

文章编号: 1001-1749(2024)02-0154-10

基于 OBC 地震资料的叠后叠前多尺度 裂缝预测技术在涪西南潜山储层中的应用

鲁统祥, 李明, 盖永浩, 周凡, 廖键

(中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 湛江 524057)

摘要: 涪西南潜山储层具有较大资源潜力,但常规基于单一叠后地震属性的裂缝预测精度尚无法满足精细目标评价需求。笔者基于 OBC 地震资料宽方位数据优势,在叠后属性大尺度裂缝预测中利用相干、曲率和似然等多属性进行融合以提高裂缝预测可靠性,并进一步提出基于多方位预测融合法和法向照明数据优选预测法,分别通过多方位划分和法向照明实现数据基础改善,从而提高裂缝预测精度;在叠前裂缝预测中,开展道集优化处理并基于 AVAZ 计算各向异性强度等表征中尺度裂缝密度与方向;最后利用成像测井获得小尺度裂缝发育认识,并最终形成了基于 OBC 地震资料的叠后叠前多尺度裂缝预测技术,取得了较好的应用成效。

关键词: OBC; 裂缝预测; 属性融合; 法向照明; AVAZ; 测井成像

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1001-1749.2024.02.04

0 引言

裂缝具有较好的油气运移和储集功能,在当前勘探进程日益深化的过程中,裂缝型储层逐渐成为业界研究热点。国内外针对裂缝预测研究主要分为叠后和叠前两类,其中叠后裂缝预测主要是基于相干、曲率、方差、似然等叠后属性表征裂缝,叠前裂缝预测主要是基于振幅或速度随不同方位的变化差异进行预测,两类方法在国内外油气勘探裂缝预测中取得较好应用成效。张中巧等^[1]基于高波数曲率属性开展隐性走滑断层刻画与识别,在辽东湾凹陷旅大构造区取得了较好的应用成效;李楠等^[2]利用多重蚂蚁体属性实现了复杂断裂带精细解释;甄宗玉等^[3]基于相似系数改进的最大似然属性有效表征断层;陈榆桂等^[4]基于机器学习属性建模方法开展了潜山裂缝预测;张超铭等^[5]基于蚂蚁体和曲率属性融合在华北潜山裂缝型储层中取得较好应用效果;Mallick 等^[6]提出了 AVAZ 裂缝反演算法并通过实际数据验证了算法可靠性;印兴耀等^[7]基于稳定方位 AVO 梯度无约束反演预测裂缝发育带;熊晓军等^[8]提出了基于标准差统计的窄方位角叠前裂缝预

测方法;陈志刚等^[9]基于统计法的各向异性强度预测技术在乍得 Bongor 盆地潜山裂缝型储层预测中取得较好效果;郑多明^[10]基于 OVT 域五维道集开展各向异性反演叠前裂缝预测,在塔里木盆地碳酸盐岩中取得较好预测效果;陈超等^[11]基于贝叶斯理论形成稀疏方位弹性阻抗反演目标泛函并进行求解,实现了裂缝密度的定量预测。

上述常规方法主要是基于叠后属性或叠前 AVAZ 单一方式进行裂缝预测,叠后属性预测法虽然计算效率高、分辨率高,但因对地震叠加数据依赖度高,存在偏移距变化信息缺失问题,可预测裂缝尺度不可避免受到影响,而叠前 AVAZ 虽然进一步利用了不同方位偏移距变化信息,但因宽方位道集质量难以完全符合 AVAZ 基础数据要求,可预测裂缝尺度虽然变小,但仍需要结合叠后属性预测法和测井成像法进行验证。

涪西南凹陷发育一号断裂带与二号断裂带,两条断裂夹持区多组断裂交汇,为前古近系灰岩潜山裂缝型储层发育提供了基础。目前涪洲 6 区钻遇基底探井 8 口,发现了涪洲 6-1 油田潜山油气田,探明储量达百万方,基岩潜山裂缝型储层为未来涪西南增储上产的重要领域之一。但是该区裂缝型储层并

收稿日期: 2023-09-26

基金项目: “十四五”重大科技项目(KJGG2022-0302)

第一作者: 鲁统祥(1988-),男,硕士,工程师,主要研究方向为地震资料处理,E-mail:545867480@qq.com。

间差异大,非均质性强,有效的裂缝型储层预测难度大,裂缝发育方向不明,影响后续开发等。

综合上述研究现状及问题,笔者开展了基于涪西南 OBC 宽方位地震资料的叠后叠前多尺度裂缝预测,在叠后属性大尺度裂缝预测中提出基于多方位预测融合法和法向照明数据优选预测法分别改善裂缝预测精度,在叠前 AVAZ 中尺度裂缝预测中基于道集优化处理改善数据基础,实现裂缝密度与方向预测,并结合测井成像进行小尺度验证,在涪西南潜山储层裂缝预测中取得较好的应用效果。

1 叠后地震属性裂缝预测方法

叠后地震属性裂缝预测法是基于叠后地震计算特定地震属性,通过裂缝与常规地层的地震属性差异实现裂缝刻画的方法,常用的地震属性有相干、曲率、方差、似然等。该方法预测精度依赖叠后地震质量,具有计算效率高、分辨率高等优点,但因未考虑振幅等随偏移距变化信息,可预测裂缝尺度受限。

1.1 基于叠后单一地震属性的裂缝预测方法

1)相干 coherence:在物理学中,相干性又称为同调性,描述波在传播时,其物理量在不同地点或不同时间的相关特性;而在地震数据中,相干技术是在一定时窗内,通过计算某一道与周边相邻点的相关性来反映不连续地质现象,由于断裂两侧地层存在一定程度的不连续性。因此,理论上叠后地震相干属性可以刻画断裂,并且,相干值越小,断裂越明显。

