

杨选辉、杨树新、张彬等 2011, 测震数采仪记录的钻孔应变, 中国地震 27(1), 65~71。

测震数采仪记录的钻孔应变

杨选辉 杨树新 张彬 张国红 刘福生 柳艳智 王勇

中国地震局地壳应力研究所, 北京市海淀区西三旗安宁庄路 1 号 100085

摘要 采用测震仪数采器在昌平台站开展了高频采集实验, 对原来 1 次/分钟采样的钻孔应变仪输出进行 100 次/秒采样, 记录到大量丰富的信息。计算了高频采样获得的应变记录分钟值后, 发现与原来的 1 次/分钟采样变化曲线趋势完全吻合。高频采样获得的应变地震波更加完整, 细节更为清晰。通过应变地震波计算得到的震相参数, 与前人所得结果一致。与十三陵地震台测震仪记录的地震波比较, 二者的波谱相似, 且应变地震波中还存在低频成份。

关键词: 钻孔应变仪 测震数采 高频采集 采样率 应变地震波

[文章编号] 1001-4683(2011)01-065-07 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

目前, 大多数的地震前兆观测仪器都实现了数字化, 数据采集的采样率一般是 1 次/分钟, 信号中包含了前兆动态的日变化、月变化、年变化或更长周期的信息, 可以满足分析预测人员日常对震情的跟踪监视。但 1 次/分钟的采样率相对来说只能记录一些低频信号, 当有“事件”发生时, 细节部分信息就难以被完整地记录下来。如在远处发生较大地震或在台站附近发生一些微破裂事件后, 钻孔应变仪一般都能记录到较为明显的与地震波相似的波形变化, 我们称之为“应变地震波”, 即由于地震激发的 P 波、S 波及面波等引起应变仪同步响应而由应变仪记录的波形。应变地震波反映了来自震源区的信息(张凌空等, 2009), 其物理意义值得深入研究。为了可靠地记录地震监测中的前兆观测仪器对高频事件的响应信息, 解决如何采集前兆仪器输出的高频信息方法, 研究钻孔应变仪的响应特性, 我们在昌平台站开展了实验, 利用目前普遍使用的测震仪数据采集器来采集前兆仪器输出信号, 测震仪数采的采样率一般是 100 次/秒, 其数据量是前兆观测系统 1 次/分钟采样的 6000 倍, 能够记录到地震波等高频信息。

前兆观测仪器能否观测到更高频率的信息呢? 模拟观测情况下钻孔应变仪确实观测到了高频的应变地震波(欧阳祖熙等, 1988)。近年来, 随着数字化技术的提高, 一些前兆观测台站开展了利用高频数采记录前兆信息的实验, 如福建省地震局开展了对水位观测的高频采集工作(廖丽霞等, 2009), 记录到了较完整的水震波波形。舒优良等在陕西周至井开展

[收稿日期] 2010-12-08; [修定日期] 2011-01-28

[项目类别] 中国地震地壳应力研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项(ZDJ2008-40、ZDJ2010-15)资助

[作者简介] 杨选辉, 男, 1965 年生, 博士, 研究员。主要从事地震监测预报、地球物理信号处理研究

的用 EDAS-3 数采记录水震波实验也获得了非常有利的结果(舒优良等,2004)。在利用高频观测资料开展研究方面,张子广等利用水震波和地震面波资料对唐山地区水位波动产生的垂直应变进行了估计(张子广等,1998)。中国地震局地壳应力研究所昌平台站有钻孔应变、地下流体等多种前兆观测仪器,2008 年我们进行了使用测震仪数据采集器来记录 RZB-1 钻孔应变仪的输出实验,观测发现,高频采样记录到了非常丰富的钻孔应变信息。

1 数据记录实验

RZB-1 钻孔应变仪是中国地震局地壳应力研究所欧阳祖熙研究员研制的一种高精度钻孔应变观测仪器,1989 年在昌平台站安装成功并开始观测。仪器原有 4 个观测元件,2008 年由于 1 个元件故障,现只有 3 个元件(1#:NS 2#:N45°W 4#:N45°E)正常工作。测震仪数采器是港震公司为地震检测而研制的 EDAS-24IP 型 24 位带 IP 功能的高性能数据采集单元,也只有 3 个通道。因此,我们在不改变原有分钟值采样的基础上,又同时将钻孔应变仪的 3 个观测元件输出通道分别接到了测震仪数采的 3 个通道上,使用 100 次/秒的采样率记录应变仪的输出变化。

