

河北文安5.1级地震首都圈实时强震动台网 加速度记录分析*

卞真付, 姚兰予, 郭巍, 岳秀霞

(天津市地震局, 天津 300201)

摘要: 通过分析首都圈实时强震动台网对文安5.1级地震的强震动记录及其加速度等值线图的对比, 结果表明: (1) 仪器记录峰值加速度衰减特性可以反映地震宏观特征; (2) 仪器记录峰值加速度衰减关系可以作为基岩水平理论衰减关系峰值加速度的一种标定方法; (3) 这次地震为我们今后进行强震动观测提供了重要的经验启示及改进方向。

关键词: 强震动记录; 峰值加速度; 衰减; 等值线

中图分类号: P315.9

文献标志码: A

文章编号: 1000-0666(2009)02-0145-06

0 引言

据中国数字地震台网测定, 2006年7月4日11时56分24秒在河北省文安县发生 $M_s5.1$ 地震, 震中位于 38.90°N , 116.30°E , 震源深度15 km。该地震的微观震中距河北省文安县城、天津市、北京市分别是12 km、80 km和110 km, 有感范围较大(图1)。此次地震虽有感范围较广, 但由于震级较低, 且震动持续时间短, 地震造成的震害较轻。首都圈实时强震动台网有47个实时传输台站较好地记录到了该地震, 记录波形完整、震相清晰, 其中最大加速度为文安台东西向, 记录到的峰值加速度为 165.3 cm/s^2 , 按照《中国地震烈度表》(GB/T 17742-1999), 其对应的烈度值为Ⅶ度。

1 首都圈实时强震动台网台站概况

首都圈实时强震动台网是在首都圈测震台网的基础上, 选用该地区不同地质条件的台站, 采用自由场观测方式, 布设72个实时强震动观测台站。台站安装SLJ-100型三分量力平衡式加速度计, 测量范围为 $\pm 2\text{ g}$, 通过与测震系统共用EDAS-C24/6型6通道数据采集器, 采用GPS授时系统统一授时; 数据传输方式采用DDN或VSAT卫星

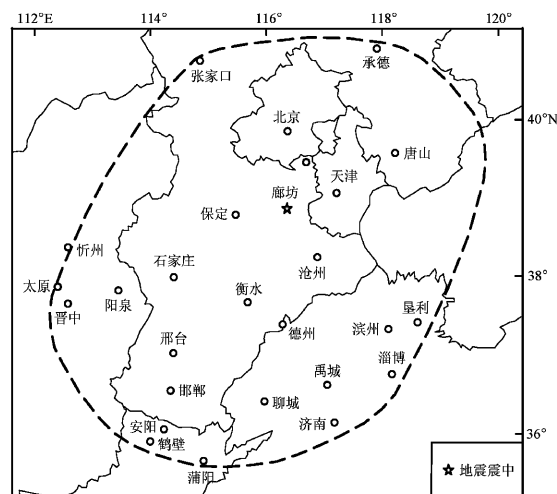


图1 文安地震造成的有感范围
Fig. 1 The shaking distribution area
of the Wen'an earthquake

传输系统将台站采集的强震、测震信号实时地传送到烈度速报中心。该观测系统数据采样率为50 Hz, 即采样时间间隔为0.02 s, 烈度速报中心部署的实时数据处理系统负责汇集、检测、存储、触发地震及进行强震动数据处理工作。当监控区内发生烈度大于Ⅳ度的地震时, 可通过区内所有观测点的加速度记录迅速确定地震动强度分布情况, 作为震害评估、震情速报和抗震救灾的主要依据。首都圈实时强震动台网点位分布情况见图2。

* 收稿日期: 2008-03-13.

基金项目: 天津市科委项目(07ZCGYSF03100)资助.

