

文章编号: 1986(2007)02-0073-03

地震波场叠前零偏移距化算法研究

孙渊¹, 陈树凯², 梁丽敏²

(1. 长安大学地测学院, 陕西 西安 710054;
2. 中石油辽河油田分公司勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010)

摘要: 在能源地震勘探中, 为了更好地实现叠前倾斜地层的时差校正, 提高速度分析和叠加的精度, 提出了一种快速实现叠前部分偏移的算法, 即零偏移距化(MZO)算法。该算法应用波场外推的技术及波动方程偏移的有限差分算法, 可在共偏移道集上实现, 对于3D资料须应用同方位角共偏移距道集。经实际资料测试, 其计算速度比同类的DMO方法快一倍, 且处理效果相当。

关键词: MZO; DMO; 波场外推; 有限差分; 倾斜地层

中图分类号: P631.443 **文献标识码:** A

Research on seismic wave field pre-stack migration to zero offset (MZO) algorithm

SUN Yuan¹, CHEN Shukai², LIANG Limin²

(1. College of Geology Engineering and Geometrics, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Liaohe Oilfield Company, Panjin 124010, China)

Abstract: In energy resource seismic prospecting, to best realize time difference correction of pre-stack tilted stratum, advance velocity analysis and overlay precision, present a sort of celerity realize pre-stack partial migration algorithm, called migration to zero offset (MZO) algorithm. The algorithm uses the technology of wave field extrapolation and the wave equation migration by finite difference approach, which can be used in common offset gathers, for 3D material requires common offset gathers with the same azimuth angle. By real data tests, considering adopting the clearly fast algorithm, the speed of calculation is two times faster than the allied NMO means, and even get the quite effects.

Key word: MZO (migration to zero offset); DMO (dip moveout); wave field extrapolation; finite difference; tilted stratum

1 方法原理

马在田教授曾在《有限差分偏移技术》^[1]一书中称, 该方法为共偏移距波场横向外推。事实上, 波场沿偏移距 h 方向外推, 直至 $h=0$, 是一种倾斜时差校正。由于实现方法不同, 称之为零偏移距化, 是一种简易的MZO方法。

由几何光学分析可知, 炮检距为 $2h$ 的地震道经动校正后的曲线方程为:

$$\frac{x^2}{h^2} + \frac{t^2}{t_0^2} = 1 \quad . \quad (1)$$

其中

$$t_0 = \sqrt{t_h^2 - 4h^2/v^2} \quad , \quad (2)$$

t_0 为炮检距等于 $2h$ 的反射波到达时。令 $v_0 = 2h/t_0$, 将 $h = v_0 t_0/2$ 代入(1)式, 有

$$\frac{t^2}{t_0^2} + \frac{4x^2}{v_0^2 t_0^2} = 1 \quad . \quad (3)$$

方程(3)相当于以 $v_0 = v_0(t_0)$ 为速度, 在共炮检距($2h$)的剖面上进行绕射扫描迭加, 其结果可实现零偏移距化(MZO)。方程(1)对应的波动方程为:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial h^2} = \frac{1}{v_0(t)} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \quad , \quad (4)$$

这实际上是一个与沿深度 z 方向外推类似的、沿偏移距 h 方向外推的波动方程。其外推的速度为 $v_0(t) = 2h/t$ 。其中 t 是经动校正后的 t_0 时间, 波场 $P = P(x, h, t_0)$ 为动校正后的波场。经坐标变换及一级近似, 方程(4)可简化成:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial h \partial t} = \frac{v \partial^2 P}{4 \partial x^2} \quad . \quad (5)$$

在形式上, (5)式类似于 15° 倾角的波动方程:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial z \partial t} = -\frac{v \partial^2 P}{4 \partial x^2} \quad .$$

上述两方程的差别在于:

a. 后者沿深度 Z 方向外推, 外推速度为 $v = v(z, x)$, 而前者沿偏移距 h 方向外推, 外推速度为

$v=2h/t$ 。

b. 后者为上行波方程, 沿深度 Z 增加的方向外推, 而前者沿偏移距 h 减小的方向外推, 直至 $h=0$ 。

c. 后者波场外推的目的是偏移归位, 而前者波场外推的目的是偏移距为 $2h$ 的共偏移距道集实现零偏移距化。

2 MZO 的有限差分算法及实现步骤

2.1 MZO 的有限差分法

对应于波动方程(5)式的差分算子:

$$L_1 \equiv \frac{\delta_x^2}{\Delta x^2} + \frac{t}{h} \frac{\delta_{-h,t}}{h \Delta h \Delta t}, \quad (6)$$

离散化后的共偏移距波场 $P(x, h, t)$ 定义为:

$$\begin{aligned} P_j^i(k) &= P(k \Delta x, i \Delta h, j \Delta t) \\ \delta_x^2 P_j^i(k) &= P_j^i(k+1) - 2P_j^i(k) + P_j^i(k-1) \quad (7) \\ \delta_{-h,t} P_{j+1/2}^{i+1/2}(k) &= [P_{j+1}^{i+1}(k) + P_j^i(k)] - \\ &[P_j^{i+1}(k) + P_{j+1}^i(k)]. \end{aligned}$$

