

井控地震资料处理技术在中国南华北工区的运用

Application of Well Control Seismic Data Processing Technology in North Nanhua Work Area, China

闫有平 谢欢 王云朋 马纪明

Youping Yan Huan Xie Yunpeng Wang Jiming Ma

中石化石油工程地球物理有限公司华北分公司 中国·河南 郑州 450000

Sinopec Petroleum Engineering Geophysics Co., Ltd., North China Branch, Zhengzhou, Henan, 450000, China

摘要: 由于 VSP 资料采集是沿地层垂直方向布置接收点, 在垂直方向观测地震波场, 因此, 能定量求取较为精确 VSP 子波、Tar 因子、各向异性系数、Q 补偿等参数。而这些参数应用于地面地震资料处理, 能有效提高地震资料的分辨率及保真度。论文对参数提取方法原理进行了说明, 并对其应用到中国南华北的地震资料处理过程中, 剖面质量得到明显改善, 取得了良好的效果。

Abstract: Because VSP data acquisition is to arrange receiving points along the vertical direction of the formation and observe the seismic wave field in the vertical direction, it can quantitatively obtain more accurate VSP wavelet, tar factor, anisotropy coefficient, Q compensation and other parameters. The application of these parameters to surface seismic data processing can effectively improve the resolution and fidelity of seismic data. In this paper, the principle of parameter extraction method is explained, and its application to seismic data processing in North Nanhua Work Area, China has significantly improved the profile quality and achieved good results.

关键词: 井控处理; VSP; Q 因子; Tar 因子

Keywords: well control processing; VSP; Q factor; Tar factor

DOI: 10.12346/etr.v3i8.4015

1 引言

多年来, 中国及其他国家多名学者对井控地震资料处理工作进行了较为深入的研究, VSP 测井资料在地震资料处理过程的应用不断深入, 井控地震资料处理技术得到较好发展。2017 年韩文功等较系统全面地阐述了井控地震资料处理技术的研究进展情况^[1]。研究表明, 在地震资料处理和解释过程中必须突出井控, 强调井震一致性。井控地震资料处理技术已成为地震资料处理、解释及质量控制的一种有效手段, 能提升地震处理及解释成果的精度及可信度。并已成功应用到油气地震勘探开发中, 取得良好的效果^[1]。

2 井控处理技术与方法

井中地震与地表地震观测方式不同, 它的接收点(激发)

沿垂直方向布置, 即在介质的内部进行观测或激发, 地震波信息丰富, 可记录上行波、下行直达波、上下行转换波、多次波等。它能够较好观测地震波在实际介质中形成和传播的真实过程, 取得有关地震波的成因及其传播介质性质的完整资料^[2]。采用 VSP 观测时, 井下三分量检波器分布在地层介质内部, 能观测到运动学与动力学特征明显直接的地震波, 也就能更好地研究各类地层界面波场的变化情况, 使勘探效果和分辨力都得到明显提高^[3]。

井控地震处理技术, 就是在地震资料处理的过程中, 利用已有井的测井资料、VSP 资料, 将“井点数据”和地面地震数据进行一体化联合分析、处理, 最终提供高保真、高分辨率、高信噪比的地震数据, 为后期的地震解释和勘探开发方案提供可靠的依据^[3]。通过井震联合数据处理, 实现两

【作者简介】闫有平(1967-), 男, 中国湖北松滋人, 硕士, 高级工程师, 从事地球物理研究。

种方式的优势互补，进行联合求解，提升地面地震数据体的成像精度和质量，能够有效提高地震数据对地质目标的描述能力^[4]。

2.1 Q 值、Tar 值提取

由于 VSP 独特的观测方式，检波器在井下“安静”的环境中，能记录到高音噪比的地震信息，因此能提取较为准确的 Q 值、Tar 值等地震属性参数，用于地面地震资料处理中将较大改善剖面质量^[4]。

地震波振幅衰减量可以用衰减因子来表示，但地震波的衰减是与频率相关的，因此在求取 Tar 因子时，考虑 VSP 数据的频带范围，选择适当的频带采用以下理论估算较准确的 Tar 值。

