

天津测震台网子台地脉动分析与应用^{*}

岳秀侠¹, 杨跃文², 栗连弟¹, 庞群英¹

(1. 天津地震局, 天津 300201; 2. 云南省地震局丽江地震台, 云南 丽江 674100)

摘要: 利用地脉动信号波形数据, 计算了天津台网 31 个地震台站背景噪声水平、地动噪声功率谱, 进一步研究了台站观测环境随时间和季节的变化情况, 并对整个台网的监测能力进行了重新估算, 同时也对天津周边的一些大震前的地脉动进行了分析, 希望能捕捉到明显的震前异常变化。

关键词: 地脉动; 噪声功率谱; 监测能力; 异常分析

中图分类号: P315.72 **文献标识码:** A

0 引言

地脉动信号包含了大量丰富的信息, 不仅包含监测环境的变化信息、仪器的工作状态, 有的还能捕捉临震的慢地震慢前兆信息。通过对台站地脉动资料的分析, 可以计算背景噪声水平、地动噪声功率谱、分析台网的监测能力等。把计算地脉动噪声功率谱作为台网资料分析处理的一项日常工作, 探索其变化特征和规律, 可以实现实时监测台站观测环境和仪器工作状态的变化情况, 从而更好地保证观测资料的连续可靠性。

1 计算原理

1.1 去直流偏移

在数字地震记录中往往会出现直流偏移, 这个信号不表示真实的地面运动, 在实际计算过程中必须消除这一直流分量^[1]。

我们把整个记录长度求和除以记录的总数, 即取记录的平均值作为这个记录的直流偏离量, 然后, 逐点减掉直流偏离量作为第一步的校正过程, 用数学公式可以写成

$$f'_i = f_i - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f_j,$$

式中 f_i 表示每个采样点的值, N 为记录长度的总采样个数。

1.2 扣除仪器响应

数字测震观测系统是由地震计拾取地面运动,

数据采集器对地震计拾取的信号进行数字化采集, 通过数据专线传输到台网中心的数据接收系统。地动速度变换成数字记录的过程就是仪器的响应过程。在实际计算地动噪声功率谱的时候, 要考虑观测仪器对地动噪声的影响, 要想得到地动噪声的绝对量值, 还应从计算结果中扣除观测仪器的影响。我们利用数字地震仪器的传递函数扣除仪器响应, 数字地震仪器的传递函数为^[2]:

$$G(s) = S_d A_0 \frac{\prod_{l=1}^L (s - r_l)}{\prod_{m=1}^M (s - P_m)},$$

式中 S_d 代表仪器的灵敏度, A_0 是归一化常数, r_l 为复零点, P_m 为复极点, L 为零点个数, M 为极点个数。

1.3 地动噪声功率谱计算^[2]

功率谱密度是时间函数在频率的尺度上每单位间隔的功率或能量。计算功率谱的方法通常有 2 种: 快速傅里叶变换法 (FFT) 和相关变换法。即: ① 首先计算给定信号的快速傅里叶变换, 然后取其绝对值的平方; ② 首先计算自相关, 然后计算其傅里叶变换。本文采用第 1 种方法, 利用快速傅里叶变换法 (FFT) 计算功率谱。地震记录是时间函数, 用 $f(t)$ 表示, 对其进行傅里叶变换:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \rightarrow \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N f(t_n) e^{-i\omega t}$$

式中 N 的取值为 2 的幂。时间函数 $f(t)$ 经快速傅里

* 收稿日期: 2009-04-07

基金项目: 天津市地震局中青年基金课题 (20074006)

作者简介: 岳秀侠 (1971—), 女 (汉), 河北三河人, 天津地震局工程师, 主要从事地震监测及数据处理工作。E-mail: xiuxiayue@tom.com

叶变换(FFT)得到的频率域 $F(\omega)$ 。进而可以得到功率谱或能量谱 $|F(\omega)|^2$, 更确切地说叫功率谱密度或能量谱密度, 即在频率的尺度上每单位间隔的功率或能量。

