

## 张江台地表与深井地震观测对比分析<sup>①</sup>

裴 晓<sup>1</sup>, 尹继尧<sup>2</sup>, 杨庭春<sup>1</sup>

(1. 上海市地震局, 上海 200062; 2. 中国石油新疆油田公司, 新疆 克拉玛依 834000)

**摘 要:**张江深井综合地震观测站是上海市规则建设的深井地震综合观测系统中首先建成并投入运行的站点,深井中安装了地磁仪、应变仪、倾斜仪、测震仪、孔隙压仪、地温仪、水温仪和水位仪,地表还安装了强震仪和 GPS,总计十种测项,同时地表还配备气压计和气温计等辅助观测手段。张江台在 2006 年就建立了地表台,本文将地表台和新建的深井台数据进行了分析对比,从而得出土层背景噪声的干扰情况;同时参照上海台网其他深井的资料分析综合深井系统对测震单分项系统是否有干扰。结果显示,深井台的背景噪声 RMS 数值比地表台小几个数量级,可以更精确的记录到地脉动数据;深井台的有效动态范围比地表台超出 30%;深井台不仅在低频,在高频段 25 Hz 附近也有噪声影响;深井台比地表台受环境噪声影响要小很多,特别是在低频段优势更明显。同时,对比张江综合深井台的地噪声、动态范围和上海台网其他深井台资料,认为综合深井测震分项数据未受到整体综合系统的噪音影响。

**关键词:**上海张江台;综合深井;地震;噪声分析

中图分类号: P315.63

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2013)02-0366-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.02.0366

## Comparative Analysis of Zhangjiang Station Surface and Deep Seismic Observation

PEI Xiao<sup>1</sup>, YIN Ji-yao<sup>2</sup>, YANG Ting-chun<sup>1</sup>

(1. Earthquake Administration of Shanghai, Shanghai 200062, China;

2. PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay Xinjiang 834000, China)

**Abstract:** Twenty-seven deep seismic observation stations are planned for construction in the administrative area of Shanghai to provide a comprehensive observation system of deep earthquakes, and two deep seismic observation stations will be constructed in Zhangjiang, Pudong district, and the Yangtze River farm, Chongming district, in accordance with China's Eleventh Five-Year Plan. The deep well station in Zhangjiang has been completed and has passed the acceptance stage. Ten test items have been installed including a magnetometer; strain gauge; inclinometer; seismometers; pore pressure, temperature, and water temperature instruments; a water meter installation site in a deep well, a surface-installed strong motion seismograph, and a global positioning system (GPS). In addition, the surface is equipped with a pressure gauge, a temperature gauge, and other auxiliary observation tools. In this study, the micro-tremor and dynamic range data of the Zhangjiang surface station and deep well station data are compared and analyzed systematically. We obtained the following preliminary results: The root mean square (RMS) value of background noise in the deep well is smaller in orders of magnitude than that at the surface sta-

① 收稿日期:2012-09-17

基金项目:地震科学联合基金(C08036);地震科技星火计划项目(XH12017Y)

作者简介:裴 晓(1982-),女,江苏盐城人,工程师,从事地震监测相关研究(Email:peixiao0307@163.com).

tion. It can accurately record micro-tremors because of only slight disturbances by the external environment. The seismic signals of deep well observation are the most accurate. The dynamic range of measurement stations effectively reflects the instrument's performance indicators to determine the background environment interference level recorded by the maximum dynamic range of the seismic signal. Due to the superposition station environment noise and seismic signal, the instrument is not up to the dynamic range of design and can only achieve an effective dynamic range of measurement. The effective dynamic range of the deep well station exceeds 30% of that of surface stations; therefore, it can produce a broader range of micro-tremors. Range surface frequency is within 0.3~2.5; the deep well station has low-frequency noise and nearly high-frequency at 25 Hz. A comparison of deep bench surface stations reveals that environment noise is much smaller, particularly in the low-frequency range. Moreover, with reference to analysis of data from the Shanghai telemetry seismic network of various types of base background noise, the dynamic range of noise at the Zhangjiang comprehensive deep well and those of the Shanghai network deep wells are consistent. Therefore, comprehensive visible data for the deep seismic section is unaffected by the noise integrated system. With the accelerated process of city development, environmental noise will increase; therefore, the deep well seismometer observation method is more reliable than surface seismometer observation. Completed construction of the seismic section of the deep borehole project can provide greater precision and better quality of observation data to further improve the earthquake monitoring capacity of Shanghai.

