

# 利用噪声功率谱密度的统计特征评价台站 对主动源信号的接收效能<sup>\*</sup>

李孝宾<sup>1</sup>, 陈佳<sup>1</sup>, 高琼<sup>1</sup>, 叶泵<sup>1</sup>, 龙志强<sup>1</sup>, 张云鹏<sup>2</sup>, 杨军<sup>1</sup>

(1. 中国地震局滇西地震预报实验场, 云南 大理 671000; 2. 中国地震局地球物理研究所 地震观测与地球物理成像重点实验室, 北京 100081)

**摘要:** 利用背景噪声的功率谱密度的统计特征, 对宾川主动源周边接收台站 1~10 Hz 有效频带的噪声水平进行了分析。结果表明: 较好的台站观测条件和观测环境可以大大提高气枪信号的记录质量, 通过建立和维护高质量的观测台站, 可以减少获取高信噪比的气枪信号的叠加次数, 也可以在同等叠加次数下获取更远的传播距离。

**关键词:** 概率谱密度; 噪声评估; 台基处理; 对比观测; 气枪震源

**中图分类号:** P315.63

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2017)04-0572-09

## 0 引言

大容量气枪具有绿色环保、重复性好、激发能量大、能量转换效率高等优点(陈颢等, 2007a, b), 故多被用来进行以地壳结构为研究对象的地震测深研究(Okaya *et al.*, 2002; 丘学林等, 2007)。鉴于大容量气枪的众多优势, 近年在陈颢院士“地下明灯计划”(陈颢, 朱日祥, 2005)的推动下, 大容量气枪震源被移植到陆地水库中, 进行地下介质变化的观测与研究。国内相继建立了云南宾川、新疆呼图壁、甘肃祁连山气枪主动震源发射台。

气枪震源的能量是由气枪容量和激发时的压力决定的, 研究表明气枪震源的主频与气枪的容量、水体以及沉放深度有关(Chen *et al.*, 2008; 李孝宾等, 2016; 杨微等, 2016; 林建民等, 2008, 2010)。在激发条件不变的情况下气枪信号具有很高的重复性, 当台站接收到气枪信号的信噪比达到 10 dB 以上时, 其相关系数可以达到 0.99 以上(李孝宾等, 2016)。当水深和气枪的沉放深度发生变化时, 气枪信号会发生相应的改变(Chen *et al.*, 2014; 栾奕等, 2016), 而且栾奕等(2016)发现距离震源 10 km 以内的台站通过反褶

积的方法可以很好地消除震源变化带来的影响, 而 10 km 以外的台站反褶积后波形无法很好匹配。反褶积的效果会受到信号信噪比的影响, 这可能同较远台站接收到的信号的信噪比较低有关。

信噪比是由信号的能量、传播的路径以及接收台站的背景噪声决定的, 产生信号的震源能量越大、低频成分越多, 传播介质的密度越大, 信号就衰减越慢, 传播也就越远, 接收台站的背景噪声越低接收到的信号越清晰, 信噪比越高。台站的噪声水平, 是影响台站对气枪信号接收效能的重要因素。

由于气枪震源具有较好的重复性, 可以通过多种叠加方法提高信噪比突显信号, 但在实际处理过程中, 叠加对信噪比的提高是有极限的(武安绪等, 2016)。出于这个目的, 我们研究主动源周边台站对气枪信号的接收效能, 即单次激发记录的信噪比, 这与气枪信号的能量、衰减特征以及台站的噪声水平有很大关系, 决定着地震信号走时变化测量的精度。之前的研究大多是针对气枪震源的特性, 为提高气枪震源的激发效能开展的, 而本文从接收台站的气枪信号有效频带的噪声水平入手, 评价台站对气枪信号的接收能力。

Peterson (1993) 对全球 75 个地震台站噪声资料进行研究, 得出了全球噪声模型, 即 NHNM

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2017-04-11.

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(41474048)、云南省地震局青年基金(201608)和云南省陈颢院士工作站(2014IC007)共同资助。

(新高噪声模型) 和 NLNM (新低噪声模型), 我们一般利用这个模型来评估一个台站的噪声水平。传统的台站噪声评估方法是选取比较平静的一段时间的噪声记录, 通过计算功率谱密度来评价台站的噪声水平。该方法对台站勘选等观测数据时间较短, 数据量较小, 对台基评估具有一定的指导意义。然而这种方法在噪声选取方面比较主观, 难以全面反映台站的噪声水平 (吴建平等, 2012)。为解决此问题, Mcnamara (2004) 基于概率谱密度函数法 (Probability Density Function, PDF) 的噪声评估手段对美国大陆的噪声水平进行了评估。当台站具有长期观测数据时, 该方法可以较好地反映台站的背景噪声的统计平均特征以及噪声趋势的变化。本文采用该方法对气枪震源有效信号频段 1 ~ 10 Hz 范围内的台站噪声水平进行了研究以分析不同台站对气枪信号的接收效能。

