

文章编号: 1001-1986(2001)06-0055-04

三维地震资料的精细解释技术

程建远, 何文欣, 朱书阶

(煤炭科学研究院西安分院, 陕西 西安 710054)

摘要: 提出了在普通微机上实现三维地震属性参数提取、提纯、降维、去噪和多种属性综合处理的思路和方法, 并在三维地震实际探采对比资料中进行了应用。结果表明, 该方法对于 5 m 以下小断层的解释取得了突破, 显示出了良好的地质效果, 同时也对传统地震垂向分辨率的极限提出了质疑。

关键词: 三维地震; 属性分析; 精细解释

中图分类号: P631.4 43 文献标识码: A

1 引言

目前, 煤矿采区三维地震勘探技术已经成为构造勘探的首选技术, 在全国各大煤矿得到了广泛的推广应用。但是, 常规的三维地震资料解释, 主要利用了反射波的运动学特征(如波至时间)来解决构造地质问题, 而没有充分利用反射波的动力学信息(如振幅、频率等); 另一方面主要依靠解释人员的经验进行解释, 无形中浪费了大量的有用信息, 经常造成小断层的误判和漏判。例如对于一个 5 m 落差的小断层, 地层平均速度按照 3 000 m/s 计算, 其实际时

间落差为 3 ms 左右; 在常规比例显示的地震时间剖面上, 1 mm 代表 4 ms, 所以 5 m 断层的时差为时间剖面上的 0.75 mm。如此小的时间异常, 依靠人的肉眼难以给予准确解释与识别, 更何况人的肉眼无法提取和很难同时利用地震波运动学、动力学等信息, 来进行三维地震资料的精细地质解释, 这也是导致 5 m 以下小断层的三维地震解释始终没有获得突破的重要原因之一。

随着计算机的迅速发展和三维地震资料解释性处理技术的兴起, 综合利用三维地震属性参数进行精细地质解释受到了广泛关注。三维地震属性是对

收稿日期: 2001-02-12

作者简介: 程建远(1966-), 男, 陕西乾县人, 高级工程师, 博士生, 地球物理勘探专业。

- [7] Gao Jing-huai, Li You-ming, Chen Wen-chao. On the instantaneous attributes analysis of seismic data via wavelet transform [R]. Expanded abstracts of the technical program, SEG 68th annual meeting, 1998 1084-1087.
- [8] Gao Jing-huai, Dong Xiao-long, Wang Wen-bing, Li You-ming, Pan Cun-huan. Instantaneous parameter extraction via wavelet

transform [J]. IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37: 867-870.

- [9] Gao Jing-huai, Wu Ru-shan, Wang Bao-jiang. A new type of analyzing wavelets and its applications for extraction of instantaneous spectrum bandwidth [R]. Expanded abstracts of the technical program, SEG 71th annual meeting, 2001.

Applications of wavelet transform for extraction of instantaneous spectrum bandwidth

CHEN Shou-min¹, GAO Jing-huai², CHEN Wen-chao³

(1. School of Earth science, Jilin University, Changchun 130023, China; 2. School of Electronic & Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 3. School of Electronics & Information Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract By taking one of the analyzing wavelet as basic wavelet, which best matching seismic wavelets, a new method of calculating the instantaneous spectrum bandwidth (ISB) is given (called WT method). For a comparison between WT method and the commonly used Hilbert Transform (HT method), the ISB maps of a noisy synthetic data are calculated using both methods. The results demonstrated the advantages of WT method over HT method both in precision and in anti-noise performance. The WT method was used for calculating the ISB map of a seismic recording from an oilfield; the map of the ISB distinctly displayed the position and pattern of an ancient subsurface ditch.

Key words wavelet analysis; instantaneous bandwidth; seismic data interpretation.

地震数据的几何学、运动学、动力学和统计学特征的综合量度,其中几何属性通常与地层的几何形态(诸如倾角、方位和曲率)有关;地质统计属性大多数是次生的或导出的地震属性;而运动学和动力学属性(如振幅、波形、频率)则能够提供地震资料精细地质解释的有关信息。因此,我们利用从三维地震成果数据体中提取、提纯、优选一些地震属性参数,并对这些参数进行综合处理,实现了三维地震资料精细解释,获得了显著的地质效果。

2 三维地震资料属性参数的提取

考虑到目前地震属性参数的实际应用现状,根据文献调研、理论研究和模型分析结果,本文中沿煤层反射波提取的具体地震属性参数主要包括:

2.1 时间—空间域属性参数

沿煤层反射波附近的一定时窗内,在时间—空间域提取了5个地震属性参数,其中4个为一次原始参数,1个为利用一次原始参数所获得的二次导出值(图1),具体参数为:波谷振幅(A_b)、波峰振幅(A_a)、相对振幅($A_a - A_b$)、视周期均方根振幅($Rmsa$)、道间最大相关系数($Coef$)。

根据以上参数还可以求出一次参数的导出值,作为辅助参数,以适应不同的地质要求。

2.2 频率—波数域属性参数

在频率—波数域提取了6个地震特征参数(图2),具体为:峰值频率(F_{main})、峰值振幅(A_{fm})、频带宽度($Dltf$)、平均频率(f_{Avg})、重心频率(f_{Hg})、主频带能量百分比($Rflw$)。

上述在频率域提取的6个参数均为一次原始参数,从中很容易能够导出诸如道间主频差值、道间频带宽度差值等二次参数导出值。

2.3 三维地震空间属性参数

上述在时间—空间域、频率—波数域提取的地震属性参数,多数都是以单道参数形式出现的。因此,这些参数不仅可用于二维地震资料的参数提取,同样也适合于三维地震属性参数的提取。但是,三维地震数据体区别于二维地震的特殊性,在于三维具有可提取多道地震参数、可提取沿某一煤层层面上多种参数的特点,因此可以得到很多“层面”上的空间属性参数。我们提取的三维空间属性参数主要包括:

2.3.1 三维空间相干系数

对于三维地震数据体,分别沿 inline 线和 crossline 线方向求取相邻三道($(x_i, y_j) - (x_{i+1}, y_j)$)的相关系数 $d_c(x_i, y_j)$ 以及 $(x_i, y_j) - (x_i, y_{j+1})$ 的相

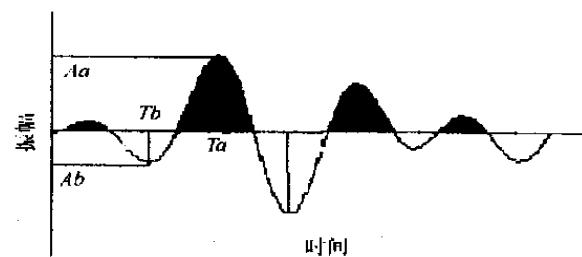


图 1 时间—空间域地震属性参数示意图

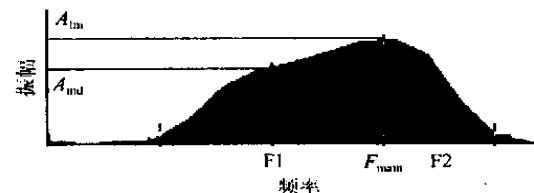


图 2 频率—波数域地震属性参数示意图

关系数 $d_y(x_i, y_j)$,然后按照下式计算 (x_i, y_j) 的空间相关系数 d_{xy} :

$$d_{xy} = \frac{\max d_y(t, l, x_i, y_i) * \max d_y(t, m, x_i, y_i)}{\max d_y(t, l, x_i, y_i) + \max d_y(t, m, x_i, y_i)},$$

式中 $\max d_y(t, l, x_i, y_i)$ ——延迟 l 使得 d_y 最大化,
 $\max d_y(t, m, x_i, y_i)$ ——延迟 m 使得 d_y 最大化

2.3.2 三维空间时间梯度

三维空间时间梯度,可以突出地震波场空间属性的横向变化,而这种变化,往往是和断层、岩性的横向非均匀性、地层边界以及调谐厚度的位置等直接有关的。这是因为当地下介质横向均匀时,相邻地震道的反射信号极为相似,即空间域的波数接近于0,而当地下存在断层等横向不均匀的地质异常体时,相邻道的反射信号必然存在差异,亦即空间域的波数不为0。

对于沿某一层面的地震波场函数 $f(x, y)$,其一阶梯度 D 的大小是某一点方向导数的最大值,方向是取得方向导数最大值的方向,而对于层面上的离散点计算,可以采用如下的差分形式:

$$D = (\Delta_x f(i, j))^2 + (\Delta_y f(i, j))^2.$$

为了实现以上地震属性参数的提取,已编制了专门的属性参数拾取配套软件。实际上,地震属性参数的种类很多,今后根据需要还可以对地震道积分、地震道积分能谱、地震道的分形一分维属性参数(包括时间域关联维、频率域关联维、容量维、分形维等)新的地震属性参数加以提取与分析。

3 三维地震属性参数的提纯技术

3.1 归一化处理

由于所提取的不同地震参数之间类型不同、量

纲不同、数量级大小差别很大,如果不进行归一化处理,势必影响定量分析的效果和可靠性。为此,在参数分析之前,要对不同参数的数据进行归一化处理,从而使得不同参数具有相同的变化范围,以便在后续的解释性处理中具有同样的贡献。

