

垦71区块井间地震资料处理研究与应用

孔庆丰^{1,2}, 王延光², 左建军², 魏国华², 魏洪泉²

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 胜利油田分公司物探研究院, 山东东营 257022)

摘要: 由于避开了地表低速带和风化层的影响, 井间地震能够采集到高频地震信号, 经过资料处理可以得到较高分辨率的速度和上行反射波成像剖面。2004~2005年, 胜利油田在垦71区块实施了8对井间地震资料采集。针对原始资料特点, 研究了以层析成像、管波衰减、VSP-CDP技术和有限角度叠加成像等关键处理技术, 较好地完成了该区块的井间地震资料处理。初步分析解释表明, 井间地震可以识别低序级断层、小幅度构造和薄储层。

关键词: 井间地震; 层析成像; 管波衰减; VSP-CDP; 有限角度叠加

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2008)02-0175-05

井间地震方法将震源与检波器都置入井中, 由于避开了地表低速带对地震信号高频成分的吸收, 因此可以获得较高分辨率的地震信号(最高截频可达1 kHz), 对数据做处理后, 就可得到井间地下介质的结构特征和物性变化等信息。在油藏开发中, 与测井、地质等油藏开发、静态资料结合, 井间地震技术可以对井间小幅度构造、小断块、薄储集层的横向变化等情况进行精细描述, 还可以对油气开采过程中储集层参数进行动态监测, 分析监测流体移动方向、残余油气位置与数量等, 为提高油气采收率服务。2004~2005年, 胜利油田在垦71区块实施了井间地震资料的采集、处理和解释研究工作, 取得了较好的效果。

1 地质概况

垦71区块位于山东省东营市河口区东南约15

km处, 沾化凹陷中部, 孤岛凸起西南端, 地下断裂系统发育, 是垦西油田的主力开发区。该工区位于逆牵引背斜构造上, 低序级断层发育。常规三维地震由于分辨率较低, 无法识别低序级断层, 因此需要高分辨井间地震进行低序级断层的识别; 目的层的馆陶组为河流相沉积, 岩性变化快, 需要井间高分辨地震资料描述井间岩性变化情况。井间地震的主要任务就是查明低序级断层、微幅构造和识别描述薄互层, 帮助建立该区精细油藏地质模型。

2 资料采集和原始资料分析

图1是该区块井间地震测线分布, 共8对井, 震源采用Z-seis公司的压电晶体震源, 接收为OYO公司的12级数字四分量检波器, 检波器和震源间距3 m, 采样率0.5 ms, 记录长度1 s, 扫描次数8次。

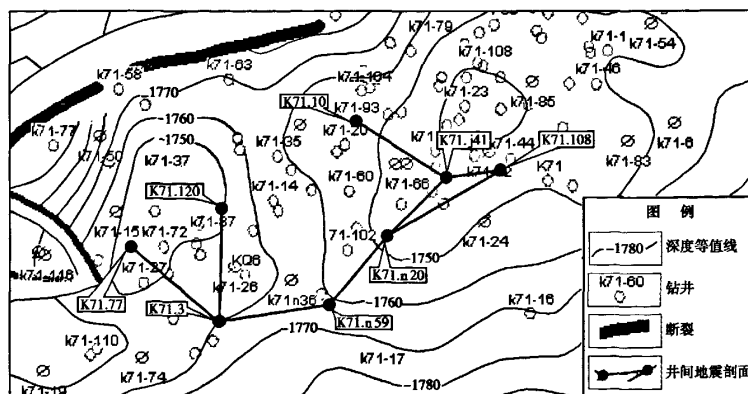


图1 井间地震测线分布示意

收稿日期: 2006-12-21

基金项目: 国家“十五”重大科技攻关项目井间地震技术研究与应用专题(2003BA613A-10-01)

