

埕海油田不同沉积储层砂体精细预测研究

——以埕海一区庄海8断块为例

贾玉梅¹, 窦松江¹, 杜艳蕾¹, 王少波¹, 韩 煦²

(1. 中国石油大港油田勘探开发研究院, 天津 300280; 2. 中国石油大港油田第五采油厂, 天津 300280)

摘要:埕海油田地质条件复杂, 沉积类型多, 储层纵横向变化快, 油藏类型复杂多样, 储层精细预测难度大。针对储层预测的难题, 使用多种技术手段来解决储层研究的多解性, 如应用地震属性分析技术圈定有利储层范围, 利用频谱成像技术提高储层空间横向识别能力, 利用测井约束地震反演技术提高储层垂向分辨率, 利用河道边缘检测技术, 描述末期河道, 通过综合应用各种技术的优点, 从而实现对单砂体由点到面再到体的识别与追踪。

关键词:埕海一区; 沉积特征; 油藏特征; 储层精细预测; 成果应用

中图分类号: TE122.2⁺21

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2011)05-0815-06

引用格式: 贾玉梅, 窦松江, 杜艳蕾, 等. 埕海油田不同沉积储层砂体精细预测研究——以埕海一区庄海8断块为例[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(5): 815-820.

0 引言

埕海一区位于河北省黄骅市关家堡村以东的滩涂—海域水深4 m的极浅海地区, 主要含油目的层为明化镇组、馆陶组和沙河街组。其中明化镇组为曲流河沉积, 明Ⅲ段为研究区的含油气层系, 属泥包砂结构, 储层不太发育; 馆陶组为辫状河沉积, 沉积微相主要为辫状河心滩沉积和河道滞留沉积; 沙河街组沙一上亚段为近岸扇三角洲沉积, 沉积微相有分流河道沉积、前缘席状砂沉积等。2007年12月在研究区以水平井投入开发, 开发中存在一些问题: ①馆陶组储层厚度大, 属底水油藏, 底水锥进速度快, 有利砂体边界难确定; ②沙河街组油层储层纵向变化大, 针对研究区目的层多沉积类型和多物源, 储层纵向、横向变化快, 储层预测难度大等特征, 开展了储层精细研究。本文针对埕海一区储层沉积特点采用多种技术方法进行论述。

1 储层研究技术方法

根据储层分布特征, 储层预测必须在综合利用地震属性、地质资料、单井资料和动态资料的基础

上, 运用地层对比、层位标定、地震分频、测井约束反演、频谱成像、多属性分析等技术方法来相互渗透和约束研究储层的平面分布, 才能有效地预测储层边界范围, 达到储层精细预测的目的, 勾勒出有利岩性沉积体的几何形态。三维可视化技术能方便快捷地刻画异常地质体的展布特征; 并依此作为储层预测的技术手段。针对研究区块, 分析计算出各层系的地震主频及所能分辨的砂层厚度, 在层位标定的基础上, 根据目标油层在地震上的反射特征及所处波形位置, 沿目的层上下开合理的时间窗口, 利用Landmark软件强大的Poststack模块提取各类地震属性, 再用SpecDecomp地震分频解释模块对各自的油层段进行分析。

2 储层预测方法及成果应用

2.1 井—震结合精细地层对比

充分利用单井资料, 井—震结合进行地层精细对比, 建立等时地层格架, 划分小层及单砂体。通过开展精细层位标定, 利用相干体等构造精细解释技术进行构造精细解释, 首先完成NmⅢ2、NgI1、Es1S1砂体顶界微构造图, 确保储层预测的准确性。

