

文章编号:1673-5005(2012)02-0076-05

利用共偏移距共反射面元叠加提高叠前地震资料质量

李 栋¹, 李振春¹, 孔 雪¹, 熊 宇², 孙小东¹

(1. 中国石油大学 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 2. 中国石油川庆钻探工程有限公司 测井公司, 重庆 400021)

摘要:提出利用部分共偏移距共反射面元(CO CRS)叠加提高稀疏低信噪比叠前地震资料质量。通过多参数的 CO CRS 旅行时公式计算得到部分叠加的 CRS 超道集,对数据进行规则化,以利于以后的常规处理如速度分析、叠前偏移等。模型试算和实际资料处理结果表明,与原始地震数据相比,对经过部分 CO CRS 叠加处理后的叠前数据进行偏移,不仅提高了偏移剖面的信噪比,同时改善了同相轴的连续性,获得了较好的成像结果。

关键词:地球物理勘探;地震资料;共反射面元(CRS)叠加;共偏移距共反射面元(CO CRS);共反射面元(CRS)超道集;数据规则化

中图分类号:P 631

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2012.02.012

Prestack seismic data enhancement with common-offset common-reflection-surface stack

LI Dong¹, LI Zhen-chun¹, KONG Xue¹, XIONG Yu², SUN Xiao-dong¹

(1. College of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2. Well Logging Company, CNPC Chuanqing Drilling & Exploration Corporation, Chongqing 400021, China)

Abstract: A partial common-offset common-reflection-surface (CO CRS) stacking method was developed to enhance the quality of sparse low fold prestack seismic data. A multi-parameter CO CRS traveltime formula was applied to compute partial stacked CRS supergathers, and the data were regularized by filling the gaps in cases of missing traces compared with original CMP gathers. These improved prestack data which can be used in many conventional processing steps including velocity analysis or prestack migration instead of the original data. The model test and practical data processing results show that compared with the image section obtained from the original seismic data, the image section by the application of migration with the prestack data obtained through partial CO CRS stack improves not only the signal-to-noise ratio but also the continuity of reflection event, which has better imaging results.

Key words: geophysical prospecting; seismic data; common-reflection-surface (CRS) stack; common-offset common-reflection-surface (CO CRS) stack; common-reflection-surface (CRS) supergathers; data regularization

反射地震资料的质量对于地震处理是非常重要的,实际地震数据受到地质构造和人为因素的影响往往质量较低,影响了地震成像的精度^[1,4]。Bayku-lov 等基于零偏移距共反射面元(ZO CRS)叠加提出的部分 CRS 叠加明显提高了叠前地震数据的品质,在实际资料处理中得到了很好的应用^[5,11]。然而,部分 ZO CRS 叠加需要先在 CRS 叠加过程中确定叠加参数,其存在的计算误差会对 CRS 超道集的精度

产生一定的影响,并且最佳叠加孔径的选取需要进行多次试验,耗费大量的计算时间。笔者提出部分 CO CRS 叠加方法对叠前数据进行处理,同时对数据进行规则化,以提高地震数据质量。

1 基本原理

1.1 CO CRS 叠加算子

CO CRS 叠加是一种多参数叠加技术,在二维

收稿日期:2011-08-08

基金项目:国家“973”课题(2007CB209605);国家“863”课题(2009AA06Z206)

作者简介:李栋(1984-),男(汉族),山东肥城人,博士研究生,主要从事复杂介质偏移成像及共反射面元叠加成像方面的研究。

情况下利用旁轴射线理论和二阶泰勒展开式,可以得到以地震五参数表示的抛物近似和双曲近似的时距方程。在以中心点 x_m 和半炮检距 h 建立的坐标系中,CO CRS 时距曲面的抛物近似式为

$$t_{CO}(\Delta x_m, \Delta h) = t_0 + (\sin \beta_c/v_c + \sin \beta_s/v_s) \Delta x_m + (\sin \beta_c/v_c - \sin \beta_s/v_s) \Delta h + \Delta x_m (K_3 \cos^2 \beta_c/v_c + K_2 \cos^2 \beta_s/v_s) \Delta h + \frac{1}{2} \Delta x_m \left[(4K_1 - 3K_3) \frac{\cos^2 \beta_c}{v_c} - K_2 \frac{\cos^2 \beta_s}{v_s} \right] \Delta x_m + \frac{1}{2} \Delta h (K_3 \cos^2 \beta_c/v_c - K_2 \cos^2 \beta_s/v_s) \Delta h. \quad (1)$$

