

北部湾垂直地震剖面勘探效果分析

谢朝恩

摘 要

北部湾 W10-3 构造的垂直地震剖面 (VSP) 测量是在钻井平台上进行的, 采用水枪作震源, 地震数字测井仪记录, 采样率 1 毫秒, 采样间隔 20—50 米, 偏移距 50—60 米。在资料处理时, 除了使用了地面地震的常用手段以外, 还做了分离上行波、下行波、侧面波等处理, 并有相应的显示剖面。结果表明, VSP 资料提高了信噪比以及对薄层的分辨率, 突出了深层弱反射波, 提供了更高精度的速度资料。

ABSTRACT

The vertical seismic profiling (VSP) on W10-3 anticline in North Bay water was done, on a drilling platform, by using water gun source and digital seismic logger. The sampling rate is 1 ms, the geophone intervals are 20—50 meters, and the offset 50—60 meters. In addition to the conventional method for land data, some special procedures, such as separating upgoing wave, downgoing wave and side waves, etc. are also used in data processing, corresponding sections being provided for each processing procedure. VSP has higher S/N ratio, higher vertical resolution. It enhances weak reflections from deep layers and provides more accurate velocity information.

垂直地震剖面资料采集

在北部湾盆地西北部的 W10-3 含油构造上, 有三口井做了垂直地震剖面 (VSP) 测量。海上的 VSP 测量是固井以后在钻井平台上进行的, 震源采用水枪, 其枪室容量为 80 立方英寸, 作用压力为每平方英寸 1,500 至 2,000 磅。用水枪作 VSP 测量的震源比用空气枪好, 因为水枪没有气泡效应, 具有简单的波形和较宽的频带, 且高频成分丰富, 故比气枪具有更高的分辨力和精确度 (图 1)。

水枪一般置于较浅的深度上激发, 通常为 6—10 米, 以便通过海面的虚反射来加强脉冲信号的高频成分。激发点应尽量布设在地层的倾向方向, 使井中检波器处于上倾方

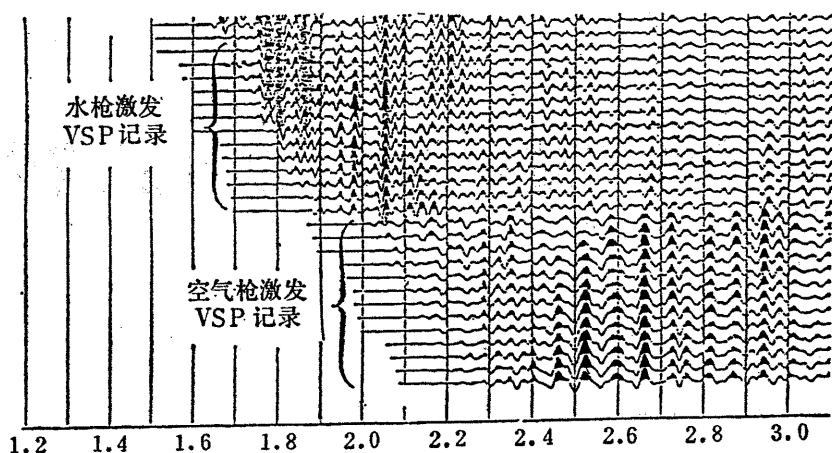


图 1 水枪激发与气枪激发的VSP记录

向接收,以便得到比采样点更深的界面的反射波。

海上的VSP测量比陆上更便于采用多次激发的方法来加强有效波,压制不规则的干扰波,以提高信噪比,而且多次激发信号的一致性也较好。

资料采集是使用地震数字测井仪记录。该仪器具有瞬时浮点增益放大器,采样率1毫秒,信息储存于九轨的磁带上。一般用四个检波器接收,四个道记录。一个检波器放

在震源的下方,深度为9—12米,作近场震源信号记录,另一个检波器作远场信号记录,其他两个检波器在井中作采样信号记录。井中采样间隔为20—25米,每个采样点的激发炮数为4—10炮(应保证每个采样点有4炮以上的合格记录),记录长度为4秒。

