

文章编号: 1673- 8926(2008) 02- 0078- 05

双反射偏移(DWM) 技术介绍及应用

王 愫

(北京安久吉利科贸有限公司)

摘 要: 通过波动方程全波场正演模拟技术, 揭示了垂直界面产生的二次反射, 即双反射的波场特征, 在此基础上研究了双反射偏移成像技术。模型正演表明, 双反射偏移成像技术可使地下垂直或接近垂直的界面得以准确成像。通过该项技术的应用, 使得利用常规地震处理技术不能准确成像的近垂直的各种波阻抗界面(断面、盐丘侧翼、油气水分界线等) 得以准确成像, 这对常规地震成像作了有益的补充。对有关断裂系统地质信息的准确识别及发现由断裂控制的继承性高产油气带和由微断层分割控制的剩余油等均具有十分重要的意义。

关键词: 双反射偏移; 垂直界面; 成像

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

Technology of duplex wave migration and its application

WANG Su

(Beijing Anjiujili Technology & Trade Co. Ltd., Beijing 100088, China)

Abstract: According to the forward modeling technique of wave equation, the duplex wave features of the vertical boundaries are indicated. The duplex wave migration imaging technique is studied. The results of the forward modeling and the application of this technique show that duplex wave migration enables the identification of all types of vertical boundaries including salt walls, subtle vertical faults within the reservoir, vertical zones that exist above the oil to water contacts etc, which is a beneficial supplement for the conventional seismic processing. This technique takes a significant part in recognizing the geologic information related to the fault system and discovering the high production oil/gas zones controlled by fault and the remaining oil controlled by microfault.

Key words: duplex wave migration; vertical boundaries; imaging

1 研究历程和存在问题

Kostyukevych 等^[1]和 Lutsenko^[2]研究了双反射波的能量 DWE(Duplex wave energy) 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后返回地面时, 就产生了双反射能量。DWE 的路径也可能顺序颠倒, 即先从垂直界面反射, 然后再从较深的界面反射到地面。图 1 中的 为一次反射(地面—反射界面—地面), 为双反射‘P’型(地

面—墙—反射界面—地面), 为双反射‘I’型(地面—反射界面—墙—地面)。研究表明, 这些波的强度对于垂直界面成像是足够的。

Hail 等认为假设存在足够的垂直速度差异, 用回折波可以使垂直界面成像。在这种条件下折射波可返回地面, 但此时需要用很长的排列记录, 而且为了使横向位置准确, 必须依靠大范围的精确速度模型^[3]。

McMechan^[4]利用合成记录上的 DWE, 以逆时

收稿日期: 2007- 08- 17; 修回日期: 2007- 11- 11

作者简介: 王愫, 1943 年生, 女, 教授级高工, 主要从事地球物理勘探的研究工作。地址: (100088) 北京安久吉利科贸有限公司。电话: (010) 52008701, 82257769。E-mail: ws9663@263.net

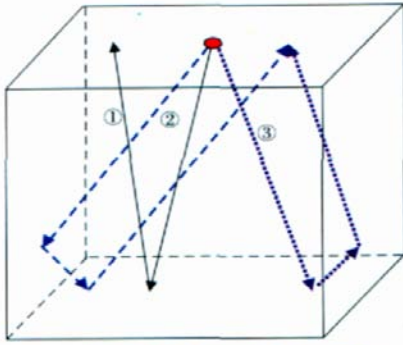


图 1 垂直界面产生的双反射示意图

Fig. 1 The sketch map showing how can generate the duplex wave based on a vertical boundary

Farmer 等^[8]提出将 RTM 应用到三维地震数据中的方法, 通过采用一个相对盐丘的参考速度来解决干扰波问题, 此时需要盐丘与围岩速度有较大差别。这种方法的基本特点是需要反射波在盐丘与围岩之间存在较大的旅行时差, 但这限制了 DWM 的应用。因为其要求断层的断距为一个地震波长, 但对于断距不大的断层, 即便定义一个足够大的速度差异, 也不可能产生能够压制干扰波能量的足够大的旅行时差。

2 双反射波模型正演研究

通过 Tesseral 二维模型正演技术, 对具有垂直界面的岩丘模型和断面接近 90°且无断距的薄互层模型进行了正演模拟(图 2)。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(图 3)。通过模型记录研究, 所建立的双反射偏移方法可以使盐丘的垂直界面和薄互层中的小断距、甚至无断距但接近垂直的断面得以准确成像(图 4), 而这样的垂直界面在常规地震剖面上是不能够成像的(图 5)。

