

零偏移距共反射面叠加原理 及其在工程地震勘探中的应用

刘国华¹, 李庆春¹, 唐小平¹, 肖梅²

(1 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2 长安大学 电子与控制工程学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 对一种能增强工程地震勘探数据质量的新叠加技术——零偏移距共反射面叠加进行了研究。目前模拟零偏移距剖面常规方法存在需要精确宏速度模型及不能对地下反射界面产生最佳照明的问题, 而零偏移距共反射面叠加具有完全数据驱动、与宏速度模型无关、能够产生对地下反射界面最佳照明及提高模拟零偏移距剖面成像质量的优点。针对零偏移距共反射面叠加还未在国内工程地震勘探中进行广泛应用的现状, 详细介绍了零偏移距共反射面叠加基本原理及其实现过程, 并使用一套人工合成断层模型数据及来自某高速公路段附近一条二维测线的实际工程地震勘探数据进行了测试计算。理论模型试算结果及在工程地震勘探实际资料处理中的应用表明零偏移距共反射面叠加可提高地震数据信噪比, 增强地震反射同相轴连续性, 改善模拟零偏移距剖面质量, 是一种非常有发展前景的工程地震成像方法。

关键词: 工程地震; 数据处理; 信噪比; 零偏移距; 共反射面叠加

中图分类号: P631.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2011)01-0101-04

Principles and Applications of Zero-offset Common Reflection Surface Stack in Engineering Seismic Prospecting

LIU Guo-hua¹, LI Qing-chun¹, TANG Xiao-ping¹, XIAO Mei²

(1. School of Geological Engineering and Surveying, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. School of Electronic and Control Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract The zero-offset common reflection surface (ZO CRS) stack, which is a new stacking method to enhance the quality of engineering seismic data, was investigated. The conventional methods of zero-offset (ZO) section simulation need precise macro-velocity model and can not provide the best illumination for the reflecting interface in the subsurface. The ZO CRS stack is an entirely data-oriented seismic reflection imaging approach of ZO section simulation in a macro-velocity model independent way, and this method can provide the best illumination for the reflecting interface in the subsurface and enhance the simulated ZO section. Because the ZO CRS stack was not applied in Chinese engineering seismic prospecting widely, the theory and implementation of ZO CRS stack were introduced in detail. The ZO CRS stack was applied to a synthetic data set of fault model and a real data set from a two-dimensional seismic line acquired nearby a certain highway, respectively. Application of ZO CRS stack on synthetic examples and engineering seismic records showed that the technique can improve the stacked section by increasing the signal-to-noise ratio and enhancing the consistence of reflection event, and the results reveal that the ZO CRS stack method is a promising engineering seismic imaging method of ZO section simulation.

Key words: engineering seismic; data processing; signal-to-noise ratio; zero-offset; common reflection surface stack

0 引言

以高信噪比为前提的高分辨率地震勘探成为当

前的发展趋势, 提高地震资料信噪比是目前重要的课题^[1]。叠加技术是提高信噪比以及从叠前三维多次覆盖反射地震数据体得到模拟零偏移距(ZO)叠

收稿日期: 2010-06-28

基金项目: 交通部国家西部交通建设科技项目(200731881262); 国家高技术研究发展计划项目(2007AA06Z103); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2010JC087)

作者简介: 刘国华(1975-), 男, 辽宁鞍山人, 讲师, 工学博士, 从事地震数据处理方法教学与研究。E-mail: ghliu@chd.edu.cn

加剖面的一个重要途径。模拟零偏移距剖面的常规动校正与倾角校正叠加以及叠前偏移方法都需要精确的宏速度模型,当地下地质条件未知时,这些方法不能对地下反射界面产生最佳照明。德国学者 Hubral 于 20 世纪 90 年代末提出的共反射面(CRS)叠加方法仅需要近地表速度信息,是一种完全数据驱动的、与宏速度模型无关的成像方法,比较适合用于界面曲率连续变化的弯曲界面叠加成像,能够产生对地下反射界面最佳照明的模拟零偏移距剖面^[2]。共反射面叠加方法假定中心射线是法向射线,因此这种技术被称为零偏移距共反射面叠加^[2-3]。共反射面叠加通过合并相邻共中心点(CMP)道集形成共反射面超道集,有效利用了第一菲涅耳带内的全部叠前多次覆盖数据反射信息,可提高数据覆盖次数和信噪比,增强反射同相轴连续性,还可提供一系列的运动学波场属性参数剖面,是地震资料处理方法的重要发展方向。

