

doi: 10.11720/wtyht.2021.1368

刘海宁,韩宏伟,魏文,等. YD 高密度三维区沙四段灰岩有利储层地震预测[J]. 物探与化探, 2021, 45(5): 1281–1287. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1368>

Liu H N, Han H W, Wei W, et al. Seismic prediction of favorable limestone reservoirs in the fourth member of Shahejie Formation in YD high density 3D area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(5): 1281–1287. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1368>

YD 高密度三维区沙四段灰岩有利储层地震预测

刘海宁^{1,2}, 韩宏伟¹, 魏文¹, 张云银¹, 赵景蒲³

(1. 中国石化胜利油田分公司 物探研究院, 山东 东营 257022; 2. 中国石油大学(华东) 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 3. 东营市自然资源和规划局, 山东 东营 257000)

摘要: YD 断裂带油气富集, 新近系岩性体勘探空间大, 但是勘探程度较低, 制约勘探效率的主要原因是储层非均质性强, 分布规律复杂, 同时受地震资料及常规地震预测技术的限制, 岩性体有利储层地震预测难度大。基于 YD 地区高密度三维方位地震资料, 开展了沙四段灰岩有利储层地震预测研究工作, 首先利用方位地震属性的差异性, 预测储层裂缝分布; 然后利用基于各向异性参数反演的储层预测技术, 描述储层的各向异性特征; 最后联合两种地震预测技术结果, 以储层裂缝分布预测为主, 以储层各向异性特征作约束, 综合描述研究区沙四段灰岩储层裂缝发育程度, 提高了沙四段灰岩有利储层地震预测精度。

关键词: 高密度三维; 有利储层; 地震预测; YD 断裂带

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000–8918(2021)05–1281–07

0 引言

利用地震资料进行裂缝预测的技术较多, 按照所使用的地震数据类型可将这些方法大致分为多分量转换波裂缝检测、叠后地震属性分析及叠前纵波方位各向异性检测裂缝等^[1], 其中叠前纵波方位各向异性裂缝检测方法是利用叠前纵波信号所携带的与方位相关的变化特征, 来解决裂缝方位和密度, 该方法具有分辨率高、计算稳定性高等特征, 但是要求资料必须是宽方位或全方位采集^[2]。

胜利油田三维地震技术经过 40 多年的历程, 已从常规三维地震走向高密度地震^[3–4]。现阶段胜利东部探区高密度地震的界定为: 面元网格小于(等于) 12.5 m×12.5 m, 覆盖次数 200 次左右, 炮道密度大于 100 万道/km²^[5]。高密度地震资料具有宽方位、宽频带和高密度特征^[6]。宽方位观测可提高成像精度, 有利于识别小断层^[7]; 宽频地震, 低频穿透能力较强、衰减慢, 有利于深层和潜山成像^[8–9]; 高密度地震, 炮道密度加大, 资料覆盖次数增加, 信噪

比提高, 薄层识别、岩性体刻画精度更高^[10]。在各向异性介质条件下, 不同方位上的地震响应特征会存在差异, 这种差异使得方位地震技术在研究非均质性强地质目标时效果更明显^[11–12]。

YD 地区高密度三维地震于 2013 年采集, 是该区第三次采集资料, 使用 3 串 18 个超级检波器组合接收, 12.5 m×12.5 m 面元, 覆盖次数 216 次, 炮道密度 138 万道/km², 纵横比 0.54^[5], 具备高密度、宽方位地震采集特点, 为研究地层各向异性特征, 并利用地层各向异性特征预测有利储层发育区(裂缝型储层) 提供了丰富的信息。本文针对 YD 高密度三维区沙四段上亚段灰岩有利储层预测, 充分利用高密度三维方位地震信息, 在储层各向异性特征正演模拟分析基础上, 联合应用基于方位地震属性的储层裂缝预测技术和储层各向异性参数地震反演技术, 提高了沙四段灰岩有效储层地震预测精度。

1 研究工区概况

YD 地区高密度三维区位于济阳坳陷沾化凹陷

收稿日期: 2020-07-21; 修回日期: 2021-05-12

基金项目: 中国石化股份公司重点攻关项目“全节点地震解释关键技术研究”(P21061–2)

第一作者: 刘海宁(1986–), 男, 副研究员, 博士在读, 主要从事油气地震地质综合研究工作。Email: liuhaining632_slyt@sinopec.com

