

肖张波, 雷永昌, 邱欣卫, 等. 泊松阻抗属性在陆丰南古近系低渗砂岩储层“甜点”识别中的应用[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(6): 70-77.  
XIAO Zhangbo, LEI Yongchang, QIU Xinwei, et al. Application of Poisson impedance for identification of sweet spot in the Paleogene low-permeability sandstone reservoir in Lufengnan Sag[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(6): 70-77.

# 泊松阻抗属性在陆丰南古近系低渗砂岩储层“甜点”识别中的应用

肖张波, 雷永昌, 邱欣卫, 贾连凯, 李敏

(中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 深圳 518054)

**摘要:** 陆丰南地区古近系储层纵横向非均质性较强, 沉积成岩演化复杂, 寻找具有经济产能的“甜点”储层是古近系高效勘探的关键。基于岩石物理分析及坐标旋转明确了泊松阻抗为识别“甜点”储层最敏感的弹性参数。在协克里金低频建模基础上, 开展叠前弹性参数反演直接获得了相关弹性参数(纵波速度  $v_p$ 、横波速度  $v_s$  和密度  $\rho$ ), 进而构建了泊松阻抗等弹性参数数据体并以此为基础开展砂岩储层及“甜点”储层的定量解释及预测。反演结果表明, 目标层文昌组“甜点”储层分布明显受沉积相带的控制, 岩性主要为水下分流河道沉积微相砂岩, 沉积相特征与钻井资料吻合。此技术的应用可实现古近系“甜点”储层由定性到定量的转变, 提高了古近系深层勘探成功率, 为古近系“增储上产”提供了有力的支撑。

**关键词:** 古近系; 甜点储层; 协克里金建模; 泊松阻抗; 叠前弹性参数反演; 陆丰南地区

中图分类号: P744.4; P313

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.260

## 0 引言

“甜点”储层最早是地质学家们研究致密气、页岩气等非常规“连续型”油气藏提出的概念, 该类油气藏通常呈大规模分布, 但大部分丰度较低, 仅局部富集, 该富集区称之为“甜点”<sup>[1]</sup>。近几年, 陆丰南地区古近系勘探实践表明<sup>[2-4]</sup>, 具有较高经济产能的“甜点”储集层是中深层高效勘探的关键。陆丰 A 构造位于陆丰 13 洼南部缓坡带, 主要目的层系文昌组埋深 > 3 700 m, 沉积体系为辫状河三角洲沉积, 受埋深压实和沉积成岩等因素影响, 储层表现出强非均质性、低孔隙特征(孔隙度 8%~10%, 渗透率约  $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )。按照陆丰南地区文昌组储层划分标准, 该层段属于致密-近致密储层。纵、横波阻抗等常规阻抗属性难以满足有效储层及流体

的区分, 这给利用传统属性弹性参数分析开展深部复杂岩性背景下的“甜点”储层反演预测带来了挑战。因此, 如何寻找低孔隙度、低渗透率储层中相对优质的储层分布, 对 A 构造低渗储层的勘探开发及岩性油气藏的勘探意义重大。

利用地震属性分析技术开展储层及流体识别研究一直是地球物理学家关注的课题<sup>[5]</sup>。近几年, 岩石物理分析及叠前弹性反演技术的快速发展, 极大地丰富了敏感弹性参数对岩性及流体的识别<sup>[6-8]</sup>。GOODWAY 等<sup>[9]</sup>系统提出了  $\lambda - \mu - \rho$  参数组属性分析岩性和孔隙流体识别新方法; RUSSELL 等<sup>[10]</sup>基于 Gassmann 方程提出流体因子  $\rho f$ ; QUAKENBUSH 等<sup>[11]</sup>利用坐标旋转率先提出泊松阻抗属性, 兼具泊松比和密度 2 种属性的特点, 用于研究不同岩性和流体类型之间的区别; MAZUMDAR<sup>[12]</sup>进一步深化泊松阻抗研究, 提出泊松阻尼因子属性; 孙喜新等<sup>[13]</sup>将泊松阻抗应用于平湖砂岩气藏检测; 解吉高等<sup>[14]</sup>利用泊松阻抗进行油气检测, 取得了较好的效果; 张林清等<sup>[15]</sup>利用坐标旋转技术构建新的储层物性弹性参数用于“甜点”识别; 刘力辉等<sup>[16]</sup>提出地震物相概念分析方法将储层分级评价实现“甜点”预测目的; 韩刚等<sup>[17]</sup>利

收稿日期: 2021-09-30

资助项目: 中海石油(中国)有限公司勘探生产科研重大项目“珠江口盆地(东部)浅水区古近系油气成藏条件及勘探突破方向”(SCKY-2020-SZ-21)

作者简介: 肖张波(1986—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事构造解释及地球物理岩性预测研究工作。E-mail: xiaozhb@cnooc.com.cn

用叠前 AVO 三参数反演得到泊松比和密度开展致密砂岩及储层“甜点”预测。总体而言, 针对古近系反映致密砂岩储层“甜点”的敏感弹性参数预测应用效果方面的研究较少。

