震动记录(另外5个台虽有记录,但其波形不完整)。表1为这23台的加速度记录基本信息。

表1 台站记录基本信息

Table 1 Basic information of the records of 23 stations

台名	台站代码	仪器类型	峰值加速度/(cm·s ⁻²)			震中距/km	场地类别	观测条件
			EW	NS	UD			
红山地震台	65HST	GSMA-2400	73.4	36.3	48.5	0.89	I	山坡上
延安公园	65YAY	GSMA-2400	147.7	124.0	57.6	3.87	II	地表
经贸厅	65JMT	GSMA-2400	35.4	49.76	24.6	2.65	II	地下室
乌鲁木齐职大	65WZD	GSR-18	55.3	28.5	29.0	4.30	I	地下室
156地质队	65DZD	GSR-18	162.3	91.4	75.6	3.75	II	地下室
长胜大队	65CSD	GSMA-2400	31.8	35.7	28.9	10.60	II	地表
水上乐园	65SLY	GSMA-2400	78.2	57.2	29.2	4.89	II	地表
草原工作站	65CYZ	GSMA-2400	86.1	74.7	58.8	8.74	II	地表
红雁池电厂	65HYC	GSR-18	97.4	147.3	83.4	8.78	II	地表
新农大	65XND	GSR-18	94.4	89.6	53.5	3.04	II	地下室
104团水管站	65SGZ	GSMA-2400	79.6	62.9	27.9	11.00	II	地表
化工学校	65HGX	GSMA-2400	11.0	2.3	14.9	12.91	II	地表
地震局	65DZJ	ETNA	14.6	13.6	11.6	7.76	II	地表
财经大学	65CDX	GSMA-2400	14.6	9.3	15.6	10.01	II	地下室
地窝堡	65DWP	GSR-18	19.5	11.5	16.6	11.62	II	地表
地调处	65DDC	GSR-18	14.9	11.81	10.1	14.05	II	地下室
十二师党校	65SDX	GSMA-2400	88.1	29.0	131.8	12.87	II	地下室
29中	65EJZ	GSMA-2400	59.4	51.5	43.2	5.97	II	地下室
八道湾	65BDW	GSMA-2400	18.3	19.4	16.4	9.45	II	地下室
八钢	65BAG	GSMA-2400	13.8	21.1	9.97	25.00	II	地表
安宁渠	65ANQ	ETNA	16.2	28.1	16.2	22.00	II	地表
永丰乡	65YFX	ETNA	17.3	24.2	21.5	29.40	II	地表
五家渠市	65WJQ	ETNA	20.5	11.8	6.5	37.10	II	地表

为了更好地了解本次地震的特点,本文重点分析了3个典型台站强震记录,计算其相关参数,以便后期进一步分析研究。图3给出了近场3个典型台站加速度时程。

图3(a)为156地质队(65DZD)强震台校正加速度时程。台址位于地质队四层办公楼地下室,记录仪器是GSR-18型数采,传感器为SLG-100型加速度计。此台距震中3.75 km,获取本次主震东西、南北、垂直向最大峰值加速度分别为162.3 gal,91.4 gal和75.6 gal。图3(b)为延安公园(65YAY)台强震台校正加速度时程。台址位于延安公园大门口配电室,记录仪器是GSMA-2400 IP型数采,传感器为SLG-100型加速度计,震中距为3.87 km,东西、南北、垂直向加速度峰值分别为147.7 gal,124.0 gal和57.6 gal。图3(c)为安宁渠(65ANQ)强震台校正加速度时程。台址位于城市郊区,周围建筑物稀少,属于开阔地,记录仪器是ETNA型数采,传感器为SLG-100型加速度计,距震中22.0 km,此台东西、南北、垂直向加速度峰值分别为16.2 gal,28.1 gal和22.0 gal。从3个典型台的加速度时程可以看出,