西北部义东断层下降盘,中古生界基底之上自下而上发育沙河街组(沙四段、沙三段、沙二段、沙一段)、东营组、馆陶组、明化镇组等地层^[13-14]。YD 断裂带是目前济阳坳陷最复杂且油气最富集的断裂带之一,其中新近系各类岩性体勘探空间非常大,尤其是沙四段上亚段的灰质滩坝沉积^[15]。沙四段沉积末期,该区整体为滨浅湖沉积环境,水体较浅,气候干旱,缺乏大规模的物源供给,为化学和生物化学沉积创造了良好条件,发育砂质灰岩滩坝、生物礁^[16]。在 YD 断层下降盘,目前已有 YD301、YD302 等井在沙四段上亚段钻遇灰岩储层取得成功,说明沙四段灰岩储层具有较大的勘探潜力。前人研究已初步解决了该区沙四段碳酸盐岩发育区预测及沉积相划分问题^[17-18],但是众多钻井资料证实,该区沙四段灰岩储层非均质性较强,产能差异较大,YD301 井对沙四段上亚段 3 579.86~3 715 m 厚层灰岩、泥灰岩段试油,自喷日油 147 m³,日水 0,日气 5 178 m³;YD302 井对沙四上亚段 3 571.3~3 584.2 m 灰岩段酸压试油,泵抽,日油 4.74 m³,日水 2.37 m³,日气 0,产能较低。分析其主要原因是碳酸盐岩储集类型有别于碎屑岩储层,以裂缝和溶蚀孔洞为主要储集空间^[19],其沉积厚度变化大,非均质性强,分布规律复杂。同时受常规地震资料信息限制,有效储层地震预测难度大^[20],存在不确定性和多解性,碳酸盐岩圈闭评价和勘探部署面临较大困难。

2 储层各向异性特征正演模拟

导致地层各向异性特征的因素很多,储层各向异性影响因素分析是利用方位地震信息预测储层的基础,可以指导储层预测结果的解释。

2.1 储层岩性

在储层厚度及围岩参数不变的情况下,只改变储层岩性。图 1 为对两种不同岩性储层进行各向异性强度正演模拟分析结果,可以看出,地层各向异性强度随储层岩性的变化而存在差异,这为利用方位地震信息预测储层岩性提供基础。

2.2 储层裂缝

建立含裂缝储层地质模型,进行不同方位的地震正演模拟,得到各个方位地震道集,每隔 5°抽取方位道集,分析含裂缝储层顶、底面的方位地震振幅。从图 2 中可以看出,在不同方位上,地震响应特征同样存在差异,各向异性特征明显。

改变储层裂缝密度,变化为 0~45%。可以看出,储层裂缝密度与各向异性强度成正比,与各向异

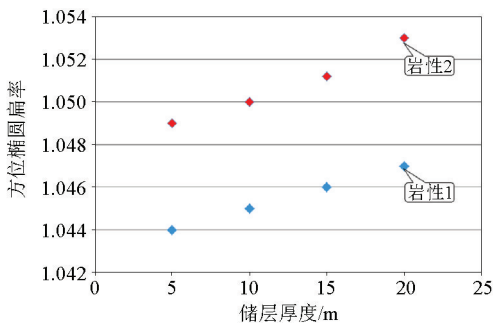


图 1 不同岩性储层各向异性正演模拟

Fig.1 The reservoirs anisotropic forward modeling with different lithology

性之间呈非线性正相关。裂缝密度为 0~15%时,各向异性强度变化范围为 0.051;裂缝密度为 30%~45%时,各向异性强度变化范围为 0.184。图 3 为 YD301 井沙四段灰岩储层段各向异性正演结果,其目的层段各向异性强度值为 1.683,结合正演模拟结果,定性推测 YD301 井灰岩储层段裂缝密度大于 50%,裂缝较为发育。

3 基于方位地震属性的储层裂缝预测技术

3.1 方位角划分、叠加

相比 YD 地区高密度三维的 CMP 道集,OVT 道集的最大覆盖次数为 224 次,最小覆盖次数为 171 次,其覆盖次数相对较为均匀。在利用方位地震信息进行储层裂缝预测时,方位角划分、叠加是技术应用的关键。

在对 OVT 道集进行分方位角叠加时,由于偏移距范围的选择影响分方位地震叠加效果^[21],因此需要选择合适的偏移距范围进行叠加,以保证不同方位地震数据反映的各向异性特征。根据高密度三维方位角与偏移距的分布特点,考虑到各个方位偏移距均匀分布以及近偏移距噪声较重,舍去 755 m 以下的偏移距数据,选择 2 000 m 作为最大偏移距,将高密度三维地震方位 6 等分并进行叠加,分别为 0°~30°、30°~60°、60°~90°、90°~120°、120°~150°和 150°~180°。

