

# 噪声对气枪信号叠加效果的影响 及自动数据筛选方法<sup>\*</sup>

蒋生森<sup>1</sup>, 王宝善<sup>1</sup>, 张云鹏<sup>1</sup>, 陈颀<sup>2</sup>

(1. 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;

2. 南京大学 地球科学与工程学院, 江苏 南京 210023)

**摘要:**为剔除小地震信号和强噪声对气枪信号叠加效果的影响,提出了一种利用信号记录中噪声特征的主动源数据筛选方法——RMS 筛选法,服务于气枪数据的自动化处理。实际气枪数据筛选结果表明,RMS 筛选法采用信号噪声水平作为信号选择标准,可以有效去除高噪声信号,其线性和相位加权叠加结果优于常规线性叠加和常规相位加权结果,噪声得到压制,远距离台站微弱信号检测效果得以增强。

**关键词:**气枪信号;主动源;自动化处理;RMS 筛选

**中图分类号:** P315.31

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2017)04-0534-09

## 0 引言

利用天然或人工重复性震源进行地下精细结构和介质变化的成像研究在近20年已取得重要进展(Schaff, Beroza, 2004; Lumley, 2004; Poli *et al.*, 2012; 王宝善等, 2016)。为构筑能获取地下不同尺度图像的地震雷达技术平台(陈颀, 朱日祥, 2005),我们进行了一系列人工震源应用探索,成功将海洋勘探气枪震源引入陆上水体,构建了一整套主动源监测系统。历次实验证明,陆上大容量非调谐气枪阵列是研究大陆浅部精细结构和介质动态变化的有效手段(陈颀等, 2007; Chen *et al.*, 2008)。

为拓展气枪源在地球科学和防震减灾中的应用,我们先后建立了3个以大容量气枪阵列为震源的固定地震信号发射台,用于常规主动探测(Wang *et al.*, 2010)。而震源探测地下介质的范围取决于震源产生信号能量的强度。地震发射台单次激发产生能量等效于 $M_L 0.7 \sim 0.9$ 天然地震,相对炸药震源和天然地震源能量较弱,产生地震波传播距离有限。实验证实,气枪单次激发所产生的峰值加速度在离源600 m距离即降至背景振动水平(刘必灯等, 2011),而到50 km时枪阵引起地

面位移已降至10 nm,百千米距离上,枪阵信号已远小于一般台站的平均噪声水平(徐逸鹤等, 2016)。气枪信号的散射和衰减使得信号随着传播距离的增加而逐渐淹没在背景噪声中。同时,地下介质变化是个长期过程,与地下介质变化相关的地震信号较弱。因此强背景噪声中极微弱信号的检测与提取,是进行区域结构探测和介质变化监测的关键。

运用去噪、滤波和叠加等方法压制噪声,提高地震资料信噪比是增强弱信号拾取能力的主要途径。发射台气枪源的优势频率为2~8 Hz(杨微, 2013),而此频段包含人类活动产生的大量高频背景噪声(Hillers *et al.*, 2012; Chávez-García, Rodríguez, 2007)。得益于气枪信号的高度可重复性(唐杰等, 2014),叠加重复激发信号的方法可有效识别被噪声淹没的气枪信号,这是当前用于气枪资料处理的主要方法(武安绪等, 2016)。但长时间段内的信号叠加受多种因素影响,人类不定期活动、固体潮变化、大气压及温度的季节变化和偶发的小地震事件都可能影响背景噪声强度,改变信噪比,进而影响叠加效果。而常规叠加方法对这些噪声的压制效果在长时间叠加中效果有限。同时发射台气枪源的数年连续激发和现代地震台阵的发展,使得气枪研究需要处理大量信号

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2017-04-11.

**基金项目:** 国家自然科学基金国家自然科学基金资助项目(41674058)、地震行业专项(201508008)、中央公益类科研院所基本科研业务专项(DQJB16A01)和云南省陈颀院士工作站(2014IC007)联合资助。

资料，人工对于强噪声信号的筛选效率较低，不适宜处理大量数据。自动化数据处理是气枪源信号处理的现实要求与发展趋势。

本文提出了一种利用气枪信号噪声特征的主动源信号自动筛选与叠加方法，介绍了该方法的原理，并通过选取不同地震信号发射台气枪源实际观测信号，分别进行线性叠加和时频域相位加权叠加评估了该方法处理效果，证实了此方法相对传统线性叠加和相位加权叠加在处理气枪信号方面具有独特优势。

1 陆上水体气枪震源信号特征

1.1 固定地震信号发射台

依托气枪源陆上水体的激发来建立地震信号发射台，主动发射地震波，是一种新的科学尝试。2011 年 4 月，为探索云南地区深部地下介质动态变化，我们在云南宾川大银甸水库建立了第一个固定地震信号发射台（下称宾川台）。枪阵

总容量 8 000 in<sup>3</sup>（4 支 2 000 in<sup>3</sup> 气枪），单次激发信号等效于  $M_L0.7$  地震，可在距离源 50 km 台站的原始记录中观测到清晰气枪信号（杨微，2013）。但受水位季节性变化影响，宾川台工作条件和时间不稳定。为克服此不利条件，2013 年 5 月，新疆呼图壁人工水体固定地震信号发射台（下称呼图壁台）建成，实现了天然水库向人工水体的转变和对激发条件的进一步精准控制。气枪阵列总容量增大至 12 000 in<sup>3</sup>（6 支 2 000 in<sup>3</sup> 气枪），单次激发信号等效于  $M_L0.9$  地震（王宝善等，2013）。为研究祁连山腹地大陆动力学问题，2015 年 5 月，我们在青藏高原东北缘的甘肃张掖建成新的固定地震信号发射台（下称张掖台）。枪阵总容量 8 000 in<sup>3</sup>，单次激发信号等效于  $M_L0.7$  地震，可在相距 40 km 台站的原始记录中观测到清晰气枪信号。各地震信号发射台均配套建设的数十套流动观测仪器，结合当地固定地震台网，与大容量气枪震源组成了综合观测系统（图 1、表 1）。

