

地震波形指示反演在深层储层预测中的应用 ——以 L64 井区湖底扇预测为例

王 海

(中国石化胜利油田鲁明油气勘探开发有限公司, 山东 东营 257000)

摘要:地震波形指示反演的算法核心是在反演过程中用地震数据体高频段的波形信息代替变差函数,使得整个反演流程及结果体现出“相控”的概念,最终能够有效提升储层预测的纵向分辨率及横向精度。L64 井区发育沙河街组纯上段埋深大于 3 700 m 的湖底扇体,受深度影响,研究区井数少、砂泥岩波阻抗重合,储层描述难度大。通过尝试使用地震波形指示反演,并在反演过程中增加井曲线优选及曲线重构技术,对 L64 井区扇体进行精细刻画,结果表明:地震波形指示反演对 L64 湖底扇体形态、规模及演化规律刻画良好,有力证实了该反演方法在深储层预测,特别是在深储层纵、横向分辨率提升上的技术优势。

关键词:波形指示反演;深储层;湖底扇;纵横向分辨率;地层切片

中图分类号:P631 文献标志码:A

Application of seismic waveform indication inversion in deep reservoir prediction: taking a sublacustrine fan in L64 well area as an example

WANG Hai

(Shengli Oilfield Luming Oil and Gas Exploration and Development Co., Ltd., Dongying 257000, China)

Abstract: The core of the algorithm for seismic waveform indication inversion is to replace the variational function with the waveform information of the high-frequency segment of the seismic data during the inversion process, so that the entire inversion process and results reflect the concept of “phase control”, and can ultimately improve the longitudinal resolution and lateral accuracy of reservoir prediction effectively. In the L64 well area, a lake bottom fan with a burial depth of more than 3700 m in the upper pure section of the Shahejie Formation is developed. Due to the depth, the number of wells in the study area is small, the sand and mudstone wave impedances overlap, and the reservoir description is difficult. By trying to use seismic waveforms to indicate inversion, and adding well curve optimization and curve reconstruction techniques during the inversion process, the fan body in the L64 well area is finely characterized. The results show that the seismic waveform indication inversion has a good description of the shape, scale, and evolution of the L64 lake bottom fan body, which strongly confirms the technological advantages of this inversion method in deep reservoir prediction, especially in the improvement of the vertical and horizontal resolution of deep reservoirs.

Key words: gas chromatography; composition of the crude oil; reservoir simulation; GPA 2186

随着油田勘探工作的不断深入,深层油气勘探增储能力逐步提升,储层描述技术也不断完善,但深层储层受到埋深大的影响存在地震资料品质差,砂泥岩压实作用大速度不易区分等问题,这些都导致储层“定性”、“定量”预测难度增大。目前深储层描述的地球物理手段主要归为叠前、叠后两类。钟俊义通过对均方根振幅、最大频率等地震属性提取及优选,对安棚深储层进行了定性描述,取得了良好的储层预测效果^[1];李宗杰、张会卿、周宗良等通

过叠后地震资料拓频处理,进行属性分析及地质统计学随机反演,对反演数据体进行砂体展布刻画,取得良好应用效果^[2-4];叶泰然利用多波勘探优势,

收稿日期:2019-09-12;改回日期:2020-02-24。

作者简介:王海(1985—),硕士,工程师,主要从事地震储层预测新技术探索及应用工作。E-mail:kingsea686@163.com。

基金项目:胜利油田科技攻关项目“曲堤油田隐蔽油气藏精细勘探技术研究”(YKK1918)资助。

开展纵波及转换横波联合反演,首选开展岩石物理参数敏感性研究,进而优选泊松比、纵波阻抗参数可以识别目标砂体,最终得到泊松比和纵波阻抗反演体^[5];李爱山、高刚、刘建辉等通过叠前多参数优选并反演目标储层,取得相比较叠后反演更优的储层描述结果^[6-8]。

