

文章编号: 1671-8585(2007)05-0356-05

叠前地震数据射线束道集叠压制噪声

王华忠, 张元巧, 任浩然

(同济大学海洋与地球科学学院, 上海 200092)

摘要:提出了一种提高叠前地震数据信噪比的射线束道集叠加方法。与共反射面元叠加类似,它基于同相叠加原理,将时差在四分之一周期之内的道数据叠加到一道。首先制定叠加规则,抽取叠前地震数据射线束道集;然后根据同相叠加原理剔除不满足条件的地震道;最后将满足条件的射线束道集通过动校和静校进行叠加。最终得到的叠加道可以起到数据规则化的作用,同时,也可以进行高信噪比的构造成像,提高速度分析的质量。

关键词: 同相叠加; 偏移成像; 射线束道集; 地震数据规则化

中图分类号: P631.443

文献标识码: A

在我国西部和西南部的很多探区,地表地质条件复杂,地震数据的信噪比很低,这给速度分析与偏移成像带来很大的困难。为了提高叠前地震数据的信噪比,我们采用射线束道集叠压制噪声。这里所说的射线束道集是指位于某一规定条件下炮点和检波点邻域内的道所组成的道集,这些道按照同相叠加的原理叠加起来^[1,2],炮点和检波点邻域中点坐标作为叠加后一道的炮点和检波点位置坐标。在这个过程中,信号部分相干加强,噪声部分得到压制。该方法有效地提高了叠前数据的信噪比,在一定程度上还可以起到地震数据规则化的作用。对射线束道集叠加形成的地震道进行高信噪比的叠前时间偏移成像,既可以提高速度分析的质量,也可以改善成像的质量。

1 方法原理

叠前地震数据射线束道集叠压制噪声处理主要包括 3 个部分:射线束道集的形成、不满足同相叠加条件的地震道的剔除以及射线束道集的叠加。

1.1 菲涅尔带

地表处一个炮点邻域和一个检波点邻域内的地震道,无论地下的速度场如何变化,这些道对应的地震波都会沿着一个射线管或一个中心射线的附近进行传播,反射后依然如此。这是射线束道集形成的物理基础。

射线束道集的同相叠加,要满足反射来自同一个菲涅尔半波带的要求。菲涅尔带的基本概念可以简述如下:设在波的传播空间有一平面 S_2 ,震源 O 和观测点 P 分别位于平面 S_2 的两侧,且其连线 OP 与 S_2 垂直,如图 1 所示。

为了计算 P 点波场,在 S_2 平面上以 PO 与 S_2 平面交点为圆心作一系列同心圆,把 S_2 平面划分为一系列的环形带。同心圆半径 l 的选择,应使由环形带的内边界及外边界到震源及观测点距离之和的差为半个波长。在此情况下,波将产生相互干涉。 R 与 r 交点在垂直平面上是以 P 和 O 点为焦点的椭圆,在空间则是一个旋转椭球体。椭球体与 S_2 平面的交线就是划分环形带的同心圆。这些环形带称为菲涅尔带。

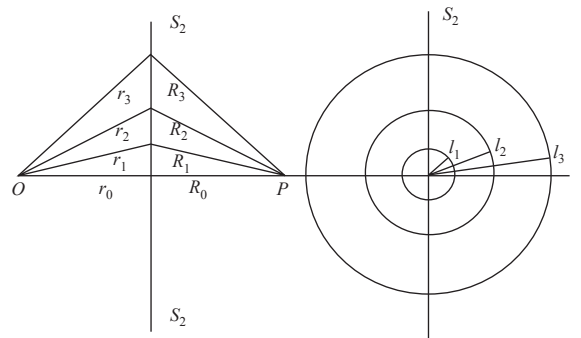


图 1 菲涅尔带示意

根据反射地震学,如果在反射界面上选一个菲涅尔带,则在该菲涅尔带内的二次震源点产生的反射或绕射波被同一个检波器接收会产生同相叠加的效果。同样地,来自该菲涅尔带的反射或绕射被一组相邻的检波器接收,也可以产生同相叠加的效果。这是我们生成射线束道集的基础^[3,4]。

