一种改进型 C3 相干算法。

王恩利^{1,2},刘军迎¹,韩立国²,刘前坤^{1,2} (1.中石油勘探开发研究院西北分院,甘肃兰州 730000; 2.吉林大学地球探测科学与技术学院,吉林长春 130026)

摘 要:基于特征值结构的相干体算法(C3 算法)的核心思想就是用与水平时间切片的相关的相干 值压制水平方向上介质连续性,凸显不连续性,因此具有最佳的横向(即水平)分辨率,而对倾角数 据效果较差。为了改善倾向分辨率,本文提出一种用测线抽取数据进行计算的方式取代基本算法 中面元抽取数据计算的方式。试算结果表明该算法真实有效,精度有较大的提高。 关键词: 地震勘测; C3 相干算法;特征结构;协方差矩阵;测线

中图分类号: P631.4⁺43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2009)03-0217-04

A Improved Method of C3 Coherence Algorithm

WANG En-li^{1,2}, LIU Jun-ying¹, HAN Li-guo², LIU Qian-kun^{1,2}

Research Institute of Petroleum Exploration & Development - Northwest(NWGI), PetroChina, Lanzhou 730000, China;
 College of Geoexploration Science & Technology, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: As a method of coherence algorithm based on eigenstructure, the core of C3 algorithmitsis suppressing continuity and emphasizing discontinuity of underground media by computing the coherence of time slices, and finally obtains both higher lateral resolution and lower dip resolution. To improve dip resolution, an improved C3 method, with computing covariance matrix by survey line instead of dealing with sliding panels is presented. The results show the new method has better resolution both in horizon and dip direction.

Key words: Seismic prospecting; C3 coherence algorithm; Eigenstructure; Covariance matrix; Survey line

0 引言

地震相干体技术是近年来发展起来的一项功能 强大的地震属性解释技术,主要应用于断层和裂缝 的识别。1995 年 Bahorich 和 Farmer 提出了利用 传统的归一化相干算法预测同相轴的相似性,即第 一代相干技术(C1 算法)^[1]。预测主要通过互相关 得到,应用前提是地震道是零平均信号,且仅适用于 高质量的地震资料。为了解决这些问题,Marfurt^[2]]等在 Taner 和 Koehler^[3]、Landa 等^[4]研究的 基础上提出了利用多道相似性的第二代相干技术 (C2 算法)。该算法优越性在于可以准确地计算数 据的相干性、倾角和方位角,且垂直分析时窗可以限 制在几个采样点以内,从而可以精确地计算薄的、细 微的地质特征的相似性,其突出特点是抗噪能力较强,但横向分辨率较低。为了提高相干算法的分辨率,Gersztenkorn和 Marfurt将数学中的矩阵特征结构引入到相干分析中,利用特征结构来计算相干,即基于特征结构的第三代相干算法(C3)^[5]。C3算法对每一道每一样点求得与周围数据的相干性,形成一个表征相干性的三维数据体,即计算时窗内的数据相干性,把这一结果赋予时窗中心样点,这样既可以压制连续性,突出不连续性,又可以定量地反映地震特征的横向变化,所得结果比地震水平切片的地质解释更直观。该方法主要应用于更客观、更细致的断层解释^[6]、河道、砂体及裂隙预测^[7-8]。

① 收稿日期:2008-10-27 作者简介:王恩利(1980-),男(汉族),河北沧州人,工程师,主要从事石油勘探资料处理解释及正反演技术研究. 本文在对 C1、C2、C3 相干算法分析的基础上, 重点对 C3 算法进行改进,实现改进型的 C3 相干算 法,即用测线计算协方差矩阵的方式,取代基本算法 中的面元(时间切片)计算协方差距阵的方式。通过 3D 模型数据进行试算结果显示,该算法真实有效, 且精度有较大提高。

1 算法

1.1 基本算法

C3 基本算法的核心思想即用与水平时间切片 相关的相干值压制水平方向上的介质连续性、凸显 不连续性,从而提高横向分辨率。C3 算法基本流程 如下:给定三维数据体 **D**V=[NT,NX,NY],其中 NT、NX 与 NY 分别为样点数、Inline 和 Xline 线 数。

(1)采用中心点叠加方式,滑动三维面元 dv=
[bnt,bnx,bny],并依测线号将其展布为二维窗 D=
[bnt,bnx×bny],假定 bnx×bny=J,bnt=N,则有

$$\boldsymbol{D} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1J} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2J} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d_{N1} & d_{N2} & \cdots & d_{NJ} \end{bmatrix}_{N \times J}$$
(1)

