

天然气勘探

倾角共反射面叠加技术 在低信噪比地震数据处理中的应用

张振波,代一丁,轩义华,刘 宾,薛志刚

(中海石油(中国)有限公司深圳分公司,广州 深圳 518067)

摘要:随着南海东部勘探进程的推进,中深层地层(珠江组到基底)成为勘探评价的主要目的层,其勘探程度决定了南海东部储量的规模。但是由于海上各种干扰因素的存在,影响到中深层地质成像的品质,制约了南海东部下一步勘探进程,提高中深层成像品质是当前南海东部亟需解决的问题。常规共中心点叠加理论是基于水平层状介质的假设前提,有一定的局限性。倾角共反射面叠加方法对地层倾角不做限定假设,地下反射面可以是任意的角度,相较于共中心点叠加理论而言更接近实际地质情况;倾角共反射面叠加技术在共反射点及其附近第一菲涅尔带内全部反射波的叠加,因此形成超级覆盖次数,能够显著提高信噪比。经过前期理论研究、资料试验及在南海东部深水区的应用,证实倾角共反射面叠加技术能够有效改善该区中深层地震资料信噪比、适用于复杂地层地质条件,能极大地提高地震资料的可解释性。相信该理论的进一步应用将有助于指导南海东部深水区的勘探、提高勘探成功率及勘探储量规模。

关键词:共反射面叠加;信噪比;倾角;共反射点;深水区

中图分类号:TE132.1⁺⁴

文献标志码:A

文章编号:1672-1926(2014)04-0582-06

引用格式:Zhang Zhenbo,Dai Yiding,Xuan Yihua,*et al.* Application of the dip angel common reflection surface stack in 3D low S/N area seismic data processing[J]. Natural Gas Geoscience, 2014,25(4):582-587. [张振波,代一丁,轩义华,等. 倾角共反射面叠加技术在低信噪比地震数据处理中的应用[J]. 天然气地球科学,2014,25(4):582-587.]

0 引言

地震资料的信噪比是地震资料处理中最基本的问题。传统的提高地震资料信噪比的关键技术思路如下:压制噪声,突出有效信号、力求实现同相叠加、处理好分辨率及信噪比的关系等^[1]。各探区围绕提高信噪比的方法研究很多^[2-8]。但当地层沉积条件复杂、地层倾角较大时,传统的提高信噪比技术不能完美的解决问题。叠加作为地震处理的三大技术之一,是压制各种噪声,提高信噪比的有效手段,而通过扩大面元增加覆盖次数是提高低信噪比地震资料叠加品质的重要途径。

德国卡尔斯鲁厄大学地球物理研究所在 20 世

纪 90 年代末提出了倾角共反射面元叠加方法(Common Reflection Surface Stack),该方法可大幅度提高地震资料信噪比和分辨率,被视为今后深层地震资料处理方法的重要发展方向^[9-10]。白云深水区是南海东部地区主要勘探评价区,该探区在陆坡深部结构、沉积充填机理及油气成藏动力学方面都表现出明显的特殊性,同时由于该区海上涌浪干扰等干扰因素的影响,该区中深层地震资料品质差、信噪比低、深部地层结构不清楚,能量反射弱,不能满足当前层序地层解释的要求,严重制约了该区区域地质和勘探目标研究的进程。经过前期理论研究及实际资料处理,证实倾角共反射面叠加技术可以有效地加强反射信息的连续性,提高信噪比,也可以与

收稿日期:2013-05-07;修回日期:2013-06-26.

基金项目:国家科技重大专项(编号:2011ZX05023-005)资助。

作者简介:张振波(1973-),男,河北赵县人,高级工程师,主要从事海洋地震资料采集、处理等研究. E-mail:zhangzhib@cnooc.com.cn.