2.2 地震属性分析技术圈定有利储层范围

对于埕海一区,由于井少,井距大,以地震资料为主,而且面临南海地区特殊的地面条件,常规储层预测方法、研究精度,不能满足海上开发的需要。因此提取多种地震属性来预测储层分布。地震属性是指叠前或叠后地震数据,经过数学变换而导出的有关地震波的几何形态、运动学特征、动力学特征和统计学特征的特殊测量值^[1-2]。地震属性种类很多,代表的地质含义也不同。从地震属性的地球物理含义出发到其地质含义的过程就是地震属性分析过程,其目的就是把地震属性转换为与物性、岩性、构造或油藏参数相关的信息。某些属性具有特定的地质含义,可以直接用于目标分析。某些属性不是地质现象的直接反映,而是间接的或者是部分的,需要与其他属性共同分析进行地质表征^[3]。

提取多种地震属性,根据波形特征进行聚类分析,来研究储层分布规律、沉积相展布、含油性等。主要的原理是用已知井资料约束属性分析,确定地震属性与地质特征之间的对应关系,然后进行分析预测,得出平面地质特征的分布规律^[4]。

2.2.1 沙河街组储层预测

沙河街组储层较发育,为扇三角洲沉积,水下分支河道发育,也是主要的储油层。从图 1 中 $E_{s1}S1$ 小层储层的反射振幅强弱变化特征得出了其沉积变化规律,总体为一向北东伸展的扇形沉积。庄海 8 高产井区位于红色有利强振幅反射区,而庄海 803 井区以及庄海 808 \times 1 井区等储层不发育井则位于蓝绿色弱振幅反射区,两者之间关系对比符合其沉积规律。据此规律设计的 4 口水平井,均获得了稳定的高产油流,并在庄海 8 井西侧发现了有利外围目标一个,部

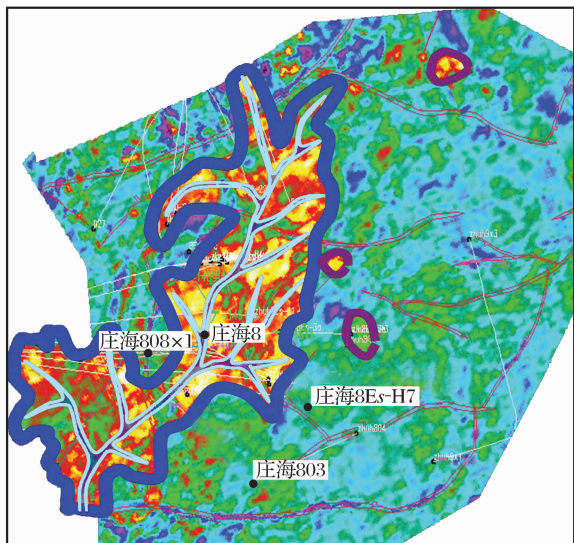


图 1 $E_{s1}S1$ 小层瞬时均方根振幅属性(据窦松江等^①,修改)

署了一口多目标评价井位(庄海 8Es-H7 井)。

2.2.2 馆陶组储层预测

馆 I 油组为辫状河沉积。该层砂岩分布稳定,河网密布,形成 3 套广泛分布的厚砂层。

砂层厚度大,砂体面积广,在研究区内砂体连片分布。庄海 8 井区馆陶组油层厚度大,与相邻赵东地区油藏特征相似,但投入开发后底水锥进很快,与赵东地区生产特征差别大。从构造上看两者属于同一个构造单元,其间没有明显的断层分隔,但从瞬时最大振幅图及均方根振幅图上看(图 2),在 D21 井南与庄海 8 断块之间存在明显分界,表明他们的沉积储层存在差异。