3.2 方位地震属性提取

基于上述 6 等分方位叠加地震资料,对 6 个不同方位地震资料提取灰岩储层段的地震振幅、阻抗以及地震频率等属性,为了直观地对比不同方位上地震属性之间的差异,将两两相互垂直方向上的振幅、阻抗和频率等属性作差值分析,然后结合区内已钻井情况分析,YD301、YD302 井钻探成功,沙四段灰岩储层裂缝发育,储层物性相对较好。对比不同

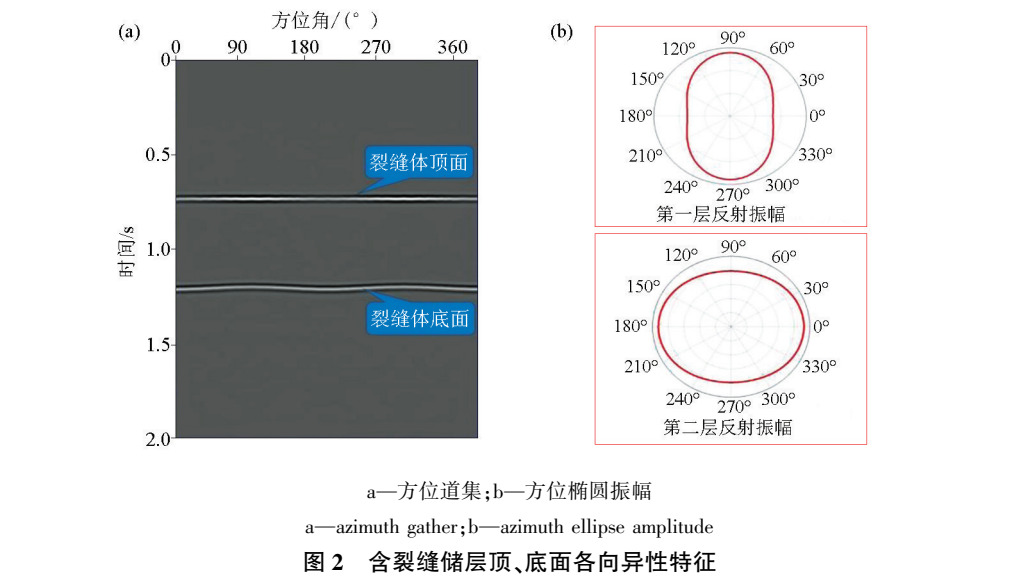


Fig. 2 Anisotropic characteristics of top and bottom surfaces of fractured reservoirs