## 1 数据

宾川主动源气枪信号发射台激发系统由 4 支 Btoit 1500LL 型气枪组列构成, 单支容量 0.13 m<sup>3</sup>, 总容量达 0.52 m<sup>3</sup> (Wang *et al.*, 2010)。周边拥有大量的测震台站, 其中主动源的 40 个流动台分布在气枪发射台周边 152 km 范围内, 仪器多为 Reftek 130B 的数据采集器和频带范围 2 s ~ 100 Hz 的短周期 Guralp CMG-40T 地震仪 (Wang *et al.*, 2010)。自 2011 年发射台建成以来, 这些台站记录了大量的观测资料, 由于发射台单次激发的气枪信号, 在距离较近的台站观测的信号较为明显, 所以我们先从距离震源 152 km 范围内的流动台进行初步的分析研究信号和噪声的关系, 并对部分观测环境经过改造的台站和周边噪声环境发生变化的台站进行重点分析, 然后再进一步分析距离震源较远台站的叠加信号与台站噪声的关系。

## 2 分析和研究方法

从 40 个流动台中挑选出 36 个工作正常的台站的单次气枪激发信号的 U-D 分量记录, 将这些记录去除趋势、去除均值、去除仪器响应并转换为位移量, 再对其进行气枪信号的有效频率滤波 (2 ~ 6 Hz), 并根据震中距画出未滤波与滤波后的剖

面图对比 (图 1), 可以看出单次气枪激发在没有经过滤波时, 50 km 以外的台站信号已基本被噪声淹没了, 而经过滤波后, 151 km 的台站可以模糊地看到气枪信号, 而在距离震源 50 km 左右的几个台站, 滤波前后的信噪比都不是很好, 这可能和这些台站的噪声水平较高有关。

一个台站对气枪信号的接收能力体现在两个方面, 一是气枪信号到达台站的衰减程度; 二是台站在气枪有效频率内的噪声水平。假设将气枪信号的有效频率拓展至 1 ~ 10 Hz, 对台站 1 ~ 10 Hz 的噪声水平进行评估, 可以从另一个方面反映这个台站气枪信号的接收能力。

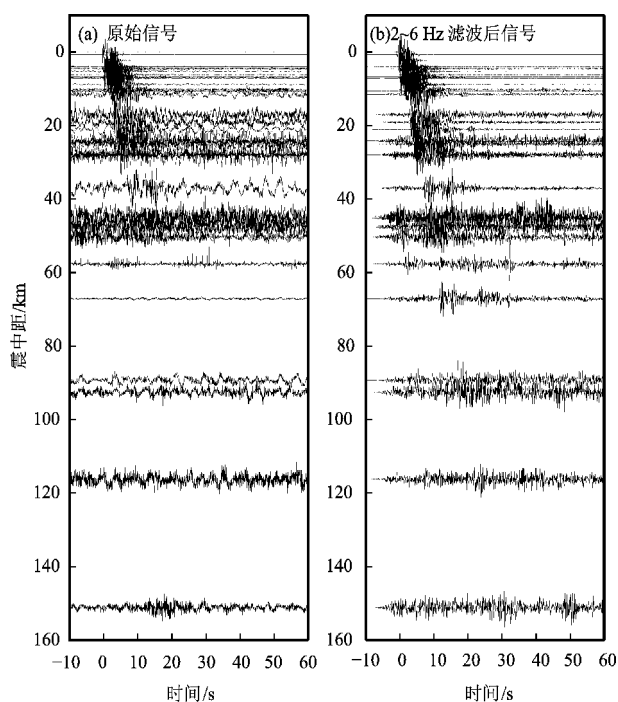


图 1 单次气枪激发信号剖面图

Fig. 1 Sectional view of single gun excitation

为了客观地对台站的噪声水平进行评估, 我们采用概率谱密度的计算方法统计出每个台站一整年的整体噪声水平特征, 具体操作步骤如下:

(1) 将每个台站 1 年内的 U-D 分量连续记录分割为以小时为单位的数据段, 每个台站每天有 24 条数据段。

(2) 根据每个台站的仪器情况去除相应的仪器传递函数, 得到真实的地震动速度值。

(3) 利用平均周期图法计算数据的功率谱密度。

(4) 将计算得到的速度功率谱密度转换成加速度功率谱密度,结果可以和 NHNM、NLNM 模型进行对比。

(5) 将计算得到的加速度功率谱密度用 1/8 倍频程进行平滑计算,得到对数坐标上一条均匀分布的功率谱密度 (PSD) 曲线。

(6) 重复步骤 (2) ~ (5), 计算出各小时的 PSD, 得到多条光滑的 PSD 曲线, 然后以单位网格分割坐标系, 统计每个网格中 PSD 曲线值出现的频次。

(7) 将每个网格中对应出现频次的点数除以总的 PSD 曲线数, 得到每个网格出现的概率, 按照概率取对应色标的颜色进行的绘图, 得到最终的 PDF 结果图就是每个台站整体噪声水平的特征体现。

(8) 观察台站在气枪信号有效频带 (1 ~ 10 Hz) 的背景噪声的表现。

PQLX 软件是一个按照以上步骤处理计算得到台站 PSD、PDF 等信息的图形化软件, IRIS 已经开始利用 PQLX 软件对其数据管理中心 (IRIS DMC) 的部分台站数据以及 USArray 台阵数据进行数据质量的评估, 本文也使用 PQLX 软件对宾川主动源气枪发射台周边的部分台站长期观测的历史数据进行概率谱密度统计分析, 研究背景噪声对气枪信号接收能力的影响。与苏金波等 (2016) 对新疆地震台网的研究相比, 我们针对同台观测环境发生改变进行了对比分析, 并提出改造优化方案。

本文主要从气枪源的特征、单次气枪激发信号的信噪比和台站噪声水平关系等方面进行分析。研究主要分 3 个部分: (1) 对气枪源信号特征进行初步分析; (2) 对部分流动台观测环境改造前

