

天然气地球物理勘探

# 综合静校正技术及其在川东高陡构造区应用效果

胡自多<sup>1,2</sup>, 贺振华<sup>1</sup>, 王宇超<sup>2</sup>, 邵喜春<sup>2</sup>, 王述江<sup>2</sup>, 刘秋良<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059;

2. 中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:**不同的静校正技术基于不同的模型假设,适用于不同的地表地质条件。川东高陡构造地区,地震资料处理效果证明,在老地层出露区,微测井约束的层析静校正方法取得了满意的效果;在地表平缓地段,基于EGRM的折射静校正效果最好。只有采用综合静校正技术才能优势互补,解决好一次静校正问题。然后进行初至波多域剩余静校正和反射波剩余静校正。讨论了折射静校正、层析静校正和初至波多域剩余静校正的原理、假设条件、适用范围和误差分析,结合实际资料,处理中利用野外高密度的微测井资料,获得折射静校正的风化层速度;利用折射静校正反演的速度模型和微测井建立的速度模型,建立层析成像初始速度模型;利用直达波、折射波和回折波,进行初至波射线路径追踪、走时计算和大型稀疏矩阵方程的求解。

**关键词:**高陡构造;折射静校正;层析静校正;多域;射线追踪;SIRT算法

**中图分类号:**TE132.1<sup>+</sup>4

**文献标识码:**A

**文章编号:**1672-1926(2010)06-1046-08

## 0 引言

在复杂地表区,建立可靠的近地表速度模型难度极大,主要原因是地表类型复杂多变,不同的低降速带模型差异较大,必须选用不同的近地表速度模型反演方法<sup>[1]</sup>。

地震资料处理中,近地表反演方法主要有2大类:折射法和走时层析反演法。折射法基于简单的水平层状模型假设,但在复杂山地,该方法会失效。走时层析反演法理论上比较完善,但是由于介质被网格化为一系列单元,引入了大量的未知量,而层析反演问题常常是欠定的,需要间接的正则化约束,反演难度大,具有多解性,稳定性差<sup>[2-4]</sup>。

根据不同地表条件和实际资料处理效果,进行多种静校正方法的组合应用,是解决复杂地表区静校正问题的可行方法<sup>[5]</sup>。

川东九峰寺地区属丘陵和山地地形,地表高差悬殊,表层岩性变化剧烈(图1),海拔在200~1 200 m之间,相对高差一般在100~600 m以内。九峰寺构造为对称的高梳状背斜,背斜轴部和两侧陡翼主要出露三叠系石灰岩和石英砂岩,地层倾角多在70°~80°

之间,过渡到向斜部位,地势比较平缓,地表岩性为侏罗系砂岩、泥岩。由于表层低降速带的速度和厚度变化剧烈,静校正问题十分突出,解决好静校正问题是川东高陡构造地区地震资料处理的关键和难点。

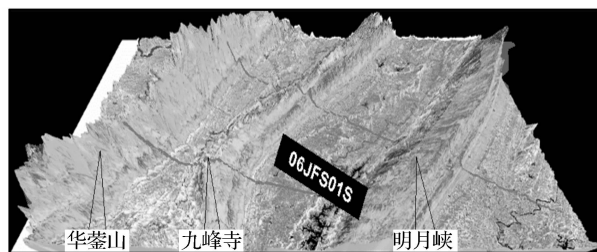


图1 川东九峰寺地区地形地貌特征

## 1 静校正方法

静校正类型大致可分为一次静校正和剩余静校正2大类。一次静校正方法很多,针对不同地表地区,生产中应用范围较广、效果较好的有折射静校正和层析反演静校正。剩余静校正主要有初至波剩余静校正、反射波地表一致性剩余静校正和反射波非地表一致性剩余静校正。不同的静校正方法适用条件和应用范围不同,在实际资料处理中,必须首先搞

清不同静校正技术的方法原理、假设条件和适用范围,才能根据地表地质情况有针对性的选择静校正方法。

1.1 初至折射静校正

折射静校正是利用初至折射波旅行时计算静校正,基本的假设条件是存在稳定的折射层,表层速度和厚度纵横向变化不太剧烈。折射静校正假设近地表模型由几个局部水平层构成,认为初至时间为沿着折射界面传播的首波起跳时间,根据初至波旅行时间,建立数学模型,如式(1)。然后将初至时间分解为炮点、检波点延迟时和以折射层速度从炮点到检波点的水平距离传播的时间。最后利用首波在折射界面上的入射角是临界角的假设,转换延迟时为层厚度,如式(2)。

$$t = \tau_s + \tau_d + \frac{X_{sd}}{v_1} \tag{1}$$

$$\tau_s = \frac{h_s}{v_0} \cos \alpha = \frac{h_s \sqrt{v_1^2 - v_0^2}}{v_0 v_1}$$
$$\tau_d = \frac{h_d}{v_0} \cos \alpha = \frac{h_d \sqrt{v_1^2 - v_0^2}}{v_0 v_1} \tag{2}$$

式中: $t$  为初至折射波旅行时间; $X_{sd}$  为炮检距离; $\tau_s$  为炮点延迟时间; $\tau_d$  为检波点延迟时间; $h_s$  为炮点风化层厚度; $h_d$  为检波点风化层厚度。

1.1.1 扩展广义互换算法(EGRM)