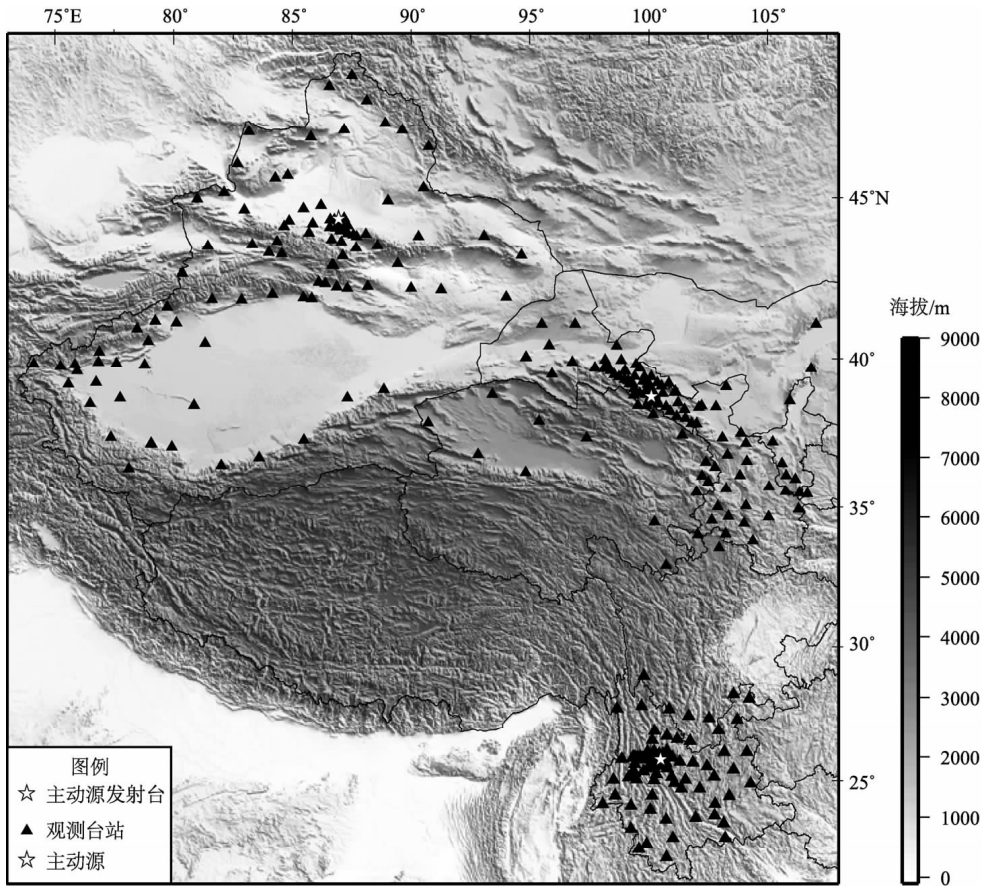


图 1 3 个主动源发射台位置及周围观测台站

Fig. 1 The location of three active seismic source stations and the corresponding portable and permanent stations

表 1 各地震信号发射台激发情况

Tab. 1 The trigger condition of three active seismic source stations

水体位置	水体类型	激发水深/m	枪容/in <sup>3</sup>	激发压力/MPa	沉放深度/m	参考台距离/km	等效震级估算
云南宾川	水库	19	4 × 2 000	15	10	0. 04	$M_L0.7$
新疆呼图壁	人工水池	15	6 × 2 000	15	10	0. 05	$M_L0.9$
甘肃张掖	水库	55	4 × 2 000	15	15	0. 05	$M_L0.7$

1. 2 陆上气枪震源信号特点

多年实验研究表明陆地水体气枪震源激发信号受气枪、水体和固 - 液界面等共同作用, 水体与气枪阵列可作为一个震源系统进行考虑 (陈蒙, 2014)。高压气体在水下的瞬间释放, 产生气压脉冲和气泡脉冲, 传播至固 - 液界面发生反射与吸收, 并转化为地震波信号。图 2a 为距新疆呼图壁台 50 m 台站记录的信号频谱, 可见信号主要分为 5 Hz 左右的低频部分和 40 Hz 左右高频部分; 图 2b 为距宾川台 40 m 台站记录的信号频谱, 由图可见, 除这 2 部分信号外, 10 Hz 和 20 Hz 左右信号也较强。气枪震源信号主要为 40 Hz 高频和 5 Hz 左右的低频信号, 但不同水体信号成分略有差异。地震波信号中高频成分在传播过程中易散射和衰减, 传播较近, 而低频部分不易衰减, 是实现远距离传播的关键。为增加探测距离, 各地震发射台均采用的大容量气枪非调谐阵列进行激发以增强低频信号。但低频信号特征使得气枪信号在传播时受

