

陈玺, 杨振, 文鹏飞, 等. 保幅 Kirchhoff 弯曲射线叠前时间偏移技术在天然气水合物三维地震资料处理中的应用[J]. 华南地震, 2019, 39(1): 7-11. [CHEN Xi, YANG Zhen, WEN Pengfei, et al. Application of Amplitude-preserving Kirchhoff Curved-ray PSTM in Gas Hydrates 3D Seismic Data Processing[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(1): 7-11]

保幅 Kirchhoff 弯曲射线叠前时间偏移技术在天然气水合物三维地震资料处理中的应用

陈 玺, 杨 振, 文鹏飞, 张宝金

(国土资源部海底矿产资源重点实验室 广州海洋地质调查局, 广州 510075)

摘要: 天然气水合物的富集往往与断裂、底辟及泥火山等构造有关, 这就要求地震成像要精确, 而针对水合物的地震处理又要以保真保幅为前提, 因此快速高效而又有较高成像质量的保幅 Kirchhoff 弯曲射线叠前时间偏移技术被广泛应用于三维水合物资料处理中。与直射 Kirchhoff 叠前时间偏移技术相比, 弯曲射线 Kirchhoff 叠前时间偏移同样具有快速高效的特点, 同时成像精度在一定程度上可媲美叠前深度偏移。在实际资料的应用中可发现, 基于保幅 Kirchhoff 弯曲射线叠前时间偏移技术处理的地震剖面可精确地刻画气体通道, 有利于天然气水合物富集区的识别。

关键词: 天然气水合物; 地震处理; 保幅; 弯曲射线; 层速度; Kirchhoff 叠前时间偏移

中图分类号: P315 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2019)01-0007-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.01.002

Application of Amplitude-preserving Kirchhoff Curved-ray PSTM in Gas Hydrates 3D Seismic Data Processing

CHEN Xi, YANG Zhen, WEN Pengfei, ZHANG Baojin

(MLR Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Guangzhou Marine Geological Survey,
Guangzhou 510760, China)

Abstract: The enrichment of natural gas hydrate is often associated with fractures, diapirs and mud volcano structures, which requires accurate seismic imaging, and the processing for the gas hydrate seismic needs amplitude-preserved, so the fast and efficient amplitude-preserving Kirchhoff curved-ray pre-stack time migration technology with higher quality image is widely used in the data processing of 3D seismic exploration for hydrate. Compared with the straight-ray Kirchhoff pre-stack time migration technique, the curved-ray Kirchhoff pre-stack time migration is also fast and efficient, and the imaging accuracy is comparable to the pre-stack depth migration in a way. In the application of actual data, it can be found that the gas channel can be distinguished accurately from the seismic section processed by amplitude-preserving Kirchhoff curved-ray pre-

收稿日期: 2018-01-08

基金项目: 国家自然科学基金(41606030); 国家重点研发计划课题(2017YFC0307405)。

作者简介: 陈 玺(1984-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事海域天然气水合物地球物理资料处理及研究工作。

E-mail: cxfox_2000@163.com.

stack time migration technique, and the section is helpful to identify the enrichment area of gas hydrate.

Keywords: Gas hydrates; Seismic data processing; Amplitude-preserving; Curved-ray; Interval velocity; Kirchhoff PSTM

0 前言

随着天然气水合物普查阶段接近尾声, 针对目标区的详查工作逐步地展开, 详查不仅要求准确识别 BSR 和振幅空白带, 还要求进行气体运移通道刻画, 储层描述。而气体的运移与断层密不可分, 断层为深部气源向上运移提供了良好的通道, 国内外多个成功通过钻井取得天然气水合物的地区表明, 在水合物广泛发育的地区, 断裂、底辟及泥火山等构造与水合物息息相关^[1-2]。这就要求地震剖面要精确成像, 因此三维叠前偏移技术也大规模地应用于针对水合物的三维地震资料处理中。由于天然气水合物在地震剖面上具有独特的特征, 如振幅空白带、极性反转、地层斜交或穿层现象^[3-5], 从而针对天然气水合物的处理就以保幅保真为前提^[6]。

