

不同仪器墩对波形记录影响的对比研究*

张新东, 闫俊岗, 张磊, 孙晴, 王静, 吴鹏

(河北省地震局 邯郸中心台, 河北 邯郸 056006)

摘要: 为研究不同仪器墩的地震波形记录质量, 2009年7月至2010年3月在河北武安地震台, 用同一类型的地震计和采集器分别在3种仪器墩上进行波形记录实验。对比实验表明, 摆坑仪器墩在相对条件下能取得较好记录效果。

关键词: 地震波形; 仪器墩; 信噪比; 背景噪声; 功率谱

中图分类号: P315.62

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2011)03-0317-05

0 引言

地震观测是地震应急、地球科学研究、地震社会服务的首要环节, 是防震减灾工作的基础。目前, 如何取得高质量的观测数据已经成为一项重要的研究课题, 其中仪器安放方式也是近年来地震工作者关注的重点, 崔庆谷等(2010)研究表明, 台基越好仪器的抗干扰性能越好。目前在我国运行的测震台站中, 地面地震计的安放一般有3种: 一是在基岩上用混凝土浇筑仪器墩; 二是把基岩磨平, 直接做仪器墩; 三是在基岩上挖坑, 将地震计放在坑里。第一种方式是传统做法, 占全国台站的70%, 第二种安放方式是为了让地震计在更接近自然环境条件下记录地震波形, 目前有20%的台站采用此方法, 第三种方式是最近几年开始使用的, 只有10%的台站使用此种做法(中国地震局监测预报司, 2003)。3种做法哪一种最好, 目前没有确切的实验数据来验证。为此, 笔者从2009年7月至2010年3月约半年多的时间在河北省武安地震台, 用同一类型的地震计和采集器分别在3种仪器墩上进行对比记录实验, 并对实验结果进行对比及验证。

1 实验方法

1.1 实验台站概况

武安地震台位于河北省邯郸西部武安石井沟村, 台基岩性为白云质灰岩(完整灰岩露头), 为

河北地震观测网络无人值守台站, 观测条件良好。武安台所采用的仪器墩为基岩上向下做摆坑(120 cm × 80 cm × 120 cm), 即实验3号仪器墩。为此实验, 我们新建了1号仪器墩(在基岩上用混凝土浇筑仪器墩80 cm × 80 cm × 40 cm)和2号仪器墩(基岩磨平, 直接做仪器墩)(图1)。

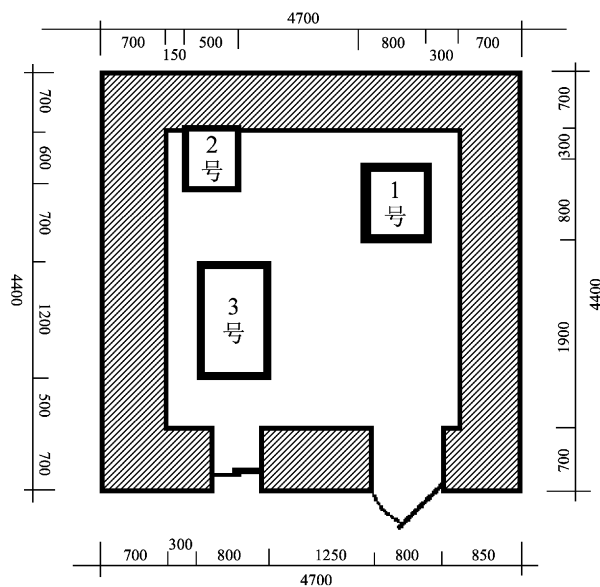


图1 武安地震台仪器墩放置示意图(单位: mm)

Fig. 1 Placement of instrument piers
at Wu'an seismic station

1.2 实验仪器

实验仪器全部采用北京港震公司生产的设备, 其中包括1套EDAS-24IP6型数据采集器和2套BBVS-60型地震计, 地震计的采样率为100 Hz,

* 收稿日期: 2010-07-19.

基金项目: 中国地震局三结合课题与河北省地震局硕博课题联合资助.