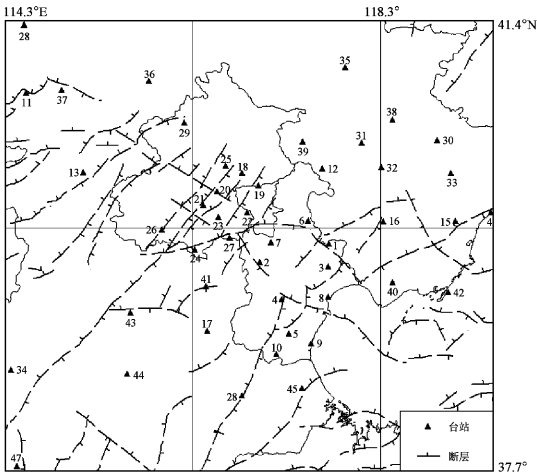


图2 首都圈实时强震动台网点位分布图

Fig. 2 The distribution of the real communication digital strong motion station of the capital region

2 数据基础及处理

2.1 数据基础

首都圈实时强震动台网自 2001 年 10 月建成并投入运行以来, 已经多次记录到发生在本区的中等有感地震, 这次地震是在台网建成以后所记录到的最大地震。台网的 72 个台站中, 有 25 个由于仪器、通讯等原因, 没有记录到该次地震, 其余 47 个台站完整地记录到了这次地震, 具体记录处理结果见表 1。

2.2 数据处理

首先利用记录完整的 47 个加速度波形数据按公式 (1) 计算各台站的震中距:

表 1 加速度记录处理后的峰值加速度表

Tab. 1 The peak acceleration value table of the computed acceleration records

序号	台站名称	台站代码	台址条件	震中距/km	记录峰值加速度/ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-2}$			理论加速度/ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-2}$
					UD 向	EW 向	NS 向	
1	丰台镇	FTZ	土层	145.9	4.4	9	5.9	3.07
2	武清	WUQ	土层	84.6	3.2	11.7	9.8	6.58
3	芦台	LUT	土层	135.1	3.9	7.9	9.3	3.43
4	大直沽	DZG	土层	84.4	0.6	5.2	5.2	6.60
5	东台	DOT	土层	89.1	8.7	10.3	13.7	6.12
6	新安镇	XAZ	土层	142.2	4.4	9.7	8.8	3.19
7	河北屯	HBT	土层	104.4	4.7	13	21.9	4.92
8	北塘	BET	土层	127.6	14.6	30	28.1	3.71
9	唐家河	TJH	土层	110.3	4.9	22.1	24.1	4.55
10	徐庄子	XZZ	土层	82	6.2	25.7	26.8	6.86
11	怀安	HUA	花岗岩	261.1	1.1	2.5	2.2	1.51
12	遵化	ZUH	灰岩	186	1.2	4.1	3.6	2.18
13	涿鹿	ZHL	灰岩	172	0.8	1.2	0.8	3.17
14	北戴河	BDH	灰岩	292.6	0.4	0.4	0.7	1.14
15	昌黎	CHL	花岗岩	259.2	0.2	0.2	0.2	1.36
16	陡河	DOH	灰岩	198.9	0.6	0.7	1.1	1.98
17	文安	WEA	土层	14.6	49.5	165.3	147	106.55
18	杨镇	YAZ	土层	146.3	0.2	5.1	7	3.06
19	马坊	MAF	土层	140.7	0.9	1.6	1.9	4.50
20	金盏	JIZ	土层	124.5	2.6	8.4	4.4	5.54
21	天坛	TIT	土层	109.8	5	28.7	16.6	6.85
22	西集	XIJ	土层	114.9	4.1	9.8	9.3	6.35
23	次渠	CIQ	土层	101.1	2.8	12.1	3.7	7.86
24	榆堡	YUF	土层	68.9	9.6	6.8	4.1	8.70
25	牛栏山	NLS	土层	148.7	2.5	4.4	4	4.09
26	牛口峪	NKY	灰岩	92.3	2.5	2.3	2.3	9.14
27	风河营	FHY	土层	86.1	2	2.9	2.7	10.23

