

大民屯凹陷高分辨地震资料处理技术研究

赵廷江^{1,2,3}, 段云卿², 杨文军², 高海燕², 皮金云²

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国地质大学 教育部重点实验室—地下信息探测技术与仪器, 北京 100083; 3. 中国石油化工集团 胜利油田分公司勘探处, 山东 东营 257001)

摘要: 通过对大民屯凹陷地震资料的详细分析, 针对洼陷部位信噪比高、主要目的层沙三、沙四段频率相对较低的特点, 研究出一套高分辨率处理技术, 主要包括子波处理技术及优势频带约束下的分频处理技术, 能满足沙三、沙四段储层横向预测的需要, 见到了较好的应用效果。

关键词: 高分辨率地震勘探; 反褶积; 优势频带; 剩余静校正

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2007)04-0370-04

大民屯凹陷表层条件十分复杂, 大型村镇、河流、公路等障碍物较多, 客观上造成资料干扰严重, 变观较多。深层构造更复杂, 从东到西跨越了边台—法哈牛构造带、静安堡—东胜堡构造带、前进构造带及西侧陡坡带, 断层发育; 沙一末期至东营时期, 大民屯凹陷受到强烈的走滑挤压作用, 东、西两侧发育了高角度走滑逆断层, 垂直断距从几百米到上千米。复杂的地下地质构造, 客观上造成资料品质洼陷部位好于边缘, 并给处理中的速度解释、偏移成像带来极大难度。

由于表层及深层复杂因素影响, 资料品质有以下特点: 从单炮调查中发现, 面波能量较强, 随机干扰、工业电干扰严重; 在信噪比方面: 新采集资料信噪比高于老资料; 整体上南部资料信噪比好于北部; 洼陷部位目的层段信噪比明显好于斜坡部位; 东坡信噪比稍好于西坡。在频率方面: 洼陷部位目的层平均主频宽 20 ~ 30 Hz; 斜坡部位目的层平均主频宽 13 ~ 20 Hz。

在如此复杂的地质条件下, 凭借这样的资料, 要完成目的层沙三段、沙四段分辨 10 ~ 20 m 单砂层或砂层组储层横向预测及准确落实东、西 2 个复杂陡坡带构造形态和断层位置的任务难度极大。为此, 笔者针对该地区开展了高分辨处理技术研究。

1 高分辨处理方法研究

根据勘探需要, 完成分辨 10 ~ 20 m 单砂层或砂层组储层横向预测的要求, 主频应达到 40 Hz 左右。从上面的资料分析中已经了解了资料的信噪比和频

率变化情况, 要完成这样的目标, 采用以往常规处理流程是不可能的。在本次研究中, 打破常规处理时提高分辨率手段在叠前只是“蜻蜓点水”、重点放在叠后的处理思路, 而是将研究重点放在叠前, 采取叠前、叠后全盘考虑的处理思路, 精细每步处理, 达到提高分辨率的目的。

高分辨处理是在提高信噪比的基础上进行的。叠前多域压噪、地表一致性振幅补偿、精细速度分析及静校正多次迭代等技术手段可确保同相叠加, 高角度偏移成像确保横向分辨率, 在做好这些基础工作的同时, 我们重点研究了子波处理技术和优势频带约束下的分频处理技术, 达到提高分辨率的目的。

1.1 子波处理技术

如果说地震资料处理是个系统工程的话, 那么, 子波处理是这个系统工程中的一个重要的子系统工程。它是高分辨处理中一项重要技术, 主要研究了地层吸收补偿、子波整形、一步法地表一致性脉冲反褶积与单道预测反褶积串联、叠后剩余子波压缩技术。通过叠前、叠后子波调整手段的应用, 最大限度地压缩子波, 从而达到提高资料纵向分辨率的目的。

(1) 地层吸收补偿技术。地震波在传播过程中, 由于地层的吸收效应, 经大地滤波后, 地震波能量衰减严重, 在相同的传播条件下, 高频成分能量衰减速度比低频成分能量衰减速度快, 同时地震子波延续时间增长并产生频散现象。地层的吸收效应通常用地震波能量的衰减来表示

$$A_t = A_0 e^{-(\pi/Q)t},$$

式中, A_0 为 t_0 时振幅, Q 为地层品质因子。从式(1)

