

Research on Noise Suppression Technology of 3D Vibroseis Data in the Desert Area of Tarim Basin

Junjie He^{1,2,3} Bingqiang Yuan^{1,2} Fan Huang³ Xianjun Gao³ Ruiqing Hu³

1.School of Geoscience and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

2.Shaanxi Key Laboratory of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

3.BGP Inc., CNPC, Zhuozhou, Hebei, 072750, China

Abstract

Due to the poor condition of surface excitation and reception conditions in the desert area of Tarim Basin, the surface wave noise and linear noise generated by vibroseis source are much more serious than that of downhole excitation, and the vibroseis source collects data near the shot point, the shallow surface energy is very strong, the distant and deep energy attenuation is extremely fast. Therefore, how to effectively suppress the noise of vibroseis source data to improve the signal-to-noise ratio with large-scale application has become the most urgent task in desert areas. The linear coherent noise suppression and low-frequency residual noise linear suppression technology in source field are designed in this paper for the promotion of vibroseis source technology in the desert area by analyzing the formation mechanism and characteristics of the noise in the desert area. It also provides a good technical support for the popularization of vibroseis 3D seismic exploration technology in the desert area.

Keywords

noise suppression; vibroseis; desert area

塔里木盆地沙漠区可控震源三维资料噪音压制技术研究

何俊杰^{1,2,3} 袁炳强^{1,2} 黄帆³ 高现俊³ 胡瑞卿³

1. 西安石油大学地球科学与工程学院, 中国·陕西 西安 710065

2. 陕西省油气成藏地质学重点实验室, 西安 710065

3. 中国石油东方地球物理公司研究院, 中国·河北 涿州 072750

摘要

由于塔里木盆地流动大沙漠区的地表激发和接收条件很差, 可控震源激发产生的单炮面波噪音和线性相干噪音异常发育, 近炮点、浅表层能量极强, 远道和深层能量衰减极快。因此, 如何有效压制可控震源资料噪音, 提升单炮信噪比, 成为解决可控震源在沙漠区规模化应用中最为紧迫的任务。论文详细分析了沙漠区可控震源地震资料噪音的形成机理和特点, 针对性设计了近道强能量变观采集数据的炮域线性相干噪音压制与低频残留噪音的规则线性化压制技术, 在实际工作中取得了比较明显的噪音压制效果, 资料品质显著提升, 也为可控震源三维地震勘探技术在大沙漠区中的推广提供了很好的技术支持。

关键词

噪音压制; 可控震源; 沙漠区

1 引言

可控震源作为具有安全、环保、高效的激发方式, 在国际上使用率达到80%以上, 基本上形成了针对各种地形、各种采集要求的较为成熟的技术, 但中国使用率低, 尤其在沙漠区应用极少。目前针对可控震源高效采集噪音及压制方法的研究主要集中在准噶尔盆地和吐哈盆地等可控震源性能发挥好、激发条件好的地区; 噪音压制方面的研究重点在识别和统计机械噪音、谐波干扰。但在大沙漠区可控震源施工难度大, 最大出力一般只能到60%, 单炮面波和信噪比和戈壁区有极大的差异, 以往的噪音分析和压制

方法参考价值不大。因此, 有必要对沙漠区可控震源噪音进行分析和噪音压制方法研究, 形成有针对性的可控震源配套噪音压制技术。

论文立足实际资料, 结合可控震源激发特点和施工方式, 详细分析了影响可控震源资料信噪比的近排列强噪音和线性相干噪音的特点, 并对以往的压制方法进行优化, 提出分频、分区, 有针对性的叠前去噪方法, 有效地提高叠前道集信噪比。

