

Study In Stack Imaging Method Using Crosswell Seismic Data

Hui-feng Li¹, Fei-long Yang¹, Yun-feng Gao²

1. School of Petroleum Resources, Xi'an Shiyou University Xi'an China 710065

2. Research center of CNOOC Beijing China

1. E-mail address hfli@xsyu.edu.cn

Abstract: The dominant frequency of cross-well seismic reflection is about 10 times of surface seismic reflection, thus cross-well seismic has higher resolution and higher request of imaging accuracy. The article discusses the XSP-CDP imaging method of cross-well seismic reflection. It could greatly increase the operation efficiency by using the method of piecewise iteration. The result of stack imaging about synthetic cross-well seismic data and real cross-well information indicate that the method of cross-well reflection imaging has higher imaging quality in this article. It also includes more stratigraphic information compared with cross-well imaging section and surface seismic section. Therefore the method of imaging is feasible and reliable in this article.

Keywords: cross-well seismic, reflection imaging, piecewise iteration, XSP-CDP imaging

井间地震数据叠加成像方法研究

李辉峰¹ 杨飞龙¹ 高云峰²

1. 西安石油大学油气资源学院 西安 中国 710065

2. 中海石油研究中心 北京 中国

1. E-mail address hfli@xsyu.edu.cn

摘 要: 井间地震反射波的主频大约是地面地震反射的 10 倍, 因而井间地震具有更高的分辨率, 同时对成像精度的要求也就更高。本文探讨了 XSP-CDP 井间地震反射波成像方法。指出使用逐段迭代法可以大幅度提高运算效率。合成井间地震数据和实际井间资料的叠加成像结果表明, 本文的井间反射成像方法的成像质量较高, 其成像剖面与地面地震剖面相比, 包含了更多的地层信息, 由此说明, 本文的成像方法是可行和可靠的。

关键词: 井间地震 反射成像 逐段迭代法 XSP-CDP 成像

1 引言

井间地震记录经过预处理后得到反射波(上行波或下行波)。如何使反射波归位成像是井间地震方法最后也是最关键的一步。目前反射波成像主要分两类: 一类是以波动理论为基础的成像方法, 另一类是以几何理论为基础的叠加成像技术。以几何理论为基础的叠加成像技术主要有 XSP-CDP 转换算法, 该方法在 VSP 中经常使用, 它基于测井或层析成像提供的速度模型, 采用射线追踪的方法直接归位成像。

用于井间资料处理的 XSP-CDP 转换算法是对每

一个共炮点道集(CSG)或共接收点道集(CRG)单独进行处理的, 通常采用射线追踪算法, 由直达波层析成像或由声波测井提供一个初始速度模型。

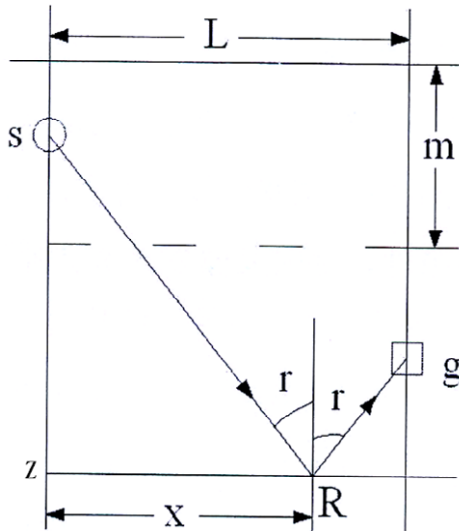
由于 XSP-CDP 方法使用了井间的多道集叠加, 提高了抗噪能力, 对直达波和部分干扰波能够比较好地消除, 当反射界面倾角很小, 地层速度的变化不很剧烈时, 这种方法很有效。

传统的 VSP-CDP 叠加成像方法对速度模型的精度要求较高, 射线追踪的工作量大。

本文正是基于 XSP-CDP 方法的这些特点, 利用的逐段迭代正演方法(业内公认的正演效率最高的方法)取代传统的射线追踪方法作为 XSP-CDP 叠加中

本文受到国家科技重大专项《大型油气田及煤层气开发》—《海上稠油高效开发新技术》项目资助, 项目编号: 2008ZX05024-01

的正演方法,从而使运算效率得到了较大幅度的提高,成像效果亦较为理想。



S: 激发点 g: 接收点

图 1 用于确定 CMD 道集中的反射波走时和横向位置的示意图

Figure 1. Used to determine the reflection travel time and horizontal position in CMD gather.