Bahorich 等^[12]提出基于互相关的第一代相干体技术,分别计算在主测线和联络测线目标道与标准道的互相关系数,进而得到相干体三维互相关系数用以表征断裂:

$$\rho_{x,y}(t, \tau_{x,y}) = \frac{\sum_{-K}^K ((u_0(t+k\Delta t) - \mu_0(t)) \cdot (u_1(t+k\Delta t - \tau_{x,y}) - \mu_1(t - \tau_{x,y})))}{(\sum_{-K}^K (u_0(t+k\Delta t) - \mu_0(t))^2 \cdot \sum_{-K}^K (u_1(t+k\Delta t - \tau_{x,y}) - \mu_1(t - \tau_{x,y}))^2)^{0.5}} \quad (1)$$

其中, $\mu_n(t) = \frac{1}{2K+1} \sum_{-K}^K u_n(t+k\Delta t)$ 表示指定时窗内第 n 道的平均振幅; u_0 和 u_1 分别为指定时窗内的标准道和目标道; τ_x 为时移延迟;指定时窗为 $(t-K, t+K)$; $\rho_{x,y}$ 为沿主测线方向或联络测线方向的归一化互相关系数;根据主测线和联络测线方向的互相关系数,进一步求解三维体互相关系数:

$$\delta_{x,y} = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} \quad (2)$$

据此可得到基于互相关系数的三维相干体。

2)曲率 curvature:曲率,作为一种数学几何属

性,其定义为曲线上某点切线方向角对弧长的转动率。在二维平面中,任意曲线可以细分成无数个具有不同圆心和半径长度的圆弧,而在该曲线上的某一点,其曲率即为该点所在圆弧半径的倒数,如公式(3)所示,也可以表示为该点对应曲线的正切角函数,如公式(4)所示:

$$k = \frac{1}{r} \quad (3)$$

$$k = \frac{d\alpha}{ds} = \frac{dx}{ds} \frac{d(\tan^{-1}(\frac{dy}{dx}))}{dx} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{(1+(\frac{dy}{dx})^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (4)$$

其中, r 为曲线圆弧对应半径, α 为曲线上某点处的正切角;

在地震资料中,曲率对应地质异常体的弯曲程度,因此可以该属性表征断裂发育情况。在地层水平或者直线倾斜时曲率为 0,当地层为背斜时其曲率大于 0,当地层为向斜时其曲率小于 0;地层受挤压或者拉伸越强,形变产生褶皱等越强,对应曲率属性绝对值也越大,理论上其断裂也越发育。

3)最大似然 likelihood:最大似然属性是基于地层走向和倾角计算地震数据体各采样点间的相似性,从而获取断裂发育的最大概率位置,最终达到断裂刻画的目的。通常是需要先分析区域断裂地震反射特征并对地震资料开展地层倾角滤波等进行断裂成像增强,在此基础上计算最大似然属性体并提取沿层切片进行断层识别和描述。

基于上述叠后地震属性裂缝预测方法分别对涪西南潜山裂缝储层进行裂缝预测,以潜山顶界面往下开启 40 ms 时窗进行层段单一属性计算,如图 1 所示,其中图 1(a)为相干属性预测结果,图 1(b)为曲率属性预测结果,图 1(c)为似然属性预测结果,三属性预测结果整体相近,仅存在分辨率和细节差异,且从预测结果可知,本区裂缝发育且方向较为杂乱。

1.2 基于叠后多属性融合的裂缝预测方法

基于叠后相干、曲率、最大似然等叠后地震属性对断裂等非连续构造刻画均具有一定的表征作用,但受具体方法理论局限影响,单一叠后地震属性对断裂刻画可能存在一定偏差,无法从地震数据中准确提取所有断层或不连续特征,也有可能提取一些非断裂引起的不连续特征。因此,近年来基于叠后多种地震属性融合进行断裂预测的方法成为研究热点,该方法可以充分利用不同方法对不同断裂的表征优势,增强对断裂构造的识别与刻画能力。本次采用主成分分析(Principal Components Analysis,

PCA)实现多属性融合,其原理为基于降维思想,综合归一化多属性并求取方差,方差越小,代表不同属性均预测为裂缝概率越高,裂缝预测结果相对越可靠。反之,裂缝预测可靠性越差,从而达到多属性融

