

· 处理方法 ·

辽河拗陷低潜山地震资料处理技术

柳世光* 崔晓娟 高源

(辽河油田勘探开发研究院)

摘 要

柳世光,崔晓娟,高源. 辽河拗陷低潜山地震资料处理技术. 石油地球物理勘探, 2005, 40(3): 283~288

辽河拗陷低潜山地震资料具有信噪比低、断点绕射复杂、潜山形态及其内幕反射不清楚的特征,为此,必需提高资料信噪比和成像精度。本文采用分方位角速度分析及叠加、地表一致性、三维投影滤波去噪、各向异性倾角时差校正、偏移速度场扫描及层速度场平滑、叠前时间偏移等数据处理技术,并详细介绍了各项技术的方法原理及应用效果。研究后认为,前三项技术可以在保持有效地震信号特征的前提下,有效地压制干扰,提高剩余静校正的精度,从而提高低潜山资料的信噪比;后三项技术有力地保证了低潜山带复杂构造成像的精度。初步形成了一套针对辽河低潜山地区地震资料特点的资料处理技术系列,对低潜山地区的地震资料处理具有参考与实用价值。

关键词 分方位角动校叠加·投影滤波 各向异性 叠前时间偏移

1 引言

随着辽河拗陷油气勘探程度的不断提高,人们已经认识到低潜山具有较大的油气资源潜力,所以低潜山圈闭越来越成为勘探热点。拗陷内中生界、太古界及元古界与上覆的新生界间接触关系复杂,构造变化剧烈,形成了形态各异的潜山断裂带。本文以辽河拗陷西部凹陷的西斜坡低潜山带为研究目标,针对曙光和西八千地区地震资料信噪比低、断点绕射复杂的特点,提出了一套提高地震资料信噪比和成像精度的处理方法,主要有:分方位角速度分析及叠加、地表一致性、三维投影滤波去噪、各向异性倾角时差校正、偏移速度场扫描及层速度场平滑、叠前时间偏移等技术。文中分别介绍了各项技术的方法原理及应用效果,初步形成了一套针对辽河低潜山地区地震资料特点的资料处理技术系列,对低潜山地区的地震资料处理具有参考与实用价值。

2 辽河拗陷低潜山资料的特点

2.1 信噪比低

由于拗陷内低潜山多由元古界或太古界组成,

潜山面大部分被房身泡组和中生界火山岩覆盖,其中火山岩速度较高,与潜山面的速度差异不大,致使潜山面的反射较弱,潜山内幕反射被严重屏蔽,信噪比较低。另外,由于上覆岩性及其他原因,导致该区干扰波十分发育,地震资料信噪比低。

2.2 成像困难

低潜山大多位于斜坡带上,呈连续串状分布,潜山面为断层控制,地震资料上绕射信息丰富,且相互干涉,造成严重的倾角时差、各向异性及速度不稳定等问题,影响资料成像的可靠性;此外,也给偏移速度场的建立和偏移方法的选择带来许多困难。

3 技术方法研究

为了提高低潜山资料信噪比,使用了分方位角速度分析及叠加、地表一致性、三维投影滤波去噪等技术;为了提高多断块倾斜地层成像质量,使用了各向异性倾角时差校正(DMO)、偏移速度场扫描及层速度场平滑、叠前时间偏移等技术。

3.1 分方位角速度分析及叠加技术

在常规的地震资料处理中,剩余静校正量的求取与叠加速度分析是交替进行的,而叠加速度能否

* 辽宁省盘锦市辽河油田勘探开发研究院,124010
本文于2004年6月17日收到。

将 CMP 道集校平,直接影响剩余静校正量的求取精度。对水平地层而言,因其时距曲线为标准的双曲线方程,通过速度分析可以拾取准确的叠加速度而使道集校平,不会影响剩余静校正量的求取。对三维倾斜地层而言,随着采集作业在横向上的扩展,使得同一 CMP 道集中的道不仅存在炮检方位角差,还在倾斜反射面上形成旅行时偏差(图 1),CMP 道集的时距曲线方程中不仅增加了倾角参数,还增加了炮检线方位角和地层倾向线方位角等参数,CMP 道集的时距曲线方程为