地震属性提取、聚类分析等是储层预测主要的“定性手段”,但是由于没有实钻井参与计算,无法对储层进行“定量”描述;多波多分量联合反演技术受限于采集工区少的影响,目前多为实验性研究;叠前反演技术由于有了横波资料相比较叠后反演在地震信息上更丰富,但叠前反演对地震道集质量、反演算法要求高,实现难度大;稀疏脉冲反演、地质统计学反演等叠后反演技术往往不能够很好的对深层储层进行识别^[9]。相比上述技术,地震波形指示反演是近年来发展起来的一种地震反演技术,算法核心是将地震数据体高频段的波形信息代替变差函数,这样使得反演流程及结果体现出“相控”的概念,较常规叠后随机反演能够有效提升储层预测的纵向分辨率及横向精度。当前地震波形指示反演在薄储层预测得到了广泛的应用,取得了相比较常规反演更好的效果^[10-13],但在深层薄储层预测应用相对较少^[14]。本文尝试对L64井区深层湖底扇进行地震波形指示反演应用,并且通过增加井曲线优选及曲线重构技术,在扇体形态、规模及演化规律上都取得了良好的反演预测效果,证实了该反演方法在深储层预测,特别是在深储层纵、横向分辨率提升上的技术优势。

1 深层储层标准定义

受到目标储层层系不同、地温梯度不同等多因素影响,国内对深储层没有统一定义标准。

按照东西部区域划分,中国油气勘探将东部地区埋深3 500~4 500 m定义为深层,大于4 500 m为超深层,西部地区将埋深4 500~6 000 m定义为深层,大于6 000 m定义为超深层;石油行业标准DZ/T 0217-2005《石油天然气储量计算规范》对东西部深层的划分统一为3 500~4 500 m,大于4 500 m均称之为超深层^[15]。本文技术方法实验区域位于济阳拗陷东营凹陷,参照中国石油勘探对东部地区深层定义以及行业标准对深层的定义,L64井区目的层埋深大于3 700 m,属于深层储层。

2 波形指示反演原理及优势

地震波形指示反演算法基础是地震波的波形信息,整个反演是一个反射系数寻优组合的过程,相比较传统地质统计学反演,该算法在纵向厚度薄、横向变化快、非均质性强储层预测上更有优势。算法理论基础是地震数据体在空间上密集分布的结构化数据体,反映的是地下沉积特征和岩性组合特征的空间变化。算法的理论核心是借助不同地震道地震波形信息相似性优选出井样本,按照样本空间分布距离和井曲线特征建立地质模型,这一过程取代传统地质统计学反演算法中的变差函数分析空间变异结构,同时对地震体高频部分进行无偏最优估计。地震波形指示反演结果在空间受到地震相的约束使得平面上更符合地质沉积规律,很好的体现出“相控”的思想。(图1)。

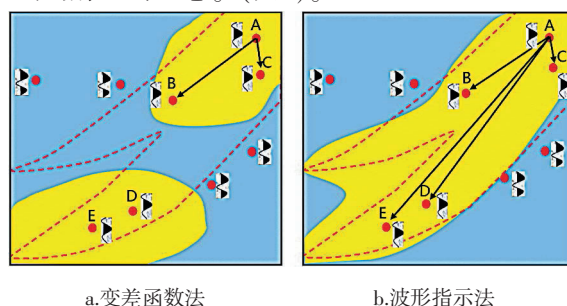


图1 样本统计示意

深储层预测往往存在如下问题:受到压实埋深影响,砂泥速度接近,波阻抗差异小;深层地震资料信噪比低、纵向分辨率低,无法满足深层尤其是深层薄储层预测精度要求;深储层往往实钻井数少,分布零散,不易开展精确的储层反演。