图 2 是其中一对井间地震 (K71. j41-K71. 108) 的浅、中、深层的共接收点记录及频谱, 在原始记录上可以看到井间地震直达波和反射波比较清晰, 存在着一些管波干扰, 记录信号的信噪比和频率比较高, 为资料处理提供了较好品质的原始资料。

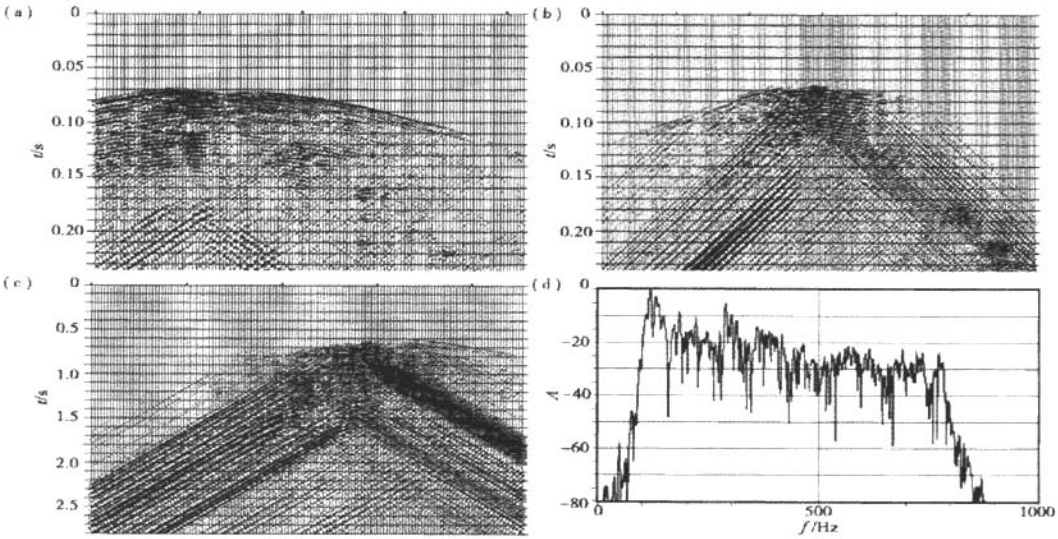
3 关键处理技术

通过对原始数据的整理与分析, 确定速度层析反演、管波衰减、VSP-CDP 和有限角度叠加成像等关键技术处理流程。

3.1 速度层析反演

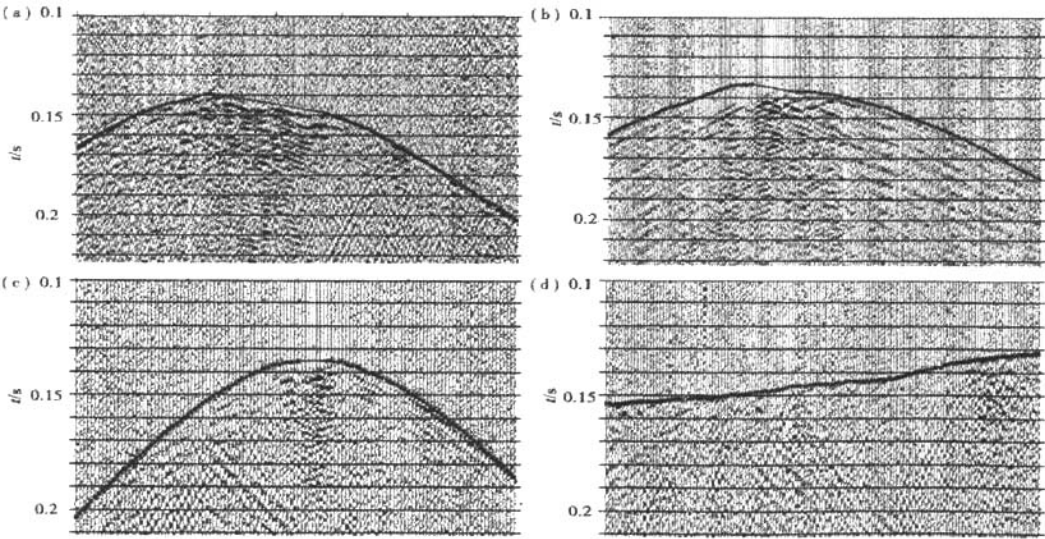
速度层析反演是井间地震资料处理的重要内容之一, 它是利用直达波旅行时进行井间速度场的反演, 因此, 直达波拾取质量决定了层析反演的精度。在直达波拾取时, 不仅在共检波点道集 (CRG)、共炮点道集 (CSG) 上拾取, 还要在共偏移距道集 (COG)、共中心深度点道集 (CMG) 上拾取, 可以提高直达波拾取时间的精度 (图 3)。

