

文章编号:1009-2722(2017)10-0071-07

# 珠江口盆地东部 YB 油田海上 多方位融合地震技术应用

杨小江<sup>1,2</sup>, 李熙盛<sup>2</sup>, 汪生好<sup>2</sup>, 李 潇<sup>2</sup>

(1 成都理工大学, 成都 610059,

2 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 深圳 518054)

**摘要:**针对珠江口盆地东部 YB 油田当前面临的高含水生产之压力,海上常规单方位拖缆地震资料难以满足对油田深层及周边滚动油气田开发目标的评价,故开展了海上多方位融合地震技术攻关。本次采取的主要技术方法是通过不同方位的三维二次地震采集,提高地下反射界面覆盖次数,增大地下反射点时距曲面能量面积。实践证明,海上多方位融合地震技术在研究区具有更好地压制采集脚印、提高信噪比、增加勘探目标照明度和改善地震资料成像品质等优势。研究结果表明,海上多方位融合地震技术能够支持该油田现阶段稳产及推动周边的储量发现。

**关键词:**海上地震;多方位;融合;信噪比;照明度;采集脚印

中图分类号:P631.4

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2017.10009

海上常规双源拖缆地震技术是我国当前海上地震勘探的主要方式,但由于受制于海上采集船拖缆能力和电缆长度等因素,它仅能获取窄方位(Narrow Azimuth)地震数据,极大地限制了海上常规地震数据的应用。这给当前海上深层目标评价、岩性油气藏目标勘探以及礁灰岩储层内幕刻画等勘探开发需求带来了巨大挑战。

海上多方位(Multi-Azimuth)融合地震技术是通过同一研究工区使用不同采集方位角进行二次或多次常规地震采集,以获得同一研究区多方位地震数据。国内外学者对其进行了大量系统的研究。

1971年,Levin<sup>[1]</sup>发现地震采集方位角与地质结构的偏移成像质量有关;1988年,壳牌石油

公司首次在墨西哥湾进行了双方位正交采集实验;1993年,O'Connell等<sup>[2]</sup>在该区发现采集方向对成像质量具有重要影响以及冗余地震信息有利于深水复杂地质体识别;1999年,Houlléviq ue等<sup>[3]</sup>通过对四方位海洋地震技术研究后认为,多方位融合地震资料是对复杂地质结构地区地球物理问题研究的基础;2000年,Jones等<sup>[4]</sup>通过对正交双方位地震研究发现,方位角对浅层成像影响较小,但是深层复杂地质体的成像对方位角十分敏感;2004年,BP公司Jim Keggin等<sup>[5,6]</sup>对尼罗河三角洲进行了六方位的多方位地震勘探,并取得了显著的应用效果;2006年,Keggin等<sup>[7]</sup>对海上多方位地震技术采集和处理的关键技术进行了探讨,并认为海上多方位地震技术将变得越来越常用;2007年,Manning<sup>[8]</sup>的研究认为,多方位地震技术作为低信噪比和低照明度资料的解决方案,并指出多方位地震技术还可能用于多分量地震资料中。

国内目前对海上多方位融合地震技术研究相

收稿日期:2017-05-30

作者简介:杨小江(1987—),男,在读博士,工程师,主要从事南海东部油藏地球物理研究工作。E-mail:yangxiaojiang311@qq.com

对较少。珠江口盆地西部文昌凹陷 2010 年的多方位地震勘探是国内首次引入多方位融合地震技术试验,朱江梅等<sup>[9]</sup>指出,该试验结果为文昌凹陷改善了断层阴影区问题,提高了地震资料成像质量,为文昌凹陷后期勘探开发打下良好基础;吕晓春等<sup>[10]</sup>利用属性分析、射线照明分析、三维有限差分正演模拟及偏移成像技术进行了多方位融合地震技术理论分析研究。本文针对珠江口盆地东部 YB 油田目前进入高含水开发后期,产量递减速度快,而油田当前海上常规单方位地震资料难以推动油田深层及周边滚动开发目标评价等主要问题,提出海上多方位融合地震技术攻关,以期通过改善油田基础地震资料,建立该油区深层地震地质沉积模式,落实油田剩余油分布区域,提高油田开发效率和延续油田开采生命,并为全海域推广应用多方位融合地震技术积累技术经验。