**Key words:** Zhangjiang station in Shanghai; Deep borehole; Earthquake; Noise analysis

0 引言

上海市深井地震综合观测系统计划在上海市行政区内建设 27 个深井综合地震观测站,考虑到本项目属于创新性项目,根据上海市发改委提出的统一规划、分布实施建议,上海市地震局安排在“十一五”期间建设 2 个深井地震综合观测站,分别位于浦东的张江和崇明的长江农场,这两个站的点位如图 1 所示。每个站点深井中安装地磁仪、应变仪、倾斜仪、测震仪、孔隙压仪、地温仪、水温仪、水位仪,地表安装强震仪和 GPS,总计十种测项,是目前为止配备地震观测测项最多的深井地震综合观测站,建成后连续长期运行。同时地表还配备气压计和气温计等辅助观测手段。目前已完成了台站的建设并通过了验收。

张江台自 2006 年就建立了地表台,本文将地表台和新建的深井台数据进行分析对比,可以得到地表和深井测震仪的比较分析结果,包括地噪声、动态范围等数据,从而可以得出土层背景噪声的干扰情况,同时可以参照上海台网其他深井的计算结果,分析综合深井系统对测震单分项系统是否有干扰,对以后选址、架台等工作提供参考依据。

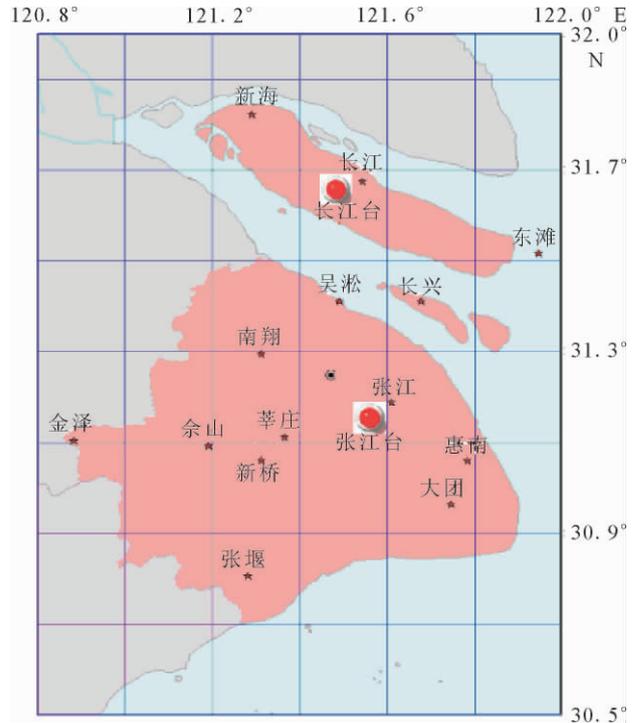


图 1 上海市浦东张江和崇明长江农场深井地震综合观测站位置

Fig. 1 Position of deep borehole comprehensive observation stations at Zhangjiang, Pudong and Changjiang farm, Chongming in Shanghai.