工程地震勘探数据采集覆盖次数较低,如何提高信噪比依然是一个难题^[4-8]。共反射面叠加技术可通过增加数据覆盖次数来提高信噪比,但该技术还未在国内工程地震勘探中进行应用^[9]。鉴于此,笔者将其引入工程地震勘探以期解决提高信噪比的难题。

1 二维零偏移距共反射面叠加原理

利用法向波和法向入射点波可得到适用于非均匀介质的共反射面时距关系,将其进行泰勒级数展开并保留至二阶项可得到用 3 个波场属性参数表达的二维零偏移距共反射面叠加计算公式^[3-4, 10-11]

$$t_{\text{hyp}}^2(\Delta x_m, h) = \left[t_0 + \frac{2\sin\alpha}{v_0} \Delta x_m \right]^2 + \frac{2t_0 \cos^2\alpha}{v_0} \left[\frac{h^2}{R_{\text{NIP}}} + \frac{\Delta x_m^2}{R_N} \right] \quad (1)$$

式中: t_{hyp} 为双曲线共反射面双程走时; t_0 为中心射线双程走时; $\Delta x_m = x_m - x_0$ 为相对中心点位移, x_m 与 x_0 分别为旁轴射线与中心射线对应的中心点 x 坐标; h 为半偏移距; v_0 为近地表速度; R_{NIP} 、 R_N 分别为图 1 所示的假想法向波和法向入射点波的波前曲率半径; α 为两种波的共同出射角。法向入射点波波前在地面 ξ_0 处向下传播并在法向入射点处聚焦,然后回到观测面上 ξ_0 处与初始波前重合;法向波波前在观测点 ξ_0 处向下传播并同时到达法向入射点所在的第二个反射界面上的所有点,然后反射回来以相同的波前出现在地面上(图 1)^[2-3, 12]。

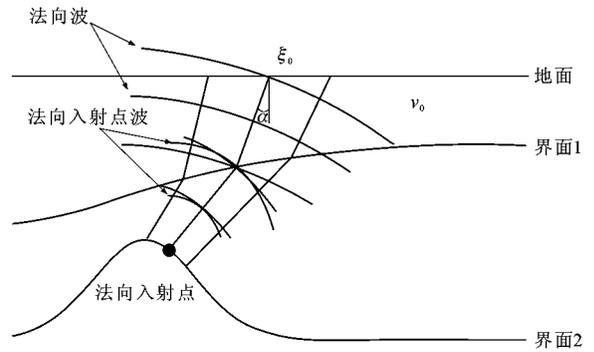


图 1 法向波与法向入射点波

Fig. 1 NIP Wave and Normal Wave

方法自动计算 3 个波场属性参数,然后沿式(1)所确定的叠加曲面进行叠加并将结果放到相应的样点上就可得到最终的零偏移距共反射面叠加剖面。

2 二维零偏移距共反射面叠加实现步骤

式(1)在共中心点道集($\Delta x_m = x_m - x_0 = 0$)中简化为熟知的共中心点双曲线^[3-4, 11]

$$t_{\text{hyp}}^2(h) = t_0^2 + \frac{2t_0 \cos^2\alpha}{v_0} \frac{h^2}{R_{\text{NIP}}} \quad (2)$$

在零偏移距剖面($h = 0$)中简化为漂移双曲线^[3-4, 11]

$$t_{\text{hyp}}^2(\Delta x_m) = \left[t_0 + \frac{2\sin\alpha}{v_0} \Delta x_m \right]^2 + \frac{2t_0 \cos^2\alpha}{v_0} \frac{\Delta x_m^2}{R_N} \quad (3)$$