3.2 去噪处理

以上所提取的地震属性参数,难免要受到个别地段信噪比较低的影响和噪音的干扰,从而使得参数出现“毛刺”、“野值”。这些“毛刺”和“野值”的出现,对于地震属性参数的地质标定和利用属性参数进行模式识别十分不利,容易造成解释中的出现个别非地质因素引起的“假异常”。因此,需要对属性参数进行进一步的提纯。采用中值滤波和游动加权平均法等手段,可以有效地达到去除“野值”和“毛刺”的效果。

3.3 相关分析

以上提取多种地震的多种参数,有些参数是相关的,有些参数是无关的,而相关性较大的参数的共同使用,并不能明显提高多属性分析的精度,相反会增加不必要的计算量。为此,需要对多参数之间的相关性加以分析、筛选与判别。相关分析是利用两组参数之间计算互相关系数,来衡量参数之间相关性的一种简单易行的方法。

3.4 主成分分析

在多数情况下,地震属性参数之间存在着相关关系,因此这些彼此相关的属性参数之间也必然存在着起支配作用的共同因素。主成分分析的目的,就是要从一定数量的属性参数中,找出数目较少的、彼此独立的综合变量(或“因子”),并将原来的属性参数用这些综合变量表示出来。

主成分分析是一种直接研究多元数据结构的降维映射方法。在经过相关分析对一些彼此极大的参数进行筛选后,主成分分析不再进行地震属性参数的选择和淘汰,而是利用保留下来的参数去重新构造一批新参数,这些新参数中的前几个可能包括了原有地震属性参数中的主要信息。

4 三维地震精细解释技术的应用实例

为了证明上述三维地震资料精细解释技术的可靠性,我们以新疆哈密地区复杂戈壁条件下三维地震为例。该区浅部的地震地质条件相对较差,三维地震资料成果资料品质中等,故在煤矿采区具有一定的典型性和代表性。

4.1 地质概况

本区为戈壁地貌,地形相对高差约50 m,潜水

位深达40余m,地表地震地质条件横向变化较大,地震地质条件十分复杂;主要煤层IV、V、VI号煤层赋存条件较好(平均煤厚各为8.72 m、3.10 m、2.80 m),煤层与围岩波阻抗差异明显。IV号煤层顶板主要由泥岩、粉砂岩、细砂岩及砂砾岩组成,底板以粉砂岩、泥岩为主,下距VI号煤层25 m左右;VI号煤层顶底板均为细砂岩、粉砂岩夹泥岩组成,上距V号煤层19.26 m,整套地层沉积韵律结构明显,煤层之间间距适中,具有良好的中深部地震地质条件。

4.2 应用效果分析

我们选取一条沿着轨道上山方向切出的地震剖面,(图3)该剖面经过后期采掘揭露,地质条件基本查明。(图4)可以看出:该段共有四条落差小于5 m的小断层发育和一条冲刷带,从左到右分别是:冲刷带:宽度约0.5 m,砂泥质充填,倾角67°左右;F₁:逆断层,落差5 m,倾向浅部;F₂:一组正断层,综合落差3 m,倾向浅部;F₃:一组宽度近30 m的小正断层组,综合最大落差约4 m;F₄:正断层,落差3.4 m,倾向深部。

经过统计计算,该区三维地震资料平均信噪比为7.3,平均主频为62.85 Hz,平均带宽为13.2 Hz,平均主频波长为35.03 m。常规的最高“垂向分辨率”为8.76 m,即对于落差小于该分辨率的断层难以检测和识别。实际上,如果按照常规的目视地震地质解释,能够解译的构造特征点有两个(图3):在CDP250附近,煤层反射波同相轴出现明显扭曲和下凹;在CDP275附近,同相轴表现为明显畸变,并存在很小的时差。这些反射特征预示着该两处有小断层存在,但是目视解释对于冲刷砂体和另外两条小断层几乎没有反映。

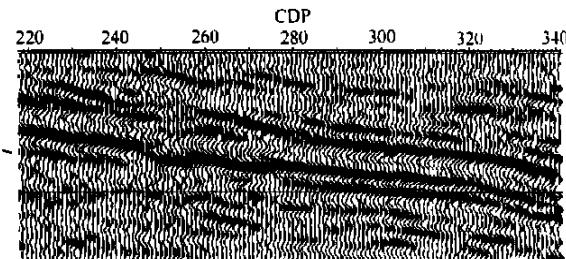


图3 轨道上山方向三维地震时间剖面图

采用三维地震资料的精细解释技术,提取了该剖面上的8个地震属性参数,首先对所提取的地震属性参数进行游动光滑、中值滤波去噪,然后进行参数标准化处理,之后采用数学地质上的相关分析和主成分分析,并对三维地震属性平面进行图像处理,最后沿上山位置切出8种属性参数主成分分析的综合曲线。(图5)

