

doi: 10.11720/wtyht.2017.1.02

石亚兰,贾曙光,郑求根,等.叠前同时反演在浅层疏松砂岩储层预测中的应用[J].物探与化探,2017,41(1):9-15.http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.1.02

Shi Y L, Jia S G, Zheng Q G, et al. The application of prestack simultaneous inversion to shallow unconsolidated sandstone reservoir prediction[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(1): 9-15. http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.1.02

叠前同时反演在浅层疏松砂岩储层预测中的应用

石亚兰¹, 贾曙光², 郑求根¹, 李俊威¹, 薛明喜¹

(1. 中国地质大学(北京) 海洋学院, 北京 100083; 2. 金海能达科技有限公司, 北京 100085)

摘 要: L 盆地茨营组广泛发育扇三角洲沉积体系的陆相断陷弧盆沉积, 储集层埋藏浅, 成因复杂, 具有高孔中渗或高孔低渗特征, 是典型的浅层疏松砂岩储层。储层横向变化较大, 非均质性较强, 通过传统反演获取的结果, 难以反映岩性特征, 弹性阻抗和 AVO 技术无法对其进一步深度刻画。因此运用叠前同时反演技术对该区浅层疏松砂岩储层进行预测, 结果发现有利储层预测趋势与井上吻合较好, 能有效预测含气砂体的分布范围, 具有良好的应用效果。

关键词: 叠前同时反演; 浅层; 疏松砂岩; 储层预测

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2017)01-0009-07

0 引言

L 盆地为一新生代东断西超近南北向的箕状断陷盆地。L 盆地呈北北东走向, 盆地内地势平坦, 南宽北窄, 平均海拔 1 830 m^[1-2]。L 盆地可划分为东部断阶带、中部凹陷带、西部斜坡带和北部斜坡带四个次级构造单元。研究区储集相带较为复杂, 主要为深湖—半深湖, 滨浅湖, 三角洲, 浊流等^[1]。其基底为泥盆系或石炭系或二叠系, 上覆新近系地层。新近系划分为茨营组, 细分为四段: 茨一段, 茨二段, 茨三段和茨四段。

根据《GBn270-88 天然气储量规范》将埋深小于 1 500 m 的气藏称为浅层气藏, 本研究区目的层主要在 500~800 m 之间, 属于浅层储层。研究区岩石的成岩作用主要表现为早期成岩作用, 如早期溶蚀, 由于成岩作用较弱, 岩石成岩性差, 固结程度较低, 土质比较疏松。该区储层岩石孔隙类型以粒间孔为主, 次为泥质杂基微孔隙。其孔隙度较高, 为 21.46%~42.9%, 渗透率变化范围较大, 在 (0.79~1 186)×10⁻³ μm² 之间, 一般小于 100×10⁻³ μm², 储层大多属于高孔中渗储层, 少量为高孔高渗或高孔

低渗型储层。

该区疏松砂岩储层, 横向变化快, 非均质性较强。相较于弹性阻抗和 AVO 技术, 叠前同时反演采用部分角度叠加技术, 大幅度地减少反演结果中的噪声及弹性阻抗的多解性^[3-4], 同时与岩石弹性参数(纵波速度、横波速度和密度)相结合能更好地反映岩性特征。

1 叠前同时反演关键技术

叠前同时反演是利用多个部分角度叠加数据来反演纵波速度、横波速度和密度这三个基本参数, 利用这三个基本参数, 得到多个弹性参数。综合利用这些弹性参数, 进行储层预测^[5-7]。本次研究综合利用 L 盆地的地质、地震以及测井资料, 制定了叠前同时反演研究技术流程(图 1)。

1.1 叠前道集优化处理及叠加

地震资料的真实性和准确性直接影响弹性反演的结果及储层预测的精度, 对叠前时间偏移道集的处理, 需要严格的保振幅和保 AVO 特征^[8]。为了进行可靠的 AVO 分析, 让叠前同时反演获得良好的反演结果, 本次研究对道集资料进行了噪声压制、道集

收稿日期: 2016-07-04; 修回日期: 2016-12-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(J2145701)

