

FCZ地区滩坝砂储层表征技术

刘志敏

(中国石化江苏油田分公司勘探开发研究院, 扬州 225009)

摘要: FCZ地区阜三段(E_{lf_3})为三角洲前缘—滨浅湖沉积体系, 主要发育滩坝型砂体, 单层薄且横向变化快, 导致滩坝砂体预测难度大, 制约了滩坝型隐蔽油气藏勘探进度。通过细分砂层组开展沉积特征研究; 利用近似古地貌恢复技术, 明确特殊地质体有利发育区; 综合运用频谱延拓与导向滤波处理技术, 提升地震资料分辨率。基于地震属性深度学习与质控, 优化砂体定性描述技术, 融合敏感属性表征两套反射砂层组的平面展布特征。综合运用波形结构差异性与曲线重构声波阻抗开展联合反演, 预测两套反射砂层组厚度。综合构造背景、油源输导、侧向封挡等条件, 优选圈闭并提交有利目标, 指导实际生产工作。

关键词: 隐蔽油藏; 砂层组; 深度学习; 地震属性融合; 联合反演

中图分类号: P631 **文献标志码:** A

Characterization technology of beach-bar sand reservoirs in FCZ area

LIU Zhimin

(Exploration and Development Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou 225009, China)

Abstract: The third member of the Funing Formation (E_{lf_3}) in the FCZ area belongs to a delta front-shore shallow lake sedimentary system, and mainly develops beach-bar type sand bodies. However, thin reservoir thickness and fast lateral change make beach-bar sand bodies prediction difficult and restrict the exploration progress of beach-bar type hidden oil and gas reservoirs. Research on sedimentary characteristics was carried out by subdividing sand layers; favorable development areas for special geological bodies were identified by using approximate paleogeomorphological restoration technology. Interpretive processing technologies such as spectrum extension, steering filtering, and igneous rock de-intensity were comprehensively used to improve the resolution of seismic data. Based on deep learning and quality control of seismic attributes, the qualitative description technology of sand bodies was optimized, and the plane distribution characteristics of two sets of reflective sand groups were characterized by integrating sensitive attributes. The waveform structure differences and curve-reconstructed acoustic impedance were combined to carry out a joint inversion to predict the thickness of the two sets of reflective sand formations. Based on the structural background, oil source transportation, lateral sealing, and other conditions, the traps were optimized, and favorable targets were submitted to guide the actual production work.

Key words: subtle oil reservoir; sand group; deep learning; seismic attribute fusion; joint inversion

FCZ地区阜三段(E_{lf_3})位于前三三角洲—滨浅湖亚相, 砂地比低, 主要发育滩坝类型砂岩。关于滩坝砂的识别, 通常是将地震相与地震属性、叠前叠后联合反演^[1]多种手段相结合, 刻画砂体发育特征。地震相分析技术^[2]与敏感地震属性^[3-5]能够描述滩坝储层分布范围; 地震特征反演技术^[6-7]可以对滩坝砂岩发育情况进行定量预测。受古地貌及构造运动的影响^[8], 滩坝砂体常表现为连续性差的地震响应特征, 且储层特征不稳定, 导致滩坝型油藏勘探仍然存在较多问题: 单一地震属性刻画砂体边界存在多解性; 常规波阻抗反演分辨率较低, 不能满足薄层识别精度要求。近年来, 地震深度学习^[9]、多属性分析^[10-11]与融合技术、波形反演技术逐渐被应

用到岩性油藏的研究之中。本文利用测井信息对地震属性开展深度学习与质控, 通过PCNN建模优选敏感属性并进行属性融合, 精细刻画滩坝砂体边界; 综合利用地震波形结构与阻抗信息, 开展联合反演, 量化滩坝砂岩平面发育情况。

1 滩坝砂体展布特征

FCZ地区, 阜三段三亚段($E_{lf_3^3}$)沉积早期为半

收稿日期: 2022-02-19; 改回日期: 2022-05-11。

作者简介: 刘志敏(1990—), 助理研究员, 主要从事地球物理构造解释与储层预测工作。E-mail: liuzhimin.jsyt@sinopec.com。

基金项目: 中国石化集团公司科技攻关项目“苏北盆地阜宁组岩性油藏成藏条件与目标评价”(P20060)。

深湖沉积,砂岩不发育且粒度较细,为粉砂岩和含粉砂极细砂岩。晚期水位下降,砂体向前进积,由北东向南西形成了广布型的三角洲沉积。由于古地貌与物源剥蚀区的关系,FCZ地区离物源区相对较远,砂体相对不发育。阜三段二亚段($E_1f_3^2$)沉积时期较 $E_1f_3^3$ 沉积时期砂体发育,水下分流河道向西南延伸距离较远。由于湖浪的改造作用,滩坝砂较为发育,多呈裙带状分布。阜三段一亚段($E_1f_3^1$)沉积总体上水体较浅,河流发育,砂体展布范围较大。 $E_1f_3^1$ 与 $E_1f_3^3$ 相比,继承性明显,三角洲体系沉积作用仍然活跃,河口坝及水下分流河道砂体发育,在FCZ地区形成了裙带状分布的滩坝砂体。

2 滩坝储层预测关键技术

通过对地震资料进行解释性预处理,改善局部地区地震资料品质。综合运用近似古地貌恢复、地震相追踪、地震属性定性表征、储层厚度定量刻画等技术手段,在FCZ地区开展滩坝储层预测与岩性圈闭识别(图1)。

