

doi: 10.11720/wtyht.2019.0007

陶建,李斌,周夏婉.相位匹配技术及其在压制 OBN 地震鸣震中的应用[J].物探与化探,2019,43(2):380-385.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.0007

Tao J, Li B, Zhou X W. Phase matching technology and its application in suppressing OBN reverberation[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(2):380-385.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.0007

相位匹配技术及其在压制 OBN 地震鸣震中的应用

陶建¹, 李斌², 周夏婉¹

(1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 中石化海洋石油工程有限公司 上海物探分公司, 上海 201208)

摘 要: 通过对比海底节点(OBN)地震水检数据(P)和陆检数据(Z)的相位差,将相似系数准则改进并引入到 OBN 水陆检数据相位匹配中,从而消除两种检波器数据的相位差异;在频率匹配的基础上,用匹配滤波方法对陆检数据进行振幅匹配,之后进行双检数据 PZ 合并以压制海底鸣震。经理论模型测试和实际资料处理,表明改进的相似系数法可以快速、准确地校正陆检数据的相位差,PZ 合并压制鸣震取得了较好的效果。

关键词: 海底节点地震(OBN);水陆检数据;相位匹配;鸣震压制

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2019)02-0380-06

0 引言

在海底节点地震(OBN)采集的四分量数据中,检波器接收到的地震波,除了一次波外,还有经过海面反射产生的下行波,通常称之为鬼波(鸣震)。鬼波在地震记录中往往会使有效波与多次波同相轴互相影响甚至出现虚假同相轴的情况。因此,非常有必要寻找一种行之有效的方法来消除地震资料中的鬼波。1989 年, Barr 等^[1]首次提出了双检合成技术消除鬼波的方法,其基本原理是由于速度检波器响应是地震波场传播引起的质点振动速度,而压力检波器响应是通过水压产生的压缩或膨胀作用,故压力检波器接收的信号是标量,没有正负,速度检波器接收的信号是矢量,因而两种检波器对下行鬼波的响应极性相反,而上行有效反射波的极性相同,利用这一特征可以将速度检波器与压力检波器接收的记录合成达到压制鸣震的效果。事实上,因为两种检波器在制造结构上有差异以及所接收物理量的不同,二者在理论上存在 90°相位差,在振幅上也存在很大的差别,虽然在出厂时可能经过相位调校,但在实际海洋环境下所接收到的信号,其振幅、相位、频

率均存在差异,故直接合成进行振幅标定求和难以有效地压制鬼波。所以,必须把陆检数据标定到相应的水检数据,以使二者反射同相轴具有相同的幅度、相位、频率,实现水陆检数据匹配。

随着双检采集技术的发展,许多学者相继研究过水陆检数据的匹配问题,如 Soubaras 等^[2]提出了海底反射系数的计算方法并提出交叉鬼波的概念。Weglein^[3]、Amundsen^[4]等对双检数据进行了波场分离,并获得了去鬼波之后的上行波场^[5-8];2008 年, Tilman^[9]消除了双检数据由二维扩展到三维时产生的空间假频的现象;2009 年, Klüver^[10-11]等人采用克希霍夫偏移对双检数据进行波场重构,将数据拓展到了三维,有效丰富了数据中的低频信息,并且也解决了空间假频问题。

然而,这些方法都假设接收到的地震记录不含噪声,水陆检波器在海底的耦合非常好。而实际数据不但受炮点交混回响的污染,而且还受随机噪声和相干干扰的干涉。考虑到各种噪声和环境变化, Vaughn^[12]等提出的双传感器求和不但存在着振幅标定因子,而且存在着常相位因子。即只有同时估算准确的振幅标定因子和相位因子,才能实现水陆检数据的匹配。在这方面,常规处理方法采用扫描

收稿日期: 2019-01-03;修回日期: 2019-02-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(41874123);中央高校基金科研业务费专项资金(300102268401)

