

文章编号: 1001-1749(2023)02-0177-10

尼日尔三角洲盆地深水沉积储层预测及烃类检测

冯鑫¹, 梁建设¹, 韩文明¹, 肖为², 陈经覃¹, 韩利¹

(1. 中国海洋石油国际有限公司, 北京 100028;

2. 中海油田服务股份有限公司 物探事业部, 天津 300450)

摘要: 尼日尔三角洲盆地深水 A 目标已钻 2 口井, 揭示储层较薄、横向变化快, 且主力油层高部位钻遇油水界面, 前期评价无经济效益。针对目标储层展布特征及含油分布规律不明、含水砂岩与含油砂岩均表现为强振幅的“亮点”特征的难题, 运用基于叠前同时反演的岩相概率体分析技术, 提高了砂岩预测的准确度, 明确了主力目的层甜点储层发育规律。通过 AVO 属性分析类比, 明确流体因子属性在烃类检测中具有明显的优势: 可以明显地识别油层与水层; 通过流体因子的变化规律可以推测油层厚度的变化趋势; 横向连续性较好, 对油层平面展布规律有较好地体现。综合地震平点分析及油气成藏研究, 在近逆冲断层处构造低部位的砂岩概率体高异常区、AVO 流体因子高异常区、地震平点界面之上部署一口探井, 实钻取得了很好的勘探成效。

关键词: 尼日尔三角洲盆地; 深水沉积; 叠前同时反演; 岩相概率体; AVO 属性; 勘探成效

中图分类号: P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.02.06

0 引言

西非尼日尔三角洲盆地是全球勘探热点区, 发育典型的深水沉积体系^[1-3]。研究区总体表现为泥包砂的岩性特征, 储层横向变化快、非均质性强, 此外, 高孔隙度含水砂岩与含油砂岩均表现为强振幅的“亮点”特征, 仅用单一或少量的叠后信息识别储层和含油气性, 具有一定的多解性, 随着地球物理储层预测及烃类检测技术的发展^[4-6], 利用常规的叠后方法进行储层及含油气性预测, 已无法满足深水油气勘探的需求。Hampson & Russell 在 Buland & More^[7] 与 Simmons & Backus^[8] 等人的研究基础上, 提出了叠前同时反演技术, 该技术可以同时反演纵、横波阻抗和密度, 其优点是考虑了参数之间的关系^[9], 较好地解决了薄储层预测的难题。叠前反

演技术和 AVO 属性分析技术, 具备更丰富的地震信息, 可以有效提高预测精度, 降低多解性^[10-16]。

笔者针对中新统深水沉积储层横向变化快、含油气性特征不明的难题, 在叠前同时反演的基础上, 利用岩相概率体分析技术, 求取砂体概率分布, 实现对储层的定量预测。利用 AVO 属性技术, 结合地震平点分析, 有效预测了含油分布特征及油水界面。运用多种地球物理技术方法, 结合油气成藏地质研究, 进一步提高了储层和含油气性预测的可靠性。

1 研究区概况

研究区位于西非尼日尔三角洲盆地深水区(图 1), 水深为 1 100 m 至 1 800 m, 受到逆冲和泥拱双重构造应力叠加作用, A 目标表现为被断层复杂化的断块圈闭。主要勘探层系为中新统地层, 目的埋

收稿日期: 2021-12-31

基金项目: 中海油“十四五”重大科技项目(KJGG2022-0901)

第一作者: 冯鑫(1986-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事海外油气勘探地震解释及综合评价工作, E-mail: fengxin3@cnoc.com.cn。