本文利用协克里金建模方法构建低频趋势模型, 开展叠前弹性阻抗反演获得  $v_p$ 、 $v_s$  和  $PI$  弹性参数, 通过岩石物理分析及坐标旋转技术构建泊松阻抗弹性参数为识别“甜点”储层的敏感属性。对研究区目的层的砂体及储层“甜点”分布进行预测。该技术预测结果与已钻井揭示的情况吻合, 储层的横向变化及空间展布符合区域地质认识, 能够有效描述“甜点”储层分布, 取得了较好的应用效果。

## 1 技术方法

### 1.1 泊松阻抗属性

由于古近系地层随埋深增加  $AI$ 、 $v_p/v_s$  2 种弹性参数都存在明显的压实背景趋势<sup>[18-19]</sup>, 导致不同层系或不同深度的砂岩储层  $AI$ 、 $v_p/v_s$  阈值均存在差异。为了消除弹性参数随着地层埋深增加而引起的压实背景趋势的影响, QUAKENBUS 等<sup>[11]</sup> 引入坐标旋转概念, 将纵波阻抗与横波阻抗 2 个弹性参数通过线性组合形成一个新参数即泊松阻抗 ( $PI$ ), 泊松阻抗其内在本质为泊松速度 ( $v_\sigma$ ) 与密度 ( $\rho$ ) 的乘积, 而泊松速度与地震的纵、横波速度 (或泊松比) 有关, 因此, 泊松阻抗综合了泊松比和密度两种属性的特点。其表达式如下:

$$PI = AI - cSI \quad (1)$$

由于  $AI = v_p \cdot \rho$ ,  $SI = v_s \cdot \rho$ , 式(1)也可表达为:

$$(v_p - cv_s) \cdot \rho = v_\sigma \cdot \rho = PI \quad (2)$$

式中:  $AI$  为纵波阻抗,  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;

$SI$  为横波阻抗,  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;

$v_p$  为纵波速度;

$v_s$  为横波速度;

$(v_p - cv_s) = v_\sigma$  为泊松速度。其中  $c$  为常数, 决定了坐标轴旋转角度, 通过寻找合适的旋转角度, 实现  $PI$  对岩性和物性识别区分。

### 1.2 基于协克里金建模叠前弹性参数反演

#### 1.2.1 基于协克里金建模构建低频模型

由于海上钻井分布不均, 古近系沉积环境变

化大, 依靠传统井控插值获得的低频模型, 难以满足勘探需求。DUBRULE 等<sup>[20]</sup>、肖张波等<sup>[21]</sup> 将地震数据约束到反演趋势模型中, 减小了井间估值的不确定性。本文利用变差函数作为空间变化的统计分析工具, 在层序格架的控制下分别对测井数据和地震数据进行纵向上和横向上的空间结构分析, 地震数据作为软约束, 凸显宏观沉积特征对趋势模型的把控, 同时融入了地震数据的贡献降低井间建模的不确定性, 协克里金线性加权公式如下:

$$X^*(u_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_{X_i} X(u_{X_i}) + \sum_{k=1}^m \lambda_{Y_k} Y(u_{Y_k}) \quad (3)$$

式中:  $X(u_{X_i})$  为  $u_{X_i}$  处的测井数据;

$Y(u_{Y_k})$  为  $u_{Y_k}$  处的地震趋势数据;

$\lambda_{X_i}$ 、 $\lambda_{Y_k}$  是基于变差分析的加权系数值。

相比常规的井插值低频模型构建来说, 协克里金趋势建模能更好地反映储层时空展布, 符合沉积演化规律。层序格架的约束厘清了储层时间分布概念, 变差函数的分析明确了储层空间上的展布。该方法将地震数据软约束作为约束体现了沉积作用对趋势模型的控制, 进而实现相控反演, 避免了井-震合并时在井点处不吻合的问题及“牛眼”现象。

#### 1.2.2 叠前弹性参数反演

Zoeppritz 方程是叠前地震反演重要的理论基础, 该方程组虽然可以准确地表示波场在边界处发生的变化, 却难以直接分析介质参数对振幅系数的影响, 需对其简化才能进行反演。1980 年, AKI-RECHARDS 等<sup>[22]</sup> 提出基于纵横波速度和密度的 Zoeppritz 近似式:

$$R(\theta) \approx \frac{1}{2} \left( 1 - 4 \frac{v_s^2}{v_p^2} \sin^2 \theta \right) \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{1}{2 \cos^2 \theta} \cdot \frac{\Delta v_p}{v_p} - 4 \frac{v_s^2}{v_p^2} \sin^2 \theta \frac{\Delta v_s}{v_s} \quad (4)$$

式中:  $R(\theta)$  表示 pp 波反射系数;

$\theta$  为入射角, ( $^\circ$ );

$\frac{\Delta v_p}{v_p}$ 、 $\frac{\Delta v_s}{v_s}$  和  $\frac{\Delta \rho}{\rho}$  分别为纵、横波速度反射系数和密度反射系数。

