于 娅,边立恩,王国强,等.最大似然法断层识别技术在秦皇岛 28 油田勘探中的应用[J].海洋地质前沿,2019,35(8): 67-72.

最大似然法断层识别技术 在秦皇岛 28 油田勘探中的应用

于 娅,边立恩,王国强,王 军,张京思

(中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津 300452)

摘 要:渤海地区新近系断裂体系复杂,受多期次构造运动影响,使得渤海油田的构造非 常的破碎。在秦皇岛28构造的勘探评价过程中,发现局部地区断裂在平面呈现羽状分 布,且存在掉向相反断裂带,这种特征是走滑断裂的依据之一,但仅依靠地质理论来确定 是否存在走滑断裂是不客观的,需利用地震属性验证其客观存在性。在评价的过程中通 过不同技术的组合应用及对比分析,发现常规的边缘检测、相干属性等技术很难对该区复 杂断层进行有效识别。基于倾角中值滤波技术去除部分嗓音的干扰,凸显断裂信息,应用 最大似然属性技术识别出了较为清晰的"隐性走滑"断裂,结合平面特征,进一步落实构 造,直接新增资源量约300万t。为扩大秦皇岛28油田的储量规模奠定了坚实的基础。 在现今精细勘探阶段,推广应用微断裂识别技术,将会进一步提高复杂断块区断层系统解 释的可靠性和精细程度,提高油田滚动勘探开发的钻探成功率。

关键词:倾角中值滤波;最大似然属性;隐性走滑断层;秦皇岛28油田 中图分类号:P744.4;P631.4 文献标识码:A DOI:10.16028/j.1009-2722.2019.08009

0 引言

由于秦皇岛 28 油田区经历了多期构造运动, 断裂发育,断层常常控制油气的运移和聚集,所以 在油气勘探中,断层的识别在地震资料解释的过 程中扮演着重要的角色,断层解释的准确性和合 理性直接影响构造成图的精度和下一步的勘探开 发方向。断裂发育带一般地震资料成像品质差, 进行断层解释及断层平面组合难度较大。常规复 杂断块解释技术基于原始地震数据体,采用三维 可视化、相干体分析、属性分析等技术进行断层辅助解释、了解断层的平面展布规律,由于不能识别较为隐蔽的小断层,因此常漏掉一些潜力断块。随着勘探精度的提高,小断裂的精细解释对于勘探目标的落实具有重要意义。

本文作者针对秦皇岛 28 构造复杂地区,应用 高精度最大似然技术对研究区微小断裂及隐性走 滑进行识别,得到了更加清楚、连续性更好的断 裂,从而实现复杂断块区的断裂精细解释,为该区 的井位优选和储量升级提供了重要参考。

1 关键技术

基于倾角中值滤波技术对原始地震数据进行 处理,凸显数据中的断裂信息;运用最大似然属性, 应用于处理后的地震数据体,从而达到微断裂识别

收稿日期:2019-03-10

基金项目:"十三五"国家科技重大专项课题"渤海海域勘探新领域及关键技术研究"(2016ZX05024-003)

作者简介:于 娅(1986一),女,工程师,主要从事地球物理解释 与储层研究工作. E-mail;yuya@cnooc.com

的目标,为该区的井位优选和储量升级提供依据。

1.1 倾角中值滤波

倾角中值滤波是针对叠后地震数据体的一种 特殊去噪方法,是基于叠前地震单炮道集上反射 波与强线性干扰在 *t-x* 域视速度上的差异,在多 组视倾角范围内,求取一个最佳视倾角,将最佳视 倾角的振幅序列的中值视为相干干扰,利用"减去 法",达到信噪分离。使同相轴变得更加的连续, 断层的侧向分辨率有了明显的提高,断层的尖锐 性得到了保存甚至改善。运算速度远远优于其他 滤波方法。经过倾角中值滤波处理后,地震剖面 的信噪比得到了明显的提高,断裂特征更加的明 显(图 1)。该数据体可以直接用于断裂精细解 释,也是断裂属性提取的基础。图 2 为图 1 地震 数据的相干剖面对比,经过倾角中值滤波后的地 震相干剖面(图 2b)刻画出的断裂更加的清晰、准 确,同时信噪比也相对较高。