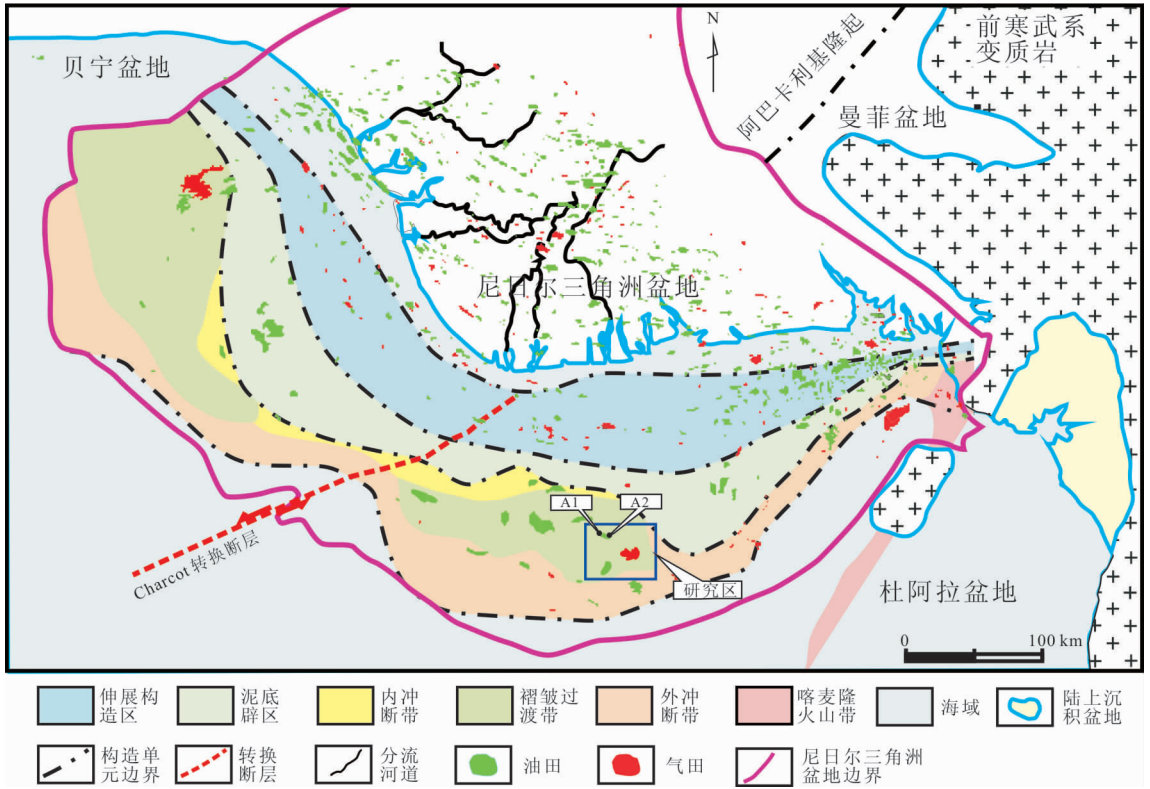


图1 尼日尔三角洲盆地位置及深水区构造纲要图

Fig. 1 Location map and structural unit of the Niger Delta basin

深约为 1 000 m 至 2 500 m, 发育深水沉积体系。目标位于深水扇中扇至下扇过渡的区域, 发育水道沉积、朵叶沉积、水道复合体沉积等。岩性组合总体表现为泥包砂的深水储层特征。砂岩储层以石英砂岩为主、储层物性条件较好, 孔隙度为 20% 至 30%, 渗透率多大于 200 mD。

A1 井揭示主要目的层砂岩 25.2 m, A2 井揭示主要目的层砂岩 9.4 m, 同一水道复合体内部的砂体厚度横向变化大, 规律不明。其中 A1 井主要砂体含 8.5 m 油层和 16.7 m 水层, 揭示了油水界面。A2 井主要砂体含 9.4 m 油层。2 口井揭示油层较薄, 前期评价无经济性, 因此对储层预测和烃类检测的研究至关重要, 落实优质储层和甜点油层的分布特征, 指导勘探评价部署, 是目标研究的关键。

2 技术方法

2.1 基于叠前同时反演岩相概率体分析技术

叠前同时反演是基于地震反射波振幅与入射角关系的方法, 利用多个角度叠加数据体直接反演各种弹性参数, 如纵波阻抗、横波阻抗、密度和泊松比等, 进而预测储层岩性、物性及流体性质的方法。

在各向同性介质中, 当纵波非垂直入射到各向同性弹性分界面上, 其反射系数与地层参数之间的关系可以采用 Zoeppritz 方程精确描述。众多学者根据不同的假设条件, 对 Zoeppritz 方程进行了简化。运用约束稀疏脉冲算法寻找反演结果的最优方法, 可以削弱反演过程对初始模型的依赖, 减少误差, 保证反演结果能够真实地反映储层信息。

叠前同时反演的实质就是对每个地震道进行最优化求解^[17-18]。其目标函数为:

$$F = F_{\text{seismic}} + F_{\text{contrast}} + F_{\text{trend}} + F_{\text{spatial}} + F_{\text{Gardner}} + F_{\text{Mudrock}} + F_{\text{SVD}} \quad (1)$$

式中: F_{contrast} 为弹性参数目标函数, 代表估计纵波阻抗、横波阻抗以及密度相对反射系数的稀疏性及约束情况; F_{trend} 为低频变化趋势目标函数; F_{spatial} 为空间变化趋势目标函数; F_{Gardner} 为 Gardner 目标函数; F_{Mudrock} 为纵横波速度关系式目标函数; F_{SVD} 为 SVD 目标函数; F_{seismic} 为地震数据目标函数, 代表实际观测地震数据和合成地震记录的拟合程度。

岩相概率体分析技术是基于叠前同时反演得到的多种弹性参数数据体, 通过对井点数据进行分岩性统计和随机模拟, 建立不同岩性对应于反演数据体的响应范围及定量的概率分布函数, 用贝叶斯判

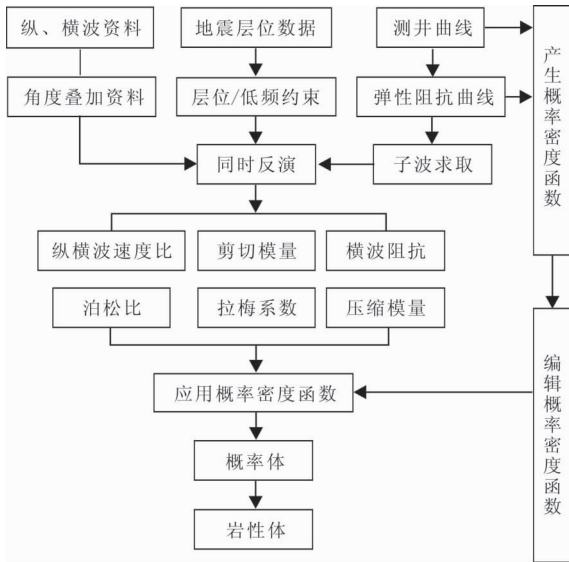


图2 基于叠前同时反演的岩相概率体分析

Fig.2 Facies and fluid probabilities based on pre-stack simultaneous inversion

定方法,将反演得到的多种数据体进行交会,直接转换为地震分辨率下的岩性概率体^[19-21]。岩相概率体分析技术的方法流程见图2所示。

2.2 AVO 属性分析技术

AVO 技术是通过研究地震道集中反射系数随着入射角的变化特征,预测地下油气分布规律。AVO 技术的理论基础是 Zoeppritz 方程,该方程定义了地震纵波以一定角度在界面入射时,纵波、横波反射系数及透射系数之间的关系。Aki & Richards 和 Shuey 近似方程是广泛应用的两种简化形式^[22-23]。

