

文章编号: 1001—1749(2011)02—0111—04

利用小波相干技术检测致密储层裂缝发育带

倪根生^{1,2}, 何建军¹, 李琼¹, 叶增炉³

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059;

2. 中石油西南油气田分公司 低效油气开发事业部, 四川 成都 610017;

3. 安徽省铜陵学院, 安徽 铜陵 244000)

摘要: 目前国内、外油气勘探已经进入岩性油气藏勘探阶段, 其中致密碳酸盐岩或页岩油气勘探具有远大前景。这类致密储层中裂缝是油气储集的主要空间。用模拟地震子波的小波函数对原始三维地震数据体作小波变换, 可以得到不同频带(分辨率)的地震数据体。分别对具有不同分辨率的三维地震数据体进行C3相干处理, 其中低频相干体突出了断裂的信息, 而高频相干体则突出反映了受断裂控制下的小断裂或裂缝的发育信息, 通过合理的融合系数有选择地对C3相干数据进行融合, 获得了能够高精度分辨裂缝发育特征的相干数据体, 由此提高了裂缝检测和储层预测的精度。

关键词: 三维地震; 致密储层; C3相干; 小波相干; 裂缝检测

中图分类号: P 631.4⁺4 **文献标识码:** A

0 前言

中国海相碳酸盐岩地层分布面积广, 烃源岩层系多, 蕴藏着丰富的油气资源, 但多具层深、质密、非均质强的特点。同时, 在我国目前也兴起了对页岩油气藏的勘探。致密碳酸盐岩和页岩均属重要的油气储层之一, 它们的储集空间均以裂缝为主体, 因此对裂缝的识别和检测, 已成为寻找致密储层构成的油气藏的关键因素^[1]。

地震相干体技术是在1995年召开的65届SEG年会上正式推出的, 现在已成为地震资料储层解释中的一项普及性技术。相干体技术通过比较局部地震波形的相似性, 在断层或裂缝发育区由于地震信息的差异性较大, 因而表现出较低的相干值。因此通过相干处理和分析, 利用各种地震信息, 如地震反射时间、功率谱、振幅、频率及相关等, 结合地质、钻井等资料解释断层或识别裂缝发育带, 大大提高了断层解释和裂缝识别的准确性, 为

油气勘探和开发提供有效布井依据。

目前, 相干体算法已从第一代基于互相关的算法(简称C1算法)、第二代利用多道相似性的算法(简称C2算法), 发展到第三代基于特征结构的相干算法(简称C3算法)^[2]。Bahorich和Farmer提出的C1算法适用于高质量的地震资料, 但对噪声的地震资料计算效果较差; Marfurt等提出的沿倾角(方位角)计算的多道C2算法, 具有较强的抗噪能力, 且能适应大倾角地层, 但分辨率低; Gersztenkorn和Marfurt提出的C3算法具有最佳的横向分辨率, 但对大倾角敏感性稍差。

小波分析是一种时频分析技术, 其时频窗口大小(即窗口面积)固定, 但其形状可改变, 即在低频部份具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率; 在高频部份具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率。正是这种特性, 使小波变换具有对信号的自适应性。因此在地震处理领域内, 利用小波分析技术来对信号进行多分辨率分析, 从而检测地震信息中所包含的地质特征。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40874053)

收稿日期: 2010-12-03

改回日期: 2010-12-17

虽然 C3 相干算法在水平方向上有较高分辨率的优点,但在纵向上对大倾角地层的分辨特性较差。而小波变换具有多分辨率的特性,因此把这两大技术结合起来,可以在纵横方向上提高断层或裂缝的识别能力,从而对致密碳酸盐岩或页岩的储层进行准确预测^[3,4]。

1 C3 相干算法基本原理

假设在地震三维振幅体中,取相邻 J 道 N 个样点,组成一个 $N \cdot J$ 的地震子体构成矩阵 D :

$$D = [d_{ij}]_{N \times J}$$

对于数据体中的相干计算点,设样点号为 n ,给定按一定方式组合的 J 道数据,取时窗长度为 N (N 取奇数),定义协方差矩阵 C 为:

$$C(p, q) = \sum_{m=n-N/2}^{n+N/2} \begin{bmatrix} d_{1m}d_{1m} & d_{1m}d_{2m} & \cdots & d_{1m}d_{Jm} \\ d_{2m}d_{1m} & d_{2m}d_{2m} & \cdots & d_{2m}d_{Jm} \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ d_{Jm}d_{1m} & d_{Jm}d_{2m} & \cdots & d_{Jm}d_{Jm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 $d_{jm} = d_j(m - t - px_j - qy_j)$ 为对应的地震数据; p 和 q 为视倾角。