两个较近台站中不同仪器记录最大峰值都出现在EW向,并且两台也位于此次地震震中东西方向上,符合此次地震沿东西向破裂的规律。三个台水平向记录第一次破裂波形显著,第二次破裂波形较小、能量较小、波形不显著。分别计算上述台站三分向加速度反应谱,如图4所示。

图4分析了3个不同仪器记录的加速度反应谱,发现无论是垂直向还是水平向卓越周期均在0.09~0.30 s之间。156地质队台加速度记录反应谱幅值在垂直和东西方向大于,而南北向小于延安公园台记录反应谱幅值。本文对此次地震两个典型记录台站进行反应谱分析,图5为156地质队(65DZD)和延安公园(65YAY)两个台记录反应谱与抗震设计规范中设计谱^[6]的比较。

从图5可以看出,65DZD东西向记录周期在0.35~0.38 s内谱加速度大于设计谱,这一周期范围正好与该台站所破坏建筑物的结构自震周期相对应。其余分向反应谱值均小于设计谱,对其他区域建筑物及高层建筑物影响较小。

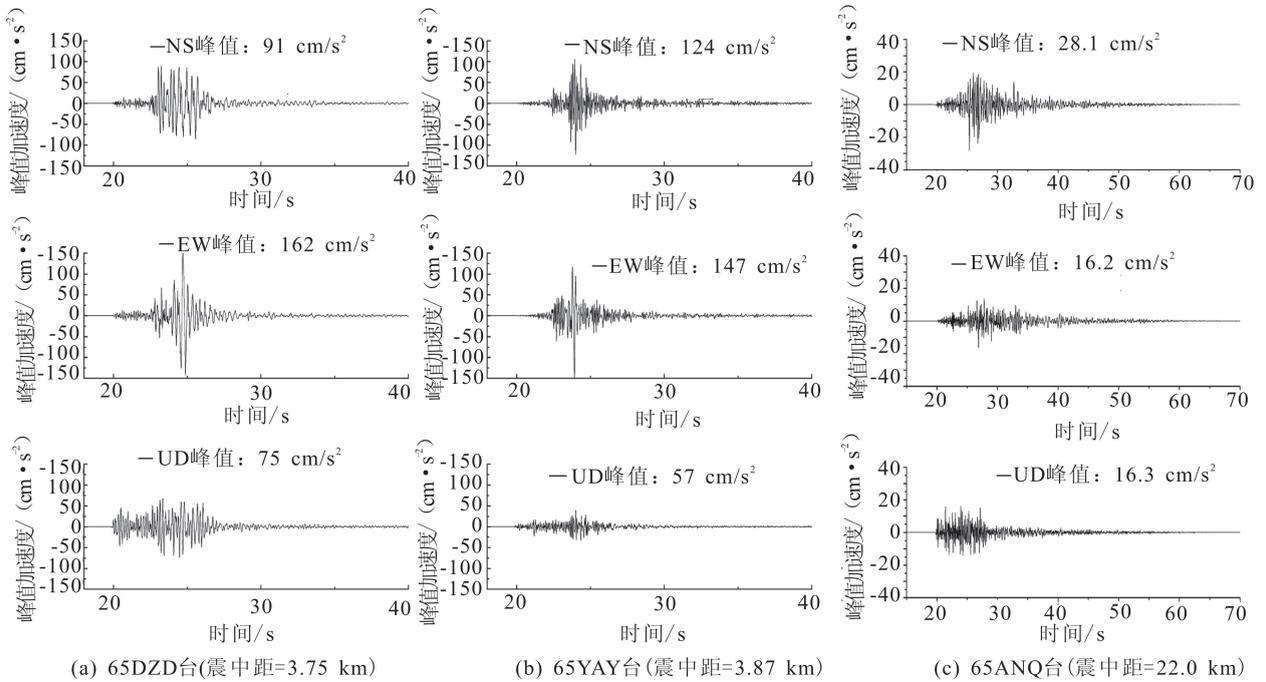


图 3 3 个强震台加速度记录时程

Fig.3 The acceleration time histories recorded by three strong motion stations