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2 [1 - \sin^2 \theta \cos^2 (\alpha - \epsilon)]}{v^2} \quad (1)$$

其中: $t_0 = 2h_0/v$, h_0 为炮点至倾斜地层面的法向深度, v 为倾斜地层以上介质速度; θ 为地层真倾角; α 为炮检线方位角; ϵ 为地层倾向线方位角。

从上式可知,总可以找到一个速度

$$v_{NMO} = \frac{v}{[1 - \sin^2 \theta \cos^2 (\alpha - \epsilon)]^{1/2}} \quad (2)$$

将 CMP 道集动校为水平,但这是不合理的,因为 CMP 道集并非真正的 CRP 道集,它们是倾斜反射面上的一串反射点。

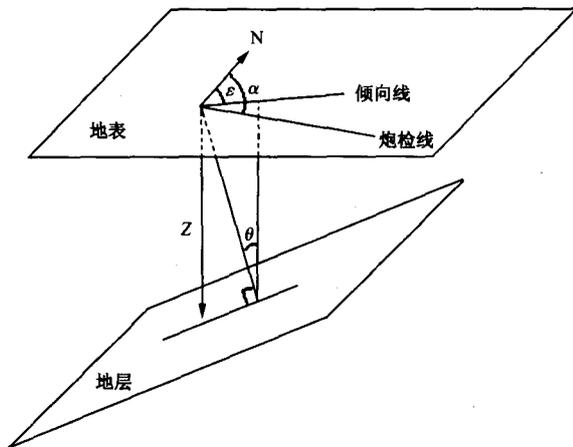


图 1 倾斜地层模型

由以上分析可知,在同一 CMP 点由同一倾斜地层(真倾角为 θ 、倾向线方位角为 ϵ)反射形成的道集中,随不同的炮检方位角 α 会形成不同的时距曲线。另外,介质的各向异性因素更加剧了这种效应,尽管这种效应可以通过倾角时差校正(DMO)来消除,但会影响剩余静校正量的求取精度(地表一致性模型中构造项的影响)。

为了消除上述效应,常采用分方位角速度分析及叠加技术。通过将 CMP 道集的道分成几个炮检

方位角组,可以估计出不同方位角的叠加速度。如果得到了给定的方位角 α 的叠加速度 v_{NMO} ,那么式(2)中就只含有 v 、 θ 及 ϵ 三个未知量,所以只要将炮检方位角分成三个组就可以求解(图 2)。将炮检方位角分为三个组,可以求取三个不同方向的叠加速度,再将它们分别代入式(2),解方程组可求出 v 、 θ 及 ϵ ,最终求出任意炮检方位角的叠加速度。图 3 为利用分方位角速度分析及叠加技术的处理实例。

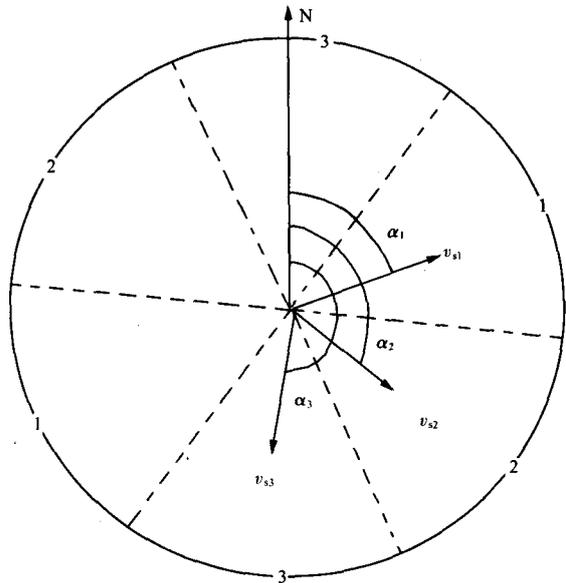


图 2 方位角分组示意图

炮检方位角分为 α_1 、 α_2 及 α_3 三个组, v_{s1} 、 v_{s2} 及 v_{s3} 为相应三个方向的叠加速度

3.2 地表一致性技术

地表一致性是指地震道的某些属性只与其相对应的炮点和站点的地表位置有关,而与地震信号在地下传播的射线路径无关,即对属于同一炮点或站点的所有道具有相同的属性值。通常采用地表一致性模型来描述地震道的属性,并建立方程组求取各地震道的属性值。地表一致性模型的一般形式为

$$T_{ij} = T_{S_i} \otimes T_{R_j} \otimes T_{OFF} \left(\frac{i-j}{2} \right) \otimes T_{CMP} \left(\frac{i+j}{2} \right)$$