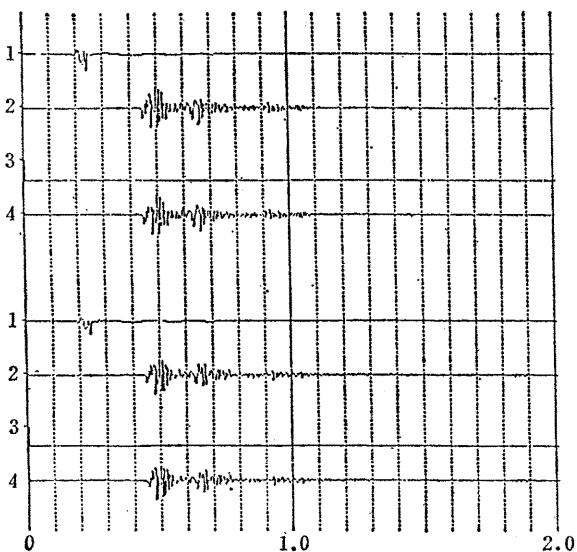


图 2 受套管波严重干扰的VSP记录

有效波还大,致使这一井段的VSP资料不能使用(图2)。

VSP的记录质量与固井的质量有密切的关系,当固井质量好,套管与井壁之间完全为水泥所充填而没有大的空洞时,就不会产生强烈的套管波,否则,就会产生严重的套管波干扰。如W10-3-1井,在井深282—462米的井段,由于固井质量不好,使套管波的振幅比

垂直地震剖面资料的处理

VSP测量除了记录来自接收点以下的反射层的上行反射波外,还记录来自接收点上方的下行波。这是VSP方法的一个显著特点。因此,对VSP资料的处理,有其独特的

一套处理流程和方法。

主要的处理步骤和流程

W10-3 构造上 VSP 资料的处理程序框图如图 3 所示。

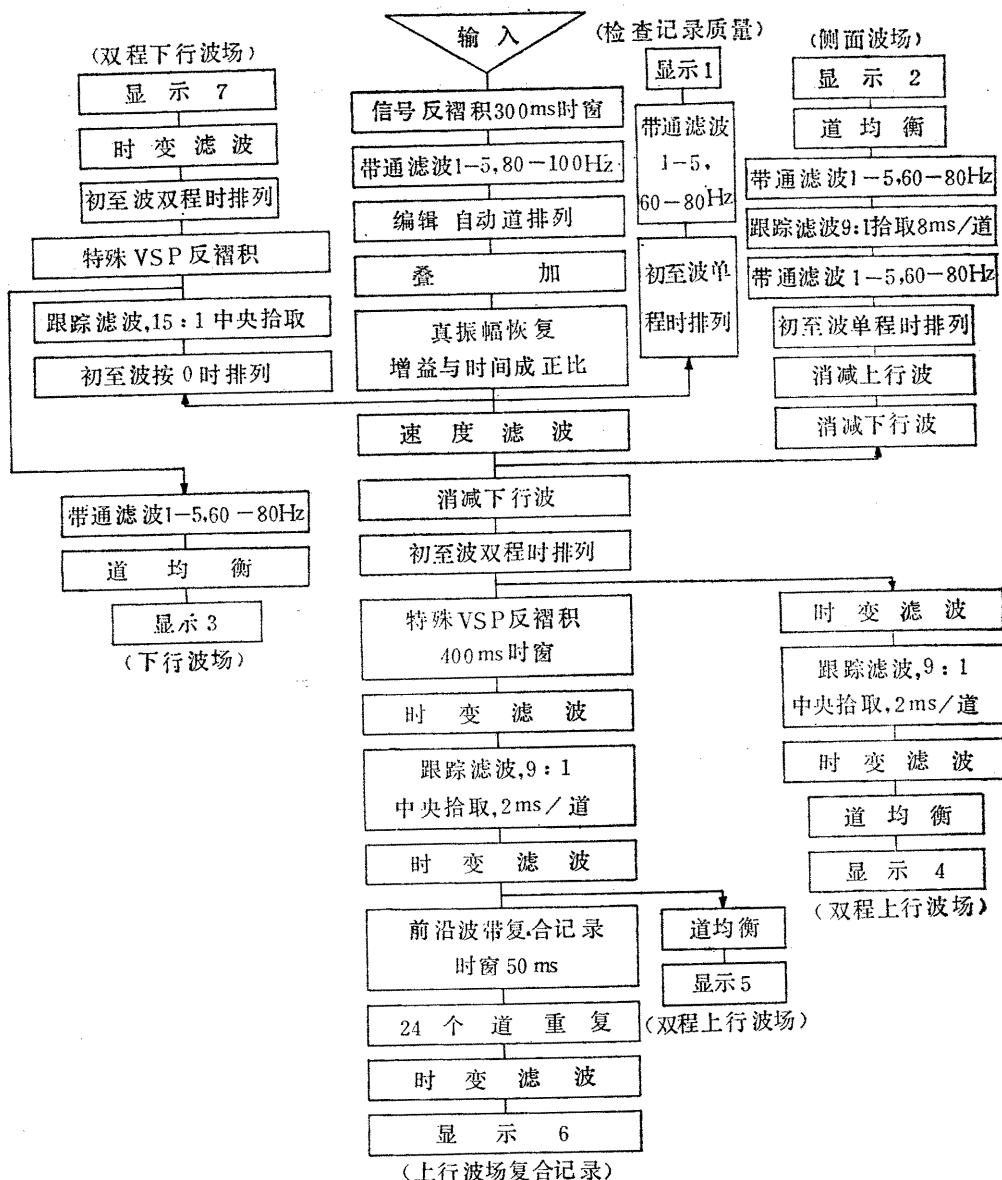


图 3 VSP 资料处理程序框图

主要处理流程有:

1. 信号反褶积 以位于水枪下的检波器所记录的信号作为输入, 将水枪的激发信号转换为零相位子波, 计算时窗为 300 毫秒。
2. 带通滤波 是常规滤波, 通频带为 5 至 80 赫兹, 用以滤除高频噪声, 提高信噪比。
3. 编辑与道排列 把有强烈噪声干扰不合格的记录道剔除, 并由浅至深把各层的

记录道按顺序排好。

4. 叠加 把同一采样点的所有合格炮次的记录道相加,以加强有效波,压制不规则的干扰波。

5. 真振幅恢复 用于补偿由于球面扩散及地层吸收所造成的能量损失,振幅增益与时间成正比。

6. 初至波重排 按各种不同的剖面显示,各道初至波有三种不同的排列:①按单程旅行时排列;②按双程旅行时排列;③按零旅行时排列,即把各道初至波按垂直的直线在道的起始端对齐。

7. 速度滤波 这是在 VSP 的资料处理中很重要的一个处理程序,也是一个较特殊的步骤,用以分离上行波和下行波。此程序把记录道当作上行波场与下行波场的和,并假设这两种波是在同一个水平地层中传播的,其偏移的距离相等而方向相反,然后使用统计偏移与空间滤波相结合的方法,达到分离上行波与下行波的目的。

8. 特殊 VSP 反褶积 其实质为预测反褶积,用以消除海上鸣震及其他多次波。它的滤波因子是由已分离出来的下行波的自相关函数逐层计算出来。然后将这个滤波因子分别应用于上行波和下行波上。

9. 时变滤波 用以进一步提高信噪比,其滤波参数由通过连井的地震剖面来选择确定。

10. 跟踪滤波 亦即倾斜相干加强,用以修饰 VSP 的同相轴,进一步加强有效波,压制随机干扰。原道信息保留系数为 9 比 1,用于上行波场的倾角扫描的最大斜率为 2 毫秒/道。

11. 道均衡 用以进一步修饰显示剖面,使深浅层各道的振幅变得更均匀,均衡时窗为 500 毫秒,时窗的重叠为 250 毫秒。

12. 前沿波带复合记录 把通过上述由 1 至 10 的处理步骤得到的上行波,取出各道在第一个初至波到达后约 500 毫秒以内的前沿波带,以 50 毫秒的变动计算时窗,将同相轴对齐后复合叠加成一个合成的记录道。然后,再将这个合成记录道重复输出 24 次,得出一个具有 24 个重复道的复合垂直地震剖面。

主要的剖面显示

W10-3 构造的 VSP 资料处理,有七种不同的剖面显示。

显示 1 经过 1 至 5 的处理步骤后,按单程旅行时排列并经再次滤波后输出的剖面,包括了所记录到的各种波场,用以检查 VSP 资料的质量(图 4)。

显示 2 侧面波显示的剖面,已剔除了垂直传播的上行波及下行波,在所显示的波场中,可能包括断面反射波、绕射波及转换横波等。有时还包括经滤波后剩余的套管波(图 5)。