作者简介: 陶建(1985-),硕士研究生,主要从事海洋地震信号处理方向的研究工作。Email: 1013320954@qq.com

方法确定相位匹配因子,即预先设定一个相位匹配因子范围值和扫描步长^[12-17],采用扫描方法给出一系列的相位匹配因子值,调整陆地检波器数据相位,以匹配水中检波器数据的相位,然后计算水中检波器数据和陆地检波器数据的互相关函数,由互相关函数计算最大能量,最后由最大能量值确定出最佳相位匹配因子。该方法需要大量的互相关计算和最大能量计算,运用常规处理方法对实际资料一炮数据进行相位校正需要 1 h 左右,因此计算非常费时^[18]。

笔者运用相似系数准则进行水陆检相位差的求取,并对陆检数据进行相位匹配,为之后的振幅匹配以及海洋鸣震的压制做好前期工作。随后又运用匹配滤波的方法进行振幅匹配,之后进行水陆检合并压制鸣震,通过模型和实际数据验证了该方法可以有效进行水陆检相位匹配,并且之后压制鸣震也取得了较好的效果。

1 相位匹配处理

相位校正的关键在于正确拾取相位校正量,即依据一定的判别准则拾取校正量。1996 年, Vaughn^[12]等提出预先给定相位扫描范围及扫描步长,然后通过求取互相关的反傅里叶变换得出不同相位的 $X(t)$,其公式为^[12]:

$$X(t) = \sum_{\omega} (\Phi_{gh} + \Phi_{hg}) e^{i\omega t}, \tag{1}$$

式中: Φ_{gh} 和 Φ_{hg} 是水陆检的互相关。用不同相位对应的 $X(t)$ 成图,比较得出其中振幅最小所对应的角度即为最佳校正角。

在陆地上进行地震采集时,当有测井资料可用时,以零相位合成记录作为标准道,用最大相似系数为判别准则拾取最佳相位是一种可靠的方法,从而使动校正以及之后的叠加剖面更加准确。相似系数计算公式为^[19]:

$$C_j = \frac{\sum_{t=t_1}^{t_2} x_j(t)x(t)}{\sqrt{\sum_{t=t_1}^{t_2} x_j^2(t) \sum_{t=t_1}^{t_2} x^2(t)}}, \tag{2}$$

式中: $x(t)$ 为测井零相位合成记录, t_1 到 t_2 为相关时间窗, C_j 为井旁的第 j 个相移记录与合成记录的相关系数。

现将此方法应用到水陆检数据相位匹配中来,如前所述,OBN 水陆检数据存在相位差,并且相位校正是为了将陆检数据的相位校正到与水检数据一

致,故可以将水检数据作为标准道,并对相似系数的公式进行改进,使相似系数是在给定时间范围内的扫描结果,即:

$$C_j = \max \left\{ \frac{\sum_{t=t_1}^{t_2} x_j(t + \tau)x(t)}{\sqrt{\sum_{t=t_1}^{t_2} x_j^2(t + \tau) \sum_{t=t_1}^{t_2} x^2(t)}} \right\}, \tag{3}$$

$\tau = -1, -1 + \Delta t, \dots, -\Delta t, 0, \Delta t, \dots, 1$

其中, τ 为时差, $-1 \sim 1$ 为水检记录与陆检记录的对比时差范围,一般对比时差扫描窗口的选取要包含海底反射波,长度是海底反射波的两倍左右。

通过对相似系数进行扫描,就省略了大量的互相关和自相关的计算,从而可以节省大量的时间,应用该方法对实际资料一炮数据进行相位校正需要 12 min 左右,花费时间大约为常规方法的五分之一。

