

文章编号: 1673-8926(2012)02-0092-06

# 双反射偏移技术实现礁灰岩油藏断层和裂缝的有效预测

李 彬<sup>1</sup>, 罗东红<sup>1</sup>, 梁 卫<sup>1</sup>, 汪瑞良<sup>1</sup>, 王 慷<sup>2</sup>, 戴建文<sup>1</sup>

(1.中海石油(中国)有限公司深圳分公司; 2.北京安久吉利科贸有限公司)

**摘要:**南海 A 油田地层的内部结构复杂、地震资料分辨率低,对其断层和裂缝的预测较为困难。采用近年发展起来的双反射偏移技术,对该油田开展了断层和裂缝预测。双反射偏移技术以精细处理的三维地震炮集资料及叠前深度偏移的深度域速度模型为基础,通过双反射偏移速度扫描和偏移孔径分析,进一步精细化速度模型,实施双反射偏移处理,获得断层和裂缝成像的三维数据体。通过对双反射偏移数据体及其解释结果,以及深度偏移数据体及其沿层相干、倾角、振幅等属性,常规地震构造解释结果和钻井、测井等信息进行联合解释,可了解并获得该油田断层和裂缝的性质及分布规律。双反射偏移技术不仅可以预测与常规地震认识相一致的断裂系统,还可以有效分析根据常规地震资料难以预测的断层、裂缝及岩性的突变界面。

**关键词:**双反射偏移;叠前深度偏移;裂缝预测;生物礁灰岩油藏

**中图分类号:**P315.3+1 **文献标志码:**A

## 0 引言

碳酸盐岩储层断层和裂缝的准确预测对我国乃至世界各国油气工业的增储上产都具有重要意义,然而该类储层断层和裂缝分布的复杂性、不规则性以及地震弱响应性等都增加了预测难度<sup>[1]</sup>。

南海 A 油田是一个发育在台地边缘的生物礁灰岩地层圈闭。该油田西南部在构造上受控于一北西—南东走向的台地边缘大断层,断距大于 100 m,礁体构造主轴的走向近似平行(受控)于该大断层。礁体高部位两边不对称,向海一侧较陡,向陆一侧具有平缓下倾的趋势,生物礁灰岩顶面最大圈闭幅度 81 m。由于常规偏移数据体解释的构造内部只发育了几条小断层,断距为 5~25 m,平面延伸长度为 150~200 m,断层倾角均在 50°左右,因此笔者认为这种构造的断层和裂缝不发育。南海 A 油田油藏内部纵向上可划分为 A、B、C、D 共 4 个岩性段:A 层岩性以不规则团块状藻灰岩为主,孔隙发

育,压实作用明显,藻团块破碎;B 层岩性整体疏松,以团块状藻灰岩和藻黏结—礁角砾灰岩为主,胶结作用弱;C 层岩性以藻黏结灰岩为主,岩性致密;D 层岩性主要为珊瑚礁骨架灰岩,岩性相对致密。

笔者针对南海 A 油田生物礁灰岩储层横向变化大、内部结构复杂、地震资料分辨率低、断层和裂缝预测难度大的特点,采用近年来发展起来的针对高陡倾角断层和裂缝带偏移成像的双反射偏移技术<sup>[2]</sup>,预测并准确描述了该油田油藏断层和裂缝的分布规律。

## 1 双反射偏移技术

Kostyukevych 等<sup>[3]</sup>和 Lutsenko<sup>[4]</sup>研究了双反射波能量(DWE)的特性,认为当来自较深层位的一次反射再一次从垂直界面反射回地面时,即产生了双反射能量。主要包括 2 种类型:第一种为一次反射(地面→反射界面→地面);第二种为双反射“VH”型(地面→墙→反射界面→地面)或双反射“HV”型(地

收稿日期:2011-10-16;修回日期:2011-11-26

基金项目:“十一五”国家重大专项子课题“海相礁灰岩稠油油藏(特)高含水期精细开发技术研究”(编号:2008ZX05024-004-010)部分研究成果。

第一作者简介:李彬(1972-),男,高级工程师,主要从事油气田开发地质和地球物理方面的研究工作。地址:(510240)广东省广州市江南大道中 168 号海洋石油大厦 1506 室。E-mail:libin@enooc.com.cn