显示 3 这个剖面显示下行波及多次波。多次波作为反射波的一个尾巴出现在检波点附近的位置上(图 6)。

显示 4 反映了双程旅行时的上行波场。利用这个剖面可以分析多次波和估算反射层的倾角(图 7)。

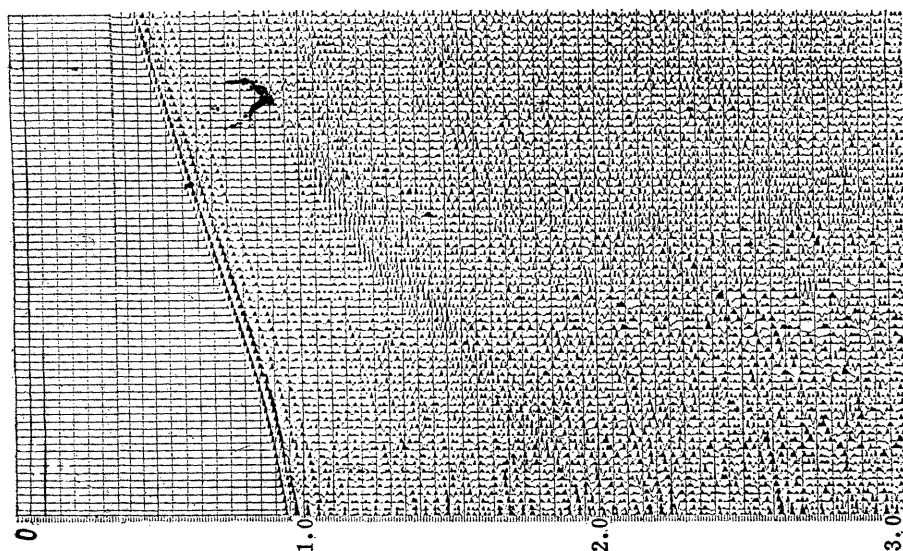


图 4 按单程旅行时排列并经滤波的剖面

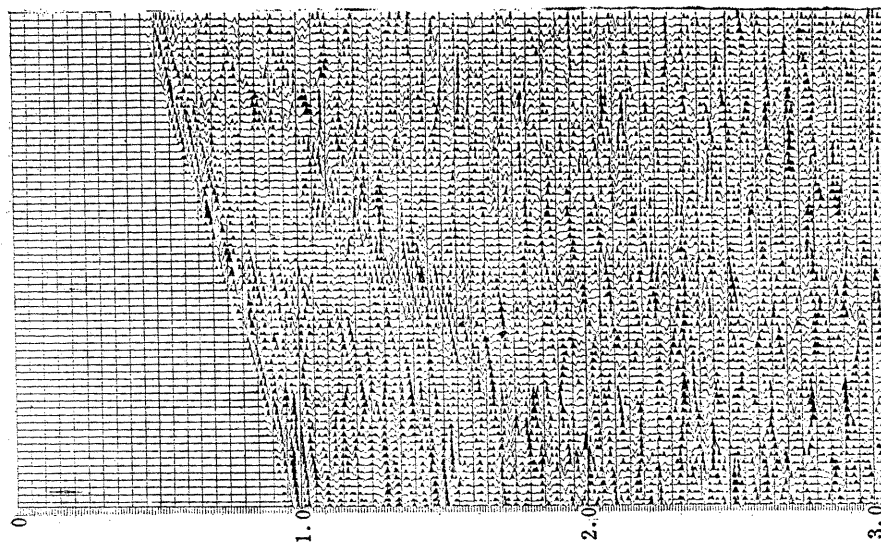


图 5 侧面波剖面

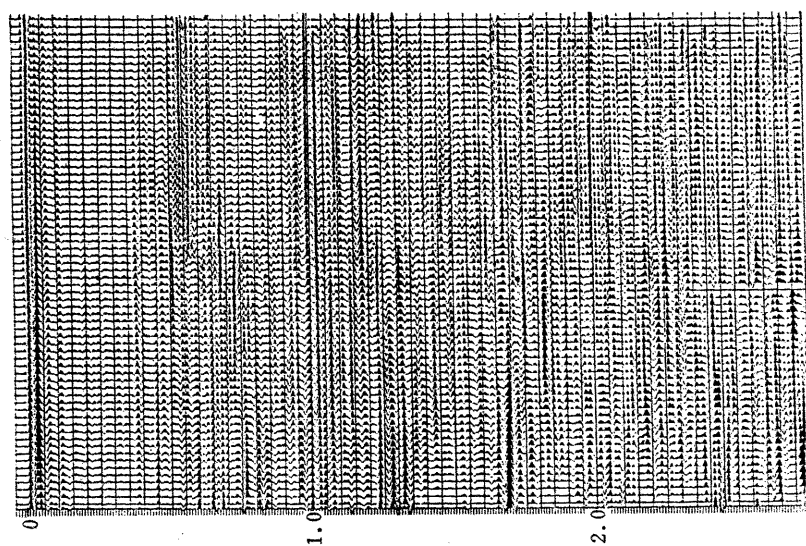


图 6 下行波及多次波剖面

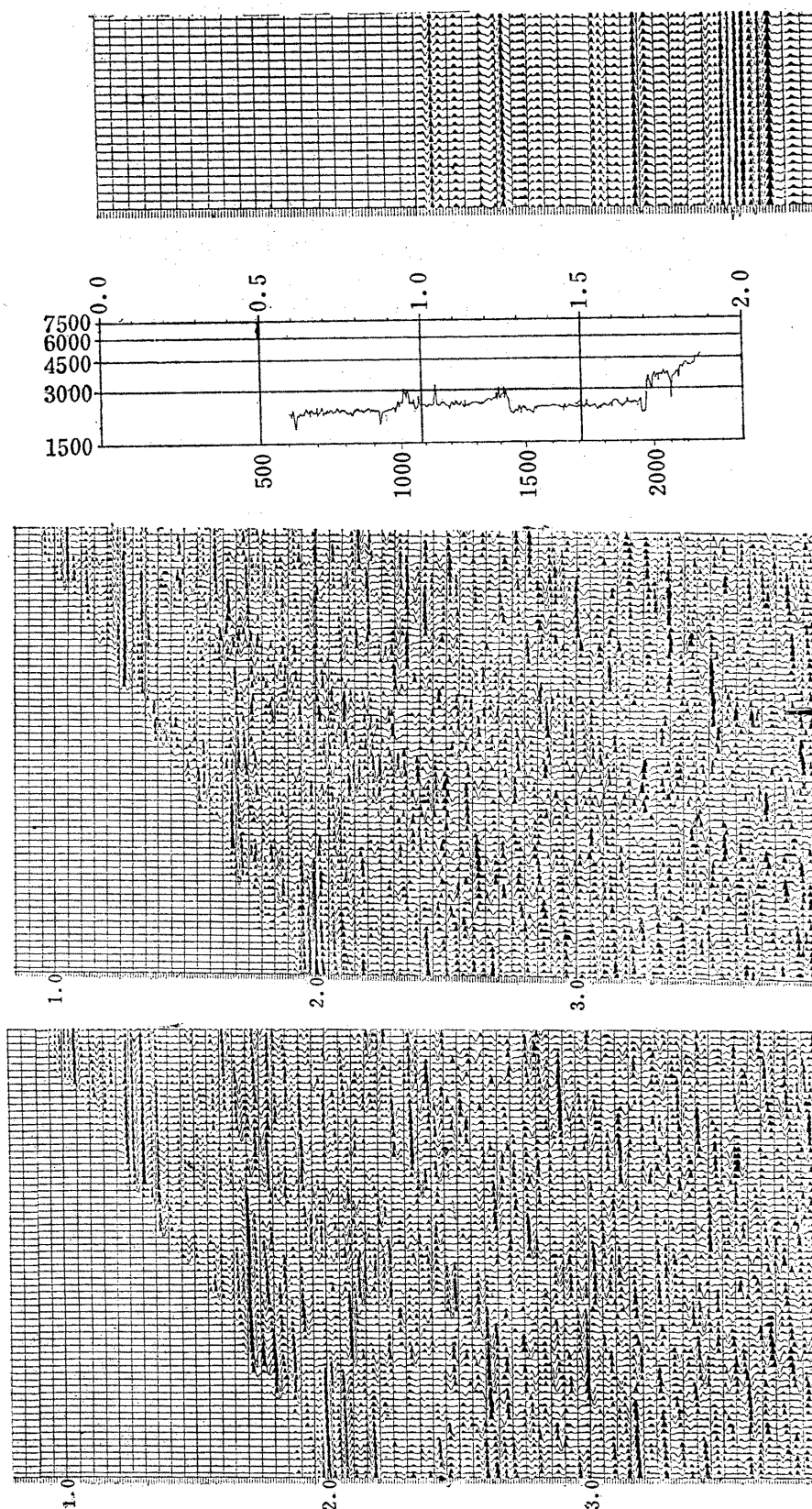


图 7 上行波剖面

图 8 上行波的反褶积剖面

图 9 前沿波带的复合记录剖面

显示5 反映了经特殊 VSP 反褶积后的双程旅行时上行波场。在这剖面中，多次波已被清除，仅保留了一次反射波（图8）。

显示6 是一个前沿波带的复合记录剖面，经由 1 至 12 的处理步骤得出。这个剖面真实地、清晰地反映了在测量井段的一次反射波场，显示出真实的反射界面（图9）。

