

成都地震台 JCZ-1 与 JCZ-1T 甚宽频带地震仪对比观测分析*

田文德¹, 叶建庆², 胡俊明¹

(1. 成都基准地震台, 四川 成都 611730; 2. 云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 采用成都基准地震台 JCZ-1 型和 JCZ-1T 甚宽频带数字地震仪同一时间段记录的地方震、近震和远震的地脉动噪声做功率谱分析。结果表明, JCZ-1 和 JCZ-1T 型甚宽频带地震仪在主要频带内对地噪声的响应程度是一致的。在高频端和低频端 JCZ-1T 型地震计分辨率更高, 且信噪比更高, 高出 10~20 dB。JCZ-1 型地震计由于长期使用导致材料老化以及受环境温度或气流微量变化的影响, 地震计的噪声较高, 可能对地震波记录的幅值产生 5% 左右的影响。JCZ-1T 型地震计在安装过程中所采取的保温、防气流扰动等各种防护措施是可靠的。

关键词: 甚宽频带数字地震仪; 对比观测; 噪声测试; 功率谱分析

中图分类号: P315.622

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2013)03-0372-07

0 引言

JCZ-1 型甚宽频带地震计是中国国家数字地震台网于 20 世纪 90 年代末在全国十几个观测环境较优的台站中使用的高性能仪器, 由一个垂直向和两个水平向地震计组成, 为分体式装置, 频带为 20 Hz - DC (中国地震局监测预报司, 2003)。JCZ-1T 型是 JCZ-1 型甚宽频带地震计的改进型, 为三分量一体机, 带宽为 50 Hz - DC。成都基准地震台于 1999 年 7 月 1 日安装试运行 JCZ-1 型数字地震仪, 2000 年 1 月 1 日开始正式记录。2012 年 1 月 8 日成都基准地震台在同一仪器墩上加装了一套 JCZ-1T 型地震计, 设计思路是替换已使用了 12 年的 JCZ-1 型地震计。

甚宽频带地震计对观测环境噪声、温度变化、气压变化比短周期地震计和一般的宽频带地震计有更高的要求。成都基准地震台在 JCZ-1T 型甚宽频带地震计安装过程中, 经过反复调试、比对、与厂家交流探讨, 研究可能影响地震计正常工作的因素并采取了相应的防护措施。为了检验和检测两套甚宽频带地震计各项性能的一致性, JCZ-1T 型甚宽频带地震计在安装过程中所

采取的保温、防气流扰动等各种防护措施的可靠性, 笔者取同一时间段两套仪器记录的地脉动噪声进行功率谱密度分析, 同时对同一时段记录的地方震、近震和远震进行功率谱分析, 从实际观测的角度研究分析两套甚宽频带地震仪在相同观测环境下记录的数字振动波形数据。从波形记录的时域和频域两个方面分析两套甚宽频带地震仪的差异性, 是分析研究两套地震仪记录一致性的一种实用方法。

本文取 2012 年 3 月 13 日至 3 月 20 日成都基准地震台 JCZ-1 型和 JCZ-1T 型甚宽频带地震计在同一仪器墩上记录的数字振动波形数据, 采用频谱分析方法, 分析研究两套甚宽频带地震仪在实际观测中存在的差异性和一致性。

1 观测数据

在修建成都基准地震台观测山洞测震观测室时, 为了解决甚宽频带地震计对温度、湿度、气压变化非常敏感的问题, 采用了特殊的混凝土双层拱型结构与钢质抗压门密闭的设计方案。建成后, 洞室内常年温度保持在 $(16 \pm 1)^\circ\text{C}$, 湿度介于 70% ~ 80%, 形成了一个恒温、恒湿、恒压的