中可以看到 Q 是唯一的反应地层吸收的度量值,正向的 Q 滤波引起能量衰减和频散,而反向的 Q 滤波能够消除能量衰减和频散,有效地恢复地震波高频能量。地层吸收补偿是克服地层吸收效应的最有效的处理技术之一,在高分辨率处理过程中起着重要作用。叠前使用,在提高分辨率的同时,可以调整子波,使浅、中、深层的子波基本一致。在反 Q 滤波处理过程中,为了提高反 Q 滤波的稳定性,引入常数限增益因子和整合高截滤波器。通过限制反 Q 滤波的增益值,使反 Q 滤波处理只在有效的频段内起作用。限增益因子在 $0 \sim F_{\max}$ 频段上是递增的,在 $F_{\max}$ -Nyquist 频率是通过一个正弦函数或者一个高截零相位蝶形滤波因子来控制 $F_{\max}$ 频率以外的高频能量,防止高频噪声的产生。其中 $F_{\max}$ 通过信噪比分析来确定,把信噪比为 1 的点确定为信噪比临界点,把信噪比临界点的频率值确定为 $F_{\max}$ 值。 Q 是反 Q 滤波处理的一个重要参数。当 Q 值未知时,根据实际数据确定 Q 值的方法很多,其中利用经验公式求值法和扫描法是最直接、最有效的 Q 值求取方法。首先,通过经验公式确定 Q 值的大致范围,再在所确定的范围内进行 Q 值扫描,这样可以节省很多扫描实验工作量;然后,在扫描记录上,根据实际资料的具体情况,选择有代表性的地层进行逐层 Q 值标定,建立符合实际地质特征的吸收衰减模型;最后,根据所建立的吸收衰减模型进行时、空变换的反 Q 滤波处理。从图 1 反 Q 滤波前后叠加剖面对比及相应频谱对比中可见,利用反 Q 滤波能补偿地震波在传播过程中因地层吸收作用而损失的高频成分,从而拓宽有效频带,提高分辨率。

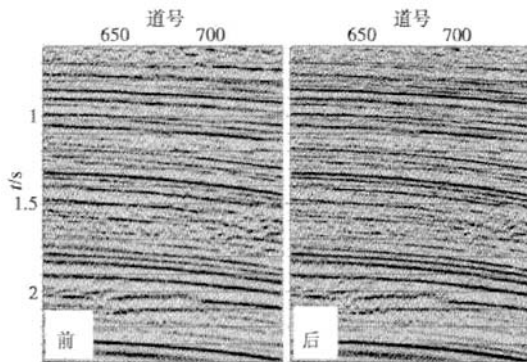


图 1 地层吸收补偿前后剖面对比

(2) 子波整形技术。主要是反褶积前对子波进行调整,因为反褶积处理的基本假设是最小相位,而采集的资料虽说是炸药震源,也只是近似最小相位。为了尽量满足这一假设,对子波作最小相位化调整。

从图 2 子波调整前后反褶积叠加剖面对比中可见,子波调整后的叠加效果有所改进。

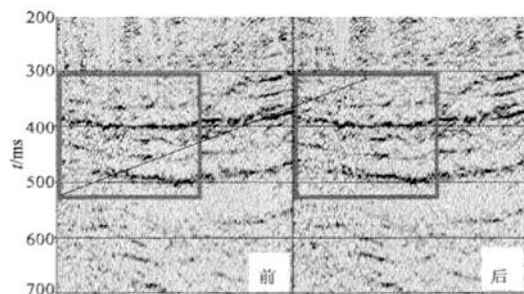


图 2 子波调整前后反褶积叠加剖面对比

(3) 串联反褶积技术。反褶积是通过压缩地震子波以提高地震资料的分辨率的过程。众所周知,脉冲反褶积的期望输出是零延迟尖脉冲,是单位预测步长预测滤波器的特例,在最大限度地压缩子波、提高资料的高频信息的同时,也加强了高频噪声。而预测反褶积的最大优势是压制谱的高频段,因而,采用一步法地表一致性脉冲反褶积与单道预测反褶积组合方法,既提高资料有效高频信息,又压制部分高频噪声,提高分辨率的效果较理想,而且信噪比保持较好。