地震波形指示反演技术优势可以很好应用在深储层:由于用地震信息对井信息进行高频模拟,最大程度上提高了反演结果的信噪比;在地震高频段使用波形信息代替传统地质统计学反演里的变差函数,使得目标储层在提高纵向分辨率的同时,在横向分辨率上也得到了很好的提升,这样就对平面地质沉积规律吻合度更高;反演算法对井位分布位置无要求,增加了反演目标的适用面。

3 深层湖底扇反演实例

3.1 工区概况

L64区块处于济阳拗陷东营凹陷的东部,属于东营凹陷的一个次级构造单元——青南洼陷,区块东部为青东凹陷,西部为牛庄洼陷,北部为青坨子

凸起,南临广饶凸起。该区L64井目的层沙四上纯上6段,试油3 789~3 798 m,获油5.2 t/d,综合含水22.9%。目的层岩性主要为深灰色泥岩及白云质泥岩、灰色白云质粉砂岩、褐色细砂岩,砂岩类型为岩屑长石砂岩,分选中等,可见泥砾、重荷模、冲刷面,反递变,分析该段为深水浊积扇沉积(图2)。结合该区地质特点,开展储层预测存在以下三个难点:一是储层埋深大导致砂泥岩受到压实作用速度差异

小,波阻抗不易区分;二是目标储层厚度薄,地震资料纵向分辨率低(目的层主频23 Hz,纵向分辨率40 m)不能直接识别10 m目标储层;三是湖底扇体存在由湖底向湖岸厚度减薄特点,精确反演储层平面厚度变化难度大。为更好的“定性”、“定量”识别扇体,借助地震波形指示反演技术在储层纵向及横向识别能力强的算法优势,在该区尝试对深薄湖底扇储层进行预测。

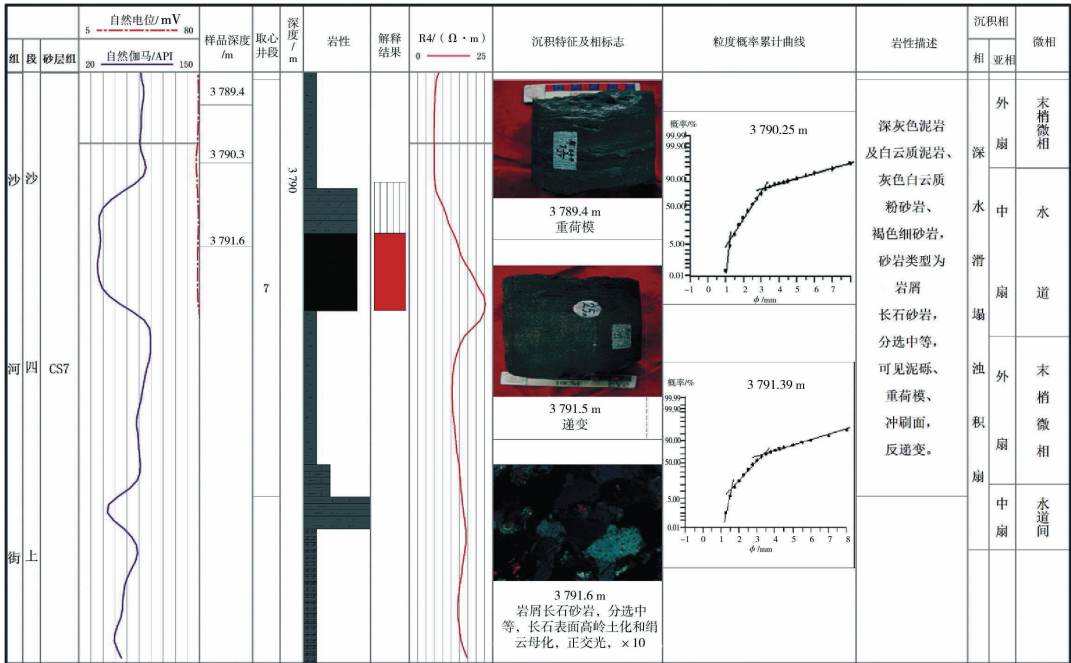


图2 L64井单井相分析综合柱状图

3.2 L64井区波形指示反演可行性分析

波形指示反演精度往往取决于地震资料品质、参与运算井数、岩石物理基础等。L64井区存在以下两个问题:L64井区只有一口探井,无法满足反演对井数及井的分布尽可能分布在多个不同沉积相带的要求;L64井及周边井砂泥岩波阻抗不易区分。下步需要开展井样本点优选及波阻抗曲线重构。