表 1 成都台记录的地震基本参数

Tab. 1 Basic parameters of the earthquakes recorded by Chengdu Station

序号	发震时刻 /年-月-日 时:分:秒	$\varphi_N(^{\circ})$	$\lambda_E(^{\circ})$	深度/km	M_L	M_S	震中参考地名	备注
1	2012-03-13 13:41:01	31.29	103.81	10	2.1		汶川	微近震
2	2012-03-14 16:39:12	31.18	103.74	10	1.8		都江堰	微近震
3	2012-03-14 17:08:34	41.0	144.95	20		6.9	日本本州东海岸近海	远震
4	2012-03-14 20:04:58	35.61	141.22	10		5.9	日本本州东海岸近海	远震
5	2012-03-14 22:45:41	31.32	103.48	10	3.2		汶川都江堰交界	微近震
6	2012-03-14 23:40:48	31.27	103.6	10	3.2		汶川都江堰交界	微近震
7	2012-03-15 05:13:10	-5.55	151.0	50		6.0	新不列颠地区	远震
8	2012-03-16 15:58:01	9.77	125.78	36		5.6	菲律宾棉兰老岛	远震
9	2012-03-17 20:23:26	31.18	103.48	33	2.5		都江堰	微近震
10	2012-03-18 05:06:49	31.18	103.52	33	2.7		都江堰	微近震
11	2012-03-19 05:22:15	31.02	103.2	33	3.3		都江堰	微近震
12	2012-03-19 08:43:08	31.23	103.65	33	2.4		都江堰,汶川交界	微近震
13	2012-03-21 02:02:50	16.7	-98.2	20		7.8	墨西哥	极远震

适宜甚宽频带地震计稳定运行的观测环境。从 2012 年 1 月 8 日至 3 月 10 日, JCZ-1T 型甚宽频带地震计经过安装调试、保温、防气流扰动等处理后, 系统运行平稳。JCZ-1 型和 JCZ-1T 型甚宽频带地震计都使用 EDAS-24IP 型数据采集器, 数据采样率均为 100 Hz。本文取 2012 年 3 月 13 日 00 时至 3 月 20 日 23 时 JCZ-1 型和 JCZ-1T 型甚宽频带地震仪 BB 通道记录的 192 h 连续观测数据, 作为地脉动噪声功率谱计算的基础数据。期间记录了 12 个地震事件, 表 1 列出了这些地震事件的基本参数, 同时列出了 1 个极远震, 地震参数为单台处理结果。

2 数据处理方法

台站地脉动噪声计算采用台基背景噪声测试软件(杨晶琼, 杨周胜, 2005), 将各台仪器记录按小时进行分道处理, 分别为垂直、东西和北南分量。图 1 为成都地震基准台 JCZ-1 和 JCZ-1T 型甚宽频带地震仪 192 h 背景噪声图, 图中上下两条红色曲线分别为地球的高噪声模型 HNM (High Noise Model) 和低噪声模型 LNM (Low Noise Model)。

利用成都基准地震台 JCZ-1 和 JCZ-1T 型甚宽频带地震仪记录的连续波形数据, 通过事件

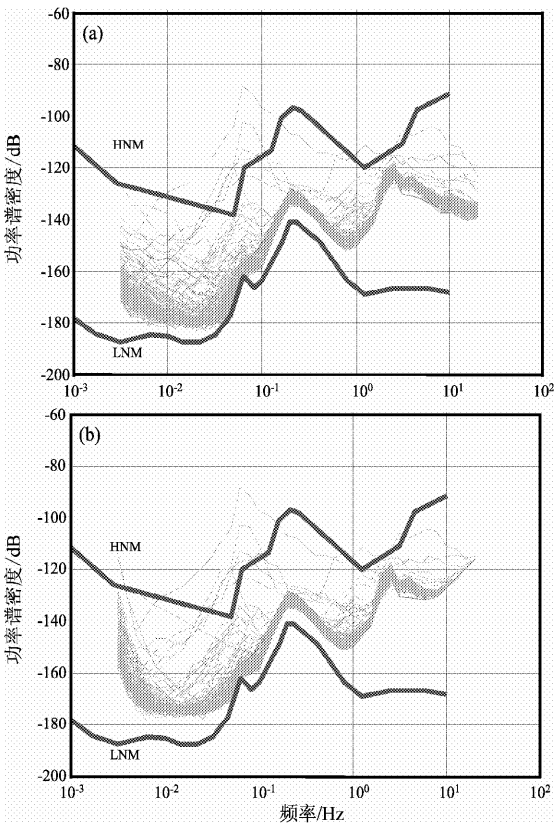


图 1 成都地震基准台 JCZ-1 (a) 和 JCZ-1T 型 (b) 甚宽频带地震仪 192 h 垂直分量背景噪声

Fig. 1 Background noise of 192 hours in invertical components recorded by JCZ-1 (a) and JCZ-1T (b) ultra broadband seismometers at Chengdu Seismic Station