续表 1

序号	台站名称	台站代码	台址条件	震中距/km	记录加速度峰值/cm·s ⁻²			理论加速度/cm·s ⁻²
					UD 向	EW 向	NS 向	
28	张北	ZHB	玄武岩	284.9	0.2	0.3	0.2	1.29
29	刘斌堡	LBP	灰岩	185.8	2.3	2.3	3.2	2.77
30	青龙	QIL	片麻岩	279.8	0.4	0.4	0.4	1.22
31	兴隆东	XLD	石英砂岩	227.5	0.4	0.5	0.5	1.93
32	迁西	QIX	片麻岩	225.1	0.7	0.9	1.6	1.97
33	桃林口	TLK	古生代变质岩	273.7	0.4	0.7	0.7	1.25
34	行唐	XIT	灰岩	173.5	3.8	3.4	8.4	2.41
35	承德	CHD	花岗片麻岩	272.5	0.2	0.2	0.2	1.40
36	赤城	CHC	太古界片麻岩	226.6	0.7	1.7	0.8	1.95
37	张家口	ZJK	石英粗面岩	245.1	0.7	1.2	1.2	1.69
38	宽城	KUC	夹石英灰岩	261.4	0.7	0.5	0.7	1.34
39	兴隆	XIL	白云质灰岩	195.1	0.7	0.7	0.7	2.54
40	唐海	TAH	土层	188.4	5.7	6.4	10.4	2.14
41	永清	YOQ	土层	38.1	11.2	6.3	6.3	34.91
42	京唐港	JTG	土层	236.9	2.3	3.5	3.1	1.54
43	徐水	XUS	土层	59	1.8	9.2	13	10.73
44	蠡县	LIX	土层	75.3	4.6	13.9	12.7	7.71
45	黄骅	HUH	土层	116.2	4.6	14.1	25.1	6.23
46	沧州	CAZ	土层	78.7	19.9	22.1	50.9	11.83
47	赞皇	ZAH	白云岩	208.7	1.9	1.8	2.1	2.26

$$\Delta(\text{km})\approx 111.199\sqrt{(\varphi_{\text{S}}-\varphi_{\text{E}})^2+(\lambda_{\text{S}}-\lambda_{\text{E}})^2\cdot\cos^2\left(\frac{\varphi_{\text{S}}+\varphi_{\text{E}}}{2}\right)}.$$

(1)

其中 φ_{S} 、 λ_{S} 是台站纬、经度； φ_{E} 、 λ_{E} 是地震震中纬、经度， $1^{\circ}=111.199\text{ km}$ 。

然后通过台网记录的实时波形数据截取此次地震事件，并对数据进行格式转换、去除直流分量和波形基线校正（典型台站处理后的加度波形时程图参见图 3），仪器校正按照公式（2）进行：

$$Y=\frac{X}{S}.$$

(2)

式中 Y 为转换后的加速度值（单位：g）， X 为记录数（单位：count）， S 为系统转换灵敏度（单位：count/g）， $S=\frac{Sensor\times 2^{23}}{Recorder\times 1.6}$ ，首都圈实时强

震动台站的 $Sensor=1.25\text{ V/g}$ ， $Recorder=5\text{ V}$ 。

最后计算得到三分向记录的峰值加速度。同时，为了比较仪器记录的峰值加速度衰减特征与

地震基岩水平峰值加速度衰减关系，采用俞言祥（2002）给出的我国东部地区的地震基岩水平加速度峰值衰减关系式计算了理论峰值加速度（表 1）。

地震基岩水平加速度峰值衰减关系式：

$$\lg A_{\text{max}}=C_0+C_1M+C_2M^2+C_3\lg(R+C_4e^{C_5M}).$$

(3)

式中 A_{max} 为基岩地震水平峰值加速度（ cm/s^2 ）； R 为震中距（km）； M 为震级； C_0 、 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 为回归常数（表 2），其拟合标准差为 σ 。

表 2 基岩水平加速度峰值衰减公式系数

Tab. 2 The cnefficient of peak acceleration attenuation equation of bedrock level							
衰减公式	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	σ
长 轴	2.027	0.548	0.000	-1.902	1.700	0.425	0.240
短 轴	1.035	0.519	0.000	-1.465	0.381	0.525	0.240