叠前偏移技术包括叠前时间偏移和叠前深度偏移, 叠前时间偏移包括 Kirchhoff 叠前时间偏移、F-K 叠前时间偏移、有限差分叠前时间偏移等, 叠前深度偏移包括 Kirchhoff 叠前深度偏移、波动方程偏移、逆时偏移等。现在阶段 Kirchhoff 叠前时间偏移应用最为广泛。通常来讲, Kirchhoff 叠前时间偏移在速度横向变化不剧烈的情况下可以取得较好的成像效果; 当速度存在剧烈横向变化时只有叠前深度偏移能够实现较准确的成像效果, 但其缺点也很明显: 速度建模和偏移过程本身都需要花费大量的时间。因此基于层速度的 Kirchhoff 弯曲射线叠前时间偏移显得更为高效, 不仅和基于均方根速度的 Kirchhoff 叠前时间偏移一样快速, 而且具有很好的成像精度。

1 保幅 kirchhoff 弯曲射线叠前时间偏移

1.1 旅行时计算

Kirchhoff 叠前时间偏移法是一种绕射求和偏移方法, 一般假设从炮点到散射点再到接收点的路径为直线, 其理论出发点为对称旅行时的双平方根方程:

$$t=t_s+t_r=\sqrt{\left(\frac{\tau}{2}\right)^2+\frac{(x+h)^2}{v^2}}+\sqrt{\left(\frac{\tau}{2}\right)^2+\frac{(x-h)^2}{v^2}} \quad (1)$$

其中, t 为总旅行时, t_s 、 t_r 分别为炮点到散射点、散射点到接收点的旅行时, τ 为零偏移距双程旅行时, v 为相对于散射点位置处的均方根速度, 实际处理中常选取炮点和接收点中点处的均方根速度。

在水平层状介质假设下, 将(1)中的速度 v 用层速度代替, 即可得到多层对称旅行时方程, 其可表示为如下的泰勒展开形式^[7-10]:

$$t=\sqrt{\sum_{n=0}^N C_n X^{2n}} \quad (2)$$

其中

$$C_n=\frac{1}{(n/2)!} \frac{d^{(n/2)} t}{(dx^2)^{(n/2)}}$$

在各向同性层状介质中,

$$C_0=T_0^2$$

$$C_1=\frac{T_0}{T_1}$$

$$C_2=\frac{T_1^2-T_0 T_2}{4T_1^4}$$

$$C_3=\frac{2T_0 T_2^2-T_0 T_1 T_3-T_1^2 T_2}{8T_1^7}$$

.....,

$$T_i=\sum_{k=1}^n v_k^i \Delta t_k$$

其中 Δt_k 为地震波在地下第 k 层传播所用的走时, v_k 为第 k 层的层速度。 T_0 是所有层的垂直旅行时。

当对上述方程取二次截断, 即和式(1)等价, 可以看出, 直线计算方法是弯曲射线计算方法的一阶近似, 所以弯曲射线计算方法更加准确。但公式(2)中只有偶次项, 所以其双程旅行时是基于中心点对称的, 对横向速度变化剧烈的情况仍不适用, 为此, 刘洪等^[11]对传统时间偏移进行了修正, 包括单平方根算子修正、李代数积分修正、指数映射修正, 给出了非对称走时公式, 改善了 Kirchhoff 积分在复杂条件下的聚集能力。

1.2 保幅计算

针对天然气水合物的处理要求以保幅保真为前提,因为偏移过程中的保幅问题尤为重要,保幅权函数主要是消除几何扩散对地震数据的影响,最早由 Bleistein^[12]提出,而后张宇^[13]等在此基础上将其完善。目前已经发展出了基于散射理论、基于弹性波波动方程、基于照明度分析等多种保幅技术,工业上已有较成熟的应用,在此不再赘述。