本实验使用的两套地震计标记为 00 号地震计与 01 号地震计 (表 1)。由于仪器设备的详细参数可以根据仪器型号在港震公司的官方网站上查到, 此处只给出实验设备的工作参数。

表 1 试验所用地震计的序列号及工作参数					
Tab. 1 Serial numbers and working parameters of the seismometers in the expirment					
地震计序列号	分向序列号	工作周期/s	阻尼	输出电压灵敏度/ (v · s/m)	标定灵敏度/ (v · s/m)
G08170VS (00 号)	ud_ G08170VS	60	0. 706	2 016. 81	10. 686 2
	ew_ G08170VS	59. 88	0. 712	2 009. 01	10. 451 6
	ns_ G08170VS	60	0. 706	2 000. 06	10. 438 9
G08171VS (01 号)	ud_ G08171VS	60. 02	0. 709	2 003. 16	10. 837 4
	ew_ G08171VS	60. 34	0. 699	2 009. 32	10. 451 2
	ns_ G08171VS	59. 9	0. 711	2 000. 89	10. 607 1

1.3 实验方法

第一阶段: 2009 年 7 ~ 9 月, 将两个地震计同时放在 1 号仪器墩上 (图 2a), 对此期间的波形图和频谱图进行拟合比对, 判断两个地震计的一致性。

第二阶段: 2009 年 10 ~ 12 月, 将 00 号地震计仍放在 1 号仪器墩上 (图 2b), 而将 01 号地震计移至 2 号仪器墩上 (图 2c)。

第三阶段: 2010 年 1 月 ~ 2010 年 3 月, 将 00 号地震计仍放在 1 号仪器墩上, 而将 01 号地震计移至 3 号仪器墩上 (图 2d)。

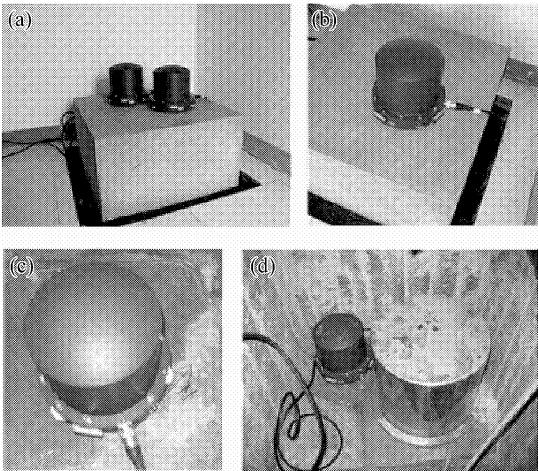


图 2 实验时地震计的安放情况
Fig. 2 Placement of seismometers in the experiment

2 实验结果分析

2.1 仪器的一致性分析

由于受观测设备影响, 本实验采用两台仪器

对 3 个仪器墩进行对比实验。为获得实验数据的可靠性, 我们对两台仪器的一致性进行评价。常见的评价仪器一致性的方法有配对 t 检验、简单相关分析、组内相关系数等方法 (Jens, Gerardo, 2007)。其中配对 t 检验主要是对两组数据均值差异的检验, 拒绝了有效假设时只能说明总体均数可能相同, 而不能反映数据的一致性。系统误差对配对 t 检验影响较大, 但对随机误差不敏感; 相关系数主要反映的是两组变量线性关系的密切程度而非一致性, 组内相关系数受测量值范围的局限, 在变异系数较小时会做出错误的判断。Bland - Altman 法是由 Bland 和 Altman (1986) 提出的, 它用图示的方法, 将定量分析和定性分析有机结合, 同时反映测量过程中的系统误差和偶然误差, 能直观反映两组测量仪器的差异性。本实验结合测震仪器的特点, 首先对波形进行拟合观测, 然后对局部观测数据采用 Bland - Altman 法进行检验, 采用两种方法检测两台仪器的一致性, 确保实验数据的可靠。

第一步, 对第一阶段所产生的波形图和频谱图做归一化后进行拟合比对, 通过分析频谱图发现波形在频率 $10^{-1} \sim 10^1$ Hz 范围内拟合较好。图 3 为 2009 年 8 月 21 日山西左权地震典型事例。

第二步, 利用 Bland - Altman 法以图 3 中地震为例, 从 [30s, 70s] 区间中取 300 个点进行比对, 利用 Bland - Altman 区间公式 (Bland, Altman, 1986) 计算得到三分向区间分别为: 垂直向区间 [- 14. 8, 14. 8], 东西相区间 [- 16. 9, 16. 9], 北南向区间 [- 15. 1, 15. 1]。通过计算得到其一致率分别为 95%、96%、95%, 而通常取一致性界限为 95%, 所以得出两台地震计的一致性较好, 符合实验比对要求。

