

Application of Frequency Domain Fracture Identification Technology in Sangtamu Oilfield

Jiahuan Wang^{1,2} Yaozu Han² Xiaochuan Yang² Ning Yin² Rui Du²

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

2.Korla Institue of BGP, PetroChina, Korla, Xinjiang, 841000, China

【Abstract】 The Triassic reservoir in Sang ta mu area of Tarim Basin is a typical complex fault block reservoir,and the problem of “two highs and one low” is prominent.Improving the accuracy of fault description is of great significance to the development plan formulation of the reservoir and the optimization of injection-production well pattern.Affected by seismic and geological comprehensive factors,the initial fault with a lower recognition accuracy.In this paper , within the effective frequency range of the original seismic data volume , the wavelet transform technology is used to divide the effective frequency band into different frequency bands to obtain the seismic frequency-dividing data volume under different frequency bands . The iterative calculation of fracture properties is carried out on the seismic data volume with different frequency thresholds . According to the difference in the response of different frequency bands to different levels of fracture , the frequency-dividing data volumes with good resolution for small , medium and micro-scale fractures are selected respectively , and then the optimized frequency-dividing data volumes are fused . Based on the fusion data , the non-fracture coherence effect is suppressed , and the effect of small-scale fracture characterization is improved . The newly identified faults have solved a large number of internal contradictions in the reservoir and laid a solid foundation for the fine study of the reservoir .

【Keywords】 complex fault block; frequency domain; wavelet transform; attribute fusion; fracture characterization

频率域断裂识别技术在桑塔木油田的应用

王佳欢^{1,2} 韩耀祖² 杨小川² 尹宁² 杜睿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 库尔勒分院, 中国·新疆 库尔勒 841000

【摘要】塔里木盆地桑塔木地区三叠系油藏为典型的复杂断块油气藏,“两高一低”问题突出,提高断裂刻画的精度对该油气藏的开发方案编制、和注采井网的优化具有重要意义。受地震、地质综合因素影响,该区初始断裂识别精度较低。论文提出在原始地震数据体的有效频率范围内,采用小波变换技术对有效频率段进行分频处理,得到在不同频段条件下的地震分频数据体,在不同频率阈值的地震数据体上,开展断裂属性的迭代计算,根据不同频段对不同级别断裂响应差异,分别优选出对小、中、微尺度断裂分辨率好的分频数据体,再把优选出的分频数据体进行融合。在融合数据体的基础上开展断裂刻画,较好的压制了非断裂相干效应,从而提高了对小尺度断裂刻画的效果。新识别出的断裂,解决了大量油藏内部矛盾,为油藏内部的精细研究打下了坚实的基础。

【关键词】复杂断块; 频率域; 小波变换; 体融合; 断裂刻画

DOI: 10.12345/smg.v4i5.11853

1 引言

桑塔木油田位于塔里木盆地塔北隆起轮南低凸起的桑塔木断垒潜山披覆背斜构造带上^[1],经历了二十多年的开采,目前处于低速开采,特高含水,产量递减快,稳产困难阶段。该油田整体表现为近东西向的长轴背斜形态,背斜轴线延伸距离近 40 km,长短轴之比达到 16:1,受北东向走滑断裂切割,自西向东划分为六个断块,每个断块内部又被多条

次级断裂分割为具有不同油、气、水界面的小型、独立油气藏,属于典型的复杂断块型油气藏^[2]。对油藏内部不同级别断裂的刻画精度,直接关系到剩余油的挖潜效果、开发井网的优化调整以及滚动评价井位的部署方向。但在桑塔木地区现有地震资料基础上,常规物探技术手段,满足不了对小-微尺度断裂刻画的需求。目前迫切需要探索新的技术来实现对该区不同尺度断裂的精细刻画,实现气藏高效开发。