面→反射界面→墙→地面)。由于 DWE 路径顺序可能颠倒,所以双反射波有 2 种类型、4 种方式,且研究表明,这些双反射波的强度对于垂直界面成像是足够的。

多年来,众多学者<sup>[5-6]</sup>一直在寻求适合来自于断面(高陡倾角界面)的双反射波的偏移成像方法(断面折射波成像、逆时偏移、用 2 次单程波动方程偏

移来执行双反射偏移 DWM 等),但由于干扰波(一次反射波、折射波以及衍射波)的能量比 DWE 强很多,所以这种成像方法难以获得较为清晰、落实的成像结果。

从图 1 可看出,在正演模拟的单炮记录上,均可清楚地观测到来自垂直界面的双反射波。笔者在此基础上提出了一种对于双反射波偏移处理的克希

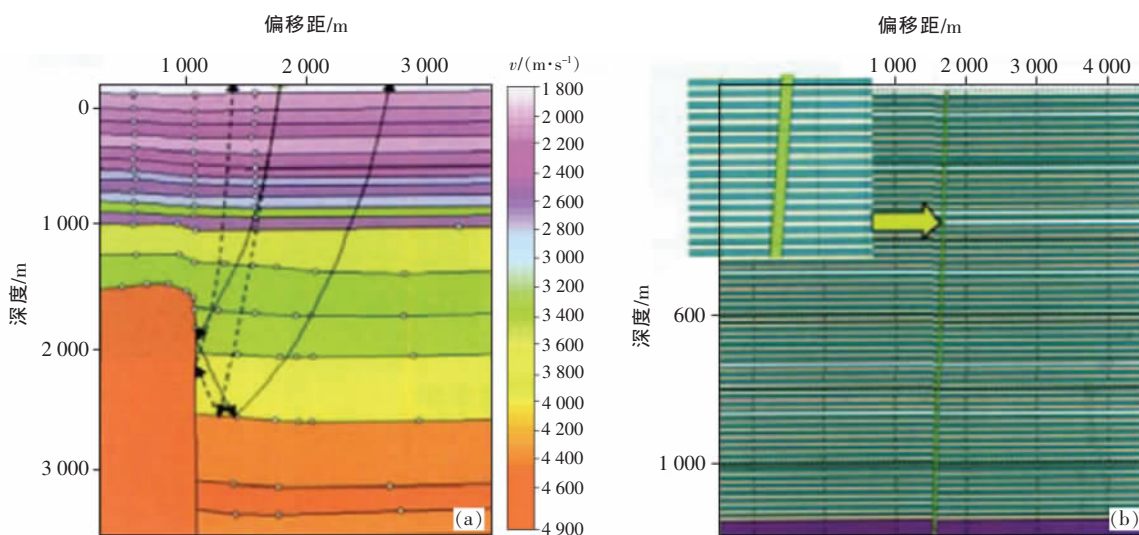


图 1 正演模拟地质模型

Fig. 1 The geological models for forward modeling

(a) 盐丘模型;(b) 垂直小断距薄互层模型

霍夫偏移方法——双反射偏移方法。

双反射偏移方法不仅使盐丘的垂直界面和沉积区内细微的零断距断层成功地得以成像(图 2),同时也自动压制了所有的非 DWE 能量,而这种垂

直界面在常规地震剖面上是无法成像的(图 3)。双反射偏移方法采用 DWE 对垂直界面成像不需要很大的垂向速度差异,而只需要较短的排列记录长度,这说明即使在一个相对小的三维区域内仍可以提