其中: T_{ij} 为第 i 个炮点和第 j 个站点对应地震道的总属性值; T_{S_i} 为第 i 个炮点的相关分量; T_{R_j} 是第 j 个站点的相关分量; T_{OFF} 是与偏移距相关的分量; T_{CMP} 是第 $(i+j)/2$ 个 CMP 点的分量,该量与地质因素有关; \otimes 代表某种运算。

地表一致性技术包括地表一致性振幅补偿、地表一致性反褶积及地表一致性剩余静校正等技术,

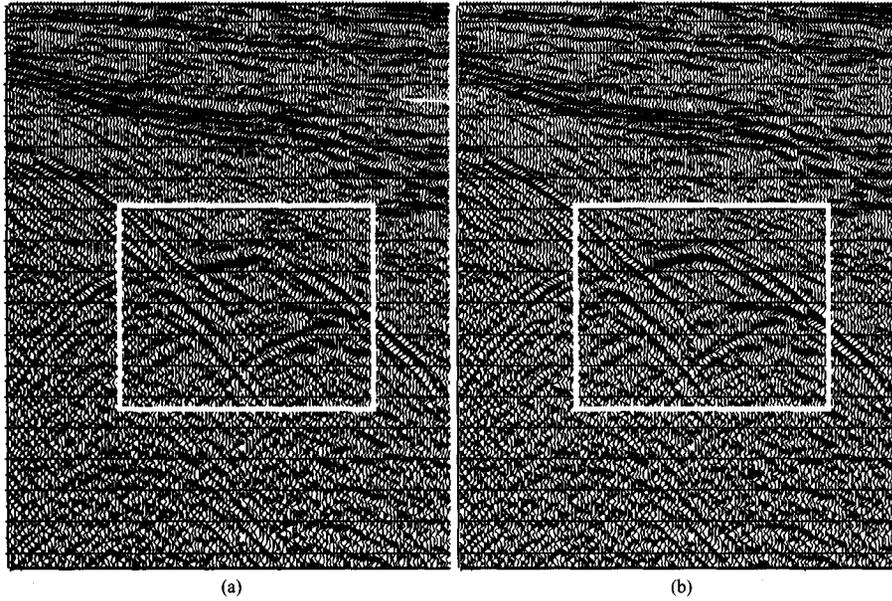


图 3 分方位角速度分析及叠加技术处理前(a)、后(b)剖面

根据不同的属性,其模型的具体形式及实现方式有所不同,但总的原理不变。

3.3 三维投影滤波去噪技术

投影滤波是一种统计式噪声衰减技术,它与常规的预测滤波去噪方法的不同之处在于用自反褶积预测误差滤波器代替预测滤波器。经过投影滤波之后的信号,随机噪声得到了衰减,同时也能很好地保持振幅(图 4)。

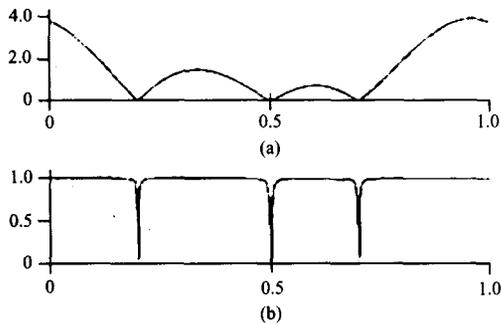


图 4 常规滤波器(a)与投影滤波器(b)对比

图 4b 的波形特征类似于矩形波

假设在 $F-X$ 域,对一个预测误差滤波器 $a(x)$,在 x 方向有可预测同相轴

$$d(x) = s(x) + e(x)$$

式中: $s(x)$ 为可预测分量,即 $a(x) * s(x) = 0$; $e(x)$ 为预测误差,分两种情况:①对于常规滤波, $e(x) = a(x) * d(x)$;②对于投影滤波, $e(x) = op(x) * a(x) * d(x)$, $op(x)$ 为 $a(x)$ 的一个自反褶积因子, $op(x) * a(x)$ 即为投影滤波器; $a(x)$ 可以利用 $e(x)$ 的能量

