

东营凹陷王家岗地区沙四上亚段地震反演储层预测

王东旭

中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司地质科学研究院, 山东东营 257015

摘要 王家岗地区主要发育沙四上亚段滩坝砂岩、浊积岩油藏。在沙四上亚段沉积时期, 受古地貌控制, 区内发育滩坝、浊积岩等多种沉积体系, 不同类型岩性体叠置关系复杂, 导致储层预测难度较大, 影响了研究区油气勘探与开发。为了获取储层展布, 本文应用地震储层反演技术, 针对该区地质特点进行了声波曲线重构, 对反演模型进行地震储层反演, 并通过误差分析验证, 得到较好的反演效果, 完成了沙四上亚段各个砂层组储层平面分布的预测, 对明确油气分布规律具有指导作用。

关键词 东营凹陷; 王家岗; 沙四上亚段; 储层预测; 地震反演

中图分类号 TE133.2

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.27.005

Seismic Inversion Reservoir Prediction of Upper Es₄ in Wangjiagang Area of Dongying Sag

WANG Dongxu

Geological Science Research Institute, Shengli Oilfield Company, China Petroleum & Chemical Corporation, Dongying 257015, Shandong Province, China

Abstract Reservoirs of the beach-bar sandstone and turbidite in the upper Es₄ is widely developed in the Wangjiagang area. During the sedimentary period of the upper Es₄, this area developed a multi-style sedimentary system, such as beach-bar sandstone and turbidite that were controlled by palaeogeomorphology, the overlapping relation between different types lithologic bodies are complex, the fact brings much difficulty to predict reservoir and impact the exploration and development of oil-gas in the area. A seismic reservoir inversion technique is applied to. According to the geological characteristics, the reconstruction of acoustic wave curve, and the seismic inverse of inversion model, through the verification of error analysis, a good inversion result and finish horizontal distribution of every sand group in the upper Es₄ is obtained.

Keywords Dongying Sag; Wangjiagang; upper of Es₄; reservoir prediction; seismic inversion

0 引言

王家岗地区位于东营凹陷南斜坡东段, 该区东南接八面河鼻状构造带, 西北与牛庄洼陷相连, 东北、西南分别为广利油田和乐安油田, 面积约 400 km² (图 1)。沙四上亚段是王家岗地区油藏集中发育层段, 但该段储层及油藏分布复杂。主要表现为: 王家岗地区临近深湖区, 坡度较大, 浪基面变迁范围小, 滩坝分布较为局限; 沉积时期发育多种沉积类型, 物源供给既有来自东部缓坡的辫状河三角洲, 又有来自南部和东北部的扇三角洲, 区内发育滩坝、浊积岩等体系 (图 2), 不同类型岩性体叠置关系复杂, 为储层预测带来困难。针对东营凹陷沙四段, 前人在东营凹陷中西部进行了大量储层预测研

究, 并取得了较好的成果^[1-3], 而东部研究较少且不够系统^[4], 为此, 本文针对东部王家岗地区开展了地震储层预测研究, 并取得了较好的应用效果。

1 基本地质特征

东营凹陷沙四段包括沙四上和沙四下两个亚段, 沙四下亚段以紫红色、灰绿色泥岩为主, 夹紫红色砂岩、粉砂岩、含砾砂岩、含膏泥岩及薄层碳酸盐岩, 局部形成膏盐聚集区, 常被人们称为“红层”, 为干旱环境下沉积形成的^[5-8]。沙四上亚段沉积时期, 东营凹陷处于断陷发展期, 经历了前期盆地基底夷平过程, 在斜坡带形成了相对平缓古地貌背景和大量的

收稿日期: 2011-07-04; 修回日期: 2011-08-10

作者简介: 王东旭, 工程师, 研究方向为石油地质, 电子信箱: wangdongxu.slyt@sinopec.com



图1 东营凹陷缓坡带东段构造带示意
Fig. 1 Scheme of the tectonic zone at gentle slope belt in Dongying Sag

