

油气田勘探开发阶段高分辨率零偏移距 VSP 技术

朱光明, 黄翼坚

(长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 从零偏移距 VSP 资料采集、处理和解释方面, 探讨了当前油气田勘探开发阶段高分辨率零偏移距 VSP 技术发展的内容和特征。这些特征主要是: 得到高分辨率的 VSP 资料, 不仅能对比厚层, 而且能对比小层或薄储层; 利用多波, 不仅同时利用下行和上行波, 而且同时利用纵波和转换横波; 提取动力学参数, 不仅给出时间深度标尺和走廊叠加层位标尺, 而且给出振幅、频率、Q 值、子波、纵横波速度比、泊松比、弹性参数等标尺; 直接探测岩性和油气, 不仅对比、控制、约束地震层位的反演, 而且识别不同类型的储层, 并为井地联合的储层含油气性反演提供控制和约束条件。

关键词: 零偏移距; VSP; 资料采集; 资料处理; 资料解释

中图分类号: P631.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)04-0416-04

High-Resolution Zero-offset VSP Technique in Development Stage of Oil and Gas Exploration

ZHU Guang-ming, HUANG Yi-jian

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

Abstract This paper discusses the contents and features of current Zero-offset VSP (ZVSP) techniques for the development stage of oil and gas exploration in aspects of data acquisition, processing and interpretation. The features involve: acquiring high-resolution ZVSP data, correlating not only thick layers, but also thin layers or reservoirs; exploiting multi-waves, using not only upgoing and downgoing waves, but compressional and converted waves simultaneously; extracting dynamic parameters, providing not only scale for time-depth relation and horizon scale for corridor-stack, but scales for amplitude, frequency, Q, wavelet, compressional-shear wave velocity ratio, Poisson ratio and elastic parameters; directly detecting lithologic properties, oil and gas, not only correlating, controlling and constraining horizon inversion, but identifying different types of reservoirs and providing constrains for joint petroliferous property inversion of both borehole and surface seismic data.

Key words: Zero-offset; VSP; data acquisition; data processing; data interpretation

0 引言

一般认为, 零偏移距 VSP (Vertical Seismic Profiling) 资料可用于: ①提供井附近地震波从地表向深处传播的可靠的时间-深度关系; ②估算地震波在不同深度地层中传播的均方根速度和大套地层中传播的平均层速度; ③划分明显的地层界面和

对比地面地震反射同相轴相应的地质层位; ④在需要时适当地预测钻头前方目的层的深度和地层属性。零偏移距 VSP 资料是井资料和地面地震资料之间连接最重要的桥梁。但是现在零偏移距 VSP 资料采集、处理和解释技术并不是已经发展到头了^[1]。相反, 为了适应油气田开发的需要, 零偏移距 VSP 技术正迎来一个新的发展时期^[1]。新形势

收稿日期: 2008-10-25

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (2006CB202208-3)

作者简介: 朱光明(1935-), 男, 江苏南京人, 教授, 博士研究生导师, 从事地球探测与信息技术和应用地球物理学教学与研究。E-mail: dczhugm@chd.edu.cn

下对零偏移距 VSP 技术的需求, 归纳起来, 主要有以下几方面:

(1) 提高分辨率, 如果常规 VSP 资料的频带大约是 10~80 Hz, 可划分厚度约 15 m 的地层, 那么, 现在要求 VSP 资料的频带至少应扩展到 8~160 Hz 带宽以上, 分辨率能达到划分 3~5 m 厚度的储层。

(2) 提取地震波动力学参数, 如果常规 VSP 主要是利用地震波的运动学特性, 拾取波至时间, 估算地震波在地层中的传播速度, 对比地层层位和成像, 那么, 现在的 VSP 还要利用地震波的动力学特性, 研究地震波的振幅、频率、相位、提取地震子波, 估算 Q 值, 分析偏振特性, 分析地层的各向异性, 估算纵横波速度比、振幅比, 提取弹性参数等。

(3) 探测地层岩性, 如果常规 VSP 资料主要是用于划分地层、作层位对比、作时深转换和叠加成像, 那么, 现在要求 VSP 资料能进一步划分岩性, 识别储层的类型, 研究储层的岩石成分, 估计砂泥比、泥质含量, 识别隔夹层、大通道等。

(4) 研究储层的含油气性, 如果常规 VSP 资料只能划分大套地层剖面, 做层位对比, 那么, 现在要求 VSP 资料能提供有关储层的孔隙度、饱和度、渗透率以及储层中所含流体的性质(油、气、水)以及剩余油的分布等信息。

