

利用 CRS-OIS 实现噪声压制与数据插值

童思友¹, 杨 锴², 孔剑冰³, 魏茂安⁴

(1. 中国海洋大学 海底科学与探测技术教育部重点实验室, 山东 青岛 266100; 2. 同济大学 海洋地质国家重点实验室, 上海 200092;
3. 中国石化股份公司河南油田分公司勘探开发研究院, 河南 南阳 473132; 4. 中石化胜利油田钻井工艺研究院, 山东 东营 257000)

摘要: CRS-OIS 是一种以输出道成像方式实现的共反射面元叠加成像方法, 不仅能够输出一张高质量的叠加剖面, 也能够得到高质量的叠前道集. 将这一特色用于陆地二维地震数据处理的噪声压制与数据插值计算, 理论与实际数据计算证实了该方法的有效性, 体现出很好的应用潜力.

关键词: CRS-OIS; CRSBIN; 噪声压制; 数据插值

中图分类号: P 315.63

文献标识码: A

Noise Suppression and Data Interpolation by Using CRS-OIS

TONG Siyou¹, YANG Kai², KONG Jianbing³, WEI Maoan⁴

(1. Key Laboratory of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques of the Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Exploration and Development Research Institute of Sinopec Henan Oilfield Company, Nanyang 473132, China; 4. Drilling Technology Research Institute, Shengli Oil Field, Dongying 257000, China)

Abstract: CRS-OIS is a common reflection surface (CRS) stack method performed by output imaging scheme (OIS). The feature of CRS-OIS that a high quality prestack gather can be obtained has been utilized in the 2D seismic data processing to suppress random noise and interpolate missing traces. The synthetic and real data examples prove the effectiveness of CRS-OIS on this aspect which shows a huge potential in application.

Key words: CRS-OIS; common reflection surface binnig (CRSBIN); noise suppression; data interpolation

常规处理中共中心点 (common-middle-point, CMP) 叠加的目的在于获得高质量的零偏移距剖面^[1]. 当地层倾斜时, CMP 道集发生弥散, CMP 叠加无法得到正确的零偏移距剖面. 为了克服 CMP 方法的固有缺陷, 世界各国的地球物理学家提出了很多解决方法^[2], 其中, 共反射面元叠加方法是近年来国际上非常引人注目的一种零偏移距剖面高质量成像方法. 杨锴等^[3-4]基于克希霍夫统一成像理论, 提出了输出道方式的共反射面元叠加方法 (Common Reflection Surface Stack by Output Omaging Scheme, CRS-OIS). CRS-OIS 与传统方法的最大不同在于该算法核心是正常时差校正 (normal moveout, NMO) + 克希霍夫倾角时差校正 (dip moveout, DMO). 它在共偏移距剖面上搜索局部反射同相轴特征, 基于该局部反射同相轴构造克希霍夫 OIS 响应, 当局部反射同相轴的长度缩短到一个样点时, CRS-OIS 将准确地退回到常规 NMO + 克希霍夫 DMO. CRS-OIS 完全忠实于 CRS 叠加理论, 同时还避免了传统 CRS 叠加方法中大偏移距成像精度较差、叠后成像难以归位的问题. 在实际数据处理中获得了很好的效果^[5]. 图 1 显示了 CRS-OIS 的处理流程.

相对于传统 CRS 叠加, CRS-OIS 在应用层面上的最大改进在于它不仅能够输出一张高质量的叠加剖面, 同时亦能够得到信噪比大幅度提高的叠前道集. 那么, CRS-OIS 是如何做到这一点的? 通过图 2 来做一简要说明.