收稿日期: 2007-04-16; 改回日期: 2007-05-26。

第一作者简介: 王华忠(1964—),男,教授,博士生导师,主要从事地震波传播、偏移成像与反演、近地表与中深层速度分析(反演)和速度模型建立、地震数据的规则化处理等方面的工作。

基金项目: “973”项目“碳酸盐岩缝洞型油藏开发基础研究”(编号: 2006CB202400)资助。

1.2 射线束道集的形成

射线束道集的生成以在共偏移距道集中进行最为直观^[5]。对于一个规定的偏移距,首先定义炮点和检波点邻域的范围。一般可以把此邻域定义得稍微大一些。偏移距越小,邻域范围相应地也小;偏移距很大时,邻域范围也应该比较大。邻域范围的严格定量确定比较困难,在实际处理时,可以适当地取较大的邻域范围,把尽可能多的地震道拉进射线束道集。然后利用适当的方法把不满足同相叠加条件的地震道排除出去^[6]。

在常速情况下,我们给出一个邻域范围计算公式。

假设 R 是非涅耳带的一半, z 是目标反射层到地表面的深度, r 是邻域范围的一半, h 是半偏移距。同时假设地表观测面与目标反射面之间的平均速度是 v 。

对于地震波主频 f_m 而言,假定非涅耳半波带之内的地震反射都可以同相叠加。由图 2 可以知道,菲涅耳半波带内反射波路径差应该小于 $\lambda/4$ (λ 为波长),即

$$\left| \sqrt{z^2 + (h+R+r)^2} - \sqrt{z^2 + (h-R-r)^2} \right| \leq \frac{1}{4}\lambda \quad (1)$$

上式中括号成立时,可以导出邻域范围之半的计算式为

$$r = R - \frac{\lambda}{2} \sqrt{\frac{z^2 + h^2 - \frac{\lambda^2}{4}}{16h^2 - \frac{\lambda^2}{4}}} \quad (2a)$$

用地震波主频可以重新表示上式

$$r = R - \frac{v}{2f_m} \sqrt{\frac{z^2 + h^2 - \frac{v^2}{4f_m^2}}{16h^2 - \frac{v^2}{4f_m^2}}} \quad (2b)$$

式中, R 由分辨率决定。利用此公式可以大致给出邻域的定量计算。

1.3 不满足同相叠加的地震道的剔除

变速介质情况下,给定合适的定量化的邻域很难,一般给定的较大的邻域会包含不能同相叠加的地震道。这些地震道需要从射线束道集中剔除。

剔除的原则是:射线束道集中一个标志性反射同相轴中的一道与标准道的相关时差超过 $1/4$ 子波长对应的时间时,该道不能与其他道进行同相叠加,应当剔除掉。

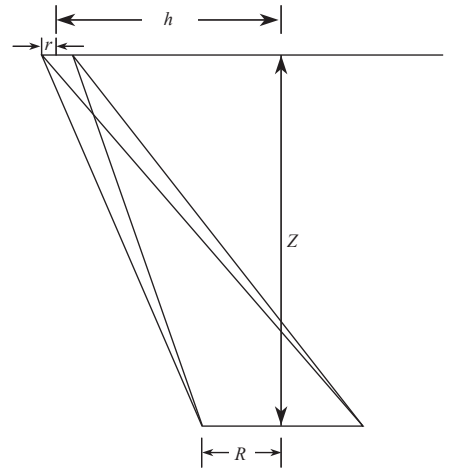


图 2 邻域计算的示意

剔除的方法是:

- 1) 在射线束道集中寻找一个标志性的反射同相轴;
- 2) 在标志反射层附近开一个时窗;
- 3) 叠加形成一个标准道;
- 4) 每一道与该标准道相关;
- 5) 如果相关时差超过 $1/4$ 子波长对应的时间,则该道被剔除;
- 6) 剔除所有不满足同相叠加条件的地震道。

