

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,中国地震,32(2),202~208。

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

苏金波¹⁾ 王琼¹⁾ 王海涛¹⁾ 史勇军¹⁾
陈向军¹⁾ 冯磊¹⁾ 陈昊²⁾ 张文秀¹⁾

1)新疆维吾尔自治区地震局,乌鲁木齐市新市区科学二街 338 号 830011

2)中国地震局兰州地震研究所,兰州 730000

摘要 利用新疆地震台网资料和功率谱密度法,以台站噪声的功率谱密度中值曲线作为评估台站噪声水平的依据,对 6 个台站的噪声水平进行了评估。对比不同台站的功率谱密度和气枪震源信号的识别情况发现,通过 2000 次叠加可识别气枪震源信号的台站的噪声水平均低于无法识别的台站,噪声功率谱密度最大差值为 40dB,最小差值 15dB。最后通过对噪声水平的评估判断,部分台站无法识别气枪震源信号的主要原因是台站噪声水平较高。

关键词: 大容量气枪 概率密度函数法 噪声水平 信号识别

[文章编号] 1001-4683(2016)02-0202-07

[中图分类号] P315

[文献标识码] A

0 引言

在内陆地区利用大容量气枪震源向地下发射地震波,进行地下结构的探测和介质变化的监测,是近些年发展起来的一种地球物理探测的新方法。大容量气枪震源具有能量大、低频成分丰富、重复性好、绿色环保等诸多优点,被认为是进行地球内部介质变化研究的理想震源(陈颢等,2007)。

新疆呼图壁大容量气枪震源信号发射台是世界上首个基于人工开挖激发池的大容量气枪震源发射系统,该系统配备 1 个上表面直径 100m、深 16m 的倒圆台形激发池和 6 条 Bolt 1500 LL 型大容量气枪及相关的控制系统、补水系统。发射台具有激发能量大、水位稳定可控、震源重复性好等优点(王宝善等,2013;苏金波,2015)。目前,发射台在 2 年多的运行时间里已经完成了超过 5000 次的有效激发,积累了大量的数据。

为了利用叠加的方法提高信噪比,我们对新疆地震台网识别发射台激发的地震波信号的情况进行了普查,普查范围为以发射台为中心、400km 为半径的圆形区域内的台站。结果

[收稿日期] 2016-03-31; [修定日期] 2016-05-30

[项目类别] 中国地震局公益性行业科研专项(201508008)、国家自然科学基金(41474051)、新疆维吾尔自治区科研机构创新发展基金(201316)共同资助

[作者简介] 苏金波,男,助理工程师,主要从事地震监测、人工震源等方面的研究工作。E-mail:fzsujinbo@163.com

王琼,通讯作者,女,研究员。E-mail:wangqio8715@sina.com

显示,通过叠加普查发现区域内能够识别发射台激发信号的台站 21 个,无法识别信号的台站 4 个(图 1)。由图 1 可见,分布在北天山以北和准噶尔盆地以北的台站,经过 2000 次左右的叠加,大部分可以识别出气枪震源信号。而相同距离上,分布在南天山和天山中段的台站,基本无法识别气枪震源信号,这是一个十分有趣的现象。本文将对此进行分析和解释。