3.2.1 井样本点优选

通过岩心观察,L64井区发育深层湖底扇,其东部L87井区发育近岸水下扇,西部L78井区同样发育近岸水下扇。为更好的刻画L64井区湖底扇体展布,同时补充L64井区井少的问题,反演过程中在工区东西两侧各选取了5口井参与运算,保证了足够井数,也保证了多沉积相带均有井参与,提高了反演的精确程度。

3.2.2 波阻抗曲线重构

通过岩石物理分析,L64井区深层湖底扇受埋深大影响,砂泥岩储层在压实作用下速度差异变

小,波阻抗不易区分,为提高反演结果对深储层识别精度,需对该区首先进行曲线重构。自然电位、自然伽马等曲线虽然和地震资料没有直接对应关系,但是却能很好反映地层的岩性。将这些曲线与速度类曲线进行重构反演,相当于在反演中加入了地质先验信息的控制,能够达到更有效“定量”识别储层的目的^[16]。

L64井区测井曲线重构低频信息由纵波阻抗获取,高频信息由对砂泥岩储层识别敏感的自然电位曲线获取。根据该区地震资料品质特征,地震最大有效频率设定为60 Hz,即60 Hz以下由纵波阻抗提供信息,60 Hz以上由自然电位提供信息。这样最终得到的重构曲线既能反映地层的速度变化,又能反映岩性的细微差别。图3为重构前后目的层段波阻抗分布直方图,重构前砂岩波阻抗高值,泥岩低值,但重合面积大,最终可导致反演结果不能很好区分砂泥岩;重构后波阻抗对砂泥岩区分相对明显,更