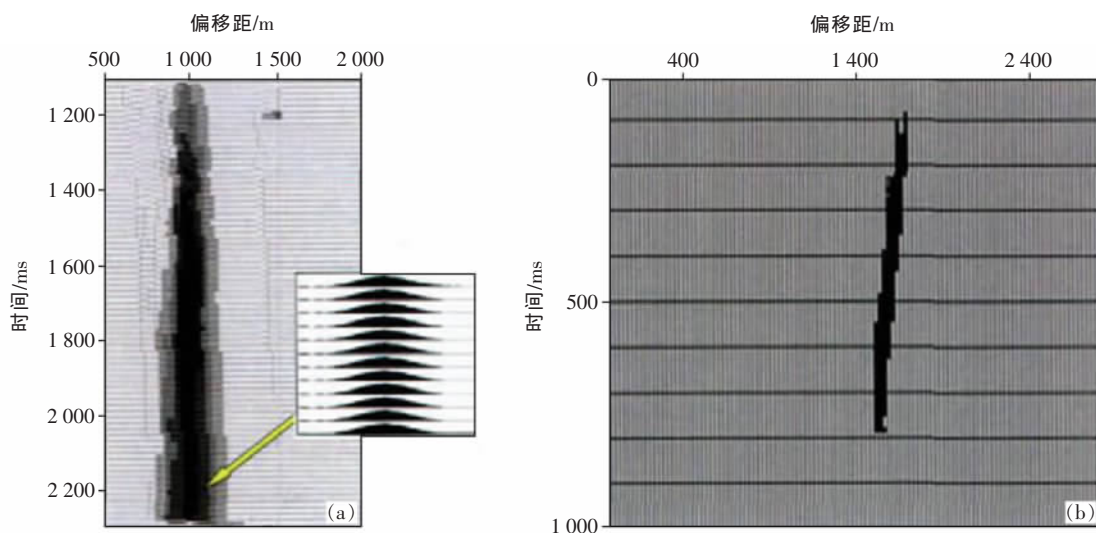


图 2 双反射偏移成像结果

Fig. 2 The results of duplex wave migration

(a) 盐丘模型的岩丘垂直界面双反射成像;(b) 垂直小断距薄互层模型双反射成像

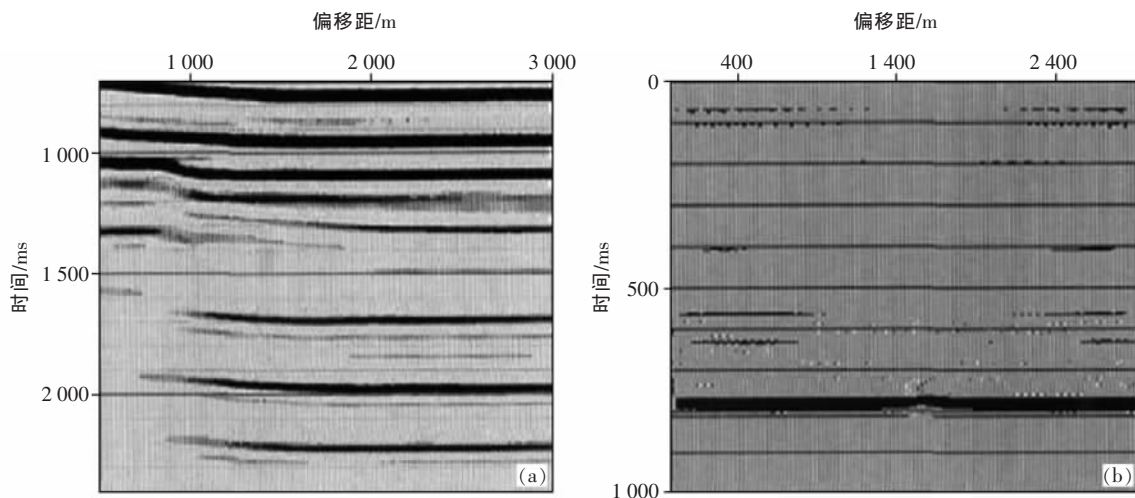


图3 常规处理地震剖面对比图

Fig. 3 The comparison of conventional processing seismic sections

(a) 盐丘模型常规处理剖面; (b) 垂直小断距薄互层模型常规处理剖面

取有关垂直界面的信息。

## 2 双反射偏移处理及其步骤

双反射偏移处理一般采用经过预处理的炮集作为输入数据,但不能使用 F-K 滤波和拉冬变换(LADON),这些滤波会严重影响双反射波的能量。本文研究中,笔者以精细叠前深度偏移(PSDM)处理得到的深度域速度模型(地质模型)为基础,以一个目的层段下方的一次波强反射界面(同相轴)作为双反射偏移研究的参考面(依据 A 油田地质情况选择 D 层作为双反射研究的参考面),通过双反射偏移速度扫描和偏移孔径分析进一步精化深度模型,降低一次反射导致的噪音,从而提高双反射偏移的成像效果,最终获得断层和裂缝成像的三维数据体。

### 2.1 资料品质分析

考虑到双反射波视速度较低的运动学特征,笔者加强了速度模型和输入地震数据的检查,除细致地作野值编辑以外,重点检查是否做过多道滤波(F-K 滤波、拉冬变换及面波压制)。实际处理中,压制多次波处理的炮集对双反射波具有较大影响,所以,双反射偏移处理后的噪音分析就显得极其重要。经随机抽样检查认为,利用叠前深度偏移速度模型得到的数据体成像清晰、分辨率高,且双反射偏移试处理成像结果的分辨率满足要求。