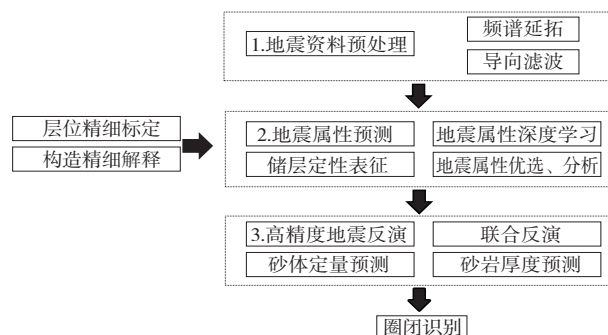


图1 FCZ地区滩坝储层预测与圈闭识别技术路线

2.1 近似古地貌分析

E_1f_3 沉积时期,MTZ—FCZ—SHN东地区发育东西两个大型构造高带,研究区内则发育东西两个次级构造高带(zh13块与fa10块),南部存在一个宽缓的平台构造(图2)。南部断裂发育程度较低,滩坝砂体发育程度与坡折带、微幅隆起的平台构造有着较好的对应性。基于层拉平后的东西向、南北向两条地震剖面(图3),研究区南部古构造高的特征十分清晰。研究区北部发育多条“南掉”断层,滩坝砂体在同沉积断层上升盘相对发育。古构造高部位是滩坝砂体相对发育的有利区,并且砂体展布长轴方向往往与高带或同沉积断裂方向一致,基于古地貌恢复可以指导滩坝砂体有利发育区的识别。

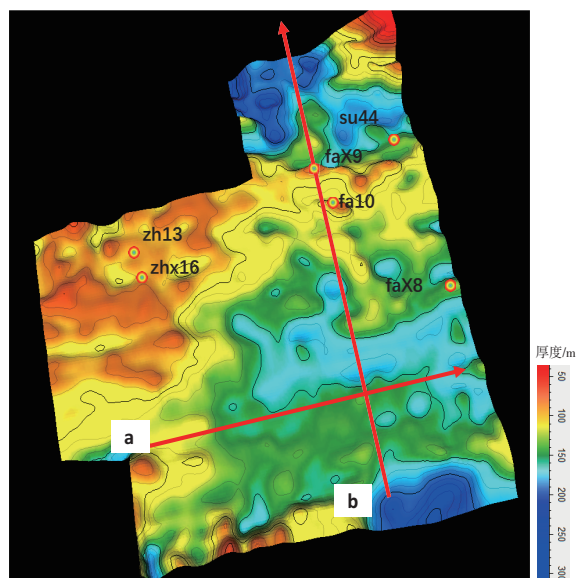


图2 E_1f_3 近似古地貌

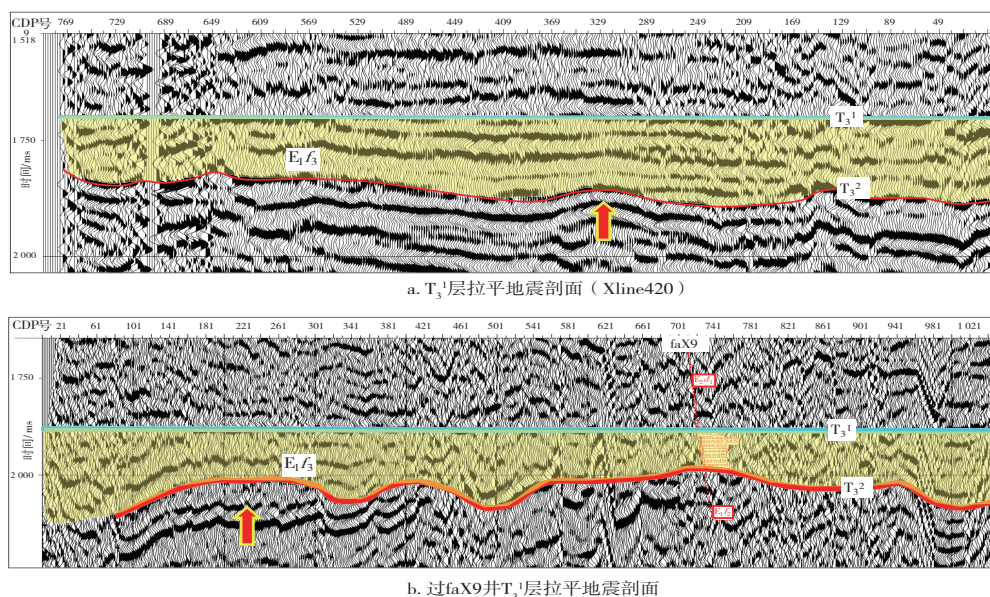


图3 层拉平地震剖面

2.2 解释性预处理

因地震资料精度有限,地震反射特征与砂体发育程度吻合度较低,如井上砂体发育层段在地震剖面中表现为空白反射(图4),砂体反射特征因分辨

率不足而被掩盖。频谱延拓后,局部地区资料品质有所改善:地震剖面整体趋势不变,但分辨率有所提高;局部地区复波分离,弱相位特征得到提升;频带宽度一定程度上得到延拓,地震信息更丰富(图5)。