后噪声水平对比分析; (3) 对台站周边环境改变前后噪声水平以及信噪比进行分析。对各台站的相应情况选取时间段进行概率谱密度以及台站接收到信号的信噪比进行对比分析。在计算概率谱密度的同时标识出概率谱密度 10%、90% 分布线以及众数线, 10% 和 90% 线包裹的范围可以很好地描述台站噪声出现频率最集中的条带, 众数线为噪声出现概率的集中体现, 可以很好地反映台站的噪声水平。

挑选符合以上分析步骤的 4 个台站的数据进行分析 (表 1), 台站的分布情况如图 2 所示。将台站记录的时间全部转换为协调世界时 (Universal Coordinated Time, UTC), 整理 2014—2016 年 4 个台站的 U - D 分量的地震记录, 发现其具有较好的连续性, 其中, CKT0 为距气枪激发点 50 m 的台站; 53269 和 53276 台都在观测了一段时间后, 对台站进行了一些改造; 53264 台周边的观测环境发生了改变。

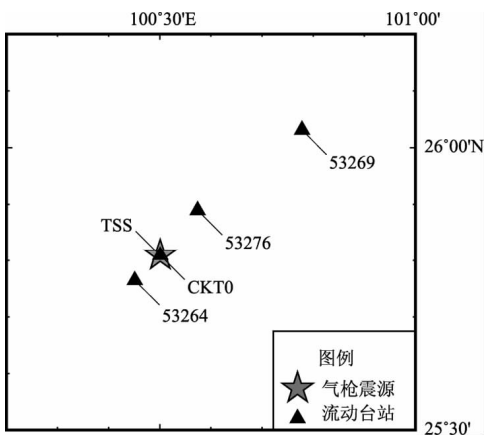


图 2 4 个流动台站的分布

Fig. 2 Distribution of 4 mobile seismic stations

表 1 4 个流动台站的相关参数  
Tab. 1 Parameters of 4 mobile seismic stations

台网 代码	台站 代码	台站名称	距离震源/ km	地震仪型号	带宽	数据采集器型号	备注
G1	CKT0	参考台	0.05	Guralp CMG - 40T	2 s ~ 100 Hz	Reftek130B	
	53264	普中台	7.31	Guralp CMG - 40T	2 s ~ 100 Hz	Reftek130B	从 2015 年 3 月开始附近有机械施工, 观测环境发生改变
	53269	平川台	38.19	Guralp CMG - 40T	2 s ~ 100 Hz	Reftek130B	2015 年第 233 天进行了台站改造, 小范围
			38.12	Guralp CMG - 40T	2 s ~ 100 Hz	Reftek130B	移动了台站位置并对台基进行了处理
	53276	河北村台	11.54	Guralp CMG - 40T	2 s ~ 100 Hz	Reftek130B	2015 年 231 天进行了台站改造, 小范围
			11.86	Guralp CMG - 40T	2 s ~ 100 Hz	Reftek130B	移动了台站位置并对台基进行了处理

### 3 数据分析结果

#### 3.1 源信号分析

对于陆地上的地震仪而言, 水库大容量气枪震源产生的水泡与水库的液、壁相互作用耦合共同构成了一个特殊的震源系统, 距离激发浮台水平距离 50 m 的 CKT0 台位于这个震源系统的外沿, 参考台接收到的激发信号可以近似看作这个特殊震源系统的源信号, 它在一定程度上反应了源的特征。CKT0 台接收到的激发信号主要功率集中在 30 Hz 以下, 随着传播距离的增加高频信号迅速衰减, 气枪信号的优势频率为 2 ~ 6 Hz 频段 (杨微等, 2013), 按前文所述将有效频率放宽至 1 ~ 10 Hz 范围研究台站的

噪声水平, 如无特殊说明本文以下对噪声的分析限定在这个频段内。

对 2016 年 CKT0 台记录的数据按照上述数据处理方法进行, 得到该台的概率谱密度分布图 (图 3a), 从图上可以看出在高频部分概率出现了两条颜色较深的条带, 在 1 ~ 10 Hz 范围内能量较低、分布较分散的、位于 NHHM 和 NLNM 之间的条带属于正常的背景噪声所产生的条带, 另一条能量较高、较为集中、位于 NHHM 线之上的能量条带是一年内气枪激发试验产生的能量条带。对出现该能量条带 (2 ~ 8 Hz、-90 ~ -70 dB) 上的相应数据时段进行了分析, 结果表明这些时间段与气枪激发时间吻合如图 3b (上半年每天 UTC 时间 14:00 至 19:00、下半年大部分 UTC 时间 16:00 至 22:00 为激发时间段)。