合提高裂缝预测准确性目的。

根据图 1 中相干、曲率和似然属性等单一属性进行 PCA 融合,如图 2 所示。图 2 整体裂缝预测结果和图 1 中相近,且裂缝预测可靠性进一步提高。

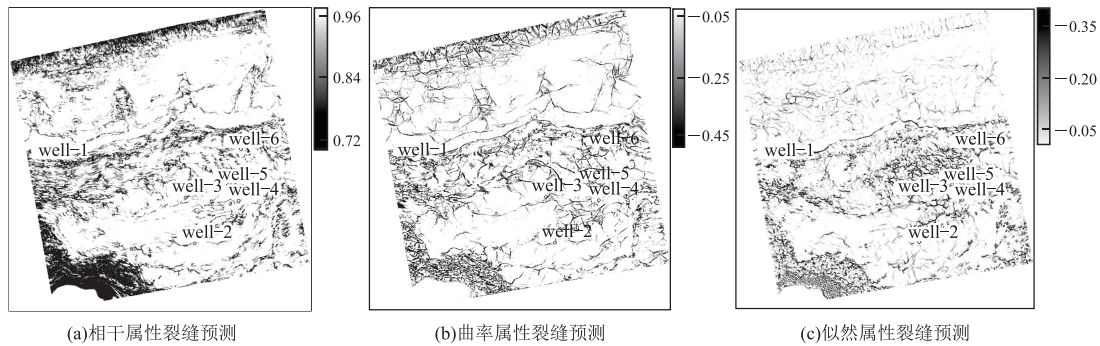


图 1 基于叠后单一地震属性的裂缝预测结果

Fig. 1 Crack prediction results based on post-stack single seismic attribute

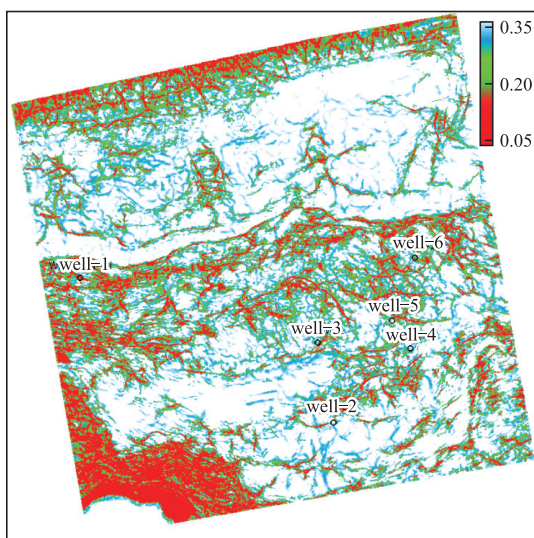


图 2 基于 PCA 多属性融合的裂缝预测结果

Fig. 2 Crack prediction results based on PCA multi-attributes fusion

1.3 基于 OBC 资料的宽方位单一叠后地震属性裂缝预测方法

对复杂构造而言,地震采集方向往往影响其最终成像,这是因为不同采集方向往往导致接收到的地震信号存在差异且影响后续准确速度的获得。构建三维断层模型如图 3 所示,a 方向为垂直于断层方向,b 方向为平行于断层方向,分别沿 a 和 b 方向进行地震采集,并利用正演模型速度进行偏移成像,结果如图 4 所示。从正演结果对比分析,垂直断层方向采集对断层成像效果明显优于平行断层方向采集。综上,当断裂发育方向杂乱非单一时,窄方位拖

缆采集往往只能对与采集方向垂直的断层较好成像,而对与采集方向平行的断层成像相对较差。因此,采集方位较宽、纵横比可达 0.5~1 的 OBC 地震采集对多方向发育断层成像效果比窄方位拖缆地震更好,利于提高基于叠后地震属性的裂缝预测精度。

另一方面,从射线束照明角度看,照明强度越强且越均匀,越有利于改善成像,就像用一束光照射某物体,沿该物体法向照射其投影分辨率最高,沿该物体侧面照射其投影会虚化拉长,如图 5 所示。类似地,当地震成像目标为改善断层成像时,垂直于断层的射线束对断层成像分辨率最高,其他方位和入射角度的射线束虽然可以一定程度增强成像信号,但可能会导致成像分辨率降低,如图 6 所示,理论上垂直于断面地红色射线束对断层成像效果最优,利于后续裂缝预测。

基于以上分析,对涪西南宽方位 OBC 地震资料从两个方向出发改善裂缝预测效果:

1)增加不同方位成像信息,建立基于多方位单一叠后地震属性的裂缝预测:对 OBC 地震资料进行分方位叠加并进行裂缝预测,各分方位对与其垂直的断层裂缝预测效果最优,在此基础上,融合多方位预测,理论上可以获得更准确的裂缝预测结果。考虑到方位分组过小后覆盖次数降低会影响叠加效果,对涪西南 OBC 地震资料分 6 个方位分别计算蚂蚁体进行裂缝预测,如图 7 所示,从图中可以看出各个分方位裂缝预测结果整体相近,但细节存在差异。对 6 个方位预测结果进行融合,并与未分方位直接进行叠加的裂缝预测结果对比,如图 8 所示。在箭

头处,与未分方位预测结果相比,本方法预测结果裂缝走向明显更加清晰且细节更丰富,这是因为未分方位数据叠加成像虽然会提高信噪比,但同时会弱化裂缝成像,因此影响裂缝预测结果,而多方位裂缝预测融合结果可以将每个方向发育的裂缝最优表征后再进行融合,从而提高预测精度。

2)基于法向照明的优势方位及入射角优选的叠后地震属性裂缝预测:前文分析可知,法向方位角和入射角信号可有效提高断层成像分辨率,因此首先对地震数据进行方位角和入射角优选以改善对裂缝等地质体的成像。将地震数据分别按照方位角和入射角三等分,并提取潜山沿层均方根振幅属性如图 9 所示,从图中可以看出,当入射角和方位角分别为 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 、 $120^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 时,其地质体边界最清晰,表征分辨率最高,因此优选该范围数据进行叠加成像,如图 10 所示,与全数据叠加相比,优选法向叠加对潜山成像明显改善。分别利用全叠加和优选法向叠