介质结构影响小, 而受接收点噪声水平影响较大。

高度可重复性是陆上气枪震源信号的另一特征。气枪震源为间隔脉冲震源, 近场破坏小, 可以在同一地点实现高度可重复激发。同等激发条件下, 地震信号发射台不同时刻激发的气枪信号在同一地震台记录波形几乎不变。图 3 为 2015 年宾川台 974 次连续激发, 张掖台 2 天共 206 次激发, 2013 年呼图壁台 720 次气枪激发各自参考台记录信号的重叠效果及互相关系数。信号波形均显示出高度一致的特性, 气枪源激发信号的相关系数大于 0. 9, 基本可忽略震源特性随时间的变化。

2 方法介绍

提高信噪比是地震信号处理的重要目标。大规模台阵的发展和大量高质量观测数据的积累推动了叠加技术的应用 (Rost, Thomas, 2002)。时域线性叠加 (Harjes, Henger, 1973; Kennett, 2000) 和时频域相位加权叠加 (Stockwell *et al*, 1996; Zeng, Thurber, 2016) 是常用的叠加技术。相位加权叠加存在波形失真, 不利于依赖于震相的分析, 故当前气枪处理资料以线性叠加为主, 而线性叠加效果严重依赖于信号信噪比。

信噪比 (SNR) 是信号强度与噪声强度的比值, 定义为信号均方根 (RMS) 振幅与噪声的均方根振幅的比值。在常规线性叠加中, 信号为相干的, 其叠加可视为对每条信号以权重  $N^{-1}$  相加, 所得叠加结果振幅和标准差基本不变。图 4 为 2015 年宾川台 974 次信号振幅同其线性叠加结果振幅的差异值分布, 可见线性叠加结果信号振幅同单条记录基本一致, 变化值多在 2% 以内。气枪信号均方根振幅基本不变, 则信噪比由噪声部分决定。而白噪声为均匀分布的不相干信号, 振幅变为原有  $N$  条振幅的平均数, 若噪声方差为  $\sigma^2$ , 则此均值的方差为  $\sigma^2/N$ , 则噪声的标准差为  $\sigma/\sqrt{N}$ , 故信噪比增加  $\sqrt{N}$  倍 (Liu, Niu, 2012; Lee *et al*,

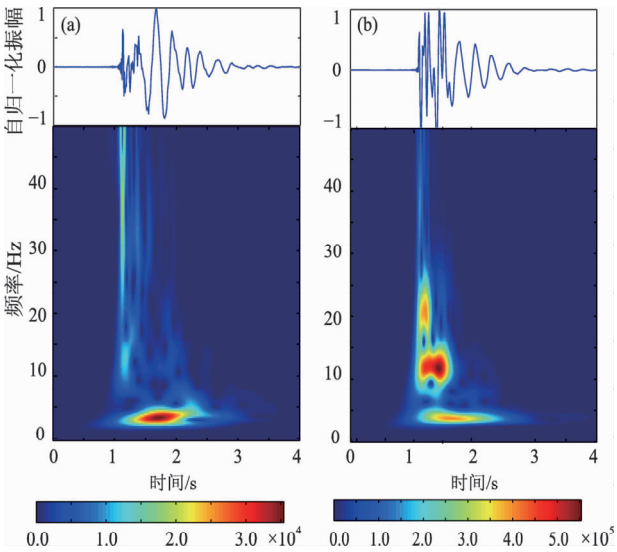


图 2 呼图壁台 (a)、宾川台 (b)  
参考台信号频谱图

Fig. 2 The spectrum of reference stations at the Hutubi Station (a) and the Binchuan Station (b)

