

塔里木盆地巴楚隆起低信噪比地震资料处理方法研究

汪功怀 赵铁枫 张中灵

(中国石油化工股份有限公司中原油田分公司物探研究院, 河南 濮阳 457001)

摘要:塔里木盆地巴楚隆起勘探程度较低,是开展油气勘探的主要潜力区之一。受近地表激发条件差、低降速带结构变化大、目的层埋藏较深等地表和深层地质条件的影响,研究区地震资料信噪比低、品质较差,严重地制约了地震资料解决地质问题的能力。本文在分析研究区新采集的原始地震资料基础上,建立了精确的近地表模型,采用层析静校正、交互迭代静校正方法求准静校正量;利用多域多阶段联合去除噪声,采取近道内切除等多种方法串联综合应用消除多次波干扰;采用全面统计、逐点处理的地表一致性处理技术进行振幅能量补偿;精细速度分析,优选提高深层弱信号成像质量的偏移方法等一系列的关键技术,使本区低信噪比资料的信噪比、同相轴连续性和构造成像质量得到了较大的改善和提高,取得了较好的应用效果。

关键词:信噪比;静校正;干扰波;地震速度;多次波;偏移成像

中图分类号: P631.4⁺43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2011)04-1048-13

1 前言

复杂的油气勘探对象对油气地球物理技术提出了新的挑战,尤其在复杂区低信噪比地震资料处理上,一方面受复杂地表地质条件的影响,地震原始数据资料的信噪比低、干扰严重,面波、折射波尤其是散射噪音比较发育;另一方面,复杂的地下地震地质条件,使得目的层有效反射波能量弱,成像困难。当前,复杂区低信噪比地震资料处理已经成为处理方法研究和处理应用技术研究的最热门的研究课题之一^[1],其关键是静校正、叠前去噪、速度建模和偏移归位。

近十几年以来,国内外各大石油公司都结合其勘探对象,针对复杂地区低信噪比地震资料处理技术进行了研究攻关,并在静校正、叠前去噪、速度建模、偏移归位等领域取得了进展和应用成效。去噪技术从频率域滤波、各种频率空间域滤波方法研究向

多域去噪、分频去噪和多参数特征综合分析去噪等高保真去噪技术发展^[2-3]。静校正技术已从传统的高程静校正方法转向折射波静校正、层析静校正技术,层析静校正技术已成为目前解决复杂地表条件下的静校正问题较好的办法之一^[4-6]。复杂区的地震速度场十分复杂,加之地震资料信噪比低,速度建模的精度远远不能满足叠前深度偏移的要求,采用地震资料处理解释一体化的方法,建立不同地震地质条件下精确速度模型取得了较好的效果^[7]。叠前时间偏移处理技术已经逐步成为工业化的生产流程,偏移方法得到改进,成像精度和运算速度不断提高,并在算法中增加照明、弯曲射线等技术,使得叠前时间偏移处理技术,有效地提高了构造和断裂的成像精度^[8-9]。同时,为了攻克复杂区低信噪比地震资料处理的技术难题,国内多个地震资料处理单位针对山地、沙漠、黄土塬及深层等低信噪比勘探目标进行了大量应用性研究,取得了较好的应用效果^[10-19]。

收稿日期:2011-04-26;改回日期:2011-06-20

基金项目:中石化科技部项目(P07030)资助。

作者简介:汪功怀,男,1966年生,博士,高级工程师,主要从事地震资料处理、地震地质综合研究工作;E-mail:wangonghuai@sina.com。

巴楚隆起位于塔里木盆地中央隆起带的西段,是油气勘探的重要潜力区,勘探程度较低,勘探目的层主要为奥陶系—石炭系,目前下奥陶统一寒武系逐渐成为该区的勘探重点目的层,目的层埋深由 3000~5000 m,逐渐转向 5000~7000 m。区内地表大部分为沙漠覆盖区,局部有河流、农田及出露的火山岩。地震勘探的主要任务是查清研究区地层层序与地层展布,落实构造格局与断裂发育,发现和落实构造、岩性、地层等各类圈闭。受近地表激发条件差、地表低降速带结构变化快、目的层埋藏较深等地表和深层地质条件等因素的影响,同时也受采集和处理技术方法的限制,存在地震资料品质较差,信噪比低、主要目的层波组特征不清楚和干扰强等问题,使得地震资料在解决地质问题方面受到了极大限制,严重制约了研究区油气勘探。新采集的地震资料分析表明,本区地震资料静校正问题严重、干扰波发育、正确识别多次波不易、提高深层反射波能量难度大、准确求取速度困难、偏移成像困难等。

针对以上问题,开展了低信噪比地震资料处理方法研究,形成了提高资料品质的系列方法技术——层析反演静校正、噪声衰减、速度分析、多次波去除、能量补偿、偏移成像等技术,使低信噪比地震资料的信噪比、同相轴连续性和构造成像质量得到了较好的改善和提高,同时确定了有效的处理流程及技术参数,对该区及邻区具有重要的意义。

2 处理技术方法

2.1 静校正

静校正是实现 CMP 叠加的一项最主要的基础

工作,它直接影响叠加效果,决定叠加剖面的信噪比和剖面的垂向分辨率,同时又影响速度分析的质量。本区地表类型复杂多变,部分地表起伏剧烈,低降速层厚度变化频繁,近地表模型难以准确建立,静校正问题突出,特别是山前带,及其基岩出露区静校正问题突出。根据本区资料的特点和地表低降速带的分布规律,首先使用带约束的初至波层析静校正方法反演近地表速度模型,解决长波长问题;然后使用交互迭代静校正方法消除较大的短波长校正量;最后使用交互的反射波剩余静校正解决小的短波长校正量问题。

2.1.1 建立近地表速度模型,计算长波长静校正

近地表的建模可以使用表层调查方法(微测井、小折射等)、利用生产炮的初至折射波方法(延迟时法、EGRM 法、折射波线性反演等方法)和初至波层析反演等一系列方法。但由于野外施工条件恶劣等原因,该区的表层调查在空间上分布较稀,深度上也远未穿越低降速带,内插后的模型显得非常粗糙;而近表层结构却比较复杂,由此计算出的野外静校正量应用后难以取得成效。层析成像突破了常规折射波方法层状介质假设的限制,适合于地形起伏和速度横向变化剧烈的近地表地质条件,可以建立比折射法更加精确的近地表模型,所以层析静校正方法适合该区的近地表建模、解决长波长静校正问题(图 1)。

层析静校正方法使用初至波(包括直达波、折射波、散射波、回折波等)走时反演近地表速度模型。首先定义成像域参数,包括模型网络和空间范围的大小等,根据网络大小建立初始速度模型,然后进行射线追踪求取旅行时,与实际初至时间比较求取剩