当入射角小于 30°时,Shuey 两参数表达式定义如下:

$$R_{PP}(\theta) \approx P + G \sin^2 \theta$$

$$P = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta V_P}{V_P} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right)$$

$$G = \frac{1}{2} \frac{\Delta V_P}{V_P} - 4 \frac{V_S^2}{V_P^2} \frac{\Delta V_S}{V_S} - 2 \frac{V_S^2}{V_P^2} \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

$$V_P = \left(\frac{V_{P1} + V_{P2}}{2} \right)$$

$$V_S = \left(\frac{V_{S1} + V_{S2}}{2} \right)$$

$$\rho = \left(\frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \right)$$

$$\Delta V_P = (V_{P2} - V_{P1})$$

$$\Delta V_S = (V_{S2} - V_{S1})$$

$$\Delta \rho = (\rho_2 - \rho_1) \quad (2)$$

式中: $R_{PP}(\theta)$ 为反射系数; θ 为入射角, V_{P1} 、 V_{S1} 、 ρ_1

分别为弹性界面之上地层的纵波速度、横波速度和密度; V_{P2} 、 V_{S2} 、 ρ_2 分别为弹性界面之下地层的纵波速度、横波速度和密度; P 为零入射角纵波反射系数,即 AVO 截距; G 为反射系数随着偏移距的变化率,即 AVO 截距。

基于 AVO 截距和梯度属性,可以得到多种不同的 AVO 属性,如截距 * 梯度属性、泊松比反射率属性、限制梯度属性、纵波反射系数属性、流体因子属性等。定义流体因子(ΔF)的表达式为^[24]式(3)。

$$\Delta F = \left\{ 1.6 - 0.232 \frac{(1 - \gamma)^2}{\gamma} \right\} \times P - \frac{0.29}{\gamma} \times G \quad (3)$$

对于含水砂岩,流体因子 ΔF 接近于零,当砂岩含油气时,流体因子 ΔF 明显增加。在实际应用中,结合研究区实际地质特征及不同 AVO 属性优势,合理选取 AVO 属性,提高储层烃类检测效果。

3 实际应用

3.1 岩石物理分析

通过测井岩石物理统计分析,寻找目的层对储层敏感的弹性参数,建立储层识别的解释图版,指导反演方法的选取和反演结果的分析。研究区发育深水扇沉积,岩性组合表现为大套深海泥岩夹浊积砂岩。对研究区已钻 A1、A2 井岩石物理分析表明,与围岩(泥岩)相比,砂岩储层表现为低伽马、低密度、低声波时差、低纵横波速度比的特征,纵波阻抗一定程度上能够区分砂岩和泥岩。含油气砂岩表现为明显的低纵横波速度比的特征,纵横波速度比与纵波阻抗组合能有效的识别油气。通过纵横波速度比与纵波阻抗交汇(图 3(a))可以看出,目标储层与流体的岩石规律明确,可识别性高,具有全区稳定性和纵向一致性,说明在研究区利用叠前反演识别储层是可行的。根据不同岩性在纵波阻抗和纵横波速度比的交会图上的分布区域差异,建立岩性概率密度分布图版,可以有效刻画砂岩储层与泥岩在岩石物理模板中不同区域的分布概率(图 3(b))。

3.2 基于叠前同时反演岩相概率体分析储层预测

研究区共有 4 个分角度叠加数据体,叠加范围分别为 6°~18°、18°~30°、30°~42°及 42°~52°。从地震采集脚印、地震频谱质控、地震叠前叠后保真性、分角度叠加对齐等方面,对地震数据进行分析。目标区目的层段没有明显的采集脚印,地震资料信噪比高。目的层段主频为 25 Hz,频宽约 9 Hz~65 Hz,按 $\lambda/4$ 估算其地震分辨能力约为 25 m,按 $\lambda/8$

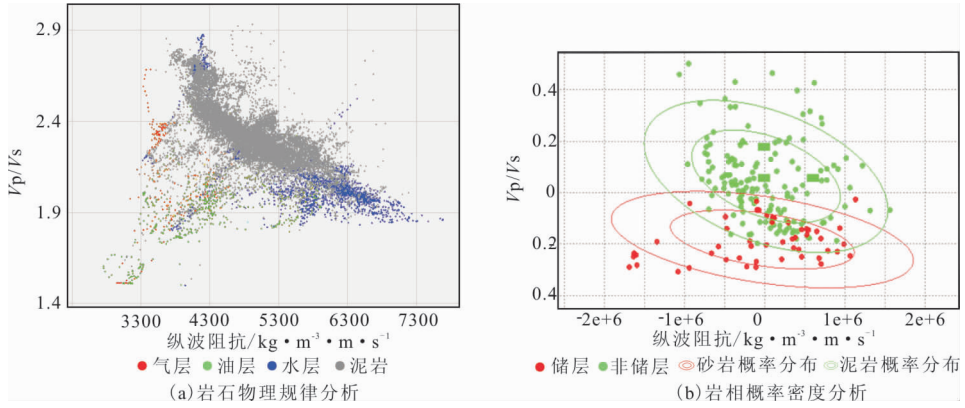


图3 研究区岩石物理规律与岩相概率分析

Fig. 3 Petrophysical and lithofacies probability analysis in the study area

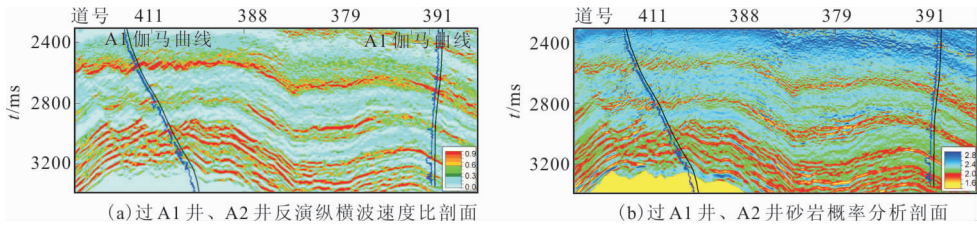


图4 过 A1 井、A2 井储层预测连井剖面

Fig. 4 V_p/V_s and Facies probabilities sections cross well A1 and A2

估算其反演分辨能力约为 12.5 m。运用反 Q 补偿处理一定程度上提高了地震分辨率。近、中、远道对齐效果较好,保证了反演质量。综合分析结果表明,地震资料基本满足叠前反演需求。