作者简介: 石亚兰(1992-), 女, 中国地质大学(北京)石油与天然气工程硕士研究生。Email: shiyl09@foxmail.com

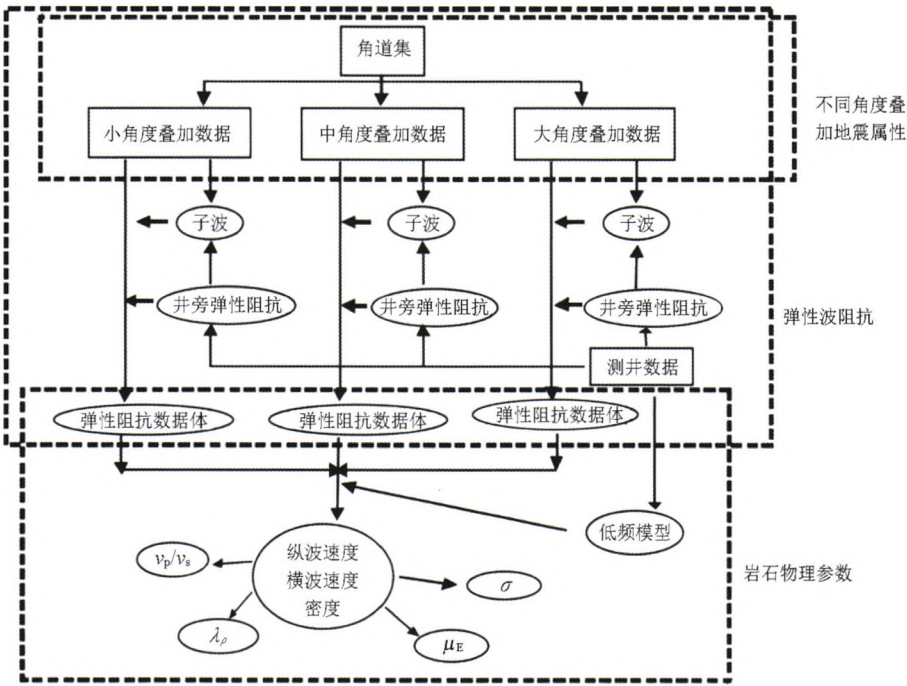


图 1 叠前同时反演技术流程

拉平处理,降低了噪声干扰,有效提高了信噪比,提高了道集资料的质量^[9],为后续的叠前同时反演提供了坚实的基础。

叠前同时反演需要高信噪比的多个部分叠加数据体作为输入,因此必须对研究区内的道集选择合理的部分叠加方案进行叠加处理。为了保持反演结果的稳定性和较高的信噪比,一般至少需要 3~5 个角道集叠加剖面作为输入数据^[10]。本次研究采用分偏移距进行部分叠加,分三个部分叠加体:Stack1

(近道叠加,偏移距范围为 90~330 m)、Stack2(中道叠加,偏移距范围为 330~570 m)和 Stack3(远道叠加,偏移距范围为 570~810 m)。对比各部分叠加体可以发现,近偏移距的地震数据振幅能量较弱,远偏移距的地震数据振幅能量较强(图 2)。