## 1 台站基本情况

张江地表测震台建于2008年,位于浦东监测中心大楼地下室,使用的是宽频地震计KS-2000M,摆放于土层上。

张江综合深井观测站于2011年8月完成钻井和基建,井深407 m,终孔孔径151 mm,最大井斜 $0.5^\circ$ ,远远好于常规井斜小于 $3^\circ$ 要求。2011年10月安装深井综合观测仪器系统。

## 2 数据质量初步分析

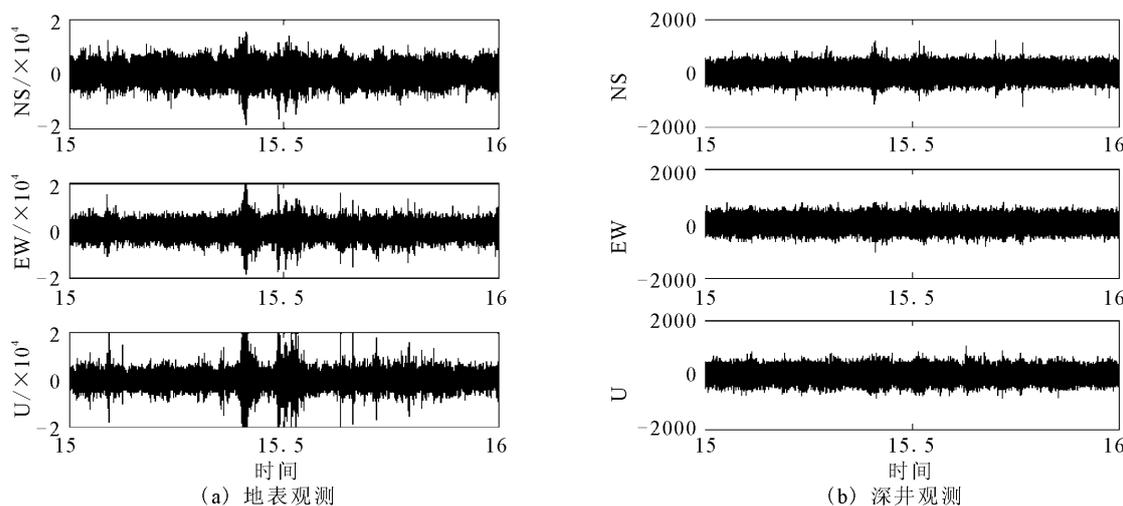


图2 浦东张江地表测震仪(左)和深井测震仪(右)背景噪声比较

Fig. 2 Comparison between the background noise from seismic instrument on ground surface and in deep borehole.

### 2.1 地噪声分析

本文分别选取无震情况下夜间2时低背景噪声期间和下午14时高背景噪声期间的连续记录资料各计有10 000个数据点。为避开边缘效应,带通滤波后去头、尾缩放至8 192点,分成8段,每段计有1 024个数据点,分别对每一段计算其地动噪声均方根值RMS,最后取其平均值。

数字地震仪记录的数据是电压数字值,实际计算中要先把数字转换成地动速度。计算公式如下:

$$v = \frac{N \cdot V_0}{R \cdot S_1 \cdot G_m} \quad (1)$$

其中, $v$ 为实测地脉动速度值(m/s); $N$ 为实际记录背景噪声的数字;  $V_0$ 为模拟输入峰值电压(V); $R$ 为仪器分辨率(counts); $S_1$ 为地震计的工作灵敏度; $G_m$ 为数采实际工作时的增益。

利用RMS可以衡量台站的背景噪声水平,其优点在于对来自不同噪声源的噪声可按照一个相同的尺度进行比较。地动噪声均方根值按下式进行计算<sup>[1-2]</sup>:

为能对数据质量进行最客观和最真实的分析,在下列分析中未对数据进入任何处理,全部给出原始的数据进行最直观显示和比较。

图2为浦东张江地表测震仪和深井测震仪背景噪声比较,其中图2(a)为地表观测,图2(b)为深井观测。从图中y轴的坐标可以明显看出安装在350 m左右深井中的测震仪背景噪声比地表测震仪小1个数量级。