通过对不同角度叠加数据标定及子波提取、低频模型建立、反演参数检查及反演结果质控与解释,得到多个弹性数据体。对目标区 2 口井进行了井震标定,相关系数为 0.78~0.81,标定结果较好。采用 $6^\circ \sim 18^\circ$ 、 $18^\circ \sim 30^\circ$ 和 $30^\circ \sim 42^\circ$ 叠加资料进行叠前同时反演的计算。提取近道、中道、远道 3 个子波 (12° 、 24° 、 36°),子波相位接近 0° ,主频带内相位较稳定。在低频模型建立方面,通过构造解释(目的层 1 顶、底面,目的层 2 顶、底面,目的层 3 顶、底面)的地质模型约束,加入 A1 测井、A2 测井资料信息,沿层进行插值,得到一个整体的初始参数模型。所建低频模型横向上井间一致性较好,没有牛眼现象出现,且符合研究区实际地质特征。

从(图 4(a))可以看出,叠前反演结果与井一致性较好,结果可靠。将概率图版应用于叠前同时反演得到的弹性数据体,最终得到了基于叠前反演结果的砂岩概率分布,将砂岩概率体合并得到基于弹性参数体的砂岩概率剖面(图 4(b))。从叠前反演纵横波速度比剖面中可以看出,反演结果与 A1 井、

A2 井部分匹配较好、纵向韵律特征符合储层发育规律,总体上反映出了三套砂体的展布特征,但是上部目的层和中部目的层的连续性较差,储层预测分辨率较低,A2 井上部目的层为多套薄砂泥岩互层的砂岩,累计厚度为 12 m,中部单层砂岩厚为 9.4 m,在反演剖面中出现更厚的预测结果,说明该方法在识别较薄的单砂岩或者多套薄砂泥岩互层方面效果一般。此外,剖面中部低部位低值异常区指示的砂体比 A1 井、A2 井已钻位置明显变厚,说明预测结果存在一定不确定性。从砂岩概率分析剖面中可知,砂岩概率密度大的区域在纵向上与 A1 井、A2 井上划分的砂岩吻合良好,横向连续性符合地层变化规律,整体上三套砂体纵向刻画效果更好,分辨率更高,上部和下部目的层砂体在水道复合体内部的构造主体区呈连片分布,砂岩总体较厚,广泛发育储层甜点区,中部目的层连续性较上、下目的层较差,但是在剖面中部低于 A1 井位置区域,存在连片较厚的砂岩概率高值异常区,推测发育厚度较大的储层。从砂岩概率分析剖面中也可看出,A2 井中部目的层 9.4 m 的单砂层预测效果较叠反演纵横波速度比较好,但是在识别薄砂泥岩互层方面仍存在一定误差。总体来说,基于叠前弹性参数反演的岩相概率体分析技术,对砂岩预测及甜点砂体刻画具有较高的分