1.2 岩石物理建模与横波估算

岩石物理建模主要用于正演纵横波速度、密度等关键弹性参数,为后续储层预测奠定基础。岩石物理模型分析通过将测井分析与用于地震属性分析

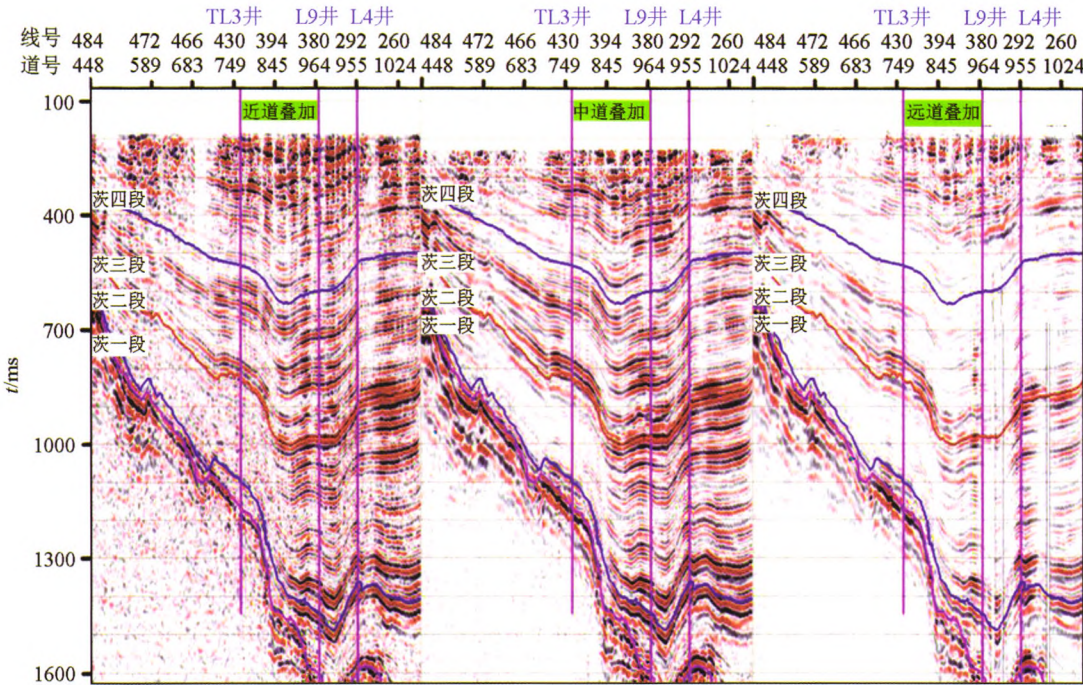
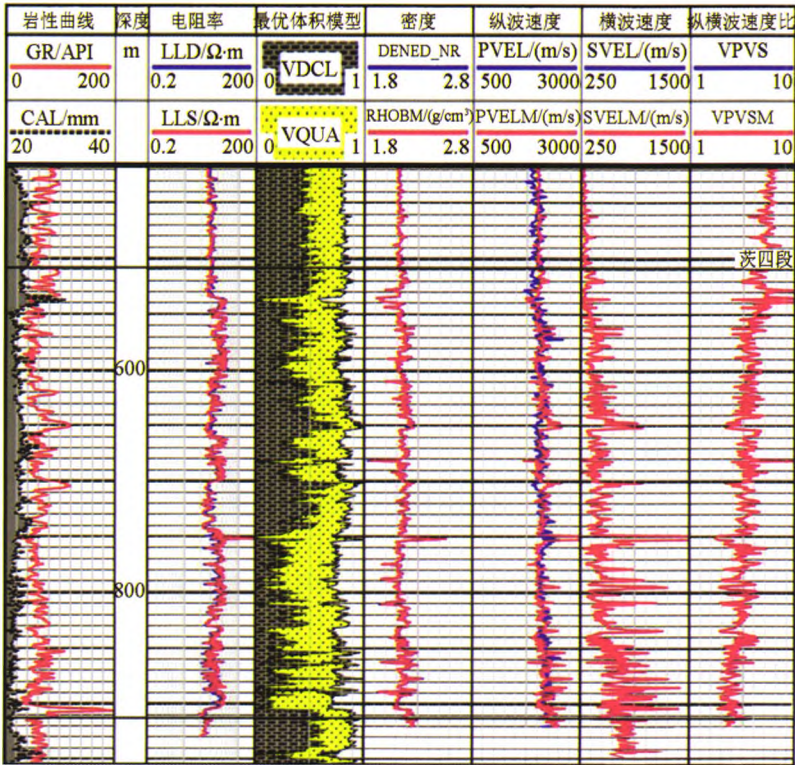


图 2 分偏移距叠加数据体

的岩石弹性物理建模方法相结合,输入由测井处理分析得到的岩石基础信息,获得有效的岩石弹性属性参数,进行纵横波速度的建模,模拟出实际储层条件下的弹性测井曲线^[11-12]。同时对测井结果进行质量监控,校正失真的测井曲线。

图 3 为根据岩石物理建模流程和先前解释得到的岩石物理体积模型,对目标井进行了正演计算后得到的正演弹性曲线与实测曲线对比图。结果对比发现纵波模拟曲线与实测纵波曲线的关联性很高,说明了正演模型和正演结果的可靠性。



GR: 自然伽马; CAL: 井径; LLD: 深侧向电阻率; LLS: 浅侧向电阻率; VDCI: 黏土体积含量; VQUA: 石英体积含量; DENED_NR: 实测密度曲线; RHOBM: 模拟密度曲线; PVEL: 实测纵波速度; PVELM: 模拟纵波速度; SVEL: 实测横波速度; SVELM: 模拟横波速度; VPVS: 实测纵横波速度比; VPVSM: 模拟纵横波速度比

图 3 L15 井岩石物理模型正演成果剖面

横波资料在储层预测中起着非常重要的作用。纵横波资料和密度参数相结合,可以计算出岩石的各种弹性参数,从而更好地反映地层岩石性质和流体特征,减少单纯依靠地震纵波预测储层的多解性。在分析过程中,由于缺少横波实测资料,因此估算横波速度是这次叠前同时反演的关键环节之一。

在测井环境校正基础上,提高井震匹配度,选择岩石物理横波测井曲线方法估算横波,并在计算过程中进行质量控制,确定最佳方案。由于本研究区目的层岩性属于高孔隙度的砂泥岩,所以利用 Cemented 模型、MudRock 模型、Unconsolidated 模型、CriticalPhi 模型 4 种岩石物理分析模型进行横波预测^[13-14]。四种方法预测的横波变化规律一致。