回放处理程序 (EDSP - IAS) 进行数据回放检查, 将观测到的地震事件数据文件进行裁剪并转换成文本文件格式, 即利用 MATLAB 数值分析软件 (张志涌, 2000, 陈慧等, 2006, 叶建庆等, 2008) 对事件波形数据进行回放, 在回放过程中对波形数据进行零点校正和去倾斜的数据预处理, 扣除仪器响应, 使事件波形数据直接反映地面运动的速度 ($\mu\text{m/s}$), 对近震事件波形取 40.96 s 窗长处理, 采用高通滤波器, 对于远震事件波形取最大面波数据, 窗长为 81.92 s。采用周期图法对取窗数据进行速度功率谱密度估计。(万永革, 2007)。

有限长信号数据序列为 $x(n)$, 其 Fourier 变换和功率谱密度估计 $\hat{S}_x(f)$ 的关系

$$\hat{S}_x(f) = \frac{1}{N} \left| x(f) \right|^2. \tag{1}$$

式中, N 为信号数据序列为 $x(n)$ 的长度。在离散的频率点 $f = k\Delta f$, 有

$$\hat{S}_x(k) = \frac{1}{N} \left| X(k) \right|^2 = \frac{1}{N} \left| \text{FFT}[x(n)] \right|^2, \\ k = 0, 1, \dots, N - 1. \tag{2}$$

式中, $\text{FFT}[x(n)]$ 为对序列 $x(n)$ 的 Fourier 变换。

图 2 为成都基准地震台 JCZ - 1 和 JCZ - 1T 型甚宽频带地震仪记录的地震事件波形的功率谱密度估计, 该地震事件为表 1 中 5 号事件, 汶川都江堰交界地区发生的 $M_L 3.2$ 地震, 由图可见两台仪器记录的地方震功率谱密度估计完全一致。

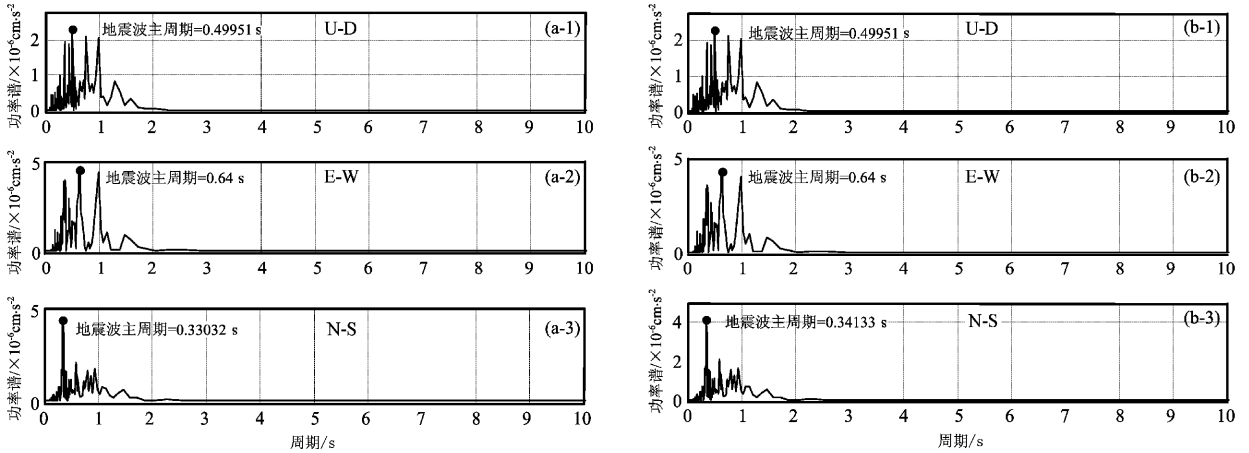


图 2 成都地震基准台 JCZ - 1 (a) 和 JCZ - 1T 型 (b) 甚宽频带地震仪记录 5 号地震事件 (表 1) 波形的功率谱密度估计

Fig. 2 Power spectral density estimates of the No. 5 seismic event in Tab. 1 recorded by JCZ-1 (a) and JCZ-1T (b) ultra broadband seismometers at Chengdu Seismic Station

3 对比观测结果分析

3.1 地脉动噪声测量结果

台站地脉动噪声测试不能直接检测地震仪器的各项参数, 但是数台地震仪器置于同一地点, 同时观测该台站噪声及地震响应, 通过观测记录的时间域、频率域的对比观察和分析, 可考查各台地震仪器的工作状态是否正常, 各台地震仪在同频带内对地噪声的响应程度, 由此可以判定参与对比观测的同类地震仪器的一