2 XSP-CDP 叠加成像原理

2.1 XSP-CDP 成像方法

XSP-CDP 方法,是在激发井中每一个激发点位置上激发,接收井中的各接收点都记录,形成 CSG 道集,按照 VSP-CDP 的方法叠加成像。各个炮点都重复这个过程,得到各个不同深度的 XSP-CDP 图,最后所有炮点叠加成井间 XSP-CDP。用 XSP-CDP 一词以示与普通 VSP-CDP 之区别。

在构造简单地区,由几何关系(见图 1)得到炮点至检波点的射线旅行时为:

$$t = \frac{\sqrt{4(Z-m)^2 + L^2}}{v} \quad (1)$$

用(2)式亦可得到反射点的位置。

$$x = \frac{L(Z-g)}{2Z-S-g} \quad (2)$$

式中, $m=(s+g)/2$, v 为反射界面以上(下)的速度,

s 是震源点的位置, g 是接收点的位置, Z 为反射界面的深度, L 为两井间的距离(假设两井都是铅直的)。

实际的地质情况一般都较为复杂,很难用上述的简单方法得到反射点位置和反射波旅行时。为了准确

得到这些叠加参数,本文采用射线正演的方法。经过对各种正演方法的分析对比和试算,我们采用了运算效率较高的逐段迭代射线追踪方法。

CMD 道集中的每一道所对应反射点的横向位置 x 和每个反射点对应的反射波旅行时 t 均用逐段迭代射线追踪得到。

将横向的偏移距 x 位置按照一定的宽度划分成许多结点,类似于 VSP-CDP 转换中的结点,给定一个目标地层,得到在此地层的每一道的横向偏移距,得到各个结点反射波到达时,在地震记录上按照一定的子波长截取反射波到达时附近的一段样值;按照合适的结点距 δx ,凡是在结点 x 附近的 $x \pm \delta x$ 范围内的样值都属于结点,这一点在实际操作中应做选择。每一个结点都形成一个道集,于是形成一系列的超道集,此超道集中的每一道都不是一个完整的记录道,而是一个时窗内的样值。结点距 δx 是一个参数,可以根据横向分辨率的要求和各个结点处的超道集的道数而定,一般考虑使结点内信号的时差不超过 $1/3$ 或 $1/4$ 周期。