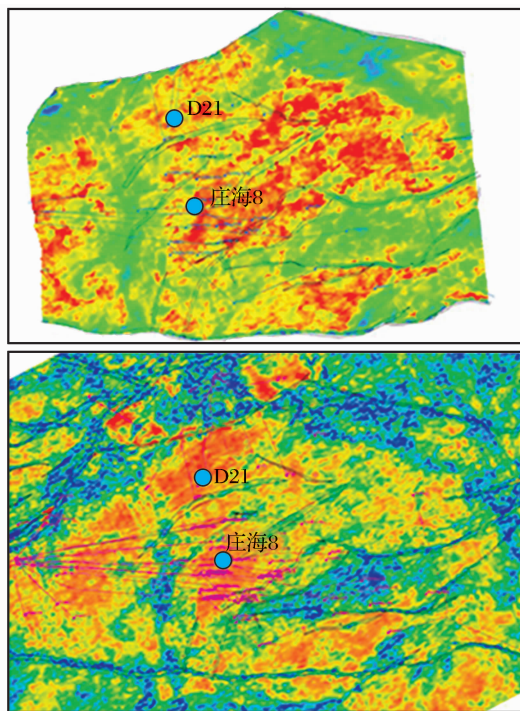


图 2 Ng I 1 瞬时最大振幅与均方根振幅
(据窦松江等^①,修改)

2.2.3 明化镇组储层预测

明化镇组油层主要分布在明Ⅲ油组的 2、3、4 这 3 个小层的砂体内,其储层岩性主要为粉砂岩、细砂岩。该层沉积环境主要为曲流河沉积,为南北流向的主河道,多期河道互相交织、来回摆动,在庄海 802 井以南由于河道摆动决口形成了一个大面积分布的砂体,庄海 802 井钻在该砂体的北部侧翼,庄海 9 \times 1 井附近存在多个河道叠加,不易分辨单河道分布特征。

2.3 利用测井约束储层反演技术圈定有利砂体范围

测井约束储层预测技术包括频谱成像技术、高

^① 窦松江,贾玉梅,杜艳蕾,等. 埕海油田一区精细油藏描述及调整方案研究. 内部报告,2009.

精度地震反演技术、岩性体解释技术、衰减梯度有利储层检测技术及储层参数反演技术^[5-6]。

2.3.1 频谱成像技术应用

根据频谱成像的薄层调谐原理,在调谐厚度处的调谐能量最大。那么,对于一个固定的频率来说,如果扫描得到的能量越大,这个能量就越接近于调谐能量,就越能指定调谐厚度。因此,通过不同频率所扫描出的能量的变化就可以得到岩性边界的变化情况,从而达到确定岩性边界的目的。同时根据薄层反射的调谐原理,调谐能量与储层厚度成正相关关系,研究调谐能量强弱也可以间接确定储层厚度。

(1)明化镇组储层预测。根据薄层反射的调谐原理,当地层厚度为调谐厚度时,反射波的能量达到最大。因此,针对明化镇组砂体较薄的特点,通过对调谐能量变化的研究来分析岩性的变化。图3为