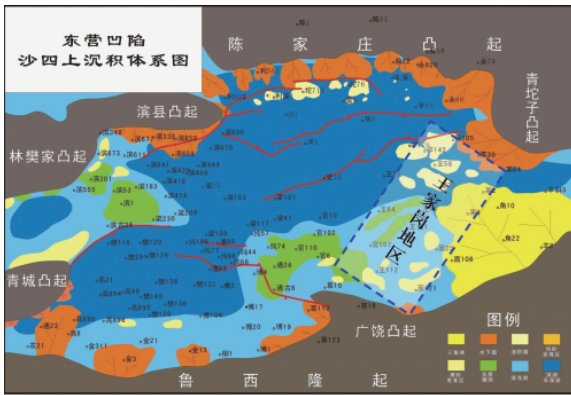


图2 东营凹陷沙四上亚段沉积体系图
Fig. 2 Scheme of Es_{4s} sedimentary system in Dongying Sag

物源碎屑,为滨浅湖滩坝沉积奠定了良好的相环境。沙四上亚段主要为灰色泥岩、页岩、碳酸盐岩、白云质泥岩与粉细砂岩、砂岩互层,地层厚度为150—300m。沉积时期,气候由于干旱向潮湿转变,在东营凹陷南斜坡相对平缓的古地貌背景下,形成了以滨浅湖滩坝、浊积岩等沉积为主的沉积体系^[9-10]。沙四上可进一步划分为纯上(包含6个砂层组)和纯下(包含3个砂层组)两个亚段。本文针对该区沙四上亚段进行了地震反演的储层预测,基本思路为:在精细构造解释及测井资料标准化的基础上,提取子波并建立该区高精度反演模型;针对该区地质特点进行声波曲线重构,通过基于模型高精度反演方法进行反演,应用误差分析进行验证及效果分析;对反演数据主要目的层顶底开时窗,通过设定函数公式进行运算,完成该区储层平面分布预测。

2 地震反演

地震反演是近十年来迅速发展和成熟起来的一项地震处理、解释综合技术,它将常规界面型地震剖面转换成岩层型合成声波测井剖面,更有利于与钻井、测井等资料连接对比,进一步研究各种储层参数的平面变化规律,是储层预测研究的关键技术^[11]。地震反演可分为叠前地震反演和叠后地震反演。地震储层反演一般为叠后地震反演。

2.1 地震及测井资料预处理

在地震反演开始之前,需要对研究区地震资料品质进行评价和关键井测井资料进行预处理和标准化,以减少属性分析结果多解性,提高预测成果可信度。对研究区地震资料进行振幅、提高信噪比、提高分辨率等处理,处理后的成果资料分辨率得到了显著提高,主要目的层段主频提高8—10Hz,频带拓宽10—15Hz;主要目的层段波阻特征改善较明显,层间信息丰富,地层接触关系较清晰;断裂系统展布得到改善,小断层更为清晰。另外,通过自然电位基线漂移和声波时差曲线标准化处理,为下步反演分析、重构提供良好的基础。

2.2 地震子波的提取与模型的建立

叠后地震子波提取常用两种方法,一是根据已有测井资料与井旁地震记录,用最小二乘法求解的确定性方法,理论上可得到精确结果,但该方法受地震噪声和测井误差影响,尤其是声波测井不准造成的速度误差会导致子波振幅畸变和相位谱扭曲,同时,方法本身对地震噪声及时窗长度的变化非常敏感,使子波估算结果的稳定性变差;另外一种是目前实用有效的方法——多道地震统计法,即从实际地震数据中采用多道记录自相关统计方法提取地震子波,保证子波振幅信息来源于实际地震记录,地震子波相位通过合成记录对比分析及地震数据的极性确定,用这种方法求取的子波,合成记录与实际地震记录频带一致,波阻关系对应良好。

地质模型的建立是在解释层位框架模型基础上进行的,通过提供适当的地震解释层位及其振幅属性,使之描述地层空间延伸特征,在其指导下通过内插各测井曲线,可以得到所需的地质模型(图3)。建立符合实际地层情况的波阻抗模型,是减少最终结果多解性的根本途径。测井资料在纵向上详细揭示了岩层的波阻抗变化细节,地震资料则连续记录了波阻抗界面的深度变化,二者有机结合为精确建立空间波阻抗模型提供了必要条件。

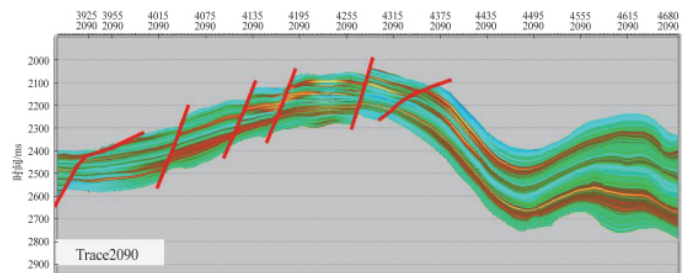


图3 初始波阻抗模型
Fig. 3 Model of primary wave impedance

2.3 储层特征曲线重构

储层特征曲线重构是以地质、测井、地震综合研究为基础,针对具体地质问题和反演目标,以岩石物理学为基础,从多种测井曲线中优选、重构出能反映储层特征的曲线。储层特征曲线重构前提是原始声波时差不能很好地反映岩性的变化规律,而其他与声波时差有较好相关性的测井响应能更好地指示岩性变化规律。

王家岗地区沙四上亚段地层岩性以砂岩、泥岩、油页岩、灰岩及白云岩为主,原始声波时差反映岩性的能力较弱,自然电位曲线对于区分砂岩及围岩能力较好,电阻率曲线最差。如图4所示,王125井在井深2790—2794.4m处砂岩在自然电位表现为负异常,伽玛曲线为低值,声波时差曲线为低值,但与上覆油页岩相比,声波时差值高。砂岩速度与围岩速度差异不明显的现象在全区广泛存在,影响了储层反演的建模的可信度。有必要应用测井曲线重构技术消除该现象对储层预测可信度的影响。

