

文章编号: 0253-9985(2009)05-0668-05

河流相沉积储层地震精细预测方法研究与应用 ——以渤海湾盆地冀中坳陷古近系河道砂为例

崔永谦^{1,2}, 秦凤启², 卢永和², 杜维良²

[1. 中国矿业大学(北京), 北京 100083;

2. 中国石油天然气股份有限公司 华北油田公司 地球物理勘探研究院, 河北 任丘 062552]

摘要: 河流相沉积砂岩是陆相断陷常见的储层类型。由于河流改道频繁, 砂、泥岩交互发育且横向变化快, 造成地震反射连通性差, 加之受分辨率限制, 储层预测难度较大。以渤海湾盆地冀中坳陷中部研究区为例, 进行了层位的精细标定和等时地层对比下的精细解释, 进行优选提取地震属性并进行三维可视化立体雕刻; 研究薄层的调谐频率, 并利用分频研究结果预测河道平面分布; 构建合理的地质模型, 优选参数进行拟声波反演取得较高精度的预测结果。

关键词: 调谐频率; 地震属性; 地震反演; 储层预测; 河道砂岩; 冀中坳陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.2; P631.4 **文献标识码:** A

Research and application of detailed seismic prediction in fluvial reservoirs — an example from the palaeogene channel sand in the Jizhong Depression the Bohai Bay Basin

Cui Yongqian^{1,2}, Qin Fengqi², Lu Yonghe², Du Weiliang²

(1. China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China;

2. Geophysical Exploration Institute, Petrochina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China)

Abstract: Fluvial sandstone reservoirs are common in continental fault depressions. They are characterized by vertical alternating of sandstone and mudstone and lateral rapid change of lithofacies caused by frequent river diversion. These features lead to discrete seismic reflection. This, in addition to the limitation of seismic resolution, increases the difficulty of reservoir prediction. Taking the study area in the central Jizhong Depression of the Bohai Bay Basin as an example, we studied fine seismic interpretation based on accurate horizon calibration and isochronous stratigraphic correlation. Based on that, we optimized extraction of seismic attributes and built up 3D visualization model. Frequency tuning for thin layers was performed and the results of frequency division were used to predict river channel distribution in plane. We also set up rational geological models and performed pseudo-sonic inversion with optimized parameters to obtain high-precise reservoir prediction results.

Key words: tuning frequency; seismic property; seismic inversion; reservoir prediction; channel sand; Jizhong Depression; Bohai Bay Basin

河流相是陆相环境中的一种重要沉积类型, 所沉积砂体也是油气储集的良好场所^[1]。其中分布广且与油气勘探密切相关的是曲流河与辫状河砂体, 可细分为若干个亚相和微相。河流相的主要沉积特征, 在纵向呈砂、泥岩互层, 在横向上形

态复杂多样且岩性变化非常快。所以准确预测河道砂岩的发育情况, 对落实储层位置和油藏类型具有重要意义。但是, 由于一般砂岩单层厚度相对较小且横向变化复杂, 受地震资料分辨率所限及断裂发育的影响, 砂体不易识别。同时由于不

同类型岩石的地球物理响应接近,也增加了河流沉积砂体的储层预测难度^[2~10]。

研究区位于渤海湾盆地冀中坳陷中部,已实施三维地震勘探。在古近系东营组发现了多个构造、岩性、地层因素控制的油藏。储层类型主要为曲流河沉积砂体,平面展布总体形态呈弯曲条带状,但河道改道、迁移频繁。岩性组合为砂、泥岩互层,砂岩分选较好、相变快、连通性差。河道亚相中的边滩、河道填积微相最为有利,砂岩单层厚度为 8~10 m,孔隙度 15%~25%,渗透率 $30 \times 10^{-3} \sim 60 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。以此为例分析储层预测的难点与应注意的关键问题。