显示7 反映了经特殊反褶积后的一个双程旅行时的下行波场。此剖面显示出在测量井段内的一条精确的时间—深度曲线，由此剖面可得出精确的平均速度及层速度资料（图10）。

垂直地震剖面资料的解释

W10-3 构造的 VSP 资料，除了 W10-3-1 井在井段上部和中部记录质量较差外，其他两口井的记录质量都较好，为 VSP 资料的地质解释提供了可靠的地质成果。

时间—深度曲线及速度分析

VSP 测量可提供十分精确的时—深曲线，因而也提供了精确的速度资料，包括平均速度和层速度。

在制作时—深曲线时，应将旅行时校正为相对于平均海平面的时间值。另外，因为激发点至井口有一段水平偏移距离，因此，也应该把观测到的旅行时校正为由水面到井中检波器的垂直传播时间，校正公式为

$$T_c = \left(T + \frac{H}{v_w} \right) \cos \beta + \frac{D_s}{v_w} \quad (1)$$

式中各参数见图11； T_c 表示经校正后直达波由海平面至井中检波器之间的旅行时； T 表示井中检波器记录的直达波旅行时； H 表示由震源 S 至震源信号检波器 G 之间的距离； D_s 表示震源 S 至海平面间的垂直距离； β 表示直达波的入射角； v_w 表示地震波在水中的传播速度，取 $v_w = 1,524$ 米/秒。