2 模型测试

建立如图 1 所示的水平层状模型,模拟海底节点地震采集,检波器位于海底。其中虚线为海洋鸣震的路径,实线为一次波的路径。参数如下:第 1 层为水层,深度为 100 m,速度为 1 500 m/s,密度为 1 000 kg/m³;第 2 层是厚度为 300 m,速度为 1 600 m/s,密度为 1 500 kg/m³ 的水平地层;第 3 层的速度为 1 800 m/s,密度为 2 000 kg/m³。炮点坐标为 (500,0),检波器置于海底,共 401 道,布设在 (0,100) 到 (1000,100) 之间,道间距为 2.5 m。最小偏移距为 0 m,模拟的采样间隔为 1 ms。因为在陆地上应用相似系数准则时,是用测井资料的零相位合成记录作为标准道的,但混合相位合成的地震记录更接近 OBN 数据。故为了检验该方法在 OBN 数据中的适用性,分别用如图 2 所示的零相位子波和混合相位子波去模拟水陆检的地震记录。

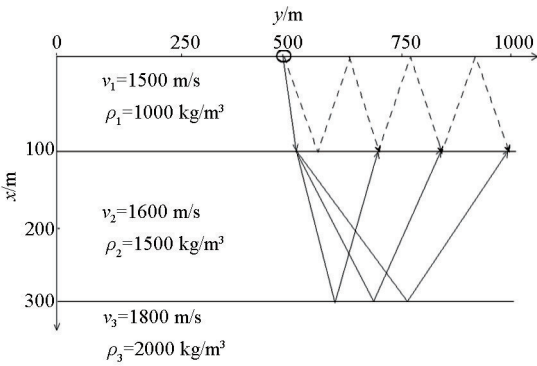


图 1 海底节点地震理论模型
Fig.1 Seismic theoretical model of submarine joints

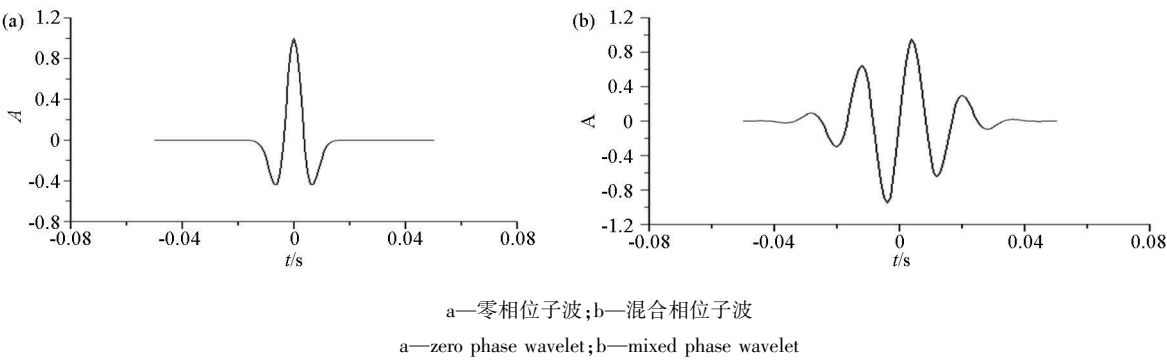
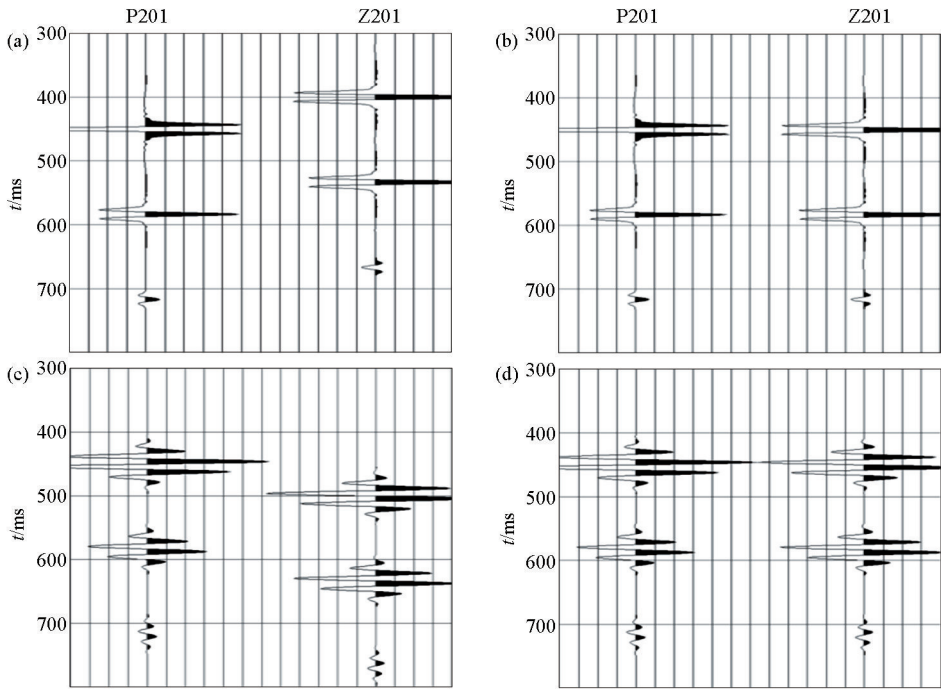