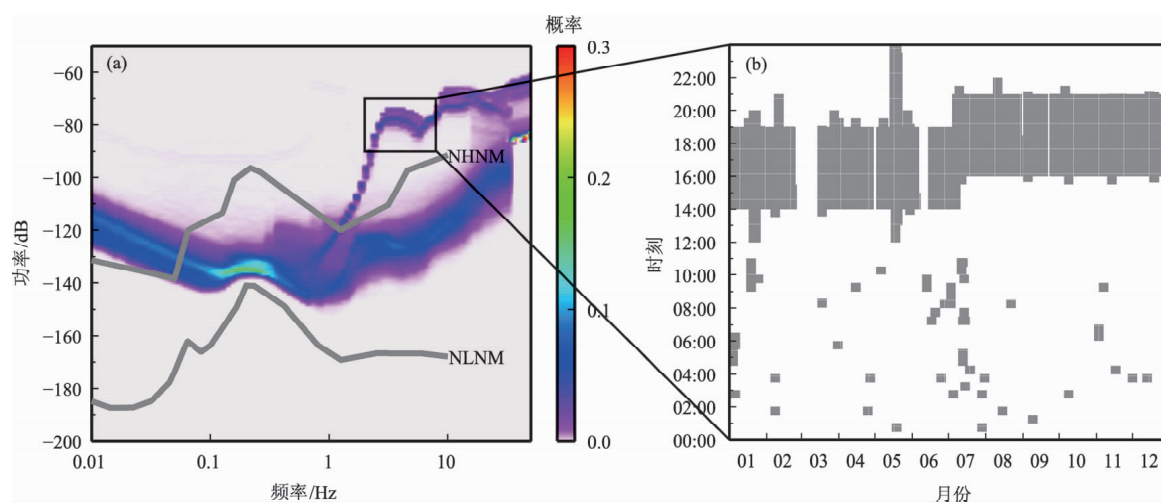


图3 2016年CKT0台概率谱密度分析(a)以及2~6 Hz最大功率相应时段(b)

Fig. 3 Analysis of G1. CKT0 probabilistic power spectral density in 2016 (a) and the peak - power period in the range of 2 ~ 6 Hz (b)

由于CKT0台距离气枪激发点只有50 m, 所以接收到的震动很大, 从图3a可以看出近场气枪信号频率范围较为广泛, 1 Hz以上都有分布, 而其频率范围虽然和很多人造的噪声干扰的频段有很大一部分重叠, 但是其能量优势明显, 振幅远远超过背景噪声的数量级, 很容易就可以和噪声区分开来, 再加上2016年全年3 000多次的有效激发, 使之在全年的概率谱密度分析中占了很大的比重而突显出来。

#### 3.2 台站改造前后数据对比分析

53276台原址位于一个废弃的亚麻布生产

车间里, 由于车间在农田耕地上建成, 抗干扰能力较差, 2015年8月台站搬迁至距离原址500 m的一个山坡上, 此处有破碎的变质灰岩出露, 在岩体上浇灌了水泥地平, 并在上面建了一个小观测房 (图4a、b)。为了进行完整的对比研究, 我们使用了改造前2014全年和改造后2016全年的垂直分量数据进行了概率谱密度的统计分析, 如图5a、b所示, 可以看出改造后在1 ~ 30 Hz有明显下降, 平均下降了20 dB。分别抽取2年同一时间段7天数据的做时频分析 (图5c、d), 在7天的时间段里1 ~

40 Hz 的噪声水平都有明显的下降。对改造前后一次接收到的激发信号去除趋势、去除均值、去除仪器响应得到位移记录, 由于改造移动了台站位置导致接收到的气枪信号的形态和振幅都发生了较大改变, 较难做对比, 但是平均噪声峰值下降了 200 nm 左右。

2015 年 8 月, 由于 53269 台所在的农舍要拆除重建, 台站搬迁至离原址 300 m 左右的山脚比较僻静的一块田地里, 参照葛洪魁等 (2013) 提出的流动地震观测台建设参考方案, 在台址挖了 2 m 左右的深坑, 在坑底建了 15 cm 厚的水泥摆墩, 用于摆放测震仪, 并用泥土回填摆墩四周 (图 4c、d)。同 53276 台的分析方法一致, 分别计算了改造前 2014 年和改造后 2016 年全年该台站的概率谱密度, 分析发现改造前后的概率谱密度小范围发生变化, 结果如图 6a、b 所示, 由于此台站原址 1 ~ 10 Hz 的噪声水平已经很好, 从众数统计线可以



图 4 53276 台站改造后实景 (a)、(b) 和 53269 台站改造后实景 (c)、(d)

Fig. 4 Picture of rebuilding stations, (a) and (b) for Station G1. 53276, (c) and (d) for Station G1. 53269