2 实际处理效果

以某海域准三维地震资料为例,在完成地震资料的高保真常规处理后,采用如图 1 所示的流程完成偏移成像。

图 2 为某主测线在相同孔径参数情况下,直

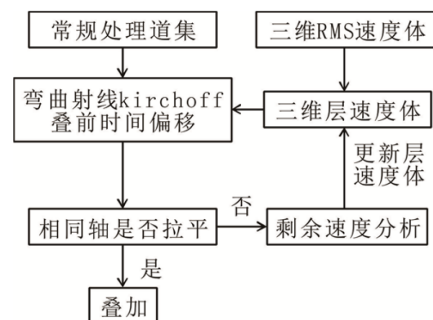


图 1 三维弯曲射线叠前时间偏移流程

Fig.1 The flow chart of 3D curved-ray Kirchhoff pre-stack time migration

射线偏移与弯曲射线偏移对比,可以看出,在横向变化复杂及高陡构造成像上,弯曲射线偏移有较大的优势。图 3 为对应速度与剖面的叠合图,层速度体比均方根速度体更为准确,更能反正地下真实情况。

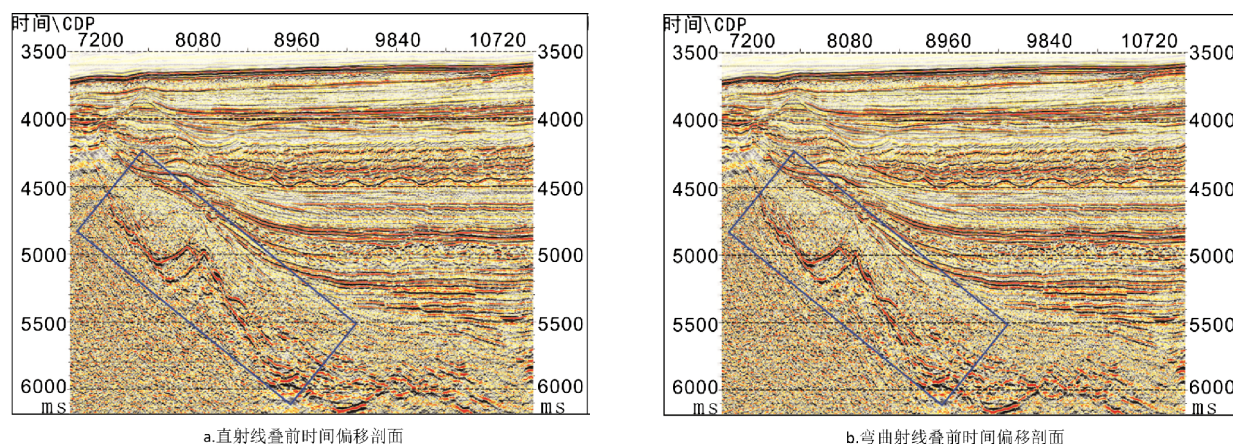


图 2 直射射线叠前时间偏移剖面与弯曲射线叠前时间偏移剖面对比

Fig.2 Comparison of the straight-ray PSTM section and the curved-ray PSTM section(a. straight-ray section, b. curved-ray section)