折射静校正的实现方法很多,目前二维地震资料处理中,最基础、应用范围较广的算法是扩展广义互换算法(Extend Generalized Reciprocal Method, 简称 EGRM)。EGRM 可以适应测线弯曲、站点间隔不等、炮点偏离等复杂情况。EGRM 的实现原理如图 2 所示。

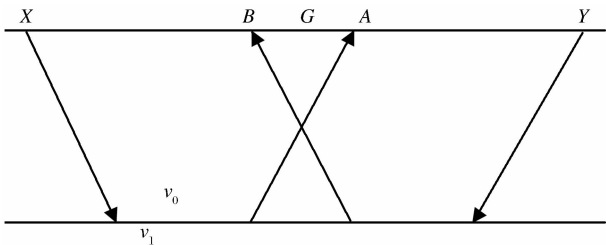


图 2 广义互换算法示意

图 2 中 X、Y 为 2 个激发点,A、B 为 2 个接收点,通过式(3) 计算位于 A、B 之间 G 点的延迟时间。

$$\tau_G = \frac{(t_{XA} + t_{YB} - t_{XY})}{2} - \frac{\overline{XA} + \overline{BY} - \overline{BA}}{2v_1} \tag{3}$$

根据微测井和小折射资料可以确定风化层速度  $V_0$ ,通过五点差值法计算高速层的速度  $V_1$ 。五点差值法采用上倾和下倾的两炮激发、采用 5 个接收点

的旅行时差进行拟合,从而求取高速层的速度,可以降低(但不能完全消除) 折射界面倾斜导致的高速层速度的求取误差(图 3)。通过延迟时  $\tau$  和  $V_0$ 、 $V_1$ , 可以计算出炮点、检波点风化层的厚度,从而计算出静校正量。

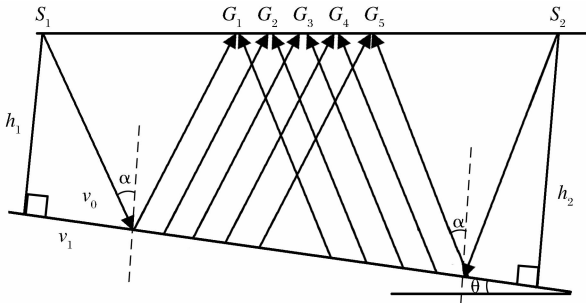


图 3 五点差值法估算折射层速度示意

1.1.2 折射静校正误差分析

从以上讨论可以看出,EGRM 折射静校正技术计算静校正的误差主要有:

(1) 风化层速度  $V_0$  的误差。首先讨论风化层速度的误差引起静校正量误差的定量分析。

风化层速度的误差引起静校正量的误差问题,王克斌<sup>[6]</sup>对这个问题有深入的分析。从折射静校正的基本原理可以看出,存在稳定折射层的假设条件下,计算折射静校正量需要提供风化层速度  $V_0$ ,它和真实的风化层速度是有误差的,它的误差可以引起静校正量的误差,静校正的误差与风化层的厚度(隐含在  $\tau_G$  中)、真实的风化层速度( $V_0$ )、风化层速度误差( $dV_0$ )、折射层的速度( $V_1$ ) 以及替换速度( $V_r$ ) 有关,见式(4)。

$$dt = \left[ \left( \frac{v_0}{v_r} - 1 \right) \left( \frac{1}{\cos \alpha_1} - \frac{1}{\cos \alpha} \right) + \frac{dv_0}{v_r \cos \alpha_1} \right] \tau_G \tag{4}$$

$$\alpha = \arcsin \frac{v_0}{v_1}; \alpha_1 = \arcsin \frac{v_0 + dv_0}{v_1}$$

下面讨论风化层速度的误差引起静校正量误差的定性分析。

式(5) 是根据延迟时计算静校正量的公式, $\Delta h$  是地表高程到基准面的厚度, $h_0$  是风化层的厚度。可以看出, $v_0$  越大静校正量越大, $v_0$  越小静校正量越小。因此,风化层速度偏小,地震反射同相轴上移,反之,地震反射同相轴下移。

$$t = \frac{h_0}{v_1} - \frac{h_0}{v_0} + \frac{\Delta h}{v_r} = -\tau \sqrt{\frac{1 - \frac{v_0}{v_1}}{1 + \frac{v_0}{v_1}}} + \frac{\Delta h}{v_r} \tag{5}$$