根据式(2)、(3)可以将零偏移距共反射面叠加实现过程分解为 3 个步骤,并利用 MATLAB 与 VC++ 混合编程实现^[13]。

2.1 约束自动共中心点叠加

在共中心点道集中根据式(2)通过相干分析方法自动计算叠加参数,并加以共中心点叠加孔径约束后进行叠加。令中间变量 $q = \cos^2\alpha/R_{\text{NIP}}$, 则式(2)变为^[3-4, 11]

$$t_{\text{hyp}}^2(h) = t_0^2 + \frac{2t_0 h^2}{v_0} q \quad (4)$$

或令 $v_{\text{mmo}}^2 = v_0 R_{\text{NIP}} / (t_0 \cos^2\alpha)$, 式(2)变为熟知的共中心点双曲线^[14]

$$t_{\text{hyp}}^2(h) = t_0^2 + \frac{4h^2}{v_{\text{mmo}}^2} \quad (5)$$

式中: v_{mmo} 为动校正速度。式(5)说明这一步可用常规速度分析与共中心点叠加来代替,只是此处 v_{mmo} 不通过人机交互速度分析来确定,而是通过相干分析完全自动实现,不需要进行可视化识别与拾取速度峰值。共中心点叠加孔径主要根据经验来进行修正,一般是在时间(t)—半偏移距(h)平面内给定的

对于零偏移距剖面中每个样点,通过相干分析

2 个点 (t_1, h_1) 和 (t_2, h_2) 之间对共中心点孔径进行线性插值 (t_1, t_2 分别为上述两个点对应的的时间; h_1, h_2 分别为上述两个点对应的半偏移距)。由于与熟知的共中心点叠加方法类似并加以孔径约束, 这一步称为约束自动共中心点叠加, 可得到 3 个剖面: 自动共中心点叠加剖面, 相干剖面及 q 或 v_{nmo} 剖面。

2.2 零偏移距叠加

漂移双曲线式 (3) 在零偏移距剖面中依赖于两个波场属性参数: α 与 R_N 。由于技术原因无法采集到零偏移距剖面, 但在上一步中得到的约束自动共中心点叠加结果是一个模拟零偏移距剖面, 具有较高的信噪比, 可代替零偏移距剖面用于搜索 α 与 R_N 。对于模拟零偏移距剖面中每个时间样点, 沿式 (3) 执行一次二维搜索或执行两次一维搜索来确定 α 与 R_N 并进行叠加。在对 R_N 进行搜索时可引入黎曼球半径以避免出现数值问题, 利用 α 与上一步得到的 q 或 v_{nmo} 可计算 R_{NIP} 或在共炮点和共接收点道集中使用叠前数据子集的共反射面叠加计算公式对 R_{NIP} 进行搜索。由于只涉及零偏移距剖面中定义的走时曲线, 这一步称为零偏移距叠加, 可得到 5 个剖面: 零偏移距叠加剖面、最大相干剖面、 α 初始值剖面、 R_N 初始值剖面与 R_{NIP} 初始值剖面。

2.3 零偏移距共反射面叠加

最后一步利用式 (1) 给出的双曲线走时近似, 将零偏移距叠加中得到的 3 个波场属性参数 ($\alpha, R_N, R_{\text{NIP}}$) 作为优化算法的初值点应用到原始多次覆盖数据集中。利用 $(x_m - h - t)$ 空间内全部共反射面叠加可得到 5 个剖面: 最终共反射面叠加剖面、最大相干剖面、最优 α 剖面、最优 R_{NIP} 剖面和最优 R_N 剖面。

3 在工程地震勘探中的应用

3.1 理论模型试算

使用一个由二层均匀介质组成的断层模型 (图 2) 对零偏移距共反射面叠加进行试算处理, 模型采用射线追踪方法生成, 地震信号使用主频为 40 Hz 的零相位雷克子波, 并在生成的原始多次覆盖炮集记录中添加随机噪音。

从图 3 中可以看出, 常规共中心点叠加剖面同相轴比较模糊, 断层断点不清晰, 而零偏移距共反射面叠加剖面信噪比明显得到了改善, 同相轴连续性得到了加强, 断层断点更加清晰。理论模型试算结果表明: 零偏移距共反射面叠加与常规叠加相比可以更加有效地压制噪音, 增强反射同相轴连续性与信噪比, 改善叠加剖面质量, 得到的模拟零偏移距剖

