

地震勘探高精度折射静校正新方法

杨 凯¹⁾ 张建中²⁾

(1)同济大学 ,上海 200092 ; 2)厦门大学 ,福建 厦门 361005)

摘 要 静校正是地震资料处理中的一项非常重要的基础性工作 ,静校正解欠佳 ,不仅影响地震资料后续各阶段的处理质量 ,也会导致欠优化或完全错误的解释结果。利用折射初至计算静校正量是一条有效的途径。本文提出一种折射初至波静校正的新方法 ,既能求出低频静校量 ,又能获得高频静校量。首先 ,在 CMP 道集内 ,根据折射旅行时方程求出 CMP 点低频延迟时间和折射层速度 ,获得各个炮点和接收点处的低频延迟时间 ,并把这些低频延迟时间换算成基准面长波长静校正量 ;然后 ,从初至旅行时中减取相应的低频延迟时间和折射滑行时间 ,获得高频剩余折射旅行时 ,再把剩余旅行时分解成各炮点和接收点的短波长静校正量。该方法被应用于沙漠地区的地震资料处理中 ,取得了良好静校正效果。

关键词 折射初至 静校正 CMP 域

A New High-Precision Refraction Static Correction Method for Seismic Exploration

YANG Kai¹⁾ ZHANG Jianzhong²⁾

(1) Tongji University , Shanghai , 200092 ; 2) Xiamen University , Xiamen , Fujian , 361005)

Abstract Static correction is essential and important in seismic data processing. It can affect the integrity , quality and resolution of the imaged section considerably. Errors in the static corrections lead to a less-than-optimum , even to false interpretation of the seismic data set. The application of refraction arrivals to the computed static value is commonly an effective way. In this study , a new static method with refraction arrivals is developed , with which both short wavelength static values and long wavelength can be obtained simultaneously. Firstly , According to CMP refraction time-distance equation , the delay time in low frequency and the refractor velocity at each CMP position are estimated by least mean-squares fitting of a straight line equation for the corresponding CMP traveltime curve. The delay time at each source or receiver position is determined by interpolation using the time at the CMP positions , and is converted to long wavelength static value on base-level. Secondly , the delay time at source and receiver positions and the traveltime along the corresponding refractor between them are removed from original first arrival times , and the residual times with high frequency disturbance are obtained. Then these residual times are decomposed into the short wavelength static correction values at each source and receiver position. The method was applied to the seismic data , with good static results obtained.

Key words refraction arrivals static correction CMP gathering

静校正问题是世界上公认的陆上复杂近地表地区地震勘探的难点 ,一直受到人们的关注。利用反射记录上的初至波解决静校正问题是一条常用也比较有效的途径。初至静校正方法总体上可归纳为两大类 :一类称为初至反演静校正。这是先由初至波反演出近地表低速层的厚度和速度或延时 ,再根据近地表一致性原理计算出各个炮点和检波点处的静校正量的方法 ,这类方法能估算近地表层厚度和

速度的区域性变化 ,适合于求取低频静校正量。但是 ,这类方法通常计算静校正量的精度不高 ,有时不能使反射波同相轴很好的聚焦。另一类本文称之为剩余初至静校正。这类方法不需要确定近地表层的厚度和速度 ,而是直接对初至时间进行变换处理 ,求取炮点和接收点的静校正值 ,这类方法计算速度快、精度高 ,能较好地计算高频静校正量 ,但常常不能解决低频静校正问题。目前这类方法只适于有稳定折

射层的地区,在复杂山地的应用还有待于研究。总之,这两类静校正方法各有优缺点,互为补充。实际应用时,如果把它们有机地结合起来,将会取得较好的效果(钟本善等,1999)。为解决复杂地表与复杂构造地区的静校正问题,初至波层析方法成为近几年的研究热点,但层析反演常常依赖于初始模型,反演过程有时不稳定,且效率低。那么,在折射初至清楚和易于识别的地区,或者在有稳定折射层的地区,发展成本低、精度高的折射初至静校正方法仍不失为较好的选择。本文针对有稳定折射层的地区,提出一种独特的折射初至波静校正新方法,既能求出低频静校量又能获得高频静校量。