(5) 进一步深化井中资料和地面地震资料的联合处理和解释^[2-5], 例如利用 VSP 资料提取的 Q 值对地面三维地震资料作反 Q 滤波, 利用 VSP 资料提取的地震子波对地面资料作反褶积, 提高地面三维资料的分辨率, 利用多波 VSP 资料标定约束地面多分量多波勘探的资料等。

笔者试图从零偏移距 VSP 资料采集、处理和解释等方面, 进一步探讨新形势下零偏移距 VSP 技术发展的内容和特征。

1 高分辨率零偏移距 VSP 资料采集

1.1 激发

陆上大部分地区采用炸药震源, 部分地区采用电火花震源或可控震源。对于炸药震源一般采用单深井激发, 井深 20~50 m, 药量 0.2~1 kg。激发参数选择的原则是激发能量合适、频带较宽, 干扰较少, 多次激发的震源子波一致性好、重复性好。激发的原始子波带宽希望达到 8~160 Hz。震源偏移距选为 80~100 m, 这样选择, 一方面使偏移距尽可能接近真正的零偏移距, 减少射线倾斜带

来的误差, 另一方面又希望入射角不为零, 使得震源在激发纵波的同时, 也能产生能量较强的转换波。除此之外, 引爆炸药的雷管延迟时间误差与爆炸机允许的延迟时间误差最好都减少到 0.25 ms。

1.2 接收

采用多级三分量检波器接收, 检波器串的级数不低于 10 级, 最好为 24~36 级。级间距(连接电缆长度)应与接收点距一致, 不采取现在流行的插花方式提升检波器串(例如当检波器为 10 级, 级间连接电缆或级间距固定为 10 m, 接收点距要求为 2.5 m, 这时插花方式提升检波器串的方法是 4 次一个轮回, 前 3 次将 10 级检波器串每次提升 2.5 m, 而后, 第 4 次再将检波器串提升 92.5 m, 从而用 10 m 点距的检波器串实现 2.5 m 点距的深度采样)。为什么不采取插花的方式呢? 插花方式采集的数据不仅不能达到用 2.5 m 采样来提高分辨率的目的, 甚至连原来 10 m 间距的分辨率都达不到。按照误差理论分析, 假若 10 m 级间距的多级检波器串直接测量的是固定深度间隔的波至时间的差, 即时间梯度或层速度, 是直接测量的一级量, 而插花形成的 2.5 m 间距的时间梯度或层速度是间接计算的导出量, 两者的精度可差一个数量级。例如, 直接测量的层速度是 2.5 m/ms, 间接导出时, 根据两个点的波至时间和两个点的深度共 4 个直接测量值计算层速度, 假设两点激发和拾取初至的误差是 1 ms, 两点深度误差是 0.2 m, 计算的层速度可能大于 5 m/ms, 也可能小于零, 相对误差可达 100% 以上。图 1 给出某井的一段直达波记录, 从图上可见, 初至上下摆动, 初至时间呈锯齿状变

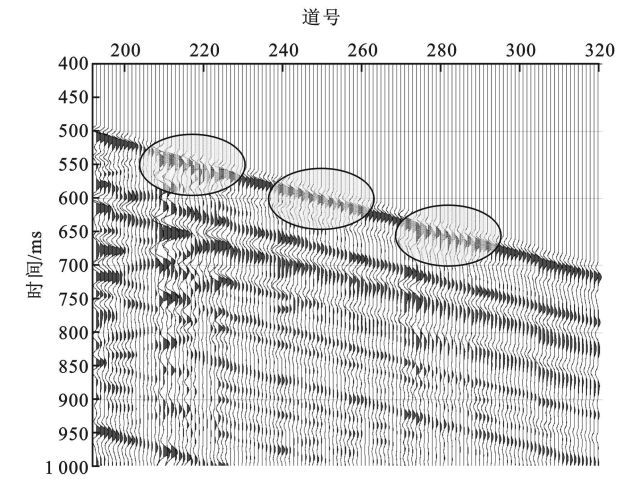


图 1 某井的一段直达波记录

Fig. 1 One Segment VSP Direct Arrivals at XX Well

化,算出的层速度值也剧烈摆动,个别点上甚至出现负值,速度发生倒转。按照统计的算法可能减小误差,所以,建议检波器提升过程中,每提一个轮回,重复观测两个点,不仅对波至时间进行重复观测,而且对波至时间梯度或层速度值也进行重复观测,为减小误差和校正提供依据。

1.3 表层

VSP 资料采集过程中,检波器最浅往往并不提升到地表,因此从最浅的检波点到地表是缺少实测的层速度和衰减等数据的,而从震源激发点深度向上到地表也缺少实测数据。另外,在 VSP 资料与地面地震资料对比时,由于基准面校正及表层替代速度选取的不一致,VSP 资料解释的层位和地面地震资料解释的层位,两者常发生矛盾,难以找出客观的正确答案。为此,表层应再补充测量一些资料。建议在原 VSP 井附近另打一口几百米的浅井(原 VSP 观测井因为表层多层套管难以取得资料)作微测井,这种微测井的观测方式是:震源在地表附近,偏移距 10 ~ 20 m 左右,多极检波器下井接收。这个微测井或浅层 VSP 资料不仅用于求表层速度,同时也用来估计表层的衰减。