对应于(6)式, 取 12 点中心差分格式, 将(7)式代入(6)式, 对差分算子作线性加权, 即可得到差分方程:

$$(I - (\alpha - \beta)T)\mathbf{U} = (I + (\alpha + \beta)T)\mathbf{V}. \quad (8)$$

其中 $I=(0, 1, 0); T=(1, -2, 1);$

$$\alpha = h \Delta t \Delta h / 8t \Delta x^2; \beta = 1/6;$$

$$\mathbf{U} = (u_1, u_2, u_3, \dots, u_n)^T;$$

$$\mathbf{V} = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_n)^T;$$

且 $u_k = P_j^{i+1}(k) + P_{j+1}^i(k)$

$$v_k = P_{j+1}^{i+1}(k) + P_j^i(k).$$

2.2 差分方程的矩阵解法

对差分方程(8)式整理后, 可得到以下矩阵方程:

$$A(\mathbf{U} - c_1 \mathbf{V}) = c_2 \mathbf{V}. \quad (9)$$

其中

$$c_1 = (\beta + \alpha) / (\beta - \alpha);$$

$$c_2 = 2\rho\alpha / (\beta - \alpha)^2;$$

$$\rho = 1 - 2/(1 + \sqrt{1 - 4(\beta - \alpha)}).$$

矩阵 A 为 3 对角方程:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -\rho + \epsilon_1 & & & & \\ -\rho + \epsilon_2 & 1 & -\rho & & & 0 \\ & -\rho & 1 & -\rho & & \\ & & & & & \\ & 0 & & -\rho & 1 & -\rho + \epsilon_2 \\ & & & & -\rho + \epsilon_1 & 1 \end{bmatrix}.$$

对方程(9)式采用快速近似追赶解法^[3], 计算速度比

通常快一倍。

2.3 零偏移距化的处理步骤

a. 抽取共偏移距道集, 并作动校正。若要减少运算量, 可进行组合迭加, 然后抽取共偏移距道集: $P_h = P(x, h, t)$; 对于三维资料可抽取同方位角共偏移距道集: $P_h^\theta = P(x, y, \theta, h, t)$, h 为偏移距, θ 为方位角。

b. 应用方程(9)式, 在动校正后的共偏移距道集上作波场外推; 其 h 方向外推顺序是由大到小, 直至 $h=0$; 而 t 方向是 $t=t_{\max}$ 向 t 递减方向, 直至动校正不产生畸变的 t 值为止。

3 试验及效果分析

3.1 点源模型的响应曲线

图 1 是应用该方法得到的两种偏移距情况下的响应曲线, 主要表现为随着偏移距的增大, 曲线越平缓。图 2 给出了 FK DMO 方法及 Kirchhoff 积分 DMO 方法所得的点源的响应曲线, 可见该方法更接近于 Kirchhoff 积分 DMO 方法, 同时表明了该方法实现的正确性。