1 储层地球物理特征及预测难点

利用已钻井和已知的地质、地震、测井资料,分析河流相沉积的主要地质特点,标定并研究其地球物理响应,发现主要具有以下特征。

1) 地震反射特征

河流相沉积一般具有强振幅、短反射特征,平行或亚平行反射结构,且振幅、频率变化较快(图 1)。

2) 地震速度特征

砂岩的地震波速度总体比泥岩高,但二者相差不大。

3) 测井响应特征

河流相沉积的“二元结构”在自然电位、电阻率曲线上反映明显,其底部突变,下部为箱形,上部逐渐变为钟形,自下而上曲线异常幅度由高变低。

同时,对河流相沉积砂岩进行储层预测的难点,主要表现在以下几个方面。

1) 地层对比难度大

进行河流相地层对比的标志层分布范围小、特征多变或不明显;因河道下切、改道等造成砂体

相变快、连通性较差,等时对比难度大,常出现穿时现象。

2) 准确预测河道位置困难

多期河道交织,河道砂体与泥岩互层,砂岩单层厚度较薄(一般 5~8 m),岩性相变快,造成地震反射连续性差,振幅、频率变化快。

3) 受到地震分辨率限制

河道砂岩形成的岩性油气藏一般数目较多,并呈现纵向相互叠置、平面多套油层叠合连片的分布特征,而地震纵、横向分辨率往往较低。

4) 砂、泥岩速度差异小

地震波传播速度相差不大,利用波阻抗反演区分岩性的效果较差。

2 储层预测技术思路及关键

根据河流相沉积的地质与地球物理特征及预测难点,储层预测的总体技术思路,首先是进行高分辨率层序地层学研究,在层序等时格架约束下进行精细地层对比;其次是应用三维立体解释技术及相干体等方法进行目的层的精细解释,为精细储层预测奠定基础;第三是优选地震属性从平面上对河道的展布、砂体横向变化进行预测;第四是进行高分辨率地震反演预测出河道砂体的纵向叠置关系及厚度变化。

在总体技术思路指导下,为保证预测结果的准确性,在储层预测中必须注意几个关键问题。

2.1 精确井—震标定

精确的层位标定和精细的层位解释是获得正确预测结果的基础和保障。但是,由于河流相沉积的薄砂、泥岩互层,储层预测中对井—震标定、构造解释的精度要求更高。所以,需要根据河流相沉积的特点,在层位(储层)的标定中,采取以下两个有针对性的方法,可以获得更精确的结果。

1) 利用离散合成地震记录(图 2),研究每一套砂层的反射强弱及其对总体反射同相轴的贡献大小,确定总体反射所对应的位置,据此进行精细标定并指导反演结果的解释。

2) 地震数据重采样提高井震匹配,即在不产生假频的情况下,将原地震数据体的采样点加密,以便使地震与测井资料匹配更精细,提高地震反演的分辨率。

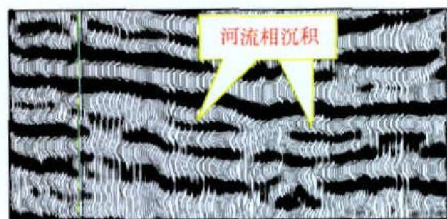


图 1 河流相地震反射特征

Fig. 1 Seismic reflectance signatures of fluvial facies

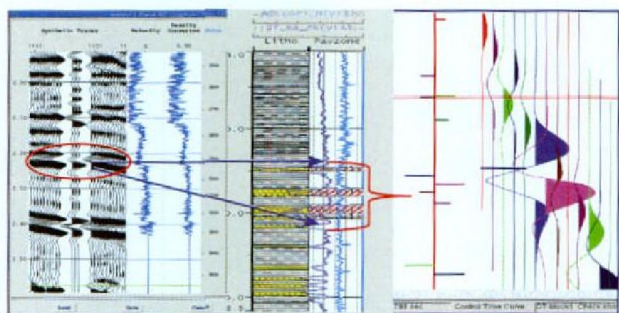


图 2 离散合成记录标定

Fig. 2 Horizon calibration by using discrete synthesis seismogram

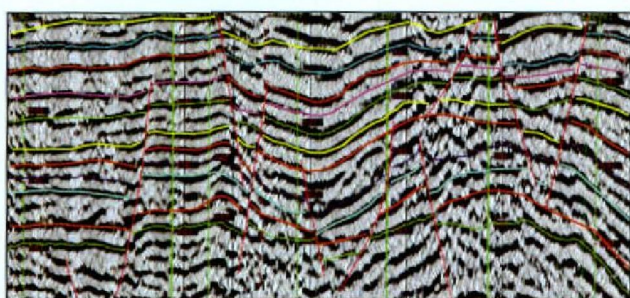


图 3 等时精细地震资料解释

Fig. 3 Detailed seismic interpretation of isochronous strata

2.2 精细的地震解释

与常规的构造解释和面积分布的储层预测不同,对于河流相沉积储层,需要在等时层序地层格架约束下,细划研究层系、缩小研究单元。在单井精细标定基础上,充分应用三维立体解释、自动追踪等技术方法,对主要目的层段逐层进行地震层位、断裂系统的精细解释(图 3),利用相干体、切块移动、任意线、切片等辅助方法进行解释和检查,以消除层位闭合不好、追踪不够精细等因素的影响。在此基础上进行地震属性提取和地震约束反演,方可获得更为准确的结果,提高储层预测精度。