偏移成像技术相结合,改善复杂构造成像质量^[11],极大地提高地震资料的可解释性。倾角共反射面叠加技术是提高南海东部深水区中深层地震资料信噪比的有效手段。

1 倾角共反射点叠加

倾角共反射面叠加的 2 个基本特征是:①共反射点;②扩大反射点面元。Hocht 等^[12]从共反射点时距关系出发,利用特征波参数把反射点扩展到反射面,得出非均匀介质的共反射面时距方程,并将其做 Talor 展开,保留二阶项,得到相同的双曲型共反射面近似公式。

设 $u(t_0, x_0)$ 代表零炮检距共反射点剖面, x_0 是共反射点剖面的地面坐标, t_0 是对应的零炮检距反射波双程时间;炮检距中点坐标 x_m , 炮检距为 $2h$, $g(t, x_m, h)$ 表示共中心点道集, 法向射线在地面点 C 的出射角为 φ , v_0 是表层速度。共反射面时距曲线是以 (R_N, R_{NIP}, φ) 为参变量并以炮检中心 x_m 和炮检距 $2h$ 表示的相近反射点的射线时间(图 1)^[13], 其双曲型共反射面近似公式为^[14]:

$$t^2(x_m, h) = \left[t_0 + \frac{2\sin\varphi(x_m - x_0)}{v_0} \right]^2 + \frac{2t_0\cos^2\varphi}{v_0} \left[\frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}} \right] \quad (1)$$

式中: R_{NIP} 表示法向入射点波的波前曲率半径, 对应反射界面上一个点源产生的波前面, 在均匀介质中是一个球面, 法向入射点波是从垂直界面出发并经过地面出射点的射线, R_{NIP} 相当于射线经过的长度; R_N 表示法向入射波的波前曲率半径, 对应反射面上弧段产生的局部平面波的同相面, 相当于反射层同时激发产生的波前面, 用于衡量曲面引起的时间变化。

2 倾角共反射面叠加

共反射面叠加就是按着公式(1)的时距曲线关系对反射波振幅进行求和运算, 得到共反射面叠加剖面 $u(t_0, x_0)$, 它代表零炮检距自激自收法向反射波。正像 CMP 叠加需要求取动校正速度一样, 倾角共反射面叠加需要特征参数 (R_N, R_{NIP}, φ) , 即对每个输出样点 $u(t_0, x_0)$, 按照对应的参数计算反射波到达地面的时间, 在数据空间沿走时轨迹进行叠加。该方法不存在类似速度谱的解释方法, 是通过扫描方式确定最佳参数。通过分布搜索^[15-16]可以估计出近似特征参数值, 然后在小范围内进行整体优化以确定最佳特征参数分布。具体步骤如下(图 2)。

2.1 CMP 叠加

当 $x_m = x_0$, 公式(1)退化为共中心点方程。设 $q = \frac{\cos^2\varphi}{R_{NIP}}$, 则公式(1)变为:

$$\begin{aligned} t^2(h) &= t_0^2 + \frac{2t_0\cos^2\varphi}{v_0} \frac{h^2}{R_{NIP}} \\ &= t_0^2 + \frac{2t_0h^2}{v_0} q \end{aligned} \quad (2)$$

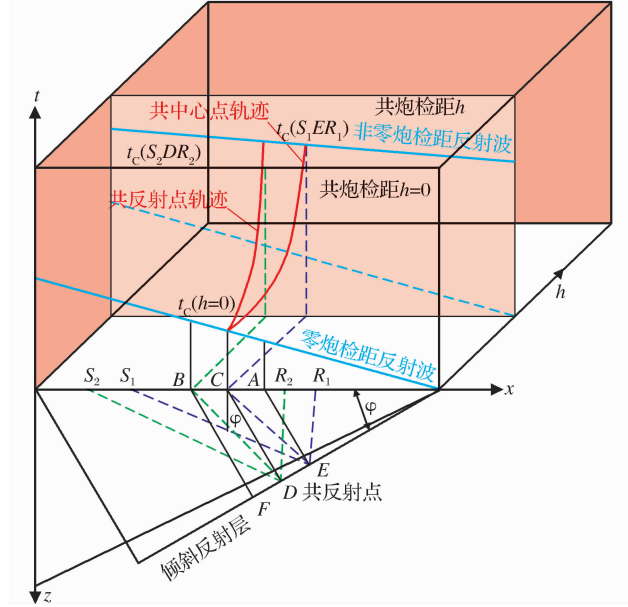


图 1 共反射点和共中心点轨迹曲线
[仅画出零炮检距和非零炮检距 2 条反射波, $t_c(CD)$ 与 $t_c(S_1ER_1)$ 是共中心点时间, $t_c(CD)$ 和 $t_c(S_2ER_2)$ 是共反射点时间]

Fig. 1 CRP and CMP geometric locus [only offer the two zero-offset and nonzero-offset reflection waves, $t_c(CD)$ and $t_c(S_1ER_1)$ is the CMP time, $t_c(CD)$ and $t_c(S_2ER_2)$ is CRP time]

