

Application of Multi-attribute and Multi-scale Fracture Fusion Technology in Fuzhong Area

Jinpeng Miao^{1,2} Xiaohu Liu² Lili Wang² Wen Gu² Feng Zhu²

1. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

2. Bureau of Geophysical Prospecting INC., China National Petroleum Corporation, Urumqi, Xinjiang, 830016, China

Abstract

In recent years, the Fukang Depression has achieved a major breakthrough in large-scale lithologic oil and gas reservoirs, opening up a new situation of large-scale lithologic oil and gas exploration. The drilling results show that the Permian reservoir in this area has poor physical property, and a large number of micro-faults and fractures can be seen on the cast thin sections. Combined with the geological understanding, it is believed that the Permian in Fukang sag has the characteristics of "large-scale faults control hydrocarbon migration and accumulation, and small-scale faults and fractures control production". Therefore, it is of guiding significance to carry out the identification of multi-scale faults for oil and gas exploration. In this study, well data and high-resolution seismic data are integrated to fully exploit the frequency, amplitude and other information in potential seismic data, dominant frequency bands of faults of different scales are performed through well data. On this basis, multi-scale and multi-attribute fault identification is carried out. Finally, the predicted results of faults of different scales were fused. The results of post-test well show that the prediction results of this technique are in good agreement with the drilling results, and are consistent with the regional tectonic movement background and geological understanding, which effectively guides the well location deployment in Fuzhong area. The research results point out the direction for the lower step oil and gas exploration in Fukang sag.

Abstract

break; seismic attribute; integration; oil and gas exploration

多属性多尺度断裂融合技术在阜中地区的应用

苗金鹏^{1,2} 刘啸虎² 王丽丽² 顾雯² 朱峰²

1. 西安石油大学地球科学与工程学院, 中国·陕西 西安 710065

2. 中国石油东方地球物理公司研究院, 中国·新疆 乌鲁木齐 830016

摘要

近年来, 阜康凹陷实现了规模岩性油气藏获得重大突破, 开辟了规模岩性油气勘探的新局面。钻探结果表明, 该区二叠系储层物性较差, 铸体薄片上可看到大量微小断裂及裂缝, 结合地质认识认为, 阜康凹陷二叠系具有“大尺度断裂控制油气运聚、小尺度断裂及裂缝控制产量”的特点, 因此开展多尺度断裂识别对油气勘探具有指导意义。本次研究综合井资料及高分辨率地震资料, 充分挖潜地震资料中的频率、振幅等信息, 通过井资料正演出不同尺度断裂的优势频带, 在此基础上开展多尺度多属性断裂识别, 最后将不同尺度断裂预测结果进行融合。通过验井表明, 该项技术预测结果, 与钻井结果吻合度较高, 与区域构造运动背景及地质认识较一致, 有效指导了阜中地区井位部署, 该研究成果为阜康凹陷下步油气勘探指明了方向。

关键词

断裂; 地震属性; 融合; 油气勘探

1 引言

准噶尔盆地阜康凹陷二叠系为退覆式扇三角洲沉积体系, 地层及砂体向凸起带逐层超覆尖灭, 具备形成大型地层背景下的规模岩性油气藏的条件。2020年针对该领域部署的风险探井KT1井获得重大油气突破, 开启了阜康凹陷二

叠系岩性勘探的新篇章^[1]。通过解剖, 研究区目的层为低孔低渗的砂砾岩储层, 具有较强的非均质性, FMI成像测井资料和铸体薄片上显示油层微小断裂及裂缝发育, 对储层具有显著的改善作用。研究人员结合前期地质认识认为, 阜康凹陷二叠系具有“大尺度断裂控制油气运聚、小尺度断裂及裂缝控制产量”的特点, 因此开展多尺度断裂识别研究对油气勘探具有指导性意义。

目前地球物理勘探学者基于高密度三维已经形成了针

【作者简介】苗金鹏(1992-), 男, 中国黑龙江齐齐哈尔人, 本科, 工程师, 从事石油地质、物探综合研究。

对不同尺度断裂识别的相干、曲率、最大似然等多种针对性技术。地震相干体属性技术是利用波形的相似性分析来分辨地震的连续性从而实现断裂的识别,主要经历了三个发展阶段,目前常用的是20世纪末1999年 Gersztenkorn 和 Marfurt 二维学者创新提出基于本征值结构的相干体算法,即第三代算法(C3)^[2]。另外,早期地球物理勘探学者 Murry G.H. 在1968年首次提出了构造曲率理论,并在1977年建立了曲率与断裂发育特征的相互关系^[3],开始在油气勘探中使用。但经大量实际应用表明,难以完成小尺度断裂的刻画,在2012年,由 Hale 首次提出了基于倾角和方位角信息反映断裂线性关系的小尺度断裂预测方法,即目前比较常用的最大似然算法^[4],可识别5m以上的断裂,实现了小尺度断裂的定性预测。此外,还有蚂蚁体、边缘检测、构型属性等多种基于叠后地震资料的断裂刻画技术。