1.3 子波提取

子波提取极大地影响了反演的可靠性和合理性。本次研究,针对 3 个不同的部分角度叠加数据体,从测井曲线的纵横波速度和密度出发,利用 Zo-

eppritz 方程,分别求取其对应角度的测井反射系数^[12,15]。根据测井曲线的反射系数计算的合成记录与地震记录的相关系数最大原则,来优化地震子波的参数,提取其对应的地震子波。

提取的三个部分角度叠加体的综合子波如图 4,提取的地震子波能量应与地震数据能量对应。小角度叠加体对应的地震子波能量最弱,中角度叠加体对应的子波能量最强,大角度叠加体对应的地震子波居中。随着偏移距的增加,AVO 响应增强。

1.4 叠前同时反演应用

本次研究以叠前同时反演技术为核心,利用小、中、大这 3 个角度范围的地震叠加数据体,通过物理建模、横波估测、子波提取等关键技术,在低频模型约束下,完成纵横波的联合反演,得到纵波、横波、纵横波速度比及密度,进而根据它们与岩石弹性参数之间的理论关系得到纵横波阻抗、泊松比、剪切模量、拉梅系数等多种弹性参数数据体。综合利用这

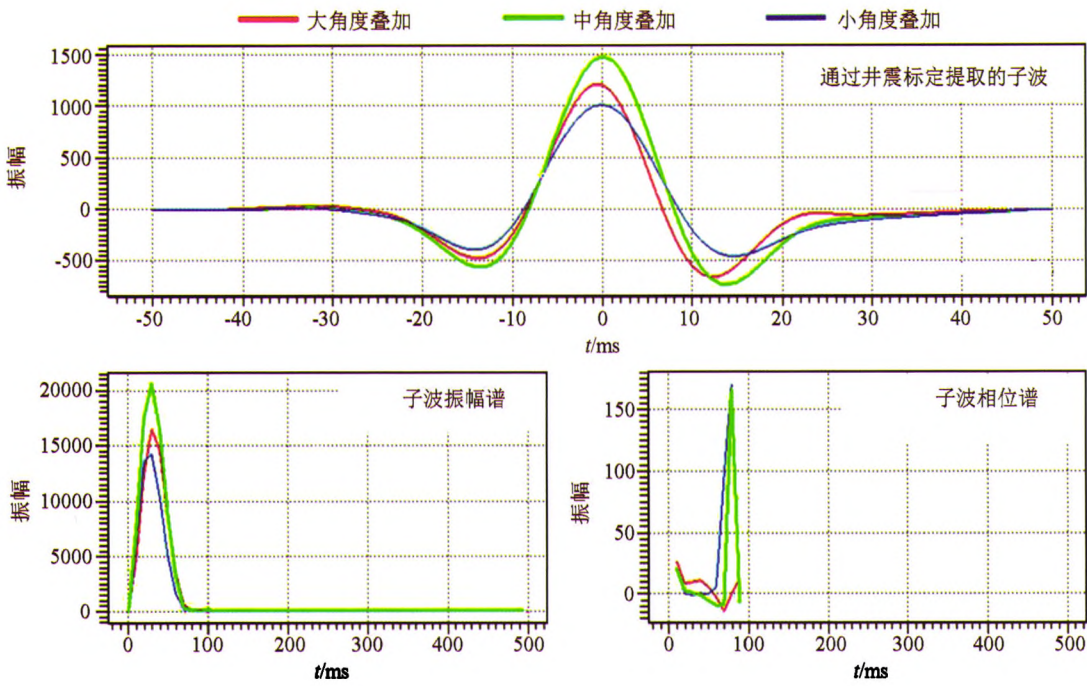


图 4 三个角度叠加提取的子波

些弹性参数,刻画有利砂体分布。

在进行叠前同时反演时,为了保证反演效果,在反演过程中需要采取多种叠前反演质量控制手段,包括反演参数优选、检验井试验。从而保证参数选择的合理性、反演过程的稳定性和有效性,以及反演结果的可靠性。通过每个环节的严格质控,反演得到纵波阻抗、横波阻抗、纵横波速度比等弹性参数(图 5)。并抽取关键井对反演结果进行质控,提取过井反演的纵波阻抗、横波阻抗及纵横波速度比。从图 6、7 可以看出反演结果的纵波阻抗及纵横波速度比与井的一致性较好,说明反演结果是可靠的。