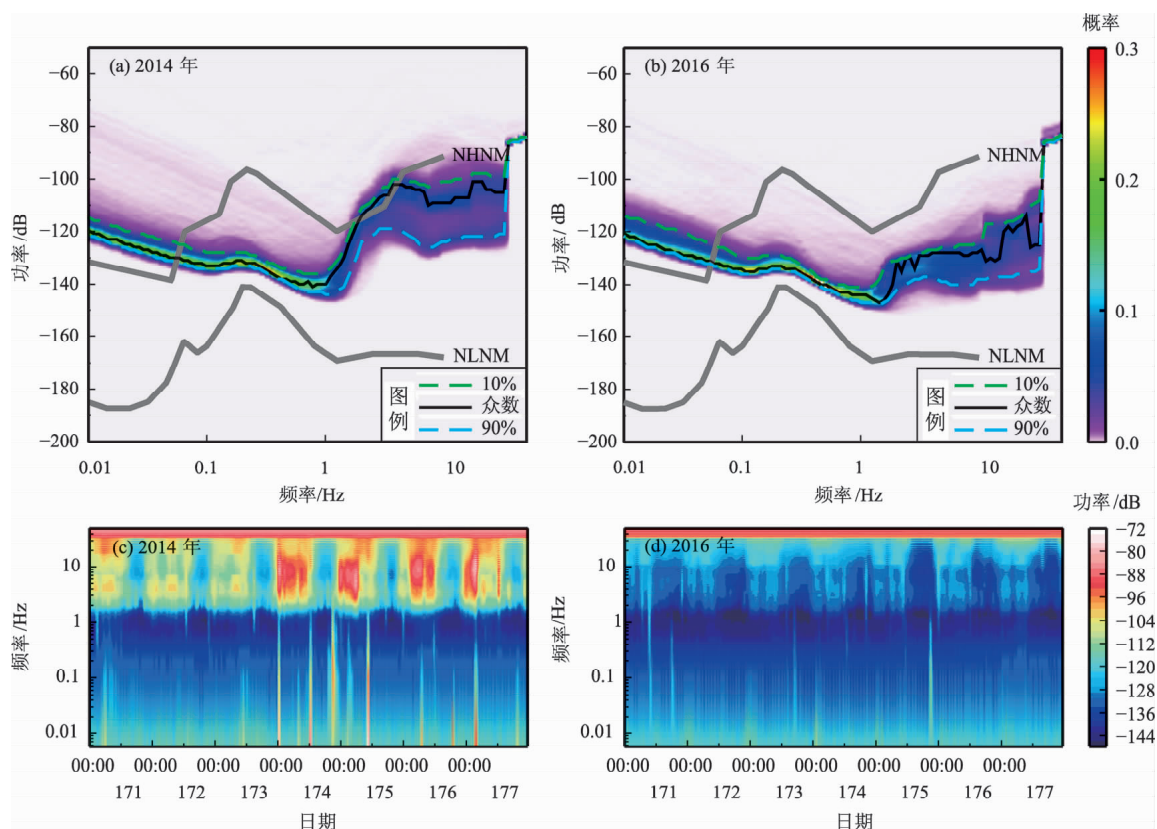


图 5 2014 年 53276 台 17372 条、2016 年 17475 条功率谱密度曲线统计的概率谱密度图 (a)、(b) 以及 2014 年、2016 年分别挑选 7 天的时频分析图 (c)、(d)

Fig. 5 Seismic station G153276 probabilistic power spectral density of 17372 in 2014 and probabilistic power spectral density of 17475 in 2016 (a) and (b); Selected time – frequency analysis of 7 days in 2014 and selected time – frequency analysis of 7 days in 2016 (c) and (d)

看出,在气枪的优势频段内改造后的台站较改造之前噪声水平下降了2~7 dB。然而在两年各抽取了7天数据做时频分析(图6c、d),并将两个时频分析的色标范围统一,可以看到每天的晚上(UTC时间12:00至24:00)改造后的1~10 Hz蓝色部分稍多于改造前,所以改造对降噪有一定的效果。同上个台站的处理方法,同样挑选单次激发信号,其波形形态也有所变化,二者的噪声水平只有较小差别。

### 3.3 台站环境改变情况分析

53264 台距离气枪震源 7.3 km, 由于 2016 年台站附近开始建设一条高速公路, 附近 300 m 外有大型工程机械在施工, 不时还有爆破的干扰, 统计 2016 年全年的噪声, 发现在 2016 年第 80 天以后, 台站 2~10 Hz 的绿色部分增加, 说明噪声有所增加(图 7a), 施工作业对台站的环境噪声产生了一定的影响。将环境变化前后的台

站接收到的激发信号做对比(图 7b、c), 由于这个台站距离激发点较近, 即使噪声水平发生变化, 信噪比仍然较高, 但放大噪声波形部分(图 7d、e)可以看出噪声部分峰峰位移值由原来的 2 nm 变为 12 nm, 所以施工对激发信号的接收有一定的影响。

## 4 讨论

距离宾川主动源气枪激发点最远的流动台有 151 km, 此台站接收到的一次气枪激发信号, 经过滤波后在 25 s 的位置隐约看到气枪信号(图 1b), 其信号位移峰峰值为 3.2 nm 左右, 而滤波后的噪声峰值在 1.2 nm 以内, 说明在气枪信号的滤波频率范围内, 信号的能量在噪声之上。此台站在 1~10 Hz 区域内的年众数均值为 -128 dB, 可见 1~10 Hz 范围内背景噪声概率谱密度水平对台站气枪