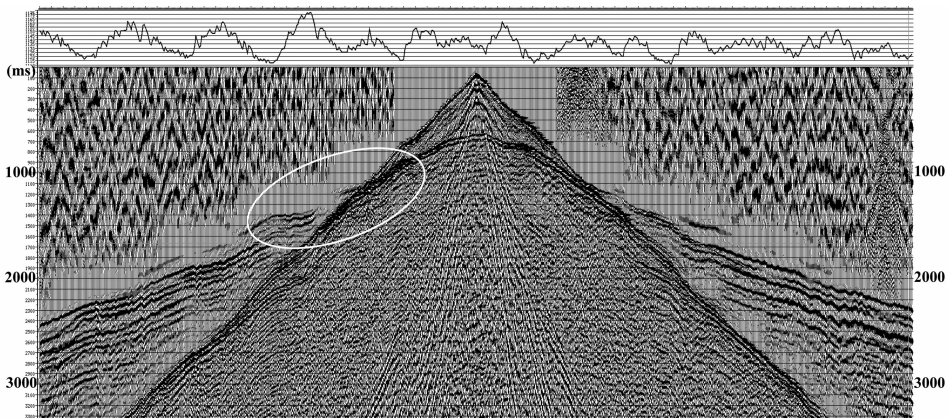


图 1 过大沙丘区的原始单炮静校正问题调查

Fig.1 Raw shot record static correction problem investigation in sand dune area

余时差,根据剩余时差求取速度变化量,按速度变化量修正速度模型,再进行射线追踪,如此进行多次迭代,直到速度变化量稳定为止。根据所求取的近地表速度模型可以计算出长波长静校正量。在反演过程中合理选择网格大小,解决计算精度和稳定性的矛盾;确定适当的模型深度范围,既保证不形成射线空白,又不致于使计算速度太慢;结合地表调查的统计结果选取初始速度模型,提高收敛速度;计算静校正量过程中合理确定高速层顶界面,保证既剥去低速带,又保证高速层顶界面相对稳定;全区统一使用高速层的平均速度 2000 m/s 作为替换速度计算静校正。

在处理中,应用高程、野外小折射、微测井资料等低速带测量资料对层析反演进行约束,解决了非线性反演的层析反演方法具有多解性的问题,获取了连续的近地表速度、深度模型,较好地消除了长波长静校正影响(图 2)。

2.1.2 使用交互迭代静校正方法计算较大的短波长静校正量

层析静校正后,虽然基本上消除了长波长静校正,但是剩余的静校正量还比较大,满足不了反射波自动静校正的静校正量小于有效波 1/2 周期的要求。

这样就需要使用一些基于初至波对齐(或平滑)的静校正方法(也被称为初至波剩余静校正)来消除这些较大的短波长静校正量。这类方法包括交互迭代静校正、全差分法、初至拟合静校正等方法,其中交互迭代静校正因其效果明显、计算方便而使用广泛。

该算法首先用一定的拟合步长对共偏移距初至曲线进行拟合,实际初至与拟合曲线的差被认为是静校正量,将其分解至炮点和检波点并应用这些静校正量。如果校正后共偏移距初至曲线已变得比较平滑了,说明所求的静校正量比较正确,否则再对校正后的共偏移距初至曲线进行拟合,再把拟合差分解至炮点和检波点并应用,直到共偏移距初至曲线变得足够平滑,即认为所求的静校正量是正确的。在该方法的使用上,合理地选择拟合步长是关键。

2.1.3 利用交互反射波剩余静校正和速度分析多次迭代消除小的短波长静校正量

交互反射波剩余静校正是相对于反射波自动静校正而言的,在常规的流程中都使用反射波自动静校正来消除短波长静校正量。通过倾角扫描自动拾取较强的反射同相轴,据此建立模型道,然后在指定的时窗内与动校后的共中心点道集(CMP)的各道进行互相关,求取各炮点和检波点的静校正量。

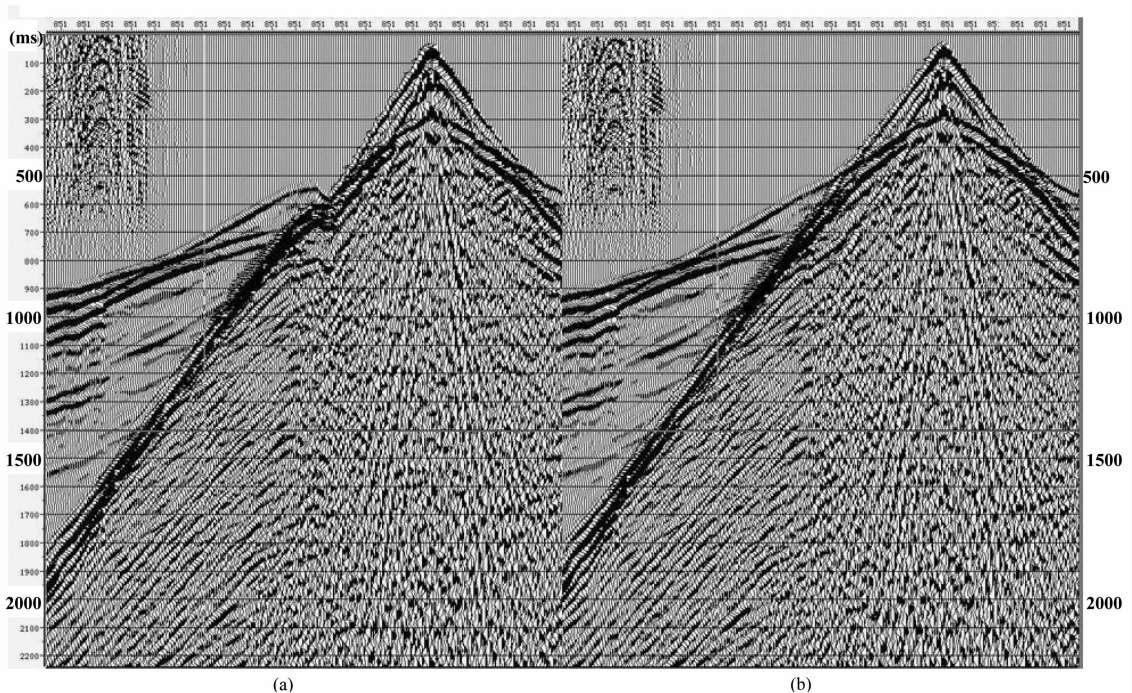


图 2 低速带测量资料约束+层析反演静校正前(a)、后(b)的单炮记录

Fig.2 Shot record before (a) and after (b) LVL data constraint and tomography inversion static correction

地表一致性剩余静校正方法通过在给定的时窗内自动将信噪比高、连续性好的同相轴作为内部模型道对资料进行拟合加权来求取剩余静校正量拾取,计算出的静校正量具有较高的可靠性和稳定性,在不断改善静校正效果的同时,再和速度分析进行多次迭代,逐渐地提高速度分析的精度,经过剩余静校正后的剖面质量得到较大幅度提高(图 3)。

在经过了上述静校正处理流程后,资料中的长波长和短波长静校正分量分别得到了很好的消除。

2.2 叠前、叠后噪音衰减

地震勘探是一个持续与各种干扰波斗争的过程,如何突出有效波、压制干扰波是地震资料采集、处理的主要任务之一。野外采集资料中存在的噪声会影响振幅补偿、反褶积、速度分析和叠加成像等地震资料处理的各个环节,因此,必须进行噪声衰减,才能提高成像质量。

干扰波调查的结果表明,由于本区地表类型复杂,区内影响资料信噪比的规则干扰波主要包括面波、折射波、线性干扰、多次波。折射波干涉带较宽,能量强,线性干扰能量强、频宽大,速度范围广;在沙漠区主要干扰为线性噪音,多次折射干扰等;而农田区的多次波、面波十分发育,多次波能量强,二次波、三次波能量都很强,而且规律性较差(图 4)。在处理

中,先从噪声的分析入手,了解噪声在该区的种类以及它们在各种道集的分布规律,掌握它们与有效信号在频率-空间域、频率-波数域、小波域上的分布差异,有针对性地采用“先强后弱,多域联合”的串联去噪技术,在多域多阶段综合去除噪声,提高地震资料的信噪比。

2.2.1 线性干扰与高频噪音衰减

本区的线性干扰发育,尤其是多次折射波。若采用 F-K 滤波方法进行低信噪比数据的去噪,容易在记录上产生蚯蚓化的现象。因此,在处理时,根据线性干扰波与有效波之间在视速度、位置和能量上的差异,在空间-时间域采用倾斜叠加和向前、向后线性预测的方法确定线性干扰的视速度、分布范围及规律,将识别出的线性干扰从原始数据中减去,实现线性干扰波的滤除。被滤除的部分主要集中在干扰波覆盖的区域,其他部分则不受影响,从而具有振幅保持和波形不畸变等特点(图 5)。对于高频噪音,在分析其频率的基础上采取分频衰减的方式对其进行压制。