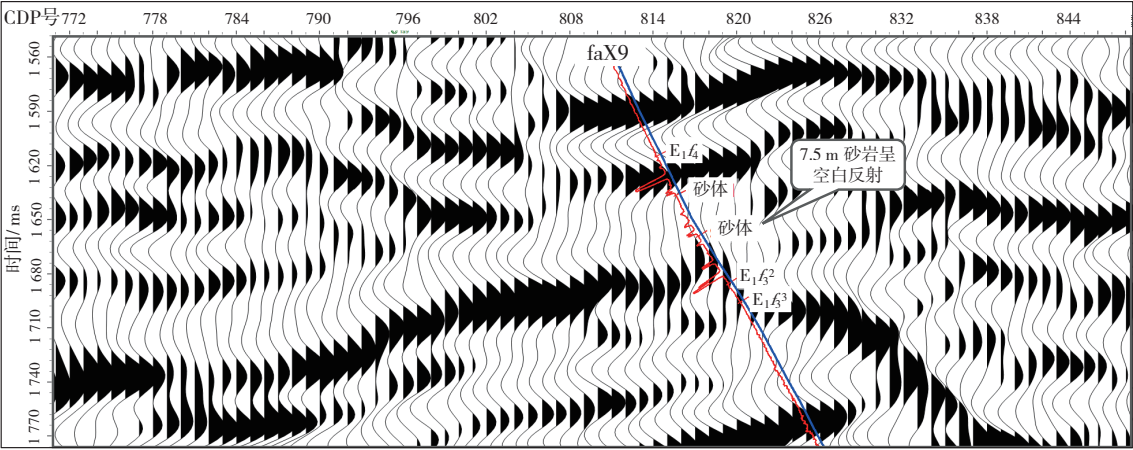
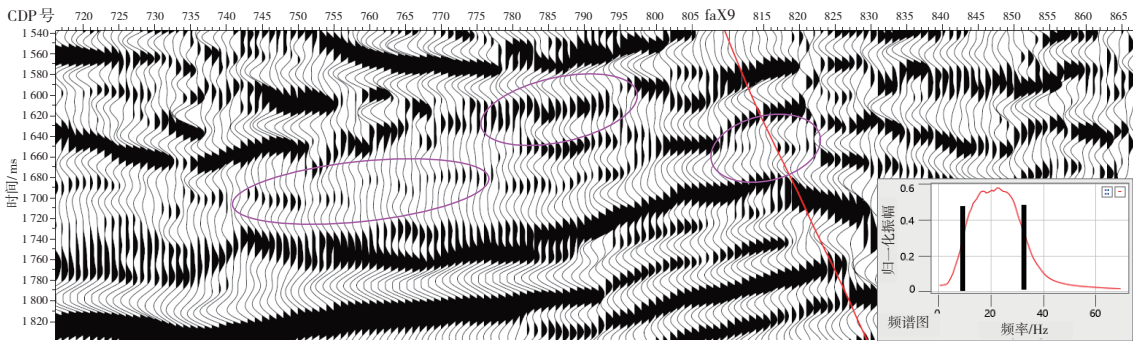
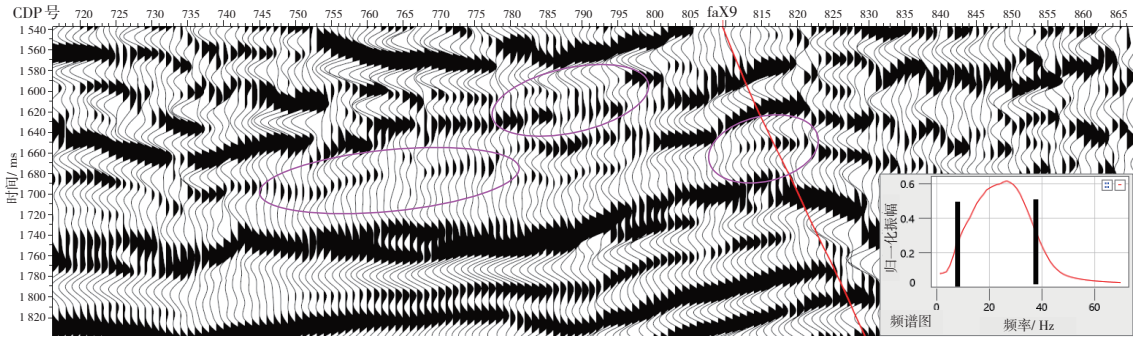


图4 原始地震剖面(L636)



a. 拓频前原始地震剖面



b. 拓频后原始地震剖面

图5 原始地震剖面与拓频后地震资料对比

“提频”处理的同时会伴随出现随机噪音增加,因此,针对提频后地震资料进行“去噪”处理,提高资料整体的信噪比(图6)。滤波后地震资料噪音得到一定压制,地层反射特征更加清晰。

2.3 储层精细标定

在亚段划分基础之上,将E₁f₃细分出10个砂层

组,通过井震精细标定,明确地震上可分辨的砂层组地震响应特征。faX10井上声波阻抗揭示,E₁f₃存在四个速度阶梯,对应于地震剖面中的四个反射同相轴(图7),每根同相轴具有不同的地质意义。第一根同相轴(T₃¹)主要是E₁f₄底与E₁f₃顶的地层界面,同时叠合第一反射砂层组形成的中—强振幅反

射;第二根同相轴是第二反射砂层组与上覆泥岩形成的中—弱振幅反射;第三根同相轴是第三反射砂层组与上覆泥岩形成的弱振幅反射,局部地区伴有复波现象;第四根同相轴(T_3^2)主要为 E_{1f_3} 底与 E_{1f_2} 顶形成的地层反射。

2.4 深度学习地震属性分析

2.4.1 PCNN基本原理

PCNN反馈型神经网络^[12]是由若干个神经元互联构成的单层无导师模型。在多属性融合中,将属性的每个数据视为一个神经元,数据幅值充当输入信号。神经元的阈值随着外部输入信号发生改变,决定了脉冲输出或停止。利用神经元在多次迭代中产生脉冲输出的次数可实现地震多属性的融合^[13]。

2.4.2 地震属性深度学习

通常砂体发育区呈强振幅反射,但强振幅是否与厚砂对应,存在不确定性。zh13块 E_{1f_3} 中上部砂体横向变化快,第一反射砂层组的厚度在2~7 m之间不等,砂岩发育段与欠发育段均呈现出中强振幅反射(图8),单凭振幅信息不能较好地刻画砂岩发育情况。

本次研究提取振幅类、频率类、相位类等多种属性并进行深度学习,利用自然电位曲线对属性进

行质控,依据盲井和校验井误差分析结果、预测属性与实测曲线拟合的参数部分依赖图、多种属性敏感度排序图(图9),筛选敏感属性并调整神经网络计算结构。反复修改深度学习模型,直到获取最优结果,匹配井上岩性信息。

常规的算术平均振幅、瞬时相位等属性与自然电位的相关性较低,且不符合现今的沉积规律,不能较好的表征砂体的平面展布形态。优选出的敏感属性与井上信息有着较好的对应性,并且符合砂体北多南少、东多西少的地质认识,如甜点累加求和振幅属性、几何均方根频率属性,砂岩发育区与黄色、橙红色属性高值区域相对应,砂岩欠发育区,对应于蓝绿色属性低值(图10)。