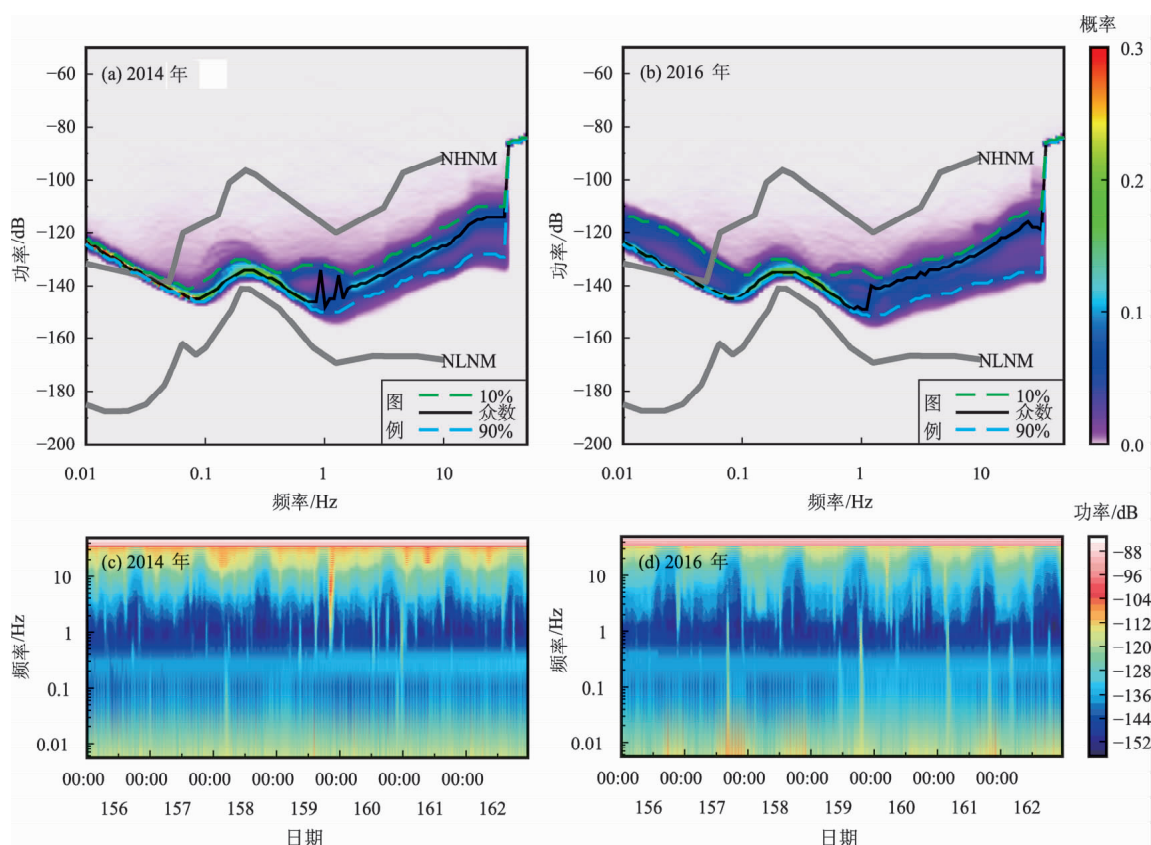


图6 2014年53269台17376条、2016年17311条功率谱密度曲线统计的概率谱密度图

(a)、(b)以及2014年、2016年分别挑选7天的时频分析图(c)、(d)

Fig. 6 Seismic station G1.53276 probabilistic power spectral density of 17376 in 2014 and probabilistic power spectral density of 17311 in 2016 (a) and (b); Selected time - frequency analysis of 7 days in 2014 and selected time - frequency analysis of 7 days in 2016 (c) and (d)