从图 3 组合反褶积前后剖面对比中可见组合反褶积后剖面分辨率明显提高,并没损失信噪比;图 4 组合反褶积前后的频谱对比中可见频率拓宽程度。

(4) 叠后子波压缩技术。众所周知,理论上脉冲反褶积的期望输出是零延迟尖脉冲,但实际上无论反褶积效果如何好,剩余子波均存在。在相同条件下,零相位子波分辨率最高。因此,叠后采用多道零相位反褶积技术,通过多道统计对叠后剖面做零相位转换,对子波零相位化,从而提高分辨率。

图 3 组合反褶积前后剖面对比

1.2 优势频带约束下的分频处理技术

众所周知,地下地层倾角和倾向是唯一的,它不应随着频段的改变而改变。在优势频带信号范围内通过扫描确定的同相轴走向,应较好地对应地下地

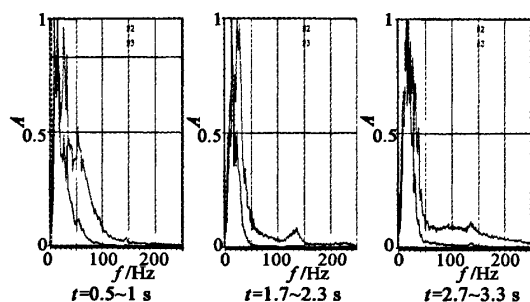


图4 组合反褶积前后不同时间段频谱

层倾角和倾向,对其他频率段直接应用这个走向进行处理,然后再把各个频率段的信号均衡到同一水平,简单地进行叠加,完成信号重构,达到提高分辨率和信噪比的目的。因此,优势频带对其他频带起着约束和控制作用。优势频带约束下的分频处理技术主要研究了分频剩余静校正、分频去噪、叠后时空变谱白化技术,通过对有效高频能量的补偿,实现提高分辨率的目的。

(1)分频剩余静校正。在时间剖面上,地震资料极限分辨率是 $1/4$ 波长,这就要求静校正量要控制在 $1/4$ 波长以内。由于地震波的传播速度、传播路径相同,频率不同,各个频率的波长不同。低频与高频的波长差异较大,低频波长可达到高频波长的几倍甚至十几倍。同一的静校正量严重地影响地震波高频成分的静校正精度,造成高频成分不能同向叠加,降低高频信噪比的同时降低资料分辨率。

为了更精确地求取剩余静校正量,保证各个频率成分静校正量的准确,采用分频静校正处理技术。首先把资料优势频段找出,按从低到高的顺序分成几个合适的频率段,每个频率段分别求取并应用各自的静校正量(必要时可以做分频速度分析),然后把各个频率段资料合并一起,形成全频地震资料。分频静校正处理技术的应用,保证了各个频段剩余静校正的精度,使全部频率成分都能同相叠加,保证资料原有的分辨率不被破坏。

图5是优势频带分频剩余静校正前后效果对比;图6是高频带分频剩余静校正前后效果对比;图7是对应频谱对比。从以上对比中可见,分频剩余静校正后效果明显,而且高频信息能量得以加强。