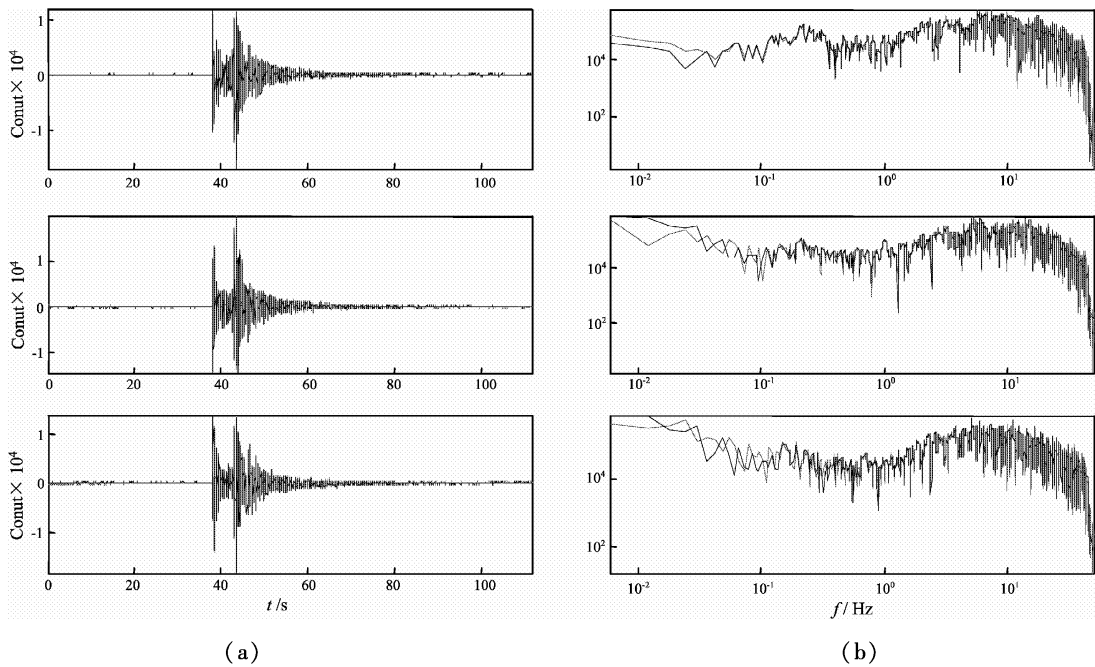


图 3 2009 年 8 月 21 日山西左权地震波形图 (a) 和频谱图 (b)
(红色线代表 00 号地震计, 黑色线代表 01 号地震计)

Fig. 3 Waveform (a) and spectrum (b) of Zuoquan earthquake, Shanxi on Aug. 21, 2009
(redline: No. 00 seismometer, black line: No. 01 seismometer)