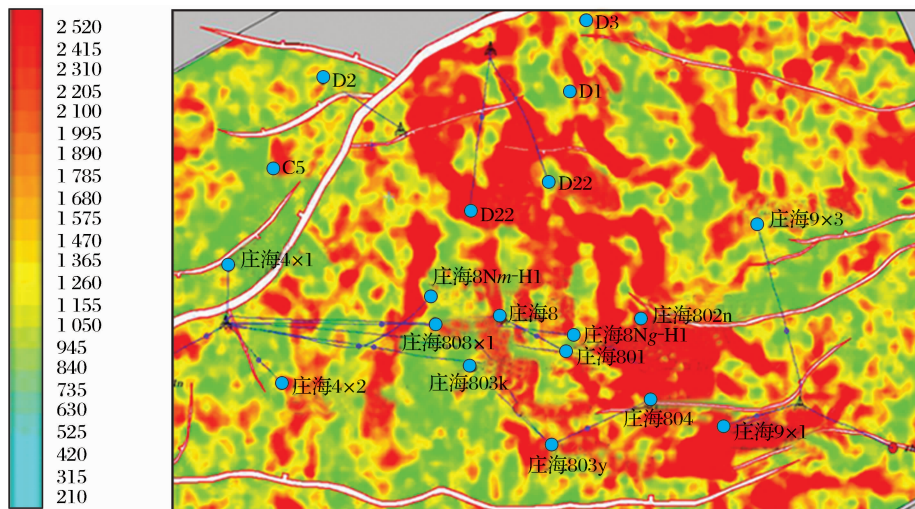


图3 Nm_3 砂体顶部调谐能量层切片

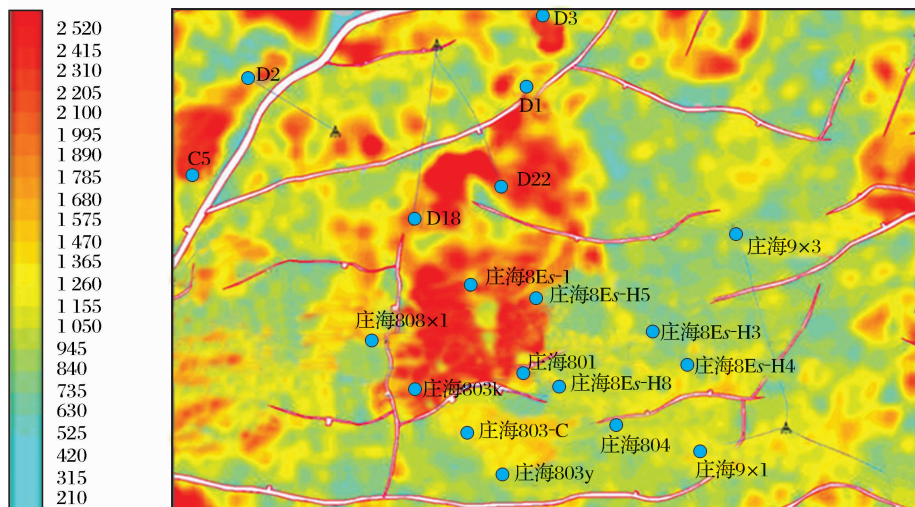


图4 Es_1S1 砂体顶部调谐能量层切片(据窦松江等^①,修改)

Nm_3 砂体顶部调谐能量层切片,从图中可以看出 Nm_3 2 河道的宏观分布特征:河道主要呈南北向分布,研究区内从西向东由此可以清楚看到 Nm_3 2 河道的分布特征。

(2)沙河街组储层预测。图4为 Es_1S1 砂体顶部调谐能量层切片。其中红—黄—蓝色代表能量依次减弱,反映砂体逐渐减薄。从图4中可以清楚看出该区砂体发育区及砂体厚值区主要位于庄海8井区和D18井区^①。清楚区分了储层的岩性边界。

2.3.2 高精度地震反演及岩性解释技术应用

以已知地质规律和钻井、测井资料为约束,考虑多种沉积模式,使用分形和波形相似内插方法构建复杂储层初始地质模型,然后采用宽带约束全局寻优的快速反演算法进行反演,对初始地质模型进行反复迭代修正,得到高分辨率的波阻抗反演结果,并且在反

① 窦松江,贾玉梅,杜艳蕾,等.埕海油田一区精细油藏描述及调整方案研究.内部报告,2009.

演的声波阻抗或拟声波阻抗数据体上解释圈定砂体、确定储层时间厚度,并进一步利用速度模型将时间厚度转换为深度厚度,作出砂岩厚度平面等值线图。

分析埕海一区岩性与电测曲线的关系发现,对于研究区沙河街组和馆陶组,由声波和密度测井数据合成的波阻抗不能较好地地区分岩性,由此得到的常规波阻抗反演结果不能准确地反映储层的分布。针对这一问题,采取了测井曲线重构的方法:自然伽玛曲线、泥质百分含量和自然电位曲线等对砂岩和泥岩的区分效果较好,因此当常规波阻抗反演结果不能准确地区分岩性时,可以将声波曲线的低频信息与反映地层岩性变化比较敏感的自然伽玛等曲线的高频信息重构到一起,调制成拟声波曲线,拟声波曲线比声波曲线能更好地识别储层岩性,由此得到的拟声波阻抗反演剖面能更准确地反映储层的分布。

