

Application of Time-Frequency Analysis Technology in Fault Characterization of Work Area Y

Bilan Zhu Chunlei Yin Jiaqi Wang Yuhuan Yan*

Research Institute of Exploration and Development, Shanghai Offshore Oil & Gas Branch, SINOPEC, Shanghai, 200000, China

Abstract

In this study, a tuning slice analysis was conducted on the seismic data volume from the Y area of the Xihu Sag within the 0-60Hz frequency band at 1Hz intervals. The results showed that low-frequency data had insufficient accuracy in identifying small faults, mid-frequency data volumes had significant advantages in fault continuity, and high-frequency data had prominent ability in identifying micro-fractures but with noise interference. Finally, 20Hz, 30Hz, and 40Hz were selected as characteristic frequency slices to generate single-frequency data volumes. Based on the single-frequency volumes, the corresponding maximum likelihood attributes were extracted, and through the RGB fusion technology of low-medium-high frequency attribute, the refined characterization of the complex fault system in the study area was realized, providing a more accurate geological model for oil and gas exploration and development.

Keywords

Spectrum decomposition; Xihu Sag; RGB fusion; maximum - likelihood attribute

时频分析技术在Y工区断裂刻画中的应用

朱碧兰 尹春蕾 王嘉琪 晏玉环*

中国石油化工股份有限公司上海海洋油气分公司勘探开发研究院, 中国·上海 200000

摘要

本研究针对西湖凹陷Y地区原始地震数据体,在0-60Hz频段内以1Hz间隔开展调谐切片分析。结果表明:低频数据对小断裂识别精度不足,中频数据体断裂连续性优势显著,高频数据对微裂缝识别能力突出但噪声干扰较强。最终优选24Hz、37Hz、48Hz作为特征频率切片,生成单频数据体。基于单频体提取最大似然属性,并通过低-中-高频属性的RGB融合技术,实现了研究区复杂断裂系统的精细化刻画,为油气勘探开发提供更精准的地质模型。

关键词

频谱分解, 西湖凹陷, RGB融合, 最大似然属性

1 引言

断层对于油气藏的形成与发育至关重要,一方面,断层可以为油气的运移提供通道,另一方面,断层可以启动封堵作用,防止油气的逸散。因此,有效地进行断层的识别与刻画是勘探开发非常关键的环节。近年来,不少研究在应用地震属性来表征断层、裂缝等构造的几何特征方面取得了不少进展,验证了地震属性对小尺度裂缝识别的有效性。其中,最大似然属性在断层、裂缝等构造体的空间展布刻画中具有独特优势,近年来已成为断裂精细解释的核心技术手段。

受限于原始地震资料分辨率,全频带叠后地震体提取

的常规属性难以满足复杂断裂系统的精细解释需求。而分频属性技术通过时频分析将地震数据从时间域转换至频率域,可针对性展示不同频段的属性特征,挖掘隐含的构造信息。利用时频分析方法将地震体进行频谱分解,在优质频率分频体的基础上提取有利于识别断层的最大似然属性,再进行属性融合,可以充分利用各个频段的优质频率成分,为断裂系统的精准识别提供技术支撑。

2 频谱分解

频谱分解技术是利用傅里叶变换法、最大熵谱法等时频分析方法,将地震数据从时间域变换到频率域,进而精确表征地震信号中每一时间点的频率成分。时频分析方法可将地震数据体分解成一系列时间域离散频率振幅数据体,这些离散频率振幅数据体又叫单频体,单频体只反映了特定频率振幅的空间变化特征。应用频谱分解技术可以在频率域分析地震资料,挖掘更多隐藏的信息,从而提供更大的空间研究

【作者简介】朱碧兰(1998-),女,中国湖南湘潭人,硕士,研究实习员,从事海洋油气勘探研究。

【通讯作者】晏玉环(1985-),女,中国湖北随州人,硕士,副主任师,从事海洋油气勘探研究。

断层发育情况,检测地质体细微的不连续性特征,增强断层解释精度。

由于地震数据体的频段分布较广,如果对频段范围内的每个频率都提取出相应的单频体,非常地耗时耗力。因此,需要在得到一系列单频体之前进行调谐体的计算以筛选出有利于断层精细刻画的优势频率。调谐体是采用时频分析方法在短时窗内沿层(或等时)生成振幅谱或相位谱的数据体,这种新的数据体在垂向上为连续变化的频率。通过利用可视化方法显示出调谐体不同的频率切片,确定优势频率,再提取出相应的单频体。