最小原则从数据中求得。

三维投影滤波是二维的扩展(在 $F-X-Y$ 域实现),三维投影滤波的预测功能还可以用于插值和补道。图 5 为理论模型试验结果^[6],图 6 为实际资料应用效果对比。

3.4 各向异性倾角时差校正(DMO)

分方位角叠加只能保证 CMP 道集为水平叠加,但不能解决倾角时差问题,即不能将 CMP 转换为 CRP。各向异性倾角时差校正能同时解决倾角时差问题和各向异性问题,并使 CMP 点叠加趋近于共 CRP 点叠加,所以能够提高潜山资料的叠加信噪比。

DMO 的实现基于用等价的零炮检距地震道代替有限炮检距地震道,等价指两者的偏移产生的结果相同(图 7)。当对所测的地震道进行偏移时,时

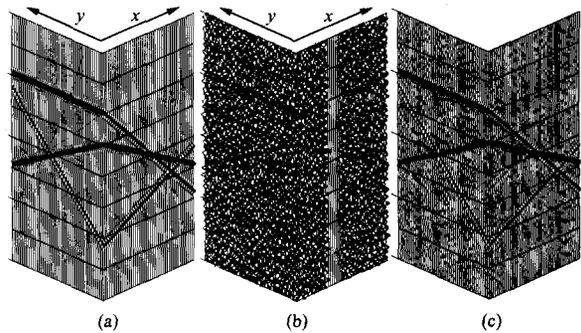


图 5 投影滤波模型试验

(a)在模型数据体中抽出横纵线;(b)在(a)中加入噪声并去掉 7 条连续横线;(c)投影滤波和补道的结果

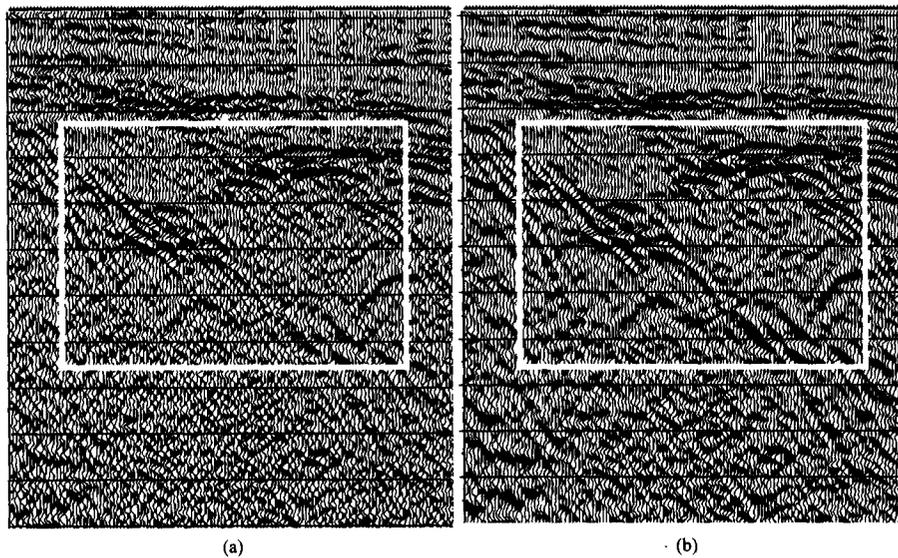


图6 三维投影滤波前(a)、后(b)效果对比

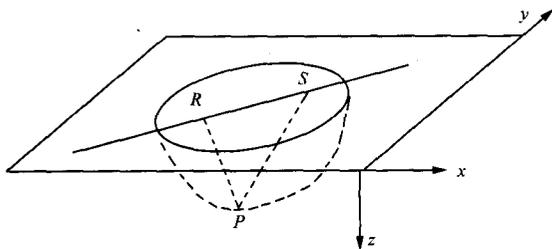


图7 等价原理示意图

S 和 R 分别为地面上 ($z=0$) 的炮点和接收点, P 点的轨迹形成了焦点为 S 和 R 的回转椭圆面, 即 $RP=PS=vt=$ 常数 (v 为波速)