根据测井解释成果划分地层, 建立速度层析的初始架构模型, 保障了层析成像的结果更加符合实



a—浅层共检波点记录; b—中层共检波点记录; c—深层共检波点记录; d—原始资料频谱

图 2 共检波点记录及频谱



a—共检波点道集; b—共炮点道集; c—共深度波道集; d—共偏移距道集

图 3 多域的直达波拾取

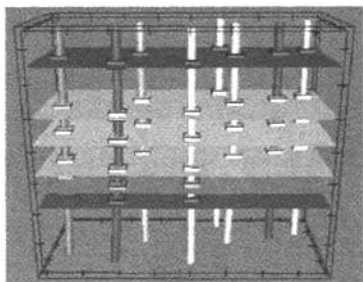


图 4 垦 71 区块初始构造模型

实际地质构造情况。图 4 是垦 71 井区井间地震直达波层析反演所用的初始架构模型,共有 6 层。

采用最小平方共轭梯度法进行速度层析反演,在反演过程中对于射线片段的传播角度引入各向异性,来保证获得更准确的速度图像,同时,利用解 Chebyshev 多项式的因子来计算旅行时的残差,改善了反演条件。

在实际层析成像时,利用均方根时差来判断算法收敛程度,即均方根残差小于一个采样间隔(0.5 ms)。此外,通过层析结果与井旁声波测井速度的

趋势进行比较,当 2 条曲线趋势大致相同时,层析成像效果为最佳,即得到了分辨率较高的反演成果。

3.2 管波衰减

在井间地震的野外采集与资料处理中,井间地震原始资料包含有大量管波。在油田开发中,射孔作业导致井内存在许多射孔点,射孔点成为井筒内的物性间断点,使得沿井筒柱面传播的面波一部分能量在射孔点位置向四周空间辐射出去,为邻井检波器接收,这就是记录中的管波能量。

本次采集采用了带推靠的井下检波器,接收井管波能量比较弱。图 5(左)是垦 71 区块井间地震资料的共检波点记录,从图上可以看到存在大量的震源井管波,这些波能量强,对有效反射波的干扰非常严重,因此,必须将其消除。采用的方法是:从共检波点记录和共炮点记录上分别按照上行、下行管波进行去除,在每个域内用一个准确的管波视速度将其拉平,然后进行中值滤波将其消除。图 5(右)为管波衰减后的结果,可以看出经过中值滤波后,管波得到很好的衰减,直达波和反射波能量更加突出。

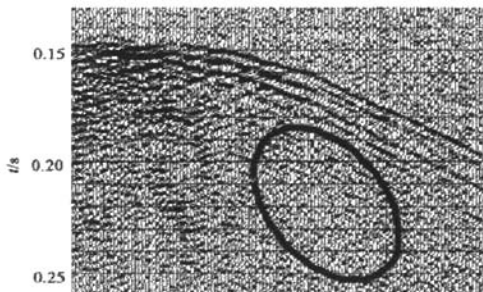
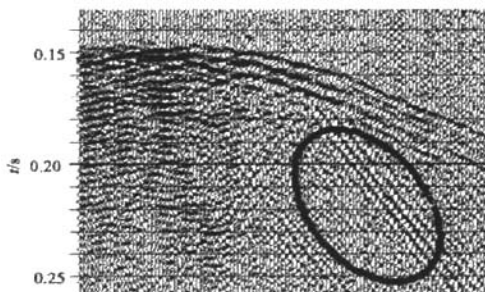