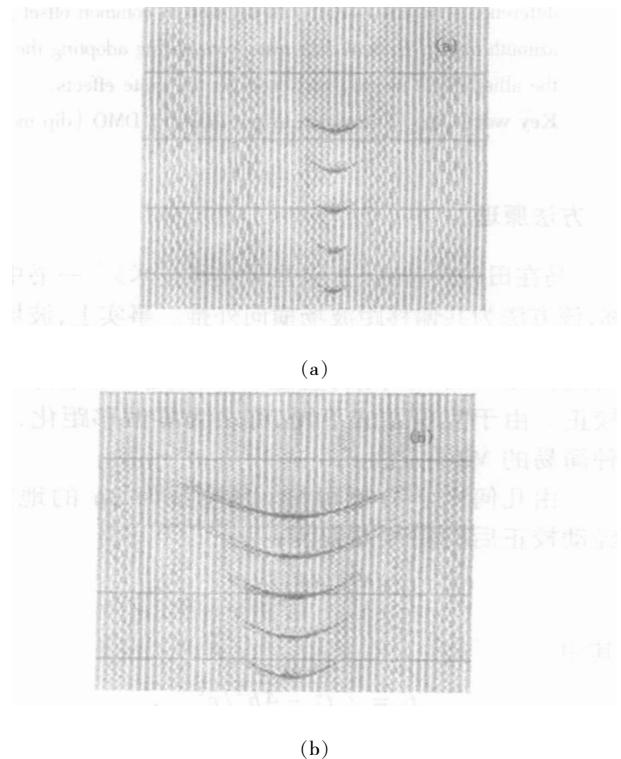


图 1 不同偏移距 MZO 算法点源响应曲线

Fig. 1 MZO algorithm point source response curve with different offsets

a—— $h=500$ m; b—— $h=1000$ m

3.2 实测资料试验

图 3—图 5 是某油田陆地 3D 地震试验处理剖

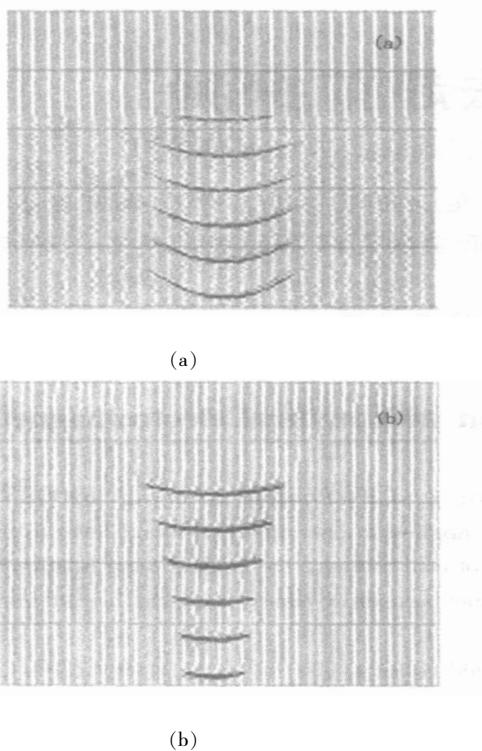


图2 其他算法点源响应曲线($h=1000\text{ m}$)

Fig. 2 Rest algorithms point source response curve

($h=1000\text{ m}$)

a——FK DMO法;b——Kirchhoff DMO法

面,其中图3是常规NMO动校迭加后的时间剖面,图4是经过DMO校正后迭加的时间剖面。图5是经过MZO校正后迭加的时间剖面。由图可见,经DMO和MZO校正后的迭加剖面效果均好于NMO校正的剖面,主要表现为局部绕射和向斜轴交叉回转波得到了较好的收敛,倾斜层得到了一定归位。

4 结论

- a. 应用波场横向外推方法建立的MZO算法,其结果与DMO方法相当,但方法简明,运算速度快;
- b. NMO+MZO+迭加偏移处理流程近似于作迭前偏移,可节省大量的计算时间,在资料处理精度要求许可的情况下,是一种较好的处理方案。

参考文献

- [1] 马在田.地震成像技术—有限差分偏移[M].北京:石油工业出版社,1989.
- [2] 贺振华.反射地震资料偏移处理与反演方法[M].重庆:重庆大学出版社,1989.

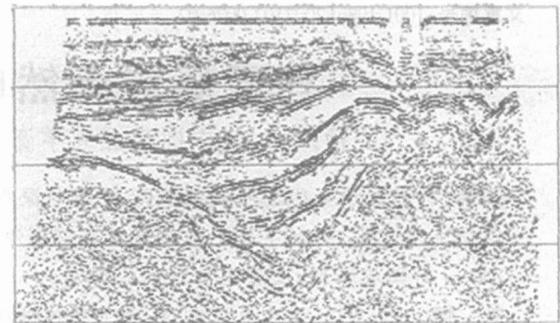


图3 常规NMO动校迭加剖面

Fig. 3 Conventional normal moveout correction stacked section

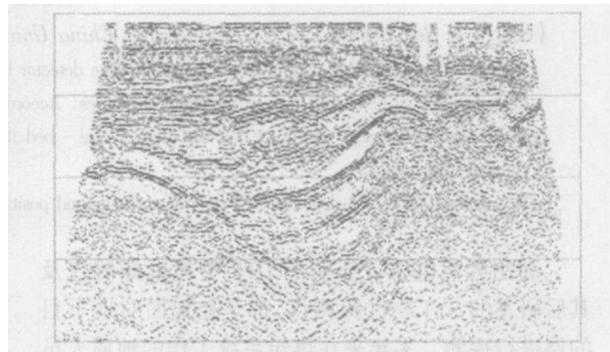


图4 DMO校正迭加剖面

Fig. 4 DMO correction stacked section

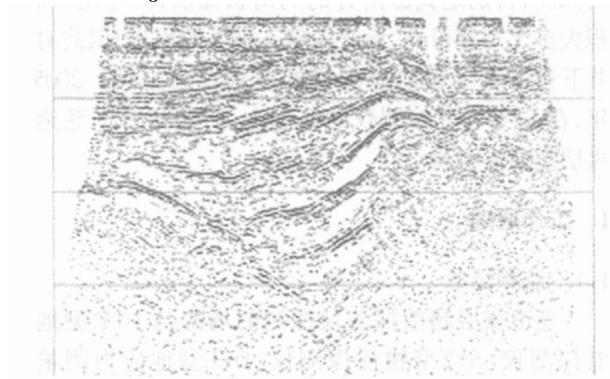


图5 MZO校正迭加剖面

Fig. 5 MZO correction stacked section

- [3] 徐峰,潘乃德.波动方程有限差分法格稳定性讨论[J].石油物探,1984,23(3): 82—86.
- [4] 杨海生.精确的对数拉伸DMO方法[J].石油物探,2002,41(4): 475—478.
- [5] 马在田.论反射地震偏移成像[J].勘探地球物理进展,2002,25(3): 125—129.