(2)范取第 *n* 行数据 *d*^{*T*}_{*n*} = [*d*_{*n*1}, *d*_{*d*2}, ..., *d*_{*nJ*}](即 第 *n* 个时间切片数据),求解其对应的协方差矩阵

$$d_{n}d_{n}^{T} = \begin{bmatrix} d_{n1} \\ d_{n2} \\ \vdots \\ d_{nj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{n1}, d_{n2}, \cdots, d_{nj} \end{bmatrix}$$
(2)

(3) 计算总的协方差矩阵 C。

$$C = D^{T}D = \sum_{n=1}^{N} d_{n}d_{n}^{T}$$

$$= \begin{bmatrix} \sum_{n=1}^{N} d_{n1}^{2} & \sum_{n=1}^{N} d_{n1}d_{n2} & \cdots & \sum_{n=1}^{N} d_{n1}d_{nj} \\ \sum_{n=1}^{N} d_{n1}d_{n2} & \sum_{n=1}^{N} d_{n2}^{2} & \cdots & \sum_{n=1}^{N} d_{n2}d_{nj} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum_{n=1}^{N} d_{n1}d_{nj} & \sum_{n=1}^{N} d_{n2}d_{nj} & \cdots & \sum_{n=1}^{N} d_{nj}^{2} \end{bmatrix}$$
(3)

(4) 计算相干值。

$$E_{C} = \frac{\lambda_{1}}{Tr(C)} = \frac{\lambda_{1}}{\sum_{j=1}^{J} c_{jj}} = \frac{\lambda_{1}}{\sum_{j=1}^{J} \lambda_{j}}$$
(4)

其中λ1 是最大特征值; Ec 为最终求得的单元窗体

dv 中心点处的特征结构相于值。

1.2 改进算法

根据基础算法的核心思想可以推知,如果处理 存在倾角信息的数据体,那么相应的算法就必须符 合下面的思路:即用与带有倾角信息的时一一深切 片(可以是水平的,也可以是倾斜的)或者数据序列 相关的相干值来提高倾向分辨率。基于此,重新设 计算法如下:

(1) 对给定的三维数据体 DV = [NT, NX, NY], 滑动三维面元 dv = [bnt, bnx, bny], 并按照线号抽取时 - 深剖面 P(i), 剖面数据大小为[bnt, bnx], 其中 i=1~bny。

(2) 在 *P*(*i*) 剖面内逆时针逐条抽取过中心点 且与剖面四边形边界整网格点相交的直线 *l*(*j*),共 *bnt*+*bnx*-2条,见图 1 所示。



Fig. 1 Diagram of data extraction for line by line in profile P(i).

(3) 根据 l(j)上各交点坐标按照起止方向顺序 抽取对应的地震数据序列 d(j);通过式(2)求取协 方差矩阵 $dj = d(j)^{T}d(j)$,继而得到该矩阵的迹 T (j) = trace(dj)(主对角线元素之和)及最大特征值<math>lumd(j)。

(4) 求得 *P*(*i*)剖面内对应的 *bnt*+*bnx*-2 个协 方差矩阵的最大特征值

 $lumd \max(i) = \max(\{lumd(j)\})$ (5) 与迹的总和

$$Tsum(i) = \sum T(j)$$
 (6)

(5) 求得单元体中 bny 个剖面的最大特征值之

第3期

和

$$Lumd = \sum lumdmax(i)$$
 (7)

与迹的总和

$$Trace = \sum Tsum(i)$$
 (8)

$$E_c = \frac{\text{lum}d}{\text{Trace}} \tag{9}$$

*E*c 为最终求得的单元窗体 *dv* 中心点处的特征结构 相干值。

对比两种算法不难发现,两者的最大区别在于 基本算法是"面元"式,即以水平的时间切片数据为 计算单元进行协方差矩阵运算,没有强调数据中的 倾角信息;而改进算法则是"测线"式,即以剖面数据 中的倾斜的"直线"数据进行协方差矩阵运算,从而 将数据的倾角信息带入计算。

需要说明的是,对 bny 个剖面用相同算法求取 bnt+bnx-2条线段,从单元体整体考虑相当于用 过中心点的 bnt+bnx-2个倾斜切片绕中心轴线旋 转着抽取数据,如图 2 所示。



图 2 单元体内逐倾斜切片抽取数据示意图 Fig. 2 Diagram of data extraction for dip slices in cube.