### 2.2 双反射偏移速度扫描

在一个垂直界面情况下,双反射偏移速度扫描是利用垂直界面两侧的反射波来检测垂直界面成

像的准确性。当层速度偏低时,垂直界面的成像位置将向炮点方向靠近;当层速度偏高时,垂直界面的成像位置则向远离炮点方向偏离;当层速度正确时,从垂直界面两侧得到的成像结果处于三维空间的相同位置,此时双反射偏移最收敛,成像最清晰。

### 2.3 双反射偏移孔径参数分析

根据叠前深度偏移速度模型,可以确定一个管状传播的束状结构孔径参数。选择正确的孔径参数对于排除偏移求和过程中由基底界面一次反射所导致的偏移噪音是至关重要的,孔径的严格控制是压制由一次反射带来假象的关键。

偏移孔径是双反射偏移成像的关键参数,其选择的原则为在输入尽可能多的成像数据与屏蔽尽可能多的噪音数据之间确定一个平衡点,最终选择的炮检距范围即偏移孔径参数。最佳偏移孔径参数应使成像和压噪效果两全其美。为进一步落实最佳孔径参数,笔者在有代表性的主要区域以获得最佳成像效果为标准来进行孔径参数扫描和选择。

### 2.4 双反射偏移处理

双反射偏移速度扫描和双反射偏移孔径参数分析是双反射偏移处理的 2 个关键环节,需要多次交互分析和迭代处理。只有在获得较合理的速度模型和偏移孔径参数后,才可实施最终的双反射偏移处理。

从[图 4(a)]可看出:南北方向上受地震采集脚印噪音影响相对较高,信噪比低,双反射偏移成像与采集脚印混杂在一起,解释困难;东西方向上的双反射波成像能量强,连续性好,易于解释。本文研

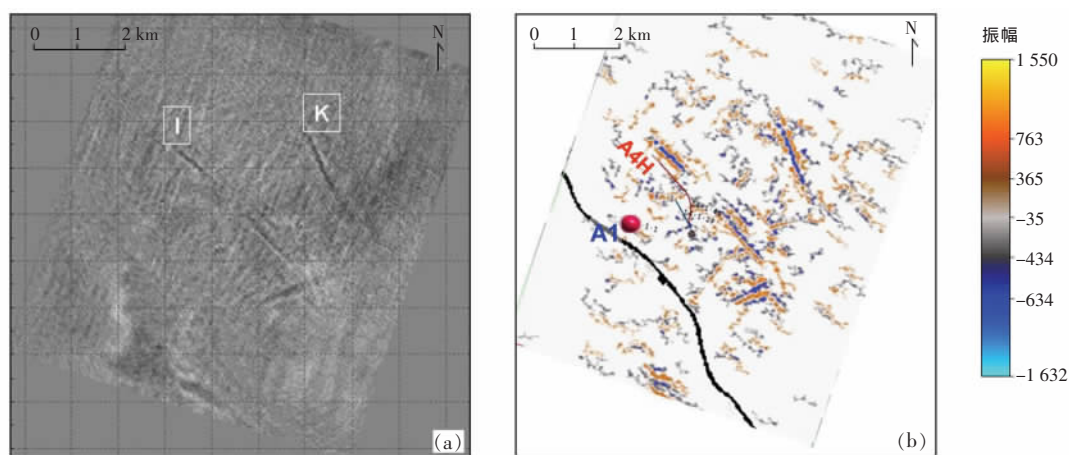


图 4 去噪前、后 DWM 数据体沿 A 层的切片 (2 000 m 偏移孔径) 对比图

Fig. 4 Comparison of slices along horizon A of DWM data before and after noise reduction

(a) 去噪前 DWM 数据体沿 A 层的切片 (2 000 m 偏移孔径); (b) 去噪后 DWM 数据体沿 A 层的切片 (2 000 m 偏移孔径)

究中,因各种噪音的能量远大于双反射波的能量,所以处理中需加大噪音(干扰波)分析力度,以便找到合适的去噪方法,从而获得去噪后的双反射偏移数据体。从[图 4(b)]可看出,去噪后采集脚印去除干净,信噪比显著提高,但不可否认的是,可能存在南北方向上的有效波也被当作噪音被去除掉的风险。