射线束道集中不能同相叠加的地震道的剔除主要根据地震数据多道相关理论进行的。

根据多道相关理论,如果多道信号产生的原因相同,那么它们的波形彼此间就应该相似,衡量其相似性的一个简单标准就是误差能量。

设多道信号为 $x_j(n)$, 其中, $1 \leq j \leq M, 1 \leq n \leq N, M$ 为道数, N 为每道的采样点数。选取 M 道信号的算术平均 $\bar{x}(n)$ 作为标准道信号,比较 $x_j(n)$ 和 $\bar{x}(n)$, 其误差能量 Q 可表示为

$$Q = \sum_{j=1}^M Q_j = \sum_{j=1}^M \sum_{n=1}^N (x_j(n) - \bar{x}(n))^2 \quad (3)$$

展开整理得

$$Q = \sum_{j=1}^M \sum_{n=1}^N x_j^2(n) - \frac{1}{M} \sum_{n=1}^N \left(\sum_{j=1}^M x_j(n) \right)^2 \quad (4)$$

Q 与 M 道信号总能量之比(相对能量误差)为

$$\frac{Q}{\sum_{j=1}^M \sum_{n=1}^N x_j^2(n)} = 1 - \frac{M \sum_{n=1}^N \bar{x}^2(n)}{\sum_{j=1}^M \sum_{n=1}^N x_j^2(n)} \quad (5)$$

由上式可知,相对误差能量由其右边第 2 项决定。当第 2 项较大时,相对误差能量就小,说明 M 道信号之间的相似性就好,反之亦然。

另一方面,在地震勘探中,由同一爆炸震源引起的反映同一地下反射界面的反射波记录,由于接收点的距离不同,反射波在两道记录中出现的时间是不同的。因此,在剔除射线道集中不合适道时,我们选定一参考道(标准道) x_m ,将其他道延迟时间 τ 变为 $y_{n-\tau}$,然后考察 x_n 与 $y_{n-\tau}$ 的相似性,即计算 x_n 与 $y_{n-\tau}$ 的相关系数

$$r_{xy}(\tau) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x_n y_{n-\tau} \quad (6)$$

如果 $|r_{xy}(\tau)|$ 在 τ_0 达到最大值,说明 y_n 在延迟时间 τ_0 后, $y_{n-\tau_0}$ 与 x_n 最相似。 τ_0 称为 2 个信号之间的时差。如果 τ_0 的值位于同相叠加的时差范围(1/4 周期)内,则保留这些道,否则剔除这些道,这样提取出来的射线束道集可以满足同相叠加原理。

1.4 射线束道集的叠加

射线束道集的叠加包括静校叠加和动校叠加。静校叠加容易理解。但我们认为,对深层反射而言,先进行以射线束中心射线和其他射线之间的动校正,然后再消除余下的静校正量,可以进一步提高叠加道的分辨率和信噪比。

1.4.1 静校叠加

要满足同相叠加原理,则射线束道集中各道与参考道之间所存在的道间时差需位于地震子波的 1/4 周期内。我们记该道间时差为 Δt_i ,则 Δt_i 需满足 $\Delta t_i \leq 1/(4f)$ 。