图 1 倾角中值滤波处理前(a)、处理后(b)的地震剖面 Fig. 1 Seismic profile before (a) after (b) the median filtering of inclination



图 2 原始相干剖面(a)及倾角中值滤波后的剖面(b) Fig. 2 The original coherent profile (a) and median filtered profile of inclination (b)

1.2 最大似然属性

当前断层识别方法有很多种,其中应用比较 广泛的是相干体技术,该技术是 20 世纪 90 年代 中期发展起来的一项新型的三维地震解释技术。 目前,相干算法己从第一代基于互相关的相干算 法、第二代基于多道相似性的相干算法、发展到第 三代基于本征值结构的相干算法,近年来又发展 起来基于几何结构张量的相干体技术。然而,在 断裂构造复杂地区,不同级次的断层和裂缝广泛 发育,地层产状(倾角和方位角)变化大,地震资料 存在照明不均、成像品质差、随机噪声偏多等问 题,即使采用最先进的相干体算法,其成像结果也 不尽理想。

目前,最新的断裂识别属性——最大似然属 性识别断裂效果较好。所以,笔者考虑采用最大 似然属性来进行微小断层识别。最大似然法即在 多类识别时,常采用统计方法建立起一个判别函 数集计算各分类样品的归属概率,样品属于哪类 的概率大就判别其属于哪类,这就是最大似然聚 类分析。其原理如下:

设N个n维样本点; X_j , $j=1,\ldots$,

假设混合分布 P(X)由 L 个正态分布组成,即

$$P(X) = \sum_{i=1}^{L} P_i \times p_i(X)$$
(1)

式中 $p_i(X_j)$ 是均值矢量为 M_i ,协方差矩阵为 \sum_i 的第 i 类样本的第 j 个样本点的条件概率。

采用最大似然方法由
$$P(X)$$
估计 M_i , \sum_i 和
 P_i , 即在 $\sum_{i=1}^{L} P_i = 1$ 的约束条件下, 对 M_i , \sum_i 和
 P_i 求 $\prod_{j=1}^{N} P(X_i)$ 最大, 以此得到目标函数 J :

$$J = \sum_{j=1}^{N} \ln P(X_j)_i - \mu \Big[\sum_{i=1}^{L} P_i - 1 \Big]$$
 (2)

式中 μ 是使先验概率之和为1的最优化约束 条件的 Lagrange 系数。对 J 求微分,解得 $\mu = N$,并得到一组可以采用迭代计算的公式。

先验概率:

$$P_{i} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} q_{i}(X_{j})$$
(3)

均值矢量:

$$M_{i} = \frac{1}{P_{i}N} \sum_{j=1}^{N} q^{j}(X_{j}) X_{j}$$
(4)

协方差矩阵:

$$\sum_{i} = \frac{1}{P_{i}N} \sum_{j=1}^{N} q i (X_{j})$$
(5)

其中 $qi(X_j)$ 为后验概率:

$$qi(X_{j}) = \frac{P_{i}p_{i}(X_{j})}{\sum_{l=1}^{N} P_{l}pl(X_{j})}$$
(6)

最大似然属性刻画断裂的原理主要来源于对 地震图像的相似性分析,基于 Hale^[1]提出的面向 断层的相似性理论,通过截取地震图像的方式来 对比分析相邻地震反射特征的相似性,其主要通 过计算窗口内不同角度与方位的相似系数来实 现。

其他方法的主要缺点是他们计算了与断层方 向无关区域的相似系数或无序性。这个区域的大 小控制了对噪音和地层变化的灵敏度。当区域比 较小时,该属性表现的比较敏感,而且噪音较多。 基本上来说,断层区域是高无序性并且低相似性 的,而当一个窗口足够小的时候,他们可以表现为 低无序性。所以追踪断层并且将其区分开始非常 困难的。