1.1 连续记录

由于 100Hz 采样,数据量巨大,我们仅给出 2008 年 8 月 29 日 00:00:00 ~ 00:59:59 这一个小时的连续记录曲线(图 1),从上至下分别表示 1#、2#和 4#元件。

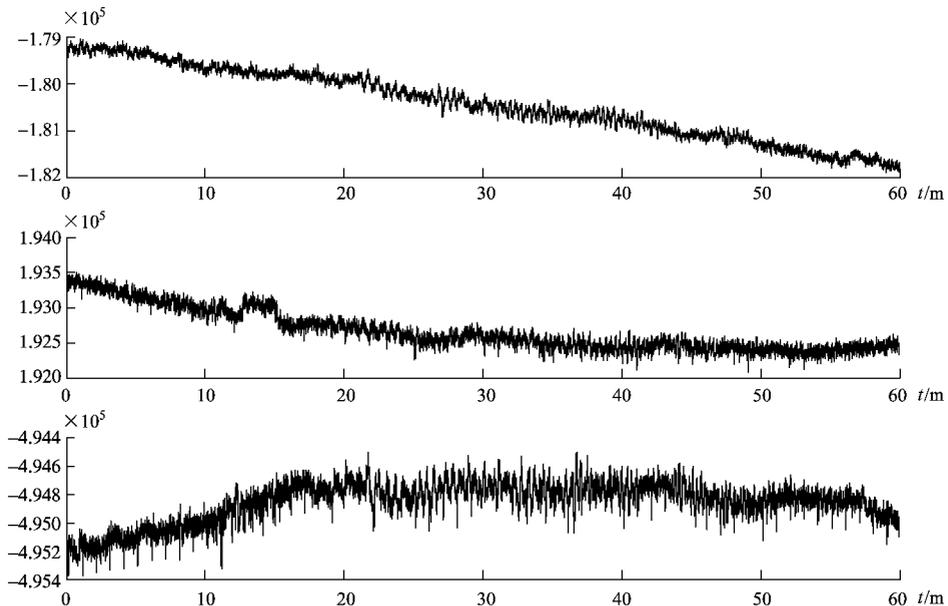


图 1 测震仪数采记录的 2008 年 8 月 29 日 00:00:00 ~ 00:59:59 应变连续曲线

根据测震数采记录的数据,计算每分钟均值,如此获得了 2008 年 8 月 29 日全天的分钟值,将其与原来的前兆数采分钟记录相比较,结果如图 2 所示。图 2 中左列是原分钟数采记录的 29 日全天曲线,右列为通过测震数采记录的数据计算得到的分钟均值曲线。