对于每一组 p 、 q 值,都可以利用 J 道、 N 个点的小数据体的信息,来提取该计算点的相干属性值。由于以上协方差矩阵是对称的半正定矩阵,当原始数据矩阵的元素不全为零时,可以计算出它们的 J 个非负特征值。

定义式(2)为第三代相干体的相干值:

$$C_3 = \max(C(p, q)) = \frac{\lambda_l}{\sum_{j=1}^J \lambda_j} = \frac{\lambda_l}{Tr(C)} \quad (2)$$

式中 分母是矩阵的迹,代表了协方差矩阵的能量, $Tr(C) = \sum_{i=0}^J \sum_{j=0}^J C_{ij}$, $C_{ij} = \sum_{m=n-N/2}^{n+N/2} d_{im}d_{jm}$; 分子是最大特征值,代表了优势能量。

对于每一时间点,在给定的视倾角范围内,计算不同 p 、 q 时的相干值,取其中最大的相干值作为该点最终的相干结果。

2 小波相干计算基本原理

2.1 小波函数的选择

小波函数的选择,对处理效果有直接影响。高静怀^[5]在 Morlet 小波基础上,构造出了适应于地

震资料处理的小波函数,如公式(3);王西文^[6]基于 Mor2let 小波和改进的 Morlet 小波,提出了导数小波函数,如公式(4)。

$$g(t) = e^{i2\pi f_0 t} e^{-\frac{1}{2}(ct)^2} \quad (3)$$

$$\frac{\partial g(t)}{\partial t} = (2\pi f_0 i - c^2 t) e^{i2\pi f_0 t} e^{-\frac{1}{2}(ct)^2} \quad (4)$$

式中 c 为常数, f_0 为主频。

式(1)、式(2)小波函数用常数 c 控制高斯函数来调制小波函数 $g(t)$ 的特征,从而最大程度地模拟地震子波。

2.2 地震数据的小波变换

低频段选取公式(3)中的小波,高频段选取公式(4)中的小波,对三维地震数据体进行小波变换。尺度因子为 a_i ($i = 0, \dots, N-1$)。其中 N 为小波变换尺度数)。当尺度因子 a_i 发生变化时,小波变换的实部就是一些具有不同分辨率的地震记录。

2.3 小波分频相干计算

对不同尺度因子 a_i 下获得的不同分辨率的地震记录,按式(2)求取 m 样点处的相干值 $C_3(m, a_i)$ 。在这一系列多频相干数据中,低频相干体突出了控制构造格局的大断裂的信息,高频相干体则突出反映了受大断裂控制下的小断裂的信息。

2.4 小波相干体融合

为了获得最佳的重构相干数据,必须根据地质特征,选择在合适的尺度因子 a_i 下确定融合系数 (d_i),以突出特定频带特征。按式(5)进行融合,可以获得最佳的相干数据体 (C_3^*)。

$$C_3^*(m) = \sum_{i=0}^{N-1} d_i C_3(m, a_i) \quad (5)$$

3 实际应用效果分析

选择新疆某油田奥陶系一间房组碳酸盐岩为处理目标。该区域一间房组埋深都在 5 000 m 以下,碳酸盐岩中裂缝为主要的油气储集空间^[7]。裂缝以小缝为主,所占比例达 52.7%,其次为中缝,占 37.2%,而大缝仅占 10.1%。常规 C3 处理与小波相干 C3 处理结果如下页图 1、图 2 所示。

比较二种处理结果可知,常规 C3 相干处理只能显示裂缝发育的大概部位,而小波相干处理结果不仅能反映出裂缝的发育部位,而且还清楚地揭示了裂缝的平面走向、延伸等重要特征。