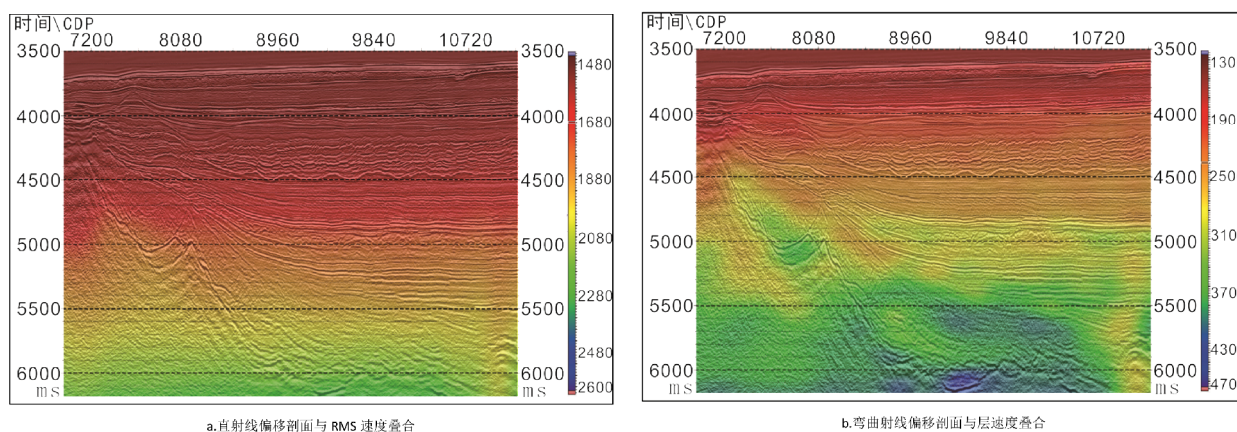


图 3 速度与偏移剖面叠合显示图

Fig.3 The congruent map of section and velocity(a. straight-ray PSTM section with RMS velocity, b. curved-ray PSTM section with interval velocity)

图 4 为基于同一层速度体情况下,某主测线弯曲射线叠前时间偏移剖面与叠前深度偏移剖面的对比,弯曲射线叠前时间偏移剖面具体比较高的成像精度,几乎可与叠前深度偏移剖面相媲美。如图 5a 所示,偏移后基底位置构造归位清晰,接触关系明确,红色箭头标示的位置的上方有明显模糊反射带和同相轴下拉的情况,意味着该区域内有良好的含气流体运移条件,其顶部的强振幅

区域,地震同相轴能量增强变粗,为疑似的游离气聚积区域,在顶部强振幅的上方的同相轴具有明显地穿层、反极性特征,疑似 BSR(蓝色箭头),因 BSR 代表了水合物稳定带的底界,所以其上为疑似天然气水合物的赋存区域。在图 5b 所示的层速度剖面上可以看到,箭头标示的有明显的低速现象,疑似深部气源向上运移过程中所表现出的低速特征。

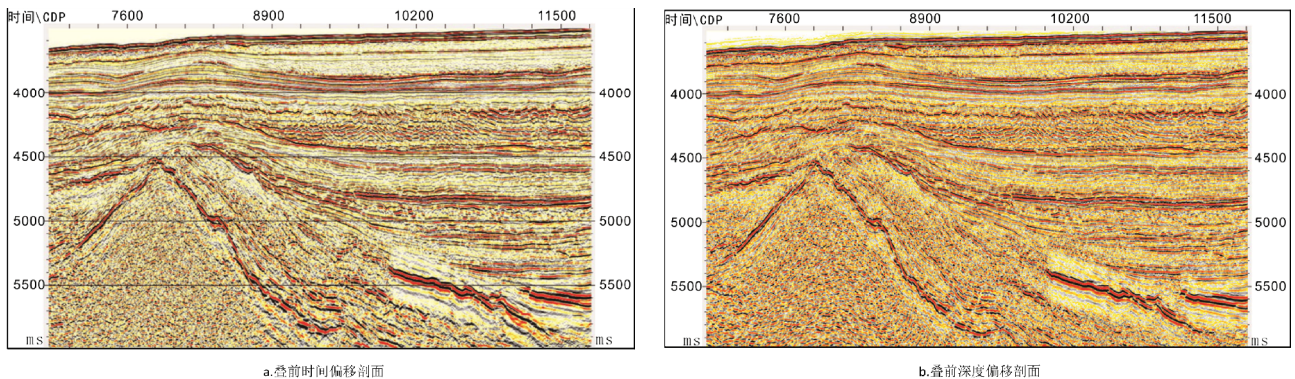
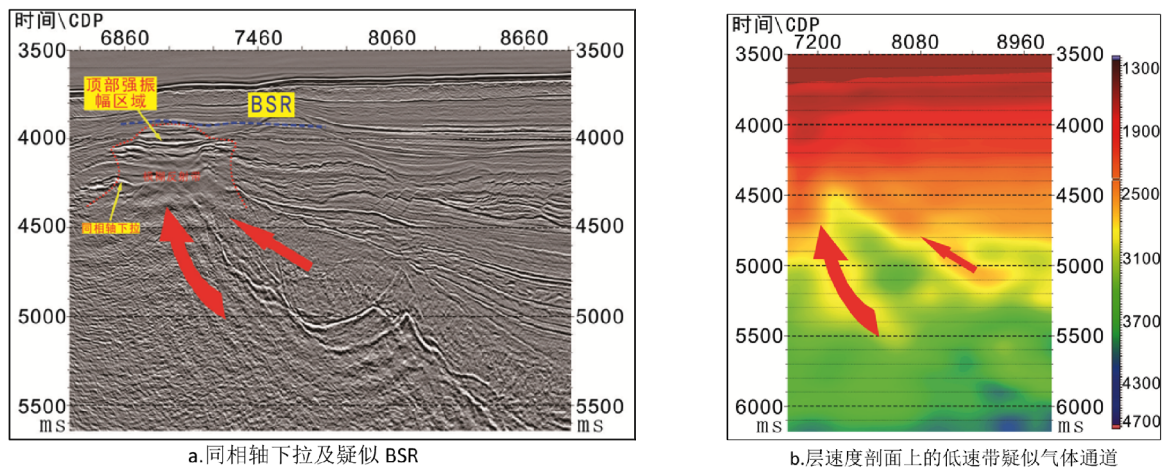