图 5 原始记录(左)和消除管波后的记录(右)

3.3 VSP-CDP 技术

井间地震 VSP-CDP 技术是在垂直地震剖面 VSP-CDP 技术基础上发展而来的,该方法相当于一种坐标变换,将每个记录道集中的每个记录时间的样值从深度—时间(z, t)域变换到偏移距—反射点深度域(x, z)或偏移距—双程垂直走时域(x, t)。

在(z, t)域将资料按一定时间间隔分成很多小块,通常 t 方向的间隔可采用采样间隔 Δt , z 方向间隔为 Δz ,在(x, z)域内, x 方向上每一个点就相当于地面地震的一个 CDP 点,如果(z, t)空间样点转换之后落在 CDP 点附近,则该样点属于此 CDP 点,最后形成 CDP 点道集。每个 CDP 道集做叠加就得到了 CDP 叠加剖面。

图 6(左)是 VSP-CDP 成像过程中反射点从时间域向空间域转换使用的速度模型,将层析反演得到详尽的层速度作为反射波射线追踪的速度模型是

井间地震 VSP-CDP 的优势条件。通过这步工作,时间域的上行反射波被归位到正确的模型反射深度位置上。图 6(右)是 VSP-CDP 成像结果,剖面有较高的信噪比和分辨率。

3.4 有限角度叠加成像

井间地震 VSP-CDP 是按照每个共中心深度点(炮点深度与检波点深度之和的一半)道集分别进行映射完成的,这样每个共中心深度点可以得到一个完整的成像区域,所有的共中心深度点道集就可以得到多个井间地震反射波成像。在射线追踪计算过程中可以记录下每个反射点的入射角,根据得到的多个成像对每个 CDP 点按照入射角大小排序。

如果上、下层速度分别为 v_1 和 v_2 ,入射角和透射角分别为 α 和 β ,那么,根据 snell 定律可以得到

$$\sin \alpha / \sin \beta = v_1 / v_2. \quad (1)$$

当入射角 α 达到临界角时, $\beta = 90^\circ$,上式变为

$$\sin \alpha = v_1 / v_2 \quad (2)$$

从上式可以看出,利用上、下界面的速度比可计算临界角的大小。

由于每口井都有声波测井资料,可利用声波时差得到反射界面上下界的声波速度,从而根据式(2)计算临界角。由于计算得到的临界角不能很直观反映从浅至深的临界角变化,因此,可利用地震子波来进行不同入射角度的数值模拟,得到合成的反射点角度道集,从而直观地确定临界角的分布范围。通过与实际的 CDP 点道集相结合,确定要叠加角度。

图 7 是垦 71 地区井间地震 K71.120—K71.3 中一个 CDP 点 AVA 道集的有限角度选择的实例。

从垦 71 区块井间地震的 2 个角度叠加剖面(图 8)亦可以说明角度选择叠加的优势,45°~75°剖面包含的主要是正常反射;而在 0°~45°剖面几乎看不到反射。