加进行裂缝预测,如图 11 所示,在椭圆区域内,裂缝明显更加清晰,且分辨率更高。

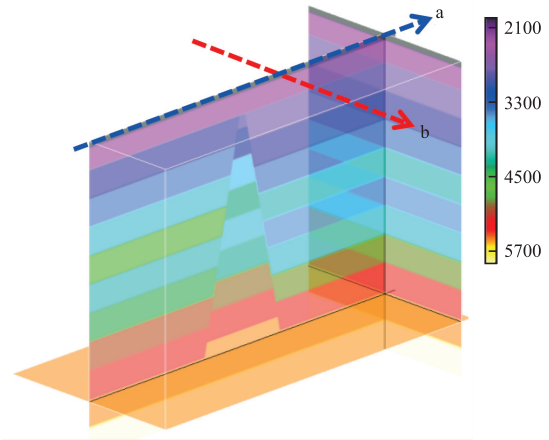


图 3 设计三维断层模型
Fig. 3 The designed 3D fault model

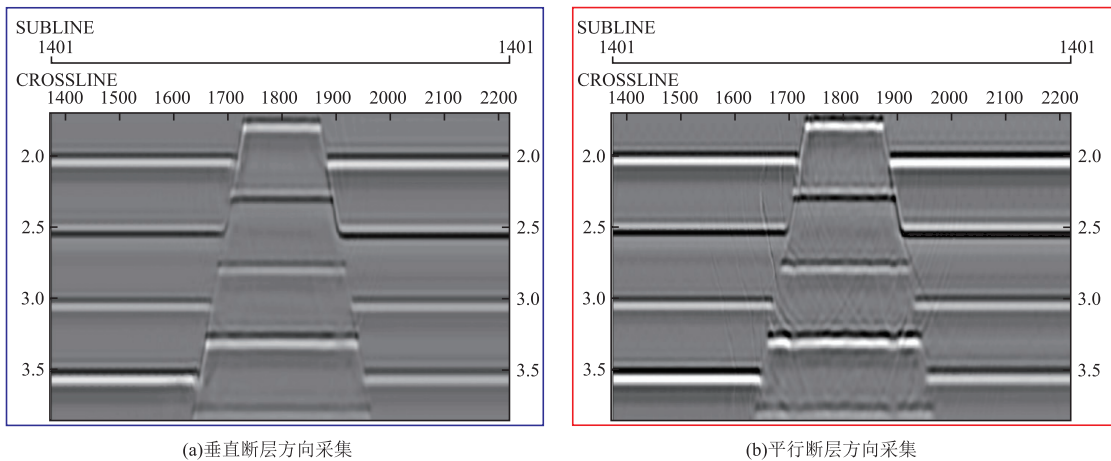


图 4 不同方向地震采集偏移结果
Fig. 4 The seismic migration results of different acquisition directions

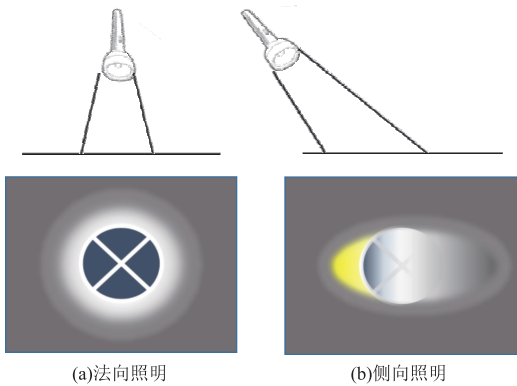


图 5 射线束照明示意图
Fig. 5 Schematic diagram of ray beam illumination

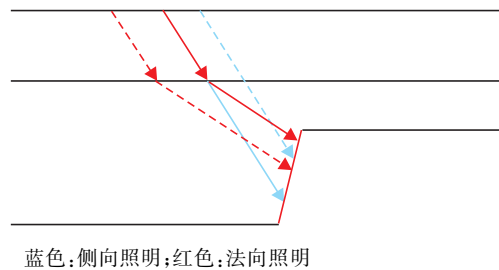


图 6 断层射线束照明示意图
Fig. 6 Schematic diagram of fault ray beam illumination

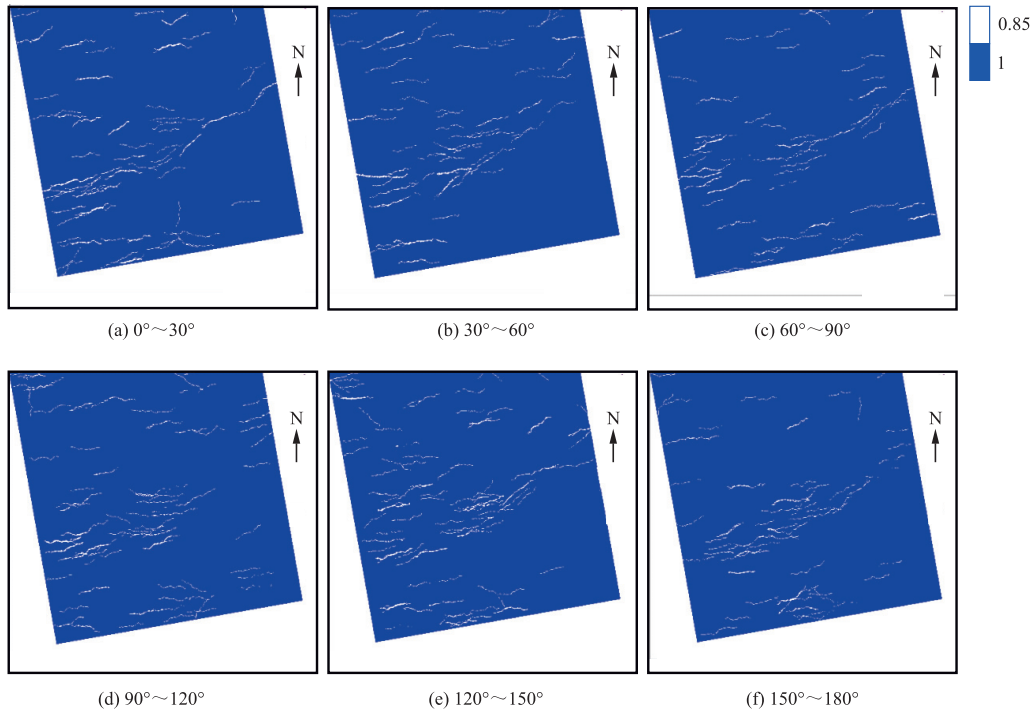


图7 分方位叠后蚂蚁体属性对比图

Fig. 7 Two sets of fracture prediction maps of Carboniferous system in well WZ6x1

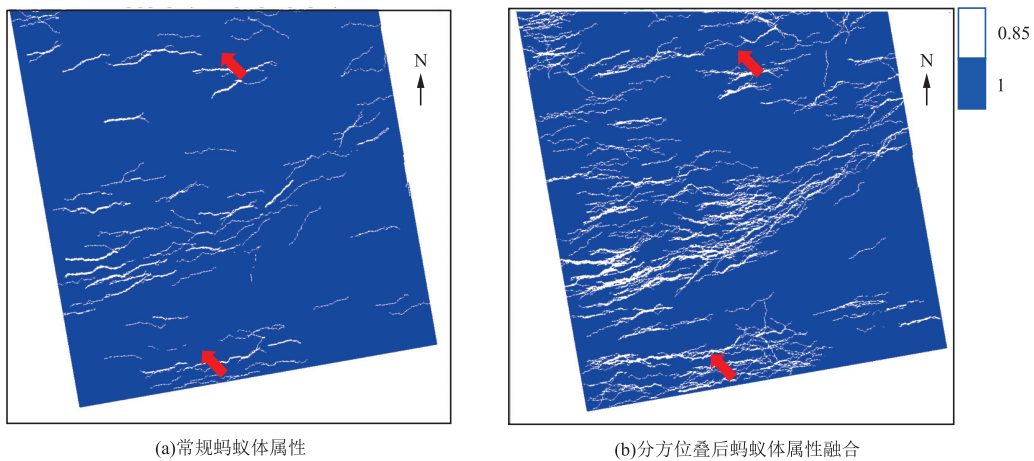


图8 分方位叠后蚂蚁体属性融合与常规叠后蚂蚁体属性对比

Fig. 8 Comparison of attribute fusion between azimuthal stacked ant bodies and conventional stacked ant bodies