对道间时差满足该要求的道,消除道间时差 Δt_i ,如图 3 所示,然后做静校叠加,即可得到去噪后的道集。

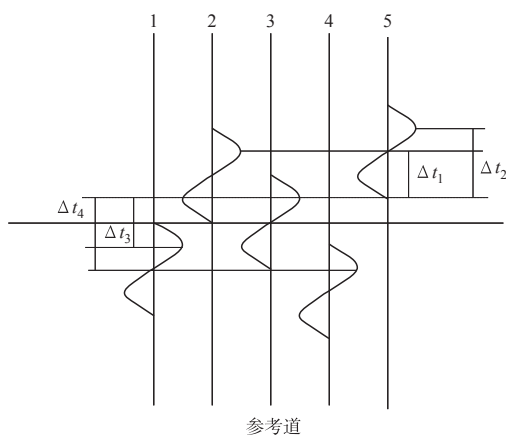


图 3 静校叠加示意

1.4.2 动校叠加

动校叠加应该主要考虑如何消除中心射线与非中心射线之间的路径不同引起的时差。当前我们还没有形成一套成熟的想法。

2 数值算例

首先用一个理论合成的 CMP 道集测试所提出方法的有效性(图 4)。图 4a 是加很强噪声后的合成 CMP 道集,其中一些反射同轴轴在视觉上不可见。图 4b 是用本方法处理后的结果,可以看出, CMP 道集的信噪比提高很多,被噪声湮没的同相轴凸现出来。无疑,这样的道集更适用于速度分析和成像。

然后,我们对南京物探研究所正演生成的基于川东某 184 线设计的地质模型的合成记录进行压制噪声的测试。该模型是一个非水平地表地质模型。图 5a 是原始合成记录,图 5b 是用本文方法处