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2} \quad (2)$$

式中,

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i$$

其中, $n$ 为测量次数; $v_i$ 为某一点实测地动速度值(m/s); $\bar{v}$ 为实测地动速度均值(m/s)。

根据数字地震观测技术规范要求,台址的干扰水平在1~20 Hz内地动速度的噪声水平应低于 $1 \times 10^{-7}$  m/s。

根据实测地动速度值计算RMS值,结果见表1。看出,张江深井台地动速度RMS值达到了有关规范的要求。张江地表台由于是建立在土层上,RMS值较大。同时,白天人为等干扰比夜间较强,RMS值白天高于夜晚,高出约80%左右。

同时参考了上海遥测台网各类型台基背景噪声分析一文的数据<sup>[15]</sup>,张江综合深井台RMS值和其他深井台处于一个数量级,可见综合深井测震分项数据未受到整体综合系统的噪音影响。

表 1 台站的 RMS 计算结果  
Table 1 The results of RMS from two stations

台站	各分向 RMS 值/[m·s <sup>-1</sup> ]					
	2 时			14 时		
	UD 向	EW 向	NS 向	UD 向	EW 向	NS 向
ZHJ	2.10E-07	3.64E-07	3.18E-07	2.61E-07	4.59E-07	5.05E-07
ZJSJ	1.81E-08	1.50E-08	1.86E-08	3.37E-08	2.68E-08	2.77E-08

2.2 有效动态范围

台站有效测量的动态范围反映了仪器本身性能指标确定后台站环境干扰水平对记录地震信号最大动态范围的限制。由于台站环境噪声与地震信号的叠加,使得仪器达不到设计的动态范围,只能达到有效测量的动态范围。有效测量的动态范围通过如下公式可以计算<sup>[3-8]</sup>:

$$D_{\text{有效}} = 20\lg \frac{V_0 / \cdot G_m \cdot S_1 \cdot \sqrt{2}}{RMS} \quad (3)$$

其中,  $V_0$  为模拟输入峰值电压(V);  $G_m$  为数采实际工作时的增益;  $S_1$  为地震计的工作灵敏度;  $RMS$  为地动噪声的均方根值(m/s)。

计算所得有效测量的动态范围见表 2。从表中可以明显发现深井台比地表台的范围要大,几乎超出 25%左右,同时夜间的动态范围要比白天的范围要大。

表 2 台站各分向有效测量动态范围

Table 2 The dynamic measuring range of two stations

台站	各分向有效测量动态范围 D/db					
	2 时			14 时		
	UD 向	EW 向	NS 向	UD 向	EW 向	NS 向
ZHJ	90.55	85.76	86.93	88.64	83.76	82.92
ZJSJ	111.85	113.45	111.58	106.44	108.44	108.15

同时参考文献<sup>[15]</sup>,张江综合深井台动态范围

表 3 各台站夜间时段噪声优势频率计算结果

Table 3 Advantage frequency calculation of night noise at two stations

台站	时段	UD 向/Hz	EW 向/Hz	NS 向/Hz
ZHJ	2 时	0.36, 2.15	0.32, 0.65, 1.95, 2.2	0.65, 1.7, 1.92, 2.14
	14 时	0.36, 0.85, 1.25, 1.75	0.32, 0.75, 1.25	0.35, 0.75, 1.1, 1.7, 2.2
ZJSJ	2 时	0.35, 2.15, 7.7, 9.8, 12.5, 24.8	0.35, 0.75, 3.1, 7.2, 14.5, 24.8	0.35, 0.8, 2.7, 3.38, 9.75, 15, 24.5
	14 时	0.35, 0.8, 2.4, 12.7, 14.8, 24.4	0.32, 0.75, 14.3, 24.7	0.28, 0.65, 3.47, 24.7

地表台频率范围基本在 0.3~2.5 之间,而深井台在低频和高频段(25 Hz)附近也有一定的噪声影响。从分析结果可以得出:深井台比较地表台受环境噪声影响要小很多,特别是在低频段优势更明显。参照其他深井台数据,分析可能是因为短周期地震计在高频段的数据没有像低频段那样做滤波处理,也可能是因为供电系统产生了一定的高频干扰。对