1.4 背景噪声水平计算^[3]

根据《地震台站观测环境技术要求》GB/T 3241—1998 中规定用 1/3 倍频程滤波器在 1 ~ 20 Hz 频带范围内, 由速度功率谱密度 PSD 计算地动噪声水平(RMS), 计算公式为^[3]:

$$RMS = \sqrt{2PSD \times f_0 \times RBW},$$

式中: f_0 为分度倍频程中心频率; RBW 为相对带宽。

1.5 有效测量的动态范围估算^[4]

台址有效测量动态范围反映了仪器本身性能指标确定后台址环境的干扰水平对记地震信号最大动态范围的限制。由于台址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采用的计算公式如下:

$$D = 20Lg \frac{U}{K \cdot S \cdot RMS \cdot \sqrt{2}},$$

其中, RMS 为地动噪声均方根值, $\sqrt{2}$ 为仪器有效因子, U 为模拟输入峰值电压(v), K 为数采实际工作时的增益, S 为地震计的工作灵敏度(Vs/m)。

2 数据处理过程

首先从数据库实时连续波形文件中截取要研究时段的连续波形数据, 其次由于连续波形数据文件是二进制格式, 我们要对其进行分道并把数据格式转换成 ASCII 码形式, 最后对数据进行背景噪声值和功率谱计算分析。

3 地脉动数据计算分析

3.1 噪声水平有效观测动态范围计算

每个台站选取 32 h 无震且干扰不严重的波形数据进行处理, 要求每个数字台地震仪系统要有响应特性参数。数据样品要选取在比较安静的时间, 在我们的计算中一般选在凌晨 2 ~ 4 时之间, 并且保证所选取的数据没有地震记录, 每个记录选取 1 个小时的记录数据。首先将各小时的波形数据进行分道并转换为 ASCII 码格式文本, 然后计算各小时的地脉动噪声 RMS 值, 最后将 32 个小时 RMS 取算术平均值, 并估算出每个台有效测量的动态范围。计算结果见表 1。

表 1 各子台台址地动噪声水平和有效观测动态范围计算结果表

台名	台名代码	灵敏度/ (Counts/ $\mu m/s$)	地动噪声/ (m/s)	观测动态范围/ db
徐庄子	XZZ	474	9.51×10^{-8}	98
河北屯	HBT	519	8.92×10^{-8}	98
静海	JIH	491	6.29×10^{-8}	96
丰台镇	FTZ	452	7.12×10^{-8}	98
新安镇	XAZ	519	2.72×10^{-7}	88
蔡公庄	CGZ	471	2.61×10^{-7}	90
糙甸	CAD	474	1.39×10^{-7}	95
蓟县	JIX	2032	2.41×10^{-8}	98
南河镇	NHZ	536	7.39×10^{-7}	80
沙井子	SJZ	480	4.16×10^{-7}	85
芦台	LUT	1260	5.70×10^{-8}	94
辛庄	XIZ	430	2.90×10^{-7}	89
青光	QIG	451	2.58×10^{-7}	90
尔王庄	EWZ	442	4.51×10^{-7}	85
赤土	CHT	515	2.71×10^{-7}	89
武清	WUQ	541	2.89×10^{-7}	88
塘 23	T23	488	8.07×10^{-7}	80
朱唐庄	ZTZ	505	3.54×10^{-7}	89
北塘	BET	473	3.10×10^{-7}	88
东台	DOT	470	3.10×10^{-7}	88
汉沽	HAG	487	4.63×10^{-7}	84
安康	ANK	485	4.41×10^{-7}	85
长虹	CHH	857	3.26×10^{-7}	82
唐家河	TJH	491	5.25×10^{-7}	83
大沽	DAG	494	5.15×10^{-7}	83
大直沽	DZG	496	7.52×10^{-7}	78
宝坻	BAD	466	5.99×10^{-8}	99
王匡	WAK	919	1.69×10^{-8}	107
尤古庄	YGZ	2000	1.55×10^{-8}	101
官港	GUG	2000	2.08×10^{-7}	88
汉沽盐厂	SJT	2000	8.69×10^{-8}	92