2.2.2 面波压制与衰减

从单炮记录上可以看出,本区面波十分发育,速度为 380~680 m/s;频谱分析表明,面波主频在 5HZ 左右,面波总体上呈现低速、低频、能量强的特征,对

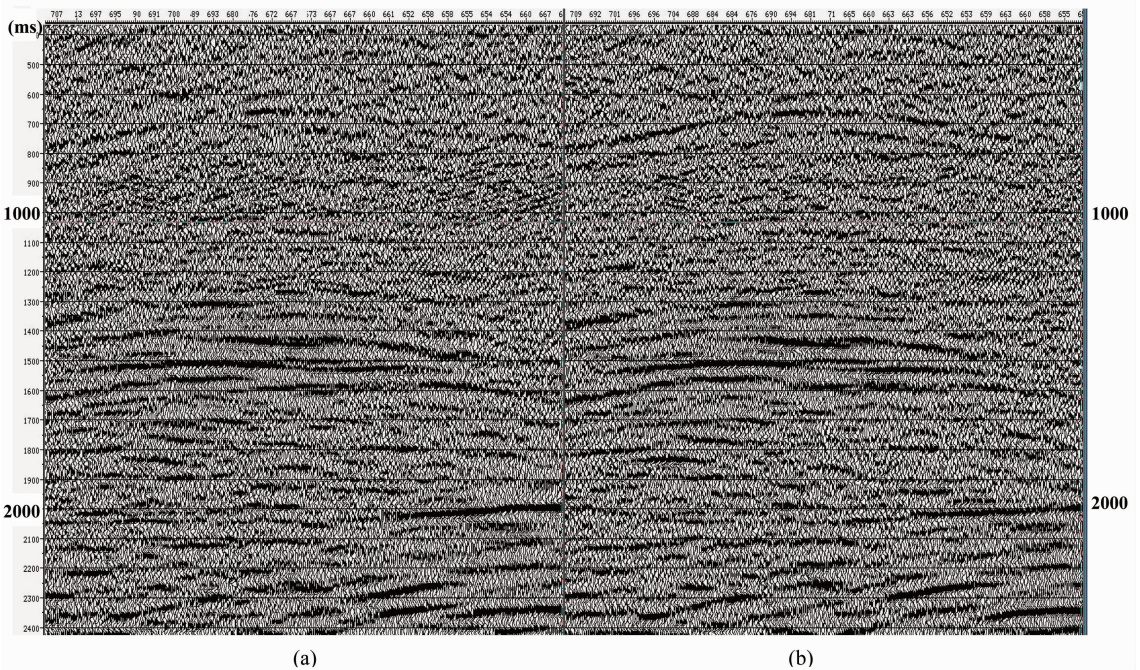


图 3 一次剩余静校正前(a)、后(b)的地震剖面
Fig.3 Seismic section comparison before (a) and after (b) first residual static correction

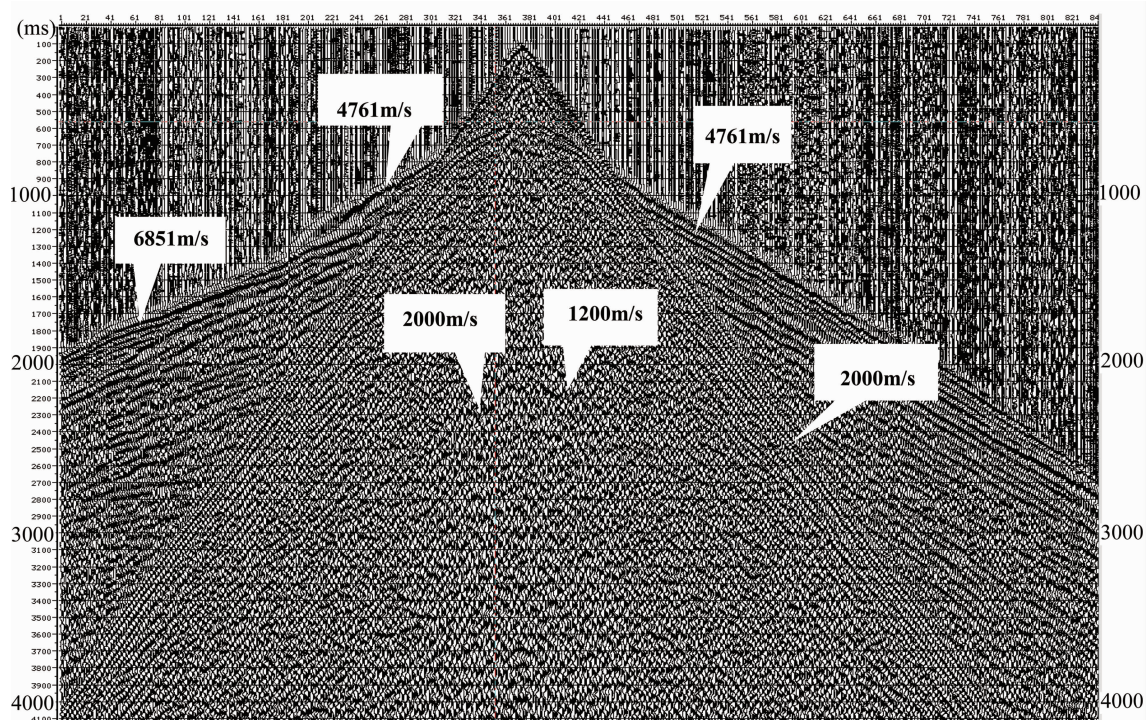


图 4 沙漠区主要干扰波调查的单炮记录

Fig.4 Shot record of main interference wave investigation in desert area

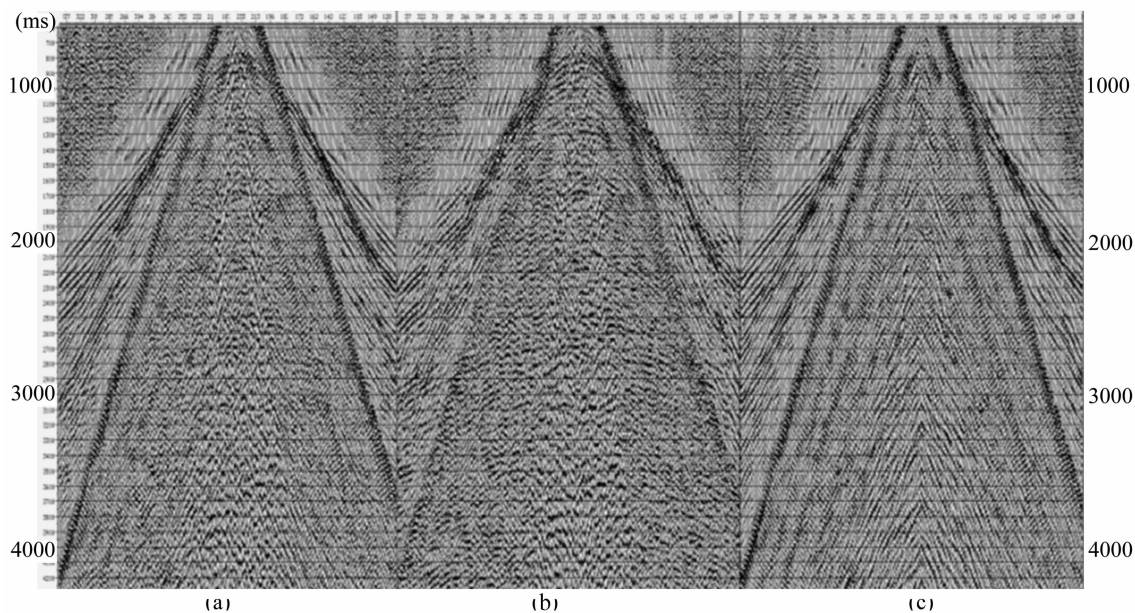


图 5 线性干扰去除前(a)、后(b)的单炮记录和去除的噪音(c)