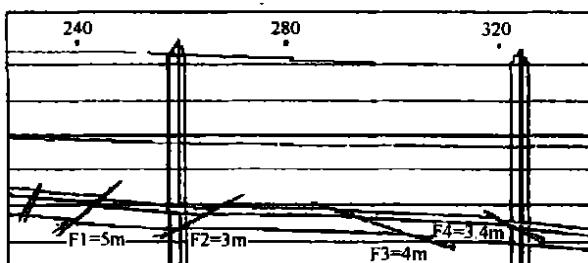


图 4 轨道上山方向实际地质剖面图

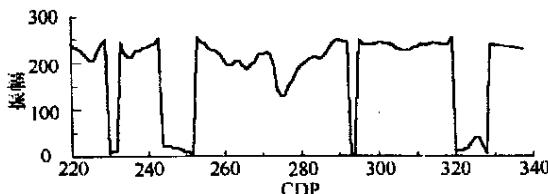


图 5 三维地震多种属性信息处理结果

结果表明: 经过上述综合处理后, 三维地震 8 幅属性参数的主成分剖面与已知的地质小构造发育位置基本符合, 并对于冲刷砂体得到了清晰的反映。从图 5 可以看出: 在三维地震 8 幅属性合成后的第一主成分结果上, 小断层的位置、宽度、尖锐度反映明显, 尤其表现对左侧砂体也有显示。三维地震精细解释的结果与井下揭露的实际地质情况吻合较好, 进一步证明了本文提出的三维地震精细解释技术, 可以极大地提高三维地震资料解释的分辨率。

但是应看到, 三维地震的精细解释是在地震资料特征抽取的基础上进行的, 地震反射特征的变化与地下地质条件存在着内在的联系, 最终的地质解释还需要物探人员和地质人员联合给出, 例如图 5 左侧的异常反映在解释为断层还是冲刷体上, 存在一定的多解性。尽管如此, 本文提出的三维地震资料精细解释技术, 将地震属性参数与数学地质的因子分析相融合, 较好地解决了三维地震多种参数的提取、去噪、优选、降维压噪和多参数综合处理问题, 极大地提高了地震资料的“解释分辨率”, 突破了常规

三维地震资料解释中“垂向分辨率”的极限, 初步显示出利用三维地震资料解释 3~5 m 左右小断层的潜力。

5 三维地震资料精细解释的应用前景

地震解释人员希望能够从三维地震资料中得到地下更多的构造、地层和岩性信息。由于目前直接利用地震属性参数进行解释的经验规律还不多, 为此需要在研究区内利用已知资料为约束, 对地震属性参数进行敏感度测试、相关性测试, 找出地震属性参数的变化与地质变化之间的内在联系规律。

今后如果能够在三维地震勘探的基础上, 采用诸如小波变换、几何分形、神经网络等新技术, 建立以神经网络技术为核心的地震多元参数地质预报模型, 对未采区地质条件进行准确、快速预测与评价, 必将有助于三维地震资料解释精度的进一步提高。可以预计, 三维地震资料的精细地质解释, 将会在构造解释和岩性预测等诸多方面展现出更加广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 崔若飞. 地震资料矿井构造解释方法及其应用 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1997.
- [2] 朱光明, 吴律, 许云等. 地球物理储层参数提取 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996.
- [3] 勾精为, 崔宝兰, 龚幸林. 对进一步提高三维地震效果的几点构想 [J]. 中国煤田地质, 1997, (5).
- [4] A R 布郎著, 张孚善译. 三维地震资料解释 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [5] Mike Bahorich 等. 3D seismic discontinuity for faults and stratigraphic features [A]. The coherence cube [M]. The Leading Edge, 1995.
- [6] Jay Thorsteh 等. 3D seismic interpretation using the coherency cube [A]. An example from the South Embra Precaspian Basin, Kazakhstan [M]. The Leading Edge, 1997.

The technique of high resolution interpretation for 3D seismic data

CHENG Jian-yuan, HE Wen-xin, ZHU Shu-jie (CCRI, Xi'an branch, Xi'an 710054, China)

Abstract This paper has been put forward the idea and method for 3D property parameters extractions, purification and effect of this methods using in actual data etc. The method has a great breakthrough in explanation of the small fault below 5m and also has show its good geological efficiency. A question is that the traditional limit of seismic resolution may have some problem compared to the result of application.

Key words 3D seismic exploration; analysis of seismic properties; high resolution interpretation