

井地联合地震勘探在陕北油田开发中的应用

杨正华, 朱光明, 杜有成, 赵淑红, 雍风

(长安大学 地质工程与测绘工程学院, 陕西 西安 710054)

[摘要] 陕北延安组合油段主要是各种河流相沉积, 由于其沉积相的不稳定, 使得储层厚度和物性在横向上变化很大。例如, 本项目工区在相距 300 m 的两个井中, 在同一层位, 一口井具有工业油流, 另一口井却无油, 并且无油井还处于构造较高部位。为了提高井位设计的准确性, 降低油田开发风险, 对该区进行了井地联合地震勘探。主要是在井中采用六级三分量检波器, 在同震源条件下, 井中和地面弯曲测线同时采集, 获得零偏和非零偏 VSP 成像剖面, 过 VSP 井的 4 km 弯线叠加剖面, 取得了很丰富的地震信息, 对该资料进行了精细处理和解释, 得到了比较好的地质效果, 为油田的进一步开发提供了重要依据。

[关键词] 井地联合; 多级检波器; 岩性油藏开发; 史例

[中图分类号] P631.4⁺25 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)01-0065-04

[作者简介] 杨正华(1957—), 男, 甘肃天水人, 副教授, 博士研究生, 现从事地球物理勘探教学与科研工作。

井地联合勘探在数据采集和处理上有别与常规地震勘探, 还处于实验和探讨阶段, 在陕北油田开发中, 笔者应用井地联合勘探方法对该区进行了有益尝试。

勘探区面积约 5 km², 为黄土梁峁地形, 沟豁发育, 干旱缺水, 施工难度大。延安组的 Y2~Y10 地层发育, Y1 缺失, 沿沟白垩系红砂岩地层出露。地层(Y9)倾向 285°, 倾角 4°左右, 地层比较平坦。该区已有 3 口井, DB1 井和 DB2 井是老井, DB3 井是今年新钻井。DB1 井、DB2 井和 DB3 井均见油或油气显示, DB2 井到 DB3 井水平距离约 300 m, DB2 井 Y10 层位具有很好工业油流, DB3 井在此层位砂体存在但仅是荧光显示, 相反 DB2 井在 Y6 层位仅为荧光显示或油迹, 而 DB3 井的试油产量为 7 t/d, 由此可见此区储层在横向上变化很大。要降低布井风险, 准确地追索砂体分布, 掌握沉积微相变化是很重要的。因此, 在前人工作的基础上, 笔者采用井地联合勘探方法, 在井中作 VSP 零偏和大偏移距非零偏探测的同时, 沿探区 SN 向山沟作地面弯线探测, 地面采集时井中检波器也同时接收, 以提高

资料的一致性、互补性和多方位, 达到比较准确地确定延安组地层分布, 追索其含油砂体分布的目的。

1 资料采集

VSP 井(DB3 井)为斜井, 井深 2 040 m, 井底和井口的水平距离 264 m, 造斜段的垂深 1 000 m, 从 1 050 m 开始造斜, 其方向由 W 转向 NW(310°)(图 1)。这样斜度很大的井, 要使 4 个方向的剖面都在斜井位置上闭合, 使得资料处理的难度大大增加。

1.1 零偏采集

零偏 VSP 使用井炮激发, 井炮位置位于 DB3 井东侧 50 m 处, 炮井深度 20~25 m, 井径约 90 mm, 每次放炮前取沟底水注入。子波井与炮井相邻(约 5~10 m), 井深 25~30 m, 井径约 90 mm。零偏 VSP 观测井段 2 000~440 m, 道间隔 5 m 和 10 m 两种, 采样间隔 0.5 ms, 记录长度 4 s, 接收总道数 216 道, 激发次数 36 次。

1.2 非零偏采集

非零偏有 4 个激发点, 第一个位于 DB3 井西侧 1.4 km 处; 第二个位于 DB3 井东侧 1.05 km 处; 第

[收稿日期] 2003-04-28

[基金项目] 国土资源部九五重点科技项目(9505110)