通过该公式(4)的求解, 可以直接反演得到  $v_p$ 、 $v_s$  和  $\rho$  的弹性参数, 避免了间接计算导致的积累误差。由此, 可通过公式(1)、(2)计算得到泊松阻抗属性。

### 1.3 岩石物理敏感性分析

岩石物理学研究是地震数据定量解释的重要组成部分,是连接地震属性与储层特征的纽带。借助岩石物理分析可以明确岩石及其内部所含流体性质与地震弹性参数之间的内在联系,实现井震的统一,使储层研究更有针对性。

#### 1.3.1 岩石物理分析

研究区文昌组岩性特征复杂,为了实现反演定量解释,开展多井多参数岩石物理交会分析明确砂岩储层敏感弹性参数。根据  $AI-v_p/v_s$  岩石物理交会可知(图1),文昌组砂岩相比泥岩具有相对高阻特征,但整体砂岩与泥岩  $AI$  叠置严重,单纯依靠  $AI$  难以有效区分砂、泥岩。但  $v_p/v_s$  阈值为 1.72 时,可以实现砂泥岩区分。 $v_p/v_s < 1.72$  为砂岩,反之,  $v_p/v_s > 1.72$  为泥岩。另外,在低  $v_p/v_s$ , 低纵波阻抗区域对应为物性较好的含油砂岩(测井解释  $\phi > 10\%$ )。综上所述,单一弹性参数虽然对岩性的识别性较好,但物性受埋深压实和沉积作用等多因素耦合,无法进一步识别储层物性。因此,若要有效识别文昌组“甜点”储层,首先需要根据  $v_p/v_s$  阈值准确识别砂岩,再结合  $AI$  属性阈值识别“甜点”储层。由图1可知,

当砂岩满足  $v_p/v_s < 1.72$  且  $AI > 9.3e+06$  时,砂岩为“甜点”储层。通过 2 种属性共同筛选可以识别“甜点”储层。

#### 1.3.2 泊松阻抗构建及交汇分析

由于存在明显的压实背景趋势,导致不同层系或不同深度的砂岩储层  $AI$ 、 $v_p/v_s$  门槛值均存在差异<sup>[18-19]</sup>。本区泊松阻抗弹性参数的构建主要步骤:

(1)根据岩芯薄片所展现的岩石微观结构和孔隙演化的主控因素对文昌组储层分类评价(表1)。

①孔隙度  $> 11\%$ , 渗透率  $> 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  为 I 类储层; ②当孔隙度  $8\% \sim 11\%$ , 渗透率  $(4 \sim 10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  时为 II 类储层; ③孔隙度  $< 8\%$ , 渗透率  $(0.1 \sim 4) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  为 III 类储层。其中 I、II 类属于“甜点”储层, III 类储层为非“甜点”。

(2)计算坐标轴旋转角度  $c$ , 构建泊松阻抗弹性参数<sup>[17]</sup>。基于上述分类标准,结合测井解释,对研究区储层进行分类解释。由图 2a 文昌组不同类型储层  $AI-SI$  岩石物理交会可见:在  $AI-SI$  坐标系中, I 类砂岩、II 类砂岩、III 类砂岩及泥岩分布存在一定差异,但无论是沿  $AI$  方向或  $SI$  方向均有较大范围的重叠。因此,在  $AI-SI$  坐标系中通过单一属性都无法识别不同类型的砂岩。而泥岩的  $AI$  与  $SI$  具有较好的线性关系,拟合公式为:

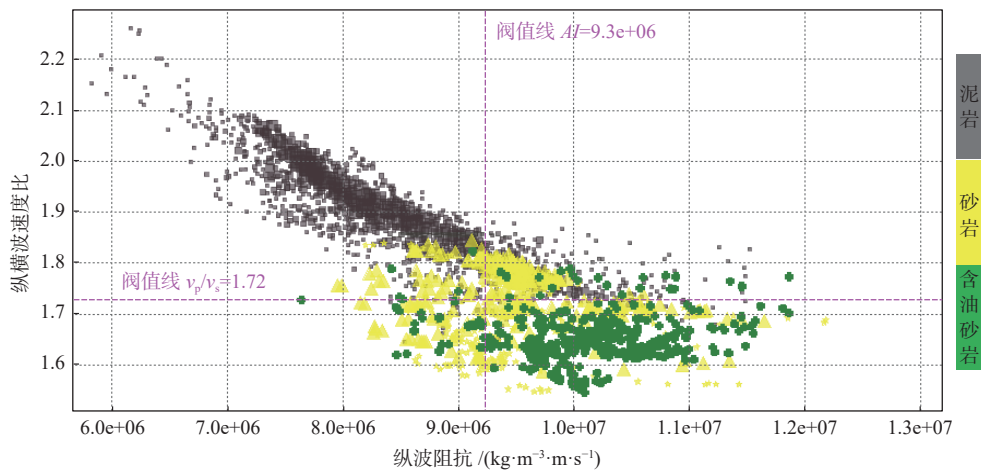


图1  $AI-v_p/v_s$  岩石物理交会图

Fig.1 The crossplot of of  $AI-v_p/v_s$  petrophysics

表1 陆丰凹陷南部古近系文昌组储层分类评价

Table 1 Reservoir classification and evaluation of the Paleogene Wenchang Formation in the southern Lufeng Sag