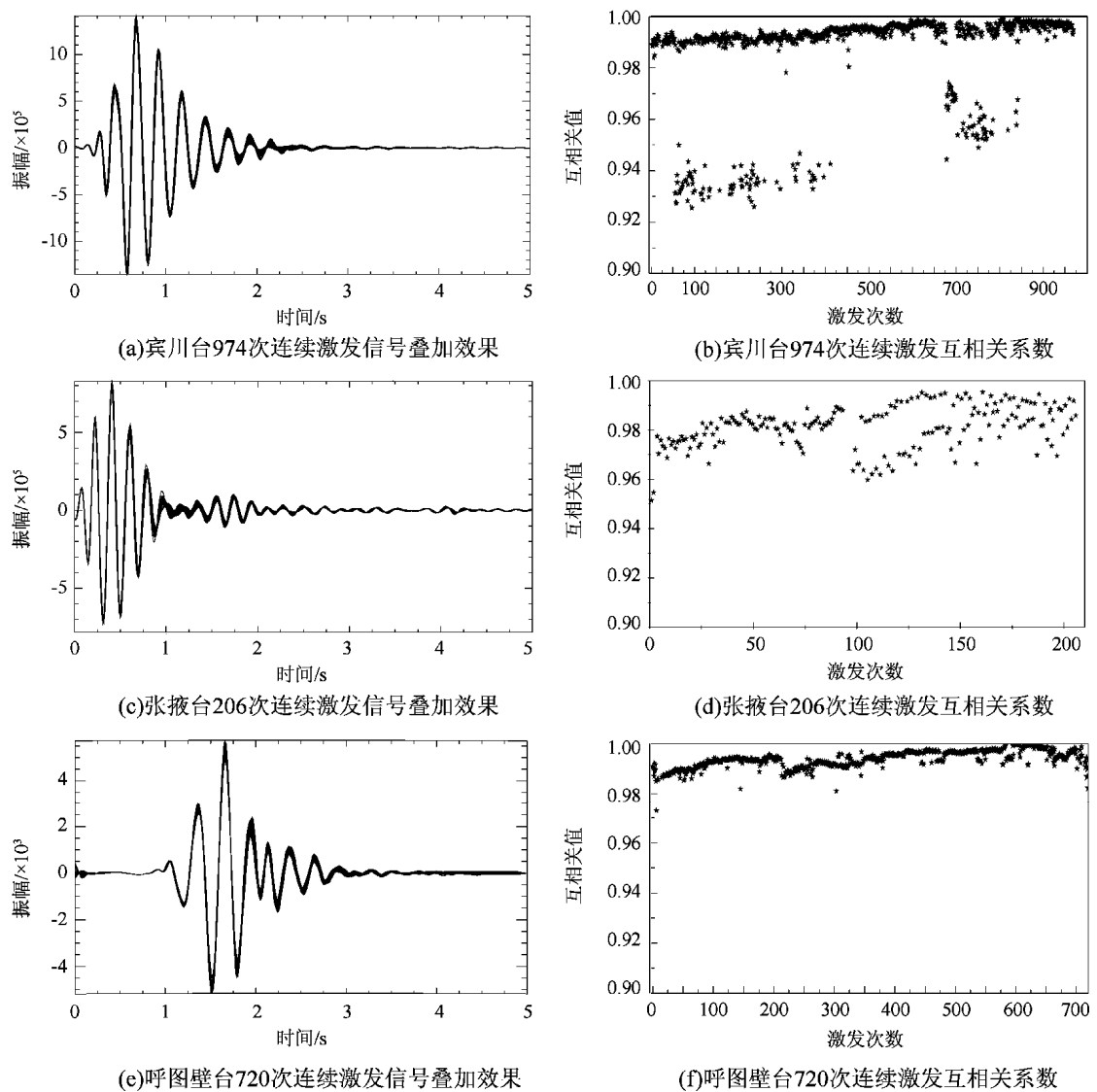


图 3 各发射台近源台站接收的连续激发信号 2~8 Hz 滤波后重复性与互相关系数

Fig. 3 The signal repeatability and cross – correlation coefficient of reference stations of each active seismic source station after 2 ~ 8 Hz bandpass filter

2002)。线性叠加方法不改变信号原有形态，但噪声在 1 Hz 频段以上近随机不相关分布，低频段却趋于相干，使得线性叠加后信噪比提升低于理论的  $\sqrt{N}$  倍。

噪声 RMS 水平是一个不断变化的值，对特别大的振幅很敏感，单次地震或强噪声均会显著增大噪声 RMS 计算结果，故为剔除小地震信号和强噪声对于气枪信号叠加的影响，需要一个刻画记录噪声水平的变量来评估叠加效果。

为此，我们提出了用噪声因子（noise）来评估叠加信号噪声水平，并以此作为判断信号是否叠加的判定标准。步骤为选取每条信号记录目标

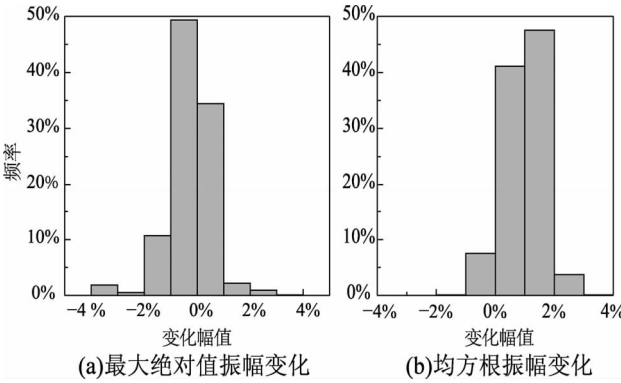


图 4 2015 年宾川台 974 次连续激发信号振幅变化

Fig. 4 Amplitude changes of 974 times shooting at the Binchuan station in 2015

震相窗口, 信号预处理, 然后计算窗口内信号振幅的标准差  $\sigma$ 。 $\sigma$  值包含信号的标准差与噪声的标准差, 但信号标准差基本不变, 则  $\sigma$  是对每条信号噪声水平的反应, 其值越大, 则各点离平均值越远, 噪声水平越大。对  $\sigma$  值从小到大排序, 选取第一个值记为  $\sigma_0 = noise_0$ , 第  $n$  个  $\sigma(\sigma_n)$  对应的  $noise_n$  值按照式 (3) 递推算得。噪声因子  $noise$  是逐条噪声水平的叠加效应, 即为对叠加结果中噪声水平的反映。

$$\sigma = \sqrt{Var} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

$$noise_n = \frac{(n-1) \cdot noise_{n-1} + \sigma_n}{n \sqrt{n}} \quad (3)$$

则  $noise_n$  值随  $n$  变化为类抛物线, 即存在一个使  $noise$  最小的  $\sigma$  值。取  $noise$  最小值对应的  $\sigma$  为信号记录选择标准  $RMS_{std}$ , 即如果其他记录对应  $\sigma$  值小于  $RMS_{std}$ , 则输出信号记录用于叠加。噪声因子的选择可以剔除高噪声造成的强干扰, 得到使叠加结果在最优噪声水平的信号记录, 进而提高信噪比。

### 3 实际数据叠加效果分析

云南宾川台、新疆呼图壁台和甘肃张掖台数年常规激发和数次连续实验, 为不同区域不同背景噪声条件下 RMS 筛选方法的应用提供了丰富的数据。数据来源包括各台配套建设的流动观测台网、中国地震局固定台网和各地方区域固定台网, 所有台站均处于连续工作状态。流动台站多采用短周期地震仪, 而固定台站多布置三分量宽频带地震仪。宾川台自 2011 年建成以来共计激发气枪近 5 500 次, 呼图壁台自 2013 年建成来共计激发近 6 000 次, 甘肃张掖台自 2015 年建成以来共计激发近 5 500 次。不同台站由于架设时间不一和设备维护等原因, 实际使用的数据数目有差异。为深入研究该数据挑选方法的可行性与实际性能, 选取宾川台流动台网近 5 000 次激发信号, 固定台网 2014 年和 2015 年共 1 700 次激发信号; 呼图壁台固定台网自建成后所接收到的所有气枪源信号;

