

doi: 10.11720/wtyht.2017.1.27

李江,李庆春,张向辉,等.叠前时间偏移在煤田地震资料处理中的应用[J].物探与化探,2017,41(1):171-176.http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.1.27

Li J, Li Q C, Zhang X H, et al. The application of prestack time migration to coalfield seismic data processing[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(1): 171-176. http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.1.27

叠前时间偏移在煤田地震资料处理中的应用

李江¹, 李庆春¹, 张向辉², 李文博³

(1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 陕西延长石油(集团)有限责任公司油气勘探公司, 陕西 延安 716000; 3. 甘肃省交通科学研究所有限公司, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 叠前时间偏移可以实现地质构造的精细成像, 同时为岩性储层预测提供高保真的高分辨率成像剖面。为了使叠前时间偏移技术能够有效应用于煤田地震资料处理, 从煤田地震资料的特点出发, 研究了一系列针对性的叠前预处理技术, 引入了利用初至波和反射波联合层析反演建立精细偏移速度场的方法, 探索建立叠前时间偏移用于实际资料的技术流程和处理措施。实际资料成像结果表明, 相比叠后偏移方法, 叠前时间偏移在成像精度和中深层保幅性等方面都有较大的改善, 有利于煤田地震资料的精细构造解释和岩性反演。

关键词: 叠前时间偏移; 煤田地震资料; 层析反演; 保幅偏移

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2017)01-0171-06

0 引言

在煤矿安全高效开采过程中, 对地质构造的精细解释有着较高的要求, 以共中心点叠加为基础的叠后偏移, 由于成像精度不高, 常造成小断层、微幅构造的错解漏解, 不能很好的适应地质解释的要求。另外, 在煤层较多的情况下, 上组煤层对下组煤层屏蔽作用严重^[1], 数据采集时下组煤层反射波振幅已经很弱, 通过常规叠后偏移处理获得的剖面保幅性较差, 通常只有上组煤层可以连续追踪, 下组煤层反射波能量较弱, 基本无法连续追踪, 甚至无法识别, 严重影响着地震资料的解释, 也不利于岩性反演, 煤层厚度预测等。因此, 叠前偏移成为高精度地震资料处理的关键技术。从理论上说, 叠前深度偏移是适应复杂地质构造的最好方法, 但是由于叠前深度偏移对速度模型的精度要求比较高, 需要大量的地质、测井等信息共同约束来构建速度场, 而且其计算工作量相当大, 实际工作中并不实用。相比之下, 叠前时间偏移对速度模型不是十分敏感, 计算效

率高, 向量并行机和 PC-Cluster 机群使其计算效率又成倍提高, 相对于叠后时间偏移有较好的成像效果和保幅性, 更适合随后的属性分析、AVO/AVA/AVP 反演和其它参数反演。因此在实际资料处理中, 选择叠前时间偏移是提高煤田地震资料构造成像精度和保幅性较为经济可行的方法。

煤田地震勘探有着自己的特点^[2,3], 而叠前时间偏移对数据信噪比要求较高, 相比叠后偏移对速度场较为敏感, 且处理过程中计算量较大, 使得叠前时间偏移在应用中存在较多困难^[4-6]。因此, 建立具有实用意义的叠前时间偏移处理流程和方法, 是推进叠前时间偏移技术在煤田地震资料数据处理中应用的重要举措。基于叠前时间偏移方法的研究, 文中从煤田地震资料的特点出发, 针对叠前时间偏移应用时所关注的问题, 研究了叠前振幅补偿、去面波、偏移速度分析等处理技术, 并利用初至波和反射波联合层析反演提供精细偏移速度场的方法, 探索建立叠前时间偏移用于实际资料的处理流程和技术措施, 并通过实际资料的试处理来说明叠前时间偏移的成像效果及本文研究方法的有效性和适用性。

收稿日期: 2016-07-08; 修回日期: 2016-12-08

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20160060); 国家自然科学基金项目(41374145)