1 方法原理

陆地表面一般都覆盖着一层松散低速层。低速层厚度和速度的不规则变化,导致不同程度和不同频率的反射波时间延迟。其中,浅部地层结构的变化通常主要引起高频静校量变化,深部地层结构的变化通常只能引起低频静校量变化,即使深部有地层结构的高频变化,但按照波传播的 FRESNEL 带特征(Taner等,1998),它也不可能在地表产生高频静校量变化。高频静校正量变化一般与折射层无关。图1所示是近地表层折射模型。从炮点s到接收点r的折射波旅行时可表示为

$$t_1(s, r) = t_1(s) + t_1(r) + \int_s^r \frac{\cos\theta}{v_1(x)} dx t_s(s) t_s(r) \tag{1}$$

其中, $t_1(s, r)$ 是炮点s激发接收点r接收的折射初至时间; $t_1(s)$ 是炮点s的低频时间延时; $t_1(r)$ 是接收点r的低频延时; $t_s(s)$ 是炮点s的高频延时; $t_s(r)$ 是接收点r的高频延时; $v_1(x)$ 是下伏折射层速度; θ 是折射层顶面倾角。

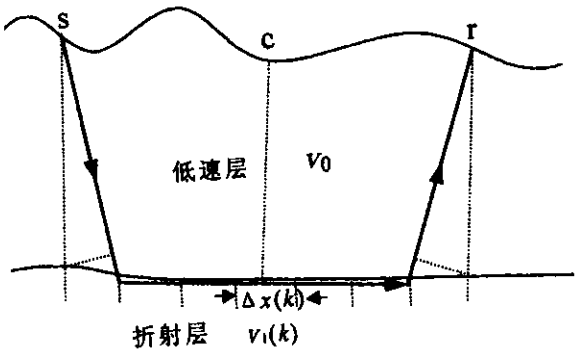


图1 近地表折射模型示意图

Fig.1 Sketch of near-surface refraction model

1.1 低频静校正量的计算

假设在一个 CMP 道集内, v_1 近似为常数, 折射面为光滑斜面, 如图2所示, 上式可表示成

$$t_1(s, r) = t_1(s) + t_1(r) + \frac{\cos\theta}{v_1} x + t_s(s) + t_s(r) \tag{2}$$

其中, x 为炮点s与接收点r之间的水平距离(偏移距)。该式表示 $t_1(s, r)$ 是 x 的线性函数。由于折射层主要与低频延时有关, 所以在一个 CMP 道集内, 低频分量基本满足直线方程, 而高频分量相对随机地偏离该直线方程。对一个 N 次覆盖 CMP 道集的走时用最小二乘拟合可求出该直线方程, 设其截距时间为 τ , 斜率为 p , 则

$$t_1(c) = (1/2N) \sum_{k=1}^N [t_1(s_k) + t_1(r_k)] = \tau \tag{3}$$

$$v_1(c) = \cos\theta/p \approx 1/p \tag{4}$$

其中, $t_1(c)$ 、 $v_1(c)$ 分别为共中心点c处的低频时延和折射层速度。沿测线求出所有共中心点处的 $t_1(c)$ 和 $v_1(c)$ 后, 便能得到该测线上各炮点和检波点的低频时延 $t_1(s)$ 和 $t_1(r)$ 及折射层速度 $v_1(s)$ 和 $v_1(r)$ 。若设炮点和检波点的地面高程分别为 $h_1(s)$ 和 $h_1(r)$, 低速层速度分别为 $v_0(s)$ 和 $v_0(r)$, 基准面高程为 h_2 , 则炮点s和检波点r的低频静校正量可由下式求得

$$T_1(s) = \frac{t_1(s)}{2} \sqrt{\frac{v_1(s) - v_0(s)}{v_1(s) + v_0(s)}} + \frac{h_1(s) - h_2}{v_1(s)} \tag{5}$$

$$T_1(r) = \frac{t_1(r)}{2} \sqrt{\frac{v_1(r) - v_0(r)}{v_1(r) + v_0(r)}} + \frac{h_1(r) - h_2}{v_1(r)} \tag{6}$$