上述几种属性的平面趋势大体一致,仅在局部地区存在细节性的差异。如振幅类的累加求和属性对北部物源的刻画效果优于频率类的敏感属性,频率类的敏感属性更有利于刻画砂边界。敏感属性连井剖面中,砂体欠发育段对应属性低值,呈现蓝紫色;砂体较发育段呈黄色中高值属性;砂体发育段对应橙红色属性高值,不同的砂体发育程度分别对应不同的属性异常响应,能够较好得以区分(图11)。

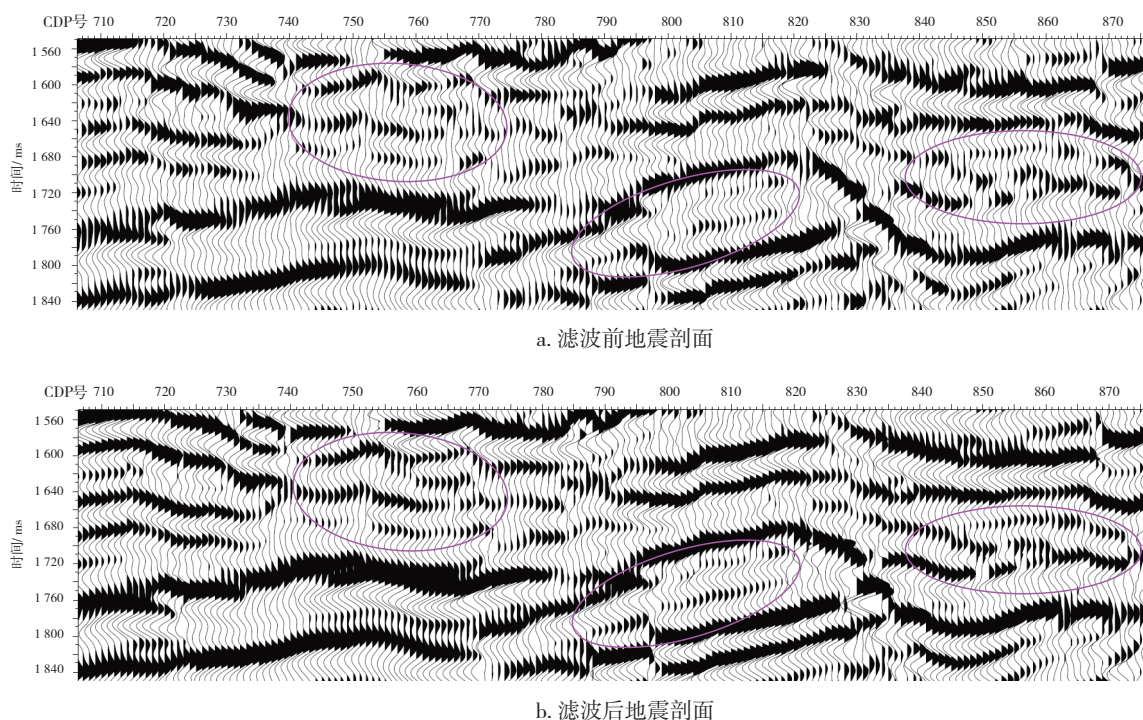


图6 滤波前后地震资料对比

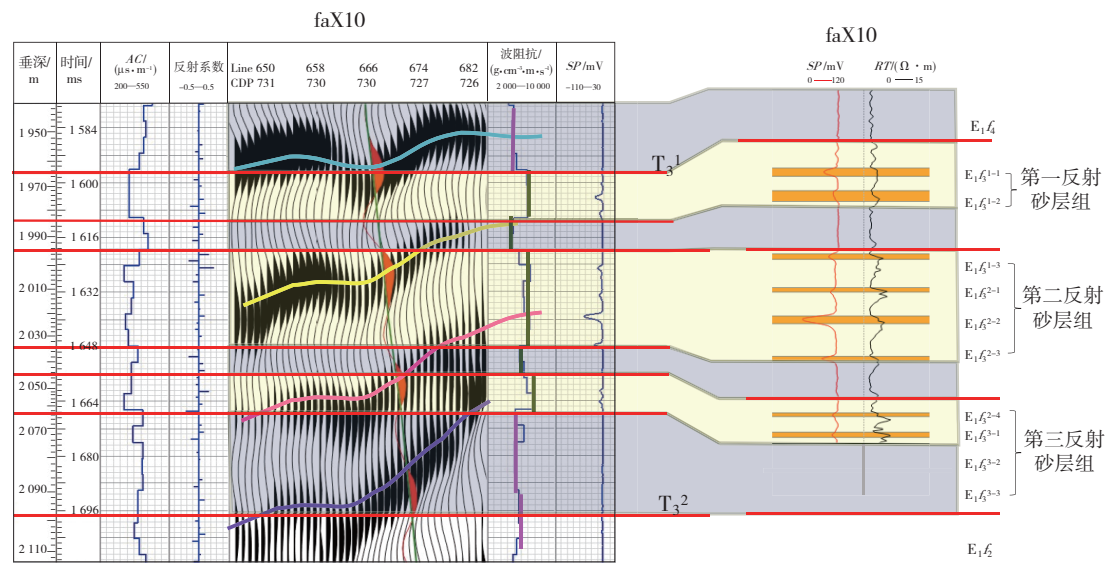


图7 faX10井储层精细标定

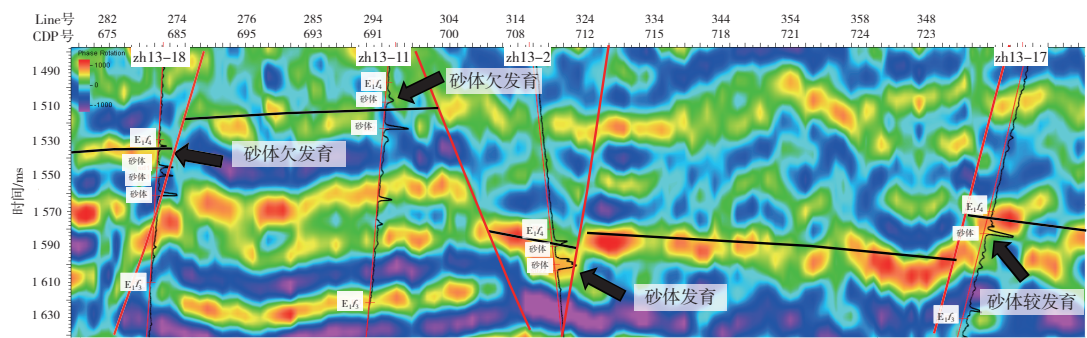


图8 zh13-18—zh13-11—zh13-2—zh13-17连井地震剖面