储层分类		I	II	III
物性特征	$\phi/\%$	$> 11$	$8 \sim 11$	$< 8$
	$K/(10^{-3} \mu\text{m}^2)$	$> 10$	$4 \sim 10$	$0.1 \sim 4$
孔隙特征	平均孔径/ $\mu\text{m}$	$> 7$	$1 \sim 2$	$0.4 \sim 1$
	孔隙类型	原生粒间孔-溶孔		溶孔

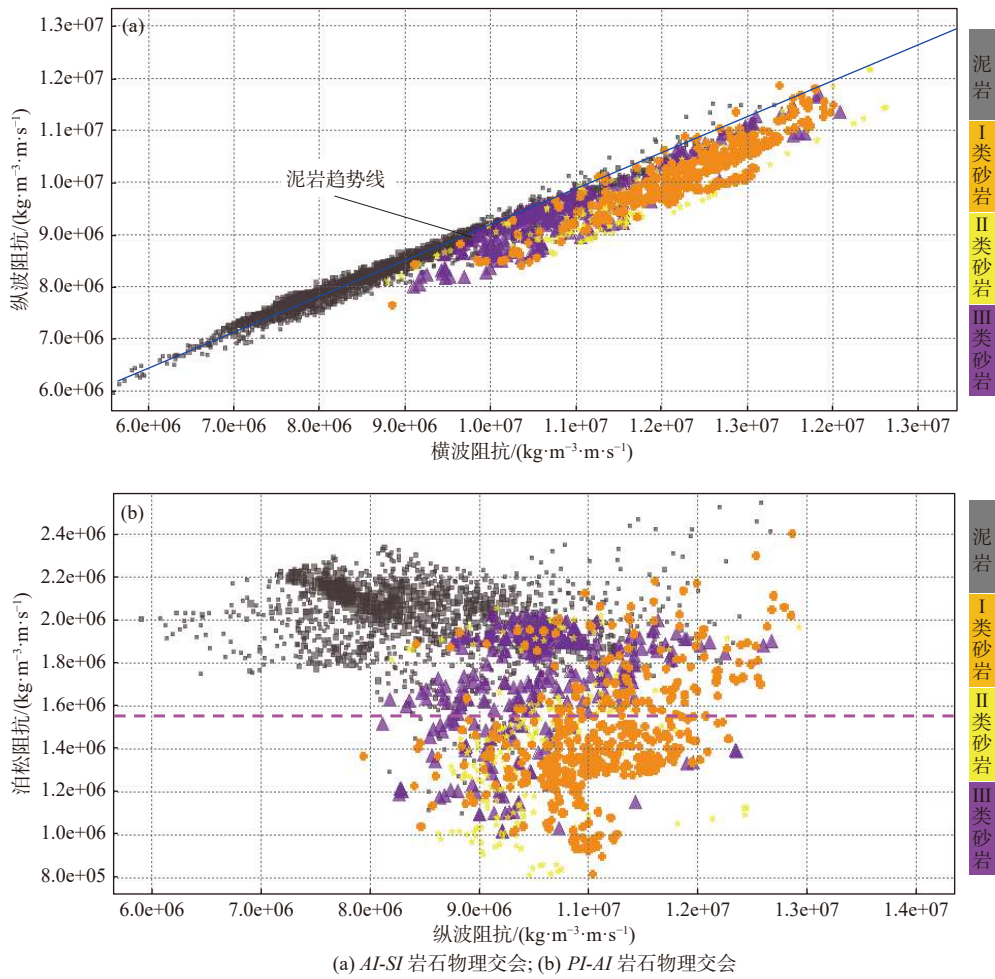


图 2 不同弹性参数岩石物理交会图

Fig.2 Crossplot of different petrophysical elastic parameters

$$AI = 1.43SI + 2.7e06 \quad (5)$$

相关系数达 0.98, 由式(5), 即可得到  $c=1.43$ , 从而可知:

$$PI = AI - 1.43SI \quad (6)$$

根据式(6)可以计算研究区所有井的  $PI$  曲线, 由此通过  $PI-AI$  岩石物理交会(图 2b)可知: ①在  $PI$  属性方向: I 类砂岩、II 类砂岩、III 类砂岩和泥岩区具有较好的区分度,  $PI < 1.58e+06$  为 I 类砂岩、II 类砂岩,  $1.8e+06 > PI > 1.58e+06$  为 III 类砂岩,  $PI > 1.8e+06$  为泥岩。坐标旋转后避免了  $AI-SI$  坐标系中单一属性( $AI$  或  $SI$ )均无法识别的问题; ②对于不同深度的地层,  $PI$  消除了压实影响, 避免了阈值随深度变化。③“甜点”储层(I 类、II 类砂岩)分布在  $PI < 1.58e+06$  区域, 致密储层及泥岩分布在高值区域。综合分析认为, 利用泊松阻抗即  $PI$  值能有效识别“甜点”储层和致密砂岩。