张掖台流动台网两天共计 206 次激发数据, 固定台网自台站建成以来所有气枪激发数据。运用 RMS 筛选自动处理, 采用常规线性叠加和相位加权叠加方法对以上所有数据进行处理, 所得结果如图 5 所示。

对比 RMS 筛选线性叠加与常规线性叠加结果, 可以看出 RMS 筛选叠加的信号信噪比高于常规叠加, 信号到达前的噪声得到了更好的压制, 信号初至更加清晰, 有效提高了信号的识别能力。RMS 筛选叠加可以增加信号被淹没台站的信号信噪比, 增大了气枪信号探测距离。宾川台信号传播距离由 250 km 增至 350 km, 呼图壁台由约 500 km 增至 1 000 km, 张掖台由 300 km 提高至约 500 km。对比相位加权叠加结果, 亦可见 RMS 筛选叠加对于信号信噪比的改善作用明显, 探测距离进一步增加。

RMS 筛选是一种针对气枪震源信号噪声特征设计的处理大规模数据的自动筛选方法。RMS 筛选通过对每条记录信号窗口内噪声水平的自动判断识别, 选择最有利于叠加效果的噪声水平作为判断标准, 自动剔除高噪声水平记录。通过对不同地震发射台站实际数据分析, 证实了 RMS 筛选叠加方法较传统叠加方法在处理气枪信号方面的优势, 尤其是在对长时间、大量数据信号处理方面。RMS 筛选叠加可以有效剔除高噪声水平的信号记录, 提高叠加信号的信噪比, 尤其对远距离上信号原本已经被噪声淹没的台站, 可有助于识别信号初至, 拓展信号传播距离。

## 4 讨论

### 4.1 RMS 筛选效能分析

RMS 筛选方法基于气枪信号不变而噪声水平变化的假设, 选取最优噪声因子进行叠加提高信噪比, 现选取距宾川台 116 km 处 EY13 台站信号测试 RMS 筛选提升信噪比效果。2015 年 11 月起, 宾川台进行了连续 2 个月的激发实验, 在此期间 EY13 台实际记录到 847 次激发信号, 截取 200 s 信号。单次激发原始信号如图 6a-1 所示, 噪声信号振幅 (103 count) 远大气枪信号振幅 (20 count), 气枪信号完全被噪声淹没, 无法直接读取。对所有记录按照 RMS 筛选方法自动识别, 取  $noise$  最小值时得到 618 条可用记录, 分别采用线

性叠加和相位加权叠加,结果如图6所示。847条记录线性叠加结果中在噪声较强段出现了一个振幅较大的干扰信号,而618条记录RMS线性叠加有效压制了此噪声。RMS线性叠加的信噪比随叠加次数增加而增大,优于常规线性叠加结果,但低于理论 $\sqrt{N}$ 倍增加值。2种相位加权最终结果相

近,可见RMS相位加权结果信噪比始终高于常规相位加权叠加结果。相位加权叠加对于信噪比的提升整体优于线性叠加。RMS筛选后,线性叠加和相位加权叠加结果均得到了改善,以较少的记录反而得到了更高的信噪比,筛选作用优于150次额外叠加次数增加带来的信噪比提升。

