

一种适用于浅部资源勘查的反射波干涉成像法

乔宝平¹⁾, 陆云龙²⁾, 曹成寅¹⁾, 黄昱丞¹⁾, 潘自强¹⁾

1) 核工业北京地质研究院, 北京, 100029; 2) 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津, 300459

关键词: 地震干涉; 反射波成像; 动校正

大多数铀煤等矿产资源分布于 1000 m 以浅的地层介质中, 通常情况下, 可采用地表人工源地震反射波勘探法实现浅部资源的有效探测。但是, 陆地近地表地层的强非均质性和复杂地形条件等因素 (Keho and Kelamis, 2012) 极大增加了反射波勘探的难度, 降低了浅部资源探测的精度。同时, 受近地表面波、声波和人类活动等因素干扰, 浅部低覆盖次数的地震反射波信噪比较低; 而基于速度模型的动校正方法, 会造成浅部和大偏移距地震反射波严重的拉伸畸变, 进一步增加了浅部资源精细勘探的难度。而地震干涉法是一种数据驱动的处理方法, 其可通过不同传感器接收地震波场的互相关和多维反褶积等方式实现格林函数的重构, 避免常规地震资料处理方法的不足。本文结合浅部资源地震反射波勘探的难点和地震干涉法的优势, 引入了基于一致性谱相关的地震反射波干涉成像法, 实现了浅部地震反射波的高保真成像, 有效支撑了浅部资源的精细勘查。

1 反射波干涉成像法基本原理

假设 CMP (共中心点) 道集的覆盖次数为 N , 则通过其下零偏移距地震反射波与不同传感器记录的全波场互相关, 可求取数据驱动的相关型动校正量, 即

$$Vx(j;\omega) = U(j;\omega)R(\omega)^*, j = 1, \dots, N. \quad (1)$$

其中, ω 代表角频率, $*$ 代表复共轭, $R(\omega)$ 和 $U(j;\omega)$ 分别代表零偏移距下地震反射波和第 j 道传感器记录的地震数据, $Vx(j;\omega)$ 代表了求取的相关型动校正量。对于同一 CMP 道集而言, 不同地震道对应的震源点和接收点位置均不同, 因此, 会产生地震子波的时空变化并导致求取的互相关波形频

带变窄 (Qiao Baoping et al., 2022)。为了解决上述问题, 通过一致性谱相关对公式 (1) 进行修改, 获得了如下公式:

$$Vh(j;\omega) = \frac{U(j;\omega)R(\omega)^*}{[|U(j;\omega)||R(\omega)| + \lambda]}, j = 1, \dots, N. \quad (2)$$

其中 $| \cdot |$ 代表绝对值算子, λ 代表稳定因子, $Vh(j;\omega)$ 代表了基于一致性谱相关求取的动校正量。由公式 (2) 可知, 一致性谱相关可消除地震子波振幅和相位的变化, 压制带限震源信号互相关产生的子波旁瓣, 进而实现双向拓频的目的。

在此基础上, 可进一步得到干涉动校正的基本公式:

$$Nh(j;\omega) = U(j;\omega)Vh(j;\omega)^*, j = 1, \dots, N. \quad (3)$$

其中, $Nh(j;\omega)$ 代表了基于互相关计算的干涉动校正过程。分析可知, 通过干涉动校正量与全波场地震数据的互相关, 可实现数据驱动的动校正处理, 该处理不依赖于速度模型, 不产生地震波形畸变, 进而可保证浅部低覆盖次数地震反射波的高保真恢复, 实现数据驱动的反射波成像, 即

$$Ih(\omega) = \sum_{j=1}^N Nh(j;\omega). \quad (4)$$

其中, $Ih(\omega)$ 代表了同一 CMP 道集下的反射波干涉成像结果。分析可知, 通过干涉动校正, 可得到公式 (4) 中的积分核函数, 该积分核函数具有独特优势, 即针对来自同一目标层的反射波, 其可保证同一 CMP 道集中所有地震道处于固定相位点上, 然后通过对所有地震道叠加, 可使其他处在非固定相位点的波型由于非同相叠加而相互抵消, 而处在固定相位点的反射波由于同相叠加而增强, 进而使重构的反射波场的信噪比提高 \sqrt{N} 倍, 极大提高了浅部地震反射波成像的质量。

注: 本文为中核集团菁英人才项目 (编号: 物 QNYC2101) 的成果。

收稿日期: 2023-04-10; 改回日期: 2023-04-30; 责任编辑: 李明。DOI: 10.16509/j.georeview.2023.s1.169