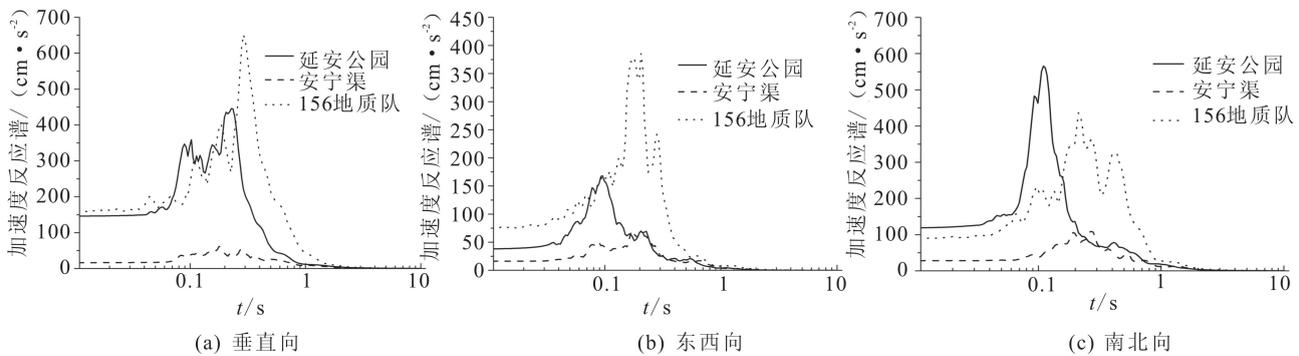


图 4 加速度反应谱

Fig.4 Acceleration response spectra

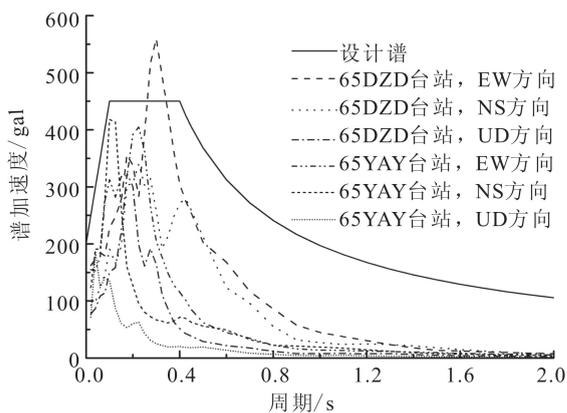


图 5 两站反应谱及其与规范设计谱对比

Fig.5 Acceleration response spectra of two typical stations and those compared with design spectrum of code

2 强震动衰减特性

本次地震震中周边强震台大多架设在楼层负一层,并且震中周围高楼密集,考虑到乌鲁木齐市地质特点及强震台的台址情况,本文选用新疆土层衰减关系^[5],该关系适用于土层场地。

图 6 为此次地震记录峰值加速度(包括 EW、NS、UD 向)与预测值之间的对比。从图中可以看出此次地震 PGA 离散性较大,总体看来水平方向(EW、NS)的观测值与预测值吻合较好,其垂直向(UD)观测值较预测值显著偏小。另外该衰减关系在回归时缺少 0~50 km 数据,其预测值没有数据基础,但此次地震获取的数据主要集中在 5~15 km,并且观测值与预测值吻合较好,只有少数几