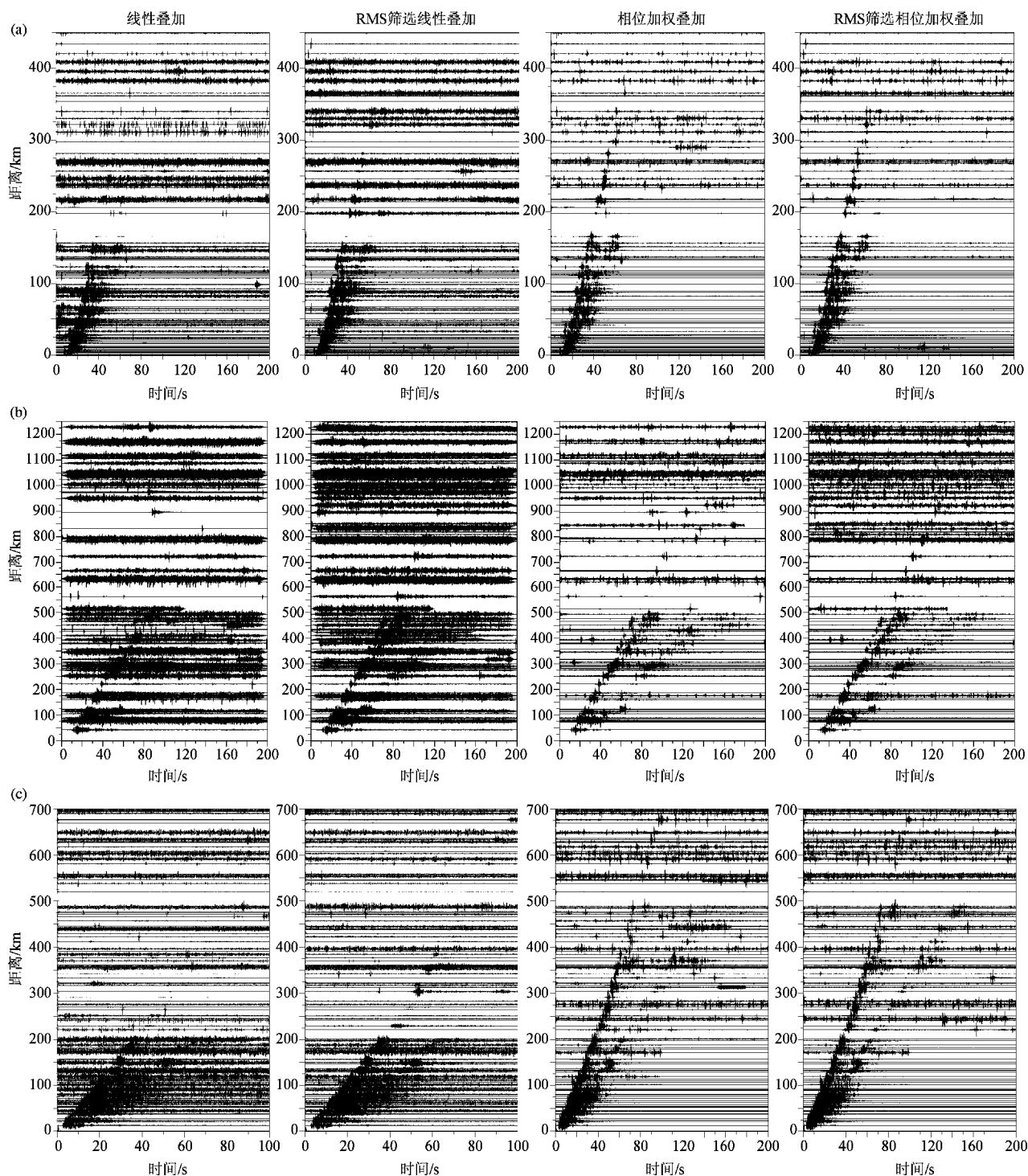
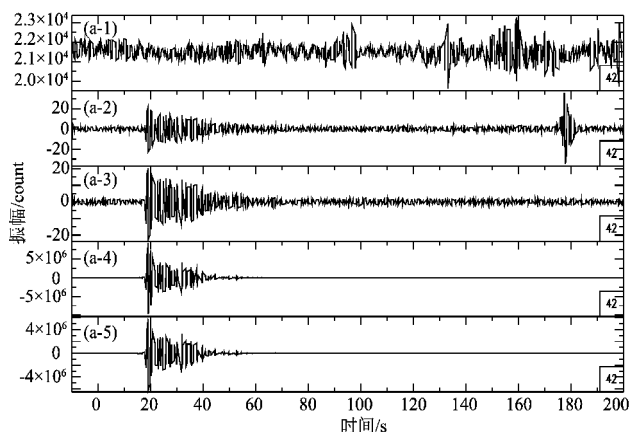
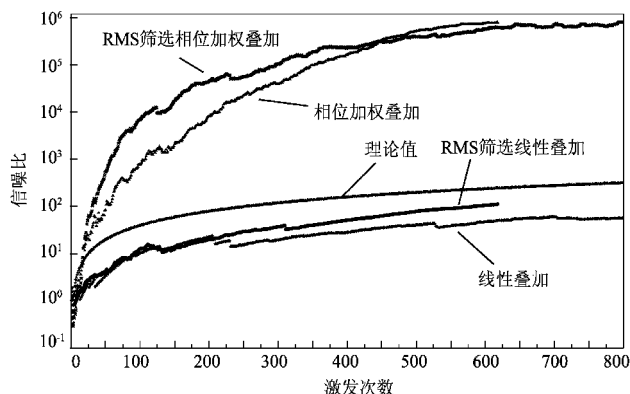


图5 云南宾川台(a)、新疆呼图壁台(b)和甘肃张掖台(c)气枪源信号叠加的时-距曲线对比  
Fig. 5 Comparison of time-distance curve of stacked signals at the Binchuan, Hutubi and Zhangye stations

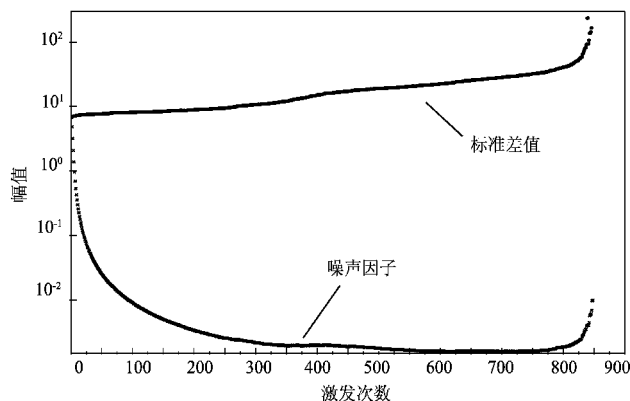




(a)原始信号(a-1)、线性叠加(a-2)、RMS筛选线性叠加(a-3)、相位加权叠加(a-4)、RMS筛选相位加权叠加(a-5)方法结果



(b)不同叠加方式信噪比随叠加次数变化



(c)噪声因子与 $\sigma$ 值随记录数 $n$ 的变化

图6 宾川台 EY13 台站 RMS 筛选效能测试

Fig. 6 The efficiency test of RMS screening method for the EY13 station in Binchuan

#### 4.2 RMS 筛选适用性分析

选取甘肃流动台网2天206次激发数据,对不同距离台站接收信号进行叠加对比分析,结果如图7所示。信号强度会随着传播距离的增加而衰减,导致台站接收信号信噪比降低,单次激发信号在46 km台站已弱于台站噪声水平,无法直接识别。对于近距离台站(ZDY22, ZDY25),由于信