图 2 用于合成地震记录的地震子波

Fig.2 Seismic wavelet for synthetic seismic recording

分别抽出两个不同子波模拟的水陆检记录的第 201 道进行相位校正,如图 3 所示,发现图 3a 中陆检相位比水检提前,图 3c 中水检相位比陆检提前。用相似系数法进行相位校正,扫描窗口选取 300 ~

700 ms,选择模拟的水检记录作为标准道。校正后记录如图 3b、3d 所示,发现相位差得到了校正,水陆检相位相似。该模型测试说明了相位系数法可以有效地校正水陆检相位差。



a—零相位子波模型相位校正前;b—零相位子波模型相位校正后;c—混合相位子波模型相位校正前;d—混合相位子波模型相位校正后
a—before phase correction of zero-phase wavelet model;b—zero phase wavelet model phase correction;c—pre-phase correction of mixed phase wavelet model;d—phase correction of mixed phase wavelet model

图 3 由 OBN 理论模型模拟的双检波器相位匹配校正实验(第 201 道记录)

Fig.3 Double detector simulated by OBN theory model(Channel of the 201st record)

3 实际数据处理

选取某勘探区实际 OBN 数据为例对上述方法进行验证。该数据为海面激发、海底接收采集的 OBN 四分量地震数据,其海底鸣震比较发育。对实际资料进行分析,发现水陆检数据的相位、振幅、频率均有差异。在用带通滤波进行频率匹配以及匹配

滤波方法进行振幅匹配的基础上,用相似系数准则进行相位匹配。首先抽取某一共检波点的水陆检不同道进行相位对比,发现不同道的水陆检相位差是不同的。例如第 100 道陆检相位比水检相位提前,第 250 道水检相位比陆检相位提前,如图 4a、4b 中虚线所示。对其用上述方法进行校正,发现陆检数据校正后跟水检数据相位相似,如图 4a、4b 中实线所示。对整个共检波点陆检数据进行相位校正,可

以得到每道的相位校正角,如图 5 所示。并将得到的校正角应用于对应的陆检数据中,可以完成水陆检相位匹配的工作。相位校正完成后下一步可以进行振幅匹配,这里应用的是匹配滤波的方法^[20]。对匹配前后的水陆检记录进行对比,如图 6,可以看出匹配前的水陆检数据相位差异比较大,陆检数据的振幅比水检数据的振幅要小,匹配后的水陆检数据相位和振幅匹配比较好,之后进行水陆检合并从而压制鸣震。抽出压制鸣震后的某一道和之前的对应道进行对比,如图 7,该区的声波在海水中的传播速度为 1 500 m/s 左右,水深 80 m 左右,炮检距是 150 m,故可以推断出鸣震在该道上大致出现的位置,经