4 成果初步分析

K71.n20—K71.j41—K71.108 井的 2 对连井剖面,反射波信噪比较高,同相轴连续性好,剖面分辨率较

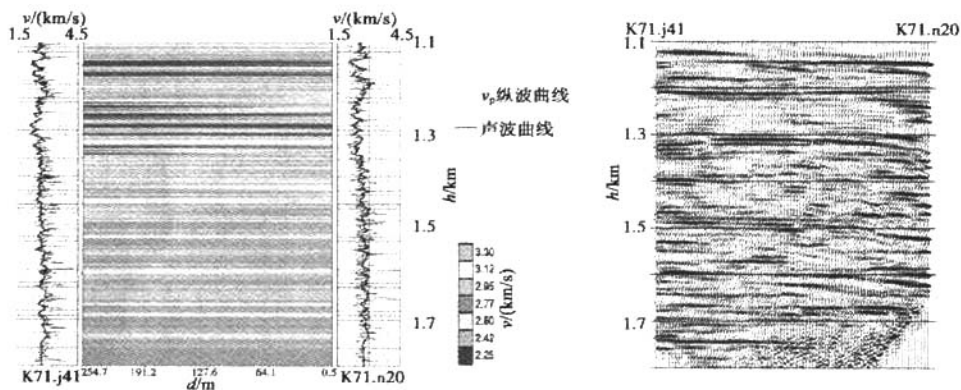


图 6 层析反演结果(左)和 VSP-CDP 成像结果(右)

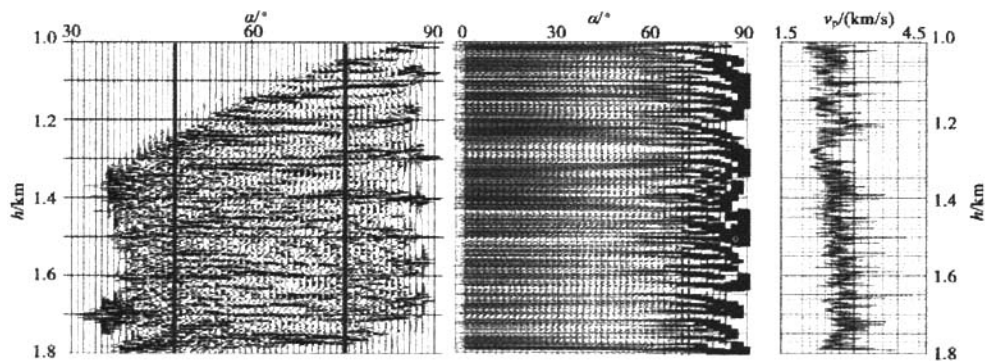


图 7 共反射点道集(左)、合成反射点道集(中)、声波速度曲线(右)

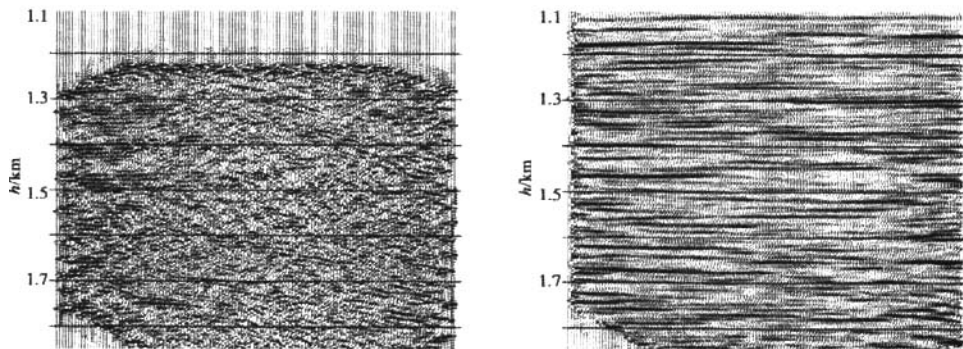


图 8 0°~45°度有限角度叠加(左)和 45°~75°有限角度叠加(右)