图 4 是川中某地区选取风化层速度为 1 000 m/s 和 2 000 m/s 的折射静校正叠加剖面,可以看出成像

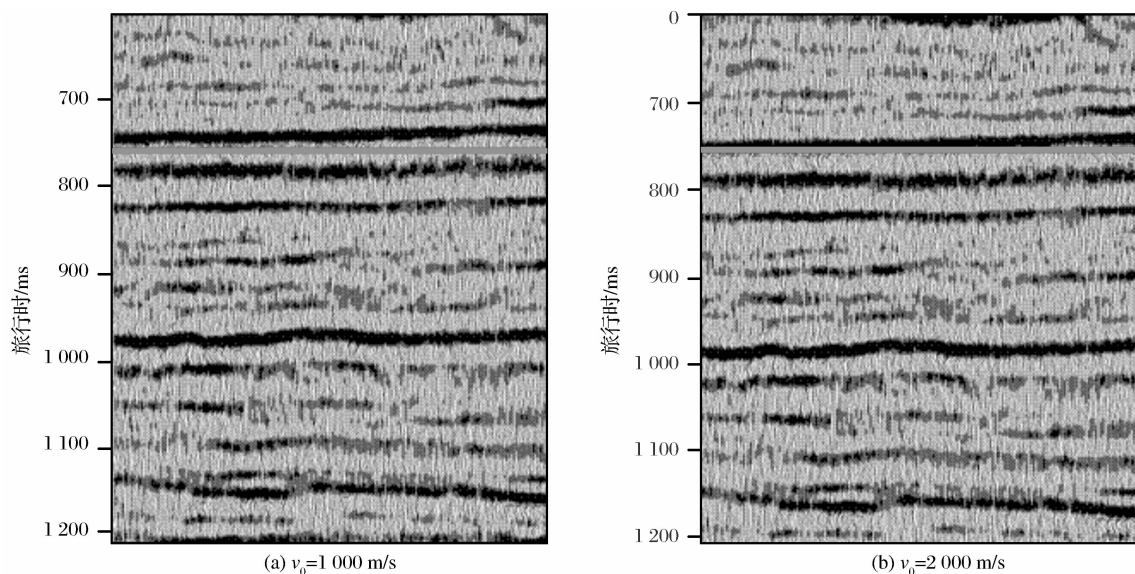


图 4 不同风化层速度折射静校正叠加

效果基本相当,但大的风化层速度引起同相轴下移,时差达到 10 ms。

(2)倾斜折射界面折射层速度误差。如图 3 所示,折射层的倾角为  $\theta$ ,临界角为  $\alpha$ ,沿着折射层的上倾方向  $S_1$ 、下倾方向  $S_2$  分别激发,5 个检波点接收。 $h_1$ 、 $h_2$  为对应激发点的法线深度。下倾激发、上倾接收时,折射波时距曲线方程为式(6),上倾激发、下倾接收时,时距曲线方程为式(7)。

$$t_{\text{上}} = \frac{2h_2}{v_0} \cos\theta + \frac{x \sin(\theta - \theta)}{v_0} \quad (6)$$

$$t_{\text{下}} = \frac{2h_1}{v_0} \cos\theta + \frac{x \sin(\theta + \theta)}{v_0} \quad (7)$$

可以看出:上倾接收时,视速度为  $\frac{v_0}{\sin(\theta - \theta)}$ ;下

倾接收时,视速度为  $\frac{v_0}{\sin(\theta + \theta)}$ 。5 点插值得到的拟合

速度为  $\frac{v_0}{\sin\theta \cos\theta} = \frac{v_1}{\cos\theta}$ ,实际上等于上倾视慢度和下

倾视慢度的平均值取倒数。可以看出不同速度之间的关系为  $v_{\text{上}} > v_{\text{下}} > v_1$ ,  $v_{\text{下}} < v_1 < v_{\text{上}}$ ,在角度不太大的时候(小于  $20^\circ$ ),五点差值的视速度比直接按照时距曲线斜率求取的视速度精度高。但是,由于折射界面倾斜,五点差值拟合的视速度比实际折射层的速度高,不是真正的折射层速度。从式(5)可以看出,角度越大,高速层视速度越大,静校正量越小,地震反射同相轴上移。当角度为零时,就是水平折射界面,视速度是真实的折射速度。

### 1.1.3 折射静校正的适用条件

折射静校正基于水平层状介质模型假设,在地表起伏不大、表层速度横向均匀性较好、存在明显的折

射面,并且折射面比较平缓的地区一般可以取得理想的效果,稳定性好,计算效率高。但是由于该方法使用了简单的模型假设,因此在地表起伏剧烈、高速层出露的地区,由于地表高差悬殊、速度倒转、风化层速度纵横向变化剧烈,折射静校正方法一般得不到理想效果。

如前所述,折射静校正方法需要指定风化层速度,而在复杂地区无法将其准确测定,风化层速度的误差会带来静校正的误差;另外,折射静校正由于算法的限制,反演的风化层厚度、高速层速度和经过改造的风化层速度(由于高速层顶界面的平滑,对输入的风化层速度进行适应性修正)一般和实际的表层模型相差较大,存在一定的长波长静校正问题。

## 1.2 层析静校正

在老地层出露的复杂山地,地表起伏剧烈,表层速度纵横向变化大,表层模型不符合层状假设,折射静校正效果不佳,而层析成像静校正利用了初至波的全部信息,包括直达波(均匀介质)、折射波(层状介质)、回折波(连续介质),不需分清初至波的类型,它对地表高程变化和地下速度分布无任何假设和限制,适应各种复杂的地表条件,符合低速带速度并非严格成层的实际情况,理论上可以可靠地反演近地表速度—深度模型,解决复杂山地的静校正问题<sup>[7]</sup>。

实际资料处理效果证明,层析静校正相对折射静校正,能够解决由低速带横向变化引起的长波长静校正问题。在折射静校正不能适应的复杂山地和高陡构造地区,层析静校正的静校正量更加准确,成像质量更高。