图 4 为利用 MAPINFO 软件绘制的此次地震三分量的峰值加速度分布图。图 5 为利用理论公式计算的基岩水平加速度峰值分布图。

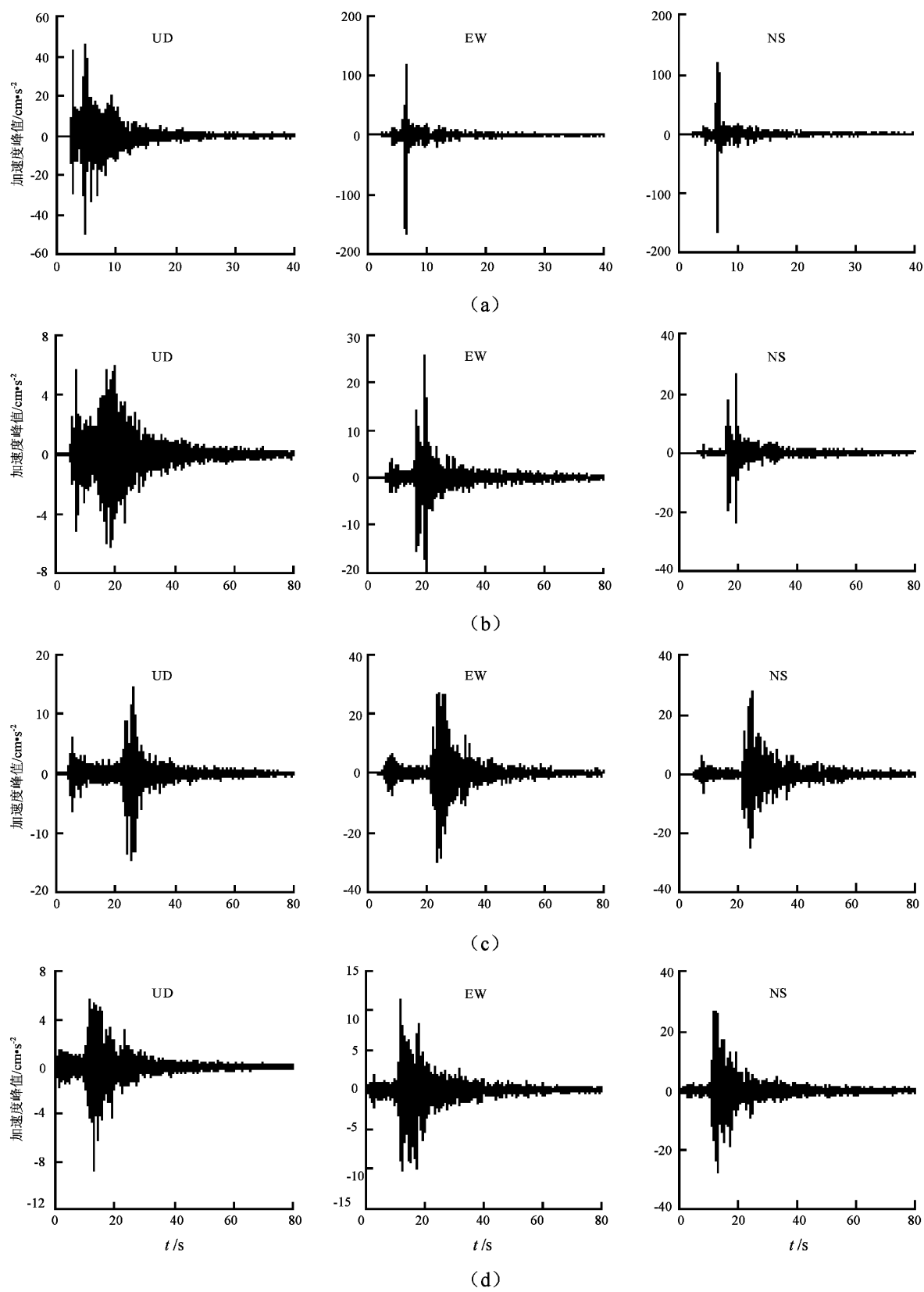


图3 文安台 (a)、徐庄子台 (b)、北塘台 (c)、东台台 (d) 处理后的加速度波形记录时程图
Fig. 3 The time – dependent of history acceleration wave record of Wen'an (a) ,
Xuzhuangzi (b) , Beitang (c) and Dongtai (d) station