Marmalevsky 等^[9]提出对于 DWM 的一种克希霍夫偏移方法, 该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, 同时也自动压制了所有的非 DWE 能量。这种方法用双反射能量(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。这意味着即使在一个相对小的三维区域内, 仍然可以提取有关垂直界面的信息。该方法既可用于二维资料处理, 也可用于三维资料处理。

偏移 RTM(Reverse time migration) 方法使垂直界面得以成像。但 RTM 不能压制一次波的能量, 因为一次波的能量比 DWE 要强得多, 会使双反射成像产生误差。因此, McMechan 在使用 RTM 以前, 需要在炮集上压制一次波来解决这一问题。

Yoon 等^[9]认为, 这种依靠压制一次反射波能量的方法是不切实际的, 特别是在结构复杂的地区。Yoon 等和 Fletcher 等^[6]使用 RTM 提供了压制衍射和折射能量的多种方法, 并努力使 DWE 成像。但这种方法的原理对于 DWE 成像是适合的, 因为 DWE 是由向上传播的能量形成, 它已从一个较深的基底界面反射了(反之亦然)。

Jin 等^[7]建议通过用 2 次单程波动方程偏移来执行双反射偏移 DWM(Duplex wave migration), 计算来自固定基底界面上行反射波, 这个方法比 RTM 更快。但偏移条件所涉及到的干扰波为一次反射波、折射波和衍射波的能量, 这些能量会使 DWE 正确成像结果变得模糊。

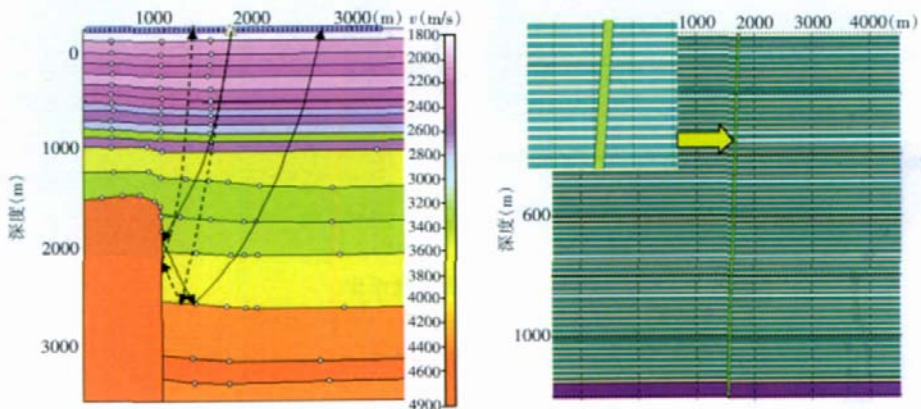


图 2 正演模拟地质模型

Fig. 2 The geologic model for forward modeling

左: 盐丘模型; 右: 垂直小断距薄互层模型

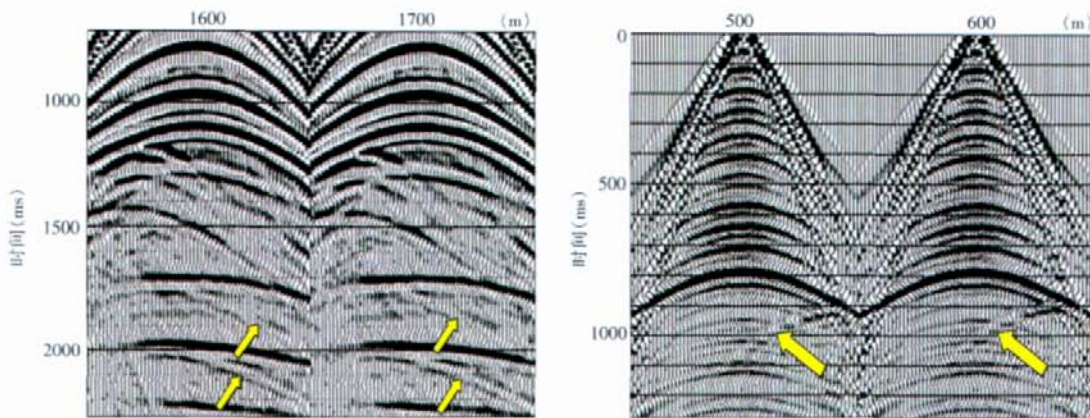


图 3 正演模拟炮记录上的双反射波(箭头指示)