尽管层析反演法存在多解性和稳定性的问题,但

随着基于 Fermat 原理的多种射线追踪技术和波前追踪技术的提出和应用,弯曲射线层析成像成为解决复杂地区静校正问题的发展方向。

### 1.2.1 层析静校正方法原理

地震波的走时是对介质慢度函数沿射线路径的走时积分,数学表达式为:

$$t = \int_S^r \frac{1}{V(x,z)} dl = \int_S^r S(x,z) dl \quad (8)$$

式中: $S(x,z)$  为地下介质的慢度函数; $dl$  为射线路径的微分; $t$  为波从震源点  $S$  到接收点  $R$  的旅行时。射线路径与介质的慢度函数  $S(x,z)$  和波的类型有关<sup>[8]</sup>。式(8)离散后,可写成如式(9)代数方程组的矩阵形式:

$$\mathbf{T} = \mathbf{AS} \quad (9)$$

式中: $\mathbf{T}$  为所有激发点到接收点的走时矩阵; $\mathbf{S}$  为介质的慢度矩阵; $\mathbf{A}$  为与射线路径有关的距离矩阵。由于距离矩阵  $\mathbf{A}$  是慢度矩阵  $\mathbf{S}$  的非线性函数,确定了慢度就可以确定地震波的传播路径和传播距离,因此式(9) 是一个非线性方程的求解问题。

层析成像主要包括 3 个步骤<sup>[8]</sup>:正演、反演和迭代。已知慢度函数  $\mathbf{S}(x,z)$  (如初始速度模型),可以利用多种方法进行射线路径追踪和旅行时计算,求出给定类型波的走时矩阵和距离矩阵,这是层析成像的正演问题;利用正演求得射线路径  $\mathbf{A}$  和走时  $\mathbf{T}$ ,通过比较实际走时和正演走时,得到走时时差矩阵  $\Delta\mathbf{T}$ ,慢度矩阵  $\mathbf{S}$  的修正量为  $\Delta\mathbf{S}$ ,把非线性问题转换为一个线性方程式(10),已知  $\Delta\mathbf{T}$  和  $\mathbf{A}$ ,通过多种方法求取  $\Delta\mathbf{S}$ ,就是层析成像的反演问题;用  $\Delta\mathbf{S}$  对原  $\mathbf{S}$  进行修正,得到新的  $\mathbf{S}$ ,再利用正演求得新的  $\mathbf{A}$  和  $\Delta\mathbf{T}$ ,求得新的修正量  $\Delta\mathbf{S}$ ;不断迭代,直至  $\Delta\mathbf{T}$  达到一定精度要求为止,这就是层析法的迭代问题。根据慢度函数  $\mathbf{S}(x,z)$  (表层速度—厚度模型)可以求取炮点、检波点的静校正量。

$$\Delta\mathbf{T} = \mathbf{A}\Delta\mathbf{S} \quad (10)$$

层析成像静校正的处理流程如图 5。

### 1.2.2 层析成像算法

不同的正演和反演算法,形成初至波层析成像的不同方法。目前主要的射线追踪正演方法有:最短路径法;有限差分解方程方法;旅行时插值射线追踪方法等<sup>[9-11]</sup>。解大型稀疏矩阵方程  $\Delta\mathbf{T} = \mathbf{A}\Delta\mathbf{S}$  的反演方法有:SIRT(联合迭代重建算法, Simultaneous Iterative Reconstruction Techniques);LSQR(最小平方 QR 迭代分解算法);DLSQR(带阻尼的最小平方 QR 迭代分解算法);CG 法(共轭梯度法, Conjugate Gradient)等。本文正演采用最短路径法射线追踪,反演采

用 SIRT 算法。

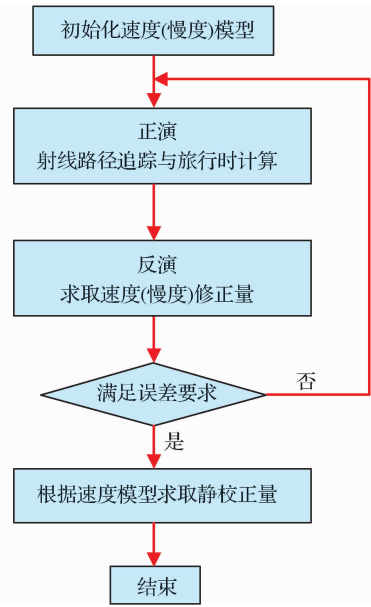


图 5 层析成像静校正处理流程

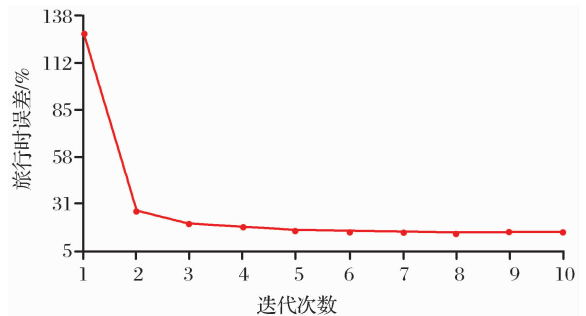


图 6 层析反演迭代次数和旅行时误差关系

最短路径法射线追踪包括模型单元的网格化和射线路径追踪 2 个主要环节。联合迭代重建算法(SIRT)是通过迭代来求解方程式(10),它考虑了穿过同一单元的多条射线的平均效应,在某次迭代中,第  $j$  个基本单元的慢度修正量为:

$$\Delta S_j = \sum_{i=1}^n (a_{ij} \Delta S_{ij}) / \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (11)$$