由于该区钻探时间间隔较大,测井仪器不同,测井曲线序列不统一,本次测井曲线重构主要应用自然电位与原始声波曲线重构声波时差曲线。如图5、图6所示,应用重构后的

声波时差曲线区分砂岩与围岩效果比较明显。由图7可以看出,应用重构声波曲线技术的反演剖面能更好地凸显储层,使储层与围岩的差异更明显,纵向分辨率明显提高。

2.4 反演质量控制

误差分析是控制反演质量的关键步骤,主要从两个方面分析:一是反演结果与井点的吻合程度,通过井点误差分析图完成;二是反演结果与地震资料符合情况,主要通过制作误差剖面进行。误差剖面是指实际地震道与反演波阻抗合成道之间的差异剖面,如果该剖面能量较弱,就代表反演波阻抗道可正演为实际地震道,反演结果的多解性大大降低。图8为莱3井反演误差分析图,左道蓝线为原始波阻抗曲线,红线为反演后的波阻抗曲线,由图中可见原始波阻抗曲线与反

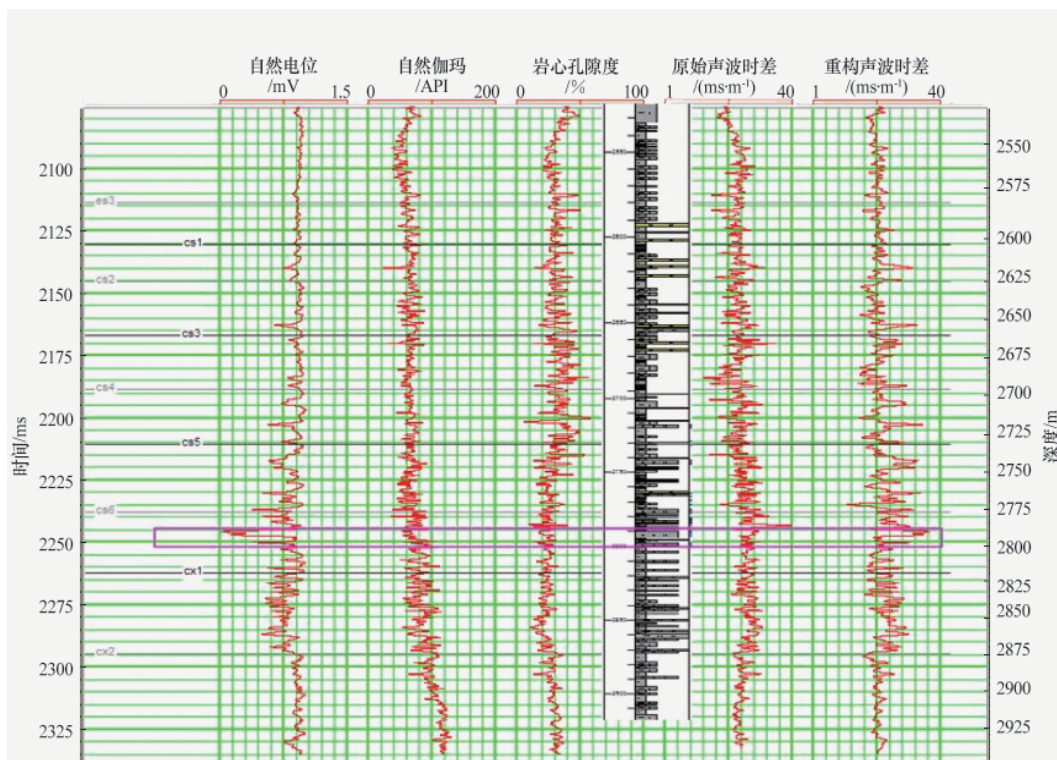


图4 王125井测井曲线

Fig. 4 Logging curve of well Wang125

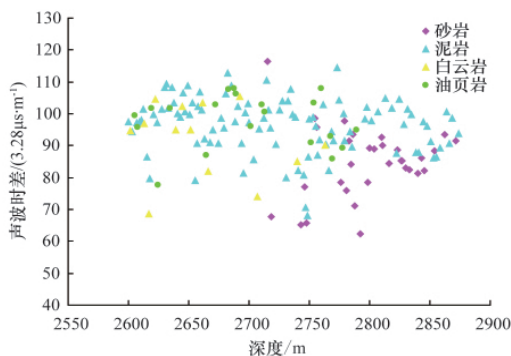


图5 重构前岩性与声波时差统计

Fig. 5 Statistics of lithology and acoustic wave time difference before reconfiguration