通过实验和对比,确定的井间地震 XSP-CDP 叠加成像算法流程见图 2。

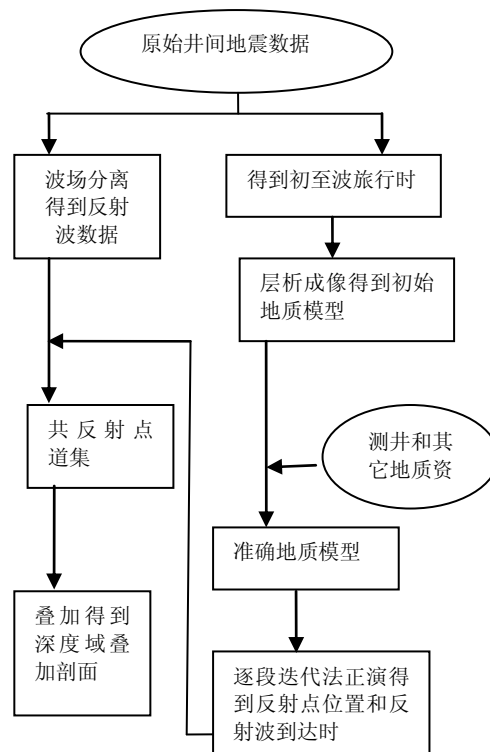


图 2 井间地震 XSP-CDP 叠加成像算法流程

Figure 2. Crosswell seismic XSP-CDP stack imaging algorithm flow

2.2 逐段迭代射线追踪方法原理

为了提高射线追踪的效率,我们采用了逐段迭代射线追踪方法,其原理简述如下。

以透射波为例叙述逐段迭代射线追踪过程。对于反射波射线路径的追踪来说,仅在反射点处有所区

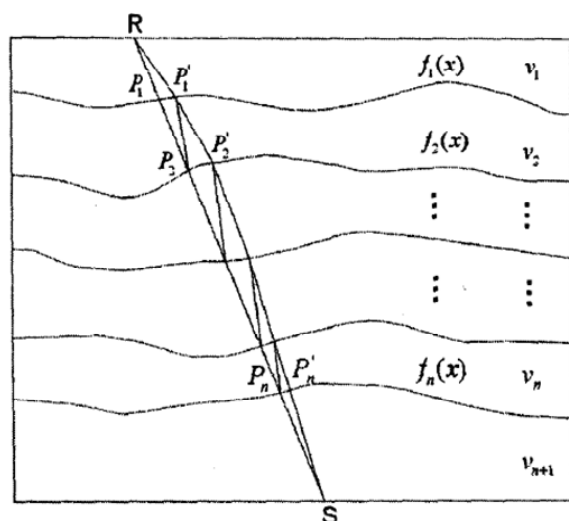


图3 逐段迭代射线追踪原理示意
Figure 3. Piecewise iterative ray tracing principle diagram

别,其原理相同。如图3所示,图中 $v_1, v_2, \dots, v_n, v_{n+1}$ 为速度, $f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)$ 为界面函数,并且假设每个界面函数至少是分段(二维)或分片(三维)的光滑连续函数。

当层状界面以离散点形式给出时,采用三次样条函数进行插值,从而保证界面的良好光滑连续性。首先给出连接S和R之间的初始射线路径 $RP_1P_2 \dots P_nS$ 。由于地震波在整条路径上满足同一个射线参数,因此射线路径上任意连续三点也将满足同一个参数,而三点间的射线形式满足Snell定律。按照Snell定律,我们导出一个求取中间点一阶近似公式。

当前后两点位于界面两边时,中间点为透射点,所求路径为透射路径;当前后两点位于界面的同一边时,中间点为反射点,所求路径为反射路径。基于此,可以从任一端点(源点或接收点)出发,连续地选取三点,通过一阶近似公式进行逐段迭代求取中间点,再利用新求出的点代替原来的点,然后以一点的跨越作为步长,顺序地逐段迭代下去,直到另一端点。这样,新计算出的中间点和两个端点就构成了一次迭代射线路径。如图3中 $RP_1' P_2' \dots S$ 所示,如果整条射线路

径上校正量满足一定的精度要求,则认为射线追踪过程结束。否则从追踪出的射线路径开始,继续重复上述过程,直到满足精度要求为止。最后一次追踪到的中间点和两个端点,就构成了整条射线路径。

根据上述原理,我们确定如图4的逐段迭代射线追踪流程。

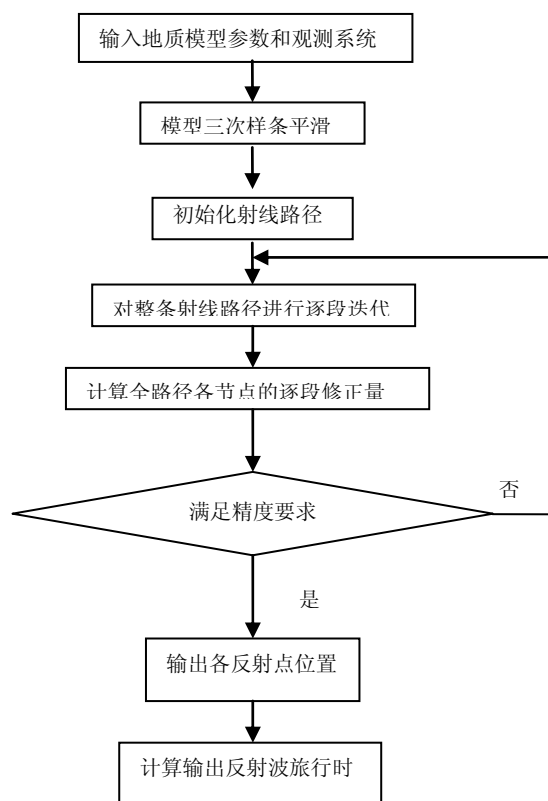


图4 逐段迭代射线追踪流程图
Figure 4. Piecewise iterative ray tracing flowchart

3、资料试算结果

依照上述的原理和算法,我们在Qt环境下编制了井间地震XSP-CDP叠加成像程序,使用该程序分别对合成井间地震记录和实际井间地震记录进行了试算,取得了良好的效果。

3.1 理论模型资料测试

地质模型见图5。图6为井间地震观测系统和波反射示意图。

地震记录观测形式及记录参数如下,

激发点垂直深度为: 995m、1000m 和 1005m;
接收段垂直深度: 700 1200m; 接收道数: 201; 道间距: 2.5m(斜深); 采样率: 0.25ms; 记录长度: 600ms;