Fig.5 Shot record before (a) and after (b) Linear Noise Removal and the removed noise (c)

中深层有效反射波影响较大。为保护能量相对较弱的有效波低频成分,在处理中不宜采取高通滤波的方法滤除面波,而要采用小波变换区域滤波的方法对面波进行压制衰减。在处理时,首先定义面波所在区域,然后在该区域内对面波进行压制衰减,确保区域之外不受影响,尽最大可能减少有效波损失(图 6)。

2.2.3 多次波压制与衰减

多次波消除是地震资料处理中的一个难点,常见的多次波主要分为表层多次波和层间多次波。目前消除多次波,尤其是有效消除层间多次波仍然是地球物理界的一大难题,要想有效地压制多次波,必须首先认识多次波,分析多次波产生机理、存在状况及特性、分布区域,再根据多次波的特性选择有针对性的技术进行压制。

研究区多次波干扰严重,其主要是产生在二叠系顶界反射,该顶界是一个较强的波阻抗界面,这套强的反射与地表形成全程多次反射,同时,下面地层的反射波与这套地层间又形成层间多次反射。沙漠区特别是在老地层出露区采集时由于采用的炸药量较大,使得在奥陶系内幕产生大量的层内多次波;在农田区多次波十分发育而且能量十分强,直接影响目的层的信噪比。处理中,采用多种方法综合,应用串联消除多次波干扰。一是在地表一致性反褶积中选择预测反褶积选项,选取合适的预测距和合适的算子长度,达到压制周期性的全程多次波和层间多次波的作用;二是选择 τ - P 域建模衰减多次波,使

用精确拾取的一次波速度建立多次波模型,在共中心点道集上进行去除;三是利用剩余静校正和速度分析迭代,提高去除多次波后同相轴的连续性;四是对大沙丘处多次波特别严重的层段采用近道内切除技术进一步压制。

多种方法的综合使用,极大程度上衰减、消除了多次波,取得了较好的效果(图 7)。

通过对上述对线性干扰、面波和多次波的压制衰减,地震剖面上的干扰波得到较好的衰减,地震剖面信噪比得到了明显改善和提高(图 8)。

2.2.4 叠后去噪

低信噪比地震资料,在叠前经过滤波、地表一致性振幅补偿、静校正、多域去噪、反褶积及速度分析等项处理后,叠加剖面的信噪比有了较大的提高。叠后信号增强处理技术可以进一步提高叠加剖面的信噪比。常用方法有 F-K 滤波、随机噪声衰减、径向预测滤波、多项式拟合等。根据研究区资料的具体情况采用组合去噪的方法,即首先使用 F-X 域预测法衰减随机噪声;然后采用 F-K 滤波去除剖面上的少许大倾角的线性干扰;接着采用多项式拟合等方法,使波组更加清晰,便于解释。叠后去噪同样以多模块联合、搭配使用的思路,以达到最佳效果。

2.3 振幅补偿

受地表条件、施工因素及波传播损失等影响,原始地震记录中地震波相对振幅关系遭到破坏,不但影响深层有效波的能量,而且影响偏移成像,更甚者

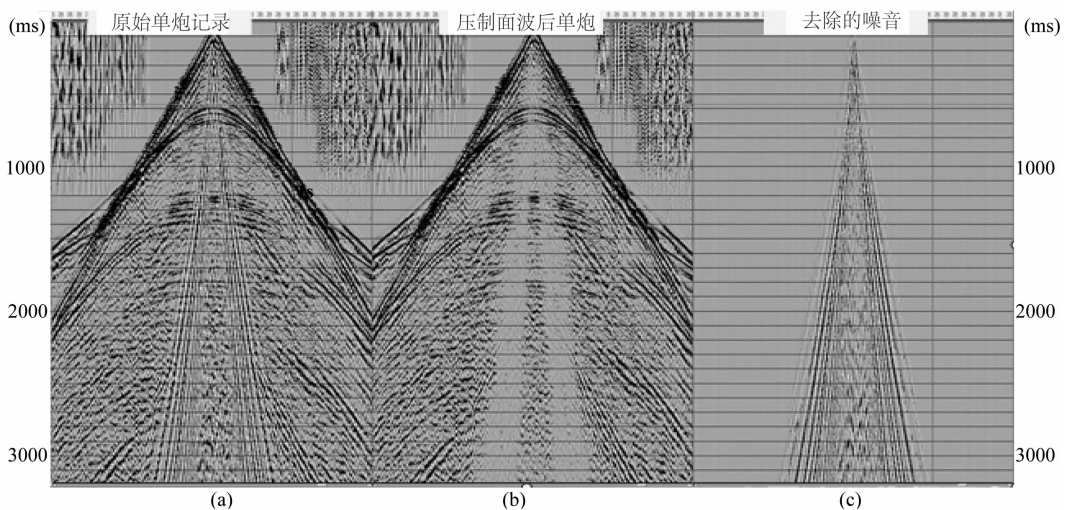


图 6 面波噪音去除前(a)、后(b)的单炮记录和去除的噪音(c)

Fig.6 Shot record before (a) and after (b) ground roll removal and the removed noise (c)

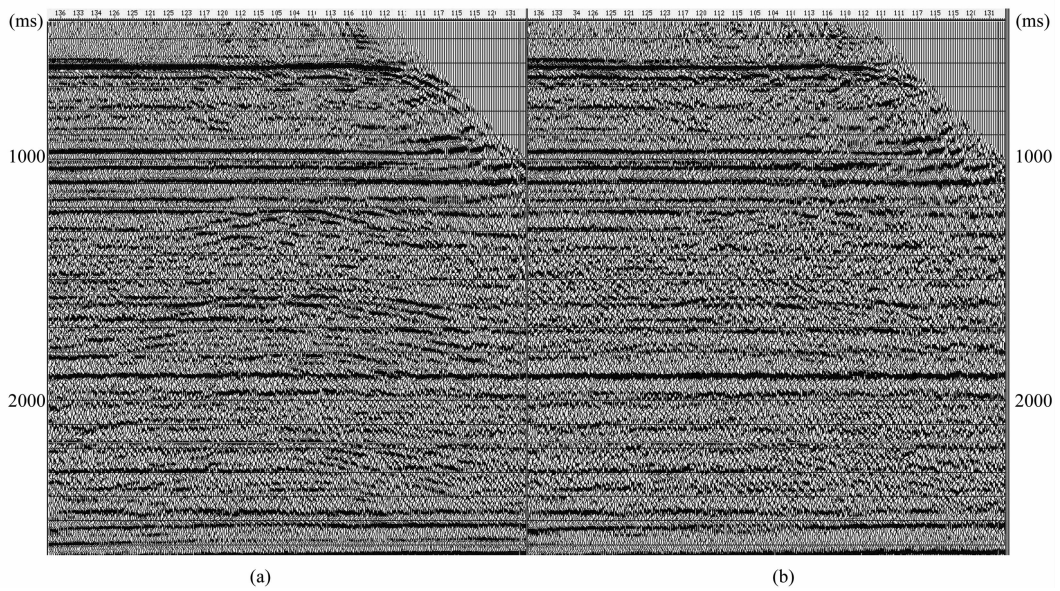


图 7 多次波压制前(a)、后(b)的地震剖面
Fig.7 Seismic section comparison before (a) and after (b) multiple wave suppression