当存在波阻抗界面时，地震波能量还会发生透射损失，即部分能量被反射回去了，因此总的振幅衰减可以用以下公式表示：

$$A = A_0 t^a$$

取对数后：

$$\ln A = a \ln t + \ln A_0$$

这里 a 的相反数即为 Tar (True amplitude recovery) 因子，可由线性拟合公式 $y = kx + b$ 得到 Tar 因子值^[5]。

$$Tar = -k$$

得到该因子后，就可以对地面数据进行 Tar 指数振幅补偿。

地震波在地层中除了振幅的球面扩散，还有吸收衰减。Q 是地层的品质因子，反映介质吸收衰减的能力，常规方法估算可靠的 Q 值比较困难，但利用零偏 VSP 下行波求取吸收衰减 Q 因子，能够提高 Q 求取的精度，据此补偿由大地吸收衰减产生的能量衰减。假定地震信号的振幅谱是随时间按指数衰减，则可用下面公式求取品质因子 Q：

$$a_2(f) = a_1(f) \cdot e^{-\frac{\pi \cdot f \cdot \tau}{Q}}$$

$$Q = -\frac{\pi \tau}{\ln \frac{a_2(f)}{a_1(f)}} \cdot f$$

其中， $a_1(f)$ 为参考时窗内的振幅谱； $a_2(f)$ 为滑动时窗内的振幅谱^[6]。

2.2 球面扩散补偿

井控球面扩散补偿有两种方式：一是应用 Tar 因子补偿，由 VSP 宽频数据提取的球面扩散补偿 Tar 因子往往比较高，对地面地震数据往往补偿过量。用不同频带的 VSP 数据提取的 Tar 值有所变化，通过试验选择与地面地震相吻合的频带提取的 Tar 值更适合地面地震的球面扩散补偿。二是用 VSP 速度约束球面扩散补偿，VSP 的提供速度信息比较准确，

将 VSP 速度与井旁地震的速度对比分析，综合得到适用于地面地震振幅补偿的速度场。

2.3 Q 补偿技术

VSP 资料提取的 Q 参数更为准确，纵向分辨率更高，与层速度曲线和初至波走时对比，说明了 Q 参数的合理性。以 VSP 求取的 Q 值为标尺，建立时空变化的地层 Q 场，用于吸收衰减补偿，由于 VSP 求取的 Q 值能够较真实反映介质吸收衰减及纵向变化，再应用 Q 层析的方法建立实际资料的深层 Q 场，通过吸收衰减补偿达，到提高地震资料纵向分辨率和振幅保真度的目的。

2.4 井约束叠后拓频处理技术

一般情况下，零偏 VSP 走廊叠加数据分辨率高，频带较宽。地面地震的数据的叠后拓频处理有多种方法，如零相位反褶积、谱成分有色化等，这些方法的使用参数与拓频的效果直接相关，与 VSP 走廊叠加进行波组关系和频率的对比分析，可更好地确定处理参数，有依据地展宽地面地震的频带范围（见图 1）。

3 应用效果分析

3.1 提高分辨率

利用零井源距 VSP 数据的下行 P 波计算得到 Q 因子，同时在地震资料得出的 Q 值附近进行扫描，并将应用不同 Q 补偿的偏移剖面与 VSP 资料进行匹配分析，达到最佳匹配的就是精确的 Q 值，最终获得井约束的时空变 Q 因子。图 2 是利用 VSP 资料计算的 Q 值进行反 Q 滤波后偏移剖面与未做反 Q 滤波的偏移剖面对比，可见分辨率得到明显提高，剖面质量得到很大改善。

3.2 提高井间岩石物理属性可信度

首先分析 VSP 走廊叠加的频带范围，进行频谱分析和分频扫描，然后与地面地震的井旁地震道对比，确定有效信号的频带范围和可拓展的区间，再试验拓频方法，优选与合成记录匹配较好参数，对全数据进行拓频处理。在 VSP 走廊叠加剖面频带范围的约束下，地面地震数据拓频处理参数才有依据，因此拓频处理剖面可信度高。井控处理后，井旁地震剖面与 VSP 走廊吻合良好，井资料和地震资料匹配度高，可以降低预测的不确定性，提高井间岩石物理属性的可信度。

3.3 多次波识别

VSP 的走廊叠加的地质层位关系明确，与地面地震对比，可以识别多次波。图 3 为 L01 测线全频剖面 and 井控拓频剖面与 VSP 走廊叠加的对比，由于 VSP 走廊剖面是没有多次波。在 2.2~2.4S 之间 VSP 走廊剖面上能量较弱，但地面地震剖面上有强同相轴，应该是层间多次波。