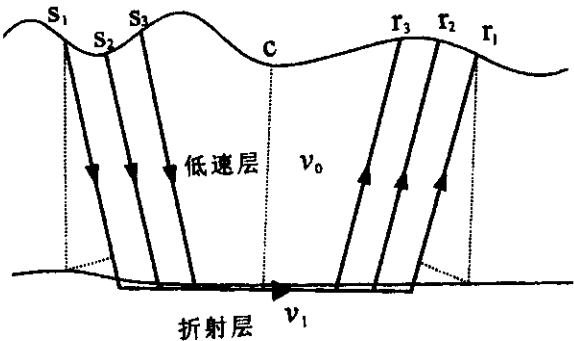


图2 近地表 CMP 折射模型示意图

Fig.2 Sketch of CMP refraction model

1.2 高频静校正量的求取和总静校正量的计算

如图 1 所示,把(1)式中的积分路径离散化,整理得

$$t_{\text{g}}(s) + t_{\text{g}}(r) = t_{\text{f}}(s, r) - t_{\text{f}}(s) - t_{\text{f}}(r) - \sum_k \Delta x(k) / v_1(k) = t_{\text{g}}(s, r) \quad (7)$$

式中, $t_{\text{g}}(s, r)$ 为以上各项校正后的剩余折射初至旅行时,它包含有高频静校量以及低频校正量的剩余值,各量均表现为高频特征。利用上式可构成一大型稀疏线性方程组,未知量为 $t_{\text{g}}(s)$ 和 $t_{\text{g}}(r)$,是所要求的炮点和检波点的高频静校量。采用快速的同步迭代重建技术(SIRT)求解,取得较好效果。

炮点和检波点的总静校量分别为上面求出的各自的低频和高频静校量之和。

2 合成资料举例

图 3 是地形起伏、折射面水平的近地表模型的例子。上覆低速层的速度为 500 m/s,下伏折射层的速度为 2 000 m/s。观测系统为:100 炮,每炮 40 道,炮距 100 m,道距 50 m,最小偏移距 50 m,一个排列长度 2 000 m。地形由宽缓的正弦状背景起伏

与一系列波长很短的正弦状次级起伏迭加而成。背景起伏幅度 40 m,宽约 5 000 m,比一个排列长度大得多;次级起伏幅度 20 m,宽度 500 m,比一个排列长度小得多。图 3-a 是该模型的初至曲线,可以看出,背景起伏和次级起伏引起的初至畸变很明显,各排列的起始时间与地形(包括背景起伏和次级起伏)呈正相关,而单个排列初至曲线的形状与地形的次级起伏呈正相关。用本节的折射波静校正方法计算出了低频、高频和总的静校量,如图 3-d 和图 3-e 所示。图 3-d 表示炮点静校量,图 3-e 表示接收点静校量。炮点和接收点的静校量分布一致,低频静校量与地形的背景起伏一致,高频静校量与地形的次级起伏一致,计算的总的静校量与理论静校量吻合。图 3-b 是静校正后的初至曲线,可以看出,低速层的影响完全被消除了。

图 4 和图 5 是地形水平折射面起伏模型的静校正例子。介质速度和观测系统与上面的例子相同。折射面与上例的地形一样,也是由一个正弦状宽缓背景起伏和一系列次级起伏迭加而成。两个模型的背景起伏相同,幅度 40 m,宽度 5 000 m,次级起伏