致性。图 3 和图 4 分别给出了成都基准地震台 JCZ - 1、JCZ - 1T 型甚宽频带地震仪 192 h 东西分量和北南分量的背景噪声图。

由图 1、图 3 和图 4 可见, 成都基准地震台 JCZ - 1 和 JCZ - 1T 型甚宽频带地震仪在主要频带内对地噪声的响应程度是一致的, 图中离散的曲线为该小时时段内有地震事件, 相对集中的曲线代表了这些时段内的地动噪声分频响应。图中反映两套仪器分别在低频部分和高频部分响应不同, JCZ - 1 型甚宽频带地震仪显示出的地噪声比 JCZ - 1T 型高 10 dB 左右, 垂直分量

更突出，高 20 dB 左右。由此可见，在 10 ~ 20 Hz 频带内，JCZ - 1T 型比 JCZ - 1 型甚宽频带地震仪有更好的分辨率，信噪比更高。对于地方震和近震记录，JCZ - 1T 型优于 JCZ - 1 型甚宽频带地震仪。低频端两水平分量差异性不

明显，但垂直分量差异性较大，存在 10 ~ 20 dB 的差异，JCZ - 1T 型小于 JCZ - 1 型甚宽频带地震仪，也说明在远震、极远震的初动记录或极低频的大地扰动记录方面 JCZ - 1T 型甚宽频带地震仪更具有优势。

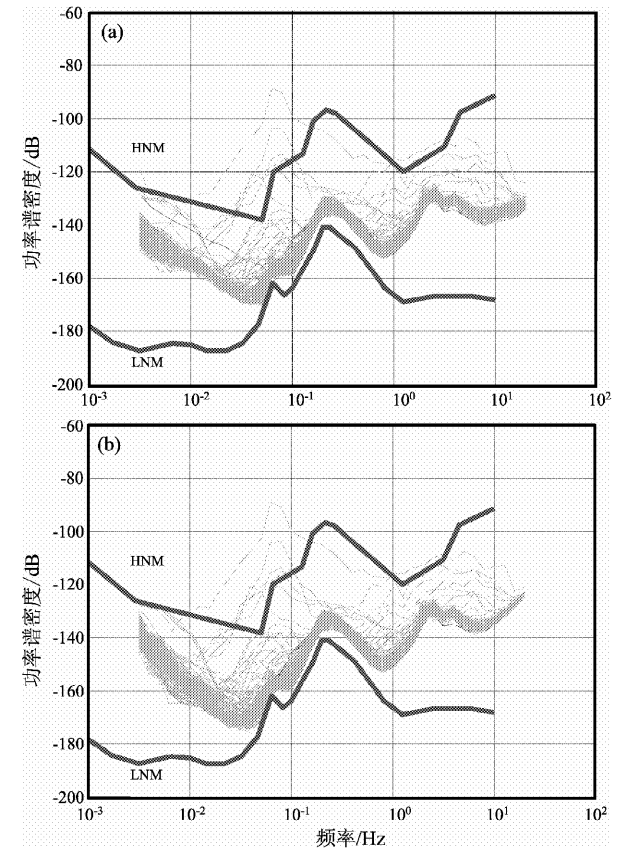


图 3 成都地震基准台 JCZ - 1 (a) 和 JCZ - 1T 型甚宽频带地震仪 (b) 192 h 东西分量背景噪声图

Fig. 3 Background noise of 192 hours in EW-component recorded by JCZ-1 (a) and JCZ-1T (b) ultra broadband seismometer at Chengdu Seismic Station