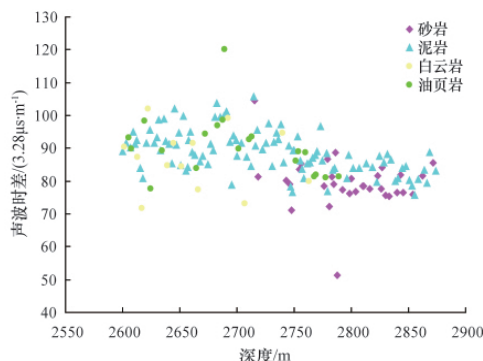


图6 重构后岩性与声波时差统计图

Fig. 6 Statistics of lithology and acoustic wave time difference after reconfiguration

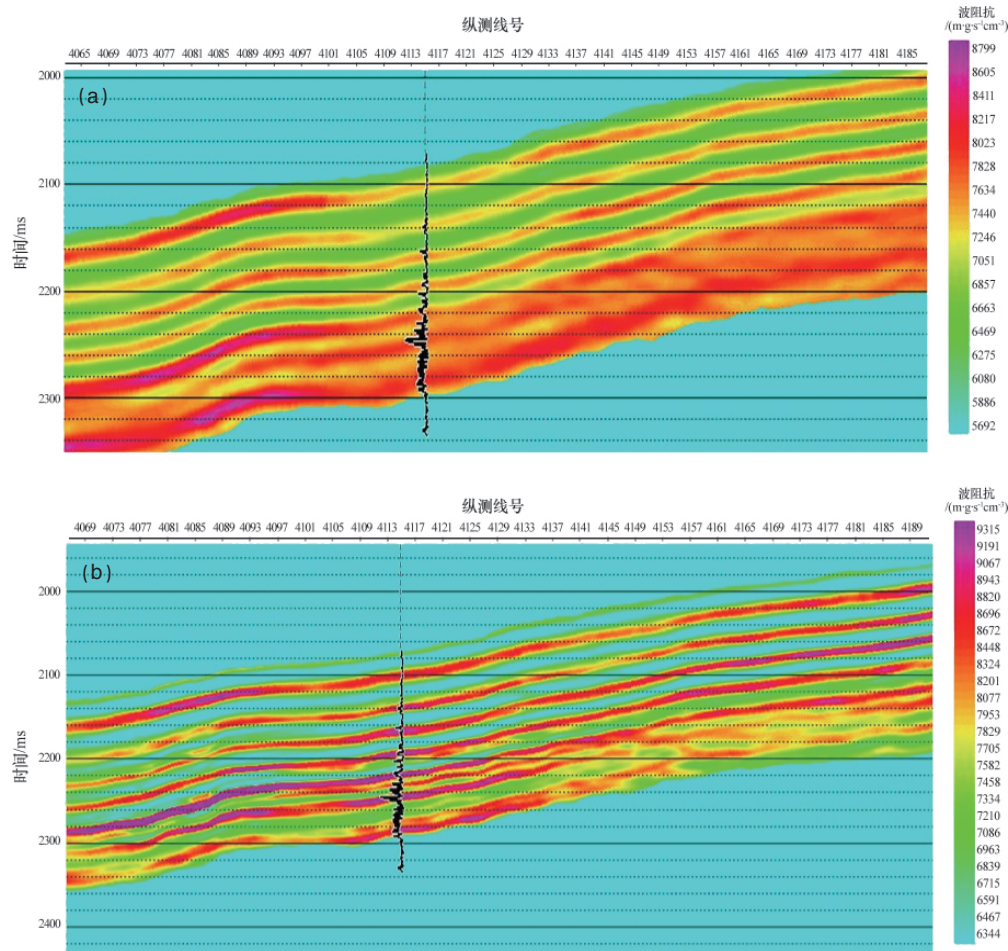


图 7 王家岗—广利 Trace1688 重构前(a)后(b)反演剖面

Fig. 7 Inversion profile of Trace1688 before (a) and after (b) reconfiguration in Wangjiagang—Guangli