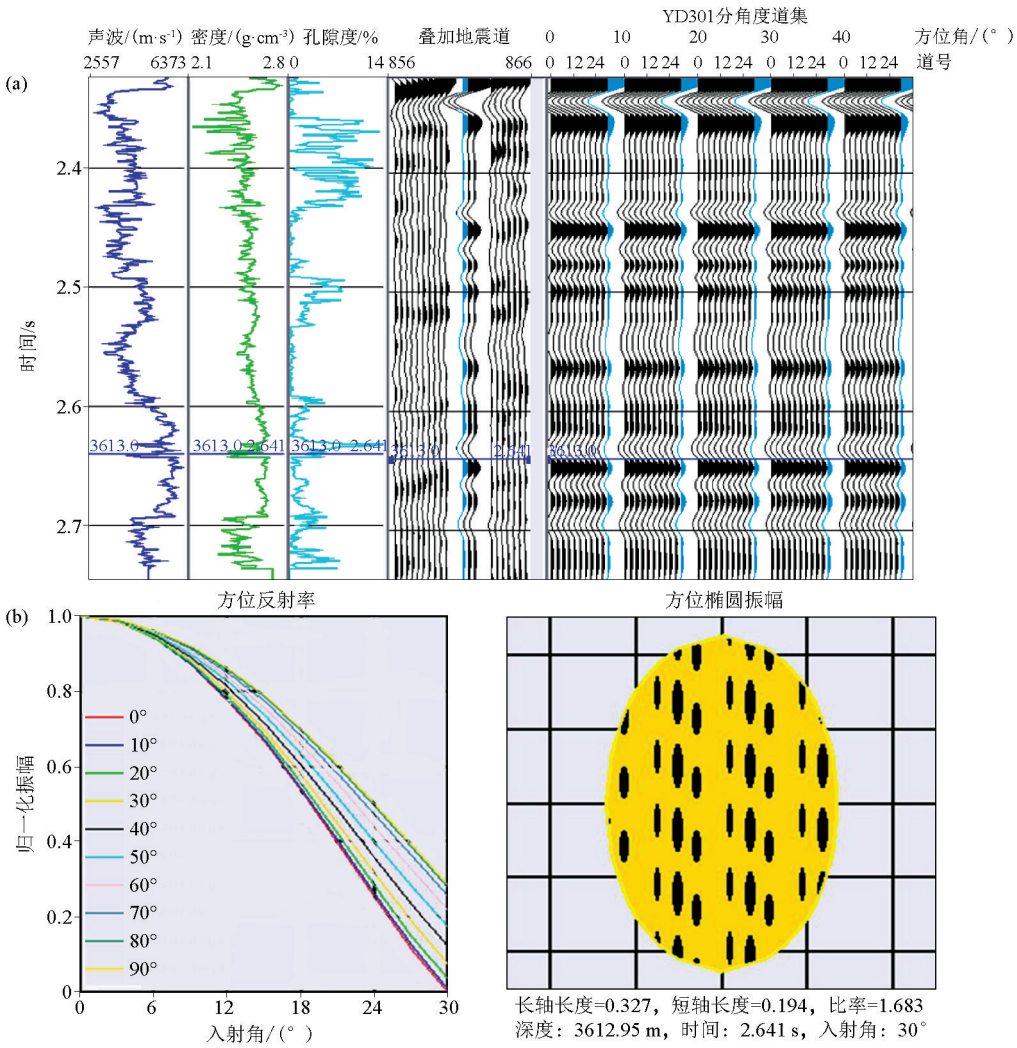
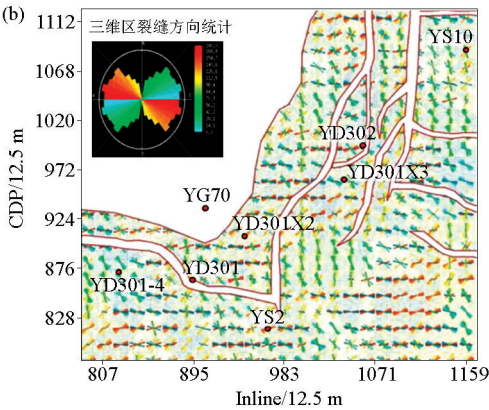
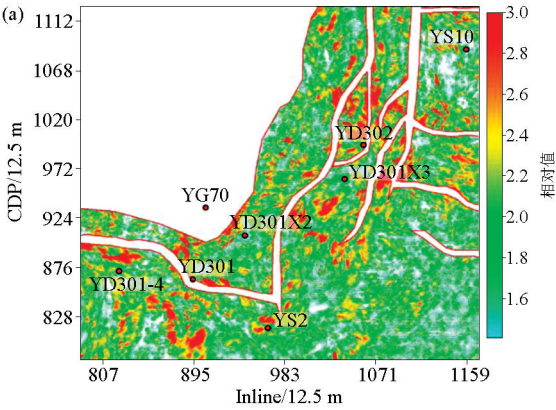


Fig. 3 Anisotropic characteristics forward modeling of target interval in well YD301

方位地震属性差异,方位地震频率属性差异性在 YD301 和 YD302 井区更为明显,由此选定不同方位的地震频率属性预测该区沙四段灰岩储层裂缝^[22-23]。

图 4 是 YD301 井区裂缝预测结果的局部图。裂缝发育区主要位于断裂系统附近,区内断裂系统主要有 NE 和 NW 两组走向,在两组断裂系统的影响下,区内裂缝发育方向主要有两组:一组为 NW 走向,另一组为 NE 走向。



a—储层裂缝密度;b—储层裂缝方向
a—fracture density of reservoir;b—fracture direction of reservoir
图 4 YD301 井区灰岩储层裂缝密度及方向预测

Fig. 4 Fracture density and direction prediction of limestone reservoir in YD301 well area

Ruger^[26] 根据一阶扰动理论给出了上、下 HTI 介质倾向一致的反射系数近似公式,即

$$R_p(\theta, \varphi) = \frac{1}{2} \frac{\Delta Z}{Z} + \frac{1}{2} \left\{ \frac{\Delta \alpha}{\alpha} - \left(\frac{2\beta}{\alpha} \right)^2 \frac{\Delta G}{G} + \left[\Delta \delta^{(v)} + 2 \left(\frac{2\beta}{\alpha} \right)^2 \Delta \gamma^{(v)} \right] \cos^2 \varphi \right\} \sin^2 \theta + \frac{1}{2} \left\{ \frac{\Delta \alpha}{\alpha} + \Delta \varepsilon^{(v)} \cos^4 \varphi + \Delta \delta^{(v)} \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi \right\} \sin^2 \theta \tan^2 \theta \quad (1)$$