作者简介: 乔宝平, 男, 1985 年生, 博士, 研究员, 主要从事勘探地震学研究; Email: yesong000@126.com。

2 砂岩型铀矿勘查应用实例

采用中国西部某铀矿田二维地震数据对本文方法进行测试。该数据由炸药震源激发,记录长度 600 ms,时间采样率 1 ms。选取 281 个 CMP 道集,其中每个 CMP 道集由 24 道地震记录组成,最小偏移距 20 m,最大偏移距 480 m,CMP 间距 5 m。首先开展常规地震数据处理,获得图 1a 所示的叠加成像剖面,可见,浅部地层结构特征得到一定恢复,但地震波形的拉伸畸变给成像结果造成一定干扰,降低了成像剖面的分辨率和信噪比。在此基础上,利用相关型地震干涉法,获得图 1b 所示成像结果,可见成像剖面信噪比得到极大提高,小断裂构造特征得到清晰刻画。从图 1d 中亦可见,由于波形拉伸畸变的影响,常规基于速度模型的叠加成像剖面 20 Hz 以下的低频干扰成分得到增强,进而降低了成像剖面的分辨率。而经过相关型反射波干涉处理后,20 Hz 以下的低频干扰成分得到压制,分辨率得到提高,但同时可见高频成分也得到一定压制,有效频带宽度变窄。基于此,开展了一致性谱相关反射波干涉成像处理,获得图 1c 所示成像结果,反射波同相轴进一步压缩,小断裂构造得到更加清晰的刻画。从图 1d 中亦可见,一致性谱相关反射

波干涉成像结果具有更宽的频谱成分,进而增加了成像剖面的分辨率和稳定性。

3 结论

总之,基于一致性谱相关的反射波干涉成像法不需要地层介质速度模型的估计,消除了带限地震子波对地震干涉法的影响,拓展了地震波场的频带宽度,提高了复杂波场条件下反射波的成像质量,为复杂介质条件下浅部资源的高效勘查提供了一种有效方法支撑。

参 考 文 献 / References

- Keho T H, Kelamis P G. 2012. Focus on land seismic technology: The near-surface challenge. *The Leading Edge*, 31: 62~68.
- Qiao Baoping, Lu Yunlong, Li Qingqing, Huang Yucheng, Liang Shanglin. 2022. Data-driven reflection imaging based on seismic interferometry. *Geophysics*, 87(4): Q15~Q29.

QIAO Baoping, LU Yunlong, CAO Chengyin, HUANG Yucheng, PAN Ziqiang: A seismic reflection interferometric imaging method for shallow resource exploration

Keywords: seismic interferometry; reflection imaging; normal move-out

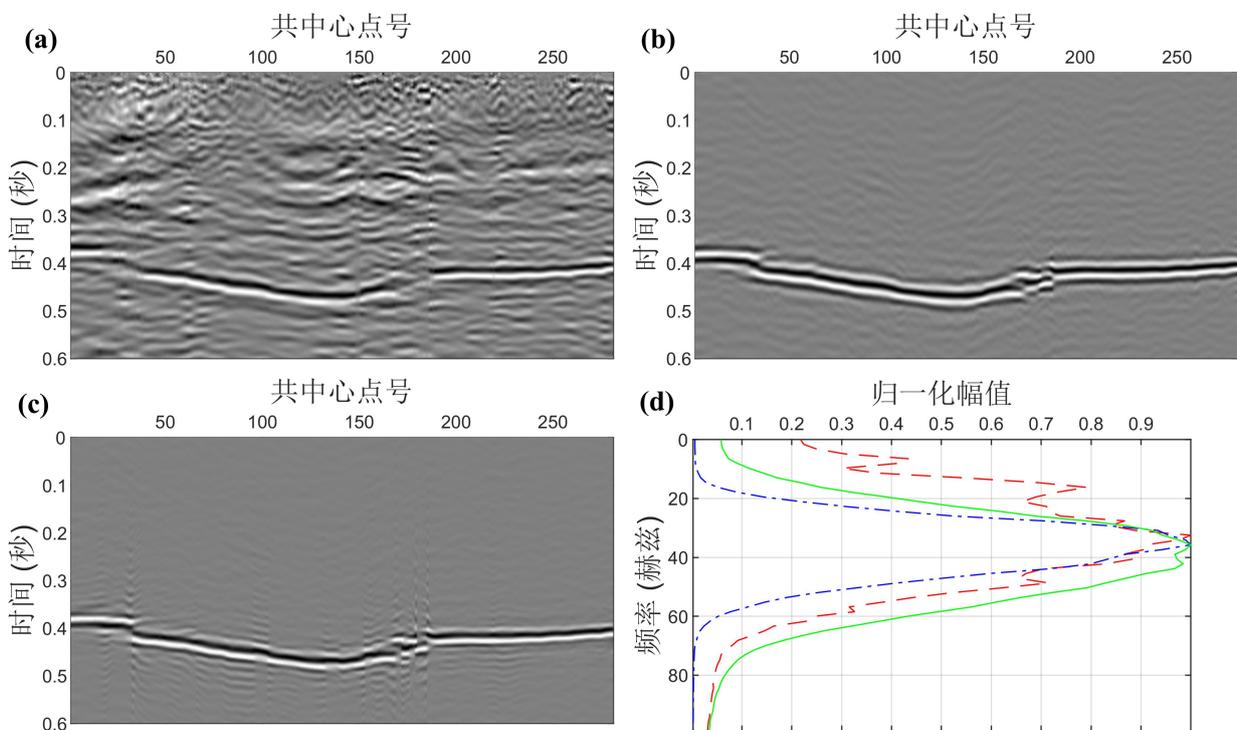


图 1 (a) 常规基于速度模型动校正后的叠加成像剖面; (b) 基于互相关的反射波干涉成像剖面; (c) 基于一致性谱相关的反射波干涉成像剖面; (d) 相应振幅谱,其中红色虚线为 (a) 剖面的振幅谱,蓝色点虚线为 (b) 剖面的振幅谱,绿色实线为 (c) 剖面的振幅谱