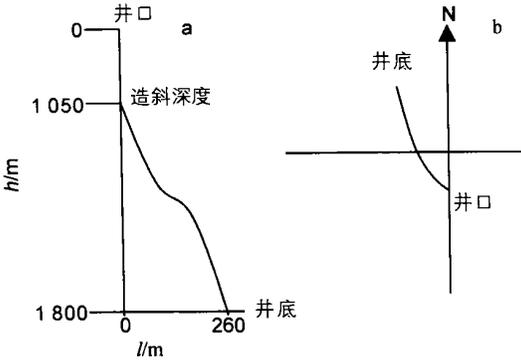


图 1 DB3 斜井示意图
Fig. 1 DB3 inclined well

三个位于 DB3 井北侧沿沟 1.4 km 处; 第四个位于 DB3 井南侧沿沟 1.1 km 处。激发仍使用井炮方式, 炮井深度 25 m, 井径 90 mm。炮井上部 20 m 使用套管加固, 防止井壁坍塌, 放炮前注水。非零偏 VSP 观测井段均为 2 000 ~ 440 m, 道间隔 10 m, 采样间隔 0.5 ms, 记录长度 4 s, 接收总道数和激发次数均为 156 道和 26 次, 平面位置见图 2。

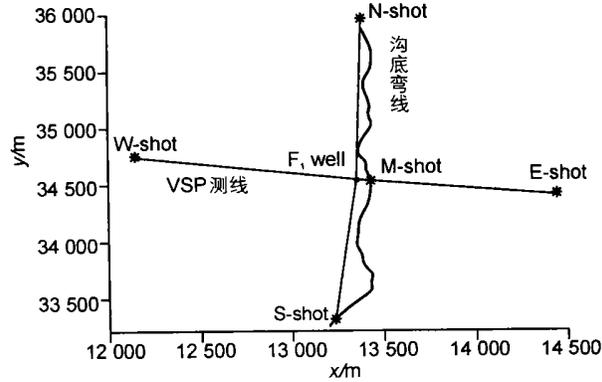


图 2 VSP 测线位置
Fig. 2 Location of VSP line

1.3 弯线布置

因受当地地理条件所限, 地面观测测线布置在横穿工区的 SN 向山沟内(见图 2), 基本上接近地层走向方向, 但探区内地层稳定, 倾角较小 ($< 5^\circ$), 对资料采集影响不大。测线为弯线, 测线全长 6.5 km, 测线始端位置在图幅 SN 向大沟的北端。测线基点坐标由 DB1 井和 DB2 井大地坐标引入(或用 GPS 定位系统确定)。敷设测线确定炮点及检波点位置的同时提交各炮点及检波点的 x, y, z 坐标。由北至南, 单边放炮; 道间距 25 m, 炮间距 50 m; 120 道检波器随炮点移动滚动埋置, 道内检波器(4 并 3 串)组间距及组合方式在现场实验确定, 满覆盖次

数 20 次, 满覆盖长度 4.5 km。激发仍使用井炮方式, 炮井深度 7 ~ 9 m, 井径 90 mm, 激发次数共 72 次。

1.4 零偏激发井中和地面同时采集

零偏 VSP 资料采集时, 在地面测线上, DB3 井两侧固定埋置检波器 120 道, 和井中检波器同时接收, 每次激发地面检波器不移动。

1.5 地面激发井中和地面同时采集

采集地面资料时, 井中检波器固定放置在 1 000 m 处和地面检波器同时接收。每次激发时, 地面检波器移动, 井中检波器不移动。

2 主要处理结果简析

首先对 VSP 零偏资料作速度分析、波场分离等处理, 然后和测井资料进行对比分析, 将零偏资料进行严格标定, 零偏剖面地震层位和测井资料煤系层位的一致性很好, 由于 Y5 很薄, 使得 Y5 和 Y6 反射同相轴合并, 其他层位(Y7 ~ Y10)则一一对应。