【作者简介】王佳欢(1997-),女,中国河北保定人,本科,助理工程师,从事油气田开发地震综合研究。

随着近年来的钻井数量越来越多,油藏内部的

井震矛盾越来越凸显，因为该区主要是断块型油气藏，所以对断裂的刻画影响到我们对于整个区域内的油藏的研究与落实，对于断裂的研究迫在眉睫。对于该区进行综合分析认为，对于目的层三叠系的断裂、小断裂的识别的难点主要有下面两个方面：
 ①断点不明显：在目的层三叠系沉积之后，由于上覆地层的压实作用强，使三叠系的地震同相轴连续性高，导致断裂、小断裂的断点位置识别难度大；
 ②识别精度不够：目前该区处于开发阶段，对于断裂、小断裂的是识别精度要求很高，但是在如今的地震资料的情况下，它不足以支撑我们能通过常规手段识别出油藏内部的断裂、小断裂。因此我们需要不断提高断裂识别技术。

2 地震资料分频处理

在地震勘探中，不同的频率的地震反射波特征反映了不同的地层岩性、物性及含流体性质^[3]。根据不同尺度断裂的反射频率特征对地震资料进行分频处理，提取相应频率段的特征信息，可以更好的解释上述两个问题。

选择一种合适的方法是实现对地震资料快速、准确分频处理的关键。经过对文献的调研发现，本次采用小波变换的方法，它与之前的方法相比，它引入了“Morlet 小波基”的概念，在这个算法里它不但包含有高斯余弦调制函数，同时又把它转换得到一组新的函数系。小波变换不仅继承、发展了短时傅立叶变换的优点，同时它又解决了短时傅立叶算法的窗口不能随着频率的变化而变化的缺点。即在低频部分具有高的频率和低的时间的分辨率，在高频部分具有低的频率以及高的时间的分辨率^[4-6]。因此小波变换能够准确的刻画出信号在指定的时间内频率、振幅和相位等属性特征。

对于该研究区块内的断裂来说，不同尺度的断裂的断点都会在不同的频率下得到最好的凸显效果。把这种能够使断点得到很好的成像效果的频率称为该种类型断裂的优势频率。于是可以利用不同频率域下的数据体，开展对不同尺度的断裂特征的描述，可以在保证宏观断裂体系与区域地质规律的一致性，又提高了对小尺度断裂刻画的效果。基于上述认识，利用小波变换的时间和频率特性，实现对地震资料的分频处理^[7]。

小波变换是将原始信号变换成随着小波函数时间移动和尺度伸缩的一系列系数，式中^[7]： $f(t)$ 为地震道； $\psi(t)$ 为小波母函数； $\psi^*(t)$ 为 $\psi(t)$ 的复共轭； a 为尺度因子， b 为时移因子，对同一尺度 a ，信号可以分解成不同时移 b 的小波的叠加；CWT表示连续小波变换； $W(a,b)$ 是小波和局部信号之间相互关系的小波系数。

$$W(a,b) = CWT(a,b) = \langle f(t), \psi_{a,b}(t) \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \overline{\psi_{a,b}(t)} dt = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) |a|^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

在计算出小波系数的基础上，可通过小波反变换对敏感的频率区段信号进行重构或部分重构，即：

$$f(t) = \frac{1}{C_{\psi}} \int_0^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} CWT(a,b) \psi_{a,b}(t) \frac{1}{a^2} dt da = \frac{1}{C_{\psi}} \int_0^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} CWT(a,b) |a|^{\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \frac{1}{a^2} dt da \quad (2)$$