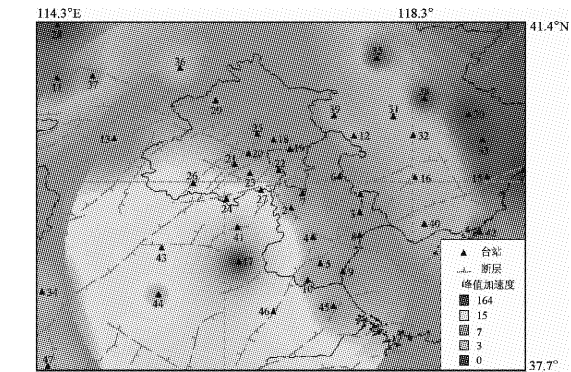
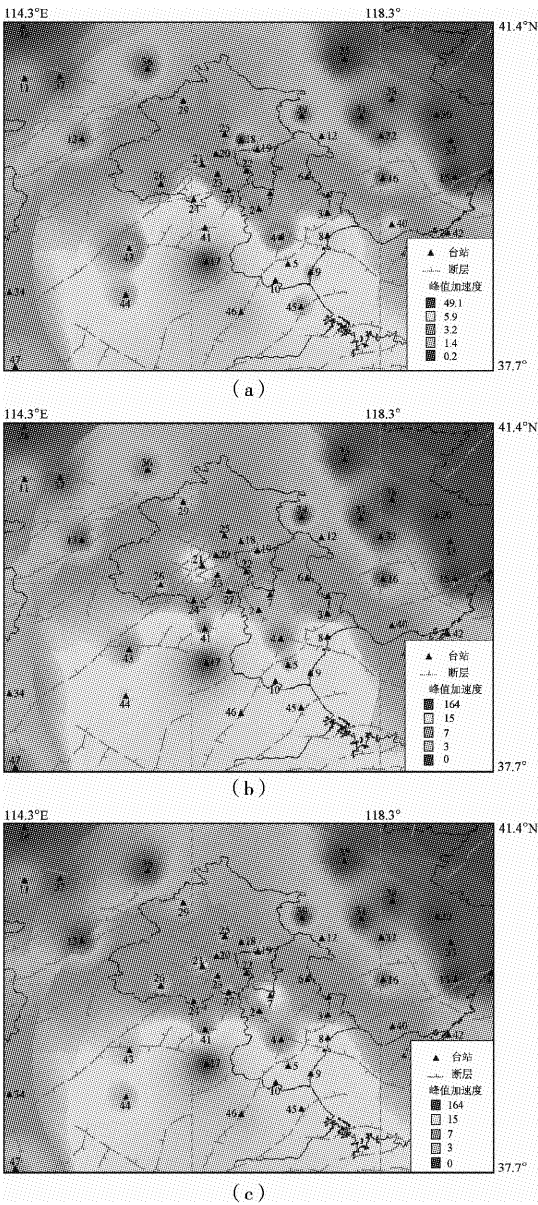


图5 基岩水平理论衰减关系计算峰值加速度分布图
Fig. 5 The theoretical calculation of peak ground acceleration distribution map based on the attenuation equation of bedrock level

度都达到了7~16 cm/s²，这也与地震时这些地区人们普遍有震感相吻合。

这次地震峰值加速度的衰减特性很好地反映了该区的地质沉积构造特点：由西向东、由北向南地势由高到低，第四纪沉积层厚度逐渐变厚，且东、南部大部分地区为地势低洼的松散黄土沉积层平原。同时，通过对比此次地震的仪器记录峰值加速度分布（图4）与利用基岩水平理论衰减关系计算得到的峰值加速度分布（图5），二者的对应关系除东部部分地区因场地放大存在差别外，其余地区一致性较高，证实了可以使用台站密集的强震动台网记录标定现存的峰值加速度衰减关系。

4 结论

这次地震是对首都圈实时强震动台网的一次检验，72个台站中有47个完整地记录到了此次地震。其它台站未能记录或记录不完整的主要原因是通讯线路或仪器问题引起的。通过这次地震的检验，为我们今后进行强震动台网或大城市烈度速报网建设提供了重要的经验启示和改进方向。

