基于优势方位RGB融合的低序级断层识别技术

王若腾

中国石化胜利油田分公司物探研究院,山东 东营

收稿日期: 2025年4月18日; 录用日期: 2025年6月17日; 发布日期: 2025年6月27日

摘要

低序级断层的识别对于发现剩余油有利富集区、提高油气采收率具有重要的研究意义,渤南地区北部断 裂系统发育,常规叠后资料上低序级断层的反射特征不明显,识别精度低,制约着该区域的勘探开发。 针对以上问题,文章基于五维地震数据,划分优势偏移距和方位扇区,结合现有地质认识,优选断层法 向方位,并通过RGB属性融合技术,有效提高了低序级断层的识别精度,明晰了断层展布特征,为研究 区的构造精细描述和滚动开发提供了技术支撑。

关键词

OVT数据,RGB融合,低序级断层识别

Low-Order Faults Recognition Technology Based on Dominant Azimuth RGB Fusion

Ruoteng Wang

Geophysical Research Institute, Sinopec Shengli Oilfield Company, Dongying Shandong

Received: Apr. 18th, 2025; accepted: Jun. 17th, 2025; published: Jun. 27th, 2025

Abstract

The identification of low-order faults is of significant research importance for discovering favorable accumulation areas of remaining oil and improving oil and gas recovery rates. In the northern part of the Bonan region, a fault system is well developed, but the reflection characteristics of low-order faults in conventional post-stack data are not obvious, resulting in low identification accuracy, which restricts exploration and development in this area. To address these issues, this paper focuses on five-dimensional seismic data, categorizes dominant offset distances and azimuth sectors, and combines existing geological knowledge to optimize the fault-normal azimuth. By employing RGB attribute fusion technology, the identification accuracy of low-order faults has been effectively

improved, clarifying the fault distribution characteristics and providing technical support for the fine structural description and rolling development of the research area.

Keywords

OVT Data, RGB Fusion, Low-Order Faults Recognition

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0). <u>http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</u>

CC ① Open Access

1. 前言

低序级断层具有纵向断距小、平面延伸距离短的特点,控制着油水关系及剩余油的分布,通常断距 不超过 50 m, 延伸距离小于 2 km。在复杂断块油气田中, 断裂发育程度高, 随着很多老区块进入特高含 水开发阶段,剩余油的有利富集区规模逐步缩小,低序级断层的识别描述已经成为勘探开发的痛点难点。 针对低序级断层的刻画,许多学者都开展了相关的研究,主要分为两大类。第一类方法是基于地球物理 属性的断层识别技术,常规做法是在叠后数据上进行构造导向滤波,突出地震数据断裂特征,以此为基 础计算相干体、曲率、蚂蚁体等属性,辅助构造解释。Bahorich和 Farmer (1995) [1]基于地震数据的互相 关原理,率先将相干算法应用于断层解释方面,在此基础上,又相继有学者[2][3]从算法的抗噪性、横向 分辨率和计算效率等方面对该技术进行了改进。Dossary 等(2006) [4]将二维曲率属性推广至三维,并阐明 了其对应的地质含义,通过地层弯曲程度的变化来反映断层、裂缝等构造。针对曲率属性的实际应用效 果,国内一些学者[5][6]也进行了深入研究和改进,包括多种属性的对比测试、方位信息加强、不同属性 的融合表征等方面,均取得了良好的效果。同一时期,斯伦贝谢公司在蚁群算法的基础上进一步研发了 蚂蚁追踪技术,用于追踪低序级断层和开展裂缝预测,并迅速推广至全球范围,众多研究者[7][8]在此基 础上不断深化,提升算法性能和识别精度。第二类方法是基于人工智能的断层自动解释,随着卷积神经 网络的迅速发展,开始有学者将该项技术应用于断层识别领域。Ronneberger等(2015)[9]以 CNN 为基础, 针对语义分割问题,提出了 Unet 网络结构,进行医学图像自动分割,该网络因其简洁明晰的架构、突出 有效的识别精度而迅速被应用于其他领域,包括断层识别等,Wu等(2019)[10]建立了一种从数据生成到 网络搭建的断层自动解释的范式,通过正演模拟的方法构建了三维地震数据和相应的断层标签数据集, 利用 Unet 网络训练数据,部署断层自动检测模型,应用于多个开源三维地震数据上,均取得了较高的精 度,后续有研究人员针对各自工区的特征,断层的构造样式,进行了持续的应用和改进。王冬娜(2022)[11] 对相干体等地震属性进行优化组合,识别了老爷庙地区的低序级断层。张陈强等(2023)[12]结合注意力机 制和 VNet 网络,提高了构造复杂区域的低序级断层识别精度。马玉歌等(2024) [13]利用振幅和几何体等 属性构建特征,利用正演模型和实际数据,增强了神经网络的泛化性能。然而,现有的多数方法都是以 常规叠后数据为基础,在全叠加地震数据上,一些低序级断层断点模糊或无地震响应,容易被解释人员 忽略,造成构造不落实的问题。本文以叠前五维数据为基础,通过一些预处理方法提高叠前、叠后地震 数据的信噪比和分辨率,采用优势方位 RGB 融合技术,提高低序级断层识别精度。