2 基于 OBC 资料的叠前 AVAZ 裂缝预测方法

基于叠后地震属性进行裂缝预测具有计算效率高,分辨率高等优点,但因其依赖于地震叠加数据,损失了偏移距变化信息,可能造成裂缝预测精度降低。为解决叠后地震属性裂缝预测法对偏移距变化信息利用不足的缺陷,业界提出了基于 AVAZ(amplitude versus azimuth)的宽方位叠前裂缝预测技

术,认为高角度裂缝会引起方位各向异性,即沿裂缝方向地震传播速度快,垂直裂缝方向地震传播速度慢,造成不同方位振幅随偏移距变化规律有所差异,根据这种差异可以表征裂缝密度和方向^[13]:

$$R(\theta, \varphi) = A + (B_{iso} + B_{ani} \sin^2(\varphi - \varphi_{iso})) \sin^2 \theta \quad (5)$$

其中, A 为截距; B_{iso} 为各向同性梯度; B_{ani} 为各向异性梯度,可表征裂缝密度; φ_{iso} 为各向同性平面方位角,可表征裂缝方向。

据公式 5, AVAZ 需要地震满足宽方位信息, 而涪西南凹陷 2013 年采集了 OBC 宽方位地震资料, 且 2022 年应用针对宽方位的 OVT 域成像等前沿处理技术, 获得了具有宽方位信息的叠前成像道集, 如图 12 所示, 对该道集进行玫瑰图、方位—偏移距覆盖次数交汇分析如图 13 所示。在该区目的层 Tg 实际有效偏移距范围为 500 m~2 500 m, 各方位覆盖均匀, 初步满足了 AVAZ 基础数据要求, 但同相轴在远偏移距仍存在较明显时差, 且道集仍存在一

定噪声, 因此对地震道集进行去噪和时差校正等优化处理, 如图 14 所示, 进一步满足精细 AVAZ 计算需要。优化处理后道集信噪比明显提高, 且剩余时差较小, 基于该道集进行 AVAZ 计算可得到该区各向异性强度及方向, 进而表征裂缝密度和方向, 如图 15 所示, 图中色彩表征裂缝密度, 红色>黄色>绿色, 而黑色线段表征裂缝方向。相较于叠后地震属性裂缝预测, 该方法可以综合利用各方位振幅变化信息, 进一步提高裂缝预测精度。



图 9 不同方位角和入射角叠加均方根振幅对比

Fig. 9 Comparison of root mean square amplitude of post-stack with different azimuths and incident angles

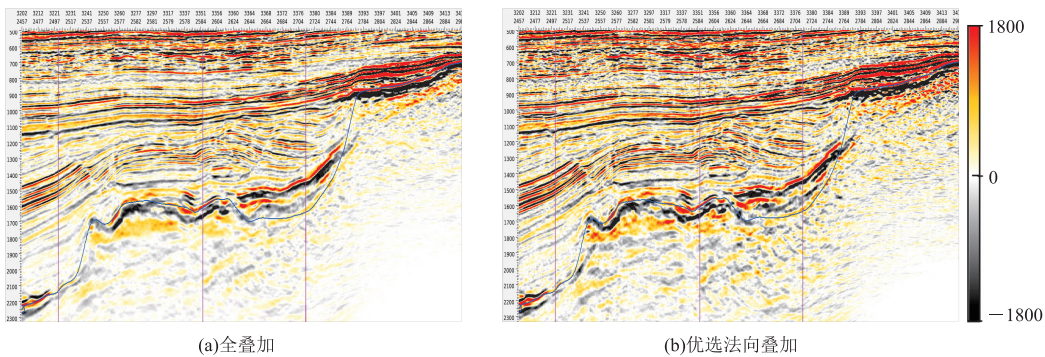


图 10 全叠加与优选法向叠加对比

Fig. 10 Comparison of full stack profile and optimized normal stack profile

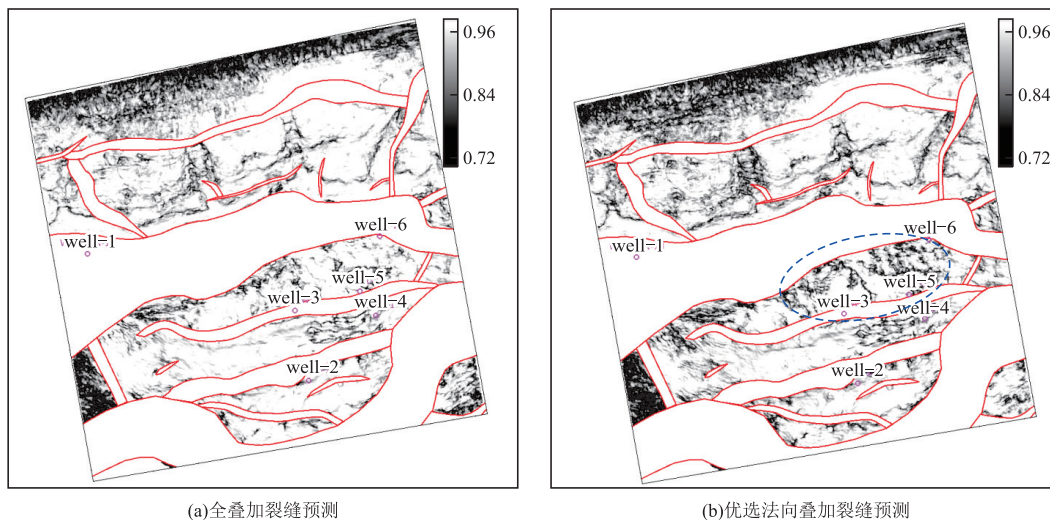


图 11 全叠加裂缝预测和优选法向叠加裂缝预测结果对比

Fig. 11 Comparison of fracture prediction with fully stacked crack prediction and optimized normal stacked