通过在不同角度及方位的矩形状分析窗口内 计算梯度结构张量来计算断层属性,其中结构张 量(GST)是精细刻画和分析地震数据中反射结构 特征的一个有效工具。其基本原理是将地震数据 构建为二维或三维图像数据属性,进而基于局部 的构造张量特征值相对大小及组合参数确定地震 图像数据中的不同纹理单元(如波状、层状、杂乱 反射等)的结构属性。研究表明,基于 GST 算法 及其衍生的多个属性可以定性、定量描述断层、河 道等地质体引起的不连续反射特征,同时,对于平 行、倾斜、波状沉积层理结构特征也有很好的指 示。Hale^[2]提出一种更为有效的算法,该算法通 过使用方向分析窗口并基于如下的相似性计算公 式:

semblance =
$$\frac{(\text{image})_s^2}{(\text{image}^2)_s}$$

其中,(image),表示结构方向的平均。Likelihood(最大似然)定义为相似系数的倒数,所以 当相似系数最小时,likelihood最大。算法通过计 算矩形方向窗口内的相似系数并保留最小的相似 系数来实现。以 2D 二维剖面为例,属性计算过 程中不断变换图像采集范围,直到如下图 1c 所示 沿真实断裂方向采集的地震图像与周围相似性达 到最低。图 1 中,蓝直线代表断层,黑点代表计算 节点的位置,矩形框代表地震图像采集范围。对 于 3D 数据体,图像采集范围不再像图 1 所示的 矩形框的方向,而是位于不同角度和方位的三维 矩形体的方向。

尽管地震数据基本表现为局部连续性,但是 计算得到的断层属性依然可以探测并突出断层, 这些断层属性更连续而且更像断层。最大似然数 据体表现为断层的代表,可以优化完善交互式的 断层解释流程,为分析解释断层提供更好的支持。

2 实际应用及效果分析

在研究区秦皇岛 A 油田的评价过程中,利用 最大似然法结合倾角中值滤波技术,成功的识别 出了西侧断裂模糊不清的地方存在着隐性走滑断 层(图 4b),主要表现为在平面呈现羽状分布,且 存在掉向相反断裂带。在走滑断层两侧的派生断 层具有相反掉向,这些都是受走滑应力影响。对 比常规相干属性与最大似然属性对断裂刻画的能 力(图 4),显然后者的断裂分辨精度更高,断裂连 续性更强,更加符合断裂的实际地质特征。





(b) computing similarity in different directions; (c) the direction corresponding to the minimum similarity



(a)常规相干属性

(b) 最大似然属性



Fig. 4 Comparison of different fault identification attributes in the Qinhuangdao 28 Oilfield

在上述成果的综合应用下,我们对研究区的 断裂进行了精细再落实,从图 5 秦皇岛 28 构造西 侧的地震剖面可以看出,位置地层产状存着在突 变。虽然活动较弱,位移不明显,在地震资料上不 易分辨,但是对圈闭的形成和油气的运移聚集有 明显的控制作用。从图 6 可以看到图中蓝圈标注 的位置在新的方案中解释出了原方案所没有的隐 性走滑断层,主要表现为在平面呈现羽状分布,且 存在掉向相反断裂带。在走滑断层两侧的派生断 层具有相反掉向,这些都是受走滑应力影响。根 据新的构造图方案,我们发现蓝圈标注的位置有 了新的圈闭,B14井区在T01位置圈闭面积也得