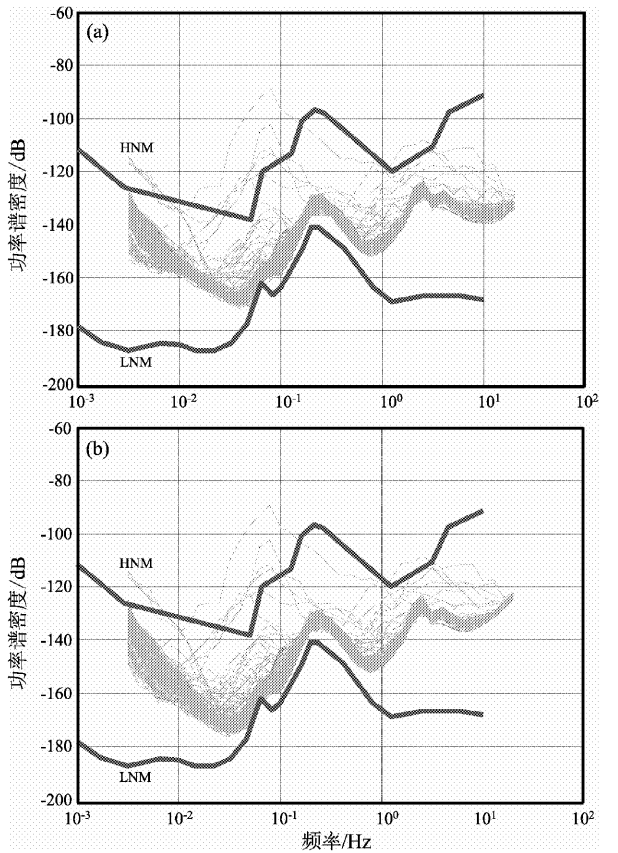


图 4 成都地震基准台 JCZ - 1 (a) 和 JCZ - 1T 型甚宽频带地震仪 (b) 192 h 北南分量背景噪声图

Fig. 4 Background noise of 192 hours in NS-component recorded by JCZ-1 (a) and JCZ-1T (b) ultra broadband seismometer at Chengdu Seismic Station

3.2 地震事件记录

3.2.1 时域分析

表 2 列出了 JCZ - 1 型和 JCZ - 1T 型甚宽频带地震仪记录的 13 个地震事件的峰值速度，这些峰值速度是地震事件完整波列中的最大值，近震主要以 S 波为主，远震主要以面波为主。由时域波形的峰值速度的对比，可以看出两套仪器在地震记录幅值方面基本一致，仅有 5% 左右的差异不存在数量级上的差异。图 5 展示了

JCZ - 1 型和 JCZ - 1T 型甚宽频带地震仪记录的表 1 中 12 号地震事件的时域波形图。由图可见，JCZ - 1 型记录初动前面的噪声明显高于 JCZ - 1T 型记录，JCZ - 1 型记录的较高噪声可能是受环境温度或气流微量变化的影响，也可能是地震计长期使用导致材料老化所致，这些噪声直接使 JCZ - 1 型地震计的地震事件波形记录产生振动波形的干涉现象，从而引起数值的增长或消减，产生差异。

表 2 JCZ-1 型和 JCZ-1T 型甚宽频带地震仪记录地震的峰值速度对比

Tab. 2 Comparition of peak velocity of the earthquake recorded by JCZ-1 and JCZ-1T ultra broadband seismometers

序号	发震时刻 /年-月-日 时:分	M_L	M_S	震中参考地名	JCZ-1 峰值速度/ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$			JCZ-1T 峰值速度/ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$		
					UD	EW	NS	UD	EW	NS
1	2012-03-13 13:41	2.1		汶川	9.99E-05	1.00E-04	8.90E-05	9.66E-05	1.07E-04	8.96E-05
2	2012-03-14 16:39	1.8		都江堰	1.75E-04	8.54E-05	1.27E-04	1.66E-04	9.00E-05	1.24E-04
3	2012-03-14 17:08		6.9	日本东海岸	1.07E-02	9.23E-03	6.98E-03	1.07E-02	9.34E-03	6.97E-03
4	2012-03-14 20:04		5.9	日本东海岸	7.32E-04	6.72E-04	6.19E-04	7.14E-04	6.81E-04	6.26E-04
5	2012-03-14 22:45	3.2		汶川都江堰交界	8.01E-04	1.77E-03	1.54E-03	8.05E-04	1.87E-03	1.58E-03
6	2012-03-14 23:40	3.2		汶川都江堰交界	1.31E-03	2.23E-03	8.08E-04	1.29E-03	2.34E-03	8.38E-04
7	2012-03-15 5:13		6	新不列颠地区	3.69E-04	2.77E-04	2.30E-04	3.52E-04	2.83E-04	2.28E-04
8	2012-03-16 15:58		5.6	菲律宾棉兰老岛	2.28E-04	4.28E-04	4.17E-04	2.08E-04	4.46E-04	4.26E-04
9	2012-03-17 20:23	2.5		都江堰	2.42E-04	5.35E-04	4.08E-04	2.41E-04	5.71E-04	4.10E-04
10	2012-03-18 5:06	2.7		都江堰	4.30E-04	9.83E-04	7.92E-04	4.39E-04	1.03E-03	8.19E-04
11	2012-03-19 5:22	3.3		都江堰	4.85E-03	1.94E-03	2.06E-03	4.85E-03	2.03E-03	2.11E-03
12	2012-03-19 8:43	2.4		都江堰汶川交界	2.71E-04	2.82E-04	3.19E-04	2.65E-04	2.87E-04	3.30E-04
13	2012-03-21 02:02		7.8	墨西哥	3.91E-03	3.92E-03	3.57E-03	3.92E-03	4.23E-03	3.76E-03