作者简介: 李江(1985-), 男, 长安大学博士研究生, 从事地震偏移成像方法研究工作。Email: 2739594195@qq.com

1 叠前时间偏移方法

随着对勘探精度要求的提高,在近地表和地下构造复杂区及地层速度横向变化剧烈的地区,常规的叠后偏移处理对微幅构造成像精度较低,易产生构造假象,究其原因,常规叠后偏移是基于水平层状介质的假设,先进行水平叠加,然后基于叠加剖面进行偏移处理,在复杂构造区,水平叠加破坏了波场,难以实现同相叠加。因此用失真的数据再进行偏移很自然难以取得高精度的成像结果。叠前偏移可以解决非同相叠加给后续偏移带来的问题,它的目的是使各种绕射波能量聚焦,能实现真正的共反射点同相叠加,即先偏移处理进行波场归位,然后把同一反射点的偏移波场叠加。这样,在速度横向中等变化、构造较为复杂区的成像中叠前时间偏移可以实现高精度的成像,弥补叠后偏移的不足。当前常用的叠前时间偏移方法有 Kirchhoff 积分法,有限差分法和 Fourier 变换法等。为了使叠前时间偏移的处理成果满足煤矿地质勘探的要求,在偏移方法的选择上,一般从偏移精度、效率和保幅性等方面来考虑。自适应偏移孔径 Kirchhoff 叠前时间偏移方法偏移效率高,精度高,保幅性好,是最常用的偏移方法。

叠前时间偏移一般在共炮点道集上进行,首先对每一炮进行单炮偏移成像,然后把地下同一反射点的不同单炮的偏移结果进行叠加,得到连续剖面即为最终的叠前时间偏移剖面。具体步骤如下:

第一步,正向延拓震源波场。波场延拓时先确定该道集产生反射波的地下空间范围,这个范围应根据角度,采集长度和水平范围进行估算,实际上等同于偏移孔径估算的反过程。其中 Kirchhoff 积分法叠前时间偏移波场延拓表达式为:

$$u(x, y, z, t) = \frac{-1}{2\pi} \iint \frac{\cos\theta}{Rv} \left[\frac{r}{R} u\left(x_0, y_0, 0, t + \frac{R}{v}\right) + \frac{\partial u\left(x_0, y_0, 0, t + \frac{R}{v}\right)}{\partial t} \right] dx dy, \quad (1)$$

其中:

$$\cos\theta = \frac{z}{R} = z / [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + z^2]^{1/2}.$$

式(1)中: R 为从反射点 (x, y, z) 到激发点 $(x_0, y_0, 0)$ 的距离。由此计算出的波场,即为在炮点激发产生的地震波向下传播至地下 (x, y, z) 点的反射记录波场。

第二步,计算从震源 O 到反射点 $R(x, z)$ 的入射射线走时 t_d 。用求出的 t_d 到 $u(x, y, z)$ 的延拓记录的 t_d 时刻提取出波场值作为该点的成像值。

第三步,提取炮集反射波覆盖范围内所有反射点延拓波场的成像值,完成单炮叠前时间偏移处理。

第四步,对所有炮集完成单炮叠前偏移处理之后,把不同炮点激发的反映地下同一反射点的波场成像值进行同相叠加,获得叠前时间偏移成果剖面。

叠前时间偏移在数据处理中的应用条件如下^[5]:①地下地质体速度横向变化不剧烈;②原始地震记录有较高的信噪比;③静校正问题得到较好的解决;④叠前单炮处理取得较好效果,地震记录信噪比,分辨率较高,振幅均衡;⑤有较为准确的偏移速度模型。影响偏移效果的主要参数是偏移孔径、去假频参数、偏移倾角、偏移速度等。因此应用叠前时间偏移处理时,要考虑其应用条件和相关参数的合理选取。

叠前时间偏移作为高精度的偏移成像方法,在数据处理过程中有如下特点:①在构造复杂区,叠前时间偏移能改善复杂地质构造的成像效果,使断层位置更加可靠清晰,对小断层、小构造能精细刻画,成像精度明显高于叠后时间偏移;②叠前时间偏移产生的叠前共反射点道集,可用于AVA、AVO等叠前属性分析与反演;③叠前时间偏移获得的剖面振幅保真度高,补偿了上组煤层对下煤层的屏蔽作用,有效提高了中深层煤层反射波的能量,有利于深部煤层连续追踪解释与厚度预测;④为叠前深度偏移处理提供基础输入。