在分频属性的基础上提取出对于断裂敏感的最大似然属性,并进行高、中、低频率最大似然体属性进行 RGB 融合,可以更加充分地利用各个频段的信息。RGB 属性融合过程是以色光三原色的红(R)、绿(G)、蓝(B)为基础色调,每一色调值变化范围为 0~255,将单频体振幅属性值与基础色调值进行映射后叠加产生多种色光,通过颜色和亮度变化可以体现出地质体边界。业界通常将红色赋予反映地震体的低频属性,绿色赋中频属性,蓝色赋高频属性。当红、绿、蓝色调值同时为 0 时为黑色,同为最大值 255 时融合为白色,值越大色光亮度越高。

3 工区概况

西湖凹陷 Y 工区位于东海陆架盆地西湖凹陷的中央背斜带,为西湖凹陷内最大的背斜构造。Y 构造受构造运动的

影响明显,古新世以来受到四次构造运动影响,促使地层褶皱抬升,断层发育,属挤压(造山)运动。Y 地区在构造演化上大致经历了断陷期、拗陷期和区域沉降期三个发展阶段,区域构造应力场发生过拉张、挤压、剪张作用和较大规模的反转,导致区内发育有不同时期、不同规模、不同方向、不同性质和不同成因的断裂系统,大致可以分为早、中、晚三期。

(1) 早期以拉张性正断层为主

早期由于受到拉张应力场的作用形成了两组方向的正断层:北北东向和北西西向断裂系统。在始新世以前,受南东向拉张应力场控制,产生一系列的北北东向正断层。这些断层大部分具有活动时期早、规模较大的特点,主要控制了始新世及以下地层的沉积和局部构造的形成和分布,大部分断裂活动结束于始新世末,少部分断裂活动结束于渐新世中期。断裂数量多,分布广,工区南部断层数量较北部多。

(2) 中期以压性逆断层为主

该期断层形成于渐新世晚期-中新世末期,主要为走向北北东、北东向的正、逆断层,是受区域挤压应力场的作用形成的。中期断层断裂数量及规模较早期断层有所减少。

(3) 晚期以剪切正断层为主

晚期受冲绳海槽扩张影响,Y 工区内构造高部位发育了一些北西西向剪切、平错断层。这些剪切断层活动时期较晚,活动时间较短,具有数量多,延伸长的特点,通常为成组出现。

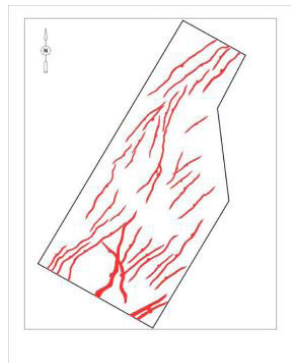


图 1 Y 工区早期断裂系统图

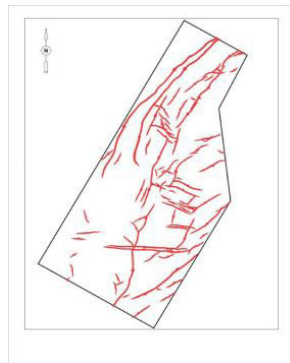


图 2 Y 工区中期断裂系统图

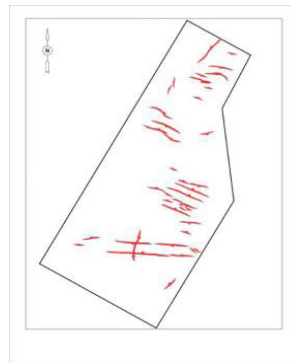


图 3 Y 工区晚期断裂系统图

4 实际应用

运用 RGB 分频技术对西湖凹陷 Y 地区原始地震数据体展开断裂刻画,根据对地震数据的频谱分析,确定主频分布在 35Hz。使用带宽等比例方法从频段 10-60Hz,以 1Hz 的间隔进行调谐切片的观察,我们发现低频对断裂识别精度较低,中频数据体断裂连续性较好,高频数据对小裂缝识别较强,但相对较为杂乱。最终在高、中、低三个频段中优选出相对适合断裂精细刻画的频率切片 24Hz、37Hz、48Hz,生成相应的单频体。