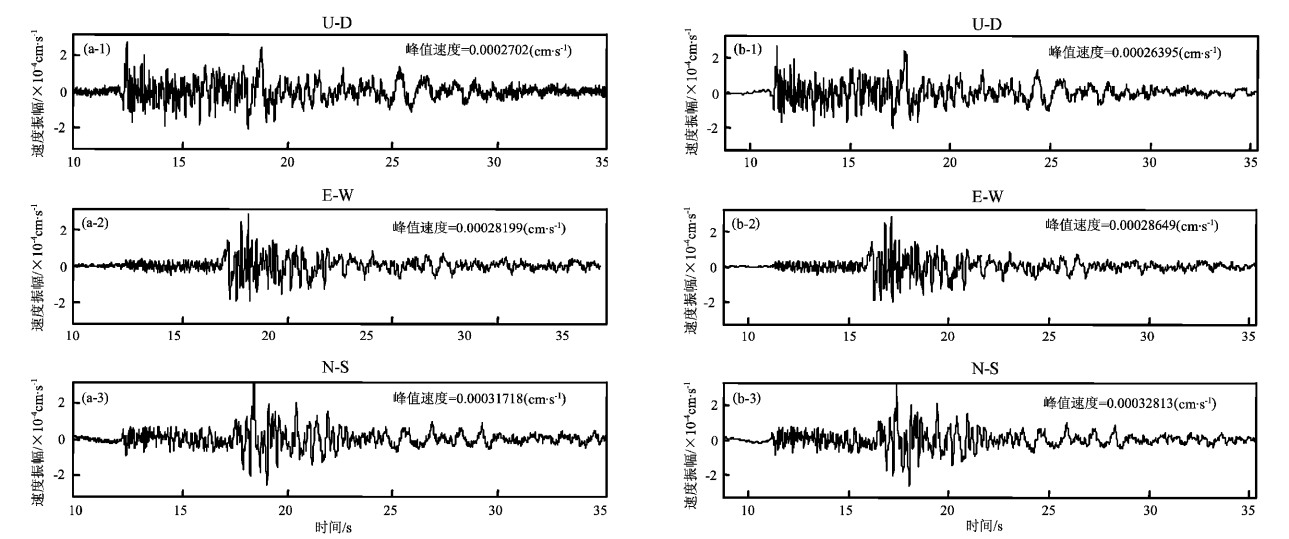


图 5 表 1 中 12 号地震事件 JCZ-1 型 (a) 和 JCZ-1T (b) 型甚宽频带地震仪记录的时域波形图

Fig. 5 Waveform of the No. 12 seismic event in time domain in Tab. 1 recorded

by JCZ-1 (a) and JCZ-1T (b) ultra broadband seismometers

3.2.2 频域分析

采用周期图法对记录的地震事件取窗数据进行速度功率谱密度估计,对于近震取地震波全波列,远震取面波测算。由图 2 可见,两套甚宽频带地震仪记录的地震事件功率谱密度估计完全一致,表明两套地震仪在近地震事件记录频域方面的一致性。表 3 列出了 JCZ-1 型和 JCZ-1T 型甚宽频带地震仪记录的 13 个地震事件的卓越周期。由表 3 可见,13 个地震 39 个分量中仅有 3 个分量卓越

周期差异较大,并用黑体注明,其他 36 个分量的卓越周期值两套地震仪的测量值完全一致,一致性达到 92.3%。图 6 给出了表 3 中 9 号地震事件的速度功率谱密度估计。由图可见,该地震事件的北南分量存在两个峰值周期,JCZ-1 型记录测算结果显示 0.77 d 为卓越周期,JCZ-1T 型记录测算结果显示 0.33 s 为卓越周期。从地脉动噪声分析和地震波时域分析结果可知,在高频端和低频端 JCZ-1 型地震计有比 JCZ-1T 型地震计更高的

噪声，当地震波含有两个以上幅值相当的主要频率时，含有不同频率较大噪声的 JCZ - 1 型地震记录里则会叠加进噪声信息，因此产生差异。从一致性角度考察，9 号地震是地方震，地震波传输路