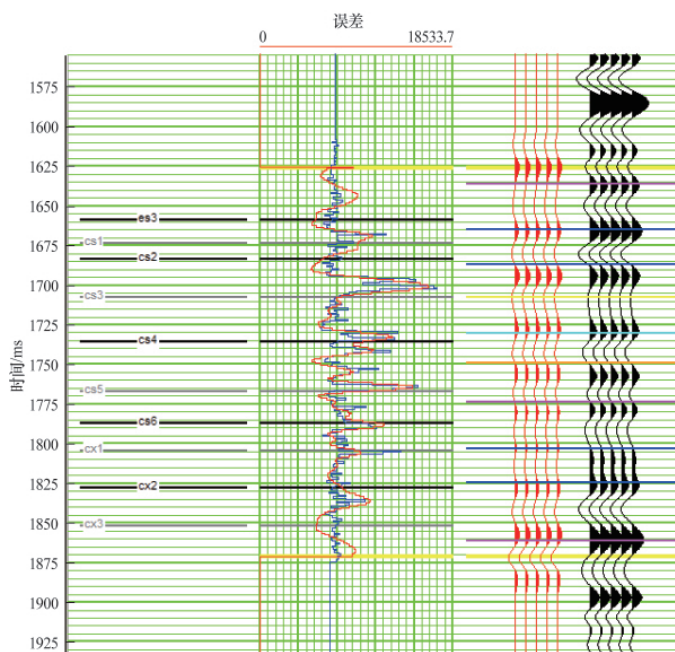


图 8 莱 3 井反演误差分析

Fig. 8 Error analysis on the reconfiguration of well Lai3

演后的波阻抗曲线纵向变化趋势一致、吻合性较好,两者相关系数达 0.74,误差较小,说明该反演结果能够分辨井点的岩性变化。图 9 为联络线 1688 反演误差剖面,其中波阻抗合成地震剖面(图 9(b))与原地震剖面(图 9(a))波阻特征相近,频率有所提高,误差剖面(图 9(c))总体振幅能量较弱,说明该波阻抗剖面井点以外推合理,取得了较好的地质效果。

2.5 反演效果分析

尽管反演层段断裂发育、岩性复杂,经曲线重构及精细反演后,反演效果较好,反演剖面砂岩与泥岩的特征明显,反演预测砂岩厚度与钻井统计表上吻合较好(图 10),从井上看能够识别 10m 以上的砂体。

3 储层分布特征

对反演数据主要目的层顶底开窗,然后通过设定函数公式进行运算,计算出不同层段内的砂体累计厚度(即砂岩时间厚度),然后再与各自速度相乘,得到的砂体实际厚度。从工区主干反演剖面(图 11)看,砂体主要发育在工区东南部,向北、西方向逐渐减薄,在莱 74、莱 32 等井处发育北部砂体。储层反演结果较好地反映了沙四上亚段各砂层组砂体在