处理后可以发现鸣震得到了较好的压制(红色箭头处)。并且水陆检匹配合成后的记录可以有效扩宽海底节点数据有效频带,如图 8,可以看出合成后的数据频谱明显得到了提升。对实际共检波点数据进行处理,如图 9,对比水检和双检合成记录可以看到,由于鸣震的影响,在水检记录上,多次波现象比较显著,鸣震与有效波混合在了一起,同相轴数目比较杂乱,资料的分辨率也不高;从双检合并后的记录上可以明显看出,分辨率明显得到了提高,同相轴数目比水检记录减少,鸣震得到很好的压制(黑色标记处),有效波得以突出,地震资料品质大大提高。证明了本方法在压制鸣震方面的有效性和可行性。

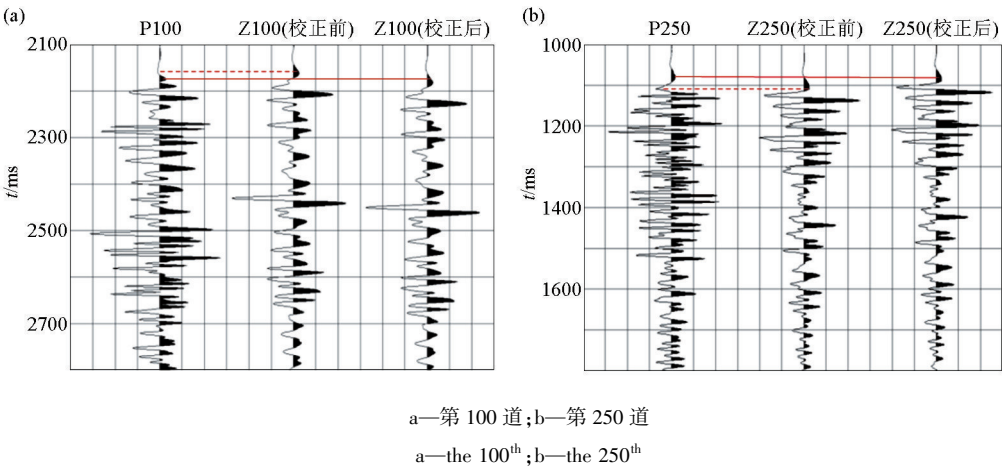


图 4 OBN 共检波点道集上不同地震道双检波器相位校正前后对比

Fig.4 Contrast before and after phase correction of dual geophones with different

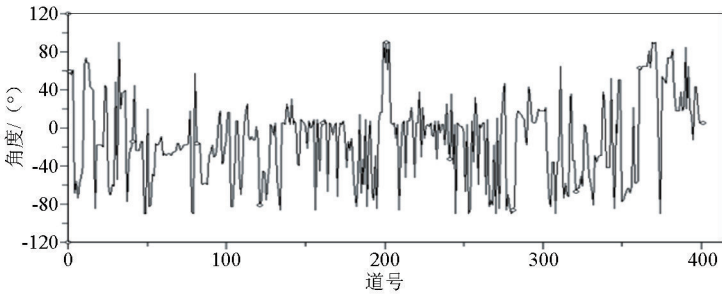


图 5 共检波点道集陆检数据相位校正角

Fig.5 Phase correction angle of common detection point track collection land data