图 2 是对传统 CRS 叠加的一个图示, 它显示了对于模型中的反射界面上某一点 R 传统二维 CRS

收稿日期: 2009-02-26

基金项目: 同济大学海洋地质国家重点实验室开放基金; 国家“八六三”高技术研究发展计划资助项目 (2007AA060502, 2006AA06A108, 2006AA09Z339); 国家“九七三”重点基础研究发展计划资助项目 (2009CB219505); 国家自然科学基金资助项目 (40874063)

作者简介: 童思友 (1969—), 男, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为地球物理勘探野外采集、复杂区及海洋资料目标处理和特殊处理技术, 海底天然气水合物识别与预测技术等. E-mail: tsy@ouc.edu.cn

通讯作者: 杨 锴 (1972—), 男, 理学博士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为地震波的传播与成像及储层地震学. E-mail: yang_kai@tongji.edu.cn

叠加的实现过程.假定在反射点 R 附近有一个圆弧型反射段 C_R , C_R 的反射响应在 $(t - x_m - h)$ 域中就是 CRS 叠加面.在通过调谐三个属性参数使得 CRS 叠加面与 R 点附近真实反射界面在 $(t - x_m - h)$ 域中的反射时距曲线最为贴近之后,沿着 CRS 叠加面将能量叠加到 P_0 完成对 R 点的 CRS 叠加.

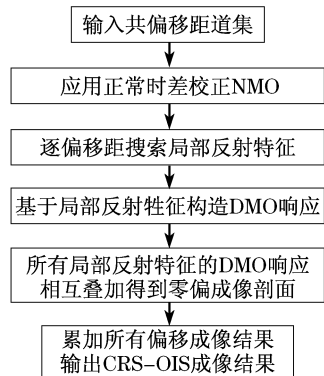


图1 CRS-OIS 处理流程图
Fig.1 Flow chart of CRS-OIS

由此可见 CRS 叠加提高信噪比的关键在于实现合理的邻域叠加.因此一个直接的想法就是,如果在寻找到 CRS 叠加面之后不将叠加面上的能量进行叠加,而是将叠加面上的能量在一定孔径内进行重新分配,就可以得到信噪比提高的道集.该思路即为 CRS-OIS 的实现思路.注意这种思维大大扩展了 CRS 叠加方法的应用潜力,通过该思路不仅可以得到高质量的叠加剖面,还可以提供信噪比提高的叠前道集,这是传统的 CRS 叠加方法无法做到的.

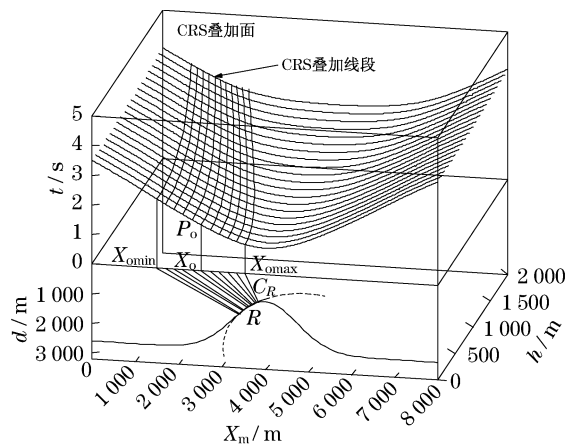


图2 盐丘模型及其反射时距曲线,一个反射点 R 及其 CRS 叠加面在时-空-偏移距域 $(x_m - h - t)$ 的分布

Fig.2 Salt dome model and its reflection time-distance curve. One reflector R and its CRS stacking surface in the time-space-offset domain

只要在图1中的实现流程中,对 CRS-OIS 处理后的数据在叠加前实施反倾角时差校正 (IDMO) 与反动校正 (INMO) 就可以实现信噪比提高的目标.将上述基于 CRS-OIS 方法增强反射信息强度、提高信噪比的处理手段称为 CRSBIN. CRSBIN 可以理解为将菲涅尔带半径内的有效能量在菲涅尔带半径内进行相干加强并重新分配.这种提高信噪比的手段符合地震波传播规律,具有坚实的物理基础.图3为 CRSBIN 的处理流程.处理之后的信噪比得到了提高,这意味着噪音得到了相对压制.在应用环节上,菲涅尔带半径对应的就是叠加孔径,本文对叠加孔径是这样处理的:将叠加速度场进行平滑处理,将叠加孔径的大小与平滑后的叠加速度场建立一种简单的线性关系,总体原则是浅部地层的反射信息在 CRS-OIS 成像时对应较小的孔径,深部地层的反射信息在 CRS-OIS 成像时对应较大的孔径.这种处理大致可以反映菲涅尔带半径的变化规律.由于 CRS-OIS 方法主要用于低信噪比资料处理,主要目标是改善其构造成像的质量,因此这样来选择孔径是基本合理的.但是如果要在实施 CRS 成像时同时考虑保护振幅相对关系,叠加孔径就必须精心选择^[6].同时,还要注意到这个处理流程能够充分利用邻域内的反射能量,客观上还能够达到数据插值的效果.