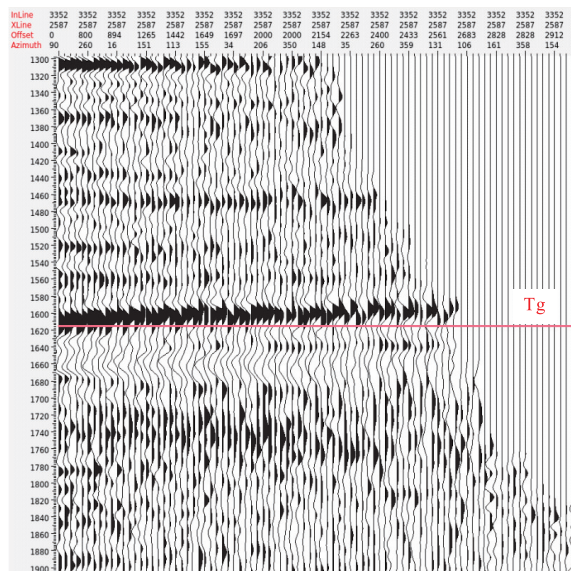


图 12 涸西南凹陷典型 OVT 道集

Fig. 12 Typical OVT gathers of Weixinan depression

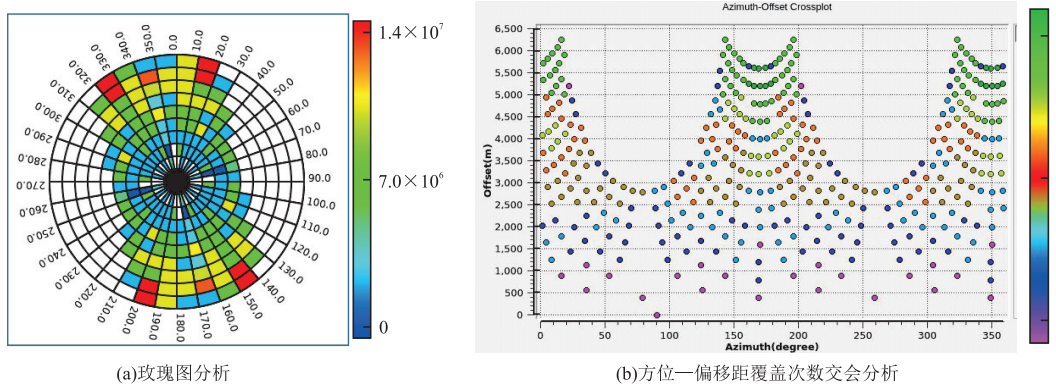


图 13 道集方位及覆盖次数分析

Fig. 13 Analysis of gather azimuth and coverage

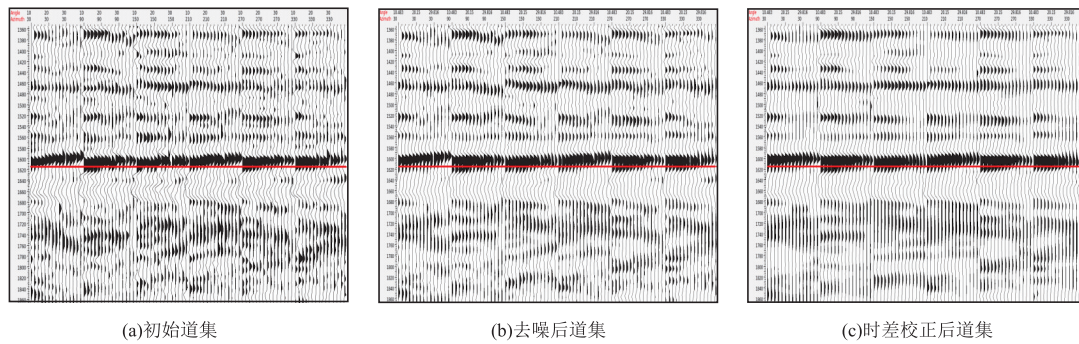


图 14 道集优化处理

Fig. 14 Optimization processing of gathers

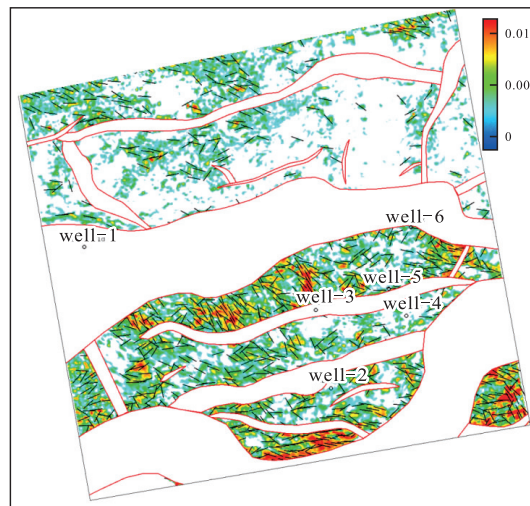


图 15 基于 AVAZ 的裂缝预测结果

Fig. 15 The results of AVAZ fracture prediction

3 基于成像测井的裂缝信息统计与验证

基于地震属性和 AVAZ 裂缝预测方法精度受地震分辨率限制,仅可以有效刻画较大尺度裂缝,而对于米级甚至更小尺度的裂缝,上述两种方法无法有效预测,现阶段仅有成像测井可以统计井眼周边小尺度裂缝信息,并对上述两种方法裂缝预测结果进行验证。