Fig. 3 The duplex wave on forward modeling synthetic common shot gathers

左:盐丘模型模拟炮记录;右:垂直小断距断面薄互层模型模拟炮记录

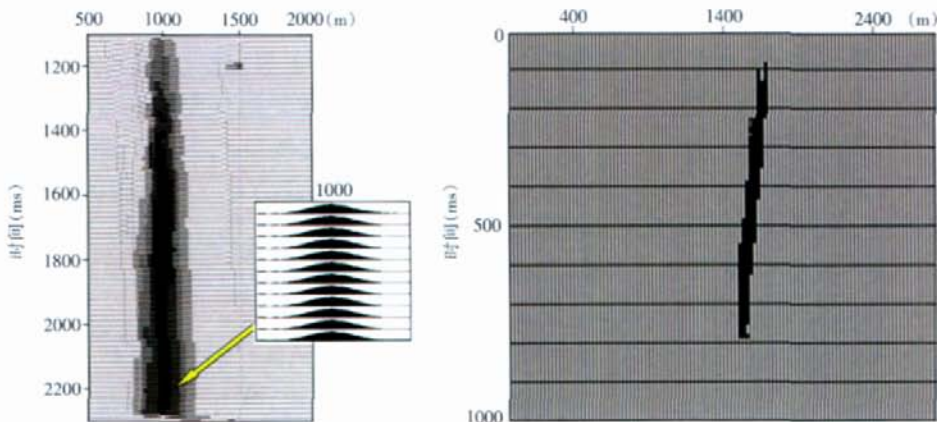


图 4 双反偏移成像结果

Fig. 4 The results of duplex wave migration

左:盐丘模型的盐丘垂直界面成像;右:垂直小断距断面薄互层模型

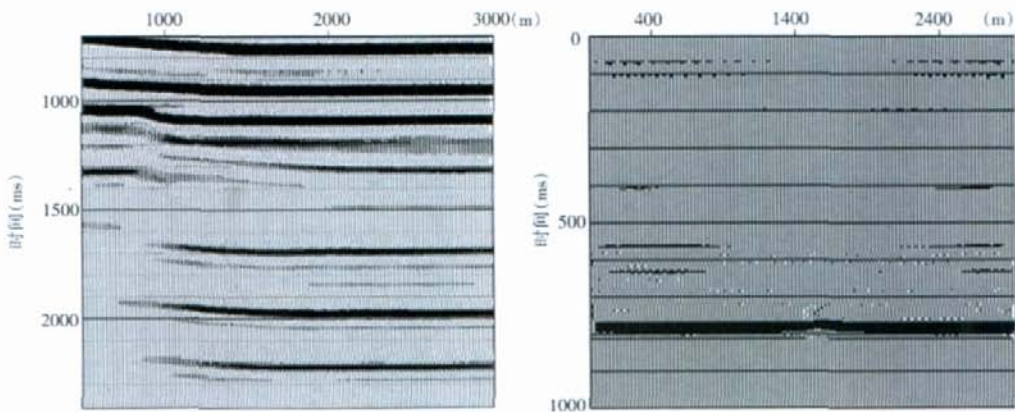


图 5 常规处理地震剖面

Fig. 5 Conventional processing seismic section

左:盐丘模型剖面;右:垂直小断距断面薄互层模型剖面

3 双反射偏移(DWM)方法

基于格林函数运动学 DWM 的克希霍夫深度偏

移,采用经过预处理的炮集作为输入数据。预处理包括写道头、静校正、编辑坏炮和坏道、初至切除、噪音分析和压制、去信号反褶积、预测反褶积等,但

此时不能使用 FK 和 LADON 变换类型的滤波。DWM 处理以常规叠前深度偏移 (PSDM) 处理得到的深度模型为起点, 这个深度模型可以是各向同性, 也可以是旅行传播时间(TTI) 各向异性。TTI 计算值可用类似 Roganov^[10] 所描绘的程函方程的解得到。

根据常规叠前深度偏移结果, 在深度域定义一个一次波同相轴, 所确定的同相轴必须比所希望得到的垂直界面深, 并且是一个强反射。这个强反射界面不一定是区域内可连续追踪的水平界面, 可以是局部且带有一定倾角的强反射界面。