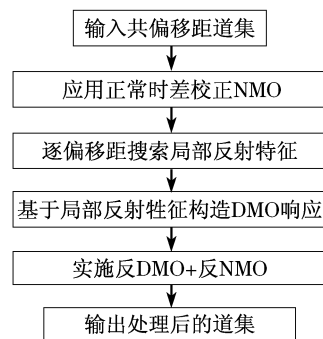


图3 CRSBIN 处理流程图
Fig.3 Flow chart of CRSBIN

2 基于 CRSBIN 实现噪声压制与数据插值

注意 CRSBIN 处理中最关键的部分在于逐偏移距搜索局部反射特征.其实传统 CRS 双曲时距关系在理论上应该能够实现这个搜索.但是在研究中发现,传统 CRS 的双曲型时距关系在大偏移距情形下存在很大误差,因此不得不放弃使用该时距关系^[3].

鉴于此,本文采用了逐偏移距来搜索局部反射特征的搜索方式.图4显示了CRSBIN的实现过程.图4a显示了一个盐丘模型,反射界面上下的速度分别是 $2\,000\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 与 $4\,000\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.基于该模型正演得到的 $4\,000\text{ m}$ 偏移距剖面如图4b所示.将搜索到的三

条局部 CRS 反射线段(由浅色线段标明)与共偏移距剖面共同显示如图4c所示.在实践环节上,CRS-OIS 和传统方法的最大区别在于它在单个共偏移距剖面内搜索属性参数,只需角度和曲率两个参数就足以确定局部 CRS 反射线段的形状,相比传统方法