图 4 弯曲射线叠前时间偏移剖面与叠前深度偏移剖面的对比

Fig.4 Comparison of PSTM section and PSDM section (a. PSTM section, b. PSDM section)



(a. event down warping and suspected BSR, b. low velocity belt shows suspected gas channel on the interval velocity section)

图 5 断裂形成气体通道及疑似 BSR

Fig.5 Gas channel along fault and suspected BSR

3 结语

在天然气水合物广泛发育的地区,断裂、底辟及泥火山等构造与其形成息息相关,另外由于天然气水合物的标志在地震剖面上具有振幅空白带、极性反转、地层斜交或穿层现象等独特的特征,所以针对天然气水合物的处理就要求在保幅保真的前提下,将复杂构造精确成像。保幅 Kirchhoff 弯曲射线叠前时间偏移技术是现阶段较

好的选择。

与直射 Kirchhoff 叠前时间偏移技术相比,弯曲射线 Kirchhoff 叠前时间偏移同样具体快速高效的特点,同时成像精度在一定程度上可媲美叠前深度偏移,适用于大规模工业应用。

弯曲射线 Kirchhoff 叠前时间偏移利用层速度模型计算旅行时,相比直射 Kirchhoff 叠前时间偏移,更接近真实地质情况。

从实际应用效果中可以看出,弯曲射线叠前

时间偏移能有效提高地震成像精度,精确地刻画了气体通道,有利于天然气水合物富集区的识别。

参考文献:

- [1] 龚跃华,吴时国,张光学,等.南海东沙海域天然气水合物与地质构造的关系[J].海洋地质与第四纪地质,2008,28(1):99-104.
- [2] 沙志斌,王宏斌,龚跃华.断层与天然气水合物[J].南海地质研究,2004(1):41-47.
- [3] Kvenvolden K A.. Gas hydrates—geological perspective and global change. Reviews of Geophysics,1993,31(2):173-187.
- [4] 宋海斌,松林修,杨胜雄,等.海洋天然气水合物的地球物理研究(II):地震方法[J].地球物理学进展,2001,16(3):110-118.
- [5] 徐华宁,舒虎,李丽青,等.单源单缆方式采集的天然气水合物三维地震数据处理技术[J].地球物理学进展,2009,23(5):1801-1806.
- [6] 徐华宁,杨胜雄,郑晓东,等.南中国海神狐海域天然气水合物地震识别及分布特征[J].地球物理学报,2010,53(7):1691-1698.
- [7] Taner M T,Koehler F. Velocity spectra—digital computer derivation and applications of velocity function [J]. Geophysics,1969,34(6):859-881.
- [8] Sun C,Wang H,Martinez R D. Optimized 6th order NMO correction for long—offset seismic data[C]. The 72nd SEG annual international meeting Expanded Abstracts,2002.
- [9] Sun C,Martinez R D. 3D Kirchhoff PS—wave pre—stack time migration for V(z)and VTI media[C]. The 73rd SEG meeting Expanded Abstracts,2003:957-960.
- [10] Hake H,Helbig H,Mesday C S. Three-term Taylor series for t^2-x^2 -curves of P—and S—waves over layered transversely isotropic ground[J]. Geophysical Prospecting,1984,32(5):828-850.
- [11] 刘洪,王秀闽,曾锐,等.单程波算子积分分解的象征表示[J].地球物理学进展,2007,22(2):463-471.
- [12] Bleistein N.. On the imaging of reflectors in the earth[J]. Geophysics,1987,52(7):931-942.
- [13] 张宇.振幅保真的单程波方程偏移理论.地球物理学报,2006,49(5):1410-1430.
- [14] 刘玉金,李振春,黄建平,等.绕射波叠前时间偏移速度分析及成像[J].地球物理学进展,2013,28(6):3022-3029.
- [15] 陶杰,常旭,刘伊克,等.三维保幅弯曲射线 Kirchhoff 叠前时间偏移方法与应用[J].地球物理学报,2013,56(10):3534-3541.
- [16] 刘璐,梁光河,符超,等.基于 Chebyshev 多项式的弯曲射线 Kirchhoff 叠前时间偏移[J].地球物理学报,2011,54(10):2665-2672.
- [17] 万欢,李添才,方中于,等.各向异性叠前时间偏移在复杂断块中的应用[J].地球物理学进展,2011,26(01):207-213.
- [18] 罗银河,刘江平,董桥梁,等. Kirchhoff 弯曲射线叠前时间偏移及应用[J].天然气工业,2005,(08):35-37.
- [19] 刘志远,常旭,刘伊克,等.基于 Chebyshev 多项式的非对称走时 Kirchhoff 叠前时间偏移角道集求取[J].地球物理学报,2013,56(08):2783-2789.
- [20] 王小卫,姚姚,吕彬,等.弯曲射线走时计算方法在 Kirchhoff 叠前时间偏移中的应用[J].天然气地球科学,2010,21(05):855-858.
- [21] 刘国峰,刘洪,王秀闽,等. Kirchhoff 积分时间偏移的两种走时计算及并行算法[J].地球物理学进展,2009,24(01):131-136.
- [22] 许建国.克希霍夫叠前时间偏移走时算法应用效果评价[J].中外能源,2015,20(05):36-40.
- [23] 顾雯,王铎翰,阎建国. Kirchhoff 叠前时间偏移关键参数分析与研究[J].物探化探计算技术,2011,33(02):140-146.
- [24] 孙福利,王真理,郝天珩,等.南海南部深部结构的复杂构造地震成像[J].地球物理学报,2011,54(12):3210-3216.
- [25] 王隼,王华忠,马在田,等.叠前时间偏移方法综述[J].勘探地球物理进展,2004(05):313-320.
- [26] 徐基祥,崔化娟.叠前时间偏移解析速度分析[J].石油地球物理勘探,2004(04):388-393.
- [27] 符溪,杨木壮,文鹏飞,等.南海天然气水合物地震资料处理及其特征[J].地质科技情报,2001(04):33-36.
- [28] 方银霞,申屠海港,宋海斌,等.海底天然气水合物的地震资料处理与分析[J].海洋通报,2001(01):78-82.
- [29] 闫桂京,何玉华,迟红光.叠前时间偏移技术在南海水合物地震资料处理中的应用[J].现代地质,2010,24(03):489-494.
- [30] 潘文勇,雷新华,沙志彬,等. Kirchhoff 叠前偏移在天然气水合物准三维地震资料处理中的应用[J].现代地质,2010,24(05):986-992.
- [31] 王舒畋,王影,龚定康,等.地震资料再处理技术在东海天然气水合物地质研究中的应用[J].海洋石油,2006(04):1-6.
- [32] 刘怀山,周正云.用于研究东海天然气水合物的地震资料处理方法[J].青岛海洋大学学报(自然科学版),2002(03):441-448.
- [33] 王伟国,舒虎,邢涛,等.南海神狐海域天然气水合物叠后逆时偏移处理及效果[J].地球物理学进展,2014,29(01):400-405.