## 1 YB 油田勘探开发现状

YB 油田自 1993 年投入开发以来,截止到 2016 年已经生产 23 年,新近系珠江组主力油藏  $\alpha$  和  $\beta$  均进入油田开发后期,含水率高,递减速度快,给老油田开发带来极大的难度和挑战。针对老油田的开发状况,必须充分开展综合地质研究,在油田内部( $\alpha$  和  $\beta$  油藏)继续深入挖潜的同时,展开深层及周边构造的潜力评价。目前主要存在以下问题:

(1) 油田内部深层发育河道砂体,砂体叠置规律难以把握,而已有地震资料的深层随机噪音和多次闪射干扰严重,深层反射能量严重不足,难以对深层目标进行追踪和评价。

(2) 油田已有三维地震资料是平行于断层采集,断层断面刻画不清,断层阴影带能量不足、构造畸变,制约断层附近目标评价。

为应对当前 YB 油田深层勘探与开发中的挑战,决定重新针对该油田进行三维地震二次采集,考虑到原地震数据采集方向与工区内主干断层平行和深层地质目标体照明度和开展海上多方位融合地震技术攻关等需求,此次采集方向( $149^\circ/329^\circ$ )与原采集方向( $78^\circ/258^\circ$ )垂直,以期最大限度利用 2 次不同方位采集地震数据。

## 2 多方位融合地震技术原理

### 2.1 计算原理

THOMSEN 认为,地下地层具有弱各向异性<sup>[11]</sup>,贾福宗等<sup>[12]</sup>和黄跃等<sup>[13]</sup>利用 HTI 各向异性理论完成了对宽方位纵波地震资料的校正和纵波速度分析,并取得了成功应用,多方位融合地震技术处理的关键是利用地层弹性的方位各向异性性质,得到不同方位地震数据,具体处理时利用不同方位采集地震数据进行叠前 CRP 融合。

多方位融合算法原理计算公式:

$$F(x, y, z) = \sum_{i=1}^N W_i R_i(x, y, z) \quad (1)$$

式中: $N$  为方位角数量;

$F(x, y, z)$  为多方位融合结果。

$W_i$  为融合系数;

$R_i(x, y, z)$  为某方位测量特征值;

上式的关键在于融合系数  $W_i$  的选取,融合后利用井的合成记录进行质控。本区处理中先对不同方位的数据进行振幅、相位匹配处理,根据研究区需提高断层阴影带成像质量的要求,取垂直断层方位的融合系数为 0.6,平行于断层方向的融合系数为 0.4。

### 2.2 实现流程

不同方位的三维二次采集后可以形成不同单方位处理成果,也可通过考虑不同方位的各向异性情况后形成两次采集的联合处理融合成果,本油田多方位融合地震处理主要采取偏移前 CMP 道集融合,再进行考虑方位角的叠前偏移得到多方位融合成果,其多方位关键处理流程见图 1。

## 3 多方位地震数据分析及实例应用

### 3.1 多方位地震数据分析

#### 3.1.1 采集脚印压制

通常的采集脚印去噪方法会违背地震“三高”要求,处理中应尽量少用<sup>[14]</sup>,图 2a 为基于 2003 年单方位采集地震数据 400 ms 方差体等时切片,