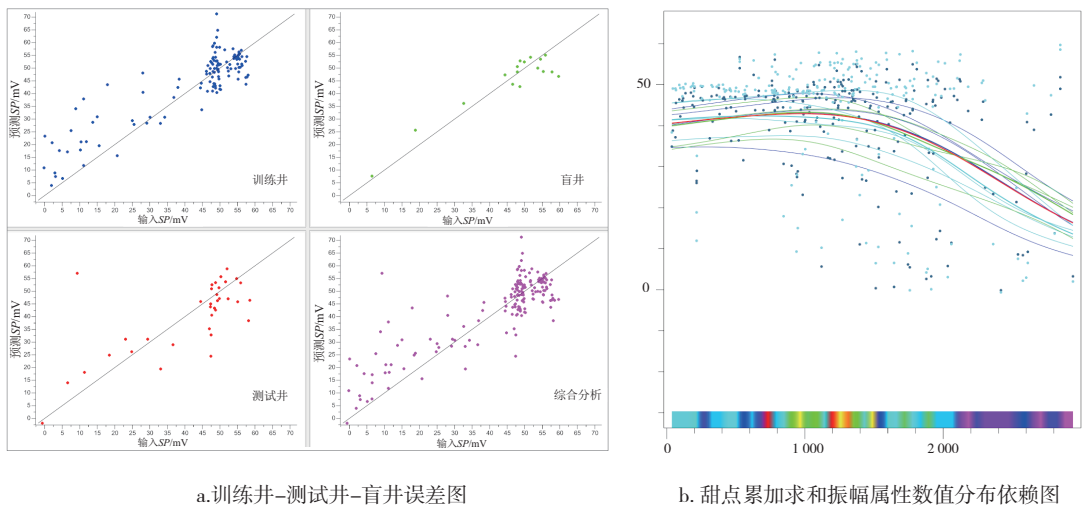


图9 地震属性深度学习质控图

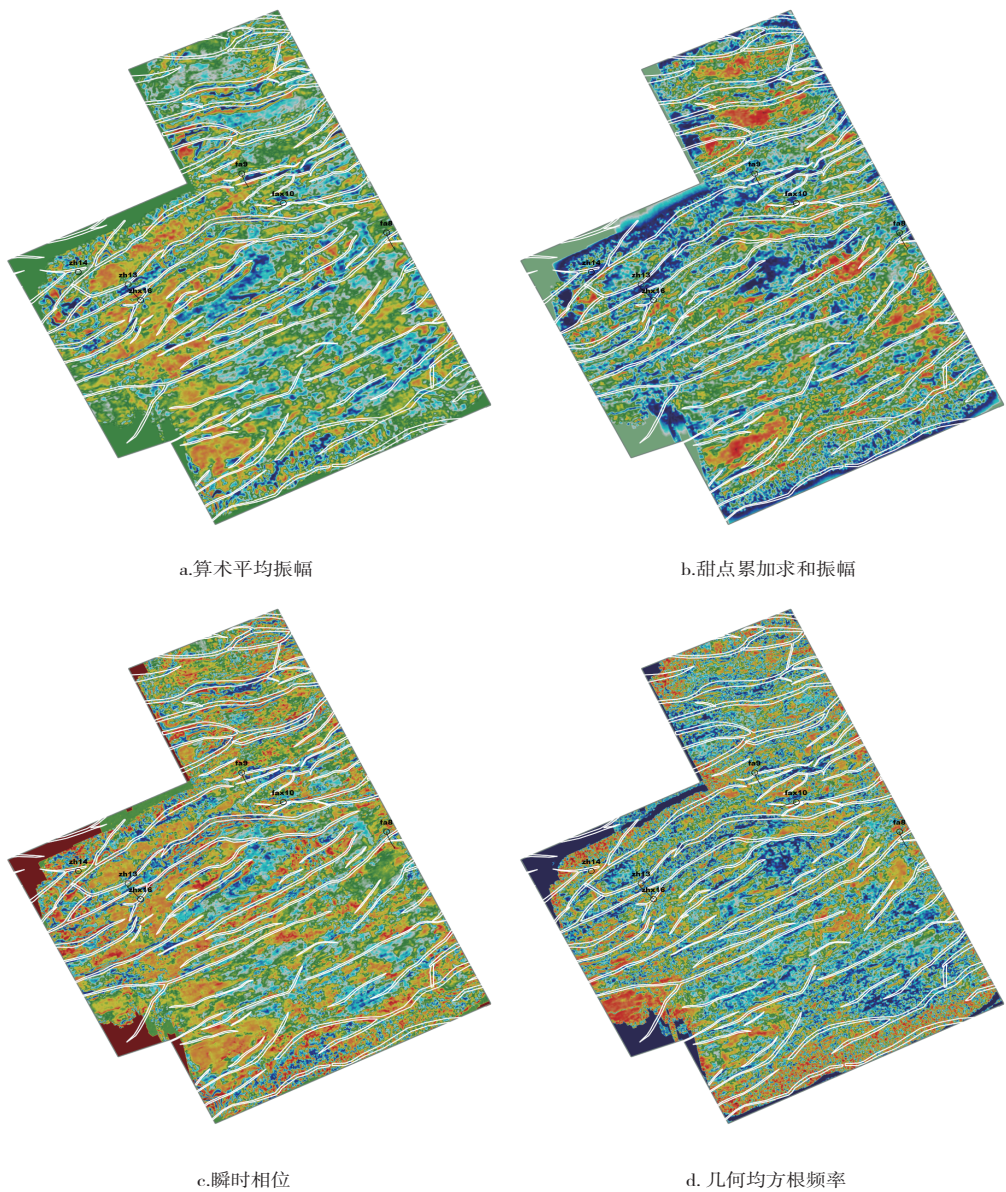


图10 不同地震属性平面

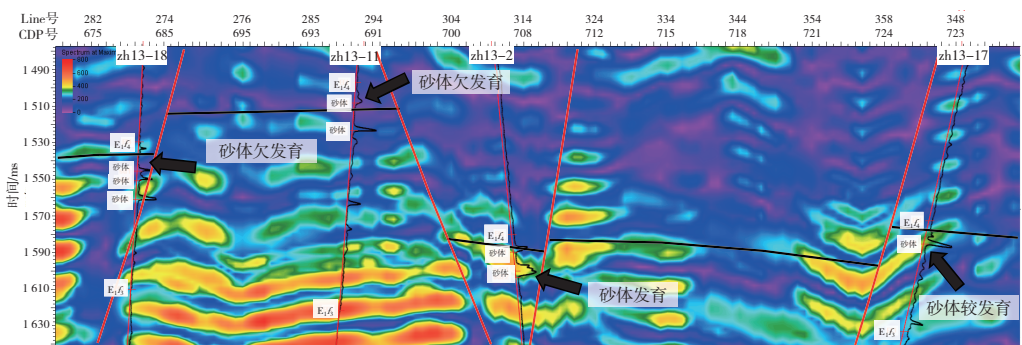


图11 zh13块几何均方根频率属性连井剖面

2.4.3 敏感属性融合

综合运用振幅的横向高分辨率与频率的纵向高分辨率,优选与测井曲线相关度高的敏感属性进

行融合。相对于单一地震属性提取的地层切片,融合后的地震属性不仅能更好的体现砂体平面分布趋势,而且能够更加清晰地刻画砂体边界(图12—图13)。

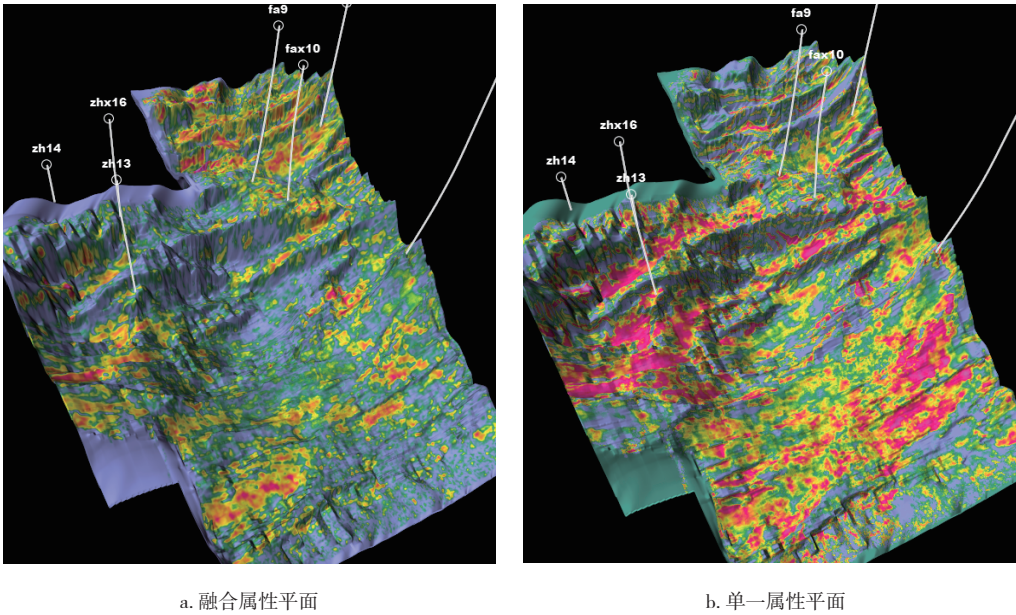


图 12 第一反射砂层组属性平面