应用共中心点反射波方程, 即 $t^2(h) = t_0^2 + \frac{4h^2}{v_{NMO}^2}$, 与公式(2) 比较得:

$$q = \frac{\cos^2\varphi}{R_{NIP}} = \frac{2v_0}{t_0 v_{NMO}^2} \quad (3)$$

因此, 根据 CMP 叠加速度 v_{NMO} 度可以计算 q 值。

2.2 平面波扫描

考虑零炮检距反射波 $h = 0$, 公式(1) 成为:

$$\begin{aligned} t^2(x_m) &= \left[t_0 + \frac{2\sin\varphi(x_m - x_0)}{v_0} \right]^2 \\ &+ \frac{2t_0\cos^2\varphi}{v_0} \frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} \end{aligned} \quad (4)$$

式(4)描述了零炮检距剖面上双曲型时距关系。令 $R_N \rightarrow \infty$, 表示用斜平面反射层取代曲面, 忽略曲面二次变化。得到:

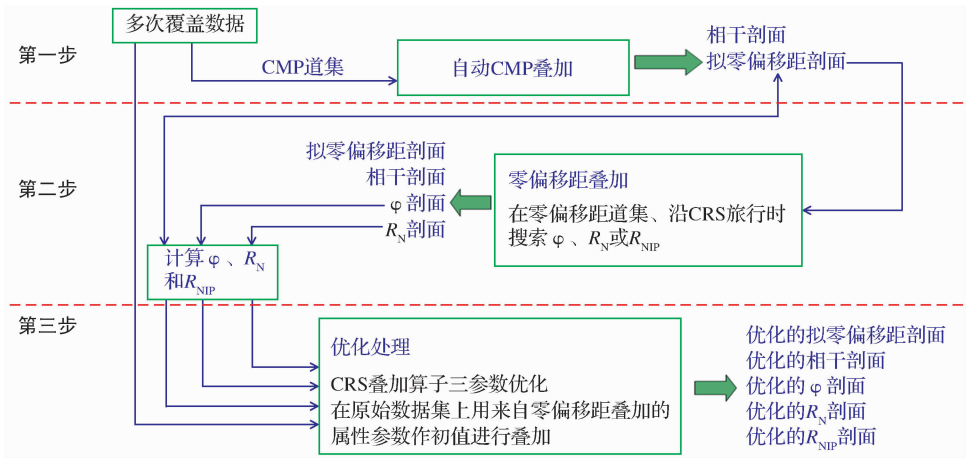


图 2 倾角共反射面叠加原理

Fig. 2 Dip angle CRS stack diagram

$$t(x_m) = t_0 + \frac{2\sin\varphi}{v_0}(x_m - x_0) \tag{5}$$

依据公式(5),根据零炮检距反射波对每个样点的出射角 φ 进行扫描,得到 φ 值剖面;如果缺失零炮检距,可以用叠加剖面代替。然后代入公式(4) 进行参数 R_N 的优化处理,得到 R_N 剖面。最后利用 $q = \frac{\cos^2\varphi}{R_{NIP}}$ 计算出 R_{NIP} 。

2.3 共反射面叠加

上述过程可以迭代进行,逐步优化参数(R_N , R_{NIP} , φ),李振春等^[17] 描述了多种优化组合方式。最后根据共反射面公式(1) 和最佳参数(R_N , R_{NIP} , φ),得到共反射面叠加结果。

3 应用实例研究

3.1 地质概况

南海东部地区白云深水区是本文研究的靶区,其水深最浅处 1 000m、最深处 3 000m 左右。它具有与我国大多数含油气盆地不同的复杂而特殊的地质条件,与国外许多深水油气区相比也有独特之处^[18]。位于洋陆过渡地壳的白云凹陷经历了三大板块作用,同时又叠加了南海扩张作用的影响,具有边缘海独特的地球动力环境,受深部地幔作用在裂陷期之后仍然强烈沉降,沉积环境由陆相逐渐演变为浅海、陆坡深水环境,发育了巨厚的深水沉积。因此,白云深水区在陆坡深部结构、沉积充填机理及油气成藏动力学等方面都表现出明显的特殊性。该研究靶区内的二维地震都是历年的老测线,资料品质差,信噪比、分辨率都比较低,深部地层结构不清楚,能量反射弱,各年度测线闭合差大,不能满足目前中