(1)沙河街组储层预测:利用泥质含量 V_{sh} 曲线与声波时差曲线调制成拟声波曲线即拟 V_{sh} 曲线,用该曲线进行储层反演,得到能更准确地反映储层特征的拟 V_{sh} 反演数据体,然后在剖面上进行岩性体的追踪解释。图 5 为庄海 808×1 井—庄海 9×3 井连井拟 V_{sh} 反演岩性解释剖面。剖面从上到下解释的岩性体分别为 $E_{s1}S1$ 砂体,从图 5 中可以看出其砂体厚薄变化特征、尖灭现象非常清楚。

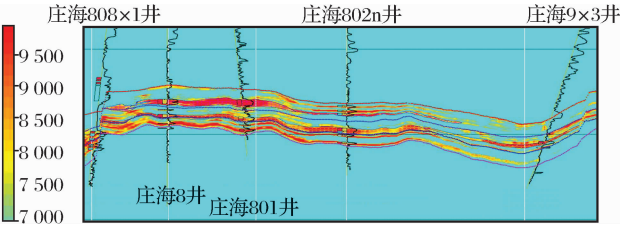


图 5 庄海 808×1 井—庄海 9×3 井连井拟 V_{sh} 反演岩性解释剖面

应用岩性解释技术作出各主力砂体的砂体厚度平面图。庄海 8 井区 $E_{s1}S1$ 砂体面积为 5.7 km^2 ,整体走向近南北向,砂体厚值区位于庄海 801 井区及其以北地区,砂体最大厚度为 9.5 m ;庄海 8 井区 $E_{s1}S3$ 砂体面积为 6.2 km^2 ,整体走向近北西—南东向,砂体厚值区位于庄海 802 井区,砂体最大厚度为 8.4 m 。

(2)馆陶组储层分布:由于馆陶组为顶油底水油藏,储层砂体厚,油水层难区分,而电阻率曲线能很好地区分油水层,因此我们用电阻率曲线与声波曲线重构成拟声波曲线,以此进行反演来预测馆陶组有利储层的分布。

图 6 为利用岩性体解释技术对拟电阻率反演数据体上庄海 8 井区馆 I_1 有利储层进行岩性解释后

的平面成图。从图 6 中可以看出馆 I_1 有利砂体整体展布为南北向,有利砂体面积为 5.2 km^2 ,主要分布在庄海 8 井区及庄海 803 井附近。具有中间厚周边薄的特征,最大有利储层单砂体厚度为 16 m 左右。

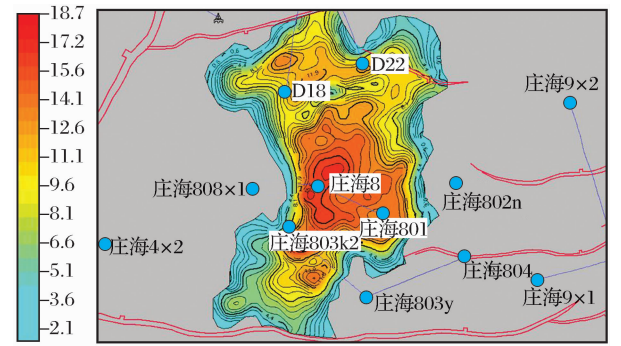


图 6 庄海 8 井区馆 I_1 有利储层厚度平面特征

2.4 地震分频解释进行河道追踪

地震分频解释技术是频率与振幅谱之间的调谐关系,将研究的内容由以往传统的三维地震数据研究方式,向四维频率域转换。通过频率扫描可以得到全局平面上的地质事件连续的分布特征,从整体上描绘储层展布形态、检测储层厚度、揭示地层纵向变化及沉积相带演变,更有利于薄砂体的检测,揭示沉积层序的变化规律及沉积单元的时空演化。寻找侧积体岩性界面,可以彻底摆脱仅依赖振幅类以及振幅衍生类地震属性信息进行储集层厚度、物性预测以及烃类检测的束缚,同时也可弥补由于地震采集、处理时振幅不一致导致的地震地质解释的多解性,并进一步提高储层预测的精度。