和上海台网其他深井台的动态范围基本一致,可见综合深井测震分项数据未受到整体综合系统的噪音影响。

2.3 噪声功率谱分析

傅里叶变换能将满足一定条件的某个函数表示成三角函数或者它们的积分的线性组合:

$$F(\omega) = F[f(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (4)$$

将平方可积的函数  $f(t)$  表示成复指数函数的积分或级数形式;将频率域的函数  $F(\omega)$  表示为时间域的函数  $f(t)$  的积分形式。

功率谱估计的目的是根据有限数据给出信号、随机过程的频率成分分布的描述。假如随机信号  $x(t)$  的自相关函数为  $R_x(\tau)$ ,  $R_x(\tau)$  的 Fourier 变换为

$$S_x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_x(\tau)e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (5)$$

则定义  $S_x(f)$  为  $x(t)$  的自功率谱密度或称为自功率谱。因为  $S_x(f)$  可解释为  $x(t)$  的平均功率谱相对于频率的分布函数。自功率谱  $S_x(f)$  包含  $R_x(\tau)$  的全部信息。如果随机噪声信号中还能有某种频率成分,可以从自功率谱中看出<sup>[8-14]</sup>。

本文利用上述方法计算台站噪声功率谱获取优势震级频段,计算结果如表 3 和图 3 所示。

比夜间时段和白天时段的噪声功率谱计算结果,对应分向优势频率基本一致。

3 结论

从深井台的背景噪声 RMS 数值比地表台小 1 个数量级得出深井台受外界环境干扰小,可以更精确的记录到地脉动数据,深井观测记录的地震信号也最为真实。深井台的有效动态范围比地表台要超