2.3 地震属性的优选与应用

目前能够提取的地震属性有上百种,但许多地震属性很难直接用于预测河道的平面展布及砂体的横向变化,所以,需要对属性加以优选、组合或处理^[7]。

1) 地震振幅属性及其可视化雕刻

由于河流相砂体具有强振幅、不连续、变化快等地震相特征,所以,优选较为有效的振幅属性为主,进行储层平面展布的预测。为了突出河道砂

岩的分布特征,利用三维可视化技术进行振幅属性雕刻,可更加清楚显示出不同时期曲流河的空间展布特征。如图 4 即为区内东营组三段(以下简称东三段)IV砂组的振幅属性三维可视化雕刻结果。

2) 频谱分析及调谐厚度选取

一般在曲河流的河道微相砂体较为发育,但因河道的摆动变迁、决口改道,砂体连通性变差、厚度较薄。已钻井揭示,区内河道砂单砂层厚度一般小于 10 m,河漫滩亚相砂体相对不发育,从河道到河漫滩砂体相变较快。在地震反射特征上,河道亚相与河漫滩亚相差异较大,河流走向特征明显。研究表明,频谱分析(频率分解)技术利用薄层的调谐体离散频率特征,分析复杂岩层内部的频率变化和局部相位特征的不稳定性,从而可识别薄层的分布特征^[8]。因此,针对曲流河沉积的特征,是一种有效的预测手段。但利用该项技术进行预测的关键是调谐频率的选取。图 5、图 6

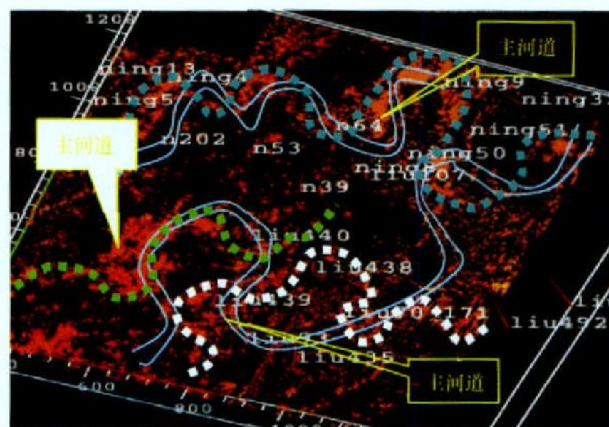


图 4 可视化振幅属性雕刻

Fig. 4 Visualization of amplitude attributes

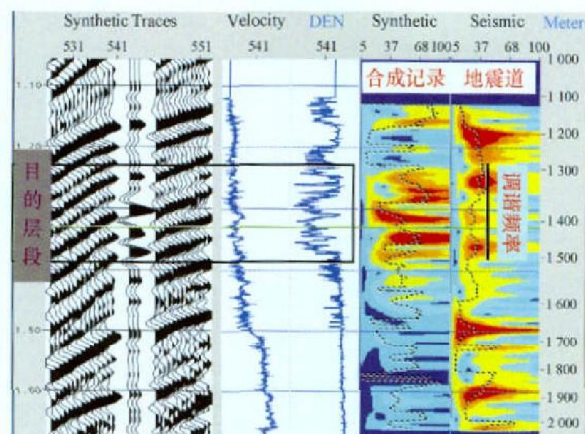


图 5 调谐频率分析

Fig. 5 Analysis of tuning frequency

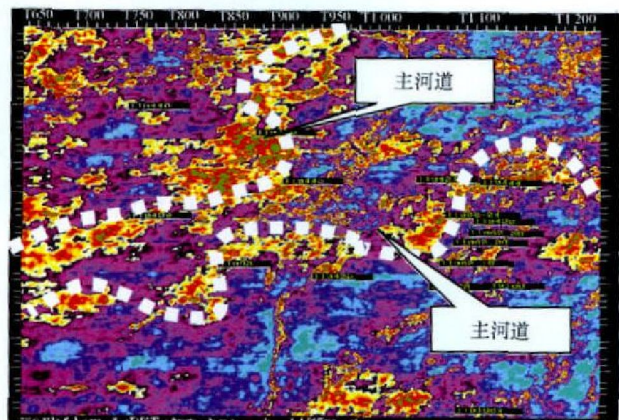


图 6 东营组三段 II 砂组分频扫描 (35 Hz)