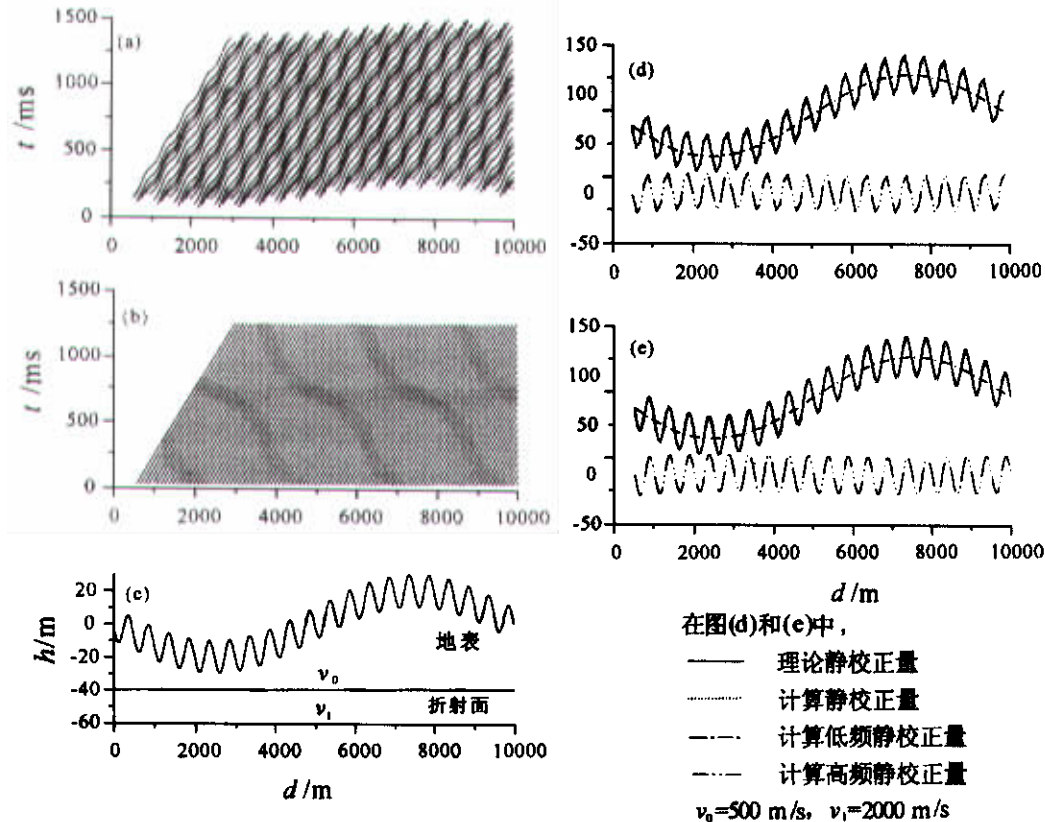


图 3 起伏地形水平折射面模型折射静校正试验结果

Fig. 3 Statics trial results for model with flat refractor and undulate topography

万方数据 静校正前折射初至 a、静校正后折射初至 b、近地表层模型 c、炮点静校量 d、接收点静校量 e

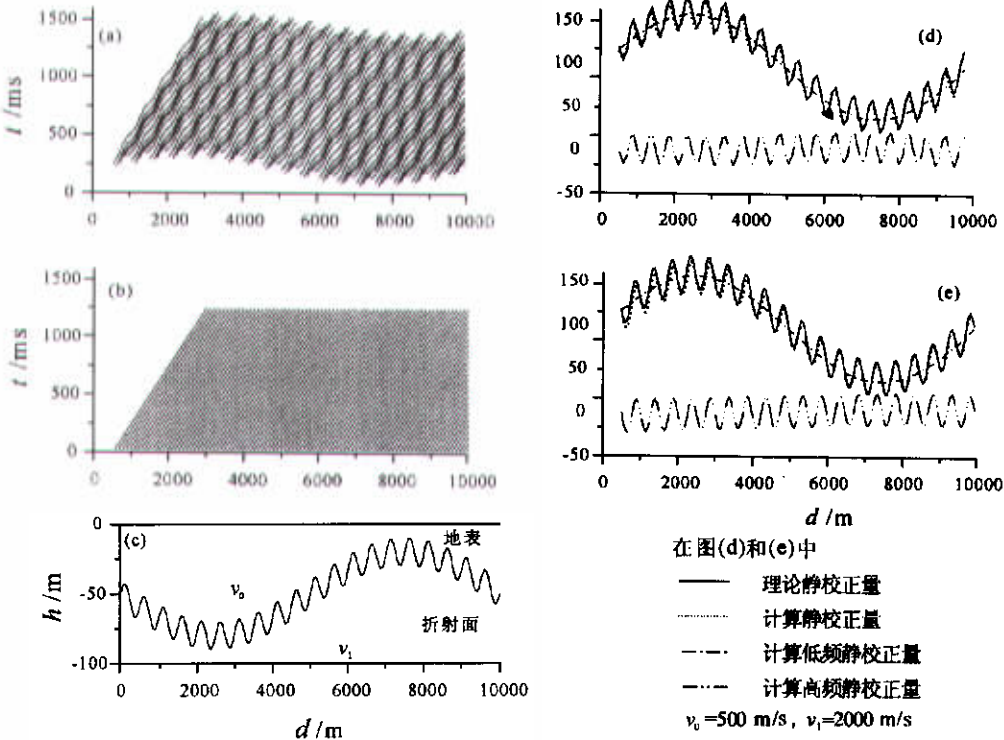


图 4 水平地形起伏折射面模型折射静校正试验结果(I)