2 高分辨率零偏移距 VSP 资料处理

高分辨率零偏移距 VSP 资料处理流程见图 2,其中几项主要的处理分别叙述如下:

2.1 一致性处理

零偏移距 VSP 剖面理论上应是同一炮多道接收的记录,应是各道子波波形、能量、频率都一样的共炮点道集剖面,许多处理方法都是在这种假设前提下论证和研制的。但是实际上,由于检波器级数的限制,零偏移距 VSP 剖面是多炮、多次、用多级检波器串提升到井中不同深度接收而后拼成的。因为每炮的激发环境和激发因素可能有差别,所以实际观测的 VSP 剖面与理论上的一炮多道 VSP 剖面相比,各道之间的波至时间会附加额外的差值,各道之间的波形、能量和频谱会产生许多非地质因素引起的不一致。一致性处理就是校正这些额外的时差,补偿各道之间由于多炮等非地质因素引起的波形、能量和频率之间的差异。波至时间校正、振幅校正、扩散补偿、子波整形反褶积等都是这类一致性处理的重要内容。

2.2 去噪

零偏移距 VSP 剖面上看到的规则干扰主要是

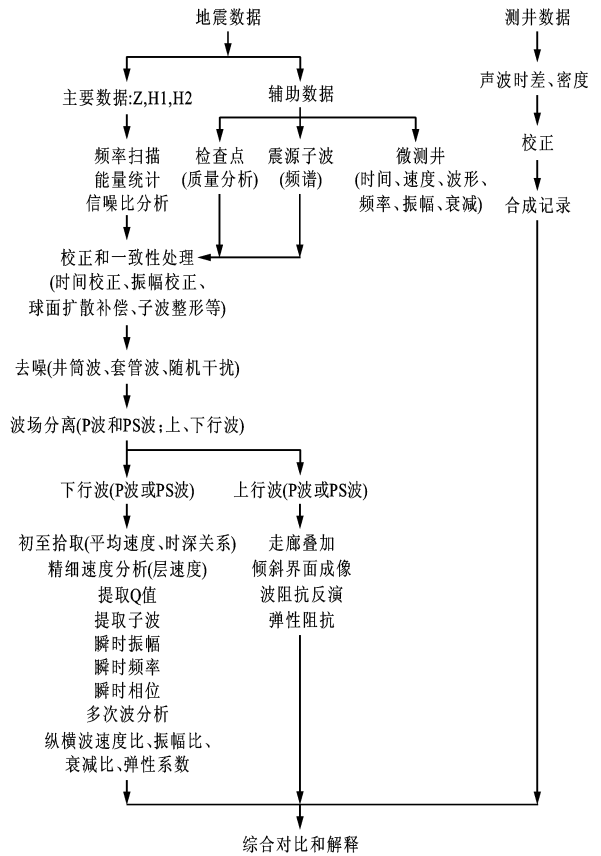


图 2 高分辨率 ZVSP 资料处理流程

Fig. 2 Flow Chart for High Resolution ZVSP Processing

井筒波。在固井不好、套管与地层没有很好胶结的情况下,套管波也会很强,干扰严重时,甚至使初至无法拾取。再就是相对于纵波的转换横波或者相对于转换波的纵波,还有相对于一次反射波的多次波等,也可以构成相对的规则干扰波。除规则干扰外,在零偏 VSP 剖面上,常常还会看到很多高频或低频的随机干扰。精细地利用中值滤波等二维滤波手段,根据有效波和干扰波的视速度等的差别,一般能较好地压制噪声,提高资料的信噪比。但是 VSP 资料处理仍希望有功能更强的去噪模块来压制噪声。例如,根据有效波和干扰波两者的时频、统计、偏振等特性的差别等,使压制噪声的功能更好。

2.3 波场分离

VSP 资料的波场分离主要是分离上行波和下行波以及分离纵波和转换横波。在利用偏振特性分离纵波和转换横波的处理中,难点之一是要分离的波场的种类是时变的,其偏振特性的差异也是时变的,所以要发展时变的三分量资料的波场分离方法。