DWM 算法设计用于成像的能量到达时间比一次反射波到达时间长。在 PSDM 确定的深度模型基础上, 通过 DWM 速度扫描可进一步精化深度模型。在垂直界面条件下, 双反射可能有 2 种反射顺序: 一种是由地层界面反射后再经垂直界面反射回地面, 记为 HV 型; 另一种是由垂直界面反射后再经地层界面反射回地面, 记为 VH 型。在中间放炮观测系统条件下, 于一个垂直界面产生双反射的有效范围内, 在离垂直界面左侧较远的炮点记录上, 在其右半支时距曲线上可以观测到 HV 型双反射, 而在离垂直界面左侧较近的炮点记录上, 可在其左半支时距曲线上观测到 VH 型双反射。同样, 在离垂直界面右侧较远的炮点记录上, 可在其左半支时距曲线上

观测到 HV 型双反射, 而在离垂直界面右侧较近的炮点记录上, 可在其右半支时距曲线上观测到 VH 型双反射。因此, DWM 成像可对以上所说的 4 种情况清楚地浏览垂直界面。根据 2 种(HV 型双反射和 VH 型双反射) 可能的反射顺序, 可任意选择炮点右侧或左侧的道作为输入来开展 DWM 偏移。

通过速度扫描, 可用垂直界面的成像结果来精化深度模型。在一个垂直界面情况下, 可以用这个垂直界面两侧的反射波来检测垂直界面成像的准确性。如果速度偏低, 垂直界面的成像位置将向炮点方向靠近; 如果速度偏高, 垂直界面的成像位置则向远离炮点方向偏离。当速度正确时, 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。

根据 PSDM 深度模型, 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。

DWM 方法能够识别各种类型的垂直界面, 包括盐丘墙、油藏内部小断距的垂直断层、侵蚀的垂直带和与之相关的油水接触线等。采用这种克希霍夫偏移方法可以通过一系列的 DWM 三维偏移浏览数据体进行有效的目标速度分析(图 6)。

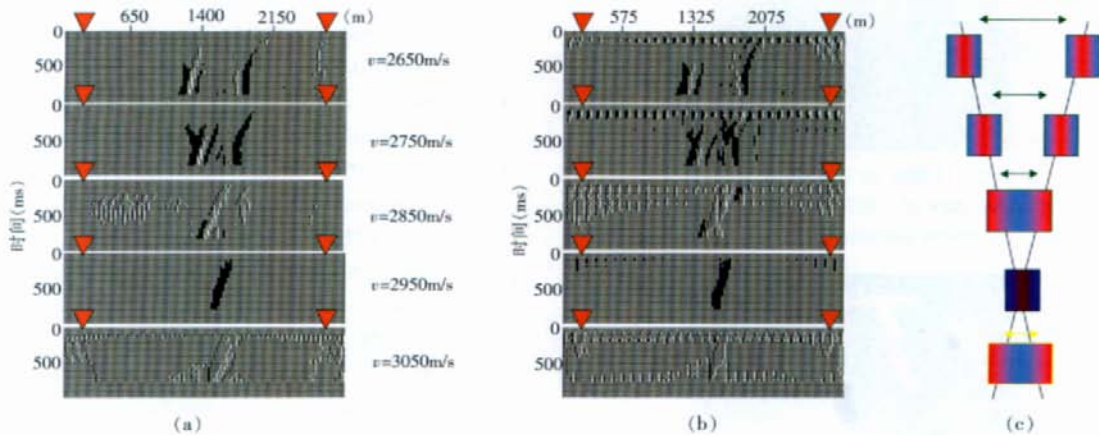


图 6 双反射偏移速度分析

Fig. 6 Duplex wave migration velocity analysis

(a), (b) 不同观测位置成像剖面(图中红色箭头表示炮点位置); (c) 不同速度成像位置

通过三维可视化技术, 可以对 PSDM 数据体和 DWM 数据体进行联合解释。用一体化的方式将有关垂直界面的附加信息添加到已有的 PSDM 深度模型中, 如果二者在结构和速度上有差异, 则应该进行 PSDM 和 DWM 的迭代处理, 直到取得满意的结果。二者对比的主要依据是区域断层的成像位置

相一致。如果 DWM 数据中垂直界面成像的速度和位置与 PSDM 数据的断层速度和位置产生较大差异, 这可能是 PSDM 过程中忽略了成像位置以上层位存在各向异性的影响, 这样会使断层的水平位置发生较大的偏差。所以 DWM 迭代处理是不可缺少的处理过程, 它是帮助 PSDM 得到较精确的各向异