双曲近似式为

$$T_{CO}^2(\Delta x_m, \Delta h) = [t_0 + (\sin \beta_c/v_c + \sin \beta_s/v_s) \Delta x_m + (\sin \beta_c/v_c - \sin \beta_s/v_s) \Delta h]^2 + 2t_0 \left[\Delta x_m (K_3 \cos^2 \beta_c/v_c + K_2 \cos^2 \beta_s/v_s) \Delta h + \frac{1}{2} \Delta x_m \left[(4K_1 - 3K_3) \frac{\cos^2 \beta_c}{v_c} - K_2 \frac{\cos^2 \beta_s}{v_s} \right] \Delta x_m + \frac{1}{2} \Delta h (K_3 \cos^2 \beta_c/v_c - K_2 \cos^2 \beta_s/v_s) \Delta h \right]. \quad (2)$$

式中, v_s 、 v_c 分别为炮点 S 、接收点 G 处的近地表速度; β_s 、 β_c 分别为中心射线在炮点 S 处的入射角和接收点 G 处的出射角; K_1 为 CS 道集中中心射线在接受点 G 处出射波的波前曲率; K_2 、 K_3 分别为 CMP 道集中中心射线在炮点 S 处入射波的波前曲率和在接收点 G 处出射波的波前曲率^[12-15]。这 5 个波场属性参数被称为 CO CRS 叠加参数,体现了地下构造层间界面的局部特征。由于地震资料的时距关系更符合双曲规律,本文中均采用 CRS 面的双曲走时近似公式。

1.2 部分 CO CRS 叠加原理

图 1 是部分 CO CRS 叠加的原理图。对于某个固定的非零偏移距,每一个时间采样点 P_0 都对应着由半炮检距和中心点位置确定的叠加面元,进行部分 CO CRS 叠加时,仅选取中心射线附近点相邻偏移距的数据,利用 CO CRS 叠加算子将叠加面元内的数据叠加起来,再把叠加结果分配到相应的时间采样点,就得到对应的共偏移距剖面。如图 1 所示,部分叠加过程中选取的叠加面元要小于传统 CO CRS 叠加面元,CO CRS 叠加算子是由旁轴射线理论推导而来,仅在中心射线附近区域精度较高,因此部分 CO CRS 叠加提高地震资料信噪比的同时保持了较高的分辨率。

部分 CO CRS 叠加是将叠加面元内的数据叠加

得到 CRS 超道集对应的时间采样点,压制了随机噪声,提高了地震资料的信噪比。此外,叠加算子考虑了相邻道的信息,所以可以用来补充缺失道。利用部分 CO CRS 叠加可以得到任意偏移距的道集,这意味着对每个道集都可以进行规则化,并且计算部分 CO CRS 叠加面元过程中利用了中心点的位移,即考虑了反射层倾角的因素,所以部分 CO CRS 叠加方法要优于传统的 CMP“面元化”技术。利用部分 CO CRS 叠加得到的超道集并不仅限于零偏移距道集,而是并未经过 NMO 校正的任意偏移距道集,因此可用于以后许多的常规处理步骤如速度分析、叠加或是偏移。

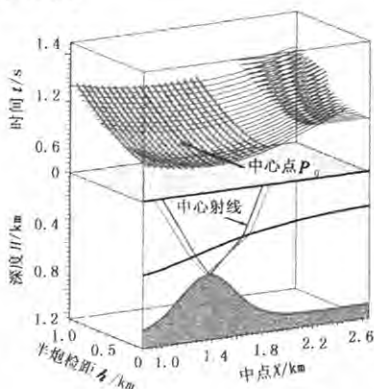


图 1 部分 CO CRS 叠加原理图

Fig. 1 Schematic drawing of partial CO CRS stack

然而,采用完全数据驱动的实现方式带来了“倾角歧视现象”,造成了弱有效反射信号的损失,在提高地震资料信噪比的同时,造成了叠加剖面运动学特征的部分失真^[16]。本文在实现过程中未考虑该问题,这是以后需要改进的研究方向。