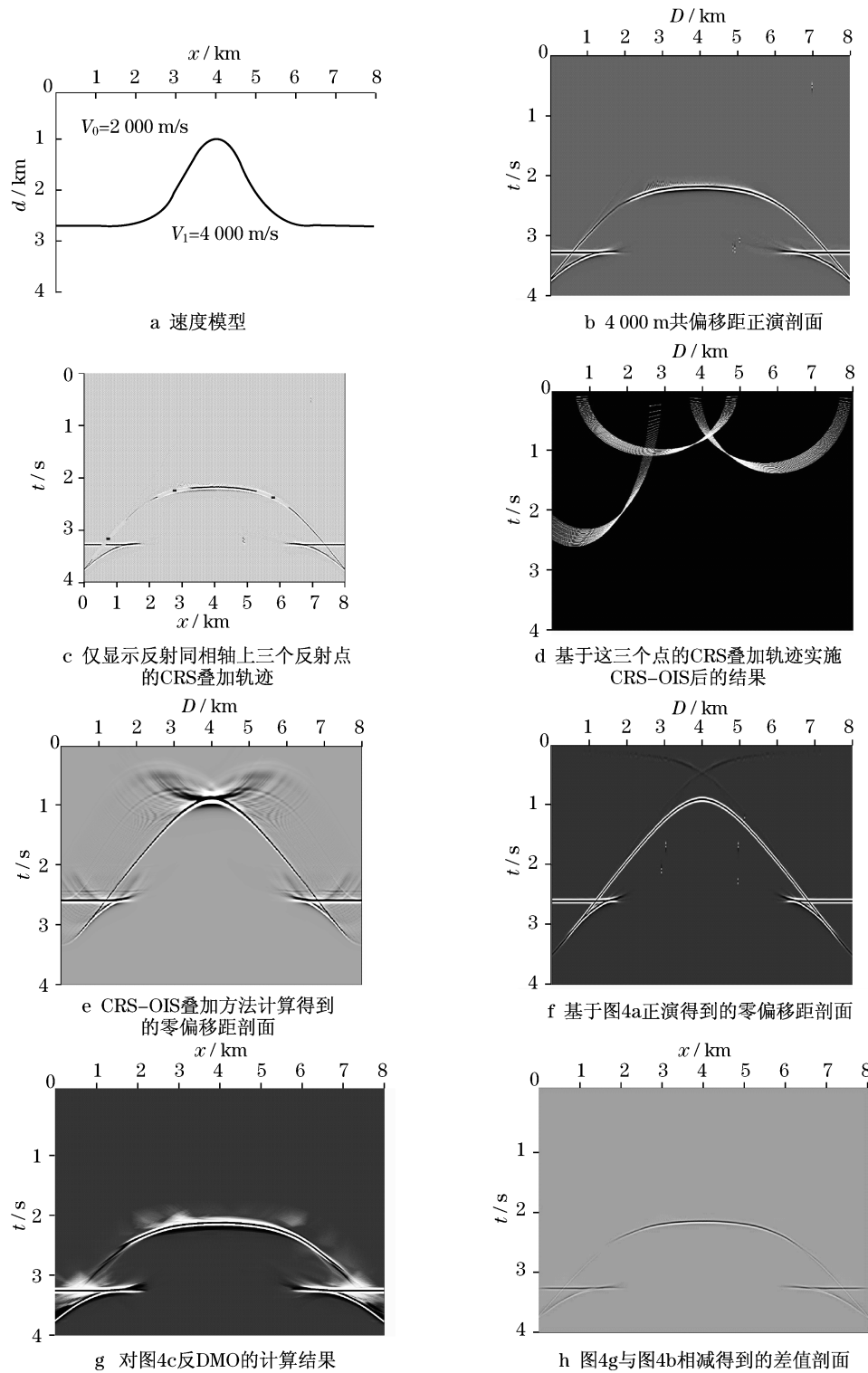


图4 CRSBIN 基于理论数据的应用

Fig.4 Application of CRSBIN to modeling data

需要搜索三个未知参数更为便捷.同时 CRS-OIS 直接基于共偏移距剖面内的反射同相轴构造数据输出面,自然回避了传统 CRS 叠加中大偏移距下成像精度差的问题,使得所有偏移距的数据都对最终的零偏成像剖面产生应有的贡献.

图 4d 显示了基于这三条线段计算的 NMO + DMO 响应.图 4e 显示了从 4 000 m 偏移距剖面中合成的 CRS-OIS 零偏成像剖面.图 4f 显示了基于图 4a 正演得到的零偏移距剖面.可以看出图 4e 与图 4f 在运动学特征方面是完全一样的.只要对图 4e 进行反 DMO 校正处理,就可以得到用于下一轮叠加速度分析的高质量道集.不仅如此,如果在此基础上再对其进行反 DMO 处理,就可以得到用于下一轮偏移速度分析的高质量道集.图 4g 显示了将图 4e 进行反 DMO + 反 NMO 处理之后得到的剖面,图 4g 与图 4b 的差值剖面如图 4h 所示.可见在 CRSBIN 处理之

后,反射信息的连续性得到有效加强.

4 实际数据应用

采用中国西部地区某测线进行实际数据处理.该测线数据道长为 6 s,采样间隔为 4 ms,由于特殊的野外施工方式,部分偏移距道缺失.

如图 5 所示,处理结果证明了 CRSBIN 的有效性.图 5a、图 5c 和图 5d 分别显示了 CRSBIN 处理前的 CMP 道集,相应地,图 5b、图 5d 和图 5f 分别显示了 CRSBIN 处理后的 CMP 道集.可以看到:经 CRSBIN 处理后,不仅有效反射信息的连续性得到明显提高,同时,由于该方法将叠加孔径内的能量在孔径内进行重新分配,因此在有数据缺失的地方,数据也得到了很好恢复.可以认为同时达到了噪音压制与数据插值的效果.