上述的多种断裂刻画技术虽然都是建立在前一种算法的不足和应用的局限性上的,地下实际的地质情况非常复杂,单一的地震属性难以反映地下真实信息,往往难以克服其多解性^[5],因而宜采用多种属性结合分析来提高断裂解释的准确度。笔者在阜中地区通过多属性多尺度断裂融合技术,对不同尺度断裂进行了刻画,应用效果显著,与实际钻井结果及地质认识基本一致,大大提高了断裂刻画的精度,为该区油气藏识别奠定了基础,提高了钻探成功率。

2 研究思路

结合研究区断裂发育特征及前期地质认识,根据不同断裂识别技术的原理,通过多次试验及参数的调试,结合正演模拟结果明确了研究区多尺度断裂的最佳预测方案,具体思路如下:

①首先通过建立不同尺度断裂的地质模型,开展断裂优势频带进行正演分析,为后续针对不同尺度断裂的优势频带划分提供依据。

②首先应用地震资料解释软件开展资料预处理,通过时频转换模块,生成不同尺度断裂优势频带数据体;通过多窗口倾角扫描,为其他属性计算提供相应的基础资料;采用构造导向滤波提高地震资料断裂的成像精度。

③基于第三代相干技术开展大尺度断裂刻画,采用曲率属性开展中尺度断裂刻画,最后应用最大似然属性对小尺度裂缝进行精细刻画。

④基于以上三种属性针对大中小尺度的断裂刻画结果,采用属性比例融合的方法,对多尺度断裂进行综合评价分析。

3 多属性多尺度断裂融合技术

3.1 断裂正演模拟

地球物理正演是油气地震勘探中一种常用的技术手段,该方法主要是通过对一个假设的地质模型,给定某些特定的参数(如速度、密度、岩性、厚度、断距等),模拟真实

的地下地质条件的地球物理响应特征。通过建立大中小尺度断裂的地质模型,采用同频带的子波,正演出不同断距的断裂剖面,再通过频谱分析优选不同尺度断裂的优势频带(见图1)。

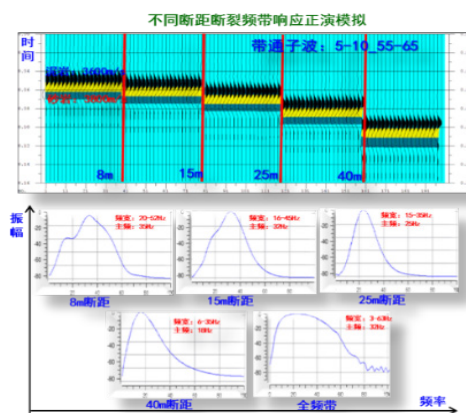


图1 不同断距断裂频带响应正演模拟

其结果表明,不同频带的叠后地震数据对不同尺度的断裂刻画能力不同,即不同尺度断裂都有其优势频带。依据这一结果,划分不同尺度断裂的优势频带,划分方案为:大尺度断裂(断距 $\geq 30\text{m}$),优势频带为10~20Hz;中尺度断裂($10\text{m} \leq \text{断距} \leq 20\text{m}$),优势频带为18~35Hz;小尺度断裂(断距 $\geq 10\text{m}$),优势频带为30~40Hz。

3.2 地震资料预处理

3.2.1 地震资料分频处理

基于时频转换的分频技术,是通过时频转换将时间域数据转换为频率域,保留断裂的优势频带信息,再将频率域的数据转换为时间域数据。

依据该技术将成果地震数据转换为三个优势频带数据,分别针对大尺度断裂刻画的优势频带为10~20Hz的数据体;针对中尺度断裂刻画的优势频带为18~35Hz的数据体;针对小尺度断裂刻画的优势频带为30~40Hz的数据体。

3.2.2 多窗口倾角扫描

在三维地震资料解释中,地震反射层位的倾角和方位角是至关重要的,能突出地下那些断距少于10ms的断层,提高微小断裂的识别能力。随着算法的开发,现在可以在不拾取层位的情况下计算地震反射界面的倾角和方位角。倾角体和方位角体是体曲率、相干和能量梯度以及构造导向滤波等计算的基础。因此,在地震资料预处理和属性分析的过程中,需要先进行倾角扫描计算,为后续工作提供相应的资料。

3.2.3 构造导向滤波

构造导向滤波技术是利用倾角体作为约束对常规地震数据体进行滤波。其目的是提高地震数据的信噪比,使地震数据同相轴的连续和间断特征更明显。本次研究使用构造导向滤波加强了断裂在地震资料上的响应,断裂特征更加明显,错断干脆、断点清晰可见,提高了小断裂识别能力,有

利于下步开展断裂刻画。

①断裂预测。

第一，相干属性。

目前相干属性的算法有三种：第一代相干最快，但是其抗噪能力最差^[6]，针对研究区深层信噪比较低资料并不适用；第二代相干算法相比第一代相干算法，速度稍慢，抗噪性有一定提升，针对工区较大信噪比较低资料是比较适用的；第三代相干也就是本征值相干运算速度最慢，但该方法既能保证抗噪能力，同时也能提高断层的横向分辨能力，所以本次选择了第三代相干。