Fig.4 High frequency statics results for the model with undulate refractor and flat topography

a-静校正前折射初至 b-静校正后折射初至 c-近地表层模型 d-炮点静校正 e-接收点静校正

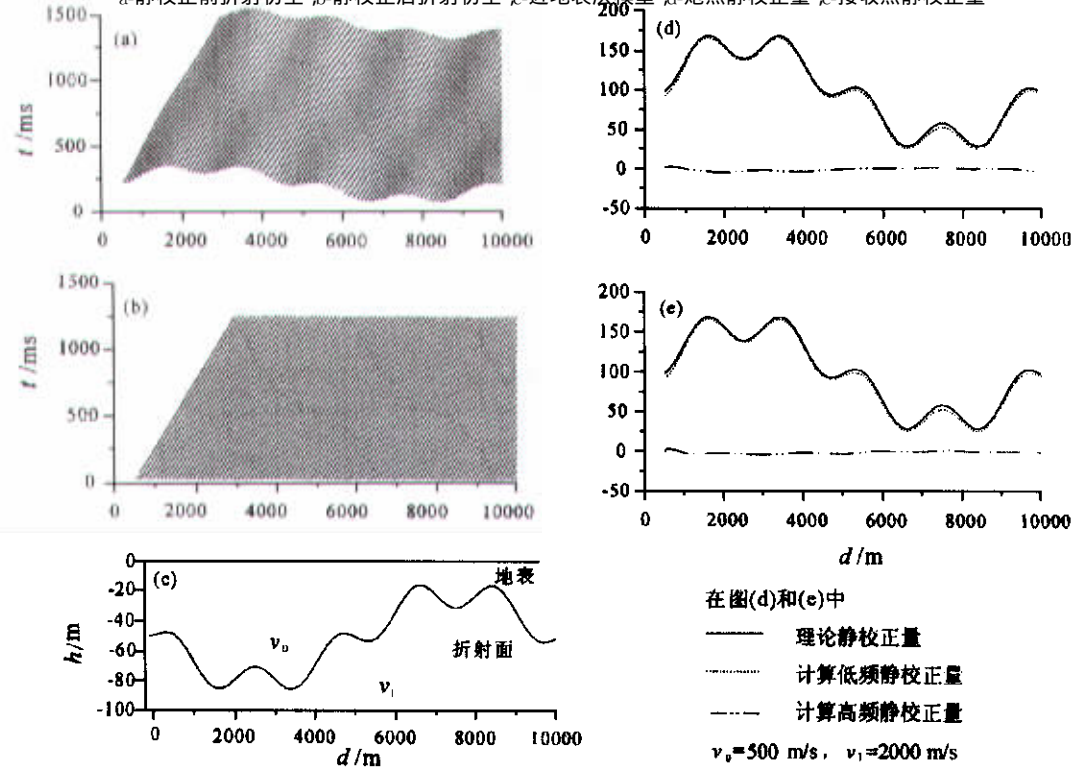


图 5 水平地形起伏折射面模型折射静校正试验结果(II)

Fig.5 Low frequency statics results for model with undulate refractor and flat topography

a-静校正前折射初至 b-静校正后折射初至 c-近地表层模型 d-炮点静校正 e-接收点静校正

的幅度相同,为 20 m,而宽度不同。图 4 中的次级起伏宽度 500 m 数据小于一个排列长度,而图 5 中的次

级起伏宽度 2 000 m,与一个排列长度相当。初至曲线的畸变起伏与折射面成负相关。图 4-d 和 4-e

的炮点和接收点静校正量的低频分量与折射面的背景起伏呈镜像一致,高频分量与折射面次级起伏为镜像一致。而在图 5(d)和(e)中的静校正量,低频分量与由背景起伏和次级起伏迭加而成的折射界面形状为镜像一致,而高频分量几乎接近于零。这是由于折射面次级起伏宽度与一个排列长度相当,使得次级起伏只影响低频静校正量的结果。虽然两个