炮点间隔: 5m。

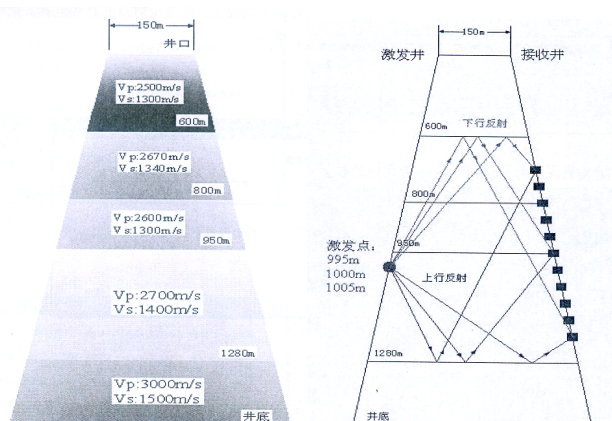


图 5 井间地质模型
Figure 5 Crosswell
geological model

图 6 井间地震观测系统
Figure 6 Crosswell seismic
observation system

图 7 为正演得到井间地震反射波地震记录。

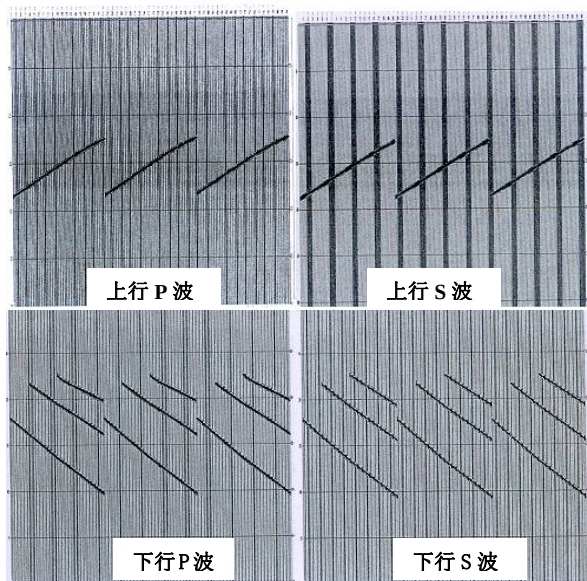


图 7 正演得到井间地震反射波地震记录
Figure 7. Crosswell seismic reflection seismic records obtained by
forward

图 8 为使用本文方法得到的叠加成像剖面。由图 8 和图 5 的地质模型对比可以看出, P 波和 S 波叠加剖面同相轴很好地对应, 反映了真实的地层结构。

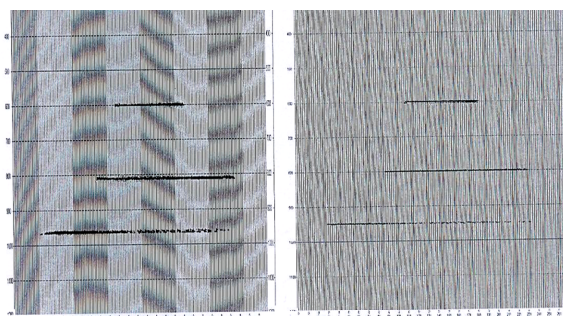
(1) 工区概况

L 油田位于某盆地北部, 高分辨率井间地震工区位于 L 油田高台子注聚试验区北东, 工区地势平坦, 地面海拔 145~152m (见图 9)。

L 油田的构造是一个两翼不对称的短轴背斜构造, 是受背斜构造控制的层状砂岩气顶油田。西翼倾

角 $12^{\circ} \sim 20^{\circ}$, 东翼倾角 $4^{\circ} \sim 6^{\circ}$, 以 $3^{\circ} \sim 4^{\circ}$ 向北倾没, 南与萨尔图构造呈鞍状相连。

(2) 井间地震反射采集参数(见图 10)



左图: 反射 P 波 右图: 反射 S 波

图 8 合成数据叠加成像剖面

Figure 8. Synthetic data stack imaging section

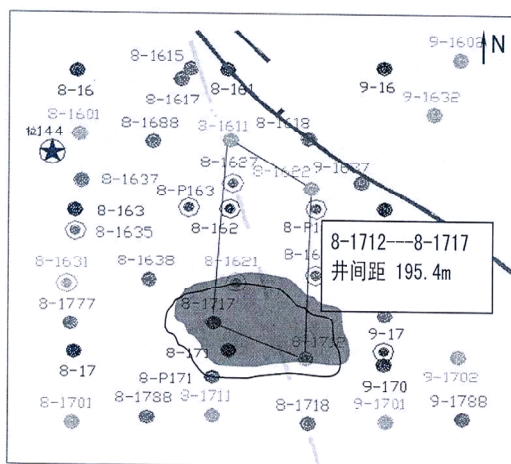


图 9 L 油田 8—171 1 井区高分辨率井间地震井位图

Figure 9. 8-1711 borefield high resolution crosswell seismic
well location map in L oilfield