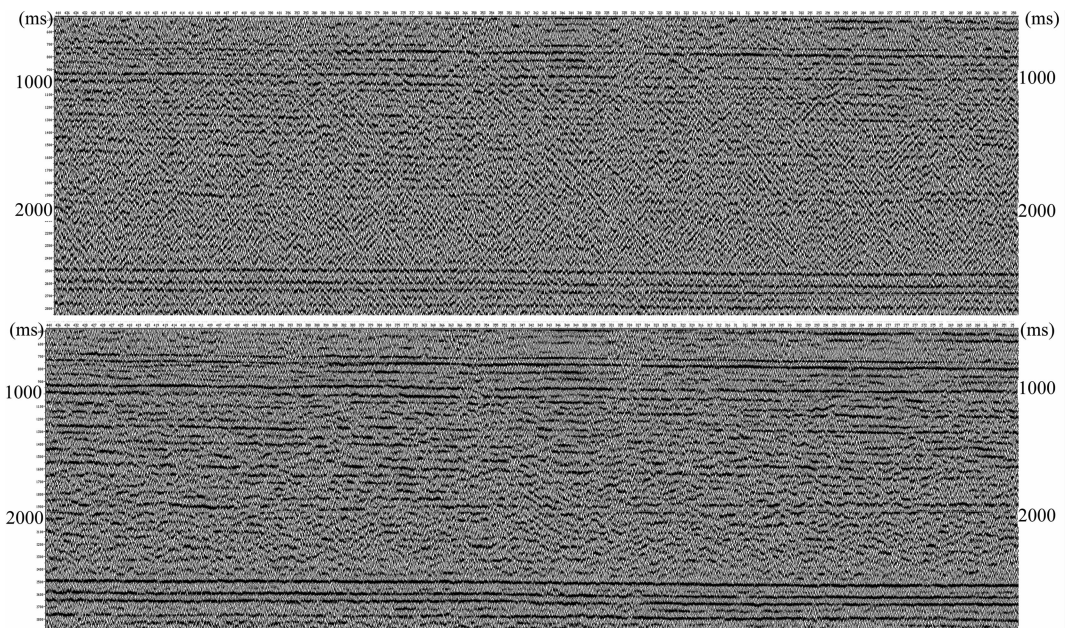


图 8 叠前噪音去除前(上)、后(下)的地震剖面对比
Fig.8 Seismic section comparison before (upper) and after (lower) pre-stack noise removal

将影响地震资料用于岩性及含油气性预测的基本前提条件。分析地震资料的振幅、频率和相位等特点,通过球面扩散补偿、地表一致性振幅补偿、相位校正等方法,达到消除近地表激发和接收因素和波传播过程对地震波振幅的损失,使地震资料振幅能量在时间和空间方向上得到统一。

原始单炮记录分析可知,由于本区横跨河流水(渠)库、山地戈壁、农田村镇、胡杨林及沙漠区等 5 种地表类型,激发条件变化大,导致单炮与单炮之间能量差异很大,同时,本区二叠系顶界强反射界面不但产生多次波干扰,且对能量下传起到屏蔽作用,致使主要目的层下奥陶统顶 T₁反射层能量较弱;二叠

系的厚层、块状火山岩对石炭系及以下地层产生能量上的屏蔽,过农田区时多次波干扰直接影响到了深层能量的一致性,因此,必须进行有效的补偿,才能为最终的偏移成像奠定良好的基础。处理时采用“全面统计,逐点处理”的地表一致性处理技术,统一各种不同激发、接收条件资料振幅、频率和相位,达到消除地表差异和传播过程对振幅的影响之目的。

2.3.1 几何发散补偿

地震波在传播过程中受到球面扩散衰减、地层吸收等衰减。其中球面发散影响与地下地质特征毫无关系,且对地震波能量影响很大,处理过程中如不消除这种影响,对岩性研究及深层成像不利^[20]。

目前几何发散补偿通常采用一个反衰减因子乘地震道采样值,

$$\text{即: } X(t) = X_0(t) \times t \times (V(t))^2$$

其中: $X(t)$ —补偿后输出; $X_0(t)$ —输入采样值; t —反射时间; $V(t)$ —在时间 t 的速度。

经过球面扩散补偿后单炮能量在时间、空间方向上都得到了较好的一致,但不同的单炮之间的能量差异并没有发生改变。

2.3.2 地表一致性振幅补偿

地表一致性振幅补偿方法是在选择的时窗内,计算道的均方根振幅并与地表一致性振幅进行对比,检查出各道是否有振幅异常,根据检查的结果进行分析,并采用特殊的方法消除局部振幅异常问题。

一般在两个方向即炮点、检波点上分解应用,有时也加上共偏移距和 CMP 方向进行分解应用。

通过振幅补偿,最大限度地消除了由于激发、接收及炮检距等因素对记录振幅的影响,使地震波在时间方向和空间方向上能量级别保持一致,统一地震子波波形,保持了地震波振幅能量的相对强弱关系,使得深层发射能量得到较好的补偿和恢复(图 9)。

2.4 精细速度分析

速度场精度是影响成果质量的最直接的因素,因此提高速度场精度是提高处理成果质量的必要条件^[21]。本区地表类型复杂,激发接收条件变化剧烈,使得信噪比很低的奥陶系内幕资料信噪比变化剧烈,在速度谱上能量因时强时弱,能量不集中,拾取速度困难,同时在断裂发育的断裂带附近常会出现速度异常、反转等现象。

处理中,首先结合借鉴先前对本区资料的处理经验,利用常速扫描求取初步速度函数,选取合适的速度分析点密度;然后利用全交互速度分析软件,对比速度谱、叠加扫描段、动校正道集及控制叠加剖面等进行综合分析,求取相对准确的叠加速度,并采用速度分析和地表一致性剩余静校正多次迭代的方法进一步提高速度分析的精度。对于一些构造复杂的区段,采用加密速度分析控制点的方法,在信噪比低的区域,如深层部位,速度谱上能量因相对比较弱并且发散,速度不易求准,为了求得准确的叠加速度,

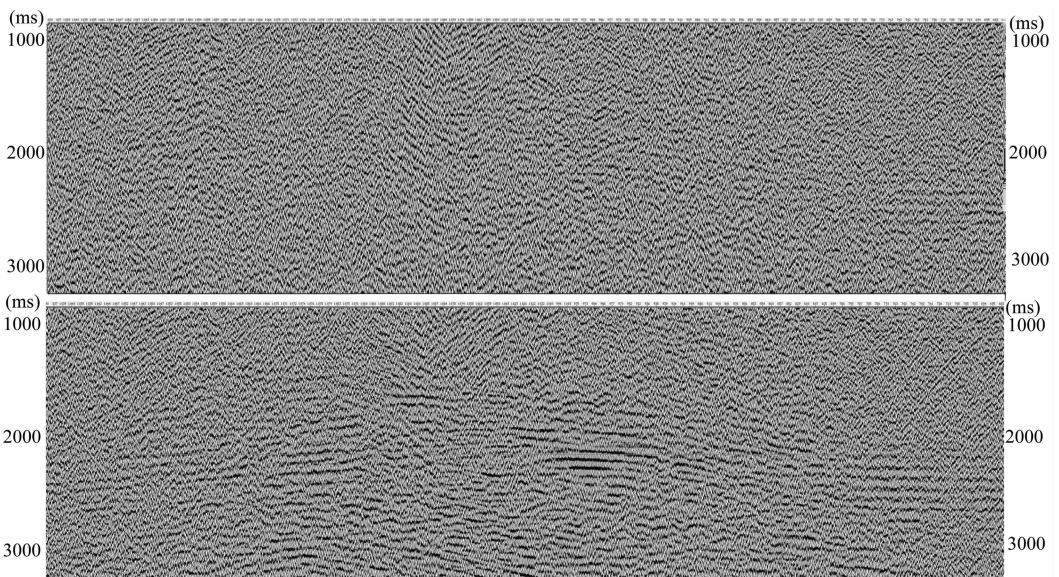


图 9 地表一致性补偿前(上)、后(下)的地震剖面对比

Fig.9 Seismic section comparison before (upper) and after (lower) surface consistent compensation