利用上述公式进行小波反变换，即可实现分频重构，得到分频数据体。

对原始地震体进行分析，认识到该套地震资料有效频带为5 Hz至40 Hz。因此，本次分频从5 Hz开始，以5 Hz为间隔，至40 Hz结束，共得到7个单频数据体。对分频之后的结果进行分析（见图1），对比低频段单频体地震剖面虽然成像分辨率降低，小断裂无法识别，但对大断裂特征敏感，从分频结果剖面上看，5 Hz~10 Hz的单频体剖面上，断裂边界同相轴较原始地震剖面更加收敛，断点更加干脆，同时大断裂的纵向连续性也得到了提升，较好的反映大断裂特征。在中高频15 Hz~35 Hz的单频体剖面上，地震剖面的成像分辨率得到明显提升，小断裂特征明显，大断裂特征基本没有变化。

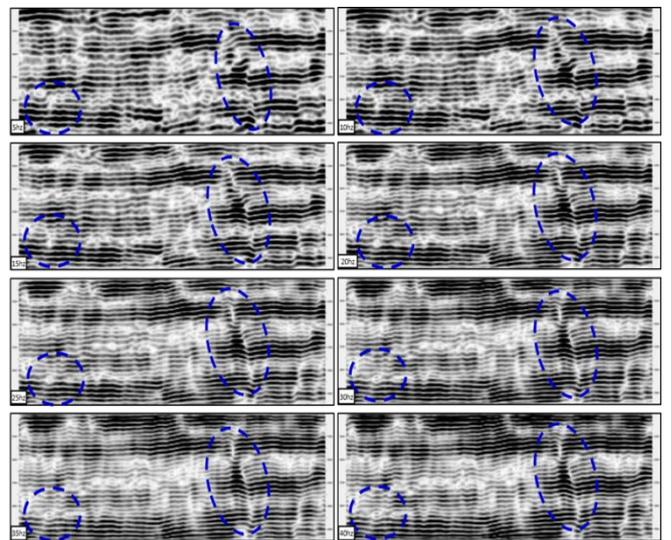


图1 5 Hz~40 Hz 单频体剖面对比

3 分频数据融合及优势频率的选择

通过对上述7个单频体进行剖面上的分析，发现每个单频体在不同的频率下的响应特征不同，尝试把位于低频段、中频段、高频段的单频体分别叠加在一起，同时与相同频段的数据体在剖面上与平面上比较，得到优势频率。在地震数据体的低频部分（0~15Hz），在剖面上低频段反应的大断裂清晰，

地震纵向分辨率底；单频体叠加之后则提高了地震分辨率，小微断裂的特征有轻微显示。从平面属性来看，低频段的平面噪声严重，大断裂的位置不明显，但是在单频体叠加的平面噪声较少，大断裂明显。综上所述对于地震数据体的低频，单频体叠加的效果比低频段的效果好。

在地震数据体的高频部分(30~40Hz)，在剖面上高频段反应的小微断裂清晰，大断裂轮廓模糊，地震的纵向分辨率很高；单频体叠加之后提高了地震分辨率，小微断裂的特征显示，其内部特征刻画与原始地震资料刻画效果相当。从平面属性来看，高频段的平面与原始地震体的特征不一致，大断裂不连续，小断裂增多；对于叠加后的单频体来说，大断裂特征明显且边界清晰，小微断裂增多。综上所述对于地震数据体的高频，单频体叠加的效果比低频段的效果好。

在地震数据体的中频部分(15~30Hz)，在剖面上中频段反应的大断裂清晰，小断裂细节特征在剖面上显示出来；单频体叠加之后地震分辨率增强，小微断裂的特征显示，其内部特征刻画符合原始地震。从平面属性来看，单频体叠加的数据体比频段的数据体，平面更加的丰富。

通过对上述处于不同频率段的单频体叠加的数据体与频段的数据体剖面与平面进行分析，优选出15~30HZ的单频体叠加的数据体的效果好。接下来对选出来的数据体进行解释性处理。

4 优势频率叠加下的断裂精细刻画

在优势频率下的单频体叠加的数据体基础上，在进行断裂的精细刻画之前，在原来的常规相干，振幅曲率，纹理属性等属性的基础上，增加噪声滤波器，方位滤波器，倾角滤波器，线性加强等一系列方法组合，最终达到油藏内部断裂的精细刻画。