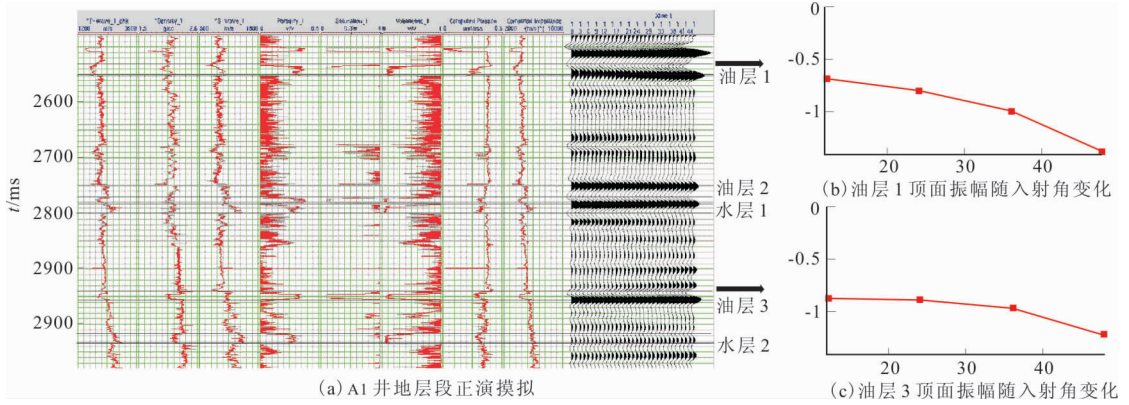


图 5 A1 井 AVO 正演模拟

Fig. 5 Well A1 AVO forward modeling

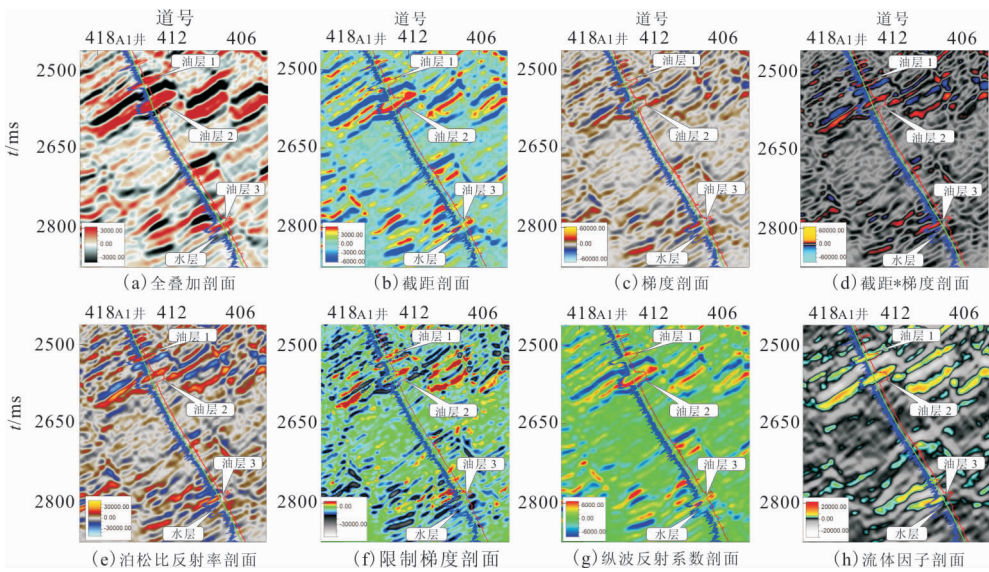


图 6 几种 AVO 属性剖面

Fig. 6 AVO attribute sections

度为 15.4 m,油层 2 厚度为 8.5 m,油层 3 厚度为 10.1 m,均表现为远道增强的 III 类 AVO 异常,水层 1 和水层 2 为 I 类 AVO 异常,近、远道振幅较弱,薄砂泥互层的差油层累计厚度为 3.4 m,为中强振幅的 I 类 AVO 异常,但振幅强度较水层有所增强。单井 AVO 正演结果表明,油层具有远道振幅增强的 III 类 AVO 特征。随着油层厚度的增大,油层的振幅相应随之增强,薄砂泥互层的差油层与水层表现为 I 类 AVO 异常,所以研究区具备利用 AVO 技术预测油层和水层的岩石物理基础。

本次研究利用 $6^{\circ}\sim 18^{\circ}$ 、 $18^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 、 $30^{\circ}\sim 42^{\circ}$ 三个分角度叠加数据体,计算得到 AVO 截距属性、梯度属性、截距 * 截距属性、泊松比反射率属性、限制梯度属性、纵波反射系数属性、流体因子属性共计 7