3.2 噪声水平随时间变化

一般情况下, 台站的干扰背景与时间有关, 我们以芦台为例计算了 2008 年 4 月 18 日 1 天的噪声水平变化情况, 从图 1 很明显看出白天的干扰要多一些, 夜间要平静一些。地脉动噪声在 9 ~ 19 时较高, 在 14 时达到最高值 2.64×10^{-7} ; 其余时间噪声水平较低, 在 2 时达到最低值 2.05×10^{-7} 。可见地动噪声 RMS 值白天高于夜晚, 究其原因, 是由于白天人为干扰较夜晚强所致(如图 1)。

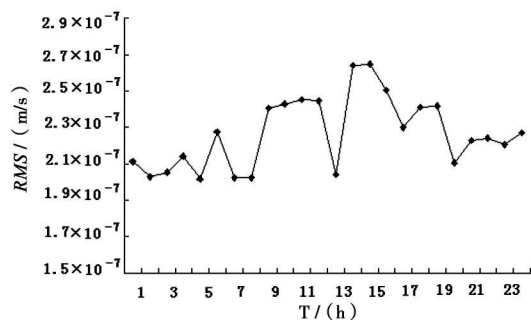


图1 芦台 2008 年 4 月 8 日地动噪声变化图

3.3 台网监测能力再分析

监测能力计算时,取最大 S 波振幅值与台基噪声水平的比值为 6 作为处理系统可分辨的地动速度下限,利用近震震级计算公式求出量规函数值 $R(\Delta)$,通过 $R(\Delta)$ 可求出单台在不同震中距可观测到的最小地震震级;监测能力计算以对某一震级地震有 4 个以上台站同时可分辨且其最大空隙角小于 315° 为标准,确定台网对同一震级的监测范围。由于首都圈地区数据共享,天津台网除了接收本台网 31 个台数据外,还接收其他台网 140 个台数据,(其它邻区台站的台基噪声水平由邻区台网提供),综合其监测能力如图 2 所示:

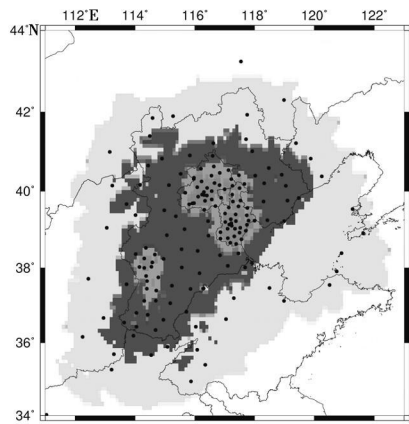


图2 台网监测能力图

3.4 地动噪声功率谱

选取每个台 32 h 无震且干扰不严重的波形数据进行处理,将 32 个小时各频点功率谱密度取算术平均值。图 3 为糙甸台的功率谱密度曲线图。

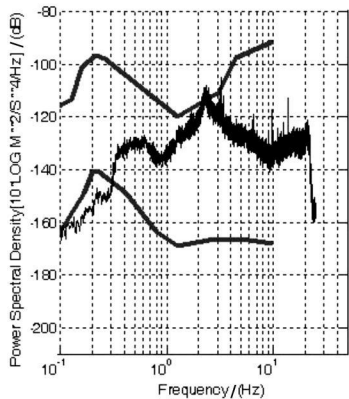


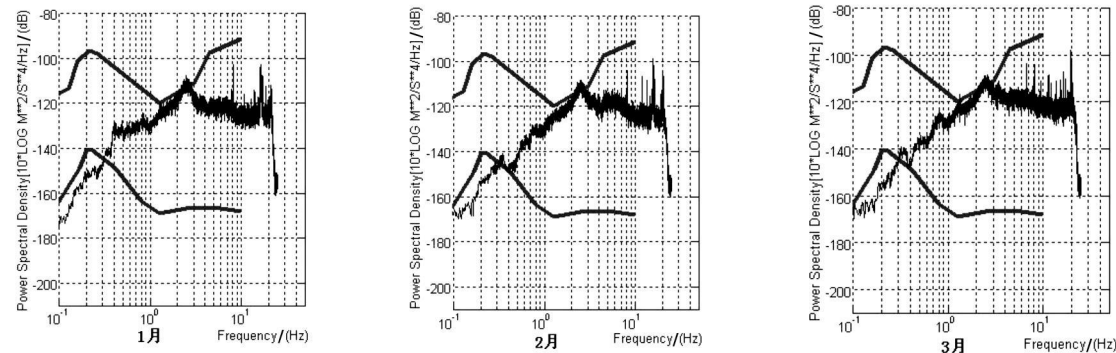
图3 糙甸台地动噪声功率谱密度曲线图

3.5 地动噪声功率谱随季节的变化

目前从台站积累的资料看,台站的干扰背景与季节也有密切的关系,图 4 给出了芦台地震台 2003 年 1~12 月地动噪声功率谱的变化情况,从图 4 可以看出,虽然各个季节的地动噪声功率谱曲线形态大致相同,但是不同的季节还是有变化的,春冬季节较高,夏秋季节稍低。随着研究的不断加深,会总结出每个台站具体的地动噪声变化规律。

3.6 地脉动信号异常分析

地脉动信号波形数据包含了大量丰富的信息,不仅包含监测环境的变化信息,还能随时监测到仪器的工作状态(如图 5~7),有的还能捕捉临震的慢地震慢前兆信息。对天津宁河 2003 年 4 月 24 日 4.3 级地震和 12 月 11 日塘沽 4.0 级地震前芦台、北塘和汉沽等台地脉动数据进行了分析,可惜没有捕捉到震前异常信息。