比较图 2 中两种方式得到的分钟值曲线,可以看到,二者曲线形态几乎完全一致,通过

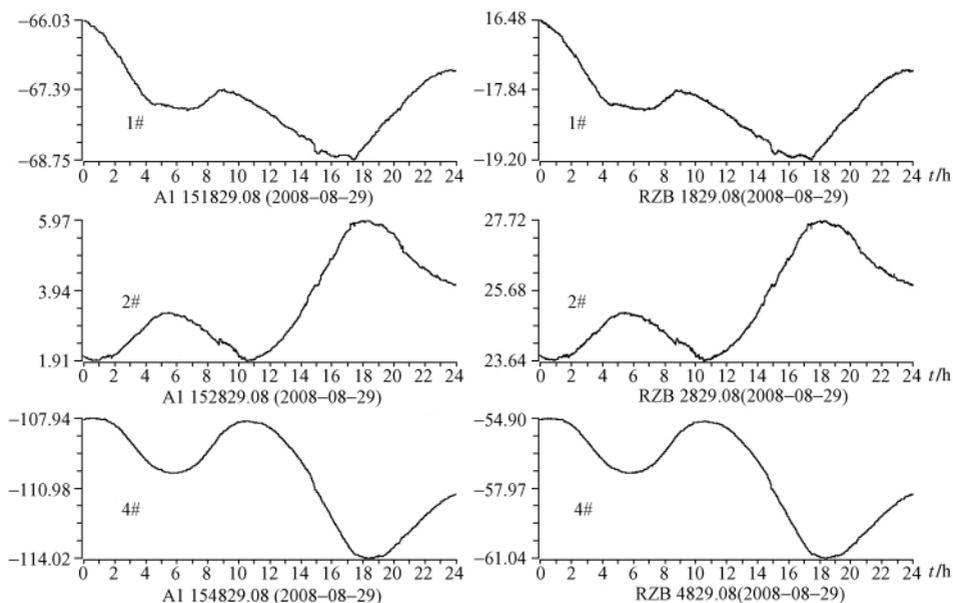


图2 原记录分钟值与测震数采记录分钟值应变曲线对比(2008年8月29日)

测震数采高频率采样计算得到的分钟值没有出现失真,利用测震数采仪采集钻孔应变输出是可行的。

1.2 事件记录

2008年7月19日10:39:30在日本本州东海岸近海发生7.3级地震,台站距震中2276km,原分钟记录和测震数采高频应变记录都清晰地记录到了此次地震的同震变化波形(图3)。图3左列为原应变仪数采记录的分钟曲线,右列是使用测震数采记录的高采样数据计算得到的分钟值曲线。比较左、右两列相应曲线,发现二者趋势一致,且高采样数据获得的波形曲线上、下振幅完整。说明使用测震仪数采器来记录钻孔应变输出没有导致信号的失真,而且还能记录到更为丰富的信息。

测震数采记录的2008年7月19日10:40~11:10的应变地震波曲线如图4所示。

与昌平台站相距约3km的十三陵地震台有1台宽频带地震仪,其记录的此次地震波形如图5所示。

比较图4与图5,虽然图4是通过测震数采器记录的钻孔应变仪输出的应变地震波,但与地震仪记录的地震波比较相似,在某种程度上可以对二者进行比较分析。

2 初步分析

2.1 时域分析

比较图2左列和右列,可以看出,测震仪记录的应变分钟均值与应变仪记录的分钟采样值曲线趋势是一致的;当有事件发生时(图3),应变仪记录的波形(图3左侧图)明显出现畸变,1#元件和4#元件只记录到下半部分振幅,上半部分振幅却丢失了。这是由于分钟采样速度慢,来不及对快速变化的波形采样导致的。而通过测震仪数采器记录的应变仪输出经