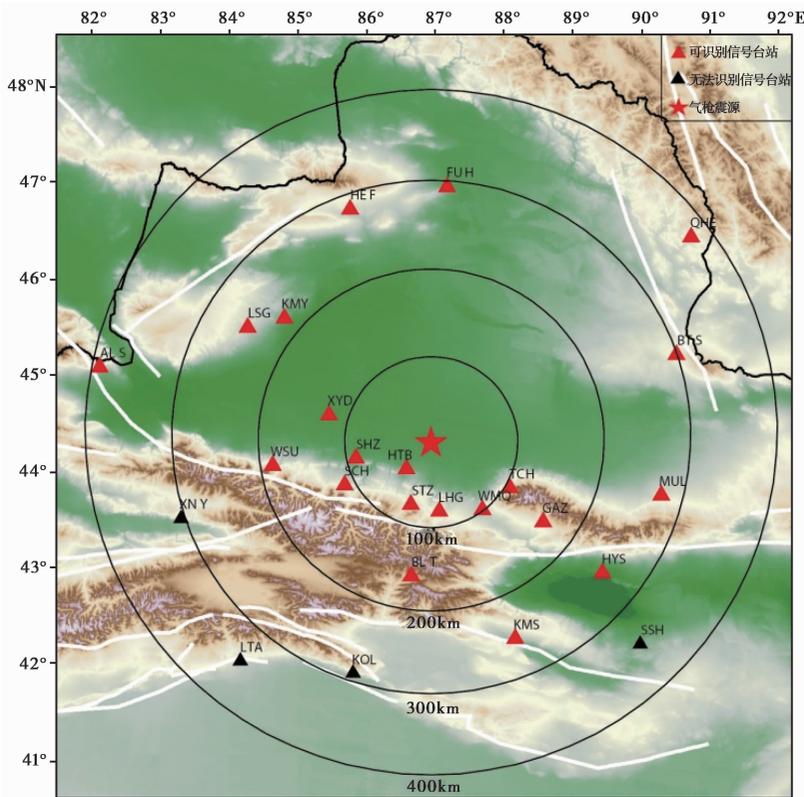


图 1 信号普查台站分布

1 研究方法

地震台站记录到的地震波包含 3 类信息,即震源携带的信息、震源与地震台之间的地球介质信息和地震仪器对地震波的响应信息等。精密的地震仪器不仅可以记录到地震震源辐射出的地震波,还可以记录到由多种不同的、空间分布互不相关的连续源所产生的比较杂乱的信号,即地震噪声(齐诚等,2008)。

与震级较大的天然地震相比,气枪震源激发的地震波能量相对较小,1 次气枪震源激发产生的能量相当于 0.9 级的天然地震(杨微等,2013),在距气枪震源较远的台站,气枪震源信号往往被湮没在噪声中。为此,可以利用叠加的方法提高信号的信噪比,压制噪声,以便于气枪震源信号从地震波形中被识别出来(苏金波,2015)。但是,在一些地震台站记录到的地震波上,即使经过叠加仍无法识别出气枪震源的信号。这可能是由于这些台站背景噪声过大,经过叠加无法有效地压制噪声;也可能是由于气枪震源信号在经过地球介质时衰减较大,传播到台站时气枪震源信号已经十分微弱,完全被湮没在背景噪声中。

对台站噪声的研究一直是地震学家非常重视的问题 (Stehly, 2006; Boué et al, 2013), Peterson (1993) 通过对全球 75 个地震台站噪声资料的研究, 确定了通用的全球噪声模型, 即 NHNM (新高噪声模型) 和 NLNM (新低噪声模型), 我们可以利用此模型来评估台站的噪声水平。传统的台站噪声评估方法通常是选取比较平静的一段地震记录, 通过计算功率谱密度来评价台站的噪声水平。该方法应用广泛, 但是噪声记录的选取存在一定的主观性, 无法客观地反映台站的噪声水平特征 (吴建平, 2012)。近年来, Mcnamara 等 (2004) 提出了一种新方法——概率密度函数法, 该方法可以很好地反映台站背景噪声特征, 目前已在全世界范围内推广并得到认可。

从图 1 可以发现, XNY 台、KOL 台、LTA 台的记录中无法识别气枪震源信号, 而与它们距离气枪震源相近但方位不同的 ALS 台、BTS 台和 QHE 台, 可以记录到较为清晰的气枪震源信号。本文利用概率密度函数法, 评估 6 个台站的背景噪声水平, 进而分析造成这种信号接收能力差异的原因。

2 数据处理

我们将前述 6 个台站 1 年的 U-D 分量的连续记录分割成 3600s 的数据段, 每个台站每天有 24 条数据段。由于气枪激发实验大多在环境噪声较小的夜晚进行 (22 时至次日 8 时), 故选取此时段的记录, 并对数据进行如下处理 (葛洪魁等, 2013):