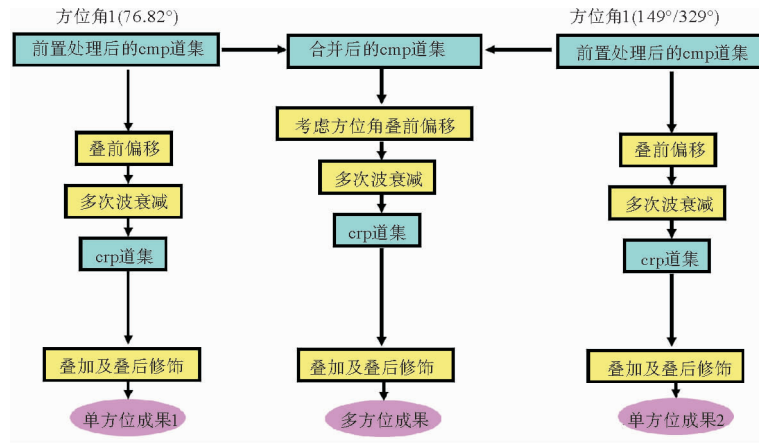


图 1 多方位处理关键流程

Fig. 1 The flow chart of multi-azimuth process

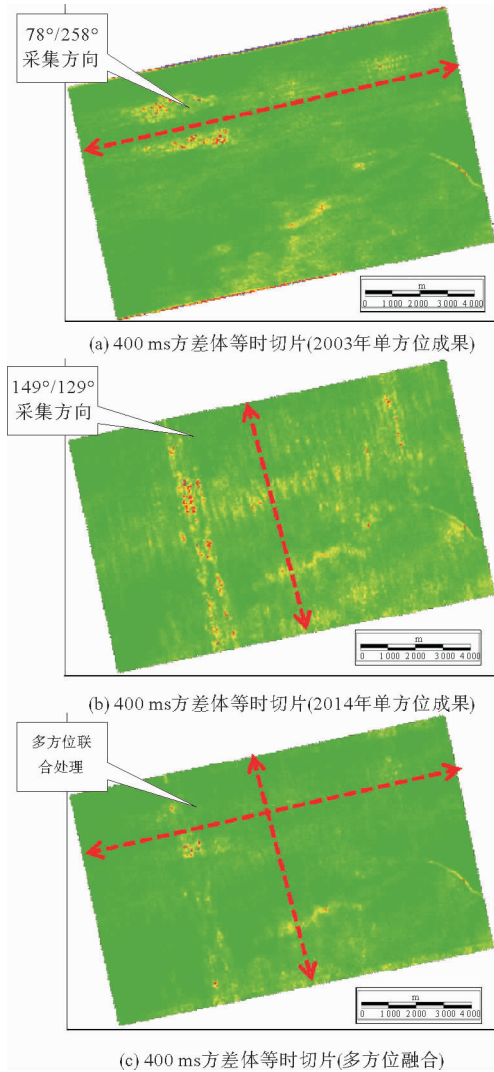


图 2 采集脚印对比

Fig. 2 The comparison of acquisition footprints

采集方向如图中箭头所示,该切片上红色箭头方向伴随明显采集脚印,且采集脚印噪音能量与采集方向有关,该规律在图 2b 中亦得到有力佐证,图 2b 中南北方向采集脚印广泛分布于全区,且噪音能量与采集方向平行;图 2c 为基于多方位融合地震数据的 400 ms 等时方差体切片,在该切片中东西方向的采集脚印基本被全部压制,南北方向仍能见到部分采集脚印噪音,但相对于 2014 年单方位采集脚印结果,采集脚印噪音程度亦得到了明显削弱。多方位融合地震技术仅通过 2 个采集方向的基础数据融合,没有采用针对采集脚印的去噪处理。既有效压制了采集脚印干扰,还最大限度的保障了地震数据的高保真度。

3.1.2 信噪比

覆盖次数是影响信噪比的重要参数<sup>[15]</sup>,图 3a 为 2014 年单方位采集地震剖面,该剖面中浅层同相轴连续,能量集中,而红色椭圆的深层地震同相轴相对浅层连续性变差,能量相对发散,随机噪音和多次波闪射干扰影响凸显。该现象主要因为海上常规地震技术由于采集拖缆长度局限,无法接收大角度反射数据,极大地限制了深层地下反射面元的覆盖次数。图 2b 中深层地震数据同相轴连续性依然越差于浅层,但相对于 2014 年单方位地震剖面,由浅层至深层信噪比逐渐变差的趋势被得到了明显改善,而且图 2b 中地震资料信噪比较图 2a 中亦有了显著提高,尤其见图中红色椭圆内。