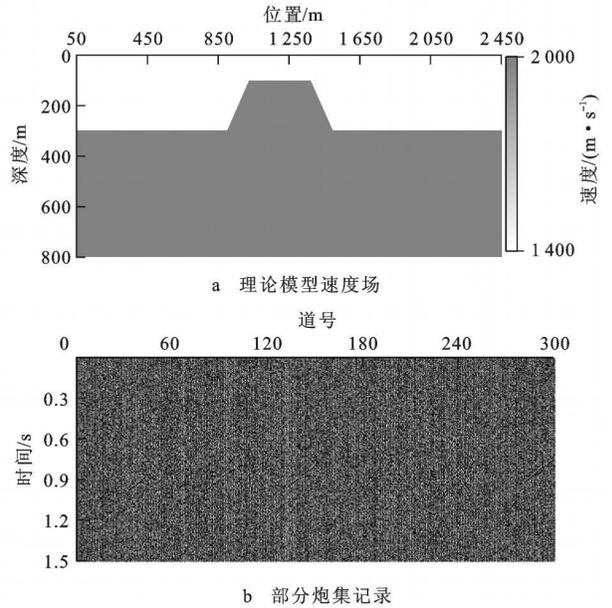


图 2 理论模型速度场及部分炮集记录

Fig. 2 Velocity Field of Synthetic Model and Part Records of Shot Seismogram

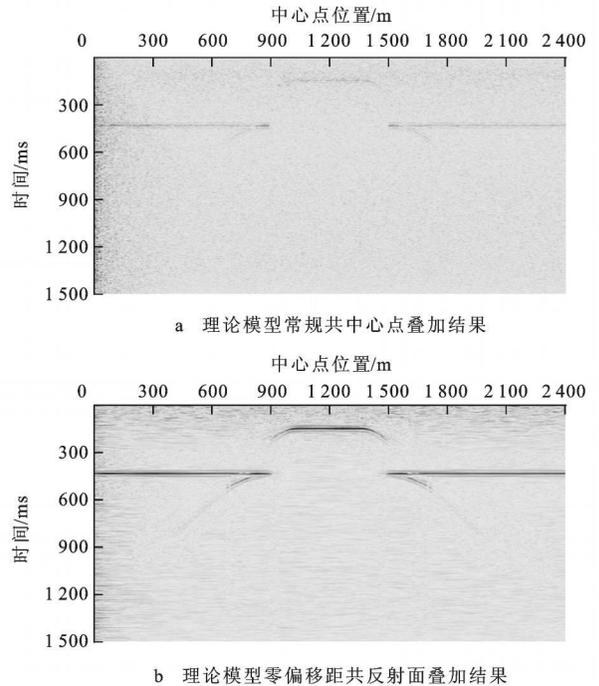


图 3 理论模型常规共中心点叠加结果

及零偏移距共反射面叠加结果

Fig. 3 Conventional CMP Stack Section and ZO CRS Stack Section for Synthetic Data