基于上述两种方法分别进行了裂缝预测,整体预测裂缝发育区与区域地质认识吻合,即区域断层发育区伴生裂缝,但裂缝发育方向无法有效验证。为进一步验证预测裂缝方向准确性,应用本区新钻井 WZ6x1 井进行验证,本井测有 ERMI 水基泥浆电成像,如图 16 所示,石炭系地层主要发育两组裂缝,分别为近南北向和北西—南东向,据此可验证此次裂缝预测方向准确性。对前文方法裂缝预测结果分别提取对应石炭系裂缝发育层段,如图 17 所示,箭头方向即为裂缝发育方向,从图中可以看出,该井

点处裂缝预测结果与实钻测井吻合,验证了本方法的合理性。

4 总结

笔者利用 OBC 宽方位地震资料分别基于叠后地震属性预测大尺度裂缝、叠前 AVAZ 方法预测中尺度裂缝、成像测井统计小尺度裂缝并进行验证,证实了本文方法的合理性,取得了较好的裂缝预测结果。

1) 叠后地震属性裂缝方法,可充分利用 OBC 宽方位信息优势,对裂缝发育方向杂乱区,分方位进行裂缝预测后再进行融合方式可取得更好预测效果,而对裂缝发育方向相对简单区域,基于法向照明数据优选方式更有优势;

2) 叠前裂缝预测方法基于 AVAZ 对裂缝进行刻画,可实现裂缝密度与方向预测,裂缝密度发育区与叠后属性裂缝预测发育区重合,且裂缝方向与实钻测井成像吻合,证实了本方法的合理性。

3) 基于 OBC 地震资料的叠后属性裂缝预测和 AVAZ 裂缝预测法可获得较好的裂缝预测结果, 但

受地震分辨率限制, 无法有效预测小尺度裂缝, 需要结合实钻测井成像补充验证。

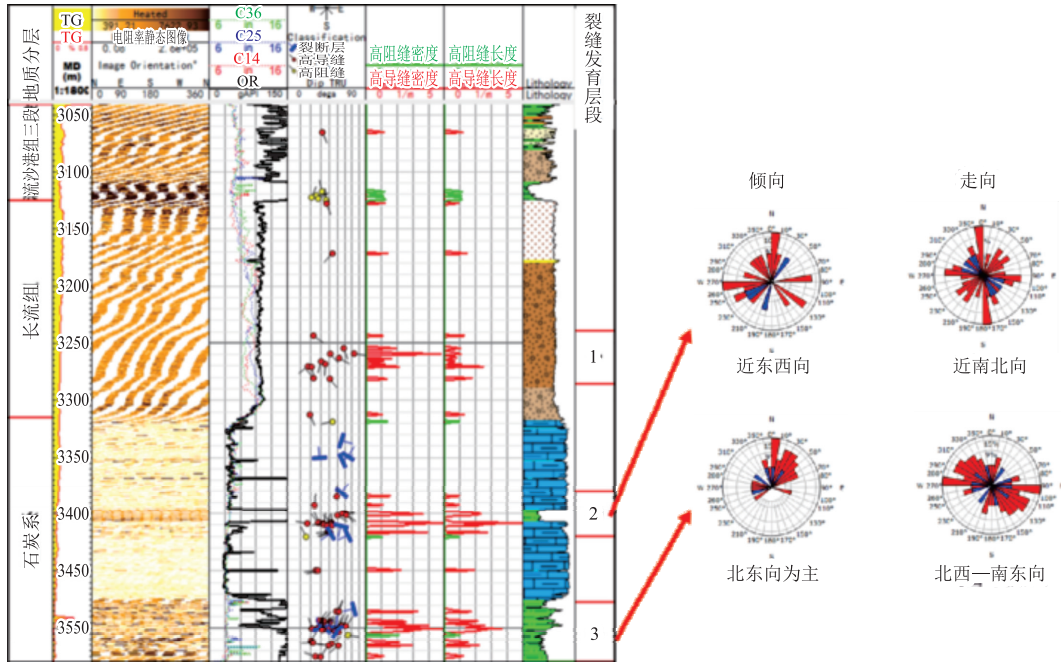


图 16 WZ6x1 电成像及裂缝解释

Fig. 16 The imaging and fracture interpretation of well WZ6x1

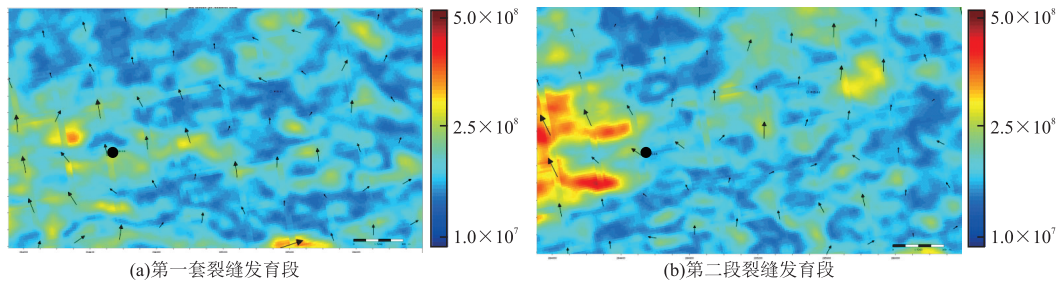


图 17 WZ6x1 井石炭系两套裂缝预测发育段裂缝预测图

Fig. 17 Two sets of fracture prediction maps of carboniferous system in well WZ6x1

参考文献:

[1] 张中巧,高京华,吴奎等. 基于高波数曲率属性的隐性走滑断层识别—以辽东湾坳陷旅大构造区为例[J]. 地球物理学进展, 2017, 32(06):2602-2607. ZHANG Z Q,GAO J H,WU K, et al. Identification of hidden strike-slip fault based on high wavenumber curvature attribute-Taking Lüda area in Liaodong bay depression as example [J]. Progress in Geophysics, 2017,32(06):2602-2607. (In Chinese)