1.3 部分 CO CRS 叠加步骤

(1) 部分 CO CRS 叠加,选择合适的叠加孔径是提高地震数据质量的关键。针对模拟的每个固定偏移距剖面,选取的叠加孔径仅包含附近点相邻偏移距的旅行时信息,不仅可使更多的道参与叠加提高地震剖面的信噪比,同时保证了较高分辨率。

(2) 快速有效地确定 5 个属性参数是执行部分 CO CRS 叠加的关键。采用简单的多重循环式搜索计算成本太高,实际生产中是不可取的。考虑到计算效率并且保证参数计算的精度,对叠加算子的五参数采用分步搜索算法,即在不同道集中将叠加算子进行简化,使同时搜索的叠加参数降到 1~2 个。

(3) 固定某偏移距,利用 CO CRS 叠加算子将每个时间采样点对应叠加面元内的信息进行叠加,并

将其分配到对应点就得到了相应的共偏移距剖面。

重复以上过程,就得到了部分叠加的 CRS 超道集组成的叠前数据,流程图见图 2。



图 2 部分 CO CRS 叠加流程图

Fig. 2 Flow chart of partial CO CRS stack

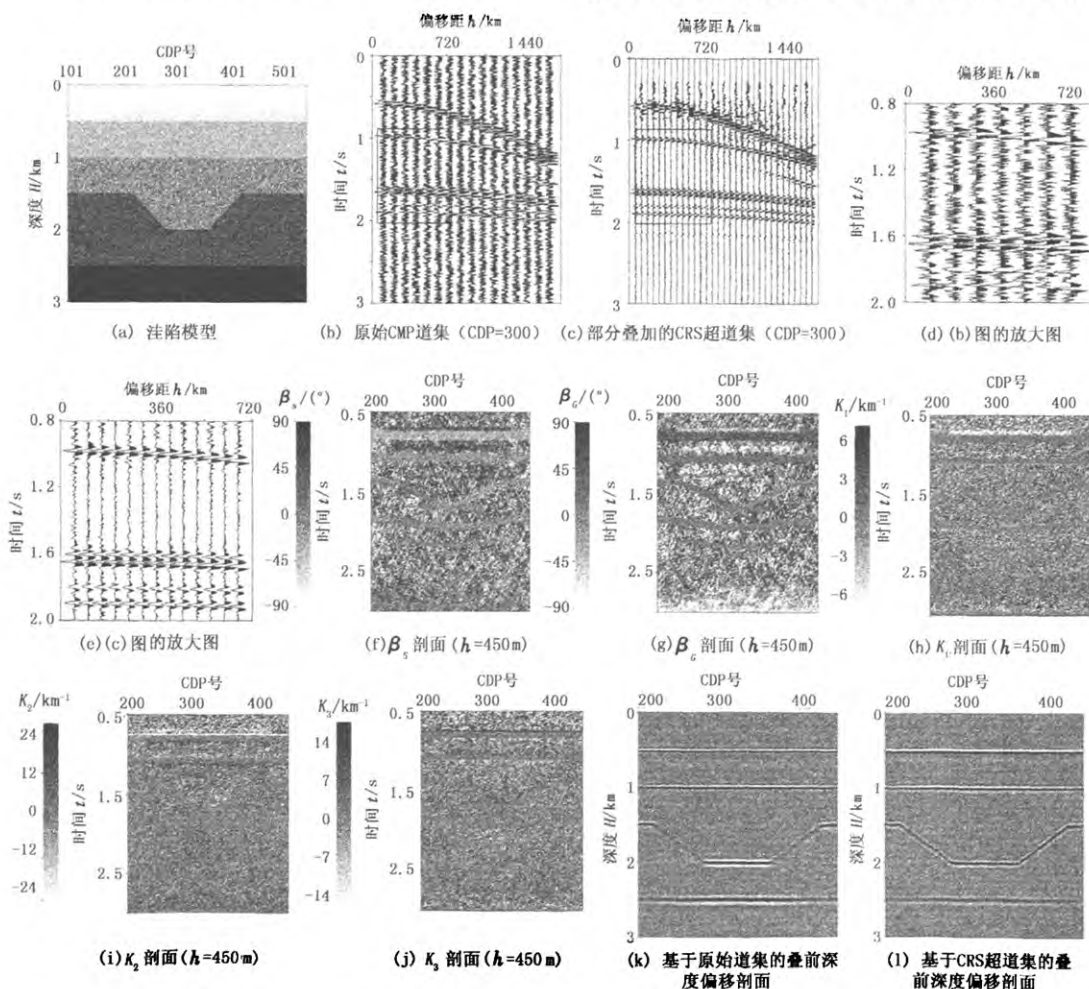


图 3 洼陷模型测试结果

Fig. 3 Test results of depression model

为 300 的共中心点道集,如图 3(c)所示,与图 3(b)相比,不仅显著提高了资料的信噪比,而且补充了缺

2 模型试算

为了验证该方法的正确性和有效性,笔者首先对洼陷模型进行了数值模拟。对于简单洼陷模型,取中心点范围为 $200\text{CDP} \leq x_m \leq 440\text{CDP}$ 的一段进行处理,间隔 $\Delta x_m = 15\text{ m}$,半偏移距 h 从 -900 到 900 m ,采样率为 4 ms ,记录长度为 3 s ,图 3 为其测试结果。首先对洼陷模型(图 3(a))原始的正演数据加入随机噪声,并对其抽道稀疏,选取 CDP 号为 300 的共中心点道集,如图 3(b)所示,可见在 CMP 道集中许多反射层已模糊不清。对上述稀疏道集进行部分 CO CRS 叠加得到 CRS 超道集,同样选取 CDP 号