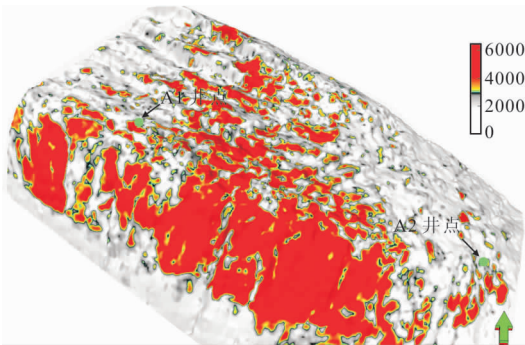


图 7 目的层 AVO 流体因子平面属性

Fig. 7 AVO fluid factor along target layers

分辨率和准确度,可以有效预测甜点储层的分布特征。

3.2 基于 AVO 属性分析技术的烃类检测

对 A1 井 AVO 正演模拟(图 5)可知,油层 1 厚

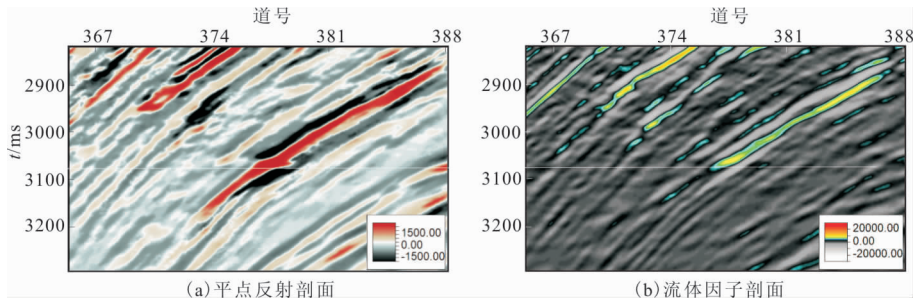


图 8 平点反射剖面与流体因子剖面对比

Fig. 8 Comparison with the flat spot and fluid factor sections

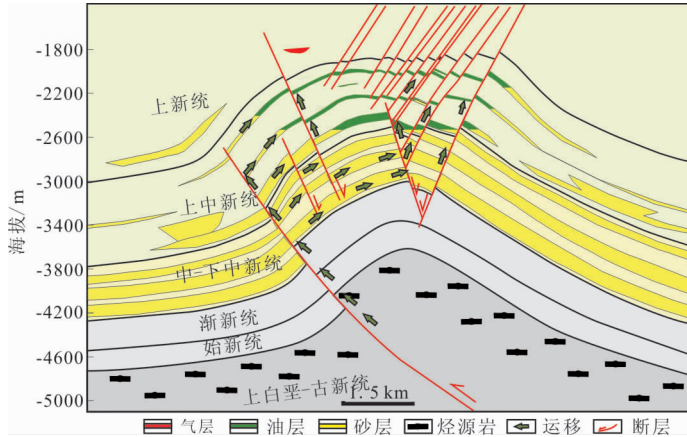


图 9 逆冲型近源油气成藏模式

Fig. 9 Thrust-fault-related hydrocarbon accumulation model

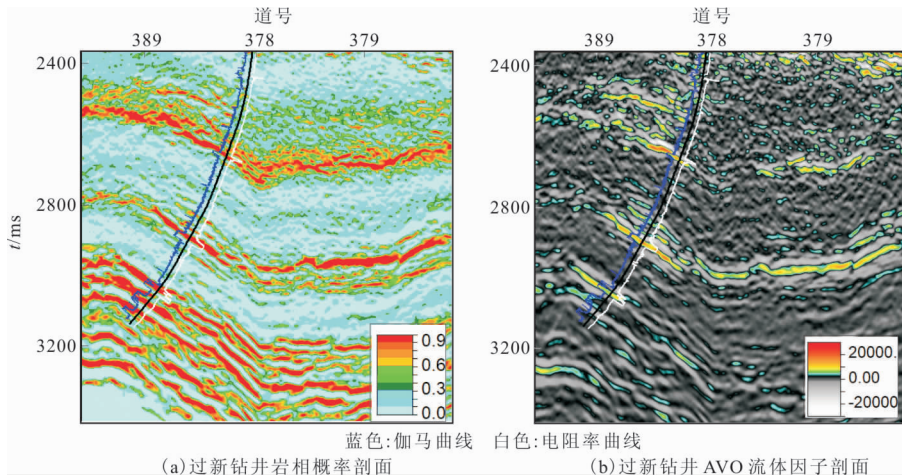


图 10 过新钻井岩相概率剖面与 AVO 流体因子剖面

Fig. 10 Facies probabilities and fluid factor sections cross the new well

个属性体。结合 A1 井的井震标定,对比分析各属性的特点(图 6),选取对研究区油层预测最敏感的属性。

A1 井油层 1 厚度为 5.9 m,油层 2 厚度为 15.4 m,油层 3 厚度为 8.5 m,油层 2 和油层 3 中间存在

3.4 m 的薄砂泥互层的差油层。水层厚度为 16.7 m。全叠加剖面中,3 套油层和差油层均表现为强振幅波峰反射特征,油层 2 厚度最大,振幅最强、频率最高,薄砂泥互层的差油层表现为中强振幅,水层表现为中强振幅波谷反射特征。截距剖面中,油层

总体上表现为高值特征,薄互层差油层仍有中高值特征,水层表现为低值特征,易于区分油层与水层,但厚油层 2 出现同相轴分叉现象,且横向连续性一般。梯度剖面中,油层 2 和油层 3 表现为高值特征,薄油层和水层表现为中—中低值特征,由于分辨率更高,厚油层 2 出现多个同相轴,部分中高值区不含油,与钻井匹配一般。截距 * 梯度剖面中,油层 2 和油层 3 出现高值特征,薄油层影响特征不明显,水层表现为低值特征,易于区分油层和水层,但对薄油层分辨能力较差。泊松比反射率剖面中,油层与水层交易区分,分辨率较高,但是油层 2 上部的薄油层和强泥岩均表现为中强值特征,可靠性偏低。限制梯度剖面中,油层与水层基本可以识别,厚油层识别能力一般,且横向连续性差,薄油层识别能力差,纵波反射系数剖面中,总体特征与截距梯度相似,虽然可以识别油层与水层,但是对油层的识别效果一般,横向连续性较差。流体因子剖面中,油层具有明显的高值特征,与低值水层具有明显差异,厚油层 2 的高值异常更加明显,薄互层的差油层基本也能够识别,总体来说,油层越厚,高值异常越明显,且横向上连续性较好。

从多种 AVO 属性类比分析可知,通过 AVO 技术基本可以区分油层和水层,但区分能力有所不同,分辨能力和横向连续性也有较大差异。总体来说,AVO 流体因子属性在烃类检测中具有明显的优势:①可以明显地识别油层与水层;②纵向分辨油层的效果最好,可以通过流体因子大小的变化规律推测油层厚度的变化趋势;③横向连续性较好,对油层平面展布规律有较好地体现。通过对主要目的层沿层属性提取可知(图 7),A1 井、A2 井钻遇位置均非油层甜点区,而在已钻井揭示油水界面的南部低部位,存在明显 AVO 流体因子高值异常连片区,推测发育较厚的油层,根据高值异常区落实甜点油层沿南部低部位连片分布。

除了利用 AVO 属性技术落实目标含油分布之外,结合地震平点^[25-26]分析,进一步提高了烃类检测的准确度与可靠性。主要目的层南部低部位多个测线均出现了地震平点反射特征(图 8),不同位置的平点反射深度均一致,而且与 AVO 流体因子揭

示的异常边界高度吻合。在全叠地震剖面中,平点表现为与倾斜地层具有明显夹角的水平产状的短轴反射波同相轴,平点下部仍有强振幅反射,而在流体因子剖面中,平点位置处为高值异常突变处,低于平点位置为流体因子低值区,说明平点界面之上的强值异常为油层,平点界面之下为水层,平点界面即为油水界面。

3.3 油气成藏综合分析

基于地球物理技术对储层及烃类进行预测,结合油气成藏^[27]综合分析,进一步验证了技术方法的实用性和可靠性。A 目标油气成藏以早期逆断层为主运移通道、晚期正断层再分配的垂向运移模式为主。A 目标下部发育较厚的 Akata 组烃源岩层段。深大逆冲断层沟通下部 Akata 组烃源岩与中新统地层的圈闭,是有效的油气运移通道。除了断块圈闭面积和储层发育程度,单个断块圈闭成藏规模与距离逆断层的远近和晚期正断层的疏导能力密切相关。通过目标含油层系与断层断过地层一致这一特征,结合油气运移模拟研究认为,逆冲断层和晚期正断层构成的断裂体系为区域油气二次运移的疏导体系。A 目标的油气通过逆冲断层初次运移聚集后,又不断受到泥拱作用,进一步被泥拱产生的正断层复杂化,使得晚期正断层对油气调节产生作用,在不同断块圈闭内聚集成藏(图 9)。地球物理创新技术的应用表明,在主力目的层已揭示的油水界面之下,仍然存在较大规模的甜点油层发育区,而且代表油水界面的地震平点响应特征明显、与构造等值线吻合度高,极大说明了油气成藏,也表明了靠近逆冲断层的断块得以优先充注,而远离逆冲断层的断块通过正断层进一步充注。