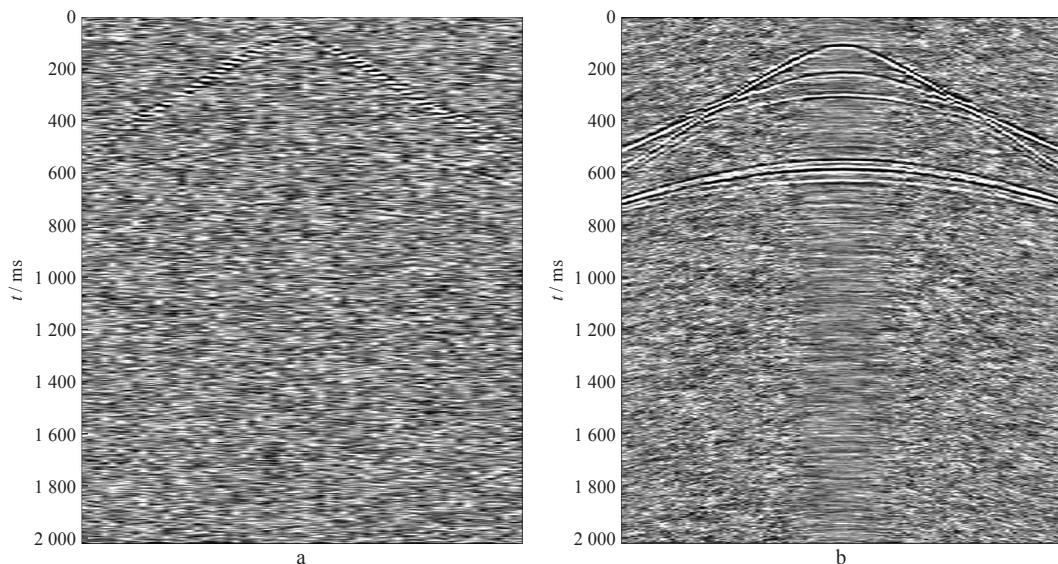


图 4 理论合成的 CMP 道集的噪声压制

a 加较强噪声的 CMP 道集; b 用本文方法处理后得到同一点的 CMP 道集

理后的结果。可以看出,使用本文方法除了可以压制非相干噪声外,还具有一定的插值作用。图6是用图5所示的所有处理后的道集进行叠前时间偏

移的结果显示。对比处理前后的偏移叠加剖面可以看出,一些由于噪声被压制的同相轴得以显现,尤其是浅层部分比较明显。

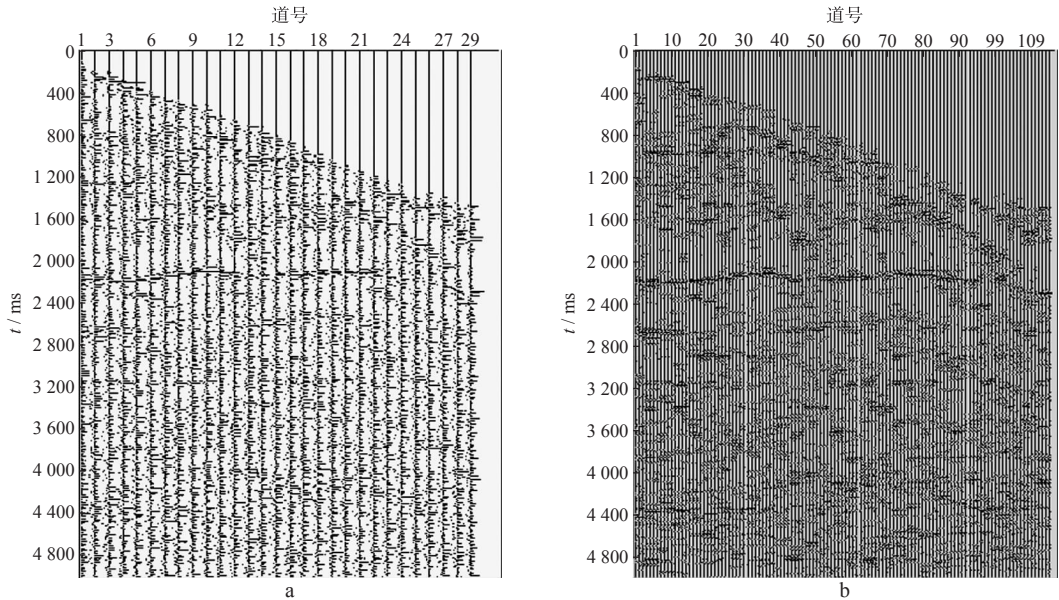


图5 用射线束道集叠加法压噪前(a)、后(b)的CMP道集对比

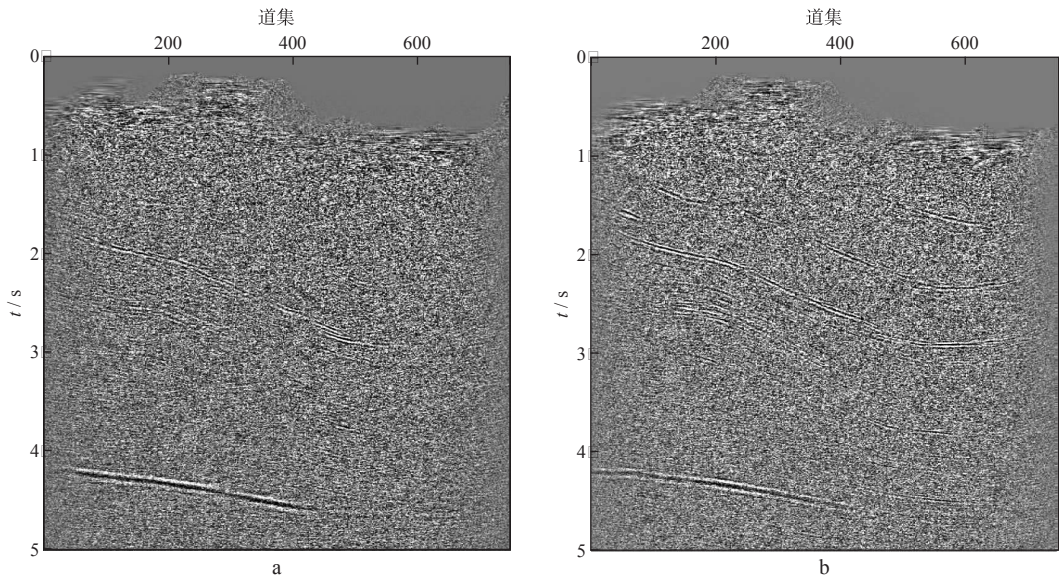


图6 用图5所示的压噪前(a)、后(b)的CMP道集进行叠前时间偏移得到的剖面

3 结论与讨论

来自同一菲涅尔带的地震波可以同相叠加,从而达到压制随机(或非相干)噪声的目的。同时射线束道集方法还可以部分地起到地震数据规则化地目的。

1) 射线束道集压制噪声方法对水平地表观测数据和非水平地表观测数据都适用。

2) 该方法能对随机噪声或非相干噪声起到明

显的压制作用。它是低信噪比数据叠前偏移成像的一个重要预处理方法。

3) 每个射线束道集叠加后形成一个地震道。因此该方法实际上在压制噪声的同时,可以达到对地震数据进行规则化处理的目的。

当然,这种同相叠加势必降低地震信号主频,这种降低是可以通过调整射线束的宽度来控制的。同时,射线束叠加之后的道数据不能够保持真振幅,本方法只适用于复杂地表和地下条件下的构造成像。

本方法还存在一些问题:

- 1) 菲涅尔带随深度的变化;
- 2) 极端低信噪比时剔除不相干地震道的方法有待完善;
- 3) 动校时差的消除;
- 4) 分时窗进行不相干地震道的剔除;
- 5) 射线束道集叠加的方法需要改进;
- 6) 三维问题需要解决。

感谢中国石化集团胜利油田分公司物探研究院、中国石化集团科技部对本项研究的资助。感谢所有对反射地震学教研组有资助和帮助的单位。

参 考 文 献

- 1 石人骥. 光学的启示——地震资料横向分辨率问题辨析[J]. 石油物探, 2003, 42(4): 562~565
- 2 裴江云. 在随机噪声背景下地震反射信号的增强[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(1): 91~95
- 3 臧绍先, 周元泽. N 次根倾斜叠加方法在间断面研究中的应用[J]. 地球物理学报, 2002, 45(3): 407~415
- 4 Monk D J, Cowan B. Approach to optimum slant stack and its application as a seismic noise attenuator [J]. Expanded Abstracts of 62nd Annual International SEG Meeting, 1992, 1 161~1 164