式中: $j$  为第  $j$  个模型网格单元; $i$  为单元  $j$  的第  $i$  条射线; $n$  为单元  $j$  的射线总数; $a_{ij}$  为单元  $j$  的第  $i$  条射线长度; $\Delta S_{ij}$  为单元  $j$  的第  $i$  条射线慢度修正量。

从数学上考虑,SIRT 算法使方程的残差量随着迭代次数的增加呈递减趋势(图 7);从效果上来看,SIRT 算法利用单元网格中所有射线的平均慢度修正量,可以消除某些干扰和随机测量误差,反演结果比较稳定可靠。但是 SIRT 算法要求地下网格单元要有足够的射线密度,当射线密度较低时,反演的结果不稳定;和别的层析静校正算法一样,SIRT



算法对初至波的质量依赖程度高,对旅行时的变化比较敏感。

### 1.2.3 层析静校正存在的问题

层析静校正尽管在理论上比较完美,可以解决复杂近地表的静校正问题,并且具有较高的灵活性,但是,层析静校正也存在一些缺陷:求解大型稀疏矩阵存在多解性和稳定性问题;在每次迭代时对速度模型进行平滑,带来短波长静校正问题;高速层的界面确定有一定的难度;对初始模型具有一定的依赖性,对初至拾取质量更加敏感;在地表相对简单的地区,精度反而降低。

### 1.3 初至波的多域统计剩余静校正

剩余静校正可以消除一次静校正中没有完全解决的部分残余静校正量。

初至波的多域统计剩余静校正是基于地震数据应用比较准确的一次静校正量后,来自同一折射层的共炮点域、共检波点域、共中心点域和共偏移距域的初至折射波的时距曲线比较平滑,不平滑意味着存在剩余静校正量。

多域统计剩余静校正方法的实现过程为:首先在共偏移距道集上计算各地震道与某种拟合曲线的时间差,然后分别在炮点、接收点、共中心点、共偏移距进行高斯—赛德尔多域迭代分解,统计出具有地表一致性特点的炮点、检波点剩余静校正量。利用多域统计剩余静校正方法可以求出大于  $1/2$  周期的剩余校正量,因此,可有效地解决由测量和表层速度误差产生的大剩余校正量问题。

使用这种剩余静校正量时要特别注意,由于拟合参数选择不合理,计算出的校正量中含有明显的长波长成分,应该将其滤除。而后续的反射波剩余静校正可以解决小于  $1/2$  周期的剩余静校正量。

### 1.4 综合静校正技术

从以上分析可知,目前的静校正技术都有其适用条件,并且存在一定的误差,实际资料处理时,单一的静校正技术很难解决整个研究区整条测线的静校正问题。而综合静校正技术可以扬长避短、优势互补,根据地表地质地震条件,最大限度利用多种静校正技术解决复杂地区的静校正问题。

折射静校正需要提供风化层速度,可以从野外微测井、小折射、井口时间等资料中估算出近地表的风化层平均速度。也可以从层析静校正反演的速度模型计算风化层的平均速度,进行层析和折射的联合处理。

层析反演对初始速度模型依赖程度高,可以利

用野外低测资料,进行浅层速度模型的有效约束;层析静校正高速层的界面确定有一定的难度,可以根据折射方法求取的折射界面来确定高速层界面。

不同的静校正方法基于不同的假设和不同的算法,得到的近地表模型差异较大,静校正存在较大的闭合差。折射静校正基于简单层状模型假设,加上风化层速度的误差,模型不可靠。而层析反演可以适应速度反转、纵向、横向速度变化剧烈的情况,一般可以得到更加可靠的近地表模型。而应用综合静校正技术时,首先对不同方法的静校正进行高频、低频分离,然后拼接高频分量,低频一般采用层析静校正的低频分量。

## 2 处理效果

在川东高陡构造地区,由于地表复杂多变,单独应用某一种静校正技术都不能很好地解决该区的静校正问题。在实际资料处理中,根据地表地质条件,分析折射静校正和层析静校正适用条件,结合初至和叠加剖面的质量,充分发挥 2 种静校正的优势,进行综合静校正;在解决好一次静校正的基础上,进行折射波的剩余静校正和反射波的地表一致性剩余静校正。以上静校正处理方法,在川东九峰寺地区的宽线处理中取得明显的应用效果。

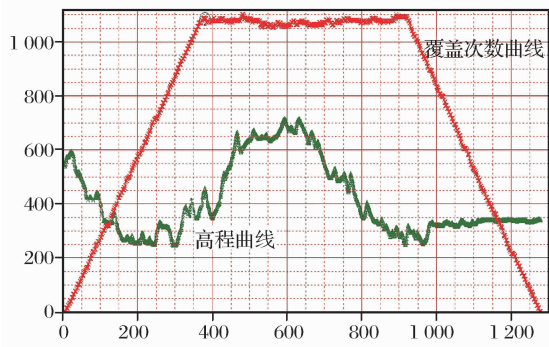


图 7 九峰寺宽线高程曲线和覆盖次数曲线

首先对研究区的 86 口微测井数据进行整理和优选,挑选高质量的微测井进行折射静校正和层析静校正的约束。微测井解释数据一般有 2~4 层,把高速层上的几个小层合并成一层,求取平均速度,作为微测井点附近折射静校正的风化层速度,反演近地表速度—深度模型,求取折射静校正量。折射静校正的速度模型可以控制层析静校正初始速度模型的建立和高速层顶界面的确定。另外,微测井解释数据可以直接控制层析静校正初始模型的建立,需要注意的是研究区微测井资料深度在 20~30 m 之间,而层析反演要求速度模型有一定的深度,满足模