式中: θ 是入射角; φ 是方位角; Z 是纵波阻抗, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; G 是剪切模量, N/mm^2 ; α 是纵波速度, m/s ; β 是横波速度, m/s ; $\delta^{(v)}$ 表征纵波与横波各向异性之间的联系; $\gamma^{(v)}$ 表征横波各向异性参数; $\varepsilon^{(v)}$ 为纵波各向异性程度。

对近似方程进行整理,将其表示为纵、横波速度、密度以及各向异性参数的线性表达式,即

$$R_p(\theta, \varphi) = \frac{1}{2} (1 + \tan^2 \theta) \frac{\Delta \alpha}{\alpha} - 4k^2 \sin^2 \theta \frac{\Delta \beta}{\beta} + \frac{1}{2} (1 - 4k^2 \sin^2 \theta) \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{1}{2} \sin^2 \theta \cos^2 \varphi (1 + \tan^2 \theta \sin^2 \varphi) \Delta \delta^{(v)} +$$

4 储层各向异性参数地震反演技术

Thomsen 储层各向异性参数^[24-25] 包括 ε 、 γ 、 δ , 其中 ε 表征纵波在平行和垂直于裂缝面的传播速度相对差异; γ 表征横波在平行和垂直于裂缝面的传播速度相对差异; δ 表征纵横波各向异性程度之间的连接桥梁。上述 3 个各向异性参数主要反映了地震波在裂缝介质中传播的等效各向异性特征。

$$\frac{1}{2} \cos^4 \varphi \sin^2 \theta \tan^2 \theta \Delta \varepsilon^{(v)} + 4k^2 \sin^2 \theta \cos^2 \varphi \Delta \gamma \quad (2)$$

式中: $k = \frac{\beta}{\alpha}$; ρ 是密度, g/cm^3 。

利用方程(2),我们就可以实现各向异性参数反演。图 5 是 YD301 井区沙四段灰岩储层各向异性参数反演结果,可以看出, ε 、 γ 、 δ 这 3 个参数表现的各向异性特征基本相似, YD301 井和 YD302 井位置处均呈现明显的各向异性特征,利用上述 3 个参数所呈现的各向异性较强的区域可以描述为裂缝发育区。

5 应用实例

基于方位地震属性裂缝预测和各向异性参数反演结果,利用两者的预测结果实现 YD301 井区灰岩有效储层的综合预测,预测思路为:首先,利用各向异性参数反演结果划分出较强的各向异性区域;然后,在较强各向异性区域内,圈定通过方位地震属性预测的储层裂缝发育区,并以单井各向异性强度正演模拟值 1.683 作为门槛值(图 3)进行限定,将各

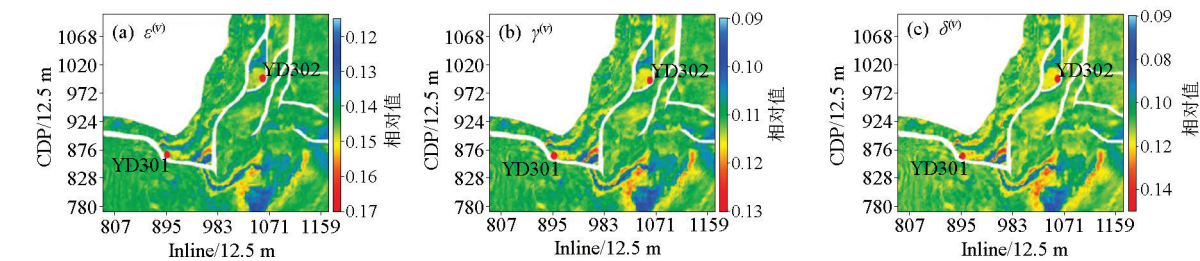


图 5 YD301 井区灰岩储层各向异性参数反演结果

Fig. 5 Inversion results of limestone reservoir anisotropic parameters in YD301 well area

向异性值大于 1.683 的裂缝发育区域预测为有利灰岩储层发育区(如图 6 中的黑色虚线范围)。该区除 YD301、YD302 井之外,钻遇该套地层的井位还有 YD301X2、YD301X3 等 5 口井,从钻遇情况来看:YD301-4 井位于预测有利区内,属性值为黄色,3 592 m 钻遇 1 层厚层泥灰岩 33 m,录井见荧光显示,综合解释油层;YS2 井位于有利区之外,属性值为浅绿色,3 822 m 进入沙四段上亚段,钻遇薄层石灰岩、石膏岩、泥灰岩、石膏质灰岩,单层厚度均小于 2 m,测井解释为干层;YD301X2 井位于预测有利区内,但是从属性值来看为浅绿色、偏弱,该井于 3 567 m 进入沙四段上亚段,钻遇泥灰岩 17 层累计厚度 50 m、白云质灰岩 3 层累计厚度 8 m,录井见多套荧光、油斑显示,综合解释油层 8 层累计厚度 22 m,干层 7 层累计厚度 17 m;YD301X3 井位于有利区之外,属性值为浅绿色,该井于 3 719 m 进入沙四段上亚段,钻遇灰岩 9 层累计厚度 14.5 m、泥灰岩 5 层累计厚度 12 m,综合解释油层 1 层,厚度 3 m,总体上单层厚度较薄、含油性较差;YS10 井位于有利区之外,属性值