(1) 根据不同台站仪器的传递函数去除每条数据段的仪器响应, 最终得到地面运动的速度记录 (单位: m/s)。

(2) 利用平均周期图法计算噪声数据的功率谱密度。

(3) 将上面计算得到的速度功率谱密度转换成加速度功率谱密度, 并将单位转化成 dB, 这样就可与 NHNM、NLNM 模型进行对比。

(4) 对计算得到的加速度功率谱密度用 $\frac{1}{8}$ 倍频程进行平滑计算, 最后得到在对数坐标上均匀分布的功率谱密度。

(5) 步骤 (1)~(4) 计算得到的是 1 个数据段的加速度功率谱密度随频率的分布。由于功率谱密度受外界环境和突发事件的影响而不断变化, 而取功率谱密度的平均值又容易受到极值的影响, 因此, 根据葛洪魁等 (2013) 的研究, 可以取功率谱密度的中值来代表台站的平均噪声水平。

图 2(a) 为 KOL 台经过去仪器响应、去均值、去趋势后的垂直分量 3600s 地震记录, 图 2(b) 为功率谱密度曲线及经过 $\frac{1}{8}$ 倍频程平滑后的结果。由图 2 可以看出, 功率谱密度曲线整体在 NHNM、NLNM 模型的曲线范围之内, 其高频成分较之低频成分更丰富, 符合噪声功率谱密度的规律。

3 不同台站噪声水平与气枪震源信号识别情况的对比分析

通过数据处理, 我们最终得到不同台站噪声功率谱密度的中值 (图 3), 由图 3 可以对比不同台站的噪声功率谱密度的中值, 进而评估其平均的噪声水平。气枪信号的优势频率为 2~6Hz (杨微等, 2013), 为了比较不同台站对气枪震源信号接收情况的差异, 在此仅对比 2~6Hz 间的噪声功率谱密度中值。由图 3 可见, 能够识别气枪震源信号的 3 个台站 ALS、QHE、