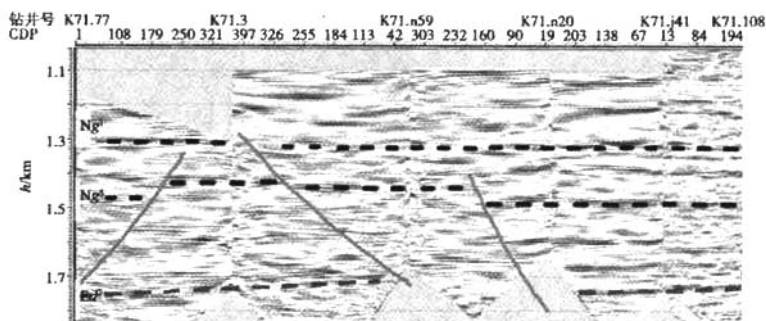


图9 5对井地震连井剖面

高,尤其是反映馆陶组(Ng^1 、 Ng^5)和东营组(Ed^2)几个小层的反射波同相轴能量较强,可连续追踪。

横贯东西的 K71. 77—K71. 3—K71. n59—K71. n20—K71. j41—K71. 108 共 5 对井间地震连井剖面(图 9),长约 1 500 m。右边 3 条井间地震剖面信噪比和分辨率较高,同相轴呈水平状,地层横向连续性好,在井旁主要反射波同相轴衔接较好。 Ng^1 底界面对应的反射同相轴可以从 K71. 3 井连续追踪到 K71. 108 井, Ng^5 和 Ed^2 底界面在剖面亦有较好的反射,可以解释出连井剖面的 3 个断层。

5 认识与结论

通过垦 71 区块井间地震资料处理技术的研究和初步应用,得到如下结论。

(1)从采集原始资料来看,接收井井况是井间地震取得良好资料的关键因素,井况好,获得的资料品质就好。此外,射孔井段多少与管波有直接的

关系,目的层段射孔点多而密的井,管波都非常强。

(2)由于采集的特殊性,井间地震存在大量的广角反射波,通过模拟计算和实际资料估算临界角大致范围,基于 VSP-CDP,利用反射点角度道集进行有限角度叠加成像,可避开广角反射波的影响。

(3)通过垦 71 井区块 8 对井间地震资料的处理,得到了较好的速度层析成像和反射波成像结果,为井间低序级断层、低幅度构造和薄层识别提供了高分辨率的资料,初步解释结果展示了井间地震技术在油气藏开发中良好的应用前景。

参考文献:

- [1] 陈世军,周建宇,王延光,等. 井间地震技术在樊 124 井区的应用[J]. 石油物探,2003,42(3):369.
- [2] 曹辉,唐金良,郭全仕,等. 井间地震反射波场分离及应用研究[J]. 石油物探,2004,43(6):518.
- [3] 郭全仕,郭达理,唐金良,等. 井间地震反射波成像技术探讨[J]. 石油物探,2005,44(5):439.

THE STUDY AND APPLICATION OF CROSS-Well SEISMIC DATA PROCESSING IN KEN 71 BLOCK

KONG Qing-feng^{1,2}, WANG Yan-guang², ZUO Jian-jun², WEI Guo-hua², WEI Hong-quan²

(1. Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China; 2. Geophysical Research Institute, Shengli Oilfield Ltd., Dongying 257022, China)

Abstract: As cross-well seismic exploration can avoid the impact of the low-velocity layer and weathering layer, it can acquire relatively high frequency seismic signal. After processing, fairly high resolution velocity and reflection imaging can be obtained. During 2004-2005, eight cross-well seismic profiles were processed in Ken 71 Block, Shengli Oil Field. In accordance with the characteristics of raw data, the authors studied tomography, tube wave attenuation, VSP-CDP and finite angle stack, and completed the cross-well seismic data processing. The analysis and interpretation of the final results show that cross-well seismic exploration can recognize small faults, small structures and thin reservoirs between two wells.

Key words: cross-well seismic exploration; computer tomography; tube wave attenuation; VSP-CDP; finite angle stack

作者简介: 孔庆丰(1969-),男,高级工程师,1991年毕业于西北大学数学系,2003年毕业于同济大学电子与信息工程学院,获硕士学位。在胜利油田物探研究院从事地震方法和处理研究,现在中国科学院地质与地球物理研究所攻读博士学位。