2 近道强噪音压制技术

2.1 近道强噪音形成和影响

大沙漠区可控震源施工前会压实激发点附近的地表, 但是由于沙丘流动性强、表层松软压实地面只能起到震源

【作者简介】何俊杰(1989-), 男, 中国湖北天门人, 本科, 工程师, 从事地震资料处理方向研究。

施工性能稳定并不能真正改变地表激发条件。震源振动时，一方面震板和附近沙子产生共鸣现象，出力越大震源附近沙丘会整体发生共振消耗大部分的震源能量同时产生共振干扰；另一方面由于可控震源液压系统的非线性因素，以及震源平板与大地的非耦合性，使得电信号产生为机械信号时发生畸变，从而不可避免的产生谐波干扰。这几类不同原因产生的干扰信号都集中在震源附近，因此近排列集中了60%的震源能量和干扰波，其分布形态随着记录时间的增加呈扇形，扇形区域能量集中，干扰波发育，几乎看不见有效信号；而井炮资料近排列除低频干扰外，有效信号实际上很强而且信噪比高（如图1所示）。这就是沙漠区可控震源资料处理中遇到的最严重的一种近道强噪音^[1]。

这种近道强噪音的分布范围和面波分布范围重合，初次接触会让人误以为属于面波，实际上它是面波、共振、震源噪音的混合体。这一点通过频谱分析可以看出（如图2所示），可控震源近道强噪音的频率范围包含了面波，而且频宽远远超过面波，因此我们认为常规去噪方式已经不能满足可控震源激发产生的近道强噪音^[2]。

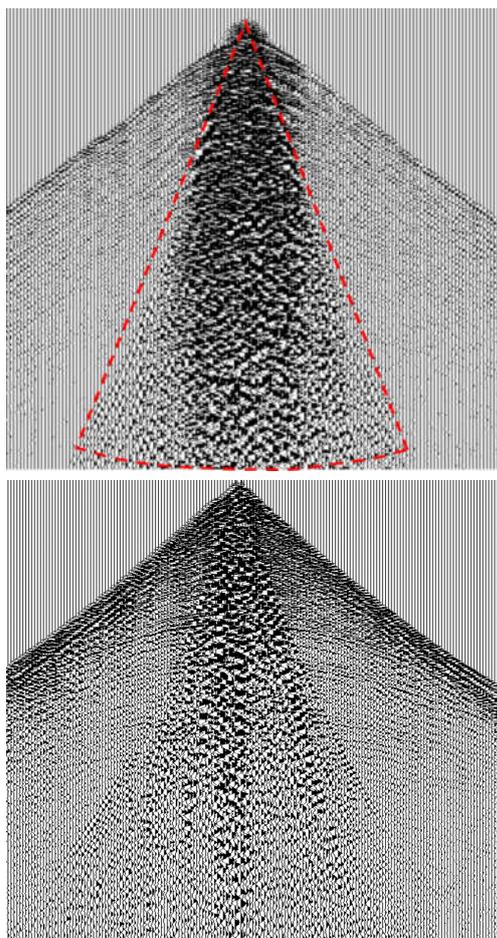


图1 相同位置可控震源（上）和井炮（下）激发单炮

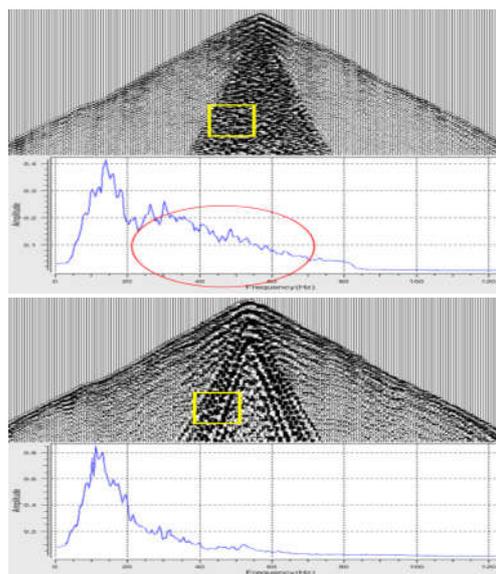


图2 相同位置可控震源（上）和井炮（下）“近道干扰”频谱

2.2 近道强噪音压制思路和方法

通过近道强噪音在单炮中的表现形式和频率特点，通过分频、分区的方法应该能有较好的效果，其中分频代表的是近道强噪音中低频面波特征明显，可以通过传统的KL变换压制低频规则的面波；分区是指在去掉能量较强形态较规则频率低的面波的基础上根据残余的近道强噪音的影响范围，划定边界，通过采用带通滤波因子，分成多个频带数据，每个频带的的数据经过分频精细处理，每个分频数据都尽可能的突出有效波根据压制阈值自动识别，再根据衰减因子压制高频强噪音能量，最终使近排列扇形区的能量与整炮能量趋于一致，达到压制近炮点强能量干扰的目的^[3]。具体计算公式为