面与地质模型吻合得更好, 证明了零偏移距共反射面叠加实现流程的正确性与有效性。

3.2 实例分析结果

实际资料来自西部某高速公路段附近一条二维测线, 该测线主要为上覆黄土。从图 4 中可以看出,

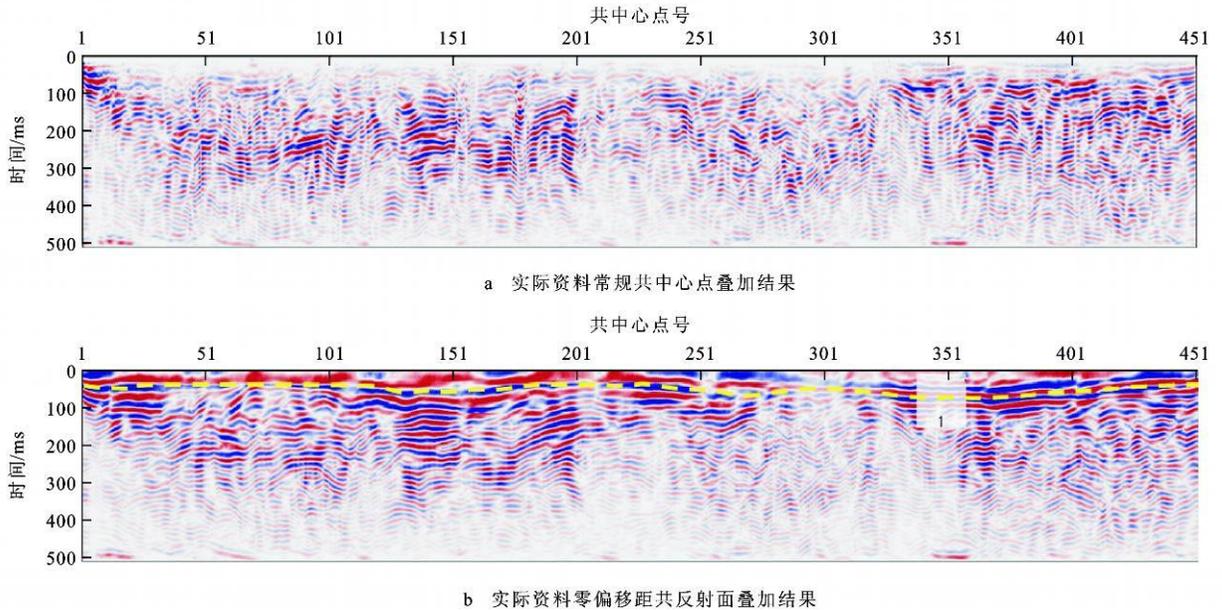


图 4 实际资料常规共中心点叠加结果及零偏移距共反射面叠加结果

Fig. 4 Conventional CMP Stack Section and ZO CRS Stack Section for Real Data

零偏移距共反射面叠加明显增强了浅层反射同相轴连续性,改善了叠加剖面质量与信噪比,这得益于共反射面叠加对数据覆盖次数的提高。实际资料试算结果验证了零偏移距共反射面叠加在工程地震勘探实际资料处理中的实用性与有效性,可达到提高地震资料处理成像质量的预期目的,证明零偏移距共反射面叠加是一种非常有发展前景的地震成像方法。

4 结语

(1)零偏移距共反射面叠加是一种完全数据驱动且与宏速度模型无关的方法,是对用于横向不均匀介质共中心点叠加技术的扩展。

(2)零偏移距共反射面叠加能够适用于工程地震勘探资料数据处理,可提高地震数据覆盖次数与信噪比,显著改善模拟零偏移距剖面的成像质量,共反射面叠加孔径的选择是取得良好效果的关键。

(3)理论模型与工程地震实际资料试算结果表明零偏移距共反射面叠加在工程地震成像数据处理中非常有发展前景。

参考文献:

- [1] 李庆忠.走向精确勘探的道路[M].北京:石油工业出版社,1993.
- [2] Hubral P, Höcht G, Jäger R. Seismic Illumination[J]. The Leading Edge, 1999, 18(11): 1268-1271.
- [3] Jäger R. The Common reflection-surface Stack Theory and Application[D]. Karlsruhe: Karlsruhe University, 1999.
- [4] Mann J. Extensions and Applications of the Common-reflection-surface Stack Method[D]. Karlsruhe: Karlsruhe University, 2002.
- [5] 孟庆生, 楚贤峰, 郭秀军, 等.高分辨率数据处理技术在近海工程地震勘探中的应用[J].地球物理学进展, 2007, 22(3): 1006-1010.
- [6] 王者江, 何樵登, 田 钢, 等.工程反射地震非常规方法野外施工的探讨[J].吉林大学学报:地球科学版, 2005, 35(6): 796-800.
- [7] 王跃飞, 龚道平, 蔡大江.复杂山地条件、特长、大埋深公路隧道工程地震勘探技术方法[J].物探与化探, 2007, 31(1): 81-85.
- [8] 侯卫生, 刘江平.工程地震勘探新进展[J].勘探地球物理进展, 2002, 25(6): 59-64.
- [9] 张铁强, 王兆湖, 牛滨华. CRS 叠加技术在国内的应用和发展[J].大庆石油地质与开发, 2008, 27(2): 128-131.
- [10] Heilmann Z. CRS-stack-based Seismic Reflection Imaging for Land Data in Time and Depth Domains[D]. Karlsruhe: Karlsruhe University, 2007.
- [11] Liu G H, Li Q C, Tang X P. 2D Zero-offset Common Reflection Surface Stack and Its Application in Engineering Seismic Prospecting[Q] // Huang R Q, Wang X B. The 4th International Conference on Environmental and Engineering Geophysics. North Brunswick: Science Press USA, 2010: 250-254.
- [12] Vieth K U. Kinematic Wavefield Attributes in Seismic Imaging[D]. Karlsruhe: Karlsruhe University, 2001.
- [13] 刘国华, 肖 梅, 李庆春.地震资料极化分析及 MATLAB 与 VC++ 混合编程技术[J].地球科学与环境学报, 2008, 30(3): 305-310.
- [14] Hertweck T, Schleicher J, Mann J. Data Stacking Beyond CMP[J]. The Leading Edge, 2007, 26(7): 818-827.