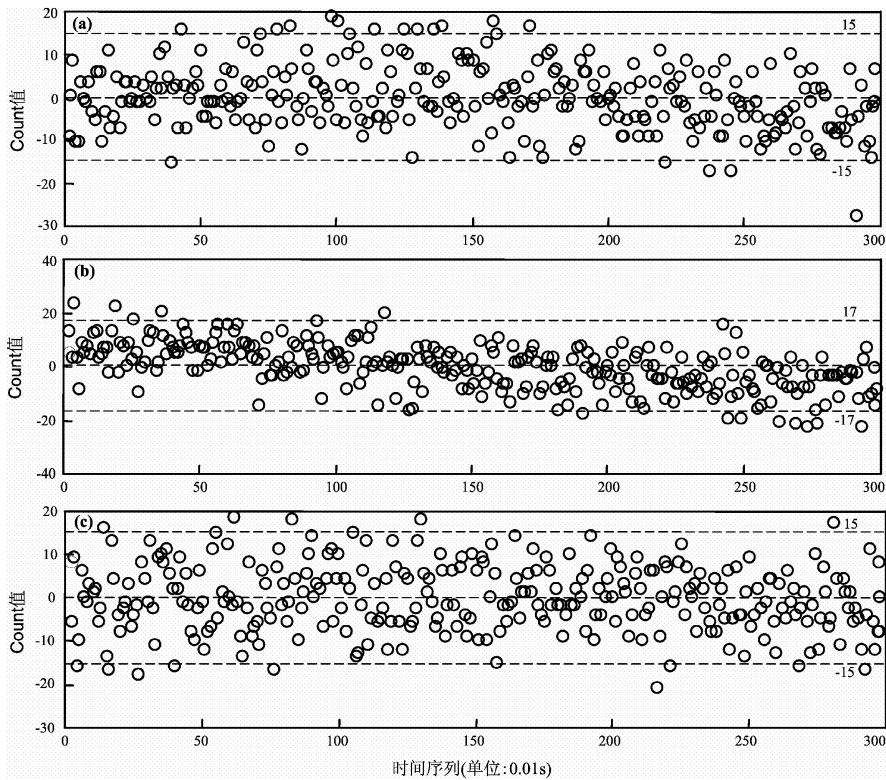


图 4 三分向 Bland-Altman 图

(a) 垂直向; (b) 东西向; (c) 北南向

Fig. 4 Bland-Altman graph for 3 - component
(a) U-D direction; (b) E-W direction; (c) N-S direction

2.2 信噪比分析

信噪比（signal to noise ratio，简称 SNR 或 S/N），是指一个地震监测记录中信号与噪声的比例（刘洋君等，2010）。笔者将第二阶段与第三阶段两个地震计所记录到的地震信号的功率平均值

分别与各自非地震信号的功率平均值进行比较，判断 3 个仪器墩的记录效果，如果比值大则认为其信噪比高，记录效果好。表 1、表 2 分别是第二阶段、第三阶段的计算结果，其中 $SNR(u)$ 、 $SNR(e)$ 、 $SNR(n)$ 代表三分向的比值。

表 2 第二阶段记录事件信噪比计算结果
Tab. 2 Signal to noise ratio on the second stage

	$SRN(u_1)$	$SRN(u_0)$	$SRN(u_1)/SRN(u_0)$	$SRN(e_1)$	$SRN(e_0)$	$SRN(e_1)/SRN(e_0)$	$SRN(n_1)$	$SRN(n_0)$	$SRN(n_1)/SRN(n_0)$
事件 1	3.889 1	3.878 8	1.002 655	2.793 6	2.537 6	1.100 883	3.476 0	2.650 0	1.311 698
事件 2	120.574 4	119.797 4	1.006 486	197.227 5	185.847 9	1.061 231	154.378 3	153.858 4	1.003 379
事件 3	95.330 8	100.220 4	0.951 212	249.389 5	240.056 2	1.038 88	254.846 6	233.138 4	1.093 113
事件 4	53.516 8	51.059 9	1.048 118	79.457 6	72.378 2	1.097 811	67.244 1	69.028 3	0.974 152
事件 5	47.005 0	46.230 9	1.016 744	19.662 5	18.373 8	1.070 137	20.613 6	22.797 2	0.904 216
$SRN(u_1)/SRN(u_0)$ 平均			1.005 043	$SRN(e_1)/SRN(e_0)$ 平均		1.073 788	$SRN(n_1)/SRN(n_0)$ 平均		1.057 311 6
$SRN(1)/SRN(0)$ 平均						1.045 381			

表 3 第三阶段记录事件信噪比计算结果
Tab. 3 Signal to noise ratio on the third stage

	$SRN(u_1)$	$SRN(u_0)$	$SRN(u_1)/SRN(u_0)$	$SRN(e_1)$	$SRN(e_0)$	$SRN(e_1)/SRN(e_0)$	$SRN(n_1)$	$SRN(n_0)$	$SRN(n_1)/SRN(n_0)$
事件 1	6.749 4	6.626 1	1.018 608	2.960 5	1.946 9	1.520 623	2.903 3	2.683 4	1.081 948
事件 2	12.925 6	12.868 1	1.004 468	50.779 6	48.206 2	1.053 383	15.231 1	15.966 3	0.953 953
事件 3	13.475 7	12.909 1	1.043 892	4.341 6	4.496 6	0.965 53	16.738 3	14.370 4	1.164 776
事件 4	113.690 9	114.581 4	0.992 28	127.720 4	110.406 9	1.156 815	49.736 7	44.962 8	1.106 174
事件 5	33.559 6	33.343 4	1.006 484	23.499 4	29.222 9	0.804 143	15.054 8	13.225 0	1.138 359
$SRN(u_1)/SRN(u_0)$ 平均			1.013 146	$SRN(e_1)/SRN(e_0)$ 平均		1.100 099	$SRN(n_1)/SRN(n_0)$ 平均		1.089 042
$SRN(1)/SRN(0)$ 平均						1.067 429			