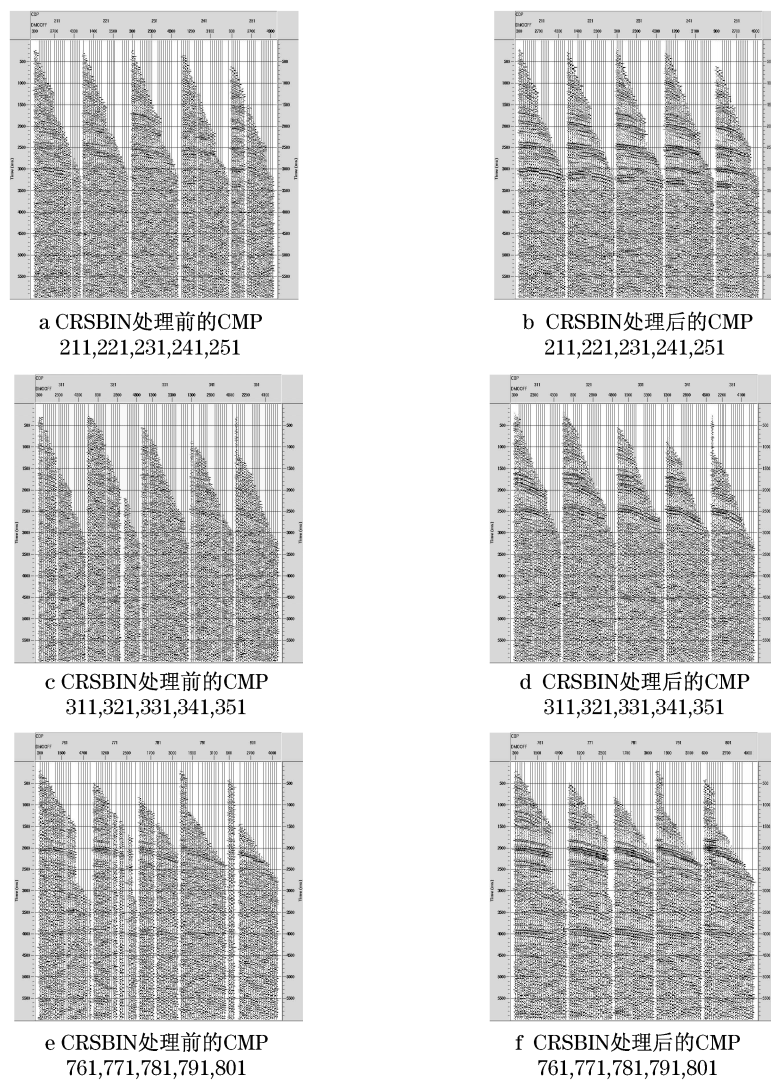


图5 CRSBIN 处理前、后的 CMP 道集对比
Fig.5 CMP gathers before and after CRSBIN

图 6a 与图 6b 分别显示了 CRSBIN 处理前后的叠加速度分析对比,可以看到由于 CRSBIN 处理后的有效反射信息的连续性有了明显提高从而使得叠加速度分析的准确性得到明显改善.类似地,由于信噪比的明显改善,偏移速度分析质量也会有类似于叠加速度分析这样的一个相应的提高.这种提高无

疑将有助于后续的叠前偏移成像.

图 7a 与图 7b 分别显示了 CRSBIN 处理前的 CMP 叠加剖面与 CRSBIN 处理后的 CMP 叠加剖面,可以看到处理后较处理前信噪比的提高非常明显,这正是由于 CRSBIN 在处理过程中充分挖掘数据潜力得到的处理结果.