型的底界没有射线穿过的要求。研究区初始模型深度在 200 m 以上,微测井资料可以用来控制浅层速度模型建立,弥补近偏移据初至质量不高的影响。

图 7 是九峰寺地区宽线地表高程曲线(绿)和 CMP 覆盖次数曲线(红),左段高部位是由于检波点安置在华蓥山上,中间高部位是九峰寺地面构造,是

攻关处理的目标区域,右段比较平缓。图 8 是层析静校正的初始速度模型(上)、经过 12 次迭代以后的速度模型(中)和地下网格射线密度(下)。图 9 是折射静校正叠加剖面,图 10 是层析静校正叠加剖面。对比可以看出,构造主体部位层析静校正效果最好,但剖面的左段由于层析静校正地下网格射线密度低,

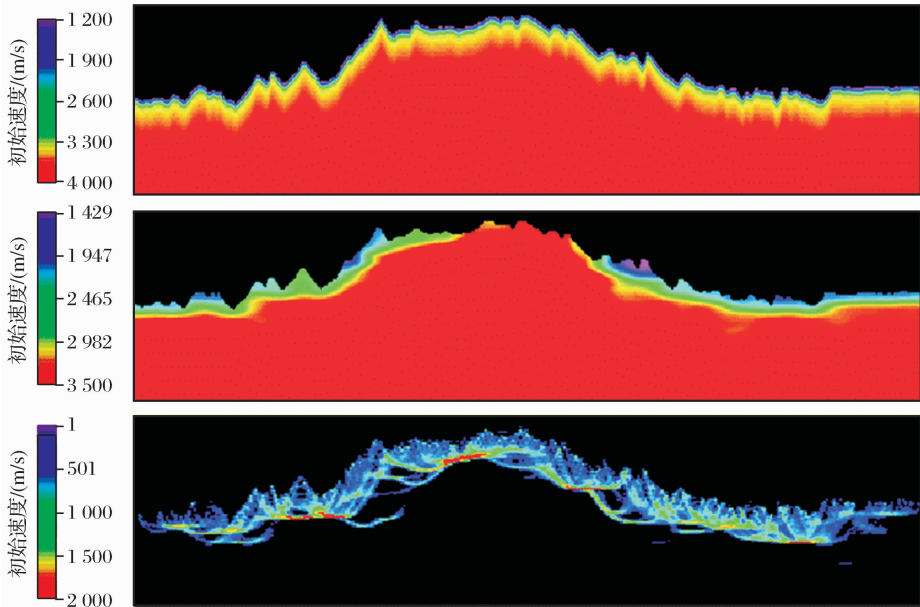


图 8 层析静校正初始速度模型、12 次迭代后速度模型和地下射线网格密度

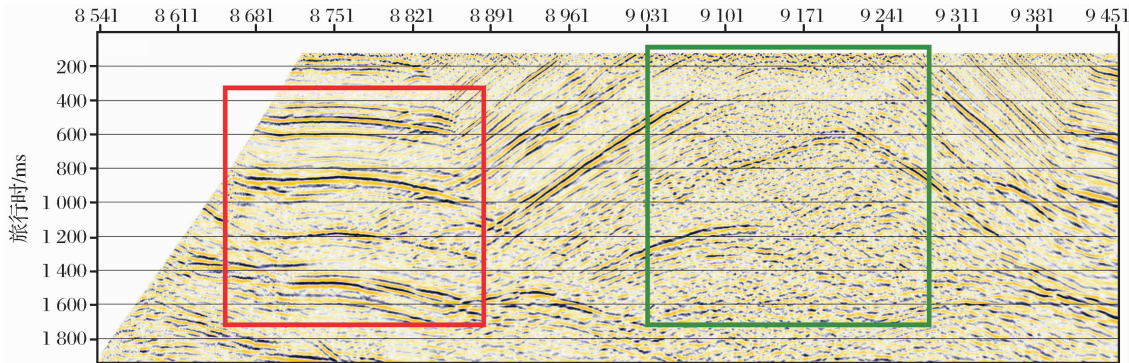