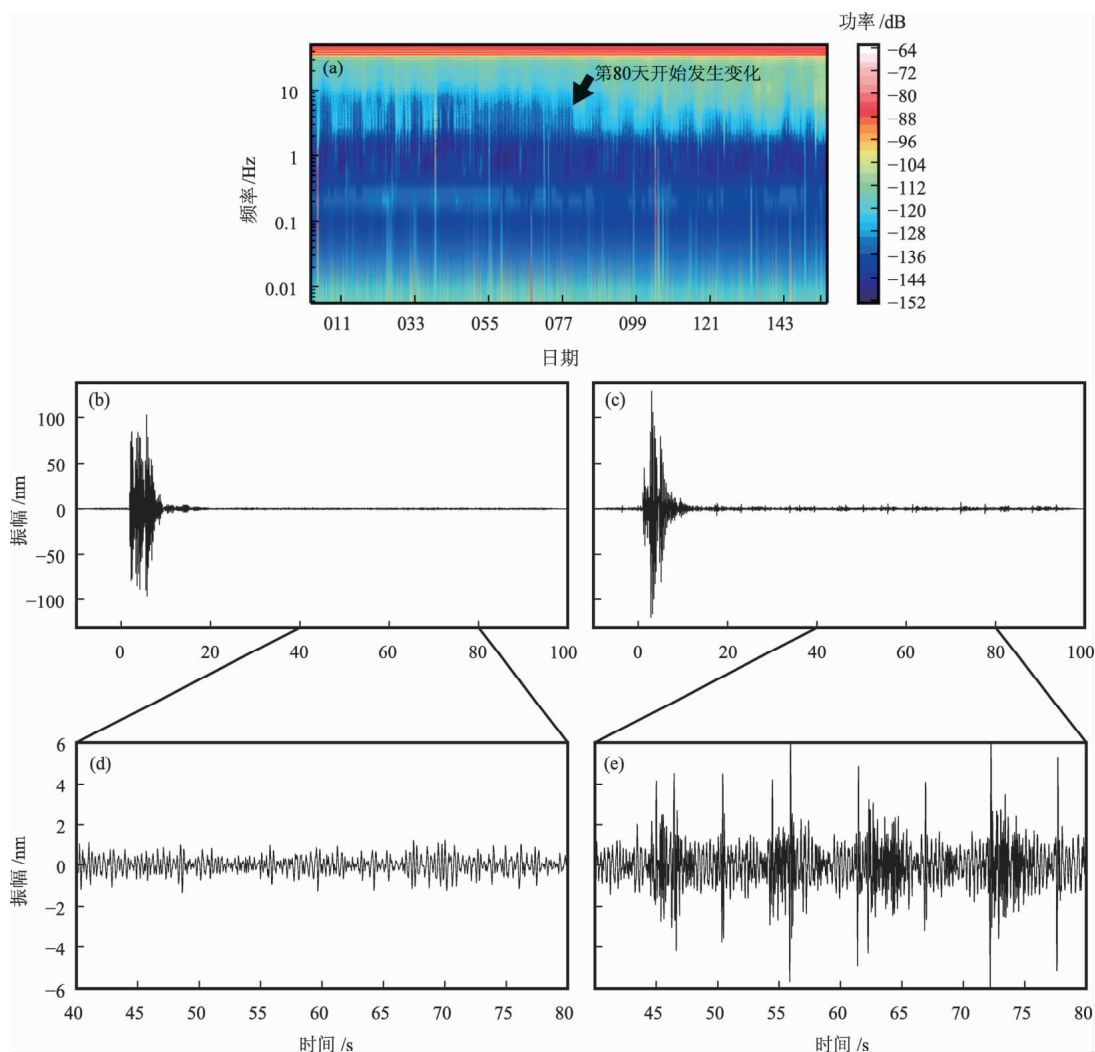


图7 2016年第80天开始53264台2~10 Hz的噪声变化图(a)、周边噪声环境变化前的单次激发记录(b)、环境变化后的单次激发记录(c)以及相应的噪声部分放大对比图(d)、(e)

Fig. 7 The noise change trend at station G1.53264 in 2016, (a) the noise in the range of 2~10 Hz begin to increase from the 80th day on, (b) the single gun action record before surrounding noise environment change, (c) the single gun action record after environment change, (d) the comparison of corresponding magnified noise

信号的接收能力有直接的影响。由于我们频繁进行气枪激发试验,距离主动源气枪激发点30 km以内的大部分台站在计算概率谱密度时,气枪信号能量突出,所以在对这些台站进行长期的背景噪声概率谱密度分析时,在1~10 Hz范围内受气枪激发影响较大,得到的并非真正的台站背景噪声水平。对距离宾川主动源气枪激发点30 km以外的固定台站接收到的激发信号进行线性叠加,经过600次激发信号叠加滤波后,最远350 km以外的台站很难看到气枪信号(图8a),经过5 000次信号叠加滤波后(图8b),350 km以

外的台站依然看不清信号,通过对350 km台站叠加后的信号分析发现,其峰峰值为0.0047 nm,而噪声峰峰值为0.002 nm,这是否已经是仪器的分辨极限还需要进一步研究。我们又对距离震源30 km以外的流动台以及全云南省固定台站长年观测记录进行概率谱密度分析,并截取1~10 Hz范围的众数线,对其取平均值,得到的结果作为该台1~10 Hz长期背景噪声的表征(图9)。可以看出固定台站绝大部分台站背景噪声水平低于-115 dB,而近半数低于-125 dB,为气枪信号的提取提供了保障。

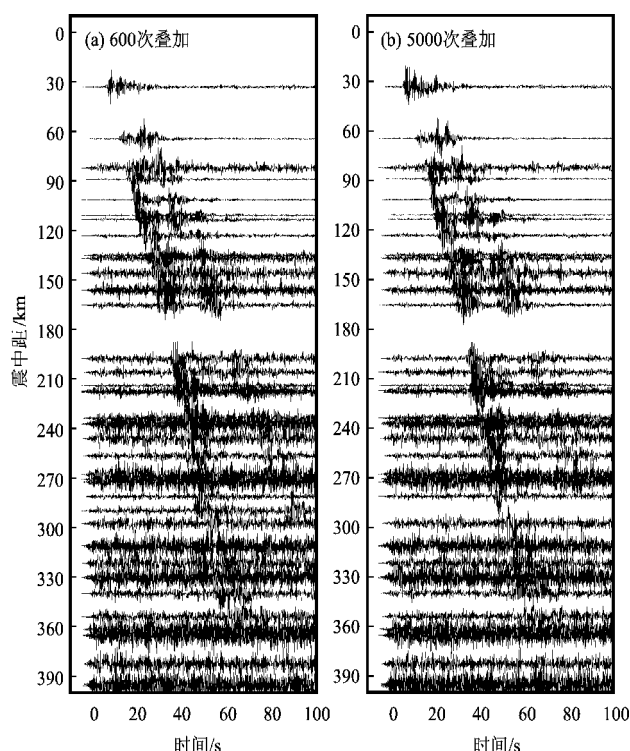


图8 距离宾川主动源气枪激发点30 km 以外的固定台站接收到的激发信号进行线性叠加后的剖面图

Fig. 8 Sectional view of the triggering signals recorded by the permanent stations with the distance greater than 30 km

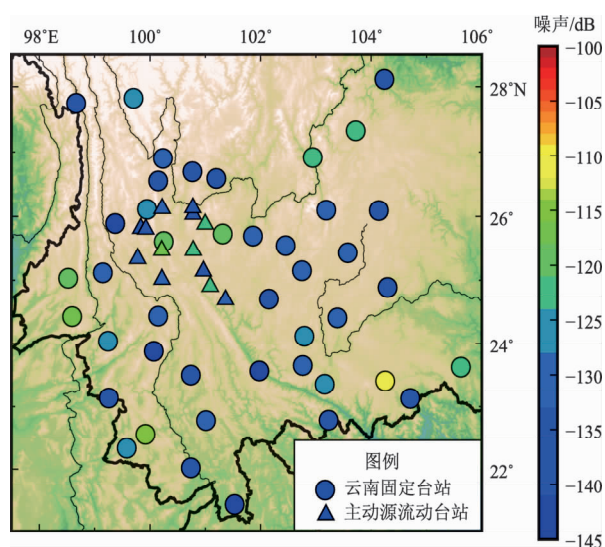


图9 台站1~10 Hz背景噪声水平

Fig. 9 The background noise level of station in the range of 1 ~ 10 Hz

## 5 结论

利用概率谱密度统计方法对宾川主动源接收台站背景噪声水平进行了分析,对影响气枪信号的1~10 Hz噪声水平进行了重点分析。分析结果表明:(1)经过改造后的台站能很好减少噪声影响,提升台站的气枪信号接收能力;(2)台站背景噪声环境的改变对气枪信号的接收能力有一定的影响;(3)高质量的观测台站,可以减少获取高信噪比的气枪信号的叠加次数,也可以在同等叠加次数下获取更远的传播距离。