2 数据处理实例

煤田地震勘探区地表地形起伏较大,地震数据信噪比低,面波干扰严重,煤层对其下部地层屏蔽作用强,道集振幅能量差异大,给叠前时间偏移处理技术的应用带来极大困难。因此,在数据预处理过程中应注意以下几点:首先通过对地球物理信息处理、分析和对比,找出其变化规律,从而消除不同波长静校正量的影响;地表一致性振幅补偿技术能有效补偿道集内振幅的吸收衰减差异,多种振幅补偿技术相结合,优势互补,是振幅补偿处理的有效方法;在提高信噪比处理过程中,首先要对原始波场进行分析和分类,掌握噪声出现的规律和特征,进而选取有效的方法进行合理去噪;速度分析是地震勘探的核心问题,相干反演法、常速度扫描、变速度扫描、速度谱分析、剩余速度分析等相结合来提高速度拾取的

精度,在此基础上进行多波联合层析反演,建立高精度偏移速度模型,这些方法是保证叠前时间偏移成像精度的主要因素。

2.1 静校正技术

随着勘探工区的复杂化和勘探精度的提高,静校正问题越发突出,甚至严重干扰着数据处理成果的精度。不同工区由于地表结构的差异,解决静校正问题的方法也有所差异。根据长波长静校正量与短波长静校正量的特点,采用折射波静校正与基于反射波的剩余静校正方法相结合是提高静校正精度的有效途径。将静校正量中的高低频成分相分离,分析低频静校正量,进而与多域迭代融合计算总静校正量,是提高静校正品质的关键。基于模型约束的初至波层析静校正方法可适用于复杂地表、大量发育逆掩推覆构造、逆冲构造的地区。它是在已经成熟的层析反演技术的基础上,对表层结构进行速度反演,可以求取较为准确的静校正量^[7]。实际资料处理过程中,根据工区地表类型和表层结构特征选择相应静校正方法,也可多方法联合应用来提高静校正精度。

2.2 振幅补偿处理

由于地表条件的差异,不同位置炮记录振幅、频率存在差异,为了消除由于激发或接收因素及空间位置不同造成的能量差异,处理中以地表一致性振幅补偿为主,结合球面扩散补偿,使得地震记录各反射波能量均衡^[8]。为了做到高保真振幅处理,确保振幅在时间与空间的一致性,在地表一致性振幅补偿和球面扩散补偿的基础上依据工区炮检点关系,

采用地表一致性剩余振幅补偿技术,均衡振幅处理的过量或不足,进一步提高中深部煤层的反射波能量,较真实的反映地下煤层的分布与变化。

2.3 去面波

低频面波是煤田地震数据采集中较强的干扰,它严重影响着资料的信噪比。在地震资料处理中一般采用数字滤波的方法来消除它,如一维滤波、 $f-k$ 滤波、 $\tau-p$ 变换、小波变换或切除法^[9]。这些方法应用起来较为方便,虽然取得了一定的效果,但也存在一些不足之处:经滤波处理后,未受面波影响的信号与受面波影响的信号能量相差较大;在消除面波的同时也消除了与面波相同频带范围的有效信号,在低频造成了数据的失真问题,从某种意义上讲,地震数据低频成分的缺失是人为原因造成的。这对于分析中深层反射信号和提高地震记录的分辨率都是极为不利的,因此,为了保证叠前时间偏移所应用的数据中有足够的低频信息,在去面波的同时必须保留低频信息。本文处理中首先利用面波和反射波在频率特征、空间展布以及能量强度等方面的差异,确定面波在时间和空间上的分布范围,再根据面波与反射波传播路径不同导致的时距曲线形态不同这一固有特征,确定面波和有效波的速度范围,采用寻优算法在相邻道集上进行面波相似性搜索,进而拟合面波,最后根据上述特征,将面波与有效反射波分离,同时更多的保留了低频信息。图1为面波去除前后对比,可以看出,原始记录中面波干扰严重,通过本文研究的方法去除面波之后,面波能量得到了较大的压制,剖面信噪比明显提高。