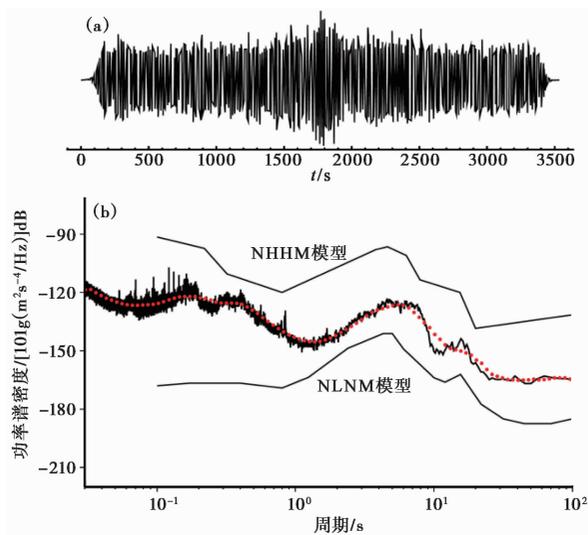


图2 KOL台3600s垂直分量的地震记录(a)及其功率谱密度、 $1/8$ 倍频程平滑后结果(b)
红点为 $1/8$ 倍频程平滑后结果

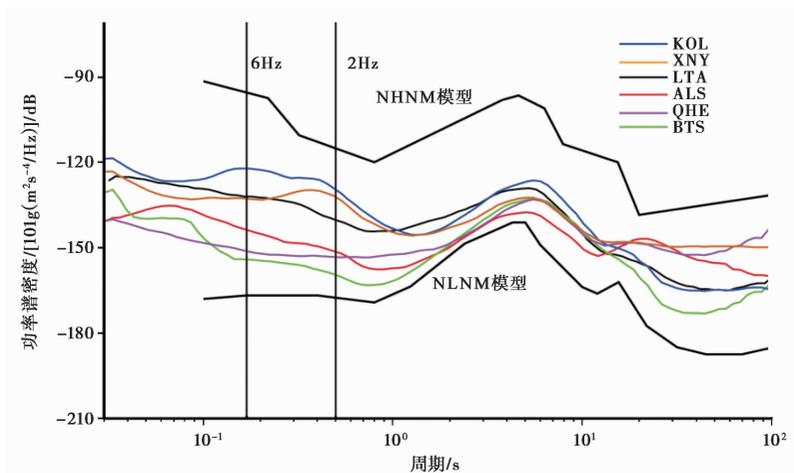


图3 不同台站噪声功率谱密度对比

BTS的功率谱密度中值均小于不能识别气枪震源信号的KOL、LTA、XNY等3个台站。差距最大的BTS、KOL台,后者比前者要高出40dB,差距最小的ALS、LTA台相差约10dB。图4为不同台站垂直分量接收到的气枪震源信号经过2000次叠加后振幅按照最大振幅归一化,并进行了2~6Hz带通滤波后的波形,从图4(a)的3个台站波形可以清晰地识别出气枪震源信号,而图4(b)的3个台站波形则无法识别。我们认为,这可能是受台站噪声水平的影响,图4(a)3个台站的平均噪声水平要远低于图4(b)的3个台站。

影响台站噪声水平的因素主要包括微震噪声、自然噪声和人为噪声等。其中,微震噪声会在功率谱密度曲线的10~20、3~8s之间产生2个峰值,主要影响这2段周期内的信号;人

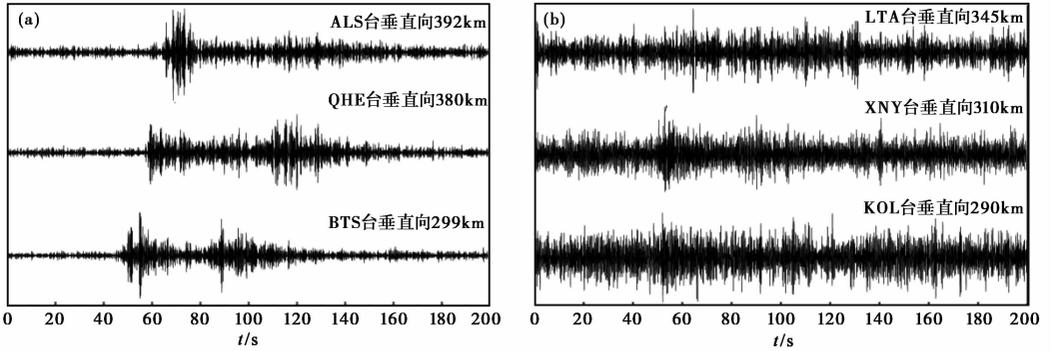


图4 不同台站垂直分量气枪震源信号 2000 次叠加后波形

(a) 可识别气枪震源信号台站; (b) 无法识别气枪震源信号台站

为噪声主要是由于人类活动引起的,如台站附近的铁路、公路、工厂等,其噪声主要集中在短周期频段和低频频段;自然噪声主要是由自然因素引起的,如风、瀑布、河流、温度变化及大气压变化引起的地倾斜等,自然噪声主要产生长周期的噪声。

表 1 台站的台基、高程及与气枪震源的距离

台站名	台基类型	高程/m	与气枪震源距离/km
ALS	变质灰岩	1215	392
QHE	凝灰岩	1321	380
BTS	粉砂岩	1720	299
KOL	片麻花岗岩	1093	290
LTA	混合花岗岩	1310	345
XNY	石炭纪火山砾岩	1045	310

由表 1 可见,我们研究的台站台基均建在基岩上,而且仪器摆放在地下室或山洞中,这样可以有效地减少人为噪声的影响。因气枪震源的频率主要集中在 2~6Hz,所以气枪震源信号的接收情况受微震噪声和人为噪声的影响较小,受到自然噪声的影响较大。

4 结论与讨论

与天然地震信号相比,大容量气枪震源信号比较微弱。但由于大容量气枪震源信号的高度重复性,故我们可以通过滤波和叠加的方式压制噪声。每对信号进行 n 次的叠加,其信噪比会提高 \sqrt{n} 倍(林建民等,2008),但对于一些噪声水平较高、信噪比较低的台站,有限次数的叠加无法使信号的信噪比提高到可以识别信号的程度。

本文中我们通过计算距新疆呼图壁气枪震源较近,但对气枪震源信号接收情况不同的几个台站的噪声功率谱密度,分析了它们的噪声水平,初步得到以下结论:

(1) 无法识别气枪震源信号的 3 个台站的噪声水平,均高于与其一样距气枪震源较近但方位不同的其他 3 个台站。其中,噪声水平最高的 KOL 台与噪声水平最低的 BTS 台之间,噪声功率谱密度中值曲线相差 40dB。由于气枪震源激发的信号以低频信号为主(杨微等,