性参数的一种有效手段。

4 应用实例

以西加拿大盆地的三维资料为例,盆地中的垂直断层起源于前寒武系基底中的断块,其垂直断距很小或没有,在常规地震成像上往往无法识别。在一些区域,这类断层已经被火成岩侵入,而且局部已露出地面。在该区北半部存在一个 NW—SE 向的沟槽(已经由航磁测量发现)。该区主要有 5 套目的层,且有数口井钻入层 2 以上的薄砂岩气层。

对层 2 到层 5 进行的三维 DWM 处理结果显示,各层的断层与已知的正断层相符,并且也与航磁资料上明显的沟槽相符。从图 7 中可看出区域大断层(蓝色箭头所指部分)和一些近于直立的小断层(黄色箭头所指部分)的展布特征;图 8 中的蓝色

和黄色箭头所指特征与图 7 相同,红色箭头所指断点对应于航磁测量描绘的沟槽,该区唯一的产气井即位于直角断层强振幅的交点上。而利用 DWM 方法识别的沟槽和近于直立的小断层在 PSDM 数据体上均无法识别。

5 结 论

对于垂直或近于垂直的界面,常规地震资料处理和叠前深度偏移处理方法均很难对其准确成像,而双反射偏移(DWM)方法则是一个比逆时偏移更为有效的方法。DWM 技术的应用,可对常规地震成像作出有益的补充。

参考文献:

- [1] Kostyukewych A S, Marmalevsky N Y, Gornyak Z V, et al. Finite-difference modeling of duplex waves reflected from subvertical boundaries[J]. *Geophysical Journal (Ukraine)*, 2001, 23(3): 110-115 (in Russian).
- [2] Lutsenko B N. *Seismic waves interpretation within complex media* [M]. Moscow: Nedra, 1987: 120 (in Russian).
- [3] Misra K S, Staney 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.
- [4] McMechan G A. Migration by extrapolation of time-dependent boundary values[J]. *Geophysical Prospecting*, 1983, 31: 413-420.
- [5] Yoon K, Warfurt K, Starr W. Challenges in reverse-time migration [C]. 74th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 2004: 1 057-1 060.
- [6] Fletcher R, Fowler P, Kitchenside P, et al. Suppressing artifacts in prestack reverse time migration [C]. 75th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 2005: 2 049-2 051.
- [7] Jin S, Xu S, Walraven D. One-return wave equation migration: Imaging of duplex waves [C]. 76th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 2006: 2 338-2 341.
- [8] Farmer P A, Jones I F, Zhou H, et al. Application of reverse time migration to complex imaging problems [J]. *First Break*, 2006, 24(9): 65-73.
- [9] Marmalevsky N Y, Roganov Y V, Gornyak Z V, et al. Migration of duplex waves [C]. 75th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 2005: 2 025-2 028.
- [10] Roganov Y V. 3D eikonal solver in tilted TI media [C]. 68th EAGE Conference and Exhibition, Expanded Abstracts, 2006: 184.

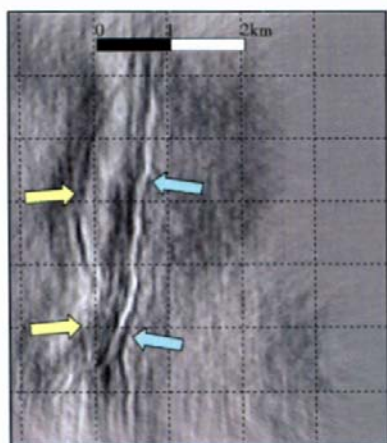


图 7 层 5 以上 100m 的 DWM 水平切片
Fig. 7 Horizontal slice of DWM cube by 100 meters above horizon 5

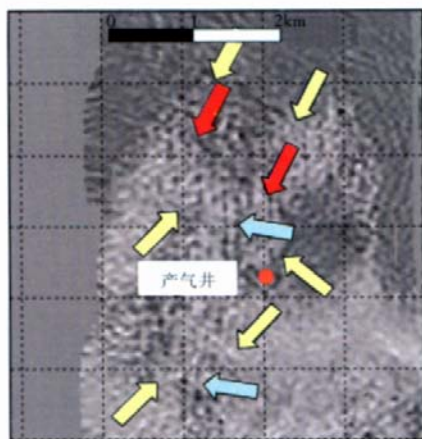


图 8 层 2 以上 100m 的水平切片
Fig. 8 Horizontal slice of DWM cube by 100 meters above horizon 2

(编辑 王会玲)