2 有效储层预测

针对研究区内储层特点,对叠前同时反演结果进行岩相与流体概率体分析^[16]。本次岩相流体概率分析采用分区块解释分析的方法进行岩性解释,在不同构造带采用不同的概率密度函数,从而消除由于埋深变化,岩石物理差异等造成的解释的不确定性。以中央凹陷 L9 井区为例通过对比该井区各井的岩石物理特征结合本区构造特征,进行概率函数分析,从而得到更为贴近事实的地震反演结果,图 8 为 L9 井区概率密度函数。

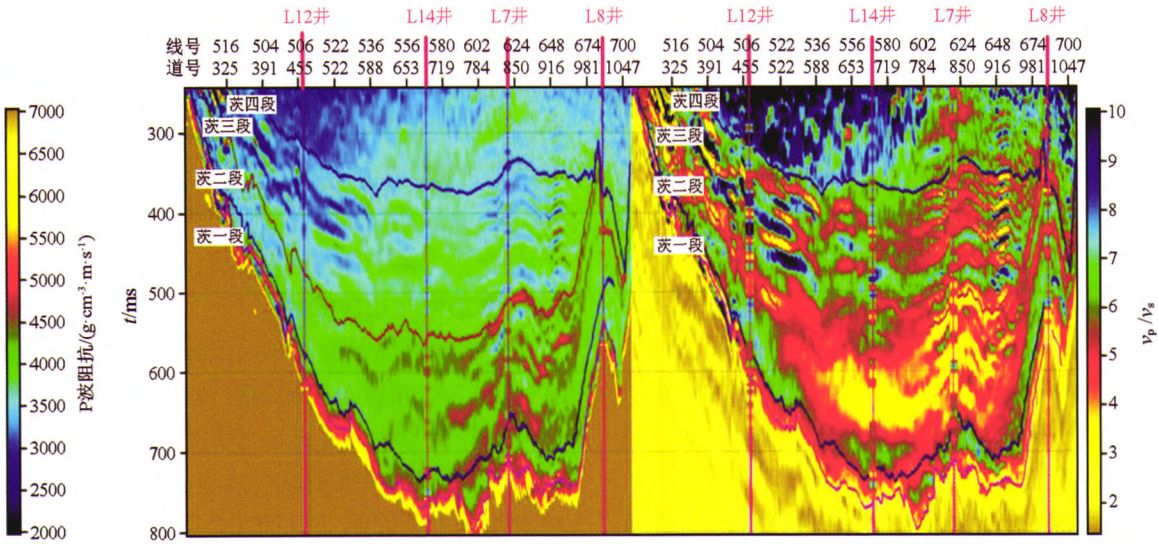


图 5 过井反演纵波阻抗及纵横波速度比

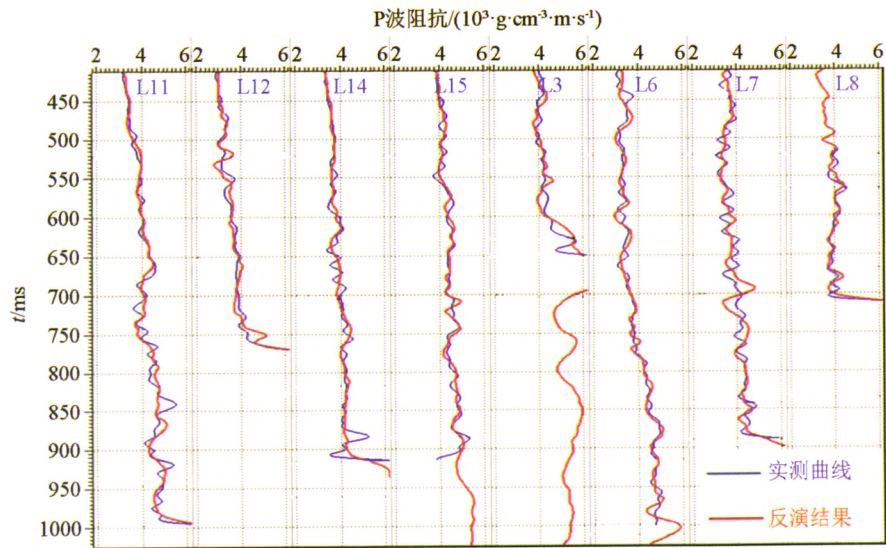


图 6 纵波阻抗反演结果质控

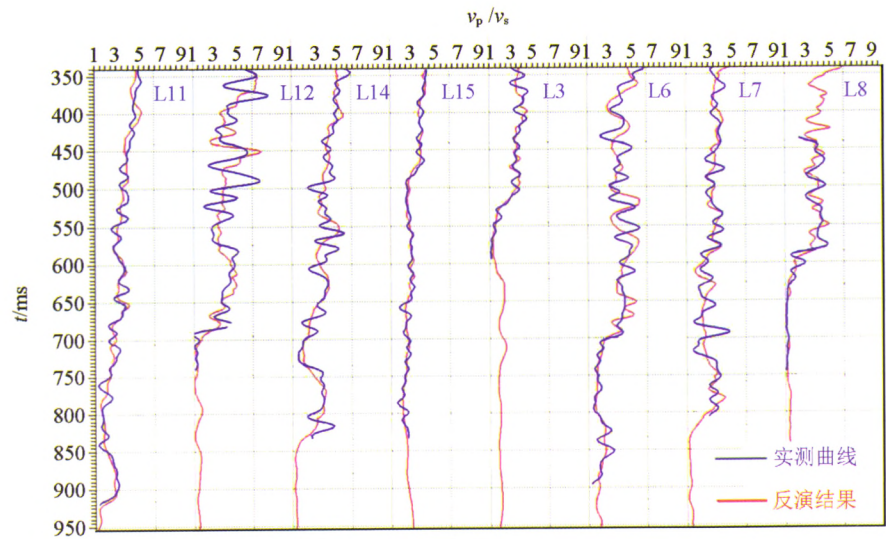