- 5 Sun Yonghe, Qin Fuhao, Checkles S, et al. 3-D pres-tack Kirchhoff beam migration for depth imaging[J]. Geophysics, 2000, 65(5): 1 592~1 603
- 6 Sun Yonghe, Fuhao Qin, Checkles S, et al. A beam approach to Kirchhoff depth imaging[J]. The Leading Edge, 2000, 19(11): 1 168~1 173
- [R]. BGP Technical Seminar, Dalian China, 2004, 55~57
- 9 李振春, 孙小东, 刘洪. 复杂地表条件下共反射面元 (CRS) 叠加方法研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(6): 1 794~1 801
- 10 Jaeger R, Mann J, Hocht G, et al. Common-reflection-surface stack: Image and attributes [J]. Geophysics, 2001, 66(1): 97~109
- 11 Schleicher J, Tygel M, Hubral P. Parabolic and hyperbolic paraxial two-point traveltimes in 3D media [J]. Geophysical Prospecting, 1993, 41(4): 495~514
- 12 Tygel M, Schleicher J, Hubral P. A unified approach to 3-D seismic reflection imaging, Part II: Theory [J]. Geophysics, 1996, 61(3): 759~775
- 13 Ursin B. Quadratic wavefront and traveltime approximation in inhomogeneous layered media with curved interfaces [J]. Geophysics, 1982, 47(7): 1 012~1 021
- 14 Thore P D, de Bazelaire E, Ray M P. Three parameter equation: An efficient tool to enhance the stack [J]. Geophysics, 1994, 59(2): 297~300
- 15 Hubral P, Schleicher J, Tygel M. A unified approach to 3-D seismic reflection imaging, Part I: Basic concepts [J]. Geophysics, 1996, 61(3): 742~758

(上接第 333 页)