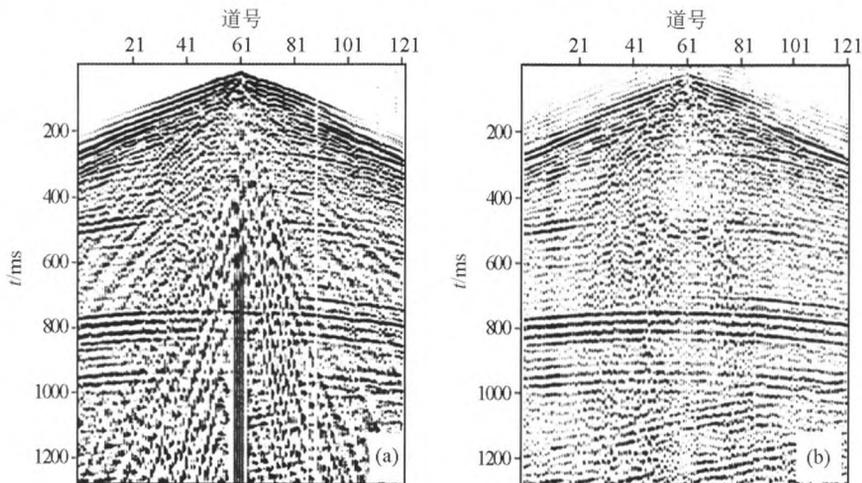


图1 面波衰减前(a)后(b)地震记录

2.4 压制次生干扰

在振幅保真的前提下,有效去除噪声和干扰、提高资料信噪比,是保证准确成像的基础。各种干扰需要叠前和叠后不同处理域综合应用多种方法和技

术进行压制,并采取人工逐炮剔道的方式消除顽固噪声,逐步提高资料信噪比。地表一致性噪声衰减技术对不同类型的噪声进行压制、平滑、充零等处理,达到消除次生干扰、脉冲噪声及强振幅噪声的目