刻 t 的反射能量将沿着一个焦点在炮点和接收点的回转椭圆面分布, 即该反射能量可能是此椭圆面上某点 P 的真实反射能量。

DMO 实现可以这样简单理解: 先采用介质速度 (而不用叠加速度, 因其依赖于地层倾角) 对数据做 NMO 校正, 以消除 v 的影响; 随后, 对各样点在空间进行叠加、重采样 (按球面划弧), 可得到最终的 DMO 叠加剖面 (图 8)。

以上只考虑了消除倾角时差的影响, 并未考虑

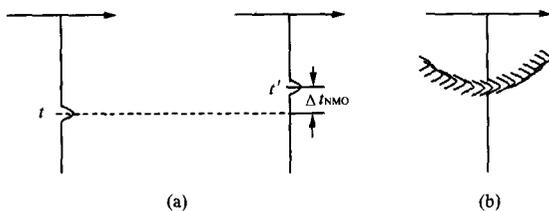


图8 DMO实现过程示意图

(a) NMO (时刻 t 处的反射能量移至 t');
(b) 对各样点进行空间叠加、重采样

各向异性的影响。地球物理学家们提出了新的 DMO 技术, 试图解决由炮检方位角所引起的各种影响, 如在方程中加入一些体现介质的各向异性的参数; 或通过介质速度场等已知条件确定出一组介质的空间变化函数, 然后应用于 DMO 的脉冲响应中。本文采用拟各向异性因子参数、DMO 响应加权及四点插值来消除各向异性影响。

3.5 偏移速度场扫描及层速度场平滑技术

偏移的目的是使倾斜反射归位到其真实的地下界面位置, 并使绕射波收敛, 以显示出地下构造的真实形态。合理的偏移能够提高信噪比和空间分辨率, 偏移归位合理、准确的关键因素是: ①用于偏移的叠加数据具有较高的信噪比, 而且包含丰富的地震信息; ②建立合理的偏移速度场。由于偏移算法精度等原因的影响, 真实的地层速度并不一定能使同相轴归位最好, 相反, 偏低或偏高的地层速度反而会使偏移结果更好。为此文中按以下思路进行了偏移速度扫描技术研究: ①利用 DMO 速度谱, 结合地层速度模型, 建立全区的偏移初始速度场; ②以初始速度场为参考速度场, 对层速度按百分比进行偏移扫描; ③利用交互工具在偏移扫描剖面上拾取合理的偏移速度, 从而建立最终的偏移速度场。

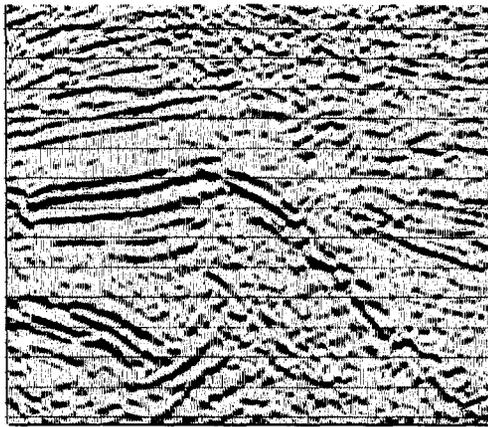
各种偏移算法都要求速度场在时间、空间上是连续平滑的, 而由交互工具建立的偏移速度场则是时空离散的, 存在突变点, 这就需对其进行内插和平滑, 文中利用区域回归法对速度场进行内插和平滑。研究发现, 先对均方根速度进行平滑, 再将其转换为