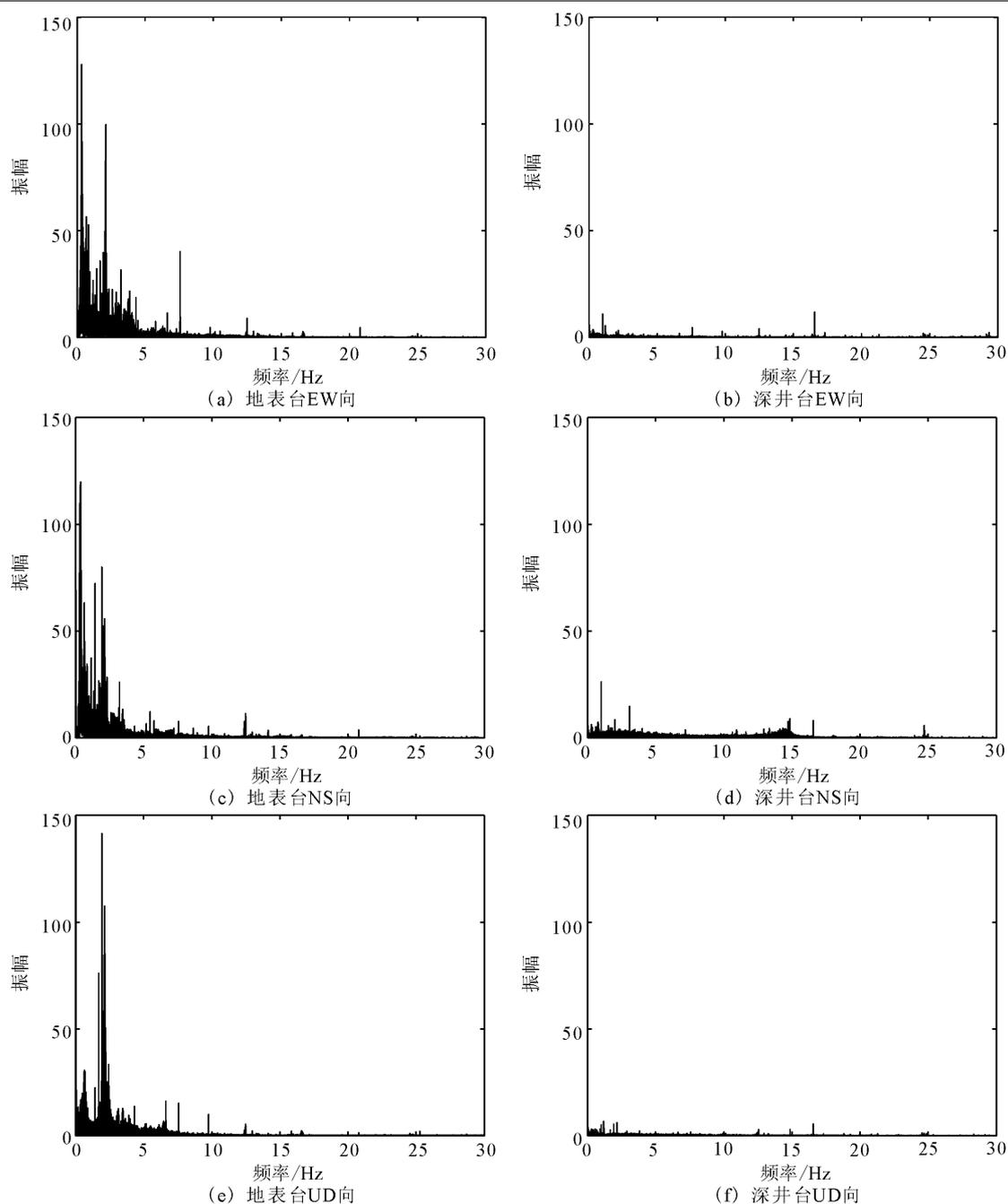


图3 地表台与深井台夜间功率谱比较

Fig. 3 The sub-spectral analysis of surface seismic instrument and deep borehole instrument during the night session.

出30%，所以深井台能记录到的地脉动的范围更宽。地表台频率范围基本在0.3~2.5之间，而深井台不仅在低频，在高频段25 Hz附近也有噪声影响。深井台比较地表台受环境噪声影响要小很多，特别是在低频段优势更明显。