针对明化镇组储层为曲流河道砂体,砂体侧向迁移明显,深度各异的实际情况,为了落实砂体平面展布,在地震属性圈定有利砂体范围内,利用 Geoprobe 三维可视化砂体追踪技术来雕刻出明化镇组异常河道地质体(图 7),对河道砂体空间展布进行刻画和描述。根据明化镇组的砂体预测及河道追踪

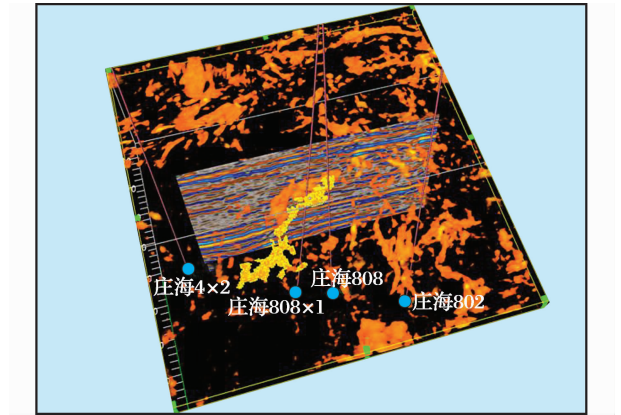


图 7 三维可视化异常地质体

的成果,实施的6口水平井均钻遇储层,庄海8Nm-H2、庄海8Nm-H6等井均获得高产。利用上述方

法追踪出NmⅢ2的6条河道,完成河道砂体厚度分布特征(图8)^①。

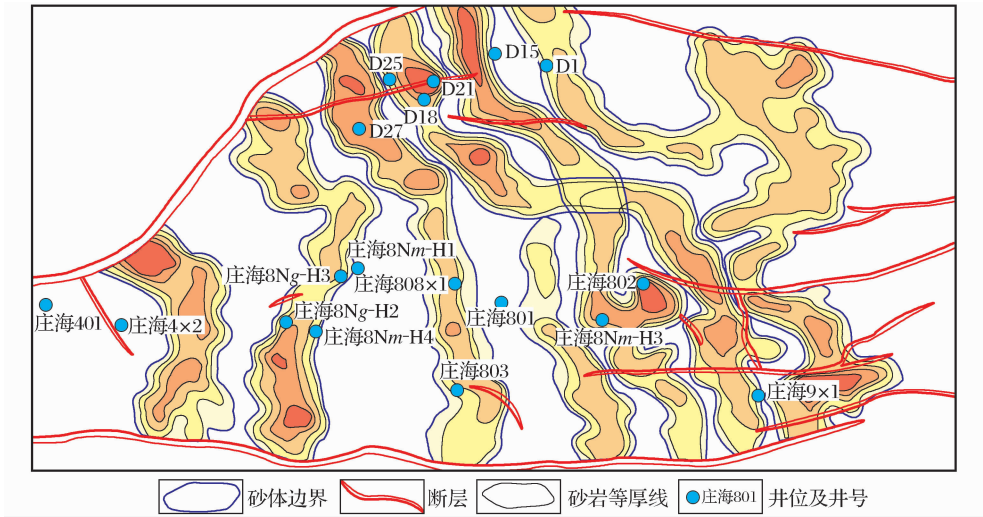


图8 NmⅢ₂砂体分布特征(据窦松江等^①,修改)

2.5 河道边缘检测技术预测末期河道

河道砂体探测技术利用不连续检测三维体属性,和地震振幅体,结合河道的形态学,直接检测河道砂体。河道边缘属性(Channel Edge)是利用地震数据沿水平面X轴、Y轴方向数据体变化梯度,来指示数据体(例如:反射强度、振幅等)在水平面上的变化梯度。根据上述原理,结合地震地层学理论,可推知:在砂岩、泥岩过渡区域,由于地震波波形发生变化,即振幅在水平面上会沿X轴、Y轴方向发生变化,通过计算这种变化梯度的大小,可预测天然堤和末期河道的分布。河道边缘检测属性是所使用振幅的相对变化的测量,对振幅体中微小变化的检测,它们可能与冲积体系中的相边界有关。经过精细标