### 1.3.3 泊松阻抗属性对储层敏感性响应分析

由于目的层埋藏较深, 储层整体偏致密。由 LF-

2 井文昌组的弹性参数曲线综合柱状图可知(图 3), ①3 678~3 788 m 深度范围内砂岩和泥岩呈较明显的高泊松阻抗特征, 其中泥岩整体高于砂岩, 砂岩主要为 III 类干层砂岩(粉色), 物性差; ②3 850~3 889 m 深度范围内的砂岩比 3 678~3 788 m 深度范围的砂岩泊松阻抗特征值低, 砂岩为油层 I 类砂岩(黄色), 储层物性较好; ③3 890~3 989 m 深度范围内对应砂岩泊松阻抗呈现明显的低值特征, 砂岩为油层 I 类砂岩(橘黄色), 储层物性好; ④整体对比纵横波阻抗差异对岩性及物性都不敏感, 砂岩和泥岩重叠较严重。因此, 分析认为泊松阻抗对储层“甜点”及物性的反映最敏感。

为了进一步说明泊松阻抗对储层物性识别的优势, 开展孔隙度敏感度定量分析。根据 DILLON 等<sup>[23]</sup>提出的弹性参数敏感性定量评价方法, 弹性参数关于储层物性的敏感度定义为甜点和非甜点所对应的弹性参数平均值之差比上泥岩的属性标准差, 比值越大说明弹性参数对物性的变化越敏感。图 4

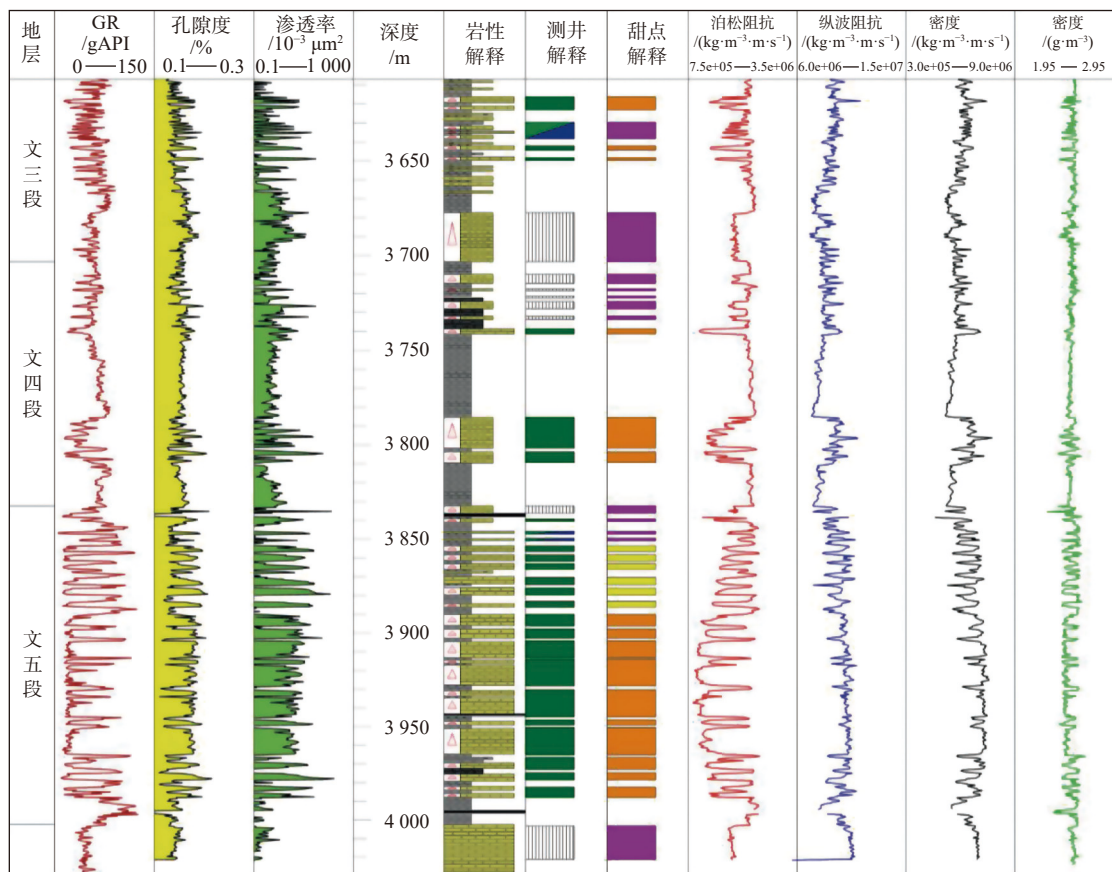


图3 LF-2井弹性参数曲线综合柱状图

Fig.3 Comprehensive stratigraphic columns of elastic parameter curve of Well LF-2