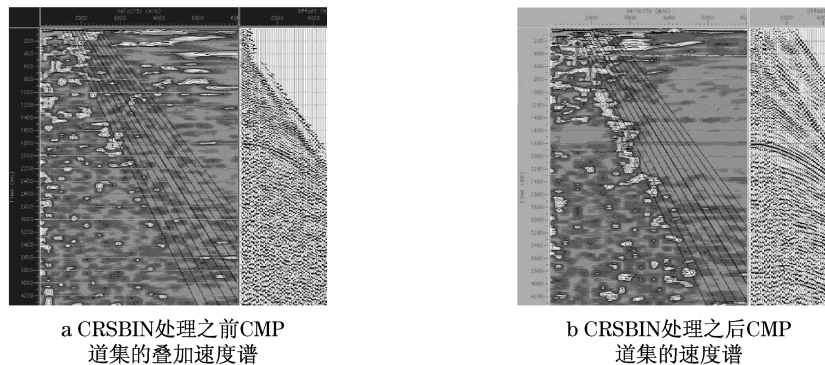


图 6 CRSBIN 处理前、后 CMP 道集的速度谱

Fig.6 Stack velocity spectrum before and after CRSBIN

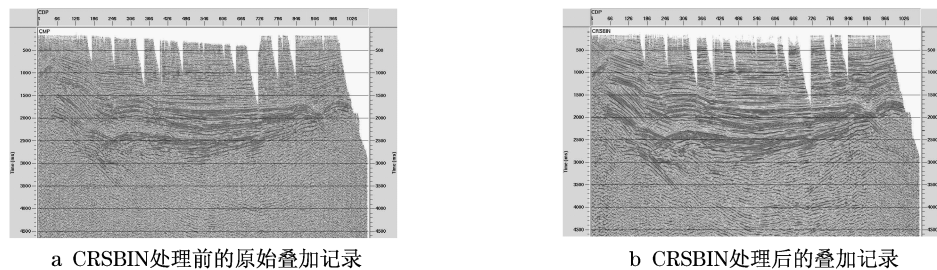


图 7 CRSBIN 处理前、后的叠加记录

Fig.7 Stack section before or after CRSBIN

5 结语

基于 CRS-OIS 方法讨论了能够有效提高信噪比、填补数据缺失的 CRSBIN 方法,并将该方法对理论数据和实际数据进行了处理.处理结果显示 CRSBIN 方法具有很好的提高同相性、压制随机噪声的能力,能够合理地提高信噪比并进一步挖掘数据的潜力,并且客观上达到了数据插值的效果,应用结果明显提高了后续速度分析、叠加成像和偏移成像的质量,对于有数据缺失的低信噪比实际资料具有很好的适用性和实用性.

参考文献:

[1] 伊尔马兹.地震资料分析——地震资料处理、反演和解释[M].刘怀山,王克兵,童思友译.北京:石油工业出版社,2006.
Yilmaz Ö Z. Seismic data analysis: processing, inversion and

interpretation of seismic data[M]. Translated by LIU Huaishan, WANG Kebing, TONG Siyou. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006.

- [2] 周青春,刘怀山,Kondrashkov V V,等.椭圆展开共反射点叠加方法的应用研究[J].地球物理学报,2009,52(1):222.
ZHOU Qingchun, LIU Huaishan, Kondrashkov V V, et al. Research and application of ellipse evolving common reflection point stack method[J]. Chinese J Geophys, 2009, 52(1): 222.
- [3] 杨锴,马在田.输出道成像方式的共反射面元叠加方法 I——理论[J].地球物理学报,2006,49(2):546.
YANG Kai, MA Zaitian. Common reflection surface stack by an output imaging scheme I: theory[J]. Chinese J Geophys, 2006, 49(2): 546.
- [4] 杨锴.共反射面元叠加——从输入道观点到输出道观点[D].上海:同济大学,2003.
YANG Kai. Common reflection surface stack from input to output [D]. Shanghai: Tongji University, 2003.
- [5] Yang K, Wang H Z, Dong L G, et al. An output imaging scheme of the common reflection surface stack: applications to real data [C] // 76th SEG Expanded Abstracts. Houston: Society of Exploration Geophysics, 2006: 2529 - 2532.
- [6] Spinner. CRS-based minimum——aperture Kirchhoff migration in the time domain[D]. Karlsruhe: University of Karlsruhe.