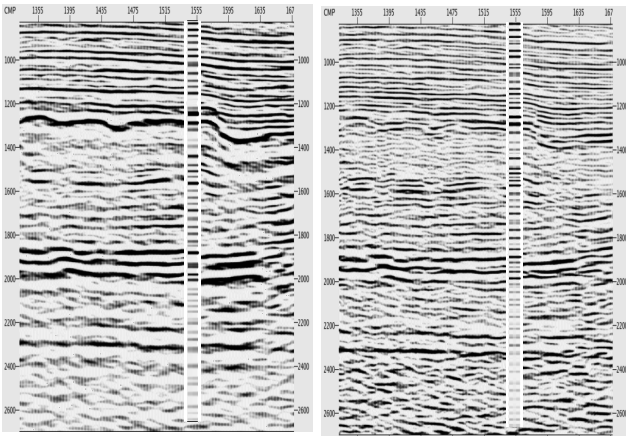


图1 拓频处理前(左)后(右)对比

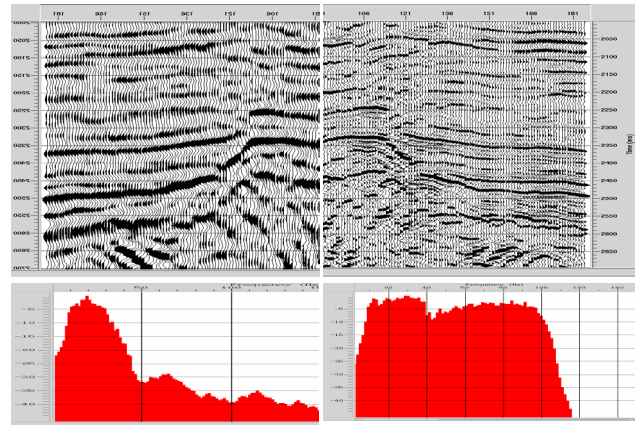


图2 反Q滤波前(左)、后(右)剖面

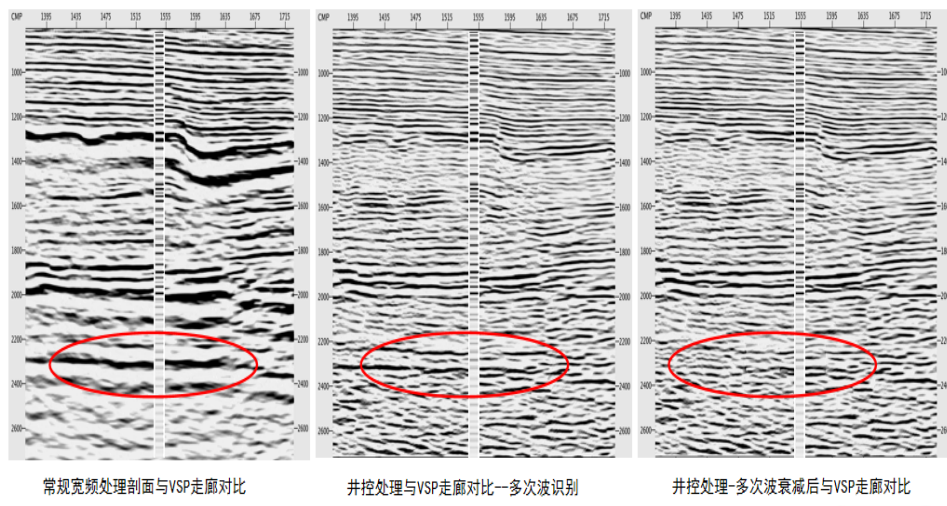


图3 VSP 走廊叠加与地表地震剖面对比—多次波识别

4 结语

井控处理技术将井信息有效地应用到地震资料的处理中,优化了处理流程和处理参数,定性对比和定量分析常规处理的关键环节,可以有效地改善地震剖面的成像精度和提高可信程度,减少误差,为岩性勘探提供了技术保障^[5]。具体说,取得了以下几个方面的认识:

①层速度曲线和初至波走时对比可以校验 Q 因子提取的精度。

②由于 VSP 与地面地震资料频带不同,要进行匹配分析,才能提取最佳效果的 Q 值。

③井约束的真振幅恢复和井约束的 Q 补偿方法能消除球面扩散和地层吸收衰减的影响,得到高品质的地震数据。

④井控处理后,地震剖面与 VSP 走廊吻合度高,提高了井间岩石物理属性的可信度。

⑤通过井控处理,能有效识别地面地震剖面的层间多次波。

参考文献

- [1] 徐春梅,张玥,梁硕博.井控地震资料处理技术探讨[J].科学技术与工程,2019(33):45.
- [2] 赵邦六,董世泰,曾忠.井中地震技术的昨天、今天和明天——井中地震技术发展及应用展望[J].石油地球物理勘探,2017,52(5):1112-1123.
- [3] 许建权,刘秋良,王宝江,等.致密砂岩气藏地震处理技术与应用[J].长江大学学报:自然科学版,2019(8):36-40.
- [4] 崔永福,吴国忱,郭伟,等.井控谱约束反褶积方法及其应用[J].石油地球物理勘探,2015,50(5):854-860.
- [5] 陈沅忠,张锐锋,唐传章,等.VSP井地联合地震勘探技术应用——以华北束鹿泥灰岩勘探为例[J].石油地球物理勘探,2018,53(Z2):50-57.
- [6] 韩文功,李振春.井约束地震资料处理方法与技术[M].北京:科学出版社,2021.