为8种常规弹性参数与泊松阻抗的物性敏感度直方图。横坐标1—8分别代表 $v_p$ 、 $v_s$ 、 $AI$ 、 $SI$ 、 $v_p/v_s$ 、弹性参数( $EI$ )、泊松比及泊松阻抗( $PI$ )属性。可以看出,相对于常规纵横波速度、密度及其组合形成的其他弹性参数,本次构建泊松阻抗曲线对物性变化的敏感度最高。

## 2 应用效果

### 2.1 反演效果分析

图5为研究区内过LF-1和LF-2井的连井纵横波速度比反演剖面(图5a)和泊松阻抗反演剖面(图5b)。从纵横波反演剖面上(图5a)看黑色箭头指示处LF-1井和LF-2井纵横波速度比阈值 $<1.72$ 为砂岩储层,和实钻岩性吻合,表明该属性能较好地反映岩性,但难以进一步直接判断储层物性情况。而从泊松阻抗反演剖面(图5b)可知,黑色箭头指示LF-2井相对于LF-1井泊松阻抗更低。LF-1井区反演泊松阻抗为 $1.76e+06$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),依据岩石物理解释(图2),主要在Ⅲ类砂岩区域,指示为

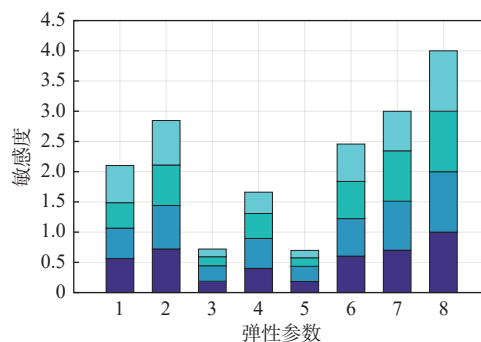


图4 不同弹性参数敏感度对比

Fig.4 Comparison in sensitivity of different elastic parameters

致密储层。而LF-2井区砂岩为泊松阻抗小于“甜点”阈值 $1.58e+06$ ,为 $1.28e+06$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),指示为I、II类“甜点”储层。钻探结果表明LF-1井文昌组钻遇细砂岩储层孔隙度为8%,渗透率为 $4\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,而LF-2井文昌组储层孔隙度为12%,渗透率为 $23\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,为水下分流河道砂体。反演结果和测井吻合较好,说明本方法的可靠性和适用性。