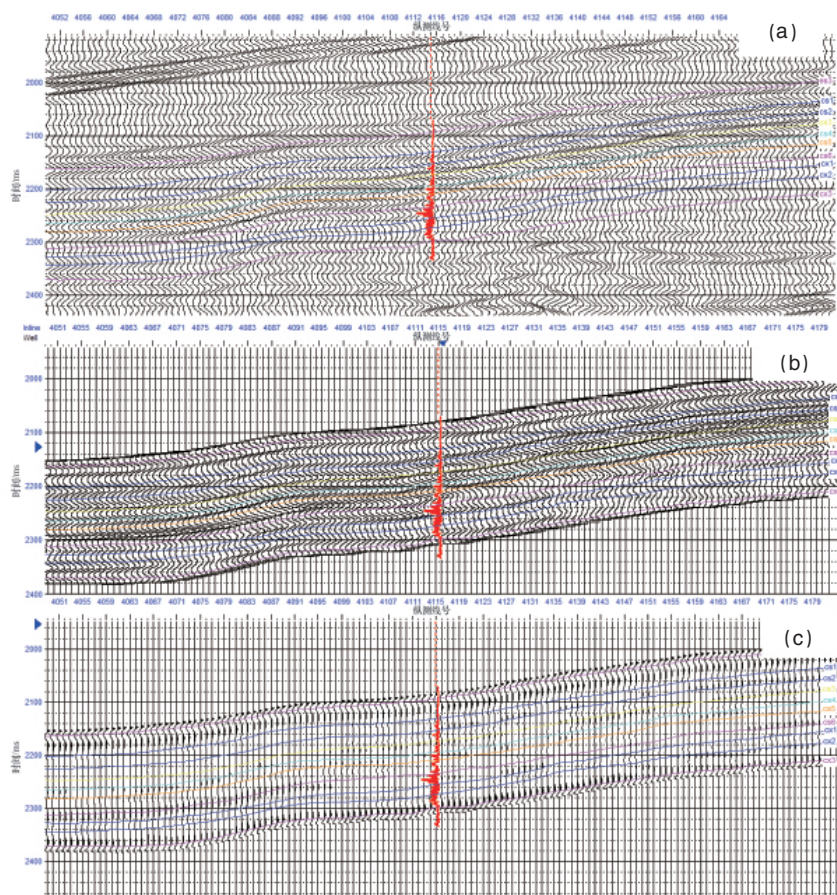


图 9 联络线 1688 反演误差剖面

Fig. 9 Error section of the reconfiguration of line1688

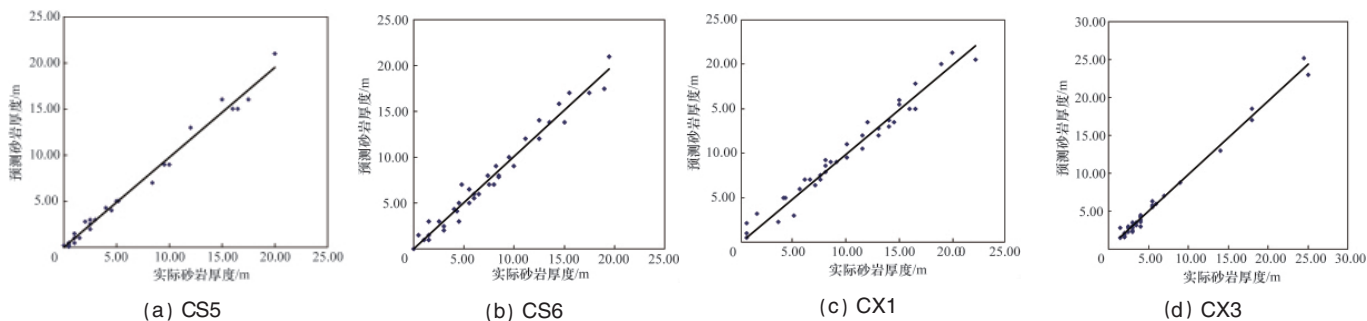


图 10 预测砂岩厚度与实际砂岩厚度交会图

Fig. 10 Cross plot of forecast and practice thickness of sandstone

平面和剖面上的展布特征。本区储层以三角洲前缘水下分流河道砂及滨浅湖滩坝砂为主,砂体总体自东南向西北展布。

(1) 纯上 1 砂组储层展布特征。储层平面上呈零星分布,预测砂岩厚度最厚 9m,一般为 4—7m,主要发育于工区北部莱 32 井区,反映为湖底扇沉积;东南部莱 3 井区及南部王 13 井区附近,反映为滩坝沉积(图 12(a))。

(2) 纯上 2 砂组储层展布特征。储层整体不发育,预测砂岩厚度一般为 2—3m,最厚 4m,主要发育于工区东部王斜 119 井附近及南部王古 7 井附近,反映为来自东南部滩坝沉

积(图 12(b))。

(3) 纯上 3 砂组储层展布特征。储层平面上呈自东南向西北展布不规则扇形,预测砂岩厚度一般在 4—10m,最厚 13m,主要发育于东南部莱 3—莱 71 及莱 3—王斜 98 附近,反映为来自东南部滩坝沉积(图 12(c))。

(4) 纯上 4 砂组储层展布特征。储层主要发育在工区北部莱 32 井附近,反映为北部湖底扇沉积,东南部莱 3 井附近,反映为来自东南方向的滩坝沉积,预测砂岩厚度一般在 2—4m,最厚 6m(图 12(d))。

(5) 纯上 5 砂组储层展布特征。储层主要发育在工区东北部,呈条带状分布,相对发育区在莱 71—莱 74 井条带上,预测砂岩厚度一般在 4—16m,由西向东逐渐减薄,在莱 74 井区最为发育,最厚可达 20m(图 12(e))。

(6) 纯上 6 砂组储层展布特征。砂体分布面积较广,平面上成条带分布,主要发育在莱 3—王斜 119 条带、王古 7—王 61—王 6 条带及通 12—通 10—通 31 条带上。预测砂岩厚度一般在 4—18m,在王 61 井附近最为发育,厚度达 22m。反映为来自东南方向的三角洲前缘沉积,以水下分流河道为主(图 12(f))。

(7) 纯下 1 砂组储层展布特征。砂岩储层大面积分布,主

要发育在工区中北部莱 32、王 125、王斜 98 等井附近,预测砂岩厚度一般在 6—18m,最厚可达 22m。反映来自东南方向的滩坝砂沉积(图 12(g))。

(8) 纯下 2 砂组储层展布特征。砂岩储层平面上呈零星分布,主要发育在工区中部的王 145、王 102、王斜 128 及南部的王古 7、通 12 井附近,预测砂岩厚度一般在 4—10m,最厚 16m。反映来自东南方向滩坝砂沉积(图 12(h))。

(9) 纯下 3 砂组储层展布特征。砂岩储层主要发育在工区东南部王斜 98、王 94 及王 13 井附近,向西北方向逐渐减薄。预测砂岩厚度一般在 6—22m,最厚可达 28m。反映为自东南方向的三角洲前缘河口坝沉积(图 12(i))。