号较强、噪声相对较弱、信号信噪比较高、足以影响信号的强噪声记录较少,RMS筛选后分别保留205条和197条记录,常规线性叠加和相位加权叠加与RMS筛选后效果相近。而随着接收台站距离的增加,信号逐渐衰减至背景噪声水平,RMS筛选对信号受强噪声影响的记录剔除作用加强,用于叠加信号条目减少,46 km处ZDY21台保留172条,89 km处ZDY34台保留154条,133 km处ZDY05台保留88条,197 km处ZDY01台仅剩148条,但RMS筛选线性叠加和相位加权叠加后信号的信噪比仍与常规叠加相当乃至更好。可见RMS筛选对于不同距离台站适用性不一,对于近处高信噪比台站,筛选作用有限,而对于远距离低信噪比台站筛选作用明显,效果较好。

## 5 结论

气枪震源激发能量小,采用叠加增强信号以等效于单次大当量激发和利用干涉提取走时变化来成像介质变化的处理方式,决定了对远距离强噪声下微弱信号提取和检测技术的需求。地震信号发射台的大规模激发和台阵的发展积累了海量的气枪信号数据,催生了对于气枪信号自动化处理的要求。本文利用气枪信号噪声特征,提出了一种新的主动源信号自动筛选与叠加方法,并通过选取不同地震信号发射台气枪源实际观测信号,分别进行线性叠加和相位加权叠加评估了该方法的处理效果。结果证明实线性叠加和相位加权叠加均能实现对噪声的压制,增强有效信号。对于气枪主动源可重复信号,RMS筛选叠加基于信号自身噪声水平,选取信号是否用于叠加标准,可以有效剔除高噪声地震记录和小地震事件信号的记录,实现大规模数据的自动筛选优化。通过对流动台网和固定台网实际气枪信号数据的叠加对比分析,表明RMS筛选线性叠加和相位加权叠加比常规的线性叠加和相位加权叠加更能压制强背景噪声的干扰,有效提高叠加信号的信噪比,实现气枪信号的远距离传播与拾取,有效拓展气枪探测范围。RMS筛选对于近距离台站数据作用有限,适用于距离较远,尤其是信号低于台站噪声水平的台站。气枪信号准确拾取,对于提取气枪信号初至到时,研究走时变化,及对应

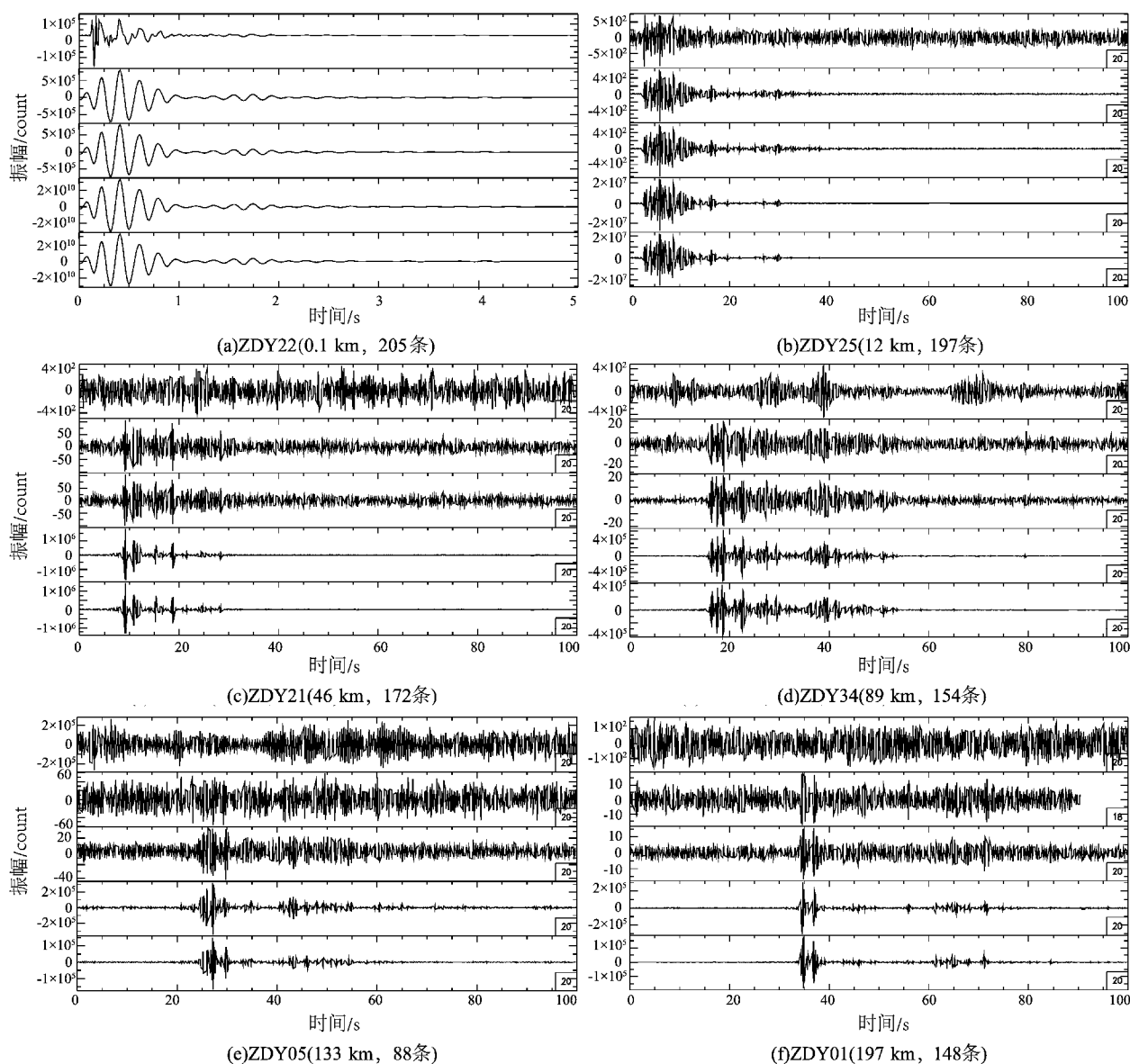


图7 张掖台不同距离台站不同叠加方法(顺序同图6a)信号效果对比

Fig. 7 Comparison of signal stacking effect between different stations in Zhangye (see Fig. 6a for details)