海上多方位融合地震数据虽然没有突破海上

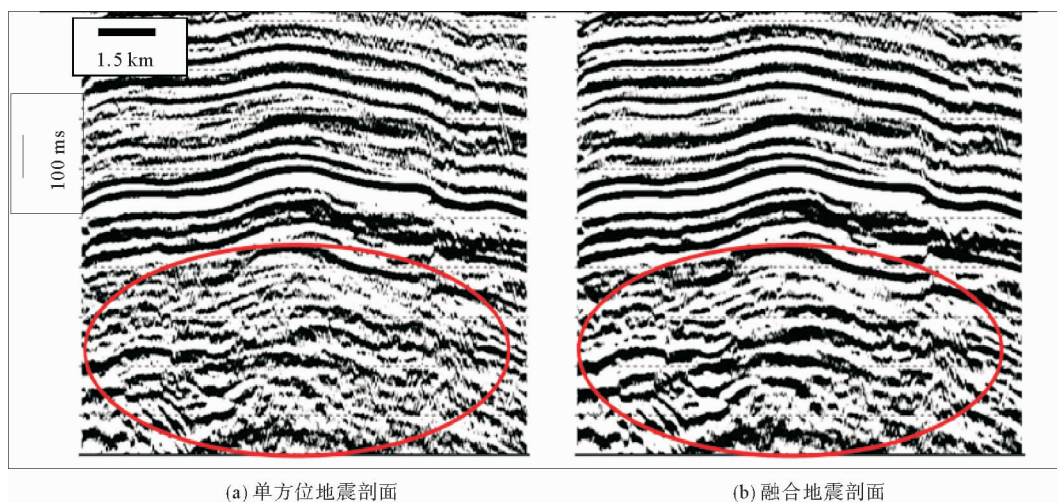


图3 信噪比对比

Fig. 3 The comparison of S/N

采集电缆长度局限,融合地震数据无法增加大入射角数据,但不同方位的三维二次采集增加了多方位信息,同样也能增加地下反射面元的覆盖次数,压制随机噪声和多次闪射干扰,从而在一定程度上可以提高了地震资料的信噪比。

### 3.1.3 成像质量

图4a为2003年单方位融合地震剖面,图中红色椭圆内,由于受断层影响,断层下方成像模糊,形成一定范围的断层阴影带,断层边界刻画模糊,给解释带来不确定性。此外该图中红色标注层下方,由于受标志层屏蔽作用,该标志层下方同相轴能量弱,难以连续追踪,致使深层地层难以追踪评价。对比图4b与图4a可发现,图4b融合地震剖面中断层阴影带照明度得到改善,断层阴影带能量得到明显补偿,且断层断面特征清晰,成像

质量得到明显改善。此外,标志层下方的蓝色矩形内,同相轴能量均衡,可连续追踪深层地层,多方位融合地震剖面深层地震成像质量明显高于单方位地震剖面。

2014年的三维二次采集垂直断层采集,增强了地下对断层不同方向的照明度,因而融合地震数据提高了断层阴影带内的成像质量,此外,方位角信息的增加促使地下反射点时距曲面能量面积增加,从而改善了深层成像质量。

## 3.2 实例应用

图5a为基于单方位地震资料处理得到的 $\alpha$ 层深度构造,由于单方位地震资料在深层成像品质差, $\alpha$ 层解释存在一定不确定性,基于单方位地震资料的构造成果显示YBE构造与油田主区构