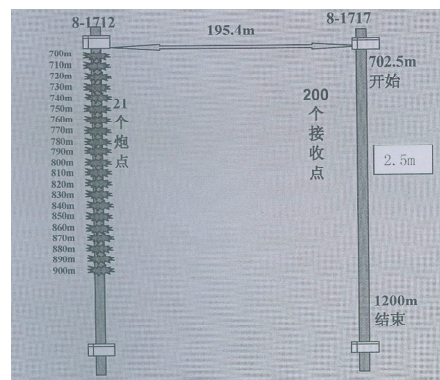


图 10 井间地震反射采集参数示意

Figure 10. Crosswell seismic reflection
acquisition parameters

8-1712 井激发; 8-1717 井接收; 激发深度段: 700~900m, 激发点间距 10m; 接收深度段: 702.5~1200m, 接收点间距 2.5m; 采样间隔: 0.25ms, 记录长度: 1000ms。

图 11~图 13 分别为三个深度不同的激发点上行 P 波记录。

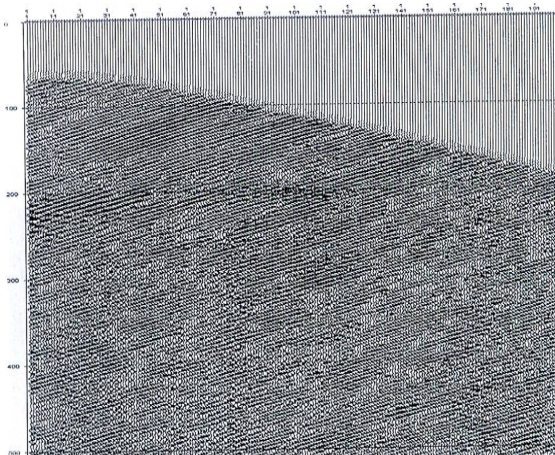


图 11 激发点位于 720m 处波场分离得到的上行 P 波记录
Figure 11.Up-going P wave records through wave field separation where the shotpoint is located in 720m

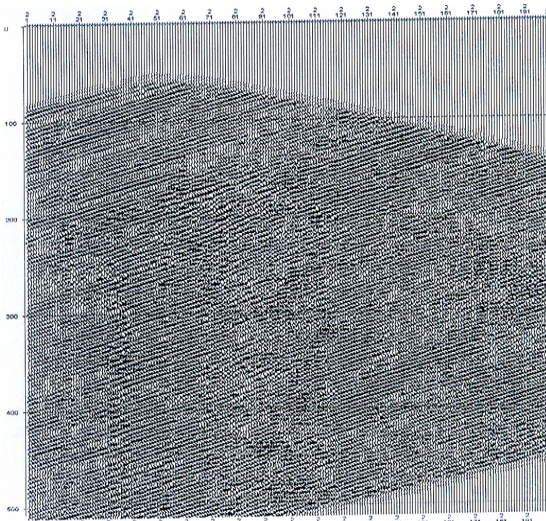


图 12 激发点位于 820m 处波场分离得到的上行 P 波记录
Figure 12.Up-going P wave records through wave field separation where the shotpoint is located in 820m

从图 14 的最终叠加成像剖面以看出, 成像结果符合该地区地层的变化规律, 达到了成像要求。叠加剖面成像质量较好, 同相轴比较连续, 主频较高。说明本文的算法正确可靠。