处理中采用速度谱分析和速度扫描相结合的方法来进行。

经过野外层析静校正后的记录中同相轴虽然已经呈现出双曲线形态,但仍然存在部分高频的剩余静校正量,需要在做好速度分析后进一步通过反射波剩余静校正来解决。剩余静校正量对速度分析的精度和叠加剖面的质量影响较大。

因此,通过三次速度分析和地表一致性剩余静校正,实现了精确求取地震速度、提高速度场精度的目的。图 10 是一次速度分析和二次速度分析的速度谱对比。从图中可以看到,二次速度分析所用的速度谱经过速度分析迭代,速度能量团更加集中了,有利于提高叠加速度的精度。

2.5 偏移技术

偏移成像准确与否,与选用的偏移方法和速度有关,其中,建立偏移速度场是关键^[2]。一般做法是在 DMO 叠加速度基础上乘一个百分数进行扫描,找到一个相对合适的速度用来偏移。本区自南向北被 NW-NWW 向的海米罗斯断裂带、古董山断裂带等多条断裂带切割,形成北西向的条状断块。断层倾角为 $60^{\circ}\sim 15^{\circ}$,地层倾角变化大,断块复杂,加上目的层埋藏较深,导致准确的偏移成像速度获得难度

大,偏移成像较困难。

鉴于本区地震资料的特点,为了取得更好的偏移效果,处理中先对叠加剖面作初步的构造解释结合 DMO 速度场形成基本地质模型,然后对速度场沿层速度平滑,并结合偏移处理试验反复修改速度,形成最终偏移速度场。不同的偏移方法所得到的结果可能相差很大,偏移方法的选择也是偏移成功与否的关键所在,尤其是本区块深层能量弱,构造比较复杂的情况下。为了得到一个比较理想的偏移归位效果,处理中参考以前的方法并进行了大量偏移方法试验,通过对比各种偏移方法形成的偏移成像效果,选用了叠后有限差分偏移方法。

偏移成果剖面显示,采用选用的偏移方法,绕射波得到较好归位,断面清楚,构造特征明显,深层得到很好的成像(图 11)。

3 处理效果分析

在认真研究分析原始地震资料的基础上,对研究区约 2000 km 的低信噪比二维地震资料进行了精细的处理研究。处理中运用本文前述的层析静校正、叠前多域噪声衰减、地表一致性振幅补偿、高精度速度分析和叠后时间偏移等关键技术方法,取得

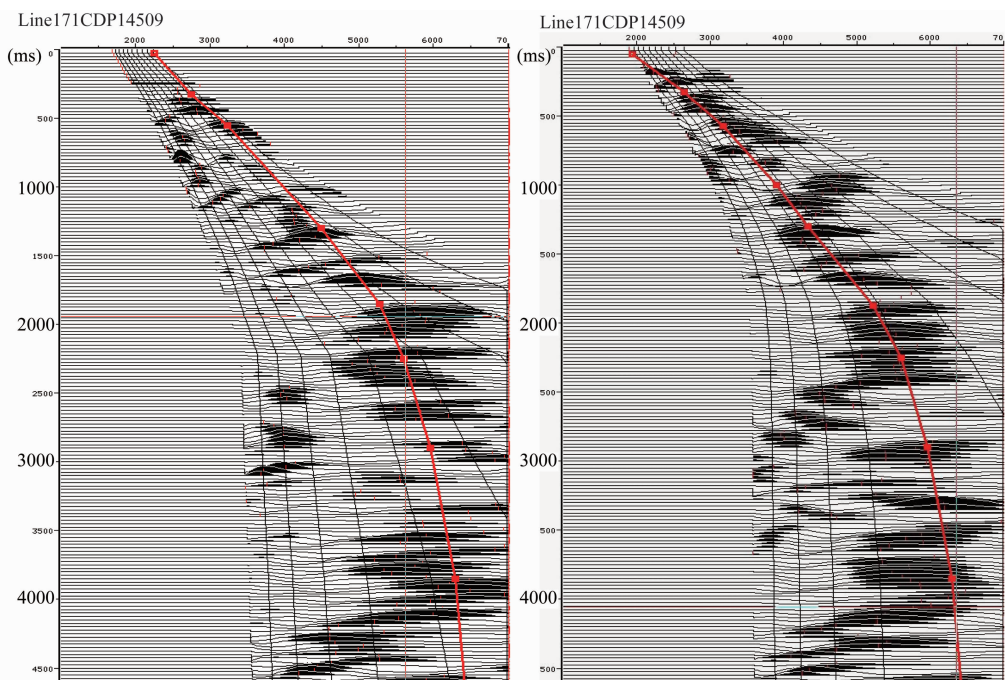


图 10 一次速度分析后(左)、二次速度分析后(右)的地震速度谱对比

Fig.10 Seismic velocity spectrum comparison after first (left) and second (right) pass velocity analysis

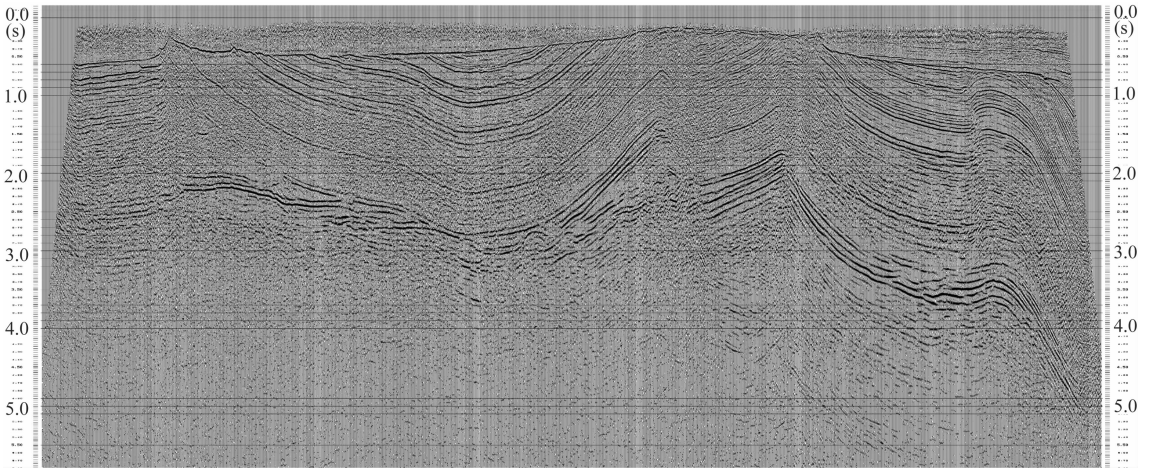


图 11 精细处理的叠后偏移剖面

Fig.11 Post stack time migration section after accurate processing

了较好的处理效果,获得的成果剖面信噪比高,剖面反射层次齐全,波组特征清楚,连续性好,频率适中,接触关系、尖灭点清楚,反射特征明显,成果资料完全能满足地质解释研究的目的。处理效果主要体现如下几点:

①成果剖面频带较宽,分辨率适中。浅层频带在 5~50 Hz,目的层频带在 5~45 Hz,基底反射频带在 5~40 Hz。

②主要断裂特征明晰,构造单元及断层断点清晰。区内断裂带断点清楚干脆,断层样式明确,寒武系构造特征及各种地质现象清晰(图 11)。

③区内不整合面的特征明了,接触关系清楚(图

12)。不整合面之下的削截点、之上的上超点清晰。

④成果剖面反射层次齐全、波组特征清楚,连续性好(图 13)。全工区波组特征清晰,目的层下奥陶统顶面(T₄反射层)信噪比高,全区可连续追踪,虽沙漠覆盖区之下断裂作用的高陡构造部位多次波、激发因素等仍有影响,但基本上可连续追踪。

⑤测线交点闭合差在误差控制范围之内,主要目的层闭合,消除了表层变化产生的影响。

4 结束语

①工区内部分地表起伏剧烈,高程变化较大,地貌复杂多变,低降速层厚度和速度变化剧烈,静校正

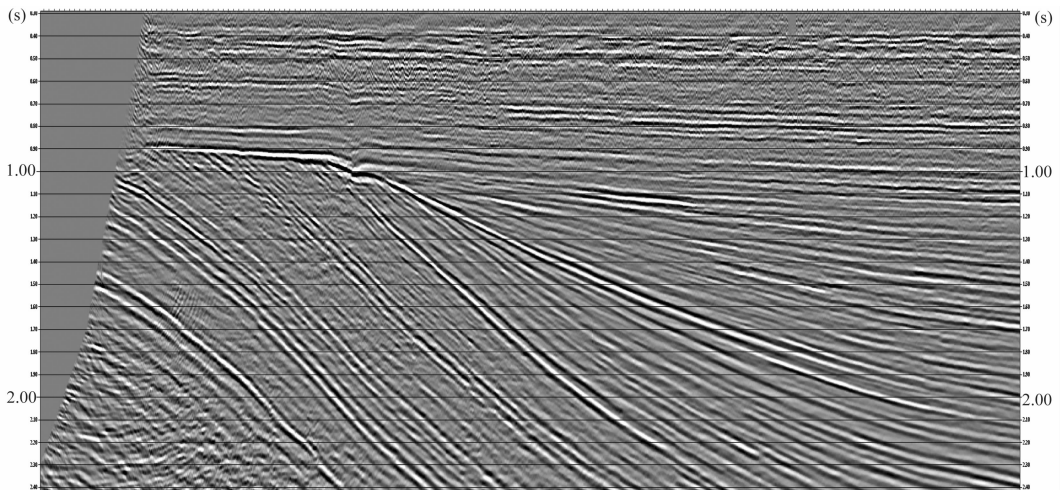


图 12 典型测线的最终成果剖面(部分)

Fig.12 Final results sections (part A) of typical seismic lines

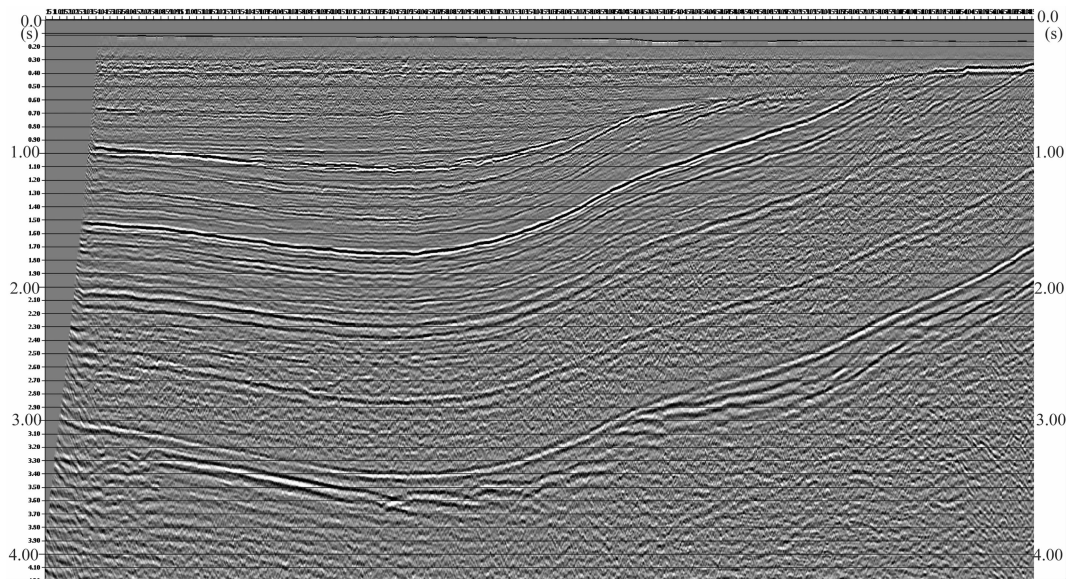


图 13 典型测线的最终成果剖面(部分)

Fig.13 Final results sections (part B) of typical seismic lines

问题突出。通过应用低降速带测量资料约束的层析静校正建立的近地表模型,能够较好地解决研究区的静校正问题。

②研究区内干扰波十分发育,类型复杂,会影响振幅补偿、反褶积、速度分析和叠加成像等地震资料处理的各个环节。根据不同类型的干扰的特征,在叠前有针对性的采用“先强后弱,多域联合”的串联去噪技术,在多域多阶段综合去除噪声,才能提高地震资料的信噪比和成像质量。

③地震测线横跨河流水(渠)库、山地戈壁、农田村镇、胡杨林及沙漠区等5种不同地貌,激发接受条件变化大,振幅能量在时间、偏移距域上变化剧烈,采用地表一致性振幅补偿,可以较好地消除地表条件变化引起的振幅差异,提高深层反射能量。

④多次波消除是地震资料处理中的一个难点,区内地震测线经过的沙漠区和农田区均发育多次波且能量十分强,直接影响目的层的信噪比。预测反褶积、 τ - P 域滤波及近道内切除等多种方法综合串联应用可以较好消除多次波干扰

⑤在信噪比低的区域,如深层部位,速度谱上能量团相对比较弱并且发散,采用速度谱分析和速度扫描相结合的方法能够求得较准确的叠加速度;同时,剩余静校正和速度分析迭代和初步构造解释模型约束的层速度求取,可以建立起较精确的偏移速

度场。

参考文献(References):

- [1] 王兆湖. 复杂区低信噪比地震资料处理方法研究[D]. 吉林大学博士学位论文, 2010:1-135
Wang Zhaohu. Study of Processing Methods for Low S/N Ratio Seismic Data from Complex Areas [D]. Jilin University Ph.D Dissertation, 2010:1-135(in Chinese with English abstract).
- [2] 熊翥. 地震数据处理应用技术[M]. 北京:石油工业出版社,2008:1-389.
Xiong Zhu. The Applying Techniques of Seismic Data Processing [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2008:1-389(in Chinese).
- [3] 杨勤勇. 油气地球物理勘探技术发展新动向 [J]. 勘探地球物理进展, 2007, 30(2):77-84.
Yang Qinyong. Latest development of geophysical prospecting for petroleum [J]. Progress in Exploration Geophysics, 2007, 30(2):77-84(in Chinese with English abstract).
- [4] 林伯香, 孙晶梅, 徐颖, 等. 几种常用静校正方法的讨论[J]. 石油物探, 2006, 45(4):367-372.
Lin Boxiang, Sun Jingmei, Xu Ying, et al. Static correction approaches being frequently applied [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006, 45(4):367-372(in Chinese with English abstract).
- [5] 张继国, 刘连升. 复杂区初至层析反演静校正 [J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(4):383-385,395.
Zhang Jiguo, Liu Liansheng. Static correction by first breaks tomographic inversion in complex area [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2006, 41 (4):383-385,395 (in Chinese with English abstract).