图 4 为基于频率为 24Hz 单频体得到的最大似然属性。

从图中可以清晰的看到早期北东向断层的走向,虽然损失了一部分小裂缝的细节,但是对于对细节要求不是很高的情况来说属性图清晰易读。图 5 是基于频率为 37Hz 单频体得到的最大似然属性,可看出在细节方面比较丰富,将规模较大的北东向断裂刻画地比低频属性更加清晰,能够更多地表征裂缝的大小、长度等几何特征及其发育程度,对于细微的裂缝也有一定的表现。图 6 是基于频率为 48Hz 单频体得到的最大似然属性,可以从图中看出小的地质构造表现的很好,对裂缝的显示较清晰,细节也更丰富,但是同时噪音也有较多的增加。

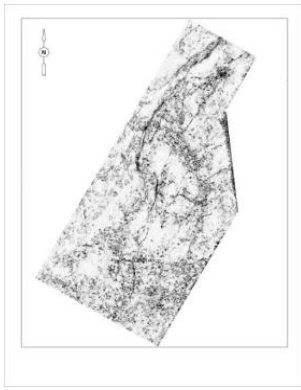


图4 低频 24Hz 最大似然属性

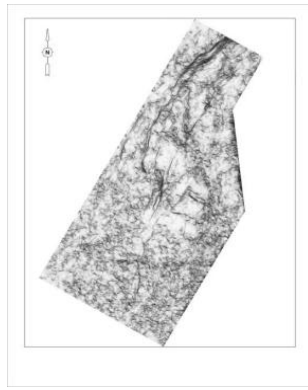


图5 中频 37Hz 最大似然属性

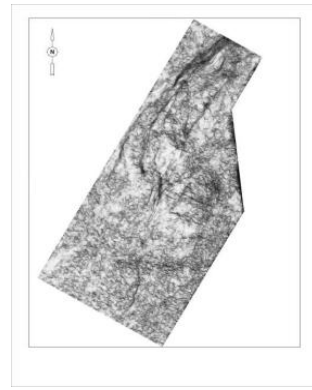


图6 高频 48Hz 最大似然属性

低中高频率的分频最大似然属性各自特征效果明显，各有侧重，通过相互结合可以多尺度地分析解释地震资料。将经过选取的优势频率分别赋予到红色、绿色和蓝色通道进行 RGB 融合，进行 RGB 融合之后消除了由于噪声造成的杂质，使得断裂更加清晰，极大地提高了对小裂缝的检测能力，对主要断层以及东西向剪切断裂的延伸长度、走向、大小等几何特征及发育程度有了更精准的刻画。



图7 Y 工区低中高频 RGB 融合断裂分布图

5 结论与展望

本研究通过分频属性与 RGB 融合技术，构建了适用于

复杂断裂系统的精细刻画方法体系，后续可进一步结合三维可视化技术，深化断裂系统与油气运移关系研究，为油气勘探开发提供更精准的地质模型。

参考文献

- [1] 马佳国,王华,陈志宏等.地震属性融合技术在断裂系统解释中的应用[J].石油地球物理勘探,2019,54(3):589-597.
- [2] 伍鹏,陈学华,贺振华,等.基于小波分频的地震资料相干属性对比分析[J].长江大学学报(自然科学版),2011,8(01):39-42+280.
- [3] 周静毅,周晶,唐松华.东海西湖凹陷Y地区深层低渗砂岩储层预测与甜点识别[J].上海国土资源,2025,46(01):174-180.
- [4] 陈波,魏小东,任敦占,等.基于谱分解技术的小断层识别[J].石油地球物勘探,2010,45(06):890-894+936+790.
- [5] 张亚中.高精度三维地震精细解释技术在丘陵油田二次开发中的应用[D].中国地质大学(北京),2010.
- [6] 孙海洋,邓国成,刘献科,等.谱分解技术在地震资料解释中的应用[J].科技视界,2014,(14):72+106.DOI:10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2014.14.049.
- [7] 田楠,范廷恩,董建华,等.微小断层检测组合技术及应用[J].物探化探计算技术,2016,38(01):83-88.
- [8] 滕团余,潘建国,张虎权,等.塔中地区碳酸盐岩储层综合预测技术分析[J].岩性油气藏,2010,22(04):14-19.