根据校正后的旅行时 T_c 和深度 z ，即可得出精确的时间—深度曲线及对应的平均速度及层速度。

VSP 资料反射波场的分析

图 12 及图 13 是 W10-3-1、2、3 井的 VSP 复合剖面与这些井的声波测井曲线及

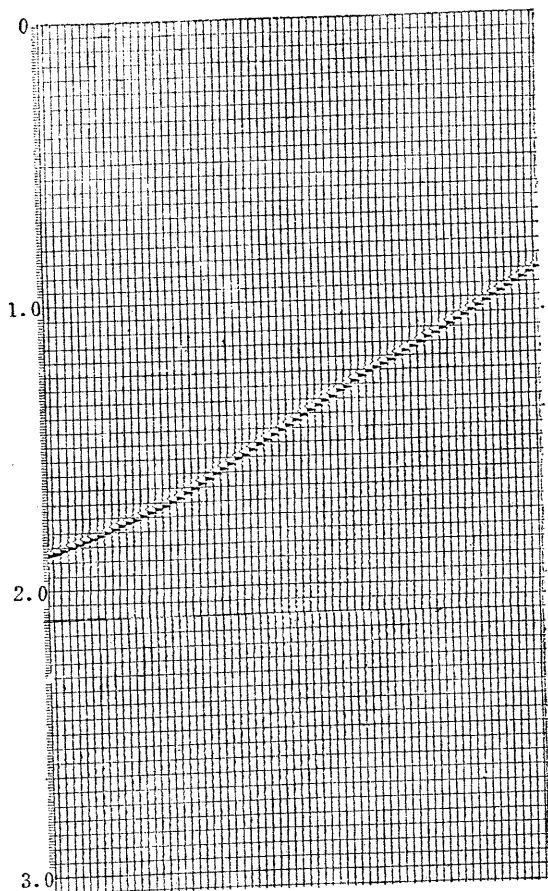


图 10 下行波的反褶积剖面

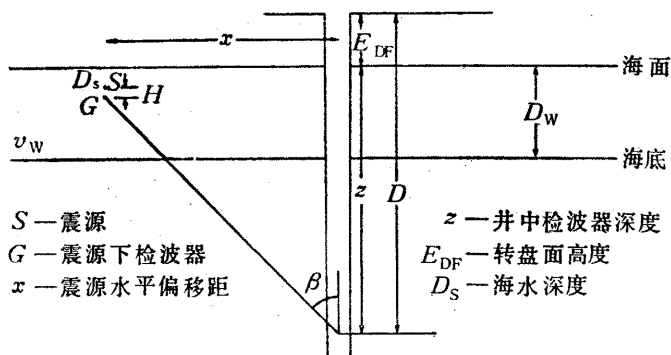


图 11 时—深曲线校正原理

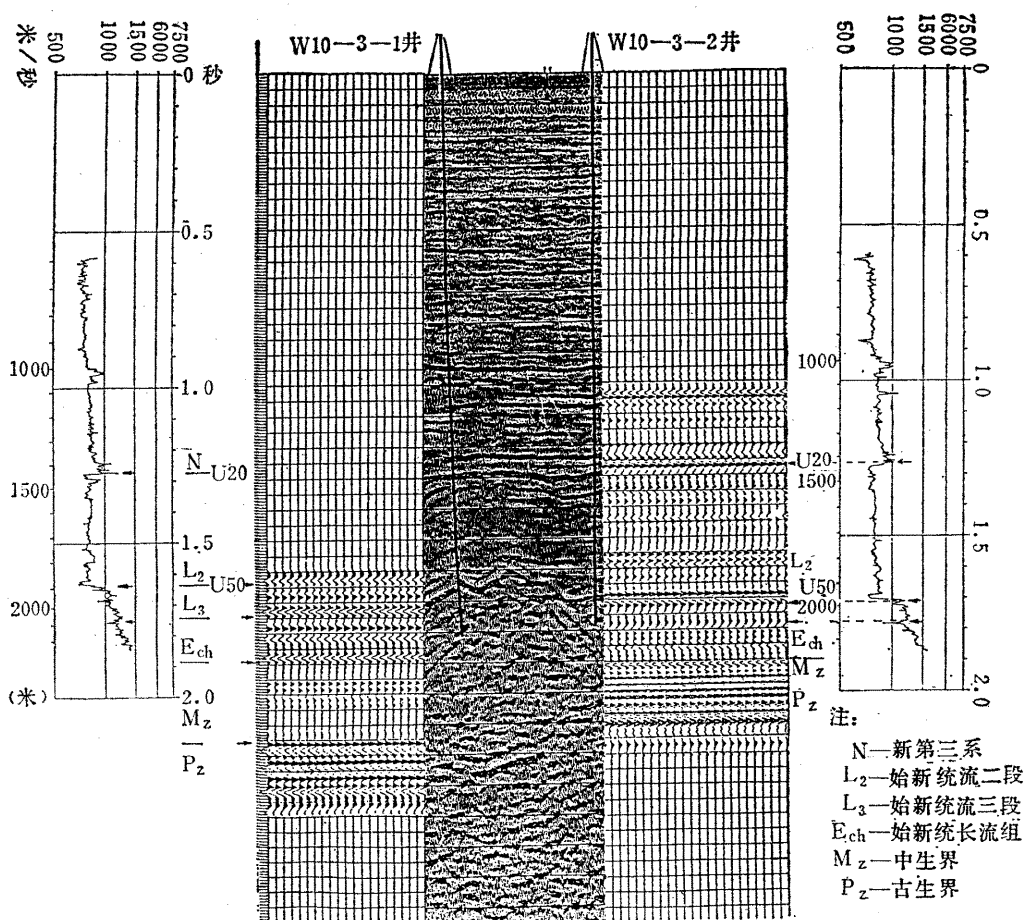


图 12 W10-3-1、2井VSP资料综合对比图

过井的地震偏移剖面的对比图，显示了在所测量的井段内 VSP 资料和其他资料的对应关系。

1. VSP 资料与声波测井曲线的对比

这三口井的 VSP 复合剖面与声波测井曲线有明显的对应关系。从资料的对比中可以看出，在所测量的井段中有两个明显的、主要的反射界面。

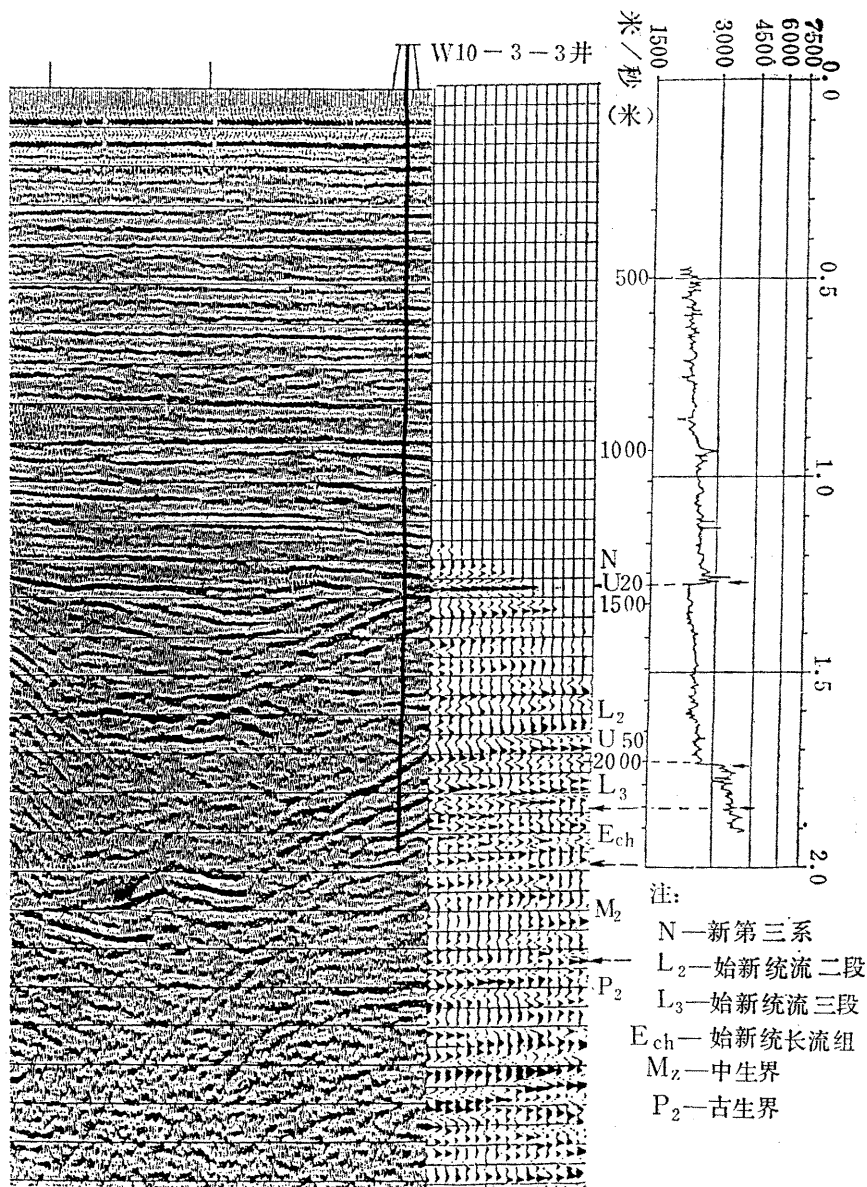


图 13 W10-3-3井VSP资料综合对比图

(1) 位于双程旅行时 1.2 至 1.3 秒之间的反射，称为 U_{20} 层，是处于瞬时速度值由 2,700 至 2,800 米/秒突然减少到 2,300 米/秒左右的速度突变带上。在地质上此界面为上、下第三系的分界面，是一个区域性的不整合面。

(2) 位于双程旅行时为 1.6 至 1.75 秒之间的反射，称为 U_{50} 层，是处于瞬时速度值由 2,500 米/秒突然增加到 3,400 米/秒的突变带上。在地质上为下第三系始新统流二段与流三段之间的分界面。而流三段为 W10-3 构造的主要含油层段。