同时，参考了上海遥测台网各类型台基背景噪声分析一文的数据，张江综合深井台的地噪声、动态范围和上海台网其他深井台的动态范围基本一致，

可见综合深井测震分项数据未受到整体综合系统的噪音影响<sup>[16]</sup>。

随着城市发展进程的加速，环境噪声干扰随之增大增多，深井地震计观测方式比地表地震计观测方式更为可靠。

#### [参考文献]

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

- Peter Bowman. China Earthquake Administration Department of Earthquake Monitoring and Prediction, Translation. New Manual of Seismological Observatory Practice [M]. Beijing: Seismological Press, 2006.
- [2] 刘洋君, 薛兵, 朱小毅, 等. 地震计自噪声的研究[J]. 地震, 2010, 30(1): 138-146.  
Liu Y J, Xue B, Zhu X Y, et al. Study on the Self-noise of Seismometers[J]. Earthquake, 2010, 30(1): 138-146.
- [3] 中国地震局监测预报司. 地震学与地震观测[M]. 北京: 地震出版社, 2007.  
China Earthquake Administration Department of Earthquake Monitoring and Prediction. Seismology and Earthquake Observation[M]. Beijing: Seismological Press, 2007.
- [4] 许康生, 李秋红, 李英. 大地震前近台背景噪声的频谱分析[J]. 西北地震学报, 2012, 34(2): 150-153.  
Xu K S, Li Q H, Li Y. Analysis on the Spectrum of Background Noise in Stations near by Epicenters of Two Great Earthquakes[J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(2): 150-153.
- [5] 唐小勇, 范文渊, 冯永革, 等. 新疆地区环境噪声层析成像研究[J]. 地球物理学报, 2011, 54(8): 2042-2049.  
Tang X Y, Fan W Y, Feng Y G, et al. Phase Velocity Tomography of Rayleigh Wave in Xinjiang from Ambient Noise[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(8): 2042-2049.
- [6] 姜长宁, 王保太, 缪发军, 等. 江苏数字地震台网台址噪声谱分析[J]. 地震学刊, 2001, 21(1): 36-39.  
Jiang C N, Wang B T, Miao F J, et al. Spectral Analysis of Noises Recorded at Station Sites of the Jiangsu Digital Seismological Network[J]. Journal of Seismology, 2001, 21(1): 36-39.
- [7] 王俊, 徐戈, 孙业君. 江苏省区域地表背景噪声特性的分析[J]. 地震研究, 2009, 32(2): 155-161.  
Wang J, Xu G, Sun Y J. Analysis on Background Seismic Noise Characteristics in Jiangsu Province[J]. Journal of Seismological Research, 2009, 32(2): 155-161.
- [8] 李媛媛, 吴东. 山西数字遥测地震台网十五勘选子台台址地动噪声分析[J]. 华北地震科学, 2004, 22(1): 60-62.  
Li Y Y, Wu D. Analysis on the Background Noise at the Substations in Shanxi Digital Telemetered Seismic Network[J]. North China Earthquake Sciences, 2004, 22(1): 60-62.
- [9] 孙进, 高原. 中国大陆背景噪声成像研究及应用前景[J]. 国际地震动态, 2011, 3: 12-17.  
Sun J, Gao Y. Research on Ambient Noise Tomography and Application Prospects on Chinese Mainland[J]. Recent Developments in World Seismology, 2011, 3: 12-17.
- [10] 朱良保, 王清东. 地震背景噪声互相关函数的面波理论表达形式[J]. 地球物理学报, 2011, 54(7): 1835-1841.  
Zhu L B, Wang Q D. An Expression of the Cross-correlation of Ambient Seismic Noise[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(7): 1835-1841.
- [11] 鲁玉来, 何正勤, 丁志峰, 等. 华北科学探测台阵背景噪声特征分析[J]. 地球物理学报, 2009, 52(10): 2566-2572.  
Lu Y L, He Z Q, Ding Z F, et al. Investigation of Ambient Noise Source in North China Array[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2009, 52(10): 2566-2572.
- [12] 郑定昌, 杨润海. 背景噪声成像研究综述[J]. 地震研究, 2009, 32(B): 516-521.  
Zheng D C, Yang R H. A Review on Ambient Noise Tomography[J]. Journal of Seismological Research, 2009, 32(B): 516-521.
- [13] 齐诚, 陈棋福, 陈颢, 等. 利用背景噪声进行地震成像的新方法[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(3): 771-777.  
Qi C, Chen Q F, Chen Y, et al. A New Method for Seismic Imaging from Ambient Seismic Noise[J]. Progress in Geophysics, 2007, 22(3): 771-777.
- [14] 孙晴, 张新东, 张双凤, 等. 河北省数字地震台网子台地动噪声分析[J]. 华北地震科学, 2007, 25(2): 51-54.  
Sun Q, Zhang X D, Zhang S F, et al. Analysis on the Ground Motion Noise of Substations in Hebei Digital Seismic Network[J]. North China Earthquake Sciences, 2007, 25(2): 51-54.
- [15] 郑定昌, 庞卫东, 阎照旭, 等. 云南地区背景噪声特征分析[J]. 地震研究, 2011, 34(2): 201-206.  
Zheng D C, Pang W D, Ming Z X, et al. Investigation of Ambient-noise Source in Yunnan[J]. Journal of Seismological Research, 2011, 34(2): 201-206.
- [16] 裴晓, 尹继尧, 杨庭春. 上海遥测台网各类型台基背景噪声分析[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(5): 1897-1903.  
Pei X, Yin J, Yang T C. Shanghai Telemetry Station Network Analysis of the Various Types of Background Noise Pedestal[J]. Progress in Geophysics, 2012, 27(5): 1897-1903.