首先在15~30Hz单频体叠加的数据体基础上，通过分方位倾角扫描与构造导向滤波迭代的方法，得到两次构造导向滤波后的数据体，通过平面相干属性对比，两次构造导向滤波后的数据体对断裂刻画更加的精细。

其次在两次构造导向滤波后的数据体上，通过边缘保护平滑滤波、噪声滤波器、方位滤波器、倾角滤波器一系列解释性处理，得到线性加强的数据体，并且在此基础上计算出能量相干属性。线性加强是指消除由于采集原因所形成的条带噪音，增强那些线性轮廓(断层)，使断层在时间切片上增强。

把得到的最终数据体进行平面相干属性的提取，发现攻关后的断裂平面特征更加明显，大断裂的轮廓清晰，微小断裂特征显现，在解决油藏内部断裂精细刻画问题的同时，有效指导了该区的剩余油挖

潜、井网的优化调整和滚动评价井位的部署方向(见图2)。

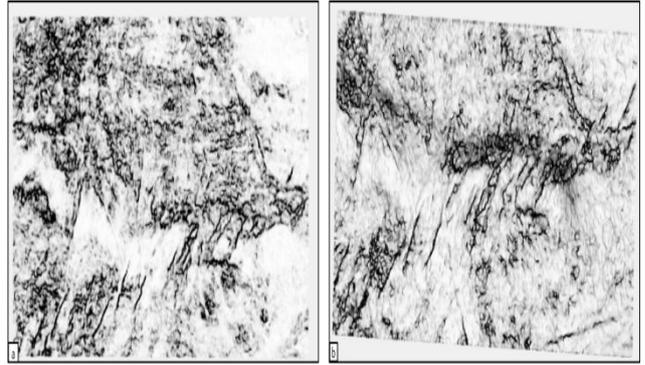


图2 攻关前(a)、后(b)平面断裂属性对比图

XX14井位于构造高部位，其油水界面为-3692。与西部两口XX1-5井、XX14-1导眼构造和油柱高度吻合，所以这三口井应该在同一断块里；XX1井位于构造高部位，其钻遇油水界面为-3692，与东部钻井XX1-4导眼构造和油柱高度吻合，这两口井应该在同一断块内。XX1井构造比XX14井高4m，油柱高度也比其高5m，油水界面相似，XX14井所在的断块3口井在TIII油组目前累产油12.4万t，XX1井在TIII油组目前累产油10.7万吨。同时XX14井自生产开始产量极速下降，稳定期都很短，而且稳定期的产量相对较低。同时其含水率也是突然增加，随后继续抬升。XX1-4井生产开始时产量是先稳产有一定抬升再递减，其投产要晚于XX14井。其含水率是逐步提升的，并没有突然增加的现象。同时XX1-4井初始油嘴要一直小于XX14井，但产量却要明显高于XX14，含水也要明显低于XX14，在后期XX1-4油嘴抬升时，其含水也和XX14井一致，并未有明显增加，所以二者之间有断层分割，同时在攻关后的平面上也可以清晰的看见断层。

5 结语

基于小波变换和傅里叶变换，得到对不同尺度断裂响应敏感的频率域数据体，通过融合不同的优势频率域数据体，在压制了非断裂相干效应的同时，既保证了宏观断裂体系与区域地质规律的一致性，又提高了对小尺度断裂刻画的效果。新识别出的断裂，解决了大量油藏内部矛盾，为油藏内部的精细研究打下了坚实的基础。

断层的研究方法是有适应性的，不同地区要采取不同的方法进行针对性研究，小微断层的研究方法除去以前所形成的方法，本次在频率域上做出了一定的效果，但是这种方法还在探索中，在频率域上还有深挖的潜力。

参考文献

- [1] 唐武,王英民,袁文芳,等.桑塔木地区三叠系层序地层特