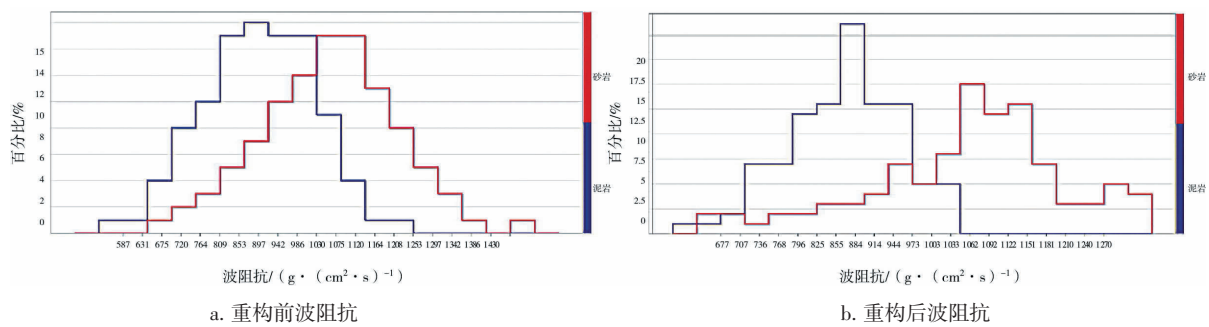


图3 L64井区波阻抗及重构波阻抗直方图

3.3 反演效果分析

通过对全区参与反演井进行重构波阻抗直方图综合分析,反演砂泥岩门槛值为 $1\,003\text{ g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})$ 。由于重构曲线对砂泥岩区分仍存在重合区域,对反演门槛值附近选取渐变过渡色,反演结果大于 $1\,003\text{ g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})$ 为砂岩储层为主,低于 $1\,003\text{ g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})$ 则为泥岩为主。图4所示过L64井-L871井近西东向地震波形指示反演剖面,井旁曲线为自然电位曲线,通过反演剖面可以得出:在L64与L871井之间沙四上纯上6段发育上下两套储层,下边一套为L64井出油砂体,同时反演得到的两套储层均呈现出在构造最深处砂体最厚,向周缘逐渐减薄趋势。图5为近东西向地质统计学反演剖面,采用与波形指示反演相同色标、相同软件显示,可以发现其纵向分辨率相对较低,同时由于参数设定追求纵向高分辨率,在L871井东部出现了横向储层预测的间断失真。两组地震反演剖面一定程度上表明了地震波形指示反演在深薄储层预测上的优势。

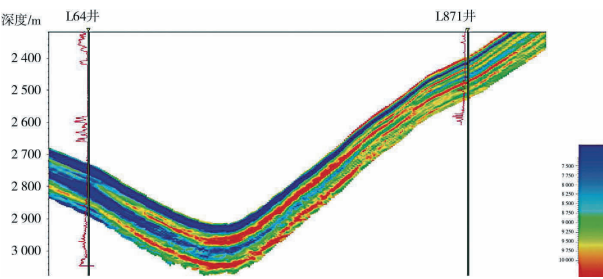


图4 过L64井-L871井近西东向波形指示反演剖面

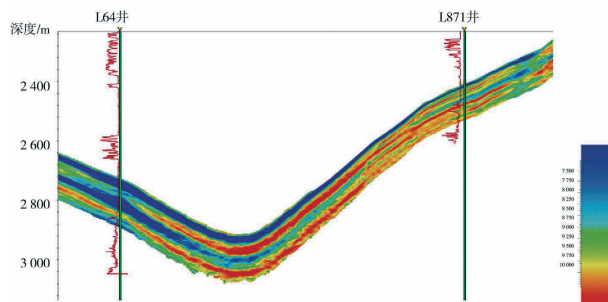


图5 过L64井-L871井近西东向地质统计学反演剖面

为更好识别反演体平面效果,将反演得到的两套砂体自下至上进行地层切片。图6为图7中不同切片纵向所在位置示意图。通过切片(图7)可以得出:L64井区发育湖底扇,切片得到的扇体平面从无到有的演化符合地质沉积规律。通过反演剖面及反演切片综合分析得出以下结论:L64井东部沙四上纯