径的介质不可能存在较大异性，因此两水平分量 S 波频率不可能存在较大差异，由此可以判定，地震波卓越周期差异主要是由 JCZ - 1 型地震计噪声叠加引起。

表 3 JCZ - 1 型和 JCZ - 1T 型甚宽频带地震仪记录的 13 个地震事件卓越周期对比

Tab. 3 Predominant period comparison of 13 seismic events recorded by JCZ - 1 and JCZ - 1T ultra broadband seismometers

序号	发震时刻 /年-月-日 时:分	M_L	M_S	震中参考地名	JCZ - 1 卓越周期/s			JCZ - 1T 卓越周期/s		
					UD	EW	NS	UD	EW	NS
1	2012-03-13 13:41	2.1		汶川	0.871 5	4.551 1	0.930 9	0.871 5	4.551 1	0.930 9
2	2012-03-14 16:39	1.8		都江堰	0.952 6	0.772 8	0.975 2	0.952 6	0.772 8	0.975 2
3	2012-03-14 17:08		6.9	日本东海岸	11.702 9	11.702 9	11.702 9	11.702 9	11.702 9	11.702 9
4	2012-03-14 20:04		5.9	日本东海岸	8.192 0	9.102 2	11.702 9	9.102 2	9.102 2	11.702 9
5	2012-03-14 22:45	3.2		汶川都江堰交界	0.499 5	0.64	0.330 3	0.499 5	0.64	0.341 3
6	2012-03-14 23:40	3.2		汶川都江堰交界	0.871 5	0.303 4	0.910 2	0.871 5	0.303 4	0.910 2
7	2012-03-15 05:13		6	新不列颠地区	16.384 0	16.384 0	16.384 0	16.384 0	16.384 0	16.384 0
8	2012-03-16 15:58		5.6	菲律宾棉兰老岛	8.192 0	10.240 0	5.851 4	8.192 0	10.240 0	9.102 2
9	2012-03-17 20:23	2.5		都江堰	0.816 3	0.330 6	0.769 2	0.816 3	0.330 6	0.333 3
10	2012-03-18 05:06	2.7		都江堰	0.440 4	1.024 0	0.493 5	0.440 4	1.024 0	0.493 5
11	2012-03-19 05:22	3.3		都江堰	1.462 9	0.890 4	0.539 0	1.462 9	0.890 4	0.539 0
12	2012-03-19 08:43	2.4		都江堰汶川交界	1.241 2	1.170 3	1.050 3	1.241 2	1.1703	1.050 3
13	2012-03-21 02:02		7.8	墨西哥	13.653 3	13.653 3	13.653 3	13.653 3	13.653 3	13.653 3