为偏白的浅绿色,该井 3 896 m 进入沙四上,钻遇泥膏岩 16 层累计厚度 50 m,未钻遇灰岩、白云岩,未解释储层。从上述钻探结果来看,预测结果与钻遇结果基本吻合,根据沙四段灰岩有利储层的综合预测结果,预测有利储层发育区面积为 13 km²,预测石油地质储量 1 300×10⁴ t。

6 结论

高密度三维具备高密度、宽方位地震采集特点,满足利用地层各向异性开展有利储层发育区(裂缝型储层)预测的资料条件。在储层各向异性正演模拟分析的基础上,联合应用基于方位地震属性的储层裂缝预测技术和储层各向异性参数地震反演技术,对研究区沙四段上亚段灰岩有利储层发育区进行了预测,预测结果与已钻井吻合较好。通过 YD 高密度三维区沙四段灰岩有利储层地震预测方法的应用研究,可以得到以下 3 点结论:

- 1) 储层岩性、储层裂缝可以引起方位地震属性差异,并且储层裂缝密度与各向异性强度成正比。
- 2) 不同方位的地震频率属性差异可以预测该区沙四段灰岩储层裂缝,裂缝发育区主要位于断裂系统附近,区内裂缝主要有两组:一组 NW 走向,另一组为 NE 走向。
- 3) 联合应用各向异性参数及不同方位属性差异地震裂缝预测结果,两者相互验证、约束,可以提高该区沙四段灰岩有利储层地震预测精度。充分挖掘宽方位地震资料的丰富信息,利用不同地球物理方法获取不同的储层参数,从不同角度对储层进行预测,综合多种参数信息精细描述储层,可以减少由于单一参数预测储层存在的不确定性和多解性,提高储层预测精度。

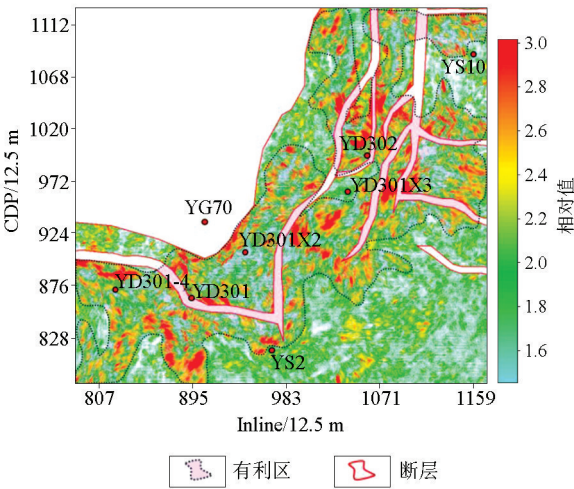


图 6 YD301 井区沙四段灰岩有利储层预测结果

Fig. 6 The prediction results of

favorable limestone reservoir in the fourth member of Shahejie Formation in YD301 well area

参考文献 (References):

[1] 刘振峰,曲寿利,孙建国,等.地震裂缝预测技术研究进展[J].石油物探,2012,51(2):191-198.