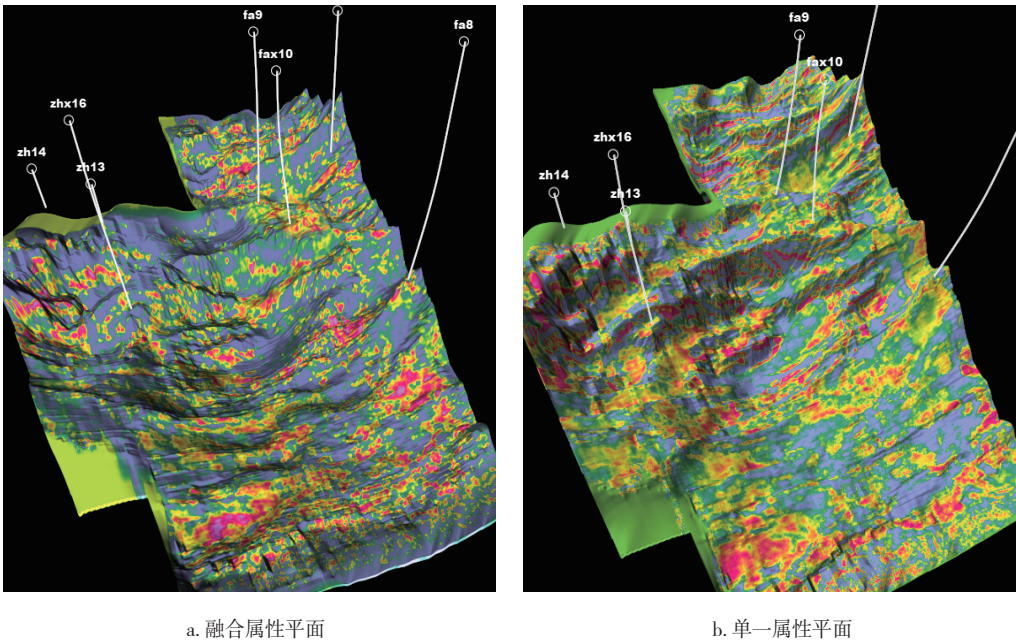


图 13 第二反射砂层组属性平面

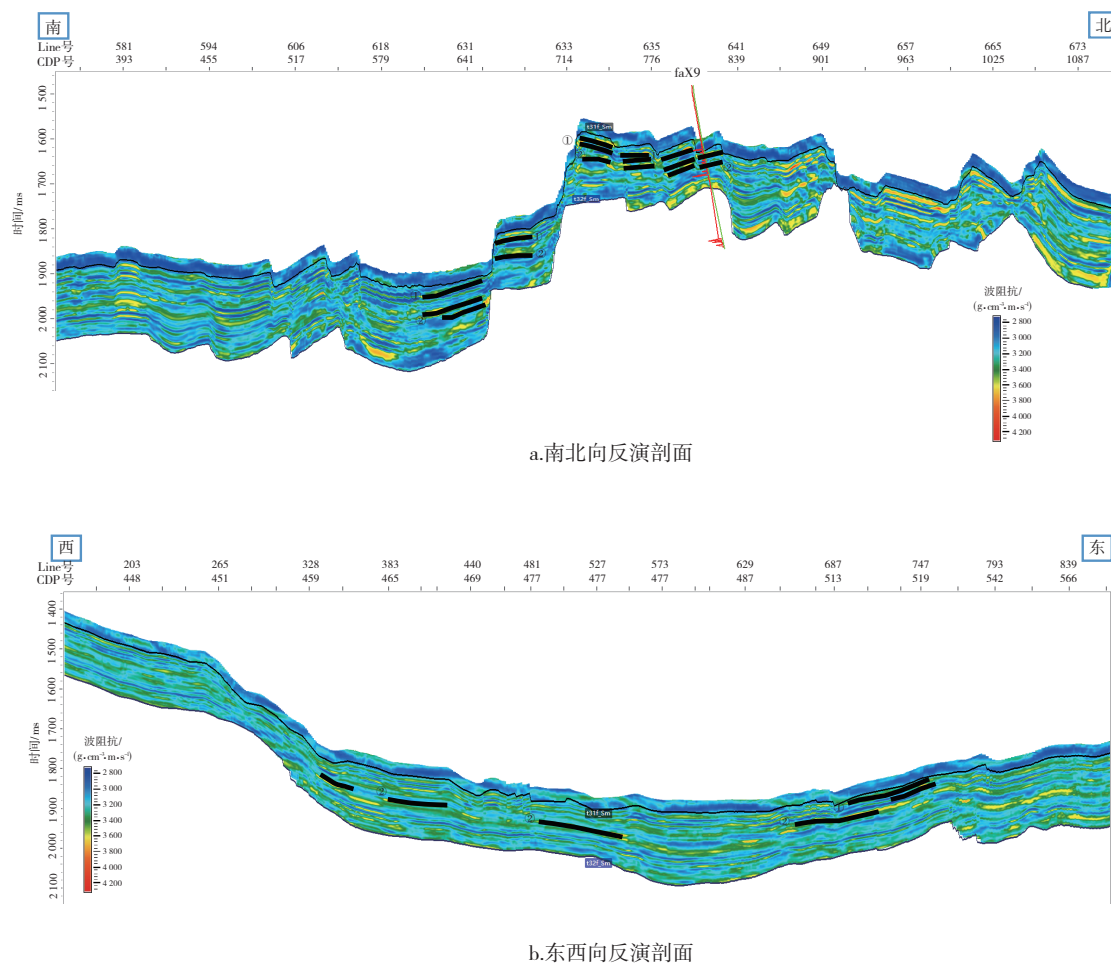
2.5 地震联合反演

常规阻抗反演中,受地震资料带宽的限制,只能提供中频成分,而高频和低频部分主要通过测井数据、地质信息获得^[14],但纯波阻抗反演存在不稳定性 and 多解性。地震波形反映了沉积环境和岩性组合的空间变化,代表储层垂向岩性组合的调谐样式,其横向变化反映了储层空间的相变特征。因此,依据地震波形的变化可以宏观反映储层的空间变异性^[15]。

本次研究在阻抗反演的基础之上,结合地震反

射特征的差异性,开展波形联合反演,并利用敏感曲线重构纵波阻抗,声波低频趋势结合自然电位高频特征提高储层反演精度。

反演结果中黄色高值表示砂体较为发育,整体上与滩坝砂体发育模式较为吻合:南北方向反演剖面中,北部砂岩相对更为发育,主要集中在断层上升盘;东西向反演剖面中,东部砂岩更为发育,且横向上不连续,表现为多个独立的滩坝砂体,主要集中在构造较为宽缓或有一定微幅隆起的构造高带之上(图 14)。

图14 E_1f_3 联合反演剖面

3 结论

(1) 基于亚段研究尺度, 细化砂层组开展沉积微相分析, 能够更准确描述砂体平面展布特征。

(2) 不同地震属性刻画砂体边界存在多解性, 通过井震结合, 利用深度学习与神经网络模型, 寻找与井匹配度高的敏感属性进行融合, 融合后的地震属性刻画砂体边界更加清晰, 且更吻合地质沉积规律。

(3) 通过储层精细标定, 综合波形结构差异性与阻抗特征开展联合反演, 能有效提高薄互储层预测分辨率, 提高储层预测精度。

参考文献:

- [1] 仇永峰, 刘启东, 于雯泉, 等. 苏北盆地隐蔽油藏勘探实践及认识[J]. 复杂油气藏, 2021, 14(2):1-7.
- [2] 于红枫, 王英民, 李雪. Stratimagic 波形地震相分析在层序地层岩性分析中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(1):64-67.
- [3] 张宇, 唐东, 周建国. 东营凹陷缓坡带滩坝砂储层描述技术[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(4):14-16.
- [4] 陈香朋, 韩国庆, 田建华, 等. 地震属性技术在郭局子注陷沙二段岩性油藏描述中的应用[J]. 地球物理学进展, 2008, 23(3):846-851.
- [5] 向奎, 鲍志东, 庄文山. 准噶尔盆地滩坝砂石油地质特征及勘探意义——以排2井沙湾组为例[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(2):195-200.
- [6] 韩长城, 林承焰, 任丽华, 等. 地震波形指示反演在东营凹陷王家岗地区沙四上亚段滩坝砂的应用[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2017, 41(2):60-69.
- [7] 李东海, 胥灵, 黄文欢, 等. 滦潼西斜坡阜三段隐蔽油藏勘探开发一体化实践[J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11(3):281-290.
- [8] 邹灵. 东营凹陷南部缓坡带沙四段滩坝砂储层分布及成藏主控因素[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(2):34-36.
- [9] 付超, 林年添, 张栋, 等. 多波地震深度学习的油气储层分布预测案例[J]. 地球物理学报, 2018, 61(1):293-302.

(下转第31页)

发育有河口坝砂岩透镜体,而且研究区通源断层密布, E_{1f_2} 烃源岩生成的油气可沿通源断层跨越 E_{1f_3} 泥岩夹层运移至孤立的透镜体中,从成藏条件论,研究区 E_{1f_3} 有发育砂岩透镜体隐蔽油气藏的可能。

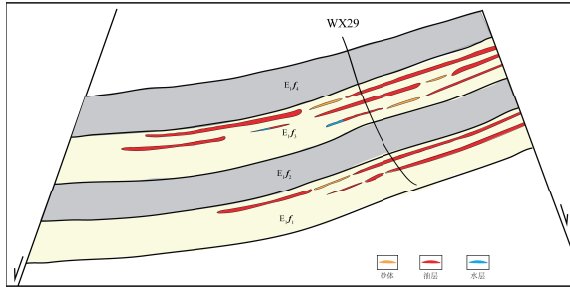


图11 构造-岩性复合油藏成藏模式

5 结论

(1)研究区为典型的三角洲前缘沉积,主要微相类型包括三角洲前缘的水下分流河道、河口砂坝、分流河道间湾、前缘席状砂。

(2)研究区 E_{1f_3} 发育东西两支三角洲前缘朵叶体,由不同主水流控制,分别为瓦庄东支系及刘陆舍支系。两支系之间的间湾沉积砂岩发育较少,两侧河道砂向中间的间湾侧减薄尖灭。由于河道频繁改道,单砂通常较薄,横向上变化快,间湾沉积范围大小略有变动,但在 E_{1f_3} 整体自下而上继承性发育。

(3)研究区发育砂岩上倾尖灭油藏及构造-岩性复合油藏两大类隐蔽油藏,两者成因类型及控制因素略有区别。刘陆舍支系形成上倾尖灭油藏可能性大,该类油藏的形成与否主要受相控下的岩性尖灭及构造上的上倾产状控制;瓦庄东支系更可能

形成构造-岩性复合油藏,该类油藏形成的主控因素为相控下的岩性尖灭及与之相交断层的封闭性。

(4)研究区 E_{1f_3} 具有发育砂岩透镜体隐蔽圈闭的可能,需要与通源断层匹配才能有效成藏。

参考文献:

- [1] 仇永峰,刘启东,于雯泉,等.苏北盆地隐蔽油藏勘探实践及认识[J].复杂油气藏,2021,14(2):1-7.
- [2] 罗婧.高邮凹陷阜三段北部斜坡带沉积相研究[D].荆州:长江大学,2018.
- [3] 范立新,季红军,郭新安,等.高邮凹陷缓坡带戴南组隐蔽油藏成藏特征及主控因素分析[J].复杂油气藏,2013,6(2):18-22,45.
- [4] 刘启东.高邮凹陷北斜坡阜三段砂体展布及油气运移特征[J].油气地质与采收率,2012,19(5):24-26.
- [5] 张喜林,朱筱敏,钟大康,等.苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组沉积相及其对隐蔽油气藏的控制[J].古地理学报,2005,7(2):207-218.
- [6] 王玮.高邮凹陷北斜坡中东部地区阜三段一砂组沉积相特征及其控油规律[C]//第十届全国古地理学及沉积学学术会议论文摘要集,成都:中国矿物岩石地球化学学会岩相古地理专业委员会,2008.
- [7] 付玲,关平,赵为永,等.柴达木盆地古近系路乐河组重矿物特征与物源分析[J].岩石学报,2013,29(8):2867-2875.
- [8] 邱旭明.苏北盆地高邮凹陷油气输导特征及油气分布[J].石油与天然气地质,2008,29(4):437-443.
- [9] 方志雄.潜江凹陷隐蔽油藏成藏主控因素及勘探方向[J].石油与天然气地质,2006,27(6):804-812.

(编辑 刘义梅)

(上接第24页)

- [10] LI W, Yue D, WANG W, et al. Fusing multiple frequency-decomposed seismic attributes with machine learning for thickness prediction and sedimentary facies interpretation in fluvial reservoirs [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2019, 77: 1087-1102.
- [11] 蔡义峰,熊婷,姚卫江,等.地震多属性分析技术在薄层砂体预测中的应用[J].石油地球物理勘探,2017,52(Z2):140-145.
- [12] JOHNSON L J, Padgett M L. PCNN models and

applications [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1999, 10(3):480-498.

- [13] 李全忠,彭真明,周晶晶,等.基于脉冲耦合神经网络的地震多属性融合方法[J].石油地球物理勘探,2014,49(2):316-320.
- [14] 张宏兵,杨长春.正则参数控制下的波阻抗约束反演[J].地球物理学报,2003,46(6):827-834.
- [15] 高君,毕建军,赵海山,等.地震波形指示反演薄储层预测技术及其应用[J].地球物理学进展,2017,32(1):142-145.

(编辑 刘义梅)