通过对第二阶段获取的 5 个事件做对比分析，发现 01 号地震计的记录信号比 00 号地震计的好，可以认为 2 号仪器墩比 1 号仪器墩效果好。同时对第三阶段所获取的 5 个事件同样做了对比分析，发现 01 号地震计的记录信号比 00 号地震计的记录信号好，同样可以认为 3 号仪器墩比 1 号仪器墩效果好。

由于受时间和设备影响，没有对 2 号仪器墩和 3 号仪器墩做直接的对比试验，但从各自对 1 号仪器墩的试验数据也可以相对地判断出其优劣。2 号仪器墩与 1 号仪器墩地震计记录到的地震信号的功率平均值与非地震信号的功率平均值的比值是

1.045 381，3 号仪器墩与 1 号仪器墩地震计记录到的地震信号的功率平均值与非地震信号的功率平均值的比值是 1.067 429，说明 3 号仪器墩记录到的地震信号最为真实。

2.3 地脉动噪声谱对比与分析

近年来，除了观测规范要求的以地脉动的有效值（均方根）来衡量台站的噪声水平外，国际上多以噪声功率谱来衡量台站的噪声水平，它可以表征整个观测频带的噪声水平状况，此方法也可相对地表征仪器墩的性能（中国地震局监测预报司，2007）。取 01 号地震计在所研究 3 个仪器墩上各连续记录 48 h 的地脉动波形（彼得·鲍曼，

2006), 然后, 对记录信号波形进行数据分析处理和噪声功率谱分析, 从表 4 可以看出 3 号仪器墩的效果最好。

表 4 实验仪器墩记录地脉动背景噪声速度功率谱 (m^2/s)
Tab. 4 Velocity power spectrum of microtremors background noise recorded by experimental instrument piers

仪器墩	方向		
	UD	EW	NS
1 号墩	1. 042 17e-007	1. 648 43e-007	1. 123 34e-007
2 号墩	1. 314 68e-007,	1. 565 11e-007	1. 540 61e-007
3 号墩	1. 735 17e-007	2. 427 13e-007	2. 322 4e-007

3 结论

根据对比实验观测, 可以看出摆坑仪器墩在相对条件下能取得最好的记录效果。一般认为在基岩上用混凝土浇铸的仪器墩, 由于混凝土介质的作用, 它没有把基岩磨平, 直接做仪器墩记录的地震信号真实, 而在基岩上挖坑, 将地震计放在坑里, 具有良好的保温、抗风等抗干扰能力, 其记录的地震信号也就最为真实。

本文利用试验数据说明了在基岩上挖坑, 将地震计放在坑里是最好的做仪器墩的方式。如果

在坑里的地震计上加装一个保温防风的保护罩, 效果可能更好。

河北省地震局高景春研究员、胡斌高级工程师在实验仪器方面给予帮助, 邯郸中心台台长方健高级工程师为实验台站方便做了细致的工作, 研究期间与中国地球物理研究所专家进行过细致探讨, 在此一并致谢。

参考文献:

彼得·鲍曼. 2006. 新地震观测实践手册[M]. 中国地震局监测预报司, 译. 北京: 地震出版社.

崔庆谷, 宋金燕, 秦波, 等. 2010. 台基对地震波、干扰信号的选择性抑制及其抗干扰品质的实验研究[J]. 地震研究, 33(2): 222-225.

刘洋君, 薛兵, 朱小毅, 等. 2010. 地震计自噪声的研究[J]. 地震, 30(1): 138-146.

中国地震局监测预报司. 2003. 数字地震观测技术[M]. 北京: 地震出版社.

中国地震局监测预报司. 2007. 地震学与地震观测[M]. 北京: 地震出版社.

Bland J M, Altman D G. 1986. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement[J]. The Lancet, 327(8476): 307-310.

Jens H, Gerardo A. 2007. 地震观测技术与仪器[M]. 赵仲和, 赵建和译. 北京: 地震出版社.

Comparison of the Effect of Different Instrument Piers on the Waveform Records

ZHANG Xin-dong, YAN Jun-gang, ZHANG Lei, SUN Qing, WANG Jing, WU Peng
(Center Station of Handan, Earthquake Administration of Hebei Province, Handan 056006, Hebei China)

Abstract

We did an experiment to study the effect of instrument piers on the seismic waveform records by setting the same type of seismometers and data acquisition devices on the three instrument piers at Wu'an seismic station, Hebei Province during Jul. , 2009—Mar. , 2010. The contrast experiment shows that the waveform recordings are the best when the seismometers are set in the recess of bedrock.

Key words: waveform records; instrument piers; signal to noise ratio; background noise; power spectrum