在弯线叠加剖面中(图 3), 延安组以薄煤层组合为沉积旋回标志, 其地震响应很清楚, Y5 与 Y6 合并, Y8 与 Y9 合并, Y7 的顶底反射在该区清晰而稳定, 是一个很好的标志层, Y10 底部同相轴不连续。这些沉积旋回具有一定的继承性, 其产状基本上沿袭了三叠系古地貌特征。资料表明该区这套地层发育比较完善, 没有明显的构造作用, 见图 3 中部的同相轴组合。零偏 VSP 资料和地面资料的一致性也比较好的, VSP 资料的分辨率比较高, 延安组的各含油段地层基本上都可分出来, 而地面弯线资料的分辨率低, 对 Y8 和 Y9 分不出来, 通过井中资料对地面资料层位进行了比较准确的标定。

通过标定好的零偏剖面, 对 4 个非零偏剖面

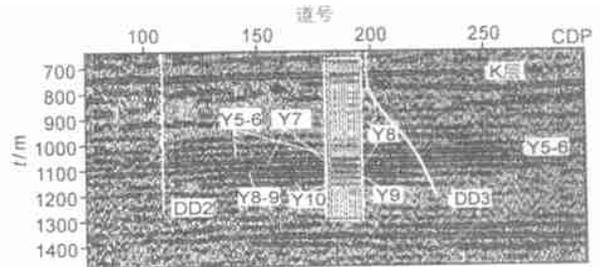


图 3 井地联合叠加剖面
Fig. 3 Stack section of the combination data of VSP and surface seismic data

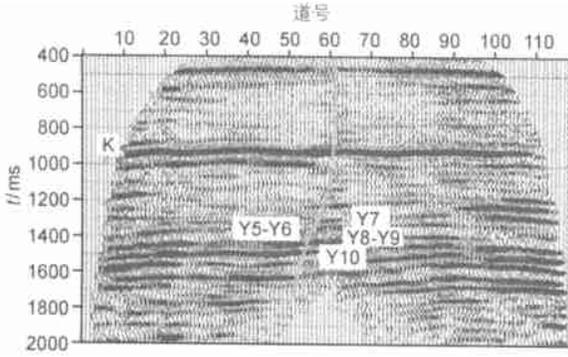


图 4 VSP 非零偏 NS 向成像剖面

Fig. 4 Imaging from offset
VSP in N and S direction

(限于篇幅仅列举北南合并剖面)(图 4)进行标定, 在这 4 个非零偏资料中从震相特征、组合关系、到时关系和零偏资料的一致性比较好。由于 Y5 很薄, 使得 Y5 和 Y6 反射同相轴合并, Y8 和 Y9 的同相轴也合并, K 层和 Y7 的反射清晰而稳定, 其他层位比较稳定连续, 在层间具有一些很弱的反射, 其分布特征不规则也不太连续, 这反映了层间河道砂体的特征, 为河道砂体的追踪提供了很有用的信息。

将东西剖面和南北剖面在井位垂直段, 按剖面的实际角度相交, 可得到十字剖面, 构成三维立体剖面, 能够很好地表现各层位的空间立体变化。

根据十字剖面图再结合各层的等深平面图(图 5), 可以确定各层位在空间的变化。在该区 Y5-6 向 ES 方向逐渐变高, Y5-6 的高区相对 Y7 向 ES 移动。Y10 含油层段由 WN 向 ESS 方向逐渐增高, 东边比西边高, 南边比北边高。从 Y5 到 Y10 总体上向东南抬高, 由此推测此区在沉积 Y10 时的古河道很可能是 NNE 方向, 这些特征对井位设计很有指导意义。因此, 该区比较有利的布井井位, 对 Y6 来说应在距 DB3 井底东南约 300 m 处, Y10 应在南