[2] 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. LI N, WANG L Y, HUANG S B, et al. 3D seismic

fine structural interpretation in complex fault zones based on the high-definition ant-tracking attribute volume[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2019, 54(1): 182-190. (In Chinese)

[3] 甄宗玉,郑江峰,孙佳林,等. 基于最大似然属性的断层识别方法及应用[J]. 地球物理学进展, 2020, 35(1): 374-378. ZHEN Z Y,ZHENG J F,SUN J L, et al. Fault identification method based on the maximum likelihood attribute and its application [J]. Progress in Geophysics, 2020, 35(1) : 374-378. (In Chinese)

[4] 陈榆桂,阎建国,邓儒炳,等. 基于机器学习属性建模地震响应特征数值模拟及分析[J]. 物探化探计算技术, 2023,(1):28-35.

- CHEN Y G, YAN J G, DENG R B, et al. Numerical simulation and analysis of seismic response characteristics based on machine learning attribute modeling [J]. *Computing Techniques For Geophysical And Geochemical Exploration*, 2023, (1): 28-35. (In Chinese)
- [5] 张超铭,文晓涛,兰昀霖,等. 蚂蚁曲率融合属性在华北潜山裂缝型储层中的应用[J]. *物探化探计算技术*, 2023, (1): 53-60.
- ZHANG C M, WEN X T, LAN Y L, et al. Application of improved ant body attribute extraction method in fracture prediction of buried hill reservoir [J]. *Computing Techniques For Geophysical And Geochemical Exploration*, 2023, (1): 53-60. (In Chinese)
- [6] MALLICK S, CRAFT K L, MEISTER L J, et al. Determination of the principal directions of azimuthal anisotropy from P-wave seismic data [J]. *Geophysics*, 1998, 63(2): 692-706.
- [7] 印兴耀,刘志国,李春鹏,等. 裂缝型储层预测的稳定方位 AVO 梯度无约束反演方法研究[J]. *石油物探*, 2014, 53(6): 1000-1441.
- YIN X Y, LIU Z G, LI C P, et al. Fracture formation prediction with a steady azimuth AVO gradient unconstrained inversion method [J]. *Geophysical Prospecting For Petroleum*, 2014, 53(6): 1000-1441. (In Chinese)
- [8] 熊晓军,简世凯,李翔,等. 基于标准差统计的窄方位角叠前裂缝预测方法[J]. *石油地球物理勘探*, 2017, (1): 114-120, 17.
- XIONG X J, JIAN S K, LI X, et al. Fracture prediction on prestack narrow azimuth data with standard deviation statistics [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2017, (1): 114-120, 17. (In Chinese)
- [9] 陈志刚,李丰,王霞,等. 叠前各向异性强度属性在乍得 Bongor 盆地 P 潜山裂缝性储层预测中的应用[J]. *地球物理学报*, 2018, (11): 4625-4634.
- CHEN Z G, LI F, WANG X, et al. Application of prestack anisotropic intensity attribute in prediction of P Buried hill fractured reservoir in Bongor Basin, Chad [J]. *Chinese Journal Of Geophysics*, 2018, (11): 4625-4634. (In Chinese)
- [10] 郑多明,邹义,关宝珠,等. 基于 OVT 域五维道集碳酸盐岩叠前裂缝预测技术[J]. *物探化探计算技术*, 2020, (1): 9-16.
- ZHENG D M, ZOU Y, GUAN B Z, et al. Pre-stack fracture prediction for carbonate reservoir based on 5D seismic data in OVT domain [J]. *Computing Techniques For Geophysical And Geochemical Exploration*, 2020(01): 9-16. (In Chinese)
- [11] 陈超,印兴耀,刘晓晶,等. 基于方位各向异性的裂缝密度反演方法及应用[J]. *地球物理学报*, 2022, (1): 371-383.
- CHEN C, YIN X Y, LIU X J, et al. Fracture density inversion based on azimuthal anisotropy and its application [J]. *Chinese Journal Of Geophysics*, 2022, (1): 371-383. (In Chinese)
- [12] BAHORICH M S, FAMRER S L. 3-D seismic coherence for faults and stratigraphic features [J]. *The Leading Edge*, 1995, 14(10): 1053-1058.
- [13] RUGER A. Variation of P-wave reflectivity with offset and azimuth in anisotropic media [J]. *Geophysics*, 1998, 63: 935-947.

Application of post-and-pre-stack multi-scale fracture prediction technology based on OBC seismic data in the reservoir of Weixinan buried hill

LU Tongxiang, LI Ming, GAI Yonghao, ZHOU Fan, LIAO Jian
(Zhanjiang branch, CNOOC Ltd. , Zhanjiang 524057, China)

Abstract: The reservoir of Weixinan buried hill has excellent resource potential, but the accuracy of conventional fracture prediction methods based on single post-stack seismic attribute cannot meet the needs of precise target evaluation. Based on the advantage of wide azimuth data in OBC seismic data, the article utilizes multiple attributes such as coherence, curvature, and likelihood to improve the reliability of crack prediction in post-stack attribute large-scale crack prediction. Furthermore, a fusion method based on multi-azimuth prediction and a data optimization prediction method based on normal illumination are proposed. The data foundation is improved through multi-azimuth division and normal illumination, respectively, to improve the accuracy of crack prediction. In pre-stack crack prediction, gather optimization processing is conducted to calculate anisotropic strength based on AVAZ, which leads to the density and direction of mesoscale cracks. Finally, the understanding of small-scale fracture development was obtained through drilling imaging, and a post-and-pre-stack multi-scale fracture prediction technology based on OBC seismic data is ultimately formed, achieving good application results.

Keywords: OBC; fracture prediction; attribute fusion; normal lighting; AVAZ; drilling imaging