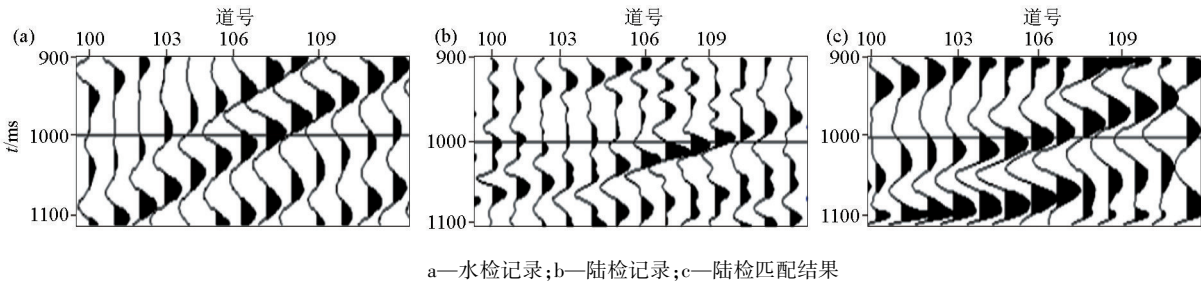


图 6 陆检匹配前后对比

Fig.6 Contrast before and after land inspection matching

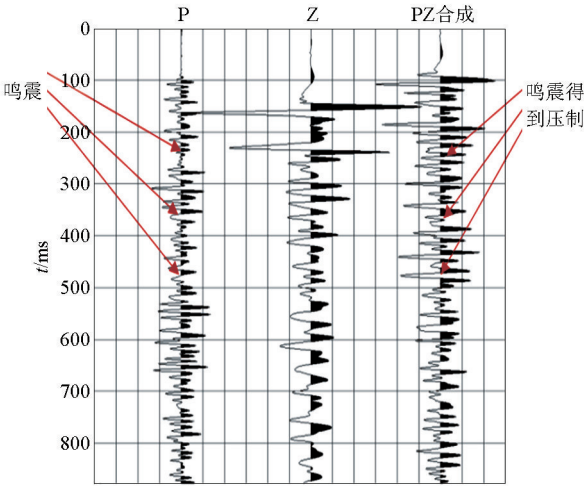


图 7 水陆检某一道压制鸣震效果对比

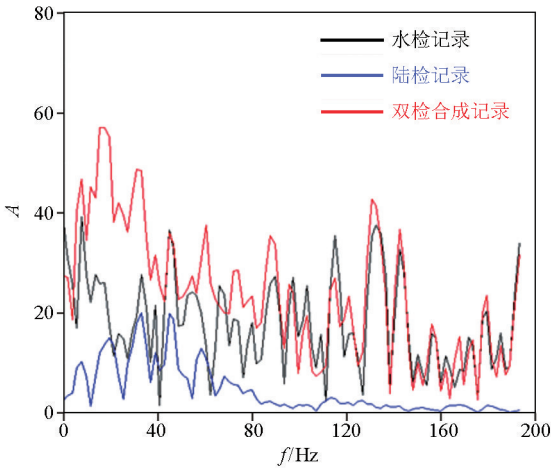
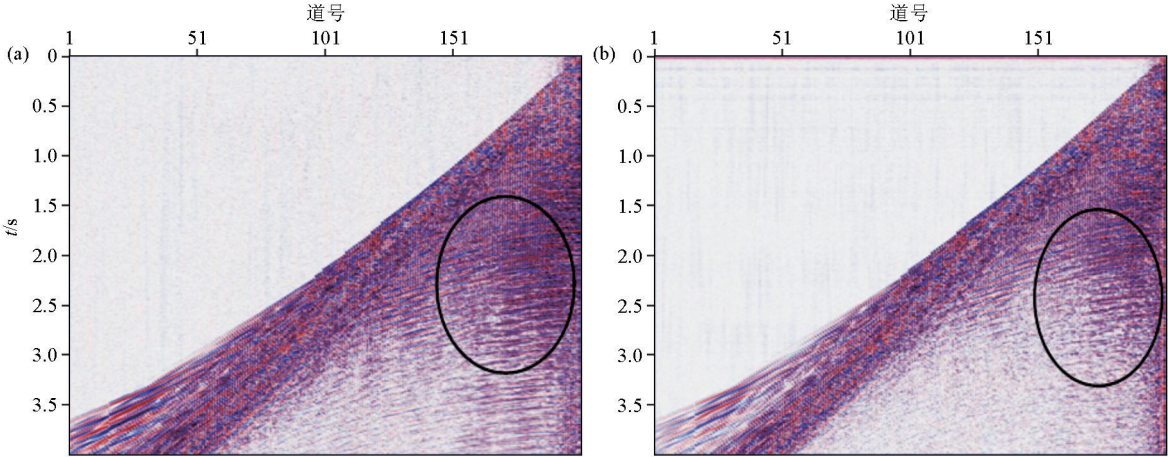