的。

叠前处理效果如图 2 所示,可以看到通过振幅补偿,去面波和次生干扰等处理之后,地震记录振幅

基本一致,面波得到了有效的压制,次生干扰等基本去除。经过预处理之后的单炮记录,信噪比得到明显提高,可以满足叠前时间偏移的要求。

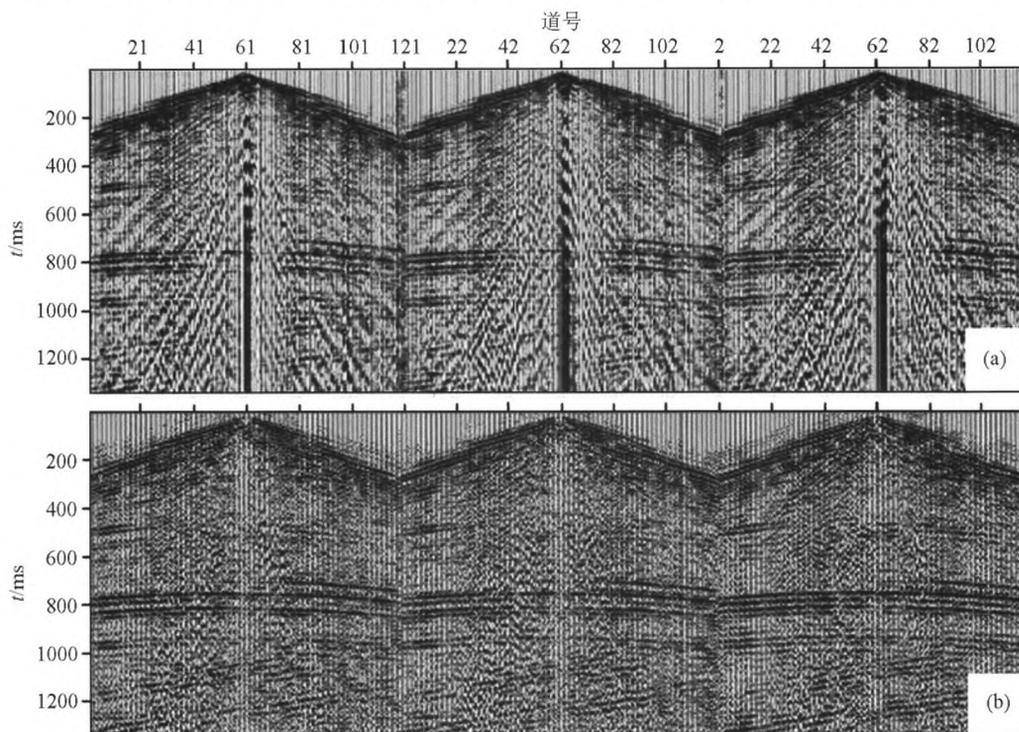


图 2 叠前预处理前(a)后(b)地震记录

2.5 偏移速度分析

在偏移算法日趋完善的情况下,偏移速度场的精度高低直接影响着偏移成像的效果,越高精度的成像方法对速度模型依赖性越强。速度场的拾取与更新同时也依赖于偏移结果,即通过不断修正速度场来改善偏移效果,同时用偏移效果来检验偏移速度场是否正确,整个处理过程是循环交替的过程^[10,11]。初始速度场必须通过叠前时间偏移进行修正,叠前时间偏移的输出结果是共成像点道集(common image-point gathers, CIG)或偏移叠加数据体,其速度场是否准确的判断准则是:①CIG 是否拉平;②速度模型与构造趋势是否一致;③剖面上的成像效果如何,绕射波是否收敛,凹界面回转波是否归位。上述步骤是一个循环的过程,直到 CIG 拉平,速度场能反映构造趋势,成像剖面中绕射波收敛,波场归位,这说明速度场正确,可以利用该速度进行最终偏移。

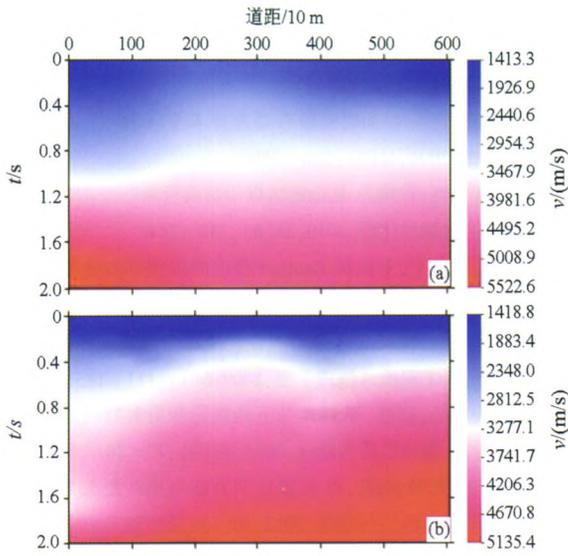
2.5.1 叠加速度谱计算及偏移速度分析

CMP 道集经过精细处理后,振幅较均衡,静校正问题基本得到解决,面元均化,覆盖次数较均匀,具有较高的信噪比,将其应用于速度谱计算,可得到能量矩阵、大道集、叠加段的数据,再以交互的方式通过能量矩阵、大道集、叠加段的综合对比及层位约

束等手段,对速度谱进行解释,以获取准确时间速度作为初始速度模型。剩余曲率分析、深度聚焦分析和双聚焦分析是研究较多的叠前速度分析方法。速度分析的关键是要注意保持速度场的平缓变化,避免突变,为下一步层析反演提供较准确的初始速度模型。

2.5.2 层析反演建立偏移速度

地震层析反演是利用观测到的地震波旅行时和预测数据旅行时差信息,应用模型重建算法反演地下介质界面、速度及弹性参数等信息的一种方法。层析反演所构建的目标函数与速度摄动之间为拟线性关系,非线性程度较弱,对初始模型要求不高,相对高效性,在近地表速度建模中得到广泛应用^[12,13]。地震初至波特征明显、容易识别、易追踪,且初至波能提供浅层低波数信息,利用初至波进行走时层析反演,在近地表速度分析中稳定性好,建模精度高。与初至波相比,反射波所反映的地下信息更为丰富,它携带了地下不同位置更微小尺度的参数分布和结构,综合初至波与反射波,采用多波联合层析的方法,能更准确、更全面地反演地下信息。因此,本次试验研究以叠前速度分析获得的速度作为初始模型,采用初至波、反射波联合层析的方法^[14],为叠前时间偏移提供更稳定、更精确的偏移速度模



a—偏移速度分析获得的速度;b—层析反演获得的速度

图3 偏移速度场

2.6 叠前时间偏移

有了高信噪比的单炮地震数据和高精度的速度场之后,进行了叠前时间偏移的成像处理。图4显示了原始炮集中的单炮记录及其波场延拓叠前时间偏移剖面。单炮偏移剖面较好地反映了该炮覆盖区域的地质层位及其构造,但是成像剖面中部分同相轴能量较弱。将相邻炮集的叠前偏移结果相叠加实现同相叠加,有效地增强了反射波的能量,大大提高了资料信噪比,最终获得高精度的成像剖面。