定后,认为对于明化镇组来说,砂体的地震相应是波谷,以不连续属性体为边界,利用原始地震资料外包络和标定结果,计算时间域的储层的厚度数据体,结合河道形态学方法,直接识别河道砂体。利用河道边缘技术,来识别末期河道,利用地层倾角技术来研究河道迁移方向,最终完成点坝及内部结构识别。图9为河道边缘检测属性按照22000截断后的属性图,较好地反映了末期河道的平面分布。图10为截断的河道边缘检测属性嵌入河道砂体检测属性图,较好地反映了末期河道和河道砂体的配置关系。

2.6 利用实钻井落实河道含油性及其边界。

在产能井实施过程中通过轨迹优化来落实河道含油性及其边界,即优化深层馆陶组井位时,落实浅层

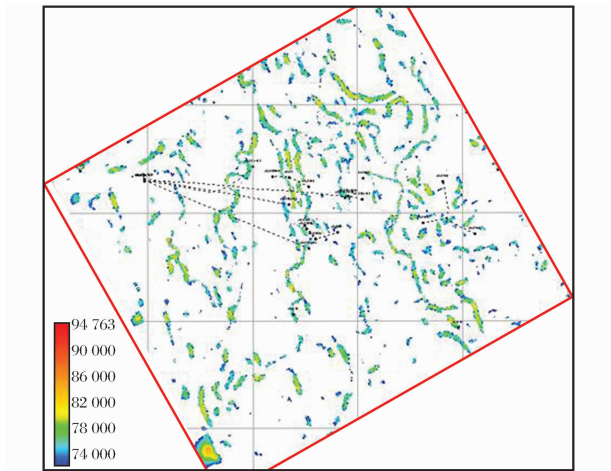


图9 插入河道边缘检测属性截断后平面特征

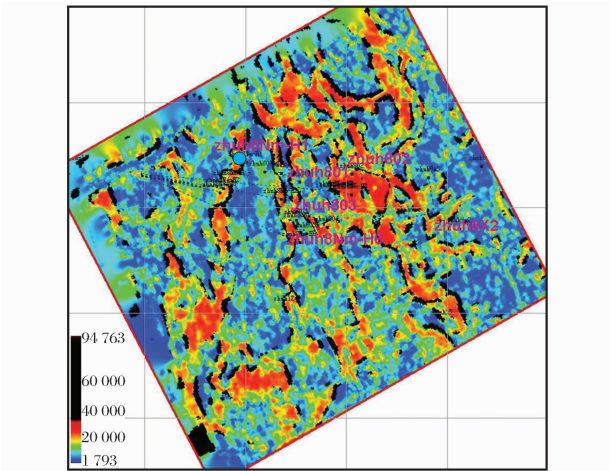


图10 截断的河道边缘检测属性嵌入河道砂体检测属性

① 窦松江,朱文春,芦凤明,等.复杂油藏薄油砂体精细预测技术研究与应用.内部资料,2008.

地层明化镇组河道的分布,如庄海 8Ng-H1、庄海 8Ng-H2、庄海 8Ng-H4 等井均钻遇 NmⅢ 2 油层,庄海 8Ng-H3 井落在河道外,从而落实了河道规模。

根据明化镇组的砂体预测及河道的追踪成果。实施的 6 口水平井均钻遇储层,庄海 8Nm-H2、庄海 8Nm-H6 及庄海 8Nm-H3K 等井均获得高产^①。

3 结论

(1) 通过对生产中存在的问题进行针对性分析,实现了对砂体预测由点到面再到体的识别与追踪。并在优化调整井网部署中,钻井成功率达到了 100%。

(2) 针对目的层的属性提取、储层反演、三维可视化雕刻、河道边缘检测技术方法的相互结合与验证,在庄海 8 油田开发中是适用的。

(3) 针对不同沉积环境储层预测建立的不同技术流程及方法,给相似油藏的开发提供了一定借鉴。

(4) 储层砂体预测,提高了钻井成功率,该区实施的 19 口水平井中,油层平均钻遇率在 82% 以上,初期日产油平均在 85t 以上,取得了显著的经济效益和社会效益。

参考文献(References):

- [1] Xiong Ran, Liu Lingli, Liu Aihua, *et al.* Application of seismic properties analysis to reservoir prediction in Lunnan area[J].