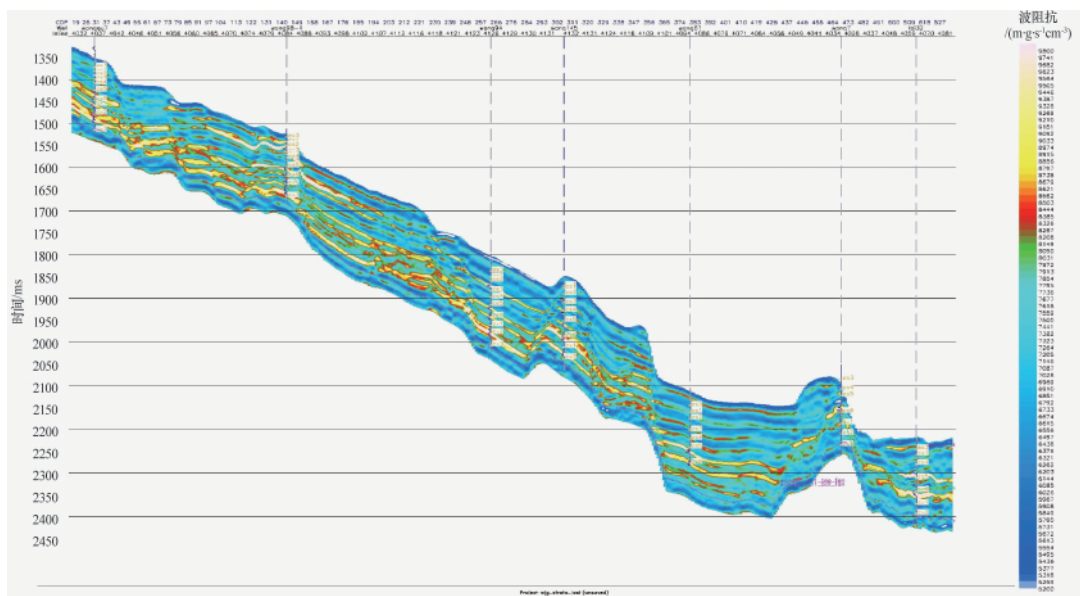


图 11 王家岗地区沙四上亚段王古 7 井—莱 32 井反演剖面(南北向)

Fig. 11 Inversion section of well Wanggu7-Lai32

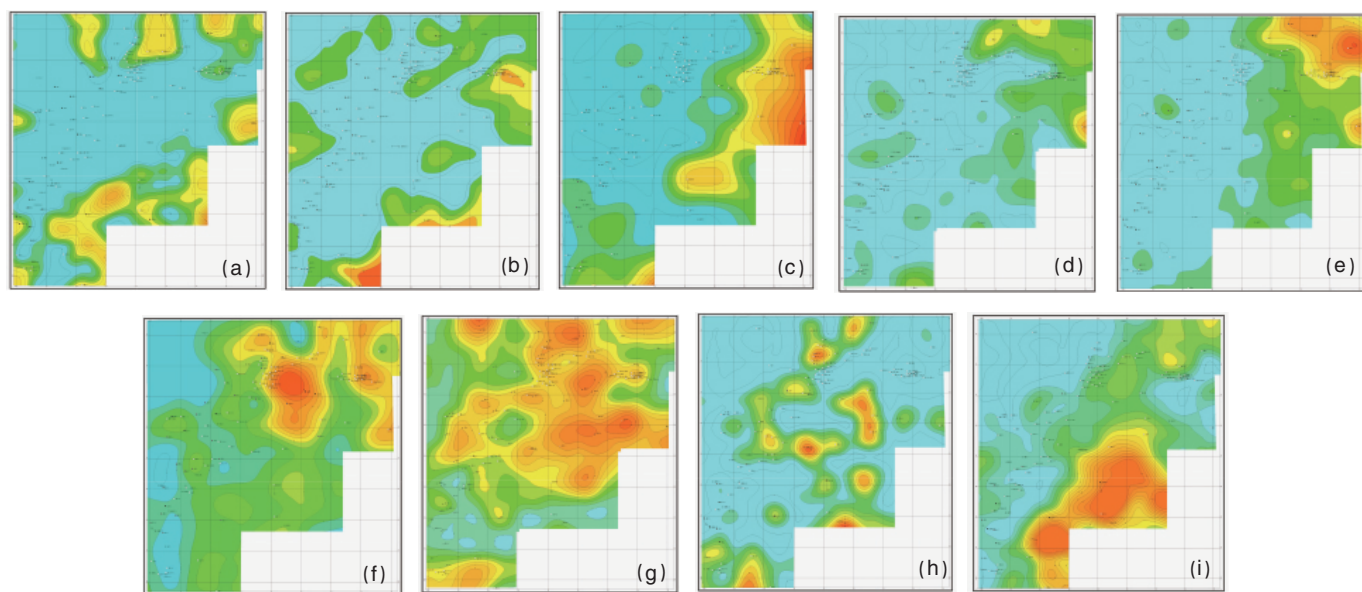


图 12 王家岗地区沙四上各砂组储层平面展布图

Fig. 12 Plane map of every stand group of Es_{4s} in Wangjiagang area

4 结论

针对东营凹陷王家岗地区沙四上亚段发育多种沉积体系、不同类型岩性体相互叠置、储层单层厚度薄等特殊地质特征,采用地震叠后反演技术,进行了储层预测。通过地震及测井资料的预处理,进行子波提取并建立了初始波阻抗模型,应用声波时差曲线重构技术较好地压制了灰岩、油页岩、白云岩等岩性对储层反演的影响,使得砂岩更加突出,纵向分辨率明显提高。通过井点误差分析图、制作误差剖面,较好地控制了反演质量,使得预测砂岩厚度与实际砂岩厚度吻合较好。应用反演数据体,成功地对沙四上亚段9个砂层组的储层平面分布进行了预测,为进一步认识该区沉积储层展布提供了重要依据。