### 2.2 “甜点”储层分布预测

根据岩石物理分析,泊松阻抗属性能有效识别

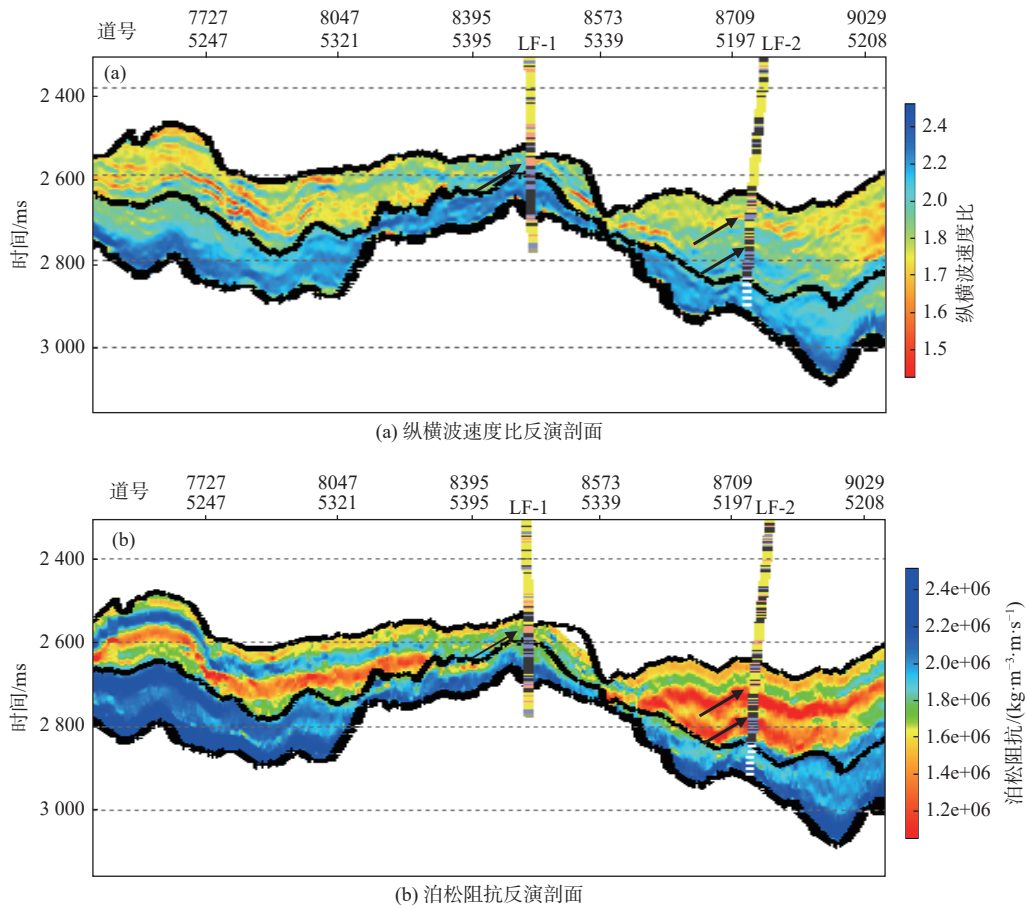


图 5 不同弹性参数反演剖面

Fig.5 Inversion profiles of different elastic parameters

古近系文昌组优质储层砂岩。图 6 为研究区内利用沿层泊松阻抗预测的文昌期“甜点”储层平面展布图,可以看出 LF-2 井、LF-3 井和 LF-4 均预测有甜点储层。平面分布特征表明,文昌组优质储层非

均质性较强,分布范围较集中。沉积分析表明,三角洲的物源方向从 WS 方向(黄色箭头)往 NE 方向推进,在断层的控制下,在湖盆中心洼陷区展开并广泛沉积。地质研究表明洼陷中心暗色泥岩厚度

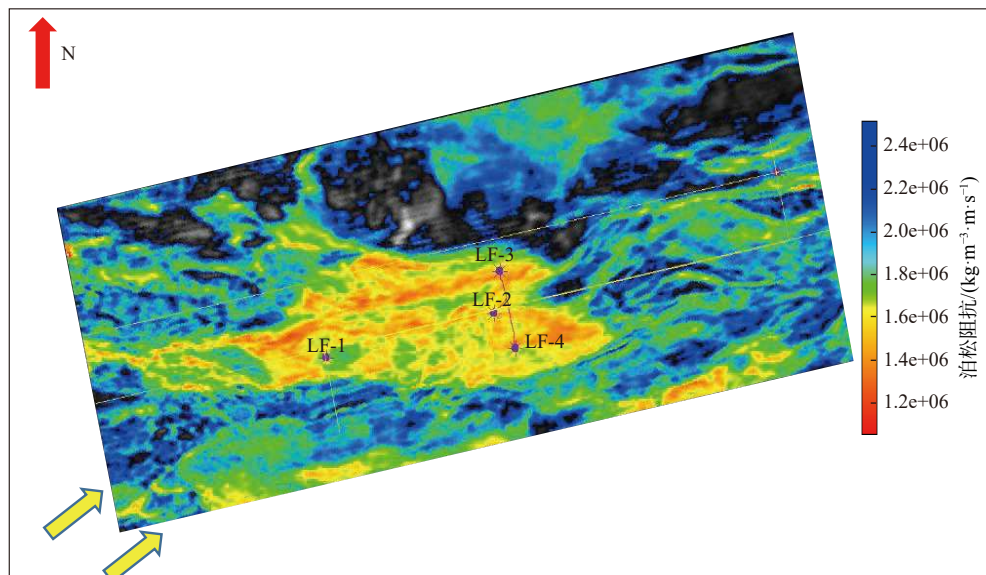


图 6 “甜点”储层平面分布图

Fig.6 Plane distribution of “sweet spot” reservoirs

最大(600 m)、生油能力最强,这些优质烃源岩与优质储层形成了良好的“源-储”配置关系,因此是岩性油气藏形成的有利场所。

### 3 结论

(1) 古近系受埋深压实及沉积环境影响,岩性规律复杂,通过岩石物理分析及坐标旋转将纵波阻抗与横波阻抗2个弹性参数通过线性组合融合为单一属性,明确泊松阻抗作为物性指示因子能够实现陆丰古近系文昌组“甜点”储层预测并取得了较好的应用效果。

(2) 针对中深层固结和压实作用较强的砂岩储层而言,深化弹性参数岩石物理分析,有助于提升砂岩及储层“甜点”的定量预测精度。

(3) 叠前弹性参数反演获得泊松阻抗,在此基础上开展定量解释,预测砂岩及储层“甜点”分布特征与沉积认识相吻合,证明了叠前地震反演在本区储层预测中的准确性,也为本区岩性油气藏勘探提供了有利的依据。