图 9 九峰寺宽线微测井约束的折射静校正叠加剖面

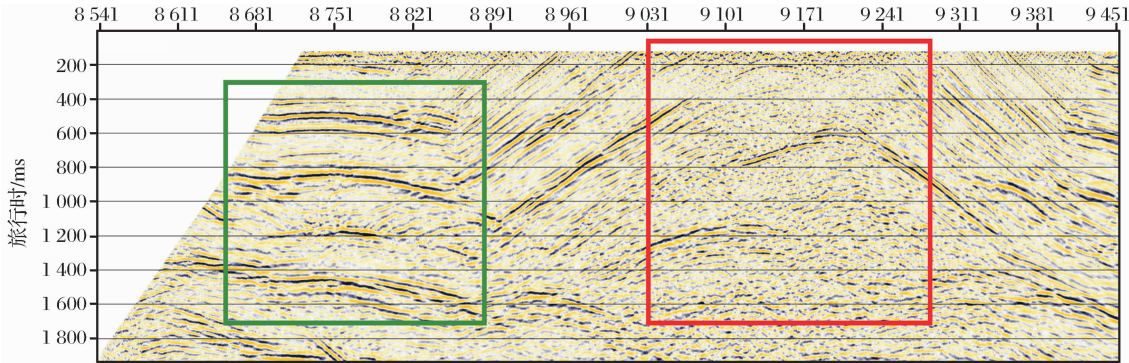


图 10 九峰寺宽线微测井约束的层析静校正叠加剖面



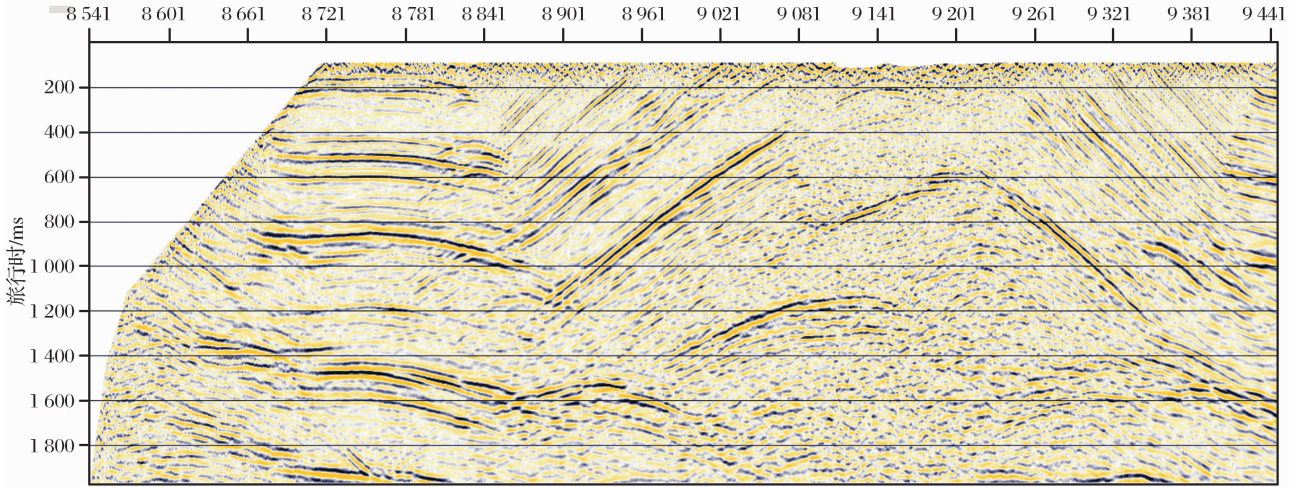


图 11 组合静校正叠加剖面

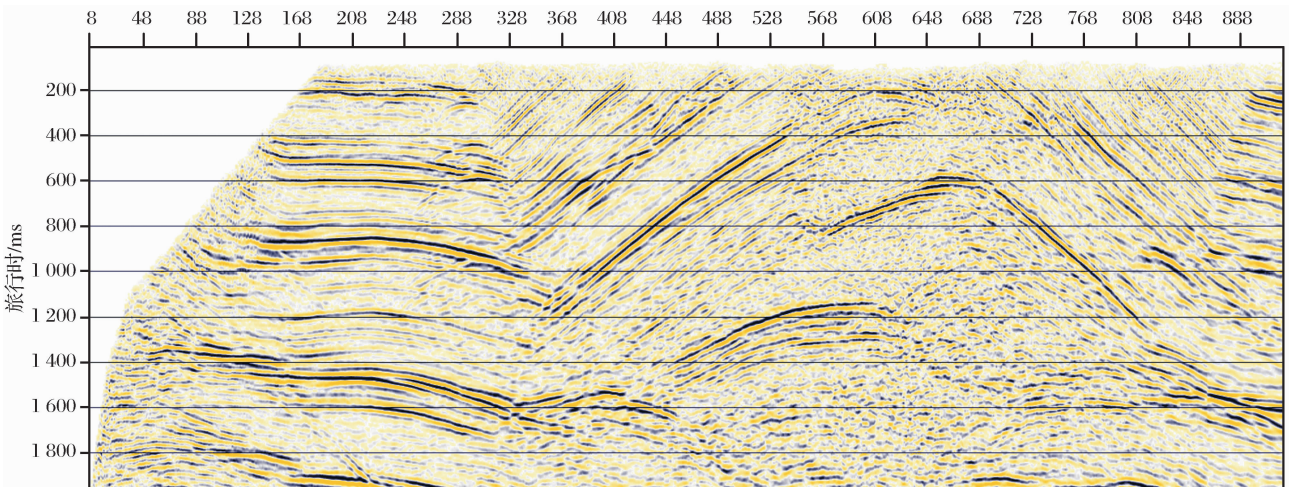


图 12 剩余静校正后叠加剖面

不满足 SIRT 反演算法的要求,效果不如折射静校正;地表平缓部位地表模型比较简单,折射界面稳定,折射静校正效果好。最终根据叠加剖面质量,首先把不同静校正的高频分量拼接,然后采用层析静校正的低频分量实现组合静校正(图 11)。解决了一次静校正后,用折射波多域剩余静校正和反射波剩余静校正消除残余静校正,叠加剖面同相轴连续性增强、信噪比提高,地震资料品质明显提高(图 12)。