### 3 应用效果

笔者针对礁灰岩油藏的实际特点,采取了多种地震数据体(综合双反射解释结果,常规及深度偏移成果)和多种技术手段(沿层相干、倾角属性,振幅)综合解释的方案,通过井-震结合进行了联合分析和总结,提高了地质认识。

笔者依据双反射偏移断层和裂缝的解释结果

以及构造特征、礁体分布特征、油水关系等信息,在平面上将南海 A 油田划分为 4 个区域。区为 A1 井区,为一狭长的、受台地边缘断层控制的塔礁发育区;区和区位于塔礁北部区域,为礁灰岩油藏主要含油区;区为油田北部无井控制区域,为潜在含油区。

区因受台地边缘断层控制,构造幅度大,构造倾角较陡,呈低相干属性特征(图 5)。笔者综合双反射偏移结果(图 6),认为 A1 井区的断层和裂缝基本不发育或发育几率较小。

区和区的主要断层和裂缝[图 6(b)中粉红色线]分布在油田北翼,走向为北西—南东向,与南部边缘断层基本平行。对比相干、倾角(图 5)及构造解释断层(图 7),三者特征基本一致。双反射偏

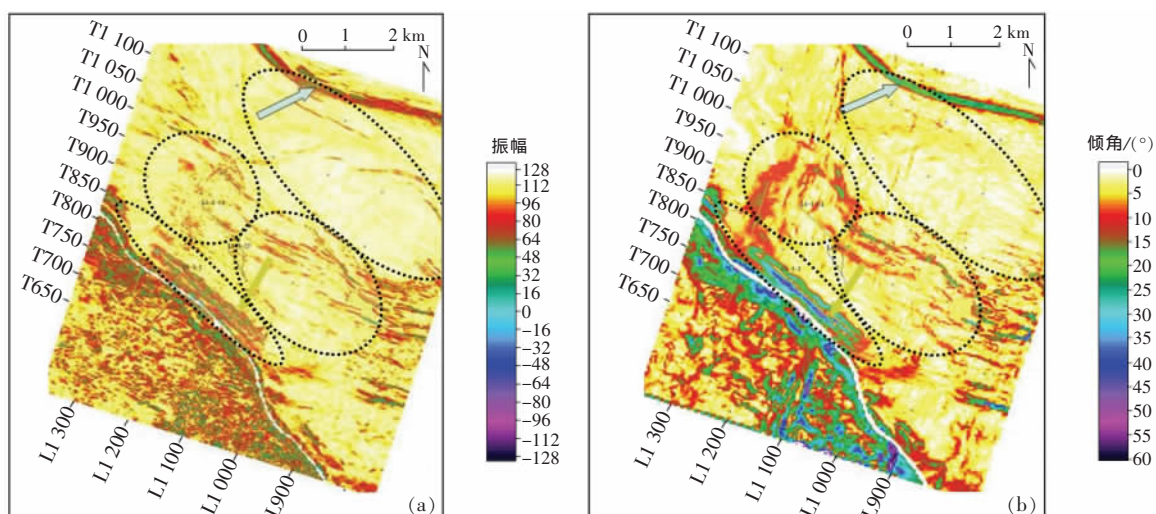


图 5 深度偏移数据体沿 A 层的相干图(a)、倾角梯度图(b)

Fig. 5 The coherence (a) and dip (b) along horizon A of pre-stack depth migration