层速度,随后进行层速度平滑,较以往只对均方根速度进行平滑的效果好。

3.6 叠前时间偏移

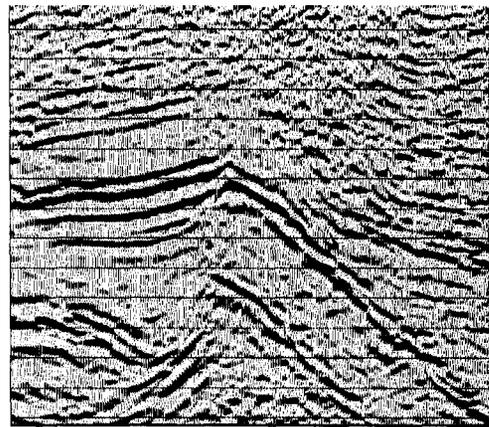
所有的叠后偏移理论都以零炮检距剖面为基础,当剖面中同一时间的不同反射层的叠加速度存在差异(陡倾角反射与水平反射交叉)时,只能取其中一组反射层的速度来进行动校正,其他反射层就不能正确地校正为零炮检距,因此造成叠加质量下降,此时常规的叠后偏移是不合理的,必须考虑基于非零炮检距成像理论的叠前偏移来解决速度选取问题。

克希霍夫求和法叠前偏移沿非零炮检距剖面



(a)

(共炮检距剖面)的曲线绕射旅行时轨迹对振幅求和(而不是沿零炮检距剖面曲线绕射旅行时轨迹对振幅求和),与零炮检距偏移一样,偏移速度场决定了求和绕射路径的曲率,即先对每个共炮检距剖面单独成像,然后将所有结果叠加起来便生成最终偏移剖面。其输入为反褶积与静校正之后的非零炮检距 CMP 道集,不需要进行 NMO 或 DMO 校正,可直接输出最终的偏移成果。该技术拾取的偏移速度是实际地层反射点上的均方根速度,在进行速度分析时,不仅要考虑小叠加中反射层的能量,还要兼顾反射的地质合理性。图 9 为叠后时间偏移与叠前时间偏移的对比实例。



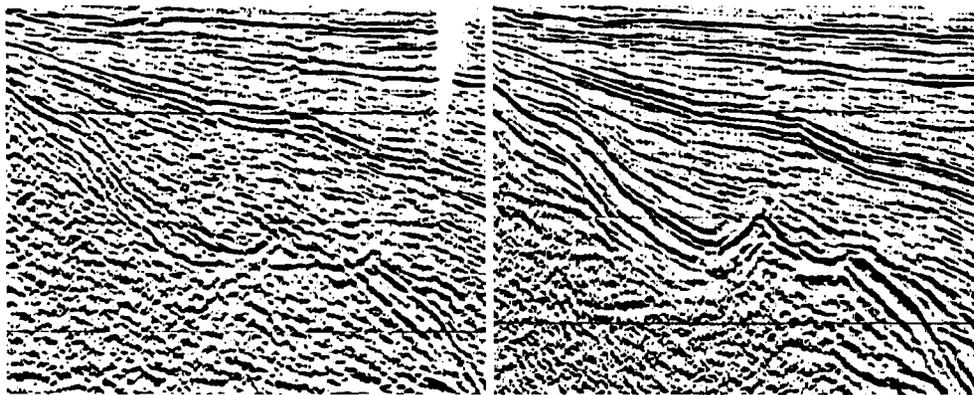
(b)

图 9 叠后时间偏移(a)和叠前时间偏移剖面对比(b)

4 实际资料处理

将上述处理技术用于曙光地区和西八千地区新采集的三维资料处理中,最终成果的品质较以往处理资料有明显改进,低潜山及其内幕的地震资料信

噪比得到提高(图 10、图 11)。经解释,在低潜山带发现了大量有利圈闭,其中在曙光地区发现了 12 个有利圈闭,扩大有利勘探面积达 38.6km²,提供井位 4 口;在西八千地区发现了 22 个有利圈闭,扩大有利勘探面积达 36.5km²,提供井位 4 口。图 12、图 13 分别是曙光及西八千地区最终解释的成果剖面。



(a)

(b)

图 10 曙光地区原处理剖面(a)、新处理剖面(b)