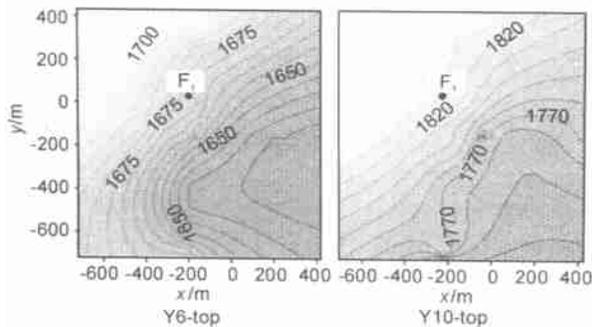


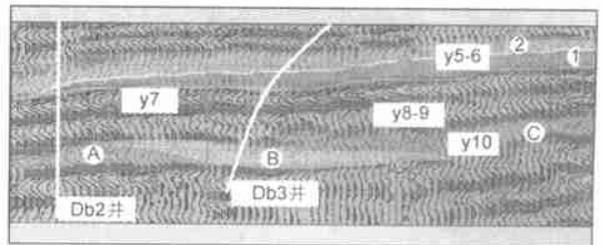
图 5 Y6 Y10 顶等深图

Fig. 5 Isoline of Y6 and Y10 top depth

偏东约 350~400 m 处。

为了比较清楚地追踪层间砂体的变化, 笔者对非零偏 VSP 成像剖面做了小波分析(图 6), 其效果比较好。从小波分析剖面上可以看出, 层间的波形比较复杂, 有一些延伸短而弱的同相轴, 由层底向层顶呈宽缓的 S 状顺层分布, 其中部震相比较明显, 向两边逐渐变为肩状, 最后分别消失在层顶和层底, 这反映了层间河床相沉积的横向变化, 它是透镜状砂体界面, 或者是两次沉积相接触面反射的表现, 由于此界面向两边和顶或者底的厚度逐渐变薄, 致使其反射相互叠加, 中部明显, 而在两边合并而消失。这种反射虽然比较弱, 但在一定程度上能反映沉积微相的变化, 这对河道微相的识别是很有用的。

通过小波变化微相分析, 很好地解释了 DB2 井和 DB3 井在 Y6 和 Y10 砂岩含油的变化情况。在沉积 Y6 段的时期, 在此剖面上出现了两次大的沉积变化, 第一次沉积是由 ES 向 WN 逐渐变薄, 此砂体含油性比较好。在 DB2 井处已是该砂体的尖灭段, 不但含油砂体很薄, 而且含油性差。而在 DB3 井砂体变厚, 而且含油砂岩顶面也变高, 所以 DB3 井的含油性好。第二次沉积超覆在第一次沉积物上, 井中资料表明, 在这期沉积的砂体中含油性差。在 Y10 层位上, DB2 井具有很好地工业油流, 而在 DB3 井则含油性很差几乎不含油。图 6 可以看出, Y10 层在横向沉积微相不连续, 大致分成了 3 个沉积相(或者 3 个相段 A, B, C)。Y10 在 DB2 井中处于 A 相段, 在 DB3 井中处于 B 相段(类似小砂坝侧向沉积物), 它们很可能不是同期同次的沉积物, 之间被泥岩所隔断, 互不连通, 因而在 DB3 的 Y10 砂体中不含油。沿 Y10 层位再向东南又是另外的沉积 C 相段, 而且部位变高, 在这些地方是布井的



A- 含油砂体; B- 不含油砂体; C- 预测含油砂体;
1- 含油砂体; 2- 含油性差砂体

图 6 砂体微相分析剖面

Fig. 6 Analysis section of sandstone deposit micfacies

有利部位。因此,笔者认为在 Y6 层位段布井,应在 DB3 井的东南方向,在 Y10 层位段布井应在 DB3 井的西北侧和南东侧为好。

在 VSP 记录中,转换波场是比较明显的,对其转换波进行波场分离、成像、小波变换、零相位反褶积等处理,分辨率比纵波剖面有非常明显地提高(图 7)。Y5 和 Y6, Y8 和 Y9 在此剖面上很清楚地分开了。Y6 中含油砂体顶层的反射, Y10 中 3 号含油砂体顶层的反射都明显地反映出来了,可见 VSP 三分量观测,对薄层的分析是有作用的。