深层地层对比解释的要求,为了获得准确合理的解释方案,展开了该区针对提高中深层信噪比研究的技术攻关。

3.2 共反射面叠加处理效果分析

图 3(a)和图 3(b)为 A 测线倾角共反射面叠加处理前后的叠加剖面对比。通过分析不难发现,由于资料倾角较大且构造复杂,已完全不适应常规 NMO 叠加方法基于水平层状介质的假设,故未做倾角共反射面叠加处理的叠加剖面[图 3(a)]中深层资料信噪比较低、反射信号连续性差;而倾角共反射

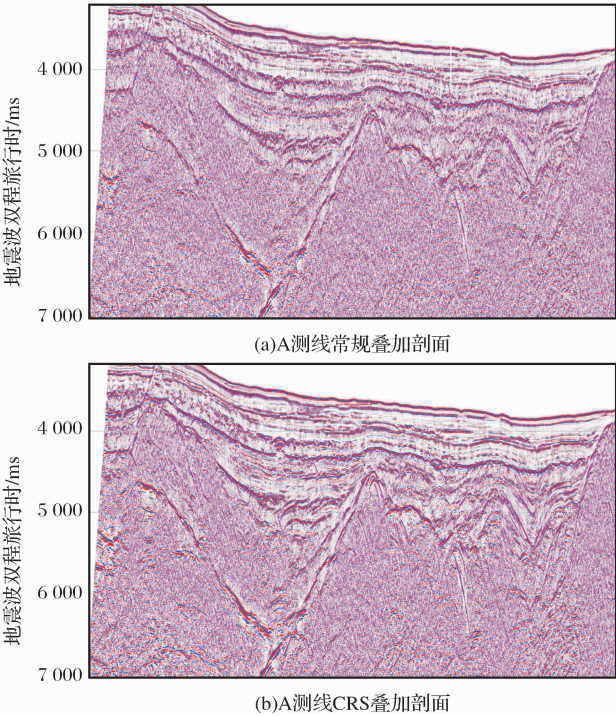


图 3 叠加剖面对比

Fig. 3 Stack profile comparison diagram

面叠加处理后,由于考虑了非均匀介质情况下,实际地震波反射主要来自反射界面上的某一区域、而不是一点,这一区域由菲尼尔带来定义。因此倾角共反射面叠加处理后,中深层资料信噪比显著提高、反射信号的连续性明显增强。

图 4 为倾角共反射面叠加处理前后 CMP 道集对比分析。对比图 4(a)和图 4(b)可以看到,倾角共反射面叠加前后,无论其叠加剖面还是 CMP 道集,首先表现为深层反射信噪比得到了提高,其次地震反射波形自然,没有严重的混波现象。这样就为后续的叠前时间偏移处理提供了高质量的地震数据,有助于获得准确的偏移速度场及高质量的叠前时间偏移成果。

图 5 是倾角共反射面叠加处理前后的频谱分析图。从对比[图 5(a)、图 5(b)]上可以看出,倾角共反射叠加技术的应用在保证原始地震资料频宽的同时

在低频端增加了一定的低频信息,有助于提高中深层地层的信噪比,保证了中深层的地震反射振幅信息。

图 6 和图 7 为偏移剖面对比,其中图 7 为图 6 的局部放大图。对比新老偏移剖面,不难发现最终偏移剖面的中深层信噪比得到了较大的改善,基底及上覆地层信噪比较高,内部结构清楚,剖面波组特征明显,波形活跃适中;偏移剖面归位准确;断点清晰可靠、凹陷内反射波同相轴可较好地追踪对比,大大提高了地震资料解释的确定性及可解释性。

4 共反射面叠加技术的适用性

(1)由于算法的限制,该方法具有倾角选择或者倾角歧视作用,在某时某地只能突出一个倾角的反射波。因此在应用倾角共反射面叠加技术时,应进行倾角和曲率半径参数试验,结合地质认识对比不同处理剖面的效果,选择合适的处理参数能有效地