多炮偏移叠加剖面如图5所示。剖面清晰地反映了地下的构造特征,左侧发育的断层位置更加清晰准确,断裂特征明显。右部向斜构造也准确的反映出来,向斜回转波完全归位。对比常规叠后时间偏移,可以看出断层周围的绕射波得到更好的收敛,消除了叠后偏移的画弧现象,剖面反射波同相轴连

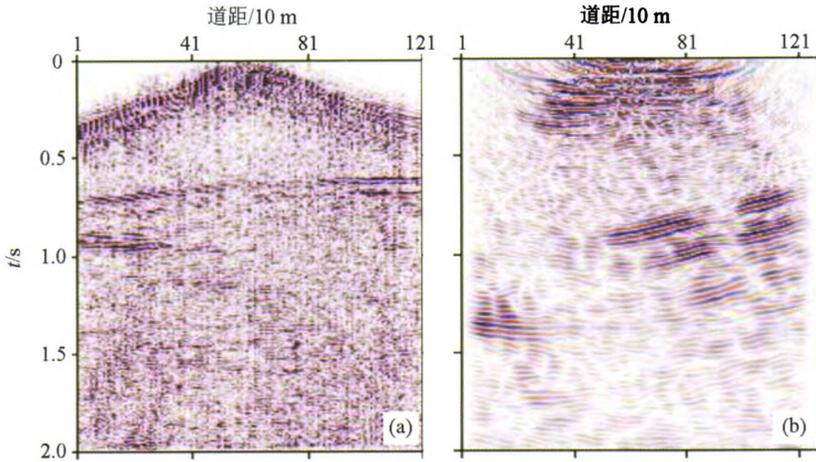


图4 单炮记录(a)及偏移剖面(b)

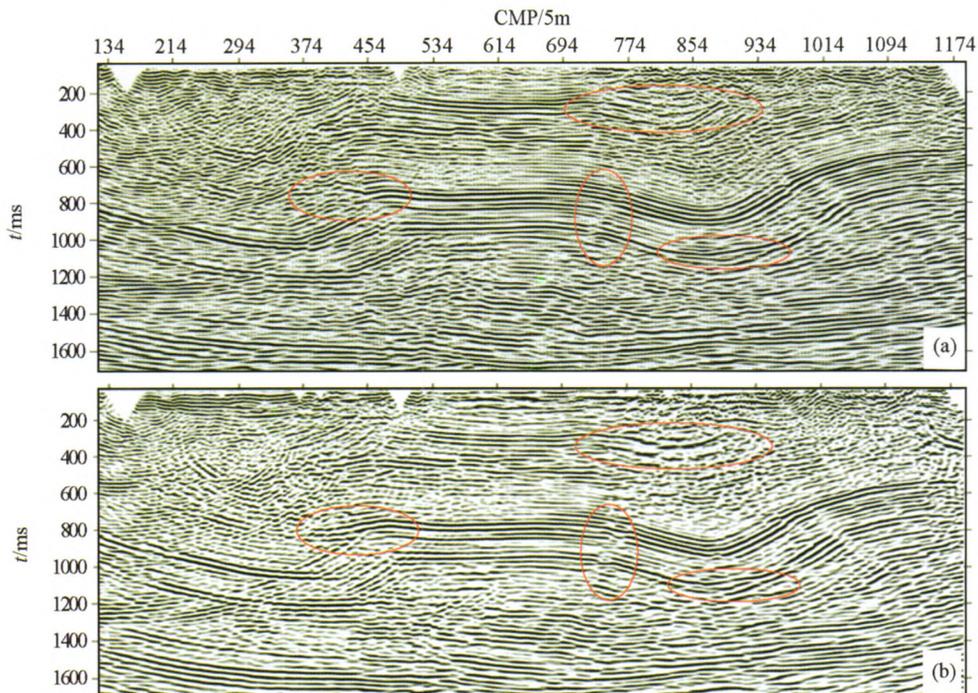


图5 叠前时间偏移剖面(a)及叠后偏移剖面(b)