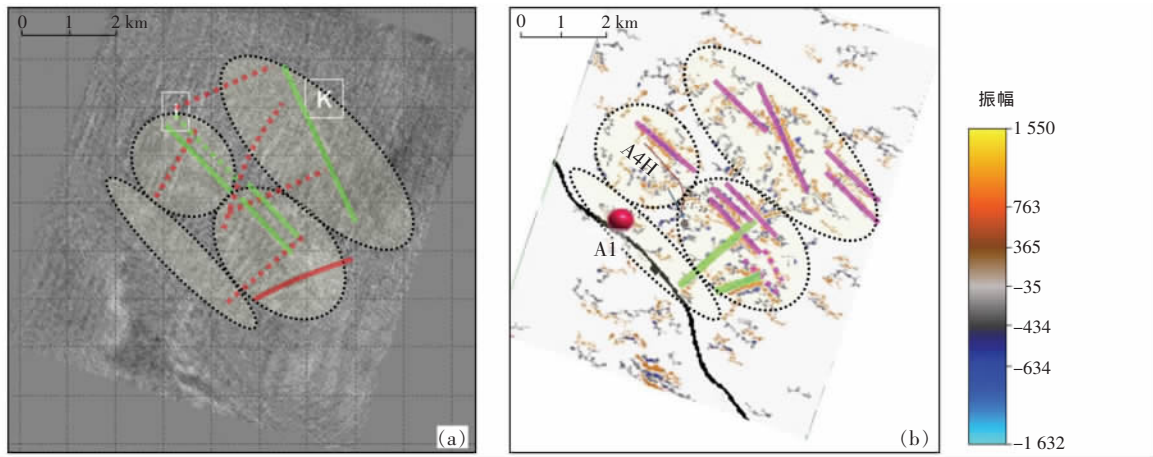


图6 去噪前、后DWM数据体沿A层切片断层和裂缝解释结果对比图  
**Fig. 6 Comparison of faults and fractures along horizon A of DWM data before and after noise reduction**  
 (a) 去噪前DWM数据体沿A层切片断层和裂缝解释结果; (b) 去噪后DWM数据体沿A层切片断层和裂缝解释结果

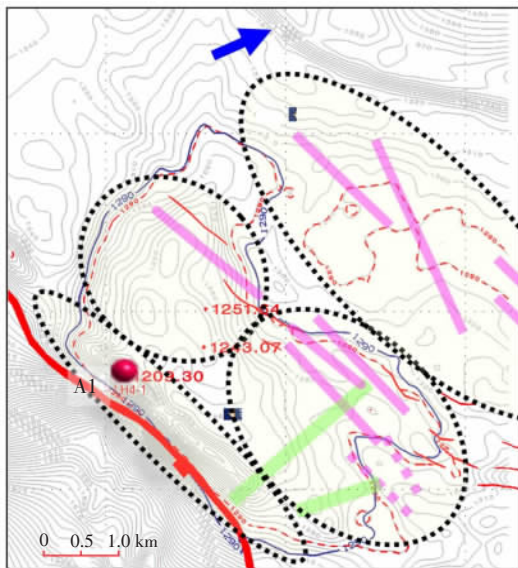


图7 双反射断层裂缝解释与常规解释的构造叠合图  
**Fig. 7 Comparison of the faults and fractures between DWM and conventional interpretation**

移解释的断层延伸长度为500~1500m,其规模比构造解释结果略大。

区常规解释小断层与图6(a)中绿色虚线位置吻合,而去噪后的DWM结果断层不明显[图6(b)],表现为不相干和倾角变化快的特征(图5)。从图8可看出,不相干特征位置对应油田北翼较陡部位,早期发育继承性小断层。叠前深度偏移结果反映生物礁后期以沉积为主,活动性可能较低,礁体内部断裂可能性(或规模)小。

区断层的双反射偏移成果裂缝特征明显(图6),为潜在含油区。该区以北(图5和图6中蓝色箭头所指区域)属低相干不连续属性特征,构造倾角较陡(约30°),向北构造快速倾覆,水体加深,不利于礁体发育。双反射偏移结果对该构造特征无响应,说明单纯构造幅度特征的变化不属于双反射偏移技术的预测范围。

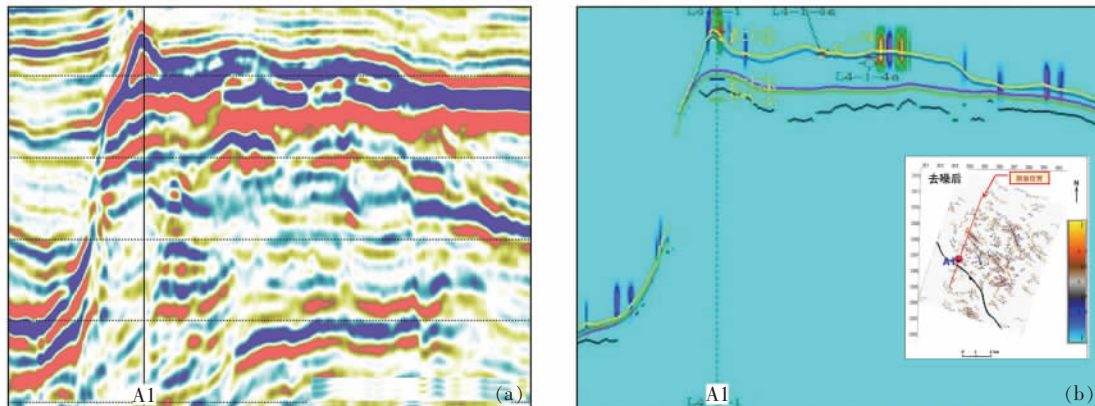


图8 过A1井叠前深度偏移剖面(a)和去噪后双反射偏移剖面(b)对比图  
**Fig. 8 Comparison between pre-stack depth migration section (a) and DWM section after noise reduction (b) across well A1**