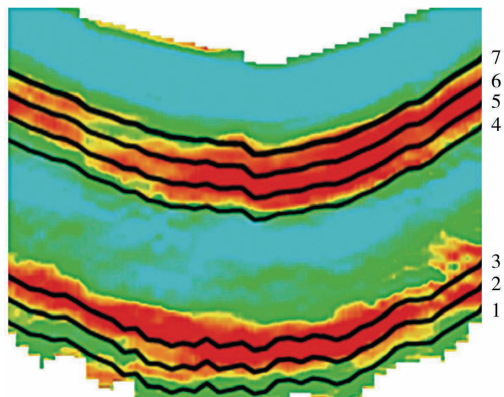


图6 波形指示反演体地层切片位置示意

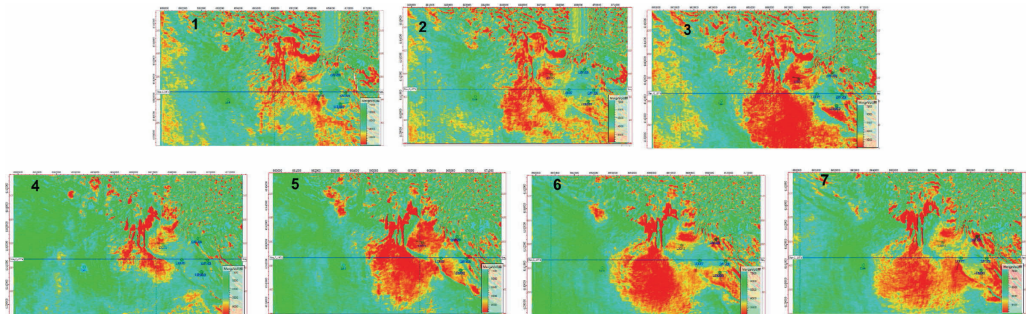


图7 反演L64井出油砂体自下至上地层切片

上6段存在两套由北部隆起滑塌入湖形成的扇体,其滑塌沟道及扇体形态特征清晰,扇体发育演化符合沉积规律,为有利井位论证部署区带;L64井区深层薄湖底扇体的预测表明地震波形指示反演基于自身算法的优势可以很好的对深层、薄层储层进行预测。

4 结论

通过地震波形指示反演技术在L64井区深薄湖底扇体预测中的应用,得到以下认识:

(1)地震波形指示反演将地震波形信息代替传统地质统计学反演中的变差函数在地震高频段进行反演计算,很好的体现了“沉积相控”概念,是一种新的针对储层厚度小、横向变化快、非均质性强的井震结合反演方法,对深、薄储层预测存在技术优势。

(2)深层目标受埋深大影响,砂泥岩在压实作用下速度差异变小,波阻抗不易区分,导致地震波阻抗反演结果不能很好反映储层岩性,可将自然电位、伽马等岩性敏感曲线与速度类曲线进行重构地震波形指示反演,达到有效“定量”识别储层的目的。

参考文献:

- [1] 钟俊义,贾曙光,丁艳红,等.地震属性参数在安棚深层系储层预测中的应用[J].石油物探,2003,42(1):82-88.
- [2] 李宗杰,王勤聪.塔北超深层碳酸盐储层预测方法和技术[J].石油与天然气地质,2002,23(1):35-39.
- [3] 张会卿,聂国震,燕云,等.基于拓频的地质统计反演技术在马东地区的应用[J].石油地质与工程,2014,28(2):52-58.
- [4] 周宗良,吴刚,肖建玲,等.地震拓频处理技术在歧口深层气藏储层预测中的应用[J].工程地球物理学报,2015,12(5):604-610.
- [5] 叶泰然,付顺,吕其彪,等.多波地震联合反演预测相对优质储层[J].石油与天然气地质,2009,30(3):357-360.
- [6] 李爱山,印兴耀,陆娜,等.两个角度弹性阻抗反演在中深层含气储层预测中的应用[J].石油地球物理勘探,2009,44(1):87-92.
- [7] 高刚,贺振华,曹俊兴,等.两项式弹性波阻抗反演方法在深层碳酸盐岩储层预测中的应用[J].石油地球物理勘探,2013,48(3):450-455.
- [8] 刘建辉,明君,彭刚,等.叠前联合反演技术在渤海中深层储层预测中的应用[J].海洋地质前沿,2017,33(2):62-66.
- [9] 杨文采,于常青.深层油气地球物理勘探基础研究[J].地球物理学进展,2007,22(4):1238-1242.
- [10] 杨徽.基于波形指示反演的井震结合储层预测方法及应用[J].大庆石油地质与开发,2018,37(3):137-142.
- [11] 顾雯,徐敏,王铎翰,等.地震波形指示反演技术在薄储层预测中的应用[J].天然气地球科学,2016,27(11):2064-2069.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 胡玮,齐鹏,杨江峰,等.波形指示反演在超深层致密砂岩薄储层中的应用[J].地球物理学进展,2018,33(2):620-625.
- [15] 国土资源部.DZ/T0214-2005 石油天然气储量计算规范[S].北京:中国标准出版社,2005.
- [16] 宋梅远.测井曲线重构在哈山地区油气水层判识中的综合应用[J].科学技术与工程,2014,14(19):211-216.

(编辑 杨芝文)