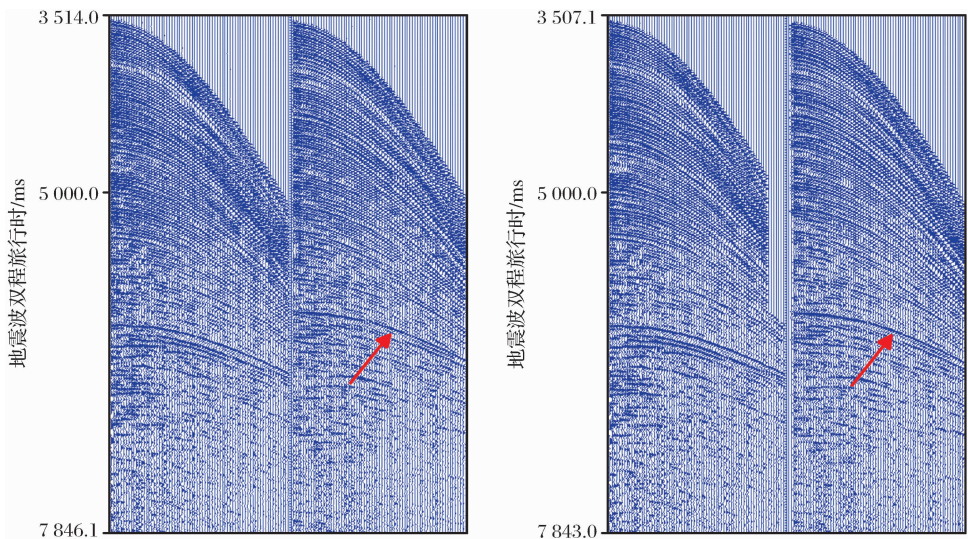


图 4 道集对比
Fig. 4 Gather comparison diagram

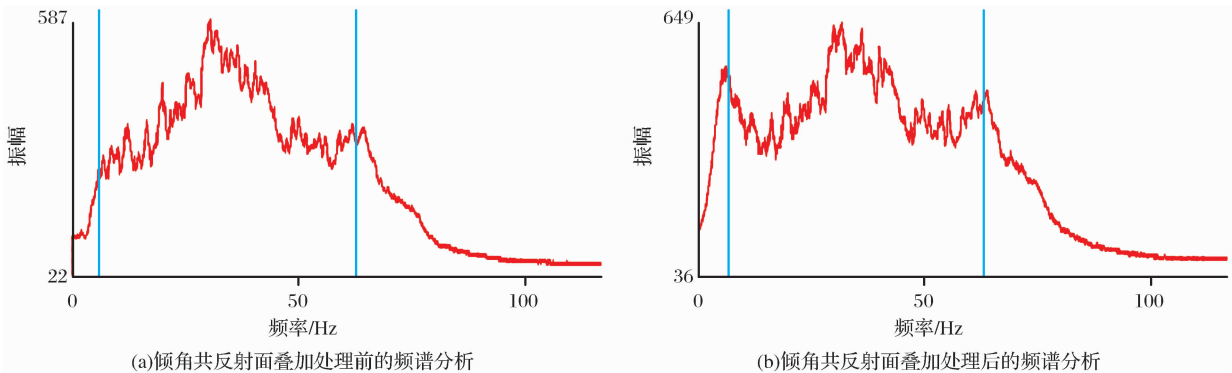


图 5 频谱分析对比
Fig. 5 Frequency analysis comparison diagram

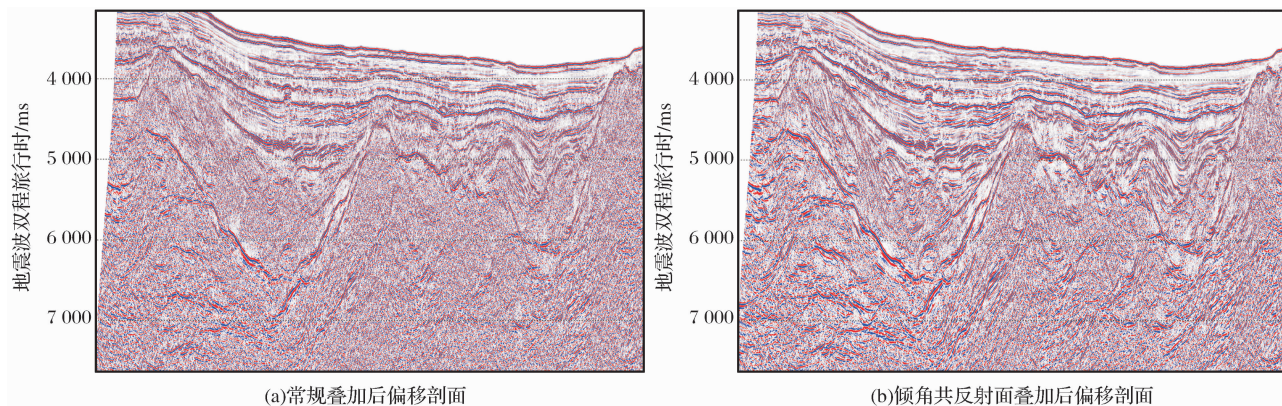


图6 偏移剖面对比

Fig. 6 Migration profile comparison

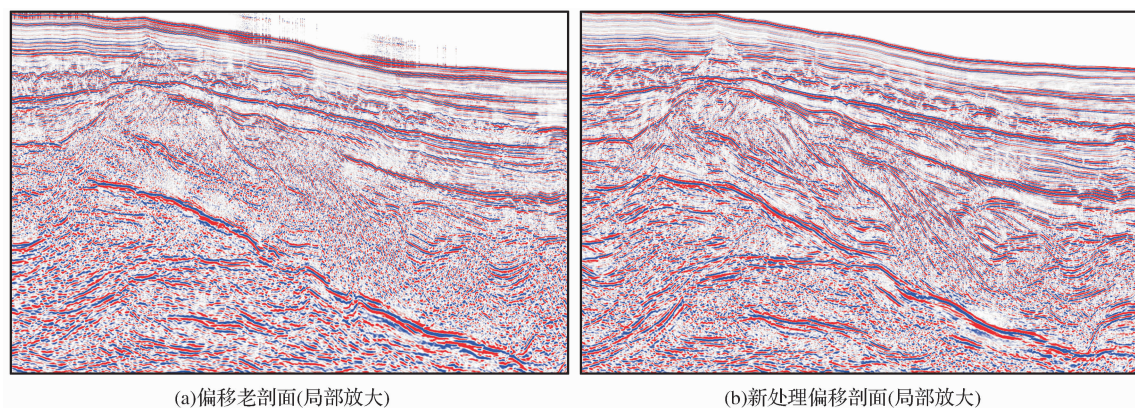


图7 偏移剖面对比(局部放大)

Fig. 7 Migration profile comparison (zoom out)

减弱倾角歧视现象。

(2)按照数据驱动的方式进行共反射面叠加可以与速度无关,甚至可以与公式无关。

(3)利用倾角共反射面元叠加方法对叠前道集的处理,在提高叠前道集信噪比的同时,道集的偏移距分布更均匀,更有利于提高叠前偏移成像的质量,这一点比单纯提高叠加数据的信噪比更重要。

(4)该方法提高覆盖次数,提高信噪比与连续性,提高低覆盖次数区的信号能量。

(5)通过该方法在白云深水区的应用表明,倾角共反射叠加技术适用于提高复杂地区中深层地震资料信噪比,提高地震资料的可解释性。相信该技术的进一步应用,有助于推进南海东部的勘探进程。

参考文献(References):

[1] Yuan Yijun, Zhou Zhixu, Niu Binhua, *et al.* Briefly talk about processing techniques of improving S/N ratio in seismic data processing[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2005, 40(2): 168-171. [苑益

军,周芝旭,牛滨华,等.浅谈地震资料处理中的提高信噪比处理技术[J].石油地球物理勘探,2005,40(2):168-171.]

[2] Zhu Longfang. Enhancement the Processing Technology of Seismic Data S/N[C]. The Chinese Geophysics Society 25th Annual Convention, 2009, 84. [朱龙芳.提高地震资料信噪比处理技术[C].中国地球物理学会第二十五届年会,2009:84.]

[3] Zhang Jianwei, Ning Junrui, Wang Hongqi, *et al.* Research of seismic data imaging processing in desert mountains[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(4): 576-580. [张建伟,宁俊瑞,王红旗,等.沙漠山地地区地震资料成像处理研究[J].天然气地球科学,2009,20(4):576-580.]

[4] Xiong Zhu. Complex Regional Seismic Data Processing Ideas [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 67-70. [熊翥.复杂地区地震数据处理思路[M].北京:石油工业出版社,2002:67-70.]

[5] Li Lin, Deng Yang. Model-restricted frequency division local noise attenuation[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(4): 282-284. [李琳,邓央.模型约束分频局域去噪方法及应用[J].天然气地球科学,2006,17(4):282-284.]