虽然如此,在实际计算时由于 P(i)剖面内的最 大特征值所在的"直线"存在多种可能,因此上述算 法不等同于直接使用倾斜切片数据进行计算。

改进算法的另外一个明显的优势就在于它以剖 面中心点为控制点,这就使得最终结果的相干剖面 的可信性得到增强。

3 应用实例

我们对同一三维数据体分别用初始算法与改进 算法进行相干处理,自结果中抽取两组相干数据进 行对比,其中一组是时间切片(图 3),另一组是 Inline 剖面(图 4)。对比图 3、4 可以发现,原始算法发 掘了一些原始数据图像中较为隐蔽的信息,且能够 在一定程度上反映介质的不连续性,但缺陷也很明 显,即反映相干值的色值线条比较粗糙,精度较低, 致使对边界的勾勒不够细致。相比之下改进算法有 一定的优势,表现为:相干时间切片与原始数据图像 基本形态匹配得较好;在相干剖面中断层发育段数 据的连续性仅在同向轴所在的倾角方向上得到较好 的体现,而在其它方位上均受到强力压缩,整体凸显 出断层的不连续性,主、次断层的区别明显;相干值 的色值线条得到了有效的收敛,使得构造边界更加 清晰,精度大大提高。



4 结论

基于特征值结构的相干体技术(C3 算法)能够 压制数据的横向连续性,突出不连续性,且可以定量 地反映地震特征的横向变化,非常适于断层解释、河 道、砂体及裂隙预测等领域的应用。然而在数据带 有明显倾角信息时,C3 算法适应性较差,因此应用 受到了限制。本文在回顾并实现了基本 C3 算法的 基础之上,以其核心思想为依据对该算法进行了改 进,以沿测线方向计算协方差矩阵的方式取代了滑 动面元计算的方式。实例证明,相比基本算法改进 型 C3 算法不论是对水平时间切片数据,还是倾角 特征明显的剖面数据,都有较为明显的精度优势。 如何进一步改进算法,使之能够达到裂隙级别精度, 对裂隙型油气藏检测将有重要意义。





[参考文献]

- Bahorich M, Farmer S L. 3-D Seismic Discontinuity for Faults and Stratigraphic Features : The Coherence Cube [J]. The Leading Edge, 1995, 14(10); 1053-1058.
- [2] Marfurt K J, Kirlin R L, Farmer S L, et al. 3-D Seismic Attributes Using a Semblance Based Coherency Algorithm[J]. Geophysics, 1998, 63 (4):1150-1165.
- [3] Taner M T, Koehler F. Velocity spectra-digital computer derivation and applications of velocity functions[J]. Geophysics, 1969,34:859-881.
- [4] Landa E, Thore P, Reshef M. Model-based stack: A method for constructing an accurate zero-offset section for complex overburdens[J]. Geophysics. Prosp. 1993, 41:661-670.
- [5] Gersztenkorn A, Marfurt K J. Eigenstructure-Based Coherence Comput — ations as an Aid to 3-D Structural and Stratigraphic Mapping[J]. Geophysics ,1999, 64(5):1468-1479.
- [6] 佘德平,曹辉,郭全仕.应用三维相干技术进行精细地震解释 [J].石油物探,2000,39(2):83-88.
- [7] Ashbridge J, Pryce C, Coutel F. Fault and Fracture Prediction from Coherence Data Analysis. A Case Study: The Magnus Field, UKCS [J]. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2000, 19: 1564-1567.
- [8] Neves F A , Zahrani M S , Bremkamp S W. Detection of Potential Fractures and Small Faults Using Seismic Attributes [J]. TLE ,2004,23(9);903-906.
- [9] 王德利,雍运动,韩立国,等. 三维粘弹介质地震波场有限差分 并行模拟[J]. 西北地震学报,2007,29(1):30-34.
- [10] 刘前坤,韩立国,廉玉广,等. 基于等效 Thomsen 参数的 P-SV 波 AVO 属性研究[J]. 西北地震学报,2008,30(3):214-220.
- [11] 黄翼坚. 非均匀 TI 介质 P-SV 波传播交错网格高阶有限差分数值模拟[J]. 西北地震学报,2008,30(1):11-16.