- (1) 必须选取高精度、运行可靠稳定的观测仪器；
- (2) 必须选取可靠的台站数据传输方式，采用可靠的强震动事件触发算法，来提高台网对强震动事件处理的可靠性（如采用实时或者准实时的网络传输方式、台网中心事件触发方式）；

3 结果及分析

由图4可看出该地震宏观震中距文安地震观测台站较近，且宏观震中椭圆面的长轴方向为北西至南东，短轴方向为北东至南西方向；两个水平方向的峰值要比垂直向大，总体衰减表现为沿长轴方向向北衰减较快、沿短轴方向没有明显的差别。另外，从峰值加速度分布的范围看，北京、天津大部分地区，以及河北省的部分地区的峰值加速

图4 文安地震峰值加速度分布图
Fig. 4 The peak acceleration distribution map of Wen'an earthquake
(a) UD向；(b) EW向；(c) NS向

(3) 必须完善台网中心的软件系统, 实现台网数据从汇集、处理、速报、入库到信息共享等功能的顺利实施。

参考文献:

- 崔建文, 李世成, 高东, 等. 2006. 云南分区地震动衰减关系 [J]. 地震研究, 29 (4): 386-391.
- 崔建文, 李正光, 赵云旭. 2007. 2007 年宁洱 6.4 级地震强震动观测记录 [J]. 地震研究, 30 (4): 384-388.
- 陈曦, 崔建文, 刘学军. 2006. 昆明地震动强度 (烈度) 观测台场地动力特征研究 [J]. 地震研究, 29 (3): 251-255.
- 李山有, 金星, 刘启方, 等. 2003. 中国强震动观测展望 [J]. 地震工程与工程振动, 23 (2): 1-7.
- 刘英利, 徐建新. 2006. 强震与微震观测系统的研究 [J]. 地震工程与工程振动, 26 (3): 264-266.
- 王国权, 周锡元. 2004. 921 台湾集集地震近断层强震记录的基线校

- 正 [J]. 地震地质, 26 (1):
- 谢礼立. 1989. 龙陵地震强震记录常规处理报告 [R] // 国家地震局工程力学研究所. 中国强震记录汇报 (第三集). 北京: 地震出版社.
- 俞言祥. 2002. 长周期地震动衰减关系研究 [D]. 北京: 中国地震局地球物理研究所.
- 周雍年. 2006. 中国大陆的强震动观测 [J]. 国际地震动态, (11): 1-6.
- Erdik M, Fahjan Y, Ozel O, *et al.* 2003. Istanbul Earthquake Rapid Response and the Early Warning System [J]. Bull of Earthquake Engineering, 1 (1): 157-163.
- GB/T 17742-1999, 中国地震烈度表 [S].
- Wu Y M, Shin T C, Chang C H. 2001. Near Real-Time Mapping of Peak Ground Acceleration and Peak Ground Velocity Following a Strong Earthquake [J]. BSSA, 91 (5): 1218-1228.

The Acceleration Records Analysis of the M5.1 Wen'an Hebei Earthquake Recorded by the Capital Real-time Digital Strong Motion Network

BIAN Zhen-fu, YAO Lan-yu, GUO Wei, YUE Xiu-xia

(Earthquake Administration of Tianjin Municipality, Tianjing 300201, China)

Abstract

This article has processed the acceleration records of the earthquake which occurred in Wen'an county recorded by the capital real-time strong motion network, and has drawn up three component record peak value acceleration isogram and the bedrock horizontal theory attenuation peak value acceleration isogram, through the analysis of the earthquake record and four acceleration isogram contrastive analysis. The result indicated: (1) the characteristic of the instrument record peak value acceleration attenuation may reflect the earthquake macroscopic characteristic; (2) the instrument record peak value acceleration attenuation may be one method of calibrating the bedrock horizontal theory attenuation peak value acceleration; (3) this earthquake will carry on the strong motion observation for us to provide the important experience from now on to inspire and to improve the direction of strong motion observation development.

Key words: strong motion record; acceleration peak value; attenuation; isogram