第三代相干技术是一种量化计算波形相似性的一种方法，它是通过在时空中定义“全局化的”孔径，并综合地层倾角和方位角的计算来实现。本次计算的结果对于控凸的大尺度断裂刻画较好，背景也比较干净，研究区受构造运动的影响，主要发育走向是北西—南东向的延伸较长的海西期逆断裂。

第二，曲率属性。

关于曲率的定义比较好理解，它是一条曲线的二维属性，它是一个圆半径的倒数，曲率的大小可以反映一个弧形的弯曲程度，曲率越大越弯曲。对于脆性岩石，断裂发育程度与弯曲程度成正比。所以，可以用构造曲率来预测断裂的发育情况。

三维地震解释中的构造曲率是根据层位计算得到的曲率，反映的是解释的层位上任意一点的弯曲程度。计算结果显示，虽然曲率属性上大尺度的断裂没有相干属性清楚，但该属性对中尺度的断裂刻画能力还是较强的，中尺度断裂主要是海西期逆断裂的一下伴生断裂，形成时期为印支期，断裂类型为正断裂为主，延伸相对较短，走向既有北西—南东向，也有北东—南西向。

第三，最大似然属性。

最大似然属性的具体算法是利用对每个采样点倾角扫描，保留最小相似性及对应的倾角和方位角，它能利用走向滤波算法细化断层边界，提高断点成像精度，同时增强异常部位的连续性，进而精确地识别微小断裂及裂缝。计算结果证实，最大似然属性对微小断裂及裂缝的刻画非常清楚，并且对断裂的发育密度、强度也有定性分析的能力，这些微小断裂及裂缝伴随着大中尺短断裂发育，表现为微小断裂及裂缝发育带，是研究区的有利勘探区。

②多属性融合。

针对属性的融合目前常用的主要有模式识别、比例融合、核主成分分析三种方法，其中比例融合是对多幅图像逐个进行加减乘除四则运算或矢量运算，求出复合图像的和差积商来达到图像增强的某种效果的一种方法，操作起来方便快捷，效果也比较好。

具体实现方法是：属性数据体比例融合功能实现把两个地震属性数据体按比例关系融合在一起。即把地震属性数

据体(A)和地震属性数据体(B)按比例关系融合生成新的地震属性数据体(C)，本次研究主要采用了该方法将相干、曲率、最大似然属性进行比例融合，实现多尺度断裂综合分析(见图2)。

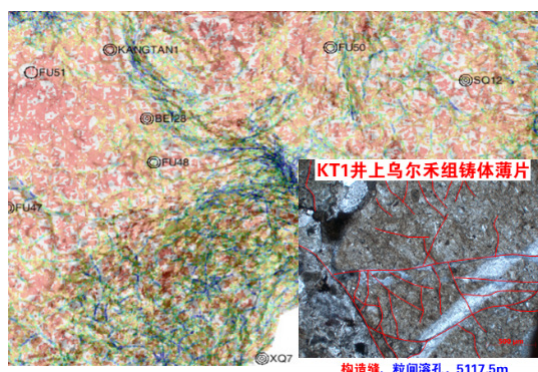


图2 研究区P顶界多属性多尺度融合平面图

4 应用效果

从研究区二叠系顶界多属性多尺度融合断裂平面图(图2)上来看，大尺度断裂的形态比较清楚，平面展布特征也符合构造规律，走向为北西—南东向；中小尺度断裂也比较清楚，微小断裂及裂缝沿着大尺度断裂带发育，符合地质认识，与实际钻井结果也比较一致。通过后验井证实，预测精度达到80%以上，大大提高了钻探成功率。

5 结论

①分频、构造导向滤波可以提高地震资料断裂成像精度，有利于后面的断裂属性刻画。

②依据不同尺度断裂的地震响应差异，结合不同断裂预测方法的适用性，运用多属性多尺度断裂融合技术，能够有效提高断裂的预测精度，解决了单一预测方法的局限性，建议推广应用。

参考文献

- [1] 何海清,支东明,唐勇,等.准噶尔盆地阜康凹陷勘探1井重大突破及意义[J].中国石油勘探,2021,26(2):1-11.
- [2] Gersztenkorn A, Marfurt K. Eigen structure-based coherence computations as an aid to 3D structural and stratigraphic mapping [J]. Geophysics, 1999, 64(5): 1468-1479.
- [3] G H Murry. Quantitative fracture study, Sanish Pool, Fracture-controlled [J]. AAPG, Bulletin Reprint Series, 1997(21).
- [4] Hale Dave. Fault surfaces and fault throws from 3D seismic images [C]// Seg Technical Program Expanded-Abstracts, 2012: 205-220.
- [5] 余兴,尤新才,白雨,等.玛湖凹陷南斜坡断裂识别及其对油气藏的控制作用[J].岩性油气藏,2021,33(1):81-89.
- [6] 蔡刚,孙东裴,明利,等.相干体技术及其在油气勘探中的应用[J].天然气地球科学,2006,17(4):510-513.