$$\hat{x}(t) = x(t) \cdot c(t) \quad (1)$$

$$c(t) = \begin{cases} \alpha(t) \cdot E(t) / H(t) & H(t) > thr(t) \cdot E(t) \\ 1.0 & H(t) \leq thr(t) \cdot E(t) \end{cases} \quad (2)$$

式中： $\alpha(t)$ 是衰减系数； $E(t)$ 是随时间变化的能量曲线； $H(t)$ 是地震数据； $thr(t)$ 是压制阈值，利用阈值值自动识别近道强噪音，再根据衰减因子压制噪音能量。

3 线性相干噪音压制技术

3.1 可控震源线性噪音在不同域中表现形式发生变化

线性相干噪音在沙漠区可控震源激发单炮中非常发育，从地面激发产生的地震波首先穿过沙丘表层速度极低的流沙，然后穿过浅层低降速带到达潜水面，相比于井炮在潜水面以下激发不可避免的产生更多线性噪音。

从图3可控震源典型单炮可以看出，线性噪音主要分为两种，一种是黄色区域的浅中层高频规则线性噪音，表现为影响偏移距范围大，频率高，规则性强；另一种是红色区域的中深层近排列低频面波残余和低频相干噪音，变现为频

率低，能量强，不规则^[4]。

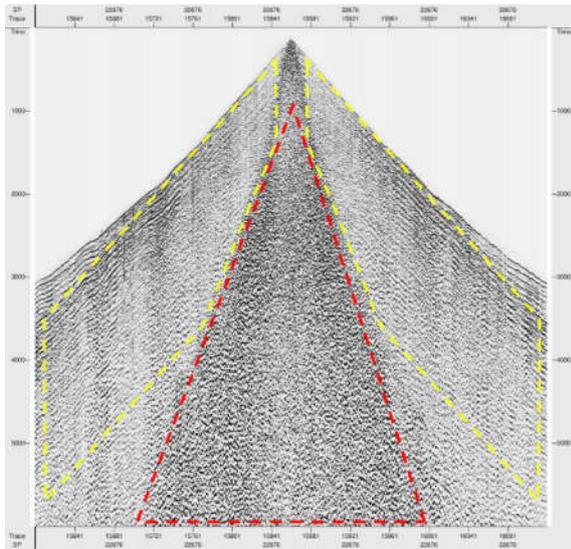
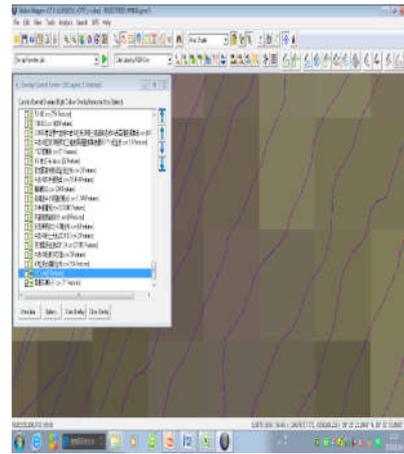