Special Oil and Gas Reservoirs, 2008, 15(2): 32-34, 43. [熊冉, 刘玲利, 刘爱华, 等. 地震属性分析在轮南地区储层预测中的应用[J]. 特种油气藏, 2008, 15(2): 32-34, 43.]

- [2] Huang Yunfeng, Yang Zhanlong, Guo Jingyi, *et al.* Seismic attribute analysis and application in subtle traps exploration[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(5): 739-742. [黄云峰, 杨占龙, 郭精义, 等. 地震属性分析及其在岩性油气藏勘探中的应用[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(5): 739-742.]
- [3] Wang Zhi. The Preliminary Research and Application of Seismic Properties Technology in Tahe Oilfield[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2008. [王治. 地震属性技术初步研究及其在塔河油田的应用[D]. 北京: 中国地质大学, 2008.]
- [4] Ma Pengshan, Wang Jiqiang, Liu Laixiang, *et al.* Application of morlet wavelet frequency division processing to improve seismic resolution[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2007, 46(3): 283-289. [马朋善, 王继强, 刘来祥, 等. Morlet 小波分频处理在提高地震资料分辨中的应用[J]. 石油物探, 2007, 46(3): 283-289.]
- [5] Su Junqing, Yu Chao, Qian Maolu, *et al.* Model of sandstone body for the 1th member of Shahejie Formation and lithologic petroleum reservoir exploration in littoral slope area[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(4): 541-546. [苏俊青, 于超, 钱茂路, 等. 滨海斜坡区沙一段砂体发育模式与岩性油气藏勘探[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(4): 541-546.]
- [6] Yu Chao, Su Junqing, Qian Maolu, *et al.* Distribution and controlling factors of Eocene oil & gas reservoirs in Binhai fault nose zone[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(4): 547-553. [于超, 苏俊青, 钱茂路, 等. 滨海断鼻古近系油气藏分布特征与控制因素浅析[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(4): 547-553.]

Fine Prediction for Sand Bodies of Different Sedimentary Reservoirs in Chenghai Oilfield; A Case on Zhuanghai8 Block of Chenghai Oilfield I Area

JIA Yu-mei¹, DOU Song-jiang¹, DU Yan-lei¹, WANG Shao-bo¹, HAN Xu²

(1. Dagang Oilfield Company, PetroChina, Tianjin 300280, China;

2. No. 5 Exploitation Plant of Dagang Oilfield, PetroChina, Tianjin 300280, China)

Abstract: Fine reservoir prediction is difficult in Chenghai oilfield, which has complex geological conditions, multi sedimentary types, and diverse reservoirs with rapid changes in vertical and horizontal. For the problem of reservoir prediction, a variety of technical means is used to solve the multiple solutions of reservoir research, such as using seismic attribute analysis techniques to delineated the scope of favorable reservoir, spectral imaging technology to improve the horizontal recognition of the reservoir, logging constrained seismic inversion technology to improve the vertical resolution of reservoir, and river edge detection to describe the end of river. Through the integrated application of various technical advantages, we can achieve the identification and tracking of a single sand from the point to the plane then to the body.

Key words: Chenghai oilfield I area; Sedimentary characteristics; Reservoir characteristic; Fine reservoir prediction; Result application.

① 窦松江, 朱文春, 芦凤明, 等. 复杂油藏薄油砂体精细预测技术研究与应用. 内部资料, 2008.