2.4 纵波和转换波的下行波处理

主要包括波至时间拾取(下行直达纵波常常是

剖面上的初至波,所以拾取下行直达纵波的波至时间一般也称为初至拾取,转换波是剖面上的续至波,不是初至波,所以只能拾取转换波的波至时间;计算平均速度;精细地计算纵波和转换横波的层速度(由直接测量的时间梯度计算层速度,要求计算层速度的精度达到3%~5%,从而使提取的层速度值能用于研究地层岩性的变化);计算纵波和转换波的均方根振幅、瞬时振幅、频率、瞬时频率和瞬时相位;提取子波;提取Q值;计算纵横波振幅比、纵横波速度比、纵横波衰减比、计算泊松比等弹性系数;分析多次波、估计多次波的周期等参数。

2.5 纵波和转换波的上行波处理

主要包括纵波和转换横波的成像处理(当地层倾角不大时,一般是先将上行波按双程时或 t_0 时间排齐,而后依据多次波不可能与直达下行波相交的原则,划分走廊,作走廊切除和走廊叠加得到走廊叠加的成像剖面;当地层倾角较大时,下行直达波和上行一次反射波路程不等,旅行时间不等,不可能按两倍初至时间将上行一次反射波按双程时排齐,因而不可能作走廊叠加成像,不可能有走廊叠加的概念,这时,可直接按有偏移距VSP资料的成像方法进行成像,得到井附近的一小段成像剖面);波阻抗反演,将纵波和转换波的成像剖面变换为波阻抗剖面;弹性阻抗反演,提取与岩性和油气有关的弹性阻抗做成弹性阻抗小剖面。

3 高分辨率零偏移距 VSP 资料解释

高分辨率零偏移距VSP资料解释包括做时间-深度标尺和平均速度-深度(双程时间)标尺;做精细的层速度-深度(双程时间)标尺;做地层阻抗标尺;做Q值衰减系数标尺;做纵横波速度比等参数的标尺;做弹性参数的标尺;划分层系,解释地层结构;划分储层,精细对比层位(目的层段对比小层);识别地层岩性,识别砂泥岩储层,识别碳酸岩储层,识别某些特殊类型的储层(礁滩型储层、裂缝型储层、火山岩储层等),识别泥岩隔夹层;对比解释储层中含流体的性质;对比解释储层中的含油气程度;做地质、测井、VSP、地面地震资料的桥式综合解释对比图;用VSP资料提取的Q值对地面资料作反Q滤波,展宽地面资料的频带;用VSP资料提取的地震子波对地面资料作反褶积,提高地面资料的分辨率;用VSP资料提取的波阻抗对井旁地震

道作约束反演;用VSP资料分析剖面上各种主要的波(纵波、转换波、直达波、一次反射波、多次反射波、干扰波等不同类型波)的产生、传播、演化的过程,验证和认识地面地震剖面上出现的各种类型的波,评价或修改地面地震资料处理的流程和处理参数;用VSP资料提取的速度等对地面地震的处理过程和处理结果作评价;用VSP资料和地面地震资料联合成像。

在油气田开发阶段,由于早期测井数据已经不符合当前情况,希望重新再作测井,但是井况变化不允许大部分类型的测井再次进行,利用高分辨率、高精度的零偏移距VSP资料可以部分代替测井资料,部分提供相当于重新进行测井的资料。

4 结语

油气田开发阶段对零偏移距VSP资料解决问题的种类以及解决问题的程度提出了许多新的要求,而以多级井下检波器为代表的地震勘探整体技术基础的提高为这些新要求的实现提供了可能。笔者探讨了零偏移距VSP在资料采集、处理、解释和应用等方面关于这些新技术的内容和特征,主要有:

- (1)提高分辨率。
- (2)多分量观测、多波勘探、提取运动学属性和动力学属性,尽可能利用波的全部信息。
- (3)从地层层位到地层岩性到流体成分到含油气性,从间接探测含油气构造到直接探测油气。
- (4)零偏移距VSP资料是井地联合的桥梁,空间上补充纵向这一维,井地联合从比较简单的对比到互相联结、互相补充、互为条件、从点到线到面,充分发挥井地联合的优势。

参考文献:

- [1] Campbell A, Fryer A, Wakeman S. Vertical Seismic Profiles—More Than Just a Corridor Stack[J]. The Leading Edge, 2005, 24(7): 694-701.
- [2] Hornby B E, Yu J H, Sharp J A, et al. VSP: Beyond Time-to-Depth[J]. The Leading Edge, 2006, 25(4): 446-452.
- [3] Hornby B E, Herron D. Introduction to this Special Section: Borehole Geophysics/VSP[J]. The Leading Edge, 2007, 26(6): 731.
- [4] 李文杰,魏修成,刘洋.利用VSP提高地震资料处理质量的新途径[J].新疆石油地质,2005,26(1):96-98.
- [5] 石瑛,王赞,芦俊.用3C VSP资料分析含煤地层的方位各向异性[J].煤炭学报,2007,32(8):813-817.