图 7 纵横波速度比反演结果质控

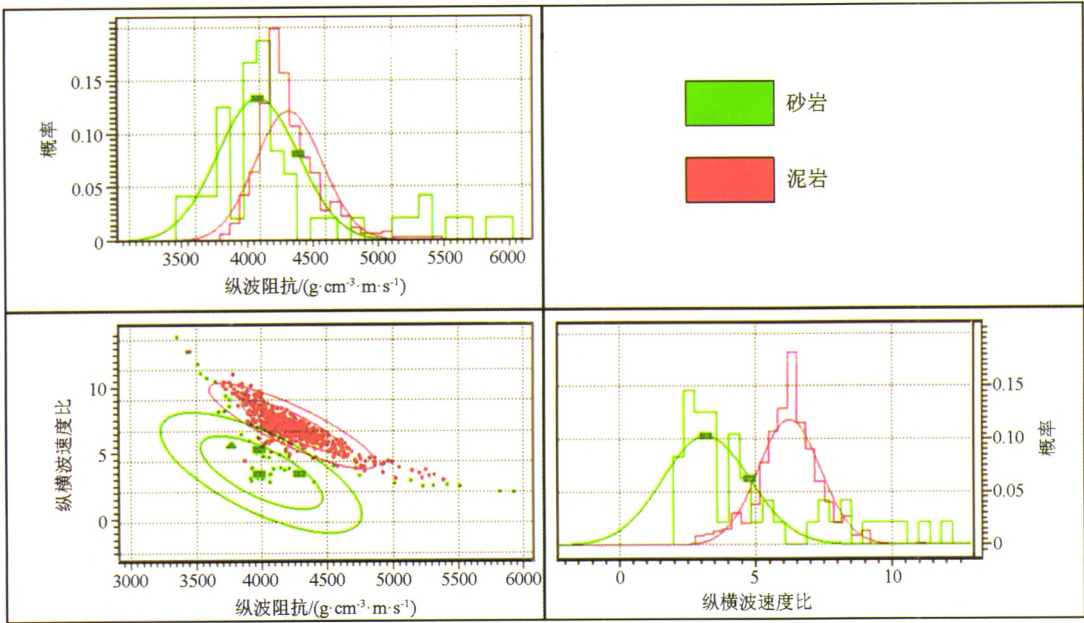


图 8 L9 井区概率密度函数

从上图可以发现,L9 井区含气砂岩具有中等纵波阻抗、低 v_p/v_s 的特征,其纵波阻抗范围:9 000~13 000 (g/cm^3) · (m/s), v_p/v_s 范围:1.57~1.70。泥岩纵波阻抗与砂岩储层几乎完全叠置,但 v_p/v_s 泥岩比砂岩储层高,联合纵波阻抗与 v_p/v_s 能识别出砂岩储层的有利发育区。

将该区的岩相流体概率函数应用于叠前同时反演得到的弹性数据体,最终得到了基于确定性反演结果的泥岩和砂岩的概率分布,同时通过对各种岩性的概率分布综合比较,得到基于弹性参数体技术的砂岩储层的概率剖面(图 9)。