[6] Zhang Wenpo. Liaohe Oilfield Meticulous Processing[M]. Bei-

- jing: Petroleum Industry Press, 2007: 91-114. [张文坡. 辽河油田地震资料精细处理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 81-114.]
- [7] Zhao Yulian, Wang Yuchao, Su Qin, *et al.* Application of complex geological structure prestack seismic imaging in M block of eastern oil fields[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2011, 22(6): 1109-1115. [赵玉莲, 王宇超, 苏勤, 等. 复杂地质构造叠前地震成像方法在东部 M 区块的应用[J]. *天然气地球科学*, 2011, 22(6): 1109-1115.]
- [8] Ma Yizhong, Yu Gengxin, Fu Liyun. Seismic processing of low-S/N ratio data from complex near surface areas in Huola Mountain[J]. *Progress in Geophysics*, 2008, 23(6): 1849-1858. [马义忠, 于更新, 符力耘. 复杂地表低信噪比地震数据处理研究[J]. *地球物理学进展*, 2008, 23(6): 1849-1858.]
- [9] Zhou Chenguang. The Research of the Parameter Triple in the Common Reflection Surface Stack[D]. Jilin: Jilin University, 2007. [周晨光. 共反射面叠加属性研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2007.]
- [10] Hubral. Macro model independent seismic reflection imaging[J]. *Applied Geochemistry*, 1999, (42): 3-4.
- [11] Gerald E K, Juergen P, Guido G, *et al.* Noise reduction in 2D and 3D imaging by the CRS method[J]. *The Leading Edge*, 2008, (2): 258-265.
- [12] Hocht G, deBazelaire E, Majer P. Seismic and optics: Hyperbolae and curvature[J]. *Journal of Applied Geophysics*, 1999, 42: 261-281.
- [13] Wang Youxin. Application of Seismic Data Processing Method[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 44-47. [王有新. 应用地震数据处理方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009: 44-47.]
- [14] Perroud H, Hubral, Hocht G. Common-reflection-point stacking in laterally inhomogeneous media[J]. *Geophysical Prospecting*, 1999, 47: 1-24.
- [15] Jager R, Mann J, German H, *et al.* Common reflection surface stack: Image and attributes[J]. *Geophysics*, 2001, 66(1): 97-109.
- [16] Mann J, Jaeger R, Muller T. Common-reflection-surface stack-A real data example[J]. *Journal of Applied Geophysics*, 1999, 42: 301-318.
- [17] Li Zhenchun, Yao Chunxia, Ma Zaitian, *et al.* Common reflection surface stack method based on multi-level optimization of parameters and its application[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2003, 38(2): 156-161. [李振春, 姚云霞, 马在田, 等. 基于参数多级优化的共反射面叠加方法及其应用[J]. *石油地球物理勘探*, 2003, 38(2): 156-161.]
- [18] Pang Xiong, Chen Changmin, Peng Dajun, *et al.* Basic geology of Baiyun deep-water area in the northern south China sea[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2008, 20(4): 215-221. [庞雄, 陈长民, 彭大钧, 等. 南海北部白云深水区之地质基础[J]. *中国海上油气*, 2008, 20(4): 215-221.]

Application of the Dip Angel Common Reflection Surface Stack in 3D Low S/N Area Seismic Data Processing

ZHANG Zhen-bo, DAI Yi-ding, XUAN Yi-hua, LIU Bin, XUE Zhi-gang
(Shenzhen Branch of CNOOC Ltd., Shenzhen 518067, China)

Abstract: With the development of seismic survey in the South China Sea, the medium and deep layer is becoming the main survey target, mainly including the Zhujiang Group and basement, and the degree of exploration of them determines the reserve volume of Eastern South China Sea. Some kinds of interference factors affect the imaging quality of the medium and deep seismic data and survey of the South China Sea. Then the most important and urgent problem is how to improve the imaging quality. Normal CMP stack theory is based on the horizontal layer. However, the premise of the dip angle common reflection surface stack method is related not with the dip angle closely, subsurface reflectors can be any angle closer to the actual geological conditions compared to the CMP stack theory. This stack method stacks the entire reflection wave in CMP and in Fresnel zone, and then forms the super-coverage and improves the S/N obviously. After the pre-theoretical research, data test and the application, this method is confirmed to improve S/N of the seismic data and fits the complex formation geological conditions and the solubility of the data can also be improved. The further application of the method could guide the survey and improve the success rate and the scale of reserves in South China Sea.

Key words: Common reflection surface; S/N; Dip angle; CMP; Deep water