失道,实现了数据的规则化,CMP 道集中的反射层非常清晰。从放大图图 3(d)、(e)可进一步观察部

分 CO CRS 叠加处理稀疏的低信噪比地震资料的效果。图 3(f) 到图 3(j) 为半偏移距取 450 m 时得到的 5 参数($\beta_s, \beta_c, K_1, K_2, K_3$)剖面,利用该运动学属性参数可进行进一步研究,比如确定几何扩散因子,构建宏观速度模型,分离绕射波和反射波等。通过对比图 3(f)、(g) 可见,经过部分 CO CRS 叠加处理后进行叠前深度偏移,成像剖面的信噪比得到了显著提高,同相轴的连续性也得到了明显改善。

3 实际资料处理

模型试算已验证了部分 CO CRS 叠加的正确性和有效性,再通过对某探区的实际资料试算来验证该方法的适用性。对某实际资料选取中心点范围为 $2500\text{CDP} \leq x_m \leq 5500\text{CDP}$ 的一段进行处理,道长为 5 s,采样间隔为 4 ms。图 4(a) 为该实际资料 CDP

号为 4000 的共中心点道集。可见该资料的信噪比较低,反射波同相轴的连续性也较差。对该实际资料进行部分 CO CRS 叠加处理,得到一系列固定偏移距道集,对其抽道得到 CRS 超道集,同样选取 CDP 号为 4000 的共中心点道集,如图 4(b) 所示。对比图 4(a)、(b) 可知,经过部分 CO CRS 叠加处理后,实际地震资料的信噪比有了显著提高,增强了中深部的弱反射轴,同时补充了缺失道,实现了地震数据的规则化。为了证明部分 CRS 叠加提高地震资料质量的能力,对原始道集和 CRS 超道集进行叠前深度偏移均采用基于整体质量较高的 CRS 超道集进行速度分析得到的速度模型,偏移剖面分别如图 4(e) 和 4(f) 所示。对比可以看出,经过部分 CO CRS 叠加处理后得到的偏移剖面其信噪比和同相轴的连续性均得到了改善,提高了整体成像质量。