2013),低频信号在介质中传播时有较强的能力来抵抗吸收、散射和屏蔽,并且具有较强的降低衍射噪声和穿透高速层的能力(郭树祥,2009),所以气枪信号在介质中传播时受介质结构的影响较小。因此,气枪震源信号的识别与台站的噪声水平间有很大的关系。

(2)台站的噪声水平受自然噪声的影响较大,未能识别气枪震源信号的3个台站均处于自然环境相对恶劣的南天山山区,这可能是导致台站噪声水平较高的原因。

本研究得到的为初步结果,若要对部分台站无法接收到气枪震源信号的原因进行定量分析,则必须进行足够次数的叠加。理论上,通过更加大量的叠加可以更好地压制噪声,以便在一些噪声水平较高的台站识别出气枪信号。新疆呼图壁气枪震源积累的资料相对有限,因此,相关的定量分析还需要积累更多的数据。

致谢: 本文撰写过程中得到了中国地震局地球物理研究所王宝善研究员的大力支持。中国地震局地球物理研究所王芳博士、胡久鹏博士、蒋生森博士在程序编译方面给予作者很多启发。新疆维吾尔自治区监测中心唐明帅高级工程师、魏斌高级工程师、袁顺高级工程师在台站噪声分析等方面为作者提供了很多宝贵的建议,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献

- 陈颀、张先康、丘学林等,2007,陆地人工激发地震波的一种新方法,科学通报,52(11),1317~1321。
- 葛洪魁、陈海潮、欧阳颀等,2013,流动地震观测背景噪声的台基响应,地球物理学报,56(3),857~868。
- 郭树祥,2009,用低频信息改善地震成像质量,油气地球物理,16(1),5~8。
- 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,地球物理学报,51(1),206~212。
- 齐诚、陈棋福、陈颀,2007,利用背景噪声进行地震成像的新方法,地球物理学进展,22(3),771~777。
- 苏金波,2015,新疆呼图壁大容量气枪震源数据处理及初步应用研究,硕士论文,兰州:中国地震局兰州地震研究所。
- 王宝善、杨微、王伟涛等,2013,利用大容量气枪监测北天山山地壳介质变化,见:中国地球物理学会,中国地球物理2013——第十二专题论文集,北京:中国学术期刊(光盘版)电子杂志社。
- 吴建平、欧阳颀、王未来等,2012,华北地区地震环境噪声特征研究,地震学报,34(6),818~829。
- 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,中国地震,29(4),399~410。
- Boué P, Poli P, Campillo M, et al, 2013, Teleseismic correlations of ambient seismic noise for deep global imaging of the Earth, Geophys J Int, 194(2), 844~848.
- Menamara D E, Buland R P, 2004, Ambient noise levels in the continental United States, Bull Seism Soc Am, 94(4), 1517~1527.
- Peterson J, 1993, Observations and modeling of seismic background Noise, US geol surv tech rept.
- Stehly L, Campillo M, Shapiro N M, 2006, A study of the seismic noise from its long-range correlation properties, J Geophys Res, 111(B10), 5251~5252.

A research on large volum airgun source's signal reception in Hutubi Xinjiang using seismic network data

*Su Jinbo*¹⁾ *Wang Qiong*¹⁾ *Wang Haitao*¹⁾ *Shi Yongjun*¹⁾ *Feng Lei*¹⁾
*Chen Xiangjun*¹⁾ *Chen Hao*²⁾ *Zhang Wenxiu*¹⁾

1) Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

2) Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China

Abstract We used the data of Xinjiang Digital Seismic Network and PSD (power spectral density) method to do the noise level assessment for six stations. We calculated the median of the power spectral density to evaluate the noise level of different stations. After the comparison of the power spectral density of different stations and the air-gun signal recognition, we found that noise level of the stations with recognizable air-gun source signals is lower than that of the stations without recognizable signals. The largest difference of the power spectral density is 40dB, and the smallest one is 15dB. Finally, we found that the failure to recognize the signal of air-gun source at some stations is due to the noise level.

Key words: Large volume air-gun; Power spectral density; Noise level; Signal recognition