4 勘探成效

通过地球物理技术的应用,有效预测了砂体及油层的分布特征,落实了油水界面,结合油气成藏综合分析,在近逆冲断层处构造低部位的砂岩概率体高异常区、AVO 流体因子高异常区、地震平点界面上部部署一口勘探评价井。实钻揭示在三个主力目的层累计钻遇砂岩 101 m,油层厚度为 56 m,三个

主力目的层砂岩及油层均成功预测(图 10),下部目的层岩相概率剖面中指示储层发育,但 AVO 流体因子指示低值含水砂岩的特征,钻井其中中部主要目的层在 A1 井揭示的油水界面之下,新井钻遇 25 m 油层,且其低部位仍具有连片的甜点储层和油层发育区,极大地提高了该目标的勘探价值,通过勘探评价认为该目标具有经济效益,可实现商业开发,取得了很好的勘探成效。

5 结论

1)研究区砂岩储层表现为低纵横波速度比的特征,纵横波速度比一定程度上能够区分砂岩和泥岩,具备叠前反演的岩石物理基础。在叠前同时反演得到的纵横波速度比属性体基础上,利用岩相概率体分析技术,有效预测了目的层砂岩展布特征。

2)通过 AVO 正演模拟,认为研究区油层表现为Ⅲ类 AVO 异常,对多种 AVO 属性类比分析可知,AVO 流体因子属性在识别油层与水层、不同厚度油层及横向油层展布方面具有较好的效果,根据流体因子高值异常区落实甜点油层连片分布特征。

3)综合地震平点分析及油气成藏研究,在近逆冲断层处构造低部位的砂岩概率体高异常区、AVO 流体因子高异常区、地震平点界面之上部署一口勘探评价井,实钻取得了很好的勘探成效,钻井证实了储层预测及烃类检测技术方法的适用性。

参考文献:

- [1] 李大伟,李德生,陈长民,等. 深海扇油气勘探综述[J]. 中国海上油气,2007,19(1):18-24.
LI D W, LI D S, CHEN C M, et al. An overview of hydrocarbon exploration in deep submarine fans[J]. China Offshore Oil and Gas,2007,19(1):18-24. (In Chinese)
- [2] 蔡露露,刘春成,吕明,等. 西非下刚果盆地深水水道发育特征及沉积储层预测[J]. 中国海上油气,2016,28(2):60-70.
CAI L L, LIU C C, LV M, et al. Characteristics of deep water channel and sedimentary reservoir prediction in lower Congo basin, West Africa [J]. China Offshore Oil and Gas, 2016, 28(2):60-70. (In Chinese)
- [3] 邓荣敬,邓运华,于水,等. 尼日尔三角洲盆地油气地质与成藏特征[J]. 石油勘探与开发,2008,35(6):755-762.
DENG R J, DENG Y H, YU S, et al. Hydrocarbon geology and reservoir formation characteristics of Niger delta basin [J]. Petroleum Exploration And Development,2008,35(6):755-762. (In Chinese)
- [4] 赵万金,杨午阳,赵伟. 地震储层及含油气预测技术应用进展综述[J]. 地球物理学进展,2014,29(5):2337-2346.
ZHAO W J, YANG W Y, ZHAO W. The review of technical progress in application of seismic reservoir and hydrocarbon predictions [J]. Progress in Geophysics, 2014, 29(5):2337-2346. (In Chinese)
- [5] 李芳,邓勇,郭伟,等. 莺歌海盆地高温超压区"甜点"储层地球物理预测方法[J]. 地质科技情报,2019,38(3):299-304.
LI F, DENG Y, GUO W, et al. Geophysical prediction method of "sweet spot" reservoir in high temperature and overpressure area of Yinggehai Basin [J]. Geological Science and Technology Information, 2019, 38(3):299-304. (In Chinese)
- [6] 曹向阳,郝立华,韩文明,等. 深水沉积储层地震精细描述技术研究及应用[J]. 海洋地质前沿,2019,35(10):43-48.
CAO X Y, HAO L H, HAN W M, et al. Research and application of seismic fine description technology for deep-water sedimentary reservoir [J]. Marine geology frontiers, 2019, 35(10):43-48. (In Chinese)
- [7] BOLAND A, MORE H. Bayesian linearized AVO inversion [J]. Geophysics, 2003, 68(1):185-198.
- [8] SIMMONS J L, BACKUS M M. Waveform-based AVO inversion and AVO prediction-error [J]. Geophysics, 1996, 61(6):1575-1588.
- [9] HAMPSON D P, RUSSELL B H, BANKHEAD B. Simultaneous inversion of pre-stack seismic data: 75th annual international meeting[C]. SEG, Expanded Abstracts, 2005:1633-1637.
- [10] 印兴耀,张世鑫,张繁昌,等. 利用基于 Russell 近似的弹性波阻抗反演进行储层描述和流体识别[J]. 石油地球物理勘探,2010,45(3):373-380.
YIN X Y, ZHANG S X, ZHANG F C, et al. Utili-