Fig 6 Frequency division scanning of sand group III in the third member of the Dongying Formation

分别是对该区东三段 II 砂组进行的频谱分析以及选取 35 Hz 调谐频率所完成的频谱分析图,可清楚显示出两条主河道的平面展布特征。

2.4 地震反演预测中的模型构建与参数优选

在刻画出曲流河平面展布特征的基础上,针对河流相砂体单层厚度较薄、横向变化较快的特征,采用基于模型的测井约束地震反演等高分辨率储层预测方法,可对砂体的纵向叠置关系、厚度横向变化及分布范围、岩性尖灭等进行预测,落实

圈团模式、油藏特征并提供部井依据。在地震反演中,每个环节都很重要^[9,10],但针对河流相沉积的地质、地球物理特征,建立准确的地质模型并选取正确的储层预测方法及敏感参数更为关键。

1) 构建合理的地质模型

在基于模型的测井约束地震反演中,地质建模最为重要。因此在地质模型建立时,不仅要考虑层序、构造模型的特点,还需考虑河流相的沉积特征。根据曲流河的长、宽、厚比例,确定、选取合理的相控类型与建模参数,建立合理的地质模型,以此对反演过程进行宏观约束,方可使得到的反演结果更符合宏观地质规律。

2) 波阻抗及拟声波反演

利用测井资料进行交汇可以看出,该区砂、泥岩在声波时差上的重叠区域太大,说明利用速度资料和波阻抗反演来区分砂、泥岩的效果并不好。而在自然电位等曲线上,砂、泥岩的重叠区域较小,能明显区分出砂、泥岩。因此,在声波速度资料的低频背景下,叠合自然电位曲线等敏感参数,构建形成拟声波曲线,既保持地层速度变化背景,又反映目的层段岩性的细微差异。在此基础上进行拟声波反演,则可有效分辨出砂岩与泥岩,达到较好反演效果(图 7)。