4 结论

本文对井间地震数据的叠加成像方法进行了较为

系统的研究, 依据方法研究的结果在 Qt 环境下编制

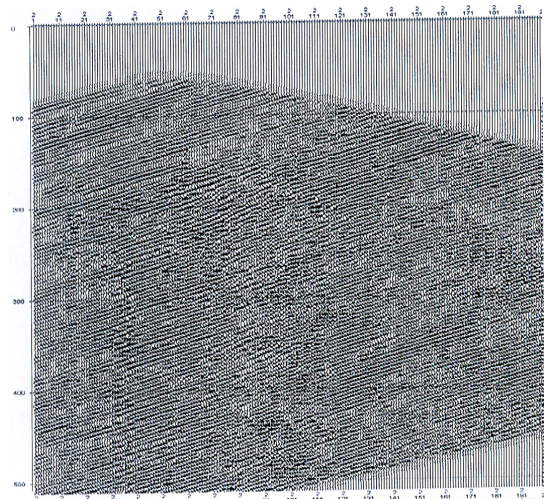


图 13 激发点位于 860m 处波场分离得到的上行 P 波记录
Figure 13.Up-going P wave records through wave field separation where the shotpoint is located in 860m

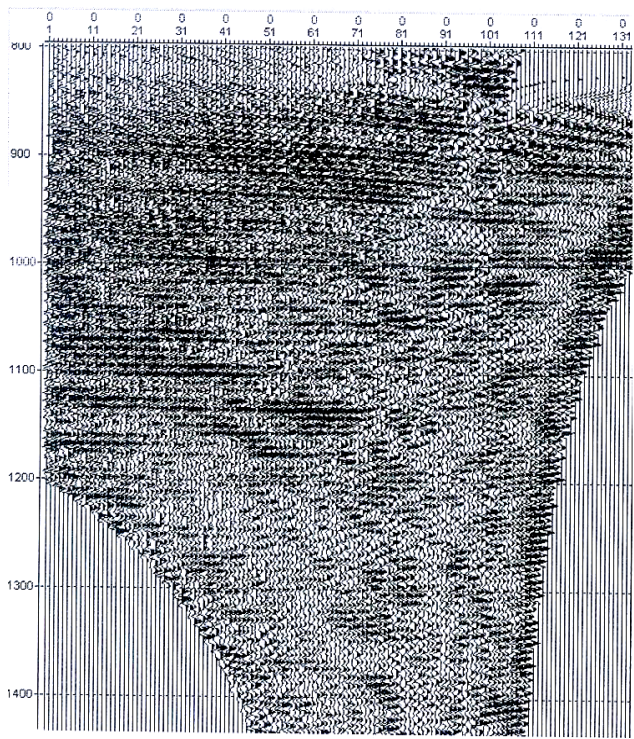


图 14 实际井间地震数据叠加成像剖面
Figure 14.Actual crosswell seismic data stack imaging section

了井间地震资料 XSP-CDP 叠加成像程序。为了验证方法和程序的效果, 分别对合成井间地震数据和实际井间地震数据进行了试算。测试结果表明, 本文的成

像方法准确可靠，取得了较为理想的叠加效果。

References (参考文献)

- [1] Harris J M,Nolen-Hoeksema R C,Langan R T, et al. High-resolution crosswell imaging of a West Texas carbonate reservoir: Part 1-Project summary and interpretation[J]. Geophysics,1995,60(3):667~681
- [2] van Schaack M,Harris J M,Rector J W III,et al. High-resolution crosswell imaging of a West Texas carbonate reservoir:Part 2-Wavefield modeling and analysis[J]. Geophysics, 1995, 60(3): 682~691
- [3] Rector J W III,Lazaratos S K, Harris J M,et al. High-resolution crosswell imaging of a West Texas carbonate reservoir:Part 3-Wavefield separation of reflections[J]. Geophysics, 1995, 60(3):692~701
- [4] Pei Zheng-lin. Status and progress on crosshole seismic tomography[J]. Progress in Geophysics, 2001, (03): 91~95
- [5] Guo Quanshi,,Wu Dali,Tang Jinliang and Cao Hui.The reflection image of seismic crosshole[J]. Geophysical Prospecting For Petrole, 2005, (05):439~444
郭全仕, 邬达理, 唐金良, 曹辉. 井间地震反射波成像技术探讨[J], 石油物探, 2005, (05):439~444
- [6] Cao Hui,Gao Quanshi,Tang Jinliang,Wu Yongshnan and Wang Shixing.Processing of crosswell seismic reflection wave data[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006, (05):514~519
曹辉, 郭全仕, 唐金良, 吴永栓, 王世星. 井间地震反射波资料处理[J], 石油物探, 2006, (05):514~519
- [7] Fang Wubao,Chen Lin and Guan Luping.High-resolution image of crosshole reflection waves[J].Oil Geophysical Prospecting, 1996, (03):350~358
方伍宝, 陈林, 管路平. 实测井间反射高分辨率成像[J], 石油地球物理勘探, 1996, (03):350~358