参考文献 (References)

- [1] 袁红军. 东营凹陷博兴洼陷滨浅湖相滩坝砂岩储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(4): 497-503.
Yuan Hongjun. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(4): 497-503.
- [2] 张江华, 王建海, 林承焰. 测井约束反演在牛庄洼陷沉积砂体预测中的应用[J]. 天然气工业, 2009, 29(2): 49-51.
Zhang Jianghua, Wang Jianhai, Lin Chengyan. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(2): 49-51.
- [3] 唐东. 断陷湖盆滩坝砂体预测方法——以东营凹陷沙四段为例[J]. 工程地球物理学报, 2010, 7(2): 238-242.
Tang Dong. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 2010, 7(2): 238-242.
- [4] 马丽娟, 高平, 金学新, 等. 东营南坡东部沙河街组四段储层成因及预测方法[J]. 地质科技情报, 2002, 21(3): 55-60.

- Ma Lijuan, Gao Ping, Jin Xuexin, et al. *Geological Science and Technology Information*, 2002, 21(3): 55-60.
- [5] 杨勇强, 邱隆伟, 南金浩. 东营凹陷沙河街组四段下亚段层序地层特征与沉积模式[J]. 中国地质, 2011, 38(1): 33-42.
Yang Yongqiang, Qiu Longwei, Nan Jinhao. *Geology in China*, 2011, 38(1): 33-42.
- [6] 韦启新, 苑小燕. 我国东部油田红层沉积特征与油气成藏规律 [J]. 石油学报, 2008, 29(2): 191-194.
Wei Qixin, Yuan Xiaoyan. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(2): 191-194.
- [7] 张守鹏, 刘成东, 贺振建, 等. 东营凹陷深部“红层”地层划分方法探讨 [J]. 地学前缘, 2003, 10(2): 465-469.
Zhang Shoupeng, Liu Chengdong, He Zhenjian, et al. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(2): 465-469.
- [8] 杨伟利, 陈义宝. 八面河地区孔店组河流-冲积相层序地层学研究[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2008, 23(4): 26-29.
Yang Weili, Chen Yibao. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2008, 23(4): 26-29.
- [9] 田继军, 姜在兴. 东营凹陷沙河街组四段上亚段层序地层特征与沉积体系演化[J]. 地质学报, 2009, 83(6): 836-845.
Tian Jijun, Jiang Zaixing. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(6): 836-845.
- [10] 李国斌, 姜在兴, 陈诗望, 等. 利津洼陷沙四上亚段滩坝沉积特征及控制因素分析[J]. 中国地质, 2008, 35(5): 911-921.
Li Guobin, Jiang Zaixing, Chen Shiwang, et al. *Geology in China*, 2008, 35(5): 911-921.
- [11] 张国栋, 刘萱, 田丽花, 等. 综合应用地震属性与地震反演进行储层描述[J]. 石油地球物理勘探, 2010, 45(S1): 137-144.
Zhang Guodong, Liu Xuan, Tian Lihua, et al. *Oil Geophysical Prospecting*, 2010, 45(S1): 137-144.

(责任编辑 刘志远)

· 学术动态 ·

“2012 结构计算与岩土力学国际学术会议”征文

由北京农业工程学会、中国农业大学主办,云南农业大学承办的“2012 结构计算与岩土力学国际学术会议”拟于 2012 年 3 月 24—25 日在昆明召开。

征文范围:结构计算(结构的材料数值建模,基于性能的结构计算,组合结构体系计算理论与方法研究,误差估计和自适应方法,多尺度建模及计算,计算机代数在有限元中的应用,结构健康监测与评估,结构的形态及其优化理论,结构分析与设计软件研究);岩土力学(土的本构关系研究,环境岩土工程,土动力学与地震工程,特殊土工程,边坡、大坝工程,岩土试验与测试技术,地下工程,岩土工程的计算机仿真技术,道路与桥梁工程,污染土的修复理论及技术);水利工程(灌溉排水理论与新技术,精准灌溉技术研究,生态灌区建设,生态节水与高效用水,水土资源可持续利用与保护,设施农业中的水土环境研究,农业供水工程与饮水安全);水土保持(生态退化机制与修复,土壤侵蚀机制与模型,水利水土保持生态修复,水土保持与生态农业建设,农业资源污染分析、预测与控制,区域生态环境监测与评价,水土保持植被建设);水土资源规划与管理(灌区建设与现代化管理,水土资源承载力研究区域水土资源平衡研究,水土资源综合利用)。

论文截止日期:2011 年 11 月 14 日。

联系电话:010-51528400; **电子信箱:**scgm_ei@126.com。

会议网站:www.scgm-conference.org。