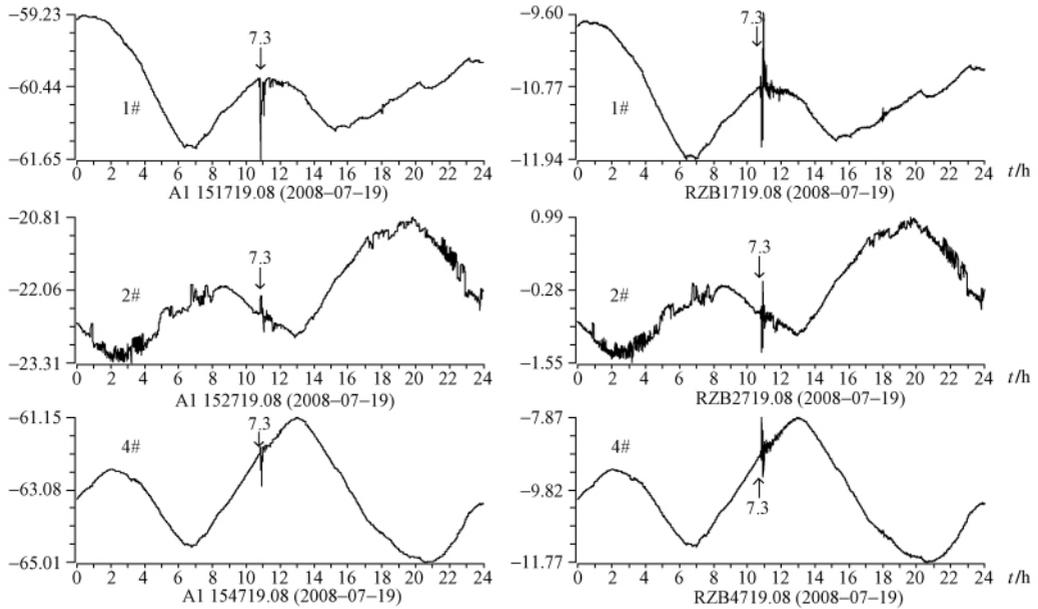


图3 原记录分钟值与测震数采记录分钟值应变曲线的对比(2008年7月19日)

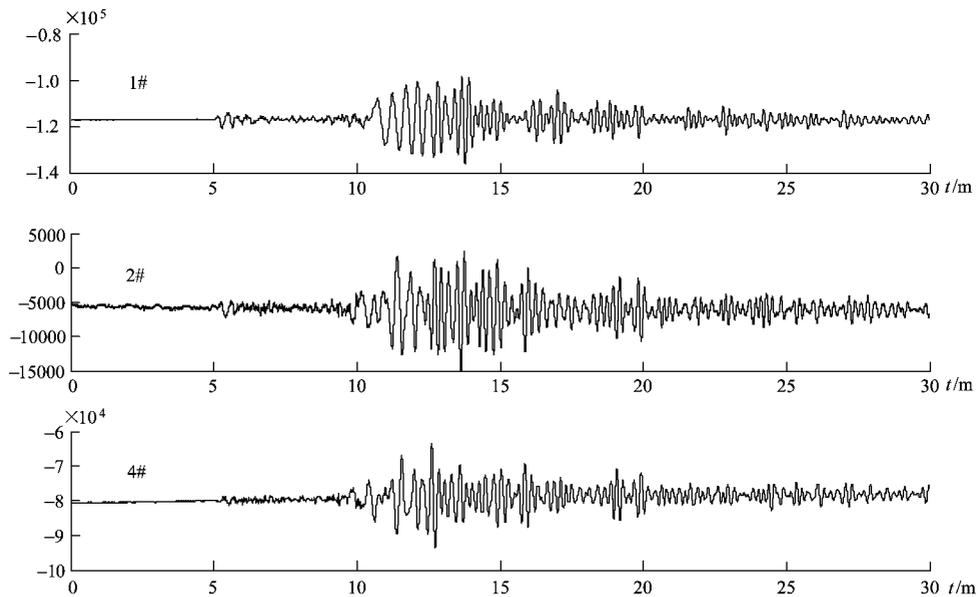


图4 测震数采记录的应变地震波

计算得到的2008年7月19日分钟曲线(图3右侧图)与应变仪分钟曲线相比,整体趋势一致,且上、下振幅完整,说明高频采集的数据更科学、信息更丰富。

图4是测震数采记录的应变地震波形,图5是地震仪记录的地震波形,比较图4和图5可见,地震仪清晰地记录到了P波、S波及面波到时,而从测震数采记录的应变地震波曲线上看,P波到时清晰,面波比较强,而S波比较弱。根据地震仪记录的地震波和应变地震波