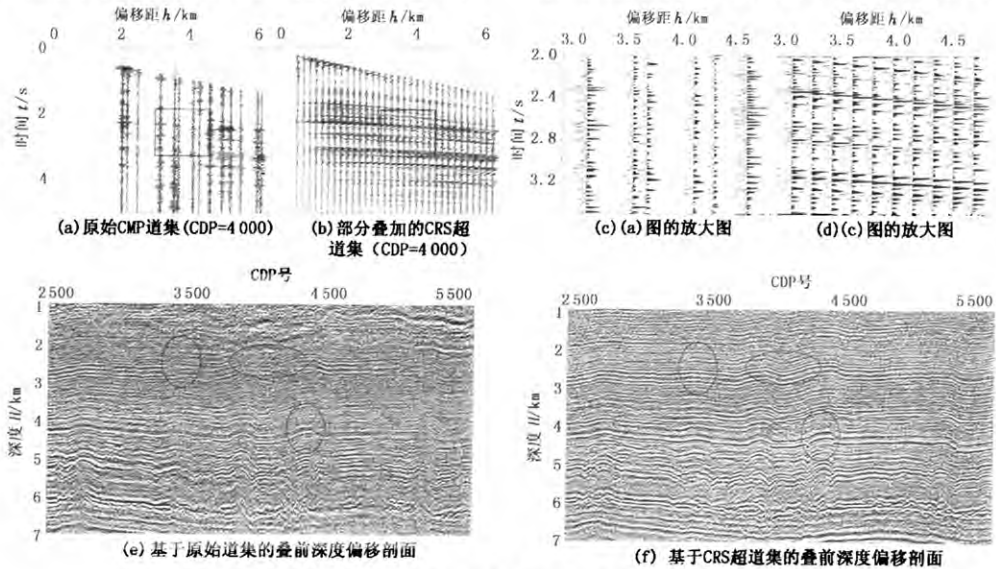


图4 某探区实际资料处理结果

Fig. 4 Processing results of real data in some exploration area

4 结束语

对低质量的地震资料进行预处理是地震成像中非常关键的一步,提高地震资料信噪比和对数据进行规则化是其重要步骤。基于共偏移距共反射面元(CO CRS)叠加的概念提出了部分 CO CRS 叠加方法,充分准确地利用了多次覆盖数据体信息,既明显提高了地震资料的信噪比,又补充了缺失道,对叠前数据进行了规则化,同时保持了较高的分辨率。模型试算和实际资料处理结果表明,与原始地震数据相比,对经过部分 CO CRS 叠加处理后的叠前数据

进行偏移,不仅提高了偏移剖面的信噪比,同时改善了同相轴的连续性,获得了较好的成像结果。

参考文献:

[1] BRUNE R H, O'SULLIVAN B, LU L. Comprehensive analysis of marine 3-D bin coverage [J]. The Leading Edge, 1994, 44(7):757-762.
[2] STOLT R H. Seismic data mapping and reconstruction [J]. Geophysics, 2002, 67(3):890-908.
[3] FOMEL S. Seismic reflection data interpolation with differential offset and shot continuation [J]. Geophysics,