在 U_{50} 层以下的井段中，仍存在一些不很显著的反射界面，但在这几口井的范围内，这些界面的反射波振幅小，缺乏统一、明显的特征，难以辨认和对比。

从总的来看，VSP 的复合记录剖面的波峰和波谷与声波测井曲线速度值的增加和减

小是一一对应的。特别是 W10-3-2 的资料, 这种对应关系反映得更加明显, 从这一点表明了 VSP 资料具有较高的分辨力。

VSP 资料与地震剖面的对比

VSP 资料证实了过井的地震剖面中所存在的反射界面, 但对薄层和深层, VSP 资料比地震偏移剖面显示得更清楚, 分辨力更高。

对于 U_{20} 反射层, VSP 资料与地震剖面的显示是一致的, 其反射波均为单波。但在过井的地震偏移剖面上, 在 W10-3-1 与 W10-3-2 井之间, U_{20} 层反射波的振幅较弱, 且向西北方向逐渐消失, 而在 VSP 复合剖面上, U_{20} 层的反射波的振幅较强。

对 U_{50} 反射层, VSP 资料与地震剖面的显示在层位上是一致的, 但在波的性质上两者的反映不相同。在 VSP 资料上, U_{50} 层反射为单波, 对应于声波测井曲线的一个正的速度峰值, 而在地震剖面上, 则反映为复合波。这种差别在 W10-3-1 及 W10-3-2 井的资料上显示得更明显。地震剖面上的 U_{50} 层反射波是两个高速薄层夹一个低速薄层的反射波的复合波, 而在 VSP 资料上, 反映为两个波峰和一个波谷。由此可见, 对于薄层, VSP 资料的分辨能力高于常规的地震剖面。