根据反演结果预测,L9 井区分为上下两个产气层段,上气层最大砂体厚度为 7 m,砂体在 L9 井西南部及 TL3 井东部较厚,从两个厚度较大中心点向四周减薄。下气层砂体厚度在 0~6 m 之间,砂体沉积厚度不均,在 L9 井区西部沉积厚度较大,最大厚度可达 6 m(图 10)。针对该区 2 套产气层,钻探 Z 井和 TL3 井,Z 井钻遇了预测的两个主要气层,而 TL3 井实钻上气层顶面构造埋深结果与 L9 井相当,比 L9 井高不到 1 m,单层钻遇厚度最大为 7.5 m,最薄为 1.1 m,准确率达 93.3%。可见储层预测结果与实钻结果吻合较好,达到了预期效果。

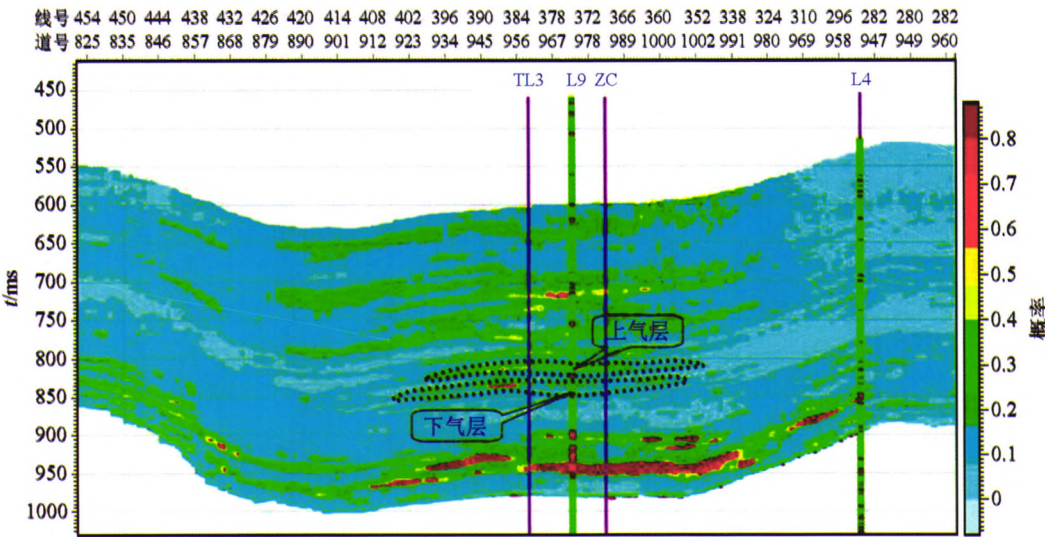


图 9 过 L9 井茨三段砂岩概率剖面

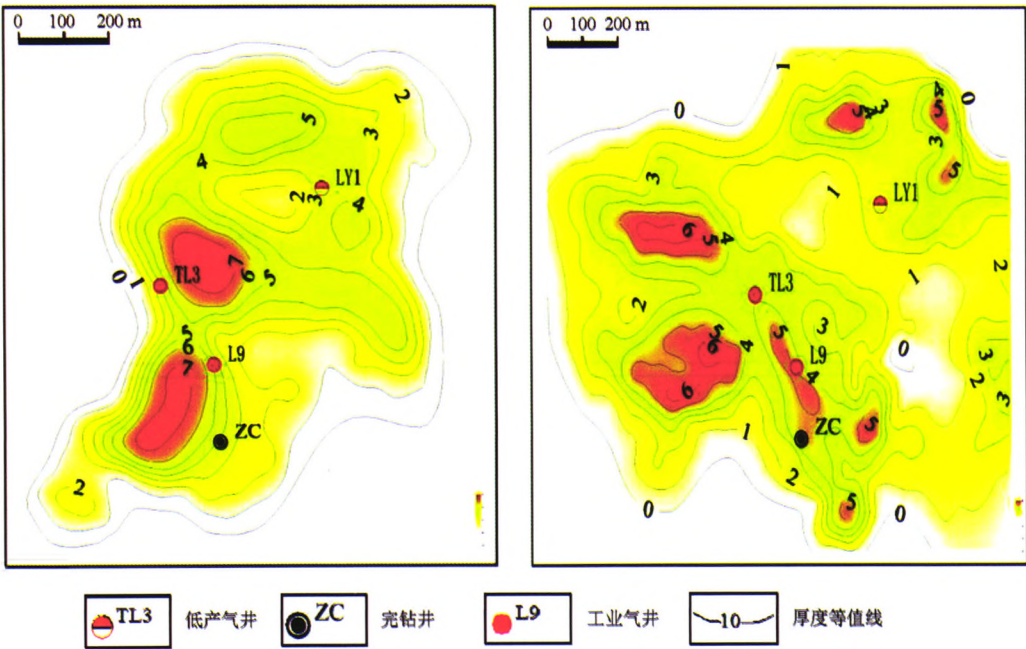


图 10 L9 井区上气层砂体厚度等值线分布(左)和下气层砂体厚度等值线分布(右)