的地下介质变化等地震资料处理过程都至关重要。同时, 叠加信号的震相更加清晰, 有利于拾取直达波、反射波和折射波震相, 提高大陆地壳三维地下结构成像精度和准确性, 对分析地球内部动力学演化过程等一系列后续研究也有重要意义。

对各地震信号发射台的建设和维护人员致以最衷心的感谢。

#### 参考文献:

陈蒙. 2014. 利用水库大容量非调制气枪阵列进行区域尺度地下结构探测和监测[J]. 国际地震动态, (3): 41-42.

陈颢, 王宝善, 葛洪魁, 等. 2007. 建立地震发射台的建议[J]. 地球科学进展, 22(5): 441-446.

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.

刘必灯, 李小军, 周正华, 等. 2011. 气枪震源地震动效应分析[J]. 地震学报, 33(4): 539-544.

唐杰, 肖广锐, 方兵. 2014. 主动源勘探中震源编码与解码方法[J]. 物探与化探, (3): 552-557.

王宝善, 葛洪魁, 王彬, 等. 2016. 利用人工重复震源进行地下介质结构及其变化研究的探索和进展[J]. 中国地震, (2): 168-179.

王宝善, 杨微, 王伟涛, 等. 2013. 利用大容量气枪监测北天山地壳介质变化[C]//中国地球物理2013——第十二专题论文集.

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.



- 徐逸鹤,王宝善,王伟涛. 2016. 利用固定台站分析长江激发气枪信号特征[J]. 中国地震, 32(2): 282–294.
- 杨微. 2013. 区域尺度主动源探测技术及试验研究[D]. 北京: 中国地震局地球物理研究所.
- 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): 601–612.
- CHÁVEZ – GARCÍA F J, RODRÍGUEZ M. 2007. The correlation of microtremors: empirical limits and relations between results in frequency and time domains[J]. *Geophysical Journal International*, 171(2): 657–664.
- HARJES H P, HENGER M. 1973. Array – seismologie[J]. *Zeitschrift für Geophysik*, 39: 865–905.
- HILLERS G, CAMPILLO M, LIN Y Y, *et al.* 2012. Anatomy of the high – frequency ambient seismic wave field at the TCDP borehole[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B6): 6301.
- KENNETT B L N. 2000. RESEARCH NOTE Stacking three – component seismograms[J]. *Geophysical Journal International*, 141(1): 263–269.
- LEE W H, KANAMORI H, JENNINGS P C, *et al.* 2002. Earthquake and Engineering Seismology[M]. New York: Academic: 269–281.
- LIU H, NIU F. 2012. Estimating crustal seismic anisotropy with a joint analysis of radial and transverse receiver function data[J]. *Geophysical Journal International*, 188(1): 144–164.
- LUMLEY D E. 2004. Business and technology challenges for 4D seismic reservoir monitoring[J]. *The Leading Edge*, 23(11): 1166–1168.
- POLI P, CAMPILLO M, PEDERSEN H, *et al.* 2012. Body – wave imaging of Earth's mantle discontinuities from ambient seismic noise[J]. *Science*, 338(6110): 1063–1065.
- ROST S, THOMAS C. 2002. Array seismology: Methods and applications[J]. *Reviews of geophysics*, 40(3): 1008.
- SCHAFF D P, BEROZA G C. 2004. Coseismic and postseismic velocity changes measured by repeating earthquakes[J]. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 109(B10): 67–85.
- STOCKWELL R G, MANSINHA L, LOWE R P. 1996. Localization of the complex spectrum: the S transform[J]. *IEEE transactions on signal processing*, 44(4): 998–1001.
- 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 and Engineering*, 7(4): 388.
- ZENG X, THURBER C H. 2016. A Graphics Processing Unit Implementation for Time – Frequency Phase – Weighted Stacking[J]. *Seismological Research Letters*, 87(2A): 358–362.

## The Influence of Noise on the Stacking Effect of Airgun Signal and the Automatic Data Screening Method

JIANG Shengmiao<sup>1</sup>, WANG Baoshan<sup>1</sup>, ZHANG Yunpeng<sup>1</sup>, CHEN Yong<sup>1,2</sup>

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

(2. School of Earth Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, Jiangsu, China)

### Abstract

In order to eliminate the influence of small seismic events and strong noise for the stacking effect of airgun signal, we propose a new method based on noise characteristics—Root Mean Square (RMS) screening method. It chooses the signal noise level as screening criteria to remove the strong noise signal and is embedded in the automatic processing of massive airgun data. Practical application results show that the results of RMS screened linear and time – frequency domain phase weighted stacking are better than that of the conventional linear and phase weighted stacking method. Thereby it can increase the distance stations of weak signal detection effect and is of great significance to a series of subsequent researches on airgun signals.

**Keywords:** airgun signal; active seismic source; automatic processing; RMS screening method