在穿过这几口井的地震剖面上, 介于 U_{20} 与 U_{50} 层之间基本上是一个空白带, 只有零星的反射段出现。但在 VSP 资料上, 却出现了一些明显可辨的同相轴, 而且这些同相轴是与声波测井曲线的速度界面对应的。这表明, VSP 测量在井中可接收到在地面上得不到的地震反射波信息。

对 VSP 深层反射波的分析

从图 12 及图 13 可见, VSP 资料能较清晰地反映 U_{50} 层以下包括在井底以下的深层反射。在过 W10-3-1 及 W10-3-2 井的地震剖面上, 在 U_{50} 层以下, 无可靠的反射波同相轴, 但在 VSP 资料上, 清晰地显示了在 U_{50} 层以下的各个反射层。在过 W10-3-3 井的地震剖面上, 与对应的 VSP 资料一样, 能较清晰地反映出 U_{50} 层以下的各个反射层, 两者的层位是一致的。

根据 VSP 资料并结合声波测井曲线和钻井资料, 划分出这几口井对应于始新统流三段及长流组的地层。

对于更深的中生界及古生界的层段, 是根据 VSP 资料所显示的波组特征来进行推断划分的。对于基底的波组特征, VSP 资料比地震剖面表示得更细致、更清楚。

对中生界这一层段, 在 W10-3-1 及 W10-3-3 井的 VSP 资料上, 显示为低频弱振幅的波组特征。而对其下的古生界层段, 这几口井的 VSP 资料均显示为低频强振幅的波组特征, 两个层段之间存在一个明显的分界面。

结 论

从上述分析可以看出垂直地震剖面有如下特点:

1. VSP 方法和常规的地震速度测井相比, 由于 VSP 的采样点很密, 因此, 它能获

(下转第 566 页)