图 5 走滑断裂解释方案 Fig. 5 The interpretation of strike-slip fractures

到了落实,这就证实了,B14 井的成功钻探是有圈 闭背景的,圈闭落实可靠。对于北部也是新增的 一部分圈闭,形成了一系列的潜力目标。

目前渤海油田仍是以构造圈闭为主要目标的

勘探阶段,因此精细构造解释是提高勘探成功率 的一个重要保障,最大似然属性的应用,可以识别 不同尺度的断裂,是精细解释的基础。



图 6 新老解释方案对比图(a)老方案(b)新方案



3 结论

在识别复杂断裂的过程中,应用倾角中值滤 波能够有效消减地震资料中非平稳信号的突变噪 声,滤除噪声的同时还能保护有效信号的边缘信 息,凸显断裂信息。最大似然属性的应用可以识 别出较多的微断裂,得到连续性较好的相干体,断 裂解释更加的直观、精细。本文选择在秦皇岛28 构造区应用,最大似然技术帮助我们识别出了较 为清晰的"隐性走滑"断裂,结合平面特征,进一步 落实构造,直接新增资源量约300万t。并且形成 了一套适用于精细断裂成像的地球物理分析技术 流程。同时,在其他地区的推广中取得了较好的 应用效果。

参考文献:

- Hale D. Dip moveout by Fourier transform[D]. California: Stanford University, 1983.
- [2] Hale D. Methods to compute fault images, extravt fault surfaces, and estimate fault throws from 3D seismic images[J]. Geophysics, 2013, 78(2): 33-43.
- [3] 段友祥,曹 婧,孙歧峰. 自适应倾角导向技术在断层识别中的应用[J]. 岩性油气藏,2017,29(4):101-107.
- [4] 赵明章,范雪辉,刘春芳,等.利用构造导向滤波技术识别 复杂断块圈闭[J].石油地球物理勘探,2011,46(增刊2):

128-133.

- [5] 赵 岩,贺振华,黄德济.边缘保真去噪在地震相干体计算 中的应用[J].岩性油气藏,2010,22(2):95-98.
- [6] 陈可洋,吴沛熹,杨 微.扩散滤波方法在地震资料处理 中的应用研究[J]. 岩性油气藏,2014,26(1):117-122.
- [7] Finn C J. Estimation of three dimensional dip and curvature from reflection seismic data [C] // Society of Exploration Geophysicists SEG Technical Expanded Abstract. Texas: University of Texas at Austin, 1986.
- [8] Simon L, Hale D. Unfaulting and flattening 3D seismic images [J]. Geophysics, 2013, 78, (4): 045-056.
- [9] 江 涛,李慧勇,李新琦,等. 渤西沙全田凸起走滑断裂背 景下油气成藏特征 [J]. 岩性油气藏,2015,27(5):172-175.
- [10] 陈书平,吕丁友,王应斌,等. 渤海盆地新近纪—— 第四纪 走滑作用及油气勘探意义[J]. 石油学报,2010, 31(6): 894-899.
- [11] 尹 川, 杜向东, 赵汝敏, 等. 基于倾角控制的构造导向 滤波及其应用[J]. 地球物理学进展, 2014, 29(6): 2818-2822.
- [12] Marfurt K J. Robust estimates of 3 D reflector dip and azimuth[J]. Geophysics, 2006, 71(4): 29-40.
- [13] Hale D. Fault surfaces and fault throws from 3D seismic images [C] // International Exposition and 82nd Annual Meeting Technical Program Expanded Abstract. LasVegas: Society of Exploration Geophysicists, 2012: 205-220.
- [14] Kadlec B, Dorn G, Tufo H, et al. Interactive 3D computation of fault surfaces using level sets[J]. Visual Geoscience, 2008, 13: 133-138.