- zing Russell approximation based elastic wave impedance inversion to conduct reservoir description and fluid identification [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2010, 45 (3) : 373—380. (In Chinese)
- [11] 陈文雄,高磊,高文博,等.渤海西南部地区地震多参数综合含油气性检测[J].*中国海上油气*,2020,32(2):54—62.
CHEN W X, GAO L, GAO W B, et al. Comprehensive multi parameter seismic oil and gas detection in the southwestern Bohaaisea [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2020, 32(2): 54—62. (In Chinese)
- [12] 张京思,边立恩,王军,等.叠前油气检测技术在渤海 Y 构造浅层的应用[J].*物探与化探*,2020,44(5):1215—1220.
ZHANG J S, BIAN L E, WANG J, et al. The application of pre-stack hydrocarbon detection to Y structure of Bohai bay basin [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2020, 44(5): 1215—1220. (In Chinese)
- [13] 马永强. AVO 技术在哥伦比亚 Llanos 盆地 D 区块油气检测中的应用研究[J].*石油物探*,2019,58(4):80—590.
MA Y Q. Application of the AVO technique in oil and gas detection in block D, Llanos basin [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum Oil*, 2019, 58(4): 80—590. (In Chinese)
- [14] 张毅,毛宁波,何丽娟.优势道叠加技术在岩性油气藏识别中的应用[J].*物探与化探*,2020,44(3):499—506.
ZHANG Y, MAO N B, HE L J. Application of advantage trace stacking technique for lithologic reservoirs prospecting [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2020, 44(3): 499—506. (In Chinese)
- [15] 高刚,杨亚华,赵彬,等.砂岩敏感识别因子的建立及直接提取方法[J].*石油地球物理勘探*,2019,54(6):1329—1338.
GAO G, YANG Y H, ZHAO B, et al. A method for establishing and directly extracting sensitive identification factors of unconsolidated sandstones [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2019, 54 (6) : 1329—1338. (In Chinese)
- [16] 李道清,杨川,刘念周,等.基于 AVO 属性的火山岩有利储层刻画——以准噶尔盆地松喀尔苏组为例[J].*天然气地球科学*,2020,31(12):1779—1791.
LI D Q, YANG C, LIU N Z, et al. Identification of favorable volcanic reservoirs based on AVO characteristics: Case study of the Songkarsu Formation in Junggar basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2020, 31 (12) : 1779—1791. (In Chinese)
- [17] TONELLOT T, MACE D, RICHARD V. Joint stratigraphic inversion of angle limited stack [J]. *Expanded Abstracts of 71th Annual Internat SEG Mtg*, 2001: 227—230.
- [18] TONELLOT T, MACE D, RICHARD V. 3D quantitative AVA: joint versus sequential stratigraphic inversion of angle—limited stack [J]. *Expanded Abstracts of 72th Annual Internat SEG Mtg*, 2002: 253—256.
- [19] SAMS M, SARSSUS D. Uncertainty of estimating lithology probability from deterministic inversion [C]. *Proceedings of the 79th SEG Annual meeting*, 2009: 1790—1794.
- [20] SAMS M, SAUSSUS D. Comparison of lithology and net pay uncertainty between deterministic and geostatistical inversion workflows [J]. *First Break*, 2010, 28 (2): 35—44.
- [21] 李炳颖,王伟,黄鑫,等.叠前弹性参数反演及 FFP 分析技术在东海 A 气田开发中的应用[J].*中国地质调查*,2020,7(2):101—108.
LI B Y, WANG W, HUANG X, et al. Application of prestack elastic parameter inversion and FFP analysis technique in development of Donghai A gas field [J]. *Geological Survey of China*, 2020, 7 (2) : 101—108. (In Chinese)
- [22] AKI, RICHARDS P G. *Quantitative seismology: Theory and methods* [M]. America: W H. Freeman and Company, 1980.
- [23] SHUEY R T. A simplification of the Zoeppritz equations [J]. *Geophysics*, 1985, 50(4) : 609—614.
- [24] JAN L. FATTI, GEORGE C. SMITH, PETER J, et al. Detection of gas in sandstone reservoirs using AVO analysis: A 3—D seismic case history using the Geostack technique [J]. *Geophysics*, 1994, 59 (9) : 1362—1376.
- [25] 冯鑫,张树林,范洪耀,等.地震平点技术与应用进展[J].*海洋地质前沿*,2019,35(6):1—11.
FENG X, HAN W L, FAN H Y. High density 3D

- seismic exploration of deep water targets in west Africa [J]. *Geo-physical Prospecting for Petroleum*, 2020, 59(1):150-157. (In Chinese)
- [26] 冯鑫, 韩文明, 范洪耀. 西非深水目标高密度三维地震勘探效果[J]. *石油物探*, 2020, 59(1):150-157.
FENG X, HAN W M, FAN H Y. High density 3D seismic exploration of deep water targets in west Africa [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2020, 59(1):150-157. (In Chinese)
- [27] 陈经覃, 康洪全, 范洪耀, 等. 尼日尔三角洲盆地深水区油气成藏模式与有利区带预测[J]. *中国石油勘探*, 2020, 25(4):96-104.
CHEN J T, KANG H Q, FAN H Y, et al. Hydrocarbon accumulation model and favorable zone prediction in deepwater area of Niger Delta Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2020, 25(4):96-104. (In Chinese)

Prediction of deep water sedimentary reservoirs and hydrocarbon in Niger delta basin

FENG Xin¹, LIANG Jianshe¹, HAN Wenming¹, XIAO Wei², CHEN Jingtang¹, HAN Li¹

(1. CNOOC International Limited, Beijing 100028, China;

2. China Oilfield Services Limited, Tianjin 300450, China)

Abstract: Two wells were drilled in target A in the deep water Niger Delta basin, which revealed that the reservoir is thin, and the lateral change is fast. In addition, the high position of the main reservoir confirms the oil-water interface, and the preliminary evaluation has no economics. Aiming at the problem of unknown reservoir distribution characteristics and oil-bearing, both water-bearing sandstones and oil-bearing sandstones are "bright spot" characteristics, Facies and Fluid Probabilities based on pre-stack simultaneous inversion is used to improve the accuracy of sandstone prediction. The distribution of sweet spot reservoir is clarified. By AVO attribute analysis analogy, it is clear that the fluid factor attribute has apparent advantages in hydrocarbon detection. First, it can identify oil layer and water layer. Second, the variation trend of reservoir thickness can be inferred from the changes in the fluid factor. Third, the fluid factor's horizontal continuity is good, reflecting the plane distribution of the reservoir. An exploration well was designed based on seismic flat spot analysis and hydrocarbon accumulation study, which achieved good exploration results.

Keywords: Niger delta basin; deep water deposits; pre-stack inversion; facies probabilistic; AVO attributes; exploration results