- 2003, 68(2): 733-744.
- [4] HERRMANN F J, WANG D, HENNENFENT G, et al. Curvelet-based seismic data processing: a multiscale and nonlinear approach [J]. *Geophysics*, 2008, 73(1): A1-A5.
- [5] MÜLLER T. The common reflection surface stack method: seismic imaging without explicit knowledge of the velocity model [D]. Karlsruhe: Geophysical Institute, University of Karlsruhe, 1999.
- [6] MANN J. Extensions and applications of the common-reflection-surface stack method [D]. Karlsruhe: Geophysical Institute, University of Karlsruhe, 2002.
- [7] 谭未一, 杨长春, 李瑞忠, 等. 共反射面元叠加的实现途径及流程[J]. *地球物理学进展*, 2004, 19(2): 325-330.
- TAN Wei-yi, YANG Chang-chun, LI Rui-zhong, et al. Common reflection surface stack algorithm and processing flow [J]. *Progress in Geophysics*, 2004, 19(2): 325-330.
- [8] SUN X D, LI Z C, TENG H H. Common reflection surface stack using dip decomposition for rugged surface topography [J]. *Applied Geophysics*, 2007, 4(1): 45-50.
- [9] 吴小羊, 刘天佑, 魏伟, 等. 二维非涅耳带共反射面元叠加方法研究[J]. *地球物理学报*, 2008, 51(6): 1892-1898.
- WU Xiao-yang, LIU Tian-you, WEI Wei, et al. Two dimensional common reflection surface stack based on the Fresnel zone [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2008, 51(6): 1892-1898.
- [10] BAYKULOV M, GAJEWSKI D. Seismic data enhancement with Common Reflection Surface (CRS) stack method [C/OL]. SEG 81th Annual Meeting, Las Vegas, Nevada, November 9-14, 2008; SEG Expanded Abstracts 27, 2596-2600 [2009-12-01]. <http://dx.doi.org/10.1190/1.3063882>.
- [11] BAYKULOV M, GAJEWSKI D. Prestack seismic data enhancement with partial common-reflection-surface (CRS) stack [J]. *Geophysics*, 2009, 74(3): V49-V58.
- [12] ZHANG Y, BERGLER S, HUBRAL P. Common-reflection-surface (CRS) stack for common offset [J]. *Geophysical Prospecting*, 2001, 49(6): 709-718.
- [13] BERGLER S. The common-reflection-surface stack for common offset theory and application [D]. Karlsruhe: Geophysical Institute, University of Karlsruhe, 2001.
- [14] STEHT M. Imaging walkaway VSP data using the common-reflection-surface stack [J]. *The Leading Edge*, 2007, 26(6): 764-768.
- [15] 李栋, 李振春, 孙小东, 等. 共偏移距共反射面元叠加方法[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2011, 35(3): 42-46.
- LI Dong, LI Zhen-chun, SUN Xiao-dong, et al. Common-offset common-reflection-surface stack method [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2011, 35(3): 42-46.
- [16] 杨锴, 许士勇, 王华忠, 等. 倾角分解共反射面元叠加方法[J]. *地球物理学报*, 2005, 48(5): 1148-1155.
- YANG Kai, XU Shi-yong, WANG Hua-zhong, et al. A method of dip decomposition common reflection surface stack [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2005, 48(5): 1148-1155.

(编辑 修荣荣)

(上接第75页)

- [30] HUNT J M. *Petroleum geochemistry and geology* [M]. San Francisco: W H Freeman and Company, 1979: 162-164.
- [31] DAI Jin-xing, SONG Yan, DAI Chun-sen. Geochemistry and accumulation of carbon dioxide gases in China [J]. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1996, 80(10): 1615-1626.
- [32] 戴金星, 戴春森, 宋岩, 等. 中国东部无机成因的二氧化碳气藏及其特征[J]. *中国海上油气地质*, 1994, 8(4): 215-222.
- DAI Jin-xing, DAI Chun-sen, SONG Yan, et al. Inorganic genetic carbon dioxide gas accumulations and their characteristics in east part of china [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 1994, 8(4): 215-222.
- [33] 唐忠取. 天然二氧化碳气藏的地质特征及其利用[J]. *天然气工业*, 1983, 8(3): 22-26.
- TANG Zhong-yu. Geologic characteristics of natural carbon dioxide gas pool and its utilization [J]. *Natural Gas Industry*, 1983, 8(3): 22-26.
- [34] 戴春森, 宋岩, 戴金星. 中国两类无机成因 CO₂ 组合、脱气模型及构造专属性[J]. *石油勘探与开发*, 1996, 23(2): 1-5.
- DAI Chun-sen, SONG Yan, DAI Jin-xing. Multi-stage degassing of the earth in extensional basins of eastern China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1996, 23(2): 1-5.
- [35] IRWIN W, BARNES I. Tectonic relation of carbon dioxide discharges and earthquake [J]. *Geophy Res*, 1980, 85: 3115-3121.

(编辑 刘为清)