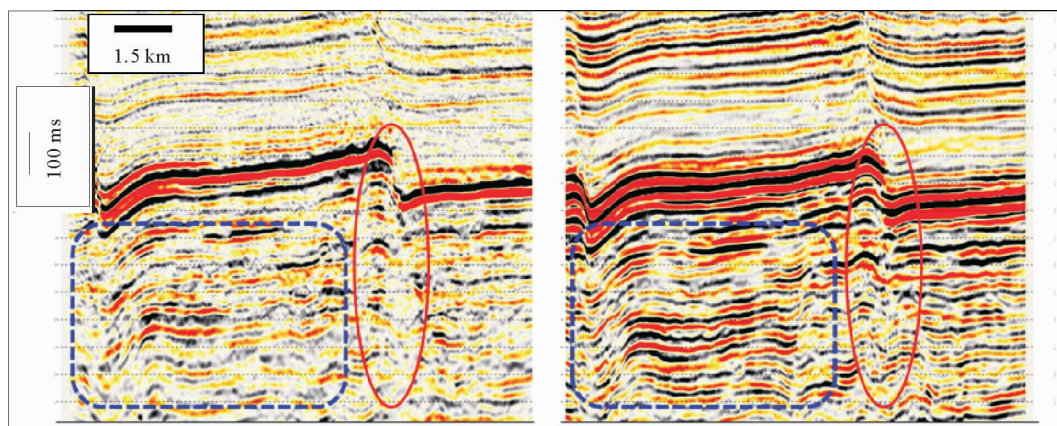


图4 成像质量对比

Fig. 4 The comparison of imaging quality

造存在相对开阔的鞍部构造, YBE 构造与油田主区区域等值线较为密集, 鞍部等值线较为稀疏, 油田主区至鞍部构造变化过于剧烈, 这种构造解释结果存在一定风险, 如图 5a 所示。通过采用多方位融合地震资料, 深层  $\alpha$  层构造成像品质得到提

高,  $\alpha$  层从主区到 YBE 方向的地震同相轴连续性变好, 将 YBE 构造与主区构造解释为联通的风险较小, 主区至鞍部构造变得更为平缓, 鞍部构造形态更加合理, 且全油田的构造规模得到进一步扩大, 如图 5b 所示。

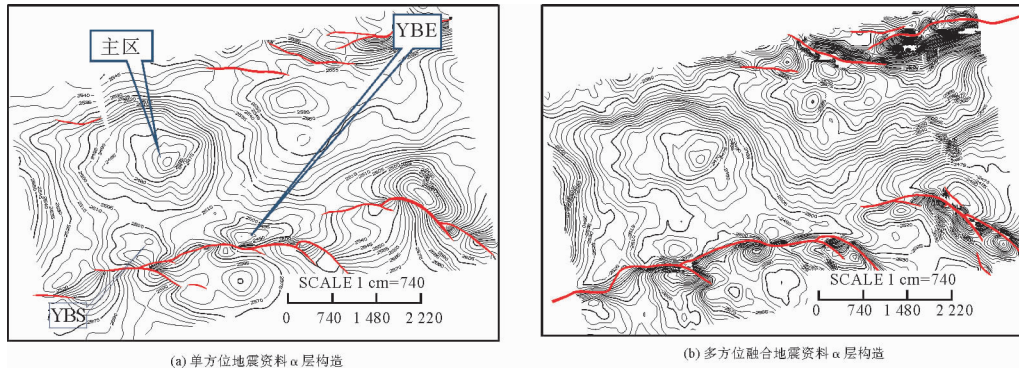


图 5 多方位资料构造成果应用

Fig. 5 The application of multi azimuth structure

基于多方位融合地震资料解释构造成果, 改变了 YBE 与 YBS 与主区构造联通关系, 有力推动了 YB 油田周边滚动开发目标评价, 目前, 在这 2 个潜力目标区进行了调整井部署, 为该区域油田增储上产提供了可能性保障。

以下清晰展示出了辫状河道砂体边界, 以及分支河道砂体底界, 再结合测井、地质、地震等资料建立符合该区层序地层规律的河道砂体沉积模式 (图 7)。针对不同地震剖面的横向追踪刻画, 并最终完成了 YB 油田区域河道砂体三维分布模型的建立 (图 8)。