通过一条 EW 向剖面与小波相干平面图对比(见下页图 3),展示出还有许多小断层在原层位解

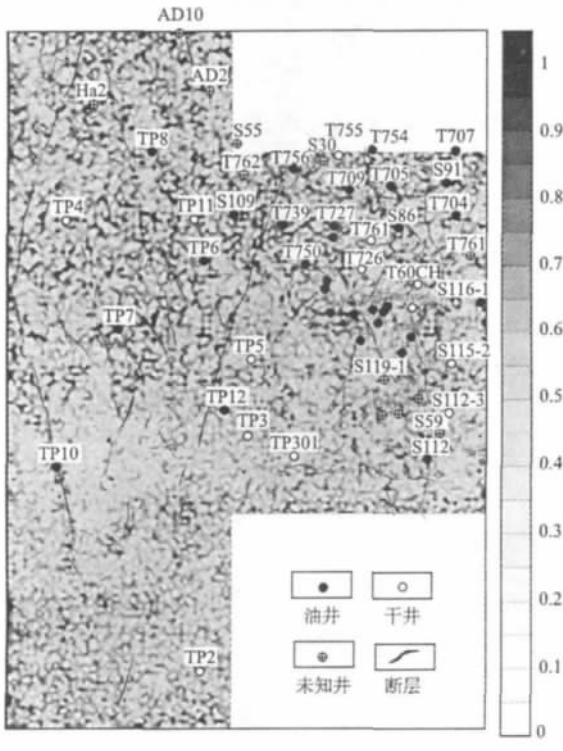


图1 常规 C3 相干处理平面图
Fig.1 C3 coherence data with normal processing

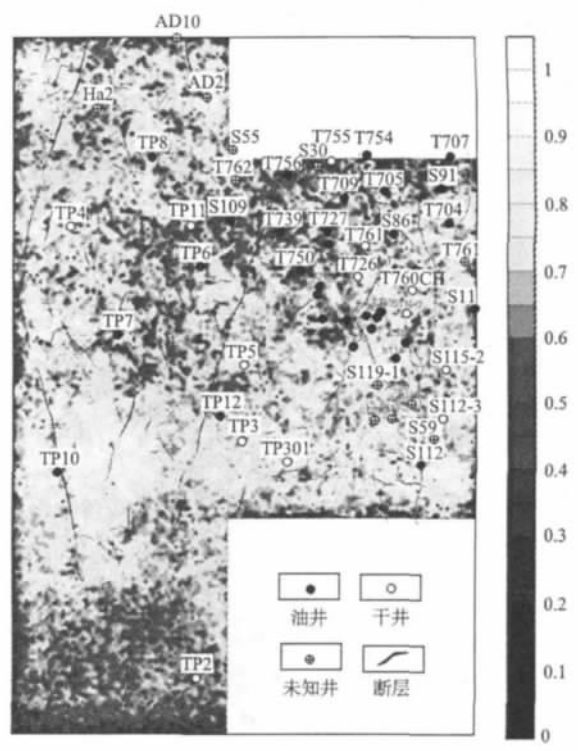


图2 小波相干处理平面图
Fig.2 The results with wavelet coherence processing



图3 三维剖面与小波相干裂缝检测对比图
Fig.3 The comparison diagram of three-dimensional cut plane and fracture detection by method of coherent wavelet

释中没有解释出来,在图 1 中也不清楚。图 3 中三维剖面中粗断层是层位追踪出来的断层,而三维剖面中细断层(裂缝)是本次小波相干检测出来的,二者对应关系非常一致,说明这小断层(裂缝)是客观存在的。从而说明本次小波相干裂缝检测结果准确,效果良好。

4 结论

(1) 小波相干技术是目前地震地质解释中常用来进行断层、裂缝检测与解释的重要手段,现已发展到第三代相干技术。但小波相干技术的应用效果,受地下地质特点影响较大。如构造平缓、大断层不发育且规模小、后期断层被剥蚀等,导致 C3 相干断层(裂缝)检测效果并不理想。

(2) 小波分频相干是一种能够按各种尺度进行分频,再相干运算的一种新方法。该方法形成的相干体是多频带的相干体,其含有反映着不同频带通道的地质特征。通过数据融合,把各频带通道的地质特征融合成一幅图像,该图像能较全面地反映各种地质构造特征。

(3) 对于融合质量的评价,目前还没有一个全面、客观和统一的标准。因此,小波相干形成的数

据,必须结合实际地质特征进行综合对比分析。

参考文献:

- [1] 巫芙蓉,李亚林,王玉雪,等. 储层裂缝发育带的地震综合预测[J]. 天然气工业,2006,26(11):49.
- [2] 张军华,王永刚,赵勇,等. 相干体技术算法改进及其在 JTH 地区的应用[J]. 物探与化探,2002,26(1):50.
- [3] 何建军. 致密碳酸盐岩缝洞储层地震检测方法研究[D]. 成都:成都理工大学,2008.
- [4] 叶增炉. 小波相干技术及在地震解释中的应用[D]. 成都:成都理工大学,2006.
- [5] 高静怀,汪文秉,朱光明,等. 地震资料处理中小波函数的选取研究[J]. 地球物理学报,1996,39(1):392.
- [6] 王西文,高静怀,李幼铭. 高分辨地震资料处理中的导数小波函数的构造[J]. 石油物探,2000,39(2):64.
- [7] 龚洪林,潘建国,王宏斌,等. 塔中碳酸盐岩裂缝综合预测技术及应用[J]. 天然气工业,2008,28(6):31.