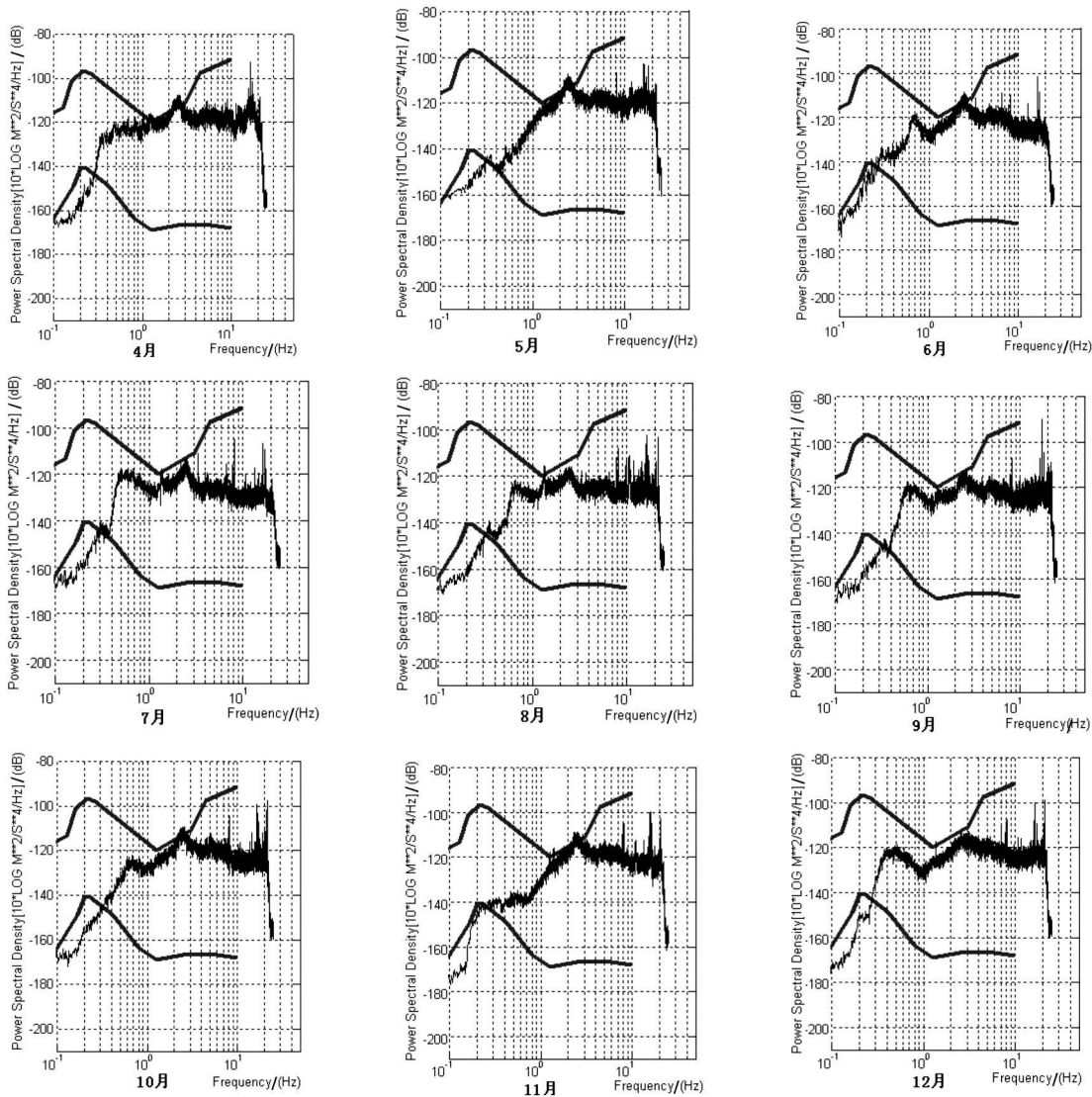


图 4 芦台 2003 年 1~12 月地动噪声功率谱随季节变化图

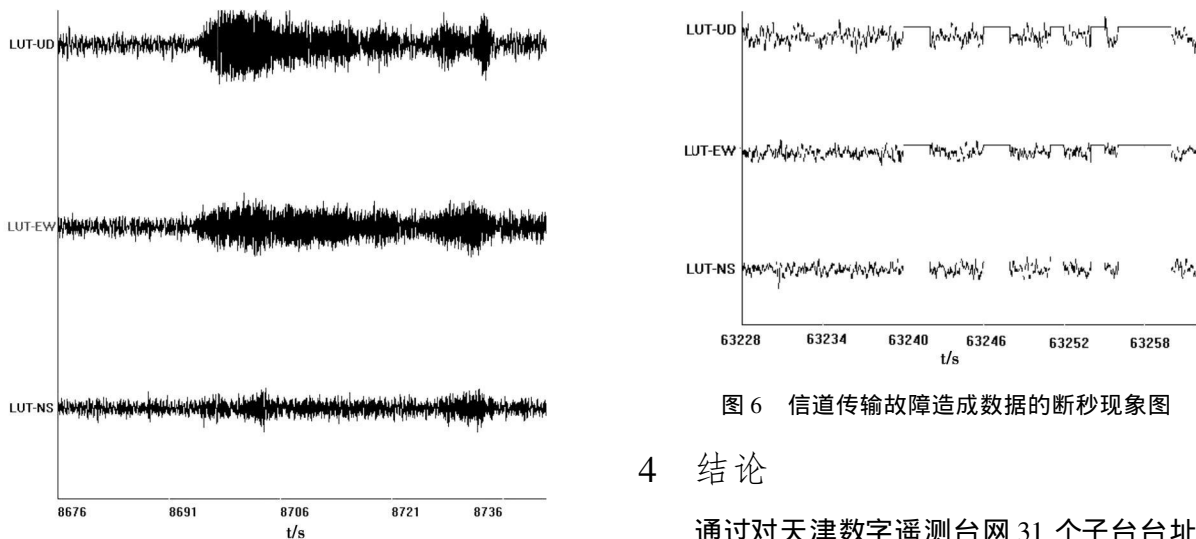


图 5 人为活动干扰产生的脉动波形图

图 6 信道传输故障造成数据的断秒现象图

4 结论

通过对天津数字遥测台网 31 个子台台址背景噪声进行计算和分析, 得出了各台址背景噪声地动速度均方根值(RMS 值)、有效测量动态范围、噪声

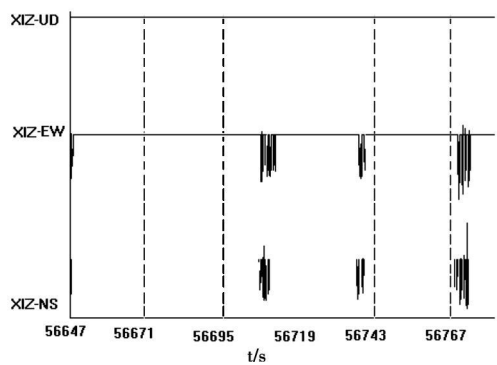


图 7 仪器供电系统不稳引起脉动异常图

信号功率谱。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 $1.0\times 10^{-7}(\text{m/s})$ 。结果表明，31 个子台噪声水平都低于 $1.0\times 10^{-7}(\text{m/s})$ ，其中尤以蓟县为

好，噪声 RMS 值在 $2.4\times 10^{-8}(\text{m/s})$ ；个别台略高一点，可能由于记录点靠近公路或靠近海边，人为或海浪因素影响较大；就全天不同时段而言，地动噪声 RMS 值白天高于夜晚。各台的噪声功率谱密度均介于 LMN（低噪声模型）与 HNM（高噪声模型）之间，计算结果良好；而就季节变化而言，各台的噪声功率谱密度，不同的季节还是有变化的，其曲线形态基本相同。

分析地脉动信号波形异常主要是人为活动干扰、仪器故障以及供电、通讯系统引起的。对于天津地区发生的较大近震前进行脉动异常分析，结果大多是干扰引起的，没有捕捉到真正的震前异常，究其原因可能是所用资料全部为短周期仪器记录和地震比较小，不容易捕捉到震前脉动的异常。

参考文献:

[1] 刘瑞丰, 陈培善, 党京平, 等. 宽频带数字地震记录仿真的应用[J]. 地震地磁观测与研究, 1997, 18(3): 7-12.
[2] 任泉, 刘瑞丰, 梁建宏, 等. 国家数字地震台网台站地动噪声功率谱分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2004, 25(1): 23-28.
[3] 李克, 赵仲和, 宋彦云, 等. 地震学与地震观测[M]. 北京: 地震出版社, 2007: 211.
[4] 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.

The Analysis and Application of Earth Pulsation at the Stations of Tianjin Seismic Network

YUE Xiu-xia¹, YANG Yue-wen², LI Lian-di¹, PANG Qun-ying¹

(1. Seismological Bureau of Tianjin City, Tianjin 300201, China;
2. Lijiang Seismostation, Lijiang 674100, China)

Abstract: Based on wave form data of earth pulsation, the background voice level of 31 seismic stations in Tianjin is calculated, the power spectrum is given. Furthermore, the station environment changes with time and season is studied, the monitor ability of whole network is re-estimated. Earth pulsation before some strong earthquakes in Tianjin area is analyzed in order to catch obvious anomaly.

Key words: earth pulsation; power spectrum; monitor ability; analysis of anomaly