基于多方位融合地震成果数据, 针对深层目的层  $\gamma$  层进行层拉平, 如图 6 中  $\gamma$  层拉平同相轴

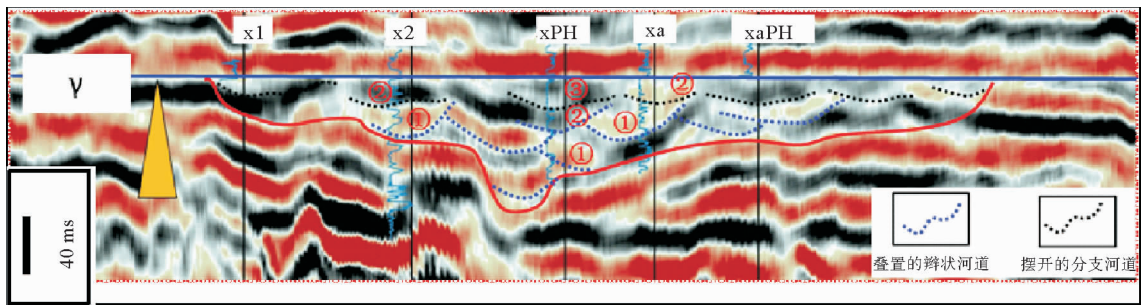


图 6 河道砂体追踪剖面

Fig. 6 Tracing section of channel sand

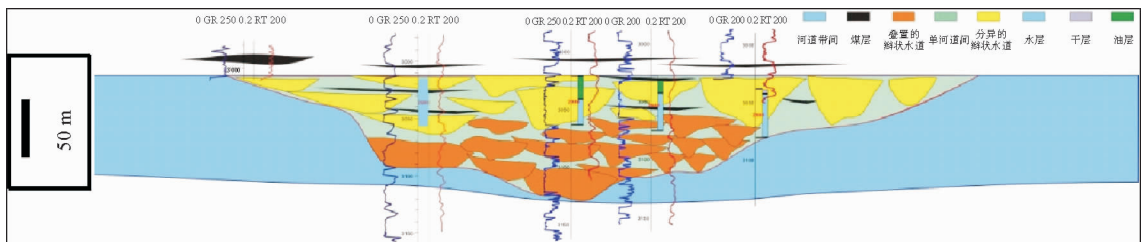


图 7 河道砂体沉积模式

Fig. 7 Deposit model of channel sand

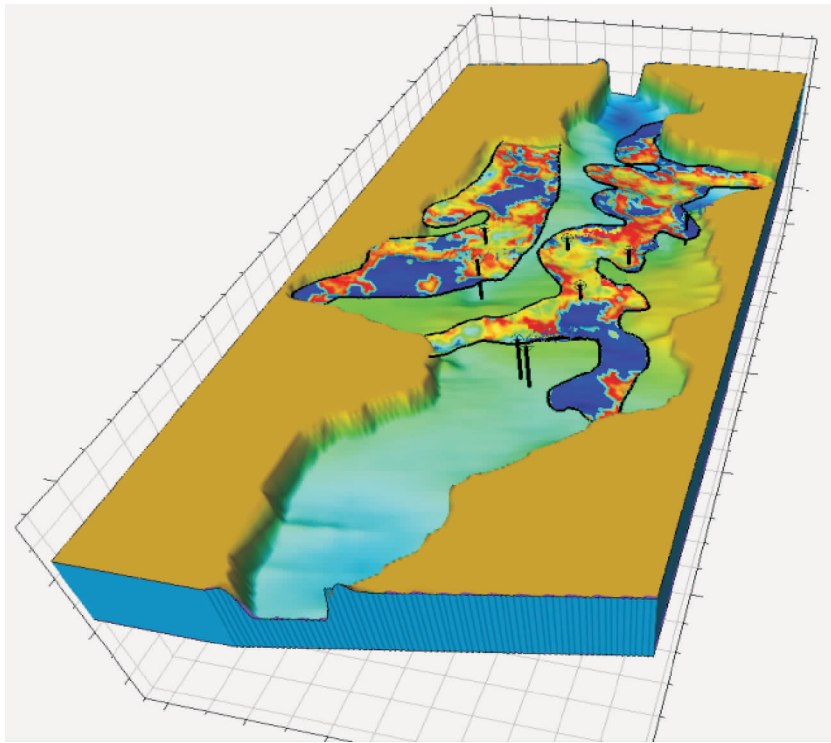


图8 1号、2号河道砂体三维分布

Fig. 8 3D distribution of channel sand bodies on No. 1 and No. 2

基于多方位融合地震技术的深层河道砂体雕刻流程,有力推动了南海珠江口盆地东部珠一坳陷 YB 油田深层潜力目标评价,目前已成功评价出深层潜力砂体 9 个,为下一步油田深层开发调整井的部署提供了钻探目标。

#### 4 结束语

应用实践表明,海上多方位融合地震技术仅通过常规三维二次采集和多方位融合处理就有效增加了 YB 油田地下反射界面覆盖次数和偏移反射点时距曲面能量面积,它弥补了海上常规拖缆地震技术受电缆长度的局限,该方法为珠江口盆地东部珠一坳陷 YB 油田取得低采集脚印噪音、高信噪比和高成像质量地震数据。该技术有力推动了 YB 油田周边及深层目标评价,为南海珠江口盆地东部类似老油田挖潜提供了解决思路,建议海上存在类似困境的老油田加强多方位三维二次采集和多方位融合处理研究与应用。

致谢:感谢沈水荣、涂乙对本文的指导,感谢

王要森、凌刚华、苕亮、刘洋洋等对本文的鼎力帮助!