作者简介:倪根生(1964-),男,高级工程师,博士,主要从事石油地质及物探科研管理工作。

广告启事

《物探化探计算技术》期刊是由四川省教育厅主管、成都理工大学与中国地质科学院物化探研究所联合主办的科学技术刊物。她是集学术、科技于一体的“中国科技核心期刊”,双月刊,国内、外公开发行,并于 2004 年开始刊登广告。

《物探化探计算技术》期刊所登广告的内容涉及地质勘探、资源调查、工程勘探、计算机软件开发、生态环境保护等领域内的学术会议通知、企业介绍、物化探新仪器设备、新方法以及计算机软、硬件介绍等。欢迎各界客户来电、来函联系广告业务。

联系电话: 028-84078995

E-mail: wtth@cdut.edu.cn

《物探化探计算技术》编辑部

ABSTRACTS

MONITORING FRACTURES DEVELOPMENT BELT OF TIGHT RESERVOIR BY TECHNIQUE OF COHERENT WAVELET

NI Geng-sheng^{1,2}, HE Jian-jun¹, LI Qiong¹, et al. (1. Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. Inefficient Oil and Gas Exploitation Division, Southwest Oil and Gas Company, PetroChina, Chengdu Sichuan 610017, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(2): 111

At present, exploration activity have gone into explored phase of lithologic hydrocarbon reservoir at home and abroad, and oil and gas exploration of tight carbonate or shale have showed broad potentials. The fracture is critical hydrocarbon pore volume in this tight reservoir. Firstly, we obtained seismic data volume of different frequency bands by using simulative function of seismic wavelet to make wavelet transformation with 3D seismic data volume. Secondly, we did C3 coherent transformation for 3D seismic data volume of different frequency bands. Low-frequency coherence data predominate the information of fault. By contrast, radio frequency coherence data predominate the message of minor fault or fracture which is controlled by the faults. Finally, C3 coherence data is selectively mixed together through appropriate inter-fusion coefficient. We acquired coherence data volume what can distinguish the development character of fracture by high precision, which increase the accuracy of fracture detection and reservoir prediction. **Key words:** 3D seismic; tight reservoir; C3 coherence; wavelet coherence; fracture detection

IMPLICIT FINITE-DIFFERENCE PLANE WAVE MIGRATION IN VTI MEDIA

HAN Li, HAN Li-guo, CUI Jie, et al. (College of Geo-Exploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(2): 115

Implicit finite-difference (IFD) extrapolation operator and plane wave migration in VTI media are studied in this paper. We design VTI media IFD extrapolation operator, and obtain the differential coefficients by nonlinear optimization iteration method with Taylor expansion solution as the initial solution. We verify the high accuracy of the operator by comparing the dispersion curve and migration Impulse response of the IFD extrapolation operator with the theoretical solution. Combining the theory of plane wave migration in isotropic media with the IFD operator in VTI media, plane wave migration are extended to VTI media. Synthetic Hess VTI model data verifies the ef-

fectiveness of the method and the advantage on special steep reflectors imaging. Compared with conventional shot-profile migration in VTI media, plane wave migration largely reduces the computation cost with the same imaging quality, which provides a new way for anisotropic study.

Key words: plane wave migration; VTI media migration; anisotropic migration; VTI media wave field extrapolation; implicit finite-difference operator

IMPROVING COMPUTING EFFICIENCY OF KIRCHHOFF MIGRATION BY COMPRESSING 3-D TRAVEL TIME TABLE

WANG Jun¹, YANG Chang-chun², LI Bo-tao² (1. University of Petroleum, Dong Ying 257061, China; 2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(2): 122

Travel time of seismic waves is an important parameter of Kirchhoff migration. In process of 3-D Kirchhoff migration, the enormous travel time table file is frequently read, which leads to a fairly low calculation efficiency. A method is proposed to improve the computing efficiency of 3-D Kirchhoff migration by compressing the ray tracing travelttime table: At first, a smallest rectangle region in 3-D space with regular grids is constructed, where all the travel time data points are included. Then, the 3-D cubic B-spline function is used to fit a cuboidal surface which covers all the 3-D scattered travel time data, and the values of the finite regular grids can be calculated using least square method and are stored into memory in terms of an array. Compressed sparse column method is used to save more space. When the scattered travel time data are needed by migration, they can be decompressed by liner interpolation of 3-D B-spline function. Application to real seismic data shows that the travelttime compression method can not only compress travel time data with high approximate accuracy, stable calculation result, high calculation efficiency, but also improve the numerical efficiency of Kirchhoff migration by twice because the enormous travel time table file needn't be frequently read any more.

Key words: kirchhoff migration; computing efficiency; 3-D travel time table compression

APPLICATION OF VARIANCE ANALYSIS TECHNOLOGY IN ORGANIC REEF PREDICTION

QU Da-peng, XIAO Qiu-hong, ZENG Zhen, et al. (Research Institute of Exploration Southern Division Company, SINOPEC, Chengdu Sichuan 610041,