图3 沙漠区可控震源单炮中的线性噪音（炮域）

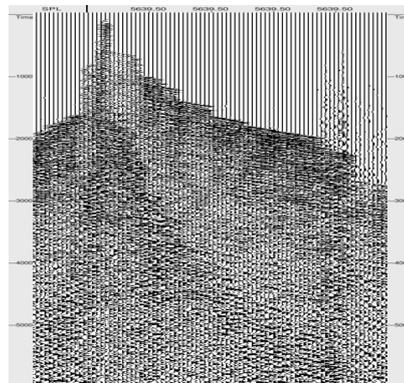
以往常用的线性噪音压制方式为检波点域相干噪音压制或FKK十字域压制，因为线性噪音在检波点域或十字域极为发育，相干性较强。但是这个经验对于沙漠区可控震源采集并不完全适用，主要原因在于可控震源地面激发的施工方式使得检波点域的相干噪音和炮域相干噪音基本一致（以往井炮在检波点域线性噪音更发育），而十字域由于可控震源施工时必须考虑震源的通过性问题，如图4（a）所示。在障碍物集中区和大沙漠区可控震源经常无法按设计到达指定位置，炮点会提前变观，变观后的激发点分布不规则，如图4（b）所示。因此，在十字域和检波点域无法获得规则的空间采样，如图4（c）所示，而由于检波点基本能够按照理论设计点布设，所以最终发现可控震源线性噪音在检波点域和十字域噪音表现形式不如炮域^[5]。在实际资料试验过程中发现线性噪音的发育情况基本和上述认识一致。



(a) 高大沙丘



(b) 炮点布置位置



(c) 十字域子集

续图4 大沙漠区可控震源施工时图及十字子集

3.2 线性相干噪音压制思路和方法

根据沙漠区可控震源线性噪音在各域分布特点和震源实际施工方式可以将线性噪音压制分成两步，第一步压制浅中层高速高频线性噪音，第二步压制中深层近炮点低频低速面波残余和短线性噪音。具体思路如下：

①浅中层高频线性噪音在检波点域的形态和炮域相比没有明显的优势，炮排距远大于检波点距，检波点域空间采样密度比炮域小很多，所以应该在炮域压制线性相干噪音^[6]。其原理公式为

$$E_{j_0}(i) = \sum_{j=j_0-\frac{k}{2}}^{j_0+\frac{k}{2}} \sum_{j=j_0-\frac{k}{2}}^{j_0+\frac{k}{2}} A(i, j) \quad (3)$$

$E_{j_0}(i)$ 为振幅值， i 为倾角， j 为采样点

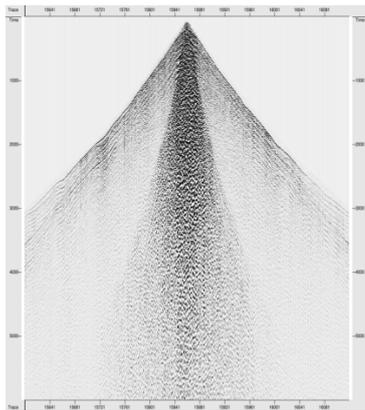
这种方法在t-x域进行处理，首先在时间域通过倾斜能量扫描的方式自动识别相干噪音，然后把识别出的噪音减去，被减去的噪音主要集中在干扰波覆盖区域，干扰波覆盖区域外的地震数据不受影响。因而能保持地震数据原有波形特征，对于震源相干噪音有较好的识别和压制效果，保护弱反射波。

②低频面波残余和低频线性噪音，这部分噪音在炮域形态不规则，可以使用十字排列锥形滤波将它们转变成规则线性噪音加以压制^[7]。

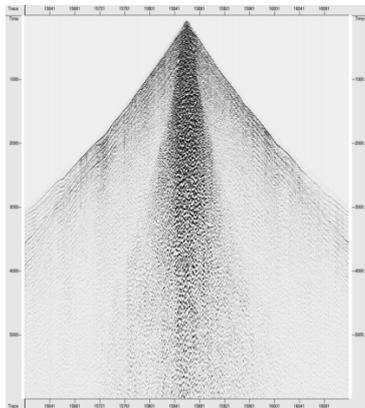
图4 大沙漠区可控震源施工时图及十字子集

4 应用效果

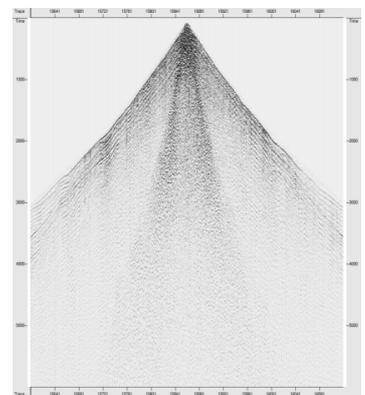
在塔里木盆地流动大沙漠区可控震源采集项目中,针对可控震源资料使用以上两种方法的叠前去噪效果非常明显,图5为近炮点强能量噪音压制的效果展示,可以看出低频规则面波和残余的近道强噪音得到了明显压制,也未明显损失有效信号;图6为线性噪音压制效果展示,可以看出,使用炮域相干噪音压制结合十字排列锥形滤波的方式,单炮线性噪音得到较好压制,单炮品质进一步提高;图7为采用针对性去噪后的叠前深度偏移剖面效果,可以看出采用针对性的去噪流程和方法后,深层信噪比提升明显^[8]。