(2)叠后分频去噪。对叠后资料进行频谱分析可知,不同频率成分的信噪比是不同的。因此,通过频谱分析将资料进行频率分解,分解成低频段、优势

图5 分频剩余静校正(优势频带)前后效果对比

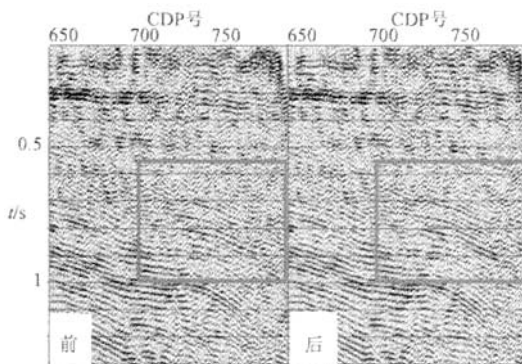


图6 分频剩余静校正(高频带)前后效果对比

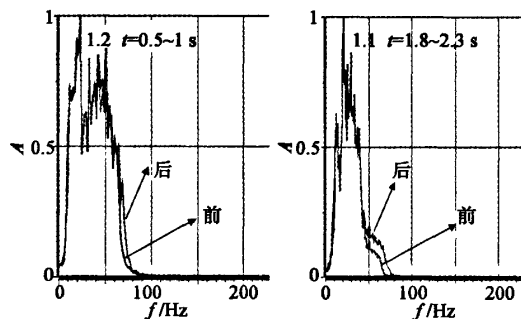


图7 分频剩余静校正前后不同时间段频谱对比

频段、高频段。对各分频数据进行噪声调查,根据各频段噪声的分布特点,分别进行去噪处理,提高资料信噪比,尤其是提高高频段信噪比,拓展有效频宽,提高分辨率。

(3)叠后时空变谱白化。叠加过程本身会降低频,因此,通过对叠后剖面做不同时间段频率扫描,选取合适频率做谱白化,达到提高分辨率的目的,谱白化前后剖面效果明显(图8)。

图8 谱白化前后剖面及频谱对比

2 结论

辽河油田大民屯凹陷表层条件十分复杂,地下地质条件也比较复杂。要完成在沙三段、沙四段分辨 10~20 m 单砂层或砂层组储层横向预测以及准确落实东、西 2 个复杂陡坡带构造形态和断层位置的任务难度极大。笔者针对该地区地质条件及存在的困难,研究了高分辨处理技术,重点研究了子波处理技术和优势频带约束下的分频处理技术,达到了提高分辨率的目的,见到了较好的应用效果。

参考文献:

- [1] 胡中平,孙建国. 高精度地震勘探问题思考及对策分析[J]. 石油地球物理勘探. 2002,37(5):530.
- [2] 胡见义. 渤海湾盆地复式油气聚集区(带)的形成和分布[J]. 石油勘探开发,1986(1).
- [3] 李庆忠. 走向精确勘探的道路[M]. 北京:石油工业出版社,1994.
- [4] 俞寿朋. 高分辨率地震勘探[M]. 北京:石油工业出版社,1993.
- [5] 陆基孟. 地震勘探原理[M]. 北京:石油工业出版社,1996.
- [6] 刘文震. 分频处理技术在辽河深层地震资料处理中的应用[J]. 石油物探,2001,40(2):116.

A STUDY OF THE HIGH-RESOLUTION SEISMIC DATA PROCESSING TECHNIQUE FOR DAMINGTUN SAG

ZHAO Yan-jiang^{1,2,3}, DUAN Yun-qing², YANG Wen-jun², GAO Hai-yan², PI Jun-yun²,

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Exploration Section, Shengli Oilfield Branch Company of SINOPEC, Dongying 257001, China; 3. Key Laboratory of Ministry of Education Underground Information Exploration Techniques and Instruments, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on an analysis of the seismic data from Damingtun Sag and in the light of high signal-to-noise ratio in the sag area and relatively low frequency in the main targets S3 and S4, the authors designed and developed a kind of high resolution technology composed mainly of the wavelet processing technology and the frequency band separation under the restriction of the FDOM technology. These means can meet the demands of reservoir transverse forecast of S3 and S4, and have already shown good application results.

Key words: high-resolution seismic exploration; deconvolution; f_{dom} frequency band; residual static correction

作者简介: 赵延江(1964-),男,高级工程师,1986年毕业于西南石油学院勘探系,中国科学院广州地球化学研究所博士在读,长期从事地震采集及地震地质综合研究工作,公开发表学术论文数篇。