3 结论

1) 本次研究目标主要为浅层的疏松砂岩储层,利用叠前同时反演技术得到的预测结果与井上划分结果基本吻合,因此,叠前同时反演在疏松砂岩储层进行有利砂体预测是可行的。

2) 运用叠前同时反演技术能有效得到真实的岩石弹性参数,减少了储层预测的多解性,岩石弹性参数(纵波速度、横波速度和密度)间的结合更好地反映了岩性特征。

3) 在叠前同时反演的基础上,利用岩相与流体概率体分析技术进行解释,得到地震分辨率下的岩性概率体和有利储层概率体,有效克服了传统解释过程中描述岩石物性转换时传递的不确定性及其空间变化。

参考文献:

- [1] 胡雅杰,陆良盆地茨营组沉积相和气藏特征分析[D].北京:中国地质大学(北京),2012.
- [2] 张德林.大嘴子气藏“平点”的倾斜产状与成因[J].石油地球物理勘探,2000,35(5):608-616.
- [3] 郎晓玲,彭仕宓,康洪全.叠前同时反演方法在流体识别中的应用[J].石油物探,2010,49(2):164-169.
- [4] 苏世龙,贺振华,王九拴.利用叠前弹性参数同时反演预测储层的含油气性[J].物探与化探,2013,37(6):1008-1013.
- [5] 方中于,朱江梅,李勇,等.叠前地震同步反演方法及应用[J].成都理工大学学报:自然科学版,2014,41(2):152-156.
- [6] 张倩,潘仁芳,王湘君,等.叠前同步反演在港中油田的应用[J].长江大学学报:自科版,2014,11(2):92-95.
- [7] 王保丽.储层弹性参数叠前反演方法研究[D].东营:中国石油大学(华东),2009.
- [8] 殷文.叠前地震反演关键技术及影响因素分析研究[J].地球物理学进展,2013,28(6):2958-2968.
- [9] 鲍熙杰.叠前 AVA 同时反演的道集优化处理及应用效果[J].断块油气田,2013,10(3):282-285.
- [10] 强敏,周义军,钟艳.基于部分叠加数据的叠前同时反演技术的应用[J].石油地球物理勘探,2010,45(6):895-898.
- [11] 张世鑫,印兴耀,孔国英,等.基于岩石物理模型的最优化 AVO 三参数同步反演方法[J].中国海上油气,2010,22(5):300-304.
- [12] 郭媛.叠前地震属性分析在 X5 区储层预测中的应用[D].西安:西安科技大学,2013.
- [13] 王贤,李文捷,贺陆明,等.横波估算质量控制方法[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2011,33(9):87-91.
- [14] 陈昌.叠前储层预测技术在清水地区致密砂岩油气勘探中的应用[J].化学工程与装备,2014(3):104-106.
- [15] 黄新平.叠前地震反演方法综述[J].内蒙古石油化工,2009(14):49-50.
- [16] 蔡克汉,张盟勃,高改,等.基于叠前反演的储层预测技术在陕北黄土塬白云岩气藏的应用[J].物探与化探,2014,38(6):1164-1171.

The application of prestack simultaneous inversion to shallow unconsolidated sandstone reservoir prediction

SHI Ya-Lan¹, JIA Shu-Guang², ZHENG Qiu-Gen¹, LI Jun-Wei¹, XUE Ming-Xi¹

(1. School of Ocean Sciences, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Jinhainengda Technology Co., Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: Ciyang Formation in L Basin, which has the shallow layer, is characterized by shallow bury and complex geological origin. As the reservoir in Ciyang Formation has high porosity and moderate permeability or high porosity and low permeability, it is a typical unconsolidated sandstone reservoir. With its rapid lateral variation and strong anisotropism, it's very difficult for elastic impedance and AVO techniques to make further distinction. In view of such a situation, the authors took advantage of prestack simultaneous inversion to make a prediction of shallow unconsolidated sandstone reservoirs. Based on seismic data, logging information and rock physics information, the authors applied prestack simultaneous inversion to finally get several elastic parameters such as P-impedance, S-impedance, and density. With these attribute parameters, the reservoirs can be easily and effectively predicted.

Key words: prestack simultaneous inversion; shallow layer; unconsolidated sandstone; reservoir prediction

(本文编辑:叶佩)