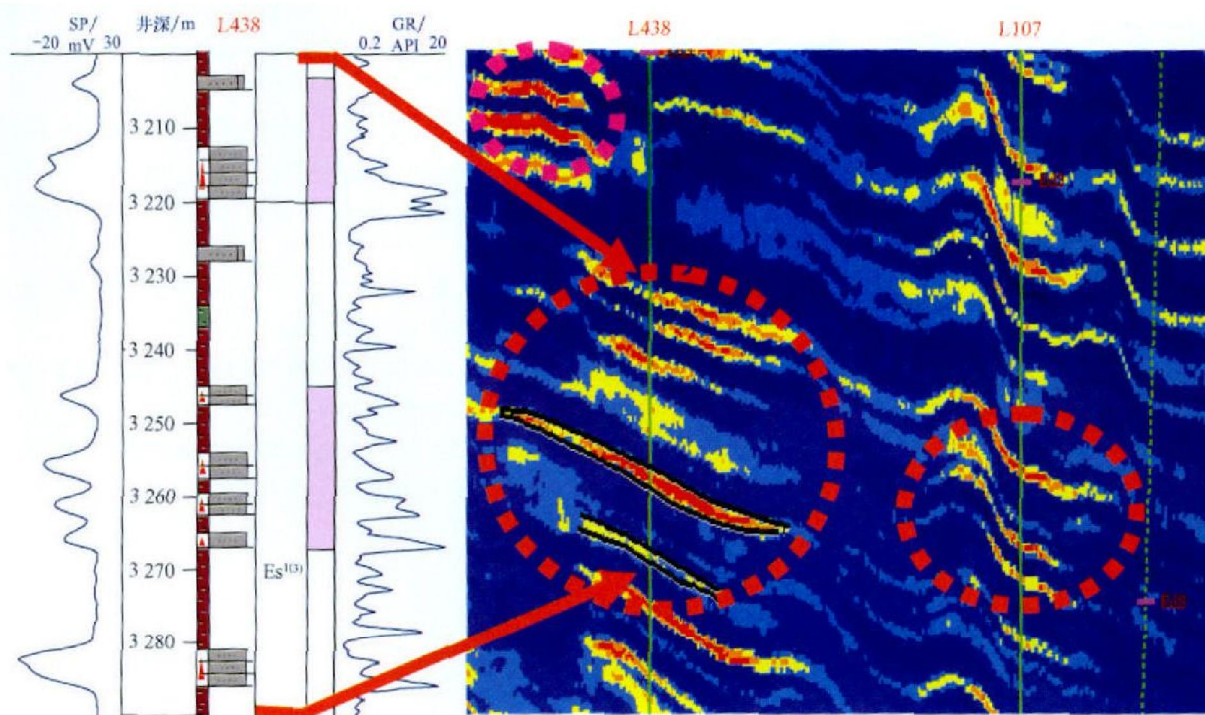


图 7 连井自然电位拟声波反演剖面

Fig 7 Pseudo-sonic inversion profile tied to spontaneous potential log

3 效果分析

从已知井和已知油藏出发,标定后开展精细储层预测,发现和落实新的油气藏。首先在地震振幅和分频属性分析图上,清楚反映出各时期河道的位置与方向。然后通过反演,在拟声波剖面上,清楚刻画出东营组各期河道砂的纵向叠置关系、厚度横向变化及砂岩尖灭情况。与已钻资料对比,预测结果与实钻吻合,说明储层预测效果较好。以此结果为主要依据设计新的探井,在反演剖面上可看出,准备钻探的边滩砂岩储层与已钻的 L438 井砂岩分属不同河道沉积,二者均侧向尖灭、互不连通,与断层配合形成两个相互独立的构造岩性复合圈闭。三维可视化振幅属性雕刻与频谱分析图等也反映出同样结果。设计 L107 井实施钻探,结果与预测情况吻合较好,砂岩储层厚度基本一致,并在东营组 2 973 ~ 3 010 m 井段获日产 24.6 t 的工业油流。这也证明了该区具备形成河道砂上倾尖灭岩性油藏的有利条件。根据新钻井资料,及时进行补充并进行新的标定,开展新一轮储层预测,设计 L100 和 L104 井相继获得成功。

4 结论与建议

1) 根据河流相沉积储层特点,研究其地球物理响应特征和储层预测技术难点,在种类繁多的技术方法中优选适用、有效的方法及技术关键,用于储层岩相、岩性、横向分布、纵向叠置、厚度变化及尖灭等情况的预测,方可得到准确结果并为钻井部署提供可靠依据。

2) 在高分辨率层序地层学指导下进行层位精细标定与解释,分准层序(组)研究地震属性,是提高储层精细研究精度的有效途径。其中优选与地质特征相关的地震属性是属性分析成功的关键与前提,而三维可视化可快速、直观地对地震属性进行合理地质解释。

3) 频谱分解技术利用短时窗振幅谱响应特征,建立起振幅谱变化与时窗内地层厚度的关系,用于分辨薄层及其内部特征。对于河流相沉积的薄互层特点,研究并确定砂层调谐频率是其关键。同时,相位谱对地震特征的微小变化也较敏感,在研究地层变化方面十分有效。

4) 地震反演是一种定量储层预测方法,但储层的波阻抗定量解释标准决定了预测结果的可信度。在声波阻抗无法区分砂、泥岩的情况下,利用叠后地震资料,拟声波反演提供了一种解决方案,构建合理模型并优选有效敏感参数是其关键。但拟声波反演技术受模型影响程度高且储层定量解释标准不唯一,是一个需继续研究的问题。

参 考 文 献

- 1 袁烽楠,薛叔浩,应凤祥. 中国陆相油气储集层 [M]. 北京: 中国石油出版社, 1997
- 2 赵政璋,赵贤正,王英民,等. 储层地震预测理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2005
- 3 毛凤鸣,陈安定,严元锋,等. 苏北盆地复杂小断块油气成藏特征及地震识别技术 [J]. 石油与天然气地质, 2006 27(6): 827 ~ 840
- 4 谭俊敏,刘丽峰,许云书,等. 麻黄山西区块二维地震资料综合解释与圈闭评价 [J]. 石油与天然气地质, 2007 28(1): 92 ~ 99
- 5 范洪军,李军,肖毓祥,等. 地震分频技术在扇三角洲演化过程研究中的应用 [J]. 石油与天然气地质, 2007 28(5): 682 ~ 686 692
- 6 刘成斋. 胜利探区地震采集技术发展历程回顾与启示 [J]. 石油与天然气地质, 2008 29(3): 397 ~ 404
- 7 王捷. 油藏描述技术——勘探阶段 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996
- 8 印兴耀,韩文功,李振春,等. 地震技术新进展 [M]. 山东东营: 中国石油大学出版社, 2006
- 9 沈财余,崔汝国. 影响测井约束地震反演地质效果因素的分析 [J]. 物探与化探, 2003 27(2): 123 ~ 127
- 10 宋维琪. 应用地震属性与测井数据反演储层参数 [J]. 勘探地球物理进展, 2003 26(3): 216 ~ 219

(编辑 陈喜禄)