- Liu Z F, Qu S L, Sun J G, et al. Progress of seismic fracture characterization technology [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2012, 51(2): 191–198.
- [2] 党青宁, 崔永福, 陈猛, 等. OVT 域叠前裂缝预测技术——以塔里木盆地塔中 ZG 地区奥陶系碳酸盐岩为例[J]. *物探与化探*, 2016, 40(2): 398–404.
- Dang Q N, Cui Y F, Chen M, et al. Fracture detection with prestack seismic data in OVT domain: A case study of the Ordovician carbonate reservoir in ZG area of Tazhong district in Tarim Basin[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2016, 40(2): 398–404.
- [3] 刘成斋. 胜利探区地震采集技术发展历程回顾与启示[J]. *石油与天然气地质*, 2008, 29(3): 397–404, 396.
- Liu C Z. Review and enlightenment of seismic acquisition technology development in Shengli exploration area[J]. *Oil & Gas Geology*, 2008, 29(3): 397–404, 396.
- [4] 吕公河, 张光德, 尚应军, 等. 胜利油田高精度三维地震采集技术实践与认识[J]. *石油物探*, 2010, 49(6): 562–572.
- Lyu G H, Zhang G D, Shang Y J, et al. Research and application of high-precision 3D seismic data acquisition technology in Shengli Oilfield[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2010, 49(6): 562–572.
- [5] 尚新民, 芮拥军, 石林光, 等. 胜利油田高密度地震探索与实践[J]. *地球物理学进展*, 2018, 33(4): 1545–1553.
- Shang X M, Rui Y J, Shi L G, et al. Exploration and practice of high-density seismic survey in Shengli Oilfield[J]. *Progress in Geophysics*, 2018, 33(4): 1545–1553.
- [6] 周锦钟, 张金海, 牛全兵, 等. 柴达木盆地尖顶山地区低频可控震源“两宽一高”地震资料处理关键技术应用研究[J]. *物探与化探*, 2020, 44(2): 313–320.
- Zhou J Z, Zhang J H, Niu Q B, et al. The key technique application research on low frequency vibrator “two-wide and one high” seismic data processing in Jiandingshan area of Qaidam Basin[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2020, 44(2): 313–320.
- [7] 叶树刚. 全数字高密度三维地震勘探技术在小断层精细勘查中的应用研究[J]. *煤炭技术*, 2017, 36(2): 102–104.
- Ye S G. Study on application of all-digital high density 3D seismic exploration in fine exploration of small faults[J]. *Coal Technology*, 2017, 36(2): 102–104.
- [8] 白旭明, 叶秋焱, 袁胜辉, 等. 实现高密度宽方位三维地震采集的垂直观测法[J]. *物探与化探*, 2014, 38(4): 769–773.
- Bai X M, Ye Q Y, Yuan S H, et al. Vertical observation method for implementation of width azimuth and high density 3D collection [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2014, 38(4): 769–773.
- [9] 张红文, 刘喜恒, 周兴海, 等. 全方位偏移成像技术在南马庄潜山构造带的应用[J]. *物探与化探*, 2020, 44(1): 25–33.
- Zhang H W, Liu X H, Zhou X H, et al. The application of full azimuth migration image technology to Nanmazhuang buried hill tectonic belt[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2020, 44(1): 25–33.
- [10] 马光克, 李雷, 刘巍, 等. 高密度地震勘探技术在莺歌海盆地 M 气田岩性勘探中的应用[J]. *石油物探*, 2019, 58(4): 591–599.
- Ma G K, Li L, Liu W, et al. Application of high-density seismic acquisition technology for lithological exploration of M gas field in the Yinggehai Basin [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2019, 58(4): 591–599.
- [11] 李雷涛, 肖秋红, 肖伟. 优化的方位各向异性裂缝预测方法及应用[J]. *断块油气田*, 2016, 23(4): 455–459.
- Li L T, Xiao Q H, Xiao W. An optimized method of fracture prediction based on P-wave anisotropy and its application [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2016, 23(4): 455–459.
- [12] 周连敏. 倾角方位属性在曲流河道砂体预测中的应用[J]. *断块油气田*, 2017, 24(4): 471–473.
- Zhou L M. Application of DipAzi attribute to predicting channel sandstone of meandering river[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2017, 24(4): 471–473.
- [13] 韩霄. 邵家洼陷沙四段碳酸盐岩储层特征研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2011.
- Han X. Carbonate reservoir characteristics of the fourth member of Shahejie formation in Shaojia Sag [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2011.
- [14] 杨勇强. 济阳坳陷湖相碳酸盐岩优质储层成因机理[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2015.
- Yang Y Q. The research on genesis mechanism of high quality lacustrine carbonate reservoir in Jiyang Depression [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2015.
- [15] 刘雅利, 刘鹏, 伊伟. 渤南洼陷沙四上亚段沉积相及有利储集层分布[J]. *新疆石油地质*, 2014, 35(1): 39–44.
- Liu Y L, Liu P, Yi W. Depositional facies and favorable reservoir distribution of sha 4 upper member of Shahejie formation in Bonan Sub Sag [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2014, 35(1): 39–44.
- [16] 朱定蓉, 苏朝光, 田建华. 四扣洼陷沙四段灰岩地震识别与预测[J]. *油气地球物理*, 2009, 7(2): 34–38.
- Zhu D R, Su C G, Tian J W. Seismic detection and prediction of the limestone in the Es4 of Sikou low-lying area [J]. *Petroleum Geophysics*, 2009, 7(2): 34–38.
- [17] 夏伟. 邵家洼陷沙四段湖相白云岩成因及其储层发育规律研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2017.
- Xia W. Study on genesis and reservoir distribution regulation of lacustrine dolomite in the fourth member of Shahejie (Es4) formation, Shaojia Sag [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2017.
- [18] 高晓鹏. 沾车地区沙四上亚段湖相碳酸盐岩沉积特征研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.
- Gao X P. The sedimentologic characteristics of lacustrine carbonate rocks in the upper 4th member of Shahejie formation (E22S4U), Zhanhua and Chezhen area [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012.
- [19] 曾海容, 宋惠珍. 碳酸盐岩储层裂缝预测系统研究及其应用[J]. *岩石力学与工程学报*, 2000, 19(s1): 1037–1041.
- Zeng H R, Song H Z. A fracture prediction system for carbonate reservoir and its application [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2000, 19(s1): 1037–1041.
- [20] 张汶. 南堡凹陷湖相碳酸盐岩优质储层识别及分布预测[J].