## 4 结束语

双反射偏移技术是一项针对断层、裂缝等高陡界面的二次反射波偏移成像的有效技术手段,成像结果主要反映具有一定厚度的地下垂直带及其与围岩介质差异性变化的大小,对小断层、裂缝带以及岩性异常边界都具有较好的识别能力。对于具有复杂断层和裂缝分布特征的生物礁灰岩油藏来说,双反射偏移技术不仅能识别采用常规方法就可识别的小断层,而且能识别出常规方法难以识别的断裂和裂缝发育带、高渗透带以及岩性分界面,实现了礁灰岩油藏裂缝预测方法的突破。双反射偏移技术对于提高礁灰岩油气藏地质认识和改善开发效果提供了有力的技术支持。

## 参考文献:

- [1] 王广财,楼一珊,李忠慧,等,碳酸盐岩裂缝预测方法研究[J].长江大学学报:自然科学版,2008,5(3):176-178.
- [2] 王榛.双反射偏移(DWM)技术介绍及应用[J].岩性油气藏,2008,20(2):78-82.
- [3] Kostyukovich A S, Marmalevsky N Y, Gornyak Z V, et al. Finite-difference modeling of duplex waves reflected from subvertical boundaries[J]. Geophysical Journal, 2001, 23(3):110-115.
- [4] Lutsenko B N. Seismic waves interpretation within complex media [M]. Moscow: Nedra, 1987:120.
- [5] Misra K S, Slaney V R, Graham D, et al. Mapping of basement and other tectonic features using seasat and thematic mapper in hydrocarbon producing areas of the Western Canadian Sedimentary Basin of Canada [J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 1991, 17(2):137-151.
- [6] McMechan G A. Migration by extrapolation of time-dependent boundary values[J]. Geophysical Prospecting, 1983, 31:413-420.

## Applying duplex wave migration technology to predict faults and fractures in reef limestone reservoir

LI Bin<sup>1</sup>, LUO Donghong<sup>1</sup>, LIANG Wei<sup>1</sup>, WANG Ruiliang<sup>1</sup>, WANG Su<sup>2</sup>, DAI Jianwen<sup>1</sup>

(1. Shenzhen Branch of CNOOC, Shenzhen 518067, China; 2. Beijing Anjiu Jili CO. Ltd., Beijing 100088, China)

**Abstract:** Due to low resolution seismic data and complex inner structure of A oilfield in South China Sea, it is difficult to predict the faults and fractures. This paper adopted duplex wave migration (DWM) technology to predict the faults and fractures in this oilfield. Based on 3D seismic shot gather information and pre-stack depth migration velocity model in depth domain, combined with DWM velocity scan and migration aperture analysis, DWM technology was used to refine the velocity model further, then obtained the 3D data of fault and fractures imaging. According to the DWM data and its explaining results, depth migration data and its attributions, such as coherence cube, dip and amplitude and so on, structure explaining results by normal seismic explanation, drilling and logging data, the characteristics and distribution law of the faults and fractures of the oilfield were recognized. It is proved that the DWM technology can be used to not only predict the fault and fracture system, which can be predicted by normal seismic, but also predict those unpredictable fault, fracture, and lithologic interface.

**Key words:** duplex wave migration; pre-stack depth migration; fracture prediction; reef limestone reservoir

(本文编辑:郭言青)

## 《岩性油气藏》期刊栏目介绍——“论坛与综述”

“论坛与综述”栏目:主要报道石油与天然气勘探开发及非常规油气勘探领域的研究成果和进展,以及对相关理论、方法、技术等综述和评论方面的文章。文章形式以对油气勘探开发形式及方向分析、油气勘探开发技术的发展趋势等为主,同时还刊登相关研究领域的综述和评论性的文章。