(a) 压制前单炮

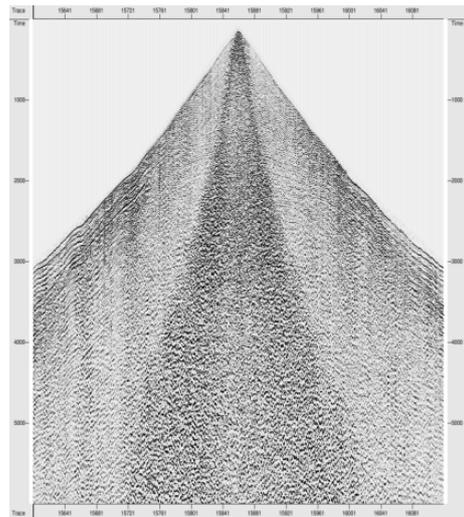


(b) 压制规则面波后单炮

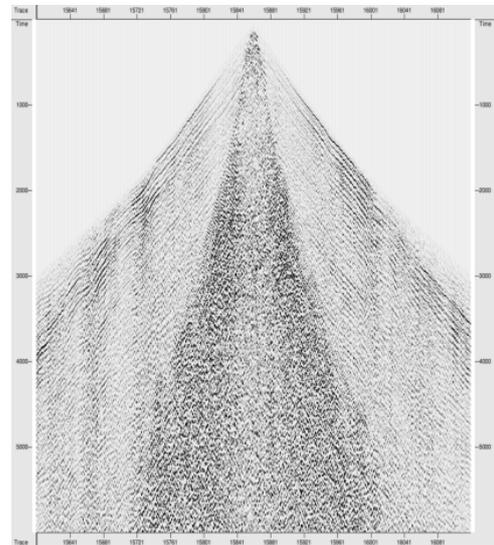


(c) 压制近排列强能量后单炮

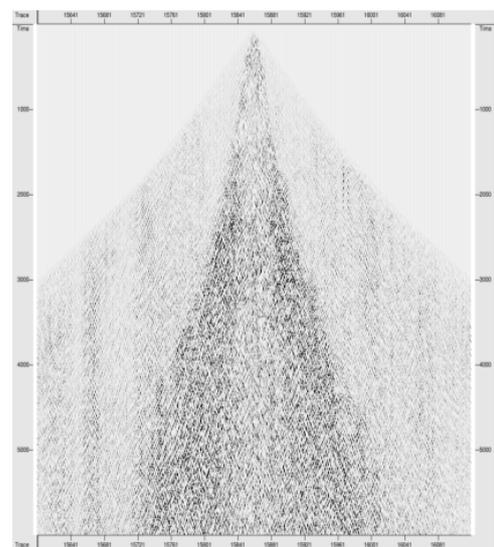
图5 近排列强噪音压制效果



(a) 压制前单炮

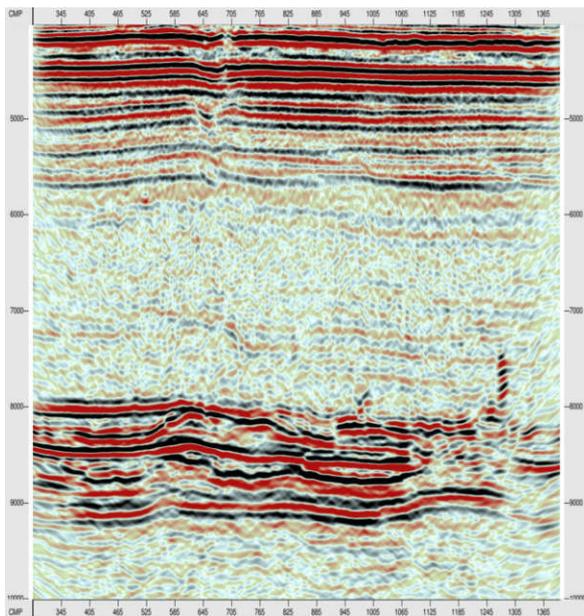


(b) 压制规则线性后单炮

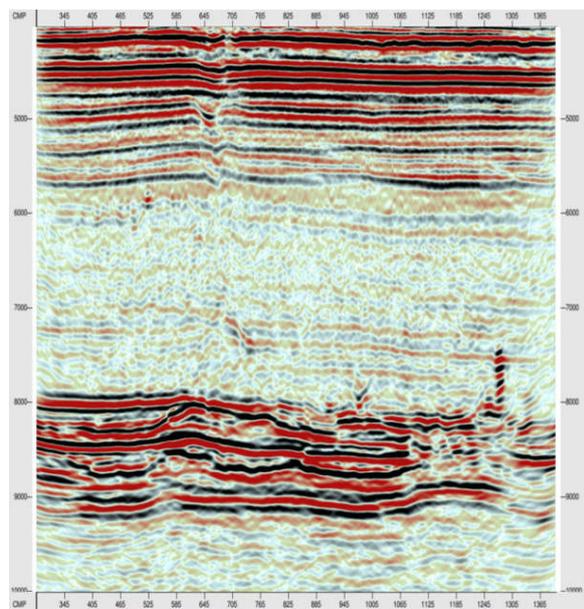


(c) 压制低频线性后单炮

图6 线性噪音压制单炮效果图



(a) 传统常规去噪后叠前深度偏移剖面



(b) 针对性去噪后叠前深度偏移剖面

图7 叠前深度偏移剖面效果对比

5 结论

可控震源在沙漠区应用较少,尤其是三维高密度采集项目更是很少应用,原因主要是沙漠野外条件恶劣,可控震源虽然环保但是施工难度比井炮要大得多,成本高,而且可控震源单炮品质远低于井炮,但是随着处理水平的不断进步,其应用前景广阔。论文依托塔里木油田首块大沙漠区可控震源高效采集项目,深入研究可控震源采集噪声产生机理和表现形式,采用新方法和新思路在叠前去噪方面取得明显的效果,有效改善了资料品质,并取得两点经验:

①可控震源在沙漠区激发能量主要集中在近排列,各类干扰波在近排列极重,常规面波压制模块不能去掉复杂的近排列强噪音,必须加以识别,有针对性的衰减强噪音能量,提高深层信噪比。