图 8 水陆检合并叠加数据频谱对比

Fig.7 Contrast of suppressing reverberation effect between Hydrophone and Geophone

Fig.8 Spectrum comparison of combined overlapping data of Hydrophone and Geophone



a—压制鸣震前水检记录;b—压制鸣震后水陆检合并记录

a—suppression of Hydrophone records before reverberation;b—consolidated records of Hydrophone and Geophone after suppressed reverberation

图 9 实际共检波点数据压制鸣震效果对比

Fig.9 Contrast of suppressing reverberation effect of actual common geophone data

4 结论

海上地震勘探过程中鸣震干扰问题一直是数据处理中的难题。所以,为了提高地震数据分辨率和解释精度,必须有效地压制鬼波干扰。其中双检采集技术(dual-sensor)是 20 世纪 80 年代中期发展起来的新方法。由于双检检波器对波场的上行分量响应正负性相同,对下行分量的响应正负性相反。根据这一差异,两种数据通过一定方法的相加求和,可以压制下行波场内的鬼波。但是,采集 OBN 记录的水听器 and 陆地检波器之间由于构造及采集原理的不同,使得采集的数据会存在频率、相位、振幅的差异。

故有必要在合成压制鸣震前对其进行频率、相位和振幅的匹配。

常规相位匹配方法是进行相位扫描,笔者将陆地上进行测井资料与地震资料相位匹配的相似系数法应用到 OBN 数据中,运算时间是常规方法的五分之一,节省了大量时间,提高了计算效率。

笔者在频率及相位匹配的基础上,随后又运用匹配滤波的方法进行振幅匹配,之后进行水陆检合并压制鸣震。模型及实际数据处理证明该方法可以较好的进行水陆检数据的相位及振幅匹配,并且可以较好的压制海洋鸣震。频谱分析证明本文方法有效拓宽了 OBN 数据有效频带,提高了数据分辨率。

参考文献 (References):

[1] Barr F J, Sanders J I. Attenuation of water column reverberations using pressure and velocity detectors in water-bottom cable [J]. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 1989, 8: 653-656.

[2] Soubaras R. Ocean bottom hydrophone and geophone processing [C]//Expanded Abstracts of the 66th Annual SEG Meeting, Society of Exploration Geophysicists, 1996, 15: 24-27.

[3] Weglein A B, Secrest B G. Wavelet estimation for a multidimensional acoustic or elastic earth [J]. Geophysics, 1990, 55 (7): 902-913.

[4] Ikelle L T, Amundsen L. Introduction to petroleum seismology [M]. Tulsa, OK: Society of Exploration Geophysicists, 2005.

[5] Amundsen, Rosten, Robertsson, et al. Rough-sea deghosting of streamer seismic data using pressure gradient approximations [J]. Geophysics, 2005, 70 (1): V1.

[6] Söllner W, Day A, Tabti H. Space-frequency domain processing of irregular dual-sensor towed streamer data [C]//Expanded Abstracts of the 78th Annual SEG Meeting, Society of Exploration Geophysicists, 2008: 1078-1082.

[7] Long A, Mellors T, Allen T, et al. A calibrated dual-sensor streamer investigation of deep target signal resolution and penetration on the NW Shelf of Australia [C]//Expanded Abstracts of the 78th Annual SEG Meeting, Society of Exploration Geophysicists, 2008: 428-432.