模型的低频和低频静校正分量不同,静校正后都能很好地消除掉低速层引起的折射初至畸变,如图 4(b)和图 5(b)所示。

图 6-a 是塔中某地震测线野外静校正初叠剖面,存在着明显的低频和高频静校正问题。图 6-b 是用本文折射初至波静校正新方法进行静校后的初叠剖面,显示了该静校正方法能同时解决低频和高

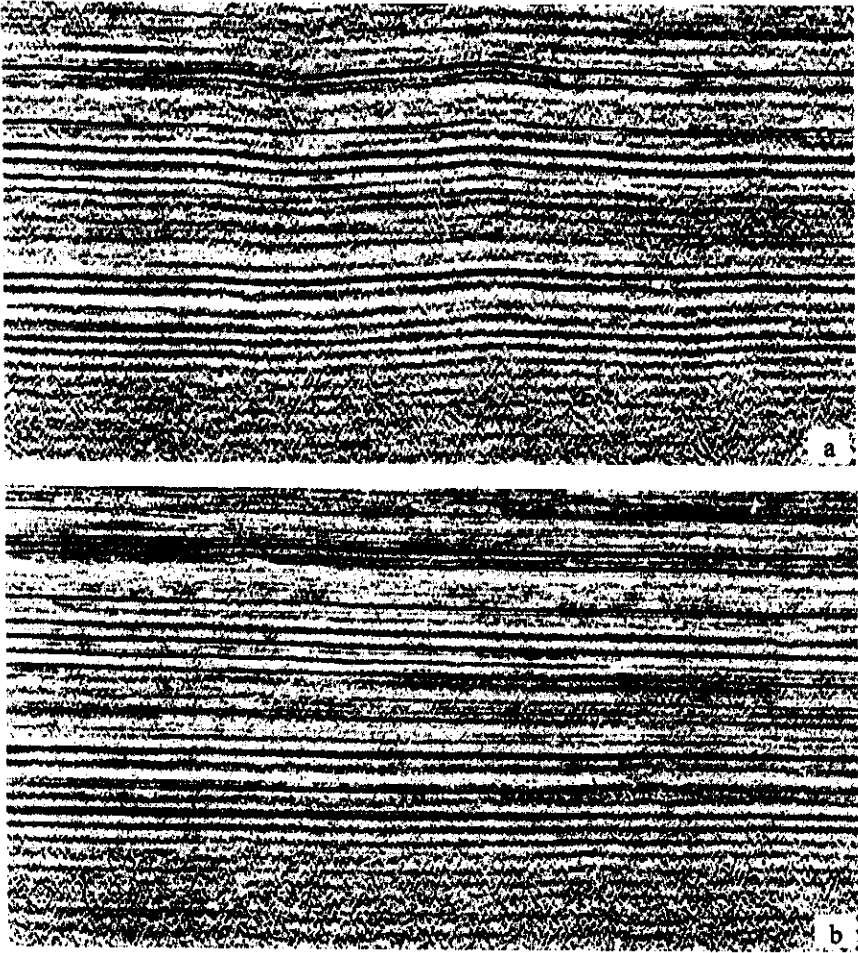


图 6 塔中某测线初叠剖面
Fig. 6 A stack profile in the middle area of Tarim
a-野外静校正 b-本文折射静校正

频静校正问题的良好效果。

3 结论

本文针对有稳定折射层的地区,提出了一种新的折射静校正方法。该方法不需要反演近地表模型,而是直接由折射初至时间计算出静校正量。与同类方法相比,不仅能很好地求出高频静校正分量,更重要的是能求出低频静校正分量。对合成资料和

实际资料的处理结果表明,本文方法计算过程稳定、速度快、精度高。

参 考 文 献

钟本善,周熙襄.1999.中国西部地区地震勘探的静校正问题.物探化探计算技术,21(4):358~366.
Taner M T,Wagner D E,Baysal E,Lu L.1998.A unified method for 2-D and 3-D refraction statics. Geophysics,63(1):260~274.