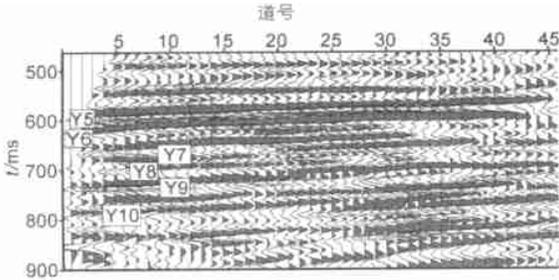


图 7 转换波剖面

Fig. 7 Converted wave profile

3 结论

(1) 井地联合地震勘探对于油田开发具有重要的作用。从零偏 VSP 到非零偏再到地面地震,可逐步准确地标定地震剖面。零偏控制井旁,非零偏控制小范围(数百米),地面控制比较大范围(数千米)。而且井地联合采集的资料在震源上的一致性,使得井地资料有了很好地联系,提高了解释分析的准确性。

Application of VSP and surface seism to oil development in North Shaanxi oil field

YANG Zheng-hua, ZHU Guang-ming, DU You-cheng, ZHAO Shu-hong, DING Wei-feng

(School of Geological Engineering and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: The North Shaanbei Yan'an group is made up of various river's sediments. The thickness and lithology of the reservoir varies largely in horizontal direction unstable sedimentation. Thus great difficulties are added to oil development. In order to improve the accuracy of oil well location and reduce the risk of oil production, we made a seismic exploration by the combination of VSP and surface seismic. Multi-component and multilevel geophones are adopted with the same seismic source to gather VSP and surface seismic data. We have obtained more seismic information through data processing and interpretation, achieved a better result for oil field geology, which in turn provides important strategy basis.

Key words: the combination of VSP and surface seismic; multi-component and multilevel geophones; lithology reservoir development; example

(2) 大偏移距非零偏 VSP 十字剖面法的观测,可以比较精细地控制含油层位或者砂体在空间上的变化。这对类似陕北的河道相、小三角洲相、内陆小湖相等横向变化比较大的储油层勘探开发是很有用的。在这次勘探中发现十字剖面法对地层的控制还不够严格,如果是米字形剖面,会更为准确。

(3) VSP 勘探中多级检波器的使用,不但放炮次数减少,工效大大提高,基本上可在一个炮井同深度中完成放炮工作,而且同炮多深度点观测,使得资料的一致性得到改善,检波器各级间的距离固定,减少了定位的误差,这对处理分析非常有用。

(4) 在提高分辨率方面,使用小波变换分析和谱均衡等,对追踪砂体和沉积微相的变化,有一定的效果。

(5) 这次勘探工作成果表明,该方法对陕北油田的开发勘探有一定的可行性。

[参 考 文 献]

- [1] 朱光明. 垂直地震剖面方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1988.
- [2] 李庆忠. 走向精确勘探的道路——高分辨率地震勘探系统工程剖析[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [3] 渥. 伊尔马兹. 地震数据处理[M]. 黄绪德, 袁明德, 译. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [4] 罗小泉, 许晖, 高心林. 陕甘宁盆地灵盐定地区下侏罗统充填特征和层序演化[J]. 西安工程学院学报, 2000, 22(2): 32~35.
- [5] 朱键, 王永昌. 利用上行波进行 VSP 数据旅行时反演[J]. 西安工程学院学报, 1999, 21(3): 44~48.
- [6] 张卫红, 徐亦鸣, 刘丽. VSP 转换波成像技术及实例分析[J]. 石油物探, 2003, 42(1): 42~48.

(英文审定: 李庆春)