- [15] 陈可洋,吴沛熹,杨 微. 扩散滤波方法在地震资料处理 中的应用研究[J]. 岩性油气藏, 2014, 26(1): 117-122.
- [16] 张 友,南 山,王玉秀,等. 隐伏走滑断层特征及其对油气 成藏的影响[J].油气地质与采收率,2014,21(6):26-29.
- [17] 田 涛,夏同星,闫 涛,等.地层倾角信息在断层精细刻 画中的应用一以渤海湾盆地A油田为例[J].地球物理学 进展,2017,32(5):2236-2240.
- [18] 孙夕平,杜世通,汤 磊.相干增强各向异性扩散滤波技术 [J].石油地球物理勘探,2004,39(6):651-655,665.
- [19] 赵明章,范雪辉,刘春芳,等.利用构造导向滤波技术识别 复杂断块圈闭[J].石油地球物理勘探,2011,46(S1): 128-133,163,173.
- [20] 方海飞,周 赏,王永莉,等.几何类属性深度处理技术在 断层解释中的应用[J].石油地球物理勘探,2013,48(S1): 120-124.
- [21] 刘爱群,赫建伟,陈殿远,等.近海复杂断块区地震成像及储 层精细描述关键技术研究——以南海西部北部湾盆地涠 12-1油田为例[J].岩性油气藏,2014,26(1);100-104.
- [22] 王卫华.利用中值相关滤波预测相干信号[J].石油地球物 理勘探,2000,35(3):273-282,402.

- [23] 王清振,张金森,姜秀娣,等.基于高维小波变换的高抗噪
 性边缘检测技术[J].石油地球物理勘探,2016,51(5): 885-893.
- [24] 欧阳永林,宋 炜,曾庆才,等.高保真高信噪比地震资料的获取方法[J].石油地球物理勘探,2016,51(1): 32-39.
- [25] 杨克基,漆家福,余一欣,等. 渤海湾地区断层相关褶皱及 其油气地质意义[J]. 石油地球物理勘探,2016,51(3): 625-636.
- [26] 崔海峰,刘 军,田 雷,等.塔西南拗陷早加里东期正断 层活动及油气意义[J].石油地球物理勘探,2016,51(2): 384-390.
- [27] 孙成田,赵 伟,雷福平,等.多属性分析及断裂识别技术 在酒泉盆地油气勘探中的应用[J].石油地球物理勘探, 2017,52(s2):170-174.
- [28] 仲伟军,姚卫江,贾春明,等. 地震多属性断裂识别技术 在中拐凸起石炭系中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2017,52(s2):135-139.
- [29] 潘 杰,刘忠群,蒲仁海,等.鄂尔多斯盆地镇原-泾川地 区断层特征及控油意义[J].石油地球物理勘探,2017, 52(2):360-370.

APPLICATION OF FAULT RECOGNITION TECHNIQUE BASED ON MAXIMUM LIKELIHOOD IN EXPLORATION OF QINHUANGDAO 28 OILFIELD

YU Ya, BIAN Lien, WANG Guoqiang, WANG Jun, ZHANG Jingsi (Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300452, China)

Abstract: The Neogene fault system in the Bohai area is complex and affected by multi-stage tectonic movements, which makes the structure of the Bohai oilfield very fractured. During the exploration and evaluation process of Qinhuangdao 28 structure, it was found that the fractures in the local area showed a plume distribution in the plane, and there was a falling fault zone. This feature is one of the basis of strike-slip fault, but it is not objective to rely solely on geological theory to determine whether there is a strike-slip fault. It is necessary to use seismic attributes to verify its objective existence. In the process of evaluation, through the combined application and comparative analysis of different technologies, it is found that conventional edge detection, coherence attributes and other techniques are difficult to effectively identify complex faults in this area. In this paper, the median filtering algorithm is used to remove some noise interference, highlight the fracture information, and use the maximum likelihood attribute technique to identify a clear "hidden strike-slip" fracture. Based on the plane features and further analysis of the fault structure, the resources amount increases by about 3 million tons. It has laid a solid foundation for expanding the reserves of Qinhuangdao 28 Oilfield. In the current fine exploration stage, the application of micro-fracture identification technology will further improve the reliability and fineness of fault system interpretation in complex fault block areas, and improve the drilling success rate of oilfield rolling exploration and development.

Key words: inclination median filtering; maximum likelihood attribute; recessive strike-slip fault; Qinhuangdao 28 Oilfield