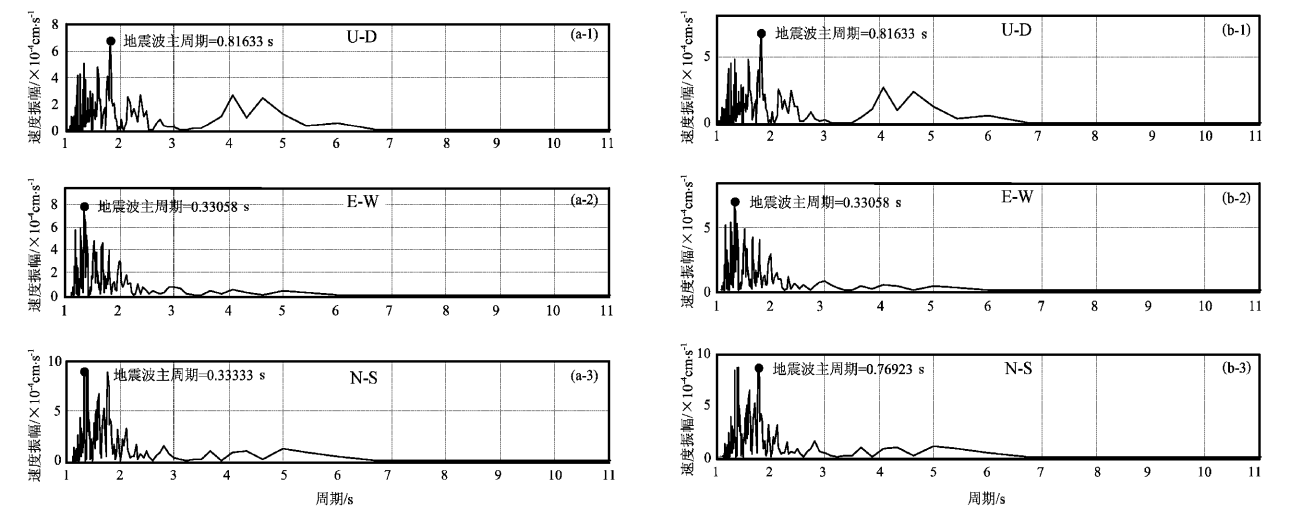


图 6 JCZ - 1 (a) 和 JCZ - 1T 型 (b) 甚宽频带地震仪记录 9 号地震事件 (表 3) 波形的功率谱密度估计

Fig. 6 Power spectral density estimates of the No. 9 seismic event in the Tab. 3 recorded by JCZ - 1 (a) and JCZ - 1T (b) ultra broadband seismometers

4 结论

从实际观测的角度研究对比分析两套类型相似的甚宽频带地震仪在相同观测环境下记录的数

字振动波形数据，可以相互印证地震仪各项功能的可靠性和一致性。成都基准地震台 JCZ - 1 型和 JCZ - 1T 型甚宽频带地震计在相同的观测环境下运行，其影响运行和观测质量的内在因素如何，通过对比观测研究分析，可以检验和检测两台套甚

宽频带地震计各项性能的一致性,也可分析验证 JCZ-1T 型甚宽频带地震计在安装过程中所采取的保温、防气流扰动等各种防护措施的可靠性。由地脉动噪声和地震波记录的时频分析,可以得出以下几点认识。

(1) 成都基准地震台 JCZ-1 和 JCZ-1T 型甚宽频带地震计在主要频带内对地噪声的响应程度是一致的。

(2) 在高频端和低频端 JCZ-1T 有比 JCZ-1 型甚宽频带地震计更高的分辨率,信噪比更高,高出 10~20 dB。

(3) JCZ-1 型甚宽频带地震计因长期使用导致材料老化以及受环境温度或气流微量变化的影响,地震计的噪声较高,可能对地震波记录的幅值产生 5% 左右的影响。

(4) JCZ-1T 型甚宽频带地震计在安装过程中所采取的保温、防气流扰动等各种防护措施是可靠的。

参考文献:

- 陈慧,叶建庆,刘学军. 2006. 小湾坝区施工爆破与构造地震的时频分析[G]//秦嘉政,叶建庆,邵德盛等. 云南澜沧江流域水库诱发地震监测与研究. 昆明:云南科技出版社,197-211.
- 万永革. 2007. 数字信号处理的 MATLAB 实现[M]. 北京:科学出版社.
- 杨晶琼,杨周胜. 2005. 云南地震数字遥测台网子台地动噪声分析[J]. 地震研究,28(1):86-89.
- 叶建庆,苏金蓉,陈慧. 2008. 汶川 8.0 级地震卓越周期分析[J]. 地震研究,31(增刊):498-504.
- 张志涌. 2000. 精通 MATLAB5.3 版[M]. 北京:北京航空航天大学出版社.
- 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.

Comparison Analysis of Waveform Observation between JCZ-1 and JCZ-1T Ultra Broadband Seismometers in Chengdu Seismic Station

TIAN Wen-de¹, YE Jian-qing², HU Jun-ming¹

(1. Chengdu Seismic Station, Chengdu 611730, Sichuan, China)

(2. Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

The power spectral densities of earth pulse noise of local, near and distant earthquakes recorded by JCZ-1 and JCZ-1T ultra broadband digital seismometers at the same time in Chengdu Seismic Station are analyzed. The results show that the response degree of JCZ-1 and JCZ-1T ultra broadband digital seismometers on the earth pulse noise in main frequency band is consistent. However, the resolution of JCZ-1 seismometer is higher than that of JCZ-1 seismometer in the high and low frequency end, and the signal-noise ratio of JCZ-1 seismometer is higher, which is about 10~20 dB. On the influence of material aging being in long-term use, environmental temperature or flow trace changes, the noise of JCZ-1 seismometer is high, and its effect on the amplitude recorded by seismic wave is about 5%. In the installation process of JCZ-1T seismometer, taking preventive measures which are insulation and preventing flow disturbance etc. are reliable.

Key words: very broadband digital seismometer; comparison observation; noise test; power spectrum analysis