3 结论

在表层速度模型符合层状假设、有稳定的折射层的地区,折射静校正效率高并且可以取得理想的效果;在地表起伏剧烈、表层岩性纵横向变化大、老地层出露的地区,层析静校正可以取得理想的效果。

折射静校正由于风化层速度  $V_0$  不准确,会产

生静校正误差,当风化层速度误差较大时,会带来长波长静校正量问题;折射静校正风化层速度不准确,除了会产生静校正误差外,更主要的是它反演的速度模型和实际的模型差别较大;层析静校正从理论上可以可靠地反演近地表速度—深度模型,是解决复杂地区静校正问题的发展方向,但目前受到正演、反演算法的限制,对旅行时的误差比较敏感,反演结果不稳定,容易产生短波长静校正,但长波长静校正比较可靠。

在实际资料处理中,由于地表情况复杂多样,表层岩性复杂多变,某一种静校正方法很难完全解决静校正问题,需要进行组合静校正。为了消除不同静校正之间的系统时差,只组合高频成分,低频一般采用层析静校正的低频。在川东高陡构造地区,应用组合静校正方法,取得明显的效果。

## 参考文献:

- [1] Lin Boxiang. Tomography for LVZ velocity inversion and statics[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2002, 41(2):136-140. [林伯香. 层析成像低速带速度反演和静校正方法[J]. *石油物探*, 2002, 41(2):136-140. ]
- [2] He Guangming, He Zhenhua. The application of nonlinear tomography statics in Chuanxi data processing[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2006, 45(1):88-92. [何光明, 贺振华. 非线性层析静校正应用在川西地区资料处理中的应用[J]. *石油物探*, 2006, 45(1):88-92. ]
- [3] Zhang J, Toksoz M N. Nonlinear refraction traveltime tomography[J]. *Geophysics*, 1998, 63(5):1726-1737.
- [4] Zhang Jie, Mackie R L, Madden T R. 3-D resistivity forward modelling and inversion using conjugate gradients[J]. *Geophysics*, 1995, 60(5):1313-1325.
- [5] Lin Boxiang. Static correction approaches being frequently applied[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2006, 45(4):367-372. [林伯香. 几种常用静校正方法的讨论[J]. *石油物探*, 2006, 45(4):367-372. ]
- [6] Wang Kebin. Solving the mis-tie problem in MX area via extended generalized reciprocal method (EGRM) refraction statics[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2001, 40(2):126-130. [王克斌. 利用扩展广义互换折射波静校正方法解决 MX 地区资料的野外静校正闭合差[J]. *石油物探*, 2001, 40(2):126-130. ]
- [7] Li Luming. Tomographic inversion of first break in surface model[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2000, 35(5):559-564. [李录明. 初至波表层模型层析反演[J]. *石油地球物理勘探*, 2000, 35(5):559-564. ]
- [8] Belfer I, Landa E. Shallow velocity-depth model imaging by refraction tomography[J]. *Geophysical Prospecting*, 1996, 44:859-870.
- [9] Wang Hongqi. Application of tomographic inversion static correction in complex areas of western China[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(2):258-262. [王红旗. 层析反演静校正应用在西部复杂地区的应用[J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(2):258-262. ]
- [10] Chen Shijun. The application of seismic first arrival ray tracing tomography static in the complicated near surface area[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2006, 45(1):34-39. [陈世军. 初至波射线层析成像在复杂区静校正中的应用[J]. *石油物探*, 2006, 45(1):34-39. ]
- [11] Wang Xiao, He Zhenhua. Technology of static correction for multi-information constrained tomographic inversion and its application[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(2):316-320. [王孝, 贺振华. 多信息约束层析反演静校正技术及其应用[J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(2):316-320. ]

## Comprehensive Static Correction and Its Application for High-Steep Structure in East Sichuan Basin

HU Zi-duo<sup>1,2</sup>, HE Zhen-hua<sup>1</sup>, WANG Yu-chao<sup>2</sup>, SHAO Xi-chun<sup>2</sup>, WANG Shu-jiang<sup>2</sup>, LIU Qiu-liang<sup>2</sup>

(1. *Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China*;

2. *Northwest Branch, Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Lanzhou 730020, China*)

**Abstract:** Different methods of static correction are based on different assumed model and applicable to different LVL geological survey. Seismic data processing has proved that tomographic static correction constrained by minilog data was only fitted to the ancient formation exposed surface, and refraction static correction based on EGRM was in flat area. The comprehensive static correction combined tomographic inversion and refraction is once to resolve static correction, then the residual static correction and reflection residual static correction by multi-domain decomposition is used. In this paper, we discussed the principle, assumed model and deviation of refraction and tomographic static correction and refraction residual static correction. In the seismic data processing, we used the high-density minilog data for high-steep structure to gain average velocity of weathered layer in refraction static correction, then the initial velocity model for tomography is constrained by velocity model obtained from refraction and minilog data. We used the direct wave and refraction and turning wave to do the first arrival time ray path tracing, travel time computation and solution of large sparse matrix equation. Although several methods in tomographic correction forward and inversion existed, the method of shortest path ray tracing forward and SIRT inversion was used in this paper.

**Key words:** High-steep structure; Refraction static correction; Tomographic static correction; Multi-domain; Ray path tracing; SIRT computation.