2. 区域地质概况

研究区地处渤南油田北部,是埕东凸起沿埕南大断层滑至渤南洼陷的小型滑脱山,处于被孤西大断

层和埕南大断层夹持的二台阶上,油藏类型为构造油藏。目的层位于下古生界,埋深在4000~5100m,埋 深较深,上覆地层及潜山内幕均发育火成岩,研究区潜山带位于北西向孤西山潜山体系,构造发育复杂, 断层发育,地层断缺严重,解释难度大。因此,需要开展多技术精细构造描述,明确地层及断点,理清该 区断裂体系及低序级断层展布特征,精细落实区域构造。

3. 低序级断层识别技术及应用效果

3.1. 叠前道集优化

由于叠前五维道集资料整体信噪比较差,在优选偏移距和方位扇区之前,需要进行叠前资料解释性处理,实现道集优化。在 AnisoScope 中,针对叠前道集数据中的随机噪声,利用噪声剔除法衰减随机噪声、异振幅及线性干扰等,选择强去噪模式,设置噪声回填 50%,改善道集信噪比,提高地震有效反射的连续性,随后,以 Zoeppritz 弹性波动力学理论为基础,通过 shuey 三项式对地震数据按照一定的剔除百分比进行剔除 - 拟合,保留未处理到的有效信息,恢复目标道真振幅,最后,选择移动积分拉平算法,采用反射轴自动追踪的方法,自动拾取相对时间偏移量,将道集数据拉平,实现剩余动校正处理,完成叠前道集优化流程,获得高信噪比、高分辨率的五维叠前地震数据。对比叠前优化前后的五维道集,可以看出(见图 1),道集的地震反射连续性得到了很大的提升,随机噪声压制效果明显,整体资料品质增强。





3.2. 叠后目标处理

针对叠加后的地震体,在 Geoeast 软件中,设计了如下的处理流程。由于叠后地震数据在纵向上存在 能量不均衡的情况,首先,设置滑动视窗 100 ms,通过振幅能量均衡,抑制振幅失真,改善幅频特性, 消除非地质因素造成的地震信号特性变化,接着,采用带通滤波和高斯平滑滤波的方法,平滑系数为 2, 去除地震记录中的噪声成分,增强地震信号的有效成分,提高地震反射横向连续性,最后,采用构造导 向滤波技术,最大倾角为 35 度,倾角间隔 3 度,时窗长度 20,在压制噪声的同时,保留断层、裂隙等边 缘细节信息,突出断层的边界特征,使得断裂展布特征更加清晰,消除陡倾地层造成的背景干扰,完成 断层识别的预处理工作。与原始叠加剖面对比可以看出(见图 2),处理后地震剖面同相轴连续性更好,分 辨率得到有效提升,断点清晰度明显增强,为后续地震断层的精细识别奠定了基础。



(a)原始叠加剖面

(b)处理后叠加剖面

Figure 2. Seismic data before and after post-stack target processing 图 2. 叠后目标处理前后地震数据

2500-2500and a state of the second s Pers, norm III#1 3000-3000 _____ 966 . Altrall^{ere} 3500 3500

3.3. 偏移距优选

(a)近偏移距叠加剖面

(b)近中偏移距叠加剖面



(c)远偏移距叠加剖面

 Figure 3. Stacked sections of different offset ranges

 图 3. 不同偏移距叠加剖面





(a)近偏移距叠加

(b)远偏移距叠加



(c)近中偏移距叠加

Figure 5. Coherence slices of the Tg1 from multi-offset stacked data volumes: (a) Near-Offset Stack (b) Far-Offset Stack (c) Mid-Near-Offset Stack

图 5. 不同偏移距叠加数据体下古生界顶界相干切片: (a)近偏移距叠加; (b)远偏移距叠加; (c)近中偏移距叠加

在优化后的地震数据上,进行偏移距的优选,选择近偏移距、中偏移距、远偏移距三个叠加方案对 比,从叠加后的地震剖面可以看出(见图 3),中偏移距叠加地震体断点更为清晰,且资料信噪比较好。由 于目的层位于下古生界,考虑埋深和资料品质,选择中偏移距叠加方案。在测网上选择不同位置的叠前 道集,整体上近偏移距和远偏移距的数据横向连续性差,资料品质较低,需要剔除掉这两部分的信息(见 图 4)。对比不同偏移距叠加体计算的下古生界顶面沿层相干图,从平面上看,图 5 中红色箭头处,近、 远偏断层噪音较多,断层不连续或未识别出,而通过中偏移距叠加体识别的南北向、北西向断层更加清 晰,连续性更好,识别精度更高。通过剖面、道集、平面的多维度对比,明确了偏移距的优势范围。