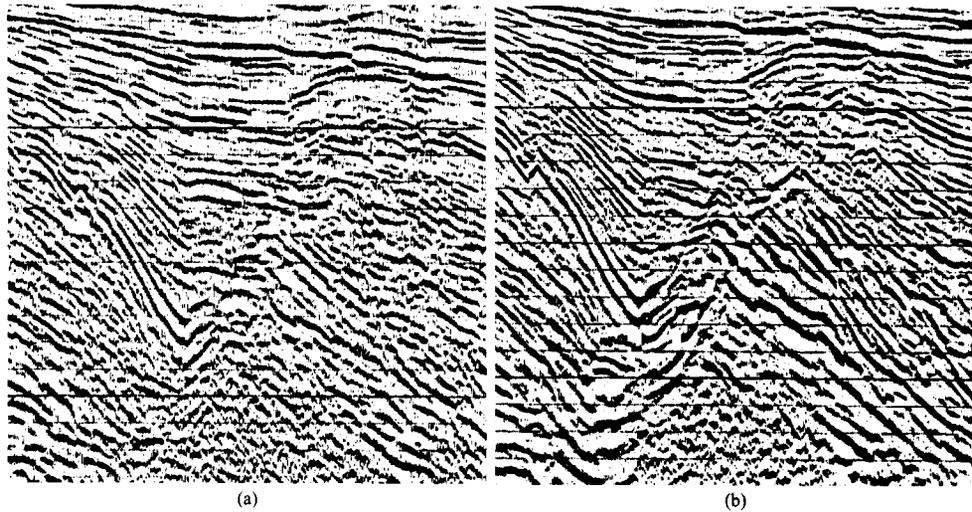


图 11 西八千地区原处理剖面(a)、新处理剖面(b)

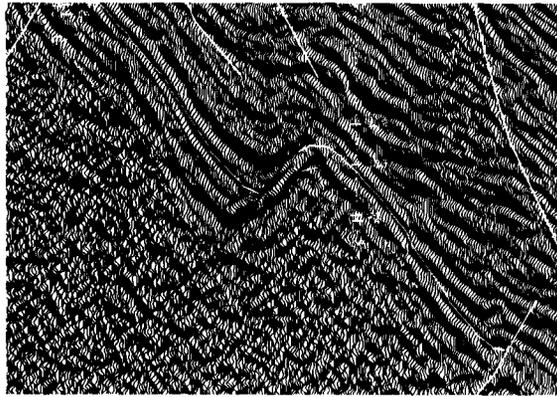


图 12 曙光地区偏移解释结果

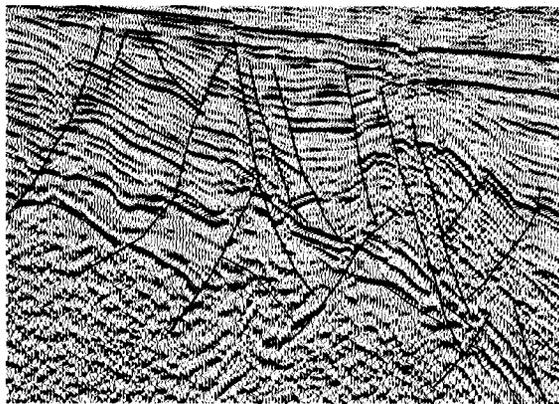


图 13 西八千地区偏移解释结果

5 结束语

(1)应用分方位角速度分析及叠加技术、地表一致性技术、三维投影滤波去噪技术,可以在保持信号特征的前提下,有效地压制干扰,提高剩余静校正的精度,从而提高低潜山资料的信噪比;

(2)应用各向异性倾角时差校正(DMO)、偏移速度场扫描及层速度场平滑、叠前时间偏移等技术,可以提高低潜山带复杂构造的成像精度;

(3)初步形成了一套针对辽河拗陷低潜山资料特点的处理流程,对处理好低潜山资料具有较好的借鉴作用。

参考文献

- [1] Yilmaz O 著,黄绪德等译.地震数据处理.北京:石油工业出版社,1994
- [2] 杨宝俊等.勘探地震学导论.长春:吉林科学技术出版社,1990
- [3] 陆基孟等.地震勘探原理.山东东营:石油大学出版社,1993
- [4] 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.北京:石油工业出版社,1993
- [5] 熊翥等.复杂地区地震数据处理思路.北京:石油工业出版社,2002

(本文编辑:刘勇)