断块油气田,2018,25(5):579-584.

Zhang W. Identification and distribution prediction of high-quality reservoir of lacustrine carbonate rocks in Nanpu Sag[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2018, 25(5):579-584.

[21] 李勤,李庆春,张林. VTI 介质多波各向异性参数分析[J]. 石油地球物理勘探,2014,49(3):503-507.

Li Q,Li Q C,Zhang L. Parameter analysis of multi wave anisotropy in VTI media[J]. Oil Geophysical Prospecting,2014,49(3):503-507.

[22] 王洪求,杨午阳,谢春辉,等. 不同地震属性的方位各向异性分析及裂缝预测[J]. 石油地球物理勘探,2014,49(5):925-931.

Wang H Q,Yang W Y,Xie C H,et al. Azimuthal anisotropy analysis of different seismic attributes and fracture prediction[J]. Oil Geophysical Prospecting,2014,49(5):925-931.

[23] 苏培东,秦启荣,黄润秋. 储层裂缝预测研究现状与展望[J]. 西南石油学院学报,2005,27(5):14-17.

Su P D,Qin Q R,Huang R Q. Prospects and status for the study on reservoir fractures[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2005,27(5):14-17.

[24] 詹仕凡,陈茂山,李磊,等. OVT 域宽方位叠前地震属性分析方法[J]. 石油地球物理勘探,2015,50(5):956-966.

Zhan S F,Chen M S,Li L,et al. OVT-domain wide-azimuth pre-stack seismic attribute analysis[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2015,50(5):956-966.

[25] 罗小明,王世瑞. 纵波 VTI 介质各向异性参数的求取[J]. 物探与化探,2006,30(3):233-235.

Luo X M,Wang S R. Estimation of anisotropy parameters in vtime-media using surface P wave data[J]. Geophysical and Geochemical Exploration,2006,30(3):233-235.

[26] Ruger A. Reflection coefficients and azimuthal AVO analysis in anisotropic media[D]. Colorado:Colorado School of Mines,1996.

Seismic prediction of favorable limestone reservoirs in the fourth member of Shahejie Formation in YD high density 3D area

LIU Hai-Ning^{1,2}, HAN Hong-Wei¹, WEI Wen¹, ZHANG Yun-Yin¹, ZHAO Jing-Pu³

(1. Geophysical Research Institute of Sinopec Shengli Oilfield, Dongying 257022, China; 2. School of Geoscience, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China; 3. Dongying Natural Resources and Planning Bureau, Dongying 257000, China)

Abstract: Yidong fault zone is rich in oil and gas, and the exploration space of the tertiary lithology body is large, but the exploration degree is low. The main reason restricting the exploration efficiency is that the reservoir heterogeneity is strong and the distribution rule is complex. At the same time, due to the limitation of seismic data and conventional seismic prediction technology, the favorable reservoir seismic prediction of lithologic body is difficult. Based on the high density three-dimensional azimuth seismic data of YD area, the authors carried out the research on the favorable reservoir seismic prediction of the fourth member of Shahejie Formation. Firstly, the difference of azimuth seismic properties was used to predict the distribution of fractures in the reservoir. Then the anisotropic reservoir prediction technique based on anisotropic parameter inversion was used to describe the anisotropic characteristics of the reservoir. Finally, combined with the results of two kinds of seismic prediction techniques, with the fracture distribution as the main predicted object and the reservoir anisotropy characteristic as the restricted condition, the authors described the fracture development degree of the limestone reservoir in the fourth member of Shahejie Formation comprehensively and improved the prediction accuracy of the favorable limestone reservoir in the fourth member of Shahejie Formation.

Key words: high density 3D; favorable reservoir; seismic prediction; YD fault zone

(本文编辑:叶佩)