②可控震源在沙漠区激发受地表因素的影响,线性噪音在传统十字域局部空间采样不规则,去噪效果有限。通过使用炮域线性相干噪音压制结合十字排列域去噪的组合去噪方式,取得了不错的效果。

参考文献

- [1] 丁伟,胡立新,何京国.可控震源高效地震采集技术研究及应用[J].石油物探,2014,53(3):338-343.
- [2] 陶知非,赵永林,马磊.低频地震勘探与低频可控震源[J].物探装备,2011,21(2):71-76.
- [3] 徐阳,罗明璋,王智.广义S变换与二维离散小波变换联合压制面波[J].石油物探,2018,57(3):395-403.
- [4] 张军华,全兆岐,何潮观,等.在f-k域实现三维波场道内插[J].石油地球物理勘探,2003,38(1):27-30.
- [5] 张恽平,夏洪瑞,董江伟.循环中值滤波在消除可控震源地震资料噪声中的应用[J].江汉石油职工大学学报,2009,22(2):93-96.
- [6] 曹静杰,杨志权,杨勇,等.一种基于曲波变换的自适应地震随机噪声消除方法[J].石油物探,2018,57(1):72-78.
- [7] 夏洪瑞,葛川庆,彭涛.小波时空变阈值去噪方法在可控震源资料处理中的应用[J].石油地球物理勘探,2010,45(1):23-27.
- [8] 李振春,曲英铭,韩文功,等.可控震源两种谐波产生机理与特征研究[J].石油物探,2016,55(2):159-172.