#### 参考文献:

- [1] GAUTIER D L, MAST R F. US geological survey methodology for the 1995 national assessment[J]. AAPG Bulletin, 1995, 78(1): 1-10.
- [2] 米立军,张向涛,陈维涛,等. 珠江口盆地珠一坳陷古近系油气富集规律及下一步勘探策略[J]. 中国海上油气, 2018, 30(6): 1-13.
- [3] 张向涛,汪旭东,舒誉,等. 珠江口盆地陆丰凹陷大中型油田地质特征及形成条件[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2017, 48(11): 2979-2989.
- [4] 汪旭东,张向涛,林鹤鸣,等. 珠江口盆地陆丰13洼复式油气成藏条件、分布规律及勘探潜力[J]. 中国海上油气, 2018, 30(3): 19-27.
- [5] OSTRANDER W J. Plane-wave reflection coefficients for gas sands at nonnormal angles of incidence[J]. Geophysics, 1984, 49(10): 1637-1648.
- [6] 王振涛,王玉梅,慎国强,等. 叠前高精度反演方法在复杂岩性储层预测中的应用[J]. 油气地球物理, 2020, 18(1): 9-15.
- [7] 李坤,印兴耀,宗兆云. 岩石物理驱动的相约束叠前地震概率化反演方法[J]. 中国科学: 地球科学, 2020, 50(6): 124-146.
- [8] 马光克,李洋森,黄玉,等. 基于岩石物理正演分析的低渗储层叠前反演方法研究[J]. 地球物理学进展, 2019, 34(1): 347-353.
- [9] GOODWAY B. Improved AVO fluid detection and lithology discrimination using Lamé petrophysical parameters: “ $\lambda\rho$ ”, “ $\mu\rho$ ”, & “ $\lambda\mu$  fluid stack”, from P and S inversions[J]. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 1997, 16(1): 183-186.
- [10] RUSSELL B H, Hedlin K, Hilterman F J, et al. Fluid-property discrimination with AVO: a biot-gassmann perspective[J]. Geophysics, 2003, 68(1): 29-39.
- [11] QUAKENBUSH M, SHANG B, TUTTLE C. Poisson impedance[J]. Leading Edge, 2006, 25(2): 128-138.
- [12] MAZUMDAR. Poisson dampening factor[J]. The Leading Edge, 2007, 26(7): 850-852.
- [13] 孙喜新. 泊松阻抗及其在平湖砂岩气藏检测中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(6): 699-703.
- [14] 解吉高,刘志斌,张益明,等. 利用泊松阻抗进行油气检测[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48(2): 273-278.
- [15] 张林清,张会星,姜效典,等. 弹性参数反演与属性融合技术在“甜点”预测中的应用[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(4): 8.
- [16] 刘力辉,李建海,刘玉霞. 地震物相分析方法与“甜点”预测[J]. 石油物探, 2013, 52(4): 432-437.
- [17] 韩刚,高红艳,龙凡,等. 叠前反演在西湖凹陷致密砂岩储层“甜点”预测中的应用[J]. 石油物探, 2021, 60(3): 471-478.
- [18] LINDSETH R O. Synthetic sonic logs-a process for stratigraphic interpretation[J]. Geophysics, 1979, 44(1): 62-67.
- [19] WYLLIE M R J, GREGORY A R, GARDNER L W. Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media[J]. Geophysics, 1956, 21(1): 41-70.
- [20] DUBRULE O, THIBAUT M, LAMY P, et al. Geostatistical reservoir characterization constrained by 3D seismic data[J]. Petroleum Geoscience, 1998, 4(2): 121-128.
- [21] 肖张波. 地震数据约束下的贝叶斯随机反演方法研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2013.
- [22] AKI K I, RICHARDS P G. Quantitative seismology: theory and methods[M]. California: W H Freeman and Co. , San Francisco, 1980.
- [23] DILLON L, SCHWEDERSKY G, VASQUEZ G, et al. A multiscale DHI elastic attributes evaluation[J]. The Leading Edge, 2003, 22(10): 1024,1026-1029.

## Application of Poisson impedance for identification of sweet spot in the Paleogene low-permeability sandstone reservoir in Lufengnan Sag

XIAO Zhangbo, LEI Yongchang, QIU Xinwei, JIA Liankai, LI Min  
(Shenzhen Branch of CNOOC (China) Ltd., Shenzhen 518054, China)

**Abstract:** The lateral heterogeneity of Paleogene reservoirs in the Lufengnan Sag of the Pearl River Mouth Basin is obvious, and the sedimentary and diagenetic evolution is complex. Finding “sweet spot” reservoir with economic productivity is the key to efficient exploration of the Paleogene reservoir. Based on petrophysical analysis and coordinate rotation, it is clear that Poisson impedance is the most sensitive elastic parameter to identify “sweet spot” reservoir. By the Co-Kriging low-frequency modeling, the prestack elastic parameter inversion was carried out, from which and the relevant elastic parameters were obtained directly, and then the elastic parameter dataset including Poisson impedance was constructed, based on which the quantitative interpretation and prediction of sandstone reservoir and “sweet spot” reservoir were performed. The inversion results show that the distribution of the “sweet spot” reservoir of Wenchang Formation is obviously controlled by the sedimentary facies. The lithology is mainly microfacies sandstone indicative of underwater distributary channel, and the characteristics of sedimentary facies are consistent with the drilling data. The application of this technology and method can realize the transformation of Paleogene “sweet spot” reservoir exploration from qualitative to quantitative determination, improve the success rate of deep exploration in the Paleogene, and provide a strong support for increasing reserves and production in the Paleogene.

**Key words:** Paleogene; sweet spot; Co-Kriging modeling; Poisson impedance; prestack elastic parameter inversion; Lufengnan Sag