个台数据明显偏离预测值。因此本文数据也是对新疆土层衰减关系在 0~50 km 区域的验证,可用于探讨新疆土层衰减关系在新疆部分区域的适用性。

3 地震定位

本次地震震中位于乌鲁木齐市,其烈度速报

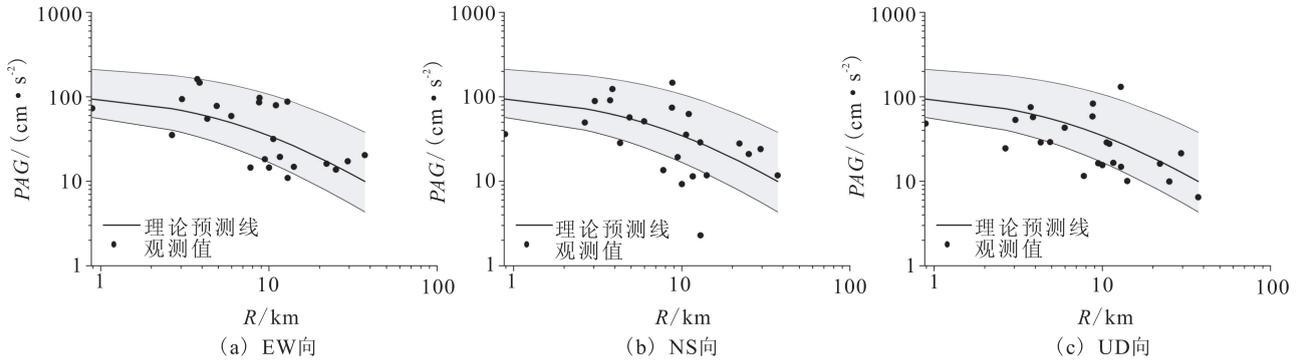


图 6 加速度峰值与理论曲线对比

Fig.6 Comparison between observed values and theoretical curves of PGA

表 2 参与定位台站信息

台名	代码	Pg 到时	Sg 到时	S-P/s
红山地震台	65HST	13-27-32.87	13-27-35.345	2.475
乌鲁木齐职大	65WZD	13-27-32.869	13-27-35.379	2.5
156 地质队	65DZD	13-27-32.964	13-27-35.664	2.5
六道湾形变站	65LBZ	13-27-33.10	13-27-35.71	2.61
长胜大队	65CSD	13-27-33.17	13-27-35.83	2.66
水上乐园	65SLY	13-27-32.850	13-27-34.360	1.51
红雁池电厂	65HYC	13-27-32.990	13-27-35.790	2.9
新农大	65XND	13-27-32.964	13-27-35.874	2.9

地震定位精度受以下几方面因素影响:(1)台站分布合理性;(2)区域速度模型准确性;(3)震相判别可靠性;(4)合适定位方法^[6-7]。本文选取 BLOC86 程序进行定位^[4],该程序使用多年来定位效果较好。为了验证强震数据定位结果准确程度,本文使用 USGS 定位结果、新疆地震目录点位结果与强震数据定位结果,对比某一台站震中距与此台站 S 波与 P 波走时差线性关系。图 7 为 P 波到时与震中距线性关系。

从图 7 可以看出强震数据定位结果的线性度更好。由于地震定位涉及的因素很多,定位结果好坏不好评判,而随着国家地震预警项目开展,强震动数据在地震定位方面的应用将不可避免。本文做一初步研究,希望能为强震动数据在地震定位方面的应用起到一定作用,并更好地了解台站附近震害与记录相关性。

台对震中包围较好。为了尝试强震动数据在地震定位方面的使用,本文选取 8 个震相清楚、围绕微观震中分布较好的台站对地震进行定位。在定位前首先对所选台站址位置进行现场核实,表 2 为所选参与定位台站信息。