#### 参考文献:

- [1] Levin F K. Apparent velocity from dipping interface reflections[J]. *Geophysics*, 1971, 36: 510-516.
- [2] O'Connell J K, Kohli M, Amos S. Bullwinkle: A unique 3D Experiment [J]. *Geophysics*, 1993, 58: 167-176.
- [3] Houllévigie H, Delesalle H, De Bazelaire E. Enhanced composite 3D cube derived from multi-azimuth 3D marine acquisitions [C]. 61th EAGE Conference & Exhibition, 1999: 1-8.
- [4] Jones I, Baud H, Henry B, et al. The effect of acquisition direction on pre-sdm image [C]. 61th EAGE conference and technical exhibition-helsinki, Finland, 1999: 7-11.
- [5] Keggin J, Benson M, Rietveld W, et al. Multi-Azimuth towed streamer 3D seismic in the Nile Delta, Egypt [C]. SEG/New Orleans 2006 Annual Meeting, 2006, 25: 2891-2895.
- [6] Manning T, Keggin J, Walter E A, et al. Multi-Azimuth (MAZ) tow streamer data processing flow from the Nile Delta [C]. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2006, 25: 2842-2846.
- [7] James K, Page C. Key aspects of Multi-Azimuth acquisition

- and processing[J]. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2006, 25: 2886-2890.
- [8] Manning T. Quantifying and increasing the value of multi-azimuth seismic[J]. The Leading Edge, 2007, 26(4): 510, 520.
- [9] 朱江梅,李 列,杨 薇,等. 多方位角地震资料在文昌凹陷勘探开发中的应用分析[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(5): 2587-2596.
- [10] 吕晓春,孙常新,成景旺,等. 面向目标成像的海上多方位观测系统的评价与优化石油[J]. 地球物理勘探, 2016, 51(1): 13-20.
- [11] Thomsen L. Weak elastic anisotropy [J]. Geophysics, 1986, 51(10): 1954-1966.
- [12] 贾福宗,李道善,曹孟起,等. 宽方位纵波地震资料 HTI 各向异性校正方法研究与应用[J]. 石油物探, 2013, 52(6): 650-658.
- [13] 黄 跃,马昭军,甘其刚,等. 基于 HTI 介质理论的纵波速度分析方法[J]. 成都理工大学学报:自然科学版, 2011, 38(4): 476-480.
- [14] 董世泰,刘雯林,乐 金,等. 压制三维地震数据采集脚印的方法研究[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(1): 7-10.
- [15] 徐 辉,韩文功,单联瑜. 基于实际地震资料的覆盖次数和信噪比关系分析[J]. 石油物探, 2011, 50(2): 181-186.

## APPLICATION OF MARINE MULTI-AZIMUTH FUSION SEISMIC TECHNOLOGY IN YB OILFIELD OF THE EASTERN ZHUJIANGKOU BASIN

YANG Xiaojiang, LI Xisheng, WANG Shenghao, LI Xiao

(1 Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2 Shenzhen Branch, CNOOC, Shenzhen 518054, China)

**Abstract:** Compared to conventional offshore streamer seismic technology, marine multi azimuth fusion technology has suppressed the acquisition footprint to improve signal-to-noise ratio, increase the illumination and improve the quality of seismic data imaging as well as other advantages. And the marine multi azimuth fusion technique can be easily realized with conventional offshore seismic streamer equipment only. Aiming at the high water cut and the production pressure in the late stage of YB oilfield and the difficulty for evaluating oilfield target in the east of the Pearl River Mouth Basin, the multi azimuth fusion seismic technology was suggested. It is proved by application that the multi azimuth fusion seismic technology is more favorable for the stable production of the oilfield and the discovery of the surrounding reserves.

**Key words:** marine seismic; multi azimuth; fusion; signal-to-noise ratio; illumination; footprint