- [6] Chang Xu, Liu Yike, Wang Hui, et al. 3-D tomographic static correction [J]. *Geophysics*, 2002, 67(4):1275-1285.
- [7] 胡英, 张研, 陈立康, 等. 速度建模的影响因素与技术对策[J]. *石油物探*, 2006, 45(5):503-507.
Hu Ying, Zhang Yan, Chen Likang, et al. Influencing factors and technical strategies for velocity modeling [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2006, 45(5):503-507(in Chinese with English abstract).
- [8] 熊翥. 21 世纪初中期油气地球物理技术展望[M]. 北京:石油工业出版社, 2006:1-444.
Xiong Zhu. 21st Century Prospects of Oil and Gas Geophysical Techniques [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2006:1-444(in Chinese).
- [9] Grech M G K, Lawton D C, Cheadle S. Integrated prestack depth migration of vertical seismic profile and surface seismic data from the Rocky Mountain Foot-hills of Sout hern Alberta, Canada [J]. *Geophysics*, 2003, 68(6):1782-1791.
- [10] 姚磊, 方庆水. 高原地区复杂山地地震资料处理[J]. *中国煤炭地质*, 2008, 20(11):58-60.
Yao Lei, Fang Qingshui. High altitude complex mountainous area seismic data processing [J]. *Coal Geology of China*, 2008, 20(11):58-60(in Chinese with English abstract).
- [11] 李楠, 屠志慧, 刘微. 山地低信噪比地震资料处理研究 [J]. *天然气勘探与开发*, 2007, 30(1):24-26.
Li Nan, Tu Zhihui, Liu Wei. Study on the mountain seismic data processing with low signal-to-noise ratio [J]. *Natural Gas Exploration & Development*, 2007, 30(1):24-26(in Chinese with English abstract).
- [12] 于相海, 刘明乾, 汪铁望, 等. 鄂尔多斯盆地黄土塬区弯宽线地震资料处理[J]. *石油地球物理勘探*, 2010, 45(增 1):80-85.
Yu Xianghai, Liu Mingqian, Wang Tiewang, et al. Seismic data processing for crooked wide line from the Loess Plateau area, Ordos Basin [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2010, 45 (Supp. 1):80-85(in Chinese).
- [13] 王文常. 西部复杂地区地震资料处理新技术 [J]. *中国煤炭地质*, 2009, 21(supp.2):75-78.
Wang Wenchang. Seismic Data Processing Techniques in Western Complex Areas [J]. *Coal Geology of China*, 2009, 21 (Supp.2):75-78(in Chinese).
- [14] 王振国, 陈小宏, 王学军, 等. 沙漠地区老地震资料的处理技术及效果分析[J]. *勘探地球物理进展*, 2007, 30(2):123-129.
Wang Zhenguo, Chen Xiaohong, Wang Xuejun, et al. Processing of old seismic data from desert and its effect analysis [J]. *Progress in Exploration Geophysics*, 2007, 30 (2):123-129 (in Chinese with English abstract).
- [15] 吕金博, 孔剑冰, 张绍华, 等. 复杂地表条件下低信噪比地震资料的处理技术[J]. *天然气工业*, 2007, 27(增 A):111-112.
Lv Jinbo, Kong Jianbing, Zhang Shaohua, et al. The processing techniques of seismic data with low S/N ratio with complicated surface condition [J]. *Natural Gas Industry*, 2007, 27(Supp.A):111-112(in Chinese).
- [16] 张聪玲. YM 区块低信噪比地震资料处理技术[J]. *物探化探计算技术*, 2010, 32(2):158-163.
Zhang Congling. The processing techniques of seismic data with low S/N ratio at YM block [J]. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 2010, 32 (2):158-163 (in Chinese with English abstract).
- [17] 黄中敏, 游洪文, 孟小红. 阿曼 36, 38 区块低信噪比地震资料处理技术[J]. *石油天然气学报(江汉石油学院学报)*, 2007, 29(1):63-68.
Huang Zhongmin, You Hongwen, Meng Xiaohong. Technique for Low Signal-noise Ratio Seismic Data Process in Blocks 36, 38 in Oman [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2007, 29(1):63-68(in Chinese with English abstract).
- [18] 宋涛, 王秀云, 杨世文, 等. 层析反演静校正技术在永新地区的应用 [J]. *石油天然气学报(江汉石油学院学报)*, 2008, 30(5):228-230.
Song Tao, Wang Xiuyun, Yang Shiwen, et al. Application of Tomography technique in the Yongxin area [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2008, 30(5):228-230(in Chinese with English abstract).
- [19] 刘建芳, 华伟, 王士昆, 等. 江苏低信噪比地区深层地震资料处理方法研究[J]. *石油物探*, 2008, 47(6):583-587.
Liu Jianfang, Hua Wei, Wang Shikun, et al. Deep seismic data processing method used in S/N ratio area of Jiangsu oilfield [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2008, 47 (6):583-587(in Chinese with English abstract).
- [20] 李合群, 孟小红, 赵波. 地震数据 Q 吸收补偿应用研究[J]. *石油地球物理勘探*, 2010, 45(2):190-195, 229.
Li Hequn, Meng Xiaohong, Zhao Bo. Application studies on Q absorption and compensation for seismic data [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2010, 45 (2):190-195, 229 (in Chinese with English abstract).
- [21] 王锡文, 秦广胜, 刘向东, 等. 叠前偏移技术在中原复杂断块区的应用[J]. *地球物理学进展*, 2005, 20(4):1092-1098.
Wang Xiwen, Qin Guangsheng, Liu Xiangdong, et al. The application of pre-stack migration technique in complex fault-blocks of Zhongyuan oilfield [J]. *Progress in Geophysics*, 2005, 20 (4):1092-1098(in Chinese with English abstract).
- [22] 王小卫, 刘文卿, 徐兴荣, 等. 偏移速度建模与成像技术[J]. *天然气工业*, 2010, 30(2):52-54.
Wang Xiaowei, Liu Wenqing, Xu Xingrong, et al. Migration velocity modeling and imaging techniques [J]. *Natural Gas Industry*, 2010, 30(2):52-54(in Chinese with English abstract).

The method for low signal–noise ratio seismic data processing in Bachu uplift, Tarim Basin

WANG Gong–huai, ZHAO Tie–feng, ZHANG Zhong–ling

(*Geophysical Research Institute, Zhongyuan Oilfield Company, Sinopec, Puyang 457001, Henan, China*)

Abstract: The prospecting extent in the whole Bachu uplift of Tarim Basin is relatively low, which however is a potential area for oil and gas exploration. The poor near–surface shooting conditions, deeply buried target areas and deep geological conditions result in the serious seismic data static correction problem, highly–developed interference wave, difficulties in correct recognition of multiple wave, improvement of the energy of deep reflection wave and accurate obtaining of the velocity and migration imaging. Low S/N ratio data and poor quality have greatly restricted the capability of solving the geological problem by using seismic data. Through an analysis of newly acquired seismic data, the authors accurately built a near–surface model for calculating accurate static values and enhancing pre–stack attenuation. Various amplitude energy compensation methods were used for accurate velocity analysis to improve the precision of the velocity field, and inner mute was adopted in near traces. Integrated application of cascade methods was adopted to eliminate multiple interference, migration method was chosen for improving the imaging quality of deep weak signal and S/N ratio in this low S/N ratio area and, as a result, event continuity and structure imaging quality were greatly enhanced and improved, thus attaining superior applying results.

Key words: S/N ratio; static correction; interference wave; seismic velocity; multiple wave; migration imaging

About the first author: WANG Gong–huai, male, born in 1966, doctor, senior engineer, engages in seismic data processing and geological analysis; E–mail: wanggonghuai@sina.com.