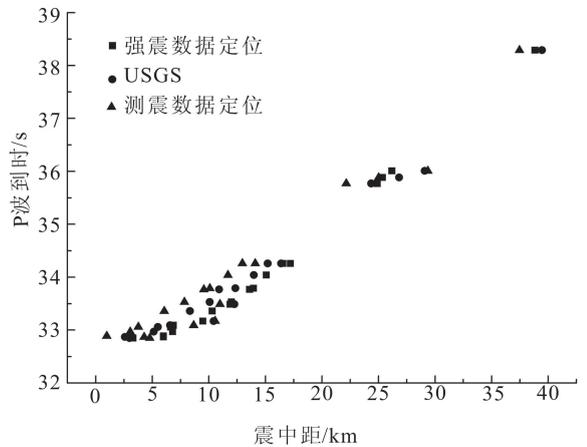


图 7 P 波到时与震中距线性关系

Fig.7 Linear relationship between arrival time of P wave and epicentral distance

4 结论

本文统计分析了此次 5.1 级地震加速度记录及其特点和近场典型加速度记录,分析了近场地震动特点;对比观测值与地震动衰减关系,发现此次乌鲁木齐地震的地震动 PGA 在 0~50 km 范围内,与预测值基本吻合;利用此次地震强震动数据对此次地震进行了重新定位,发现强震数据定位结果与到台站震中距线性度较好;最后分析了本次地震典型台站附近震害特征。本研究对乌鲁木齐地区地震动特征和建筑物抗震具有一定的参考作用,并为进一步结合一些大中城市中强地震强震动记录开展更深入地震动特征研究奠定了基础。

参考文献(References)

- [1] 赵仲和,赵健和.地震观测技术与仪器[M].北京:地震出版社,2007.
ZHAO Zhong-he, ZHAO Jian-he. Earthquake Observation Technology and Equipment[M]. Beijing: Seismological Press, 2007. (in Chinese)
- [2] 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):2-11.
WEN Rui-zhi, REN Ye-fei, HUANG Xu-tao, et al. Strong Motion Records and Their Engineering Damage Implications for Lushan Earthquake on April 20, 2013 [J]. Journal of Earthquake Engineering and Engineering Dynamics, 2013, 33(4): 2-11. (in Chinese)
- [3] 田文秀,李佐唐,徐钦,等.甘肃岷县漳县 6.6 级地震强震动观测记录与初步分析[J].地震工程学报,2013,35(3):497-502.
TIAN Wen-xiu, LI Zuo-tang, XU Qin, et al. The Strong Motion Records and Preliminary Analysis for Minxian - Zhangxian M6.6 Earthquake in Gansu Province [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(3): 497-502. (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] 张振斌,唐丽华.新疆南天山地区土层场地地震动峰值加速度衰减关系[J].中国地震,2010,26(4):402-406.
ZHENG Zhen-bin, TANG Li-hua. The Attenuation Relationship of Peak Ground Motion Acceleration on Soil Site at the South Tianshan Region in Xinjiang [J]. Earthquake Research in China, 2010, 26(4): 402-406. (in Chinese)
- [6] 胡聿贤.地震工程学[M].北京:地震出版社,2006.
HU Lu-xian. Earthquake Engineering [M]. Beijing: Seismological Press, 2006. (in Chinese)
- [7] 赵仲和,姜燕,张力群.地震定位程序 BLOC 及其变体:华北地区遥测地震台网联网论文续二[J].地震地磁观测与研究,1993,14(5):6-9.
ZHAO Zhong-he, JIANG Yan, ZHANG Li-qun. Earthquake Location Program BLOC and Its Variants [J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 1993, 14(5): 6-9. (in Chinese)

(上接 143 页)

- [29] Stockwell R G, Mansinha L, Lowe R P. Localization of the Complex Spectrum; the S transform [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1996, 44(4): 998-1001.
- [30] Pinnegar C R, Mansinha L. The S-transform with Windows of Arbitrary and Varying Shape [J]. Geophysics, 2003, 68(1): 381-385.
- [31] Pinnegar C R, Mansinha L. The Bi-gaussian S-transform [J]. SIAM Journal of Scientific Computing, 2003, 24(5): 1678-1692.
- [32] Kulesh M, Diallo M S, Holschneider M, et al. Polarization Analysis in the Wavelet Domain Based on the Adaptive Covariance Method [J]. Geophys J Int, 2007, 169: 1-12.