3.4. 方位扇区优选

研究区断层主要呈北西、北东及近南北向展布,根据研究区断裂展布方向,分方位角划分,优选3个 敏感角度段,对地震数据进行分方位角叠加。选择北东方位进行叠加,测试不同扇区大小的叠后地震体 对断层识别精度的影响,对比10度、30度、70度扇区叠加体的沿目的层相干切片(见图6),10度扇区叠 加体的相干图噪音最多,30度扇区叠加体的相干图噪音相对较少,70度扇区叠加体的相干图噪音最少且 断层识别精度和连续性较好,因此,优选70度扇区范围作为最终叠加方案。



(a) 10°扇区叠加

(b) 30°扇区叠加



(c) 70°扇区叠加

Figure 6. Coherence slice along the top of Tg1 from NE-Oriented azimuthal sector-stacked mid-near-offset volume 图 6. 近中偏移距北东向不同方位扇区叠加数据体下古生界顶面相干切片

3.5. 优势方位融合



Figure 7. Comparison of seismic sections with different stacking methods 图 7. 不同叠加方式的地震剖面对比



(a)北东向叠加

(b)北西向叠加



(c)东西向叠加

(d)优势方位 RGB 融合



基于优选的偏移距范围和方位扇区,叠加北东向,北西向,东西向三个方位的地震数据体。如图 7 中 红色方框处,在常规全叠加地震剖面上,一些不同走向的低序级断层不明显,容易被忽略,而在分方位 叠加的地震剖面上,原本断点不清晰,同向轴表现为扭曲、微扭动的位置,断点变得更加清楚,同向轴 表现为明显的错开、错断,为开展精细构造解释提供了多尺度依据。对新生成的三个地震数据体计算下 古生界顶面的相干图,可以看出(如图 8 中红色椭圆圈处),沿着垂直断裂的方位,断层的连续性更好,低 序级断层的识别得更加清晰,凸显出与方位对应的断裂特征。最后,利用 RGB 属性融合的方法,调整每 个属性的权重,对于低序级断层更多的方位,适当增加权重系数,将各个方位的断层组合起来,体现了 分方位数据断层检测的优势,明晰了研究区的断层展布特征。

4. 结束语

本文基于研究区 OVT 域地震数据,通过一系列叠前道集优化和叠后处理的方法,提高了地震资料品 质,减少了噪音的影响,并以对比的方式,阐明了偏移距和方位扇区的有利范围,利用优势偏移距和方 位角进行叠加,从地震剖面上看,可以发现全叠加剖面上不明显或不存在的低序级断层,断面更清晰, 断点位置更准确,在地震数据体上,结合相干体属性,开展了 RGB 属性融合分析,能够有效提高断层识 别精度,明确了研究区复杂断块的低序级断层展布特征,精细落实了区域构造,为滚动勘探效益开发提 供了技术支撑。

参考文献

- Bahorich, M. and Farmer, S. (1995) 3-D Seismic Discontinuity for Faults and Stratigraphic Features: The Coherence Cube. *The Leading Edge*, 14, 1053-1058. <u>https://doi.org/10.1190/1.1437077</u>
- [2] Marfurt, K.J., Kirlin, R.L., Farmer, S.L. and Bahorich, M.S. (1998) 3-D Seismic Attributes Using a Semblance-based Coherency Algorithm. *Geophysics*, 63, 1150-1165. <u>https://doi.org/10.1190/1.1444415</u>
- [3] 杨葆军,杨长春,陈雨红,等. 自适应时窗相干体计算技术及其应用[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48(3): 436-442+506+330.
- [4] Al-Dossary, S. (1949) Inter Azimuth Coherence Attribute for Fracture Detection. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, **23**, 2586.
- [5] 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+203+10.
- [6] 盛新丽. 基于三维地震曲率的小断裂识别方法[J]. 中国煤炭地质, 2018, 30(S1): 109-112+117.
- [7] 刘财, 刘海燕, 彭冲, 等. 基于加权一致性的蚁群算法在断层检测中的应用[J]. 地球物理学报, 2016, 59(10): 3859-3868.
- [8] 李楠, 王龙颖, 黄胜兵, 等. 利用高清蚂蚁体精细解释复杂断裂带[J]. 石油地球物理勘探, 2019, 54(1): 182-190+12.
- [9] Ronneberger, O., Fischer, P. and Brox, T. (2015) U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In: *Lecture Notes in Computer Science*, Springer International Publishing, 234-241. <u>https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28</u>
- [10] Wu, X., Liang, L., Shi, Y. and Fomel, S. (2019) Faultseg3D: Using Synthetic Data Sets to Train an End-To-End Convolutional Neural Network for 3D Seismic Fault Segmentation. *Geophysics*, 84, IM35-IM45. <u>https://doi.org/10.1190/geo2018-0646.1</u>
- [11] 王冬娜. 低序级断层识别技术在老爷庙地区的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(15): 196-198.
- [12] 张陈强, 贺锡雷, 谌洪平, 等. 基于 SA-VNet 卷积神经网络的低序级断层识别方法[J]. 地球物理学进展, 2024, 39(2): 634-646.
- [13] 马玉歌, 苏朝光, 丁仁伟, 等. 基于 LOFUnet 深度卷积神经网络低序级断层多属性识别方法[J]. 物探化探计算 技术, 2024, 46(3): 272-283.