感谢参与宾川主动源项目的工作者收集的大量试验数据,这些数据是本研究能够顺利开展的基础。

## 参考文献:

- 陈颢,王宝善,葛洪魁,等. 2007a. 建立地震发射台的建议[J]. 地球科学进展, 22(5): 441-446.
- 陈颢,张先康,丘学林,等. 2007b. 陆地人工激发地震波的一种新方法[J]. 科学通报, 52(11): 1317-1321.
- 陈颢,朱日祥. 2005. 设立“地下明灯研究计划”的建议[J]. 地球科学进展, 20(5): 485-489.
- 葛洪魁,陈海潮,欧阳飏,等. 2013. 流动地震观测背景噪声的台基响应[J]. 地球物理学报, 56(3): 857-868.
- 李孝宾,叶泵,杨军,等. 2016. 水库气枪震源不同组合激发效率的对比研究[J]. 地震研究, 39(3): 458-465, 527.
- 林建民,王宝善,葛洪魁,等. 2008. 大容量气枪震源特征及地震波传播的震相分析[J]. 地球物理学报, 51(1): 206-212.
- 林建民,王宝善,葛洪魁,等. 2010. 大容量气枪震源子波激发特性分析[J]. 地球物理学报, 53(2): 342-349.
- 栾奕,杨宏峰,王宝善. 2016. 大容量气枪主动源波形资料处理(一): 云南宾川[J]. 中国地震, 32(2): 305-318.
- 丘学林,陈颢,朱日祥,等. 2007. 大容量气枪震源在海陆联测中的应用: 南海北部试验结果分析[J]. 科学通报, 52(4): 463-469.
- 苏金波,王琼,王海涛,等. 2016. 新疆地震台网对新疆呼图壁大容量气枪震源信号的接收能力及其影响因素分析[J]. 中国地震, 32(2): 202-208.
- 吴建平,欧阳飏,王未来,等. 2012. 华北地区地震环境噪声特征研究[J]. 地震学报, 34(6): 818-829.
- 武安绪,叶泵,李红,等. 2016. 气枪震源弱信号提取的可靠性初步分析[J]. 中国地震, 32(2): 319-330.
- 杨微,王宝善,葛洪魁,等. 2013. 大容量气枪震源主动探测技术系统及试验研究[J]. 中国地震, 29(4): 399-410.
- 杨微,王宝善,刘政一,等. 2016. 不同激发环境下井中气枪震源特征研究[J]. 中国地震, 32(2): 231-240.

- CHEN M, YANG W, WANG W, *et al.* 2014. Influencing Factors of Seismic Signals Generated By Un-tuned Large Volume Airgun Array in a Land Reservoir[J]. *Earthquake Science*, 27(4):365-376.
- CHEN Y, LIU L, GE H, *et al.* 2008. Using an Airgun Array in a Land Reservoir as the Seismic Source for Seismotectonic Studies in Northern China: Experiments and Preliminary Results [J]. *Geophysical Prospecting*, 56(4):601.
- MCNAMARA D E, BULAND. 2004. Ambient Noise Levels in the Continental United States[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94(4):1517-1527.
- OKAYA D, HENRYS S, STEM T. 2002. Double-sided Onshore-offshore Seismic Imaging of a Plate Boundary: "super-gathers" Across South Island, New Zealand[J]. *Tectonophysics*, 355(1):247-263.
- PETERSON J. 1993. Observations and Modeling of Seismic Background Noise[R]. U. s. geol. surv. tech. rept.
- WANG B, YANG W, YUAN S, *et al.* 2010. An Experimental Study on the Excitation of Large Volume Airguns in a Small Volume Body of Water[J]. *Journal of Geophysics & Engineering*, 7(4):388.

## Estimating the Receiving Efficiency of Stations by Using the Statistical Characteristics of Noise Power Spectral Densities on Active Source Signals

LI Xiaobin<sup>1</sup>, CHEN Jia<sup>1</sup>, GAO Qiong<sup>1</sup>, YE Beng<sup>1</sup>, LONG Zhiqiang<sup>1</sup>, ZHANG Yunpeng<sup>2</sup>, YANG Jun<sup>1</sup>

(1. *Western Yunnan Earthquake Prediction Study Area, China Earthquake Administration, Dali 671000, Yunnan, China*)

(2. *Key Laboratory of Seismic Observation and Geophysical Imaging, Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China*)

### Abstract

We analysis the noise level of stations by using the statistical characteristics of background noise power spectral densities when the effective frequency is in the range of 1 ~ 10Hz at Binchuan region. The results show that the quality of records can be improved greatly with better observation condition and environment, the superposition of air-gun signals with high signal-to-noise ratio can be reduced, and the farther propagation distance also can be achieved with the same superposition by building and maintaining the stations with high quality.

**Keywords:** probabilistic power spectral density; noise level assessment; comparative observation; air-gun source