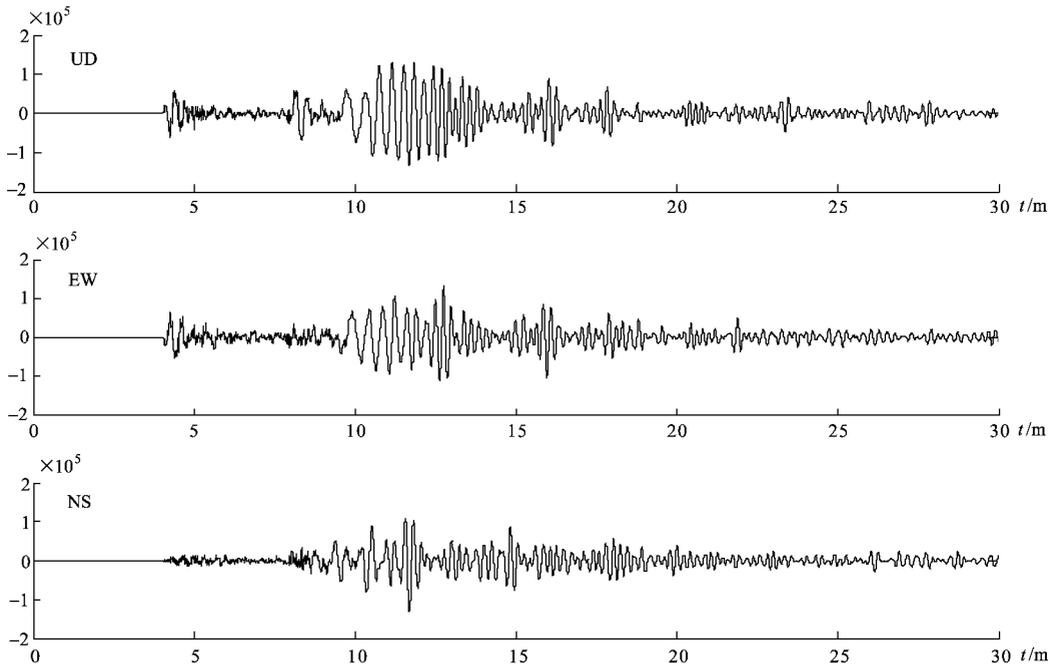


图 5 十三陵台站记录的地震波

到时及震中距, 计算得到了 P 波、S 波及面波的视速度(震中距/震相走时), 如表 1 所示。

表 1 日本 2008 年 7 月 19 日 7.3 级地震到时参数

台站记录	P 波到时 (m:s)	S 波到时 (m:s)	面波到时 (m:s)	V_p ($\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$)	V_s ($\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$)	V_L ($\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$)
昌平台应变地震波	44:03	47:55	49:23	8.33	4.51	3.83
十三陵台地震波	44:1.80	47:56.80	49:31.14	8.45	4.49	3.78

由表 1 可见, 根据地震波和应变地震波参数计算得到的震相视速度误差很小, 与舒优良等获得的结果也非常一致。

2.2 频域分析

计算图 4 中测震数采器记录的应变地震波的傅里叶谱, 结果如图 6 左列所示。图 5 中十三陵台站地震仪记录的地震波的频谱如图 6 右列所示。

从图 6 可以看出, 二者频谱特征总体近似, 细节上存在差异, 应变地震波的频率在低频部分(约 10^{-3}Hz) 存在一定能量, 而地震波形的优势频率基本全集中在 0.1Hz 附近。

3 讨论与结论

通过使用测震数采对应变仪输出进行高频率采集, 获得了以下初步认识:

(1) 应变仪高频记录能够获得更丰富的信息, 计算所得分钟值序列与前兆数采记录的分钟值变化趋势完全吻合。

(2) 当有事件发生时, 原分钟记录有时只记录到波形的半振幅, 而高频记录的同震波形更为完整。

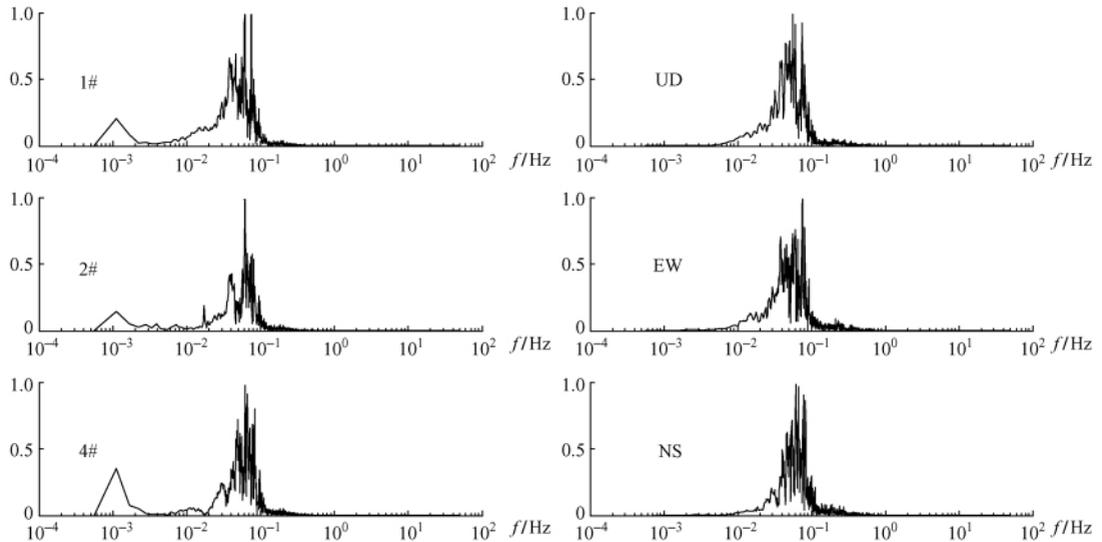


图6 频谱分析结果

左列:应变地震波频谱;右列:地震波频谱

(3) 记录到了应变地震波的 P 波、S 波和面波,只是 S 波不如地震仪记录的地震波清楚,这可能是应变仪和地震仪频响性能所致。

(4) 通过地震波和应变地震波计算得到的震相参数比较一致,与前人得到的结果也是可比的。

(5) 通过频谱分析发现,应变地震波与地震仪记录的频谱比较相似,应变仪还记录到了低频信息。相对而言,应变仪的频带更宽。

地震激发的 P 波、S 波及面波可以引起应变仪的同步响应,产生所谓的“应变地震波”,与地震仪记录的地震波比较,我们可以看到,二者时程波形比较相似,根据“应变地震波”计算得到的震相走时参数与地震波得到的参数基本一致,频谱也相似,而且应变仪记录中还含有低频成分。

当然,由于应变仪和地震仪原理和结构设计不同,频响是有差异的,如地震仪能够十分清晰的记录到地震波的各个震相,波形振幅也较大,而应变仪记录的应变地震波的 S 波震相就显得较为模糊。地震仪有垂直向分量,而应变仪三个分量都是水平方向,要将二者进行比较,还需要做更细致的研究工作。

实验表明,对前兆钻孔应变观测系统进行高频采样是可行的,高频采集记录的应变信息十分丰富,目前只做了初步的分析,我们还将对测震数采器记录的大量 RZB-1 高采样钻孔应变资料,进行更深入的研究。

参考文献

- 廖丽霞、陈昌泳、倪晓寅等,2009,不同型号仪器水位记震能力对比分析,地震研究,33(2),137~144。
 欧阳祖熙、李秉元、贾维九等,1988,一种钻井式地应力场测量系统,见:地壳构造与地壳应力文集(2),11~20,北京:地震出版社。

- 舒优良、张世民 2004 ,周至深井水震波数字化记录与地震波记录的对比研究 ,地震地磁观测与研究 **24**(5) 26 ~ 31。
- 张凌空、牛安福 2009 ,Sacks 体应变地震波的观测结果分析 ,大地测量与地球动力学 **29**(5) 33 ~ 37。
- 张子广、万迪堃、董守玉 ,1998 ,水震波与地震面波的对比研究及其应 ,地震 **18**(4) 399 ~ 404。

Strains recorded by seismic acquisition unit

Yang Xuanhui Yang Shuxin Zhang Bin Zhang Guohong Liu Fusheng Liu Yanzhi Wan Yong

Institute of Crustal Dynamics ,CEA , Beijing 100085 , China

Abstract A seismometer acquisition has been used at the Changping Observing Station to gather the output of strainmeter. The original rate of the strainmeter of once per minute changed to 100 times per second for seismometer acquisition sampling. Plenty of higher frequency data are recorded and the minutely data calculated from seismometer acquisition are consistent with the original data sampled by strain acquisition. And more completed waveform are recorded through higher sampling. The seismic phase parameters calculated by strain earthquake waves of higher sampling rate are also consistent with predecessors. Spectrum of the strain earthquake waves are compared with seismic waves recorded by a seismometer at the Shisanling Seismic Station , and their trends are almost the same. Some lower frequency ingredients exist in strain waves.

Key words: Bore-hole strainmeter Seismometer acquisition Higher frequency sampling
Sampling rate Strain earthquake wave