续性更好,构造复杂区、向斜两翼的微小断裂构造刻画更清晰,易于识别。中深部煤层反射波能量增强,各个层位振幅较为均衡,剖面的信噪比和保幅性明显提高。

3 结论

文中研究了叠前时间偏移的应用条件和技术特点,分析了叠前时间偏移用于实际资料处理时的预处理原则。阐述了叠前振幅补偿处理,去面波、消除次生干扰等预处理措施和叠前时间偏移速度场构建的方法,建立了实用化的处理措施。实际资料的处理结果表明叠前时间偏移在煤田地震资料处理中有较好的应用效果,与常规叠后时间偏移方法相比,叠前时间偏移消除了复杂构造区常规偏移不能完全归位的缺陷,明显提高了成像剖面的分辨率与保幅性,对小断层刻画更为清晰,极大提高了地震解释的精度,有利于岩性储层反演,属性分析与煤层厚度预测等。

参考文献:

- [1] 张宪旭,杨光明,蔡文芮,等.煤层下部地层地震成像研究[J].煤田地质与勘探,2015,43(2):83-85.
- [2] 王秀荣.叠前时间偏移技术在煤田地震资料处理中的应用[J].

中国煤田地质,2006,18(5):47-48.

- [3] 任小丽,付小虎,蒲青.我国煤田地震勘探技术的发展与现状[J].科技信息,2012(16):410.
- [4] 曹孟起,刘占族.叠前时间偏移处理技术及应用[J].石油地球物理勘探,2006,41(3):286-289.
- [5] 陈强,常锁亮,曾维忘.复杂地区煤田地震资料的叠前时间偏移处理[J].物探与化探,2010,34(6):741-744.
- [6] 金守利,钱忠平,王成祥.GeoEast 叠前时间偏移处理技术及应用[J].石油地球物理勘探,2014,49(s1):82-86.
- [7] 王雪,张振文,代凤红.层析静校正煤田三维地震资料处理中的应用[J].工程地球物理学报,2009,6(1):111-115.
- [8] 金丹,程建远,覃思,等.煤矿井下地震勘探资料特殊处理方法及效果[J].煤田地质与勘探,2014,42(4):72-76.
- [9] 申振华,于光明,杨振,等.面波压制方法与道间距关系的数值分析[J].煤田地质与勘探,2012,40(1):72-76.
- [10] 周振晓,倪凤田,刘建红. GeoEast 高精度地震资料处理技术在煤田地质勘探中的应用[J].石油地球物理勘探,2014,49(s1):105-109.
- [11] 王双喜,张颖.地震叠前时间偏移处理技术[J].石油勘探与开发,2006,33(4):416-419.
- [12] 张霖斌,姚振兴,纪晨.地震初至波旅行时的有限差分计算[J].地球物理学进展,1996,11(4):47-52.
- [13] 叶佩,李庆春.旅行时线性插值射线追踪提高计算精度和效率的改进方法[J].吉林大学学报:地球科学版,2013,43(1):291-298.
- [14] 李庆春,叶佩.初至波与反射波旅行时多尺度渐进联合层析成像[J].石油地球物理勘探,2013,48(4):536-546.

The application of prestack time migration to coalfield seismic data processing

LI Jiang¹, LI Qing-Chun¹, ZHANG Xiang-Hui², LI Wen-Bo³

(1.School of Geological Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2.Oil and Gas Exploration Company, Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Yan'an 716000, China; 3.Gansu Transportation Research Institute, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Prestack time migration can realize the fine imaging of geological structure and also provide a high resolution imaging section for lithological reservoir prediction. In order to apply the prestack time migration technology effectively to the coal seismic data processing, the authors, on the basis of the characteristics of coalfield seismic data, studied a series of prestack processing technologies, introduced the tomographic inversion method by using first arrival wave and reflected wave to establish fine migration velocity field, and built prestack time migration work flows and process measures which could be used to actual data. The actual data imaging results show that, compared with poststack migration method, the prestack time migration imaging result has greatly improved the imaging precision and amplitude preservation, which is helpful to the fine structure interpretation and lithological inversion of coalfield seismic data.

Key words: prestack time migration; coalfield seismic data; tomographic inversion; amplitude preservation migration

(本文编辑:叶佩)