[8] Day A, Widmaier M, Hoy T, et al. Time-lapse acquisition with a dual-sensor streamer over a conventional baseline survey [J]. First Break, 2010, 28: 79-87.

[9] Tilman K. Wavefield separation for dual-sensor data with local handling of aliased energy [C]//Expanded Abstracts of the 78th Annual SEG Meeting, Society of Exploration Geophysicists, 2008: 1083-1087.

[10] Klüver T. Wavefield separation of dual-sensor towed streamer data using Kirchhoff type datuming and migration operators [C]//Expanded Abstracts of the 79th Annual SEG Meeting, Society of Exploration Geophysicists, 2009a: 2944-2948.

[11] Klüver T, Aaron P, Carlson D, et al. A robust strategy for processing 3D dual-sensor towed streamer data [C]//Expanded Abstracts of the 79th Annual SEG Meeting, Society of Exploration Geophysicists, 2009b: 3088-3092.

[12] Ball V, Corrigan D. Dual-sensor summation of noisy ocean-bottom data [J]. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 1996, 15 (1): 28.

[13] Jiao J, Trickett S, Link B. Ocean-bottom-cable dual-sensor summation: A robust approach [J]. Cspg Special Publications, 1998.

[14] Deffenbaugh M, Neelamani R. OBC multiple suppression with the Texas two-step [J]. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 1949, 24 (1): 2668.

[15] 周兴元. 常相位校正 [J]. 石油地球物理勘探, 1989, 24 (2): 119-129.

Zhou X Y. Constant phase correction [J]. Petroleum Geophysical Exploration, 1989, 24 (2): 119-129.

[16] 高少武, 周兴元, 蔡加铭, 等. 反射波地表一致性相位校正 [J]. 石油地球物理勘探, 2001, 36 (4): 480-487.

Gao S W, Zhou X Y, Cai J M, et al. Surface consistent phase correction of reflected waves [J]. Petroleum Geophysical Exploration, 2001, 36 (4): 480-487.

[17] Levy S. Automatic phase correction of common-midpoint stacked data [J]. Geophysics, 1987, 52 (1): 51-59.

[18] 高少武, 赵波, 高轩, 等. OBC 水陆检数据匹配技术 [J]. 石油地球物理勘探, 2015, 50 (1): 29-32.

Gao S W, Zhao B, Gao X, et al. OBC data matching technology for land and water inspection [J]. Petroleum Geophysical Exploration, 2015, 50 (1): 29-32.

[19] 李振春, 王希萍, 韩文功, 等. 地震数据处理中的相位校正技术综述 [J]. 地球物理学进展, 2008, 23 (3): 768-774.

Li Z C, Wang X P, Han W G, et al. A review of phase correction techniques in seismic data processing [J]. Progress in Geophysics, 2008, 23 (3): 768-774.

[20] 段云卿. 匹配滤波与子波整形 [J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41 (2): 156-159.

Duan Y Q. Matched filtering and wavelet shaping [J]. Petroleum Geophysical Exploration, 2006, 41 (2): 156-159.

Phase matching technology and its application in suppressing OBN reverberation

TAO Jian¹, LI Bin², ZHOU Xia-Wan¹

(1. College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Shanghai Geophysical Branch, SINOPEC Offshore Oil-field Services Company, Shanghai 201208, China)

Abstract: By comparing the phase difference between OBN hydrophone data (P) and geophone data (Z), the similarity coefficient criterion is improved and introduced into the phase matching of OBN data, so as to eliminate the phase difference between the two geophones data. On the basis of frequency matching, the amplitude matching of geophone data is carried out by matching filtering method, and then the dual-sensor data PZ are merged to suppress the reverberation. The theoretical model test and actual data processing show that the improved similarity coefficient method can correct the phase difference of land geophone data quickly and accurately, and the PZ combination has achieved good results in suppressing the reverberation.

Key words: ocean bottom nodes seismics; hydrophone and geophone; phase matching; reverberation suppression